

マイクロ波反応プロセスによる新規機能性材料の創製と応用

鈴木昇(教授)*¹, 佐藤正秀(准教授)¹, 古澤毅(助教)¹,
倉山文男(非常勤研究員)*², N. M. Bahadur(非常勤研究員)*³

- *¹ 大学院工学研究科学際先端システム学専攻 suzukin@cc.utsunomiya-u.ac.jp
*² オプティクス教育研究センター, 現 VBL
*³ 工学研究科博士後期課程, VBL, 現 Noakhali 理工大学

1. はじめに

近年, 電子レンジ等で馴染みのあるマイクロ波を新規の加熱方法として利用する研究が多く報告されている。この方法は広く応用されつつありその有効性は, 1) 内部加熱であり, 試料全体を加熱する必要がなく, 対流(伝導)伝熱を必要としない, 2) エネルギー効率に優れている, 3) 化学反応では, 副生成物が少ない, 4) ペットボトルなどのプラスチックも分解できる, などである。

我々は, このマイクロ波を利用したマイクロ波ゾルーゲル法により, 単分散のナノシリカ粒子の合成に成功したことから, 上記酸化物ナノ粒子のシリカコーティングをマイクロ波ゾルーゲル法で実施し, 数分といった極めて短い反応時間でシリカコーティングが可能であることを見出しており, 今回のプロジェクトでは種々の酸化物や金属ナノ粒子のシリカおよびチタニアコーティング等に関する研究を推進した。また, マイクロ波を用いて種々の金属ナノ粒子やナノワイヤを合成することが可能であることを見出しており, その合成法およびナノ流体などへの応用を検討した。

2. ナノ粒子への酸化物コーティング

酸化物ナノ粒子のシリカコーティングを例として, その手順を説明する。まず, 酸化物ナノ粒子が凝集していることから, エタノールを溶媒として遊星ボールで解砕し, その懸濁液を三口フラスコに入れ, さらにテトラエトキシシラン (TEOS) やテトラブトキシチタン (TBOT) などの被覆層前駆体, 触媒としてのアンモニア水溶液を加え, 攪拌下マイクロ波を照射する。その際の加熱温度は熱電対あるいはガラスファイバー温度計で制御する。所定時間加熱後に, 遠心分離と洗浄を繰り返したのち, 乾燥させる。

図1は未被覆シリカとチタニア被覆シリカ ($\text{SiO}_2@\text{TiO}_2$) の電子顕微鏡写真であり, TEOSを前駆体としてマイクロ波ゾルーゲル法でシリカ微粒子を調製し, さらに TBOT 溶液を用い

てマイクロ波ゾルーゲル法によるチタニアコーティングを行った。単分散のシリカ粒子の表面がチタニアで均一にコーティングされていることが観察された。また、焼成した $\text{SiO}_2@\text{TiO}_2$ の光触媒活性試験では、チタニア単位重量当たりの触媒活性が高いことを確認した。

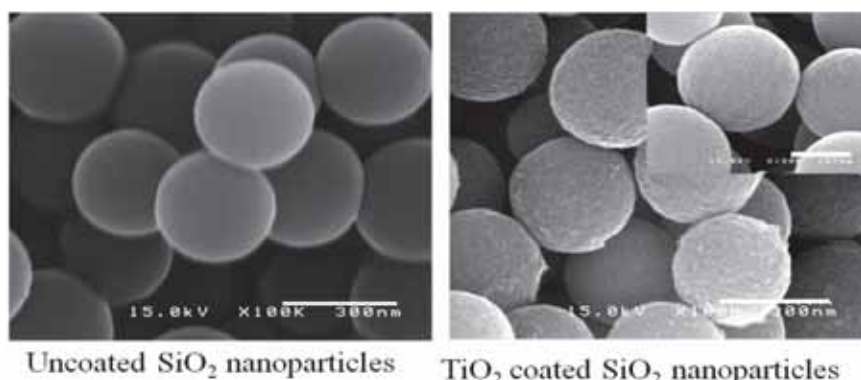


図1 微粒子シリカとチタニア被覆シリカ

図2はチタニアコート酸化亜鉛 ($\text{ZnO}@\text{TiO}_2$) のTEM像であり、数 nm のオーダーで TiO_2 がコーティングされているのが分かる。そしてこの粒子の蛍光スペクトルを測定したところ、未被覆 ZnO と比較して、蛍光強度が極めて高くなることを確認した。

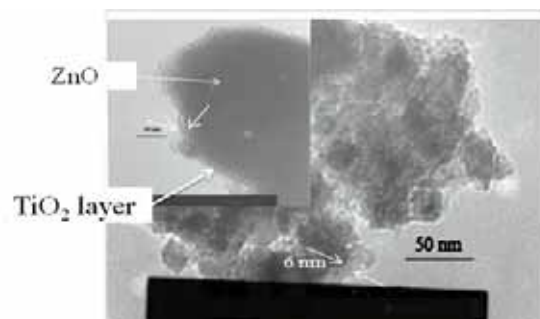


図2 $\text{ZnO}@\text{TiO}_2$ のTEM像

金属ナノ粒子のシリカコーティングでは、まず、前駆体の塩化金酸、硝酸銀、塩化銅を通常法（還元剤にクエン酸ナトリウムや水素化ホウ素ナトリウムを使用）でナノ粒子を合成し、その後は、上記酸化物ナノ粒子の場合と同様にシリカコーティングを行う。金および銀ナノ粒子のシリカコーティングにおける従来のゾルーゲル法では、金属表面の安定化とシリカとの結合などのために、種々の試薬が添加されているが、マイクロ波ゾルーゲル法では、それを必要としないことを見出している。なお、銅ナノ粒子の場合は、安定化剤等の添加が必要であった。また、マイクロ波照射法についても種々検討し、その出力を制御した（例えば、装置定格の50%と30%を繰り返すなど）。

図4は、シリカコーティングしたAg、AuおよびCuであり、前2者では、ほぼ単分散の粒子径を有している。しかし、Cuの場合は、前2者と同じ方法でのシリカコーティングが困難であり、種々の添加剤を加える必要があった。

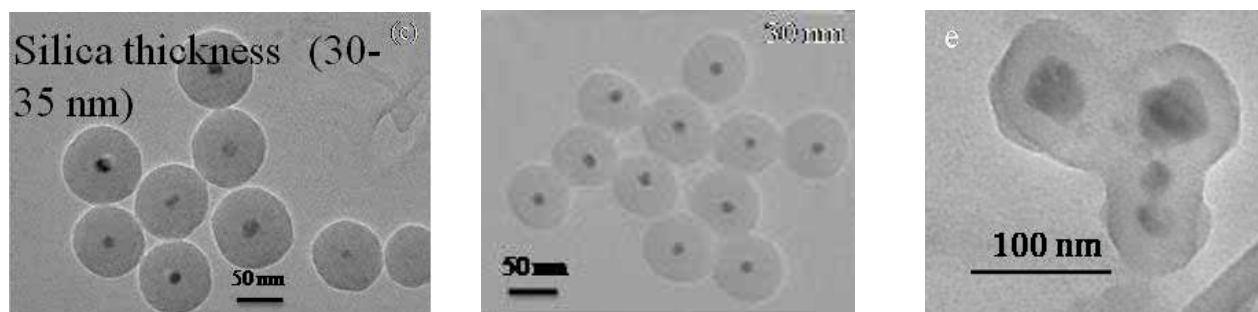


図3 シリカコーティングしたAg（左）、Au（中）、およびCu（右）

3. マイクロ波加熱を利用する液相還元法による銀ナノワイヤ合成

透明電極材料として広く用いられている酸化インジウムスズ(ITO)電極の代替として、金属ナノ粒子、カーボンナノチューブやグラフェン等を適当な媒体中に高次分散させた導電性インク・ペーストを、インクジェット、スクリーン印刷などの塗布型印刷技術によって基板上に塗布することで、透明導電膜を形成させるプロセスが注目を集めている。これらの導電性インク・ペーストの中でも、銀ナノワイヤ分散インク・ペーストは媒体に対する分散性が高く、優れた透明性と低シート抵抗を兼ね備えた導電膜を作製出来る場合が多いことが知られており、既にスマートフォンや PC 用液晶モニターのタッチパネルセンサー用導電膜等で実用化しているものもある¹⁾。銀ナノワイヤは一般に、原料の硝酸銀と銀ナノワイヤ表面保護剤であるポリビニルピロリドン (PVP) のエチレングリコール溶液を 140-160℃以上に加熱して銀イオンを還元する方法 (ポリオール液相還元法) によって合成されている。ポリオール液相還元法では、反応槽を室温から 140~200℃まで急速均一に昇温すれば、少量の銀初期核から長軸方向に長く伸びたナノワイヤが生成する可能性がある。

Tsuji らは、急速均一昇温が可能なマイクロ波加熱を用いたポリオール還元法による銀ナノ粒子生成プロセスについて検討を行い、オイルバスなどの通常加熱に比較して反応に必要な時間が数分程度に短縮され、ナノワイヤ収率が向上するなどの傾向が得られることを報告している²⁾。彼らの研究で用いたマイクロ波加熱反応装置は、通常の商品加熱用電子レンジと同様の、チャンバー内に設置したフラスコなどの反応容器にマイクロ波を照射するタイプのものであり、発信器から導波管を経てチャンバー内の一箇所から放射されたマイクロ波は、チャンバー内を乱反射し、色々なモードが混じり合った状態 (マルチモード) で反応容器に照射される。従ってチャンバー内や反応容器内にマイクロ波のモードの違いによって生じる加熱ムラが形成される可能性がある (市販の電子レンジによる食品加熱でも同様の理由で加熱ムラが生じる)。

これに対して、管内を反射しながら進行するマイクロ波が単一のモード (シングルモード) をとるように設計された導波管中に、反応管を挿入するタイプのマイクロ波加熱装置 (シングルモードマイクロ波加熱装置) が存在する。シングルモードマイクロ波加熱装置の例を Fig. 4 に示すが、この装置では導波管の終端にマイクロ波を吸収する可変式摺動短絡板が設置しており、この位置を設定することで、極性分子 (水、アルコール、ポリオール、ケトンなど) の OH 基などを高速振動させて加熱する、通常の商品レンジと同じ加熱様式の電界集中場加熱と、導電体に対する誘導加熱によって、媒液中に分散している金属ナノ粒子のみを加熱する、電磁調理器と類似の磁界集中場加熱の2つの加熱モードをとることができる。

このシングルモードマイクロ波加熱装置を用いて、銀ナノ材料合成に影響を与える反応物、添加物濃度や PVP の平均分子量および昇温温度を一定にし、摺動短絡板の位置のみを変化させて、照射マイクロ波のモードの違いがポリオール還元による銀ナノ粒子合成に及ぼす影響を調べた。得られた結果の一例を Fig. 5 に示すが、電解集中場加熱で合成した際は粒子径 50~100nm 程度の球状の銀ナノ粒子のみが生成した。これは溶媒/還元剤であるエチレングリコール、表面保護剤である PVP 共に極性分子であり、この2つが優先的に加熱されることで、銀イオンの還元反応が促進され初期核の発生数が増えることと、生成した銀初期核の全ての表面が速やかに PVP 分子によって被覆、安定化されてしまい、成長が抑制されることで球状粒子のみが優先的に生成したものと考えられる。一方、磁界集中場で加熱した際は、生成した銀ナノ材料のうち 70%以上の高い割合で直径 50~70nm、長さ 10~15 μm のものを中心とする銀ナノワイヤが選択的に得られた。これは誘導加熱環境下では生成した銀シード粒子のうち、PVP 未被覆の(111)面が優先的に加熱され、(111)面への還元銀原子の結合による(111)面の成長が促されることで、(100)方向に伸びた銀ナノワイヤの生成が優先的に生じたものと考えられる。以上のことから、マイクロ波過熱時のマイクロ波モードによってポリオール還元銀ナノ材料の形状制御が行える可能性があることが示された。

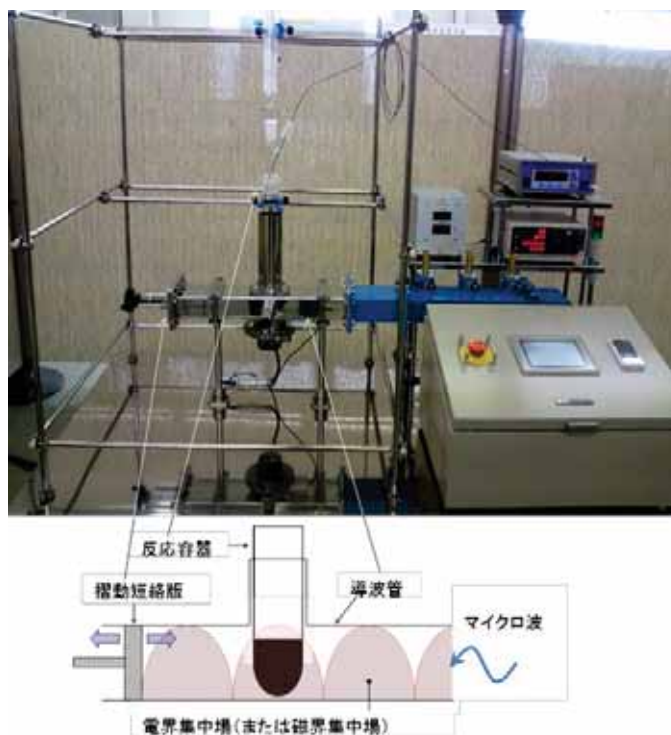


Fig. 4 シングルモードマイクロ波加熱装置

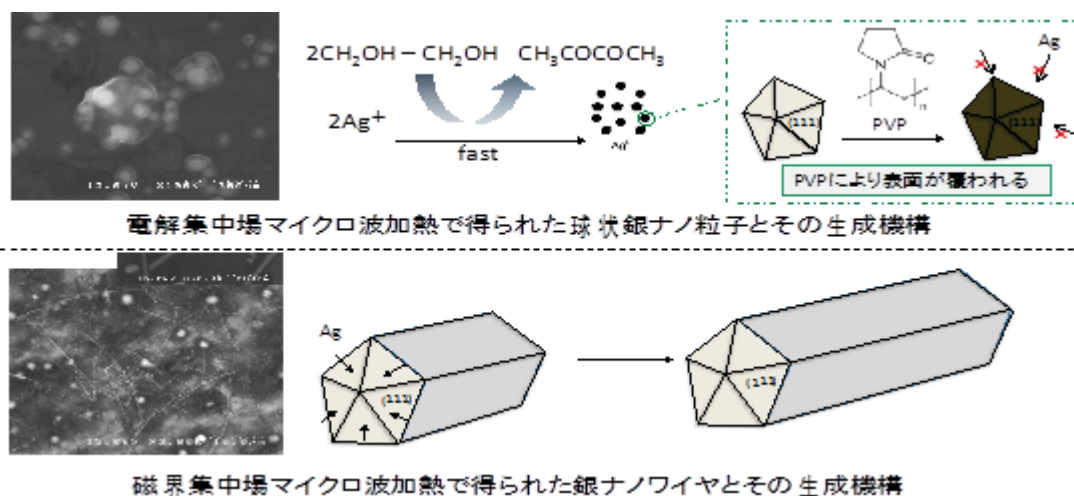


Fig. 5 シングルモード型マイクロ波加熱-ポリオール還元で生成した銀ナノ材料

文献

- 1) カンブリオス社ホームページ <http://www.cambrios.com/news/releases>
- 2) M. Tsuji, Y. Nishizawa, M. Hashimoto, T. Tsuji, *Chem. Lett.*, **33**, 370 (2004)

プロジェクト 19 マイクロ波反応プロセスによる新規機能性材料の創製と応用

(担当者) 鈴木 昇, 佐藤 正秀, 古澤 毅, 倉山 文男, N. M. Bahadur

●原著論文 (外国, 国内)

- 1) T. Furusawa, Y. Miura, Y. Kori, M. Sato and N. Suzuki, The cycle usage test of Ni/MgO catalyst for the steam reforming of Naphthalene/Benzene as model tar compounds of Biomass gasification, *Catalysis Communications*, **10**, 552-556 (2009).
- 2) F. Kurayama, N. Suzuki, M. Sato, T. Furusawa, H. Isahara, Y. Kikuchi, S. Fukushima, M. Takano, E. Iwase, R. Inoue, M. Sato and T. Itoh, Round Robin Test for the quantification and standardization of sample damage during XPS measurements, *Journal of surface analysis*, **16** (1), 2-11 (2009).
- 3) 新ヶ江龍一, 古澤毅, 佐藤正秀, 鈴木昇, 蒸着工法に適したオキシチタニウムフタロシアニン顔料の精製方法, *材料技術*, **27**(6), 236-241 (2009).
- 4) M. Sato, T. Suzuki, R. Di Paola, Y. Urita, A. Cecere, R. Savino, Y. Abe, K. Iimura, Y. Shinmoto, H. Ohta, M. Fukagawa, T. Furusawa, N. Suzuki, Anomalous Temperature Dependence of the Surface Tension in Polyol Process- Synthesized Silver Nanofluids with Higher Alcohols, Proc. 17th Symposium on Thermophysical Properties, Univ. Colorado, Boulder, CO, USA (2009).
- 5) Y. Abe, M. Fukagaya, H. Ohta, Y. Shinmoto, M. Sato, K. Iimura, Advanced Integrated Cooling Systems for Thermal Management in Data Centers, Proc. Inter PACK 2009, Westin St. Francis Hotel, San Francisco, CA, USA (2009).
- 6) M. Sato, Y. Abe, Y. Urita, R. D. Paola, A. Cecere, R. Savino, T. Furusawa, N. Suzuki, Thermal Performance of Self-rewetting Fluid Heat Pipe Containing Dilute solutions of Silver Nanoparticles Synthesized by Microwave-Polyol Process, Proc. 6th Interdisciplinary Transport Phenomena Conference: Fluid, Thermal, Biological, Materials and Space Sciences, Volterra, Italy, (2009).
- 7) N. M. Bahadur, T. Furusawa, F. Kurayama, M. Sato and N. Suzuki, A novel approach to silica-titania composite material and its photocatalytic efficiency, *Material Technology*, **28**(2), 45-55 (2010).
- 8) T. Furusawa, R. Asama, M. Okada, K-i. Aika, R. Kojima, M. Kato and N. Suzuki, Destructive adsorption of chlorinated volatile organic compounds on calcium oxide powder under air flow, *J. Chem. Eng. Jpn.*, **43**(6), 537-543 (2010).
- 9) F. Kurayama, S. Suzuki, T. Oyamada, T. Furusawa, M. Sato, N. Suzuki, Facile method for preparing organic/inorganic hybrid capsules using amino-functional silane coupling agent in aqueous media, *Journal of Colloid and Interface Science*, **349**(1), 70-76 (2010).
- 10) 倉山文男, 吉川朋美, 山田晴菜, 古澤毅, 佐藤正秀, 鈴木昇, CaO 粉末内包マイクロカプセルによるバイオディーゼル合成, *粉体工学会誌*, **47**(9), 594-599 (2010).

- 11) N. M. Bahadur, T. Furusawa, M. Sato, F. Kurayama and N. Suzuki, Rapid synthesis, characterization and optical properties of TiO₂ and ZnO nanocomposite particles by a novel microwave irradiation method, *Material Research Bulletin*, **45**(10), 1383-1388 (2010).
- 12) 古澤毅, 星雄一郎, 角田優作, 倉山文男, 佐藤正秀, 鈴木昇, マイクロ波加熱流通型反応装置を用いた酸化亜鉛微粒子のシリカ表面改質に関する研究, 材料技術, **28**(5), 244-251 (2010).
- 13) Y. Kobayashi, M. Minato, K. Ihara, M. Sato, N. Suzuki, M. Takeda, N. Ohuchi, and A. Kasuya, Synthesis of Silica-Coated AgI Nanoparticles and Immobilization of Proteins on Them, *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, **10**(11), 7758-7761 (2010).
- 14) Y. Abe, Y. Urita, M. Sato, K. Iimura, T. Hayashi and M. Yokura, Heat Pipes with Self-rewetting Fluids and Nano Self-rewetting Fluids, Proc. 15th International Heat Pipe Conference, 9 pages (CD-ROM), Clemson Univ., USA, (2010. 4.25-30)
- 15) Y. Abe, M. Fukagaya, H. Ohta, Y. Shinmoto, M. Sato, and K. Iimura, Development of Advanced Cooling Network Systems for Data Centers, Proc.14th International Heat Transfer Conference, IHTC14-22045-1-6 (6 pages), Omni Shoreham Hotel, Washington D. C., USA, (2010.8.8-13)
- 16) M. Sato, T. Nikaido, A. Oki, T. Furusawa and N. Suzuki, Preparation of silver nanoparticles dispersions by microwave-assisted polyol synthesis and their application in inkjet electric circuit printing, 13th Asia Pacific Confederation of Chemical Engineering Congress, Taipei, Taiwan, USB memory (2010.10.5-8)
- 17) M. Ouchi, Y. Abe, M. Fukagaya, T. Kitagawa, H. Ohta, Y. Shinmoto, M. Sato and K. Iimura, New Thermal Management Systems for Data Centers, Proceedings of the ASME/JSME 8th Thermal Engineering Joint Conference, AJTEC2011-44399-1-6 (6 Pages), Honolulu, HA, USA, (2011.3.13-17)
- 18) N. M. Bahadur, T. Furusawa, M. Sato, F. Kurayama, I. A. Siddiquey and N. Suzuki, Fast and facile synthesis of silica coated silver nanoparticles by microwave irradiation, *J. Colloid and Interface Science*, **355**(2), 312-320 (2011).
- 19) I. A. Siddiquey, T. Furusawa, M. Sato, N. M. Bahadur, Md. N. Uddin and N. Suzuki, A rapid method for the preparation of silica-coated ZrO₂ nanoparticles by microwave irradiation, *Ceramics International*, **37**, 1755-1760 (2011).
- 20) 新ヶ江龍一, 伊藤智志, 古澤毅, 佐藤正秀, 鈴木昇, フタロシアニンチタニル顔料の熱挙動および不純物分析, 材料技術, **29**(3), 98-104 (2011).
- 21) 田所義浩, 竹澤信隆, 伊藤繁則, 佐藤正秀, 古澤毅, 鈴木昇, 電子部品の耐食性に及ぼす下地 Ni めっきの影響, エレクトロニクス実装学会誌, **14**(4), 296-304 (2011).
- 22) 新ヶ江龍一, 古澤毅, 佐藤正秀, 鈴木昇, 有機感光体特性に与えるフタロシアニンチタニル膜調製条件の影響, 材料技術, **29**(4), 142-148 (2011).

- 23) I. A. Siddiquey, T. Furusawa, M. Sato, N. M. Bahadur and N. Suzuki, Fabrication of silica coated Al_2O_3 nanoparticles via a fast and facile route utilizing microwave irradiation, *Materials Chemistry and Physics*, **130**, 583-586 (2011).
- 24) M. Sato, Y. Abe, Y. Urita, R. D. Paola, A. Cecere and R. Savino, Thermal Performance of Self-rewetting Fluid Heat Pipe Containing Dilute solutions of Silver Nanoparticles Synthesized by Microwave-Polyol Process, *Int. J. Trans. Phenom.*, **12**(3-4), 339-345 (2011).
- 25) N. M. Bahadur, H. Takaoka, T. Furusawa, F. Kurayama, M. Sato, I. A. Siddiquey and N. Suzuki, Silica coating of copper nanoparticles by a fast and facile microwave method, 粉体および粉末冶金, **58**(10), 591-597 (2011).
- 26) N. M. Bahadur, S. Watanabe, T. Furusawa, M. Sato, F. Kurayama, I. A. Siddiquey, Y. Kobayashi and N. Suzuki, Rapid one-step synthesis, characterization and functionalization of silica coated gold nanoparticles, *Colloids and Surfaces A; Physicochemical and Engineering Aspects*, **392**, 137-144 (2011).
- 27) Y. Shinmoto, Y. Asada, H. Kobayashi, S. Kanazawa, M. Fukagaya, Y. Abe, M. Ouchi, M. Sato, K. Iimura and H. Ohta, Development of High Heat Flux Cooling Jacket for Electronics Devices by using Flow Boiling, The International Conference on Electrics Packaging 2011, (2011).
- 28) M. Ouchi, Y. Abe, M. Fukagaya, T. Kitagawa, H. Ohta, Y. Shinmoto, M. Sato and K. Iimura, The Liquid Cooling Network System for Energy Conservation in Data Centers, Proceedings of ASME InterPACK 2011, (2011).
- 29) R. Savino, K. Tanaka, M. Sato, Y. Abe, S. Van Verenberg, O. Kabov, D. Castagnolo, J. R. Thome, M. Kawaji and G. P. Celata, SELENE Experiment on Self-rewetting Fluids, Proceedings of ITP2011, Interdisciplinary Transport Phenomena VII: Fluid, Thermal, Materials and Space Sciences, ITP2011-39-1-9 (CD-ROM 9 pages), (2011).
- 30) R. Savino, Y. Abe, D. Castagnolo, G. P. Celata, O. Kabov, M. Kawaji, M. Sato, K. Tanaka, J. R. Thome and S. Van Vaerenbergh, Ground-based Activities in Preparation of ISS Experiments on Self-rewetting Fluids, *J. Phys.: Conf. Ser.*, **327**, 012032-1-13 (2011).
- 31) I. A. Siddiquey, T. Furusawa, M. Sato, N. M. Bahadur, Md. M. Alam and N. Suzuki, Sonochemical synthesis, photocatalytic activity and optical properties of silica coated ZnO nanoparticles, *Ultrasonics Sonochemistry*, **19**, 750-755 (2012).
- 32) T. Furusawa, T. Ogawa, T. Numao, M. Sato and N. Suzuki, Production of CaF_2 by the destructive adsorption of trifluoromethane and a binary mixture of trifluoromethane/chlorodifluoromethane with CaO powder under air-flow, *J. Chem. Eng. Jpn.*, **45**(6), 459-465 (2012).
- 33) F. Kurayama, S. Suzuki, N. M. Bahadur, T. Furusawa, H. Ota, M. Sato and N. Suzuki, Preparation of aminosilane-alginate hybrid microcapsules and their use for enzyme encapsulation, *Journal of Materials Chemistry*, **22**(30), 15405-15411 (2012).

- 34) M. Ouchi, Y. Abe, M. Fukagaya, T. Kitagawa, H. Ohta, Y. Shinmoto, M. Sato, K. Iimura, New thermal management systems for data centers, *Journal of Thermal Science and Engineering Application*, **4(3)**OP, 031005 (2012) (10 pages)
- 35) M. Ouchi, Y. Abe, M. Fukagaya, H. Ohta, Y. Shinmoto, M. Sato and K. Iimura, Thermal management systems for data centers with liquid cooling technique of CPU, Proceedings of iTherm 2012 San Diego, CA, USA, May 30-June 1(2012).
- 36) M. Ouchi, Y. Abe, T. Hayashi, M. Sato and K. Iimura, Development of High Performance and High Functionallized Heat Pipes, Proceedings of 16th International Heat Pipe Conference (IHPC-16), Lyon, France, May 20-24 (2012).
- 37) T. Furusawa, K. Saito, Y. Kori, Y. Miura, M. Sato and N. Suzuki, Steam reforming of naphthalene/benzene with various types of Pt- and Ni-based catalysts for hydrogen production, *Fuel*, **103**, 111-121 (2013).
- 38) N. M. Bahadur, F. Kurayama, T. Furusawa, M. Sato, I. A. Siddiquey, Md. M. Hossain, N. Suzuki, A facile approach to fabrication of novel CeO₂-TiO₂ core-shell nanocomposite leads to excellent UV-shielding ability and lower Catalytic Activity, *J. Nanopart. Res.*, **15**, 1390 (2013).
- 39) F. Kurayama, T. Yoshikawa, T. Furusawa, N. M. Bahadur, H. Handa, M. Sato and N. Suzuki, Microcapsule with a heterogeneous catalyst for the methanolysis of rapeseed oil, *Bioresource Technology*, **135**, 652-658 (2013).
- 40) 田所義浩, 御子貝英一, 松本泰治, 大和和之, 山ノ井翼, 佐藤正秀, 古澤毅, 鈴木昇, 電子部品の耐食性に及ぼす下地 Ni-P 合金めっきの効果, *材料技術*, **31**(5) (2013) 107-118.
- 41) T. Furusawa, F. Kurayama, H. Handa, R. Kadota, M. Sato, N. Suzuki, Transesterification of rapeseed oil with methanol using CaO and active carbon powders encapsulated microcapsule under the light irradiation, *Appl. Catal. A*, doi 10.1016/j.apcata.2013.12.033

●国際会議発表(plenary lecture:PL,invited speaker:IS,oral presentation:OP,poster presentation:PP)

- 1) *OP* T. Furusawa, R. Asama, M. Kato, R. Kojima, K. Aika, M. Sato, N. Suzuki, Destructive absorption of dichloromethane using CaO catalyst under Air flow, The 5th Joint China/Japan Chemical Engineering Symposium, Xian, China, July 21-24th (2009).
- 2) *PP* K. Saito, T. Furusawa, M. Sato, N. Suzuki, Steam reforming of Naphthalene/benzene to syngas over Pt catalysts, The 12th Japan-Korea Symposium on Catalysis, Akita, Japan, October 14-16th (2009).
- 3) *IS* N. Suzuki, M. Sato, T. Furusawa, F. Kurayama, Round robin test on the damage of organic materials during XPS measurement, Abstract of The 1st Meeting of Korean-Chinese-Japanese Cooperative Program on “Materials Research with Emphasis on Activities Relating to VAMAS (Versailles Project on Advanced Materials and Standards)”, Daejeon, Korea, March 8-9th, p.10 (2010).

- 4) *PP* N. M. Bahadur, Y. Hoshi, S. Watanabe, F. Kurayama, T. Furusawa, M. Sato, N. Suzuki, “Synthesis of silver-silica core-shell nanocomposites by a novel and fast microwave method”, Technical Digest of 7th International Conference on Optics-photonics Design & Fabrication, Yokohama, (2010)
- 5) *OP* Y. Abe, Y. Urita, M. Sato, K. Iimura, T. Hayashi, M. Yokura, “Heat Pipes with Self-rewetting Fluids and Nano Self-rewetting Fluids”, 15th International Heat Pipe Conference (15th IHPC), Clemson Univ., USA, (2010)
- 6) *PP* T. Furusawa, K. Saito, Y. Kori, M. Sato, N. Suzuki, The cycle usage test of Pt based catalyst for the steam reforming of Naphthalene/Benzene as model tar compounds of biomass gasification, 18th World Hydrogen Energy Conference, Essen, Germany, (2010)
- 7) *OP* M. Sato, T. Suzuki, K. Mihashi, K. Iimura, Y. Abe, T. Furusawa, M. Suzuki, “Roles of Organic Layers on Anomalous Surface Tension Temperature Dependencies of Metallic Nanofluids with Dilute Long-Chain Alcohols”, 5th conference of the International Marangoni Association, Florence, Italy (2010)
- 8) *PP* T. Furusawa, K. Saito, Y. Kori, M. Sato, N. Suzuki, The effect of support on the catalytic performances of Pt based catalysts for the steam reforming of naphthalene/benzene, TOCAT6/APCAT5, Sapporo, Japan, (2010)
- 9) *PP* T. Ogawa, T. Furusawa, H. Isahara, R. Asama, M. Sato, N. Suzuki, Destructive adsorption of HFC-23 with CaO powder and formation of CaF₂ under mild condition, TOCAT6/APCAT5, Sapporo, Japan, (2010)
- 10) *OP* Y. Abe, M. Fukagaya, H. Ohta, Y. Shinmoto, M. Sato, K. Iimura, “Development of Advanced Cooling Network Systems for Data Centers”, 14th International Heat Transfer Conference (IHTC), Omni Shoreham Hotel, Washington D. C., USA, (2010)
- 11) *OP* S. Higashi, K. Iimura, M. Sato, Y. Abe, M. Ouchi, H. Ohta, Y. Shinmoto, M. Fukagaya, “Mechanisms of temperature dependency of surface tension of gold nanoparticle-dispersed alcohol aqueous solution”, International Conference on Nanoscopic Colloid and Surface Science (NCSS2010), Makuhari Messe, Chiba, (2010)
- 12) *OP* Y. Wachi, F. Kurayama, T. Oba, N. Kato, K. Iimura, Structures and photocurrent properties of monolayers of photosynthetic pigments, Proc. International Conference on Nanoscopic Colloid and Surface Science (NCSS2010), Makuhari Messe, Chiba, (2010)
- 13) *OP* F. Kurayama, S. Suzuki, T. Oyamada, T. Ogawa, T. Furusawa, M. Sato, N. Suzuki, Preparation of aminopropyl-silane/alginate hybrid microcapsules for enzyme immobilization, Proc. International Conference on Nanoscopic Colloid and Surface Science (NCSS2010), Makuhari Messe, Chiba, (2010)
- 14) *OP* T. Furusawa, K. Saito, Y. Kori, Y. Miura, M. Sato, N. Suzuki, Steam reforming of naphthalene/benzene with various types of Pt and Ni based catalysts for hydrogen production,

Second International Symposium on Gasification and Its Application, Fukuoka, Oral #7, (2010).

- 15) *PP* T. Furusawa, F. Kurayama, T. Yoshikawa, H. Handa, M. Sato, N. Suzuki, New approach for biodiesel production using microcapsules encapsulated a solid base catalyst, PACIFICHEM2010, ALTE289, Hawaii, (2010)
- 16) *PP* T. Furusawa, K. Saito, Y. Kori, M. Sato, N. Suzuki, The influence of support on the catalytic performance of Ni based catalyst for the steam reforming of naphthalene/benzene as model tar compounds of biomass gasification, PACIFICHEM2010, ALTE280, Hawaii, (2010)
- 17) *PP* S. Higashi, K. Iimura, M. Sato, Y. Abe, M. Ouchi, H. Ohta, Y. Shinmoto, M. Fukagaya, Temperature dependency of surface tension of gold nanoparticles-dispersed alcohol aqueous solutions, PACIFICHEM 2010, Hawaii, (2010)
- 18) *OP* N. M. Bahadur, S. Watanabe, H. Takaoka, I. A. Siddiquey, T. Furusawa, M. Sato, N. Suzuki, Novel technique for synthesis of silica coated gold and silver nanocomposite particles by microwave irradiation, PACIFICHEM2010, #1165, Hawaii, (2010)
- 19) *OP* R. Savino, Y. Abe, D. Castagnolo, G. P. Celata, O. Kabov, M. Kawaji, M. Sato, K. Tanaka, J. R. Thome and S. Van Vaerenbergh, Ground-Based Activities In Preparation of ISS Experiments On Self-Rewetting Fluids, *4th International Symposium on Physical Sciences in Space (ISPS-4)*, Born, Germany, (2011)
- 20) *OP* Y. Shinmoto, Y. Asada, H. Kobayashi, S. Kanazawa, M. Fukagaya, Y. Abe, M. Ouchi, M. Sato, K. Iimura and H. Ohta, “Development of High Heat Flux Cooling Jacket for Electronics Devices by using Flow Boiling”, *The International Conference on Electrics Packaging (ICEP) 2011*, Nara, Japan, (2011)
- 21) *OP* M. Ouchi, Y. Abe, M. Fukagaya, T. Kitagawa, H. Ohta, Y. Shinmoto, M. Sato and K. Iimura, “The Liquid Cooling Network System for Energy Conservation in Data Centers”, *ASME InterPACK 2011*, Portland, USA, (2011)
- 22) *OP* R. Savino, K. Tanaka, M. Sato, Y. Abe, S. Van Vaerenbergh, O. Kabov, D. Castagnolo, J. R. Thome, M. Kawaji and G. P. Celata, “SELENE Experiment on Self-rewetting Fluids”, *ITP2011, Interdisciplinary Transport Phenomena VII: Fluid, Thermal, Materials and Space Sciences*, Dresden, Germany, (2011)
- 23) *OP* K. Hiroyuki, Y. Asada, S. Kanazawa, Y. Shinmoto, H. Ohta, M. Fukagaya, Y. Abe, M. Ouchi, M. Sato and K. Iimura, “Development of High Efficient Heat Transport System for Electronics Devices by Using Flow Boiling”, *Sixth International Conference on TWO-PHASE SYSTEMS FOR GROUND AND SPACE APPLICATIONS*, Cava de’ Tirreni, Italy, (2011)
- 24) *OP* BalaĬzs ToĬth on behalf of ESA's Science, Payload Development and Operations teams, Science Team and Space Industry (34 番目/38 人), “Future ESA experiments in Heat and Mass Transfer Research onboard the International Space Station”, *Sixth International Conference on*

TWO-PHASE SYSTEMS FOR GROUND AND SPACE APPLICATIONS, Cava de' Tirreni, Italy, (2011)

- 25) *OP* M. Ouchi, Y. Abe, M. Fukagaya, H. Ohta, Y. Shinmoto, M. Sato and K. Iimura, "Thermal management systems for data centers with liquid cooling technique of CPU", iTherm 2012, San Diego, CA, USA (2012)
- 26) *OP* M. Ouchi, Y. Abe, T. Hayashi, M. Sato and K. Iimura, "Development of High Performance and High Functionallized Heat Pipes", 16th International Heat Pipe Conference (IHPC-16), Lyon, France (2012)
- 27) *PP* T. Furusawa, H. Handa, F. Kurayama, M. Sato and N. Suzuki, "Biodiesel production with microcapsules encapsulated CaO/active carbon powders under the irradiation of xenon lamp", 15th International Congress on Catalysis, Munich, Germany (2012)
- 28) *PP* T. Numao, T. Furusawa, T. Ogawa, M. Sato and N. Suzuki, "Production of CaF₂ from the destructive adsorption of trifluoromethane and trifluoromethane/chlorodifluoromethane binary mixture with CaO powder under air flow", 15th International Congress on Catalysis, Munich, Germany (2012)
- 29) *IS* M. Sato, "Chemical aspects of nanofluids for heat transfer enhancements", Seventh International Conference on TWO-PHASE SYSTEMS FOR GROUND AND SPACE APPLICATIONS, Beijing, China (2012)
- 30) *PP* S. Yamamura, M. Sato, T. Ouchi, K. Iimura, M. Fukagaya, Y. Shinmoto, H. Ohta, Y. Abe, T. Furusawa and N. Suzuki, Synthesis of Fluorocarbon-base Nanofluids and There Applications for Thermal Management, Proceedings of eighth International Topical Team Workshop on TWO-PHASE SYSTEMS FOR GROUND AND SPACE APPLICATIONS, Bremen, Germany, (2013)

●国内研究発表（基調講演，招待講演，依頼講演，一般発表，ポスター発表）

- 1) 「一般」増田竜司，小原貴宏，庭田修治，古澤毅，佐藤正秀，鈴木昇，ガス除去用光触媒クロスの開発，第 27 回空気洗浄とコンタミネーションコントロール研究大会，早稲田大学，2009 年 4 月．
- 2) 「一般」鈴木智裕，佐藤正秀，瓜田侑己，阿部宜之，飯村兼一，デ・パロマ ロベルト，チェチャーレ アンセルモ，サヴィーノ ラファエロ，大田治彦，新本康久，深萱正人，古澤毅，鈴木昇：マイクロ波-ポリオール法により合成した銀ナノ粒子を含む Self-rewetting 流体の非線形表面張力特性の制御，第 46 回日本伝熱シンポジウム，京都国際会館，2009 年 6 月．
- 3) 「ポ」二階堂拓也，佐藤正秀，黄木淳史，古澤毅，鈴木昇：マイクロ波-ポリオール法合成銀ナノ粒子分散液のインクジェット液滴吐出挙動に関する研究，化学工学会第 41 回秋季大会，広島大学，2009 年 9 月．

- 4) 「一般」吉川朋美, 倉山文男, 山田晴菜, 古澤毅, 佐藤正秀, 鈴木昇: 固体触媒内包マイクロカプセルによるバイオディーゼル燃料の合成, 化学工学会第 41 回秋季大会, 広島大学, 2009 年 9 月.
- 5) 「一般」鈴木智裕, 佐藤正秀, 三橋国直, 飯村兼一, 阿部宣之, 新本康久, 大田治彦, 深萱正人, 古澤毅, 鈴木昇, 長鎖アルコールを含む液相合成金属ナノ流体の熱伝導率と界面物性, 第 30 回日本熱物性シンポジウム, 山形大学, 2009 年 10 月.
- 6) 「ポ」星雄一郎, 高野徳允, 倉山文男, 古澤毅, 佐藤正秀, 鈴木昇: マイクロ波加熱流通型反応器を用いた酸化亜鉛の表面改質, 2009 年度色材研究発表会, エル大阪, 2009 年 10 月.
- 7) 「一般」N. M. Bahadur, 渡辺瞬, 倉山文男, 古澤毅, 佐藤正秀, 鈴木昇: Rapid synthesis, characterization, and photoluminescence of ZnO-TiO₂ nano-composite by a novel microwave irradiation method, 第 47 回粉体に関する討論会, 八王子市学園都市センター, 2009 年 12 月.
- 8) 「一般」倉山文男, 鈴木覚, 小山田哲朗, 古澤毅, 佐藤正秀, 鈴木昇: アミノ系シランカップリング剤を用いた有機/無機ハイブリッドカプセルの調製と評価, 第 47 回粉体に関する討論会, 八王子市学園都市センター, 2009 年 12 月.
- 9) 「一般」古澤毅, 倉山文男, 吉川朋美, 半田浩亮, 佐藤正秀, 鈴木昇: CaO 触媒内包型マイクロカプセルを用いたバイオディーゼル燃料の合成, 第 5 回バイオマス科学会議, 早稲田大学国際会議場, 2010 年 1 月.
- 10) 「一般」佐藤正秀, 鈴木智裕, 三橋国直, 飯村兼一, 阿部宣之, 新本康久, 大田治彦, 深萱正人, 古澤毅, 鈴木昇: マイクロ波加熱ポリオール法合成銀ナノ-self-wetting 流体の界面・熱物性に及ぼす銀ナノ粒子形態の影響, 化学工学会 第 75 年会, 鹿児島大学, 2010 年 3 月.
- 11) 「ポ」二階堂拓也, 佐藤正秀, 黄木淳史, 古澤毅, 鈴木昇, マイクロ波-ポリオール法合成銀ナノ粒子分散液のインクジェット液滴吐出挙動に関する研究, 化学工学会第 41 回秋季大会, 広島大学 (2009)
- 12) 「一般」鈴木智裕, 佐藤正秀, 三橋国直, 飯村兼一, 阿部宣之, 新本康久, 大田治彦, 深萱正人, 古澤毅, 鈴木昇, 長鎖アルコールを含む液相合成金属ナノ流体の熱伝導率と界面物性, 第 30 回日本熱物性シンポジウム, 山形大学 (2009)
- 13) 「ポ」星雄一郎, 高野徳允, 倉山文男, 古澤毅, 佐藤正秀, 鈴木昇, マイクロ波加熱流通型反応器を用いた酸化亜鉛の表面改質, 2009 年度色材研究発表会, エル大阪 (2009)
- 14) 「一般」N. M. Bahadur, 渡辺瞬, 倉山文男, 古澤毅, 佐藤正秀, 鈴木昇, Rapid synthesis, characterization, and photoluminescence of ZnO-TiO₂ nano-composite by a novel microwave irradiation method, 第 47 回粉体に関する討論会, 八王子市学園都市センター (2009)
- 15) 「一般」佐藤正秀, 鈴木智裕, 三橋国直, 飯村兼一, 阿部宣之, 新本康久, 大田治彦, 深萱正人, 古澤毅, 鈴木昇, マイクロ波加熱ポリオール法合成銀ナノ-self-wetting 流体の

界面・熱物性に及ぼす銀ナノ粒子形態の影響, 化学工学会 第 75 年会, 鹿児島大学 (2010)

- 16) 「一般」三橋国直, 鈴木智裕, 佐藤正秀, 飯村兼一, 阿部宣之, 新本康久, 大田治彦, 深萱正人, 古澤毅, 鈴木昇, マイクロ波加熱ポリオール法によって合成した均一分散銀ナノ流体の有効熱伝導率, 第 47 回日本伝熱シンポジウム, 札幌 (2010)
- 17) 「一般」渡辺瞬, N. M. Bahadur, 倉山文男, 古澤毅, 佐藤正秀, 鈴木昇, マイクロ波を用いたシリカ被覆金ナノ粒子の調製法に関する研究, 化学工学会関東支部大会, 宇都宮大学 (2010)
- 18) 「一般」N. M. Bahadur, 古澤毅, 佐藤正秀, 倉山文男, 鈴木昇, A novel approach to prepare silica-titania nanocomposite material and its photocatalytic efficiency, 第 48 回粉体に関する討論会, 高松 (2010)
- 19) 「一般」I. A. Siddiquey, 古澤毅, 佐藤正秀, 鈴木昇, Fabrication of silica coated Al₂O₃ nanoparticles via a novel route utilizing microwave irradiation, 第 48 回粉体に関する討論会, 高松 (2010)
- 20) 「一般」渡辺瞬, N. M. Bahadur, 高岡宏憲, 星雄一郎, 古澤毅, 佐藤正秀, 鈴木昇, マイクロ波照射 Stöber 法による core-shell 型シリカ被覆 Au ナノ粒子の調製, 2010 年度材料技術研究協会討論会, 東京理科大学 (2010)
- 21) 「一般」鈴木昇, 高岡宏憲, N. M. Bahadur, 古澤毅, 倉山文男, 佐藤正秀 “マイクロ波ゾル-ゲル法によるシリカ被覆銅ナノ粒子の迅速合成”, 粉体粉末冶金協会平成 23 年度春季大会, *****, (2011)
- 22) 「一般」福田隼也, 仮谷勇太, 古澤毅, 佐藤正秀, 鈴木昇 “超臨界二酸化炭素によるファイナパターンの堆積膜除去”, 化学工学会第 43 回秋季大会, 名古屋工業大学, (2011)
- 23) 「一般」角田優作, 星雄一郎, 古澤毅, 倉山文男, 佐藤正秀, 鈴木昇 “連続流通加熱型マイクロ波装置を用いた酸化亜鉛微粒子の表面改質”, 化学工学会第 43 回秋季大会, 名古屋工業大学, (2011)
- 24) 「一般」鈴木寛, 倉山文男, 古澤毅, 佐藤正秀, 鈴木昇 “ポルフィリン光触媒と酵素を複合した人工光合成カプセルに関する研究”, 化学工学会第 43 回秋季大会, 名古屋工業大学, (2011)
- 25) 「一般」半田浩亮, 古澤毅, 倉山文男, 佐藤正秀, 鈴木昇 “CaO/活性炭内包型マイクロカプセルを用いたキセノンランプ照射によるバイオディーゼル燃料の合成”, 第 108 回触媒討論会, 北見工業大学, (2011)
- 26) 「ポ」齋藤純輝, 倉山文男, 佐藤正秀, 古澤毅, 鈴木昇 “金基板上単分子膜の XPS 測定時における試料損傷”, 2011 年度実用表面分析講演会, 東京大学, (2011)
- 27) 「一般」池内千紘, 古澤毅, 倉山文男, 佐藤正秀, 鈴木昇 “固体酸触媒および固体塩基触媒内包型マイクロカプセルを用いたバイオディーゼル燃料の合成”, 第 43 回石油・石油化学討論会, 山口, (2011)

- 28) 「一般」程徳志, N. M. Bahadur, 倉山文男, 古澤毅, 佐藤正秀, 鈴木昇 “シリカ被覆金ナノロッドの合成に関する研究”, 第 49 回粉体に関する討論会, 盛岡, (2011)
- 29) 「一般」黄木淳史, 佐藤正秀, 古澤毅, 鈴木昇 “シングルモードマイクロ波照射による液相還元銀ナノワイヤの形態制御”, 化学工学会第 77 年会, 工学院大学, (2012)
- 30) 「ポ」沼尾卓志, 古澤毅, 佐藤正秀, 鈴木昇 “酸化カルシウムを用いた含塩素有機化合物の分解固定化反応への共存物質の影響”, 第 109 回触媒討論会, 東京工業大学, (2012)
- 31) 「一般」中野雅, 佐藤正秀, 古澤毅, 鈴木昇 “マイクロ波加熱・液相還元法による銅ナノワイヤー合成”, 化学工学会関東支部大会(横浜大会), 横浜国立大学 (2012)
- 32) 「一般」沼尾卓志, 古澤毅, 松本太輝, 佐藤正秀, 鈴木昇 “含フッ素有機化合物の分解固定化用新規材料の創製”, 化学工学会第 44 回秋季大会, 東北大学 (2012)
- 33) 「ポ」佐藤佑, 古村直人, 佐藤正秀, 古澤毅, 鈴木昇, 田中耕太郎, 他 5 名 “グラフトポリマーとシランカップリング試薬による金属伝熱面の親水化”, 化学工学会第 44 回秋季大会, 東北大学 (2012)
- 34) 「一般」志波幸, 倉山文男, 佐藤晶, 古澤毅, 佐藤正秀, 鈴木昇 “バイオディーゼル燃料合成用 CaO 内包型マイクロカプセルの膜改質に関する研究”, 第 110 回触媒討論会, 九州大学 (2012)
- 35) 「一般」大内泰斗, 佐藤正秀, 深萱正人, 新本康久, 大田治彦, 阿部宜之, 飯村兼一, 古澤毅, 鈴木昇 “フッ素化炭化水素ベースナノ流体の調製とその伝熱特性”, 日本機械学会熱工学カンファレンス 2012, 熊本大学 (2012)
- 36) 「一般」高岡宏憲, N. M. Bahadur, 古澤毅, 倉山文男, 佐藤正秀, 鈴木昇 “マイクロ波照射法によるメソポーラスシリカ被覆銅ナノ粒子の調製”, 2012 年度粉体工学会秋季研究発表会, 東京ビックサイト (2012)
- 37) 「ポ」古田島裕二, 古澤毅, 倉山文男, 佐藤正秀, 鈴木昇 “炭素/二酸化ケイ素系粉碎時のメカノケミカル反応に関する研究”, 2012 年度材料技術研究協会討論会, 東京理科大学 (2012)
- 38) 「一般」太田元, 木藤潤成, 倉山文男, 古澤毅, 佐藤正秀, 鈴木昇 “アミノシラン-アルギン酸複合カプセルの調製と光触媒/酵素複合系人工光合成への応用”, 第 78 回化学工学会年会, 大阪大学 (2013)
- 39) 「ポ」藤田裕介, 田川智裕, 古澤毅, 渡部綾, 福原長寿 “極微量の Pd を担持した LaCoO₃ 構造体触媒の水性ガスシフト反応特性”, 第 111 回触媒討論会, 関西大学 (2013)
- 40) 「一般」山村秀, 佐藤正秀, 古澤毅, 鈴木昇 “超臨界二酸化炭素を用いるフッ素化炭化水素系新規ナノ流体の合成”, 第 50 回日本伝熱シンポジウム, 仙台, 2013 年 5 月.
- 41) 「ポ」古村直人, 佐藤佑, 佐藤正秀, 古澤毅, 鈴木昇 “グラフトポリマーとシランカップリング試薬を用いたプラスチック表面の親水化”, 化学工学会盛岡大会(3 支部合同大会), 岩手大学, 2013 年 8 月.
- 42) 「ポ」飛島崇志, 佐藤正秀, 古澤毅, 鈴木昇 “シングルモードマイクロ波加熱液相還元

法による銅ナノ粒子の合成, 化学工学会盛岡大会(3 支部合同大会), 岩手大学, 2013 年 8 月.

- 43) 「一般」保坂弦矢, 佐藤正秀, 古澤毅, 飯村兼一, 阿部宜之, 深萱正人, 新本康久, 大田治彦: フッ化炭素系溶媒に分散した金および銀ナノ粒子の調製, 第 64 回コロイドおよび界面化学討論会, 名古屋工業大学, 2013 年 9 月.
- 44) 「依頼」古澤毅, 触媒/光熱変換物質内包型マイクロカプセルを用いた光エネルギー駆動型 BDF 合成反応, 第 112 回触媒討論会, 秋田大学, 2013 年 9 月.
- 45) 「一般」鈴木新一郎, 佐藤正秀, 古澤毅, 鈴木昇: ナノダイヤモンド分散型ナノ流体による単相流冷却, 日本機械学会熱工学コンファレンス 2013, 弘前大学, 2013 年 10 月.
- 46) 「一般」五十嵐修平, 古澤毅, 佐藤正秀, 鈴木昇: 蛍光プローブへの応用を目的としたシリカ被覆 AgI 微粒子の調製, 2013 年度材料技術研究協会討論会, 東京理科大学, 2013 年 12 月.
- 47) 「一般」松塚彩, 古澤毅, 佐藤正秀, 鈴木昇: マイクロ波照射法で調製したシリカ修飾酸化チタン微粒子へのポリマーコーティング, 2013 年度材料技術研究協会討論会, 東京理科大学, 2013 年 12 月.
- 48) 「一般」大和和之, 仁平淳史, 井上哲哉, 倉山文男, 古澤毅, 佐藤正秀, 鈴木昇: XPS 測定時におけるフッ素系有機シラン薄膜の試料損傷の検討, 第 129 回表面技術協会講演大会, 東京理科大学, 2014 年 3 月.
- 49) 「ポ」高野健, 古澤毅, 松本太輝, 佐藤正秀, 鈴木昇: 含フッ素有機化合物分解固定化用 CaO/ナノポーラスシリカ多層膜フィルターの創製, 第 79 回化学工学会年会, 岐阜大学, 2014 年 3 月.
- 50) 「ポ」佐藤晶, 古澤毅, 志波幸, 倉山文男, 佐藤正秀, 鈴木昇: 2 種類の触媒内包型マイクロカプセルを用いた 2 段階反応による BDF 合成, 第 79 回化学工学会年会, 岐阜大学, 2014 年 3 月.
- 51) 「一般」倉山文男, 田村弘幸, 江田沙也加, 古澤毅, 佐藤正秀, 鈴木昇: 酵素を内包した有機-無機ハイブリッドビーズの新しい作成法, 第 79 回化学工学会年会, 岐阜大学, 2014 年 3 月.
- 52) 「一般」佐藤正秀, 山村秀, 鈴木新一郎, 古澤毅, 鈴木昇: 均一分散ナノ流体の熱物性および伝熱特性, 第 79 回化学工学会年会, 岐阜大学, 2014 年 3 月.

他 25 件

●著書, 総説, 解説等

- 1) 「著書」鈴木昇, 古澤毅, 第 14 章, “超臨界およびマイクロ波の応用”, 「ナノ・マイクロ粒子の表面改質による機能化技術と応用」, シーエムシー出版, pp. 222-232 (2009)
- 2) 「著書」佐藤正秀, 第 2 章第 1 節[3] “マランゴニ効果の発生メカニズム”, 「インクジェット技術における微小液滴の吐出・衝突・乾燥」, 技術情報協会, pp.109-115 (2009)

- 3) 「解説」倉山文男, 鈴木昇, 有機シラン/アルギン酸複合膜を有するマイクロカプセルの調製, ケミカルエンジニアリング, **54**(7), 53-58 (2009)
- 4) 「解説」佐藤正秀, めれ性の基礎および測定・評価, 制御技術, 塗装技術, **45**(2), 70-76 (2010)
- 5) 「著書」佐藤正秀, 第4章第4節 “レベリング剤”, 「添加剤の選定条件・配合条件」, 技術情報協会, pp.322-327 (2011)
- 6) 「著書」古澤毅, 触媒調製ハンドブック-7.5.1 低温流動層ガス化反応, エヌ・ティー・エス社, pp.646-647 (2011)
- 7) 「総説」古澤毅, CaO 触媒内包型マイクロカプセルを用いたバイオディーゼル燃料の合成, セラミックデータブック, 39, 101-105 (2011)
- 8) 「著書」F. Kurayama, T. Furusawa, M. Sato, N. M. Bahadur, N. Suzuki, “Chapter 7; Modification of alginate microcapsules using silane coupling agent and application to enzyme immobilization”, in Alginates: Production, Types and Applications, ed. By M. E. Molina and A. J. Quiroga, Nova Science Publisher, Inc., pp.177-198 (2012)
- 9) 「著書」F. Kurayama, T. Furusawa, M. Sato, N. M. Bahadur, N. Suzuki, “Chapter 6; Modification of alginate microcapsules using silane coupling agent and application to enzyme immobilization”, in Silane: Chemistry, Applications and Performance, ed. By K. Moriguchi and S. Utagawa, Nova Science Publisher, Inc., pp.137-158 (2012)
- 10) 「総説」古澤毅, バイオマスのガス化触媒 (Catalyst for the reduction of biomass-tar derived from biomass gasification), 古澤毅, 日本エネルギー学会誌, **91**(9) (2012) 859-865.
- 11) 「著書」佐藤正秀, 第4章第3節 “ムラ・コーヒーステイン防止に向けた液中微粒子の挙動解析と制御技術”, “ウェブ” ロール to ロールの搬送、巻取り技術 そのトラブル発生メカニズムと対策」, 技術情報協会, pp. 219-225(2013)
- 12) 「著書」佐藤正秀, 第8章第16節 “粒子分散系塗布膜の乾燥におけるコーヒーステイン現象発生要因とその対策”, 「粉・粒体の構造制御、表面処理とプロセス設計」, 技術情報協会, pp. 703-708(2013)
- 13) 「著書」佐藤正秀, 第3章第6節 “シランカップリング剤による密着性の向上”, 「薄膜塗布技術と乾燥トラブル対策」, 技術情報協会, pp. 139-141(2013)
- 14) 「著書」佐藤正秀, 第6章第3節 “塗布膜のめれ性、表面張力とその制御”, 「薄膜塗布技術と乾燥トラブル対策」, 技術情報協会, pp. 308-314(2013)
- 15) 「総説」佐藤正秀, 銀ナノワイヤの合成と塗布型導電膜への応用, 機能材料, **33**(11), 1-8(2013).

●特許（外国，国内，公開，出願）

- 1) 「国内」出願，公開，伊藤裕恭，岡田礼佳，鈴木昇，佐藤正秀，古澤毅，原田美佳「水和反

- 応制御方法と発熱材」(平成 21 年 8 月公開) 特許第 5105529 (平成 24 年 10 月 12 日)
- 2) 「国内」出願, 公開, 加藤守孝, 持田典秋, 亀谷崇治, 高田昌稔, 平松紅美, 秋鹿研一, 古澤毅「含塩素揮発性有機化合物の無害化方法」(平成 22 年 10 月公開)
 - 3) 「国内」出願, 公開, 佐藤正秀, 飯村兼一, 瓜田侑己, 鈴木智裕, 阿部宜之, 深萱正人, 大田治彦, 新本康久, サヴィーノ ラファエル「液輸送システム用作動流体及びその製造方法」(平成 22 年 12 月公開)
 - 4) 「国内」出願, 公開, 倉山文男, 鈴木昇, 佐藤正秀, 古澤毅, 吉川朋美「バイオディーゼル燃料の製造方法」(平成 23 年 2 月公開) 特許第 5230562 (平成 25 年 3 月)
 - 5) 「国内」出願, 佐藤正秀, 飯村兼一, 三橋国直, 阿部宜之「熱伝導率測定用プローブ及びその製造方法」(平成 22 年 11 月)
 - 6) 「国内」出願, 公開, 倉山文男, 鈴木昇, 佐藤正秀, 古澤毅, 小川翼「マイクロカプセルの製造方法」(平成 25 年 2 月公開)

●受賞

- 1) 新沼仁, 金鎮喆, 森田潤, 包理, 大谷吉夫, 古澤毅, 葭田真昭, 鈴木昇, 日本空気清浄協会論文賞「ポリ乳酸からなるフィルタろ材の評価」(2009 年 4 月)
- 2) 星雄一郎, 高野徳允, 角田優作, 倉山文男, 古澤毅, 佐藤正秀, 鈴木昇, 2009 年度材料技術研究発表会ゴールドポスター賞「マイクロ波加熱流通型反応器を用いた金属酸化物の表面改質」(2009 年 12 月)
- 3) 古澤毅, 倉山文男, 吉川朋美, 半田浩亮, 佐藤正秀, 鈴木昇, 第 5 回バイオマス科学会議ポスター賞「CaO 触媒内包型マイクロカプセルを用いたバイオディーゼル燃料の合成」(2010 年 1 月)
- 4) T. Nikaido, M. Sato, A. Oki, T. Furusawa, N. Suzuki, Excellent Poster Award (13th Asia Pacific Confederation of Chemical Engineering Congress) 「Preparation of silver nanoparticles dispersions by microwave-assisted polyol synthesis and their application in inkjet electric circuit printing」(2010 年 10 月)
- 5) 渡邊瞬, N. M. Bahadur, 高岡宏憲, 星雄一郎, 古澤毅, 佐藤正秀, 鈴木昇, 2010 年度材料技術研究協会討論会口頭講演賞「マイクロ波照射 Stöber 法による core-shell 型シリカ被覆 Au ナノ粒子の調製」(2010 年 12 月)
- 6) 古澤毅, 平成 22 年度日本エネルギー学会奨励賞「CaO 内包型マイクロカプセルを用いたバイオディーゼル燃料の合成」(2011 年 2 月)
- 7) 鈴木昇, 古澤毅, 角田優作, 佐藤正秀, 倉山文男, N. M. Bahadur, 材料技術研究協会論文賞「シリカ-チタニア複合材料の調製とその光触媒機能」(2011 年 4 月)
- 8) 新ヶ江龍一, 古澤毅, 佐藤正秀, 鈴木昇, 材料技術研究協会論文賞「フタロシアニンチタニル顔料およびその蒸着膜を用いた有機感光体に関する研究」(2012 年 4 月)

●外部資金（科学研究費：科研、奨学寄付金：奨学、受託研究：受託、共同研究：共同）

- 1) 「共同」 鈴木昇, 210 千円「大谷石の特性を活かした新製品等の研究・開発」大谷石材協同組合 (平成 21 年)
- 2) 「奨学」 鈴木昇, 350 千円「研究に対する助成金」日本無機(株) (平成 21 年)
- 3) 「奨学」 鈴木昇, 200 千円「粉体表面の物性化学の研究推進の為の寄付」日本マイクロコーティング(株) (平成 21 年)
- 4) 「科研」 佐藤正秀, 650 千円「特異な表面張力特性を有するナノ流体を用いたインクジェット塗布に関する研究」 (平成 21 年)
- 5) 「受託」 佐藤正秀, 31,046 千円「(独)NEDO 開発機構グリーンネットワーク・システム技術研究開発プロジェクト(グリーン I T プロジェクト)/エネルギー利用最適化データセンタ基盤技術の研究開発/最適放熱方式の検討とシステム構成の開発/冷却ネットワークとナノ流体伝熱による集中管理型先進冷却システムの開発」 (平成 21 年)
- 6) 「受託」 佐藤正秀, 3,150 千円「(独)産総研 委託研究: Self-rewetting 流体、およびナノ Self-rewetting 流体の界面特性に関する研究」 (平成 21 年)
- 7) 「受託」 古澤毅, 2,000 千円「低分子含塩素有機化合物の分解固定化技術の実用化研究」JST 地域イノベーション創出総合支援事業シーズ発掘試験 (平成 21 年)
- 8) 「科研」 佐藤正秀, 780 千円「特異な表面張力特性を有するナノ流体を用いたインクジェット塗布に関する研究」 (平成 22 年)
- 9) 「受託」 佐藤正秀, 10,510 千円「(独)NEDO 開発機構グリーンネットワーク・システム技術研究開発プロジェクト(グリーン I T プロジェクト)/エネルギー利用最適化データセンタ基盤技術の研究開発/最適放熱方式の検討とシステム構成の開発/冷却ネットワークとナノ流体伝熱による集中管理型先進冷却システムの開発」 (平成 22 年)
- 10) 「科研」 古澤毅, 2,600 千円「太陽光を光源とする新規 CaO 触媒内包型マイクロカプセルを用いた BDF の製造」 (平成 22 年)
- 11) 「奨学」 古澤毅, 350 千円「高分解能電子顕微鏡試料観察」株式会社ブイ・テクノロジー (平成 22 年)
- 12) 「科研」 古澤毅, 1,430 千円「太陽光を光源とする新規 CaO 触媒内包型マイクロカプセルを用いた BDF の製造」 (平成 23 年)
- 13) 「共同」 鈴木昇, 420 千円「大谷石の特性を活かした新製品等の研究・開発」 (平成 23 年)
- 14) 「奨学」 鈴木昇, 100 千円「学術研究促進の寄附金」 (平成 23 年)
- 15) 「奨学」 鈴木昇, 500 千円「研究に対する助成金」 (平成 23 年)
- 16) 「科研」 鈴木昇, 8,500 千円「CO₂ からメタノールを直接合成するカプセルリアクター型人工光合成システムの構築」 (平成 24 年)
- 17) 「科研」 佐藤正秀, 2,400 千円「超臨界二酸化炭素を用いるフッ素化炭化水素系新規ナノ流体の合成と熱物性評価」 (平成 24 年)

- 18) 「受託」鈴木昇, 500 千円「無機透明微細セル多孔体の開発」JSP 鹿沼研究所 (平成 24 年)
- 19) 「受託」鈴木昇, 210 千円「大谷石の特性を活かした新製品等の研究・開発」大谷石材協同組合 (平成 24 年)
- 20) 「受託」鈴木昇, 佐藤正秀, 920 千円「ナノダイヤモンド含有ナノ流体の研究」日油株式会社 (平成 24 年)
- 21) 「受託」佐藤正秀, 1,300 千円「(独)NEDO 開発機構グリーンネットワーク・システム技術研究開発プロジェクト(グリーン I T プロジェクト)/エネルギー利用最適化データセンタ基盤技術の研究開発/最適放熱方式の検討とシステム構成の開発/冷却ネットワークとナノ流体伝熱による集中管理型先進冷却システムの開発」 (平成 24 年)
- 22) 「奨学」鈴木昇, 276 千円, 「研究に対する助成金」(株)ブリヂストン (平成 24 年)
- 23) 「科研」鈴木昇, 2,980 千円「CO₂ からメタノールを直接合成するカプセルリアクター型人工光合成システムの構築」 (平成 25 年)
- 24) 「科研」佐藤正秀, 600 千円「超臨界二酸化炭素を用いるフッ素化炭化水素系新規ナノ流体の合成と熱物性評価」 (平成 25 年)
- 25) 「奨学」鈴木昇, 276 千円, 「粉体技術の研究に対する寄付金」(有)マスタクリエイト (平成 25 年)
- 26) 「受託」鈴木昇, 500 千円, 「無機固体材料の構造変化による機能化に関する研究」デュポン株式会社 (平成 25 年)
- 27) 「受託」古澤毅, 4,600 千円, 「JST-ALCA 水素分離膜・精製技術の研究開発/水素分離・精製グループ/アンモニア分解用メンブレンリアクターの研究開発とプロセス検討」 (平成 25 年)
- 28) 「受託」佐藤正秀, 3,000 千円, 「平成 25 年度未利用熱エネルギー革新的活用技術開発/熱マネジメント材料の研究開発」 (平成 25 年)

●学生教育（主任指導）

平成 20 年度

博士後期課程	D3 : 1 名, D1 : 5 名
博士前期課程	M2 : 2 名, M1 : 5 名

平成 21 年度

博士後期課程	D2 : 5 名
博士前期課程	M2 : 5 名, M1 : 5 名

平成 22 年度

博士後期課程	D3 : 5 名
博士前期課程	M2 : 5 名, M1 : 9 名

平成 23 年度

博士後期課程	D3 : 4 名
博士前期課程	M2 : 9 名, M1 : 5 名
平成 24 年度	
博士後期課程	D3 : 3 名
博士前期課程	M2 : 5 名, M1 : 7 名
平成 25 年度	
博士後期課程	D3 : 2 名, D1 : 1 名
博士前期課程	M2 : 7 名, M1 : 7 名

●VBL プロジェクト関連の成果についての特記事項

イ) ベンチャー起業 なし

ロ) 報道 なし

ハ) 展示 1 件

鈴木昇, 佐藤正秀, 古澤毅, ナノ粒子で表面張力特性を制御します, APPIE 産学官連携フェア, インテックス大阪 (2009 年 10 月 23 日)

ニ) 技術指導 22 件(平成 25 年度分含まず)

ホ) 講演 25 件

- (1) 佐藤正秀, “均一分散金属ナノ流体の合成とその界面物性および熱物性”, 日本熱物性学会 研究分科会「マイクロ・ナノスケールの熱物性とシステムデザイン」第 14 回研究会, キャンパスイノベーションセンター, 2010 年 1 月 22 日
- (2) 佐藤正秀, (株)日本テクノセンターセミナー「ぬれ性と測定・評価方法および制御技術」(2010 年 8 月 25 日)
- (3) 佐藤正秀, (株)情報機構セミナー「超親水／油・超撥水／油の基礎・原理および表面特性の評価技術」(2010 年 8 月 31 日)
- (4) 佐藤正秀, 技術情報協会(株)セミナー「固体表面に対する液体のぬれ性と広がるメカニズム, 塗布膜形成・乾燥のメカニズムとトラブル対策」(2011 年 3 月 29 日)
- (5) 倉山文男, 首都圏北部 4 大学発 新技術説明会「マイクロカプセルを用いたバイオディーゼル燃料の製造方法」(2011 年 6 月 2 日)
- (6) 佐藤正秀, 日本テクノセンターセミナー「ぬれ性の基礎と測定、評価方法および制御技術」(2011 年 6 月 24 日)
- (7) 鈴木昇, 諏訪圏企業人のための材料技術フォーラム「マイクロ波による材料の表面改質」(2011 年 8 月 27 日)
- (8) 佐藤正秀, 技術情報協会(株)セミナー「塗布膜のぬれ性、表面張力とその制御、乾燥後の膜物性、品質を保持するための塗布膜形成、乾燥プロセスの制御とポイント」(2011 年 10 月 28 日)
- (9) 鈴木昇, 第 27 回表面技術セミナー「マイクロ波ゾルゲル法によるナノ粒子表面の

酸化物コーティング」(2011 年 11 月 18 日)

- (10) 佐藤正秀, 技術情報協会(株)セミナー「シランカップリング剤の反応メカニズム、シランカップリング剤の反応メカニズムと解析・評価技術」(2012 年 1 月 26 日)
- (11) 古澤毅, 石油学会ジュニアソサイアティ北海道・東北地区講演会「バイオディーゼル燃料合成用新規触媒システムの構築」(2012 年 2 月 17 日)
- (12) 佐藤正秀, 技術情報協会(株)セミナー「第 6 講, 表面張力の発生・変化メカニズムと塗布膜の乾燥過程評価, 塗布膜形成・乾燥のメカニズムとトラブル対策」(2012 年 6 月 27 日)
- (13) 佐藤正秀, ブリンク(株)セミナー「シランカップリング剤の基礎, 反応メカニズムと評価方法」(2012 年 7 月 28 日)
- (14) 佐藤正秀, (株)情報機構セミナー「シランカップリング剤セミナー～基礎から特性評価まで～」(2012 年 8 月 22 日)
- (15) 鈴木昇, 学理に基づく材料表面加工技術の高度技術者養成講座(第 5 回)「マイクロ波照射法によるコーティング・表面改質技術」(2012 年 10 月 12 日)
- (16) 佐藤正秀, 技術情報協会(株)セミナー「第 1 講, ムラ・コーヒーステイン防止に向けた液中微粒子の挙動解析と制御技術, 塗布膜乾燥のメカニズムと粒子挙動の解析・制御技術」(2012 年 10 月 22 日)
- (17) 佐藤正秀, 技術情報協会(株)セミナー「第 4 講, 固体表面に対する液体のぬれ性と広がるメカニズム, ぬれ・接触角の変化現象メカニズムと制御, 定量評価」(2012 年 11 月 30 日)
- (18) 新ヶ江龍一, 古澤毅, 佐藤正秀, 鈴木昇, 2012 年材料技術研究協会討論会「フタロシアニンチタニル顔料およびその蒸着膜を用いた有機感光体に関する研究」(2012 年 12 月 7 日)
- (19) 佐藤正秀, 技術情報協会(株)セミナー「第 4 講, 蒸発中の粒子挙動とコーヒーステイン現象の発生メカニズム, 分散系塗布膜の乾燥における微粒子挙動メカニズム」(2012 年 12 月 21 日)
- (20) 佐藤正秀, 日本テクノセンター(株)セミナー「ぬれ性の基礎と制御法および工学的応用例」(2013 年 1 月 7 日)
- (21) 佐藤正秀, サイエンス&テクノロジー(株)セミナー「液相還元金属ナノワイヤの合成・形態制御と導電材料への応用」(2013 年 1 月 23 日)
- (22) 佐藤正秀, サイエンス&テクノロジー(株)セミナー「シランカップリング剤の反応メカニズムと界面分析・評価方法」(2013 年 1 月 29 日)
- (23) 鈴木昇, 宇都宮大学セミナーin 県南地場産センター「マイクロ波利用の機能材料・表面処理技術の創出」(2013 年 3 月 14 日)
- (24) 佐藤正秀, R&D 支援センター(株)セミナー「ぬれのメカニズムとコントロール技術」(2013 年 3 月 21 日.)

- (25) 佐藤正秀, 技術情報協会(株)セミナー「第 1 講, 基材表面への塗膜のぬれメカニズムと密着性改善による剥離対策, 塗布膜乾燥時のクラック/剥離対策」(2013 年 4 月 26 日)
- (26) 佐藤正秀, &Tech(株)セミナー「シランカップリング剤の反応機構と反応性評価」(2013 年 6 月 21 日).
- (27) 佐藤正秀, 情報機構(株)セミナー「表面ぬれ性及び超親水/超親油・超撥水/超撥油の基礎・原理とその制御・評価技術」(2013 年 7 月 12 日).
- (28) 佐藤正秀, サイエンス&テクノロジー(株)セミナー 「超撥水・超親水表面のメカニズム・設計・評価と応用」(2013 年 10 月 24 日).
- (29) 佐藤正秀, R&D 支援センター(株)セミナー「シランカップリング剤による表面処理技術」(2013 年 11 月 19 日).
- (30) 佐藤正秀, &Tech(株)セミナー 「シランカップリング剤の反応機構と反応性評価」2014 年 1 月 21 日.
- (31) 佐藤正秀, 技術情報協会(株)セミナー「第 1 講, 固体表面に対する 液体のぬれ性と広がるメカニズム, 塗布膜形成・乾燥のメカニズムとトラブル対策」(2014 年 2 月 27 日)
- (32) 佐藤正秀, サイエンス&テクノロジー(株)セミナー「金属ナノワイヤの合成技術、形態制御と透明導電材料への応用と課題」(2014 年 2 月 28 日)

無機フロンティアマテリアルの創製

単 躍進(教授)^{*1}, 江川千佳司(教授)^{*1}, 岩井秀和(助教)^{*1}, 手塚慶太郎(助教)^{*1}

*1 工学部応用化学科, 大学院工学研究科物質環境化学専攻

コンデンサーなどの電子・磁気素子をはじめとして, 無機マテリアルは我々の日常生活だけでなく, 今日の科学技術を支えるための必要不可欠な基盤素材となり, そのニーズもますます拡大している。高性能化マテリアルの創製においては, 新たな高性能物質の合成ばかりでなく, 既知物質でもパラメータの最適化によっても高性能化が期待できる。本研究では, 物質の電子状態(バンド構造), 格子欠陥, 表面構造の3点を重視し, 物質の合成, 表面の最適化, 構造・物性の解析といった本研究グループの長所を発揮し, 希土類レス蛍光体をはじめ, 光触媒, 環境触媒などフロンティアマテリアルの創製に挑戦し, 幾つかの成果を得ることができた。以下に代表的な成果を紹介する:

1. アルミナ蛍光体の合成と発光メカニズムの検討

1.1 はじめに

現代社会では室内・屋外の照明として, また, さまざまなディスプレイの光源として大量の光が使用されており, このために莫大なエネルギーが消費されている。このエネルギーを節約するため, 白熱電灯のような熱エネルギーを用いた光源から蛍光灯・LEDへの完全な移行が進行中である。しかし, 現在使われている蛍光灯やLEDは希土類元素やガリウムなどの希少元素が発光メカニズムの中心にあるため, 資源の点から, また, 希少元素の抽出コストの点から問題があり, 新材料の発見が期待されている。我々は, 普遍的に存在する元素を用いて, 安価な方法で発光する物質(蛍光体)の合成を試みてきた。最初に, 古くから知られている蛍光物質 ZnGa_2O_4 中のガリウムを, アルミニウムに一部置換した固溶体物質 $\text{ZnGa}_{2-x}\text{Al}_x\text{O}_4 (0 \leq x \leq 2)$ の合成を試みた。通常 of 固相反応法では, ガリウム含有量の減少とともに発光効率が低下したが, 水溶液を経る新たな合成法により, 発光効率の高い固溶体物質を得ることができた。さらに, 希少金属 Ga を全く含まない無毒・安価な新規蛍光体物質 ZnAl_2O_4 の合成にも成功し, 最終的に普遍元素のアルミニウムのみからなる酸化物蛍光体(アルミナ蛍光体)を見出した。

1.2 実験方法

本研究では、無機イオン溶液と水溶性の有機物を原料として目的試料の合成を行った。原料には硝酸アルミニウム九水和物を用い、硝酸アルミニウム水溶液(0.48 M)を調整した。得られた水溶液とジエチレングリコール(DEG)をアルミニウムと DEG のモル比 $R(\text{DEG}/\text{Al})$ が $R=4$ となるように混合し、アスピレーターとエバポレーターを用いて 80 °C で加熱濃縮し高粘度のゾル状試料を得た。このゾル試料をルツボに入れ、排気ユニットが付いた箱型電気炉にて大気中 350 °C で 3 時間の熱処理（第一加熱）を行なった。その後、大気中 710-730 °C で 3 時間の熱処理（第二加熱）を行い、目的試料を得た。得られた粉末試料は粉末 X 線回折装置(XRD)を用いて、結晶状態を検討した。フォトルミネセンス(PL)特性は水銀 UV ライト照射(254 nm, 365 nm)下で発光の有無を確認し、分光蛍光光度計を用いて PL スペクトルを測定、評価した。また、発光メカニズムを特定するため、電子スピン共鳴法(ESR)、固体磁気共鳴法(NMR)、フーリエ変換赤外分光法(FT-IR)、示差熱-熱重量分析(TG-DTA)、比表面積測定(BET 法)などを用いた。

1.3 結果と考察

得られたアルミナ蛍光体粉末は白色であるが、この試料に水銀 UV ランプ 254 nm・365 nm を照射すると両方の励起波長で青色発光を示し、PL 特性を有することがわかった。また、UV ランプの照射を止めた後も数秒間にわたって発光を続けることから、試料は残光(燐光)特性を持っていることが確認された。UV ランプ照射前後の試料の様子を図 1 に示す。試料の PL 特性について、蛍光分光光度計を用いて、より詳しく調査した。図 2 に示す発光スペクトルと励起スペクトルの測定結果から分かるように、励起波長が約 310 nm のときに最大発光波長約 410 nm で青色発光を示した。励起スペクトルと発光スペクトルはどちらも幅広いスペクトルとなっているために、UV ランプで 254 nm と 365 nm の光を照射した際、どちらの波長でも発光が見られたことが理解される。蛍光試料に励起光を照射してから遮断し、時間に対する発光強度の変化と燐光スペクトルの測定を行なった結果、残光はおよそ 150 msec 続くことが分かった。

得られたアルミナ蛍光体の XRD 回折パターンは全体的に強度が低く、顕著なピークが見られなかったことから、アモルファスであることが分かった。²⁷Al-NMR の測定結果から、アモ



図 1 アルミナ蛍光体の UV ランプ ($\lambda_{\text{em}}=365$ nm)照射前(左)と照射後(右)の様子

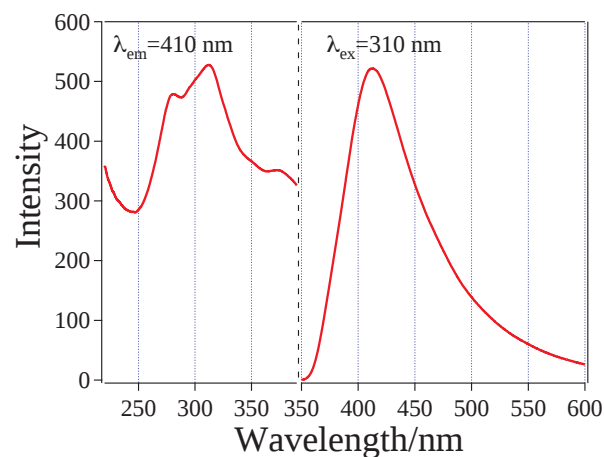


図 2 アルミナ蛍光体の励起・蛍光スペクトル

ルファスアルミナ中の Al は酸素と 4 配位, 5 配位, 6 配位の 3 種類の配置をしていること, また, TG-DTA や ESR などさまざまな分析結果により, 作製されたアルミナ蛍光体の発光には, 炭素関連不純物と試料がアモルファス状態であることが必要であることが分かった。さらに, 第一原理計算によるアモルファスアルミナ中の酸素欠陥のエネルギー準位と価電子帯(O-2p 軌道)とのエネルギー差が, 本研究のアルミナ蛍光体の励起波長とおおよそ一致したことより, アルミナ蛍光体の発光モデルを以下のように提案する: まず励起波長に相当する紫外線によってアルミナ蛍光体の価電子帯にある電子が酸素欠陥準位に励起される。この励起された電子が炭素関連不純物準位を介して, 基底状態の価電子帯に戻る際に, 遷移エネルギー差に相当する発光波長で発光する。

2. 鉄系酸化物の光触媒活性

2.1 はじめに

光触媒では, 酸化チタンをはじめとする不対電子を持たない非磁性の金属酸化物に関する研究が盛んに行われている。これらは Ti(IV)のように d 軌道に電子が存在しない d^0 電子配置またはすべてが詰まっている d^{10} 電子配置の金属酸化物が対象になっている。一方, 不対電子を持つ d^n ($0 < n < 10$) 電子配置をとる磁性を有する金属酸化物は, 活性がないとされて研究が進んでいない。実際には不対電子を含む酸化物でも組成や電子配置等によって活性が異なることが予想される。そこで, 私達はその中でも d 軌道に電子がちょうど半分入っている d^5 電子配置をとる Fe(III)を含む複合酸化物に注目して研究を行い, これまでにメタノール分解に関して光触媒活性のある化合物をいくつも見出してきた。このことから, 磁性酸化物でも光触媒活性を示すものがあり, その活性は, 組成や合成条件に大きく依存することも明らかにしてきた。さらに, メタノール分解以外の光触媒活性評価法の一つとして酢酸分解についても検討を行った。

2.2 実験方法

Fe(III) 複合酸化物 MFe_2O_4 ($M = Mg, Zn, Cd$) を固相反応法により合成した。光触媒活性を比較するために各化合物に対し 2 種類以上の加熱条件で合成を行った。得られた試料について, XRD 測定にてすべての化合物が単相であることを確認した。UV-VIS 拡散反射スペクトルを測定し, 光の吸収波長を明らかにした。粒子形状については FE-SEM で観察した。光触媒活性は, 5 vol% 酢酸溶液 20 mL と触媒 0.15 g を入れ, 酸素を 30 分間通気した後に, 300 W の Xe ランプによる光照射を 1 時間行い, 発生した二酸化炭素量をガスクロマトグラフで計測した。さらにフィルターをつけて 420 nm 以上の完全可視光照射時の二酸化炭素発生量の測定も行った。

2.3 結果

得られた試料は, すべて茶系の色を示した。UV-VIS 拡散反射スペクトルからも可視光領域での吸収が観測された。酢酸分解活性の結果を表 1 に示す。すべての酸化物で活性が見られていることがわかる。最も活性が高かったのは, 1150 °C 5 h 加熱後に 850 °C 10 h 加熱した $MgFe_2O_4$ の試料で, 196 $\mu\text{mol/g}\cdot\text{h}$ であった。逆に $ZnFe_2O_4$ は活性が低いことから, 化合物組

成によって活性が異なる結果となった。同じ酸化物では、焼成温度が高い (加熱条件が強い) ほど活性が高い傾向が見られた。完全可視光照射時にはすべての試料で CO_2 の発生量が検出限界以下であった。このことから、酢酸分解活性においては、400 nm 付近以下の波長の光が活性に関与していると考えられる。

3. 環境触媒の開発

環境問題として、自動車排ガス中の粒子状物質(PM)や窒素酸化物(NO_x)の削減、また、地球温暖化をもたらすメタンと二酸化炭素の削減が注目されている。これらの問題解決には高効率や高選択性を発揮する触媒開発が必要であり、ペロフスカイトを初めとする複合金属酸化物は、特徴ある結晶構造を持ち、構成する元素の組み合わせの自由度が大きいいため、触媒探索や触媒調整法による性能向上を図ることが期待され有望である。

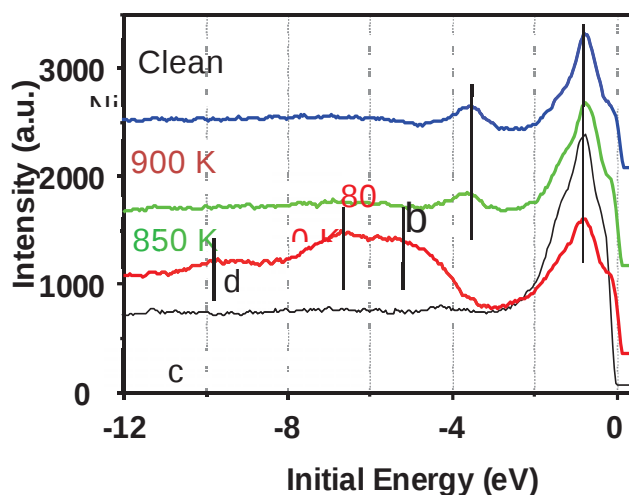
特に、メタンと二酸化炭素を有用な合成ガス(水素と一酸化炭素)に変換する改質反応は、メタンの有効利用と二酸化炭素の削減を同時に実現できる技術であるが、従来の酸化物に担持した Ni 等の触媒には、高温で使用すると触媒表面に炭素が析出することにより性能が劣化する問題があった。本研究で開発した希土類 Ce の酸化物あるいは Mn 酸化物に高分散させた Ni 触媒は、300 から 350℃の低温からこの改質反応に活性を有し、熱力学的な平衡条件に近い組成が実現されることを見いだした。また、Ni の代わりに用いた

Ru と Rh についても同様の高活性な触媒開発に成功し、炭素析出も少なく活性低下もないことが確認された。さらに、Ni と Ru 単結晶表面のモデル触媒を用いて反応サイトと反応中の表面状態を調べたところ、図 3 に示した UPS 光電子価電子帯スペクトルから、Ni 単結晶(100)面の活性な表面にはカーバイド状炭素が存在するが、活性低下にはグラファイト状炭素が関連すること、また、メタン分子の解離過程が律速段階となることを見いだした。これらの成果により、実用化への基礎を達成することができた。

その他に、本研究グループは機能性新規酸化物の合成に力を注ぎ、幾つかの非中心対称構造を有する物質、 $\text{Zn}_{1.5}\text{Ni}_{1.5}\text{TeO}_6$ 、 $\text{Li}_3\text{GaTeO}_6$ 、 $\text{Li}_3\text{AlTeO}_6$ を得られ、それらの結晶構造を明らかにすると共に、電磁氣的性質も評価した。今後、誘電体やイオン伝導体などに応用できる可能性がある。

表 1 酢酸分解活性の結果

酸化物	合成条件	CO_2 生成量 [$\mu\text{mol/g}$]
MgFe_2O_4	1150 °C, 5 h 850 °C, 10 h	196
MgFe_2O_4	1200 °C, 5 h	167
ZnFe_2O_4	1000 °C, 5 h	30
ZnFe_2O_4	1100 °C, 5 h	62
ZnFe_2O_4	1200 °C, 5 h	67
CdFe_2O_4	1000 °C, 6 h	148
CdFe_2O_4	1000 °C, 5 h	132



e

プロジェクト 20 無機インテリジェントマテリアルの創成

(担当者) 単躍進, 江川千佳司, 岩井秀和, 手塚慶太郎

●原著論文 (外国, 国内)

- 1) B. Fang, N. Jiang, Q. Du, L. Zhou, Y. Shan, K. Tezuka, H. Imoto, “Electrical properties of lanthanum and potassium doped barium titanate ceramics”, *Materials Science: An Indian Journal*, **5**, 356-359 (2009).
- 2) H. Iwai, A. Emori and C. Egawa, “Self-organization of L-Serine on Cu(001)”, *e-Journal of Surface Science and Nanotechnology*, **7**, 821 -824, (2009).
- 3) X. Cui, K. Takahashi, T. Otsuki, H. Iwai and C. Egawa, “Partial oxidation reaction of methanol on Cu/MnO thin films grown on Ni(100) surface”, *e-Journal of Surface Science and Nanotechnology*, **7**, 898 -903, (2009).
- 4) B. Fang, C. Ding, Q. Du, Y. Shan, K. Tezuka, H. Imoto, “Structure and dielectric property of $(1-x)\text{Pb}(\text{Fe}_{1/4}\text{Sc}_{1/4}\text{Nb}_{1/2})\text{O}_3$ - $x\text{PbTiO}_3$ ceramics prepared via a B-site oxide mixing route”, *Journal of Physics D: Applied Physics*, **42**, 16408/1-16408/7 (2009).
- 5) B. Fang, R. Sun, Y. Shan, K. Tezuka, H. Imoto, “Phase transition, structural and electrical properties of $\text{Pb}(\text{Zn}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ -doped $\text{Pb}(\text{Ni}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ - PbTiO_3 ceramics prepared by solid-state reaction method”, *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, **70**, 893-899 (2009).
- 6) 手塚慶太郎, 渡部善之, 単躍進, 井本英夫, “*d*金属を含むスピネル型酸化物の光触媒活性”, *ケミカルエンジニアリング*, **54**, 130-133 (2009).
- 7) H. Iwai, C. Egawa, “Molecular orientation and intermolecular interaction in alanine on Cu(001)”, *Langmuir*, **26**, 2294-2300 (2010).
- 8) K. Tanikawa, C. Egawa, “Effect of Barium Addition on CO Oxidation Activity of Palladium Catalysts”, *Appl. Cat A*, **403**, 12 -17, (2011).
- 9) K. Tezuka, H. Takagi, Y. Shan, and H. Imoto, “Simple Synthesis of Zinc Sulfide and Cadmium Sulfide under Hydrothermal Conditions”, *Journal of the Ceramic Society of Japan*, **119**, 55-59 (2011).
- 10) B. Fang, Q-B Du, D. Wu, L. Zhou, Y. Shan, K. Tezuka, H. Imoto, “Structural and electrical properties of $0.56\text{Pb}(\text{Ni}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ - $0.10\text{Pb}(\text{Zn}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ - 0.34PbTiO_3 ceramics prepared by different ceramic processings”, *Ceramics International*, **37(3)**, 707-713 (2011).
- 11) H. Taniguchi, H.P. Soon, T. Shimizu, Y. H. Morikawa, Y.J. Shan, M. Itoh, “Mechanism for suppression of ferroelectricity in $\text{Cd}_{(1-x)}\text{Ca}_x\text{TiO}_3$ ”, *Physical Review B*, **84(17)** 174106-174110, (2011).
- 12) L. Sun, W.L. Luan, S-T. Tu, Y.J. Shan, “Au-Ag Gradient Alloy Nanoparticles with Extended Surface Plasmon Resonance Wavelength: Synthesis via Microreaction”, *Nano. Biomed. Eng.*, **3** 232-235 (2011).
- 13) K. Tanikawa and C. Egawa, “Effect of barium addition over palladium catalyst for CO-NO- O_2 reaction”, *J. Molecular Catalysis A*, **349**, 94 -99, (2011).
- 14) M. Tada, S. Zhang, S. Malwadkar, N. Ishiguro, J. Soga, Y. Nagai, K. Tezuka, H. Imoto, S. Otsuka-Yao-Matsuo, S. Ohkoshi, Y. Iwasawa, “The Active Phase of Nickel/Ordered $\text{Ce}_2\text{Zr}_2\text{O}_x$ Catalysts with a Discontinuity ($x=7-8$) in Methane Steam Reforming”, *Angewandte Chemie, International Edition*, **51(37)** 9361-9365 (2012)
- 15) L. Sun, W.L. Luan, Y.J. Shan, S-T. Tu, “One-step Synthesis of Monodisperse Au-Ag Alloy Nanoparticles in a Microreaction System”, *Chem. Eng. J.*, **189-190**, 451-455 (2012).
- 16) H. Taniguchi, H-P. Soon, H. Moriwake, Y.J. Shan, M. Itoh, “Effect of Ca-Substitution on

- CdTiO₃ Studied by Raman Scattering and First Principles Calculations”, *Ferroelectrics*, **426** (1), 268-273 (2012).
- 17) L. Sun, W.L. Luan, Y.J. Shan, "A Composition and Size Controllable Approach for Au-Ag Alloy Nanoparticles", *Nanoscale Res. Lett.*, **7**(1), 225-226 (2012).
 - 18) 水野祐介, 我田 元, 小野寺仁志, 単 躍進, 大石修治, 手嶋勝弥, "LiCl フラックス冷却法による Li_{1+x}Al_xGe_{2-x}(PO₄)₃ 結晶の育成", *J. Soc. Inorg. Mater.*, **19**, 299-303 (2012).
 - 19) 谷口 博基, 森分 博紀, 単 躍進, 伊藤 満, “ペロブスカイト型酸化物における強誘電性の起源”, *日本結晶学会誌*, **54**(5) 276-281 (2012).
 - 20) H. Iwai and C. Egawa, "Molecular orientations of L-serine on Cu(001)", *e-Journal of Surface Science and Nanotechnology*, **11**, 85 -88, (2013).
 - 21) K. Tezuka, Y. Tokuhara, M. Wakeshima, Y. J. Shan, H. Imoto, “Crystal Structures and Properties of Europium Aluminum Oxynitride Eu₂AlO_{3.75}N_{0.1} and Europium Aluminum Oxide EuAl₂O₄”, *Inorganic Chemistry*, **52** 12972-12979 (2013).
 - 22) B.-J. Fang, M.-J. Zhu, J.-N. Ding, Y.J. Shan, H. Imoto, “Improving ferroelectric and piezoelectric properties of PbFe_{1/4}Sc_{1/4}Nb_{1/2}O₃ ceramics by oxide doping prepared via a B-site oxide mixing route”, *Ceramics International*, **39** 1677-1681, (2013).
 - 23) 単 躍進, “アルミナ蛍光体に関する研究”, *耐火物*, **65**(7) 288-292 (2013).
 - 24) Y.J. Shan, Y. Yoshioka, M. Wakeshima, K. Tezuka, H. Imoto, “Synthesis, structure, and magnetic properties of the novel sodium cobalt tellurate Na₅Co_{15.5}Te₆O₃₆”, *J. Solid State Chem.*, **211** 63-68 (2014).
 - 25) K. Tezuka, M. Kogure, Y.J. Shan, “Photocatalytic degradation of acetic acid on spinel ferrites MFe₂O₄ (M = Mg, Zn, and Cd)”, *Catalysis Communications*, **48**, 11-14 (2014).
 - 26) H. Funaki, K. Tezuka, Y.J. Shan, “Liquid-phase exfoliation of ultrathin layered transition metal dichalcogenide nanosheets composed of solid-solution Mo_{1-x}W_xS₂”, *Physica Status Solidi A*, in press.

●国際会議発表(plenary lecture:PL,invited speaker:IS,oral presentation:OP,poster presentation:PP)

- 1) *OP* Y. Shan, Y.Yoshioka, K. Tezuka, H.Imoto, “Synthesis and structure analysis of novel single crystal oxide, Na-Co-Te-O”, *Pacificchem 2010 Congress*, Honolulu, Hawaii, USA (2010).
- 2) *IS* C. Egawa, “Methane Dry-Reforming Reaction on Ni(100) Surface”, 1st Int. Conf. on Emerg. Adv. Nanomaterials - 2012, Brisbane (2012)
- 3) *IS* Y.J. Shan, “Synthesis of alumina phosphor by an aqueous solution method”, China-Japan-Korea Forum on Electric and Optical oxide materials and Applications-2012 (CJK-FEOMA 2012), Shanghai (2012).
- 4) *PP* Satoshi Ito, H. Iwai, C. Egawa, “Selective NO_x reduction by ethanol on Ag/thin-Al₂O₃ overlayers/NiAl(100) surface”, 14th Int. Conf. on Vib. at Surf., Kobe (2012)
- 5) *PP* H. Iwai, C. Egawa, “Molecular orientation of L-serine on Cu(001)”, 14th Int. Conf. on Vib. at Surf., Kobe (2012)

●国内研究発表（基調講演，招待講演，依頼講演，一般発表，ポスター発表）

- 1) 「一般」単 躍進，山口 諒仁，手塚慶太郎，井本英夫，スピネル型固溶体 ZnGa_{2-x}Al_xO₄(0.0≤x≤2.0)の蛍光特性，第 47 回セラミックス基礎討論会，大阪 (2009)
- 2) 「一般」岩井秀和，江川千佳司，Cu(001)表面上のアラニンの分子配向と分子間相互作用，日本物理学会 第 65 回年次大会プログラム，岡山 (2010)
- 3) 「招待」手塚慶太郎，無機化合物の合成と光に関係する物性の研究，東北大学大学院

工学研究科，仙台市（2011）

- 4) 「一般」単躍進，吉岡雄大，山崎広樹，手塚慶太郎，井本 英夫，Na-M-Te(M=Co, Mn, Ni)系新規酸化物単結晶の合成と構造解析，日本セラミックス協会 2011 年年会，浜松(2011)
- 5) 「一般」高橋佳那子，川畑綾也，単躍進，井本英夫，手塚慶太郎，溶液法によるアルミナ蛍光体の合成，第 24 回秋季シンポジウム，北海道（2011）
- 6) 「一般」湯澤滋正，岩井秀和，江川千佳司，Ni/CeO₂ を用いた DRM 反応における Ni 表面と Ni/CeO₂ 界面の反応性の違いの研究，日本化学会第 92 回春季年会，東京（2011）
- 7) 「一般」鈴木敦子，単躍進，井本英夫，手塚慶太郎，溶液法による ZnGa_{2-x}Al_xO₄ 系固溶体の PL・EL 特性の評価，日本セラミックス協会 第 25 回秋季シンポジウム，名古屋（2012）
- 8) 「ポ」湯澤滋正，岩井秀和，江川千佳司，メタンの二酸化炭素改質反応における Ni/CeO₂ と Ni-Mn 複合酸化物の比較，日本化学会第 92 春季年会，横浜（2012）
- 9) 「一般」単躍進，湧井宣考，手塚慶太郎，溶液法で合成されたアルミナ蛍光体の発光メカニズムの検討，日本セラミックス協会 第 26 回秋季シンポジウム，長野（2013）
- 10) 「一般」羽部 行弘，単 躍進，手塚 慶太郎，ACu₃M₂Te₂O₁₂ (A = Ca, Sr ; M = Mg, Co) の合成とキャラクタリゼーション，日本セラミックス協会 第 52 回セラミックス基礎科学討論会，名古屋（2014）

その他，45 件

●特許（外国，国内，公開，出願）

- 1) 「国内」出願，単 躍進，山口諒仁，手塚慶太郎，井本英夫「ZnAl 系酸化物蛍光体およびその製造方法」（平成 21 年 9 月）
- 2) 「国内」出願，単 躍進，川畑綾也，高橋佳那子，手塚慶太郎，井本英夫「アルミナ蛍光体の合成」（平成 23 年 3 月）
- 3) 「国内」出願，単 躍進，大槻卓哉，手塚慶太郎，細川翔悟，篠崎紀文「透明蛍光発光物体及びその製造方法」（平成 26 年 1 月）

●外部資金（科学研究費：科研、奨学寄付金：奨学，受託研究：受託，共同研究：共同）

- 1) 「科研」江川千佳司，4,100 千円「固体表面におけるキラル分子識別機能の研究」基盤研究(C)（平成 20～22 年）
- 2) 「科研」単 躍進，4,000 千円「無毒・安価な酸化物蛍光体材料の研究開発」基盤研究(C)（平成 23～25 年）
- 3) 「科研」手塚慶太郎，3200 千円「電子遷移制御による新しいタイプの可視光応答光触媒の開発」（平成 23～24 年）
- 4) 「受託」手塚慶太郎，2,000 千円「機能付加型光触媒材料の開発」（JST シーズ発掘試験 A）（平成 21 年）
- 5) 「受託」江川千佳司，2,000 千円「規複合酸化物触媒の開発による地球温暖化ガスの有用資源への高効率変換」（JST シーズ発掘試験 A）（平成 21 年）
- 6) 「受託」手塚慶太郎，819 千円「機能付加型可視光応答光触媒材料の開発」JST 科学技術コモンズ（平成 22 年度）
- 7) 「受託」手塚慶太郎，1,000 千円「新合成法によるオキシ窒化物光エレクトロニクス材

- 料の開発」JST A-STEP 探索タイプ (平成 22 年度)
- 8) 「受託」単 躍進, 1,000 千円「新しい合成法による新規酸化物蛍光体材料の開発」JST A-STEP 探索タイプ (平成 22 年度)
- 9) 「受託」手塚慶太郎, 2799 千円「機能付加型可視光応答光触媒材料の開発」(平成 23 年)
- 10) 「共同」江川千佳司, 1,500 千円「パナソニックディーゼル排ガス浄化触媒の触媒反応メカニズムの解明」パナソニックエコシステムズ (株) (平成 22 年度)
- 11) 「共同」江川千佳司, 1800 千円「パナソニックディーゼル排ガス浄化触媒の触媒反応メカニズムの解明」パナソニックエコシステムズ株式会社 (平成 23 年)
- 12) 「共同」単 躍進, 1500 千円「アルミナ蛍光体の開発」株式会社龍森 (平成 23 年)
- 13) 「共同」単 躍進, 300 千円「ナノおよびマイクロバブル水によるアグネシセメント硬化生成物および反応メカニズムの研究」ハウステック株式会社 (平成 23 年)
- 14) 「共同」江川千佳司, 2000 千円「ディーゼル排ガス用 PM・NOx 浄化触媒の開発」パナソニックエコシステムズ株式会社 (平成 24 年)
- 15) 「共同」単 躍進, 1500 千円「アルミナ蛍光体の開発」株式会社龍森 (平成 24 年)
- 16) 「共同」江川千佳司, 2,000 千円「ディーゼル排ガス用 PM・NOx 浄化触媒の開発」パナソニック エコシステムズ株式会社 (平成 25 年)
- 17) 「共同」単 躍進, 1500 千円「アルミナ蛍光体の開発」株式会社龍森 (平成 25 年)
- 18) 「奨学」手塚慶太郎, 1,000 千円「新しいタイプの複合化合物を用いた高効率可視光応答光触媒の開発」(矢崎科学技術振興記念財団) (平成 21 年)
- 19) 「奨学」手塚慶太郎, 1,000 千円「積極的窒化制御による新規オキシ窒化物材料の開発」(村田学術振興財団) (平成 21 年)

プロジェクト 21 次世代水再生プロセスとしての 磁化活性汚泥法の実用化研究

酒井保藏(准教授) *1,

*1 大学院工学研究科物質環境化学専攻 sakaiy@cc.utsunomiya-u.ac.jp

1. はじめに

＜研究背景＞ 活性汚泥法は、現在、最も汎用されている有機廃水の浄化法である。微生物を利用する本水処理法は安価で良好な水処理が可能な反面、①微生物フロックの沈降分離の難しさに起因する運転管理の難しさ、②有機物を摂取し増殖する微生物による二次的な環境負荷の2つの欠点を有する。我々は、活性汚泥が強磁性粉(マグネタイト)をよく吸着し、砂鉄のように磁気分離できることを利用し、これらの問題点の根本的な解決を目指してきた。磁性粉を吸着した微生物（磁化活性汚泥）は磁気力で簡単に固液分離できる。反応槽で増殖する種々の微生物のうち、磁性粉を吸着できる微生物が磁気分離により選択的に反応槽に戻ることができるため、磁気分離するほど磁気分離されやすい微生物が優先的に増殖する自己安定性をもつシステムとなっている。負荷変動や生物毒性をもつ有機物の分解でも従来法より安定した水処理を維持できる(欠点①の解決)。さらに従来の数倍の微生物を浄化槽(反応槽)に保持し、微生物単位量当たり摂取できる有機物(栄養分)の量を相対的に減ずることで汚泥の増殖と自己分解をバランスさせ、みかけ上、微生物が増えない水処理ができる(欠点②の解決)。磁化活性汚泥法と呼んでいるこの新しい水処理法は国内はもとより、Nature News やアメリカ化学会の Chemical Engineering 部門の Web ニュースに取り上げられるなど海外でも注目されている。活性汚泥法研究の裾野は広く、磁化活性汚泥法の実用化は大きなインパクトが期待できる。実用化を契機として水処理分野への磁気力活用や電磁気分野での微生物応用など新しい学術融合領域が開拓されてゆく可能性があると考えられる。

＜社会的背景＞ 21世紀は水の世紀ともいわれ、国連統計によると、現在でも汚染された水が原因で毎年200万人が病死し、2025年には全人類の40%が深刻な水不足に直面すると推計されている。水汚染の大部分は下水など有機物による汚染であるが、先進国で広く利用されている活性汚泥法は、上記の欠点から水汚染が深刻な発展途上国では良好な運転管理が困難である。誰でも、どこでも使える水処理法は21世紀の人類の持続的発展にとって重要な技術であると考えられる。また、国内に目を移しても、下水処理施設の普及に伴って発生する汚泥は1年で霞が浦の容積の半分にも達し、汚泥処理のコスト、エネルギー、最終処分場不足などは大きな課題であり、汚泥発生の少ない水処理法への期待は大きい。農村部では畜産

廃水などが原因とされる地下水の窒素汚染が広がっており、小規模廃水の現地処理を可能とする簡便な水処理法が期待されている。汚泥処理の負担が少なく、運転管理も容易な磁化活性汚泥法の実用化は水不足や水汚染が深刻化する 21 世紀の基盤的な環境技術として大きな社会貢献が期待できる。

＜目的＞本プロジェクトの目的は、磁化活性汚泥法を活用した水処理装置を実用化することを最終目標とし、実用化のステップを進めてゆくことである。そのため、国内外での実証研究の推進、汚泥の磁気分離などの革新的な基礎技術の確立を目的とした。実用化によって新技術として認知され、学術融合領域の工学分野が開拓されてゆくと同時に、国内外でサステナビリティに係わる環境技術として大きな社会的貢献も期待できる。

2. 具体的な研究成果 応募計画ではプロジェクトは以下(a), (b), (c)の3つの研究計画を有機的に関連づけながら平行して進行させるとあったが、さらに(d)アジア新興国の企業との共同研究による海外パイロットプラントの製作、バングラデシュ・ダッカ大との共同研究など国際的な研究を進めることができた。

(a) 宇都宮市水再生センターのパイロットプラントによる実証研究

宇都宮市水再生センターのパイロットプラントは 8 m^3 の反応槽をもち、槽深 4 m の実証研究用磁化活性汚泥プラントである(図 1)。このプラントを用い、強磁力クーラントセパレーター(図 1 右上)を磁化活性汚泥の分離装置に活用するための研究をおこなった。汚泥を付着させる部分では 0.5 T の強い磁束密度をもち、剥離させる部分では 0.01 T 以下の磁束密度となっているため、従来の多円板磁気分離装置の 2 倍以上の性能をもつことがわかった。現在、クーラントセパレーターのメーカーと、濃厚な磁性スラッジの磁気分離に特化した改良を共同研究として進めている。



図 1. 80 人規模の下水処理パイロットプラント (宇都宮市水再生センター)
右上は 2013 年に設置された強磁力クーラントセパレーター

目的が異なる優れた磁気分離装置を基に開発することで、早期に汚泥の磁気分離装置開発を達成できると考えられる。

(b) 附属農場廃水処理への磁化活性汚泥法の適用

宇都宮大学附属農場の酪農廃水処理への磁化活性汚泥法の適用について実廃水を用いたラボスケール実験をおこなった。牛糞由来の懸濁物質が高濃度に含まれるため、磁化活性汚泥法単独での処理は困難であったが、凝集沈殿プロセスを前処理として加え、懸濁物質の除去とアンモニアストリッピングをおこない、一次処理水を MAS 法に導くことで、BOD、COD 成分、窒素、リン、懸濁物質のすべての排出基準をクリアすることができた。処理時間も現行の $1/4$ 以下に短縮できプロセスの小型化が可能であることが示された。このプロセスでは廃水中からリンと窒素成分の大部分を回収できることから、資源循環にも有効であることが

示唆された。また、栃木県は北海道に次ぐ酪農県であり、那須地区の実際の酪農廃水処理への磁化活性汚泥法の適用についても研究を開始した。酪農家によって廃水の性状は様々であり、数千 mg/L の懸濁物質を含む廃水に対応できる磁化活性汚泥法を組み込んだ水処理プロセスを現地で水処理施設を建設している水処理企業、畜産草地研究所、栃木県畜産酪農研究センターの協力を得て検討している。現在、現地から実廃水を採取して、研究室に持ち込みベンチスケール実験を進めているところである。

(c) 無電解めっき廃液の無害化処理

無電解めっき廃液には高濃度の有機酸と重金属が含まれているため、そのままでは生物処理が困難であり、廃液はめっき工場内で処理されずに外部委託されている。めっき廃液の社内での無害化を目的とし、栃木県産業技術センター、県内企業2社と共同研究をおこなった。5 L のベンチスケール実験を大学と産業技術センターで実施し、その結果をもとに、200 L の磁化活性汚泥パイロットプラントを製作して、めっき会社に持ち込み



図2. 無電解めっき廃液処理用の磁化活性汚泥パイロットプラント (200 L)

無害化処理プロセスの可能性を検証した(図2)。まず、自己分解と電解処理によって廃液中のニッケルの大部分を金属ニッケルとして回収し、残った有機酸廃液を磁化活性汚泥法で処理した。磁化活性汚泥法は数十 mg/L 程度残留する重金属の影響をほとんど受けず、98%以上の有機酸を分解することができた。窒素成分の生物学的除去も試み、比較的低い pH で硝化反応が進むことが示された。

(d) アジアでの磁化活性汚泥法研究の展開

アジア新興国で磁化活性汚泥法の工場廃水処理への適用について検討した。現地に宇都宮市水再生センターにあるパイロットプラントと同様なパイロットプラントを設置した(図3)。同時に、詳細なベンチスケール実験を学内でおこなった。界面活性剤を主成分とする廃水は生物処理が困難で、従来は凝集処理で大部分の界面活性剤を除去してから生物処理されていたが、大量の凝集汚泥が発生し、二次処理の負担が大きい。そこで我々は、界面活性剤をそのまま磁化活性汚泥法で分解するプロセスを検討した。歯磨、食器用洗剤、シャンプー、ローションなどの製造工程からの廃水を磁化活性汚泥法で直接処理し、処理性状を調べた。2000 ~ 4000 mg/L COD の模擬廃水から約 90% の COD 成分を分解除去できることが示された。今後は、水処理企業の協力を得て、現地でのパイロットプラント実験を進めて行きたいと考えている。



図3. 12m³ の反応槽をもつ工場排水処理パイロットプラント (アジア新興国)

プロジェクト 21 次世代水再生プロセスとしての磁化活性汚泥法の実用化研究

(担当者) 酒井 保藏

●原著論文 (外国, 国内)

- 1) 迎 春, 梅津一孝, 酒井保藏, 井原一高, 山城隆樹 (ミルキングパーラ排水の磁化活性汚泥法による処理特性, 農業施設, **39(4)**, 243-248 (2009))
- 2) Chun Ying, Kazutaka Umetsu, Ikko Ihara, Yasuzo Sakai, Takaki Yamashiro, "Simultaneous removal of organic matter and nitrogen from milking parlor wastewater by a magnetic activated sludge (MAS) process", *Bioresource Technology*, **101**, 4349-4353 (2010)
- 3) 酒井保藏, 松田祐三, 佐々木哲也, 佐々木貞幸 (磁化活性汚泥プロセスにおける濃厚な磁性スラッジの磁気分離装置設計に関する基本的な考え方, 低温工学, **46(11)**, 669-675 (2011))

●国際会議発表(plenary lecture:PL,invited speaker:IS,oral presentation:OP,poster presentation:PP)

- 1) *IS* Yasuzo Sakai, Shunsuke Watanabe and Chikara Kobayashi, "Sewage Treatment by a Pilot Plant of Magnetic Activated Sludge Process", *The 4th International Workshop on Materials Analysis and Processing in Magnetic Fields (MAP4)*, Atlanta, U.S.A. (2010)
- 2) *OP* Mihir Lal Saha, Yasuzo Sakai and Masato Oda, "Dye Decolorization and Organic Compounds Removal of Synthetic Textile Effluent by Anaerobic-Aerobic Magnetic Activated Sludge (A2-MAS) Reactor", *The 4th International Workshop on Materials Analysis and Processing in Magnetic Fields (MAP4)*, Atlanta, U.S.A. (2010)
- 3) *IS* Yasuzo Sakai, Shogo Kajii, Fumika Kawakami, Mihir Lal Saha, Kazunori Iwabuchi and Masaru Kashiwazaki, "Merits of magnetic activated sludge process and the application to advanced purification of dairy wastewater", *5th International Botanical Conference 2011*, Dhaka, Bangladesh (2011)
- 4) *OP* Mihir Lal Saha, Masato Oda and Yasuzo Sakai, "Dye decolorization and COD removal of synthetic textile effluent by anaerobic-aerobic magnetic activated sludge (A2-MAS) process", *5th International Botanical Conference 2011*, Dhaka, Bangladesh (2011)
- 5) *IS* Yasuzo Sakai, Shogo Kajii, Tomohito Onodera, Fumika Kawakami, Ikko Ihara, Mihir Lal Saha, "High Rate Purification of Dairy Wastewater by Multi-stage Treatment with Magnetic Activated Sludge Process, Coagulation and Contact Oxidation Process", *The 3rd International Forum on Magnetic Force Control in Busan*, Busan, Korea (2012)
- 6) *OP* Seiji Ochiai, Yasuzo Sakai, "Application of Magnetic Activated Sludge Process

for the Decontamination –Removal of Kaolinite Contaminated with Radioactive Substances “, *The 3rd International Forum on Magnetic Force Control in Busan, Busan, Korea (2012)*

- 7) *OP* Yanzi Chen, Yasuzo Sakai, Kohei Sakai, “Application of Magnetic Activated Sludge Process to Surfactant Wastewater in Indonesia “, *The 3rd International Forum on Magnetic Force Control in Busan, Busan, Korea (2012)*
- 8) *IS* Yasuzo Sakai, Yanzi Chen, Kohei Sakai, Yuki Inokura, Toshihito Onodera, Seiji Ochiai, Mihir Lal Saha, "Research frontier of magnetic activated sludge process using microbe flocs adsorbing magnetic particles", *The International Conference on Ferrite, Okinawa, Japan, (2013/4/15-19)*
- 9) *IS* Ikko Ihara, Tatsuya Shirae, Kiyohiko Toyoda, Yasuzo Sakai, Kazutaka Umetsu, "Magnetic Separation of Tetracycline Antibiotics from Livestock Wastewater using Magnetic Nanobeads", *The International Conference on Ferrite, Okinawa, Japan, (2013/4/15-19)*
- 10) *OP* Seiji Ochiai, Yasuzo Sakai, Koji Hiroshima, Mihir Lal Saha, "Application of Magnetic Separation for Decontamination of Radioactively-Contaminated Sludge Using Magnetic Seeding", *The International Conference on Ferrite, Okinawa, Japan, (2013/4/15-19)*
- 11) *OP* Mihir Lal Saha, Yasuzo Sakai, Sadayuki Sasaki, Tetsuya Sasaki, Masato Oda, Mina Shohoji, “Application of Magnetic Separation Technique in Various Biological Processes“, *The 4th International Forum on Magnetic Force Control in Osaka, Osaka, Japan (2013/11/21-22)*
- 12) *OP* Ikko, Ihara, Yasuzo Sakai, Kiyohiko Toyoda, Kazutaka Umetsu, “Magnetic Separation of Veterinary Antibiotics for Livestock Wastewater Treatment “, *The 4th International Forum on Magnetic Force Control in Osaka, Osaka, Japan (2013/11/21-22)*
- 13) *PP* Toshihito Onodera , Yasuzo Sakai, Masaru Kashiwazaki , Ikko Ihara, Mihir Lal Saha, “Proposal of a Dairy Wastewater Treatment at Pilot Scale Utilizing the Magnetic Activated Sludge Method “, *The 4th International Forum on Magnetic Force Control in Osaka, Osaka, Japan (2013/11/21-22)*
- 14) *PP* Gaowa, Yasuzo Sakai, Mihir Lal Saha, “Treatment of Waste-milk Containing Tetracycline by Magnetic Activated Sludge Process and Contact Oxidation Process: A Basic Study “, *The 4th International Forum on Magnetic Force Control in Osaka, Osaka, Japan (2013/11/21-22)*
- 15) *PP* Kohei Sakai, Yasuzo Sakai, Junichi Nakaoka, Mihir Lal Saha, “Evaluation of Separation Performance of Commercially Magnetic Drum Separator Including

Neodymium Magnet for Magnetic Activated Sludge“, *The 4th International Forum on Magnetic Force Control in Osaka*, Osaka, Japan (2013/11/21-22)

- 16) *PL* Yasuzo Sakai, Gaowa, Toshihito Onodera, Kohei Sakai, Mihir Lal Saha, "Application of Magnetic Activated Sludge Process for Dairy Farm Wastewater Treatment" *7th International Plant Tissue Culture & Biotechnology Conference 2013*, Dhaka, Bangladesh (2014)
- 17) *OP* Mihir Lal Saha, Yasuzo Sakai, Masato Oda, Mina Shohoji, "Application of magnetic activated sludge (MAS) in various wastewater treatment processes", *7th International Plant Tissue Culture & Biotechnology Conference 2013*, Dhaka, Bangladesh (2014)
- 18) *PP* Gaowa, Yasuzo Sakai, Mihir Lal Saha, "Treatment of Waste-milk Containing Tetracycline by Magnetic Activated Sludge Process and Contact Oxidation Process", *7th International Plant Tissue Culture & Biotechnology Conference 2013*, Dhaka, Bangladesh (2014)

●国内研究発表（基調講演，招待講演，依頼講演，一般発表，ポスター発表）

- 1) 「依頼」酒井保藏，磁気分離の基礎Ⅱ－磁気シーディングー，第8回 2009 磁気力制御・磁場応用 夏の学校，大阪・大阪市立長居ユースホステル (2009/09/04-05).
- 2) 「依頼」酒井保藏，微生物を利用した磁化活性汚泥法による水処理システム，電気学会第10回農業センサシステム専門委員会，宇都宮大学 (2010/09/27).
- 3) 「依頼」酒井保藏，サステナブル技術としての磁化活性汚泥法～磁気分離を活用した余剰汚泥ゼロエミッション、誰でも運転できる新しい汚水浄化プロセス，日本磁気学会 第13回強磁場応用専門研究会（共催：低温工学協会 2010 年度第2回磁場を用いた物質挙動制御技術に関する調査研究会），東京大学・本郷キャンパス (2010/11/19).
- 4) 「依頼」酒井保藏，磁気分離の基礎Ⅲ－磁気シーディングー，第10回 2011 磁気力制御・磁場応用 夏の学校，大阪・大阪市立長居ユースホステル (2011/08/30-31).
- 5) 「依頼」酒井保藏，"汚泥からの磁性活性炭の創成と吸着特性の評価"，技術情報センター セミナー「汚泥燃料化・炭化（活性炭化）に関する技術開発動向と利用及び今後の展望」，東京・総評会館 (2012/12/06).
- 6) 「招待」酒井保藏，落合聖史，"磁化活性汚泥法を使用すると除染はどう変わるか"，除染技術研究会，(2012) .
- 7) 「招待」酒井保藏，落合聖史，"放射能汚染除去の基礎研究としての磁化活性汚泥からの粘土粒子群の磁気分離"，第7回日本磁気科学会講演要旨集，第7回日本磁気科学会，(2012) .
- 8) 「招待」酒井保藏，"磁化活性汚泥法～活性汚泥の磁気分離と種々の水処理プロセスへ

の活用", 日本磁気学会研究会資料 17, 22, 日本磁気学会 第 184 回研究会, (2012) .

- 9) 「依頼」酒井保藏, "磁気分離の基礎Ⅱ－磁気シーディングー", 2013 磁気力制御・磁場応用 夏の学校, 神戸・しあわせの村(2013/9/6-7)
 - 10) 「招待」酒井保藏, "磁気分離を活用した廃水処理法の新展開～磁化活性汚泥法とその周辺技術～", 応用物理学会・磁気科学研究会 第 2 回講演会(東北大学) (2013/11/19)
- 他 120 件

●著書, 総説, 解説等

- 1) 「著書」物質の磁気特性を活用した精密磁気制御応用技術調査専門委員会編(共著)、電気学会技術報告書, 第 1198 号, 電気学会 p22-26, p.42-43 (2010 /7)
- 2) 「総説」酒井保藏, 磁化活性汚泥法による余剰汚泥ゼロ化—特徴とメリット—, 水と水技術, No.7, pp28-33 (2010)
- 3) 「総説」酒井保藏, 活性汚泥の磁気分離と水処理プロセスへの活用, 化学工業, 64(3), 178-182 (2013)

●特許 (外国, 国内, 公開, 出願)

- 1) 「国内」特許第 4262069 号, 酒井保藏, 石田 進, 皆方 護「磁気分離装置及びそれを用いた排水処理装置」(平成 21 年 2 月 20 日)
- 2) 「国内」特許第 4313647 号, 酒井保藏, 石田 進「排水処理装置」(平成 21 年 5 月 22 日))
- 3) 「国内」特許第 4656830 号, 酒井保藏, 石田 進, 「固液分離方法及び装置」(平成 23 年 1 月 7 日)

●受賞

- 1) 廣島浩二, 酒井保藏 第 10 回 2011 磁気力制御・磁場応用 夏の学校 優秀ポスター賞「窒素を多量に含む有機廃水の浄化に適した硝化液循環磁化活性汚泥法フローの創成」(2011 年 8 月)
- 2) 酒井康平, 酒井保藏, 中岡潤一, 第 12 回 2013 磁気力制御・磁場応用 夏の学校 優秀発表賞「ネオジム磁石を用いた市販の回転ドラム型磁気分離装置による磁化活性汚泥の分離性能評価」(2013 年 9 月)

●外部資金 (科学研究費 : 科研、奨学寄付金 : 奨学, 受託研究 : 受託, 共同研究 : 共同)
(すべて間接経費を含む)

- 1) 「科研」基盤研究(A), 2009～2011, 磁化活性汚泥法を軸とするサステイナブルな水処理法の先端的研究, 研究代表者, 47,840 千円
- 2) 「科研」基盤研究(A), 2012～2014, 磁気分離を活用した生物学的水処理技術の新領域

の創成, 研究代表者, 34,060 千円(2012～2013 年度, 2014 年度の継続分含まず)

- 3)「受託」 酒井保藏, 900 千円「めっき廃液の無害化処理システムの開発」(2009～2010, 重点地域研究開発推進プログラム(地域ニーズ即応型))
- 4)「共同」 酒井保藏, 1,000 千円「磁化活性汚泥法の酸・アルカリ表面処理廃水」プラント企業 (2011 年度)
- 5)「共同」 酒井保藏, 1,500 千円 「活性汚泥プロセスの初沈汚泥からの創エネルギーに関する先端研究費」 水処理企業 (2012 年度)
- 6)「共同」 酒井保藏, 1,000 千円「磁化活性汚泥の磁気分離装置の開発」(2012 年度)
- 7)「共同」 酒井保藏, 1,000 千円「廃水処理技術の研究」海外化学企業 (2012～2013 年度)
- 8)「共同」 酒井保藏, 2,000 千円「磁気活性汚泥の磁気分離装置の開発」磁石応用装置製造企業 (2013～2014 年度)
- 9)「共同」 酒井保藏, 500 千円「磁気活性汚泥法による高濃度排水処理の実現性検討」電気インフラ企業 (2013 年度)

●VBL プロジェクト関連の成果についての特記事項

イ) 技術相談・シーズ提供・技術講演会・成果発表

- ・ 酒井保藏,「磁化活性汚泥法による汚泥減量, 厨房除害施設への適用」水処理会社 (2010 年 1, 3 月)
- ・ 酒井保藏,「磁化活性汚泥法の染料排水への適用」繊維会社 (2010 年 3 月)
- ・ 酒井保藏,「新規水処理法についての技術相談」 水処理会社 (2009 年 4 月, 10 月)
- ・ 酒井保藏,「磁化活性汚泥法の実用化について」水処理会社 (2009 年 6 月)
- ・ 酒井保藏,「磁化活性汚泥法の厨房除害施設への適用」水処理会社 (2010 年 1 月, 3 月)
- ・ 酒井保藏,「生物処理による脱色について」繊維会社 (2010 年 3 月)
- ・ 酒井保藏,「殺菌剤を含む有機排水への生物処理の適用」コンサルタント (2010 年 5, 6 月)
- ・ 酒井保藏,「磁化活性汚泥法の可搬型パイロットプラントの製作について, 金属表面処理排水への磁化活性汚泥法の適用について(23 年度 A-Step 申請中)」プラント会社 (2010 年 6, 7, 11 月, 2011 年 2 月)
- ・ 酒井保藏,「マグネタイトの新規応用シーズについて」鉄鋼加工企業 (2010 年 6 月)
- ・ 酒井保藏,「洗剤・歯磨工場排水への磁化活性汚泥法の適用について」海外企業 (2010 年 7 月, 2010 年 9 月, 2010 年 12 月(現地視察))
- ・ 酒井保藏,「超高温 UASB 法への磁気分離の適用について」ガス会社 (2010 年 8, 10 月)
- ・ 酒井保藏,「磁化活性汚泥法の中国での利用について」張 延栄 (華中科技大学)

(2010 年 10 月)

- ・酒井保藏,「磁気を応用した水処理技術の新展開について」電子部品企業

(2011 年 1 月)

- ・技術相談 「下水汚泥からのバイオガス精製に関する研究協力の依頼」水処理企業

(2012 年 4 月)

- ・シーズ提供 「磁化活性汚泥法のパイロットプラントの説明・設計・建設について」

海外企業 (2012 年 6 月 その後、国際共同研究に発展)

- ・講演会 「VPSA によるメタンガス精製技術に関する講演会」を宇都宮大学にて開催。
宇都宮市水再生センター職員、宇都宮市職員、企業の技術者、宇都宮大学教員など約
40 名が聴講。 (2012 年 6 月)

- ・シーズ提供 「磁化活性汚泥の磁気分離装置に関する相談」 磁石応用装置製造企業
(2012 年 7 月)

- ・成果発表会「VPSA によるメタンガス精製実証試験の中間報告会および実証プラント
見学会」を宇都宮市水再生センター内の会議室および実証プラント施設で開催。
40 名程度の水再生センター職員、宇都宮市職員、関連企業の技術者が参加。

(2012 年 9 月)

- ・技術相談「食品工業廃水の処理に関する技術相談」 県内食品製造企業

(2012 年 11 月)

- ・技術相談 「食品工業廃水の処理に関する技術相談」 水処理企業 (2013 年 2 月)
- ・技術相談 「酪農廃水処理に関する技術相談」 県内水処理企業 (2013 年 8 月)
- ・技術相談 「食品廃水処理に関する技術相談」 2013 年酪農廃水処理に関する技術相
談」 県内水処理企業 (2013 年 11 月, 1 月, 3 月)

など

ロ) 海外研究者受入 4 件 (継続的な国際協同研究)

- ・酒井保藏,「磁化活性汚泥法に関する国際共同研究」 Mihir Lal Saha 教授 (Dhaka 大)
(2009 年 10 月～12 月, 研究室に滞在して共同研究を実施)
- ・酒井保藏,「磁化活性汚泥法に関する国際共同研究」 Mihir Lal Saha 教授 (Dhaka 大)
(2011 年 4 月～6 月, 2 カ月間研究室に滞在して共同研究を実施)
- ・酒井保藏,「磁化活性汚泥法に関する国際共同研究」 Mihir Lal Saha 教授 (Dhaka 大)
(2012 年 10 月～12 月, 2 カ月間研究室に滞在して共同研究を実施)
- ・酒井保藏,「磁化活性汚泥法に関する国際共同研究」 Mihir Lal Saha 教授 (Dhaka 大)
(2013 年 10 月～12 月, 2 カ月間研究室に滞在して共同研究を実施)

ハ) オープンキャンパス等の VBL 研究成果発表に毎回参加

超臨界二酸化炭素を用いた高機能性材料製造システムの開発

葭田真昭(准教授)*¹

*1 大学院工学研究科物質環境化学専攻 yoshidam@cc.utsunomiya-u.ac.jp

1. 超臨界二酸化炭素を媒体に用いた酸素酸化による架橋ポリエチレンの熱可塑性化

1.1 緒言 電力ケーブルは、経年使用後に銅を再利用するために回収されている。その被覆材である絶縁材料は、絶縁性と加工性が良好なために低密度ポリエチレンが用いられている。これらのポリエチレンは送電時の発熱で融けて変形しないように化学的な架橋処理がされており、そのために加熱溶融してマテリアルリサイクルすることが難しい。その結果、回収されている年間1万トンの大部分が燃料化されている。これらのポリオレフィンと石油と同等の資源価値があり、資源の次世代への継承という意義から、これらの有効なリサイクル技術を開発することは急務である。

我々は、臨界温度 31℃、臨界圧力 7.3MPa と比較的扱いやすい超臨界二酸化炭素(scCO₂)を媒体とし、その高浸透性、高拡散性、溶解性などの機能を利用し、二酸化窒素や過酸化水素水を用いた酸化反応を過酸化架橋ポリエチレン(XLPE)に対して行って選択的に架橋部を酸化し熱可塑性を回復させる。本研究では、この手法を用いて架橋ポリエチレンの架橋部を、最も安価な酸化剤である分子状酸素により選択的に酸化開裂することで、熱可塑性の回復を検討した。

1.2 実験・結果 反応は 50ml のステンレス製オートクレーブ(加圧容器)に板状の XLPE 試料(0.5 g, 4×6×1 mm, ゲル分率 82%)を加えておこなった。生成物のゲル分率は、JIS C3005 に準拠して測定した。

分子状酸素を用いて酸素量と反応温度を検討したところ、XLPE を 0.5 g に対して分子状酸素を 6.0 g 加えて 1 時間反応すると 150℃まではほとんど酸化が進行しなかった。反応温度を 160℃にするとゲル分率が一気に 0%に低下し、得られたものの IR は 1710 cm⁻¹に吸収があり、切断末端はカルボキシル基となっていることが示唆されたが、引っ張ると脆く分子量は低下しており、選択的な酸化反応にならなかった。

酸素を希釈して用いようと、乾燥空気を加えて同様に検討したところ、170℃以上でないとゲル分率は低下せず、生成物は脆く選択性は低いことがわかった。

次に酸素を二酸化炭素で希釈して検討した。XLPE を 0.5 g に対して分子状酸素 1～3 g を二酸化炭素で希釈して加え反応温度と反応圧力を検討したところ、Fig.1 のように 160℃、1 時間の反応では、二酸化炭素量で反応圧力を調整することにより反応が制御できることがわかった。しかし、酸素量が 3 g のときには 10 MPa 以上でゲル分率がかなり低下したが、いずれの圧力の場合の生成物も引っ張ると脆くちぎれ、架橋部を選択的に酸化するには 160℃ 以下での処理が必要と思われた。

Leitner らは超臨界二酸化炭素中でシクロオクタンを酸素酸化する際に、アセトアルデヒドを添加するとアセトアルデヒドが過酸化アシルラジカルを生じて酸化反応を促進することを報告している。架橋ポリエチレンの酸化の際にアルデヒドの添加を試みたところ、160℃ 以下の反応温度で上と同様な酸化反応が起こることがわかった (Scheme 1)。アセトアルデヒド以外にベンズアルデヒドや *t*-ブチルアルコールも添加効果が認められ、中でもブチルアルデヒドやイソブチルアルデヒドが特

に有効で、120℃ でもゲル分率を 10% 程度に下げることができた。また、生成物は以前より脆くなく、反応温度の低下が酸化反応の選択性に寄与することが明らかとなった。

反応処理スケールをこれまでの 4 倍にして、XLPE を 2.0 g 用い反応温度やブチルアルデヒド量の検討を行ったところ、均一性に欠ける生成物となった。ブチルアルデヒドの XLPE への収着段階の不均一性が原因と考え、室温 30 分間の収着過程後に分子状酸素(1.0 g)と二酸化炭素を加えて 120℃ に加熱し 9 MPa で 1 時間反応した (Fig. 2)。その結果、ブチルアルデヒド量に依存してゲル分率が徐々に低下し、反応を自在にコントロール可能であることが明らかとなった。

ブチルアルデヒドを 0.6 g 使用したときにはゲル分率が 9% となり、生成物の平均分子量を測定したところ、ベースポリマーと同等の高分子量体を最も多く残していることがわかった。このことから、アルデヒドを用いない酸素酸化反応に比べ架橋部をより選択的に酸化し、

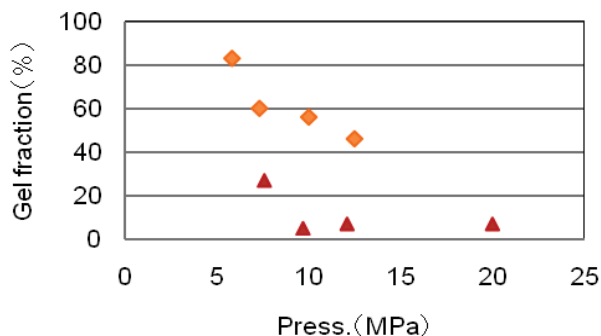
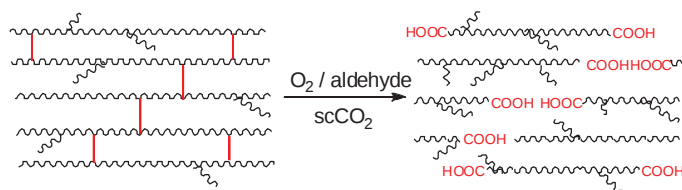


Fig. 1. Oxidation of XLPE(0.5 g) with O₂ (◆ 2 g; ▲ 3 g) and carbon dioxide at 160℃ for 1h.



Scheme 1. Plasticity recovery of XLPE by selective oxidation of XLPE with O₂ and aldehyde in scCO₂.

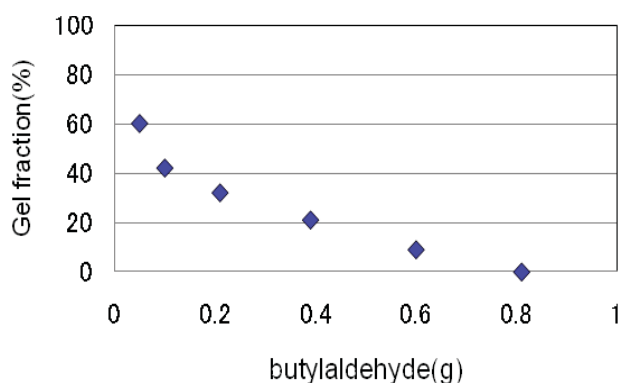


Fig. 2. Oxidation of XLPE(2.0 g) with O₂(1.0 g) and butylaldehyde in scCO₂ (9 MPa) at 120℃ for 1h.

XLPE の熱可塑性を回復することができた。シラン架橋ポリエチレンに対しても、超臨界二酸化炭素中、分子状酸素とブチルアルデヒドを用いて同様な条件で処理したところ、同様に熱可塑性化することができた。

2. 二酸化炭素を媒体とした高純度オゾンによるオレフィンのオゾン酸化と安全性検証

2.1 緒言 オゾン酸化反応はオゾンが炭素 - 炭素二重結合に選択的に反応し、カルボン酸やアルデヒド、ケトンが得られることから天然物の構造決定や有機化合物の官能基変換に実験室では 100 年以上前から多用されてきた。しかし、オゾン酸化は触媒を用いることなく効率のよい反応をするにもかかわらず、爆発のリスクのため工業的に利用することは非常に限られてきた。

オゾン酸化反応に用いるオゾンは酸素ガスをオゾンナイザーに通じて得られる低純度(数%)のオゾンが O_3/O_2 として使われ、支燃物である酸素が大量に供給される反応となっている。燃焼の 3 要素(可燃物、支燃物、着火源)のうち 1 つでも除去すれば爆発は起こらないとされており、本研究は酸素を除去した



Fig.3 高純度
 O_3 in CO_2

高純度オゾンを二酸化炭素で希釈した中でオゾン酸化反応することを検討した。

2.2 実験・結果 オゾンナイザーから得られる純度 6% O_3/O_2 を $-60^\circ C$ に冷却した SiO_2 に通じるとオゾンが吸着され、Ar や CO_2 で脱着すると純度 17%のオゾンが得られた。 O_3/O_2 を液体窒素で液化後真空ポンプで酸素を除去すると高純度オゾンが得られ、冷却したシリカゲルに吸着した後 CO_2 で脱着した(Fig.3)。

1-オクタデセンのオゾン酸化を CO_2 中、高純度オゾンと純度 12%の濃縮オゾンを用

いた場合を比較したところ、高純度オゾンを用いた場合には相当するアルデヒドとカルボン酸が等モル生成したのに対し、濃縮オゾンをではカルボン酸の割合が多くなり、オゾン酸化以外の酸化反応の関与が示唆された。そこで、エーテル類と種々の純度のオゾンとの反応で過酸化物の生成割合を調べた(Table 1)。オゾン純度が高い方が過酸化物の生成が抑制され、高純度(95%)オゾンを用いた場合には過酸化物は 1%程度になった。オゾンを Ar で希釈したものより CO_2 を媒体とした方が過酸化物の生成が抑制された。

高純度オゾンを用い二酸化炭素中でのオゾン酸化反応は、燃焼の 3 要素のうち支燃剤を除去したばかりでなく、着火源となる不要な過酸化物の生成をなくすことになり、2 要素がなくなった安全性の高いオゾン酸化反応法となった。

Table 1. Peroxide formation by the reaction of ethers with ozone at $-20^\circ C^a$

ozone/ dilution medium	ozone purity %	method	peroxide, % ^b	
			ether	THF
ozonizer- O_3/O_2	6	blow	55	44
conc- O_3/Ar	23	blow	25	14
conc- O_3/CO_2	17	blow	12	7
conc- O_3/CO_2	17	batch	12	11
pure- O_3/CO_2	95	batch	1	1

a. Ethers(10 mL) were reacted with ozone(2 mmol) at $-20^\circ C$ for 1 min. b.The yields based on ozone were calculated with iodometry of the ether solutions.

プロジェクト 22 超臨界二酸化炭素を用いた高機能性材料製造システムの開発

(担当者) 葭田真昭

●原著論文 (外国, 国内)

- 1) Md. Mufazzal Hossain, Kenichi Iimura, Masaki Yoshida, Takaya Sakai, Teiji Kato, “Effect of head groups on the phase transitions in Gibbs adsorption layers at the air–water interface”, J. Colloid Interface Sci., 348 (2010) 146-151.
- 2) 葭田真昭, 二酸化炭素を媒体とした環境調和型の芳香族ニトロ化反応—京大法ニトロ化の展開—, ケミカルエンジニアリング, 57(3), 192-196 (2012)

●国際会議発表(plenary lecture:PL,invited speaker:IS,oral presentation:OP,poster presentation:PP)

- 1) *PP* M. Yoshida, T. Haneishi, S. Tamiya, “Ozonization of Olefins with High Purity Ozone in Carbon Dioxide”, *6th International Conference on Green and Sustainable Chemistry*, Nottingham (2013)

●国内研究発表 (基調講演, 招待講演, 依頼講演, 一般発表, ポスター発表)

- 1) 「依頼」 葭田真昭, 小林亮介, 後藤敏晴, 山崎孝則 “超臨界二酸化炭素を媒体に用いた選択的酸化による架橋ポリエチレンの熱可塑性”, 第 58 回高分子討論会, 熊本大学工学部 (2009)
- 2) 「依頼」 葭田真昭 小林亮介 後藤敏晴 “超臨界二酸化炭素を媒体に用いた酸素酸化による架橋ポリエチレンの熱可塑性”, 第 59 回高分子討論会, 北海道大 (2010)
- 3) 「依頼」 葭田 真昭 田中晴隆 “ポリ乳酸からラクチドへの低温解重合反応”, 第 60 回高分子討論会, 岡山 (2011)
- 4) 「一般」 葭田真昭, 澤井 亮 “超臨界二酸化炭素中での京大法ニトロ化”, 化学工学会 第 44 回秋季大会, 仙台 (2012)
- 5) 「一般」 城間正矢, 葭田真昭, “Kolbe-Schmitt 反応における反応温度について” 日本化学会第 92 春季年会, 横浜 (2012)
- 6) 「一般」 羽石達哉, 葭田真昭, “二酸化炭素を媒体とした高純度オゾンによる末端オレフィンのオゾン酸化”, 横浜 (2012)
- 7) 「ポ」 葭田真昭 船山泰弘 後藤敏晴 山崎孝則, “超臨界二酸化炭素中 NO₂ を用いた選択的酸化による架橋ポリエチレンの熱可塑性”, 第 9 回グリーン・サステイナブルケミストリーシンポジウム 東京(2009)
- 8) 「ポ」 池田雄太・葭田真昭, “ルテニウム触媒を用いた超臨界二酸化炭素によるウレタン合成”, 日本化学会第 4 回関東支部大会 筑波大(2010)
- 9) 「ポ」 葭田真昭, 羽石達哉, 田宮祥栄 “二酸化炭素を媒体とした高純度オゾンによるオレフィンのオゾン酸化と安全性検証”, 第 2 回 JACI/GSC シンポジウム, 大阪

(2013)

- 10) 「ポ」 葭田真昭 佐藤敬士 “PVA の酸化によるベータポリケトン^①の創生およびその貴金属抽出能”，第 62 回高分子討論会，金沢(2013)

●著書，総説，解説等

- 1) 「著書」 葭田真昭，プラスチックの資源循環のための化学と技術、高分子学会 (2010)
2) 「著書」 葭田真昭，リサイクル・廃棄物辞典 産業調査会 (2012)
3) 「著書」 葭田真昭，新しい溶媒を用いた有機合成 S&T 出版(2013)

●特許（外国，国内，公開，出願）

- 1) 「国内」 登録、葭田真昭、船山泰弘、後藤敏晴、山崎孝則「架橋ポリマーのリサイクル方法」（平成 23 年 2 月）
2) 「国内」 登録、葭田真昭 松島輝幸「アスベスト含有被処理体の無害化方法及び無害化装置」（平成 23 年 10 月）
3) 「国内」 登録、葭田真昭、後藤敏晴、芦原新吾「架橋ポリマーのリサイクル方法」（平成 24 年 4 月）
4) 「国内」 登録、葭田真昭「アルデヒド類の製造方法」（平成 23 年 11 月）
5) 「国内」 登録、葭田真昭 松島輝幸「基準処理シート及びアスベスト含有材を無害化する処理方法の決定方法」（平成 23 年 12 月）
6) 「国内」 登録、葭田真昭、後藤敏晴、芦原新吾「架橋ポリマーのリサイクル方法」（平成 24 年 4 月）
7) 「国内」 登録、葭田真昭「二酸化炭素の高度固定化物」（平成 24 年 8 月）
8) 「外国」 登録、葭田真昭 松島輝幸「基準処理シート及びアスベスト含有材を無害化する処理方法の決定方法」韓国（平成 24 年 12 月）
9) 「外国」 登録、葭田真昭、小林亮介、後藤敏晴「Method of treating polymer with carbon-carbon bond framework and product obtained by the treating method 炭素－炭素結合からなる骨格を有するポリマーの処理方法及び該処理方法により得られた生成物」米国（平成 25 年 3 月）
10) 「外国」 登録、葭田真昭「Method for producing oxygen-containing compound 含酸素化合物の製造方法」米国（平成 25 年 12 月）
11) 「国内」 公開、葭田真昭、折居成人、澤口孝志、佐々木大輔、星 徹「含酸素ポリオレフィンの製造方法及びそれにより得られるカルボニル基含有ポリオレフィン」（平成 23 年 3 月）
12) 「国内」 公開、葭田真昭、小林亮介、後藤敏晴「炭素－炭素結合からなる骨格を有するポリマーの処理方法及び該処理方法により得られた生成物」（平成 23 年 7 月）
13) 「外国」 公開、葭田真昭、小林亮介、後藤敏晴「炭素－炭素結合からなる骨格を有す

- るポリマーの処理方法及び該処理方法により得られた生成物」中国（平成 23 年 7 月）
- 14) 「外国」公開、葭田真昭「Method for producing oxygen-containing compound 含酸素化合物の製造方法」ヨーロッパ（平成 23 年 12 月）
 - 15) 「国内」公開、葭田真昭「含酸素化合物の製造方法」（平成 24 年 8 月）
 - 16) 「国内」公開、葭田真昭「ラクチドの製造方法」（平成 24 年 8 月）
 - 17) 「外国」公開、葭田真昭、松島輝幸「基準処理シート及びアスベスト含有材を無害化する処理方法の決定方法」中国（平成 24 年 11 月）
 - 18) 「外国」出願、葭田真昭「Method for producing oxygen-containing compound 含酸素化合物の製造方法」中国（平成 23 年 9 月）
 - 19) 「国内」出願、葭田真昭、佐藤敬士「ベータポリケトン¹の製造方法、ベータポリケトン²、特定金属イオン抽出剤の製造方法及び特定金属イオン抽出剤」（平成 25 年 8 月）

●受賞

- 1) 葭田真昭，日本空気清浄協会賞論文賞「ポリ乳酸からなるフィルタろ材の評価」（2009 年 5 月）
- 2) 池田雄太，葭田真昭，日本化学会関東支部優秀ポスター賞「ルテニウム触媒を用いた超臨界二酸化炭素によるウレタン合成」（2010 年 9 月）
- 3) 田中晴隆，生江美穂，篠崎紀大，葭田真昭，高分子学会グリーンケミストリー研究会ポスター賞「ポリ乳酸からラクチドへの簡便なりサイクル」（2011 年 1 月）

●外部資金（科学研究費：科研、奨学寄付金：奨学，受託研究：受託，共同研究：共同）

- 1) 「科研」 葭田真昭，1,000 千円「二酸化窒素を用いたポリオレフィンの酸化により高付加価値物質の合成」（平成 21 年）
- 2) 「受託」 葭田真昭，1300 千円「テルペン類の新規オゾン化法による医薬品原料合成」科学技術振興機構，（平成 22 年）
- 3) 「共同」 葭田真昭，600 千円「超臨界二酸化炭素中の酸化反応による架橋ポリエチレンのリサイクル技術とその応用展開の検討」日立電線(株)，（平成 21 年）
- 4) 「共同」 葭田真昭，2,000 千円「二酸化炭素を原料とするイソシアネートの合成反応の開発」昭和電工(株)，（平成 21 年）
- 5) 「共同」 葭田真昭，500 千円「酸を用いた効率的なアスベスト無害化処理法の確立」(株) 環境管理研究所，（平成 21 年）
- 6) 「共同」 葭田真昭，600 千円「超臨界二酸化炭素中の酸化反応による架橋ポリエチレンのリサイクル技術とその応用展開の検討」日立電線(株)，（平成 22 年）
- 7) 「共同」 葭田真昭，500 千円「酸を用いた効率的なアスベスト無害化処理法の確立」(株) 環境管理研究所，（平成 22 年）
- 8) 「共同」 葭田真昭，1000 千円「Kolbe-Schmitt 反応に関する研究」帝人(株)

(平成 23 年)

- 9) 「共同」 葭田真昭, 1000 千円「超臨界 CO₂ を媒体とするエステル化反応を用いた高熱伝導モノマーの研究」三菱瓦斯化学(株) (平成 24 年)
- 10) 「共同」 葭田真昭, 210 千円「タイトル非公開」大阪ガスケミカル(株), ダイダニ(株) (平成 24 年)
- 11) 「共同」 葭田真昭, 1000 千円「超臨界 CO₂ を媒体とする化反応を用いた高熱伝導モノマーの研究」三菱瓦斯化学(株) (平成 25 年)
- 12) 「共同」 葭田真昭, 420 千円「タイトル非公開」大阪ガスケミカル(株), ダイダニ(株) (平成 25 年)
- 13) 「奨学」 日本無機(株) (平成 21 年)
- 14) 「奨学」 日立電線(株) (平成 21 年)
- 15) 「奨学」 日立電線(株) (平成 22 年)
- 16) 「奨学」 豊田合成(株) (平成 23 年)

●VBL プロジェクト関連の成果についての特記事項

ニ) 技術指導 4 件

葭田真昭, 「イオウ架橋ゴムの熱可塑化」豊田合成(株) (2009 年 10 月), 「架橋ゴムの可塑化反応について」豊田合成(株) (2010 年 5 月), 「亜臨界技術を活用した、無電解ニッケルめっき廃液内の有機・無機塩類の分解、除去(基礎実験)」桑名商事(株) (2010 年 7 月), 「超臨界二酸化炭素条件下のゼオライトの吸着平衡制御」(株) イオン (2011 年 6 月)

ホ) 講演会 4 件

葭田真昭「超臨界流体を用いた環境技術」第 1 回環境産業懇話会 とちぎ環境産業振興協議会 (2010 年 9 月), 「新規オゾン酸化システムによる医薬品原料合成」首都圏北部 4 大学「新技術説明会」(2011 年 6 月), 「超臨界 CO₂ を用いた有機反応と高分子材料の反応」R&D 支援セミナー (2012 年 2 月), 「超臨界 CO₂ を用いた有機反応と高分子材料の反応」サイエンス&テクノロジー支援セミナー (2013 年 1 月)

高性能・高機能性コンクリートの開発と応用

杉山 央(教授)^{*1}，藤本 郷史(講師)^{*1}，榎田 吉弘(名誉教授)^{*1}

^{*1} 大学院工学研究科地球環境デザイン学専攻 sugisugi@cc.utsunomiya-u.ac.jp

1. 研究の目的

近年、建築物の高層化・大型化に伴い主要材料であるコンクリートの性能・機能（強度・耐久性・施工性・環境配慮）の向上が求められている。本研究は、このような高性能・高機能コンクリートおよび産業副産物を混入した環境配慮型コンクリートの開発を主な目的とし、材料性能の評価技術の開発および建築物に要求される性能向上への応用を図るものである。種々の高性能・高機能コンクリートを対象として研究を行ってきたが、本報告書には3つの代表的なものを示す。

2. 高強度プレキャストコンクリートの製造技術

マンション等を建設する際にプレキャストコンクリート工法を採用するケースが増えている。プレキャストコンクリート工法とは、あらかじめ工場で壁、床、柱、梁などのコンクリート部材を製造し、図1に示すように建設現場でそれらを模型のように組み立てる工法である。安定した品質の確保、工期短縮などのメリットを有する。



図1 高強度プレキャストコンクリート
(左は柱部材、右は柱部材に梁部材
を取り付けた様子。)

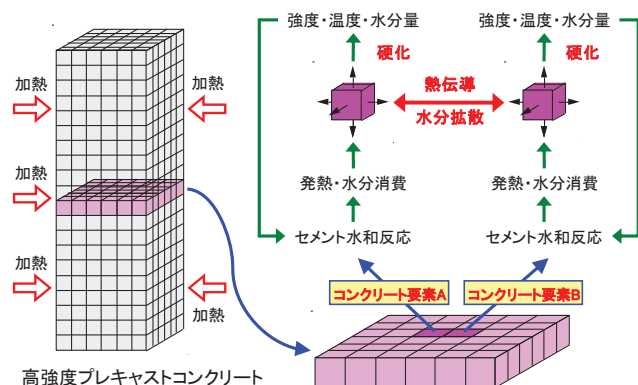


図2 高強度プレキャストコンクリートの
発熱・熱伝導・水分拡散のモデル化

このようなことから、最近では高層建築物に用いるための強度の高いプレキャストコンクリートへの期待が高まっている。本研究では、品質の高い高強度プレキャストコンクリートを効率的に製造するための技術開発を行った。高強度プレキャストコンクリートでは、外部からの加熱と内部での発熱が複雑に作用して、水分挙動や強度に大きな影響が現れる。そこで、図2に示すように高強度プレキャストコンクリート中の発熱、熱伝導、水分拡散の現象を数値解析によって計算し、これらが強度に及ぼす影響を推定するシステムを開発した。

3. コンクリート細骨材への事前混合によるフライアッシュの有効利用

現在の社会情勢に伴う火力発電所の発電量増加により、図3に示す石炭の燃焼灰であるフライアッシュ (FA) が多量に発生している。このため、FA の新たな利用分野の開拓が望まれている。一方、コンクリートの細骨材に関しては、良質な川砂の枯渇により、近年では砕砂の利用が増加している。しかし、砕砂は微粒分が少ないため、良好なコンクリートフレッシュ性状が得られない。そこで、砕砂に FA を混合して微粒分を補い、FA を有効利用することを考えた。図4に示す砕砂と FA を事前に混合した細骨材 (FAS) をコンクリートに用い、フレッシュ性状および強度特性を調べたところ、悪影響は認められず、今後耐久性等を調べる必要があるが、実用化の可能性が大きく開かれた。



図3 FAのSEM写真

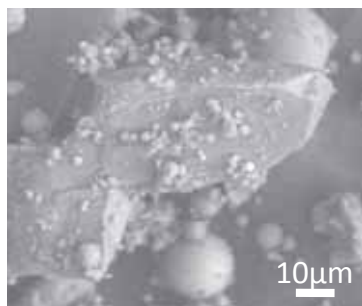


図4 FASのSEM写真

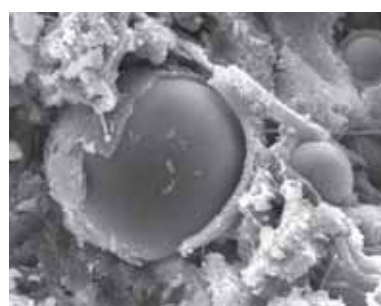


図5 FAのポゾラン反応

4. 建築外装材として用いられる大谷石の補修のための擬石モルタルの開発

大谷石は古くから建築外装材として用いられてきたが、補修が必要となるケースが多々ある。図6に示すように不適切な補修モルタルが使われると、色調が合わないことに加えて、補修箇所からひび割れが生じるなどの問題が発生する。そこで、図7に示すような大谷石の補修に最適な擬石モルタルを開発し、建築外装材用大谷石の補修に役立てることとした。



図6 大谷石の不適切な補修

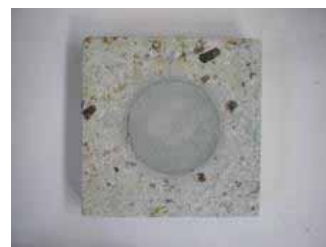
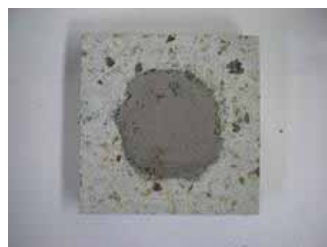


図7 大谷石の補修状況の比較

(左が従来のモルタル、右が開発した擬石モルタル)

プロジェクト 23 高性能・高機能コンクリートの開発

(担当者) 杉山央, 藤本郷史, 榊田吉弘

●原著論文 (外国, 国内)

- 1) 大久保孝昭, 藤本郷史, 吉峰侑吾, 杉山央, 角倉英明, 古賀純子: コンクリートのトレーサビリティ確保のための IC タグの活用技術 –製造時に投入する IC タグの評価–, 日本建築学会技術報告集, 第 18 巻, 第 38 号, pp.31-36 (2012)
- 2) 泉田裕介, 榊田佳寛, 杉山央, 石東昇: 高炉スラグ細骨材を用いたコンクリートの乾燥収縮に関する研究, コンクリート工学年次論文集, 日本コンクリート工学会, Vol.34, No.1, pp.394-399 (2012)
- 3) 森本悠, 榊田佳寛, 杉山央, 鹿毛忠継: コンクリートへの塩化物浸透挙動に関する長期暴露試験, コンクリート工学年次論文集, 日本コンクリート工学会, Vol.34, No.1, pp.808-813 (2012)
- 4) 峯竜一郎, 杉山央, 榊田佳寛: 各種形状・断面厚を有する高強度プレキャストコンクリートの強度特性に関する基礎研究, コンクリート工学年次論文集, 日本コンクリート工学会, Vol.34, No.2, pp.475-480 (2012)
- 5) 角倉英明, 大久保孝昭, 杉山央, 有川智, 古賀純子, 平出務: トレーサビリティと IC タグ利用に対する生コンクリート製造者の意識に関するアンケート調査, 日本建築学会技術報告集, 第 18 巻, 第 40 号, pp.823-828 (2012)
- 6) 江里口玲, 杉山央, 角倉英明, 大久保孝昭, 高橋英孝: コンクリートのトレーサビリティ確保のための IC タグの活用技術 –コンクリート舗装施工実験–, 日本建築学会技術報告集, 第 18 巻, 第 40 号, pp.829-834 (2012)
- 7) 大野吉昭, 榊田佳寛, 鹿毛忠継: コンクリートの乾燥収縮に及ぼすセメントおよび混和材料の種類の影響, 日本建築学会構造系論文集, 第 77 巻, 第 678 号, pp.1167~1173 (2012)
- 8) 小泉信一, 榊田佳寛: 200N/mm² 級高強度コンクリートにおけるセメントおよびシリカフュームの強度寄与効果, 日本建築学会構造系論文集, 第 77 巻, 第 679 号, pp.1367-1373 (2012)
- 9) 掛川勝, 榊田佳寛, 松林裕二, 鹿毛 忠継: コンクリート中の鉄筋腐食速度に及ぼす各種要因の影響に関する腐食促進実験, 日本建築学会構造系論文集, 第 77 巻, 第 681 号, pp.1613-1622 (2012)
- 10) 起橋孝徳, 榊田佳寛: 既存建物のタイル仕上げに生じているひずみの評価方法に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, 第 77 巻, 第 675 号, pp.679-684 (2012)
- 11) 石川伸介, 杉山央, 陣内浩: プレキャストコンクリートの部材種類および強度レベルに応じた計画調合策定に関する研究 –計画調合策定におけるプレキャスト部材同一養生供試体強度の適用範囲–, 日本建築学会構造系論文集, 第 78 巻, 第 685 号 (2013)

- 12) 杉山央, 角倉英明, 江里口玲: IC タグを活用したコンクリートのトレーサビリティ確保技術ーコンクリート中に投入する IC タグの必要数量算出手法ー, 日本建築学会構造系論文集, 第 78 巻, 第 688 号 (2013)
- 13) 藤本郷史, 吉峰侑吾, 平原悠生, 大久保孝昭: パッシブ型 RFID タグ・センサを鉄筋コンクリート部材に埋設する場合の通信性能評価法, および壁・スラブ部材への適用, 日本建築学会構造系論文集, Vo.78, No.684, pp.241-249 (2013)
- 14) 藤本郷史, 平原悠生, 大久保孝昭: 鉄筋コンクリート部材内に埋設された RFID タグとの通信性能を指標とした非破壊な鉄筋腐食検知, 日本コンクリート工学協会年次論文集, Vol.35, No.1, pp. 1885-1890 (2013)

●国際会議発表(plenary lecture:PL,invited speaker:IS,oral presentation:OP,poster presentation:PP)

- 1) *OP* H. Sugiyama, "Communication performance of IC tag embedded into concrete for the purpose of information traceability", *Second Conference on Smart Monitoring, Assessment and Rehabilitation of Civil Structures*, Istanbul (2013)

●国内研究発表(基調講演, 招待講演, 依頼講演, 一般発表, ポスター発表)

- 1) 「基調」 杉山央: 「コンクリートのトレーサビリティに関する研究の動向と近年の自然災害による建物被害」, 茨城県生コンクリート品質管理監査会議講演会基調講演, 茨城県つくば市(2012)
- 2) 「一般」 立木啓, 梶田佳寛, 杉山央, 李榮蘭: 高炉スラグ細骨材を利用した高強度コンクリートの構造体における長期強度発現に関する研究, 日本建築学会 2012 年大会, 名古屋 (2012)
- 3) 「一般」 堀池一男, 杉山央: プレキャストコンクリート製品の表面色に関する基礎研究, 日本建築学会 2012 年大会, 名古屋 (2012)
- 4) 「一般」 峯竜一郎, 杉山央, 梶田佳寛, 李榮蘭: 部材厚の大きなプレキャストコンクリートの新たな強度管理方法に関する基礎研究, 日本建築学会 2012 年大会, 名古屋 (2012)
- 5) 「一般」 小野克也, 梶田佳寛, 杉山央, 李榮蘭, 阿部道彦: コンクリートの中性化速度係数に関する理論的解析, 日本建築学会 2012 年大会, 名古屋 (2012)
- 6) 「一般」 李曉赫, 梶田佳寛, 杉山央, 李榮蘭: 寒中コンクリートにおける耐寒剤の効果に関する研究, 日本建築学会 2012 年大会, 名古屋 (2012)
- 7) 「一般」 泉田裕介, 梶田佳寛, 杉山央, 李榮蘭: コンクリートの乾燥収縮に及ぼす調合要因の影響に関する解析的研究, 日本建築学会 2012 年大会, 名古屋 (2012)
- 8) 「一般」 高野朋矢, 梶田佳寛, 杉山央, 李榮蘭: 施工中に外力を受けたコンクリートの強度性状に関する基礎研究ー圧縮力を受けた場合, 日本建築学会 2012 年大会, 名古屋 (2012)
- 9) 「一般」 藤本郷史: 建築物の履歴情報としての工事写真の信頼性確保技術が備えるべき条

件の分析，日本建築学会 2013 年大会，札幌（2013）

- 10) 「一般」南谷崇文，青木孝義，藤本郷史，湯浅昇：階上解体工事における建築物の安全性評価に関する研究－解体用什器のアームおよびキャタピラー位置の変化が床板サポートに与える影響－，日本建築学会 2013 年大会，札幌（2013）

他 50 件

●著書，総説，解説等

- 1) 「著書」杉山央ほか 1 名：建築材料第四版，市ヶ谷出版（2010）
- 2) 「著書」梶田佳寛，杉山央ほか 13 名：日本建築学会建築工事標準仕様書・同解説 JASS10 プレキャスト鉄筋コンクリート工事，日本建築学会（2013）
- 3) 「著書」梶田佳寛，杉山央ほか 13 名：日本建築学会建築工事標準仕様書・同解説 JASS5N 原子力発電所施設における鉄筋コンクリート工事，日本建築学会（2013）
- 4) 「著書」梶田佳寛：良好な鉄筋コンクリート造建築物を造るために，セメントジャーナル社（2012）
- 5) 「著書」杉山央ほか 14 名：高強度コンクリート施工指針・同解説，日本建築学会（2013）
- 6) 「解説」杉山央：水和熱と温度上昇，C3 クリップボード [コンクリート化学編]，セメント協会（2013）

●特許（外国，国内，公開，出願）

- 1) 「国内」出願，藤本郷史「画像改竄検出装置，方法およびプログラム」（平成 24 年 7 月）

●外部資金（科学研究費：科研、奨学寄付金：奨学，受託研究：受託，共同研究：共同）

- 1) 「科研」杉山央，コンクリートのトレーサビリティ管理システム開発に向けての基礎研究，4,160 千円，研究代表，挑戦的萌芽研究（平成 24～25 年）
- 2) 「科研」藤本郷史，世界の長期発展に係る鋼材のダイナミックマテリアルフロー分析，2,800 千円，研究分担，基盤研究（A）（平成 25～27 年）
- 3) 「科研」藤本郷史，環境配慮型製造施工のためのコンクリート材料工場の分析，3,400 千円，研究代表，若手研究（B）（平成 24～26 年）
- 4) 「奨学」梶田佳寛，低環境負荷建築材料の研究，400 千円，株式会社奥村組技術研究所（平成 24 年）
- 5) 「奨学」梶田佳寛，学術研究に要する助成，600 千円，BASF ポゾリス株式会社（平成 24 年）
- 6) 「奨学」梶田佳寛，高炉セメント・高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの性質に関する実験的研究，500 千円，新日鐵高炉セメント株式会社（平成 24 年）
- 7) 「奨学」杉山央，フライアッシュ（FA サンド含）に関する研究の助成，2,000 千円，株式会社関電パワーテック（平成 25 年）

- 8)「奨学」藤本郷史，解体工事のモニタリング計測を通じた作業安全性向上に関する研究－解体工事の実測データを用いた分析－，400 千円，(社)全国解体工事業団体連合会（平成 25 年）
- 9)「共同」梶田佳寛，国土交通省建築基準整備促進事業，コンクリート造建築物の劣化対策に関する基準の整備に資する検討，550 千円，大成建設株式会社（平成 24 年）
- 10)「共同」杉山央，国土交通省建築基準整備促進事業，コンクリート造建築物の劣化対策に関する基準の整備に資する検討，2,000 千円，大成建設株式会社（平成 25 年）

超自律型並列分散ネットワークコンピューティングシステム の研究開発

横田隆史（教授）^{*1}，大津金光（准教授）^{*1}，馬場敬信（教授）^{*2}，大川猛（助教）^{*3}

- *1 大学院工学研究科情報システム科学専攻 {yokota, kim}@is.utsunomiya-u.ac.jp
- *2 大学院工学研究科情報システム科学専攻（2012 年度）
- *3 大学院工学研究科情報システム科学専攻（2011～）ohkawa@is.utsunomiya-u.ac.jp

1. はじめに

現在多くの分野で用いられているマイクロプロセッサは、半導体技術の向上を背景として今後も性能向上が期待されている。動作周波数の向上による性能改善は、既に消費電力の制約から抑えられているため、1つのLSIチップの上に搭載するプロセッサ・コアの数を増すメニーコア化が急速に進んでいる。こうしたメニーコアによる性能向上を真に享受するには、予め作られたシナリオに沿った並列動作を行う従来の並列処理技術では不十分であり、構成技術・利用技術の両面からのブレークスルーが強く求められている。

本研究課題では、メニーコアプロセッサならびにそれを多数結合した大規模並列計算機システムを対象とし、個々のコアの自律動作によるアプローチをとることにより上記問題の解決を図った。各コアの自律動作は、すなわち、(1) 状態の監視、(2) 問題の検出・同定、(3) 最適挙動の探索、(4) 同適用、の4動作を基本とし、これらをこの順で随時循環させることとした。

本研究は大きく、(a) プロセッサ・コア単体での自律動作メカニズム（コア内メカニズム）、(b) 複数のコアの間で協調して行う自律動作メカニズム（コア間メカニズム）、(c) コア間の通信を担う相互結合網が行う自律動作メカニズム（結合網メカニズム）、の3つのサブユニットに分けて行った。以下に各々の成果の概略を述べる。

2. コア内メカニズム

2.1. 基本ブロックを単位とした投機的実行方式 —BBPC (Basic Block Parallel Computing)

命令レベル並列性を利用し高速化を図るアーキテクチャとして、予め並列に実行可能な命令を配置しておく（静的な）VLIW (Very Long Instruction Word)と、プログラムの実行時に（動

的に) 並列実行可能な命令を抽出するスーパースカラが代表的である。いずれも複数の演算器を用意しておき並列実行する点、有効な並列性が得られない場合は演算器の使用効率が悪化する点で共通する。投機により演算器の使用効率を挙げられれば性能向上を達成できるが、一般のプログラムでは頻繁に条件分岐が行われるため、条件の成否の不確実性がネックと考えられてきた。我々は、過去の実行履歴をもとに条件の成否を予測し条件分岐間の命令列(基本ブロック)を単位として投機実行することにより VLIW アーキテクチャでの演算器の有効利用を図る方式(BBPC, Basic Block Parallel Computing)を提案した(図1参照)。

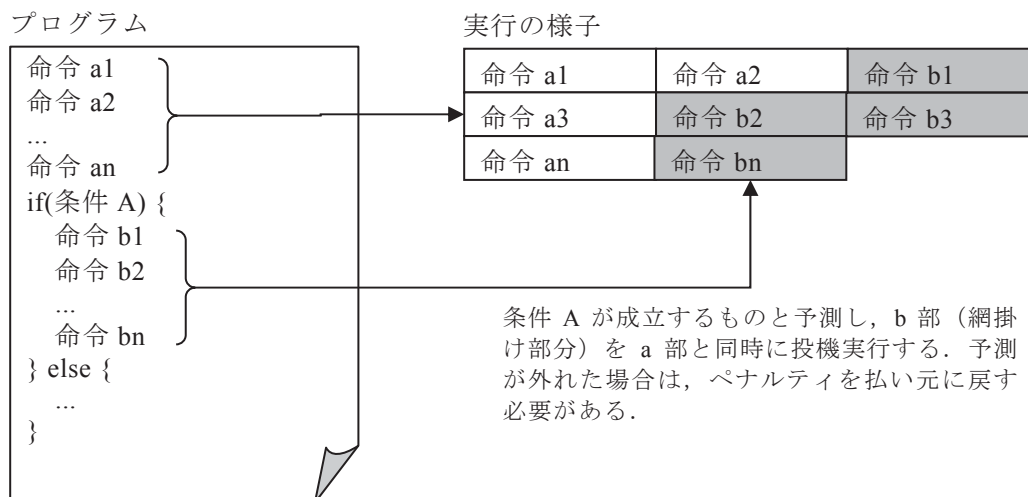


図 1. BBPC の概念図

2.2. 情報エントロピーによる予測成功率の見積もり手法

予測と予測に基づく投機実行は、本研究課題での重要なキーワードである。一般に、予測に基づいた投機実行では、予測が外れた場合にペナルティが科され性能向上が阻害される。通常、予測は、過去の履歴をもとにして次に起きる事象を過去の事象から選択することにより行われる。このため、予測性（予測のしやすさ）は履歴事象の並びが規則的であるほど高い。予測の方法はすでに様々なものが提案されているが、本研究では、まず、理論的な側面からの議論を行った。

プログラムの実行を確率過程の一種としてモデル化し、情報エントロピーを導入した。情報エントロピーは、時系列的に次に発生する事象の確からしさを数値的に表せる特徴がある。これを利用して、プログラムごと、プログラムの部分ごとに実行挙動の予測しやすさを表し、そこから予測成功率の期待値を求める手法を提案した。

3. コア間メカニズム

3.1.2 パス限定投機システム—PALS (Path-Limited Speculation system)

通常のプログラムは、条件の成立の可否により実行箇所を変える条件分岐を多く含む。プログラムがどの経路（パス）で実行されるかは、条件分岐の個所ごとの条件の成否の組み合わせの数だけ存在する。これは表面上非常に大きな数になるが、ループの繰り返し部分に限った場合、実際のプログラム実行では多くの場合たかだか1つないし2つに限られることを

明らかにした．我々はこの事実に基づいた方式「2 パス限定投機方式」を提案している．

本研究課題では，2 パス限定投機方式を実現するための現実的なマルチコアアーキテクチャ (PALS, PAtH-Limited Speculation system) を提案し，その有効性評価のためのシミュレータを開発した(図2)．TU (Thread Unit)が通常のプロセッサ・コアに相当する．MB (Memory Buffer) は投機実行に伴うメモリアクセスを支援する機構である．TMU (Thread Management Unit)は予測に基づいて各 TU での投機実行の内容を制御する．LS (Load Shelter)は MB の機能を補完するものである．

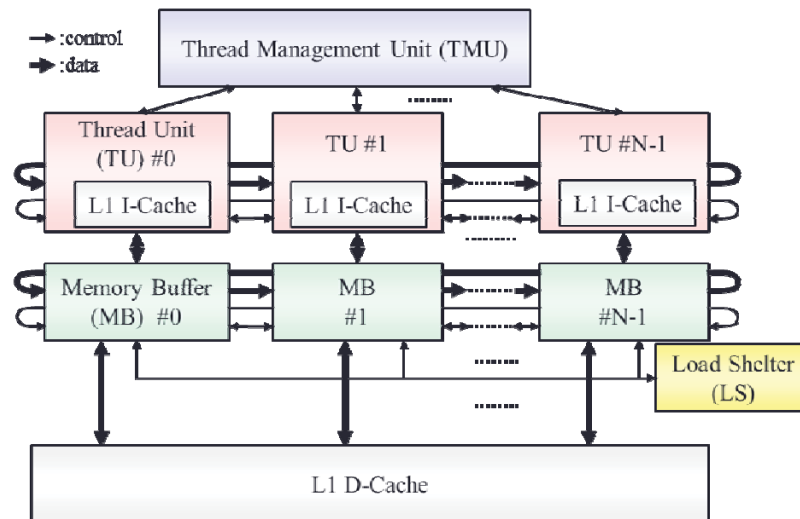


図 2. PALS の構成図

3.2. マルチコアプロセッサ向けの並列コード生成手法

一般のプログラムの並列化手法はマルチコアプロセッサの能力を活かす観点から依然として大きな課題である．本研究では，もともと並列化を意識せずに作成された（逐次の）プログラムを対象として，その内部構造と過去の実行経過の情報をもとにスレッドと呼ばれる単位に分割し，並列実行する手法を検討した．ここでの主な検討課題は分割方法であり，もとのプログラムの何処でどのように分割すれば良いか，効率的な手法を提案した．

3.3. 商用マルチコアプロセッサでの動的並列化

上記 PALS は予測に基づく投機的並列実行を行うものであるが，その一方で，実在の商用マルチコアプロセッサ上で，プログラム実行中に得られる情報をもとに動的に（＝プログラム実行中に）並列化を施す手法を開発した．本研究は大きく，プログラムの実行挙動を把握する技術，効果的な並列化を行う技術に分かれる．前者では，プログラム実行中に繰り返し実行を行っている個所を特定し，その箇所の並列化により性能向上が得られるかを同定する．後者では，元のプログラム（ソースプログラム）の存在を前提とせず，機械語プログラムをバイナリ変換技術により中間表現形式に変換し，その形式で必要な並列化を行う．この2つの技術を組み合わせることにより，マルチコアプロセッサが自律的に並列化箇所を同定し，そのまま並列実行に移行するシステムが実現する．

4. 通信メカニズム

4.1. 結合網評価手法

相互結合網の方式はすでに様々なものが考案されているが、その一方で、評価技術、特に方式間の優劣を比較する技術に大きな難点があった。従来は、転送特性を表すグラフを描き、その形状をもって方式間の優劣を議論していた。このためごく少数の方式間での定性的な議論に留まっていた。本研究では、相互結合網の種々の方式を広く議論するための理論的な基盤として、定量的な評価手法を提案した。これにより、従来、グラフの形状として曖昧に表現されていたものを2つの評価指標にまとめることが可能になった。方式間の比較は、この2つの指標の大小をもとに定量的に行うことが可能であり、以降の相互結合網手法の検討に大きく寄与した。

4.2. 定常／非定常通信の通信性能評価と高速評価技術

従来、相互結合網の評価は、乱数により求めた送信先に通信パケットを送信する（ランダム通信）といった限られた状況を想定したものが多数だった。現実の並列プログラムではランダム通信を行う方が稀であり、通常は、ある規則に従って一斉に通信を行うことが多い。そこで、典型的と考えられる通信パターンと定常的／非定常の通信との組み合わせにより相互結合網の評価を行った。

また、並列計算機では高性能を求められる結果、プロセッサ数が飛躍的に多くなっており、したがって相互結合網も巨大な規模となっている。これに対応したシミュレーション評価を行うため、相互結合網の構成単位をセルオートマトンの導入により簡略化し、高速なシミュレーションを可能にする方法を提案した。さらにこの手法は、GPGPUによる高速化にマッチしやすいことから、CUDA と呼ばれる環境に移植した。

4.3. オブジェクト間での通信機構を発展させたソフトウェアハードウェア協調

本プロジェクトで掲げる「コンピューティング」はマルチコアプロセッサあるいは並列計算機を対象を限定していない。与えられた処理を最も効率的に処理するには、それをハードウェア化するのが性能のみならず電力等の側面からも最も良い。一方で、ハードウェア化した場合にはそれを使用するプログラムの存在が現実的に問題となる。全体のプログラムを生産性に勝るオブジェクト指向言語で開発し、性能上のポイントとなる部分をハードウェア化することが理想的だが、実現方法が課題だった。本研究では、オブジェクト間での通信機構を拡張することで容易にソフトウェアハードウェア協調を実現できる手法を開発した。

5. おわりに

以上、本プロジェクトでは参画教員の研究分野を活かした研究開発を行い、豊饒な成果を得ることができた。27編の原著論文（国内・国外、4ページ以上の国際会議論文（査読付き）を含む）、24件の国際会議発表、65件の国内研究発表にまとめられている。

いずれのテーマも今後の発展が望まれているものであり、本プロジェクト後も継続して進めていく予定である。

プロジェクト 25 超自律型分散並列ネットワークコンピューティングシステムの研究開発
横田隆史, 大津金光, 馬場敬信, 大川猛

●原著論文 (外国, 国内)

- 1) 大津金光, 小川大仁, 横田隆史, 馬場敬信 (プログラム実行パスに基づいた投機スレッド分割, システム制御情報学会論文誌, Vol.22, No.6, pp.209-219, (2009))
- 2) Takashi Yokota, Kanemitsu Ootsu, Takanobu Baba, (A Quantitative Evaluation Methodology of Interconnection Networks, IPSJ Transactions on Advanced Computing Systems, Vol.2, No.3, pp.58-70, (2009))
- 3) Yuanming Zhang, Kanemitsu Ootsu, Takashi Yokota, Takanobu Baba (Clustered Pipelined Multithreading on Commodity Multi-Core Processors, システム制御情報学会論文誌, Vol.22, No.11, pp.371-384, (2009))
- 4) Yuanming Zhang, Kanemitsu Ootsu, Takashi Yokota, Takanobu Baba (Clustered Communication for Efficient Pipelined Multithreading on Commodity MCPs, IAENG International Journal of Computer Science, Vol.36 Issue 4, pp.275-283 (2009))
- 5) Yuanming Zhang, Kanemitsu Ootsu, Takashi Yokota, Takanobu Baba (Clustered Software Queue for Efficient Pipelined Multithreading, Proc. 10th International Conference on Parallel and Distributed Computing, Applications and Technologies (PDCAT 2009), pp.116-123, (2009))
- 6) Takashi Yokota, Kanemitsu Ootsu, Takanobu Baba (An Effective Throttling Method based on Quasi-Global Congestion Information, Proc. 10th International Symposium on Pervasive Systems, Algorithms and Networks (I-SPAN 2009), pp.104-109, (2009))
- 7) Kanemitsu Ootsu, Takeshi Abe, Takashi Yokota, Takanobu Baba (Loop Performance Improvement for Min-Cut Program Decomposition Method, Proc. 1st International Conference on Networking and Computing (ICNC'10), pp.78-87 (2010))
- 8) Yuanming Zhang, Gang Xiao, Kanemitsu Ootsu, Takashi Yokota, Takanobu Baba (Automatic Thread Decomposition for Pipelined Multithreading, Proc. 16th International Conference on Parallel and Distributed Systems (ICPADS), pp.91-98 (2010))
- 9) Kanemitsu Ootsu, Takashi Shiroto, Takashi Yokota, Takanobu Baba (Handling of Inter-Thread Memory Access Dependencies for Automatic Binary-Code Parallelization, Proc. 10th IASTED International Conference on Parallel and Distributed Computing and Networks (PDCN 2011), pp.107-114 (2011))

- 10) Takashi Yokota, Kanemitsu Ootsu, Takanobu Baba (Steady/Unsteady Communication Performance in Large-Scale Regular Networks, Proc. 25th IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops (WAINA 2011), pp.727-732 (2011))
- 11) Hiroyoshi Jutori, Kanemitsu Ootsu, Takashi Yokota, Takanobu Baba (Dynamic Selection of Speculative Paths in Two-Path Limited Speculation Method, Proc. 23rd IASTED International Conference on Parallel and Distributed Computing and Systems (PDCS 2011), pp.173-180 (2011)). (Best Paper Award 受賞)
- 12) Kanemitsu Ootsu, Takashi Yokota, Takanobu Baba (Performance Estimation of Speculative Multithreading through Whole Program Path, Proc. 23rd IASTED International Conference on Parallel and Distributed Computing and Systems (PDCS 2011), pp.181-189 (2011))
- 13) Kanemitsu Ootsu, Takashi Yokota, Takanobu Baba (Performance Improvement of Hot-Path Based Thread Partitioning Technique by Unifying Loop Parallelization, Proc. 23rd IASTED International Conference on Parallel and Distributed Computing and Systems (PDCS 2011), pp.252-261 (2011))
- 14) Hiroyoshi Jutori, Kanemitsu Ootsu, Takashi Yokota, Takanobu Baba (Dynamic Selection of Speculative Paths in Two-Path Limited Speculation Method, International Journal of Computers and Applications, Vol.35, Issue 2, (on-line 出版), ACTA Press (2013))
- 15) Atsushi Shina, Kanemitsu Ootsu, Takeshi Ohkawa, Takashi Yokota, Takanobu Baba (Proposal of Incremental Software Simulation for Reduction of Evaluation Time, Proc. 3rd International Conference on Networking and Computing (ICNC), pp.311-315 (2012))
- 16) Kazuhiro Kinkai, Takanobu Baba, Hiroyoshi Jutori, Kanemitsu Ootsu, Takeshi Ohkawa, Takashi Yokota (Comparative Study of Path Prediction Method for Speculative Loop Execution, Proc. 3rd International Conference on Networking and Computing (ICNC), pp.283-287 (2012))
- 17) Takeshi Ohkawa, Daichi Uetake, Takashi Yokota, Kanemitsu Ootsu, Takanobu Baba (Reconfigurable and Hardwired ORB Engine on FPGA by Java-to-HDL Synthesizer for Realtime Application, Proc. 4th International Symposium on Highly Efficient Accelerators and Reconfigurable Technologies (HEART 2013), pp.45-50 (2013))
- 18) Yuanming Zhang, Kanemitsu Ootsu, Takashi Yokota, Takanobu Baba (An automatic thread decomposition approach for pipelined multithreading, International Journal of High Performance Computing and Networking, Vol.7,

No.3, pp.227-237 (2013))

- 19) Takeshi Ohkawa, Daichi Uetake, Takashi Yokota, Kanemitsu Ootsu (Component-based FPGA Circuit Design and Verification for Robotic Systems using JavaRock and ORB Engine --A Case Study, Applied Mechanics and Materials, Vols.433-435, pp.1849-1852 (2013))
- 20) Takashi Yokota, Kanemitsu Ootsu, Takeshi Ohkawa (A Cellular Automata Approach for Large-Scale Interconnection Network Simulation, Proc. 1st International Symposium on Computing and Networking --Across Practical Development and Theoretical Research-- (CANDAR'13), pp.545-551 (2013))
- 21) Takayuki Hoshi, Kanemitsu Ootsu, Takeshi Ohkawa, Takashi Yokota (Runtime Overhead Reduction in Automated Parallel Processing System using Valgrind, Proc. 1st International Symposium on Computing and Networking --Across Practical Development and Theoretical Research --(CANDAR'13), pp.572-576 (2013))
- 22) Hiroyoshi Jutori, Takanobu Baba, Kanemitsu Ootsu, Takeshi Ohkawa, Takashi Yokota (Exploration of Highly Accurate Path Prediction Mechanism using Detailed Path History, Proc. 1st International Symposium on Computing and Networking --Across Practical Development and Theoretical Research-- (CANDAR'13), pp.582-586 (2013))
- 23) Masayuki Omote, Kanemitsu Ootsu, Takeshi Ohkawa, Takashi Yokota (Efficient Data Communication using Dynamic Switching of Compression Method, Proc. 1st International Symposium on Computing and Networking -- Across Practical Development and Theoretical Research -- (CANDAR'13), pp.607-611 (2013))
- 24) Takeshi Ohkawa, Takashi Yokota, Kanemitsu Ootsu (A Prototyping System for Hardware Distributed Objects with Diversity of Programming Languages ---Design and Preliminary Evaluation, Proc. 2013 International Conference on Field Programmable Technology, pp.474-477 (2013))
- 25) Takanobu Baba, Hiroaki Miyata, Boaz Jessie Jackin, Takeshi Ohkawa, Kanemitsu Ootsu, Takashi Yokota, Yoshio Hayasaki, Toyohiko Yatagai (Interpolation-Based Object Decomposition and Parallel Computation Method for Large-Scale Computer-Generated Hologram, Proc. 12th IASTED International Conference on Parallel and Distributed Computing and Networks (PDCN 2014), pp.200-207 (2014))
- 26) Kanemitsu Ootsu, Takeshi Ohkawa, Takashi Yokota (Performance Estimation of Hot-Path Limited Speculative Multithreading on Entire Program, Proc. 12th IASTED International Conference on Parallel and Distributed Computing and

Networks (PDCN 2014), pp.258-266 (2014))

- 27) Takashi Yokota, Kanemitsu Ootsu, Takeshi Ohkawa (Performance Impacts of Arbitration Functions of Interconnection Network Router for Steady/Unsteady Communications, Proc. 2014 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence (CSCI'14), (accepted, to appear) (2014))

●国際会議発表(plenary lecture:PL,invited speaker:IS,oral presentation:OP,poster presentation:PP)

- 1) *OP* Yuanming Zhang, Kanemitsu Ootsu, Takashi Yokota, Takanobu Baba, "Clustered Software Queue for Efficient Pipelined Multithreading," *10th Int. Conf. Parallel and Distributed Computing, Applications and Technologies (PDCAT 2009)*, Hiroshima, Japan, (2009).
- 2) *OP* Takashi Yokota, Kanemitsu Ootsu, Takanobu Baba, "An Effective Throttling Method based on Quasi-Global Congestion Information," *10th Int. Symp. Pervasive Systems, Algorithms and Networks (I-SPAN 2009)*, Kaohsiung, Taiwan, (2009).
- 3) *OP* Kanemitsu Ootsu, Takeshi Abe, Takashi Yokota, Takanobu Baba, "Loop Performance Improvement for Min-Cut Program Decomposition Method," *Int. Conf. Networking and Computing (ICNC'10)*, Higashi Hiroshima, Japan (2010).
- 4) *OP* Yuanming Zhang, Gang Xiao, Kanemitsu Ootsu, Takashi Yokota, Takanobu Baba, "Automatic Thread Decomposition for Pipelined Multithreading," *Int. Conf. Parallel and Distributed Systems (ICPADS)*, Shanghai, China (2010).
- 5) *OP* Kanemitsu Ootsu, Takashi Shiroto, Takashi Yokota, Takanobu Baba, "Handling of Inter-Thread Memory Access Dependencies for Automatic Binary-Code Parallelization," *IASTED Int. Conf. Parallel and Distributed Computing and Networks (PDCN 2011)*, Innsbruck, Austria (2011).
- 6) *OP* Takashi Yokota, Kanemitsu Ootsu, Takanobu Baba, "Steady/Unsteady Communication Performance in Large-Scale Regular Networks," *Int. Workshop on Quantitative Evaluation of large-scale Systems and Technologies (QuEST11)*, Singapore (2011).
- 7) *OP* Hiroyoshi Jutori, Kanemitsu Ootsu, Takashi Yokota, Takanobu Baba, "Dynamic Selection of Speculative Paths in Two-Path Limited Speculation Method," *23rd IASTED Int. Conf. Parallel and Distributed Computing and Systems (PDCS 2011)*, Dallas, TX, (2011).
- 8) *OP* Kanemitsu Ootsu, Takashi Yokota, Takanobu Baba, "Performance Estimation of Speculative Multithreading through Whole Program Path," *23rd IASTED Int. Conf. Parallel and Distributed Computing and Systems (PDCS 2011)*,

Dallas, TX, (2011).

- 9) *OP* Kanemitsu Ootsu, Takashi Yokota, Takanobu Baba, "Performance Improvement of Hot-Path Based Thread Partitioning Technique by Unifying Loop Parallelization," *23rd IASTED Int. Conf. Parallel and Distributed Computing and Systems (PDCS 2011)*, Dallas, TX, (2011).
- 10) *OP* Atsushi Shina, Kanemitsu Ootsu, Takeshi Ohkawa, Takashi Yokota, Takanobu Baba, "Proposal of Incremental Software Simulation for Reduction of Evaluation Time," *3rd Int. Workshop on Advances in Networking and Computing (WANC)*, Naha, Okinawa Japan, (2012).
- 11) *OP* Kazuhiro Kinkai, Takanobu Baba, Hiroyoshi Jutori, Kanemitsu Ootsu, Takeshi Ohkawa, Takashi Yokota, "Comparative Study of Path Prediction Method for Speculative Loop Execution," *3rd Int. Workshop on Advances in Networking and Computing (WANC)*, Naha, Okinawa Japan, (2012).
- 12) *PP* Takeshi Ohkawa, Daichi Uetake, Takashi Yokota, Kanemitsu Ootsu, Takanobu Baba, "Reconfigurable and Hardwired ORB Engine on FPGA by Java-to-HDL Synthesizer for Realtime Application," *4th Int. Symp. Highly Efficient Accelerators and Reconfigurable Technologies (HEART 2013)*, Edinburgh, Scotland (2013).
- 13) *OP* Takeshi Ohkawa, Daichi Uetake, Takashi Yokota, Kanemitsu Ootsu, "Component-based FPGA Circuit Design and Verification for Robotic Systems using JavaRock and ORB Engine ---A Case Study," *2nd Int. Conf. Mechatronics and Control Engineering (ICMCE2013)*, Dalian, China (2013).
- 14) *OP* Boaz Jessie Jackin, Hiroaki Miyata, Yoshio Hayasaki, Toyohiko Yatagai, Takeshi Ohkawa, Kanemitsu Ootsu, Takashi Yokota, Takanobu Baba, "Proposal of Fast Calculation for Large-Scale Fresnel Hologram using Interpolation Method," *Int. Workshop on Holography and Related Technologies 2013*, Kitami, Hokkaido (2013).
- 15) *OP* Takashi Yokota, Kanemitsu Ootsu, Takeshi Ohkawa, "A Cellular Automata Approach for Large-Scale Interconnection Network Simulation," *1st Int. Workshop on Applications and Fundamentals of Cellular Automata (AFCA'13)*, Matsuyama, Ehime, (2013).
- 16) *OP* Takayuki Hoshi, Kanemitsu Ootsu, Takeshi Ohkawa, Takashi Yokota, "Runtime Overhead Reduction in Automated Parallel Processing System using Valgrind," *4th Int. Workshop on Advances in Networking and Computing (WANC'13)*, Matsuyama, Ehime (2013).
- 17) *OP* Hiroyoshi Jutori, Takanobu Baba, Kanemitsu Ootsu, Takeshi Ohkawa,

- Takashi Yokota, "Exploration of Highly Accurate Path Prediction Mechanism using Detailed Path History," *4th Int. Workshop on Advances in Networking and Computing (WANC'13)*, pp.582-586, Matsuyama, Ehime (2013).
- 18) *OP* Masayuki Omote, Kanemitsu Ootsu, Takeshi Ohkawa, Takashi Yokota, "Efficient Data Communication using Dynamic Switching of Compression Method," *4th Int. Workshop on Advances in Networking and Computing (WANC'13)*, pp.607-611, Matsuyama, Ehime (2013).
- 19) *PP* Takeshi Ohkawa, Takashi Yokota, Kanemitsu Ootsu, "A Prototyping System for Hardware Distributed Objects with Diversity of Programming Languages --- Design and Preliminary Evaluation," *2013 Int. Conf. Field Programmable Technology*, Kyoto (2013).
- 20) *OP* Takanobu Baba, Hiroaki Miyata, Boaz Jessie Jackin, Takeshi Ohkawa, Kanemitsu Ootsu, Takashi Yokota, Yoshio Hayasaki, Toyohiko Yatagai, "Interpolation-Based Object Decomposition and Parallel Computation Method for Large-Scale Computer-Generated Hologram," *12th IASTED Int. Conf. Parallel and Distributed Computing and Networks (PDCN 2014)*, Innsbruck, Austria (2014).
- 21) *OP* Kanemitsu Ootsu, Takeshi Ohkawa, Takashi Yokota, "Performance Estimation of Hot-Path Limited Speculative Multithreading on Entire Program," *12th IASTED Int. Conf. Parallel and Distributed Computing and Networks (PDCN 2014)*, Innsbruck, Austria (2014).
- 22) *OP* Takashi Yokota, Kanemitsu Ootsu, Takeshi Ohkawa, "Performance Impacts of Arbitration Functions of Interconnection Network Router for Steady/Unsteady Communications," *2014 Int. Conf. Computational Science and Computational Intelligence (CSCI'14)*, Las Vegas (2014). (to appear)
- 23) *PP* Boaz Jessie Jackin, Hiroaki Miyata, Takeshi Ohkawa, Kanemitsu Ootsu, Takashi Yokota, Takanobu Baba, Yoshio Hayasaki and Toyohiko Yatagai, "Parallel Computation Method for Large-Scale Computer-Generated Holograms by Decomposition of Object and Hologram Planes," *Int. Conf. Optics and Optoelectronics (ICOL-2014)*, Dehradun, Uttarakhand, India (2014). (to appear)
- 24) *OP* Takeshi Ohkawa, Takashi Yokota and Kanemitsu Ootsu, Masahiro Aoyagi, Katsuya Kikuchi and Hiroshi Nakagawa, "HW/SW Hybrid Processes Network with Application Layer Communication for 3D Chip Stacking Systems," *16th Int. Workshop on Innovative Architecture for Future Generation High-Performance Processors and Systems (IWIA)*, Kohala Coast, Hawaii (2014) (to appear)

●国内研究発表

- 1) 「招待」馬場敬信，大津金光，横田隆史，“YAWARA: 自己最適化計算機システム・プロジェクト”，電子情報通信学会リコンフィギャラブルシステム研究会，宇都宮市 (2009)
 - 2) 「一般」Takashi Yokota, Kanemitsu Ootsu, Takanobu Baba, "A Quantitative Evaluation Methodology of Interconnection Networks," 先進的計算基盤システムシンポジウム，広島市 (2009)
 - 3) 「一般」横田隆史，大津金光，馬場敬信，“準広域情報を用いるルーティングアルゴリズムの改善検討”，情報処理学会計算機アーキテクチャ研究会，仙台市 (2009)
 - 4) 「一般」横田隆史，大津金光，馬場敬信，“相互結合網の転送パターンと定常・非定常性能について”，情報処理学会計算機アーキテクチャ研究会，金沢市 (2010).
 - 5) 「一般」十鳥弘泰，津田翼，大津金光，横田隆史，馬場敬信，“2 パス限定投機方式における最適投機対象パスの動的変更手法の検討”，電子情報通信学会コンピュータシステム研究会，鹿児島市 (2011).
 - 6) 「一般」大川猛，高野創司，植竹大地，横田隆史，大津金光，馬場敬信，“分散オブジェクト ORB エンジンの導入による FPGA 搭載システム連携の短期間開発事例”，電子情報通信学会リコンフィギャラブルシステム研究会，福岡市 (2012)
 - 7) 「一般」横田隆史，大川猛，大津金光，馬場敬信，“流量制限による相互結合網の実効性能改善の検討”，情報処理学会計算機アーキテクチャ研究会，札幌市 (2012)
 - 8) 「一般」大川猛，高野創司，植竹大地，横田隆史，大津金光，馬場敬信，“ソフトウェアから FPGA を容易に扱うための分散オブジェクトプラットフォーム”，情報処理学会第 54 回プログラミング・シンポジウム，箱根町 (2013)
 - 9) 「一般」星孝幸，大津金光，大川猛，横田隆史，“Valgrind を利用した自動並列処理システムにおける実行時オーバヘッドの削減”，電子情報通信学会コンピュータシステム研究会，北九州市 (2013)
 - 10) 「一般」大川猛，“FPGA を活用した高付加価値システム創出のための開発環境づくり”，組込みシステム技術に関するサマーワークショップ，岐阜県下呂市 (2013)
- 他 81 件

●著書，総説，解説等

- 1) 「著書」横田隆史，電子情報通信学会知識ベース，「6 群コンピュータ - 基礎理論とハードウェア 5 編コンピュータアーキテクチャ (II) 先進的 9 章 インタコネクション技術 9.3 間接網」(2011 年 3 月).
- 2) 「著書」大津金光，電子情報通信学会知識ベース，「6 群コンピュータ - 基礎理論とハードウェア 5 編コンピュータアーキテクチャ (II) 先進的 2 章 スレッドレベル並列コンピュータ 2.3 レイテンシ指向並列コンピュータ」(2011 年 3 月).

●特許

- 1) 「国内」出願，大川猛，横田隆史，大津金光，青柳昌宏，菊地克弥，仲川博「チップ積層システム」(平成 26 年 3 月)

●受賞

- 1) 十鳥弘泰，情報処理学会第 72 回全国大会学生奨励賞，「2 パス限定投機システム PALS の評価環境 ―システムシミュレーター」(2010 年 3 月)
- 2) 川上憂騎，情報処理学会第 73 回全国大会学生奨励賞「H.264 のデコード処理における 2 パス限定投機方式の並列性能評価」(2011 年 3 月)
- 3) 十鳥弘泰，23rd IASTED International Conference on Parallel and Distributed Computing and Systems (PDCS 2011) Best Paper Award ("Dynamic Selection of Speculative Paths in Two-Path Limited Speculation Method") (2011 年 12 月)
- 4) 星孝幸，情報処理学会第 74 回全国大会学生奨励賞ならびに学会推奨卒業論文認定「動的計測ツールのバイナリ変換機能を利用した自動並列処理システムの開発」(2012 年 3 月)
- 5) 金海和宏，情報処理学会第 74 回全国大会学生奨励賞「分岐予測機構を応用したループパス予測器の初期検討」(2012 年 3 月)

●外部資金

- 1) 「科研」基盤研究(C)，横田隆史，1,800 千円「実験的手法による超大規模相互結合網の理論的体系化と工学的応用」(平成 21 年)
- 2) 「科研」基盤研究(C)，大津金光，1,200 千円「汎用マルチコアプロセッサ向けバイナリレベル投機的複数スレッド化の研究」(平成 21 年)
- 3) 「共同」横田隆史，馬場敬信，大津金光，630 千円「高性能マルチコア・マルチスレッドプロセッサに関する研究」東芝セミコンダクター社 (平成 21 年)
- 4) 「奨学」横田隆史，250 千円「学術研究助成」半導体理工学研究センター (平成 21 年)
- 5) 「科研」横田隆史 (研究代表者)，1,000 千円「実験的手法による超大規模相互結合網の理論的体系化と工学的応用」科学研究費補助金 基盤研究(C) (平成 22 年)
- 6) 「科研」大津金光 (研究代表者)，600 千円「汎用マルチコアプロセッサ向けバイナリレベル投機的複数スレッド化の研究」科学研究費補助金 基盤研究(C) (平成 22 年)
- 7) 「共同」横田隆史，大津金光，600 千円「高性能マルチコア・マルチスレッドプロセッサに関する研究」東芝セミコンダクター社 (平成 22 年)
- 8) 「奨学」横田隆史，250 千円「学術研究助成」(株)半導体理工学研究センター (平成 22 年)

- 9) 「科研」 横田隆史, 700 千円「実験的手法による超大規模相互結合網の理論的体系化と工学的応用」基盤研究(C), (平成 23 年)
- 10) 「共同」 横田隆史, 大津金光, 600 千円「高性能マルチコア・マルチスレッドプロセッサに関する研究」(株)東芝セミコンダクター社 (平成 23 年) (6 月 30 日まで)
- 11) 「科研」 横田隆史, 1,400 千円「超大規模相互結合網における自律分散先行制御方式の研究」基盤研究(C), (平成 24 年)
- 12) 「科研」 大津金光, 1,500 千円「大域的コード再構成に基づいた高性能パースペースレッド分割手法の研究」基盤研究(C), (平成 24 年)
- 13) 「科研」 横田隆史, 1,200 千円「超大規模相互結合網における自律分散先行制御方式の研究」基盤研究(C), (平成 25 年)
- 14) 「科研」 大津金光, 1,500 千円「大域的コード再構成に基づいた高性能パースペースレッド分割手法の研究」基盤研究(C), (平成 25 年)
- 15) 「科研」 大川猛, 1,600 千円「プロセスネットワークを基にした FPGA 向け分散並列処理システム設計手法」若手研究(B) (平成 25 年)

●VBL プロジェクト関連の成果についての特記事項

ハ) 展示 12 件

- ・ 宇都宮大学企業交流会 (横田隆史, 大津金光, 十鳥弘泰, 福田明宏, 津田翼)「シミュレータによる次世代プロセッサ評価技術」(2009 年 9 月 4 日)
- ・ 宇都宮大学企業交流会 (横田隆史, 大津金光, 白戸卓志, 水沼光)「マルチコアプロセッサ向けバイナリコード高速化技術」(2009 年 9 月 4 日)
- ・ 宇都宮大学企業交流会 (横田隆史, 大津金光, 十鳥弘泰, 福田明宏, 津田翼, 川上優騎)「シミュレータによる次世代プロセッサ評価技術」(2010 年 9 月 6 日)
- ・ 宇都宮大学企業交流会 (横田隆史, 大津金光, 白戸卓志, 水沼光)「マルチコアプロセッサ向けバイナリコード高速化技術」(2010 年 9 月 6 日)
- ・ 宇都宮大学企業交流会 (横田隆史, 大津金光, 十鳥弘泰, 川上優騎, 関口祐司)「パースペース実行モデルに基づいた高性能プロセッサの開発」(2011 年 9 月 9 日)
- ・ 宇都宮大学企業交流会 (横田隆史, 大津金光, 高橋辰平, 塚本寛隆)「バイナリコード変換によるマルチコアプロセッサ高速化技術」(2011 年 9 月 9 日)
- ・ 宇都宮大学企業交流会 (馬場敬信, 横田隆史, 大津金光, 大川猛, 十鳥弘泰, 関口祐司, 星孝幸, 椎名敦之)「マルチコアが拓く高性能計算技術」(2012 年 9 月 10 日)
- ・ 宇都宮大学企業交流会 (馬場敬信, 横田隆史, 大津金光, 大川猛, 表雅之, 福田悠太, 金海和宏, 本間勇貴, 桐原健太)「超高性能化のための GPU 徹底活用」(2012 年 9 月 10 日)
- ・ 宇都宮大学企業交流会 (馬場敬信, 横田隆史, 大津金光, 大川猛, 高野創司, 高橋辰平, 菅野智之, 塚本寛隆)「Android と FPGA の連携によるアプリケーション創

出」(2012 年 9 月 10 日)

- ・ 宇都宮大学企業交流会（横田隆史，大津金光，大川猛，十鳥弘泰，星孝幸，椎名敦之，荒井裕介，大島一樹，松野穰）「マルチコアが拓く高性能計算技術」(2013 年 9 月 9 日)
- ・ 宇都宮大学企業交流会（横田隆史，大津金光，大川猛，表雅之，福田悠太，菅野智之，金海和宏，本間勇貴，宮田裕章，田中耕司）「超高性能化のための GPU 徹底活用」(2013 年 9 月 9 日)
- ・ 宇都宮大学企業交流会（横田隆史，大津金光，大川猛，高野創司，高橋辰平，桐原健太，植竹大地）「Android と FPGA の連携によるアプリケーション創出」(2013 年 9 月 9 日)

マルチメディアコンテンツ作成支援システムの開発

東海林健二(教授)^{*1}，宮道壽一(教授)^{*1}，外山史(准教授)^{*1}，森博志(助教)^{*1}

^{*1} 大学院工学研究科情報システム科学専攻 shoji@is.utsunomiya-u.ac.jp

1. はじめに

マルチメディアコンテンツは、ユーザが様々な環境で容易に閲覧できるため、企業や大学の広報、研究内容紹介、講義資料などの組織活動のためのものから、娯楽のための映像やマンガまで、広範囲に利用されている。マルチメディアコンテンツは閲覧するのは便利で容易である一方、その作成には性能の高いコンピュータに加え多くの手間が必要となる。本プロジェクトは、そのような手間を軽減するための作成支援システムの開発を目指すものである。具体的には、PC やスマートフォンでの閲覧に適した形に冊子体マンガを対話的に変換する際に有用なマンガコンテンツ作成支援システム、絵手紙に代表される彩色スケッチを手軽に作成することを支援する手描き線画の彩色支援システム、実物体の3次元形状データをデジタルカメラ等を用いて手軽に入力するための3次元形状入力支援システムについて検討し、それらの機能の一部のアルゴリズム開発及び試作システムの作成を行った。

2. マンガコンテンツ作成支援システム

既存の冊子体のマンガを画面の小さい携帯電話や PDA で閲覧できるデジタルコンテンツに変換するためには、各ページをスキャナ等で画像に変換するだけではなく、さらに1コマ1コマに分割し、順番をつける処理が不可欠である。われわれは、直線でマンガ画像を切断することを繰り返すことによって各コマに分割する方法と、その切断によって作成するコマ割りの木構造から深さ優先探索によりコマの読むべき順を決定する方法を提案した（業績リスト特記事項「ホ」）。マンガ画像を切断する直線は、直線に垂直方向の濃度勾配値を直線に沿って累積した値に基づき、マンガ画像の性質を考慮して決定する。提案手法は、コマの枠を越えて吹き出しなどが描かれている場合にも、マンガ画像を切断する適切な直線を決定できる方法である。図1に入力画像と提案手法で推定したコマ分割線の例を示す。

1コマ1コマに分割されたマンガ画像から吹き出しを検出し、その形状を分類することで登場人物の感情を推測し、吹き出し中のセリフを読み上げる音声に付加情報を与えることで、

利用者は臨場感のあるデジタルコンテンツの閲覧を行うことが期待できる。そのために、まずセリフ文字検出器を作成し、それにより検出したセリフ文字領域を基に、モルフォロジー演算と呼ばれる2値画像処理を用いて吹き出し候補を検出し、その吹き出し候補から吹き出しの選択および分類を行う手法を提案した（業績リスト原著論文4）。

マンガ特有の表現一つに擬音が挙げられる。擬音とは、漫画中の効果音を文字にして表現したもので、適切に抽出して再生することによって、利用者は臨場感のあるデジタルコンテンツの閲覧を行うことが期待できる。擬音は作者による手書きで表現されることが多いため、既存の印刷文字認識手法で抽出するのは困難であるという問題点がある。それに対して、われわれは、漫画中の手書き擬音文字は、多くの場合、線幅一定の字体で書かれるという特徴を利用して、制約付きドロネー三角形分割を利用した幅の一定領域の抽出による漫画擬音文字抽出手法を提案した（業績リスト原著論文10）等）。

以上、3つの提案手法は、冊子体マンガを対話的に変換するマンガコンテンツ作成支援システムに組み込むことにより、手間をかけずに高品質なデジタルコンテンツ作成を可能とすると考えられる。

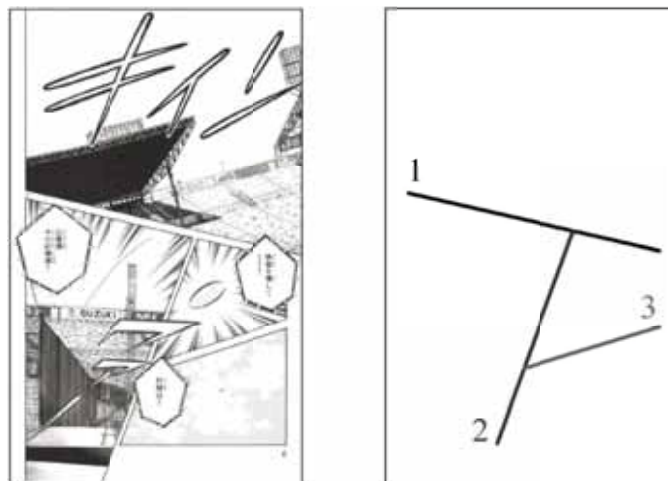


図1. 入力画像（あだち充，“H2”，小学館，Vol.34, p.6）（左）とそのコマ分割線（右）

3. 手描き線画の彩色支援システム

カラー写真等の参照画像を下敷きにして線画を描くことにより、絵画の初心者でも非常に短時間で絵手紙に代表される彩色スケッチを完成させることができる手描き線画彩色手法を提案し、提案手法を実装した試作システムを作成した（業績リスト国内研究発表8）等）。提案手法は、デジタルカメラ等で撮影して得たカラー画像を下敷きとしてユーザが描いた手描き線画を与えたとき、カラー画像の各部分の色を参照して線画に彩色するものである。提案手法を実装したシステムは、一般ユーザが容易に利用でき、かつ、生成された絵画風画像はそのユーザ独自の個性が表現された作品として認められ得るという特徴をもつ。図2に試作システムを用いて描いた線画とその彩色結果を示す。線画は参照カラー画像を下敷きにして10分程度で描いたものである。青の描画線は彩色結果には黒の線として現れ、赤の描画線は色を分けるための線としてのみ機能し、彩色結果には線としては現れない。



図 2. 手描き線画彩色支援システムによる線画彩色の例

4. 3次元形状入力支援システム

3次元形状入力支援システムでは、静止した対象物体の場合はその周囲から1台のカメラで撮影し、形状が変化する物体（例えば人体）の場合は、複数カメラで同時に撮影する。このようにして得た複数枚の画像を解析し、視体積交差の原理で3次元形状を得る。このとき、各画像での対象物体シルエットと各カメラの位置・姿勢が既知である必要がある。提案システムでは、対象物体シルエットは撮影画像から既存技術であるグラフカットを利用して半自動で抽出し、各カメラの位置・姿勢はわれわれが開発した視体積交差における無効領域最小化法に基づき推定する（業績リスト国内研究発表1）等）。シミュレーション実験により、提案手法の有効性を示すことができた。各カメラから得たシルエットと提案手法で得た3次元形状の例を図3に示す。

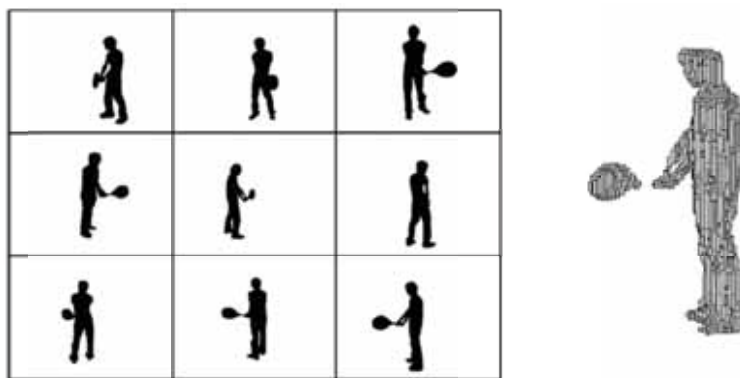


図 3 カメラ9台でのシルエット（左）と提案手法で得た3次元形状

5. まとめ

マンガコンテンツ作成支援システムの実現のため、コマ分割法、吹き出し抽出と形状分類法、擬音文字抽出法を提案した。手描き線画の彩色支援システムでは、提案手法を試作システムとして実装し、絵画の初心者でも非常に短時間で彩色スケッチを完成させることができることを示した。3次元形状入力支援システムについては、視体積交差の原理で3次元形状を得る場合に、カメラ位置・姿勢を精密に計測することなく形状入力が可能となる手法を提案した。いずれも、マルチメディアコンテンツ作成支援システムの基盤技術と考えられる。

プロジェクト 26 マルチメディアコンテンツ作成支援システムの開発

(担当者) 東海林健二, 宮道壽一, 外山史, 森博志

●原著論文 (外国, 国内)

- 1) 浅田宏樹, 外山史, 東海林健二, 宮道壽一 (最大多様性問題に対する適応的交叉確率を用いた遺伝的局所探索法, 電気学会論文誌 C, 130, 519-520 (2010.3))
- 2) 村上剛基, 外山史, 東海林健二, 宮道壽一, "バイナリー2次計画問題に対する反復貪欲法", 電気学会論文誌 C, vol.130, no.6, pp.1089~1090 (2010.6).
- 3) 外山史, 東海林健二, 宮道壽一, "記号の接触を考慮した印刷五線譜の記号認識", 映像情報メディア学会誌, vol.64, no.8, pp.1267~1272 (2010.8).
- 4) 田中孝昌, 外山史, 宮道壽一, 東海林健二, "マンガ画像の吹き出し検出と分類", 映像情報メディア学会誌, vol.64, no.12, pp.1933~1939 (2010.12).
- 5) 川島竜也, 外山史, 東海林健二, 宮道壽一, "反復貪欲法を用いた双方向マンハッタンストリートネットワークのノード配置", 電子情報通信学会論文誌 D, vol.J93-D, no.12, pp.2565~2578 (2010.12).
- 6) Sadayuki Abe, Kenji Shoji, Fubito Toyama, Juichi Miyamichi, "Lane marking detection by extracting white regions with predefined width from bird's-eye road images", Electronic Imaging 2011, Intelligent Robots and Computer Vision XXVIII: Algorithms and Techniques, Proceedings of SPIE vol. 7878, pp.78780T-1~78780T-6, San Francisco Airport, California, USA (2011.1).
- 7) Seiichi Tanaka, Hiroshi Mori, Masao Kasuga, and Kenji Shoji, "KANSEI evaluations of super high resolution images", Proceedings of The 1st IEEE Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2012), pp.549-552, Tokyo, Japan (2012.10).
- 8) Fubito Toyama, Kenji Shoji, Hiroshi Mori and Juichi Miyamichi, "An Iterated Greedy Algorithm for the Binary Quadratic Programming Problem", Proceedings of The 6th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems, and The 13th International Symposium on Advanced Intelligent Systems (SCIS-ISIS 2012), pp.2183-2188, Kobe, Japan (2012.11).
- 9) Hatsumi Nakaura, Fubito Toyama, Hiroshi Mori, Kenji Shoji, Juichi Miyamichi, "A metaheuristic for huge scale quadratic assignment problems", Proceedings of The Eighteenth International Symposium on Artificial Life and Robotics (AROB 18th '13), pp.604-607, Daejeon, Korea (2013.1).
- 10) Xiangping Liu, Kenji Shoji, Hiroshi Moria, Fubito Toyama, "Onomatopoeia Characters Extraction from Comic Images UsingConstrained Delaunay Triangulation", Electronic Imaging 2014, Proc. SPIE 9029, Visual Information

●国内研究発表（基調講演，招待講演，依頼講演，一般発表，ポスター発表）

- 1) 「ポ」 杵淵直樹，外山史，宮道壽一，東海林健二"視体積交差と未校正カメラの相互投影を用いた物体形状復元"，第 12 回画像の認識・理解シンポジウム(MIRU2009)論文集，pp.1016-1021 (2009.7)
- 2) 「ポ」 木島和也，外山史，宮道壽一，東海林健二"四面体体積最小化法を用いた消失点の検出"，第 12 回画像の認識・理解シンポジウム(MIRU2009)論文集， pp.1418-1424 (2009.7)
- 3) 「一般」 雨貝祐輔，東海林健二，外山史，宮道壽一，"視体積交差を利用した SA による最適化"，電子情報通信学会 2011 年総合大会（2011.3）
- 4) 「一般」 阿部真之，東海林健二，外山史，宮道壽一，"道路画像からの所定の幅の領域抽出による白線検出手法の改善"，電子情報通信学会 2011 年総合大会（2011.3）
- 5) 「一般」 高橋将，東海林健二，外山史，宮道壽一，"視体積交差におけるカメラ位置のずれが復元形状に及ぼす影響"，" FIT2011 第 10 回情報科学技術フォーラム講演論文集第 3 分冊， pp.139-142 (2011.9)
- 6) 「一般」 鈴木卓，東海林健二，外山史，宮道壽一，"消失点検出における四面体体積最小化法の提案"，" FIT2011 第 10 回情報科学技術フォーラム講演論文集第 3 分冊， pp.149-152 (2011.9)
- 7) 「一般」 鈴木史彦，東海林健二，外山史，宮道壽一，"動きベクトルに基づく映像の短縮"，" FIT2011 第 10 回情報科学技術フォーラム講演論文集第 3 分冊， pp.261-262 (2011.9)
- 8) 「一般」 倉田沙織，信太孝友，石山雄也，森博志，外山史，東海林健二，"参照画像を利用した手描き線画への彩色"，映像表現・芸術科学フォーラム 2013，映像情報メディア学会技術報告，vol.37, no.17, pp.23-26 (2013.3).
- 9) 「一般」 劉向萍，東海林健二，森博志，外山史，宮道壽一，"漫画画像からの手書き擬音文字抽出"，映像情報メディア学会 2012 年年次大会講演予稿集(CD-ROM)，発表番号 25-4(2 ページ) (2012.8).
- 10) 「ポ」 倉田沙織，森博志，外山史，東海林健二，"オンライン手描き線画への動的彩色"，映像表現・芸術科学フォーラム 2014，映像情報メディア学会技術報告，vol.38, no.16, pp.103-106 (2014.3).

他 8 件

●著書，総説，解説等

- 1) 「解説」 東海林健二，田中孝昌，マンガ画像からの吹き出し検出と分類、画像ラボ，Vol.22, No.10, pp.8-14 (2011.10).

●特許（外国，国内，公開，出願）

- 1) 「国内」 公開，石田真之助，坂本洋介，東海林健二，阿山みよし，木島和也「車両運転支援装置」(2010.2).
- 2) 「国内」 出願，東海林健二「線画着色システム」(2012.8).
- 3) 「国内」 出願，東海林健二，阿部真之，外山史，森博志「形状認識システム，形状認識方法及び形状認識プログラム」(2013.6).

●受賞

- 1) 宮道壽一，電気学会業績賞「情報システム分野の学術的発展ならびに学会活動への貢献」(2009.5).

●外部資金（科学研究費：科研、奨学寄付金：奨学，受託研究：受託，共同研究：共同）

- 1) 「科研」 東海林健二，3,000 千円，視体積交差を介した物体シルエット抽出とカメラ位置姿勢推定（基盤（C）研究代表者，直接経費，2010～2012 年度）
- 2) 「科研」 外山史，2,900 千円，超大規模配置決定問題に関するメタ戦略の開発とその応用に関する研究（若手（B）研究代表者，直接経費，2010～2012 年度）
- 3) 「科研」 東海林健二，3,800 千円，参照カラー画像に基づく手書き線画への自動彩色（基盤（C）研究代表者，直接経費，2013～2015 年度）
- 4) 「科研」 外山史，3,500 千円，超大規模な配置決定問題に対する革新的アルゴリズムの開発（基盤（C）研究代表者，直接経費，2013～2015 年度）
- 5) 「共同」 東海林健二，1000 千円，「感性的視点からの立体画像の評価に関する研究」，シャープ株式会社（2012 年度）

●VBL プロジェクト関連の成果についての特記事項

ハ) 展示 6 件

- 1) 宇都宮大学企業交流会 東海林健二，宮道壽一，外山史，「マンガの画像解析」(2010.9)
- 2) 宇都宮大学企業交流会 外山史，東海林健二，宮道壽一，「テンプレートマッチングの高速化手法に関する研究」(2010.9)
- 3) 宇都宮大学企業交流会 東海林健二，手書き線画の自動彩色 (2012.9)
- 4) 宇都宮大学企業交流会 森博志，ヴァーチャルヒューマン広告提示システム (2012.9)
- 5) 宇都宮大学企業交流会 東海林健二，外山史，手描き線画への自動彩色 (2013.9)
- 6) 宇都宮大学企業交流会 森博志，CG 人物を用いたインタラクティブシステム (2013.9)

ホ) 博士後期課程学生のプロジェクト関連研究での学位取得 1 件

- 1) 田中孝昌, “デジタルコンテンツへの自動変換を目指したマンガ画像の構造解析に関する研究”, 宇都宮大学, 博士 (工学) (2011.3)

3. 平成 25 年度 VBL 活動成果報告

3.1 組織図及び年間行事一覧

3.2 研究助成制度

3.2-1 平成 25 年度中核的研究機関研究員・招聘

外国人研究者・海外派遣動向調査若手研究者
・ヤングスカラーリスト

3.2-2 中核的研究機関研究員（VBL ポスドク）紹介

3.2-3 VBL 部門ポスドク研究成果報告書

3.2-4 ヤングスカラーシップ研究成果報告書

3.2-5 招聘外国人研究者報告書

3.2-6 海外派遣動向調査若手研究者報告書

3.3 大学院教育と V B L 活動

3.3-1 大学院教育プログラム（先端科学・技術特論）

3.3-2 2013 オープンキャンパス公開報告

3.3-3 2013 全国 VBL フォーラム参加報告

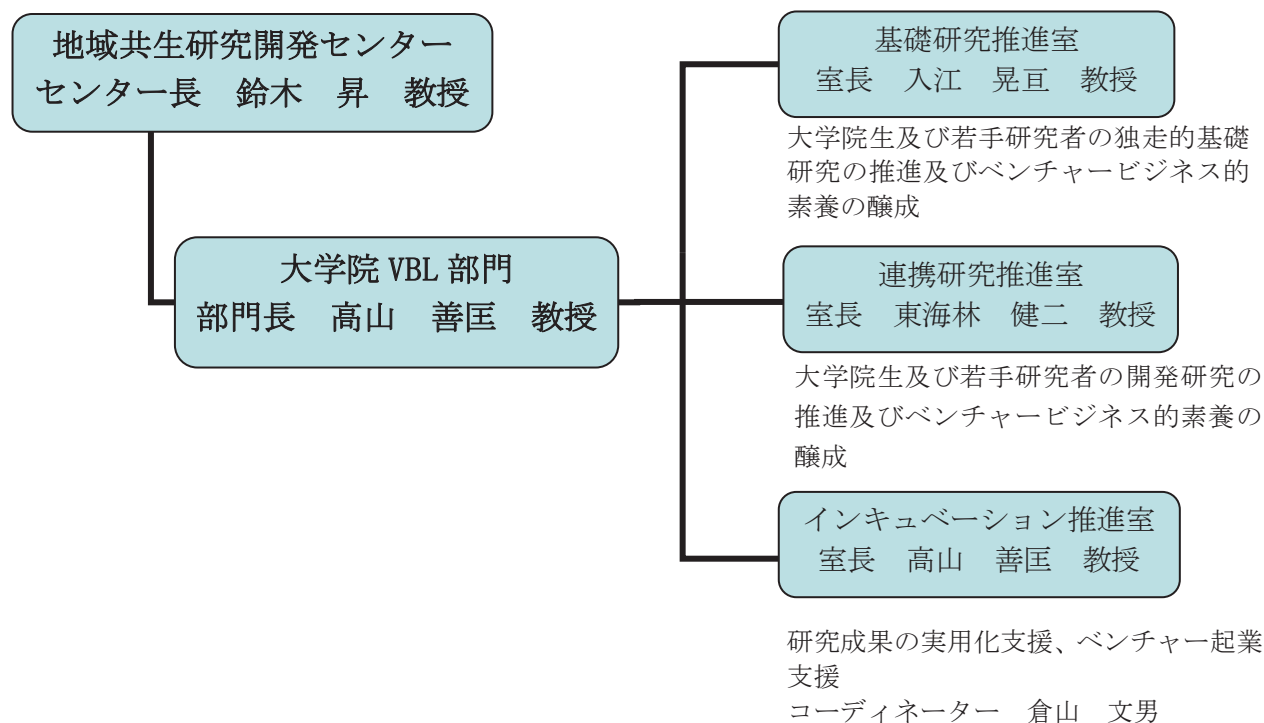
3.3-4 VBL 講演会

3.3-5 非常勤研究員・ヤングスカラー研究成果報告会

3.3-6 VBL 活動の様子

3.1 組織図及び年間行事一覧表

「組織図」



平成 25 年度

「VBL年間行事」

年月日	VBL 行事	関連行事等
H25 年 4 月	・ 大学院前期課程授業「先端科学・技術特論」(4 月～7 月) ・ ヤングベンチャースカラーシップ募集	
5 月	・ ヤングベンチャースカラーシップ選考会	
6 月	・ 第 1 回プロジェクトリーダー会議 6 月 19 日 (水)	
7 月		・ オープンキャンパス 7/21 (ポスドク出品依頼)
8 月	・ 招聘外国人研究者研究講演会 8 月 23 日 (金)	
9 月	・ 企業見学会	・ 企業交流会 9/9 ・ 全国 VBL フォーラム (9/27～28)
10 月		・ キャンパスベンチャーグランプリ募集
11 月	・ VBL 講演会 11 月 12 日 (火)	・ オープンキャンパス
12 月	・ H26 年度 CDI プロジェクト S 募集・ポスドク募集	
H26 年 1 月	・ H26 年度 CDI プロジェクト F 募集	
2 月	・ 海外派遣若手研究者報告会 2 月 26 日 (水)	
3 月	・ VBL 非常勤研究員 (ポスドク)・ヤングベンチャースカラーシップ研究成果発表会 (ポスターセッション) 日程 3 月 6 日 (木)	

3.2-1 平成 25 年度 中核的研究機関研究員・招聘外国人研究者・

海外派遣動向調査若手研究者・ヤングスカラー・リスト

○ 中核的研究機関研究員（ポスドク）

非常勤職員名	任用期間	年数	担当教員	研究開発テーマ
オオサワ シゲジ 大澤 茂治	H24.4.1～ H26.3.31	2 年	尾崎 功一	マイクロ視野における画像計測およびその実用化
サラントラガ 薩仁同拉嘎	H25.4.1～ H26.3.31	新規	長尾 慶和	イヌ卵子の対外培養に関する研究
タカシマ ユウヤ 高島 有哉	H25.4.1～ H26.3.31	新規	横田 信三	木質・リグノセルロース廃棄物を原料としたオゾン酸化・酵素糖化法によるバイオアルコール生産技術の開発

○ 招聘外国人研究者

招聘外国人研究者	担当教員	招聘国	所属機関	任用期間
Yury Shukrinov	入江 晃亘	ロシア	ドゥブナ合同原子核研究所 主任研究員	H25.7.1～H25.8.28

○ 海外派遣動向調査若手研究者

海外派遣動若手研究者	派遣国	受入機関	派遣期間
イタリ フシ 石栗 太	インドネシア, タイ	インドネシアガジャマダ大学, ボゴール農科大学,タイセサート大学	H25.10.27～H25.12.4
オガタ カズコ 緒方 和子	アメリカ	Guide Dogs for the Blind, UC Davis Department of Population Health and Reproduction	H26.1.9～H26.1.29

○ ヤングベンチャースカラーシップ 研究グラント

名前	学年	研究テーマ
イワダテ タケオ 岩館 丈央	DC1	チロシナーゼによる酸化反応に着目した新規天然生理活性物質の開発
リ ギョウカク 李 暁赫	DC1	高強度コンクリートの強度特性に及ぼす初期湿潤養生条件の影響
ウエダ チサト 上田 智聡	DC2	シイタケ菌床栽培における菌体外酵素の経時変化及び菌体外タンパク質の網羅的解析
Fanny Hidayati	DC2	Effect of radial growth on anatomical characteristics and wood properties of 5-year-old <i>Gmelina arborea</i> planted in Indonesia
ヤマグチ ミオ 山口 美緒	DC1	放牧が乳牛の乳質に及ぼす影響に関する栄養学のおよび行動学的解析

オガタ カズコ 緒方 和子	DC2	細胞内氷晶形成の軽減によるイヌ精子凍結保存法の確立
イマイ タクト 今井 拓人	DC1	雄性化変異体メダカを用いた産業有用魚種の性統御法開発に向けた基礎研究
イシカワ シンジ 石川 慎二	DC1	複素振幅型デジタル超解像顕微鏡法
タナベ ジュン 田邊 純	DC2	41年生エゾマツ精英樹家系におけるマイクロファブリル傾角の変異
Wiwin Tyas Istikowati	DC1	Evaluation of wood properties for pulp production from three less known fast-growing species growing in Kalimantan, Indonesia
シバ ミュキ 志波 幸	MC2	カプセル型マイクロリアクターを用いたバイオディーゼル燃料合成
トヨダ アヤ 豊田 彩	MC2	光合成タンパク質ユニットを用いた組織化分子膜の構築と光機能材料への応用
ナリタ ナオヒロ 成田 直広	MC1	サイボーグロボットの開発に関する研究
サトウ シュウヘイ 佐藤 終平	MC1	溶存水素を検知するパラジウム水素センサーの開発
オニワ マサキ 男庭 正規	MC2	肘関節屈曲・回旋時における靱帯変形の有限要素解析
ハラ アスカ 原 明日香	MC2	ウシおよびヒツジにおける乳腺組織の構築過程
ノムラ ヒカル 野村 光	MC2	パラジウム触媒膜を用いたエチレン部分酸化による各種誘導体の合成
ホソカワ ヒカル 細川 光	MC2	反応拡散を利用した摩擦攪拌による異種箔材接合技術の開発
ウエタケ ダイチ 植竹 大地	MC1	E P G Aを用いた航海画像安定化に関する研究
アライ ユウスケ 荒井 裕介	MC1	A n d r o i d OS上での無線接続型クラスタ計算機システムの構築技術に関する研究開発
ツボヤマ ショウコ 坪山 祥子	MC1	苔類ゼニゴケをモデルとした植物のゲノム改変技術の開発
スズキ ハルト 鈴木 遼人	MC2	高い現実感で仮想物体を「掴む」ことに着目したAR装置の開発
ツブラヤ トモノリ 圓谷 友紀	MC2	高速大規模電磁界解析に資する並列化有限要素法の基礎研究
オダガキ ナルミ 小田垣 成美	MC2	乳脂肪球被膜 (M F G M) によるメタボリックシンドローム抑制に関する研究

ナカガワ タクヤ 中川 拓也	MC2	イネのヨウ素吸収・移行に関する遺伝子の単離と機能解析
クリバヤシ ミサキ 栗林 美早	MC2	シロイヌナズナ <i>AtCLCa</i> トランスポーターの解析と高ヨウ素含有イネの作出
イチカワ タクロウ 市川 拓朗	MC1	アゼライン酸処理をしたシラカンバ幼植物体 No. 8 の各器官に生成する特異的タンパク質の網羅的解析
アイソ ハルナ 相蘇 春菜	MC2	数種の熱帯産業植林樹種におけるあて材の組織構造およびリグニン分布
クドウ ユウジ 工藤 祐司	MC1	カラマツ人口交配家系における木材性質および遺伝的特性
フジワラ アサミ 藤原 麻美	MC2	超高压下酵素処理を用いた β -ラクトグロブリンの低アレルギー化とその評価方法の確立
オオツカ マサヤ 大塚 雅哉	MC2	高温超伝導体固有ナノ構造を用いた新機能スピンドバイスの開発
コスゲ カツヤ 小菅 克弥	MC1	魚類の季節繁殖を制御する新規脳内分子機構の解析
サイトウ ユウキ 斉藤 悠生	MC2	グラム陰性菌の <i>Quorum Sensing</i> 制御を目指したシクロデキストリン誘導体の合体と改良

○ ヤングベンチャースカラーシップ 国際会議奨励グラント(平成 25 年度より)

名前	学年	発表論文名
コイケ シンイチロウ 小池 慎一郎	DC2	トリプトファン経口投与による肝臓タンパク質合成促進作用の作用機序解析
マツモト シゲキ 松本 茂樹	DC1	不可視な人工的固体と強調するヒトのバランス運動に関する実験的研究
ナガタ トモヒロ 永田 智洋	DC1	次元に基づく表情豊かな対話音声合成のための重回帰HMMパラメータのロバストな推定
イシダ ジュン 石田 潤	MC1	エタノールによる酢酸のエステル化のためのHYゼオライト触媒膜
サガワ サトシ 佐川 聡	MC1	非対称多孔質管を用いたポアスルー型触媒膜反応器の開発
ヤマムラ シュウ 山村 秀	MC1	フッ素化炭化水素ベースナノ流体の合成と伝熱制御への応用

3.2-2 平成 25 年度 中核的研究機関研究員（VBL ポスドク）紹介



大澤 茂治

研究テーマ：マイクロ視野における画像計測およびその実用化
マイクロ視野における微細作業は、操作が非常に繊細であることから正確性や作業員への負担が問題視されており、自動化が望まれています。このため、私は画像計測により、操作対象物の距離（特に奥行き方向の距離）や特徴量を求める技術の開発を行っています。さらに、開発した技術の実用化の対象として、マイクロマニピュレータを用い、微粒子を特徴に応じて選別する装置や、製品の微小傷の検査装置を挙げ、これらの開発を目指しています。



サラントラガ

研究テーマ：イヌ卵子の体外成熟に関する研究

イヌ卵子の体外成熟培養法は未だ確立されておらず、世界的にも体外培養卵子由来の産子は得られていないのが現状です。その要因として、イヌ卵子の排卵時期および卵子の成熟機序の特異性が考えられていますが、詳細については不明です。本研究では、卵子の体外成熟培養技術の要因について検討し、優良な盲導犬や介助犬の効率的育成への貢献を目指しています。



高島 有哉

研究テーマ：木質・リグノセルロース廃棄物を原料としたオゾン酸化・酵素糖化法によるバイオアルコール生産技術の開発

これまでに、バイオアルコール生産の原料として、食料生産と競合しない、非可食性バイオマスの適用技術が開発・研究されてきています。非可食性バイオマスの中でも、木質系バイオマスは、未利用または廃棄されている量が膨大であり、地球温暖化防止の観点においても、これらの有効利用が重要であると考えられます。木質系バイオマスをバイオアルコール原料として用いる際、木化した細胞壁に存在するリグニンが糖化を阻害するため、このリグニンを除去する必要があります。そこで、私は、バイオアルコール生産のための前処理として、木質系バイオマスからリグニンを効率的に除去するための技術開発を目的として、研究を進めています。

3. 2-3

マイクロ視野における画像計測およびその実用化

大澤茂治 (PD)

宇都宮大学地域共生研究開発センター大学院 VBL 部門 osawas@cc.utsunomiya-u.ac.jp

(指導教員) 尾崎功一 (教授)

宇都宮大学大学院工学研究科 機械システム学科 ozaki@cc.utsunomiya-u.ac.jp

1. 諸言

ミクロ領域を観察できる高倍率のマクロレンズや光学顕微鏡, およびマイクロマンipュレータに代表されるミクロサイズの物体を操作する機器の研究・開発により, 産業, 医療, 農畜など, 様々な分野において作業の微小化が可能となってきた. これらの微細作業は繊細な作業のため, 正確性の維持, 作業者の負担から自動化が望まれている. そこで本研究では, これまで, 光学顕微鏡とマイクロマンipュレータを組み合わせたシステムを開発し, 微細作業の最も基本的な動作である微粒子の把持及び解放の自動化を実現させてきた. 本年度は, マイクロマンipュレータを使用しない微細作業の自動化として, 画像処理を用いた小型金属部品の微細傷検査の自動化を課題とした. また, 近年, 製品の検査装置をはじめとし, 画像処理と制御を組み合わせた機器に対する需要が高まっており, このような機器を開発できる技術者の育成が非常に重要となってきた. そこで, 画像処理と制御を同時に学べる教材の開発も課題とした. 本稿では, 第 2 章において微細傷検査に関する報告を行い, 第 3 章において画像処理と制御に対する教材に関する報告を行い, そして, 最後に第 4 章にて本研究をまとめる.

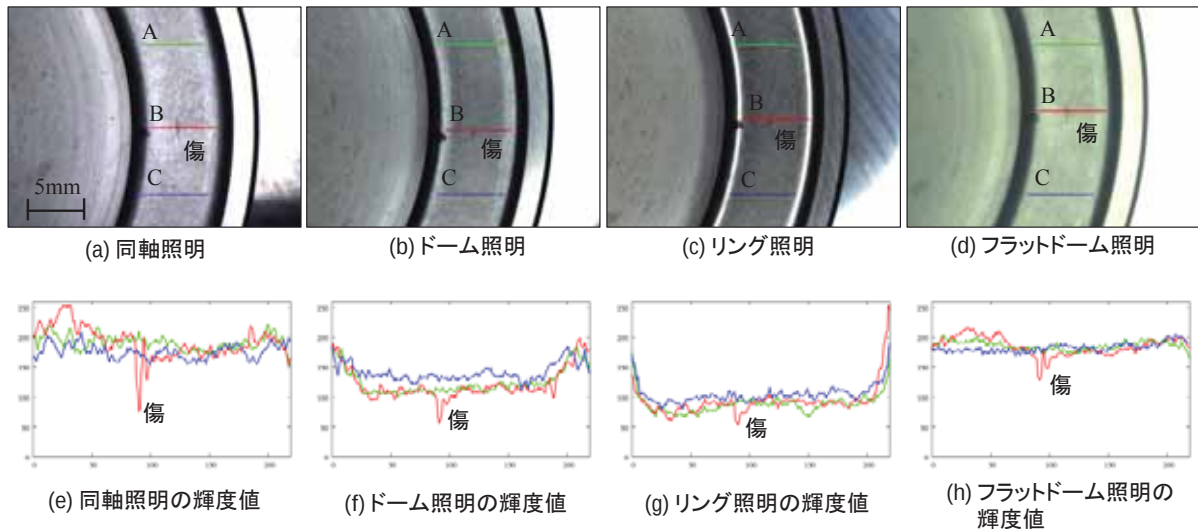
2. 微細傷の検査

2.1 背景

自動車や工作機械などの大型工業製品では, 小さな部品の欠陥が人命に関わる重大な事故を引き起こすこともあり, 製品の全数検査は必須になってきている. 従来, 検査は人間の目視により行われてきたが, 問題点として, 人間はそのときの主観で評価を行うため, 曖昧な評価になりがちであること, 大量の生産品を検査するため, 負担が大きいということが挙げられる. このため, 検査の自動化が切望されている. そこで, 本研究は, 金属の円形小型部品を対象として, 画像処理を用いた傷検出方法を提案する. まず, 検査にとって重要な要素である照明について調査を行い, 次に画像処理を用いた傷検出方法について述べ, 実験により有用性を示す. なお, 本研究は宇都宮機器株式会社との共同研究である.

2.2 照明

本研究は金属部品が対象であり，この表面は鏡面加工されていないため，梨地模様となっている．このため，傷の検出が難しい．そこで，梨地模様を目立たなくするような照明を選択することにより，傷の検出が行いやすくなると考えた．現在，多くの種類の照明が開発されており，本研究では同軸照明，ドーム照明，リング照明，フラットドーム照明を用い，検査対象物の画像を取得し，それぞれの輝度値を確認した．調査結果を図 1 に示す．



上図のA, B, C領域の輝度値を表している．縦軸は輝度値（0～255）であり，横軸は各領域の左端を原点とした位置である．線の色は，各領域の色と同一である．

図 1. 照明と輝度値

傷が検出しやすいと考えられる観点として，表面と傷との輝度値の差が大きいこと，表面の輝度値にばらつきが小さいこと，だと考える．同軸照明は，表面の輝度値にばらつきは，他の照明と比較しやや大きい，表面と傷の輝度差が非常に大きい．よって，本研究では同軸照明を使用することとした．

2.3 傷検出方法

部品の傷検査において，部品材料の日々の差や照明変化に強いことは非常に重要である．傷検出に良く用いられている方法として，良品の画像を用い，取得画像と比較するテンプレートマッチングを用いた方法が挙げられる．しかしながら，この方法は部品材料の日々の差や照明変化に弱い．そこで，本研究では，画像間の差分に基づいた方法を提案する．円形の部品は，中心を軸として回転させ，画像を取得し続けた場合，傷がなければほぼ同じ画像となる．つまり，二枚の画像の差をとることにより，傷を検出することができる．しかし，表面が梨地模様のため，傷以外も検出することが多い．そこで，傷は輝度値が低いことから，輝度値による閾値処理を追加する．これにより，傷のみを検出することが可能となる．また，本傷検出方法は，傷検出の閾値を画像により設定することが可能であり，誰にでも閾値調整を行うことができる．

2.4 実験

円形の金属部品の NG 品 5 個を用い、傷検出実験を行った。処理結果の一例を図 2 に示す。左の二枚の画像が入力画像であり、右画像が傷検出画像である。結果は、NG 品 5 個全て、傷を検出することができた。金属の梨地模様から傷が検出できていることがわかる。

今後は、多くのサンプルに対して傷検出を行い、本傷検出方法の有用性をより確認していく。また、検査装置の開発を行い、これに実装する予定である。

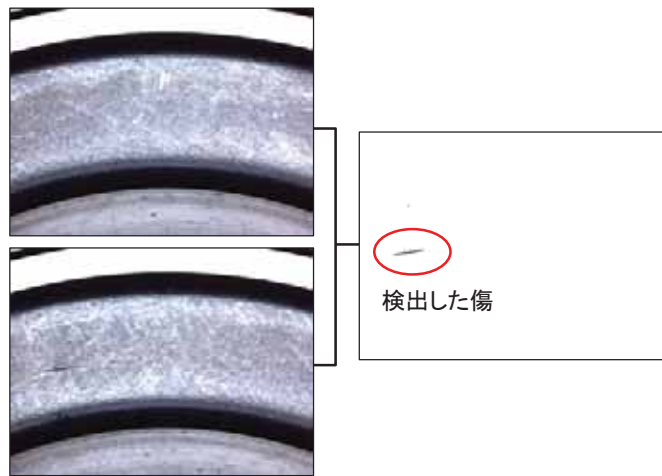


図 2. 傷検出結果の例

3. 画像処理と制御工学の導入教育用の教材

3.1 背景

近年、制御だけではなく画像処理を用いた機器の開発が多く行われるようになってきた。例えば、自動車の衝突回避機能や工場内の製品搬送用のロボット、また、製品の検査装置などが挙げられる。このような背景から、制御工学と画像処理工学の両方の知識を有する人材が求められている。しかし、制御工学も画像処理工学も習得には長い時間を要するため、途中で習得を諦めてしまう人が多いだけでなく、初めからこの分野の習得を避ける人も存在する。したがって、本格的に学習を始める前の段階、つまり、初期教育の段階において、「おもしろそう」、「やってみたい」という意欲を喚起することが重要だと考える。そこで本研究は、初期教育の段階において、制御工学と画像処理工学の両方に対して意欲を喚起できる魅力ある教材の開発を目的とした。

3.2 ARCS モデルの適用

魅力ある教材開発のため、ARCS モデルを適用することを考えた。ARCS モデルは、学習に対する動機づけを、A モデル(Attention)、R モデル(Relevance)、C モデル(Confidence)、S モデル(Satisfaction)の 4 つの要素に分類したモデルである。A モデルは、「おもしろそう」などの注意、関心を引くことに関する要素であり、R モデルは、「やりがいがありそう」という学習目標に関連する要素である。そして、C モデルは、「やればできそう」という自信に関する要素であり、S モデルは次への意欲につながる「やってよかった」という満足感に関する要素となっている。

本研究では、小型ヘリコプタ (AR.Drone) を用いることとした。AR.Drone は、カメラが付いており、制御動作や画像処理をプログラミングすることができる。これを用いた ARCS モデルの適用について述べる。まず、小型ヘリコプタを学習者に操作させることにより、「おも

しろそう」だと学習者に思ってもらえると考えた (A モデル). 次に, 画像処理による色物体の自動追跡のデモンストレーションを見てもらう. 自動での動作を観察することにより, 習得する知識がどのように使用されるのかを想像させ, 学習者に「やりがい」を持つことができると考える (R モデル). 次に自動制御用のパラメータおよび色抽出用のパラメータを変え, 色物体の自動追跡デモンストレーションを観察してもらい, 違いを認識してもらう. これにより, 学習者にやればできそうだと思ってもらえると考え (C モデル). そして, 最後に実際に学習者にパラメータを設定してもらう. これにより, 満足感が得られ, やってよかったと思ってもらえると考え (S モデル).

3.3 実験

本教材の効果を確認するため, 制御工学および画像処理工学を学んでいない高等専門学校の 1 年生, 40 人を対象とし, 実験を行い, アンケート評価を行った. 実験は, 時間の都合上, A と R モデルの部分のみ行った. アンケートは, 制御と画像処理, それぞれに対して, 「興味がありましたか?」, 「講義後, 興味・関心は高くなりましたか?」, 「もっと知りたいですか?」, 「制御 (画像処理) を使用した機械を作ってみたいですか?」という項目とした.

アンケート結果を図 3, 4 に示す. 図 3 が制御に対するアンケート結果であり, 図 4 が画像処理に対するアンケート結果である. この結果から, 本教材は, 制御および画像処理, それぞれに対して個別に意欲を喚起するだけではなく, 両方に対して同時に意欲を喚起する効果があることを確認した.

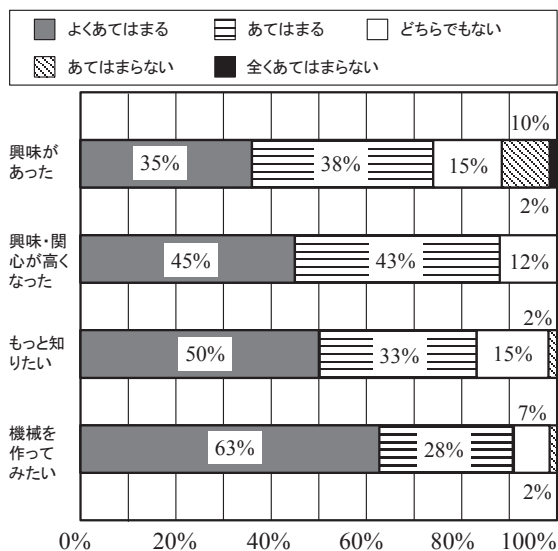


図 3. 制御に対するアンケート結果

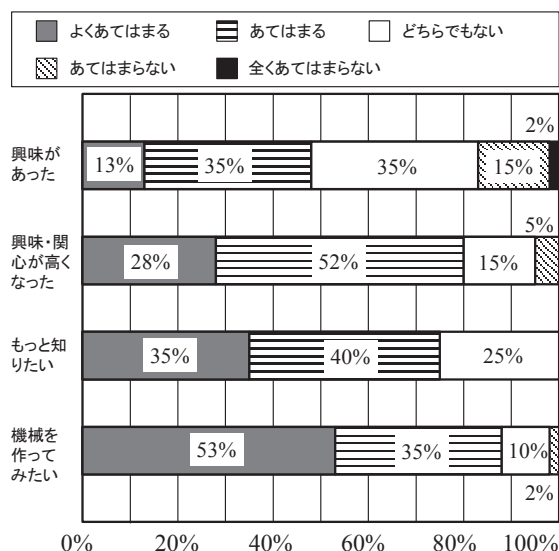


図 4. 画像処理に対するアンケート結果

4. 結言

本稿では, マイクロスケールの微細傷を検出するため, 照明に関する調査および画像処理による傷検出方法を提案した. また, 画像処理と制御の知識を有する技術者育成のため, 画像処理と制御を同時に学べる教材の開発を行った.

イヌ卵子の体外成熟培養に関する研究

長尾慶和（教授）^{*1, 3, 4}

ynagao@cc.utsunomiya-u.ac.jp

薩仁同拉嘎（非常勤研究員）^{*1, 2}

saren1979@yahoo.co.jp

緒方和子（D2）^{*1, 3}

50012951007@st.tuat.ac.jp

佐藤あかね（M1）^{*1, 4}

sugar_madder_gon@yahoo.co.jp

*1 宇都宮大学農学部附属農場

*2 宇都宮大学地域共生研究開発センター大学院 VBL 部門

*3 東京農工大学大学院連合農学研究科博士課程生物生産科学専攻

*4 宇都宮大学大学院農学研究科修士課程生物生産科学専攻

1. 緒言

イヌにおいては、他の動物種と比較して人工繁殖技術の進歩は遅く、いまだ卵子や胚の体外培養系、特に体外成熟培養技術が確立されていないのが現状である。イヌ卵子の成熟過程は、哺乳類の中できわめて特異的であり、排卵卵子は大きな卵核胞を有し、排卵後に卵管内で第一成熟分裂を再開し第一極体を放出し、一般的な哺乳動物の排卵時期である第二成熟分裂中期に移行する (Tsutsui et al., 1989)。イヌ卵子の体外成熟率については、他の哺乳類と比較しても著しく低いものである (Kim et al., 2005)。体外成熟率が向上し、体外で安定的に多くのイヌ成熟卵子を得ることが可能になれば、その先に続く雄および雌イヌの優良遺伝子を有効に利用する体外受精や顕微授精などの発生工学技術に応用することが可能となり、優秀な盲導犬の獲得に向けたイヌ卵子の体外培養系が大きく前進する。一般に、成熟卵子を得る方法として、発情誘起処置により体内で成熟させた卵子を回収する方法と、卵巣から未成熟な卵子を採取し、体外成熟によって成熟卵子を得る方法があるが、いずれの方法でも、イヌの成熟卵子を得ることは極めて困難であり、他の動物種で確立されている技術をそのままイヌに応用することはできない。そこで本研究では、ウシで開発された体外成熟培養法を基にして、摘出されたイヌ卵巣から採取された未成熟な卵子を発生工学的に活用して産子得ることを目的として、イヌ未成熟卵子の培養液と培養時間の関連、培養液中の性ホルモン、および培養液中の成長因子が卵子の体外成熟へ及ぼす影響について検討した。

2. 材料および方法

動物病院で避妊手術によって摘出されたイヌ卵巣から細切法により卵丘細胞卵子複合体 (COCs) を採取し、卵丘細胞が緊密に付着した COCs を選別して実験に供試した。以下に示した体外成熟培養終了後に、ヘキスト染色固定標本作製し、核相を共焦点レーザー顕微鏡により判別し、成熟

率を評価した。すなわち、卵核胞期 (GV 期)、卵核胞崩壊期 (GVBD 期)、第一減数分裂中期 (M I 期)、第二減数分裂中期 (M II 期) および変性に判別した。また、GVBD 期から M II 期までを合わせて減数分裂再開とし、変性数を全体の卵子数から除いた数を分母に、それぞれのステージの率を求めた。得られた結果は、 χ^2 検定または多重比較検定にて統計解析を行った。

実験 1. 成熟培養液がイヌ未成熟卵子の体外成熟に及ぼす影響

medium199 (m199) 区を対照区として、卵子培養用培地 (IVMD) 区を実験区として、それぞれ成熟培養 48 時間後に固定標本を作製して成熟の状態を評価した。

実験 2. 成熟培養時間がイヌ未成熟卵子の体外成熟に及ぼす影響

成熟培養液には IVMD を用いて、成熟培養開始から 24, 36 および 48 時間区を設定し、培養終了後に固定標本を作製して成熟の状態を評価した。

実験 3. 培養液中への性ホルモンの添加がイヌ未成熟卵子の体外成熟に及ぼす影響

成熟培養液には m199 を用いて、ウシ卵子の成熟培養に用いられる濃度で卵胞刺激ホルモン (FSH) $10 \mu\text{g/ml}$ とエストラジオール 17β (E2) $1.4 \mu\text{g/ml}$ を添加した区を 1 倍区および、5 倍濃度の FSH $50 \mu\text{g/ml}$ と E2 $7 \mu\text{g/ml}$ を添加した区を 5 倍区とし、ホルモン無添加区を対照区とした。それぞれ成熟培養 48 時間後に固定標本を作製して成熟の状態を評価した。

実験 4. 培養液中への成長因子の添加がイヌ未成熟卵子の体外成熟に及ぼす影響

成熟培養液には m199 を用いて、体外成熟培地に、インシュリン様成長因子 I (IGF-I) を (0, 0.5, 5 および $50 \mu\text{g/ml}$) あるいは、トランスフォーミング成長因子 α (TGF- α) (0, 1, 10 および 100 ng/ml) を添加した培養液中で成熟培養した後に固定標本を作製して成熟の状態を評価した。

3. 結果と考察

実験 1. 表 1 に示した通り、減数分裂再開率においては、IVMD 区は、m199 区と比較して差はなかった。IVMD 区は、m199 区と比べて、M I 期率が有意に高い値を示した。IVMD には卵子の成熟促進因子である TGF- α 、インスリンおよびピルピン酸などが添加されており、それらの物質が成熟培養環境を整えるといった種々の作用が相乗効果となって M I 期の進行を促進させたと考えられる。

表 1. 成熟培養液がイヌ未成熟卵子の体外成熟に及ぼす影響

実験区	供試 卵子数	減数分裂のステージ (%)					変性率 (%)
		GV	GVBD	M I	M II	減数分裂再開	
m199 区	48	2/27 (26.0)	12/27 (44.4)	8/27 (29.6)a	0/27 (0)	20/27 (74.0)	21/48 (43.8)
IVMD 区	100	11/51 (21.6)	16/51 (31.4)	24/51 (47.1)b	0/51 (0)	40/51 (78.4)	49/100 (49.0)

実験回数 : 5 回 a-b : 異符号間に有意差あり (P<0.05)

実験 2. 表 2 で示した通り、各成熟時間について、3 区の間で差は見られなかったが 48 時間区においては、M II 期率が 24 時間と 36 時間区に比べて高い傾向が見られた。このことから、成熟培養時間としては 48 時間が適当であることが示唆された。

表 2. 成熟培養時間がイヌ卵子の体外成熟に及ぼす影響

実験区	供試 卵子数	減数分裂のステージ (%)					変性率 (%)
		GV	GVBD	M I	M II	減数分裂再開	
24h	33	6/28 (21.4)	5/28 (17.9)	17/28 (60.7)	0/28 (0)	22/28 (78.6)	5/33 (15.2)
36h	71	12/64 (18.8)	21/64 (32.8)	27/64 (41.2)	4/64 (6.3)	52/64 (81.3)	7/71 (9.7)
48h	43	8/39 (20.5)	14/39 (35.9)	11/39 (28.2)	6/39 (15.4)	31/39 (79.5)	4/43 (9.3)

実験回数：6 回

実験 3. 表 3 で示した通り、減数分裂再開率は性ホルモン無添加区に比べて 1 倍区および 5 倍区で有意に高い値を示した。また、1 倍区と 5 倍区において、M II 期率が向上し、変性率は低くなる傾向が見られた。これらの結果から、E2 と FSH は、細胞質成熟促進効果を発揮していることが示唆された。

表 3. 培養液中への性ホルモンの添加がイヌ卵子の体外成熟に及ぼす影響

実験区	供試 卵子数	減数分裂のステージ (%)					変性率 (%)
		GV	GVBD	M I	M II	減数分裂再開	
対照区	67	17/60 (28.3)	22/60 (36.7)	21/60 (35.5)	0/60 (0)	43/60 (71.7)a	7/67 (10.4)
1 倍区	46	3/42 (7.1)	11/42 (26.2)	26/42 (61.9)	2/42 (4.8)	39/42 (92.9)b	4/46 (8.7)
5 倍区	71	3/66 (4.5)	29/66 (43.9)	29/66 (43.9)	5/66 (7.6)	63/66 (95.5)b	5/71 (4.0)

実験回数：5 回

a-b：異符号間に有意差あり (P<0.05)

実験 4. 表 4 および 5 に示した通り、TGF- α 10 ng/ml 添加区で他の区より M II 期率が高い傾向が見られた。IGF- I においては、M II 期率について、5 および 50 μ g/ml 添加区で無添加区に比べて有意に高い値が示された。これらの結果より、TGF- α および IGF- I の添加は、M II 期への進行を促進することが示唆された。

表 4. TGF- α がイヌ未成熟卵子の体外成熟に及ぼす影響

TGF- α (ng/ml)	供試 卵子数	減数分裂のステージ (%)					変性率 (%)
		GV	GVBD	M I	M II	減数分裂再開	
0	85	4/79 (5.1)	38/79 (48.1)	29/79 (36.7)	4/79 (5.1)	72/75 (96.0)	6/85 (7.1)
1	88	4/84 (4.8)	40/84 (47.6)	33/84 (39.3)	7/84 (8.3)	80/84 (95.2)	4/88 (4.5)
10	115	12/108 (11.1)	39/108 (36.1)	46/108 (42.6)	11/108 (10.2)	96/108 (88.9)	7/115 (6.1)
100	91	6/83 (7.0)	48/83 (55.8)	26/83 (30.2)	3/83 (3.5)	77/83 (92.8)	8/91 (8.8)

実験回数：6 回

表 5. IGF- I がイヌ未成熟卵子の体外成熟に及ぼす影響

IGF- I (μ g/ml)	供試 卵子数	減数分裂のステージ (%)				減数分裂再 開	変性率 (%)
		GV	GVBD	M I	M II		
0	66	3 (5.2)	29 (50.9)	32 (56.1)	1 (1.8)a	62/65 (95.4)	1/66 (1.5)
0.5	88	12 (15.2)	42 (53.2)	27 (34.2)	4 (5.1)ab	73/85 (85.9)	3/88 (3.4)
5	74	5 (7.8)	32 (50.0)	23 (35.9)	7 (10.9)b	62/67 (92.5)	7/74 (9.5)
50	77	11/74 (14.9)	30/74 (40.5)	24/74 (32.4)	9/74 (12.2)b	63/74 (85.1)	3/77 (3.9)

実験回数：6 回 a-b：異符号間に有意差あり (P<0.05)

4. 結言

IVMD はイヌ未成熟卵子の体外成熟培養液として有用であり、またイヌ未成熟卵子の体外成熟培養時間としては 48 時間が適当であることが示唆された。さらに性ホルモンや成長因子を体外成熟培養に添加することで、減数分裂の進行を促進することが示唆された。

5. 参考文献

- 1) Tsutsui T. Gamete physiology and timing of ovulation and fertilization in dogs. J Reprod Fertil . 1989;39:269-75.
- 2) Kim MK, Fibrianto YH, Oh HJ, Jang G, Kim HJ, Lee KS, Kang SK, Lee BC, Hwang WS. Effects of estradiol-17beta and progesterone supplementation on in vitro nuclear maturation of canine oocytes. Theriogenology. 2005 15;63(5):1342-53.

木質・リグノセルロース廃棄物を原料としたオゾン酸化・酵素糖化法によるバイオアルコール生産技術の開発

横田信三 (教授)*¹, 石栗 太 (准教授)*², 飯塚和也 (准教授)*³,
高島有哉(非常勤研究員)*⁴,
上田智聡(D2)*⁵,
日下田 覚(M2)*⁶, 石田夏妃(B4)*⁷

*1 農学部森林科学科 yokotas@cc.utsunomiya-u.ac.jp

*2 農学部森林科学科 ishiguri@cc.utsunomiya-u.ac.jp

*3 農学部森林科学科 kiizuka@cc.utsunomiya-u.ac.jp

*4 VBL, 大学院農学研究科森林科学専攻 ytakashima@cc.utsunomiya-u.ac.jp

*5 東京農工大学大学院連合農学研究科環境資源共生科学専攻 50012953002@st.tuat.ac.jp

*6 大学院農学研究科森林科学専攻 ma128505@cc.utsunomiya-u.ac.jp

*7 農学部森林科学科 a103506@cc.utsunomiya-u.ac.jp

1. 緒言

近年、カーボンニュートラルという概念が導入され、環境負荷の少ないバイオアルコールの生産が化石燃料の代替として注目されている。バイオアルコールの生産として、真菌類に属する酵母 (*Saccharomyces cerevisiae*) を用いたエタノール生産が主として検討されてきており、これまでに多くの研究が行われてきている。また、近年、嫌気性細菌である *Clostridium* 属菌を用いたアセトン・ブタノール・エタノール (ABE) 発酵が注目されている。しかしながら、これらの生産に用いられる原料には、サトウキビやトウモロコシといった食料と競合する原料が用いられることが多く、今後、食料不足および価格高騰を引き起こす恐れがある。そのため、木質系バイオマスを用いたバイオアルコールの生産が必要とされている。木質系バイオマスからのバイオアルコール生産は、セルロースを加水分解し、得られた単糖を生物学的にアルコールへと変換することで行われる。しかしながら、木質系バイオマス中のセルロースおよびヘミセルロースは、リグニンにより被覆されており、これが、単糖への変換を阻害するため、リグニンを除去する前処理が必要である。

一般に、栽培される食用きのこは、主に木材白色腐朽菌に属し、リグニンを分解する能力

を有する。従って、食用きのこ廃菌床は、リグニンがある程度分解および変性した木質系バイオマスであると考えられる。そのため、食用きのこ廃菌床は、バイオアルコール生産原料として有用であると考えられており、これまでに、シイタケ、エノキタケ、マイタケおよびアラゲキクラゲの廃菌床について検討されてきている (Yokota *et al.* 2007, Irawati *et al.* 2012)。さらに、食用きのこ廃菌床を菌床栽培に再利用して、きのこ栽培した後に得られる廃菌床は、リグニンの分解および変性がさらに進行した木質系バイオマスであると考えられる。

本研究では、シイタケ栽培培地にシイタケ廃菌床を再利用した、シイタケ栽培後の廃菌床を、リグニンの分解および変性が進んだ木質バイオマスと捉え、この廃菌床を用いて、エタノールおよび ABE 発酵を行うことで、バイオアルコール生産原料としての有用性を検討した。

2. 材料と方法

2.1 材料

本研究では、廃菌床を培地基材として添加せずに、市販のコナラチップ、コナラオガコ、フスマおよび炭酸カルシウムを用いて作製した菌床培地をコントロール (C) とした。また、C の菌床培地を用いてシイタケ栽培を行い、得られた廃菌床を培地基材に再利用して作製した菌床培地を R1 とした。R1 の菌床培地においては、C の廃菌床を培地に 25% 添加したものと 50% 添加したものの 2 種を用意し (それぞれ、R1-25 および R1-50)、菌床培地へのフスマおよび炭酸カルシウムの添加量を 8 および 1.5% (それぞれ、R1-25a および R1-25b)、また、10 および 1.0% (それぞれ、R1-50a および R1-50b) とした。R1-25a を用いてシイタケ栽培を行い、得られた廃菌床を培地基材に再利用した菌床培地を R2 とした。R2 の菌床培地においては、R1-25a の廃菌床を 25% 添加し、フスマおよび炭酸カルシウムの添加量を 8 および 1.5% としたものを用意した (R2-25)。なお、いずれにおいても、シイタケ栽培後の廃菌床を用いた。得られた廃菌床は、45°C で乾燥し、その後、ロータースピードミルで粉碎した。粉碎した試料は、粒径 180~355 μm に分篩し、以下の分析に使用した。

2.2 化学成分分析

2.1 で得られた試料について、エタノール・トルエン抽出物、クラークソンリグニン、酸可溶性リグニン、ホロセルロースおよび α -セルロースを、常法により定量した。

2.3 酵素糖化处理

酵素糖化处理には、酵素としてメイセラーゼ (Meiji Seika ファルマ) を用いた。45°C で乾燥した試料 200 mg を、10 mL 容 L 型培養管に入れ、供試酵素 50 mg を溶解した 0.1 M 酢酸緩衝液 (pH 5.0) 10 mL を加えた。その後、ウォーター・バス・シェイカーを用いて、40°C、60 ストローク/min で 48 時間往復振盪処理した。酵素糖化处理後、上澄み液を凍結乾燥し、発酵用試料とした。

2.4 エタノール発酵

供試酵母として、*Saccharomyces cerevisiae* NBRC 0224 を用いた。発酵用培地（10.0 g/L ポリペプトン，5 g/L 酵母エキス，5 g/L，および 2 g/L 硫酸マグネシウム，pH 6.0）に，糖化処理後の発酵用試料を溶解させ，ウォーター・バス・シェイカーを用いて 30°C で 96 時間，静置状態で発酵処理した。この間，24 時間ごとにエタノール濃度測定用の試料を採取した。

2.5 ABE 発酵

供試細菌として，*Clostridium acetobutylicum* NBRC 13948 を用いた。発酵用培地は，1 g/L 酵母エキス，2.2 g/L 酢酸アンモニウム，0.5 g/L リン酸二水素カリウム，0.5 g/L リン酸水素二カリウム，10 mg/L 硫酸マンガン，10 mg/L 塩化ナトリウム，0.2 g/L 硫酸マグネシウム七水和物，10 g/L 硫酸鉄七水和物，1 mg/L *p*-アミノ安息香酸および 1 mg/L レザズリンを含む培地に，酵素糖化後の試料をグルコース換算量で 300 mg 含むように溶解させ，約 1 時間の窒素ガス置換およびオートクレーブによる滅菌後，10 g/mL ビオチンを加えて調製した。その後，供試菌を接種し，37°C，96 時間発酵を行った。この間，24 時間ごとに，発酵による生成物濃度測定用の試料を採取した。また，採取した試料の pH を，pH 試験紙を用いて測定した。

2.6 高速陰イオン交換液体クロマトグラフィーによる発酵培地中の単糖の定量

分析には，糖分析用高速陰イオン交換液体クロマトグラフ（HPAEC）（DX500，Thermo Fisher Scientific）を用いた。分析用カラムおよびガードカラムには，それぞれ CaboPac PA-1（4 x 250 mm，Thermo Fisher Scientific）および（4 x 50 mm，Thermo Fisher Scientific）を用い，カラム温度は，カラムオーブン（Model 502，EYELA）を用いて 30°C に設定した。溶離液には，16 mM 水酸化ナトリウム水溶液を用い，流量 1 mL/min に設定した。なお，試料の注入量は 10 μ L とした。

2.7 ガスクロマトグラフィーによる発酵生成物の定量

分析には，ガスクロマトグラフ（GC）（HP6890 Series GC System，Agilent）を用い，カラムには，キャピラリーカラム DB-ALC1（30 m x 0.32 μ m，膜厚 1.80 μ m，Agilent）を用いた。注入口は，温度 250°C およびスプリットモード（10:1）に設定した。キャリアガスには，He を用い，20 psi 定圧で，カラム温度を 40°C（一定 10 min）→150°C 昇温（20°C/min）→150°C（一定 10 min）に設定して測定した。なお，サンプル注入量は 0.5 μ L とし，内部標品物質として，エタノール発酵生成物の定量では 2-プロパノールを，ABE 発酵生成物の定量では メタノールを，それぞれ用いた。

3. 結果と考察

3.1 廃菌床中の化学成分量

ホロセルロースおよび α -セルロースにおいては，C において最も高い値を示し，反対に R1-50a において最も低い値を示した。また，廃菌床のホロセルロースおよび α -セルロース量は，コナラ木粉のそれと比較すると，いずれも 5%水準で有意に低い値を示した。一方，ク

ラーソンリグニン量においては、コナラ木粉と比較すると、すべての廃菌床において、5%水準で有意に低い値を示したが、廃菌床間で有意差は認められなかった。木質系バイオマスを酵素糖化する際、リグニン量の低いものほど糖化効率が高いことが知られている。このことから、本研究で試料として用いた廃菌床についても、比較的ラーソンリグニン量が少ないため、酵素糖化原料として有用であると考えられる。

3.2 エタノール発酵

本研究で得られた、最高エタノール濃度と初発時の六炭糖量から計算したエタノールの対糖収率は、全処理区で約 100%であった。また、エタノール発酵培地に添加した糖について、得られた廃菌床培地の処理区を要因とした一元配置の分散分析を行ったところ、5%水準で有意差は認められなかった。以上の結果から、シイタケ廃菌床を菌床培地に添加して、シイタケ栽培を行った後の廃菌床であっても、エタノール生産原料として利用可能であると考えられる。

3.3 ABE 発酵

TukeyHSD 法による多重比較検定の結果、ブタノールの対糖収率は、R1-50a から得られた糖を添加した培地を除くすべての培地で、有意な差は認められなかった。以上の結果から、シイタケ廃菌床を菌床培地に添加して、シイタケ栽培を行った後の廃菌床であっても、ブタノール生産原料として利用可能であると考えられる。

4. 結言

本研究に用いた菌床培地にシイタケ廃菌床を再利用したシイタケ栽培後の廃菌床において、C と比較して、子実体収量が低下せず、また、得られた糖量の多い R1-25a, R1-25b および R2-25 は、エタノールおよび ABE 発酵による、エタノール、ブタノールおよびアセトンの生産原料として有用であると考えられる。

謝辞

本研究を行うにあたり、実験試料として菌床および廃菌床をご提供いただきました、株式会社北研食用菌類研究所 山内隆弘博士に深く感謝致します。

引用文献

- Irawati D, Yokota S, Niwa T, Takashima Y, Ueda C, Ishiguri F, Iizuka K, Yoshizawa N (2012) Journal of Wood Science 58: 180-183
- Yokota S, Nakajima R, Suzuki D, Ishiguri F, Iizuka K, Yoshizawa N (2007) Cellulose Chemistry and Technology 41: 575-582

3. 2-4

チロシナーゼによる酸化反応に着目した新規天然生理活性物質の開発

岩舘丈央 (D1)

Takehiro IWADATE (D1)

東京農工大学大学院農学研究科応用生命科学専攻 da13952002@cc.utsunomiya-u.ac.jp

(指導教員) 二瓶賢一 (准教授)

Ken-ichi NIHEI (Associate Professor)

宇都宮大学大学院農学研究科生物生産科学専攻 nihei98@cc.utsunomiya-u.ac.jp

1. 緒言

酸化還元酵素であるチロシナーゼは、モノフェノールおよび *o*-ジフェノールを基質として認識し、それらを *o*-キノンへと変換する。生成した *o*-キノンはアスコルビン酸や NADH など生体内に存在する還元剤存在下、*o*-ジフェノールへ還元されることが知られている¹⁾。チロシナーゼは多くの生物に分布するため、モノフェノールを含む天然試料中には、*o*-ジフェノールも存在していることが予想できる。栃木県内で栽培されているメグスリノキ(*Acer nikoense*)にはモノフェノール配糖体の epirhododendrin(**1**)が含まれている(Fig. 1)²⁾。しかしながら *A. nikoense* からジフェノール体である **2** の単離報告は、現在まで存在しない。ポリフェノールである **2** は、フリーラジカル捕捉能を示す抗酸化性物質である可能性が高い。また、**2** のエピマーである taxuside(**3**)は抗菌性を示すため、**2** も同様の活性を持つことが期待される。そこで本研究では **2** およびその関連化合物を効率的に化学合成し、それらの生理活性の評価とメグスリノキ中における存在の確認を行うことを目的とした。

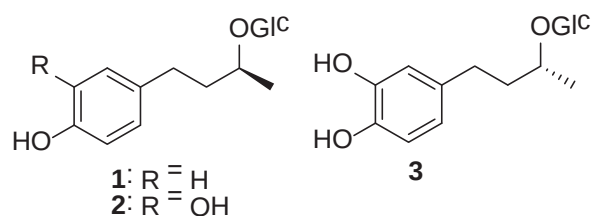
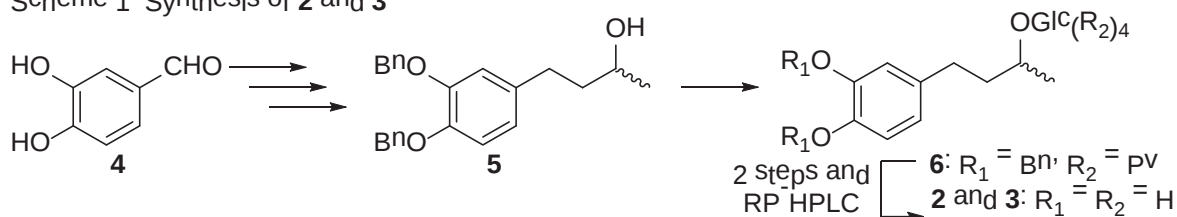


Fig. 1: Structure of **1** **3**

2. 結果と考察

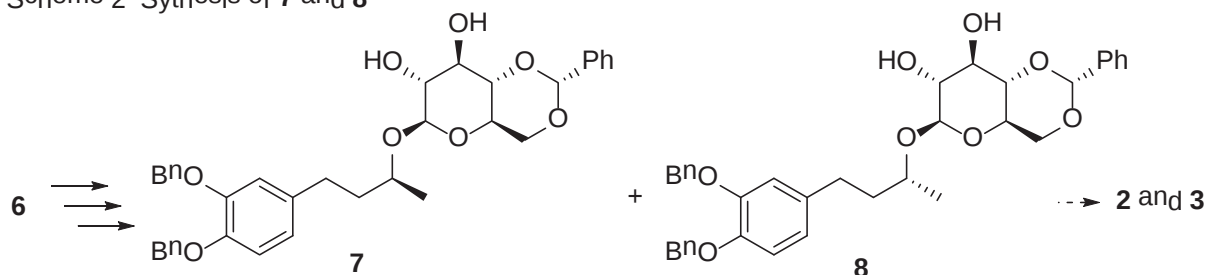
1) ジフェノール **2** の合成

配糖体 **2** を得るため、そのアグリコン部分をラセミ混合物として合成し、配糖体化後にエピマー分割することを計画した(Scheme 1)。以前に開発した反応経路を応用し、ベンズアルデヒド **4** からアルコール **5** を合成した³⁾。得られた **5** を配糖体化し、生成したアセタール **6** を脱保護してグルコシド **2** およびそのエピマーである **3** の混合物を得た。RP-HPLC を用いて、それらの分離を試みたが、大量分取に最適な条件を見つけ出すことはできなかった。

Scheme 1' Synthesis of **2** and **3**'

そこでアグリコン部分であるアルコール**5**の不斉合成を試み、不斉プール法および Sharpless 不斉ジヒドロキシ化などの種々の条件を検討した。しかしながら、満足する収率および光学純度で、目的の**2**および**3**を合成することはできなかった。

関連文献の調査を行った結果、**2**および**3**と類似した化合物において、グルコース部分の4,6位をベンジリデンアセタール化することでそれらのエピマー分離が達成されていることが分かった⁴⁾。従って同様の方法を**2**および**3**の化学合成へと適用した(Scheme 2)。配糖体**6**のピバロイル基を除去した後に合成したアセタール**7**および**8**は、シリカゲルクロマトグラフィーによって容易に分割できた。加水素分解により**7**を脱保護することで、**2**を得ることが可能である。

Scheme 2' Synthesis of **7** and **8**'

また本反応経路を利用して**1**のベンジリデンアセタール保護体を合成し、エピマー分割を行った。先の**7**と同じ立体配置を持つエピマーの保護基を除去して、**1**の合成も達成される。

3. 結言

本研究により、**2**の合成前駆体である単一異性体**7**の大量合成方法を確立した。今後、**7**を脱保護することで目的の**2**が合成できる。また、天然物**3**は未だ化学合成されていないため、**8**を脱保護することにより、その初めての全合成も達成される。さらにフリーラジカル捕捉能を指標として、**2**の抗酸化性を評価し、それが天然物であることを確認することで、メグスリノキおよびそれを原料とする食品などの商品価値の向上や利用範囲の拡大が期待できる。

4. 謝辞

NMR 測定でお世話になりました宇都宮大学教育学部 山田洋一教授に感謝いたします。

5. 参考文献

- 1) Valero, E.; Varón, R.; García-Carmona, F. *Biol. Chem.* **2002**, 12, 1931-1939.
- 2) Inoue, T; Ishidate, Y.; Fujita, M.; Kubo, M.; Fukushima, M.; Nagai, M. *Yakugaku Zasshi* **1978**, 98,

41-46.

3) Iwadate, T.; Kashiwakura, Y.; Masuoka, N.; Yamada, Y.; Nihei, K. *Bioorg. Med. Chem. Lett.* **2014**, 24, 122-125.

4) Huang, L.-J.; Hou, S.-J.; Li, J.-B.; Yu, D.-Q. *J. Asian Nat. Prod. Res.* **2007**, 9, 223-231.

高強度コンクリートの強度特性に及ぼす初期湿潤養生条件の影響

李曉赫 (D1)

Xiaohe LI (D1)

宇都宮大学大学院工学研究科システム創成工学専攻 dt137114@cc.utsunomiya-u.ac.jp

(指導教員) 杉山央 (教授)

Hisashi SUGIYAMA (Professor)

宇都宮大学大学院工学研究科地球環境デザイン学専攻 sugisugi@cc.utsunomiya-u.ac.jp

1. 緒言

コンクリートの強度を十分に発現させるためには、コンクリートの初期硬化中に十分な水分を保持する必要がある。図-1に示すように、脱型するとコンクリート部材から外気への水分の逸散が始まるため、脱型時期が早すぎると水和反応に必要な水分が不足し、コンクリートの強度に大きな影響を及ぼす。すなわち、初期硬化中のコンクリートから水分を逸散

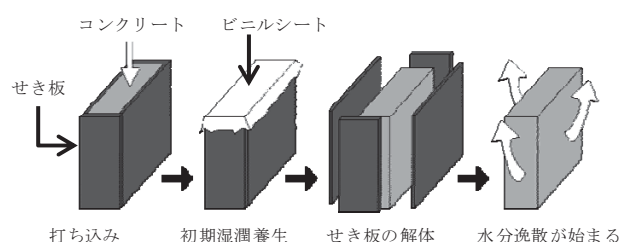


図-1 水分逸散の仕組み

させずに湿潤状態を保持する「初期湿潤養生」が重要である。一方で、施工期間短縮などの事情により、初期湿潤養生の期間短縮への要望がある。しかし、特に高強度コンクリートについては、初期湿潤養生条件が品質に与える影響に関して研究例が少ない。

このような背景のもと、本研究では初期湿潤養生条件が高強度コンクリートの強度特性に及ぼす影響を系統かつ定量的に調べることを目的とし、実験的な検討を行った。

2. 実験

普通強度レベルのコンクリートの初期湿潤養生条件と強度特性に関しては、いくつかの研究が報告されている。その中には複数種類のセメントを取り上げた研究等もある。しかし、既往の研究では強度領域や湿潤養生期間等の条件が限定されており、それらを幅広く設定して系統的に行われた研究例はない。このため、本研究では表-1に示すように高強度（低水セメント比）から普通強度（高水セメント比）のコンクリートを対象に、初期湿潤養生の期間を幅広く設定して研究する計画である。

また、本研究は厚さ 200mm の壁部材を想定し、 $\phi 100 \times 200$ mm の円柱試験体を用いて、表-2に示す試験を所定材齢に行う。そして、初期湿潤養生の期間がコンクリートの強度特性にどのよう

表-1 実験因子と水準

因子	セメント 種類	水セメント比	初期湿潤 養生期間
水準	普通	25% 40% 55%	0.5d, 1d, 2d, 3d, 7d
	早強	40%	
	中庸熟	40%	

表-2 試験項目および試験材齢

試験項目	試験材齢
圧縮強度	28 日、91 日
水分逸散率	初期湿潤養生後から 91 日まで
含水率	初期湿潤養生後、28 日および 91 日

に影響するかおよびそのメカニズムについて調べる。

3. 結果と考察

図-2 に示すように初期湿潤養生期間が短いほど圧縮強度比小さい。また、図-3 に示すように初期湿潤養生の打ち切り強度が低いほど圧縮強度比が小さい。そして図-4 に示すように、水分の逸散が多いほどコンクリートの圧縮強度が低い。原因としては、初期湿潤養生期間の打ち切りが早い場合、図-5 に示すようにコンクリートの強度が低く、表面組織の緻密化も不十分であるため、水分が外気へ多く逸散し、長期強度の発現に悪影響を及ぼしたと推測される。

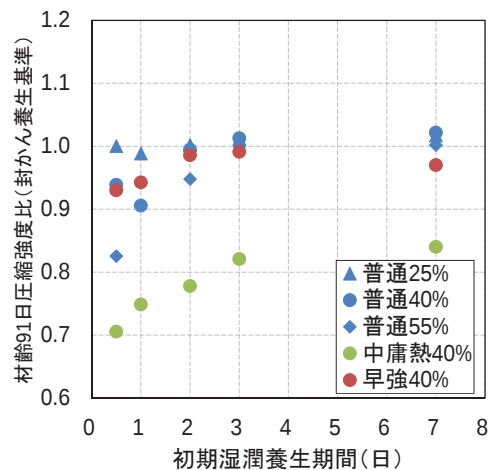


図-2 初期湿潤養生期間と圧縮強度比の関係

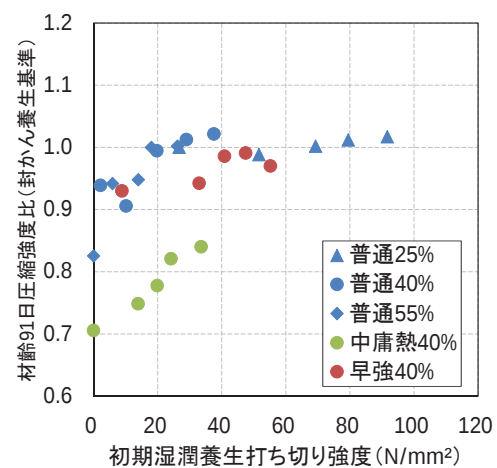


図-3 初期湿潤養生打ち切り強度と圧縮強度比の関係

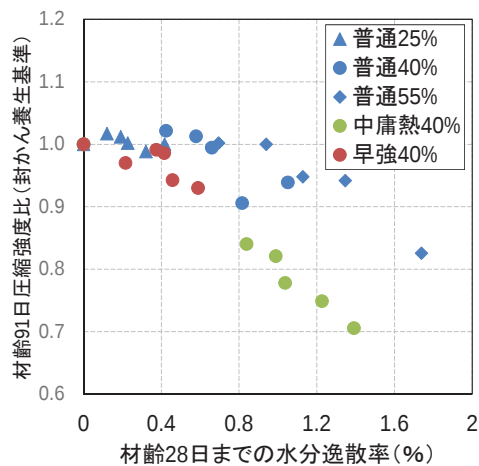


図-4 水分逸散率と圧縮強度比の関係

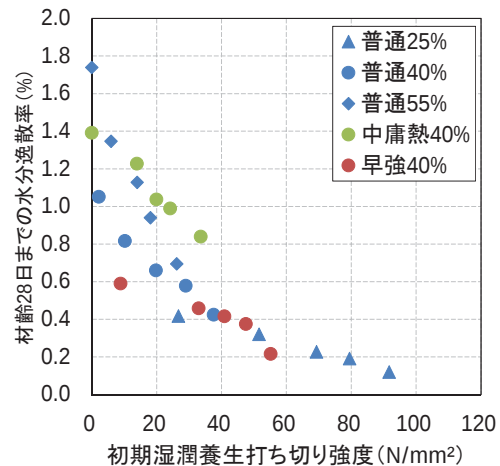


図-5 初期湿潤養生打ち切り強度と水分逸散率の関係

4. 結言

水分の逸散率を指標として各強度レベルのコンクリートの強度特性に及ぼす初期湿潤養生条件の影響を評価することが可能であることがわかった。

参考文献

- 1) 和泉意登志ほか：せき板存置期間および初期養生が構造体コンクリートの品質に及ぼす影響に関する研究, 日本建築学会構造系論文報告集, No. 449, 1993. 7

シイタケ菌床栽培における菌体外酵素の経時変化および

菌体外タンパク質の網羅的解析

上田 智聡 (D2)

Chisato UEDA(D2)

東京農工大学連合農学研究科 50012953002@st.tuat.ac.jp

(指導教員) 横田 信三 (教授)

Shinso YOKOTA (Professor)

宇都宮大学農学部森林科学科 yokotas@cc.utsunomiya-u.ac.jp

1. 緒言

食用きのこの多くは、木材白色腐朽菌であり、培地を分解する際に種々の菌体外酵素を生産する(寺下ら 1991; 北本・鈴木 1992)。我が国の食用きのこの代表であるシイタケは、その殆どが菌床栽培により生産されており、近年では、上面栽培法による栽培が注目されている。シイタケ上面栽培(井上ら 1998)では、培地の分解により、培養過程において、菌床から培養浸出液が発生し、発生過程においては、菌床の側面および底面を満たした上面水が派生する。栽培中に発生するこれらの液体には、菌が生産した多種類の菌体外タンパク質を含むと考えられる。栽培を通して、培養浸出液および上面水中の菌体外タンパク質の種類や発現量の変化を明らかにすることは、栽培特性の詳細な知見を得る上で重要であり、加えて、それらを酵素源として利することも期待できる。従って、本研究では、シイタケ上面栽培における培養浸出液および上面水における酵素活性、および菌体外タンパク質の発現プロファイルを調査した。

2. 実験

・菌床栽培試験

供試菌として、シイタケ2菌株(菌株AおよびB)を用いて、上面栽培を行った。試料として、栽培前から培養完了までの間に培養浸出液を、発生期間では上面水をそれぞれ収集した。得られた試料は、ろ過および遠心分離し、粗タンパク質試料を調製した。その後、以下の項目について調査を進めた。

・菌体外酵素活性の測定

栽培中に得られた各試料について、セルラーゼ活性(Samejima and Eriksson 1992)、リグニン分解酵素活性(Leonowicz and Grzywnowicz 1981; Tien and Kirk 1984; Paszczyński *et al.* 1985)およびプロテアーゼ活性について測定し、タンパク質濃度より比活性を算出した。

・菌体外タンパク質の解析

調製した粗タンパク質試料を、トリクロロ酢酸沈殿させて濃縮し、タンパク質溶液を調製した。その後、等電点電気泳動およびドデシル硫酸ナトリウム-ポリアクリルアミドゲル電気泳動を組み合わせた二次元電気泳動(2DE)を行った。得られた2DEゲルの画像解析より、栽培中に分泌

される各菌体外タンパク質の発現プロファイル解析を行った。

3. 結果と考察

ここでは、菌株 A の菌体外酵素について報告する。上面栽培において、菌床より発生した培養浸出液中のセルラーゼ比活性は、培養の進行に伴って増加し、培養後期に高い値を示した。一方、一部のセルラーゼおよびリグニン分解酵素の比活性は、培養前期に高い比活性を示した後に減少した。一方、培養後期に高い比活性を示したリグニン分解酵素も存在した。以上の結果より、シイタケ栽培において、培養浸出液中には、種々の菌体外酵素を含むことが明らかになった。また、酵素によって、培養中に高い比活性を示した時期は異なっていたが、測定した酵素の間で、培養中の活性パターンが類似していた。このことから、シイタケが生産するこれらの酵素は、菌糸が成長する培養中において、相互に作用することが示唆された。

4. 結言

本研究では、異なる2つのシイタケ菌株を用いて菌床栽培し、栽培中の培養浸出液および上面水における酵素比活性の変化、および菌体外タンパク質の発現プロファイルについて調査した。培養浸出液および上面水に含まれる種々の酵素の活性パターンは、酵素間で類似していたことから、シイタケが生産するこれらの酵素は、菌糸が成長する培養中において、相互に作用することが示唆された。また、測定した菌体外酵素の中で、最大比活性値を示したセルラーゼおよびリグニン分解酵素については、有用な酵素として利用できる可能性が示唆された。これらの得られた成果は、栽培特性に関する詳細な知見となるだけでなく、子実体生産において発生する、培養浸出液および上面水の新規な利用につながると考えられる。

謝辞

本研究の遂行にあたり、試料を御提供して頂いた、株式会社北研、食用菌類研究所、研究副部長、山内隆弘博士に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 寺下ら (1991) 第4章きのこの化学成分と酵素の生産性, “注目のバイオテクノロジー きのこの生化学と利用” 技術出版, 東京. pp. 62-109
- 2) 北本, 鈴木 (1992) 第I編 基礎編 3章 生理, “きのこ学” 立出版, 東京. pp. 79-115
- 3) 井上ら (1998) しいたけ菌床の発生方法, 特開平 10-271913
- 4) Samejima and Eriksson (1992) European Journal of Biochemistry 207: 103-107
- 5) Leonowicz and Grzywnowicz (1981) Enzyme and Microbial Technology 3: 55-58
- 6) Tien and Kirk (1984) Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 81: 2280-2284
- 7) Paszczyński et al. (1985) Federation of European Microbiological Societies Microbiology Letters 29: 37-41

Effect of radial growth on anatomical characteristics and wood properties of 5-year-old *Gmelina arborea* planted in Indonesia

Fanny Hidayati (D3)

United Graduate School of Agricultural Science, Tokyo University of Agriculture and Technology

50011953901@st.tuat.ac.jp

Shinso YOKOTA (Professor)

Department of Forest Science, Faculty of Agriculture, Utsunomiya University

yokotas@cc.utsunomiya-u.ac.jp

1. Introduction

The demands for solid and pulp woods are increasing in Indonesia every year. On the other hand, trees in natural forest are decreasing due to excessive logging and illegal logging activities. In addition, desirable wood for solid wood usually comes from long rotation plantation tree species, such as teak and *Shorea* spp. Therefore, it is important to utilize fast-growing species with good wood quality. *Gmelina arborea* is one of the fast-growing species in Indonesia. It is considered to be a promising species because of its ease and low cost of plantation establishment, rapid growth, and wood suitable not only for pulp and paper production but also for solid wood products. Some researchers have investigated the wood properties and anatomical characteristics of *G. arborea* (Espinoza 2004; Kojima *et al.* 2009). However, information on the wood quality is limited in *G. arborea* planted in Indonesia. Thus, this study clarified the effects of radial growth on anatomical characteristics and wood properties of 5-year-old *G. arborea* planted in Indonesia.

2. Experiments

Five-year-old *G. arborea* trees (54 trees) planted in Yogyakarta, Indonesia (07°54' S – 110°32' E) were used. The trees were initially planted with 1.5 x 3 m spacing. The stem diameter at 1.3 m above the ground and stress-wave velocity (SWV) were measured. Furthermore, the trees were categorized into three groups with different radial growth rates based on mean value and standard deviation of stem diameter.

3. Results and discussion

In the present study, the mean value of stem diameter in 54 trees was 13.1 ± 3.5 cm. Table 1 shows the statistical values of stem diameter from nine selected trees with different radial growth rates. Significant difference was found in stem diameter of three groups. Furthermore, positive significant correlation was found between stem diameter and SWV (Fig. 1). Some researchers have reported that no significant correlation was found between stem diameter and SWV in other hard wood species (Makino *et al.* 2012; Hidayati *et al.* 2013). On the other hand, positive significant correlation was found between stem diameter and SWV in *Eucalyptus camaldulensis* planted in Thailand (Ishiguri *et al.* 2013). Therefore, the result of this study was consistent with that of previous study (Ishiguri *et al.* 2013). In addition, there is a significant, positive relationship between the SWV of standing trees and the Young's modulus of logs or lumbers (Wang *et al.* 2001; Wu *et al.* 2011). Therefore, based on the result, it is suggested that increase in stem diameter does not always result in low SWV (Young's modulus).

Table 1. Statistical value of stem diameter of *G. arborea* in three groups with different radial growth rates

Characteristic	Fast growing (n = 3)		Medium growing (n = 3)		Slow growing (n = 3)		Significance among three groups
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	
Stem diameter (cm)	20.8	18.0	12.1	12.1	8.2	10.7	**

Note: **, significance at 1% level; SD, standard deviation.

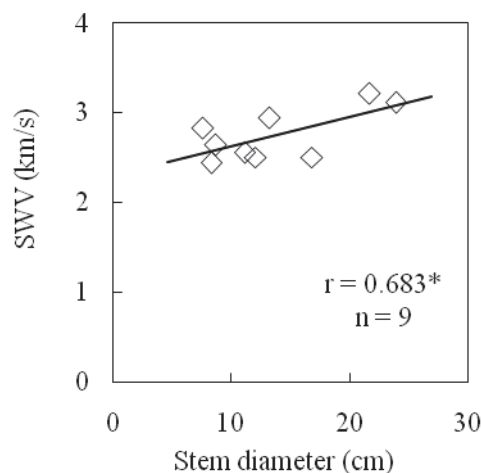


Figure 1. Relationships between stem diameter and SWV in 9 selected trees of *G. arborea*.

4. Conclusion

Positive significant correlation between stem diameter and SWV was found in the present study. Based on this result, it is suggest that increase in stem diameter does not always result in low SWV or Young's modulus in *G. arborea*.

Acknowledgment

We express sincere thanks to Educational Forest of Wanagama, Faculty of Forestry, Gadjah Mada University, Indonesia, for providing sample trees.

References

- Espinoza, JA. 2004 Within-tree density gradients in *Gmelina arborea* in Venezuela. *New Forest*. 28: 309-317.
- Hidayati F, Ishiguri F, Iizuka K, Makino K, Tanabe J, Marsoem SN, Na'iem M, Yokota S, Yoshizawa N (2013) Growth characteristics, stress-wave velocity, and Pilodyn penetration of 15 clones of 12-year-old *Tectona grandis* trees planted at two different sites in Indonesia. *J Wood* 59: 249-254
- Ishiguri, F, Diloksumpun S, Tanabe J, Iizuka K, Yokota S 2013. Stress-wave velocity of trees and dynamic Young's modulus of logs of 4-year-old *Eucalyptus camaldulensis* trees selected for pulpwood production in Thailand. *J Wood Sci*. 59: 506-511
- Kojima, M, Yamamoto H, Marsoem SN, Okuyama T, Yoshida M, Nakai T, Yamashita S, Saegusa K, Matsune K, Nakamura K, Inoue Y, Arizono T 2009. Effects of the lateral growth rate on wood quality of *Gmelina arborea* from 3.5-, 7- and 12-year-old plantations. *Ann. For. Sci*. 66: 1-6
- Makino K, Ishiguri F, Wahyudi I, Takashima Y, Iizuka K, Yokota S, Yoshizawa N (2012) Wood properties of young *Acacia mangium* trees planted in Indonesia. *Forest Prod J* 62(2): 102-106
- Wang X, Ross RJ, McClellan M, Barbour RJ, Erickson JR, Forsman JW, McGinnis GD (2001) Nondestructive evaluation of standing trees with a stress wave method. *Wood Fiber Sci* 33: 522-533
- Wu SJ, Xu JM, Li GY, Risto V, Lu ZH, Li BQ, Wang W (2011) Estimation on basic density and modulus of elasticity of eucalypt clones in Southern China using non-destructive methods. *J Trop For Sci* 23: 51-56

放牧が乳牛の乳質に及ぼす影響に関する栄養学的および行動学的解析

－放牧の多面的効果を活かしたビタミンD強化牛乳の生産－

山口美緒 (D1)

Mio Yamaguchi (D1)

東京農工大学大学院連合農学研究科生物生産科学専攻 50013951008@st.tuat.ac.jp

(指導教員) 長尾慶和 (教授)

Yoshikazu Nagao (Professor)

宇都宮大学大学院農学研究科生物生産科学専攻 ynagao@cc.utsunomiya-u.ac.jp

1. 緒言

現在における食生活の多様化および強い美容意識による不十分な日光浴が体内におけるビタミンD (VD) 不足をもたらしている。アメリカ、カナダ、オーストラリアなどでは、VD と免疫あるいは慢性病との関連性の報告を受け、VD の摂取目安量を以前の2～3倍に引き上げ、牛乳にVDを添加およびサプリメント摂取でその不足を防いできた。しかし日本では、VDの血中濃度の目標値は従来のままであり、また食品中への添加剤を好まない食文化により、牛乳中へのVD添加も行われていない。

そこで、我々は放牧、すなわち日光浴と生草摂取によるVD強化牛乳について着目した。生草の自由摂取による生草特有成分の摂取と、日光浴による乳牛のVD合成の促進は、結果的に生乳中VD濃度の増加をもたらす可能性がある。添加剤を使用することなく、放牧によりVDをはじめとする機能的栄養成分を自然に高められることが明らかになれば、消費者が求めるより安心・安全で高機能な牛乳を提供できる。さらには、放牧を取り入れた生乳の差別化や動物福祉に配慮した飼養管理体系の普及にも貢献できるだろう。

2. 実験方法

宇都宮大学農学部附属農場で飼養されている成牛ホルスタイン種泌乳中6頭を用いた。放牧区と対照区がそれぞれ3頭になるように振り分けた。供試牛は牛舎にパイプストールで繋留し、9:30から14:00まで放牧し、この時間を日光浴の時間とした。放牧地に放たれたウシを放牧区とした。対照区は、日光浴は出来るが生草は摂取不可能とした条件下（以下、運動場区）、舎内繋留および窓に遮光設置なしとした条件下（以下、舎内（日光+）区）、舎内繋留および窓に遮光設置ありとした条件下（以下、舎内（日光-）区）に置かれた。生乳サンプルの採取は、各条件下における晴天となった日の夕方に行った。検討項目は乳量、乳中25-OHD₃、IgA、IgGおよびIgMとした。分散分析およびFisher's PLSD法により統計解析を行い、危険率5%以下で有意差ありとした。

3. 結果と考察

乳量は、放牧区 ($7.40 \pm 2.02\text{kg}$) において舎内 (日光+) 区 ($3.20 \pm 0.15\text{kg}$) および舎内 (日光-) 区 ($2.70 \pm 0.61\text{kg}$) と比較して有意に高かった (図1)。放牧区において個体差が見られたが、対照区において個体差が小さいものの低下が見られたことから、運動場における他の牛群との隔離状態および舎内繋留によるウシの精神的および肉体的ストレスが乳量低下をもたらした可能性がある。

乳中 25-OHD₃ 濃度は、全区間において有意な差は見られなかったが、放牧区および運動場区において他の区と比べて高い傾向があった (図2)。乳中 25-OHD₃ 濃度は、放牧区および運動場区において高い値を維持しており、過去の報告^{1, 2)}よりも数倍高い値を示した。大部分の哺乳動物は、皮膚に紫外線を受けることで VD を皮膚中で生産できる。皮膚や飼料から供給された VD は迅速に運搬され肝臓に貯蔵され、25-OHD₃ に転換されて血中に放出される。これらのことから、日光浴により乳中 25-OHD₃ 濃度が高くなった可能性がある。

乳中 IgA および IgG 濃度は、全区間において有意な差は見られなかったが、対照区と比較して放牧区において高い傾向があった。乳中 IgM 濃度は、放牧区 ($97.4 \pm 17.0 \mu\text{g/ml}$) において運動場区 ($28.3 \pm 12.8 \mu\text{g/ml}$) および舎内 (日光+) 区 ($40.3 \pm 6.51 \mu\text{g/ml}$) と比較して有意に高かった。

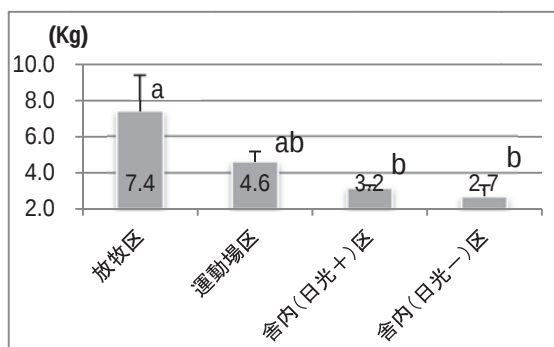


図1. 乳量に及ぼす放牧の影響
a-b: 異符号間に有意差あり

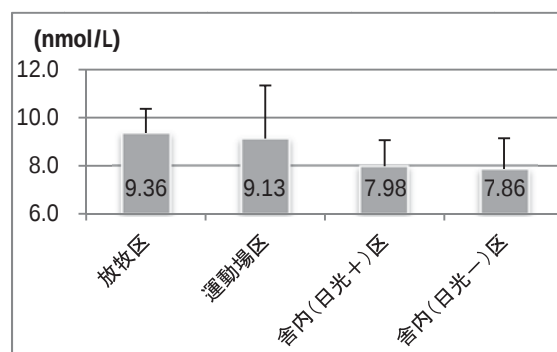


図2. 乳中 25-OHD₃ 濃度に及ぼす放牧の影響

4. 結言

本研究の結果から、放牧による生草摂取と日光浴は乳中に自然な VD 濃度および免疫グロブリン濃度を増加させ、ウシおよび放牧されたウシから得られた乳を飲んだヒトにおける健康促進に寄与できる可能性が示された。

参考文献

- 1) Hollis BW, Roos BA, Draper HH, Lambert PW. Vitamin D and its metabolites in human and bovine milk. J Nutr. 1981;111(7):1240-8.
- 2) Reeve LE, Jorgensen NA, DeLuca HF. Vitamin D compounds in cows' milk. J Nutr. 1982;112(4):667-72.

細胞内氷晶形成の軽減によるイヌ精子凍結保存法の確立

緒方和子(D2)

東京農工大学大学院連合農学研究科 生物生産科学専攻 (宇都宮大学配置)

50012951007@st.tuat.ac.jp

(指導教員) 長尾慶和 (教授)

宇都宮大学大学院農学研究科 生物生産科学専攻

ynagao@cc.utsunomiya-u.ac.jp

1. 緒言

国内における盲導犬実働数は、その需要に対し著しく不足した現状にあり、優秀な盲導犬の育成および供給体制の強化が強く求められている。しかしながら、供給される盲導犬頭数はここ数年で横ばいである。これに対し近年、生殖工学技術の導入による盲導犬繁殖の効率化が提案されている。精子凍結保存および人工授精技術は、優れた雄の遺伝的資質を有効活用した効率的な繁殖および育種改良を可能にする。そのため、血統が重視され高い遺伝的資質が求められる盲導犬等のイヌの育種・繁殖においても有効であると期待できる。一方で、イヌにおける精子凍結保存技術は、その大部分が他の動物種における手法を改良したものであり、イヌ精子に最適な凍結希釈液組成や凍結法は確立されていない。その結果、イヌでは凍結精液を用いた人工授精による受精率および受胎率が未だ不安定である。そこで本研究では、生殖工学技術の応用による盲導犬繁殖効率の向上を目指し、イヌ精子凍結保存技術の確立に向けた種々の検討を行った。

2. 実験

凍結融解過程に精子細胞内外で生じる氷晶は精子へ悪影響を与えることが知られている。そこで氷晶形成に関わる要因として耐凍剤濃度と凍結速度に着目し、以下の検討を行った。

【実験1】耐凍剤濃度がイヌ凍結融解精子に及ぼす影響の検討

耐凍剤であるグリセロールは精子内に浸透し細胞内氷晶形成を抑制することで凍結保護効果を示すが、その一方で細胞毒性があることが知られている。そこで、グリセロール濃度を0, 1.5, 3, 6 および9%に設定し、それらがイヌ凍結融解精子に及ぼす影響について検討した。凍結融解精子の評価は、運動活性、生存性、先体保有率、およびミトコンドリア活性について行った。統計解析は分散分析およびポストホックテストとしてFisher's PLSD 法により行った。

【実験2】耐凍剤濃度と凍結速度の相互作用の影響の検討

精子凍結時には精液ストローを液体窒素(LN₂)蒸気中に一定時間曝すことで凍結を行っている。そこで液体窒素液面からストローまでの距離を3, 6, 9 および12 cmに設定し、異なる凍結速度およびグリセロール濃度がイヌ凍結融解精子へ及ぼす影響について検討した(右図)。また各LN₂液面上距離およびグリセロール濃度についてストロー内温度変化を測定し凍結曲線を求めた。



3. 結果と考察

LN₂液面上距離を6 cmに設定し各グリセロール濃度の比較を行った結果、融解24時間後までの運動活性および融解24時間後におけるミトコンドリア活性について3および6%区で高い値が得

られた(図1および図2)。また、LN2液面上距離3および6 cm区における各グリセロール濃度の影響を比較した結果、融解24時間後について3 cm区ではグリセロール濃度1.5および3%区における生存指数が高い傾向が得られた(図3)。また、ストロー内温度測定により3および6 cm区における過冷却後の凍結速度はグリセロール濃度に関わらず $-11.9 \pm 0.4^{\circ}\text{C}/\text{分}$ および $-7.5 \pm 0.5^{\circ}\text{C}/\text{分}$ であることが示され、過冷却後の温度下降の間についてグリセロール濃度の違いは凍結曲線に影響しないことが示唆された。以上より、3および6%のグリセロール添加はミトコンドリアの保護に有効であり運動性の維持に働いたことが考えられた。またグリセロール濃度の差による精子への影響は過冷却段階において生じている可能性が示唆された。

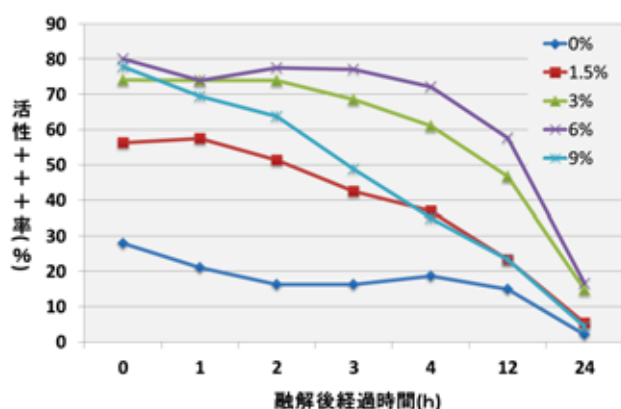


図1. 耐凍剤濃度が精子運動活性に及ぼす影響
LN2液面上距離: 6 cm 実験回: 3-6回

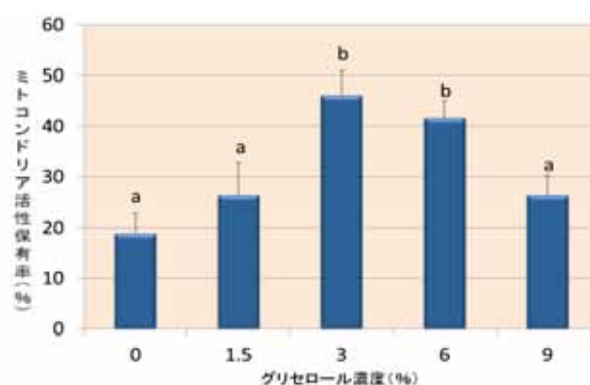


図2. 耐凍剤濃度が精子ミトコンドリア活性に及ぼす影響
LN2液面上距離: 6 cm 実験回数: 4-6回
a-b: 異符号間に有意差あり(p<0.05)

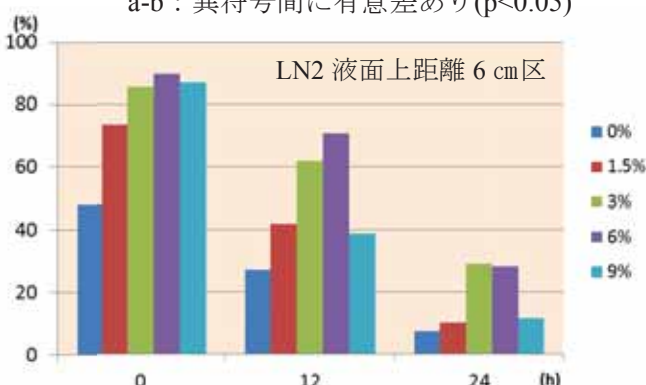


図3. 凍結速度およびグリセロール濃度がイヌ凍結融解精子の生存指数に及ぼす影響
実験回数: 3-6回

4. 結言

本研究の結果から、凍結速度を調整することで細胞毒性を軽減できるより低濃度のグリセロール濃度におけるイヌ精子の凍結が可能であることが示唆された。今後、ストロー内温度変化と氷晶形成について詳細な解析を進め、イヌ精子に適した凍結保存方法を確立したいと考えている。

謝辞

本研究を進めるにあたり、多大なるご協力を頂きました東日本盲導犬協会 訓練指導部部長 西原健司氏、育成管理部部長 若林幹夫氏、ならびに職員の皆様に深謝いたします。

雄性化変異体メダカを用いた産業有用魚種の性統御法開発に向けた 基礎研究

今井 拓人 (D1)

東京農工大学大学院連合農学研究科応用生命科学専攻 da13952001@cc.utsunomiya-u.ac.jp

(指導教員) 松田 勝 (准教授)

宇都宮大学バイオサイエンス教育研究センター matsuda@cc.utsunomiya-u.ac.jp

1. 緒言

水産有用魚種の中には、雌雄間で市場価値の異なる魚種が数多く存在することから、養殖下において集団的に性を統御する技術の開発が望まれている。以前の研究により、多くの魚類では、性ホルモンを用いて性転換を施すことで、集団的に性を統御できることが報告されている⁽¹⁾。しかし、生理活性の極めて強い性ホルモンを養殖環境下で使用することは懸念されており、性ホルモンを用いない何らかの方法で性転換を誘導することが望まれている。我々の研究室では、これまでに、雌から雄への性転換を引き起こす野生集団由来の変異体メダカ（雄性化変異体メダカ）系統を発見している。この変異体メダカの性転換を水産有用魚種に応用するためには、性転換の原因遺伝子を同定する必要がある。本研究では、この雄性化変異体メダカの性転換の原因遺伝子の同定を目的とした。これまでのポジショナルクローニングにより、雄性化変異体メダカの性転換の原因遺伝子は、メダカの5番染色体上に存在することが示唆されている。本研究では、RDA (Representational difference analysis)法により、原因遺伝子近傍の新たなマーカーの探索を試みた。RDA法は、DNAの競合的ハイブリダイゼーションにより2つのゲノムをサブトラクション（引き算）する方法である⁽²⁾。この方法により、片方のゲノムに特異的なRFLP（制限酵素断片長多型）を同定する事ができる。本実験には、発見された雄性化変異体メダカ（ゲノムは南日本集団由来型；南型）と野生型のHNI系統（ゲノムは北日本集団由来型；北型）を交配させたF₁個体を、さらに変異体に戻し交配させたBC₁個体を用いた。この個体のゲノムの75%は南型、25%は北型であると考えられる。BC₁個体のゲノムに南型と北型のゲノムはランダムに混在しているが、原因遺伝子近傍の領域は、雄個体では南型のホモであり雌個体では南型と北型のヘテロになると予想される。従って、原因遺伝子領域では、北型の配列は雌個体のみに存在すると考えられる。RDA法により、雌個体にのみ存在するRFLPを探索した。

2. 実験

RDAはGeneFisher PCR Subtraction System (TaKaRa)を用いて行った。DNAはGentra Puregene Tissue Kit (Qiagen)を用いて抽出し、雄1個体のDNAをDriver、雌10個体のDNAプールをTesterとした。制限酵素BglIIIを用いてDNAの消化後、キットに従いアダプターの付加、Whole Genomic PCRを行い、3段階のサブトラクションを行った。得られたサブトラクション産物を電気泳動し、確認されたバンドそれぞれに対してゲル抽出を行った。ゲル抽出産物はpUc18ベクター(TaKaRa)

にクローニングを行い、大腸菌 JM109 株に形質転換した。増殖した大腸菌コロニーからコロニー PCR を行い、インサートが確認されたクローンのダイレクトシーケンスを行い、塩基配列を決定した。

3. 結果と考察

サブトラクションを行う前の *Bgl*III 消化ゲノムの電気泳動像ではバンドがスメア状になっていたのに対し、3 段階目のサブトラクション後の電気泳動像では複数のバンドに分離しており、雌個体に特異的な DNA を濃縮できていると考えられた。そこで、それぞれのバンドから DNA 抽出を行い、クローニングを行った。得られたクローンの内、計 88 クローンに対して PCR を行い、その内の 41 クローンにインサートが確認された。インサートが確認されたクローンのうち、計 20 クローンの塩基配列を決定した結果、8 種類の DNA 断片を得た（表 1, Contig a-h）。しかしながら、Blast 検索の結果、多くの DNA 断片は複数のゲノム領域や scaffold に高い相同性を示し、どの領域のものかを判断することは困難であった。また、同じコンティグに分類されたクローンの間でも配列はわずかに異なっていた。従って、これらの塩基配列は、ゲノムの中に複数コピー存在する配列であると考えられる。ゲノム領域を同定できたクローンのうちクローン 10 とクローン 20 は、北型の塩基配列であったため、雌のみに存在する北型の配列を濃縮出来たと期待できる。

表 1. RDAにより単離されたDNA断片

Clone	Contig ¹	Size (bp)	Chromosome / scaffold ²
1	a	250	*
2	b	157	*
3	b	157	*
4	b	157	*
5	b	157	*
6	c	157	*
7	b	157	*
8	c	187	*
9	b	157	*
10	d	624	Ch.22
11	a	248	*
12	e	686	*
13	b,c	157	*
14	f	592	scaffold349
15	b	149	*
16	g	907	*
17	b	157	*
18	b	155	*
19	a	187	*
20	h	1016	Ch.3

¹同じ記号は同じコンティグに整列されたことを示す。

²*は複数のゲノム領域に高い相同性を示したクローンを示す。

4. 結言

今回の実験では、雄性化変異体メダカの原因遺伝子領域を同定するに至らなかった。その原因の一つとして、ゲノムの中に複数コピー存在する配列を、競合的ハイブリダイゼーションによって除ききれなかったためと考えられる。今後は、得られたクローンからマーカーを作製し、表現型との連鎖の解析する必要がある。また、今回とは異なる制限酵素を用いて RDA を行うことで、このようなノイズの配列を除去できると期待される。

参考文献

- 1) 山崎文雄, 1989. 性の分化とその制御. 水族繁殖学 (隆島史夫, 羽生功編), 緑書房, 141-165
- 2) Lisitsyn et al., 1993. Cloning the difference between two complex genomes. Science, 259, 946-951

複素振幅型デジタル超解像顕微鏡法

石川慎二 (D1)

Shinji ISHIKAWA (D1)

宇都宮大学大学院工学研究科システム創成工学専攻 ishikawa_s@opt.utsunomiya-u.ac.jp

(指導教員) 早崎芳夫 (教授)

Yoshio HAYASAKI (Professor)

宇都宮大学大学院工学研究科学際先端システム学専攻 hayasaki@opt.utsunomiya-u.ac.jp

1. 緒言

光学顕微鏡を含む結像光学系の空間分解能は、光源の波長程度に制限される。これは回折限界と呼ばれ、光によるナノスケールの構造の観察は困難とされてきた。しかし、近年では回折限界を超える空間分解能を得るための技術である超解像光学顕微鏡の理論研究、技術開発がされている。その中で、数値計算やアルゴリズムによって超解像を実現する手法があるが、超解像問題は解の唯一性が保証されない逆問題であり、解を得るためには、相応の拘束条件が必要となる。

そこで我々は、ナノ構造の回折限界下の複素振幅像のデータベースを参照することによって、ナノ構造を推定する複素振幅型デジタル超解像顕微鏡法 (DiSRIM: digital super-resolution interference microscopy) を提案している^[1-4]。このとき、データベースは干渉顕微鏡を用いた実験もしくは数値計算によって得られる複素振幅像により構成され、任意に拘束条件を設定可能である。また、複素振幅像はナノ構造回折光の波面形状を有し、ナノ構造の高さや屈折率などのパラメータが得られる。我々はこれまで、回折限界により一つの技術的限界に達している光ストレージの記録密度の向上を目的とし、回折限界以下の大きさのバイナリナノ構造からのDiSRIMによるデジタルデータ再生について検証した。ここでバイナリナノ構造とは、数10 nmの単位構造を有する凹凸列によって2値データ列を表現したものであり、時間領域有限差分法 (FDTD: finite difference time domain) とフーリエ変換を用いた空間周波数フィルタリングに基づく光伝搬計算により、干渉顕微鏡を実現し、バイナリナノ構造の白色ガウス雑音環境下におけるデジタルデータの再生特性を評価する。これまで、4-bitのバイナリナノ構造の媒質を完全導体やアルミニウムとしたときの再生特性について検証した^[1-2]。本稿では、媒質をアルミニウムとし、表現するbit数が異なるときのバイナリナノ構造の再生特性の比較検証^[3-4]について報告する。

2. 複素振幅型デジタル超解像顕微鏡法

我々は、超解像を実現する手法として、複素振幅型デジタル超解像顕微鏡法 (DiSRIM) を提案する。Fig.1にDiSRIMのフローチャートを示す。この手法では、予め多数の既知のナノ構造の複素振幅像を干渉顕微鏡による実験、もしくは数値解析によって求め、入力したナノ構造と出力の複素振幅像の対応関係のデータベースを構成する。そして、観察対象のサンプルのナノ構造から複素振幅像を得たとき、データベースの複素振幅像をパターンマッチングによって参照することで、対応するナノ構造を推定結果とする。複素振幅像は、構造の高さや屈折率などを位相差として得ることができ、3次元的な構造の推定を可能とする。データベースは、対象の構造に対して解となり得る構造のみで構成することで、不適切な解への収束を避ける拘束条件となり、一度構成すれば、データベースの構成に用いた干渉顕微鏡を用いて簡易的にナノ構造の推定が可能となる。

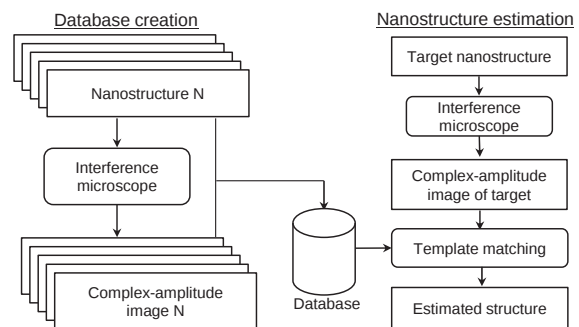


Fig. 1 Flow chart of digital super-resolution interference microscope by complex-amplitude matching.

3. 実験

Fig. 2 に本稿で取り扱うバイナリナノ構造を示す。ピットと呼ぶ凸構造の有無により2値データを表現し、ピットを N 個並べることで N -bit のデジタルデータを形成する。ここで、 w, h はそれぞれバイナリナノ構造全体の幅と高さ、 w_p は1つのピットの幅を表す。

本稿では、DiSRIM によるナノ構造推定によって、バイナリナノ構造のデジタルデータ再生について検証する。 N -bit のバイナリナノ構造の場合、まず予め、 2^N パターン全てのバイナリナノ構造の反射光複素振幅像を観測し、データベースを構成する。この時、構造の中心かつ表面を焦点とした集光ビームを照明光とする。デジタルデータの再生の際は、対象のバイナリナノ構造の複素振幅像を観測したとき、データベースの 2^N の複素振幅像とパターンマッチングによって最も類似するバイナリナノ構造を識別し、デジタルデータを再生する。

4. 結果と考察

撮像素子において複素振幅像に白色ガウス雑音が生じる場合のデジタルデータの再生特性を計算機シミュレーションによって評価した。干渉顕微鏡は、FDTD 法によるナノ構造近接場の反射光解析と、空間周波数フィルタリングによる結像シミュレーションにより実現する。光源波長 $\lambda = 400$ nm, 対物レンズの開口数 $NA = 0.85$ とし、バイナリナノ構造の媒質はアルミニウムとした。干渉縞からの複素振幅像の再生には4ステップ位相シフト法を用い、必要となる4枚の干渉縞に平均0, 分散 σ^2 の白色ガウス雑音が生じると仮定した。また、データベースの複素振幅像とのパターンマッチングには正規化相互相関を用いた。撮像素子における信号対雑音電力比 (SNR : signal-to-noise ratio) に対する符号誤り率 (BER : bit error rate) を評価する。

Fig. 3 に $w = 120$ nm, $h = 100$ nm としたときの BER 特性を示す。各線はそれぞれ、1-bit から6-bit のバイナリナノ構造の BER 特性であり、ピット幅は $w_p = w/N$ nm である。bit 数 N の増加とともに、同 SNR 時の BER が上昇している。これは、 N の増加に対して w_p は減少し、構造の空間周波数が高くなり、また、参照するデータベースの複素振幅像のパターン数も指数関数的に増加するためである。BER $< 10^{-4}$ のとき誤り訂正符号によりエラーフリーになると仮定すると、SNR = 55dB で6-bit のバイナリナノ構造からデジタルデータを十分に再生可能である。

5. 結言

本稿では、複素振幅像パターンマッチングに基づく超解像ナノ構造推定法である複素振幅型デジタル超解像顕微鏡法 (DiSRIM) を提案し、雑音環境下における回折限界以下のバイナリナノ構造のデジタルデータ再生特性について検証した。その結果、構造幅 $w = 120$ nm, 高さ $h = 100$ nm のとき SNR = 55dB で6-bit (ピット幅 $w_p = 20$ nm) のバイナリナノ構造のデータ再生において BER $< 10^{-4}$ を達成可能であることを示した。

参考文献

- 1) S. Ishikawa and Y. Hayasaki, Opt. Express 21, 18424-18433 (2013).
- 2) S. Ishikawa and Y. Hayasaki, 2013 Conference on Lasers and Electro-Optics Pacific Rim, paper TuO3_4 (2013).
- 3) S. Ishikawa and Y. Hayasaki, JSAP-OSA Joint Symposia 2013, 17p-D5-2 (2013).
- 4) S. Ishikawa and Y. Hayasaki, Proceeding of 2013 JTBS, pp.85-86, TuD-15 (2013).

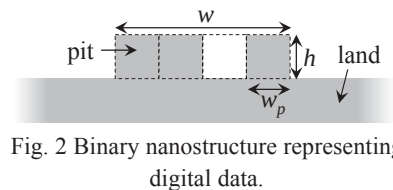


Fig. 2 Binary nanostructure representing digital data.

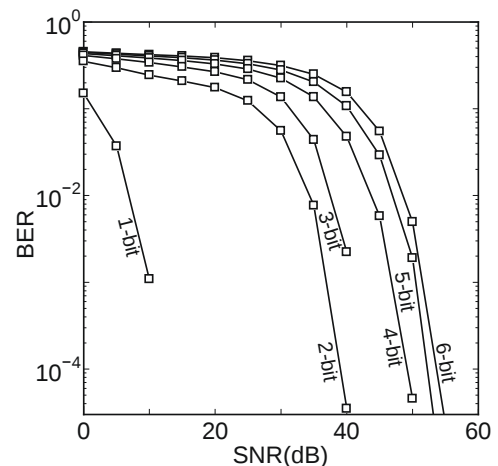


Fig. 3 BER versus SNR of fringe image when $w = 120$ nm, $h = 100$ nm

43 年生エゾマツ精英樹家系におけるミクロフィブリル傾角の変異

田邊 純 (D2)

東京農工大学連合農学研究科環境資源共生科学専攻 50012953006@st.tuat.ac.jp

(指導教員) 横田信三 (教授)

宇都宮大学農学部森林科学科 yokotas@cc.utsunomiya-u.ac.jp

1. 緒言

エゾマツ (*Picea jezoensis* Carr.) は、北海道における主要な郷土樹種の一つであり、育種対象樹種として精英樹が選抜されてきている。一方、林木育種事業における精英樹は、成長や、通直性などの外見上判断される形質によって選抜されており、木材を構造用建築材として使用する際に重要となる木材性質については、ほとんど考慮されていない。このことから、成長形質のみでなく、木材性質に着目した“材質育種”の必要性が指摘されている。材質育種を進めるにあたり、育種集団についての木材性質を調査し、育種集団における木材性質のクローン間、および家系間変異を明らかにすることは不可欠である。また、針葉樹材においては、晩材仮道管 S2 層ミクロフィブリル傾角 (MFA) は、構造材として利用する上で重要な指標となる、曲げヤング率 (MOE) と関係があることが知られている。北欧におけるヨーロッパトウヒ (*Picea abies*)、北米におけるホワイトスプルース (*P. glauca*)、オーストラリアのラジアタパイン (*Pinus radiata*) および我が国におけるスギ (*Cryptomeria japonica*) について、MFA の遺伝的変異に関する研究が行われてきている¹⁻⁴⁾。しかしながら、エゾマツについては、MFA の遺伝的変異に関する情報は限られている。そこで、本研究では、エゾマツにおける、MFA の家系間変異を解明することを目的とした。

2. 実験

実験には、北北 3 号検定林 (北海道恵庭市) に植栽され、林齢 43 年時に初回間伐されたエゾマツ精英樹 8 家系 27 個体 (1 家系あたり約 3 個体) を用いた。これら 10 家系は、北海道内の天然林 4 産地 (A~D) より採種され、森林総合研究所林木育種センター北海道育種場内 (北海道江別市) にて育苗されたものである。検定林は、平坦地に、植栽間隔 1.5×1.2 m で設定されていた。木材性質の測定には、地上高 1.4~1.8 m の部位から得られた、長さ約 40 cm の丸太を用いた。丸太より厚さ 3 cm 程度の円盤を採取し、その後、髄を含む幅 3 cm のストリップを切り出した。ストリップ木口面の画像は、スキャナによりパソコンに取り込み、画像解析ソフト ImageJ を用いて 1 年輪ごとに 2 方向測定した。得られた 2 方向の年輪幅について平均値を算出し、それを個体の年輪幅とした。晩材仮道管 S2 層ミクロフィブリル傾角 (MFA) は、年輪幅を測定したストリップの片側 1 方向について、5 年輪ごとにヨウ素法を用いて測定した。また、各丸太より小試験片 (15×15×240 mm) をできるだけ多く作製した。得られた試験片について、静的曲げ試験を実施し、曲げヤング率 (MOE) 及び曲げ強さ (MOR) を算出した。なお、各小試験片は、木口面中央の年輪数がわかるように作製した。得られた各指標は、髄から樹皮までの平均値、髄から 15 年輪以内の樹心部及び 16~30 年輪の辺縁部と区分し、解析に用いた。

3. 結果と考察

図に、8家系におけるMFAを示す。MFAは、いずれの家系においても、辺縁部（約6°）と比較して樹心部（約10～14°）で高い値を示した。これは、針葉樹材において報告されているMFAの水平方向変動と一致していた。また、樹心部で高いMFA値を示した家系は、辺縁部においても比較的高い傾向を示した。さらに、図中の標準偏差について、樹心部と辺縁部とを比較した結果、樹心部ではばらつきが大きく、辺縁部ではばらつきが小さい傾向を示した。これは、成長初期においては、環境要因の影響を受けやすいために、同一家系においてもMFAの値に差が表れたものと考えられる。MFAの測定各部位について、一元配置の分散分析を行った。その結果、いずれの部位においても家系間に有意差が認められた。このことから、他の主要造林樹種同様¹⁻⁴⁾、エゾマツにおいても、MFAは家系間差が大きい形質であると考えられる。

MFAとMOE及びMORとの関係を調査したところ、有意な負の相関関係が認められた。このことから、MFAは、これらの指標を推定するための指標になると考えられる。

4. 結言

本研究では、エゾマツ精英樹家系における、MFAの家系間変異を明らかにすることを目的とした。エゾマツにおいて、MFAは、構造材として使用する上で重要となる、機械的性質を推定するための指標となることが明らかとなった。さらに、他の造林樹種同様、MFAの家系間変異が認められたことから、MFAを指標としたエゾマツの育種の可能性が示唆された。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、材料を御提供して頂いた、森林総合研究所林木育種センター北海道育種場 田村 明博士に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) Gräns *et al.* (2009) Genetic variation and relationships to growth traits for microfibril angle, wood density and modulus of elasticity. *Scand. J. For. Res.* 24: 494-503
- 2) Lenz *et al.* (2010) Genetic control of wood properties in *Picea glauca* –an analysis of trends with cambial age. *Can. J. For. Res.* 40: 703-715
- 3) Kummur *et al.* (2006) Genetic parameters and strategies for genetic improvement of stiffness in radiata pine. *Silvae Genet.* 55: 77-84
- 4) Nakada *et al.* (2003) Effects of clonal selection by microfibril angle on the genetic improvement of stiffness in *Cryptomeria japonica* D. Don. *Holzforschung* 57: 553-560

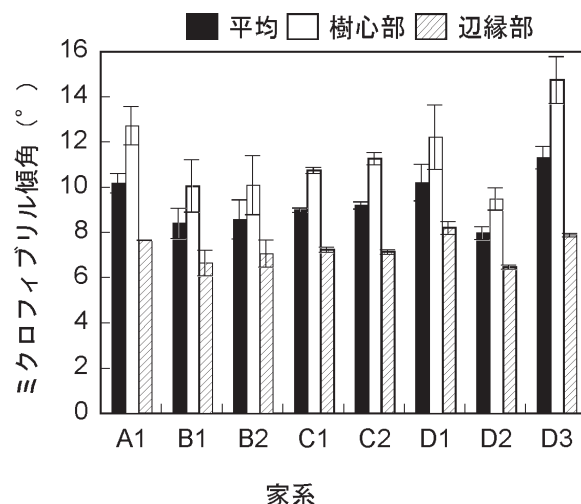


図 8家系におけるマイクロフィブリル傾角
注) バーは標準偏差.

Evaluation of wood properties for pulp production from three less known fast-growing species growing in Kalimantan, Indonesia

Wiwin Tyas Istikowati (D2)

United Graduate School of Agricultural Science, Tokyo University of Agriculture and Technology

50012953901@st.tuat.ac.jp

Shinso YOKOTA (Professor)

Department of Forest Science, Faculty of Agriculture, Utsunomiya University

yokotas@cc.utsunomiya-u.ac.jp

1. Introduction

Some species for raw material of pulp and paper have already switched their function into a timber with high economic value. As the results, shortage in raw material supply for pulp became a serious issue for the pulp and paper industry in Indonesia. It is, therefore, necessary to find alternative fast-growing species suitable for raw material of pulp and paper. Terap (*Artocarpus elasticus* Reinw. Ex Blume), medang (*Neolitsea latifolia* (Blume) S. Moore), and balik angin (*Alphitonia excelsa* (Fenzl) Reissek ex Benth) are native fast-growing tree species in South Kalimantan, Indonesia. These species are naturally grown and abundant at the secondary forests in South Kalimantan. However, the information on the wood properties of the three species is still very limited. Much more information on wood properties is required to utilize these tree species. The objective of this study is to clarify the possibility for effective utilization and tree breeding for wood quality in the native fast-growing tree species growing at the secondary forests in South Kalimantan.

2. Experiments

In this study, five individuals of terap, medang, and balik angin were randomly selected from a secondary forest. Mean height and stem diameter of terap, medang, and balik angin trees were 20.7 m and 19.4 cm, 20.8 m and 19 cm, and 18.8 m and 18.8 cm, respectively. Discs of 10 cm in thickness were collected from 1.0 m above the ground, and the discs of 5 cm in thickness were collected from several different height positions (3.0, 5.0, 7.0, 9.0, and 11.0 m above the ground). Small blocks were prepared from the disks at each height position for measuring basic density (BD). BD was calculated as the ratio of oven-dry weight to green volume determined by the water displacement method (Barnett and Jeronimidis 2003).

3. Results and discussion

The mean BD of whole trees in terap, medang, and balik angin was 0.34, 0.55, and 0.39 g/cm³, respectively (Table 1), showing that medang has the highest value. Densities of terap and medang at 15 % MC and of balik angin at 12 % MC were reported to be 0.37 to 0.55, 0.59 to 0.74, and 0.69 to 0.83 g/cm³, respectively (Lemmens *et al.* 1995, Sosef *et al.* 1998). The ranged values of wood density of *Acacia mangium*, common pulpwood in Indonesia, were 0.34 to 0.66 g/cm³ (Nogroho *et al.* 2012). The results obtained in the present study were similar to the previous findings of the same species and also those of *A. mangium*. Thus, terap, medang, and balik angin are considered to be suitable raw materials for pulp production.

Table 1. Mean value of basic density in terap, medang, and balik angin.

Sampling height (m)	Basic density (g/cm ³)		
	Terap (n = 5)	Medang (n = 5)	Balik angin (n = 5)
1.0	0.37	0.57	0.39
3.0	0.30	0.55	0.37
5.0	0.32	0.55	0.38
7.0	0.33	0.55	0.39
9.0	0.35	0.52	0.41
11.0	0.35	0.58	-
Mean	0.34*	0.55**	0.39 ^{ns}

Note: n, number of trees; *, significant at the 5% level among five trees; **, significant at the 1% level among five trees; ns, no significance among five trees

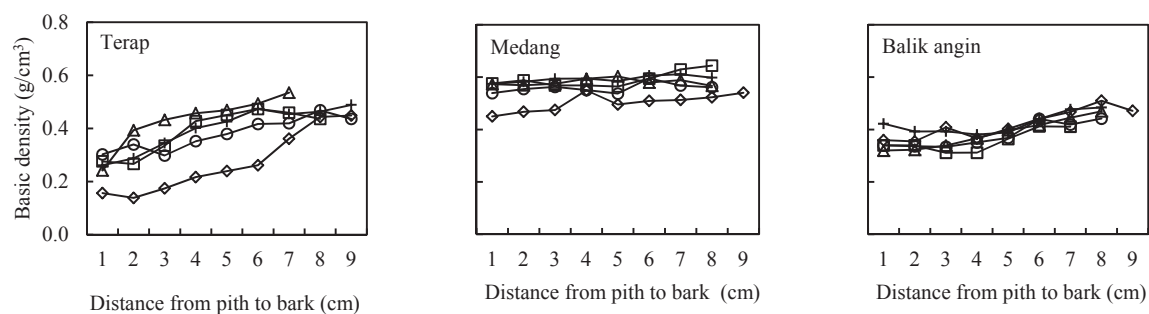


Figure 1. Radial variation of basic density at 1.0 m above the ground. Diamond, square, triangle, cross, and circle indicate 1, 2, 3, 4, and 5 individual trees, respectively (Istikowati *et al.* 2014).

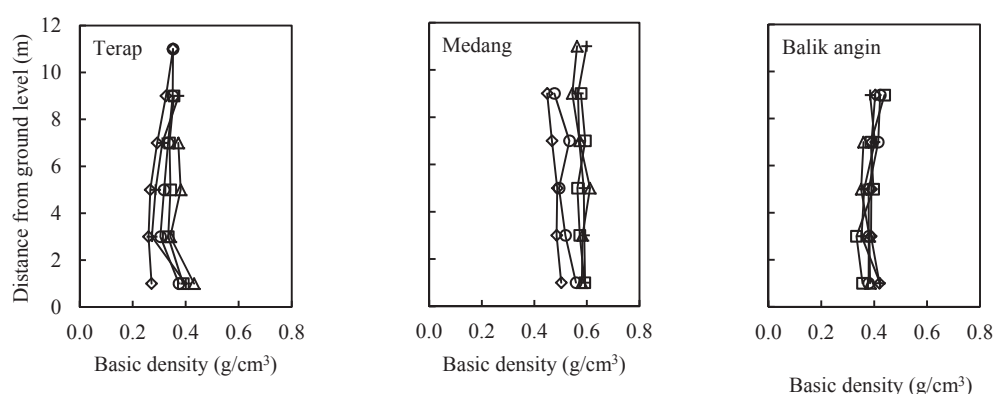


Figure 2. Longitudinal variations of basic density. Diamond, square, triangle, cross, and circle indicate 1, 2, 3, 4, and 5 individual trees, respectively (Istikowati *et al.* 2014).

Figure 1 shows the radial variations of BD at 1 m above the ground in each species. BD gradually increased from pith to bark in terap and balik angin, whereas a constant trend from pith to bark in medang was observed. Figure 2 shows the longitudinal variations of BD for each species. BD of terap and balik angin decreased from 1 to 3 m above the ground and then gradually increased to the top of the tree. On the other hand, BD of medang showed an almost constant trend from the bottom to the top of the tree. Significant differences at 5 and 1 % level among trees were found in BD for terap and medang, respectively (Table 1). Based on the obtained results, it is concluded that the BD of terap and medang can be improved by tree breeding programs.

4. Conclusion

Based on BD properties, terap, medang, and balik angin are suitable raw materials for pulp. In addition, BD of terap and medang can be improved by tree breeding programs.

Acknowledgment

We express sincere thanks to Sultan Adam National Forest Park and Faculty of Forestry, Lambung Mangkurat University, Banjarbaru, South Kalimantan, Indonesia, for providing the samples.

References

- Barnett, J. R. and G. Jeronimidis. 2003. Wood Quality and Its Biological Basis. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Istikowati, W.T., F. Ishiguri, H. Aiso, F. Hidayati, J. Tanabe, K. Iizuka, B. Sutiya, I. Wahyudi, and S. Yokota. 2014. Physical and mechanical properties of woods from three native fast-growing species in a secondary forest in South Kalimantan, Indonesia. *Forest Prod. J.* 64 (1): in press.
- Lemmens, R. H. M.J., I. Soerianegara and W.C. Wong. 1995. *Plants Resources of South-East Asia 5(2): Timber trees: Minor Commercial Timbers*. Prosea, Bogor.
- Nugroho, W.D., S. N. Marsoem, K. Yasue, T. Fujiwara, T. Nakajima, M. Hayakawa, S. Nakaba, Y. Yamagishi, H.O. Jin, T. Kubo and R. Funada. 2012. Radial variations in the anatomical characteristics and density of the wood of *Acacia mangium* of different provenances in Indonesia. *J. Wood Sci.* 58: 185-194.
- Sosef, M. S. M., L. T. Hong and S. Prawirohatmodjo. 1998. *Plant Resources of South-East Asia 5(3). Timber Trees: Lesser-Known Timbers*. Prosea, Bogor, Indonesia.

カプセル型マイクロリアクターを用いたバイオディーゼル燃料合成

志波 幸 (M2)

宇都宮大学大学院工学研究科学際先端システム学専攻 mt126631@cc.utsunomiya-u.ac.jp

(指導教員) 鈴木 昇 (教授)

宇都宮大学大学院工学研究科学際先端専攻 suzuki@cc.utsunomiya-u.ac.jp

1. 緒言

植物油とメタノールを原料とするバイオディーゼル燃料(BDF)は環境負荷の低い燃料として注目され、触媒開発が活発に行われている。当研究グループでは、アルギン酸を壁膜としたカプセル(Alg カプセル)の内部を酸化カルシウム(CaO)固体触媒の反応場として利用することで、合成時間の短縮や Ca 溶出抑制が可能であることを示してきた^[1]。一方、カプセル強化面や Ca 溶出の完全抑制が課題となっている。そこで本研究では、カプセルの抱える課題を解決する新規カプセル系を膜改質によって構築することを目的とした。また、原料および生成物の膜透過性、触媒構造変化の追従とカプセル内部における BDF 合成速度の算出を試みた。

2. 実験

2.1 カプセルの作製方法

二重管ノズルを用いて、ノズルの外管から壁材物質(2 wt.%AlgNa 水溶液)、内管から芯物質(CaO を懸濁した菜種油)を送液し、硬化溶液へ滴下させ AlgNa をゲル化させた。回収した Alg カプセルを AlgNa 水溶液(1 wt.%)中で 5 分間攪拌し、二層構造のカプセル(dAlg カプセル)を得た。また、dAlg カプセルをテトラメトキシシラン(TMOS)が溶解したヘキサン溶液(0.01 M)に 1 日浸した後、ブチルトリメトキシシラン(BTMS)が溶解したヘキサン溶液(0.01 M)に 1 日浸し、膜改質したカプセル(dAlg-T-B カプセル)を得た。更に、芯物質に BTMS を添加(菜種油に対して 0.1 wt.%)したものを用い、Alg カプセルの内側から修飾したカプセル(BTMS 内包カプセル)を作製した。各カプセルは洗浄後、50℃で乾燥させた。

2.2 BDF 合成

菜種油 20 mL とカプセル 0.48 g (CaO 20 wt.%, CaO 総量 0.096g)を装置に入れ、攪拌、加熱した。溶液が 60℃に達した時点でメタノール 10 mL を投入した。経時的にサンプリングし、生成した脂肪酸メチルエステル(FAME)相を分離・採取した後、減圧乾燥し、FAME 収率を GC-FID, Ca 溶出量を ICP で分析した。また、触媒構造変化およびカプセル内外の液体組成分析を行うため、BDF 合成を所定時間(0~6 時間)で停止し、カプセルを回収・破砕することで固相と液相に分離した。固相を XRD, 液相をイオン交換樹脂で精製した後、GC-FID で分析した。

2.3 透過試験

油あるいは FAME を内包したカプセル(乾燥後)を装置に 15 個入れ、1-ブタノール(1-BuOH)を 20 mL 投入し、攪拌した。所定時間で溶液を採取し、UV-Vis で吸光度(油: 284 nm, FAME: 228 nm)を測定することで、外部の 1-BuOH へ透過した油あるいは FAME を定量分析した。

3. 結果と考察

FAME 合成反応結果(Fig.1)から、膜改質を施した各カプセルは Alg カプセルに比べて誘導期が長くなり、dAlg-T-B カプセルは 6 時間目の FAME 収率が低下した。これは、二重膜構造による透過阻害が原因だと考えている。一方、BTMS 内包カプセルは、誘導期は長くなったものの 6 時間目の FAME 収率は Alg カプセルと同程度の値を示した。反応後のカプセル破損率および ICP 測定結果より、膜改質を施した各カプセルは、カプセル強化および Ca 溶出抑制に効果があることが分かった。

油の透過試験結果(Fig.2)から、BTMS 内包カプセルは膜の細孔が緻密化したと考えられるため、Alg カプセルよりも透過量が低下した。一方、dAlg-T-B カプセルでは、膜に BTMS が修飾したことで膜が疎水性になり油の透過を促進したため、油透過量が増加した。図には示さないが、FAME の透過試験結果より、FAME はカプセル内部に蓄積しやすいことが分かった。これは、FAME 合成反応において重要な要因である。

XRD 測定結果より、Alg カプセルおよび BTMS 内包カプセルでは、「FAME 収率が向上する時間」と「活性種である Ca ジグリセロオキシドのピーク強度が増大する時間」が一致した。つまり、活性種の形成・蓄積が FAME 収率の向上に大きく影響していると考えられる。また、液体組成変化から Alg カプセルおよび BTMS 内包カプセルは反応律速、dAlg-T-B カプセルは透過律速であると分かり、反応律速であるカプセルに関して反応速度定数の算出した。

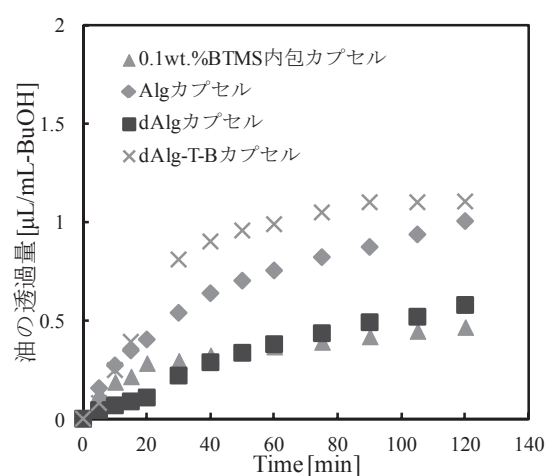
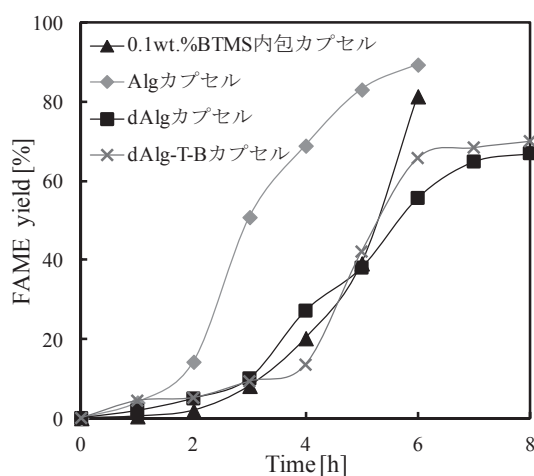


Fig.1 各カプセルにおける FAME 合成反応結果 Fig.2 各カプセルにおける油の透過試験結果

4. 結言

FAME 収率、カプセル破損率、Ca 溶出量、BDF 合成速度の値を総合的に判断した結果、1 回の FAME 合成反応に有望なのは BTMS 内包カプセルであり、耐久性の面で有望なのは dAlg-T-B カプセルであると結論付けた。

参考文献

- 1) F. Kurayama et al., Bioresou. Technol., **135**, 652-658 (2013)

光合成タンパク質ユニットを用いた組織化分子膜の構築と 光機能材料への応用

豊田 彩 (M2)

Aya Toyoda (M2)

宇都宮大学大学院工学研究科学際先端システム学専攻 mt126646@cc.utsunomiya-u.ac.jp

(指導教員) 飯村 兼一 (准教授)

Ken-ichi Imura (Associate Professor)

宇都宮大学大学院工学研究科学際先端システム学専攻 emlak@cc.utsunomiya-u.ac.jp

1. 緒言

光合成細菌の光合成膜では、光エネルギーを吸収するアンテナタンパク質複合体 (LH1、LH2) や電荷分離を行う反応中心複合体 (RC) など、膜タンパク質と色素分子の複合体が存在する。これらの複合体における色素分子の距離や配向などの空間配置が膜タンパク質によって制御され、さらに光合成膜におけるタンパク質複合体の面内配置が制御されることによって、高効率な光捕集とエネルギー移動、およびそれに続く電子伝達が実現されている。これらの精緻な配置構造を模倣することで、光合成システムの理解や人工的な光電変換素子への開発が期待されている。本研究では、高い熱安定性と広波長にわたる光吸収能を持つ紅色光合成細菌 *Tch. tepidum* から単離したタンパク質複合体を用いた組織化分子膜の作製技術の開発と、その膜の光機能材料への応用を目的とし、固体基板上へ吸着膜を作製し、その吸着膜構造と光電流特性を評価した。

2. 実験

Tch. tepidum から単離した LH1-RC と LH2 を用い、透明電極基板としてはフッ素ドープ酸化スズ (FTO) を用いた。組織化膜は、末端アミノ基を持つ有機シラン化合物によって表面修飾した基板に静電的に吸着させる直接吸着膜と、気/水界面にタンパク質吸着単分子膜を形成させ、それを基板上へ移行した移行膜を作製した。また、FTO 表面に酸化亜鉛のナノロッドを形成させた ZnO NR 基板上にタンパク質複合体ユニットを吸着・固定化した。各試料に対し、光照射による電流応答の測定を行った。この時、照射光はカットフィルターを用いて 405 nm 以下の波長の光をカットした。また、原子間力顕微鏡 (AFM) により吸着構造を観察した。

3. 結果と考察

紫外可視吸収スペクトル (UV-vis) 法によるキャラクタリゼーション

Fig. 1 に LH1-RC 直接吸着膜と LH1-RC 分散液に対する UV-vis スペクトルを示す。LH1-RC の分散液の吸収スペクトルと直接吸着膜の吸収スペクトルは一致したことから、吸着膜を形成したときに LH1-RC は変性せず固定化されていることがわかった。LH1-RC の移行膜、LH1-RC と LH2 直接吸着膜試料も分散液と吸収ピークが一致し、変性せずに固定化されていることが確認された。

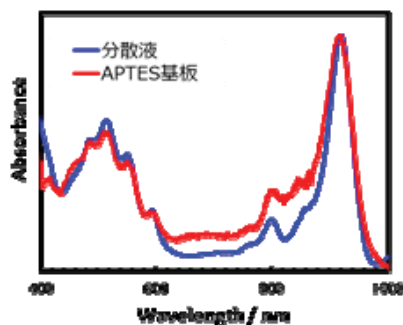


Fig. 1 LH1-RC 複合体の UV-vis スペクトル：
分散液（赤色）、APTES 基板（青色）

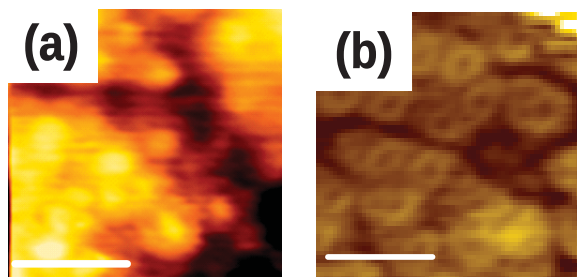


Fig. 2 APTES 基板上吸着膜の AFM イメージ：
(a) LH1-RC、(b) LH2。バーの長さは 20 nm。

水中 AFM 法による LH1-RC、LH2 の吸着構造の評価

LH1-RC、LH2 の直接吸着膜試料に対して、水中 AFM 法による分子レベルでの吸着構造の観察を試みた。LH1-RC 吸着膜では、リングとその内部にリングよりも高い構造が観察された (Fig. 2(a))。一方、LH2 吸着膜では、穴の開いたリング構造が観察された (Fig. 2(b))。これらの構造は、LH1-RC 吸着膜ではリング部分が LH1 でその内部が RC、LH2 吸着膜ではリング構造が LH2 であると考えられ、予想されるサイズにも一致することから、分子像を観察していると判断される。

光電流測定

光応答性について湿式光電流測定法を行い評価した。LH1-RC の直接吸着膜、移行膜共に光照射に応答したカソード電流が発生した。直接吸着膜と移行膜における平均光電流量は、それぞれ 0.95 nA/cm^2 、 0.99 nA/cm^2 であり、差はほとんどなかった。しかし、LH1-RC の吸着量で規格化した光電流量では移行膜の方が 3 倍以上高い値を示した。これは、移行膜の方が、タンパク質が気水界面を利用してより高度に配列した状態にあるため、電子が効率的に移動したためではないかと考えられる。

次に、光電流量の向上を目的とし、酸化物半導体である ZnO NR との複合化を試みた。LH1-RC / ZnO NR 試料に対しても、光照射によるアノード電流発生が確認され、その平均光電流量は 2.95 nA/cm^2 であり、直接吸着膜と比較して大きく向上した。これは表面積の大きな ZnO NR を用いたことによる LH1-RC の吸着量の増加と、ZnO と LH1-RC が接していることによる高効率な電子注入によるものと考えられる。また、 $200 \sim 2000 \text{ nm}$ の波長の光を照射した場合、LH1-RC / ZnO NR において $15 \mu\text{A/cm}^2$ の光電流量を得ることが出来た。紫外から近赤外光まで幅広い波長の光を吸収することで、光電流量が大幅に向上したと考えられる。

5. 結言

光合成タンパク質を用いた分子膜を作製することが出来た。タンパク質の吸着量や配列が光電流量に影響を与えることが示唆された。タンパク質の構造や吸着状態は水中 AFM により分子レベルで明らかとなった。また、ZnO NR と複合化させることにより光電流量を大きく向上させることに成功した。LH1-RC の吸着量の増加と LH1-RC と ZnO が接していることにより電子の注入が効率的に行われたためと考えられる。太陽光のような幅広い波長の光を有効利用できることを示唆している。

BMI によるサイボーグロボットの開発に関する研究

成田直広(M1)

NAOHIRO NARITA(M1)

宇都宮大学大学院工学研究科機械知能工学専攻 mt136123@cc.utsunomiya-u.ac.jp

(指導教員) 酒井直隆(教授)

Naotaka SAKAI (Professor)

宇都宮大学大学院工学研究科機械知能工学専攻 naosakai@cc.utsunomiya-u.ac.jp

1. 緒言

近年、神経科学や情報工学の研究が盛んに行われている。脳活動に伴う信号を捉えて解読、意図ある情報として抽出し、機械を動作させる信号に変換する技術と外界からの情報を脳信号に変換し、脳に情報を伝える技術の二つの技術が実現しつつある。これらの技術は脳機械インターフェース BMI (Brain Machine Interface) と呼ばれ、脳・中枢神経や末梢神経の信号を利用した研究⁽¹⁾が行われている。

本報では末梢神経インターフェースの開発のため、ラットの坐骨神経の神経活動電位の定量的な検出のための閾値を用い、下肢動作と相関性のある制御に応用する実証実験を行い、足関節動作角度を計測することによってサーボモータとの応答性について考察した。

2. 実験

ラットの下腿動作のみに着目するため、右下腿以外は装置に固定し、底屈動作を支配している脛骨神経(図 1)に電極を取り付けて実験を行った。図 2 に実験の計測系全体図を示す。電極とアース線を電極ボックスに介してデータ収録システム Power Lab 4/26 ML846 (本図、計測装置)に接続され、双極導出法により動作時の神経電位を得ることができる。収録ソフトウェアは Chart scope を用いて PC に記録した。

電極ボックスで得られた活動電位は増幅装置で増幅され、マイコンを介してサーボモータと接続される。サーボモータは、非動作時と動作(微小動作)時の判別を行う閾値 V_{th1} ⁽²⁾によって駆動制御が行われる。動作検出時の駆動角度は 60° とした。本実験では足関節動作に対するアクチュエータの応答性について検討するため、サーボモータとラット足関節動作を動作解析(図 3)によって計測した。サーボモータ及び足関節屈曲角度は、ラットの股関節・膝関節・足関節の三点にマーカーを貼り付け、デジタルビデオカメラ(1920×1080pixel, 30fps)で撮影し、後に画像解析ソフト ImageJ を用いることで計測した。



Fig1. 電極と脛骨神経

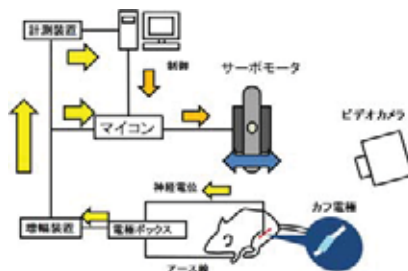


Fig2. 実験の計測系及び制御系

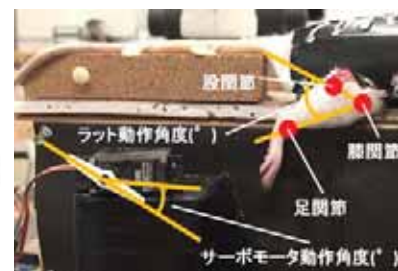


Fig3. 膝関節角度定義

3 結果と考察

3. 1 動作判別閾値と神経電位の変化

図4は遅動作をした時の神経電位波形と閾値である。ラット下肢動作時の計測時間 $t = 0 \sim 1.5$ s において閾値 V_{th1} と神経電位の変化をみると雑音を閾値によって除去できており、動作の有無を判別できていることが分かる。 $t = 0 \sim 0.2$ s においては、神経電位が閾値 V_{th1} を越えたのは、拮抗筋の影響により、動作に対して逆方法にかかる筋に神経電位が働いた影響と考えられる。前報⁽²⁾において定義した速動作(関節角速度 10° 以上の動作)は下肢動作に対する神経電位は、本実験でも確認されているが、閾値 V_{th2} の値はマイコンで認識できる電位の上限を超えていた。そのため正確性に確証がなく現状閾値で制御しているとは言い難い。今後はゲインを低く設定し、S/N 比がもっとも良く、上限を捉えることが可能な設定について検討する必要がある。

3. 2 アクチュエータの動作応答性

駆動アクチュエータであるサーボモータとラット下肢の挙動を図5に示す。神経信号に対応してアクチュエータを駆動させることはできたが、遅れが生じ、下肢動作が $t = 0.25$ s 時に最大値に達しているのに対してサーボモータは上昇したままであり最大値到達時には $t = 0.3$ s 程度の時間差があった。また挙動の戻り時間に関しては $t = 0.75$ s 程度の時間差が生じている。

前述で底屈動作後にも電位が検出されていることを述べた。このために背屈動作時にも神経電位を検出してしまいサーボモータが戻らなかったと考えられる。また神経電位が閾値より下がってもサーボモータが戻らなかったのは応答性の問題だと考えられる。動作検出後一定時間応答を受け付けない等プログラム側で対処する方法が考えられる。

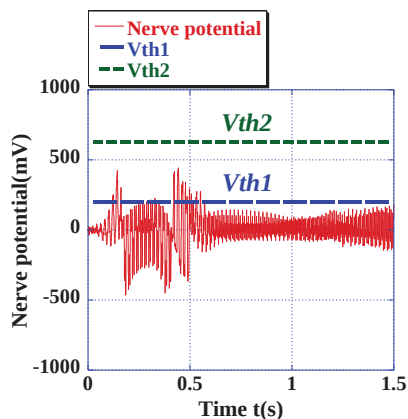


Fig4. 閾値と脛骨神経活動電位

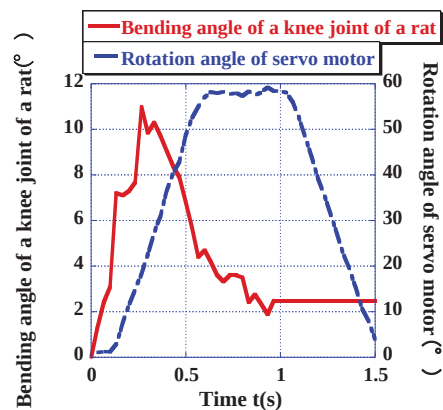


Fig5. サーボモータと膝関節角度変化

4. 結言

閾値による制御系と計測系を作成し実証実験を行うとともに下肢動作解析を行いアクチュエータとの応答性を検討し以下の結論を得た。

- (i) 脛骨神経電位に閾値を用いることで、下肢動作の有無の判別が実際の実験で可能であった。
- (ii) 下肢動作判別によりアクチュエータの制御は可能である。

参考文献

- (1) 中谷裕教, et al, 電子情報通信学会論文誌 D-II, 情報・システム, II-パターン処理 J83-D-II, (12), (2000), pp.2841-2849
- (2) 中林正隆, 酒井直隆, 嶋脇聡, 神経・機械インターフェースによる義肢制御, 第26回バイオエンジニアリング講演会論文集, pp. 389 - 390.

溶存水素を検知するパラジウム水素センサーの開発

佐藤 柊平 (M1)

Shuhei Sato (M1)

宇都宮大学大学院 工学研究科 物質環境化学専攻 mt136312@cc.utsunomiya-u.ac.jp

(指導教員) 佐藤剛史 (准教授)

Takafumi Sato (Associate Professor)

宇都宮大学大学院 工学研究科 物質環境化学専攻 takafumi@cc.utsunomiya-u.ac.jp

1. 緒言

水素は二酸化炭素を排出しないクリーンなエネルギーとして期待されている。水素は無色無臭の気体であるが、爆発限界の範囲が広く危険性が高いため、水素を検知する水素センサーの開発が重要となっている。また、溶媒の水素溶解度は、様々な水素化プロセスの効率を左右するパラメータである。しかし、有機溶媒中の溶存水素を測定するためには、加熱後に脱気したガスを分析する等、非常に手間がかかるものとなっている。そのため、様々な溶媒中の水素濃度を簡単に測定可能な水素センサーの開発が切に望まれている。

当研究室では Si 基板上にパラジウム粒子を析出させる新たな手法である「塗布法」によってパラジウム/Si 複合体を作成しており、近年では本手法で作成した複合体が、気相中において水素検知能を有することを見出した。これは、パラジウムが水素を吸収すると Si-Pd 界面上にて整流作用を示す障壁が減少する原理を利用している。このセンサーにて気相のみでなく液体中の溶存水素の検知が可能となれば、センサーの利用価値は大いに高まると考えられる。

本研究では、液中溶存水素の測定を目指して本センサーの改良を行い、気相における応答性能の水素濃度依存性を評価し、溶液中の溶存水素検知の可能性を検討した。

2. 実験

①水素センサーの作成(塗布法)と水素検知能(気体)の評価

酢酸パラジウムのエタノール溶液を Si 基板上に塗布し、250 °C 以上で焼成することで金属パラジウムを基板上に析出させた。本手法は、特殊な設備を必要とせず、溶液の濃度を変更することでパラジウム析出量の調整が可能である簡便な担持法である。この Pd/Si 基板に導線を接着することで、センサー感知部を作成した。図 1 に実験装置を示す。センサー感知部をデジタルマルチメーターに接続し、水素の有無における抵抗値の変化をモニターすることで水素センサーとした。供給水素濃度を変化させ、水素センサー応答性能の評価を行った。

②溶存水素検知能の評価

本研究では、新たな試みとして液体中の溶存水素の検知を行う。そのため水中での測定が可能となるようにセンサー検知部の改良を行う必要があった。そこで、従来使用していた接着性能に劣る常温乾燥タイプ導電性ペーストを、2 液混合型タイプのより強固なものへ変更することで接着性を十分なものとした。水中にセンサー感知部を沈め、水素を徐々にバブリングさせ、その際

の抵抗値変化を測定することで水中での水素検知能を評価した。さらに抵抗値変化を大きくするために導線間隔を変化させた実験も行った。

3. 結果と考察

①気相中での応答性能の評価

図2、図3に水素濃度を4%、400 ppmとした場合の相対抵抗値(基準点からの抵抗値の相対変化量)をそれぞれ示す。水素濃度4%では良好な応答性を示したが、水素濃度400 ppmになると水素検知は可能であるものの応答性が低下しており、本センサーの応答性は水素濃度に大きく依存していた。低水素濃度域では、パラジウムへ溶解する水素量が減少するために、センサーの応答性が小さくなったと考えている。

②溶存水素検知能の評価

図4に、温度90℃の水中に水素を15 cc/minで供給してセンサーの抵抗値を測定した結果を示す。相対抵抗値は時間とともにわずかに減少しており、水中では気相と異なる動作となっている。また、水素の供給前後で抵抗値に大きな差がなく、センサーは応答性に乏しかった。ヘンリー定数を用いて推算した90℃の水中の飽和溶解水素量は約15 ppmと非常に小さかった。センサーの応答性が乏しい原因として、低い溶存水素濃度に対応できていない可能性があるものと考えている。

4. 結言

水素センサーは4000 ppmまで良好な応答性を示したが、400 ppm以下では応答性が低下した。水中の溶存水素の検知は溶存水素量が極めて少ないためか困難であった。今後は、水中で良好な応答性を示す水素センサーの開発に向けて、センサー表面積の増大やパラジウム粒子の最適化を行いたいと考えている。

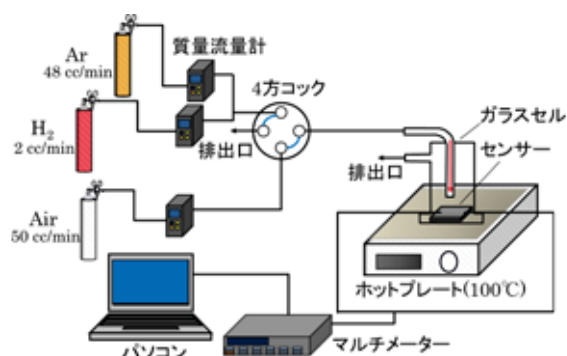


図1 実験装置図

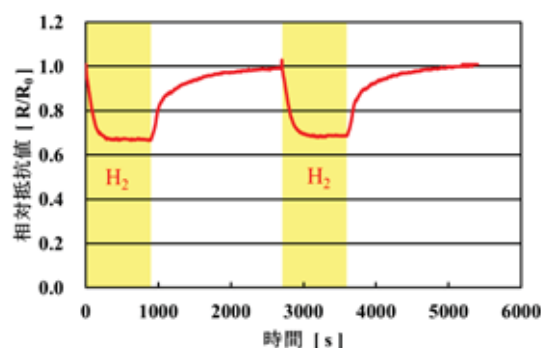


図2 相対抵抗値の変化(4%)

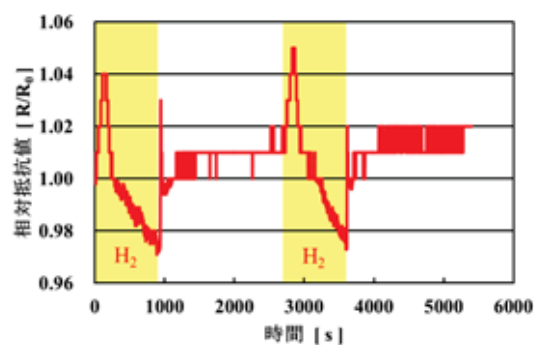


図3 相対抵抗値の変化(400ppm)

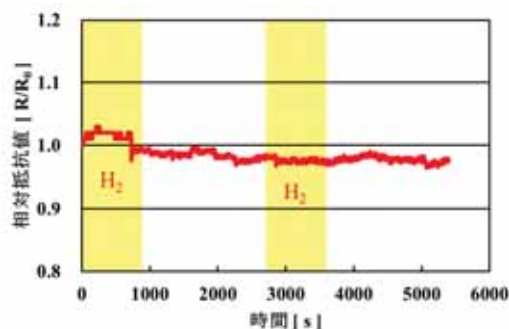


図4 相対抵抗値の変化(水中, 90℃)

前腕回旋時における靱帯変形の有限要素法解析

男庭正規 (M2)

Masanori Oniwa (M2)

宇都宮大学大学院工学研究科機械知能工学専攻 mt126108@cc.utsunomiya-u.ac.jp

(指導教員) 嶋脇聡 (准教授)

Satoshi Shimawaki (Professor)

宇都宮大学大学院工学研究科機械知能工学専攻 simawaki@cc.utsunomiya-u.ac.jp

1. 緒言

ヒト上肢前腕の回旋運動は尺骨と橈骨の捻じれる運動により成り立っており、人体の中でも特殊な運動を示す。靱帯が断裂などの損傷をすると、回旋運動は不安定になり、正確な動作が行えず日常生活に支障をきたす場合もある。

これまでの前腕回旋運動における靱帯に関する研究では、屍体や、物性や特性を模擬した模型を用いた実験などが行われてきた⁽¹⁾。しかし、そのような実験から、内部に働く応力分布を調査するのは困難である。そこで本研究では CT 画像より骨形状の輪郭を抽出することで骨モデルを構築し、そこに MR 画像から靱帯モデルを作成することでヒト腕の三次元有限要素モデルを作成し、回旋運動による変形の解析を行い、各靱帯に発生する応力分布と変形について考察を行った。

2. 実験

2.1 骨モデルと靱帯モデルの作製

CT 撮影器, MR 撮影器により 22 歳成人男性の骨形状データ, 靱帯形状データの採取を行った。撮影された CT 画像から、輪郭検出ソフトウェア SURFdriver を用いて骨の輪郭の 3 次元座標を取得した。取得した輪郭の 3 次元座標を有限要素解析ソフトウェア ANSYS/LS-dyna ver.14.0 に節点となるように入力することによって骨モデルを構築した。骨モデルは上腕骨, 橈骨, 尺骨の三つを作製した。また, 図 1, 図 2 にそれぞれ前腕骨間膜モデル, 遠位橈尺関節靱帯モデルを示す。靱帯モデルは, MR 画像データと, 解剖学書や屍体肘の論文など, 複数の文献を参考にして設定した⁽²⁾。また, 表 1 に設定したモデルの物性値を示す⁽³⁾。

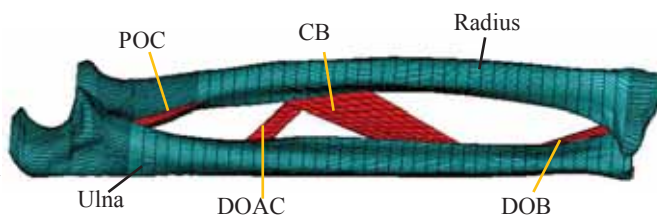


Fig.1 Three-dimensional forearm ligaments model

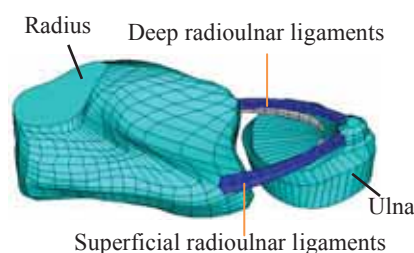


Fig.2 Three-dimensional DRUL mode

Table.1 Material properties

	密度[kg/m^3]	ヤング率[MPa]	ポアソン比
骨	2100	15000	0.3
前腕骨間膜	1000	97	0.49
遠位橈尺関節 靱帯	1000	111	0.49

2.2 解析条件

作製したモデルは中間位を基本状態とし、回内動作、回外動作の二種類の解析を行った。回旋動作の回転軸は、橈骨近位端中心から、尺骨遠位端中心を結ぶ線を回転中心として回旋することが知られている。そのため、橈骨モデルは、この回旋中心から一定半径上を一定な速度で $\pm 90\text{deg}$ 回旋することとした。また、橈骨モデルの並進は存在しないと仮定した。上腕骨、尺骨に変位および回旋拘束を与えて、計算空間内に固定した。

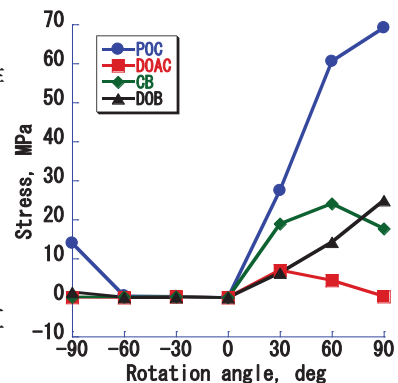


Fig.3 Change in the Principal stress

3. 結果と考察

図3に前腕骨間膜の各靭帯に生じた30degごとの最大応力を示す。前腕骨間膜は、回内時、橈骨の動きに巻き込まれ折りたたまれるような変形挙動を見せた。そのような変形から、回内時はほとんど応力が生じていない結果となった。また、回外時においては、引張応力が生じており、特にPOCにおいて、高い応力を示した。

図4に最大回外時におけるDRULの応力分布図を示す。回外90deg時において表層および深層の掌側DRULは伸展しているが、両層の背側DRULは折れ曲がっている。回内90deg時においては反対の挙動を示した。折れ曲がった繊維束はその両端から圧縮力を受けて座屈したことを示している。回旋において、表層と深層の線維束は同様な変形挙動を示した。

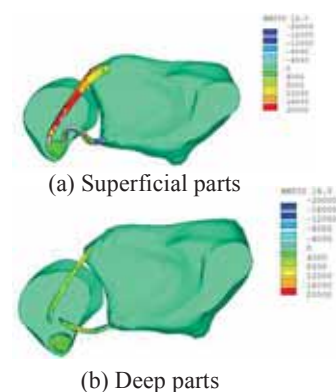


Fig.4 Stress distribution in the Supination90deg

4. 結言

本研究では、骨と靭帯から成る3次元有限要素モデルを構築し、回旋動作を再現した構造解析を行った。そして、各靭帯に生じる応力と形状の変化について解析と考察を行った。

本実験において以下の結論を得た。

- 1) 前腕骨間膜は、回内動作において、応力が生じず、安定性には関与していない。
- 2) POCは前腕骨間膜において最も重要な靭帯であり、上橈尺関節の安定性に寄与している。
- 3) DRULは回旋に伴って非線形的な長さの変化が生じる。その変化は、引張と曲げの複合力が作用する複雑な変形であった。
- 4) 表層と深層は同一の挙動をし、一つの線維束のように作用していた。

参考文献

- 1) F. Werner, et al., The Journal of hand surgery, Vol.36A, pp.1981-1987, 2011
- 2) Kazuo Noda, et al., "Interosseous Membrane of the Fore-arm: An Anatomical Study of Ligament Attachment Location", The Journal of hand surgery, Vol.34A, pp.415-422, 2009
- 3) K.-S.Shin, et al., Journal of Mechanics, Vol.26, No.1, pp.105-112,2010

ウシおよびヒツジにおける乳腺組織の構築過程

原 明日香 (M2)

宇都宮大学大学院農学研究科生物生産科学専攻 ma128127@cc.utsunomiya-u.ac.jp

(指導教員) 長尾 慶和 (教授)

宇都宮大学大学院農学研究科生物生産科学専攻 ynagao@cc.utsunomiya-u.ac.jp

1. 緒言

哺乳類に特有の乳腺組織は胎子期に基礎が構築され、乳汁の生産を行う乳腺胞などの機能的な組織の構築は妊娠期に構築される。乳腺組織を構成する乳腺上皮細胞や筋上皮細胞などはすべて組織幹細胞の一種である乳腺幹細胞に由来している。このため、女性の罹患率が高い乳がんなどによる疾病で失われた乳腺組織の機能や形態の回復、あるいは乳用家畜においては、乳房炎の感染機序の解明と効果的な治療法の開発など、再生医学や畜産分野での応用が期待されている。しかしながら、乳腺幹細胞からの細胞の分化系統、分化・増殖が活発に起きている時期など、乳腺幹細胞の性質や動態は十分には解明されていない。従来、乳腺幹細胞などに関する研究はマウス中心に進められてきたが、乳腺組織の構造は人と反芻動物で類似点が多い (Capuco et al., 2002)。このため、反芻動物の乳腺組織を解析することで、人に対してもより汎用性の高い乳腺幹細胞に関する情報を得られると考えられる。そこで、反芻動物の乳腺組織を用いて、胎子期および妊娠期における乳腺組織の構築過程を解析し、細胞の分化段階および増殖が起こる時期や要因などを特定することで、それらから乳腺幹細胞の特徴を明らかにすることができると考える。本研究は、乳腺幹細胞を起点とする乳腺組織の構築過程を明らかにすることを目的とし、ウシおよびヒツジを用いて、胎子期および妊娠期の乳腺組織の構築過程ならびに機能の発達段階を観察した。

2. 実験方法

胎子期の乳腺組織はウシ胎子についてはと畜場で、ヒツジ胎子については妊娠ヒツジの子宮より外科的に採取した。妊娠期の乳腺組織は、附属農場で飼養管理している妊娠ヒツジの乳腺より外科的に採取した。

採取した組織は 10%ホルマリン加 PBS 溶液で固定し、パラフィン包埋切片および凍結切片を作製した。作製した切片は、組織の一般構造を観察するために HE 染色および Azan 染色を行った。乳腺組織の機能の発達過程を解析するために、筋上皮細胞に存在する α -SMA、上皮細胞骨格に存在する CK18、および細胞の増殖性示す Ki-67 の発現を免疫染色により観察した。組織中の脂肪を観察するために、Oil-Red-O 染色を行った。

3. 結果と考察

胎子期の乳腺組織を観察した結果、ウシ胎子において、胎齢約 85 日で結合組織間に脂肪細胞の集団 (図 1-A) を観察した。胎齢約 100 日において皮下では脂肪細胞の増加を観察し、乳頭表皮では内部に伸長する細胞集団を観察した (図 1-B)。また、それら集団では Ki-67 陽性細胞が観察された。胎齢約 170 日のウシ胎子乳腺組織において、乳頭付近で管腔上皮細胞および筋上皮細胞からなる管腔構造 (図 1-C) を観察した。ヒツジ胎子においては、胎齢 76 日で脂肪細胞の集合および乳頭付近で管腔上皮細胞および筋上皮細胞からなる管腔構造を観察した。胎齢 131 日において、乳頭付近で観察された管腔構造が脂肪組織に向かい伸長し、その先端に Ki-67 陽性細胞が観察された (図 1-D)。したがって、胎子期の初期に皮下で脂肪細胞が集合し、増加することが明らかとなった。また、乳頭から皮下に向かい伸長する細胞集団が、管腔上皮細胞および筋上皮細胞からなる管腔構造を構築しすることで、乳頭層、乳腺層および乳管が形成されることが明らかとなった。さらに、乳腺幹細胞ならびに前駆細胞は表層から皮下に移動することが示唆された。

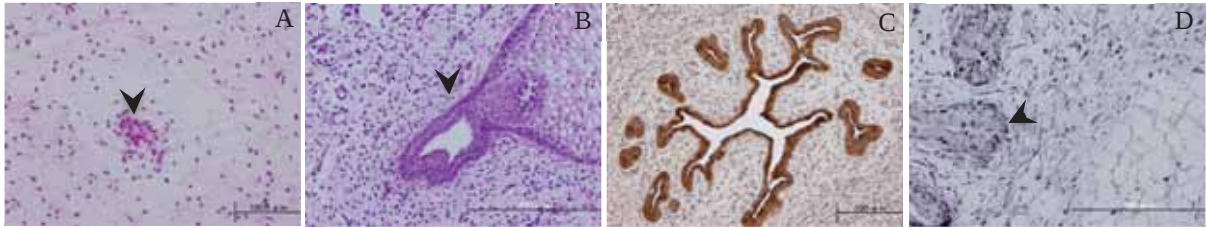


図 1 胎子期の乳腺組織

- A:胎齢約 85 日のウシ胎子乳腺組織、結合組織間に細胞（矢頭）が集合している。
 B:胎齢約 100 日のウシ胎子乳腺組織、乳頭先端より内部に伸長する細胞集団（矢頭）。
 C:胎齢約 170 日のウシ胎子乳腺組織、抗 CK18 抗体を用いた免疫染色像、管腔構造で管腔上皮細胞を観察した。
 D:胎齢 131 日のヒツジ胎子乳腺組織、脂肪組織に伸長する先端部で Ki-67 陽性細胞（矢頭）が観察された。

妊娠期の乳腺組織を観察した結果、妊娠 60 日前後のヒツジ乳腺組織で乳腺小葉の原型（図 2-A）となる細胞集団が存在し、管腔上皮細胞、筋上皮細胞および Ki-67 陽性細胞（図 2-B）が観察された。その後その集団内で細胞の増殖がおき、乳腺上皮細胞および筋上皮細胞からなる管腔構造をとることが明らかとなった。さらに、妊娠 120 日では管腔構造を構成する細胞および管腔の内部に脂肪滴（図 2-C）を観察した。また、Ki-67 陽性細胞（図 2-D）が管腔構造構成細胞内に観察された。したがって、観察された管腔構造は乳腺胞であることが明らかとなり、乳腺幹細胞様の細胞が乳腺胞内に存在し、乳腺上皮細胞や筋上皮細胞を生産し、組織の維持を行うことが推測された。

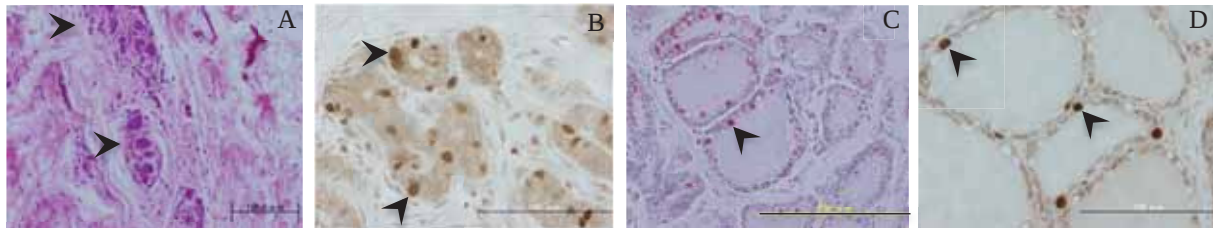


図 2 妊娠期の乳腺組織

- A:妊娠 60 日のヒツジ胎子乳腺組織、結合組織間に管腔構造を含む細胞集団（矢頭）が観察された。
 B:妊娠 90 日のヒツジ胎子乳腺組織、管腔構造内に多数の Ki-67 陽性細胞（矢頭）が観察された。
 C:妊娠 120 日のヒツジ胎子乳腺組織、管腔を構成する細胞および管腔内に脂肪小滴（矢頭）が観察された。
 D:妊娠 136 日のヒツジ胎子乳腺組織、構築された乳腺胞内に Ki-67 陽性細胞が（矢頭）が観察された。

以上、乳腺組織の構築過程を解析した結果、胎子期に乳頭先端で細胞が分化増殖し内部に伸長することで、乳頭層、乳腺層および乳管が構築されることが明らかとなった。妊娠期においては乳管の先端で細胞が増殖し中期に管腔構造が形成され、乳腺胞が構築されることが明らかとなった。したがって、乳腺幹細胞は胎子期の初期に乳頭の表皮で発生し、乳管と共に組織内の脂肪組織に移動することが示唆された。また妊娠期においては、乳管の末端に分化した細胞と共に存在すること、ならびに組織の構築が進み管腔構造が構築されると、管腔構造内に存在し分化した細胞の生産を行うことが示唆された。

4. 結言

反芻動物の乳腺組織の構築過程を解析した結果、乳腺幹細胞の分化増殖は組織構築の初期に起こることが示唆された。今後、細胞の分化段階および分化系列を明らかにするために、今回用いた CK18 などを含む多数のマーカーを用いた解析を進めたい。また、そうした乳腺幹細胞の分化増殖に影響する要因の解析を進めたい。

参考文献

Capuco AV et al., (2002) Biology of Reproduction.66:1471-1476.

パラジウム触媒膜を用いたエチレン部分酸化による各種誘導体の合成

野村光 (M2)

Hikaru NOMURA (M2)

宇都宮大学大学院工学研究科物質環境化学専攻 mt126323@cc.utsunomiya-u.ac.jp

(指導教員) 伊藤直次 (教授)

Naotsugu ITOH (Professor)

宇都宮大学大学院工学研究科物質環境化学専攻 itoh-n@cc.utsunomiya-u.ac.jp

1. 緒言

エチレンはナフサの分解による大量生産が可能なため、石油化学工業における重要な原料である。エチレンを原料とする酸化物の誘導体には酢酸、エタノール、アセトアルデヒド、酸化エチレンなどがあげられ、合成樹脂、界面活性剤、塗料など多岐にわたる製品の中間体としても大きな役割を有する。これらのエチレン酸化誘導体は、現在も様々な触媒を用いて製造され、より高選択、高活性を示す触媒の開発が求められている。

本研究ではエチレンやエタン、*n*-ブタン酸化反応に対し、活性酸素種を生成して反応に関与できるとされるパラジウム触媒膜の利用を検討した。

2. 理論

パラジウム膜表面上での反応原理を図1に示した。この反応では、パラジウム膜の内側にエチレンと酸素、外側に水素を別々に供給する。水素のみを選択的に透過させる性質を持つパラジウム膜により、水素原子が膜の内側に透過し、酸素分子と反応することで水と活性酸素種を形成する。活性酸素種はエチレンと反応し、種々の酸化物を生成する。

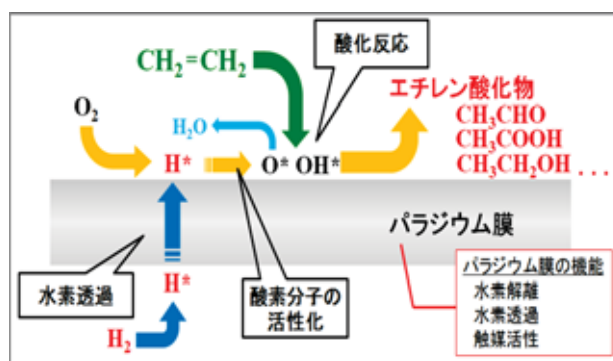


図1 パラジウム触媒膜による還元的酸化反応

3. 実験

膜厚 1 μm のパラジウム膜を多孔質 YSZ 管(外径 2.8 mm、内径 2.0 mm)上に CVD (Chemical Vapor Deposition) 製膜して、4 本配列の多管型反応器として反応に用いた。膜はすべて片面封じとし、その中にキャピラリー管を挿入し、マスフローコントローラーを用いて、パラジウム膜の内側にエチレン、酸素、アルゴン、外側に水素を供給した。反応は 190 $^{\circ}\text{C}$ で行い、生成ガス組成は、オンライン GC-TCD、GC-FID にて分析した。生成した水、及びエチレン酸化物は氷水中でトラップし、回収した生成物を GC-FID で定量した。未透過水素流量、生成ガス流量は石鹼膜流量計で測定した。

4. 結果と考察

まず、エチレンと酸素のみの反応を行ったところ、酸化生成物として極微量のアセトアルデヒドの生成を確認した。そこに水素を供給した透過水素、酸素、エチレンの反応では、酢酸、アセトアルデヒド、エタノール、アセトン、MEK（メチルエチルケトン）が生成した。この時主な生成物は酢酸であり、同時に透過水素とエチレンの反応により多くのエタンの生成がみられた。大気圧下、反応温度 190 °Cにて透過水素量を変化させた時のエチレン酸化反応によるエタン収率、酢酸収率を図 2、図 3 に示した。透過水素量依存性についてみると酢酸収率は透過水素量上昇とともに増加し、 H_2/O_2 比 ≈ 2 の時に 0.035 %と最大値をとり、その後減少した。 H_2/O_2 比が 2 までは透過水素量が増加することで活性酸素種が増加するため、酢酸収率も増加するが、 H_2/O_2 比が 2 以上になることで、エチレンの水素化反応が優勢になり、酸化反応が阻害されていると考えられる。

また、アセトアルデヒドはエチレンと酸素のみを供給したときにも生成していることから、ワッカー型酸化反応機構に類して(1)式、(2)式に示したように生成すると考えた。酢酸の生成は、(4)式のようにパラジウムの酸化還元サイクルにて生成したアセトアルデヒドを経由していると考えられる。

・酸化反応



しかしながら、透過水素により活性酸素種が形成することで酸化反応が促進するこの反応では、透過水素によるエチレンの水素化反応が優勢であった。また、(3)式に示したように活性酸素種は水素とも反応する。このことから、本反応は、エチレン、水素、活性酸素が競争的に起こる反応であり、エチレンの選択酸化反応をさらに促進するためには水素化反応を抑制する必要がある。

5. 結言

本研究により、エチレン酸化反応に対するパラジウム触媒膜の有用性が明らかとなり、酢酸生成における新たな触媒としての可能性が示された。

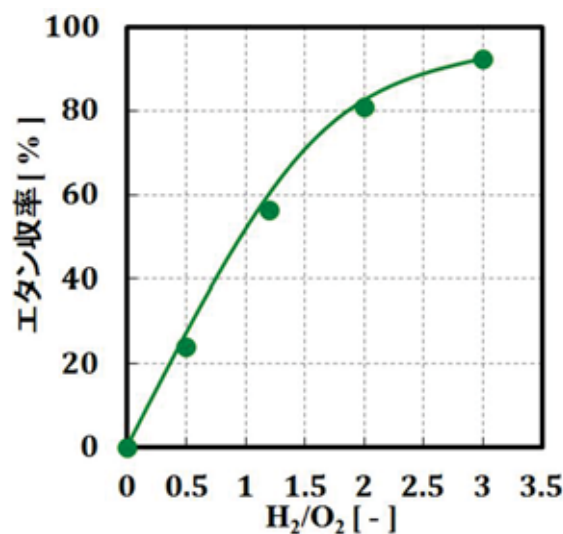


図 2 透過水素／酸素比とエタン収率の関係

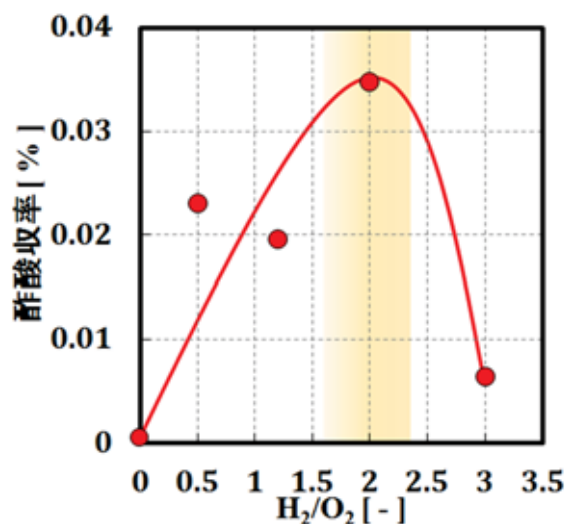


図 3 透過水素／酸素比と酢酸収率の関係

(エチレン: 3 cc/min, O_2 : 3 cc/min,
 $Ar(O_2)$: 3 cc/min, 190 °C)

反応拡散を利用した摩擦攪拌による異種箔材接合技術の開発

細川 光 (M2)

Hikaru HOSOKAWA (M2)

宇都宮大学大学院工学研究科機械知能工学専攻 mt126124@cc.utsunomiya-u.ac.jp

(指導教員) 高山善匡 (教授)

Yoshimasa TAKAYAMA (Professor)

宇都宮大学大学院工学研究科機械知能工学専攻 takayama@cc.utsunomiya-u.ac.jp

1. 緒言

近年、世界的な環境問題が取り上げられ地球環境保全ならびに省エネルギーの要望が高まり、自動車、航空機、船舶、鉄道などの輸送機器の軽量化が強く求められている。軽量化の要求を満たす軽量・高強度部材として、アルミニウム合金、チタン等が挙げられる。アルミニウム合金とチタン合金の接合は特に比強度・比剛性が望まれる航空宇宙産業や自動車産業の分野で重要な役割を果たすが期待されている。しかし、チタンとアルミニウムの溶融溶接では溶接の際に脆い金属間化合物層が形成されることが問題となっており、これを解決するために、固相接合法である摩擦攪拌接合の適用が注目されている。本研究では適用例が極めて少ない箔材を被接合材とし、アルミニウム合金箔材とチタン箔材とを FSW プロセスを利用して接合することを目指し、強度測定や組織観察からより最適な接合条件を探索した。

2. 実験方法

本研究では、上箔を 5052Al, 下箔を工業用純チタンとして重ね合わせ接合を実施した。実験条件は、前進角 2° , 回転数 105,000rpm で固定し、押し込み量と送り速度を変化させた。ツールには、先端に R1.0mm を持つ直径 3.6mm の円柱状ツールを用いた。また、放射温度計で試料表面の温度を測定し、Al-Ti 界面の温度は熱電対で測定した。

3. 結果と考察

押し込み量 0.03mm, 送り速度 42mm/min の条件で接合した断面図と界面部の組成分析の結果を Fig. 2 に示す。断面図から計測した接合幅は、1.95mm であった。また、上箔が一番薄くなった部分の厚さは 0.071mm であり上箔と下箔の界面に欠陥が見受けられず良好に接合ができた。

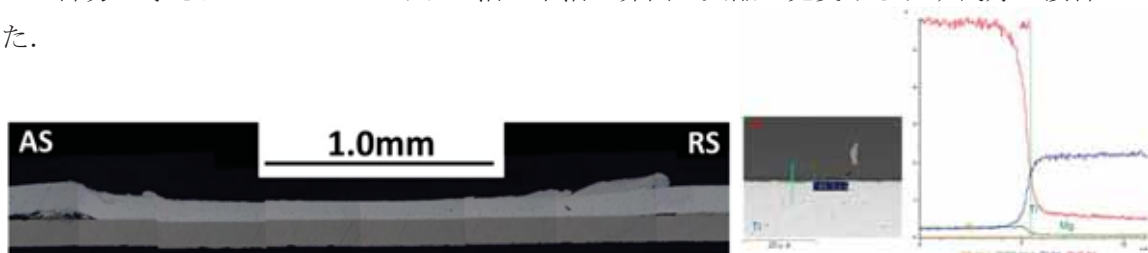


Fig.1 接合断面図と界面部の組成分析結果(105,000rpm, 0.03mm, 42mm/min)

組成分析結果から化合物層が確認できなかった．分析が困難なほどに化合物層が薄い可能性がある．Table 1 に、各送り速度 60, 42, 30mm/min で得られた放射温度計の値から算出した Ti 中の Al 原子の拡散係数, 拡散距離, そして組成分析結果から得られた拡散距離を示す．また, (1), (2)式の $x(m)$ は拡散距離, $D (m^2/s)$ は拡散係数, $Q (J/mol)$ は拡散の活性化エネルギー, $R (J/K \cdot mol)$ は気体定数, $T (K)$ は絶対温度, $t(s)$ は接合長さを送り速度で割った時間である．

$$D = D_0 \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right) \quad (1)$$

$$x = \sqrt{2Dt} \quad (2)$$

Table 1 Ti 中の Al の拡散係数と拡散距離

試料番号	送り速度 (mm/min)	時間 (s)	放射温度 計で測定 した温度 (K)	Ti 中の Al の 拡散係数 ($\times 10^{-20} m^2/s$)	Ti 中の Al の 拡散距離 (nm)	組成分析 から求めた 拡散距離 (nm)
1	60	4.5	637	6.006	0.52	1020
2	42	6.4	660	16.73	1.03	360
3	30	9.7	683	40.93	1.99	560

断面の EDS 分析結果から得られる Ti 中の Al の拡散距離は、接合中の温度と時間を基にして式(1)を用いて計算した拡散距離に比べて 300~2000 倍の極めて大きい値となった．すなわち、計算上 Al 原子が数原子分しか移動しない時間に、実験では 0.3~1 μm 移動していることになる．野中ら(2000 年)によると、アルミニウム中へのチタンの拡散は 500℃以上で拡散係数が急激に増加することがわかっている．実験では、接合中の表面温度は 400℃となり、拡散は少ないと考えられる．しかし、Al-Ti 界面の温度を熱電対で測定したところ、どの条件でも 400℃以上あり、送り速度 30mm/min のとき一番高い 614℃となった．接合表面より界面温度が高いこと、5052Al 合金同士の重ねあわせ接合で温度がその値にまで達していないことから、アルミニウムとチタンの化学反応による発熱反応が起き、化合物層が形成され接合ができていると考える．

4. 結言

本研究では、回転数 105,000rpm, 押し込み量 0.03mm, 送り速度 30~180mm/min, 前進角 2°でアルミニウム合金と CP-Ti に FSW プロセスを利用して接合を行った．押し込み量 0.03mm, 送り速度 30~180mm/min で良好に接合ができた．また、接合界面温度は 400℃以上あり、送り速度 30mm/min のとき 614℃となり、Al の攪拌が Ti の強固な酸化膜を破り、化合物形成の反応熱によって接合ができると考えられる．

FPGA を用いた航海画像安定化に関する研究

植竹 大地 (M1)

Daichi UETAKE (M1)

宇都宮大学大学院工学研究科情報システム科学専攻 uetake@virgo.is.utsunomiya-u.ac.jp

(指導教員) 横田 隆史 (教授)

Takashi YOKOTA (Professor)

宇都宮大学大学院工学研究科情報システム科学専攻 yokota@is.utsunomiya-u.ac.jp

1. 緒言

海上交通において、主な事故の原因は見張り不十分による人為的な要因である[1]。そのため、コンピュータビジョンによる船舶自動見張りシステムの導入が期待されている。しかし、船舶に搭載したカメラが取得した画像には動揺がある。そのため、船舶に搭載したカメラが取得した画像に対して画像処理を用いて揺れの補正を行なう。

先行研究[2]における安定化処理のソフトウェア実装での処理時間は、水平画素 1,024, 垂直画素 128, 総画素数 13 万画素の画像に対して画像 1 枚当たり 83 ミリ秒の時間である。しかし、十分な精度で船の認識を行なうためには、先行研究の総画素数の 16 倍が必要とされる。そのため、目標時間[2]の 10frame/sec でソフトウェアによる処理を行うことができない問題がある。その問題に対して FPGA によるハードウェア処理を用いることにより高速に処理を行なう。FPGA は書き換え可能なロジックデバイスであり、ハードウェアで処理することでソフトウェアよりも高速に処理を行なうことが可能である。そのため、ソフトウェアで動作しているプログラムの分析を行ない、ソフトウェア処理で時間がかかっている処理の一部を FPGA で行なうことにより、処理の高速化を行なう。

2. 理論

安定化処理のプログラムは、カメラからの入力画像に対して、グレイフィルタ、ガウスフィルタ、安定化フィルタを画像に順番に適用することで、動揺を取り除いた画像の生成を行なう。画像の安定化方法として、[2] の安定化プログラムでは逆合成法のアルゴリズムを用いて処理を行なう。逆合成法は Lucas-Kanade 法と比較するとヘシアンを繰り返し計算する必要がないため計算量が少ない点で優れている。

3. 実験

FPGA 化を検討するにあたり、[2]の安定化処理プログラムの時間がかかる処理を明らかにするため分析を行なった。使用したツールは、Microsoft Visual Studio Professional 2010 のプロファイリングツールである pgomgr を使用した。

4. 結果と考察

プロファイル結果を表1に示す。関数名はプログラム内で使用している関数の名前である。total は全体における処理時間の割合である。また、run total は累積値となっており、各関数の処理時間を加算した値である。

それぞれ、c_imgalign::rgd_itr() には36.9%、の時間がかかっている。処理のフローチャートを図1に示す。rgd_itr()は4重ループでワープ関数の値を求める演算を行なっている。ワープ関数とは、テンプレート画像から平行移動・回転を行なった画像を生成する関数である。また関数 calc_H_rgd()は、安定化処理の中でヘシアンの演算を行なう関数である。一番時間のかかっている rgd_itr()をハードウェア処理することで、処理時間の短縮が可能である。

表1：プロファイリング結果

関数名	total	run total
c_imgalign::rgd_itr()	38.1%	38.1%
c_imgalign::calc_H_rgd()	20.1%	58.2%
c_imgalign::get_warped_pix_val()	18.3%	76.5%
cv::MatConstIterator::operator++()	5.1%	81.6%
c_imgalign::calc_warp()	5.0%	86.6%

5. 結言

分析の結果より、rgd_itr()をFPGAを用いてハードウェア化することで、安定化処理全体の実行時間を短くすることが期待できる。そのため、時間がかかっている関数である rgd_itr()についての FPGA を用いた高速化手法の検討を進める予定である。

謝辞

本研究の機会を与えていただき、また、日頃から貴重なご意見やご指導をいただいた、横田隆史教授、大津金光准教授、大川猛助教に深く感謝いたします。

また、本研究において、安定化処理プログラムと航海動画を提供していただきました東京海洋大学 松本洋平先生に深く感謝いたします。

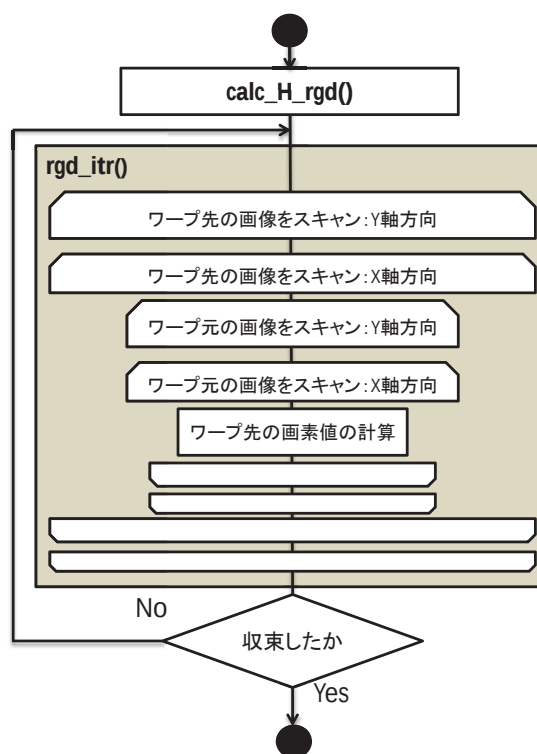


図1：処理のフローチャート

参考文献

[1] 植竹 大地, 大川 猛, 横田隆史, 大津金光 (宇都宮大), 松本洋平 (東京海洋大), “SW/HW 協調処理による船舶自動見張りシステム-航海画像安定化処理の高速化に関する初期検討-,” 情報処理学会 第76回全国大会, 2014年3月(発表予定)

[2] 松本洋平: “逆合成法を用いた航海画像の安定化,” 日本航海学会, Vol.127, No.SIG 70, pp.205-214, 2012.

Android OS 上での無線接続型クラスタ計算機システムの 構築技術に関する研究開発

荒井 裕介 (M1)

Yusuke Arai (M1)

宇都宮大学大学院工学研究科情報システム科学専攻 arai@virgo.is.utsunomiya-u.ac.jp

(指導教員) 大津 金光 (准教授)

Kanemitsu Ootsu (Associate professor)

宇都宮大学大学院工学研究科情報システム科学専攻 kim@is.utsunomiya-u.ac.jp

1. 緒言

今日、スマートフォンやタブレット端末等の Android OS を搭載した携帯端末が急速に普及している。これらの端末は、マルチコアプロセッサを搭載した端末も登場しており、急速な高性能化を遂げている。また、Wi-Fi や Bluetooth といった無線通信機能が標準的に搭載されており、端末間での無線相互通信が可能となっている。さらに、近年、大災害時などの緊急時に、平時に使用している PC やサーバといったシステムが使用不可能となってしまった際、それらの代替装置として使用できるシステムの需要が高まってきている。

本稿では、Android OS 搭載端末の高性能化、端末同士の無線相互通信が可能であることに着目し、複数の Android OS 搭載端末を使用した無線接続型クラスタ計算機システムの構築方法について述べる。また、構築したシステムの性能特性を評価する。

2. 無線接続型 Android クラスタシステム

本研究で開発する無線接続型 Android クラスタシステムの概要について述べる。まず、無線通信手段について述べる。Android OS を搭載した携帯端末 (以下 Android 端末) には、Wi-Fi, Bluetooth, 3G/4G の3種類の無線通信手段がある。複数の端末を用いてクラスタ計算機を構築する場合、端末間の通信性能がクラスタとしての実行性能に大きな影響を与えるため、高速な通信手段を用いることが望ましい。本システムでは通信速度が高速で、かつもっとも手軽に利用できる Wi-Fi をシステムの無線通信手段として用いる。

本システムは、複数の Android 端末上での並列分散処理を想定する。そのため、並列分散処理で最も利用される Message Passing Interface (MPI) の実装の一つである、Open MPI[1] で並列分散処理を行う。また、並列プロセスの起動には OpenSSH を用いる。

以上の Open MPI, OpenSSH, および Android クラスタ上で動作する MPI 並列プログラムは Android Native Development Kit (NDK) を用いてビルドする。通常、Android 上で動作するアプリケーションは Dalvik VM と呼ばれる仮想マシン上で動作するが、NDK を用いて開発を行えば CPU が直接実行する機械命令プログラムとなるため、高速な動作が可能になる。

3. 実験

構築したクラスタシステムの性能特性を明らかにするため、ベンチマークプログラムを使用してシステムの性能評価を行った。評価には N クイーン問題プログラム (クイーン数 16) と、NAS Parallel Benchmarks (NPB)[2] 内の IS プログラムを用いた。また、システムには Google 社

の Nexus 7 (2013) を 3 台, ASUS 社の TF201 を 3 台の計 6 台を使用した. それぞれの端末の仕様, および評価環境を表 1 に示す.

表 1: 評価環境

	Google社 Nexus 7 (2013)	ASUS社 TF201
CPU	Qualcomm Snapdragon S4 Pro (4コア)	NVIDIA Tegra3 モバイルプロセッサ (4コア)
動作周波数	1.5GHz	1.4GHz (クアドコア稼働時1.3GHz)
メモリ	2GByte	1GByte
Androidバージョン	4.4.2 (1台), 4.3 (2台)	4.0.3
Wi-Fi	802.11 a/b/g/n (5GHz / 2.4GHz)	802.11 b/g/n (2.4GHz)
ルータ	NEC社 PAWG600HP	

4. 結果と考察

図 1, 図 2 に各台数で N クイーン, IS をそれぞれ実行した時の, 1 台実行時からの速度向上率

を示す. 端末 1 台につき 4 プロセスを割り当てている. また, IS はプログラムの仕様上, 2 台 (4 プロセス) と 4 台 (16 プロセス)での評価となっている.

まず図 1 を見ると, 4 台実行時までは台数の増加に伴う速度向上が確認できたが, 5 台実行時以降は速度向上率に変化がない. このことから, システムの規模は 4 台程度が妥当であることが分かる.

次に図 2 を見ると, IS は 1 台実行時から速度が低下していることが確認できる. このプログラムはプロセス間で大容量の通信が発生するプログラムである. そのため, 通信によるオーバーヘッドが性能上の問題となり, 性能低下したと考えられる. 一方 N クイーンはプロセス間の通信が少ない処理である. このことから, 本システムはノード間で大容量の通信を行うプログラムの処理よりも, 通信量の少ないプログラムの処理において高い性能を発揮できるといえる.

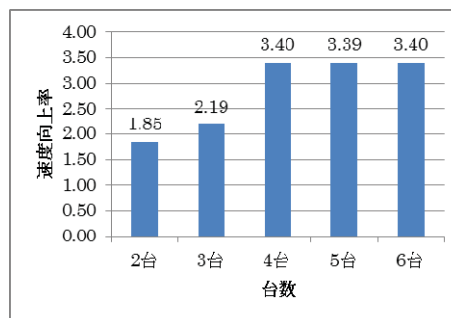


図 1: 速度向上率 (N クイーン)

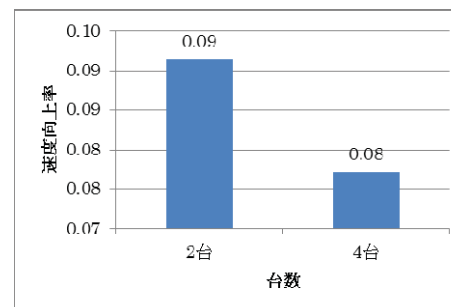


図 2: 速度向上率 (IS)

5. 結言

Android 端末の高性能化, 端末間の無線相互通信機能に着目し, 大災害時などに PC などの装置の代替装置として使用できる無線接続型 Android クラスタシステムを構築し, システムの性能特性を評価した. 今後は, ルータなどの機器を必要とせずにシステムを構築できるような機能の実装を行う.

謝辞

本研究の機会を与えていただき, また, 日頃から貴重な御意見, ご指導いただいた, 大津金光准教授, 横田隆教授, 大川猛助教に深く感謝致します.

参考文献

- [1] Edgar Gabriel et al. "Open {MPI}: Goals, Concept, and Design of a Next Generation {MPI} Implementation". s.l. : Proceedings, 11th European PVM/MPI Users' Group Meeting, 2004.
- [2] NAS Parallel Benchmarks, <https://www.nas.nasa.gov/publications/npb.html> (2014 年 2 月 23 日参照)

苔類ゼニゴケをモデルとした植物のゲノム改変技術の開発

坪山祥子 (M1)

Shoko TSUBOYAMA (M1)

宇都宮大学大学院農学研究科生物生産科学専攻 ma138125@cc.utsunomiya-u.ac.jp

(指導教員) 児玉豊 (助教)

Yutaka KODAMA (Assistant professor)

宇都宮大学バイオサイエンス教育研究センター kodama@cc.utsunomiya-u.ac.jp

1. 緒言

植物におけるゲノム改変技術は、分子生物学における遺伝子解析や有用形質の獲得を目的とした作物育種にとって非常に重要である。植物進化の基部に位置する苔類ゼニゴケは実験植物としての利点の多さから、近年新興モデル植物として注目されている植物種であり、遺伝子導入（形質転換）や遺伝子破壊に関する様々なゲノム改変技術の開発が進んでいる。最近ゼニゴケにおいて、パーティクルガンなどの高価な器具を必要としない、アグロバクテリウムを介した形質転換法が確立されたが、この技術には改良すべき点が多く、今後ゼニゴケを用いた研究を進めていくには安定した技術の確立が必要と思われた (Ishizaki et al. 2008)。そこで我々は、従来の形質転換法と比較して迅速かつ簡便な形質転換法（アガートラップ法）を考案し、安定した実験システムの確立を目指して研究を行った。

2. 実験

アガートラップ法は、全ての形質転換操作を一枚の個体培地上で完了することができる簡便な方法である (図1)。本研究では、アガートラップ法の形質転換効率に影響を与える条件を抽出し、実験システムの最適化を行った。たとえば、ゼニゴケの前培養期間、アグロバクテリウムとゼニゴケの共存培養期間、共存培養バッファー中のアセトシリンゴン濃度、共存培養バッファー中のアグロバクテリウム濃度などの条件を検討した。また、ゼニゴケは雌雄異株であるため、雌雄間の形質転換効率を比較した。さらにサザンブロット解析により、ゼニゴケゲノムへの目的遺伝子の挿入とそのコピー数を確認した。

3. 結果と考察

アガートラップ法の条件検討の結果、ゼニゴケの前培養期間は **3 日間** が最適であることがわかった。液体培地中で培養する従来法に比べると **4 日間短縮** されており、固形培地上のゼニゴケは前培養期間により多くの光と空気を吸収できるためと考えられる。アグロバクテリウムとゼニゴケの共存培養期間は **3 日間**、共存培養バッファー中のアセトシリンゴン濃度は **150 μ M** が最適で

あることがわかった。また、共存培養バッファー中のアグロバクテリウム濃度は、 $OD_{600} = 0.5$ から $OD_{600} = 3.0$ の間では形質転換効率に差がないこともわかり、アガートラップ法におけるアグロバクテリウムは $OD_{600} = 0.5$ で既に飽和していると示唆される。最適条件での形質転換効率は10%程度で、一枚の60 mm シャーレ上で数個から数十個の形質転換体を作出することが可能である。アガートラップ法によって作出された形質転換体の雌雄比率を調べたところ、形質転換効率に雌雄差がないこともわかった。またサザンブロット解析によって、アガートラップ法は1コピーから複数コピーの T-DNA をゼニゴケゲノムへ挿入できることがわかった (Tsuboyama and Kodama 2014.)。

4. 結言

アガートラップ法では固形培地上で全ての操作を行うため、液体培地と固形培地の二段階培養を要する従来法で問題になっていたコンタミネーションや、伸長した仮根による個体同士の凝集を防ぐことができる。本研究で確立したアガートラップ法は、今後、ゼニゴケを用いた分子生物学研究を強力にサポートする重要な技術になるだけでなく、他の植物の形質転換にも応用可能であると考えている。

参考文献

- 1) Ishizaki et al. (2008) *Plant Cell Physiol.* 49: 1084-1091.
- 2) Tsuboyama and Kodama. (2014) *Plant Cell Physiol.* 55: 229-236.

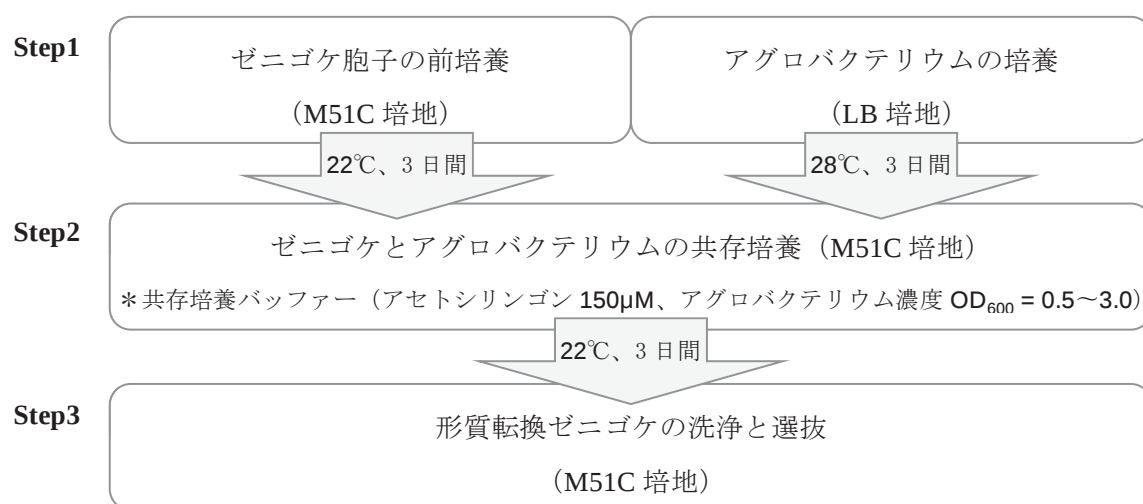


図 1. アガートラップ法の流れ

高い現実感で仮想物体を「掴む」ことに着目した AR 装置の開発

鈴木遼人 (M2)

Haruto SUZUKI (M2)

宇都宮大学大学院工学研究科情報システム科学専攻 mt126513@cc.utsunomiya-u.ac.jp

佐藤美恵 (准教授)

Mie SATO (Associate Professor)

宇都宮大学大学院工学研究科情報システム科学専攻 mie@cc.utsunomiya-u.ac.jp

1. 緒言

コンピュータ上で生成した仮想物体を実空間に重ね合わせる技術である AR(Augmented Reality)に関する研究が注目を集めている。その中でユーザと仮想物体のインタラクションを実現するための研究が盛んに行われている。実空間に近い、自然な仮想物体とのインタラクションを行うためには、ユーザの位置情報を正確に仮想空間へ重ね合わせることが重要となる。従来研究^{1,2)}では、ユーザにマーカや特殊な手袋などを装着させることでユーザの位置情報を取得し、仮想物体とのインタラクションを実現していた。ただし、これらの手法はユーザに対して、特殊器具を装着させることによる重さや違和感を与える可能性が生じる。そのため、素手によるインタラクションが必要とされる。

本研究では、仮想物体に対するインタラクションの一つとして掴み動作に着目し、仮想物体に対する掴み動作を視覚的に実空間での掴み動作に近づけることで、ユーザに与える違和感を軽減し、素手で仮想物体を掴むことができる装置を開発することを目的とする。

2. 理論

本装置は、3次元計測器(SoftKinetic DepthSense 325)を取り付けたヘッドマウントディスプレイ(SONY HMZ-T3, 以下 HMD), 基準マーカ, PC から構成されている。

本装置は以下の手順で処理を行っている。

1. 3次元計測器を用いて2本の指先検出を行い、指先の3次元座標を取得する
2. 3次元計測器から得られた指先の座標を仮想物体が存在するマーカ座標系の値で表す
3. 指先間の距離と仮想物体の直径を基に掴み動作の判定処理を行う
4. 3次元計測器から得られるユーザの手領域の深度値を基に、手と仮想物体の前後関係を隠面処理によって表現する

以上の処理を行うことで、素手での仮想物体に対する掴み動作を実現する。

3. 実験

HMD を通して机上に表示される仮想物体に対して、掴み動作を行う。このとき、基準マーカは1辺が10cmの正方形、仮想物体は直径6cmの球とする。

4. 結果と考察

装置の実行結果を図1に示す。ユーザは、指先間が仮想物体の直径とある程度等しい状態で、指先と仮想物体が衝突したとき仮想物体を掴むことができる。また、掴んだ後の仮想物体の位置は2本の指先の位置を基に決定される。

図1(a)より、ユーザが仮想物体を掴んだとき、仮想物体の手前側にある親指は仮想物体の上に描画され、仮想物体の奥側にある人差し指は仮想物体に隠されるように描画されている。このことから、手と仮想物体の隠面処理が正しく行われていることが確認できる。図1(b)、(c)より、ユーザが仮想物体を持ち上げた、または移動させているとき、仮想物体の位置は指先の移動に合わせて移動していることが確認できる。また、仮想物体の影も仮想物体の移動に伴って適切な位置に描画されている。図1(d)より、ユーザの指先間の距離が仮想物体の直径よりも大きくなったとき、仮想物体は机の上に落ちる動作をすることが確認できる。以上の結果から、本装置は、素手による仮想物体に対する掴み動作を実現しているといえる。

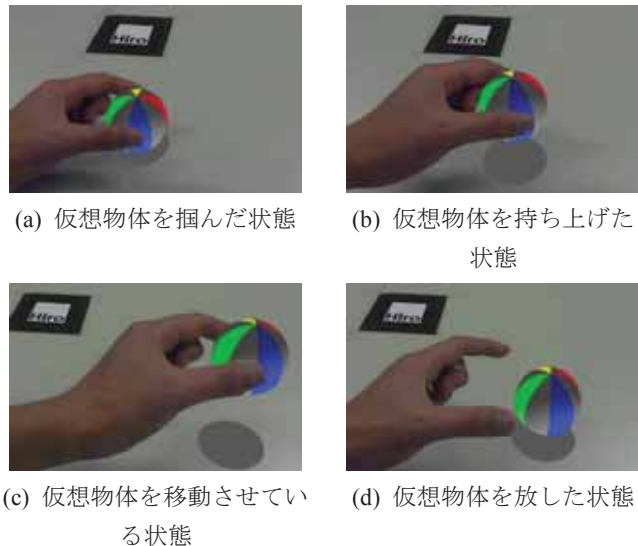


図1 装置の実行結果

5. 結言

本研究では、ARにおけるインタラクションの一つとして、仮想物体に対する掴み動作に着目し、ユーザにマーカや特殊な手袋を装着させることを必要としない、素手で仮想物体を掴むことができる装置を開発した。本システムでは、3次元計測器でユーザの位置情報を取得し、指先検出や隠面処理などにより、視覚的に実空間の掴み動作に近似することで、ユーザに与える違和感を軽減した。

今後の課題として、より多くの動作を装置に組み込み、仮想物体とのインタラクションの幅を広げることなどが挙げられる。

参考文献

- 1) Klaus Dorfmueller-Ulhaas, Dieter Schmalstieg: “Finger tracking for interaction in augmented environments”, In ISAR, pp. 55-64 (2001)
- 2) Volkert Buchmann, Stephen Violich, Mark Billinghurst, Andy Cockburn: “FingARtips-Gesture Based Direct Manipulation in Augmented Reality”, Proc. International Conf. on Computer Graphics and Interactive Techniques, pp. 212-221 (2004)

高速大規模電磁界解析に資する並列化有限要素法の基礎研究

圓谷 友紀 (M2)

Tomonori TSUBURAYA (M2)

宇都宮大学大学院工学研究科電気電子システム専攻 mt126220@cc.utsunomiya-u.ac.jp

(指導教員) 里 周二 (教授), (指導補助教員) 岡本 吉史 (助教)

Shuji SATO (Professor), Yoshifumi OKAMOTO (Assistant Professor)

宇都宮大学大学院工学研究科電気電子システム工学専攻 sato@cc.utsunomiya-u.ac.jp

1. 緒言

回転機等の電気機器の性能予測手法として、辺要素有限要素法による電磁界解析が広く用いられている。有限要素解析は、大規模線形方程式の求解に最も時間を要するため、線形解法的高速化は重要な課題である。高速化を達成する一つのアプローチとして、線形解法自体を並列化することが考えられる。しかし、電磁界解析において主流な線形解法である前処理付きクリロフ部分空間法は、逐次性の強い前進・後退代入を含むため、並列化が困難である。

そこで、並列化が行えるように係数行列の非零分布を変更する代数マルチカラーオーダーリング (AMC) ^[1] を使用し、前処理付き MRTR (MESGS-MRTR) 法 ^[2] の並列化を検討した。本稿では、提案手法の有効性をブロック化前処理と比較を行ったので報告する。

2. 理論

AMC を図 1 に示す二次元のメッシュを用いて説明する。係数行列の行と列番号を使用して未知変数番号 1 から順番に色をつけていく。ある辺 a に着目し、それと接続関係にある辺集合 U_k には異なる色を割り当てる (b)。この作業を全ての未知変数について行い、 $i = 1, 2, \dots, \text{ncolor}$ (ncolor : 色数) の順に従って、各々の色に属する未知変数に番号付けを行う (c)。AMC 後の係数行列の非零分布を図 2 に示す。このような非零分布にすることで、同じ色をつけた未知変数の集合内で前進・後退代入を並列化できる。

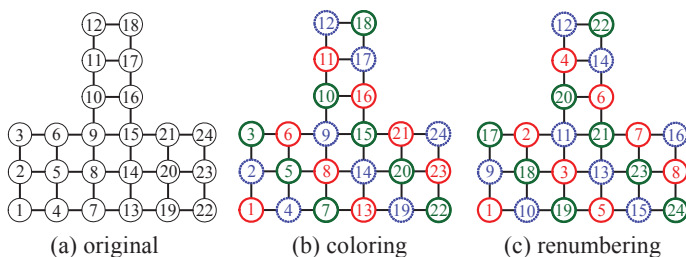


図 1 AMC における未知変数の色づけとリナンバリング

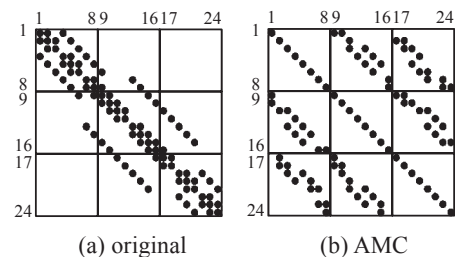


図 2 AMC 後の係数行列の非零分布

3. 実験

数値実験では、図 3 に示す MRI モデル (A 法, 六面体二次要素, 要素数: 87,120, DoF: 1,014,600, 非零要素数: 82,050,304) を評価対象とした。使用する PC の仕様は、Intel Core i7 3930K (6 core, 4.2 GHz & memory: 32 GB) である。フルマトリクスで定義された係数行列を CRS 形式で格納し、OpenMP によるスレッド並列化を行った。

4. 結果と考察

AMC を MRI モデルに適用したときの係数行列の非零要素分布^[3]を図4に示す．ここで，RCM は Reverse Cuthill-MacKee の略称であり，非零要素を対角近傍に集めるオーダリング法である．AMC を適用すると，オリジナルよりもバンド幅の広いランダムな非零配置となる．

図4の各係数行列に対する計算結果を表1に示す．ここで， N_p は並列度数， $\mathbf{Au}$ は行列ベクトル積， $L^{-1}\mathbf{u}$ は前進代入， $L^T\mathbf{u}$ は後退代入を意味する．AMC はブロック化前処理とは違い全ての非零要素を使用するため，並列度数を変えても収束特性が劣化しない．計算時間を比較すると，RCM を導入したブロック化前処理の方が AMC よりも高速である．これは，前進・後退代入と行列ベクトル積を行う際のキャッシュミスが要因の一つである．表1中で最も高速であったのは，6並列時の RCM を導入したブロック IC 前処理であり，オーダリング無し逐次版 IC-MRTR 法よりも4.5倍高速であった．一方，AMC を導入した MESGS-MRTR 法も4.5倍の高速化となり，同等な計算時間で求解できた．

5. 結言

本稿では，代数マルチカラーオーダリングによる前処理付きクリロフ部分空間法の並列化を検討した．提案手法は並列度を大きくした場合でブロック化前処理と同等な計算時間が得られたので，さらに並列度を上げるにより，提案手法の優位性が向上すると考えられる．

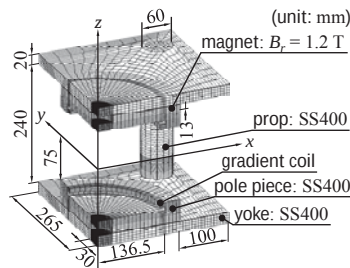


図3 MRI モデル

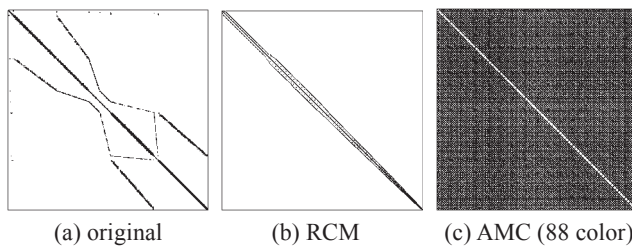


図4 オーダリング後の係数行列

参考文献

- 1) T. Iwashita, et al., *IEEE Trans. Magn.*, vol. 38, no. 2, pp. 429-432 (2002).
- 2) T. Tsuburaya, et al., *IEEE Trans. Magn.*, vol. 49, no. 5, pp. 1641-1644 (2013).
- 3) 圓谷友紀, 他, 電学研資, SA-14-10, RM-14-10, pp. 43-48 (2014)

表1 計算結果

N_p	precond.	ordering	linear it.	elapsed time [s]			
				$\mathbf{Au}$	$L^{-1}\mathbf{u}$	$L^T\mathbf{u}$	total
1	IC	—	1,394 (1.00)	107.3 (1.00)	53.1 (1.00)	63.3 (1.00)	244.1 (1.00)
		RCM	748 (0.53)	57.7 (0.53)	28.2 (0.53)	32.7 (0.51)	130.7 (0.53)
		AMC (88 color)	1,152 (0.82)	299.5 (2.79)	121.3 (2.28)	128.2 (2.02)	576.3 (2.36)
	SGS	—	1,149 (0.82)	88.4 (0.82)	43.8 (0.82)	51.9 (0.81)	197.2 (0.80)
		RCM	664 (0.47)	51.2 (0.47)	25.0 (0.47)	28.8 (0.45)	112.9 (0.46)
		AMC (88 color)	960 (0.68)	249.6 (2.32)	101.0 (1.90)	107.0 (1.69)	469.6 (1.92)
	MESGS	—	1,085 (0.77)	0 (0)	41.9 (0.78)	42.7 (0.67)	95.9 (0.39)
		AMC (88 color)	916 (0.65)	0 (0)	97.7 (1.83)	101.4 (1.60)	208.8 (0.85)
	Block IC	—	1,387 (0.99)	41.2 (0.38)	20.4 (0.38)	21.1 (0.33)	92.4 (0.37)
		RCM	802 (0.57)	23.9 (0.22)	11.9 (0.22)	12.3 (0.19)	54.0 (0.22)
	Block SGS	—	1,747 (1.25)	51.9 (0.48)	25.7 (0.48)	26.1 (0.41)	113.7 (0.46)
		RCM	920 (0.65)	27.4 (0.25)	13.7 (0.25)	13.8 (0.21)	60.4 (0.24)
4	IC	—	1,151 (0.82)	64.2 (0.59)	37.7 (0.70)	39.0 (0.61)	154.3 (0.63)
		AMC (88 color)	960 (0.68)	53.4 (0.49)	31.3 (0.58)	32.3 (0.51)	122.9 (0.50)
		SGS	916 (0.65)	0 (0)	30.2 (0.56)	31.0 (0.48)	65.9 (0.26)
	Block IC	—	1,449 (1.03)	42.1 (0.39)	20.8 (0.39)	20.9 (0.33)	94.1 (0.38)
		RCM	807 (0.57)	23.3 (0.21)	11.7 (0.22)	12.0 (0.18)	53.1 (0.21)
	Block SGS	—	1,787 (1.28)	52.1 (0.48)	25.6 (0.48)	25.1 (0.39)	114.1 (0.46)
		RCM	924 (0.66)	26.7 (0.24)	13.4 (0.25)	13.4 (0.21)	59.7 (0.24)
	IC	—	1,151 (0.82)	54.6 (0.50)	30.5 (0.57)	32.1 (0.50)	129.7 (0.53)
		AMC (88 color)	960 (0.68)	45.6 (0.42)	25.5 (0.48)	25.8 (0.40)	102.8 (0.42)
	MESGS	—	916 (0.65)	0 (0)	24.5 (0.46)	24.7 (0.39)	53.8 (0.22)
		AMC (88 color)	916 (0.65)	0 (0)	24.5 (0.46)	24.7 (0.39)	53.8 (0.22)
		SGS	916 (0.65)	0 (0)	24.5 (0.46)	24.7 (0.39)	53.8 (0.22)

乳脂肪球皮膜 (MFGM) によるメタボリックシンドローム抑制に関する研究

小田垣成美 (M2)

Narumi ODAGAKI (M2)

宇都宮大学大学院農学研究科生物生産科学専攻 caramel_rock_0708@yahoo.co.jp

(指導教員) 東徳洋 (教授)

Norihiro AZUMA (Professor)

宇都宮大学大学院農学研究科生物生産科学専攻 azuma@cc.utsunomiya-u.ac.jp

1. 緒言

近年、食生活の欧米化に伴い、肥満を基盤とした、糖尿病、高血圧、高脂血症などの症状が重複するメタボリックシンドロームの発症が多く認められる。メタボリックシンドロームは心筋梗塞、脳梗塞、脳卒中などの血管系の重篤な合併症の原因である動脈硬化を引き起こし、日本人の死因統計上がんと共に大きな位置を占めている。本研究ではそのメタボリックシンドローム対策として、バター製造時の副産物である乳脂肪球皮膜 (MFGM) にその可能性を探るものである。

3. 実験

4 週齢の Wistar 系雄ラットを市販の飼育飼料 (CE-2) で 7 日間馴化させ、高コレステロール食 (HC 群)、高コレステロール+MFGM 食 (MFGM 群) を 14 日間自由摂取させた。実験食の組成は 1%コレステロール・0.25%コール酸ナトリウム添加食を基本食とし (HC 群)、5.5%の MFGM の添加分は脂質成分と蛋白質成分から差し引いた (MFGM 群)。実験食の投与期間中の 0 日目と 7 日目、14 日目に採血を、最終日には肝臓摘出を行った。血液を遠心分離した後、血清中の総コレステロール、HDL コレステロール、トリグリセリドの測定を行った。さらに、摘出した肝臓を用いて凍結切片の Oil Red O 染色による脂肪蓄積の観察と、Folch 法による脂質抽出および肝臓中の総コレステロールと中性脂肪の測定を行った。

4. 結果と考察

【結果】血清中のトリグリセリドは群間での差は見られなかった。総コレステロールは、HC 群に比べ MFGM 群で抑制される傾向にあり、HDL コレステロールは有意に増加した (図 1)。

肝臓切片の Oil Red O 染色の結果、HC 群では赤く染色された脂肪滴の蓄積が顕著であったのに対して、

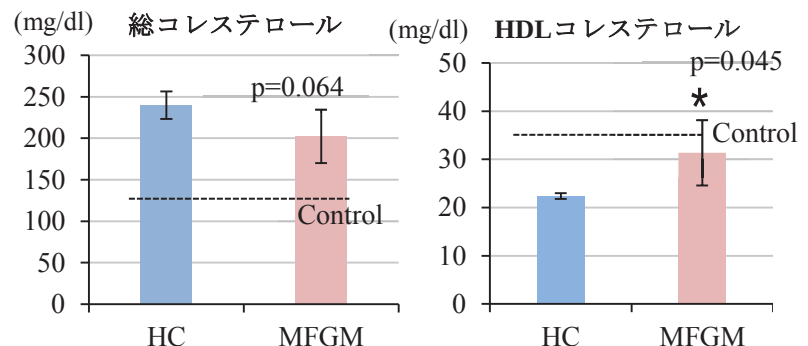


図 1: 血中の総コレステロール濃度と HDL-コレステロール濃度の測定結果

MFGM 群では脂肪滴の蓄積抑制が観察された。さらに MFGM 群の脂肪滴の大きさは HC 群に比べて小さくなる傾向もみられた (図 2)。また肝臓から抽出した全脂質量は MFGM 群が HC 群と比較し有意に抑制された (図 3)。さらに、肝臓中の総コレステロール及び、トリグリセリドも MFGM 群において有意に抑制された (図 4)。

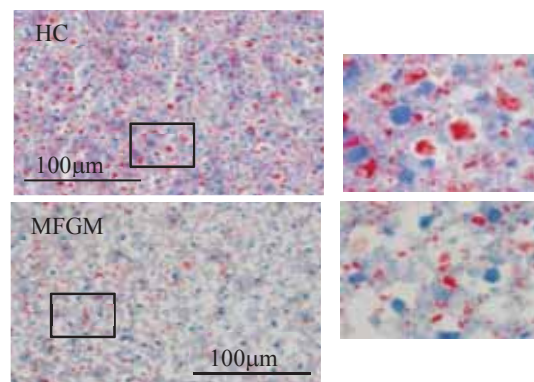


図 2：肝臓切片の脂質染色および核染色の結果

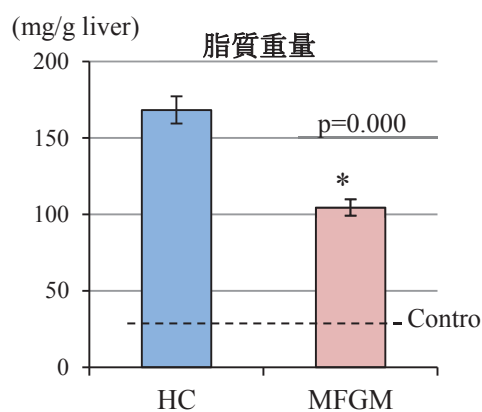


図 3：肝臓の脂質抽出結果

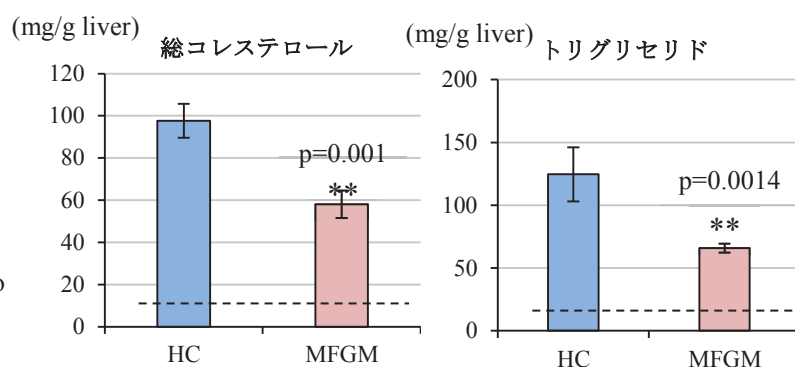


図 4：肝臓中の総コレステロールとトリグリセリド濃度の測定結果

【考察】MFGM の経口摂取により肝臓の脂質蓄積抑制効果が示され、それにより肝臓での総コレステロール濃度、トリグリセリド濃度の減少につながったと考えられる。また、これにより肝臓での VLDL 合成が抑制され、結果として血中の総コレステロール濃度低下につながったと考えられる。

5. 結言

本実験において、MFGM を経口摂取することにより肝臓での脂質代謝の改善を促し、メタボリックシンドロームの抑制につながる可能性が示唆された。MFGM は乳等省令上、乳製品として認められていないが、今後の研究により、その精製原料であるバターミルクで同様の効果が得られれば、MFGM に富む低脂肪、高カルシウム含量の健康食品素材としての認識・普及が図れることが期待できる。

参考文献

- 1) 菅野長右エ門、ミルクのサイエンス、p205-209
- 2) Folch, J., Lees, M. and Stanley, G. H. S. (1957) J. Biol. Chem. 226, 97-509.
- 3) S.M. Bocca, S. Anderson, B. Amaker, R.J. Swanson, A. Franchi, F. Lattanzio, S. Oehninger, Milk fat globule epidermal growth factor 8 (MFG-E8): A novel protein in the mammalian endometrium with putative roles in implantation and placentation. Placenta 33 (2012) 795-802

ヨウ素過剰耐性イネ変異体のヨウ素吸収・移行の解析

中川拓也 (M2)

Takuya NAKAGAWA (M2)

宇都宮大学大学院農学研究科生物生産科学専攻 takuya_n17@yahoo.co.jp

(指導教員) 関本均 (教授)

Hitoshi SEKIMOTO (Professor)

宇都宮大学大学院研究科生物生産科学専攻 hitoshis@cc.utsunomiya-u.ac.jp

1. 緒言

ヨウ素は甲状腺ホルモンの構成成分で、我々人間を含む高等動物にとって必須元素である。世界人口の1/3がヨウ素欠乏のリスクを負っており、世界三大栄養疾患のひとつとされている。ヨウ素は海洋由来がほとんどであり、内陸部や山岳地帯では土壌や作物のヨウ素濃度が低い。そのためヨウ素濃度を高めた作物の作出が人々の栄養改善に役立つと考えられる。一方、現在のところ高等植物においてヨウ素の必須性は認められていない。高濃度のヨウ素は植物に対する毒性が強く生育阻害を引き起こす。ヨウ素過剰害としてイネでは茎葉が赤褐色に変色する「イネ赤枯れ病」が知られる。植物におけるヨウ素の吸収・移行のメカニズムの詳細は未解明であり、これを解明し利用することで人々の栄養改善に役立つ高ヨウ素作物を作出できると考えられる。さらに、放射性ヨウ素汚染地域では安全な作物の生産や除染に貢献できる可能性もある。そこで本研究はイネのヨウ素の吸収・移行関連遺伝子を探索することを目的とした。

3. 実験

NMU 処理によって得られたイネ変異系統をヨウ素過剰条件で栽培し、973 系統からヨウ素過剰条件に耐性を示すイネ変異系統を7系統選抜した。

この選抜した7系統のうちヨウ素の吸収・移行関連遺伝子に変異がある可能性の高い1系統について、変異している遺伝子を特定することを目的としてヨウ素過剰耐性の要因を解析するため以下の生理学的実験を行った。

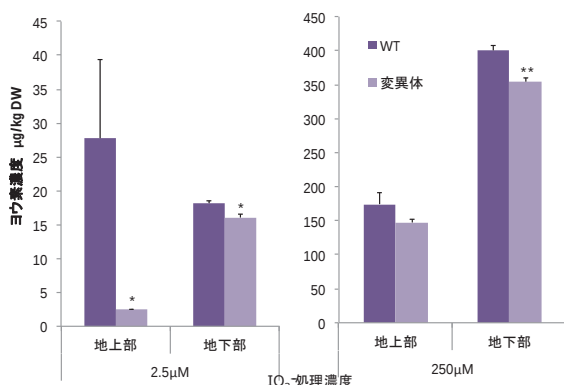


図1: IO₃⁻ 処理における植物体中全ヨウ素濃度

エラーバーは、SEを表す(n=5)

t 検定により*は5%水準で有意差があることを表す

① 植物体全ヨウ素濃度測定

② 導管液ヨウ素濃度とヨウ素の化学形態の解析

③ ヨウ素酸還元活性の測定

4. 結果と考察

植物体中の全ヨウ素濃度は、IO₃⁻ 低濃度処理において地上部・地下部共に WT よりも有意に低くなった。一方で、I⁻ 低濃度処理では WT との差は無かった。導管液中全ヨウ素濃度は IO₃⁻ 低濃度処理において変異体では低い傾向であった。また導管液中のヨウ素形態に関して、導管液中の IO₃⁻ の割合が低下していた。さらにこの変異体のヨウ素酸還元活性は WT と優位な差は認められなかった。これらの結果はこの変異系統は高親和性 IO₃⁻ トランスポーター遺伝子に変異がある

可能性を示唆した。

5. 結言

変異体は低濃度の時に働く高親和性 IO_3^- トランスポーターに変異があることが示唆された。 I^- 処理時に地下部全ヨウ素濃度が WT と差がないことから I^- トランスポーターに変異がないことが分かった。また還元活性にも WT と差は見られなかった。しかし、導管液中の I^- 濃度は両処理で WT と比べ低くなった。また、 I^- 処理をしているにも関わらず導管液中に IO_3^- が確認されることから根圏、および植物体内で I^- の酸化が行われていることが示された。導管液中の I^- 濃度が低くなったのも I^- のに

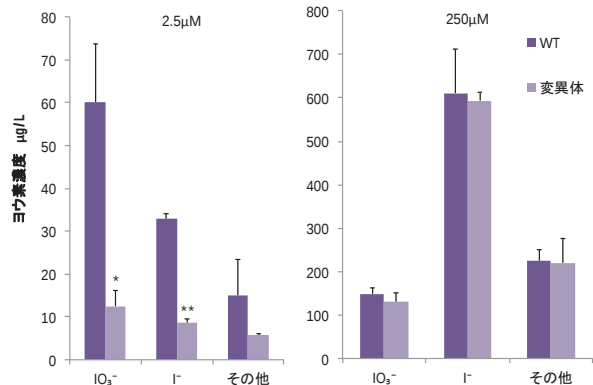
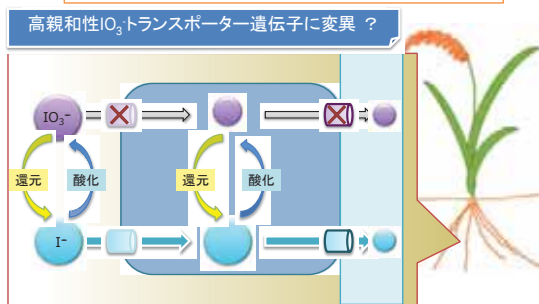


図2: IO_3^- 処理における導管液中形態別ヨウ素濃度
エラーバーは、SEを表す (n=4)

t検定により*は5%水準で有意差があることを表す

t検定により**は1%水準で有意差があることを表す

図3: 変異体の解析を通して考えられるモデル
イネにおけるヨウ素吸収と体内移行
(本研究における仮説)



よるものであると考えられる。酸化された IO_3^- は低濃度であり変異体では輸送されにくくなる。そのため導管液中のヨウ素酸イオンの割合が WT と比べ減少した。よって、この変異体は高親和性 IO_3^- トランスポーターに変異があることが示唆された。

この変異体を用いてポジショナルクローニングによる変異遺伝子の探索を行うことによって、今後ヨウ素酸のトランスポーターが単離されることが大いに期待される。

謝辞

長戸康郎教授（東京大学） 伊藤純一准教授（東京大学） 吉田聡博士（放射線総合医学研究所）

参考文献

- 1) Assessment of iodine deficiency disorders and monitoring their elimination WHO (2007)
- 2) 最新土壤肥料用語集
- 3) 関本均 ヨウ素含有肥料の作物へのヨウ素富化効果と問題点
- 4) 中川拓也 作物間差におけるヨウ素過剰耐性と植物体ヨウ素濃度の比較解析（未発表）
- 5) 加藤翔太 植物および植物根圏における無機態ヨウ素の化学形態変化
宇都宮大学農学研究科 修士論文（2007）
- 6) 和知孝典 水稻根および根圏におけるヨウ素酸還元活性の解析
宇都宮大学農学研究科 修士論文（2011）
- 7) 山田秀和、女川裕司、足立健夫、高橋克征、米林甲陽
土壤ヨウ素とイネ赤枯れ病の関連性 日本土壤肥料学雑誌 第77巻 第5号 p563-568 (2006)

シロイヌナズナ *AtCLCa* トランスポーターの解析と高ヨウ素含有イネの作出

栗林美早 (M2)

Misaki KURIBAYASHI (M2)

宇都宮大学大学院農学研究科生物生産科学専攻 ma128113@cc.utsunomiya-u.ac.jp

(指導教員) 高橋美智子 (准教授)

Michiko TAKAHASHI (Professor)

宇都宮大学大学院農学研究科生物生産科学専攻 amichiko@cc.utsunomiya-u.ac.jp

1. 緒言

ヨウ素はヒトや高等動物にとって必須の元素であり、甲状腺ホルモンの構成成分である。甲状腺ホルモンは糖質・タンパク質・脂質の代謝や神経細胞の発達、末梢組織の成長に関係し、発育や生命維持に重要な役割を担っている。一方、植物にとってその必須性は認められていない。むしろ過剰なヨウ素は生育阻害を引き起こすことが分かっている。しかし、植物のヨウ素吸収・移行・蓄積メカニズムの詳細は未解明である。近年、シロイヌナズナの塩素イオントランスポーターファミリーの1つである *AtCLCa* が液胞膜に局在する硝酸トランスポーターであることが報告された。*AtCLCa* は硝酸により発現が誘導され、 NO_3^- を液胞内に輸送する。また、硝酸と同様に I^- も基質として輸送可能なことが電気生理学的実験により明らかにされた。しかし、植物体中での *AtCLCa* と I^- との関係は全く調べられていない。そこで本研究ではシロイヌナズナにおける *AtCLCa* の植物体中でのヨウ素輸送能とヨウ素応答の解明を目的とし、世界のヨウ素欠乏症改善へ貢献する高ヨウ素含有米の作出を目指した。

3. 実験

ecotype WS (WT)、*AtCLCa* knock out 変異体 (*clca-2*)、35S プロモーターによる *AtCLCa* 過剰発現体 (*AtCLCa-OX*)、*AtCLCa* を過剰発現させた変異体 (*P35S:AtCLCa/clca-2*) を用いた。ヨウ素過剰耐性の調査を行い、植物体全ヨウ素濃度を ICP-MS により測定した。 I^- による *AtCLCa* の遺伝子発現への影響を調べるため RT-PCR により遺伝子発現解析を行った。また、硝酸のヨウ素輸送への影響を調査するため窒素供給形態を硝酸あるいはアンモニアとした条件下での *AtCLCa* の発現および植物体全ヨウ素濃度を比較した。*AtCLCa* による種子へのヨウ素富化効果や 35S プロモーターによる *AtCLCa* 発現強化が種子の全ヨウ素濃度に与える影響を調査するためシロイヌナズナの種子全ヨウ素濃度を測定した。

4. 結果と考察

変異体は WT より植物体全ヨウ素濃度が低く、過剰発現体は WT よりも全ヨウ素濃度が高かったことから、*AtCLCa* は植物体内においても I^- を輸送し液胞内に I^- が蓄積されることが示唆された。また、*AtCLCa* は窒素形態によらず地下部で I^- により発現が誘導され、アンモニア培地では地上部においても I^- により発現が誘導されることがわかった (図1)。WT、変異体、過剰発現体において窒素供給形態をアンモニアとした培地よりも硝酸とした培地で植物体全ヨウ素濃度が高かったことから、硝酸によって I^- の輸送が促進される可能性が示唆された。 I^- 処理により *AtCLCa* 過剰発現体の種子全ヨウ素濃度が WT よりも 2.7 倍高まった (図2)。

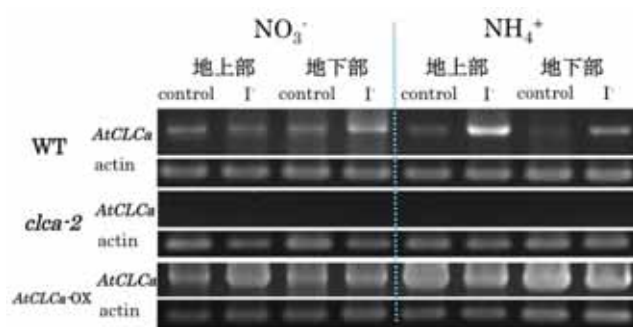


図1 AtCLCa の遺伝子発現

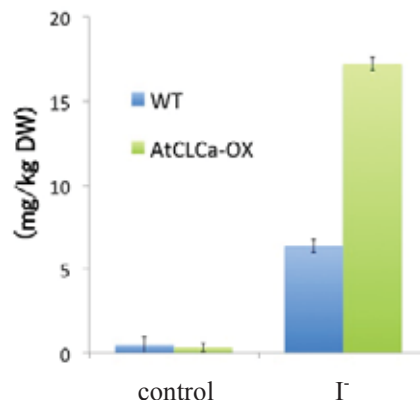


図2 種子全ヨウ素濃度

5. 結言

AtCLCa トランスポーターは植物体中においても I⁻を輸送し、液胞内に I⁻を蓄積していることが示唆された。今後、最終目的である人々のヨウ素欠乏症改善に貢献するためヨウ素富化イネの作出を考えており、種子特異的発現誘導プロモーターや内胚乳特異的発現誘導プロモーターの利用を考えている。AtCLCa 過剰発現体の種子全ヨウ素濃度が WT よりも高まったことから 35S プロモーターによる AtCLCa のイネへの導入も検討する必要性が示され、AtCLCa によるイネへのヨウ素富化が期待される。

謝辞

本研究を進めるにあたって Sébastien Thomine (CNRS)、 Sophie Filleur (CNRS) 様には種子の提供や貴重な情報を提供していただき大変感謝しております。ありがとうございました。また、指導教員である高橋美智子准教授や関本均教授にはご指導ご鞭撻いただき本研究を進めることが出来ました。他にも様々な方のご助力で研究を進めることができ大変感謝しております。ありがとうございました。

参考文献

- 1) A. De Angeli, D. Monachello, G. Ephritikhine, J. M. Frachisse, S. Thomine, F. Gambale³ & H. Barbier-Brygoo
The nitrate/proton antiporter AtCLCa mediates nitrate accumulation in plant vacuoles.
Nature Vol. 442/24 August 2006
- 2) Danny Geelen, Claire Lurin, David Bouchez, Jean-Marie Frachisse, Françoise Lelievre, Beatrice Courtial, Helene Barbier-Brygoo and Christophe Maurel
Disruption of putative anion channel gene AtCLC-a in Arabidopsis suggests a role in the regulation of nitrate content.
The Plant Journal (2000) 21(3), 259-267
- 3) Stefanie Wege, Mathieu Jossier, Sophie Filleur, Sébastien Thomine, Hélène Barbier-Brygoo, Franco Gambale and Alexis De Angeli
The proline 160 in the selectivity filter of the Arabidopsis NO₃⁻/H⁺ exchanger AtCLCa is essential for nitrate accumulation *in planta*.
The Plant Journal (2010) 63, 861-869

アゼライン酸処理をしたシラカンバ幼植物体 No. 8 の 各器官に生成する特異的タンパク質の網羅的解析

市川拓朗 (M1)

Takuro ICHIKAWA (M1)

宇都宮大学大学院農学研究科森林科学専攻 ma138503@cc.utsunomiya-u.ac.jp

(指導教員) 横田信三 (教授)

Shinso YOKOTA (Professor)

宇都宮大学農学部森林科学科 yokotas@cc.utsunomiya-u.ac.jp

1. 緒言

植物は、細菌、ウイルスなどの病原体に対する防御機構の一つとして、全身獲得抵抗性 (SAR) と呼ばれる防御応答を有する。SAR は、植物体の一部が病原体に感染することにより、感染部位でサリチル酸量が増加し、感染特異的タンパク質生成などの抵抗性が誘導される。この感染部位で誘導される抵抗性は、シグナル伝達によって植物体全体に拡大する。これまでに、シグナル伝達因子としてアゼライン酸、サリチル酸、ジャスモン酸などの関与が指摘されている^{1, 2)}。しかしながら、SAR に関わる研究例は、草本植物に多く、木本植物における研究例が少ないのが現状である。本研究では、シグナル伝達因子の一つであるアゼライン酸に着目し、アゼライン酸処理をしたシラカンバ (*Betula platyphylla* Sukaczew var. *japonica* (Miq.) H. Hara) 幼植物体 No.8 の各器官に生成する、特異的タンパク質の同定を行うことにより、アゼライン酸により誘導されるシラカンバの SAR メカニズムを解明することを目的とした。

2. 実験

植物材料として、3ヶ月間培養したシラカンバ幼植物体 No.8 を用いた。この幼植物体の頂芽から第3節間の部位に、人為的にアゼライン酸処理を行った (T)。また、対照として、無処理 (C1) および傷処理 (C2) の幼植物体を用意した。これらの幼植物体を処理2日後に、処理部の第3節間および葉に分け、それぞれタンパク質を抽出し、二次元電気泳動を行った。得られた二次元電気泳動ゲルを銀染色し、発現したタンパク質スポットの画像解析を行った。画像解析後、T のみに検出された特異的タンパク質スポットを、CBB で染色した別のゲルから切り取り、ゲル内消化を行い、ペプチドサンプルを調製した。得られたペプチドサンプルを、高速液体クロマトグラフィータンデム質量分析法により分析し、データベース検索によってタンパク質の同定を行った。

3. 結果と考察

二次元電気泳動ゲルの画像解析の結果、第3節間および葉において検出されたスポット総数は、それぞれ約1000個であった。さらに、第3節間および葉のTにおいて、いくつかの特異的

タンパク質スポットが検出された。第3節間および葉において検出された、特異的タンパク質スポットの等電点および分子量の値は、それぞれ異なる値を示した。このことから、シラカンバ幼植物体 No.8 において、アゼライン酸シグナル伝達経路によって発現する特異的タンパク質は、第3節間および葉において異なる可能性が示唆された。

第3節間および葉において発現した、特異的タンパク質スポットの同定を行った。その結果、いくつかの特異的タンパク質スポットについて、タンパク質が同定された。しかしながら、同定されたタンパク質の情報からでは、SAR メカニズムとの関係を明らかにすることは出来なかった。

5. 結言

画像解析の結果、アゼライン酸処理をしたシラカンバ幼植物体 No.8 の第3節間および葉において、それぞれ特異的タンパク質スポットが検出された。このことから、シラカンバ幼植物体 No.8 において、アゼライン酸シグナル伝達経路により、それぞれの器官で特異的タンパク質が発現することが明らかとなった。また、第3節間および葉において発現した、特異的タンパク質スポットの等電点および分子量が異なる値を示したことから、第3節間および葉において、異なるタンパク質が発現する可能性が示唆された。本研究では、すべての特異的タンパク質を同定することが不可能であった。これは、発現したタンパク質の発現量が微量であったことに起因している。そのため、今後は、複数枚の二次元電気泳動ゲルから、特異的タンパク質のペプチドサンプルを調製することで、同定が不可能であった特異的タンパク質スポットについても、タンパク質を同定する必要がある。すべての特異的タンパク質が同定されることによって、アゼライン酸により誘導される、シラカンバの SAR メカニズムを解明することが出来ると期待される。

謝辞

本研究の遂行にあたって、タンパク質の分析・同定に御助力を頂いた、農業・食品産業技術総合研究機構、作物研究所、畑作物研究領域、大豆生理研究分野、小松節子 教授および 南條洋平 博士に心より感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Martinez C, Baccou JC, Bresson E, Baissac Y, Daniel JF, Jalloul A, Montillet JL, Geiger JP, Assigbetsé K, Nicole M (2000) Salicylic acid mediated by the oxidative burst is a key molecule in local and systemic responses of cotton challenged by an avirulent race of *Xanthomonas campestris* pv *malvacearum*. Plant Physiology 122 : 757-766
- 2) Parker JE (2009) The quest for long-distance signals in plant systemic immunity. Science Signaling 2 : DOI : 10.1126/scisignal.270pe31

数種の熱帯産業植林樹種におけるあて材の組織構造およびリグニン分布

相蘇春菜 (M2)

Haruna AISO (M2)

宇都宮大学大学院農学研究科森林科学専攻 ma128501@cc.utsunomiya-u.ac.jp

(指導教員) 石栗 太 (准教授)

Futoshi ISHIGURI (Associate Professor)

宇都宮大学農学部森林科学科 ishiguri@cc.utsunomiya-u.ac.jp

1. 緒言

木本植物は、傾斜あるいは湾曲した幹や枝を、本来の正しい位置に戻そうとするために、あて材と呼ばれる異常な組織を木部に形成する。一般に、広葉樹では、傾斜した幹あるいは枝の上側に偏心成長し、その部位の木繊維最内層にゼラチン (G) 層を形成することが知られている。あて材は、正常材と比較して著しく組織構造が異なることから、木材利用上の欠点とされている。

広葉樹においては、あて材の組織学的および化学的特徴が樹種により大きく異なることが知られている。これまでに、多くの研究者により、東～東北アジアで成育する約 350 種について研究が行われてきた。同様に、熱帯産広葉樹についてもあて材の組織構造に関する研究がいくつか報告されてきている (Clair *et al.* 2006; Ruelle *et al.* 2006; Mukogawa *et al.* 2008; Nugroho *et al.* 2012, 2013)。しかしながら、東南アジアに生育する広葉樹あて材に関して、組織構造およびリグニン分布を詳細に調査した研究例はほとんどないことから、構造用材やパルプ用材として用いる際、木材性質へ与える影響は未解明のままである。

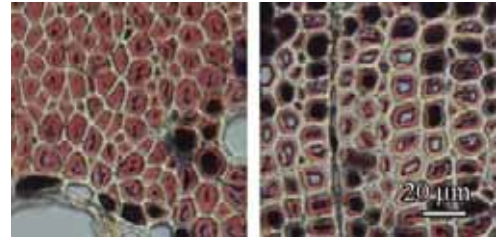
本研究では、あて材の存在が、これらの樹種の木材利用に及ぼす影響を解明することを目的とし、インドネシアにおいて実際に産業植林に用いられる 2 樹種について、あて材の組織構造およびリグニン分布を調査した。

2. 実験

実験には、インドネシア、ジャワ島ボゴールにある、ボゴール農科大学 (南緯 6° 33'、東経 106° 43') 構内の温室で生育した、2 種の広葉樹産業植林樹種 (*Acacia mangium* および *Falcataria moluccana*) の苗木を供試した。2012 年 11 月上旬に、各樹種 4 個体のうち、3 本を鉛直方向から 50 度に傾斜、固定し、あて材形成を促した。また、1 本を対照として鉛直方向 (0 度) に固定した。2013 年 3 月上旬に全ての試料を伐採後、傾斜部位から厚さ約 1 cm の円盤を採取した。得られた円盤の幹の上側および下側に相当する部分から小片を採取し、横断面切片 (厚さ 15 μm) を作製した。その後、常法により永久プレパラートを作製するとともに、G 層の検出のために、塩化亜鉛ヨード反応、リグニン呈色反応として、フロログルシンー塩酸反応およびモイレ反応を行った。また、走査型電子顕微鏡を用いて、木繊維二次壁壁層構造における壁孔孔口の角度を測定した。

4. 結果と考察

横断面切片を塩化亜鉛ヨード染色した結果、*A. mangium* および *F. moluccana* において、傾斜個体の上側の木繊維最内腔に赤紫色を呈する部分が認められた（図1）。このことから、これらの樹種では、G層を形成することが確認された。さらに、いずれの樹種においても、傾斜上側において壁孔孔口の角度が著しく小さくなることが認められた。一般に、G層の形成が認められた木部は、縦圧縮強度が小さい値を示すことが知られている。このことから、*A. mangium* および *F. moluccana* を構造用材として利用する際は、G層が形成されていない木部を選択する必要がある。



5. 結言

本研究の結果から、*A. mangium* および *F. moluccana* は、あて材形成に伴い、G層を形成する種であることが明らかになった。従って、これら2種を構造用材として利用するためには、縦圧縮強度を考慮するために、G層の形成の有無を調査する必要がある。

謝辞

本研究を行なうあたり、実験にご協力頂いたボゴール農科大学林学部教授 Imam Wahyudi 博士、学生 Dicky Kristia Dinata Sinaga 氏、宇都宮大学農学部学生廣田美佳氏に感謝致します。

参考文献

- 1) Clair *et al.* (2006) IAWA J. 27: 329-338
- 2) Ruelle *et al.* (2006) IAWA J. 27: 341-376
- 3) Mukogawa *et al.* (2008) “The Formation of Wood in Tropical Forest Trees” . pp 76-88
- 4) Nugroho *et al.* (2012) Annal. Bot. 110: 887-895
- 5) Nugroho *et al.* (2013) Annal. Bot. 112: 1321-1329

カラマツ人工交配家系における木材性質および遺伝的特性

工藤祐司 (M1)

Yuji KUDOU(M1)

宇都宮大学大学院農学研究科森林科学専攻 ma138507@cc.utsunomiya-u.ac.jp

(指導教員) 飯塚和也 (准教授)

Kazuya IIZUKA (Associate Professor)

宇都宮大学大学院農学研究科森林科学専攻 kiizuka@cc.utsunomiya-u.ac.jp

1. 緒言

これまでに、林木育種事業として、優良種子生産のために、形質の優れた精英樹の選抜、選抜された精英樹クローンによる採種園の造成がなされてきた(林木育種協会 2004)。我が国の育種事業で採られている集団選抜育種法は、選抜、増殖、検定を繰り返すことで、種苗の質を向上させるものである。また、成長形質に加えて、利用上重要な指標となる木材性質に着目した育種(材質育種)の重要性が指摘されており、育種素材の材質検定が進められてきている。

カラマツ (*Larix kaempheri*) は、マツ科カラマツ属の落葉針葉樹であり、長野県や北海道においては、主要な造林樹種である。そのため、スギ等の他の主要造林樹種と同様に、カラマツ精英樹が 500 以上選抜されてきた(林木育種協会 2004)。これまでにカラマツにおいて、繊維傾斜や材のねじれに着目した材質育種に関する研究が行われてきている(三上 1988)。カラマツは、主に構造用材として利用されるため、カラマツの材質育種においては、密度やヤング率の検定が重要であると考えられ、精英樹クローンについて、繊維傾斜や丸太の動的ヤング率のクローン間差について報告されてきている(中田ら 2005)。一方、材質検定への立木の非破壊診断の適用は、試験林を伐採することなく測定できることから、育種を効率的に進めていく上で重要である。応力波伝播速度およびピロディン値は、立木状態でほぼ非破壊で測定できる指標であり、これらは、それぞれヤング率および樹皮付近の容積密度と高い相関関係を示すことが知られている(Ishiguri *et al.* 2008)。さらに、カラマツ人工林は、採種園産の種子を用いた実生苗で造成されることから、精英樹間の交配によって得られた子ども家系の評価は不可欠である。本研究では、カラマツ遺伝試験林に植栽されたカラマツ人工交配家系について、成長形質、応力波伝播速度およびピロディン値を調査した。

2. 実験

供試木は、精英樹 8 クローン間の完全ダイアレル交配によって作出されたカラマツ人工交配家系 30 家系とした。これら人工交配家系は、2 か所の国有林(群馬県内および長野県内; 以下林分 A および B) に植栽されており、どちらも林齢 37 年であった。2013 年 6 月に 1 家系あたり 9 個体について、樹高および胸高直径を測定した。ピロディン値は、ピロディンを用いて測定した。測定は、胸高部において 4 回行い、その平均値を個体値とした。また、ハンディータイプの応力波伝播測定器を用いて、樹幹任意の 1 か所(センサー間の距離: 1 m) について、応力波伝播時

間を測定した。得られた値をセンサー間の距離で除して応力波伝播速度を求めた。

3. 結果と考察

図に、両林分における胸高直径およびピロディン値のヒストグラムを示す。いずれの林分においても、胸高直径およびピロディン値は、ほぼ同様の分布を示した。一般に、胸高直径などの成長形質は、環境要因の影響が大きいことが知られているが、本研究で用いた2林分間には、大きな差は認められなかった。一方、密度やヤング率などの形質は、環境要因の影響を受けにくいことが知られている。本研究においても、ピロディン値はほぼ同様のパターンを示し、既往の研究と一致していた。

4. 結言

本研究では、異なる試験地に植栽されたカラマツ精英樹間の人工交配家系について、成長形質と非破壊的に測定できる材質指標を調査した。その結果、胸高直径および材質形質について、異なる試験地に植栽されたとしても同等の性能を示すことが明らかとなった。

謝辞

本研究を進めるにあたり、試料の御提供、現地調査のご協力頂いた森林総合研究所林木育種センター 宮下久哉博士ならびに同 井城泰一博士にこの場を借りて厚く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 林木育種協会（2004）林木育種のプロジェクトー品種改良半世紀の道のりと優良品種あすへの活用ー. 林木育種協会，東京. pp. 129
- 2) 三上（1988）カラマツの材質育種に関する研究ー旋回木理の遺伝的改良ー. 林育研報 6：47-152
- 3) 中田ら（2005）カラマツ精英樹における材質形質のクローン間変異. 林育研報 21：85-105
- 4) Ishiguri *et al.* (2008) Prediction of themechanical properties of lumber by stress-wave velocity and Pilodyn penetration of 36-year-old Japanese larch trees. Holz Roh Werkst. 66: 275–280

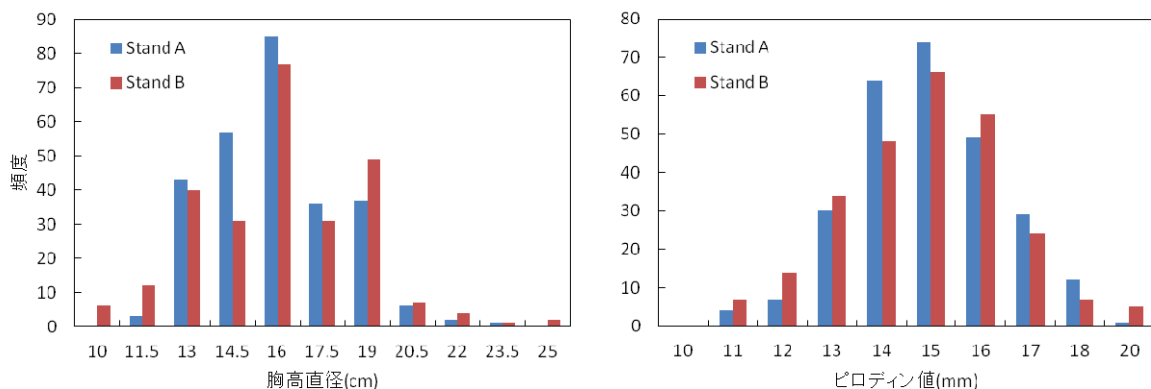


図 胸高直径およびピロディン値のヒストグラム

超高压下酵素処理を用いた β -ラクトグロブリンの 低アレルゲン化とその評価方法の確立

藤原麻美 (M2)

Asami FUJIWARA (M2)

宇都宮大学大学院農学研究科生物生産科学専攻 ma128130@cc.utsunomiya-u.ac.jp

(指導教員) 山田潔 (講師)

Kiyoshi YAMADA (Lecturer)

宇都宮大学大学院農学研究科生物生産科学専攻 yamada@cc.utsunomiya-u.ac.jp

1. 緒言

牛乳は日本で食物アレルギー患者の原因食物の第2位であり、とくに多くの乳幼児が牛乳アレルギーに苦しんでいる。しかし、栄養価の高い牛乳や乳製品を除くことは栄養学的見地から望ましくない。そこで、症状を引き起こさない低アレルゲン化食品が切望されている。食物アレルギーが分類されているI型アレルギーの反応は、肥満細胞及び好塩基球の細胞表面上のIgEレセプターに結合したIgE抗体にアレルゲンが結合し、架橋化することにより惹起される(図1)。

低アレルゲン化とは

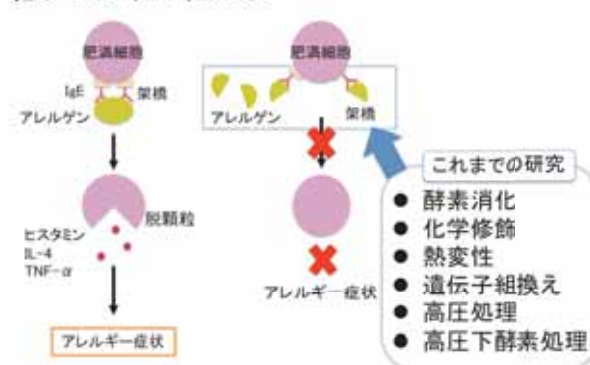


図1 I型アレルギーと低アレルゲン化の原理

したがって、食物アレルゲンの低アレルゲン化には、IgE抗体と結合できない、もしくはIgE抗体を架橋化できないほどにアレルゲンを低分子化あるいは構造変化させることが必要となる。牛乳ホエー中の主要な構成タンパク質である β -ラクトグロブリン(β -LG)はとくにアレルゲン性が高いといわれているが、低アレルゲン化の手法は未だ確立されていない¹⁾。さらに、低アレルゲン化食品の簡便で信頼性の高い評価方法の確立が求められている。そこで、本研究では高压下酵素処理による β -LGの低アレルゲン化の検討と*in vitro*におけるアレルゲン性評価モデルの確立を目的とした。

2. 実験

β -LG水溶液(10 mg/ml)にペプシン(酵素:基質=1:100)を添加し、400 MPaまたは600 MPaの高压下で処理した。各条件で処理した β -LGは逆相C8カラム(Xbridge)を用いたHPLCで解析した。 β -LGのアレルゲン性試験は次のように行った。BALB/cマウス(6週齢,メス)を用い、2週間ごとに1回50 mgの β -LGをAlumアジュバントと共に腹腔内に2回注射した。最初のAlum免疫から1ヶ月後に、 β -LGを腹腔内投与することにより全身性アナフィラキシーの誘導を行った。また、同様に免疫したマウスを用いて、最初のAlum免疫から2ヶ月後に皮膚アナフィラキ

シーの誘導を行った。皮膚アナフィラキシーは、Alum 免疫を行ったマウスの背部皮内に β -LG を注射することで誘導し、尾静脈からエバンスブルーを投与することで確認した。30 分後に皮膚を切除し、*N,N*-ジメチルホルムアミドを使用して皮内漏出した色素を抽出し、定量した。*in vitro* のアレルギー性評価試験では、マウス肥満細胞株 MC/9 細胞を 48 ウェルプレートに播種し、 β -LG 特異的 IgE 含有血清とともに培養後、アレルギーとして β -LG を添加した。1 時間後、培養上清を回収し、脱顆粒によって上清中に放出される β -ヘキソサミニダーゼ (β -hex) の活性を測定した。

3. 結果と考察

逆相 HPLC 解析の結果、高圧下ペプシン処理の多くの条件において、未切断 β -LG の残存は認められなかった。600 MPa 5 分間の処理において、逆相 HPLC で未切断 β -LG の検出が認められなかった試料では β -LG 特異的マウス IgG1 との結合度が顕著に低下していた (図 2)。また、400 MPa 20 分間の処理により未切断 β -LG の検出が認められなかった試料でも、 β -LG 特異的 IgG1 への結合度の低下が認められた。誘導した皮膚アナフィラキシー応答の強度を比較した結果、未処理の β -LG では強いエバンスブルーの血管外漏出が認められたのに対し、高圧下ペプシン処理した β -LG では有意に漏出が減少し、アレルギー性の低下が認められた。また、 β -LG 特異的 IgE 抗体で感作した MC/9 細胞を用いて、 β -LG 特異的な β -hex の放出を確認することができた。

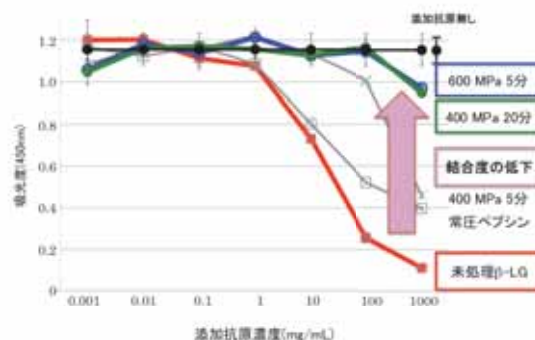


図2 β -LG 特異的 IgG1 に対する結合度の低下

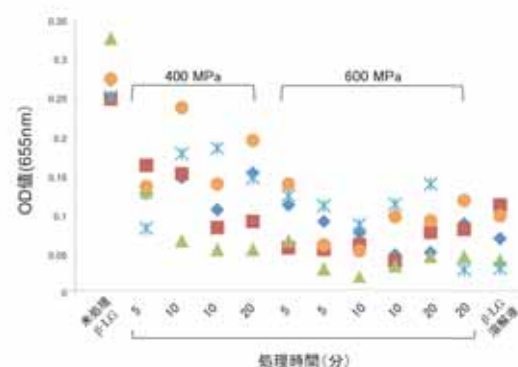


図3 皮膚アナフィラキシー応答誘導の低下

4. 結言

高圧下でペプシン処理することによって、特異的抗体との結合度と皮膚アナフィラキシー応答の誘導を著しく減少させたことから、 β -LG の低アレルギー化が確認できた。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、高圧処理装置の使用にご協力頂いた栃木県産業技術センター食品技術部の方々に感謝いたします。

参考文献

- 1) López-Expósito I, Chicón R, Belloque J, López-Fandiño R, Berin MC. *In vivo* methods for testing allergenicity show that high hydrostatic pressure hydrolysates of β -lactoglobulin are immunologically inert. J Dairy Sci. 2012. 95(2):541-8.

高温超伝導体ナノ構造を用いた新機能スピndeバイスの開発

大塚 雅哉 (M2)

Masaya Otsuka (M2)

宇都宮大学大学院工学研究科電気電子システム工学専攻 mt126207@cc.utsunomiya-u.ac.jp

(指導教員) 入江 晃亘 教授

Akinobu Irie (Professor)

宇都宮大学大学院工学研究科電気電子システム工学専攻 iriea@cc.utsunomiya-u.ac.jp

1. 緒言

近年、電子のスピンを利用したスピントロニクスの研究が盛んにおこなわれている。特に、スピン自由度を基盤とした次世代電子デバイスの研究開発が関心を集めており、磁性体、金属や半導体のみならず酸化物、有機物も含めて、非常に多岐にわたる研究が世界規模で展開されている。一方、磁性と超伝導は元来相反する量子現象であるが、磁性体/超伝導体の接合の境界近傍では、磁性と超伝導が共存・競合することにより、異なる調子状態を融合した様々物理現象が現れることが知られている。本研究は、ビスマス系高温超伝導体固有ナノ構造の革新的スピン機能デバイス応用を目指し、ビスマス系高温超伝導体と磁性体からなるハイブリッド構造を作製し、その集团的スピントネル輸送機構の解明及びジョセフソン効果とスピン注入効果の相互干渉による新奇スピン依存量子効果の探索を行い、同構造のスピndeデバイス応用への可能性を探索することを目的とした。

2. 素子作製

自己フラックス法により作製した Bi 系酸化物高温超伝導体 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaC}_2\text{O}_y(\text{BSCCO})$ 単結晶上に Au/Co 薄膜を真空蒸着並びにスパッタリングにより成膜し、電子線リソグラフィ、フォトリソグラフィ、及び Ar イオンミリングにより試料を作製した。作製した Co/Au/BSCCO 構造を図 1 に示す。同一結晶上に、メサ面積 $s=2 \times 15, 20, 25 (\mu\text{m}^2)$ を作製した。また、メサを構成する固有ジョセフソン接合数 N を 5~140 と変化させた。

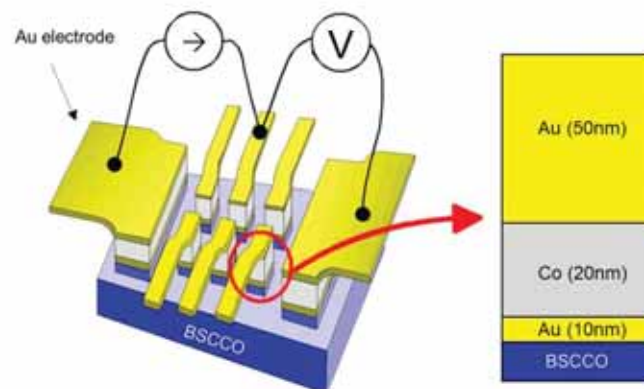


図 1 Co/Au/BSCCO 構造

3. 実験

作製した素子を液体窒素で冷却し、電流—電圧(I - V)特性を測定した。また、ソレノイドコイルを用いて、層に対して平行に、メサの長辺に対して垂直に磁場 B を印加し、固有接合の臨界電流

I_c の磁場依存性を測定した。

4. 結果と考察

素子の零磁場における電流—電圧(I - V)特性を図 2 に示す。固有ジョセフソン接合特有のヒステリシスを伴うマルチブランチ構造を確認することができる。各臨界電流は、ほぼ揃っており、約 $460\mu\text{A}$ である。図 3 は接合数の異なる試料に対する臨界電流の磁場依存性である。臨界電流は磁場印加方向に依存して変化し、ヒステリシスを描いていることがわかる。これは Co の磁化曲線を反映したものであり、注入される正味のスピンの偏極度合いを反映したものである。また、図 3 より、接合数の増加に伴い、

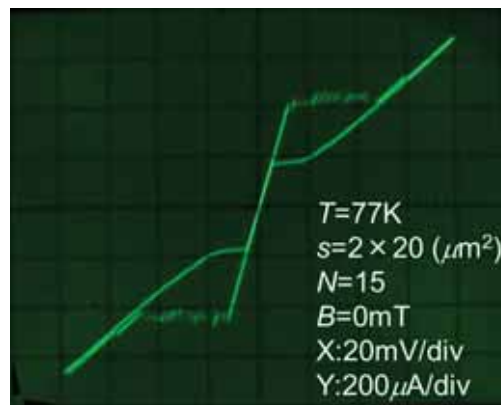


図 2 I - V 特性

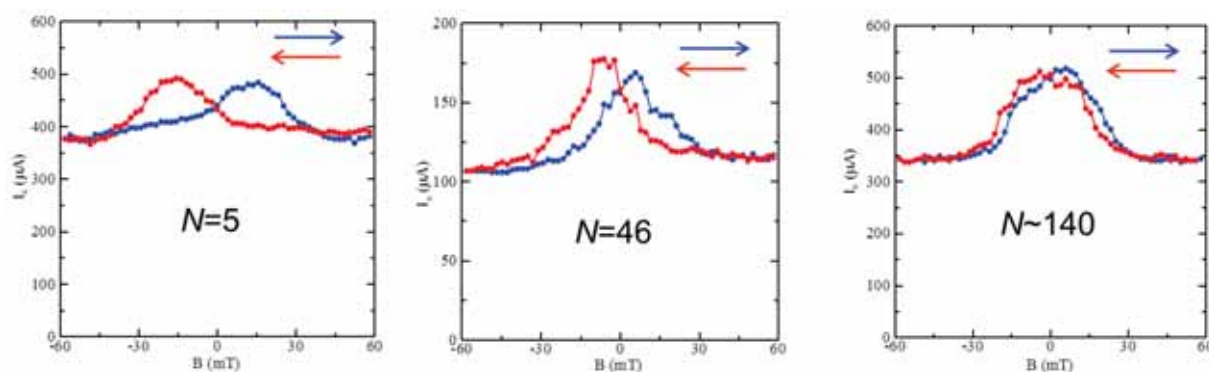


図 3 接合数の異なる試料に対する臨界電流の磁場依存性

ヒステリシスの度合い小さくなることがわかる。本研究において作製した試料構造(図 1)の場合、磁場は、Co 層と BSCCO 結晶内の固有ジョセフソン接合の両方へ印加されており、図 3 に示した結果には、スピン注入効果とジョセフソン効果の両方が反映されている。そのため、接合数の増加によるヒステリシスの度合いの減少は、接合数の増加とともにジョセフソン接合へ侵入する磁束が増加し、スピン注入効果に比べ、ジョセフソン効果の寄与が大きくなったためと解釈できる。

5. 結言

Co/Au/BSCCO 構造を作製し、同構造内の固有ジョセフソン接合数を変化させ、臨界電流の磁場依存性に与える影響を調べた。接合数の増加とともに、ヒステリシスの度合いが小さくなる傾向が見られた。これは、ジョセフソン効果とスピン注入効果の相互干渉による新奇スピン依存量子効果といえ、デバイス応用上重要な知見である。本研究により、磁性体/高温超伝導体ナノ構造のスピンデバイス応用への可能性を示した点は非常に価値のあるものである。

魚類の季節繁殖を制御する新規脳内分子機構の解析

小菅克弥 (M1)

宇都宮大学大学院農学研究科生物生産科学専攻 ma138115@cc.utsunomiya-u.ac.jp

(指導教員) 飯郷雅之 (教授)

宇都宮大学大学院農学研究科生物生産科学科 iigo@cc.utsunomiya-u.ac.jp

1. 諸言

近年、様々な動物において季節繁殖を制御する脳内分子機構の研究が進んできた。しかしながら、魚類における季節繁殖を制御する脳内分子機構については不明な点が多かった。最近、私たちは、これまで知られていなかった脳内光受容体の存在部位をサクラマス (*Oncorhynchus masou*) において同定し、そこが血管囊であることがわかった。血管囊には、光受容体のみならず、日長の変化を測定するのに必要な時計遺伝子群や、季節繁殖の鍵となる分子 (甲状腺刺激ホルモン、2 型脱ヨード酵素) も発現

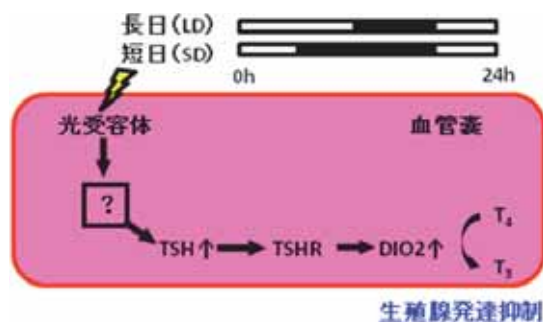


図 1. サクラマスの季節繁殖を制御する血管囊の分子機構

しており、この部位が魚類の季節繁殖を制御する新規脳内中枢であることが判明した(図 1)。

哺乳類の季節繁殖を制御する分子機構においては、日長変化を網膜の光受容体で感じ取り、その信号は視交叉上核などを経由し、松果体でメラトニンの分泌を制御する。メラトニン分泌亢進時間の長さはメラトニン受容体を介して TSH の分泌を制御し、生殖腺の発達を調節する。一方、魚類の季節繁殖を制御する脳内分子機構においては、血管囊内における光受容体から TSH 分泌調節に至る過程が不明である。

及川は、メラトニン合成酵素 (図 2) のひとつであるアリルアルキルアミン N-アセチルトランスフェラーゼ (AANAT) の cDNA クローニングと発現解析をメダカ (*Oryzias latipes*) で行い、松果体、網膜、脳に発現を確認した。これらの器官の光受容体に AANAT の発現が見られることから、血管囊でもメラトニンが合成され、TSH 分泌調節を行っているのではないかと考えた。

そこで本研究では、サクラマスにおけるメラトニン合成酵素遺伝子群 (トリプトファンヒドロキシラーゼ (TPH)、ドーパデカルボキシラーゼ (DDC)、AANAT、ヒドロキシインドール O-メチルトランスフェラーゼ (HIOMT)) の cDNA クローニングを行い、血管囊内の光受容体から TSH

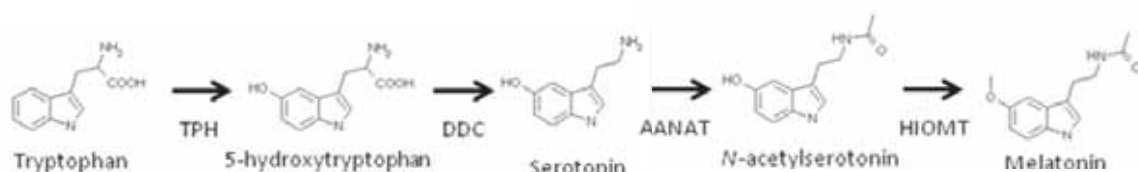


図 2. メラトニン生合成経路

分泌調節に至る過程を解明することを試みた。

2. 実験

1. サクラマス TPH、DDC、AANAT、HIOMT の cDNA 塩基配列決定

既知の TPH、DDC、AANAT、HIOMT の cDNA および EST 塩基配列からプライマーを作成した。サクラマスの松果体と網膜由来の cDNA をテンプレートとして PCR を行い、常法により塩基配列を決定し、演繹アミノ酸配列を用いて分子系統樹を作成した。

2. サクラマス血管囊におけるメラトニンの測定

長日条件下および短日条件下で培養したサクラマス血管囊から分泌されるメラトニン量をラジオイムノアッセイによって測定した。

3. 結果と考察

これまでにサクラマスから HIOMTb の cDNA 塩基配列が決定された(図 3)。今後さらに他のメラトニン合成酵素遺伝子群の塩基配列の決定を行う。さらに、リアルタイム PCR と *in situ* ハイブリダイゼーションによりサクラマスの松果体、網膜、血管囊における遺伝子発現の有無と、長日条件下および短日条件下における日周リズムを調べる。メラトニンがサクラマス血管囊内で合成されているならば、魚類の季節繁殖を制御する脳内分子機構は、メラトニン分泌亢進時間の長さによって TSH の発現を調節する哺乳類と同様の季節繁殖制御分子機構であると考えられる。

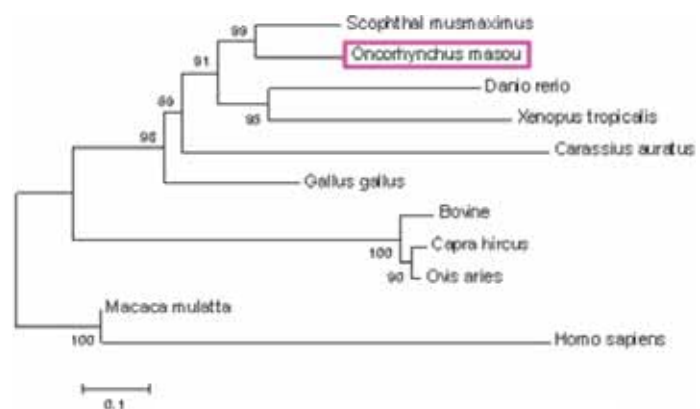


図 3.HIOMT の分子系統樹

4. 結論

魚類の季節繁殖を制御する脳内分子機構が、メラトニン分泌亢進時間の長さによって TSH の発現を調節しているのであれば、魚類の生殖制御新技術の確立につながるアゴニスト・アンタゴニストの開発が期待できる。また、新技術によって魚類の増養殖の効率化・高度化が強く期待される。

謝辞

本研究を行うにあたり、終始指導を賜った飯郷雅之教授に深く感謝いたします。また、シーケンスの解析を行うにあたりお世話になったバイオサイエンス教育研究センター 村上幸恵技術補佐員にも深く感謝いたします。

グラム陰性菌の Quorum Sensing 制御を目指したシクロデキストリン誘導体の合成と改良

齊藤悠生 (M2)

Yuki Saito (M2)

宇都宮大学大学院工学研究科物質環境化学専攻 mt126307@cc.utsunomiya-u.ac.jp

(指導教員) 伊藤智志 (助教)

Satoshi Ito (Assistant Professor)

宇都宮大学大学院工学研究科物質環境化学専攻 s-ito@cc.utsunomiya-u.ac.jp

1. 緒言

Quorum Sensing (QS) とは、バクテリアが持つ細胞間情報伝達機構のひとつである。QS において、バクテリアはオートインデューサー (AI) と総称される物質を介して、周囲の菌体密度を感知している。菌体密度が「定足数 (quorum)」を満たしたことを感知したとき、バクテリアは様々な遺伝子の転写・発現を活性化させ、物質の生産を開始する。一方で、環状オリゴ糖であるシクロデキストリン (CD) は、バクテリアの生産する AI を包接することで、グラム陰性菌の QS を阻害することが明らかにされている。

本研究において過去に合成された β -CD の 6 位 1 置換直鎖アルキルアミン修飾 CD 誘導体は、CD の持つ AHL 包接能を増強させることで、より効果的に QS を阻害させることが明らかになった(Figure 1)。そこで、 β -CD 誘導体の欠点である水溶性の改善を行い、QS 阻害剤としてより利便性を高めた新たな CD 誘導体の合成を行った。

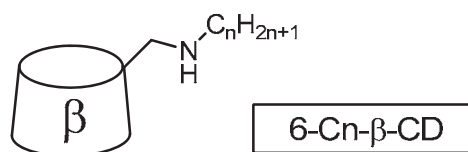


Figure 1. 6 位 1 置換直鎖アルキルアミン修飾 β -CD 誘導体

2. 実験

β -CD より水溶性の大きい α -CD 及び γ -CD に直鎖アルキルアミンを導入することで、CD 誘導体の水溶性の向上を試みた。直鎖アルキルアミン修飾 CD は、CD のトシル化を経由し合成を行った。合成した CD 誘導体は、側鎖の炭素数が 4~10、12、14、16 の 6 位 1 置換直鎖アルキルアミン修飾 α -CD 及び、側鎖の炭素数が 4~8 の 6 位 1 置換直鎖アルキルアミン修飾 γ -CD である。合成した CD 誘導体の QS 阻害活性は、*Serratia marcescens* AS-1 株が QS を行うことで生産する色素の生産量から比較した。

3. 結果と考察

合成した 6 位 1 置換直鎖アルキルアミン修飾 α -CD 誘導体のアッセイ結果は次のとおりである(Figure 2)。グラフより、6 位 1 置換直鎖アルキルアミン修飾 α -CD 誘導体も β -CD 誘導体と同様

に、高い QS 阻害効果を有していることが明らかになった。また、 γ -CD 誘導体においても炭素数 7、8 の直鎖を有する誘導体は、高い QS 阻害効果を有していることが確認できた。一方で、水への溶解性は、炭素数の少ない誘導体に関しては β -CD 誘導体より向上したが、

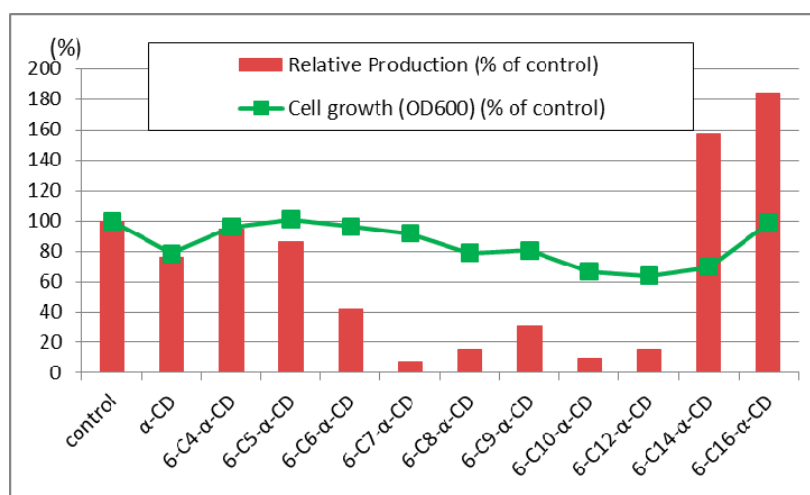


Figure 2. 6 位 1 置換直鎖アルキルアミン修飾 α -CD を用いたアッセイ結果

QS 阻害効果の大きい誘導体では水溶性に大きな違いは見られなかったことから、CD 誘導体の水溶性は、側鎖の疎水性が強く影響していると考えられる。

また、新たな知見として、 α -CD 誘導体において QS 阻害効果の向上が確認される炭素鎖長は 6～12 であることが分かった。 β -CD 誘導体の場合では、QS 阻害効果が確認される炭素鎖長は 7～14 であったため、CD 環が小さくなったことにより、環内に包接できる炭素鎖長が少なくなったことが原因であると推測した。

4. 結言

6 位 1 置換直鎖アルキルアミン修飾 α -CD 及び γ -CD 誘導体の合成に成功し、 β -CD 誘導体のように高い QS 阻害効果を有していることが確認できた。一方で、目的である水溶性の向上は側鎖の炭素数が小さい誘導体でのみ確認されたため、側鎖の疎水性が水溶性に強く影響していると考えられる。したがって、水溶性の向上のため、6 位 1 置換直鎖アルキルアミン修飾 CD 誘導体に対し新たな水溶性の置換基を導入することが今後の課題である。

謝辞

本研究を行うにあたり実験面での細かいご指導をして下さった池田宰教授、諸星知広准教授、加藤紀弘教授に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 池田宰, 寺尾啓二, “シクロデキストリンの化学と技術”, シーエムシー出版, **2013**.
- 2) Tomohiro Morohoshi, Wen-Zhao Wang, Tomonori Suto, Yuki Saito, Satoshi Ito, Nobutaka Someya, Tsukasa Ikeda, "Phenazine antibiotic production and antifungal activity are regulated by multiple quorum-sensing systems in *Pseudomonas chlororaphis* subsp. *aurantiaca* StFRB508" *Journal of Bioscience and Bioengineering*, **2013**, 116, 580-584.

ANALYSIS OF THE MECHANISM OF ACTION OF TRYPTOPHAN INDUCED PROTEIN SYNTHESIS IN THE RAT LIVER

小池 慎一郎 (D2)

Shinichiro KOIKE (D2)

東京農工大学大学院連合農学研究科生物生産科学専攻 paradiso0112@gmail.com

(指導教員) 吉澤史昭 (教授)

Fumiaki YOSHIZAWA (Professor)

宇都宮大学農学部生物資源学科 fumiaki@cc.utsunomiya-u.ac.jp

1. 出席会議名 IUNS 20th International Congress of Nutrition

国 名 : スペイン

都 市 名 : グラナダ

開催期間 : 2013 年 9 月 15 日 ~ 2013 年 9 月 20 日

2. 発表概要

トリプトファン (Trp) が有する肝臓タンパク質合成促進の作用機序を知る手がかりを得ることを目的とし、プロテオミクス、メタボロミクスの手法を用いた網羅的解析を行った。18 時間絶食させた 5 週齢の Wistar 系雄ラットを 2 群に分け、1 群はそのまま屠殺してコントロール群、1 群は Trp (135mg /100gb. w.) 経口投与 3 時間後に屠殺して Trp 群とした。プロテオーム解析の結果から、Trp 群において、オルニチン (Orn) 分解の律速酵素であるオルニチンアミノトランスフェラーゼ (OAT) の発現が肝臓で減少していることが明らかになった。また、メタボローム解析の結果から Trp 群において、肝臓中の Orn 濃度が有意に増加していること、Orn から合成されるスペルミン濃度が有意に上昇していることが明らかとなった。スペルミンは細胞増殖に関わるポリアミンの一種であることから、スペルミン濃度の上昇が Trp 経口投与による肝臓でのタンパク質合成の促進に関係していると考えられる。以上より、Trp 経口投与によって肝臓中の OAT の発現が抑制されて Orn 濃度が上昇し、ODC を活性化することでスペルミン合成を促進させて、肝臓でのタンパク質合成を促進している可能性が示唆された。

謝辞 : 蕪山由己人¹、菅原邦生¹、佐藤祐介¹ (¹宇都宮大学農学部生物資源学科)

本研究を行うにあたりご協力いただいた諸先生方に厚く御礼申し上げます。

AN EXPERIMENTAL STUDY ON BALANCING TASKS OF HUMAN SUBJECTS IN COOPERATION WITH INVISIBLE ARTIFICIAL PARTNERS

松本 茂樹 (D1)

Shigeki MATSUMOTO (D1)

宇都宮大学大学院 工学研究科 システム創生工学専攻 dt137111@cc.utsunomiya-u.ac.jp

(指導教員) 吉田勝俊 (教授)

Katsutoshi YOSHIDA (Professor)

宇都宮大学大学院 工学研究科 機械知能工学専攻 yoshidak@cc.utsunomiya-u.ac.jp

1. 出席会議名 ASME 2013 Dynamic Systems and Control Conference

国 名 : アメリカ合衆国

都 市 名 : パロアルト

開催期間 : 2013 年 10 月 21 日 ~ 2013 年 10 月 23 日

2. 発表概要

本報は、倒立振り子をベースとしたヒトのバランスモデルの一種である、カブレラの擬似神経制御器と、実際のヒトとの協調的なバランス運動の軌道安定性を実験的に解析したものである。図1に示すように、コンピュータ、マウス、ディスプレイを用いた仮想現実環境にて、ヒトもしくは制御器が操作する倒立振り子のバランス運動を計測した。ただし、ヒトが操作する振り子と擬似神経制御器が操作する振り子は、両方の振り子上端に取り付けられている剛体リンク棒を通じてお互いに影響を及ぼすものとなっている。

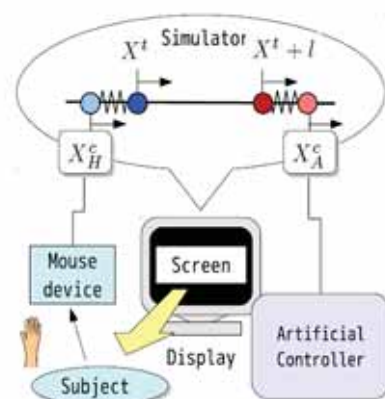


図1：実験システム

相手側のバランス姿勢を呈示する場合、バランス姿勢を呈示しない場合の両方で協調バランス運動を被験者に行ってもらい、両者のバランス運動の軌道安定性をリアプノフ指数で評価した結果、ヒトは相手側のバランスに関する視覚情報の有無によらずに擬似神経制御器側の軌道安定性を中立安定化することが示唆された。ただし、リアプノフ指数による軌道安定性は、相軌道の隣接軌道が収束するか否かという意味での安定性である。

本報は、擬似神経制御器との協調バランス時におけるヒトの普遍的な性質を捉えた成果として画期的である。そして将来的には、この性質を再現することで、ヒトの挙動によく似た制御器の構築が期待できる。

謝辞

今回の国際学会発表をサポートしてくださった吉田勝俊教授、地域共生研究開発センター大学院 VBL 部門、本実験にご協力頂いたシステム力学研究室の学生諸君に感謝いたします。

Robust Estimation of Multiple-Regression HMM Parameters for Dimension-Based Expressive Dialogue Speech Synthesis

永田智洋 (D1)

Tomohiro Nagata (D1)

宇都宮大学大学院工学研究科システム創成工学専攻 ken1@speech-lab.org

(指導教員) 森大毅 (准教授)

Hiroki Mori (Associate Professor)

宇都宮大学大学院工学研究科システム創成工学専攻 hiroki@speech-lab.org

1. 出席会議名 INTERSPEECH 2013

国 名 : Lyon

都 市 名 : France

開催期間 : 2013 年 8 月 25 日 ~ 2013 年 8 月 29 日

2. 発表概要

音声から知覚される情報には文字に書き起こすことのできない話者の感情や意図、態度といったパラ言語情報があり、コミュニケーションにおいて重要な役割を果たしている。パラ言語情報を制御可能な音声合成を実現することにより、様々な分野への応用が期待される。

本研究では、対話音声合成におけるパラ言語情報の制御を目的とし、次元で表現されたパラ言語情報が与えられている対話音声コーパスである宇都宮大学パラ言語情報研究向け音声対話データベースを用いて、統計モデルに基づく音声合成方式である重回帰隠れセミマルコフモデル(重回帰 HSMM)に基づく音声合成を行った。統計モデルのパラメータは、学習データの少なさや偏りにより適切に推定されない場合がある。そこで、最大事後確率(MAP)推定を導入し、重回帰 HSMM パラメータのロバストな推定式を導出した。

提案法によって合成された音声を用いて主観評価実験を行い、提案法を適用することにより合成音声の自然性が向上することを確認した。また、合成時に与えたパラ言語情報と被験者によって知覚されたパラ言語情報との間に高い相関を得られた。このことから、パラ言語情報の表現力を確保しつつ、自然性が向上したことを確認できた。

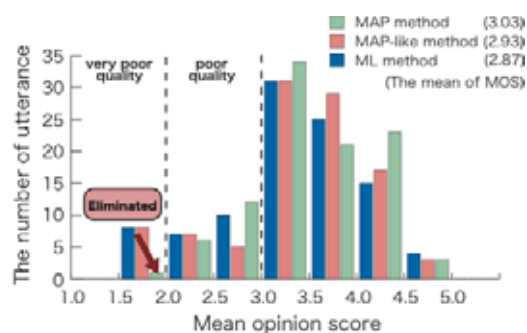


Fig. 自然性の平均評価値についてのヒストグラム

謝辞

研究を進める上で熱心にご指導くださいました森大毅准教授に深く感謝を申し上げます。研究に関する貴重なご助言をいただいた能勢隆助教に深く感謝を申し上げます。

Catalytic HY zeolite for esterification of acetic acid with ethanol

石田 潤 (M1)

Jun Ishida (M1)

宇都宮大学大学院工学研究科物質環境化学専攻 mt136304@cc.utsunomiya-u.ac.jp

(指導教員) 佐藤 剛史 (准教授)

Takafumi Sato (Associate Professor)

宇都宮大学大学院工学研究科物質環境化学専攻 takafumi@cc.utsunomiya-u.ac.jp

1. 出席会議名 11th International Conference on Catalysis in Membrane Reactor

第11回メンブレンリアクターにおける国際触媒学会

国 名 : ポルトガル

都市名 : ポルト

開催期間 : 2013年7月7日 ~ 2013年7月11日

2. 発表概要

酢酸エチルは毒性が低い溶媒であるため、インクや合成樹脂、接着剤の溶媒として用いられる重要な化学物質である。この酢酸エチルは酸触媒を用いた酢酸とエタノールのエステル化反応によって生成される。この時の酸触媒として、触媒回収の容易なHY型ゼオライト膜の使用が適していると考え、本研究で合成を試みた。また、本反応は平衡反応であるため、転化率は熱力学的に決定されてしまう。そこで、生成物である水を、ゼオライト膜を用いて取り除くことで、転化率を100%まで向上させることを目指した。

図1に脱水用のNaY型ゼオライト膜と酸触媒用HY型ゼオライト膜の表面SEM画像を示す。NaY型ゼオライト膜は密に合成されたことが確認できたが、HY型ゼオライト膜は欠陥(Cracking)があることがわかる。そこで、連続脱水反応は個体酸触媒能を有するナフィオン膜を使用して行った。図2に脱水反応結果を示す。プロットが実験点で点線が計算から得られる平衡値である。脱水により、反応が平衡状態以上まで進行したことが分かった。

謝辞

本研究は、NEDO(規則性ナノ多孔精密分離部材基盤技術の開発)の支援を受けて行われました。ここに感謝申し上げます。

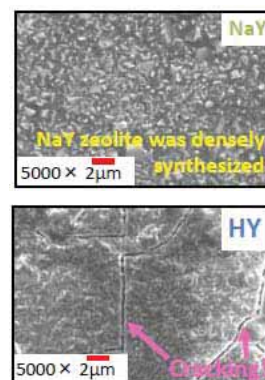


図1 NaYおよびHY型ゼオライト膜の表面SEM画像

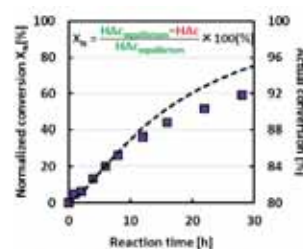


図2 脱水反応結果



図3 11th ICCMR 会場にて

Development of Pore-through-type Catalytic Reactor using Asymmetric

Porous Tube

佐川 聡 (M1)

Satoshi Sagawa (M1)

宇都宮大学大学院工学研究科物質環境化学専攻 mt136311@cc.utsunomiya-u.ac.jp

(指導教員) 伊藤 直次 (教授)

Naotugu Itoh (Professor)

宇都宮大学大学院工学研究科物質環境化学専攻 itoh-n@cc.utsunomiya-u.ac.jp

1. 出席会議名 International Membrane Science Technology Conference 2013

国 名 : オーストラリア

都 市 名 : メルボルン

開催期間 : 2013 年 11 月 25 日 ~ 2013 年 11 月 29 日

2. 発表概要

現在、燃料電池はクリーンで高効率な発電が可能な次世代電源として注目されている。しかし、これに燃料として用いられる水素は気体であるため貯蔵・輸送が困難であるという課題がある。そこで水素を運ぶ物質（水素キャリア）として低温で改質が可能であるなどの特徴からメタノールが注目されている。したがって、このメタノールから水素を生成する反応（メタノール改質反応）を効率よく行うための反応器が求められている。本研究ではポアスルー型の触媒を用いて反応を行う。

通常メタノール改質反応に用いられている充填型触媒は、その触媒層の厚さから副反応が起きやすいという問題点がある。対してポアスルー型触媒は触媒の層をより薄く作ることができ、充填型触媒の欠点の改善が見込める。今回の報告では図1に示すような触媒の厚さを、乾燥方法を変え、図2のようにさらに薄くするための実験をし、評価を行った。図3にその結果を示す。このように水素生成比が増加し、副生成物であるCOの選択率を抑制することに成功した。



図4 IMSTEC 会場にて

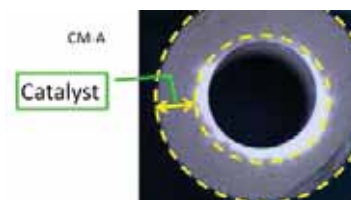


図1 ポアスルー型触媒の断面

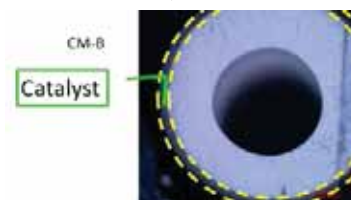


図2 ポアスルー型触媒の断面

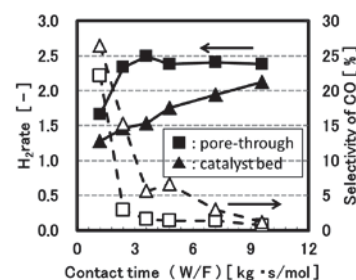


図3 反応結果

Synthesis of Fluorocarbon-base Nanofluids and Their Applications for Thermal Management

山村秀 (M1)

Shu Yamamura (M1)

宇都宮大学大学院工学研究科学際先端システム学専攻 mt136647@cc.utsunomiya-u.ac.jp

(指導教員) 佐藤正秀(准教授)

Masahide Sato (Associate Professor)

宇都宮大学大学院工学研究科学際先端システム学専攻 satoma@cc.utsunomiya-u.ac.jp

1. 出席会議名 International Topical Team Workshop Two-phase systems for ground and space applications

国 名 : ドイツ

都 市 名 : ブレーメン

開催期間 : 2013 年 9 月 16 日 ~ 2013 年 9 月 19 日

2. 発表概要

精密電子機器の冷却方法として、フッ素化炭化水素系流体(FC 流体)を用いた間接液冷方式が実施されている。代表的な FC 流体である HFE-7200 は熱的・化学的安定性、絶縁性を持つという点においては冷媒として優れているが、熱伝導率や熱容量が水やエチレングリコールなどの冷媒と比べて著しく低いという欠点がある。そこで本研究では HFE-7200 にナノ粒子を分散させ冷媒としての性能の強化を試みた。開発したナノ流体は、銀ナノ粒子分散型、ナノ水滴分散型、酸化チタンナノ粒子分散型の3種類である。(Fig. 1)

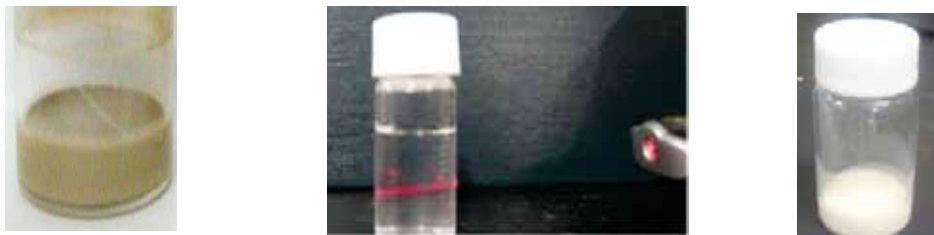


Fig. 1 ナノ流体 左：銀ナノ粒子分散型 中：ナノ水滴分散型 右：酸化チタンナノ粒子分散型

それぞれのナノ流体について、単相流冷却による模擬熱源冷却試験を行った結果、ナノ水滴分散型が最も冷却性能が高いことがわかった。ナノ水滴により HFE-7200 の熱伝導率および熱容量が強化されたためだと考える。

謝辞

本研究は NEDO グリーン IT プロジェクトテーマの一環として実施していることを記し、関係各位に謝意を表す。また、本研究は科学研究費補助金 24656134 の支援により実施された。

**Scientific Report
of Dr. Yu. M. Shukrinov,
BLTP, JINR, Dubna, Russia.**

Project of the Venture Business Laboratory of Collaboration Center for Research and Development, Utsunomiya University.

Visiting time: July 1 - August 27, 2013.

The purpose of the project was the investigation of the phase dynamics and current-voltage characteristics of intrinsic Josephson junctions in high temperature superconductors.

In during this period we obtained the following main results:

1. The detailed numerical simulations of the IV-characteristics of Josephson junction under external electromagnetic radiation show devil's staircases within different bias current intervals. We have found that the observed steps form very precisely continued fractions. Increasing of the amplitude of radiation shifts the devil's staircases to higher Shapiro steps. The algorithm of appearing and detection of the subharmonics with increasing radiation amplitude is proposed. We demonstrate that subharmonic steps registered in the famous experiments by A. H. Dayem and J. J. Wiegand [Phys. Rev 155, 419 (1967)] and J. Clarke [Phys. Rev. B 4, 2963 (1971)] also form continued fractions.
2. An interesting manifestation of the "devil's staircase" was found at different values of dissipation parameter demonstrating steps periodically separated by chaotic regions. We call it as the periodic intermittent chaos. It occurs in the devil's staircase structure of IV-characteristics of Josephson junctions at some parameters of the system and external radiation. The steps position in the structure is determined by continued fraction formula, so the transformation of the regular behavior in the step current intervals to the chaotic one is strongly synchronized. The destroy of DS structure is analyzed now.
3. Variation of the amplitude of the external radiation leads to the different types of the "devil's staircases" in coupled Josephson junctions (JJ). Increasing the value of the coupling parameter destroys the staircase in a special order, continuously increasing the chaotic region from one side of staircase. We demonstrate their fractal nature supported by simulation of the Poincare sections. We demonstrate chaotic features of the system in the state

corresponding to the inner branch of the IV-characteristic. We stress a special behavior of the Shapiro steps in such states. Experimental realization of found phenomena are discussed.

4. We have investigated the phase dynamics of long Josephson junctions with inductive and capacitive coupling between junctions. The current voltage characteristics, special and temporal dependence of the electric charge in the superconducting layers and magnetic field in junctions are calculated. We demonstrate parametric resonance and longitudinal plasma wave in the system. We found the shift of the parametric resonance region with increase of the length of the junctions in the stack.

As a result of this research we prepared the projects of the following papers:

1. Yu. M. Shukrinov, S. Yu. Medvedeva, A. E. Botha, M. R. Kolahchi, A. Irie, "Devil's Staircases" and Continued Fractions in Josephson Junctions".
- Submitted for Phys.Rev.Lett. on Aug. 22, 2013.
2. Yu. M. Shukrinov, I. Rahmonov, A. Irie, "Parametric resonance in the coupled system of long Josephson junctions."
- In preparation.
3. Yu. M. Shukrinov, Yu. Medvedeva, A. E. Botha, S. M. R. Kolahchi, A. Irie, Devil's Steps and Regular Intermittent Chaos in Josephson junctions.
- In preparation.
4. Yu. M. Shukrinov, S. Yu. Medvedeva, A. E. Botha, M. R. Kolahchi, A. Irie, Peculiarities of the devil's staircases in the stack of Josephson junctions.
- In preparation.

4 The pdf files of these papers are attached.

I'd like to thank Prof. Y. Takayama, Prof. N. Suzuki, Prof. A.Irie and staff of Utsunomiya university for kind hospitality and opportunity to work here.

Dr. Yu.M.Shukrinov
August 23, 2013



Devil's Staircases and Continued Fractions in the Josephson Junctions

Yu. M. Shukrinov¹, S. Yu. Medvedeva^{1,2}, A. E. Botha³, M. R. Kolahchi⁴, and A. Irie⁵

¹ BLTP, JINR, Dubna, Moscow Region, 141980, Russia

² Moscow Institute of Physics and Technology (State University), Dolgoprudny, Moscow Region, 141700, Russia

³ Department of Physics, University of South Africa, P.O. Box 392, Pretoria 0003, South Africa

⁴ Institute for Advanced Studies in Basic Sciences, P.O. Box 45195-1159, Zanjan, Iran

⁵ Department of Electrical and Electronic Systems Engineering,
Utsunomiya University, 7-1-2 Yoto, Utsunomiya 321-8585, Japan

(Dated: August 22, 2013)

The detailed numerical simulations of the IV-characteristics of Josephson junction under external electromagnetic radiation show devil's staircases within different bias current intervals. We have found that the observed steps form very precisely continued fractions. Increasing of the amplitude of radiation shifts the devil's staircases to higher Shapiro steps. The algorithm of appearing and detection of the subharmonics with increasing radiation amplitude is proposed. We demonstrate that subharmonic steps registered in the famous experiments by A. H. Dayem and J. J. Wiegand [Phys. Rev 155, 419 (1967)] and J. Clarke [Phys. Rev. B 4, 2963 (1971)] also form continued fractions.

Josephson junctions are regarded as excellent model systems for studying a variety of nonlinear phenomena in different fields of science [1, 2] such as frequency locking, chaos, charge density waves, transport in superconducting nanowires, interference phenomena and others [3–6]. These phenomena, and especially properties of the Shapiro steps (SS) [7] in Josephson junctions are very important for technical applications [8].

In a Josephson system driven by an external microwave radiation, the so-called devil's staircase (DS) structure has been predicted as a consequence of the interplay of the Josephson plasma frequency, and the applied frequency (see Refs.[9, 10] and references therein). To stress the universality in the scenario presented, we note that the devil's staircase appears in other systems including the infinite spin chains with long-range interactions [11], frustrated quasi-two-dimensional spin-dimer system in magnetic fields [12], systems of strongly interacting Rydberg atoms [13], and fractional quantum Hall effect [14]. A series of fractional synchronization regimes (devils staircase) in a spin-torque nano-oscillator driven by a microwave field was experimentally demonstrated [15]. The devil's staircase is considered as an outstanding example of a 'phase diagram' in physics, because it shows a high degree of self-organization [16].

A detailed experimental investigation of the subharmonic SS in SNS junctions were made by J. Clarke [17]. He found that the application to a junction of rf electromagnetic radiation of frequency Ω induced constant-voltage current steps at voltages $(n/m)\hbar\Omega/(2e)$, where n and m are positive integers. The results were explained based on the idea that phase difference in Josephson junction is increasing in time in a uniform manner and current-phase relation is nonsinusoidal. The junction generates harmonics when it biased at some voltage and these harmonics may synchronize with the applied radiation to produce the steps. Another famous experiment on the behavior of thin-film superconducting bridges in a mi-

crowave field by A. H. Dayem and J. J. Wiegand [18] also demonstrates the production of constant-voltage steps in the IV-characteristics. Some experimental results are explained by nonsinusoidal current-phase relation [19, 20]. Ben-Jacob with coauthors [10] found the subharmonic steps within the resistively and capacitively shunted junction model (RCSJ) with purely sinusoidal current-phase relation [21, 22].

In this paper we clearly show by high precision numerical simulations that IV-characteristic of a Josephson junction under microwave radiation exhibit DS structure of subharmonic Shapiro steps. To prove that we have a devil's staircase, we show its self-similar structure. The proof comes by analyzing the results in terms of the continued fractions [23, 24]. We show that the steps observed in many previous experiments [3, 17, 18, 25–29] and numerical simulations [4, 9, 10, 30] form the continued fractions. We analyze the data of famous experiments of Clarke (see Ref.[17] and Fig. 9(a)) and Dayem-Wiegand (see Ref.[18] and Fig. 16) in terms of continued fractions and show that the steps observed in these papers also form very precisely continued fractions.

Assuming the RCSJ model, we employ the following system of equations for the phase difference φ across the junction, taking into account the external radiation with frequency ω and amplitude A :

$$\dot{V} + \sin(\varphi) + \beta\dot{\varphi} = I + A \sin \omega t, \quad (1)$$

$$\dot{\varphi} = V. \quad (2)$$

Here the dc bias current I and ac amplitude A are normalized to the critical current I_c , the voltage V to the $V_0 = \hbar\omega_p/(2e)$ (ω_p is the plasma frequency), time t to the ω_p^{-1} . β is the dissipation parameter ($\beta = \beta_c^{-1/2}$, β_c is McCumber's parameter). In this study, we set $\beta = 0.2$. Overdot indicates derivative with respect to the dimensionless time. In our simulations we used mostly 0.05 as a step in time, 10^4 as a time domain for averaging with

10^3 units before averaging, 10^{-5} as a step in bias current. The details of simulation procedure are described in Ref. [31].

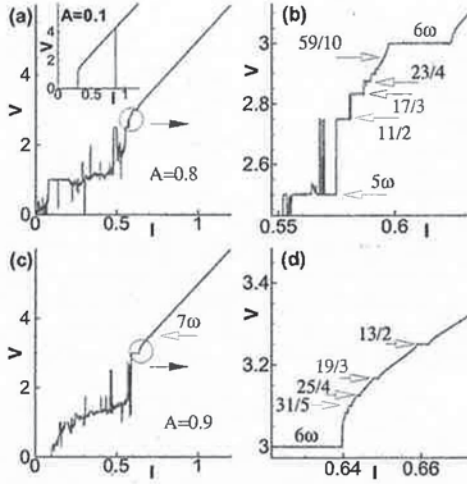


FIG. 1: (Color online) Simulated current-voltage characteristics of a Josephson junction under external electromagnetic radiation with $\omega = 0.5$ and different radiation amplitudes A . Figs. (b) and (d) show enlarged views of the encircled devil's staircases in Figs. (a), above, and (b), below, the 6th principle SS harmonic.

Figure 1(a) shows IV-characteristic of the Josephson junction at $\omega = 0.5$ and $A = 0.8$. We see that there is no hysteresis in comparison with the case at $A = 0.1$ shown in the inset and chaos is developed in some current intervals. There is a manifestation of the second harmonic, i.e. integer, Shapiro step at $V = 2\omega = 1$, and the fifth and sixth, at $V = 2.5$ and $V = 3$, respectively. Let us consider carefully the part of IVC marked by circle which is enlarged in Fig. 1(b). A series of steps in the form of $(N - 1/n)\omega$, where $N = 6$ and n a positive integer, is observed between 5ω and 6ω . We note that these steps are approaching the 6-th harmonic from below. As A is increased the chaos region is expanded and DS structure disappears. But instead it develops above the 6-th SS harmonic. Figure 1(c) shows IV-characteristic of the same Josephson junction at $A = 0.9$ with the DS structure which is enlarged in Fig. 1(d). The steps are approaching the 6ω harmonic from above and follow formula $(N + 1/n)\omega$, again with $N = 6$ and n a positive integer.

The analysis of the various observed staircase structures leads us to the conclusion that in general the steps follow the formula for continued fractions, given by

$$V = \left(N \pm \frac{1}{n \pm \frac{1}{m \pm \frac{1}{p \pm \dots}}} \right) \omega, \quad (3)$$

where $N, n, m, p, \dots$ are positive integers. We will call

the terms that only differ in N , first-level terms. They describe Shapiro steps harmonics. The other terms describe the subharmonics, or the fractional steps. Those differing in N and n , we call second-level terms; those differing in N, n and m , third-level terms, etc.

Usually the mathematicians use the positive sign to express continued fractions [23, 24]. We have included the '-' for convenience only; this allows us to easily analyze the subharmonics in the chosen interval of voltage (or frequency). Another reason to use the continued fractions with negative sign is following. The formula with positive signs puts the physically equal sequences of subharmonics in different levels of formula. Consider the sequences $3/2, 4/3, 5/4, \dots$ and $1/2, 2/3, 3/4, \dots$ which describe the subharmonics placed on the same distance from the first Shapiro step; i.e. at ω . In all plus continued fractions they are related to the different levels described respectively by formulas $N+1/n$ and $(N-1) + 1/(n+1/m)$ with $N = 1$ in first case and $N = 1, n = 1$ in the second case. Including the '-' allows us to use $N \pm 1/n$, with '+' for the first and '-' for the second sequence, and keeping $N = 1$ for both sequences.

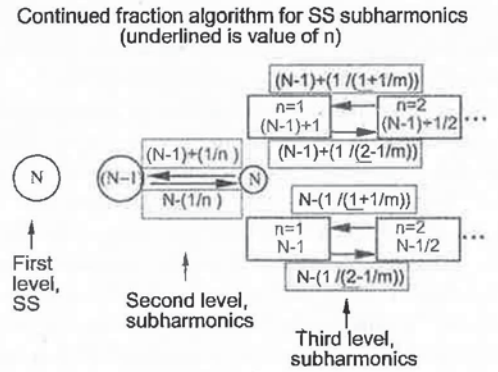


FIG. 2: (Color online) Schematic demonstration of the appearance of continued fractions in IV-characteristic of Josephson junction under external electromagnetic radiation. N is the SS number, n and m are positive integers.

The algorithm of continued fractions is schematically presented in Fig. 2. We show by numbers in the circles the SS harmonics (red online). Second level of continued fractions gives two groups of subharmonic steps (blue online): $(N - 1) + (1/n)$ and $N - (1/n)$. First group is approaching $N - 1$ -th SS, and second one is approaching N -th SS. So, if the sequence in the interval (a,b) is building to approach the step "a", need to take "+", and if the sequence is approaching the step "b", then "-". To find subharmonics corresponding to the third level we first determine the interval we are interested in; this entails, choosing n and $n + 1$, which are then kept constant, as m is varied. Each of them leads to the appearance of the other two groups, approaching the first and second term. In Fig. 2 we show the sequences of third level between

the subharmonics with $n = 1$ and $n = 2$ also. Other sequences are formed by the same algorithm.

Now, we set out to show the different levels of continued fractions of the devil's staircase. The DS in the IV-characteristic of the Josephson junction at $\omega = 2$ and $A = 0.5$ is presented in Fig. 3. In one-loop IV-characteristic, shown in the inset to Fig. 3(a), we see that the return current is low enough to allow the $V = 2$ step to develop. The steps reflect the second level of the continued fractions $(N - 1/n)\omega$ with $N = 1$. There is no half-integer step at $1/2$ in this IVC because of large value of the return current at chosen parameters.

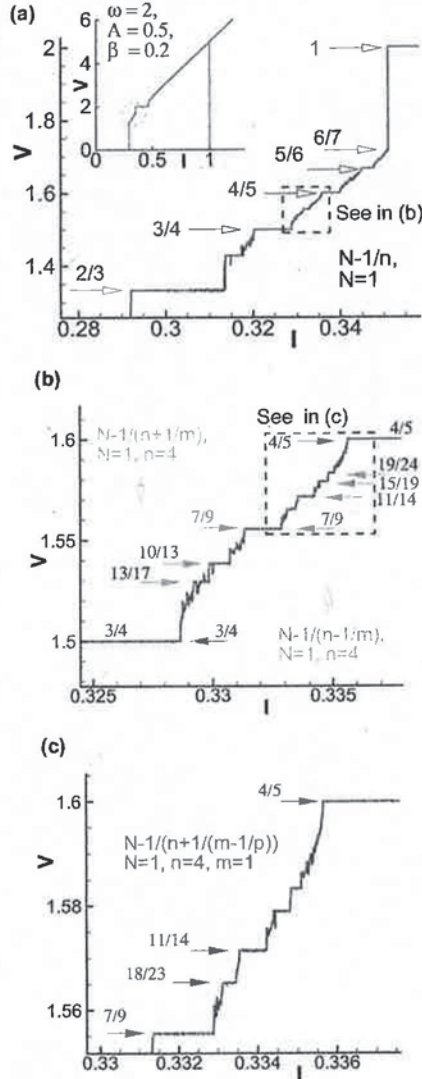


FIG. 3: (Color online) The manifestation of the continued fractions in IV-characteristic of Josephson junction at $\omega = 2$ and $A = 0.5$. (a) The steps in the interval between the zeroth and first SS; (b) The steps between $\frac{3}{4}\omega$ and $\frac{4}{5}\omega$ marked by rectangle in (a); (c) The steps $\frac{7}{9}\omega$ and $\frac{4}{5}\omega$ marked by rectangle in (b).

The staircase bounded by the subharmonics, $3/4$ and $4/5$ and marked by a rectangle in Fig. 3(a), is enlarged in Fig. 3(b). In particular, we see the sequence $4/5, 7/9, 10/13, 13/17, \dots$, reflecting the third level continued fraction $(N - 1/(n + 1/m))\omega$ with $N = 1, n = 4$ and the sequence $3/4, 7/9, 11/14, 15/19, \dots$, reflected $(N - 1/(n - 1/m))\omega$ with $N = 1, n = 5$. Moreover, the part between the steps $\frac{7}{9}\omega$ and $\frac{4}{5}\omega$ also marked by rectangle in this figure, is enlarged in Fig. 3(c). We found here the steps $7/9, 11/14, 15/19, 19/24$, reflected the fourth level of continued fractions $(N - 1/(n + 1/(m + 1/p)))\omega$ with $N = 1, n = 4$, and $m = 1$, and the sequence $4/5, 11/14, 18/23$, reflected $(N - 1/(n + 1/(m - 1/p)))\omega$ with $N = 1, n = 4$, and $m = 2$. Voltages found in our high precision numerical simulations, coincide with the corresponding values calculated by formula (3).

Let us finally discuss the experimental results on the subharmonic steps in IV-characteristic of a Josephson junction in presence of rf radiation. Our main statement is that the set of the constant voltage steps found in the previous experiments [17, 18, 25, 26] are structured such that is reproduced by the continued fractions.

We first consider the experiments of Clarke, and in particular look at Fig. 9(a) in Ref.[17]. In Fig. 4(a) we reproduce these experimental results and compare them with continued fractions in the corresponding intervals of voltage. Voltage is normalized to the value of the first Shapiro step. In the interval between the zeroth and first SS the subharmonic $1/2$ is registered, reflecting the sequence $N + 1/n$ with $N = 0, n = 2$. In the second SS interval (1,2) a series $1, 3/2, 5/3$ is fixed which follow $V = (N - 1/n)$ with $N = 2$. In third (2,3) and forth (3,4) SS intervals the steps at voltages $3/1, 5/2, 7/3$ and $4/1, 7/2, \dots, 13/4$ follow the fractions $V = (N + 1/n)$ with $N = 2$ and $N = 3$, respectively. In the last series, it was only the $10/3$ step that was not found.

The subharmonics which were experimentally measured by A. Dayem and J. Wiegand in Ref.[18] precisely follow the continued fraction formulas also. Figure 16 of Ref.[18] shows the IV-characteristics at different power levels, for applied microwave radiation at 4.26 GHz. In Fig. 4(b) we also reproduce these experimental results and compare them with continued fractions. The subharmonic steps in SS intervals (0,1) and (1,2) were found. The analysis shows that the steps $0, 1/2, 2/3, 3/4$ follow $(N - 1/n)$ with $N = 1$ and the series $1/n$ is just $(N + 1/n)$ with $N = 0$. For clarity we enlarge this part of figure in the inset. In the SS interval (1,2) the experiment shows the steps $2/1, 3/2, 4/3, 5/4$ according to $N + 1/n$ with $N = 1$, and $1, 3/2, 5/3$ according to $N - 1/n$ with $N = 2$. It seems that there is a misprint in the original paper: the step around $V = 4\mu V$ denoted as $1/5$. Actually, it is the step $2/5$ and it follows the third level of continued fractions $N + 1/(n + 1/m)$ with $N = 0, n = 2, m = 2$. We see also in the analyzed figure the signature of the step $3/5$ between $1/2$ and $2/3$, followed $N - 1/(n - 1/m)$ with

$N = 1, n = 3, m = 2$, which was not marked by authors.

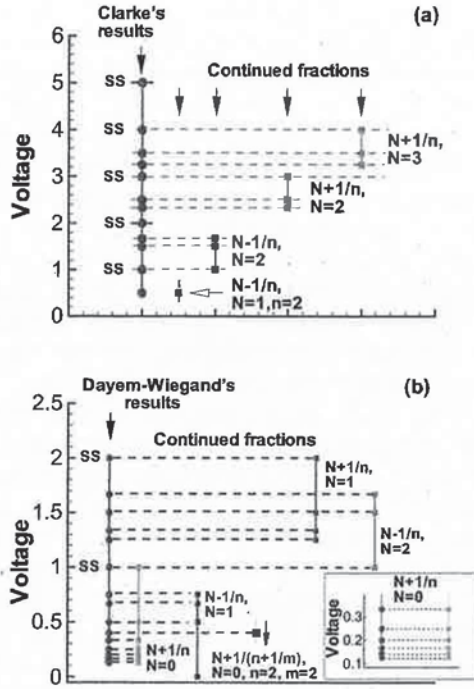


FIG. 4: (Color online) Comparison of the experimental results of (a) Clarke[17] and (b) Dayem and Wiegand[18] with continued fractions. Filled circles show the experimental results, squares - different continued fractions.

We note that in Ref. [25] the authors observed two series of subharmonic steps up to sixth order ($n = 6$) experimentally. We consider these to be special cases of Eq. (3): the first series corresponds to $V = (0 + 1/n)\omega$ and the second to $V = (1 + 1/n)\omega$.

Reports on measurements of dc electron transport and microwave dynamics of thin film hybrid Nb/Au/CaSrCuO/YBaCuO planar Josephson junctions were presented in Ref. [26]. The authors observed tunnel-like behavior, and oscillations in sync with the applied radiation at integer and half-integer steps. For a junction fabricated on *c*-oriented YBCO film the devil's staircase structure was observed under microwave irradiation at 4.26 GHz.

In summary, the detailed numerical simulations of the IV-characteristic of a Josephson junction under microwave radiation allowed us to demonstrate a self-similar structure of Shapiro steps subharmonics known as a devil's staircase. We conclude that in many experimental and simulated physical systems, in various fields, the response function of the driven system has the devil's staircase structure, characterized by a continued fraction.

Yu. M. S. thanks I. Rahmonov, M. Yu. Kupriyanov,

K.Y. Constantinian, G. A. Ovsyannikov for helpful discussions and D. V. Kamanin and the JINR-SA agreement for the support of this work. He also appreciates kind hospitality of Prof. Y. Takayama and Prof. N. Suzuki from Utsunomiya university where part of this work was done.

- [1] Antonio Barone and Gianfranco Paterno, *Physics and Applications of the Josephson Effect*, John Wiley and Sons Inc., 1982.
- [2] K. K. Likharev, *Dynamics of Josephson Junctions and Circuits*, Gordon and Breach, Philadelphia, 1986.
- [3] S. E. Brown, G. Mozurkewich and G. Gruner, *Phys. Rev. Lett.* **52**, 2277 (1984).
- [4] J. Tekic, Z. Ivic, *Phys. Rev. E* **83** 056604 (2011).
- [5] R. L. Kautz and R. Monaco, *J. Appl. Phys.* **57**, 875 (1985).
- [6] C. A. Hamilton and E. G. Johnson Jr., *Physics Letters A* **41**, 393 (1972).
- [7] S. Shapiro, *Phys. Rev. Lett.* **11**, 80 (1963).
- [8] W. Buckel and R. Kleiner, *Superconductivity: Fundamentals and Applications* (Wiley-VCH, Weinheim, 2004).
- [9] M. H. Jensen, P. Bak and T. Bohr, *Phys. Rev. Lett.* **50**, 1637 (1983).
- [10] E. Ben-Jacob, Y. Braiman, R. Shainsky, *Appl. Phys. Lett.* **38**, 822 (1981).
- [11] V. Nebendahl and W. Dr, *Phys. Rev. B* **87**, 075413 (2013).
- [12] M. Takigawa et al., *Phys. Rev. Lett.* **110**, 067210 (2013).
- [13] H. Weimer and H. P. Bchler, *Phys. Rev. Lett.* **105**, 230403 (2010).
- [14] R. B. Laughlin et al., *Phys. Rev. B* **32**, 1311 (1985).
- [15] S. Urazhdin et al., *Phys. Rev. Lett.* **105**, 104101 (2010).
- [16] M. Yakes, V. Yeh, M. Hupalo, and M. C. Tringides, *Phys. Rev. B* **69**, 224103 (2004).
- [17] J. Clarke, *Phys. Rev. B* **4**, 2963 (1971).
- [18] A. H. Dayem, J. J. Wiegand, *Phys. Rev.* **155**, 419 (1967).
- [19] Myung-Ho Bae et al., *Phys. Rev. B* **77**, 144501 (2008).
- [20] V. K. Kornev et al., *Physica C* **435**, 27 (2006).
- [21] C. Stewart, *Appl. Phys. Lett.* **12**, 277 (1968).
- [22] D. E. McCumber, *J. AppPhys.* **39**, 3113 (1968).
- [23] A. Ya. Khinchin, *Continued Fractions*. University of Chicago Press, 1964.
- [24] A. Cuyt, V. Brevik Petersen, B. Verdonk, H. Waadeland, W. B. Jones, *Handbook of Continued fractions for Special functions*, Springer Verlag, 2008.
- [25] M. Tarasov et al., *JETP Letters*, **68**, 454 (1998).
- [26] K. Y. Constantinian et al., *JPCS*, **234**, 042004 (2010).
- [27] J. Kuznik, K. Rogacki, *Physics Letters A* **176**, 144 (1993).
- [28] P. Seidel, M. Siegel and E. Heinz, *Physica C* **180**, 284 (1991).
- [29] R. L. Kautz, S. B. Benz, C. D. Reintsema, *Appl. Phys. Lett.* **65**, 1445 (1994).
- [30] P. Mali et al., *Phys. Rev. E* **86**, 046209 (2012).
- [31] Yu. M. Shukrinov and M. A. Gaafar, *Phys. Rev. B* **84**, 094514 (2011).

3.2-6 海外派遣動向調査若手研究者報告書

インドネシア・タイにおける植林木の成長と材質

石栗 太（准教授）*1

*1 農学部森林科学科，大学院農学研究科森林科学専攻 ishiguri@cc.utsunomiya-u.ac.jp

1. はじめに

これまでに，東南アジア諸国では，木材資源は主に天然林から得られてきており，その多くは，我が国や欧米へ輸出されてきた。近年，天然林面積の急速な減少や生物多様性の観点から天然林保護の重要性が指摘されてきている。一方，東南アジア諸国の自国の木材消費量は，経済成長に伴い増加しつつあり，供給不足が生じている。このような木材資源における，需要と供給のギャップを補うために，産業植林やコミュニティによる植林が注目を浴びている。

産業植林やコミュニティによる植林で利用される種に関して，成長速度が非常に早い，いわゆる「早生樹」が注目されている（山本・児嶋 2009）。早生樹は，「強度に管理された商業植林で，あるブロックには単一の樹種が植林され，高い成長速度（年平均成長速度 $15\text{m}^3/\text{ha}$ 以上）で，工業用の丸太材が生産され，そして植林から 20 年以内に収穫されるもの」として，定義されている（Cossalter・Pye-Smith 2003）。温帯地域では，温帯産ユーカリ（*Eucalyptus globulus*, *E. nitens* など）やポプラ（*Populus* spp.）などが植栽されている。熱帯地域においては，熱帯産ユーカリ（*E. camaldulensis* など），アカシア（*Acacia mangium*, *A. auriculiformis*, *A. crassicarpa* など），*Falcataria moluccana* が，早生樹産業植林樹種として，大規模に植栽されてきている（Cossalter・Pye-Smith 2003；岩崎ら 2012；門田 2012）。これらの樹種のうち，インドネシアでは，*Falcataria moluccana* や *A. mangium* などがそれぞれ，合板やパルプ原料の生産のために大規模で植林されている。また，タイでは，*E. camaldulensis* がパルプ原料の生産のために，植林されている。

本調査では，インドネシアおよびタイで産業植林やコミュニティによる植林において用いられている *A. mangium* および *E. camaldulensis* の成長と木材性質について明らかにした。本稿では，調査の概要を記すとともに，インドネシアにおいて得られた *A. mangium* の成長と材質に関して報告する。

2. 調査の概要

表 1 に、調査の日程および滞在先を示す。本調査では、約 40 日間に渡り、2 カ国（インドネシアおよびタイ）、4 大学（インドネシア＝ガジャマダ大学、ボゴール農科大学およびブングル大学；タイ＝カセサート大学）を訪問し、調査、研究打ち合わせ、訪問先の学生および教職員向けの講義などを行った。また、この間、インドネシア木材学会などの国際会議、ラタンの利用に関するシンポジウムにも参加した。

ガジャマダ大学での受入研究者である Dr. Denny Irawati 講師は、著者の研究室に博士課程学生として 3 年間滞在し、2012 年 9 月に学位取得している。また、ボゴール農科大学 Dr. Imam Wahyudi 教授は、2008 年以来、インドネシアにおいて 10 回以上共同で材質調査を進めており、その成果はすでに国際誌において公表されており（例えば Ishiguri ら 2012; Makino ら 2012）、また、2011 年には、共同研究の一環で外国人研究者として宇都宮大学に滞在している。カセサート大学 Dr. Sapit Diloksumpun 助手とは、2010 年よりユーカリ材の材質調査を共同で進めており、成果の一部が国際誌に公表されている（例えば Ishiguri ら 2013）。

表 1 調査日程および滞在先

日程	訪問先	受入研究者	内容
10/26～11/4	ガジャマダ大学	Dr. Denny Irawati	研究打ち合わせ、木質バイオマス利用に関する調査
11/5～11/7	東カリマンタン		インドネシア木材学会、国際会議参加
11/8～11/15	ガジャマダ大学		研究打ち合わせ、大学間交流に関する意見交換、General Lecture
11/15～11/22	カセサート大学、Phang-nga 研究ステーション	Dr. Sapit Diloksumpun	研究打ち合わせ、早生樹の材質調査
11/23～11/24	ボゴール農科大学	Prof. Dr. Imam Wahyudi	研究打ち合わせ
11/25～11/26	中央カリマンタン		ラタンのシンポジウムへ参加
11/27～11/29	ブングル大学	Dr. Ridwan Yahya	研究打ち合わせ、大学間交流に関する意見交換、早生樹の材質調査、General Lecture、学長、ブングル市長との面会
11/30～12/4	ボゴール農科大学	Prof. Dr. Imam Wahyudi	早生樹の材質調査、General Lecture

3. *Acacia mangium* の成長と材質

調査した林分は、インドネシア 西ジャワ州ボゴール近郊の 2 年生の *A. mangium* の人工林である。それぞれの林分の約 30 個体について、地上高 1.3m の幹直径（胸高直径とする）、樹高および応力波伝播速度を測定した。応力波伝播速度は、材のヤング率と高い正の相関関係を持ち、立木のまま非破壊で測定することができるため、屋外での立木の強度測定のために用いられている。

表 2 に、得られた結果を示す。平均胸高直径、樹高および応力波伝播速度は、9.4 cm, 9.8m および 3.05 km/s であった。同地域の 5 年生および 7 年生のデータ（Makino ら 2013）と比較すると、いずれも小さい値を示した。特に、材のヤング率と高い正の相関関係にある応力波伝播速度は、2 年生では、5 年生と比較して約 15%低い値を示した。

表 2 胸高直径、樹高および応力波伝播速度

林 齢	胸高直径 (cm)		樹 高 (m)		応力波伝播速度 (km/s)	
	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差
2	9.4	1.6	9.8	1.5	3.05	0.16
5*	13.1	3.0	—	—	3.59	0.17
7*	21.9	3.8	—	—	3.75	0.23

注) *=5 および 7 年生のデータは、Makino ら (2012) より得た。—=値を測定しなかった。

4. おわりに

本調査では、インドネシアおよびタイにおいて植林された樹木の成長と材質の関係を明らかにした。今回調査した樹種以外にも、多くの樹種が植林に用いる試みがなされており、さらに多くの樹種について成長と材質の関係を調査する必要がある。

5. 謝辞

本研究を遂行するにあたって、インドネシア ボゴール農科大学林学部林産学科教授 Dr. Imam Wahyudi 氏、ガジャマダ大学林学部林産学科講師 Dr. Denny Irawati 氏、ブングル大学農学部林産学科講師 Dr. Ridwan Yahya 氏、 タイ カセサート大学林学部森林生物学科助手 Dr. Sapit Diloksumpun 氏、に多大なるご協力を頂いたことをここに記し、感謝申し上げます。

6. 引用文献

- Cossalter C, Pye-Smith C (2003) “Fast-wood forestry myths and realities” Center for International Forestry Research. Bogor. p. 50
- Ishiguri F, Takeuchi M, Makino K, Wahyudi I, Takashima Y, Iizuka K, Yokota S, Yoshizawa N (2012) IAWA J 33: 25-38
- Ishiguri F, Diloksumpun S, Tanabe J, Iizuka K, Yokota S (2013) J Wood Sci 59: 506-511
- 岩崎 誠, 坂 志朗, 藤間 剛, 林 隆久, 松村順司, 村田功二 (2012) “早生樹：産業植林とその利用” 海青社, 大津. p. 259
- 門田賢一 (2012) 木材保存 38 : 219-223
- Makino K, Ishiguri F, Wahyudi I, Takashima Y, Iizuka K, Yokota S, Yoshizawa N (2012) Forest Prod J 62: 102-106
- 山本浩之, 児嶋美穂 (2009) 木材工業 64 : 606-611

海外派遣動向調査若手研究者報告書

イヌ繁殖における新たな視点と 生殖工学技術の活用に向けた課題

緒方和子(D2)

東京農工大学大学院連合農学研究科 生物生産科学専攻（宇都宮大学配置）

50012951007@st.tuat.ac.jp

（指導教員） 長尾慶和（教授）

宇都宮大学大学院農学研究科 生物生産科学専攻

ynagao@cc.utsunomiya-u.ac.jp

1. 背景と目的

日本における盲導犬実働数は、その需要に対し著しく不足しており優秀な盲導犬の供給体制が求められている。しかしながら、提供される盲導犬数は近年横ばいであり、日本における盲導犬普及率は欧米諸国と比較し低い現状にある。その要因の一つとして盲導犬に特徴的な繁殖システムが知られている。これに対し近年、盲導犬をはじめとする高い遺伝的資質が求められるイヌの繁殖への生殖工学技術の導入が提唱されている。例えば、凍結精液を用いた人工授精は、優れた雄の遺伝的資質の半永久的な有効活用を可能にする。イヌでは、人工授精技術として経子宮頸管的人工授精法(TCI)が確立されている¹⁾。しかしながら、精液凍結保存技術に関しては、イヌ精子に最適な手法が確立されておらず、凍結融解後の精子の質に著しい低下がみられる。その結果、TCIによる受胎率は自然交配と比較し低い成績となっている。そこで私はこれまでに、生殖工学技術の応用による優秀な盲導犬の効率的な繁殖・育成システムの確立を目指し、イヌ凍結精液の質的向上に向けた検討を進めてきた。

以上より本派遣では、欧米における盲導犬繁殖の現状および生殖工学技術のイヌ繁殖への応用に向けた最新の知見について調査することを目的とした。

2. 概要

派遣国は、盲導犬繁殖において世界第2位の規模を持つアメリカ合衆国とした。日程および派遣先として、2014年1月9-15日にネバダ州リノに滞在し、第40回国際胚移植学会(40th International Embryo Transfer Society (IETS) Annual Conference)に出席した。続いて、1月15-19

日にカリフォルニア州サンラフェルに滞在し、アメリカ合衆国で最大規模の盲導犬育成施設である Guide Dogs for the Blind (GDB)に訪問した。また、1月19-27日に、同州デービス市に滞在し、カリフォルニア大学デービス校(UC Davis)の Department of Population Health and Reproduction と Department of Anatomy, Physiology & Cell Biology の2研究室を訪問した。

3. イヌ精子凍結希釈液への抗酸化剤添加による効果

凍結融解時には精子の代謝および運動により大量の活性酸素種(ROS)が発生し精子へ酸化ストレスをもたらしている。耐凍能の低いイヌ精子において、ROSの悪影響を軽減することは重要な課題である。そこで、イヌ精子凍結希釈液の改良を目指し、凍結希釈液への還元型グルタチオン(GSH)添加がイヌ凍結融解精子へ及ぼす影響を解析した。その結果、凍結希釈液への5mMのGSH添加がイヌ凍結融解精子へ高い抗酸化効果をもたらすことが明らかとなった(図1)。さらに、GSH添加凍結精液を用いたTCIによる産仔獲得に成功した。以上の成果を「EFFECTS OF VARYING GLUTATHIONE CONCENTRATIONS IN SEMEN EXTENDER ON THE QUALITY OF FROZEN-THAWED CANINE SPERM」との演題でIETSにて発表させて頂いた(図2)²。質疑応答の場では凍結融解法や精子の耐凍性に関する動物種間の差や融解後の評価法について、国内外の研究者との情報交換を行った。

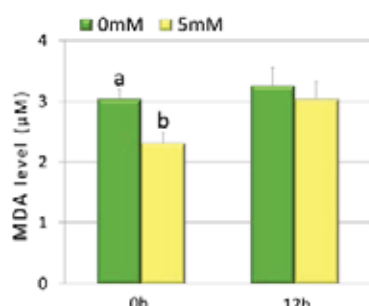


図1. 凍結希釈液へのGSH添加が凍結融解0および12時間後におけるイヌ精子の脂質過酸化に及ぼす影響
実験回数：5回、a-b：異符号間に有意差あり
融解0時間後においてGSH添加区では脂質過酸化の指標であるMDA量が有意に低下した。



図2. 発表したポスター

4. イヌ繁殖および精子凍結保存に関する研究動向

IETSでは、イヌ繁殖に関して卵子の体外成熟培養法の検討等の報告がみられた。また特別講演では低温生物学が種の保存やバイオバンクへ果たす役割、また種間差に対応する凍結法の確立の重要性等が報告された³。そこで、UC Davis Department of Anatomy, Physiology & Cell

Biology では、ウマ、サル等の異なる種における生殖工学技術に関する研修を行わせて頂いた(図 3)。凍結速度は凍結精子の質に影響する要因の一つである。研修では、プログラムフリーザーを用いた至適凍結速度の検討や、精子運動解析装置を用いた融解後の精子運動性評価等を学んだ⁴。これらは自身がイヌ精子で検討中のテーマとも関連が深く非常に勉強になった。



図 3

a : Prof. Meyers と派遣者

b : 精子運動解析装置

c : 受精時のサル精子および卵子

5. 盲導犬繁殖現場における生殖工学技術の活用

GDB 研修では、海外の盲導犬育成施設におけるイヌ精液凍結保存および TCI 技術の理論と手法を学ぶとともに、それらの実施・普及状況、および育種改良効果について調査した。日本と比較して特徴的であったのは、獣医療や繁殖、出産管理等への専門家の配置および分業体制である。そして、施設をはじめ職員数、イヌの頭数等、至る点における規模の大きさである。日本の盲導犬訓練施設が有する繁殖犬頭数の合計が約 150 頭であるのに対し、GDB では 177 頭を維持している。このような繁殖コロニーの大きさは、GDB 内の雌雄の組み合わせにおいても血統の偏りの少ないバリエーションに富んだ交配を可能とする。また、盲導犬繁殖において、繁殖犬のもつ遺伝的資質を正當に評価し、効果的な交配計画を立てることは重要である。GDB では繁殖および仔犬の育成を GDB 内で行うため、成長した仔犬の盲導犬としての成績について確実な追跡が可能である。その結果、繁殖犬ごとの遺伝的資質に関するデータ収集が容易となり、信頼性の高いデータに基づく交配を実施することができる。さらに、繁殖犬ごとの性周期や交配経歴、盲導犬産出率等のデータ管理や、イヌ繁殖に特化した人工授精ツールや検査キット等を導入しての効率的な繁殖体制がとられていた。その結果、GDB では年間で 302 頭もの盲導犬を輩出している。さらに、GDB では精子凍結保存および TCI が繁殖業務の一部として日常的に行われていた。しかしながら、凍結精液を用いた TCI による受胎率は 50%前後であり凍結精液の質に左右され不安定であるとの話を伺った。

6. 補助犬の普及に向けた他分野からのアプローチ

UC Davis Department of Population Health and Reproduction では、動物行動学的な知見を学ぶとともに、人と動物の関係性といった観点から補助犬全体を対象としたイヌ発生工学技術の効果および応用の可能性について調査を行った。ここでは犬種や雌雄、体格の差が行動特性や気質に与える影響が解析されていた(図 4)。このような行動学的研究の成果に基づく盲導犬

評価法の確立は、より良い繁殖犬の選定や盲導犬の適性試験に大きく貢献すると考えられる。また、補助犬ユーザーを対象とした補助犬普及に関する社会学的な調査について話を伺った。さらに、欧米では日本での介助犬にあたる **Service dog** と呼ばれるイヌの多岐に渡る活躍が着目され、その効果が検証されている(図 5)。以上の研究の発展は、社会における補助犬への認識、理解を高めるものであり、イヌの新たな活躍の場と需要を生み出すものとなると感じた。



図 4. 気質の犬種間差に関する講義の様子



図 5. 欧米において発展する Service dog

7. まとめ

アメリカ合衆国において、盲導犬の繁殖現場では、その効果が検証されながら生殖工学技術が活用される体制がとられていた。また、動物行動学分野では効率の良い盲導犬評価法の確立に貢献するイヌの行動特性や気質の分析が行われていた。さらには補助犬普及に関する研究や欧米での新たなイヌの役割を知り、社会におけるイヌの活躍の場の更なる拡大の可能性を感じた。日本における補助犬の繁殖・普及体制は海外での取り組みから学び、日本において可能な方法で取り入れることでさらに発展するものであると感じる。その一方で、イヌにおける生殖工学技術については、イヌ卵子をはじめとする繁殖生理の解明や凍結精子の質の向上に関する問題等、依然として課題の多く残るものであると認識できた。今後、イヌ精子凍結保存技術の発展に向けて更なる研究を進めたい。

謝辞

GDB 研修にてお世話になりました Ms. Heather Power、Mr. Jim Power を初めとするスタッフの皆様、ならびに、研修の仲介をして頂きました関西盲導犬協会 福井良太氏、UC Davis 研修にてお世話になりました Dr. Mariko Yamamoto、Prof. Lynette Hart、ならびに Prof. Stuart Meyers, Dr. Tomo Kurobe, Ms. Katie Klooster ら多くの皆様、また海外派遣の機会を与えて下さいました宇都宮大学 VBL 部門、そして指導教員である長尾慶和教授に、この場を借りて心よりの御礼を申し上げます。

参考文献

- 1) Wilson MS. Vet Clin North America. 2001;31;291–303.
- 2) K. Ogata et al., Reprod Fertil Dev. 2014;26;145.
- 3) Pierre Comizzoli and David E. Wildt. Reprod Fertil Dev. 2014;26;91–98.
- 4) Sumigama S and Meyers S. J Med Primatol 2012;41;278–283.

3.3-1

大学院教育プログラム

講義「先端科学・技術特論」の実施

工学研究科前期課程共通科目のひとつとして、VBL プロジェクトメンバーの教員が、それぞれの専門分野の新しい動向を中心に講義を行うことで、先端科学や技術についての知識を深めることを狙いとしています。VBL 部門の大学院教育プログラムとしての役割を果たしています。

(第3期プロジェクトの平成21年度から25年度の大学院教育プログラムを掲載)

平成21年度のテーマと担当者

回	月 日	テーマ	担当教員
1	4月15日	(説明, 受講者抽選)	井本英夫 教授(工)
2	4月22日	生体画像診断装置について	嶋脇聡 准教授(工)
3	5月1日	超伝導エレクトロニクス最前線	入江晃亘 准教授(工)
4	5月13日	廃棄物処理・処分技術と地球環境負荷問題	今泉繁良 教授(工)
5	5月20日	ダイヤモンドの電気化学	吉原佐知雄 准教授(工)
6	5月27日	木質系バイオマスを用いたバイオリファイナリー	横田信三 准教授(農)
7	6月3日	高分子ヒドロゲルの高機能化と利用技術	加藤紀弘 教授(工)
8	6月10日	バイオサイエンス研究の最先端	松田勝 准教授(農)
9	6月17日	電気・磁気を利用した新しい精密加工技術	鄒艶華 准教授(工)
10	6月24日	HDD(ハードディスクドライブとナノ磁性体)	石井清 教授(工)
11	7月1日	微生物間情報伝達機能制御による病原性抑制技術の開発	池田宰 教授(工)
12	7月8日	マルチメディアコンテンツの作成支援	東海林健二 准教授(工)
13	7月15日	有機半導体材料の開発と現状	伊藤智志 助教(工)
14	7月22日	サステナビリティと水 ～新しい水再生技術としての磁化活性汚泥法の挑戦～	酒井保蔵 准教授(工)

平成22年度のテーマと担当者

回	月 日	テーマ	担当教員
1	4月14日	(説明, 受講者抽選)	単躍進 准教授(工)
2	4月21日	超臨界流体を用いた先端技術	蒔田真昭 准教授(工)
3	4月28日	パワーエレクトロニクス ～電気エネルギーの折り紙細工～	船渡寛人 准教授(工)
4	5月12日	環境負荷低減をめざした構造材料	高山善匡 准教授(工)
5	5月19日	家畜が活躍する再生医学研究の最前線	長尾慶和 教授(農)
6	5月26日	シーズとニーズを繋ぐ研究開発を担う	水上富士夫 教授(客員)
7	6月2日	ゲノム研究の進展と昆虫研究の変化	川崎秀樹 教授(農)
8	6月9日	コンクリートの耐久設計の新しい手法	榊田吉弘 教授(工)
9	6月16日	分子膜の化学	飯村兼一 准教授(工)
10	6月23日	プラズマと電磁波	湯上登 教授(工)
11	6月30日	表面科学研究の最前線	江川千佳司 教授(工)
12	7月7日	計算機の高速化を担うアーキテクチャ技術の現状と展望	横田隆史 教授(工)
13	7月14日	表面分析およびISO・JISの最新動向	鈴木昇 教授(工)
14	7月21日	有機超分子からナノテクノロジーへ ～トップダウン技術からボトムアップ技術への転換を目指して～	平谷和久 教授(工)
15	7月28日	ロボットと感性	尾崎功一 准教授(工)

平成 23 年度のテーマと担当者

回	月 日	テーマ	担当教員
1	4 月 13 日	(説明, 受講者抽選)	吉原佐知雄 准教授(工)
2	4 月 20 日	環境負荷低減を目指す最終処分場建設技術	今泉繁良 教授(工)
3	4 月 27 日	ハードディスクドライブにおける高密度磁気記録技術	石井清 教授(工)
4	5 月 11 日	磁気研磨加工技術の開発と応用	鄒艶華 准教授(工)
5	5 月 14 日	高分子ヒドロゲルの高機能化と利用技術	加藤紀弘 教授(工)
6	5 月 18 日	センシングバイオテクノロジー ～生体分子の標識計測と非標識計測～	前田勇 准教授(農)
7	5 月 25 日	分子生物学が切り拓く本能的脳機能研究の最前線	飯郷雅之 准教授(農)
8	6 月 1 日	ゼオライトの科学と応用	水上富士夫 教授(客員)
9	6 月 8 日	メタ戦略を中心とした実用的な最適化アルゴリズム	外山史 助教(工)
10	6 月 15 日	タケ類における花成遺伝子の研究と応用の可能性	小林幹夫 教授(農)
11	6 月 18 日	ダイヤモンドの電気化学	吉原佐知雄 准教授(工)
12	6 月 22 日	重質油改質研究の現状と展望	佐藤剛史 助教(工)
13	6 月 29 日	異分野技術融合のケーススタディ ～微生物による水浄化に磁気分離を利用したらこんなことが できるようになりました～	酒井保藏 准教授(工)
14	7 月 6 日	先端の医療計測機器	嶋脇聡 准教授(工)
15	7 月 13 日	超伝導技術の進展	入江晃亘 教授(工)

平成 24 年度のテーマと担当者

回	月 日	テーマ	担当教員
1	4 月 11 日	(説明, 受講者抽選)	吉原佐知雄 准教授(工)
2	4 月 18 日	環境負荷低減を目指す最終処分場遮水技術	今泉繁良 教授(工)
3	4 月 25 日	RC造建築物の耐久設計に関する最新の知見	榎田吉弘 教授 (工)
4	5 月 9 日	分子膜の化学	飯村兼一 准教授(工)
5	5 月 16 日	光と電磁波	湯上登 教授 (工)
6	5 月 23 日	固体表面が関わるナノ構造の分析法	岩井秀和 助教 (工)
7	5 月 30 日	ゼオライトの科学と応用	水上富士夫 教授(客員)
8	6 月 6 日	高耐火性能を有する新規不燃材の開発	吉澤伸夫 教授(農)
9	6 月 13 日	バイオサイエンスの最先端	松田勝 准教授(農)
10	6 月 20 日	高性能コンピュータアーキテクチャとその利用技術	大津金光 准教授(工)
11	6 月 27 日	超臨界流体を用いた革新技術	蔑田真昭 准教授(工)
12	7 月 4 日	流体材料への展開を目指したナノ材料分散系の設計	佐藤正秀 講師(工)
13	7 月 11 日	ロボットの知能化技術	尾崎功一 教授(工)
14	7 月 18 日	高速・高精度に位置を決める制御技術	平田光男 准教授(工)
15	7 月 25 日	環境負荷低減をめざした構造材料	高山善匡 教授(工)

平成 25 年度のテーマと担当者

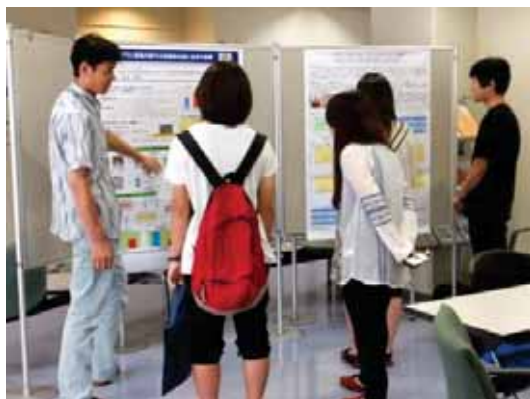
回	月 日	テーマ	担当教員
1	4 月 10 日	(説明, 受講者抽選)	吉原佐知雄 准教授(工)
2	4 月 17 日	CG による人表現の技術	森博志 助教(工)
3	4 月 24 日	ゼオライトの科学と応用	水上富士夫 教授(客員)
4	5 月 8 日	先端の医療計測機器	嶋脇聡 准教授(工)
5	5 月 15 日	クローン動物と iPS 細胞ーノーベル賞受賞に寄せて	長尾慶和 教授(農)
6	5 月 22 日	超伝導エレクトロニクス	入江晃亘 教授(工)
7	5 月 29 日	「塗る太陽電池」用有機半導体材料の開発	伊藤智志 助教(工)
8	6 月 5 日	昆虫と昆虫ウイルスを利用したバイオテクノロジー	岩永将司 准教授(農)
9	6 月 12 日	高分子ヒドロゲルの高機能化と利用技術	加藤紀弘 教授(工)
10	6 月 19 日	次世代化学技術	佐藤剛史 准教授(工)
11	6 月 26 日	ダイヤモンドの電気化学	吉原佐知雄 准教授(工)
12	7 月 3 日	電気・磁気を利用した新しい精密加工技術	鄒 艶華 准教授(工)
13	7 月 10 日	超高密度磁気記録技術(ハードディスクの原理)	石井清 教授(工)
14	7 月 17 日	細菌の遺伝子組み換え技術と環境バイオテクノロジー	諸星知広 准教授(工)
15	7 月 24 日	異分野の融合技術ケーススタディ 磁気分離を利用する磁化活性汚泥法の開発研究	酒井保藏 准教授(工)

3.3-2

2013 オープンキャンパス公開報告

平成 25 年 7 月 21 日（日）、進学を希望する高校生と一般市民の方々を対象とした「2013 宇都宮大学オープンキャンパス」が開催され、VBL 棟には 127 名の見学者があった。VBL では、1 階ロビーと 2 階ブレインコミュニケーションルームにてポスドクによる研究公開を行い、VBL 棟のプロジェクト実験室を使用している研究者による実験室公開も行った。展示の様子を以下に紹介する。

公開展示の様子



ポスターにて研究紹介

出展協力者 ポスドク（サラントラガ、高島有哉）



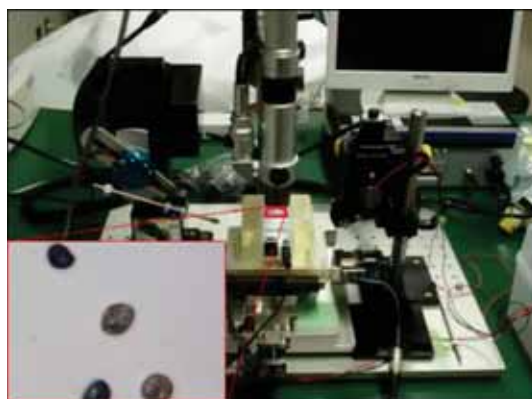
「有機 EL 材料を使った光るしおりの作成」

伊藤智志研究室の学生



「小型ヘリコプター操作体験」

尾崎研究室の学生



「顕微鏡を用いた花粉観察システム」

出展協力者 ポスドク（大澤茂治）



精密加工研究室公開



鄒研究室の学生

3.3-3 2013 全国 VBL フォーラム参加報告

VBL コーディネーター 倉山 文男

平成 25 年 9 月 27 日（金）、28 日（土）に福井大学にて「2013 年度第 10 回全国 VBL フォーラム」が開催された。本フォーラムは、全国の大学に設置されているベンチャー・ビジネス・ラボラトリー（VBL）および産学連携支援組織の間における情報交換の場を提供する目的で開催されるフォーラムである。今回は、「VBL の意義と今後のあり方ー昨年度からの継続課題 教育・活動の組織の検討ー」と題し、各大学の VBL 組織の多くが再編や他の組織との統合などが進んでいる現状を踏まえ、VBL がベンチャー企業の創出のみを一義な使命とする組織ではなく、大学教育における学生の“アントレプレナーシップ”を涵養する使命を有する組織であることが確認された。また、アントレプレナーシップ教育のための教科書の執筆、各機関の具体的な取り組み、内容などについて、より深く議論された。さらに、各大学の VBL 組織のあり方などに関する文部科学省への提起、ワーキンググループの発足についても検討された。

以下にプログラムを示す。

【開催概要】

開催日程：2013 年 9 月 27 日（金）13:30－19:00

28 日（土）9:00－12:45

場所：福井大学文京キャンパス総合研究棟 I （福井県福井市文京 3-9-1）

【プログラム】

【9 月 27 日（金）】

14:00－14:05 主催者挨拶

14:05－15:05 基調講演 出縄良人氏（日本クラウド証券株式会社 取締役会長）

演題「クラウドファンディングを活用した、地域企業ならびに大学発ベンチャーの資金調達」

15:15－15:30 報告 三枝省三氏（広島大学産学・地域連携センター 教授）

「アントレプレナーシップ教育ワーキンググループ報告」

15:30－17:00 分科会（報告ならびに大会参加教職員による意見交換）

（テーマ 1）大会議室「VBL の教育について」

（テーマ 2）多目的会議室「VBL の組織のあり方」

17:00－17:20 情報交換会

【9月28日（土）】

9：40－10：10 ポスター展示セッション

10：10－10：30 講演 中澤恵太氏（文部科学省産業連携・地域支援課 課長補佐）
「文部科学省のベンチャー支援への取り組み（仮）」

10：30－11：45 分科会意見集約発表と議論

（テーマ1）VBL の教育について

（テーマ2）VBL の組織のあり方

11：45 閉会の言葉

12：00－12：45 施設長会議（総合研究棟 13 階多目的会議室）

V B L 講演会

Venture Business Laboratory

■ 日時 平成25年 **11月12日(火)** 14:30～16:30

■ 場所 アカデミアホール(宇都宮大学工学部) 宇都宮市陽東7丁目1番2号

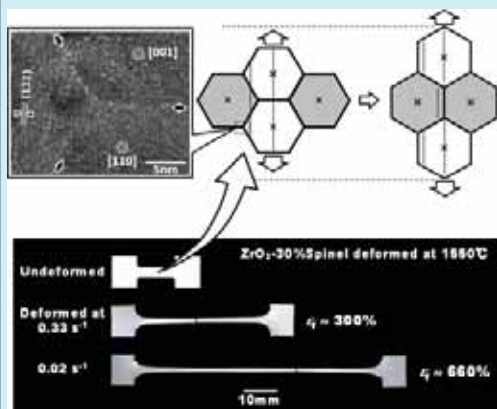
講演Ⅰ セラミックスの超塑性—発現機構の解明に基づく材料開発—

(14:30～15:30)

講師 **もりた こうじ**
森田 孝治 氏

独立行政法人 物質・材料研究機構(NIMS) 先端材料プロセスユニット

セラミック材料グループ 主幹研究員



結晶性材料が高温において200%以上の引張変形を発現する現象を「超塑性(JIS H 7007)」といい、金属系材料を中心に研究が進められてきました。現在では、数秒で数百パーセント以上の大変形が可能な「高速超塑性」材料および技術が開発され、各種工業部材の精密塑性加工に活用されています。一方、剛体と見なされるセラミックスは、高温においても十分な塑性変形を示さないと考えられていましたが、組織の細粒化や最適化などの研究の進歩により、今では金属に匹敵する高速超塑性を発現することが確認されています。

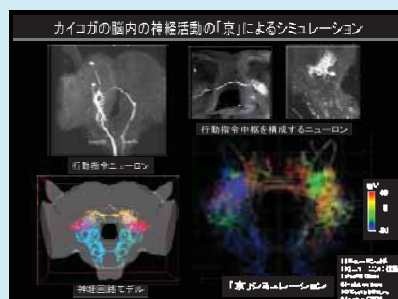
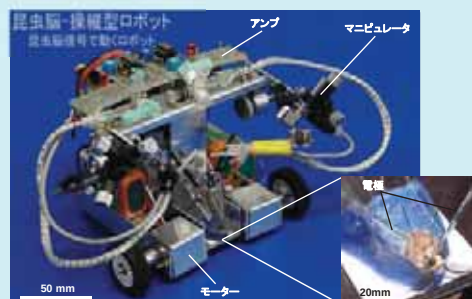
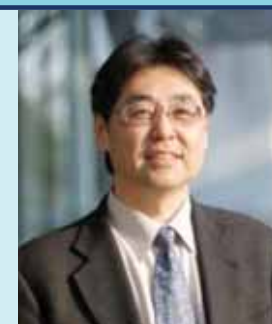
本講演では、セラミックス超塑性の変形機構の解明から、発現機構に基づく材料の組織制御指針の構築、最終的に高速超塑性の実現に至った一連の研究成果を中心にご紹介させて頂きたいと思います。

講演Ⅱ 昆虫力を観る・知る・利用する—遺伝子・ニューロン・脳からロボットへ—

(15:30～16:30)

講師 **かんざき りょうへい**
神崎 亮平 氏

東京大学 先端科学技術研究センター副所長 教授 日本比較生理生化学会 会長



昆虫は微小な寸法という制約の中で、センサ系・脳神経(処理)系・運動系を発達させ、さまざまに変化する環境下で、我々の想像を超えた機能を発揮します。このような能力を「昆虫力」と言います。昆虫の単純・高速・経済的な処理能力は工学設計においても重要な手本となります。数十分子の匂いを検知する昆虫の嗅覚機能を再現したセンサや、昆虫自体をインテリジェントなセンサに改変することも遺伝子工学により可能になってきました。また匂い源探索や複眼の機能を活用した衝突回避ロボットの開発、さらには京スーパーコンピュータによる昆虫脳の再現など、昆虫力の魅力と次代の技術としての応用に迫ります。

主 催 宇都宮大学地域共生研究開発センター大学院VBL部門

共 催 宇都宮大学大学院工学研究科、宇都宮大学農学部

連絡先 VBL事務局 TEL&FAX 028-689-7006

平成 25 年度 大学院 VBL 部門非常勤研究員(ポスドク)および

ヤングベンチャースカラーシップ(博士課程前後期課程学生)研究成果報告会(ポスターセッション)

Poster Presentation by Postdoctoral and Young Scholars, VBL, Utsunomiya University

日時: 2014 年 3 月 6 日 (木) 11:30~13:30

場所: 宇都宮大学工学部 10 号館 エントランスホール

主催: 宇都宮大学地域共生研究開発センター大学院 VBL 部門

共催: 宇都宮大学

奇数番号: 前半(11:30~12:30) 偶数番号: 後半(12:30~13:30)

非常勤研究員(PD)

1. 大澤 茂治 (計測・ロボット工学 尾崎 功一 研究室)
マイクロ視野における画像計測およびその実用化
2. サラントラガ (家畜繁殖生理学 長尾 慶和 研究室)
イヌ卵子の体外成熟培養に関する研究
3. 高島 有哉 (森林資源利用学 横田 信三 研究室)
木質・リグノセルロース廃棄物を原料としたオゾン酸化・酵素糖化法によるバイオアルコール生産技術の開発

ヤングベンチャースカラーシップ(研究グラント)

4. 岩館 丈央 (連合大学院農学研究科 指導 二瓶 賢一 准教授)
テロシナーゼによる酸化反応に着目した新規天然生理活性物質の開発
5. 李 曉赫 (工学研究科 指導 杉山 央 教授)
高強度コンクリートの強度特性に及ぼす初期湿潤養生条件の影響
6. 上田 智聡 (連合大学院農学研究科 指導 横田 信三 教授)
シイタケ菌床栽培における菌体外酵素の経時変化及び菌体外タンパク質の網羅的解析
7. Fanny Hidayati (連合大学院農学研究科 指導 横田 信三 教授)
Effect of radial growth on anatomical characteristics and wood properties of 5-year-old *Gmelina arborea* planted in Indonesia
8. 山口 美緒 (連合大学院農学研究科 指導 長尾 慶和 教授)
放牧が乳牛の乳質に及ぼす影響に関する栄養学および行動学的解析
9. 緒方 和子 (連合大学院農学研究科 指導 長尾 慶和 教授)
細胞内氷晶形成の軽減によるイヌ精子凍結保存法の確立
10. 今井 拓人 (バイオサイエンス教育研究センター 指導 松田 勝 准教授)
雄性化変異体メダカを用いた産業有用魚種の性統御法開発に向けた基礎研究
11. 石川 慎二 (オプティクス教育研究センター 指導 早崎 芳夫 教授)
複素振幅型デジタル超解像顕微鏡法
12. Wiwin Tyas Istikowati (連合大学院農学研究科 指導 横田 信三 教授)
Evaluation of wood properties for pulp production from three less known fast-growing species growing in Kalimantan, Indonesia
13. 田邊 純 (連合大学院農学研究科 指導 横田 信三 教授)
41 年生エゾマツ精英樹家系におけるマイクロファブリル傾角の変異
14. 志波 幸 (工学研究科 指導 鈴木 昇 教授)
カプセル型マイクロリアクターを用いたバイオディーゼル燃料合成
15. 豊田 彩 (工学研究科 指導 飯村 兼一 准教授)
光合成タンパク質ユニットを用いた組織化分子膜の構築と光機能材料への応用
16. 成田 直広 (工学研究科 指導 酒井 直隆 教授)
サイボーグロボットの開発に関する研究
17. 佐藤 柊平 (工学研究科 指導 佐藤 剛史 准教授)
溶存水素を検知するパラジウム水素センサーの開発
18. 男庭 正規 (工学研究科 指導 嶋脇 聡 准教授)
肘関節屈曲・回旋時における靱帯変形の有限要素解析

見 学 自 由

ご来訪を歓迎いたします

19. 細川 光 (工学研究科 指導 高山 善匡 教授)
反応拡散を利用した摩擦撹拌による異種箔材接合技術の開発
20. 野村 光 (工学研究科 指導 伊藤 直次 教授)
パラジウム触媒膜を用いたエチレン部分酸化による各種誘導体の合成
21. 植竹 大地 (工学研究科 指導 横田 隆史 教授)
E P G A を用いた航海画像安定化に関する研究
22. 荒井 裕介 (工学研究科 指導 大津 金光 准教授)
A n d r o i d O S 上での無線接続型クラスタ計算機システムの構築技術に関する研究開発
23. 鈴木 遼人 (工学研究科 指導 佐藤 美恵 准教授)
高い現実感で仮想物体を「掴む」ことに着目したA R装置の開発
24. 圓谷 友紀 (工学研究科 指導 里 周二 教授)
高速大規模電磁界解析に資する並列化有限要素法の基礎研究
25. 大塚 雅哉 (工学研究科 指導 入江 晃亘 教授)
高温超伝導体固有ナノ構造を用いた新機能スピンドバイスの開発
26. 斉藤 悠生 (工学研究科 指導 伊藤 智志 助教)
グラム陰性菌のQ u o r u m S e n s i n g 制御を目指したシクロデキストリン誘導体の合体と改良
27. 坪山 祥子 (バイオサイエンス教育研究センター 指導 児玉 豊 助教)
苔類ゼニゴケをモデルとした植物のゲノム改変技術の開発
28. 原 明日香 (農学研究科 指導 長尾 慶和 教授)
ウシおよびヒツジにおける乳腺組織の構築過程
29. 小田垣 成美 (農学研究科 指導 東 徳洋 教授)
乳脂肪球被膜 (M F G M) によるメタボリックシンドローム抑制に関する研究
30. 中川 拓也 (農学研究科 指導 関本 均 教授)
イネのヨウ素吸収・移行に関する遺伝子の単離と機能解析
31. 栗林 美早 (農学研究科 指導 高橋 美智子 准教授)
シロイヌナズナA t C L C a トランスポーターの解析と高ヨウ素含有イネの作出
32. 市川 拓朗 (農学研究科 指導 横田 信三 教授)
アゼライン酸処理をしたシラカンバ幼植物体N o . 8 の各器官に生成する特異的タンパク質の網羅的解析
33. 相蘇 春菜 (農学研究科 指導 石栗 太 准教授)
数種の熱帯産業植林樹種におけるあて材の組織構造およびリグニン分布
34. 工藤 祐司 (農学研究科 指導 飯塚 和也 准教授)
カラマツ人口交配家系における木材性質および遺伝的特性
35. 藤原 麻美 (農学研究科 指導 山田 潔 講師)
超高压下酵素処理を用いた β -ラクトグロブリンの低アレルゲン化とその評価方法の確立
36. 小菅 克弥 (農学研究科 指導 飯郷 雅之 教授)
魚類の季節繁殖を制御する新規脳内分子機構の解析

ヤングベンチャースカラーシップ (国際会議奨励グラント)

ポスター掲示のみ

37. 永田 智洋 (工学研究科 指導 森 大毅 准教授)
次元に基づく表情豊かな対話音声合成のための重回帰HMMパラメータのロバストな推定
38. 小池 慎一郎 (農学研究科 指導 吉澤 史明 教授)
トリプトファン経口投与による肝臓タンパク質合成促進作用の作用機序解析
39. 松本 茂樹 (工学研究科 指導 吉田 勝俊 教授)
不可視な人工の個体と協調するヒトのバランス運動に関する実験的研究
40. 石田 潤 (工学研究科 指導 佐藤 剛史 准教授)
エタノールによる酢酸のエステル化のためのH Y ゼオライト触媒膜
41. 山村 秀 (工学研究科 指導 佐藤 正秀 准教授)
フッ素化炭化水素ベースナノ流体の合成と伝熱制御への応用
42. 佐川 聡 (工学研究科 指導 伊藤 直次 教授)
非対称多孔質管を用いたポアスルー型触媒膜反応器の開発

お問い合わせ先

宇都宮大学 地域共生研究開発センター大学院 VBL 部門

コラボレーションセンター VBL棟 1階 管理室

TEL : 028-689-7006 E-mail : vbl@cc.utsunomiya-u.ac.jp

3.3-6

平成 25 年度VBL 活動の様子

1) 先端科学・技術特論 授業風景



2) 海外若手研究者報告会



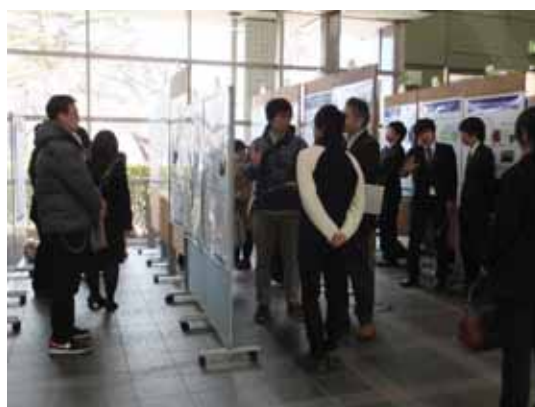
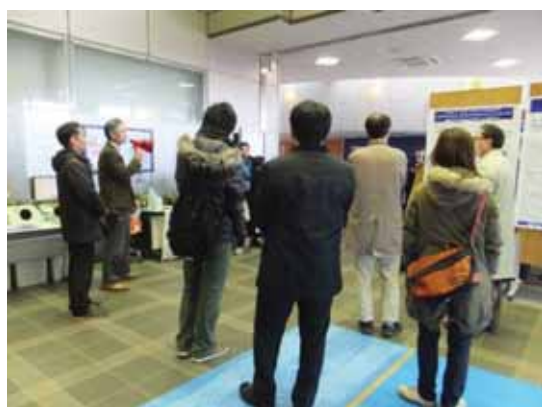
3) 招聘外国人講演会



4) VBL 講演会



5) 非常勤研究員・ヤングスカラー研究成果報告会



4. 編 集 後 記

VBL 部門最後の1年に立ち会って

大学院 VBL 部門長 高山 善匡

平成25年4月に VBL 部門長を仰せつかりましたが、地域共生研究開発センター長より部門改組案作成の命を受け、慣れない部門運営と並行して周りの先生方のご意見ご指示をいただきながら改組案をまとめた1年でした。以下、前部門長から引き継いで実施した VBL 部門の各事業について振り返りたいと思います。

●**VBL プロジェクト研究** プロジェクト研究は、VBL 部門の前身である SVBL が 1998 年 10 月に発足して以来、1999 年から5年単位で進められてきました。第1期（1999.4～2004.3）16プロジェクト、第2期（2004.4～2009.3）19プロジェクト、第3期（2009.4～2014.3）28プロジェクトと当初の工学系に限定されたプロジェクトテーマから農学系も含めた多岐にわたる分野に拡大してきたと言えます。一方で、独創的、創造的な研究開発を推進する上では、研究支援の集中が必要とされる状況にもありました。

●**中核的研究機関研究員（VBL ポスドク）** これも SVBL 発足以来継続している事業ですが、ポスドクを採用し、プロジェクト研究に関与している教員に配置しています。年間3～4名の枠は、各プロジェクトの推進に貢献し、本学博士課程修了者にとっても次のステップへ飛躍するための中継ポジションとして貴重なポストとなっています。

●**ヤングスカラーシップ** 伊藤直次前部門長のご提案により平成25年度より VBL ヤングベンチャースカラーシップは研究グラント（旧ヤングスカラーシップ）に、海外での研究発表を奨励するための国際会議奨励グラントを新設して、大学院学生諸君のグローバルな成果発信を奨励することになりました。国際会議での発表は、大学院生にとって貴重な経験であり、この新設グラントはそれを支援する新たな試みとなっています。平成25年度は新設グラントとの関係もあり、募集期間が年度初めになっており、前年度と異なることで混乱がありました。ご迷惑をお掛けした教職員・学生の皆様にこの場をお借りしてお詫び申し上げます。

●**海外派遣若手研究者** これまで40歳以下の若手教員を対象として、1ヶ月くらいの海外研究滞在を支援しましたが、平成25年度は対象を45歳以下の方に広げ DC 学生も可としました。また、これまで毎年1名を派遣してきましたが、平成25年度は教員1名と DC 学生1名の計2名を派遣しました。年度末の派遣報告会では今回の派遣により有意義な研究と研修の成果が得られたことが報告され、特に派遣された DC 学生からは採択の感謝とともに極めて貴重な経験が出来たことと今後もこの制度が後輩学生に対しても生かされることを願う意見が述べられました。

●**先端科学・技術特論** VBL 部門のプロジェクトリーダーが中心となって講師を務める本講義を開講し、62名の大学院生が受講しました。

●**VBL 講演会** 例年、工学系農学系の講師をお一人ずつお招きし、11月に貴重な講演をしていただいております。世話教員のご尽力により、毎年有意義な講演会が開催されておりますが、部門として講演会開催の趣旨を確認し、それに沿ったものにしていくべきであろうと考えます。

●**外部との交流等** 夏のオープンキャンパスでの VBL 部門としての公開を1階ロビーで続けました。ポスドクの方々を中心に、例年同様 VBL 部門の活動に関わる展示を行いました。また、新しい体制となり、倉山文男 VBL コーディネータの努力により、ホームページの充実に取り組んでおります。

●**VBL 部門の新体制と管理室** 図らずも VBL 部門最後の年に立ち会うことになりました。VBL 部門最後の1年を大過なく終えられましたのも、鈴木 昇地共センター長はじめ、入江 晃亘 基礎研究推進室長、東海林 健二 連携研究推進室長、倉山 文男 VBL コーディネータ、齊藤 歌織 事務補佐、地共センター関係者の方々のご指導とご協力のお蔭と感謝致しております。

最後に、1998年10月より15年半の SVBL・VBL・大学院 VBL 部門の活動に対するご理解とご協力に心より感謝申し上げます。引き続き、新部門へのご協力とご支援を賜りますように、お願い申し上げます。

5. VBL 連絡先

○VBL 研究開発プロジェクトの内容を詳しく知りたい方

- ・個々の研究プロジェクトの研究成果報告書に記載されている研究代表者に、直接お問い合わせください。
- ・あるいは、下記の CDI 事務室にお問い合わせください。

○VBL との共同研究を開拓し、推進されたい方

- ・個々の研究プロジェクトの研究成果報告書に記載されている研究代表者に、直接お問い合わせください。
- ・あるいは、宇都宮大学地域共生研究開発センターにご連絡ください。

電話：028-689-6316（広報室） Fax：028-689-6320

E-mail：chiiki@miya.jm.utsunomiya-u.ac.jp

○VBL 施設・大型研究設備の見学など

- ・下記の CDI 事務室にお問い合わせください。

○CDI 事務室(H26.4 大学院 VBL 部門からイノベーション創成部門(CDI)に改組)

所在地：〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東 7-1-2

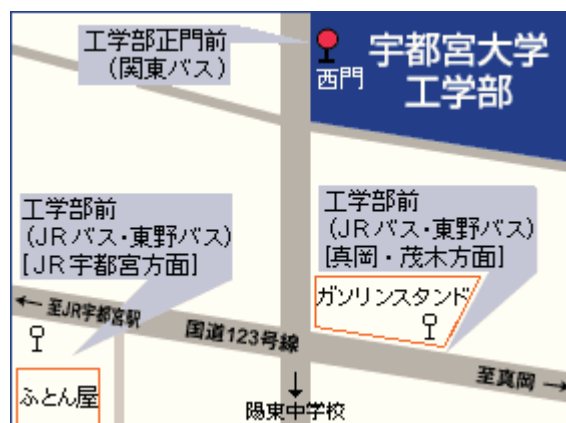
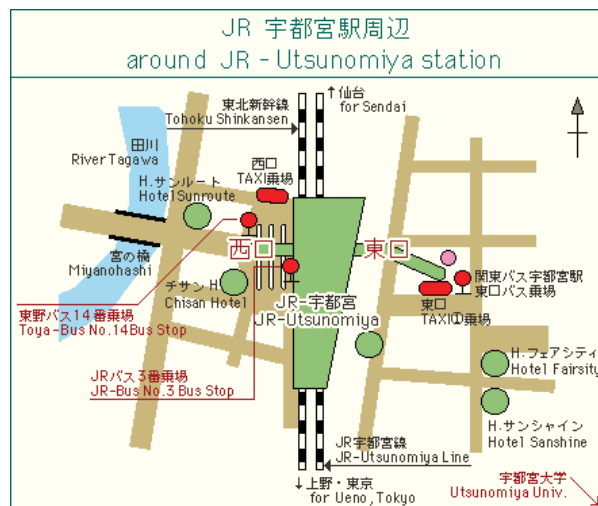
宇都宮大学地域共生研究開発センター イノベーション創成部門

部門長：高山 善匡教授

事務室：電話&Fax：028-689-7006（直通）

http://118.82.78.28/collabo/contents/?category_id=4

ACCESS MAP



JRバス(祖母井、茂木、清原球場、ベルモール前行など)

■JR宇都宮駅

JR宇都宮駅西口バス乗場3番乗場で乗車「工学部前」下車JR宇都宮駅から約20分

「工学部前」下車:JR宇都宮駅から約20分

■東武宇都宮駅

「東武駅前」バス停(東武宇都宮駅西口から徒歩2分)で乗車

「工学部前」下車:「東武駅前」から約30分

東野バス(真岡、益子、岡新田行など)

■JR宇都宮駅

JR宇都宮駅西口バス乗場14番乗場で乗車

「工学部前」下車:JR宇都宮駅から約20分

■東武宇都宮駅

東武宇都宮駅西口バス乗場1番乗場で乗車「工学部前」下車「東武駅前」から約30分

「工学部前」下車:「東武駅前」から約30分

関東バス

■JR宇都宮駅

JR宇都宮駅東口バス乗場でみやバス宇大循環線に乗車

「工学部正門前」下車:JR宇都宮駅東口から約15分

タクシー:JR宇都宮駅東口乗場から約10分、東武宇都宮駅西口乗場から約20分



連絡先

所在地 〒321-8585 宇都宮市陽東7-1-2

宇都宮大学 地域共生研究開発センター イノベーション創成部門

事務室 TEL:028-689-7006 FAX:028-689-7006

E-mail:cdi@cc.utsunomiya-u.ac.jp

ホームページアドレス http://118.82.78.28/collabo/contents/?category_id=4

編集・発行:平成26年12月宇都宮大学地域共生研究開発センターイノベーション創成部門