



技報



K O M A K U S A • 2013.10•

研究助成
報告

再生可能エネルギー貯蔵給電装置の提案

電気電子工学科 田代晋久

セルラーゼの酵素反応を促進する新規タンパク質(スオレニン)の機能解析

物質工学科 野崎功一

技報「こまくさ」第11号の発刊にあたって

一般財団法人信州大学工学部若里会 副理事長 清水保雄

| 研 究 室 紹 介 |

メカトロニクス要素技術の開発と応用

機械システム工学科 准教授 辺見信彦

田中・エルナン・秋本研究室

電気電子工学科 教授 田中清・准教授 エルナン・アギレ・助教 秋本洋平

清水(橋梁)研究室紹介

土木工学科 教授 清水茂

建築物の耐震・耐風を目指して

建築学科 教授 中込忠男

無機材料化学研究室(樽田研)の紹介

物質工学科 教授 樽田誠一

アサノ研究室紹介

役に立つ情報システムを目指しています。あなたも使いたくなる？

情報工学科 准教授 アサノ・デービッド・ケン

計算流体力学研究室

環境機能工学科 准教授 吉田尚史

目 次

技報「こまくさ」第11号の発刊にあたって

／一般財団法人信州大学工学部若里会 副理事長 清水 保雄…………… 1

研究助成報告

再生可能エネルギー貯蔵給電装置の提案

／電気電子工学科 田代 晋久…………… 2

セルラーゼの酵素反応を促進する新規タンパク質（スオレニン）の機能解析

／物質工学科 野崎 功一…………… 6

研究室紹介

メカトロニクス要素技術の開発と応用

／機械システム工学科 准教授 辺見 信彦…………… 11

田中・エルナン・秋本研究室

／電気電子工学科 教授 田中 清・准教授 エルナン・アギレ・助教 秋本 洋平…………… 12

清水（橋梁）研究室紹介

／土木工学科 教授 清水 茂…………… 14

建築物の耐震・耐風を目指して

／建築学科 教授 中込 忠男…………… 16

無機材料化学研究室（樽田研）の紹介

／物質工学科 教授 樽田 誠一…………… 17

アサノ研究室紹介～役に立つ情報システムを目指しています。あなたも使いたくなる？

／情報工学科 准教授 アサノ・デービッド・ケン…………… 19

計算流体力学研究室

／環境機能工学科 准教授 吉田 尚史…………… 20

技報「こまくさ」第11号の発刊にあたって

一般財団法人信州大学工学部若里会
副理事長 清水 保雄



一般財団法人信州大学工学部若里会（以下、「若里会」）は、前号の巻頭言で神田鷹久理事長からも報告されましたように、昭和62年に設立された財団法人信州大学工学部若里会（以下、「旧若里会」）から、一昨年10月に長野県知事より認定を得て、昨年4月に新法人として発足しました。

ところで、工学部に在籍される本誌読者の皆様でも、「若里会」と信州大学工学部同窓会（以下、「同窓会」）が同じ組織であるように認識されている方が少なくないように思われます。両者は相互に補完する密接な関係で活動していますので止むを得ない事情もありますが、名称が異なる様にそれぞれは別の組織です。「同窓会」は、「若里会」にとっては財政上の唯一無二の強力な支援組織ですが、会員のための会員による任意団体です。

なぜこの二つが工学部に存在するのでしょうか。それは「旧若里会」の創設の歴史的経緯を知ることにより理解できます。即ち、「旧若里会」は、信州大学工学部創設35周年記念事業の一環として購入した同窓会館建設予定地と戸隠山荘の土地・建物などの同窓会の不動産及び動産を管理し、また、社会的に認知される会員組織として公益性のある諸活動を通じて公的に認められた組織を置くことを目的として、長野県教育委員会から認可されました。その結果、例えば、同窓会の所有でありながら法律上個人名義で登記せざるを得ず、当該の個人に租税が課されるような状態にあった戸隠山荘の土地や同窓会館建設予定地が、ようやく「旧若里会」の名義で登記され、適切な管理ができるようになりました。一方で、責任ある法人として相当額の基本財産を備え、目的とする工学を基盤とした公益性と社会寄与に適う事業を行い、監督官庁（長野県教育委員会）へ年ごとに事業報告を行い承認を得ることが義務づけられました。こうして、「同窓会」と「旧若里会」の両者が存在して、それぞれが運営されて参りました。

そして、平成20年施行の「公益社団法人及び公益財団法人の認定等に関する法律」に基づき、公益財団が一般財団のいずれに移行するかの対応が迫られました。公益財団法人は、学術団体や学会等が適合し、当然ながら税制上の優遇措置を受けるために厳しい条件と複雑な手続きが必要でした。そこで「旧若里会」は、非営利型の事業をする限りにおいて法人税が非課税になるメリットを活かせ、且つ少ない基本財産でも運用が許される一般財団法人を選択し、長野県知事に申請、認可を受け「若里会」に転換しました。

本年度「若里会」は、既に理事会で承認いただいた方針に従い、下記の諸活動を展開するとともに、今後、「旧若里会」から受け継いだ土地などの休眠資産を売却し有効活用する策も迅速に追求しているところです。しかし、収益を目的とする事業は予定していませんので、当面は、「同窓会」からの寄付金の補助を確実な拠り所として活動して参ります。

平成25年度の本財団の主な事業計画は以下の通りです。

1) 技術情報誌「こまくさ」の発行、2) 工学に関する研究助成、3) 学部助成事業、4) 講演会および学会の開催助成、5) 県内高校生への支援

本誌「こまくさ11号」には、主に平成24年度の1) および2) に関するものを掲載しました。本誌発刊に当たり、ご投稿いただきました皆様と編纂にご尽力いただきました編集委員各位に感謝いたします。

末尾ながら、「若里会」への皆様の一層のご理解とご協力をお願い申し上げます。

再生可能エネルギー貯蔵給電装置の提案

信州大学工学部 電気電子工学科

准教授 田代 晋久



1 緒言

2007年欧州委員会はSetPlan（戦略的エネルギー技術計画）を提出した後、2009年にそのロードマップを公開した。その中には、2020年までに再生可能エネルギーを35%連系可能な電力システムの構築がある。自然エネルギーは無尽蔵に存在する半面、環境の変化で回収可能なエネルギーが大きく変動する。そのため、こうした変動に備えた電力貯蔵技術が重要である。キャパシタに電気エネルギーを蓄える方式は簡便であり一般的であるが、自己放電の問題や体積当たりの電力密度は限られる。そのため、SMES等で知られるように磁気エネルギーを蓄える方式の方が高効率に電力を貯蔵できる。SMESは超電導を用いるための冷媒や交流損失等の問題はあるが、大規模システムには利点を見いだせる。運動エネルギーを貯蔵する方式の中でもフライホイールは回転エネルギーとしてエネルギーを貯蔵するため、装置をコンパクトに構成できる。一方、電気エネルギーとして取り出す場合には発電機を直結して置き、磁気を介してエネルギーを取り出すフライホイールバッテリーという手法が一般的である。フライホイールは通常kW以上のエネルギー貯蔵をターゲットとして注目されており、高回転・大重量が一般的である。回転エネルギーを回収するという発想は、水力・風力発電に代表される技術で古くから行われている。しかし、通常は発電した電力をすぐに系統へ送るか蓄電池に貯めるという手法をとるため、水量・風量が小さい場合には極めて効率が悪い。回転エネルギーを得ることができない。

著者らは環境磁界発電という新規なアイデアを提案した。我々の生活環境下では、電力用の配線が張り巡らされているため、エネルギー送信用のアンテナ（コイル）が不要であるという大きなメリットを持つ。一方、エネルギー回収密度の観点から試作した装置を見直したところ、ICNIRP2010による生体への電磁界ガイドライン値である $200\mu\text{T}$ という磁界中から得られる体積当たりの電力密度は $130\mu\text{W}/\text{cm}^3$ に相当した。この値は、曇りの日の太陽光パネルの電力量はおよそ $150\mu\text{W}/\text{cm}^3$ であるため、

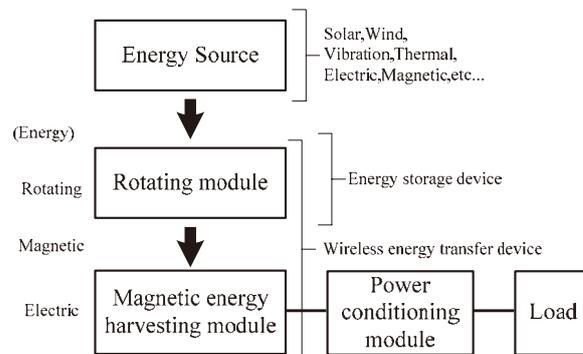


図1 環境発電用蓄電・非接触給電装置の概念図

注目に値する。空心コイルを用いるため、得られる電力量は磁界振幅の2乗に比例する。つまり、磁界振幅が千倍の 200mT を利用できれば、回収できる電力量は百万倍の $130,000,000\mu\text{W}/\text{cm}^3$ に増加する点に本研究のモチベーションを見出した。一方、前述のガイドラインが存在するため、産業应用のためには限られた領域に磁界を発生する必要がある。

本研究の目的は、環境によって大きく変動する再生可能エネルギーを、可能な限り有効に運動エネルギーとして貯蔵し、必要に応じて磁気エネルギーを媒体として非接触給電できるエネルギー貯蔵装置の開発を目的とする（特願2011-236368 エネルギー貯蔵装置、発明者：田代晋久）。具体的には、

- ①再生可能エネルギー（電気→運動）：
直流モータで対向配置磁石を回転
- ②対向配置磁石が回転（運動→磁気）：
近傍にのみ交流磁界を発生
- ③近傍の交流磁界（磁気→電気）：
環境磁界発電素子を近づけると発電を行う装置を提案し、試作したので報告する。

2 再生可能エネルギー貯蔵給電装置の構成

2.1 非接触エネルギー伝送装置

図1に著者らが開発の最終目標とする環境発電用蓄電・非接触給電装置の概念図を示す。本装置は、各種エネルギーを回転エネルギーとして貯蔵する「回転モジュール」と需要に合わせてエネルギーを非接触で給電する「磁界発電モジュール」で構成さ

れる。図2に1次試作機の概略図を示す。回転モジュールは、2つ円筒状永久磁石を対向配置（以降、対向配置磁石）した間に歯車形状磁性体（以降、歯車）を挟み製作した。また、非磁性棒を中心軸としてベアリングで保持している。現段階では、試作機の性能を評価するため、直流電圧源およびDCモータによって回転モジュールを回転させている。これにより回転モジュールから発生している直流磁界が周期的に変化するため、交流磁界を発生できる。この交流磁界を環境発電モジュールによって回収し、電力に変換する。

2.2 回転モジュール

対向配置磁石にすることで、径方向に大きな磁界を発生できる [1]。その間に適切な長さの円筒状磁性体（以降、円筒）を挟むと、対向配置磁石間の反発力が吸引力に変わる [2]。円筒を歯車形状に加工すると、磁性体径方向で磁界の強弱が生まれる。この歯車を挟んだ対向配置磁石を回転させることで、歯車近傍のみで交流磁界を発生できる。前報では、発生可能な交流磁界と最適な歯車の歯数と歯の深さの関係について報告した [3]。

図3に回転モジュールの形状を示す。回転モジュール用歯車の材質にはS45Cを用いており、永久磁石には、内径6mm、外径25mm、長さ10mm、表面磁束密度460mTのネオジム磁石を用いた。本報告では、図4のように回転モジュールの中心軸をz軸、径方向をr軸とする。

2.3 磁界発電モジュール

図5に本報告で用いた磁界発電モジュール用のコイル用ボビン（以降、巻心）を示す。巻心材料はPCパーマロイであり、全長は l [mm] は7~45mm、中央部にコイルを巻くため幅5mm、深さ5mmの狭窄部をもつ。製作したコイルは幅が5mm、内径が10mm、外径が20mm、巻数は450turnのBrooksコイルとした。図6に磁界発電モジュールの等価回路を示す。 L [H] はコイルのインダクタンス、 R [Ω] はコイル抵抗、 C [F] は共振用コンデンサのキャパシタンス、 R_L [Ω] は疑似負荷抵抗を示す。ファラデーの電磁誘導の法則及びテブナンの定理より、コイルの等価電圧源 V_{in} [V] は式(1)で定義される。

$$V_{in} = 2\pi^2 f n a^2 B \quad [V] \quad (1)$$

式(1)中の f [Hz] は周波数、 n [turn] はコイルの巻数、 a [m] はコイルの平均半径、 B [T] はコイルに鎖交する平均磁束密度（以降、磁束密度）である。 V_{in} を測定することで式(1)から B が算出できる。

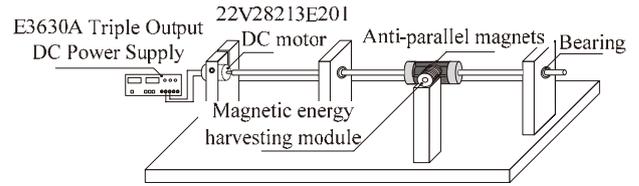


図2 1次試作機の概略図

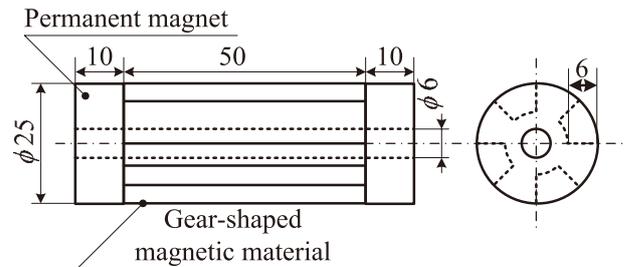


図3 回転モジュールの寸法図（単位：[mm]）

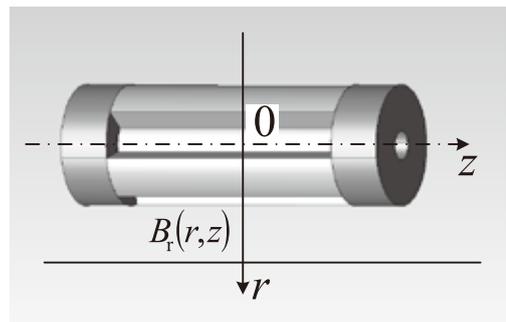


図4 回転モジュールにおける各軸の定義

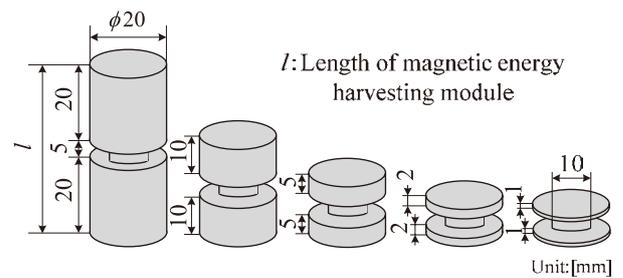


図5 環境発電モジュール用巻心の概略図

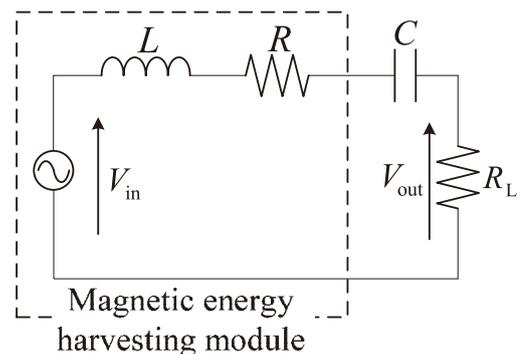


図6 環境発電モジュールの等価回路

共振周波数において、コイルと共振用コンデンサにおける電圧降下は相殺される。そのため最大電力供給の定理より、 R と同じ R_L とすることで、疑似負荷抵抗にて最大の消費電力（以降、回収電力）が得られる。回収電力 W [W] は次式で算出できる [4]。

$$W = V_{out}^2 / R_L = V_{in}^2 / 4R \quad [W] \quad (2)$$

3 貯蔵エネルギーの推定

図7回転モジュールの貯蔵エネルギー推定に際して著者らが定義したエネルギーの関係を示す。「Input energy」とはDCモータへの入力エネルギー、「Constant loss energy」とはある回転を維持するためのエネルギー、「Storage energy」とは回転モジュールの貯蔵エネルギー、「Initial loss energy」とはある回転数に達するまでの損失エネルギーとした。

回転モジュールに長さ20、30、40、50 mmの円筒を用いて貯蔵エネルギーの推定を行った。図8にInitial energyおよびStorage energyの回転数特性を示す。Storage energyは、フライホイールの貯蔵エネルギーの計算式より算出した[5]。図9より、Initial energyには回転数に対する依存性および回転モジュールの重さに対する依存性があることが判明した。

図8において、計算値であるStorage energyよりも実測値であるInitial energyが大きいのことは、Initial energyの中には、図7に示したようにStorage energy以外に損失に相当するInitial loss energyが含まれていると考察した。図9にStorage energyに対するInitial loss energyの割合を示す。図9より低い回転数ではStorage energyの50～80%に相当するエネルギーが損失として失われてしまうと考察した。

4 非接触給電の実証

1次試作機の非接触給電性能の測定結果を図10に示す。使用した磁界発電モジュールは最大の磁束密度が得られた $l = 9$ mmである[6]。共振用コンデンサを用いることで回収電力が最大2.0倍程度、最小1.3倍程度増加した。距離が $r = 20$ mmの場合、1 mWオーダの電力回収が行えることを確認した。この電力があれば、超低消費電力ワイヤレスセンサを駆動できるため[7]、環境発電の応用上重要な結果である。また、得られた回収電力の最大値を磁界発電モジュールの体積当たりになると500,000,000 $\mu\text{W}/\text{cm}^3$ となった。

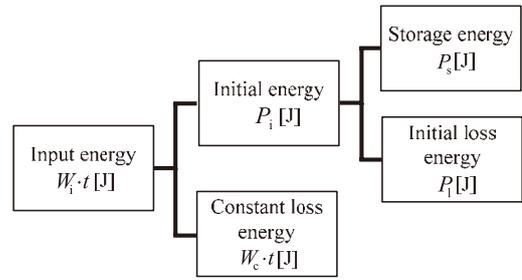


図7 各エネルギーの関係

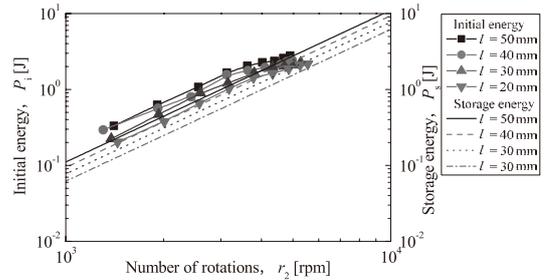


図8 Initial energy と Storage energy の回転数特性

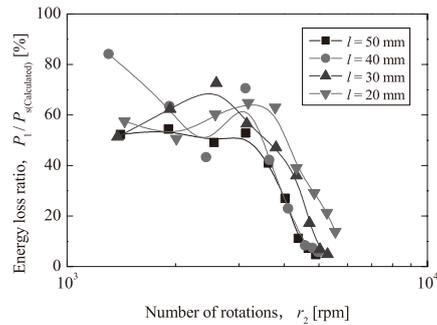


図9 Storage energy に対する Initial energy

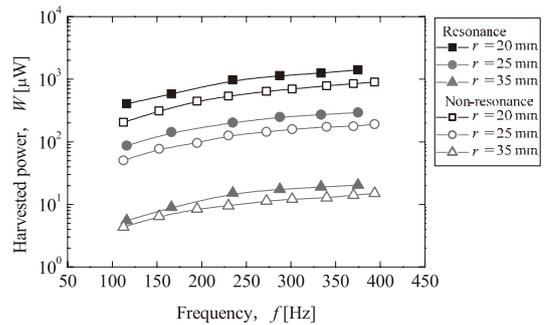


図10 回収電力の周波数特性 ($l = 9$ mm)

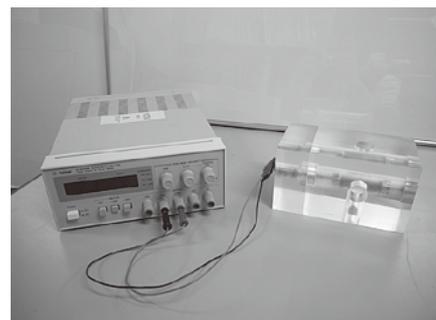


図11 2次試作機の外観図

5 結言

再生可能エネルギー貯蔵装置の試作を行い、貯蔵エネルギーの推定および非接触エネルギー伝送性能の評価を行った。得られた結果について以下にまとめる。

- (1) 円筒状磁性体を用いて回転モジュールの貯蔵エネルギーの推定を行った。DC モータへの入力エネルギーの半分程度は貯蔵エネルギーに残り半分は損失エネルギーとなることがわかった。
- (2) 1次試作機の非接触エネルギー伝送性能を調査した。その結果、超低消費電力ワイヤレスセンサの駆動に必要な1mWの電力の回収に成功した。

1次試作機は、回転モジュールと磁界発電モジュールの間の距離を一定に保つことは容易ではなかった。また、回転モジュールが露出しているため風損の影響を受けやすい。現在、図11に示す2次試作機を製作し、損失の低減などの検討を行っている。

謝辞 本研究の一部は一般財団法人信州大学工学部若里会の補助を受けて行われた。ここに感謝の意を表す。

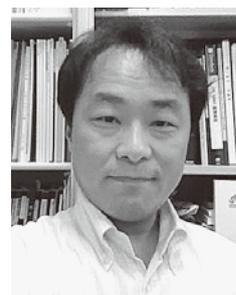
参考文献

- [1] 丸野将太郎、田代晋久、脇若弘之、円筒状磁石の対向配置による一様磁界発生条件の検討、平成24年電気学会全国大会、2-133、159、2012.
- [2] S. Nakajima, M. Hirashima, K. Tashiro and H. Wakiwaka, Influence of soft magnetic material on the force of attraction and repulsion between magnets, Proceedings of The 7th Asia Pacific Symposium on Applied Electromagnetics and Mechanics, pp.324-327, 2012.
- [3] 丸野将太郎、田代晋久、脇若弘之、対向配置磁石を用いた交流磁界発生装置用磁性材料形状の最適化、電気学会マグネティックス研究会資料、MAG-12-84、pp.17-20、2012.
- [4] 田代晋久、脇若弘之、内山悠、商用周波数磁界を用いた体内へのエネルギー伝送に関する考察、電気学会リニアドライブ研究会資料、LD-11-069、pp.13-16、2011.
- [5] 村上恵吾、光田尚史、小森望充、永久磁石磁気軸受と超電導磁気軸受を用いた電力貯蔵用フライホイールシステムの設計、日本機械学会九州支部講演論文集、No.058-1、pp.277-278、2005.
- [6] 田代晋久、脇若弘之、丸野将太郎、対向配置磁石型非接触エネルギー伝送装置の試作、第21回MAGDAコンファレンス in 仙台講演論文集、pp.329-334、2012.
- [7] 田代晋久、脇若弘之、超低消費電力ワイヤレスセンサ用エネルギーハーベスティング技術の動向、平成24年電気学会全国大会、2-S2-8、S2(29)-S2(32)、2012.

セルラーゼの酵素反応を促進する 新規タンパク質（スオレニン）の機能解析

Functional analysis of swollenin from *Trichoderma reesei*

野崎 功一（信州大学工学部 物質工学科）



1. はじめに

セルロースはグルコースが β -1,4結合したポリマーであり、植物の光合成によって無機物から大量に生産される再生可能な資源である。食料と競合しないため、その用途としてエネルギー源のほか、各種石油化学製品を代替する化学物質の原料として注目されている。多くの場合、このポリマーはセルラーゼによってグルコースまで分解され、そのあと微生物による発酵や化学反応によって目的の物質に変換される。しかし、効率的な酵素分解には、熱や化学物質、粉碎などの前処理によって不純物の除去やセルロースの結晶構造の崩壊が必要である。しかも、その方法は材料ごとに異なることから、処理行程は複雑となり実際の利用に対する懸念事項となっている。我々は、自然界でキノコをはじめとする微生物が、時間はかかるものの確実にセルロースを分解し、自己のエネルギー源を獲得しながら地球の炭素循環をうまく維持していることに注目している。すなわち、生物に本来備わっている機能をうまく利用することで、これら問題点の突破口を見出すことを目標に研究を行っている。最近の研究では、セルロースを直接分解するセルラーゼの他に、同時に分泌される少量の酵素（アクセサリー酵素）やタンパク質が分解を補助していることが明らかとなってきた¹⁾。その中でも、本研究ではセルロースの結晶構造を緩め、その膨潤に関与すると考えられている Swollenin（スオレニン）というタンパク質について機能の解析を行った。

2. Swollenin の構造と機能

Swollenin は、強力なセルラーゼ生産能を持つ糸状菌 *Trichoderma reesei* で見つかった新規なタンパク質である。2005年に本菌の全ゲノム情報が公開され²⁾、その中でセルロースによって強く誘導され³⁾、かつ植物の細胞壁を伸長させるタンパク質（Expansin）とアミノ酸配列が類似していることから、“セルロースを膨潤する（swollen）タンパク質（protein）”に由来した名称がつけられた⁴⁾。セルラーゼなどの加水分解酵素は、セルロースのグリコシド

結合を直接加水分解するのに対して、Expansin はセルロース分子鎖間の水素結合を解離し、細胞壁に柔軟性を与えることで細胞の伸長や分裂を補助している^{5, 6)}。Swollenin は植物細胞の伸長活性を示さないが、似たような反応機構でセルロースの高次構造を破壊し、セルラーゼの働きを促進することが推定されている。しかしながら、その生化学的な役割、セルロースの膨潤機構およびセルラーゼとの関連性については不明である。Swollenin はセルロースを分解する多くの糸状菌によって生産され、その分子構造はセルロース結合領域と Expansin 相同領域から構成される。Expansin 相同領域のサイズは Expansin（約 230 アミノ酸残基）と比較して約 150 アミノ酸残基ほど多いが、両者の立体構造の基本骨格はほぼ同一であると考えられている⁷⁾。また、この領域はセルラーゼの一種である Cel45 とも相同性があり⁶⁾、これらの起源は同じで進化の過程で分化したタンパク質と考えられている。

3. 遺伝子組換えによる Swollenin の調製

T. reesei による Swollenin の分泌量はごく少量であるため⁸⁾、その培養液から精製することは困難である。そのため、麹菌を利用して遺伝子組換え体を作製し、Swollenin の発現系を構築した。本菌の培養液を数段階のカラムクロマトに供することで、培養液 1 l からセルラーゼが混入していない Swollenin 約 6 mg を精製することが可能となった。この組換え Swollenin の分子量は 5.8 万～15 万の広い範囲にあり、糖鎖の不均一な付加によるものと考えられた。

4. Swollenin のセルロースに対する作用

Swollenin が作用することでセルロース繊維に生じる形態的变化を観察した。図 1 はその走査電子顕微鏡写真である。基質として使用した脱脂綿（結晶セルロース）は、セルロースの分子鎖が水素結合によって密に会合した滑らかな表面形態を示す。これを各種セルラーゼで分解すると、表面に深いクラックや薄く削いだような構造が確認された。一方、

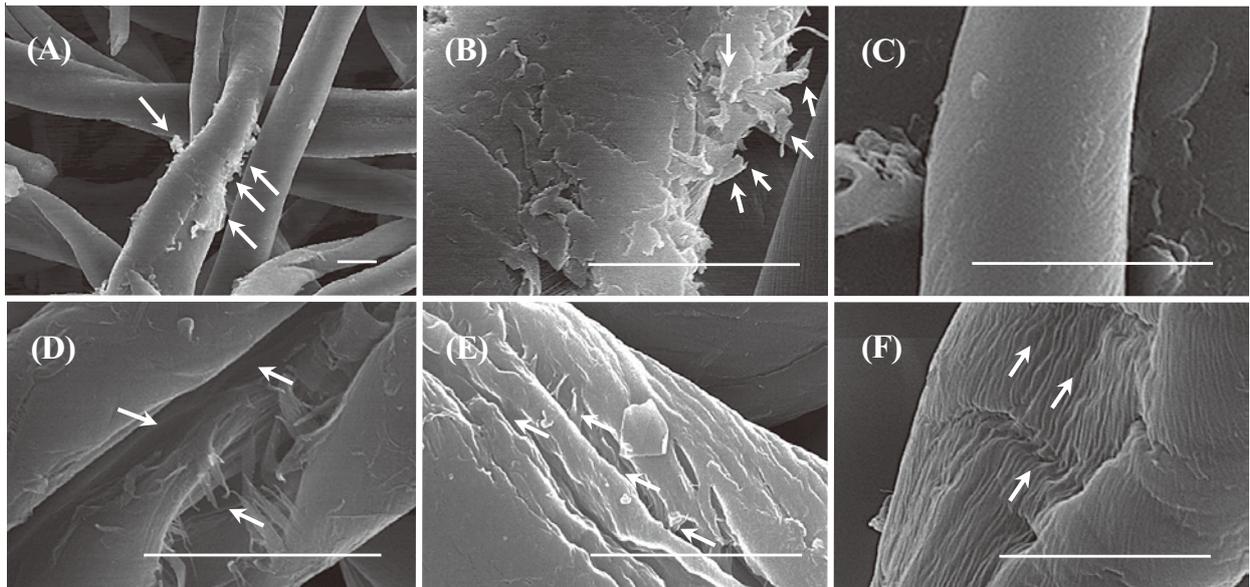


図1 Swollenin およびセルラーゼ処理した脱脂綿の走査電子顕微鏡による観察像
 (A) および (B)、Swollenin 処理；(C)、蒸留水で処理；(D) Ex-1 処理；(E)、Ex-3 処理；(F)、En-1 処理；
 図中の直線は、10 μm を表す。矢印は特徴的な構造を示す

Swollenin を作用させたものは、毛羽立ちが生じて一部のセルロースマイクロフィブリルが繊維本体から剥がれた状態が観察された。この時、セルロースの分解物であるセロオリゴ糖は全く検出されなかった。このような形態を生じさせる酵素はこれまでに例がなく、Swollenin は新規な反応機構でセルロースに作用していると考えられた。剥離したセルロース断片は、基質の表面積を増加させセルラーゼの反応点を増やすことで分解反応を促進することが期待された。また、XRD によってセルロースの結晶化度を測定したところ、明らかな変化は確認できなかった。このことから、Swollenin が引き起こす形態変化は繊維表面のごく一部にすぎず、内部構造に影響を及ぼしていないと考えられた。今回、Swollenin 処理によってセルロースのミクロな形態変化が観察されたが、光学顕微鏡で観察可能なマクロなレベルで変化を見つけることはできなかった。

5. セルラーゼに対する影響

Swollenin がセルラーゼのセルロース分解反応に及ぼす影響を調査した。図2は、ろ紙および脱脂綿に、Swollenin と低濃度のセルラーゼ製剤を添加し、セルロースの分解を行った結果である。これらセルラーゼの濃度が極めて低く分解がほとんど進行しない系においても、Swollenin を添加することによって、セルロースの分解が進行することを確認した。セルロースの分解率は、最大で約 30 倍も増加した。この分解促進効果は、セルロースの種類によって大

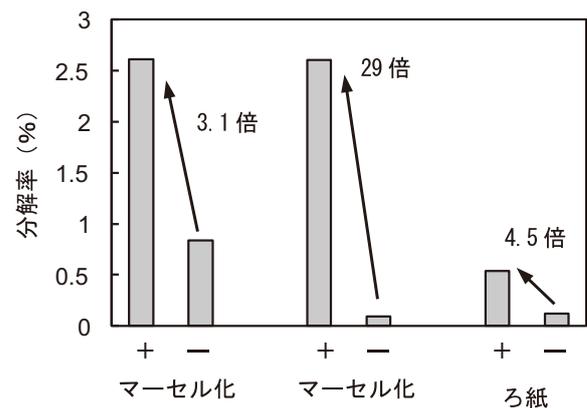


図2 セルロースの種類による影響

セルロース 25 mg に Swollenin 50 μg と Accellerase1500 を 10^{-4} FPU 加え、40℃、120rpm にて 24 時間反応させ、分解率を測定した。+、Swollenin 添加；-、Swollenin 無添加。

きく異なり、特にマーセル化セルロースに対しては顕著であった。マーセル化セルロースとは、強アルカリ溶液にセルロースを浸漬させることによって、その結晶構造を通常の I 型（セルロース分子鎖が平行に配列）から II 型（逆平行に配列）に変化させたものである⁹⁾。特定の種類のセルラーゼが II 型セルロースに高い分解活性を示すのと同様に¹⁰⁾、Swollenin にとっても効果が発揮されやすいセルロースの構造であると考えられた。

図3は、様々なセルラーゼ濃度における Swollenin の添加効果を経時的に調べた結果である。セルラーゼの濃度が高い場合には、Swollenin の分解促進効果は低かった。逆に、極微量のセルラーゼが存在する場合、分解促進効果は極めて高くなっ

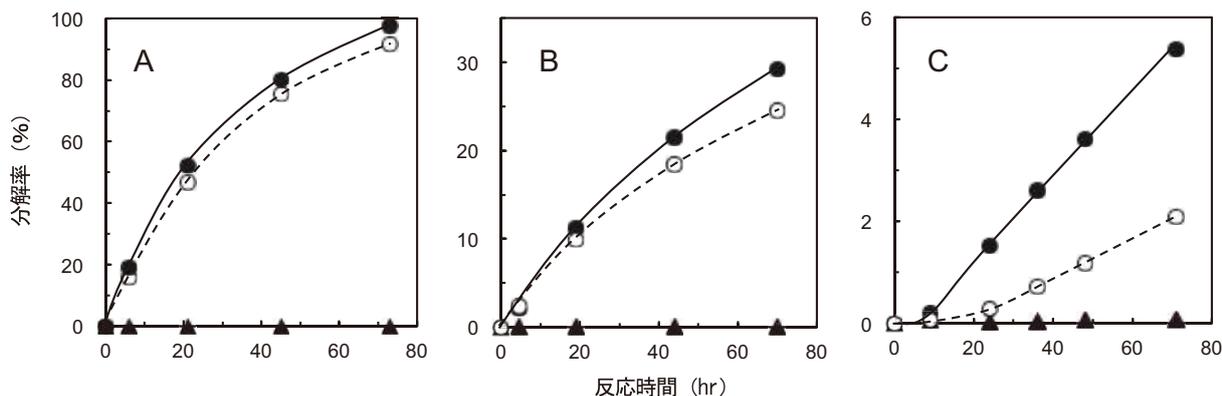


図3 Swolleninによるセルラーゼの活性促進効果

マーセル化ろ紙 (1 × 3 cm)、0.1 M 酢酸緩衝液 (pH 5.0)、Swollenin 50 μg、Accellerase1500 0.26 FPU (A)、0.013 FPU (B)、0.0013 FPU (C) からなる反応液 (5 ml) を 40°C、120 rpm にて反応させた。

●、Swollenin + セルラーゼ；○、セルラーゼのみ；▲、Swollenin のみ。

た。また、この分解促進効果は Swollenin の添加濃度に依存して高くなることも確認している。十分量のセルラーゼがある場合は、セルロースの分解が順次起こり、酵素の反応点が十分に存在すると考えられる。対して、セルラーゼ濃度が低い場合には、酵素の反応点を作るのにセルラーゼの量が不十分であり、Swollenin の添加がより効果的であると考えられた。

6. Swollenin によるセルロース繊維の引き剥がし

セルロースに対する Swollenin の独特な作用は、どのような反応機構によって現れるのであろうか。それを解明する 1 つの手がかりは、セルロースに対する Swollenin の弱い加水分解力にあると考えている。これまで、Swollenin にはセルラーゼのような加水分解活性はないと考えられてきた。Swollenin を脱脂綿などの高結晶セルロースに作用させた場合、確かに還元糖を全く遊離しなかった。しかし、ゲル浸透クロマト (GPC) による分析で、セルロースの重合度がわずかに低下していることを見出した (図 4)。さらに、再生セルロースや重合度 5 以上のセロオリゴ糖に対しては、セルラーゼのわずか 1/10 ~ 1/300 程であるが明確な加水分解活性が検出でき、エンド型セルラーゼ同様に種々のセロオリゴ糖を生成することを確認した (図 5)。これらの発見は、Swollenin の構造が Cel45 に似ていることから納得できる。加水分解活性が弱いためにセルロース繊維が崩壊しにくいことや、Swollenin がセルロースに強い吸着力をもつことが原因となって¹¹⁾、繊維の引き剥がしが生じていると推定された。一方、Swollenin は非結晶セルロースに対して、このような形態変化を起こさなかった。これは、恐ら

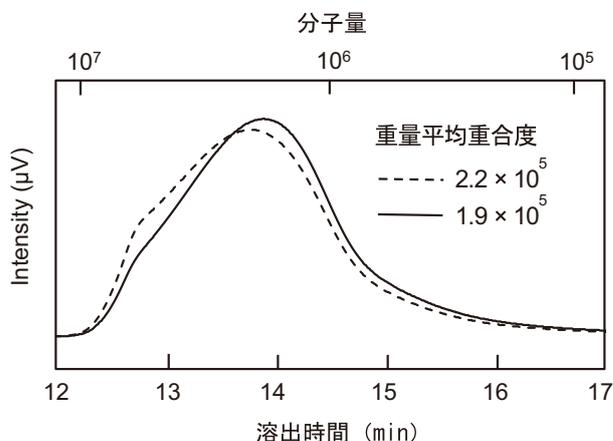


図4 Swollenin 処理セルロースの分子量分布

脱脂綿に Swollenin を 12 時間作用させ、誘導体化後に GPC によって溶出時間を測定した。---、未処理；—、Swollenin 処理。

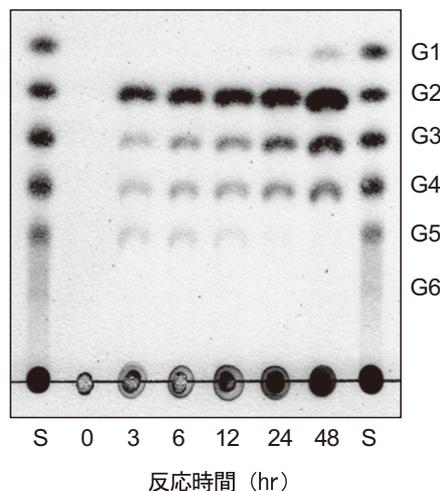


図5 Swollenin の加水分解活性

0.25% 再生セルロースと Swollenin 10 μg を 1 ml の反応液中で 40°C にて反応させ、生成物を TLC で分析した。S、セロオリゴ糖スタンダード。

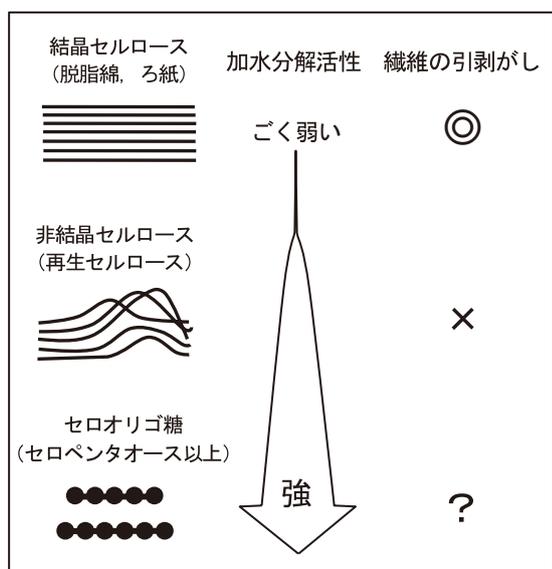


図6 セルロースの構造と Swollenin 作用の関係

く基質の構造や Swollenin の加水分解力が強いことが関連しており、このようなセルロースやセロオリゴ糖に対しては、一種の加水分解酵素として作用する役割があると推定された (図6)。

7. Swollenin 利用の可能性

Swollenin のセルラーゼ反応の促進効果を期待して、バイオマス分解への利用が望まれる。図3で示したように、極微量のセルラーゼに対しては、Swollenin がセルラーゼの反応点を作り、それを発端に分解が促進される。しかし、現在セルロース系バイオマスからバイオマスエタノールの製造に使用される高濃度のセルラーゼ (例えば 20 FPU/g-セルロース 以上) 存在下では、Swollenin の添加効果は期待できないだろう。現在、製品のコストの低下をねらって、酵素の使用量を削減する試みがなされている。このような状況下では、Swollenin のような分解活性を促進できるタンパク質の添加は効果的であると考えられる。

8. 生化学的な役割について

現在、バイオマスエタノールの製造に使用されるセルラーゼ製剤を生産する菌の1つに Swollenin を生産する本菌 (*T. reesei*) があげられる。本菌は、

長年にわたる薬剤変異や遺伝子操作によって酵素生産性の改良と選抜が繰り返し行われてきた。最新株の酵素生産能力は、もはや元菌の数百倍に達すると考えられている。このような菌にとって Swollenin の存在意義は少ないのかもしれない。しかし、自然界に存在するセルラーゼの生産力が低い微生物や、限られた量のセルラーゼによってより広範囲のセルロースを分解するためには、Swollenin の存在する意義はあると考えられる。

これまでの研究で Swollenin の役割を解明するために、*T. reesei* において Swollenin 遺伝子破壊株が作製され調査された。この菌は、セルロース分解力は変わらないものの²⁾、植物の根に対する感染力が著しく低下することが明らかとなっている¹²⁾。このように、Swollenin は菌の生育環境で未知の機能を有している可能性も考えられる。

9. おわりに

Swollenin がセルロースに作用する反応機構は推定の域にあるが、セルロース繊維の引き剥がしと加水分解活性の関連性や Swollenin の構造がセルラーゼと類似し、かつ似たような反応機構をもつ可能性があることは、酵素研究者にとって非常に興味を持たれる。今後、これらの課題については、遺伝子工学技術を用いたアミノ酸変異体の作製と解析によって明らかにしていく予定でいる。

本研究は、一般財団法人 信州大学工学部若里会 (信州大学工学部同窓会) の平成 24 年度研究助成金によって実施した。若里会関係者各位ならびに同窓会会員の皆様には、この場をお借りして厚く御礼を申し上げます。

また、本研究は信州大学工学部物質工学科 生物化学研究室において実施されたものであり、ご協力を頂いた同スタッフの天野良彦 教授、水野正浩 助教ならびに実際に研究に携わって頂いた卒業生、在校生に御礼を申し上げます。工学部寄附研究部門である β 糖質産業用ハイブリッドリアクターシステム研究部門の佐藤伸明 講師には GPC 分析でご協力を頂きました。この場をお借りして御礼を申し上げます。

参考文献

- 1) Banerjee, G., Car, S., Scott-Craig, J.S., Borrusch, M.S., Bongers, M., and Walton, J.D., Synthetic multi- component enzyme mixtures for deconstruction of lignocellulosic biomass. *Bioresour. Technol.*, **101**, 9097- 9105 (2010).
- 2) Martinez, D., Berka, R.M., Henrissat, B., Saloheimo, A., Arvas, M. et al., Genome sequencing and analysis of the biomass-degrading fungus *Trichoderma reesei* (syn. *Hypocrea jecorina*). *Nature Biotechnol.*, **26**, 553-560 (2008).
- 3) Foreman, P.K., Brown, D., Dankmeyer, L., Dean, R., Diener, S., Dunn-Coleman, N.S., Goedegebuur, F., Houfek, T.D., England, G.J., Kelley, A.S., Meerman, H.J., Mitchell, T., Mitchinson, C., Olivares, H.A., Teunissen, P.J., Yao, J., and Ward, M., Transcriptional regulation of biomass-degrading enzymes in the filamentous fungus *Trichoderma reesei*. *J. Biol. Chem.*, **278**, 31988-31997 (2003).
- 4) Saloheimo, M., Paloheimo, M., Hakola, S., Pere, J., Swanson, B., Nyssönen, E., Bhatia, A., Ward, and M., Penttilä, M., Swollenin, a *Trichoderma reesei* protein with sequence similarity to the plant expansins, exhibits disruption activity on cellulosic materials. *Eur. J. Biochem.*, **269**, 4202-4211 (2002).
- 5) Li, L.C., Bedinger, P.A., Volk, C., Jones, A.D., and Cosgrove, D.J., Purification and characterization of four β -expansins (Zea m 1 isoforms) from maize pollen. *Plant Physiol.*, **132**, 2073-2085 (2003).
- 6) Kerff, F., Amoroso, A., Herman, R., Sauvage, E., Petrella, S., Filee, P., Charlier, P., Joris, B., Tabuchi, A., Nikolaidis, N., and Cosgrove, D.J., Crystal structure and activity of *Bacillus subtilis* YoaJ (EXLX1), a bacterial expansin that promotes root colonization. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **105**, 16876- 16881 (2008).
- 7) Kim, E.S., Lee, H.J., Bang, W.G., Choi, I.G., and Kim, K.H., Functional characterization of a bacterial expansin from *Bacillus subtilis* for enhanced enzymatic hydrolysis of cellulose. *Biotechnol. Bioeng.*, **102**, 1342-1353 (2009).
- 8) Herpoel-Gimbert, I., Margeot, A., Dolla, A., Jan, G., Molle, D., Lignon, S., Mathis, H., Sigoillot, J.C., Monot, F., and Asther, M., Comparative secretome analyses of two *Trichoderma reesei* RUT-C30 and CL847 hypersecretory strains. *Biotechnol. Biofuels*, **1**, 18-29 (2008).
- 9) 林 治助、木村規矩也、安芸元幸、渡辺貞、エステル化法によるマーセル化度の判定法。 *Bulletin of the Faculty of Engineering, Hokkaido University*, **75**, 125-135 (1975).
- 10) Amano, Y., Nozaki, K., Araki, T., Shibasaki, H., Kuga, S., and Kanda, T., Reactivities of cellulases from fungi towards ribbon-type bacterial cellulose and band-shaped bacterial cellulose. *Cellulose*, **8**, 267-274 (2002).
- 11) Jager, G., Girfoglio, M., Dollo, F., Rinaldi, R., Bongard, H., Commandeur, U., Fischer, R., Spiess, A.C., and Buchs, J., How recombinant swollenin from *Kluyveromyces lactis* affects cellulosic substrates and accelerates their hydrolysis. *Biotechnol. Biofuels*, **4**, 33-48 (2011).
- 12) Brotman, Y., Briff, E., Viterbo, A., and Chet, I., Role of swollenin, an expansin-like protein from *Trichoderma*, in plant root colonization. *Plant Physiol.*, **147**, 779-789 (2008).

メカトロニクス要素技術の開発と応用

機械システム工学科 准教授 辺見 信彦



本研究室ではセンサやアクチュエータといったメカトロニクス要素の開発とその応用、精密機構の制振や振動を利用した駆動機器の開発など、精密機構と精密計測に関する様々な研究を実施しています。開発と応用を進めているセンサのひとつにジャークセンサがあります。ジャーク (jerk) とは加速度の時間微分値のことであり、加加速度とか躍度とか呼ばれている量です。ニュートンの運動方程式には加速度までしか出てこないため、一般の技術者にとっても馴染みの薄い物理量ですが、人間にとっては加速度よりも感じ易い量です。そのためエレベータや電車などでは、加減速動作のジャークの大きさを制限するなどして、乗客の乗り心地を悪化させないような運転の工夫がされる場合もあります。

開発したジャークセンサの素子の機械的な構造は、一般に市販されていて、産業界のあらゆる分野でも使用されている圧電式加速度センサと同じなので、市販の加速度ピックアップをそのままジャークセンサ素子として転用できるという利点があります。

ジャークは加速度の微分値であるため、振動を検出するセンサとしては、加速度センサに比べると低周波数成分の振動波形の検出感度を鈍化させ、高周波数成分の振動波形の検出感度を高めるような特性となります。つまり、パルス状の振動などは加速度センサよりもよく検出できるということです。この特性を利用した応用の一つに回転機械の損傷診断への応用があります。

図1と図2はジャークセンサと加速度センサの出力の違いを示しています。円錐ころ軸受の外輪に傷をつけ、20rpm という低速で回転させたときに発生する軸受近傍での振動を計測した例です。低速回転での軸受の損傷診断は一般に難しいと言われてい

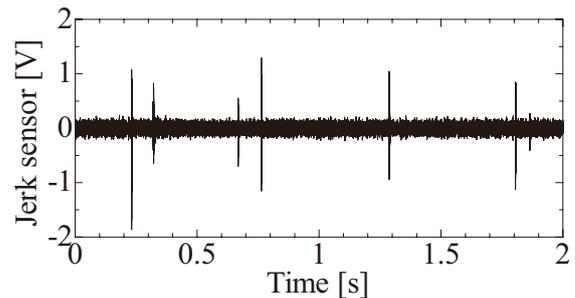


図1 ジャークセンサの出力（ころ軸受の1か所に傷をつけて20rpm という低速で回転させた場合の振動検出信号。ころが傷を通過するときに発生するパルス状振動をはっきりと検出している）

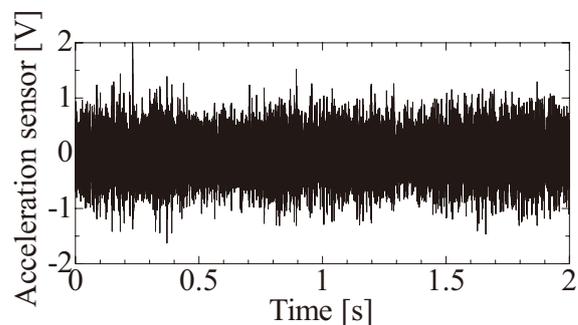


図2 加速度センサの出力（図1のジャークセンサと同時計測しているが、定常振動ノイズに埋もれてしまって、パルス状振動が計測できているのかどうかさえわからない）

ます。図1と図2は同時計測であるにも関わらず、加速度センサ出力は定常振動ノイズの振幅も大きく、傷による振動が計測できているのかどうかさえも分かりません。一方、ジャークセンサ出力には、ころが傷を通過するときに周期的に発生するパルス状振動を明確に捉えていることがわかります。

田中・エルナン・秋本研究室

電気電子工学科 教授 田中 清
電気電子工学科 准教授 エルナン・アギレ
電気電子工学科 助教 秋本 洋平



1. 研究室の運営と教育方針

田中・エルナン・秋本研究室は、田中清教授、エルナン・アギレ准教授、秋本洋平助教が力を合わせて運営している。田中教授は1995年4月に信州大学に着任以来、長野での教育研究活動も丸18年を超え、現在は工学部副学部長として学部運営にも携わり、信州大学の発展に努めている。とくに、2008年から施行したアジアゲートウェイ特別留学生制度以来、工学部国際交流責任者として学术交流協定締結、国際共同研究、研究者交流、留学生派遣・受け入れの推進に注力し、大学のグローバル化に尽力している。アギレ准教授は、1997年4月に文部科学省の国費留学生として南米は赤道直下の国エクアドルから来日し、信州大学大学院で学位を取得（田中研究室で最初の博士号取得者）後信州大学の教員となり、熱心に教育研究に励んでいる。ファイバーナノテク国際若手研究者育成拠点事業にも参画し、日本での生活は丸16年になる。秋本助教は2013年に4月にフランス国立情報学自動制御研究所（INRIA サクレ）から着任した新進気鋭の研究者であり、後述する進化計算分野の先端研究に取り組んでいる。図1に示すように研究室には留学生も多く在籍し、現在、招聘研究者や短期研究留学生も含めて10名（マレーシア5名、スロバキア1名、イラン1名、ベトナム1名、エクアドル1名、フランス1名）の外国人が存在し、国際色豊かな陣容で教育研究に取り組んでいる。田中・エルナン・秋本研究室では、次の時代を背負う質の高い人材を育てて社会に送り出すために、すべての基礎となる「人作り」を中心に置き、ゼミや研究活動を通して専門知識の修得、物の見方（洞察力）、考え方（思考力）、そして逞しい実行力を身に付けさせる教育を行っている。このため、国内外の大学、研究所や企業との共同研究、産学連携、インターンシップ、学会発表など様々な機会を活用して学生たちの意欲を高め、その過程を通して確かな力を付けさせることに注力している。



図1 国際色豊かな研究室のメンバーたち

2. 研究内容

田中・エルナン・秋本研究室では、以下のような研究課題に取り組んでいる。

(1) 進化計算とその応用に関する研究

生物は、環境に対する適応度の高い個体ほど、その個体が持つ遺伝子情報が後の世代に受け継がれるように増殖と淘汰を繰り返す、進化していく。ダーウィンによって提唱された、この生物進化（自然淘汰・交叉・突然変異）の過程を工学的にモデル化して構築された計算方法が進化計算（Evolutionary Computation）である。この方法は、図2に示すように集団ベースで個体を遺伝的操作により進化させるところに特徴があり、複雑な最適化問題の解法（解探索）や学習に優れた性能を発揮し、学習、適応、設計変数・パラメータ最適化、意思決定など様々な応用研究が行われている。研究室では、GA（Genetic Algorithm）を用いたハーフトーン画像生成法や電子割符生成法の検討から始まり、最近では、複数の目的関数を同時に最適化する多目的進化アルゴリズム（Multi-Objective Evolutionary Algorithm）の研究に力を入れている。例えば印刷装置の設計では、2つの目的関数 f_1 （印字速度）と f_2 （品質）を同時に最適化（最大化）したいが、両者を満足する単一の解は得られず、トレードオフを形成する妥協解集合、すなわちパレート最適解集合（Pareto Optimal Solutions: POS）を求め、意志決定者がどの解（選

択肢)を採用するかを決定することになる。実社会では、さらに多くの目的関数を同時に最適化したり、膨大な数の設計パラメータを含む複雑な問題を最適化する場合が増えてきていることから、多数の目的関数・設計変数を含む最適化問題の解法に有効な新しいアルゴリズムの確立や、その実現に必要な新しい選択、遺伝的操作、適応処理などに関する研究開発を行うとともに、宇宙開発・製品開発における設計変数最適化や知的電力配信システムなどの様々な実社会問題への応用に積極的に取り組んでいる。

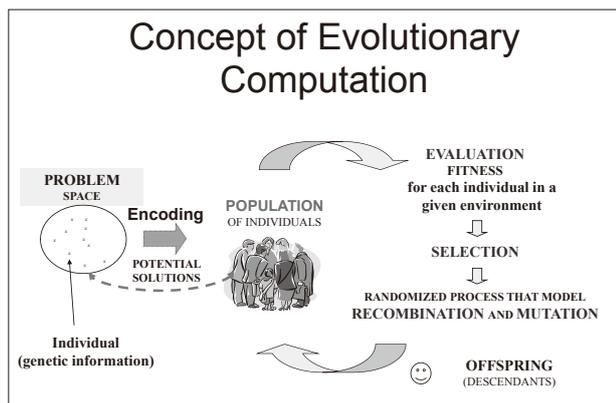


図2 進化計算のコンセプト

(2) 情報ハイディングとその応用に関する研究

情報ハイディングは、2値画像、ファクシミリ画像、静止画像、動画、音楽データなどのマルチメディアに何らかの情報を人間に知覚出来ないように埋め込み、埋め込んだ情報を、セキュリティをはじめとする様々な用途に利用する技術の総称である。田中教授がこの技術の黎明期より携わってきたこともあり、現在も研究を継続している。研究例のひとつに、透かしインデックスを用いた動画ストリーミングコンテンツの高度化がある。これは、動画マニュアルなどの業務用コンテンツをターゲットに、利用者が参照したいシーン、オブジェクト、オーディオセグメントを高速に検索・表示でき、かつ、これらに付随する様々な情報(テキスト、音声、画像、リンク情報など)を機能的に関連付けるために、MPEG圧縮された符号上で抽出した注視オブジェクトに書き換え可能な電子透かしによりインデックスを埋め込む。埋め込んだ透かしインデックスは、コンテンツ再生時のテロップや説明テキスト、自動ポップアップ、ハイパーリンク、MPEG-7へのキー情報(URL、検索用キーワード、ページ遷移、再生コンテンツ切替えなど)、動画再生コマンド(一時停止、シーク、再生速度変更など)、ビューア閲覧制御(スポットライト表示、強調表示など)、著作権管理、履歴管理などに利用する。地元企業およ

び通信メーカーとの産学連携研究により、上記機能を有する高度複合ストリーミングコンテンツを効率よく作成するための高機能コンテンツオーサリングツールを開発し、業務用動画マニュアルを作成した。また、埋め込んだ情報の存在を検知されにくいJPEG圧縮画像向けステガノグラフィ(極秘匿通信)や、MPEG圧縮符号上で画質を全く落とさず可逆に透かしを埋め込む方法、画像認証を目的とする秘密の紋章を検出可能な電子割符、情報ハイディングとスクランブラを融合したスケーラブルスクランブラなどの検討を行っている。

(3) 静止画像・動画の高解像度化に関する研究

近年、解像度の異なる様々なデバイスで画像を閲覧する機会が増加し、どのデバイスを用いてもより高品質な画像を表示したいという要望が高まっている。また、すでにある解像度で取得した画像を、さらに高い解像度に変換して閲覧したいという要求も多い。このような場合に、視覚的に品質を劣化させずに画像の解像度を変換できれば有用であり、近年、様々な検討が行われている。研究室では、防犯・監視カメラなどの比較的廉価で性能の限られた機器で撮影された低品質な映像解析の重要性と必要性が高まっていることを考慮し、動きを伴う動画系列の超解像(高解像度化)を検討している。現在、医療現場での診断・手術支援への応用を目指し、長野県工業技術総合センターおよび地元企業との共同研究により、極細径ファイバースコープで撮影した画像の高解像度化する研究に取り組んでいる。

(4) 人の色覚の計測と再現に関する研究

人間の色覚には個人差があり、様々な色の見え方がある。たとえば、色覚異常と呼ばれる人たちは、色を認識する錐体細胞の変異により、色合わせや色の特定において多数の人たちと異なる応答を示すことが知られている。また、人は加齢に伴って次第に水晶体が黄変し瞳孔も縮小するため、若年者に比べて色の識別能力が低下する。さらに、照明光の明るさや色は、人間の色覚に大きな影響を及ぼす。このように、色の見え方は状況によって変化するため、多くの人が気づかずに様々な支障や不便を蒙っている恐れがある。そこで、色を介して膨大な情報を収集・利用するICT時代において、誰もが支障なくその恩恵を受けられるユニバーサル色覚バリアフリーを促進するために、眼科医との共同研究により、様々な環境下において人がどのように色を知覚しているか、その程度を定量的に測定できる新しい色視

力検査装置および色覚異常・高齢者色覚シミュレータを研究開発している。研究で得られた知見をディスプレイ、コンテンツ産業から、人々の生活、労働、ビジネス環境デザインなど、幅広い産業応用に役立てることを目指して研究を進めている。

3. おわりに

田中・エルナン・秋本研究室では国際交流にも力を入れているが、最近の事例としては、2005年9月から2009年3月までの3年半、文部科学省の国費留学生として信州大学大学院に在籍し、田中教授の指導のもとで学位を取得したWong KokSheik博士が勤務するマレーシアのマラヤ大学、2010年1月から

6月の間に2度にわたり研究室に滞在したAntonio Lopez博士の母校であるメキシコの大学院大学CINVESTAV、2012年から交流を始めたフランス・ニース大学のSebastien Verel准教授とリール第一大学のArnaud Liefoghe准教授との間で共同研究を行い、有用な成果を挙げている。信州大学とマラヤ大学間では2011年7月に、信州大学とCINVESTAV間では2012年6月にそれぞれ学術交流協定を締結し、今後はその輪をフランスをはじめとする大学や研究所に広げ、研究者交流、学生交流による教育研究の連携をさらに親密に行っていくための準備を進めている。

清水 (橋梁) 研究室紹介

土木工学科 教授 清水 茂



1. はじめに

清水研究室では、代表的な土木構造物の一つである橋梁についての研究を行っています。今年度は、大学院生7人、学部生3人の計10人で、週1回のゼミ（研究進捗状況発表）を中心に研究を行っています。飲み会なども定期的に行い、和気あいあいとした雰囲気で行っています。

2. 研究について

本研究室では橋梁に関して大きく二つの分野に分けてそれぞれ研究を行っています。一つは、橋脚に対する地震による影響や桁の耐荷力、座屈問題を中心とした構造分野。そして二つ目は、橋梁の色、形、景観調和など視覚的な要素に関することを中心とした景観分野です。構造分野の研究に関しては、そのほとんどを解析ソフトを用いた数値解析で行っています。

構造分野については以下のようなテーマで研究を行っています。

・ハイブリッド鋼桁の垂直座屈に関する研究

座屈とは、図1のように圧縮を受けた部材が折れたり、破壊してしまう現象のことをいいます。

この座屈という現象は材料の強度とは無関係であり、材料の幾何学的な条件が関係しています。つまり、棒なら細長いもの、板なら薄いものが、座屈をおこし易いということです。桁の座屈にはいくつか種類がありますが、中でも珍しく、危険なものが垂直座屈という座屈形式です。(図2) しかしこの垂直座屈がどのような要因で発生するのかといった詳しいところはまだわかりません。そこで、本研究では、数値解析によりその要因を探っています。最終的にはその要因を明らかにし、垂直座屈の照査式を提案することが目標です。

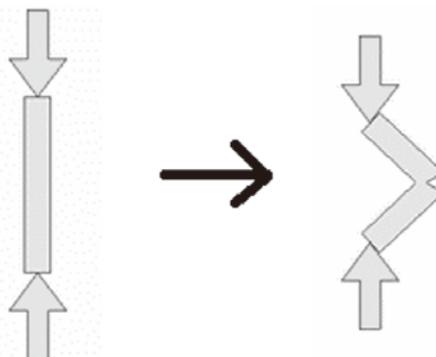


図1 座屈とは

- **鋼製橋脚に疲労亀裂対策を施した場合の動的解析**
鋼構造で問題となる現象に疲労亀裂があります。文字通り長年の使用の間に亀裂が生じるという現象で、鋼構造物の強度や安全性に大きく影響します。この現象は、鋼構と鋼材の溶接部分等の他より強度が劣る部分や、特に部材どうしのつなぎめで角ができている部分ではよく生じます。これは角部分では応力集中という現象が起き、理論上そこに生じる力が無限大となってしまうためです。疲労亀裂を防ぐためにこの角部分を取り除くという工法があります。それが大コア施行という工法です。しかしこの工法は構造物の強度に悪影響を与える事が考えられます。そこで本研究ではこの大コア施行が構造物の強度にどの程度の影響があるのかを解析ソフトを用いた数値解析により調べています。

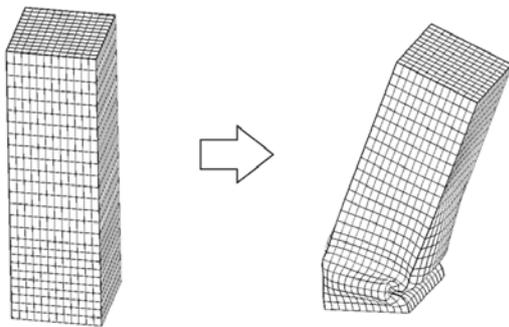


図2 崩壊した鋼製橋脚

- **送り出し装置上における鋼桁下フランジの座屈応力への影響に関する研究**
鋼橋の架設工法の一つに送出し工法というものが、この送出し装置上の腹板パネルには様々な力が複合的に作用します。この腹板に関する座屈の研究は数多くされてきましたが、腹板のみを取り出したものがほとんどでした。そのことから解析を行うと、下フランジがついたモデルは腹板のみモデルより座屈応力は約2倍となりました。そこで本研究では、下フランジが座屈応力へ及ぼす影響および要因を調べ、最終的には座屈照査式を改良していくことを目標としています。

景観分野に関しては以下のようなテーマで行っています。

- **橋と風景の調和、架橋による景観への影響についての研究**

橋は巨大で目立つ構造物なので、ある場所に橋を架けると、架ける前と後では風景が人に与える印象は変化します。その印象は良くなる場合もあれば悪くなる場合もあります。そこで、人々がいい印象を受けるような橋梁景観を作り出すためには、橋本体や風景のどのような要素が人の印象に影響を与えるのかを調べる必要があります。そのため本研究ではアンケート調査により、人々が様々な形状の橋や風景から受ける印象をデータ化し、その傾向、特徴を探っています。

- **橋梁景観において「かたち」、「色」双方の観点を同時に評価するための方法**

景観を人の主観ではなく定量的に評価する指標として、橋梁の形が景観に及ぼす影響と色が景観に及ぼす影響の指標は提案されてきました。しかしこの二つは互いに独立しており、この両者を総合的に評価する指標は提案されていません。景観の良し悪しを左右する要因として、橋梁の「かたち」と「色」は相互に影響しあっているはずで、よって、この両者を総合的に判断することは橋梁景観を評価する上で重要であり、そのための指標を提案することが本研究の目的です。 (修士1年 上田拓生 記)



研究室風景

建築物の耐震・耐風を目指して

建築学科 教授 中込 忠男



私どもの研究室では、地震や台風などの外乱が起こった場合の建築物の安全性を確保するための研究を行っています。建築物には鉄鋼・コンクリート・木など色々な材料が使われますが、そのうち金属系材料についての研究を行っています。金属系と一口に言っても、鉄鋼・ステンレス・アルミニウム・鋳鉄など色々挙げられます。

はじめに鋼構造鋼材を使った通常の建築鉄骨の自然災害を防止するための研究から話します。建築鉄骨は柱と梁を溶接やボルトで接合して出来ています。その時その接合部が一番の弱点となります。これは木造建築物でも全く同じですが、接合部を強くすることによって耐震や耐風の建物全体の性能が決まります。溶接をする場合には鋼材の強度や板厚ごとに溶接方法が異なります。どのように溶接すれば割れや溶け込み不良などの欠陥が発生しない溶接ができるか、また強度や靱性を確保するにはどのような溶接条件が適切か検討する必要があります。そのためには、圧力容器・橋梁・船舶など他分野の研究や動向に目を光らせておく必要があります。それら最新の知験に建築鉄骨独特の使用方法を加味して建築としての最適な方法を編み出していく必要があります。溶接するための試験体を数多く製作して、溶接条件・方法を検討しています。また建築で使うための鋼材の強度や靱性がどうあればいいのかという要求性能の研究も行っています。そのため柱・梁・接合部の実在破壊実験を行って、鋼材や溶接性の良否を確認するとともに、耐震安全性の確保が十分かどうかの検討を行っています。そのため圧力容器や船舶にも使われている破壊力学という手法を使って検討しています。それにはコンピューターを使った数値解析による定量的な数値を用いて検討します。また耐風安全性については疲労試験機を用いて溶接接合部の金属疲労の検討を行っています。特に中小

の地震や台風の外乱を与えられた建物が100年に一度のような大地震を受けた場合、疲労クラックから脆性破壊が発生することを防止するための研究をしています。中小の地震や台風が複数個発生すると疲労クラックが発生しやすいという現実があります。特に制震装置として使われているダンパーの疲労については一番の弱点になりますので、大きな力を注いで研究しています。

その他、アルミ合金を建築の構造体として使用できるための研究を25年にわたって行っております。アルミ合金の長所としては錆びにくい、見た目が美しい、加工しやすい、軽いなどいくつかあげられますが、短所も存在します。強度が鋼材に比べて低い、熱に弱い、溶接が難しく強度が下がることなど挙げられます。それらの特徴を生かしながらアルミニウム合金構造設計規準とその施工基準を平成12年3月に当研究室の研究データが中核となって完成しました。引き続き建築基準法にも取り入れられ、アルミニウムが構造用材料として取り入れられることが認知されました。

また、鋳鉄も建築構造材料として使えるように研究を行っています。鋳鉄というと戦前の鍋や釜に使われていたこともあり馴染みが深くなおかつ脆いという印象があるかと思います。ところが現在の鋳鉄は高炭素鋼と言われ強度も靱性も戦争前より圧倒的に良くなっております。これを建築構造材料として使用するため、実在実験や接合実験を積み重ねています。その安全性の確認は破壊力学を用いて数値シミュレーションによって行っています。

このように、学生たちと日々の研究を積み重ねた結果、研究論文「鋼構造柱梁接合部における破壊及び変形能力に関する一連の研究」で2006年度日本建築学会論文賞を受賞できました。これも一重に学生たちの努力の結果だと思えます。

無機材料化学研究室 (樽田研) の紹介

物質工学科 教授 樽田 誠一



研究室の成り立ち

私が信州大学工学部に助手として赴任したのは、平成元年の4月のことです。この平成元年4月は、学部が改組され、化学系では、工業化学科と合成化学科が一緒になり物質工学科ができたばかりの頃でした。私は、当時、旧合成化学科の田草川信雄教授、北島圀夫助教授、山上朋彦技官がおられた研究室に所属しました。この研究室は、無機研と呼ばれており、無機化学をベースとして、無機材料の合成や性質に関する研究をしておりました。このころ、田草川先生は多孔質ガラスや快削性結晶化ガラスについて、北島先生はマイカの合成や性質について研究をしておられました。私は、まだ学位を取らず博士課程を中退してきたため、しばらくは学生のときの研究テーマである「アルミナセラミックスの成形と焼結」についての研究に専念させていただきました。

また、当研究室は、工学部長を務められた大門利信先生が昭和37年に赴任した時にできた研究室が前身と聞いております。大門先生は、赴任したとき以来工業化学科に所属しておられましたが、合成化学科が開設されたときに合成化学科に移られ、昭和55年に退官されております。実は、私がここに来る前に学生として所属していた研究室の隣は大門先生の息子さん（私が信州に来るころはすでに教授だったと思います）の研究室で、私は実験装置を借りたり、お酒を飲みに行ったりしておりました。それが縁で信州大学工学部に来たわけではありませんが、不思議な縁を感じたように記憶しています。

平成4年に北島先生が教授になられ、独立して研究室をもたれると、田草川先生と山上さん、そして私の3名がスタッフの研究室になりました。平成10年に環境機能工学科が発足すると、田草川先生は環境機能工学科に移られましたが、平成11年に退官されるまで、同じ研究室で仕事をさせていただきました。山上さんは、田草川先生が環境機能工学科に移られたときに、物質工学科の他研究室へ移動し、現在は技術部の所属になっています。田草川先生が退官された後は、研究室のスタッフは私ひとり

になり、今日まで続いています。北島先生は独立した後、平成22年に退官され、現在、山口朋浩准教授が後を継いでいます。

研究室の特色

本研究室の特色は、大門先生が工学部に赴任して以来、マイカに関する研究を継続して行っている点にあります。もう50年ほどになります。マイカは雲母のことです。天然鉱物の雲母についてはご存知の方も多いと思いますが、人工的にも合成できます。このマイカはガラス中にも析出させることができ、マイカ結晶化ガラスとして知られています。なんでそんなものをつくるのかと思われる方が多いかもしれませんが、マイカは化粧品、紙や塗料の素材として、また、アイロンやトースターなどの耐熱絶縁材料などとして利用されている工業材料だからです。マイカ結晶化ガラスは、汎用の機械工具で容易に加工ができるマシナブルセラミックスとしても知られており、精密電気絶縁体、高真空部材、歯科用材料などに応用されています。スペースシャトルの部材にも使用されていたようです。

このようなマイカについて、北島先生は、学生のときに大門先生の研究室に所属しておられたことで、大門先生からマイカの研究を引き継ぎ、種々の組成のマイカを合成しその性質を評価しておられました。田草川先生は、ガラス関係が専門であったため、マイカ結晶化ガラスについて研究しておられました。私は、学位を取得後、セラミックスへマイカを複合化したマシナブルセラミックスと、田草川先生から結晶化ガラスについて指導を受けながらマイカ系の結晶化ガラスに関する研究を始めました。

現在の研究

現在の研究テーマは、大きく分けると、以下のマイカ関連とカーボンナノチューブ (CNT) 関連の二つあります。

(1) 新規マイカ系セラミックスの合成と機能探査

マイカの新機能として、イオン伝導について調べ

ています。マイカは電気絶縁材料として応用されていますが、層間イオンが小さいとイオン伝導が起こるかもしれないという発想によるものです。マイカの種類によって、600°Cの温度下では、固体電解質やセンサーとして実用レベルに近い伝導性を得られています。現在は、特に、層間イオンをプロトンとして、燃料電池の固体電解質に応用できるような、高い伝導度が得られるマイカの合成を目標としています。また、マイカ結晶化ガラスについては、現在、リチウムマイカが析出した結晶化ガラスを合成しています。これも、はじめはイオン伝導体を示す材料をめざして研究していたものですが、はからずも透明なものが得られ、現在は、銀のナノ粒子を析出させて電子伝導性を示す透明材料を目指し研究しています。これは図1に示すように機械加工が可能で、透明なセラミックス系材料では機械加工ができる唯一の材料です。さらに、マイカをアルミナやジルコニアセラミックスへ複合化し、機械加工が可能なセラミックスを合成しています。機械加工性は容易に得られますが、マイカを複合化するとアルミナやジルコニアセラミックスの強度等の機械的性質が大きく低下するのが課題です。機械的性質があまり低下しないものができれば、寸法精度の高い歯科用材料としての応用が可能です。



図1 透明なマシナブルマイカ結晶化ガラス

(2) CNTとセラミックスの複合化

これについては、本学で行われていた「知的クラスタープロジェクト」が発端です。ただ、現在でも行っているCNTとアルミナセラミックスの複合化

は、医学部の整形外科がご専門の齋藤先生から、長寿命人工関節の開発についてお話をいただいたところから始まりました。これはセラミックス製の人工関節の長寿命化には、セラミックスの強度と破壊靱性を高めることが必要であるということで、CNTを強化材としてアルミナセラミックスに複合化するものです。始めは、簡単にできるだろうなど思っていたのですが、水と油と同じ関係にあるアルミナセラミックスとCNTを均一に混ぜるのに苦戦し、破壊靱性は高くなるものの強度は低下してしまいました。今では、図2のようにある程度均一に混ぜることができるようになり、破壊靱性が向上するための条件をみいだしましたが、まだ、強度向上については模索状態にあります。

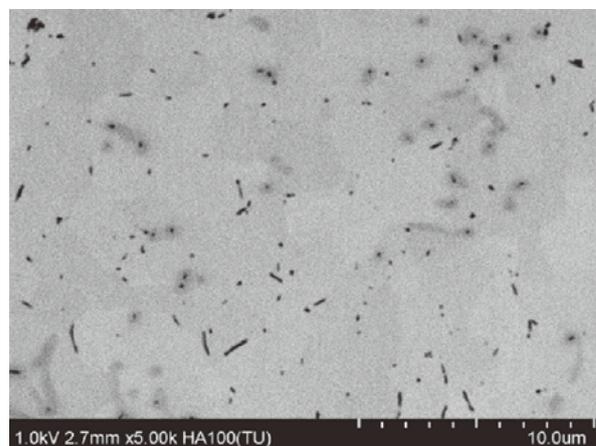


図2 CNT/アルミナ複合体のSEM写真、黒い点や線がCNT

おわりに

これまで、田草川先生、北島先生をはじめ、たくさんの方からご指導・ご鞭撻をいただき研究を続けることができました。また、おおくの研究成果につきましては、研究室の修了生、卒業生、在学生によるものです。研究は、科研費、財団の助成、企業さんからの共同研究費などにより実施できたものもたくさんあります。若里会からは、外国出張旅費のご支援を受けたことがあります。この場を借りて、関係の皆様へ感謝申し上げます。

今後も、マイカ関連とCNT複合体についての研究を進めていきます。研究成果が学術や社会の役に立つよう、努めていきたいと思っております。

アサノ研究室紹介

役に立つ情報システムを目指しています。あなたも使いたくなる？

情報工学科 准教授 アサノ・デービッド・ケン



アサノ研究室では、幅広い範囲で情報システムの研究開発を行っています。『役に立つ』『使いやすい』を基本方針にし、人間の仕事や生活が『楽になる』『楽しくなる』ものを目指しています。

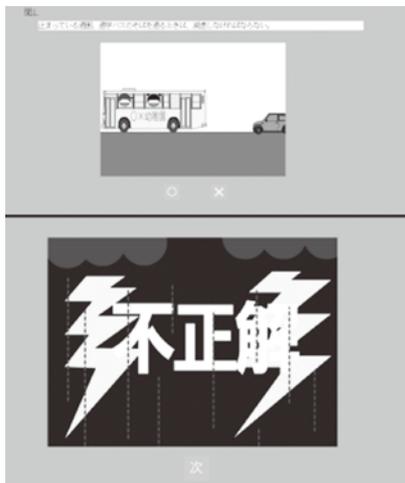
例えば、図1の『免トレ君』は、運転免許の学科試験問題をわかりやすくするために動画を付けたものです。正解・不正解の判定も動画を使い、試験勉強をゲーム感覚でできるようにしています。単独の

機器、ウェブページなど、様々な形態で使えるようにしています。

図2の『在室表示機器』はインターネット経由でも確認できるので、部屋まで行かなくても在室しているかどうかわかります。また、戻る時間が表示できます。これらの機能により、行き違いが避けられます。



単独機器



問題には動画が付いているので理解が深まる

図1：運転免許学科試験用の練習器「免トレ君」



タッチパネルで操作



戻る日時表示

図2：在室表示機器

計算流体力学研究室

環境機能工学科 准教授 吉田 尚史



「ゆく河の流れは絶えずして、しかももとの水にあらず。よどみに浮かぶうたかたは、かつ消えかつ結びて、久しくとどまりたるためしなし。」

これは鎌倉時代に書かれた鴨長明の方丈記の冒頭の一節です。鴨長明は「時の流れの無常観」を水の流れに例えて書いたものと解釈されていますが、私の専門分野である流体力学の観点から見て、「水の流れ」の本質をよく表した文章であると思います。現代の物理学や工学が確立されるはるか以前に、「流れ」についての的確な表現をしたいにしえの日本人の感性に敬服する思いです。

流体力学は気体や液体など大きな変形の自由度をもった物質（流体）が運動する流れ現象を扱う力学です。流体の運動はニュートンの運動の第二法則に基づいた Navier-Stokes 方程式によって記述されます。

$$\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla \mathbf{v} = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \nu \nabla^2 \mathbf{v}$$
$$\nabla \cdot \mathbf{v} = 0$$

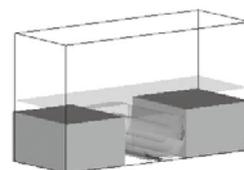
この運動方程式の解を求めれば、流体がどのように流れるのかを決定することができます。しかし、Navier-Stokes 方程式は非線形であるため解析的に解くことができません。

当研究室は Navier-Stokes 方程式をコンピューターで数値計算することで近似解を得る数値解析の方法を用いて流れを研究しています。Navier-Stokes 方程式を有限差分法によって線形の連立一次方程式系に近似変換します。連立一次方程式系はコンピューターで数値的に解くことができ、Navier-Stokes 方程式の数値解を得ることができます。

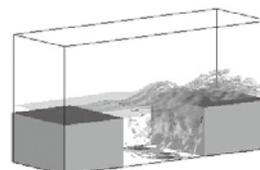
当研究室では、様々な流れの現象をコンピューターで数値解析することで、流れ現象の物理の解明や流れ現象の制御や利用について研究しています。コンピューターは大阪大学のスーパーコンピューターシステムを使用して大規模計算を行っています。信州大学は科学技術計算用の大規模高速コンピューターシステムがないためですが、信州大学が

地域資源等を活用した産学連携による国際科学イノベーション拠点整備事業に採択されその機器設備の一部としてスーパーコンピューターシステムが整備される計画があることを聞き大変期待しているところです。

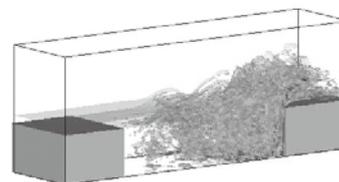
研究テーマの一つとして、キャビティ（くぼみ）を過ぎる流れの自励振動現象があります。キャビティの剥離せん断層が自然に周期的な振動を起こす流れで、さらにキャビティの長さを変えると振動の



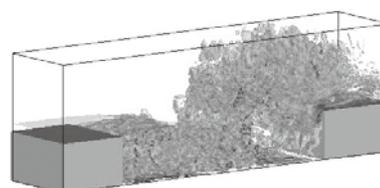
(a) キャビティ長さ=1.5



(b) キャビティ長さ=2.0



(c) キャビティ長さ=4.5



(d) キャビティ長さ=5.0

モードが変化するという流れです。同じ Navier-Stokes 方程式を同一のプログラムで計算しているにもかかわらず、キャビティ長さというたった一つのパラメータが変わることで振動のパターンが大きく変わるという大変興味深い流れ場です。キャビティ長さに対する流れパターン変化の例を紹介します。図(a)から(d)はキャビティ長さを変えたシミュレーション結果で渦度と呼ばれる流体の回転運動を表す物理量の等値面を示したものです。キャビティ長さが短い(a)ではせん断層の自励振動は起きません。キャビティ長さを 0.5 長くした(b)では振動モー

ドⅡの振動が発生します。キャビティ長さが長くなった(c)ではモードⅢの振動に変化します。そして(c)からキャビティ長さを 0.5 長くした(d)ではウェイクモードと呼ばれるモードに変化します。同じ方程式を同じプログラムで計算しても、キャビティ長さのみが変化するだけで流れの振動パターンは4つの状態に変化します。

このように流体力学の現象はまだまだ未解明な解が変化する問題が多くあります。それらの解明により有効な流れの利用に向けて研究を進展させていきたいと考えています。



「技報 こまくさ」 第 11 号 平成 25 年 10 月発行
(非売品)

発行者 一般財団法人信州大学工学部若里会
〒 380-8553

住 所 長野県長野市若里 4 丁目 17-1
TEL (026) 266-8209 (FAX 共有)
E-mail : wakasat@shinshu-u.ac.jp

印刷・製本 株式会社アイデスク
〒 381-0025 長野市北長池 1263-1
TEL (026) 244-4551



一般財団法人 信州大学工学部 若里会