



技 報



K O M A K U S A ・ 2017.10 ・

技報こまくさ15号発刊に当って

一般財団法人信州大学工学部若里会 副理事長 清水 保雄

研究助成
報告

チョウの羽ばたき飛翔の解明と超小型飛翔体への応用

機械システム工学科 鈴木 康祐

粗面化集電箔の電気化学的創製とナトリウムイオン電池負極への適用

物質化学科(物質工学科) 清水 雅裕

ウェアラブルロボット向けサーボアンプワンパッケージ化に関する研究開発

電子情報システム工学科(情報工学科) 上口 光

| 研 | 究 | 室 | 紹 | 介 |

知的センシング研究室(高山研究室)の紹介

機械システム工学科 准教授 高山 潤也

田代研究室の紹介—環境磁界発電など磁気技術を日本から発信—

電子情報システム工学科(電気電子工学科) 准教授 田代 晋久

まちづくり・地域づくり

水環境・土木工学科(土木工学科) 准教授 藤居 良夫

田守研究室の紹介

建築学科 教授 田守 伸一郎

山口研究室の紹介

物質化学科(物質工学科) 准教授 山口 朋浩

小林研究室によくある風景

電子情報システム工学科(情報工学科) 准教授 小林 一樹

計算力学研究室

機械システム工学科(環境機能工学科) 教授 中村 正行

機械システム工学科(環境機能工学科) 助教 藤井 雅留太

目 次

技報こまくさ 15 号発刊に当って

／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

チョウの羽ばたき飛翔の解明と超小型飛翔体への応用

／機械システム工学科 鈴木 康祐	2
------------------	---

粗面化集電箔の電気化学的創製とナトリウムイオン電池負極への適用

／物質化学科（物質工学科） 清水 雅裕	6
---------------------	---

ウェアラブルロボット向けサーボアンプワンパッケージ化に関する研究開発

／電子情報システム工学科（情報工学科） 上口 光	10
--------------------------	----

研究室紹介

知的センシング研究室（高山研究室）の紹介

／機械システム工学科 准教授 高山 潤也	12
----------------------	----

田代研究室の紹介—環境磁界発電など磁気の技術を日本から発信—

／電子情報システム工学科（電気電子工学科） 准教授 田代 晋久	13
---------------------------------	----

まちづくり・地域づくり

／水環境・土木工学科（土木工学科） 准教授 藤居 良夫	16
-----------------------------	----

田守研究室の紹介

／建築学科 教授 田守 伸一郎	17
-----------------	----

山口研究室の紹介

／物質化学科（物質工学科） 准教授 山口 朋浩	18
-------------------------	----

小林研究室によくある風景

／電子情報システム工学科（情報工学科） 准教授 小林 一樹	20
-------------------------------	----

計算力学研究室

／機械システム工学科（環境機能工学科） 教授 中村 正行	
機械システム工学科（環境機能工学科） 助教 藤井 雅留太	21

技報こまくさ 15 号発刊に当って

一般財団法人信州大学工学部若里会
副理事長 清水 保雄

ここに、一般財団法人若里会の技術情報誌、技報「こまくさ 15 号」を発刊する運びとなり、ご多忙にもかかわらず原稿をお寄せ頂いた著者並びに編集をご担当された委員各位に感謝申し上げます。

天然資源に乏しい我が国が先進国として世界に肩を並べてこられた理由の一つに、日本ならではの人間力、優れた人的資源があったからということができるかも知れません。探究心・向学心が強く、一生懸命に働く勤勉さは、世界で日本ブランドが信頼されることの源になっています。そして、将来にわたり科学技術立国日本を支え維持するには、裾野の広い多様な分野で優れた人材を育成し揃えていることこそが欠かせないと言えるのではないのでしょうか。しかしながら、我が国の高等教育に対する国家予算は、文部科学省の「教育指標の国際比較 2012 年版」などでも明らかなように、OECD29 カ国の GDP に対する学校教育費の比率においてトップの米国 (2.7%)、第 2 位の韓国 (2.6%)、第 3 位のカナダ (2.5%)・・・、日本は遠く及ばず第 11 位 (1.5%) というのが実態です。

加えて、国立大学の法人化以来、運営費交付金の年 1%削減政策が継続され、人件費や光熱水費など教育研究を実施するうえで必要な最も基盤的な経費の確保すら困難な危機的状况になっています。毎年度削減された分の運営費交付金は、科学研究費補助金などに振り向けられているようですが、科学・技術が急速に発展・進化する現在、最先端研究を推進し、まさに世界と伍して競うためには、科学研究費補助金からも大型予算を重点配分しなければならない訳ですから、結果的に大学などの研究者が営々と地道に積み上げる基礎研究に充てられる予算は先細りを余儀なくされています。現在のような大学の環境では、最近のように日本からノーベル賞受賞者を輩出させるのは困難になるのではないかと心配されています。高等教育に掛ける国家予算をせめて GDP 比 2%程度まで早急に増やすような英断をせねば、日本の科学技術は停滞し凋落して行くように思います。

本年度も若里会は今までと同様に以下の事業を行っております。すなわち、1) 技術情報誌「こまくさ」の発行、2) 講演会開催助成事業、3) 学部・学科助成事業、4) 研究助成事業、5) 「新・工学の先駆者 ようこそ先輩 2017」の開催、6) 大学祭への助成、7) 国際会議等助成事業です。4) の研究助成事業は、本会が平成 23 年度から上述した厳しい研究環境の中で健闘されている工学部の若手研究者の皆さんの独創的研究を支援する目的で始めたものです。少額ではありますが、受給された皆さんがこれを契機にさらに研究の成果を上げられ、夢の実現に繋げて頂けるよう期待するものです。本号には、平成 28 年度に実施された研究助成事業の報告および研究室紹介などを掲載しましたので、ご高覧いただきたく存じます。

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。

チョウの羽ばたき飛翔の解明と超小型飛翔体への応用

信州大学工学部 機械システム工学科 熱流体システム工学分野

鈴木 康祐

Investigation into flapping flight by butterflies and its application to micro air vehicles

Kosuke SUZUKI

Dept. of Mechanical and Systems Engineering, Faculty of Engineering, Shinshu University



1. はじめに

昆虫は非常に俊敏に飛び回る。止まっていたかと思えば急に動き出し、ある方向を飛んでいたかと思えば急に方向を変え、落下するかと思えば急に上昇する。こういった優れた運動特性は、羽ばたいて飛ぶという「羽ばたき飛翔」によってなせる業であり、従来の航空機には見られない画期的なものである。そのため、近年注目されている昆虫サイズのドローンである超小型飛翔体に、羽ばたき飛翔の利用を検討する研究が国内外問わず盛んに行われている。

昆虫の中でも、チョウはひらひらと不規則で不安定な飛翔をすることから、他の昆虫に比べてその羽ばたき飛翔のメカニズムは極めて複雑で、十分に解明されていない。また、「不安定な飛翔」が出来るのは、不安定で落下しそうな姿勢からすぐに回復する能力があることを示しており、これを工学的に応用できれば、より俊敏かつ安全な超小型飛翔体の開発につながると予想される。

本研究では、チョウの羽ばたき飛翔の解明と超小型飛翔体への応用を目指して、チョウを模した羽ばたき翼—胴体モデル⁽¹⁾を用いた数値計算と、その結果を応用した羽ばたき機構の作製を行った。数値計算では、埋め込み境界—格子ボルツマン法⁽²⁾という手法によって、モデルの動きによって誘起される空気の流れを計算するとともに、モデルが受ける揚力や推力を計算した。以下にその研究経過を報告する。

2. チョウを模した羽ばたき翼—胴体モデルを用いた数値計算

本研究では、チョウを模した羽ばたき翼—胴体モデルに種々の要素を付与して洗練化し、それぞれの要素が飛行性能に与える影響を明らかにする。平成28年度には、考慮する要素として、翼の形状、質量、柔軟性を取り上げた。

2.1. 翼の形状の影響

チョウを模した羽ばたき翼—胴体モデルは、翼形

状が正方形といった単純な形状であったが、実際のチョウの質量を支えられるほどの揚力が発生できることがわかっている⁽¹⁾。しかしながら、翼の形状は揚力や推力の発生に大きな影響を及ぼすことが知られており、特にアスペクト比、テーパー比などのパラメタによって飛行性能が大きく異なると言われている。本研究では、様々なテーパー比の台形翼、様々なアスペクト比の長方形翼、実際のチョウの翼の3種類の翼形状（図1）について計算を行い、これらのパラメタが飛行性能に与える影響を調べるとともに、実際のチョウの翼形状の場合と比較した。

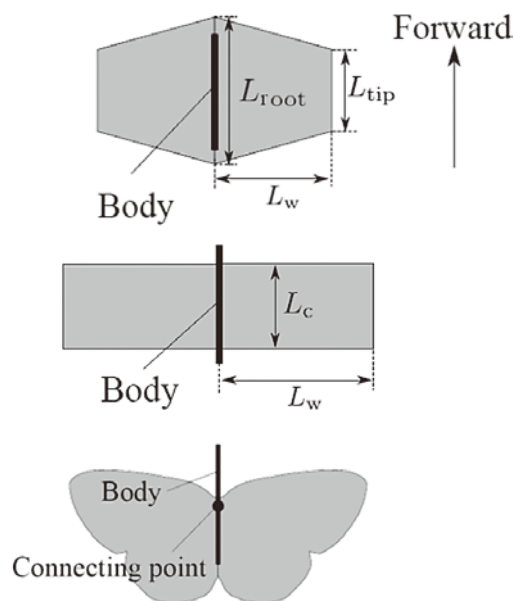


図1. 3種類の翼形状。上から、台形翼、長方形翼、実際のチョウの翼。

図2に、結果の一例として、実際のチョウの翼形状の結果と、それと同じアスペクト比を持つ長方形翼の結果を示す。この図より、実際のチョウの翼形状は、長方形翼よりも小さい動力で、長方形翼と同程度の揚力を発生できていることがわかる。本誌では結果を掲載できないが、これ以外にも、台形翼においてはテーパー比が大きくなるほど、長方形翼に

においてはアスペクト比が大きくなるほど、消費する動力は大きくなるものの、発生する揚力は大きくなることがわかった。興味深いことに、実際にチョウの翼形状は、どの台形翼、長方形翼よりも効率よく揚力を発生できることもわかった。

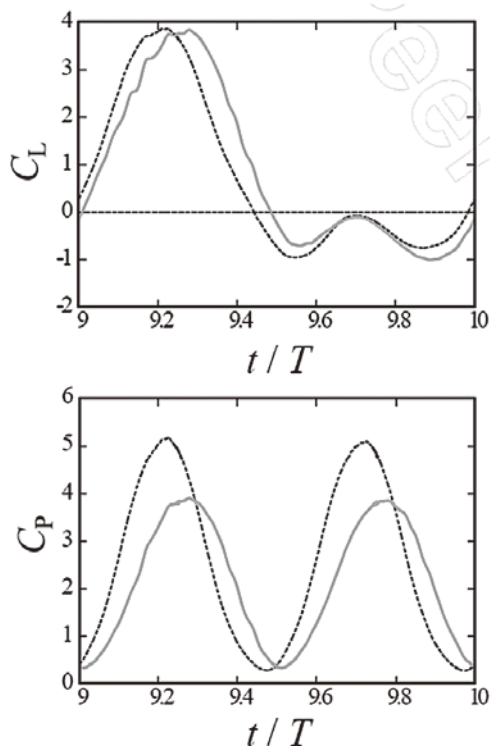


図2. 実際のチョウの翼形状の結果（実線）と、同じアスペクト比の長方形翼の結果（点線）。上図は、羽ばたき一周の間の揚力係数の時間変化を表し、下図は動力係数（仕事量）の時間変化を表す。

これらの結果は、論文としてまとめられ、国際学術雑誌 *Communications in Computational Physics* に掲載予定である⁽³⁾。

2.2. 翼の質量の影響

チョウの翼の質量は、胴体の質量に比べ10%程度である。これは、他の昆虫に比べはるかに大きい比率である。そのため、翼の質量の影響は、他の昆虫の研究で無視されてきたが、チョウの研究においては、影響を持つことが十分に考えられる。そこで本研究では、まず最も簡単なモデルとして、翼の質量を考慮した2次元対称羽ばたき翼を考え、その自由飛翔における翼の質量の影響を調べた。また、その結果を受けて、チョウを模した羽ばたき翼—胴体モデルの自由飛翔における翼の質量の影響を調べた。

2次元対称羽ばたき翼の計算では、全体の質量に対する翼の質量の比率を様々に変えたところ、翼の

質量の比率が大きいほど、発生する時間平均揚力は小さくなり、落下しやすくなることが分かった。これは、翼の質量の比率が大きくなると、相対的に胴体の質量が小さくなり、1回の羽ばたきで胴体の上下運動が大きくなるため、静止座標系からみた翼端の速度が小さくなり、結果的に翼端渦が小さく減衰しやすくなるためと考えられる。また、その代わりに、翼の質量の比率が大きくなると、飛行の安定性は増すことが分かった。結果の一例として、様々な質量比に対する翼周りの渦渡場の様子を図3に示す。

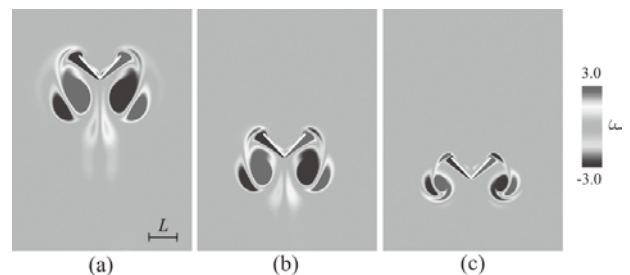


図3. 2次元対称羽ばたき翼周りの渦渡場の様子（実効レイノルズ数が120の結果）；(a)翼の質量比=0.0、(b)0.5、(c)1.0。翼の質量の比率が大きいほど、発生する翼端渦が小さくなって、上昇しにくくなっていることがわかる。

チョウを模した羽ばたき翼—胴体モデルの計算では、2次元の結果と同様に、翼の質量の比率が大きくなると、揚力が発生しにくくなり、落下しやすくなることが分かった。さらに、重力に打ち勝ち上昇飛翔可能となる臨界質量比を計算し、実際のチョウの質量比と比較したところ、両者は概ね一致することから、チョウは飛翔可能となるぎりぎりの質量比で飛翔していることが示唆された。また、翼に質量を付加すると、その質量を回転させるためのトルクがかなり大きくなることから、姿勢制御の計算には、翼の質量を考慮する必要があることが示唆された。

これらの結果は、論文としてまとめられ、国際学術雑誌 *Fluid Dynamics Research* に掲載予定⁽⁴⁾、国際学会 APS DFD2016⁽⁵⁾で発表済み、国際学術雑誌 *Journal of Fluid Mechanics* に投稿予定である。

2.3. 翼の柔軟性の影響

チョウは非常に柔軟性に富んだ翼を利用して、推力を増大させたり、姿勢を安定化したりしていると言われている。そこで本研究では、まず簡単なモデルとして、翼弦方向に柔軟性を考慮した2次元翼型を考え、その自由飛翔における翼の柔軟性の影響を調べた。また、その結果を受けて、チョウを模した

羽ばたき翼—胴体モデルの翼に柔軟性を考慮し、その自由飛翔における翼の柔軟性の影響を調べた。

翼弦方向に柔軟性を考慮した2次元翼型の計算では、翼前縁部と後縁部をねじりばねでつないだ単純なモデル(図4a)を作成し、ねじりばねのばね定数の揚力への影響を調べた。その結果、ある最適なばね定数で、平均揚力係数が極大になることが分かった(図4b)。

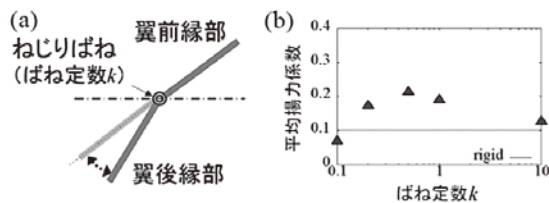


図4. (a) 翼弦方向に柔軟性を考慮した2次元翼型モデル、(b) 平均揚力係数のばね定数依存性。

この結果は、国内学会 TOKAI ENGINEERING COMPLEX 2017 で発表済み⁽⁶⁾である。今後この計算を3次元に拡張し、同様に翼の柔軟性の影響を調べていく予定である。

3. チョウを模した羽ばたき機構の作製

本研究では、チョウを模した羽ばたき機構の作製を行った。チョウの羽ばたき方は、羽ばたき角と迎角を、位相差をつけて変化させるものである。平成28年度以前の研究で、2つの往復スライダ機構と、位相差のついた二つのクランクを持つクランク軸を

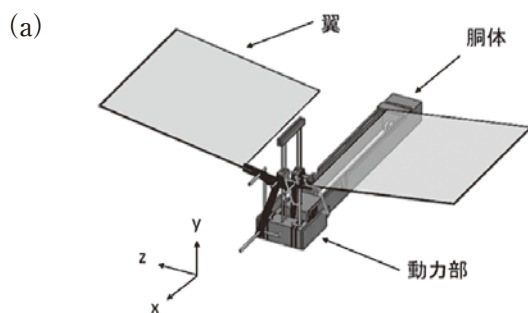


図5. (a) 羽ばたき機構、(b) モータを動力源とする試作機。

用いて、簡単な試作機を作成している(図5a)。平成28年度には、それに駆動源としてモータを搭載し、また所望の羽ばたき周波数となるようにギアの設計を行い、継続的に一定の周波数で羽ばたくように改良した(図5b)。

しかしながら、重量、サイズ、耐久性、羽ばたき角の波形や周波数のばらつき、揚力測定時の振動など、多くの課題が残っている。今後これらの課題を解決することで、超小型飛翔体の開発を目指す。

4. おわりに

本研究では、チョウの羽ばたき飛翔の解明と超小型飛翔体への応用を目指して、チョウを模した羽ばたき翼—胴体モデルを用いた数値計算と、その結果を応用した羽ばたき機構の作製を行った。この研究はまだ基礎的な部分が多く、「チョウはなぜ安定して飛翔できているか?」という素朴な疑問に答えようとしている段階である。モノへの応用はまだ遠いが、実験的研究と数値計算的研究を相補的に行っていくことにより、これまでにない画期的な超小型飛翔体の開発を目指していきたい。

謝辞

本研究は一般財団法人信州大学工学部若里会の平成28年度研究助成を受け実施したものであり、多大なる支援に深謝申し上げます。本研究の遂行にあたり、信州大学工学部機械システム工学科教授の吉野正人先生には、多大なるご助言を頂きました。また、チョウを模した羽ばたき機構の作製には、同学科教授の深田茂生先生、准教授の酒井悟先生に、多大なるご助言、ご助力を頂きました。さらに、当研究室の学生の皆さん(岡田伊織君、青木崇晃君、吉田佳広君、本江晶絵さん、松永雅人君)には、実験、数値計算の両面でサポート頂きました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- (1) K. Suzuki, K. Minami, and T. Inamuro: Lift and thrust generation by a butterfly-like flapping wing-body model: immersed boundary-lattice Boltzmann simulations, *J. Fluid Mech.* 767, pp659-695, 2015.
- (2) K. Suzuki and T. Inamuro: Effect of internal mass in the simulation of a moving body by the immersed boundary method. *Comput. Fluids* 49, pp173-187, 2011.
- (3) K. Suzuki and M. Yoshino: Numerical simulations for aerodynamic performance of a butterfly-like flapping wing-body model with various wing planforms. *Commun. Comput. Phys.* (in press).
- (4) K. Suzuki, T. Aoki, and M. Yoshino: Effect of wing mass in free flight of a two-dimensional symmetric flapping wing-body model. *Fluid Dyn. Res.* (in press).
- (5) K. Suzuki, I. Okada, and M. Yoshino: Effect of wing mass in free flight by a butterfly-like 3D flapping wing-body model. *69th Annual Meeting of the APS Division of Fluid Dynamics, Bulletin of the American physical society*, 61, p248, 2016.
- (6) 本江晶絵、鈴木康祐、吉野正人：翼後縁に柔軟性を考慮した二次元翼型による羽ばたき飛翔解析。TOKAI ENGINEERING COMPLEX 2017 (TEC17) 日本機械学会東海支部第66期総会講演会講演論文集、410 (2 pages)、2017。



粗面化集電箔の電気化学的創製と ナトリウムイオン電池負極への適用

信州大学工学部 物質化学科
助教 清水 雅裕



はじめに

時間帯により発電量が大きく変動する太陽光などの再生可能エネルギーを有効に活用するには高性能な定置用電源が必要不可欠となる。Li とは対照的に Na の資源は海水中にはほぼ無尽蔵に存在するため、ナトリウムイオン電池 (NIB) は大幅な低コスト化が可能であり、その応用が切望されている¹⁾。正極活物質については有望な候補 ($\text{Na}_{2/3}\text{MnO}_2$ 、 $\text{Na}_x[\text{Fe}_{1/2}\text{Mn}_{1/2}]\text{O}_2$ 、 $\text{Na}_2\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ など) が国内の研究者らによって報告されてきている²⁾。負極活物質に関しては、その Na 吸蔵機構の違いによって次の3つに大別され研究開発が進められている。①インターカレーション (インサーション) 反応型: ハードカーボン、 TiO_2 など。②コンバージョン反応型: 主に遷移金属酸化物 (例: $\text{NiO} + 2\text{Na}^+ + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Ni} + \text{Na}_2\text{O}$)、③合金化—脱合金化反応型: Sn、Sb、Pb、P など (例: $\text{Sb} + 3\text{Na}^+ + 3\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Na}_3\text{Sb}$)。Na イオンがトポケミカルにホスト材料に出入りする①は、容量こそ限定されるものの高い反応可逆性と高サイクル寿命を示すことが特徴である。②のコンバージョン反応型では、インターカレーション型と比較してその容量は大きいものの、充放電にともなう相分離や結晶格子の再構築が可逆性の低下を招くため、サイクル安定性に乏しいという欠点を抱えている。他方、主に③合金化—脱合金化反応を示す14・15族元素のNIB負極活物質としての性質 (表1) を概観すると、Sn や P が①・②型の活物質と比べて圧倒的に高い容量をもたらすことが分かる。しかしながら、Na と合金化した際の体積膨張率はそれぞれ520%、490%と極めて大きく、これが原因となり微粉化や集電体基板から活物質層の剥離 (電気的孤立) などが生じるため、長期サイクルにわたって潜在的な高容量を活かすことができないことが課題である。集電体—活物質層の密着性の強化には、結着剤の最適化に関する研究例が多いが、集電体もまた電池性能を決定付ける重要な構成要素の1つである。例えば、集電体表面の粗面化によってもたらされるアンカー効果は活物質—基板間の密着性の向上に極めて有効に機能する。ただし、これらの粗面化

処理においては、酸または塩基性溶液によるケミカルエッチングを中心にトップダウン型のアプローチが多くその作製工程の簡略化が求められる。一方、筆者らはこれまでに電気めっき技術を駆使することで金属基板表面の加工や機能性付与について検討してきた。その中で Cu めっき浴にある種の有機添加剤を加えるだけで、基板から結晶性の Cu がシート状に成長することを見出した。ここでは、筆者らが独自に開発した粗面化基板のNIB負極への応用に関する研究について報告する。

表1 ナトリウムイオン電池用負極活物質の性質と理論容量の比較。

Element	Composition after sodiation	Theoretical capacity / mA h g^{-1}	Volume expansion ratio	Abundance in Earth's crust / ppm
P	Na_3P	2596	490%	1,000
Sn	$\text{Na}_{15}\text{Sn}_4$	847	520%	2.2
Sb	Na_3Sb	660	390%	0.2
Pb	$\text{Na}_{15}\text{Pb}_4$	485	490%	14
Ge	NaGe	369	226%	1.8
Ga	$\text{Na}_7\text{Ga}_{13}$	207	-	18

粗面化集電体の電気化学的創製

粗面化集電体の作製に関する報告例はいずれもトップダウン型のアプローチであり、その作製には複雑なプロセスが必要となることは否めない。これまでに筆者らは電気めっき法により電気・熱伝導性材料、電界放出ディスプレイ用素子など様々な機能性材料の創製を試みてきた。例えば、分散剤 (主として界面活性剤) によりカーボンナノチューブ (CNT) を CuSO_4 水溶液に均一に分散させた複合めっき浴を用いることで、Cu めっき膜内部・表層部に CNT が共析した複合膜の作製に成功している。これらは従来使用されてきた Cu 系合金を凌駕する放熱特性を示す。また、この技術を Ag めっきに適用することで、純粋な Ag めっき膜と比較して300%の硬度化を達成し、電気接点部品として良好な特性を示すことを見出している。これらの成果のキーテクノロジーの1つであるめっき浴中のCNTの分散性は極めて重要であり、複合めっき膜の形成機構やCNT含有量に大きく影響を与える。その中でポリアクリル酸 (PAA) がCNTの分散剤として

効果的に機能することを明らかにしてきた。さらに、これら一連の研究において、CNT を含まないめっき浴に PAA のみを添加した系で Cu めっきを行った結果、基板の上に Cu がシート状に成長したユニークな構造体を得た^{3,4)} (図 1)。

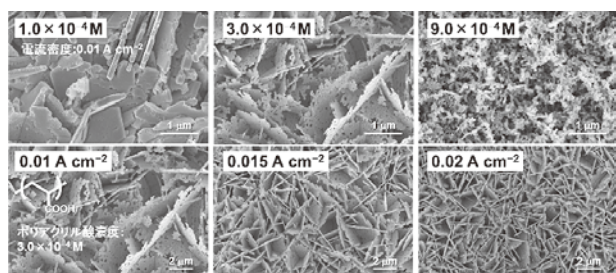


図 1 ポリアクリル酸 (PAA) 添加めっき浴から電析することで作製した粗面化 Cu 基板の電子顕微鏡像。(上段) 溶液中の PAA 濃度および (下段) 電析時の電流密度が基板上的 Cu 成長におよぼす影響。

PAA 濃度や電析時の電流密度の調節により、基板表面に成長する Cu シートの厚さ・シート同士が形成する空間の大きさを容易に制御することが可能であることが分かった。PAA 濃度の増大にともない基板上に成長する Cu シートは薄くなり、 9.0×10^{-4} M 以上では 100 nm 程度の微粒子が枝状に成長し多孔質構造を形成する。他方、PAA 濃度を一定に保った状態で電流密度を大きくすると、シート厚はそのままシート間に形成される空間を小さくすることができる。また、シート長も通電量により自在に変化させることもできる。従って、これらのパラメータを最適化することで集電体表面の粗面化度を巧みに操ることができる。種々解析を行った結果、Cu の成長機構が次のように起こるものと推察した。めっき浴中の PAA 分子が表面エネルギーの大きい Cu (110) や (100) に優先的に吸着し、これら

の方向への Cu 析出が抑制される。その結果として (111) 方向にのみ Cu が析出・成長しシートを形成するものと推察している。実際にそれらの X 線回折パターンからは、(111) 面の回折に由来するピーク強度が電析量とともに増大することが分かっている。また、それらの回折ピークは全て Cu に帰属され、本手法によって作製した集電体基板に CuO、Cu₂O、Cu(OH)₂ などの不純物が含まれていないことが確認された。その Cu シートとの基板界面の透過型電子顕微鏡をみると (図 2)、界面にボイドは認められず高い密着性がうかがえる。シート状 Cu の拡大像からは、粒界が見られず高い結晶性が確認できる。このようにして作製した集電体基板に対して一般的な NIB 用電解液 1MNaPF₆/EC:DEC を用いてサイクリックボルタンメトリー測定を行ったところ、比表面積が増大した分だけ電解液の還元分解に起因する応答電流が大きくなったが、概ね平滑な集電体基板と同様の挙動を示しており、NIB 負極の集電体として使用するうえでの問題はないといえる。

粗面化集電体の NIB 負極への適用

Sn は理論容量においては P に見劣りするもののハードカーボンなどの炭素系材料には十分勝っており、その活用が期待されている。また、電極作製にめっき技術を使うことができ結着剤や導電助剤なしに活物質を基板上に直接固定することが可能である。そのような集電体一体型の Sn 負極の構築についてピロリン酸 Sn めっき浴を用いて検討を行った。しかしながら、Cu シート表面に析出した Sn めっき厚が数 100 nm と比較的薄い場合においても、初回サイクルの可逆容量は理論容量の半分にも至らな

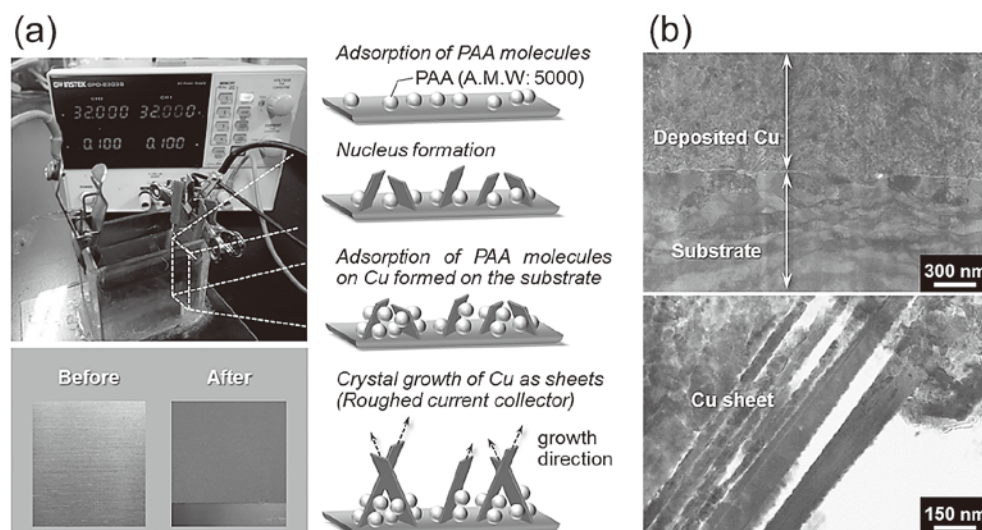


図 2 PAA 含有 Cu めっき浴を用いた粗面化集電体作製に関する模式図と基板上に成長した Cu シートの透過型電子顕微鏡像。

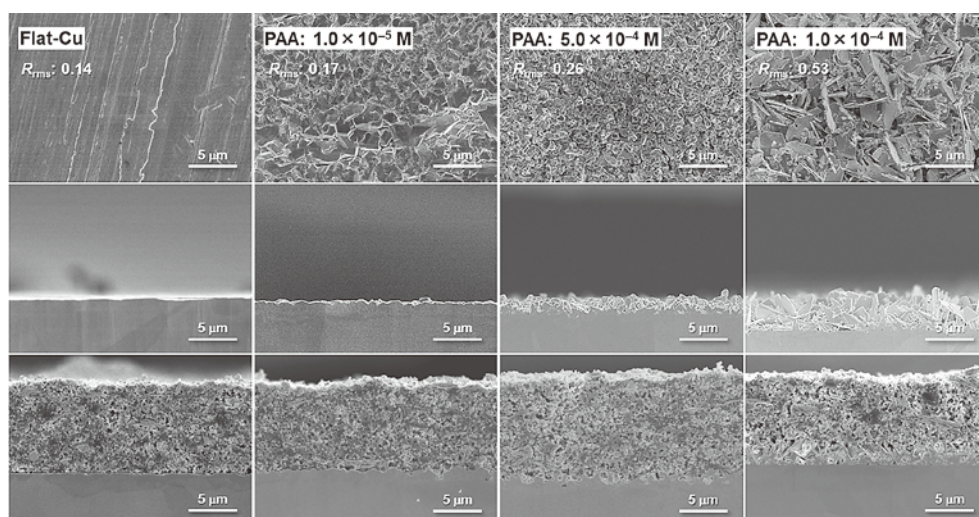


図3 PAA 含有 Cu めっき浴から得た粗面化集電体およびこれらにスラリーを塗布することで作製した Sn 電極の電子顕微鏡像。(上段) 平滑・粗面化集電体の表面電子顕微鏡像。(中段・下段) 断面像。電析電流密度は 5 mA cm^{-2} に設定した。

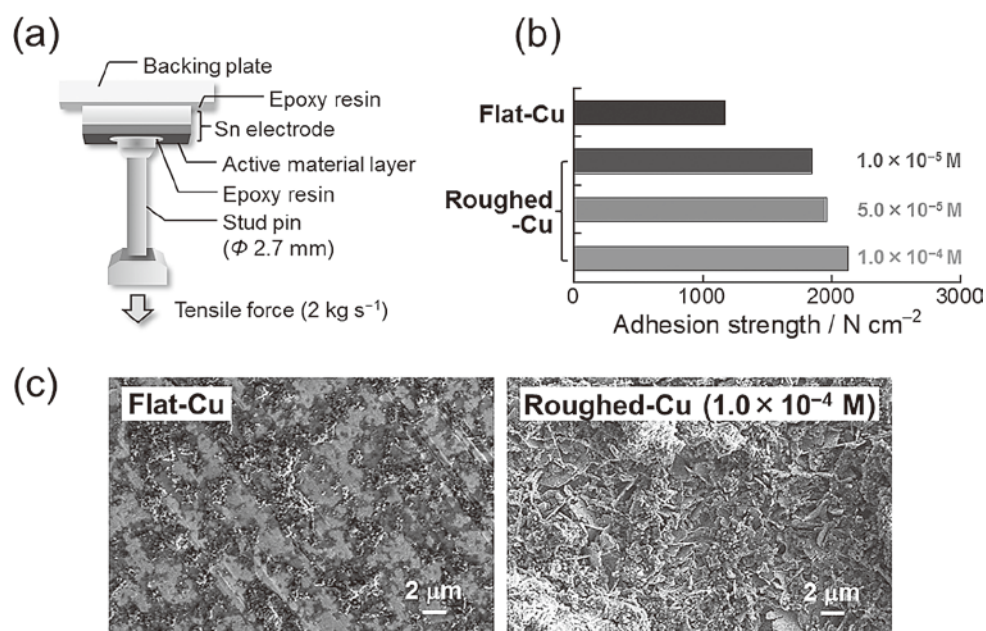


図4 (a) 活物質層—基板間の密着性評価試験の概念図。(b) 引張強度の測定結果。
(c) 引張試験後の電極表面の電子顕微鏡像。

かった。Na-Sn 合金化反応によって誘発される Sn の体積変化は最大で 520% にまで及ぶ。Sn めっき層は緻密であるがゆえに、膜内部で体積膨張を受け入れることができず電極崩壊が起きたことが劣化原因であると推察している。そこで、一般的な塗布法による電極作製を検討した。基板表面のシート間に形成される空間が活物質粉末の粒径よりも小さい場合、合剤層と粗面化基板間に隙間が生じ良好な集電性が期待できないため、PAA 濃度を低めに設定した粗面化基板を作製した。Sn (70 wt.%)、アセチレンブラック (導電助剤; 15 wt.%)、カルボキシメチルセルロース (増粘剤; 15 wt.%)、スチレンブタジエンラバー (結着剤; 5 wt.%) からなるスラリー

を厚さ $10 \mu\text{m}$ となるように塗布した合剤電極の断面走査型電子顕微鏡を図 3 に示す。 $1.0 \times 10^{-5} \text{ M}$ 、 $5.0 \times 10^{-5} \text{ M}$ 、 $1.0 \times 10^{-4} \text{ M}$ の異なる PAA 濃度のめっき浴を用い、電流密度を 5 mA cm^{-2} に設定して作製した粗面化基板表面の二乗平均平方根粗さ (R_{rms}) はそれぞれ 0.17、0.26、0.53 となり、PAA 濃度の増大にともない凹凸の度合いが徐々に大きくなっていることが確認できる、PAA 濃度が $1.0 \times 10^{-4} \text{ M}$ のものでは、基板から成長した Cu シートが電極合剤層に突き刺さった構造となっており、Sn の充放電中の体積変化の際においても活物質層—基板間の密着性が確保され高い電極性能が得られることが予想される。実際に活物質層—基板間の密着性を引張

試験器により調査した (図 4)。エポキシ樹脂を用いてスタッドピンを合剤層表面と接着した後、合剤層を引き剥がす方向に 2 kg s^{-1} の負荷を掛けながら密着強度を測定した。その結果、期待通り基板表面の粗面化により平滑基板と比較して密着強度が最大で 1.8 倍増大することが明らかとなった。引張試験後の電極表面の電子顕微鏡像から、基板上にシート状 Cu が確認できる。すなわち、基板上に成長した Cu ごと合剤層の剥離が起きているわけではないことが分かる。これらの粗面化集電体を用いて作製した Sn 電極の Na 吸蔵-放出特性において、フル充電 (カットオフ電圧 0.005–2.000 V) させた場合

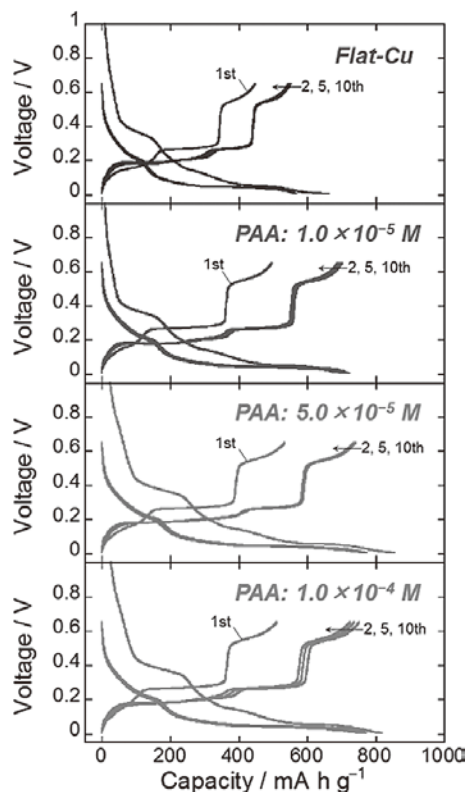


図 5 種々の粗面化集電体を用いて作製した Sn 電極の Na 吸蔵-放出特性。比較として平滑な集電体 (Flat-Cu) の結果もあわせて示す。カットオフ電圧: 0.005–0.650 V、電解液: 1 M NaPF₆/EC:DEC with 5 vol. % FEC、電流密度: 50 mA g⁻¹。

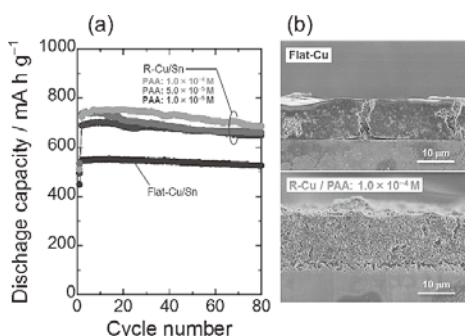


図 6 (a) 種々の粗面化集電体を用いて作製した Sn 電極のサイクル性能。(b) 充放電 10 サイクル後の電極断面の電子顕微鏡像。

では平滑のそれよりもわずかにサイクル安定性が向上するにとどまり、顕著な性能向上は認められなかった。また、充放電の可逆性を低下させる原因となる電解液の不可逆分解を抑制することで知られるフルオロエチレンカーボネート (FEC) を電解液に添加した場合においても同様の結果となった。そこで、Sn の体積変化率の低減と電解液の酸化分解の抑制を目的として、上限カットオフ電圧を 0.65 V に設定した条件下で充放電試験を再度実施した (図 5)。初回サイクルではいずれの電極も約 500 mA h g⁻¹ の放電容量を示す程度であったが、2 サイクル目において粗面化集電体の優位性が顕著になった。平滑な集電体では、初回から 2 サイクル目にかけて約 100 mA h g⁻¹ の増加したのに対し、 1.0×10^{-4} M の PAA を含むめっき浴から作製した粗面化集電体を用いたものでは 200 mA h g⁻¹ もの容量増大が確認された。この放電容量の増加は、電極合剤層に突き刺さった Cu シートによって集電性が改善された結果に由来するものと推察している。さらに、以降のサイクルにおいても安定したサイクル性能を示し、80 サイクル後においても炭素系材料を大きく超える 680 mA h g⁻¹ の高い容量を達成した (図 6)⁵⁾。このように活物質の潜在的な容量を発揮させるうえで粗面化集電体の使用は極めて有効であるといえる。電気めっき技術を駆使したボトムアップ型の本手法は任意の粗面化度をもたせることができる点に最大の特徴をもつ。NIB ではその負極集電体に Al を用いることが可能であり、これにより電池の軽量化が期待できる。Al 集電体においてもその基板表面の凹凸を自在に制御する技術の開発が今後の検討課題である。

参考文献

- 1) S. Komaba, W. Murata, T. Ishikawa, N. Yabuuchi, T. Ozeki, T. Nakayama, A. Ogata, K. Gotoh and K. Fujiwara, *Adv. Funct. Mater.*, 21 (20), 3859–3867 (2011).
- 2) N. Yabuuchi, M. Kajiyama, J. Iwatate, H. Nishikawa, S. Hitomi, R. Okuyama, R. Usui, Y. Yamada and S. Komaba, *Nat. Mater.*, 11, 512–517 (2012).
- 3) S. Arai, M. Mendsaikhan and K. Nishimura, *J. Electrochem. Soc.*, 163, D54–D56 (2015).
- 4) M. Shimizu, M. Munkhbat and S. Arai, *J. Appl. Electrochem.*, 47, 727–734 (2017).
- 5) 八塚涼輔、清水雅裕、新井 進、電気化学会第 84 回大会講演要旨集、PS39 (2017)

ウェアラブルロボット向け サーボアンプワンパッケージ化に関する研究開発

信州大学工学部 電子情報システム工学科
准教授 上口 光



世界的に高齢化の進行が社会問題となっている。特に日本においては、平成 26 年 10 月の時点で 65 歳以上の高齢者人口が総人口の 26% を占めるまでになっており [1]、深刻な課題となっている。そこで、介護・福祉分野での支援技術確立に向けてさまざまな研究開発が行われている。それらの研究の中で、ウェアラブルロボットは今後急速に需要の拡大する分野として位置付けられ、産学で活発な研究開発が行われている [2]。本学でも「近未来体内埋め込み型歩行アシストサイボーグプロジェクト」を組織して、それらの課題を同調制御法と衣服のようなウェアラブルロボットを実現することで解決し、高齢者、患者の生活支援のために利用することを目指し、研究を行っている。上口研究室では、そのプロジェクトの中で、アクチュエータ制御ユニットの小型化という課題について取り組んでおり、集積回路技術を積極的に利用することにより、この課題に挑戦している。

現行のアクチュエータ制御ユニットは、図 1 に示す通り、背中に背負う形となっており、運用上の大きな制約になっている。この制御ユニットは、バッテリー、CPU ボードと、サーボアンプ回路ボード群から成っており、この内、サーボアンプ回路ボードは制御軸分のボードが必要であるため、非常に大き

な容積を占めている。

我々の研究は、ウェアラブルロボティックスーツ”の応用先である、医療介護、福祉分野に大きく寄与し、高齢者の『生活の質』(Quality-of-Life、QOL)の向上に大いに役立つものと期待している。高齢者の積極的な社会経済活動参加により、高齢化が進む日本の国力維持にも大きく貢献するものと予想している。また、リハビリテーションの質をたかめることにより、事故などで一時的な障害を負ってしまった方の早期復帰をサポートする。更に、本研究で実施するアクチュエータドライバの小型化、高効率化を実現するものであるため、その要素技術はこれ以外の様々なアプリケーションに適用できる。従って、もし本研究により、高出力なドライバ回路が小さなパッケージにワンモジュール化されれば、例えば、乗用車のステアリング制御や産業用の工作機械、半導体製造装置などにも利用できるため、その波及効果は電気電子分野や医療応用に限定されず、非常に広範囲なものになると期待している。

今回の研究助成では、上記、サーボアンプ回路の小型化のために、サーボアンプ回路のワンモジュール化について検討を行った。具体的には、ドライバ回路について専用チップを作成し回路の最適化を図る共に、それを効率よくパッケージ化する実装技術

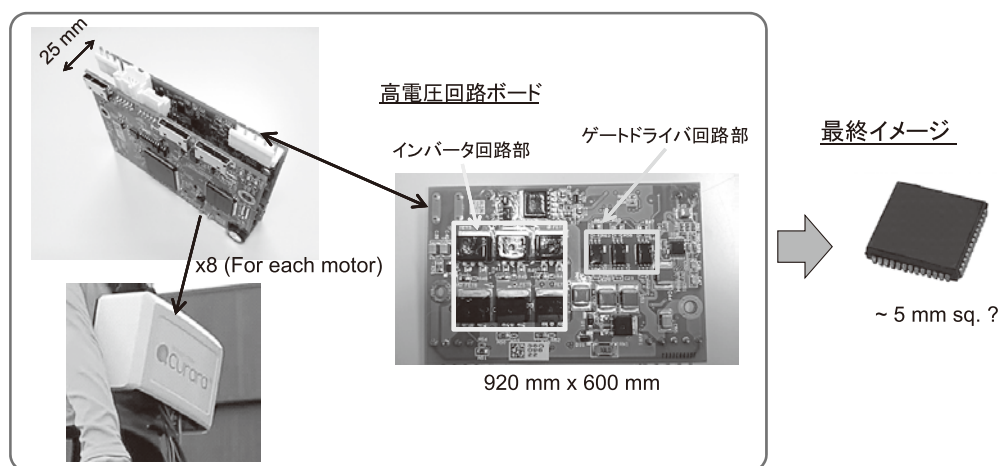


図 1：ウェアラブルロボット向けサーボアンプパッケージの最終イメージ図。

について検討した。サーボアンプ回路をワンモジュール化することにより、アクチュエータ制御ユニットの小型化が図れるのみならず、アンプ回路をモータの直近に配置することができるため、これにより電氣的な寄生成分（インダクタンス、抵抗、キャパシタンス）を削減し、大幅な効率改善が望める。

サーボアンプ回路は、(1) AC サーボモータを駆動するインバータ回路部、(2) インバータ回路を駆動するゲートドライバ部、(3) 電源電圧から AC サーボモータが必要とする高電圧を生成する昇圧回路、(4) 出力電流や電源電圧をモニタし、過電流などを検知する保護回路、(5) ゲートドライバへの PWM（パルス幅変調）入力信号を生成する MCU（マイクロコントロールユニット）部、(6) AC サーボモータからのフィードバック信号をエンコードし MCU に送るエンコーダ回路、(7) 同調制御を司るメイン CPU と通信を行う I/O インタフェース回路、から構成される。進行中のプロジェクトの課題としては、最終的にこれら全てをワンパッケージ（System in a Package, SiP）化することを目標とするが、開発項目が多岐に渡り、それぞれの技術的ハードルも高いため、今回の研究助成では以下のように課題を絞り、その開発の一部を実施した。

・高電圧回路部のワンチップ化に関する検討

現状のサーボアンプボードにおいて、最も大きな面積を占有しているのは、図 2 に示す通り、上記サーボアンプ回路構成要素の中の、(1) インバータ回路部、及び、(2) ゲートドライバ部、である。従って、まずは、これらの最適化を行うものとする。

具体的には、使用する MOS トランジスタデバイスのサイズ最適化、及び、適切な耐圧条件のデバイスを利用することによりこれを実現する。通常、高電圧に対応するトランジスタは、その耐圧を高くする構造により、その耐圧条件が高くなるに従ってオン抵抗が高くなる、といった欠点があるが、シミュレーションにより必要な耐圧条件をしっかりと見定めて、今回の開発に適したトランジスタ耐圧を選定し、適切なゲート寸法を選定にて設計を行う必要がある。そこで本研究助成では、この高耐圧トランジスタデバイス、および、モデルを利用して、その設計仕様に耐え得るアクチュエータ駆動回路をその設計環境とともに開発した。開発した環境を用いて、アクチュエータ駆動回路に用いるスイッチング素子を NMOS トランジスタのみで作成した場合と、CMOS を用いて作成した場合について、それぞれの回路で必要なパッシブデバイスを含めて検討し

た。トランジスタサイズやゲートドライバで消費される電力の観点から評価を行った。

その結果、スイッチング素子に CMOS を用いたインバータ回路の方が、NMOS のみを用いたものと比較して、トランジスタの面積は 1.41 倍大きくなるが、ゲートドライバの消費する電力は何千倍も少なくなるという結果が得られた。またトランジスタ面積が 1.41 倍大きくなっても、試作可能な最小ダイサイズ 2.5mm 角未満であり、且つ、CMOS タイプではパッシブデバイスを用いたブートストラップ回路が不要である。そのため、CMOS タイプで別途必要となる降圧型スイッチングコンバータ回路の追加分を考慮しても、最終的な実装面積（パッケージサイズ）は小さくなる見込みを得た。これら結果から、比較的小さなサイズで大幅に消費電力を削減でき、パッケージサイズも小さくできる CMOS を用いたインバータ回路が適しているという結論に至ったので、この回路のチップ試作に向けてレイアウト設計を行い、完了した。これらの成果は、平成 29 年 5 月に開催された「LSI とシステムのワークショップ 2017」にて発表した。

また、(3) 昇圧電源回路についても並行して検討も開始している。(3) 昇圧電源回路については、例えば、今回設計するシステムの場合、負荷の状態が予め推測できるため、それに応じた最適なクロック制御などを行い、効率的な昇圧方法を実現することを考えている。

これらの研究成果は、まだ学会未発表のものも多数あるので公表できない部分が多いが、検討した駆動回路のコンパクト化技術を適用することにより、従来の背中に背負うタイプの制御ボックスは腰に巻き付ける程度まで小型化できる見込みを得た。

最後に、伝統ある貴財団の研究助成にご採択いただきまして、心より御礼申し上げます。

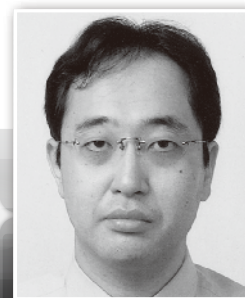
【参考文献】

- [1] 内閣府、“平成 27 年版高齢社会白書”
- [2] 歩行アシストスーツ“curara”

<http://www.shinshu-u.ac.jp/movie/2015/09/66479.html>

知的センシング研究室 (高山研究室) の紹介

機械システム工学科 准教授 高山 潤也



1. はじめに

機械システム工学科では、運動機構や機械材料・加工、熱流体やエネルギーなどに加え、ロボット、制御分野の研究など、メカトロニクスに関連する様々な分野の研究が進められています。この中で、われわれ知的センシング研究室は2012年度にスタートしており、「知的計測技術の実現」をキーワードに、計測のための方法論、計測信号処理技術や計測システム構築まで、メカトロニクス分野に関わる計測技術について広く研究を推進しています。

高山潤也准教授に加え、2017年度は、学部生5名、大学院生6名の総勢12名が在籍し、学生それぞれが独自の研究テーマをもって、日々の研究活動に取り組んでいます。

2. 知的計測技術の実現を目指して

「計測を制する者は、技術を制する」という言葉があるほど、簡潔・高性能な機械システムの実現には計測技術が不可欠であると言われています。実際、自動車の自動運転技術や自律型ロボットの構築には、高度な計測技術が必要不可欠であることは、周知のとおりです。また一方で、自然災害の未然防止やインフラ構造物の保全など、社会における安全・安心を担保するためにも、計測技術の重要性が近年急速に増してきています。このような社会状況を背景とし、当研究室では音、光や電波といった波動が反射や伝播してきた様子を観測・分析することで、対象の状態を「非接触・非破壊に能動計測する技術」の構築に精力的に取り組んでいます。

計測と聞くとセンサや測定器を研究しているように思われがちですが、当研究室では、既存の計測情報に含まれている未活用情報に着眼した新たな計測技術の構築に主眼においていることが特徴です。さらに、ただ単に測るだけではなく、計測システム自らが目的に応じて考え、自身の性能を適応的に変化させる能力を備えた、知的計測技術へと発展させる

ことを目指しています。

3. 研究テーマ紹介

研究室で推進している代表的な研究テーマについて、簡単に紹介します。

(1) マイクロ波レーダ法に基づくコンクリート建造物の内部構造推定技術

マイクロ波レーダ法は、パルスエコーの考え方にに基づき探査対象内部の様子を非破壊推定するための技術で、トンネルや橋梁、ビルなどコンクリート構造物の健全性診断へ使用されています。当研究室では、その観測波形から、コンクリート中の鉄筋・配管やクラック・空洞等、あらゆる物体や異常部位の深さ・形状、材質などを高精度・定量推定するための、非線形信号処理技術、逆投影画像化技術の構築に挑戦しています(図1)。

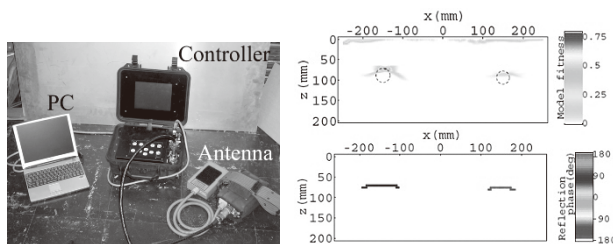


図1 マイクロ波レーダ装置と内部構造推定結果の例

(2) 無線センサネットワーク (WSN; Wireless Sensor Networks) における端末位置推定技術

WSNは、無線通信機能を備えた小型センサ端末を測定領域に多数配置して、空間的な物理量分布測定や移動体追跡等を実現する技術で、近年トリリオンセンサやIoTの概念も加わって新たなWSN時代を迎えています。しかし、バッテリー等の制約から端末への位置計測デバイス搭載は叶わず、位置推定方法に課題を残しています。当研究室では、端末同士の無線通信で得られる電波強度情報(図2)をもとにした端末位置の高精度推定法について検討して

います。

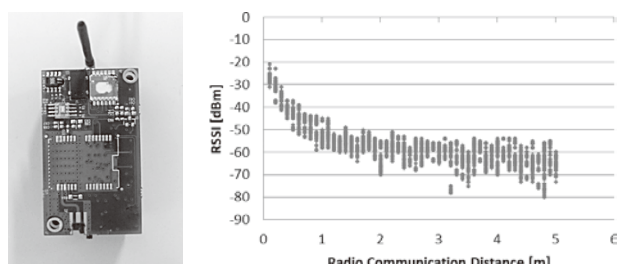


図2 無線センサ端末と電波強度減衰特性

(3)多関節型アームを用いた地中埋設管経路の高精度推定技術

老朽化により地下埋設送水管などの更新が急務とされる中、それら経路情報の記録漏れが社会的問題となっています。地中埋設された管内ではGPS等の位置情報は利用できないため、本研究では配管長

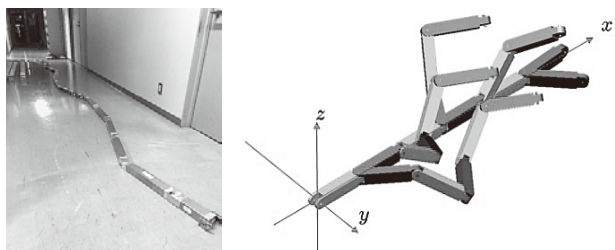


図3 多関節型アームとアーム形状重ね合せの模式図

に比較して遥かに短い多関節型アームを配管内に通します。そして、配管入口から出口まで牽引しながら時々刻々獲得されるアーム形状を適切な処理を用いて繋ぎ合わせることで、長距離配管の経路情報を高精度推定する方法について検討しています(図3)。

上記以外にも、企業との共同研究なども行っており、以下のような研究テーマを推進しています。

- ・画像情報を利用したコンクリート壁面ひび割れ自動診断技術
- ・打音分析に基づくコンクリート壁面内部の剥離定量診断技術
- ・光学的手法に基づいた基板はんだ付け形状の高精度計測手法

4. おわりに

計測技術は歴史ある研究分野であり、既に多くの計測手法が構築されています。しかしそれら従来手法では、折角観測されているが有効活用できていない情報も多く、そういった情報を分析する新たな視点を付加すると、新しい計測概念・技術を構築できる可能性があります。このような「温故知新」的な考え方も採り入れながら、社会が要求する新たな計測技術の構築に、これからも励んで行きたいと思っています。

田代研究室の紹介

—環境磁界発電など磁気の技術を日本から発信—

電子情報システム工学科(電気電子工学科) 准教授 田代 晋久



1. 田代研究室の紹介

田代研究室は若い人たちの才能と、先輩方の経験によって支えられています。田代研究室の学生は修士2年生4名、修士1年生5名、学部4年生8名の計17名で構成されています。図1に示すように脇若名誉教授、笠井統括技術長と田代准教授の3名を合わせると20名のメンバーで研究室を運営しています。田代研究室にはTeaMeeting、Check Meeting、Presentation Meetingの3つのミーティングがあります。

TeaMeetingは田代准教授と学生グループごとに週1回を目途にコーヒーを飲みながらムダ話をするという会議です。まずは「元気か?」「朝何時に起きた?」「研究の調子はどう?」を一人ずつ聞きます。その後、誰か一人が司会となって話題提供をし、それについて全員で議論をします。話題は研究内容に全く関係のない話です。田代研配属の学生は、毎年いろんな才能を持った個性的な学生が集まります。ここでの会議内容だけでも面白い本が書けそうな重要な会です。

CheckMeeting は学生だけで開催する週 1 回の会議です。パワーポイント 5 枚以内で研究の進捗状況を発表してもらいます。現在マレーシアの UTeM で教鞭をふるっているファイル先生が博士学生として在籍中の頃からの伝統です。誰にでも分かるように、英語で資料を書いてもらっています。意味の分からない英語でも、誰にでも分かってもらえるための資料作りの練習です。就職活動等で全く成果が出ない場合でも Highlight データとして写真だけでも貼ってもらっています。海外へ留学・研修中の学生も、資料だけはネット経由で毎週送ってもらい代理で発表してもらっています。

PresentationMeeting は田代准教授と脇若名誉教授の両方が参加できないと開催しません。おおむね週 2 回の開催を計画しています。電気学会での論文様式で資料をまとめ、研究の成果を発表してもらいます。発表後は学生同士の質問が終わるまで田代准教授と脇若名誉教授はコメントを出しません。「質問がないのは興味がない」という態度であることをみんなで認識しています。卒業論文や修士論文の内容はこの会議で発表していないものは掲載しません。また、他大学や企業との共同研究の報告書もこの会で発表してもらわない限り外部へは出さないこととしている重要な会議です。

田代研究室の特徴として、脇若・田代研究室時代から続く卒業生の応援サポートが挙げられます。毎年 6 月に電気学会マグネティックス／リニアドライブ研究会を信大工学部 SASTEC で主催・運営するとともに、多くの卒業生が色々な立場で参加してくれています。今年は 2 日間のべ人数が 181 名と学会並みの人数が集まりました。また、毎年冬の時期に修士 2 年が企画する OB 会を開催します。卒業後は多忙を極める中も、海外からも駆けつけてくれる卒業生もあり、研究室メンバーに叱咤激励をもらっています。

海外の卒業生との連携も近年盛んです。現在マレーシア UPM のヒサム先生は脇若研究室卒業後、毎年学生を田代研究室へ送ってくれています。それに応えることが今年からできました。信州大学として初のサテライトオフィスが今年度 UPM に開設されます。また、田代研学生の頑張りもあり、文部科学省のトビタテ！留学 JAPAN の資金を田代研 M1 の 2 名が獲得しました。マレーシアの国家プロジェクトでもあるパームオイルの生育・収穫に関する共同研究で 3 か月間ずつ UPM に滞在します。その他にもグローバル思考の若い力が多く、今年度は海外インターンシップ 3 名や内閣府の青年国際交流事業

1 名の採択が決まっています。



図 1 田代研究室メンバー（1 名 UPM へ留学中）



図 2 環境磁界発電プロジェクト

2. 研究内容

磁気に関するエネルギー、センサ、アクチュエータ、シールドの研究を主に行っています。ただしこれに限定するものではなく、基本的には学生の好きなテーマも積極的に取り入れています。学部 4 年生として配属された学生は、1 カ月ほどかけて 3 つの導入研究を行ってもらいます。今年度のテーマの一つは、RaspberryPi3 を全員に配布し、「ワクワクする内容を報告せよ」でした。音楽制作やスマートフォンによるリモート撮影、鳥獣害対策のためのカメラトラップ等大変興味深い報告をしてもらいました。

エネルギーに関しては、田代研究室が主体となって活動を行っている活動の 1 つに信州大学環境磁界発電プロジェクトがあります。その活動をまとめた書籍を出版し、2016 年 AEM 著作賞を拝受しました。我々は電気エネルギーの享受を受けた生活を行っています。電力を送る電力線や家庭内配線に電流が流れば周囲に磁界を発生します。国際非電離放射線防護委員会が定める ICNIRP2010 のガイドライン値以下の磁界を、私たちの生活環境下での存在を許容された「環境磁界」と定義します。人工的に生成された環境磁界、つまり再生可能エネルギーを回収す

る「発電する部品」の開発と「キラーアプリケーションの提案」を行っています。50/60Hz等の低周波から2.45GHz等の高周波までの電磁界周波数を幅広くターゲットとした環境発電・非接触給電への取り組みは世界的にも珍しいです。

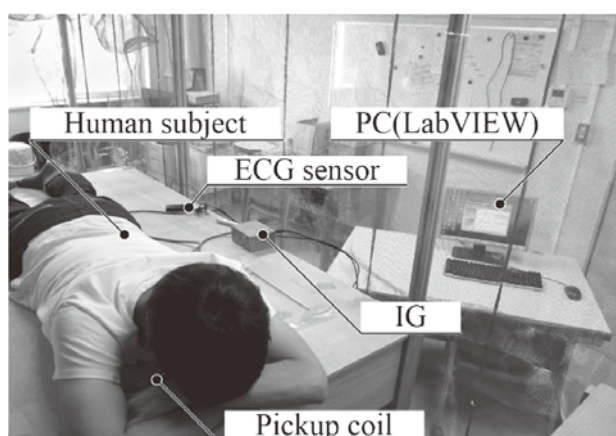
センサに関しては、コイルと電子回路のみで構成可能な超高感度インダクション磁気センサの研究を行っています。磁気は目に見えないですが、ヒトも生体活動に伴い極めて微弱な生体磁気を発生しています。図3は一例として虚血等の心臓疾患や胎児の正常な発育を非侵襲に診断できるツールとして医療分野で認められている心臓磁界計測(MCG)を行った例です。この他にもコイルやキャパシタのステップ電圧応答を利用した高速な金属や液体判別センサの研究も行っています。安価、高性能かつ低消費電力のセンサはIoT時代のセンサノードには不可欠です。上述の環境磁界発電の発想から、自ら磁界のエネルギーを得て発電・計測を行うゼロパワーセンサや、磁界を非言語音として知覚させる磁界ソニフィケーションという概念も提唱しています。

アクチュエータに関しては、藤田保健衛生大学との医工連携研究による市販カプセル内視鏡の磁気誘導技術の検討を行っています。イスラエルの記念切手にもなったカプセル内視鏡は、今まで困難であった小腸の観察が行える画期的な検査法を生み出しています。2014年度からは、日本人のがんの死亡率上位を占める大腸がん検診へも使用できるように保険適用が開始されています。一方、2015年の日本カプセル内視鏡学会ニュースレターによると被験者の2割程度の確率でカプセル内視鏡が大腸屈曲部等

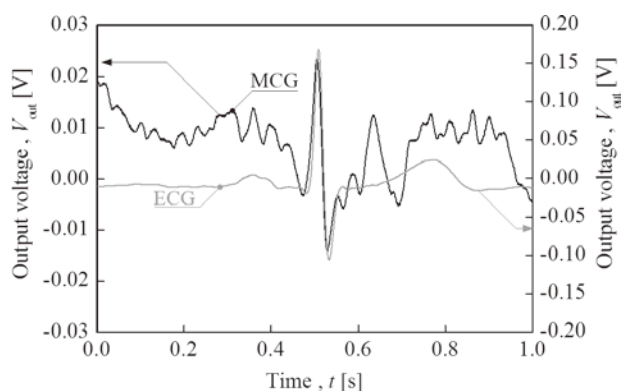
で長時間停滞を起こしてしまうという症例が報告されています。長時間停滞に対して外科的摘出等ではなく、発想の転換から磁気を用いた解決法をいち早く実証することを目的としています。また、磁界を印加すると伸びたり縮んだりする磁歪材料についても昨年から研究を再開しています。磁歪に関する研究は、日本人として世界で招待講演を行った長岡半太郎先生の研究テーマでした。日本のお家芸である磁歪に関する研究に、再注目をしています。

磁気シールドに関しては、電気自動車や電動飛行機の心臓部となる電流センサの外部磁界に対する影響調査と対策について研究を行っています。高感度な磁気センサの開発は環境磁界を遮蔽した磁気シールド空間で性能を評価・発揮できます。磁気シールド技術に関する記述は300年前から存在しますが、まだまだ確立された技術ではなく、研究者の数も世界的に多くありません。環境磁界発電では磁界をエネルギーに変換しますが、磁気シールド技術は武田信玄の治水工事に似ています。守るべき村(磁気シールド空間)への洪水(磁界)の流入を防ぐため、水(磁束)の流れをうまく(磁性体に)導くことが重要です。古くから研究が行われている円筒磁気シールド理論や、環境磁界発電でも活用する一様磁界発生コイルの設計理論を活用しています。

これらの最新情報は、田代研究室あるいは環境磁界発電プロジェクトのホームページにて情報発信をしています。ご興味をお持ちいただけたら、「田代研究室」あるいは「環境磁界発電」とWeb検索してみてください。



(a) 測定風景



(b) 開発した磁気センサでの心臓磁界波形と心電図波形の比較

図3 磁気センサを用いた心臓磁界計測の例

まちづくり・地域づくり

水環境・土木工学科（土木工学科） 准教授 藤居 良夫

本研究室は、工学部さらには旧土木工学科において極めて少数派である「まちづくり・地域づくり」を指向しています。具体的な研究領域は地域計画分野（都市計画・農村計画・景観計画・緑地計画など）になります。社会経済や地域政策分野とも共通するフィールドをもちます。広義の「ランドスケープ(景観・景域)」というキーワードが研究内容を貫く横系となっています。

人口減少・少子高齢化の日本において、その地域の歴史性・場所性を踏まえた魅力的なまちを考えることは、持続可能な地域づくりの一步になります。例えば、街路のないまちはなく、街路はまちの骨格

を形成し、街路と土地利用（建物用途など）との関係はまちの魅力を左右します。城下町・松本市中心市街地の街路構造と土地利用を調べてみると、ケビン・リンチの言う「都市のイメージ」が浮かび上がり、また建築家・槇文彦氏の言う「奥の思想」が感じられる箇所や要素群が存在して、土地の記憶が刻み込まれた魅力が見て取れます（下図は松本市中心市街地の街路構造と建物用途の関係を示す）。さらなるまちづくりでは、地域独自のまちづくり制度の設計やエコロジカルネットワークの形成なども考えていくことが必要になり、持続可能な地域づくりに一般解がないことが難しいところです。

地域の環境・景観を分析してまちづくりを考えます

近年、自然環境の保全や持続可能な社会が求められており、環境に配慮した地域社会の構築が必要とされています。本研究室では、地方都市や中山間地域における地域環境・景観、生活環境などを分析・評価して、将来の地域・都市を計画し、まちづくりを考えます。

研究内容は大きく次の3つの分野に分けられます。

1. 都市計画・地域計画に関する分野
2. 景観分析および評価に関する分野
3. 環境計画・環境評価に関する分野

研究から広がる未来

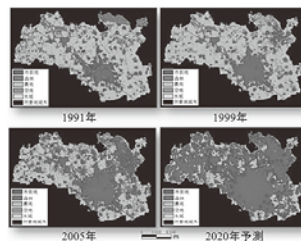
土地利用計画やマスタープラン等に係わる土地利用および地域環境、生活環境の時空間的変容の分析評価を行い、将来計画への反映を図ります。都市景観や農村景観の評価を通じて景観計画、景観保全を考えます。さらに、都市における景観変化をとくに緑地の配置から評価します。

卒業後の未来像

多くの卒業生が公務員(専門職)として、また、コンサルタント(都市計画、環境計画分野)会社やJRで活躍しています。



画像処理により、まちの景観を分析・評価し、地域・都市の計画づくりに活かします(長野市の例)。



人工衛星データを活用して、土地利用の変化を分析し、将来の予測を行い、地域・都市の計画づくりに活かします(中国河北省廊坊市の例)。



田守研究室の紹介

建築学科 教授 田守 伸一郎

1. はじめに

田守研究室は現在、修士学生4名、卒論生3名で活動しています。建物の地震被害の低減に向けたテーマに取り組んでいます。

2. 研究内容

これまでの研究内容を列記すると以下のようになります。

(1) 常時微動測定による地盤構造の推定

地面は常に微少に振動しているのでこれを測定し、解析することによって数キロ程度の深さまでの地下構造が推定されます。結果は、耐震設計用の入力地震動作成に利用されます。

(2) 盆地構造の地震動の性質に関する研究

盆地の地下構造が推定された結果を利用して地震時の地盤の応答計算を行い、盆地構造特有の地震動の特性を調べるものです。地震記録と比較検討することによって結果の妥当性も検証されます。図1は諏訪盆地の地震シミュレーション結果です。また、現在、長野盆地と諏訪盆地で他機関と共同で地震観測を実施しています。

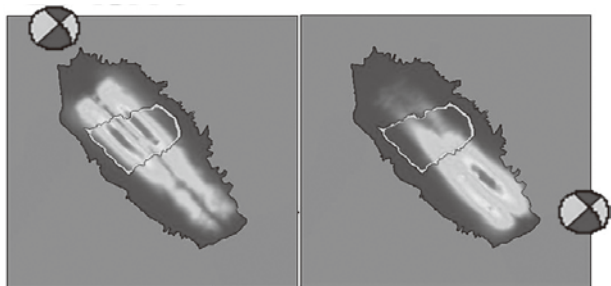


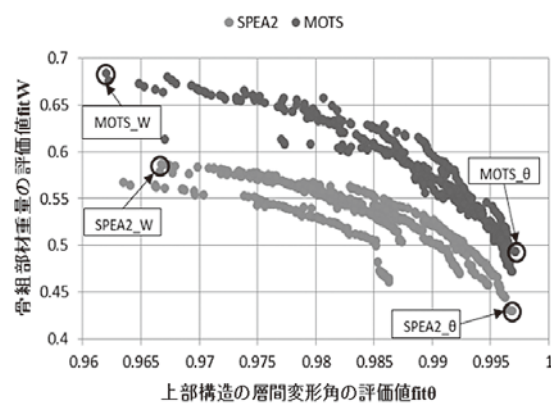
図1 諏訪盆地における地震応答解析結果
地震の到来方向(丸印)によって地表面のゆれの大きさが異なります。

(3) 地震災害予測システムの開発

地域の地盤構造や建物特性をもとに地震時の災害の程度を予測するシステムで、GIS(数値地理情報)と結合することによってわかりやすく結果を表現できるようになります。

(4) 最適構造設計システムの開発

建物の構造設計をコンピュータにより最適化するシステムを開発しています。現在のところは、免震建物の免震装置の選択と建物の柱・梁の部材の断面設計ができる状況であり、ほぼ実用化の段階に入っています。図2にはその一例を示しています。



パレート最適解分布
MOTS(提案)とSPEA2(従来)の比較

図2 コンピュータにより自動設計された免震建物の性能の例
一つ一つの点が一つの建物の性能を表しています。縦軸の値が大きいくほど建物重量が小さく、横軸の値が大きいくほど地震時の建物損傷が小さくなります。

(5) 地盤と建物の動的相互作用に関する研究

地震時には建物は地盤との間で複雑に力をやりとりしますが、通常はこの現象を無視して耐震設計をしています。これを考慮すれば、耐震設計の精度は向上しますが、実用的には簡易な設計手法の開発が必要となります。模型による実験から現象を分析したり、シミュレーション解析プログラムを開発したりしています。

3. 日々の活動状況

学生たちはテーマにしたがって、日々研究に取り組んでいます。当研究室の特徴として、研究に用いる解析プログラムはほとんど自前で作成していることが挙げられます。プログラミングの使用言語は

Fortran と C 言語です。現在、学部でプログラミングに関する講義はありませんが、ゼミでこれを補うことによって、無理なくプログラミング技術を習得できるように配慮しています。

研究室の報告会は週1回実施しています。学生は、ゼミの前日の夕方までに報告レポートをメールで送付するようにしています。報告レポートは1枚目にレポート全体の内容を簡潔にまとめるように指導し

ています。レポートを簡潔に取りまとめることが身につくので、就職後も役立っているようです。

4. 就職状況

これまで、卒業・修了生は全員、希望の企業・役所に就職しています。職種としては、建設会社の現場管理・構造設計、ハウスメーカー、役所の建設課、性能評価機関、構造設計ソフトの開発会社などです。

山口研究室の紹介

物質化学科（物質工学科） 准教授 山口 朋浩



山口研究室は、平成22年度から、物質工学科の無機・分析化学講座の研究室の一つとして発足しました。平成29年度のメンバーは、大学院生（修士課程）7名と学部4年生5名の計12名です。年度によってある程度の人数の変動はありますが、例年概ねこのくらいのメンバー構成です。今年度のメンバーのうち、大学院生の1名は中国からの留学生です。また、学部4年生のうち3名は本学大学院総合理工学研究科（修士課程）への進学が決まっています。

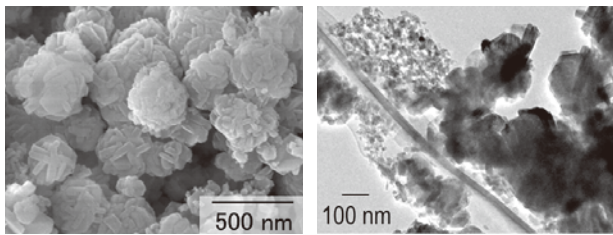


今年度の研究室メンバー

当研究室で取り組んでいる研究の一つに、合成マイカに関する研究があります。合成マイカに関する

研究は、物質工学科やその前身である合成化学科および工業化学科で古くから継続的に行われてきました。合成マイカの研究は、天然の類縁物質に学びながら、天然には存在しない純粋で高機能化した多種多様なマイカ群を創製しようとするものです。紙面の関係上、ここでは詳しくは省略しますが、平成26～27年度に若里会からの研究助成を賜り、本誌第13号において膨潤性マイカの新しい簡便な合成方法に関する研究の成果を報告しましたので、そちらもご参照いただけると幸いです。

当研究室では、高濃度 Al 水溶液を出発原料とするアルミナ系セラミックプロセスの開発に関する研究も行っています。ここでは、その中で最近取り組んでいる研究の一つの、ポリヒドロキシ Al 錯体水溶液を用いるゾルゲルプロセスによる α アルミナの低温合成について簡単に紹介します。この溶液は、高純度、高濃度、アルカリフリー、ゲル化能をもつことなど、アルミナ系材料調製のための出発原料として有望です。この溶液に各種の添加物を加えて調製した複合ゲルから得られるメソ多孔性遷移アルミナの相転移を調べる中で、乳酸をほんの数%添加した複合ゲルから 500℃ 付近の低温域で α アルミナが生成することを見出しました。 α アルミナは、代表的なセラミック材料の一つであるアルミナセラミックスの原料粉末として利用されます。 α アルミナへの相転移には、通常は 1100～1200℃ といった高温での加熱が必要であり、500℃ 付近で α アルミナが



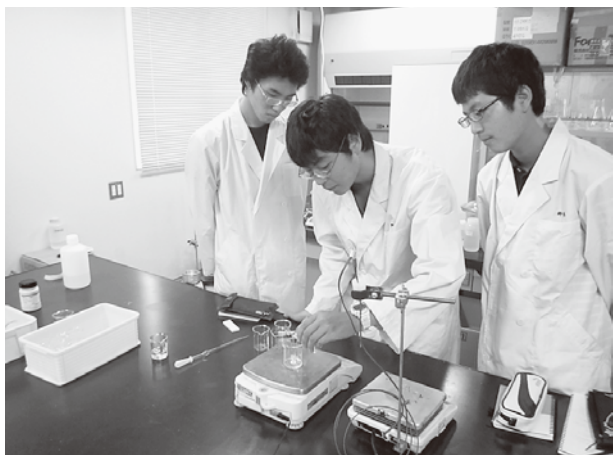
低温生成した α アルミナ粉末の SEM および TEM 写真の一例

生成するのは極めて特異な現象です。さらに、乳酸以外にもいくつかのヒドロキシ酸が低温での α アルミナの生成に有効であることを明らかにしました。ヒドロキシ酸は分子内にヒドロキシ基とカルボキシ基をもつ有機酸で、乳酸のほかに例えばクエン酸などがあります。乳酸は乳酸菌が生み出す化合物としても知られています。またクエン酸は柑橘類の酸味のもとであるほか、その酸味のため清涼飲料水をはじめさまざまな加工食品に添加される食品添加物でもあります。これらのヒドロキシ酸がゲル中で Al イオンと錯体を形成して配位数が変化することが低温での α 化と関係しているのですが、そのようなメカニズムはさておき、身近にある化合物をごく少量添加することで無機材料の合成温度を大きく変えることができることに高校生も興味を持ってくれて、平成 26 年度の長野工業高等学校との連携による研究体験プロジェクトでは、「クエン酸を添加した複合ゲルからの α アルミナの低温合成」のテーマで、高校の生徒 3 名と交流しながら 1 年間かけて楽しく実験を続けることができました。このときの生徒の 1 名は、現在、物質工学科 3 年生として在籍しています。

研究室の卒業生・修了生は、大学・大学院で学んだ知識や経験を生かして様々な企業で活躍しています。セラミックスや無機材料の関係する部門が多いですが、業種は電気機器や電子部品、自動車部品をはじめ多岐にわたります。最近、研究室の OB がリクルーターとして研究室訪問してくれることが多くあり、指導教員としてもとてもうれしく思います。研究室の OB から仕事の話などを直接聞き、また活躍している OB の姿を見て、学生も大いに刺激を受けている様子です。もちろん、会社の業務とは関係なしに研究室を訪れてくださっても構いません。卒業生・修了生が、いつでもふらっと“帰って”来られるような研究室にしていきたいいつも思っています。



定例研究報告会を終えて



研究体験プロジェクトで実験を行う高校生

小林研究室によくある風景

電子情報システム工学科（情報工学科） 准教授 小林 一樹



まるで病院のような真っ白な廊下は、陽の光を拡散して行く手を照らしていた。学科棟の耐震改修から数年経つが、十分な清潔感を維持できている。もっと気が重くなるかと思ったが、午前中に打ち合わせするのも悪くないかもしれない。

そういえば、大学院に進学してから、あまり午前中に研究室に来ていない気がする。僕の研究室はちょっと特殊で、全員がそろって進捗を報告する機会はほとんどない。そのかわり、毎週1回は必ず指導教員と個別の打ち合わせをするのだが、曜日や時間が決まっている訳ではない。どうせ相談して決めるのだから、今回も週末近くの午後にもでも打ち合わせを入れてもらえばよかった。そうすれば、少しは進捗を出せたかもしれない。

コンコン。ドアに細長いガラスがはめ込まれている。中の様子を窺いながらノックしてみた。照明は消えていたが、中の人物がこちらをちらっと見て返事をするのが聞こえた。最近は大学から電力ピークカットのメールが突き刺さる勢いで来ているので、朝から照明を消しているのだろう。留守なら良かったのに。

席につくと指導教員の小林は正面に腰を下ろして言った。

「どんな感じかな？」

穏やかな調子に聞こえたが、こちらの手の内を見透かしているようにも見える。少し眉間に力を入れて切り出してみた。

「人間がロボットに心を見出すときの条件を調査するという話ですけど…」

「うん、心というか、内部状態ね」

そう、内部状態。ロボットに自分で考えて行動させるときに、内部状態を使おうというのが僕の研究テーマだ。単純に条件分岐して行動を決めるのではなく、心のようなものを作って、その作用によって行動を決める。人間がロボットに心を見出したり、ロボットが人間の心を読んだりするためにはどうす

ればよいのかを、実際にモノを作りながら研究している。簡単に実現できる話ではないけど、インタラクションデザイン関係の分野では重要でやりがいのあるテーマだ。

そもそも、自分は研究が好きで進学を決めたし、何よりこの怪しげなモノを実際にするという目標に惹かれている。ああ、もっと研究を進められていれば、いま後ろの窓から差ししてくる力強い光で、自分の存在をもっと大きく示せただろうに。

「その内部状態なんですが、プログラムでどう表現しようかと悩んでいます。」

「ん？それは先週の打ち合わせで大体決まっていたとおもったけど。外部刺激を累積して自尊心を意味する項を変化させるんだよね？」

「それはそうなのですが、自尊心をどうやってユーザに見せるのかなと」

「そうそう、それが今日までにやってくる課題だったよね」

やっぱり覚えていたか。先週遊び過ぎて研究を進めていないのは確かに自分が悪い。

「ですよ〜」

でも、ずっと前に注文したロードバイクの部品がちょうど海外から届いたり、それを取り付けるのにちょっと加工が必要だったり、試運転に小布施まで行ったり、大学院の授業のレポート提出があったのを締め切りぎりぎり思い出したりで先週は忙しかった。そう、忙しかったのだ。

「それで、どこまで進めてみたかな」

ああ、何だかやっぱり色々見透かされている気がする。

「それで、考えたんですが、そもそもユーザに行動を見せる必要があるかなと」

「うーん、そこからきたか」

さて、どうしたものか。ここからの展開は大体予想がつく。考えたからには、文献の裏付けはあるとか、表や図で整理してみたのかとか、そんなことを聞かれるだろうが、そんなの一切ない。たぶん怒られることはないけど、それだけに目に見えない何か

を失った感覚が襲ってきそうで怖い。指導教員を失望させることなく乗り切るにはどうしたものか。あわよくば、自分の能力の高さをアピールしたいところだが、さすがに今回は無理だろう。

どうしたものかと、つなぎの言葉を探していると、教員室の電話が鳴った。

「はい、小林です。」

小林は一瞬困惑の表情を浮かべたが、すぐにネガティブな気配を消して返事をしていた。恐らく悪い知らせだろう。何かトラブルがあった感じだ。打ち合わせの雰囲気はこれ以上悪くならないとよいけど。受話器を置いたタイミングで思い切って聞いてみた。

「何かのトラブルですか？」

「うん、伊那の観測装置が先週から動いていないみたい」

「あー、IoT 農業の関係のやつですね」

うちの研究室は使いやすい人工物とかエージェントとかを研究している傍ら、農業関係の研究もやっている。同期の院生のテーマは農業関係だ。もし自分と似たようなテーマだったら、修論のイントロとか参考文献とか使い回して楽できるのに。そこは残念だ。

「そういえば、この前偶然見つけたんですが、自動で再起動できる方法があるみたいですよ」

「あれでしょ、上に専用の基盤を取り付けるやつでしょ。でも今回は急ぎで対処しないと…」

「いや、それじゃなくて、ソフトウェアだけでできるやつです」

我ながら秀逸な話題の選択だった。趣味が講じたと

いうか、まさかあんなに食いついてくるとは。あとは、具体的な方法を説明していただけた。一通り説明し終えたところで小林が言った。

「なんだかんだで、進捗があまり聞けなかったけど、もう時間だし次回に詳しく聞こうかな。もし困ったら Slack とかでいつでも聞いてくれてよいので」

この言葉を聞いて、まるで身体から光を発しているような錯覚に陥った。全く研究が進んでいないのに、こんなにポジティブに事が運んでしまうとは！さて、今週はどこにお出かけしようかな。そんな僕の思考を遮るように小林の言葉が続いた。

「あ、そうだ。来週は前の分と今週の分とにわけて進捗説明してね。できれば TeX で資料作って表とかで整理されているとよいんだけど」

はい、わかりました。そうですね、普通そうなりますよね。今週は先週の分も巻き返さないといけませんよね。

部屋を出たときには、少し空気が身体にまとわりつく感じがした。今日は蒸し暑い日になりそうだ。大学から節電のメールも来そうだし、エアコンが使えないなら家に帰って作業しようかな。廊下にはもう陽の光も差し込んできていない。それに、廊下の照明の人感センサは僕に反応するつもりはないらしく、僕の影の輪郭も曖昧なままそこに佇んでいた。こっちからは、ばっちりセンサが見えているんですけど！もっと人の気持ちを察して動くマシンが必要だな。なんだか改めて自分の研究が重要だという実感が湧いてきた。よし、頑張ろう。お昼ごはんを食べてから。

計算力学研究室

機械システム工学科（環境機能工学科）教授 中村 正行

機械システム工学科（環境機能工学科）助教 藤井 雅留太



1. 研究・教育の概要

機械装置・システムを創造するには、材料の性質や力学、設計方法など多くの知識が総合される設計過程が重要な位置を占める。機械の軽量化や高効率・

高性能化を目指す際には、最適設計が欠かせない。さらに、地球環境に調和した技術開発が強く求められ、製品の製造から使用・廃棄、材料の再利用まで、物づくりのサイクル全般における最適化が必要と

なっている。

当研究室では、「調和」を実現する最適化の技術」をキーワードとして、機械工学や光工学分野における各種最適設計、環境調和型技術に必要な最適化手法、数値解析などについて研究している。主な研究テーマには「光学多層膜の最適設計」「歩行ロボットの足先軌道の生成」「熱磁気モーターの最適設計」「構造最適化」などがある。

2. 研究内容

2. 1 光学多層膜の最適設計

光学多層膜はナノメートルオーダーの薄膜を積層した構造により、入射光に対する反射光・透過光の分光特性や位相、偏光状態を制御する。光通信素子をはじめ、各種フィルター、DVD やプラズマディスプレイなどの光利用機器、化粧素材など幅広く応用されている。

当研究室では進化のメカニズムを模倣した遺伝的アルゴリズムを用い、光学多層膜の設計問題を組合せ最適化問題として解く。この手法を用いることの最大の特徴は、初期解を必要とせず、膜の層数、屈折率、膜厚を同時に最適化することができ、任意の分光特性に対する多層膜構造を見出すことができる点である。また、最近では光学特性の設計のみならず、外的環境により性能が劣化しないことを考慮した多層膜構造の設計を行っている。

2. 2 歩行ロボットの足先軌道の生成

人間の歩行を参考にし、無駄のない最小エネルギーかつ安定したロボットの歩行を目標とし、消費エネルギー最小と歩行安定化をはかりながら、環境に応じた二足歩行ロボットの安定歩行動作の設計を行う。歩行中のエネルギー計算に必要な定式化を行い、安定化制御のための ZMP の解析と制御法を導入する。ZMP とは足裏が床面から受けるモーメン

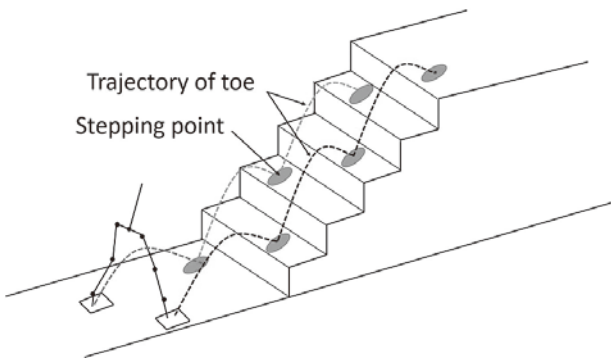


図1 2脚歩行ロボットの足先軌道モデル

トが0となる点で、これをある一定区分の中に制御することで歩行動作の安定化を実現することができる。遺伝的アルゴリズムを用いた安定性・消費エネルギーに基づく歩行動作生成の多目的最適化プログラムを開発し、図1に示す階段歩行などより複雑な動作設計が可能なプログラム開発を行っている。

2. 3 熱磁気モーターの最適設計

熱磁気モーターは磁性体の磁気特性の温度依存性を利用し、永久磁石の磁気回路と組み合わせることにより、熱エネルギーと磁気エネルギーを運動エネルギーに変換することができる。温泉熱や発電所・工場などからの排熱など未利用エネルギーを活用することが可能であり、捨てている温排水を利用して発電を行う熱磁気モーターのトルク向上のための感温磁性体の選択と最適設計を行う。低質未利用エネルギーを利用するためには常温付近にキュリー温度がある感温磁性体を用いる必要がある。さらに、希望のトルク出力を実現するためには、キュリー温度付近で迅速な熱の伝達が必要であるため、低キュリー温度・高熱伝導率の感温磁性体が必要となる。

図2に示すように円板の外周上に取り付けられた感温磁性体を加熱・冷却し、永久磁石磁場からの離脱・吸引サイクルを継続することで回転トルクを得る。磁化過程と熱サイクルに依存して、磁気回路の形状を最適設計することでトルクの向上が図れる。この研究は、磁場、温度場、応力場、流れ場、メカニズムなど複雑な現象が複合したシステムの最適設計に応用できる。

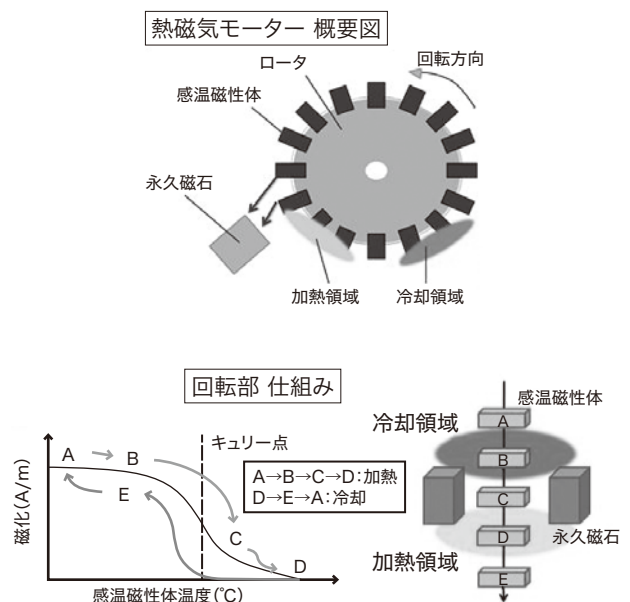


図2 熱磁気モーターの設計。

2. 4 構造最適化

構造最適化は数学的根拠に基づいて性能が最善となるよう、様々な制約下でデバイスの構造設計を行う手法である。構造最適化は寸法最適化、形状最適化、トポロジー最適化に大きく分類され、その中でもトポロジー最適化はもっとも設計自由度が高く、構造の表現方法と更新・探索方法によって特徴付けられる。当研究室ではレベルセット形状表現に基づいたトポロジー最適化の研究を用いて、デバイスの設計を行っている。また、近年では、力学・熱・流体・光・音など、多くの物理にトポロジー最適化が用いられ、高性能なデバイスの設計が可能となる。

図4は光の流れを制御し、散乱を最小化するデバイスのトポロジー最適化を表している。図の左から来た光に対し、散乱することなく右に光が抜けていくことで、透明マント効果を実現することに成功している。

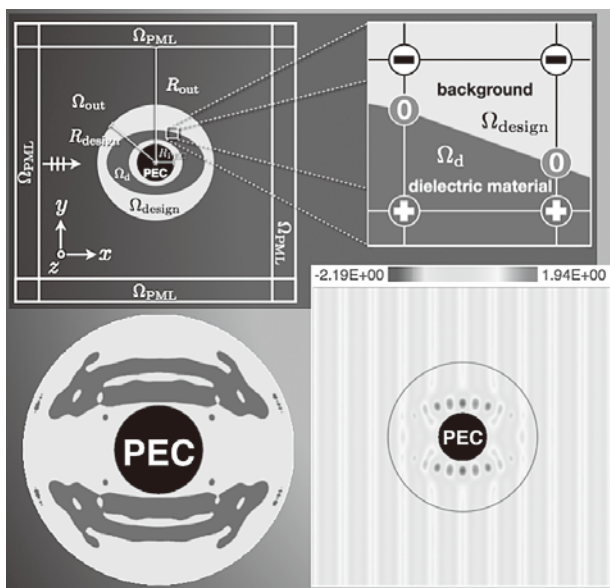


図3 光デバイスのトポロジー最適化

3. 研究室での活動の紹介

2017年6月現在、大学院修士課程学生7名、学部4年生5名の計12名のメンバーが在籍しています。研究室の活動は週1回の研究に関する打ち合わせを中心に、発表練習や文献紹介が行われます。また、年1回、OB会を長野近郊で開催し、最近の卒業生・修了生を中心としながらも、10年、15年前に卒業した方まで幅広い年代の方に参加いただいております。卒業生・修了生から会社での仕事に関する実際の話を聞くことができる貴重な機会とさせていただきます。

その他対外的活動として、研究室所属学生が指導者を務め、「科学の祭典」や出前講座、物づくり体験教室など様々なイベントにおいて科学実験や物づくりを通して、子どもたちに科学・工学に親しみ、環境調和型技術の大切さと機械工学の魅力を体験してもらうアウトリーチ活動を精力的に行っています。

「技報 こまくさ」 第 15 号 平成 29 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