

産学連携を目指す電気通信大学の研究室紹介誌

# OPAL-RING

ダイジェスト版 **ものづくり (ロボット・制御)**

II

はじめの一步  
技術相談・共同研究



# 次世代エネルギーの安全性、 効率化に寄与する熱流動の研究

## 大川 研究室



大川 富雄  
Tomio OOKAWA

は気体と液体が混ざり合った複雑な流れ(気液二相流)であるため、その詳細なメカニズムはいまだ分かっていません。大川富雄教授は沸騰や凝縮といった相変化を伴う伝熱の中で、特に沸騰について長年研究してきました。

### サブクール沸騰の仕組み解明

最近の大きな進展が、飽和温度以下のまま沸騰が進む「サブクール沸騰」の研究です。ボイラーやタービン、エンジンなど高温・高圧下で使う機械部品の内部では、液体が強制的な流動を伴いつつ沸騰する強制対流のサブクール沸騰が起こりますが、その際に一定の条件になると気体の占める体積比率(ボイド率)が急増します。

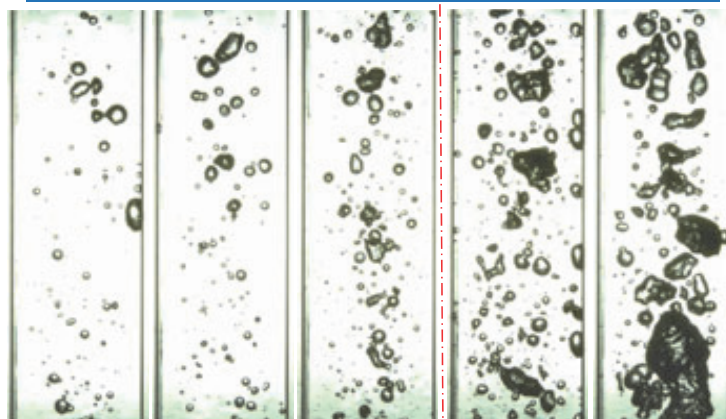
大川教授はこの有意ボイド発生点(OSV)の原因を初めて突き止め、その現象の発見から約50年間にわたって不明だったサブクール沸騰の仕組みを明らかにしました。これによってボイド率を正確に予測することができれば、「流動の安定につながり、発電プラントの安全性の向上などに寄与できる」と期待しています。

### スプラッシュの研究

このほか、液体の噴流が床などに落下した時の液滴の飛散量を予測したり、液滴が水面に衝突すると発生する二次液滴「スプラッシュ」の発生条件を研究したりもしています。液体の挙動についてのこうした知見は、例えば有害な

原子力や火力などの発電プラントからコンピュータ内部の中央演算処理装置(CPU)に至るまで、多くの機器には発熱体を冷やす冷却技術が欠かせません。冷却には空冷や水冷などいくつかの方法がありますが、中でも最も効率が高いのが「沸騰冷却(以下、沸騰)」と呼ばれる方式です。  
水冷は空冷の約100倍、また水を沸騰させ気化熱によって冷やす沸騰は水冷の10倍以上の伝熱性能を持っています。しかし、沸騰

## 沸騰現象を伝熱面の裏側から可視化



$\Delta T_{sub} = 26K$     $\Delta T_{sub} = 21K$     $\Delta T_{sub} = 17K$    **NVG**    $\Delta T_{sub} = 11K$     $\Delta T_{sub} = 7K$

### キーワード

熱流動、沸騰熱伝達、気液二相流、熱輸送、ナノ流体、原子力、化学プラント

所属	大学院情報理工学研究科 機械知能システム学専攻 iPERCセンター長
メンバー	大川 富雄 教授
所属学会	日本機械学会、日本原子力学会、 日本混相流学会、日本伝熱学会、 米国機械学会、日本鉄鋼協会
E-mail	

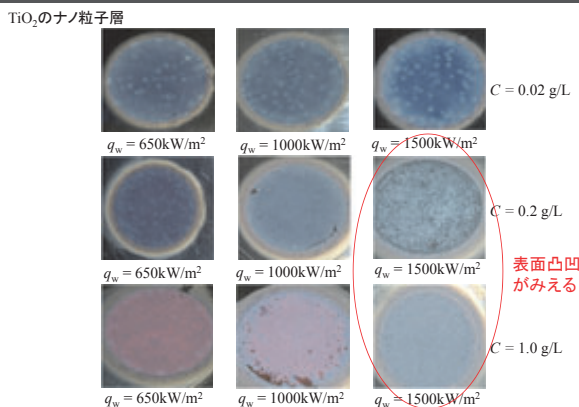
**ナノ流体で電子機器を冷やす**  
 さらに大川教授は、水にナノメートルサイズ(ナノ)は10億分の1(一)の粒子を分散させると冷却効率が高まる現象のメカニズムも解明しました。この「ナノ流体」を加熱すると、次第に水面付近にナノ粒子が層を作り、これが断熱層として働いてモノを冷やす際の冷却時間を短くできることを実験により明らかにしました。逆に、ナノ粒子の量が少なく層が薄いと、表面の粗さが露出されるために熱が



スプラッシュ現象

液体が大気中に拡散した際の状況の把握や、スプレー噴射時の効能などの検証、液跳ねがよく起こるボイラー内部の設計時など多くの場面で活用できるでしょう。

**ナノ粒子層の様相**



移動しやすくなって冷却に時間がかかることが分かりました。実際に、高い発熱を起こすスマートフォン内部のヒートパイプやスーパーコンピュータ内のCPU、電気自動車のインバータなどの冷却のほか、鋼材の熱処理時の均一な急冷、原子炉の緊急冷却などを目指したナノ流体の応用研究も手がけています。特に、電子機器は小型化や高性能化に伴ってより高効率の冷却技術が求めら

れており、今後そのニーズはますます高まるに違いありません。加えて、液体の塩に核物質を混ぜたものを燃料として用いる第4世代原子炉「溶融塩炉」において、企業と共同で原子炉と漏水廃液(ドレン)タンクをつなぐ凝固弁(フリーズバルブ)の研究も進めています。溶融塩炉は有事の際に原子炉内の燃料を外側へ逃がすこ

とができるため、きわめて安全性が高いとされています。フリーズバルブはその安全性を左右するキーコンポーネントですが、非常事態にフリーズバルブの下部から液体燃料を排出する際、これまで作動時間を正確に予測することができませんでした。大川教授はその時間をより精度良く予測するとともに、作動時間を短縮する方法を検討しています。こうした溶融塩炉の研究は、「低コストの再生

可能エネルギーである太陽熱発電」向けの蓄熱技術にも応用できる」そうです。このように、大川教授は熱流動工学をベースにして、安全かつ高効率の次世代エネルギーシステムや将来のエレクトロニクスシステムの発展に貢献しています。

【取材・文】藤木信穂

**超高速冷却の可能性**

**原子力発電所**

燃料が溶融するシビアアクシデントが発生した場合

**緊急冷却**

**IVR (In-Vessel-Retention)**  
炉内保持対策

緊急時の安全対策の改善

**鋼材の熱処理**

鋼材の均一的な急冷の実施

**焼入れ**

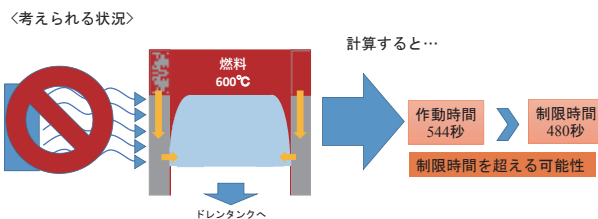
変形や焼割れを抑え、高品質な熱処理製品の実現

ナノ流体による**実現**

**フリーズバルブ作動時間**

<金属壁を考慮したフリーズバルブ作動時間の予測>

実際の溶融塩炉で考えられる状況を変数に当てはめて計算する



計算結果から、第2項の棒内部を熱が伝わる際にかかる時間による影響が支配的。→熱伝導率がフリーズバルブ作動時間に大きく寄与するということが考えられる

# 木材を工業材料として活用する

## 梶川 研究室



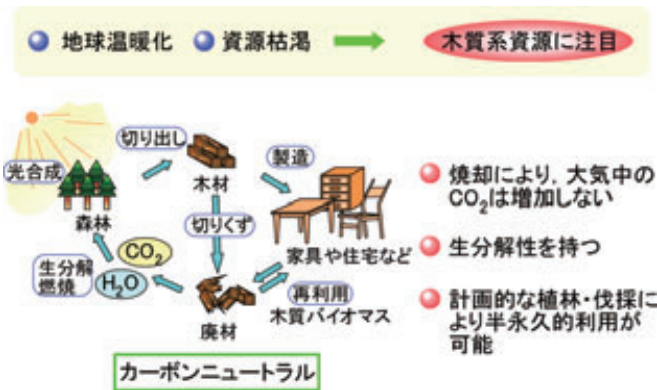
梶川 翔平  
Shohei KAJIKAWA

木造の建築物や木製の家具、食器など、木で作られたものは美しく温かみがあり、私たちに安らぎを与えてくれます。こうした木のぬくもりが、プラスチックや金属などの人工物に感じられないのは、木そのものが生きた植物であるからでしょう。

プラスチックや金属品を置き換える

木材の加工技術を研究する梶川翔平助教は、「木材を工業材料と

### 低環境負荷資源としての木質系材料



して普及させ、プラスチックや金属に代替できるようにしたい」と考えています。地球温暖化や資源の有効利用の観点から、近年、木材の活用が再び注目されています。

森林から切り出した木材は住宅や家具などに使われますが、これらがたとえ不要になっても、住宅の解体材や、製造工程で出る切りくずなどの廃材は、新たな資源として再利用できます。そのため、植林や伐採を計画的に行えば、木材は半永久的に使用できます。さらに、木材はカーボンニュートラルな（二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)の収支を実質ゼロにする）材料であり、燃やしても大気中のCO<sub>2</sub>を増やしません。

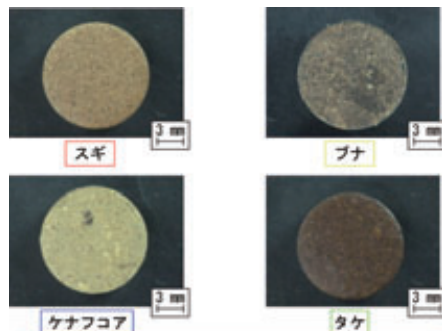
しかし、こうした利点を持ちながら、木材が工業製品として使われていない原因の一つとして、加工性の問題が挙げられます。木材は、金属やプラスチック材料のように、加工時に変形させたり、流動させたりすることが難しく、大量生産の手法が確立していません。現在は、主に切削により加工していますが、加工に時間がかかることに加え、切りくずが材料の大半を占めるなど無駄が多いのです。産地によって生育環境も異なるた

め、個々の材質にバラつきが出てしまうのも工業材料として使いにくい要因です。

### 木材を粉末にして成形

そこで梶川助教は、木材をあら

### 圧粉成形体の外観



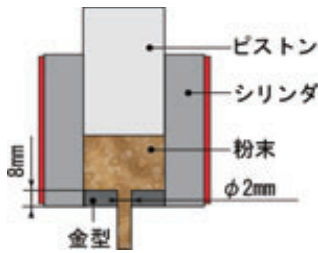
材種に関係なく固形化した成形体を得ることが可能

### キーワード

木質系材料、流動性、射出成形、木材鍛造、粉末成形、塑性加工

所属	大学院情報理工学研究科 機械知能システム学専攻
メンバー	梶川 翔平 助教
所属学会	日本塑性加工学会、日本材料学会、日本木材学会
E-mail	s.kajikawa@uec.ac.jp

木質系粉末の押し加工

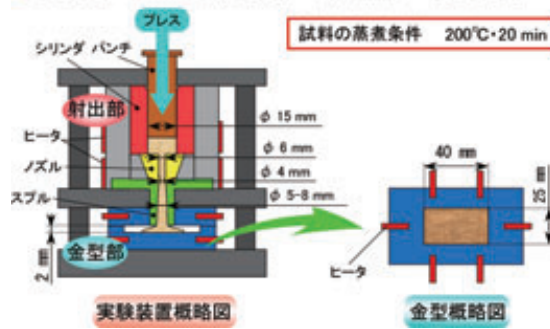


押し加工品(タケ)

ゆる形に効率良く加工することを目指し、木材を粉末にして使うことにしました。粉末ならば、一般に加工しにくいとされる曲がった木や端材、廃材なども有効に活用できるからです。こうした形状で、プラスチックなどの成形に使う汎用(はんよう)的な金型を使い、加熱した材料に圧力を加えて加工する「プレス成形」や、材料を金型から押し出して成形する「押し加工」、さらに、型に流し込んで形づくる「射出成形」を行いました。

蒸煮処理粉末の射出成形

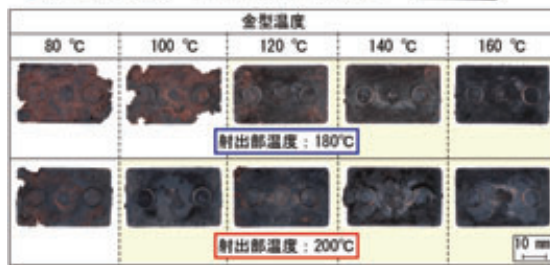
● 全乾状態の蒸煮処理竹粉を用いて射出成形の可否を検討



金型温度が成形性に及ぼす影響

金型に全充填した成形形を得る事に成功

- 射出部温度180°C → 金型部温度120°C以上
- 射出部温度200°C → 金型部温度100°C以上

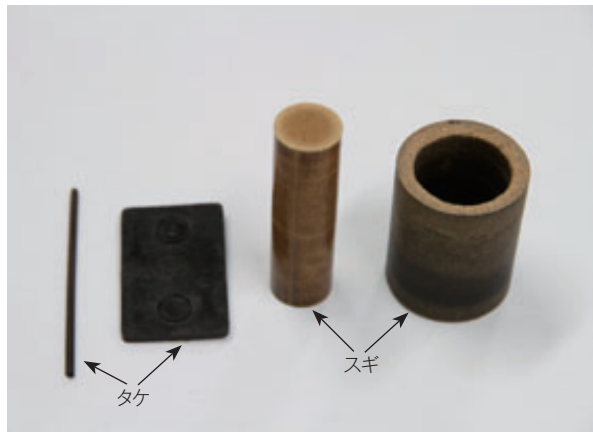


まず、プレス成形により、接着剤などの添加物を全く使わずに、蒸気や水分を含む状態で150度〜200度Cに加熱すると次第に軟化し、加圧することによって流れやすくなります(流動性)。この流動性を持った材料を逆に冷却すると、自己接着の特性により再び固形になります。

射出加工や射出成形では、木材のこうした性質を利用します。梶川助教は、木材を加熱する時間や温度を最適化し、金型に充填する際の流動性を高めるために、飽和水蒸気による「蒸煮処理」を事前に施しました。これにより、プラスチック製品と見間違っほどの質感を持った、軽くて滑らかな木材の成形品が完成しました。強度もプラスチックと同等の水準を確保しています。

さらに、より複雑な形を作るには、流動性の一層の向上などいくつかの課題はありますが、近い将来、任意の形状の木材製品をたやすく量産できるようになるかもしれません。天然系の樹脂を混ぜることなども検討しており、強度も一段と高められそうです。

梶川助教は、木材は「プラスチックや金属を超える素材としての潜在能力がある」と期待しています。現在では高価な木材品ですが、短時間で効率的に製造できるようになれば、価格もずっと安くなり、身の回りにも普及するでしょう。まずは、「文房具や小型の家電などから木材を適用し、そのうち大型家電などにも使えるようになる」と考えています。かつては森林伐採による環境破壊が社会問題になった時期もありましたが、木材の生産量は年々減少しており、現在では放置林の問題が取り沙汰されています。森林の活用が、今こそ求められているのです。



作製したスギやタケの成形品

金属の効率的な加工も

【取材・文】藤木信穂

金子(修) 研究室



金子 修  
Osamu KANEKO

「ル」に落とし込むことから始まります。その上で、モデルからモノを動かすための制御器(コントローラ)を設計するというのが通常の流れです。

モデル不要

エアコンや炊飯器などの家電製品から、自動車や航空機、工場設備といったインフラ(社会基盤)に至るまで、あらゆるモノは「制御」されることによって動いています。このようにモノの動きを見極め、自在に操る工学の領域を制御工学と呼びます。

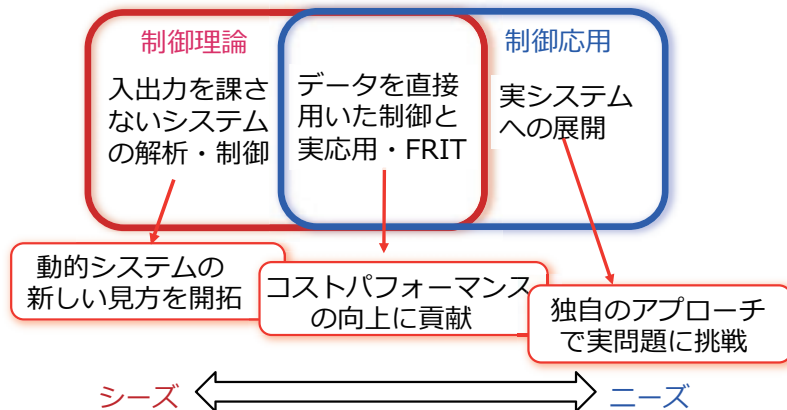
金子修教授は、この制御工学の世界に斬新な手法を持ち込みました。従来の制御の枠組みでは、実験を積み重ねて、制御対象となるモノの動作を高精度な「数理モデル

これに対して、金子教授はモデルを使わずに、制御対象の機器の駆動時のデータやその振る舞いから、直接コントローラを設計する手法を考案しました。これが「データ駆動制御」と呼ぶ考え方であり、金子教授が「FRIT(擬似参照信号に基づいた繰り返しチューニング)」と名付けた方法です。

FRITに必要なのは一組のデータセットのみです。データから擬似的な参照信号を構成し、オ

研究内容

制御理論・設計法とメカトロニクス分野を中心とした応用



キーワード

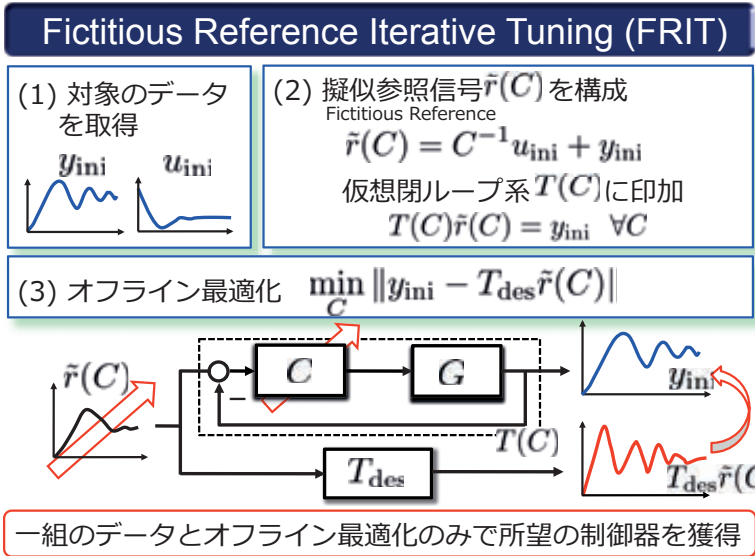
制御工学、モデリング、データ駆動制御、データ駆動推定、制御理論、動的システム理論、制御応用、メカニカル制御

所属	大学院情報理工学研究科 機械知能システム学専攻
メンバー	金子 修 教授
所属学会	米電気電子学会 / 制御システム学会 (IEEE, Control Systems Society)、計測自動制御学会、システム制御情報学会、電気学会、日本鉄鋼協会、電子情報通信学会、日本機械学会
E-mail	o.kaneko@uec.ac.jp

フライン(ネットワーク)につなごうとしない状態)で最適化計算をするだけで、所望のコントローラが得られる仕組みです。「コントローラの目標は事前に決めず、データに合った性能のコントローラを作るようなイメージだ」と金子教授は説明します。

メンテナンスなどを効率化

従来は、モデルを立てるために膨大な実験が必要で、またコントローラの設計には、専門家の知識や経験を要することから時間やコストがかかっていました。FRITを導入すれば、既に運用している機器のデータを活用しながら、経年変化した機器のメンテナンスをリアルタイムに行ったり、故障



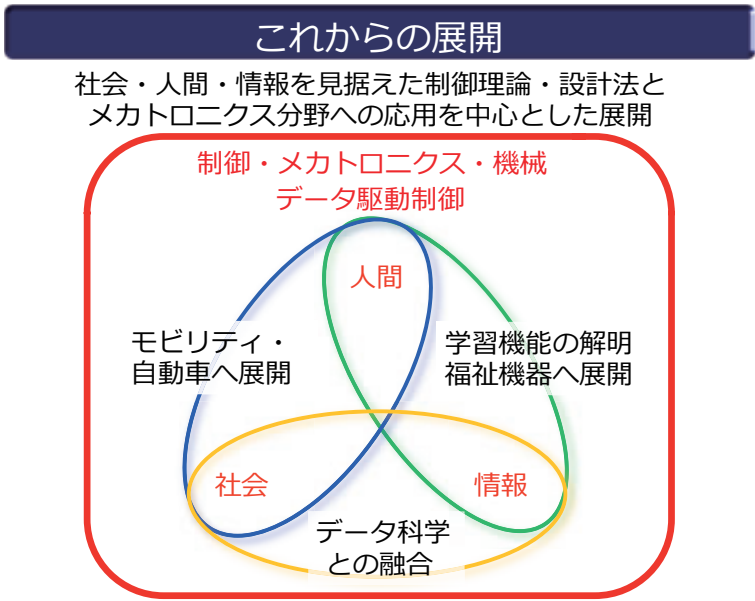
FRITの手順

に耐えうる柔軟なコントローラを設計したりできます。

このように、FRITによってコントローラの設計を大幅に効率化できます。実際、金子教授は企業と共同で、エレベータドアの開閉制御や蒸気ボイラーの圧力制御といった領域にFRITの適用を進めています。「現場作業を効率化した」という企業のニーズと金子

教授はみています。

加えて、やはりモデルがないと不安だという要望もあることから、コントローラだけでなく、モデルも同時にデータから取得できる手法も考案しました。これにより、モデルを土台にして、コントローラをより高機能化するという対応も可能になります。



#### 制御理論も研究

一方で、シーズ寄りの「制御理論」の研究も手がけています。具体的には、入出力を課さないシステムの解析や制御です。入力すると出力として結果が出てくるようなシステムではなく、システム全体を「外部に開かれた変数」としてとらえるという、より一般化した制御理論を提案しています。うまくいけば、「入出力の関係が分か

らないケースでも、温度場や流体現象などの複雑系の内部状態を推定できるように」と金子教授は見通しています。

今後の応用展開としては、人と機械の協調システムの開発を目指しているそうです。一つは自動車・モビリティ分野で、FRITで「自動車の最適なコントローラ」と「ドライバーの運転特性(モデル)」を同時に取得し、運転が上

**あらゆる産業に活用可能**

モノを動かすための「制御」は、機械や自動車、電機などあらゆる産業に不可欠な概念であり、「性能向上や生産のコストダウンにつながるような制御のテーマなら、どんな分野でも協力できる」と金子教授は企業との連携に大変積極的です。今後、IoT(モノのインターネット)機器が大量に世の中に普及すれば、効率的で低コストなFRITの有用性はますます高まるに違いありません。

【取材・文】藤木信穂

手ではないドライバーの場合、コントローラが自動で運転を支援するといった仕組みを実現しようとしています。また、生産現場における熟練技術者の技能継承や、福祉・医療分野のリハビリテーション用途などにも応用が見込めると考えています。

そのほか、データ科学と融合させて、大規模なデータベースに蓄積されているビッグデータから、最適なデータを抽出してコントローラの設計に生かす手法なども研究しています。

# 制御理論でモノや人を自在に操る

## 《 小木曾 研究室



小木曾 公尚  
Kiminao KOGISO

自動車やロボット、ロケットなどの高性能な機械の制御は何に基づいて設計されているのでしょうか。恐らく今までの熟練技術者の経験や勘、ノウハウに頼る部分はかなり大きいのではないのでしょうか。ところが、こうしたいわゆる「暗黙知」は他人に伝えることが困難です。それゆえに、モノづくりの現場では次世代への技能の伝承が課題になっています。

### 暗黙知を数理モデルに

しかし、そんな暗黙知も、モノの動きの本質をとらえて数理モデルで記述する「制御理論」を使えば、その多くを表現することができます。制御理論が専門の小木曾公尚准教授によれば、制御理論に基づくと「制御工学こそ、モノづくりのエッセンスである」そうです。数理モデルにノウハウを落とし込めれば、世界中の人々が、それこそ未来永劫そのモデルを利用することができるのです。

制御理論とは、モノを自動で動かす(制御する)ための方法論です。あるいはコントローラー(制御装置)を作るための骨格といってもよいかもしれません。制御したいモノの動きを抽象化し、最適

### 空気圧ゴム人工筋の数理モデル

人工筋の収縮力

$$F(P, \epsilon, t) = AP_s(t) \left[ \frac{3}{\tan^2 \theta} \left\{ 1 - C_n \left( 1 + e^{C_n P_s(t)} \right) \epsilon(t) \right\}^2 - \frac{1}{\sin^2 \theta} \right]$$

収縮率と体積の関係

$$V(t) = D_1 \epsilon(t)^2 + D_2 \epsilon(t) + D_3$$

外部負荷の運動方程式

$$ML\ddot{\epsilon}(t) = F(P, \epsilon, t) - Mg - F_f(t) + F_{ext}(\epsilon)$$

$$F_f = \begin{cases} (c_s \operatorname{sgn}(\dot{\epsilon}_t^*) + c_v \dot{\epsilon}_t^*) / (1 + Zc_v) & \text{if } \dot{\epsilon}_t^* < Zc_v \\ \dot{\epsilon}_t^* / Z & \text{if } \dot{\epsilon}_t^* \geq Zc_v \end{cases}$$

摩擦力

サンプリング時間:  $Z = T_{sp} / (ML_0)$       収縮率速度:  $\dot{\epsilon}_t^* = \dot{\epsilon}_{t-1} + ZF_0$

圧力に依存するクーロン摩擦

$$c_v = h \frac{\dot{\epsilon}_t^*}{P(t)}$$

人工筋の内部圧力変化

$$\dot{P}(t) = k_1 \frac{RT}{V(t)} m(t) - k_2 \frac{\dot{V}(t)}{V(t)} P(t)$$

比例流量制御弁を通過する質量流量

$$m(t) = \alpha(t)m_i(t) - (1 - \alpha(t))m_o(t)$$

定常特性に影響を与えるパラメータ  $K, \theta, C_{q1}, C_{q2}, \dot{\epsilon}_t^*$

過渡特性に影響を与えるパラメータ  $A_0, k_1, k_2, c_v$

「人工筋肉」の数理モデルを作ることに成功しました。人工筋肉は、ゴムのような弾性材のチューブに空気を入れると動力を得る柔らかいアクチュエータ(駆動装置)です。数理モデルを用いたシミュレーションと、実際の人工筋肉装置を使った実験結果

な数理モデルで表現することを目指すものです。モデルが完成した後によりやく、それを基にコントローラーをどう作るか、というモノづくりが始まるのです。

### モノづくりに利用する

小木曾准教授はこれまでに、身体の動きを補助するパワーアシストスーツや、介助ロボット、リハビリシステムなどに使われる「人工筋肉」の数理モデル



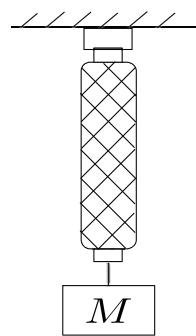
市販品の人工筋肉

### キーワード

制御理論、制御工学、ゲーム理論、最適化、数理モデル、ダイナミクス、飽和要素、リファレンスガバナ、空気圧ゴム人工筋肉、暗号化

所属	大学院情報理工学研究所 機械知能システム学専攻
メンバー	小木曾 公尚 准教授
所属学会	計測自動制御学会、システム制御情報学会、日本機械学会、米電気電子学会 (IEEE)
E-mail	kogiso@uec.ac.jp





人工筋肉の概念図

がほぼ一致することから、得られた数理モデルの高い有効性を確認しています。

所望の数理モデルを立てるまでにはある程度の時間を要しますが、一旦できればモデルは無限のパターンを表せます。「モデルを使えば、機械要素の設計が効率的かつ高精度に行えるようになり、モノづくりの高性能化につながる」と小木曾准教授は考えています。制御理論を取り入れたモノづくりはまたほとんど行われていないのです。

### ゲーム理論に導入

もっと言えば、制御理論の応用先はモノづくりに限りません。小木曾准教授が現在、力を注いでいるのが、人の意思決定を制御するための数理モデル作りです。オークションなどにも使われているよく知られる「ゲーム理論」は、利害の対立する集団の行動を数学的に

とらえる理論で、現在の経済学における有力な手法になっていきます。しかし、ゲーム理論は通常、ゲームに参加する各プレイヤーが相手に対して最適な戦略を取っている「均衡状態」をモデル化するものであって、そこに「制御する」という発想はほとんどありません。

そこで小木曾准教授は、ゲーム理論に初めて制御理論の手法を導入し、ゲームを制御する、いわばゲームデザインを行うことを目指しました。実際に取り組んでいるのが、ソフトウェア工学の研究者と協力し、通常ボランティアで行われる「オープンソースソフトウ

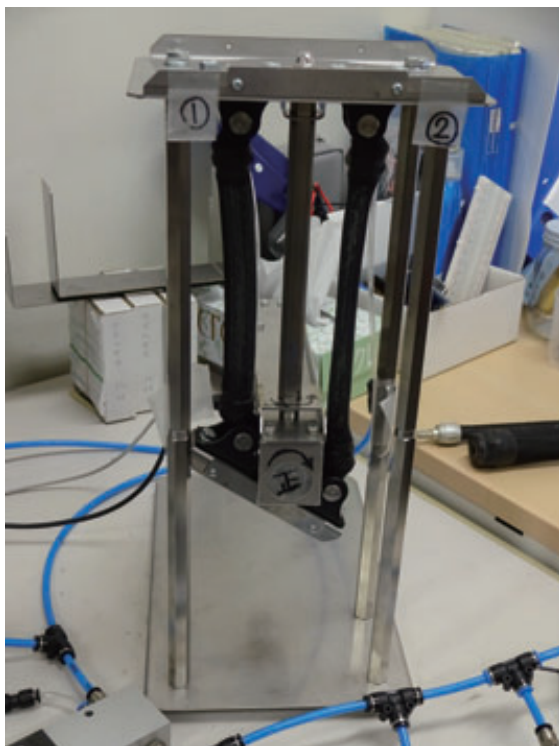
エア」の開発に、人々がどんな意思で参加しているのかを明らかにしようという試みです。オープンソースソフトウェア開発の依頼者は報酬を出せないため、できるだけ楽しんで開発してくれる人を探したい。現にそこには、進んで参加する人と、一方で興味はあるが、何らかのきっかけがないと参加するまでには至らないという人、技術は持っているのに参加する意思は持たない人などがいるでしょう。これらの関係は「ベイジアンゲーム」と呼ばれるゲーム理論の問題として考えることができます。

人の心は簡単には読めませんが、制御理論の導入により、例えばこのプロジェクトに参加しているある人の「奉仕心が40%」、「楽しさが60%」、「満足度が80%」などという、「本音」の情報を確率的に推定できるかもしれないと小木曾准教授は期待しています。「このような働きぶりを示す人はこんな気持ちであることが多い」といったモデルを作ることができれば、人の本音を自動で計算できるようになるかも知れません。さらには、プロジェクトを効率的に進めるために人をどう動かすか、すなわち、人や組織のマネジメントに向けて有効な手段を示せるかもしれないのです。

### 制御理論を多方面へ

制御理論は機械工学や電気工学の手法として生まれ、現在でもこれらの分野がメインの応用先です。しかし、人の制御にまで適用範囲が広がれば、社会へのインパクトは大きいでしょう。小木曾准教授は「エンジニアリングに限らずに、制御理論を多方面へ輸出することが研究者としての役目」と考えています。人の制御が可能

【取材・文】藤木信穂



人工筋肉装置

# ヒトの身体機能を代替、補助、 拡張するためのロボットの開発



姜 銀来  
Inrai JAN

高齢化が進む社会において、自らの意志で最期まで人生を楽しむには健康の維持が欠かせません。仮に障がいを負った場合でも、ロボットなどのテクノロジーを導入すれば生活の質を驚くほど向上させることができるでしょう。

日本では高齢化によって障がい者が増加傾向にあります。自立で生活できない場合は家族に多大な負担をかけるため、例えば、介護施設の入所者がリハビリテーションを終えて自宅に戻りたいと思っ

ても、実際には帰宅しないケースが少なくありません。

姜銀来准教授はこうした背景から、ヒトの手足の運動機能を計測してロボットで失った機能を代替したり、弱まった機能をサポートしたり、また、本来ヒトが持たない機能を拡張したりする研究開発に取り組んでいます。具体的なテーマは、機械的に人を支援するロボットアームや歩行支援機、また電氣的に人を支援する機能的電気刺激の開発のほか、利用者が使いやすい筋電を用いたヒューマン・インタフェースの研究などです。

**ワイヤ干渉駆動をモジュール化**  
姜准教授が開発するロボット

アームの最大の特徴は、ワイヤを使った駆動方法です。弾性を持つワイヤを使うことでロボットアームを柔軟に動かし、衝突しても衝撃を緩和させることができます。また、歯車やベルトを使った従来の方法よりも軽いためシステムの軽量化が可能で、モータを数多く配置できることから、設計の自由度が高いといった利点もあります。

ワイヤ駆動はこのように柔軟性、軽量化、自由度の観点で有効である一方、従来はワイヤの特性によるたるみなどによって高精度に制御できなかったり、ワイヤが切れやすいために頻繁にメンテナンスしなければならなかったりするなどの課題がありました。

これに対して、姜准教授はワイヤ干渉駆動をモジュール化することで効率良く動かし、制御精度を高めるとともに、モジュールの交換だけで修理できるようにしてメンテナンス性を向上しました。

## 7自由度で動かす

例えば、肩に三つ、肘に二つ、手首に二つのモーターを取り付けて試作したロボットアームは、モジュール化したワイヤ駆動では世界で初めて、ヒトのように腕を7自由度で滑らかに制御することができますようになりました。本体の重さは2.2キログラム、持ち上げ可能な重さは1.5キログラムと、既存の軽量のロボットアームに比べて重量に対する出力比を2



開発した7モーター7自由度のロボットアーム

## キーワード

ヒューマンインタフェース、ヒューマンロボット・インタラクション、ロボットアーム、歩行支援、ワイヤ干渉駆動、筋電センサ、意図推定、動作解析、生体信号計測

所属	大学院情報理工学研究科 機械知能システム学専攻 脳・医工学研究センター
メンバー	姜 銀来 准教授
所属学会	米電気電子学会 (IEEE)、日本ロボット学会、日本知能ファジィ情報学会、日本生体医工学学会
E-mail	jiang@hi.mce.uec.ac.jp



モジュール化したワイヤ干渉駆動機構

一方、歩行訓練のためのリハビリなどで使う、下肢機能を代替する歩行支援機については、取り付

### 歩行支援機や義手の開発

倍以上に高めています。こうしたロボットアームは高性能なロボットの開発に役立つだけでなく、ヒトの上肢の運動機能を代替することができ、肩から下が離断された人の義肢などとして使えます。さらに「考えるだけで機械を操作する、いわゆるブレイン・マシン・インターフェース(BMI)」と組み合わせれば、脳の信号によってより自在な制御が可能になる」と姜准教授は考えており、実際に国のBMI研究プロジェクトにも参画しました。



開発した歩行支援機

け不要で測定精度の高い「近接覚センサ」を用いて、人が歩行機で歩いている時の位置を計測し、その位置の変化から歩行速度を算出できるシステムを開発しました。従来のモーションキャプチャを使った方法のように、利用者にセンサやマーカーを付けることなく歩行速度が分かるため、使いやすく、歩きぶり(歩容)に合わせて歩行支援機の走行を制御できます。このシステムを搭載した歩行支援機によって、歩行訓練を効果的に補助できることを実験で確認しました。足と歩行支援機の距離を常時モニタリングして速度を制御すれば、つまずきや転倒も防止できます。

また、上肢機能を代替するものとして、筋電センサを使った簡易型義手の開発も手がけています。ロボットアームはヒトの腕の「動き」を再現するものであるのに対し、義手はその「機能」を再現するもので、自分の意図で動かさなければなりません。筋電義手とは生体の筋電信号を計測し、装着者の意図を推定して機器を制御するものですが、姜准教授はその際に用いる新しい筋電電極を開発し、片手でも装着できる表面筋電図(sEMG)計測システムを考案しました。障がい者が一人で容易に使えるこの「マルチパターン sEMG 識別法」は多自由度の義手とも相性が良く、電気

## 新しい筋電電極の開発

障がい者が一人でも素早く容易に使えるsEMG計測システム



導電性高分子材料電極

共同研究先:  
日本バイリーン株式会社  
衣料・メディカル資材本部



導電性シリコンゴム電極

共同研究先:  
株式会社 タナック  
テクノロジーセンター

通信大学横井・東郷研究室と共同で開発した筋電義手は厚生労働省の認可を受けています。ヒトとロボットの融合へ  
そのほか、上肢と下肢の両方に適用できるのが、筋肉の刺激によって動作を促す電気刺激による手法です。同手法は脳卒中の患者のリハビリなどに推奨されています。この機能的電気刺激の研究において、姜准教授は電気刺激によって最も筋収縮が起こりやすい部位「モーターポイント」を追従する

ことで、疲労の発生を抑えながら、効率的に筋肉を刺激する方法を考案しました。このように、姜准教授は「単に機械を開発するだけでなく、機械を人の能力に合わせて制御できるようにしたい」と考えており、ロボットに対する情報とエネルギーの送受方法を開発することで、人とロボット間の相違や互換、融合を目指しています。

【取材・文】藤木信穂

# ひも結びや折り紙、料理ができるロボットの開発

## 末廣・工藤 研究室



末廣 尚士  
Takashi SUEHIRO



工藤 俊亮  
Shunsuke KUDOH

近年、ロボットは人工知能(AI)の革新によって、モノを的確にとらえる「認識」技術が向上し、さらに、自動運転に代表されるように「移動」の技術も格段に発展しました。一方で、「操作」技術についてはどうでしょうか。例えば、工場などで稼働する産業用ロボットは、一見すると操作しているようですが、これは実は「つかんで移動する」という動作を繰り返しているだけです。

**柔軟物を取り扱うロボット**  
末廣尚士教授と工藤俊亮准教授の研究室では、ロボットに巧みにモノを操らせるための研究に取り組んでいます。主に紙や布、ひもなどの柔らかい「柔軟物」をロボットに操作させることを目指しています。というのは、将来、家庭に導入されるロボットは、例えば洗濯物を畳むといったように、柔軟物を扱うことが多いと考えられるからです。しかし、産業用ロボットなどが扱う形の決まった「固形

物」は違って、柔軟物は動きが予測しにくいいため、ロボットに扱わせるのは至難の業なのです。さらに重視しているのは、特定のモノを操作する専用のプログラムを載せずに、ロボットが自ら考え、さまざまなモノをモノに合わせて適切に操るという自律性を持つ

たせることです。研究室では折り紙を折る汎用的な「折り紙ロボット」を開発していますが、これは、「鶴」を折ることに特化したロボットを作るといったような、従来の専用ロボットの開発とは一線を画しています。

**人の動作の「見まね学習」が可能**  
開発した折り紙ロボットでは、谷折りや袋折りといった折り操作を組み合わせることで多様な形を作れます。その仕組みは、紙を折る際の基本的な操作を記述した「折り紙公理」をあらかじめロボットに教えておき、その上で、折る前と折った後の各工程の画像をロボットに見せ、どの公理が適用されたのかを推定させます。公理が分かれば、それに沿って折れば目的の折り紙が完成します。最終的には、人間が折っている様子を見せ、その場でロボットにまねさせる「見まね学習」をさせることが目標です。



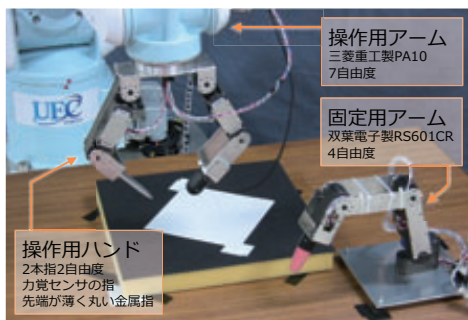
研究室で行う多様な実験

### キーワード

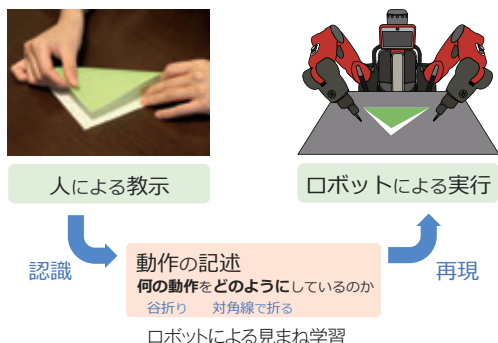
サービスロボット、知能システム、人間行動観察学習、コツ、スキル、柔軟物操作、ひも結び、折り紙、風呂敷包み、RTミドルウェア、コンピュータビジョン

所属	大学院情報理工学研究科 情報学専攻
メンバー	末廣 尚士 教授 工藤 俊亮 准教授
所属学会	米電気電子学会 (IEEE)、日本ロボット学会、計測自動制御学会
E-mail	suehiro@is.uec.ac.jp s-kudoh@uec.ac.jp

一方、ひも結びロボットは、ロボットが机上や空中でひもを巧みに操って結びます。これは既に見まね学習ができており、人間がひ



折り紙作業システム



教示

再生



実験(止め結び)

モデルづくりとスキル開発の両輪で  
ただ、人間の動きをロボットに理解させるためのモデルづくりは

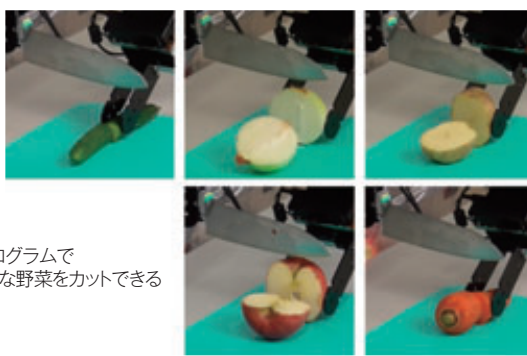
もを結ぶ動作をロボットが見て、その動作前後のひもの形を比較して解析します。その際、最も速く移動した部分を人間が持って動かした箇所であると解釈して、そこをつかんで輪に通し、引っ張って結び目を作るのです。動作はまだまだゆっくりに見えますが、その場でやって見せるだけで、誰でもロボットに「止め結び」や「八の字結び」を教えられることを確認しました。

そのほか、包丁を握って野菜を切ったり、調味料を計ったり、パンにバターを塗ったりといった作業を行う「料理ロボット」も開発中です。既に、同一のプログラムで、

一筋縄ではいきません。モデルづくりでは、人間が行う作業をいかに単純化し、ロボットが分かる明確な指令として出すかが重要になります。その際に細かく記述するのではなく、どちらかと言えば人間が理解するのと同じような、ラフで抽象的な指令を出すのですから、開発は試行錯誤の連続です。ロボットを柔軟に動かすには、まだ多くのハードルがあるのです。また、モデルだけでなく、ロボットのスキルも重要です。工藤准教授によれば、「カメラの死角でひもを認識できなかったり、ひもを2本まとめてつかんでしまったりといった失敗はまた多い」そうで、ロボットの手先の器用さにもその性能は左右されます。そのため、ソフト面だけでなく、優れたロボットハンドの開発などハード面の研究にも力を入れています。ロボットの賢い動作には、こうした高性能なモデルと高度なスキルの両輪が不可欠なのです。

現在は、人間が見る通常のレシピをロボットの作業工程に落とし込んだ上で、それを一つずつロボットに実行させている段階です。将来は、レシピを見せるだけで、人間と同じような動作で調理させる

にんじんやきゅうり、じゃがいもなど多種類の野菜を、その野菜に応じた力加減や切り方でカットできています。計量については、しょうゆや塩、マヨネーズなどの調味料の種類を判別し、それぞれの色や形態、粘性などに応じた適切な方法で、必要な分量を計り取ることができます。



【取材・文】藤本信穂

汎用ロボットの活躍の場は無限  
専用ロボットから汎用ロボットへ——。こうした流れは今後、ますます加速していくでしょう。言うまでもなく、多種多様な作業が求められる家庭においては、自律的に動き、どんなモノでも適切に扱える汎用ロボットでなければ、人間を手際良く支援できないからです。  
AIはこれまで認識技術に多く活用されてきましたが、末廣教授は「今後、操作技術にもAIを導入できるかもしれない」と期待しています。人間のように柔軟な指令で動くロボットは、開発が困難なぶん、実現すれば、多くの領域で活躍させられることは間違いありません。

ことを目指しています。例えば、ロボットがにんじんを手にとった時に、それが「にんじん」であると正確に認識し、「にんじんはどのように扱うものか」といった知識を引き出して、的確な作業を行わせるのです。

# 流体の摩擦抵抗を減らし、高性能なモノづくりを生かす

## 守 研究室

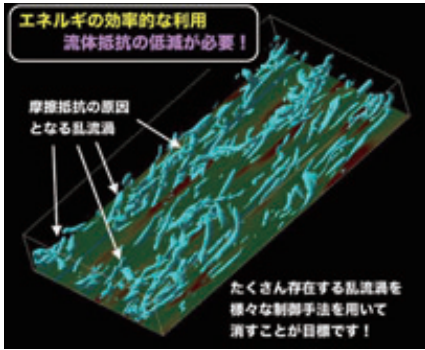


守 裕也  
Hiroya MAMORI

自動車や航空機、船舶など人やモノを運ぶ輸送機においては、運行時に機体が流体(空気や海水)から受ける抵抗をできるだけ減らすことが求められています。流体から受ける抵抗を最小限に抑えることで、機体を動かすために必要な動力(エネルギー)を削減できるため、結果的に輸送コストの圧縮につながるのです。

流体から受ける抵抗の一つに機体の表面と流体の間に生じる「摩擦抵抗」があり、この摩擦抵

抗をいかに小さくするかが設計上の大きな課題になっています。通常、輸送機周りの流れには複雑な乱流の渦が存在しているため、工学的に制御することは非常に困難です。



流体に存在する「乱流渦」のイメージ

進行波状制御を提案  
守裕也准教授はこの取り扱いの

難しい乱流の摩擦抵抗を減らすため、特にプラントや工場などの配管で流体を輸送するような簡易な流れを模擬し、コンピュータ上で流体の挙動を精密に計算する直接数値シミュレーションなどの手法によって、摩擦抵抗を制御する研究に取り組んでいます。

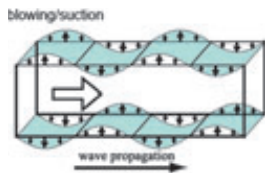
守准教授が提案しているのは、壁面上に人工的に波を与えて流体を制御する「進行波状制御」という手法です。流れに対して逆方向に波を与える方法は従来もありましたが、進行波を流れと同じ方向に与えることで、流体の乱れが減衰して摩擦が非常に小さい層流になり(再層流化)、結果として摩擦抵抗が約70%減らすことをシミュレーションに

よって確認しました。

進行波を与えると流れに直角の方向に軸を持つ横渦が発生します

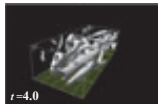
が、これによって摩擦抵抗の原因である流れ方向に軸を持つ縦渦が消え、摩擦抵抗が減ることがその

### 進行波制御による流れの時間変化



壁から与えた波により、乱流摩擦抵抗の大幅な低減が達成

非制御時



下流方向進行波



再層流化 (70%抵抗低減)

上流方向進行波



乱流維持 (20%抵抗低減)

### キーワード

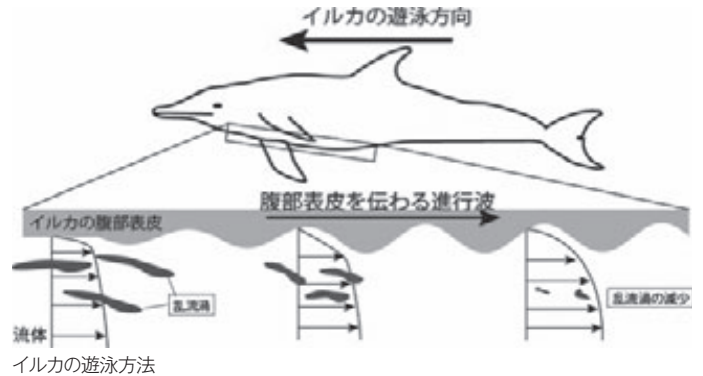
熱流体制御、流れの数値シミュレーション、抵抗低減、伝熱促進、再層流化、乱流、流体力学

所属	大学院情報理工学研究科 知能機械工学専攻
メンバー	守 裕也 准教授
所属学会	日本機械学会、日本流体力学会
E-mail	mamori@uec.ac.jp

理由であることが分かりました。従来法は乱流のまままで再層流化しておらず、摩擦抵抗の低減率は20%程度でした。これによって、流体の輸送に必要なエネルギーを60%ほど削減できるため、エネルギーの効率的な利用が可能です。実際に、一定の間隔で振動を与えるアクチュエータを使って進行波状制御実験を行った結果、摩擦抵抗が低減できることが示唆されました。

**航空機や自動車に応用**

守准教授は、これ以前に進行波による「吹出し・吸込み制御」法を提案し、その高い摩擦低減効果を確認していましたが、同手法は実用面でハードルがありました。しかし、進行波状制御はアクチュエータによって可能なことから、実用化に期待が持てます。また、この進行波はイルカが高速遊泳時に利用しているという説もあります。今後、守准教授はこうした流体の制御法を、航空機の翼周りや自動車の車体周辺などの工学的な流れなど、より流れの速い実用的な乱流場に応用すること



を目指しています。そのほか、摩擦抵抗は減らしつつ、熱の伝わりやすさは維持するという相反する性能の両立に進行波状制御を利用することも検討しています。こうした試みはエアコンなどに搭載する熱交換器の性能向上などに役立ちそうです。

**表面加工による低減効果も**

一方、進行波状制御以外にも、表面加工によって流れを制御する研究などに取り組んでいます。例

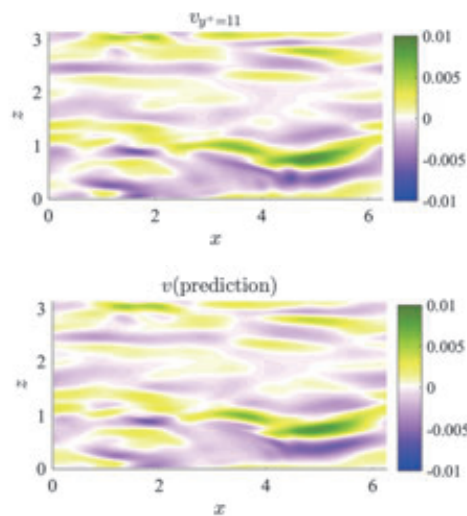
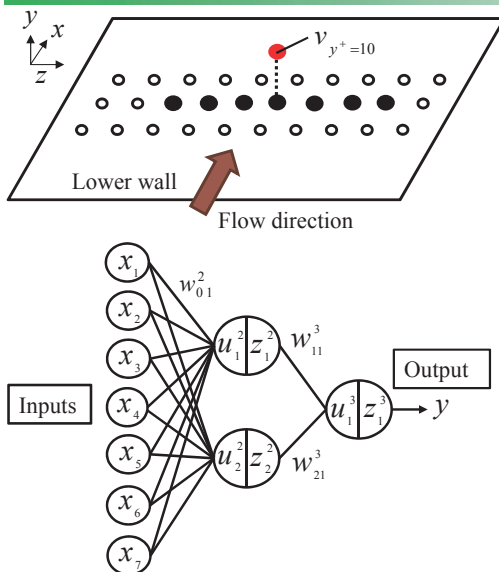
えば、ハスの花などにみられる性の加工や、「さめ肌」と言われる、サメの表皮にある周期的な凹凸構造(フレット)を模した加工などによる摩擦抵抗の低減効果を実証しています。その他の流体制御として、航空機の翼の表面などに液滴が落下して凍り付く「着氷」や、「着雪」のメカニズムに関する基礎研究も手がけています。

**AI活用も視野に**

最近では、人工知能(AI)を使った乱流制御や解析手法の開発にも着手しました。ディープラーニング(深層学習)や強化学習といった機械学習の手法を利用して、摩擦抵抗を減らす新たな制御法の開発も視野に入れています。こうした点から、守准教授は、今後「自動車メーカーや材料メーカーなど、企業との共同研究にも積極的に取り組んでいきたい」と考えています。

【取材・文】藤木信穂

**機械学習を用いた流体制御**



流体制御における機械学習のイメージ:速度の検知(上図)、使用したニューラルネット(下図)

実際の速度分布(上図)とニューラルネットを用いて予測した速度場(下図)

# 工作機械を賢く動かすためのソフトウェアの開発

## 森重 研究室



森重 功一  
Koichi MORISHIGE

工作機械や産業用ロボットは日本の「お家芸」といわれる産業分野です。工作機械は、自動車や家電製品などの生産に使われる機械であり、機械を作る機械として「マザーマシン(母なる機械)」とも呼ばれます。一方、溶接や部品の取り付けなどの作業を人間に代わって行うのが産業用ロボットです。いずれもモノづくりの根幹を支える重要な分野です。

ソフトウェアが機械を動かす  
日本は1980年代から最近ま

で、工作機械の生産額で世界トップを維持していましたが、現在は中国にその座を奪われています。もっとも、日本は機械を「作る」技術にたけている一方、機械を「動かす」技術ではいまだ欧米の後塵を拝しています。

実際、CAD(コンピューター援用設計)やCAM(コンピューター援用製造)のソフトウェアはほとんどが海外製です。「ハードウェアに強く、ソフトウェアに弱い」日本の状況は、残念ながら現在も変わっていません。

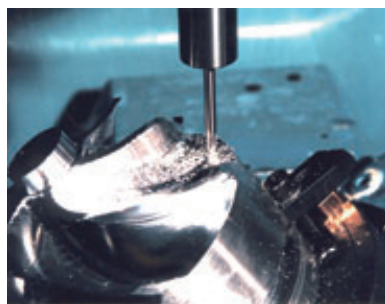
森重功一准教授はこうした状況に危機感を持ち、高い精度で機械を操る世界屈指のソフトウェアを開発してきました。資源が少ない日本にとって、モノづくりは「生

きる道」です。だからこそ、「日本は機械を作るだけでなく、それを適切に動かすためのソフトウェアの開発にも力を注ぐ必要がある」と森重准教授は長年訴え続けています。

### 「C-Space」を工作機械に初めて導入

森重准教授の研究は、三つの柱と二つの活動で成り立っています。一つ目のテーマが、多軸制御可能な工作機械を動かすためのソフトウェアの開発です。例えば、高い品質が求められる航空、宇宙関連の製品には、最先端の「5軸制御マシンングセンタ」で加工された部品が数多く使われています。マシンングセンタとは、工具

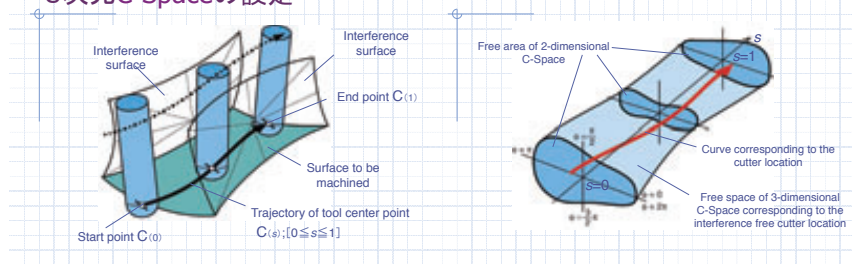
を自動で交換しながら、多種類の複雑な加工を一台で行う工作機械です。



5軸制御加工の様子

空間内で互いに直交するX軸、Y軸、Z軸に加えて、傾斜軸と回転軸が付加された5軸制御マシンングセンタは、工具の「位置」だけでなく、「姿勢」まで制御できるのが特徴です。動作の自由度が大きい分、その

### 3次元C-Spaceの設定



「3次元C-Space」で工具が衝突しない最適な移動経路を割り出す

### キーワード

製造系ソフトウェア、知的生産システム、CAD/CAM、情報・知能化工作機械、産業用ロボットの知能化、多軸制御加工、インタフェース、バーチャルリアリティ、ものづくり

所属	大学院情報理工学研究所 機械知能システム学専攻
メンバー	森重 功一 准教授
所属学会	精密工学会、日本機械学会、 日本設計工学会、型技術協会
E-mail	m-shige@mce.uec.ac.jp



制御には高度な技術が求められます。これに対し、森重准教授は、ロボットの制御に使われている汎用的な手法である「C-Space」の概念を初めて工作機械に応用し、5軸制御マシニングセンタを正確、かつスムーズに動かすためのデータを作ることに成功しました。

この手法は、マシニングセンタの工具が不適切な場所に移動しないように、あらかじめ3次元の「地図」を作った上で、その領域内で工作機械を滑らかに動かす方法です。「障害物を回避しながら、いかに機械を動かすか」という複雑な問題を簡略化したことがそのポイントです。滑るように機械を動かせるこのソフトウェアを使えば、「例えば、オーダーメイドの人工骨など、複雑で付加価値の高い加工ができる」と森重准教授は考えています。

### ロボット研磨、良否判定も

二つ目は、産業用ロボットをスマートに動かすためのソフトウェアの開発です。ロボットに動作を教える際に、ロボットの機体を使わずにコンピュータ上でプログラ

ムを作成してロボットに転送する「オフラインティーチング」を昔から手がけてきました。近年は、画像処理技術を使って、ロボットが加工の良否を判定しながら、自動で研磨する技術の開発を目指しているそうです。



産業用ロボットによる自動研磨

### 触覚デバイスによるバーチャル加工

三つ目は、バーチャルリアリティ用の触覚デバイスを使った加工インタフェースの開発です。画面に表示された仮想空間の物体をデバイスで触ると、押し返されるような感覚(力覚)がフィードバックされる触覚デバイスを利用します。これを使えば、画面を見なが

らこのデバイスを操作するだけで、実際の機械を思いどおりに動かしながらモノを加工することができます。



Haptic device を利用した5軸制御加工インタフェース

まるで実際に削っているかのようなリアルな感覚があり、難しい機械でも直感的に動かせるのが利点です。従来のような工作機械の煩雑な操作から解放され、「誰でも使えてミスのない、安全な加工インタフェースになり得る」と森重准教授は期待しています。

最近では、工具の「姿勢」や加工時の「深さ」なども制御でき、実際の切削に近い感覚を持たせた5軸

制御加工や、難しい旋盤加工に成功しています。最新の旋盤加工インタフェースは、工具を変えながらあらゆる形状の加工に対応でき



旋盤加工中の様子

ます。これは大量生産ではなく、一点物を速く安く、簡単に作る用途に向いているといえるでしょう。

### モノづくりを人のそばに

森重准教授は「モノづくりを人のそばに」との思いで、コンパクトなデジタル工作機械を使って、いわゆる「パーソナルファブリケーション」(個人的なモノづく

り)の普及に向けた活動にも力を入れています。子どもや学生などを対象に、紙に描かれた絵をその場でデータに変換し、小型の工作機械で加工する実演などを各地で行っています。「若い世代にモノづくり業界に興味を持ってほしい」というのが、その活動に込める森重准教授の願いです。

昨今、日本の製造業は、アジア諸国の台頭によって大きな岐路に立たされています。これに加えて、少子高齢化や、熟練工、技術者の漸減といった環境の変化も日本にとって切実な問題です。「実用化の可能性のない研究は工学とは言えない」と考える森重准教授は、「具体的な方法を産業界に提示できる研究室であること」を常に心がけているそうです。

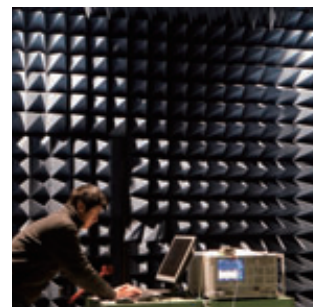
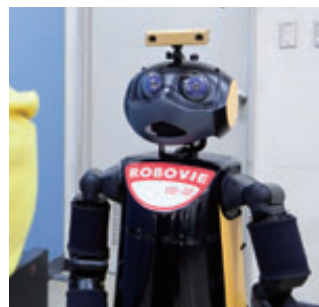
【取材・文】藤木信穂

# 電気通信大学の教員との 連携はお任せ下さい

産学官連携センター産学官連携支援部門では、電気通信大学の産学官連携の窓口として、教員の研究の蓄積を社会に広く展開し、企業のニーズに応じて、社会の役に立つ研究・開発を推進するため、下記のような活動をしています。

## 産学官連携支援部門の業務

- 教員との産学官連携をコーディネート
  - 学術相談、共同研究、受託研究など
  - 公的資金による研究プロジェクトの企画調整
- 教員の研究成果の情報発信
  - 研究室紹介誌「OPAL-RING」発刊(本誌)
  - 学内での産学官連携イベント「産学官連携DAY」の開催
  - 国内外での展示会や新技術説明会への参加
- 社会・産業界から大学へのニーズ情報の収集
- 電気通信大学産学官連携センター事業協力会、TLO(株式会社キャンパスクリエイト)および電気通信大学同窓会(一般社団法人目黒会)との連携
  - 研究開発セミナーの開催など



# 産学官連携の様々な進め方

詳細は、onestop@sangaku.uec.ac.jp までお問い合わせください

## 1 「相談・指導を受けたい」 ➡ 学術相談

本学の教員等が教育・研究及び技術上の専門的知識に基づき、企業等からの各種相談に対し助言・指導を行う制度です。

学術相談を希望される場合は、指導内容・期間・相談料等について、産学連携コーディネーターに事前に相談してください。事前相談の結果、学術相談が可となった場合には、「学術相談申込書」を提出していただき、学術相談契約を締結します。

**期間**：相談内容により異なりますので、依頼者と相談担当教員、産学連携コーディネーターが協議し、決定します。複数年度にわたる相談も可能です。

**費用**：相談料は、相談に対する対価及び相談に直接必要な経費（直接経費）と共通経費負担分（間接経費）からなります。間接経費の額は、直接経費の30%に相当する額となります。

## 3 「研究をしてほしい」 ➡ 受託研究

企業等からの委託を受けて、企業等（委託者）が負担する経費により、教員が職務として研究を行い、その成果を委託者に報告する制度です。

企業等と大学の間で受託研究契約を結びます。

**期間**：受託研究実施に当たっては、企業等と大学の間で受託研究契約を結びます。複数年度にわたる研究も可能です。

**費用**：研究経費は、当該研究遂行に必要な経費（直接経費）と当該研究遂行に関連し直接経費以外に必要な経費（間接経費）の合算額となります。この場合の間接経費の額は、直接経費の30%に相当する額となります。

## 5 「教育・研究の奨励」 ➡ 奨学寄付金

本学の教育・研究の奨励を目的として、民間企業等から寄付を受け入れる制度です。

## 2 「一緒に研究をしたい」 ➡ 共同研究

企業等の研究者と大学の教員が共通の課題について、対等の立場で研究する制度です。

共同研究には、企業等の研究者（共同研究員）と研究経費等を大学で受け入れ、共同して研究を行う方式（共同研究員受入型）と、大学は企業等から研究経費等を受け入れますが、研究はそれぞれの施設で分担して行う方式（分担型）があります。

**期間**：共同研究実施に当たっては、企業等と大学の間で共同研究契約を結びます。複数年度にわたる研究も可能です。

**費用**：研究経費は、当該研究遂行に必要な経費（直接経費）と当該研究遂行に関連し直接経費以外に必要な経費（間接経費）の合算額となります。この場合の間接経費の額は、直接経費の10%に相当する額となります。なお、共同研究員受入型の場合は、共同研究員1人につき年額42万円の研究料を別途お支払いいただきます。

## 4 「研究指導を受けたい」 ➡ 受託研究員

企業等から現職の技術者や研究者を大学に派遣し、大学院レベルの研究の指導を受けることができる制度です。

専ら個人の研究のために教員の指導を受ける「研究生」とは異なり、企業等の事業目的のために派遣されるもので、現職の技術者や研究者であって、大学院に入学することのできる資格がある者、またはこれと同等以上の学力があると学長が認めた者が対象となります。

**期間**：6カ月を超えて1年以内（長期）と6カ月以内（短期）があります。ただし、受入れが許可された日の属する会計年度を超えることはできません。研究の継続が必要な場合は、翌年度に更新することができます。

**費用**：研究期間が「長期」の場合は541,200円、「短期」の場合には270,600円となります。

## 6 「公的資金で共同研究したい」

### ➡ プロジェクト共同提案

本学の教員と共同で行う、公的資金によるプロジェクトの提案を支援します。

科学技術振興機構（略称JST）や新エネルギー・産業技術総合開発機構（略称NEDO）などの公的資金ファンディング機関では、産学官連携による研究活動へ競争的資金（公募）により様々なファンディングが行われています。

## OPAL-RING

学術相談・共同研究 - はじめの一歩 -

次世代エネルギーの安全性、効率化に寄与する熱流動の研究  
木材を工業材料として活用する  
データから直接コントローラをつくる  
制御理論でモノや人を自在に操る  
ヒトの身体機能を代替、補助、拡張するためのロボットの開発  
ひも結びや折り紙、料理ができるロボットの開発  
流体の摩擦抵抗を減らし、高性能なモノづくりに生かす  
工作機械を賢く動かすためのソフトウェアの開発

大川 富雄 教授  
梶川 翔平 助教  
金子 修 教授  
小木曾 公尚 准教授  
姜 銀来 准教授  
末廣 尚士 教授 / 工藤 俊亮 准教授  
守 裕也 准教授  
森重 功一 准教授

電気通信大学 産学官連携センター

<http://www.sangaku.uec.ac.jp/>  
[onestop@sangaku.uec.ac.jp](mailto:onestop@sangaku.uec.ac.jp)