

産学連携を目指す電気通信大学の研究室紹介誌

# O PAL-RING

ダイジェスト版 **社会基盤 (防災・情報通信)**

II

はじめの一步  
技術相談・共同研究



# 光ファイバ通信技術の応用

## 光信号処理と光ファイバ給電、自動運転車への展開



松浦 基晴  
Motoharu MATSUURA

バが張り巡らされると見込まれているからです。

光ファイバ通信とIoTやAIを融合

光ファイバ通信は日本が世界のトップを走ってきた分野であり、産業としても既に確立されています。さらにここに来て、陸上基幹伝送システムや海底ケーブルシステムといった従来の長距離伝送用途だけでなく、短距離伝送向けの光ファイバ通信の需要も増えつつあります。というのも、将来は、これまで使われていなかった自動車などの乗り物、ロボットの内部のほか、IoT(モノのインターネット)機器などにも、光ファイ

松浦基晴准教授は、この成熟した光ファイバ技術の優位性を生かして、通信分野はもちろん、光信号処理や光ファイバ給電に関連した新技術を次々と生み出しています。「近年盛んなIoTや人工知能(AI)技術と光ファイバ通信技術を融合させれば、社会にインパクトを与える新しい産業が生まれるだろう」と松浦准教授は考えています。

### 研究に対するビジョン

- ▼長距離系から短距離系への需要拡大
  - ・長距離・大容量伝送技術の限界
  - ・短距離系通信トラフィックの急増
  - ⇒ データセンタ、モバイル通信ネットワーク、自動車等
- ▼IoTやAI(人工知能)と光ファイバ通信技術の融合
  - ・将来の社会にインパクトを与える技術との融合
  - ・光ファイバ通信技術の優位性を活かした高度化
  - ⇒ アナログ・デジタル変換、自動運転車
- ▼通信以外の応用技術の開拓
  - ・光の特長を活かし、成熟した光ファイバ通信技術を応用
  - ・量産化も容易な光ファイバ通信技術による産業の開拓
  - ⇒ 光ファイバ給電、光データ信号処理

技術、「自動運転車を支える光ファイバ伝送技術」の三つのテーマを中心に研究を進めています。一つ目の光信号処理技術は、IoTの普及により爆発的に増えているデータを処理するために、現在、世界中で増設されているデー

タセンタ向けの技術です。

### データセンタ向け光信号処理

データセンタには大量のサーバが集約されていますが、このサーバ間をつないでいるのが、高速の光ファイバネットワークです。ここを流れる大容量のデータについて、波長変換することで効率よく経路を切り替えるには、光信号を電気信号に変換せずにそのまま処理する光信号処理が必要です。

この光信号処理において、松浦准教授は、米グーグルや米マイクロソフトなど世界大手のデータセンタが採用するとみられる次世代の変調方式「光振幅変調(PAM-4)」に対応した波長変換において、高速動作の実証実験に成功し

### キーワード

光ファイバ通信、光信号処理、ネットワーク、無線通信、防災、携帯電話、レーザ、電力伝送

所属	大学院情報理工学研究所 情報・ネットワーク工学専攻
メンバー	松浦 基晴 准教授
所属学会	米電気電子学会(IEEE)、 電子情報通信学会、米国光学会
E-mail	m.matsuura@uec.ac.jp

ました。

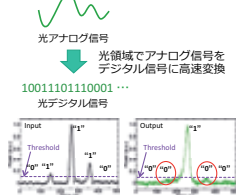
もうひとつ、成果をご紹介します。光信号に変換するアナログ・デジタル(A/D)変換は電子回路には欠かせない技術ですが、将来はこれ

### 光信号処理技術

- ▼データセンタ向け光波長変換
  - ・データセンタ内の通信量が急増し、光ネットワークの導入が必要不可欠
  - ・データセンタに適した光波長変換
- ▼光アナログ-デジタル変換
  - ・電子回路では処理速度に限界が発生
  - ・光技術による抜本的な高性能化に期待



次世代光変調方式である光振幅変調(PAM-4)において、高速光波長変換の実証実験を達成



単一半導體素子内で変換動作が実現可能な新技術を発明し、その有効性を実証

を光の領域で行うことが期待されています。電気的なA/D変換に比べ、光技術によるA/D変換は低消費電力化と高速化が可能です。

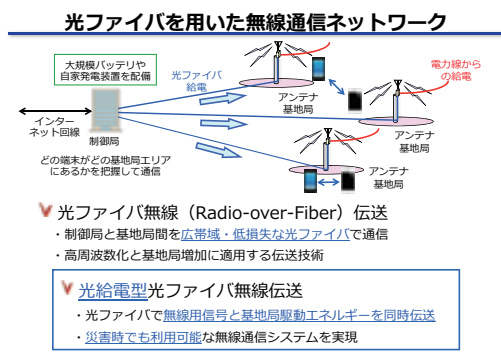
松浦准教授はこの次世代の光A/D変換を、世界で初めて単一の半導体素子を使って実証しました。従来の光A/D変換は、光ファイバの非線形効果を使って行っていました。長距離の光ファイバはそれだけでシステムが大型になってしまいます。これに対して松浦准教授は、汎用的な半導体型の光増幅器において、従来の光ファイバと同等以上の精度で光A/D変換ができることを示しました。

単一の半導体素子内で光A/D変換ができれば、圧倒的な小型化が可能になり、レーザーやフォトダイオードといった光部品に集積することも見込めます。実用化できれば、通信分野だけでなく、新たな応用が開かれるでしょう。

**光ファイバで通信に加え、送電も**  
二つ目のテーマは、将来、重要とされる光ファイバ給電技術で

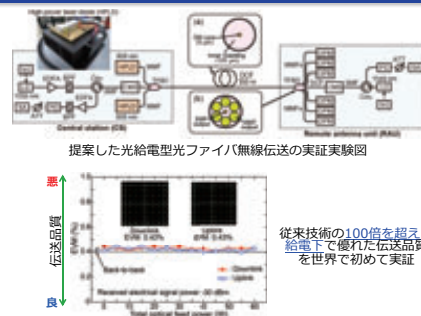
す。これは光ファイバを使って従来用途の「通信」を行うだけでなく、「送電」も同時に行う技術です。石英ガラス製の通常の光ファイバは電気を通さない性質を持ちますが、電気を送る「電力線」としての役目も果たすことができます。

例えば、光ファイバで無線通信



用の信号と、基地局を駆動するための電気を同時に送ることができれば、災害時でも使える無線通信システムが構築できます。従来は必須だった大規模なバッテリーや自家発電装置が不要になり、災害時に停電しても光ファイバによって電気を供給できるのです。

**光給電型光ファイバ無線伝送**



光ファイバ給電は古くからある技術ですが、これまでは通信と送電を同時に行くと、伝送時の信号品質が著しく低下する課題がありました。そこで松浦准教授は、小コアの外側に大コアを持つ、2層のダブルクラッド構造を採用した新型の光給電型光ファイバ伝送システムを提案しました。

小コアに信号光、大コアに給電光を送ることで、1本の光ファイバで従来比100倍以上となる約60ワットの電力を約300メートルにわたって伝送し、高い信号品質も持たせられることを実証しました。この成果は海外でも高く評価されています。

光ファイバ1本当たりの伝送容量は年々増大し、過去15年で約200倍の容量の情報が送れるようになりました。さらにIoTや

**自動車や飛行機が今後のターゲット**

最後のテーマとして、自動車や飛行機などへの導入に向けたプラスチック製の光ファイバの研究も手がけています。例えば、従来の自動運転車には、複雑な制御系や高精細映像のための高速の車載ネットワークが必要になることから、車内に多数の光ファイバが張り巡らされると想定されています。ここでは特に、ガラス製ではなく、狭い場所にも収容できる柔軟なプラスチック製ファイバが有望とされています。

松浦准教授は、この自動運転車向けのプラスチックファイバについて、ファイバの接続部をコアの直径に対して4分の1ほど軸ズレさせた場合の伝送品質を測定したところ、ガラスファイバに比べて2倍以上の高い伝送品質を示すことを実験により確かめました。今後は、こうした曲げや振動に強いプラスチックファイバの導入が進んでいくでしょう。

【取材・文】藤木信穂

AI、自動運転車の普及により、光ファイバ通信技術がさらに新たな価値を提供していくことはもはや疑いようがありません。松浦准教授は、「光ファイバ通信は日本が強い領域だからこそ、光ファイバ給電など有用な技術の早期の実用化を目指して開発を進めたい」と意気込んでいます。

# 階段や小道も難なく進む「ヘビ型ロボット」の開発

## 田中(基) 研究室



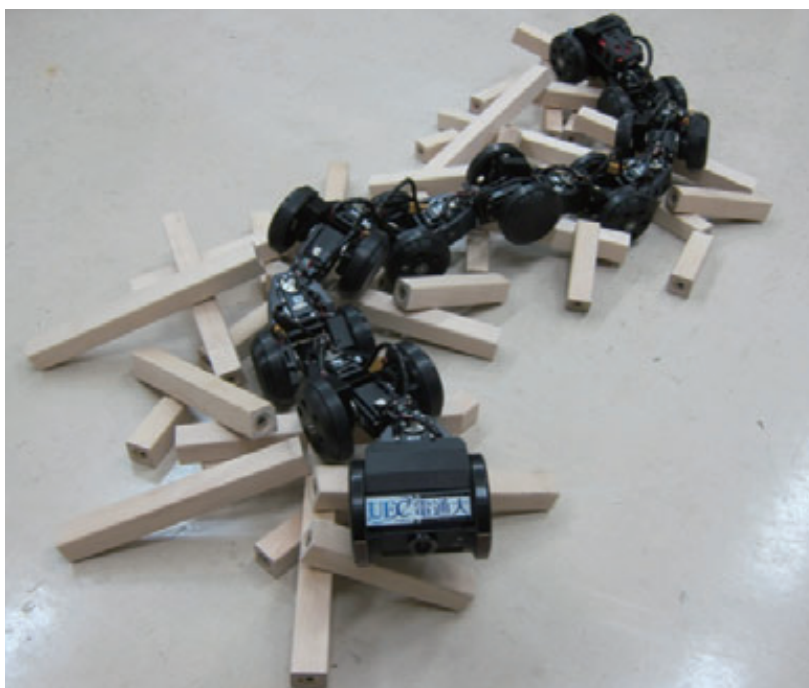
田中 基康  
Motoyasu TANAKA

ロボットを「いかに賢く動かすか」をテーマとし、制御アルゴリズムの開発や、実際にロボットを作った動かす実用研究を手がけています。

### 単純な形でも賢く動く

高さ1メートルもある段差や階段を登ったり、20センチメートル幅程度の狭い小道をすり抜けたりと、人間が立ち入れない場所にもスリと入り込める「ヘビ型ロボット」は、工場などの点検のほか、災害現場で被災者などを探し出す災害救助(レスキュー)用途などとして期待されている次世代ロボットです。

ヘビ型ロボットは、今やロボット開発における一大分野に発展しています。でも、そもそもなぜ「ヘビ型」なのでしょう。生き物のヘビは、手も足もない細長いシンプルな体でありながら、平地はもちろん、障害物などがある場所や、狭い道でもスイスイと進みます。それだけでなく、微小な突起に体を引っかけて壁を登ったり、泳いだり、さらには空を飛んだりするものもあります。



ヘビ型ロボット T<sup>2</sup> Snake-3

### キーワード

ヘビ型ロボット、多連結ロボット、冗長性、レスキューロボット、不整地踏破

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	田中 基康 准教授
所属学会	米電気電子学会 (IEEE)、計測 自動制御学会、日本ロボット学会
E-mail	mtanaka@uec.ac.jp

田中准教授は、「単純な形状ながら、さまざまなことが可能なロボットが作れる」とヘビ型ロボットの魅力を語ります。ヘビ型ロボットの開発は当初、ヘビの動作をまねる研究から始まったそうですが、現在では生き物を超える多くの機能を搭載しています。冒頭の「段差や階段を登れるヘビ型ロボット」は、田中准教授が最近開発したものです。

### 全長170センチの細長いロボット

これは、車輪部を関節で直列につないだ全長170センチメートル、重さ約9キログラムのロボットで、17個の関節用モーターと10個の車輪用モーターを積んでいます。

す。先頭と最後尾に取り付けたカメラの映像を見ながら、人間が遠隔地から無線で操作して動かす仕組みです。田中准教授が開発した最新の制御アルゴリズムは、「たとえ車輪にモーターが付いていないくても動かせる」といいます。

か、頭を持ち上げても倒れないといった賢い「動きが可能です。距離センサーを搭載すれば、周囲の環境の地図を作成できるため、この地図で体の位置を確認しながら確実に進ませることもできます。

そのほか、既製品では難しい階段や狭い場所なども楽々と掃除ができる「お掃除ロボット」や、腕や足に巻き付けて体をもみほぐす「マッサージロボット」などの応用も見込んでいます。ヘビ型ロボットは長さを自在に変えられ、軽いため持ち運びも簡単です。



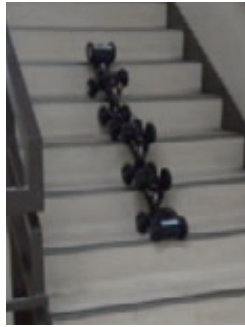
狭路に進入



配管進入



壁を使って先頭を高く持ち上げる



階段昇降



高さ1mの段差越え



持ち上げた先頭部で軽作業  
(例：引き出し開け)

T<sup>2</sup> Snake-3の動作

複雑な環境下でも動かし

平地でできるこうした動作を、

複雑な環境下で行わせることが次の目標です。平坦だと難なくできる動きも、不整地ではとたんに難しくなります。階段などの段差は現在も登れますが、今後は斜面を登ったり、障害物が散乱している場所を移動したり、パイプの中をくぐったりといった動作の実現を目指しています。

期待する応用先は、プラントなどの工場設備や天井裏といった危険が伴ったり人が入れなかったりする場所の巡回点検や、トンネルや橋などインフラの点検用途です。事故や災害発生時の被害の拡大を抑えるこうした日常的な人の点検作業を代替できれば、「災害時に活躍するレスキューロボット」に応用する前段階として、平常時から使える「災害予防ロボット」として役立てられる」と田中准教授は考えています。

移動+作業できるロボットへ

現状のヘビ型ロボットは、人が入れない場所にスムーズに「移動できる」ことがその特徴ですが、さらにそこへロボットハンドなどの新たな機能を追加すれば、目的地に移動した上で「作業させる」ことが可能です。こうしたことから、「ヘビ型ロボットは、作業ロボットのプラットフォーム」として位置づけられる」と田中准教授はとらえています。



段差・狭所も移動できる多連結掃除ロボット

現在でも、機の引き出しを開けたりする作業はできますが、将来は、取り付けたロボットハンドでドアを開けたり、検査装置を搭載して工場などにある機械の故障を検知したりといった使い方ができるようになるかもしれません。また、人工知能(AI)を組み込めば、人が操縦せずに、自律的に動かすことも難しくないでしょう。

2020年には、日本でロボットの国際大会「ワールド・ロボットの国際大会」が「WRS」が開かれます。そこではレスキューロボットの新しいグが設置される予定で、田中准教授はそこへの出場を目指し、現在、新たなヘビ型レスキューロボットの開発を進めています。

【取材・文】藤木信穂



ヘビ型マッサージロボット

# 「色」でひずみを検知する 光ファイバーセンサでインフラを点検

## 古川 研究室



古川 怜  
Rei FURUKAWA

ために足場を構築すれば、交通規制が必要となり、多額の費用や時間を費やしてしまうのです。

### インフラの不具合を検知

近年、トンネルや橋などのインフラ(社会基盤)の老朽化が問題になっていきます。インフラの寿命は通常、建設から約50年と言われているが、高度経済成長期に大量に造られたインフラが現在一斉に寿命を迎えつつあるからです。

しかし、今ほどのインフラが老朽化を迎えているかといった状況の把握すら、十分には行われていないのが現状です。インフラの内부를詳しく調べるには、人による目視や打音点検が必要です。その

このような背景において、古川

准教授が提案しているのが、光ファイバーを使った「応力センサ」の導入です。高齢化したインフラが地震などでひずんだり、位置がズレたりした時の変化を瞬時にとらえ、トンネルなどが崩落する前の「予兆」を事前に検知しようとするものです。

応力センサとは、物体に外から力が加わった際にそのひずみ量(応力値)を測定する装置で、「ひずみセンサ」とも呼ばれます。この応力センサ機能を光ファイバー

で実現し、長いトンネルに張り巡らせば、まるで人間の身体の「神経網」のように、力が加わった場所が反応してひずみ量を検知できるのです。

### ランニングコストゼロ

光ファイバーを使った応力センサシステムは従来もありました。ただ、既存のシステムは、神経の反応を集中的に管理・監視する「頭脳」となるコントローラセンターが巨大化し、装置が高額になってしまふ課題がありました。物体に当てて返ってきた光の波長の微妙な変化をとらえることから、運用に高度な技術が必要なおも普及を阻んでいました。

古川准教授はこれらの課題を解

決するため、「材料費と敷設費のみでランニングコストが『ゼロ』の、簡単に使える実用的な光ファイバーセンサシステムを作りたい」と考えています。

### 光ファイバーに色素を添加

現在、主に取り組んでいるのが、「色」でひずみを検知するという安価でシンプルな新原理の光ファイバーセンサの開発です。プラスチック製の光ファイバーの中心部(コア)とその周囲を覆うクラッドにそれぞれ異なる種類の色素を添加します。ここに光を当てると、それぞれの色素が特定の波長の光を吸って吐き出します。この仕組みを使うと、ファイバーを張り巡らせたインフラなどにひず

みがあった場合に、光強度の変化からそれを検出できるのです。

応用としては、例えば、トンネル内のひずみの検知などを想定しています。トンネル建設の際の掘削作業や、トンネルの外壁となるブロックを組み上げる作業時などに、このファイバーを利用すれば、トンネルの変形やブロックの接合ズレを素早く察知できます。ブロックの欠損部に土砂などが流入すると大きな事故につながるが、ねずみ、建設時の安全管理を徹底する上で役立つ可能性があります。もちろん平常時の監視にも使えます。

### 肉眼で確認も

光を当てた時に、ひずみがない

### キーワード

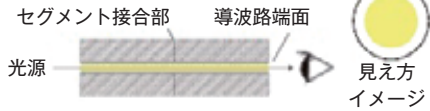
光ファイバー応力センサ、ポリマー光ファイバー、マルチモードファイバー

所属	大学院情報理工学研究所 基盤理工学専攻
メンバー	古川 怜 准教授
所属学会	国際光工学会 (SPIE)、 応用物理学会、高分子学会、 米電気化学会 (ECS)
E-mail	furukawa@ee.uec.ac.jp

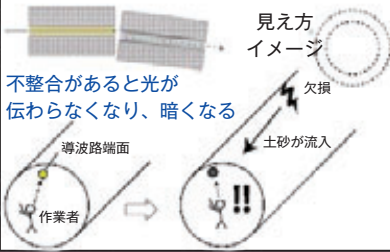
【本事業による安全性改善】

【異常が無い場合】

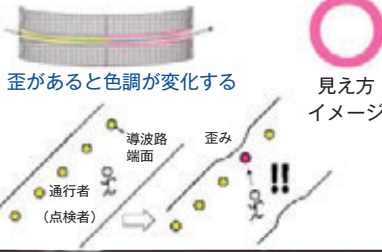
- ・セグメントにまたがって光が伝わる
- ・歪みが無い場合は色調に変化無し



【掘削時のセグメント不接合検知】



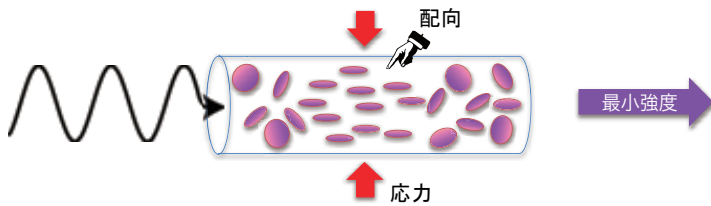
【トンネル完成後の歪検知】



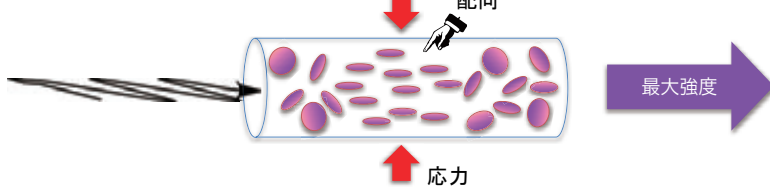
- 改善**
- ・掘削中から機能するセンシングシステム
  - ・安価、シンプルな読み取り、簡便な交換

トンネルに適用した際のひずみ検知例

色素のπ共役面と入射偏波が一致した場合



色素のπ共役面と入射偏波が垂直な場合



色素の配向性と応力と偏波の関係を使った応用センシング例

場合はファイバーの色は変化しませんが、ひずみがあると光が伝わりにくくなり、次第に暗くなります。このように色調で簡単に判断できるため、将来は、「太陽光の下で肉眼でファイバーの色を確認するだけで、不具合を検知できるかもしれない」と古川准教授は考えています。また、トンネル以外にも、建物や家屋のひずみ検知

や、水素などを貯蔵する高压タンクといった小型物の安全管理用途にも応用できないかと模索をしているところです。そのほか、色素を混ぜたプラスチックファイバーに応力をかけると、応力がかかった方向に色素が配向する性質を利用し、ひずみの検知性能を高める研究もしています。将来、応力がかかった「位置

だけでなく、従来は難しかった「力の向き」まで検知することを目指しています。「検知性能を飛躍的に上げられるため、人が介さずに、自動でインフラを監視できる」と古川准教授はみています。古川准教授はもともとプラスチック光ファイバーの研究を手がけていましたが、米国では色素増感太陽電池を開発し、そのほかに

も異なる波長を吸収するバクテリアの研究といった光合成生物の領域でも活動していました。提案する光ファイバーセンサは、これらの分野を融合した成果であり、自然界から着想を得た「エコシステム」と言えるでしょう。2020年の東京オリンピック・パラリンピック開催を控え、現在、首都圏を中心にインフラが

大整備される機運が高まっています。古川准教授は「時代の流れにうまく乗って、建設業界だけでなく、自動車や航空機、住宅、宇宙などさまざまな業種の企業と連携しつつ、実用化の可能性を探っていきたい」と考えています。

【取材・文】藤本信穂

# ネットオークションの新理論を社会へ適用する

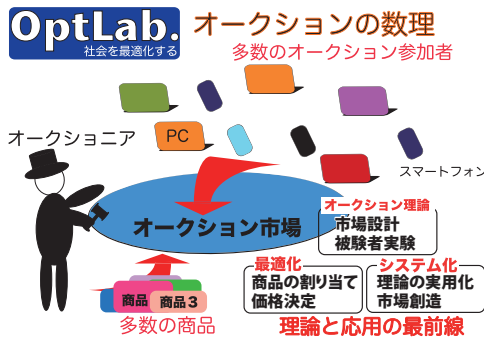
## 高橋(里) 研究室



高橋 里司  
Satoshi TAKAHASHI

実用的な新しいオークションの仕組みを提案し、社会問題の解決に役立てたい。高橋里司准教授はこうした目標を掲げ、情報科学や実験経済学の手法を駆使し、オペレーションズ・リサーチ(OR)の一分野である「数理最適化」の理論の応用に向けた研究に取り組んでいます。対象にしているのがインターネットオークションです。オークション理論の研究はあまた存在しますが、その多くは学術的な研究にとどまってお

り、社会にはほとんど適用されて  
いないのだそうです。



オークション研究の概念図

さまざまなおオークション理論  
オークシヨンは、商品効率  
的に取引するための手段の一つで

す。売り手がある商品を販売しようとする際に、購入条件を競わせることで、売り手が最も納得する形で買い手に売却する仕組みです。日本語で訳せば「競売」で、2018年まで使われていた築地市場の「マグロの競り」などは有名な例でしょう。

インターネットを利用した商取引が普及したことで、オークションも大量の商品を扱うようになり、さらに不特定多数の参加者を対象にするようになりました。商品を一一点紹介する古典的なオークションに対して、ネットオークションは高速で商品をさばれないと大量の取引を成立させられませんが、ここでは「買い手の割り当て」と「支払価格」の二つの要

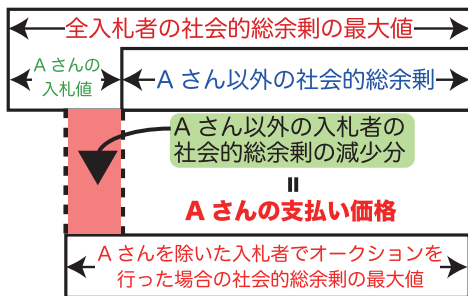
素を最適化する必要があり、その  
仕組みは複雑です。

オークションと言えば、日本最大の「Yahoo!オークション」や米国最大の「eBay」など、価格が徐々にせり上がっていく英国型が主流です。一方で、価格を緩やかに引き下げていき、最初に入札した人が落札者となる「ダッチ・オークション」と呼ばれるオランダ型の方式もあります。これはもともとオランダでチューリップの取引に使われた方法で、現在では、東京都大田区にある「大田花卉市場」が世界最大の市場として知られています。

### 第二価格方式とは

このように、オークションには

### VCGメカニズムを用いたAさんの支払い価格計算



VCGメカニズムの説明図

いくつかの種類がありますが、現在  
在実用化されている手法はいずれ  
も、競りにおける「最高値」を支払  
価格にしています(第一価格)。こ  
れに対して、最高値で入札した参

### キーワード

オークション理論、数理最適化、オペレーションズ・リサーチ

所属	大学院情報理工学研究所 情報・通信工学専攻
メンバー	高橋 里司 准教授
所属学会	日本オペレーションズ・リサーチ(OR)学会、情報処理学会、米コンピュータ学会(ACM)、コンピュータと情報科学に関する国際会議(ACIS)
E-mail	



加者が落札するという点は変わりませんが、支払価格は「2番目に高い入札値」にするという第二価格方式も存在します。これは、ノーベル経済学賞を受賞したW・Vickrey博士が分析した方式で、高橋准教授は同方式を使ったオークションシステムの設計に挑んでいます。

第二価格には理論的に分析しやすいという利点があり、第一価格と比べても、「期待できる売り手の利益にはほとんど差がない」とことが証明されています。この第二価格を一般化したのが「VCGメカニズム」と呼ばれる手法です。これは、落札者の支払価格は、【自分が入札しなかった場合の入札値の総和】と、【自分が落札した場合、自分を除いた入札値の総和】との差額である、という難解なルールです。その複雑さゆえに、ほとんどが研究レベルでいまだ実用化に至っていません。

札値を申告することが最も得をするという優れたメカニズムなので、うそをついたり、ほかの参加者を出し抜いたりすることができないシステムになっており、商品を効率的かつ的確に配分することができます。

### VCGメカニズムの実用化へ

そこで、高橋准教授はVCGメカニズムの実用化に向けて、ルールを単純化するために、VCGメカニズムの近似アルゴリズム(食欲ベース)を提案しました。このアルゴリズムでは、これまであまり導入されてこなかった「単一種類の商品を複数人に割り当てる場合」を想定しています。例えば、1000本の鉛筆を40人に割り当てたい場合に、どのように配分すれば最も利益が大きくなるかというようなケースです。もちろん、各人で買い取り金額は異なるという設定です。「こうしたケースこそ実用的である」と高橋准教授は考えているのです。

提案した近似アルゴリズムについて計算機で実験したところ、近似解と厳密に解いた解がほぼ同様の結果になりました。さらに、

300人を超える被験者で実験した結果、近似アルゴリズムの導入により、入札値の総和を最大にする割り当ての効率性は多少落ちるものの、オークション参加者の行動には違いが出ないこと、また売りの利益にもほとんど差が出ないことを確かめました。

高橋准教授は「第二価格を利用した初めての実用的なオークションシステムになる」と考えており、「企業の資材調達の仕事などとして使えるほか、世界における電力や水の取引などに使えるかもしれない」と広い応用を見込んでいます。新しいアルゴリズムデザインに基づき、新時代のマーケットが将来、日本発祥で起こるかもしれません。

### クラウドファンディングなどにも

また、オークションだけでなく、データセンターの電力削減に向けた仮想マシンの最適な配置や、光通信の最適な通信経路を探る研究なども手がけており、いずれも最適化の理論をベースにしています。最近では、経済学を中心とした「メカニズムデザイン」の手

法を使って、インターネットで支援を募るクラウドファンディングの最適なルール作りなどの研究も始めました。

そのほかにも、災害発生時に避難所間で物資をどのように共有するかという問題を混合整数線形計画問題として定式化して調布市を対象に実験したり、羽田空港に離着陸する航空機の滑走路の最適なスケジューリングなどを研究したりしています。

「最適化の研究者は下請け業者である」と語る高橋准教授。ある作業課題が与えられている場合に意思決定をうまく行うことで、例えば、利益を最大化したり、移動時間を最小化したりといった「最適解」を見つけ出すことができるとのこと。最適化理論は、今後、産業界のあらゆる仕組みづくりにおいて、これまで以上に、陰の立役者となるに違いありません。

【取材・文】藤木信穂

クラウドファンディングの流れ



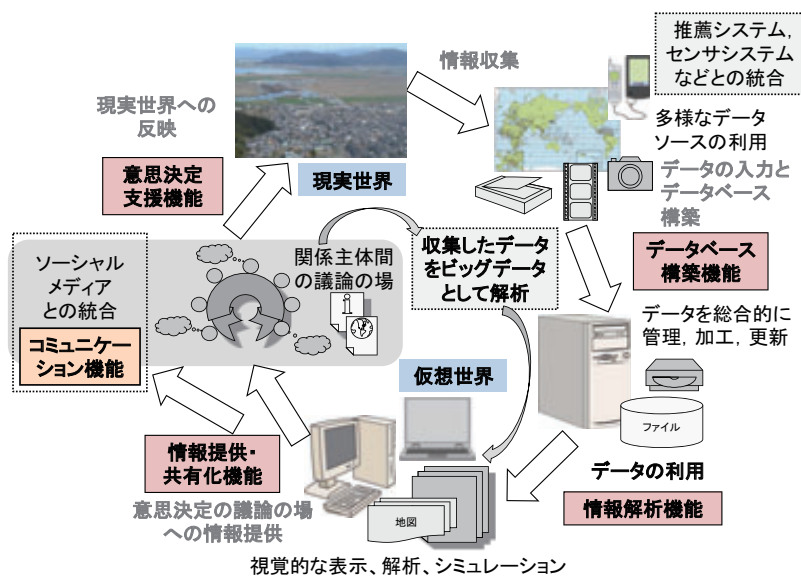
# GISビッグデータを環境・防災分野へ活かす

## 山本 研究室



山本 佳世子  
Kayoko YAMAMOTO

社会システム工学の観点から、環境や防災、まちづくりに貢献する。山本佳世子准教授は、コンピュータ上に地理空間情報を重ね合わせて表示する「地理情報システム(GIS)」を駆使し、そこにツイッターやSNSといった「ソーシャルメディア」などのビッグデータを組み合わせることで、新たな応用を切り拓いています。



GISの活用イメージ

### ダイオキシンの濃度分布を地図上に表示

環境分野では、公開されているデータとGIS、大気拡散モデルを統合したシミュレーションを行っています。例えば、有害化学物質であるダイオキシンの大気中や土壌中などへの拡散状況をシミュレーションし、結果を地図上に表示する一連の解析方法を開発しました。ダイオキシンの主な発生源である焼却炉が立地するエリアを中心に分析した結果、焼却炉の数や規模と、その周辺の大気中のダイオキシン濃度は必ずしも相関しないことが分かっています。

最近では、ダイオキシンよりさらに細かい粒子状物質(PM<sub>2.5</sub>)のシミュレーションも手がけています。PM<sub>2.5</sub>の原因はまだ特定されていませんが、このシステムを使えば、「環境リスクを評価するだけでなく、工場や火力発電所が近隣にあるといった地理的な要因も明らかにできる」と山本准教授は考えています。

焼却炉から排出されるダイオキシン類のデータや気象データ、土地利用データといった公開されているビッグデータを加工して総合的に分析し、地図上に可視化することで、新たな問題をあぶり出せるかもしれません。さらに、人口分布データと組み合わせれば、将来的な環境リスクの変動を予測することも可能でしょう。

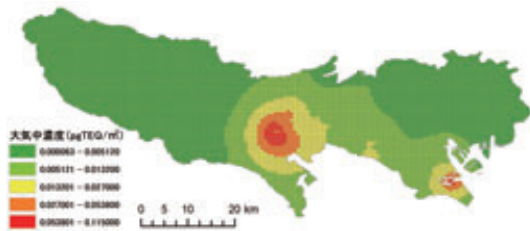
### キーワード

社会システム工学、空間情報科学、都市・地域計画学、環境科学、防災・減災、GIS、土地利用・空間利用、まちづくり、政策科学

所属	大学院情報理工学研究所 情報学専攻
メンバー	山本 佳世子 准教授
所属学会	社会情報学会、環境科学会、地理情報システム学会、日本計画行政学会、日本都市計画学会、情報処理学会、日本地理学会
E-mail	k-yamamoto@is.uec.ac.jp

### 災害や観光情報もリアルタイムに

一方、防災分野では、GISとソーシャルメディアを使い、全球測位システム(GPS)機能の付いたスマートフォンなどの端末から、地域住民によって「ツイート」された災害情報を加工し、リアルタイムに地図上へ集約するシステムを開発しました。現在、三鷹市と共同で運用しています。平常時も地域情報として活用し、災害時は被災状況や避難経路などの最新情報を簡単に入手できます。「従来のハザードマップ(災害予測地図)にはない、地域に特化した詳しい災害情報を一覧表示できる」



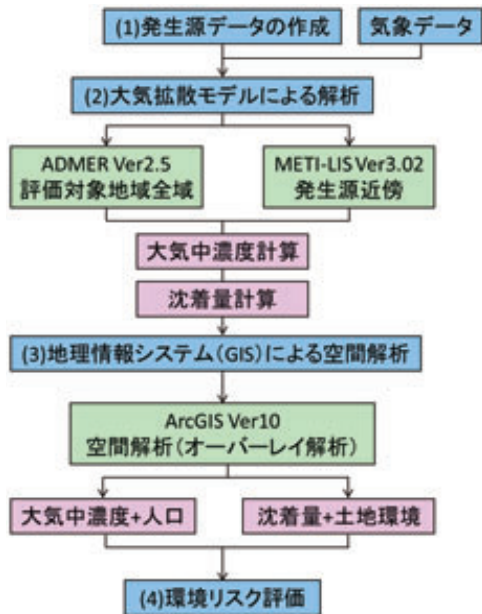
東京都における2000年のダイオキシン類の大気中濃度分布(上)と土壌中の沈着量分布(下)



2000年時点の焼却炉の分布



観光スポット推薦システムの例



環境リスクの評価フロー

のがその特徴です。これと同様の仕組みを「観光スポットの推薦システム」にも展開しています。「○△×の夜景はデートに最適♪」といった、観光地でツイートされた有用な情報を地図上に提示した、横浜みなとみらい地区の観光スポット推薦システムを開発しました。自分の好みや利用シーンを指定すると、それに合った観光スポットを勧めてくれます。

最近では、AR(拡張現実)スマートフォンを使って、現実世界に推薦コメントなどの情報を重ねて提示し、リアルタイムにナビゲーションする機能も追加しました。現在地と観光スポットの位置関係から、最適な経路を割り出すことも可能です。山本准教授は「2020年の東京五輪に向けた外国人向けの観光支援ツールにもなる」と期待しています。

そのほか、GISと遺伝的アルゴリズム(GA)を組み合わせた観光関連施設の適正な配置を評価する方法や、現在と過去の地図を重ねて視覚的に表示した「バーチャル時空間情報システム」なども試作しています。前者は観光計画の立案や推進に、後者は新しい観光

併せて、アンケートや統計処理などを使いこなした企業活動に関する調査研究も手がけています。「GISとビッグデータ、ソーシャルメディアを融合させることで、『社会と人間を結ぶ情報システム』のあり方を追究したい」と山本准教授は考えています。

【取材・文】藤木信穂

# 車両アドホックネットワークで交通事故や渋滞の解決へ

## 策力木格 研究室



策力木格  
WU Celimuge

高度道路交通システム  
(Intelligent Transport Systems : ITS)

ITSは、「人」と「道路」、「車両」の間で情報を送受信し、交通の輸送効率や快適性を高めるツールです。対象は道路交通だけでなく、鉄道や海運、航空など幅広く、新しい産業や市場が生まれる可能性の高い分野でもあります。

ITSは日本が発祥の地であることはあまり知られていないのではないのでしょうか。日本の同分野の研究は1970年代から始まりましたが、当初は特定の用語はあ

りませんでした。1995年、日本人の研究者が国際学会で「ITS」という用語を提唱すると、次第に普及し、現在では世界共通語として定着しています。

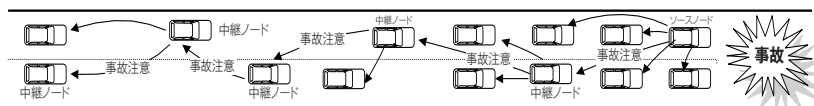
日本のITSは、代表的なものではカーナビゲーションシステムや道路交通情報通信システム(VICS)、料金自動収受システム(ETC)、先進安全自動車(ASV)などがあり、世界の成功事例として知られています。信号機の制御や道路防犯などの道路交通管理、公共交通の支援、カーシェアリングにおける自動車の予約システム、携帯電話を使った自動車向け情報提供サービス(テレマティクスサービス)など各種システムの実用化も進んでいます。

こうした先進的な日本のITS分野で、策力木格准教授は無線ネットワークの通信プロトコルの研究に取り組んでいます。「最先端の情報通信技術を駆使し、交通事故の削減や渋滞の緩和、運転の最適化、高効率な運転による二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)の削減などを目指す」というのが、策力木格准教授の研究の目的です。そのキーワードとなるのが「車両アドホックネットワーク(VANET)」です。VANETはITSのさらなる高度化に向けて、近年注目を集めている技術です。

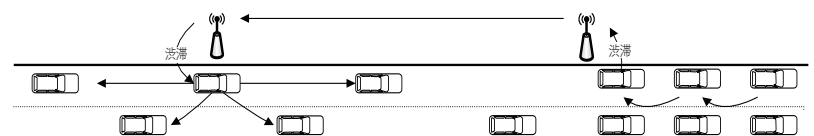
例えば、現在の渋滞情報はどのような仕組みで伝えられているのでしょうか。一般的なのは、カーナビシステムから自動的に情報を

集め、ラジオなどで一斉に情報を流すという手法です。ただ、このように情報を集中的に管理すると、結果的に皆が同じ情報を受け取ることとなります。たとえその渋滞道路を迂回しても、また別の道が混んでしまう悪循環に陥ります。情報を即時に送るリアルタイム送信の機能もありません。

策力木格准教授はこうした課題を解決するVANETを提案しています。アドホックとはもともと「特定の目的のための」という意味のラテン語の言葉ですが、情報通信分野では、アクセスポイントを介さずに機器同士が直接通信を行う手法のことを指します。VANETは各車両に無線装置を搭載し、車と車の間で通信させ



VANETを利用した事故回避支援システムの一例



VANETを利用した道路交通情報システムの一例

### キーワード

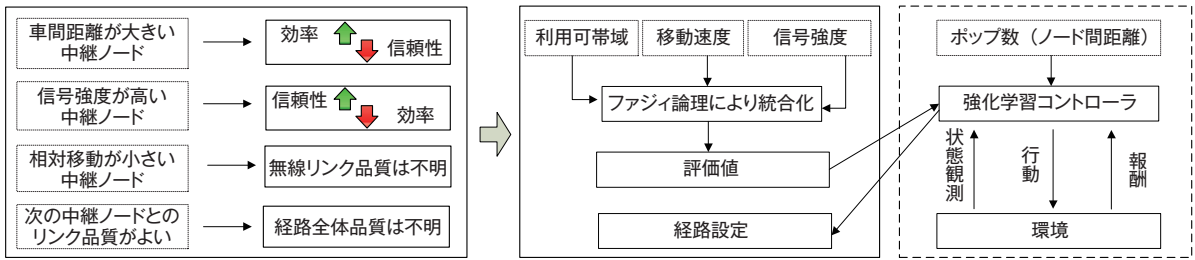
アドホックネットワーク、センサーネットワーク、インテリジェントトランスポートシステム、コミュニケーションプロトコル

所属	大学院情報理工学研究所 情報・ネットワーク工学専攻
メンバー	策力木格 准教授
所属学会	電子情報通信学会、米電気電子学会 (IEEE)、情報処理学会
E-mail	clmg@is.uec.ac.jp

る仕組みです。これによって、例えば交通事故などの情報がある車両が検知し、同車両が近隣の車両にその情報をリアルタイムに伝えることができるようになります。前述の「集中型ネットワーク」に対して、こちらは自ら構築する「自律分散型のネットワーク」です。策力木格准教授は「警察がいなくても、事故情報などを近隣の車に即時に伝えることができ、さらなる事故の発生を防ぐことができる」と考えています。

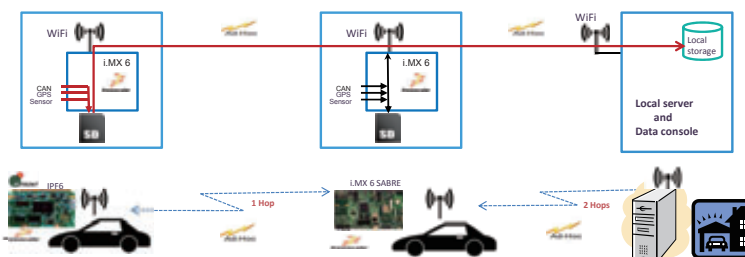
ただ、車は常に移動しているため、車間の通信距離や通信品質は頻繁に変化します。その中で自律分散型のネットワークを柔軟に構築するのは容易なことではありません。そこで策力木格准教授は、人間のように柔軟に推論できる「ファジィ論理」と呼ぶ論理学の手法と、自動的に学習し機能を高めるロボットなどに導入されている「機械学習」の手法を組み合わせた、新しい通信方式を提案しました。目指すのは、信頼性が高く、高効率で、高速動作が可能なネットワークを実現する通信プロトコルです。

実用化をにらんで、試験的に実



ファジィ論理尺度を利用する強化学習に基づいた通信方式

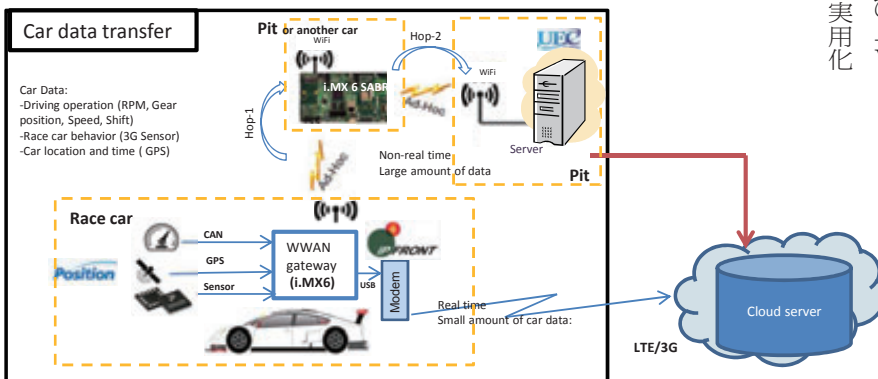
### テレメトリーシステムデモ: 車車間・車路間通信



- テーマ:** 次世代通信技術 アドホック・マルチホップ通信
- 特徴:**
- 車同士、車と道路が アドホックで接続、直接通信
  - 通信可能距離にいる他の車を介するマルチホップでより通信可能範囲を拡大
- 利点:**
- いつでも・どこでも・アドホックに柔軟なネットワークが構築可能

車車間・車路間通信への応用に適している

アドホック通信を利用したテレメトリーシステム



車両情報の自動収集通信システム

機にも適用しています。フリーランスケール・セミコンダクタ・ジャパン、アイピー・フロント(東京都千代田区)と連携し、自動車レース「SUPER GT」に参加しているレーシングカー「OGT Panasonic PRIUS」に、策力木格准教授が開発したV ANETを利用した通信装置が搭載されています。レースに参加し

た車の走行経路や移動距離、スピードなどの車両情報(CAN データ)を自動的に収集して送信する仕組みです。策力木格准教授は中国の内モンゴル自治区の出身です。日本企業への就職を目指して電気通信大学に留学し、博士号を取得しました。その後、研究の道を選び、「V ANETのITSにおける実用化

を目指し、専門家だけでなく、産業界の方々と広く意見交換をしながら、グローバル規模で研究を進めていきたいと考えています。

【取材・文】藤本信穂

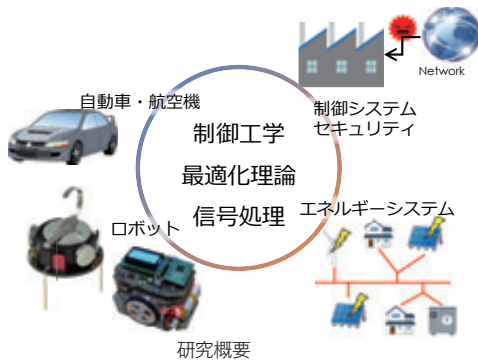
# 制御工学をセキュリティやエネルギー、モノづくりを生かす

## 澤田 研究室



澤田 賢治  
Kenji SAWADA

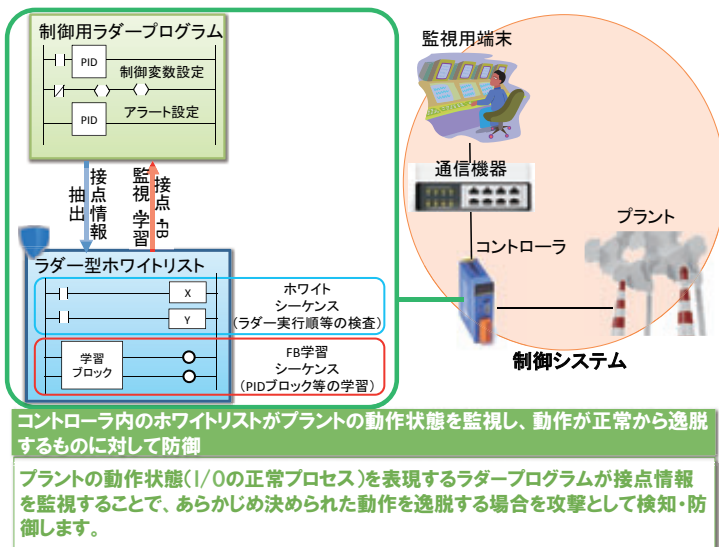
制御工学は、ある対象を自在に動かすための枠組み(アルゴリズム)を研究する学問です。澤田賢治准教授はこの制御工学を主軸にして、最適化や信号処理といった数学の理論を使いながら、セキュリティやエネルギー分野のほか、自動車やロボットなど多様な産業への応用を目指しています。



産業用コントローラのセキュリティ対策  
セキュリティ分野では、IoT(モノのインターネット)時代に向けて、特に工場内などの産業用

機器の制御システムや重要インフラ(社会基盤)をサイバー攻撃から守るための技術を研究しています。情報システムとは違って、制御システムは一般的に運転期間が20・30年と長く、攻撃を受けても簡単には停止できないといった制約があります。

澤田准教授は、アクチュエータやセンサを搭載した制御システムを動かす産業用コントローラに、セキュリティ機能を持たせるアルゴリズムを開発しました。コントローラのふるまいを常時監視し、正常な動作から逸脱した場合にリアルタイムに警告を出すことができます。これによって、サイバー攻撃による異常を迅速に検知できるようにになりました。実際に、F

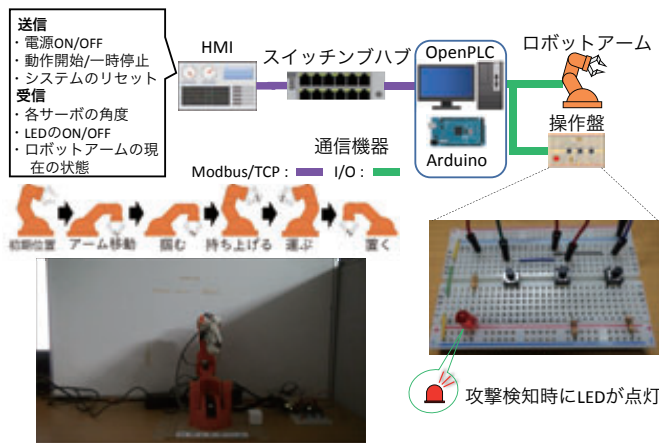


セキュリティ機能を実装した産業用コントローラ

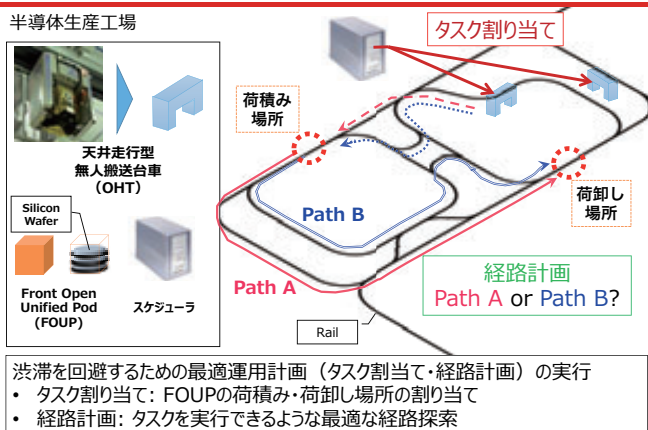
### キーワード

#### 制御系セキュリティ

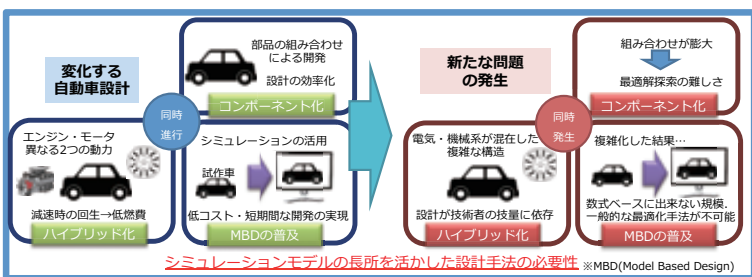
所属	i - パワードエネルギー・システム研究センター(専任) 機械知能システム学専攻(兼任)
メンバー	澤田 賢治 准教授
所属学会	米電気電子学会 (IEEE)、 計測自動制御学会、 システム制御情報学会、 電子情報通信学会、電気学会
E-mail	knj.sawada@uec.ac.jp



自律無人搬送台車のモデル予測型最適運用計画



半導体工場では、通常時速約30



ハイブリッド自動車のシステム設計の背景

このように、澤田准教授が企業と共同で学術的な研究から応用まで幅広く手がけているのは、「制御工学をさまざまな産業の現場で活用してもらいたい」と考えているからです。

【取材・文】藤木信穂

A(ファクトリーオートメーション)機器やPA(プロセスオートメーション)機器に実装して、その機能を実証しています。

一方、電気やガス、水道などの重要インフラを狙ったサイバー攻撃も近年多発しており、これまでに以上日本のセキュリティ対策の重要性が高まっています。澤田准教授は国家プロジェクトにも参画し、攻撃を受けても運転を安定的に継続できる防御技術などを研究しています。「2020年の東京オリンピック・パラリンピック競

技大会の設備を支える主要な重要インフラや、2030年のIoT社会基盤に実装する」(澤田准教授)計画だそうす。

レジリエンスを考慮したエネルギーシステム

エネルギー分野では、地震や洪水など災害時のシステムの早期復旧を目指した、いわゆるレジリエンス(復元力)の高いエネルギーシステムの研究を手がけています。特に、ネットワークにつながった制御システムを分散的に自律処理

する自律分散制御の手法を使って、電力システムの最適な制御方法などを模索しています。

半導体ウエハーの生産効率を向上

自律分散制御の研究としては、ほかにも制御工学の観点から、ロボットを効率的に動かす研究もしています。例えば、最近、半導体生産工場で半導体ウエハーを自動で運ぶ自律無人搬送車向けの運用アルゴリズムを開発しました。

キロメートル程度の速さで24時間走行する無人搬送車が300・500台近く動いています。そのため、これらの大量の搬送車をいかに協調させて動かすかが、生産効率に大きく影響するのです。

澤田准教授は企業と共同で、直径300ミリメートルから450ミリメートルへのウエハーの大型化に伴い、搬送車の運用アルゴリズムを改良しました。搬送車全体

のふるまいを考慮しながら、各車両の位置や速度を制御し、ウエハーの荷積みや荷下ろしのスケジュールリングの最適化アルゴリズムを開発しました。その結果、渋滞が解消され、生産効率が大幅に向上しました。

自動車の設計工程を短縮

そのほか、自動車や航空機など乗り物の制御の研究にも取り組んでいます。自動車のシステム設計に向けたある研究では、エネルギー保存則に着目し、電気系と機械系が混在したハイブリッド車など複雑なモデルでも検証可能な「エネルギーベースモデル検証」を提案し、これで部品の構成を最適化しました。同モデル検証の導入により、設計工程を短縮できるだけでなく、例えば、燃費を向上するバッテリーとモータの組み合わせなどが分かるようになります。

# OPAL-RING

学術相談・共同研究 - はじめの一歩 -

## 光ファイバ通信技術の応用

——光信号処理と光ファイバ給電、自動運転車への展開

松浦 基晴 准教授

萱野

階段や小道も難なく進む「へび型ロボット」の開発

田中 基康 准教授

高橋(里)

「色素」添加の光ファイバー応力センサで高齢インフラを安価に点検

古川 怜 准教授

ネットオークションの新理論を社会へ適用する

高橋 里司 准教授

GISビッグデータを環境・防災分野へ活かす

山本 佳世子 准教授

車両アドホックネットワークで交通事故や渋滞の解決へ

策力木 格 准教授

制御工学をセキュリティやエネルギー、モノづくりに生かす

澤田 賢治 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)