

## Web ベースプログラミング学習環境の研究

香川大学工学部 電子・情報工学科 准教授 香川 考司

連絡先 [kagawa@eng.kagawa-u.ac.jp](mailto:kagawa@eng.kagawa-u.ac.jp)

Web ベースのプログラミング学習支援システムは、

- 学習者にとって面倒なインストールや設定が不要である、
  - 教師にとって内容の更新を容易に行える、
- などの利点がある。しかし、既存のシステムでは対応プログラミング言語やライブラリーなど、教師ができるカスタマイズが限定されるなどの欠点がある。しかし、マイナーなプログラミング言語にこそ Web ベース学習支援システムが必要である。この点を解消するために香川研究室では **WappenLite** (<http://guppy.eng.kagawa-u.ac.jp/WappenLiteVer2/>) というシステムを開発してきた。

**WappenLite** は、Web ベースの学習用プログラミング環境である。Java 仮想機械 (JVM) ベースのプログラミング言語処理系を Web ブラウザーから操作できるようにする。図 1 に構成図を示す。

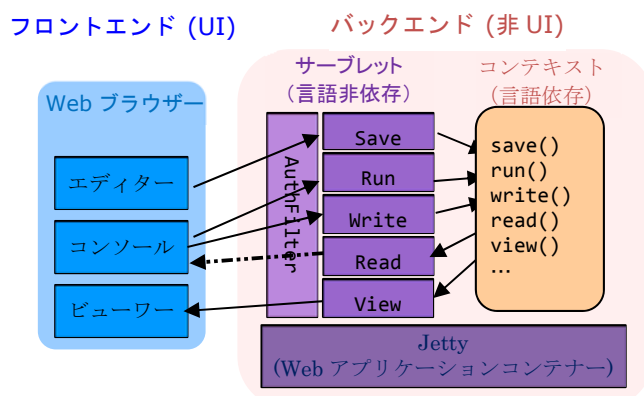


図 1 WappenLite の構成図

WappenLite は

- さまざまな (主に JVM ベースの) プログラミング言語に対応する。現在、Java, Scheme, Clojure, Prolog, C—NestedVM (<http://nestedvm.ibex.org/>) 使用—などの対応版がある。
- ユーザーインターフェースは HTML + CSS + JavaScript で記述され、教師が容易にカスタマイズできる。
- クライアント PC で言語処理系を実行するため、サーバーに負担をかけないなどの特徴がある。現在、JVM ベース以外の言語処理系用に Docker などのコンテナ技術を利用し、安全に学習者の作成したプログラムを実行できるようにするシステムを開発中である。

ユーザーインターフェースには **Blockly** (<https://developers.google.com/blockly/>) によるブロック方式 (図 2) も活用する。



図 2 Blockly の画面

しかし、WappenLite が対象とするようなマイナーなプログラミング言語では“入れ子”が深くなり画面が狭くなってしまふことが多い。そこで以下のようなシステムを開発中である。

- 深い入れ子を持つ式をブロック方式の利点を保って編集できるようにする。
- 教師がブロック形式のプログラムを手軽に用意できるように、テキスト形式のソースファイルからブロックを生成できるようにする。

# 「初中級プログラミング演習の教材構築と支援環境の開発」

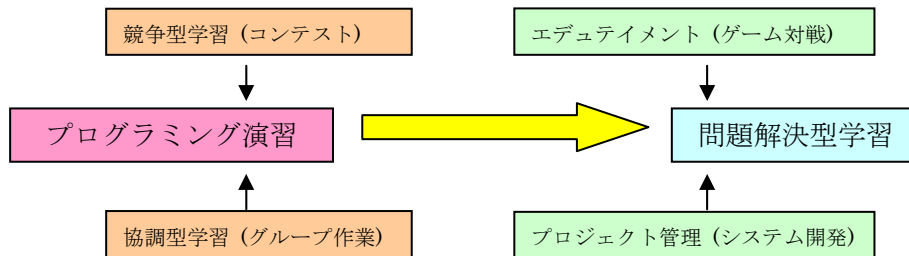
香川大学工学部 電子・情報工学科 准教授 富永浩之

連絡先：tominaga@eng.kagawa-u.ac.jp



## 1. 目的

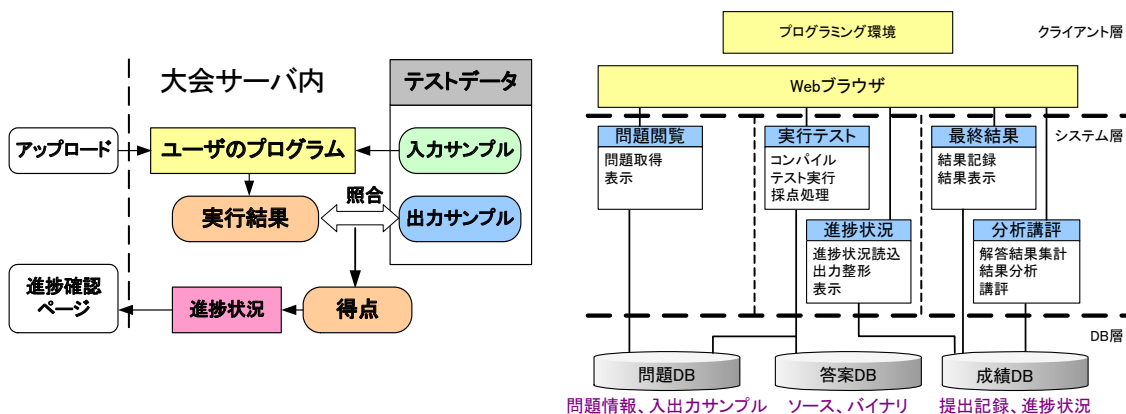
近年、質の高いソフトウェア技術者の不足が危惧されており、その育成が急務である。特に、基礎技能となるプログラミングについては、問題解決の手段として使いこなす総合的な応用力が求められている。そのため、一方向的な講義形式の授業に代わって、演習形式など学生自身の能動的な活動を主体とする授業形態が採用されつつある。そこでは、教師と学生とのコミュニケーションだけでなく、グループ学習など学生同士の協調作業が重視される。また、自発的な学習意欲を高めるには、競争意識やゲーム感覚を持たせることが効果的である。本研究では、競争と協調による問題解決手段としてのプログラミング演習を提案し、各種の教育目的と利用場面に即した、一連の演習支援システムを開発する。



## 2. 研究概要

学習対象者と教育目的に適応し、以下のような教授方法と支援環境を実践している。

(1) 初級 C プログラミング演習に、個人およびグループでのコンテスト形式を導入し、その運営サーバを開発する。複数の問題から選択解答し、ローカル PC で作成したプログラムをサーバ側に送信し、入出力サンプルによる実行テストで、実行結果の正誤を自動採点する。難易度に応じた配点、時間や誤答による減点などの得点ルールを与え、得点や順位を公開して、早く正しく多くの問題を解くことを競わせる。完答を要求する最終テストと、条件を緩めた複数の予備テストからなる実行テスト系列を用い、部分的な解答にも得点を与える。また、ソースコードの類似性を判定をし、剽窃行為を防止する。



# レーザを用いた断面速度分布計測技術

香川大学工学部 電子・情報工学科 准教授 丸 浩一  
連絡先 maru@eng.kagawa-u.ac.jp



## 1. 目的

流体を扱う産業では、流路断面内の速度分布情報を高精度かつ稠密に計測することが望まれる。レーザドップラー速度計 (LDV) は、高性能なカメラや複雑な画像処理を用いずに高い空間分解能で非接触かつ精密に速度を計測できる方法として広く用いられているが、2次元的速度分布を計測するためには大規模な光学系になりがちであった。本研究は、小型で高信頼なプローブを備えた使い勝手の良い速度分布計測装置の実現を目指している (図 1)。

## 2. 研究概要

本研究では、横方向の複数点同時計測と深さ方向の測定点走査を併用する手法を提案している。波長可変レーザの出射光からふたつのビームアレイを生成し、 $\text{LiNbO}_3$ 位相シフタアレイを用いて一方のビームアレイをゼロダイン変調することで互いに異なる周波数だけシフトする。プローブに導入したビームアレイを測定位置に入射し、横方向に整列した複数の測定点を形成する。各測定点と周波数シフト量を一対一対応させた空間エンコード化により、各測定点の速度を同時計測する。また、波長を変化させてプローブ内に設けた回折格子での回折角を変化することで、各測定点を深さ方向に非メカニカル走査する。本構成ではプローブ内に移動機構が不要となり、プローブ小型化や高信頼化が容易となる。また、 $\text{LiNbO}_3$ 位相シフタアレイを用いることで、他の周波数シフト方式に比べて構成を簡易化できる。図 2 に試作プローブの概観写真、図 3 に速度分布計測結果の例を示す。本研究により、使い勝手が大幅に向上した流路断面内の速度分布計測装置の実現が可能となり、産業・医療などの流体を用いたさまざまな分野への貢献が期待できる。

本研究は、H26 香川大学若手研究経費、科学研究費補助金 (課題番号 24760317, 15H04018) の助成を受けた。

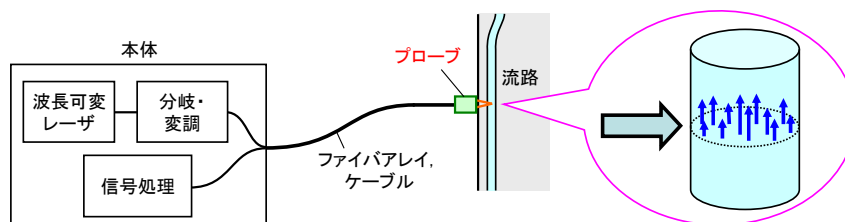


図 1 断面速度分布計測用 LDV のコンセプト



図 2 試作プローブの概観

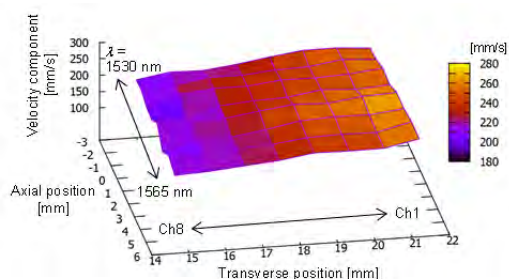


図 3 速度分布計測結果の例

# 第五世代移動通信ヘテロジニアスネットワークにおける干渉除去技術の研究

発表者：三木信彦

## 1. 目的

2020年代に2010年比で1000倍に到達することが予測されるトラヒックに対応するため、第五世代移動通信の研究が行われている。システム容量は（周波数利用効率）、（周波数帯域幅）、（基地局密度）の積で表されるため、上記トラヒックに対応するには、すべての要素を増大する必要があるが、本研究では、基地局密度増大に着目する。基地局密度増大による局間干渉増加を、基地局・移動局による干渉除去技術より改善することを目的とする。

## 2. 研究概要

第五世代移動通信においては、コストの低減も非常に重要な要求条件である。従って、面的なカバレッジは設置済みの基地局（従来基地局）に任せ、トラヒックの集中する屋内に小型基地局を新たに多数設置するヘテロジニアスネットワーク構成を適用する。

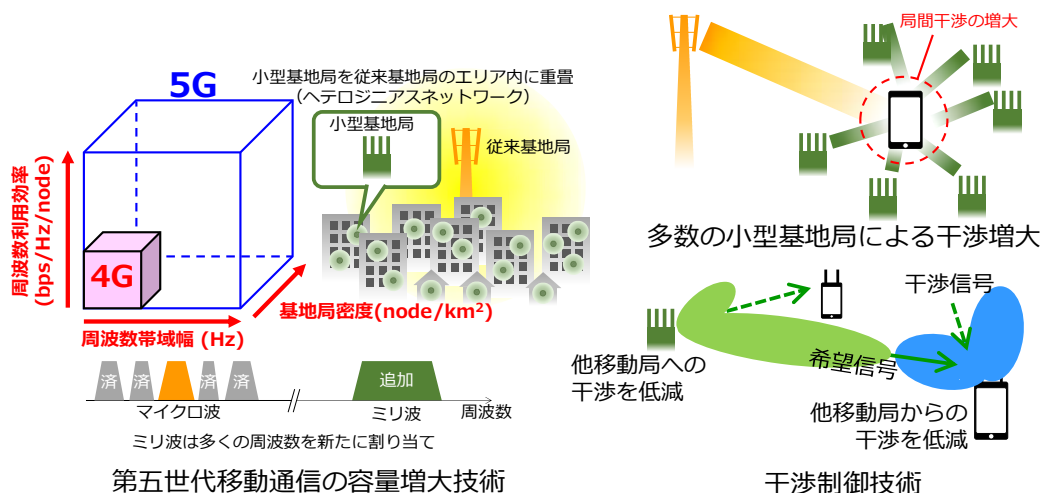
小型基地局の多数の導入により、下りリンク（基地局から移動局への通信）において移動局で受信する干渉局数が増大する問題がある。これを回避するための技術として、干渉制御技術がある。これは、基地局干渉制御と移動局干渉除去の2種類の大別される。

- **基地局干渉制御**：協調送信技術などを用いて、送信側である基地局において、移動局で受信する干渉電力を低減するように制御を行う。具体的には、基地局の複数アンテナの送信振幅・位相制御することにより実現する。
- **移動局干渉除去**：受信側である移動局の信号処理において、干渉信号を除去する。具体的には、移動局の複数アンテナの受信・位相制御や、受信信号を用いて干渉信号を推定して除去するなどの方法により実現する。

上記の技術は相反するものではなく、併用することによって、更なる改善効果が期待できる。例えば、干渉アライメント技術は、受信処理を想定して送信処理を行う。これらの技術について計算機シミュレーションにより、アルゴリズム検討を行う。

## 3. 成果の活用

2020年代に実用化が期待される第五世代移動通信で必須のヘテロジニアスネットワーク構成において、干渉除去技術の適用により、小型基地局の導入による容量増大効果を改善し、導入コストを低減することができる。



# 観光の思い出を記録する観光ガイドブック生成・印刷システム

「KadaPam/カダパン」

香川大学工学部 電子・情報工学科 准教授 八重樫 理人  
連絡先 [rihito@eng.kagawa-u.ac.jp](mailto:rihito@eng.kagawa-u.ac.jp)



「観光立国推進基本法」では、観光旅行者の利便の増進として情報通信技術を活用した観光情報の提供等に必要な施策を講ずる必要性が言及されています。観光における観光情報は、準備段階で必要な「事前情報」、目的地に必要な「現地情報」、観光が終わった後に取り扱う「事後情報」の3つの情報に分類されます。これまで観光情報を用いた観光支援に関する取り組みは、「事前情報」や「現地情報」の提供が中心でしたが、近年「事後情報」が注目されています。

香川大学工学部電子・情報工学科 八重樫研究室は、観光の思い出を記録する観光ガイドブック生成・印刷システム「KadaPam/カダパン」を開発しました。カダパンは、ガイドブックの写真を、観光者が撮影した写真と画像認識技術を用いて置き換えることで、観光の思い出を記録した二種類のガイドブック（紙媒体と電子媒体）を生成します（図1、図2、図3）。2017/11/3～12/3にかけて、カダパンを用いた観光 ICT 社会実験を小豆島で実施しました（図4）。社会実験では、小豆島を訪れた観光客にカダパンを無料で提供し、思い出が記録された観光ガイドブックを使って観光の振り返りを支援します（観光情報における「事後情報」）。生成された観光ガイドブックによる観光の振り返りは、観光のリピートにつながる効果が期待できます。また、思い出が記録された観光ガイドブックが、SNS などによって他の観光客と共有されることで、観光における新たな観光客獲得も期待できます（観光における「事前情報」）。



図1 カダパンガイドブック 表面  
(海辺コース：観光前)



図2 カダパンガイドブック 表面  
(海辺コース：観光前)



図3 カダパンガイドブック 表面  
(海辺コース：観光後)



図4 カダパンを用いた観光 ICT 社会実験（小豆島）

## 無意識下生体制御に関する研究

香川大学工学部 電子・情報工学科 講師 浅野 裕俊

連絡先 asano@eng.kagawa-u.ac.jp



本稿では、アンビエントバイオフィードバックシステムを用いた体温の生体制御に関する研究を一部紹介する。我々は体温や代謝、血圧などの不随意機能を対象者に負担を感じさせることなく制御・調整する無意識下生体制御の基盤技術開発を行なっている。対象者に一切の心的負担をかけることなく不随意機能を制御しようとする試みは、国内はもとより世界的にも類例がない。本稿では、その初段として体温を制御・調整する研究を一部紹介する。多くの文献には、睡眠と体温との関係について記載があり、睡眠の開始に先行して特定部位の皮膚血流が増加し、熱放散が活発化すること、熱放散に関わる特定部位は手背・足背であること、さらには抹消血管の拡張によって皮膚血流が増加して皮膚温度が上昇すると書かれている。また、体温は熱放散や覚醒水準と関連していることから、日中活動時の体温を制御・調整することで夜はきちんと眠くなるようにしたり、朝や日中は眠気を抑えたりできる可能性がある。厚生労働科学研究班は睡眠障害に対する薬物療法は副作用や反跳性不眠などの課題があると報告している。薬を使わずに睡眠をコントロールできれば概日リズムに関わる睡眠障害を起こさないよう適切に管理・サポートできると考えている。先行研究では、交感神経系活動指標である鼻部皮膚温度を利用した眠気制御をおこなっている。ヒトは何か集中しているとき、交感神経は亢進し、皮下の動静脈吻合血管収縮によって皮膚は安静時よりも低い温度を維持する。そして、眠気を催すと交感神経は抑制されて収縮した動静脈吻合血管は元に戻り、温度は上昇する。この生体機序を利用して、先行研究のコントローラは皮膚温度に合わせて常に低い状態を保つよう微細に調整された温度刺激を与えている。実験の結果、20名中18名において刺激に気付かれることなく眠気抑制効果が表れており、交感神経活動指標に基づく眠気制御が有効となる可能性を得ている。また、冷却刺激だけでなく、加熱刺激においても生理心理計測実験に基づいて評価しており、温度刺激の種類によって覚醒変動に影響を与える可能性があることを実験結果より確認している（図1参照）。

本研究は医療福祉分野への応用のみに留まらない。体温は体温調整機序に関わるため、代謝に応用可能であることからスポーツ分野に展開できる。また、睡眠は集中力と関連するため教育分野にも展開できる。生体工学と制御工学を基盤としたキーテクノロジーである無意識下生体制御のエビデンスを示し、学術的にも新しいパラダイムを切り開いていきたい。

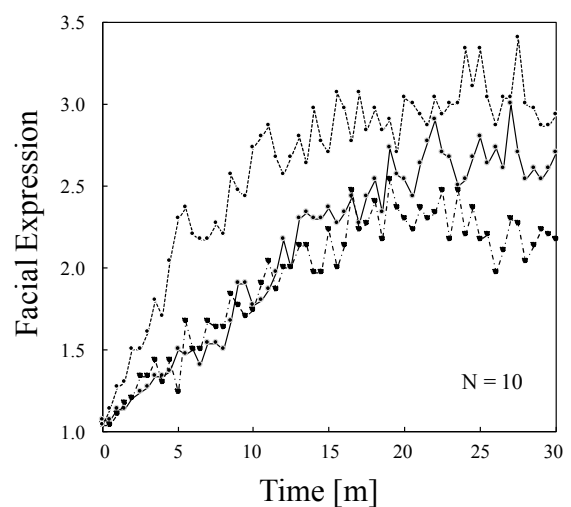


図1 実験結果

縦軸は顔表情評価値、横軸は時間である。波形は上から加熱刺激、刺激なし、冷却刺激である。

# メタヒューリスティック最適化手法の提案と応用

香川大学工学部 電子・情報工学科 講師 松下 春奈

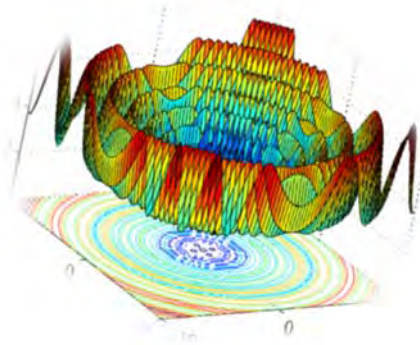
連絡先 haruna@eng.kagawa-u.ac.jp



## 非線形ダイナミクスに着目した 非線形問題解決手法の提案と応用

### ● 最適化問題の解決とは？

- ◇ ある制約条件の中で目的を達成すること
- ◇ 重要だけど難しい！



### ● 現実社会の現象を取り入れた

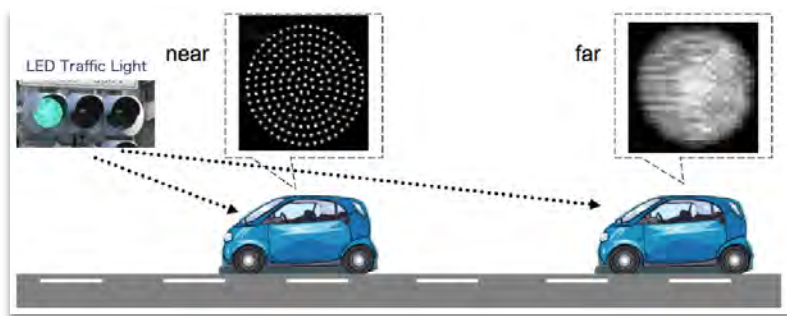
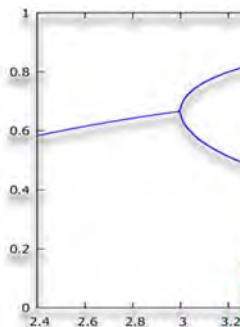
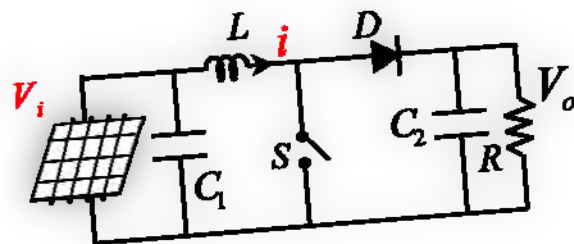
#### 新しい非線形最適化手法の開発

- ◇ 群知能型メタヒューリスティック最適化手法の提案
- ◇ 粒子群最適化法(PSO)、遺伝的アルゴリズム(GA)等をベースとした改善手法

### ● 開発手法の解析・応用を通じた

#### 実社会問題への応用

- ◇ 電気回路の最適パラメータ設計
- ◇ 手軽かつ高精度な非線形解析手法の提案
- ◇ LED 信号機による可視光通信を用いた高度道路交通システム (ITS) の様々な環境下での信号復調



工 電  
子  
学  
・  
情  
報  
科  
報

# 持続可能な CSIRT を目指した対応訓練システムの開発

香川大学工学部 電子・情報工学科 / 総合情報センター 助教 後藤田 中  
 連絡先 gotoda@eng.kagawa-u.ac.jp



近年、インターネットの普及に伴い、サイバー攻撃が急激に増加し、様々な企業や組織で情報セキュリティインシデントの対応を行う Computer Security Incident Response Team (CSIRT)が組み込まれている。香川大学においても、情報セキュリティインシデントの増加から、2017年3月にCSIRTが発足し、活動を行っている。活動の具体的な内容として、インシデントの初動対応や、学内外の関係組織との連携・情報共有、インシデント内容の調査と再発防止策の検討などを行っている。

大学だけでなく CSIRT の現状として、チームメンバー全員が初めから対応に長けた能力を持っている、という状況は難しいが、その中でも、対応チームとして成長・持続していくことが非常に重要である。そこで持続可能な CSIRT を目指し、そのための教育の場として提供する対応訓練システムの開発(図1)を行っている。重要な点として、リスク[影響・可能性](図2)を対応に意識させるよう、一連の対応の中で、特に判断や意識のずれが生じやすい対応箇所に対し、リスクの可能性と影響度の大きさを考慮させる(図3)。エキスパート/ノービスのリスクを可視化し、相互評価を通じた訓練を実現する。

図1 開発中のインシデント対応訓練システムのベースUI

影響度 × 確率 = リスク レベル	
影響度の範囲	× 確率の範囲
高 10-7	10-7
中 6-4	6-3
低 3-0	3-0

高	10	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
	9	0	9	18	27	36	45	54	63	72	81	90
	8	0	8	16	24	32	40	48	56	64	72	80
	7	0	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70
影響度	6	0	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60
	5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
	4	0	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40
	3	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
	2	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
	1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		低			中							高
					確率							

総合的なリスク評価	リスク レベル
41-100	高
20-40	中
0-19	低

図2 セキュリティリスク管理ガイド

引用: Microsoft セキュリティリスク管理ガイド

<https://technet.microsoft.com/ja-jp/library/cc163154.aspx>

図3 対応に対するリスク評価の例



# トラブルシューティングに資する潜在ニーズ可視化エージェントの開発

香川大学工学部 電子・情報工学科 助教 米谷 雄介

連絡先 kometani@eng.kagawa-u.ac.jp



## 1. 情報システム・セキュリティコースにおける本研究の位置づけ

2017年11月1日付で香川大学工学部 電子・情報工学科に助教として就任いたしました。2018年度からは、新学部・新学科設置及び改組により創造工学部 情報システム・セキュリティコースに所属が変わります。情報システム・セキュリティの質は、「企画→要件定義→開発→運用→保守」といったソフトウェアライフサイクルにおいてプロセス単位でみた質を総合したものであると捉えることができます。本研究はそれらのプロセスの内、利用者と深い関わりがある「運用」や「保守」に関係します。

## 2. 問題点とアプローチ

トラブルシューティングとは問題解決の一手法であり、ある問題に対して想定される要因の中から可能性の低いものを消去しながら解決に必要な根本原因を特定するプロセスです。問題発生当初は担当者自身が根本原因を認知していないことから、本研究ではそれらの根本原因を「潜在ニーズ」と呼んでいます。予め潜在ニーズを可視化して担当者に提示することで問題の早期解決につながると考えています。

私は工学部と総合情報センターの2つの職務を兼任しています。総合情報センターは法人本部や各部署等にITサービスを提供する部署です。ヘルプデスク業務はITサービスの一種であり、他のITサービス利用において発生したトラブル解決を目的とします(図1)。私は実際のサービス改善に資することも念頭にして業務支援に向けた対話システム(潜在ニーズ可視化エージェント)を開発しています。

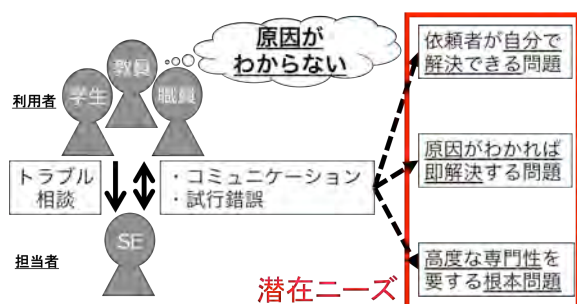


図1 IT相談におけるトラブルシューティング

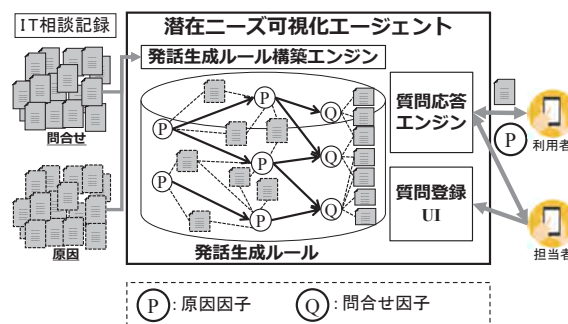


図2 潜在ニーズ可視化システムの全体設計

## 3. 潜在ニーズ可視化エージェントの開発

図2に潜在ニーズ可視化エージェントの全体像を示します。潜在ニーズ可視化エージェントは利用者からの問い合わせを解析し、それに応じて利用者に対話を行い、潜在ニーズを特定します。特定した潜在ニーズを利用者・担当者に共有することで、問題の早期解決を支援します。

対話システムの中核は、利用者からの問い合わせに対する発話内容を定めた発話生成ルールです。ヘルプデスク業務を対象とした場合、大学ごとにITサービスの性質が異なることから、発話生成ルールを大学ごとにカスタマイズする手間がかかります。そこで本研究では、確率的文書生成モデルの一種であるトピックモデルを用いて大学の業務記録を解析し、発話生成ルールの自動生成手法を構築しています。

## 4. 開発の現状と将来の展望

現在、実際に動作する対話エージェントを開発中です。また本研究ではヘルプデスク支援を対象にしていますが、一度構築手法のモデルが確立できれば、他の問題解決過程(例えば授業についての学生からの問い合わせ対応など)にも展開できる可能性を秘めています。大学に蓄積されている業務記録を効果的に再利用する手段の提供にもつながるのではないかと期待しております。

# 台風災害時の避難検討のための対応行動データベースの構築

香川大学工学部 電子・情報工学科 助教 高橋 亨輔  
連絡先 k\_taka@eng.kagawa-u.ac.jp



## 研究キーワード：

ウェブ情報学・サービス情報学、ソフトコンピューティング、社会システム工学・安全システム

## 最近の研究課題：

Web システム開発技術やソフトコンピューティング（遺伝的アルゴリズム、ニューラルネットワークや機械学習など）技術を組み合わせた応用アプリケーションの研究開発など、社会に新しいサービスの提供することを目指しています。

## 本研究の概要と目的：

台風災害時には、気象庁による警報・注意報や行政による避難指示・勧告など、地域住民に被害軽減のため対応行動を促す情報が提供されます。しかし、最終的には地域住民一人一人が、自ら状況判断・意思決定し、命を守るための対応行動を開始しなければなりません。

本研究では、個人や社会の災害発生時の行動に着目して、過去の行動データを収集し時系列的に整理した対応行動データベースを構築しています（図-1 参照）。この対応行動データベースを活用して、過去の災害発生時の対応行動の問題点や課題について分析し、今後起こりうる災害に対してとるべき効果的な対応行動の検討に役立てます。

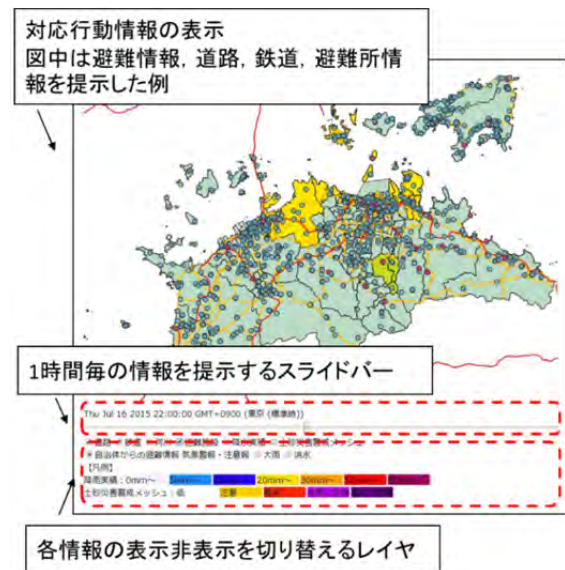


図-1 対応行動データベース

## 2015 年台風 11 号を対象とする分析事例：

香川県を対象とした分析事例では、島嶼部の小豆島では、自治体が避難勧告を発令する前から、避難をしている住民がいたことが読み取れます（図-2 参照）。また、夜間、強い雨が降っている中で、土砂災害警戒情報が発表されている状況が読み取れます（図-3 参照）。

このように過去の事例を時系列に沿って災害状況を可視化することにより、地域住民が平素から発災時の対応行動を開始するための判断情報の学習支援を目指しています。

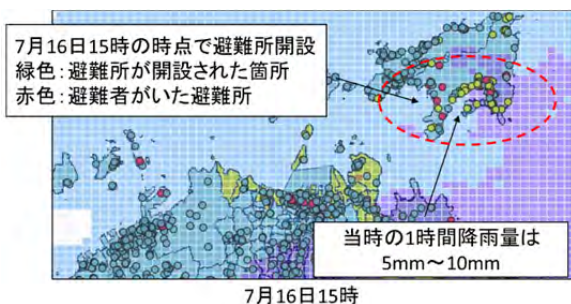


図-2 島嶼部の避難所開設状況

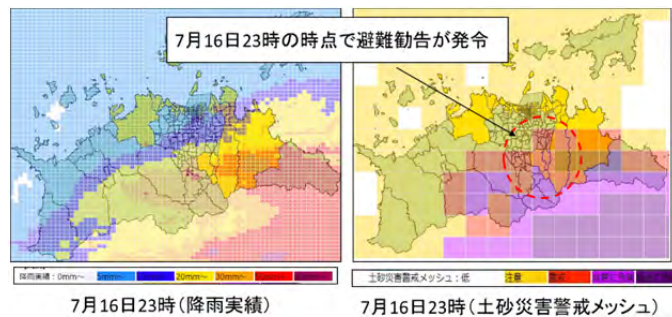


図-3 降雨実績と土砂災害警戒メッシュ

# 光源に依存しない物体色推定技術の開発と色補正への応用

香川大学工学部 電子・情報工学科 助教 松岡 諒  
連絡先 matsuoaka@eng.kagawa-u.ac.jp



## 1. 研究背景

物体表面の分光反射率測定は、リモートセンシング、医療、食品衛生管理、植生管理、生体認証や科学捜査など様々な分野で活用されている。特に、デジタル技術やネットワーク技術を活用して、文化財や美術品等を電子的に保存・継承するデジタルアーカイブへの応用が期待されている。例えば、歴史的建造物や美術品においては経年劣化や災害による破損が問題となっており、これを解決するために、分光放射輝度計により測定した分光特性を解析し使われた塗料や材料を特定し、忠実な修復や再現へ利用可能なスペクトル情報のデジタル保存が検討されているが、測定範囲が非常に狭いため被写体の規模が大きくなるにつれて測定効率が低下する問題がある。そこで、観測画像から画素単位の分光反射率を効率よく推定し保存する技術が求められている。また、有色光源照明下で撮影した画像は、人間の知覚する色とは異なる不自然な色味を持つ(図1-左図)。この問題は、車載・監視カメラ、ロボットビジョン等の高精度な画像認識を必要とする産業応用において、解決すべき重要な課題である。



図1. (左図) 有色光源下での観測画像, (右図) 提案手法による色補正結果

## 2. 最適化による画像成分分離

一般に、拡散反射表面が仮定できる場合において観測画像は分光反射率成分(固有色成分)と光源スペクトルおよび物体の凹凸からなる陰影成分(陰影画像)の画素毎の積でモデル化できる(図2, ただし対数領域では加法モデル)。しかし、一枚の観測画像からこれら二つの成分を推定する問題は不良設定であるため、所望の固有色/陰影画像の先見的性質を加味した推定手法が必要となる。そこで、本研究ではフラッシュ点灯画像を補助情報として、シーン固有な色成分を最適化によって解析し、色補正を施すことでより自然な色味を持つ画像の生成技術を開発した(図2)。また図1-左図の色補正結果を図1-右図に示す。



図2. 観測モデル (対数領域)

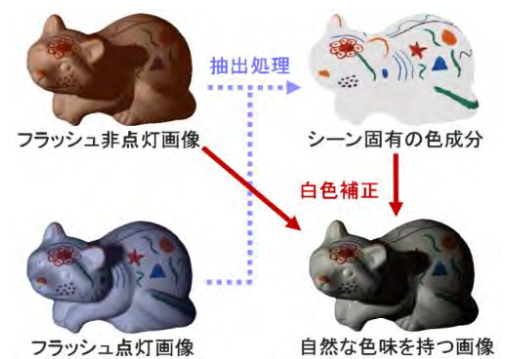


図3. 色補正の概要

## 3. 今後の展望

今後はこの画像成分分離技術を、可視光から近赤外までの豊富なスペクトル情報を画像として保存したハイパースペクトル画像に応用し、従来のRGB画像のみでは抽出困難であった被写体の材質特定やより高度な画像補正技術を開発する予定である。

# 3次元ホログラフィックディスプレイの画質向上に関する研究

香川大学工学部 電子・情報工学科 助教 森 裕  
連絡先 mori@eng.kagawa-u.ac.jp



## 1. 目的

3次元ディスプレイはリアルな立体映像を観察できる臨場感のあるディスプレイとして注目され、医療、産業、教育、エンターテインメントなど幅広い分野への応用が期待されている。それら普及にともない脳の錯覚を利用した立体視による気分の悪化、眼精疲労など身体への影響についても注目されてきた。ホログラフィは物体からの反射光をそのまま記録・再生できる技術であり、脳の錯覚を用いない、すなわち上述の悪影響のない3次元ディスプレイとして実現が求められている。

## 2. 研究概要

ホログラフィにはスペックルという明暗の斑点模様のような雑音(図1参照)が原理的に発生し、ホログラフィを応用したホログラフィックディスプレイについても同様に発生する。スペックルはレーザーなどの可干渉性の高い光源を粗面物体に照射した際に、物体の微細な凹凸からの散乱光どうしが空气中でランダムに干渉しあうことによって発生する。光は物体の凹凸に従い散乱し、各点からの光波が重なり合うため、強め合い、弱め合いが生じ、その結果明暗の斑点模様、すなわちスペックルが発生する。スペックルが再生像画質を劣化させる要因として実現のための一つの障害となっている。

本研究では、低コヒーレンス光源を用いたホログラム記録と信号処理ベースのスペックル低減法を提案しており、ノイズ低減処理前後の再生結果の一例を図2に示す。ノイズが低減され、再生像が明確に映っていることがわかる。

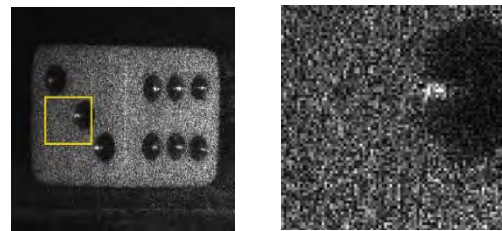


図1 ホログラフィの再生像. さいころを被写体としたホログラムの再生像. 明暗の斑点模様が全体に見られる.

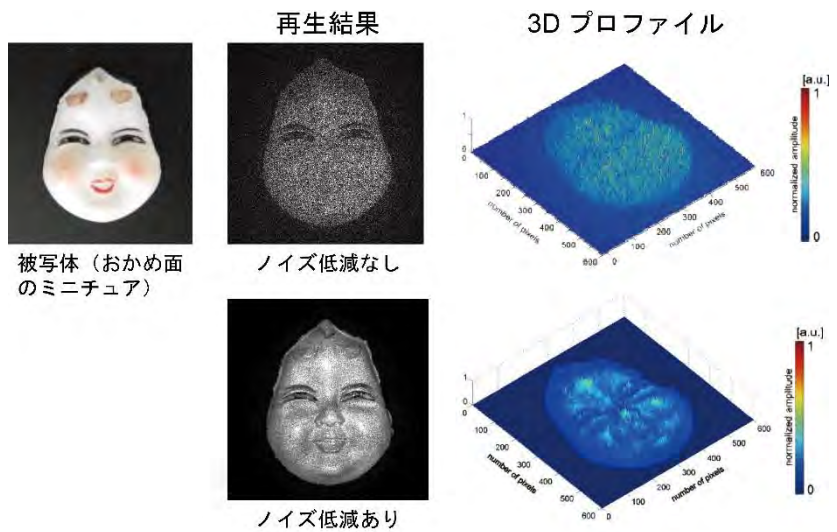


図2 ノイズ低減結果の一例.

## 3. 成果の活用

脳の錯覚を利用しないため、立体視による眼精疲労や脳への負担がなく、長時間の観察が必要となる場面、特に医療、産業のための訓練用3次元シミュレーターや3次元テレビ会議(テレプレゼンス)システムなどへの応用が期待できる。

## 目視検査教育訓練システムの開発

香川大学工学部 知能機械システム工学科 教授 石井 明  
連絡先 ishii@eng.kagawa-u.ac.jp



【はじめに】 周辺視目視検査法の科学的解明とその普及を目的とした研究会「感察工学研究会」を2010年2月に立ち上げた<sup>1)</sup>。周辺視目視検査法は佐々木氏らが日本IBMに在職中の1998年にパソコン用ハードディスクの磁気ヘッド部品の目視検査の生産性倍増のために開発した目視検査法であり、検査速度の倍増と不良品の見逃しの激減が可能な検査方法である<sup>2)</sup>。理屈は単純である。見つめる見方から「周辺視」「瞬間視」「衝動性眼球運動」を働かせて、全体を見る見方に変更し、常に変化を感じ取れるようリズムカルな動作で検査を行えばよい。図1はNHKガッテン！（2017年4月26日放送）で周辺視の説明の一つとして目の達人、検査技師の仕事が紹介された1コマである。図中の左下が被検査部品であり、この検査技師はこの部品を1日に6000個検査している。目視検査の現場の様子がテレビ放送されることは極めてまれのものと思われる。香川大学では佐々木氏を2回、招聘（2010年10月、2011年2月）し、地元企業中心にセミナーならびに現場指導を行って頂いた。佐々木氏が検査現場で直接、現場指導すれば一時的に大きな改善が見られることは確かである。しかし、その後、その改善を継続的に進めたり、指導を受けた検査員が指導者として他の検査員に水平展開したりすることは容易ではない。一番の問題は、従来の検査法から周辺視目視検査法への移行の判断が難しいことである。訓練を開始してどのような判断で検査員を実ラインの検査に移行させるのか。また、周辺視目視検査法をマスターした検査員は不良品を見逃すことがないことをどのように判断すべきなのか。これらの要求に対する一つの解として目視検査教育訓練システムを関連企業と共同開発してきた。



図1 目視検査の現場の様子

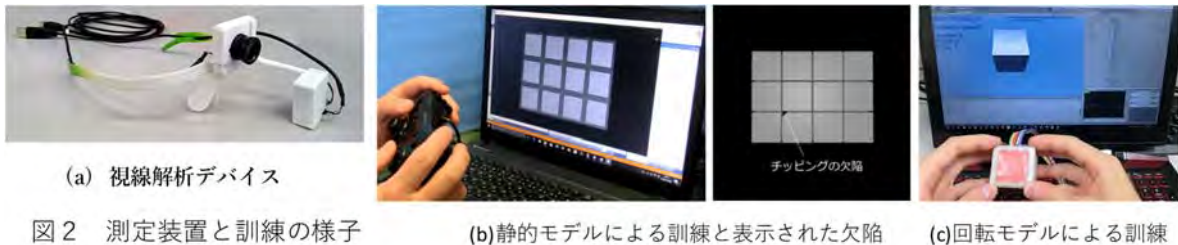


図2 測定装置と訓練の様子

(b)静的モデルによる訓練と表示された欠陥

(c)回転モデルによる訓練

【目視検査教育訓練システム】 図2に測定装置と訓練の様子を示す。瞬目を含む眼球運動と検査動作との関係を求めるために、図(a)の視線解析デバイスを開発した。次々にディスプレイに現れる正常品、異常品を瞬時に見分ける訓練（図(b)）、モーションセンサーを埋め込んだ入力デバイスを回転させ、仮想空間で製品モデルを回転させて、正常品、異常品を見分けるためのハンドリング訓練（図(c)）を行うことができる。それと同期して、検査員の生体情報（瞬目・注視点、心拍変動）を測定し、短時間と長時間の意識・無意識・精神状態の変化を分析し、周辺視目視検査法の習得状況を可視化し、表示しようとする試みである。表1は開発したアプリとその内容である。

表1 開発したアプリとその内容

教育訓練アプリ	静的モデル	①教育：中心視・周辺視・瞬間視、変化・異常の無意識的気づき、リズム動作の理解 ②訓練：気づき感度の調整と維持、リズム動作の定着
	回転モデル	①教育：異常部が見える原理、移動時・回転時の無意識的気づき、リズム動作の理解 ②訓練：気づき感度の調整と維持、リズム動作の定着
生体情報監視アプリ	瞬目・視線解析 (0.1~10秒)	①意識・無意識の制御性評価：瞬目による周辺視目視検査状態の評価 ②外乱評価（見逃し対策）：不良見逃し時の注視点の評価
	心拍変動解析 (10~100秒)	精神状態の安定性評価：LF/(LF+HF)による緊張状態、非緊張集中状態の評価

### 参考文献

- 1) 感察工学研究会：公益社団法人精密工学会 画像応用技術専門委員会内に設置されたワーキンググループ。  
<http://www.eng.kagawa-u.ac.jp/~ishii/kansatsu/>
- 2) 佐々木章雄（2005、2006）「周辺視目視検査法[I]～[V]」『IEレビュー』日本IE協会

# 可搬型赤外分光イメージングの研究

香川大学工学部 知能機械システム工学科 教授 石丸 伊知郎  
連絡先 ishimaru@eng.kagawa-u.ac.jp



## (1) 研究結果の概要

平成 29 年度全国発明表彰 21 世紀発明奨励賞 『小型中赤外分光イメージング装置の発明』（特許第 5120873 号）を受賞しました。この技術は、日常生活において様々な成分を手軽に計測する技術に適用展開されることが期待されています。例えば、体内の血糖値を針を突き刺すこと無く光を照射するだけで計測する非侵襲血糖値センサーです。また、ドローンに搭載して広大な農地の栄養分布を上空から計測して必要な場所だけに農薬や肥料を散布する技術としても開発が進められています。更に、非破壊計測が必須となる国宝や重要文化財に使われている染料などの成分同定技術の研究も開始しています。

## (2) 研究の背景

分光とは、光を波長毎の明るさに分離する光学技術です。一般的には、ガラスのプリズムに太陽光（白色光）を照射すると、赤色から青色まで虹のように分離できる現象としても良く知られています。赤外光は、目では見ることはできない波長の長い光です。この長波長の赤外光では、物質の成分毎に吸収される光の波長が異なります。つまり、計測試料に赤外光を照射して、物質により吸収された光の波長を分光技術により調べれば非破壊で成分の同定が可能になります。赤外分光技術は、従来から分析化学の専門家が研究室に試料を持ち帰って解析する手法として用いられてきました。しかし、赤外分光装置が大型で高額であることから専門家が研究室内で使用する技術に留まっていた。

## (3) 研究の成果

私は、赤外分光装置の新たな光学構成を考案することにより、手のひらサイズで可搬性の高い中赤外分光イメージング装置を実現することができました。将来は、スマートフォンに内蔵できる超小型の分光装置にも原理的に展開することが可能です。これにより、従来、研究室内で培われてきた分光解析技術を、日常生活空間で活用することが可能になりました。



# 水陸両用の球型親子ロボットに関する研究

香川大学工学部 知能機械システム工学科 教授 郭 書祥

連絡先 [guo@eng.kagawa-u.ac.jp](mailto:guo@eng.kagawa-u.ac.jp)  
<http://www.guolab.org/>



## 1. 研究目的

本研究の目的は、多様な環境下においても自律的に活動可能とするために、本ロボットシステムでは放出される場所を認識して、自律的に水中と陸上のルートに適宜決めて作業を行えるようにする。さらに、水中作業を行う際には、水中環境に及ぼす影響を最小限にするために、親ロボットは適時子ロボット（マイクロロボット）を放出して、作業をさせるシステム構築を目指している。

## 2. 研究概要

本研究では、我々らのこれまでの研究成果を踏まえ、**図1**に示す上記の課題を解決できる多機能な水陸両用の球型親子ロボットシステム（以下、本ロボットシステムと呼ぶ）を提案した。本ロボットシステムは水陸両用の球型親ロボットとこれに搭載される複数の生物型子ロボットから構成される。**図2**に示す球型親ロボットは、サーボモータとウォータージェットプロペラ推進器で駆動され、陸上と水底では四足歩行運動が可能で、水中では四つの自由度を持って巡航することができる。また、子ロボットとするスマート・アクチュエータ駆動のマイクロロボットはコンパクトな構造を持ち、低電圧駆動が可能で省エネルギーであるため、狭い空間においても高度な作業が可能である。球型親ロボットは高機動性、長航続時間、柔軟性と高搭載能力などの特徴を持つため、複数の子ロボットを搭載可能で、狭い空間で高度な作業をさせ、作業が終了した後子ロボットを回収できる。

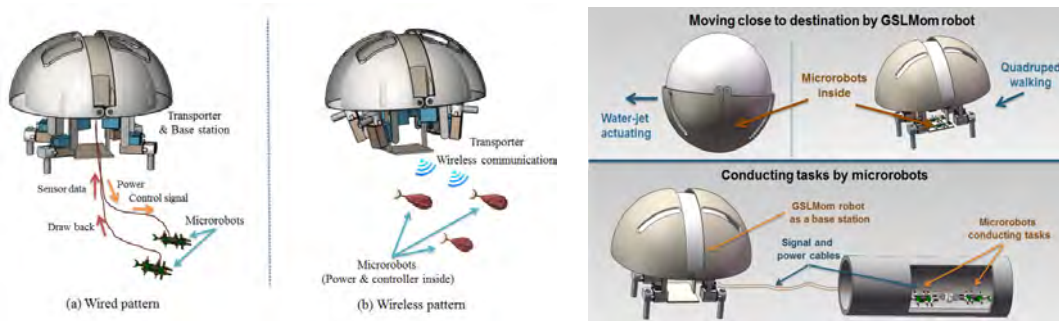


図1 提案した水陸両用の球型親子ロボットシステム

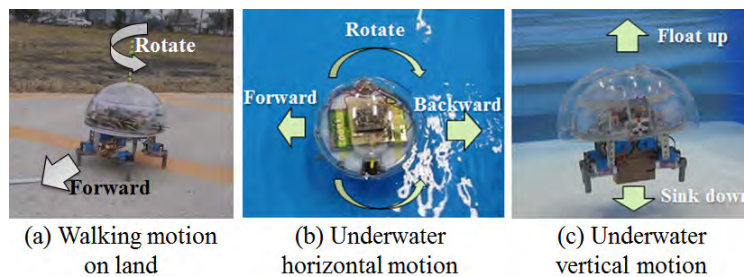


図2 球型親ロボットの多機能な動作実験

## 3. 本研究結果の活用

本ロボットシステムは、親ロボットが陸上でも水中でも放出できるだけでなく、自律的に回収することも可能な機能を実現するものであり、ロボット分野における先進的技術開発を先導するものである。水陸の複雑な環境下においても活動が可能であるので、水中の生物探索や未知の水中地形の探索等に役立つことが期待できる。特に、異なる環境にまたがることが多い海洋資源調査、エンジンや配管のメンテナンスなどの水中作業及び水中通信技術開発などへ貢献することが期待される。

## 4. 備考：「学術研究助成基金助成金」挑戦的萌芽研究 2015 採択；8 編の原著学術雑誌論文掲載。

# IOT 時代を革新する農業用センサプラットフォームの実現に向けて

## —MEMS 技術を用いた超小型道管流センサー—



香川大学工学部 知能機械システム工学科 教授 下川 房男

連絡先 simokawa@eng.kagawa-u.ac.jp

### 研究の目的

現在、地球規模での気候変動等の環境問題や人口増加の問題が一段と深刻さを増す中、大幅な農業生産や環境保全の実現が緊急の課題となっている。作物、果樹等の生産性の向上には、植物の生育状態に合わせて最も適切な時期に灌水や施肥補給を行なう必要がある。そのためには、植物の生育に影響を与えず、生育状態を的確にモニタリングする植物生体情報計測が不可欠である。

本研究では、MEMS 技術をベースに、非破壊で、水分・栄養物質動態を in-situ 観察可能な「超小型の維管束系(道管流/師管流)センサ」を実現し、実用的な観点からは、作物の生産性向上や高品質果実の安定生産に貢献する。更に、学術的な観点からは、これらのセンサ情報を統合し、植物の生育に最も重要となる作物や果樹等の新梢末端や果柄の細部を含む植物全体での時空間的な水分・栄養物質動態の測定により、光合成等を含む植物環境と植物生理学との関係を解き明かす基礎的・系統的なデータを取得する。

### 研究成果の概要

図 1 に、従来の道管流センサ(グラニエセンサ)と本研究で提案する超小型道管流センサの構成を比較して示す。従来のセンサは、太い樹木(直径:10cm 以上)を対象としたもので多くの使用実績があるが、最も重要となる植物の新梢末端や果柄等の細部の水分量を測定することはできなかった。本研究では、従来のグラニエセンサをベースに超小型化(従来センサとの寸法比:1/10)・1チップ上への機能集積化(5mm 角程度の Si チップ上に、マイクロプローブ、薄膜ヒータ、温度センサ等のセンサの主要構成要素を一体形成)した新しいセンサ構造を提案した。

製作した超小型道管流センサを実際にモデル植物(サニーレタス)の葉の主脈に挿入して、流速の一日の変化を調べたところ、日変化の様子は多くの樹木で観察されている流速の変化や流速値のオーダーとも良く一致(数十  $\mu\text{m/s}$  程度)していることが明らかとなった。現在、産学官連携組織による開発体制を構築し、今後は、センサシステムの実用化に向けて、植物工場・圃場での実証実験を進めて行く予定である。

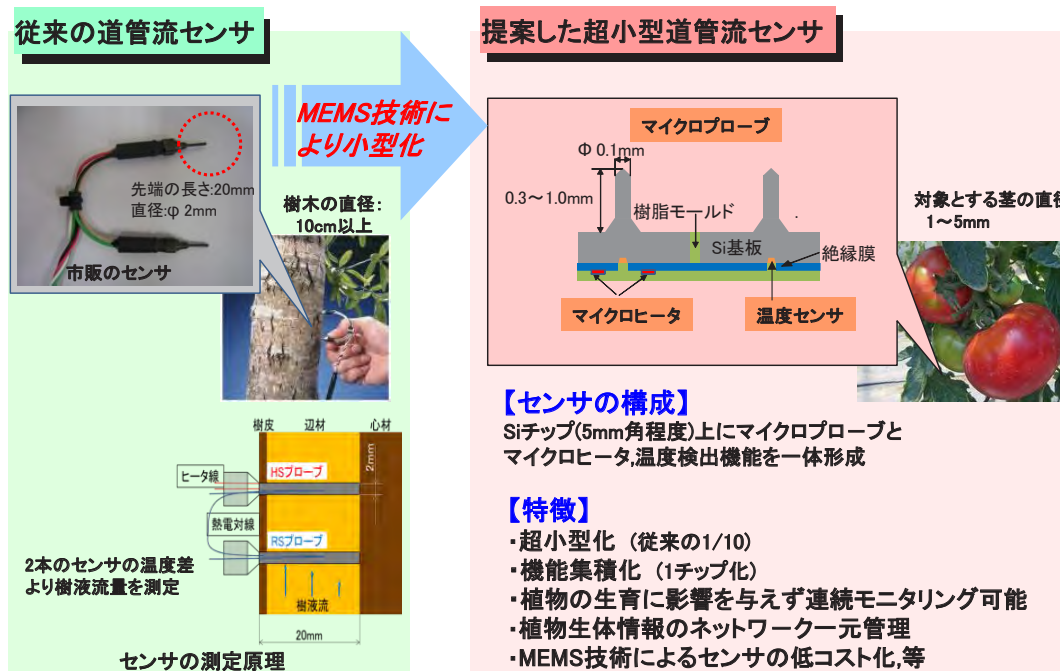


図 1 従来の道管流センサ(市販品)と本研究で提案する超小型道管流センサとの構成の比較



## 地域と連携した技術開発 -運転支援・生活支援を例として-

香川大学工学部 知能機械システム工学科 教授 鈴木 桂輔

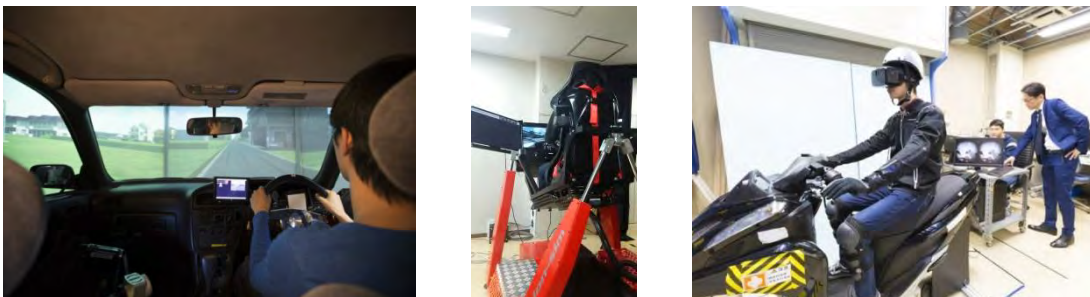
連絡先 ksuzuki@eng.kagawa-u.ac.jp



鈴木研究室では、運転支援および生活支援に重点をおいて地域と連携した技術開発を行っています。

### 1. 運転支援

香川県の交通事故の特徴は、「と・こ・や」型と言われるように、おとしりの方が、交差点で夜間に遭遇する交通事故が多く発生しています。独自に開発した運転シミュレータ(図1)を利用して、交通事故の発生要因の分析や、交通事故の防止を目的としたシステム開発を行っています。



(a) 四輪車(広視野角型) (b) 四輪車(動揺装置型) (c) 二輪車(VRゴーグル型)

図1 香川大学で開発した交通事故分析および運転支援装置の効果検証用運転シミュレータ

#### 1) 脳機能分析に基づく高齢者に適した事故防止支援技術の開発

近赤外分光法(f-NIRS)を用いた脳内の血流や心電、脳波を、運転シミュレータ(図1(a), (b))を用いた運転中に分析しながら、ドライバーへの最適な運転支援の方法について分析しています。

#### 2) 路車間通信機器(DSSS)を活用した交差点での衝突防止支援システムの効果分析

香川県内の交通事故が多発する交差点をCGで作成した仮想都市内に再現し、交差点での出会い頭事故の防止を目的としたシステム開発やシステムの導入による事故低減効果の分析を、運転シミュレータ(図1(a), (c))を用いて行っています。

#### 3) 先進配光制御技術を活用したヘッドライトの開発

独自に開発した夜間のドライバー視界を精度よく再現できる運転シミュレータ(図1(a))を用いて道路上の障害物の認知時間を短縮し、事故回避支援効果のあるヘッドライトの開発を行っています。

### 2. 生活支援

#### 1) 香りをを用いた認知症の早期検出手法の開発

105名の認知症を発症している方の嗅覚の認知レベルと認知症の重症度との相関を分析し(図2)、早期検出手法および検出用の香りキットの開発を行っています。

#### 2) 小型モビリティの開発

高齢者の運転の負担を軽減でき、事故回避支援効果のあるシステムを搭載した小型EVの開発を行っています(図3)。

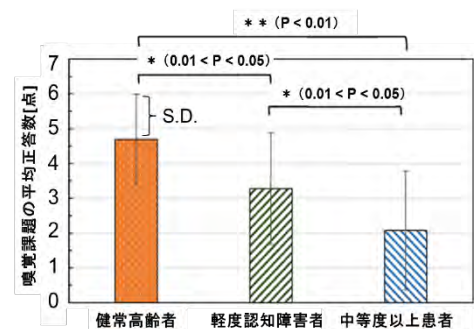


図2 認知症の重症度と7種類の嗅覚刺激の識別率との相関(n=105名)



図3 高齢者用小型EV

# 「シリコンで創る人工皮膚機能：ナノ触覚デバイスによる触覚の定量化」

香川大学工学部 知能機械システム工学科 教授 高尾英邦  
連絡先 takao@eng.kagawa-u.ac.jp

## 1. 目的

本研究では、「人間の指先」が持つ繊細な触覚をセンサ技術で再現する「ナノ触覚デバイス」を実現し、「ザラザラ感」や「ふんわり感」、「しっとり感」などの手触り感を数値化できる新しい計測技術の開発に取り組む。いまだ数値化と計測が実現されていない人間の指先手触りの感覚を定量化、または計測する新技术を創出し、各種応用分野における「手触り感数値化」の実現に向けた新しい触覚情報処理基盤技術を開発する。

## 2. 研究概要

本研究では、ナノスケールの解像力と複数種類の触覚センサを有する「ナノ触覚」を半導体MEMSデバイス技術で実現し、人間の指先皮膚がもつ高度な触覚を定量的に数値化することを目指している。指紋部分で感じるとされる、対象物表面の微細な凹凸形状とその形状に起因して生じる微細な摩擦力波形を、微細な接触子の先端を用いて同地点・同時刻で取得する。取得されたデータを詳細に分析することにより、指先が感じている手触り感に含まれる様々な「感覚」を数値として表現するアルゴリズムについても開発を進める。これにより、「すべすべ」と「ざらざら」などの抽象的表現で表される手触り感が数量的に表現されるようになると期待できる。図1は、我々のMEMS触覚デバイスで取得した「わら半紙」と「コピー用紙」の表面波形をそれぞれ示しており、手触りの違いと一致する多くの触覚情報が得られている。

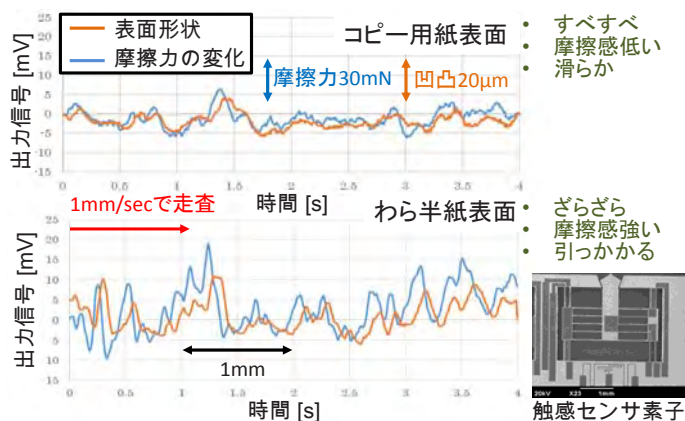
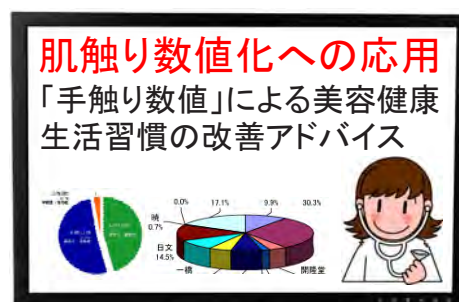


図1 MEMS センサによる凹凸と摩擦の同時検知結果



手触りデータの蓄積と機械学習などによるエキスパートシステム等への応用

図2 手触り感の数値化と健康管理応用

## 3. 成果の活用

図2は、手触り感の数値化で実現される肌感覚モニタと健康管理への応用イメージの一例である。人間が普段、指で触れている様々な対象物の手触り感を数値化する「ナノ触覚」技術が実現することで、人間が感じている「手触り感」に対する理解が大きく増進すると考えられる。また、本技術は人間の肌や髪の毛の状態が分かる手触り感の計測、素材の高級度合いを数値化する技術への応用、医師の指先に代わる感覚機能を備える先端医療機器への応用を考えることができ、触覚を起点とする知能機械エレクトロニクスへの応用が大きく広がるものと期待できる。

## 4. 備考（実施中のプロジェクト研究）

- 平成29年～ JSPS 科研費：先進内視鏡手術における執刀医のニーズに応えた「内視鏡知覚センシング技術」の開発
- 平成27年～ JST-CREST：「繊細な触覚を定量的に検知する『ナノ触覚神経網』の開発と各種の手触り感計測技術への応用」

# バイオイメーシ・インフォマテックス

香川大学工学部 知能機械システム工学科 教授 高橋 悟

連絡先 saru@eng.kagawa-u.ac.jp

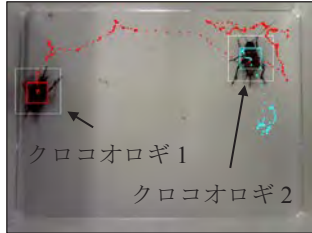


高橋研究室では、動画像から生物の行動を分析、生物の生態系の分析、さらには生体の環境解析を目指す「バイオイメーシ・インフォマテックス」の研究に取り組んでいます。特に、次の二つの観点から、日々、研究を進めています。

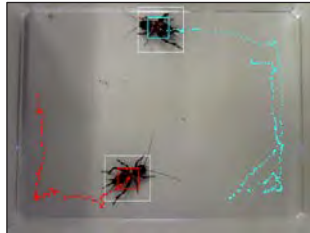
- 生物の行動からその生態系における動きの意味の探究
- 生物の存在する環境が生物にどのような影響を与えるかの究明

これまで、クロコオロギ、メダカ、羽斑蚊などの行動分析を、制御工学と動画像解析技術を組み込んだ新たな動画像分析手法の構築を行い、生物学、機械工学、システム工学、そして情報学の専門家と連携し、その解明に取り組んでいます。

最近は、沖縄に生息するサンゴを対象としています。サンゴは動物であり、また 50 万種近く存在する海洋生物の約 25%がサンゴ礁をすみかとし、海洋の生態系基盤を作っています。そのため、海中生物の生態系やサンゴの発育、白化現象を知ることは、地球温暖化を含めた地球環境を知る上で重要な鍵となっています。沖縄県、各大学と共同研究を行い、サンゴを観測する各種センサーや水中ロボットの開発の一端を担い、サンゴ礁モニタリング装置の研究開発にあたっています。そのため、毎年、琉球大学熱帯生物圏研究センター瀬底研究施設における合同実験に参画し、モニタリング装置の性能評価を実施しています。



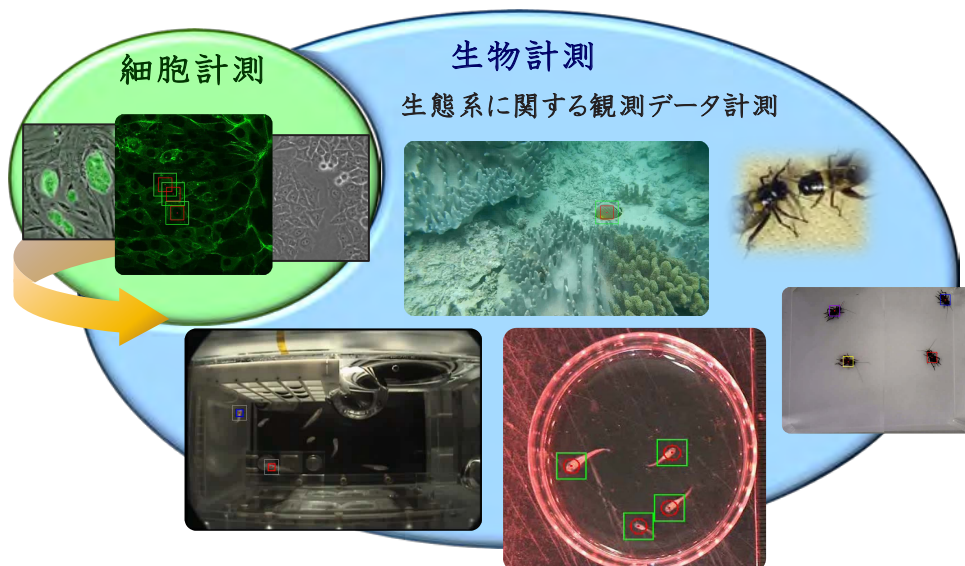
クロコオロギの行動軌跡抽出



海中観測ロボット



沖縄実験



生命科学の探索

# セラミックス金属接合部品の破壊確率の保証方法

香川大学工学部 知能機械システム工学科 教授 平田 英之

連絡先 hhirata@eng.kagawa-u.ac.jp



## 1. はじめに

セラミックス材料は、耐熱性、耐食性、耐摩耗性などに優れている反面、脆性であり強度のばらつきが大きいという短所がある。また、熱膨張係数が金属より小さいため金属と組み合わせて使用すると熱伸び差で破壊が生じる。本研究の対象としているセラミック避雷素子はセラミックスと金属の接合部品となっており、製造過程で熱伸び差によるセラミックス部分の破壊が確認されている。そのため、品質保証方法の開発が求められている。ところが、これらの材料の破壊は確率的現象であり完全に非破壊を保証することはできない。そのため破壊確率を一定値以下に抑える破壊確率の保証方法を開発した。

本研究では、まず破壊確率を評価するため熱応力シミュレーションと3母数ワイブル分布に基づく有効体積評価手法を用いて実製造条件でのセラミックス部材の破壊確率を評価した。そして、保証試験として製造条件より過負荷条件での試験を実施し、保証試験条件が実負荷でどのような破壊確率に対応するかを調べることで品質として破壊確率を保証する指標の提案を行った。

## 2. 研究結果

図1に本研究で対象としたセラミック避雷素子の構造と火炎加熱の様子を示す。図に示すように本素子は、製造過程で部分的に火炎加熱を受ける。この条件に対し図2のように熱応力解析を行い応力分布を明らかにした。一方素材の強度のばらつき分布は3点曲げ試験から図3のように3母数ワイブル分布で近似した。これらの結果から有効体積を求め破壊確率を評価することができる。本研究では、製造条件の破壊確率とより過酷な条件で行う保証試験での破壊確率をそれぞれ評価し、製造時の破壊確率を一定値以下に抑えるための保証試験の破壊確率を明らかにした。また、保証試験を行う必要な試験本数を明らかにするため、図4のように試験本数と出現破壊確率の関係を明らかにした。

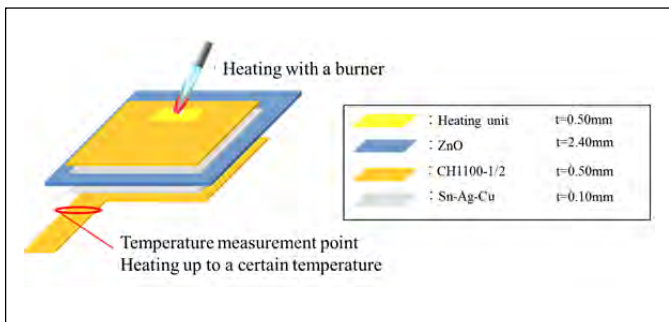


図1 セラミック避雷素子の構造

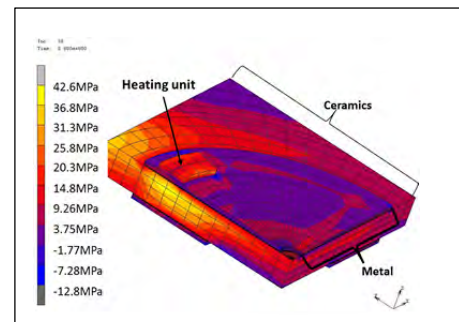


図2 熱応力解析結果

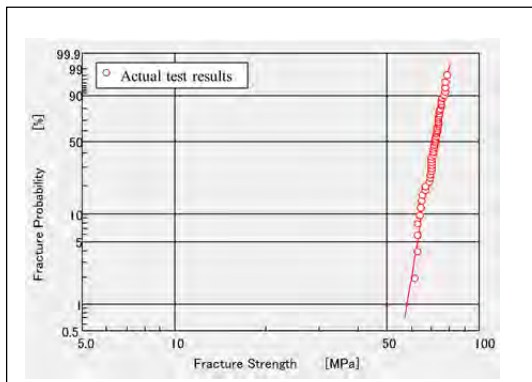


図3 セラミック素材の強度分布

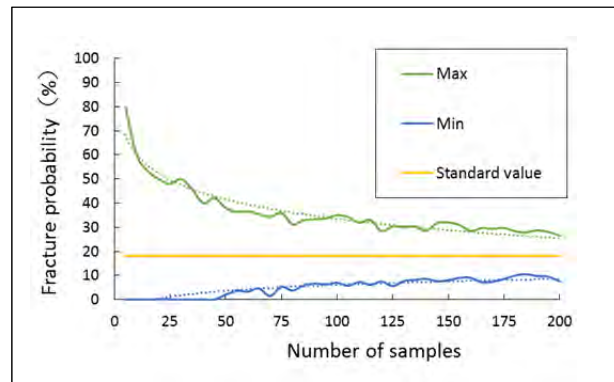


図4 試験本数と出現破壊確率

## 3. まとめ

本研究により、当初要求された破壊確率に対してはそれを保証するための試験条件を提案することができた。現在は、より高い条件の破壊確率が要求された場合について構造や保証試験条件の改良を行っている。

# 交差点全方位俯瞰画像追跡の研究

香川大学工学部 知能機械システム工学科 教授 山口 順一

連絡先 yamaguti@eng.kagawa-u.ac.jp



## 1. 研究の概要

交差点は、交通事故が多いことから事故防止に関して様々な技術的取り組みが行われてきた。最近は、取扱易さと周辺装置の充実からカメラ利用が増え、また、その効果や実績から、更なる交差点監視課題への取り組みが増えている。

本研究は、カメラ1台で、交差点の道路全てを監視対象にするシステムの構築を行っている。これは、低コスト化への貢献だけでなく、本システムが提供する交差点全方位俯瞰画像を用いることによって、出会い頭衝突事故や右左折時の接触事故を事前に察知するなどの交差点事故防止課題のための画像処理法の開発を検討し易くする。

## 2. システムの特徴と移動体追跡

魚眼レンズを装着したカメラ1台を、交差点の1つの角の上空（信号機ほどの高さを想定）で下向きに取り付ける。その場合に、カメラからは、図1のような魚眼画像が得られる。この画像に対して、疑似魚眼画像変換（図2）、そして、球面局座標変換を施すことによって、図3(a)に示すような交差点全方位俯瞰画像が得られる。

図3(b)は移動体検出例である。交差点全方位俯瞰画像の利点を用いて、草木等で互いに見えない舗道を交差点へ走る自転車の出会い頭衝突予測の例を図4に、また、横断歩道を利用する自転車と自動車2台との交差場所予測の例を図5にそれぞれ示す。このように、交差点に関する全ての道路や舗道における車両（自動車、自転車）や歩行者を対象にして画像処理法を構築することが可能になった。

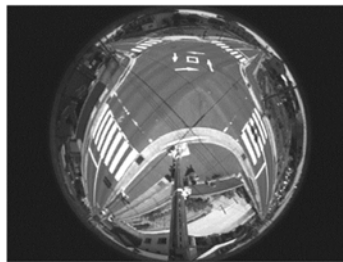


図1 交差点魚眼画像の例

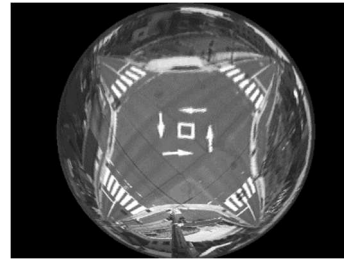


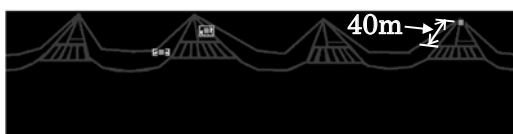
図2 疑似魚眼画像



(a)交差点全方位俯瞰画像



図4 出会い頭衝突予測の例（自転車）



(b)移動体検出例

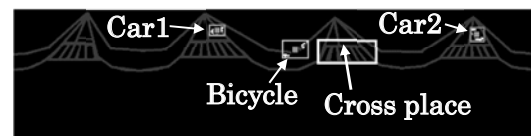


図5 交差場所予測の例

図3 交差点全方位俯瞰画像を用いた移動体検出

## ロボットデザインと科学教育

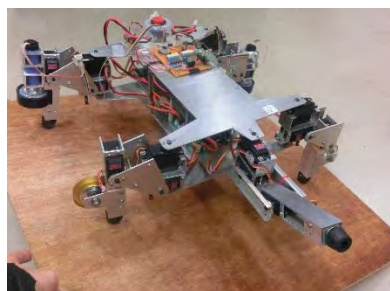
香川大学工学部 知能機械システム工学科 准教授 石原 秀則

連絡先 ishihara@eng.kagawa-u.ac.jp



### ロボットデザイン

ロボットとは、センサやカメラにより、外界情報やロボット自体の状態を検知し、行動を自らの判断により決定するシステムです。本研究室では、特に移動機構に重点を置いて研究を行っています。これまでに、窓清掃ロボット WallWalker、6足歩行ロボット、5足歩行ロボット、磁力吸着ロボットなどについての研究を行ってきました。



5足歩行ロボット



6ジャッキ脚ロボット



磁力吸着ロボット

このようなロボットをデザインするために、ロボットに求められている機能を解析し、必要な機構を組み合わせてつ、無駄を排除し、最適な機構と制御システムについて研究を進めています。

### 科学教育

科学技術が発達し、科学技術立国を目指す日本でありながら、青少年の理科場慣れが問題となる矛盾が生じています。その要因の一つが幼少期のものづくり体験の減少があります。そこで、平成 22 年に香川源内ネットワークを設立し、香川県内の青少年を対象として、ものづくり体験教室、科学体験教室を実施しています。



出前体験教室



サマーキャンプ「めざせ!ロボットチャンピオン!!」



#### 平成 26 年度活動概要

(主催業実)

- ・サマーキャンプ
- ・夏休み自由研究応援隊
- ・源内フェスティバル

(協力事業)

- ・丸亀市体験教室
- ・三木町少年少女発明クラブ
- ・小学校科学クラブ

(出前教室)

- ・金蔵寺春祭り
- ・さぬき子どもの国

その他、県内小学校、子供会、児童館

## 空気式パワーアシストウェアの開発

香川大学工学部 知能機械システム工学科 准教授 佐々木 大輔

連絡先 daisuke@eng.kagawa-u.ac.jp



外骨格型ウェアラブルパワーアシストロボットは、高出力のアクチュエータを実装できるので、たとえば麻痺患者や高齢者など使用者の発生力が小さくロボットに高アシスト力が求められる場面での利用に適している。しかし、高い性能を実現している反面、外骨格型は大がかりな機構を常時装着することになるため、長時間の装着が負担になると言う実用面での課題もある。そこで、我々は外骨格型の問題点であった使用の容易さに着目し、健常者が使用する衣服と同程度の着用性をもつパワーアシストロボット“パワーアシストウェア”の開発に取り組んでいる。

### ・パワーアシストグローブ

開発したパワーアシストグローブは、手指背面に配置した伸長型湾曲空気圧ゴム人工筋により手指の屈曲動作の補助が可能である。人工筋の加圧パターンを変えることで、物体を握る動作や物体のつまみ動作を行うことができる。人工筋自体が湾曲動作を行うので、外骨格を使用しない手袋状のパワーアシストロボットを実現している。このパワーアシストグローブは握力の低下した高齢者や麻痺のある障害者に加え、工場作業者の負担軽減などへの応用が期待できる。



### ・姿勢保持用パワーアシストウェア

右図は膝関節および股関節、腰関節の伸展方向の動作補助を目的に開発したパワーアシストウェアである。本ウェアはアクチュエータ、張力伝達用布材、上着、インナーウェア、アウターウェア、靴から構成されている。膝関節前面、背中に配置したソフトアクチュエータの膨張力を、張力伝達用布材および上着を介して下肢に伝えることで膝関節および股関節、腰関節の伸展方向の支援トルクを発生する。上半身に20[kg]の重りを背負い中腰姿勢を維持する実験を行った結果、特に腰部の負担が大きく軽減できることを確認している。この結果から、健常者の負担軽減以外にも災害現場において活動する消防士やレスキュー隊員などが使用する防火服や酸素ボンベなどの重装備の着用負担の軽減への応用が期待できる。



# 微細構造デバイスを利用した1細胞・1分子操作解析技術の開発

香川大学工学部 知能機械システム工学科 准教授 寺尾 京平

連絡先 terao@eng.kagawa-u.ac.jp



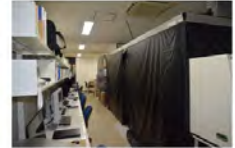
## 研究概要

当研究室は、ナノ・マイクロメートルサイズの構造体を利用した、生体試料の操作と解析技術の開発を行っています。特に生体分子1分子の操作解析技術の開発、1細胞操作解析技術、細胞薬剤応答の計測に取り組んでいます。これらの技術開発を通して、従来の実験ツールでは見ることのできなかった隠された生命機能・構造を明らかにすることで、基礎生物学や医学の発展に貢献することを目標としています。

**研究室主宰：**寺尾 京平 香川大学工学部准教授、香川大学微細構造デバイス統合研究センター副センター長、JST さきがけ研究者

**研究室員：**14名（教員1名、実験補助員1名、博士前期課程4名、学部生8名）

**微細加工設備：**文部科学省ナノテクノロジープラットフォーム事業香川大学装置  
香川大学微細構造デバイス統合研究センター管理設備・装置を使用

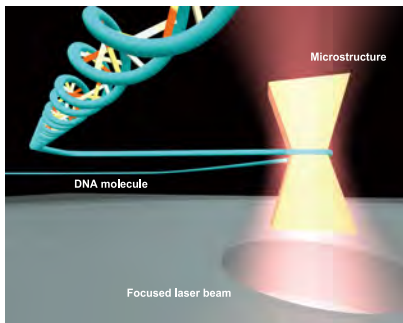


## 1細胞・1分子操作解析技術

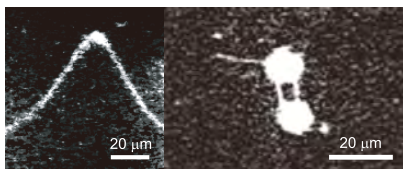
### DNA 1分子操作・加工

DNAを1分子毎に解析するための操作・加工技術を開発することで、未解明のDNA分子の高次構造・ダイナミクスにアプローチすることを目指している。

#### DNA 1分子操作

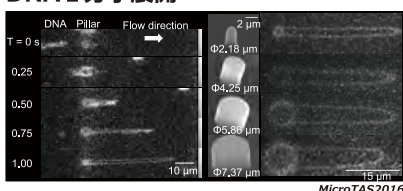


IET Nanobiotechnology, 2015  
光駆動微小構造体による1分子操作



Lab on a Chip, 8, 2008  
DNAピックアップと巻き取り操作

#### DNA 1分子展開

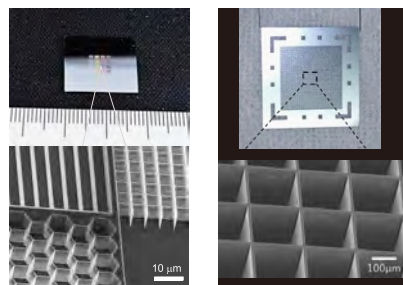


環状DNA分子の「分子輪投げ」展開  
MicroTAS2016

### 1細胞操作・加工

がん研究や基礎生物学分野で求められている1細胞毎の解析技術の実現を目指し、組織から1個の細胞を、あるいは1個の細胞から微小な細胞断片を個別に回収する技術の開発や、マイクロ流路内での細胞配置技術の開発に取り組んでいる。

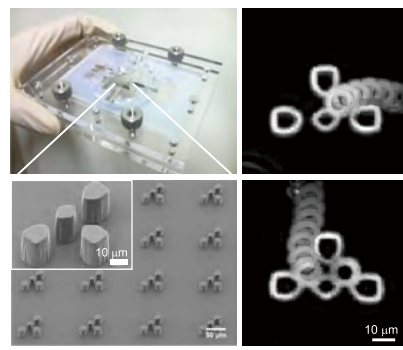
#### 細胞・組織空間分画



MEMS2017

ナノブレード・貫通型マイクロブレードアレイ

#### 電気浸透流による細胞配置

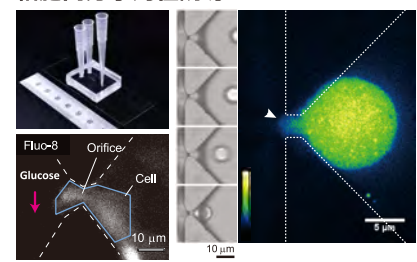


Lab on a Chip, 11, 2011  
オープンチャンバー内異種細胞配置

### 1細胞薬剤刺激応答計測

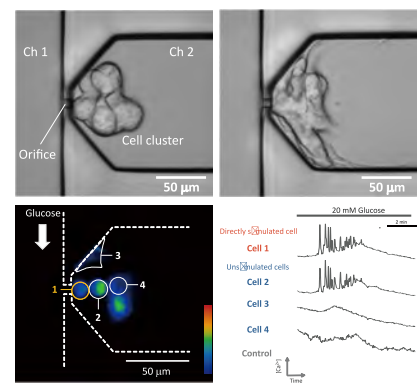
細胞機能の詳細な理解のため、マイクロ流体デバイスによって生体内を模倣した環境を作り、細胞の薬剤に対する応答特性の解析を行っている。特に、空間的に限定された領域を薬剤刺激したときの、細胞内応答や細胞間のシグナルの伝搬を計測している。

#### 細胞内分子局在誘導



局所グルコース刺激に対する膵β細胞応答

#### クラスター内細胞間相互作用計測



Pacificchem2015  
膵β細胞クラスター内[Ca<sup>2+</sup>]応答伝搬



## 金属材料の成形限界予測式の開発

香川大学工学部 知能機械システム工学科 准教授 吉村 英徳

連絡先 yosimura@eng.kagawa-u.ac.jp



### ・背景

自動車の省エネルギー化のため、車体重量の軽量化が極めて重要となっており、高張力鋼板やアルミ合金、マグネシウム合金などの高強度材料の適用が盛んである。CFRP などの適用も増加しているが、まだまだ高価であり、これらの金属材料は未だ主たるものとして使用され、テーラードブランクなど不必要なところの更なる薄板化や、合金・熱加工処理による更なる高強度化が重要となっている。しかし薄板化や高強度化により、一層加工が困難となっている。これらの難加工性材料の加工プロセス開発においては有限要素シミュレーションなどが有用であるが、限界の加工を行うためには、高精度な成形限界予測法が重要となる。

### ・現状の課題

本研究は、板材のくびれ発生および延性破断を対象にしているが、通常は、絞り・張出し試験により、2軸変形試験を行って成形限界線図を得、それをそのまま利用する、もしくは、その限界線をM-K理論や延性破壊条件式でフィッティングして利用するなどの方法が採られている。しかし、同一材料でも加工法によって限界値が異なること、板面内の2軸のひずみ比が比例では比較的予測できるようになっているものの、途中でひずみ比が変化すると予測精度が悪いことが課題となっており、まだ有用な成形限界予測法が確立されていない。

### ・提案する予測式

塑性変形は、せん断応力による転位（線状欠陥）の移動によって原子がずれる変形であり、3個の主せん断ひずみエネルギーを考慮した以下の式を板材くびれ発生時の成形限界予測式として提案した。

$$C_1 \int \frac{\tau_{12} d\gamma_{12}}{\sigma_{eq}} + C_2 \int \frac{\tau_{23} d\gamma_{23}}{\sigma_{eq}} + C_3 \int \frac{\tau_{31} d\gamma_{31}}{\sigma_{eq}} = 1$$

(1~3は材料に固定した初期座標の向き、 $\tau_{ij}$ ：主せん断応力、 $d\gamma_{ij}$ ：主せん断ひずみ増分、 $\sigma_{eq}$ ：相当応力、 $C_i$ ：材料定数)

### ・実験との比較検証

多くのひずみ経路での1mmの純アルミの焼鈍し板材(A1050-0)および高張力鋼板の円柱平頭絞り試験を行い、くびれ発生時の成形限界線図(FLD)を得て比較した。比例経路での3~5個の限界点(等2軸近傍、平面ひずみ、単軸引張など)で予測式の材料定数 $C_i$ を求めて、実験と予測式で予測精度を検証した。比例経路での他の点での予測精度は最大15%以下、非比例経路での予測精度も実験値のばらつきが大きい高張力鋼板は少し誤差が大きかったが、純アルミでは25%以下であり、他の予測法に比べて極めて高い予測精度であることが分かった。

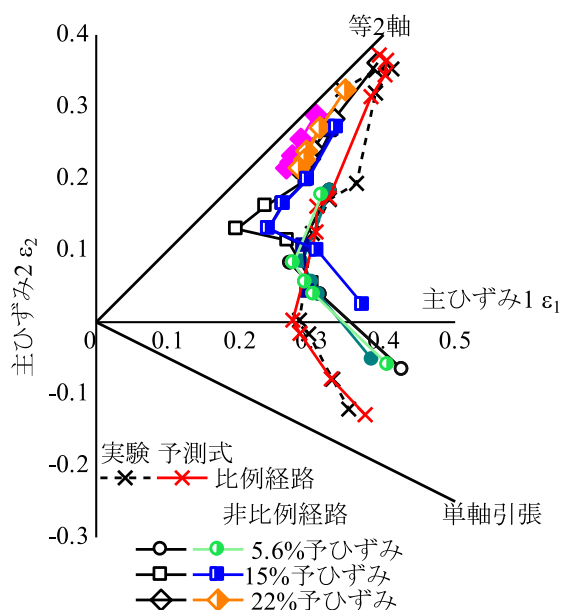


図 純アルミ(A1050)の成形限界図

# 機械式大腿義足における運動機能の多機能化

香川大学工学部 知能機械システム工学科 講師 井上 恒

連絡先 kohinoue@eng.kagawa-u.ac.jp



## 1. 背景

大腿切断者が使用する義足を大腿義足という。自身の膝を失っているため、運動能力の低下は著しい。そのため、大腿義足では膝継手（義足の膝関節）の機能が義足使用者の運動能力に大きく影響するとされている。近年、電子制御による膝継手の多機能化・高機能化が進みつつあるが、健常者にとっては何の苦もなく行える日常的な動作でも、大腿義足使用者には困難なものは少なくない。

現在、膝継手の研究開発が進み、平地歩行における安全性や機能性が向上している。しかし、大腿義足使用者にとって平地歩行以外の動作、例えば階段昇段や中腰維持などは未だに困難な動作である。これらは日常生活動作（ADL）の他に、農作業や各種労働作業においても重要な動作である。そのため、発展途上国を含む国内外において、多くの義足使用者に運動機能の再獲得をさせて生活の質（QOL）をさらに向上、または、社会復帰を実現するには、安価で多機能な膝継手が必要である。この課題に対し、当方では機械式（受動機構のみを用いた）膝継手の開発に取り組んできた。

## 2. 研究概要

従来の膝継手では機械式、電子制御式にかかわらず階段昇段は非常に困難な運動課題であった。膝継手が屈曲している状態で義足に荷重を掛けると膝折れしてしまうことが原因であった。また、関節抵抗を電子制御で調整する膝継手でも、通常はアクチュエータを搭載していないので、義足に荷重をかけたときに膝継手を伸展させることは難しかった。そこで当方では、義足への荷重によって膝継手が伸展する機構を開発した。これにより、無動力でありながら、健常者と同様に交互の脚で一段ずつ階段を昇段することに成功した（図1）。その後、改良を加え、動作に応じて膝継手の平地歩行モードと階段昇段モードを自動的に切替える機能、任意の角度で中腰姿勢を維持できる機能を追加し（図2）、様々な動作を行えるように多機能化を進めている。

また、歩行データベースを利用してバイオメカニクス的な歩行分析を行うことで、人にとってより使いやすい義足になるよう適切な機能の状態を設計している。



図1 切断者による階段昇段

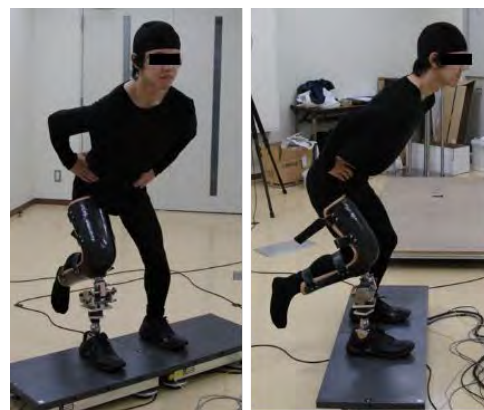


図2 任意の角度で中腰姿勢を維持している様子

## 3. 成果の活用

本研究では、アクチュエータや電子制御を使用しないで多機能な義足の開発を行っている。したがって、本研究が実用化（製品化）される際には、メンテナンスの手間をあまり必要とせず、価格を低く抑えることができる。日本国内のみならず、発展途上国などでも有用な技術になると期待される。

また、本研究開発している機能はスポーツ用の義足としての応用の可能性もある。

## 色覚異常者のための色覚バリアフリーな呈示手法の提案

香川大学工学部 知能機械システム工学科 講師 佐藤 敬子

連絡先 satokei@eng.kagawa-u.ac.jp



### 【研究概要】

色覚異常者は、ある範囲の色について差を感じにくく、これまで色の変換や強調による色の弁別補助システムが提案されてきたが、普及には至っていない。本研究室では、今後普及する透過型ディスプレイ等の表示デバイスに実装可能な「色覚デジタルカラーフィルタ」を提案するための基礎的研究を行っている。これは、画像にカラーフィルタを合成することで、識別困難な色合わせに輝度差が生じ、見分けやすくなるものである。さらに、フィルタによる弁別性向上のメカニズムを視覚実験により明らかにすることで、異常の型ごとに効果的なフィルタを作成するための研究を行っている。これにより、既存の色覚バリアフリーとは異なる理論に基づいた、自然な視環境の提供が可能となるだけでなく、モニタ上で異常の有無と型を簡単に診断できる手法の提案にもつながる。

### 【研究目的と内容】

日本における色覚異常者の割合は男性の約5%、女性の約0.2%と言われており、特定の範囲の色に対する応答や色の識別が困難である。現在、強制の色覚検査は廃止されているが、成人後異常に気づく人が少なくないことから、検査を再開する動きもある。色覚異常者は、日常生活の中で色の見分けがつかないといった問題を抱えており、強度色覚異常の場合は、職種の制限を受けることもある。特に、赤と緑を混同する赤緑色覚異常者が最も多く、LもしくはM錐体の機能に異常を抱えることにより、この2つの錐体応答の割合によって処理されるL-M応答（赤緑反対色応答）が等しくなることがあり、その範囲の色同士を混同する。

本研究では表示デバイスに実装可能な「色覚デジタルカラーフィルタ」の構築を目的として研究を行っている。これは、着色レンズの原理を表示デバイスに応用する新しい試みであり、画像にカラーフィルタを合成することで、識別困難な色合わせに輝度差を生じさせ、弁別性を向上させるものである（図1）。一部の色を変換する既存手法とは違い、より自然な補正が可能な新しい概念の色覚バリアフリー化であり、さらにフィルタ合成は画像補正としてシンプルな手法であり、既存のディスプレイにも簡便に実装できる。これまでに、色覚異常者の色知覚に関する視覚実験から、カラーフィルタの作成に着手しており、第1段階として、着色レンズの分光透過率から作成したカラーフィルタにより、2型強度色覚異常者7名の弁別能力が向上することを確認している。現在は、2型色覚異常者の弁別性が向上したのはどのようなメカニズムによるものかを解明し、その理論に基づいて異なる型に対応するカラーフィルタを作成し、フィルタの有効性を示すために研究を進めている。

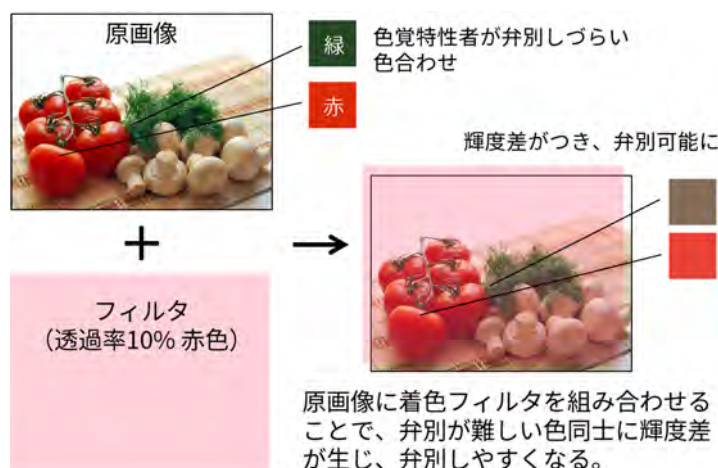


図1 本申請課題で提案する、色覚特性者の色弁別を向上させる着色フィルタの理論

※本研究は、JSPS 科研費#17K17928の援助を受けて行われている。

# 暗所における光の反射特性に基づいた道路表面の水たまり検出の検討

香川大学工学部 知能機械システム工学科 講師 林 純一郎

連絡先 jun@eng.kagawa-u.ac.jp



## 1. 目的

雨天時の自転車や自動車の運転では、視界が悪く路面が滑りやすく、特に夜間見通しの悪い道路における水たまりではハンドル操作を誤るなど、運転手にとって危険である。

本研究では、光の反射特性である鏡面反射成分と拡散反射成分を用いて、より視界が悪くなる夜間道路上の水たまりを検出する手法について検討を行い、水たまりは道路に比べて表面が滑らかであり道路表面と光の反射特性が異なることに着目し、光の反射成分を分離することで水たまりの有無を判定する。

## 2. 研究概要

水たまりのような平面において、図 1(a)に示すように入射光は鏡面反射し反射光は別の一方向へ反射するが、道路のような凹凸のある物体において入射光は図 1(b)のように様々な方向へ拡散反射する。本研究では、自転車や自動車への搭載が安価かつ簡易なドライブレコーダーを用いて複数個所の夜間道路上を撮影し、最初に対象となる道路領域を Hough 変換によって抽出し、拡散反射成分の路面であるか、それとも鏡面反射成分の水たまりであるのかを Laplacian フィルタによって分離することで水たまり有無の推定実験を行った。

実験を行った道路において、図 2 に示すように水たまり領域と道路領域を分離することができ、道路領域面積を表す拡散反射成分が水たまりの面積によって減少していることを確認した。更に道路上に存在する「止まれ」や白線等のペイントがある場合においてもペイント部は拡散反射成分の道路領域、水たまりは鏡面反射成分として正しく分離することができた。

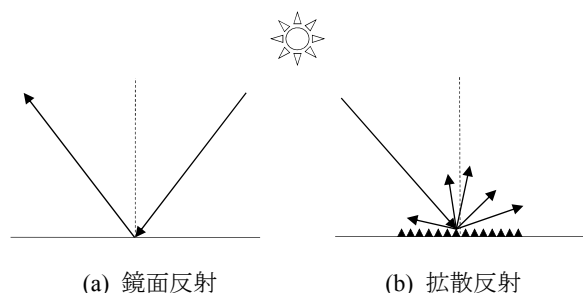


図 1 鏡面反射光と拡散反射光



図 2 水たまり領域検出結果

## 3. 成果の活用

自転車の普及率の高い香川県内において、路面における水たまりが要因の特に視界の悪い夜間の事故を防止するための水たまりの検出を目的とし、道路領域の抽出、水たまり領域の判定を行った。本研究成果は、安価で自転車にも簡単に搭載可能なカメラを用い、路面の危険性を判定、通知することにより、自損事故を始めとする各種事故を減少させることが期待される。

## 4. 備考

- 平成 27 年度電気関係学会四国支部連合大会優秀発表賞受賞  
花田恭兵, 林純一郎: 光の反射特性に基づいた道路表面における水たまりの検出の検討,  
平成 27 年度電気関係学会四国支部連合大会講演論文集, 13-20, p.195, 2015.9.

# 静電触覚ディスプレイに関する研究

香川大学工学部 知能機械システム工学科 助教 石塚 裕己

連絡先 hi1124@eng.kagawa-u.ac.jp



## 1.はじめに

近年、人間の指に刺激を与えることで疑似的に触感を再現する装置である触覚ディスプレイの研究が広く行われている。この触覚ディスプレイは機械的なアクチュエータの変位を用いて刺激することが大半であり、その重量や体積から他の装置と組み合わせて使用することは困難である。他の装置と組み合わせて使用可能な触覚ディスプレイとしては静電触覚ディスプレイが挙げられる。静電触覚ディスプレイは指と電極間の静電吸着力によって指表面に生じる摩擦力によって刺激するものである。構成として電極と絶縁層のみを必要とすることから、構造が非常に簡易であり他の装置と組み合わせて使用することが可能である。本研究ではこの静電触覚ディスプレイを様々な方法で作成し、その可能性について検討した。

## 2.試作した静電触覚ディスプレイ

### 2.1 多電極型静電触覚ディスプレイ

静電触覚ディスプレイはITOガラスを用いて作製されることが大半であり、その電極は単一の電極から構成されている。本研究では、図1に示すように刺激用電極を分割することで多電極化することによって、刺激の分布を提示可能な静電触覚ディスプレイを実現した。この静電触覚ディスプレイによって、従来の静電触覚ディスプレイと比べてより実際の物体に近い触感を再現できると考えられる。

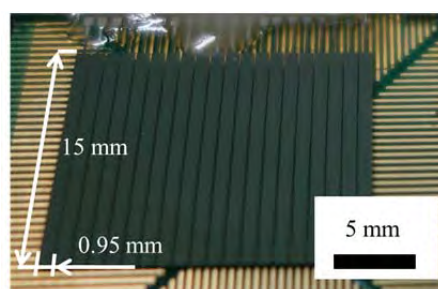


図1 多電極型静電触覚ディスプレイ

### 2.2 シート型静電触覚ディスプレイ

2.1で述べたように静電触覚ディスプレイはガラス基板上等の硬い基板を用いて作製することが大半である。一方で、絶縁層と電極のみがあれば刺激できることから、材料を変更することでフレキシブル化することも可能であるはずである。そこで、絶縁層を柔軟かつ絶縁材料であるシリコンゴムを用いて形成し、図2に示す電極を導電性のポリマー材料を用いることでフレキシブルかつ透過性に優れたシート型静電触覚ディスプレイを実現した。この触覚ディスプレイはその透過性と柔軟さから他の装置の表面にシールのように貼り付けて使用することが可能である。これによって様々なアプリケーションの実現が期待できる。

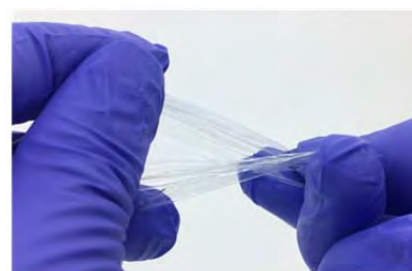


図2 シート型静電触覚ディスプレイ

### 2.3 銀ナノインク印刷による静電触覚ディスプレイ

静電触覚ディスプレイは2.1と2.2で述べたように導電材料と絶縁材料の組み合わせによって作製できる。そこで、図3のように近年着目されているエレファンテック社の家庭用インクジェットプリンター用の銀ナノインクを用いてインクジェットプリンター印刷を用いて簡易に静電触覚ディスプレイを作製する方法を確立した。インクジェットプリンター印刷を用いることで簡易に寸法等を変更することができ、様々な形状を短時間で試作・評価できる。



図3 印刷式静電触覚ディスプレイ

## 学際領域『超分子希少糖』・『電子論錯体化学』の確立

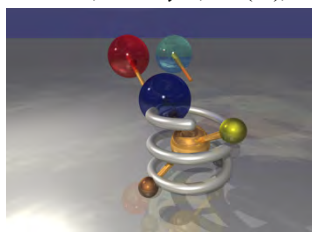
香川大学工学部 材料創造工学科 教授 石井 知彦

連絡先 tishii@eng.kagawa-u.ac.jp

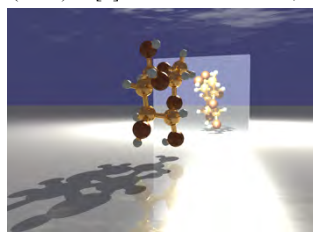


### 新しい学際領域『超分子希少糖』

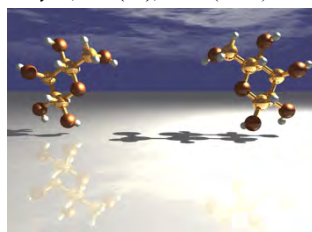
希少糖研究をさらに発展させるためには、**従来には無かった新たな取り組み**が求められる。本研究では、**希少糖を『材料』として捉え**、種々の物理的・化学的物性を測定することにより、機能を発現させる新規機能性材料としての応用の可能性を探る。達成目標：**【学際領域『超分子希少糖』の確立および自在に旋光性を制御可能な光フィルタの開発】**。単糖類（五炭糖や六炭糖）、デオキシ希少糖、超分子希少糖および希少糖が配位された金属錯体を合成し、それらの単結晶化を試み、X線を用いた**結晶構造解析**を行う。ひきつづき絶対構造を元にした**電子構造**計算を行い、種々の物理化学的物性データと比較することで光学活性フィルタとして応用させる。平成27年度は希少糖構造に関する**5報の論文**を発表し、この分野の世界のイニシアティブを確保した。期待される成果：複数種類の希少糖分子を組み合わせた超分子希少糖における旋光度の自在制御デバイス。デオキシ反応を利用した環化反応の制御による電子構造デバイス。糖配位錯体における光（電場）駆動スイッチング磁石の開発、など。[1]. T. Ishii *et al.*, *Acta Cryst.*, **E71(2)**, o139 (2015). [2]. T. Kozakai *et al.*, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **88(3)**, 465 (2015). [3]. T. Ishii *et al.*, *Acta Cryst.*, **E71(5)**, o289 (2015). [4]. T. Ishii *et al.*, *Acta Cryst.*, **E71(10)**, o719 (2015). [5]. A. Yoshihara *et al.*, *Acta Cryst.*, **E71(12)**, o993 (2015).



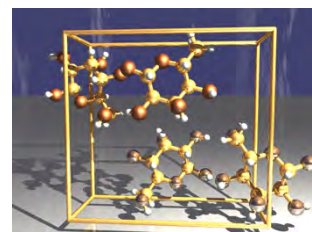
Rotatory on asymmetric carbon.



D-Allose in a mirror.



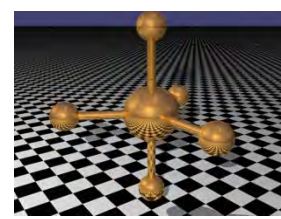
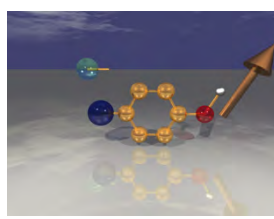
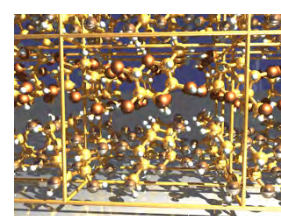
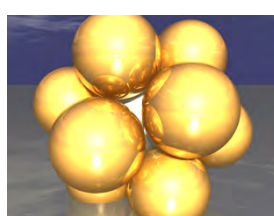
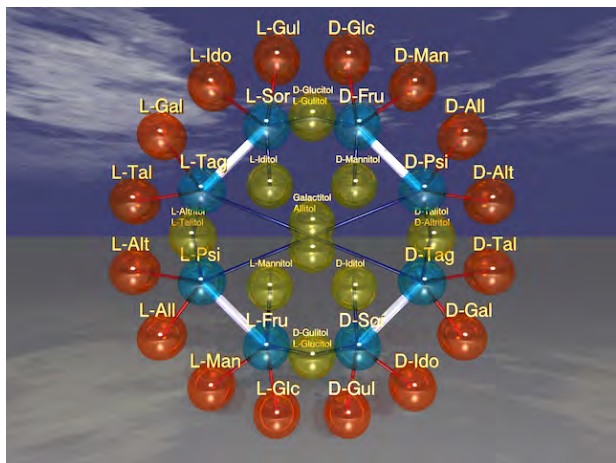
L-Allose and D-allose.



Supramolecular rare sugar  
D,L-allose.

### 新しい学際領域『電子論錯体化学』

私たちは、金属錯体や希少糖の研究を通して、有機・無機複合電子系の物性の研究を行っています。金属錯体は生物の体内で様々な機能を発現させる重要な物質です。生体内の金属錯体の構造や機能発現のメカニズムを詳しく調べ、構造や電子状態を真似ることにより、人間の生活に役立つ新たな機能性材料を設計することが出来ます。化学を車に例えると**実験と理論計算がその両輪**にあたります。私たちは「**電子論錯体研究室**」としての立場から **DV-X $\alpha$ 法**と呼ばれる分子軌道計算を行い、物質の電子分布を三次元空間的にとらえることを行っています。実際の実験としては私たちの研究室が所有する **IP型単結晶 X線構造解析装置**を用い、物質の**電子密度分布の測定と絶対構造の決定**を行っています。自然界における物質のあらゆる原理・原則・現象を解明し、その結果を論文として残すことはもちろん、自分たちの仕事が必要や将来、理科の教科書に載ると信じて研究を行っています。詳しくは研究室のホームページ <http://www.tishii.com/>を是非ご覧下さい。電子を自由自在に操ることで、化学反応性、化学安定性、化学結合性を自由自在に調整することができます。そのようなケミカルコーディネーターを目指しています。



**実験と計算で電子論錯体化学をコーディネート。  
電子の本当の姿を直接観察し、高精度で計算することが出来ます。**

# エイジングケアのための ILG 配合化粧品の実用化に関する研究

香川大学工学部 材料創造工学科 教授 掛川寿夫

連絡先 kakegawa@eng.kagawa-u.ac.jp



## 1. 目的

これまでの研究で、生薬甘草中の微量成分である ILG (イソリクイリチゲニン) が、エイジングケアにとって有用な複数の生理機能を持つことが見出された [H.Kakegawa et al., *Chem.Pharm.Bull.*, 40(6), 1439-1442 (1992), K.Yamamoto, H.Kakegawa et al., *Planta Med.*, 58, 389-393 (1992) 他]。本研究は、これら ILG の生理機能を利用したエイジングケアのための世界初の高機能性化粧品の実用化及び製品化に関する研究である。

## 2. 研究概要

ILG の生理機能; ILG の生理活性を下記に示す。検討の結果、エイジングケアにとって有用な複数の生理機能が確認された。

**抗酸化作用**; DPPH ラジカル消去作用、 $\text{CCl}_4$ 、アスコルビン酸/ $\text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{ADP}/\text{Fe}^{3+}$ により誘発された肝ミクロソーム分画での脂質過酸化に対する抑制効果

**抗炎症作用**; ラットカラゲニン足趾浮腫、虚血性足趾浮腫に対してアスピリン (非ステロイド性抗炎症剤) よりも強い抑制効果

**血小板凝集抑制作用**; コラーゲン誘発血小板凝集に対してジピリダモールと同程度の抑制効果

**抗アレルギー作用**; 抗原抗体 (IgE) 反応による肥満細胞からのヒスタミン遊離作用に対してアゼラスチン (抗アレルギー薬) と同程度の抑制効果

**抗腎炎作用**; ラット馬杉腎炎、シスプラチン腎不全、ピューロマイシン腎不全等に対する抑制効果

**抗潰瘍作用**; ラット水浸拘束ストレス潰瘍、塩酸・エタノール潰瘍、インドメタシン潰瘍に対してセトラキセート (抗潰瘍薬) よりも強い抑制効果

**ヒアルロン酸代謝分解酵素 (ヒアルロニダーゼ) 阻害作用**; ヒアルロン酸分解の抑制効果

**チロシナーゼ阻害作用**; 黒色のメラニン色素生成抑制効果

ILG の毒性試験試験; ILG の毒性試験結果を下記に示す。検討の結果、極めて低毒性であることが確認された。

**急性毒性**;  $\text{LD}_{50}$  は、5000mg/kg 以上 (マウス、ラット、イヌでの経口投与)

**亜急性毒性**; ラットでの 300mg/kg/day の 13 週間連続経口投与において一般状態に異常無し

イヌでの 500mg/kg/day の 13 週間連続経口投与において一般状態に異常無し

**催奇形性**; ラットでの妊娠前及び妊娠初期投与試験において、800mg/kg/day の交配前 14 日以上+妊娠 7 日までの投与により、奇形、変異、交尾率、受胎率、生存胎仔数、着床数、胎仔性比、胎盤重量等に変化無し

ラットでの胎仔の器官形成期投与試験において、800mg/kg/day の妊娠 7~17 日 (11 日間) の投与において催奇形性は認められず、体重、発育及び性成熟において変化無し

**変異原性**; 細菌 (*Salmonella typhimurium* 及び *Escherichia coli*) による復帰変異試験において変異原性無し

ILG 配合化粧品製剤の製作; ILG の化粧品基剤への均一分散化技術を開発した。ILG を長期間、可溶化、均一分散化した水中油型 (O/W) 製剤を作製できることを特許化した。[特許第 4932865 号; イソリクイリチゲニンの持続可能な可溶化および均一分散化: 平成 24 年 2 月 24 日]

## 3. 成果の活用

日本化粧品工業連合会の『日本化粧品成分表示名称事典』に掲載された後、エストフェ・アンミュール化粧品及びその OEM 製品であるイル・ジー・ビー化粧品として製品化され市場展開中である。



エストフェ・An-miu (アンミュール) 化粧品



ルディア・ILG-b (イル・ジー・ビー) 化粧品

## 化合物半導体ナノ・ヘテロ構造の研究

香川大学創造工学部 先端マテリアル科学コース 教授 小柴 俊

連絡先 [koshiba@eng.kagawa-u.ac.jp](mailto:koshiba@eng.kagawa-u.ac.jp)

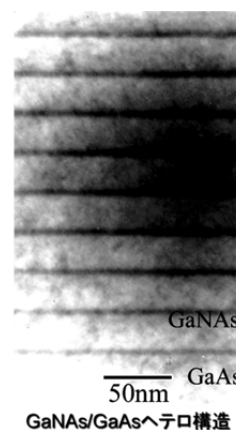
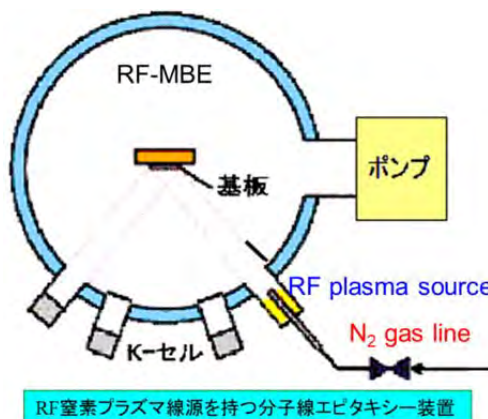


窒化ガリウム (GaN) をはじめとする化合物半導体は発光・受光デバイス材料としてまたハイパワーデバイス材料として注目を浴びています。異なる化合物半導体を組み合わせたヘテロ構造、ナノメートル寸法の構造制御をすることで量子効果を始め新規の特性を持たせることができます。

(1) シリコン基板上の窒化物半導体の作製: 窒化ガリウムや窒化アルミニウム等の窒素化合物半導体の多層膜ヘテロ構造を作製し、その電氣的・光学的特性を評価することで、高輝度発光デバイス、高性能太陽電池、高周波・高出力デバイス材料の創出を目指しています。



分子線エピタキシー装置 (MBE)



### (2) これまでの研究

**混晶半導体 GaNAs の作製:** III-V 族化合物半導体である GaN と GaAs の混晶である GaNAs はボウイング現象により組成に応じて大きく禁制帯幅が変化します。これを利用して GaNAs と GaAs よりなる量子井戸を作製し、電子顕微鏡による構造評価、PL 測定による光学特性を評価しました。得られた知見をもとに同構造を p 型と n 型 GaAs ではさんだ pin 構造を作り、電流注入による発光や光起電力を測定し、赤外領域光学材料としての可能性を検証しました。

**量子細線の作製と評価:** GaAs 加工基板をもちいて GaAs と AlAs よりなるリッジ型量子細線を作製した。高分解能電子顕微鏡観察より約 10nm の横方向閉じ込めの量子細線を実現を確認しました。励起子寿命測定の結果は細線内の 1 次元励起子の得意な性質を明らかにしました。これらの結果を元に光閉じ込め構造を加えたリッジ量子細線レーザー構造を作製し、光励起によるレーザー発振に成功しました。

**化合物半導体ヘテロ構造に関する研究;** 分子線エピタキシー法により数原子層の GaAs と AlAs よりなる短周期超格子を作製し X 線回折による構造と PL 測定による光学特性を評価しました。

### (3) 発表論文

"Electroluminescence of GaNAs/GaAs MQWs p-i-n junctions grown by RF-MBE using modulated nitrogen radical beam source", J. Cryst. Growth, 378, 150-3(2013)(査読有), N. Ohta, K. Arimoto, M. Shiraga, K. Ishii, M. Inada, S. Yanai, Y. Nakai, H. Akiyama, T. Mochizuki, N. Takahashi, H. Miyagawa, N. Tsurumachi, S. Nakanishi, S. Koshiba

"Electrical and Optical Properties of GaNAs/GaAs MQW p-i-n Junctions", Transactions of the Materials Research Society of Japan, 37, 2, 193-196(2012)(査読有), K. Arimoto, M. Shiraga, H. Shirai, S. Takeda, M. Ohmori, H. Akiyama, T. Mochizuki, K. Yamaguchi, H. Miyagawa, N. Tsurumachi, S. Nakanishi, S. Koshiba



# 光学的・電氣的薄膜および機能性表面の作製とその応用

香川大学工学部 材料創造工学科 教授 須崎 嘉文  
連絡先 suzaki@eng.kagawa-u.ac.jp

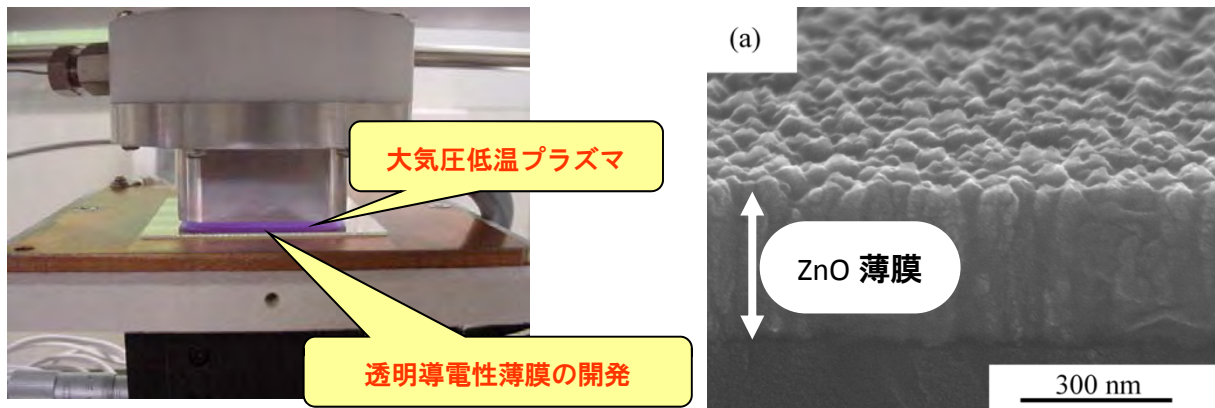


## 太陽電池の大面积化

自然エネルギーの利用のため、太陽電池の低コスト化、高性能化開発などが重要です。大気圧低温プラズマを用いた低コスト大面积薄膜作製技術の研究開発、および、プラズマを用いないシリコンナノ粒子薄膜作製技術の研究開発を行っています。さらに、超撥水性・撥油性薄膜(汚れない機能性表面)の作製技術の研究開発も行っています。

## 大気圧低温プラズマの発生

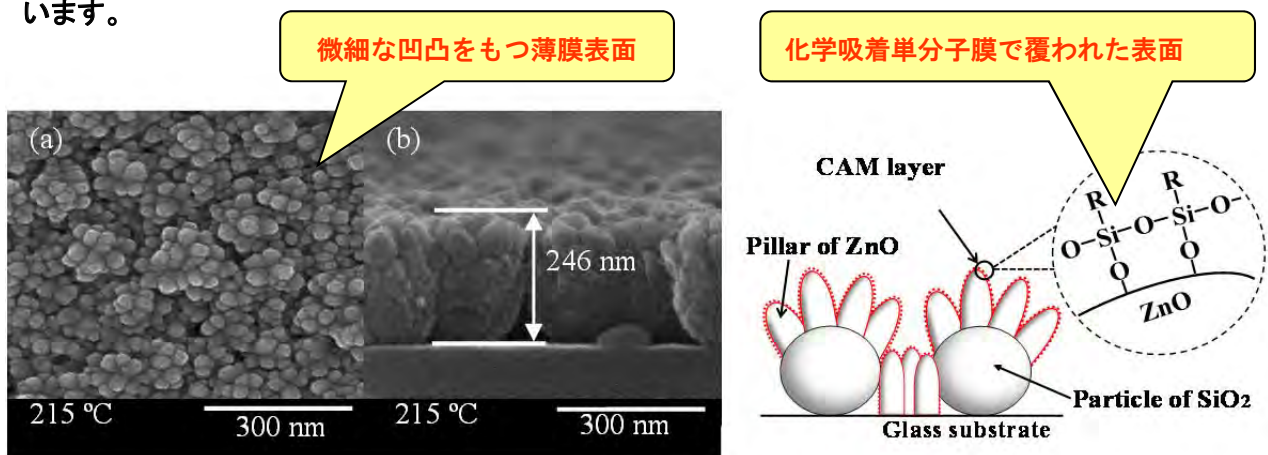
薄膜作製のコストを下げるために、大気圧中で薄膜作製が可能な方法を開発しています。大気圧低温プラズマの発生装置を開発し、太陽電池の窓財用透明導電性薄膜を作製します。



## 超撥水、撥油性薄膜(汚れない表面)の作製

基材表面に超撥水性の機能をもたせることで、水・油をはじく性質をもち汚れが付きにくくなります。基材表面に微細な凹凸構造をもたせる技術を開発しています。また、化学吸着単分子膜の形成技術を利用して、表面にフッ素系機能部位を並べる技術を開発しています。

さらに、以上の技術を組合せて、透明で電氣の流れる汚れにくい表面の作製方法を開発しています。



※ 大気圧プラズマ関係、表面処理、薄膜作製などの他、光ファイバーFBGを用いたひずみ・温度計測など広く応用研究をしています。関連技術に何か興味があれば、気軽にご連絡ください。

## 集束イオンビーム(FIB)と透過型電子顕微鏡(TEM)による材料組織解析

香川大学工学部 材料創造工学科 教授 田中 康弘

連絡先 tanaka@eng.kagawa-u.ac.jp



材料の性能は材料の微細組織と密接に関係している。使用環境下ではさらに材料組織は経時的に変化し、その組織変化が材料特性の変化、材料寿命を決定づける。材料の微細組織解析に対して透過型電子顕微鏡(TEM)は圧倒的に有効な手法である。その理由は、(1) 微細組織を数万倍の倍率から原子配列の直接観察可能な高分解能まで観察できる、(2) 回折像も同時に観察できるので極微領域での結晶構造変化も検出できる、(3) 物質中で電子の運動が妨げられその結果発生する特性X線を検出するエネルギー分散型X線分光法(EDXS)で微細領域での元素分布を解明できる、(4) これらの観察結果よりナノテクワールド、ナノメートルレベルで材料中の構造、生成相を決定できる。(5) さらに材料中の欠陥例えば材料の強度・延性と密接に関係する線欠陥の転位観察より刃状転位やらせん転位の区別も可能となる、などナノレベルでの組織解析を通じた材料の高性能化に必要な不可欠のツールである。

しかし、TEM の操作は走査型電子顕微鏡(SEM)に比べるとやや煩雑困難で、ある程度の熟練や技術が求められるため、SEM 程には利用が普及しているとは言いがたい。また TEM 観察試料は電子線が透過できる厚さ 100 nm 以下にする必要があり、その準備作製には専用の機器やノウハウが必要である。

我々は高温材料 TiAl の耐酸化性を向上させる Nb/NbSi<sub>2</sub> 耐酸化被膜の高温酸化に伴う構造変化の解明に取り組んでいる。TiAl は市販スポーツカーのターボチャージャーローターなどで実用化されている数少ない金属間化合物超合金である。しかし 800 °C 辺りから酸化が激しくなるため、耐酸化性を向上させ実用温度を高温まで広げることが課題となっている。これに対して TiAl 表面に Nb 箔を被覆し、シリケート処理によって表面に NbSi<sub>2</sub> 耐熱耐酸化皮膜を生成する技術が開発された。1050 °C の過酷環境下で 100 h 酸化試験を行った後の界面構造変化を調査している。構成元素の相対的な拡散も関与し、耐酸化被覆 TiAl/Nb/NbSi<sub>2</sub> 界面は様々な中間層や酸化物を形成し、10 層近くの複雑な傾斜機能界面へと変化した。EDX 分析元素分布調査や回折像の解析より、TiAl/Nb 界面では Ti より Al の拡散が速く Al が Nb 側に抜けて TiAl の  $\gamma'/\alpha_2$  ラメラ構造が消失し、Ti<sub>3</sub>Al 単相領域が形成され(図 1)、Al は Nb 中へより多く拡散していくため Nb 側では Nb<sub>2</sub>Al 金属間化合物が新たに形成される(図 2)ことを見いだした。

複雑構造箇所をピンポイントで厚さ 100 nm 以下の TEM 観察試料とすることは従来困難だったため、SEM 観察に頼らざるを得なかった。しかし、集束イオンビーム加工観察装置(FIB)によるピンポイント TEM 試料サンプリング法の進展によって、従来観察不可能だった系に対する TEM 観察が適用できるようになり、新たな知見が得られ技術発展に寄与している。FIB による TEM 試料サンプリングは液晶ディスプレイや半導体メモリの不良セル解析などでも活躍している。欠陥などの不良箇所をピンポイントで解析することで不良発生原因を解明し、生産性向上に結びつけることにも役立つ手法である。

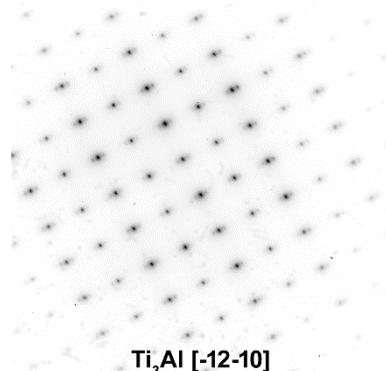


図 1 Ti<sub>3</sub>Al 相の電子回折図形

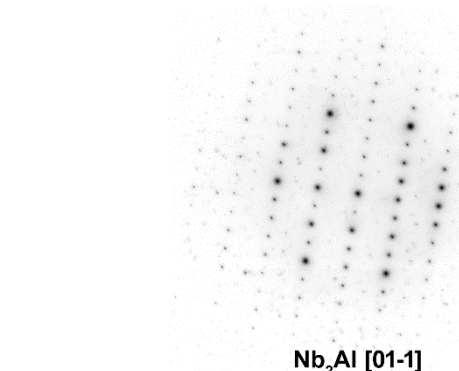


図 2 Nb<sub>2</sub>Al 相の電子回折図形

# 光と物質の相互量子制御

香川大学工学部 材料創造工学科 教授 鶴町 徳昭

連絡先 tsuru@eng.kagawa-u.ac.jp



## 1. 目的

関与する電磁波の波長と同程度、あるいはそれ以下のスケールで誘電率が変調されたフォトニック結晶やメタマテリアルにおいては通常の光デバイスでは実現不可能な様々な現象が現れることから様々な応用が期待されている。本研究室では光と物質を相互に量子制御できるフォトニック結晶やメタマテリアルの共振器量子電磁力学効果や非線形光学特性を調べると共に、光情報通信や量子コンピュータなど 21 世紀の科学技術を担う新しい原理で動作するデバイスを創造することを目標としている。

## 2. 研究概要

本研究では図 1 に示すような 1 次元フォトニック結晶: 1DPC(a)やメタマテリアル(b)における光と物質の様々な相互作用について調べて、これらの相互量子制御を試みている。フェムト秒パルスレーザーを励起光源とした時間分解 THz 時間領域分光により THz 帯 1DPC を用いて図 2(a)のような世界最速の超高速 THz 変調に成功した[1]。同構造においては図 2(b)のような高強度 THz 波の発生にも成功している[1]。また、シアニン系 J 会合体を含む可視帯 1DPC において有機物系では初めての共振器ポラリトンからスペクトル三重項状態への超高速遷移の観測に成功するとともに[2]、図 2(c)に示すようにこの現象を室温でも観測することに成功した[3]。さらに図 2(d)に示すようにペリレン系液晶性有機半導体においても共振器ポラリトンの観測に成功した [4]。

一方、可視帯金属-誘電体多層膜メタマテリアルにおいて双曲線分散に起因した広帯域パーセル効果の観測も行った[5]。最近では図 2(e)に示すように THz 帯金属カットワイヤメタマテリアルの作製に成功し、電気双極子共鳴による吸収の観測にも成功している。

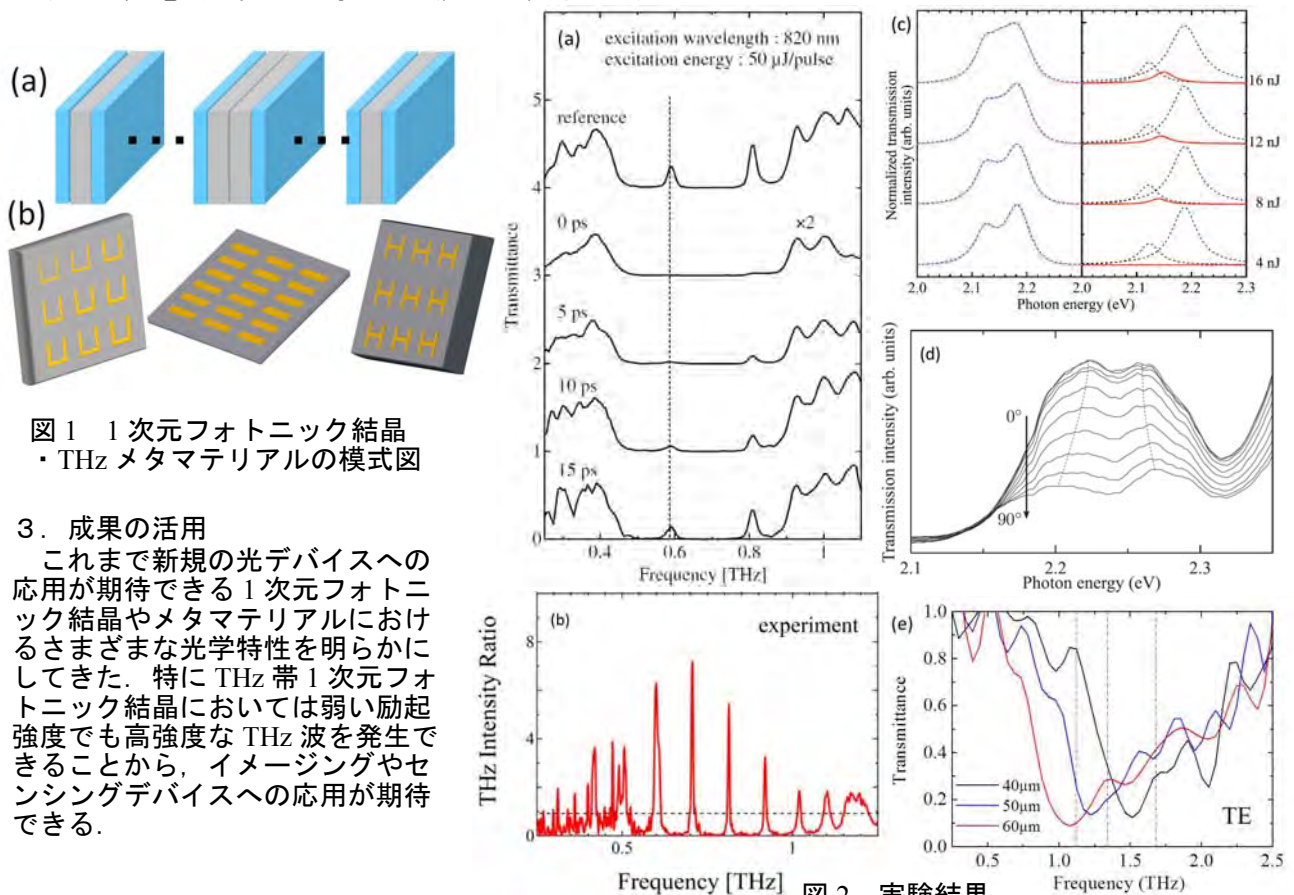


図 1 1 次元フォトニック結晶・THz メタマテリアルの模式図

## 3. 成果の活用

これまで新規の光デバイスへの応用が期待できる 1 次元フォトニック結晶やメタマテリアルにおけるさまざまな光学特性を明らかにしてきた。特に THz 帯 1 次元フォトニック結晶においては弱い励起強度でも高強度な THz 波を発生できることから、イメージングやセンシングデバイスへの応用が期待できる。

## 4. 備考 (参考文献)

- [1]"Efficient THz emission, detection and ultrafast switching using one-dimensional photonic crystal microcavity", H. Shirai *et al.*, J. Opt. Soc. Am. B, Vol. 31, 1393 (2014).
- [2]"Ultrafast transition between polariton doublet and AC Stark triplet in organic one-dimensional photonic crystal microcavity", K. Ishii *et al.*, Appl. Phys. Lett., Vol. 103, 013301 (2013).
- [3]"Dye concentration dependence of spectral triplet in one-dimensional photonic crystal with cyanine dye J-aggregate in strong coupling regime", M. Suzuki *et al.*, Appl. Phys. Lett., Vol. 111, 163302 (2017).
- [4]"Observations of cavity polaritons in one-dimensional photonic crystals containing liquid-crystalline semiconductor based on perylene bisimide units", T. Sakata *et al.*, Phys. Rev. E., Vol. 96, 042704 (2017).
- [5]"Dependence on fluorescence wavelength of Purcell effect in dye molecules on metal-dielectric multilayer hyperbolic metamaterials", N. Tsurumachi *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 55, 02BB05 (2016).

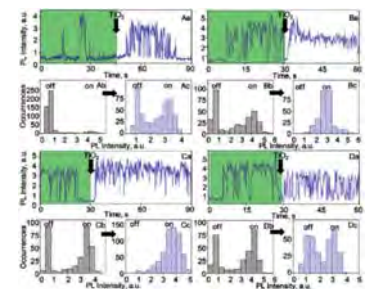
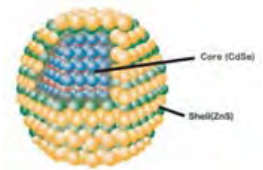
# 材料の光学物性評価と機能性材料開発

香川大学工学部 材料創造工学科 教授 中西俊介  
連絡先 nakanish@eng.kagawa-u.ac.jp



## (A) 半導体量子ドット CdSe/ZnS の発光特性改善

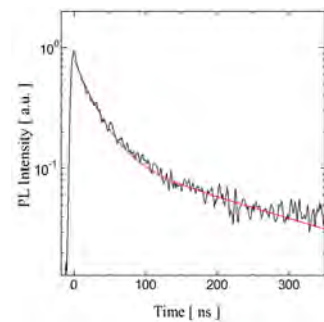
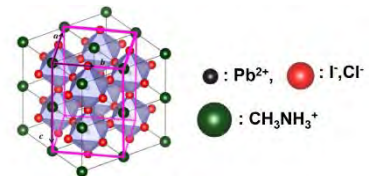
半導体量子ドットはナノサイズの半導体微粒子で、発光量子効率が非常に高く、またそのナノサイズを変えるだけで発光波長を調整することができる非常に優れた発光材料であり、発光素子や太陽電池材料への応用が期待されているナノ材料である。しかし、半導体量子ドットには発光強度が明滅する **Blinking** 現象があり、発光特性を悪化させる原因になっている。我々は、高分子、求電子性分子、TiO<sub>2</sub> ナノ粒子などの存在する環境下で CdSe/ZnS 半導体量子ドットを光励起すると、発光特性（Blinking 特性、蛍光強度、蛍光寿命）が大幅に改善することを見出した。右図は、TiO<sub>2</sub> ナノ粒子が存在する場合に CdSe/ZnS 半導体量子ドットの Blinking 特性が改善することを示す測定結果である。これは、Blinking 現象の原因の1つである量子ドットのオージェイオン化現象が TiO<sub>2</sub> ナノ粒子によって抑制されていることを示す。



M. Hamada, S. Nakanishi, T. Itoh, M. Ishikawa, and V. Biju, ACS Nano 4 (2010) 4445–4454.

## (B) ペロブスカイト結晶 MAPbI<sub>3</sub> の蛍光寿命測定によるキャリア特性評価

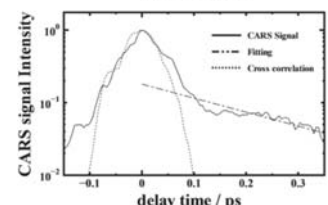
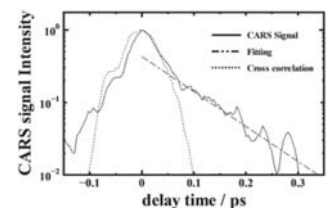
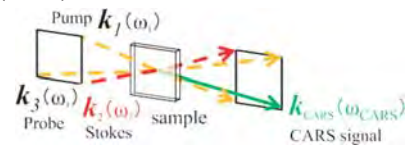
MAPbI<sub>3</sub> 結晶は右図のようなペロブスカイト型の結晶構造を示す有機-無機複合材料である。MAPbI<sub>3</sub> 結晶が半導体的な電気伝導特性を持ち、太陽電池材料としての応用が可能であることを 2009 年に宮坂らが報告した。この結晶の作製はシリコン半導体に比べて非常に簡単でありながら、発電効率がシリコン系に迫る 20%を達成するなど、非常に有望な太陽電池材料である。この結晶を用いた太陽電池は、p-n 接合を用いないもので、光励起による電子・正孔のキャリア励起により光電変換を行う。光励起キャリアの特性が発電効率を決めているといわれている。光励起キャリアの振る舞いを調べるために、MAPbI<sub>3</sub> 結晶からの蛍光寿命の測定を行った結果が右下図である。表面欠陥準位での発光、電子・正孔の再結合発光に起因する寿命成分が観測される。自由な電子と正孔の再結合発光寿命が長い結晶が優れた太陽電池特性を示すと考えられる。



A. Kojima, K. Teshima, Y. Shirai, and T. Miyasaka, J. Am. Chem. Soc. 131 (2009) 6050-6051.

## (C) CARS 分光による高分子材料の分子振動ダイナミクスの評価

Coherent Anti-Stokes Raman Scattering (CARS) 分光法は、古くから知られた非線形レーザー分光法の一種であり、ラマン過程を用いた非共鳴励起により物質中の分子振動を調べる手法として用いられる。励起光にフェムト秒パルスを用いることで、分子振動ダイナミクスをフェムト秒の時間分解能で検出することができる。その測定から、物質中の熱エネルギーの流れや水素結合などの相互作用の効果を検出・評価することが可能である。右上図はフェムト秒レーザーパルス 3 本を用いて試料を励起するときの光学配置 (BOXCARS 配置) である。右下図は、フェムト秒 CARS 分光法を適用して調べた、ポリエチレンの CH<sub>2</sub> 基からの信号の時間変化である。対称及び反対称伸縮モードの減衰が分離して検出されており、それぞれの振動モードの温度変化を明らかにすることができた。



T. Kozai, Y. Kayano, T. Aoi, N. Tsurumachi, and S. Nakanishi, J. Raman Spectrosc. 46 (2015) 384–387.

# 福島原発事故放射能汚染水処理用高選択性 Sr<sup>2+</sup> 吸着剤の開発

香川大学工学部 材料創造工学科 教授 馮 旗

連絡先 feng@eng.kagawa-u.ac.jp



福島原発事故では、3基の原子炉に炉心溶融が発生したため、冷却水や地下水の流入で毎日約 300 トンの高濃度放射能汚染水が発生している。凍土壁の構築で地下の流入を防ぐ対策を行っているが、それが完成しても毎日約 100 トンの汚染水が生じ、事故処理終了まで 40 年間、汚染水処理しつづけなければならず、莫大なコストがかかる。

放射能汚染水処理の最大の難題は放射性 Sr<sup>2+</sup> と Cs<sup>+</sup> の除去である。その理由は、汚染水には高濃度海水成分の Na<sup>+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、K<sup>+</sup> が含まれており、これらは Sr<sup>2+</sup>、Cs<sup>+</sup> と同じアルカリ、アルカリ土類元素であり、性質が非常に類似する。海水から Sr<sup>2+</sup> と Cs<sup>+</sup> を除去するためには、高選択性吸着剤が不可欠である。Cs<sup>+</sup> 吸着剤に関してははかかなり高性能のものが開発された。しかし、高性能 Sr<sup>2+</sup> 吸着剤に関しては、多くの研究者や企業が取り込んできたが、高性能低コストの吸着剤の開発が進まず、現在使用されている吸着剤（結晶性ケイチタン酸塩 CST）は、値段が非常に高く、選択吸着性能が十分とは言えない。そのため、汚染水処理のコストを大きく押し上げている。汚染水処理をより高効率低コストに行うため、更なる高性能低コスト Sr<sup>2+</sup> 吸着剤の開発が重要課題となっている。

この現状を打開するため、われわれは、図 1 に示すイオンふるい効果を利用した極めて高選択性のマンガン酸化物 Sr<sup>2+</sup> 吸着剤を開発した。多孔性の吸着剤でイオンを吸着する場合、吸着剤の細孔より大きなイオンは、細孔内に入れず、吸着選択性と吸着容量が低い。一方、細孔より小さいイオンは、細孔内に入れるが、結合が弱く選択性が低い。しかし、吸着剤の細孔と同じ大きさのイオンを吸着する場合、吸着剤に非常に強く結合し、高い吸着選択性が得られる。

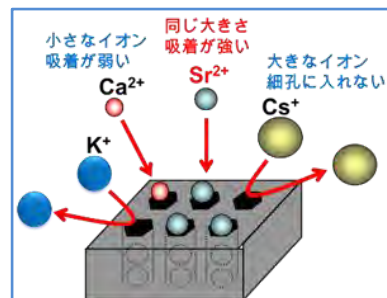


図 1. イオンふるい型吸着剤

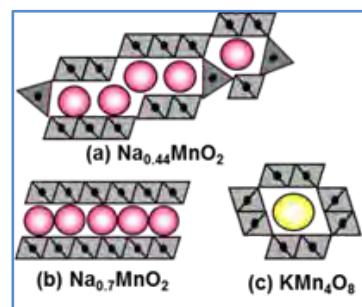


図 2. マンガン酸化物吸着剤の結晶構造

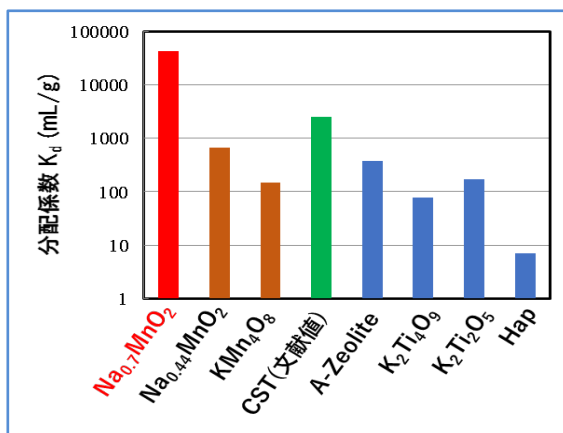


図 3. 開発した吸着剤と既存吸着剤の Sr<sup>2+</sup> 吸着選択性 (分配係数 K<sub>d</sub>) との比較 (10 ppm Sr 含有海水条件)



図 4. カラム吸着実験の様子

図 2 には本研究で開発した 3 種類のマンガン酸化物イオン

ふるい吸着剤を示す。層状構造の Na<sub>0.7</sub>MnO<sub>2</sub> 吸着剤の細孔径は、Sr<sup>2+</sup> 半径と一致したため、海水条件でも極めて高い Sr<sup>2+</sup> 選択吸着性が得られた。

図 3 に各種吸着剤の Sr<sup>2+</sup> 吸着選択性 (分配係数 K<sub>d</sub>) を示す。Na<sub>0.7</sub>MnO<sub>2</sub> 吸着剤は、既存の CST 系吸着剤、A 型ゼオライト吸着剤および K<sub>2</sub>Ti<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 系吸着剤よりそれぞれ 20 倍、100 倍、550 倍高い選択吸着性能を示した。現在、実用化のため、企業と共同研究を行い、吸着剤造粒体の製造技術の開発を進め、カラム吸着実験を行っている。図 4 はカラム吸着実験の様子である。

工  
材  
学  
創  
造

# ナノ相分離型液晶性混合伝導体の開発

香川大学工学部 材料創造工学科 教授 舟橋 正浩  
連絡先 m-funa@eng.kagawa-u.ac.jp



従来の電子材料はシリコンに代表される固体材料が研究されてきた。舟橋研究室では、液晶や高分子に着目し、ソフトな電子機能材料の研究「ソフトマターエレクトロニクス」に取り組んでいる<sup>[1,2]</sup>。液晶や高分子にナノ構造を導入し、複数の物理現象がカップリングすることにより、新しい機能の実現を目指している。代表的な赤色素であるペリレンビスイミドにオリゴシロキサン部位を導入した液晶化合物は、室温で液晶状態となり、分子性結晶並みの高い電子移動度を示す(図1(a)(b))<sup>[3]</sup>。環状のオリゴシロキサン部位を導入した化合物では、酸蒸気暴露により、薄膜状態で重合できる事を見出した(図1(c))<sup>[4]</sup>。

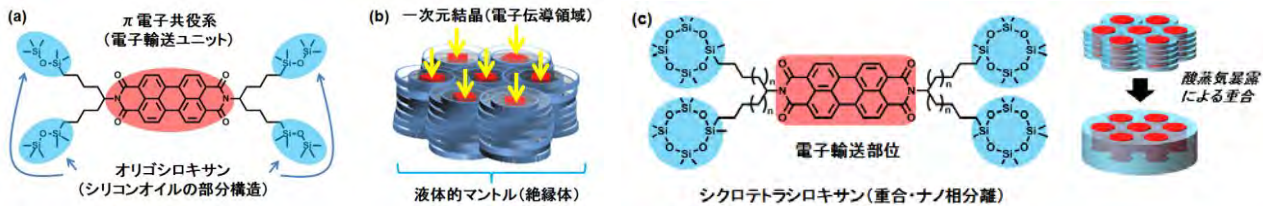


図1 (a) ナノ相分離を利用した液晶性ペリレンビスイミドのデザイン (b) カラムナー相での分子凝集構造 (c) 側鎖にシクロテトラシロキサン環を有するペリレンビスイミド誘導体の薄膜状態での重合の模式図

生物ではイオンが動くことにより情報が処理されている。液晶分子にイオン性の部位とπ電子共役系を組み込むと、両者がナノ相分離した超構造が形成され、イオンと電子を独立して伝導できる液晶性混合伝導体を作製する事ができる(図2(a)(b))。これらの材料は室温で液晶相を示し、溶液プロセスにより薄膜化が可能である。電子不足なπ電子共役系が存在するため、良好な電子輸送性を示す。トリエチレンオキシド鎖が金属イオンに配位するため、金属イオンとの複合化が可能である。側鎖末端に導入した環状シロキサンは熱運動により薄膜に柔軟性を付与すると同時に、マイクロ相分離によるナノ構造の形成を促進する。また、酸蒸気暴露により開環重合が進行するため、薄膜状態で重合でき、薄膜の不溶化が可能である<sup>[5]</sup>。

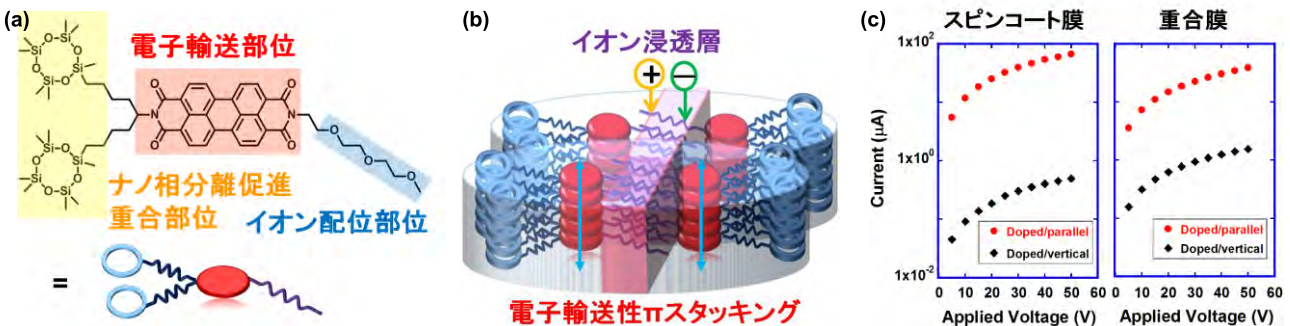


図2(a) 液晶性混合伝導体の分子設計 (b) 液晶相のナノ相分離構造 (c) 混合伝導体薄膜の異方的電気伝導

作製した薄膜は電子伝導性と同時にイオン透過性も有する。重合した薄膜は電解質溶液中でエレクトロクロミズムを示す。また、一軸配向した薄膜は、還元剤水溶液に浸すことによりドーピング可能であり、異方的な電気伝導性を示す。導電率は  $1 \times 10^{-3} \text{ Scm}^{-1}$  に達し、異方性は重合前で 100、重合後も 10 を超える(図2(c))。

## 主要論文

1. M. Funahashi, "Nanostructured Liquid-Crystalline Semiconductors - A New Approach to Soft Matter Electronics", *J. Mater. Chem. C*, **2**, 7451-7459 (2014).
2. T. Kato, M. Yoshio, T. Ichikawa, B. Soberats, H. Ohno, M. Funahashi, "Transport of ions and electrons in nanostructured liquid crystals", *Nature Reviews Materials*, **2**, 17001 (2017).
3. M. Funahashi and A. Sonoda, "High electron mobility in a columnar phase of liquid-crystalline perylene tetracarboxylic bisimide bearing oligosiloxane chains", *J. Mater. Chem.*, **22**, 25190 - 25197 (2012).
4. K. Takenami, S. Uemura, M. Funahashi, "In situ polymerization of liquid-crystalline thin films of electron-transporting perylene tetracarboxylic bisimide bearing cyclotetrasiloxane rings", *RSC Advances*, **6**, 5474-5584 (2016).
5. M. Funahashi, "Anisotropic electrical conductivity of n-doped thin films of polymerizable liquid-crystalline perylene bisimide bearing a triethylene oxide chain and cyclotetrasiloxane rings", *Mater. Chem. Front.*, **1**, 1137-1146 (2017).

## MQ L (Minimal Quantity Lubrication) による環境対応加工技術

香川大学工学部 材料創造工学科 教授 若林 利明  
連絡先 twaka@eng.kagawa-u.ac.jp



トライボロジー、聞き慣れない言葉ですが、摩擦を表すギリシャ語トリボスからきた造語です。それまでの摩擦学に新しいイメージを付与しようと1966年イギリスで生まれ、現在では材料工学や機械工学の主要分野として確かな地歩を築いています。トライボロジーの研究は機械装置の摩擦、摩耗、潤滑などの分野で重要ですが、若林研究室ではとくに、

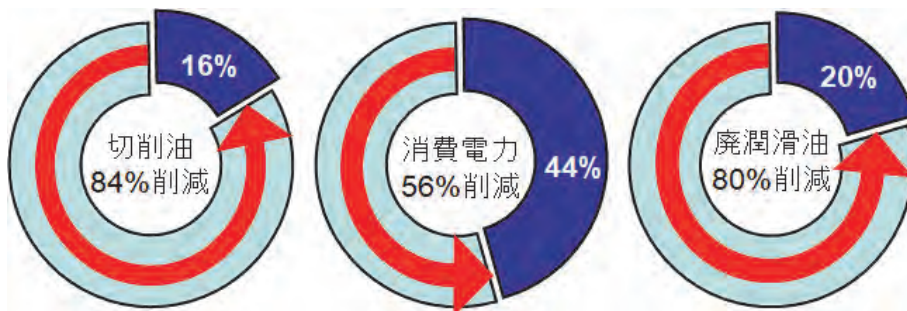
- ①切削加工時の潤滑の研究
- ②機械周り全般の潤滑技術の研究
- ③装置の円滑運動のためのメンテナンスに関する研究

の3領域のトライボロジーに関わる研究に焦点を絞って取り組んでいます。

これらの3領域の研究の中から、今回は切削加工時の潤滑の研究分野の1つである「極微量切削油供給 (MQ L : Minimal Quantity Lubrication) による環境対応加工技術」について簡単にご説明します。

環境問題への関心が高まる中、加工の現場でも切削油剤使用量の見直しが急務となっています。切削油剤を使用しないドライ加工では生産効率や製品の精度に問題が生じる場合も多く油剤の使用量を出来るだけ減らした環境対応技術として注目されているのが、ニアドライ加工の「MQ L」です。具体的には1時間あたり数十ミリリットルという極めて少ない切削油剤をミクロンサイズに微粒子化し圧縮空気加工部に供給する方法で、油剤使用量を従来給油法の数千から数万分の1にまで削減しています。

このMQ L加工に用いる油剤は、極微量で高い切削性能が求められますが、環境や健康面を配慮し、生分解性、酸化安定性、安全性に優れた合成エステルをベースにした「MQ L加工用油剤」を開発、この要求性能すべてを満足する新しい油剤がこの加工方法の実用化に大きく貢献しました。材料の切削時に、この独自の油剤を圧縮空気極微量送り込む「MQ L」は自動車製造ラインに用いられ、ある工程では、下図のとおり切削油剤84%削減、エネルギー消費量56%削減、廃潤滑油80%削減といった驚くべき環境負荷の低減効果が実証されています。



MQ L加工の適用による環境負荷の低減効果例

大手製造ラインでは、スチール加工の「MQ L」が定着してきていますが、中小、町工場では未だ大量の切削油が使用されているのも現状です。若林研究室ではオーダーメイドのスチール加工時の「MQ L」油剤開発に応じる態勢をとっており、アルミ合金やステンレス加工への適用も可能なことを実証しています。今後、この「MQ L」技術を、難削材のチタン合金等へ応用すべく研究を進める予定です。

## 種々の窒化炭素を導入した酸化グラフェン薄膜の作製

香川大学工学部材料創造工学科・准教授・上村 忍

連絡先： shinoue@eng.kagawa-u.ac.jp

グラフェンは炭素からなる単分子層の厚さの二次元シートであり、導電性、機械強度など優れた特性を有することから、様々な分野での応用展開が期待される二次元材料の一つである。そのグラフェンの応用の一つとして、海水淡水化処理用の脱塩フィルムがあげられる。海水淡水化は主に逆浸透(RO)法が用いられ、その脱塩フィルムにはポリアミド膜が利用されているものの、厚膜化やエネルギー効率などが問題となっている。近年、直径 1 nm 程度のナノ空孔を有するグラフェンの単層膜は現状の RO 膜よりも理論計算上 2 桁以上脱塩能が上回ることが報告され<sup>[1]</sup>、以来グラフェンを利用した脱塩フィルムに関する研究が盛んに展開されている。特に、酸化グラフェン (GO, Fig. 1(a)) は、簡便に単層化され、ナノ空孔及びエポキシ基や水酸基など多くの親水性官能基を有することから、グラフェン脱塩薄膜の中心的材料である。

窒化炭素 (GCN) は、窒素と炭素が交互に結合したヘプタジン環が二次元的に結合した、グラフェンに類似した二次元シート様構造を有する高分子である。この GCN はメタルフリーでの可視光応答性光触媒能が報告されて以来<sup>[2]</sup>、光触媒や太陽電池など半導体材料としての研究が盛んにおこなわれている。近年では、その類縁体であるメラミンが重合したトリアジン型窒化炭素 (TGCN) もまた半導体性を有し、光触媒能を示すことが報告されている<sup>[3]</sup>。本研究では、窒化炭素のナノスケールの空孔及び空隙を有する構造、光触媒能及び金属吸着能などの機能を活かし、種々の窒化炭素—酸化グラフェン混合薄膜を作製、その特性評価から脱塩薄膜としての応用を目指し、研究を行っている。

メンブレンフィルター上に作製された GO 薄膜 (Fig. 2(a)) は、比較的低いイオン透過性を示し、290 nm の膜厚であっても十分に透過性を制御できることを確認した。しかしながら、GO の水への高い親和性から、長時間の水への浸漬では GO の水への剥離が確認された。このため、熱による GO の還元 (グラフェン化) を試みたところ、還元に伴う疎水化及び還元 GO 間の  $\pi$ - $\pi$  相互作用の増加により、NaCl 水溶液から水へのイオン透過性の減少、及び水への長時間浸漬における薄膜の安定化がみられた。GCN と GO の混合薄膜では、GCN の不溶性と水への低い分散性から GCN のナノ化・二次元化が困難であり、水中での薄膜の安定性は低く、イオン透過性も改善が見られなかった。そこで、水熱処理により GCN のナノ分散化し、GO 混合薄膜 (Fig. 2(b)) を作製したところ、膜厚は若干厚くなったものの、還元 GO 薄膜とほぼ同程度の薄膜の安定性及びイオン透過性に改善された。このことから、GCN はナノ化することで GO-GCN 間には分子間相互作用が働き、層間距離が縮小、イオン透過を低減させたと考えられる。

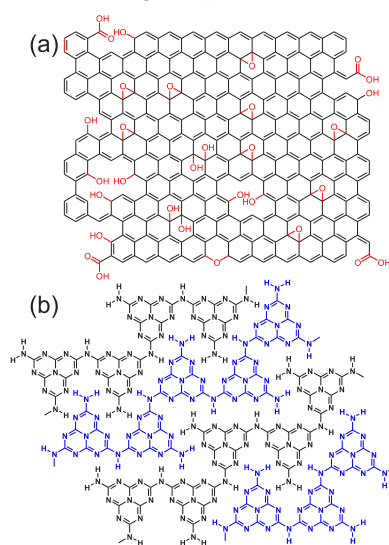


Fig. 1. 酸化グラフェン (a) 及び窒化炭素 (b) の化学構造式。

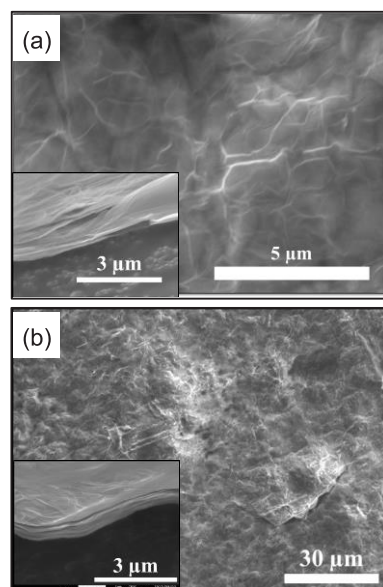


Fig. 2. GO 薄膜 (a) 及び GO-ナノ分散 GCN 混合薄膜 (b) の FE-SEM 像。

[1] D. Cohen-Tanugi, J. Grossman, *Nano Lett.*, **12**, 3602 (2012). [2] X. Wang et al., *Nat. Mater.*, **8**, 76 (2009).

[3] Y. Wang et al., *Angew. Chem. Int. Ed.* **56**, 1 (2017).



## 構造用セラミックスの応用拡大を目指した機能性付与

香川大学工学部 材料創造工学科 准教授 楠瀬 尚史  
 連絡先 kusuno15@eng.kagawa-u.ac.jp

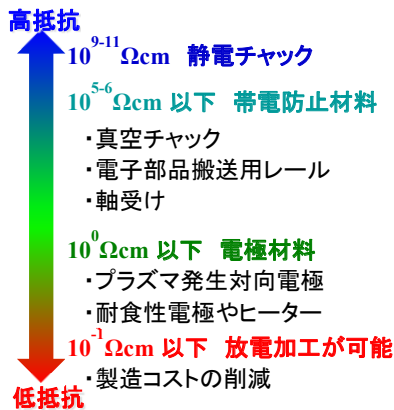
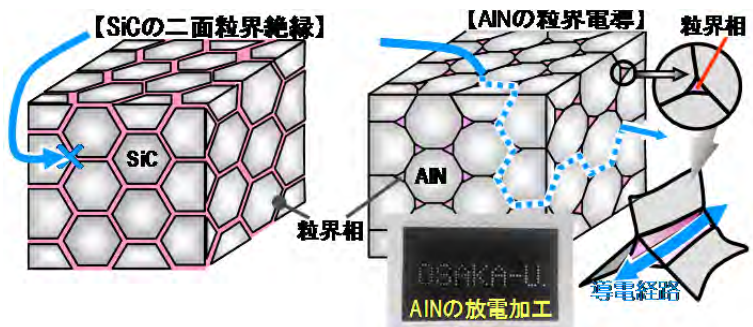


図 1. 構造用セラミックスの電気抵抗率と応用例

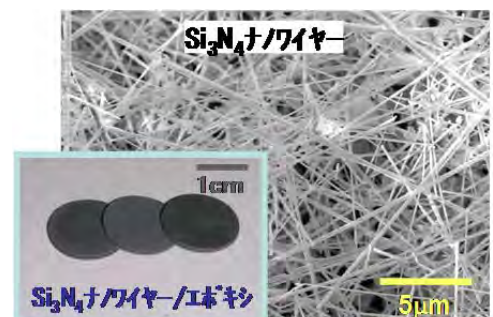
1980年代に、非酸化物セラミックスの開発に伴って起こったセラミックスブームでは、共有結合性の高い非酸化物セラミックスのもつ高い強度や耐熱性ばかりが注目され、エンジンやロケット部品などの高温構造材料としての応用開発が活発に行われていた。しかしながら、代表的な構造用セラミックスである AlN、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>、SiC、BN、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、ZrO<sub>2</sub>などは耐腐食性(耐プラズマ性)、熱伝導性や耐摩耗性に優れ、現在では半導体や電子部品の製造装置材料として開発が急速に拡大している。本研究室では、(1) 構造用セラミックスの持つ優れた特性を損なわないで、微量の導電相により電気抵抗を制御し、図1のような応用を目指している。また、セラミックスの機能化ばかりでなく、(2) 優れた機能を持つセラミックスを安価な樹脂材料に添

加し、安価で高機能な樹脂/セラミックスハイブリッド材料の開発も行っている。以下にその例を示す。

【(1) 粒界制御によるセラミックスの電気伝導度制御】 耐プラズマ性と熱伝導性に優れた AlN は絶縁体であるが、電気伝導度を制御することによって、半導体製造装置用の部品への応用が期待できる。通常、絶縁体セラミックスに電気伝導性を付与するためには、20~30vol%以上の導電性第二相粒子の分散が必要になるが、多量の第二相の分散は AlN の優れた特性を著しく損なってしまう。そこで、わずか 3vol%以下の体積でも焼結体中を三次元的に伝搬している粒界相に注目し、導電性物質を粒界に析出させることによって、電気伝導度を  $10^{-14}\text{Scm}^{-1}$  から放電加工可能な  $10^1\text{Scm}^{-1}$  に上昇させることに成功した。現在、このモデルを用いて、他の非酸化物セラミックスの電気伝導度制御について研究を行っている。また、この粒界相制御は絶縁体から導電体に変えるだけでなく、二面粒界に絶縁層を形成することによって、導電体から高抵抗体に制御することにも成功している。これについては抵抗温度依存性のない高抵抗材料へと研究を進めているところです。



【(2) 高放熱有機無機ハイブリッド材料の開発】 LED などの放熱基板に用いられているエポキシ材料は、本質的に熱伝導度が低く、放熱不足による高温劣化によって LED の寿命が短くなることが問題となっている。わずか 0.2W/mK 程度のポリマーの熱伝導を 20W/mK 以上にあげるためには、100~300W/mK の熱伝導を持つ Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>、AlN、BN などの非酸化物粒子の添加は必要不可欠である。高熱伝導化に要求されるフィラーの条件としては、フィラーそのものの熱伝導度も大事であるが、フィラーの形状も重要です。本研究室では、既に長い熱伝導パスを導入できる Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> や BN のナノワイヤーなどの一次元形状を有する非酸化物フィラーの合成に成功している。また、一次元フィラーとは対照的に、異方性無く等方的に熱伝導率を向上できる等軸状 BN フィラーの開発も行っている。



# 航空機用チタン合金の新しい組織制御に関する研究

香川大学工学部 材料創造工学科 准教授 松本 洋明

連絡先 matsu\_h@eng.kagawa-u.ac.jp



1. 目的： 金属素材としてチタン(Ti)合金はまだその誕生から 60 年程度と歴史は浅いが軽量・高強度の特性から航空機を中心とした輸送機器へ応用されている。また一般民生品やスポーツ用品など応用は多岐にわたり、現在もチタン素材の需要は拡大の一途にあり、最近では自動車用部材への展開も強く期待されている。本研究では発表者らが新たに開発した、チタン合金の組織制御・加工技術( $\alpha'$ プロセッシング)とそれから波及される機械的特性の高機能化について紹介する。

## 2. 研究概要：

### 2-1. マルテンサイト組織を軸とした既存の塑性加工技術による超微細粒組織形成

世界で多く使用されている Ti-6Al-4V 合金において  $\alpha'$ マルテンサイト組織を出発組織として適切な条件下で熱間加工を行うことにより平均径  $0.5\mu\text{m}$  以下の超微細粒組織形成が可能となり(図 1)、室温にて 1200MPa を超える高強度化が達成された。この結晶粒微細化は従来では活動しない不連続型の動的再結晶が活発に起きたためである。

### 2-2. 超塑性特性の低温・高速化

上記プロセスで製造した超微細粒組織を有する Ti-6Al-4V 合金は従来よりも  $200^\circ\text{C}$  以上低い温度域 ( $650^\circ\text{C} \sim 750^\circ\text{C}$ ) で巨大伸びを示す超塑性現象が発現する(図 1)。これは微細粒形成に伴う粒界すべりの活発化および準安定状態からの  $\beta$ 析出に伴う応力緩和が大きな役割を果たす。これにより、従来では難加工なイメージが強い Ti 合金において、複雑形状への加工を可能とする超塑性加工の実用的な展開が可能となる。

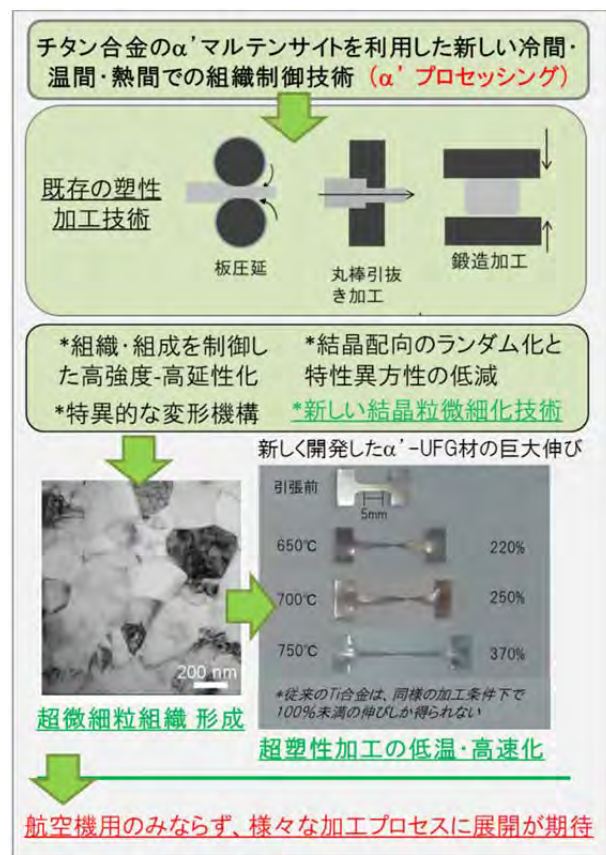


図1: Ti合金の新加工プロセスと波及効果

## 3. 成果の活用：

- ・自動車用部材(サスペンションスプリング、バルブスプリング、ピストンリング等)
- ・航空機用各種パネル部品(ヒートシールド部品等)、各種一般民生品(時計、ゴルフ、電子機器の筐体等)、生体インプラント用部品

## 4. 備考：

“ナノ結晶含有チタン合金およびその製造方法”，特開 2012-111991.

“ $\alpha+\beta$ 型 Ti 合金およびその製造方法” 特願 2012-148408.

# スピントロニクス・デバイス材料の作製と放射光による解析

香川大学工学部 材料創造工学科 准教授 宮川 勇人

連絡先 miyagawa@eng.kagawa-u.ac.jp



## (1) 目的

電荷制御に基づく従来の半導体デバイスではその集積密度や応答速度に限界が近いとされている。本研究では、電子の持つ「スピン」自由度に着目し、希土類元素を半導体に微量に添加したスピントロニクス・デバイス材料の作製を行い、その電子状態を放射光を利用したX線磁性解析手段(図1)によって解明することを目的とした。

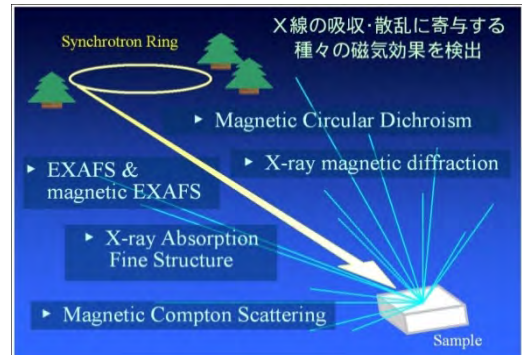


図1 放射光を利用した種々の磁性解析手段

## (2) 研究概要

従来の半導体エレクトロニクスは電子の有する「電荷(チャージ)」を利用し計算・記憶を行っているものの、近年の高度集積化・高速演算の発展には頭打ちが近いとされてきている。これを打破する方法の一つに、電子のもう一つの自由度である「スピン」を積極的に活用したスピントロニクス・デバイスが期待されている。本研究ではスピンを有する元素としての希土類元素を半導体に微量に添加(図2)した新しいスピントロニクス・デバイス材料の作製を行った。分子線エピタキシー(MBE)法により、III-V族半導体GaAsに微量の希土類元素(Gd:ガドリニウム)を添加したGaGdAsの単層および超格子を作製し成功した(図3)。更に本研究では、放射光施設Spring-8(兵庫県佐用郡)にて高輝度・高強度を有するX線を利用し磁気吸収(MCD:磁気円二色性)の測定を行い(図4)、GaGdAs内部のスピン偏極がGd原子モーメント由来のものとGaAsマトリックスのキャリア由来のもの両方からの寄与からなることを明らかとした。

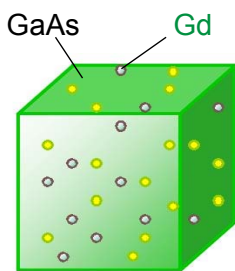


図2 希薄磁性半導体GaGdAs。微量の磁性元素を添加。

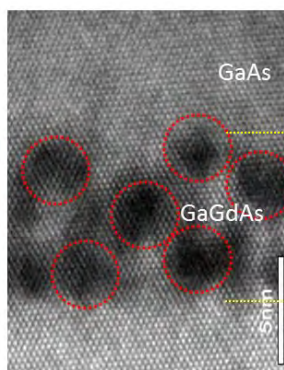


図3 GaGdAsの断面TEM像

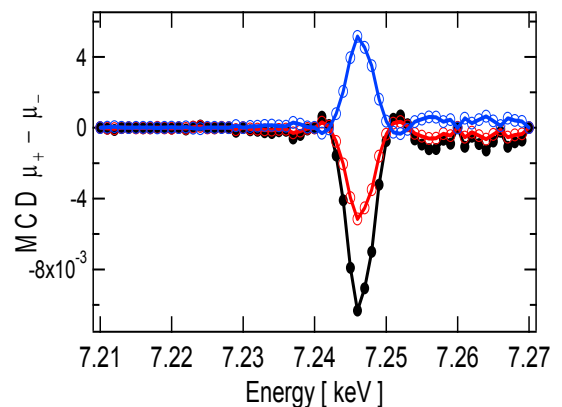


図4 GaGdAsの磁気吸収スペクトル

## (3) 成果の活用

従来の半導体(GaAs)に希土類元素(Gd)を添加することで半導体としての特性を損なうことなく磁気スピン機能を付与できることを明らかにし、またその起源には磁性元素のみならず周囲のマトリックスのキャリアの寄与があることを実験的に例証した。このようなスピントロニクス・デバイス材料により、次世代の高速・省電力のデバイスが期待できる。

## (4) 備考

・科学研究費若手(B) 2012 採択 ・固体半導体素子カンファレンス SSDM 2013 発表

工  
材  
学  
創  
造

# 刺激応答型発光性材料の創出

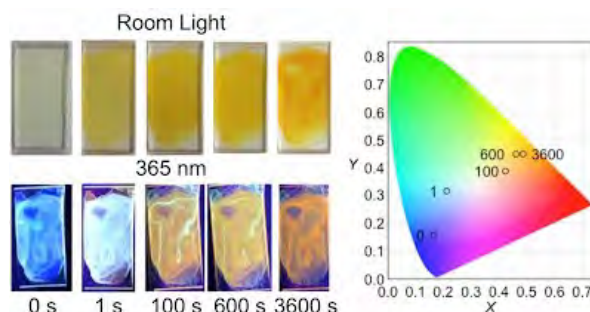
香川大学工学部 材料創造工学科 講師 磯田 恭佑

連絡先 k-isoda@eng.kagawa-u.ac.jp



## 1. 刺激応答型発光性薄膜材料の開発

外部刺激により、薄膜の色およびその発光色が変化する薄膜材料の開発に成功しました。刺激の程度によって、様々な発光色を示すことが可能です。例えば、本薄膜は酸蒸気を曝露すると、その曝露度合いに応じて、青色、水色、橙色と様々な発光色を示すため、酸検知材料への応用が可能です。さらに、これらの色は、アンモニアなどのガスに曝露することで元の青色発光状態へと戻ります。この研究を元に、現在様々な刺激応答型薄膜材料の開発を行っています。



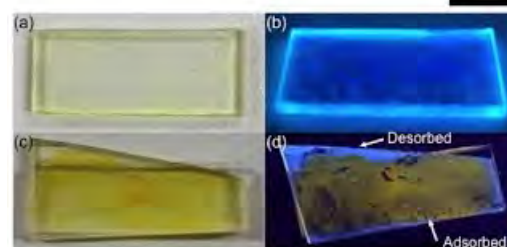
掲載論文 : K. Isoda, *ChemistryOpen* (Wiley-VCH), **2017**, 6, 242-246.

## 2. 非常に珍しい刺激応答型発光性液体の開発

一般的に発光材料は、 $\pi$  共役分子と言われるベンゼン環を多く含む分子骨格からなります。そのため、分子間相互作用が強く働き、得られる材料は固体です。しかし、我々は分子デザインを工夫することで、世界でも報告例の非常に少ない「室温  $\pi$  共役液体」を合成することに成功しております。中でも、窒素が導入された N-Heteroacene 型の室温発光性液体としては、初めての報告例となります。



この液体は、酸蒸気を曝露することで、その発光色が青色(b)から黄色(d)へと変化します。本液体は、刺激により発光色を変化させた世界で初めての例となります。現在、酸だけでなく

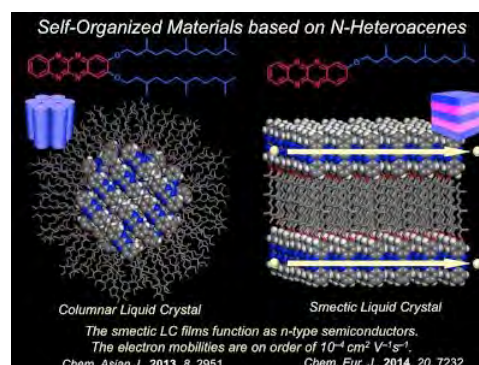


様々な刺激に応答する室温  $\pi$  共役液体の合成に取り組んでおり、そのシリーズ化を行っています。

掲載論文 : K. Isoda, Y. Sato, D. Matsukuma, *ChemistrySelect* (Wiley-VCH), **2017**, 2, 7222-7226.

## 3. 自己組織性N-Heteroacene誘導体の創製

$\pi$  共役分子である N-Heteroacene を自己組織的に集合させることでナノレベル( $10^{-9}$  m)で分子を配列させることで超分子集合構造を形成させた研究です。 $\pi$  共役部位は電子輸送特性を有するため、この薄膜は電子輸送材料として機能します。



掲載論文 : K. Isoda, T. Abe, M. Tadokoro, *Chem. An Asian J.* (WILEY-VCH), **2013**, 8, 2951-2954.

K. Isoda, T. Abe, M. Funahashi, M. Tadokoro, *Chem. -Eur. J.* (WILEY-VCH), **2014**, 20, 7232-7235.

# 異方性を有する CFRP 積層板のパンチプレス加工技術の開発

香川大学工学部 材料創造工学科 講師 松田 伸也

連絡先 matsuda@eng.kagawa-u.ac.jp



## 背景と目的

軽量で高強度な炭素繊維強化プラスチック複合材料(CFRP)は、スポーツやレジャー用品をはじめ、旅客機の第一次構造部材や自動車の薄板部材などにも適用されており、今後さらに大量に適用されることが見込まれています。自動車部品のように大量生産される部材の成形加工に許容されるタクトタイムは短いため、**大量生産に対応した成形加工技術**が必要です。成形(1次加工)では、高品質が得られる反面、高コストであるオートクレーブ法を用いずに成形する脱オートクレーブ法の開発が進んでいます。一方、穴あけやトリミングなど(2次加工)では、難加工材である CFRP 積層板に対して、ドリルやウォータージェット(WJ)、レーザー加工が現在の主流です。しかし、ドリル加工は簡易ですが円形の穴あけに限定されます。また WJ やレーザー加工は様々な形状の加工やトリミングも可能ですが、加工部位が多いと工具等の移動や入替えのために時間のロスが生じてしまい大量生産には向きません。そこで、大幅なタクトタイムの短縮やコスト削減が期待できる**せん断を利用した機械加工**によって、**複雑な変形・損傷・破壊プロセスを示す異方性 CFRP 積層板を加工する技術を確立する**ことを目的としています。

## アプローチ

汎用なパンチプレス加工を中心に実施しています。様々な加工条件(クリアランスや温度など)で穿孔を加工し、バリの発生状況調査や加工面の観察、軟 X 線による非破壊検査を通じて加工品位を評価しています。さらに、加工プロセスを明らかにするために加工中の in-situ 観察やデジタル画像相関法(DIC)によるひずみ分布解析を行い、実験的かつ力学的観点から加工プロセスを明らかにするアプローチを試みています。CFRP 積層板のパンチプレス加工では、**特徴的なバリ**(図 1)が発生します。また、せん断のみならず大きな引張方向のひずみ(図 2)も発生しているため、**複雑な応力場を呈して切断**されることが理解できます。

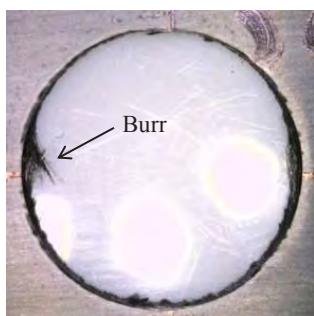


図 1 パンチプレス加工後の穿孔(左)と軟 X 線観察(右)例

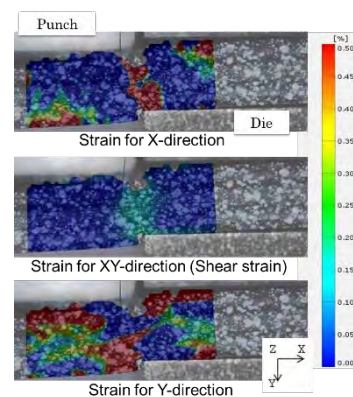
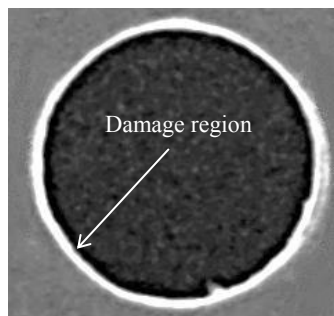


図 2 パンチプレス加工中の DIC 解析例

参考文献：松田伸也, 黄木景二, 矢代茂樹, 日本複合材料学会誌, 第 42 巻, 第 1 号, pp.13-22 (2016)

黄木景二, 矢代茂樹, 松田伸也, 強化プラスチック, Vol.62, No.3, pp.84-87 (2017)

## 研究者紹介

高性能・高機能の構造物は高い安全性や信頼性が要求されるため、「どのようにして壊れるのか」、「どのくらいまで耐えるのか」を知る必要があります。主にセラミックスや繊維強化複合材料を中心に構造物材料の破壊メカニズムや強度、寿命を力学的試験や破損状況の観察および理論的解析より調査しています。

所属学会・協会：日本機械学会, 日本材料学会, 日本複合材料学会, 日本工学教育協会

キーワード：セラミックス, 炭素繊維強化複合材料, 強度信頼性

研究室 Web site：<http://www.eng.kagawa-u.ac.jp/~matsuda/>



# 人と機器が融和することによる新しいバイオ機能の創造

香川大学創造工学部創造工学科 造形メディアデザインコース 教授 佛圓 哲朗

連絡先 butsuen@eng.kagawa-u.ac.jp



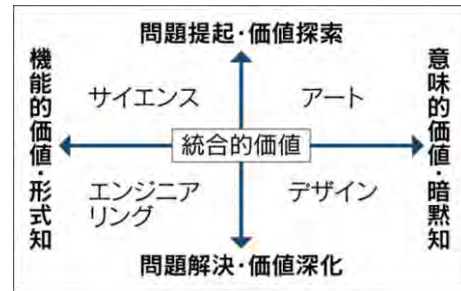
研究室のビジョン：

## プロダクトデザインと人間社会環境の調和

研究室のミッション：

## デザイン思考に基づく統合的価値の最大化

統合的価値 = 機能的価値 + 意味的価値  
(モノづくり) (コトづくり)



SEDA モデル by 一橋大学延岡教授

最近の研究課題：

### 1. 自動車の運転育成モデルの研究

- ① ドライバモデルは、運転をまったく知らないところから育成できる機械学習モデルを作成する。(道路環境条件は既知とし、NNモデルを採用し、育成する) 教師信号として既存の自動運転アルゴリズムを採用(公開されているアルゴリズム)した教師信号ありモデルと、教師信号のない自律学習モデルの二種類作成する。

(図1参照)

- ② 強化学習用として上記の①と連動するドライビングシミュレータ(鈴木研究室のドライビングシミュレータ)を用意し、被験者として免許取得していない学生を対象に、運転習熟度データ(まったく運転ができないところから仮免取得レベルまで)を取得する。

コース例：仮免コース・直線・カーブ路・円旋回路・交差点・クランク路・車庫入れ・S字路、など(図2参照)

- ③ 自動車学校とタイアップして、上記②でデータ取得した被験者の教習時データを取得し、②のデータと比較する。(図3参照)

- ④ 日常運転している被験者を用いてドライビングシミュレータによる運転習熟度テストを行いデータ取得する。

- ⑤ これらのデータをもとに人間が学習していく状況が見える化できる運転学習モデルの構築をおこなう。

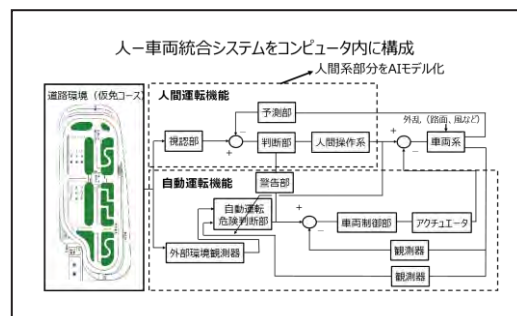


図1 人-車両統合システムの構成



図2 ドライビングシミュレータ構成

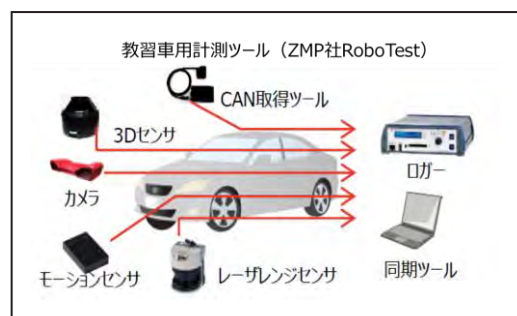


図3 教習車用計測ツール概要

### 2. 電動化技術を基にした「動くドライビングシミュレータ」

のバーチャル空間での研究(企画検討用)

- ① BEV 開発のための計測実験車用のスペック検討
- ② 自動走行技術を計測技術として活用して 200km/h 超の車両非線形計測用のスペック検討
- ③ バーチャル実験場実現のための必要条件明確化

## 『The Blue Garden』 インタラクティブ遊具の制作

香川大学 自然生命科学系 講師 柴田 悠基

連絡先 shibata@eng.kagawa-u.ac.jp



現代美術作家として情報技術と社会の関係性を作品制作により考察しています。情報技術が文化を維持し発展する社会を構築するために、社会に浸透する情報技術の在り方を模索しています。

### 作品解説：『The Blue Garden』子どもの遊びを促すシームレスなシステム

砂の上に投影された海と魚たち。投影された海の映像の中には、人を見つけて寄ってくる魚や追いかけられて逃げていく魚が泳いでいます。ひんやりとした砂の海に裸足で入り、たくさんの魚たちと遊びましょう。見ず知らずの子どもたちが一緒になり、逃げる魚を捕まえ、魚を忘れ砂山を一緒に作ったり、The Blue Gardenは、海と魚、白い砂を通して自然に人の繋がりを拓けます。

(汗かくメディア 2011 展示文章)

展示実績：愛知県児童総合センター「汗かくメディア 2011」受賞、横浜赤れんが倉庫「噴水ビーチ」



### 出張展示について

展示条件：砂（珪砂が望ましい）、プロジェクタ、ビデオカメラ、PC、展示空間（比較的暗い空間、広さはプロジェクタを上部から投影した場合の表示エリアによる。）前述条件を満たせば、仮設展示の場合は設営2時間程度でシステムが設置でき、各種イベントや常設展示（システム自動化）が可能。

**魚の動き**：Boid理論による4000匹の魚をシミュレートし複雑に動く魚群。

**人物検知技術**：背景差分法で人の動きを解析。設置環境基準を満たせば、システムが環境誤差を吸収するアフィン写像マッピングシステムを開発。

### アフィン写像マッピングシステム（2011年開発）

プロジェクタ投影内の人物を検出する作品は、プロジェクタとカメラの厳密な調整が必要なため、設置に時間がかかる。検出精度の向上のために、プロジェクタとカメラの画角を合わせなくてはならない。本システムは、カメラの画角内に収まっているプロジェクタから投影された表示エリアをアフィン写像によってトリミング、指定した矩形にリマッピングするものである。本システムにより、カメラの画角を調整する必要がなくなり、設営時間の短縮に繋がる。

