

The background of the entire page is an abstract composition of overlapping, semi-transparent blue geometric shapes, primarily triangles and quadrilaterals, in various shades of blue, creating a dynamic and modern visual effect.

豊田工業大学

研究紹介

—産学連携をめざして—

INDEX

研究室名	キーワード	頁
機械システム分野 MECHANICAL SYSTEMS ENGINEERING		
熱エネルギー工学	燃焼、伝熱、エネルギー、環境、安全工学	1
流体力学	圧縮性流れ、超音速流れ、流体制御、レーザー誘起蛍光法、分子タグ法、感圧塗料	3
固体力学	CAE, Optimum design, CFRP, Damage analysis, Structural analysis, Shell structure	5
設計工学	システム最適化、構造最適化、感性工学、機械学習、Human Machine Interface	7
機械創成	メカトロニクス、圧電アクチュエータ、放電加工	9
マイクロメカトロニクス	光 MEMS、微細加工、センサ、マイクロアクチュエータ	11
材料プロセス	熱処理、表面改質処理、金属表面機能化、焼結、加工プロセス	13
総合研究教育ユニット	非圧縮性流れ、定温度型熱線流速計、LDV、PIV、受動的/能動的流れ制御	15
電子情報分野 ELECTRONICS AND INFORMATION ENGINEERING		
半導体	高効率太陽電池、結晶シリコン、III-V 族化合物多接合、エネルギー	17
電子デバイス	窒化ガリウム(GaN)、化合物半導体、ヘテロ接合、トランジスタ、作製プロセス、高効率	19
レーザ科学	超高速レーザ、量子エレクトロニクス、ファイバレーザ	21
システム光波工学	システムフォトリソ、光ファイバ神経網技術、痛みの分る材料・構造の為の光技術	23
情報記録工学	スピンエレクトロニクス、磁性薄膜、磁気記録、光・熱・磁気材料、磁気イメージング	25
電磁システム	電磁界解析、モータ、インバータ、鉄損、磁性材料、マルチスケール、マルチフィジックス	27
制御システム	制御理論、最適化理論、スマートグリッド、パワーアシストロボット	29
知能数理	人工知能、機械学習、深層学習、テキストマイニング、自然言語処理	31
知能情報メディア	画像認識、マルチメディア処理、機械学習、ヒューマンセンシング・モデリング	33
情報通信	誤り訂正符号、LDPC 符号、PC クラスタ、ベイズ推定、複素ニューラルネットワーク	35
物質工学分野 MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING		
光機能物質	微細構造ファイバ、スーパーコンティニューム、パラメトリック増幅、ファイバレーザ	37
フロンティア材料	フォトリソ材料、デバイスの開発	39
エネルギー材料	熱電材料、熱ダイオード、熱スイッチ、電子輸送現象、電子構造、熱輸送	41
理論物理学	弦理論、場の理論、対称性の自発的破れ	43
数理物理学	相対性理論、ブラックホール物理学、宇宙物理学、非線形物理学	45
量子界面物性	表面・界面、量子構造、局所解析、太陽電池、光触媒、キャリアダイナミクス	47
表面科学	ナノテクノロジー、エネルギー・環境、カーボン、電池、表面科学、装置開発	49
触媒有機化学	精密有機合成、有機金属化学、金属クラスター、担持型触媒、水素化、ヒドロシリル化	51
界面制御プロセス	表面、界面、半導体微小球、パルスレーザ加熱	53
高分子ナノ複合材料	高分子コンポジット足場、細胞培養、がん転移、再生医療、組織工学	55
機能セラミックス	セラミックス材料、化学溶液法、イオン伝導(固体電解質)、電池、結晶配向	57
一般教育分野 MDVISION OF GENERAL EDUCATION		
人文科学分野(哲学)	哲学、対話的思考、人間力、教養教育、リベラル・アーツ、アクティブ・ラーニング	59
外国語分野	手話言語学、日本手話、音素配列論、音節、適格性	61
研究プロジェクト RESEARCH PROJECTS		
豊田工業大学 研究プロジェクト		63
共同利用施設 FACILITIES FOR COLLABORATION		
共同利用クリーンルーム		66

熱エネルギー工学研究室

— 燃焼・ガス化・伝熱および新エネルギーに関する基礎研究 —

キーワード	燃焼、伝熱、エネルギー、環境、安全工学
相談・提供 可能技術	燃焼・爆発全般(実験、数値計算)、固体燃料ガス化、自然発火、爆発/安全対策 噴霧微粒化、接触熱抵抗、エネルギーシステム、バイオマスの燃料化、粗悪燃料

◆研究室スタッフ

教授： 武野 計二

PD研究員： Nasim QADI

学生： 大学院修士課程 4名、 4年生 4名

問合せ先 : takeno@toyota-ti.ac.jp



◆研究の背景と概要(独自性、有用性)

人類の生活に欠かせないエネルギーを、如何に高効率、安全、クリーンに造り出すが最終的な研究目的です。さらに再生可能エネルギーとして注目されるバイオマス(草木)の高効率エネルギー変換を目指しています。

本研究室で注力している燃焼現象は、流体力学、伝熱、熱力学、化学反応、移動速度論、数値計算などを基礎とする複合現象であり、現在問題となっている大陸から飛散するPM2.5(2.5 μ m以下のParticle Matter)の生成メカニズムでさえ研究途上にあります。この複雑な現象を基礎実験、理論、モデル化、数値計算によってアプローチしていきます。

また、燃焼、伝熱、エネルギーは産業界では必須となる領域であり、大きな視点で社会の要求を見据えながら、基礎現象を追求する姿勢で研究を行っています。

◆研究テーマと成果

Open Jet 火炎

- 成果：・水素Jet火炎の特性把握(火炎スケール、着火/保炎機構、衝撃波構造と保炎の関係ほか)
・素反応を考慮した圧縮性数値計算による着火解析
・拡散濃度の変動解析
- 課題：・保炎できない範囲の出現理由
・他燃料(CH₄など)での着火/保炎機構
・数値計算で、Blow-offが計算できるか？(分散火炎における局所的消炎)

熱面の物理的形状の発火現象に及ぼす影響

- 成果：・矩形の表面凹凸に対して、発火点に及ぼす流速、温度、当量比の関係を把握
- 課題：・経験的にも理論的にも、100 μ mオーダの表面粗さの影響はあるはず

固体の燃焼・ガス化過程における反応機構、特に未燃分の形成

- 成果：・1500℃までの石炭、バイオマスの熱分解、ガス化データ取得
・構造パラメータの導入によるガス化機構解析
・タールの素反応シミュレーション、水分子の影響
- 課題：・物理構造変化、炭素構造変化への言及

固体燃料の自然発火メカニズム

- 成果：・天然の炭化水素固体燃料の長時間における発熱、昇温過程のメカニズム
- 課題：・数値計算

高粘度流体の噴霧特性、キャビテーション、及び数値計算

- 成果：・噴霧特性データ取得、キャビテーションの出現条件、粘性の影響
ノズル内数値シミュレーションと実験との比較
- 課題：・VOF法による液滴の分裂、融合

特異的な伝熱現象

- 成果：・球体の接触面における熱抵抗、熱抵抗のヒステリシス特性、真空中での伝熱実験
- 課題：・接触面における気体の存在(対流、酸化)、接触電気抵抗との関係

◆研究室の保有技術と設備

熱分解・ガス化・燃焼試験装置

- ・高温 (MAX1800℃) 加熱・熱分解装置
- ・水平JET火炎の観察装置一式
- ・PIV、シャドウグラフ、高速シリュースン写真による燃焼・ガス化解析装置

分析装置

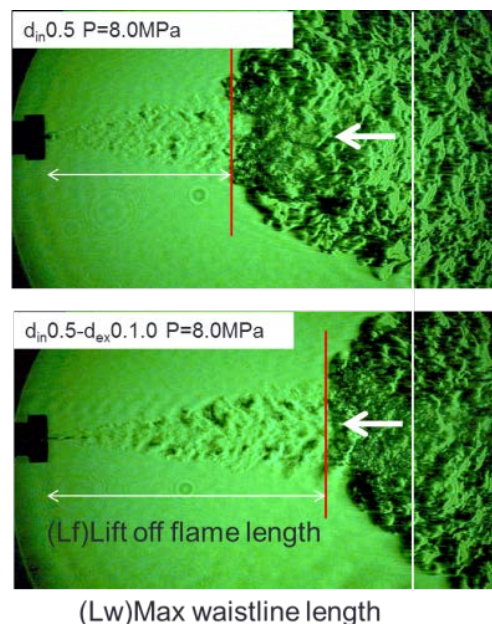
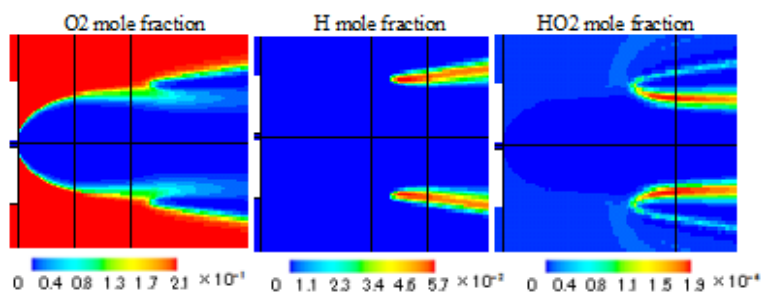
- ・分解ガスの微量成分高速分析装置 (GC-MASS)
- ・イオンクロマトグラフ+アニオンオートサプレッサー： 微量環境成分などの分析
- ・ガスクロマトグラフ
- ・熱分析装置 (DTA)

数値計算機器 (ワークステーション、熱流体解析ソフト)

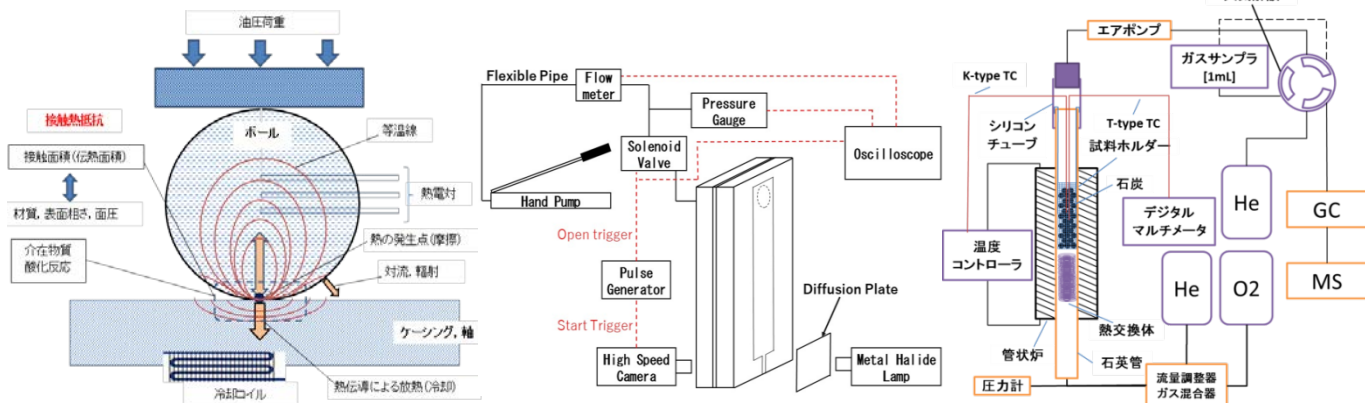
高速度カメラ、赤外線カメラほか映像記録系

◆企業との接点・共同研究のご提案

- ・燃焼、伝熱、エネルギーは産業界では必須となる領域であり、大きな視点で社会の要求を見据えながら、**基礎現象を追求する姿勢**で研究を行っています。
- ・これまでも、以下の分野における**基礎研究**、**実用機器の開発研究** (ボイラ、GT、ロケット、廃棄物ほか) の多くの経験を有します。
 - ・燃料評価、噴霧解析 (キャビテーション)
 - ・熱分解、ガス化、燃焼の基礎現象の取得、数値解析
 - ・安全工学関係 (火災、爆発) 相談、解析
 - ・接触熱抵抗 (平面-平面間、平面-球面間ほか)
- ・また、企業における長年の経験から、**燃焼・伝熱関係の不具合解析や改善**、**爆発・火災などの事故解析と対策**、**大規模災害評価**、**エネルギーシステム評価**についても各種ご相談に応え得るものと考えております。



10MPa水素拡散火炎の火炎基部の観察と数値解析例 (保炎／吹き飛び条件ほか)
(O₂の流れと、HO₂ラジカルの生成によるInitiationに注目)



接触熱抵抗の計測
(転動体を想定)

高粘度液体の噴霧実験
(キャビテーション発生条件等)

バイオマスのガス化実験 (GC-MS等による生成物分析、低温での反応機構)

流体工学研究室

— 光計測技術を用いた高速流れ現象の解明と流体制御法に関する研究 —

キーワード	圧縮性流れ、超音速流れ、流体制御、レーザー誘起蛍光法、分子タグ法、感圧塗料
相談・提供 可能技術	レーザー誘起蛍光法、分子タギング法、感圧塗料

◆研究室スタッフ

教授:半田 太郎 学生:10名

問合せ先 : handa@toyota-ti.ac.jp

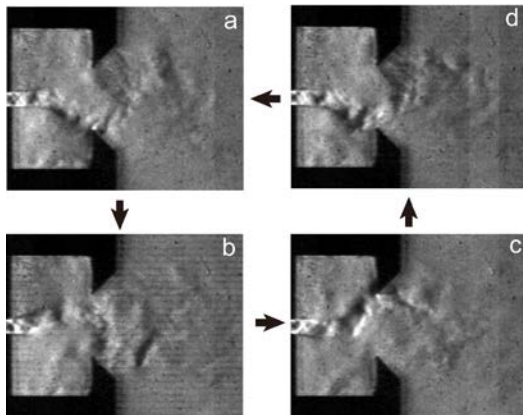
◆研究の背景と概要(独自性、有用性)

流速が音速を超える“超音速流れ”は高速で飛行する航空機・ロケットの機体周りやエンジン内部だけでなく、MEMSデバイス、ターボ機械、溶射など様々な工学機器で現れます。本研究室では流速が音速を超えるまたは音速に近い高速流れ（圧縮性流れ）を能動的に制御するための手法の開発を行っております。また、高速流れの現象をレーザーや分子センサーを用いた光計測技術により解明する研究を行っております。

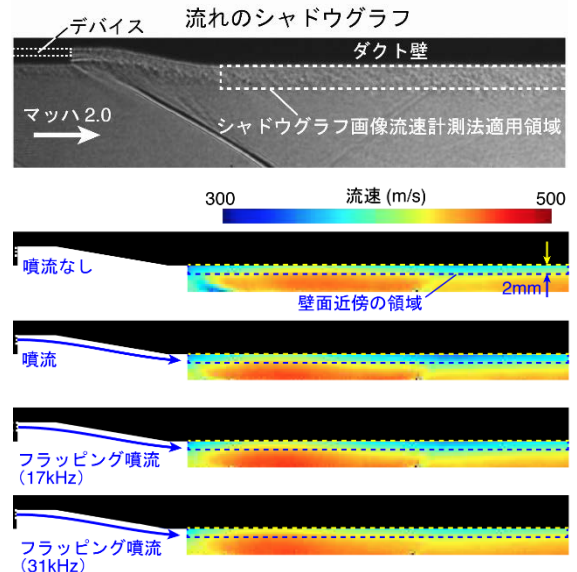
◆研究テーマ

1. 高周波数付加デバイスを用いた高速流れ制御

流れを能動制御する場合、流れに運動量を与えるデバイスが必要となります。流れに運動量を効果的に付加すると、流体機器の性能を劇的に改善できる場合があります。様々な流体制御用運動量付加デバイスがありますが、これまでのデバイスでは音速近傍や超音速の高速流れを制御するには動作周波数が低く、付加できる運動量が小さいので、効果的な制御が実現できていないのが現状です。本研究室では、数十kHzで鳥の翼が羽ばたくような運動をする噴流が発生するデバイスの開発に成功し、このデバイスを用いた高速流れの制御法の確立を目的とした研究を行っております。



高周波（数十kHz）フラッピング噴流発生デバイス

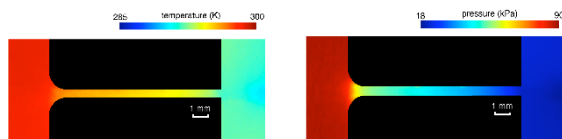


高周波フラッピング噴流発生デバイスを用いた超音速流れ制御

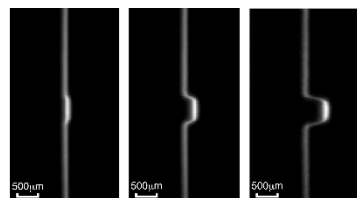
◆研究テーマ(つづき)

2. マイクロ圧縮性流れの現象および熱伝達特性の解明

音速を超える高速のマイクロ気体流れは、マイクロ推進装置、MEMSデバイス燃焼室の燃料混合促進、MEMS構成要素や大型計算機のCPUの冷却などへの応用が考えられており、流れの特性を明らかにすることが急務となっています。高速マイクロ流れでは粘性の効果や希薄気体効果が強くなり、大きなスケールの流れでは生じない現象が存在します。しかしながら、精緻な実験データがないのが現状です。上記の工学的応用を考えてマイクロダクト（ノズル）を設計するためにはマイクロ流れ特有の現象を明らかにし、高性能な流れを実現するための知見を得る必要があります。本研究室では高速の圧縮性マイクロ流れを非接触かつ高空間分解能で計測できる分子センサー、レーザー誘起蛍光法、分子タギング法を用いて明らかにすることを目的として研究を実施しております。



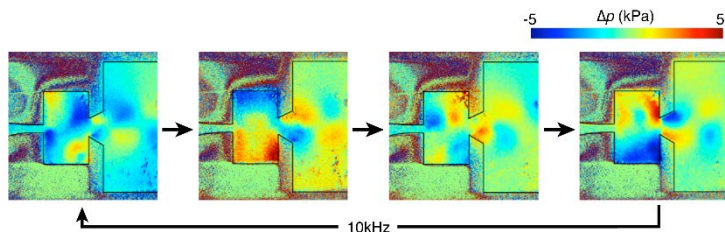
分子センサーを用いた温度・圧力計測



分子タギング法による圧縮性マイクロ流れ速度計測

3. 感圧塗料の高周波非定常流れへの適用技術の確立

物体表面上の静圧分布を測定する手段の一つに感圧塗料があります。ある種の塗料に特定の波長の光を照射すると、塗料を構成する分子は励起状態に遷移し、その後失活するときにある定まった波長の光（ルミネッセンス）を放射します。光の強度は圧力の関数となります。そこで、この塗料を気流中に置かれた物体の表面に塗布し、外部から励起光を照射して塗料から放射される発光の強度分布をCCDカメラなどで撮像し画像処理することで物体表面の圧力分布を測定できます。この方法では、従来の静圧孔による測定と比較して、高い空間分解能で圧力が測定できます。感圧塗料は時間平均的な圧力を測定する上ではすでに実用段階にありますが、流れの非定常圧力計測においては時間応答性などの問題があります。そこで、本研究室では感圧塗料を高周波非定常流れに適用するための研究を実施しております。



感圧塗料を用いた10kHz圧力変動場の計測

◆研究室の保有技術と設備

- レーザー誘起蛍光法、分子タグ法用光源:Nd:YAGレーザー(波長266nm, 定格出力90mJ)
- 高速ゲート付きICCDカメラ
- 感圧塗料励起用LED光源(波長385nm, 出力90W)
- シュリーレン光学系一式
- 無隔膜式ショックチューブ

◆企業との接点・共同研究のご提案

本研究室では粒子追従性の問題でPIV(粒子画像流速測定法)では計測できないような流れの速度を計測できる分子タグ法の計測技術を保有しております。また、気流中にある物体表面の圧力を高空間分解能で計測できる感圧塗料の技術を保有しております。

固体力学研究室

— 比強度・比剛性の”矛盾”を計算力学により克服する —

キーワード	CAE, Optimum design, CFRP, Damage analysis, Structural analysis, Shell structure
相談・提供 可能技術	各種の構造体を対象としたCAE解析、最適設計技術、複合材の損傷シミュレーション

◆研究室スタッフ

教授: 下田 昌利 准教授: 椎原 良典

PD研究員: Wissam Bouajila

学生: 16名 (B4: 7名, M1: 5名, M2: 4名)

問合せ先 : shimoda@toyota-ti.ac.jp, shiihara@toyota-ti.ac.jp

◆研究の背景と概要(独自性、有用性)

軽いものは弱く、重いものは強い。 ”軽いこと”と”強(剛)いこと”という一見相反する特性を両立させてこそ競争力に優れた製品を生み出すことができる。私たちは、多彩な材料シミュレーションを駆使した構造最適化や強度評価を通じてこの“矛盾”を克服し、高付加価値な機械材料/構造設計を支援するための方法論の確立とその実設計への応用を目指しています。併せて、その基礎となる構造解析や、ナノからマクロまでの様々な材料シミュレーション技術、数理デザイン、感性や人体負荷を考慮した設計の研究も行っています。提案する方法論や手法は何れもこれまでにない新規性、実用性を有したものです。

◆研究テーマと成果

- 3次元ソリッド体の形状最適化手法の開発に関する研究
 - ・ 鋳物、鍛造部品のノンパラメトリックな実用形状最適化手法とシステムの開発
 - ・ 異種材料構造(クラッド材、複合材料、超弾性材料)の接合界面の形状設計手法の開発
 - ・ 地震荷重(繰返し弾塑性問題)に対するエネルギー吸収デバイスの開発
 - ・ 異種材料からなる周期性マイクロ構造を利用したマルチスケール構造設計手法の開発
- 板・シェル・膜構造の形状最適化理論とその構造設計への応用に関する研究
 - ・ フリーフォーム形状最適化理論の開発とその実構造への応用(剛性, 強度, 振動, 座屈問題)
 - ・ 音場—構造連成系(閉・開空間), 熱伝導—弾性系問題 等のマルチフィジクス問題の解法
 - ・ 衝突荷重に対するエネルギー吸収デバイスの開発
 - ・ スリット, リブ, 溶接等の応力不連続境界の形状設計法に関する研究
 - ・ 複合材料, 異種材料からなるシェルの形状&トポロジー&板厚&配向角のハイブリッド設計(マルチマテリアル, マルチスケール構造)
 - ・ 膜・ケーブル構造(張力構造)の最適形状設計に関する研究
- 骨組構造のノンパラメトリック構造最適設計に関する研究
 - ・ 自由曲線骨格構造の最適形状設計手法の開発(剛性, 強度, 振動, 座屈問題, 変位制御)
 - ・ 周期性マイクロフレーム構造を用いたマルチスケール形状最適化の研究
 - ・ ナノ構造(グラフェンシート)の連続体モデリングと形状最適設計法に関する研究
- 大規模破壊シミュレーションを実現する粒子ベース連続体解析手法(ペリダイナミクス)の開発
- ナノスケールにおける力学状態解明のための原子レベル応力計算手法の開発
- スマートビークルの軽量設計に関する研究
- 生物系, 感性系を考慮した設計手法に関する研究
 - ・ 人体への負荷や感性, デザイン性を考慮した人工物の構造設計に関する研究
 - ・ 摩擦や触感を考慮した表面テクスチャリングに関する研究

◆研究室の保有技術と設備

<保有技術>

- ・FEMによる構造解析&構造設計(強度, 剛性, 振動等)(陽解法, 陰解法) ・3Dモデリング
- ・ペリダイナミクスによる材料損傷解析技術 ・第一原理計算等のナノシミュレーション技術
- ・構造最適化手法(パラメトリック&ノンパラメトリック)

対象: 3Dソリッド体, 板・シェル構造, 骨組み, 膜構造

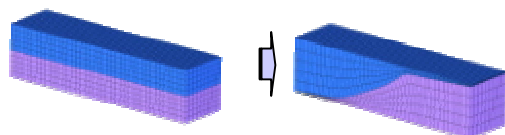
<保有設備>

- ・汎用構造解析ソフトウェア(線形, 非線形, マルチフィジクス) & ワークステーション, 人体FEMモデルTHUMS
- ・卓上材料試験機(10kN, 250kN) ・真空成形機 ・卓上工作機
- ・3次元スキャナー & 接触式小型3次元測定器
- ・積層造形機(3Dプリンター), 3次元プロッター
- ・モーダル解析装置
- ・非接触ひずみ, 運動測定装置ARAMIS, PONTOS(画像処理による), 高速度カメラ
- ・デジタルマイクロスコープ, ハイスピードマイクロスコープ, ワンショット3Dマクロスコープ
- ・3方向反力計測装置トライボギア
- ・筋電位計測装置
- ・圧力分布測定装置

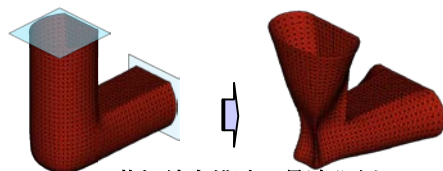
その他, スーパーコンピュータ(他大学所有)上の超並列計算環境が利用可能.

◆企業との接点・共同研究のご提案

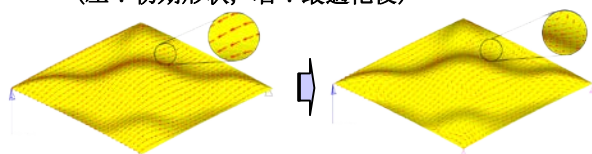
構造・形状最適化や, 材料損傷評価のための理論の構築からアルゴリズム, プログラムの開発を行い, 数値実験や(模型)実験を通して検証するのが研究スタイルになっています. そのため, 材料力学や固体力学, 構造力学, 有限要素法, 最適化理論, 構造解析(CAE), 数値計算, プログラミングが基本技術となります. いずれも企業の研究・開発, 設計の現場で要求される知識・技術です. 基礎研究に留まらず, その自動車構造等への工業的応用までを意識しながら幅広く研究を行っています. 前述のテーマに関連した内容に限らず, 固体力学分野のテーマであれば一緒に研究を進めることができると思いますので, ご相談下さい. 学生も共同研究に加わり, 先端の研究を理解し, 問題意識を持って主体的に取り組む姿勢と問題解決できる実力を研究活動を通して養わせています. 以下は最適設計および材料損傷評価に関する研究成果の一例です.



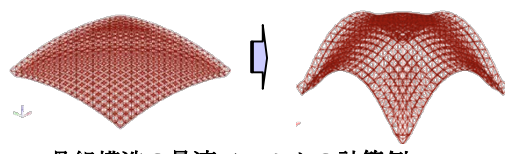
曲げ荷重下の複合ソリッド体の最適界面形状
(左: 初期形状, 右: 最適化後)



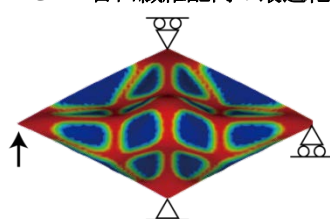
薄板結合構造の最適化例



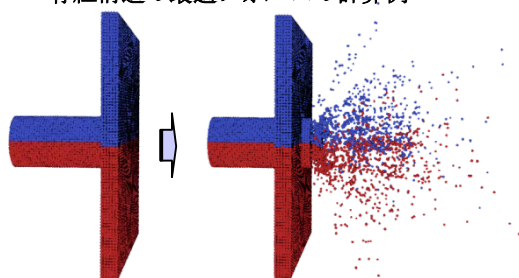
CFRP自由繊維配向の最適化例



骨組構造の最適フォルムの計算例



シェルの形状とトポロジーの同時最適化例



ペリダイナミクスによる円筒の貫通シミュレーション

設計工学研究室

— 未来製品を創造するコンピュータ援用設計の研究 —

キーワード	システム最適化, 構造最適化, 感性工学, 機械学習, Human Machine Interface
相談・提供 可能技術	システム最適化, 構造最適化, 機械学習, ユーザーの感性に基づく意匠設計, 力覚提示装置を用いた操縦インターフェース

◆研究室スタッフ

准教授: 小林 正和

学生: 7名

問合せ先 : kobayashi@toyota-ti.ac.jp

◆研究の背景と概要(独自性、有用性)

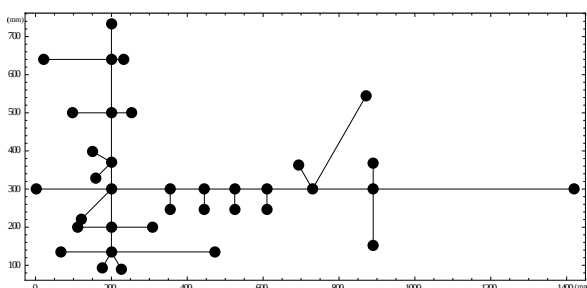
製造業においては、製品開発の期間短縮、高品質化、効率化のためにCADシステムが不可欠のツールとして利用されている。しかしながら、我が国産業界の抱える国際競争力の強化、環境問題や少子高齢化問題に対処するため、高機能製品や自律知能機械などの開発を行うには、新しい枠組みのCADシステムが必要である。そこで、本研究室では、設計者の知的能力を高めることができるよう、計算機を用いた設計支援や設計最適化、構造最適化とその応用、感性工学に基づく意匠設計、創造性支援などの、機械工学と情報科学技術を融合した新しい設計システムを研究している。

近年は、機械学習、特に、深層学習を用いた新しい設計システムの検討を行っている。深層学習は様々な分野で応用され、多くの成果を上げているが、設計工学の分野ではまだ十分に使われていない。深層学習のデータの含まれる特徴を自動的に学習する能力を利用することで、設計者と計算機の知的能力を融合した、新しい設計システムが期待できる。

◆研究テーマと成果

1. 計算機を用いた設計支援・設計最適化

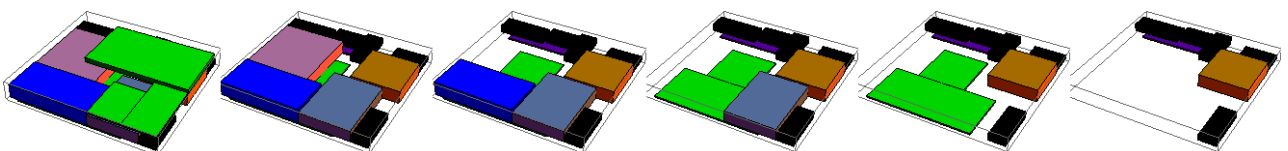
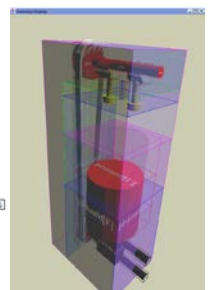
- ・製品の機能要件と空間制約に基づく概念設計法(概念設計CAD)
- ・製品のライフサイクルを考慮したモジュラー構成最適化
- ・リユース・リサイクル率向上のための部品レイアウト・分解順序最適化
- ・ワイヤーハーネスの作業板上の治具レイアウトと作業手順の最適化



ワイヤーハーネスの作業板上の治具レイアウト最適化
(作業板上の最適レイアウト)

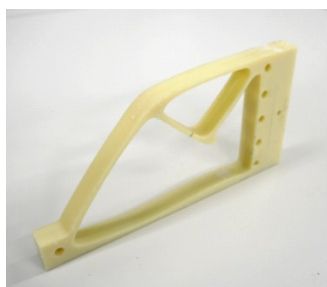


概念設計CAD(プロトタイプ)



リユース・リサイクル率向上のための部品レイアウト・分解順序最適化(最適レイアウトとその分解順序)

2. コンプライアントメカニズムの最適設計法と応用
 - ・ トポロジー最適化と形状最適化に基づく2段階最適設計法
 - ・ 自動車・車椅子のサスペンションへの適用
 - ・ 熱駆動型マイクロバルブへの適用

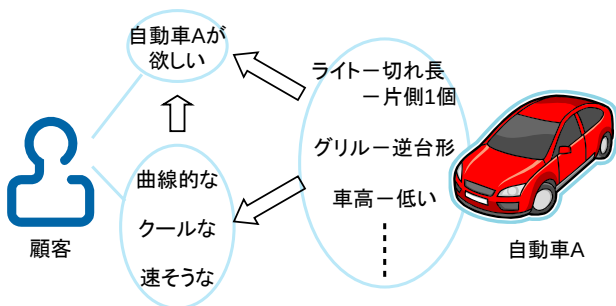


3. 座屈を考慮した薄板構造物の構造最適化
 - ・ 深層学習を用いた座屈特性の評価
 - ・ Grid stiffened structureへの適用

4. 機械学習を用いた翼の内部構造の寸法最適化

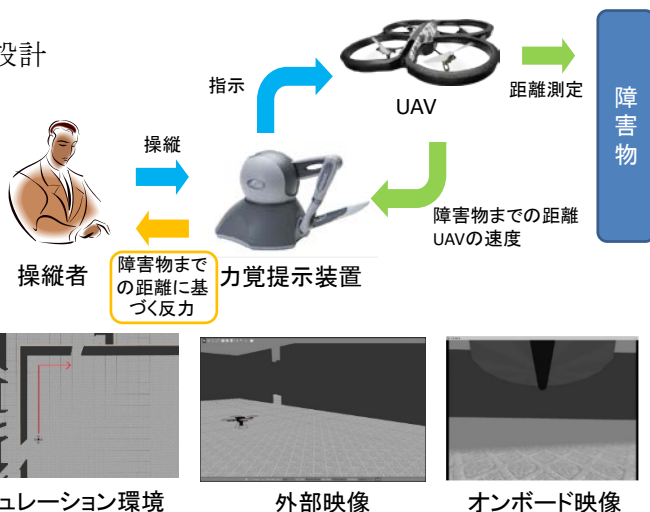
5. 顧客の感性に基づく意匠設計支援
 - ・ ANN(人工ニューラルネットワーク)とGA(遺伝的アルゴリズム)を用いた最適意匠設計
 - ・ 顧客の購買履歴と選好情報に基づく意匠設計, 製品推薦
 - ・ GAN(敵対的生成ネットワーク)を用いた意匠創成
 - ・ 感性のばらつきを低減するためのロバスト最適意匠設計

6. 難環境作業ロボットシステムの開発
 - ・ 力覚提示装置を用いたUAV操縦インターフェース



ユーザーの感性に基づく意匠設計支援
(提案手法が明らかにする顧客の「欲しさ」と「製品から受けるイメージ」および「製品の意匠特徴」の対応関係の同定)

コンプライアントサスペンションの試作例
(左: 自動車用の小型モデル, 右: 車いす用の組み込み例)



力覚提示装置を用いたUAV操縦インターフェース
(障害物までの距離に基づく反力を操縦者にフィードバックすることで, 障害物周辺でのUAVの操作を容易にする)

◆研究室の保有技術と設備

保有技術:

- 各種メタヒューリスティクス手法
- 各種有限要素解析(構造, 振動, 熱, 音響)
- 各種構造最適化(寸法最適化, 形状最適化, トポロジー最適化)
- 各種機械学習

◆企業との接点・共同研究のご提案

1. システム最適化
当研究室が保有する各種最適化技術を基に, 機械システムや情報システム, 生産システムなどの各種システムを対象とした最適設計システムの検討を行います。
2. 構造最適化
コンプライアントメカニズムの御社の機械部品へ適用可能性の検討を行います。
3. 顧客の感性に基づく意匠設計
 - (i) 具体的な製品を対象とした実用的な意匠設計法の検討を行います。
 - (ii) 具体的な製品を対象に, 深層学習を含む各種機械学習を用いた意匠設計法の実現可能性の検討を行います

機械創成研究室

— 機械を作るための機械や加工法を創る —

キーワード	メカトロニクス、圧電アクチュエータ、放電加工
相談・提供 可能技術	圧電アクチュエータの応用、精密位置決め機構、放電加工

◆研究室スタッフ

教授: 古谷 克司

問合せ先 : furutani@toyota-ti.ac.jp

◆研究の背景と概要(独自性、有用性)

科学技術を発展させ、ものづくり産業へ適用するためには、それを支える新しい機械装置およびそれを作るための加工法の開発が欠かせません。これらの技術は独立しているのではなく、互いの発展により、さらなる発展がもたらされます。

本研究室では、高度メカトロニクスと物理・化学現象とを有機的に複合させることにより、多くの工業製品を高精度に生産するための装置や技術を開発しています。

1. 超精密位置決め機構

ナノメートル(10^{-9}m)オーダの精度を目指して、先端メカトロニクスを基礎から応用にわたり研究しています。その一つとして圧電アクチュエータを用いて、通常サイズの機械とマイクロマシンの隙間を埋めるサイズの機構を開発しています。

2. 超精密加工のための基盤技術

高精度に工業製品を製作するための基盤技術として、放電加工などの特殊加工法の研究とあわせて、加工装置やインプロセス測定法などの周辺技術も含め、統合的な加工システムに関しても研究を行っています。

3. 月・惑星探査機器の要素技術

月・惑星などを対象とした科学探査のために、真空中で動作するメカトロニクス機器、加工技術の開発を行っています。

◆研究テーマと成果

1. アザラシ型精密位置決め機構

圧電アクチュエータを利用して平面内でマイクロメータオーダでステップ状に移動する機構を開発しました。さらに高精度な機構も製作し、ナノメータオーダの位置決め精度を達成しました。マイクロマニピュレーションシステムにも適用しています。

2. 電流パルスを用いた圧電アクチュエータの変位制御法

本方法を用いると、圧電アクチュエータのヒステリシスが大幅に改善されます。ナノメータオーダの分解能で、ステッピングモータと同様のオープンループ制御ができます。

3. 細穴加工用小型放電加工ユニット

アザラシ型精密位置決め機構を電極送り機構に適用し、小型なユニットを試作しました。多数の穴を加工することが必要とされる小型部品に、細穴を同時に加工する加工システムを構成できます。

4. 月・惑星環境で使用するための岩石試料の加工装置

ワイヤソー切断装置および振動加工による表面平滑化装置を試作し、真空環境下で基本的な加工特性を調べています。特殊環境で作業する機械のための要素技術やそれを製作する技術も開発しています。

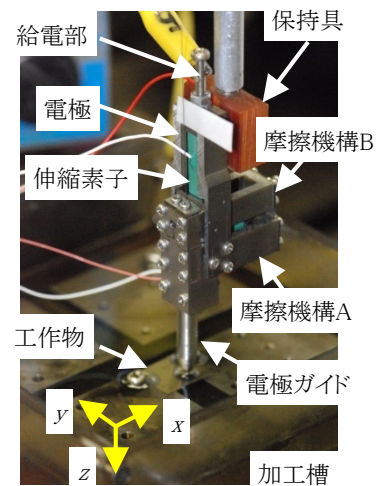
◆研究室の保有技術と設備

技術

- ・圧電アクチュエータの応用
- ・精密機構の設計, 評価
- ・放電加工による精密加工法

設備

- ・測定機器:
 - 機械量: 光学式非接触変位振動計, 高速度カメラ, レーザドップラー振動計, 超高精度レーザ変位計, 静電容量式変位計
 - 電気量: ロックインアンプ, インピーダンスアナライザ, 多チャンネルデジタルオシロスコープ, 電流プローブ
 - その他: 走査型電子顕微鏡, ビデオマイクロスコープ
- ・実験用機器: 宇宙環境試験装置, 高速電力増幅器, 差動アンプ
- ・工作機械: 形彫放電加工機, ワイヤ放電加工機



アザラシ型機構による
電極送り機構

◆企業との接点・共同研究のご提案

*圧電アクチュエータ

- ・圧電アクチュエータの駆動法
- ・圧電アクチュエータ応用機器
- ・圧電素子を用いた送り機構の評価

*精密機構

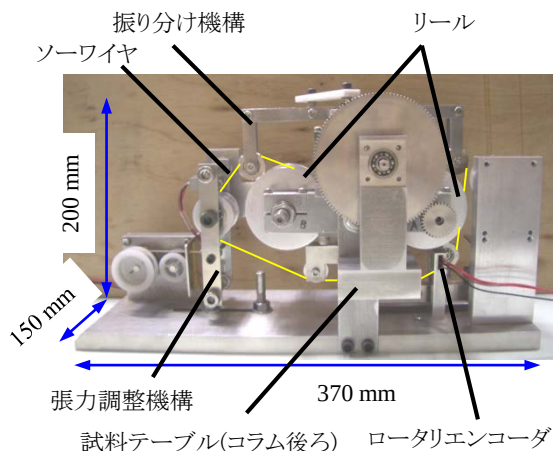
- ・小型移動機構, 小型直動機構
- ・パラレルリンクマニピュレータ
- ・変位や力の精密測定

*加工装置

- ・細穴加工用小型電極送り機構
- ・生産プロセスへの振動の応用
- ・開発製品の自動評価装置

*加工法

- ・放電加工を用いた表面処理法
- ・微細穴加工法
- ・ワイヤ放電加工法
- ・特殊材料の加工法
- ・加工のモニタリング法



月・惑星科学探査のための超高真空対応
ワイヤソー切断装置プロトタイプ

マイクロメカトロニクス研究室

— 安全やエネルギー効率を高める 機能性構造の加工とセンサデバイスの研究 —

キーワード	光MEMS、微細加工、センサ、マイクロアクチュエータ
相談・提供 可能技術	立体サンプル(機械や光学部品)へのフォトリソグラフィ加工、形状評価、マイクロミラーなどの振動計測、波長選択赤外光源、マイクロプラズマ、ウェアラブル呼吸センサ

◆研究室スタッフ

教授:佐々木 実

PD研究員:韓 剛

研究補助者:若干名

学生:10名

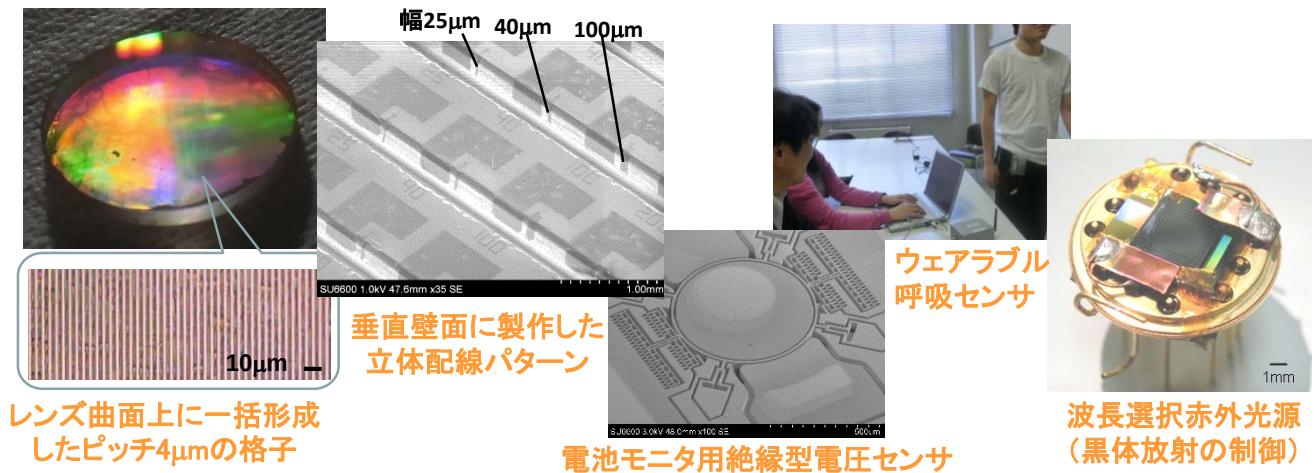
<http://www.toyota-ti.ac.jp/mems/index.htm>



問合せ先: Tel : 052-809-1840, e-mail : mnr-sasaki@toyota-ti.ac.jp

◆研究の背景と概要(独自性、有用性)

微細加工技術を駆使して、機能性構造やデバイスを創ります。ロボットなど、人と機械が肉薄する未来を見据えて、安全やエネルギー効率を高めることにデバイス面から取り組みます。機械部品を含む①立体サンプルへのフォトリソグラフィ加工、②MEMSセンサ・アクチュエータ、③マイクロプラズマなどに取り組みます。特に①はオリジナルであり、様々な機械部品に機能性表面を、一括で製作できる技術です。



◆研究テーマと成果

- 1. 立体サンプルへのフォトリソグラフィ加工:** これまでスプレー成膜技術を用いて100個直列のマイクロ太陽電池などを実現してきた。最近、標準のスピンコータやアライナが利用できる、新しい方法を見出した。水溶性ポリマー層を含むシートにフォトリソグリスをスピンコートする方法である。シートは平面として扱えるため、レジストの均一な成膜、マスクとの密着露光が可能で、微細パターンの転写に適する。レンズ曲面への微細パターンや、光通信用フォトダイオード実装用の立体配線パターンを製作した。
- 2. MEMSセンサ・アクチュエータ:** 振動型マイクロデバイス(絶縁型電圧センサ、ねじり振動子型赤外線センサなど)を製作した。環境やバイオ計測に有効な、赤外線ガスセンサで求められる波長選択赤外光源に取り組み、熱式の赤外光源ながら表面プラズモンとマイクロヒータの組み合わせにより、特定波長の赤外線強度が、通常の黒体放射の2倍に増加した。ウェアラブル呼吸センサでは無拘束に適した静電容量計測を発展させた。布電極を衣服内側に固定するシンプルな構成で呼吸が測定できる。
- 3. マイクロプラズマ:** 誘導結合型大気圧プラズマ源の小型化と省電力化を実現した。安価な車載無線用電源を利用して、高密度な大気圧プラズマが得られる。これを応用した真空紫外光源や、エッチング高速加工、バイオサンプル処理などを手がけている。

◆研究室の保有技術と設備

シリコン材料の微細加工と評価が一通りできます。ナノテクノロジープラットフォーム事業も参照下さい。赤外線を利用するセンサデバイス、大気圧マイクロプラズマ(紫外光源や表面処理応用)、電力管理用センサ、医療応用ウェアラブル呼吸センサなどに関した設備を保有しています。



高密度プラズマエッチング装置



低圧熱CVD装置



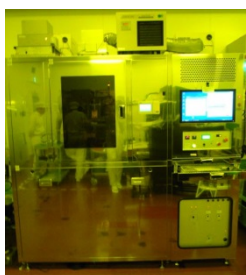
触診段差計



動的計測対応の白色干渉計



レジストの
スプレー成膜装置
など立体加工用装置



マスクレス
露光装置



光干渉膜厚計



アッシング装置



半導体パラメータ
評価装置



真空プローバなど
各種自作装置
いろいろ

◆企業との接点・共同研究のご提案

微細加工や計測評価は、ご相談下さい。機械部品も含めた立体サンプルの微細加工についてノウハウがあります。研究員として来て頂ければ、試作に協力することも可能です。

微細加工とは直接関係ない、次のテーマも手掛けています。①誘導結合型大気圧プラズマは、小型で低価格な車載無線用電源を利用して動作するものを実現しました。真空紫外光源向けに、放電ガスを封止するまでに至っています。②ウェアラブル呼吸センサは、市販の導電性布電極を衣服に縫い付けて製作し、有効性を検証しています。無線化も含めて手のひらサイズの計測回路を自作しました。

以下の特許を取得しています。「凹凸表面貼付用フィルムを用いた表面凹凸被処理物への微細パターン転写方法」特許第6742711号、「電圧センサ」特許第6370832、「呼吸を計測する方法」特許第6639787号、「浮遊電極がシールドされた誘導結合型マイクロプラズマ源」特許第6341690号、「呼吸センサ」特許第6084361、「赤外光源」特許第5877602号、「誘導結合型マイクロプラズマ源及びこれを利用した装置」特許第5758086号、「立体形状を持つサンプルへの露光方法及び装置」特許第5649841号、「ねじり振動を利用した赤外線の検出方法とこれを実施したねじり振動を利用した赤外線の検出装置」特許第5523727号、「段差パターンの塗布方法」特許第5231072号、「マイクロミラーデバイスとその製造方法、マイクロミラーデバイスの角度計測方法、およびマイクロミラーデバイスの応用装置」特許第4749790号、「トーションバーを用いた静電駆動型マイクロミラーデバイス」特許第4446038号、「立体構造を持った微小光学系の製造方法とこれを実施した微小光学システム」特許第4112888号、「光ファイバにグレーティングを形成する方法とこれを実施した減衰量可変光ファイバグレーティングフィルタ」特許第4375921号、「透明な半導体受光素子およびその製造方法」特許第4131998号。

材料プロセス研究室

— 過酷な使用環境に耐え得る機械部品を創り出す独創的な加工プロセスの開発 —

キーワード	熱処理、表面改質処理、金属表面機能化、焼結、加工プロセス
相談・提供 可能技術	金属表面硬化熱処理、めっき、焼結（粉末冶金）、微粒子ピーニング

◆研究室スタッフ

教授：奥宮 正洋 助教：南部 紘一郎

研究補助者：日比野 義博

学生：13名（学部6名，修士7名）

問合せ先：okumiya@toyota-ti.ac.jp(奥宮)，knambu@toyota-ti.ac.jp(南部)

◆研究の背景と概要(独自性、有用性)

構造材料の物理的，化学的，機械的性質など構成相の固有機能をできる限り発現させる独自のプロセス開発を研究方針としており，材料および表面の構造制御，複合化，異相界面制御などによる材料機能の有用性向上や創成を研究対象としている。

◆研究テーマと成果

1. 活性化バレル窒化：

揺動するバレル中の Al_2O_3 ／Al-Mg混合粉末によりAl基材表面を活性化して窒化を行なうバレル窒化法は，5時間で $200\mu\text{m}$ のAlN層を形成可能である．さらなる窒化の促進とバレル槽内に投入する Al_2O_3 の粒径を管理することによる処理後の表面粗度の改善を検討している．本方法はAl粉末の窒化にも適用でき，生成されたAlN粉末を樹脂と混合し，射出成形によりヒートシンクの作製に成功している．

2. 放電プラズマ焼結による被覆層の形成：

金属-セラミックスの焼結や金属の固相接合が可能な放電プラズマ焼結を用い，金属の仕上加工や超硬材料の加工に用いられる単層メタルボンド砥石の創成に成功をしている．従来数時間をかけて電着により形成されていた単層メタルボンド砥石を，数分間で作製することに成功している．

3. 天然ガスを有効利用したガス浸炭：

キャリアガスの窒素に天然ガスを添加して直接炉内に導入し，ガス浸炭を行う際のプロセスパラメータが，炉内におけるガス反応と浸炭量に及ぼす影響について調査した．天然ガスの分解によって発生する水素量にて，鋼への浸炭量の制御が可能とし，湿潤窒素にて煤の発生を抑制した．

4. 微粒子ピーニング処理による高機能化：

微粒子ピーニング処理による金属材料の高機能化について検討を行っている．鉄鋼材料，非鉄材料を問わず疲労強度の向上や，新しい表面機能付与に関する検討を行い，これまでに微粒子ピーニング処理ではショットピーニング処理よりも高い疲労強度向上効果があることを明らかにしている．これに加え，投射材を選択することにより耐食性の向上や潤滑性の向上を得られることを明らかにしている．

5. 液中高周波浸炭：

メタノール中での高周波浸炭焼入れによる鋼の高機能化について検討し，処理時間，処理温度が炭素濃度プロファイルおよび硬さプロファイルに及ぼす影響を検討している．また，浸入炭素濃度の制御および，炭素と同時に窒素も浸入させる方法について検討を行っている．

◆研究室の保有技術と設備

本研究室で有している技術の主なものは以下の通りです

- ・表面活性化熱処理法
- ・CO₂排出量を低減させた表面硬化熱処理
- ・自己潤滑性を有する皮膜の形成
- ・雰囲気制御した表面硬化熱処理
- ・自動車用ベアリングの摺動特性向上
- ・微粒子ピーニングを利用した金属材料の高機能化

当研究室は、めっきや陽極酸化などの表面改質、浸炭・窒化などの熱処理、焼結について研究を行っています。それぞれの分野における課題を、当研究室独自のアイデアと超音波の有効利用、ナノバブルの適用、プラズマの利用など、さまざまな手法で解決をしてきています。

例えば鋼の表面硬化熱処理について、湿潤窒素を炭化水素と混合して炉内に直接導入することで、煤の発生を抑制しつつ、変成炉を用いないで省エネルギーで浸炭を行うプロセスについての技術を有しています。また、地球環境への負荷低減のために、二酸化炭素の排出量を劇的に減少させた浸炭焼入れプロセス(N-クエンチ)に関する技術を有しています。本方法で浸炭焼入れした試料は低ひずみで耐摩耗性を有しており、自動車部品等の表面硬化熱処理法として適用可能です。

Al合金に対しては、バレルと活性化粉末を用いることによって表面窒化を行う技術を有しています。これについては2016年度までサポインにてAl粉末への窒化の研究を行い、高熱伝導AlN粉末を安価に作成することに成功しています。

また、微粒子ピーニング処理については鉄鋼および非鉄金属の機械的特性におよぼす影響に関する知見を有していることと、有限要素解析および実験の両面から目的に応じた最適な処理条件の提案を行うことが可能です。

当研究室の教員は、鑄造工学会、熱処理技術協会、表面技術協会、金属学会および材料学会等で成果を発表したり、それらの学会において、学術研究委員会、国際交流委員会などの委員としての活動を行っており、これらの分野において様々な情報を有しています。

<保有設備>

- ・卓上型ランプ炉(ULVAC MILA3000,5000) 5台
- ・スパッタリング装置(ULVAC 特注)
- ・デジタルファインスコープ(オムロン)
- ・自動研磨機(丸本ストルアス)
- ・鋼中炭素・窒素濃度分析装置(HORIBA)
- ・CO₂ガス分析計, アンモニアガス分析計(HORIBA)
- ・マイクロガスクロマトグラフィー(BARIAN CP4900)
- ・高周波発信器(高周波熱錬)
- ・ベアリンググリース評価試験機(内製)
- ・XRD(RIGAKU)
- ・摩擦摩耗試験機(オリエンテック他)
- ・ウェットブラスト装置(マコー)
- ・4連式回転曲げ疲労試験装置
- ・放電プラズマ活性化焼結装置(UPS-515S)
- ・ダイナミック超微小硬さ計(島津製作所)
- ・引張り圧縮試験機(A&D)
- ・各種硬さ計「ロックウェル他(島津, ミツトヨ他)」
- ・真空・活性ガス雰囲気熱処理炉(特注)
- ・赤外線CO・CO₂・CH₄分析計(新栄熱計装)
- ・ガス浸炭窒化炉(パーカー熱処理工業)
- ・ナノバブル発生装置(アスプ)
- ・EBSD(オックスフォード)
- ・EPMA(日本電子)
- ・薄板曲げ疲労試験機(ハーディック)
- ・微粒子ブラスト装置(不二製作所)

◆企業との接点・共同研究のご提案

これまでもガス会社、電気会社、自動車メーカー、自動車部品メーカー、熱処理関連企業などの様々な会社と共同研究を行い、特許申請、学会での発表等を行ってきています。上記に関するテーマが有りましたら、遠慮なくご相談いただいて、共同研究をさせていただきたいと考えています。また、様々な評価装置も所有していますので、これらを使った評価についても、共同で行えることが有りましたら、ぜひ声をかけください。

総合研究教育ユニット(機械システム分野)

— 複雑流れの現象解明と、目的に沿った流れ制御法の開発 —

キーワード	非圧縮性流れ、定温度型熱線流速計、LDV、PIV、受動的/能動的流れ制御
相談・提供 可能技術	定温度型熱線流速計、LDV、PIVを用いた、周期性を含む流れの位相平均測定

◆研究室スタッフ

助教: 瓜田 明

問合せ先 : urita@toyota-ti.ac.jp

◆研究の背景と概要(独自性、有用性)

航空機、高速鉄道車輛や高層建築物等の物体周りの流れや、管路、エンジン等の内部の流れを詳しく理解することは、これらの設計、性能改善や安全性、経済性の向上の面から重要です。本研究室では、これらに関連した多様で複雑な流れ現象を解明し、その流れを目的に応じて制御する方法を、各種の風洞実験やコンピュータによる数値解析などの手法を用いて現象論と理論解析の両面から研究しています。

●流体工学的流れの研究

流体工学上、重要な問題、例えば、種々の翼流れの理論解析および実験研究、各種の二次元・三次元鈍頭物体周りの非定常流れの定量化などを逐次取り上げ、研究を進めています。

●流れの計測・処理法に関する研究

複雑な三次元非定常流れ場を高速に高精度で計測するため、各種センサ、実時間信号処理のハード/ソフトウェア群を開発し、整備・統合化を行っています。

●流れの制御に関する研究

航空機の翼や、多くの流体機械は、流れのはく離・再付着やカルマンの渦列に代表されるような周期的な変動流の発生などにより性能が大きく変化します。本研究室では、これらの流れに対して、様々な手法を用いた受動的/能動的流れ制御の研究を行っています。

◆研究テーマと成果

1. 空気力により変形・振動する弾性翼の空力性能および翼周り流れ構造の解明

近年、各種センサを搭載したドローンと呼ばれる無人小型航空機が、人が容易に近づけない災害現場などの状況確認に用いられ、火星大気中を探索する航空機機として検討されています。このような小型航空機は、軽量化を目的として炭素繊維強化樹脂などの非金属材料が使用されることが多いですが、このような非金属材料は剛性が低く、その変形や振動によって空気力の大きさや方向が変化します。従来から柔軟な物体まわりの流れは、様々な物体形状、例えば角柱などの鈍頭物体や、デルタ翼、二次元翼などの航空機翼について調べられてきましたが、これらの研究は物体が流体力により変形した結果、空力特性や後流流れ場に及ぼす影響に着目しており、より直接的な影響を持つ翼自体の振動と空力特性の関係に着目した研究例はほとんど見られませんでした。そこで、翼の柔軟性によって生じる変形・振動と空力特性との関係を明らかにすることを目的とし、柔軟な三次元平板翼の全迎え角特性とその変形・振動の測定などを行っています。また、これらの結果から、弾性翼に生じる振動の形態、翼の剛性により空力特性が大きく影響を受ける翼周り流れの条件、空力特性が改変される機構について明らかにしています。

◆研究テーマと成果

2. 非定常空気力計測法の開発

近年、ドローンと呼ばれる無人小型航空機が多く用いられるようになってきています。このような小型航空機では、有人機では困難な、危険な環境での飛行や極めて加速度の大きな機動を行わなければならない場合があります。その際、様々な方向から大きな非定常性を有する空気力が作用することが考えられます。また、このような分野では、翼自身が空気力により変形・振動し、その結果空気力の大きさや方向が変化する、柔軟性を有する弾性翼の適用にも注目が集まっています。しかし、従来から実験用航空機模型などに作用する空気力の計測に用いられてきたロードセルでは、作用する力の方向により測定精度に違いがある、正確に測定できる変動力の周波数が低い、といった制限があり、柔軟な翼の空力特性測定において必要となる荷重方向に対する測定精度の非依存性や激しく変動する非定常力に対応できる高応答性が実現できていませんでした。本研究では、非定常空気力を測定するための等方性を有する高応答ロードセルを開発することを目的としています。ロードセルの固有振動数として400Hz程度、寸法は従来のものと同等の、直径、高さ共に100mm程度を目標としています。

3. 受動的/能動的流れ制御法の開発

流れのはく離・再付着現象は、航空機の空力特性やディフューザ等の流体機械要素の性能、燃焼器・熱交換器のような熱流体機器の作動効率に大きな影響を与えます。そのため、従来からはく離・再付着を伴う流れの制御に関する研究が数多くなされています。最近では流れの状況に応じて制御パラメータを幅広く変化させることができる能動的流れ制御に注目が集まっています。従来の研究では、制御の手段として渦発生ジェットや音響かく乱、振動壁面などを用いた実験が多かったですが、最近では、比較的小さな入力エネルギーで大きな制御効果が期待できる方法として、噴出・吸い込みを繰り返し実質的な流量が零であるような周期変動噴流 (Synthetic Jet) を用いる試みがなされており、特定の翼型や滑らかな拡がり流路に適用した例等、いくつかの研究が報告されています。しかし、これらの研究では、周期変動噴流の周波数範囲や噴流速度が狭い範囲に限られており、噴流条件を広範囲にわたり変化させた場合の効果や、その結果生じる流れ場の詳細については十分な研究がなされていません。本研究では、従来から数多くの研究がなされている基本的な流れの一つである後方ステップ流れを対象とし、数十m/sの低速流中に置かれたステップエッジ部近傍から周期変動噴流を付加して、その周波数、噴流速度を広い範囲にわたって変化させ、再付着点位置の変化に着目して噴流条件の影響を明らかにします。さらに、ステップ後方の速度場、渦度場等の時間平均流れや、付加された変動噴流周波数に同期して生じる周期的な組織流れ構造の詳細を明らかにし、周期変動噴流によってはく離・再付着流れの状態が改変される機構を解明します。

これらの他、本学の流体力学研究室とも有機的に協力関係を持ち、高速流れ制御用アクチュエータの開発や超音速・希薄流れ中における物体の空気力学的な特性の解明などの研究を行っております。

◆研究室の保有技術と設備

- | | |
|------------------------|-----------------------|
| ○吹き降ろし式風洞 (～56m/s) | ○回流水槽 |
| ○自動計測用三次元移動装置 | ○定温度型熱線流速計システム |
| ○二次元レーザードップラー流速計 (LDV) | ○粒子画像流速計 (PIV) |
| ○三分力ロードセル | ○高速度撮影システム (～2000fps) |
| ○高速フーリエ変換器 (FFT) | ○実時間位相平均計測システム |

◆企業との接点・共同研究のご提案

本研究室では非圧縮とみなせる流れを対象として、流れ場の詳細な構造をその特性に応じて熱線流速計、LDV、PIVにより測定する技術を保有しております。また、周期的な変化を含む流れ場の組織的構造を明らかにするための、これらの計測機器を用いた位相平均計測技術を有しております。

半導体研究室

— 次世代のクリーンなエネルギーを担う 高効率太陽電池の研究開発 —

キーワード	高効率太陽電池、結晶シリコン、III-V族化合物多接合、エネルギー
相談・提供 可能技術	半導体関連の試作・評価(表面構造・結晶方位解析、結晶構造評価、元素・化学結合状態分析、電気的特性評価、透過率・反射率測定)

◆研究室スタッフ

教授:大下 祥雄 講師:小島 信晃

招聘研究員:山口 真史、林 豊、中村 京太郎

研究員・研究補助者:Hyunju Lee、尾崎 亮、青木 真理、大杉 真由子、学多 恵子

学生:博士課程 1名、修士課程 3名、学部4年生 5名

問合せ先 : y_ohshita@toyota-ti.ac.jp, nkojima@toyota-ti.ac.jp

◆研究の背景と概要(独自性、有用性)

太陽電池を用いた太陽光発電は、2100年までには世界のエネルギーの7割を占めると予想され、エネルギー・環境問題を解決するためのクリーンな新エネルギー源として益々重要となっている。半導体研究室では、新エネルギー源の実現をめざした結晶シリコン太陽電池、集光型高効率太陽電池や太陽電池用新素材に関する基礎的研究、デバイス物理に基づく光・電子機能デバイスの創製等に関する研究を行なっている。

上記研究の多くは、文科省やNEDOの研究開発プロジェクトとして採択されて推進している。現在、研究プロジェクト「移動体用太陽電池の研究開発(超高効率モジュール技術開発)」をNEDOから受託している。

本研究室の主な独自性を以下に示す。

- ① 新規材料・プロセス開発からデバイス試作までの総合的な研究体制
- ② 層状半導体を中間層に用いたSi基板上III-V層エピタキシャル技術、III-V層リフトオフ技術

◆研究テーマと成果

1. 高効率結晶シリコン太陽電池および基板結晶の研究

太陽電池の更なる普及を進めるためには、現在の結晶Si太陽電池の更なる高品質化が極めて重要であり、そのための新しい基盤技術の開発を行っている。多結晶Si中の粒界特性と熱処理前後の金属不純物分布・電気特性の関係をEBIC測定結果をもとに検討した。粒界構造とそこでの少数キャリアの再結合速度、さらにはそれらに与える熱処理温度の関係が明らかになってきている。一方、結晶中の金属の分布とその電子状態を放射光を用いたXANES測定により調べている。

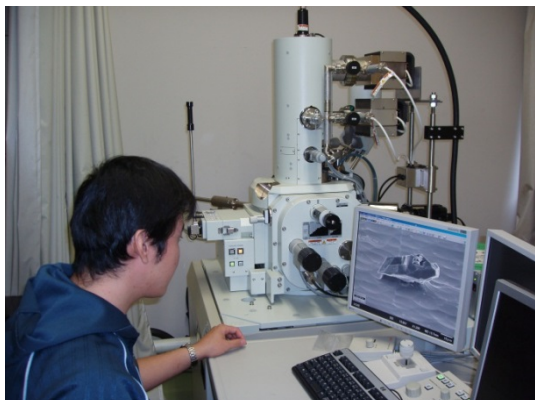
2. 超高効率・低コスト太陽電池・材料の研究

III-V族化合物半導体は、多様な材料で任意のバンド・プロファイルを持つ多接合構造太陽電池を構成することで、40%以上の超高効率光電変換が可能である。低コスト化を実現するため、Si基板上III-V層エピタキシャル成長、およびIII-V層のリフトオフに関する研究を行い、層状半導体を中間層に用いたIII-V層の成長とリフトオフを達成している。さらに、変換効率50%以上が期待できる4接合用新材料として、InGaAsN材料の高品質成膜と物性・欠陥評価に関する研究を行っている。

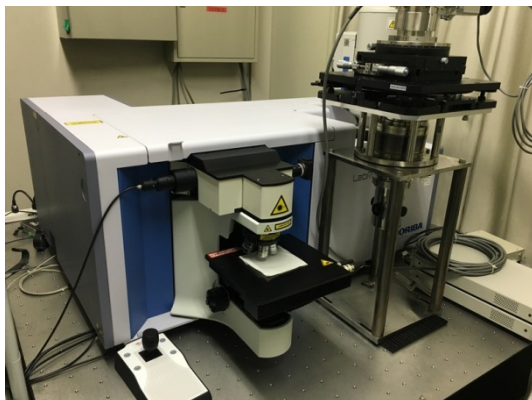
◆研究室の保有技術と設備

下記には、「ナノテクノロジープラットフォーム」や共同研究で支援可能な主な装置を示す。

- ①電界放出形走査電子顕微鏡(電子線後方散乱回折(EBSD)付属): 表面構造、結晶方位解析
- ②結晶性解析X線回折装置: 結晶構造評価(ロッギングカーブ測定、逆格子空間マッピング測定、極点図解析等)
- ③X線光電子分光装置: 元素分析、化学結合状態分析(空間マッピング測定可能)
- ④DC & ACホール効果測定装置: 電気的特性(キャリア濃度、移動度)評価(測定温度4~400K)
- ⑤フォトルミネッセンス/ラマン散乱分光測定装置
- ⑥太陽電池特性評価装置(分光感度特性(多接合セル)、ソーラーシミュレータ、キャリア寿命等)



電界放出形走査電子顕微鏡



フォトルミネッセンス/ラマン散乱分光測定装置

◆企業との接点・共同研究のご提案

NEDOの研究開発プロジェクトを中心として、関係企業との共同研究を幅広く推進している。研究設備は整っており、日本の大学としては唯一、右に示す結晶シリコン太陽電池の本格的な試作ラインが設置されている。この試作ラインを活用して共同研究を活発に進めている。

また、「ナノテクノロジープラットフォーム・微細加工コンソーシアム」(文部科学省)による支援プログラムに参加しており、試作・評価の支援や共同研究も積極的に取り組んでいる。

結晶シリコン太陽電池製造工程



電子デバイス研究室

— 省エネルギー社会に向けた高効率で動作する低コスト高機能半導体デバイスの研究 —

キーワード	窒化ガリウム(GaN)、化合物半導体、ヘテロ接合、トランジスタ、作製プロセス、高効率
相談・提供 可能技術	AlGaN/GaNなどの化合物半導体ヘテロ接合を用いたトランジスタ、作製プロセス、デバイス特性の測定評価、解析とモデル化、特性シミュレーションおよび応用に向けた技術

◆研究室スタッフ

教授：岩田 直高 助教：Zhang, Yuwei 研究員：3名

大学院生：3名 学部生：4名 問合せ先：iwata@toyota-ti.ac.jp



◆研究の背景と概要(独自性、有用性)

現代社会は、半導体デバイスで構成された電子機器無しでは、立ち行かない状況です。最近では、持続可能な省エネルギー社会の実現に向けて、低コストで高効率動作する電力制御用トランジスタの実現が強く求められています。

電子デバイス研究室は、これに向けた研究を進めます。具体的には、窒化ガリウム(GaN)トランジスタを中心に、低コストで高効率動作する新構造半導体デバイスの研究と、それを実現する作製プロセスなど関連する技術の開発を進めています。さらに、デバイス特性を精密に測定評価することにより、解析モデルを構築するとともに、特性シミュレーションによるデバイス設計技術を研究しています。

◆研究テーマと成果

研究テーマを、以下の通り設定しています。

1. 超高速GaN高電子移動度トランジスタの研究

GaN基板上に成長した欠陥の少ないAlGaN/GaNヘテロ接合を用いて、この系のトランジスタが本来示す高電流特性と高速動作の実現を目指します。GaNバッファ層の高抵抗化のためにドーピングした不純物が、特性に及ぼす影響を調べました。[SSDM 2020, D-7-06]

2. p型GaNゲート高電子移動度トランジスタの研究

電力制御用に正のしきい電圧を示し、ノーマリオフ動作を実現するトランジスタの研究を進めています。[JJAP, SAAD02-1-4 (2019)] さらに、しきい電圧の高度な制御技術を開発し、高い整流効率を示すダイオードの実現を目指します。[ISPlasma 2020, 11P4-05]

3. GaNに添加したMgアクセプタ活性化の研究

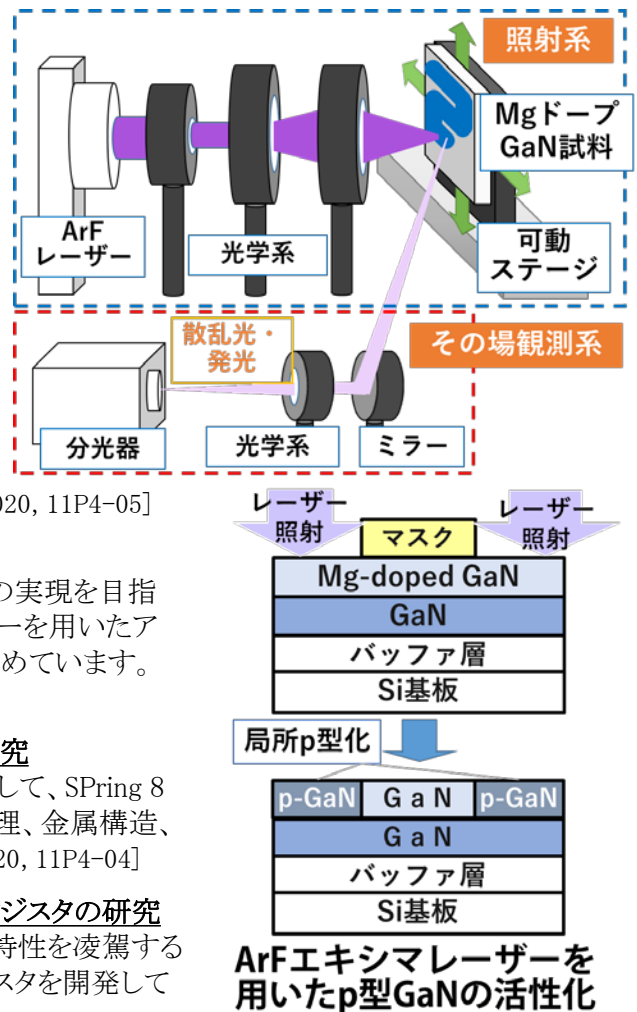
縦型GaNトランジスタに必須な低抵抗p型GaN層の実現を目指して、Mg不純物の添加方法やArFエキシマレーザーを用いたアクセプタの局所的な活性化手法に関する研究を進めています。[SPIE Photonics West 2019, 10905-33]

4. p型GaNへの低接触抵抗オーミック電極形成の研究

低い接触抵抗値を示すアロイ接合の実現を目指して、SPRING 8と共同で金属-半導体界面の評価を進め、表面処理、金属構造、熱処理法の検討に取り組んでいます。[ISPlasma 2020, 11P4-04]

5. 次世代の電力制御システムに用いる新構造トランジスタの研究

現在使用されている電力制御用Siトランジスタの特性を凌駕する化合物半導体ヘテロ接合を用いた新構造トランジスタを開発しています。[SSDM 2020, D-5-01]



◆研究室の保有技術と設備

岩田は、半導体企業において化合物半導体の物性評価、結晶成長、デバイスおよびそれを用いた集積回路やパワーアンプモジュールの研究とパワーアンプやスイッチ製品の開発に30年間の経験があります。

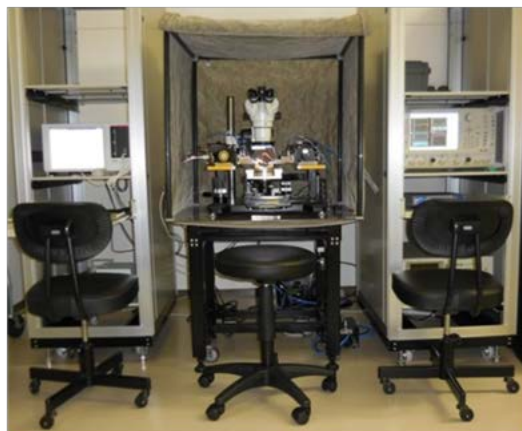
Zhangは、化合物半導体の結晶成長とデバイスの研究に従事して、今年着任しました。

保有する主要装置

- ・原子層堆積装置
原料ガスをウェハ上へ交互に導入することにより、良質な薄膜を原子層の精度で堆積が可能
- ・ドライエッチング装置
GaNなど化合物半導体に対して、低ダメージでの高精度な加工が可能
- ・ArFエキシマレーザー照射装置
高出力深紫外光の照射により、アクセプタ不純物の活性化を促進するとともに、ウェハからの散乱光や発光も同時に観測が可能
- ・ウェハプローバ
作製プロセスの途中またはウェハ状態のデバイスに対して、温度を変えながら測定が可能
- ・半導体デバイスアナライザと高電圧ソースメータ
10nsの短パルス応答から長時間ドリフトまでの電流(1fAより)-電圧(3kVまで)特性と容量-電圧特性の測定が可能
- ・ネットワークアナライザ
40GHzまでの高周波特性(Sパラメータ)の測定が可能
- ・デバイス・シミュレータ(TCAD)
コンピュータを用いて半導体デバイスの特性予測や構造設計が可能



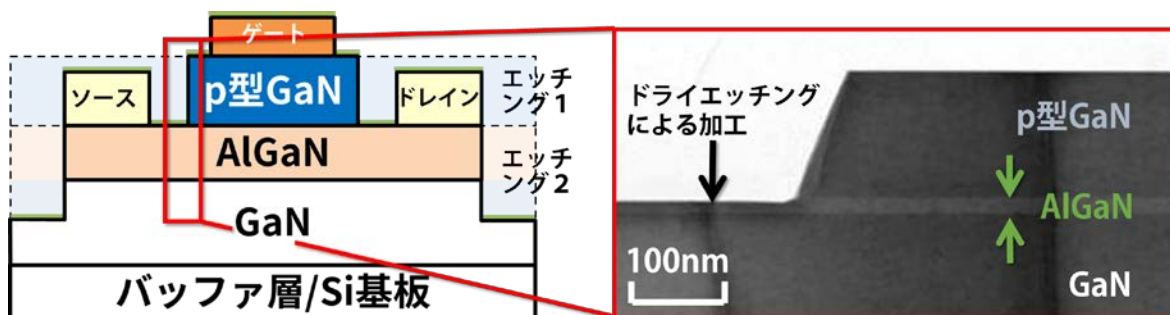
原子層堆積装置 ドライエッチング装置



半導体デバイスアナライザ、ウェハプローバ、ネットワークアナライザ

◆企業との接点・共同研究のご提案

GaNはAlGaNと容易にヘテロ接合が形成できるワイドバンドギャップ半導体であり、その優れたヘテロ界面の伝導特性により、マイクロ波ミリ波帯の通信用からモーターなどの電力制御用まで、様々な用途のトランジスタを良好な特性で実現できます。我々は、これを安価に実用化するため、新しいトランジスタの構造と要素技術の研究開発を進めています。持続可能な省エネ社会の実現には必須のデバイスと考えておりますので、共同での研究開発をご提案いたします。詳細をお問い合わせください。



素子構造
p型GaNゲートを用いたノーマリオフ動作高電子移動度トランジスタ

レーザー科学研究室

— 究極の光を作る —

キーワード	超高速レーザー、量子エレクトロニクス、ファイバレーザ
相談・提供 可能技術	超高速レーザー技術、超短光パルス評価技術

◆研究室スタッフ

教授: 藤 貴夫

講師: 工藤 哲弘

PD研究員: 趙 越

PD研究員: Seyed Ali Rezvani

研究補助者: 近藤 真紀

学生: 4名

問合せ先: fuji@toyota-ti.ac.jp



◆研究の背景と概要(独自性、有用性)

数フェムト秒(10^{-15} 秒)の周期で振動する光の波について、精密な計測と自在な制御を行う新しい技術を開発し、これまでになかった新しいレーザを作ります。そのレーザを様々な分野の研究や産業に応用することで、大きなブレークスルーを生み出すことを目指します。また、研究室で作り出したレーザを、企業と協力して製品化することも進めています。

レーザー科学研究室は、2019年4月から発足した新しい研究室です。この研究室の最大の特徴は、世界でトップクラスの性能を持ったレーザを作れる技術を持っていることです。例えば、世界で最も短い7フェムト秒の赤外光パルスを発生するレーザや、特殊なファイバをレーザ媒質とした高性能ファイバレーザなどを作る技術です。また、光と物質の相互作用をうまく使って、光同士の演算を行い、光の波を直接計測する独自の技術を持っていることも大きな特色です。学外の生命科学の研究室や企業との共同研究を進めていることもユニークな点と言えます。

◆研究テーマと成果

・極限的に短い光パルスの発生手法の開発

フィラメンテーション法という独自の技術を使って、世界で最も短い7フェムト秒の中赤外光パルスの発生に成功しました[IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron. **21** 8700612 (2015)]。

・極限的に短い光パルスを使った超高速分光

上記の7フェムト秒中赤外光パルスを利用して、高速な赤外スペクトル計測、フェムト秒ポンプ・プローブ分光やハイパースペクトラルイメージング分光装置の開発を進めています[J. Opt. **17** 094004 (2015)]。

・光電場振動波形計測法の研究

数フェムト秒で振動する光電場波形を直接計測する新しい手法を開発しました[Nat. Commun. **4** 2820 (2013)]。従来のアト秒パルスを使った手法と比べてはるかに簡便であり、広い分野で応用できる可能性があります。

・高出力フェムト秒固体レーザの開発

フッ化物ファイバをレーザ媒質としたフェムト秒パルスレーザ発振器や増幅器、また、さらに高ピーク出力のパルスを発生できる固体レーザ増幅器の開発[Opt. Express **26** 29460 (2018)]を進めています。

◆研究室の保有技術と設備

自作超高速レーザー

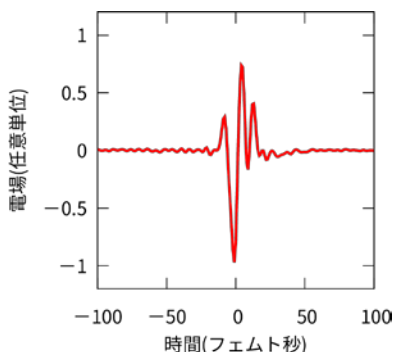
- ・サブサイクル中赤外光パルス発生装置
(パルス幅7fs、スペクトル領域2-20 μm)
- ・2 μm フェムト秒パルス発振器(パルス幅80fs、
平均出力200mW、繰り返し周波数50MHz)
- ・2 μm 高効率ファイバ増幅器
(平均出力5W、繰り返し周波数50MHz)
- ・2 μm 固体レーザー再生増幅器(パルス幅360fs、
パルスエネルギー1.35mJ、繰り返し周波数1kHz)

超高速レーザー

- ・チタンサファイアマルチパス増幅器(パルス幅30fs、
パルスエネルギー0.85mJ、繰り返し周波数1kHz)
- ・中空ファイバパルス圧縮システム(パルス幅5fs)
- ・チタンサファイア再生増幅器(パルス幅35fs、
パルスエネルギー1.4mJ、繰り返し周波数10kHz)

その他保有設備

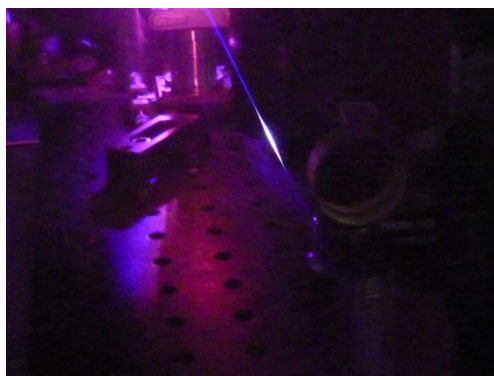
- ・恒温恒湿クリーンブース
(温度25+/-0.5℃、湿度40%以下)
- ・絶対反射率測定ユニット付き分光光度計
- ・減衰全反射フーリエ赤外分光装置(1.5-40 μm)
- ・光スペクトルアナライザ
(350-1700nm、1500nm-3400nm)
- ・焦電型赤外カメラ
- ・800nmフェムト秒パルス計測装置(FROG)



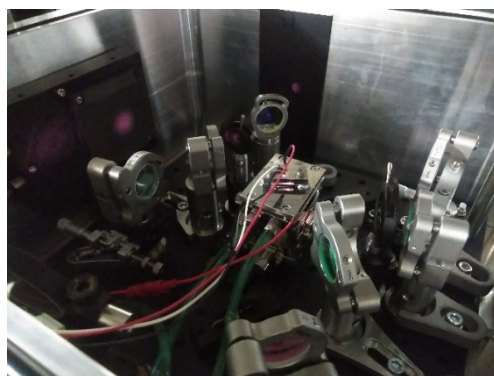
新規光電場波形
計測法によって測
定されたサブサイ
クル中赤外光パル
ス

先端計測技術

- ・光電場波形計測技術
- ・チャープパルス上方変換による高速赤外分光
装置
- ・2 μm フェムト秒パルス計測装置(FROG)



高強度レーザーを空气中に集光して生
成したプラズマチャネル(フィラメン
テーション)



開発されたソリウム固体レーザー再生
増幅器の増幅部分

◆企業との接点・共同研究のご提案

現在、JST CRESTのプロジェクト「超短赤外パルス光源を用いた顕微イメージング装置の開発と生命科学への応用」でファイバーラボ株式会社と共同研究を行っています。

上記自作超高速レーザーや先端計測技術の製品化や産業への応用をめざした共同研究を提案できます。



ファイバーラボ株式会社と協力して製
作した2 μm ファイバ増幅器

システム光波工学研究室

— 光デバイスや光波の物理を熟考して斬新な機能を有する光システムを創成する —

キーワード	システムフォトリクス、光ファイバ神経網技術、痛みの分る材料・構造の為の光技術
相談・提供 可能技術	光ファイバセンシング技術、光波の干渉特性合成技術、構造物健全性診断 (Structural Health Monitoring: SHM) の為の光技術、光ファイバ分布型・多点型センシング技術

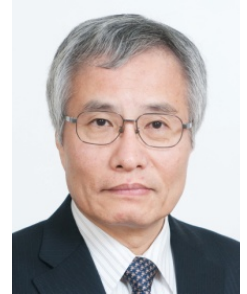
◆研究室スタッフ

教授：保立 和夫

PD研究員：大川 洋平

学生：修士課程2年;1名、学部4年;2名

問合せ先 : Tel; 052-809-1821, E-mail; hotate@toyota-ti.ac.jp



◆研究の背景と概要(独自性、有用性)

システム光波工学研究室では、フォトリクスデバイスや光波の物理を熟考して、斬新な機能を有する光システムを構築する研究を行っています。たとえば、光波の干渉特性を自在に合成する独自技術「光波コヒーレンス関数の合成法」を提案し、光ファイバ中で生じるブリルアン散乱を分布計測する新技術「ブリルアン光相関領域解析法:BOCDA法」も発明しました。本手法により、光ファイバに加わる伸縮歪をcmの空間分解能で数kmに渡り分布計測できる技術を構築しました。既に土木・建設分野で活用され、航空機機体診断用にも研究が進む「痛みの分る材料・構造の為の光ファイバ神経網技術」です。

◆研究テーマと成果

1. 高感度フォトリクスセンシング技術

光ファイバを光路とした干渉計を活用し、超高感度なセンシングシステムを構築する研究を蓄積してきました。これまでの研究対象の一例は、「光ファイバジャイロ」です。人工衛星の姿勢制御や望遠カメラの安定機構等に用いる慣性空間に対する回転センサで、 μ radの位相検出感度が要求されます。雑音低減法やリング干渉計構成法を提案・研究して、本センサの実用化に貢献しました。

2. 光波コヒーレンス関数の合成による光センシング・光情報処理技術の研究

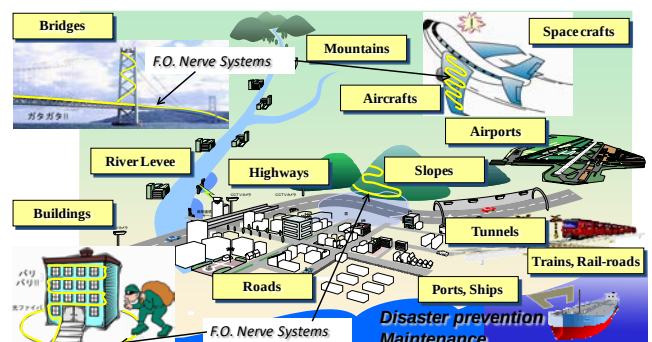
連続光波の干渉状態を自在に合成・制御できる独自技術として、「光波コヒーレンス関数の合成法」(SOCF: Synthesis of Optical Coherence Function)を提案・開発しました。本技術により、光トモグラフィ、複数反射面の形状検出、光リフレクトメトリ技術等を提案・研究してきました。SOCFは、以下に述べる研究テーマの基盤技術ともなっています。

3. 痛みの分る材料・構造の為の光ファイバ神経網技術の研究

光ファイバに加わる、歪、側圧、振動、温度等の情報を、光の伝搬方向において分布的ないしは多点で測定する「光ファイバ分布型・多点型センシング」技術を種々研究しています。光波コヒーレンス関数の合成技術は、それらの測定原理の中核をなしています。

4. 光ファイバ中のブリルアン散乱を計測原理とした分布型歪・温度センシング技術の研究

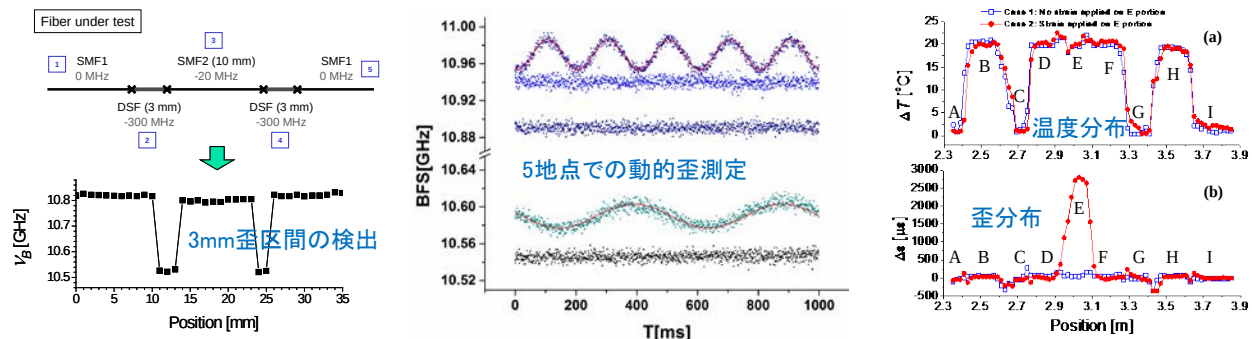
光ファイバ中で生じるブリルアン散乱は、温度や歪によってその特性が変化します。したがって、光ファイバはこれら物理量に対するセンサとなります。当研究室では、独自技術である「光波コヒーレンス関数の合成法」を分布センシング原理として、光ファイバに沿うこれら物理量の分布状況を精緻に測定できる技術を提案・開発しています。



光ファイバ神経網による安全・安心社会の構築

◆研究テーマと成果： つづき

本研究室のオリジナル技術は、BOCDA法ならびにBOCDR法と名付けられています。他の従来技術では達成できなかったmmオーダの空間分解能や、光ファイバに沿って任意に選択した複数点における動的歪を同時測定する機能等を実現しています。一本の光ファイバで温度と歪の情報を、同時・分離・分布測定できる手法も発明・開発しました。光ファイバを橋や航空機翼などに張り廻らせて「光ファイバ神経網」として機能させ、「痛みの分る材料・構造」を実現します。これら技術を基盤として、航空機機体や土木・建築構造物の健全性診断技術(SHM: Structural Health Monitoring)を開発する実用化研究を、計測機メーカ、航空機メーカ、土木・建設会社と連携して進めています。



1.6mmの空間分解能の実現

任意に選択した5点での同時・動的歪測定

温度と歪の同時・分離・分布測定

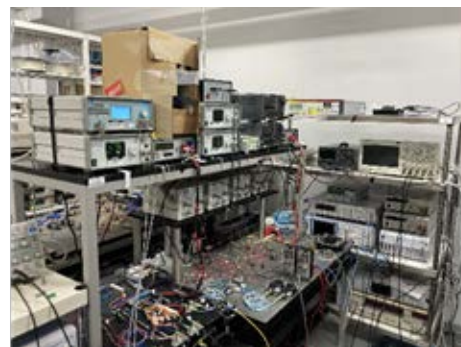
◆研究室の保有技術と設備

研究室の保有技術： 独自に開発してきた技術例を以下に示します。

- SOCF (Synthesis of Optical Coherence Function)： 本技術(光波コヒーレンス関数の合成法)は、連続光波の干渉特性を自在に合成・制御できる独自の技術であり、レーザ伝搬方向に沿って後方に分布的に反射・散乱される光波からある一点で反射した成分のみを測定したり、分布的反射・散乱光に伝搬距離に応じて重みをつけた積分値を求めたりできます。
- BOCDA (Brillouin Optical Correlation Domain Analysis)： 本技術(ブリルアン光相関領域解析法)は、光ファイバに沿って位置選択的に誘導ブリルアン散乱を発生させる独自技術です。連続光波による位置選択的測定を可能にした技術であり、他の手法では果たせない測定機能が実現されています。
- BOCDR (Brillouin Optical Correlation Domain Reflectometry)： 本技術(ブリルアン光相関領域反射計測法)は、光ファイバ中の全地点で生じる自然ブリルアン散乱を位置選択的に測定できる独自技術です。光ファイバへの一端からの入射光のみで分布測定を実現できる点がBOCDA法と異なります。

研究室の保有設備

- 光ファイバ融着機、光スペクトラムアナライザ等のファイバフォトニクス関連の各種機器の他、半導体レーザ光源、各種光変調器、光ファイバ増幅器、偏波コントローラ等のフォトニクス機能デバイス等、光ファイバシステムを構成する際に必要な機器およびデバイスを保有しています。



光ファイバ神経網システムの実験系例
(東棟3階システム光波工学実験室)

◆企業との接点・共同研究のご提案

独自機能を発現するフォトニクスシステムの構成法を提案・開発し、実用化を目指した研究を展開してきました。その中で、大学単独の特許ならびに企業との共同特許も取得しています。計測機メーカをはじめとする企業の皆様とは、共同研究をひとつの形態とする種々の協働も進めています。たとえば、経済産業省ないしはNEDOの資金による委託研究や、科学技術振興機構のA-STEPによる実用化研究等も実施しています。BOCDAおよびBOCDR技術に関しては、上記のような枠組みで企業の皆様との協働を進め、測定機のプロトタイプモデルも構築して、飛行状況下での航空機機体や土木・建築構造物でのSHMの実用化研究も展開しています。昨年度末には、BOCDA機の市販品1号機が出荷されました。これら独自技術にご興味を持って頂ける皆様との連携を、さらに進めてゆきたいと思います。

情報記録工学研究室

— スピンエレクトロニクスによる省エネデバイスの創成 —

キーワード	スピンエレクトロニクス、磁性薄膜、磁気記録、光・熱・磁気材料、磁気イメージング
相談・提供 可能技術	希土類・遷移金属合金成膜および特性評価、磁区観察、磁化測定、熱磁気測定

◆研究室スタッフ

教授:栗野 博之 准教授:田辺 賢士
PD研究員:Ahmet Yagmur, Sina Ranjbar
研究補助者:鷺見 聡
学生:9名

問合せ先: awano@toyota-ti.ac.jp

◆研究の背景と概要(独自性、有用性)

第4次産業革命に必要なIoTやビッグデータ保存用メモリ、AIの実現には、革新的な省電力化、高性能化、低価格化が求められている。これら応用に対してこれまで様々なフェロ磁性材料を用いた研究が多くなされてきた。例えば、IBMは磁性細線メモリの駆動電力を下げるためには磁界で容易に磁壁を動かせる超ソフトフェロ磁性材料FeNiが好適であると考え、レーストラックメモリと命名して複数のデータを電流で駆動できるデモンストレーションを行った。確かに、レーストラックメモリの動作検証には成功したが、意外にも大きな電流密度が必要であることが判明し、その低減が課題となった。NECと京大のグループはこの問題がFeNiの面内磁化膜である点に起因していると考え、垂直磁化膜で保磁力が小さいCo/Ni多層膜で磁性細線を作成し、磁性細線メモリの駆動電流密度を半減することに成功した。しかし、半減に留まっており、更なる電流密度低減策が求められた。一方、これら検討には磁壁を磁界で容易に駆動できる保磁力の小さな材料が用いられており、仮に電流密度低減に成功しても記録データがわずかな外部磁界変動でデータが壊れてしまうため信頼性が次の課題になる。そこで、我々は保磁力が大きくデータ保存信頼性の高い重希土類・遷移金属(RE-TM)フェリ磁性材料で磁性細線を作成してみた。すると、意外にも磁界で磁壁は動かないが、電流では磁壁が容易に動くことを見出した。これはRE-TM磁性細線でメモリとロジックを一体化した理想的なAIデバイスの実現できることを示唆している。

◆研究テーマと成果

上記、第4次産業革命に必要なIoTやビッグデータ保存用メモリ、AIの革新的な性能向上を目指して検討してきた研究成果を以下に示す。

- ① IoT用センサーには、センサーの形状変化に伴う磁気特性の変化を利用することで応力センサー、圧力センサー、磁気センサー、変位センサーなどへの展開が可能となる。
そこで、薄いプラスチック基板上に超磁歪効果の大きなRE-TMを成膜して磁気ヒステリシスの変化を測定したところ、わずかな歪でも磁気特性が大きく変化することがわかった(APEX2016)。
- ② ビッグデータ用磁性細線メモリではRE-TMを使うことで磁性細線メモリ駆動電力が世界最小となることを示した(APEX2011)。更に、RE-TM/Ptヘテロ界面を有する磁性細線を用いることでスピンコヒーレンス長が従来のフェロ磁性材料に比べて10倍長くなることを示した(Nature Materials2019)。更に、磁性細線に用いる基板を従来のSiではなくナノインプリントプラスチック基板にすることでも、磁性細線の駆動電力を大幅に低減できることを示した(AIP advances2017)。
- ③ 人工知能への適応には、RE-TMの磁気エネルギーバランス制御性を利用して、上記磁性細線メモリを変形したAND演算、OR演算、ファンアウトなどのデモンストレーションを示した(JMMM2015)。これはニューロモルフィックコンピューティングにも拡張可能である。

◆研究室の保有技術と設備

設備

成膜装置

- アルバック製超高真空スパッタ(7元)及び電子ビーム蒸着(5元)装置

加工装置

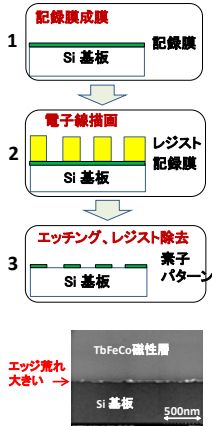
- 電界放出型反射電子顕微鏡(FE-SEM)兼電子ビーム露光装置
- 日立製集束型イオンビーム加工観察装置(FIB)
- ナノインプリント装置(右図上)

評価装置

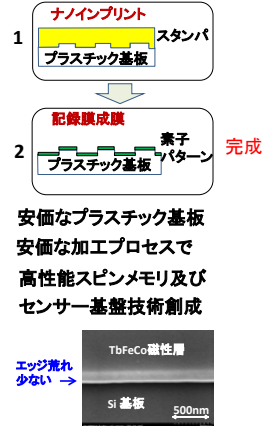
- 外部磁界可能な偏光顕微鏡
(印加最大磁界:垂直1.5T、面内0.3T)
焦点内に集光した青色レーザー照射可能
照射位置の制御も可能(ネオアーク製)
試料温度は $-100^{\circ}\text{C} \sim 400^{\circ}\text{C}$ に調整可能
- 波長範囲(260nm $\sim$ 800nm)変化可能な極磁気光学Kerr回転角、楕円率測定装置
- 微小磁化測定装置(AGFM)
最大感度 $1 \mu \text{emu}$ 、印加磁界最大2T
- TMRヘッドを用いた漏洩磁界分布及び温度分布測定、局所磁界印加装置(右図上)
磁界応答($\sim 700\text{MHz}$)、
局所磁界印加も可能(50nm角に最大1T)
温度分布測定(20nm x 120nm温度センサー)
- 日本分光製エリプソメータ
(波長:300nm $\sim$ 800nm、温度:室温 $\sim 500^{\circ}\text{C}$)

安価なナノインプリントプラスチック基板を用いたIoTデバイス作成法

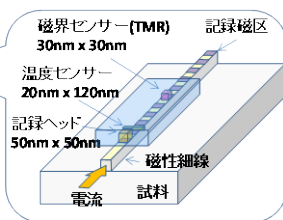
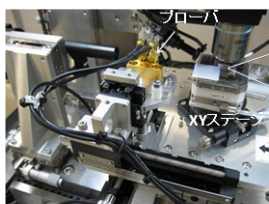
従来:高価な磁性細線作成法
(エッチング法で1個ずつ作成)



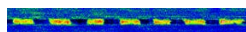
提案:安価なナノインプリント法
(金型で一度に大量に作成)



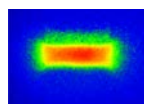
超高分解能磁界絶対値分布測定及び温度分布測定



80nm幅磁性細線上の磁区精密観察
センサーサイズ: 30nm x 30nm 帯域0.7GHz
最大磁界1T、磁極サイズ50nm x 50nm
X軸ステップ: 1nm, Y軸ステップ: 5nm



磁性細線通電時の発熱状態観察
温度センサーサイズ: 20nm x 120nm



◆企業との接点・共同研究のご提案

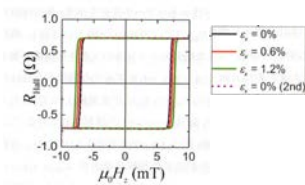
我々の強みは、酸化しやすく安定した作成が難しい希土類・遷移金属フェリ磁性合金の成膜技術および磁気特性制御技術にある。この材料は希土類元素特有の4f電子雲の形状からくる磁気歪の大きな超磁歪材料であり、右図に示すように少しの歪みにより磁化容易軸を垂直方向から面内方向に容易に変化させることが出来る。比較のために右図にはフェロ磁性材料であるCo/Pt多層膜にRE-TM同様の歪を加えた時の磁気ヒステリシスを示すが、ヒステリシスはほとんど変わらない。

また、当研究室には前述した豊富な研究設備があるため、磁界印加や試料温度を変えられ、観察視野内の任意の場所に青色レーザー照射可能な偏光顕微鏡による磁区観察が可能。さらに、世の中に数台しかない希少なTMR磁気ヘッドを用いた磁力イメージング(一般的なMFMと違って磁化の絶対値分布測定が可能)装置がある。これは、電子回路通電時の熱分布イメージング(ただし、表面形状の平滑性が必要)が可能である。この他、高周波測定装置も保有しており磁気共鳴やスピントルク磁気共鳴の測定も可能。

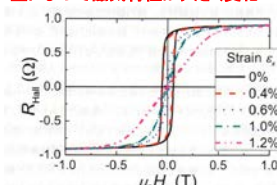
希土類・遷移金属合金超磁歪材料を用いた応力センサー、圧力センサー、磁気センサーなどを目指したIoT向け基礎検討

Applied Physics Express 9, 043004 (2016)

従来材料 Co/Ptフェロ磁性膜に
引っ張り応力を加えたときの変化。
磁気特性はほとんど変化しない!



当研究室で扱っている超磁歪材料の
TbFeCoフェリ磁性膜に引っ張り応力を
加えたときの変化。
歪によって磁気特性が大きく変化!



更なる材料設計で感度増大を狙う

電磁システム研究室

— 電磁界融合学による電気自動車の高効率モータ駆動システム技術を開拓 —

キーワード	電磁界解析、モータ、インバータ、鉄損、磁性材料、マルチスケール、マルチフィジックス
相談・提供可能技術	モータ駆動システム、電磁界解析、磁性材料の磁気計測

◆研究室スタッフ

教授：藤崎 敬介 招聘研究員：内藤 治夫
学生：修士課程1年；2名、学部4年；3名

問合せ先：fujisaki@toyota-ti.ac.jp (Tel: 052-809-1826)

◆研究の背景と概要(独自性、有用性)

■ 基本コンセプト:「電磁界融合学」の創出

- ①第一種の融合: 電磁エネルギー機器、電磁界応用、電磁材料の各領域で、磁性体マルチスケール、電磁界マルチフィジックスによる融合学の創出。
- ②第二種の融合: 電磁エネルギー機器、電磁界応用、電磁材料の各領域間で「目的と手段」の融合。

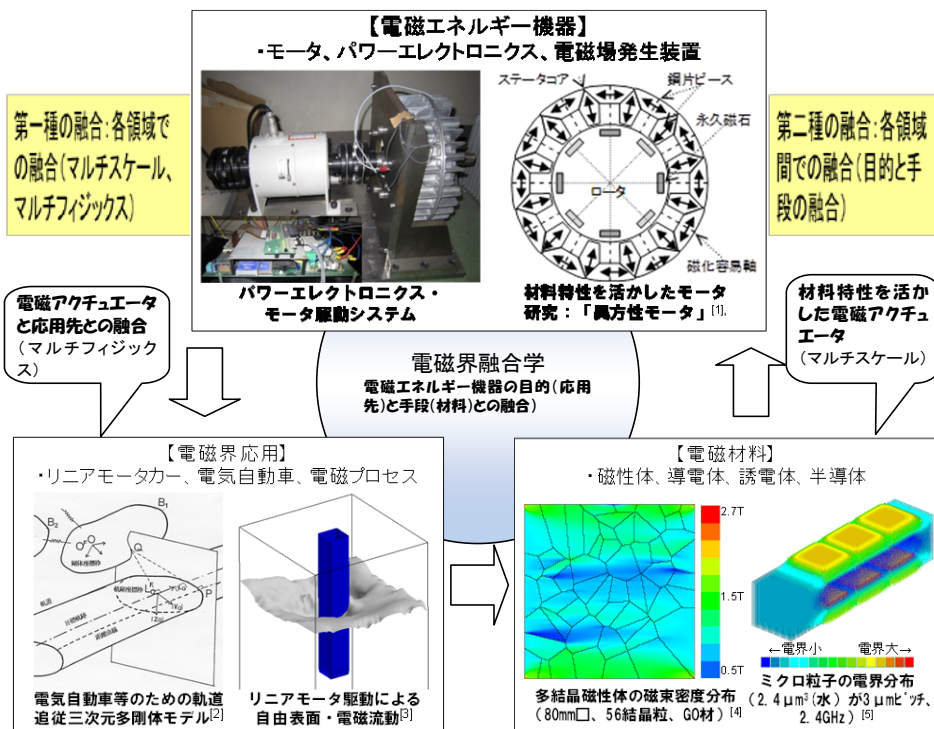


図1. 電磁界融合学

■ モータ駆動システムにおける磁性材料・半導体の融合学^[1-4]

- 材料の製造プロセスからその機器さらにはシステム応用まで一貫した融合学の創出とそれによる小型高効率モータ駆動システムの実現。

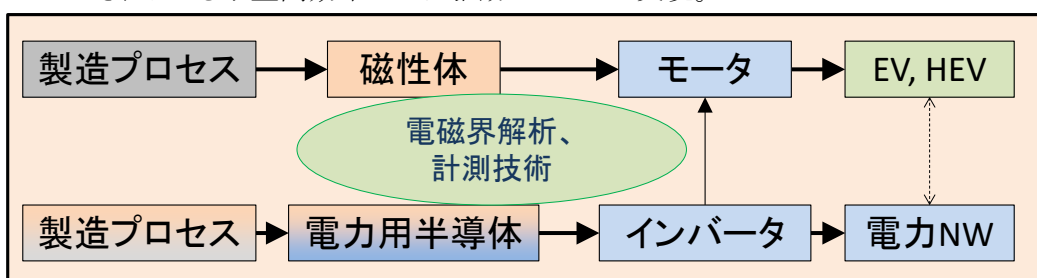


図2. モータ駆動システムにおける磁性材料・半導体の融合学

◆各研究テーマと成果

1. 材料特性を生かした電磁システムの環境負荷低減技術の研究^[5-6]

- 材料の持つ異方性特性を活かした新しいモータ(異方性モータ)およびアモルファスモータの研究を行う。

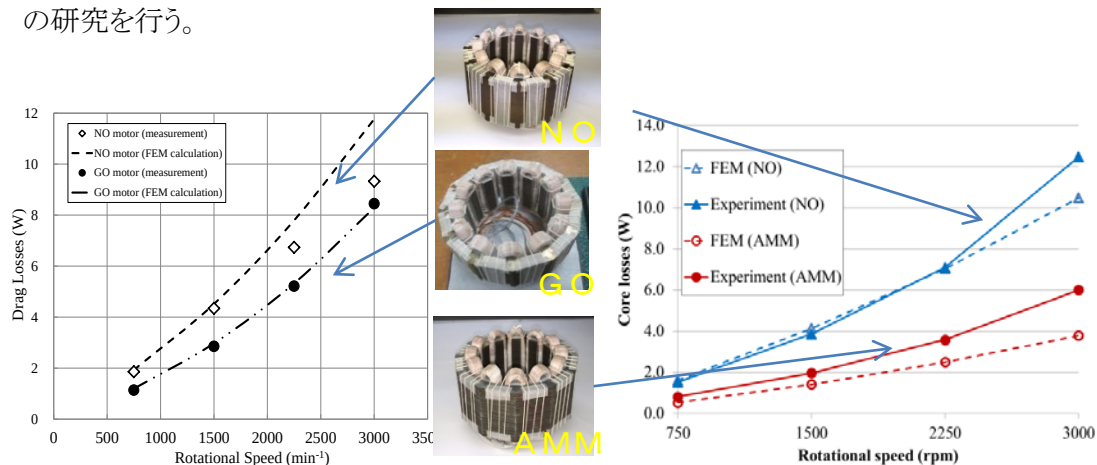


図3. 材料特性を活かした異方性モータ、アモルファスモータの研究(引き摺り損)

2. 電気自動車をはじめとしたパワーエレクトロニクス・モータ駆動システムの研究^[7-10]

- パワーエレクトロニクス制御と合わせて、その電磁材料・機器への影響評価を行う。

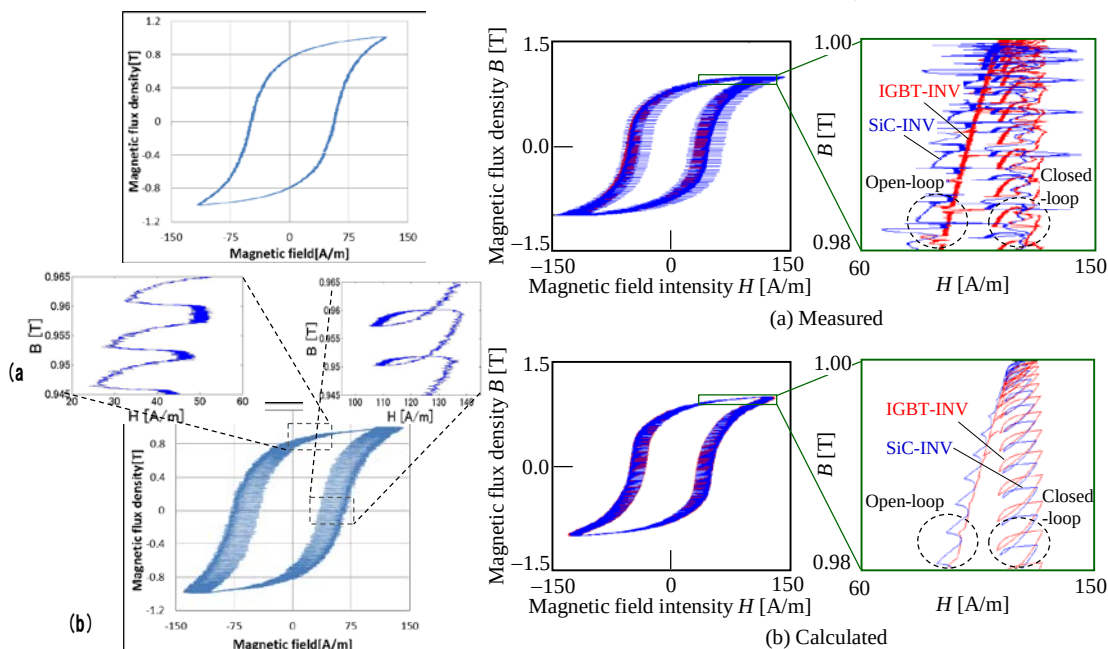


図4. インバータ励磁による電磁鋼板の鉄損増(a) リニアアンプ励磁(従来), (b) インバータ励磁

図5. インバータ励磁時の磁気特性の電力用半導体の影響: (a) 測定値, (b) PlayModel+Cauerによる解析結果

◆研究室の保有技術と設備

モータシミュレータ, 電磁界数値解析, 磁気計測

◆企業との接点、共同研究のご提案

- 上記研究テーマについて企業との共同研究及び社会人大学院生を積極的に募集中。

◆関連文献

[1] 藤崎敬介: 電学全, S22-1, 2015.3. [2] 本蔵、藤崎: 電学誌, Vol. 134, No.12, pp.828-831, 2014. [3] 藤崎敬介:(公益)日本磁気学会 第3回岩崎コンファレンス, H26.12.3-4. [4] K. Fujisaki, 3rd ICUMS, A1 - 03, 2014.10. [5] S. Takeda, K. Fujitani, S. Odawara, K. Fujisaki, IEEE-ICEM, Berlin, pp. 2049-2055, 2014. [6] S. Okamoto, N. Denis, K. Fujisaki, IEMDC2015, DF-001619, 2015.5. [7] K. Fujisaki, S. Liu, J. Appl. Phys., Vol. 115, 17A321, 2014. [8] 藤崎 敬介、山田 諒、日下部: 電学論D, Vol. 133, No. 1, pp. 69-76, 2013. [9] 小田原峻也、萱森大輔、藤崎敬介: 電学論D, Vol. 134 No. 7, P649-655, (2014). [10] S. Odawara, K. Fujisaki, T. Matsuo: IEEE-ECCE2014, pp.1451-1456, 2014.

制御システム研究室

— 複雑な動的システムを高度に制御，最先端システム制御理論の開発 —

キーワード	制御理論，最適化理論，スマートグリッド，パワーアシストロボット
相談・提供 可能技術	ロバスト制御系設計技術，非線形適応制御技術，自律分散システム解析・設計技術， ロボット・パワーアシスト機械制御技術，

◆研究室スタッフ

准教授:川西 通裕, Nguyen Binh Minh, 学生:9名

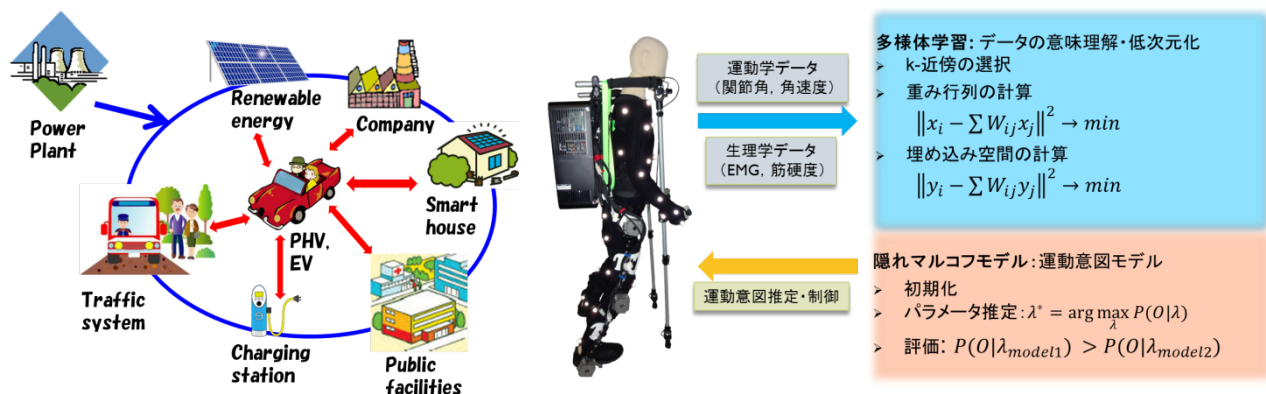
※研究協力

特任教授:成清 辰生, PD研究員: Ngoc Tran-Huynh, Hamed Jabbari Asl

問合せ先 : kawa@toyota-ti.ac.jp

◆研究の背景と概要(独自性、有用性)

産業のあらゆる分野で多用される制御理論について，新しい先端的な理論を研究・開発するとともに，エネルギーネットワークの分散制御，交通流制御，福祉のための人とロボットの協調制御などに応用し，社会や科学技術の発展に役立つ高度な制御を実現することを目指しています。



マルチエージェント・エネルギーネットワーク制御

意図推定に基づく直立4足歩行型パワーアシストロボット制御

◆研究テーマと成果(1)

1. 非線形制御理論とその応用

多項式システム，ディスクリプタシステムなどの制御系設計理論とその応用研究を行っている。また，非ホロノミック拘束とホロノミック拘束が混在するシステムの適応制御系設計理論の研究を行い(1)モバイルマニピュレータの位置と力のハイブリッド制御，(2)柔軟アームを有する平面宇宙ロボットの適応制御へ応用した。

2. ロバスト制御理論とその応用

線形システムに対するロバスト制御系設計理論の研究を行い，外乱抑制や極配置問題などへの応用を行った。特に，以下の研究課題を推進した。(1)未知入力外乱の抑制とディスク型記録装置への応用，(2)デュアルオブザーバによる外乱抑制，(3)極配置問題におけるフィードバックゲインの構成とその応用，(4)零感度状態推定器の一構成法

3. Beowulfクラスタ計算機によるマルチエージェントの自律分散制御

Myrinetによる超高速ネットワークを備えたBeowulfクラスタ計算機を活用することで，非線形行列不等式に基づく高性能制御システム設計法を確立し，産業界で多用される制御システムを高性能化する研究を行っている。また近年は，電力網ネットワークの自律分散制御や飛行ロボットのフォーメーション制御などに代表されるマルチエージェントシステムへの高度な制御系設計への要求が高まっており，Beowulfクラスタ計算機の特性を活用した大規模シミュレーションと制御系設計の手法を開発している。

◆研究テーマと成果(2)

4. パワーアシストシステムの研究

装着型パワーアシストロボットを製作し、人体表面に柔軟な圧電素子の薄膜圧力センサを貼り付けることで、筋肉の緊張による硬度の変化と変位を計測した。さらに、あらかじめphaseとして人間の動作を分割しておき、センサの計測値をトリガとしてphaseを対応させることで意思推定を行う。意思推定はサポートベクトルマシンの用いて行い、実験結果よりその有効性を確認する。制御系については、phase sequence法を用いた制御系設計法を開発する。椅子への着席と起立を対象に選び、アシスト効果を検証した。

5. パラレルリンクロボットの制御高度化

並列の閉リンク機構を用いたパラレルリンクロボットは、剛性の高さや低慣性による高速性などの優れた特性を有するため、Pick&Placeやシミュレータ、工作機械など、高速・高精度な機械駆動機構として注目されているが、高速で駆動するため機構の微細なガタや振動が問題となっている。本研究ではこれらの課題に対して、冗長リンク機構と駆動力最適化を用いる手法、およびQuantitative Feedback Theoryを用いる手法を開発した。

◆研究室の保有技術と設備

[保有技術]

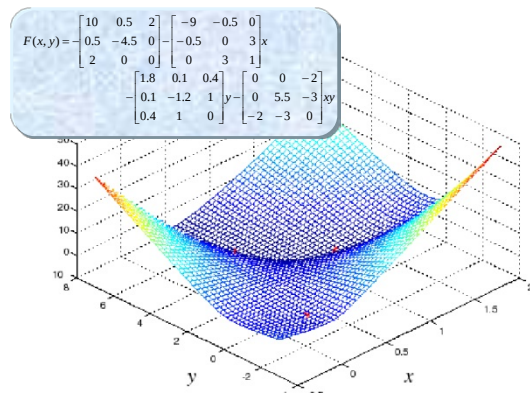
非線形適応制御技術、ロバスト制御系設計技術、自律分散システム解析・設計技術、ロボット・パワーアシスト機械制御技術、

[主な設備]

Beowulfクラスタ計算機、3次元運動解析装置、等



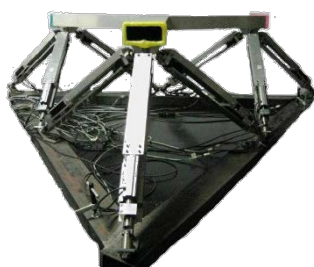
Beowulf クラスタ計算機



双線形行列不等式の固有値最適化



3次元運動解析装置



パラレルリンクロボット



4脚ロボット

◆企業との接点・共同研究のご提案

[成果の活用]

適応制御やロバスト制御理論を応用した機械システムの外乱抑制・振動制御および高速位置決めモーション制御が可能です。さらに、ロボットの高精度・高効率制御やパワーアシスト装置の制御系設計などへの応用が可能です。製造業・機械メーカーなど多くの企業や研究機関との連携を積極的に推進しています。

[共同研究への応用]

情報通信、エネルギー、機械システムなど、産業のあらゆる分野で多用される制御システムについて、高度なニーズに対応できる制御システムを実現します。

知能数理研究室

— 人間の知能を探究し、人工知能を創り出す —

キーワード	人工知能、機械学習、深層学習、テキストマイニング、自然言語処理
相談・提供 可能技術	Big Data解析技術、言語情報解析技術、深層学習手法、専門知識ベース構築

◆研究室スタッフ

教授：佐々木 裕 准教授：三輪 誠 PD研究員：Savong Bou, Gunasekaran Nallappan
学部生：7名、修士学生：11名、博士学生2名

問合せ先 : yutaka.sasaki@toyota-ti.ac.jp

◆研究の背景と概要(独自性、有用性)

知能数理研究室では、人間の知能を探究し、数理的アプローチによりコンピュータ上に人工知能を実現することを究極の目標としています。人工知能実現までの道のりはまだ遠く、解決すべき課題が山積しています。そこで、当研究室では、最初のステップとして、人間とコンピュータが言語を通して、知的なコミュニケーションをするための研究に重点を置いています。

知能を扱うためには、知識を扱う必要があります。「言語」に注目している理由は、人類がこれまでに獲得してきた膨大な知識のほとんどは言語情報として表現されているからです。過去から現在まで、多くの情報が文書情報として蓄積されていますので、様々な分野の文書情報から知識を取り出すための技術確立することが、人工知能へとつながると考えています。そして、言語を用いてユーザがコンピュータと対話しながら、たとえば、科学技術や医療等の情報を簡単に利用できるシステムを開発しようとしています。

最新の人型ロボットや自動走行車は、まだ十分にスマート(=賢い)とはいえません。現在の人工知能技術のレベルは人間には遥かにおよびませんが、人間そのものを深く見つめ続けることで着実に進歩すると考えています。

◆研究テーマと成果

1. Big Dataの解析

本研究では、大量の文書データを機械学習手法により効率的に解析する研究を行なっています。たとえば、大量の文書を大規模なクラス階層に分類する問題を扱っています。数百万件のデータを数十万クラスへの分類を高速に学習することができます。

2. 深層学習(Deep Learning)による言語処理

これまで単語や文がもつ意味を捉えることは、コンピュータにとって苦手でした。しかし、深層学習の1技術である、Embedding技術により、大量の文書に出現する単語やフレーズ、文のもつ意味を数値ベクトルに埋め込むことができるようになってきました。さらに、深層学習により、画像や音声等のデータと言語情報を統一的に扱うことが可能になっています。たとえば、画像に対するキャプションを自動生成することが可能になっています。また、深層学習による機械翻訳や自動要約により、正確で品質の高い文が生成可能になってきています。このように、深層学習を応用することで、これまで超えられなかった性能や機能の壁を越えることができることが分かってきました。

3. 運転知識ベースの半自動拡張

これまで、交通法規やマナーに関する知識を体系化した知識ベースを構築する研究を行なってきましたが、現在、交通教則等を利用して半自動的に知識ベースを拡張する研究を進めています。また、交通知識ベースにより、運転免許取得時の交通法規問題を解くシステムも作成しています。

4. バイオメディカル／マテリアルズ・インフォマティクス

生物・医学・薬学文献および材料工学文献に対して自然言語処理を適用する研究を進めています。

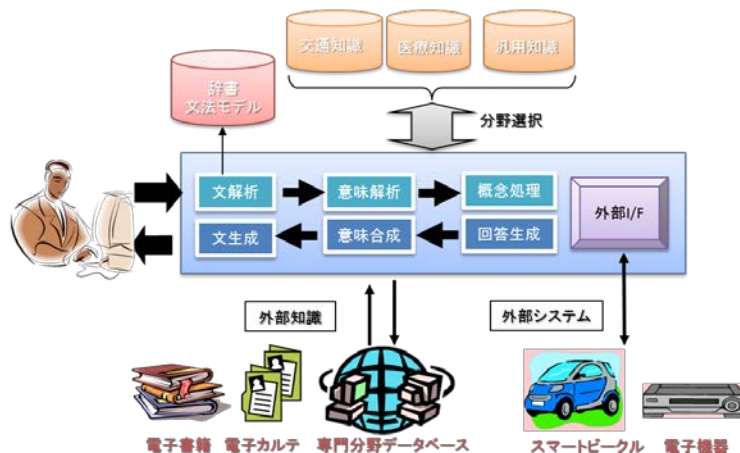
◆研究室の保有技術と設備

ハードウェア

- ・デスクトップPC(一人1台) (NVIDIA TITAN X GPU搭載機多数)
- ・Linuxサーバ(Xeon 5500系 64～384GBメモリ 12台) (NVIDIA Tesla K80 GPU搭載機含む)

ソフトウェア・データ

- ・Dual Coordinate Ascent SVM機械学習ツール DCASVM (公開中)
- ・Markov Logic Networkツール OSMLN (構築中)
- ・関係抽出システム(構築中)
- ・単語ベクトル表現学習ツール(デモ公開中)
- ・文献DBからのベクトル表現学習と検索(デモ構築中)
- ・交通教則に関するタグ付コーパス(=言語資源) (構築中)
- ・大規模階層的分類システムEze (公開中)
- ・運転コアオントロジー(=知識ベース) (公開中・構築中)



◆企業との接点・共同研究のご提案

これからの機械製品はデジタルカメラ化するかもしれません。

この「デジタルカメラ化する」という言葉でつぎのようなことを意味しようとしています。ひとつには、銀塩写真機がデジタルカメラになったような、パラダイムシフトが起こり、同じ用途・機能を保存したままで、構成要素技術が置き換わるということを表わしています。たとえば、銀塩フィルムがCCDカメラになり、現像が不要になり、プロのカメラマン並みの写真が素人にも撮れます。さらに顔認識、動画編集など、以前のカメラにはできなかった機能が製品の差別化の鍵になっています。このアナロジーで考えれば、将来、電気自動車や水素自動車が主流になったときには、単にエンジンがモーターになるだけではない、もっと大きな変化があることが予想されます。

その変化を今すべて予想することは難しいのですが、なんらかの知的な機能が将来の自動車の重要な要素のひとつになると考えられます。SFのように自動車と会話したり、自動車が自らルートを選んで走ったりする日もそう遠くないのかもしれません。将来、このような知的なプロダクトを生み出すためには、人間の知的な活動を理解し、代替するための基礎研究の積み重ねが重要です。究極的には「人工知能」を生み出すことが1つの壮大な研究目標となるのです。

豊田工大研究・教育ブランディング事業「機械学習を核とするスマートものづくり研究事業」の中心研究室として、機械学習技術を様々な工学領域に適用する研究をしております。特に、豊田工大シカゴ校は、コンピュータが過去の事例に合わせて学習していく「機械学習技術」の研究において世界的に有名であり、当研究室は、シカゴ校と緊密な連携をとっております。

現在のプロダクトをもう一度見直し、人工知能によるパラダイムシフトに対応する準備をしてみたいかがでしょうか。研究室には企業出身の教員もおりますので、企業と大学の共同研究について多くの経験を持っております。受託研究員も受け入れております。

知能情報メディア研究室

— 人を理解し、人に合わせて振る舞い、人のように振る舞う人間・機械共存系 —

キーワード	画像認識、マルチメディア処理、機械学習、ヒューマンセンシング・モデリング
相談・提供 可能技術	人の運動・行動・状態の計測とモデル化、および、支援への応用

◆研究室スタッフ

教授: 浮田 宗伯

問合せ先 : ukita@toyota-ti.ac.jp

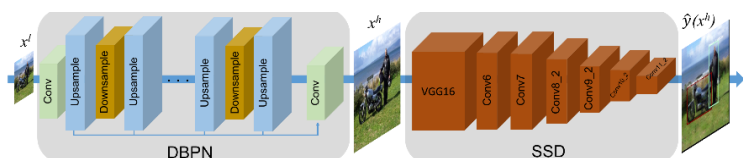
◆研究の背景と概要(独自性、有用性)

人と共存し、環境適応する知能情報メディアシステムのため、コンピュータビジョン・画像認識などのマルチメディア計測・認識、および、大規模データの機械学習に関する技術を研究する。下記の「ヒトの計測と認識」「統合モデリング」を基盤技術として、基礎から応用にわたる研究・開発を広く行う。

- **ヒトの計測と認識:** ロボットなどの情報システムが、ヒトの状態を知る手段として、ヒトに対して非接触で自然な生活を阻害しないカメラによる画像認識の役割は大きい。多種多様なセンサの開発や、IoT (Internet of Things) 環境の発展によって、多くのモノの情報が情報システムにとって既知となる時代が来ても、ヒトに関する情報は倫理・法などの観点から共有されにくい情報である、この「ヒトに関する情報」を主に視覚メディアによって計測・認識することは、将来にわたって有用な技術となる。
- **画像の計測・処理・認識などの多様な異種法の統合モデリング:** 従来、多種多様な画像に関連する研究は各専門家によって独立に研究されてきたが、画像に関わらずほとんどのメディアデータが機械学習によって同様に処理可能な時代になってきた。そこで、機械学習によって異種法が相互にその性能を高めあうような有機的な統合によって、従来は実現できなかった複雑な問題も解決する。



仮想空間と実空間で構成
される人間・機械共存系



深層学習による異種法の統合モデリング

◆研究テーマと成果

- **スマートビークルのための搭乗者や周辺歩行者の行動・状態認識:** 自動車の全自動化を見据え、ぶつからなければいいという安全だけを目指した研究の先のステップに進み、超遠方の歩行者、自転車、車両などの物体検出、および、それら物体の移動・行動の予測によって、安心で余裕のある車両制御に必要な計測・認識を実現する。また、搭乗者の状態を計測・認識し、その状態に基づく個人にあわせた車両制御なども研究する。
- **大量データ学習による映像からのヒトの行動認識:** 人工知能の学習に際して、ヒトに与えられた知識(学習用データ)だけを参照するのではなく、インターネット上のデータ(例: youtubeやオンラインニュースなどの画像や映像)からの自動的に学習することで、性能を向上させる。
- **グループや人群の行動解析:** 従来型の「画像中の数名を対象」としていた問題から、多人数の行動や属性を同時に認識する問題へと発展させる。チームスポーツの解析や、駅・災害避難時などの混雑空間におけるセキュリティや適切な経路誘導などに応用できる技術である。
- **マルチメディアデータの統合モデル化と、知能ロボティクスやQoL支援への応用:** 脳波や身体運動などの複雑に依存する大規模マルチメディアデータを解析する。特に、ヒトの認知や身体機能の発達や老化という長期間にわたるモデル化に興味を持つ。その成果は、障害児を含めた幼児の領域支援や、高齢者の予防医療やリハビリに応用していく。

◆研究室の保有技術と設備

- 【基盤技術】学習対象固有の制約を活用した機械学習の効率化。例えば、リハビリ支援などに有用な「各人の歩行の運動特性」の学習において、人の骨格、運動の物理特性、歩行固有の複雑・急激な運動特性などを参照して、学習を高効率・高精度化させる(図1)。
- 【基盤技術】マルチメディアデータの解析のためのディープラーニング。例:マルチメディア間の関係性、依存性の発見や、その関係性に基づく効果的・効率的な学習法。
- カメラを利用したマーカーレスモーションキャプチャとコンピュータアニメーションへの応用(図2)
- 画像・映像からのヒトの姿勢推定と行動認識(図3)
- 画像の超解像とその対象認識精度向上への応用(図4)

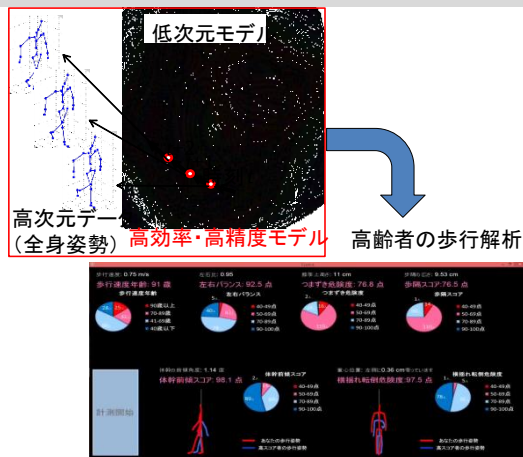


図1: 歩行モデルと歩行解析への応用



図2: モーションキャプチャ



図3: 姿勢推定と行動認識



図4: 画像の超解像と、遠方物体検出への応用

◆企業との接点・共同研究のご提案

- 【基盤技術】ヒトの状態・行動を計測・認識する技術全般。特に、ヒトに負担を与えないカメラなどの光学式センサによる非接触計測と認識。
- 次世代モビリティや道路交通インフラの開発
 - 周辺環境(特に歩行者、自転車など)の認識と動きの予測
 - 特に世界的な競技会で**世界一**にランクされた超解像技術とその遠方物体検出への応用
 - 搭乗者の状態推定とクルマ制御への応用(安全・安心から快適へ)
 - IT化された車内機器の簡単操作のための搭乗者の状態・動作認識
 - 半自動から全自動で応用できるヒトの運転の個性・技術の計測・解析
- 知的映像解析
 - スポーツや映像への情報付与(戦術表示、技能可視化など)やハイレベル検索(〇〇選手が△△しているシーンを検索)
 - ドラマ・映画のコンテンツ解析と映像検索への応用
 - 平時の通常画像しか得られない環境でも未知の異常検出が可能なセキュリティシステム
- 高齢化社会を支える情報システム
 - 高齢者に親和性の高い情報システム(ロボット、スマホなど)
 - 高齢者の健康状態を計測し、予防医療やリハビリを促すシステム
 - 従来型の転倒などの危険検出から、危険が起こる要因を見つける危険予防(付加価値の高い高齢者住宅に向けて)

車載カメラ(車外撮影)

車載カメラ(車内撮影)



情報通信研究室

— 情報工学やコンピュータサイエンスの未解決問題にチャレンジする —

キーワード	誤り訂正符号、LDPC符号、PCクラスター、ベイズ推定、複素ニューラルネットワーク
相談・提供 可能技術	各種の実用的に最適な誤り訂正符号の構成とPCクラスターによる探索、 ベイズ推定の漸近評価技術、複素ニューラルネットワークの効果的な学習法

◆研究室スタッフ

准教授: 松井 一

修士2年学生1名, 修士1年学生1名, 学部4年学生2名

問合せ先 : matsui@toyota-ti.ac.jp

◆研究の背景と概要(独自性、有用性)

誤り訂正符号とは、デジタル・データに冗長部と呼ばれるデータを付け加え、誤りが起こっても一定数以下ならば冗長部より推定して訂正できるようにする仕組みである。現在では、デジタル・データを扱う際には誤り訂正符号がほぼ必ず用いられており、このうちの多くがリード・ソロモン(RS)符号および低密度パリティ検査(LDPC)符号と呼ばれる誤り訂正符号である。LDPC符号は誤り訂正符号の理論的な限界式であるシャノン限界にほぼ到達することが示されているものの、状況に応じた最適なものを見つけることは未だに問題であるため、当研究室では様々な手法を駆使して高性能化を追求している。

独自性: 応用数学の観点から、情報工学およびコンピュータサイエンスの理論から応用まで一貫して研究を行っている。またPCクラスターによる並列計算手法にも独自性がある。

有用性: 膨大な誤り訂正符号の組合せの中から効率よく最適なものを探索する技術、ベイズ推定の学習スピードを前もって予測する技術、また複素ニューラルネットワークの高速学習手法。

◆研究テーマと成果

1. 様々な誤り訂正符号の構成とPCクラスターを用いた探索

符号理論の根本問題として、高性能な誤り訂正符号を見つけるという問題がある。当研究室では、目的に応じた高性能なLDPC符号を、PCクラスターを用いて現実的な時間内で探索し構成できるようにする技術を開発している。具体的には、一般化準巡回符号と呼ばれるクラスの誤り訂正符号が満たす、当研究室で「基本等式」と呼んでいる、ある種の方程式系を用いて符号の構成を効率的に行う。こうして従来の手法よりも大幅に探索の計算量を削減した。

2. ベイズ推定におけるマルコフ連鎖モンテカルロ法と学習理論のゼータ関数

ベイズ推定は人工神経回路や階層ベイズなどの機械学習に応用されている。この推定では複雑な積分を計算する必要があるが、その計算にはしばしばマルコフ連鎖モンテカルロ法(MCMC)が応用される。当研究室では、ベイズ推定のための様々なMCMCのアルゴリズムについて比較調査を行いまた新たに開発を行っている。また学習理論のゼータ関数を応用しMCMCの収束スピードを評価する研究を行っている。

3. 複素ニューラルネットワークに対する新たな学習手法である自然勾配法

複素ニューラルネットワークは通常の実ニューラルネットワークを複素化したものであり、光や電磁気などの多次元解析に強く、地雷除去などに応用されている。当研究室では、複素ニューラルネットワークの停滞のない効率的な学習手法である自然勾配法を発表している。これは、複素ニューラルネットワークに対し微分幾何学を応用したものであり、通常の勾配降下法より高速である。

◆研究室の保有技術と設備

研究室スタッフの松井はこれまで誤り訂正符号の代数的側面について研究してきた。主な成果として以下の〈1, 2, 3〉がある。〈1〉リード・ソロモン符号や代数幾何符号の離散フーリエ変換を用いた符号化・復号化統合システム、〈2〉ある種のLDPC符号を含む一般化準巡回符号の符号化用グレブナー基底の計算法、〈3〉多値論理関数の新たな畳込み定理と積の高速化への応用。

最近では、PCクラスターによる並列計算（ソフトウェアはMATLABやCなどを使用）を用いて、情報工学およびコンピュータサイエンスの様々な未解決問題に対し、世界最高性能を達成することに重点を置いている。



並列計算用 PC クラスタ

◆企業との接点・共同研究のご提案

例えば以下のような研究テーマによる共同研究を募集しています。

1. 各種の実用的に最適な誤り訂正符号の構成とPCクラスターによる探索
2. ベイズ推定におけるマルコフ連鎖モンテカルロ法とその収束評価手法
3. 光や振動の解析に威力を発揮する複素ニューラルネットワークの応用

1と関連して、先に述べたように、LDPC符号はsum-product法と呼ばれる復号化法によってシャノン限界まで0.0045dBに迫ることが示された。また近年では多元LDPC符号や空間結合LDPC符号と呼ばれる、より高性能な誤り訂正符号が提案されている。このように現在では様々なLDPC符号の種類がある。しかし、これらを組織的に構成・探索する技術や、制約の中でベストな条件を満たすものを見つける技術はこれまであまり調べられてこなかった。研究室のオリジナルな技術である「一般化準巡回符号の基本等式による構成」は応用範囲が広く、LDPC符号の構成に威力を発揮する。当研究室では、この手法の理論面の完成だけでなく、応用面での研究を計画している。

2については、ベイズ推定における複雑な積分計算を回避するマルコフ連鎖モンテカルロ法(MCMC)について、学習のゼータ関数を用いた収束判定・評価を行う。この手法を用いて、例えば事前に学習の収束を予測したり、また学習に必要なデータセットの数を見積もることができる。

3と関連して、通常の実ニューラルネットワークと比較して、複素ニューラルネットワークは光などの電磁波や多次元信号等に対し効果的に解析を行えることがある。また、複素数の性質を応用した回転や対称性の表現が容易であることも特徴である。更に研究室独自の手法である複素ニューラルネットワークの自然勾配法によって効率よく学習を行うことができ、実問題への応用を目指している。

光機能物質研究室

— 光を縦横無尽に制御するフォトニクス材料の研究 —

キーワード	微細構造ファイバ、スーパーコンティニューム、パラメトリック増幅、ファイバレーザー
相談・提供 可能技術	新規なガラス材料および特殊なファイバの作製、光学ガラス材料の評価、光ファイバの特性評価、光導波路素子設計、光伝搬特性解析、技術光機能材料の設計

◆研究室スタッフ

教授:大石 泰丈 准教授:鈴木 健伸 技術顧問:飯塚 孝之
実験助手: Tong Hoang Tuan, 研究補助者:宮瀬 恵津子
学生:12名

問合せ先 : ohishi@toyota-ti.ac.jp

◆研究の背景と概要(独自性、有用性)

非線形性の高い新規なガラス材料とそれを用い独自に設計した微細構造光ファイバを創生して、スーパーコンティニューム等のコヒーレント光源や光増幅器などの高機能かつ高効率のアクティブ光デバイスの開発を強力に推進しています。

独自の材料設計指針に基づきテルライト、カルコゲナイド、フッ化物、リン酸塩ガラスなどの新しい非線形光学ガラスや高効率の希土類イオン間エネルギー移動、高い発光量子効率をもつホストガラスなどの新規な光制御材料を開発し、その特性を最大限に引き出すため、独自に設計した高い非線形性や特異な波長分散特性を持つハイブリッド微細構造ファイバ(MOF)などの新規な光ファイバの実現とその特性検証までを行い、材料開発からデバイス創生までの一貫した研究を遂行することで、他の研究グループでは実現できない独創的な研究成果を次々とあげています。

本研究室の最先端の研究成果は、光通信に限らず、太陽光エネルギー利用システム、車載光通信システム、環境センシング、医療工学、機械加工、光コンピューティング、量子情報通信などの幅広い分野への応用が可能です。

◆研究テーマと成果

1. 超広帯域コヒーレント光発生・制御の研究 コアとクラッドに組成の大きく異なる高非線形ガラス材料を用いたハイブリッドMOFを作製する方法として、ロッドインチューブ法とスタッキング法を組み合わせた独自の手法を開発し、可視から赤外にわたって波長分散のないファイバ構造を明らかにした。

パラメトリック増幅、波長変換、波形整形等の光信号処理やパラメトリック発振によるコヒーレント光の発生に応用可能な四光波混合が、テルライトガラスコア/フォスフェイトガラスクラッドのハイブリッドMOF構造により、石英ファイバでは不可能な 1.29 から $2.49\ \mu\text{m}$ に亘る帯域 $1.2\ \mu\text{m}$ もの超広帯域な増幅で実現できることを初めて明らかにした。

$2\ \mu\text{m}$ より長波長で零分散となるカルコゲナイドガラスファイバを開発し、長波長励起により、吸収損失の高い可視域での第三次高調波発生(THG)を抑制することで光劣化による損失増加の抑制を試みた。 As_2S_5 MOFでは、 1.37 から $5.65\ \mu\text{m}$ にわたるスーパーコンティニューム(SC)光の発生に成功し、 As_2Se_3 をコアとするカルコゲナイドファイバにより $10\ \mu\text{m}$ におよぶSC光の発生を確認した。

光カー効果(光による屈折率の変化)を用いることで全固体フォトニックバンドギャップ(PBG)ファイバにおいて伝搬特性を動的に制御することができ、PBGを 265nm もシフトさせることが可能であることを明らかにした。

2. 新規エネルギー変換技術の研究 太陽光を直接的にレーザー光に変換する太陽光励起ファイバレーザーをファイバブラッググレーティングを用いて共振器を構成し、レーザー発振に成功した。ファイバレーザーの高密度実装による高出力化の可能性に途を開いた。

◆研究室の保有技術と設備

特殊ガラス材料・ファイバを作製する技術

- ・超高純度雰囲気制御炉
- ・フローティングゾーン単結晶作製装置(写真1)
- ・レーザー書なるキャスティング炉
- ・ファイバプリフォーム延伸装置
- ・ファイバドローイング装置(写真2)
- ・微細構造光ファイバ, ナノワイヤー,
他特殊ファイバ素子作製技術

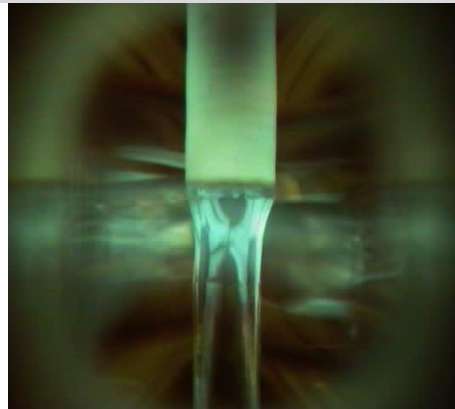


写真1. 単結晶作製装置

光学ガラス材料を評価する技術

- ・ラマン分光器, FT-IR
- ・熱分析装置(DSC, TG/DTA, TMA)
- ・プリズムカプラ
- ・屈折率分散測定装置
- ・分光光度計, 蛍光光度計
- ・広帯域発光特性測定システム
- ・粉末X線回折

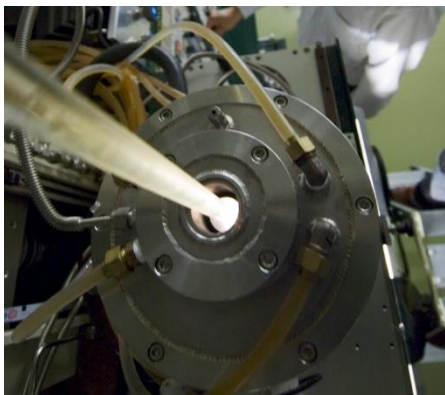


写真2. 光ファイバドローイング装置

光ファイバ素子特性を評価する技術

- ・波長分散測定装置
- ・高分解能光スペクトルアナライザー
- ・超短光パルス解析装置
- ・高速光変調装置
- ・各種高出力ファイバレーザー光源
- ・超短パルス中赤外レーザー光源
- ・チタンサファイアフェムト秒レーザー(写真3)
- ・フェムト秒描画システム
- ・フォトンカウンティングシステム
- ・広帯域オシロスコープ
- ・走査型電子顕微鏡
- ・フォトンペア測定装置
- ・各種自作ファイバレーザーおよび測定装置

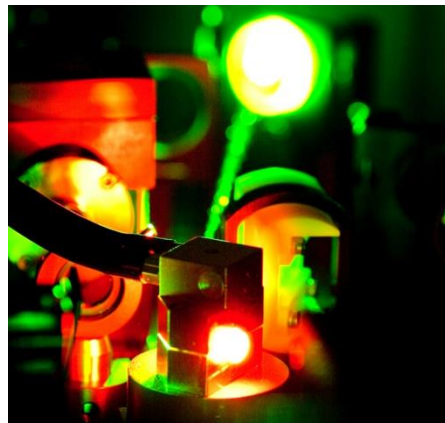


写真3. チタンサファイア フェムト秒レーザー

光導波路素子設計および光伝搬特性解析技術

- ・MATLAB, COMSOL, ModeSolution, FemSIM, BemPROP, FullWAVE
- ・各種自作の解析プログラム

光機能材料を設計する技術

- ・CASTEP, Wien2k, Gaussian, GAMESS

◆企業との接点・共同研究のご提案

当研究室の成果は、光情報通信、太陽光エネルギー利用システム、車載光通信システム、環境センシング、医療工学、機械加工、光コンピューティング、量子情報通信などの幅広い分野への応用が広がっています。これまでに通信キャリア、自動車メーカー、通信機器メーカー、光学素材メーカー等の幅広い企業と共同研究を行ってきました。素材開発から光学素子、レーザー開発まで幅広い分野で協力関係を持つことができます。

フロンティア材料研究室

— 世界一の高品質高機能光ファイバを目指せ —

キーワード	フォトニクス材料、デバイスの開発
相談・提供 可能技術	特殊ファイバのガラス母材およびその製造プロセスについて

◆研究室スタッフ

教授: 齋藤 和也 嘱託研究員: Edson 晴彦 関谷
学生: 9名

問合せ先 : ksaito@toyota-ti.ac.jp

◆研究の背景と概要(独自性、有用性)

シリカガラスは、優れた透過特性や広い真空紫外透過波長域といった他のガラス材料では得られない優れた光学特性をもっているが、これらの特性のさらなる向上が種々の応用で強く望まれている。ガラス構造の無秩序性は、ガラス材料の物性を決定する主要因であるため、シリカガラスの無秩序性と光物性の相関の定量化、および無秩序性の制御による光機能性の向上に取り組んでいる。特に構造の無秩序性はガラス形成時における構造緩和過程で決定されるので、高温まで測定可能な独自の光学測定装置を開発し、シリカガラスのガラス形成過程とそれに伴う構造の無秩序性の変化を明らかにしつつある。また、微量不純物の添加や紫外線照射による無秩序性の制御技術を見出し、さらにそれらのメカニズムの解明を進めている。

これらの研究をもとに、超低損失ファイバ、耐紫外線ファイバ、超高出力ファイバレーザ、超高効率ファイバアンプ、ファイバ型デバイス等の開発を行っている。

◆研究テーマと成果

1. 超低損失ファイバの開発

①ファイバ紡糸中のガラス形成過程制御、および、②添加物による構造緩和の促進および濃度揺らぎによる光散乱増加の抑制、の2つの観点から超低損失ファイバの研究開発に取り組み、Ge添加シリカファイバで世界トップレベルの低損失化を達成。

2. 超高効率ファイバアンプの開発

Er添加シリカガラスは光通信用のファイバアンプ素材として広く用いられているが、アンプの高性能化やレーザ応用を目指して、さらなる高品質化および組成/屈折率の高精度制御が求められている。本研究では、Er添加シリカガラスのMCVD法による製造プロセスの改良および、構造と光物性の相関の解明に取り組んでおり、効率78%の高効率ファイバアンプの開発に成功した。

3. 超高出力ファイバレーザの開発

近年、ビーム品質が高いファイバレーザの高出力用途が注目されるようになり、単一モードでの高出力化を目指した開発競争が世界中で活発に行われている。本研究においても、単一モード超高出力ファイバレーザの開発を目指して、Yb添加シリカプリフォームの作製技術の確立、ガラス構造とYb³⁺イオンの光学特性評価、PCFレーザの試作等に取り組んでおり、これまでにスロープ効率87%で2kW発振に成功した。

4. 衛星間光通信用ファイバアンプの開発 (JAXAとの共同研究)

衛星間光通信用ファイバアンプでは、宇宙線耐性の向上が大きな課題となっている。本研究では、ガラスの組成、活性イオン周辺構造の制御、ファイバ構造の最適化等を検討し、JAXAが打ち上げる衛星に搭載することを目指して研究開発を行っている。

5. 920nm発振フェムト秒ファイバレーザの開発

多光子顕微鏡による蛍光たんぱく質マルチカラーイメージングでは、現在、光源として920nm発振のチタンサファイアレーザが用いられている。これを、ファイバレーザに代替できれば、低コスト化、メンテナンスフリー、小型化が可能になる。本研究では、920nm発振フェムト秒ファイバレーザの開発に取り組んでいる。

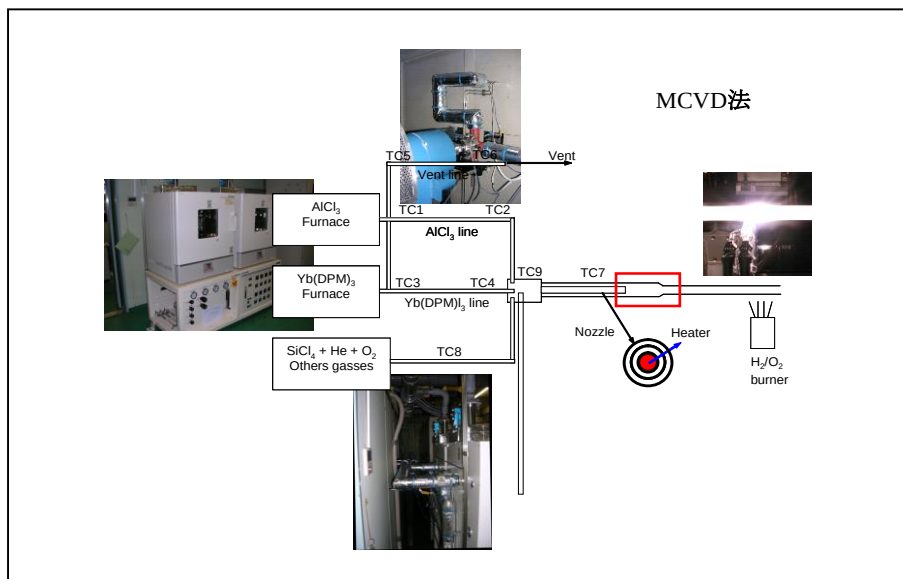
◆研究室の保有技術と設備

保有技術

- ①希土類添加シリカガラスの作製プロセス技術
- ②ファイバ紡糸技術
- ③マルチコアファイバ作製技術

保有設備

MCVD, プリフォームアナライザー、プリズムカップラー、UV&V分光測定装置、FTIR, ESR, ENDOR



◆企業との接点・共同研究のご提案

特殊ファイバ製造に関して、お困りのことがありましたらご相談下さい。

エネルギー材料研究室

— 省エネルギー社会の構築に寄与する機能性材料の創製 —

キーワード	熱電材料、熱ダイオード、熱スイッチ、電子輸送現象、電子構造、熱輸送
相談・提供 可能技術	材料の電子輸送特性の解釈と制御、熱電材料の高性能化、電子輸送現象と電子構造の評価、各種機能性電子材料の開発

◆研究室スタッフ

教授:竹内 恒博 准教授:松波 雅治

PD研究員:久我 健太郎, M. Omprakash, S. Sing, 金柯怜, 彭英, F. Machda

研究補助者:野村 越子,

学生:8名(学部生6名, 修士課程3名, 博士課程2名)

問合せ先 : t_takeuchi@toyota-ti.ac.jp

◆研究の背景と概要(独自性、有用性)

化石燃料の枯渇問題, その燃焼に伴う地球温暖化ガスの排出, 原発停止による電気料金の高騰など, 深刻な社会問題が山積しています. これらの問題を大幅に緩和するためには, 省エネルギー社会の構築が必要不可欠です.

本研究室では, 省エネルギー社会の構築に寄与する機能性固体材料の開発を行っています. 固体内の電子のエネルギー分布, 運動量分布, 電子散乱, フォノン分散, フォノン散乱に関する情報を, 計算科学の手法(バンド計算, クラスタ計算, 各種シミュレーション)と先端的測定手法(高分解能角度分解光電子分光, 赤外分光, X線発光・吸収分光, 共鳴光電子分光, 軟X線光電子分光, 硬X線光電子分光)を駆使することで正確に知り, それらを機能性固体材料の開発に利用していることが, 本研究室で実施している研究の特徴です.

◆研究テーマと成果

以下に, 主な研究テーマと成果を示します.

① 熱電物性を支配する因子の解明とその因子の制御指針の構築

本研究テーマにおいて, これまでに, 微細電子構造の役割, 格子振動の非調和製の影響, 人工超格子に依るフォノン分散の折畳み効果, 粒界によるエネルギー選択散乱効果, ナノ構造の導入による電子物性と格子熱伝導度の変化などを詳細に解明してきました. また, その成果として得られた知見を用いて, 熱電物性(電気伝導度, 熱伝導度, ゼーベック係数)の制御指針を構築しています.

② 安価で無害な元素から構成される高性能熱電材料の創製

①で得られた成果と基に熱電材料の設計指針を提案しています. さらに, 提案した設計指針に基づき, 近年, 安価で安全な元素のみから構成される高性能熱電材料の開発に成功しました.

③ 固体熱ダイオード, 固体熱スイッチ材料の開発

従来の考え方では説明が難しい熱伝導度の温度依存性を, 電子構造と局所原子配列の観点から理解することで, 熱流を制御する材料の開発を行っています. これまでに, 2倍以上の整流効果を示す熱ダイオードの開発に成功しています.

上記の研究以外にも, 『④ 高温超伝導体における高い超伝導臨界温度の起源の解明』, 『⑤ f 電子系材料(希土類化合物)の電子構造と機能創製』, なども実施しています.

◆研究室の保有技術と設備

エネルギー材料研究室では、下記の装置群を用いて、多種多様な試料の作製、構造評価、電子物性評価、熱物性評価、および、電子構造評価を行っています。

試料作製装置

- ・アーク溶解炉（日新技研）
- ・高周波溶解炉（セキスイメディカル）
- ・単ロール液体急冷装置（日新技研）
- ・分子線エピタキシー装置（エイコー）
- ・RFスパッタ装置（アルバック機工）
- ・浮遊帯域熔融炉（クリスタルシステム）
- ・パルス通電焼結装置（エスエスアロイ）
- ・遊星型ボールミル（フリッチュ）
- ・プラズマジェット溶射装置
- ・ブリッジマン炉
- ・高真空グローブボックス（日新技研）
- ・マッフル炉、管状炉、真空炉、3ゾーン炉

試料加工装置

- ・低速切断機（マルトー）
- ・クリスタルカッター（マルトー）
- ・試料研磨機（マルトー）

試料構造評価装置

- ・多目的X線回折装置（ブルカー）
- ・原子間力顕微鏡（日立ハイテクサイエンス）
- ・デジタル光学顕微鏡

試料物性評価装置

- ・低温物性（電気抵抗、ホール係数、磁気抵抗効果、熱伝導度、ゼーベック係数、比熱、磁化）測定装置（カンタムデザイン）
- ・ゼーベック計数測定装置（MMR）
- ・薄膜熱伝導度測定装置（ピコサーム）
- ・熱拡散率測定装置（ネッチ）
- ・示差熱分析装置DTA-TG（リガク）
- ・示差走査熱量測定装置（リガク）
- ・高温電気抵抗測定装置（自作）
- ・高温ゼーベック係数測定装置（自作）

電子構造評価装置

- ・紫外線・X線光電子分光装置（アルバックファイ）
- ・高分解能角度分解光電子分光装置（MBS）

電子構造計算

- ・バンド計算（FLAPW法、WIEN 2k）
- ・バンド計算（擬ポテンシャル法、PHASE）
- ・クラスター計算（LCAO- $X\alpha$ 法、DVX α ）



◆企業との接点・共同研究のご提案

電子輸送現象や熱輸送現象を物理的観点から考察し、様々な物性の起源を解明することを得意としています。また、固体物理の観点から、電子輸送現象や熱輸送現象に関係する材料の機能を制御する研究も得意としています。

熱や電流を利用した機能性材料（バルク、薄膜、単結晶、粉末、*etc.*）において発生した問題の解決や、材料機能の向上、新しい機能性材料の創出などにおいて協力することが可能です。比較的単純なことに対する相談なども随時受け付けておりますので、遠慮なく、お問い合わせ下さい。

理論物理学研究室

— 時空構造・物質構造・相互作用の根源の解明 —

キーワード	弦理論、場の理論、対称性の自発的破れ
相談・提供 可能技術	量子力学、場の理論等における知識

◆研究室スタッフ

教授: 黒木 経秀

問合せ先: kuroki@toyota-ti.ac.jp

◆研究の背景と概要(独自性、有用性)

素粒子の標準模型は加速器実験で検証されているが、重力を含まず統一理論としては不完全である。統一理論の最有力候補が弦理論であるが、摂動論的な定式化しか持たず、現実世界に対する説明能力を備えていない。これが弦理論における最大の課題であり、30年以上解決していない。弦理論が統一理論として説明能力を持つには非摂動的定式化が必要である。この動機から、行列模型(行列を力学変数とする統計系)による弦理論の非摂動的定式化が提案されている。しかしどの模型も未完成である。従って、弦理論の非摂動的定式化の候補である行列模型を解析し、標準模型の導出、世代数や階層性の起源の解明、量子重力など、標準模型における未解決問題を解明することは弦理論本来の目的からして真に追求すべき課題であると考ええる。

一方で近年の弦理論研究では、弦理論の持つ高い対称性を有効に用いた解析が流行している。しかし弦理論が導出すべき標準模型は、超対称性のない4次元の場の理論である。今後は真摯に行列模型のダイナミクスに取り組み、弦理論の高い対称性、特に10次元ローレンツ対称性や超対称性等が非摂動的弦理論の枠内でどのように破れ、標準模型の対称性に帰着するかを真剣に研究するべき時に来ていると考える。対称性に基づく理論は美しい結果が得られるが、それではいつまでも弦理論が標準模型や加速器実験と乖離し、上記に挙げた統一理論としての弦理論の問題が未解決のままになってしまうからである。

弦理論における10次元ローレンツ対称性、超対称性は理論の無矛盾性から要請されるため、標準模型の導出には、これらの自発的破れが期待される。それには非摂動効果が重要であるが、現在まで弦理論における非摂動効果は非摂動的物体を人為的に導入して解析されており、真空中における対称性の破れとの関係は不明のままである。よって非摂動的弦理論における対称性の自発的破れはこれまでほとんど解明されていない。従って弦理論における対称性の自発的破れを引き起こす非摂動効果の解析が本研究の核心をなす学術的問いである。

また、重力を矛盾なく量子論的に定式化する量子重力理論の最有力候補が弦理論であり、実際行列模型から重力を導出する試みがなされているが、これも未完成である。行列模型において、重力の自由度を同定し、重力理論において本質的な一般座標不変性の起源を明らかにし、いかに4次元の重力が量子論的に定式化できるかを探ることは、自然界に存在する4個の相互作用を量子論的に統一する究極理論の完成に向けて、人類に与えられた最大にして最後の未解決問題である。

これらの問題の解決に向けて、我々は2次元の超弦理論の一つに対し、その非摂動的定化の候補を行列模型によって与えた。これは低次元の超弦理論であり、現実世界を記述する超弦理論を単純化した理論に過ぎないが、超弦理論の完全な非摂動的定式化が未だに存在しない現状において、もし我々の主張が正しければ低次元ではあるが超弦理論を非摂動的に定義した初めての例となり、その存在意義および独自性は非常に大きい。さらに特筆すべきことは、我々の行列模型において、超対称性が自発的に破れることを示したことである。我々の主張が正しければ、この結果は超弦理論において、超対称性が自発的に破れ得ることを示しており、初の例になっていることのみならず、現実世界における超弦理論の自発的対称性の破れの理解に多大な知見を与えると思われる。これにより、実験と乖離している現状の弦理論研究に対し、実験との関連付けを与える可能性を拓くものである。

◆研究テーマと成果

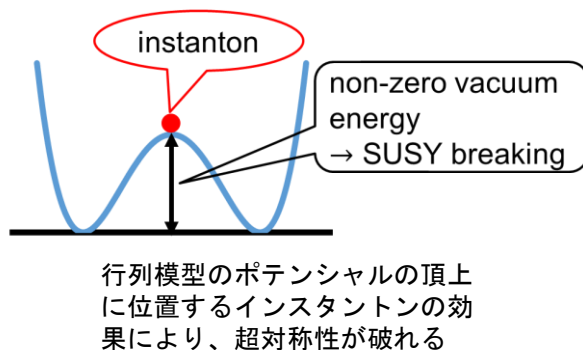
・ 低次元の超弦理論の非摂動的定式化の完成

先行研究において、2次元の超弦理論に対して、行列模型による非摂動的定式化を提唱した。結合定数の最低次においてすべての2点関数が一致するなど、この提案の強い証拠がすでに得られているが、まだ証明は完成していない。超弦理論、行列模型双方で多点相関関数、高次相関関数を求め両者の一致を確認し、この主張を証明する。特に行列模型側では1点関数については摂動の全次数での表式が得られているため、超弦理論で次の次数の表式を得る。この際、数学的に微妙な問題が起こり得るが、行列模型の結果を参照することにより、同時にそれを解決する。超弦理論、行列模型双方で、一般の多点相関関数の高次の寄与を求めることは困難が予想されるが、超対称性、共形対称性、ゲージ対称性等対称性の要請から相関関数間の関係式が両者において存在することが予想され、それを明らかにし比較することによって一気に相関関数の等価性を示すなどの可能性が考えられる。証明が完成すれば、低次元ではあるが超弦理論の非摂動的定式化を与えた初の例となる。

・ 超対称性の自発的破れを起こす自由度の同定

先行研究では、我々の提唱した行列模型において、超対称性が自発的に破れることを示した。この成果は超弦理論における自発的超対称性の初の例を与える可能性が高く、学術的意義は非常に大きい。行列模型の立場では、この破れはインスタントンと呼ばれる量子論的ポテンシャルの鞍点に存在する固有値によるものであることが明らかになっているが、この自由度の超弦理論側での対応物を同定し、超弦理論における超対称性の自発的破れを引き起こす自由度およびその機構、物理的描像を明らかにする。

一般に行列模型のインスタントンは弦理論におけるソリトンであるD-braneに対応することが知られているので、我々の模型においてもインスタントン存在下での相関関数とD-brane存在下での相関関数を比較し、その一致を見ることにより両者を同定する。これにより、D-braneの生成ないし凝縮により超対称性が自発的に破れるという物理的描像を確立する。



・ 高次摂動級数の解析

前項に述べたように、行列模型の1点関数は摂動級数の全次数での表式が得られており、その高次のは弦理論特有の振る舞いをするを明らかにした。これは我々の行列模型が弦理論を定義していることの強い証拠である。弦理論の摂動級数を高次まで計算することは一般に非常に困難であり、超対称性の自発的破れのような非自明な物理を持つ弦理論において、摂動級数が全次数で判明している稀有な例となっている。一方、このような高次摂動級数と非摂動効果を関係付けるresurgenceのアイデアが近年注目されており、実際この級数にresurgenceを適用し、前項で述べたインスタントンの情報が得られることを最近明らかにした。超弦理論にresurgenceを適用した例はまだ少ないため、他の多点関数にもresurgenceを適用する。特に、2点関数についても高次摂動級数の形が判明しつつある状況である。

◆研究室の保有技術と設備

理論物理学の研究室であるため、数式処理、数値計算等を行うためのパソコンのみ使用している。

◆企業との接点・共同研究のご提案

弦理論から派生したアイデアにAdS/CFTという予想がある。AdS/CFTとdeep learninに深い関係があることが近年議論されており、deep learninの開発や検証と弦理論の進展が今後深く関わり合う可能性がある。また、弦理論、量子重力理論と量子情報理論の深い関係もAdS/CFTを通じて指摘されており、量子情報によって重力が理解できたり、逆に量子情報の困難な問題が弦理論を用いて簡単に理解できるなど、今後量子情報理論の観点と弦理論的な観点の相互理解が有用となる可能性がある。

数理物理学研究室

— 時空の数理構造、非線形物理学への斬新なアプローチ —

キーワード	相対性理論、ブラックホール物理学、宇宙物理学、非線形物理学
相談・提供 可能技術	相対性理論および重力理論、非線形数理モデルの構築

◆研究室スタッフ

教授: 富沢 真也

問合せ先: tomizawa@toyota-ti.ac.jp

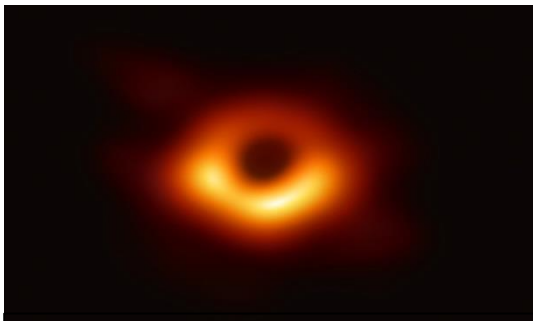
◆研究の背景と概要(独自性、有用性)

万有引力の法則やニュートンの法則の発見によって、我々人類は、惑星の運動をよく理解することができるようになったが、強重力場中の惑星の運動や高エネルギーの宇宙現象では、このニュートン理論が破綻することが知られている。このような現象を扱うためには、アインシュタインの発表した「一般相対性理論」が必要である。この理論は、水星の近日点移動を説明したり、ブラックホールの存在を予言したりするなど、ニュートン理論では説明できない数々の物理現象をうまく説明することで、これまで大きな成功を収めてきたが、ブラックホールの中心近くや宇宙のはじまりでは、この相対性理論も破綻してしまい、より大きな枠組みの理論体系が必要となる。そのような理論の最も有力な候補の理論として、「弦理論」やその低エネルギー有効理論である「超重力理論」のように空間次元が3よりも大きな高次元理論が提案されているものの、理論が正しいことを裏づける実験的な証拠が現在のところ無い。

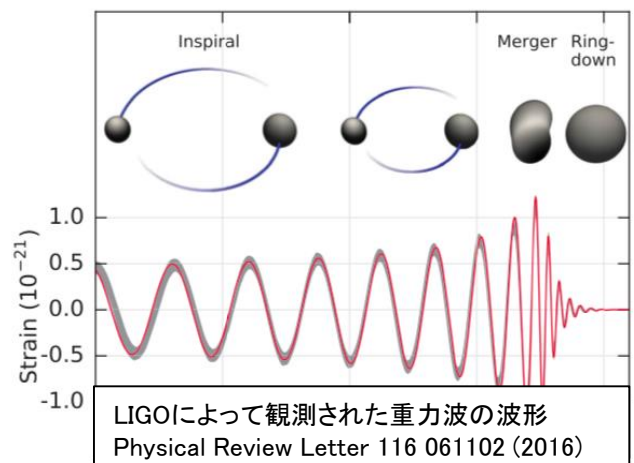
ブラックホールは、一般相対性理論の基礎方程式であるアインシュタイン方程式の解によって記述されると考えられている。特に、空間次元が3次元のブラックホール解は、唯一つであることが証明されている。これは、ブラックホールの一意性定理と知られ、現代の天文学やブラックホール物理学の基盤をなすものである。しかし、空間次元が3よりも大きなブラックホールでは、一意性定理が成立しないため、様々な種類のブラックホール解の存在が示唆されてはいるものの、その全貌は未だに明らかになっていない。こうした高次元ブラックホール特有の性質を明らかにすることが高次元理論の検証につながると思っている。

また、近年、AdS/CFT対応を通して、高次元ブラックホールが超電導や超流動などの凝縮系物理学やクォーク・グルーオンプラズマなどの原子物理学の現象を記述することが解ってきた。そのため、一見、無関係に思えるブラックホール物理学が、量子論ではアプローチの難しい物性物理学の問題を解決したり、新しい量子物理現象を予言したりすることができるかもしれないと期待されている。このような意味で高次元ブラックホールは、実際に存在するかどうかは別にして、現代物理学において重要な地位を築いている。このような理由から、当研究室では、主に、空間次元が3よりも大きなブラックホールに焦点を当てた数理的な研究を行っている。

一方、100年前に一般相対性理論によって、宇宙を光速で伝わる時空のさざ波、重力波の存在が予言され、近年になって初めて、米国のLIGOチームにより、合体するブラックホールから放出される重力波が直接観測された。当研究室では、こうした重力波の新しい非線形効果の解明も試みている。



2019年国際プロジェクトEHTによって撮影されたブラックホールの影
Event Horizon Telescope HP



LIGOによって観測された重力波の波形
Physical Review Letter 116 061102 (2016)

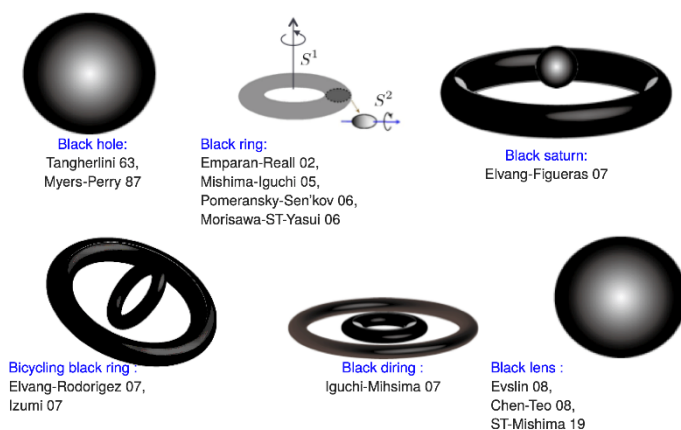
◆研究テーマと成果

・ブラックホール解の構成と数理的解析

アインシュタイン方程式や超重力理論のブラックホールの厳密解の構成を基礎として、アインシュタイン方程式の可積分系の数理構造について研究を行っている。これまでのブラックホールに関する多くの研究では、解析的に簡単であることや解を求めやすいという理由から、コンパクト化されていない漸近平坦なブラックホールに焦点が当てられていたため、コンパクト化されたブラックホール解の新たな生成法を構築し、その手法を用いて、多くのブラックホール解を発見した。

特に、5次元最小超重力理論においてコンパクトな余剰次元を持つ多体ブラックホール解、合体するブラックホール解や超対称ブラックホール解を発見し、その数理的性質および物理的性質についても明らかにした。コンパクトな次元の存在によって、ブラックホールのトポロジーは、球面やリング形状だけではなく、レンズ空間も許されること、また、エルゴ領域がブラックホールの周辺だけではなく、離れた領域にも形成されることも明らかにした。さらに、ブラックホールが合体する際は、2つの球面のブラックホールが1つのレンズ空間のブラックホールへとポロジータンジェンシーを起こし、漸近平坦なブラックホールよりも重力波を多く放射しうること解った。

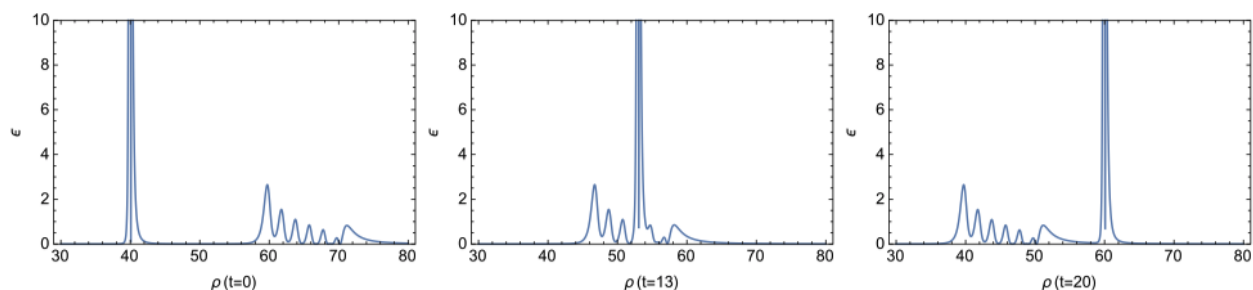
Various black objects in $D = 5$



様々なトポロジーのブラックホール

・重力波の非線形効果の解析

調和写像法を用いてアインシュタイン方程式の円筒対称重力波解を生成し重力波の非線形効果を調べている。特に重力波が反射するときや衝突するとき重力波の強い集中が起きるが、このとき重力波のモード間の転換現象が生じる。解の持つパラメータを変化させることによってモード転換現象がどのように変化するか解析を行っている。また、円筒対称時空では、真空の重力系はアインシュタインマックスウェル系に直接読み替えることができる。そこで、得られた解の重力波-電磁波の相互転換現象への応用についても試みている。



2つの非線形重力波の衝突

◆研究室の保有技術と設備

数理的および理論的な研究のための数式処理ソフトを使用している。

◆企業との接点・共同研究のご提案

相対性理論や宇宙物理学に関わらず、様々な数理モデルの解析や物理学や工学で扱う非線形偏微分法方程式の解法が必要とされた場合、接点の可能性はある。

量子界面物性研究室

— 表面・界面改質による新機能・物性創出 —

キーワード	表面・界面、量子構造、局所解析、太陽電池、光触媒、キャリアダイナミクス
相談・提供可能技術	量子構造作製(MBE)、局所構造・電子計測、光触媒創製、キャリアダイナミクス解析

◆研究室スタッフ

教授:神谷 格 准教授:山方 啓
PD研究員: Ronel Christian Intal ROCA, 加藤 康作
研究補助者: 2名
学生: 6名

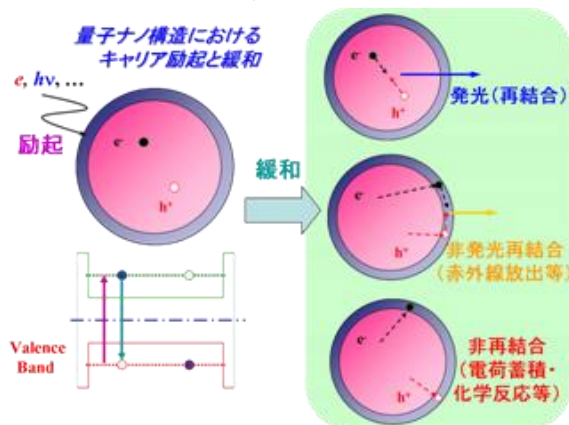
問合せ先: kamiya@toyota-ti.ac.jp (量子構造), yamakata@toyota-ti.ac.jp (光触媒)

◆研究の背景と概要(独自性、有用性)

ナノ構造・量子構造等を中心とした微細構造の表面・界面に絡んだ研究を行っている。

物質の機能・物性は、主に材料の選択、構造(大きさ・格子等)で決まるが、さらにその表面・界面にも大きく依存する。下図の例では、量子ナノ構造体の性能が、内部の電子準位に加え、表面界面により変わることが示されている。また、触媒反応の様に、表面自体が外界との相互作用を司ることもある。

- 当研究室では、このような認識から、
- 1) 固・液・気相合成を駆使した物質の精密作製、
 - 2) 表面・界面の改質制御と評価、
 - 3) 物性・機能計測と創成、
- を特徴とした研究に取り組み、その結果、
- i) 特異な性質を持つ量子構造の開発、
 - ii) 従来の性能を凌ぐ光触媒の開発、
- などに結びつけている。



◆研究テーマと成果

1. エピタキシャル結晶成長とその機構
MBEによるIII-V化合物半導体量子構造等の結晶成長、並びにその成長機構と新規成長法の検討。量子構造の大きさ・歪制御、成長機構の理解を進めている。
2. コロイダルナノ粒子の合成・物性・応用
液相化学を用いて量子ドットを含むナノ粒子の合成とその物性計測や素子応用を検討しており、II-VI, III-V, 酸化物粒子を合成し、薄膜構造中のエネルギー伝達を調べている。
3. 局所ナノ構造の電子物性計測
単一量子ドット・太陽電池電極等の局所的な構造・電子状態を走査プローブ等で計測している。
4. 量子構造を用いた光アップコンバージョン
InGaAs系量子構造による、特に赤外→可視の変換効率向上と機構解明を行っている。
5. 可視光応答光触媒の開発
触媒の組成・構造の改良により可視光で水→水素を製造する光触媒の実現を開発している。
6. 光触媒に於けるキャリアダイナミクス
時間分解計測によるキャリアダイナミクスの検討と、それに基き触媒効率の向上を進めている。

◆研究室の保有技術と設備

以下の通りの試料作製・物性計測系を有し、量子構造・ナノ構造・光触媒等の作製と、その光・電子物性計測を行っている。量子・ナノ構造に関しては、MBEと液相による作製と表面界面改質を、光触媒に関しては可視光応答を特徴としている。また、走査プローブ顕微鏡の改造による誘電体計測等も行っている。

- (1) 試料作製 : 分子線エピタキシー (MBE : III-V, 有機)、金属蒸着装置、
液相合成設備一式、 固相反応装置、 金属酸化物原子層堆積装置
- (2) 光計測 : 蛍光分光器、 吸光分光器、 顕微蛍光分光器 (設営中)、
蛍光分光システム (半導体レーザー×2、 Ti:Sapphire 短パルスレーザー×2、
クライオスタット、 Si CCD 検出器、 InGaAs Diode Array 検出器、 等)
時間分解蛍光分光装置 (ストリークカメラ)
- (3) 伝導計測 : 半導体アナライザー、 (導電性走査プローブ顕微鏡 (5) 記載)
- (4) 超高真空計測系 : 超高真空一貫試料作製-計測システム
- (5) 走査プローブ顕微鏡 : 温度可変 (100~600K)・高真空対応、KFM機能付
- (6) 光触媒計測系 : ナノ秒・ピコ秒時間分解赤外分光装置、赤外可視和周波発生分光装置、
電気化学測定装置、光触媒反応活性評価装置、ガスクロマトグラフィー、
FT-IR、fs~ms時間分解MIR分光装置、 光電気化学分光システム

◆企業との接点・共同研究のご提案

以下に記載、若しくはこれらに関連した技術分野に関し、ご協力をさせて頂ければ幸甚に存じます。お気軽にご連絡下さい。

量子・ナノ構造の作製と表面・界面 (神谷)

視野は主として新材料・部材の開拓にあり、ディスプレイ・センサー・太陽電池等の応用を念頭に、試料作製技術の開拓と機構解明、基礎的な物性計測、デバイスプロトタイピングを行っている。

可能な共同研究のテーマとしては、例えば以下の様なものがある。

- (1) 量子・ナノ構造の表面界面修飾による電子物性制御 (例えば、キャリア寿命、発光効率や明滅等の制御)
- (2) 局所電子状態の計測と応用: 走査プローブやナノ電極による計測と素子開発
- (3) コロイダルドットによる機能薄膜: ドットを包含する薄膜の作製と光電子物性。例えば、
発光シート、光フィルター、等)
- (4) 新規ナノ粒子合成

光触媒 (山方)

光触媒の活性は長い寿命をもつ光励起キャリアーの数と、反応分子への電荷移動速度で決まる。そこで、本研究では特に長寿命成分の光励起キャリアーの動きと反応分子の構造変化を捕らえながら反応素過程を理解し、光触媒の高活性化に貢献する。

- (1) ピコ~秒領域の光励起キャリアーの再結合速度と反応分子への電荷移動速度の計測。
- (2) 時間分解赤外分光法を用いた反応分子の構造変化。
- (3) 電場の中に置かれた光励起キャリアーの挙動と反応生成物 (振動分光・電気化学測定)。
- (4) ガスクロマトグラフィーを用いた反応物・生成物の定量分析。

表面科学研究室

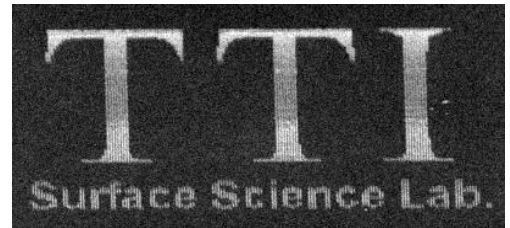
— ナノカーボン創製、ナノ構造分析技術、電池の高性能化 —

キーワード	ナノテクノロジー、エネルギー・環境、カーボン、電池、表面科学、装置開発
相談・提供可能技術	ナノ分析技術による材料表面の評価、カーボンナノ材料の合成、電池材料の分析

◆研究室スタッフ

教授: 吉村 雅満 准教授: 原 正則
PD研究員: Vanjarapu Kesava Rao, Perna Joshi,
Kanishka De Silva
学生: 12名

問合せ先 : yoshi@toyota-ti.ac.jp
<http://www.toyota-ti.ac.jp/surface/>



◆研究の背景と概要(独自性、有用性)

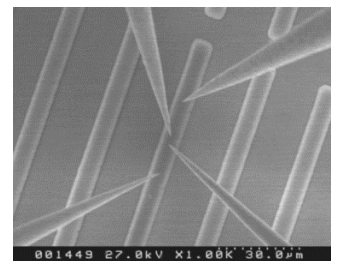
物質がナノサイズになると、表面の全体積に占める割合が大きくなり、表面構造そのものが物性を左右する。当研究室では固体の表面をナノ～ミクロの立場で制御・評価し、カーボンなどの新規物質を利用した新しいエネルギー材料や環境材料の提案とその創製をめざす。ナノカーボン材料合成装置や、原子・分子の分解能をもつ走査プローブ顕微鏡、電気化学や光学特性を調べる装置を主たるツールとして、表面の構造、電子状態、組成、欠陥などを評価し、ナノ～ミクロ領域における電気特性、機械特性、電気伝導、熱伝導、光学特性のオリジンを明らかにする。研究分野としては、(応用)物理、化学、機械工学の融合領域となる。

研究のキーワードを以下に挙げる。

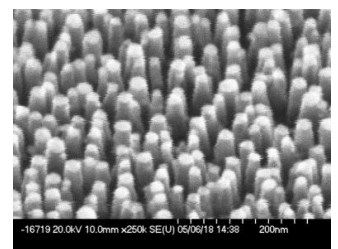
- ・ナノテクノロジー(フラーレン、カーボンナノチューブ、グラフェン、ナノダイヤモンド、バイオ、ナノ加工、ナノロボット、ナノデバイス、センサー、ナノ粒子、プローブ顕微鏡、プラズマ加工、圧電デバイス)
- ・環境(水素、(自動車)触媒、燃料電池、リチウム電池、浄水フィルター)
- ・表面科学(結晶成長、触媒反応、表面分析、原子・分子操作、電気化学、放射光、光物性)
- ・第一原理計算(電気伝導など)
- ・装置開発(電子回路、制御、ソフト開発、機械設計・製作)

◆研究テーマと成果

- 1) 機能性カーボン材料の作製と応用
カーボンナノチューブ、グラフェンなどのカーボンナノ構造のボトムアップ&トップダウン合成、及び各種デバイスの開発
- 2) 燃料電池・太陽電池用高性能素材の研究
電極の高性能化と反応挙動のその場観察、新規透明電極の開発
- 3) 機能性カーボン材料の作製と応用
カーボンナノチューブ、グラフェンなどのカーボンナノ構造のCVD法による合成、及びセンサーデバイスや圧電デバイスの開発
- 4) プローブ顕微鏡(+顕微ラマン)による物性評価
電子顕微鏡内で作動するナノマニピュレータや、AFMラマンによるナノ構造の評価、独自CNT探針の開発
- 5) バイオナノエンジニアリング
ナノダイヤモンド、DNA、バイオミメティクス、人工骨材料の高機能化
- 6) 天然グラファイトからの酸化グラフェン合成
スリランカ産グラファイトを用いた工業応用、浄水フィルター



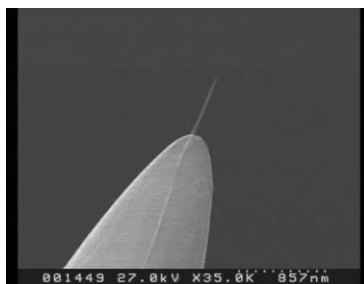
ナノプローバ



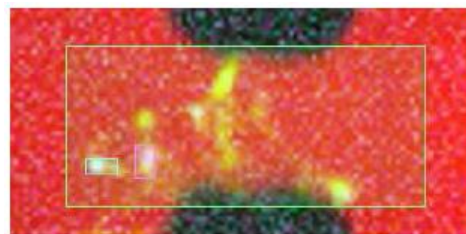
カーボンロッド

◆研究室の保有技術と設備

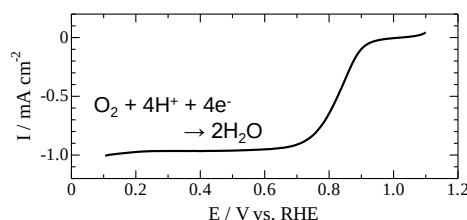
走査プローブ顕微鏡(SPM) 6台
透過型電子顕微鏡(TEM、FIB)
高分解能走査電子顕微鏡(SEM) 2台
真空蒸着装置 2台、オスミウムコーター
カーボン(CNT、グラフェン)合成装置 4台
フーリエ変換赤外分光法装置(FT-IR)
分光光度計(UV-Vis)、熱分析装置
ラマン分光装置(顕微鏡)(Raman TERS)
半導体ナノプローバー
摩擦力評価装置、接触角測定装置
X線光電子分光装置(XPS)
真空アニール炉 2台、マッフル炉 2台
電気化学測定装置 4台
グローブボックス
レーザー顕微鏡



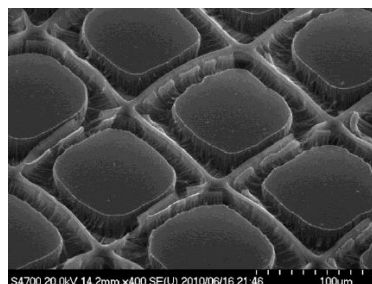
カーボンナノチューブ探針



電極間に架橋したCNTのラマン像



燃料電池用触媒の酸素還元反応測定

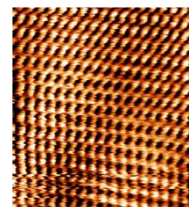


カーボン複合体

◆企業との接点・共同研究のご提案

1. プローブ顕微鏡を用いた材料表面のナノレベル評価

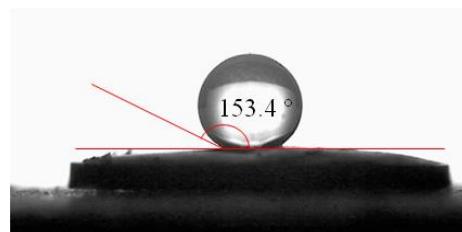
環境 : 超高真空、大気、水中、雰囲気制御(湿度・温度)
評価項目 : 機械特性(トライボロジ、剛性、ヤング率)、電気特性、
磁気特性、増強ラマン
局所評価 : 欠陥、粒界、ナノ粒子、仕事関数
応用分野 : 電極表面、触媒、摩擦、接着...



グラフェンの原子像

2. カーボンナノ材料の合成と応用

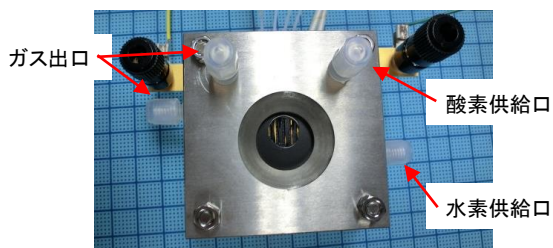
将来の電子デバイスや触媒材料として期待される、カーボンナノチューブやグラフェンなどの合成。
評価は、電子顕微鏡(SEM、TEM)やマッピング可能なラマン顕微鏡(TERS)をはじめ、赤外分光法など各種光学手法を駆使する。またカーボンを用いた撥水表面や防食材、フィルターの開発も行う。



AKD:C₆₀=400:4

3. 電気化学計測との複合化によるナノ材料の反応のその場観察

電池材料や触媒として用いられるナノ材料の反応挙動をその場観察法(分光分析法、プローブ顕微鏡など)を用いて計測し、様々な反応に伴うナノ材料の状態の変化や反応物を分析・評価する。



顕微ラマン測定用燃料電池単セル

触媒有機化学研究室

— 金属クラスター触媒の精密設計に基づく実践的な分子変換反応の開発と応用研究 —

キーワード	精密有機合成, 有機金属化学, 金属クラスター, 担持型触媒, 水素化, ヒドロシリル化
相談・提供 可能技術	ナノおよびサブナノサイズの金属クラスターおよびその担持型触媒の創製, 触媒機能評価(水素化・ヒドロシリル化など), 有機化合物のスペクトル解析

◆研究室スタッフ

教授: 本山 幸弘

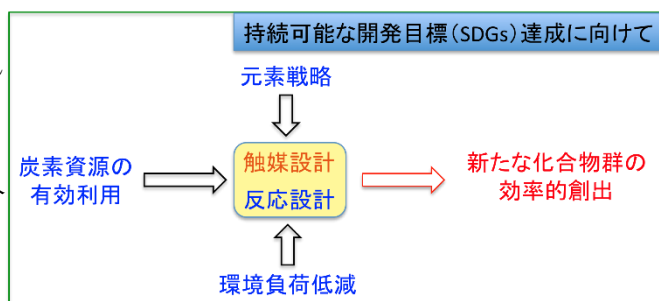
学生: 修士課程 4名, 学部4年生 0名

問合せ先: motoyama@toyota-ti.ac.jp

◆研究の背景と概要(独自性、有用性)

プラスチックや医薬品など, 我々の身の回りには多くの有機分子が含まれている. これら有機分子を創り出す上で基幹科学技術である有機合成化学において, 近年ではグリーンサステナブルケミストリーや元素戦略を含む持続可能な開発目標(SGDs: Sustainable Development Goals)に立脚した高性能触媒の創製ならびに反応開発が求められている.

当研究室では, 有機金属化学を基盤として金属錯体を精密設計し, これらを前駆体として炭素ナノ繊維(CNF)や活性炭に代表される炭素材料, さらに様々な金属種からなる酸化物上にナノからサブナノサイズ (<1 nm) の金属クラスターを高分散・サイズ制御して担持する独自の手法を開発し, これらを触媒として多くの化学者が容易に利用でき, さらに現代社会に求められている地球環境に調和した省資源で省エネルギー型の精密な物質合成, 特に医薬品や機能性材料合成プロセスの創出を目指している.



◆研究テーマと成果

1. 担持型金属クラスター触媒の創製と水素化反応

一般に担持型金属クラスター触媒は工業的に広く利用されているが, 活性や化学選択性の再現性, 反応系への金属の溶出が問題となる. 我々は有機金属錯体の穏和な分解反応を利用して炭素ナノ繊維(CNF)のみならず活性炭を含めた炭素材料上にナノサイズの金属クラスターの精密担持に成功し, これらが芳香環やニトロ基の水素化反応において, 既存の金属触媒と比較して高い活性かつ耐久性を示す不均一系触媒となることを明らかにした. さらに窒素官能基を導入した含窒素CNFや活性炭を担体として用いると, 導入した窒素が効果的に触媒の被毒剤として機能し, 従来の触媒では困難であった化学選択性を達成できること, 金属/窒素比により触媒活性が容易に調整可能なことを見出した.

2. 可溶性金属サブナノクラスター触媒の創製とヒドロシリル化反応

金属クラスターの触媒機能は, そのサイズに大きく依存することが知られている. 我々は担持型金属触媒にヒドロシランを作用させると, サブナノサイズの可溶性金属クラスターが発生し, アミドの還元反応や従来困難であった脱保護反応を安価なヒドロシランで効率的に実現できることを見出した.

この高活性な金属クラスターは失活して担体上に固定化されるが, 反応系中で容易に再発生可能であり, 「再生可能なインテリジェント型触媒」として注目している.

◆研究室の保有技術と設備

当研究室で保有する機器を以下に示す.

有機化合物の解析に必要な装置

核磁気共鳴装置(共同:管理者)
赤外分光光度計
高速液体クロマトグラフィー
キャピラリーガスクロマトグラフ
元素分析装置
熱分析装置
旋光計

その他の設備

オートクレーブ(水素化反応用)
マイクロ波原子発光分光分析装置
ドラフト ダクト式およびフィルター式(ダクトレス)
グローブボックス
有機合成用脱水溶媒供給装置
真空ライン



核磁気共鳴装置(JEOL JMN-ECZ-400R)



元素分析装置(PerkinElmer 2400 II CHN)・左
熱分析装置(PerkinElmer TGA 4000)・右

◆企業との接点・共同研究のご提案

2015-2019年度、文部科学省の研究プロジェクトである私立大学戦略的研究基盤形成支援事業において、本学の「水素原子・分子の活用技術革新のための先進触媒研究」が採択され、その研究代表者を本山が務めていました。

このプロジェクトでは、

① 再生可能エネルギーを有効に利用した「水素」を製造する技術基盤の確立、
② 「水素や水素を含む化合物」を利用した物質を製造する技術の高度化、を主たる目的としており、物質工学、電子情報、機械システムの3分野の教員7名で構成する共同研究組織である「先進触媒開発研究センター」を基盤として、水素の発生(製造)―貯蔵(有機化合物の水素化)―放出(有機化合物の脱水素化)から利用(水素化やヒドロシリル化による有用化合物の合成)を達成しうる新規な触媒の創製を行ってきました。

当研究室では、プロジェクト終了後も前頁に示したような有機化合物の水素化やヒドロシリル化、ならびに脱水素化を高効率で実現できる新規な金属触媒、特にナノからサブナノサイズの金属クラスターの創製と、それらを用いた触媒反応開発を中心に研究を継続しています。

本プロジェクトに関連する触媒や反応開発について、技術相談および将来的な研究協力の相談を歓迎致します。

界面制御プロセス研究室

— 半導体微小球作製プロセスに関する研究 —

キーワード	表面、界面、半導体微小球、パルスレーザー加熱
相談・提供 可能技術	薄膜の溶融・脱ぬれによるマイクロ構造の作製

◆研究室スタッフ

准教授：柳瀬 明久

修士学生：2名

問合せ先：ayanase@toyota-ti.ac.jp

◆研究の背景と概要（独自性、有用性）

誘電体微小球（直径 数 $\sim$ 100 μm ）は、微小光共振器として狭い空間に大きな光エネルギーを閉じ込める性質が非常に高い。微小球の表面付近に強い光の場ができるので、微小球中の光学過程は様々な非線形現象を示す。そのため、微小球は、微小レーザーなど光デバイスへの応用が検討されている。また、半導体微小球は、屈折率が高い利点と電流注入型発光デバイスへ発展する可能性により、特に有望な材料といえる。微小球が光学デバイスへ適用されるためには、真球に限りなく近い形状、精密なサイズ制御、高いサイズ均一性の3条件を同時に満たすことが必要である。

現在、サイズが均一な微小球の主な作製方法として、(1)溶液中の固相析出反応において核生成とその後の粒子成長とを時間的に分離する方法、(2)均一なサイズの細孔から液体を押し出す方法、(3)液相中のナノ粒子原料をパルスレーザー加熱する方法、などがある。しかし、上記3条件を高度に満たす微小球作製は実現されていない。

本研究室では半導体微小球の作製に関して薄膜粒子化法を独自に探求している。この方法は、図1に示すように、原料薄膜を短パルスレーザー照射によって加熱・溶融し、液体薄膜がぬれにくい場合に最も安定な球形に近づくことを利用するものである。一定面積の薄膜が単一粒子に変形すれば、サイズは均一になる。薄膜粒子化法の特徴は、粒子形状とサイズ均一性をもたらす物理的根拠が単純なこと、溶融可能な広い材料系に適用可能なことである。

現在、元素単体の半導体であるゲルマニウム (Ge) とシリコン (Si) の微小球（直径 3 $\sim$ 10 μm ）の作製について、あらかじめパッチ状に加工された薄膜を用いた薄膜粒子化法による微小球作製プロセスを研究している。溶融状態を経て球形粒子を得るプロセスでは、相変化に伴う体積変化が生じ、一般に高い真球性の獲得は容易ではない。そのため、1個の薄膜を1個の球状粒子まで連続的に変形させる過程と球状粒子から真球性の高い微小球を得る過程からなる2段階プロセスが必要であると考えている。高品質な半導体微小球を作製するための最適なプロセスを明らかにする。

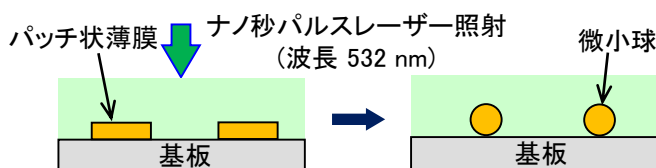


図1 薄膜粒子化法の模式図

◆研究テーマと成果

1. 薄膜粒子化法によるGe微小球の作製

図1に模式的に示した薄膜粒子化法によるGe薄膜の粒子化について調べてきた。図2は、リフトオフ法によってパッチ状に加工したGe薄膜(厚さ 130 nm)/高分子材料基板を、高分子液体(ポリエチレングリコール(PEG))によって被覆し、そこにナノ秒パルスレーザー(532 nm) 1パルスを照射し、Geを粒子化させた結果である。それぞれのパッチがほぼ1個の粒子に変形し、球形に近い形状の粒子が得られたが、真球性は不十分であった。

現在、高品質な半導体微小球の製造をめざして、高真空中でのパルスレーザー照射によって、1個の薄膜を1個の球状粒子まで連続的に変形させる過程を調べている。そして、図3に示すような基板との接触面積が小さいパッチ状Ge薄膜の作製とその微小球化に関する実験を進めている。基板の影響をできるだけ小さくした試料を用いて、パッチ状薄膜の球形粒子への連続変形を達成するために必要な条件を明らかにする。

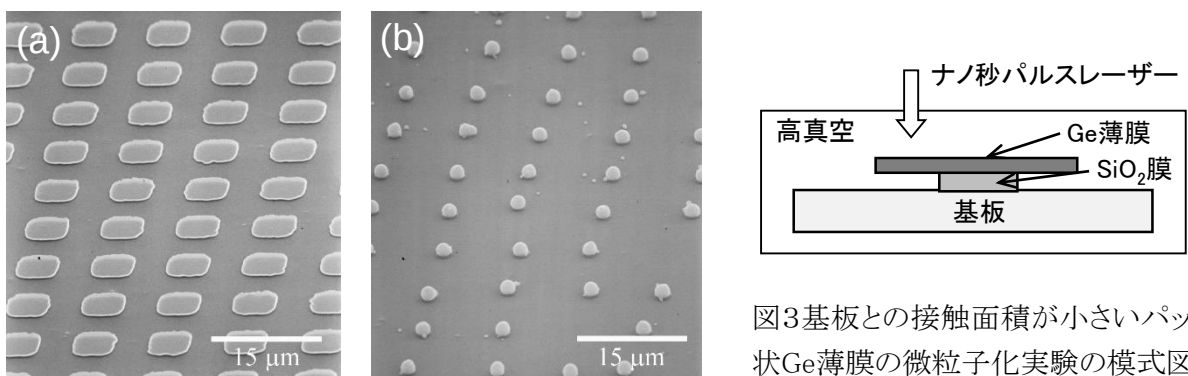


図3基板との接触面積が小さいパッチ状Ge薄膜の微粒子化実験の模式図

図2 パッチ状Ge薄膜(面内サイズ $\sim 5 \mu\text{m}$ 角、厚さ130 nm)/高分子材料基板のPEG媒質中でのパルスレーザー加熱による粒子化。(a)パルスレーザー照射前、(b)パルスレーザー(照射エネルギー密度 110 mJcm^{-2})照射後の走査電子顕微鏡像。

◆研究室の保有技術と設備

1. ナノ秒パルスレーザー加熱

ナノ秒パルス Nd:YAG レーザー装置を用いて、波長 532 nm(2倍波)の光を空气中、液体中、高真空中の試料に照射することができる。光学遅延素子とフライアイレンズを用いて照射エネルギー密度の均一化を図っている。4 mm角の領域に対して、平均エネルギー密度 200 mJcm^{-2} の照射が実施できる。この方法の特徴は、用いる波長(532 nm)の光を吸収する材料のみを局所的に加熱可能なこと、きわめて短時間での加熱・冷却が可能なことである。

2. 一般的な材料プロセス

本研究室では、真空蒸着法ならびに高周波マグネトロンスパッタリング法による薄膜作製、リフトオフ法などによる微細構造形成などのプロセスを実施している。微細加工プロセスに関しては本学共同利用クリーンルーム内の装置を利用している。

◆企業との接点・共同研究のご提案

1. ゲルマニウム、シリコンなどの半導体材料の微小球化プロセスの検討
2. 生成した半導体微小球の組成・構造の分析と光学的評価

高分子ナノ複合材料研究室

— 機能性細胞培養足場の研究 —

キーワード	高分子コンポジット足場, 細胞培養, がん転移, 再生医療, 組織工学
相談・提供 可能技術	コンポジット材料設計, 構造解析, 細胞培養実験

◆研究室スタッフ

准教授:岡本 正巳
研究補助者:藤田 美帆
学生:6名

問合せ先 : okamoto@toyota-ti.ac.jp

◆研究の背景と概要(独自性、有用性)

種々の機能を備えたバイオマテリアルは、再生医療や組織工学分野への応用だけでなく、病理の解明でも重要であり、新たなバイオマテリアルの開拓が待たれている。本研究室はバイオ高分子系ナノ複合材料分野で豊富な実績を持ち、近年これを基に、生体組織工学に向けた新奇な「機能性細胞培養足場」の研究を推進している。

主な研究テーマとして、

- ① ラテックスナノ粒子の細胞毒性の解明と抗がん剤用天然ゴム導入足場材料の開発
- ② 骨および軟骨組織再生に適した高分子コンポジット細胞培養足場の開発
- ③ リバースマルチトランスフェクション可能な細胞培養足場の開発
- ④ 粘度鉱物ナノ粒子を用いたDDSに関する研究
- ⑤ 抗がん剤内包リン酸カルシウム粒子のDDSに関する研究
- ⑥ 乳がんの高分子足場誘導型*in vitro*上皮間葉転換に関する研究
- ⑦ 高分子足場誘導によるがん幹細胞に関する研究

◆研究テーマと成果

① ラテックスナノ粒子の細胞毒性の解明と天然ゴム導入足場材料の開発

近年、パラゴムノキから採取された天然ゴムラテックス (NRL)をシート状にしたラテックス膜が血管形成の誘導や骨再生などの組織再生に用いた報告がなされ、NRLの再生医療への応用の期待が高まりつつある。しかし、生体外におけるNRLの生体適合性に関して十分な研究がなされているといえない。本研究では、生体外におけるNRLの生体適合性を評価し再生医療への応用を目指すために、正常細胞に対する細胞毒性および細胞死の機序を調査した。そして、幹細胞を用いた骨形成および軟骨形成について研究し、新奇なバイオ複合組織の創成に成功した。

論文: *Nanocomposites* 3, 76 (2017), *Materials Today Chemistry* 5, 63 (2017), 12, 315 (2019)

⑥ 基材誘導による癌幹細胞に関する研究

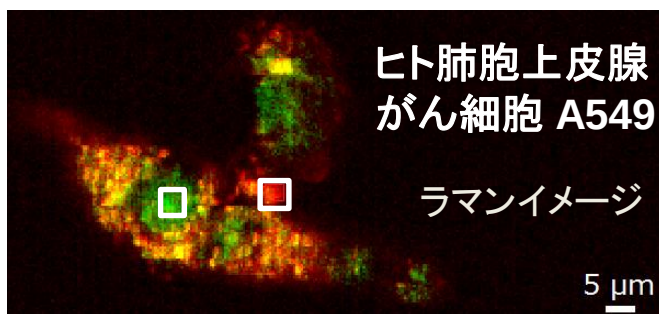
近年、がん組織は単一の細胞集団ではなくごく少数の「がん幹細胞 (CSC)」があることが、多くのがん細胞集団の中で明らかになっている。このCSCはがんの元なる細胞で、がんの再発や転移に関わり、新しい治療の標的としてその臨床的意義の大きさから研究の対象とされている。しかし、CSCの起源は未だ解明されていない。本研究では、3次元繊維状多孔質構造を有する高分子細胞培養足場および損失特性の異なる高分子粘弾性ゲル足場を作製し、これを用いることにより、乳がん細胞の足場誘導型CSCが*in vitro*で実現可能となった。CSC発生の機序の解明を目指している。

論文: *Materials Today Chemistry* 11, 29 (2019), 13, 8 (2019)

◆研究室の保有技術と設備

- バイオクリーンベンチ (Astec-AH 130)
- 低温インキュベーター
- CO₂ インキュベータ, マルチガスインキュベータ (Astec-SCA-165DS, MCO-5M-PJ, Panasonic)
- 凍結乾燥機 (FDU-2200)
- 超臨界CO₂製造装置 (耐圧硝子工業, TSC-WC-0096)
- 培養倒立顕微鏡 (Nikon, ECLIPSE-TS100)
- 蛍光顕微鏡 (Life Technology EVOS FL auto)
- EVOS専用オンステージインキュベーター (Thermo Fisher Scientific, Life Technology)
- テーブルトップ遠心機 (KUBOTA-4000)
- 超遠心機 (Legend Micro 21R, Thermo Fisher Scientific)
- プレート専用遠心機 (KUBOTA-Platespin II)
- ナノドロップ One (Thermo Fisher Scientific)
- リアルタイム PCR (Light Cycler 96, Roche)
- マイクロプレートスペクトロフォトメーター (Multiskan GO, Thermo Fisher Scientific)
- ゼータサイザー ZS (Malvern)
- フローサイトメーター (Attune® NxT Acoustic Focusing Cytometer, Thermo Fisher Scientific)
- DNA分析用マイクロチップ電気泳動装置 (SHIMADZU-MultiNA)
- TOC分析装置 (Analytikjena-multi N/C2100S)
- 原子吸光装置 (PinAAcle 900T, Perkin Elmer)
- 量子化学計算 (Scigress, v 2.5.2, Fujitsu Ltd.) その他, 構造解析に必要な装置 等

■ 脂質(2850cm⁻¹) ■ 核タンパク質(2930cm⁻¹)



◆企業との接点・共同研究のご提案

これまでの民間企業と当該研究室との共同研究は、大きく二つのカテゴリーから成り立っています。一つは新しい材料開発に関するテーマです。(およそ5年後の市場参入を視野にいたったテーマであって、最先端の材料開発ではありません) そしてもう一つは、企業が今抱えている問題点を解決するために、その原因を探り(コストも十分に考慮した)最適な解決策を提案するものです。後者は市場の利益にダイレクトに関係します。これまでに手がけた共同研究では、むしろこちらのテーマの方が多いと感じています。

これら共同研究のほとんどが最初は技術相談から始まり、そして共同研究へと発展して行きました。かつて民間企業に8年間在籍した経験から、企業での研究開発と大学における研究とのギャップについては十分に理解しているつもりです。民間企業と当該研究室との敷居は極めて低いので、気軽に相談を持ちかけて頂ければ幸いです。

具体的な共同研究の提案としては

- 高分子系コンポジット材料の設計と構造解析に関するテーマ
- 細胞毒性、生体組織工学に関するテーマ

機能セラミックス研究室

— エネルギー・環境問題の解決に貢献する次世代高機能セラミックス材料の創製 —

キーワード	セラミックス材料, 化学溶液法, イオン伝導(固体電解質), 電池, 結晶配向
相談・提供 可能技術	酸化物材料の合成, イオン伝導特性の評価, (基礎的な)固体NMR解析

◆研究室スタッフ

講師: 荒川 修一

問合せ先: arakawa@toyota-ti.ac.jp

◆研究の背景と概要(独自性、有用性)

セラミックス材料の特性は、組成、結晶構造、形態などの諸因子に加え、粒界・表面などの界面構造も含めた微構造(組織)に強く依存し、その選択や制御は機能発現において重要な課題である。そのような観点から、主としてセラミックスの構造を意識した研究活動を行っている。具体的には、「結晶方位に依存する特性」または「多孔構造」を最大限に活かす高機能酸化物セラミックス材料の設計・探索と創製をめざしており、それぞれ、「セラミックスに結晶異方性を付与する新しい組織制御法の開拓」、「特異な多孔構造を有する粘土鉱物を基材とした新規機能材料の創製」などに取り組んでいる。なお、合成手法には、化学溶液法のほか、水熱法、バイオミネラリゼーションなどの低環境負荷プロセスを積極的に活用している。

物性の観点からは、特に「固体電解質のイオン伝導性向上に関する研究」に注力している。エネルギー・環境問題の解決に向けた様々な取り組みの1つとして、リチウムイオン電池などの二次電池や燃料電池の高性能化に関する研究開発が急がれているが、電解質はこれらの化学電池に共通する主要な構成要素である。固体化学を基盤とし、最適な結晶構造の探索や組織制御法の開拓を通して、実用に耐えうる高速イオン伝導性を示す新規な固体電解質材料の実現を目指している。

◆研究テーマと成果

1. 伝導異方性を意識したイオン伝導性セラミックスの結晶配向制御

異方的なイオン伝導性を有する固体電解質には、バルクとしてのイオン伝導性が一見低くても、結晶の向きを高いイオン伝導性を示す方位に揃えることで、実用レベルの電池用固体電解質材料とすることができるものもあると考えられる。中温域作動型SOFC用の電解質の候補材料であるアパタイト型ランタンシリケート(LSO)はその一例であり、*c*軸方向に高い酸化物イオン伝導性を示す。*c*軸配向LSOセラミックスを作製するためのプロセスを検討している。

2. 固体電解質のイオン伝導メカニズムの解明

高いリチウムイオン伝導性を示すAサイト欠損型ペロブスカイト酸化物を中心に、伝導率スペクトルのべき乗則解析や静的および動的固体NMRの解析により、系統的にイオン伝導メカニズムを検討してきた。これらの知見は、高速イオン伝導性を実現する新規な母構造の探索に有用である。

3. 異方性セラミックス合成のための新しい反応性テンプレート粒成長法の開拓

反応性テンプレート粒成長法(RTGG法)は、よく知られた異方性セラミックスの作製法であるが、テンプレート粒子と目的物質との間の良好な格子整合性を前提としているため、適用物質が限られるという短所がある。新たな概念を導入し、適用可能物質の拡張を目指している。

4. 中空球状アロフェンナノ粒子を基材とした新規機能性材料の創製

内径3.8 nm程度の中空空間と球壁に0.5 nm径程度の貫通孔を多数有する中空球状アロフェンナノ粒子を基材として、Ptナノ粒子や生体関連有機分子等を吸着した新しい機能性ナノ複合材料の創製に取り組んできた(高分子ナノ複合材料研究室との共同研究)。

◆研究室の保有技術と設備

以下に記載の装置および大学共用設備(FE-SEM, XRD等)を用いて, 多種多様なセラミックス材料(バルク, 薄膜)の作製と構造, 熱挙動, および物性の評価を行っている.

試料作製

- スピncerコーター
- 各種電気炉
(マッフル炉, ボックス炉, 管状炉)
- ブリッジマン法単結晶炉
- 高圧マイクロリアクタ
- 導電薄膜作製用コンパクトスパッタ装置

特性評価

- LCRメータ
- 電圧源内臓ピコアンメータ
- インピーダンスアナライザ
- 各種熱分析装置
(TG-DTA, DSC, TMA)
- 分光蛍光光度計



ブリッジマン単結晶炉



熱分析システム

(リガク Thermo plus 2, TG 8120,
DSC 8270, TMA 8310)

◆企業との接点・共同研究のご提案

1. 新しい機能を有する酸化物セラミックスの作製
バルク, 多孔体, 薄膜, ナノ粒子等, 種々の形態の酸化物セラミックスの作製支援または共同研究
薄膜については, 化学溶液法による合成
2. 交流法による電気伝導特性の評価
インピーダンス分光法など, 交流法を用いたイオン伝導特性や誘電特性の評価支援または共同研究
3. 固体NMR測定および解析 (ただし学内NMR装置が利用可能となる場合)
様々な無機材料の固体NMR測定による構造評価・解析支援または共同研究

人文科学研究室(哲学)

— 哲学に基づく人間教育と対話による共同的思考の実現 —

キーワード	哲学、対話的思考、人間力、教養教育、リベラル・アーツ、アクティブ・ラーニング
相談・提供 可能技術	「哲学対話」の手法を用いたコミュニケーション研修、「哲学カフェ」の実施

◆研究室スタッフ

教授: 江口 建

問合せ先: eguchi@toyota-ti.ac.jp

	哲学カフェ	哲学対話
発祥	フランス (パリ)	アメリカ
目的	市民教育	学校教育
性質	市民啓蒙活動	学習理論

雑談 (chat, talk)
議論 (discussion)
討論 (debate)
独白 (monologue)
○対話 (dialogue)

◆研究の背景と概要(独自性、有用性)

近年、新学習指導要領において文科省が「主体的・対話的で深い学び」(いわゆるアクティブ・ラーニング)を推奨しました。また、2018年度からは小学校や中学校で「道徳の教科化」が開始され、〈心情を理解する〉道徳から〈考え、議論する〉道徳への方針転換が打ち出されました。これらの状況によって、ますます「対話」の重要性が自覚されています。

こうした流れの背景には、

1. 知識伝達型の座学の行き詰まり
2. 旧来のモラル教育の手ごたえのなさ

があります。

そこで、いま「哲学対話」の手法が注目されています。

健全な市民社会を作るうえで極めて有効であるという洞察から、欧米では、学校教育への哲学対話の導入が進んでおり、哲学対話の手法に基づいた民主主義社会の可能性が模索されています。

哲学対話とは、1970年代にアメリカの哲学者マシュー・リップマンが考案した学校教育プログラムです。欧米では「子どものための哲学(Philosophy for Children: P4C)」の呼称で知られています。今日ではさまざまな国の大学や小学校、中学校、高校で実践されつつあります。それは同時に、「対話」が持つ効果に着目し、教育現場に限らず、さまざまな実践の場で活かしてゆこうとする活動の総称でもあります。その意味で、フランス発祥の「哲学カフェ」となだらかにつながって受容されています。日本でも、類似のイベントを企画・運営する団体は多数存在し、北は北海道から、南は鹿児島県まで、その活動は日本全国に分布しています。また、大学などの教育機関や、研究者・大学院生などが関与・運営しているケースも少なくありません。

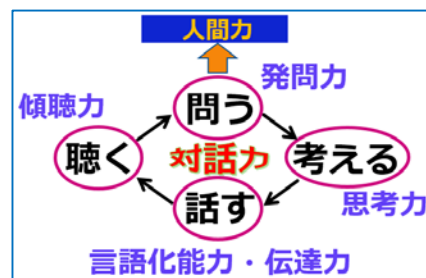
哲学対話の標準的なスタイルとしては、ある特定の話題について「対話」をおこないながら、徐々に問題を深く掘り下げ、その過程で論理的思考力や推論能力、判断力、想像力、言語運用能力、共感力などを鍛えるというものです。問う力・考える力・語る力・聴く力の四つの能力を切り離さずに総合的に鍛錬できる学習方法として注目を集めつつあります。

我が国では、近年、道徳や倫理、総合学習の授業で、「哲学対話」の手法を導入する中学校や高校が少しずつ増えてきました。また、いわゆる五教科でも、哲学対話の手法の有効性を見抜き、自主的に活用している教員が少なからずいます。さらに、哲学対話が「意見交換の場の醸成」に効果を発揮するという理由で、地域コミュニティの再生や、地方創生・地域活性化をめぐる住民同士の話し合いの場にも導入されつつあります。

「話し合いにならない場」を「話し合いの場」に転換させる機能が哲学対話にはあります。

【スマホ世代の特徴】

- ▶ 「匿名掲示板」に一方的に書き込むことには慣れているが、「対面して」人と話し、批判的な意見をもらうことには圧倒的に不慣れ。
- ▶ 「チャット」型のコミュニティツールを使うことには慣れていても、一対一の「文通」が著しく不得手。
- ▶ 「投稿」の仕方やTwitterなどでの「つぶやき方」に通曉している反面、「メール」や「手紙」の書き方を知らない。



◆研究テーマと成果

■哲学対話(子どものための哲学)をはじめとした対話理論や教育手法の理論的・実践的研究

1970年代にアメリカで学校教育プログラムとして開発された「哲学対話」の理論的研究と並行して、さまざまな場所で哲学対話の実践と学校教育への導入を試みています。小学校・中学校・高校や大学での実践を通して、生徒や学生の「探求する動機」や「対話力」に視認可能な向上が見られました。また、企業の新人研修などに哲学対話を導入した際には、例年とは異なる成果が確認されました。形ばかりの見かけ上の「アクティブ・ラーニング(能動的学習)」では一向に成果が出ない教育現場や、通常のコミュニケーション研修では埒が明かない企業などから、期待の声が寄せられています。



■哲学教育に基づいた市民教育・家庭教育・道徳教育の再生

育児サークルなどの市民団体と連携し、就学前の子どもたちや小学生児童を対象とした「哲学対話」を継続的に実施し、それが人間的成長や学習、道徳心の醸成にどのような影響を与えるかを観察しています。また、地域連携協議会や教員免許講習会などを通じて、保護者や学校教員と「哲学対話」を実施し、親や教師の役割、教育のあるべき姿などについて意見交換しています。それを通じて、対話的思考による共同体の再生を試みています。さらに、自治体や役所などから依頼を受け、地域再生・地方創生に哲学対話を役立てています。参加者の多くが、哲学対話を経験したことで自己の中に芽生えた「変化」を証言しています。

【対話のルール】

- 1) **ホンネ**で話す。何を言ってもよい。
- 2) ただし、他人の意見を**否定しない**。
馬鹿にしない。からかわない。
- 3) **対等の立場**で話す(身分や肩書、
上下関係、年齢、性差は関係ない)。
- 4) 互いの話を最後までよく**聴く**。

■「教養教育」の歴史的研究と「教養」概念の解明、および「リベラル・アーツ」科目の手法研究

かつての「教養主義」が没落し、知の大衆化、空洞化が叫ばれて久しいですが、「新しい教養」、「本物の教養」の必要性が繰り返し説かれながらも、一向に日本国民や大学生の教養度が上がらない理由は何なのか。その背景には何があるのか。日本の教養教育を阻害しているものは何なのか。以上のことを解明すべく、研究を進めています。

理論の実践として、授業では、知識の授受や暗記作業よりも、「思考力」と「対話力」を鍛えることに専心しています。様々な思考実験を通じて、論理的・批判的に考える力、善悪を見極める判断力、問題の本質を見抜く洞察力、他者に対して寛容に応答する姿勢などを養うべく注力しています。「なぜ？」と問い、疑問について共に考え、それを言葉にして誠実に語り、他者の考えに真摯に耳を傾ける、という一連の対話的思考を続けることのうちに、「本物に役に立つ」教養の可能性を見出しています。

◆研究室の保有技術と設備

人文科学、なかでも哲学・思想の研究室であるため、実験装置や器具を用いることはありません。また、製品開発に結び付くような基礎技術も持ち合わせていません。しかし、「技能／技法」という意味では、職場の雰囲気を変える仕掛けや、物事を先に進める人間関係、合意形成の場とプロセスを構築する手法・理論を有しています。

◆企業との接点・共同研究のご提案

企業との最大の接点は、「人間教育」と「職場改革」だと言えるでしょう。従来のアンガー・マネジメントやコミュニケーション研修では一向に効果が見られないケースにおいて、哲学対話の有効性が確認されています。これまでも大企業からご依頼をいただき、若手社員研修に哲学対話を導入した折には、わずか3か月で「期待以上の成果があった」との報告を受けています。また、経済団体からも、「働き方改革」や「職場の雰囲気改善」に効果が期待できる手法の一つとして注目していただいています。もしも「今のままでは埒が明かない」、「本気で改革したい」とお感じになっている場合は、ご連絡ください。

外国語研究室

— 日本手話言語学の探求・日本手話文法の解明 —

キーワード	手話言語学、日本手話、音素配列論、音節、適格性
相談・提供 可能技術	日本手話音節のデータベース作成・提供

◆研究室スタッフ

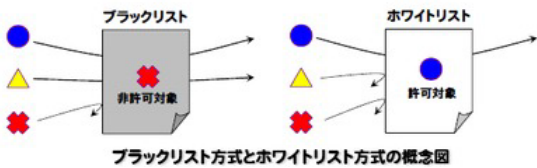
教授: 原 大介
研究補助者: 与那嶺 友恵、小谷 恵里、竹澤 和香子、山口 千春

問合せ先: daisuke@toyota-ti.ac.jp

◆研究の背景と概要(独自性、有用性)

日本手話では、「手型」「位置」「動き」の3つのカテゴリに属する有限個の要素と、その他いくつかのマイナーな有限個の要素が1つまたは2つずつ結合し日本手話音節を形成している。音節構成要素の組み合わせには制約(音素配列論)があり、数学的に可能な組み合わせのすべてが適格な(well-formed)音節とはならない。手話音素配列論の解明には、既存の音声言語の理論をそのまま適用することができないという大きな問題がある。この問題は、音節を構成するカテゴリ間の異質異性に起因する。音声言語の音素配列論が音響的・調音的・聴覚的特徴などを共通の尺度として利用し論ぜられる。手話言語の音節を構成する各カテゴリは、手型、位置、動きなどのように質的に異なる存在であり、それらに横断的に使用可能な同一尺度を見つけることが難しく、異質なカテゴリに属する要素の結合の制約をいまだ記述することができない。この質的に異なる手話音節構成要素がどのような原理に従って相互に関係を持ち音節の適格性を作り上げているかを研究している。

本研究では、適格音節と不適格音節を音節構成要素レベルに分解・記号化してデータベース(以下DB)を作成している。音素配列論を論じるには、不適格性をもたらす組み合わせを明記すること(ブラックリスト方式)が必要のため、不適格音節DBも不可欠である。本研究では、適格・不適格な音節の両方を比較・対照することにより、言語学的見地から音節の適格性・不適格性に関与する要因を明らかにしていく。また、これらのDBを機械学習アルゴリズムのインプットとして利用し、音節の適格性・不適格性に関与する要因を抽出し、それらを言語学的分析にフィードバックさせている。

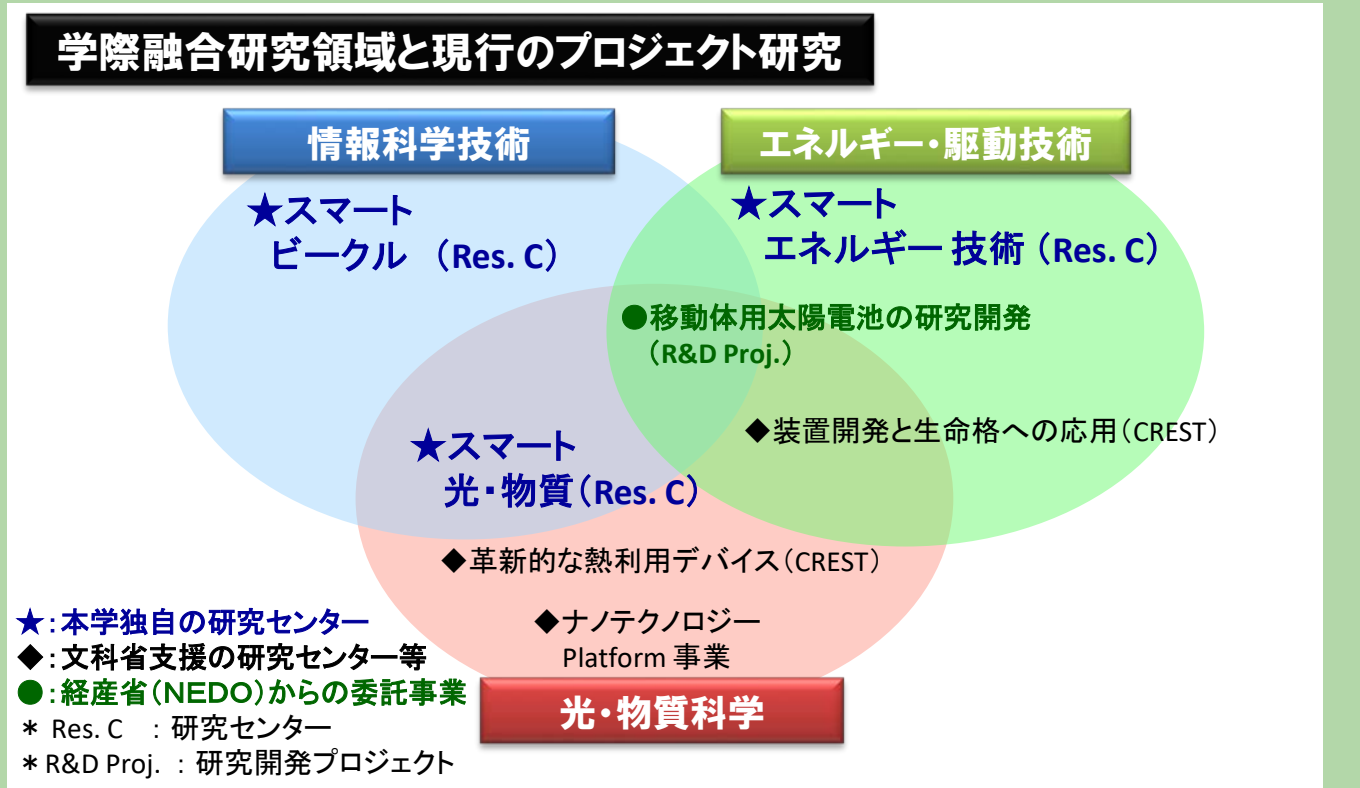


<http://releasepress.jp/archives/4890>より引用

グロス	TYPE	利き手		非利き手		位置		動き1				動き2				動き3			利き手		非利き手		
		手型	第1手型	第2手型	手型	第1手型	第2手型	利き手	非利き手	種類	詳細	MVT1	repeat	種類	詳細	MVT2	repeat		種類	詳細	掌の方向	手首の方向	掌の方向
ア	0	a						ns		dot										前	0、0、上		
愛1	2	b(lax)						ns		p	c(xy)	p	r							下	0、前、0	下	右、前、0
愛2	3	b			a			ns		p	c(xy)	p	r							前	0、0、上	右	0、前、0
愛3	0	b						ns(u)		p	c(xy)	p	r							下	左、0、上		
相愛わず①	1	b-f						ns		p	f=o		hs	e/f	hs	r				後	0、0、上	後	0、0、上
相愛わず②	1	L-f						ns		p	f=o		hs	e/f	hs	r				後	0、0、上	後	0、0、上
挨拶	1	l-b	1	1-b				ns		hs	f	hs								左	0、0、上	右	0、0、上
アイスクリー	3	b			s			ns		p	d	p								前	0、0、上	後	右、0、0
アイスクリー	3	b			s			ns		p	d	p								後	0、0、上	後	右、0、0
アイスクリー	3	t			c			ns(k)	ns	p	MSP	p	or	s						後	左、0、0	右	0、前、0
間1	1	b						ns		p	d	p								左	0、前、0	右	0、前、0
愛知	3	b			a			ns		p	c(xy)	p	r							下	0、前、0	右	0、前、0
相槌(あいづ)	1	s						ns		or	f	or	r							左	0、0、上	右	0、0、上
相手5(もの)	0	f						ns		or	s	or	r	hs	e	hs				前	0、0、上		
アイデア	0	l						uf(kmk)		or	p	or								左下	左、0、上		
曖昧	1	5						ns		p	c(xz)	p	r							前	0、0、上	後	0、0、上
アイロン	3	s			b			ns		p	s/s	p								下	0、前、0	上	右、0、0
アイロン 戸	3	s			b			ns		p	s/s	p								後	0、0、下	上	右、0、0
会う1(会う①)	1	l						ns		p	l	p								左	0、0、上	右	0、0、上
会う1	2	l						ns		p	d	x								左前	0、0、上	後	右、前、0
会う2	2	b						ns		p	o=d	p								前	0、0、上	上	0、0、上
アウト	0	a						ns		p	o=d	p								後	0、0、上		
青	0	b						nf(h)		p	t	p								左	0、0、上		
青い2(青くな)	0	l-b						fc		p	u	p								後	0、0、上		
仰ぐ3(仰ぐ③)	3	a			b			ns		p	l-a(x)	x								後	0、前、0	上	右、前、0

本学では、研究プロジェクトを中心に最先端の研究を行っています。これらは、わが国の科学技術の発展に資することを目的としており、ここでの成果は、民間企業への展開・応用も可能です。

◆研究プロジェクトの分野体系(重点研究分野)



◆研究プロジェクトの推進状況

	研究センター名	研究代表者 (職名は2018年度)	実施年度										
			'13	'14	'15	'16	'17	'18	'19	'20	'21	'22	'23
本学独自	スマートビークル	佐々木裕教授	運転支援および自動運転支援システムのための基礎理論とその応用技術の研究										
	スマートエネルギー技術	大下教授	次代を担う太陽エネルギーを中心としたエネルギーの生成、制御、変換・貯蔵に関する統合的研究										
	スマート光・物質	大石副学長					新機能発現による次世代のセンシング技術や情報技術等の開拓						
文科省	ナノテクノロジー支援事業	佐々木実教授	ナノテクノロジー・プラットフォーム (1.5億/10年間)										
	高分子基盤研究推進 ^(*)	田代特任教授	高度制御汎用性高分子開発のための基盤研究(2.6億)										
	先端フotonテクノロジー ^(*)	大石副学長	超オクターブフォトニクス (4.5億)										
	難環境作業スマート機械技術 ^(*)	成清特任教授	難環境作業スマート機械技術の開発(5.1億)										
	グリーン電子素子・材料 ^(*)	神谷教授	局所構造制御によるスマート材料	マイクロ・メソ構造制御による革新的グリーン電子素子・材料技術の基盤形成(5.3億)									
	先進触媒開発 ^(*)	本山教授			水素原子・分子の活用技術革新のための先進触媒の研究(3.3億)								
	戦略的創造研究推進事業/(CREST)【代表】	竹内教授						異常電子熱伝導度と異常格子熱伝導度の制御(2.5億)					
	戦略的創造研究推進事業/(CREST)【代表】	藤 教授					超短赤外パルス光源を用いた顕微イメージング装置の開発と生命科学への応用(2.7億)						
経産省 (NEDO)	超高効率・低コスト太陽電池モジュールの研究開発	山口シニア研究スカラ	革新的太陽光発電技術研究開発(5.5億)		超高効率・低コストIII-V化合物太陽電池モジュールの研究開発(2.7億)					太陽光発電主力電源化推進技術開発 太陽光発電の新市場創造技術開発 移動体用太陽電池の研究開発 (1.7億)			
	日EU共同開発拠点	山口シニア研究スカラ	集光型太陽電池モジュール、システムの日欧共同開発(1.9億)										
	結晶シリコン太陽電池の研究開発	大下教授	太陽光発電システム次世代高性能技術の開発(8.0億)		先端複合技術シリコン太陽電池プロセス共通基盤に関する研究開発(3.5億)								

◆豊田工業大学附属研究センター

スマートビークル研究センター

代表者：教授 浮田宗伯

高齢者や運転初心者に安全でしかも環境の負荷が少ない運転支援システムの研究開発を進めています。具体的には、コンピュータがテレビカメラ、レーザスキャナー、GPS(global positioning system)などのセンサーから得られる情報をもとに、歩行者や車両、道路、白線などのさまざまな対象を検出し、複雑な走行環境を認識できる技術を開発しています。この技術に基づいて、車両に、危険時には、警告発信、加減速および停止操作、回避動作および最適ルート探索などの機能を与える研究や、さらに将来の自律走行などの車の高度知能化の研究を進めています。

スマートエネルギー技術研究センター

代表者：教授 大下祥雄

近年の温暖化や福島での原子力発電所の事故を契機に、世界的に再生可能エネルギーへの関心が高まっています。しかし、太陽光や風力を用いた発電においては、エネルギー供給の不安定性が大きな問題です。そのため、本センターにおいては、クリーンなエネルギー社会実現のため、これまで培ってきた超高率太陽電池の研究開発や超薄型結晶シリコン太陽電池の研究開発等、太陽電池の研究開発を核に、本学の教員、研究者の知恵を結集して、エネルギー生成・貯蔵・変換・制御などに関する統合的研究を推進します。その結果として、産業界との連携、国際連携を進めて当該技術の進展に寄与するとともに、次代を担う人材の育成に努めます。

スマート光・物質研究センター

代表者：教授 大石泰丈

本研究センターでは、フォトニクス材料や電子材料などの新物質開拓とフォトニクスやナノテク技術を駆使した新規素子創生の研究を一貫して行い、次世代のセンシング技術や情報技術の開拓に寄与します。具体的には、本学が独自に開発してきた微細構造光ファイバなど先進フォトニクス技術を基に、微細構造と光非線形性を持つ光ファイバを活用し、紫外から遠赤外域までの広い波長帯域でのコヒーレント光の創生・制御技術や超短パルス光や連続光を発生できる先進光ファイバレーザ技術を実現し、また、それら先進的な光技術を本学が豊富な実績を持つナノ探針技術やMEMと組み合わせることで、新たな先端計測・センシング技術や情報科学技術の開発に寄与します。

◆学際的共同研究プロジェクト

機械学習を核とするものづくり工学のスマート化

近年、人工知能技術が著しく進展する中、深層学習など機械学習分野において研究の前線を開拓し、その成果を輸送機器や電気機器の製造をはじめ、製薬、素材、物流など産業界の諸方面に展開する研究・教育プロジェクトを進めています。

本学の機械システム、電子情報、物質工学分野の研究室が、学際的な共同研究を進めるとともに、豊田工業大学シカゴ校や豊田中央研究所との連携研究も強めることで、「個別分野の知識構造と大量数値データを組み合わせ学習するSymbolic-Neural Learning法」を柱に、多くの工学分野に機械学習手法を浸透させ、その技術を産業界に広く実用展開することを目指します。

◆文部科学省<国立研究開発法人 科学技術振興機構(JST)>「戦略的創造研究推進事業(CREST)」

異常電子熱伝導度と異常格子熱伝導度の制御

代表者：教授 竹内恒博（エネルギー材料研究室）

本研究では、非調和振動などに起因する異常格子熱伝導度や、微細電子構造などに起因する異常電子熱伝導度の制御指針を確立し、熱スイッチング素子に代表される革新的な熱利用デバイスの開発を目指しています。

■主な研究テーマ

- ・(Ag,Cu)₂(S, Se, Te)で観測される異常格子熱伝導度の起源解明
- ・(Ag,Cu)₂(S, Se, Te)を用いた世界最高性能熱ダイオードの開発

超短赤外パルス光源を用いた顕微イメージング装置の開発と生命科学への応用

代表者：教授 藤貴夫（レーザ科学研究室）

本研究では、数フェムト秒(10^{-15} 秒)という極限的に短い幅の赤外線パルスを使ったイメージング装置の開発を進めます。特に、生体分子や生細胞、生きた動物について、非破壊でリアルタイムに計測する手法を確立することを目指しています。

■主な研究テーマ

- ・フェムト秒赤外線パルスレーザーの開発
- ・生命科学の研究に役立つ先進的なイメージング装置の開発

◆経済産業省 NEDO「太陽光発電主力電源化推進技術開発」

移動体用太陽電池の研究開発(超高効率モジュール技術開発)

研究開発責任者：教授 大下祥雄（半導体研究室）

変換効率35%以上の多接合曲面モジュールを開発し、広く一般の電動自動車に搭載されるための技術開発として、超高効率、低コストを実現できる結晶シリコンとⅢ-V族化合物半導体太陽電池モジュールの研究開発を目指しています。

■主な研究テーマ

- ①車体形状に合わせた曲面对応Siボトムセル高効率化技術開発
- ②自動車などの移動体用モジュール発電量評価・構造最適化設計
- ③試作セルの他機関への提供によるプロジェクト全体のサポート

◆文部科学省「ナノテクノロジープラットフォーム事業(微細加工)」

微細加工ナノプラットフォームコンソーシアム

実施責任者：教授 佐々木 実（マイクロメカトロニクス研究室）

ナノテクノロジーに関わる最先端の研究設備とその活用のノウハウを有する機関が連携して全国的なナノテクノロジーの研究基盤(プラットフォーム)を構築しました。この組織は、微細加工装置群の共同利用を可能とし、産学官の多様な利用者に対して問題解決への最短アプローチを提供するとともに、産学官連携や異分野融合を推進するものです。本学では、企業・研究機関・他大学等に対し、クリーンルームを中心に、研究設備を活用した技術支援を行っております。また、企業研修としてフォトリソグラフィ等の実習会をご希望に応じて対応しております。

■主な共用装置

電子ビーム描画装置、マスクアライナ装置、酸化・拡散炉、イオン打ち込み装置、Deep Reactive Ion Etching装置、スパッタ(金属、絶縁体)蒸着装置、電子ビーム(金属)蒸着装置、カーボン用プラズマ成膜装置、原子層堆積装置、マスクレス露光装置、電界放出形走査電子顕微鏡、非接触3次元表面形状・粗さ測定機 ほか多数

■支援事業例

- ・薄膜型マイクロヒータの赤外線光源応用
- ・PZT薄膜のサブミクロンパターン形成 等

共同利用クリーンルーム

◆「共同利用クリーンルーム」の概要と特徴

豊田工業大学では、1985年に本格的なクリーンルームを設け、シリコンなど半導体デバイスや磁性デバイスの作製のための微細加工設備を設置・運用し、教育と研究に活用してきました。そして2015年夏、キャンパス刷新の一環として東棟を竣工、その一階部分にクリーンルームを移設し、学術研究および産学連携の推進への寄与を目的とした「ナノテクノロジーセンター」として運用を開始しました。加工設備に加え、関連の計測・評価装置も棟内に設け、他大学や企業の方々にも広く利用頂ける環境を提供しています。



● 施設の清浄度と面積（一階部分）

クラス100部分： 85m² クラス1000（から10,000まで可変）部分： 360m²

● フレキシビリティの高さ

クリーン度の調整・変更、研究設備の配置替えに柔軟な対応が可能です。

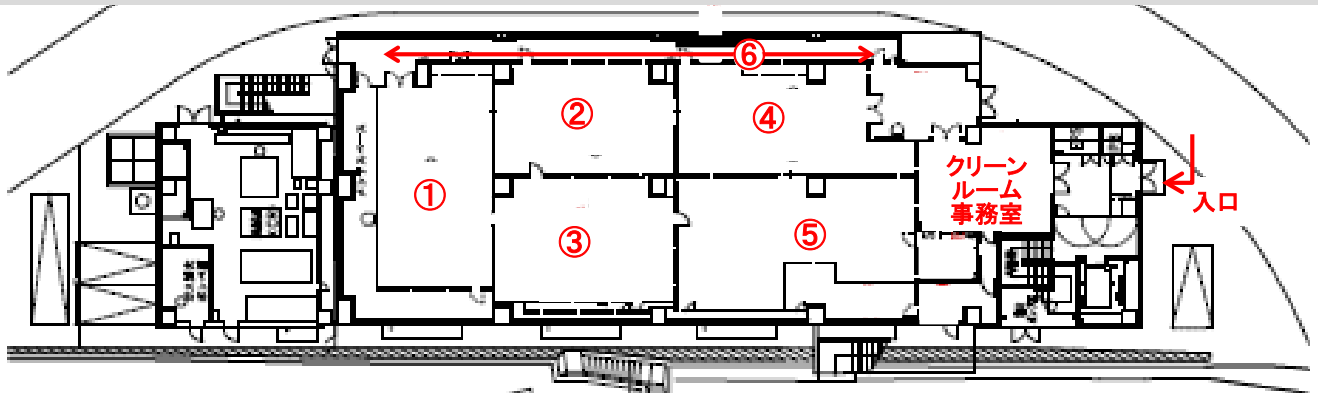
● 省エネルギー化

加熱源を別室化するなど、空調施設の省エネルギー化に工夫を盛りこんでいます。

● 安全性の高さ

研究装置の強固な耐震固定、有害ガスの除害や漏洩監視、廃液処理の徹底など、クリーンルーム内の安全性とクリーンルーム外の環境保全に十分配慮しています。

◆共同利用クリーンルームの部屋（①～⑤）のレイアウトおよび点検・見学通路⑥とクリーンルーム事務室



◆各部屋に設置の主な装置

① 気相プロセス室

- ・原子層堆積装置
- ・塩素系ドライエッチング装置
- ・CBE装置
- ・各種CVD装置

② ドラフト洗浄室

- ・各種有機・無機ドラフト

③ リソグラフィ室

- ・マスクレス露光装置
- ・電子線描画装置
- ・UV露光装置

④ 成膜・加工室

- ・ドライエッチング装置
- ・スパッタ装置
- ・電子ビーム蒸着装置

⑤ 酸化・拡散炉室

- ・イオン注入装置
- ・縦型および横型拡散炉
- ・シート抵抗測定器
- ・膜厚測定器

クリーンルーム内の設備利用を希望される方は、研究協力Gにお問い合わせください。
文部科学省「ナノテク・プラットフォーム事業（微細加工）」による支援もご利用いただけます。



【問い合わせ先】

豊田工業大学

研究支援部研究協力グループ

〒468-8511

名古屋市天白区久方二丁目12番地1

TEL : 052-809-1723 FAX : 052-809-1721

E-mail : research@toyota-ti.ac.jp

<https://www.toyota-ti.ac.jp/research/>

豊田工大 産学連携

