

# Electronic and Physical Systems



早稲田大学 理工学術院 基幹理工学部

## 電子物理システム学科

早稲田大学 理工学術院 基幹理工学研究科

## 電子物理システム学専攻

物理を基礎とした電子と光の最先端テクノロジー

電子物理システム学科では、物理学の基礎をしっかりと学んだ上で、基礎物性分野、エレクトロニクス分野、フォトンクス分野、システム設計分野の基幹技術を学びます。化学やバイオなどとの融合により最先端の研究も進めています。

# 宇高 勝之 研究室

Katsuyuki UTAKA



研究室： 63号館7階05号室

大学院： 基幹理工学研究科  
電子物理システム学専攻

研究分野： 機能フォトニクス研究

講義科目： 電磁気学  
光エレクトロニクス  
フォトニクス特論（大学院）

## 光科学技術・光量子効果を駆使した、低消費電力 超高速光ファイバネットワーク用光機能デバイス研究

モノのインターネット (IoT) や人工知能 (AI) による高度情報化技術を有効に活用し豊かな社会を構築するためにはそれら大量の情報をやりとりする大容量通信ネットワークが不可欠であり、それを超高速光ファイバネットワークが担っています。宇高研究室では、そのような高性能光ファイバネットワーク構築のキーとなる高性能波長可変レーザ、高速光スイッチ、光論理ゲートデバイス、光機能センサーなど光機能デバイスの研究を行っています。具体的には、究極の量子効果を用いる半導体量子ドットと変調器が一体化された集積半導体レーザ光源、LSIに光機能を搭載可能なシリコンフォトニクスデバイス、光信号を高速で判定する光論理素子、ナノシートのグラフェンを用いた超小型光デバイス、ナノ領域が測定できるプラズモン光ファイバセンサなどです。デバイス設計からナノテクノロジーを駆使したデバイス作製、さらにシステム特性評価までを行っています。これらの研究を通して、豊かな高度情報化社会の構築に貢献できるフォトニクス技術を極めたいと考えています。

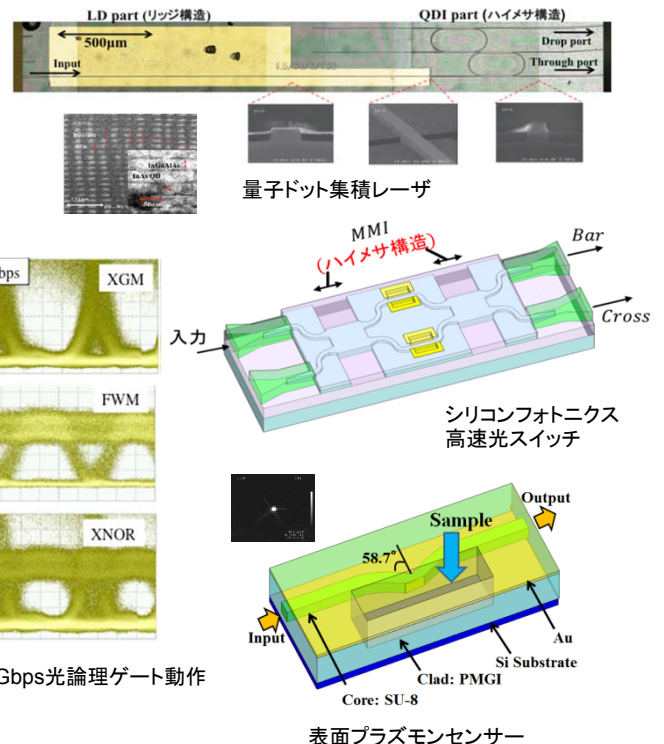
## 研究内容

**量子ドット集積レーザ：** 究極の量子構造である半導体量子ドットを光増幅器とし、かつこの量子ドットの組成を混合して任意の禁制帯幅エネルギーを実現する技術を開発して、低損失導波路を量子ドットと集積化した量子ドット集積レーザを開発しました。今後は量子ドットの組成混合を調整して、変調器集積波長可変レーザを始め種々の光集積回路へ展開していく予定です。

**高速光論理ゲート素子：** 量子効果が大きい量子井戸を非線形光増幅器として使い、二つの光信号の同一性を判定する光論理ゲート素子を実現しました。具体的には排他的否論理和 (XNOR) 機能で、光だけで10Gbpsという1秒間に100億回という超高速での動作に成功しました。これまで低速で消費電力の大きかったLSIによる電気信号処理に変わって、低消費電力で超高速なより複雑な光論理機能実現の道筋を開きました。

**高速半導体光スイッチ：** 電流注入による屈折率変化を利用した、究極的な光インターネットを実現する光パケットスイッチングにも適用可能なナノ秒で応答する高性能半導体空間光スイッチを実現しました。キャリア閉じ込めに優れた化合物半導体のみならずLSIとの集積性に優れたシリコンフォトニクスにより実際に-20dB以下の低クロストークや5ナノ秒以下の高速スイッチングを偏光無依存で実現しています。

**光ナノ機能材料、光ナノ現象を用いた先端光デバイス：** 究極のナノシートであるグラフェンを用いた超小型の光変調器は光スイッチの実現を目指しています。また光ナノ現象である表面プラズモンを用いた光機能センサーを開発し、さらに局在プラズモンを光ファイバに適用した、リモート光ナノセンサの実現を目指しています。



### 参考書の紹介

「半導体レーザ」オーム社 (伊賀編著)

「光情報ネットワーク」オーム社 (菊池編著)

### 主な就職先：

NTT研究所、KDDI、NTTドコモ、東京電力、日立製作所、富士フイルム、パナソニック、ソニー、キヤノン、ローム、古河電工、トヨタ、ホンダ、総務省、経産省、東京メトロなど

# 川西 哲也研究室

Tetsuya KAWANISHI



研究室： 63号館7階15A号室  
大学院： 基幹理工学研究科  
電子物理システム学専攻  
研究分野： 光電波融合システム研究  
講義科目： 電磁気学 マイクロ波フォニクス  
光電波融合システム(大学院)

通信システムではどのような伝送媒体でどのような物理現象を使って情報を伝達させるかが全体としての性能向上の鍵となります。伝送容量の確保には光ファイバが、利便性向上には電波による無線伝送が適しています。自由にどこでも高速通信を実現するためにはこれらを組み合わせることが重要になります。電波と光は同じ電磁波の仲間であることはよく知られていますが、その周波数が大きく異なるため発生、検出の手段がそれぞれ別個に発展してきたという歴史があります。ファイバ通信でよく使われる光の周波数は200THz程度であるのに対して、携帯電話で使われる電波の周波数は2GHz程度で、その差はいまだに非常に大きいです。しかし、光を精密に制御する技術とより高い周波数の電波を扱う電子技術が発展してきており、数GHz～数100GHzの領域は光技術、電子技術のいずれも利用可能な帯域となってきています。研究室では電子技術と光技術のメリットを生かして、電波と光をシームレスに扱うためのデバイスやシステムに取り組んでいます。個々の要素技術の物理を理解しつつ、これらを適切に組み合わせるシステムをデザインしていくということが課題になります。また、センシングと通信の融合も新たなターゲットとしてとらえています。

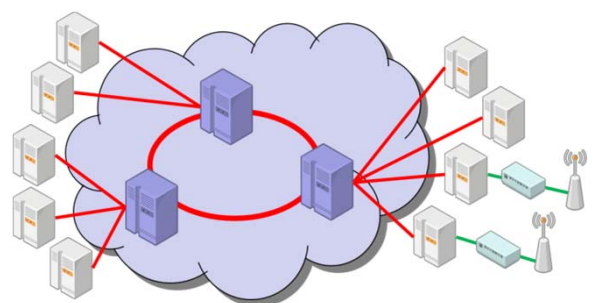
## 研究内容

**ファイバ無線システム**：光ファイバ通信のほとんどは0と1の2つの符号を使うデジタル技術がベースとなっていますが、より多くの符号を使ってデータ伝送速度を向上させる技術（多値変調技術）の開発が進み、普及を始めています。さらに複雑な信号を送ることができれば、無線通信で使う電波の波形そのものを光ファイバで好きなところへ効率良く伝えることが出来ます。電波の周波数が高いほどより多くの情報を伝えることができるため、無線LANや携帯電話などではマイクロ波が使われています。さらに高い周波数であるミリ波の利用も広がりつつあります。このような高い周波数の信号を光ファイバで伝える「ファイバ無線システム」に関する研究をしています。

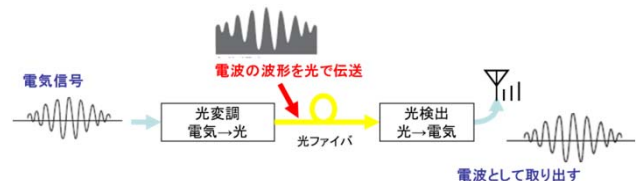
**超高速光変調・光検出**：高速光通信システムやファイバ無線システムでは光信号と電気信号を効率よく変換するデバイスが非常に重要になります。電気信号から光信号を発生させる光変調と、光信号から電気信号を発生させる光検出のためのデバイスの研究を行っています。これまでにない機能、高い性能を実現するためには自らこれを評価する方法を開発する必要があります。センシングなどの通信以外の分野への応用も検討しています。

**光・電波センシング技術**：光波と電波のメリットを組み合わせたセンシング技術の研究を行っています。ミリ波を光ファイバで配信することで広い範囲で高精度のイメージングを実現することができます。これは滑走路上の微小な異物や線路上の障害物を高速で検出するための高精度レーダーなどに応用可能な技術です。また、複数の波長を使い、効率よく特定の物質の量を測定するためのセンシング技術にも取り組んでいます。これは手軽な血糖値測定などへの応用が期待できるものです。

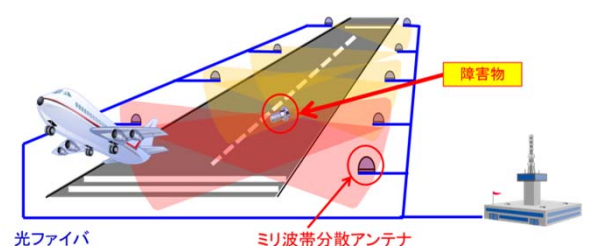
研究室では、光と電波、デジタルとアナログの境界領域に取り組めます。デバイスの仕組みを十分理解することと、これらの性質を生かした新しいシステムを提案していくことに重点を置きます。



光ファイバ通信と無線通信の融合



ファイバ無線システムの概念図



滑走路監視用レーダー技術への応用例

# 川原田 洋 研究室

Hiroshi KAWARADA



**研究室:** 63号館7階04号室  
**大学院:** 先進理工学研究科  
ナノ理工学専攻  
基幹理工学研究科  
電子物理システム学専攻  
**研究分野:** ナノデバイス研究  
**講義科目:** 回路理論 量子デバイス  
ナノデバイス工学 (大学院)

現在、自動車や航空機の中身はエレクトロニクス素子が占め、この傾向は拡大しています。川原田研究室では、エレクトロニクスをこれまで不可能であった未知領域に展開するため、ダイヤモンドやカーボンナノチューブという新カーボン素材を利用し、超高速、ハイパワーのトランジスタ、高感度なナノ・バイオセンサー、超伝導素子の開発を行っています。その理由は、これらの物質は結合が強く、高い電界や高温に耐えられ、それでいて生体分子などの親和性が高いからです。超伝導性と半導体性を合わせもつ稀な素材でもあります。新型デバイスの探究により産業の芽を育てることも目指しています。将来の方向には、電気自動車のエネルギー制御に不可欠のハイパワー低消費電力トランジスタ、エンジン周辺での高温環境下で動作するデバイス、航空レーダーや通信技術の広領域化へのハイパワー超高速エレクトロニクスなどがあります。これらの新分野を現在注目される新カーボン素材で行なうところに研究のユニーク性があります。未知の分野の難しさもありますが、それが研究の醍醐味です。新たな物質と極限デバイスで未来を切り開きましょう。

## 研究内容

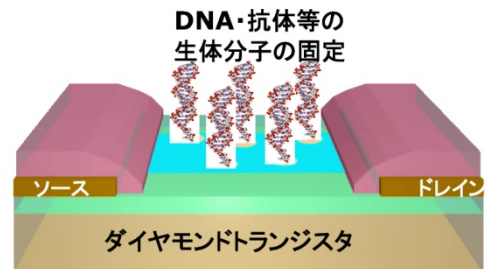
当研究室では、ダイヤモンドおよびカーボンナノチューブを気体（メタン）から合成し、これをナノメートルスケールで素子に加工し、高精度な素子測定を行います。一連のプロセスを全て学内で行いますが、これに必要な設備を完備しているのは世界の大学でも稀です。主に次の4つのグループで研究を進めています。

**高速トランジスタグループ:** ダイヤモンドの物質中最高熱伝導率と高い絶縁破壊電界を利用したハイパワー高周波トランジスタを開発中です。ゲート長100nm以下のトランジスタが作製され、50GHz以上で動作します。移動体通信の基地局や航空機用レーダーのパワーアンプ等の応用が期待されます。

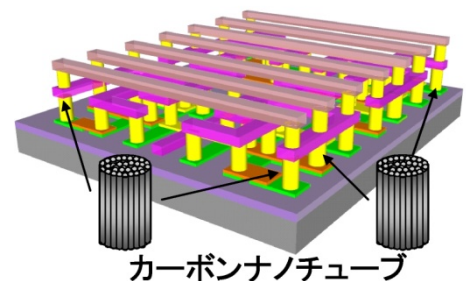
**バイオセンサーグループ:** 表面修飾性に富み、液体電解質中で安定な炭素系表面の特長を生かして、ダイヤモンド表面を利用した新型のDNA、RNAチップおよびプロテイン・マイクロアレイの開発を行っています。DNAおよびRNAの一塩基違いをトランジスタによる電荷検出では初めて再現性よく検出しました。

**カーボンナノチューブグループ:** 高密度プラズマから発生するラジカルの利用により単層、2層のナノチューブを低温で高密度に、しかも1cm近く成長させる技術を世界に先駆けて開発しています。ナノチューブの電気伝導性と安定性を利用し、ULSIやナノエレクトロニクスでの新しい配線技術を開拓しています。

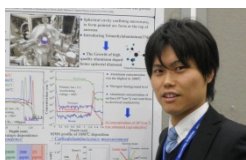
**超伝導グループ:** ダイヤモンドに高濃度のボロン（ホウ素）を導入して低抵抗の薄膜を形成し、薄膜ダイヤモンドとしては世界初の超伝導を発現しています。超伝導性と半導体性の共存により、新たなデバイスの開発が期待されます。



ダイヤモンドトランジスタによる生体分子検出



カーボンナノチューブによるULSI多層配線



超伝導現象の理解には高度な数学や物理が必要ですが、目の前で電気抵抗がゼロになった瞬間の喜びや感動は何物にも代え難いものがあります。  
修士2年 栗原 慎一郎

主な就職先:

東芝、ソニー、松下電器産業、キヤノン、三菱重工業、日本放送協会、トヨタ自動車、本田技研工業、村田製作所、旭化成

# 木村 晋二 研究室

Shinjū KIMURA



**研究室:** 北九州N号館3階325号室  
**大学院:** 情報生産システム研究科  
情報生産システム専攻  
基幹理工学研究科  
電子物理システム学専攻  
**研究分野:** 高位検証技術研究  
**講義科目:** 計算機アーキテクチャ  
システムLSIアーキテクチャ  
(大学院)

木村研究室では、より性能の高いLSIを短時間で正しく設計するために、論理回路設計手法や論理関数処理手法をベースとして、最適な回路アーキテクチャの研究、LSIの設計を最適化する技術、LSIの設計の正しさを証明する設計検証の技術の研究を行っています。また、ハードウェアの再構成可能性を考慮した設計手法や、専用演算回路の設計手法からプロセッサの設計手法の研究も行っています。

現在、LSIの設計はレベルがどんどん高位化していますので、設計自体は人間にとってやりやすくなっていますが、実現可能なLSIの規模と設計可能なLSIのギャップが大きくなるという問題が発生し、また設計レベルと実際のLSIとの間が開いてきており、その間を最適につなぐ方式の研究が非常に重要になっています。また、性能も速度だけでなく、環境負荷の観点から消費電力も考える必要があるなど、最適化の項目は複雑化しています。本研究室では、実際のLSI設計を行いながら、設計手法の研究を行うというスタイルで研究を行っています。

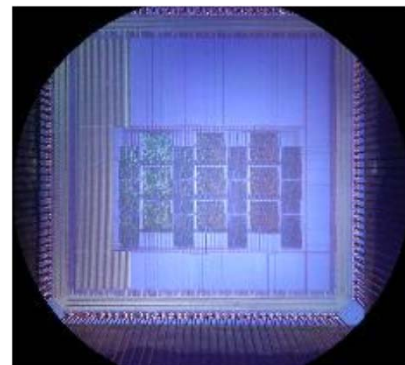
## 研究内容

当研究室では、設計メソドロジー、設計最適化、設計検証の3つのグループに分かれて研究を進めています。

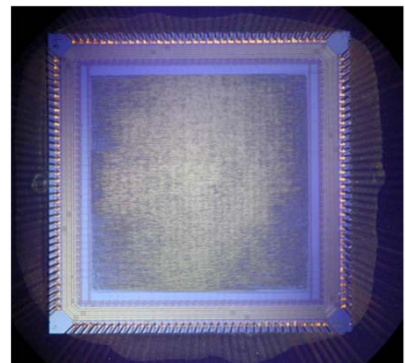
**設計メソドロジー:** 設計に関しては、これまでに Java プロセッサや音声認識回路、視線推定の回路、公開鍵暗号回路などの研究開発を行っています。また、演算器のアーキテクチャ、64ビットマルチスレッドプロセッサや再構成可能なハードウェアの研究を行っています。これらのハードウェアはFPGAとして実現すると同時に、東京大学の VDEC (VLSI Design Education Center) を通じて LSI として実現し、性能評価などを行っています。

**設計最適化:** 高位レベルのハードウェアの設計自動化を目指し、C 言語のプログラムからハードウェアを自動生成する手法および最適化手法の研究を行っています。C 言語から CDFG (Control Data Flow Graph) を生成し、その上で各種の処理を行うシステムの研究です。整数変数のビット長の自動推定手法、浮動小数点数の固定小数点数への自動変換と最適化を行っています。また、入力の遅延が異なる場合の加算回路の最適設計、パイプライン回路の自動生成や信号伝播のスキップ回路を用いた高速回路の自動生成の研究開発を行っています。

**設計検証:** 設計検証については、これまで二分決定グラフ (Binary Decision Diagram, BDD) や SAT (CNF 式の Satisfiability) などの論理関数処理に基づく形式的な証明手法の研究を行っています。設計の高位化に伴い、C 言語などで記述した機能とハードウェアの記述が等価かどうかの判定が重要な問題となっており、無評価関数と等価論理を用いた判定手法の研究を行っています。さらに正しい機能を指定する仕様記述の品質を判定する問題についても研究しています。



論理量み込み機構付再構成可能LSI



新公開鍵暗号LSI

オーム社のITテキストシリーズで、「システムLSI設計工学 (ISBN 978-4-274-20297-1)」を日本の設計技術分野の著名な先生方と一緒に執筆しました。ハードの設計、検証から組込みソフトまで幅広く扱っています。ぜひ手に取ってみて下さい。

### 主な就職先:

NEC エレクトロニクス、サムソン、シャープ、ソニーLSIデザイン、シスウェア

# 小山 泰正 研究室

Yasumasa KOYAMA



研究室: 63号館7階01号室

大学院: 基幹理工学研究科  
電子物理システム学専攻  
先進理工学研究科  
ナノ理工学専攻  
物理学及応用物理学専攻

研究分野: 固体物理研究

講義科目: 既約表現論 固体物理 統計力学  
固体物理特論 (大学院)

固体では、温度変化や時間の経過により相転移あるいは相変化が生じ、その結果として、対称性の破れた状態が出現します。具体的には、強誘電状態や超伝導状態をその代表例として挙げるすることができます。ここで興味深い特徴は、これらの状態には、しばしば階層性が存在し、階層によって対称性が異なるという状況を生じることです。このため固体には、我々の想像を越える奇妙な状態や現象が出現することになります。小山研究室では、これら対称性の破れた状態に興味を持ち、階層性と非平衡状態という視点から、その結晶学的特徴を透過型電子顕微鏡等の回折結晶学的な手法で調べるとともに、得られた実験結果について群の既約表現論を用いた理論的な解析を行っています。その結果、これまでにナノ強誘電分域の集合体が一つの大きな分域を形成した強誘電状態、軌道整列状態と軌道・電荷変調状態がナノスケールで分離した共存状態、さらには12角形原子コラムの作る格子状態や20面体原子クラスターのみから成る原子クラスター状態等の存在を見出しています。現在、小山研究室では、以下の4つのグループに分かれ、固体に現れる奇妙な状態の探査を行なっています。

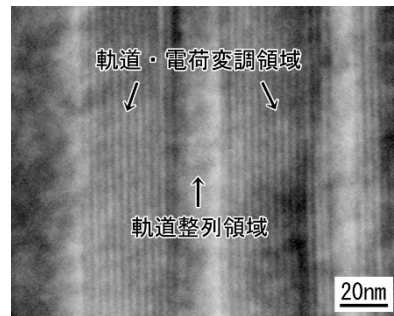
## 研究内容

**強誘電体グループ:** 混晶系強誘電体の物性相図には、モルホトロピック相境界と呼ばれる、温度軸にほぼ平行な相境界が存在します。強誘電体グループは、この相境界付近において局所的な対称性と平均の対称性が異なる強誘電状態の存在を見出し、現在その物理的起源の解明を目指して研究を行なっています。

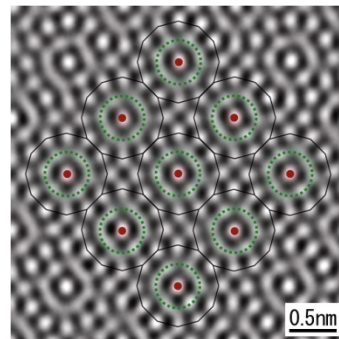
**強相関電子系グループ:**  $Mn^{3+}$ イオンを含むMn酸化物に注目し、 $e_g$ 電子の軌道およびサイト占有に関して研究を行なっています。その結果、層状Mn酸化物ではMnサイトと単位胞の対称性が異なることにより、秩序度の異なる軌道整列状態が交互配列したバンド分域状態という新たな状態の出現を見出しています。

**原子クラスターグループ:** 金属間化合物の配位多面体構造に注目し、これら構造に存在する階層構造の対称性を、金属結晶中における共有結合性ボンドの形成という視点から研究しています。得られた成果は、擬10回対称性を有する無秩序原子コラム状態等の原子クラスター状態や12角形原子コラムから成る格子状態の発見です。

**不可逆過程グループ:** 拡散パスが制限された規則合金での相分離現象に関して研究を行なっています。これまでに、時間の経過により、単相から二相へ相分離した状態が、再び単相へと変化するという奇妙な現象を見出しています。



層状Mn酸化物における軌道整列状態と軌道・電荷変調状態の共存



合金に見られる12角形原子コラム格子



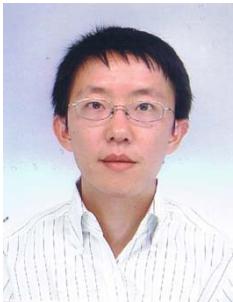
私たちは、透過型電子顕微鏡を使って実験を行っています。この装置を通して見ると、一見無秩序に見える自然も、秩序だった幾何学で満ち溢れていることを実感し、そのたびに大きな感動を覚えます。 修士1年一同

### 主な就職先:

東芝、ソニー、シャープ、キヤノン、J R 東日本、J R 東海、東京電力、トヨタ自動車、三菱重工業、新日鐵、J F E スチール、住友金属、村田製作所、京セラ、富士電機、YKK、ニコン、など

# 史又華研究室

Youhua SHI



研究室: 63号館7階18号室  
大学院: 基幹理工学研究科  
電子物理システム学専攻

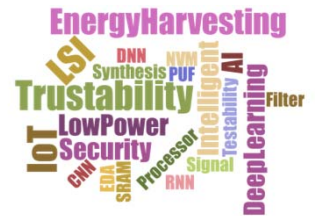
研究分野: 集積システム研究

講義科目: 電子デバイス  
システムLSIの設計とCAD (大学院)

近年、IoT (internet-of-things) ・ビッグデータ・人工知能 (AI) など新たな技術が急速な進化しています。このようなIoT社会を実現するためには、超低消費電力集積回路設計技術、センシング技術、セキュリティ技術、情報通信ネットワーク技術、情報処理システムなど、多種多様な技術が必要とされています。

我々の研究は、「IoT社会を支える技術」に関連した情報通信の中心的役割を担う集積システム設計技術に関する研究を行っています。特に、環境にやさしく自然エネルギー収集・利用技術 (発電・センシング一体化システムの設計技術)、安全・安心な情報処理技術 (トラストIoTシステムの設計技術) 及びディープラーニングのハードウェア (HW) /ソフトウェア (SW) 設計技術等の研究を行っています。

Key words : 集積回路、情報処理、  
環境発電、信頼性設計、  
ディープラーニング、  
ハードウェア+ソフトウェア



## 研究内容

**発電・センシング一体化システムの研究開発** : IoTデバイスの電源問題を解決するために、我々が無駄にしている身の周りの環境にさまざまな形態で存在するエネルギー (熱、振動、電波など) を収集し、電力に変換することを考えております。特に、圧電デバイス・熱電デバイス等を利用したIoTを実現する「低電力化」・「小型化」・「エネルギー供給の自立化」発電・センシング一体化システムの研究開発を行っています。

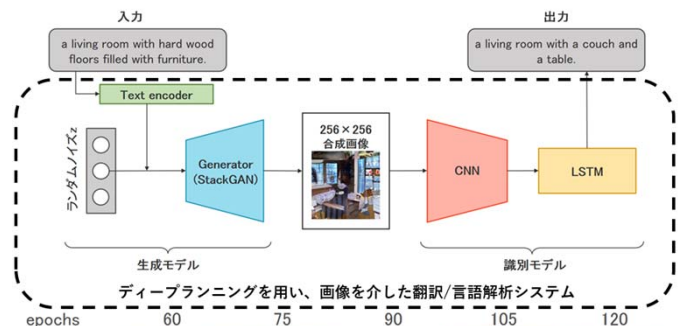
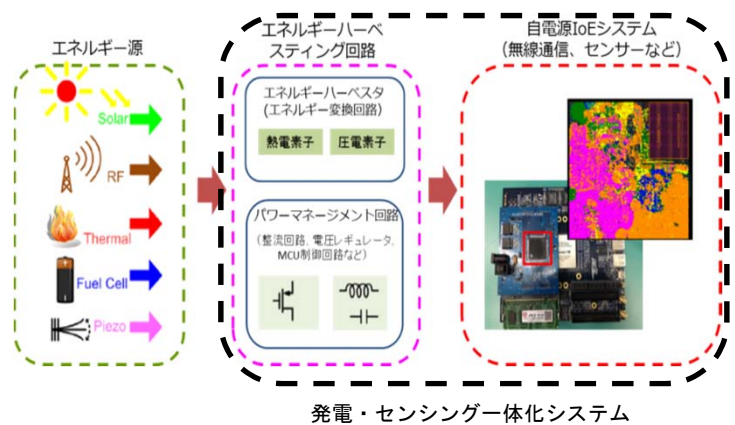
Key words : 環境発電、圧電発電、熱電発電、電源回路、パワーマネージメント回路、自電源IoTシステム

**トラストIoTシステムの研究開発** : IoT社会の中心的役割を担う超大規模集積回路の信頼性・安全性はIoT社会の信頼性・安全性のコアとなります。しかし、半導体の微細化、大規模化、高機能化が進められてきたが、1) ソフトエラー等の物理エラー、と2) 情報セキュリティを脅かす人為的攻撃等への解決は情報通信産業の急務となります。本研究は半導体集積回路の信頼性への脅威である「物理エラー」と「人為攻撃」に注目し、トラストIoTシステムの研究開発を行っています。

Key words : トラスト設計、ソフトエラー、ばらつき、ハードウェアアトロイ、サイドチャネル攻撃

**ディープラーニングのHW/SW設計技術** : IoT・ビッグデータ・人工知能 (AI) など新たな技術の急速な発展に伴い、社会ニーズに応じて専用アプリケーション回路の設計・開発及びディープラーニングを用いて、データ解析システムの研究開発を行っています。例えば、動画像処理、音声処理、自然言語処理、信号処理、信頼性設計。

Key words : 専用アプリケーション回路、信号処理、機械学習



研究例: ディープラーニングを用い、画像を介した翻訳/言語解析システム

# 庄子 習一 研究室

Shuichi SHOJI



**研究室:** 63号館7階03号室  
**大学院:** 先進理工学研究科  
ナノ理工学専攻  
基幹理工学研究科  
電子物理システム学専攻  
**研究分野:** マイクロシステム研究  
**講義科目:** 電子回路 MEMS  
ナノバイオフュージョンシステム (大学院)

我々の研究室はエレクトロニクス・集積回路は勿論、化学・バイオ・医療に役立つツール（道具）を小さくする研究を行っています。物を小さく作る技術としては、省エネルギーや低環境負荷を意識したマイクロテクノロジーあるいはトップダウンナノテクノロジーを開発し、それを応用しています。特に、化学、生化学の分野の実験に用いられているピーカ、フラスコ、試験管等の容積はミリリットル ( $10^{-3}$  l)、小型のものでもマイクロリットル ( $10^{-6}$  l) ですがこれをナノリットル ( $10^{-9}$  l)、ピコリットル ( $10^{-12}$  l) の容積で、しかもたくさんの同じ容器を大量に作る事が可能です。小さな容積の容器の中では化学反応がすばやく行われるため、これまでは考えられない速さでたくさんの化学反応を同時に行えることになり、薬品開発・創薬の分野で注目されています。同じ技術を用いて薬品を精度良く導入できるバルブを備えた小さな容器を作り、その中で細胞を培養することも可能になっています。また、特定の細胞を壊してその中に含まれる成分を分離・抽出し、観察・分析するマイクロシステムの開発に取り組んでいます。このシステムが実現すれば細胞の機能を分子レベルで解析する手法を提供することとなり、将来的には病気の原因究明に繋がると考えています。

## 研究内容

### ライフィノベーションテクノロジー (LIT) グループ:

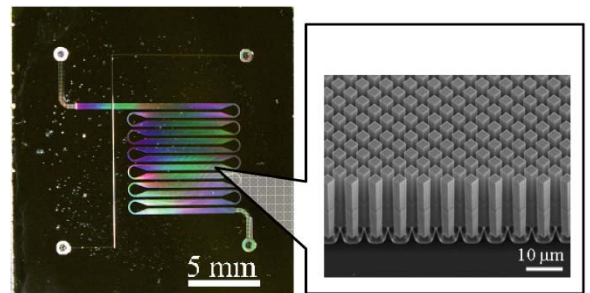
マイクロ・ナノ領域における流れの制御は、マイクロバイオチップ実現のための重要な要素技術の一つです。新しい三次元構造体形成技術の開発とその流体制御への応用により、機能性に富んだ流体制御素子の開発に取り組んでいます。現在、生命科学の主流は細胞内の分子機構を総合的に理解することであり、タンパク質の同定や機能解析を行うために精製困難な生体試料の分子やオルガネラを単離・精製する技術開発が非常に重要となっています。そこで生体試料をチップ内の微小流路に流して、顕微鏡下で検出・分離する技術を開発し、リンパ球、大腸菌、DNA、ナノ粒子の分離に成功しています。また、細胞分析をテーマとして細胞の様々な解析を行えるデバイスの開発を行っています。細胞の相互作用や異化作用を同定するために、局所的に試薬を効率よく導入できるシステムや大規模解析のためのマルチウェルアレイの開発を行っています。

### グリーンインベーションテクノロジー (GIT) グループ:

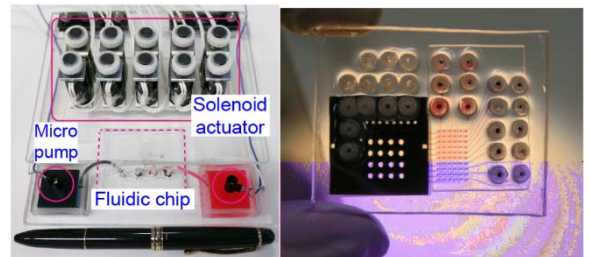
ナノインプリント技術（熱インプリント、UVインプリント）、ナノメッキ技術、及び樹脂の低温接合技術など、省エネルギー・低環境負荷の実現を目指した新しいナノ・マイクロ加工技術を研究しています。個々の研究はそれぞれ実際の応用を目的としており企業との共同研究も多くなっています。例えばバイオ・医療領域では高機能電気泳動チップ、血液分析チップなどのマイクロナノデバイスを開発しており、電子・光デバイス領域では磁気記録媒体用ナノドット、LED用ナノピラー、ナノ多層金属配線などを作製しています。また、次世代の集積回路として注目されている3次元積層集積回路の実現に向けた研究も行っています。

### 主な就職先:

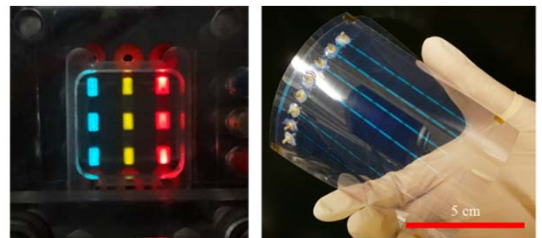
日立製作所、キャノン、トヨタ、ホンダ、東芝、NTTデータ、ソニー、NHK、三井物産、テルモ、オリンパス、セイコーエプソンなど



タンパク質高速分離マイクロチップ



4x4マイクロチャンバーを持つマイクロ化学反応システム

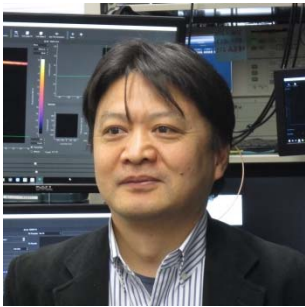


液体発光材料を流して自由自在に発光



# 谷井 孝至 研究室

Takashi TANII



研究室: 63号館7階13号室

大学院: 基幹理工学研究科  
電子物理システム学専攻

先進理工学研究科  
ナノ理工学専攻

研究分野: 分子ナノ工学研究

講義科目: 回路理論 分子エレクトロニクス  
分子ナノ工学概論 (大学院)

高度情報化社会を支えてきた大規模電子回路は、今日、ナノメートル ( $10^{-9}$  m) といった究極的に小さな精度で製造されるまでに至りました。そして、もうこれ以上微細化できないような物理的限界を迎えています。一方では、原子を1個ずつ、さらには、その中の電子を1個ずつ扱えるような、究極的な微細加工技術を活用できる時代にもなりました。ミクロの世界を操れる電子技術は、人工知能や量子コンピュータといった新しい情報処理のための電子素子実現を可能にしつつあるだけでなく、量子センシングや1分子イメージングといったバイオ・医療製品の心臓部の製造に役立てられたりもしています。

谷井研究室では、エレクトロニクス技術と物理化学とをベースとして、医用工学、食品・分析化学、神経科学、建築学といった多様な学問分野との境界領域で共同研究を立ち上げ、私たちの得意技である究極的な微細加工を、分野を越えて役立てています。ナノテクノロジー研究所にある一連の微細加工装置を使いこなし、ナノスケールの構造体を自在につくり上げて活用する能力を身につけると同時に、異分野の研究者たちとのぶつかり合いの中から新しい価値を生み出そうとする意欲をもって研究を進めています。

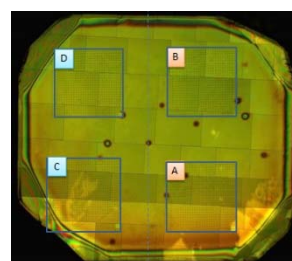
## 研究内容

シリコン、ガラス、ダイヤモンドなど母材基板表面に独自のナノ構造体を配列形成し、これらのナノ構造が発現する特有の機能を活用することに挑戦しています。共同研究を通して、いろいろな分野への応用展開を図っています。

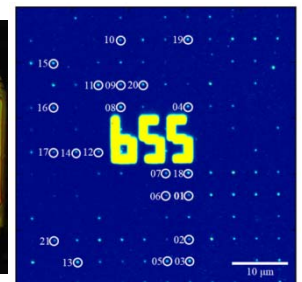
**量子コンピューティング・量子センシング:** たった1個の電子に記録した量子情報(電子スピン状態)を、単一光子検出を介して室温で読み出せることが分かっています。この原理を上手に活用すると、超並列計算を得意とする量子コンピュータや超高感度の磁気共鳴センサを実現できます(原理的な部分はずでに研究室レベルで実現されています)。私たちはシリコンやダイヤモンド基板を母材として、そこに不純物(例えば、エルビウム原子や窒素原子)を1個ずつ打ち込むことにより、その不純物原子の電子を自在に操作できるナノ構造を試作・評価しています。この研究は、量子計算のみならず、絶対に盗聴・解読不可能な量子暗号通信につながる他、医薬品開発のためのタンパク質1分子構造解析にも役立てられます。

**細胞パターンニング技術の開発と応用:** 脳は1千億個の神経細胞からなる複雑な回路であり、ヒトの記憶や情動を司っている複雑かつ重要な器官です。私たちは、ガラスやプラスチック基板表面で細胞を1個ずつ任意の形状で培養するためのマイクロパターンニング技術を開発しました。例えば、酸化チタンの光触媒能を活用すると、あたかもブレッドボード上の電子素子どうしを配線して、電子回路を試作するがごとく、基板表面に実神経細胞を素子とする神経回路を構築できます。今日の人工知能は脳とは似て非なるものです。本当の脳機能に迫るには、実際に再現した神経回路の機能を解析する必要があると考えています。

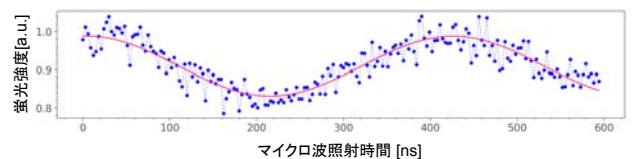
**主な就職先:** キヤノン、ソニー、富士フイルム、帝人、日立製作所、ローム、東京エレクトロン、コニカミノルタ、DNP、Thermo Fisher Scientific、など



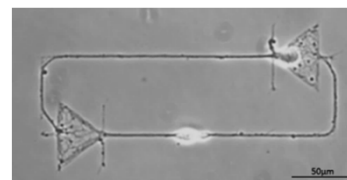
$^{12}\text{C}$ 同位体濃縮  
単結晶ダイヤモンド



ダイヤモンドに試作した単一欠陥(NVセンター)の規則的配列

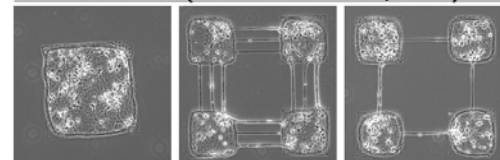


単一光子検出を介して観測されたNVセンターのラビ振動  
(マイクロ波照射による単一電子スピン操作)



←マイクロパターン上の2細胞神経回路(ダイオードの向きにパルスが伝搬するように構築されている)

Cultured neurons (Rat cortical neurons, 10 days in vitro)



200  $\mu\text{m}$   
マイクロパターン上で成長した神経細胞回路  
(右側のパターンほどモジュール同士をつなぐリンクが細い)

# 柳澤 政生 研究室

Masao YANAGISAWA



**研究室:** 63号館7階18号室  
**大学院:** 基幹理工学研究科  
電子物理システム学専攻  
情報理工・情報通信専攻  
**研究分野:** 次世代情報通信システム設計と  
バイオインフォマティクス  
**講義科目:** 論理回路 情報数学  
IoTシステム設計  
計算機支援設計 (大学院)

近年、スマートフォンを始め、スマートカー、スマートコミュニティ、スマートハウス、および、スマートシティの実現に対する関心は飛躍的に高まっています。そして時代は今、ユビキタス社会からスマート社会へ向かって進化しています。スマート社会とは、電子情報通信技術を用いて、電力をはじめとしたエネルギーの利用を効率的に行い、環境にやさしく、かつ、安心・安全・快適な生活が過ごせる持続可能な社会のことです。このような社会を実現するために、柳澤研究室では、「スマート社会を支える技術」に関連した情報通信システムの設計開発、センサー情報解析、バイオ情報処理などを研究テーマとして、基礎理論から現実の応用まで、ハードウェアとソフトウェア両方の観点から研究・開発を行っています。

たとえば、システム設計では、暗号処理プロセッサ、H.264などの画像処理プロセッサ、低消費電力プロセッサ、ネットワークプロセッサ、動的再構成可能プロセッサ (FPGA: Field-Programmable Gate Array) とその応用などの研究をしています。

## 研究内容

**システム設計:** システム設計の分野では、(1) 暗号解読技術ならびに解読困難な暗号ハードウェアの設計、(2) H.264/AVC動画符号化プロセッサの設計、(3) 低消費電力プロセッサの設計、および、自動合成手法などに関する研究を行っています。たとえば、(1)では、暗号処理を実装したLSIに対し、さまざまな解析(攻撃)手法を用いて暗号解読する技術を研究する一方で、そのような解読技術に負けない解読困難な暗号処理を実装したLSIを設計する研究を行っています。また、(2)では、種々の画像処理アルゴリズムの開発、および、そのハードウェア実装技術、H.264/AVCやHEVCに特化した演算器の設計などを研究しています。

**バイオインフォマティクス:** バイオインフォマティクスの分野では、医学やスポーツなどの分野に向けて、複合的なセンサによる人間の動作推定・解析システム、環境モニタリングなどについて研究しています。たとえば、カメラ、マイク、筋電計、血流計、脳波計等のセンサを使って、筋動作に伴うカメラ画像、筋電波形、加速度、角速度等の変化を機械学習 (CNN, SVM, など) 等を用いて定量的に解析することで、筋動作メカニズムを解明する人体動作解析システムを構築しています。さらに、解析結果に基づき、Unityを用いて、VR (仮想現実) 空間に人体動作を拡張して表現することもしています。

**センサー情報解析:** センサー情報解析の分野では、ロボットや無人自動運転車に向けて、センサの情報から自己位置と障害物位置を推定するSLAM (Simultaneous Localization and Mapping) 技術や、自律飛行するドローン制御技術などについて研究しています。

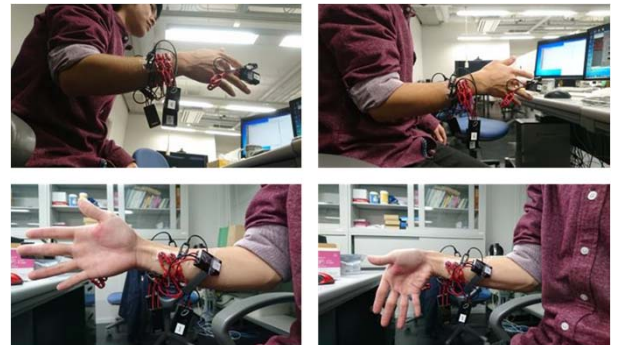


最新の動画圧縮符号化技術であるH.264/AVCに関する研究をしています。最新の技術に触れることは難しいことですが、面白さもあります。

修士2年 徳満健太



スマート社会を支える技術



筋電計を用いた手の動作解析

### 主な就職先:

ソニー、日立製作所、富士通、三菱電機、NEC、キヤノン、トヨタ自動車、NTTデータ、野村総合研究所、日本IBM、KDDI、NTT東日本、NTTコミュニケーション、JR東日本、ANA、など

# 山中 由也 研究室

Yoshiya YAMANAKA



研究室: 6 3号館 7階 16号室

大学院: 基幹理工学研究科  
電子物理システム学専攻  
材料科学専攻

研究分野: 凝縮系の理論物理研究

講義科目: 量子力学  
凝縮系の理論物理特論・量子力学  
特論 (大学院)

## 研究内容

山中研究室の代表的な研究対象として、絶対温度 $10^{-6} \sim 10^{-9}$  Kという希薄な中性原子気体系があります。このような極低温は通常の方法では達成できず、中性原子を集めて磁場やレーザー光を巧みに用いて実現されています。この極低温で、Bose統計に従う希薄な中性原子の場合、ほとんどの粒子が1つの量子状態を占めるBose-Einstein凝縮(BEC)という現象が実験で実現されるようになりました。この系は理論的に扱いやすく、実験的にも様々な制御が可能であるため、量子基礎理論に関わる様々な事柄の検証において理想的な対象になっていて、世界中の多くの研究者が研究しています。この冷却原子系に関する私たちの研究の一部を紹介します。

**中性原子気体系の量子輸送現象:** この冷却原子系を場の量子論あるいは熱場の量子論の立場から定式化して、熱的非平衡過程がどのように進むかを調べています。このような基礎的立場からの理論は従来にない新しいものです。特に、BECが存在する場合は興味深いです。

**光学格子中の相転移:** レーザー光で作られる光学格子中に閉じ込められた中性原子系は結晶格子中の荷電粒子系のより深い理解の助けになると期待されます。そこで光学格子中の中性原子系が示す相構造(超流動相、Mott絶縁体相)を調べています。

**量子渦:** BECがあると、そこに量子系特有の渦構造が出現します。私たちは、そうした渦の安定性・不安定性を議論し、不安定な場合の渦の崩壊過程を数値計算で再現しています。

物性物理や冷却原子系以外にも、原子核や量子光学へ応用した研究も行っています。

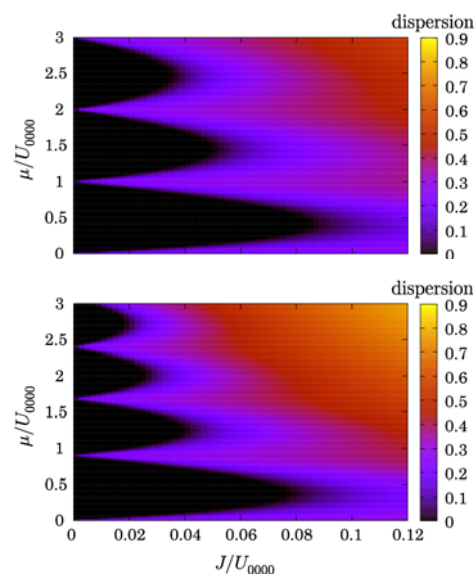
### 主な就職先:

富士通、NEC、野村総研、ブリジストン、NTTデータ、村田製作所、JFEスチール、ヤフー、ソニーLSIデザイン、ファナック、大和証券、日本IBM、トレンドマイクロ、ローム、JR東海、キャノン、ANA、ホンダ、京セラ など

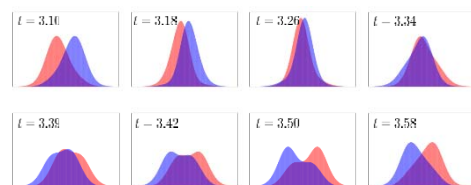
物質の性質をミクロの原子や電子レベルから量子物理の立場で説明する物性物理を理論的に研究しています。ミクロな世界ではニュートン力学は破綻して、量子力学が正しい力学法則です。量子力学では全ての物体が粒子と波動の性質を同時に持っていて、日常の感覚からかけ離れた奇妙な現象が起こります。

「量子」というキーワードが「量子コンピューター」に使われるように、量子力学の奇妙な現象を動作原理とする機器・装置を開発する時代に入りつつあります。電子物理システム学科では量子力学をきちんと学べるので、研究室の学生は皆量子力学を使った研究を行っています。

量子力学よりさらに基礎的な理論として、多粒子の量子現象を扱う「場の量子論」があります。場の量子論は、物性物理ばかりでなく、素粒子論、原子核、量子光学、宇宙の進化やブラックホールなどを説明する、最も普遍的・基礎的な物理理論です。この場の量子論自身の基礎研究を研究室の重要なテーマとしています。場の量子論と熱力学・統計力学を統合する熱場の量子論を構築し、様々な物理現象へ適用する研究も行っています。



一次元系(上)と擬一次元系(下)における相図。励起の効果により黒の部分(Mott絶縁体)の領域が縮小する。



互いに反発する2つの冷却原子気体の衝突における非平衡緩和過程のシミュレーション。このような衝突を繰り返しながら、2つの気体は熱平衡へと向かっていく。

# 山本 知之 研究室

Tomoyuki YAMAMOTO



研究室： 63号館7階02号室

大学院： 基幹理工学研究科  
材料科学専攻

基幹理工学研究科  
電子物理システム学専攻

研究分野： 量子物性科学研究

講義科目： 解析力学 量子化学 材料科学概論  
量子物性科学特論（大学院）

機能性材料の諸物性発現機構の解明に向けて、量子力学を用いた基礎的研究を中心に行っております。特に、原子レベルでの欠陥や添加元素が材料の諸物性に与える影響について、実験的ならびに計算科学的手法を用いた研究を行っています。近年、当研究室では「物質と光」の相互作用に関する材料研究を集中的に進めており、希土類フリー型、アップコンバージョン型の蛍光体、次世代太陽電池への応用を視野に入れた有機無機ハイブリッドペロブスカイトなどを対象としています。様々な手法を用いた単結晶、多結晶、薄膜等の試料合成、X線回折法などによる結晶構造解析、紫外可視吸収、蛍光励起スペクトル測定などを実験室レベルで行い、更にSPring-8やKEK-PF、UVSOR、Saga-LSなどのシンクロトロン放射光施設における分光実験（XAFS）も行っております。また、独自の並列計算機を研究室内に構築し、電子状態計算（主として第一原理計算）を行い、固体の諸性質の理解を進めております。

## 研究内容

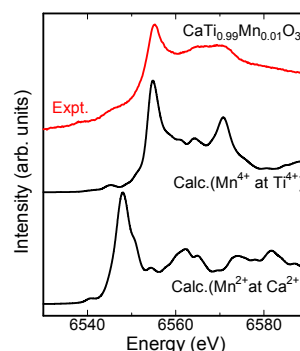
**次世代太陽電池材料：** 次世代太陽電池の吸光層として実用化が進められている有機分子と無機イオンによりペロブスカイト構造を構成する有機無機ハイブリッドペロブスカイトの単結晶合成や、スピンコートによる薄膜合成を行っています。また、それらの材料の宇宙応用も視野に入れた放射線耐性の評価も行っています。

**蛍光体材料：** 白色LEDの演色性を高めたり、人工光による農作物の栽培などを目的するために必要不可欠な赤色蛍光体を中心とした、希土類元素を用いない蛍光体や、赤外線をよりエネルギーが高い可視光に変換するアップコンバージョン型蛍光体における発光機構の解明ならびに新材料の開発に取り組んでいます。

**第一原理計算：** 密度汎関数近似に基づいて周期境界条件を課した多電子系シュレーディンガー方程式を、計算機上で解く第一原理計算法を用いて、種々の実験結果の解釈ならびに新材料の創製を目指した材料設計に取り組んでいます。

**X線吸収端近傍微細構造（シンクロトロン放射光）：** SPring-8, KEK-PF, UVSOR, Saga-LSなどのシンクロトロン放射光施設におけるX線吸収端微細構造(XANES)の測定を通して、極微量元素の局所環境解析を行っています。

主な就職先：日本製鉄、三井金属、日立金属、トヨタ自動車、日産自動車、豊田自動織機、日立製作所、ソニー、村田製作所、パナソニック、三菱電機、富士通、キヤノン、オリンパス、キーエンス、東京ガス、中部電力、清水建設、NTTデータ、野村総研、日本総研、スカイマークエアラインなど



Comparison of Mn-K XANES spectra of Mn-doped CaTiO<sub>3</sub> between experiment (red) and 2 calculated models (black).



欧米諸国のみならず、東南アジアや中央アジアなどの諸外国の研究者、学生との交流を活発に行っています。外国人研究者が頻りに研究室を訪れたり、国際会議を主催したり、発表で外国に行くような異文化交流の機会が多くあります。

左：タジキスタンの若手研究者と記念撮影  
右：修士課程学生が国際会議(3rd FMS)で受賞

# 吉増 敏彦 研究室

Toshihiko YOSHIMASU



**研究室:** 63号館7階18号室  
**大学院:** 情報生産システム研究科  
情報生産システム専攻  
基幹理工学研究科  
電子物理システム学専攻  
**研究分野:** 無線通信用高周波ICの研究  
**講義科目:** 卒業論文 (研究指導)

近年、私たちの身の周りに、電波を利用したシステムやサービスが満ち溢れています。モバイルで高速データ通信ができる時代になり、例えば、スマートフォンで動画を送ることが容易になりました。また、自動車の衝突を防止するレーダシステムが普及し始めています。しかし、これらのシステムの利便性を高め、より多くの人が安全に高速通信を行うためには、電波の利用をさらに高めていく必要があります。

吉増研究室では、電波を利活用するために必須となる無線通信用高周波回路ICの高機能化、高効率化のための研究を行っています。無線通信においては、いかに高速にデータを伝送するかが重要で、そのためには電波の周波数で動作する高周波回路の線形性が求められます。また、モバイル機器は電池駆動のため、ICの高効率化（低消費電力化）は大変重要です。これらの回路技術の基礎研究から、具体的な応用システムを特定した応用研究まで推進しています。

また、企業と積極的に共同研究を実施することで、実社会・実システムでの応用を強く意識した研究を進めています。

## 研究内容

**発振器回路の研究:** 無線通信では電波を利用します。無線通信機器内部において、その電波を発生するのが発振器 (VCO) です。今日では1個の無線機器が様々な無線方式 (例えば、携帯電話、無線LAN, Bluetooth, GPSなど) を集積しています。従って、無線機器は多くの周波数の電波を発生しなければならず、発振器は複雑な回路になっています。また、発振器の雑音は無線通信の品質に大きく影響します。そこで、(1) 広帯域発振器、(2) 低位相雑音発振器、(3) 発振器の低消費電力、などに関する研究を行っています。発振器の動作周波数帯は概ね、800 MHz ~ 30 GHzです。

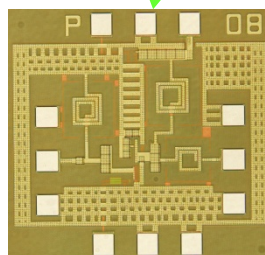
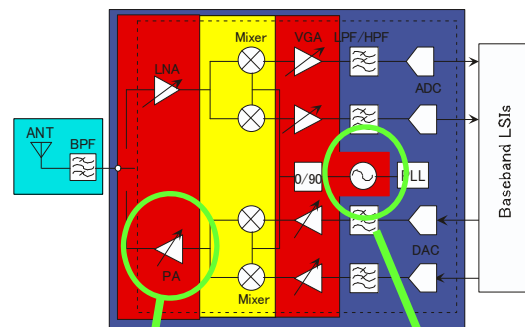
**パワーアンプ回路の研究:** 無線通信で伝送速度を高めるために、ベクトル変調方式 (QPSK, 256QAMなど) が用いられます。このベクトルを歪なく、大電力に増幅する役割がパワーアンプ (PA) です。また、パワーアンプの消費電力は無線通信機器全体の消費電力の多くの割合を占めます。従って、パワーアンプが機器の通信速度と電池寿命を決めると言っても過言ではありません。そこで、(1) 歪みを改善するための補正回路の研究、(2) 消費電力低減のための回路方式の研究などを進めています。主な応用分野は、無線LAN (WiFi) や携帯電話 (LTE) です。

**周波数ミキサ回路の研究:** 通信したい情報 (画像データや音声など) を電波 (発振器) の周波数に乗せる (または、降ろす) 回路が周波数ミキサ (Mixer) の主な役割で、発振器と接続されて動作します。周波数ミキサの雑音を低減し、消費電力低減のための研究を実施しています。

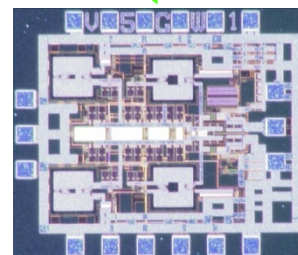
以上の他には、電波を受信する「低雑音増幅器 (LNA)」やアンテナを切り替える「スイッチ回路 (SW)」の研究も実施しています。

**考案した回路の有効性実証:** 研究により考案された回路を、(学外の会社に依頼して) 半導体プロセスを用いてICチップを製作し、その性能を評価・測定することで、回路の新規性や有効性を実証しています。

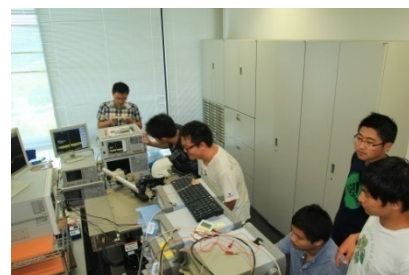
無線通信機器の高周波受信部ブロックダイアグラム



パワーアンプIC



広帯域発振器IC



高周波IC測定室 (情報生産システム研究科)

# 渡邊 孝信 研究室

Takanobu WATANABE



研究室： 6 3 号館 7 階 0 6 号室

大学院： 先進理工学研究科  
ナノ理工学専攻

基幹理工学研究科  
電子物理システム学専攻

研究分野： ナノ材料情報学研究

講義科目： 電子デバイス 制御工学  
計算機実験学概論（大学院）

## 研究内容

### シリコン熱電発電デバイスの開発：

LSIの製造プロセスと同じ方法で作製できる、マイクロサイズのシリコン製熱電発電素子を開発しています。産業技術総合研究所、大阪工業大学、九州大学、名古屋大学、明治大学など、多くの研究機関と共同で進めている大型研究プロジェクトです。

### ナノスケール半導体中のフォノン輸送機構の研究：

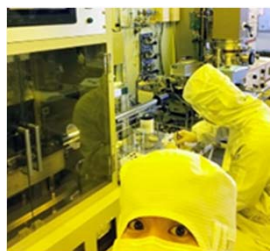
数十万個以上の原子集団の動きを再現できる分子動力学シミュレーションを駆使して、結晶格子の熱振動の量子である「フォノン」の挙動を研究しています。ナノメートル領域の熱流を操るための重要な基礎研究です。

### ナノコンポジット化樹脂の絶縁破壊性能の研究：

シリコン微細トランジスタ素子の製造技術と評価技術を応用して、エポキシ樹脂にナノスケールの添加剤を混ぜた高機能複合材料を評価しています。環境負荷の小さなモータ・発電機の開発の一環として、東芝三菱電機産業株式会社(TMEIC)と共同で研究しています。

### 羽ばたき飛翔ロボット「WiFly」の開発：

当研究室では、垂直姿勢のホバリング飛行から水平飛行まで、飛行姿勢をシームレスに変えられる羽ばたき飛行機「WiFly」を開発しました。現在、ディープ・ラーニングを用いた強化学習など最新の人工知能技術を導入して、WiFlyの自律飛行技術を開発しています。



私達は渡邊先生の指導の下、多様な研究テーマに取り組んでいます。各々の専門分野についての探究は勿論、異なるテーマの仲間との議論により分野の垣根を越えた好奇心を持ち続けられ、研究者として広く深く成長できる環境がここにはあります。（修士2年 目崎航平）

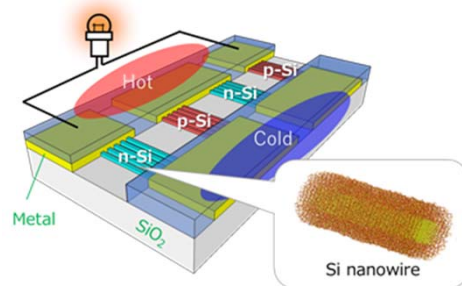
◀ クリーンルームで実験中の目崎君(手前)と武澤君(奥・M2)

未来のIoT/AI時代を支えるシリコン・エレクトロニクスの研究を、理論計算、実験観察、ものづくりなど、様々なアプローチで進めています。

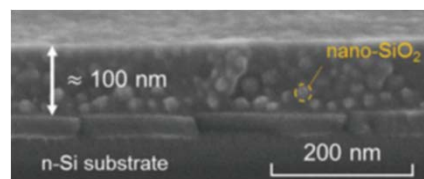
IoTは「Internet of Things」の略。身の回りのあらゆるモノにセンサが組み込まれ、それらがネットワークにつながる未来社会が予想されていますが、実現を阻む最大の課題が電源です。膨大な数の端末をいちいち充電してなどられないので、熱や振動、電波など、環境中の微小エネルギーを電気に変えて恒久的に駆動する「環境発電」という技術が必要となります。当研究室では、シリコンのLSI製造技術を活かして、熱から電気を生み出す環境発電技術を開発しています。

別のアプローチとして、センサ自体が移動手段を持ち、欲しいデータを取りに行けるシステムを実現できれば、電力供給の問題を回避できます。移動手段でもっとも自由度が高いのは、やはり「飛行」でしょう。当研究室では、トンボのように高度な飛行ができる究極の無人飛翔体の実現を目指し、羽ばたき飛翔ロボットのAI（人工知能）制御の研究に取り組んでいます。

他にも、シリコンのLSI技術を活かした様々な研究を展開しています。産業応用に向けた明確なビジョンを持ち、その中で、サイエンスとしての重要性がある課題に取り組むことを常に心がけています。



シリコン微小熱電発電デバイスの概念図



ナノコンポジット化樹脂の電子顕微鏡写真



羽ばたき飛翔ロボットWiFlyのデモ飛行  
(CEATEC JAPAN 2018/千葉県幕張メッセ)

主な就職先：

富士通、パナソニック、NTT、三菱電機、トヨタ自動車、SUBARU、ソニー、キヤノン、日立、東北電力、ルネサスエレクトロニクス、ソフトバンク、など。

※記載内容は2019年4月時点の情報です。