



## 【短信】研究室紹介

「安心・安全な電波環境の実現をめざして」  
青山学院大学理工学部 橋本・須賀研究室

橋本 修（青山学院大学）



現在、電力・情報通信技術が統合されつつあり、空間を伝搬する電磁界は多種多様なものとなってきています。我が国の限られた国土において、不要電磁界を抑制し、安心・安全な電磁環境を実現するには、安価、薄型軽量で、従来にない機能を有する電波吸収体が求められています。そのためには、簡易かつ高精度な材料定数の測定技術開発が肝要です。いかなる電磁環境にも対応できる電波吸収体開発のための学問体系化が期待されています。

当研究室では、このような電波環境改善に向けたマイクロ波・ミリ波技術の産業界への応用を念頭に、主に電磁波測定技術、電磁波吸収技術および数値計算技術の研究を行っています。その内容を大きく分類すると、(1)高損失材料の材料定数測定法における誤差評価と新しい測定法の実用化、(2)物体からの高精度な反射測定法の確立、(3)数値計算手法を駆使した人体の電波吸収とその防護に関する研究、(4)FDTD法(Finite Difference Time Domain)の各種分野に対する応用と、熱解析を連成した新しい解析法の確立、(5)各種損失材料を用いた ETC 用、無線 LAN 用などに対する高機能電波吸収体の実用化、(6)マイクロ波帯における方向探知用レンズや半球状コンフォーマルアンテナの研究、(7)減衰極を駆使したマイクロ波フィルタの通過帯域改善の研究などであり、これらの研究は建築分野なども含めた多分野に渡っています。

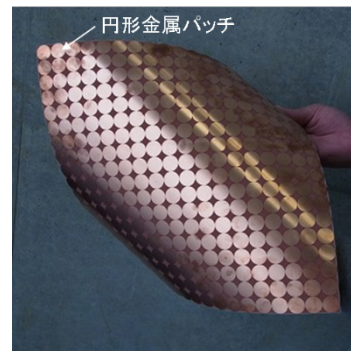
一例として ETC システムにおける電波吸収体実用化の例をあげますと、2001 年の ETC システムの実用化当初から、料金所壁面などにおける電波反射波の悪影響により、料金の二重引き落としなどに起因する誤作動問題が懸念され、2006 年度には、全国 1,300 カ所に電波吸収体が施工され大きな効果を奏しています。このような状況の当初から、その電波環境の改善のため、料金所天井に施工する扁平磁性粉末を用いた厚さ約 1.9mm の薄型電波吸収体、料金所付近の舗装道路に用いる吸収特性を付加したケイ素含有の舗装電波吸収体、さらにはレーン間の干渉を抑圧するため隣接レーン間に施工し、その視認性やレーン間の通気性を良好とする抵抗膜型および格子型電波吸収体など種々の ETC 用電波吸収体の開発に成功しました。これらの吸収体の内、超薄型シート電波吸収体はすでに施工され、



ETC 料金所へ施工した電波吸収体の例

格子型電波吸収体は、大東鶴見 IC 下りに施工後、現在電波環境の改善効果が確認され実用化されました。

また最近では、マイクロ波平面回路で用いられる誘電体共振器を周期的に配列した超薄型電波吸収体についても検討を進めており、波長の 1/200 と極めて薄い電波吸収体を実現しました。



5GHz 帯用パッチ配列電波吸収体 (300 $\mu$ m 厚)

これらは、研究室の学生達の活発な研究によって得られた成果です。現在も在籍する学部生 10 名、大学院生 22 名と議論を重ねており、学生達の日々の成長に驚かされています。

著者略歴：

1976 年電通大・電気通信・応用電子工学卒。1978 年同大大学院修士課程了。同年(株)東芝入社。1981 年防衛庁入庁。1986 年東工大大学院博士課程了。1991 年青学大助教授。1994～1995 年イリノイ大客員研究員。1997 年青学大教授。工博。環境電磁工学、生体電磁工学、マイクロ波・ミリ波計測に関する研究に従事。本会フェロー、電気学会フェロー。



## 【短信】研究室紹介

### 「分布定数系の知見を核としたテラヘルツ 応用システムの研究」

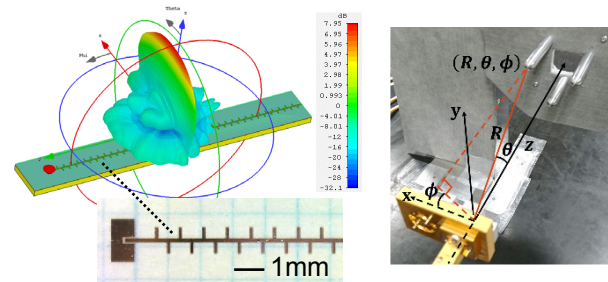
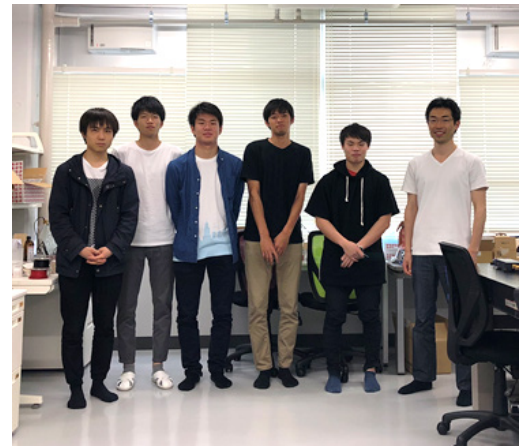
門内 靖明（慶應義塾大学）

本研究室は2018年4月に理工学部物理情報工学科にて発足しました。現在、学部生4名・大学院生1名と共に計6名で研究活動を行っています。まだまだ立ち上げで忙しい日々ですが、意欲的な学生達とともに、何でも気軽にチャレンジできる環境を構築していきたいと考えています。

本研究室では、分布定数系に関する知見を核として、マイクロ波・光から超音波まで広く波動全般を対象とした研究に取り組みます。特に現在は、テラヘルツ波をレーダとして応用するための研究に注力しています。テラヘルツ波を用いることにより、近年急速に普及している車載ミリ波レーダよりも1桁以上高い分解能と1桁以上小さな開口径とを両立できるようになります。これによって、例えばドローンやウェアラブル端末などの小型移動体に高機能レーダを搭載できるようになり、周囲の3次元認識や人のジェスチャー動作計測などが可能になると考えられます。

これまでに、テラヘルツレーダの原理実証として、導波構造と一体化された周期散乱体からなるマイクロストリップ型漏れ波アンテナを300GHz帯で実装しました。漏れ波アンテナを用いると、周波数の掃引により位相変調器を用いることなくビーム走査が可能になります。このようなアンテナは、テラヘルツ帯で低損失な誘電体フィルム上に銅パターンニングを施すことで簡単に形成できます。モード変換カップラを介してベクトルネットワークアナライザと接続し、電波暗室内でその放射パターンを実測した結果、ビーム角の周波数応答は理論とよく一致し、周波数を235~325GHzの範囲で掃引することで3dB幅が4°の指向性ビームを-23°から+15°まで38°幅にわたり走査可能なことを確認しました。

実際にレーダ応用が可能なることを確認するために、試験対象物として指先程度のアルミ製円柱を用意し、その位置をSパラメータの処理によって検出する実験を行いました。その結果、前方10cm程度の距離に置かれた対象物をミリメートル程度の分解能でカバーできることを確認しました。探知距離を伸長するにはアンテナゲインをさらに高める必要があります。



そして現在では、3次元計測を行うための開口合成や、不透明媒質を透過しながらの計測などへの拡張を試みています。例えばアンテナを光学的に遮蔽した場合でも、スパース信号処理の枠組みに基づいて処理をすると対象物の位置を正しく推定可能なことが明らかになっています。

本研究室ではこのようなテラヘルツ技術に関する研究に加えて、分布定数系の知見を他分野に応用する試みも積極的に行っています。例えば最近では、慶應義塾大学の伊藤公平教授、早瀬潤子准教授との共同研究により、ダイヤモンド結晶欠陥中にトラップされた電子のスピン状態を制御するために必要なマイクロ波磁場を広帯域・大面積・非接触に照射するアンテナを開発し、従来の実験を大幅に高スループット化することができました。通常のマイクロ波アンテナでは放射場をより遠くに飛ばすことが求められるのに対して、ここでは近接場を介して磁場を伝達する点が新たな挑戦となりました。今後も様々な分野の方々との交流を積極的に測りながら、最先端の課題に対して柔軟に解を出していけるよう精進して参りたいと思います。

著者略歴：

2013年東京大学大学院情報理工学系研究科博士課程修了、博士（情報理工学）。同年より同大学特任助教、2015年より慶應義塾大学理工学部助教を経て、2018年4月より同大学専任講師。



## 【短信】研究室紹介

### 「電波を使った人体のセンシング」



阪本 卓也（兵庫県立大学）

当研究室では、マイクロ波やミリ波を使った人体センシングのためのシステム・測定手法開発および信号処理法の研究を行っています。人体センシングといえば、アップルウォッチなどのウェアラブルデバイスによる生体測定が注目されています。さらに、Kinect センサーなどの距離カメラによる人体の立体形状撮影も広く普及しています。一方で、電波による人体センシングは非接触であるため装着の不快感が無く、衣服などを透過して皮膚表面を直接測定できるという利点があります。ここでは当研究室で取り組んでいる研究テーマを二つご紹介します。

一つ目のテーマは電波による非接触心拍センシングです。人体の上体の皮膚表面では呼吸および心拍による微小変位が見られます。これらの変位を電波反射波の位相変化として測定することにより、遠隔で生体情報の測定ができます。ところが、電波により測定される心拍情報は、従来の心電計で測定されてきた心臓の電氣的活動ではなく、機械的活動に対応するため波形再現性に乏しく、精度改善に限界がありました。過去の研究では、受信波形を単にフーリエ変換して平均的な心拍数を求める方法や、テンプレート波形を用いる手法が提案されてきましたが、いずれも十分な精度が得られませんでした。我々の研究室では、波形そのものではなく波形の持つトポロジック的特徴を用いた高精度心拍測定技術を開発し、隣接心拍間隔を平均誤差 10 ms 未満という超高精度で測定する技術を開発しました（図 1）。



図 1 電波による非接触心拍センシングの実験風景

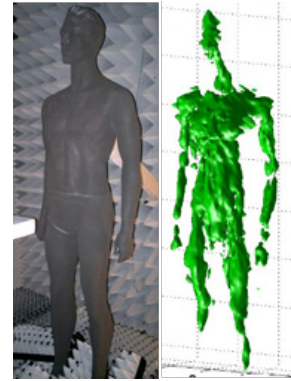


図 2 測定対象の人体模型（左）と高速電波イメージングにより得られる立体形状（右）

二つ目のテーマは電波イメージングによる隠匿物検出です。現在、空港保安検査場等で広く用いられるミリ波ボディスキャナ装置は隠し持った不審物等を自動検出することができ、普及が進んでいます。こうした装置では周波数領域で波動場の平面波展開を行うイメージング処理が採用されています。従来の処理速度を大幅に高速化するため、我々は受信信号の波形ではなく波形の特徴点群を用いることで、大幅な高速化を実現しました。波形情報を除去するため、データ量が大幅に圧縮されると同時に著しい高速処理が可能になりました。人体模型を用いた測定（図 2）により、人体形状の明瞭なイメージングを従来の 100 分の 1 という短時間で実現できることがわかりました。

著者略歴：

2000 年京大工学部電気電子卒。2005 年京大大学院情報学研究科通信情報システム専攻博士課程修了。同年より京大情報学研究科にて学振特別研究員 PD、助手、助教を経て 2015 年より兵庫県立大学大学院工学研究科電子情報工学専攻准教授。電波イメージングおよび電波センシング信号処理の研究に従事。京都大学博士（情報学）。本会通信ソサイエティ活動功労賞（平 27）、堀場雅夫賞（平 28）各受賞。本会会員、IEEE シニア会員、電気学会会員。本会電磁界理論研究会幹事。



## 【短信】研究室紹介

「Nyquist 周波数超の高周波信号を直接生成、処理できる  
ダイレクトデジタルRF 送受信機の実現を目指して」

末松 憲治（東北大学）



第 5 世代移動通信や高スループット衛星通信などの次世代無線通信では、20GHz を超えるマイクロ波帯、ミリ波帯を使った、デジタルビームフォーミングや MIMO システムが検討されている。このようなシステムでは、多数のアンテナ素子それぞれに、個別の送受信機を備えた無線機が必要となるため、新しい送受信機アーキテクチャが求められている。本研究室は、無線通信機ハードウェア技術をもとに、キーとなる高周波(RF)デバイス/回路、デジタル信号処理回路から、送受信機アーキテクチャ、無線通信システム、ネットワークまで、幅広いレイヤにわたり、垂直統合した研究を行っている。現在は、教授 1 名、准教授 1 名、助教 1 名の研究・教育スタッフと、博士 3 名(社会人ドクターを含む)、修士 8 名、学部生 3 名の計 17 名で、無線通信の新しい送受信アーキテクチャと、関連するデバイス、ネットワーク技術の研究に取り組んでいる。

CMOS を代表とする半導体プロセスの微細化、デジタル回路の高速化、高機能化に伴い、高周波アナログ回路部を極力デジタル信号処理回路で置き換えるデジタル RF 技術が提案され、GHz 帯無線機の IC レベルへの集積化、小型化が実現されつつある。このデジタル RF 技術は、フィルタリング、周波数変換、変復調などの従来アナログ回路で行ってきた信号処理をデジタル領域で行うため、さまざまな無線方式に適用可能であり、ソフトウェア無線機としても注目されてきた。RF アナログ信号をデジタル信号に変換する際、サンプリングと量子化が行う必要があるが、無線端末などのクロック周波数は数 GHz 程度にとどまっているため、直接取り扱える RF 信号周波数の最高値はサンプリングクロックの 1/2、すなわち、Nyquist 周波数以下であり、5GHz 程度が上限となっている。

最初に述べたように、今後の無線通信では、より高いマイクロ波帯、ミリ波帯の周波数の活用が必須となっているが、現在のデジタル RF 技術では、Nyquist 周波数を超えた RF 周波数への適用は困難であった。

我々の研究室では、この Nyquist 周波数を超える高い周波数の RF 信号を直接デジタル信号へ直接変換、あるいは、デジタル信号から直接 Nyquist 周波数を超える RF 信号を直接生成することができるダイレクトデジタル

RF 技術の実現を目指している。送信系に関しては、1-bit バンドパス  $\Delta \Sigma$  変調器の高次イメージ信号を用いる構成を提案し、8Gbps の 1-bit デジタル信号ストリームから直接 26GHz 帯の RF 信号を生成することに成功した。また、受信系に関しては、28GHz 帯の信号を、RF 信号に比べて約 30 倍低い周波数である 1GHz のクロック信号でアンダーサンプリングすることができるサンプルアンドホールド(S/H) IC を開発し、衛星通信の受信系として適用可能な性能であることを確認した。これらの技術を組み合わせることで、デジタルリッチで IC、小型化に適した新しいマイクロ波/ミリ波送受信機アーキテクチャが実現できると考えている。

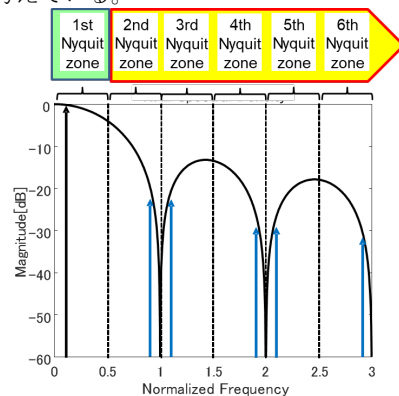


図 1 高次ナイキストゾーンの活用のイメージ (横軸はクロック周波数で規格化した RF 周波数)

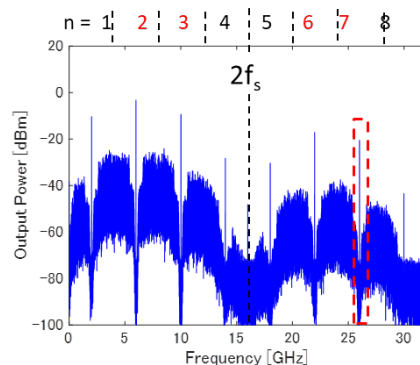


図 2 ダイレクトデジタル RF 送信機の出力行

著者略歴：

1987 年早稲田大学大学院工学研究科博士前期課程修了、同年三菱電機(株)入社、2010 年東北大学電気通信研究所教授。博士(工学)。1992 年本会篠原記念学術奨励賞、2012 年本会エレクトロニクスソサイエティ賞。