

無線通信向けの 高周波アナログ回路の設計・開発

小野 研究室



小野 哲
Satoshi ONO

無線通信分野は現行の第5世代通信(5G)サービスに続き、2030年ごろの普及が見込まれる6Gの技術仕様の検討も始まるなど、世界的に活発な技術開発が進められています。6Gではミリ波帯(30ギガ〜300ギガヘルツ、ギガは10億)のうち、100ギガヘルツ以上が候補の周波数になっており、より高い周波数帯を使いこなす技術が求められています。

無線通信用の高度なアナログ回路設計に取り組む小野哲准教授

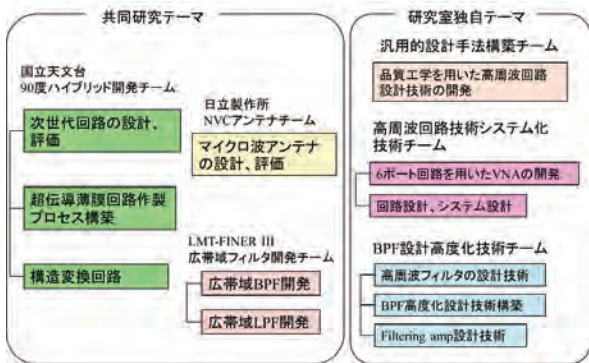
は、とりわけ数ギガ〜数十ギガヘルツ帯の高周波信号を扱うフィルタやアンテナ、スイッチなどの受動(パッシブ)回路を中心に研究しています。回路の設計からシミュレータを使った解析、さらに試作した実機の評価まで、ものづくりのイロハを学べる研究室です。

アルマ望遠鏡に搭載

近年の主な研究テーマとしては、まず南米チリのアタカマ高地にある世界最大級の電波望遠鏡「アタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計(ALMA望遠鏡)」に搭載する高感度受信機向けの回路設計が挙げられます。宇宙から1秒間に数千億回の振動をしながら地球へ届く微弱な電磁波を受信するに

は、大型のアンテナとともに低損失な回路が不可欠です。

小野准教授は国立天文台などと共同で、現在、アップグレード計画が進む「ALMA2プロジェクト



キーワード

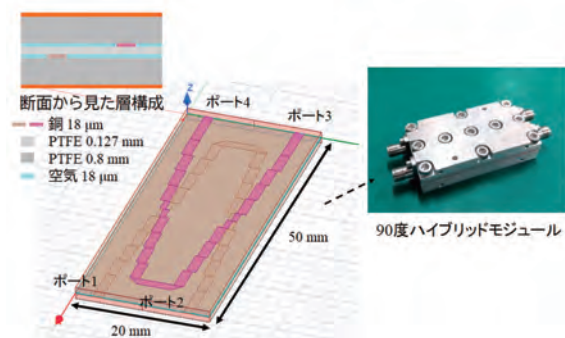
高周波受動回路、広帯域90度ハイブリッド、NVC(Nitrogen-Vacancy Center)用マイクロ波アンテナ、高周波フィルタ(LPF(ローパスフィルタ)、HPF(ハイパスフィルタ)、BPF(バンドパスフィルタ)、BRF(バンドリジェクションフィルタ)、高周波フィルタで構成するマルチプレクサ、品質工学を用いた集中定数型フィルタの設計手法の開発、チューナブルBPF、平坦な通過帯域を持つBPF、BPFの機能を持つパワーディバイダ、比帯域100%程度の広帯域BPF、LNA(ローノイズアンプ)、6ポートリフレクタメータを用いたVNA(ベクトルネットワークアナライザ)の開発

ト」向けに、回路の出力間の位相差を90度にすることでノイズの影響を最小限にする方式に必須の「90度ハイブリッド」と呼ぶ回路の設計を進めています。これまでに、プリント回路基板やフッ素樹脂(アフロン)基板を用いた90度ハイブリッド回路を試作し、モジュール化までこぎ着けました。

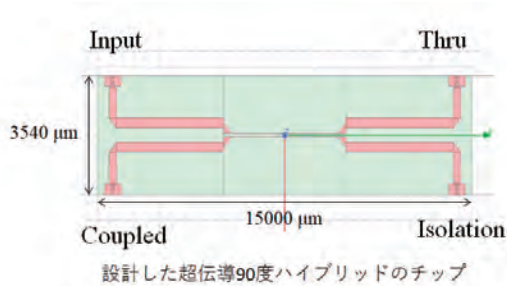
これは室温で動作するものですが、さらにノイズの影響を極限まで抑えるため、ほかに4K(Kは絶対温度、0Kはマイナス273度C)の極低温下で動作する、ニオブ薄膜の積層加工プロセスによるシリコン基板を用いた超伝導90度ハイブリッドの作製にも挑戦しています。

このような小型で高性能な超伝

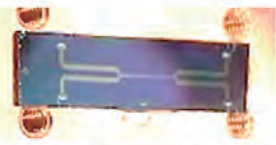
導回路を実現できれば、「超伝導量子コンピュータなど他分野にも横展開できるかもしれない」と小野准教授は考えています。また、メキシコの大規模ミリ波望遠鏡(L



テフロン基板を用いた90度ハイブリッド

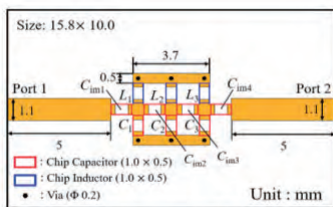


設計した超伝導90度ハイブリッドのチップ



試作した超伝導90度ハイブリッドのチップ

超伝導ニオブ薄膜加工プロセスを用いた90度ハイブリッド



設計したチップ素子を用いたBPF



試作したチップ素子を用いたBPF

チップ素子を用いた小型BPF (チップサイズ0.5ミリ×1ミリメートル)

MT)に搭載する広帯域ヘテロダイ
イン受信機(FINER)向けの
フィルタ開発などにも取り組んで
います。

NVセンサー用マイクロ波ア ンテナを企業と開発

ほかに、日立製作所とは量子
センサーとして期待されるダイヤ
モンド結晶中の窒素と空孔の中心
「NV(Nitrogen-Vacancy)セン
ター」用のマイクロ波アンテナを
共同で開発しました。NVセン
ターに交流磁場をかけるための走
査型プローブ顕微鏡(SPM)にア
ンテナを搭載することで、磁気や

電気、温度、ひずみなどを計測す
る超高感度センサーとして機能し
ます。

さらに業界初の試みとして、高
周波フィルタの設計に品質工学の
手法を取り込むことで、バラつき
に強く、頑丈で効率的な「ロバス
ト設計」が可能になることを示し
ました。特に、マイクロ波帯のバ
ンドパスフィルタ(BPF)やロー
パスフィルタ(LPF)など的高機
能回路にこの手法を導入すること
を目指しています。

アクティブ回路とパッシブ回 路の融合も

小野准教授は長年、アナログ高
周波BPFの開発に取り組み、そ
の小型化や広帯域化を実現してき
ました。BPFとは特定の周波数
帯の信号だけを取り出し、それ以
外の信号は通さないようにする回
路です。限られた周波数資源を有
効に活用するためには、こうした
フィルタ技術が欠かせません。今
後、5Gや6Gなど通信端末で扱
う規格が増えていくなかで、サー
ビス間の干渉を防ぐ意味でも、ア
ナログBPFの需要は増していく
とみられています。

このBPFの設計をさらに高度
化するため、最近では設計の初期段
階から精度良く作り込むためのパ
ラメータの新たな抽出方法や、
フィルタと同じような手法でアン
プが設計できる、能動(アクティ
ブ)回路とパッシブ回路を融合し
たフィルタリングアンプの設計技
術の提案といった新規の領域にも
踏み込んでいます。

回路設計の教育に工夫

そのほか高周波回路のシステ
ム化に向けて、ソフトウェアを切り
替えるだけで多様な変調方式やア
プリケーションに対応できるソフ
トウェア無線(SDR)用に、周波
数を従来比100倍以上に変変で
きるチューナブルBPFなども開
発しました。SDR向けの無線機
の小型化や高性能化、低コスト化
などに寄与できます。

小野研究室では、高周波回路の
設計や試作を競う独自のコンテス
トを大学院生たちが企画・運営
し、研究室の新生入生らに実技を通
して研究の基礎を学んでもらって
います。また、電子情報通信学会
のマイクロ波研究会主催「マイク
ロ波設計試作コンテスト」などに

も積極的に参加しています。小野
准教授は「一つの目標に向かい、
回路の調査から設計、試作までを
仲間と共にやり遂げることで、格
段にレベルアップできる」と教育
活動に手応えを感じており、日本
で数少ない回路設計の研究室とし
てこの分野を盛り上げていきたい
と考えています。

【取材・文】藤木信穂