

＜研究紹介・自己紹介＞

研究項目 A01:計画研究ウ

「構造共鳴を利用したマイクロ波の偏光及び伝播制御」

研究分担者 出口 博之（同志社大学）

(d) 遺伝的アルゴリズム（GA）によるメタマテリアルの設計

研究項目 A01：計画研究ウ「構造共鳴を利用したマイクロ波の偏光及び伝播制御」の研究分担者の出口博之です。

私は 1985 年に同志社大学工学部の超高周波工学研究室に学部 4 年生で配属され、滝山 敬先生、繁澤 宏先生、辻 幹男先生の指導のもとで、同大学院大学院博士課程（前期課程）まで、空洞共振器を用いたマイクロ波およびミリ波導波管フィルタの研究を行いました。電磁界解析には最小二乗法的モード整合法を用い、設計にはフィルタの理論に加えて非線形最適化手法を用いて通過域ならびに減衰極の制御を行うというものでした。その後、1988 年に三菱電機（株）に入社し、情報技術総合研究所アンテナ部に配属され、電波天文・通信・レーダなどに用いるアンテナの研究開発に携わりました。最初は、国立天文台野辺山の 45m 電波望遠鏡の電波ホログラフィを用いた鏡面精度測定法の研究や電波天文衛星「はるか」搭載用大型展開アンテナの電気性能評価法の開発を行いました。その後、国立天文台野辺山の 10m 電波望遠鏡のフレネル領域における電波ホログラフィ測定法の研究、ミリ波サブミリ波大型アンテナの新しい鏡面誤差評価法、2 ビームを可動させる 2 枚球面鏡アンテナの設計などを行いました。特に地上の電波天文用アンテナの研究では国立天文台の石黒 正人先生、大型展開アンテナの研究では宇宙科学研究所の三浦 公亮先生、高野 忠先生の指導もあり、順調に研究が進み学術的な成果にもつながっています。また、通信用アンテナの研究では、地上局などで用いられる複反射鏡アンテナの一次放射器として使用される複モードホーンアンテナやコルゲートホーンアンテナの設計・解析を行いました。これらの研究成果は、同社の喜連川 隆氏、片木 孝至先生、浦崎 修治先生、牧野 滋先生らが開発したアンテナ技術を基にさらに発展させて得られたもので、博士論文にまとめています。その他に、ビームモード展開法を用いた複反射鏡アンテナの設計・解析法、複反射鏡アンテナの交差偏波消去のための設計法、近傍界アンテナ測定法、アンテナレドームの設計・解析など、開口面アンテナの技術開発を中心に行いました。また、同研究所アレーア



ンテナチームにも所属して、レーダに用いられるアレーアンテナや通信に用いられる衛星搭載用マルチビームアンテナの研究も行いました。

そして、2000年に同志社大学に入社して以来、理工学部電子工学科に所属して教育・研究に携わり、超高周波工学研究室にて、アンテナの設計・解析や電磁波計測に関する研究などを行っています。現在、本研究室では、辻 幹男先生と私で、学部4年生と大学院生を合わせて約40名の学生に対して、超小型導波管フィルタ、デュアルバンドマイクロストリップ線路フィルタ、コプレーナ線路フィルタ、任意形状多層平面回路フィルタ、平面回路4端子素子、任意形状左手系素子（導波管および平面回路）、左手系媒質を用いた漏洩波アンテナ、UWBアンテナ、電磁波計測用ミリ波アンテナ、広帯域ホーンアンテナ、多モード角すいホーンアンテナ、誘電体装荷ホーンアンテナ、軸対称反射鏡アンテナ用小型一次放射器、周波数選択性多機能膜、リフレクトアレーアンテナ、平面レンズアンテナ、メタマテリアル媒質などに関する研究指導を行っています。

本課題の「遺伝的アルゴリズム (GA) によるメタマテリアルの設計」に関連する研究は、本学の大平 昌敬くんの修士論文、博士論文での周波数選択膜 (FSS) の周期境界条件を用いたスペクトル領域モーメント法による解析や GA による広帯域 FSS (図1参照)、超小型導波管フィルタならびに UWB 用平面回路フィルタの最適化設計 (図2参照) が基礎になっています。

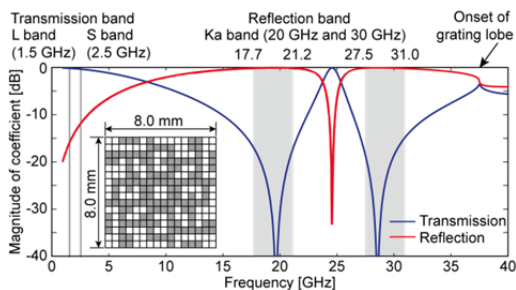


図1 GAにより設計したFSSの例

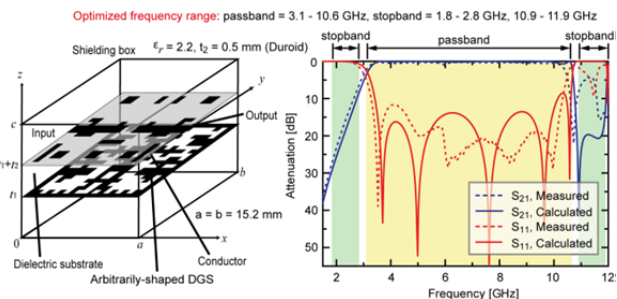


図2 GAにより設計したUWBフィルタの例

また、メタマテリアルの代表的な応用例の一つである漏洩波アンテナの分野においては、以前より、本研究室の繁澤 宏先生、辻 幹男先生が研究してきたことが電磁界解析・設計の技術的な基盤となっています。これは、漏洩導波路の厳密な電磁界解析を基にして、漏洩特性を巧みに制御することで高性能な周波数走査アンテナを得ようというものです。平面回路素子の漏洩特性についても詳細に研究され、右手/左手系複合線路漏洩波アンテナの設計 (図3参照) へと発展させています。

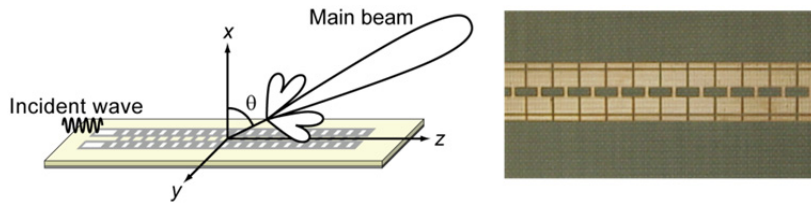


図3 右手/左手系複合線路漏洩波アンテナの設計例

これまで行ってきたリフレクタレーアンテナや平面レンズアンテナの設計・解析も、メタマテリアル・サーフェースやメタマテリア媒質の研究と密接な関連があり、本課題に取り組む一つのきっかけとなっています。このような放射素子の開発は実験的評価も非常に重要で、本学の電波暗室（幅 6 m，奥行 6 m，高さ 6 m）での通常の遠方界測定のほか、ミリ波平面走査型近傍界測定装置、プローブアレーによる 3 次元アンテナ測定システムによって詳細な評価を行い、研究を進めているところです。

現在、メタマテリアル線路素子として、平面回路線路の位相定数を制御する新しい素子形状を GA により検討しています（図 4 参照）。線路は周期構造からなり、その単位セルを任意形状の導体ストリップによって構成し、モーメント法による解析を基に評価関数を定義して設計しています。設計目標とする位相定数と最適化で得られた特性は比較的一致し、さらに広帯域化や低損失化のための検討を進めています。また、メタマテリアル・サーフェースとして、反射位相制御のための任意形状リフレクタレー素子の最適化を行っています（図 5 参照）。リフレクタレーは異なる形状のマイクロストリップ素子を 2 次元配列して構成され、反射位相量の正確な制御に加えて、周波数依存性を全ての素子で揃えるよう GA により設計しています。

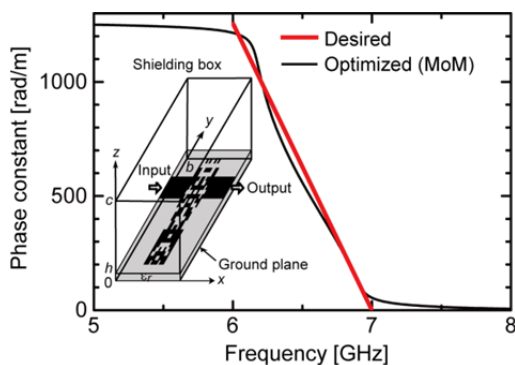


図4 任意形状線路素子の設計例

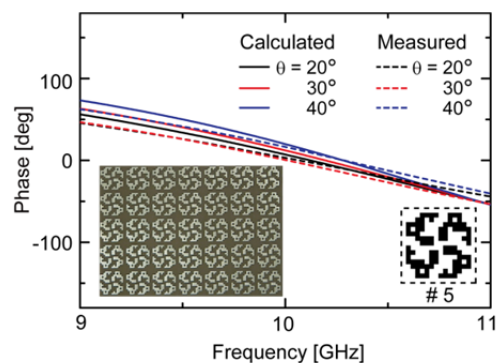


図5 任意形状リフレクタレー素子の設計例

さらに、このような構造で地導体板を取り除き、透過波の制御を行うものについても同様に検討しており、超薄型構造の平面レンズが期待できます。今後、漏洩波アンテナや多層構造メタマテリアル媒質に対しても GA による最適化設計を行う予定です。