



## 高周波回路の解析・設計理論の整備と対応ソフト開発

許 瑞邦<sup>2</sup> 武田 重喜<sup>2</sup> 穴田 哲夫<sup>1</sup> 平岡 隆晴<sup>3</sup> 陳 春平<sup>3</sup>

### Construction of high frequency circuit analysis/synthesis theory and development of the corresponding software

Jui-Pang HSU<sup>2</sup> Shigeki TAKEDA<sup>2</sup> Tetsuo ANADA<sup>1</sup> Takaharu HIRAOKA<sup>3</sup> Chun-Ping CHEN<sup>3</sup>

#### 1. プロジェクト研究の概要

電子機器の高周波化，高速化に伴い，使用する周波数  
またはマイクロプロセッサの動作クロックが数 GHz に近  
づいている現在，モノリシック集積回路化に適したマイ  
クロストリップ線による 2 次元的平面回路，共平面回路  
等といった電磁波回路が頻りに利用されているが，超  
広帯域マイクロ波回路の設計理論はほとんど確立されて  
いないため，統一的な設計理論を開発することが望まれ  
ている．また高周波用プリント基板から外部への放射・  
漏れによる電磁界分布の視覚的観測や温度分布（回路の  
発熱状態）も同時にシミュレーションすることができれ  
ば，回路の特性解析・評価・改善，漏れを防ぐ手段の発  
見，更には新しい概念の回路の開発にも大変有意義であ  
ると考えられる．このような観点から，Maxwell の方程  
式の境界値問題に対する汎用的な設計法を開発し，実際  
のデバイスへの応用を考えて研究プロジェクトを組織し  
た．以下に各担当者の役割分担を簡潔に述べると，

- (1) 平面的導波路，回路の固有モード展開による理論の  
展開と整備：担当は許 瑞邦 客員教授．
- (2) 平面回路理論による回路合成と実際：担当は武田重  
喜客員教授（企業で多くの実装経験をもつ）．
- (3) Maxwell 方程式の FDTD 法による数値解法の開発と  
応用：担当は穴田哲夫教授．
- (4) 平面回路の固有モード展開法に遺伝的アルゴリズムの  
導入：担当は平岡隆晴助教．
- (5) 平面回路的 UWB 通信用帯域通過フィルタの開発と実

際：担当は陳春平特別助教．

上記研究課題にそって 5 年間の研究成果を統括すること  
で，文科省科研費の取得など大きな成果を上げることが  
できた．その研究成果の一部を報告する．

#### 2. 次世代モバイル通信超広帯域デバイスの開発と実用 化における電磁環境評価

##### (1) UWB バンドパスフィルタの合合理論と実際

今日，携帯電話はコンピュータなみの性能へと進化し，  
通信速度への要求は「Kbps」から「Mbps」へと進化を遂  
げ，今後，更に「ワイヤレス&モバイルの通信速度/処  
理能力の向上，無線による RFID，通信技術と ICT 技術を  
高度に融合させることで，一段の飛躍を遂げるとともに  
周波数資源の枯渇がおおきな問題となりつつある．さら  
に無線による社会システムの電磁環境にも注意を払わな  
ければならない．米国連邦通信委員会が周波数帯域  
3.1GHz~10.6GHz 帯の民生利用を認可して以来，USA，日  
本を始め，欧州やアジア各国に於いても超広帯域通信技  
術の実用化に向けて研究開発が活発化しており，近距離  
且つ超高速の情報伝送を無線で行う手段として，UWB（超  
広帯域）無線通信技術（UWB 無線システム）が注目され  
ている．特に，マイクロ波帯（3.1~10.6 GHz）を用い  
る超高速 WPAN（wireless personal area network），超  
低消費電力のセンサネットワークと，準ミリ波帯（22 ~  
29 GHz）及びミリ波（77 ~ 81 GHz）を用いた車載近接  
レーダ（自動車事故防止用）としての応用について多くの  
企業が研究開発を行っている．しかし，UWB 通信を実用・  
量産・商用化するにはさらなる研究開発すべき課題が多  
いのが現状であり，そのひとつに，超広帯域(UWB)帯域通  
過フィルタと既存通信システムへの電磁環境問題があげ  
られる．屋内・屋外のスペクトルマスクを完全にクリア  
した超小型 UWB バンドパスフィルタは，現時点では実現

<sup>1</sup>教授 電気電子情報工学科

Professor, Dept. of Electrical and Electronic Information  
Engineering

<sup>2</sup>客員教授 工学研究所

Guest Professor, Research Institute for Engineering

<sup>3</sup>助教 電気電子情報工学科

Assistant Professor, Dept. of Electrical and Electronic  
Information Engineering

されていない。筆者等は従来設計理論とは異なり、短絡スタブ、平行結合線路、ステップインピーダンス共振器構造(SIR)の設計に便利な等価回路を導出、この等価回路に基いて、中心周波数6.8GHz、通過帯域3.1~10.6GHz(比帯域幅110%)、リップル幅0.20dBのチェビシェフ特性を持つ超広帯域帯域通過フィルタを合成理論に基いて設計可能であることを見出した。また実際に設計したフィルタを試作し、測定・評価した結果、比帯域110%、周波数帯域共に米国連邦通信委員会のスペクトラルマスクの仕様を屋内・屋外共に満足する見通しが得られた。さらに群遅延特性は帯域内で $0.4 \pm 0.1$ nsの良好な特性を実現している。当プロジェクトで採用した平行結合線路、先端短絡スタブとステップインピーダンス型共振器を用いたマイクロストリップ構造は、他の研究者も個々に用いているが、非常に強い結合、線間のギャップは0.1mm以下(実際の実現不可能)であるのに対して、筆者等は、先端短絡スタブ、結合線路と非対称ステップインピーダンス型共振器の便利な等価回路を用いることで、結合線路間のギャップの拡大に成功し、実際に実現可能な設計値を得ており、簡易的に試作し、ネットワークアナライザで測定した結果、良好な特性を実現できた。

## (2) 電子機器からの電磁雑音のモデル化と電磁干渉メカニズムの解明(シミュレーションソフトの整備)

UWBフィルタを組み込んだPCBボードや電子機器から漏洩する不要電磁放射の測定法として、高周波電界と高周波磁界を測定する必要がある。これまでに電界に関しては、ほぼ数100MHzからミリ波帯まで測定可能な超小型電界プローブを開発してきた。測定結果は電子情報通信学会のマイクロ波研究会や産業界との共催マイクロ波のTutorial講座でも発表してきたが、測定精度および得られた結果の分解能などは世界の最高水準にあると言っても過言でない。さらに、高周波用磁界プローブの開発にも成功し、まだプリミティブな試作段階であるが、測定結果の一部を国際会議にて発表している。

またユビキタスネットワーク社会の到来とともに、通信システムのみならず、衝突防止レーダー、複数台のハイビジョンTVカメラ用としてもUltra Wide Band(UWB)無線システムが期待されているが、回路素子の高周波駆動による小型化のみならず、PCB基板上のLSIの高密度化などますます高速動作化しており、これらの電子機器からの不要電磁波による様々な電磁環境・相互干渉問題を引き起こすことが予想される。機器の扱う周波数が上がると、従来からの遮蔽対策だけでは対応することが困難となっており、基板自体の誘電率(誘電体材料は周波数分散を持っている)、高周波回路パターンなど根

本的な対策が求められている。このような現状でPCBを診断する方法として、PCB周辺に分布する電磁界を非接触プローブセンサーで測定し、その波源(電流あるいは電荷)を可視化する事が極めて有効であると考えられる。また同時に放射電磁界の抑圧と特定など、EMC/EMIの観点から意味あることである。更に、コンピュータの高性能化に伴って、FDTD法などを応用した電磁波シミュレータが盛んに研究され、理論解析が困難な複雑な回路構造に対しても、電磁界シミュレーションが可能となってきた。その一方で、数値計算で得られたシミュレーション結果の信頼性が問われるようになってきている。

その中でも、**当プロジェクトにおいて開発した高周波電界及び磁界プローブは特筆すべき一つとして注目されている。**

## 3. 光波平面回路の研究

短ミリ波・光波領域における研究に関して多層超薄膜導波路のアイデアは、マイクロ波と同じように単一伝搬モード且つ単一偏波動作の実現を目指して、2種類の異なる誘電体を10層に多層化することによって実現した。

## 4. これまでの研究成果

新しい通信システムのUWB通信(超広帯域通信)におけるフィルタの研究成果をIEEE-IMS, EuMW, APMCの国際会議にて発表している。また本プロジェクトにおいて2度の科研費(20560339及び24560423)を得ることができた。研究範囲は、マイクロ波、ミリ波、短ミリ波、テラヘルツ波、光波と広範囲にわたっており、新しいデバイスや回路を見出しているが、5年間を一区切りとして、研究成果の一部をまとめて報告書としたい。その他の研究成果については、別の機会に報告する。

## 参考文献

- [1] 基盤研究C(研究課題番号:20560339), 次世代モバイル通信超広帯域デバイスの開発と実用化における電磁環境評価, 研究期間:2008年度~2010年度
- [2] 基盤研究C(研究課題番号:24560423):ミリ波・サブミリ波帯におけるフォトリソニック結晶構造を応用した電磁波回路の解析と応用. 研究期間:2012年4月1日~2015年3月31日
- [3] Noda, Y. Takamori, H., Kamiji, Y., Chen, C.P., Anada, T., "Contactless electromagnetic field mapping system on planar circuits in EMC/EMI investigations", pp. 784 - 789, 2011, EMC Europe 2011 York.
- [4] Takamori, H., Chen, C., Kamiji, Y., Anada, T. "Study on error suppression in broadband characterization of complex EM-parameters", pp.801 - 804, 2011 York.