

機関番号：32702

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2008 ～ 2010

課題番号：20560339

研究課題名 (和文) 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課題名 (英文) Development and electromagnetic environment evaluation of ultra
wideband device for the next generation mobile communication system

研究代表者

穴田 哲夫 (ANADA TETSUO)

神奈川大学・工学部・教授

研究者番号：20260987

研究成果の概要 (和文)：2002 年 2 月、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、UWB 無線通信や高速デジタル通信の急速な進展に伴って、超広帯域バンドパスフィルタの実現と合合理論を構築することが急務である。我々は比帯域 110%、小型・軽量バンドパスフィルタを合合理論に基づいて実現した。UWB-BPF と種々の高周波回路を集積化するために、配線不連続やビアの共振による電磁干渉、不要放射などの電磁環境両立性への対応が重要である。さらに動作周波数が上がると、従来からの対策だけでは不十分であり、根本的な対策が求められている。動作時の 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で測定し、輻射やクロストークの影響を可視化する事は極めて有効である。筆者らは、UWB 帯域で小型磁界プローブ及び電界プローブを設計・作製し、自動電磁界分布測定システムを構築した。その適用例として、ビアによる短絡スタブ付き超広帯域 BPF の電磁界測定を行い、評価方法を確立した。

研究成果の概要 (英文)： Since the Federal Communications Commission authorized the unlicensed use of ultra-wideband (3.1-10.6 GHz) in 2002, the ultra-wideband technologies have drawn great interest in short-range wireless communications such as locating and imaging of objects, in-vehicle sensing, monitoring of highways and other civil infrastructure, and so on. In order to realize such UWB wireless communication systems, the ultra-wideband bandpass filter is one of the key passive components. We succeeded in the achievement of the ultra-wideband bandpass filter without electromagnetic interference in order to integrate them with other components as a compact system. These methods include microstrip structures, parallel coupled line, step impedance resonator, short-circuited stub by via holes, etc. In order to complete the UWB-filter design, it is essential to know not only the input/output frequency characteristics with the network analyzer but also the electromagnetic field distribution and current distribution of center conductor to understand the ultra-wideband filter design, optimization, and operation principle for the microstrip planar structures. For measurement of all EM near field distributions in UWB-BPFs fabricated on a microstrip structure, contactless field mapping technique using electric and magnetic field probes was developed. The H-field can be measured using a small loop probe and an appropriate instrument such as network analyzer or spectrum analyzer and the E-field can be measured using a coaxial type probe.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	2,500,000	750,000	3,250,000
2009 年度	600,000	180,000	780,000
2010 年度	100,000	30,000	130,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学 電子デバイス・電子機器

キーワード：電子デバイス・機器、高速伝送回路設計、マイクロ波工学

1. 研究開始当初の背景

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IT技術を高度に融合させることで、一段の飛躍を遂げるであろう。その一方で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。2002年2月、米国連邦通信委員会(FCC: Federal Communication Commission)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(3.1~10.6GHz)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(22~29GHz)及びミリ波(77~81GHz)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。このようにアメリカ、欧州、韓国、中国などの競争発展の環境下において、UWB無線システムと既存システムとの共用を目指したシステムを実現するために、マイクロ波帯の周波数帯域が、既存の通信システムと重なっており、また他システムへの電磁干渉が問題化している。従って、この電磁干渉を抑えるために、高性能の超広帯域バンドパスフィルタ及び電磁干渉の評価システムが必要不可欠である。UWBフィルタに関しては、これまでに幾つかのUWBフィルタが報告されている。しかし、これらは研究者の卓越した経験と電磁界シミュレータによる試行錯誤的設計に基いて開発されたものであり、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、現時点では実現されていないのが実情である。このように従来のマイクロ波通信デバイスの設計理論では、超広帯域アンテナやUWBバンドパスフィルタの設計理論は確立されていない。上述したように、当研究室では従来設計理論を発展・実際のデバイスの設計に有用な理論をつくることである。またミリ波帯における電磁波回路はマイクロストリップ線構造でなく、フォトニック結晶構造の応用が期待されている。これはオーミック損失を回避するために有効である。

2. 研究の目的

2002年2月、米国連邦通信委員会が周波数帯域3.1GHz~10.6GHz帯の民生利用の認可と共に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。UWB無線通信を実用・量産・商用化するには超広帯域(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る。従来の設計理論では、UWBバンドパスフィルタの設計理論は適用できないため、新しい設計理論を確立しなければならない。当研究室では短絡スタブ、平行結合線路、ステップインピーダンス共振器構造の設計に便利な等価回路を導出、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、擬似楕円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。以上の事を踏まえて、UWBバンドパスフィルタの電磁界解析と電磁環境測定との両面から次の範囲にわたって研究開発をおこなう。

(1)マイクロストリップ線型超広帯域バンドパス

フィルタの合成理論の確立。

(2)各種UWBフィルタの電磁場の周波数特性と

入出力周波数特性の関係。

(3)高周波電磁界分布の自動測定装置の試作。

(4)電磁界測定用の超小型電磁界測定高周波

プローブの開発。

(5)UWBを実現するためのマイクロ波、ミリ波

領域における材料定数の測定。

3. 研究の方法

電磁界・回路におけるシミュレータの進展に伴って、日本の最も得意分野であったフィルタ合成理論の研究者が少数となり、比帯域110%という新規のUWBフィルタの合成理論は存在せず、試行錯誤的に設計されており、新しい合成理論を完成させることが急務である。筆者等は、これらの合成理論を確立するために、

(1)関数の導出 UWBフィルタ(周波数3.1~10.6GHz)を実現するための理論的振幅特性を与える関数を第1種、第2種チェビシェフを用いて実現する(分布定数理論ではn段フィルタに相当)。

(2)等価回路の導出 チェビシェフ特性の伝達特性を実現するために、等価回路を定義し、実際のハードウェア(ここではマイクロストリップ線)と対応させることにより、結合線

路、ステップインピーダンス共振器、あるいは先端短絡スタブを想定して、各回路の特性インピーダンス、線路長等を決定する。

(3)電磁界シミュレーション 実際には、上記で実現された回路は3次元電磁界解析を行なう必要があり、当研究室では、FDTD法によるプログラムを開発しており、仔細な回路構造をシミュレーションする。さらに商用ソフトウェア(ソネット、CST)との比較検討により、UWBフィルタを実現するために高速並列計算機を駆使し、電磁界分布及び周波数特性を求めるためのソフトウェアを整備する。実際に電磁界の数値解析、FD-TD法によるシミュレーション、商用ソフトによって電磁界特性を求める。

(4)回路作製・ネットワークアナライザによる測定・評価 電磁界と回路解析の間のアナロジーの関係を明確にする。

(5)結果 多段平行結合非対称ステップインピーダンス共振器を用いることにより、FCCの屋内/屋外の規格をクリアし、小型UWBバンドパスフィルタを合成理論に基づいて設計し、実際にフィルタを作製・実験した。実際の測定結果は電磁界シミュレータの数値計算結果と良く一致していることから、本設計理論の有効性が確かめられた。また設計したフィルタはコンパクトサイズを実現し、帯域内の挿入損失は0.9dB以内、群遅延は0. nsを達成している。さらに、1-2GHzの阻止域において、挿入損失は-40dB以下であった。

(6)電磁干渉両立性 これまでマイクロストリップ線による2次元平面回路は伝送線路の数値解析や任意形状平面回路の入出力特性を求める事が研究の中心であり、電磁波の漏れによる周辺機器に及ぼす影響等はあまり実測されていない。従って、高速デジタル信号線等との干渉、外部への放射・漏れによる電磁界分布の視覚的観測とTVカメラシステムによる温度分布(回路の発熱状態)も同時に測定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。電磁界測定に関しては、ある程度の目的を達成することができた。熱に関しては高感度熱センサーが必要になるので今後の課題としたい。

4. 研究成果

「高速信号処理デバイスの開発・モデリング・回路設計に関する研究」の研究テーマの基に3年間にわたって研究を行った。以下に得られた知見を要約すると、

(1)次世代UWB無線通信システムの開発に向けて、マイクロ波帯(3.1~10.6GHz)の超低消費電力のセンサネットワークへの応用として超広帯域(UWB)帯域通過フィルタの設計法

を確立した。具体的に、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の帯域通過フィルタをシミュレータによる試行錯誤的設計ではなく、合成理論に基づいて回路設計できることを示した。なお実際に設計したフィルタの試作・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規定を満足するUWBフィルタ実現の見通しを得た。今年度も研究成果の一部はヨーロッパマイクロ波国際会議(2011.9 EuMC)にて発表予定である。

(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の見通しを得た。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を追及するために、高周波電磁界測定システムを構築した。電界に関しては、ほぼ数100MHzから20GHz帯まで測定可能な超小型電界プローブを開発し、産業界との共催MWE、および国際会議APMC, IEEE-EMC, Europe-EMCなどにおいて発表し、測定精度、測定結果は世界の最高水準にある。さらに、最近、広帯域且つ高周波用磁界プローブの開発の見通しを得ており、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(2011 Europe EMC)にて発表予定である。なお、目標の一つであるミリ波帯の電磁波回路の開発はマイクロストリップ線回路でなく、フォトニック結晶構造を用いた回路構成を研究しており、別の機会に報告したい。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計35件)

- ① Chun-Ping CHEN, Zhewang M, Tetsuo ANADA, Jui-Pang HSU, Theoretical Design of High-performance Microstrip Ultra-wideband Bandpass Filter with Controllable Transmission Zeros, IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering, Vol.6, (S1), pp. 27-33, Feb. 2011. 査読有り
- ② Junya TAKAHASHI, Chun-Ping CHEN, Ryouhei IINUMA, Tetsuo ANADA, Zhewang MA and C. CHRISTOPOULOS, Simplified Computation of Photonic Crystal Multimode Interference Devices Using TD-Beam propagation Method, 39th EuMW pp.1417-1420, Sept. 2010, Paris France. 査読有り
- ③ Chun-Ping Chen, Tetsuo Anada, Deming Xu, Zhewang Ma, C. Christopoulos, Broadband Determination of Complex Permittivity and Permeability of High-loss Materials, EMC Europe 2010 9th International Symposium on EMC joint with 20th International Wroclaw Symposium on EMC, pp. 221-224, September 13 -17, 2010, Wroclaw, Poland. 査読有り

- ④ Chun-Ping Chen, R. Inuma, Zhewang Ma and Tetsuo Anada, High-performance UWB Filter with a Controllable Notched Band, Microwave and Optical Technology Letters, Vol. 52, Issue 8, pp 1842-1846, August 2010. 査読有り
- ⑤ Chun-Ping CHEN, Junya Takahashi, Zhewang MA and Tetsuo ANADA, Jui-Pang Hsu, Design of Pseudo-Elliptical Wideband Bandpass Filter Using Stub Loaded Short-Circuited Parallel-Coupled Three-Line Units, IEICE transaction C, Vol.E93-C, No.7, pp.1022-1031, Jul. 2010. 査読有り
- ⑥ C.-P. CHEN, H. Nihei, Z. MA and T. ANADA, Synthesis of compact UWB bandpass filter with improved performances, Microwave and Optical Technology Letters, John Wiley, Vol. 52, Issue. 6, pp. 1268-1271, June. 2010. 査読有り
- ⑦ 高倉 義規, 陳 春平, 穴田 哲夫, 馬 哲旺, 小型電磁界プローブを用いたマイクロ波平面回路上の近傍電磁界測定, 電子情報通信学会論文誌C, Vol.J92-C, No.12 pp.818-822, 2009.12月, 査読有り
- ⑧ Y. TAKAKURA, H. NIHEI, C.-P. CHEN, T. Anada, An Efficient Beam Propagation Method for Pulse Propagation Modeling of Photonic Crystal MMI Devices, EuMW, pp.1563- 1566, Sept. 2009. Rome, Italy 査読有り
- ⑨ C.-P. CHEN, Z. Ma, H. Nihei, Y. Takakura, T. Anada, Design of Novel Wideband Bandpass Filter Using Open-Ended Stub Loaded Parallel Coupled Three-Line Unit, 2009 IEEE MTT-S Dig., WE3F-2, pp.725-728, June 2009. Boston, USA 査読有り
- ⑩ C.-P. CHEN, Z. Ma and T. Anada, Synthesis of Ultra-Wideband Bandpass Filter Employing Parallel Coupled Stepped-Impedance Resonators, IET Microwave, Antennas and Propagation, Vol. 2, No. 8, pp.766-772, DEC. 2008. 査読有り
- ⑪ C.-P. CHEN, Z. MA and T. ANADA, Novel Compact Ultra-Wideband Bandpass Filter by Application of Short-Circuited Stubs and Stepped-Impedance-Resonator, IEICE transaction C, Vol.E91-C, No.11, pp.1786-1792, Nov. 2008. 査読有り
- ⑫ C.-P. CHEN, Z. Ma and T. Anada, Synthesis of Ultra-Wideband Bandpass Filter by Multi-Section of Commensurate Stepped-Impedance Resonators, Microwave and Optical Technology Letters, pp. 2635-2639, October 2008. 査読有り
- ⑬ C.-P. CHEN, Z. Ma, T. Anada and J.-P. Hsu, Determination of Wave Propagation Properties for Multilayered Dielectric Waveguide by Semivectorial Beam Propagation Method with Douglas Scheme, Microwave and Optical Technology Letters, pp. 2521-2524, October 2008. 査読有り
- ⑭ C.-P. CHEN, Z. Ma, and T. Anada, Novel Compact Ultra-wideband Bandpass Filter

with Very Steep Skirt Selectivity, 38th EuMW, pp.849-852, Oct. 2008. Amsterdam, Netherlands, 査読有り

- ⑮ C.-P. CHEN, K. Sugawara, K. Li, H. Nihei, T. Anada, C. Christopoulos, Non-contacting Near-field Mapping of Planar Circuits in Microwave Frequency Band, IEEE Int. Sym. on EMC, pp. 4652073-1~4652073-6, 18-22, Aug., 2008. Detroit, USA. 査読有り

[学会発表] (計 29 件)

- ① 高橋隼也, 飯沼亮平, 陳 春平, 馬 哲旺, 穴田哲夫, 減衰極を有する多段平行結合3線路を用いた広帯域BPFの設計, C-2-110, P.148, 2011年3月17日. (東京都市大学, 東京)
- ② 飯沼亮平, 高橋隼也, 陳 春平, 馬 哲旺, 穴田哲夫, 中心線路に先端短絡スタブを装荷した三線路広帯域フィルタの検討, C-2-112, p. 150, 2011年3月17日 (東京都市大学, 東京)
- ③ 保高拓哉, 馬 哲旺, 陳 春平, 穴田哲夫, et al, "マイクロスタブ付きリング共振器の特性および設計公式," 2011年電子情報通信学会総合大会講演論文集, エレクトロニクス, C-2-103, p. 141, 2011年3月17日. (東京都市大学, 東京)
- ④ 杉本卓也, 馬 哲旺, 陳 春平, 穴田哲夫, et al "チェビシェフ特性を持つパラレル結合共振器フィルタの新しい設計方法," 2011年電子情報通信学会総合大会講演論文集, エレクトロニクス, C-2-111, p. 149, 2011年3月17日. (東京都市大学, 東京)
- ⑤ 木村 徹, 馬 哲旺, 陳 春平, 穴田哲夫, et al, "共振器並列結合形等価回路を用いたスタブ付3モード共振器UWB帯域通過フィルタの設計," 2011年電子情報通信学会総合大会講演論文集, エレクトロニクス, C-2-116, p. 154, 2011年3月17日. (東京都市大学, 東京)
- ⑥ 陳 春平, 飯沼亮平, 高橋隼也, 馬 哲旺, 穴田哲夫, 周波数変換を用いたUWBバンドパスフィルタの合成, 信学技報, vol. 110 -155, pp. 123-128, 2010年7月30日 (北海道大学)
- ⑦ 陳 春平, 飯沼亮平, 高橋隼也, 高倉義規, 馬 哲旺, 穴田哲夫, 周波数変換に基づいた超広帯域バンドパスフィルタの合成, 2010IEICE総合大会, C-2-85, p. 128, 3月18日, (東北大学)
- ⑧ 高倉義規, 陳 春平, 穴田哲夫, 2次元EBG MMI導波路の波動伝搬特性 2010IEICE総合大会, C-2-98, p.141, 3月19日, (東北大学)
- ⑨ 陳 春平, 高倉義規, 仁瓶広誉, 馬 哲旺, 穴田哲夫, 終端短絡スタブとSIRに基づいた超広帯域MS BPFの一般的なモデリング, 2009電子通信学会・ソサイティ大会, CS-23, pp. S15-S16, 2009年9月16日 (新潟大学)
- ⑩ 仁瓶広誉, 陳 春平, 高倉義規, 穴田哲夫, 馬 哲旺, 外部結合ステップインピーダンス共振器を用いたノッチ付き超広帯域BPF, 2009電子通信学会・ソサイティ大会CS-2-9, p. S25, 2009年9月16日 (新潟大学)

- ⑭ 陳, 高倉, 仁瓶, 馬, 穴田, 終端開放スタブを装荷した平行結合三線路を用いた超広帯域バンドパスフィルタの合成/設計, 信学技報, vol. 109-62, pp. 41-46, 2009年5月28日.(岡山大学)
- ⑮ 穴田哲夫, 菅原康平, 高倉義規, 陳春平, 馬哲旺, 非接触小型磁界プローブによるUWB-BPFの磁界分布測定, 2009IEICE総合大会, p.392, B-4-49, 3月19日(愛媛大学)
- ⑯ 陳春平, 仁瓶広誉, 馬哲旺, 穴田哲夫, 広帯域バンドパスフィルタの合成理論における平行結合三線路構造の新モデリング, 2009IEICE総合全国大会, C-2-44, 3月17日(愛媛大学)
- ⑰ 陳春平, 仁瓶広誉, 馬哲旺, 穴田哲夫, 平行結合ステップインピーダンス共振器と終端短絡スタブを用いた超広帯域バンドパスフィルタの合成, 信学技報, Vol.108-311, pp.125-130, 2008年11月21日(長崎大学)
- ⑱ 永岡直樹, 陳春平, 馬哲旺, 穴田哲夫, ノッチ付き非対称平行結合SIRsに基いたUWBフィルタの検討, 2008年電子情報通信学会エレクトロニクスソサイエティ大会, C-2-39, p.64, 2008年9月17日(明治大学)
- ⑲ 陳春平, 仁瓶広誉, 馬哲旺, 穴田哲夫, 急峻なエッジ特性を持つコンパクト擬楕円関数超広帯域バンドパスフィルタの設計, 信学技報, vol. 108-63, pp.65-70, 2008年5月30日(京都大学).
- ⑳ 渡辺康二, 馬哲旺, 陳春平, 穴田哲夫, 小林禧夫, 急峻な減衰特性と広い阻止域をもつマイクロストリップ超広帯域(UWB)帯域通過フィルタの設計, 信学技報, vol. 108- 63, pp. 53-58, 2008年5月30日(京都大学).
- ㉑ 陳春平, 永岡直樹, 馬哲旺, 穴田哲夫, 急峻なバンドエッジ特性を持つ小型擬似楕円関数UWBバンドパスフィルタの設計, 2008電子情報通信学会総合大会, p.141, C-2-108, 2008年3月21日(北九州学術研究都市)
- ㉒ 永岡直樹, 陳春平, 馬哲旺, 仁瓶広誉, 穴田哲夫, ノッチ付き対称/非対称1波長平行結合SIRによるUWBフィルタ, 2008電子情報通信学会総合大会, p.143, C-2-110, 2008年3月21日(北九州学術研究都市)
- ㉓ 菅原康平, 陳春平, 李可人, 川崎啓之, 穴田哲夫, フロッドサイド結合UWBフィルタの電磁界分布の測定, 2008電子情報通信学会総合大会, p.146, C-2-113, 2008年3月21日(北九州学術研究都市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

穴田 哲夫 (ANADA TETSUO)
 神奈川大学・工学部・教授
 研究者番号：20260987

(2) 研究分担者

陳 春平 (CHENG CHUN-PING)
 神奈川大学・工学部・助教
 研究者番号：20440266