

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 10 月 28 日現在

機関番号：17401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420378

研究課題名(和文) ノンフォスター整合を用いた広帯域アンテナおよび円偏波超広帯域無線アンテナの設計

研究課題名(英文) Design of broadband antennas using Non-foster matching circuit and wideband CP antennas

研究代表者

福迫 武 (Fukusako, Takeshi)

熊本大学・自然科学研究科・教授

研究者番号：90295121

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：アンテナの広帯域化を主なキーワードとして2つの研究に取り組んだ。一つは、UWBハイバンドを円偏波でカバーするアンテナであり、導波管にL形プローブを組み合わせた構造である。さらに導波管の短絡壁の形状や、開口形状の工夫により、UWBハイバンド帯域をほぼカバーし、さらに従来の円偏波アンテナより広角に円偏波の放射が可能であることが示された。

また、小形で背面金属板を備えた小形アンテナの広帯域の検討を行った。この種のアンテナは、帯域が狭くなることが知られているが、負インピーダンスコンバータを用いることで、負のインピーダンスを実現し、小形アンテナの整合回路として用いて小形化が可能であることを示した。

研究成果の概要(英文)：Two approaches on enhancing the bandwidth of antennas have been studied. First approach is waveguide antennas using L-shaped probe. Modifying the short wall, apertures, 3-dB axial ratio characteristics are improved and available CP azimuth range have been widened. And some metasurface projects regarding this have been carried out. This antenna almost cover the UWB high band with circular polarization.

As a second approach, bandwidth of small antenna with backing conductor have been enhanced using negative impedance converter (NIC). In the UHF band, the -10-dB S11 characteristics are widened to 10 MHz from 1 MHz. In addition to this, some approach to control the coupling between transistors' terminal can show that it makes the available frequency move to higher at around 1 GHz.

研究分野：アンテナ工学

キーワード：広帯域アンテナ 小形アンテナ NIC 円偏波 UWB

1. 研究開始当初の背景

時間軸上で細いパルス信号を主に用いて、高速データ通信や高分解能センサ(レーダ)への応用を目的として、UWB(超広帯域無線技術:Ultra wideband)が注目されている。そのためのアンテナ技術は重要であるが、円偏波の利用を前提とした CP-UWB(Circularly polarized UWB)の研究は、未だ少ない。円偏波は、偏波の角度にアンテナの角度を合わせる必要がなく、また、反射の前後で偏波の巡回方向が変わるので、マルチパス除去、レーダではクラッタ除去に有効であるため、その使用が求められている。

その一方で、円偏波を用いた超広帯域無線である CP-UWB(Circularly Polarized Ultra WideBand)技術は、高速データ通信や高分解能センサのみならず、広域電波強度分布測定技術への応用も可能である。

一方、アンテナの小形化が応用上求められる場合が多いが、一般にアンテナを小形化するとアンテナの Q 値が高くなり、整合が取れる周波数帯域が狭くなることが知られている。インピーダンスの整合は、小形アンテナであっても、インダクタ L とキャパシタ C で互いのインピーダンスを打消し、或る一点の周波数において整合を取ることは比較的簡単であるが、しかしながら、広い帯域において整合を取るには Q を下げない限り限界があると同時に、Q の下限には物理的限界がある。そこで、トランジスタ回路による NIC(Negative Impedance Converter)を用いて -C や -L を生成し、正の C や L を打ち消す整合手法が注目されている。つまり、 $j\omega L$ と $-j\omega C$ の打消しではなく、例えば、 $j\omega L$ と $-j\omega L$ の打消しで整合を取る。この NIC は、発振器であり、負のインピーダンスを実現できるが、安定性の問題を解決する必要がある。

以上のアイデアは、広帯域アンテナの研究を魅力的にしてくれると共に、センシング技術等の発展に寄与することができる。

2. 研究の目的

以上のアイデアを駆使した広帯域アンテナの設計の可能性を突き詰めて行くことが、本研究の目的である。まず、UWB アンテナを円偏波で実現することである、そのための設計技術を発展させ、円偏波による帯域可能性を突き詰めることを目的とする。

3. 研究の方法

今回の研究の目的のために、2つのアプローチの方法をもちいることにする。一つは、広帯域円偏波技術の向上であり、これは素子の研究になる。素子の研究としては、従来の円偏波アンテナにポラライザと人工磁気導体の機能を兼ね備えた人工グラウンド構造や、導波管構造に L 形のプローブを用いた広帯域円偏波の励振方法をこれまで研究してきた。その成果について、交差偏波の減少や小形化等の問題点を解決してゆく。

次に、NIC については、従来の回路に改良を加えて、安定性を向上させ、帯域を挙げて行く。

4. 研究成果

(1) 広帯域円偏波アンテナ

円形導波管に L 形プローブで円偏波を励振する。この方法だけで、中心周波数の 24% 程度の帯域が実現できるが、図 1 (a) のように、導波管の短絡壁を (b) のようにパラボラ型にすることで、高次モードである TM₁₁ モ

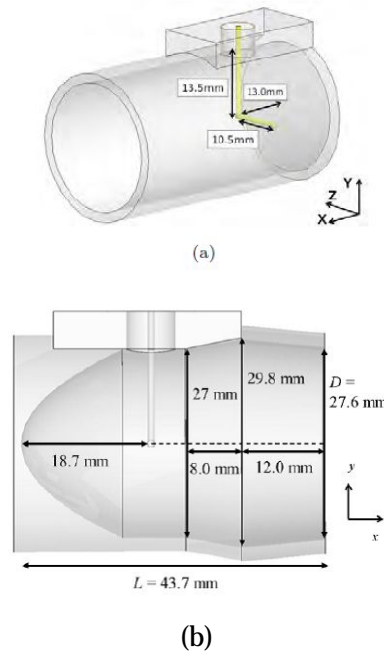


図 1: L 形プローブを用いた導波管型アンテナ

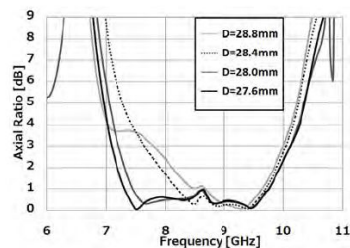


図 2: ポアサイトにおける軸比の周波数特性の D への依存性

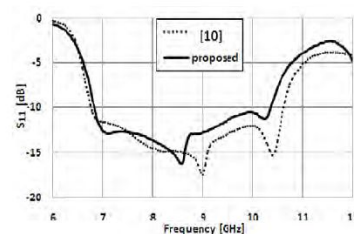


図 3: S₁₁ 特性 開口を窄めない構造との比較を行っている。

ードが減衰し、さらに広い角度にわたって円偏波の励振が可能である。

ボアサイトにおける軸比 AR 特性の D への依存性を示す。D は開口の直径であるが、図のように若干窄めた形のほうが、低域での軸比が改善されることが分かる。また、円偏波となる $AR < 3\text{dB}$ の帯域は、7.25-10.25GHz の UWB ハイバンドへ若干たらないがほぼ満たしそうである。

図 3 に S_{11} 特性を示す。開口のインピーダンスへの影響は小さいといえる。-10dB における帯域は 40%前後である。

図 4 に放射パターンを示す。本構造により、従来見られなかった広い角度にわたって、交差偏波が主偏波より 15dB 以上低く、軸比が 3 dB 以下の円偏波が発生していることがわかる。この特性が本構造の特性であらう。

以上の結果より、UWB ハイバンドに近い帯域にわたって、広角な円偏波放射を可能とするアンテナを開発できたといえる。

その他、ここに示した結果に加えて、メタサーフェスを利用した広帯域アンテナの検討も行っている。

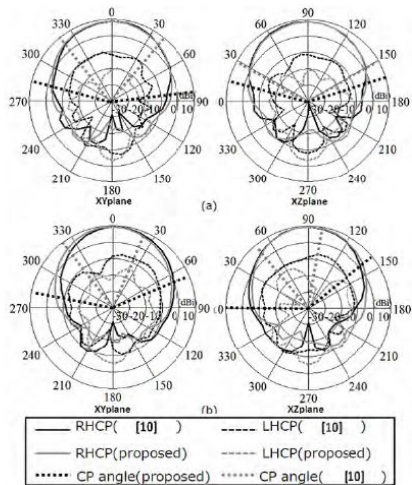


図 4 放射パターン

(2) NIC の安定性の検討

NIC に関しては、すでに発表されている回路を基に検討してゆく。安定性の向上のために、コレクタ-ベース間にコンデンサを挿入し、安定係数を検討する。

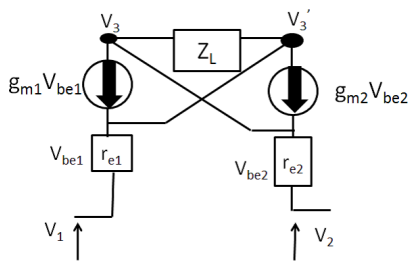
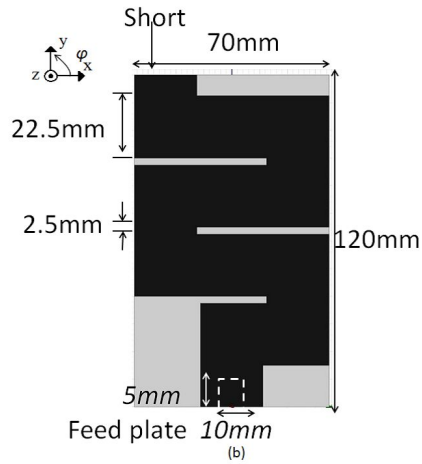
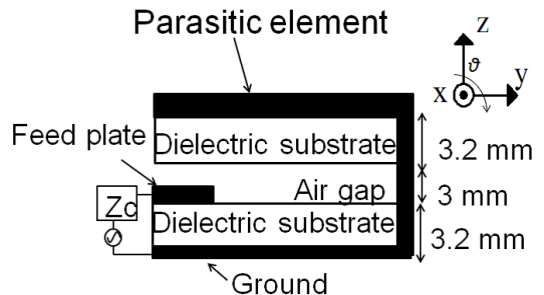


図 5 Linvill による NIC の等価回路

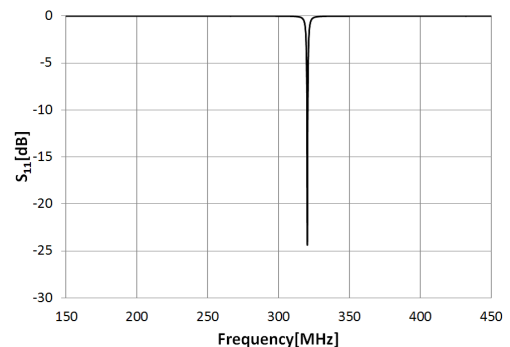
NIC の基本的な等価回路は図 5 に示される。基本的にトランジスタ 2 石によるマルチバイブレータ発振器である。 $g_m < r_e$, $g_m < Z_L$ が成り立つとき、負のインピーダンスを持つ。



(a) 上面図



(b) 側面図



(c) S_{11} 特性

図 6 低姿勢で小形なアンテナ

次に、本研究室により提案された背面金属板を持つ低姿勢で小形なアンテナ QCFMA (Quad-wavelength capacitively-fed meandered antenna) について述べる。このようなアンテナは小形であるばかりでなく、背面板を備えるために背後の影響を受けず、よく使用されるダイポールアンテナ等とは異なり、金属の近傍でも動作するという長所がある。よって、アンテナの応用の可能性を

広げてくれるが、図 6 (c) に示す如く、入力ポートにおける反射係数 S_{11} が -10dB 以下になる帯域が極端に狭いという欠点がある。本研究においては、まず、この欠点を解消すべく、この小形低姿勢アンテナの広帯域化のために NIC を用いる。

NIC の回路図を図 7 に示す。また、回路中

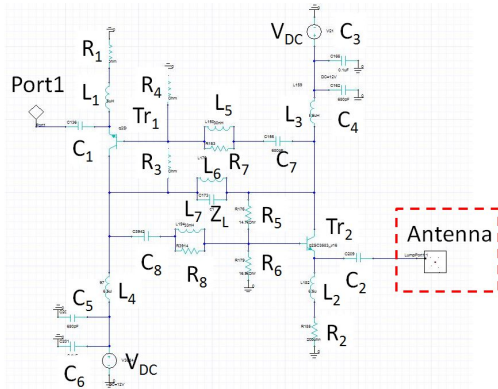


図 7 NIC の回路図

表 1 NIC 回路中の素子値

素子値	素子値	素子値	素子値
R1 200	C1 680pF	R1 200	C1 680pF
R2 200	C2 680pF	R2 200	C2 680pF
R3 14.7k	C3 0.1 μ F	R3 14.7k	C3 0.1 μ F
R4 16.9k	C4 680pF	R4 16.9k	C4 680pF
R5 14.7k	C5 680pF	R5 14.7k	C5 680pF
R6 16.9k	C6 0.1 μ F	R6 16.9k	C6 0.1 μ F
R7 150	C7 680pF	R7 150	C7 680pF
R8 150	C8 680pF	R8 150	C8 680pF
L1 6.8 μ H	L2 6.8 μ H	L1 6.8 μ H	L2 6.8 μ H
L3 6.8 μ H	L4 6.8 μ H	L3 6.8 μ H	L4 6.8 μ H
L5 33nH	L4 2.2 μ H	L5 33nH	L4 2.2 μ H
L7 33nH	ZL 1pF	L7 33nH	ZL 1pF

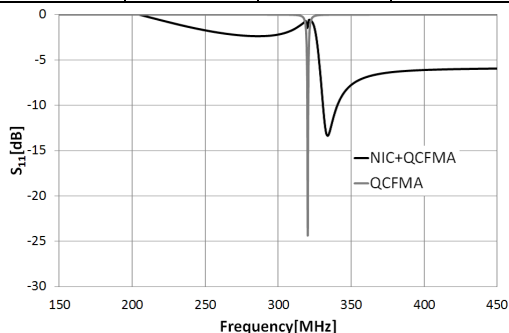


図 8 S11 特性

の素子値については表 1 に示す。トランジスタはルネサスエレクトロニクス社製の NE68133(2SC3583)である。図 8 に S_{11} 特性のシミュレーション結果を示すが、-10dB となる周波数は 330MHz ~ 340MHz と帯域が狭くなっていることが分かる。

次に NIC の作成を行った。図 9 に作成した NIC の写真を示す。

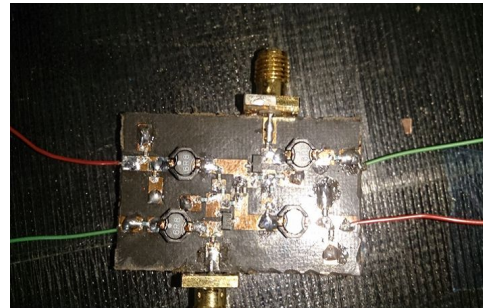


図 9 作成した NIC 回路

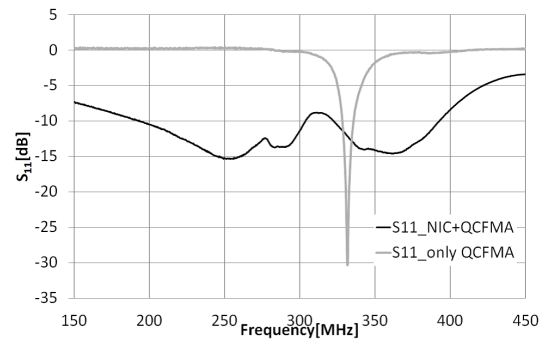


図 10 S_{11} 特性 (測定値)

図 10 に測定した S_{11} 特性を示す。NIC を挿入前に比べて -10 dB 以下のなる帯域が大きく広がっているのが分かる。しかし、シミュレーションと帯域に相違があるが、NIC の発振特性がシミュレーションと異なることが考えられる。

次に、動作周波数向上について検討した。トランジスタ周辺の素子間の結合等をうまくコントロールすることで、高い周波数でも安定する可能性があることが分かった。その結果を図 11 に示す。

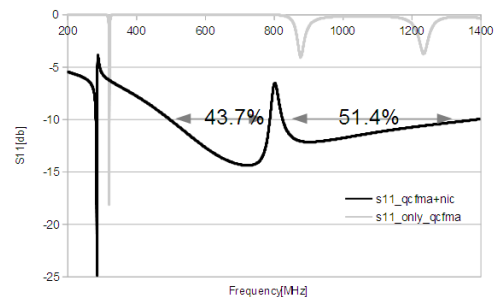


図 11 改良 NIC による S_{11} 特性

以上より, NIC による小形アンテナの広帯域化の可能性を見つけることができた.

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 5 件)

1. R. Yamauchi and T. Fukusako, "A Broadband Circularly Polarized Waveguide Antenna Design for Low Cross-polarization", IEICE Trans. Communication, Vol. E99-B, 10, pp.2187-2194, Oct 2016.
2. K. Lertsakwimarn, C. Phongcharoenpanich and T. Fukusako, "A Low-Profile and Compact Split-Ring Antenna with Horizontally Polarized Omnidirectional Radiation", International Journal of Antennas and Propagation, Vol. 2015, Article ID:954562, 11 pages., Sep. 2015.
3. S. Maruyama and T. Fukusako, "An Interpretative Study on Circularly Polarized Patch Antenna using Artificial Ground Structure", IEEE Trans. Antennas & Propagation, Vol. 62, No. 11, pp. 5919-5924, Nov. 2014.
4. K. Lertsakwimarn, C. Phongcharoenpanich and T. Fukusako, "Design of Circularly Polarized and Electrically Small Antenna with Omnidirectional Radiation Pattern", IEICE Trans. Communication., Vol.E97-B, No.12, pp. 2739-2746, Dec. 2014.
5. H. Maema and T. Fukusako, "Radiation Efficiency Improvement for Electrically Small and Low-Profile Antenna by Stacked Elements", IEEE Antennas & Wireless Propagation Letters, vol. 12, pp.305-308, Feb. 2014.

[学会発表](計 11 件)

1. T. Fukusako, "(invited) Development of wideband circularly polarized antennas", 2016 International Symposium on Novel and Sustainable Technology, p.I-12 Tainan, Taiwan October 6-7, 2016
2. 古谷航一, 福迫 武, " 偏波変換メタサーフェスを用いた広帯域円偏波リフレクタレーアンテナ ", 電子情報通信学会

技術研究報告(アンテナ・伝播), vol. 116, no. 186, AP2016-76, pp.49-52, 2016年8月

3. 甲斐裕二郎, 福迫 武, "人工グランド構造を用いた広帯域パッチアンテナのゲイン特性改善", 電子情報通信学会技術研究報告(アンテナ・伝播), vol. 116, no. 186, AP2016-71, pp.19-23, 2016年8月
4. D. Alia and T. Fukusako, "Design of a Broadband Metasurface and its Antenna Application", 電子情報通信学会技術研究報告(アンテナ・伝播), vol. 116, no. 186, AP2016-69, pp.11-14, 2016年8月
5. T. Fukusako and R. Yamauchi, "Broadband Waveguide Antenna using L-shaped Probe for Wide-Angle Circular Polarization Radiation", 2016 IEEE 5th Asia-Pacific Conference on Antennas and Propagation (APCAP), WE2C_01, pp.53-54, Kaohsiung, Taiwan, July 2016.
6. T. Fukusako, "(Invited) A review of Recent Circularly Polarized Antenna Designs Supported by Electromagnetic Simulation", 2016 IEEE International Conference on Computational Electromagnetics, paper ID:159, pp.1-4, Guangzhou, China, Feb. 2016.
7. K. Lertsakwimarn, C. Phongcharoenpanich and T. Fukusako, "A Ring Antenna for Dual-Sense Circular Polarization", 2016 IEEE International Conference on Computational Electromagnetics, paper ID:164, pp.1-4, Guangzhou, China, Feb. 2016.
8. R. Yamauchi and T. Fukusako, "Reduction of Cross Polarization for Circularly Polarized Broadband Waveguide Antenna", 2015 IEEE International Workshop on Electromagnetics: Applications and Student Innovation Competition, POS.1.3, Hsinchu Taiwan 2015
9. T. Fukusako and T. Nakano, "(invited) A compact patch antenna using artificial ground structure with high permittivity substrate", IEEE-APS

Topical Conference on Antennas and Propagation in Wireless Communications, pp.1548-1549, Turin, Italy, Sept. 2015.

10. T. Fukusako and T. Miyazawa, "(invited) A Low-profile and Vertically Polarized Antenna with Reconfigurable Radiation Pattern Using Dogbone-Pair Elements", 2015 IEEE 4th Asia-Pacific Conference on Antennas and Propagation (APCAP2015), Special Session: Recent Progress in Antenna Technologies, T4B, Bali, Indonesia, July 2nd, 2015.
11. K. Tomimoto and T. Fukusako, "Electrically Small and Low-profile Antenna Using Non-Foster Element (NFE)" 2014 IEEE International Workshop on Electromagnetics: Applications and Student Innovation Competition, POS.27, pp.54-55, Sapporo Japan Aug.4th, 2014.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕
出願状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

6. 研究組織

(1) 研究代表者

福迫 武 (FUKUSAKO, Takeshi)
熊本大学・自然科学研究科・教授
研究者番号：90295121

(2) 研究分担者

該当なし

(3) 連携研究者

該当なし