

平成15年度 研究開発成果報告書  
「新世代移動機用適応アンテナシステムに関する研究開発」

目 次

1	研究開発課題の背景	3
2	研究開発分野の現状	7
3	研究開発の全体計画	13
3-1	研究開発課題の概要	13
3-2	研究開発目標	20
3-2-1	最終目標	
3-2-2	中間目標	
3-3	研究開発の年度別計画	23
3-4	研究開発体制	24
4	研究開発の概要	29
4-1	研究開発実施計画	29
4-1-1	研究開発の計画内容	
4-1-2	研究開発課題実施計画	
4-2	研究開発の実施内容	41
5	研究開発実施状況	48
5-1	RF-MEMS デバイスの研究開発（副課題ア）	48
5-1-1	研究開発実施状況	
5-1-2	まとめと今後の課題	
5-2	アンテナ・高周波回路の研究開発（副課題イ）	54
5-2-1	研究開発実施状況	
5-2-2	まとめと今後の課題	
5-3	制御方式・アルゴリズムの研究開発（副課題ウ）	71
5-3-1	研究開発実施状況	
5-3-2	まとめと今後の課題	
5-4	実証実験装置の開発（副課題エ）	76
5-4-1	研究開発実施状況	
5-4-2	まとめと今後の課題	
5-5	総括	86

参考資料、参考文献

(添付資料)

- 1 研究発表、講演、文献等一覧
- 2 受賞

## 1 研究開発課題の背景

我が国におけるパーソナル無線通信サービスは、モバイルインターネットアクセスの需要にともない近年爆発的に普及し、携帯電話・PHSの加入者数は2001年4月時点で7000万台(人口普及率は55%)を越え依然普及し続けております。近年、第3世代移動通信システム、IEEE802.11a/b等の高速無線LAN、ブロードバンドFWAなどが相次ぎ商用スタートしたばかりですが、より一層の高度無線通信サービスへの要求が増々高まっている中、新世代の移動通信システムにおいては、高速に移動するユーザ端末に対し100 Mbps級の大容量伝送が要求されています。伝送速度の高速化は送信電力の増大を意味することから、基地局からユーザ端末への下り回線において、複数のアンテナを使用する

- ・ビームフォーミング技術、
  - 送信アレーアンテナを用いたビームフォーミング技術
  - 受信アレーアンテナを用いたビームフォーミング技術
  - 上記二つの併用
- ・ダイバーシティ技術、
  - 送信ダイバーシティアンテナを用いたダイバーシティ技術
  - 受信ダイバーシティアンテナを用いたダイバーシティ技術
  - 上記二つの併用 (MIMO:Multi-Input Multi-Output とも呼ばれる)

が検討されています。ビームフォーミング技術の方は、複数アンテナを空間相関が高くなるよう狭い間隔で配置し、所望方向(ユーザ端末/基地局や電波到来方向)へビームを鋭くしぼる and/or 干渉波(遅延波、同一チャネル干渉波、隣接チャネル干渉波)にヌルを向けるビーム制御により

- ・ユーザ収容量の大容量化
- ・新世代では伝搬距離減衰の高いマイクロ波帯が割り当てられる可能性が高いため、ビーム利得により伝搬損失の克服
- ・信号品質改善による多値変調(64QAM、さらには 256QAM)等の高能率変調技術の適用

が期待されます。基地局におきましては、適応アンテナアレー(ビームフォーミング)は、既にPHSで実用化例があります。そこでは、ユーザ端末に向けてビームフォーミングを行う空間分割多重アクセス方式により3倍以上の収容キャパ

シティ増大、4倍以上のセル径拡張が実現されています。また、第3世代においても近年研究開発が活発化し実用化が近いと考えられており、当社においても、実用化に向けたフィールド実験を行っております(2002年4月2日プレスリリース)。一方、ダイバーシティ技術は、複数アンテナを空間相関が低くなるよう離して配置し、

- ・ユーザ端末の高速移動に伴うフェージング対策
- ・時空間符号化技術(空間方向にも符号化を行う技術)

が期待されます。特に送受双方にダイバーシティアンテナを備え、アンテナブランチ間の低相関性を利用して、空間軸方向の符号化伝送を行なう MIMO (Multi-Input Multi-Output) 伝送技術は、従来の時間/周波数軸に加え新たに空間軸へも信号処理を行うものであり、無線伝送においては歴史的な技術革新となります。

これらのことから、本提案の研究開発課題が目指すところである端末への適応アンテナシステム導入が実現されれば、

- ・周波数利用効率
- ・伝送品質・速度・容量

の大幅な向上が期待されます。

現在、第3世代の上り回線において、端末の送信電力は、無指向性アンテナにおいて 5MHz 帯域@2GHz 帯で 300 mW が要求されています。NTTドコモの FOMA 端末は、セル半径が 1km 弱の都市部において、32~64kbps 程度の低速通信のみで平均的に 2日に1回の充電が必要です。384kps のマルチメディア伝送を頻繁に行いますと、1日に何回も充電が必要になるという状況です。現在のテクノロジーで、これを新世代に置き換えて考えてみますと、送信電力は帯域に比例し、IMT2000-Vehicular Test Environment の伝搬損失の周波数依存性は  $21\text{Log}_{10}(f_c)$  となりますので、概算ですが、80 MHz 帯域@5 GHz 帯で、

$$300\text{mW} \times \frac{80}{5} \times 21\text{Log}_{10}(5/2 \text{ GHz}) = 40 \text{ W}$$

が最大所要電力と仕様となります。これが、もし、端末局から基地局が見通せる環境において、ビームフォーミングにより 36°幅のビームを基地局方向に向けられるとすれば、単純計算ではありますが、

$$40 \text{ W} \frac{36^\circ}{360^\circ} = 4 \text{ W} \text{ となることから、}$$

- ・ 端末の革新的な低消費電力化

が期待されます。

適応アンテナシステムは、受信系で考えますと受信信号対 (干渉+ノイズ)比、すなわち SINR が最大になるように動作します。アンテナ構成にもよりますが、結果としてビームフォーミング or ダイバーシティ動作、あるいは、ビームフォーミング and ダイバーシティ動作であったりします。下り回線において、端末の電波伝搬特性は、基地局側と比較して遅延広がりが小さく、また周囲から広がりを持って多数のパスが到来します。従い、狭いアンテナ素子間隔で受信信号の空間的な相関が低くなり、ダイバーシティ動作が期待されます。しかしながら、ダイバーシティの場合、複数のアンテナ素子相当数の高周波(RF)送受信機 (増幅器、ミキサー、A/D・D/A 変換器)等の実装に起因して低消費電力・小型・低コスト化が大きな課題となり、燃料電池のような電源が携帯に実用化されない限り、現在の RF デバイスでは実用化研究の課題に値しないという状況でした。

一方、ビームフォーミングでアレーば、アンテナアレーの位相重み付け合成部を高周波(RF)回路に実装することが可能な RF ビームフォーミング方式 (一般的に知られるフェイズドアレーに相当)が適用できるため、送受信器が 1 系統で済みます。しかしながら、従来実用化されているフェイズドアレー用の重み付け合成回路は半導体デバイスによるもので、消費電力が高く、また極めて高価であり、主に特注として衛星通信用に実用化されています。また、1 系統の送受信機を有する給電アンテナ素子と、周囲に変リアクタンス素子で終端した無給電素子をアレー配置し、そのリアクタンス値を制御することによりビームフォーミングを行う空間ビームフォーミング方式もあります。しかしながら、本方式も、変リアクタンス素子として高損失で非線型性が強いバラクタダイオード (半導体デバイス)が使用されており、携帯端末へは実用的ではありません。

また、多数のアンテナを省スペースの端末へ実装する場合、アンテナの感度が重要になってきます。ノート PC や PDA タイプのマルチメディア用端末でアレーば、内部へ多数のアンテナを埋め込むことが考えられます。その場合は、

手、カバン、机等の近接する周囲環境変化により、アンテナ素子端のインピーダンス整合が崩れ、特にマイクロ波帯における広帯域伝送で高速・高品質伝送を行なう場合にはその影響が無視できなくなるものと考えられます。従い、端末の適応アンテナシステムを常に有効なものにするためには、整合回路を適応的にチューニングする技術が課題として存在すると考えられます。これは、可変容量のキャパシタを用いれば可能ですが、アンテナ素子直下に配置するため、現在の半導体デバイス(バラクタダイオード)では、高損失のため実用できません。

ところが、近年、Si(シリコン)ウェハを様々な方法で加工する所謂マイクロ・エレクトロ・メカニカル・システム(MEMS)を駆使したRFデバイスの技術が飛躍的な進歩を遂げています。低消費電力、小型、軽量、低コストに加え、線形性、低挿入損失、高アイソレーションなど主要性能の多くの点で従来の半導体デバイスを凌駕するため、特に携帯端末のRF部への応用が注目され、内外で研究開発が行なわれています。近年、これまで大きな課題となっていた機械的寿命による長期信頼性も克服されつつありますが、方式や構造の面で様々な問題を抱えており、実用化に至っていないのが現状です。そこで、我々は、本MEMS-RFデバイスが前記適応アンテナシステムを携帯端末へ実現するためのキーとなると考えます。

以上のことから、本研究開発では、

- ・ 端末用のチューナブル整合回路を含めた新しい適応アンテナシステムを提案するとともに、その実用化に供する

- ・ MEMS-RFデバイス

- ・ 当該適応アンテナシステムの方式・制御アルゴリズム

の開発を行います。最終的には、本研究開発から携帯端末用適応アンテナシステムの事業化・商品化へつながる基盤的な革新技術が創出され、高精細な動画像を含むマルチメディアの大容量伝送が、便利に、安価で、格差無く国民各層にサービスされ得る新世代無線通信システムの実現に繋がることが期待されます。

## 2 研究開発分野の現状

### 2-1 RF-MEM デバイス単独として

RF-MEMS デバイス（スイッチ、キャパシタ、インダクタ等）の研究開発は近年活発化しており、世界的に見ると米国が先行しています。米国では、軍用として米国政府委託の潤沢な研究開発費により、多数の大学および企業が成果を出してきました。最近では民生移管も始まり商用化も発表されています。また近年、急回復・成長を続ける韓国の半導体メーカーが米国に迫り着きつつあります。日本においては1、2社程度の民間企業から開発状況が報告されていますが、米国・韓国メーカーに対して電氣的／機械的特性ともに劣っているのが現状です。

MEMS スイッチは、電氣的／機械的特性ともに従来の半導体素子に近づきつつあり商用化が近い状況です。一方、MEMS キャパシタおよびインダクタはまだ実用化研究の段階であり、性能、耐久性、製造性等の問題から半導体素子を置き換えるには至っていません。

日本国内においては、RF-MEMS スイッチの研究開発成果が活発に報告されるようになってきました。オムロン、松下電器産業、松下電工、三菱電機、オリンパスなどです。また、(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）が進める MEMS プロジェクトの中に、「RF スイッチ製造技術の開発」という課題にてオムロンが実施する RF-MEMS スイッチの研究開発があります。F-MEMS スイッチは ON/OFF だけですので、RF-MEMS 可変キャパシタに比べて製造技術が容易です。さらに、従来の半導体による RF スイッチ（通常は FET トランジスタ）が、携帯電話等の携帯無線機器の RF フロントエンドにおいて、送受信モード、アンテナ・ダイバーシチ、可変利得制御等の切替えスイッチとして利用されており、それらに取って代わるものとして、RF-MEMS スイッチの市場は巨大に存在します

一方、RF-MEMS 可変キャパシタについては、学会等での公表において我々が知る限りにおいて、オムロンと村田製作所しかありませんが、それらの研究報告もここ1年ほどはほとんどありません。RF-MEMS スイッチへ注力しているのかもしれませんが。現在、半導体による RF 可変キャパシタ（バラクタ・ダイオードと言われる）は、簡易無線／ラジオ／TV のチューナー等に使われておりま

すが、携帯電話等と比較して低動作電圧や省スペースの要求が低いため、RF-MEMS 可変キャパシタへの期待は大きくないようです。また、携帯無線機器でのアプリケーション（利用）がほとんどありません。ラジオ／TV チューナーを携帯電話に入れること、可変フィルターや共振器、可変 VCO の実現が望まれるソフトウェア無線への期待が高まれば、RF-MEMS 可変キャパシタの研究開発が活発化するものと思われまます。

可変インダクタについては、少し研究報告が現れました。東京工業大学の益教授の研究グループです。例えば、以下の学会報告があります。

- [1] 菅原、伊藤、岡田、益、「MEMS を用いた RF 可変インダクタのモデル化手法」、2004 年電子情報通信学会総合大会、2004 年 3 月。
- [2] Y. Yokoyama, T. Fukushige, S. Hata, K. Masu, and A. Shimokohbe, "On-chip variable inductor using microelectromechanical systems technology," *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 42, no. 4B, pp. 2190-2192, Apr. 2003.
- [3] S. Gomi, Y. Yokoyama, H. Sugawara, H. Ito, K. Okada, H. Hoshino, H. Onodera, and K. Masu, "Variable RF inductor on Si CMOS chip," *Int. Conf. on Solid State Devices and Materials*, pp. 398-399, 2003.

しかしこれらは、前記した弊社可変インダクタの手法（固定インダクタ上の導体板を上下に動かすことによりインダクタンスを可変する手法）とほぼ同様に、当該導体板を水平に動かすことで、固定インダクタを貫く磁束の量を調整することでインダクタンス可変とする構造です。従い、数十%以上の可変幅をとるためには導体板を数十ミクロン以上動かす必要があり、その動作を MEMS で高速に行うことが難しいと考えられます。

RF-MEMS による移相器（例えば、固定インダクタをスイッチで切替るデジタル型の移相器や、可変キャパシタと可変インダクタによるアナログ可変型移相器等）の研究開発は発表はされていませんが、世界的に研究開発が進んでいると思われまます。

以上のことから、当該プロジェクトにおける、可変キャパシタ、可変インダクタ、移相器向けスイッチの研究開発は唯一であり、その先行性は極めて高いと考えられます。また、当該研究開発以外の RF-MEMS デバイスの研究開発



は、そのアプリケーション（用途）が明確化されていない（What for what?）ため、その最低限の要求仕様やスペシフィックな課題がはっきりせず、製品化が遅れているように思われます。本研究開発では、適応アンテナシステムをアプリケーション・ターゲットとし、所要の RF-MEMS 可変キャパシタおよび移相器を開発することに尽くしている。これにより、スペシフィックな仕様ではあるが、RF-MEMS デバイスを、主に適応アンテナシステム向けではあるが、いち早く世に出せる可能性が高いと考えら得る。

## 2-2 RF 処理型適応アンテナシステム単独として

適応アンテナに RF-MEMS デバイスを応用する研究開発は、1990 年後半から米国で開始されました。実現性の比較的容易な MEMS スイッチを応用したのから始まり、特に盛んなテーマは選択ダイバーシチアンテナへの応用です。ダイバーシチアンテナ技術は、アンテナ・電波伝搬とシステム性能向上の関係が学術的に確立されており、実装の点においても多くの検討がなされています。RF-MEMS スイッチによるダイバーシチアンテナ研究の新規性は、主に RF-MEMS スイッチとアンテナを集積して実装するところであり、その点で近年盛んに成果発表が見られます。また、短期的に成果展開が可能なことも、多くの研究がなされている一要因です。

RF-MEMS デバイスを応用した適応アンテナシステムの競合技術として、MEMS スイッチによる線路長切替型の移相器を用いた、フェーズドアレイアンテナの研究開発があります。これは米国において軍用目的で大学・企業による研究が進んでいます。一方、本研究は民間基盤技術の研究開発として、実現性の難易度は高いものの、影響度・波及性の大きい RF-MEMS キャパシタ／移相器を応用した適応アンテナシステムを課題としています。この点において現状では本研究が先行しています。

RF-MEMS および RF-MEMS を応用した適応アンテナ技術の研究開発は、今後、韓国における民間企業および大学での研究の進歩と、米国における豊富な軍事予算による成果の民間への移管が進む近い将来、日韓米国で競合する技術になると思われます。

RF 帯で移相器や可変キャパシタを用いて処理を行う適応アンテナシステムは、

活発になってきました。例えば、H16年3月の電子情報通信学会総合大会では、ATRの大平氏によりオーガナイズドセッション「アナログスマートアンテナ」が企画され、40件以上の研究報告がありました。表1に、RF帯適応アンテナシステム（単独）の研究機関を示します。

表1 RF帯適応アンテナシステム（単独）の研究機関

企業単独	ATR、三菱電機、東芝、NTT
大学単独	埼玉大学、東工大、横浜国大、京都工芸大、広島工大、奈良先端大、静岡大、東北大
産学連携	三菱電機－東工大、三菱電機－広島工大、ATR－村田製作所、インテリジェンス・コスモス研究機構－東北大、三菱電機－大洋無線、ATR－新潟大、ATR－東工大、ATR－同志社大、ATR－阪工大、
その他の連携	該当無し

ただし、ほとんどの研究は使用するデバイスを考えておりません。RF-MEMSを考慮した研究は一つもありません。消費電力、サイズ、コスト、その他電気特性を理想と仮定しています。仮に半導体素子を使うにしても、その動作特性を考慮して検討する必要があります。半導体素子による非線形性を考慮したものが若干ある程度です。

### 2-3 RF-MEM デバイスと RF 処理型適応アンテナシステムの共同研究として

本プロジェクトのように、RF-MEMS デバイスと適応アンテナシステムの共同研究開発は、学会等の公表により我々の知る限り、存在しません。この点では、唯一性および優位性が極めて高いと思われます。特に、RF-MEMS デバイスと適応アンテナシステムを組み合わせる時に生じる課題（これはデバイスとアンテナシステムの共同研究でなければ得られません）をいち早く取得することがで

きます。これは、知的所有権の創出につながります。

### **3 研究開発の全体計画**

#### **3-1 研究開発課題の概要**

本研究開発では、端末用の、適応整合回路を含めた新しい適応アンテナシステムを提案するとともに、その実用化に供するMEMS-RFデバイスの開発、MEMS-RFデバイスを応用した適応アンテナシステムの方式・制御アルゴリズムの開発が全体的な課題となります。本研究開発は、以下に示す4つの副課題に大別して進めます。

#### **副課題ア) RF-MEMS デバイスの研究開発**

副課題ア) - 1 RF-MEMS 可変キャパシタの研究開発

副課題ア) - 2 RF-MEMS 可変インダクタの研究開発

#### **副課題イ) アンテナ・高周波回路の開発**

副課題イ) - 1 可変キャパシタによる空間処理型適応アンテナ

副課題イ) - 2 RF-MEMS 移相器による RF 処理型適応アンテナ

副課題イ) - 3 可変キャパシタによる整合回路の開発

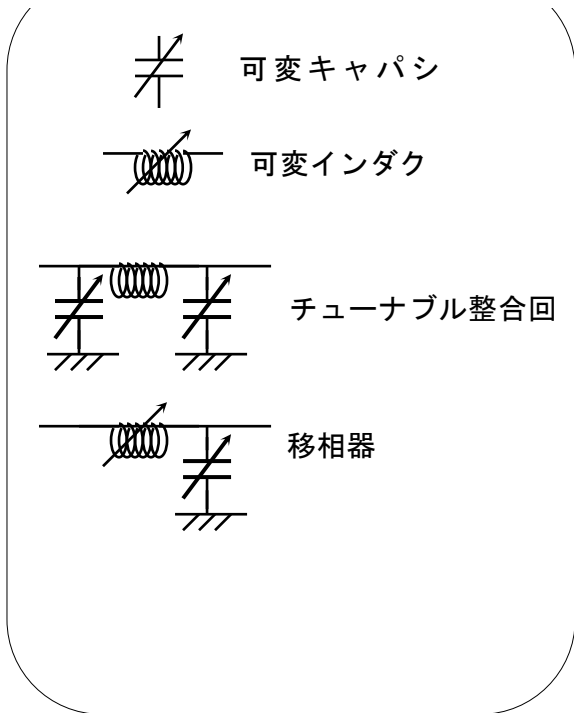
副課題イ) - 4 電波伝搬測定

#### **副課題ウ) 制御方式・アルゴリズムの研究開発**

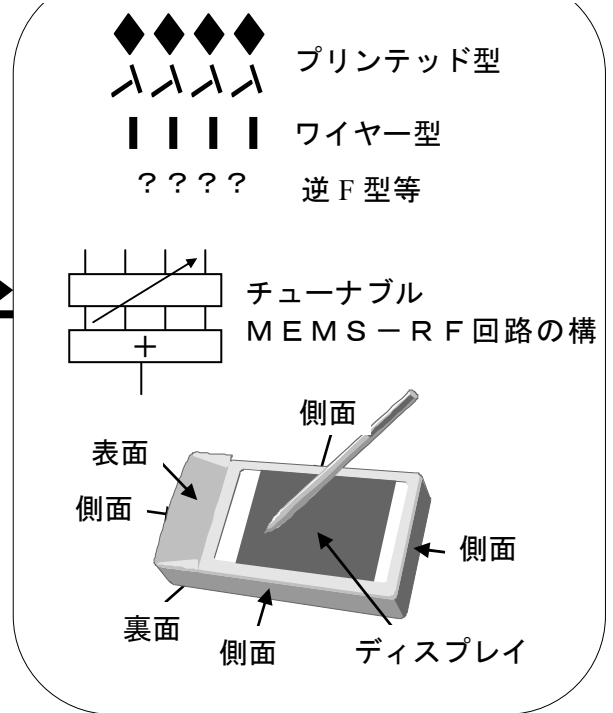
#### **副課題エ) 実証実験装置の開発**

図1に、研究開発課題全体のイメージを示します。4つの研究開発は密接に連携しながら併行に進めることにより、相乗効果によるブレークスルー、設計パラメータの最適化を図ります。

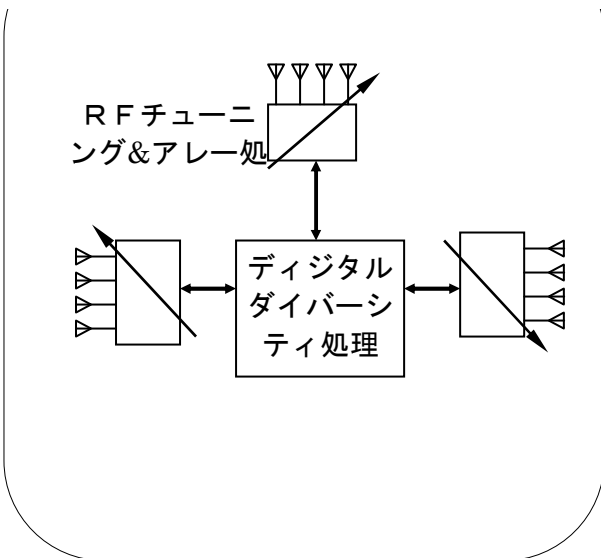
副課題ア) MEMS-RFデバイスの開発



副課題イ) アンテナ・RF回路構成の開発



副課題ウ) 適応アンテナシステムの方式・制御アルゴリズムの方式の開発



副課題エ) 検証実験

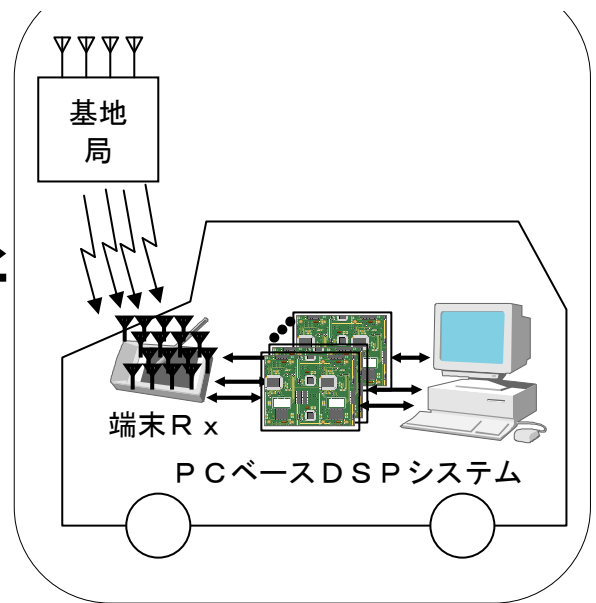


図1 研究開発課題全体のイメージ

下副課題ごとに具体的な研究開発内容を示します。

### **3-1-1 RF-MEMS デバイスの研究開発（副課題ア）**

#### **3-1-1-（1） RF-MEMS 可変キャパシタの研究開発**

低電圧駆動の可能性のある圧電駆動型可変キャパシタの設計、プロセス技術の開発に注力します。具体的開発目標としては、駆動電圧 10V 以下、容量範囲 2~5 pF、動作周波数 2GHz 帯で  $Q > 100$  とします。これを 3mm 角程度の SMD 型パッケージに搭載します。合わせて静電駆動方式での低電圧化も検討します。また、上記目標を達成するために前年度購入の製造装置（蒸着装置、スパッタ装置、イオンミリング装置など）の立ち上げ及び製造条件の確立などを行う予定です。

#### **3-1-1-（2） RF-MEMS 可変インダクタの研究開発**

これまでに世の中で報告された可変インダクタはほとんどなく、あっても可変範囲は数%と非常に狭いという状況です。そこで、可変範囲の大きなインダクタンスの新構造を検討するとともに、MEMS-RF スイッチを併用した構造も提案します。年度末の目標としては、駆動電圧 20V 以下、範囲は 2~3 nH 中心に 200%、動作周波数 2GHz 程度、 $Q > 50$  を目指します。

### **3-1-2 アンテナ・高周波回路の開発（副課題イ）**

#### **3-1-2-（1）可変キャパシタによる空間処理型適応アンテナ**

##### **① 設計**

H14 年度購入の 3次元高周波回路の電磁界シミュレータにより行う。実装ターゲット（移動機形態）および実装場所を明確化し考慮した設計がキーとなります。

今期は、先ず、市販バラクタダイオードをモデリングし装荷した状態でアンテナを設計します。次に、MEMS 可変キャパシタについて同様に行います。最終的には、実装ターゲットの筐体等をモデリングして、その上でアンテナを設計します。

##### **② 試作・評価**

試作はアンテナ専門メーカーに外注します。評価は、Satimo 社製の電磁波放射指向性・効率測定装置（H14年度購入）で行います。本装置は、人体模擬物体に装着した状態で電磁波放射指向性・放射効率を3次元測定できるものです。

今期は、先ず、H14年度試作の空間処理型適応アンテナ（2.4GHz帯）単体に市販バラクタダイオードを実装し制御した場合のアンテナ指向性を評価します。MEMS 可変キャパシタのサンプルができしだい置き換えて同様に評価します。次に、ターゲットへ実装するための試作を行い、ターゲット上に配置して、同様に市販バラクタダイオードおよびMEMS 可変キャパシタによる評価を行います。

### **3-1-2-(2) RF-MEMS 移相器による RF 処理型適応アンテナ**

#### **① 設計**

前項の可変キャパシタによる空間処理型適応アンテナと同様に実装ターゲットおよび実装場所を明確化し考慮した設計を行います。ただし、移相器のモデリングが課題となります。計算機シミュレーションも含め、本研究の適応アンテナ固有の所要スペックを決定する必要があります。

#### **② 試作・評価**

今期は、MEMS 移相器のサンプルが無い代替手段が課題となります。

### **3-1-2-(3) 可変キャパシタによる整合回路の開発**

#### **① 設計**

電磁界シミュレータにより整合回路およびその制御回路を設計します。今期は、先ず、市販の半導体バラクタダイオードで回路設計を行います。次に、MEMS 可変キャパシタによる回路設計を行います。MEMS 可変キャパシタは等価回路でモデル化します。可変キャパシタ開発チーム（副課題ア）から、適応アンテナ固有の所要スペックの決定が要求されています。周波数は今期は2.4GHz帯で検討します。

#### **② 試作・評価**

電磁界シミュレータの CAD データで試作を外注します。今期は 2.4GHz 帯で行います。先ず、市販バラクタダイオードを用いて整合回路単体で評価を行い、所望に近づくよう設計→試作・評価を繰り返します。次に、ターゲット移動機にアンテナとともに取り付け、周辺回路と筐体等を含む状態で電磁波放射指向性・効率測定を行い、再び設計→試作・評価を繰り返します。今期最終段階として、市販バラクタダイオードを MEMS 可変キャパシタに置き換えて同様の試作・評価を行います。

インピーダンス整合を測定するための装置を開発します。本装置は、携帯端末の、特にアンテナ直下のインピーダンスの整合状態を測定するものです。従来の測定用給電ケーブルは、そのものが測定対象の RF 回路のインピーダンス特性に影響を及ぼすため、本装置では給電ケーブルを用いず光電界センサ等を用いた光による非接触測定を行います。ネットワークアナライザの各ポートに取り付けるものです。

設計と試作・評価を繰り返し、MEMS 可変キャパシタの所要スペックを最適化します。

### 3-1-2-(4) 電波伝搬測定

H14 年度は、実験周波数帯が未決定なため、電波伝搬測定装置のデジタル部のみを購入しています。総務省との事前協議により実験周波数帯を決定します。H15 年度上期中には仮免許を得て実験可能となります。

電波伝搬測定装置の高周波部は、H14 年度中に送信アレーアンテナと受信アレーアンテナの構成を決定しています。実験周波数帯が決り次第発注を行います。実験は H15 年度下期から、先ず室内無線 LAN 環境から始めます。

### 3-1-3 制御方式・アルゴリズムの開発（副課題ウ）

H14 年度中は、アンテナ指向性や MEMS デバイスの応答特性は理想的として制御方式およびアルゴリズムの開発を行いました。H15 年度からは、

- ① 副課題イの電磁界シミュレーションによって得られる、ターゲット端末に実装した時のアンテナ指向性、
  - ② MEMS デバイスのサンプルの応答特性、
- を用いて制御方式およびアルゴリズムの開発を行います。ターゲットシステム



は、H15年度は OFDM 伝送方式の無線 LAN (802.11a/g) を主とします。副課題イで購入の電波伝搬測定装置が稼働して伝搬特性が得られるまでは一般的なモデルを用います。干渉信号はパーソナル・エリア・ネットワーク (PAN) では Bluetooth や UWB、無線 LAN では 2.4GHz 帯の 802.11b、ホットスポット環境になると長遅延波も加えて検討を行います。

MEMS 可変キャパシタや移相器の所要スペックを早期に出す必要があります。

#### 3-1-4 実証実験装置の開発 (副課題エ)

伝送実験装置は、A/D および D/A 変換器を含むデジタル信号処理部を購入しています。実験周波数帯は、副課題イにおける電波伝搬測定と同じです。H15年度上期中に、周波数帯決定後、受信機 (RF フロントエンド・周波数変換・直交復調器等)、送信パワーアンプ、送信アンテナの仕様を作成し発注します。受信の適応アンテナは副課題イで開発されたものを流用します。同期処理は、現状、ソフトウェアで検討しているが、場合によっては Field Programmable Gate Array (FPGA) でハードウェア化することも考えています。

下期中の伝送実験着手を目指します。H15年度中は無線 LAN 環境で実験する予定です。

線表

開発項目	上期	下期
<b>副課題ア) MEMSデバイスの開発</b> <b>(1) 可変キャパシタ</b> ①シミュレーション、設計 ②試作・評価 <b>(2) 可変インダクタ</b> ①シミュレーション、設計 ②試作・評価 ③RF スイッチ開発とインダクタの組み合わせ	低駆動化	高Q化
	プロセス技術	パッケージ化
	新構造提案と基本設計	
	プロセス技術	パッケージ化
<b>副課題イ) アンテナ・高周波回路の開発</b> (1) 可変キャパシタによる整合回路 (2) 可変キャパシタによる空間処理型アンテナ (3) 移相器による RF 処理型アンテナ (4) 電波伝搬測定	RF スイッチ試作	組み合わせと評
	設計、試作・評価	
	設計、試作・評価	実験 (室内)
	実験局免許取得 / 装置 RF 部開発	設計、試作・評価
<b>副課題ウ) 制御方式・アルゴリズムの開発</b> (1) 可変キャパシタによる空間処理型適応アンテナ (2) 移相器による RF 処理型適応アンテナ	計算機シミュレーショ	
	計算機シミュレーショ	
<b>副課題エ) 実証実験装置の開発</b>	実験局免許取得 / 装置 RF 部開発	伝送実験 (室内)
		プログラミング

## 3-2 研究開発目標

### 3-2-1 最終目標（平成19年3月末）

#### 副課題ア) MEMS-RFデバイスの開発

##### 1. 可変キャパシタ

- 1) 容量：2 ～ 5 pF (容量変化率 250 %)
- 2) 使用周波数：～ 5 GHz 帯
- 3) 駆動電圧：0.5 ～ 3.6 V
- 4) Q：> 500
- 5) 小型、軽量

##### 2. 可変インダクタ

- 1) インダクタンス値：2 ～ 8 nH
- 2) 使用周波数：～ 5 GHz 帯
- 3) 駆動電圧：0.5 ～ 3.6 V
- 4) Q：> 500
- 5) 小型、軽量

##### 3. 移相器

- 1) 可変位相範囲：0 ～  $\pi$  (連続可変)  
(本移相器を二つ用いて 0 ～  $2\pi$  連続可変の移相器を構成できます)
- 2) 使用周波数：～ 5 GHz 帯
- 3) Q：> 250
- 4) 構成は上記可変インダクタと可変キャパシタを $\pi$ 型回路としたもの

#### 副課題イ) アンテナ・RF回路の開発

5 GHz前後のRF周波数、100 MHz程度の帯域において実装ターゲット表面あるいは内部において以下の項目が最適化されます。

- 1) 数素子～十数素子のアンテナアレー、あるいはダイバーシティ配置。
- 2) アンテナ素子形状として、プリント型のパッチアンテナ、ダイポールアンテナ、内部埋め込み用逆Fアンテナ、ポール型のモノポールアンテナアレー。
- 3) 適応整合回路のパッケージを試作し、人体、カバン、デスクなど周囲環境との接触かつ適応アンテナ動作時に、常に50  $\Omega$  整合が可能なMEMS可変

容量キャパシタによる $\pi$ 型整合回路。

#### 副課題ウ) 適応アンテナシステム方式・アルゴリズムの開発

アンテナ素子形状、複数アンテナ配置方法とその接続形態に特化した適応アンテナシステム制御方式を開発します。副課題エにより、様々な伝搬環境の中で有効に動作すること提案制御方式を創出します。

#### 副課題エ) 実証実験

上記試作を組み合わせてテストベッドを構築しフィールド高速走行実験を行い、様々な伝搬環境の中で提案制御方式の評価を終了します。

### 3-2-2 中間目標 (平成17年3月末)

#### 副課題ア) MEMS-RFデバイスの開発

##### 1. 可変キャパシタ

- 1) 容量: 2 ~ 5 pF (容量変化率 250%)
- 2) 使用周波数: ~ 5 GHz 帯
- 3) 駆動電圧: 0.5 ~ 3.6 V
- 4) Q: > 250
- 5) 小型、軽量

##### 2. 可変インダクタ

- 1) インダクタンス値: 2 ~ 8 nH
- 2) 使用周波数: ~ 5 GHz 帯
- 3) 駆動電圧: 0.5 ~ 3.6 V
- 4) Q: > 250
- 5) 小型、軽量

##### 3. 移相器

- 1) 可変位相範囲: 0 ~  $\pi$  (連続可変)  
(本移相器を二つ用いて 0 ~  $2\pi$  連続可変の移相器を構成できます)
- 2) 使用周波数: ~ 5 GHz 帯
- 3) Q: > 125
- 4) 構成は上記可変インダクタと可変キャパシタを $\pi$ 型回路としたもの

### 副課題イ) アンテナ・RF回路の開発

5 GHz前後のRF周波数、100 MHz程度の帯域において実装ターゲット表面あるいは内部において以下の項目が最適化されます。

- 1) 数素子～十数素子のアンテナアレー、あるいはダイバーシティ配置。
- 2) アンテナ素子形状として、プリント型のパッチアンテナ、ダイポールアンテナ、内部埋め込み用逆Fアンテナ、ポール型のモノポールアンテナアレー。
- 3) 適応整合回路のパッケージを試作し、人体、カバン、デスクなど周囲環境との接触かつ適応アンテナ動作時に、常に50  $\Omega$  整合が可能なMEMS可変容量キャパシタによる $\pi$ 型整合回路。

ここまでは、最終目標と同じですが、本中間目標では、動作原理確認のため比較的大きいテスト基盤上で試作評価することとし、小型化についての検討は行いません。

### 副課題ウ) 適応アンテナシステム方式・アルゴリズムの開発

計算機シミュレーションにより、OFDMベースの下り回線において、5  $\mu$  s以下程度のマルチパス遅延分散、および正規化ドップラーシフト  $fdT_s = 0.05$  以下の条件において、誤り訂正後のビット誤り率のエラーフロアが  $1 \times 10^{-5}$  以下程度となる適応アンテナシステム方式・アルゴリズムを開発します。

### 副課題エ) 実証実験

装置試作を完了し、フェージング模擬装置を用いて電波暗室で特性評価を行い、シミュレーションから予想される所望の特性が実現されていることを実証します。フィールド実験は行いません。

### 3-3 研究開発の年度別計画

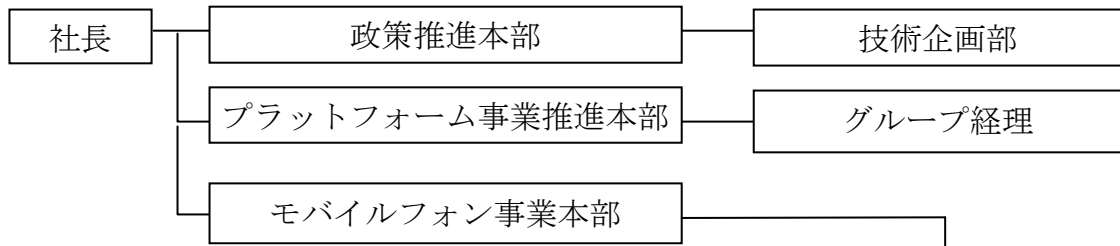
(金額は非公表)

研究開発項目	H14 年度	H15 年度	H16 年度	H17 年度	H18 年度	計	備 考
副課題ア) MEMS デバイスの開発							再委託：東京工業大学 (H15 年度～H18 年度)  再委託：大阪大学 (H14 年度～H18 年度)  再委託：東京工業大学および大阪大学 (H15 年度～H18 年度)
副課題イ) アンテナ・回路の開発							
副課題ウ) 制御方式・アルゴリズムの開発							
副課題エ) 実証実験							
間接経費							
合 計							

- 注) 1 経費は研究開発項目毎に消費税を含めた額で計上。また、間接経費は直接経費の30%を上限として計上(消費税を含む)。  
 2 備考欄に再委託先機関名を記載。  
 3 年度の欄は研究開発期間の当初年度から記載。前年度(14年度)までは、合計が当該年度の契約額の実績値となるよう記載。

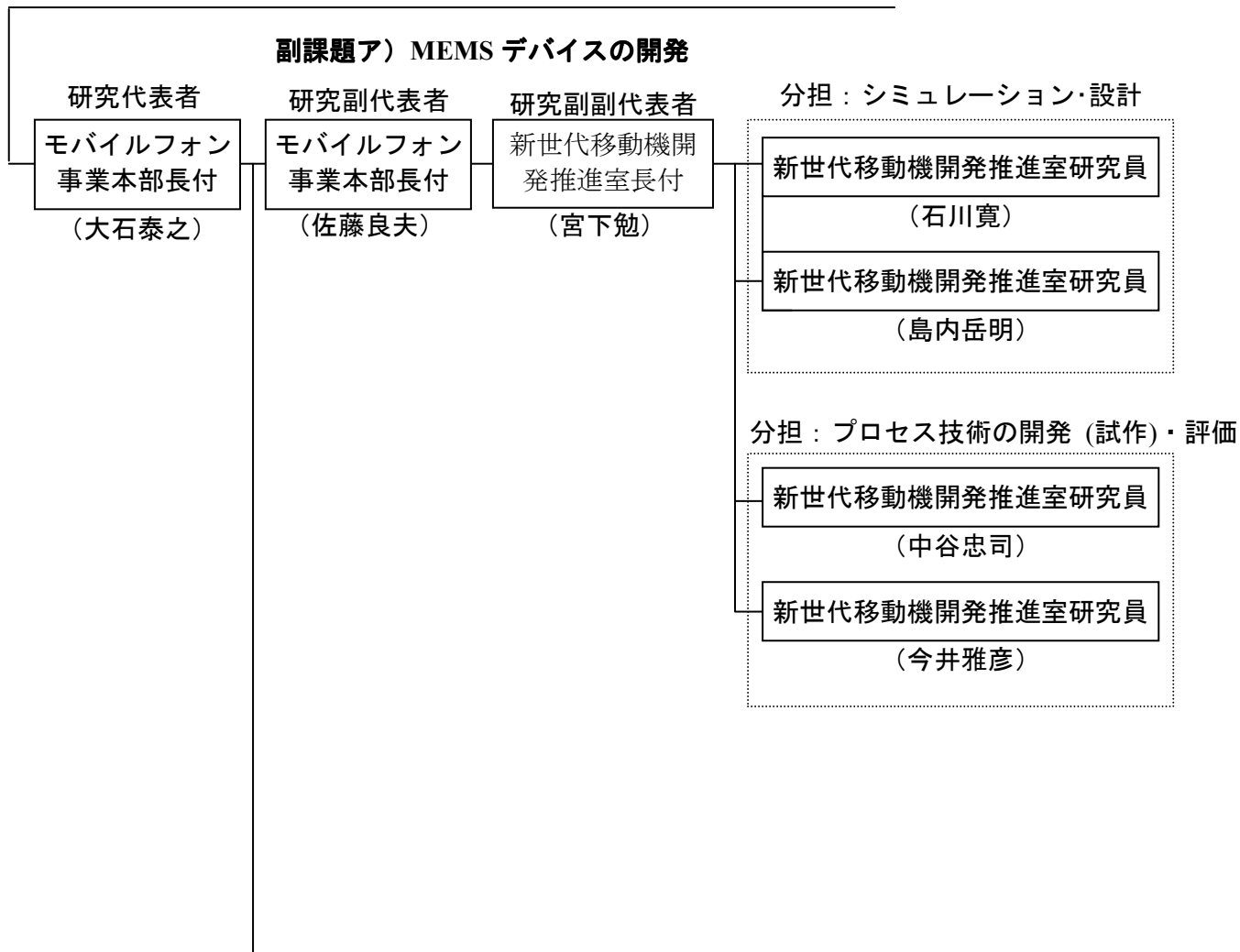
### 3-4 研究開発体制

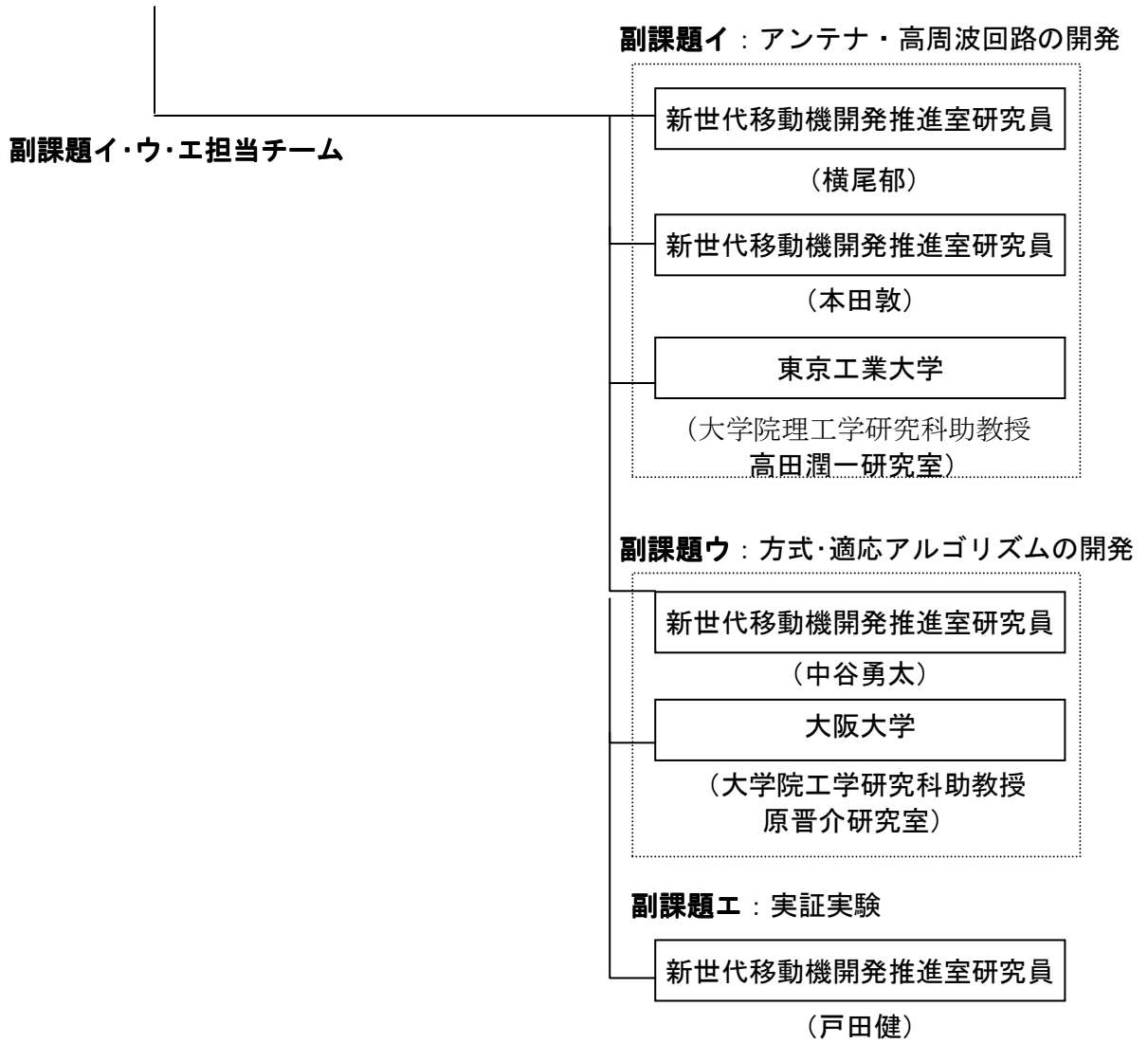
#### 3-4-1 研究開発管理体制（平成15年4月1日～9月9日）



プラットフォームビジネスグループ/杉田副社長

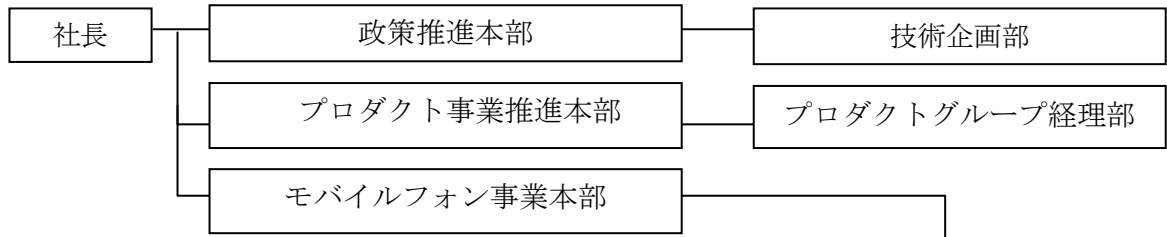
#### 3-4-2 研究開発実施体制（平成15年4月1日～9月9日）



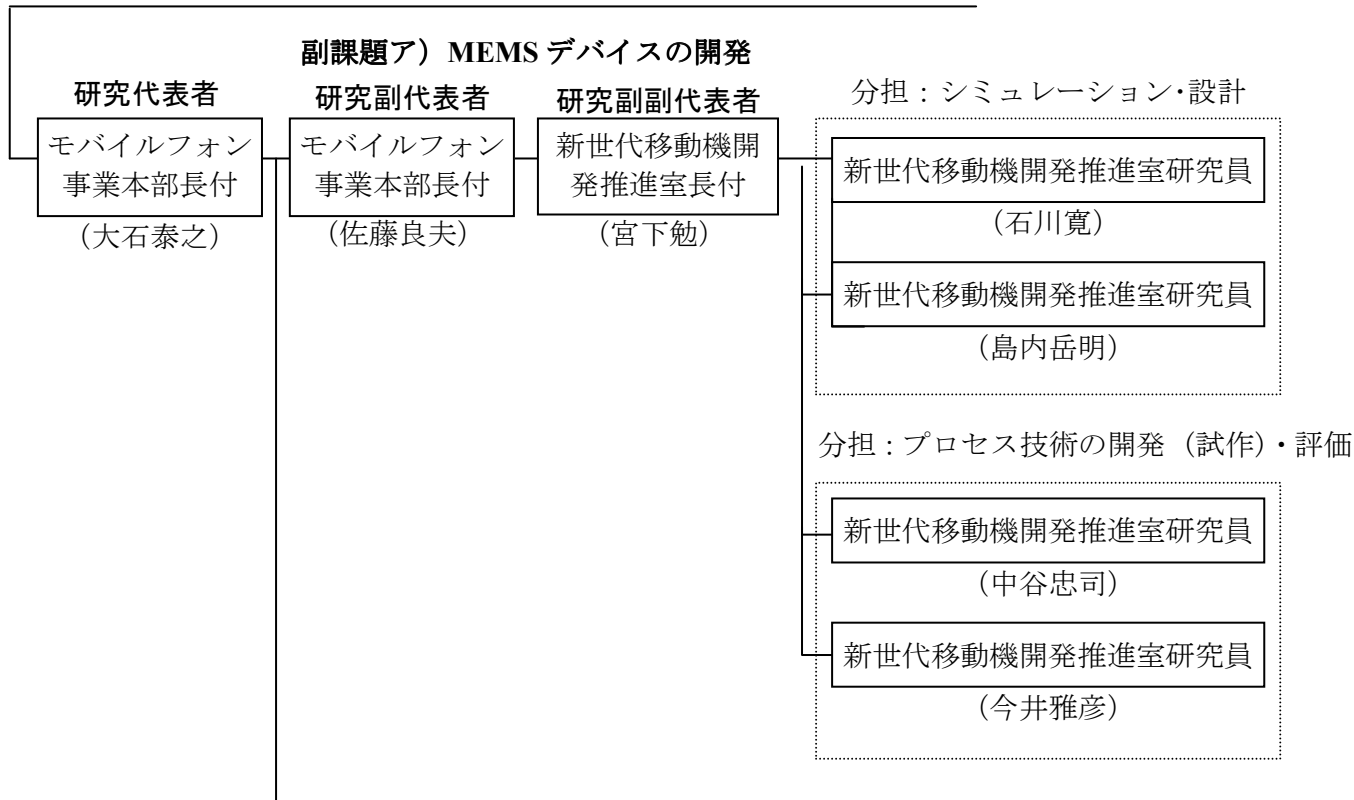


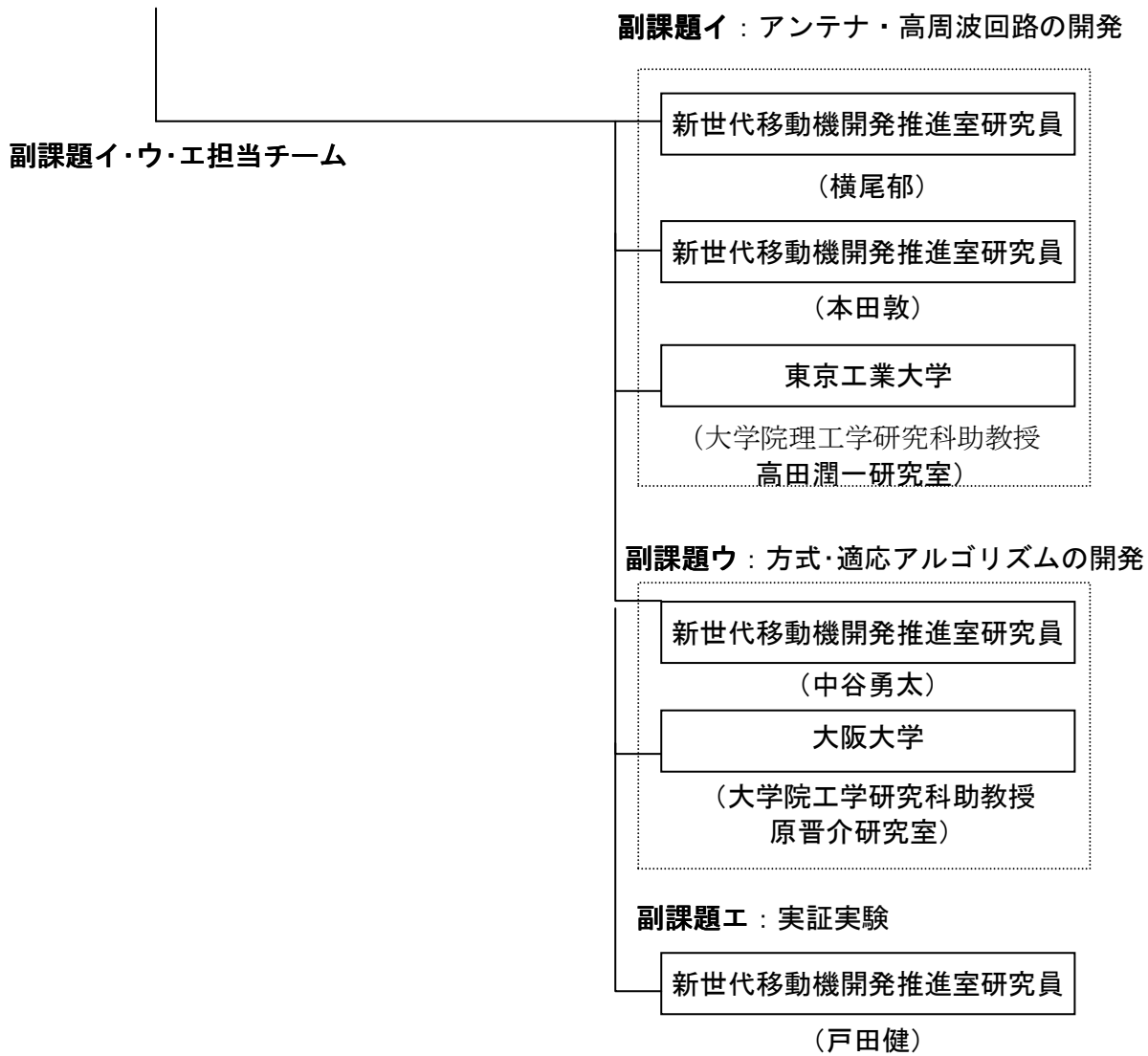


### 3-4-3 研究開発管理体制（平成15年9月10日～現在）



### 3-4-4 研究開発実施体制（平成15年9月10日～現在）





### 3-4-5 研究実施場所

#### 副課題ア) MEMSデバイスの研究開発

富士通株式会社 明石工場 (兵庫県明石市大久保町西脇6-4)

#### 副課題イ) アンテナおよびRF回路の研究開発

富士通株式会社 YRP研究開発センター (神奈川県横須賀市光の丘5-5)

東京工業大学 大学院理工学研究科 高田研究室 (東京都目黒区大岡山2-1-2)

#### 副課題ウ) 適応アンテナシステム制御方式の研究開発

富士通株式会社 YRP研究開発センター (神奈川県横須賀市光の丘5-5)

大阪大学大学院工学研究科 先端通信工学講座 (大阪府吹田市山田丘2-1)

#### 副課題エ) 検証実験

富士通株式会社 YRP研究開発センター (神奈川県横須賀市光の丘5-5)

東京工業大学 大学院理工学研究科 高田研究室 (東京都目黒区大岡山2-1-2)

## 4 研究開発の概要

### 4-1 研究開発実施計画

#### 4-1-1 研究開発の計画内容

課題は下記の4つの副課題から構成されます。

##### 副課題ア) RF-MEMS デバイスの研究開発

副課題ア) - 1 RF-MEMS 可変キャパシタの研究開発

副課題ア) - 2 RF-MEMS 可変インダクタの研究開発

##### 副課題イ) アンテナ・高周波回路の研究開発

副課題イ) - 1 可変キャパシタによる空間処理型適応アンテナ

副課題イ) - 2 RF-MEMS 移相器による RF 処理型適応アンテナ

副課題イ) - 3 可変キャパシタによる整合回路の研究開発

副課題イ) - 4 電波伝搬測定

##### 副課題ウ) 制御方式・アルゴリズムの研究開発

##### 副課題エ) 実証実験装置の開発

以下に、研究開発の実実施計画および実施内容について、副課題の項目ごとに記します。

#### 4-1-1-1 RF-MEMS デバイスの研究開発 (副課題ア)

##### 4-1-1-1-1 RF-MEMS 可変キャパシタの研究開発

#### H14年度

可変キャパシタの課題の一つであるアクチュエータを低電圧で動作させるための駆動方式(静電駆動、電熱駆動、圧電駆動など)の決定、限界周波数や可変可能な容量、Q値の見積もりなど行うことを目標とします。

##### ① シミュレーションおよび設計

H14年12月頃までに、構造シミュレータ (Ansys) とマスクエディタ (MEMS-Pro) を導入し、可変キャパシタの駆動方式や構造設計のシミュレーションおよび設計を開始します。同時に可変容量やQ値の見積もりなどを行い、具体的な構造設計、プロセスの設計を行います。これを基にフォトマスクの設計および発注を行います。

##### ② 試作および評価

H15年3月頃までに、前記可変キャパシタの試作と評価を1～2回行います。これにより提案する可変キャパシタの駆動方式や設計、プロセスの課題を明確にするとともに来年度（H15年4月以降）の設計やプロセス改良の方向付けを行います。

H14年度中のプロセス装置使用は当方保有設備で対応します。平成15年から使用する装置については今期導入し、条件出しなどの立ち上げ作業を行います。

## **H15年度**

低電圧駆動の可能性のある圧電駆動型可変キャパシタの設計、プロセス技術の開発に注力します。具体的開発目標としては、駆動電圧10V以下、容量範囲2～5 pF、動作周波数2GHz帯で $Q > 100$ とします。これを3mm角程度のSMD型パッケージに搭載します。合わせて静電駆動方式での低電圧化も検討します。また、上記目標を達成するために前年度購入の製造装置（蒸着装置、スパッタ装置、イオンミリング装置など）の立ち上げ及び製造条件の確立などを行う予定です。

### **4-1-1-1-(2) RF-MEMS 可変インダクタの研究開発**

## **H15年度**

これまでに世の中で報告された可変インダクタはほとんどなく、あっても可変範囲は数%と非常に狭いという状況です。そこで、可変範囲の大きなインダクタンスの新構造を検討するとともに、MEMS-RFスイッチを併用した構造も提案します。年度末の目標としては、駆動電圧20V以下、範囲は2～3 nH中心に200%、動作周波数2GHz程度、 $Q > 50$ を目指します。

### **4-1-1-2 アンテナ・高周波回路の開発（副課題イ）**

#### **4-1-1-2-(1) 可変キャパシタによる空間処理型適応アンテナ**

## **H14年度**

### **① シミュレーションおよび設計**

H14年11月中に3次元高周波回路の電磁界シミュレータを導入し、開発環境を整えます。その後、シミュレータについて習熟した後、本格的に本ミ

ーションに入り、12月後半からアンテナ単体の設計シミュレーションを始めます。その後、アンテナアレー、前記アンテナ単体またはアンテナアレーをターゲット移動機に実装する状態について順次シミュレーション・設計を進めます。

## ② 試作および評価

H15年2月中に、Satimo社製の電磁波放射指向性・効率測定装置を導入します。この装置は、携帯無線機器を人体模擬物体に装着した状態で電磁波放射指向性・放射効率を球面で3次元で測定できるものです。今期中は、標準アンテナで装置の確認を行い、来期以降のターゲットアンテナの試作評価環境を整えます。

## H15年度

### ①設計

H14年度購入の3次元高周波回路の電磁界シミュレータにより行う。実装ターゲット（移動機形態）および実装場所を明確化し考慮した設計がキーとなります。

今期は、まず、市販バラクタダイオードをモデリングし装荷した状態でアンテナを設計します。次に、MEMS 可変キャパシタについて同様に行います。最終的には、実装ターゲットの筐体等をモデリングして、その上でアンテナを設計します。

### ②試作・評価

試作はアンテナ専門メーカーに外注します。評価は、Satimo社製の電磁波放射指向性・効率測定装置（H14年度購入）で行います。本装置は、人体模擬物体に装着した状態で電磁波放射指向性・放射効率を3次元測定できるものです。

今期は、まず、H14年度試作の空間処理型適応アンテナ（2.4GHz帯）単体に市販バラクタダイオードを実装し制御した場合のアンテナ指向性を評価します。MEMS 可変キャパシタのサンプルができしだい置き換えて同様に評価します。次に、ターゲットへ実装するための試作を行い、ターゲット上に配置して、同様に市販バラクタダイオードおよびMEMS 可変キャパシタによる評価を行います。

す。

#### 4-1-1-2-(2) RF-MEMS 移相器による RF 処理型適応アンテナ

H15年度

##### ①設計

前項の可変キャパシタによる空間処理型適応アンテナと同様に実装ターゲットおよび実装場所を明確化し考慮した設計を行います。ただし、移相器のモデリングが課題となります。計算機シミュレーションも含め、本研究の適応アンテナ固有の所要スペックを決定する必要があります。

##### ②試作・評価

今期は、MEMS 移相器のサンプルが無い代替手段が課題となります。

#### 4-1-1-2-(3) 可変キャパシタによる整合回路の開発

H14年度

##### ① シミュレーションおよび設計

H14年11月中に3次元高周波回路の電磁界シミュレータを導入し、開発環境を整えます。その後、シミュレータについて習熟した後、本格的に本ミッションに入り、先ずは可変キャパシタを実装し評価するRF回路のシミュレーション・評価を開始します。次に、MEMS可変キャパシタ周辺回路、アンテナやターゲット移動機筐体等を含む状態で実装評価するためのRF回路構成について、順次シミュレーション・評価を進めます。

##### ② 試作および評価

今期中は先ず、バラクタダイオード（市販のバリャブルキャパシタ、MEMSではなく半導体プロセスによるもの）により評価実験形の構築を行います。ネットワークアナライザは、H15年1月中までに導入します。アンテナ直下でのインピーダンスを測定系の影響無く評価することは難しいため、今期はこの測定系の開発に関しても検討を行います。今期末までに、副課題アによるMEMSバリキャップの簡易評価を目指します。

H15年度

##### ①設計

電磁界シミュレータにより整合回路およびその制御回路を設計します。今

期は、先ず、市販の半導体バラクタダイオードで回路設計を行います。次に、MEMS 可変キャパシタによる回路設計を行います。MEMS 可変キャパシタは等価回路でモデル化します。可変キャパシタ開発チーム（副課題ア）から、適応アンテナ固有の所要スペックの決定が要求されています。周波数は今期は2.4GHz 帯で検討します。

## ②試作・評価

電磁界シミュレータの CAD データで試作を外注します。今期は 2.4GHz 帯で行います。先ず、市販バラクタダイオードを用いて整合回路単体で評価を行い、所望に近づくよう設計→試作・評価を繰り返します。次に、ターゲット移動機にアンテナとともに取り付け、周辺回路と筐体等を含む状態で電磁波放射指向性・効率測定を行い、再び設計→試作・評価を繰り返します。今期最終段階として、市販バラクタダイオードを MEMS 可変キャパシタに置き換えて同様の試作・評価を行います。

インピーダンス整合を測定するための装置を開発します。本装置は、携帯端末の、特にアンテナ直下のインピーダンスの整合状態を測定するものです。従来の測定用給電ケーブルは、そのものが測定対象の RF 回路のインピーダンス特性に影響を及ぼすため、本装置では給電ケーブルを用いず光電界センサ等を用いた光による非接触測定を行います。ネットワークアナライザの各ポートに取り付けるものです。

設計と試作・評価を繰り返し、MEMS 可変キャパシタの所要スペックを最適化します。

## 4-1-1-2-(4) 電波伝搬測定

### H15年度

H14年度は、実験周波数帯が未決定なため、電波伝搬測定装置のデジタル部のみを購入しています。総務省との事前協議により実験周波数帯を決定します。H15年度上期中には仮免許を得て実験可能となります。

電波伝搬測定装置の高周波部は、H14年度中に送信アレーアンテナと受信アレーアンテナの構成を決定しています。実験周波数帯が決り次第発注を行います。実験はH15年度下期から、先ず室内無線 LAN 環境から始めます。



#### 4-1-1-3 制御方式・アルゴリズムの研究開発（副課題ウ）

##### H14年度

H14年12月中までに計算機等の開発環境を整えます。それまでは、先行的に制御方式・アルゴリズムのアイデア抽出を行います。12月頃より前記開発環境により計算機シミュレーションを開始します。H15年2月頃より、他の課題と連携を始め、計算機シミュレーション評価結果を他課題へフィードバックし、また他課題からのフィードバックを本開発に反映させます。

##### H15年度

H14年度中は、アンテナ指向性や MEMS デバイスの応答特性は理想的として制御方式およびアルゴリズムの開発を行いました。H15年度からは、

- ・副課題イの電磁界シミュレーションによって得られる、ターゲット端末に実装した時のアンテナ指向性、
- ・MEMS デバイスのサンプルの応答特性、

を用いて制御方式およびアルゴリズムの開発を行います。ターゲットシステムは、H15年度は OFDM 伝送方式の無線 LAN（802.11a/g）を主とします。副課題イで購入の電波伝搬測定装置が稼働して伝搬特性が得られるまでは一般的なモデルを用います。干渉信号はパーソナル・エリア・ネットワーク（PAN）では Bluetooth や UWB、無線 LAN では 2.4GHz 帯の 802.11b、ホットスポット環境になると長遅延波も加えて検討を行います。

MEMS 可変キャパシタや移相器の所要スペックを早期に出す必要があります。

#### 4-1-1-4 実証実験装置の開発（副課題エ）

##### H14年度

H14年11月中に、装置構成を決定し発注を行います。H15年2月頃に納品を受け、装置の評価確認を行います。副課題ア～ウの統合実装は来期からとなります。同時に、100 MHz 相当の帯域で OFDM 伝送を行うための実験周波数の調整を総務省と行い、今期中に RF の仕様を固めます。

##### H15年度

伝送実験装置は、A/D および D/A 変換器を含むデジタル信号処理部を購入しています。実験周波数帯は、副課題イにおける電波伝搬測定と同じです。H15年度上期中に、周波数帯決定後、受信機（RFフロントエンド・周波数変換・直交復調器等）、送信パワーアンプ、送信アンテナの仕様を作成し発注します。受信の適応アンテナは副課題イで開発されたものを流用します。同期処理は、現状、ソフトウェアで検討しているが、場合によっては Field Programmable Gate Array (FPGA) でハードウェア化することも考えています。

下期中の伝送実験着手を目指します。H15年度中は無線 LAN 環境で実験する予定です。

平成14年度線表

	H14.11～12	H15.1～3
<b>副課題ア) 可変キャパシタの開発</b> ①シミュレーション・設計 ②試作・評価		駆動方式・構造設計・プロセス設計 1～2回の試作・評価
<b>副課題イ) アンテナ、MEMS可変キャパシタ使用チューナブル整合回路の開発</b> <b>アンテナ開発</b> ①シミュレーション・設計 ②試作・評価 <b>チューナブル整合回路の開発</b> ①シミュレーション・設計 ②試作・評価	アンテナ単体・アレー・実装ターゲットを含むアンテナアレーの設計 アンテナ単体・アレー・実装ターゲットを含むアンテナアレーの設計	アンテナ試作・パターン評価 アンテナ試作・パターン評価
<b>副課題ウ) 制御方式・アルゴリズムの開発</b>		開発環境準備▽ シミュレーション
<b>副課題エ) 実証実験装置の開発</b>	仕様検討・発注▽	装置構築▽

平成15年度線表

開発項目	上期	下期
<b>副課題ア) MEMSデバイスの開発</b>		
<b>(1) 可変キャパシタ</b>		
①シミュレーション、設計	低駆動化	高Q化
②試作・評価	プロセス技術	パッケージ化
<b>(2) 可変インダクタ</b>		
①シミュレーション、設計	新構造提案と基	設計
②試作・評価	プロセス技術	パッケージ化
③RF スイッチ開発とインダクタの組み合わせ	RF スイッチ試作	組み合わせと評
<b>副課題イ) アンテナ・高周波回路の開発</b>		
(5) 可変キャパシタによる整合回路	設計、試作・評価	
(6) 可変キャパシタによる空間処理型アンテナ	設計、試作・評価	
(7) 移相器によるRF 処理型アンテナ		設計、試作・評価
(8) 電波伝搬測定	実験局免許取得/装置RF 部開発	実験 (室内)
<b>副課題ウ) 制御方式・アルゴリズムの開発</b>		
(3) 可変キャパシタによる空間処理型適応アンテナ	計算機シミュレーショ	
(4) 移相器によるRF 処理型適応アンテナ	計算機シミュレーショ	

副課題エ) 実証実験装置の開発	実験局免許取得／装置 RF 部開発	→	伝送実験 (室内)	→
			プログラミング	→

#### 4-1-2 研究開発課題実施計画

平成14年度

(金額は非公表)

研究開発項目	第1四半期	第2四半期	第3四半期	第4四半期	計	備考
副課題ア) 可変キャパシタの開発 副課題イ) アンテナ、MEMS可変キャパシタ 使用チューナブル整合回路の開発 副課題ウ) 制御方式・アルゴリズムの開発 副課題エ) 実証実験装置の開発						再委託：大阪大学
間接経費						
合計						

注) 1 経費は研究開発項目毎に消費税を含めた額で計上。また、間接経費は直接経費の30%を上限として計上(消費税を含む)。  
(合計の計は、「3-1の研究開発課題必要概算経費」の総額と一致)

2 備考欄に再委託先機関名を記載。

平成15年度

(金額は非公表)

研究開発項目	第1四半期	第2四半期	第3四半期	第4四半期	計	備考
副課題ア) MEMSデバイスの開発						再委託：東京工業大学  再委託：大阪大学
副課題イ) アンテナ・高周波回路の開発						
副課題ウ) 制御方式・アルゴリズムの開発						
副課題エ) 実証実験装置の開発						
間接経費						
合計						

注) 1 経費は研究開発項目毎に消費税を含めた額で計上。また、間接経費は直接経費の30%を上限として計上(消費税を含む)。

(合計の計は、「3-1の研究開発課題必要概算経費」の総額と一致)

2 備考欄に再委託先機関名を記載。

## 4-2 研究開発の実施内容

課題は下記の4つの副課題から構成されます。

### 副課題ア) RF-MEMS デバイスの研究開発

副課題ア) - 1 RF-MEMS 可変キャパシタの研究開発

副課題ア) - 2 RF-MEMS 可変インダクタの研究開発

### 副課題イ) アンテナ・高周波回路の研究開発

副課題イ) - 1 アンテナの研究開発

副課題イ) - 1 - (1) 可変キャパシタによる空間処理型適応アンテナ

副課題イ) - 1 - (2) RF-MEMS 移相器による RF 処理型適応アンテナ

副課題イ) - 2 可変キャパシタによる整合回路の研究開発

副課題イ) - 3 電波伝搬測定

### 副課題ウ) 制御方式・アルゴリズムの研究開発

### 副課題エ) 実証実験装置の開発

以下に、研究開発の実施計画および実施内容について、副課題の項目ごとに記します。

## 4-2-1 RF-MEMS デバイスの研究開発 (副課題ア)

### (全体)

RF-MEMS デバイスの研究開発全般としては、実施計画通り、前年度導入の製造装置（蒸着装置、スパッタ装置、イオンミリング装置など）の立ち上げ及び製造条件の確立を行い、デバイス試作に適用しました。また、前年度導入した評価装置（ネットワークアナライザ、プローバー、バイポーラ電源など）を用いて高周波特性の評価系構築を行いました。高周波電磁界シミュレータを予定通り導入し、前年度導入した構造シミュレータと連携したシミュレーション手法を確立し、デバイスの設計に適用しました。

## 4-2-1-1 RF-MEMS 可変キャパシタ

### H14年度

#### ① シミュレーションおよび設計

構造シミュレータ (Ansys) とマスクエディタ (MEMS-Pro)



を導入し、可変キャパシタの駆動方式や構造設計のシミュレーションおよび設計を開始しました。同時に可変容量やQ値の見積もりなどを行い、具体的な構造設計、プロセスの設計を行いました。これを基にフォトマスクの設計を行い試作しました。

## ② 試作および評価

前記可変キャパシタの試作と評価を2回行いました。

## H15年度

RF-MEMS 可変キャパシタとしては、実施計画通り、目標の駆動電圧（10V以下）および可変容量範囲（2～5pF）を達成するため、比較的低電圧駆動向きの圧電駆動型および、可変容量範囲を比較的容易にとれる可能性の高い静電駆動型の設計とプロセス開発を行いました。評価は、実施計画通り、3mm角のSMD型パッケージに搭載して行いました。Q値については、前記の、RR-MEMS構造シミュレータと高周波電磁界シミュレーションの結合手法による検討を行いました。

### 4-2-1-(2) RF-MEMS 可変インダクタ

## H15年度

RF-MEMS 可変インダクタとしては、可変キャパシタと同様に、アクチュエータ（駆動）による可変インダクタを設計しシミュレーションを行いました。また並行して、RF-MEMS スイッチを併用した構造も検討しました。RF-MEMS スイッチとしては、静電駆動型のシリーズ型とシャント型の設計および試作を行いました。また、固定インダクタの検討も開始しました。

### 4-2-2 アンテナ・高周波回路の開発（副課題イ）

#### 4-2-2-(1) 可変キャパシタによる空間処理型適応アンテナ

## H14年度

### ① シミュレーションおよび設計

H14年12月に3次元高周波回路の電磁界シミュレータを導入し開発環境を整えました。その後、シミュレータについて習熟した後、本格的に本ミッションに係り、H15年1月からアンテナ単体の設計・シミュレーションを行

いました。その後、アンテナアレー、前記アンテナ単体またはアンテナアレーをターゲット移動機に実装する状態については検討だけで終了しました。

## ② 試作および評価

H15年3月にSatimo社製の電磁波放射指向性・効率測定装置を導入しました。標準アンテナ、携帯電話、無線LANカードのアンテナ特性の評価を行いました。ターゲットアンテナの評価方法の検討を行いました。

## H15年度

### ① 設計・試作

空間処理型適応アンテナとしてエスパアンテナの検討を行いました。設計と試作は、アンテナ専門メーカーにて電磁界シミュレータを用いて行いました。周波数帯は無線LANシステムをターゲットに、IEEE802.11b/g向けに2.4GHz帯、IEEE802.11a向けに5.2GHz帯の2種類としました。サイズは、実装ターゲットとしてノートPCを想定し、誘電体を装荷して、誘電体装荷しない場合に比べて径を2分の1、3分の1、4分の1のサイズ（10円玉の径と同程度）まで小型化したものも設計し試作しました。市販のバラクタダイオードをモデル化し設計し、実装しました。バラクタダイオードとしては、エスパアンテナを実用化したATRと同様の東芝製1SV287を用いました。現時点では、エスパアンテナの動作に十分な可変範囲を有するRF-MEMS可変キャパシタのサンプルが得られなかったため、RF-MEMSでの設計と実装は行いませんでした。

### ② 評価

無線伝送ビット誤り特性の評価として、平成14年度導入した汎用の信号発生器（Agilent社製ベクトル・シグナル・ジェネレータ）と受信機（ベクトル・シグナル・アナライザ）を用いて、無線信号伝送システムを構築し、伝送フレームフォーマットをIEEE802.11gとしました。干渉信号源として、同じく信号発生器を用いてIEEE802.11bを出力しました。試作エスパアンテナを受信アンテナに用いて、適応制御を行いました。一方、放射指向性の評価としては、実施計画通り、Satimo社製の電磁波放射指向性・効率測定装置で指向性パターンを測定しました。

## 4-2-2-(2) RF-MEMS 移相器による RF 処理型適応アンテナ

## ①設計

5GHz 帯無線 LAN 向けに、4 素子 RF 処理型適応アンテナ回路を設計しました。それぞれのブランチは可変利得 LNA と移相器を備え、4 ブランチはコンバイナ (スプリッタ) で合成されます。アンテナ部は含まれません。アンテナは、今後の実験で、様々な種類のアンテナに置き換えて評価し、最適なものを選びます。

## ②試作・評価

前記の、4 素子 RF 処理型適応アンテナ回路を試作しました。現在評価中です。

### 4-2-2-(3) 可変キャパシタによる整合回路の開発

#### H14年度

##### ① シミュレーションおよび設計

H14年11月中に3次元高周波回路の電磁界シミュレータを導入し、開発環境を整えました。その後、シミュレータについて習熟した後、本格的に本ミッションに係り可変キャパシタを実装し評価するRF回路のシミュレーション・評価の検討を始めました。MEMS可変キャパシタ周辺回路、アンテナやターゲット移動機筐体等を含む状態で実装評価するためのRF回路構成についても検討を開始しました。

##### ② 試作および評価

バラクタダイオード (市販のバリアブルキャパシタ、MEMSではなく半導体プロセスによるもの) による評価実験系の検討を行い、終了しました。ネットワークアナライザは、H15年1月に導入しました。アンテナ直下でのインピーダンスを測定系の影響無く評価するための測定系を検討しました。副課題によるMEMSバリキャップの簡易評価は行いませんでした。

#### H15年度

##### ① 設計

まず最初に電磁界シミュレータ (米国 Ansoft 社製 HFSS<sup>TM</sup> および米国 AWR 社製 Microwave Office<sup>TM</sup>) を用い、 $\pi$  型マッチング回路において、バラクタダイオードのキャパシタンス値を可変させたときのマッチングの可能性について調査

しました。具体的には2つのバラクタダイオードのキャパシタンスを変化させたときに、整合回路の入力インピーダンスがどのような挙動を示すかを、シミュレーションによって観測しました。最終的にはこの入力インピーダンスを50Ωになるべく近いところにアダプティブ制御によって持ってくるのが目標なので、これを達成するためにはどのようなアルゴリズムが簡潔かつ効率的かをこの時点で検討調査しました。中心周波数は2.45GHzを用い、MEMSの等価回路は単純に可変キャパシタであるとして考慮しました。上記の検討によって考案したアルゴリズムを、MatLab Simulink™(米国 The MathWork 社製)を用いて検証しました。

次にMEMSを用いた整合回路および制御回路を設計しました。整合回路には、アンテナのインピーダンスが常にリアクティブであるとした時に、効率よくアンテナインピーダンスを50Ωに整合させることの出来る、π型マッチング回路を用いました。

## ② 試作・評価

上記「設計」で示したように、電磁界シミュレータと Simulink™ を用いてアルゴリズムの有効性を確認した後、これを実現する回路の製作を行いました。回路構成としては、アナログ回路を主体として、それに付随するシーケンサとして動作する、簡単なデジタル回路から成っています。現在実証機の第一号機が完成し、調整を行いました。現在は市販のバラクタダイオード(東芝 1SV239)を用いて調整を行いました。

評価の内容としては、ターゲット移動機に本自動整合回路とアンテナが実装された状態を模擬します。その上で、移動機の近傍に人体及び障害物を置くなどして、そのときのアンテナインピーダンスの変化及び、電磁波放射指向性・効率測定を行い、中間目標である4~5dBの不整合改善が達成されているかどうかを確認します。現時点においては、まだ具体的な数値データはありませんが、一定の性能が確認された後、1SV239をMEMSに置き換えて同様の測定を行います。

本実証機においては、インピーダンス整合を測定するための機能は、方向性結合器によって達成していますが、この方式は、電磁エネルギーを分配することによってインピーダンス整合を測定しているため、エネルギーの損失が光

電界センサによる測定方法よりも大きくなります。そこで、将来的に本自動整合回路を送信だけでなく、入力電力が非常に小さい受信にも適用する場合には、光電界センサによる測定方式も視野に入れる必要があると考えられます。光電界センサを用いて受信側にもインピーダンス自動整合機能を適用する際には、送受間で極力アルゴリズムやハードウェアが共通化されているのが好ましいため、現在の段階からこの検討も行っています。

#### **4-2-2-(4) 電波伝搬測定**

##### **H14年度**

H14年12月に装置構成を決定し発注しました。H15年2月に納品を受け、3月に実験系を組み評価確認を行いました。同時に、100 MHz 相当の帯域でOFDM伝送を行うための実験周波数の調整を総務省と始めました。またRFの仕様を検討しました。

##### **H15年度**

実施計画通り、実験周波数の事前調整を行いました。調整結果から見込み周波数を得て、免許申請を行いました。また見込み周波数から、送信アンテナおよび受信アンテナ、無線部の試作を行いました。

#### **4-2-3 制御方式・アルゴリズムの開発 (副課題ウ)**

##### **H14年度**

H14年12月に計算機等の開発環境を整えました。それまでは、先行的に制御方式・アルゴリズムのアイデア抽出を行いました。12月より前記開発環境により計算機シミュレーションを開始しました。H15年2月より、他の課題と連携を始め、計算機シミュレーション評価結果を他課題へフィードバックし、また他課題からのフィードバックを本開発に反映させました。

##### **H15年度**

アンテナ指向性は、3次元電磁界シミュレーションを用いたターゲット端末実装時の特性が副課題イより得られなかったため、一般的な無指向性アンテナを想定して検討を行いました。RF-MEMS デバイスの応答特性は、副課題アよ

りサンプルの結果が得られなかったため、概算で1・secでシミュレーションを行いました。ターゲットシステムとしては、OFDM 伝送方式の無線 LAN (802.11a/g) を土俵に創出した適応制御方式・アルゴリズムを評価しました。電波伝搬モデルは、副課題イにおいて、電波伝搬測定が行われず特性が得られなかったため、COSTや3GPPで一般的に使われているモデルで評価を行いました。干渉信号は、PAN デバイスとして Bluetooth や UWB、無線 LAN では 2.4GHz 帯の 802.11b、電子レンジ、ホットスポット環境になると長遅延波も加えて検討を行いました。

#### 4-2-4 実証実験装置の開発 (副課題エ)

##### H14年度

H14年12月に装置構成を決定し発注しました。H15年2月に納品を受け、3月に実験系を組み評価確認を行いました。同時に、100 MHz 相当の帯域でOFDM伝送を行うための実験周波数の調整を総務省と始めました。またRFの仕様を検討しました。

##### H15年度

まず、無線 LAN 規格 IEEE802.11a/b/g 向けに、狭帯域伝送システムによる実証実験装置として、平成14年度導入した汎用の信号発生器 (Agilent 社製ベクトル・シグナル・ジェネレータ) と受信機 (ベクトル・シグナル・アナライザ) を用いて構成しました。適応制御部分は、Agilent 社の計測ソフトウェア・ツール ; Agilent VEE Pro を導入した PC を前記ベクトル・シグナル・アナライザに接続し、検波した信号を取り込み、VEE Pro 上に適応制御アルゴリズムを実装し動作させます。バイアス制御は、VEE Pro (on PC) から Ethernet と GP-IB 経由で直流安定化電源が制御されます。2.4 GHz 帯での評価実験では、干渉信号として電子レンジと Bluetooth を用います。Bluetooth は汎用の信号発生器 (Agilent 社製ベクトル・シグナル・ジェネレータ) を用います。しかしながら、狭帯域伝送システムは、汎用測定器と PC 上の汎用アプリケーションソフトウェアを、IEEE1394、Ethernet、GP-IB インタフェースで簡易的に構築したシステムのため、処理速度が遅く、実際の伝送フレーム・ストリームから処理速度にあわせてフ

フレームを間引いて取得しています。適応アンテナの簡単な性能評価はできますが、提案する適応制御方式・アルゴリズムを実際の伝送フレーム・ストリーム上で評価することができません。

そこで、提案する適応制御方式・アルゴリズムを含む適応アンテナの評価には、高速 A/D 変換ボードや高速データ処理用マルチ CPU ボードから構築する広帯域伝送システムの開発を進めました。本システムを用いて、適応アンテナおよび適応制御方式・アルゴリズムを、伝送フレーム・ストリーム上リアルタイム処理し、評価することができます。無線部は、無線 LAN 規格向けの仕様で、中心周波数が 5060 MHz、周波数帯幅が 16.6 MHz (99.9%占有帯幅)、送信空中線電力は 0.1 W (約 7.8 dBm/MHz. AGC による最大値)としました。現在試作を完了し、評価中です。次に、本広帯域伝送システムを、(株)NTT ドコモ殿の第四世代移動無線システム等、新世代セルラー向けベースバンド処理部として拡張の検討を行いました。また、無線部の試作も行い、現在評価中です。無線部の主要緒元は、中心周波数が 4500 MHz、周波数帯幅が 102 MHz (99.9%占有帯幅)、送信空中線電力が 10 W となっています。基地局送信アンテナも試作し現在評価中です。6セクタ程度向けの単一指向性アンテナとなっています。

前記の、適応制御方式・アルゴリズムを含む適応アンテナの評価に使用する高速デジタル信号処理システムにおいて、ラックマウント PC での動画像処理はほぼ完了し、12 Mbps 程度の MPEG-2 フォーマットの動画像伝送を行えるコーディングになっています。ラックマウント間の導通試験は終了しました。しかしながら、送信側の D/A ボード上の最適 IF 周波数と、受信側の A/D ボード上の最適 IF 周波数が決まっていません。従い、IF 折り返しでの導通試験を終えていません。また、無線部の開発進捗に影響が出ています。実証実験装置の心臓部である当該高速デジタル信号処理部の開発を早急に進めなければならない状況です。

## 5 研究開発実施状況

課題は下記の4つの副課題から構成されます。

### 副課題ア) RF-MEMS デバイスの研究開発

副課題ア) - 1 RF-MEMS 可変キャパシタの研究開発

副課題ア) - 2 RF-MEMS 可変インダクタの研究開発

### 副課題イ) アンテナ・高周波回路の研究開発

副課題イ) - 1 可変キャパシタによる空間処理型適応アンテナ

副課題イ) - 2 RF-MEMS 移相器による RF 処理型適応アンテナ

副課題イ) - 3 可変キャパシタによる整合回路の研究開発

副課題イ) - 4 電波伝搬測定

### 副課題ウ) 制御方式・アルゴリズムの研究開発

### 副課題エ) 実証実験装置の開発

以下に、研究開発の実施計画および実施内容について、副課題の項目ごとに記します。

## 5-1 RF-MEMS デバイスの研究開発 (副課題ア)

### 5-1-1 RF-MEMS 可変キャパシタの研究開発

#### 5-1-1- (1) 研究開発実施状況

H14年度

#### ① シミュレーション及び設計

構造シミュレータ、マスクエディタなどは予定通り購入し、初期設計を行いました。このツールを用いて、圧電駆動型及び静電駆動型の可変キャパシタを設計しました。

圧電駆動型としては、低電圧駆動のため、アクチュエータとして PZT 薄膜を用いること、可変幅を大きくとるため、 $\epsilon=10$  程度の誘電体薄膜を用いること、などの独自設計を行いました。

静電駆動型としては、アクチュエータと可変容量部とを別々に設け、容量変化を大きくとれるようにしました。これらの設計を行い、マスク等を発注しました。

#### ② 試作及び評価



上記設計に基づく試作を各々2回ずつ行い、評価を行いました。

圧電駆動型については、PZT 薄膜としてゾルゲル法により成膜を行いました。誘電体膜として Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> のスパッタ膜を用いました。試作の結果、PZT 膜の応力が大きく、アクチュエータが反ってしまい、破壊され易いことが判りました。静特性の評価の結果、0~20V、容量変化 1~5 pF を得たが、まだ十分ではありません。

静電駆動型については、膜の段差部における導体パターンの切れ、及び犠牲層リリース後の可動部の撓みなどの問題があることが判りました。しかし、プロセス工程としては圧電駆動型にくらべ、約半分の工程短縮が図れることも判りました。

両方式の検討の結果、低駆動電圧には圧電駆動型が有利であるが、製造性にはまだ課題が多い。

## H15年度

前年度購入の製造装置（蒸着装置、スパッタ装置、イオンミリング装置など）の立ち上げ及び製造条件の確立を行い、デバイス試作に適用しました。また、前年度購入した評価装置（ネットワークアナライザ、プローバ、バイポーラ電源など）を用いて高周波特性の評価系構築を行いました。そして、本年度、高周波シミュレータを予定通り購入し立ち上げを行い、前年度購入した構造シミュレータとあわせて、構造から高周波特性の情報が得られるようになり、これらのシミュレータを用いてデバイスの設計を行いました。

圧電駆動型と静電駆動型の可変キャパシタの設計とプロセス開発を行いました。その結果、3mm 角の SMD 型パッケージに搭載して、0.9-2.9pF の容量変化を確認しました。駆動電圧は、50V、Q値は、25 程度です。

圧電型では、目標駆動電圧（10V以下）を満足するのに必要な性能のアクチュエータを得ることができましたが、キャパシタを構成する可動電極が膜応力により変形し、容量値および変化率が非常に小さくなることが分かりました。また、静電型もキャパシタを構成する可動電極や可動電極を保持するバネが膜応力により変形し、駆動電圧が設計値より高くなり、ばらつくことが分かりました。

双方共通して、キャパシタを構成する電極をいかに平坦にするかという課題が見えてきました。この課題を克服するために、いくつかの構造提案を行いました。

Q値についてシミュレーション等で検討を行い、目標達成には、何らかのブレークスルーが必要であることがわかりました。

## 5-1-1-(2) まとめと今後の課題

### ① 検討構造

低電圧駆動が期待できる圧電駆動型と、駆動電圧は比較的高いが作製工程数の少ない静電型を検討します。

### ② シミュレーション・設計

MEMS 構造シミュレータ（平成 14 年度購入の Coventor 社製 MEMS 設計・解析ソフトウェア；CoventorWare<sup>TM</sup>）と高周波 3 次元電磁界シミュレータ（平成 15 年度導入した Ansoft 社製高周波デバイス設計ツール；HFSS<sup>TM</sup>）を用いて様々な構造解析を行います。設計のパラメータとしては、可変容量拡大化、使用周波数の高周波化、低駆動電圧化、高 Q 値化、耐久性（寿命）があります。

低駆動電圧化は、現在の 30 V 程度を 0.5～3.6 V まで下げることが目標です。アプローチとしては、圧電駆動型は、圧電体材料と構造の双方から検討を行います。静電駆動型はキャパシタ電極を支持するバネ構造を中心に検討を行います。

可変容量拡大化は、現在 1 GHz において 1～2 pF 程度の可変範囲を、5GHz 帯において 2～5 pF（容量変化率 250 %）程度に増大させることが目標です。そのためにはアプローチとしては、構造検討だけでなく、誘電体薄膜の誘電率を高くするなど使用材料の検討も行います。

高Q化は、現在の 20～30 の Q 値を 250 以上に向上させることが目標です。高周波 3 次元電磁界シミュレータを用いて様々な構造解析を行います。具体的には、キャパシタまでの線路の抵抗を下げることに、キャパシタ周辺の誘電率を下げることを中心に検討を行います。

シミュレータでは予測できない試作・評価結果をフィードバックし、確実に効率良く試作結果が得られるような構造、シミュレーションによる構造設計

および解析手法を確立します。

### ③試作・評価

平成 15 年度中に蒸着装置、スパッタ装置、イオンミリング装置など製造条件は確立しました。平成 16 年度はプロセス技術の開発に注力できます。プロセス開発としては、薄膜の残留応力の制御に着目して、前記シミュレーション設計通りの構造体が得られるようにします。プロセス開発を行いながらデバイス試作を行い、デバイスを評価します。パッケージ化は、昨年度同様に 3 mm 角の SMD 型パッケージをターゲットとします。

試作・評価結果をシミュレーション設計にフィードバックします。(評価) → (シミュレータによる構造設計) → (プロセス開発&試作) → (評価) の一連の流れを繰り返し、デバイスおよびプロセス技術の相乗的な性能向上を図ります。

## 5-1-2 RF-MEMS 可変インダクタの研究開発

### 5-1-2- (1) 研究開発実施状況

#### H 1 4 年度

可変インダクタについても基礎検討を行い、可変幅は大きく取り難いことが判りました。そこで、MEMS-RF スイッチも併用する方法も検討すべきであることが判りました。

#### H 1 5 年度

本年度は、RF-MEMS スイッチを用いた可変インダクタの開発を主に行いました。スイッチとしては、静電駆動型のシリーズ型とシャント型の設計および試作を行い、その結果、スイッチの接点での抵抗値や耐久性が大きな課題であることが分かりました。また、固定インダクタの検討も開始しました。

### 5-1-2- (2) まとめおよび今後の課題

#### RF-MEMS スイッチの研究開発

##### ① 検討構造

前記可変キャパシタと同様に、圧電駆動型と静電型駆動型の双方について

検討します。

## ②シミュレーション・設計

前記可変キャパシタと同様に、MEMS 構造シミュレータと高周波 3 次元電磁界シミュレータを用いて様々な構造解析を行います。設計のパラメータとしては、可変キャパシタと同様に使用周波数の高周波化、低駆動電圧化および耐久性があります。さらにスイッチの特徴として、アイソレーション、低挿入損失およびスイッチング速度の高速化が大きな課題となります。

低駆動電圧化は、スイッチとして十分なアイソレーションを確保することを条件に、平成 16 年度は 10V 以下を目標とします。MEMS スイッチは、基本原理構造的には可変キャパシタと同じなため、可変キャパシタと同様のアプローチで検討します。圧電駆動型としては圧電体材料と構造、さらに接点部の材料を検討します。また静電駆動型は、スイッチング電極を支持する構造を中心に検討を行います。

使用周波数は、可変キャパシタと同様に 5 GHz 帯まで上げることを目標とします。そのためには構造検討だけでなく、基板や配線など使用材料の検討も行います。

アイソレーションは、少なくとも半導体スイッチレベルは必須条件とし、同程度の 20 dB 以上を目標とします。アイソレーションの向上のために、デバイスを作製する基板周辺の材料と、接点部周辺のディメンジョンを中心に検討を行います。(MEMS スイッチは、その名の通り物理的にオン・オフするため、原理的には半導体スイッチよりも高いアイソレーションが期待されています。)

挿入損失は 0.5 dB 以下を目標とします。そのため、耐久性の向上も同時に考慮し、接点部の材料及び構造を主に検討を進めます。(MEMS スイッチは半導体スイッチに比べ、挿入損失は 1 dB オーダーから 0.2~0.5 dB 程度に半減できることが特徴です。)

スイッチング速度は 100  $\cdot$ sec を目標とします。MEMS 構造シミュレータを用いて低駆動電圧化とともに検討を進めます。スイッチング速度は、アプリケーション範囲を決めるキーパラメータのため最優先課題として検討します。(MEMS スイッチはその名の通り機械的にオン・オフするため、電氣的にスイッチングする半導体の速度(数 nsec オーダー)に遠く及びませんが、数  $\cdot$ sec オ

ーダーでもその速度差はアプリケーション範囲に大きく影響します。)

可変キャパシタと同様、シミュレータでは予測できない試作・評価結果をフィードバックし、確実に効率良く試作結果が得られるような構造、シミュレーションによる構造設計および解析手法を確立します。

### ③試作・評価

可変キャパシタと同様に、平成 15 年度中に蒸着装置、スパッタ装置、イオンミリング装置など製造条件は確立しており、平成 16 年度はプロセス技術の開発に注力しできます。プロセス開発としては、前記シミュレーション設計通りの構造体を確実に繰り返し試作できるよう、薄膜の応力制御に着目して検討を進めます。プロセス開発を行いながらデバイス試作を行い、デバイスを評価します。

試作・評価結果をシミュレーション設計にフィードバックします。(評価) → (シミュレータによる構造設計) → (プロセス開発&試作) → (評価) の一連の流れを繰り返し、デバイスおよびプロセス技術の相乗的な性能向上を図ります。

パッケージ化は、昨年度同様に 3 mm 角の SMD 型パッケージをターゲットとします。

## **RF-MEMS 移相器の研究開発**

### ①検討構造

平成 14 年度と平成 15 年度は、可変キャパシタと可変インダクタを用いた  $\pi$  型の 360°アナログ移相器を検討しましたが、可変インダクタが、その構造上機械的に可変にすることが、可変容量、駆動電圧、サイズ、高 Q 値化のいずれの点においても現実的でないことが分かってきました。また、可変キャパシタと固定インダクタを分布定数線路的に多段直列する構成も考えられるが、可変によるインピーダンス不整合が大きな課題となり、アプリケーションを考慮すると波及性に欠けます。そこで、平成 16 年度は現実路線として、世界に先駆けいち早く MEMS 移相器を試作することを目標に、固定の MEMS インダクタと MEMS キャパシタ、MEMS スイッチを組み合わせた切り替え型のデジタル可変移相器を検討し試作します。具体的には、固定キャパシタと固定インダクタを組

み合せて  $360^\circ/2^N$  の位相回路ユニットを構成し、該位相回路ユニット  $N$  個を二つの MEMS スイッチを用いて切り替える形で  $N$  段直列接続し、 $N$  ビットのデジタル移相器を構成します。

## ② シミュレーション・設計

可変範囲は  $0 \sim 2\pi$ 、使用周波数は 5 GHz 帯までを目標とします。

Q 値は 125 以上を目指します。ここでは、固定インダクタの高 Q 化が大きな課題となるため、インダクタの材料と周囲の誘電率を中心に、MEMS 構造シミュレータと高周波 3 次元電磁界シミュレータを用いて解析を行い、高 Q 化を目指します。固定キャパシタは、キャパシタまでの線路の低抵抗化を中心に検討を行い、共に高 Q 化を目指します。

進め方としては、始めは固定インダクタと固定キャパシタを個々に検討します。その後で、スイッチとともに組み合わせ、可変移相器全体としてシミュレーションを行います。

## ③ 試作・評価

シミュレーション設計に合わせ、前期は固定インダクタと固定キャパシタを個々に試作し評価をします。後期にスイッチとともに組み合わせ可変移相器として試作し評価を行います。

### 5-2 アンテナ・高周波回路の研究開発（副課題イ）

#### 5-2-1 可変キャパシタを用いた空間処理型適応アンテナ

##### 5-2-1-（1）研究開発実施状況

#### H14 年度

##### ①シミュレーションおよび設計

H14 年 12 月中に電磁界シミュレータ ; MW-Studio (CST 社製) を立ち上げました。本シミュレータによる設計環境の検証およびアンテナ設計手法を習得するため、株式会社国際電気通信基礎技術研究所 (ATR) で研究開発済みの Electronically Steerable Passive Array Radiator (ESPAR) アンテナを学習材料として設計しました。同時に、試作依頼先のアンテナ・メーカー (原田工業株式会社) においても、電磁界シミュレータ ; IE3D (Zeland Software 社製) を用いて設計を行いました (12 月末完了)。

## ②試作および評価

前記設計データに基づいて、ESPAR アンテナを原田工業株式会社へ外注し、12月末に納品されました。

Satimo 社製の電磁波放射指向性・効率測定装置は、現在立上げ中です。

## H15年度

### ①設計・試作

エスパアンテナの設計と試作は、アンテナ専門メーカーにて電磁界シミュレータを用いて行いました。周波数帯は無線 LAN システムをターゲットに、IEEE802.11b/g 向けに 2.4 GHz 帯、IEEE802.11a 向けに 5.2 GHz 帯の 2 種類としました。サイズは、実装ターゲットとしてノート PC を想定し、誘電体を装荷して、誘電体装荷しない場合に比べて径を 2 分の 1、3 分の 1、4 分の 1 のサイズ（10 円玉の径と同程度）まで小型化したものも設計し試作しました。

市販のバラクタダイオードをモデル化し設計し、実装しました。エスパアンテナを実用化した ATR と同様の東芝製 1SV287 を用いました。

現時点では、エスパアンテナの動作に十分な可変範囲を有する RF-MEMS 可変キャパシタのサンプルが得られなかったため、RF-MEMS での設計と実装は行いませんでした。（競合他社にも存在せず、つまり知る限りにおいては世の中に存在しません。）

### ②評価

平成 14 年度導入した汎用の信号発生器（Agilent 社製ベクトル・シグナル・ジェネレータ）と受信機（ベクトル・シグナル・アナライザ）を用いて、無線信号伝送システムを構築し、伝送フレームフォーマットを IEEE802.11g としました。干渉信号源として、同じく信号発生器を用いて IEEE802.11b を出力しました。試作エスパアンテナを受信アンテナに用いて、適応制御を行いました。結果は、エスパアンテナは干渉信号を十分抑圧しつつ、希望信号を取り込み、干渉信号が無い従来アンテナの場合のビット誤り率（BER）特性とほぼ同じとなりました。一方、干渉信号有りで従来アンテナを使用した場合は、BER=0.5（すべてエラー）となりました。

次に、エスパアンテナを、適応制御後のバイアスを固定した状態で、Satimo 社製の電磁波放射指向性・効率測定装置で指向性パターンを測定しました。結

果、希望信号方向と干渉波信号方向の利得差（出力 SIR）が 20 dB 以上であることを確認しました。

誘電体を装荷した小型エスパアンテナは、指向性パターンを測定した結果、アンテナ寸法が小さくなるに従い、出力 SIR が実用上問題になるほど大きく劣化することが分かりました。理由は、希望信号と干渉信号は自由空間で到来してくるため、エスパアンテナのような空間で処理する適応アンテナは、やはり自由空間上でのアンテナ構成である必要があるからです。

以上の結果から、エスパアンテナのような空間処理型の適応アンテナは誘電体装荷による小型化が見込めないことが分かりました。従い、我々の課題である“移動機用”としては、根本的な理由から不採用となります。ここで、空間処理型のエスパアンテナを研究開発テーマから削除する方向となります。（これは、他の検討方式に注力するという点では大きな成果と考えております。）

## 5-2-1-（2）まとめと今後の課題

### ① 検討方式

平成 16 年度はまず、昨年度後期に提案した、可変キャパシタをダイバーシチアンテナの各ブランチに直列装荷する方式（以下、直列装荷方式と呼ぶ）と並列に装荷する方式（以下、並列装荷方式と呼ぶ）を検討します。本提案方式は、可変キャパシタを装荷し無線部とのインタフェースを分岐回路とする点が特徴です。分岐回路において合成損失は生じません。しかしながら、各ブランチの可変キャパシタは独立に適応制御され変化するため、分岐回路において各ブランチのインピーダンス整合がずれます。その結果ダイバーシチ利得が劣化することがわかってきました。そこで、分岐回路と無線部の間に整合回路を付加する方式も提案します。現時点では、計算機シミュレーションによる評価結果、並列装荷方式の方が優れていますが、評価手法も含めまだ双方検討の余地があります。また実用化する場合のコスト（消費電力、サイズ、価格等）、実装する場合の実機とのアフィニティやフィービリティも考慮する必要があります。シミュレーション・設計と試作・評価を繰り返し、平成 16 年度後期にはどちらかを選別し注力することも考えられます。

ブランチ数は 2~4 程度、各ブランチの装荷キャパシタ数は 1~3 程度を見



込みます。

前記提案方式の比較対象として、従来のコンバイナを使用する方式も検討します。従来の考えでは、無線部インタフェースに結合器コンバイナ（スプリッタ）を用いるため、2-to-1 way、3-to-1 way、4-to-1 way で 3 dB、4.7 dB、6 dB の損失があります。さらに、挿入損失も含めると 4 dB、5.7 dB、7 dB の損失となるため、ダイバーシチ利得を得るためにブランチ数を増加させても、コンバイナの損失も同様に増加することが問題となります。

2～5 GHz 帯のマイクロ波回路のため、デジタル回路とは異なり、実機による検証が重要です。前期提案方式も、現時点では計算機シミュレーションにより効果が期待されますが、試作評価してみると高周波回路における様々な現象のため、実際には機能しない可能性があります。従い、方式検討→シミュレーション・設計→試作・評価→方式検討を繰り返し、平成 16 年度終了時の中間目標達成に向けて、様々な方式を検討する必要があります。

## ② シミュレーションによる方式検討・評価

計算機シミュレーションによる方式検討は、平成 15 度に引き続き、東京工業大学が担当します。副課題ウ（適応制御方式・アルゴリズムの研究開発）で実施する計算機シミュレーションは伝送フォーマット（IEEE802.11a/b/g や 3GPP 等の規格）上で適応制御方式・アルゴリズムを検討するとともにアンテナの評価を行います。一方ここでは、ダイバーシチアンテナ利得（DAG: Diversity Antenna Gain）を評価基準として電波伝搬の観点から方式を検討しシミュレーション評価を行います。平成 16 年度は、具体的な成果に結びつけるためにも、副課題イとウの連携を強化し、電波伝搬とデジタル信号処理の両方面から検討方式をつめます。

前記提案方式；可変キャパシタ直列／並列装荷型適応アンテナについて、最適な可変キャパシタンス条件下でテブナンの等価回路を用いて、負荷側から見たアンテナ側入力インピーダンスを求め、これをモンテカルロシミュレーションすることでスミスチャートに分布をプロットします。これは、負荷や整合回路に関する考察に必要です。

具体的な成果に向けて、RF-MEMS 可変キャパシタ（副課題ア）の現状のサンプル特性（可変範囲、応答速度等）を考慮します。

実際の試作高周波回路で生じる様々な物理現象をどこまで計算機シミュレーションで模擬できるかが大きな課題です。従い、試作・評価結果をいち早くフィードバックし、シミュレーション・設計手法に反映することが重要です。そのためにも、シミュレーションによる方式検討と試作・評価によるフィードバックの頻度とサイクルスピードを高める必要があります。

平成15年度は希望信号のみでダイバーシチ利得を基準として方式検討を行いました。平成16年度は干渉信号も考慮し、干渉信号を抑圧しつつ希望信号から得られるダイバーシチ利得を基準として方式のシミュレーション評価となります。例えば2.4 GHz帯では、干渉信号として電子レンジとBluetoothを想定します。

次世代無線LAN規格；IEEE802.11nのMIMO方式（Multi-Input Multi-Output；送受信双方に複数のデジタルアンテナブランチを用いて大容量伝送を行う方式）の各受信ブランチへの適用もシミュレーションにより評価します。

### ③ 設計・試作

前記の通り、2～5 GHz帯のマイクロ波回路のため実機による評価が重要です。平成16年度は具体的な成果に向け、前記提案方式を、設計パラメータの組み合わせを様々に変えて、多数試作します。さらに、積極的に試作を繰り返し、方式検討および他の課題へフィードバックすることが要求されます。

設計および試作はアンテナ試作の専門業者に外注します。前記検討方式から実際の回路へおとしこむ設計は、周波数が高いことから、実際に商用アンテナを製作している専門業者のノウハウを役立てることが重要です。専門業者に外注することは試作期間の短縮、人的コストの削減にもつながります。ただし検討方式が外部に流出することになるため注意を払う必要があります。また、弊社で導入した高周波3次元電磁界シミュレータ（Ansoft社のHFSS<sup>TM</sup>+Designer<sup>TM</sup>）やAET社のMW-Studio<sup>TM</sup>）を用いて、ターゲット端末へ実装した状況を考慮したシミュレーション設計も検討する必要があります。

方式検討、シミュレーション検討、および他の課題と密に連携し相乗効果を得ることも重要です。

### ④ 実験評価

無線信号伝送システムと、3次元放射指向性測定システムを用いて試作アンテナの評価を行います。無線信号伝送システムによる実験評価は副課題エの項に記述しています。

ビット誤り率の測定、電波暗室を用いた放射指向性および放射効率の測定など、定量的な評価となります。平成15度に引き続き、富士通株式会社が担当します。いち早く評価結果を、シミュレーションによる方式検討および設計・試作、他の副課題へフィードバックすることが要求されます。

## 5-2-2 RF-MEMS 移相器を用いた RF 処理型適応アンテナ

### 5-2-2-（1）研究開発実施状況

#### H15年度

試作した4素子RF処理型適応アンテナ回路は、現在評価中であり、まだ効果を確認できていません。

### 5-2-2-（2）まとめと今後の課題

#### ① 検討方式

平成15年度はこれまで、RF処理型アダプティブアレーアンテナ(RF-AAA)として、各ブランチが一つの可変利得低雑音増幅器(LNA)と可変移相器から成り、コンバイナで合成する構成を検討しました。平成16年度も、まず本方式を検討します。

(可変移相器が360°アナログ可変の場合)

現在、アンテナブランチ数が4、移相器が360°アナログ可変、帯域幅が無線LAN規格16.7MHzに対応するRF-AAA回路を試作中です。2月末に納品され評価します。

(可変移相器が4ビット・デジタル可変の場合)

平成16年度に、副課題アで研究開発されるRF-MEMS移相器がデジタル型であり、そのビット数が4ビット程度となっています。そこで、本方式で移相器を4ビット・デジタル可変として、詳細検討を行います。

(可変利得LNAの有無について)

平成15年度は、可変利得LNAの有無について深く議論しませんでした。平成16年度は詳細検討を行います。ハードウェアの観点からは、RF-AAAを構成

する素子は可変利得 LNA 以外は受動素子であり双方向可能ですから、可変 LNA を外すと双方向となります。従い、送受分割方式 (TDD か FDD か) に対してアフィニティ・フィージビリティが高くなります。アプリケーション範囲広がります (波及性が高くなります)。また RF-AAA の動作時消費電力は可変 LNA が大半を占めます。しかしながら、可変利得 LNA がなければ RF-AAA は単なるフェーズドアレーアンテナです。平成 15 年度のシミュレーション検討結果から、単純なビーム/ヌル・フォーミングはできるが、最適合成ができないため、希望信号および干渉信号の到来波角度広がりが多い場合に対応することができないことがわかってきました。実用化を念頭にハードウェアと受信性能の双方から、可変利得 LNA の採用か不採用かを検討します。

アンテナブランチ数は 2~4 程度です。

前章 ; (2) - 2 (RF-MEMS 可変キャパシタを用いた適応アンテナ) で述べた通り、コンバイナの合成損失は大きいので、可変キャパシタを用いる適応アンテナの提案方式と同様、分岐回路の場合も検討します。前記検討方式以外にも、様々な方式を検討します。

## ② シミュレーションによる方式検討・評価

移相器を用いた適応アンテナについては、これまで、前章 ; (2) - 2 (RF-MEMS 可変キャパシタを用いた適応アンテナ) で述べたシミュレーション検討は行ってきませんでした。平成 16 年度は、前章の方式との性能比較のため、東京工業大学にて、同様のシミュレーション評価を行います。

## ③ 設計・試作

現在、アンテナブランチ数が 4、移相器が 360°アナログ可変、帯域幅が無線 LAN 規格 16.7 MHz に対応する RF-AAA 回路を試作中です。2 月末に納品され評価します。360°アナログ可変移相器はバラクタダイオード (半導体素子) を用いて構成しています。平成 16 年度も当面、RF-MEMS によるデジタル移相器サンプル (副課題ア) が得られるまでは、バラクタダイオードを用いた移相器の試作となります。バラクタダイオードを用いた移相器は、アンテナメーカーでは試作できないため、マイクロ波回路の専門業者に外注します。設計・試作のアプローチは、基本的に前章 ; (2) - 2 (RF-MEMS 可変キャパシタを用いた適応アンテナ) で記述した内容と同じです。方式検討→シミュレーション・

設計→試作・評価→方式検討を繰り返し、平成 16 年度終了時の中間目標達成に向けて、様々な方式を検討する必要があります。平成 15 度に引き続き、富士通株式会社が担当します。

#### ④ 実験評価

現在、アンテナブランチ数が 4、移相器が 360°アナログ可変、帯域幅が無線 LAN 規格 16.7 MHz に対応する RF-AAA 回路を試作中です。2 月末に納品され実験評価します。実験評価の手法は、前章；(2) - 2 (RF-MEMS 可変キャパシタを用いた適応アンテナ) で記述した内容と同じです。無線信号伝送システム (副課題エ) を用いたビット誤り率の測定、電波暗室を用いた放射指向性および放射効率の測定等の定量的な評価となります。平成 15 度に引き続き、富士通株式会社が担当します。いち早く評価結果を、シミュレーションによる方式検討および設計・試作、他の副課題へフィードバックすることが要求されます。

### 5-2-2 可変キャパシタによる整合回路の研究開発

#### 5-2-2-1 研究開発実施状況

##### H14 年度

#### ①シミュレーションおよび設計

H14 年 12 月中に電磁界シミュレータ；ADS (Agilent 社製) を立ち上げました。H15 年 1 月中に、ADS を用いて市販バラクタダイオード (1SV287) の評価基板を 2.4GHz と 5.2GHz 帯で設計しました。

#### ②試作および評価

前記 ADS による設計に基づき 2.4GHz と 5.2GHz 帯用にそれぞれ評価基板を試作し、市販バラクタダイオード (1SV287) を評価しました。2.4GHz 帯ではデータシート (10MHz での特性) と対応する特性が得られました。一方、5.2GHz 帯では所望の特性が得られませんでした。MEMS 可変キャパシタのサンプルが出来あがっていないため、現在、電磁界シミュレーションも含め、評価系の妥当性、バラクタダイオードの周波数特性などの詳細を調査中です。

##### H14 年度

#### ①シミュレーションおよび設計

まず最初に電磁界シミュレータ (米国 Ansoft 社製 HFSS™ および米国 AWR 社製 Microwave Office™) を用い、 $\pi$  型マッチング回路において、バラクタダイオードのキャパシタンス値を可変させたときのマッチングの可能性について調査しました。具体的には2つのバラクタダイオードのキャパシタンスを変化させたときに、整合回路の入力インピーダンスがどのような挙動を示すかを、シミュレーションによって観測しました。最終的にはこの入力インピーダンスを  $50\ \Omega$  になるべく近いところにアダプティブ制御によって持ってくるのが目標なので、これを達成するためにはどのようなアルゴリズムが簡潔かつ効率的かをこの時点で検討調査しました。中心周波数は  $2.45\text{GHz}$  を用い、MEMS の等価回路は単純に可変キャパシタであるとして考慮しました。

上記の検討によって考案したアルゴリズムを、MatLab Simulink™ (米国 The MathWork 社製) を用いて検証しました。この結果、本自動整合回路を用いた場合に、整合回路と移動機内部の RF 回路の間に生じるインピーダンス不整合量を評価基準とすると、固定キャパシタを用いた整合回路と比較して、時間平均で  $4\sim 5\text{dB}$  程度のマッチング改善が得られることを確認しました。

2. 次に MEMS を用いた整合回路および制御回路を設計しました。整合回路には、アンテナのインピーダンスが常にリアクティブであるとした時に、効率よくアンテナインピーダンスを  $50\ \Omega$  に整合させることの出来る、 $\pi$  型マッチング回路を用いました。

制御回路設計の際は、MEMS のキャパシタンス可変範囲が重要なパラメタとなりますが、現時点で MEMS の性能は日々向上しておりますので、MEMS のキャパシタンス可変範囲が開発初期の段階において十分でない場合は、それに応じた自動整合の性能が達成できるような制御方式としました。したがって、MEMS のキャパシタンス可変範囲がより広くなったときには、さらに良好な自動整合が可能になることが期待できます。

## ②試作および評価

上記「設計」で示したように、電磁界シミュレータと Simulink™ を用いてアルゴリズムの有効性を確認した後、これを実現する回路の製作を行いました。回路構成としては、アナログ回路を主体として、それに付随するシーケンサとして動作する、簡単なデジタル回路から成っています。現在実証機の第一号機

が完成し、調整を行っています。現在は市販のバラクタダイオード(東芝 1SV239)を用いて調整を行っていますが、これは基板の微小な変更によって容易に MEMS に置き換えることが可能です。

評価の内容としては、ターゲット移動機に本自動整合回路とアンテナが実装された状態を模擬します。その上で、移動機の近傍に人体及び障害物を置くなどして、そのときのアンテナインピーダンスの変化及び、電磁波放射指向性・効率測定を行い、中間目標である 4~5dB の不整合改善が達成されているかどうかを確認します。現時点においては、まだ具体的な数値データはありませんが、一定の性能が確認された後、1SV239 を MEMS に置き換えて同様の測定を行います。

本実証機においては、インピーダンス整合を測定するための機能は、方向性結合器によって達成していますが、この方式は、電磁エネルギーを分配することによってインピーダンス整合を測定しているため、エネルギーの損失が光電界センサによる測定方法よりも大きくなります。そこで、将来的に本自動整合回路を送信だけでなく、入力電力が非常に小さい受信にも適用する場合には、光電界センサによる測定方式も視野に入れる必要があると考えられます。光電界センサを用いて受信側にもインピーダンス自動整合機能を適用する際には、送受間で極力アルゴリズムやハードウェアが共通化されているのが好ましいため、現在の段階からこの検討も行っています。

## 5-2-2-(2) まとめと今後の課題

### ① 検討方式

平成 15 年度に、主にアナログ回路から構成される制御方式を提案しました。シーケンサとして動作する簡単なデジタル回路を必要としますが、CPU、DSP、メモリ等のデジタル回路部品を使用しない点が従来と異なります。従い、現行の移動機においても、デジタル部とは無関係であり、無線部においても大幅な設計変更を加えることなく、アンテナ直下に容易に付加的に組み込むことができます。提案方式はブレッドボードによりシミュレーション通りの期待動作を得ました。特許出願は 2 月中に済ませます。RF-MEMS 可変キャパシタを用いた適応アンテナとしては第一号になるものとして大きく期待されます。

そこで平成 16 年度は、本提案方式をベースに実用化可能なインパクト（本自動整合回路挿入時の不整合改善量）、低挿入損失化、低消費電力化、小型化が図れる方式を検討します。

上記はアンテナ自動整合回路を単体で見た場合の方式検討である。アプリケーションとしての波及性の観点からは、単体として進めておく必要があるからです。一方、他の適応アンテナ（後述する、RF-MEMS 可変キャパシタを用いた適応アンテナや RF-MEMS 移相器を用いた適応アンテナ）と組み合わせた、システム全体として見た場合の方式（元来提案の適応アンテナシステム）を検討する必要もあります。他の適応アンテナと連携して動作させることによって、さらに自動整合回路による不整合量改善度が向上する事も考えられるためです。単体として方式検討および設計の初期段階から、後々の適応アンテナとの連携制御が可能な構成にしておくことも必要になってきます。現状では単体の改良を進め、システム全体としてのシミュレーション・設計および試作評価は、他の適応アンテナの個別研究開発が進んだ後のフェーズとします。

現在の方式は、送信系のみでのアプリケーションを想定しています。つまり、適応制御で随時検出する不整合量として、高出力増幅器（HPA）出力のアンテナからの反射量のみを用いて適応制御する方式です。理由は、まず HPA 出力の大電力送信信号を用いるとノイズ等の外部影響を受けず精度が高いからです。次に、現行システムの多くが送受を時分割で行う時分割多重（TDD; Time Division Duplex）方式であり、送受共用アンテナが送受同一周波数だからです。新世代の無線通信システムとして普及してきた無線 LAN もそうです。信号電力が大きく不整合量検出精度が圧倒的に高い送信で整合を取れば、受信でも整合がとれていることになります。一方近年、送受を周波数で分割する周波数分割多重（FDD; Frequency Division Duplex）方式が登場しました。例えば(株)NTT ドコモ殿の第三世代移動通信システム（FOMA）や第四世代移動通信システムがそうです。さらに、第四世代システムでは 100MHz 程度以上の広帯域化にともない FDD の周波数間隔が 200~300 MHz 程度以上に広がることが予想されます。従い、送信系で整合されても、受信系で整合されないことが考えられます。受信は、送信に比べて高速・高品質伝送が要求されるため、これは本末転倒となります。従い、現方式を受信系に拡張することにより RF 入力信号における信号



対ノイズ比(CNR)を改善し、伝送ビット誤り率 (BER)を低減する必要があります。現時点で行うべきは、光センサの導入によって、受信側での自動整合機能が実現した際のアルゴリズムと、現在のアルゴリズムとの融合性を良くする検討です。さらにハードウェアも、極力送受信で共通化するような方向で検討します。ただし、受信側に用いる際には、信号強度が送信時と比較して著しく小さい時が頻繁に発生するため、現方式のように方向性結合器を用いたインピーダンス整合測定方法は、損失が大きく、信号の更なる減衰を招くため好ましくありません。そこで光電界センサを用いたインピーダンス整合測定を採用することにより測定部における損失を極力抑える方式も考えられます。究極的には送受信両方の場合において整合がとられる方式であり、アンテナの使用環境が悪くかつ電波伝搬環境が見通し外等の劣悪な通信環境においても、送信周波数でのアンテナ不整合による送信電力消費量（すなわちバッテリー寿命）を改善するとともに、受信周波数でアンテナ不整合も改善され高速・高品質受信を持続する（システム全体としてはスループットの低下を防ぐ）ことが可能となります。

## ② シミュレーション・設計

平成 15 年度と同様に、MatLab Simulink<sup>TM</sup> (米国 The MathWork 社製)を用いて、当該提案方式の改良をシミュレーション・設計します。改良の課題は前記の通り、不整合改善量（本自動整合回路挿入時のインパクト）の向上、低挿入損失化、低消費電力化、回路規模削減です。

不整合改善量に関しては、固定キャパシタを用いた整合回路と比較して 4 dB 以上（時間平均値）を目標とします。そのための設計手法は、まず携帯通信機器に用いられているアンテナのインピーダンスがどのくらい変動するかを測定により見積もります。次に、そのインピーダンス変動に対して、開発の各時点で利用可能な RF-MEMS 可変キャパシタ・サンプル（副課題ア）の可変範囲を考慮し、当該アンテナインピーダンスの変動を最もよく改善して 50Ω に近づけられるように、整合回路に用いられているインダクタの最適値を探します。これは、Ansoft 社製高周波デバイス設計ツール；HFSS<sup>TM</sup> を用いたシミュレーションを導入し、（シミュレーションを用いた整合回路のパラメタ最適化）→（評価

のための測定実験)のサイクルを繰り返すことで最適化を行います。

低挿入損失化は、平成 16 年度は 3 dB 以下を目標とします。そのためには、当該整合回路に用いられる RF-MEMS 可変キャパシタ（副課題ア）とインダクタが低損失であることが必要です。インダクタとしては、市販の部品の中で最も低損失低の部類から選択し、RF-MEMS 可変キャパシタは、平成 16 年度の目標 Q 値 ( $\geq 250$ ) のサンプルが得られれば、十分達成可能と見込みます。

実証機での電源は、現時点での実証機はアナログ用が $\pm 15$  V、デジタル用が 3.3 V となっています。これを、平成 16 年度はデジタル用を 2.5 V に削減します。

低消費電力化は、実証機でのものでなく、実用化される場合に ASIC (Application Specific Integrated Circuit ; 特定用途向け集積回路) 化される時の消費電力で議論します。ASIC 化は膨大な費用がかかるため、本研究では実施しません。平成 16 年度は、300mW (動作時) 以下を目標とします。これは、現時点の消費電力の 70%程度です。これを達成するためには、適応制御アルゴリズムの簡素化および、大容量キャパシタの削減の両面から検討します。また、現在の制御回路は個別アナログ IC を用いて構成し試作しているため、このように大きな電力消費になりますが、最終的には ASIC 化により 50mW (動作時) 程度以下が見込まれます。電源電圧の低圧化、自動整合回路全体のアナログ・デジタル一体型 ASIC 化によって、最終的な消費電力量を平成 16 年度目標の電力消費の 6 分の 1 以下に抑えることが可能であると考えられます。さらに自動整合回路は休止時間が長い場合、時間あたりの消費電力は、携帯機全体の電力消費に比較して無視できる程度になると考えられます。

回路規模削減に対しては、大容量のキャパシタおよび、アナログ IC 部品点数を削減することを検討します。現在スイッチングによるノイズ吸収のためのキャパシタを多数使用しているため、これらのキャパシタを用いずにスイッチングノイズを低減可能な回路構成を検討します。またアナログ IC については、アルゴリズムの更なる簡素化によって部品点数の削減を図ります。これにより、実証機の試作基板サイズの小型化も期待されます。現時点で 100mm  $\times$  100mm の面積を、平成 16 年度は 50mm  $\times$  50mm 程度以下へ削減を目指します。また現在の 4 層片面実装から多層基板に両面実装することによって、更なる回路面積の削減が図れます。

### ③ 試作・評価

現在東芝製バラクタダイオード (1SV239) を用いて 100 mm × 100 mm の基板に部品を実装し、調整中です。平成 16 年度は当面、この実証機を用いて自動整合の性能評価を行います。以下、いくつか検討しえる評価手法を述べる。

ネットワークアナライザを用いて、インピーダンス不整合量の改善度をリアルタイムに測定し、本実証機を動作させた場合とそうでない場合との放射電磁界の強度を比較することにより、本実証機の有効性を評価します。ただし、本年度においては、実証機の動作確認がメインとなるため、試作・評価に用いるアンテナは完全な携帯機用である必要は無く、まずは手持ちの試作アンテナを用いて行います。

平成 14 年度に導入した Satimo 社製 3 次元放射電磁界測定システムを用いて、アンテナ自動整合回路とアンテナを実機（携帯電話や無線 LAN 端末等）の使用環境に極めて近い状態で、最大放射方向など放射特性を測定します。人体の影響を考慮するために、H15 年度に導入した人体ファントム（人体模擬装置）を用います。入力信号の CNR を測定し、適応アンテナを用いて所望の通信速度、容量が確保できるのに十分なレベルまでインピーダンス不整合が改善していることを確認します。

実証機の模擬環境における実測においても、可変キャパシタの最適な可変範囲が存在するため、この可変範囲を見出すことも測定課題となります。しかしながら現時点では、RF-MEMS 可変キャパシタは開発過程であり（副課題ア）、可変範囲が確定していません。従い、完全な最適化は現時点では出来ませんが、本アンテナ自動整合回路は、従来の最急降下法や共役勾配法などのアルゴリズムを用いたアルゴリズムに必須であった数学的なモデリングを必要としません。従い、開発過程の RF-MEMS のキャパシタ可変範囲が狭い場合においても、この範囲内で適切な動作をするように調整可能です。さらに将来 RF-MEMS 可変キャパシタの可変範囲が広がるとともに本アンテナ自動整合回路のインパクトが大きくなることが予想されます。現時点では、副課題アから入手する RF-MEMS 可変キャパシタのサンプル・チャンピオンと、バラクタダイオード（半導体素子）の両方を用いて携帯機器室内移動体通信の実環境化において、キャ

パシタンス可変範囲の最適値、および整合回路に用いられる他のインダクタなどの部品の最適な値を、測定とシミュレーションの両方から検討を行います。

平成 16 年度は、試作・評価の周波数は 2.4GHz 帯で行います。実証機に関しては、低損失基板を用いることにより低損失化を図ります。寸法は、50mm × 50mm（電源用のバイパスコンデンサを除く）程度を目標とします。回路規模の削減、および大容量キャパシタの削減に対する検討と、先述した電源電圧の低圧化によって、本自動整合回路は 3mm<sup>2</sup> 程度のアナログ・デジタル一体型 ASIC 化が可能であると考えられます。電源電圧は、ASIC 中に用いられるアナログ用の電源が±5V 程度、デジタル用の電源が 2.5V を目標としています。現時点では個別アナログ部品を用いているためアナログの電源電圧は±15V ですが、ASIC 化によって低電圧化されることとなります。

### 5-2-3 電波伝搬測定

#### 5-2-3-（1）研究開発状況

##### H 1 4 年度

実験局用周波数帯については、総務省移動通信課と第 1 回目の実験局周波数申請に先立つ事前調整打合せを行いました。現在、第 2 回目の打合せに向け資料作成中です。H 1 5 年度下期からの実験を目指し H 1 4 年度中に周波数帯を決定出来るようアクション中です。

##### H 1 5 年度

実験周波数の事前調整が長引き、平成 16 年 1 月に見込み周波数が得られ、無線部を発注し、2 月末の納品予定です。平成 16 年度の上期中に免許を取得し実験開始となります。

#### 5-2-3-（2）まとめと今後の課題

空間を利用する適応アンテナシステムの開発には電波伝搬特性の解明が必須ですが、100 MHz 級の広帯域伝送における移動機側の電波伝搬特性はこれまで明らかにされておりません。従い、本研究では、移動機受信に特化して電波伝搬測定を行います。

##### ①電波伝搬測定装置

これまで、H14 年度に送受信装置のデジタル部を導入し、H15 年度は下期に実験周波数帯の見込みが得られ発注し、現在納品を待つ状況です。平成 16 年度は上期中に、本電波伝搬測定装置の予備免許、本免許を得て、室内から屋外へと順次測定を行います。以下に導入する装置の仕様を示します。

電波伝搬測定装置の主要緒元

項目	緒元
送受信局数	1 × 1
中心周波数	4500MHz
占有周波数帯域幅	120 MHz
送信空中線電力	10 W
主搬送波の変調型式	パルス変調
主搬送波を変調する信号の性質	変調信号無し
伝送情報の型式	無情報
電波の型式	P0N
送信空中線型式	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 構成：2D uniform linear array (ULA)</li> <li>・ アンテナ素子数：2行×8列 -2偏波</li> <li>・ 垂直偏波：水平面内が± 60°程度、垂直面内が±30°程度.</li> <li>・ 水平偏波：水平面内が± 30°、垂直面内が±60°程度. (3 dB bound)</li> <li>・ スイッチ：16 MUX channels</li> </ul>
受信空中線型式	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 構成：3D stacked uniform cylindrical patch array (SUCPA)</li> <li>・ スタック段数：2</li> <li>・ アンテナ素子数：24素子（1スタック段当り）</li> <li>・ 偏波：垂直、水平</li> </ul>
超分解能による解析	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 送信／受信アンテナにおける電波の放射／到来方向</li> </ul>

	・遅延時間・ドップラー／到来波 など
--	-----------------------

## ②測定

平成 16 年度上期の後半に仮免許を得て装置の使用方法、取得データの解析方法を習得します。本免許を得た後に本格的な測定となります。

まずは、屋内無線 LAN システム向けに、オフィス等の屋内における伝搬測定を行います。測定結果は、適応アンテナの方式検討およびシミュレーション、また適応制御方式・アルゴリズムの検討（副課題ウ）にいち早くフィードバックします。

下期後半からは、屋外無線 LAN システム、(株)NTT ドコモ殿第四世代移動通信システム向けに、送信アンテナをビル屋上に設置し測定を行います。受信アンテナは自動車の外、自動車やバス内、電車内に設置して測定します。自動車やバス内、電車内は、ユーザーが動画像を見る環境であり、しかしながら、この環境での測定は従来行われていないため、唯一性が高い。実験場所は、新世代移動通信として、第四世代移動通信システムやホットスポットのサービス展開が予想される都心、準都心および郊外の中心部において行います。送信基地局アンテナの設置場所と受信移動局の移動範囲を、下表に示します。

屋外実験場所（送信基地局アンテナ設置場所、方位および角度）

東京都目黒区大岡山	緯度経度： (35° 36' 11.21", 139° 41' 01.98") 海拔高： 80 m（地上高：40 m） 指向性正面方位： 124.12° チルト角： 5°（電気）
川崎市中原区上小田中	緯度経度： (35° 34' 57.15", 139° 38' 31.94") 海拔高： 90 m（地上高：80 m） 指向性正面方位： 124.12° チルト角： 5°（電気）

横須賀市光の丘	緯度経度：	(35° 13' 15", 139° 40' 52")
	海拔高：	170 m (地上高：40 m)
	指向性正面方位：	150.42°
	チルト角：	5° (電気)

### (全体の今後の課題)

本研究開発を開始した平成 14 年度下期から平成 15 年度上期までの 1 年間は、従来バラクタダイオード (半導体素子) を用いた適応アンテナを、RF-MEMS 可変キャパシタや移相器に置き換えることを考えてきました。しかし、副課題アでの RF-MEMS 可変キャパシタおよび可変移相器の研究開発状況、さらに競合他社の研究開発状況を検討すると、現状の MEMS 製造技術や使用される材料では、バラクタダイオードと同程度の可変範囲を有する RF-MEMS 可変キャパシタ、およびバラクタダイオードで構成される移相器と同程度の分解能・可変範囲を有する RF-MEMS 移相器を試作することは、本研究開発期間では難しいことが分かってきました。

平成 15 年下期からは発想を逆転して、RF-MEMS デバイスの可変特性 (可変範囲、可変分解能等) を条件として、優れる方式、試作技術の研究開発を進めてきました。平成 16 年度も、本アプローチを基本として研究開発を行います。

## 5-3 制御方式・アルゴリズムの研究開発 (副課題ウ)

### 5-3-1 研究開発状況

#### H14 年度

H14 年 12 月中に、計算機および開発環境ソフトウェアを立ち上げるとともに、本格的な計算機シミュレーションによる制御アルゴリズムの開発を始めました。ターゲットのシステムは、OFDM 方式の無線 LAN、電波伝搬環境はマルチパスの多い室内モデルとしました。長遅延信号や 802.11g での干渉信号、Bluetooth や UWB 等のパーソナル・エリア・ネットワーク (PAN) での干渉信号を抑圧する方式を検討しています。成果として、受託元の富士通株式会社か

ら 1 件、再委託先の大阪大学から 1 件、特許を出願しました。学会発表は H 1 5 年度を予定しています。

中間目標および最終目標ともに新世代のセルラーシステム向けを想定しております。しかしながら、第 2 世代セルラーシステムが以前健在であるとともに、特に欧米において第 3 世代セルラーシステムの普及が大幅に遅れています。一方、近年、無線 LAN サービスの需要が急激に拡大し、特に米国において、数百 Mbps 級の高速・高品質伝送を無線 LAN で実現するための適応アンテナシステムの研究開発が活発化しています。現在、IP 電話が爆発的に普及しつつあり、固定電話だけでなく、現在加入者が飽和しつつあるセルラーシステムにおいても需要が激減し、新世代のセルラーシステムでは収益確保が見込めない可能性があります。

半固定の無線 LAN システムの電波伝搬環境は、セルラーシステムでは克服しなければならない過酷なフェージングやドップラー変動が存在しない分、適応アンテナの所要スペックが大幅に緩和されます。特に、本研究開発の MEMS デバイスを用いて RF 処理する適応アンテナの場合は早期の実用化が期待できます。

本研究開発から確実に収益を確保するためにも、セルラーシステムへの第一ステップとして、無線 LAN での実用化を目指します。15 年度は、無線 LAN 端末の形状および使用形態をターゲットとしたアンテナ・高周波回路、無線 LAN システムの電波伝搬環境に適応可能な MEMS デバイスや制御アルゴリズムを開発します。電波伝搬測定は室内～ホットスポットで行います。試作装置には無線 LAN の伝送フォーマットを実装します。

## H 1 5 年度

アンテナ指向性は、3 次元電磁界シミュレーションを用いたターゲット端末実装時の特性が副課題イより得られなかったため、一般的な無指向性アンテナを想定して検討を行いました。RF-MEMS デバイスの応答特性は、副課題アよりサンプルの結果が得られなかったため、概算で 1  $\mu$ sec でシミュレーションを行いました。ターゲットシステムとしては、OFDM 伝送方式の無線 LAN (802.11a/g) を土俵に創出した適応制御方式・アルゴリズムを評価しました。電波伝搬モデル



は、副課題イにおいて、電波伝搬測定が行われず特性が得られなかったため、COST や 3GPP で一般的に使われているモデルで評価を行いました。干渉信号は、PAN デバイスとして Bluetooth や UWB、無線 LAN では 2.4GHz 帯の 802.11b、電子レンジ、ホットスポット環境になると長遅延波も加えて検討を行いました。

RF-MEMS 可変キャパシタの所要スペックとしては、副課題イで検討の空間処理型アンテナは、バラクタダイオードと同程度必要であることを示しました。一方、RF-MEMS 移相器の所要ビット数は、あるシミュレーション条件下ではあるが、6 ビット程度は必要という見込みを示しました。両 RF-MEMS デバイスの動作速度は、当該無線 LAN 伝送フレームフォーマット上で検討した結果、数 $\mu$ sec 程度は欲しい結果となりました。

### 5-3-2 まとめと今後の課題

可変キャパシタを用いる適応アンテナとしては、前記我々の提案方式の他に、ATR で研究され実用化されたエスパ (ESPAR ; Electronically Steerable Passive Array Radiator) アンテナがあります。移相器を用いる適応アンテナとしては、RF 帯で重み付け合成処理する RF 処理型のアダプティブアレーアンテナ (RF-AAA) があります。RF-AAA において可変利得 LNA を用いない場合はフェーズドアレーアンテナとなります。他にも様々なアナログ処理型のアダプティブアレーアンテナが考えられますが、これらは、デジタル部において、合成後の一つの信号しか観測でないという欠点があります。デジタル処理型アダプティブアレーアンテナは、各アンテナの受信信号を観測し、デジタル信号処理により瞬時にアレー重み付けを決定できます (線形方程式を解くシステムに相当する)。一方、アナログ処理型アダプティブアレーアンテナは、合成後の一つの観測信号から複数のデバイスを制御するため、非線形システムの最適化問題に帰着されます。従い、非線形システムの最適化手法としては、最急降下法、共役勾配法、Newton 法、準 Newton 法が代表例として挙げられます。

#### ① 検討方式・アルゴリズム

これまで我々が検討してきた方式・アルゴリズムとして、

- (i) RF-MEMS デバイスの遅い動作速度を考慮した最急降下法、一次元探索法、準ニュートン法を用いた制御アルゴリズム

を提案しました。また、無線 LAN 規格の伝送フォーマットの特徴を活用し収束速度や出力 SINR を改善する方式として、

- (ii) 測定インパルスを用いてガードインターバルを超える遅延波をキャンセル除去する方式
- (iii) 判定帰還を用いる方式
- (iv) OFDM 信号のゼロキャリア（バーチャルサブキャリアとも呼ばれるれ、データが送られないサブキャリア）上に現れる干渉波電力をゼロにするように制御する方式
- (v) 上記非線形最適化方式のアルゴリズムとして、デバイス制御ステップを制御初期は粗くし収束とともに細かくするマルチ分解能制御 (Multi-resolution)方式（分解能一定 (Mono-resolution)方式に比べ大幅に収束速度を早めることができた）

を提案しました。一方、上記非線形システム最適化手法と全く異なるアプローチとして、移相器を用いる RF 処理型アダプティブアレーアンテナ向けに、

- (vi) 各アンテナのチャンネル応答を推定し、デジタル処理型アダプティブアレーアンテナの処理と同様に重み付けを行う手法

も提案しました。

平成 16 年度は、中間評価に向け、上記提案方式・アルゴリズムが実証機で有効であることが要求されます。従い、副課題アで試作される RF-MEMS 可変キャパシタおよび移相器のサンプル特性（周波数、可変範囲、応答速度など）を考慮して、前期提案制御方式・アルゴリズムのシミュレーション評価、改良、さらに、新しい制御方式・アルゴリズムの検討を行います。計算機シミュレーションを用いて、大阪大学と富士通株式会社が主に連携し実施します。

## ② RF-MEMS 応用適応アンテナの設置方式

一方これまで、本研究の RF-MEMS デバイス応用適応アンテナの設置方式として、従来の一つのブランチに設置する以外に、複数の受信デジタルダイバーシチブランチそれぞれに設置する構成を提案しました。さらに本提案設置構成が、送受信ともに複数のアンテナブランチで大容量伝送を行う MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) 伝送方式の受信機に応用することも提案しまし

た。これは我々の独自方式であり、特許出願済みです。平成 16 年度も引き続き、本提案設置構成において、上記提案あるいは新しい制御方式・アルゴリズムの検討を行います。

### ③ RF-MEMS 可変キャパシタを用いた適応アンテナ

適応制御方式・アルゴリズムの評価に用いる適応アンテナとして、これまで、RF-MEMS 可変キャパシタを用いる適応アンテナとしては前記 ESPAR アンテナを用いました。平成 16 年度は、中間評価に向け注力している前記提案の可変キャパシタ直列／並列装荷型適応アンテナ（副課題イー（2））に対して評価します。

### ④ RF-MEMS 移相器を用いた適応アンテナ

副課題イー（2）（RF-MEMS 移相器を用いた適応アンテナ）の項でも述べた通り、

（可変移相器が 360°アナログ可変の場合）

現在、アンテナブランチ数が 4、移相器が 360°アナログ可変、帯域幅が無線 LAN 規格 16.7 MHz に対応する RF-AAA 回路を試作中のため、試作後伝送実験結果を踏まえ、シミュレーション評価結果との比較を行います。

（可変移相器が分解能を持つデジタル可変の場合）

平成 16 年度に、副課題アで研究開発される RF-MEMS 移相器がデジタル型であり、そのビット数が 4 ビット程度となっています。そこで、ビット精度を 3～6 程度まで変化させ、提案制御方式・アルゴリズムを評価します。評価結果を副課題アとイにフィードバックします。所要のビット精度、アンテナ方式の要求とします。

（可変利得 LNA の有無について）

平成 15 年度は、可変利得 LNA の有無について深く議論しませんでした。平成 16 年度は詳細検討を行います。ハードウェアの観点からは、RF-AAA を構成する素子は可変利得 LNA 以外は受動素子であり双方向可能ですから、可変 LNA を外すと双方向となります。従い、送受分割方式（TDD か FDD か）に対してアフィニティ・フィージビリティが高くなります。アプリケーション範囲広がります（波及性が高くなります）。また RF-AAA の動作時消費電力は可変

LNA が大半を占めます。しかしながら、可変利得 LNA がなければ RF-AAA は単なるフェーズドアレーアンテナです。平成 15 年度のシミュレーション検討結果から、単純なビーム／ヌル・フォーミングはできるが、最適合成ができないため、希望信号および干渉信号の到来波角度広がりが多い場合に対応することができないことがわかってきました。実用化を念頭にハードウェアと受信性能の双方から、可変利得 LNA の採用か不採用かを検討します。アンテナブランチ数は 2～4 程度です。

#### ⑤ ターゲットシステム

計算機シミュレーションに用いるターゲットシステムは、OFDM 伝送方式の無線 LAN 規格 IEEE802.11a を主とします。平成 16 年度下期には、(株)NTT ドコモ第四世代移動通信システム、決定していれば次世代無線 LAN 規格 IEEE802.11n を検討します。

#### ⑥ 電波伝搬モデル

計算機シミュレーションに用いる電波伝搬モデルは、電波伝搬測定（副課題イ（4））の結果が得られるまでは、COST 等の一般的なモデルを用います。干渉信号はパーソナル・エリア・ネットワーク（PAN）では Bluetooth や UWB、無線 LAN では 2.4GHz 帯の 802.11b、ホットスポット環境になると長遅延波も加えて検討します。

#### ⑦ 定量的な評価手法

制御方式・アルゴリズムの評価は、実証機への応用を鑑み、定量的であることが望まれます。ターゲットシステムにおいて所要ビット誤り率を得るための、収束速度、RF-MEMS 可変キャパシタの可変範囲や移相器のビット数等の所要特性（→副課題ア）、アンテナ本数など。これらは、副課題イのシミュレーション評価と密に連携して実施します。

### 5-4 実証実験装置の開発（副課題エ）

#### 5-4-1 研究開発状況

H14 年度

伝送実験装置のデジタル部は、送受信側ともにH15年2月に納品されました。送信側の直交変調&周波数変換器として、Agilent社製シグナル・ジェネレータも2月に納品されました。送信側のパワーアンプおよびアンテナ、受信機は仕様検討中で、H15年度早々に発注予定です。受信用アンテナは副課題イで開発されます。

実験局用周波数帯については、総務省移動通信課と第1回目の実験局周波数申請に先立つ事前調整打合せを行いました。現在、第2回目の打合せに向け資料作成中です。H15年度下期からの実験を目指しH14年度中に周波数帯を決定出来るようアクション中です。

## H15年度

まず、無線 LAN 規格 IEEE802.11a/b/g 向けに、狭帯域伝送システムによる実証実験装置として、平成14年度導入した汎用の信号発生器（Agilent社製ベクトル・シグナル・ジェネレータ）と受信機（ベクトル・シグナル・アナライザ）で構成され、現時点でほぼ構築完了しています。適応制御部分は、Agilent社の計測ソフトウェア・ツール；Agilent VEE Proを導入したPCを前記ベクトル・シグナル・アナライザに接続し、検波した信号を取り込み、VEE Pro上に適応制御アルゴリズムを実装し動作させます。バイアス制御は、VEE Pro（on PC）からEthernetとGP-IB経由で直流安定化電源が制御されます。汎用測定器のため、様々な規格を様々な周波数で設定することができます。2,4 GHz帯での評価実験では、干渉信号として電子レンジとBluetoothを用います。Bluetoothは汎用の信号発生器（Agilent社製ベクトル・シグナル・ジェネレータ）を用います。本狭帯域伝送システム実験装置を用いて、前記の通りエスパアンテナを、ビット誤り率を測定し定量的に評価実証することができました。今後、他の適応アンテナも評価することができます。

しかしながら、狭帯域伝送システムは、汎用測定器とPC上の汎用アプリケーションソフトウェアを、IEEE1394、Ethernet、GP-IBインタフェースで簡易的に構築したシステムのため、処理速度が遅く、実際の伝送フレーム・ストリームから処理速度にあわせてフレームを間引いて取得しています。適応アンテナの簡単な性能評価はできますが、提案する適応制御方式・アルゴリズムを実際

の伝送フレーム・ストリーム上で評価することができません。そこで、提案する適応制御方式・アルゴリズムを含む適応アンテナの評価には、高速 A/D 変換ボードや高速データ処理用マルチ CPU ボードから構築する伝送システムを用いることにしました。本システムを用いて、適応アンテナおよび適応制御方式・アルゴリズムを、伝送フレーム・ストリーム上リアルタイム処理し、評価することができます。無線部は、無線 LAN 規格向けの仕様で、中心周波数が 5060 MHz、周波数帯幅が 16.6 MHz (99.9%占有帯幅)、送信空中線電力は 0.1 W (約 7.8 dBm/MHz. AGC による最大値)としました。現在試作中で、2 月末に納品され評価を行う予定です。実験は 3 月以降となります。

次に、(株)NTT ドコモ殿の第四世代移動無線システム等、新世代セルラー向けとして、広帯域伝送システムの開発を進めました。前記の高速デジタル信号処理システムをベースバンド処理として構成しています。無線部は、現在試作中で、主要緒元は、中心周波数が 4500 MHz、周波数帯幅が 102 MHz (99.9%占有帯幅)、送信空中線電力が 10 W となっています。基地局送信アンテナも現在試作中で、6 セクタ程度向けの単一指向性アンテナとなっています。

前記の、適応制御方式・アルゴリズムを含む適応アンテナの評価に使用する高速デジタル信号処理システムにおいて、ラックマウント PC での動画像処理はほぼ完了し、12 Mbps 程度の MPEG-2 フォーマットの動画像伝送を行えるコーディングになっています。ラックマウント間の導通試験は終了しました。しかしながら、送信側の D/A ボード上の最適 IF 周波数と、受信側の A/D ボード上の最適 IF 周波数が決まっていません。従い、IF 折り返しでの導通試験を終えていません。また、無線部の開発進捗に影響が出ています。実証実験装置の心臓部である当該高速デジタル信号処理部の開発を早急に進めなければならない状況です。

#### 5-4-2 まとめと今後の課題

無線信号伝送システムを開発し、前記の副課題アとイで研究開発される RF-MEMS 可変キャパシタ／移相器応用適応アンテナを受信アンテナに用いて、前記の副課題ウで研究開発される適応制御方式・アルゴリズムを受信装置のデジタル信号処理部に実装し、伝送ビット誤り率、受信コンスタレーション、伝

送動画像を測定し、従来アンテナと比較します。平成 15 度に引き続き、富士通株式会社が担当します。いち早く実験結果を、他の課題へフィードバックします。

### ① 狭帯域伝送システムによる実証実験

平成 14 年度導入した汎用の信号発生器 (Agilent 社製ベクトル・シグナル・ジェネレータ) と受信機 (ベクトル・シグナル・アナライザ) で構成され、現時点でほぼ構築完了しています。適応制御部分は、Agilent 社の計測ソフトウェア・ツール ; Agilent VEE Pro を導入した PC を前記ベクトル・シグナル・アナライザに接続し、検波した信号を取り込み、VEE Pro 上に適応制御アルゴリズムを実装し動作させます。バイアス制御は、VEE Pro (on PC) から Ethernet と GP-IB 経由で直流安定化電源が制御されます。汎用測定器のため、様々な規格を様々な周波数で設定することができます。2,4 GHz 帯での評価実験では、干渉信号として電子レンジと Bluetooth を用います。Bluetooth は汎用の信号発生器 (Agilent 社製ベクトル・シグナル・ジェネレータ) を用います。

本伝送システムは、汎用測定器と PC 上の汎用アプリケーションソフトウェアを、IEEE1394、Ethernet、GP-IB インタフェースで簡易的に構築したシステムのため、処理速度が遅く、実際の伝送フレーム・ストリームから処理速度にあわせてフレームを間引いて取得しています。適応アンテナの簡単な性能評価はできますが、提案する適応制御方式・アルゴリズムを実際の伝送フレーム・ストリーム上で評価することができません。

そこで、提案する適応制御方式・アルゴリズムを含む適応アンテナの評価には、図 1-1-(4)-1 (20 ページ) に示す、高速 A/D 変換ボードや高速データ処理用マルチ CPU ボードから構築する伝送システムを用います。本システムを用いて、適応アンテナおよび適応制御方式・アルゴリズムを、伝送フレーム・ストリーム上リアルタイム処理し、評価することができます。無線部は、無線 LAN 規格向けの仕様で現在試作中です。以下に狭帯域伝送システムの試作無線部の主要緒元を示します。

狭帯域伝送システムの試作無線部主要緒元

項目	緒元
中心周波数	5060 MHz
周波数帯幅	16.6 MHz (99.9%占有帯幅)
送信空中線電力	0.1 W (約7.8 dBm/MHz. AGCによる最大値)

新世代移動通信システムとして、ホットスポットなどの屋外無線 LAN を想定した実験装置となります。平成 16 年度上期中に実験免許を取得後、実験を行います。実験場所は、副課題イー（４）；電波伝搬測定と同じ場所で同様に行います。電波伝搬測定は、本システムのためでもあり、また相補の関係ともなります。

② 広帯域伝送システムによる実証実験

図 1-1-(4)-1 (20 ページ) に示した伝送システムを用います。(株)NTT ドコモ殿の第四世代移動無線システムの伝送フレームフォーマットを実装します。無線部は現在試作中です。以下に広帯域伝送システムの試作無線部の主要緒元を示します。周波数帯、空中線電力は副課題イー（４）；電波伝搬測定と同じです。空中線が電波伝搬測定のものとは異なり、6 セクタ程度の単一指向性アンテナとなっています。

広帯域伝送システムの試作無線部主要緒元

項目	緒元
中心周波数	4500 MHz
周波数帯幅	102 MHz (99.9%占有帯幅)
送信空中線電力	10 W
主搬送波の変調型式	位相変調／適応変調（ $\pi/4$ -位相変調、16QAM、64QAM)



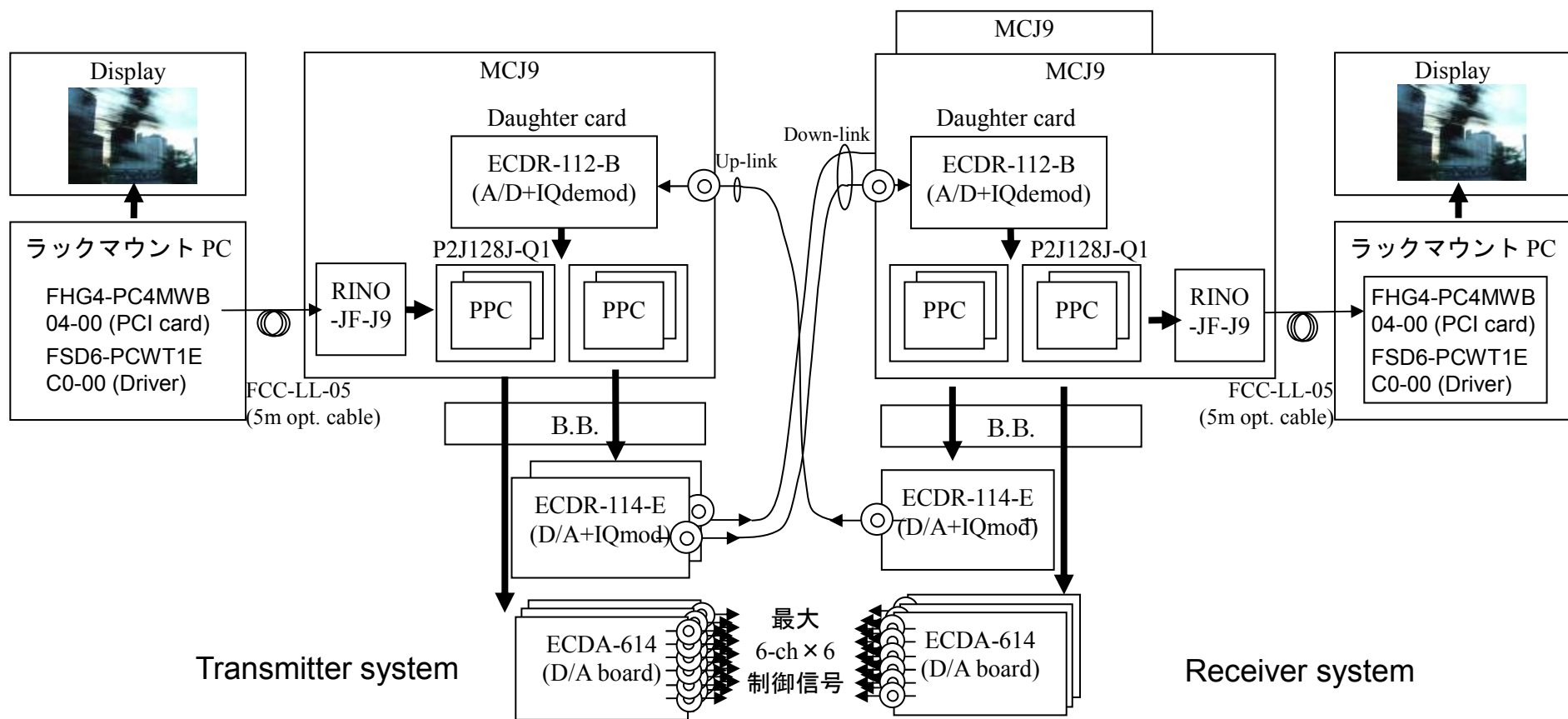
主搬送波を変調する 信号の性質	デジタル信号で複数チャネル
伝送情報の型式	データ伝送
電波の型式	G7D/D7D
空中線形式	垂直偏波：水平面内：±55°程度 垂直面内：±2°程度. 水平偏波：水平面内：±55° 垂直面内：±2°程度.
空中線利得	単一指向性：18 dBi 垂直面内：水平面 (0°方向)の相対利得：≤−17 dB (電 気チルト 5°) . 水平面内：固定マイクロ局へ与干渉を防ぐため次表に 示す条件を満たす.

広帯域伝送システムの空中線の水平面内利得条件

角度 [°] (時計回りが+)	水平面内指向性の条件 (相対利得) [dB]
−172.46	(−28.6
−170.49	(−26.6
−168.16	(−26.2
−165.36	(−26.1
−159.89	(−23.9
−153.59	(−23.8
−151.61	(−22.7
−149.62	(−21.7
−146.43	(−20.0
−143.44	≤−18.5
−140.14	≤−17.1
−130.57	≤−16.5
−127.33	≤−16.4
−123.27	≤−15.0

-123.24	$\leq -15.0$
-118.1	$\leq -13.5$
-89.07	$\leq -8.9$
-87.84	$\leq -8.6$
-58.68	$\leq -3.6$
-57.97	$\leq -3.5$
-56.57	$\leq -3.2$
-55.22	$\leq -3.0$
-38.36	$\leq -1.7$
-35.3	$\leq -1.4$
0	0
60.65	$\leq -4.7$
73.09	$\leq -7.8$
78.9	$\leq -8.9$
86.62	$\leq -10.9$
163.65	$\leq -36.3$
170.09	$\leq -31.2$
170.7	$\leq -30.6$
178.78	$\leq -33.3$
179.55	$\leq -31.5$

平成16年度上期中に実験免許を取得後、実験を行います。実験場所は、副課題イー（4）；電波伝搬測定、前記の狭帯域伝送システムと同じ場所で同様に  
 行います。



高速デジタル信号処理システム

今後の線表

開発項目	上期	下期	
<b>副課題ア) RF-MEMS デバイスの研究開発</b>			
	1. 可変キャパシタ		
	①シミュレーション、設計	低駆動電圧化	高Q化
	②試作・評価	プロセス技術	パッケージ化
	2. スイッチ		
	①シミュレーション、設計	低駆動電圧化	高Q化/高速スイッチング化
	②試作・評価	プロセス技術	パッケージ化
	3. 可変移相器		
	①シミュレーション、設計	構造検討/設計	高Q化
	②試作・評価	プロセス技術	パッケージ化
③RF スイッチ開発とインダクタの組み合わせ	RF スイッチ試作	組み合わせと評価	
<b>副課題イ) 適応アンテナの研究開発</b>			
	1. アンテナ自動整合回路	市販バラクタ版による評価	MEMS 版による評価
		小型化、低消費電力化	
	2. 可変キャパシタを用いた適応アンテナ	シミュレーションによる方式検討・評価、	
		設計	
	3. 移相器を用いた適応アンテナ	試作・評価 (バラクタ→MEMS)	
		シミュレーションによる方式検討・評価、	試作・評価 (MEMS)
	4. 電波伝搬測定	設計	本格実験
		試作・評価 (バラクタ)	
		実験局免許取得/装置使用ノウハウ取得	

副課題ウ) 適応制御方式・アルゴリズムの研究 開発 1. 可変キャパシタを用いた適応アンテナ 2. 移相器を用いた適応アンテナ	計算機シミュレーション	→
	計算機シミュレーション	→
副課題エ) 実証実験 1. 狭帯域伝送システムによる実証実験 2. 広帯域伝送システムによる実証実験	実験局免許取得                      屋内実験	屋外実験 →
	実験局免許取得                      屋外実験	→

## 5-5 総括

ターゲットシステムとして、中間目標および最終目標ともに新世代のセルラーシステムを想定しております。しかしながら、第2世代セルラーシステムが以前健在であるとともに、特に欧米において第3世代セルラーシステムの普及が大幅に遅れています。一方、近年、無線LANサービスの需要が急激に拡大し、特に米国において、数百Mbps級の高速・高品質伝送を無線LANで実現するための適応アンテナシステムの研究開発が活発化しています。現在、IP電話が爆発的に普及しつつあり、固定電話だけでなく、現在加入者が飽和しつつあるセルラーシステムにおいても需要が激減し、新世代のセルラーシステムでは収益確保が見込めない可能性があります。一方、半固定の無線LANシステムの電波伝搬環境は、セルラーシステムでは克服しなければならない過酷なフェージングやドップラー変動が存在しない分、適応アンテナの所要スペックが大幅に緩和されます。特に、本研究開発のRF-MEMSデバイスを用いてRF処理する適応アンテナの場合は早期の実用化が期待できます。このようなことから、本研究開発から確実に収益を確保するためにも、セルラーシステムへの第一ステップとして、まずは無線LANシステムでの実用化を目指すことが重要と考えられます。無線LAN端末の形状および使用形態をターゲットとしたアンテナ・高周波回路、無線LANシステムの電波伝搬環境に適応可能なMEMSデバイスや制御アルゴリズムの研究開発を早急に進めます。電波伝搬測定は室内～ホットスポットで行います。試作装置には無線LANの伝送フォーマットを実装します。

RF-MEMSデバイスの研究開発全般としては、実施計画通り、平成14年度から平成15年度にかけて製造装置（蒸着装置、スパッタ装置、イオンミリング装置など）の立ち上げ及び製造条件の確立を行い、デバイス試作に適用してきました。また、評価装置（ネットワークアナライザ、プローバー、バイポーラ電源など）を用いて高周波特性の評価系構築も完了しました。さらに高周波電磁界シミュレータを予定通り導入し、前年度導入した構造シミュレータと連携したシミュレーション手法を確立し、デバイスの設計に適用してきました。これらの結果、RF-MEMS可変キャパシタについては、精度良くサンプルが製作されるようになってきました。中間目標（平成16年度末）の達成が見えてき

ました。

適応アンテナシステム全般として、RF-MEMS サンプルを適応アンテナシステムへ実装し、世界に先駆けて RF-MEMS 応用の適応アンテナシステムを開発するために、アンテナ・高周波回路および制御方式・アルゴリズムを実験実証することを早急に進める必要があります。

## 参考資料、参考文献

- [1] I. Ida, J. Takada, T. Toda, and Y. Oishi, "Adaptive Control of Antenna Impedance Matching for Mobile Communication Systems," COST273, May 2003.
- [2] I. Ida, J. Takada, T. Toda, and Y. Oishi, "Effective range of drift reduction with an impedance converter for antenna measurements," COST273, Sept. 2003.
- [3] I. Ida, J. Takada, T. Toda, and Y. Oishi, "An adaptive impedance matching system and appropriate range for control elements," ECTI-CON May 2004.
- [4] I. Ida, J. Takada, T. Toda, and Y. Oishi, "An adaptive impedance matching system for mobile communication terminals," 信学技報 AP 研, 2004.3.
- [5] 井田, 高田, 戸田, 大石, "アダプティブ制御による移動体通信機用アンテナ自動整合装置," 信学総大, 2004.3.
- [6] I. Ida, J. Takada, T. Toda, and Y. Oishi, "An Adaptive Impedance Matching System for Mobile Communication Antennas," IEEE AP-S, June 2004.
- [7] 田中, 井田, 高田, 戸田, 横尾, 大石, "可変キャパシタンスを給電部に直列装荷した WLAN 機器用 RF 適応アンテナのダイバーシチアンテナ利得 (DAG) による性能評価," 信学技報 AP 研, 2003.12.
- [8] 田中, 井田, 高田, 戸田, 大石, "可変キャパシタによる重み制御回路を各給電部に装荷した RF 適応アンテナ," 信学技報 AP 研, 2004.3.
- [9] 田中, 井田, 高田, 戸田, 大石, "可変キャパシタを給電部に並列装荷した RF 適応アンテナ," 信学総大, 2004.3.
- [10] H. Tanaka, I. Ida, J. Takada, T. Toda, and Y. Oishi, "Diversity Antenna Loaded with Reactance Control Circuits Configured with Variable Capacitors for Effective Combining," Joint COST 273/284, June 2004.
- [11] H. Tanaka, I. Ida, J. Takada, T. Toda, and Y. Oishi, "Diversity Antenna Loaded with Variable capacitor in Parallel for Equal Phase Combining," submitted to IEICE ISAP, Aug. 2004.
- [12] S. Hara, Y. Irie, Y. Nakaya, T. Toda, and Y. Oishi, "Acceleration of Beamforming Speed for RF-MEMS-Implemented Phased Array Antenna," IEEE TCWCT, Oct. 2003.
- [13] 入江, Tran, 原, 中谷, 戸田, 大石, "RF-MEMS 移相器を用いたフェーズドアラレーアンテナ," 信学ソ大, 2003.9.
- [14] 入江, 原, 中谷, 戸田, 大石, "RF-MEMS デジタル移相器を用いたフェーズ



- ドアレーアンテナの適応制御アルゴリズム,” 信学技報 AP 研, 2003.11.
- [15] 入江, 原, 戸田, 中谷, 大石, “RF-MEMS デジタル移相器を用いたフェーズドアレーアンテナのビット誤り率特性,” 信学技報 AP 研, 2004.3.
- [16] 梅田, 入江, Tran, 戸田, 中谷, 大石, “RF-AAA において準ニュートン法を用いた制御アルゴリズム,” 信学総大, 2004.3.
- [17] S. Hara, M. Umeda, Y. Nakaya, T. Toda, and Y. Oishi, “Performance Evaluation of Terminal-Side Adaptive Array Antenna Systems,” submitted to IEEE WPMC, Sept. 2004.
- [18] S. Hara, M. Umeda, Y. Nakaya, T. Toda, and Y. Oishi, “A Hybrid RF-Analog/Digital Approach for Terminal-Side Adaptive Array Antenna,” submitted to IEEE VTC, Sept. 2004.
- [19] 中谷, 戸田, 原, 大石, “RF 処理型アダプティブアレーアンテナを用いた MIMO 受信機,” 信学ソ大, 2003 年 9 月.
- [20] Y. Nakaya, T. Toda, S. Hara, and Y. Oishi, “Incorporation of RF-adaptive Array Antenna into MIMO Receivers,” IEEE TCWCT, Oct. 2003.
- [21] Y. Nakaya, T. Toda, S. Hara, and Y. Oishi, “Performance Evaluation for an RF-AAA Employed in MIMO Receiver,” IEEE WPMC, Oct. 2003.
- [22] 中谷, 戸田, 原, 大石, “RF 処理型アダプティブアレーを用いた MIMO-OFDM システムの受信時におけるチャネル推定方法の提案とその BER 特性,” 信学技報 AP 研, 2004.3.
- [23] 中谷, 戸田, 大石, 原, “RF 処理型適応アレーアンテナにおけるチャネル推定方法の一検討,” 信学総大, 2004.3.
- [24] Y. Nakaya, T. Toda, S. Hara, and Y. Oishi, “An RF-adaptive array antenna incorporated in a MIMO Receiver under Interference,” IEEE VTC, May 2004.
- [25] Y. Nakaya, T. Toda, S. Hara, and Y. Oishi, “RF-adaptive array antenna used on MIMO Receiver under Interference,” IEEE ICC, June 2004.
- [26] Y. Nakaya, T. Toda, S. Hara, and Y. Oishi, “A study on reactively steered adaptive array in OFDM systems,” IEEE AP-S Int’l Symp., 2003.
- [27] 戸田, 中谷, 原, 大石, “インパルス応答とバーチャルサブキャリアを用いた干渉除去用アダプティブアレー,” 信学総大, 2003.3.
- [28] 中谷, 原, 大石, 戸田, “OFDM 用適応アンテナにおける干渉抑圧アルゴリズムの高速化,” 信学総大, 2003.3.

- [29] S. Hara, Y. Irie, Y. Nakaya, T. Toda, and Y. Oishi, "A Response-Aware Control Method for Analog Adaptive Array Antenna," IEEE PIMRC, Sept. 2003.
- [30] Y. Irie, S. Hara, Y. Nakaya, T. Toda, and Y. Oishi, "A Beamforming Method for a Reactively Steered Adaptive Array Antenna with RF-MEMS Device," IEEE TCWCT, Oct. 2003.
- [31] Tran, 入江, 原, 戸田, 中谷, 大石, "MEMS 可変リアクタを用いたエスパアンテナの最急勾配法と一次元探索法による収束特性の比較," 信学総大, 2004.3.
- [32] 入江, 原, 中谷, 戸田, 大石, "RF-MEMS 可変リアクタンスを用いたエスパアンテナの適応制御アルゴリズム," 信学技報 AP 研, 2003.9.
- [33] Tran, 入江, 原, 中谷, 戸田, 大石, "RF-MEMS 可変リアクタを用いたエスパアンテナのビームフォーミングアルゴリズム," 信学ソ大, 2003.9.
- [34] 本田, 戸田, 中谷, 横尾, 大石, "2.4GHz 帯無線 LAN におけるエスパアンテナを用いた干渉波抑圧実験," 信学技報 AP 研, 2004.3.
- [35] 本田, 戸田, 中谷, 横尾, 大石, "2.4GHz 帯無線 LAN におけるエスパアンテナを用いた干渉波抑圧実験," 信学総大, 2004.3.
- [36] A. Honda, T. Toda, Y. Nakaya, Y. Oishi, and J. Takada, "Experimental Verification for ESPAR Antenna to Suppress Interference in 2.4GHz Band Wireless LAN Transmission," submitted to IEICE ISAP, Aug. 2004.

(添付資料)

## 1 研究発表、講演、文献等一覧

### 1 - (1) 国際学会 (採録決定)

査読有り：15件

査読無し：4件 (再委託先の東京工業大学が EU の共同研究プロジェクト COST273 "Towards Mobile Broadband Multimedia Networks"へ参加し、電波伝搬および携帯機搭載アンテナに関しヨーロッパの各研究機関との研究交流を積極的に行ったものです。)

No.	査読有	発表方法	学会名	著者名	タイトル	発表日
01	○	口頭	14th IEEE International Symposium on Personal Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC) 2003, Beijing, China	原晋介・入江祐司(阪大)、中谷勇太・戸田健・大石泰之(富士通)	A Response-Aware Control Method for Analog Adaptive Array Antenna	H15.09.07~10
02	無	口頭	COoperation européenne dans le domaine de la recherche Scientifique et Technique (COST) 273 7th Management Committee Meeting & Workshop, Paris France	井田一郎・高田潤一(東工大)、戸田健・大石泰之(富士通)	Adaptive Control of Antenna Impedance Matching for Mobile Communication Systems	H15.05.20~23
03	○	口頭	2003 IEEE Topical Conference on Wireless Communication Technology (TCWCT'03), Waikiki, Hawaii	入江祐司・原晋介(阪大)、中谷勇太・戸田健・大石泰之(富士通)	A Beamforming Method for a Reactively Steered Adaptive Array Antenna with RF-MEMS Device	H15.10.15~17

04	○	口頭	2003 IEEE Topical Conference on Wireless Communication Technology (TCWCT'03, Waikiki, Hawaii)	原晋介・入江祐司(阪大)、中谷勇太・戸田健・大石泰之(富士通)	Acceleration of Beamforming Speed for RF-MEMS-Implemented Phased Array Antenna	H15.10. 15~17
05	○	口頭	2003 IEEE Topical Conference on Wireless Communication Technology (TCWCT'03, Waikiki, Hawaii)	中谷勇太・戸田健(富士通)、原晋介(阪大)、大石泰之(富士通)	Incorporation of RF-adaptive Array Antenna into MIMO Receivers	H15.10. 15~17
06	○	口頭	6th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC'03)	中谷勇太・戸田健(富士通)、原晋介(阪大)、大石泰之(富士通)	Performance Evaluation for an RF-AAA Employed in MIMO Receiver	H15.10. 19~22
07	○	口頭	The IEEE International Conference on Communications 2004 (ICC'04)	中谷勇太・戸田健・大石泰之(富士通)、原晋介(阪大)、	RF-adaptive array antenna used on MIMO Receiver under Interference	H16.06. 20~24
08	○	口頭	The IEEE Vehicular Technology Conference 2004 Spring (VTC'04-spring)	中谷勇太・戸田健(富士通)、原晋介(阪大)、大石泰之(富士通)	An RF-adaptive array antenna incorporated in a MIMO Receiver under Interference	H16.05. 11~14
09	無	口頭	COoperation européenne dans le domaine de la recherche Scientifique et Technique (COST) 273, 8th Management Committee Meeting, Paris France, Prague, Czech Rep.	井田一郎・高田潤一(東工大)、戸田健・大石泰之(富士通)	Effective range of drift reduction with an impedance converter for antenna measurements	H15.09. 24-26
10	○	口頭	The 2004 ECTI annual conference (ECTI-CON 2004)	井田一郎・高田潤一(東工大)、戸田健・大石泰之(富士通)	An adaptive impedance matching system and appropriate range for control elements	H16.5.1 3-14

11	○	口頭	2004 IEEE AP-S International Symposium and USNC/URSI National Radio Science Meeting	井田一郎・高田潤一(東工大)、戸田健・大石泰之(富士通)	An Adaptive Impedance Matching System for Mobile Communication Antennas	H16.6.20 -26
12	○	口頭	2004 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP'04)	本田敦・戸田健・中谷勇太・横尾郁(富士通)、高田潤一(東工大)、大石泰之(富士通)	Experimental Verification for ESPAR Antenna to Suppress Interference in 2.4GHz Band Wireless LAN Transmission	H16.8.17 -21
13	○	口頭	2004 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP'04)	田中宏哉・井田一郎・高田潤一(東工大)、戸田健・大石泰之(富士通)	Diversity Antenna Loaded with Variable Capacitor in Parallel for Equal Phase Combining	H16.8.17 -21
14	○	口頭	7th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC'04)	原晋介・梅田雅敬(阪大)、中谷勇太・戸田健・大石泰之(富士通)	Performance Evaluation of Terminal-Side Adaptive Array Antenna Systems	H16.09. 12~15
15	○	口頭	The IEEE Vehicular Technology Conference 2004 Fall (VTC'04-fall)	原晋介・梅田雅敬(阪大)、中谷勇太・戸田健・大石泰之(富士通)	A Hybrid RF-Analog/Digital Approach for Terminal Side Adaptive Array Antenna	H16.09. 26~29
16	無	口頭	Joint COST (COoperation européenne dans le domaine de la recherche Scientifique et Technique) 273/284, Workshop on Antennas and Related System Aspects in Wireless Communications, Gothenburg, Sweden.	田中宏哉・井田一郎・高田潤一(東工大)、戸田健・大石泰之(富士通)	Diversity Antenna Loaded with Reactance Control Circuits Configured with Variable Capacitors for Effective Combining	H16.6.7 -10
17	無	口頭	Joint COST (COoperation européenne dans le domaine de la recherche Scientifique et Technique) 273/284, Workshop on Antennas and Related System Aspects in Wireless Communications, Gothenburg, Sweden.	井田一郎・高田潤一(東工大)、戸田健・大石泰之(富士通)	An Adaptive Impedance Matching System for Mobile Antennas	H16.6.7 -10

18	○	口頭	3rd International Symposium on Communication and Information Technologies (ISCIT 2003)	サターボン プロムウォン, 蜂谷 渉, 高田潤一 (東工大), ピチャヤ スパナクーン, プラキット タン ティ サ ノ ン (KMITL)	Experimental Study of Ultra Wideband Transmission Based on Friis' Transmission Formula	H15.9.3-5
19	○	口頭	26th Electrical Engineering Conference (EECON26)	サターボン プロムウォン, 蜂谷 渉, 高田潤一 (東工大), ピチャヤ スパナクーン, プラキット タン ティ サ ノ ン (KMITL)	Free Space Transmission Measurements of Ultra Wideband Antenna for Wireless Personal Area Network	H15.11.6-7

1 - (2) 国内学会

査読無し：21件

No.	査読有	発表方法	学会名	著者名	発表タイトル	発表日程
20	無	口頭	2003 年電子情報通信学会ソサイエティ大会	中谷勇太・戸田健(富士通)、原晋介(阪大)、大石泰之(富士通)	RF 処理型アダプティブアレーアンテナを用いた MIMO 受信機	H15.09.23~26
21	無	口頭	2003 年電子情報通信学会ソサイエティ大会	Tran Quc Tuan・入江祐司・原晋介(阪大)、中谷勇太・戸田健・大石泰之(富士通)	RF-MEMS 可変リアクタを用いたエスパアンテナの干渉波除去アルゴリズム	H15.09.23~26

22	無	口頭	2003 年電子情報通信学会ソサイエティ大会	入江祐司・Tran Quoc Tuan・原晋介(阪大)、中谷勇太・戸田健・大石泰之(富士通)	RF-MEMS 移相器を用いたフェーズドアレーアンテナの干渉波除去アルゴリズム	H15.09.23~26
23	無	口頭	2003 年電子情報通信学会アンテナ・伝播 (AP)研究会 9 月	入江祐司・原晋介(阪大)、中谷勇太・戸田健・大石泰之(富士通)	RF-MEMS 可変リアクタンスを用いたエスパアンテナの適応制御アルゴリズム	H15.09.11
24	無	口頭	2003 年電子情報通信学会アンテナ・伝播(AP)研究会 11 月	入江祐司・原晋介(阪大)、中谷勇太・戸田健・大石泰之(富士通)	RF-MEMS デジタル移相器を用いたフェーズドアレーアンテナ	H15.11.21
25	無	口頭	2003 年電子情報通信学会アンテナ・伝播(AP)研究会 12 月	田中宏哉・井田一郎・高田潤一(東工大)、戸田健・横尾郁・大石泰之(富士通)	可変キャパシタンスを給電部に直列装荷した WLAN 機器用 RF 適応アンテナのダイバーシチアンテナ利得 (DAG) による性能評価	H15.12.11
26	無	口頭	2004 年電子情報通信学会総合大会	中谷勇太・戸田健・大石泰之(富士通)、原晋介(阪大)	RF 処理型適応アレーアンテナにおけるチャンネル推定方法の一検討	H16.3.2 2-25
27	無	口頭	2004 年電子情報通信学会総合大会	本田敦・戸田健・中谷勇太・横尾郁・大石泰之(富士通)	2.4GHz 帯無線 LAN におけるエスパアンテナを用いた干渉波抑圧実験	H16.3.2 2-25
28	無	口頭	2004 年電子情報通信学会総合大会	井田一郎・高田潤一(東工大)、戸田健・大石泰之(富士通)	アダプティブ制御による移動体通信機用アンテナ自動整合装置	H16.3.2 2-25

29	無	口頭	2004年電子情報通信学会総合大会	田中宏哉・井田一郎・高田潤一(東工大)、戸田健・大石泰之(富士通)	可変キャパシタを給電部に並列装荷した RF 適応アンテナ	H16.3.2 2-25
30	無	口頭	2004年電子情報通信学会総合大会	梅田雅敬・入江祐司・Tran Quc Tuan・原晋介(阪大)、戸田健・中谷勇太・大石泰之(富士通)	MEMS 可変リアクタを用いたエスパアンテナの最急勾配法と一次元探索法による収束特性の比較	H16.3.2 2-25
31	無	口頭	2004年電子情報通信学会総合大会	Tran Quc Tuan・入江祐司・原晋介(阪大)、戸田健・中谷勇太・大石泰之(富士通)	RF-AAA において準ニュートン法を用いた制御アルゴリズム	H16.3.2 2-25
32	無	口頭	2004年電子情報通信学会アンテナ・伝播(AP)研究会3月「YRP 移動通信ワークショップ」	中谷勇太・戸田健(富士通)、原晋介(阪大)、大石泰之(富士通)	RF 処理型アダプティブアレーを用いた MIMO-OFDM システムの受信時におけるチャネル推定方法の提案とその BER 特性	H16.3.3- 5
33	無	口頭	2004年電子情報通信学会アンテナ・伝播(AP)研究会3月「YRP 移動通信ワークショップ」	本田敦・戸田健・中谷勇太・横尾郁・大石泰之(富士通)	2.4GHz 帯無線 LAN におけるエスパアンテナを用いた干渉波抑圧実験	H16.3.3- 5
34	無	口頭	2004年電子情報通信学会アンテナ・伝播(AP)研究会3月「YRP 移動通信ワークショップ」	田中宏哉・井田一郎・高田潤一(東工大)、戸田健・大石泰之(富士通)	可変キャパシタによる重み制御回路を各給電部に装荷した RF 適応アンテナ	H16.3.3- 5



				通)		
35	無	口頭	2004年電子情報通信学会アンテナ・伝播(AP)研究会3月「YRP移動通信ワークショップ」	井田一郎・高田潤一(東工大)、戸田健・大石泰之(富士通)	An adaptive impedance matching system for mobile communication terminals	H16.3.3-5
36	無	口頭	2004年電子情報通信学会アンテナ・伝播(AP)研究会3月「YRP移動通信ワークショップ」	入江祐司・原晋介(阪大)、戸田健・中谷勇太・大石泰之(富士通)	RF-MEMS デジタル移相器を用いたフェーズドアレーアンテナのビット誤り率特性	H16.3.3-5
37	無	口頭	2004年電子情報通信学会総合大会	蜂谷渉, サターポンプロムウォン, 高田潤一(東工大)	UWB アンテナのパルス伝送特性評価法	H16.3.2-25
38	無	口頭	2004年電子情報通信学会総合大会	サターポン プロムウォン, 蜂谷渉, 高田潤一(東工大)	Evaluation of Free Space Transmission Gain of UWB-IR systems	H16.3.2-25
39	無	口頭	2004年電子情報通信学会マイクロ波(MW)研究会7月	サターポン プロムウォン, 蜂谷渉, 高田潤一(東工大), プラキット タンティサノン(KMITL)	Experimental Evaluation of the Free Space Transmission Characteristics of Ultra Wideband Antennas	H15.7.3-0-8.1
40	無	口頭	2004年電子情報通信学会ワイドバンドシステム研究会(WBS)研究会10月	サターポン プロムウォン, 蜂谷渉, 高田潤一(東工大)	Accurate Measurement of the Transfer Function of UWB Antennas	H15.10.30-31

## 2 受賞

### 1. The 2004 ECTI annual conference (ECTI-CON 2004) Best Paper Award

- (1) 賞の名称： The 2004 ECTI annual conference (ECTI-CON 2004) Best Paper Award
- (2) 表彰機関・団体： Electrical Engineering Electronics Computer, Telecommunications and Information Technologies Association of Thailand (ECTI)
- (3) 表彰された功績： An Adaptive Impedance Matching System and its Application to Mobile Antennas
- (4) 表彰の内容(物・金額)： 賞状
- (5) 代表受賞者(所属,氏名)： 井田一郎 (東工大)
- (6) 共同受賞者(所属,氏名)： 高田潤一(東工大)、戸田健・大石泰之(富士通)
- (7) 受賞年月日： 2004年5月13日
- (8) 賞の概略： 最優秀論文賞 (全118件中2件が受賞)



**ECTI Conference  
2004**

*The First Electrical Engineering/Electronics, Computer,  
Telecommunications, and Information Technology (ECTI)  
Annual Conference*

# Best Paper Award

**An Adaptive Impedance Matching System and  
Appropriate Range for Control Element**

*Ichirou Ida\*, Jun-ichi Takada\*, Takashi Toda, and Yasuyuki Oishi*

*\*Tokyo Institute of Technology, \*\*Fujitsu Limited*

Prof. Dr. Monai Krairiksh  
*Technical Program Chair*

Prof. Dr. Sawasd Tantaratana  
*General Chair*



The Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications,  
and Information Technology (ECTI) Association