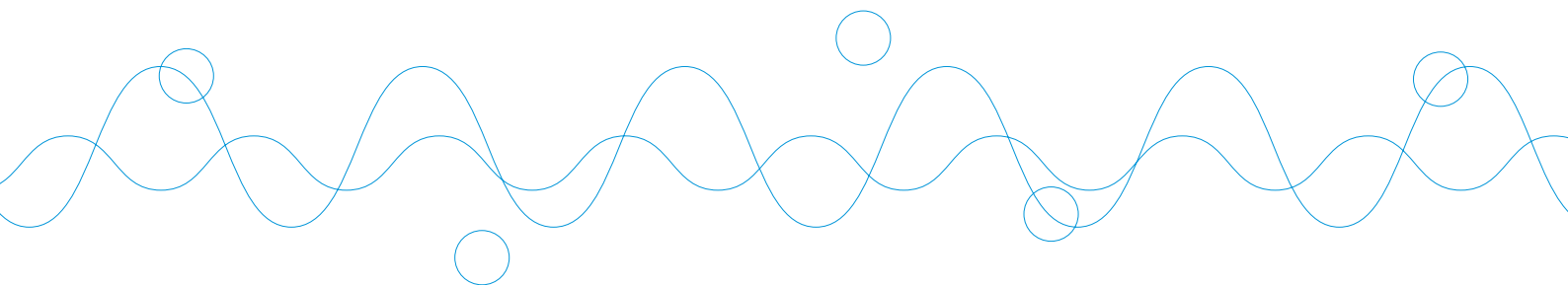


ATTAATC A AAGA C CTAAC TCTCAGACC
AAT A TCTATAAGA CTCTAACT
CTCGCC AATTAATA
TTAATC A AAGA C CTAAC TCTCAGACC
AAT A TCTATAAGA CTCTAAC
TGA C CTAAC TCTCAGACC

戦略プログラム

ユビキタス情報社会を支える 無線通信基盤技術の統合型研究開発

0101 000111 0101 00001
001101 0001 0000110
0101 11
0101 000111 0101 00001
001101 0001 0000110
0101 11
00110 11111100 00010101 011



Executive Summary

この戦略プログラムは、近未来に到来が予想されているユビキタス情報社会においてキー技術の一つとなる無線通信の基盤技術に関して、通信方式から回路・デバイス・材料まで一貫した思想で研究開発をおこなうことを提案する。

携帯電話の普及は人々の生活やビジネスを変革し、さらには文化にまで影響を及ぼしている。今後は身の回りには多様なものの中にコンピュータチップやセンサなどが組み込まれ、それらがネットワークで結ばれることによって、利便性・安全性・経済性が提供される「ユビキタス情報社会」の到来が予想されている。今後15～20年以内に1兆個のデバイスがネットワークで結ばれるとの予想もあり、これは現在の携帯電話加入者数の数百倍に達する。そこで用いられるネットワークは、場所の制約を受けないという利便性の観点から無線通信ネットワークであることが必須である。したがって無線通信技術の重要性は、今後格段に高まるものと予想される。

「ユビキタス情報社会」では、当面の主な用途である携帯電話ばかりでなく、現在は想定されていない新たな用途に適した多様な技術が必要になる。たとえば、体内に入れられたセンサとの通信を想定すると、雑音に強くかつ信頼性の高い通信方式、低消費電力技術、超小型アンテナ技術などが必要になる。新たな用途から生じる多様な要求を単一の方式で満足させることはできず、また既存技術の単なる改良では限界があるため、新たな発想で研究開発に取り組む必要がある。逆に新たな用途や要求仕様が見えてくると、そこから新たな研究開発課題が提供される。このような観点から、本戦略プログラムでは、従来ややもすると各専門分野に閉じておこなわれる傾向のあった研究開発を、よりオープンにし、異なる分野間の連携を強めて推進することを提案する。

無線通信技術の基礎には、変調、符号化、暗号化、認証、多元接続などの要素技術があり、これらには数学が深く関わっている。したがって、無線通信技術の研究者と数学者が共同で方式の研究を行うことを提案する。これによって従来方式の単なる延長ではない新たなアイデアが生まれることが期待できる。とくに無線通信の特徴として、利用できる電波帯域は有限であり、それを最大限に有効に利用しなければならない。この観点からは、未利用周波数帯の有効利用技術、微小セルなど空間多重技術、割り当て済み周波数の動的利用技術などが重要であり、これらの新しい通信方式に関する研究開発課題に取り組む。

新たな方式とともに、それを実現する回路・デバイス、さらには材料の研究も重要である。より具体的には、高周波回路、デジタル／アナログ混載回路、アンテナ、高周波材料など多くの分野における研究開発課題がある。これらはハードウェアだけでなくソフトウェアの要素も大きい。これらについても方式の研究者との連携を取り、実現しようとするシステ

ムを具体的に想定して回路・デバイス・材料に対する要求仕様を明らかにし、それを満たしうるものを研究開発する。逆にデバイス・材料レベルから回路レベルへ、さらに方式レベルへと、技術の現状と進展の見通しをフィードバックすることによって、全体として効率の良い、かつ調和の取れた研究開発を可能にする。

我が国の無線通信技術は、アンテナ伝搬、マイクロ波・ミリ波などのハードウェア技術、ネットワーク符号化などの分野は伝統的に強く、最近では複数の無線通信ノードをつないだ協調無線通信方式などの新しい研究領域で世界をリードするなど、研究者層も技術者層も世界のトップレベルにある。また材料・デバイス技術においても水晶デバイスをはじめ世界をリードしている分野が数多くある。しかしながら従来の研究開発は、分野ごとの研究者によって独立して行われる傾向があり、そのために我が国全体としての力が十分に結集されなかったきらいがあった。欧米においては「ユビキタス情報社会」の到来を見据え、本分野の研究が活発化している。米国や欧州では、動的に周波数を利用して周波数の有効利用を図るコグニティブ無線技術や、消費電力を考慮した無線センサネットワーク、移動端末デバイスを用いた新世代のサービスやアプリケーションなどの研究が始まっている。したがって、我が国の現状は楽観できるものではない。この戦略プログラムでは、方式から回路・デバイス・材料まで一貫した思想で研究開発をおこなうことにより、この分野の学術的・産業技術的なレベルアップを図り、社会基盤の構築、産業競争力強化、さらには人材育成に挑戦することを提案する。

我が国における通信技術の公的研究機関による研究開発は、情報通信研究機構（NICT）を中心に推進されているが、この戦略プログラムではより基盤的な技術の研究を大学等が主体となって実施することを提案している。この提案に基づく研究の成果が、将来、NICTや産業界による実用化フェーズの研究開発に引き継がれ、さらに、国と産業界が一体となって国際的な標準に発展させることにより、「ユビキタス情報社会」の基盤を支える技術を形成する。

目 次

1. 提案の内容	1
2. 研究投資する意義	5
3. 具体的な研究開発課題	7
4. 研究開発の推進方法	11
5. 科学技術上の効果	13
6. 社会・経済的效果	14
7. 時間軸に関する考察	15
8. 検討の経緯	16
9. 研究開発課題の詳細	17
10. 国内外の状況	23
参考資料.....	26
付録1 統合無線技術検討会参加者および検討協力者.....	28
付録2 用語集.....	29

1. 提案の内容

「ユビキタス情報社会を支える無線通信基盤技術の統合型研究開発」とは、従来の方式にとらわれないパラダイムシフトを狙った新しい無線通信方式を提案し、その実現のために、新しいソフトウェア、アーキテクチャ、回路、材料・デバイスなどの研究開発を相互に連携をとりつつ推進し、必要に応じた伝送性能、信頼性、および可用性を提供するという無線通信基盤技術の研究開発のことである。

本提案で取り組む研究課題は、図1に示すように、新しい方式の研究(コラム1)、回路・アンテナ技術の研究、材料・デバイス技術の大きく3つの研究から構成される。これらの研究課題にはそれぞれ複数の項目がある。各研究課題には相互に関連し、連携をとりながら研究を進めるべきものがあるので、進捗状況に応じて連携をとりながら実施する。

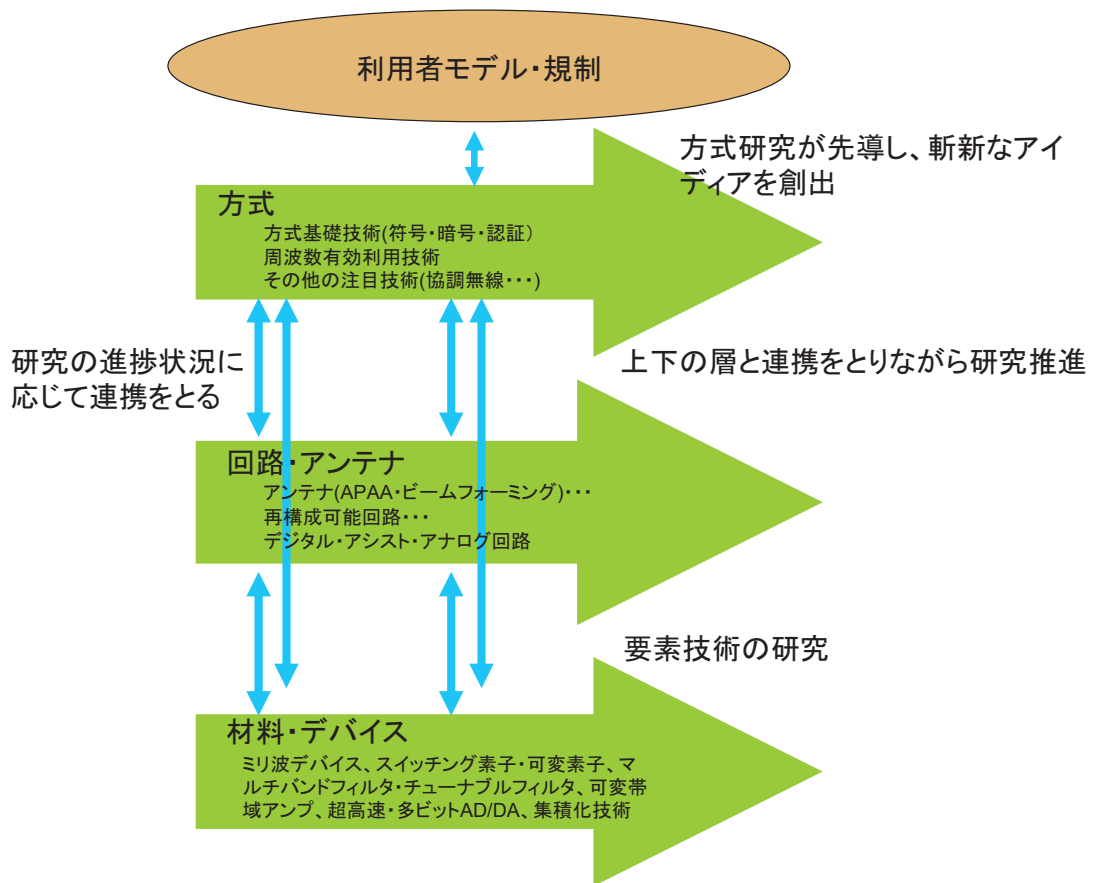


図1 無線通信基盤技術の研究開発要素とその連携

- 1 提案の内容
- 2 研究投資する意義
- 3 具体的な研究開発課題
- 4 研究開発の推進方法
- 5 科学技術上の効果
- 6 社会・経済的効果
- 7 時間軸に関する考察
- 8 検討の経緯
- 9 研究開発課題の詳細
- 10 国内外の状況
- 参考資料・付録

コラム1：無線通信の方式研究

初期の携帯電話は、アナログ方式で技術的に困難さの少ない周波数分割多元接続（FDMA）という方式であった。普及が進み利用者が増えデータ通信のような使われ方が広まり、周波数が不足するようになった。そこで、周波数を効率よく利用できるが、技術的には複雑な符号分割多元接続（CDMA）という画期的な方式が開発され、主流となっている。現在の周波数不足を打開するには新たな技術革新が必要である。本提案の研究課題の一つである新しい方式の研究開発は、このような周波数利用の革新を意図している。

(1) 研究課題

(1-1) 新しい方式の研究開発

次のような研究課題に取り組む。

- ・方式基礎技術(符号化、暗号、認証など)
- ・周波数有効利用技術
- ・協調無線・仮想MIMOなどの新技術

符号化、暗号化、および認証方式に関しては、今後のアプリケーションの多様化や通信の高速化に応じた研究が重要となる。周波数有効利用技術としては、複数の周波数や通信方式を動的に有効利用するため、いろいろな周波数での伝搬状況を調べて要求された特性を満足するように電波を利用する方式（コグニティブ無線）に関して限定的な形で研究が行われている。しかし、広い周波数帯域を特定の利用者に周波数を割り当ててではなく、自律分散協調的に空いている周波数を利用するような汎用的な周波数有効利用技術はほとんど手付かずであり、重要な課題である。さらに、有線通信との連携、協調も信頼性や可用性向上のためには重要な要素であり、多数の無線ノードが相互に補完・協調するような新しい方式の研究も重要課題である。

(1-2) 回路・アンテナの研究開発

次のような研究課題に取り組む。

- ・アンテナ技術
- ・リコンフィギュラブル(再構成可能)回路などの回路技術

新しい無線通信方式を実現するためには、多様な方式に柔軟に対応できるよう、動的に特性や機能を変更できる柔軟な無線インタフェースが必要になる。そのためには、方式の研究と並行して、複数の無線周波数、方式、およびネットワークに対する多様な要求に応える技術開発を進める。

アンテナ技術や電波伝搬に関しては、アンテナとそれに接続される高周波回路との一体化や、電波の輻射される方向を動的に変えられるアダプティブアンテナな

ど、柔軟な無線インタフェースを提供するのに必要な研究を実施する。さらに、無線通信で考慮しなければならない漏洩対策、耐混信や耐妨害などに優れた方式が得られれば、より信頼性・安全性の高い無線通信が可能になる。

(1-3) 材料・デバイスの研究開発

次のような研究課題に取り組む。

- ・ミリ波デバイス
- ・スイッチング素子や可変素子
- ・マルチバンドフィルタ、チューナブルフィルタ
- ・可変帯域アンプ
- ・超高速、多ビットAD/DA変換器
- ・集積化技術

新しい方式を実現するために要求される具体的な技術的要件は、研究を進める過程であきらかになるため、これら材料技術・デバイス技術の研究は、中長期的に多様な要求に応えられるような研究を進める必要がある。具体的には、マルチバンド、チューナブル、あるいはリコンフィギュラブルな物理層が必須である。また実用的な端末やセンサネットワークのノードに応用するためには、これらは小型かつ低消費電力であることが必須である。そのための研究課題のうち、先進的な基盤技術として、マルチバンドやチューナブルな高周波フィルタ技術（強誘電体材料等の材料技術などを含む）、これらのデバイスの集積化技術などの研究開発を並行して実施する。

(2) 研究の進め方

本提案の目的を達するためには、方式、回路・アンテナ、および材料・デバイスの研究者が相互に連携して研究を進める必要がある。新しい方式の研究を進めるとともに、物理層側では、マルチバンド、チューナブル、リコンフィギュラブル、広帯域化、高周波化など、新しい方式に普遍で、しかも技術的革新性の高い方向を追求する。そして、お互いにフィードバックをかけながら、研究内容をより詳細化、高度化、あるいは方向修正していく。たとえば、増幅器の広帯域化と利得のトレードオフなどは、方式などの上位層のフィードバックがなければ、回路研究単独ではシステム全体として有効な方向性は決められない。このような連携をもった研究開発が本提案における「統合型研究開発」の趣旨である。

上記のような研究開発を推進するには、図1に示すように、新しい方式の多様な可能性を探るために、単に無線通信関連の研究者だけでなく、インターネットアーキテクチャの研究者や数理科学の研究者も参加し、新しい方式のアイデアを検討し研究を先導する。通信方式を検討するにあたっては、技術的要素とは別に、どのような使われ方をするかという利用者モデルや、電波利用に関する規制などの要素も関連する。

1 提案の内容

2 研究投資
する意義

3 具体的な
研究開発課題

4 研究開発の
推進方法

5 科学技術上の
効果

6 社会・経済的
効果

7 時間軸に
関する考察

8 検討の経緯

9 研究開発
課題の詳細

10 国内外の状況

参考資料・付録

新しい通信方式では、きわめて柔軟な無線インタフェースが必要になると予想されるので、従来は実現できていない、複数の周波数や通信方式を動的に有効利用する基盤技術としての動的再構成機能を含む回路技術やアンテナ技術、材料・デバイス技術などの研究開発を並行して推進する。また新しい方式を具体化する過程で、それに適したソフトウェア技術、回路技術、アンテナ技術や材料・デバイス技術について検討し、お互いにフィードバックしながら統合的に研究開発を実施する。

(3) 研究の担い手

これらの研究は、方式やデバイスに関する新しい提案など、基盤的な性格を有するものである。無線関連の材料・デバイスとして重要な水晶デバイス、SAWデバイス、フェライトなどについては、日本企業の世界シェアは高いが、それらの企業には方式の定まらない新しいデバイス等の研究開発を自社で行う社会的役割も動機もない。中長期的な新しい方式やそれを実現する新しい材料・デバイス研究に関しては、大学が中心的役割を果たすべきである^{*1}。方式の提案に始まり、幅広い研究者が相互にアイデアを持ち寄り、大学等の総合性を活用し、材料・デバイス分野での強みを活かして次々世代以降の無線通信技術の基盤研究を総合的に推進する体制が必要である。

※1：SAWデバイスに代表される無線通信用フィルタの分野では産学連携がさかんであり、古くはATカット水晶板の発明^[2]、モノリシッククリスタルフィルタの発明^[3,4]、128° Y-X LiNbO₃ 基板の発明^[5,6]、42° Y-X LiTaO₃ 基板の発明^[7]などは、大学等を中心とする共同研究の成果が企業での実用化、さらには日本企業の市場占有に結びついたものであり、この分野のわが国での産学連携の好例である。

2. 研究投資する意義

本提案の無線通信基盤技術に研究投資することには、次の3つの意義がある。

(1) 将来のユビキタス情報社会における社会基盤技術の確立

1人1台の携帯端末の時代から、複数の情報端末の利用、1台の携帯端末であっても複数の無線インタフェースの利用、BAN (Body Area Network) に代表される1つの移動体に付属した複数の無線ノードの利用、センサネットワークに組み込まれた多数の無線ノードの利用など、将来的に無線ノードの数は桁違いに増大すると予想される(コラム2)。また、携帯情報端末の高機能化にともない、携帯情報端末によるネットワークへのアクセスは増加の一途であり、データ転送速度や信頼性に対する要求は年々高まっている。さらに、RFIDに代表されるような経済活動や物流におけるトレーサビリティを実現する社会基盤としても無線通信技術の信頼性、可用性はますます重要になってきている。したがって、このように社会を支える技術としての無線通信基盤技術の研究開発に早急に取り組む意義がある。

また、限りのある周波数の有効利用技術は、無線端末の数が増え続ける社会において、最も重要な革新技术の1つである。本研究開発を通じて達成される技術により、さまざまな周波数有効利用技術が基盤技術として準備されれば、携帯端末に割り当てられる周波数の有効利用をはじめ、国の無線通信に関する社会基盤整備という点で社会的意義は大きい^{※2}。したがって、周波数資源と各周波数帯域の特性を考慮しつつ、電波資源の有効利用を可能にする方式の実現は、ユビキタス情報社会において非常に重要であり、中長期的な視点で研究開発を進める意義は大きい。

※2：総務省の予測では、2013年における移動通信システムに必要な周波数帯域は1.06GHzから1.38GHzであるのに対し^[17]、現在確保されているのは、800MHz帯から3.6GHz帯までを合わせて500MHz位であり^[18]、短期的にも周波数不足が深刻である。

(2) 新しい電子産業市場創出

本研究開発の成果によりさまざまな用途への無線通信の適用が可能になると、新しい利用形態やコンテンツを生み出しうる。さらに、ワンチップシステムの研究開発により、新しいデバイスだけでなく、さまざまな新しい電子製品やサービスの実現と実用化に大きな貢献が期待できる。たとえば、デジタル回路と無線用高周波アナログ回路を混載したRF CMOS集積回路の技術が確立され、そこにあらゆる無線システムの機能、さらにはセンサなどの無線通信以外の機能が集積化(SiPまたはSoC)され、安価なワンチップシステムが実現されれば、家電ネットワークやセンサネットワークの広範な利用が現実的になる。

1 提案の内容

2 研究投資する意義

3 具体的な研究開発課題

4 研究開発の推進方法

5 科学技術上の効果

6 社会・経済的効果

7 時間軸に関する考察

8 検討の経緯

9 研究開発課題の詳細

10 国内外の状況

参考資料・付録

新しい無線通信技術を支える要素技術には、ネットワークアーキテクチャ、アンテナ技術、ミリ波RF CMOS、マルチバンド、可変、あるいは広帯域フィルタなど、実証しなくてはならない技術が多数あるが、特に材料やデバイスはわが国が強みとする分野である。新しい方式に対してこれらの先進要素技術を統合して活用し、システム全体としてまとめることにより、標準化や産業化につながる。これらは世界を先導できる可能性のある研究領域であり、標準化を含めて方式を提案し、それに対応するデバイスの実現可能性を実証し、先導することにより、開発した技術が市場に受け入れられ広範囲で使われるようになれば、産業育成の点でも意義がある。

(3) 新しい「無線通信方式」を先導することによる人材育成への寄与

無線通信がますます重要になってくる社会では、無線通信関連分野の研究者・技術者の人材不足は、研究開発力や設計・製造における技術力の後退を招くために、避けなければならない。新たな方式や、そこで要求される個別の要素技術を全て視野に入れた研究開発を行うことにより、通信方式や、それを支える要素技術としてのRFデジタル回路、材料・デバイス技術、アンテナ技術などを修得し、中長期的な視点で先導的な技術開発にとりくんだ経験をもつ技術者が大学で育つようになる。このことは、将来的に国内の製造業を支える人材を育成するという観点から意義がある。

コラム2：無線通信の使われる場面の拡大

今後、ますます無線通信の使われる場面は拡大を続け、その用途は、放送型通信、画像通信、音声通信、データ通信、およびこれらの複合など多岐にわたると考えられる。携帯電話や携帯音楽プレイヤーなども無線LAN機能を搭載するものが多くなってきている。さらには、無線LANを通してのIP電話機能と携帯電話機能を併せ持つなど、携帯端末の複合機能化、高機能化が進んでおり、多様な要求に応えなければならなくなっている。また、RFID（無線タグ）を利用した荷物等の追跡など、物流分野を始め多くの分野で今後無線の利用が拡大すると予想される。インターネットの最初のプロトコル開発者の1人であるDavid Clark氏は、今後15年から20年で1兆個のデバイスがネットワークに接続されると予想している^[1]。

さらに、無線通信に対する要求も、きわめて短時間での接続完了が求められるもの、人間の安全に直接かかわるような場面での非常に高い信頼性が要求されるもの、逆に信頼性よりも高速性を優先するものなど、さまざまなものがあり、要求に応じた機能を提供する必要がある。このように無線通信の新しい応用が次々と発案されてくると考えられるが、それらの実現には既存の方式の単なる延長だけでは不十分であり、新しい無線通信方式の探索や、それを実現する回路、材料・デバイス技術の開発が必要である。

3. 具体的な研究開発課題

「ユビキタス情報社会を支える無線通信基盤技術の統合型研究開発」の研究課題には、パラダイムシフトを狙った新しい無線通信方式の研究開発、およびそれを実現する新しい回路・アンテナ技術、および材料・デバイス技術の研究開発がある。これらの研究課題の概観を図2に示す。

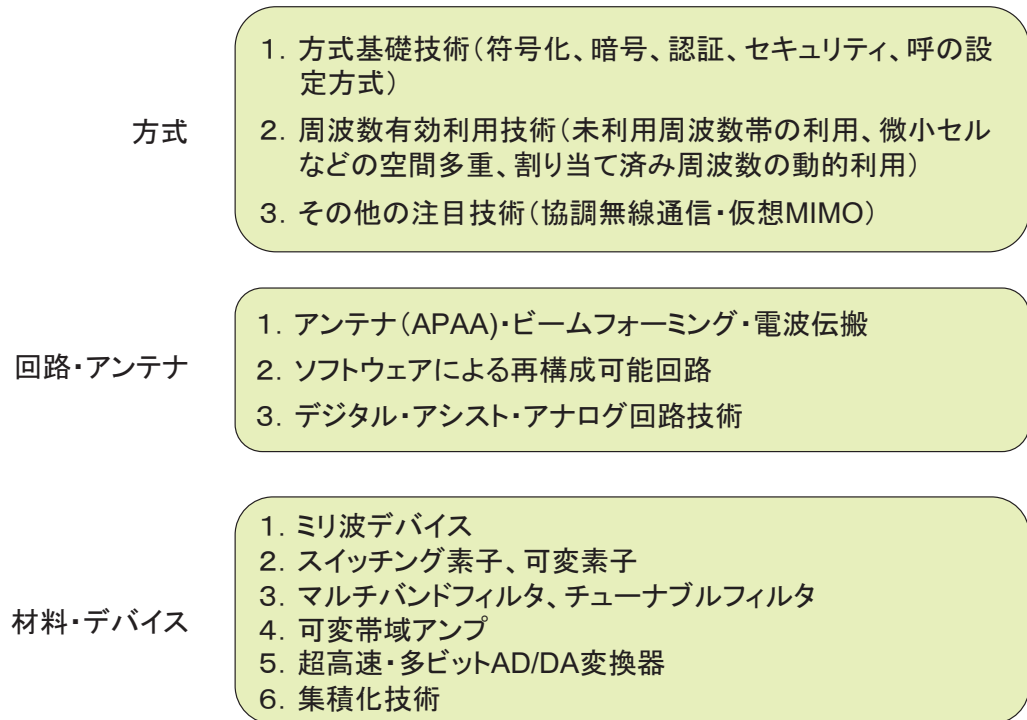


図2 研究課題の概観

(1) 新しい無線通信方式に関する研究

(1-1) 方式基礎技術

符号化方式、複数の品質の動画・音声を多重化して送るためのスケーラブル符号化^[12]、車々間通信、RFID、センサネットワークなどについて、多様な要求に応じた新しいプロトコルや周波数利用方式、複数の無線周波数を使った高速、あるいは障害に強い通信方式の実現などの課題がある。

無線通信では、有線通信に比べてセキュリティ上の脅威の種類が多いので、セキュリティとフォルトトレランスに関する研究課題がある。これに関しては、利用できる周波数資源の管理、秘密情報の共有、耐タンパ性などの上位層におけるセキュリティから、下位層であるメディアアクセス制御層、物理層、さらに電子デバイス、回路のセキュリティまで総合的に考えなければならない。

(1-2) 周波数有効利用技術

(1-2-a) 未利用周波数帯の利用による周波数有効利用技術の研究

不足している周波数帯域を解消する技術の一つとして、帯域の豊富な60GHz帯以上を利用できるようにする。このためには、60GHz以上で使える広帯域デバイスの研究開発や、ソフトウェアによるシステム構成変更可能デバイスの実現のための研究などとの連携が必須である。

(1-2-b) 空間多重による周波数有効利用を実現する微小セルを利用するネットワークの研究

同じ周波数を繰り返し利用するために電波伝搬範囲を限定し、有線通信・固定無線通信によるバックボーンネットワークとの連携を含めた最適ネットワークの研究開発を実施し、より高度な移動体通信環境を実現する。

(1-2-c) 割当済み周波数の動的利用による周波数有効利用技術の研究

ユビキタス環境における周波数有効利用をはかるために、電波の利用状況を把握し、利用者の要求に応じて、1つ、あるいは複数の無線方式を選び高信頼な通信を可能とする無線通信方式の研究開発を実施する。このためには、複数周波数利用のためのアンテナ技術や、ソフトウェアによるシステム構成変更可能デバイスの実現のための研究や十分な性能の広帯域フィルタやアンプ、ADC/DACなどの回路・材料・デバイス技術などとの連携も必要である。

コグニティブ無線に代表される新無線方式の研究では、限定的な形で実証が行われているが、これは既存技術・規制の枠内での技術実証である。これに対して、本提案では、既存の技術にとらわれない、各ノードの自律性を最大限に活かし、広い周波数の範囲にわたって協調を行うような形での方式も念頭に入れて研究開発を実施する。

(1-3) その他

新しい方式として、複数の無線ノードが自律的に協調して動作し、ノード単独では得られなかった性能を得る協調無線 (Collaborative Communication) 方式^[13,14,15]をはじめとし、いくつかの有望な可能性のある新しいアイデアに基づく方式の研究開発を実施する。

(2) アンテナ技術および回路技術に関する研究

(2-1) 無線通信方式の動的な変更を考慮したアンテナや電波伝搬の統合的研究

アンテナの指向性の動的変更や出力の変更、通信方式の変更などを統合的に上位層から下位層までを考慮し信頼性や可用性の向上をはかり、目的とする性能を得るための研究開発を行う。APAA (Active Phased Array Antenna) などの制御や

電波伝搬を、上位層の通信方式の動作と組み合わせて解析し、総合的な伝送性能の最大化および消費電力最小化の観点から最適なシステム設計ができるような基盤技術を確立する。また、メタマテリアル利用、高周波回路との一体化実装によるアンテナの小形化や高性能化もあわせて検討し開発する。

(2-2) 周波数有効利用技術を実現するリコンフィギュラブル回路の研究

動的に利用する周波数を変更し、周波数の利用状況や利用者の要求に応じた無線通信を実現するために必要な、ソフトウェアによるシステム構成変更可能な回路技術を、方式研究と連携しつつ研究する。

(2-3) デジタル・アシスト・アナログ回路技術の研究

CMOSの微細化にともない、アナログ的なばらつきが大きくなることは避けられず、これをデジタル回路で補う新しい回路アーキテクチャをミリ波帯での利用を含め研究する。

(3) 材料・デバイスの研究開発

(1) および(2)に示した無線通信を実現するためには、マルチバンド、チューナブル、あるいはリコンフィギュラブルな物理層が必須であり、また、数百MHzからミリ波までの広い周波数に対応しなくてはならない。さらに、新しい通信方式を実用的な端末やセンサネットワークのノードに利用するためには、物理層は小型かつ低消費電力であることが必須である。そのための材料、デバイス、高周波回路などのうち、特に新しく挑戦的なものの研究開発を実施する。たとえば、具体的には次のような研究開発課題が重要である。

(3-1) ミリ波デバイスの全シリコン化、あるいはワンチップ化

無線通信の絶対容量を増やすために未利用のミリ波帯に対応するデバイスの研究が必要である。

(3-2) アダプティブアンテナ、フェーズドアレイアンテナ、あるいは広帯域アンテナのための可変素子やスイッチング素子の研究開発

本提案での空間多重を実現するためには、高性能のAPAAが必要であり、そのためには、半導体スイッチだけではなく機械的スイッチを含めて新しいスイッチング素子・デバイスを実用化する必要がある。また、広帯域化のために、損失が少なく、かつ直線性のよい可変素子やスイッチング素子を開発する必要がある。

1 提案の内容

2 研究投資
する意義

3 具体的な
研究開発課題

4 研究開発の
推進方法

5 科学技術上の
効果

6 社会・経済的
効果

7 時間軸に
関する考察

8 検討の経緯

9 研究開発
課題の詳細

10 国内外の状況

参考資料・付録

(3-3) 高周波 (3GHz以上) で低損失かつ広帯域のフィルタ、マルチバンドフィルタ、可変フィルタ、およびそれらのための圧電材料や共振子の研究開発
周波数有効利用に必要な複数の周波数帯域に対応するためには、各帯域を切りだす高周波フィルタが必須である。既存のフィルタでは必要な性能が得られないため、原理検討からの基礎研究を含む研究開発が必要である。あわせて性能を左右する電気-機械変換材料、およびそれを用いた共振子に関しても、新しい材料・デバイスの研究開発を実施する。

(3-4) 可変帯域アンプ、およびそのための可変容量や可変インダクタの研究開発
(3-2)、および (3-3) の研究開発と並行して、アンテナ・フィルタの後段の素子、たとえばアンプを可変化する研究を行う必要がある。

(3-5) 送受信信号を直接変換するための超高速・多ビットAD/DA変換器の研究開発
3. (1-1) で提案されている新しい方式や、3. (1-2) で提案されている周波数有効利用技術の実現方法として、送受信信号を直接AD/DA変換し、ほとんどの無線回路をデジタル回路およびソフトウェアで実現することが考えられる。現状の技術では、不可能または非現実的であるが、LSI技術の発展に合わせて、新しい回路アーキテクチャを創成していくことで、その実現を目指す価値がある。

(3-6) パワーアンプ、フロントエンドフィルタ、クロック、受動素子などとRF CMOSとの集積化、および集積化システム的设计・シミュレーション方法の研究開発
無線システムは数多くの個別部品・デバイスで構成されているが、本提案で考えているような大規模または複雑なシステムになると、物理的大きさが利用目的に合わなくなり、電気的特性上も問題が生じる。また、一旦、高性能な集積化デバイスが世の中に出ると、ディスクリートデバイスは駆逐されてきたという歴史もあり、集積化が重要な研究課題である。

4. 研究開発の推進方法

従来の方式にとらわれない新しい無線通信方式を提案し、それを実現するためには、方式を実装するソフトウェア、回路、材料・デバイスの研究開発などと相互に連携をとって推進する必要がある。新しい方式・アーキテクチャの提案は物理層の裏付けがなければ実現不能であるが、一方で既存の物理層を前提にしては、画期的な方式・アーキテクチャは創出できない。また、新しい材料やデバイスの原理も、既存の方式・アーキテクチャに縛られては活用の機会が限られ、一方で方式・アーキテクチャに必要とされない材料・デバイスの研究は直接的には役に立たない。したがって、新しい方式・アーキテクチャの研究を進めるとともに、物理層側では、マルチバンド、チューナブル、リコンフィギュラブル、広帯域化、高周波化など、新しい方式・アーキテクチャに普遍で、しかも技術的革新性の高い方向を追求する。そして、お互いにフィードバックをかけながら、研究内容をより詳細化、高度化、あるいは方向修正していく。これが本提案における「統合型研究開発」の趣旨である。

「3. 具体的な研究課題」に示した(1)～(3)の各研究課題について、方式の研究者グループ、回路技術やアンテナ技術の研究者グループ、および材料・デバイスの研究者グループが関連する各課題についての研究チームに参加する。各研究課題に応じて複数チームに分けて実施し、各チーム内では、方式・アーキテクチャからデバイスまでの研究者が必要な連携を行って、成果を出すことを目標とする。各研究課題に対する各研究者グループからの参加例を図3に示す。たとえば、研究課題「周波数有効利用技術」には、「情報理論、数理科学」、「シミュレーション」、「アンテナ」、「電波伝搬」の研究者が主として参加することが図中の「○」で示されている。

研究課題	方式・アーキテクチャ				アンテナ・回路			材料・デバイス				
	情報理論 数理科学	セキユリティ シミュレーション	インターネット	方式	アンテナ	電波伝搬	回路技術	RF CMOS	SAW	MEMS	共振子	強誘電体材料
(1)新しい方式・アーキテクチャ	○	○	○	○	○	○	○					
方式基礎技術												
周波数有効利用技術	○	○			○	○						
その他の注目技術	○	○	○		○							
(2)アンテナ・回路技術					○	○	○					○
アンテナ技術												
再構成可能回路					○		○	○				
デジタル・アシスト・アナログ回路							○	○				
(3)材料・デバイス							○	○	○	○	○	○
ミリ波デバイス								○	○	○	○	○
スイッチング素子・可変素子					○			○	○	○		
マルチバンド・チューナブルフィルタ					○	○		○	○	○		○
可変帯域アンプ							○		○	○	○	○
超高速多ビットAD/DA							○		○	○	○	○
集積化技術							○	○				

図3 研究推進体制

新しい方式にかかわる研究については、無線通信の研究者だけではなく、数理科学者や、インターネットアーキテクチャの研究者、セキュリティの研究者など関連する研究者も研究当初から参加し、いろいろな可能性をさぐり、出された提案方式に対して、チームとして検討を加えそれを改良していく。また、物理層の研究者とも連携してシミュレーションなども行いつつ5年位の研究期間で実施する。

また、無線通信方式の動的な変更を考慮したアンテナや電波伝搬、周波数有効利用の研究に関しては、アプリケーションを考慮した方式設計とシミュレーションが必要であり、利用者モデルの研究者から、方式・アーキテクチャの設計を行う研究者、アンテナ・電波伝搬の研究者までが連携して研究を推進する。これらの研究に関しては、広くアイデアを出し、検討検証するために、大学だけでなく、必要に応じて企業や公的研究機関の研究者も参加するようにする。

周波数有効利用技術のうち、ミリ波帯を活用するための技術に関しては、まず、高周波化に対応できる回路技術の研究開発が必要である。CMOSの微細化にともない、アナログ的なばらつきが大きくなることは避けられないので、これをデジタル回路で補うデジタル・アシスト・アナログ技術などの新しい回路アーキテクチャが登場している。これらの研究開発では、自由かつ多様な発想を有し、しかもそれをすぐに回路に起こし検証できる小回りのきく環境を準備できる大学等における推進が効果的であるはずで、実際、米国では新しい回路アーキテクチャの多くが大学から創出されている。

どの研究課題についても、個別の研究者の専門領域だけにおける個別の最適化に注力しないようにし、システム全体として目標とする機能・性能を実現できるように、連携し、いろいろな可能性を探りながら進める。また全体を統括する少人数のチームが各課題の進捗状況や提案された方式などの関連性を把握し、チーム間の連携を図る。

5. 科学技術上の効果

(1) 方式

- 新しい無線通信方式に関する提案とその実効性、実用性についての理論、シミュレーション等により検証等が行われる。標準化や、企業による試作、実証実験が可能になり、次の研究段階に進む可能性が示される。

(2) 動的周波数利用、空間多重、アンテナ技術を含む周波数有効利用

- 携帯ノード、移動体通信に適用可能なAPAA技術やビームフォーミング技術、空間多重を活用した電波伝搬のシミュレーションやアンテナ設計に関する新技術が示される。
- 電波状況を把握しての複数の符号化方式の動的な利用や、利用者の要求に応じた性能を提供可能な周波数有効利用技術の可能性が示される。

(3) 回路技術、材料・デバイス技術

- リンコンフィギュラブルな回路の設計技術やデジタル・アナログ混載回路の設計技術が進歩する。
- 無線通信回路に応用がとどまらない新しい回路アーキテクチャが実証され、集積回路技術が進歩する。
- 新しい集積化プロセスの基盤技術が開発され、多様なデバイスに適用される。特に、集積回路とそのほかの機能デバイスの融合が進み、「More than Moore」技術が進展する。
- 汎用性の高い集積化デバイスのシミュレーション技術や設計技術が開発され、さまざまなデバイスに応用される。
- 圧電材料、誘電体材料などに関する新しい材料技術・物質科学が進展する。

1 提案の内容

2 研究投資
する意義

3 具体的な
研究開発課題

4 研究開発の
推進方法

5 科学技術上の
効果

6 社会・経済的
効果

7 時間軸に
関する考察

8 検討の経緯

9 研究開発
課題の詳細

10 国内外の状況

参考資料・付録

6. 社会・経済的効果

(1) 無線通信ユーザの利用環境の向上

本研究の成果により、周波数有効利用が実現されると、より多くの無線通信端末が、より高速に利用できるようになり、またユーザの要求に応じた信頼性が提供できるようになるので、ユーザの利用環境が向上する。

将来的には、携帯端末や無線ネットワークデバイス、センサーノードといった、その数の増大が見込まれ、帯域不足が社会基盤としてのユビキタス環境構築の障害になるような応用に対して、本基盤研究発の周波数有効利用技術が貢献すると期待できる。

(2) 電子産業の価値創出

新しい回路技術やユビキタス環境構築のための無線デバイス技術は、新たな電子デバイスや機器の産業化の直接的な種になる。また標準化を通じての価値増大の可能性がある。

(3) 大学における無線技術者の育成およびそれによる企業への人材供給と研究開発力強化

無線通信がますます重要になる一方で、デジタル化が進み、全盛期から無線・高周波・アナログ関係の研究者が減少しつつあり、このままでは今後の人材不足が危惧されるのが現状である。アナログ技術者の不足はすでに企業で深刻になっている。その原因には、学生の志向の変化、無線通信産業の成熟やデジタル技術の躍進にともなう大学における高周波や無線に関係した研究の一時的な減少、それらの結果としての高周波研究者や技術者の大学での教育・育成能力の低下と学生数の減少がある。本提案の研究開発を大学等で進めることにより、無線通信技術、付随するデバイス回路技術をもった高周波技術者が育ち、中長期的に企業の技術力、研究開発力を高めることが期待できる。

7. 時間軸に関する考察

総務省の懇談会では^[9]、将来の無線通信の利用について、2015年には、4Gサービス(100Mbps~1Gbps)が導入され、ユーザに意識させない電波資源の有効利用システムが開発され、電子タグの付いた小型携帯端末が普及し、2016年には、固定通信と移動/無線通信のシームレスな統合がなされ、2017年には、情報家電のギガビット級の高速アクセスを実現可能とするチップ化技術が開発されると予想されている。

また、それより実用化に近いものとして、米国におけるIEEE802.22規格によるWRAN (Wireless Regional Area Network) があり、これは、コグニティブ無線技術の利用の一形態として、アナログ放送波の帯域を一次利用者と二次利用者で有効利用をはかるものである。ミリ波技術としては、60GHz帯のPAN (Personal Area Network) 用の802.15.3c規格が標準化過程にあり2009年中に最終決定される予定である。

これら既存の技術を元にした無線通信技術や方式の応用が進みつつあり、また次世代の無線通信量、無線ノードの増大が予想される中で、わが国が次世代・次々世代の無線通信技術の研究開発を先導するには、すぐに次々世代以降の新しい無線通信技術に関する研究を開始する必要がある。研究開始後最初の1年ないし2年くらいで方式の基本となるアイデアに基づき新しい方式の提案がなされる。アンテナ・回路技術や材料・デバイス技術に関する研究からのフィードバック、あるいはそれらの研究との連携を考慮し、必要に応じて新しい方式の提案に修正を加える。回路・アンテナ、および材料・デバイスの研究は、柔軟な無線インタフェースに必要な技術の研究を進め、具体的な新しい方式が示された後に、必要な修正を加える。その後もお互いにフィードバックしつつ連携をとりながら、さらに2、3年をかけて研究開発を実施する。

1 提案の内容

2 研究投資
する意義3 具体的な
研究開発課題4 研究開発の
推進方法5 科学技術上の
効果6 社会・経済的
効果7 時間軸に
関する考察

8 検討の経緯

9 研究開発
課題の詳細

10 国内外の状況

参考資料・付録

8. 検討の経緯

(1) 検討の開始

2008年3月、研究開発戦略センター電子情報通信グループの俯瞰ワークショップの結果として、「コグニティブ無線」が重要課題として示され、また同時期にナノテクノロジー・材料グループから「将来の無線通信システムのための電気音響材料・デバイス技術」が重要課題として示された。CRDS内での検討を経て、上位層から下位層まで幅広く考慮し、「コグニティブ無線」や「材料・デバイス」にとどまらず、広く無線通信技術の将来課題について検討を加えることになった。ここでは、方式のような上位層から材料・デバイスのような下位層まで連携した基礎的基盤的研究に国がファンディングすることの妥当性について、主に議論することとした。

(2) 統合無線技術検討会

幅広く無線分野を検討して無線技術、または無線通信技術に関する研究提言の可能性を議論するために、専門分野の異なる3人の有識者：河野隆二教授（横浜国立大学）、橋本研也教授（千葉大学）、加藤修三教授（東北大学）にご協力いただき議論を重ねた。そして、2008年7月11日に大学および公的研究機関、企業の研究者や技術者10人程度に集まっていたいただき、本分野での戦略プロポーザルを検討する意義や実現可能性をさぐるためのワークショップを開催した（付録1および報告書^[23]）。

そこでの検討の結果、基礎的な無線通信技術に関して、方式から材料・デバイスまでを連携した研究推進に意義があることが示唆され、国内の公的研究機関等では行われていないが、取り組むべき基礎的な研究課題が提示された。具体的には、新しい方式の研究や周波数有効利用、それらを実現するアナログ回路技術、材料・デバイス技術の基盤的研究があがった。

(3) その後の検討

統合無線技術検討会での成果を元に、センター内で議論を深め、その後の有識者へのインタビューや小規模なグループによる検討会を重ねて、本提案に至った。

9. 研究開発課題の詳細

9.1 新しい無線通信方式に関する研究

(1) 方式基礎技術

符号化方式、複数の品質の動画・音声を多重化して送るためのスケーラブル符号化^[12]、車々間通信、RFID、センサネットワークなどについて、多様な要求に応じた、新しいプロトコルや、周波数利用方式などの課題がある。さらに、高速な呼（通信路）の設定が実現できれば、通信を意図してから実際に通信できるまでの時間の短縮によって高速で近づき離れる移動体間での通信など新しい応用が拓ける可能性がある。また複数の無線周波数を使った高速、あるいは障害に強い通信方式の実現などがある。

無線通信では、有線通信に比べてセキュリティ上の脅威の種類が多いので、セキュリティとフォルトトレランスに関する研究課題がある。これに関しては、利用できる周波数資源の管理、秘密情報の共有、耐タンパ性などの上位層におけるセキュリティから、下位層であるメディアアクセス制御層、物理層、さらに電子デバイス、回路のセキュリティまで総合的に考えなければならない。

以上のような課題について、アプリケーションから物理的な通信チャネルにいたるまでの各機能階層を考えた場合、従来は各機能階層において比較的独立して研究が行われ、機能の最適化などが行われてきた。本研究提案では、通信プロトコル、物理層、およびメディアアクセス制御層それぞれにおける個別最適化ではなく、上位から下位までを垂直に見通した全体の最適化をめざした方式の研究開発を実施する。最適化すべき項目は、エラー訂正や符号化方式などの信頼性や伝送性能にかかわるもの、暗号化方式や認証方式などの安全性・秘匿性にかかわるもの、伝播遅延や呼の設定時間などの通信時間にかかわるものなど多岐にわたる。上位層であるアプリケーション層のプロトコルの設計者は下位層の性質を単純なインタフェースとして隠蔽されたものとして扱っており、符号化方式や暗号化方式、エラー訂正方式などを直接参照せずに設計されている。エラー訂正、符号化、暗号化、認証方式などについて、各層で重複して実行している場合も少なくない。冗長性や信頼性の面から1つの層だけでそのような機能を実現しておけばいいということはないが、上位層から下位層まで横断的に見通して、全体として効率のよい方式を創り出すことが必要である。このような場合、下位層のデバイス・回路でどのような機能が提供できるか、あるいは新たな機能が要求できるかを考慮した研究開発が必要である。

1 提案の内容

2 研究投資
する意義

3 具体的な
研究開発課題

4 研究開発の
推進方法

5 科学技術上の
効果

6 社会・経済的
効果

7 時間軸に
関する考察

8 検討の経緯

9 研究開発
課題の詳細

10 国内外の状況

参考資料・付録

(2) 周波数有効利用技術

(2-1) 未利用周波数帯の利用による周波数有効利用技術の研究

不足している周波数帯域を解消する技術の一つとして、帯域の豊富な60GHz帯以上を利用できるようにする。このためには、60GHz以上で使える広帯域デバイスの研究開発や、ソフトウェアによるシステム構成変更可能デバイスの実現のための研究などとの連携が必須である。

(2-2) 空間多重による周波数有効利用を実現する微小セルを利用するネットワークの研究

同じ周波数を繰り返し利用するために電波伝搬範囲を限定し、有線通信・固定無線通信によるバックボーンネットワークとの連携を含めた最適ネットワークの研究開発を実施し、より高度な移動体通信環境を実現する。

微小セル化にともなうハンドオーバーの増加への適応や、ハンドオーバーが頻繁になった場合のネットワーク層、インターネットプロトコル層、およびそれより上位の層における方式研究が重要である。既存の無線デバイスや物理層を用いての上位層における接続性の維持や識別子の扱いなどに関して研究されているが、携帯端末だけでなくセンサーノードを含めた無線デバイスの増加に対応した、無線区間の方式、デバイスに関する要求までを含めた研究が今後重要となる。主要なネットワークプロトコルであるインターネットプロトコルで多数のノードを扱うためには、多数の識別子空間を提供するIPv6の利用が必須であり、これらの研究ではIPv6利用について十分に考慮して推進する必要がある。

(2-3) 割当済み周波数の動的利用による周波数有効利用技術の研究

ユビキタス環境における周波数有効利用をはかるために、電波の利用状況を把握し、利用者の要求に応じて、1つ、あるいは複数の無線方式を選び高信頼な通信を可能とする無線通信方式の研究開発を実施する。ここでいう利用者の要求には、通信速度、通信遅延などの要素、また暗号化方式などの安全性にかかわる要素、料金のような非技術的要素などが含まれる。

この技術のためには、方式の研究だけでなく、複数周波数利用のためのアンテナ技術や、ソフトウェアによるシステム構成変更可能デバイスの実現のための研究や十分な性能の広帯域フィルタやアンプ、ADC/DACなどの回路・材料・デバイス技術などとの連携が必須である。

周波数有効利用をはかる技術として、動的に電波の利用状況を認識して周波数の有効利用をはかるコグニティブ無線のシステム研究がNICTなどで行われているが、既存のデバイスを用いたシステム検証のような短期的な開発研究が主である。一方、新たなデバイス技術を前提とした新しい方式の研究、そのようなデバイスを

実現するための研究などを含む総合的かつ長期的な研究開発は重要であるが行われていない。

従来のコグニティブ無線の研究は、空いているもしくは使用されていないスペクトラムを、異なるまたは同一の無線インタフェースを問わず、使用し周波数の利用率を上げようとするものである。その実現には、周波数の割り当てを受けた使用者（Primaryユーザ）と、Primaryユーザがその周波数を使用していないときに使える二次的な使用者（Secondary ユーザ）の間での利害関係の問題が存在する。本研究提案では、この概念より格段に広くかつ調和的方法でより高位のレベルで周波数の有効利用を図るものである。理想的には、広い周波数帯域を固定的に割り当てず、複数の事業者や利用者が自律分散的に協調してその帯域を利用することである。端末は物理的には一つであるが複数の無線インタフェースに自在に対応でき、また、ネットワークも複数の無線インタフェースに対応できるものになる。これらの無線インタフェースは、複数の通信事業者間で利用可能で、しかも利用者の要求により選択できるものとなる。これは従来のコグニティブ無線を大きく発展させた高位レベルでの周波数有効利用方法になる。

コグニティブ無線に代表される新無線方式の研究では、従来、比較的周波数の近いバンドを用いて、限定的な形で実証が行われているが、これは既存技術・規制の枠内での技術実証である。これに対して、新しい技術の開発を仮定し、その実現のための研究を行いながらアーキテクチャを創出すれば、たとえば、まったく異なる複数の周波数帯にまたがる電波利用を考慮し、単なる周波数有効利用にとどまらず、信頼性、可用性の向上などにも貢献できる。

(3) その他

新しい方式として、協調無線 (Collaborative Communication) 方式など^[13,14,15]、いくつかの新しいアイデアに有望な可能性がある。これは、ある地理空間内に独立して分布する複数の無線ノードが自律的に協調し、グループとしてMIMO (Multi Input Multi Output) を実現する方式であり、1つの無線ノードが複数アンテナを利用する従来のMIMO技術の原理を発展させたものである。これは、数多くの無線ノードが使われるようになって初めて実現可能性が出てきたアイデアであるが、性能評価、未知ノードの参加によるセキュリティ上の問題、方式の標準化など取り組まなければならない重要な課題が多くある。

この協調無線をはじめ、電子情報通信学会ソフトウェア無線研究会方式^[19]や情報理論とその応用学会方式^[20]を中心に、いろいろなアイデアが出されている。

1 提案の内容

2 研究投資する意義

3 具体的な研究開発課題

4 研究開発の推進方法

5 科学技術上の効果

6 社会・経済的効果

7 時間軸に関する考察

8 検討の経緯

9 研究開発課題の詳細

10 国内外の状況

参考資料・付録

9.2 アンテナ技術および回路技術に関する研究

(1) 無線通信方式の動的な変更を考慮したアンテナや電波伝搬の統合的研究

アンテナの指向性の動的変更や出力の変更、通信方式の変更などを統合的に上位層から下位層までを考慮し信頼性や可用性の向上をはかり、目的とする性能を得るための研究開発を行う。APAA (Active Phased Array Antenna) などの制御や電波伝搬を、上位層の通信方式の動作と組み合わせて解析し、総合的な伝送性能の最大化および消費電力最小化の観点から最適なシステム設計ができるような基盤技術を確立する。また、メタマテリアル利用、高周波回路との一体化実装によるアンテナの小形化や高性能化もあわせて検討し開発する。

従来のアンテナ技術や電波伝搬技術の研究では、主として伝送路だけが着目されており、移動体の挙動や、上位層の用いる通信方式やプロトコルの挙動についてあまり考慮されていない。たとえば、移動体の移動に応じた指向性の変更や、動的周波数利用に伴うアンテナ特性の制御、通信方式に応じたアンテナ特性の制御などがある。本研究提案では、垂直統合的にアンテナをシステムとしてとらえ、全体を考慮した研究開発を実施する。

(2) 周波数有効利用技術を実現するリコンフィギュラブル回路の研究

動的に利用する周波数を変更し、周波数の利用状況や利用者の要求に応じた無線通信を実現するために必要な、ソフトウェアによるシステム構成変更可能な回路技術を、方式研究と連携しつつ研究する。

(3) デジタル・アシスト・アナログ回路技術の研究

CMOSの微細化にともない、アナログ的なばらつきが大きくなることは避けられず、これをデジタル回路で補う新しい回路アーキテクチャをミリ波帯での利用を含め研究する。ADCの高性能化、無線基地局のデジタル電源による高効率化などに取り組む。

9.3 材料・デバイスの研究開発

9.1(1)で提案されている新しい方式や、9.1(2)で提案されている周波数有効利用技術の実現のためには、マルチバンド、チューナブル、あるいはリコンフィギュラブルな物理層が必須であり、また、数百MHzからミリ波までの広い周波数に対応しなくてはならない。さらに、新しい通信方式を実用的な端末やセンサネットワークのノードに利用するためには、物理層は小型かつ低消費電力であることが必須である。そのための材料、デバイス、高周波回路などのうち、特に新しく挑戦的なものの研究開発を実施する。たとえば、具体的には次のような研究開発課題が重要である。

(1) ミリ波デバイスの全シリコン化、あるいはワンチップ化

前述の「未利用周波数帯の利用による周波数有効利用技術の研究」および「空間多重による周波数有効利用を実現する微小セルを利用するネットワークアーキテクチャの研究」に関連して、無線通信の絶対容量を増やすために未利用のミリ波帯に対応するデバイスの研究が必要である。「10.4ミリ波デバイス関係研究開発の現状」で述べるように、CMOS技術でミリ波デバイスを実現する研究が盛んであるが、これを発展させれば、携帯通信端末にとどまらず、より小型かつ低消費電力を要求する無線ネットワークセンサや高機能無線タグへの応用が可能になる。

(2) アダプティブアンテナ、フェーズドアレイアンテナ、あるいは広帯域アンテナのための可変素子やスイッチング素子の研究開発

「空間多重による周波数有効利用を実現する微小セルを利用するネットワークアーキテクチャの研究」および「無線通信方式の動的な変更を考慮したアンテナや電波伝搬の統合的研究」に関連して、空間多重を実現するためにAPAAが必要である。APAAには、各アンテナの位相切り替えのため可変位相シフト、その構成要素となるスイッチング素子が必要であるが、数十GHz以上の高周波で損失を減らすためには、半導体スイッチだけではなく機械的スイッチを含めて新しいデバイスを実用化する必要がある。また、「9.1(2-3) 割当済み周波数の動的利用による周波数有効利用技術の研究」、「9.2(1) 無線通信方式の動的な変更を考慮したアンテナや電波伝搬の統合的研究」、および「9.2(2) 周波数有効利用のための方式・アーキテクチャを実現するリコンフィギュラブル回路の研究」に関連して使用する周波数領域が格段に拡大すると、アダプティブアンテナや広帯域アンテナが必要になる。アンテナをアダプティブで広帯域にするために、アンテナ要素や付加素子を切り替えたり、整合回路を可変にしたりする方法が考えられるが、そのために損失が少なく、かつ直線性のよい可変素子やスイッチング素子を開発する必要がある。

(3) 高周波(3GHz以上)で低損失かつ広帯域のフィルタ、マルチバンドフィルタ、可変フィルタ、およびそれらための圧電材料や共振子の研究開発

「9.1(2-3)」に関連して、複数の周波数帯域に対応するためには、各帯域を切り出す高周波フィルタが必須である。移動体通信に適するとされる6GHz以下の周波数領域では、性能でも大きさでも、原理的にBAW (bulk acoustic wave) やSAW (surface acoustic wave) を用いた音響フィルタが有利である。「9.1(2-3)」に提案された方式の部分的かつ原理的な実証は、既存のフィルタを並列して可能であるが、これでは実用性に問題がある。また、3~6GHzの周波数領域では、必要な性能を備えたフィルタが存在しない。さらに、「9.2(2)」にも関連して、必要なフィルタを全て並べるマルチバンド方式より、少数のフィルタで通過域を可変にするチューナブル方式が望まれるが、その実現には原理検討からの基礎

1 提案の内容

2 研究投資する意義

3 具体的な研究開発課題

4 研究開発の推進方法

5 科学技術上の効果

6 社会・経済的效果

7 時間軸に関する考察

8 検討の経緯

9 研究開発課題の詳細

10 国内外の状況

参考資料・付録

研究が必要である。損失、カットオフ特性、帯域幅などの特性は、電気-機械変換材料、およびそれを用いた共振子の性能で決定されるが、既存技術は既にほぼ限界の性能を発揮しており、新しい材料・デバイスの研究開発が、「9.1(2-3)」または「9.2(2)」で提案した方式の実現に急務である。

(4) 可変帯域アンプ、およびそのための可変容量や可変インダクタの研究開発
「9.3(2)」および「9.3(3)」の研究開発と並行して、アンテナ・フィルタの後段の素子、たとえばアンプを可変化する研究を行う必要がある。

(5) 送受信信号を直接変換するための超高速・多ビットAD/DA変換器の研究開発

9.1(1)で提案されている新しい方式や、9.1(2)で提案されている周波数有効利用技術の実現方法として、送受信信号を直接AD/DA変換し、ほとんどの無線回路をデジタル、およびソフトウェアで実現するという方法が考えられる。現状の技術では、これは速度や消費電力の点で不可能または非現実的であるが、LSI技術の発展に合わせて、新しい回路アーキテクチャを創成していくことで、その実現を目指す価値がある。これが可能になれば、究極的にリコンフィギュラブルな無線システムが実現する。

(6) パワーアンプ、フロントエンドフィルタ、クロック、受動素子などとRF CMOSとの集積化、および集積化システムの設計・シミュレーション方法の研究開発

上記のように、無線システムは様々なデバイスによって構成されている。現在、個々のディスクリートデバイスをプリント基板上に実装して無線システムが作られているが、大規模または複雑なマルチバンドシステムやチューナブルシステムになると、システムの物理的大きさがアプリケーションにとって過大になるだけでなく、寄生要素が性能低下の原因となる。また、一旦、高性能な集積化デバイスが世の中に出ると、ディスクリートデバイスは駆逐されてきたという歴史もあり、集積化は重要な研究課題である。

10. 国内外の状況

10.1 国内の研究開発状況

総務省による「電波資源拡大のための研究開発」が継続的に実施されている^[21]。マイクロ波を代替するためのミリ波利用技術、非一様なセルにおける複数基地局連携、複数無線システム間の無線リソース制御技術、コグニティブ無線端末の実現に向けた要素技術の開発、車々間通信の実現に向けた周波数高度利用技術の研究開発など、ミリ波通信、コグニティブ無線のための研究開発が行われている。情報通信研究機構 (NICT)、企業、大学などが研究委託を受けて実施している。いずれも単年度契約が基本であり、開発・試作委託に近い研究開発に重点がおかれているのが現状である。

また、科学技術振興機構戦略創造研究推進事業 (CREST) としてディペンダブルワイヤレスシステム・デバイスの開発 (2007年~2012年) が研究領域として進行中である。ここでは、ディペンダブルVLSIシステムの基盤技術として、(1) 周波数領域等化補償技術、(2) オールシリコンCMOSによる高周波IC、(3) 方式ごとに適応的にビット幅サンプリング周波数を切り替えるスケーラブルADC/DACを研究し、低BERを実現するブロードバンド・オールシリコンMixed Signal CMOSチップセットを開発している。これらはディペンダブルVLSIシステムとしての基盤技術開発である。それに対して本プロポーザルは、新しい方式へ向けた研究課題とそれを連携して支える要素技術の研究課題に取り組むものである。前記CRESTプロジェクトとは補完関係にあり、相乗効果が期待される。

将来の電波利用の課題に関しては、総務省電波政策懇談会^[10]が、2008年10月から開催されており、2010年代の電波利用の将来像とそれらを実現するための課題を明らかにし、電波有効利用方策について検討を始めている。2009年6月を目途に課題をまとめた報告書が出る予定である。個別の無線利用の場面を想定したアプリケーションのための研究課題が公募されて示されている段階であり、具体的な研究計画はまだ示されていない。

10.2 米国の研究開発状況

NSFでは、無線関係の研究開発が、基礎理論、材料デバイス、アンテナ技術、方式研究など200件近くにわたり幅広く実施されている。コグニティブ無線の改良に繋がる可能性を持つ技術や、次世代の無線方式に繋がる技術、そして学生に対する無線技術の教育に積極的にファンディングを行っている。

1 提案の内容

2 研究投資
する意義

3 具体的な
研究開発課題

4 研究開発の
推進方法

5 科学技術上の
効果

6 社会・経済的
効果

7 時間軸に
関する考察

8 検討の経緯

9 研究開発
課題の詳細

10 国内外の状況

参考資料・付録

将来を見据えた方式の研究としては、“NeTS-ProWiN : Efficient Spectrum Reuse Without Harmful Interference to Existing Systems”があり、既存のシステムを妨害することなく使用されていない周波数を検知し、使用周波数の再割当を高速かつ効率的に行うアルゴリズムを研究している。また、センサネットワーク、アドホックネットワーク、協調動作という視点では、“NeTS-NOSS : Exploring the Design Space of Sensor Networks Using Route-Aware MAC Protocols”があり、消費電力と性能の両方を考慮した経路制御を行う無線センサネットワークを研究している。また、ハードウェア再構成という視点では、“NeTs-ProWin : High Performance Cognitive Radio Platform with Integrated Physical and Network Layer Capabilities”において、ソフトウェアで再構成可能な物理層とネットワーク層を統合した機能をもつ高性能コグニティブ無線プラットフォームが研究されている。いずれの研究も始まったばかりであり、新しい方式のアイデアを探索、模索している段階である。

さらに、“Open Programmable Mobile Internet 2020”^[22]としてStanford大学は、移動端末デバイスを使った新世代のサービスやアプリケーション、行動について、その課題をあきらかにするために、オープンなユビキタス無線通信とモバイルコンピューティング環境を基盤としてキャンパスを中心に社会実験を実施している。

DARPAの公開情報によるファンディング状況としては、ミリ波およびサブミリ波帯において、通信用途やセンシング用途などに特化せずに無線技術の研究開発への取り組みがある。また、材料・デバイスの研究開発には熱心であり、Graphene、cryoCMOS、RFCMOS、Carbon Electronics、InPなどへのファンディングがある。

10.3 欧州の研究開発状況

FP7プログラムのICT (Information and Communication Technologies) 領域で、無線通信に関連するファンディングがなされている。

新しい方式やアンテナに関連する研究として、“SMART-BNET : SMART-antenna multimode wireless mesh Network”のように、電波の利用状況に応じて指向性を変更できるスマートアンテナを基地局だけでなく、受信者側、端末側にも利用して無線メッシュネットワークのサービスコストの低減や性能向上をはかる研究が行われている。

また、材料・デバイス関連として、“MEMS-4-MMIC : Enabling MEMS-MMIC technology for cost-effective multifunctional RF-system integration”があり、費用対性能が高く、しかも回路設計自由度の高い多機能MMIC向けのMEMS技術の研究開発が始まっている。

10.4 ミリ波デバイス関係研究開発の現状

「3. 具体的な研究開発課題」で述べた「(1-2-a) 未利用周波数帯の利用による周波数有効利用技術の研究」に関して、ミリ波帯利用のために必要なデバイスの研究開発状況を眺めてみると、ISSCC、VLSIシンポジウムなどに於いて、CMOS技術を使ったミリ波帯関連のデバイスの研究開発発表がなされている(図4)。海外からは大学中心の発表が多く、日本からは企業中心の発表が多いことが特徴である。60GHz付近を中心とした周波数での発表が多いのは、IEEE802.15.3cでの利用が想定されているミリ波帯の周波数を反映しているためである。

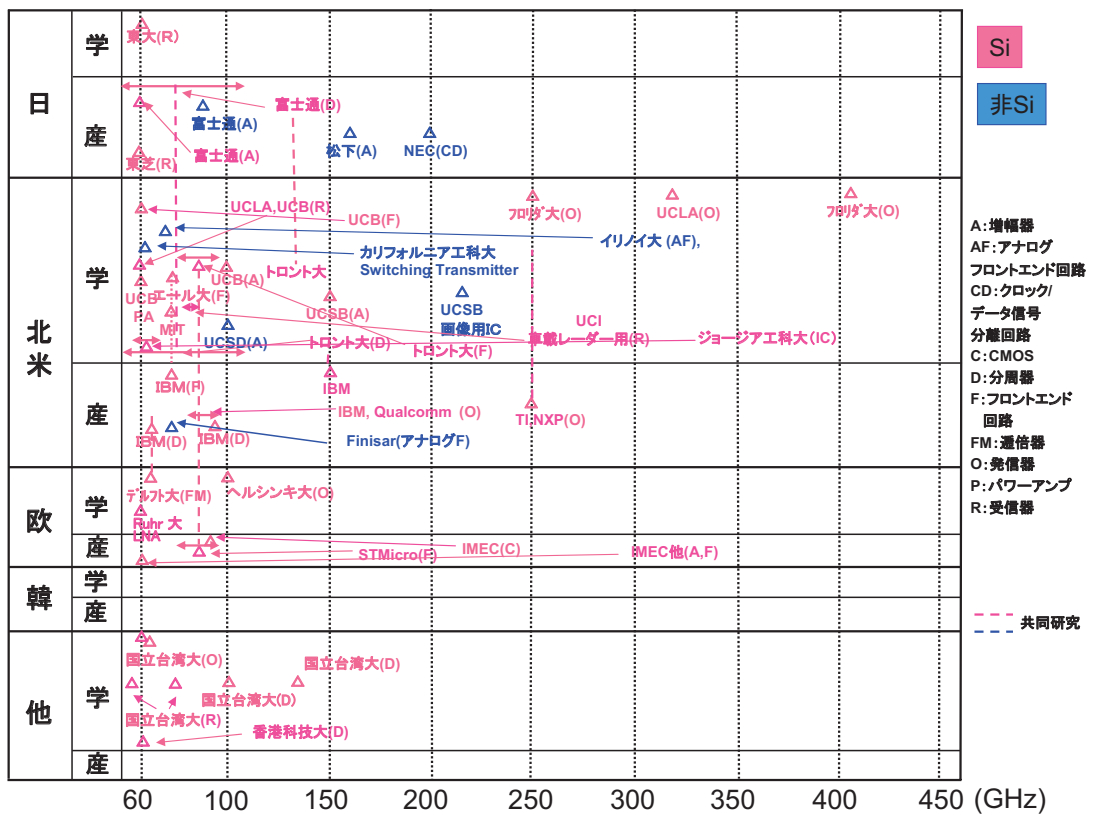


図4 デバイス関連国際学会でのミリ波帯デバイスの発表

- 1 提案の内容
- 2 研究投資する意義
- 3 具体的な研究開発課題
- 4 研究開発の推進方法
- 5 科学技術上の効果
- 6 社会・経済的効果
- 7 時間軸に関する考察
- 8 検討の経緯
- 9 研究開発課題の詳細
- 10 国内外の状況
参考資料・付録

参考資料

- [1] A World of connections, The Economist, April 28, 2007
- [2] 新しい水晶振動子の発見 古賀逸策、
<http://jp.fujitsu.com/about/journal/offtime/japanesespirts/20081104/>
- [3] エネルギーとじこめ型多重モード圧電フィルタの発明・研究
http://www.dbjet.jp/pub/cgi-bin/detail_pro.php?id=927
- [4] Onoe, M.; Jumonji, H.; Kobori, N., “High Frequency Crystal Filters Employing Multiple Mode Resonators Vibrating In Trapped Energy Modes”,
20th Annual Symposium on Frequency Control. 1966
- [5] 弾性表面波フィルタの開発と実用化
http://www.dbjet.jp/pub/cgi-bin/detail_pro.php?id=1023&top=html
- [6] K.Shibayama, K.Yamanouchi, H.Sato and T.Meguro, “Optimum Cut of Rotated Y-cut LiNbO3 Crystal Used as the Substrate of Acoustic Surface Wave Filters”, Proceedings of IEEE, Vol.64, No.5, p.595, May (1976)
- [7] Hashimoto, K.-Y.; Yamaguchi, M.; Mineyoshi, S.; Kawachi, O.; Ueda, M.; Endoh, G. “Optimum leaky-SAW cut of LiTaO3 for minimised insertion loss devices”, Ultrasonics Symposium, 1997. Proceedings., 1997 IEEE
Volume 1, Issue , 5–8 Oct 1997 Page (s) : 245–254 vol.1
- [8] 総務省 ICT成長力懇談会
http://www.soumu.go.jp/joho_tsusin/policyreports/chousa/vigor/index.html
- [9] 総務省 ICT成長力懇談会最終報告書 “xiCT” ビジョン、2008年7月、
http://www.soumu.go.jp/s-news/2008/pdf/080703_6_bt2.pdf
- [10] 総務省 電波政策懇談会
http://www.soumu.go.jp/joho_tsusin/policyreports/chousa/denpa_seisaku/index.html
- [11] Open Programmable Mobile Internet 2020
<http://www.nsf.gov/awardsearch/showAward.do?AwardNumber=0832820>
- [12] 八島由幸、SC29/WG11におけるビデオ圧縮符号化最前線、情報技術標準NEWSLETTER、No.79、情報処理学会、2008年9月
- [13] Ganesan, A. Sayeed, A.M, “A virtual MIMO framework for multipath fading channels”, Thirty-Fourth Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers, October 2000.
- [14] Nosratinia, A.; Hunter, T.E.; Hedayat, A. ,“Cooperative communication in wireless networks”, IEEE Communication Magazine, October 2004.

- [15] Reichman, A. , “Cooperative communication overview” , IEEE International Conference on Microwaves, Communications, Antennas and Electronic Systems, 2008. COMCAS 2008. May 2008.
- [16] Weragama, N.S.; Sandirigama, M., “SAS-3 : A polynomial based strong password authentication protocol” , International Conference on Industrial and Information Systems, 2007. ICIIS 2007. August 2007.
- [17] 情報通信審議会答申、“中長期における電波利用の展望と行政が果たすべき役割～電波政策ビジョン～”、平成15年7月
- [18] 総務省電気通信事業紛争処理委員会事務局、“電気通信の現状 5. 電波利用の現状と政策の動向”、平成20年9月
http://www.soumu.go.jp/hunso/data/genjo/pdf/y_20_06.pdf
- [19] 電子情報通信学会ソフトウェア無線研究会、<http://www.ieice.or.jp/cs/sr/jpn/>
- [20] 情報理論とその応用学会、<http://www.sita.gr.jp/jpn/top/index.html>
- [21] 総務省 電波資源拡大のための研究開発の実施
<http://www.tele.soumu.go.jp/j/fees/purpose/kenkyu.htm>
- [22] The Programmable Open Mobile Internet (POMI) 2020 Project, Stanford University Clean Slate Research Project
http://cleanslate.stanford.edu/research_project_pomi.php
- [23] 科学技術振興機構研究開発戦略センター、科学技術未来戦略ワークショップ報告書「無線通信基盤技術の研究開発に関するフィージビリティスタディ」、CRDS-FY2008-WR-13、2009年3月

1 提案の内容

2 研究投資する意義

3 具体的な研究開発課題

4 研究開発の推進方法

5 科学技術上の効果

6 社会・経済的効果

7 時間軸に関する考察

8 検討の経緯

9 研究開発課題の詳細

10 国内外の状況

参考資料・付録

付録1 統合無線技術検討会参加者および検討協力者

統合無線技術検討会参加者

市川 晴久	電気通信大学電気通信学部 教授
上原 一浩	日本電信電話株式会社NTT未来ねっと研究所 主幹研究員
追田 武雄	日本電波工業株式会社 フェロー
加藤 修三	東北大学電気通信研究所 教授
門田 道雄	株式会社村田製作所技術・事業開発本部 フェロー
河野 隆二	横浜国立大学大学院工学研究院 教授
小林 春夫	群馬大学工学部 教授
鹿田 真一	産業技術総合研究所ダイヤモンド研究センター 副センター長
高田 潤一	東京工業大学大学院理工学研究科 教授
坪内 和夫	東北大学電気通信研究所 教授
橋本 研也	千葉大学大学院工学研究科 教授
宮本 恭幸	東京工業大学理工学研究科 准教授

(五十音順)

検討協力者

小檜山賢二	慶應義塾大学SFC研究所 上席所員 (訪問)
齊藤 忠夫	株式会社トヨタIT開発センター CTOチーフサイエンティスト
原田 博司	情報通信研究機構新世代ワイヤレス研究センター グループリーダー

(五十音順)

付録2 用語集

コグニティブ無線 (Cognitive Radio)

端末や基地局などの無線機が、周辺の電波環境を認識・認知 (cognitive) し、その電波状況に応じて、無線通信に利用する周波数や方式などを決めて通信する方式。一時的に使われていない無線周波数を有効利用できる可能性があり、周波数の有効利用、利用率向上の有力技術だと考えられている。

ビームフォーミングアンテナ (Beam Forming Antenna)

指向性を調整できるアンテナ。

フロントエンド (Front-end)

無線の送受信機におけるアンテナに近い側の回路部分、高周波信号を処理する部分。低雑音増幅器やフィルタ等から構成される。

無線インタフェース

移動体通信における端末と基地局の間の無線通信区間のこと。OSIモデルの第1層 (物理層) と第2層 (MAC層) に相当する。エアインタフェース (Air Interface) ともいう。

メタマテリアル (Meta-Material)

「人間の手で創生された物質」を意味するが、特に負の屈折率を持った物質のことを示す。可視光や電磁波に対して特異な性質を示し、分解能の限界や回折限界の突破が可能とされる。無線分野ではバンドパスフィルタ、新種のアンテナ等での応用が期待されている。

APAA (Active Phased Array Antenna)

通常アンテナが電波の輻射に関して一定の指向性をもつのにたいし、比較的小さなアンテナを多数並べ、そこへの給電、位相を細かく制御することにより、動的に指向性を変更できるアンテナ。

BAN (Body Area Network)

人体に近接した領域および人体内部での通信を行うためのネットワーク。無線型内視鏡、無線除細動器つきペースメーカーなどの医療分野での応用なども考えられている。

Carbon Electronics

カーボン系の素材 (カーボンナノチューブ、グラフェン、カーボン複合体等) ですべて作られたエレクトロニクス。

1 提案の内容

2 研究投資
する意義3 具体的な
研究開発課題4 研究開発の
推進方法5 科学技術上の
効果6 社会・経済的
効果7 時間軸に
関する考察

8 検討の経緯

9 研究開発
課題の詳細

10 国内外の状況

参考資料・付録

CDMA (Code Division Multiple Access)

無線における多元接続方式の一種。携帯電話で使われている主要な方式。スペクトル拡散方式の一種。符号分割多元接続とも呼ばれる。

cryoCMOS (Cryogenic CMOS)

低温で動作させるCMOSデバイスのこと。低温で動作をさせると移動度が向上して高速動作が可能となる。

FDMA (Frequency Division Multiple Access)

無線における多元接続方式の一種。ある周波数帯を複数の周波数に分割して、必要に応じて各無線ノードに割り当てて使う方式。周波数分割多元接続とも呼ばれる。

Graphene

グラファイト (黒鉛) が、平らに並んだ炭素原子の層がいくつも積み重なってできているのに対して、その1枚の層のこと。金属やカーボンナノチューブを超える大きな電子移動度をもつ。高周波用FET等の研究がなされている。

InP (Indium Phosphied)

リン化インジウム。電子移動度ならびに耐放射線が高い半導体デバイス。大電力、高速電子デバイス、衛星搭載用半導体デバイス、太陽電池、赤外線用半導体レーザー素子などに利用されている。

IPv6 (Internet Protocol Version 6)

現在主に使われている32ビットのアドレス空間しかもたないIPv4の後継として、アドレス空間を128ビットにし、そのほかの機能改善、新機能を取り入れた、導入が進みつつある次世代インターネットプロトコル。

MEMS (Micro Electro Mechanical Systems)

機械要素部品、センサ、アクチュエータ、電子回路を1つのシリコンや有機材料基板上に集積化したデバイス。無線関連では高周波フィルタ、スイッチなどに使われる。

MIMO (Multi-Input Multi-Output)

複数入力、複数出力による無線通信を示す。従来はある無線ノードの利用するアンテナは1つであるの対し、入出力とも複数のアンテナを用意し、電波伝搬特性の違う複数通信路を用いて通信速度を向上させる技術。

MMIC (Monolithic Microwave Integrated Circuit)

モノリシックマイクロ波集積回路。トランジスタなどの能動素子と、マイクロ波回路に必要な受動素子（キャパシタ、インダクタ、抵抗、伝送路）などを1つの半導体基板上に構成したもの。

PAN (Personal Area Network)

数メートルの距離までの通信を行うためのネットワーク。

RF CMOS

高周波（RF：Radio Frequency）の回路をCMOS技術で実現する技術。

RFID (Radio Frequency Identification)

無線を利用した識別タグ。物流などでの利用によるコスト削減やトレーサビリティ向上などに役立てられる。

SAW (Surface Acoustic Wave)

弾性表面波。固体表面を伝搬する機械的な振動波のこと。これを利用したSAWフィルタ（デバイス）が高周波フィルタとして携帯電話などの無線機器で幅広く利用されている。

SiP (System in Package)

集積回路パッケージ内に複数の集積回路を組み込み、システム機能を提供できるようにすること。

SoC (System On a Chip)

集積回路上にメモリやCPUなどといった単一機能ではなくシステム全体を載せて、ワンチップでシステム機能を提供できるようにすること。

WRAN (Wireless Regional Area Network)

数十kmの範囲での高速無線通信ネットワーク。IEEE 802.22委員会では、比較的人口密度の低い郊外における高速ネットワーク環境提供の手段の標準として作業が進められている。

1 提案の内容

2 研究投資
する意義

3 具体的な
研究開発課題

4 研究開発の
推進方法

5 科学技術上の
効果

6 社会・経済的
効果

7 時間軸に
関する考察

8 検討の経緯

9 研究開発
課題の詳細

10 国内外の状況

参考資料・付録

■ 戦略プロポーザル作成メンバー ■

楠本博之	フェロー	(電子情報通信ユニット)
田中秀治	特任フェロー	(物質・材料ユニット)
丹羽邦彦	上席フェロー	(電子情報通信ユニット)
伊東義曜	主任調査員	(電子情報通信ユニット)
中山智弘	フェロー	(物質・材料ユニット)

※お問い合わせ等は下記ユニットまでお願いします。

戦略プログラム

ユビキタス情報社会を支える 無線通信基盤技術の統合型研究開発

CRDS-FY2008-SP-13

独立行政法人 科学技術振興機構 研究開発戦略センター

平成21年3月

電子情報通信ユニット

〒102-0084 東京都千代田区二番町3番地

電話 03-5124-7484

ファックス 03-5124-7385

<http://crds.jst.go.jp/>

©2008 JST/CRDS

許可なく複写／複製することを禁じます。
引用を行う際は、必ず出典を記述願います。

ATTAATC A AAGA CCTAACT CTCAGACC

CT CTCGCC AATTAATA

TAA TAATC

TTGCAATTGGA CCCC

AATTCC AAAA GGCCTTAA CCTAC

ATAAGA CTCTAACT CTCGCC

AA TAATC

AAT A TCTATAAGA CTCTAACT CTAAT A TCTAT

CTCGCC AATTAATA

ATTAATC A AAGA CCTAACT CTCAGACC

AAT A TCTATAAGA CTCTAACT

CTCGCC AATTAATA

TTAATC A AAGA CCTAACT CTCAGACC

AAT A TCTATAAGA CTCTAACT

ATTAATC A AAGA CCT

GA CCTAACT CTCAGACC

0011 1110 000

00 11 001010 1

0011 1110 000

0100 11100 11100 101010000111

001100 110010

0001 0011 11110 000101

