CRDS-FY2008-WR-13

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

独立行政法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター

Center for Research and Development Strategy Japan Science and Technology Agency

Executive Summary

独立行政法人科学技術振興機構（JST）研究開発戦略センター（CRDS）は、科学技術の研究分野を俯瞰的に展望し、今後重要となる研究領域、課題を系統的に抽出し、社会ニーズの充足と社会ビジョンの実現に向けた研究開発のファンディング戦略を立案・提言している。この活動の一環として、「無線通信技術」に関して提言すべき研究課題について検討し、無線通信方式、材料、デバイスなどの無線通信技術の研究に関して、国が方式からデバイスまで連携をとった基盤的技術研究に対してファンディングすることが妥当かどうかのフィージビリティスタディを実施することになった。この検討を進めるため、方式から材料・デバイスまでの統合的な無線通信技術の研究開発をテーマにした本ワークショップ「統合無線技術検討会」を開催した。

本ワークショップでは、有識者とCRDSによる事前の検討および、ワークショップの参加者への事前の質問という形で、論点をまとめ、当日の議論を行った。無線通信技術に関して幅広く検討し、研究提言すべき基盤的研究分野はなにか、その分野での研究推進に国がファンディングするのは妥当か、どのような研究課題や推進方法が考えられるかについて議論した。

ワークショップでの検討の結果、次の二つの結論を得た。

- 基盤的な無線通信技術に関して方式から材料・デバイスまでの連携した研究推進には意義があり、国内の公的研究機関等で行われていない、基礎的な取り組むべき研究課題がある。
- 具体的には、新しい無線通信方式の研究、周波数有効利用技術に関する研究(ミリ波などの未利用周波数帯の利用、空間多重による有効利用、コグニティブ無線のような割当済み周波数の動的有効利用)、およびそれらを実現するアナログ回路技術や、材料・デバイスの基盤的研究である。

また、研究課題とは別に、大学での無線技術者、回路技術者の育成という面で、日本の研究開発力の維持発展のために留意して育てていかなければならないという重要な示唆も得られた。

CRDSでは本ワークショップでの議論をふまえて、今後戦略プロポーザルの検討を行う予定である。

目　次

Executive Summary

1. ワークショップの目的 …… 1
2. ワークショップ開催までの検討と論点 …… 5
   2.1 ワークショップ開催までの検討経緯 …… 6
   2.2 ワークショップで議論すべき論点と議論の進め方 …… 6
   2.3 事前アンケート …… 6
3. 無線通信基盤技術(ワークショップ当日発表資料) …… 9
   3.1 ワークショップ開催趣旨説明と議論の進め方 …… 11
   3.2 コグニティブ無線の視点から　上原一浩（NTT未来ねっと研） …… 14
   3.3 電波伝搬の視点から　高田潤一（東京工業大学） …… 15
   3.4 RFフロントエンドの視点から　橋本研也（千葉大学） …… 17
   3.5 デバイスの視点から　坪内和夫（東北大学） …… 18
   3.6 統合情報通信技術への期待　河野隆二（横浜国立大学） …… 20
   3.7 技術課題の議論にあたって　田中秀治（CRDS/東北大学） …… 22
4. ワークショップで出された意見 …… 25
   4.1 重要な無線通信技術に関する研究の方向性 …… 26
   4.2 研究課題の推進方法について …… 26
   4.3 周波数有効利用に関する研究 …… 28
5. まとめ …… 31

付録1　事前アンケート回答 …… 33
付録2　ワークワークショッププログラム …… 40
付録3　参加者一覧 …… 41

1

ワークショップの目的

1．ワークショップの目的

本ワークショップの目的は、無線通信方式研究のような上位層から材料・デバイスのような下位層までを連携した基盤研究へのファンディングの妥当性、その研究課題と推進方法について検討することである。

独立行政法人科学技術振興機構（JST）研究開発戦略センター（CRDS）は、科学技術の研究分野を俯瞰的に展望し、今後重要となる研究領域、課題を系統的に抽出し、社会ニーズの充足と社会ビジョンの実現に向けた研究開発のファンディング戦略を立案・提言している。この活動の一環として、2008年３月に開催された電子情報通信グループの「電子情報通信系俯瞰ワークショップⅢ」において、「コグニティブ無線」が重要課題のひとつとして取り上げられ、2008年度に戦略提言に向けて検討すべき課題として提案された。電子情報通信分野の各技術（コンピューティング、ネットワーク、エレクトロニクスなど）の関連を示した技術俯瞰マップとその中での「コグニティブ無線」の位置づけを図１に示す。また、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」が重要課題の一つとして取り上げられ、戦略提言に向けて検討すべき課題として提案された。ナノテクノロジー・材料分野の各技術、研究開発の関連を示した技術俯瞰マップとその中での「無線通信システムのための電気音響材料・デバイス技術」の位置づけを図２に示す。

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。方式研究のような上位層から材料・デバイスのような下位層までを連携した基盤研究へのファンディングの妥当性、その研究課題と推進方法についてフィージビリティスタディを実施することになり、その一環として本ワークショップ「統合無線技術検討会」を開催した。ここでいう「統合」とは、上位層から下位層までの連携をとった研究開発をさす。「統合無線技術」というテーマに関して、CRDSと有識者による調査・検討による論点抽出の経緯は、「2. ワークショップ開催までの検討と論点」に示す。

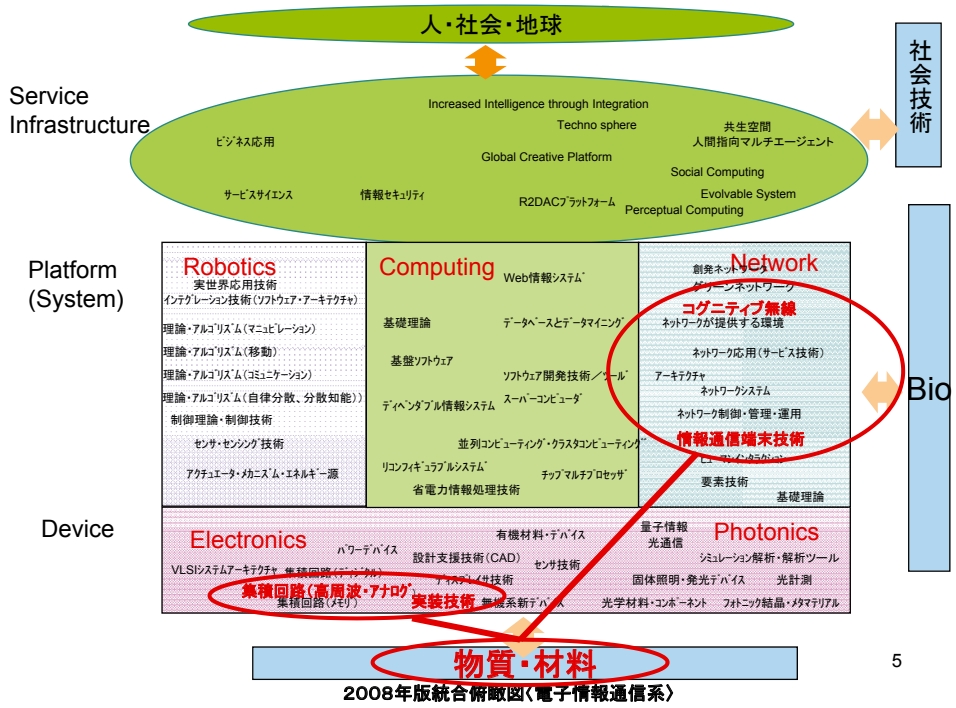


図１　電子情報通信系俯瞰図での位置づけ

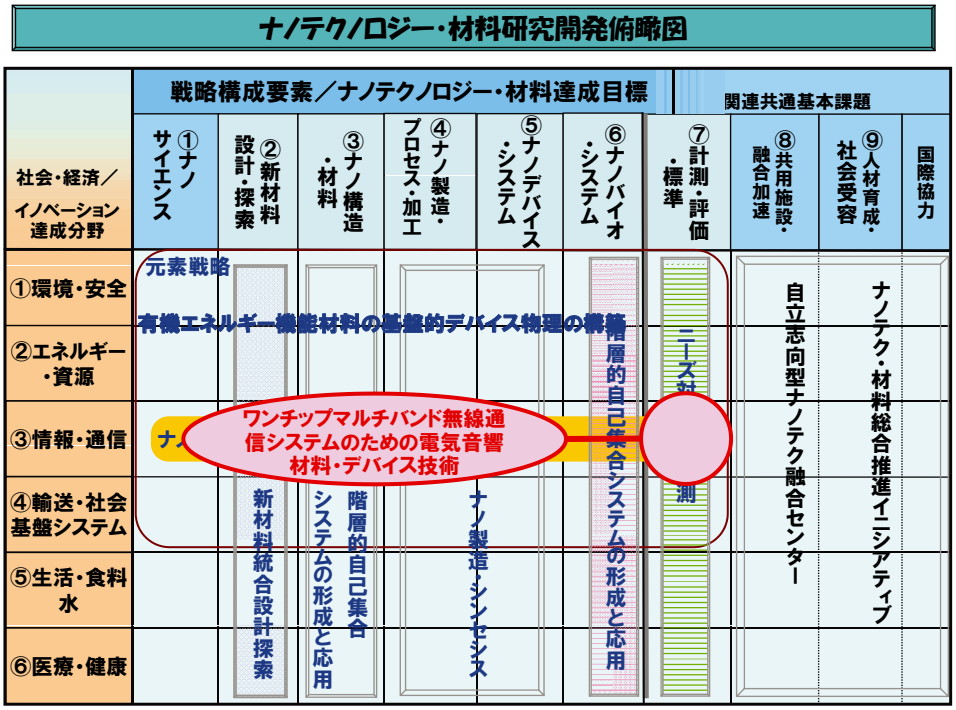


図２　ナノテクノロジー・材料系での位置づけ

2

ワークショップ開催までの検討と論点

2.1 ワークショップ開催までの検討経緯

ワークショップで議論すべき論点を絞り込み、検証すべき仮説を抽出するために、ワークショップ開催のための検討会を2008年５月27日および６月６日に行った。専門分野の異なる有識者として、橋本研也千葉大学教授、加藤修三東北大学教授、河野隆二横浜国立大学教授の３氏に議論に参加していただき、論点をしぼりこんだ。

「統合無線技術」に関して、上位層と下位層を連携しての研究開発や、「統合型」開発の意味、有限資源である電波の周波数不足を解決する「周波数有効利用」などが論点として浮かび上がった。そこで周波数有効利用を含めて、基礎研究が突破すべき研究課題について、また上位層と下位層の連携などどのような研究開発の施策をとるべきかなどについて前記の有識者を交えて検討を重ねた。それをうけて、大学、研究機関、企業など幅広くワークショップに参加していただく有識者の方を推薦いただいた。

2.2 ワークショップで議論すべき論点と議論の進め方

事前の有識者打合せにより、次のような論点がまとめられ、ワークショップで議論することとした。

- 方式のような上位レイヤと材料・デバイスのような下位レイヤが連携をとりながら開発を進めるクロスレイヤ型や、無線方式とインターネット技術のような異なる分野の連携を考えながら開発を進めるインターディシプリン型の無線通信技術開発を検討する
- コンピュータサイエンス分野との融合なども視野に入れての研究課題。再構成可能なハードウエア、API、OSとのからみも戦略分野として考えられるので検討する

2.3 事前アンケート

議論を有意義に効率的に進めるために、出席者に検討事項を送付し、回答していただいた。回答結果は、付録1参照のこと。

検討事項1

日本の無線通信技術の世界における現在のポジションを考えた場合、５～10年後に公的研究機関を中心とする研究開発が一段落し、企業を中心とする実用化開発に移行することを考えた、日本の無線通信技術の強化戦略として、どこをどのように推進するべきでしょうか

検討事項2

「検討事項１」の強化戦略の実現のために、クロスレイヤ型（材料ー加

エーデバイスーソフトウエアの各レイヤが連携）・マルチディシプリン型（材料、加工、デバイス、ソフトウエア、その他の分野におけるレイヤ構造にとらわれない連携）・垂直統合型（目的に向けた技術を総合的に適用）などを含めて、どのような研究推進方法があるでしょうか。

検討事項3

以上のような強化戦略で研究を推進するにあたって、ファンディングや規制緩和を含めた、国の支援のあり方はどうあるべきでしょうか。

3

ワークショップ当日発表資料

ワークショップ当日は、「3.1 ワークショップ開催趣旨説明と議論の進め方」に示した資料にしたがって、ワークショップ開催の趣旨と議論の進め方について、CRDSから説明した後、有識者の方に異なる専門領域の視点から無線通信技術について、研究開発の方向性を含めて次のように発表していただいた。

・コグニティブ無線の視点から

NTT未来ねっと研の上原一浩氏にコグニティブ無線の研究開発の状況について発表していただいた。

・コグニティブ無線と無線技術の標準化

東北大学の加藤修三教授に、ミリ波関連での無線通信技術の国際標準化の経験を踏まえて、コグニティブ無線と無線技術の標準化について、日本がとるべき戦略なども含めて発表していただいた。

・電波伝搬の視点から

東京工業大学の高田潤一教授から、電波伝播およびアンテナ技術の視点から、無線通信技術研究の現状と問題点、今後の方向性について問題提起していただいた。無線実験局の免許取得の問題や、MIMOにおける複雑な電波伝搬の理論的解析、シミュレーションなど取り組むべき課題が指摘された。

・RFフロントエンドの視点

千葉大学の橋本研也教授から、現在の携帯端末における複数周波数帯を扱うために複雑化しているRF（Radio Frequency、高周波）回路についての説明があり、理想的な高周波回路、ADC/DACを始め、高周波デバイスの今後の研究開発の方向性について発表していただいた。

・デバイスの視点から

東北大学の坪内和夫教授からはデバイスの視点から、戦略的創造推進事業(CREST)で進行中のディペンダブルワイヤレスシステム・デバイスの研究開発を含めて、発表していただいた。

・情報通信の視点から

横浜国立大学の河野隆二教授から、情報通信の視点から、PAN（Personal Area Network）やBAN（Body Area Network）などの話題も含めて、今後の日本の研究開発の方向性について発表していただいた。

これらの発表の後、技術課題の検討にあたって、CRDSから議論の指針を示して、全体討議を行った。

3.1 ワークショップ開催趣旨説明と議論の進め方

CRDS内部での議論

- 周波数有効利用
  - 電波は公共財産で限りがある
  - したがって、国がファンディングすべき部分がある
  - すべての無線通信利用は周波数有効利用を考えないといけない
- クロスレイヤ
  - いろいろな企業に、システム全体をわかった技術者がいるはず
- 日本としての戦略はどうする？
  - 最終的にMEXT,JSTのファンディングとしてどうするかも考えてほしい
  - 他の機関のファンディング状況も把握すること

周波数有効利用のための統合無線技術

- 周波数有効利用を実現する技術に関して、基礎研究が突破すべき研究課題を示すのが大切ではないか？
- 研究開発へ国がどのように関与し、進めるべきか？考えうるシナリオ(研究施策、方策、産官学の分担方式)の選択肢は何か？またどれをとるべきか？

周波数有効利用のための無線技術の検討

- (1)無線通信の現状整理と将来の需要、要求、夢の整理したい
- (2)周波数の有効利用にはどのような方法が考えられるか。また、そのときの課題は何か
- (3)産業競争力や社会ニーズにこたえるために、国として支援すべきことは何か
- 以上を検討し、必要ならばプロポーザルを作成する

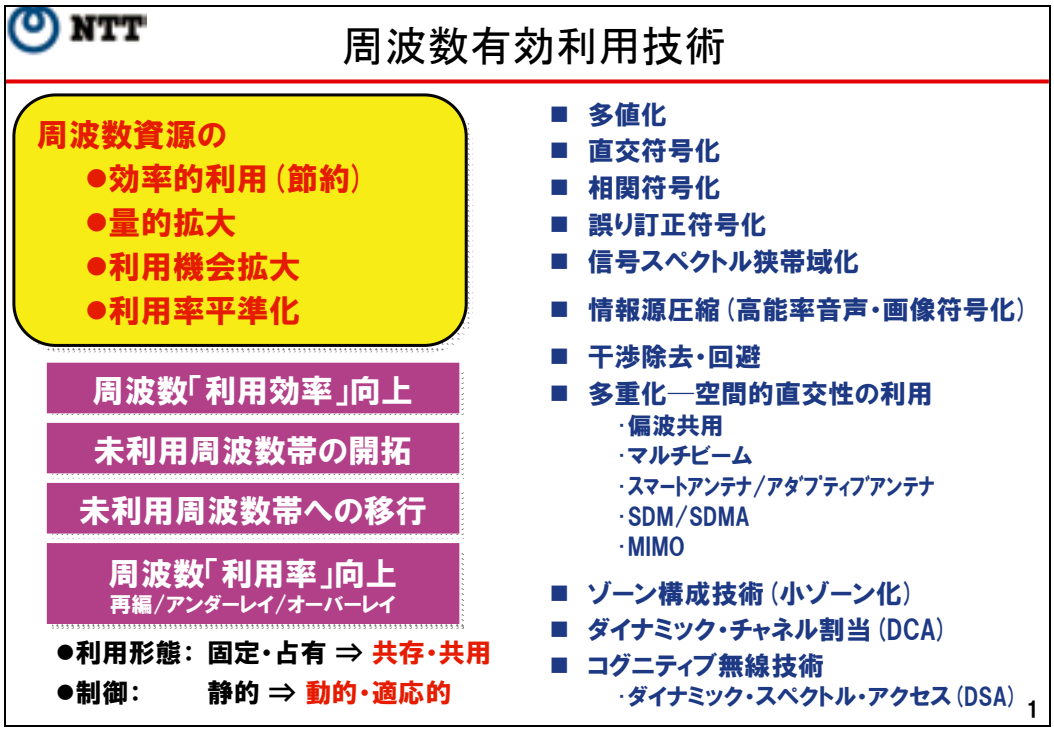
議論についてのお願い

- 周波数有効利用という広い視点で、日本の無線通信技術の戦略を考えたい
- マルチディシプリン、クロスレイヤなどの可能性を考え、戦略を示したい
- 標準化、電波行政施策は重要な要素であるが、深入りせず、技術的議論を深めたい
  - たとえば、ある技術に関して現状では不都合な法制度を「示す」程度までで、どのように変更していくかまでは深入りしない

本日の議論の進め方

- 午前中は、無線通信技術全般について、本検討会の趣旨にあわせて、多様な分野からの話題提供
- 午後は、
  - 技術分野の俯瞰と事前検討を基にした日本の現状についての把握
  - 技術課題の検討
  - 国の支援、施策のありかた、課題の重要度

3.2 コグニティブ無線の視点から　上原一浩（NTT未来ねっと研）



3.3　電波伝搬の視点から　高田潤一（東京工業大学）

周波数資源の有効利用
－アンテナ・伝搬が関わる技術－

- 帯域当たり伝送量の増加
  - MIMO伝送
  - 空間的な周波数繰り返し利用
    - マイクロセル
    - マルチホップ中継
- 周波数利用率の増大
  - コグニティブ無線
- 新周波数帯の開拓
  - マイクロ波の移動通信への応用
  - ミリ波の開拓

- 新たな無線利用
  - 近距離無線
    - PAN
    - BAN
    - RFID

「実用的」アンテナ「研究」の難しさ

- 「アンテナの利得と論文の本数は比例する」
- 機器組込アンテナは「各論」．回路実装に非常に大きな影響を受けるため，学術的な一般化が非常に困難．
- ただし，携帯電話と無線LANを比較すれば，傾向としては，前者が作り込みの各論なのに対して，後者は市販品の一般論で物ができている．

検討事項1:
- 日本の無線通信技術の世界における現在のポジションを考えた場合、5～10年後に公的研究機関を中心とする研究開発が一段落し、企業を中心とする実用化開発に移行することを考えた、日本の無線通信技術の強化戦略として、どこをどのように推進するべきでしょうか

コグニティブ無線技術:ハードウェア・システム・法規制

検討事項2:
- 「検討事項1」の強化戦略の実現のために、クロスレイヤ型(材料－加工－デバイス－ソフトウエアの各レイヤが連携)・マルチディシプリン型(材料、加工、デバイス、ソフトウエア、その他の分野におけるレイヤ構造にとらわれない連携)・垂直統合型(目的に向けた技術を総合的に適用)などを含めて、どのような研究推進方法があるでしょうか。

サービスイメージからのトップダウンの流れと, 要素技術からのボトムアップの流れを繰り返し検討することが大事.

検討事項3:
- 以上のような強化戦略で研究を推進するにあたって、ファンディングや規制緩和を含めた、国の支援のあり方はどうあるべきでしょうか。

通信のように標準化を避けて通れない技術分野で, 学術機関主導による研究開発体制を作るのは難しい. 国の学術機関に対するファンディングは基礎研究に対して行うべきである.

産学官の連携体制が整えば, 国のファンディングはこの連携体そのものに対して行い, 各学術機関がサブコントラクトの形で経費を受け取るのが妥当であると考える.

3.4　RFフロントエンドの視点から　橋本研也（千葉大学）

ＲＦ技術で欠けているものは？

＝　ＲＦ受動可変フィルタ

＋　*技術発展に対する先行投資*

シーズは？

- 比類無き設計技術
- 最先端のＭＥＭＳ技術
- 強誘電体薄膜堆積への技術蓄積
- 世界市場を席巻する産業競争力

実現を拒んでいるものは？

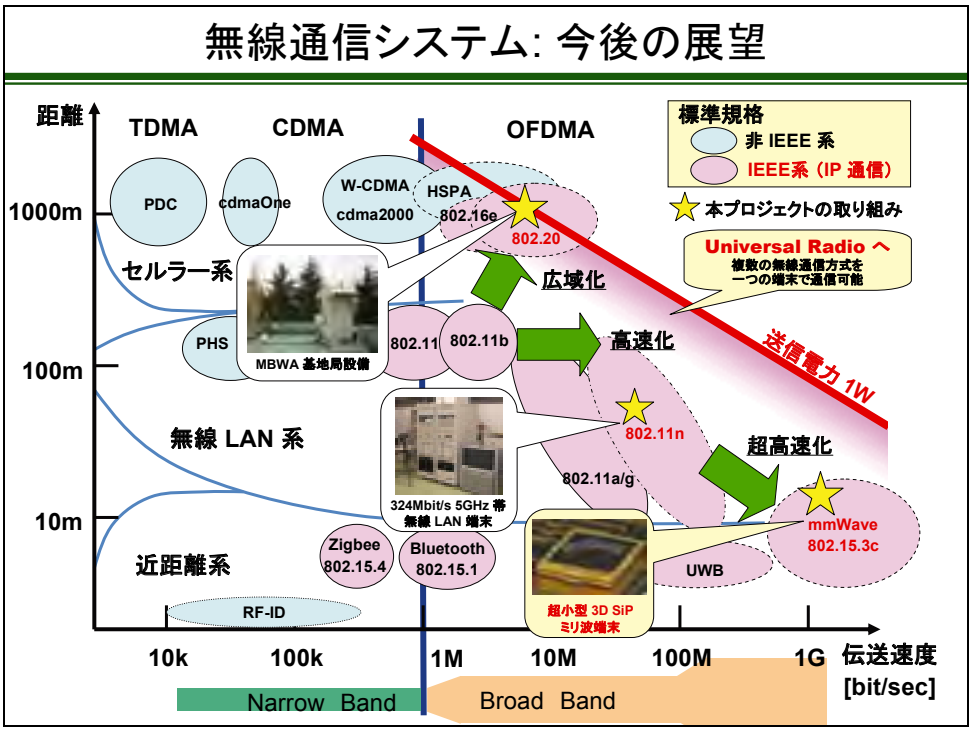
＝　短期利潤の追求

- 明日のことよりも今日のこと
- 不確かなものへの投資に対する抵抗感
- アナリスト情報への過度な依存

＋　セクショニズム

- 手中にある技術での実現を
- 不得意技術の導入に対する抵抗感
- 階層間の障壁
- アカデミズムと産業応用

3.5　デバイスの視点から　坪内和夫（東北大学）

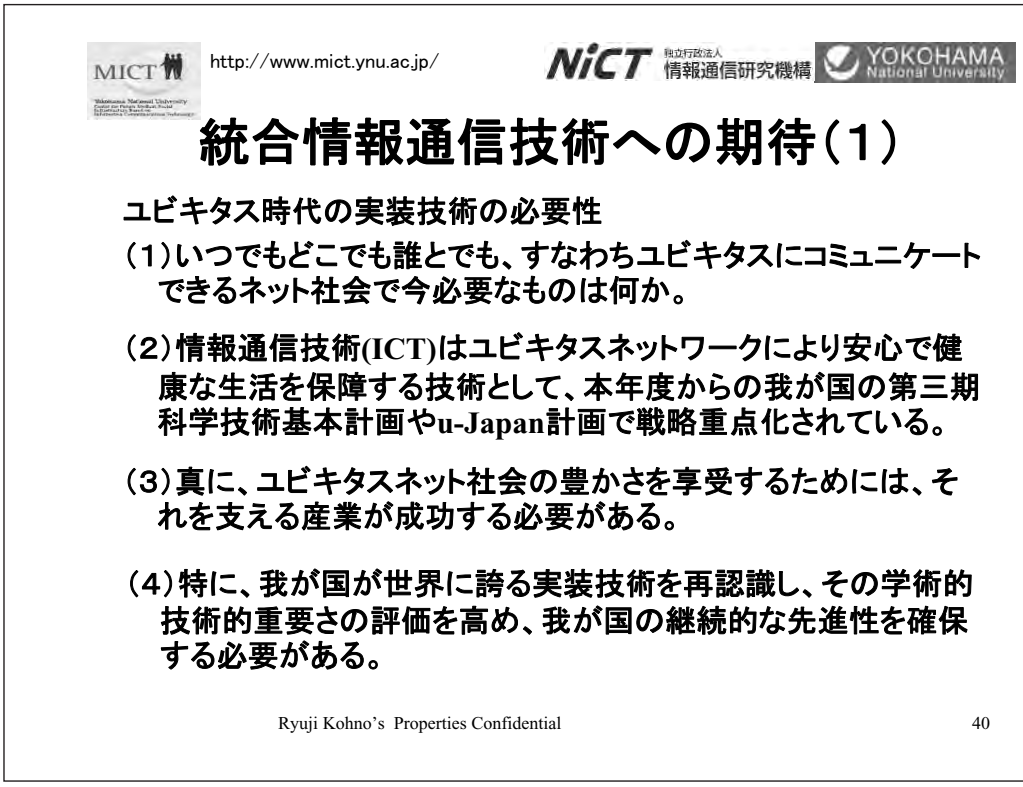


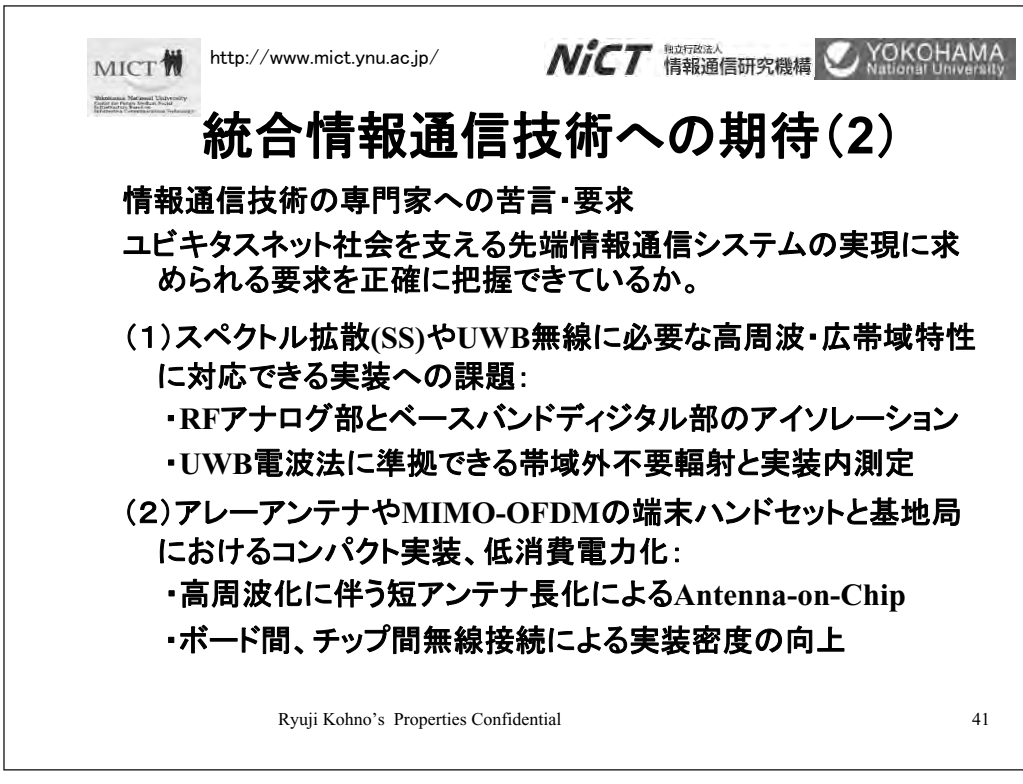
まとめ: 将来の展望

- 取り組むべき研究課題:「量より質の時代へ」
  - 家電ネットワーク・モバイルネットワーク
  - 日本の弱点: ソフトウェア技術 ⇒ 国の予算がつきにくい
    - システムレベル記述言語: ハードウェア・ソフトウェアの橋渡し
- 標準化提案・ロビー活動の必要性: 国際的リーダシップ
  - IEEE802.11b 失敗の反省から
    - 海外の標準化拠点・ロビイストの必要性
    - 国内でのクリティカルマス形成の必要性 ⇒ 政府・大学主導
- 電波資源有効活用:
  ワイヤレスネットワーク技術
  - 電波は国民一人一人の貴重な財産
  - 周波数グランドデザインの必要性
    - 「周波数管理」と「周波数開放」の両輪が必要
    - アナログテレビ (UHF・VHF) 帯の早期転用
    - 新技術による周波数再開発

日本発の情報通信技術を全世界へ

3.6　統合情報通信技術への期待　河野隆二（横浜国立大学）





MICT http://www.mict.ynu.ac.jp/ NiCT 独立行政法人 情報通信研究機構 YOKOHAMA National University

統合情報通信技術への期待（3）

情報通信技術の専門家への苦言・要求

ユビキタスネット社会を支える先端情報通信システムの実現に求められる要求を正確に把握できているか。

（3）ユビキタス環境や要求の変化に適応するソフトウェア無線(SDR)に適した実装アーキテクチャ:

・ソフトウェアによるシステム構成変更可能性(Software System Reconfigurability)の実装

・マルチモード・マルチバンドに対応できる実装

（4）ハードウェアでもソフトウェアでも実現できるシステム（MODEMなど）のための実装:

・Software / Hardware Co-Designに基づく実装

・実装のソフトウェア化、自動最適化

Ryuji Kohno's Properties Confidential 42

MICT http://www.mict.ynu.ac.jp/ NiCT 独立行政法人 情報通信研究機構 YOKOHAMA National University

統合情報通信技術への期待（4）

情報通信技術の学術開拓、産業振興、人材育成

（1）実装技術を構成する要素の学術的体系化

・要素技術を支える基礎理論の構築

（2）関連学術分野との境界融合領域の学術研究課題発掘

・大学院生の論文や特許対象としての課題探索

（3）産業上での重要性を強調し、製造技術の粋として、実測技術の国際戦略性を再認識

・標準化を通じた技術の普及と量産化必須技術

（4）世界に冠たる我が国の実装技術を継承し、一段の飛躍を推進するリーダーの教育と、エキスパートの育成

科学技術振興機構（JST）の果たす役割は大きい！

私のUWBや医療ICTコンソシアムの経験を活かしたい！

Ryuji Kohno's Properties Confidential 44

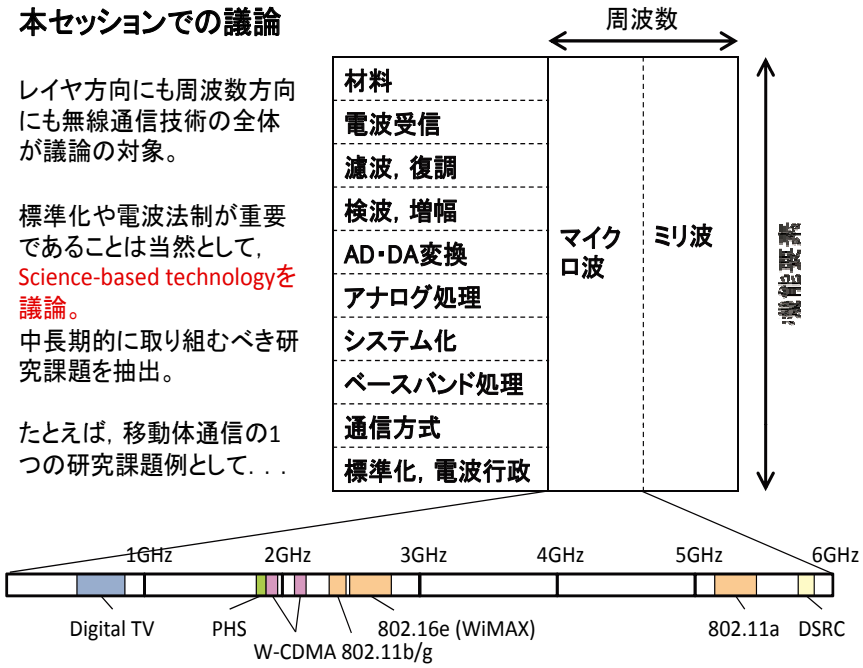
3.7　技術課題の議論にあたって　田中秀治（CRDS/東北大学）

本セッションでの議論

レイヤ方向にも周波数方向にも無線通信技術の全体が議論の対象。

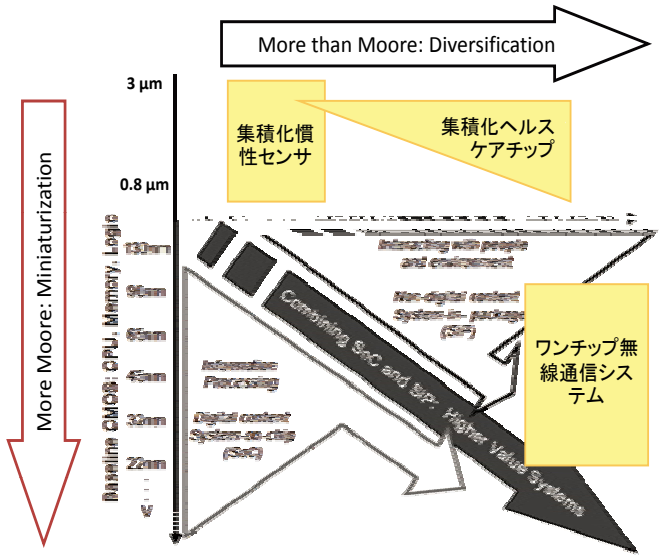
標準化や電波法制が重要であることは当然として，Science-based technologyを議論。
中長期的に取り組むべき研究課題を抽出。

たとえば，移動体通信の1つの研究課題例として．．．



集積化のさらなる進展：新しい可能性の予感

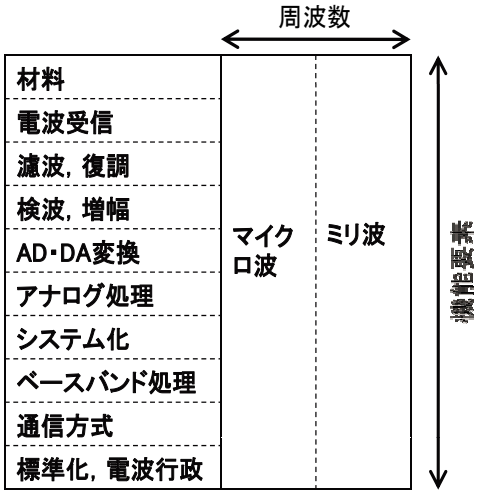
- More than Mooreの方向
- More Mooreの方向でソフトウェアにも新しい可能性
- 微細化と多様化との同時追及



本セッションでの議論

レイヤ方向にも周波数方向にも無線通信技術の全体が議論の対象。

標準化や電波法制が重要であることは当然として，
Science-based technologyを議論。
中長期的に取り組むべき研究課題を抽出。



Q 規格が決まれば，開発するのだが… 国際標準化が先だ！
A 皆さんなら，どのような将来技術像を描きますか？どのような提案をしますか？
それを実現するには，どのような科学技術に手を付ける必要がありますか？

Q 我が国には戦略がない。国は戦略を作るべきだ！
A 戦略を作るのは他ならぬ皆さんです。

技術課題マップ例

リコンフィギュアラブル無線

	マイクロ波				ミリ波
材料		新規高性能圧電材料	超high-k低損失材料	室温超電導材料	
電波受信	帯域可変アンテナ				
濾波，復調		超広帯域BAWフィルタ	超小形誘電体フィルタ	超高Q LCRフィルタ	
検波，増幅		帯域可変アンプ			
AD･DA変換	超高速･多ビットAD変換器	サンプリングミキサ			
アナログ処理					
システム化		可変容量･可変インダクタ			
ベースバンド処理	省電力回路	高性能LSIとFRフロントエンドとの集積化			
通信方式	ソフトウェア無線				
標準化，電波行政					

4

ワークショップで出された意見

4.1 重要な無線通信技術に関する研究の方向性

(1) コグニティブ無線

・優先制御をどの層でやるかが問題。セキュリティ制御、認証、なりすまし対策の課題もある。

(2) リコンフィギュラブルな回路、デバイス等について

・アナログRF、デバイスなどの可能性がある。
・フィルタを実装するのは厳しいのでは。
・ジッタ(時間ドメイン)、シンセ(周波数ドメイン)も課題。ジッタはAD変換の性能限界にも効いている。
・「リコンフィギュラブル」は名前が古いので他の名前を考えてはどうか。
・SiPも含めた実装方法が重要である。微細のCMOSでやっていく方法は短期的にはある。アンプをCMOSでやる方向もある。
・リコンフィギュラブルなハードウエアをちゃんと使えるソフトウエア技術も重要である。
・ロジック再合成、all flash 型、TMRロジックなどの新しいデバイスなどの開発がある。

(3) ミリ波、THz

・デバイスがない。600GHzまではいきそうである。プロセス技術が課題である。フィルタはさらに低いところまでしかない。
・伝搬の研究も重要である。
・移動体で使える周波数帯を何とかしたい。
・光・電波融合も考えられる。

(4) 周波数有効利用のためのセルサイズの変更

・MAN/RAN/PAN/BANなど到達範囲にはいろいろある。ハンドオーバーとセル間協調が課題である。
・セル間協調とは直接関係ないが、BANの場合、FDAなどの承認や安全性の問題が課題である。たとえば、カプセル内視鏡など。

4.2 研究課題の推進方法について

研究課題の推進方法について、さまざまな意見が出た。とりあげられた研究課題について、それぞれの推進方法について出た意見を示す。

(1) コグニティブ無線の推進に関して

・JSTのコアチームに周りから自由に集まるようなチーム構成（今までとは違うやりかた）。クローズドな体制にはせず、オープンな議論ができるような場を作る。
・企業の方が積極的に参加しにくいファンディングが多いので、そうならないような枠組みがほしい。
・企業と大学が一緒にやる。公募型で目標を定めて競争する。
・産学連携を少しずつ企業が理解し始めている。５年後にプロトタイプができるのが企業が参加できるメドでは。しかしながら、５年で革新的なことができるのか？ステップ、フェーズを設けないといけないのでは。
・やったからといって、儲かるというインセティブがない分野についても考慮しないといけない。
・大学で何かやろうとしたときに弊害になっていることとして、設備の流用の問題を解決したい。
・破壊的イノベーションによる副次的効果も考慮しておく必要がある。たとえば、開発後の水平展開、できあがった後の展開も考えておきたい。
・オープンな実証実験プラットホームが必要である。
・企業の点からの参加しやすさが重要である。どういうリターンがあるかの観点で参加が決まる。ゴールが明確になっていないといけない。Give and take, win-win の関係があるとよい。
・企業からみて、大学に何を期待するかというと、企業では手を出せない先の研究である。
・インターオペラビリティの実証機関が必要である。
・UCBなどで、産業化を考えてCMOS アナログ回路をやっていた。大学でも産業化を考えた実用的研究ができる。たとえば、ジッタの少ないシンセサイザを作るなどの高度な実用的研究をやるとよいのでは。
・興味のある人が集まれる体制、産業界、大学に気配りのできる人がコーディネータとしている。いいものに対する継続的なファンディングがある。願わくは実用的に近いところで、企業のやるところがあるとよい。
・消費電力削減は必須なので、開発レベルからそれを考える必要があるのでは。
・研究設備の転用と説明責任のトレードオフについて考えないといけない。
・企業の参入しやすいファンディングが必要。
・NICTでのコグニティブの開発は、いくつか新しいものを開発はしているが、多くの既存のデバイス技術を組み合わせて、原理の実証をしているレベルである。干渉のないレベルでの自社網での切り替えレベルである。また、デバイスの開発までは難しい。
・ミリ波の標準化(802.15.3cなど)でみられたような、垂直統合型、複数の

レイヤの人が集まって開発できる体制、課題への取り組みはよかった。

(2) ミリ波の研究開発について
・キラーアプリケーションが見える方向がないとやりにくい。
・ドイツでは自動車業界での利用が考えられている。日本では電気業界と自動車業界の間の情報流通が悪いのではないか。
・日本ではシステム屋さんが参加してなかった。
・５年もかけてやるようなものではない。もっと早くでるはずなので、大学での基盤研究にはあわないのではないか。
・3THzくらいまでみるとやることはあるかもしれない。60GHzまではチップセットがもう出ているし、応用として非圧縮HDTVがある。

(3) リコンフィギュラブルについて
・コグニティブ無線のためにあるツールともいえる。
・LSIの観点でいうと、アナログデジタル混載のリコンフィギュラブルがある。これによって、テストのしやすさが得られ、多品種少量生産を避けられる。コンソーシアム的開発がよいのかどうか。また、長期的視点でのDARPA的ファンドが日本では欠けている。

(4) セルサイズ縮小などについて
・キャリアががんばっているはずで、現にやっているのでは。
・キャリアがやっていないものもある。

(5) 通信以外の電波利用に関して
・通信とそれ以外(たとえば測位)などを共通に扱える電波法的土俵も必要である。

4.3 周波数有効利用に関する研究

ワークショップでは、前述の「4.1 重要な無線通信技術に関する研究の方向性」、「4.2 研究課題の推進方法について」と議論をすすめた。これらの議論の後、限りある資源である電波の効率的利用のための「周波数有効利用」に関する研究開発を国が推進するという視点で研究課題をとらえた。そこで、「未使用帯域、ミリ波などの利用」、「空間的有効利用」、「ホワイトスペースの利用」の三つの主要な方策として整理され、次に示すようなの意見が出された。

(1) 未使用で大きな帯域を有するミリ波(30GHz以上)などの新しい周波数利用に関して

・200GHzくらいまではシリコンでいけそう。その先は化合物半導体。
・数年後にはシリコン上にアンテナまで搭載したワンチップシステムを企業が開発しそうである。
・802.15 規格のPANの標準化が進んでいるが、アプリケーションがあまりない。
・ミリ波でも低いところは、国が投資する意義はないのでは。3THzくらいまでみるとやることはあるかもしれない。

(2) 伝播範囲をしぼり、同一周波数を空間多重化して利用したり、MIMOのようやビームフォーミングによる空間的有効利用に関して

・移動体通信等で一つの周波数を利用する領域(セル)を小さく(短距離)するには、ハードウエアのほか、通信方式、アプリケーションの研究が重要である。
・キャリアにとっても死活問題で、セルの縮小はがんばっているはず。
・キャリアのやっていない部分もある。

次に、空間多重に関して、次のような意見が出された。

・アンテナ開発は、移動体通信の場合、意匠設計と切り離せない(要するに携帯電話のデザインに関係する)、各メーカーがやるしかない。
・時空間のマルチパス伝搬路の基礎データ取得、理論的裏づけなどは、企業ではやらないので、大学等での基礎的取り組みが必要である。欧州はFP7などで大規模測定実験しており、実験免許も柔軟に与えられている。

(3) ホワイトスペースの利用

・ある周波数を割り当てられている者がその周波数を使用中でない場合、その帯域を動的に他の利用者が利用できるようにし周波数の利用効率を上げる。
・コグニティブ無線についてはNICTでも行われているが、基本的に、de jure 化、標準化のための試験であり、既存技術、部品の組み合わせによる実証試験である。また、干渉のない自社網での切り替えという段階である。GSM54ch + W-CDMA×3ch での実地実証実験がコグニティブ無線技術の開発として進行中である。
・日本企業と欧州の研究機関IMEC(www.imec.be)との共同研究もある。

5

まとめ

本ワークショップには、大学、公的研究所、企業などから、方式研究者、デバイス研究者、材料研究者など10名余りの有識者に集まっていただき、無線通信技術の研究開発について、議論していただいた。有識者とCRDSによる事前の検討および、出席者への事前の質問という形で論点をまとめ、当日の議論を行った。事前の論点として、無線通信方式、材料、デバイスなどの無線通信技術の研究に関して、国が方式からデバイスまで連携をとった基盤的技術研究に対してファンディングすることが妥当かどうか、どのような研究課題や推進方法が考えられるかについて議論した。その結果、次の二つの結論を得た。

・基盤的な無線通信技術に関して方式からデバイス・材料までの連携した研究推進には意義があり、国内の公的研究機関等で行われていない、基礎的な取り組むべき研究課題がある。
・具体的には、新しい無線通信方式の研究、周波数有効利用技術に関する研究(ミリ波などの未利用周波数帯の利用、空間多重による有効利用、コグニティブ無線のような割当済み周波数の動的有効利用)、およびそれらを実現するアナログ回路技術や、材料・デバイスの基盤的研究である。

また、研究課題とは別に、大学での無線技術者、回路技術者の育成という面で、日本の研究開発力の維持発展のために留意して育てていかなければならないという重要な示唆も得られた。

今後、CRDSでは本ワークショップでの議論をふまえて、今後戦略プロポーザルの検討を行う予定である。

付録１　事前アンケート回答

以下に事前アンケートの各検討事項に対する回答をCRDSで整理、編集したものを示す。

検討事項１

「日本の無線通信技術の世界における現在のポジションを考えた場合、5～10年後に公的研究機関を中心とする研究開発が一段落し、企業を中心とする実用化開発に移行することを考えた、日本の無線通信技術の強化戦略として、どこをどのように推進するべきでしょうか」

(1) ブロードバンド無線通信の流れに加えて、物をネットワーキングするための無線通信技術

ネットワークアクセスのユビキティを優先すること、物につける端末の省電力化、管理容易性に留意して、広帯域超小型送受信アンテナ技術、高速AD/DA技術、低消費電力化技術（無線回路、信号処理など）などの分野を研究推進する。

(2) グローバル展開を視野に入れた、次世代･次々世代に日本が世界のリーダーになり得る分野、および、新たな産業創生に結び付く分野の強化、選択と集中。

(3) 日本の無線通信技術の強化・実用化促進のためにも、周波数資源枯渇問題の解決は喫緊の課題。未利用周波数帯の開拓も含め、統合無線環境における周波数を有効利用しつつ、無線によるサービス品質サポートを実現するための技術開発やポリシー面の整備を進め、新サービス・新ビジネスの創出・早期導入の土台を築く必要がある。

(4) 世界の標準化会議への積極的な参加と、それに伴う国際交渉力を持った人材の育成。

(5) 日本発の世界に通じる次々世代通信技術のディファクトスタンダード化のために公共研究機関と民間企業が参画できる国内組織の充実。

(6) 公的研究機関の設備を常に最新のものに更新できるようにして最新技術による試作・研究環境を継続的に充実させる。

(7) 欧米の研究機関との人的交流のさらなる活性化

(8) 昔のVHS方式VTRのように日本の技術が世界を制覇したような形が理想であるが、一方では、携帯電話のPDC方式のように世界で孤立し、失敗した例があるので、日本独自の規格にこだわりすぎず、日本が提案した世界基準になるのが望ましい。

(9) 半導体以外の部品では、日本はまだ強いので、部品に対する仕様等を早く決定する。たとえば、フィルタの場合だと、所望の周波数と帯域等。

(10) 無線トランシーバー用アナログ集積回路ではアーキテクチャ、回路設計の先端研究において欧米の大学・企業が先行している。RF CMOS回路設計技術、回路システム・アーキテクチャ技術の先端的な国際学会発表は欧米からが多く、日本は企業・大学ともに遅れをとっている。無線技術を集積回路で実現する分野、とくにRFアナログ分野の研究・開発を強化する必要がある。

(11) 地球温暖化対策に貢献できる無線通信技術。
通信、IT，放送などに加え、今後電力、安全、交通も含めた総合ネットワークの中で、いかに無線通信技術がエネルギー制御と省エネに貢献できるかという観点での技術の構築と、それを支える技術群。

(12) 日本が従来から得意とする技術分野をさらに伸ばす戦略が必要。デバイス・実装技術による異種無線通信規格の統合（高密度・三次元実装技術，超小型アンテナ技術，高周波フィルタ技術）を推進。

(13) 同一ハードウエアで様々なシステムに適用でき、しかも拡張性に富むソフトウエア無線機を発展的に導入するためには、リコンフィギュラブルなアナログ部、特にRF部の実現が必須である。しかし、RFハードウエア全般に対する我が国の支援体制は、欧米での様々な大規模プロジェクトに比べて、極めて貧弱である。我が国にはRFハードウエアに関連して様々な卓越した技術を保有する多くの企業がある。しかし、現状はそれらの特長を生かしきれず、逆に萎縮させる方向に進んでいる様に思える。ソフトウエア無線機を指向したフルリコンフィギュラブルなハードウエア実現は、我が国の特長を生かし、しかも将来の産業基盤を形作るために推進すべき重要な研究課題である。

（14）日本の無線通信技術の世界における現在のポジションは、Atheros社に代表されるように、WLANなどのチップセットでは、身軽な海外のベンチャーに負けてしまい、携帯電話でも、生産量で海外の大手に負け、多額の需要を必要とするフルカスタムのベースバンドIC設計などでは、負ける状況にある。携帯電話ハンドセット用パワーアンプで使われるGaAs系HBTでも、日本の企業の方が技術的に当初上と思われながら、アメリカの専業メーカーに完全に市場を取られている。日本の強みは、早めに3.5Gなどに進んでいることから、高周波回路の歪み設計などに比較的強いことと部品関係で、非常に強いこと。

（15）CMOSの世代が進むにつれ、本来デジタル用に開発されながら、SOIやメタルゲートなど高周波アナログ応用にも適した構造があり、今後もCMOSによるワンチップ化が進むと思われる。この分野では、その製造がTSMC等のファウンダリに依頼することから、マスクセットが1億円を超えた今では同時にできるだけ生産量のボリュームを持ってコストを下げることが重要と考えられ、その意味からも回路設計が非常に重要になる。一方、ITRSによる今後の予想では、シリコンによる駆動能力の限界から、n型では化合物半導体を、p型ではGeを使うことが提案されており、もしもシリコン基板上に化合物半導体が動作する様になった場合、さらに高周波アナログ/デジタル混載に向いた集積回路ができると考えられる。しかしながら、この分野では、日本の研究は、まだ米国に較べ小さく、今後、従来持ってきた優位さも失う可能性がある。したがって、この分野への研究投資を行うことは、重要ではないか。

（16）さらに高い周波数を考えること、帯域を大きく取るためには、搬送波周波数を高くすること、例えばサブミリ波/テラヘルツ波への展開は依然重要である。

検討事項2

「『検討事項１』の強化戦略の実現のために、クロスレイヤ型（材料ー加工ーデバイスーソフトウエアの各レイヤが連携）・マルチディシプリン型（材料、加工、デバイス、ソフトウエア、その他の分野におけるレイヤ構造にとらわれない連携）・垂直統合型（目的に向けた技術を総合的に適用）などを含めて、どのような研究推進方法があるでしょうか。」

(1) 技術開発努力を、技術の普及、日本の産業競争力強化、国民の社会的課題解決などに結び付けていく「戦略」を立てて研究推進することが望まれる。その結果として、上述のアプローチの選択が定まってくる。

(2) 日本の無線通信技術を真に実用化に結び付けていくには、基本的に国際標準化が必須であり、内外での分野・レイヤを越えた仲間作りを強化していく必要がある。

(3) マルチディシプリン型を薦めたいが、オープンな環境、特に無線通信技術だけにとらわれず、バイオ技術やセンサー技術の研究者等も含めた幅広い分野でのオープンな環境での研究推進方法が望ましい。

(4) 研究推進方法を検討するために、UC BerkeleyのBSACの運営方法やCITRISの産学協同支援体制やUniversity of MichiganのWIMSを視察する。

(5) サブミリ波についての米国での例では、DARPA等の軍関係のファンドが中心になって、大学と企業がチームを組んで研究をおこなうことが一般的。最近は600GHzでの半導体電子デバイスによる増幅を目指したファンドもあるらしく、まだまだこの手法で研究が推進されそうである。

(6) クロスレイヤ型。部品メーカーで開発した部品が使用できるかどうか評価する必要がある。

(7) 主軸技術は、垂直統合型で進め、それを支える様々な技術は其の他を組み合わせる。全てロードマップ方式を採用。

(8) マルチディシプリン型による異種分野の連携が重要。

(9) 日本が得意な技術分野（デバイス・ハードウエア分野）からの積極的な標準化への参加・提案。

(10) これまで、電波伝播、RF、ベースバンド部は、互いをブラックボックス化して、独立して議論されてきた。しかし、フルリコンフィギュラブルなアナログ部の実現、さらに高度な通信方式の導入のためには、デジタル補償等のベースバンド部との連携が必須である。アンテナを含む電波伝播も連携の対象に含めれば、無線機の性能を画期的に向上

する、より高度な通信方式の導入が可能である。

(11) 無線通信技術は幅広い知識・研究者との交流が必要。大学での無線通信回路の研究者は回路関係の研究者・技術者との交流は盛んだが、他のレイヤの研究者との交流の機会は少なく、無線通信システムの全体のなかでのポジションを見失いがち。クロスレイヤ型（材料ー加工ーデバイスーソフトウエアの各レイヤが連携）がよい。

(12) これまでの大規模プロジェクトは、漠然とした目標の元に個々が独立に研究を推進してゆき、全体として研究成果を達成するという形式のものが多いように思える。目標が明確である場合、プログラムコーディネータの調整の下に、チーム全体が統一した目標に向かって研究開発を推進してゆく、産学官連携コンソーシアム方式が適当と思われる。

(13) シリコン基板上の化合物半導体デバイスについては、SRCによる産業界と国が大学に資金を提供して目標志向の基礎研究を行うコンソーシアムであるThe Nanotechnology Research Initiativeプログラムで作られたSouth West Academy of Nano-electronics(SWAN)、Western Institute of Nanotechnology(WIN)などが研究をリード。欧州でもこのようなコンソーシアムの形態が多いことから、大学と企業とが（大学が主体になって）共同に研究する形で行うことが望ましい形態。

検討事項3

「以上のような強化戦略で研究を推進するにあたって、ファンディングや規制緩和を含めた、国の支援のあり方はどうあるべきでしょうか。」

(1) 技術が実用化されるまでのシナリオのみならず必要な時間も考慮すべき。挑戦的な研究開発であるほど、その実用化には長い時間を必要とすることが多く、また、長期の試行的適用と改善を必要とすることも多い。産業形成に至る以前に必要とされる活動を支援することを狙いとして、ファンディングや規制緩和、あるいはこれを下支えする技術開発などに国の支援が望まれる。

(2) 国全体にとって非常に有益であるが、膨大な労力・費用を必要とし一企業では対応できない、次世代・次々世代に向けた基礎・基盤技術の

開発・構築・整備について、国の役割としての系統的・継続的な推進。

(3) 次世代・次々世代に日本が世界のリーダーになり得る分野、新たな産業創生に結び付く分野への国としての選択と集中の舵取り、グランドデザイン。

(4) 産学官の強みを活かしたアライアンスのコーディネーション。特に、日本企業によるビジネス展開につながる国際標準化活動の支援。ミリ波やボディエリアNW(BAN)の成功例にみられるよう、国研主導での多くの機関を巻き込んだコンソーシアム結成など、グローバル展開の先導的役割。

(5) 電波規制は安定的な無線通信に不可欠であるが、自由闊達な研究開発の観点からは阻害要因になっている。ソフトウエア無線技術などの研究が電波規制の範囲で行われることを保証する技術などは、規制緩和を下支えする技術開発の一例である。

(6) 情報通信分野の人材育成強化の支援。情報通信が将来にわたり技術発展・社会貢献し続ける魅力的な分野であることを、産学官が連携し若い世代に積極的にアピールする。

(7) 日本独自の方式にとらわれず、世界との連携をはかって、世界統一規格を目指すよう指導する。

(8) 米国のDARPAの様な組織は我が国にはないが、平和的利用に基づいた投資組織の設立を望むことと、その運営については各個別研究テーマに対して複数のチームを編成した上で、競争原理を取り入れる。

(9) 民間企業が参画した実用化研究で得られる成果については、優先実施権や優先実施料を付与するような特典を与える事が実用化の加速推進に望ましい。また、公的研究機関が参画して得られた成果は、その実施を希望する参画民間企業に優先実施の便宜を付与することにし、参画の意義を高める。

(10) 無線通信分野での回路システム研究の重要性の認識。

(11) 文部科学省、総務省、経済産業省などの縦割りは止めるべき。

(12) 国による標準化提案・ロビー活動への支援が必要。国際的リーダシップ、海外の標準化拠点・ロビイスト、政府・国研の主導による国内でのクリティカルマス形成など。

(13) 電気・電子系国内企業は短期的利益に走り、バブル崩壊前の様な中長期的な研究活動を実施できる状況でない。一方、公的機関からのファンディングは長期的視点に立った未踏技術開拓といったアカデミックな色彩のものが中心で、以前は企業の中央研究所等で実施されていた近未来を目指した研究内容に対するサポートは少ない。5年後、10年後を見越すとすれば、現状あまり目が向けられていない、より現実的な課題に対するファンディングも増強すべき。

付録２　プログラム

日時：2008年7月11日（金）09:00-18:00
場所：科学技術振興機構　研究開発戦略センター

主催者趣旨説明
09:00-09:10 主催者挨拶および連絡事項説明　　楠本博之（CRDS）
09:10-09:30 開催趣旨説明　　楠本博之（CRDS）

話題提供発表
09:30-09:55 コグニティブ無線の視点から　上原一浩（NTT未来ネット研）
09:55-10:20 コグニティブ無線と無線技術の標準化　加藤修三（東北大学、NICT）
10:20-10:45 電波伝搬の視点から　高田潤一（東京工業大学）
10:45-11:00 休憩
11:00-11:25 RFフロントエンドの視点から　橋本研也（千葉大学）
11:25-11:50 デバイスの視点から　坪内和夫（東北大学）
11:50-12:15 情報通信の視点から　河野隆二（横浜国立大学）
12:15-13:00 昼食

全体討議
13:00-14:00 現状認識と俯瞰
14:00-14:20 技術課題の議論にあたって　田中秀治（CRDS/東北大学）
14:20-15:40 全体討議（技術課題と強化戦略、推進方法）
15:40-16:00 休憩
16:00-17:40 全体討議（国の支援のあり方と課題の重要度）
17:40-17:50 総括
17:50-18:00 閉会

付録３　参加者一覧

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）

市川 晴久　電気通信大学電気通信学部　教授・CRDS特任フェロー
田中 秀治　東北大学大学院工学研究科　准教授・CRDS特任フェロー

岩田 拡也　経済産業省　製造産業局産業機械課　課長
丸山 太一郎　経済産業省　産業技術環境局研究開発課
市口 恒雄　科学技術政策研究所　科学技術動向研究センター　客員研究官
武田 重喜　科学技術政策研究所　科学技術動向研究センター　客員研究官

河村 誠一郎　科学技術振興機構　研究領域総合運営部

生駒 俊明　科学技術振興機構　研究開発戦略センター　センター長
丹羽 邦彦　科学技術振興機構　研究開発戦略センター　上席フェロー
中山 智弘　科学技術振興機構　研究開発戦略センター　フェロー
大川 令　科学技術振興機構　研究開発戦略センター　フェロー
永野 智巳　科学技術振興機構　研究開発戦略センター　フェロー
伊東 義曜　科学技術振興機構　研究開発戦略センター　主任調査員
石正 茂　科学技術振興機構　研究開発戦略センター　フェロー
楠本 博之　科学技術振興機構　研究開発戦略センター　フェロー

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
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 03-5214-7484
ファックス 03-5214-7385
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。