

平成 27 年度事後事業評価書

政策所管部局課室名： 総合通信基盤局 電波部 移動通信課 新世代移動通信システム室

評価年月：平成 27 年 8 月

1 政策（研究開発名称）

マルチバンド・マルチモード^{※1}対応センサー無線通信基盤技術の研究開発

※1：マルチバンドは複数の周波数帯、マルチモードは複数の通信方式

2 研究開発の概要等

(1) 研究開発の概要

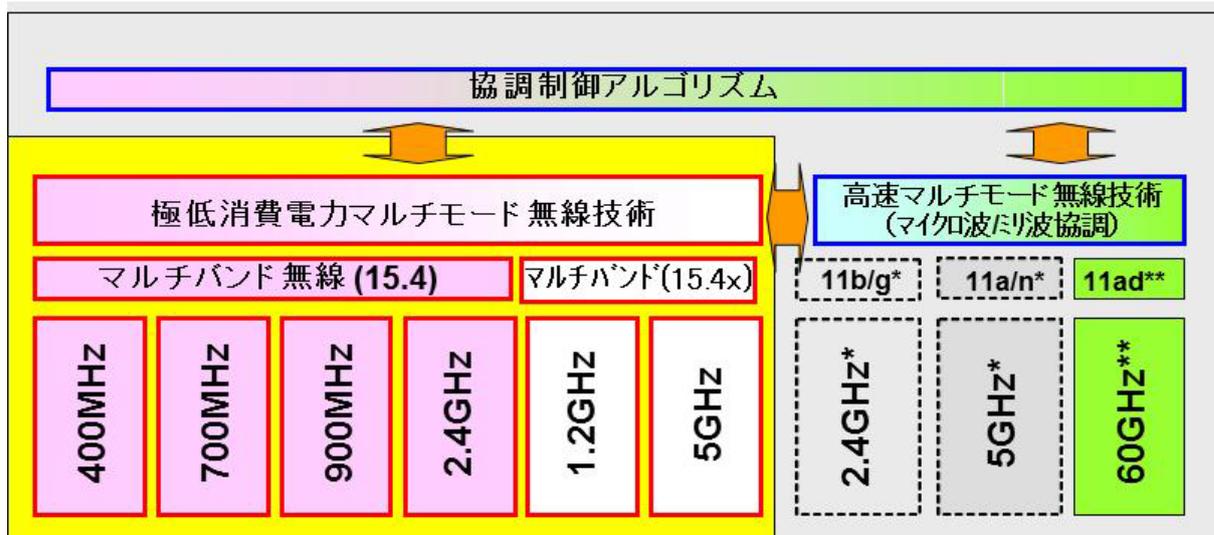
- ・実施期間 平成 24 年度～平成 26 年度（3 年）
- ・実施主体 民間企業、大学
- ・事業費 1,890 百万円

平成 24 年度	平成 25 年度	平成 26 年度	総 額
750 百万円	663 百万円	477 百万円	1,890 百万円

・概要

現在、わが国では周波数がひっ迫している状況であり、迅速、柔軟かつ円滑な周波数移行が必要となっているが、現状では特定周波数・特定通信方式に特化した無線デバイス及びそれを用いた無線システムが幅広く利用されていることから、周波数移行にかかる時間、コストが非常に大きく、これを一層短縮・縮減していく必要がある。この課題を解決するため、以下の技術を確立する。

・研究開発概要図



技術の種類	技術の概要
マルチバンド・マルチモード無線技術	半導体プロセスの微細化による低消費電流化と広帯域化を可能とするための周波数限定的な整合回路などのパッシブ回路からアクティブ回路 ^{※2} を用いた周波数可変的なアナログ回路を開発。

	※2：パッシブ回路はインダクタ・容量・抵抗で構成される回路、アクティブ回路は能動素子であるトランジスタで構成される回路
超低消費電力技術	マルチバンド・マルチモード無線を低消費電力で実現するため、デジタル処理とアナログ処理の最適化を図ることができる小電力センサー無線システムに特化した適応信号処理技術を開発。
無線システム協調化技術	5GHz帯を超える高マイクロ波帯と60GHz帯のミリ波帯との間では、伝搬特性が大きく異なる中で、マイクロ波帯の通信でミリ波帯の伝送品質を事前予測するマイクロ波・ミリ波協調によるチャネル推定技術及び5GHz帯以下の小電力のセンサー無線システムを用いて、5GHz帯及び60GHz帯までを含む統合的なネットワーク管理、トラヒック管理及び電源マネジメント技術を開発。

・スケジュール

技術の種類	平成 24 年度	平成 25 年度	平成 26 年度
マルチバンド・マルチモード無線技術	400MHz帯/900MHz帯/1.2GHz帯/2.4GHz帯/5GHz帯の回路共用化技術の開発		
超低消費電力技術	RF部の受信フロントエンド回路の低消費電力化技術、インテリジェント電源制御技術、ADコンバータ回路の内部タイミング生成技術の開発		
		ダウンロード型マルチモードの	通信実験による有効性検証
無線システム協調化技術	マイクロ波・ミリ波帯の共通MACアーキテクチャの開発	周波数協調制御評価装置の開発	

(2) 達成目標

5GHz帯以下の小電力センサー無線システムにおいて、マルチバンド・マルチモード無線技術、超低消費電力技術及び無線システム協調化技術を開発することにより、周波数の利用効率の一層の向上に資するとともに、

①わが国の周波数ひっ迫の状況下において、周波数再編への早急な対応と周波数の有効利用を可能にし、かつ、個々の低消費電力化を行うことにより膨大なセンサーノード^{※3}全体の省電力化と省資源化に寄与する。

※3：センサーとデータ処理機能・無線機能を実装した装置

② 課題先進国として、今後のICT応用の我が国発の各課題解決ソリューションを我が国の周波数利用の特質を生かしつつ各国の周波数規制等にも対応可能にすることで、スムーズに海外展開し、国際競争力の強化を図る。

③ 将来のスマートコミュニティや宅内家電連携など、我が国のちみつな国民性が創造する新たな無線利用のシステムを各国の周波数利用事情に影響を受けることなく対応可能にすることで新

たな電波利用システムを海外展開できるビジネスの創出を図る。

- ④ 災害時に、上位レイヤ技術との組み合わせによる被災地現況把握のためのセンサーネットワーク構築等への貢献を目指す。

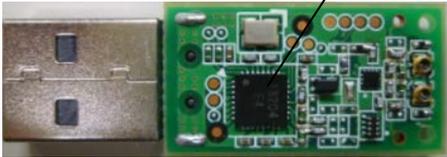
○関連する主要な政策

- ・ V. 情報通信（ICT政策） 政策 13「電波利用料財源による電波監視等の実施」
- ・ グローバル時代における ICT 政策に関するタスクフォース 電気通信市場の環境変化への対応部会「ワイヤレスブロードバンド実現のための周波数検討ワーキングまとめ」（平成 22 年 11 月 30 日）
 - 1（3）増大する周波数需要への対応
 - ① 周波数再編の実施による周波数割当の拡大
 - これまで以上に、迅速かつ円滑な周波数再編を実施することによって周波数確保を図る必要性が高まってくる

（3）目標の達成状況

3 年間の研究開発を通じて、各技術について以下のとおり目標を達成したことにより、周囲の周波数の利用状況等から最適な周波数・伝送方式を選択することが効率的に行えるようになり、今後ますますひっ迫が予想されるセンサー無線用の周波数の利用効率の向上に寄与した。

また、本研究開発では、超低消費電力技術の開発において、消費電流の削減を達成したことにより膨大なセンサーノードの省電力化に寄与するとともに、電源の確保が困難な災害時等においてもセンサーネットワークの構築等へ貢献する技術を確認した。マルチバンド・マルチモード無線技術の開発において無線機等の小型化を達成したことにより、省資源化に寄与する技術を確認した。さらに無線システム協調化技術の開発において、実用的な速度での周波数の切替えを実現したことにより、各国の周波数規制や周波数利用事情にも柔軟に対応でき、新たな電波利用システムを海外展開できるビジネスの創出につながる技術を確認し、我が国の国際競争力の強化が図られた。

技術の種類	目標の達成状況
マルチバンド・ マルチモード無線技術	<p>○周波数可変的なアナログ回路を開発。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 400MHz / 900MHz / 1.2GHz 帯の RF 回路^{※4}の共用化、2.4GHz / 5GHz 帯の回路共用化することで小型のマルチバンド無線機の開発に成功した。 <small>※4：無線周波数を扱う高周波回路部の回路（Radio Frequency 回路の略）</small> ・ 上記のマルチバンド技術、マルチモード技術を搭載した LSI^{※5}を試作し目標としていた 400mm²以下のモジュールを実現した。 <small>※5：大規模集積回路（Large-Scale Integration の略）</small> ・ センサー無線用の新たな Wi-Fi を想定し、隣接チャネル妨害特性-37dB を実現した。 <p style="text-align: center;">マルチバンド・マルチモード LSI</p>  <p style="text-align: right;">基板サイズ： 26mm × 15mm = 390mm²</p> <p style="text-align: center;">図：マルチバンド・マルチモード無線モジュール</p>
超低消費電力技術	<p>○デジタル処理とアナログ処理の最適化を図ることができる小電力センサー無線システムに特化した適応信号処理技術を開発。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ RF 部の受信回路の低消費電力化、インテリジェント電源制御技術、AD コンバータ回路の内部タイミング生成技術^{※6}などにより従来 13mA の消費電流を 5mA まで削減

することに成功した。

※6：インテリジェント電源制御技術は、動作周波数や動作温度に応じて必要最小限の電源電圧に可変制御する技術、AD コンバータ回路の内部タイミング生成技術は、AD コンバータ(アナログデジタル変換)回路を低速クロックで高速クロック同等の性能を実現させる低消費電力化技術

- 適応信号処理技術によりシングルモードの無線機と比較して1.5倍のメモリサイズでダウンロード型マルチモード無線機を実現した。

図：受信電流の低減効果

無線システム
協調化技術

- 5 GHz 帯及び 60GHz 帯までを含む統合的なネットワーク管理、トラフィック管理及び電源マネジメント技術を開発。
- MAC^{※7}層でミリ波とマイクロ波を切り替える手法を開発した。
 - ※7：ネットワークの物理層と論理リンク制御層の間のインターフェースとして動作する層(Media Access Control の略)
- LSI および LSI を実装した無線モジュールを開発し、上記手法をハードウェアで実現することで、目標としていた 10msec 以下の切り替え時間を実証した。

図：高速セッション切換え実証装置

3 政策効果の把握の手法及び政策評価の観点・分析等

研究開発の評価については、各要素技術における目標の達成状況、論文数や特許出願件数などの指標が用いられ、これらを基に専門家の意見を交えながら、必要性・効率性・有効性等を総合的に評価するという手法が多く用いられている。

上術の観点に基づき、「電波利用料による研究開発等の評価に関する会合」(平成 27 年 6 月 26 日)において、目標の達成状況等に関して外部評価を実施し、政策効果の把握に活用した。

また、外部発表や特許出願件数等も調査し、必要性・有効性を分析した。

○研究開発による特許・論文・研究発表実績

主な指標	平成 24 年度	平成 25 年度	平成 26 年度	合計
査読付き誌上発表論文数	0 件 (0 件)	1 件 (1 件)	2 件 (2 件)	3 件 (3 件)
査読付き口頭発表論文数 (印刷物を含む)	0 件 (0 件)	3 件 (3 件)	7 件 (7 件)	10 件 (10 件)
その他の誌上発表数	0 件 (0 件)			

口 頭 発 表 数	29 件 (0 件)	43 件 (3 件)	26 件 (3 件)	98 件 (6 件)
特 許 出 願 数	27 件 (0 件)	57 件 (23 件)	51 件 (37 件)	135 件 (60 件)
特 許 取 得 数	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)
国 際 標 準 提 案 数	2 件 (2 件)	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)	2 件 (2 件)
国 際 標 準 獲 得 数	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)
受 賞 数	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)
報 道 発 表 数	0 件 (0 件)	4 件 (2 件)	2 件 (1 件)	6 件 (3 件)
報 道 掲 載 数	0 件 (0 件)	4 件 (2 件)	2 件 (1 件)	6 件 (3 件)

注 1：各々の件数は国内分と海外分の合計値を記入。(括弧)内は、その内海外分のみを再掲。

注 2：「査読付き誌上发表論文数」には、定期的に刊行される論文誌や学会誌等、査読 (peer-review (論文投稿先の学会等で選出された当該分野の専門家である査読員により、当該論文の採録又は入選等の可否が新規性、信頼性、論理性等の観点より判定されたもの))のある出版物に掲載された論文等 (Nature、Science、IEEE Transactions、電子情報通信学会論文誌等および査読のある小論文、研究速報、レター等を含む) を計上する。

注 3：「査読付き口頭発表論文数 (印刷物を含む)」には、学会の大会や研究会、国際会議等における口頭発表あるいはポスター発表のための査読のある資料集 (電子媒体含む)に掲載された論文等 (ICC、ECOC、OFC など、Conference、Workshop、Symposium 等での proceedings に掲載された論文形式のものなどとする。ただし、発表用のスライドなどは含まない。) を計上する。なお、口頭発表あるいはポスター発表のための査読のない資料集に掲載された論文等 (電子情報通信学会技術研究報告など) は、「口頭発表数」に分類する。

注 4：「その他の誌上发表数」には、専門誌、業界誌、機関誌等、査読のない出版物に掲載された記事等 (査読の有無に関わらず企業、公的研究機関及び大学等における紀要論文や技報を含む) を計上する。

注 5：PCT (特許協力条約) 国際出願については出願を行った時点で、海外分 1 件として記入。(何カ国への出願でも 1 件として計上)。また、国内段階に移行した時点で、移行した国数分を計上。

注 6：同一の論文等は複数項目に計上しない。例えば、同一の論文等を「査読付き口頭発表論文数 (印刷物を含む)」および「口頭発表数」のそれぞれに計上しない。ただし、学会の大会や研究会、国際会議等で口頭発表を行ったのち、当該学会より推奨を受ける等により、改めて査読が行われて論文等に掲載された場合は除く。

観点	分析
必要性	<p>周波数がひっ迫する中、電力メーターやガスメーターなどのセンサー機器において無線通信機能を搭載し、素早く情報を入手するセンサー無線の需要が高まっており、周波数再編への早急な対応と周波数の有効利用が求められていた。センサー無線は、電気やガスなどのほか、道路や橋梁、家電のモニタリング、気象観測など多様な分野での活用が見込まれており、膨大な機器数となることから省資源化が求められていた。また、災害地での各種観測等、センサー無線への電源供給が困難な設置環境でのセンサーネットワーク構築も想定して省電力化を図る必要があった。さらに、新たな電波利用システムを海外展開することで新たなビジネスを創出し、我が国の国際競争力の強化を図ることが求められていた。</p> <p>よって、本研究開発には必要性があったと認められる。</p>
効率性	<p>多様な周波数帯、通信方式に対応できるマルチバンド・マルチモード無線技術を開発することにより、周波数再編への早急な対応と周波数の有効利用を可能とするものであり、目標を達成するための他の効率的で質の高い代替手段はなかった。</p> <p>本研究開発の実施に当たっては、外部の有識者、本技術のユーザーとなり得る民間会社を含んだ研究開発運営委員会を設置し、研究開発全体の方針や進め方、成果の取りまとめ方等について指導を受けるなど、外部専門家の専門知識や意見等を活用し、より効率的な研究開発を実施した。</p> <p>また、予算要求段階、公募実施の前段階、提案された研究開発提案を採択する段階、研究開発の実施段階及び研究開発の終了後における、実施内容、実施体制及び予算額等について、外部専門家・外部有識者から構成される評価会において評価を行い、効率的に実施した。</p> <p>よって、本研究開発には効率性があったと認められる。</p>

有効性	<p>本研究開発の実施により、マルチバンド・マルチモード無線技術、超低消費電力技術、無線システム協調化技術が確立され、周波数移行にかかる時間、コストを一層短縮・縮減することが可能となり、センサー無線用の周波数の利用効率の向上に寄与した。また、多数の設置が見込まれるセンサー無線機器について、省電力化、省資源化を実現するとともに、省電力化により電源の確保が困難な災害時においてもセンサーネットワークの構築等への貢献に活用できる技術を確立した。さらに、実用的な速度での周波数の切替えが可能となったことで、各国の周波数規制、周波数利用事情にも柔軟に対応でき、新たな電波利用システムを海外展開するビジネスを創出し、我が国の国際競争力の強化が図られた。</p> <p>よって、本研究開発には有効性があったと認められる。</p> <p>※8：米国の電気電子学会(Institute of Electrical and Electronics Engineersの略)</p>
公平性	<p>本研究開発は、周波数有効利用により周波数ひっ迫状況を緩和するものであり、広く無線局免許人や無線通信の利用者の受益となる。</p> <p>また、本研究開発の実施に当たっては、開示する基本計画に基づき広く提案公募を行い、提案者と利害関係を有しない複数の有識者により審査・選定した。</p> <p>よって、本研究開発には公平性があったと認められる。</p>
優先性	<p>当該研究開発分野は世界的に開発競争されており、他国に先駆けて当該技術を開発することが、日本の国際競争力の強化に資する。また、センサー無線に使用しているマイクロ波帯は特に周波数がひっ迫しており、同周波数帯における周波数の有効利用の観点からも、本研究開発には優先性があったと認められる。</p>

4 政策評価の結果（総合評価）

本研究開発では、海外での普及や災害時での活用も見据えながら研究開発を進め、マルチバンド・マルチモードに対応したセンサー無線通信を実現する技術を確立し、達成目標に掲げた周波数の利用効率の一層の向上を実現した。また、センサー無線機器の普及を見据え、省電力化、省資源化を実現するとともに災害時におけるセンサーネットワークの構築に貢献する技術を確立した。さらに、各国の周波数規制、周波数利用事情にも柔軟に対応可能とすることで、新たな電波利用システムを海外展開するビジネスを創出し、我が国の国際競争力の強化が図られた。

また、特許出願や国際標準化提案なども着実に実施されるなど、当初の目標を達成していることから、本研究開発の有効性、効率性等が認められた。

<今後の課題及び取組の方向性>

電波政策ビジョン懇談会最終報告書において、「物や機械・装置が全てネットワークにつながる、IoT (Internet of Things)、IoE (Internet of Everything) やウェアラブル、M2M (モノとモノ) の普及等の潮流を踏まえたワイヤレス・インフラ整備による電波利用は、スマートハウス、スマートグリッド、スマートシティなどの領域でも拡大し、それによりトラヒックの増加が予想される。」と述べられており、効率的かつ安定的に最適なキャリア周波数に分散させることができる本研究開発技術を用いて、今後のマルチバンド・マルチモードセンサーネットワークの実用化に向けて取組等を実施することにより、本研究成果の展開を図る。

5 学識経験を有する者の知見の活用

○「電波利用料による研究開発等の評価に関する会合」(平成 27 年 6 月 26 日)において、目標の達成状況や得られた成果等、実施体制の妥当性及び経済的効率性、実用化等の目途等について外部評価を実施し、外部有識者から以下の御意見等を頂いたため、本研究開発の評価に活用した。

- ・ 総合的に有益な研究開発であった。
- ・ 本研究開発成果を活用することで、400MHz、900MHz 帯等の複数周波数での通信が 1 チップで可能となる。また、隣接チャンネルとの干渉抑制を実現することで、OFDM^{※9}技術を用いた IEEE. 802. 11ah 等の新たなグローバル無線規格へも対応可能となり、周波数利用効率の向上が見込まれる。さらに、今後活用が見込まれる 60GHz ミリ波帯との協調システムによって、ユーザーがストレスを感じることなく超高速・超低遅延な新たなネットワーク環境を提供しつつ、マイク

ロ波帯の周波数逼迫の解消に貢献できる。査読付き誌上発表論文数3件、査読付き口頭発表論文数10件、口頭発表数98件、申請特許数135件、報道発表数6件となっている。総合的に見て有益であったと考えられる。

※9：直交周波数分割多重方式(orthogonal frequency-division multiplexing の略)

- ・本研究開発では周波数利用効率のよいセンサー無線通信環境を実現するため、複数の周波数、変調方式に対応するマルチバンド・マルチモード通信技術、伝送品質を確保した上で安定的に最適なキャリア周波数に切り替える技術及び対域外からの妨害波を適切に抑圧するRF・ベースバンド信号処理最適化技術を確立した。本技術は「5G」のセンサー無線通信技術への貢献も今後期待されていることから有益なものと判断する。
- ・達成された成果から、大いに有益であったと判断される。
- ・基礎技術から応用技術、さらに一部実用化まで系統的に研究が行われ有効であった。

6 評価に使用した資料等

○新成長戦略（平成22年6月閣議決定）

<http://www.kantei.go.jp/jp/sinseichousenryaku/sinseichou01.pdf>

○ワイヤレスブロードバンド実現のための周波数検討ワーキングまとめ（平成22年11月30日総務省）

http://www.soumu.go.jp/main_content/000092954.pdf

○電波政策ビジョン懇談会 最終報告書（平成26年12月26日総務省）

http://www.soumu.go.jp/main_content/000334592.pdf

○電波利用料による研究開発等の評価に関する会合

<http://www.tele.soumu.go.jp/j/sys/fees/purpose/kenkyu/index.htm>