

平成 28 年度事後事業評価書

ページ

1. 国際連携によるサイバー攻撃の予知技術の研究開発 1
2. ネットワーク仮想化技術の研究開発 7
3. ミリ波帯チャネル高度有効利用適応技術に関する研究開発 13
4. 無人航空機を活用した無線中継システムと地上ネットワークとの連携及び
共用技術の研究開発 21
5. 次世代衛星放送システムのための周波数有効利用促進技術の研究開発 29
6. ミリ波帯ワイヤレスアクセスネットワーク構築のための周波数高度利用技術
の研究開発 37
7. 90GHz 帯リニアセルによる高精度イメージング技術の研究開発 45
8. 超高周波搬送波による数十ギガビット無線伝送技術の研究開発 53

平成 28 年度事後事業評価書

政策所管部局課室名：情報流通行政局 情報流通振興課 情報セキュリティ対策室
評価年月：平成 28 年 8 月

1 政策（研究開発名称）

国際連携によるサイバー攻撃の予知技術の研究開発¹

2 研究開発の概要等

（1）研究開発の概要

・実施期間

平成 23 年度～平成 27 年度（5 か年）

・実施主体

民間企業、公益財団法人、大学

・事業費

1,049 百万円

平成 23 年度	平成 24 年度 (平成 23 年度補正)	平成 25 年度	平成 26 年度	平成 27 年度 (平成 26 年度補正)	総 額
225 百万円	236 百万円	230 百万円	198 百万円	160 百万円	1,049 百万円

・概 要

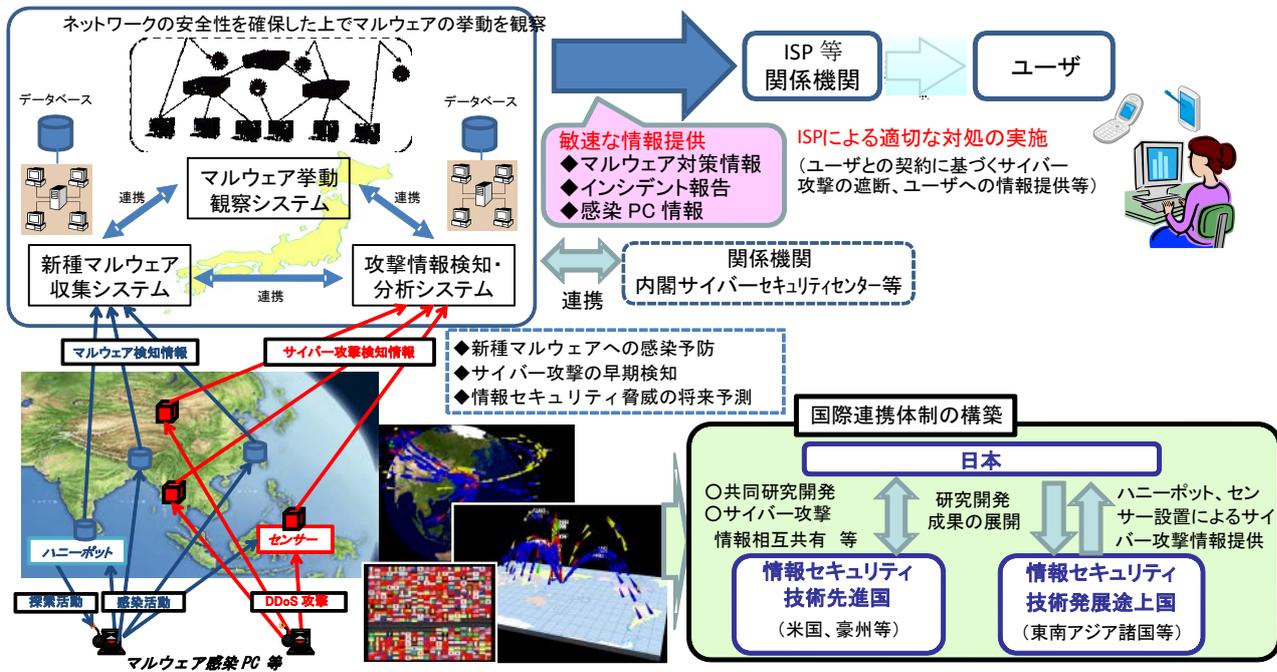
近年、大規模なサイバー攻撃が世界各国で発生し、国際的な問題となっている。世界中に張り巡らされたサイバー攻撃基盤により、サイバー攻撃は一層巧妙化・大規模化する傾向にあり、国民の実生活や経済活動に甚大な影響を及ぼす可能性がある。今や公共のインフラとなっているインターネットの安全性、信頼性の向上を図り、利用者が安心・安全にインターネットを利用できる環境を実現するために、サイバー攻撃によるリスクを低減することの重要性はますます高まっている。

国際的なサイバー攻撃への速やかな対処を行うためには、その脅威を正確かつ速やかに察知することが必要不可欠である。本研究開発では、サイバー攻撃に関する情報（ダークネット²観測により取得したスキャン等の攻撃パケット情報、Web 型も含めたマルウェア³感染活動情報等）収集ネットワーク及び連携体制を国際的に構築し、ISP、大学等と協力して分析することにより、サイバー攻撃の脅威を速やかに把握する技術及び、将来のサイバー攻撃の脅威を速やかに把握する技術及び、将来のサイバー攻撃状況の推移を予測する技術の確立を目的とする。

¹ 事前事業評価書時点では「国際連携によるサイバー攻撃の予知・即応技術の研究開発」

² 未使用の IP アドレス

³ コンピュータウイルス等の「悪意あるソフトウェア」の総称



技術の種類	技術の概要
サイバー攻撃情報の類似性・局所性・時系列性解析技術	国内外で収集された多種多様な観測データを用いて、各地の観測・統計データの類似性、局所性、及び時系列性を解析する技術の研究開発を実施する。 最終的には、サイバー攻撃情報の解析を30分以内に完了することを目標とする。
サイバー攻撃情報とマルウェア実体の突合分析技術	サイバー攻撃情報とマルウェア実体との相関性、連動性及び時系列性等の複合的な解析により、サイバー攻撃に関する直近の同行を把握するための高精度な突合分析技術を確立する。 最終的には、突合分析に要する時間を30秒以内とし、突合分析の精度（正解率）を80%以上とすることを目標とする。
国際的なサイバー攻撃情報収集技術	国際的に分散配置されたセンサーの運用・管理を遠隔化・自動化し、設置組織に応じて観測のためのフィルター設定やプライバシー設定を柔軟に変更（動的設定）することのできる技術を開発する。また、観測データから多くの評価指標に従って統計データを自動的に生成するとともに、可視化等の分析支援作業に資するための研究開発を実施する。 最終的には、動的設定に要する時間を5秒以内、統計データ抽出に要する時間を10秒以内にすることを目標とする。
サイバー攻撃情報共有基盤技術	国内外で収集した攻撃データ及びその分析情報（突合分析結果等）について、研究開発及び民間事業者等の関係機関と具体的に共有するための、情報共有基盤の構築技術を開発する。 最終的には、情報共有に関する処理が提供情報の発生から10分以内に完了することを目標とする。

(2) 達成目標

感染手法が多様化するマルウェアを効果的・効率的に捕獲するシステム（ハニーポット⁴）と、攻撃手法が多様化するサイバー攻撃を広範囲に検知・分析するシステムを構築し、高度化・巧妙化を続ける情報セキュリティ脅威への迅速な対応実現に向けて、サイバー攻撃情報の類似性・局所性・時系列性解析技術、サイバー攻撃情報とマルウェア実体の突合分析技術、国際的なサイバー攻撃情報収集技術、サイバー攻撃情報共有基盤技術を確立し、新種マルウェアによる感染の予防、サイバー攻撃の早期検知・迅速な対応、情報セキュリティ脅威の将来予測に基づく予防的対応を可能とする技術的基盤を確立することにより、安心・安全なICT利用環境を実現することに寄与する。

⁴ マルウェアなどの検体を入手するために設置された機器やネットワークのこと

- 関連する主要な政策
 - V. 情報通信（ICT政策） 政策9「情報通信技術の研究開発・標準化の推進」
- 閣議決定等の上位計画・全体計画等
 - ・情報セキュリティ研究開発戦略（改訂版）（平成26年7月10日 情報セキュリティ政策会議決定）
 - 4（5） 国際連携による研究開発の強化等
 - ・サイバーセキュリティ戦略（平成27年9月4日 閣議決定）
 - 5. 4. 1 研究開発の推進
 - ・サイバーセキュリティ2015（平成27年9月25日 サイバーセキュリティ戦略本部決定）
 - 4. 1（4） 国際連携による研究開発の強化

（3）目標の達成状況

世界各国で発生しているサイバー攻撃に対し速やかな対処を行うために、その脅威を正確かつ速やかに察知することができる技術を以下のとおり確立し、新種マルウェアによる感染の予防、サイバー攻撃の早期検知・迅速な対応、情報セキュリティ脅威の将来予測に基づく予防的対処を可能とする技術的基盤を確立した。これらの技術により、サイバー攻撃を速やかに把握し、対応できるようになり、サイバー攻撃の被害の軽減に資することから、安心・安全なICT利用環境を実現に寄与し、所期の目標を達成した。

課題ア）サイバー攻撃情報の類似性・局所性・時系列性解析技術

課題に掲げている技術の確立、目標としていたサイバー攻撃情報の解析の30分以内の完了を達成した。これらに加え、大規模なマルウェアデータの分類技術と解析結果をわかりやすく表示する可視化技術の開発も実施した。マルウェアの分類について、従来手法では1万検体/24Hのところを10万検体/24Hまで高速化した。また、トラフィックデータの流れをよりわかりやすく可視化し、不正アクセス等の目視による検知が容易となった。

課題イ）サイバー攻撃情報とマルウェア実体の突合分析技術

目標であった突合分析の所要時間30秒以内、突合精度80%以上は平成26年度に10,848検体で達成した。さらに、最終年度には16,236検体となっても同様の性能を発揮している。加えて、IoTマルウェアといった新たな脅威を観測・分析する技術の開発も行った。

課題ウ）国際的なサイバー攻撃情報収集技術

各国に設置したセンサの観測データから多くの評価指標に従って統計データを自動生成するとともに、検索・分析を迅速、効率的に実施するためのWebポータルを構築した。本Webポータルは本研究開発でセンサを設置した各連携組織に対して公開しており、各国センサから収集したサイバー攻撃1次情報、各種解析エンジンにより得られる解析結果情報、及び国内サイバー攻撃観測網から得られる早期警戒アラート情報などを参照することが可能で、各情報源から情報を受け取った後、目標とする実時間で表示されることを確認しており、連携組織での迅速な活用が可能となった。

課題エ）サイバー攻撃情報共有基盤技術

最終目標は達成されており、最終年度にはダークネット予兆分析、DR-DoS⁵ハニーポット予兆分析、サンドボックス⁶のマルウェア挙動解析を行う各研究機関から、解析結果やアラートデータを情報共有基盤に自動で転送して蓄積し、その多種多様なサイバー攻撃情報を統合解析してサイバー攻撃対象に対してアラートを通知するシステムの構築を実現し、実運用を開始した。この実運用において、攻撃の発生から通知までの平均時間は、アラートデータ1件につき、1～2秒を達成している。

⁵ Distributed Reflection Denial of Service:DDoS 攻撃の一種であり、インターネット上のサーバやネットワーク機器等を通信量の増幅器として用いて行う攻撃のこと

⁶ 保護された領域でプログラムを動作させることによってプログラムが暴走したり、マルウェアを動作させようとしてもシステムが不正に操作されるのを防ぐセキュリティ機構のこと

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、論文数や特許出願件数などの間接的な指標を用い、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。

上述の観点に基づき、「情報通信技術の研究開発の評価に関する会合」（平成 28 年 6 月）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、国際標準提案件数等も調査し、必要性・有効性等を分析した。

○研究開発による特許・論文・研究発表・国際標準の実績

研究開発による特許・論文・研究発表の実績から、攻撃ホストの挙動解析装置・方法及びプログラムや不正処理解析装置、及び不正処理解析方法など多くの特許出願をするなど、標準化活動に貢献しており、本研究開発の必要性、有効性等が認められた。

主な指標	平成 23 年度	平成 24 年度	平成 25 年度	平成 26 年度	平成 27 年度	合計
査読付き誌上发表論文数	1 件 (0 件)	5 件 (2 件)	4 件 (2 件)	2 件 (0 件)	11 件 (5 件)	23 件 (9 件)
査読付き口頭発表論文数 (印刷物を含む)	3 件 (3 件)	11 件 (11 件)	6 件 (6 件)	3 件 (3 件)	7 件 (7 件)	30 件 (30 件)
その他の誌上发表数	0 件 (0 件)					
口頭発表数	26 件 (3 件)	21 件 (2 件)	24 件 (6 件)	43 件 (6 件)	49 件 (8 件)	163 件 (25 件)
特許出願数	2 件 (0 件)	1 件 (0 件)	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)	1 件 (0 件)	4 件 (0 件)
特許取得数	0 件 (0 件)					
国際標準提案数	0 件 (0 件)					
国際標準獲得数	0 件 (0 件)					
受賞数	0 件 (0 件)	1 件 (0 件)	2 件 (1 件)	2 件 (0 件)	2 件 (0 件)	7 件 (0 件)
報道発表数	1 件 (0 件)	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)	2 件 (0 件)	2 件 (0 件)
報道掲載数	0 件 (0 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。

○各観点からの分析

観点	分析
必要性	近年、DDoS 攻撃 (Distributed Denial of Service attack : 分散型サービス妨害) 等の大規模なサイバー攻撃が世界各国で発生し、国際的な問題となっている。サイバーセキュリティインシデントは、一層巧妙化、大規模化するとともに、増加傾向にあり、今や公共のインフラとなっているインターネット

	<p>の安心・安全な利用を阻害し、国民の実生活や経済活動に甚大な影響を及ぼす可能性がある。このため、諸外国と連携し、速やかにサイバーセキュリティインシデントに対処するための技術を確立し、サイバー攻撃の被害を軽減することにより、国民が安心・安全にインターネットを利用できるネットワーク環境を実現する必要がある。また、サイバーセキュリティの研究開発についてはサイバーセキュリティ戦略（平成27年9月4日閣議決定）や日本再興戦略2016（平成28年6月2日閣議決定）などの政府戦略にも取り上げられている等、総務省だけでなく政府全体として積極的に推進すべきものとされている。</p> <p>以上のことから、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>サイバー攻撃に関する専門的知識や研究開発遂行能力を有する企業、研究者等のノウハウを積極的に活用することにより、各社がそれぞれ得意な分野を担当し、効率的に研究開発が進められた。さらに、課題間の連携が十分に取られているとともに、国立研究開発法人情報通信研究機構(NICT)などの国内組織と連携したことにより、効率的に研究開発が進められた。</p> <p>また、委託経費の執行に当たっては、事前に予算計画書を確認するとともに、年度途中及び年度末に経費の執行に関する経理書類を提出させ、総務省担当職員が詳細な経理検査を行い、予算の効率的な執行に努めた。加えて、専門的知見を有した監査法人に経理検査の補助を依頼し、経費執行の適正性・効率性を確保している。</p> <p>以上のことから、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>サイバー攻撃情報の類似性・局所性・時系列性解析技術、サイバー攻撃情報とマルウェア実体の突合分析技術、国際的なサイバー攻撃情報収集技術、サイバー攻撃情報共有基盤技術を確立し、新種マルウェアによる感染の予防、サイバー攻撃の早期検知・迅速な対応、情報セキュリティ脅威の将来予測に基づく予防的対処を可能とする技術的基盤を確立したことにより、サイバー攻撃を速やかに把握し、対応できるようになり、サイバー攻撃の被害の軽減に資することから、安心・安全な ICT 利用環境の実現に寄与した。</p> <p>本研究開発においては、国立研究開発法人 情報通信研究機構（NICT）が開発したネットワーク観測センサの技術提供を受け、海外 10 か国、11 拠点に展開された観測センサからデータの収集を行った。これらに加え、サイバー攻撃情報やマルウェア検体の解析情報を集約し、統合・解析を行い、サイバー攻撃予兆アラートを生成した。本アラート情報の一部は、ISP などの実運用環境における評価・検証に活用されている。特に、DDoS 攻撃予兆アラートは、平成 25 年 10 月からリアルタイムでメール配信を開始し、ISP のネットワーク運用において DoS 攻撃対策オペレーションの時間短縮等の効果を確認している。これらにより、サイバー攻撃を速やかに把握し、対応できるようになり、サイバー攻撃の被害を軽減することに資することができていると認められる。</p> <p>以上のことから、本研究開発には有効性があったと認められる。</p>
公平性	<p>ICT の利活用が社会活動に広く浸透した現在では、多くの企業や一般ユーザーがサイバーセキュリティの脅威にさらされており、誰もが被害者となり得る。そのため、サイバー攻撃やマルウェア等の情報通信におけるサイバーセキュリティ脅威の被害軽減に資する本研究開発の成果は、広く国民の利益になるものである。</p> <p>また、支出先の選定に当たっては、実施希望者の公募を広く行い、研究提案について外部専門家から構成される評価会において最も優れた提案を採択する方式により、競争性を担保した。</p> <p>以上のことから、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>世界各国で大規模なサイバー攻撃が発生しており、新種のマルウェアにより、多くのウェブサイトが改ざんされるなど、国内外においてサイバーセキュリティインシデントによる被害が数多く発生している。また、サイバーセキュリティインシデントは、一層巧妙化、大規模化するとともに、増加傾向にあり、国民の実生活や経済活動に甚大な影響を及ぼす可能性がある。このような事態に一刻も早く対処し、公共のインフラとなっているインターネットの安全性、信頼性の向上を確保することは、喫緊の課題である。</p> <p>以上のことから、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）

本研究開発において、サイバー攻撃情報の類似性・局所性・時系列性解析技術、サイバー攻撃情報とマルウェア実体の突合分析技術、国際的なサイバー攻撃情報収集技術、サイバー攻撃情報共有基盤技術を確立し、新種マルウェアによる感染の予防、サイバー攻撃の早期検知・迅速な対応、情報セキ

セキュリティ脅威の将来予測に基づく予防的対処を可能とする技術的基盤を確立した。これらの技術により、サイバー攻撃を速やかに把握し、対応できるようになり、サイバー攻撃の被害を軽減に資することから、安心・安全な ICT 利用環境の実現に寄与した。

以上のことから、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＞

本研究開発終了後は、本研究開発の委託先及び国立研究開発法人情報通信研究機構（NICT）が研究を引き継いで実施しており、今後も巧妙化・悪質化するサイバー攻撃に対応するため、本研究開発で確立した技術を高度化する取組を進めており、総務省も追跡調査等でフォローアップを行っていく。

5 学識経験を有する者の知見の活用

「情報通信技術の研究開発の評価に関する会合」（平成 28 年 6 月）において、目標の達成状況や得られた成果等について、研究開発の目的・政策的位置づけ及び目標、研究開発マネジメント、研究開発成果の目標達成状況、研究開発成果の社会展開のための活動実績並びに研究開発成果の社会展開のための計画等の観点から、外部評価を実施し、以下に示す御意見などをいただいたため、本研究開発の評価に活用した。

- ・サイバー攻撃による被害は増加を続けており、企業や個人も金銭的な被害を被るようになってきている。そのため、サイバー攻撃を初期段階で検知する技術を産官学共同で解決する意義は極めて高い。
- ・本研究で検討すべき課題は多岐にわたり、ネットワークの現状を的確に把握し、予兆に関わる情報を得られたことは有効であると言え、今後の研究開発、実利用に展開できるものと考えられる。
- ・いくつかの研究成果について、レベルの高い国際学会で発表されており、非常に高いレベルにあると評価できる。
- ・ハニーポットを用いて早期攻撃の予兆を捉える有用な手法を開発し、それらの有効性を実ネットワークで示すなど、十分な実用性を有する基盤技術を確立しており、目標を上回る成果を達成していると言える。また、当初の予定にはなかった IoT セキュリティについても取り組んでおり、一定の成果を得たことも評価に値する。

6 評価に使用した資料等

- 情報セキュリティ研究開発戦略（改訂版）（平成 26 年 7 月 10 日 情報セキュリティ政策会議決定）
<http://www.nisc.go.jp/active/kihon/pdf/kenkyu2014.pdf>
- サイバーセキュリティ戦略（平成 27 年 9 月 4 日 閣議決定）
<http://www.nisc.go.jp/active/kihon/pdf/cs-senryaku.pdf>
- サイバーセキュリティ 2015（平成 27 年 9 月 25 日 サイバーセキュリティ戦略本部決定）
<http://www.nisc.go.jp/active/kihon/pdf/cs2015.pdf>
- 総務省 平成 23 年度開始の研究開発プロジェクト一覧
http://www.soumu.go.jp/menu_seisaku/ictseisaku/ictR-D/itiran23.html

平成 28 年度事後事業評価書

政策所管部局課室名：情報通信国際戦略局技術政策課研究推進室
 評価年月：平成 28 年 8 月

1 政策（研究開発名称）

ネットワーク仮想化技術の研究開発
 （ビッグデータ時代に対応するネットワーク基盤技術の確立等）

2 研究開発の概要等

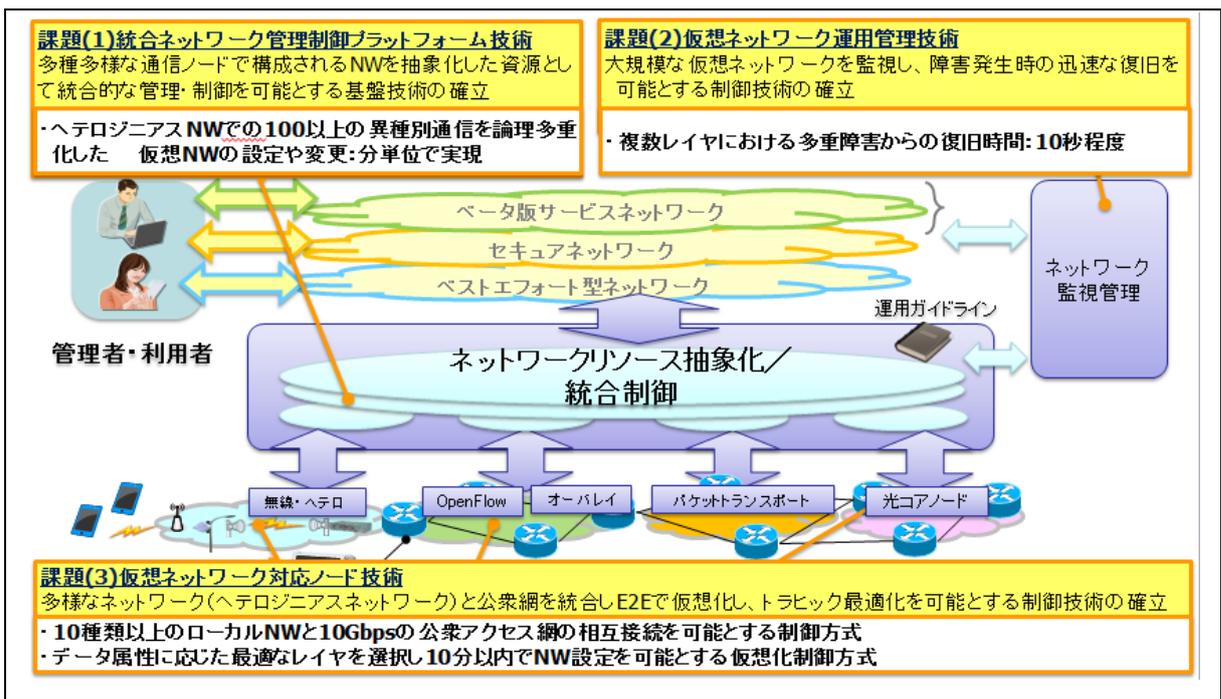
（1）研究開発の概要

- ・実施期間
平成 25 年度～平成 27 年度（3 か年）
- ・実施主体
民間企業
- ・事業費
2,516 百万円

平成 25 年度	平成 26 年度	平成 27 年度	総 額
1,268 百万円	700 百万円	548 百万円	2,516 百万円

・概 要

センサやスマートフォン等から集まる多種多量データ（ビッグデータ）の進展など通信サービスの多様化によりネットワーク上のトラフィック特性が、よりダイナミックに変化するようになったことに伴い、従来の電気通信事業者が運用するコア網及びアクセス網の公衆網におけるネットワーク構築、制御技術では迅速に対応することが困難な状況が生じつつある。これに対応するため、ネットワークの構築や制御を柔軟に可能とするネットワーク仮想化技術を、公衆網に導入できるレベルの機能と性能で実現するとともに国際標準化等を実施し、イノベーション創発を促進する環境を総合的に構築するための研究開発に取り組む。



技術の種類	技術の概要
統合ネットワーク管理制御プラットフォーム技術	固定や無線の種々のアクセス網及びコア網を統合したネットワークにおいて、1000 台規模の多種多様通信機器により構成される複数種別の物理ネットワークの上に、100 以上の品質等種別が異なる通信を論理多重化した仮想ネットワークの設定や変更を分単位で実現可能とする統合ネットワークの管理、制御プラットフォームを実現する。
仮想ネットワーク運用管理技術	<p>大規模な仮想ネットワークを監視し、障害発生時の迅速な復旧を可能とする制御技術の確立するため、以下の技術の確立を目指す。</p> <p>ア) マルチレイヤ及びグローバルネットワーク監視制御技術</p> <p>品質等種別が異なる通信を論理多重化した仮想ネットワークにおいて、サービス品質指定に基づいたマルチレイヤかつグローバル制御を可能とするとともに、仮想ネットワーク全体に対してのモニタリング及びネットワークの最適化を実現する。また、障害時にサービス品質指定に基づき仮想ネットワークを再構成とし、複数レイヤにおける多重障害からの復旧を従来比 1/10(10 秒程度)で実現する。</p> <p>イ) 仮想ネットワークトラフィック管理技術</p> <p>1000 台規模の物理ネットワーク上で、仮想ネットワーク上の 100 以上のサービスアプリケーション種別を識別するトラフィック管理方式に関し、1 トラフィック情報収集処理および 1 トラフィック異常分析処理の 10 倍高速化（5 分単位の監視周期を 30 秒単位以下に改善）を実現する。</p> <p>ウ) 仮想ネットワーク信頼性管理技術</p> <p>1000 台規模の物理ネットワーク上で論理多重化される 100 以上の仮想ネットワークを対象とし、ソフトウェアによるネットワーク設計検証の自動化により、従来、8 時間を要していた検証作業時間の 90%削減を実現する。</p>
仮想ネットワーク対応ノード技術	<p>多様なネットワーク（ヘテロジニアスネットワーク）と公衆網を統合し E2E で仮想化し、トラフィック最適化を可能とする制御技術の確立するため、以下の技術の確立を目指す。</p> <p>ア) ヘテロジニアスネットワーク連携ノード及びドライバ技術</p> <p>無線、有線の複数企画における 10 種類以上のローカルネットワークと 10Gbps の公衆アクセス網を相互接続し、これらのネットワーク間でデータ流通の相互連携ならびに仮想ネットワークとして管理と制御を可能とするノード技術を実現する。</p> <p>イ) マルチレイヤノード制御技術</p> <p>データの属性に応じて最適なレイヤ上での効率的なデータ転送を実現するためのマルチレイヤノード向けの制御方式を確立する。これにより、従来、数 10 分を要してパケットネットワークと回線・光ネットワークをそれぞれ独立して手動設定した場合に対して、10 分以内でのネットワーク設定を実現する。</p>

・スケジュール

技術の種類	平成 25 年度	平成 26 年度	平成 27 年度
統合ネットワーク管理制御プラットフォーム技術	運用評価技術、統合共通制御フレームワーク技術等の検証、製造、試験等		実証実験、ガイドライン検証
仮想ネットワーク運用管理技術	マルチレイヤネットワークのグローバル監視制御技術、仮想ネットワークトラフィック管理技術等の開発、実証等		復旧技術の開発、評価
仮想ネットワーク対応ノード技術	ヘテロジニアスネットワーク連携ノード制御及びドライバ技術等の設計、開発等		制御技術及びドライバ技術の評価

(2) 達成目標

ネットワーク上の多種多量なデータ（ビッグデータ）に対する流通を柔軟に制御するとともに、

これらのデータを活用した新しいサービスを支える多種多様なネットワークを迅速に構築するため、統合ネットワーク管理制御プラットフォーム技術、仮想ネットワーク運用管理技術、仮想ネットワーク対応ノード技術を確立し、新たなネットワーク構築・制御の基盤技術である「ネットワーク仮想化技術」を確立することにより、イノベーション創発を促進する環境を構築し、ネットワーク仮想化技術に対応した機器市場およびビッグデータ関連の新サービス市場を創出し、我が国主導による同市場における国際競争力を強化する。

- 関連する主要な政策
 - V. 情報通信（ICT政策） 政策9「情報通信技術の研究開発・標準化の推進」
- 閣議決定等の上位計画・全体計画等
 - ・「日本再興戦略 - JAPAN is BACK -」（平成25年6月14日 閣議決定）
 - ・「世界最先端IT国家創造宣言」（平成25年6月14日 閣議決定）
 - ・「第4期科学技術基本計画」（平成23年8月19日 閣議決定）
 - ・「科学技術イノベーション総合戦略 ～新次元日本創造への挑戦～」（平成25年6月7日 閣議決定）
 - ・「平成26年度科学技術重要施策アクションプラン」（平成25年9月 総合科学技術会議決定）

（3）目標の達成状況

本研究開発について、以下の技術を確立することにより、所期の目標を達成した。また、これらの技術の確立により、ネットワークの構築や制御を柔軟に可能とし、公衆網に導入できるレベルの機能と性能で実現できる「ネットワーク仮想化技術」が確立され、目標を達成した。

本研究開発で確立された技術により、従来のネットワーク構築、制御技術では困難な、ネットワーク上の多種多様なデータ（ビッグデータ）の流通を柔軟に制御でき、これらのデータを活用した新たなサービスを支える多種多様なネットワークを迅速に構築することが可能となるとともに、世界に先駆けたネットワーク仮想化技術の公衆網への導入が可能となり、国際標準化や国際市場への展開を先行して進めることで、ネットワーク仮想化技術に対応した機器市場及びビッグデータ関連の新サービス市場の創出や国際競争力の強化に資することから、所期の目標を達成したといえる。

主な指標	目標値	目標年度	26年度
統合ネットワーク管理制御プラットフォーム技術	1,000台規模の装置により構成されたネットワーク上に、100種類以上の仮想ネットワークを分単位で設計・構築して運用するための基本技術を確立。	平成27年度	目標に対して、機能強化(冗長管理を追加)した成果および性能強化(2,000台規模に拡張)した成果の達成。開発したソフトウェアは、OSSとして公開。
仮想ネットワーク運用管理技術	1,000台規模の装置により構成されたネットワークを対象とした運用管理効率を10倍化する基本技術を確立。	平成27年度	目標に掲げた機能および性能を超え、最大20倍程度の効率化を達成。
仮想ネットワーク対応ノード技術	有線・無線を含む10種類以上のローカルネットワークと10Gbpsの公衆網を相互接続する連携・制御技術の実現、およびパケット・光を含むマルチレイヤネットワークの設定を10分以内に実現。	平成27年度	目標に掲げた機能および性能を満たすことを確認し、加えて実用化に必須となるサービス機能の拡充と標準化を達成。

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、論文数や特許出願件数などの間接的な指標を用い、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。

上述の観点に基づき、「情報通信技術の研究開発の評価に関する会合」（平成28年6月）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、国際標準提案件数等も調査し、必要性・有効性等を分析した。

○研究開発による特許・論文・研究発表・国際標準の実績

研究開発による特許・論文・研究発表・国際標準の実績から、本研究開発の必要性、有効性等が認められた。特に、国際標準提案については、ITU-Tをはじめとする複数の標準化機関に対する活動を実施し、OpenFlowの光拡張標準化において、大きく貢献しているなど、国際競争力強化に寄与していると認められる。

主な指標	平成25年度	平成26年度	平成27年度	合計
査読付き誌上発表論文数	0件 (0件)	0件 (0件)	5件 (4件)	5件 (4件)
査読付き口頭発表論文数 (印刷物を含む)	0件 (0件)	2件 (2件)	5件 (5件)	7件 (7件)
その他の誌上発表数	3件 (0件)	6件 (0件)	0件 (0件)	9件 (0件)
口頭発表数	23件 (6件)	58件 (9件)	59件 (13件)	140件 (28件)
特許出願数	12件 (1件)	17件 (4件)	18件 (6件)	47件 (11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	3件 (3件)	3件 (3件)	2件 (2件)	8件 (8件)
国際標準獲得数	0件 (0件)	1件 (1件)	0件 (0件)	1件 (1件)
受賞数	0件 (0件)	2件 (2件)	0件 (0件)	2件 (2件)
報道発表数	6件 (3件)	5件 (2件)	8件 (4件)	19件 (9件)
報道掲載数	20件 (5件)	23件 (3件)	28件 (5件)	71件 (13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：「査読付き誌上発表論文数」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：「その他の誌上発表数」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こと。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こと。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。

○各観点からの分析

観点	分析
必要性	<p>本研究開発は、ネットワークの構築や制御を柔軟に可能とするネットワーク仮想化技術を、公衆網に導入できるレベルの機能と性能で実現するための研究開発に取り組んだものである。センサやスマートフォン等から集まるビッグデータの進展など通信サービスの多様化によりネットワーク上のトラフィック特性が、よりダイナミックに変化するようになったことに伴い、従来の電気通信事業者が運用するコア網及びアクセス網の公衆網におけるネットワーク構築、制御技術では迅速に対応することが困難な状況が生じつつある中で、情報通信インフラの高度化は早期に実現すべき課題となっていた。</p> <p>また、情報通信インフラの高度化は、「日本再興戦略」、「世界最先端IT国家創造宣言」等の政府戦略において重点分野として取り扱われており、本事業は、情報通信インフラの高度化の実施事業として、</p>

	<p>「世界最先端 I T 国家創造宣言」、「科学技術イノベーション総合戦略」等の工程表において、総務省が取り組む事業と明記されている。</p> <p>以上より、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>本研究開発の実施に当たっては、外部の有識者、本技術のユーザとなり得る官公庁や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ユーザ省庁等からの意見等を活用し、より効率的な研究開発を実施した。</p> <p>委託経費の執行に当たっては、事前に予算計画書を確認するとともに、年度途中及び年度末に経費の執行に関する経理書類を提出させ、総務省担当職員が詳細な経理検査を行い、予算の効率的な執行に努めた。加えて、専門的知見を有した監査法人に経理検査の補助を依頼し、経費の執行の適正性・効率性を確保している。</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、統合ネットワーク管理制御プラットフォーム技術、仮想ネットワーク運用管理技術、仮想ネットワーク対応ノード技術を確立することにより、ネットワークの構築や制御を柔軟に可能とし、公衆網に導入できるレベルの機能と性能で実現できる「ネットワーク仮想化技術」を確立した。これにより、従来のネットワーク構築、制御技術では困難な、ネットワーク上の多種多様なデータ（ビッグデータ）の流通を柔軟に制御でき、これらのデータを活用した新たなサービスを支える多種多様なネットワークを迅速に構築することが可能となるとともに、世界に先駆けたネットワーク仮想化技術の公衆網への導入が可能となり、国際標準化や国際市場への展開を先行して進めることで、ネットワーク仮想化技術に対応した機器市場及びビッグデータ関連の新サービス市場の創出や国際競争力の強化に資することができた。</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>
公平性	<p>本研究開発は、ビッグデータの流通を支える情報通信ネットワークの実現に向け、柔軟なネットワーク設定・運用を可能とするネットワーク基盤技術に関する研究開発を実施したものであり、社会活動及び経済活動の根幹である情報通信インフラの高度化が期待され、その成果による利益は広く国民に享受されるものである。</p> <p>また、支出先の選定に当たっては、実施希望者の公募を広く行い、研究提案について外部専門家から構成される評価会において最も優れた提案を採択する方式により、競争性を担保した。</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>センサやスマートフォン等から集まる多種多量データ（ビッグデータ）の進展など通信サービスの多様化によりネットワーク上のトラヒック特性が、よりダイナミックに変化するようになったことに伴い、従来の電気通信事業者が運用するコア網及びアクセス網の公衆網におけるネットワーク構築、制御技術では迅速に対応することが困難な状況が生じつつあることから、情報通信インフラの高度化を早期に実現することが必要不可欠であり、「日本再興戦略」、「世界最先端 I T 国家創造宣言」等の政府戦略においても重点分野として取り扱われているものである。</p> <p>よって、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）

本研究開発において、統合ネットワーク管理制御プラットフォーム技術、仮想ネットワーク運用管理技術、仮想ネットワーク対応ノード技術の技術を確立することにより、ネットワークの構築や制御を柔軟に可能とし、公衆網に導入できるレベルの機能と性能で実現できる「ネットワーク仮想化技術」を確立した。これにより、従来のネットワーク構築、制御技術では困難な、ネットワーク上の多種多様なデータ（ビッグデータ）の流通を柔軟に制御でき、これらのデータを活用した新たなサービスを支える多種多様なネットワークを迅速に構築することが可能となるとともに、世界に先駆けたネットワーク仮想化技術の公衆網への導入が可能となり、国際標準化や国際市場への展開を先行して進めることで、ネットワーク仮想化技術に対応した機器市場及びビッグデータ関連の新サービス市場の創出や我が国主導による同市場における国際競争力の強化に資するとともに、特許出願や国際標準提案なども着実に実施されるなど、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>

標準化による本研究開発技術そのものの普及・展開、オープン化による使用者裾野の拡大、製品化・事業化による市場貢献等への注力により、ネットワーク仮想化の機器市場やビッグデータ関連サービス等の情報通信利活用の新サービス市場を創出し、我が国主導の同市場における更なる国際競争力の強化を引き続き目指す。

5 学識経験を有する者の知見の活用

「情報通信技術の研究開発の評価に関する会合」（平成 28 年 6 月）において、目標の達成状況や得られた成果等について、研究開発の目的・政策的位置付け及び目標、研究開発マネジメント、研究開発成果の目標達成状況、研究開発成果の社会展開のための活動実績並びに研究開発成果の社会展開のための計画などの観点から、外部評価を実施し、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。

- ・国際的なビジネスに発展する可能性を持つ重要な研究テーマである。これから市場が立ち上がるところであり、OSS 化という方向性を打ち出して、我が国の技術開発力強化を推進した点が評価できる。
- ・研究開発目標（アウトプット目標）について、目標あるいは目標以上を達成しており、成果の一部には世界トップレベルの性能を持つものもある。

6 評価に使用した資料等

- 総務省 平成 23 年度開始の研究開発プロジェクト一覧
http://www.soumu.go.jp/menu_seisaku/ictseisaku/ictR-D/itiran23.html
- 「日本再興戦略 - JAPAN is BACK -」（平成 25 年 6 月 14 日 閣議決定）
http://www.kantei.go.jp/jp/singi/keizaisaisei/pdf/saikou_jpn.pdf
- 「世界最先端 I T 国家創造宣言」（平成 25 年 6 月 14 日 閣議決定）
<http://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/kettei/pdf/20130614/siryoul.pdf>
- 「第 4 期科学技術基本計画」（平成 23 年 8 月 19 日 閣議決定）
<http://www8.cao.go.jp/cstp/kihonkeikaku/index4.html>
- 「科学技術イノベーション総合戦略～新次元日本創造への挑戦～」（平成 25 年 6 月 7 日閣議決定）
<http://www8.cao.go.jp/cstp/sogosenryaku/2013/2013.html>
- 「平成 26 年度科学技術重要施策アクションプラン」（平成 25 年 9 月 総合科学技術会議決定）
http://www8.cao.go.jp/cstp/budget/iken20130731_2.pdf

平成 28 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
 評価年月：平成 28 年 8 月

1 政策（研究開発名称）

ミリ波帯チャネル高度有効利用適応技術に関する研究開発¹

2 研究開発の概要等

（1）研究開発の概要

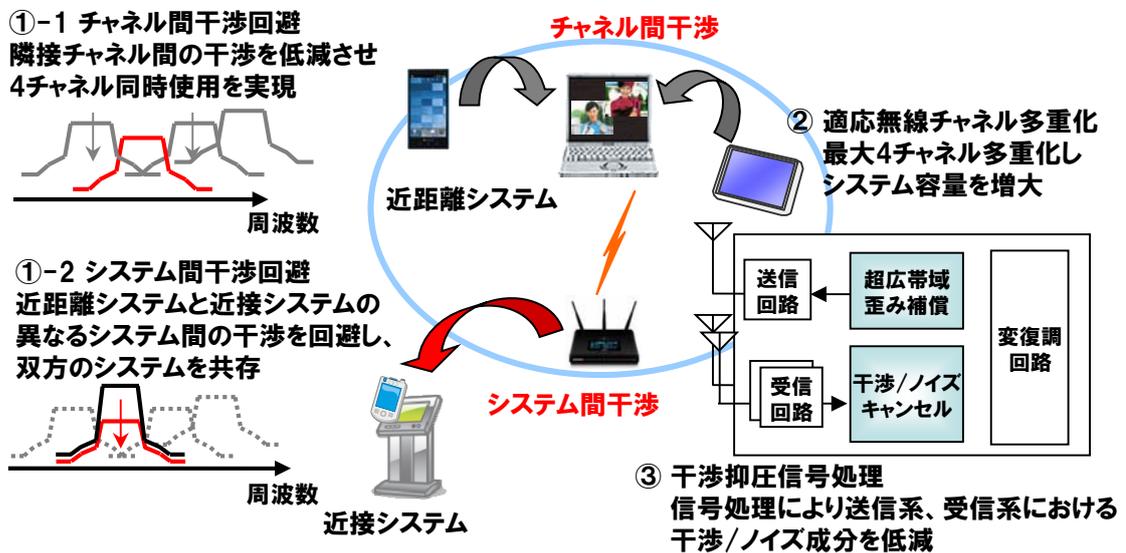
- ・実施期間
平成 25 年度～平成 27 年度（3 か年）
- ・実施主体
民間企業、大学
- ・事業費
1,477 百万円

平成 25 年度	平成 26 年度	平成 27 年度	総 額
683 百万円	433 百万円	362 百万円	1,477 百万円

・概 要

大容量データの高速無線伝送用途として期待される 60GHz 帯無線システムにおいて、店舗や駅等の公共エリアでの使用が想定される大容量の 1 対多通信及び送信電力の大きく異なる異種システムの共存を可能とするため、以下の技術を確立する。

・概要図



技術の種類	技術の概要
チャネル/システム間干渉回避技術	60GHz帯の複数チャネルの与干渉を低減し同時使用環境を改善するため、アクセスポイント側でアンテナ指向制御を行う技術、さらには、チャネル配置、送信電力、チャネル分割やチャネル結合などの異なるチャネル幅に対応可能とする干渉回避技術の確立を目指す。

¹ 新案件名「ミリ波帯における高度多重化干渉制御技術等に関する研究開発」平成 24 年度補正予算で開始し、平成 26 年度で研究を継続する際に名称が変更されたもの。

	具体的には、複数チャネル間の干渉を低減させ4チャネル同時使用を実現するチャネル間干渉回避技術（概要図①-1）と、送信電力の大きく異なる近距離システムと近接システム間の干渉を回避して双方のシステムを共存させるシステム間干渉回避技術（概要図①-2）を開発する。
適応無線チャネル多重化技術	60GHz帯を用いて店舗やオフィスなど多ユーザーが密集する地域において、新たな周波数を割り当てることなく同時通信を可能とするため、互いに近接した結合アンテナの負荷を制御する寄生アンテナ制御技術、さらには、ベースバンド信号処理アルゴリズムの簡易化、ベースバンドとアンテナRFとの結合、端末側で簡易に指向性制御と干渉抑圧を行う適応多重化信号処理技術を開発する（研究開発概要図②）。
干渉抑圧信号処理技術	60GHz帯 WiGig の情報容量を増大させ円滑な情報伝送を可能とするために低位相雑音化し、隣接チャネルからのノイズをキャンセルする干渉/ノイズキャンセル技術及びベースバンド信号処理とパワーアンプ回路を組み合わせる効果的なひずみを補償する超広帯域ひずみ補償技術の開発を行う（研究開発概要図③）。

・スケジュール

技術の種類	平成 25 年度	平成 26 年度	平成 27 年度
チャネル/システム間干渉回避技術	干渉回避アルゴリズム開発、基礎データ取得	実証実験装置開発	技術実証、統合評価
適応無線チャネル多重化技術	寄生アンテナ制御理論構築、アルゴリズム開発、干渉基礎データ取得	寄生アンテナ設計・試作 実証実験環境構築、 詳細データ取得	技術実証
干渉抑圧信号処理技術	信号処理アルゴリズム開発、基礎データ取得	歪み補償アーキテクチャ設計 実証実験装置開発	技術実証

(2) 達成目標

ミリ波帯である 60GHz 帯において、チャネル/システム間干渉回避技術、適応無線チャネル多重化技術及び干渉抑圧信号処理技術を確立することにより、

- ① 多種多様な用途に対応し得るミリ波ネットワーク基盤技術を確立し、60GHz 帯無線システムにおいて4チャネル同時使用を1m以下の離隔距離で可能とし、さらに、同一周波数帯を使用して用途の異なる近接システムとの干渉を回避することで、異システムの共存を実現し周波数の利用効率を向上させる。
- ② 無線チャネルをニーズに応じて適応的に最適化する多重化技術により、周波数利用効率を最大4倍にまで高め、さらに、57-66GHz 帯内でフレキシブル（1GHz から9GHz）にチャネル分割、チャネル結合を可能とするほか、64QAM²で3m以上の通信距離において安定した通信を実現することで、周波数の効率的利用及び2.4GHz/5GHz 帯の周波数ひっ迫を緩和する。
- ③ IEEE802.11ad/WiGig³等の国際標準規格への拡張提案を通じて、国際協調の維持継続と将来の国際競争力の確保を図る。

○ 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」

○ 閣議決定等の上位計画・全体計画等

- ・世界最先端 IT 国家創造宣言（平成25年6月14日閣議決定）

「IV. 4. 研究開発の推進・研究開発成果との連携」において、「世界最高水準の IT 社会を実現し、維持・発展させるために、情報通信社会の今後の動向を見据えた研究開発を推進する」旨が記載されている。

² 直交振幅変調。信号を送信する搬送波の振幅と位相を調整し、送信できる情報量を増やす変調方式。

³ 60GHz 帯の無線通信規格の一つ。

- ・日本経済再生に向けた緊急経済対策（平成 25 年 1 月 11 日閣議決定）
 - 「Ⅱ. 1. (2) 研究開発、イノベーション推進」において、「イノベーション創出による需要喚起と成長への投資促進を図るため、(中略) 先端的な情報通信技術の確立など、研究開発プロジェクト等を推進する」旨、及び下記項目が記載されている。
 - ①研究開発プロジェクトの推進
 - ・イノベーションを創出する情報通信技術の利活用推進・強固な基盤整備（総務省）
- ・知識情報社会の実現に向けた情報通信政策の在り方（平成 23 年情報通信審議会諮問第 17 号 平成 24 年 7 月 25 日答申）

Active Japan ICT 戦略～新たな ICT 総合戦略の方向性について～において「社会実装と連動した新たな ICT プロジェクト」として「社会実装を加速するための研究開発」及び「アクティブコミュニケーション戦略」として「電波の有効利用を実現する新たなワイヤレスシステムの研究開発」を行う旨が記載されている。
- ・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 周波数再編の実施等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。
- ・新たな情報通信技術戦略（平成 22 年 5 月 IT 戦略本部決定）
 - Ⅲ. 分野別戦略
 - 3. 新市場の創出と国際展開
 - (2) 我が国が強みを持つ情報通信技術関連の研究開発等の推進
 - 我が国が強みを持つ情報通信技術関連の研究開発を重点的に推進し、早期の市場投入を目指す。

(3) 目標の達成状況

3 年間の研究開発を通じて、各要素技術について以下のとおり目標を高いレベルで達成して、確立した。

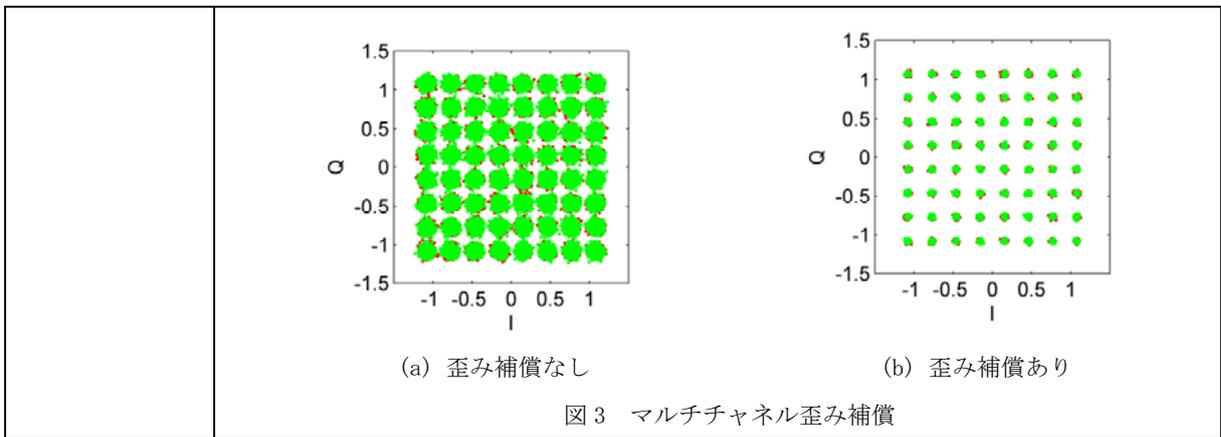
本研究開発により、60GHz 帯（57-66GHz）において 1m 以下の離隔距離での 4 チャンネル同時使用が可能となるとともに、同一周波数において用途の異なる近距離システムと近接システムの干渉を回避することで、従来、主として 1 対 1 通信に限定されていた 60GHz 帯無線システムを、店舗や駅等の公共エリアでの使用が想定される大容量の 1 対多通信へと拡張できるほか、送信電力が大きく異なる異システムの共存により多種多様な用途への対応が可能となり、異システムの共存を実現し周波数の利用効率が向上した。

また、無線チャンネルを適応的に最適化する多重化技術として簡易な指向性制御アンテナにより 4 方向への指向性制御を実現し、60GHz 帯多重化信号処理アルゴリズムと組み合わせることで周波数利用効率を 4 倍に高めるとともに、3m 以上の通信距離が必要な環境において 8 名以上のユーザに対して 64QAM で最大スループット⁴ 6 Gbps 以上の安定した高速伝送を実現する技術を確立した。さらに、ミリ波帯においてフレキシブルなチャンネル分割やチャンネル結合につながる干渉抑圧信号処理技術を確立し、4K・8K 大容量コンテンツや非圧縮写真素材データなどを多数のユーザが短時間で送受信可能となり作業性が向上するだけでなく、コンテンツの新たな流通の促進や、個人から臨場感のある情報発信が可能となる 60GHz 帯周波数の有効利用が促進されることにより、2.4/5GHz 帯の既存システムからの移行が見込まれ、周波数の効率的利用及び 2.4GHz/5GHz 帯の周波数ひっ迫の緩和に貢献した。

また、IEEE802.11ad/WiGig の後継規格に向けた作業部会 IEEE802.11TGay を中心に我が国技術の国際標準規格への拡張提案を行うなど国際標準化活動を推進したことにより、国際協調の維持継続と将来の国際競争力の確保が図られた。

⁴ 単位時間あたりのデータ転送量。

技術の種類	目標の達成状況
<p>チャンネル/システム間干渉回避技術</p>	<p>○60GHz帯において複数チャンネルの同時利用を可能とする、チャンネル間干渉回避技術を確立</p> <ul style="list-style-type: none"> ・干渉検出とアンテナ指向性制御を組み合わせた干渉回避アルゴリズムを開発し、複数チャンネル同時使用時において、端末間の離隔距離1mでの同時通信を実証した。 ・アンテナ指向性制御により周囲360度をカバー可能なミリ波アクセスポイントを試作し、専用端末との見通し通信において8m以上の通信距離を実現した。 ・開発技術の有効性を実証するため、ミリ波アクセスポイント3台と専用端末8台から成るミリ波高速無線環境を成田国際空港のターミナル内に構築し、本研究開発が目指す1対多のミリ波高速通信の有効性を実証するとともに、開発技術成果を国内外に広く発信した(図1)。 <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="454 488 981 817"> <p>(a) ミリ波高速無線環境システム構成</p> </div> <div data-bbox="1002 542 1437 817"> <p>(b) 実証実験の様子</p> </div> </div> <p style="text-align: center;">図1 成田空港ターミナルでの実証実験</p> <p>○近距離システムと近接システムの共存を可能とする、システム間干渉回避技術を確立</p> <ul style="list-style-type: none"> ・近接システムが近距離システムからの通信信号を検出した場合に、チャンネル切替えによる干渉回避を行うシステム間干渉回避アルゴリズムを開発した。 ・実証実験装置を試作し、近距離システムと近接システムとの混在環境で実験を行い、3m以内の同一エリアで共存可能であることを実証した。
<p>適応無線チャンネル多重化技術</p>	<p>○新たな周波数を割り当てることなく同時通信を可能とする適応無線チャンネル多重化技術を確立</p> <ul style="list-style-type: none"> ・60GHz帯で動作可能な簡易な指向性制御アンテナとして、寄生可変容量素子のオンオフ制御を利用した寄生アンテナを試作し、4方向の指向性制御を実現した。 ・多重化信号処理アルゴリズムおよびユーザスケジューリングに関するシミュレーション検討を実施し、小会議室環境(3.6m×5.7m×2.5m)においてトータルユーザ数が8名以上で各ユーザの最大スループットとして6Gbps以上(64QAM)を達成し、提案手法の有効性を実証した。 <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="561 1368 869 1592"> <p>(a) 試作アンテナ</p> </div> <div data-bbox="1104 1361 1358 1592"> <p>(b) 実測結果</p> </div> </div> <p style="text-align: center;">図2 60GHz帯寄生アンテナ</p>
<p>干渉抑圧信号処理技術</p>	<p>○情報容量を増大させ円滑な情報伝送を可能とする干渉抑圧信号処理技術を確立</p> <ul style="list-style-type: none"> ・二系統受信を用いた干渉キャンセル受信方式を考案し、実測評価にて有効性を実証した。 ・受信系において発振器の位相雑音をキャンセルするノイズキャンセル信号処理を考案し、シミュレーションによって各ユーザの最大スループットとして6Gbps以上を達成可能であることを実証した。 ・60GHz帯においてフレキシブルなチャンネル配置を可能とするため、送信系で同時複数チャンネル増幅時の歪み成分を抑圧可能な、マルチチャンネル歪み補償方式を提案し、システムシミュレーションにおいて有効性を実証した(図3)。



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28年6月28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・国際標準の実績

研究開発による特許・論文・研究発表・国際標準の実績から、干渉回避のためのアクセスポイント連携ビームフォーミング手法など多くの特許出願や、近距離システムと近接システムの共存を目指した利用モデル文書の入力など多くの国際標準規格への拡張提案を実施するなど、標準化活動に貢献しており、本研究開発の必要性、有効性等が認められた。

主な指標	平成25年度	平成26年度	平成27年度	合計
査読付き誌上发表論文数	0件 (0件)	0件 (0件)	1件 (1件)	1件 (1件) 注7
査読付き口頭発表論文数 (印刷物を含む)	0件 (0件)	5件 (5件)	8件 (8件)	13件 (13件)
その他の誌上发表数	0件 (0件)	0件 (0件)	5件 (0件)	5件 (0件)
口頭発表数	27件 (2件)	21件 (1件)	25件 (6件)	73件 (9件)
特許出願数	19件 (0件)	25件 (17件)	16件 (10件)	60件 (27件)
特許取得数	0件 (0件)	0件 (0件)	8件 (6件)	8件 (6件)
国際標準提案数	0件 (0件)	4件 (4件)	7件 (7件)	11件 (11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	1件 (1件)	2件 (0件)	2件 (1件)	5件 (2件)
報道発表数	0件 (0件)	1件 (0件)	2件 (1件)	3件 (1件)
報道掲載数	0件 (0件)	1件 (0件)	2件 (1件)	3件 (1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：「その他の誌上発表数」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。

注7：他に英文論文 3件を投稿済み、平成28年度掲載予定。

○各観点からの分析

観点	分析
必要性	<p>近年、スマートフォン、タブレット型 PC に代表されるモバイル端末の高機能化とともに、4K・8K 高精細動画の実用化に代表されるようにコンテンツの大容量化が進展し、より高速な無線通信手段の必要性が高まっていたが、携帯電話や無線 LAN で使用されてきた 6GHz 帯以下の周波数帯は、使用できる周波数帯域が限られるために高速化に限界がある上、携帯電話や無線 LAN の普及に伴い干渉や輻射による速度低下が問題になっている。このため、ギガバイトを超える大容量データを短時間に伝送でき、かつ膨大な無線トラフィックを収容可能な無線システムである 60GHz 帯無線システムを早期に開発する必要がある。</p> <p>60GHz 帯無線システムは、主として 1 対 1 通信用途から実用化が進む見込みであり、このままでは、店舗や駅等で想定される大容量の 1 対多通信では、チャンネル間の干渉によりスループットが低下し、利用用途が制限されてしまう。このため、例えば、店舗等で複数のユーザが隣り合う座席から同時に異なるコンテンツをダウンロード可能とするニーズに対応するためには、1m 程度の最小デバイス間離隔距離を確保しつつ、60GHz 帯で使用可能な限られた 4 つのチャンネルを効率的に利用してシステム収容者数を増大する技術が必要であり、同時に、近距離システムと近接システムのように、送信電力が大きく異なるシステムを同一エリアに共存可能とする干渉回避技術も必要であった。</p> <p>さらに、本研究開発分野は IEEE において標準化が進められているなど、世界的に開発競争が進められており、早期にこれらの技術を確立することにより、国際協調の維持継続と国際競争力の確保を図る必要がある。</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>研究開発の実施に当たっては、外部の有識者で構成される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>チャンネル/システム間干渉回避技術、適応無線チャンネル多重化技術及び干渉抑圧信号処理技術を確立することにより、これまでは主として 1 対 1 通信に限定されていた 60GHz 帯無線システムにおいて、店舗や駅等の公共エリアでの使用が想定される大容量の 1 対多通信を実現するとともに、送信電力が大きく異なる異システムの共存を実現することで多種多様な用途への対応を可能としたことにより、異システムの共存を実現し周波数利用効率の向上が実現した。</p> <p>これにより、60GHz 帯周波数の有効利用が促進され、4K・8K 大容量コンテンツや非圧縮写真素材データなどを多数のユーザが短時間で送受信可能となり作業性が向上するだけでなく、コンテンツの新たな流通の促進や、個人から臨場感のある情報発信が可能となることから、2.4/5GHz 帯の既存システムからの移行が見込まれ、周波数の効率的利用及び 2.4GHz/5GHz 帯の周波数逼迫の緩和に資することができた。</p> <p>また、特許出願や我が国技術の国際標準規格への拡張提案を行うなど国際標準化に向けた活動なども着実に実施したことにより、国際協調の維持継続と将来の国際競争力の確保ができた。</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>
公平性	<p>本研究開発は、今後ますます利用用途が拡大される 60GHz 帯周波数の効率的な利用の促進と、</p>

	<p>2.4GHz/5GHz 帯の周波数ひっ迫を緩和するものであり、周波数の有効利用の一層の向上に寄与するものであることから、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>コンテンツの大容量化の進展や高速な無線通信手段の必要性が高まる中、電波の干渉や輻射による速度低下が懸念される2.4/5GHz帯既存無線LANによるオフロードでは対応しきれない膨大な無線トラフィックを収容可能とする当該研究開発分野は、IEEEにおいて標準化が進められているなど、世界的に開発競争が激化しており、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。</p> <p>また、既存無線LANで使用されている2.4GHz/5GHz帯周波数は、電波のひっ迫状況の深刻化が懸念されることから、本研究開発成果により60GHz帯周波数の利用を促進することは、周波数の有効利用の観点からも優先度が高い。</p> <p>よって、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）

本研究開発により、ミリ波帯である60GHz帯において、チャネル/システム間干渉回避技術、適応無線チャネル多重化技術及び干渉抑圧信号処理技術を確立することにより、これまでは主として1対1通信に限定されていた60GHz帯無線システムにおいて、店舗や駅等の公共エリアでの使用が想定される大容量の1対多通信を実現するとともに、送信電力が大きく異なる異システムの共存を実現することで多種多様な用途への対応を可能としたことにより、異システムの共存を実現し周波数利用効率の向上が実現した。

これにより、60GHz帯周波数の有効利用が促進され、4K・8K大容量コンテンツや非圧縮写真素材データなどを多数のユーザが短時間で送受信可能となり作業性が向上するだけでなく、コンテンツの新たな流通の促進や、個人から臨場感のある情報発信が可能となることから、2.4/5GHz帯の既存システムからの移行が見込まれ、周波数の効率的利用及び2.4GHz/5GHz帯の周波数ひっ迫の緩和に資することができた。

また、特許出願や我が国技術の国際標準規格への拡張提案を行うなど国際標準化に向けた活動なども着実に実施したことにより、国際協調の維持継続と将来の国際競争力の確保ができた。

これらのことから、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>

本研究開発は60GHz帯無線システムの高度化を目指したものである。本研究開発成果を活用することでIEEE802.11ad/WiGigの後継規格であるIEEE802.11ay策定に向けた国際標準化活動を推進し、2019年最終仕様書発行を目指す。また、ミリ波帯の有効活用は、第5世代移動通信に代表される将来の無線通信システムにおいて、必要な性能要件を満足するために不可欠な技術のひとつと考えられる。電波政策ビジョン懇談会（平成26年12月）では、研究開発の戦略的推進として「無線システムのミリ波帯等への移行促進に向けた技術のほか、周波数の使用効率を向上させるための上位レイヤーにおける通信制御技術等に関する研究開発にも精力的に取り組んでいくことが求められる」と述べられており、ミリ波帯周波数の効率的な利用を可能とする本研究開発成果を活用するとともに、今後は6GHz帯以下の周波数を含む複数のシステムを組み合わせることで周波数の効率的な使用を可能とする通信制御技術等の実現を目指した取り組みを推進する。

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28年6月28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。

- ・総合的に有意義な研究開発である。
- ・WiGigの次世代規格のための基本技術が確立されており、到達目標は十分に達成されていると考え

る。

- ・実施体制及び経済的効率性については、特に問題なく妥当であったと考えられる。
- ・本研究成果は、5G（第5世代移動通信）で検討されているスモールセルネットワーク等の様々なアプリケーションへ応用が可能であると考えられる。

6 評価に使用した資料等

- 電波資源拡大のための研究開発の実施

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

- 世界最先端 IT 国家創造宣言（平成 25 年 6 月 14 日閣議決定）

<http://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/kettei/pdf/20130614/siryoul.pdf>

- 日本経済再生に向けた緊急経済対策（平成 25 年 1 月 11 日閣議決定）

http://www5.cao.go.jp/keizai/keizaitaisaku/2013/0111_01taisaku.pdf

- 知識情報社会の実現に向けた情報通信政策の在り方（平成 23 年情報通信審議会諮問第 17 号
平成 24 年 7 月 25 日答申）

http://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01tsushin01_02000058.html

- 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

- 新たな情報通信技術戦略（平成 22 年 5 月 IT 戦略本部決定）

<http://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/100511honbun.pdf>

- 電波政策ビジョン懇談会 最終報告書（平成 26 年 12 月）

http://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban09_02000151.html

平成 28 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基幹・衛星移動通信課

評価年月：平成 28 年 8 月

1 政策（研究開発名称）

無人航空機を活用した無線中継システムと地上ネットワークとの連携及び共用技術の研究開発

2 研究開発の概要等

（1）研究開発の概要

・実施期間

平成 25 年度～平成 27 年度（3 か年）

・実施主体

国立研究開発法人

・事業費

1, 151 百万円

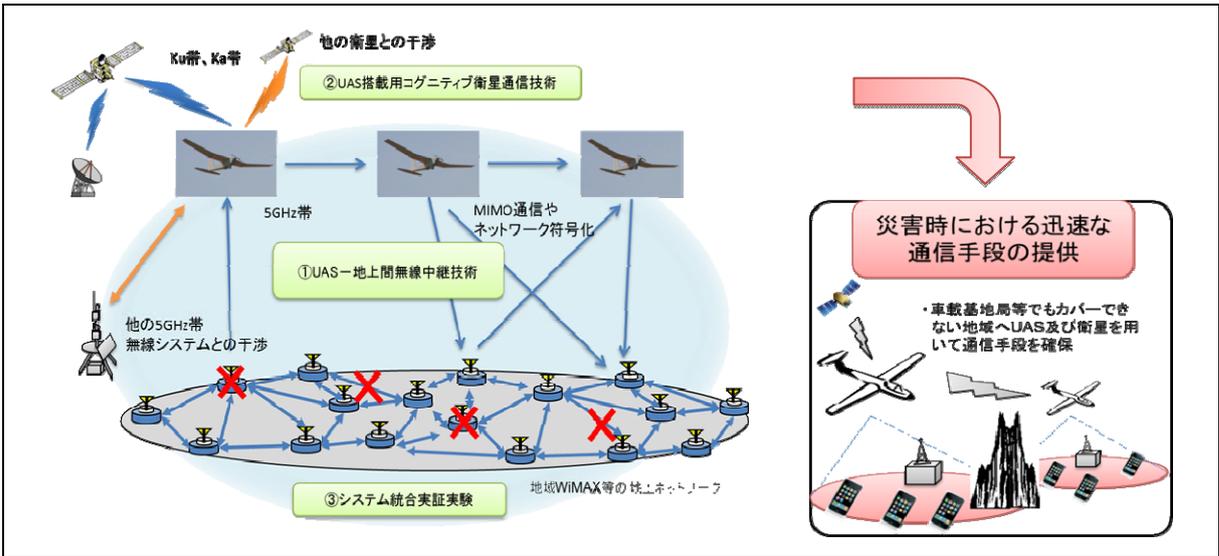
平成 25 年度	平成 26 年度	平成 27 年度	総 額
476 百万円	366 百万円	309 百万円	1, 151 百万円

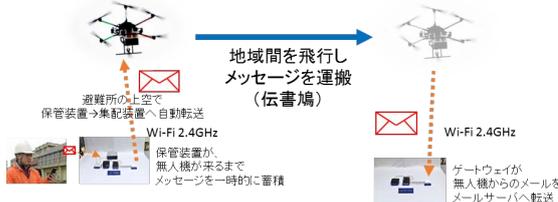
・概 要

大規模災害時において通信インフラや道路インフラ等が壊滅的な被害を受けた場合の孤立地域との迅速なネットワークの確立、火山、火事、高放射線などの危険地域等でのデータ収集や通信確保、気象、測量等の観測を行う手段として、パイロットが搭乗する必要がなくプログラム通りに自律飛行することが可能な無人航空機システム（UAS）の利用が期待されている。

国際的にも、欧米を中心に活発的な研究開発が行われているだけでなく、2012 年の世界無線通信会議（WRC-12）において UAS で用いる周波数として 5 GHz 帯（5030MHz～5091MHz）の非ペイロード用通信（UAS の制御や状態のモニタのための通信）としての使用が合意され、2015 年の世界無線通信会議（WRC-15）では UAS を制御するために使用する衛星を活用した周波数帯（Ku/Ka 帯）について合意された。

しかしながら、5 GHz 帯や衛星通信用周波数帯（Ku/Ka 帯）は既にひっ迫しており、地上の無線アクセスシステムや航空無線航行システムとの共用が必要となっているほか、衛星とのリンクについても他の衛星回線との干渉を回避する必要がある。これらの課題を解決するため、5 GHz 帯における他の地上用無線業務との無線の利用環境に応じた周波数共用技術及び他の衛星通信との共用技術を開発するとともに、地上ネットワークと協調して高速かつ安定した通信を実現し、周波数の共同利用を促進する。



技術の種類	技術の概要
5 GHz 帯における UAS と他の地上用無線システムとの周波数共用技術	5 GHz 帯における UAS 間、UAS-地上間の伝搬データを取得し、大規模災害時等の通信網補完を想定した気象及び地形等の条件等、様々な環境での伝搬モデルを確立するとともに、同一あるいは隣接帯域を用いる他の既存業務との干渉・共用評価を行う。
Ku 帯及び Ka 帯における UAS と他の衛星通信との周波数共用技術	Ku 帯及び Ka 帯の衛星回線による UAS の制御、及び UAS の飛行状態や周辺環境に関する測定データ等の伝送のため、同じ帯域を用いる他の衛星や固定地球局への干渉を回避しつつ、UAS-衛星間通信を行うための技術を開発する。具体的には、UAS 搭載用の可変指向性アンテナ技術、及びキャリアセンシング*により送信電力やチャネルの制御を行う環境適応型通信技術を開発する。 ※ある周波数において電波（搬送波）が存在するかを判断・検知すること
複数 UAS を用いた対地上の高速かつ安定した中継技術	寸断されたネットワークの先に UAS を用いて高速かつ安定した通信を展開するための技術を開発する。具体的には、大きな遅延を許容し物理的にデータを保持して伝送する高度蓄積中継技術、及び複数の UAS 局を経由して遠くの範囲へ送り届ける複数ノード*リレー構成技術を開発する。また、複数の小型 UAS と複数の地上ノードを仮想的な MIMO（多入力・多出力）チャネルとして、これらの間の多数の経路にデータを分散して伝送することにより速度を十分に保ったまま安定に伝送する UAS 協調ネットワーク技術を開発する。 ※通信における、コンピュータや通信機器など、通信の主体となる個々の機器のこと  図：蓄積中継型通信のイメージ
UAS の利用環境に応じた高度周波数制御技術	地上の無線システムの周波数使用状況のスペクトルセンシング*による把握とその発射源の位置推定を行うとともに、UAS 側でその利用環境に応じて周波数や送信電力等を高度に制御する周波数制御技術を開発する。 ※ある周波数において特定の電波が存在するかを判断・検知すること

技術の種類	平成 25 年度	平成 26 年度	平成 27 年度
5 GHz 帯における UAS と他の地上用無線システムとの周波数共用技術		周波数共用評価のための電波伝搬モデルの確立 他の地上用無線業務との周波数共用技術の開発	→
Ku 帯及び Ka 帯における UAS と他の衛星通信との周波数共用技術		UAS 搭載用の可変指向性アンテナ技術 及び環境適応型通信技術の開発	→
複数 UAS を用いた対地上の高速かつ安定した中継技術		耐遅延中継技術 及び地上・UAS 連携マルチリンク MIMO 符号化中継技術の開発	→
UAS の利用環境に応じた高度周波数制御技術		UAS 搭載スペクトラムセンシング技術、 地上発信源の位置推定技術、 及び UAS 無線システムの高度周波数制御技術の開	→

(2) 達成目標

大規模災害等における孤立地域との高速かつ安定性の高いネットワーク確立及び観測等を実現するため、UAS を既存システムと周波数を共用しつつ他のネットワークと協調して迅速に展開できる技術を確認し、対象となる 5 GHz 帯、Ku 帯及び Ka 帯における UAS の運用に関する周波数共用技術を確認する。5 GHz 帯においては、他のシステムへの保護基準として、不要輻射制限 (-75dBW/MHz) を満たすとともに、Ku 帯及び Ka 帯においては固定衛星業務において規定されている PFD 許容値 (Ku 帯：-138dBW/4kHz・m²、Ka 帯：-105dBW/1MHz・m²) を満たすための共用技術を開発する。

○ 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」

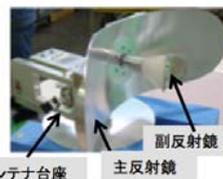
○ 閣議決定等の上位計画・全体計画等

- ・電波政策2020懇談会報告書 (平成28年7月)
- ・『日本再興戦略』改訂2016—未来への投資・生産性革命— (平成28年6月2日 閣議決定)
- ・ロボット新戦略 (平成27年1月 ロボット革命実現会議)
- ・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国際競争力強化検討部会最終報告書 (平成22年12月)
- ・新成長戦略 (平成22年6月 閣議決定)
- ・電波政策懇談会報告書 (平成21年7月)

(3) 目標の達成状況

3年間の研究開発を通じて、UAS を既存システムと周波数を共用しつつ他のネットワークと協調して迅速に展開できる技術として、以下の要素技術を確認した。このことにより、不要輻射制限や PFD 許容値を満たすアンテナ技術や電波環境に適応する通信技術を確認できたことから、5 GHz 帯、Ku 帯及び Ka 帯における UAS の運用に関する周波数共用技術を確認した。

また、伝送容量 5 Mbps 以上で 15 分以上の遅延を許容する高度蓄積型中継通信技術や、高い冗長性及び従来の通信方式の約 2 倍のスループット特性を達成する複数 UAS 協調ネットワーク構成を用いた MIMO 通信技術を確認し、他の無線システムと周波数共用しつつ、迅速に高速で安定した通信回線の展開が可能となったことにより、大規模災害等における孤立地域との高速かつ安定性の高いネットワーク確立及び観測等を実現した。

技術の種類	目標の達成状況
<p>5GHz 帯における UAS と他の地上用無線システムとの周波数共用技術</p>	<p>○ 5GHz 帯における UAS 間、UAS-地上間の様々な環境での伝搬データを取得し、伝搬モデルを確立したとともに、同一あるいは隣接帯域を用いる他の地上用無線業務との周波数共用技術を開発した。主な開発内容は以下のとおり。</p> <ul style="list-style-type: none"> 計 5 種類の環境*における電波伝搬測定を実施し、地対空、空対空データを取得した。このデータを統計処理し、5GHz 帯における周波数共用評価に使用することができる統計モデルを構築した。 ※平坦不整地、平坦コンクリート地、山間地、市街地、海上 同一あるいは隣接帯域を用いる既存の無線システムに対し、利用範囲またはアンテナの位置や方向等に関する共用条件を明らかにした上で、実飛行環境における干渉評価試験を実施し、他の地上システムからの影響を受けずに飛行が可能であることを検証した。  <p>図：5GHz 帯による UAS 制御と同一あるいは隣接帯域を用いる既存の無線システム</p> <p>※AeroMACS：無線広域ネットワークの一種であるWiMAX技術をベースにした空港面用の高速・大容量通信システム</p>
<p>Ku 帯及び Ka 帯における UAS と他の衛星通信との周波数共用技術</p>	<p>○衛星回線による UAS の制御と同じ帯域を用いる他の衛星回線との共用のための可変指向性アンテナ技術及び環境適応型通信技術を開発した。主な開発内容は以下のとおり。</p> <ul style="list-style-type: none"> 可変指向性アンテナ技術：機械駆動による UAS 搭載用小型追尾アンテナを開発し、実飛行環境において衛星の信号に対し 0.2° 以下の追尾精度を実現した。  <p>重量：29kg 以下 高さ：26cm 以内</p> <p>図：開発した UAS 搭載用小型追尾アンテナ</p> <ul style="list-style-type: none"> 環境適応型通信技術：干渉回避のためのキャリアセンシングによる制御技術と可変指向性アンテナとを組み合わせ、ITU-R 等の基準や規定を反映した通信環境を設定した評価実験において、既存の衛星通信システムに対する制御機能を実現し、また、飛行実試験において 5Mbps の通信速度を実現した。
<p>複数 UAS を用いた対地上の高速かつ安定した中継技術</p>	<p>○物理的なデータ保持のための高度蓄積中継型通信技術及び複数 UAS と複数の地上局による協調ネットワークの構築により高速かつ安定した無線中継を可能とする技術を開発した。主な開発内容は以下のとおり。</p> <ul style="list-style-type: none"> 高度蓄積中継型通信技術：15 分以上の遅延を許容する 5Mbps 以上の高度蓄積中継型通信を可能とする小型 UAS に搭載可能なサーバを開発し、また、複数 UAS のノードリレーによるデータ中継技術を開発した。 UAS 協調ネットワークの構築：複数の地上局及び複数の UAS から構成される仮想的な MIMO 空間における、従来の通信方式の約 2 倍のスループット特性を達成できるデータ分散伝送技術、故障ノード推定技術、及び UAS-地上間ハンドオーバー技術の開発により、高速かつ安定性の高い UAS の無線中継を可能とする技術を開発した。

UAS の利用環境に応じた高度周波数制御技術	<p>○対象となる 5 GHz 帯の隣接周波数を利用する他のシステムの検出技術を開発し、他のチャンネルに対する不要輻射制限を満たしつつ空きチャンネルを利用して通信する技術を開発した。主な開発内容は以下のとおり。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ AeroMACS の信号を UAS 旋回中心から 1 km 内で 90%以上の確率で検出し、旋回半径から 800m 離れた AeroMACS 局の位置を約 74m 程度の誤差で推定する技術を開発した。 ・ 推定された離隔距離から許容干渉レベルを算出し、通信用チャンネルと出力を決定し、他のチャンネルに対する不要輻射制限を満たしつつ信号を送信する技術を開発した。
------------------------	---

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。

上述の観点に基づき、「電波利用料による研究開発等の評価に関する会合」（平成 28 年 6 月 28 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、国際標準提案件数等も調査し、必要性・有効性等を分析した。

○研究開発による特許・論文・研究発表・国際標準の実績

研究開発による特許・論文・研究発表・国際標準の実績は下表のとおりであり、研究開発のみならずその成果の国内外への展開に向けた論文発表や ITU、APT や ICAO といった国際標準化機関への提案等の活動も積極的に行い、APT Wireless Group 第 17 会合（AWG-17）においては本研究開発の成果の一つである UAS-地上間ハンドオーバー技術に関する内容を APT 報告書に反映させるなど国際標準も獲得していることから、本研究開発の必要性、有効性等が認められた。

主な指標	平成 25 年度	平成 26 年度	平成 27 年	合計
査読付き誌上発表論文数	4 件 (4 件)	4 件 (4 件)	1 件 (1 件)	9 件 (9 件)
査読付き口頭発表論文数 (印刷物を含む)	9 件 (9 件)	10 件 (9 件)	6 件 (6 件)	25 件 (24 件)
その他の誌上発表数	0 件 (0 件)	1 件 (1 件)	2 件 (0 件)	3 件 (1 件)
口頭発表数	19 件 (0 件)	25 件 (4 件)	24 件 (4 件)	68 件 (8 件)
特許出願数	4 件 (0 件)	3 件 (0 件)	2 件 (0 件)	9 件 (0 件)
特許取得数	0 件 (0 件)			
国際標準提案数	5 件 (5 件)	2 件 (2 件)	3 件 (3 件)	10 件 (10 件)
国際標準獲得数	0 件 (0 件)	1 件 (1 件)	0 件 (0 件)	1 件 (1 件)
受賞数	2 件 (2 件)	2 件 (2 件)	1 件 (0 件)	5 件 (4 件)
報道発表数	3 件 (0 件)	1 件 (0 件)	1 件 (0 件)	5 件 (0 件)
報道掲載数	10 件 (0 件)	4 件 (0 件)	2 件 (0 件)	16 件 (0 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：「査読付き誌上発表論文数」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：「その他の誌上発表数」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。

○各観点からの分析

観点	分析
必要性	<p>「電波政策懇談会報告書」において、災害に強い国づくりを目的に、災害による被害の発生を防止、軽減するために電波利用システムをアプリケーションとして活用していくことが挙げられているとともに、大規模災害時における通信インフラや道路インフラ等が壊滅的な被害を受けた場合の孤立地域との迅速なネットワークの確立、火山、火事、高放射線などの危険地域等でのデータ収集や通信確保、気象、測量等の観測を行う手段として、パイロットが搭乗する必要がなくプログラム通りに自律飛行することが可能なUASの利用が期待されている。しかしながら、UASで利用される5GHz帯や衛星通信用周波数帯（Ku/Ka帯）は既にひっ迫しており、他の無線システムとの周波数共用技術等の開発が必要であるとともに、大規模災害時等における高速かつ安定性の高いネットワーク確立及び観測等を実現する技術を開発する必要がある。</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>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官公庁、民間会社及び民間団体を含んだ「無人航空機を活用した無線中継システムと地上ネットワークとの連携及び共用技術の研究開発運営委員会」及び「無人航空機システムの利用技術に関する関係機関連絡会」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省庁等からの意見等を活用し、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、UASを既存システムと周波数を共用しつつ他のネットワークと協調して迅速に展開できる技術として、不要輻射制限やPFD許容値を満たすアンテナ技術や電波環境に適応する通信技術が確立できたことから、5GHz帯、Ku帯及びKa帯におけるUASの運用に関する周波数共用技術が確立され、伝送容量5Mbps以上で15分以上の遅延を許容する高度蓄積型中継通信技術や、高い冗長性及び従来の通信方式の約2倍のスループット特性を達成する複数UAS協調ネットワーク構成を用いたMIMO通信技術が確立されたことで、他の無線システムと周波数共用しつつ、迅速に高速で安定した通信回線の展開が可能となったことにより、大規模災害等における孤立地域との高速かつ安定性の高いネットワーク確立及び観測等が可能になった。</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>
公平性	<p>本研究開発は、既にひっ迫している5GHz帯、Ku帯及びKa帯の共用技術を研究開発したものであり、周波数の有効利用の一層の向上に大きく寄与するものであることから、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>大規模災害時において通信インフラや道路インフラ等が壊滅的な被害を受けた場合の孤立地域との迅速なネットワークの確立を、展開が容易で迅速な対応が可能なUASにより行うことは、世界的な地震国であるとともに、自然的条件から自然災害が発生しやすい我が国において非常に重要であることから、本研究開発は、国民の安全・安心の確保に向けて、早期に実施すべきものである。</p> <p>また、「新たな情報通信技術戦略」等において、我が国の持続的成長のために、我が国が強みとする技術分野の研究開発及び国際標準化等の国際展開を推進していくとされており、また、「電波政策懇談会報告書」において、災害に強い国づくりを目的に、災害による被害の発生を防止、軽減するために電</p>

	波利用システムをアプリケーションとして活用していくことが挙げられていることから、移動体通信における高度な周波数有効利用技術を確立するとともに、大規模災害等における孤立地域の発生を軽減する本研究開発は優先的に実施する必要性が認められる。 よって、本研究開発には、優先性があったと認められる。
--	---

4 政策評価の結果（総合評価）

本研究開発により、UAS を既存システムと周波数を共用しつつ他のネットワークと協調して迅速に展開できる技術として、不要輻射制限や PFD 許容値を満たすアンテナ技術や電波環境に適応する通信技術を確立できたことから、既にひっ迫している 5 GHz 帯、Ku 帯及び Ka 帯における UAS の運用に関する周波数共用技術が確立され、大容量で耐遅延性の高い高度蓄積型中継通信技術や高い冗長性及び高速通信を達成する複数 UAS 協調ネットワーク構成を用いた MIMO 通信技術が確立されたことで、他の無線システムと周波数共用しつつ、迅速に高速で安定した通信回線の展開が可能となり、大規模災害等における孤立地域との高速かつ安定性の高いネットワーク確立及び観測等が実現されており、目標を達成できた。

また、特許出願や標準化に向けた活動なども着実に実施されるなど、目標を達成できている。これらのことから、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>

本研究開発によって開発された無線中継技術は、今後、アジアや東南アジア等、災害や環境破壊のリスクが高い地域におけるニーズが高まることも考えられ、将来の市場として有望であるため、アジア太平洋地域における UAS の利用を促進させ、その有効性および関連する技術を報告書にまとめ、日本を含む APT 加盟国の意見として ITU や ICAO へ情報提供を実施する。また、UAS の日本での利用を有利に進めるとともに、将来的には海外展開を図り国際競争力を高めることを目標とし、得られた成果を AWG や ICAO、関連会合へ技術情報として提供し国際的な議論へ参加することにより、UAS における周波数の効率的な利用と国際競争力強化に向けた貢献を図る。

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 28 年 6 月 28 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。

- ・総合的に妥当な成果が得られている。
- ・遅延を許容した蓄積型中継技術の具体的な提案など、有益な成果が得られていると考えられる。
- ・災害時の通信確保のみならず、人の立ち入ることが困難なエリアにおける地域の観測等への応用は非常に価値のあるものであると判断できる。また、実運用を考慮した周辺環境による遮蔽や他システムからの干渉への対策という観点からも、本成果は有益であったと判断できる。
- ・大規模災害に特化した無人航空機の課題を綿密に抽出し、これを解決する方法を編み出している。また今後の災害以外へのドローン応用など時期的にもタイムリーな研究成果が得られ、総合的に見て有意義であった。

6 評価に使用した資料等

- 電波政策2020懇談会報告書（平成28年7月）
http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/kenkyu/denpa_2020/02kiban09_03000328.html
- 『日本再興戦略』改訂2016—未来への投資・生産性革命—（平成28年6月2日 閣議決定）
http://www.kantei.go.jp/jp/headline/seicho_senryaku2013.html#c21
- ロボット新戦略（平成27年1月 ロボット革命実現会議）
<http://www.meti.go.jp/press/2014/01/20150123004/20150123004b.pdf>

- 電波資源拡大のための研究開発の実施
<http://www.tele.soumu.go.jp/j/sys/fees/purpose/kenkyu/index.htm>
- 電波政策懇談会報告書（平成21年7月）
http://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/02kiban09_090713_1.html
- 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国際競争力強化検討部会最終報告書（平成22年12月）
http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/kenkyu/global_ict/38282.html
- 新成長戦略（閣議決定 平成22年6月）
<http://www.kantei.go.jp/jp/sinseichousenryaku/sinseichou01.pdf>
- 「新たな情報通信技術戦略」（平成22年5月 IT戦略本部）
<http://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/100511honbun.pdf>
- 「新たな情報通信技術戦略 工程表」（平成22年6月 IT戦略本部）
<http://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/100622.pdf>

平成 28 年度事後事業評価書

政策所管部局課室名： 情報流通行政局 放送技術課
 評価年月：平成 28 年 8 月

1 政策（研究開発名称）

次世代衛星放送システムのための周波数有効利用促進技術の研究開発

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 27 年度（4 か年）
- ・実施主体
特殊法人
- ・事業費
1,179 百万円

平成 24 年度	平成 25 年度	平成 26 年度	平成 27 年度	総 額
412 百万円	329 百万円	209 百万円	230 百万円	1,179 百万円

・概 要

将来の次世代衛星放送（21GHz 帯等）の実現のため、近接する電波天文帯域への不要発射を抑制するための技術や降雨地域や被災地域等の特定地域のみへの放射電力を増大させるためのアンテナパターン可変技術を確立し、周波数の有効利用を推進する。

■ 広帯域急峻フィルタ技術に関する研究開発

「課題」衛星放送周波数帯では**良好な通過特性**
 ・電波天文周波数帯では**急峻に減衰**

LPF、BPFなどを組み合わせ、**広帯域急峻フィルタ技術を開発**

「目標」
 ⇒ 広帯域変調信号を低損失(1dB)、低群遅延偏差で通過
 ⇒ 電波天文帯の不要発射を65dB以上抑制

■ アンテナパターン可変技術に関する研究開発

「課題」狭い導波管への電力集中による高周波**放電を回避した高出力化**

アレー給電反射鏡アンテナを開発し、**空間合成技術を実証**

「目標」
 ⇒ 全国を均一に照射する**放射パターンを形成**
 ⇒ 放射素子の位相調整により、**特定地域を増力する放射パターンを形成**

■ 21GHz帯衛星放送システムの検証

項目ア、イで試作・評価した機器で構成された衛星中継器の**総合評価**

「目標」
 ⇒ 超高精細度映像などの伝送による**実証と性能評価**
 ⇒ **21GHz帯衛星放送システムを提案**

技術の種類	技術の概要
広帯域急峻フィルタ技術	電波天文業務との両立性確保のため、21GHz 帯衛星放送からの近接する電波天文帯域における不要発射を 65dB 以上抑制するとともに、超高精細映像等の大容量伝送を想定した 300MHz 級の広帯域信号に対応するため、約 300MHz を 1dB 程度の低損失で通過させることを可能とするフィルタ技術。
アンテナパターン可変技術	アレー給電反射鏡アンテナを用いて、各放射素子から放射される信号を空間で合成する空間合成アンテナ技術の適用により、従来の衛星放送よりも高い送信出力が必要な 21GHz 帯衛星放送であっても、耐電力性問題を回避するとともに、日本全国を一定の電力で放射し、必要に応じて、特定地域へのみの放射電力を増大させるアンテナパターンを形成する技術（増力ビーム形成技術）。

・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	平成 27 年度
広帯域急峻フィルタ技術	設計	試作・評価	改良(機能追加)	システム検証 (総合評価)
アンテナパターン可変技術	設計	試作	評価	

(2) 達成目標

次世代衛星放送の利用が想定される周波数帯（21GHz 帯等）は、現在衛星放送サービスが行われている 12GHz 帯と比較して降雨減衰が大きく、送信電力の高出力化が必要である。また、広帯域信号を使用して超高精細映像伝送を行うためには、近接する電波天文帯域における不要発射レベルを十分に抑制しなければならない。

21GHz 帯において超高精細映像伝送を行う衛星放送システムの実現のため、衛星からの送信電力を高出力化する技術と特定地域のみへの放射電力を増大させるアンテナパターン可変技術及び近接周波数帯における不要発射レベルを 65dB 以上抑制させ、低損失・低群遅延で 300MHz 級の広帯域伝送に対応する広帯域急峻フィルタ技術の開発により、降雨による電波減衰（降雨減衰）の増大を考慮した高出力化に対応し、かつ、高度な放送サービスの提供に向けた数百 MHz 幅の信号伝送を行いながら帯域外不要発射を急峻に減衰することで近接する電波天文帯域の保護を実現し、周波数の一層の有効利用に資する。

○ 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」

○ 閣議決定等の上位計画・全体計画等

- ・世界最先端 IT 国家創造宣言 工程表（平成 28 年 5 月 20 日改定 高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部）
- ・世界最先端 IT 国家創造宣言（平成 27 年 6 月 30 日 閣議決定）
- ・新成長戦略（平成 22 年 6 月 18 日 閣議決定）
- ・新たな情報通信技術戦略（平成 22 年 5 月 11 日 高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部）

(3) 目標の達成状況

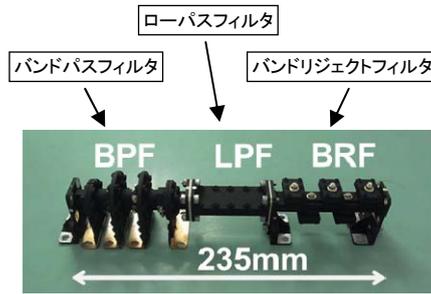
4 年間の研究開発期間を通じて、各要素技術について下表のとおり目標を高いレベルで達成して確立した。

また、これらの技術の確立により、次のとおり 21GHz 帯において超高精細映像伝送を行う衛星放送システムが実現するとともに、周波数の一層の有効利用に資することができ、所期の目標を達成した。

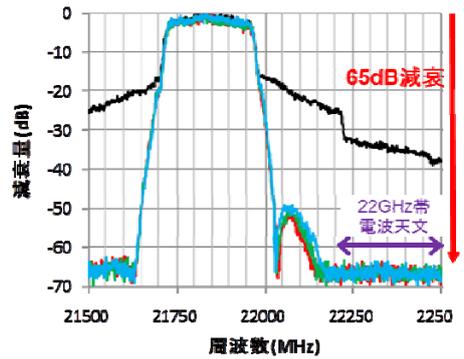
- ・広帯域急峻フィルタ技術の確立により、約 250MHz 幅の広帯域で良好な伝送特性を確保しつつ、電波天文業務が使用する近接周波数帯（22.21-22.5GHz）への不要波成分を十分に抑圧することが可能となり、大きなガードバンドを設けることなく、21GHz 帯衛星用周波数帯の有効利用が可能となった。
- ・アンテナパターン可変技術の確立により、衛星中継器の耐電力の向上による高出力化が可能となり、変調方式の多値化による単位周波数当たりの情報伝送量の向上が図られ、超高精細映像伝送に必要な伝送容量の確保が可能となるとともに、衛星の限られた電力を有効に活用し、降雨による電波減衰（降雨減衰）等による受信不良状態の低減を図ることが可能となった。

技術の種類	目標の達成状況
広帯域急峻フィルタ技術	開発した 21GHz 帯広帯域急峻フィルタについて、熱真空環境下において電気特性を評価した結果、帯域内振幅偏差を 0.8dBp-p 以下、挿入損失を目標値である 1 dB 以内、帯域内群遅延偏差は 5.0ns-p 以下で良好な帯域内特性を確認した。 シンボルレート 250Mbaud で動作する広帯域変調器及び広帯域復調器、21GHz 帯 TWT と組

み合わせて、熱真空試験により 22GHz 帯及び 43GHz 帯の電波天文帯域における帯域外不要波抑圧を評価した結果、22GHz 帯電波天文帯域における減衰量は 65dB 以上、43GHz 帯電波天文帯域における減衰量は 80dB であり、21GHz 帯放送衛星を最大出力で送信した場合にも電波天文業務との両立性を確保できることを確認した。



図：広帯域急峻フィルタ試作品



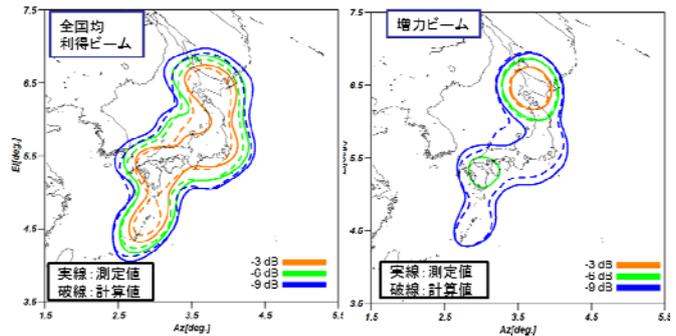
図：対域外不要波抑圧

32 系統の 5 ビット制御 MMIC (モノリシックマイクロ波集積回路) デジタル移相器及び減衰器で構成するビーム形成回路 (BFN)、一体化構造の 32 素子ホーンアンテナアレー、軽量で熱変形の小さい炭素繊維三軸織物によるメンブレン構造とした反射鏡を組み合わせてアレー給電イメージングリフレクタ及びアレー給電鏡面修整アンテナを構成し、日本をサービスエリアとする放射パターンを形成・評価した結果、全国を均一利得で照射可能なこと、一部の地域のみをアレー給電イメージングリフレクタの場合は 5～7 dB、アレー給電鏡面修整アンテナの場合は 2～4 dB 増力する放射パターンが形成可能であることを確認した。

アンテナパターン可変技術



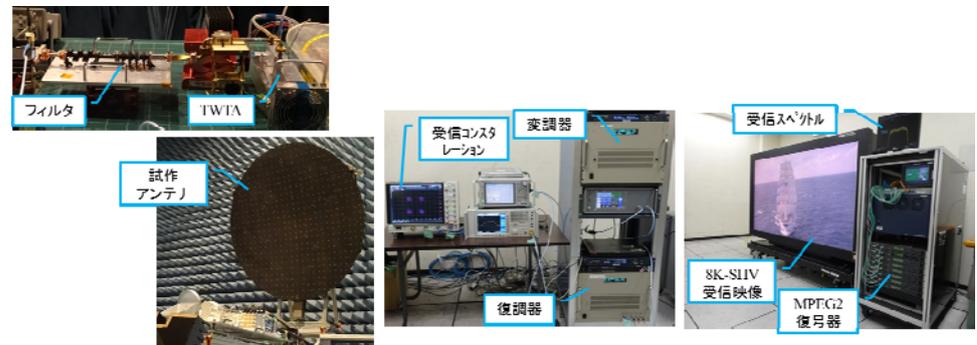
図：アレー給電反射鏡アンテナ試作品



図：放射パターン測定結果

広帯域急峻フィルタ及びアレー給電反射鏡アンテナを接続し、21GHz 帯中継器を模擬した広帯域信号伝送試験により、ビーム制御が伝送性能に与える影響はほとんど無いこと、8 K スーパーハイビジョン信号を良好に伝送できることを確認した。

21GHz 帯衛星放送システムの検証



図：21GHz 帯中継器を模擬した広帯域伝送試験

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。

上述の観点に基づき、「電波利用料による研究開発等の評価に関する会合」（平成28年6月28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、国際標準提案件数等も調査し、必要性・有効性等を分析した。

○研究開発による特許・論文・研究発表・国際標準の実績

研究開発による特許・論文・研究発表・国際標準の実績から、数多くの論文発表や21GHz帯放送衛星搭載用の反射鏡アンテナや広帯域フィルタ等に係る特許出願など、本研究開発成果の実用化を視野に入れた取組を達成できており、本研究開発の必要性、有効性等が認められた。

主な指標	平成24年度	平成25年度	平成26年度	平成27年度	合計
査読付き誌上发表論文数	0件(0件)	1件(1件)	0件(0件)	1件(0件)	2件(1件)
査読付き口頭発表論文数 (印刷物を含む)	0件(0件)	7件(7件)	6件(6件)	3件(3件)	16件(16件)
その他の誌上发表数	0件(0件)	1件(0件)	2件(0件)	1件(0件)	4件(0件)
口頭発表数	2件(0件)	8件(0件)	2件(0件)	3件(0件)	15件(0件)
特許出願数	1件(0件)	9件(0件)	6件(0件)	3件(0件)	19件(0件)
特許取得数	0件(0件)	0件(0件)	0件(0件)	0件(0件)	0件(0件)
国際標準提案数	0件(0件)	0件(0件)	0件(0件)	0件(0件)	0件(0件)
国際標準獲得数	0件(0件)	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)	0件(0件)
報道発表数	0件(0件)	0件(0件)	0件(0件)	0件(0件)	0件(0件)
報道掲載数	0件(0件)	0件(0件)	0件(0件)	0件(0件)	0件(0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及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)」及び「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。

○各観点からの分析

観点	分析
必要性	2020年オリンピック・パラリンピック東京大会の開催等を契機として、現行の地上デジタルテレビ放送の4倍(4K)・16倍(8K)の画素数により高精細で立体感、臨場感ある映像を実現する4K・8Kの超高精細度放送に対する国民のニーズが高まっており、超高精細映像伝送を行う衛星放送システムの実現が期待されているが、次世代衛星放送の利用が想定される周波数帯(21GHz帯等)は、現在衛星

	<p>放送サービスが行われている 12GHz 帯と比較して降雨減衰が大きく、送信電力の高出力化が必要である。また、広帯域信号を使用して超高精細映像伝送を行うためには、近接する電波天文帯域における不要発射レベルを十分に抑制しなければならない。</p> <p>本研究開発の実施は、21GHz 帯において超高精細映像伝送を行う衛星放送の実現に向けた技術的課題（近接する電波天文帯域における不要発射レベルの十分な抑制及び送信電力の高出力化）を解決するために不可欠なものであったことから、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>本研究開発の実施に当たっては、衛星放送システムに関する専門的知識や研究開発実績を有する受託者が蓄積したノウハウを積極的に活用することにより、効率的に研究開発が進められた。</p> <p>また、外部専門家・外部有識者（学術機関、衛星運用事業者、衛星機器メーカー等）及び受託者で構成される「次世代衛星放送システム研究開発運営委員会」が設置され、研究開発の進捗状況や課題を共有するとともに、課題解決に向けた研究の進め方や成果の取りまとめ方等について助言を受けるなど、効率的な実施のための情報交換が積極的に行われた。</p> <p>さらに、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、広帯域急峻フィルタ技術やアンテナパターン可変技術など、21GHz 帯において超高精細映像伝送を行う衛星放送を実現するための課題解決に資する技術が確立されたことにより、高度な放送サービスの提供に向けた数百 MHz 幅の信号伝送を行いながら帯域外不要発射を急峻に減衰することで近接する電波天文帯域の保護を実現し、かつ、降雨による電波減衰（降雨減衰）の増大を考慮した高出力化に対応することが可能となり、21GHz 帯において超高精細映像伝送を行う衛星放送システムが実現するとともに、周波数の一層の有効利用に資することができた。</p> <p>さらに、東経 110 度における 21GHz 帯衛星放送の静止衛星軌道及び使用周波数帯の権利確保に向け、平成 27 年に ITU に我が国が提出した登録申請の内容に近接周波数帯の不要発射を抑制させる本研究開発の成果が反映され、諸外国との調整の促進が期待されることから、衛星軌道・周波数に係る国際権益の確保なども着実に実施されることにより、21GHz 帯において超高精細映像伝送を行う衛星放送システムの実用化にも寄与している。</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>
公平性	<p>本研究開発の成果は、21GHz 帯放送衛星用周波数の有効利用の一層の向上に寄与するものであることから、広く無線局免許人や無線通信の利用者の利益となる。また、21GHz 帯において超高精細映像伝送を行う衛星放送システムの実現により、新たな放送サービスに対するニーズに対応することができ、広く国民の利益になることが見込まれる。</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>2020 年オリンピック・パラリンピック東京大会の開催等を契機として、4 K・8 K の超高精細度放送に対する国民のニーズが高まっており、かつ、諸外国においても、例えば韓国では 4 K 地上放送を目指した実験等が実施され、米国では次世代放送の技術標準の検討が行われるなど、放送の高画質化に向けた取組が世界的に進展していることから、我が国においても超高精細映像伝送を行う新たな衛星放送サービスを早期に実現する必要がある。</p> <p>また、世界最先端 IT 国家創造宣言 工程表（平成 28 年 5 月 20 日改定 高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部）においても、「平成 30 年には B S・110 度 C S による 4 K・8 K 実用放送を開始すること」や「平成 32 年には、4 K・8 K 放送が普及し、多くの視聴者が市販のテレビで 4 K・8 K 番組や放送番組とインターネット経由のコンテンツが連動して表示されるスマートテレビに対応したサービスを楽しめる環境を実現すること」が目標（マイルストーン）として記載されており、国として超高精細映像伝送を行う衛星放送システムの実現に不可欠な本研究開発に早期に着手する必要がある。</p> <p>よって、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）

本研究開発により、近接周波数帯における不要発射レベルを 65dB 以上抑制させ、低損失・低群遅

延で 300MHz 級の広帯域伝送に対応する広帯域急峻フィルタ技術及び衛星からの送信電力を高出力化する技術と特定地域のみへの放射電力を増大させるアンテナパターン可変技術を確立したことにより、高度な放送サービスの提供に向けた数百 MHz の信号伝送を行いながら帯域外不要発射を急峻に減衰することで近接する電波天文帯域の保護を実現し、かつ、降雨による電波減衰（降雨減衰）の増大を考慮した高出力化に対応することが可能となり、21GHz 帯において超高精細映像伝送を行う衛星放送システムが実現するとともに、周波数の一層の有効利用に資することができた。

また、多くの論文の発表、特許の出願、衛星軌道・周波数に係る国際権益の確保なども着実に実施されるなど十分に目標を達成しており、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>

4K・8Kロードマップに関するフォローアップ会合 中間報告（平成 26 年 9 月 総務省）においても、「衛星放送に関する 2018 年の目標として、可能な限り早期に BS 等において 4K 及び 8K の実用放送の開始を目指す」とされており、本研究開発の成果を踏まえ、21GHz 帯放送衛星システムの実用化に向けて取り組んでいく。

具体的には、4 年間の研究開発期間を通じて、21GHz 帯衛星放送システムの実現に必要な個別の要素技術に関する目標を達成したことから、今後は実用化等による成果展開を目指し、実用化の主体となる放送事業者やメーカ等と密に連携しつつ、実用化に向けた技術課題の検討、平成 29 年打上げ予定の次期放送衛星を利用した実証実験の実施、国際標準化の推進等を進めていく。

併せて、我が国の 21GHz 帯衛星放送に係る衛星軌道位置及び周波数の確保に向けて、本研究開発の成果を反映し、諸外国との調整を進めていく。

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 28 年 6 月 28 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を頂いたため、本研究開発の評価に活用した。

- ・広帯域急峻フィルタ及びアンテナパターン可変技術の両者について、十分に目標を達成する成果が得られている。
- ・特殊法人単独の体制であるが、効率的に実施され、経済的効率性も妥当であった。
- ・本研究開発の成果は電波天文保護及び降雨減衰克服に寄与するであろう。また、広帯域急峻フィルタやアレー給電反射鏡アンテナによるアンテナパターン可変技術は実用性が高いと考えられる。
- ・多数の特許申請を行っている。

6 評価に使用した資料等

- 新成長戦略（平成 22 年 6 月 18 日 閣議決定）
<http://www.kantei.go.jp/jp/sinseichousenryaku/sinseichou01.pdf>
- 新たな情報通信技術戦略（平成 22 年 5 月 11 日 高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部）
<http://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/100511honbun.pdf>
- 世界最先端 IT 国家創造宣言（平成 27 年 6 月 30 日 閣議決定）
<http://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/kettei/pdf/20150630/siryoul.pdf>
- 世界最先端 IT 国家創造宣言 工程表（平成 28 年 5 月 20 日改定 高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部）
http://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/kettei/pdf/20160520/koteihyo_kaitei.pdf
- 電波政策ビジョン懇談会 最終報告書（平成 26 年 12 月 総務省）
http://www.soumu.go.jp/main_content/000334592.pdf
- 周波数再編アクションプラン（平成 27 年 10 月改定版）（平成 27 年 10 月 総務省）
http://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban09_02000175.html

- 4K・8Kロードマップに関するフォローアップ会合 中間報告（平成26年9月 総務省）
http://www.soumu.go.jp/main_content/000312825.pdf
- 電波資源拡大のための研究開発の実施（総務省）
<http://www.tele.soumu.go.jp/j/sys/fees/purpose/kenkyu/index.htm>

平成 28 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 電波政策課
評価年月：平成 28 年 8 月

1 政策（研究開発名称）

ミリ波帯ワイヤレスアクセスネットワーク構築のための周波数高度利用技術の研究開発

2 研究開発の概要等

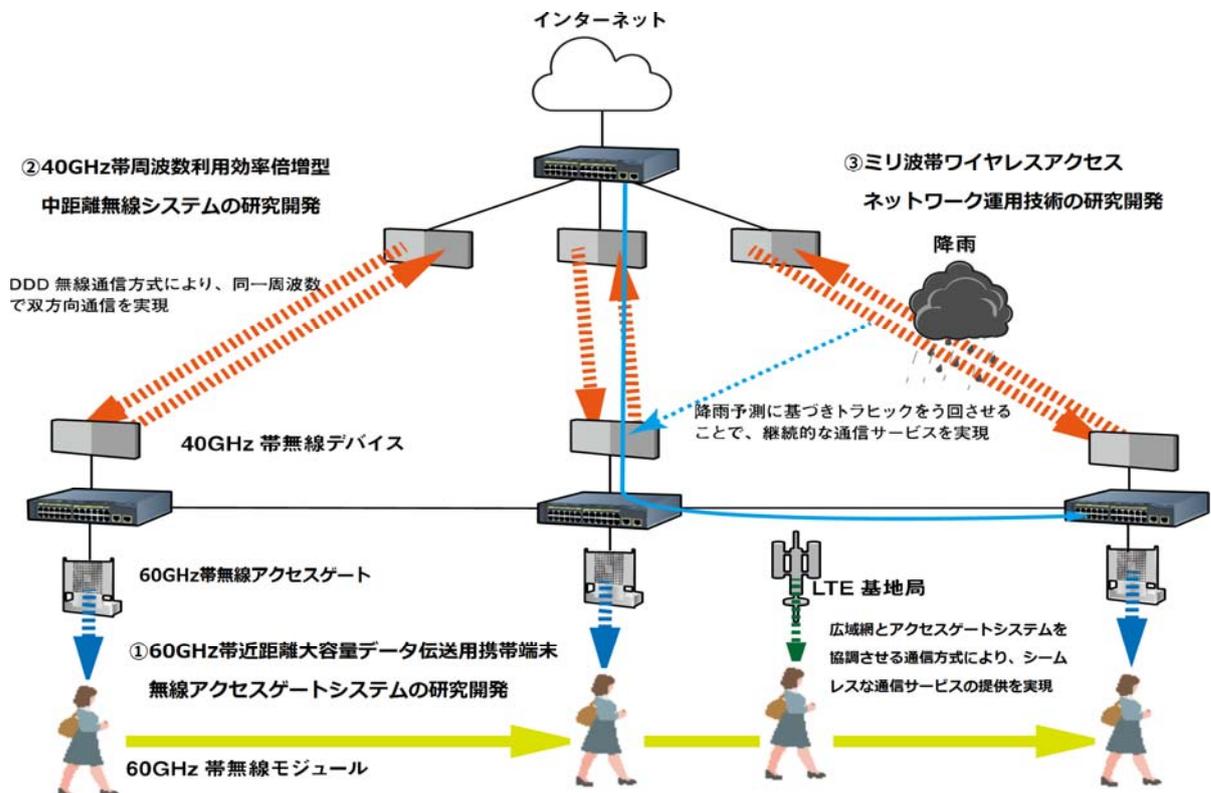
（1）研究開発の概要

- ・実施期間
平成 24 年度～平成 27 年度（4 か年）
- ・実施主体
民間企業、大学等
- ・事業費
2,604 百万円

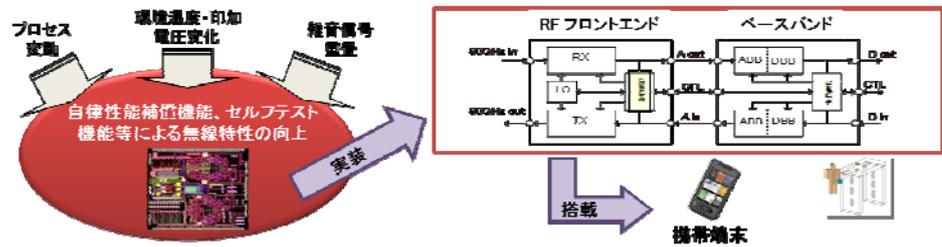
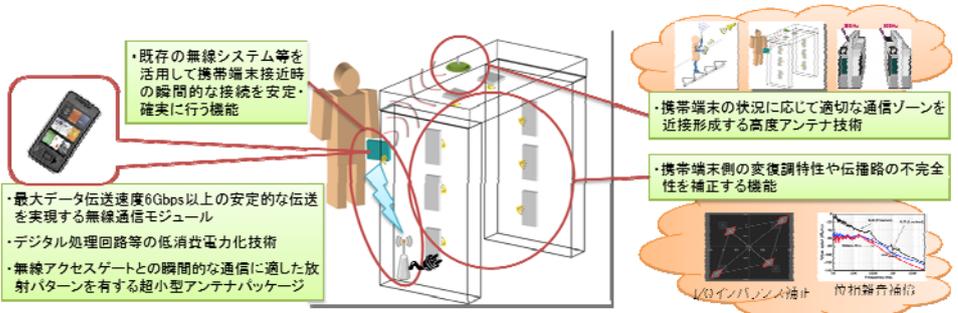
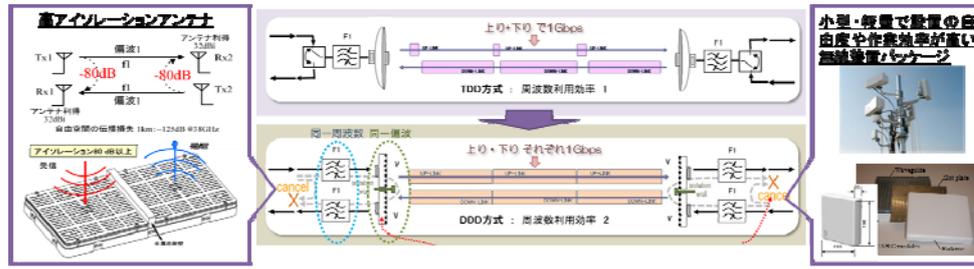
平成 24 年度	平成 25 年度	平成 26 年度	平成 27 年度
606 百万円	641 百万円	764 百万円	593 百万円

・概要

携帯端末等のトラフィック増加による移動体通信周波数のひっ迫を軽減するため、新たにミリ波帯において、大容量データの近距離伝送（60GHz 帯）及び中距離伝送（40GHz 帯）を実現するワイヤレスアクセスネットワーク技術の研究開発を実施した。

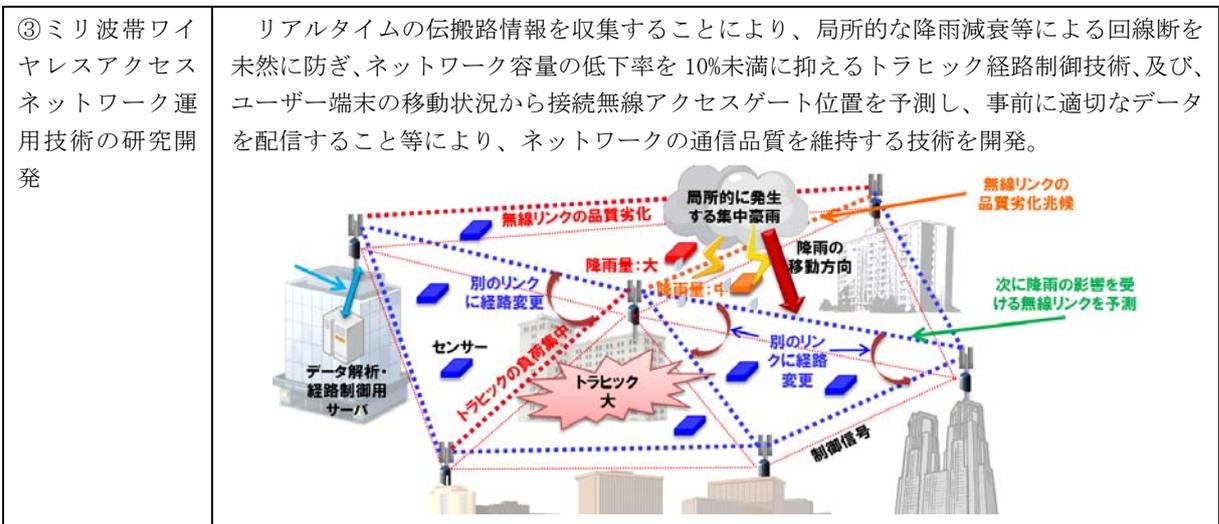


DDD とは … Directional Division Duplex の略。全二重とも言う。双方向通信において、同時に送受信ができる方式のこと。

技術の種類	技術の概要
<p>①60GHz 帯近距離大容量データ伝送用携帯端末/無線アクセスゲートシステムの研究開発</p>	<p>(近距離大容量データ伝送用 携帯端末技術の開発)</p> <p>60GHz 帯近距離通信で最大データ伝送速度 6 Gbps 以上かつ総消費電力 1 W 以下を実現するベースバンドシステム集積回路を開発し、近距離大容量データ伝送用携帯端末技術を開発。</p>  <p>プロセス変動、環境温度・印加電圧変化、雑音信号影響、自律性能補償機能、セルフテスト機能等による無線特性の向上</p> <p>搭載</p> <p>携帯端末</p> <p>(近距離大容量データ伝送用 無線アクセスゲート技術の開発)</p> <p>既存の無線システムを活用して通信確立を補助する機能、ユーザー端末側の状況に応じたアンテナ制御機能、伝搬特性を補償する通信アシスト機能等を搭載し、60GHz 帯において最大データ伝送速度 6 Gbps 以上での近距離大容量データ伝送を極めて短時間で確実に実施可能とする無線アクセスゲートシステム技術を開発。</p>  <ul style="list-style-type: none"> ・既存の無線システム等を活用して携帯端末接近時の瞬間的な接続を安定・確実に行う機能 ・携帯端末の状況に応じて適切な通信ゾーンを近接形成する高度アンテナ技術 ・携帯端末側の変復調特性や伝播路の不完全性を補正する機能 ・最大データ伝送速度6Gbps以上の安定的な伝送を実現する無線通信モジュール ・デジタル処理回路等の低消費電力化技術 ・無線アクセスゲートとの瞬間的な通信に適した放射パターンを有する超小型アンテナパッケージ
<p>②40GHz 帯周波数利用効率倍增型中距離無線システムの研究開発</p>	<p>40GHz 帯で上り下り 1 Gbps 以上の伝送速度を実現する中距離無線システム技術を開発。</p> <p>要素技術として、同一周波数・同一偏波による同時双方向通信を実現する高アイソレーションアンテナ技術、アナログ・デジタルキャンセリング技術及び超高速高分解能 ADC¹を搭載した高機能ベースバンドシステム集積回路²を開発。</p> <p>また、小型かつ軽量の筐体、高利得で鋭い指向性を持ち複数近接設置においても大きな分離度を有するアンテナ等、設置の自由度等の向上を図ることで無線ネットワーク構成の自在性を確保可能な無線装置パッケージを開発。</p>  <p>高アイソレーションアンテナ</p> <p>小型・軽量で設置の自由度や作業効率が高い無線装置パッケージ</p>

¹ Analog-to-Digital Converter の略。アナログ信号をデジタル信号に変換するために用いる電子回路のこと。

² 送信したい情報からベースバンド信号を生成して変復調回路に送る回路、及び、受信したベースバンド信号から元の情報を得る回路等を、一つのチップに集積した回路のこと。



・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	平成 27 年度
①60GHz 帯近距離大容量データ伝送用携帯端末/無線アクセスゲートシステム技術	60GHz 帯無線モジュール/ワイヤレス GATE システム等の開発			} 総合実証等 →
②40GHz 帯周波数利用効率倍増型中距離無線システム技術	40GHz 帯無線デバイス等の開発			
③ミリ波帯ワイヤレスアクセスネットワーク運用技術	トラフィック経路制御技術等の開発			

(2) 達成目標

スマートフォンやタブレット PC 等の高性能・多機能な携帯無線通信端末の普及に伴い、これらの端末に動画コンテンツ等の大容量データを短時間で安定的に伝送するためのワイヤレスアクセスネットワークの構築が喫緊の課題となっている。

このため、ミリ波帯において、60GHz 帯近距離大容量データ伝送用携帯端末/無線アクセスゲートシステム技術、40GHz 帯周波数利用効率倍増型中距離無線システム技術、ミリ波帯ワイヤレスアクセスネットワーク運用技術を確立することにより、ギガビット級の伝送速度かつ低消費電力を実現するミリ波帯ワイヤレスアクセスネットワーク構築のための周波数高度利用技術を確立し、併せて、今後のトラフィック増大による周波数需要の増加に的確に対応するとともに周波数の利用効率の一層の向上に資する。

○関連する主要な政策

V. 情報通信 (ICT 政策) 政策 14 「電波利用料財源による電波監視等の実施」

○閣議決定等の上位計画・全体計画等

・世界最先端 IT 国家創造宣言 (平成 25 年 6 月 14 日閣議決定)

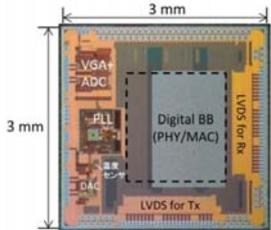
IV. 4. 研究開発の推進・研究開発成果との連携

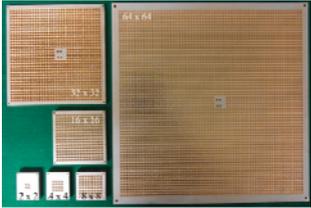
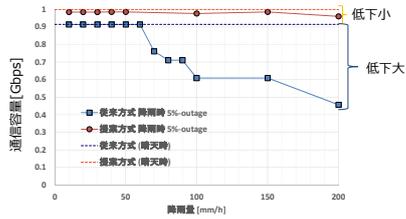
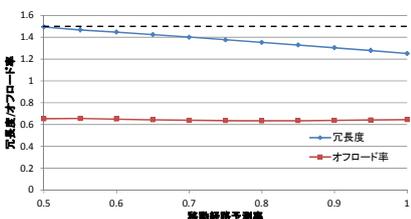
○世界最高水準の IT 社会を実現し、維持・発展させるために、情報通信社会の今後の動向を見据えた研究開発を推進する。

- ・日本経済再生に向けた緊急経済対策（平成 25 年 1 月 11 日閣議決定）
 - II. 1. (2) 研究開発、イノベーション推進
 - イノベーション創出による需要喚起と成長への投資促進を図るため、(中略) 先端的な情報通信技術の確立など、研究開発プロジェクト等を推進する。
 - ①研究開発プロジェクトの推進
 - ・イノベーションを創出する情報通信技術の利活用推進・強固な基盤整備（総務省）
- ・新たな情報通信技術戦略（平成 22 年 5 月 IT 戦略本部決定）
 - III. 分野別戦略
 - 3. 新市場の創出と国際展開
 - (2) 我が国が強みを持つ情報通信技術関連の研究開発等の推進
 - 我が国が強みを持つ情報通信技術関連の研究開発を重点的に推進し、早期の市場投入を目指す。
- ・新成長戦略（平成 22 年 6 月 閣議決定）
 - 別表 成長戦略実行計画（工程表）
 - V 科学・技術・情報通信立国戦略 ～IT 立国・日本～②
 - 3. 新市場の創出
 - 「ホワイトスペースなど新たな電波の有効利用」等により、「情報通信技術の徹底的な利活用による新市場の創出（約 70 兆円の関連新市場の創出を目指す）」を実現

(3) 目標の達成状況

4 年間の研究開発を通じて、ミリ波帯における伝送効率を高めることを目的とした各要素技術については当初の目標通り達成することが出来た。具体的には、60GHz 帯近距離大容量データ伝送用携帯端末/無線アクセスゲートシステム技術については通信速度 6 Gbps のデータ伝送を実現、40GHz 帯周波数利用効率倍増型中距離無線システム技術については伝送距離 1 Km で通信速度 1Gbps を実現、ミリ波帯ワイヤレスアクセスネットワーク運用技術については降雨減衰やユーザ端末の移動経路を考慮したネットワーク全体の通信量を最適化する技術を確立した。これにより、6 GHz 以下の周波数帯で運用している無線システムをミリ波帯に移行することが可能となるとともに、スマートフォンやタブレット PC 等の高性能・多機能な携帯無線通信端末の普及に伴う移動通信システムのトラフィック増大による周波数需要の増加に的確に対応できることとなったことから、ギガビット級の伝送速度かつ低消費電力を実現するミリ波帯ワイヤレスアクセスネットワーク構築のための周波数高度利用技術が確立されるとともに、今後のトラフィック増大による周波数需要の増加に的確に対応するとともに周波数の利用効率の一層の向上に資することができた。

技術の種類	目標の達成状況
①60GHz 帯近距離大容量データ伝送用携帯端末/無線アクセスゲートシステム技術	<p>(近距離大容量データ伝送用 携帯端末技術の開発)</p> <p>ミリ波帯通信モジュールについてシステム冗長度 15 %で安定伝送可能な信号処理方式を確立し、MAC 層を含めたシステムとして LSI 化を行うことで、QPSK 変調での 3Gbps 伝送時に 1.1m、16QAM 変調での 6Gbps 伝送時に 40cm をそれぞれ bER 1.0 × 10⁻⁶ で達成した。また、6 Gbps 無線伝送の外部 I/F を除く BB 部と RF 部の総消費電力は、Tx 動作時 561 mW、Rx 動作時はノイズレスの条件で 780 mW となり、当初の目標である 1 m 以上の伝送距離と 1 W 以下の消費電力をそれぞれ達成した。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>試作ベースバンド</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>60GHz 帯無線モジュール</p> </div> </div>

	<p>(近距離大容量データ伝送用 無線アクセスゲート技術の開発)</p> <p>超広帯域導波管開口アレーアンテナを採用した無線アクセスゲートを開発し、60GHz 帯端末との接続試験を行い、6.0Gbps のデータ伝送を実現した。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>60GHz 帯ワイヤレス GATE システム</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>円偏波導波管開口アレーアンテナ</p> </div> </div>
<p>②40GHz 帯周波数利用効率倍増中距離無線システム技術</p>	<p>「高アイソレーション送受信アンテナ並列配置技術」及び「自局送信波回り込みキャンセル技術」、これら二つの技術を協調的に動作する技術を開発し、従来の Frequency Division Duplex (FDD) 方式³や Time Division Duplex (TDD) 方式⁴と比較して2倍の周波数利用効率を実現する Directional Division Duplex (DDD) 無線通信方式を、40GHz 帯無線通信システムとして実現した。伝送距離 1 km 以上かつ通信速度 1 Gbps を達成した。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <p style="text-align: center;">40GHz 帯 DDD 方式無線通信装置</p>
<p>③ミリ波帯ワイヤレスアクセスネットワーク運用技術</p>	<p>中距離無線システム用無線局から構成されるミリ波無線メッシュネットワークにおいて、特定エリアの集中豪雨による降雨減衰によりバックホール回線の切断の影響を軽減する経路制御方式について研究開発を行い、降雨減衰予測とプロアクティブ経路制御により、集中的な豪雨の影響を受けるエリアの通信容量低下を 10%未満に抑える技術を確立した。</p> <p>端末の移動予測とそれに基づいて端末への転送データを無線アクセスゲートで先読みするための経路制御技術を確立した。複数の無線アクセスゲートを通過する際に分割継続してデータを転送するプロトコル等を開発しており、単一の無線アクセスゲートではファイル全体を端末に転送できない場合でも、ユーザーの行動予測に基づいた予測経路上の複数の無線アクセスゲートに、150%以下の冗長率でファイルの一部を適切に配置することで、ネットワークの通信品質を維持しつつ高速大容量のファイル転送を実現している。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>通信容量・降雨量特性のシミュレーション</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>移動経路予測率と冗長度の関係</p> </div> </div>

³ 周波数分割通信方式のこと。使用する周波数帯域を分割し、片方を送信、もう一方を受信に利用することで同時に送受信ができるようにした方式。

⁴ 時分割通信方式のこと。一つの周波数帯の利用時間を極めて短く分割し、送信と受信を高速に切り替えて送受信ができるようにした方式のこと。

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。

上述の観点に基づき、「電波利用料による研究開発等の評価に関する会合」（平成28年6月28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、国際標準提案件数等も調査し、必要性・有効性等を分析した。

○研究開発による特許・論文・研究発表・国際標準の実績

研究開発による特許・論文・研究発表・国際標準の実績において、論文発表や特許出願が着実に実施されているとともに、ミリ波帯ワイヤレスアクセスネットワーク構築のための周波数高度利用技術等について国際標準化活動が積極的に行われていることなどから、本研究開発の必要性、有効性等が認められた。

主な指標	平成24年度	平成25年度	平成26年度	平成27年度	合計
査読付き誌上発表論文数	5件(3件)	0件(0件)	5件(1件)	16件(7件)	26件(11件)
査読付き口頭発表論文数 (印刷物を含む)	9件(7件)	33件(24件)	31件(28件)	29件(29件)	102件(88件)
その他の誌上発表数	0件(0件)	0件(0件)	0件(0件)	0件(0件)	0件(0件)
口頭発表数	15件(0件)	33件(0件)	38件(1件)	44件(2件)	130件(3件)
特許出願数	6件(0件)	10件(2件)	2件(0件)	1件(0件)	19件(2件)
特許取得数	0件(0件)	1件(0件)	1件(0件)	0件(0件)	2件(0件)
国際標準提案件数	0件(0件)	0件(0件)	0件(0件)	9件(9件)	9件(9件)
国際標準獲得数	0件(0件)	0件(0件)	0件(0件)	0件(0件)	0件(0件)
受賞数	4件(3件)	9件(5件)	6件(2件)	9件(4件)	28件(14件)
報道発表数	0件(0件)	0件(0件)	4件(0件)	2件(0件)	6件(0件)
報道掲載数	0件(0件)	0件(0件)	0件(0件)	0件(0件)	0件(0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：「査読付き誌上発表論文数」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：「その他の誌上発表数」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。

注7：他に英文論文3件を投稿済み、平成28年度掲載予定。

○各観点からの分析

観点	分析
必要性	<p>スマートフォンやタブレットPC等の高性能・多機能な携帯無線通信端末の普及等に伴い、トラヒックの爆発的な増大による周波数のひっ迫が深刻化していることから、周波数のひっ迫の程度が比較的低いミリ波帯への移行を早期に実現する必要がある、そのためには、高速・大容量に通信が可能となるミリ波帯ワイヤレスアクセスネットワークの構築技術の確立が必要不可欠となっている。</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>本研究開発の実施に当たっては、ミリ波帯における無線技術に関する専門知識や研究開発技術を有する大学及び民間企業の研究者のノウハウを活用することにより、効率的に研究開発を推進することができた。また、実施期間中も受託機関の研究代表者・実務者の定期的会合において大学及び各社の進捗状況や課題が調整・共有され、さらに外部有識者による継続評価において、研究進捗や進め方等について助言を受けるなど、効率的な実施のため情報交換が積極的に行われた。</p> <p>委託経費の執行に当たっては、事前に予算計画書を確認するとともに、年度途中及び年度末に経費の執行に関する経理書類を提出させ、総務省担当職員が詳細な経理検査を行い、予算の効率的な執行に努めた。加えて、専門的知見を有した監査法人に経理検査の補助を依頼し、経費執行の適正性・効率性を確保している。</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>本研究開発により、60GHz 帯近距離大容量データ伝送用携帯端末/無線アクセスゲートシステム技術、40GHz 帯周波数利用効率倍増型中距離無線システム技術、ミリ波帯ワイヤレスアクセスネットワーク運用技術を確立したことにより、6GHz 以下の周波数帯で運用している無線システムをミリ波帯に移行することが可能となるとともに、スマートフォンやタブレット PC 等の高性能・多機能な携帯無線通信端末の普及に伴う移動通信システムのトラヒック増大による周波数需要の増加に的確に対応できることとなったことから、ギガビット級の伝送速度かつ低消費電力を実現するミリ波帯ワイヤレスアクセスネットワーク構築のための周波数高度利用技術が確立されるとともに、今後のトラヒック増大による周波数需要の増加に的確に対応するとともに周波数の利用効率の一層の向上に資することができた。</p> <p>さらに、特許出願や標準化に向けた活動なども着実に実施されるなど、国際標準化活動を積極的に行い、実用化への道筋を付けた。</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>
公平性	<p>本研究開発は、ちゅう密に利用されている6GHz 帯以下の周波数帯のひっ迫状況を緩和するために、ひっ迫の程度が低いミリ波帯の有効利用を促進するものであり、広く無線局免許人や無線通信の利用者の受益となるものである。</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・選定していることから公平性があったと認められる。</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>スマートフォンやタブレット PC 等の高性能・多機能な携帯無線通信端末の普及等によるトラヒックの増大に伴う周波数需要の増加に的確に対応していくためには、周波数ひっ迫度が低いミリ波帯の有効利用を促進させる本研究開発を早急に進め実施する必要がある。</p> <p>加えて、「新たな情報通信技術戦略 工程表」(平成22年6月22日 IT 戦略本部)等において、我が国が強みを持つ情報通信技術として、光ファイバ級の伝送速度を実現するワイヤレスブロードバンド等、次世代ワイヤレス分野の研究開発を推進することとされていた。</p> <p>よって、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)

本研究開発の実施により、60GHz 帯近距離大容量データ伝送用携帯端末/無線アクセスゲートシステム技術、40GHz 帯周波数利用効率倍増型中距離無線システム技術、ミリ波帯ワイヤレスアクセスネットワーク運用技術を確立したことにより、6GHz 以下の周波数帯で運用している無線システムをミリ波帯に移行することが可能となるとともに、スマートフォンやタブレット PC 等の高性能・多機能な携帯無線通信端末の普及に伴う移動通信システムのトラヒック増大による周波数需要の増加に的確に対応できることとなったことから、ギガビット級の伝送速度かつ低消費電力を実現するミリ波帯ワイヤレスアクセスネットワーク構築のための周波数高度利用技術が確立されるとともに、今後のト

ラヒック増大による周波数需要の増加に的確に対応するとともに周波数の利用効率の一層の向上に資することができており、目標を達成できている。さらに、特許出願や標準化に向けた活動なども着実に実施されるなど、国際標準化活動を積極的に行い、実用化への道筋を付けた。

さらには、本研究開発の成果により、我が国のワイヤレス産業の発展や新産業の創出が見込まれる。これらのことから、本研究開発には有効性、効率性等があったと認められる。

<今後の課題及び取組の方向性>

電波政策ビジョン懇談会（平成 26 年 12 月）においても「無線システムのミリ波帯等への移行促進に向けた技術のほか、周波数の使用効率を向上させるための上位レイヤーにおける通信制御技術等に関する研究開発にも精力的に取り組んでいくことが求められる」ことが述べられており、IEEE（The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc）等を通じて本研究開発の成果を活用した近接高速無線の規格化に向けて国際標準化活動を推進するとともに、第 5 世代移動通信に代表される将来の無線通信システムにおいてミリ波帯無線システムの早期実用化を目指す。

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 28 年 6 月 28 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を頂いたため、本研究開発の評価に活用した。

- ・高い目標の研究開発であるが、いずれも初期の目標を達成している。
- ・継続して産学連携の研究開発が有効に実施された。
- ・基本技術の完成度は高いので、実用製品の計画が出てくれば実用化への目処は十分である。
- ・近年モバイル端末で取り扱うことが可能になった大容量ファイルの伝送ニーズへの解決策を提案するものであり、産業・工学・学術的にインパクトのある成果が得られていると判断できる。

6 評価に使用した資料等

- 電波資源拡大のための研究開発の実施
<http://www.tele.soumu.go.jp/j/sys/fees/purpose/kenkyu/index.htm>
- 「新たな情報通信技術戦略」（平成 22 年 5 月 IT 戦略本部決定）
<http://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/100511honbun.pdf>
- 「新成長戦略」（平成 22 年 6 月 18 日 閣議決定）
<http://www.kantei.go.jp/jp/sinseichousenryaku/sinseichou01.pdf>
- 電波政策ビジョン懇談会 最終報告書（平成 26 年 12 月）
http://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban09_02000151.html
- 日本経済再生に向けた緊急経済対策（平成 25 年 1 月 11 日閣議決定）
http://www5.cao.go.jp/keizai1/keizaitaisaku/2013/0111_01taisaku.pdf
- 世界最先端 IT 国家創造宣言（平成 25 年 6 月 14 日閣議決定）
<http://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/kettei/pdf/20130614/siryoul.pdf>

平成 28 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基幹・衛星移動通信課
評価年月：平成 28 年 8 月

1 政策（研究開発名称）

90GHz 帯リニアセルによる高精度イメージング技術の研究開発

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 27 年度（4 か年）

・実施主体

民間企業、国立研究開発法人、公益財団法人

・事業費

1,734 百万円

平成 24 年度	平成 25 年度	平成 26 年度	平成 27 年度	総 額
429 百万円	496 百万円	462 百万円	347 百万円	1,734 百万円

・概 要

空港、鉄道、原子力発電所などの重要インフラの可用性、安全性向上のため、数 cm 以下の測定精度と数 km 以上の線状あるいは面状の測定範囲を実現するリニアセルによるミリ波帯イメージング技術の開発を実施する。

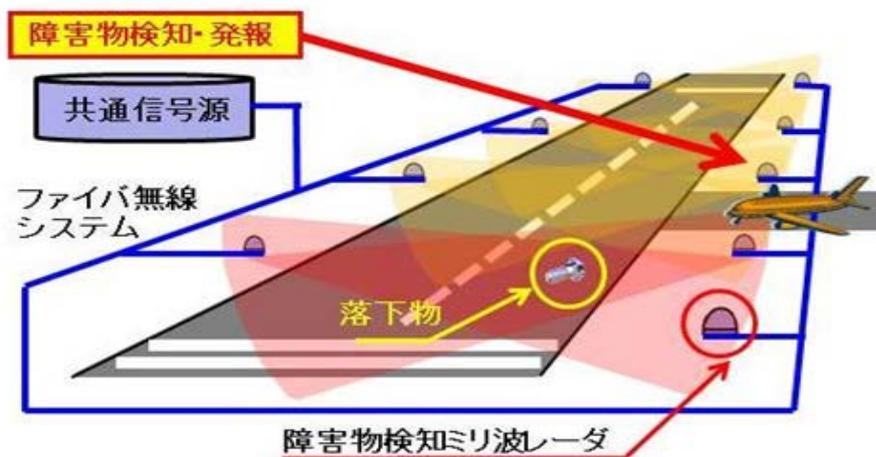
リニアセル技術は、光ファイバで無線信号を伝送するファイバ無線により一つの信号源から複数の送受信機にミリ波信号を供給し、ファイバに沿った線状の放射を実現するもの。当該技術は多数の送信機で信号源の共有が可能となるのが大きなメリットである。また、使用する 90GHz 帯は 50GHz を超える帯域では最も大気中伝搬損失が小さく、損失の変動も極めて少ないため、高精度イメージングに最も適した帯域といえるが、測定時間の短縮や測定精度の向上といった面で課題がある。

本研究開発では、我が国が得意とする 60GHz 帯向けミリ波帯電子デバイス・アンテナ技術、100Gbps 伝送光通信向け光ファイバ技術、さらに、光による近距離イメージングシステムで培われたレーダー信号処理技術を発展させ、融合し、これにリニアセル技術を適用することで、高いイメージング性能と不要輻射の抑圧を両立する技術の開発を以下のとおり実施する。

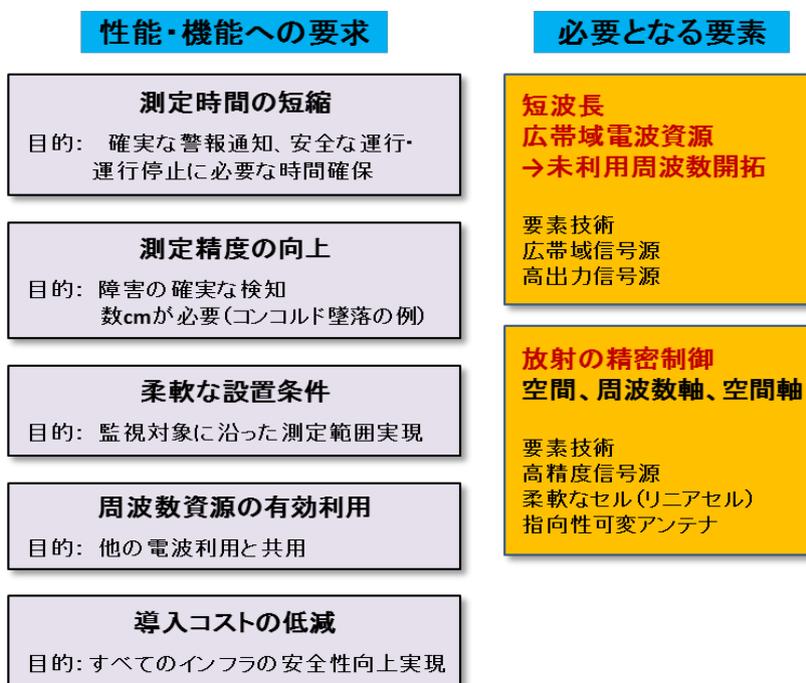
技術の種類	技術の概要
①電子的指向性可変機能を有する 90GHz 帯 RF 回路・アンテナ技術	90GHz 帯におけるアンテナの高利得化及び広角化のため、指向性可変機能を有するアンテナ技術（受動レンズ方式及び反射アレイ方式）、指向性可変アンテナ制御回路及び屋外での使用に耐える光送受素子・RF 素子一体型の耐環境・低コストモジュールを開発する。
②広帯域変調ファイバ無線・光/ミリ波変換技術システム技術	90GHz 帯において電子デバイスを用いた信号発生及び低コスト配信を実現するため、光変調通倍を用いた高安定広帯域 FM 信号発生技術、ファイバ無線技術を用いた低コストかつ高精度 FM 信号源の配信技術及び光波長多重等による複数セルの同時動作及び高速切替技術を開発する。
③リニアセル方式に適した高精度イメージング技術	①及び②で開発した技術を早期に実用化するため、空港及び鉄道を対象に実運用に近い環境における実証実験を実施するとともに、電波天文などとの共存実現のための不要発射抑圧に関する検証、ITU-R 等での国際標準化活動の推進及び空港、鉄道、原子力発電所などの幅広い監視対象に適したシステム設計手法の開発を行う。

・研究開発概要図

○滑走路監視のシステムイメージ



○研究開発における性能機能への要求と要素



(2) 達成目標

空港、鉄道、原子力発電所などの重要インフラの可用性、安全性向上のためのイメージングシステムを実現するため、電子的指向性可変機能を有する 90GHz 帯 RF 回路・アンテナ技術、広帯域変調ファイバ無線・光/ミリ波変換技術システム技術、リニアセル方式に適した高精度イメージング技術（滑走路の障害物検知を想定した測定範囲 3000m×60m 以上、精度 3cm 以下、測定時間 10 秒以下の高速・高精度イメージングを実現）を確立するとともに、90GHz 帯を有用な電波資源として開発し、その利用を拡大することで 80GHz 以下の帯域の周波数ひっ迫を緩和し、周波数の有効利用の一層の向上に資することを目標とする。

また、実運用中の拠点空港において実証実験を行うとともに、開発するイメージングシステムの応用展開として、空港以外の鉄道や重要施設(原子力発電所などの重要インフラ)の安全監視、介護・見守りなどのヘルスケアへの応用や、リニアセルによる高速データ通信への適用も検討する。

○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」

○閣議決定等の上位計画・全体計画等

・電波政策 2020 懇談会報告書（平成 28 年 7 月）

第 2 章 2020 年の社会を支えるワイヤレスサービスの推進

2. ワイヤレスビジネスの成長・海外展開に向けた検討

(3) 今後に向けた提言

④6 つの重点取組分野の実現目標と課題解決に向けた取組

(イ) リニアセル・センサーネットワーク

a) 2020 年までに実現すること

- ・ 数 cm の異物が検知できるシステムを開発し、国内外の主要空港での実装を図る。
- ・ 不審ドローンや侵入者検知が可能となるシステムを開発し、2020 年東京オリンピック・パラリンピックの競技大会の際にショーケースとして重要拠点等への展開を図る。

・航空産業ビジョン（平成 27 年 12 月 内閣官房）

第 2 部方向性と施策

5. 研究開発・技術開発

⑤次世代航空交通システムに係る研究開発

世界的な航空交通需要の増加への対応や、より安全かつ効率的な運航の実現のため、航空機位置の高精度な把握、空港周辺空域での異物検知や情報共有化等に資する次世代航空交通システムの研究開発・技術開発を推進する。

・新成長戦略（平成 22 年 6 月 閣議決定）

別表 成長戦略実行計画（工程表）「V 科学・技術・情報通信立国戦略 ～IT立国・日本～」

②」において、「ホワイトスペースなど新たな電波の有効利用」等により、「情報通信技術の徹底的な利活用による新市場の創出（約 70 兆円の関連新市場の創出を目指す）」旨を記載。

・新たな情報通信技術戦略（平成 22 年 5 月 11 日 高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部）

III. 分野別戦略

3. 新市場の創出と国際展開

(2)我が国が強みを持つ情報通信技術関連の研究開発等の推進

【重点施策】

我が国が強みを持つ情報通信技術関連の研究開発を重点的に推進し、早期の市場投入を目指す。

【具体的取組】

今後、世界的な成長が期待され、我が国が強みを有する技術分野（新世代・光ネットワーク、次世代ワイヤレス、（中略）等）を特定して集中的に研究開発を行う（以下、略）

・電波政策懇談会報告書（平成 21 年 7 月）

第 5 章 2010 年代に実現される電波利用システムによる社会的・経済的効果

5-1 2010 年代の新たな電波利用システムの実現による社会的効果

5-1-1 様々な社会分野への電波利用システムの活用

(5) 災害分野への活用

電波政策懇談会報告書の上記の項には、災害に強い国づくりを目的に、災害による被害の発生を防止、軽減するために電波利用システムをアプリケーションとして活用していくことが挙げられている。

(3) 目標の達成状況

4 年間にわたり、以下のとおり、各要素技術の研究開発を行ったことで、各要素技術について以下のとおり目標を高いレベルで確立し、本研究開発で確立された技術を活用した監視システムを設置することで異物・落下物による重大事故の防止や除去作業の時間短縮による運行遅延の減少等に資することが可能となることから、空港、鉄道等の幅広い分野での重要インフラの可用性、安全性向上のためのイメージングシステムを実現した。また、これにより 90GHz 帯を有用な電波資源として開発するとともにその利用を拡大し、80GHz 以下の帯域の周波数ひっ迫を緩和することを可能と

することで周波数の有効利用の一層の向上に資することができた。

さらに、開発したイメージング技術の応用展開として鉄道線路内の障害物監視システムのプロトタイプシステムを構築し、200m 遠方から鉄道線路内への人の侵入や障害物を検出する鉄道線路内の障害物監視技術を実現した。さらに、実証実験を行った空港・鉄道以外の重要施設（原子力発電所等の重要インフラ）での安全監視、介護・見守り等のヘルスケアへの応用に関しても有識者と議論を行い可能性の検討を実施するとともに、リニアセルによる高速データ通信への適用に関しては、平成 26 年度から別課題「ミリ波帯による高速移動用バックホール技術の研究開発」で検討を開始した。

技術の種類	目標の達成状況
①電子的指向性可変機能を有する 90GHz 帯 RF 回路・アンテナ技術	<p>(1)90GHz 帯送受信 MMIC 及び実装技術 60GHz 帯などで実用化が進む MMIC（モノリシックマイクロ波集積回路）技術を高周波化し、化合物半導体量産デバイスとしては動作周波数の上限に近い 90GHz 帯に対応させるとともに、光変換部やアンテナとの実装技術を開発し実環境での利用に適した RoF レーダー用の RF モジュールを実現した。</p>
	<p>(2)指向性可変アンテナ技術（ロトマンレンズ型） 90GHz 帯においては、低周波数帯で開発されているような電子的に指向性を制御する技術が確立できていないため、量産性に優れ、早い走査速度の期待できる電子的指向性可変機能を有するアンテナ技術としてロトマンレンズ型指向性可変アンテナ技術を検討し、4 台のアロトマンレンズアンテナを 1 台毎に角度を付けて接続し多面ロトマンレンズアンテナ全体で 16 度の走査範囲のビーム形成を実現した。</p>
	<p>(3)指向性可変アンテナ技術（リフレクトアレイ型） リフレクトアレイアンテナの原理検証を実施するとともに、電子的にビームパターンを制御し半値幅 1.2 度の鋭いビームを形成できることを示した。</p>
②広帯域変調ファイバ無線・光/ミリ波変換技術システム技術	<p>(1)高安定広帯域 FM 信号発生技術 高速・高安定な FM-CW レーダー信号発生とその光ファイバ網伝送の実現のため、光変調技術を利用した周波数通倍技術の原理減少とプロトタイプ試作及びプロトタイプによる成田国際空港実証実験を行い、掃引速度が 8×10^{15} Hz/s と超高速な FM 信号生成が可能であること、また、十分に高品質な光通倍が実現可能であることを示した。</p>
	<p>(2)高速セル切り替え技術 新たに設計・試作したフレキシブル波長チャネル選択装置を利用することで、お互いの不要成分の抑圧が可能となり得られたビット誤り率からも十分にエラーフリー伝送が可能であることを示した。</p>
	<p>(3)ミリ波帯光＝電気相互変換技術 -10dB 程度の小さな光信号に対して十分な RF 出力特性を得るため「光増幅器を用いた光検出器集積モジュール」及び「RF 増幅器を用いた光検出器集積モジュール」の開発を行った。</p>
③リニアセル方式に適した高精度イメージング技術	<p>(1)滑走路監視システム 滑走路上の異物を 10 秒以内に探知可能なレーダーシステムの要素技術開発を行い、広帯域型路面装置を使用した場合には 1.85cm の理論距離分解能となり、約 20m 先に設置した距離が 4cm 異なる 2 つの基準反射機を明瞭に分別できることを示した。</p>
	<p>(2)鉄道線路監視システム 90GHz 帯ミリ波と RoF 技術を組み合わせたレーダーによる鉄道線路内の障害物監視システムのプロトタイプシステムを構築し、鉄道総合研究所内試験線において実証実験を行った結果、約 200m 遠方から周囲に反射物が多数存在する線路内への人の侵入や移動、障害物となる非金属素材を検出可能であることを示した。</p>
	<p>(3)統合システム及び信号処理技術 ファイバ無線技術をベースとした線上に長く伸びるセル（リニアセル）を用いて、92-100GHz 帯において空間域・周波数域・時間域の全てで高度に輻射を制御し、電波天文などの他業務との周波数共用を可能としつつ、滑走路の障害物検知を想定した測定範囲 3000m×60m 以上、精度 3 cm 以下、測定時間 10 秒以下の高速・高精度イメージングを実現する基盤技術を開発し成田空港及び鉄道総合研究所内試験線で実証実験を実施した。</p>

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。

上述の観点に基づき、「電波利用料による研究開発等の評価に関する会合」（平成 28 年 6 月 28 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、国際標準提案件数等も調査し、必要性・有効性等を分析した。

○研究開発による特許・論文・研究発表・国際標準の実績

研究開発による特許・論文・研究発表・国際標準の実績は、FOD（異物破片）検知システム用の MASPS（航空用システム性能として満たすべき仕様）が EuroCAE より発行されるなど、研究開発のみならずその成果の展開に向けた活動も積極的に行っており、本研究開発の必要性、有効性等が認められた。

主な指標	平成 24 年度	平成 25 年度	平成 26 年度	平成 27 年度	合計
査読付き誌上发表論文数	0 件 (0 件)	2 件 (2 件)	4 件 (4 件)	5 件 (4 件)	11 件 (10 件)
査読付き口頭発表論文数 (印刷物を含む)	1 件 (1 件)	19 件 (19 件)	31 件 (30 件)	31 件 (30 件)	82 件 (81 件)
その他の誌上发表数	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)	5 件 (1 件)	2 件 (0 件)	7 件 (1 件)
口頭発表数	4 件 (0 件)	15 件 (0 件)	21 件 (9 件)	22 件 (8 件)	62 件 (17 件)
特許出願数	0 件 (0 件)	4 件 (0 件)	4 件 (0 件)	9 件 (0 件)	17 件 (0 件)
特許取得数	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)
国際標準提案数	3 件 (3 件)	2 件 (2 件)	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)	5 件 (5 件)
国際標準獲得数	1 件 (1 件)	0 件 (0 件)	1 件 (1 件)	0 件 (0 件)	2 件 (2 件)
受賞数	0 件 (0 件)	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)	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)
報道掲載数	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)	0 件 (0 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。

○各観点からの分析

観点	分析
必要性	空港、鉄道、原子力発電所などの重要インフラの可用性、安全性向上のためには高精度でかつ広範囲を短い探査時間でカバーするイメージングシステムを早期に実現することが必要不可欠である。

	<p>また、「新たな情報通信技術戦略」（平成 22 年 5 月）においても、我が国が強みを持つ情報通信技術関連の研究開発を重点的に推進していくことが重点施策として掲げられるとともに、「電波政策懇談会報告書」（平成 21 年 7 月）において、災害に強い国づくりを目的に、災害による被害の発生を防止、軽減するために電波利用システムをアプリケーションとして活用していくことが記載されており、こうした政府方針の内容を確実に遂行するために、平成 24 年度から国が先導的に取り組む必要があった。</p> <p>また、諸外国においては、所要性能には満たないものの滑走路監視レーダーの開発が進んでおり、我が国の国際競争力の確保・強化、安全なインフラ提供、競争力の高い電波利用技術の新開拓の観点からも必要性があったと認められる。</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>本研究開発の実施にあたっては、受託機関の研究代表者・実務者の定期的会合において各社の進捗状況や課題が調整・共有されるとともに、外部の学識経験者、有識者等を含んだ研究開発運営委員会を設置し、関連する要素技術間の調整、成果の取りまとめ方、研究開発全体の方針や進め方について指導を受けるなど、外部専門家の専門知識やノウハウ等の活用や効率的な研究開発の実施のための情報交換が積極的に行われた。</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>本研究開発により、電子的指向性可変機能を有する 90GHz 帯 RF 回路・アンテナ技術、広帯域変調ファイバ無線・光/ミリ波変換技術システム技術、リニアセル方式に適した高精度イメージング技術（滑走路の障害物検知を想定した測定範囲 3000m×60m 以上、精度 3 cm 以下、測定時間 10 秒以下の高速・高精度イメージングを実現）を確立したことにより、本研究開発で確立された技術を活用した監視システムを設置することで異物・落下物による重大事故の防止や除去作業の時間短縮による運行遅延の減少等に資すること、また、ほとんど利用が進んでいない 90GHz 帯を有効活用する技術を開発することで 80GHz 以下の帯域の周波数ひっ迫を緩和することが可能となり、空港、鉄道、原子力発電所などの重要インフラの可用性、安全性向上のためのイメージングシステムが実現されるとともに、周波数の有効利用の一層の向上に資することができた。</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>
公平性	<p>本研究開発は、空港、鉄道、原子力発電所などの重要インフラの可用性、安全性向上の確保に繋がるイメージングシステムを実現するものであり、本研究開発の成果は、広く国民の利益になるものである。また、低い周波数に比べて利用が進んでいない 90GHz 帯を有用な電波資源として開発しその利用を拡大するものであることに加え、研究開発成果の要素技術は 60GHz 帯等のより低い周波数帯からの移行を促進する効果を期待できるものであり 80GHz 以下の帯域の周波数ひっ迫を緩和させることが可能になることから、広く無線局免許人や無線通信の利用者全体の利益となる。</p> <p>なお、本研究開発の実施にあたっては、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・選定を行っている。</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>これまで国内の空港では 3 cm 程度の落下物による重大事故の可能性が潜在的に存在している状態が続いており、一方海外では所要性能には満たないものの滑走路監視レーダーの開発が進んでいることから、国としての安全なインフラ提供、競争力の高い電波利用技術の新開拓の両面から、イメージングシステムを早期に実現することが必要不可欠である。</p> <p>また、「新たな情報通信技術戦略」（平成 22 年 5 月）、「電波政策懇談会報告書」（平成 21 年 7 月）等において、災害に強い国づくりを目的に、災害による被害の発生を防止、軽減するために電波利用システムをアプリケーションとして活用していくことが記載されていることから、移動体通信における高度な周波数有効利用技術を確立するとともに、航空機等のインフラにおける災害を防止する本研究開発は優先的に実施していく必要がある。</p> <p>よって、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）

本研究開発により、電子的指向性可変機能を有する 90GHz 帯 RF 回路・アンテナ技術、広帯域変調

ファイバ無線・光/ミリ波変換技術システム技術、リニアセル方式に適した高精度イメージング技術（滑走路の障害物検知を想定した測定範囲 3000m×60m 以上、精度 3 cm 以下、測定時間 10 秒以下の高速・高精度イメージングを実現）を確立したことにより、本研究開発で確立された技術を活用した監視システムを設置することで異物・落下物による重大事故の防止や除去作業の時間短縮による運行遅延の減少等に資すること、また、ほとんど利用が進んでいない 90GHz 帯を有効活用する技術を開発することで 80GHz 以下の帯域の周波数逼迫を緩和することが可能となり、空港、鉄道、原子力発電所などの重要インフラの可用性、安全性向上のためのイメージングシステムが実現されるとともに、周波数の有効利用の一層の向上に資することができ、目標が達成された。特に、本研究開発で確立した精度 3 cm 以下の分解能、測定時間 10 秒以下の検知速度は世界最先端の性能であり、国際競争力の高い電波利用技術の新規開拓を実現した。

これらのことから、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>

2016 年 7 月に取りまとめられた「電波政策 2020 懇談会 報告書」においてもリニアセルセンサーネットワークの国内におけるサービスの実用化及び海外におけるシステムの展開を図る旨が記載されていることから、実運用に向けて本研究開発の成果をさらなる改良を図るとともに、今後も国際標準化活動及び本研究開発において、研究成果の早期の実用化に向けた取組等を実施することにより、2020 年頃の国内でのシステム導入をめざしつつ本研究開発の展開を図る。

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 28 年 6 月 28 日）において外部評価を実施し、外部有識者から以下のご意見をいただいております。本研究開発の目標が十分達成されていることが確認された。

- ・鉄道線路内の障害物監視システムの基本機能を確認したこと、羽田空港での実証実験を行ったこと、特許も多数取得したことなど実用化に向けた目標は達成したと言える。
- ・計画した到達目標を十分に実現しており、大いに評価できる。
- ・航空、鉄道など幅広い分野での実用化が期待できる。
- ・総合的な実証実験により実用性まで検証しており、実用化への見通しが得られ、高く評価できる。
- ・高精度の分解能と広範囲の検出領域を両立した成果は有益であったと考えられる。

6 評価に使用した資料等

- 電波資源拡大のための研究開発の実施
<http://www.tele.soumu.go.jp/j/sys/fees/purpose/kenkyu/index.htm>
- 電波政策2020懇談会報告書（平成28年7月 総務省）
http://www.soumu.go.jp/main_content/000430220.pdf
- 航空産業ビジョン（平成27年12月 内閣官房 基幹産業化に向けた航空ビジネス戦略に関する関係省庁会議）
http://www.cas.go.jp/jp/seisaku/koku_business/pdf/vision.pdf
- 新成長戦略（平成22年6月 閣議決定）
<http://www.kantei.go.jp/jp/sinseichousenryaku/sinseichou01.pdf>
- 新たな情報通信技術戦略（平成22年5月11日 高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部）
<http://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/100511honbun.pdf>
- 電波政策懇談会報告書（平成21年7月 総務省）
http://www.soumu.go.jp/main_content/000030532.pdf

平成 28 年度事後事業評価書

政策所管部局課室名：情報通信国際戦略局 技術政策課 研究推進室
評価年月：平成 28 年 8 月

1 政策（研究開発名称）

超高周波搬送波による数十ギガビット無線伝送技術の研究開発¹

2 研究開発の概要等

(1) 研究開発の概要

・実施期間

平成 23 年度～平成 27 年度（5 か年）

・実施主体

民間企業、国立研究開発法人

・事業費

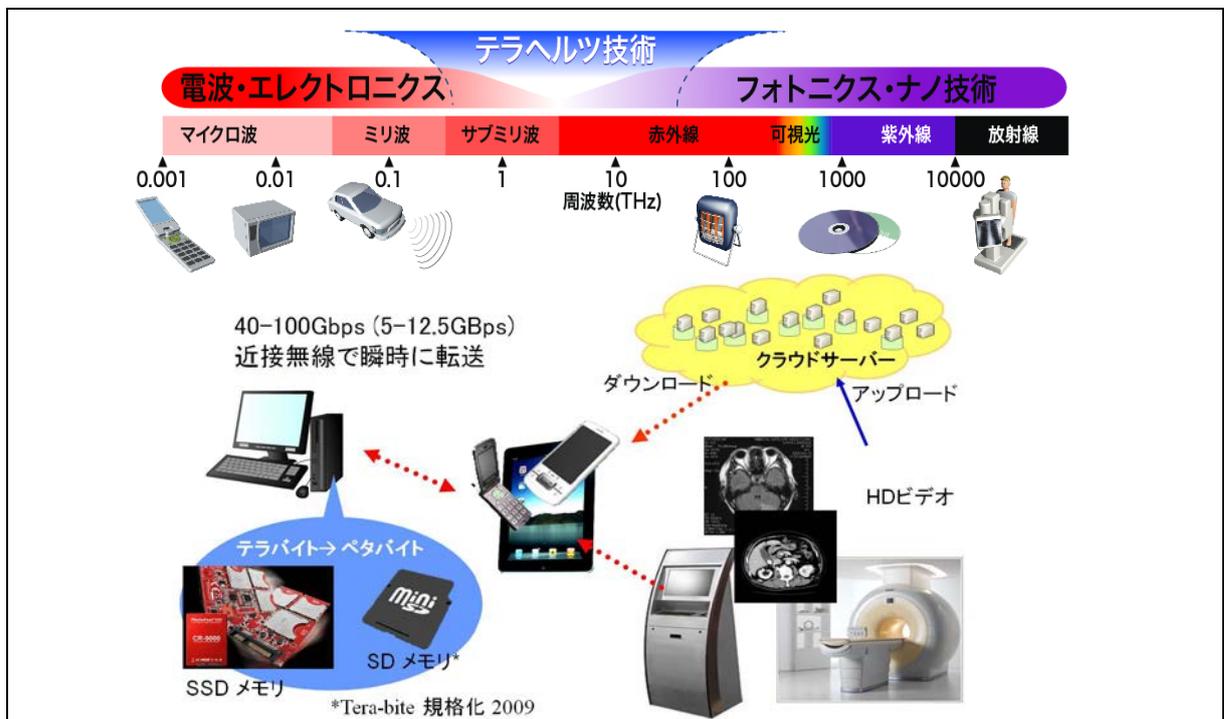
1,107 百万円

平成 23 年度	平成 24 年度	平成 25 年度	平成 26 年度	平成 27 年度	総 額
238 百万円	249 百万円	220 百万円	200 百万円	199 百万円	1,107 百万円

・概 要

本研究開発では、未利用の超高周波帯である 275 - 370 GHz のテラヘルツ帯を用い、大容量のデータを瞬時に伝送することを可能とする無線通信の基盤技術を確立する。

具体的には、275 - 370 GHz のテラヘルツ波帯に対応する超高周波帯送受信技術や超高周波アンテナ技術、復調された超高速データを処理する超広帯域データ受信技術等の要素技術を確立する。また、機器の小型化が可能であるというテラヘルツ帯の特長を利用し、これらを一体化して送受信器等をモジュール化するシステム化技術を順次開発する。さらに、超高周波電磁波を高精度に観測する超高周波帯計測技術を開発することで伝搬・干渉等のデータを取得する。



¹ 事前事業評価書時点では「超高周波搬送波による数十ギガビット無線伝送技術の研究開発」

技術の種類	技術の概要
超高周波帯送受信技術	データ信号を超高周波搬送波に載せて送受信するための技術を開発するもの。送信側では、光技術を応用した光領域での超高速信号変調の場合、多くの光技術が流用でき、超高速変調された光波を超高周波の電波に変換する光-超高周波変換技術を確立することで実現できる。受信側では、超高周波の電波を直接に超高速電子回路により受信する場合、300GHz帯で数十(20 - 40) Gbps に対応する超広帯域にわたり雑音指数2 ~ 5 dB 程度を達成する増幅器等の超高速電子デバイスを開発することで実現できる。
超広帯域データ受信技術	受信した数十 Gbps の超広帯域(超高速)のデータ信号を処理し、比較的低速なメモリ等の記憶素子に格納する技術(シリアル-パラレル変換)を確立するもの。シリアル-パラレル変換技術自体は光通信等の分野で実現していたが、未開発であった超高周波の電波とのインターフェースや、携帯機器への搭載を想定した3D実装、省電力化の技術を開発し、最終的に5cm×5cm程度の小型化を実現させるもの。また、データ送受信に必要な誤り訂正符号を搭載し、必要に応じて通信路特性に合わせた改良をするもの。
超高周波アンテナ技術	275 - 370GHzの超高周波に対応し、かつ小型化されたアンテナ技術を確立するもの。従来の電波による伝送と比較すると、伝搬損失、広帯域化による感度劣化等があるため、高周波に最適化されたアンテナ形状の設計及びより高いアンテナ利得を持つ回路設計とすることで実現するもの。小型化の観点からは、平面アンテナ方式が有力とされる。最終的に10dBi以上の利得を持つ送受信アンテナ技術を確立するもの。また、アンテナと送受信デバイスを一体化し、給電線長1mm以下の低損失デバイスを実現するもの。
システム化技術(モジュール化技術、伝送実験)	超高周波帯に対応したアンテナや発振器、送受信器等のモジュール化技術を開発するもの。また、開発した送受信モジュールを用いて超高周波送受信システムを試作し、伝送に必要な電波伝搬や干渉等のデータを取得するもの。
高周波帯計測技術	上記技術の実現のため、超高周波帯における電波そのものの波形を実時間で高精度に計測する技術を開発するもの。40Gbps級の超高速波形の計測は、既存の電波計測システムではほぼ不可能である。そのため、光技術等を利用して、300GHzの超高周波帯における40Gbps級の超高速変調受信波形の計測・再生を、光波計測と同程度の高信号雑音比、高ダイナミックレンジで可能とする計測技術(超高周波オシロスコープ)を開発することで実現できる。

スケジュール

技術の種類	平成23年度	平成24年度	平成25年度	平成26年度	平成27年度
超高周波帯送受信技術	エビ・デバイス構造の検討	300GHz帯: 送信: 10mW-Amp、20Gbps変調器 受信: NF<10dB & 20Gbps復調器	利得>20dB LNA	340GHz帯: 送信: 1mW-Amp、20Gbps変調器 受信: NF<10dB & 20Gbps復調器	
超広帯域データ受信技術	実現方式決定	10Gbpsデータダウンロード系構築(有線)	誤り訂正機能付加10Gbpsデータダウンロード系構築(有線)	誤り訂正機能付加20Gbpsデータダウンロード系構築(300GHz無線)	
超高周波アンテナ技術	送信・受信アンテナ仕様策定	アンテナ利得 送信: >30dBi 受信: >10dBi	アンテナ利得 送信: >30dBi 受信: >15dBi	偏波多重技術	
システム化技術(モジュール化技術、伝送実験)	(モジュール化技術)				
	インターコネクション方式決定 モジュール構成検討	接続損失 送信: <2dB 受信: <4dB	300GHz帯 送信: モジュール技術 受信: 小型モジュール技術	300GHz帯多重用 送信: モジュール技術 受信: 小型モジュール技術	
	伝搬モデル検討	高速PDを使用した伝搬基本特性評価	KIOSKモデルにおける干渉影響評価	伝搬距離1m以下20Gbps伝送	伝搬距離1m以下、記憶装置間ダウンロード 伝搬距離1m以下40Gbps伝送

高周波帯計測技術	300GHz帯信号発生・計測系の構築	ホモダイン検波によるスペクトラム評価系構築	モジュール型送受信機の放射特性計測	300GHz帯計測装置・環境の評価技術	→

(2) 達成目標

超高周波帯送受信技術、超広帯域データ受信技術、超高周波アンテナ技術、送受信器等をモジュール化するシステム化技術、高周波帯計測技術を確立することにより、275 - 370GHz の超高周波搬送波を用いて1 m以下の距離を数十 (20-40) Gbps で伝送する無線伝送システムを実現し、周波数の有効利用の一層の向上に資するとともに、国際標準の獲得を推進し我が国の国際競争力を強化する。

当該周波数帯においては、送受信器やアンテナ等の新しい要素技術開発を含むことから、段階を踏んだ開発を考え、実施期間前半においては10Gbpsの通信を実現するための要素技術の確立を行い、その技術及び知見を活用して実施期間後半において数十 (20-40) Gbps の通信を実現する要素技術の確立とシステム試作を実施する。

○ 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」

○ 閣議決定等の上位計画・全体計画等

- ・「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国際競争力強化検討部会中間取りまとめ」(平成22年5月17日)
- ・「新たな成長戦略ビジョンー原口ビジョンIIーICT維新ビジョン2.0〜ヒューマン・バリューへの投資〜」(平成22年5月総務省)
- ・「新成長戦略〜「元気な日本」復活のシナリオ〜」(平成22年6月18日閣議決定)
- ・世界最先端IT国家創造宣言(平成25年6月14日閣議決定)
- ・科学技術イノベーション総合戦略(平成25年6月7日閣議決定)
- ・科学技術イノベーション総合戦略2014(平成26年6月24日閣議決定)
- ・科学技術イノベーション総合戦略2015(平成27年6月19日閣議決定)
- ・科学技術イノベーション総合戦略2016(平成28年5月24日閣議決定)

(3) 目標の達成状況

5年間の研究開発を通じて、以下のとおり未利用の超高周波帯である275 - 370GHzの送受信器やアンテナ等の新しい要素技術開発について、個別の到達目標を高いレベルで達成し、試作した小型無線機器において高速ダウンロードを実証した。これらの技術の確立により、当該周波数帯における超高周波搬送波を用いて1 m以下の距離を数十 (20 - 40) Gbps で伝送する無線伝送システムを実現し、当初の目的を達成した。

これにより、これまで未利用であった当該周波数帯を利用するための基盤技術を確立できたことで、今後の展開により新しい周波数を活用するための道筋ができ、周波数の有効利用の一層の向上に資するとともに、国際標準化において議題としたことで我が国がリードして進められる環境を作ることができ、国際標準の獲得を推進し我が国の国際競争力を強化できた。

技術の種類	目標の達成状況
超高周波帯送受信技術	<p>○送信技術</p> <ul style="list-style-type: none"> ・デバイス構造の最適化を行い、f_{max} 1.5 THz級のRF特性を実現。 ・300GHz帯において、10mW出力で最大36Gbpsの送信機技術を実現。 ・340GHz帯において1.5mW出力で20Gbpsの送信機技術を実現。 ・低コスト化に資する裏面プロセス技術を向上。 <p>○受信技術</p> <ul style="list-style-type: none"> ・デバイスの最適化によりf_{max} 1.5 THz級 (1.3 THz) を実現。75 nmゲートでは世界最高性能。5年で2.6倍の高性能化を達成。

	<ul style="list-style-type: none"> ・低雑音アンプを試作し、利得 20 dB 以上、NF 10 dB 以下で、帯域 30 GHz 以上を達成。 ・300GHz 帯用 IC は伝送実験により、超高周波受信技術を確立。 ・復調回路（低雑音アンプと検波器の一体集積）を試作し、335～365 GHz で 6 kV/W 以上の検波感度が得られ、340 GHz 帯においても 20 Gbps 級受信の基礎技術を確立。
超広帯域データ受信技術	<ul style="list-style-type: none"> ・10 ギガビットイーサ 2 本の多重・分離とリードソロン誤り訂正機能を具備した誤り訂正装置を試作し、300GHz 帯無線機とサーバ間において、16Gbps の高速ダウンロードを実証。
超高周波アンテナ技術	<ul style="list-style-type: none"> ○300GHz 帯アンテナ <ul style="list-style-type: none"> ・金属製ホーンアンテナにより送信側 30dBi 以上の利得を達成。 ・LTCC（低温焼結セラミックス）製ホーンアンテナおよび、金属製ホーンアンテナにより受信側 15dBi 以上の利得を達成。 ○340GHz 帯アンテナ <ul style="list-style-type: none"> ・送信アンテナは上記のアンテナと同じアンテナで 30dBi 以上の利得を達成。 ・受信アンテナは金属製ホーンアンテナで 15dBi 以上の利得を達成。 ○送受信評価 <ul style="list-style-type: none"> ・試作した送信用ホーンアンテナ（アンテナ利得 30dBi）および、受信用アンテナ（LTCC、金属）により、16～17GHz の帯域幅を実現し、300GHz 帯 20 Gbps ASK データ信号の伝送に適用可能にする技術を確立。
システム化技術（モジュール化技術、伝送実験）	<ul style="list-style-type: none"> ・300GHz 級送信モジュール技術として、低損失接続した小型サブアセンブリ化送信モジュールと小型自動電源を実現。さらに KIOSK 端末内に実装し、伝送を実証。 ・300GHz 級受信モジュール技術として、1 cc 以下の受信モジュールを開発。総合伝送試験に適用し、最終目標を達成。 ・300GHz 帯を用いて、伝送距離 1m を越える FEC リミット以下の 20Gbps 伝送を確認。また、偏波を利用することにより、40Gbps（20Gbps×2ch）伝送を実証。 ・300GHz 帯を用いて、KIOSK ダウンロード実験を実施し、実データ平均転送速度 12～13 Gbps（DVD を 3 秒に相当）の高速データダウンロードを実証。
高周波帯計測技術	<ul style="list-style-type: none"> ・超高速フォトダイオードを用いたホモダイン検波方式によるスプリアス測定等により、200～400GHz までの周波数特性を評価する技術を確立。 ・300GHz 帯の無線局の開設に必要な試験項目を明らかにし、さらに、模擬送受信機を用いて、300GHz 帯を使用した実験試験局を国内で初めて開設。 ・材質、厚さ、形状等の異なる様々な電波吸収体について 300GHz 帯での反射吸収特性を評価。さらに、電波吸収材料を KIOSK 筐体内壁に適用し、伝送特性への影響を評価。 ・220 GHz～330 GHz のアンテナ較正システムを改良し、円偏波ホーンアンテナの動作利得の較正を実施し、結果の妥当性について評価。

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。

上述の観点に基づき、「電波利用料による研究開発等の評価に関する会合」（平成 28 年 6 月 28 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、国際標準提案件数等も調査し、必要性・有効性等を分析した。

○研究開発による特許・論文・研究発表・国際標準の実績

研究開発による特許・論文・研究発表・国際標準の実績から、半導体装置や電界効果型トランジスタなどに関する特許を取得するなど超高周波搬送波による数十ギガビット無線伝送に必要な技術を確実に確立しており、また、当該周波数帯について WRC-19 における議題を成立させるなど、国際標準化に貢献しており、本研究開発の必要性、有効性等が認められた。

主な指標	平成 23 年度	平成 24 年度	平成 25 年度	平成 26 年度	平成 27 年度	合計
査読付き誌上発表論文数	0件 (0件)	0件 (0件)	1件 (1件)	2件 (2件)	4件 (3件)	7件 (6件)
査読付き口頭発表論文数 (印刷物を含む)	0件 (0件)	2件 (2件)	9件 (8件)	12件 (11件)	9件 (9件)	32件 (30件)
その他の誌上発表数	0件 (0件)	0件 (0件)	1件 (0件)	2件 (0件)	1件 (0件)	4件 (0件)
口頭発表数	5件 (1件)	15件 (1件)	10件 (0件)	8件 (0件)	13件 (3件)	51件 (5件)
特許出願数	1件 (0件)	11件 (0件)	20件 (4件)	11件 (5件)	6件 (1件)	49件 (10件)
特許取得数	0件 (0件)	0件 (0件)	1件 (0件)	7件 (0件)	7件 (2件)	15件 (2件)
国際標準提案数	0件 (0件)	0件 (0件)	2件 (2件)	4件 (4件)	12件 (12件)	18件 (18件)
国際標準獲得数	0件 (0件)	0件 (0件)	0件 (0件)	0件 (0件)	7件 (7件)	7件 (7件)
受賞数	0件 (0件)	0件 (0件)	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)	0件 (0件)	2件 (1件)	0件 (0件)	2件 (1件)	4件 (2件)
報道掲載数	0件 (0件)	0件 (0件)	0件 (0件)	0件 (0件)	0件 (0件)	0件 (0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：「査読付き誌上発表論文数」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：「その他の誌上発表数」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。

○各観点からの分析

観点	分析
必要性	<p>高精細映像伝送などによる Gbps 級の大容量の情報伝送需要の急増により、現在利用が可能な周波数帯では必要な伝送容量を十分に確保できず、周波数が急速にひっ迫することが想定される。また、今後、携帯機器とネットワークとのデータ転送需要の大幅な伸びが予想されており、大容量のデータを瞬時に、かつ簡易に利用できるデータ転送システムの実現が必要となっている。275-370 GHz の超高周波数帯域は、これまで実用化されておらず利用されていないが、潜在的に数十 Gbps 級の大容量の情報を瞬時に伝送することが可能であり、本研究開発により、当該周波数帯域を利用することができるようになることで、急速に増大が予想される情報伝送需要に応えることが可能になる。</p> <p>また、世界的に周波数割当が行われていない 275GHz-370GHz 帯を利用するための研究開発が世界各国で進められている中、世界に先駆けて研究開発を行い、その技術に適合した周波数利用を提案することで、大きなアドバンテージを得られる状況にある。このような情勢に鑑み、275GHz-370GHz の周波数帯における将来の我が国の電波利用権益の確保及び国際競争力強化のため、早急に当該技術を確立する必要がある。</p> <p>以上に述べたように、本研究開発は、未開拓周波数の利用を推進する研究開発であり、ハイリスクかつ高度な技術が求められるため民間のみでは実施困難であるとともに、ITU-R の周波数分配や IEEE802 における標準化とも深く関連しているため、国が主導して実施する必要がある。</p> <p>以上より、本研究開発には必要性があったと認められる。</p>

<p>効率性</p>	<p>本研究開発は、未利用の超高周波帯である 275 - 370 GHz のテラヘルツ帯を用い、大容量のデータを瞬時に伝送することを可能とするための要素技術の開発を行うものであるが、未利用周波数帯への移行促進のために、これまで利用ができなかった当該周波数帯の利用を可能とするには、その要素技術の開発が必要不可欠であり、他に効率的で質の高い代替手段はない。</p> <p>また、本研究開発の実施に当たっては、これまで無線通信分野における商用化実績、研究開発実績等の専門知識を有する通信機器ベンダー、通信事業者、大学等のノウハウが活用されており、実施期間中も受託各社の研究代表者・実務者の定期的会合において各社の進捗状況や課題が調整・共有され、さらに外部の有識者と受託者から構成される運営委員会や、外部有識者による継続評価において、研究進捗や進め方等について助言を受けるなど、効率的な実施のため情報交換が積極的に行われた。</p> <p>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。以上より、本研究開発には効率性があったと認められる。</p>
<p>有効性</p>	<p>本研究開発の実施により、超高周波帯送受信技術、超広帯域データ受信技術、超高周波アンテナ技術、送受信器等をモジュール化するシステム化技術、高周波帯計測技術を確立し、275 - 370GHz の超高周波搬送波を用いて 1 m以下の距離を数十 (20 - 40) Gbps で伝送する無線伝送システムを実現したことにより、世界的に周波数分配が行われておらず、これまでに実用化されていない 275GHz - 370GHz を無線用に利用するための基盤技術を確立したことで、電波の利用周波数帯域を拡大することができ、既存業務の高い周波数への移行促進が可能となった。また、当該周波数帯における無線通信基盤技術を世界に先駆けて確立し、ITU-R の WRC-15 において 275-450GHz 帯の周波数範囲内で移動業務応用、固定業務応用に周波数を特定する WRC-19 議題を成立に貢献し、この分野における具体的な研究を加速させる道筋をつけることができた。これらにより、周波数の有効利用の一層の向上に資するとともに、国際標準の獲得を推進し我が国の国際競争力を強化することができた。</p> <p>さらに、300GHz 帯を用いて、KIOSK ダウンロード実験を実施し、実データ平均転送速度 12~13 Gbps (DVD を 3 秒に相当) の高速データダウンロードが可能であることを実証できたが、これは、携帯小型機器への超高精細映像の瞬時伝送、家庭内セットボックス等から超高精細スクリーンへの非圧縮伝送による超高精細シネマの再生、高精細大容量医療データの瞬時ダウンロードによる共有化等の実現に繋がっていくものであり、国民の生活の利便性向上への寄与も期待される。</p> <p>本研究開発で得られた技術を用いた 300GHz 帯テラヘルツ波の利用促進により、同周波数帯で動作する各種部品・新規デバイス開発によるナノテクノロジーや新材料の研究開発が牽引されるものと期待される。また、通信応用だけでなく、材料の透過性を生かしたイメージングによる検査技術や分子の指紋振動を利用したセンシングなど、新たなアプリケーション開拓が期待される領域であり、通信領域以外においても、日本の国際競争力を向上させ、経済的・社会的効果が得られるものと期待される。</p> <p>以上より、本研究開発には有効性があったと認められる。</p>
<p>公平性</p>	<p>本研究開発によって、新たな周波数帯が利用可能となるとともに、既存の周波数帯からの移行促進により既存周波数帯の有効利用にもつながることから、広く無線局免許人や無線通信の利用者の利益となる。</p> <p>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>以上より、本研究開発には公平性があったと認められる。</p>
<p>優先性</p>	<p>情報伝送需要の急増による既存の無線通信周波数帯の伝送容量のひっ迫や、既存の無線通信周波数帯では実現できない高速大容量無線通信の需要に、早急に対応することが必要であった。</p> <p>また、本研究開発の対象となる 275GHz - 370GHz 帯の周波数帯は世界各国で能動業務による利用検討が進められており、我が国が世界に先駆けて研究開発を実施し、同周波数帯の利用権益の確保及び国際競争力の強化に資するためには、優先的に研究開発に取り組む必要があった。</p> <p>以上より、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）

本研究開発により、超高周波帯送受信技術、超広帯域データ受信技術、超高周波アンテナ技術、送受信器等をモジュール化するシステム化技術、高周波帯計測技術を確立し、275 - 370GHz の超高周

波搬送波を用いて1 m以下の距離を数十(20 - 40) Gbps で伝送する無線伝送システムを実現した。このことにより、世界的に周波数割当が行われておらず、これまでに実用化されていない275GHz - 370GHzにおいて電波の利用周波数帯域を拡大することができ、既存業務の高い周波数への移行促進が可能となったとともに、275-450GHz帯の周波数範囲内で移動業務応用、固定業務応用に周波数を特定するITU-RのWRC-19議題の成立に貢献し、この分野における具体的な研究を加速させる道筋をつけるなど、周波数の有効利用の一層の向上に資するとともに、国際標準の獲得を推進し我が国の国際競争力を強化することができており、目標を達成することができた。

これらのことから、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>

本研究開発で得られた基盤技術を発展させ、低価格の超小型デバイスや長距離化を実現するための研究開発を進め、より実用性を高めることで、産業的に未利用な300GHz帯の産業利用を推進していく。

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28年6月28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。

- ・300GHz帯を中心に40Gbps伝送を実現したことは、目標を十分達成したと考えられる。
- ・3研究機関による5年間に渡る実施体制は妥当なもので11億円の予算額に十分見合った成果を上げており効率的に使用されたと考えられる。
- ・多数の特許申請を行っている。国際標準化活動も経験を生かし、効率的に行って成果を上げている。
- ・未利用周波数帯である300GHz帯通信についての世界に先駆けた研究開発であり、国際競争力の向上が見込まれる。また近年要望が高まっている大容量データの無線伝送に対する本周波数帯の有効性を示した点についても評価できる。
- ・テラヘルツ帯利用の目処を立てるための研究開発で、デバイス開発のみならず、KIOSKモデルなどの具体的なアプリケーション、さらに今後の応用で期待される計測技術の検討も応用を図る上で重要であり、今後の進展が期待される。

6 評価に使用した資料等

○電波資源拡大のための研究開発の実施

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

○「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国際競争力強化検討部会中間取りまとめ」(平成22年5月17日 国際競争力強化検討部会)

http://www.soumu.go.jp/main_content/000065797.pdf

○「新たな成長戦略ビジョンー原口ビジョンIIー」(平成22年5月 総務省)

http://www.soumu.go.jp/main_content/000064871.pdf

○「新成長戦略」(平成22年6月18日 閣議決定)

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

○世界最先端IT国家創造宣言(平成25年6月14日 閣議決定)

<http://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/kettei/pdf/20160520/siryoul.pdf>

○科学技術イノベーション総合戦略

<http://www8.cao.go.jp/cstp/sogosenryaku/>