

# 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

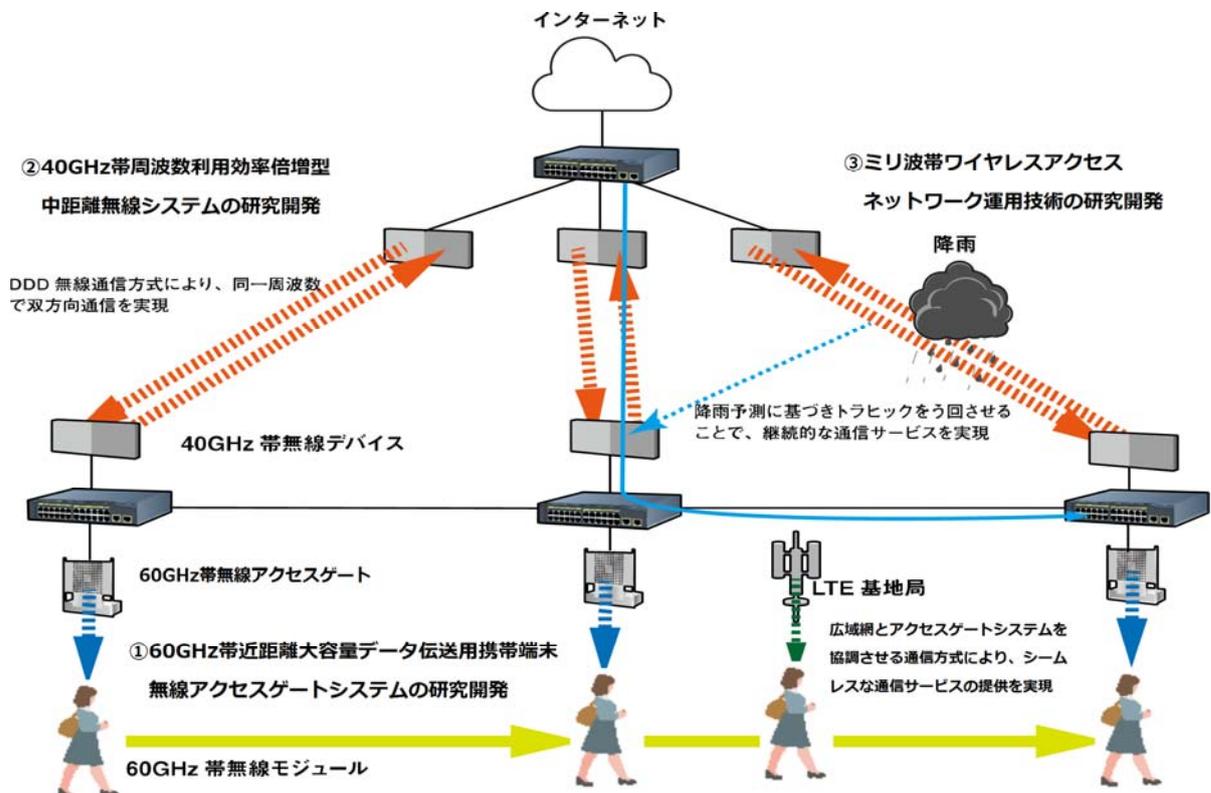
### (1) 研究開発の概要

- ・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

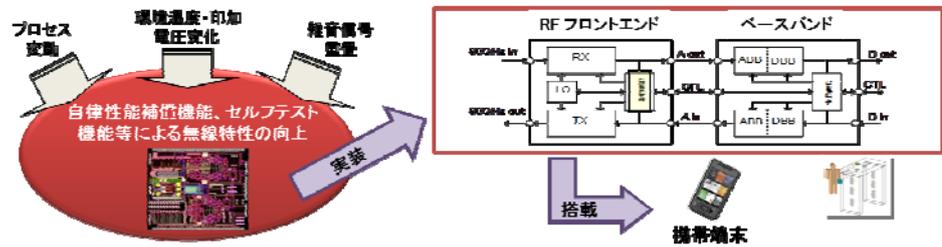
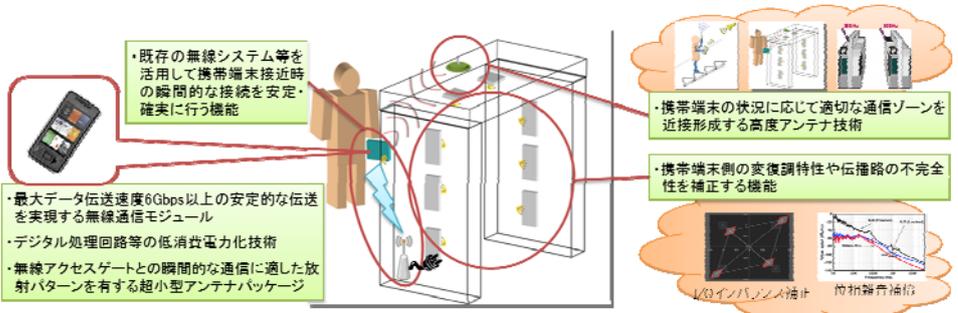
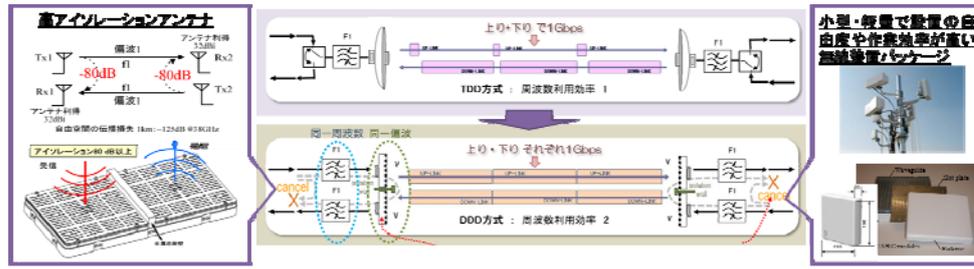
平成 24 年度	平成 25 年度	平成 26 年度	平成 27 年度
606 百万円	641 百万円	764 百万円	593 百万円

### ・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。

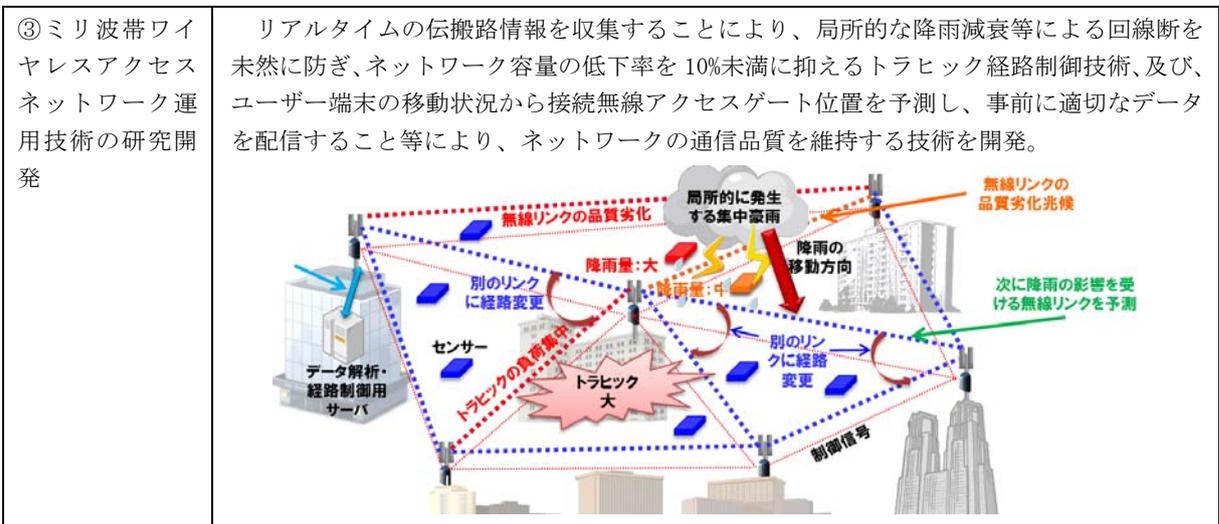


DDD とは … Directional Division Duplex の略。全二重とも言う。双方向通信において、同時に送受信ができる方式のこと。

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"> <li>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</li> <li>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</li> <li>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</li> <li>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</li> <li>デジタル処理回路等の低消費電力化技術</li> <li>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</li> </ul>
<p>②40GHz 帯周波数利用効率倍増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 ADC<sup>1</sup>を搭載した高機能ベースバンドシステム集積回路<sup>2</sup>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>

<sup>1</sup> 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。

<sup>2</sup> 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）

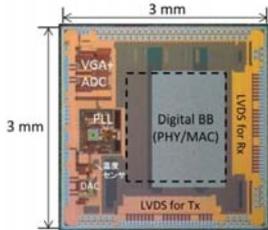
IV. 4. 研究開発の推進・研究開発成果との連携

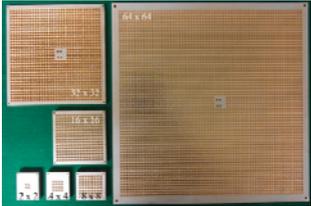
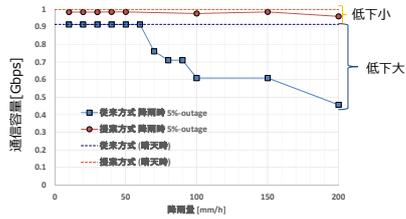
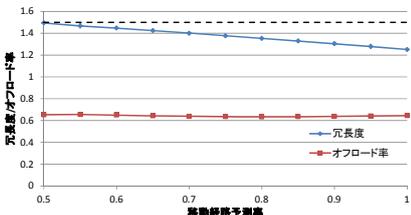
○世界最高水準の IT 社会を実現し、維持・発展させるために、情報通信社会の今後の動向を見据えた研究開発を推進する。

- ・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認した。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認し、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 3 Gbps 伝送時に 1.1m、16QAM 変調での 6 Gbps 伝送時に 40cm をそれぞれ bER <math>1.0 \times 10^{-6}</math> 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<sup>3</sup>や Time Division Duplex (TDD) 方式<sup>4</sup>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>

<sup>3</sup> 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。

<sup>4</sup> 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 6 GHz 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、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 世代移动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](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](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>