

平成 31 年度事後事業評価書

政策所管部局課室名：総合通信基盤局新世代移動通信システム推進室

評価年月：令和元年 8 月

1 政策（研究開発名称）

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

2 研究開発の概要等

(1) 研究開発の概要

・実施期間

平成 26 年度～平成 30 年度（5 か年）

・実施主体

民間企業、公益財団法人、国立研究開発法人等

・総事業費

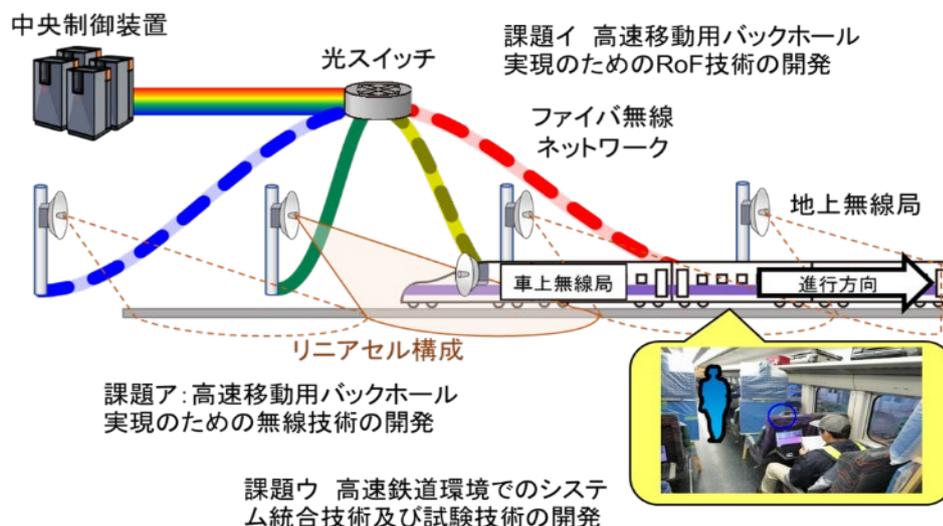
1,625 百万円

平成 26 年度	平成 27 年度	平成 28 年度	平成 29 年度	平成 30 年度	総 額
332 百万円	378 百万円	348 百万円	288 百万円	279 百万円	1,625 百万円

・概 要

現行の新幹線や、国内外で建設が進められている次世代高速鉄道は、その移動速度が 230～500 km/h と大きく、1000 人程度の乗客が一列車に集中する。このため公衆網を利用した既存の移動体通信システムでは、乗客が満足するユーザーあたりの回線速度を実現する事は困難な状態にある。このため、高速鉄道が一定の軌道上を移動するという点を利用し、軌道に沿って敷設した光ファイバネットワークと、指向性・広帯域性に優れたミリ波帯の電波資源を組み合わせる事により、高速移動体に向けたブロードバンド接続手段を実現するための基盤技術を確認した。具体的には以下の技術である。

・概要図



技術の種類	技術の概要
高速移動用バックホール実現のための無線技術	高速移動用バックホール ¹ 実現のためのデジタル無線通信の信号は、1Gbps クラスの伝送速度が必要となる。本研究では高速で移動する列車に対し 1Gbps 以上の伝送速度を安定的に維持するため、90GHz 帯において双方向通信を行うためのベースバンド・RF 回路技術を確立した。これら技術を利用した無線設備の伝送品質の評価技術、240km/h で走行する新幹線でも適切に地上無線局を切り替えるネットワーク制御技術を実証した。
高速移動用バックホール実現のための RoF ² 技術	1Gbps を超える大容量信号を、RoF（光）ネットワークでも伝送可能とするため、ミリ波信号と光信号の双方向で用いることができる大容量多値変復調技術を確立した。また、中央制御装置から配信される RoF（光）信号をミリ波信号へ変換するためのミリ波対応光変換技術を確立した。RoF 技術を応用しアナログ信号を光ファイバで伝送することにより、各路線側無線局に周波数安定度の高い信号源を搭載することなくミリ波通信を行えるため、コスト低減が可能になる。
高速鉄道環境でのシステム統合技術及び試験技術	実際の鉄道環境における電波伝搬特性や伝送品質測定を行う実証実験、ユーザー向け列車内空間における電波伝搬特性試験を実施するとともに、車上無線局（移動局）を追跡して確実に接続するためのネットワーク制御技術を確立した。

・スケジュール

技術の種類	平成 26 年度	平成 27 年度	平成 28 年度	平成 29 年度	平成 30 年度
高速移動用バックホール実現のための無線技術	デバイス設計 試作	無線機設計 試作	無線システム 評価	無線システム 構築・準備	実証実験
高速移動用バックホール実現のための RoF 技術	大容量多値変調 技術原理検証	高速切替 NW 検証	光・ミリ波変換 デバイス試作	通倍型変復調 システム検証	実証実験
高速鉄道環境でのシステム統合技術及び試験技術	90GHz 帯伝搬 特性評価	列車内伝搬 特性評価	NW 切り替え技術 評価	実証実験 システム準備	実証実験

(2) 達成目標

新幹線等の高速移動体におけるブロードバンド環境の構築に向け、90GHz 帯等の複数のミリ波帯と光ファイバを利用した分布アンテナシステムによる無線伝送技術を確立し、平成 30 年度までに速度 300km/h で移動する高速移動体において通信速度 1Gbps を可能とする無線伝送技術の実現を目指す。

○関連する主要な政策

政策 13 「電波利用料財源による電波監視等の実施」

○世界最先端 IT 国家創造宣言（平成 25 年 6 月 閣議決定）

IV 利活用の裾野拡大を推進するための基盤の強化

4. 研究開発の推進・研究開発成果との連携

上記項目において、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ことが必要であると記載されている。

○電波有効利用の促進に関する検討会報告書（平成 24 年 12 月）

第 1 章 電波利用環境の変化に応じた規律の柔軟な見直し

¹ コアネットワーク（インターネット等の基幹回線）と車内無線設備との間を結ぶ大容量の中継回線

² Radio over Fiber の略であり、無線高周波信号を光ファイバにのせて長距離伝送する技術

1. 電波有効利用を促進する柔軟な無線局の運用

(3) 周波数再編の加速

②電波有効利用技術の活用

上記項目において、電波の有効利用を一層推進する観点から、新たなニーズに対応した無線技術をタイムリーに実現することが必要であると記載されている。

(3) 目標の達成状況

本研究開発においては、以下の技術を確立することにより、実際の鉄道環境（速度 240km/h）における実証試験で地上・車上間で通信速度 1.5Gbps を実現し、シミュレーション上では、時速 500km において通信速度 1Gbps を実現した。このことから、所期の目標を達成したといえる。具体的な主要結果は以下のとおり。

技術の種類	目標の達成状況
<p>高速移動用バックホール実現のための無線技術</p>	<p>車上無線局と地上無線局で 90GHz 帯を使用した大容量双方向通信を行うため、ベースバンド回路部で 4 波マルチキャリア変調波の生成を実現し、RF 回路部で 90GHz 帯の 4 波マルチキャリア変換を実現した。</p> <p>また、それら技術を利用した無線局の伝送品質評価を行うため、IP 信号をカプセル化して無線伝送するための変換装置を作成し、IP 信号をミリ波無線信号で伝送できる伝送品質評価技術を実現した。</p> <p>更に、速度 240km/h で走行する新幹線でも適切に地上無線局を切り替える技術を、高速に車両を検出するセンサ及び高速に切替可能な光スイッチを用いて実現した。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="491 958 935 1205"> <p>図 1 無線システムの構成</p> </div> <div data-bbox="1002 936 1382 1160"> <p>図 2 RF 回路部 90GHz 帯送信スペクトラム</p> </div> </div>
<p>高速移動用バックホール実現のための RoF 技術</p>	<p>ミリ波帯と光ファイバの双方向で用いることができる大容量多値変復調技術を確立し、10GHz 帯域幅で 45Gbps の伝送レートを実現した。また、中央制御装置から配信される RoF (光) 信号をミリ波信号へ変換するための高周波数対応光変換技術を確立し、100GHz 超まで直接変換可能な光・電気信号変換部を開発し、従来の変換効率に対して、10 倍以上の高感度化と高速性の両立を実現した。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="459 1518 1024 1742"> <p>図 3 適応変調型 RoF・ミリ波統合技術による 90GHz 帯広帯域 IF 信号</p> </div> <div data-bbox="1104 1527 1391 1729"> <p>図 4 ミリ波・光変換モジュール</p> </div> </div>
<p>高速鉄道環境でのシステム統合</p>	<p>実際の鉄道環境における電波伝搬特性や伝送品質の測定を行うため、北陸新幹線の営業列車（列車速度 240km/h）を使用した実証試験で 1.5Gbps の伝送速度を実現した。ま</p>

技術及び試験技術

た、シミュレーション上では、列車速度 500km/h において、1Gbps の伝送速度を実現した。

車上無線局（移動局）を追跡して確実に接続するためのネットワーク制御技術を確立し、複数地上無線局間との通信に成功した。

また、列車内空間における電波伝搬特性試験として、現在、新幹線で使用されている 60GHz 帯の無線 LAN を想定したアクセスポイント選択法により、電波遮蔽時のスムーズな無線切替を行い、全席で 1Gbps 以上の伝送速度を実現した。



図5 地上無線局設置状況

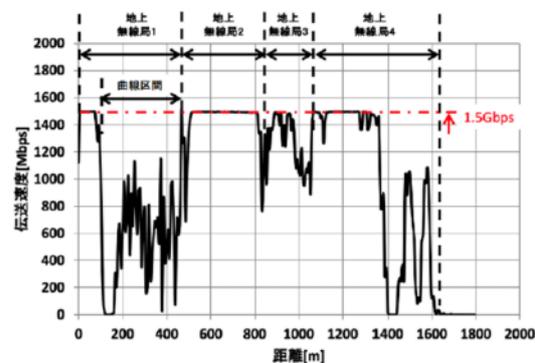


図6 新幹線通過時の伝送速度

3 政策効果の把握の手法

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。この観点に基づき、「電波利用料による研究開発等の評価に関する会合」（令和元年 8 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。

4 政策評価の観点・分析等

○研究開発による特許・論文・研究発表・国際標準の実績からの分析

研究開発による特許・論文・研究発表・国際標準の実績から、合計 140 件の論文発表及び合計 78 件の口頭発表に加え、合計 13 件の特許出願（無線システム切り替えに関する特許など）など、非常に多くの成果を挙げている。また、国際電気通信連合 無線通信連合（ITU-R）において提案帯域を利用する他業務との周波数共用、90GHz 帯の鉄道環境における電波伝播モデルを提案するなど活発に標準化活動にも貢献し、その提案内容のうちいくつかが勧告化された。以上より、本研究開発は特筆すべき成果を数多く上げており、その必要性、有効性等が認められた。

主な指標	平成 26 年度	平成 27 年度	平成 28 年度	平成 29 年度	平成 30 年度	合計
査読付き誌上発表論文数	0 件 (0 件)	5 件 (5 件)	4 件 (4 件)	4 件 (4 件)	4 件 (4 件)	17 件 (17 件)
査読付き口頭発表論文数 (印刷物を含む)	6 件 (6 件)	29 件 (29 件)	33 件 (33 件)	22 件 (22 件)	33 件 (24 件)	123 件 (114 件)
その他の誌上発表数	0 件 (0 件)	1 件 (1 件)	0 件 (0 件)	2 件 (0 件)	1 件 (0 件)	4 件 (1 件)
口頭発表数	11 件 (1 件)	16 件 (0 件)	10 件 (1 件)	17 件 (3 件)	24 件 (18 件)	78 件 (23 件)
特許出願数	0 件 (0 件)	11 件 (0 件)	0 件 (0 件)	2 件 (0 件)	0 件 (0 件)	13 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)	0 件 (0 件)
国際標準提案数	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)	4 件 (4 件)	5 件 (5 件)	3 件 (3 件)	12 件 (12 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)	0 件 (0 件)
受賞数	0 件 (0 件)	1 件 (0 件)	0 件 (0 件)	1 件 (1 件)	0 件 (0 件)	2 件 (0 件)
報道発表数	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)	1 件 (0 件)	1 件 (0 件)	4 件 (0 件)	6 件 (0 件)
報道掲載数	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)	1 件 (0 件)	1 件 (0 件)	6 件 (0 件)	8 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。

観点	分析
必要性	<p>現行の新幹線や、国内外で建設が進められている次世代高速鉄道はその移動速度が 500 km/h と大きく、また、1000 人程度の乗客が一列車に集中することから、公衆網を利用した既存の移動体通信システムでは、乗客が満足するユーザーあたりの回線速度を実現する事は困難な状態にある。スマートフォンやクラウド、エッジコンピューティングが社会基盤として益々重要性を増している中、長距離を長時間拘束されがちな高速鉄道移動中においても安定したブロードバンド環境の供給は必須であり、ブロードバンド接続環境から離れる事は様々な弊害を生みかねない。</p> <p>このような状況で、高速鉄道が一定の軌道の上を高速で移動するという点を利用し、軌道に沿って敷設した光ファイバ網と、指向性・広帯域性に優れたミリ波帯の電波資源を組み合わせる事により、高速移動体に適したブロードバンド接続手段を実現するための基盤技術を開発することは必要である。</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>本研究開発の実施体制にあたっては、ミリ波帯通信や鉄道システムに関する専門的知識や研究開発遂行能力を有する企業、研究機関等の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</p>

	<p>実施されている。</p> <p>また、研究開発の実施期間中も、無線システム、電波伝搬、鉄道システム等の専門家等で構成される外部有識者と受託者による研究開発運営委員会や、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の情報交換が積極的に行われた。</p> <p>経費執行の効率性については、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。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>本研究開発は、新幹線等の高速移動体におけるブロードバンド環境実現の需要に応えるものである。近年のクラウド化社会の進展によりブロードバンド通信が、「いつでも、どこでも」利用できることが社会生活の基本になりつつある。例えばセキュリティー向上の観点から多くのPCがシンクライアント方式、すなわちインターネットで繋がった先のサーバー画面を操作することにより安全性を高めている。このような状況の中、新幹線等の高速鉄道の車両内においてもより高速なブロードバンド環境の需要が高まっているが、現状では利用者は携帯電話等の商用回線を利用しており、通信速度の制約により利用が制限されるのが実情である。</p> <p>また、鉄道事業者側の観点からは、近年、車内監視の必要性が高まっており、各車両に数台の監視カメラが設置される様になっている。しかしながら現状では監視カメラ映像を地上設備にリアルタイムで送る手段として、無線によるバックホール回線の活用が期待されている。</p> <p>本研究開発成果となるミリ波バックホールシステムは、鉄道利用者の利便性と安全性の向上の視点からの需要に応えるものであり、国民生活の向上に寄与するものである。</p> <p>鉄道向けのミリ波通信システムは各国で開発が進んでいる。「造り込み」が必要な鉄道システムにおけるミリ波通信は世界的に見ても我が国が競争優位性を維持している分野である。我が国の「室の高い」インフラ技術を海外に展開していくことは国の基本政策としても取り組まれているところである。本技術を確立することによって、我が国が主導する海外向け鉄道システムの付加価値が向上すれば鉄道システム全体の海外展開にも有利に働くことになる。鉄道システム技術の中で競争優位性を示す大きな要素であるミリ波帯通信は日本の技術を積極的に海外展開していく際の優位技術として貢献が可能である。よって、本研究開発に有効性があったと認められる。</p>
公平性	<p>本研究の成果が社会実装されれば、高速鉄道におけるブロードバンド通信環境の向上や車両内の監視システムの強化につながり、これを利用する国民に利便性と安全性の向上をもたらすことから、広く国民の利益になるものである。</p> <p>本件は、携帯電話等に利用されているマイクロ波帯のひっ迫状況を緩和し、高い周波数への移を促進する技術の研究開発であるから、電波利用料財源で実施する研究開発として、公平性があったと認められる。更に未利用周波数帯への活用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利益となる。</p> <p>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>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>また研究開発の方向性については年間 3 回の運営委員会を実施し鉄道事業者及び大学等の有識者の意見も参考に随時修正を行いつつ実施した。</p>
優先性	<p>平成 25 年 6 月に閣議決定された世界最先端 IT 国家創造宣言において、「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」とされている。情報通信社会の今後の動向を見据えたとき、新幹線に代表される高速移動体に 1000 名以上の乗客が集中する環境でブロードバンド環境を実現することは世界最高水準の IT 社会を実現するためには必須の技術である。</p> <p>第 5 世代移動通信システム (5G) は超高速、多数接続を実現する技術であるが、高速鉄道に乗り合わせたユーザーと一般のユーザーに同時に高品質の無線接続環境を提供することは技術的にも経済的な観点からも困難性が高い。また、鉄道事業の保安通信として、監視映像等のデータ伝送でも使用も可能とするためには、高速鉄道に特化した専用の無線システム開発が必須となる。</p> <p>また、本研究開発は 5G で想定する周波数よりも高い周波数の利用技術を確立するものであり、周波数のひっ迫対策にも資することから、優先的に実施していく必要がある。</p>

5 政策評価の結果（総合評価）

本研究開発は、高速鉄道移動中でも安定したブロードバンド環境の供給するために、90GHz 帯のミリ波帯無線による高速移動用バックホール技術を確立し、移動速度 300km/h 以上の列車内に対し 1Gbps の伝送環境を実現することを目的として研究開発を実施したものである。

本研究開発において、高速移動用バックホール実現のための無線技術、高速移動用バックホール実現のための RoF 技術、高速鉄道環境でのシステム統合技術及び試験技術を開発し、実環境における実証実験及びシミュレーションを行うことで、目標を達成したことを確認した。

また、論文・口頭発表、特許出願や国際標準化に向けた活動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>

今後は、本研究会開発で確立した技術を発展させ、ミリ波通信と RoF 技術を活用した高速鉄道システム用の新しい無線通信システムを実用化するため、引き続き、各事業者において、更なる技術開発を進めていく。また技術開発と並行し、国際電気通信連合 ITU において、鉄道無線用として 92.0-109.5GHz の国際標準化活動も推進していく。更に鉄道・航空などインフラ向け電波システムとして国内外の共同研究機関と協力し実証実験や実用化に関しても積極的に推進していく。

6 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」（令和元年 8 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。

- ・所定の目標は達成できている。装置試作と列車での実験も行われており、技術の実証がなされている点は評価できる。特許申請は 13 件で予算規模や技術内容を勘案すると妥当だが、もう少し出せるのではないかと思う。ただし受託者らが先行的に出願した技術の実証という位置づけであれば問題ない。
- ・査読付き論文誌や国際会議等に 140 件の多数の論文を掲載しており、申請特許も 13 件あり、極めて優れた研究業績をあげている。
- ・実施体制は概ね妥当であったと判断できる。また、予算については、物品費や旅費、その他に該当する費用は効率的に運用できていると思われる一方各技術課題の研究分担者数が明示されていないため、人件費の運用における妥当性は判断しかねる。
- ・ITU-R、APT/AWG、APT/ASTAP において標準化提案を行っている。本研究開発で実証した基本技術の海外展開も推進予定であり、実用化が期待できる。

7 評価に使用した資料等

- 世界最先端 IT 国家創造宣言（平成 25 年 6 月 14 日閣議決定）
http://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/pdf/it_kokkasouzousengen.pdf
- 電波有効利用の促進に関する検討会報告書（平成 24 年 12 月）
http://www.soumu.go.jp/main_content/000193002.pdf
- 電波利用料による研究開発等の評価に関する会合 <電波利用料>
<https://www.tele.soumu.go.jp/j/sys/fees/purpose/kenkyu/index.htm>