

平成 29 年度事後事業評価書

ページ

1. 移動通信システムにおける三次元稠密セル構成及び階層セル構成技術の研究開発…………… 1
2. 超高精細度衛星・地上放送の周波数有効利用技術の研究開発…………… 11

平成 29 年度事後事業評価書

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

評価年月：平成 29 年 8 月

1 政策（研究開発名称）

移動通信システムにおける三次元稠密セル構成及び階層セル構成技術の研究開発

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 28 年度（4 か年）

・実施主体

民間企業

・総事業費

1, 592 百万円

平成 25 年度	平成 26 年度	平成 27 年度	平成 28 年度	総 額
569 百万円	376 百万円	317 百万円	330 百万円	1, 592 百万円

・概 要

スマートフォン等の高機能データ通信端末の普及により、近年では年率約 2 倍のペースで移動通信システム全体の通信量が急増しており、これらの増大する通信量を処理するための周波数利用率の向上が喫緊の課題となっている。既に移動通信システムに割り当てられている帯域内での周波数利用率を大幅に向上させるためには、セルを極小化し干渉を回避しつつ稠密に配置することが有効であるが、既存のマクロセル内に膨大な数の極小セルを稠密かつ三次元的に不規則に配置した際、極小セル間の干渉や既存のマクロセルとの間の干渉により周波数利用率は大幅に低下してしまう。そこで、基地局の連携等によってセル間の干渉抑圧を図ることにより、周波数利用率の高い三次元稠密セル構成及び階層化セル構成を確立するため、以下の技術を確立する。

技術の種類	技術の概要
①-1 異なる階層間干渉抑圧技術	マクロセル階層と極小セル階層の異なる階層間で同一周波数を利用する場合における干渉を抑圧させるため、それぞれのセルがネットワーク連携することにより異なる階層間での干渉を抑圧させるための技術。
①-2 同一階層内間の干渉抑圧技術	大都市部においては中高層ビル内の通信トラフィック対策のために、図 1 に示すように極小セルを立体的に配置した三次元空間セル構成が有効であるが、不規則かつ稠密に配置された極小セルにおいては、三次元方向からの干渉を考慮する必要があることから、ネットワーク技術を活用し基地局が連携して干渉を抑圧する技術。
②-1 端末の最適な階層選択技術	端末の移動速度に応じて異なる階層から最適な階層を選択するため、端末の移動速度に比例して変動する伝搬変動などから移動速度を高精度に検出し、最適な階層に割り当てる技術。
②-2 階層間ハンドオーバー制御技術	極小セル化を行うと、図 2 に示すように高速走行する移動局が短時間で複数のセルを移動することから、スムーズなハンドオーバーが困難となることから、携帯電話サービスの連続性を維持するために必要となるマクロセル層と極小セル層の階層間ハンドオーバーについて、移動速度に応じて極小セルへハンドオーバーさせずにマクロセル階層で通信を継続させるよう制御する技術。
③ ネットワーク連携制御技術	<ul style="list-style-type: none">一定範囲内の基地局を一つのグループにまとめたクラスタにより構成される複数の無線送信装置を、基地局装置により制御を行うことで、ネットワーク連携制御を実現する技術。基地局が密に設置されている都市部においてはクラスタ境界が数多く存在することから、動的にクラスタ構成を変更することによりネットワーク連携制御を実現する技術。

④階層化・稠密セル構成に対応した電波伝搬推定技術	階層化・稠密セル構成においては、マクロセルと極小セルの設置状況に応じて様々な組み合わせでの同一周波数干渉の推定が必要になることから、伝搬損失特性、伝搬遅延時間(時間)特性、電波到来角(空間)特性を同時に推定できる電波伝搬推定技術。
--------------------------	---

・研究開発概要図

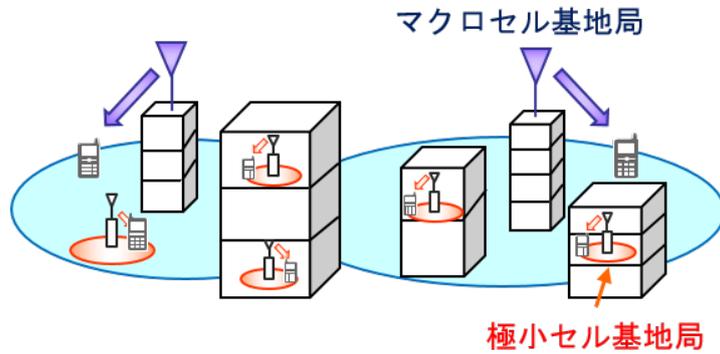


図1 三次元空間セル構成

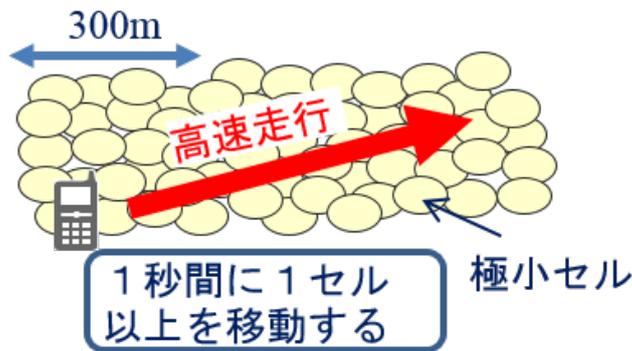


図2 極小セル構成の限界

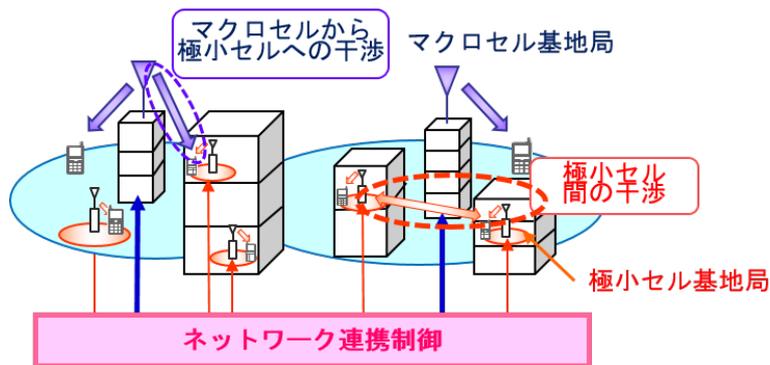


図3 ネットワーク連携干渉抑圧技術

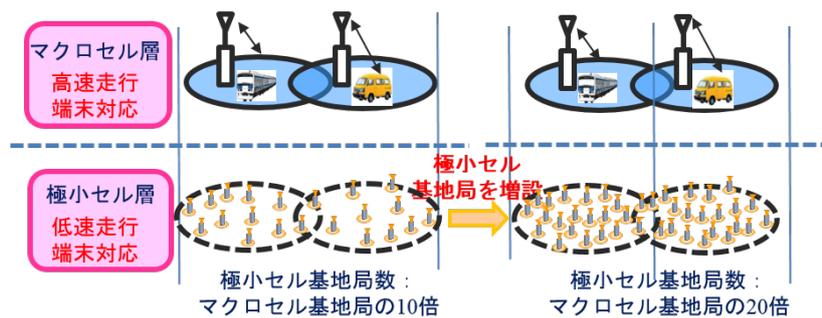


図 4 階層化・稠密セル構成

・スケジュール

各年度の成果又は実施内容を簡潔に記載すること。

技術の種類	平成 25 年度	平成 26 年度	平成 27 年度	平成 28 年度
①階層間・階層内の干渉抑圧技術 (①-1 及び①-2)	・NW 連携干渉実験システム構築	・基地局干渉抑圧機能開発	・試作装置開発・室内実験	・システム総合評価 ・フィールド実験
②階層間モビリティ制御技術 (②-1 及び②-2)	・NW 連携干渉実験システム構築	・極小セル基地局・移動局モビリティ制御機能開発	・移動局走行速度推定技術開発 ・階層間ハンドオーバー技術開発	・システム総合評価 ・フィールド実験
③ネットワーク連携制御技術	・NW 連携干渉実験システム構築	・極小セル基地局・移動局ネットワーク制御機能開発	・高精度時刻同期技術開発 ・階層化セル制御技術開発	・システム総合評価 ・フィールド実験
④電波伝搬推定技術	・電界強度測定環境構築	・階層化・稠密セル電波伝搬測定 ・レイトレース電波伝搬推定法開発	・三次元時空間電波伝搬特性推定法開発	・電波伝搬シミュレータ開発

(2) 達成目標

既存のマクロセルエリア内に膨大な数の極小セルを稠密かつ三次元的に不規則に配置した際、極小セル間の干渉や既存のマクロセルとの間の干渉により周波数利用率は大幅に低下する。このような環境下においては、各セルが独立かつ自律的に干渉を抑圧する手法では限界があることから、①異なる階層間の干渉抑圧技術、②同一階層内間の干渉抑圧技術、③端末の最適な階層選択技術、④階層間ハンドオーバー制御技術、⑤ネットワーク連携制御技術、⑥階層化・稠密セル構成に対応した電波伝搬推定技術を確立することにより、ネットワーク技術を活用し基地局が連携して干渉を抑圧するように制御を行う周波数利用率の高い三次元稠密セル構成及び階層セル構成技術を平成 28 年度までに確立し、高密度に極小セルが配置された環境下において周波数利用率を 3 倍以上に改善することにより、周波数の有効利用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 施策) 政策 13 「電波利用料財源による電波監視等の実施」

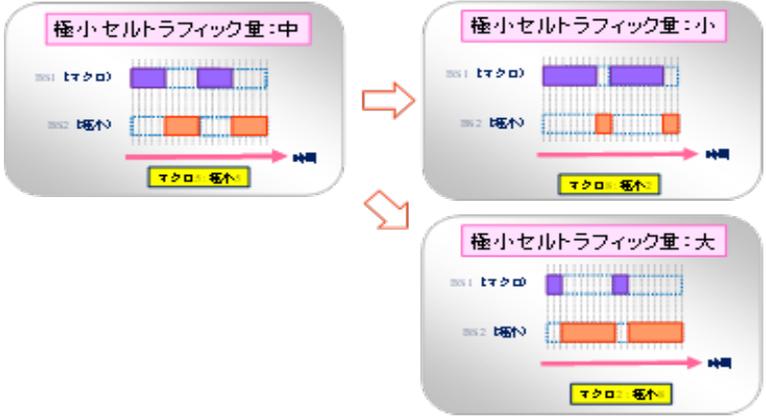
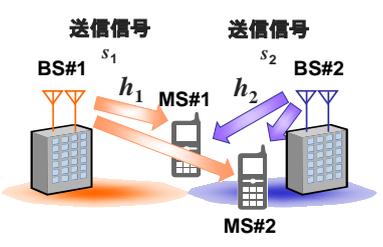
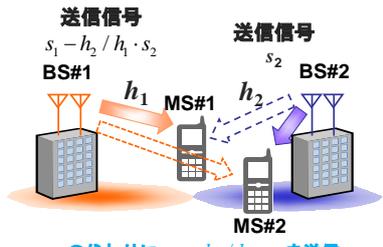
○ 政府の基本方針 (閣議決定等)、上位計画・全体計画等

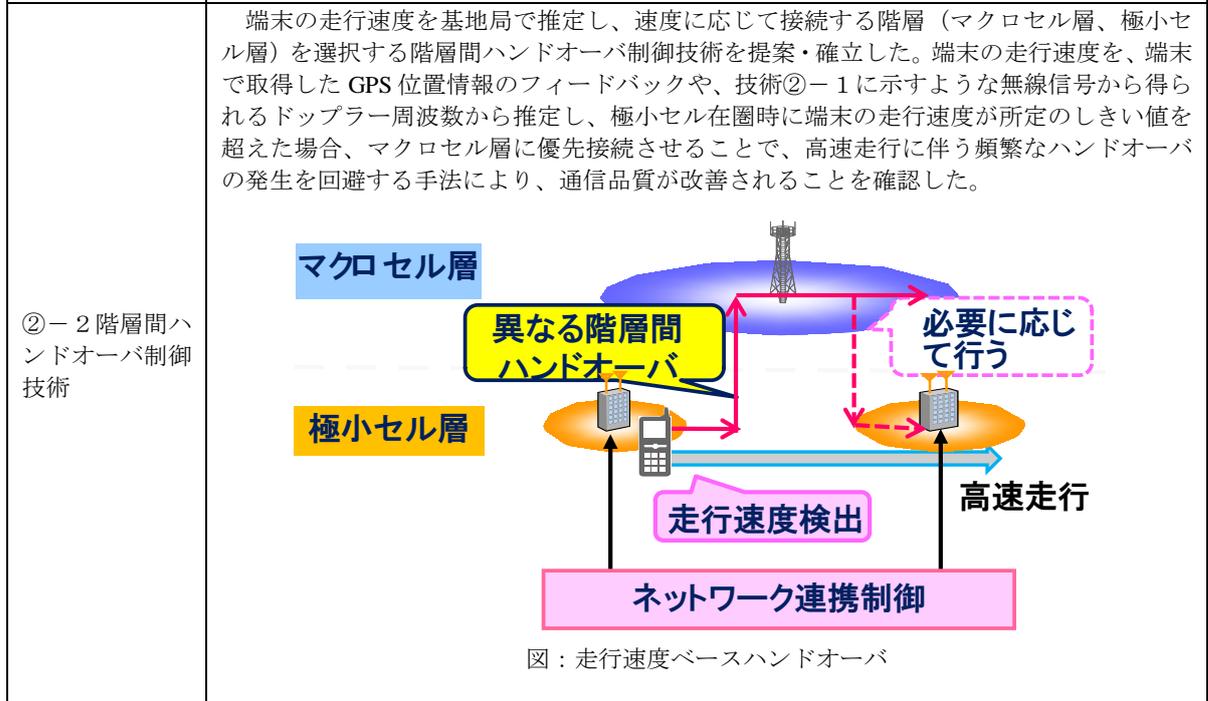
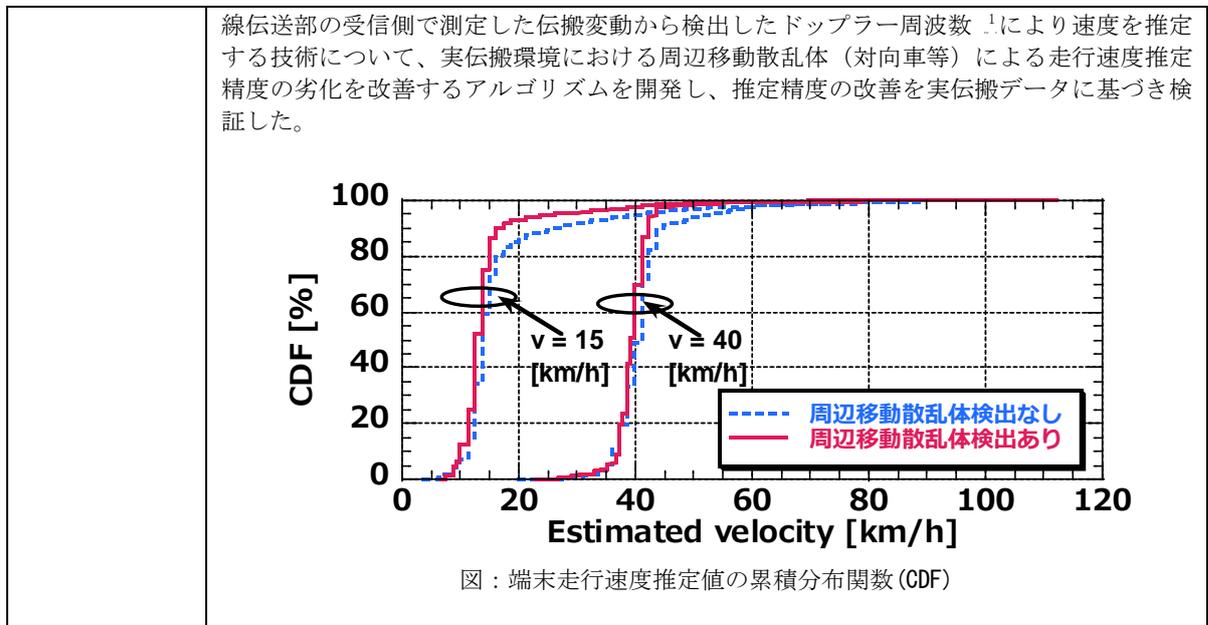
名称 (年月日)	記載内容 (抜粋)
世界最先端 IT 国家創造宣言 (平成 25 年 6 月 14 日 閣議決定)	「IV. 利活用の裾野拡大を推進するための基盤の強化 4. 研究開発の推進・研究開発成果との連携」において「世界最高水準の IT 社会を実現し、維持・発展させるために、情報通信社会の今後の動向を見据えた研究開発を推進する」旨の記載あり。

(3) 目標の達成状況

本研究開発においては、移動通信システムにおける三次元空間セル構成において、以下の技術を確立し、組み合わせることにより、周波数利用効率の高い三次元稠密セル構成及び階層セル構成技術を確立した。これにより、高密度に極小セルが配置された環境下における周波数利用率を 3 倍以

上に改善することを実現し、周波数の有効利用の一層の向上に寄与した。このことから、所期の目標を達成したといえる。

技術の種類	目標の達成状況
<p>①-1 異なる階層間干渉抑圧技術</p>	<p>階層化・稠密セル構成において、マクロセル層と極小セル層の異なる階層間のセル間干渉抑圧技術として、各階層がネットワーク連携して異なる時間のリソースを割り当てる方式を拡張し、トラフィックの時間変動に応じて最適な無線リソースを割り当てる方式を確立した。(下図)</p> <p>また、マクロセル基地局、極小セル基地局間の時刻同期を高精度に確立するため、マクロセル基地局の無線信号を利用して極小セル基地局で高精度に時刻同期を確立する技術(リスニング同期技術)の検討を行い、0.5μs以下の精度で高精度に同期を確立できる手法を確立した。</p>  <p>図：トラフィックに応じた最適な無線リソース割当</p>
<p>①-2 同一階層内間の干渉抑圧技術</p>	<p>同一階層内の干渉抑圧技術として、新たな隣接基地局間協調マルチユーザ MIMO (協調 MU-MIMO) 技術について検討を行い、基地局間での伝搬チャネル情報の共有が不要である簡易な送信ウェイト生成方式「送信干渉キャンセル法」を提案・確立した。同手法を用いることにより、従来法による端末(下図の(MS)#1)における基地局(下図の(BS)#2)からの干渉によるスループットの劣化を改善できることを確認した。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="475 1279 938 1843"> <p>送信干渉キャンセル法を適用しない場合</p>  <p>MS#1受信信号</p> $r_1 = h_1 \cdot s_1 + h_2 \cdot s_2$ <p>希望信号 (blue box) 干渉信号 (red box)</p> <p>干渉によりスループットが大きく低下</p> <p>(a) 従来法</p> </div> <div data-bbox="963 1279 1406 1843"> <p>送信干渉キャンセル法を適用する場合</p>  <p>MS#1受信信号</p> $r_1 = h_1 \cdot (s_1 - h_2 / h_1 \cdot s_2) + h_2 \cdot s_2$ $= h_1 \cdot s_1$ <p>希望信号 (blue box) 干渉信号が消える (red box)</p> <p>上記処理を各MSに対して実施することで干渉を抑圧しスループットを改善</p> <p>(b) 提案法</p> </div> </div> <p>図：提案法の基本概念</p>
<p>②-1 端末の最適な階層選択技術</p>	<p>本研究開発で提案する階層化・稠密セル構成における階層間モビリティ制御(端末の移動等)に応じた最適な無線リソースの割当て)を実現するために必須となる端末走行速度推定技術を確立した。特に、GPS機能が手動で無効化されている場合に有効な手段として、無</p>



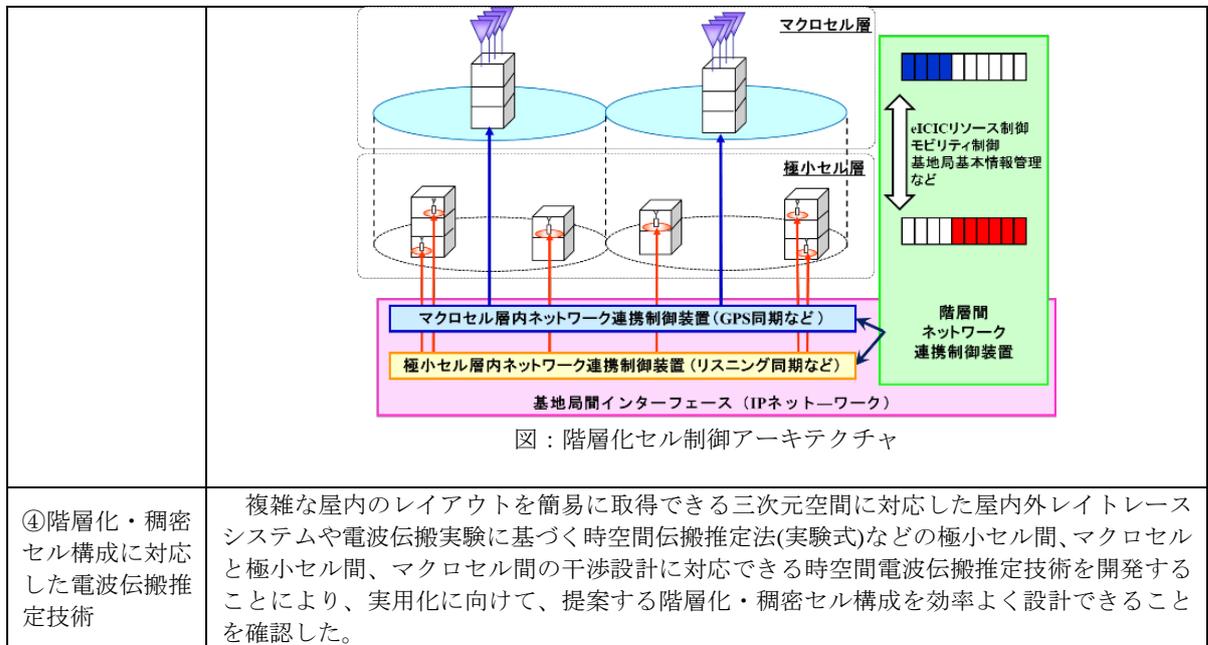
③ネットワーク連携制御技術

三次元・稠密セル構成において、ネットワーク連携時の膨大な制御処理を低減させるために、マクロセル層と極小セル層に分割して制御を行う階層化セル制御アーキテクチャを確立した。（下図）

このアーキテクチャの実現のため、階層内の連携制御を行う階層内ネットワーク連携制御装置と、階層間の連携制御を行う階層間ネットワーク連携制御装置を開発し、これらの装置に基地局間の同期を実現する高精度同期制御機能、マクロセル層と極小セル層で使用するリソースの割合を制御する階層間リソース制御機能、階層間ハンドオーバーにおけるハンドオーバー閾値を制御する階層間モビリティ制御機能を実装した。また、これらのネットワーク連携制御装置を用いて実証試験を行い、各ネットワーク連携制御装置からの指示で、基地局間同期、階層間リソース制御、階層間ハンドオーバー制御が正常に動作することを確認した。

また、1 台の集中基地局から多数の極小セルを制御するため、一本の光ファイバに数十アンテナ分の信号を高密度に多重化する（従来方式だと一本の光ファイバに1～2アンテナ分の多重化が主流）ことで、光ファイバの芯線数を削減する低コストな光張り出し方式を開発した。

¹ 電波の発生源と観測者との間の相対速度により、実際に発生した周波数と異なって観測される周波数のこと。



④階層化・稠密セル構成に対応した電波伝搬推定技術

複雑な屋内のレイアウトを簡易に取得できる三次元空間に対応した屋内外レイトレースシステムや電波伝搬実験に基づく時空間伝搬推定法(実験式)などの極小セル間、マクロセルと極小セル間、マクロセル間の干渉設計に対応できる時空間電波伝搬推定技術を開発することにより、実用化に向けて、提案する階層化・稠密セル構成を効率よく設計できることを確認した。

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」(平成 29 年 6 月 19 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 28 件の論文発表及び合計 109 件の口頭発表に加え、合計 30 件の三次元稠密セル構成及び階層セル構成における干渉抑圧方法、ハンドオーバー制御方法、基地局間の時間同期方法、ドップラースペクトルを用いた端末速度推定方法等に係る特許出願(うち特許取得 10 件)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) において三次元空間セル構成に対応できるような電波伝搬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 25 年度	平成 26 年度	平成 27 年度	平成 28 年度	合計
査読付き誌上発表論文数	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)	1 件 (0 件)	1 件 (0 件)
査読付き口頭発表論文数 (印刷物を含む)	4 件 (4 件)	8 件 (8 件)	8 件 (8 件)	7 件 (7 件)	27 件 (27 件)
その他の誌上発表数	0 件 (0 件)				
口頭発表数	24 件 (0 件)	34 件 (0 件)	31 件 (0 件)	20 件 (2 件)	109 件 (2 件)
特許出願数	3 件 (0 件)	5 件 (0 件)	15 件 (0 件)	7 件 (0 件)	30 件 (0 件)
特許取得数	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)	4 件 (0 件)	6 件 (0 件)	10 件 (0 件)
国際標準提案数	1 件 (1 件)	0 件 (0 件)	1 件 (1 件)	1 件 (1 件)	3 件 (3 件)
国際標準獲得数	1 件 (1 件)	0 件 (0 件)	1 件 (1 件)	1 件 (1 件)	2 件 (2 件)
受賞数	1 件 (0 件)	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)	1 件 (0 件)	2 件 (0 件)
報道発表数	2 件 (0 件)	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)	2 件 (0 件)
報道掲載数	2 件 (0 件)	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)	2 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	<p>スマートフォン等の高機能データ通信端末の普及により、近年では年率約2倍のペースで移動通信システム全体の通信量が急増しており、これらの増大する通信量を処理するための周波数利用率の向上が喫緊の課題となっている。既に移動通信システムに割り当てられている帯域内での周波数利用率を大幅に向上させるためには、セルを極小化し干渉を回避しつつ稠密に配置することが有効であるが、既存のマクロセル内に膨大な数の極小セルを稠密かつ三次元的に不規則に配置した際、極小セル間の干渉や既存のマクロセルとの間の干渉により周波数利用率は大幅に低下してしまう。</p> <p>本研究開発は、周波数利用効率の高い三次元稠密セル構成及び階層化セル構成技術を確認し、高密度に極小セルが配置された環境下における周波数利用率を従来と比較して3倍以上に改善することにより係る問題の解決に寄与するものであり、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>研究開発の実施体制については、移動通信システムについて実際にサービス提供を行っている実施主体により、技術課題の選定及び目標設定のもと実用化を見据えて適切に研究開発が実施されている。また、研究開発の実施期間中も、無線システム、電波伝搬、携帯電話事業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。</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、高精度な基地局間同期技術、ネットワーク連携制御技術、マクロセルと極小セル間のハンドオーバー制御技術などの要素技術を開発することにより、基地局が連携して干渉を抑圧するように制御を行う周波数利用効率の高い三次元稠密セル構成及び階層化セル構成技術を確認し、高密度に極小セルが配置された環境下において周波数利用率が3倍以上に改善されることをシミュレーションや実証実験を通じて確認することより、移動通信システムによる膨大な通信量を処理する効率的なセル構成の実用化に寄与した。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>本研究開発による周波数利用効率の高い三次元稠密セル構成及び階層化セル構成技術については、周波数の効率的な利用を一層向上させるとともに、移動通信システムの通信量の増大を支えることにより、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>また、支出先の選定に当たっては、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・選定をしている。</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>スマートフォンの普及や通信内容のリッチコンテンツ化等による移動通信システムのトラフィック増大は近年も続いており、今後、IoTの普及などによりますますその傾向が顕著になることが予想されることから、携帯電話など国民の生活に欠かせない基盤技術となった移動通信システムの周波数利用</p>

効率の向上については、喫緊に具体的な解決方策を検討すべき課題である。

加えて、「新たな情報通信技術戦略」（平成 22 年 5 月 IT 総合戦略本部決定）及びその工程表において、我が国が強みを有する技術分野として次世代ワイヤレス等の研究開発を推進していくとされており、また「新成長戦略」においても「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）」と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本研究開発は、優先的に実施していく必要がある。

よって、本研究開発には、優先性があつたと認められる。

5 政策評価の結果（総合評価）

本研究開発は、スマートフォン等の高機能データ通信端末の普及により増大する通信量への対策として、セルを極小化し干渉を回避しつつ三次元的かつ稠密に配置しつつも、周波数利用効率の高い三次元稠密セル構成及び階層化セル構成を確立するために実施したものである。

本研究開発において、高精度な基地局間同期技術、ネットワーク連携制御技術等を確立することで、高密度に極小セルが配置された環境下において基地局が連携して干渉を抑圧するように制御を行うことが可能となり、これにより周波数利用率が 3 倍以上に改善されたことから、目標を達成することができた。

また、実用化に向けてシミュレーションや試作装置による実証実験を行うことにより、実環境における動作確認や目標の達成状況を確認している。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>

本研究開発で確立した技術については、増大する無線トラフィックを収容するための効率的なセル構成を実現するために、周波数利用率を向上させる技術であることから、今後、本成果が十分活用されるように、その有効性を学術論文や国際会議等における口頭発表等を通じて広く啓蒙する。また、本研究開発を受けた応用開発として、LTE/LTE-Advanced 標準システムへの実装、機能検証を実施など、将来的に本研究開発成果が早期に実用化され、通信オペレータにより三次元空間セル構成が実際に広く適用されるよう取組を推進する。

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」（平成 29 年 6 月 19 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。

- ・事前に設定した達成目標については、ほぼ全ての技術項目について目標を達成していると判断できる。また、シミュレーションと実環境での走行試験の両面から目標に対する達成度を評価していることから、信頼できる成果が得られている。
- ・得られた成果から、予算は効率的に使用され、体制も十分であったと判断できる。
- ・対外発表や特許の取得も活発であり、成果が認められる。国際標準化活動も活発に行っており、ITU-R で研究成果の一部が標準化されている点は高く評価できる。
- ・現在の基地局ネットワークをベースにした検討であり、実用性は十分あると考えられ、商用サービスに向けて重要な技術基盤を確立したと判断できる。
- ・本研究開発により、周波数利用効率（スループット）が 3 倍以上に改善されることが検証されており、電波資源拡大のために有益であったと判断できる。

7 評価に使用した資料等

○世界最先端 IT 国家創造宣言・官民データ活用推進基本計画（平成 29 年 5 月 30 日閣議決定）
<http://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/kettei/pdf/20160520/siryoul.pdf>

○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

○電波利用料による研究開発等の評価に関する会合

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

○周波数再編アクションプラン（平成28年11月改定版）

http://www.soumu.go.jp/main_content/000449260.pdf

平成 29 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 29 年 8 月

1 政策（研究開発名称）

超高精細度衛星・地上放送の周波数有効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 26 年度～平成 28 年度（3 か年）

・実施主体

特殊法人

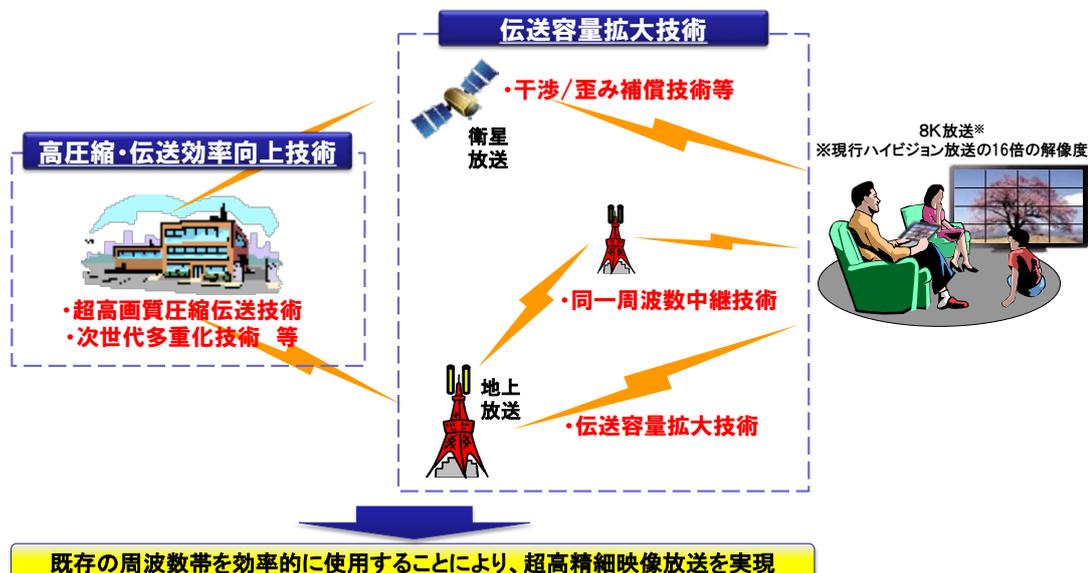
・総事業費

1, 121 百万円

平成 26 年度	平成 27 年度	平成 28 年度	総 額
336 百万円	395 百万円	390 百万円	1, 121 百万円

・概 要

現行のハイビジョン放送(2K)を大きく上回る伝送容量を必要とする、超高精細度映像(4K・8K)の放送に向けて、衛星・地上放送の更なる大容量化を進めるべく、伝送容量拡大技術や高圧縮・伝送効率向上技術等を確認し、周波数のより一層の有効利用を図るもの。



技術の種類	技術の概要
伝送容量拡大技術	<ul style="list-style-type: none"> 衛星放送に関する干渉／歪み補償技術 <p>大容量となる超高精細度映像の伝送を衛星デジタル放送により実現するため、衛星搭載中継器（増幅器、入出力フィルタ）で生じる振幅・位相歪みなどの非線形特性による放送信号の伝送性能劣化を抑制するとともに、高能率変調方式を適用した場合の受信信号を改善する衛星伝送歪み補償技術。</p>

	<ul style="list-style-type: none"> ・地上放送に関する伝送容量拡大技術 現行の地上デジタル放送に「偏波 MIMO 伝送技術」、「超多値 OFDM 技術」及び「次世代 SFN 技術」等により、限られた地上放送用周波数帯域において周波数利用効率を格段に高めるための、超高精細度地上放送システムの実現に必要な伝送基盤技術。
高圧縮・伝送効率向上技術	<ul style="list-style-type: none"> ・超高画質圧縮伝送技術 解像度の異なる複数の超高精細度映像（4K と 8K）を合わせて伝送する際に、伝送路の負担を極力軽減するための新たな高圧縮・伝送効率向上技術。 ・次世代多重化技術 大容量の超高精細度映像を、パケットの大型化や制御信号の最適化等により、効率よく伝送するための新たな多重化技術。

・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
伝送容量拡大技術	設計	試作・評価	改良・総合評価 総合試験
高圧縮・伝送効率向上技術	設計	試作・評価	改良・総合評価 総合試験

(2) 達成目標

超高精細度映像（4K・8K）の放送は、現行のハイビジョン放送（2K）を遥かに上回る伝送容量が必要であるため、衛星デジタル放送や地上デジタル放送により伝送するためには、高度な映像圧縮伝送による伝送帯域の大幅削減や、衛星放送帯域（12GHz 帯）や地上放送帯域（UHF 帯）において、更なる周波数利用効率のよい伝送方式の開発が求められる。

本研究開発は、より伝送効率の高い変調方式や干渉／歪み補償技術等を用いることで、伝送容量拡大技術を確立するとともに、将来限られた伝送容量内での超高精細度映像配信を目指した、高圧縮・伝送効率向上技術を確立することにより、衛星・地上放送の更なる大容量化等を図るとともに、周波数の有効利用の一層の向上に資する。さらに、これら技術を世界に先駆けて開発することにより、国際標準化を通じた我が国の国際競争力強化に資する。

○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」

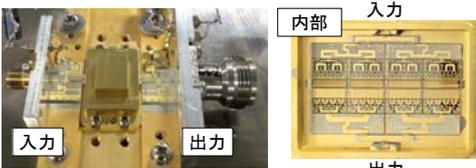
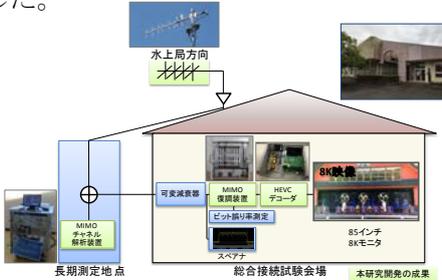
○政府の基本方針（閣議決定等）、上位計画・全体計画等

名称（年月日）	記載内容（抜粋）
4K・8K ロードマップに関するフォローアップ会合 第二次中間報告（平成27年7月30日）	5-(6) 地上放送に関する取り組み 『地上放送における 4K・8K の実現には、技術やコスト等の解決すべき課題は多い。このため、より効率的な伝送を実現すべく、速やかに総合的な研究開発の取り組みを進めて、その上で、技術的な可能性を検証するために、都市部における地上波によるパブリックビューイング向けなどの伝送実験等を検討する。』
電波政策ビジョン懇談会最終報告書（平成26年12月26日）	2-③ 超高精細度テレビジョン放送等の実現 『超高精細度テレビジョン放送のための素材伝送の進展や、東京オリンピック・パラリンピック等に向けた対応状況等も踏まえながら圧縮伝送技術を開発するなど、周波数の有効利用を図ることが必要である。』

世界最先端 IT 国家創造宣言（平成 25 年 6 月 14 日）	Ⅲ-1-(5)次世代放送サービスの実現による映像産業分野の新事業創出、国際競争力の強化 『8K に対応した放送については 2016 年に、衛星放送等における放送開始を目指す。』 『2020 年には、市販のテレビで 4K・8K 放送やスマートテレビに対応したサービスを受けられる環境を整備する。』
-----------------------------------	--

(3) 目標の達成状況

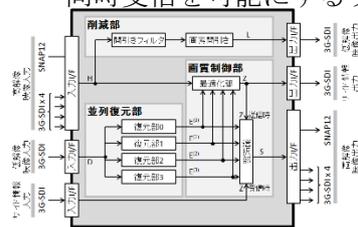
本研究開発においては、以下の技術を確立し、衛星・地上放送の更なる大容量化等の実現を図り、周波数の有効利用の一層の向上に寄与した。このことから、所期の目標を達成したといえる。

技術の種類	目標の達成状況
伝送容量 拡大技術	<p>【衛星放送に関する干渉／歪み補償技術】</p> <p>① 12GHz 帯放送衛星への搭載を想定した高出力固体増幅器の開発</p> <ul style="list-style-type: none"> ゲート長を $0.15\mu\text{m}$ に短縮した GaN トランジスタを用いた 12GHz 帯高出力増幅器を開発し、出力 120W（効率 31%）を達成。 <p>② 衛星中継器の逆特性を利用した適応等化器の開発</p> <ul style="list-style-type: none"> IMUX/OMUX¹逆特性フィルタ部及び TWTA²逆特性振幅・位相調整部で構成した適応等化器を開発し、提案型適応等化器を搭載した受信機を試作。16APSK について改善量を評価し、従来型等化器よりも 0.3dB の改善を達成。 <p>③ 高線形性増幅器を用いた 16APSK の伝送特性評価</p> <ul style="list-style-type: none"> 試作した高出力増幅器にドライバンプ及びリニアライザを追加して、高線形性増幅器を構成し、16APSK の伝送特性を評価。従来の衛星放送で使用されている進行波管(TWT)に比べ、所要 C/N と出力バックオフの合計値で 1.1dB の改善を達成。 <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>内部 入力 出力</p> <p>試作した高出力固体増幅器</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>試作した受信機</p> </div> </div> <p>【地上放送に関する伝送容量拡大技術】</p> <p>① 次世代 SFN³技術に対応した偏波 MIMO⁴-超多値 OFDM⁵ 変復調装置の開発</p> <ul style="list-style-type: none"> 現行の地上デジタル放送とほぼ同一の所要 C/N となる条件下（256QAM, LDPC 符号化率 2/3）で、SFN 環境においても、46.88Mbps 以上の伝送容量を確保し、現行の地上デジタル放送（64QAM, 畳込み符号化率 3/4 で 18.25Mbps）の 2 倍を超える伝送効率を達成。 実験試験局を用いて、伝搬距離が中・長距離（数 km～数十 km 程度）となる SFN 環境下における伝送特性の測定・評価を実施し、偏波 MIMO-超多値 OFDM 伝送技術と次世代 SFN 技術を確立することで、SFN 環境下においても、8K 映像が安定して伝送可能なことを確認した。 <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>(a) 外観 (b) 装置内部</p> <p>次世代 SFN 技術対応の復調装置</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>水上局方向 MIMO 変復調装置 HEVC デコーダ ビット誤り率測定 8K 映像 8K エンチ 8K デコーダ スベアテ 長期測定地点 総合接続試験会場 本研究開発の成果</p> <p>総合接続試験の実験システム</p> </div> </div>

1 入力多重装置（Input-Multiplexer）、出力多重装置（Output-Multiplexer）
 2 進行波管増幅器（Traveling Wave Tube Amplifier）
 3 同一周波数ネットワーク（Single Frequency Network）
 4 水平・垂直の両偏波による複数波入出力技術（Multiple-Input and Multiple-Output）
 5 直交周波数分割多重技術（Orthogonal Frequency Division Multiplexing）

【超高画質圧縮伝送技術】

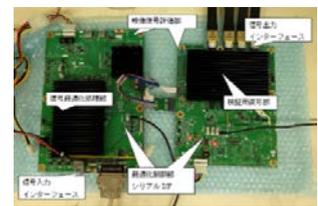
- ① 最適化超解像予測処理装置、サイド情報符号化装置および映像復号評価装置の開発
- 限られた伝送帯域で超高精細度映像の伝送を可能にする手法理論として、解像度削減、超解像復元及び最適化に基づく手法を確立し、各種パラメータ設定の最適化をリアルタイムで制御する機能改善を行い、最適化超解像予測処理装置を開発した。
 - 最適な超解像モードをサイド情報として伝送する際のデータ量削減のため、サイド情報符号化装置を開発し、約 60%のデータ圧縮を可能とした。
 - HEVC⁶方式による符号化信号の評価のため、映像復号評価部、復号最適化処理部、検証用復号部及び最適化制御部により構成した、映像復号評価装置を開発した。
 - 上述の装置を用いて、機能検証、性能評価を実施した結果、伝送路符号化・変調方式による効率向上と合わせて、現行の衛星・地上デジタル放送方式の4倍超の伝送効率向上技術を確立するとともに、4K映像伝送帯域で8K・4K同時受信を可能にするリアルタイム符号化技術を確立した。



超解像予測処理装置の構成



超解像予測処理装置

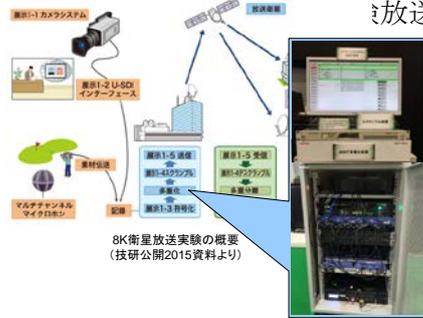


映像復号評価装置

高圧縮・伝送効率向上技術

【次世代多重化技術】

- ① 伝送効率の高い運用仕様の開発
- IP上での映像・音声を多重する方式であるMMT⁷を放送伝送路へ適用するための要件を確立し、パケットの大型化によりパケットヘッダを現行の1割程度に削減できた他、伝送路容量の99%以上を実データの伝送に用いることが確認された。
 - この伝送効率の高い運用仕様については、ITU-R SG6⁸に新勧告案として提案し、2015年6月に、MMT技術を用いた放送システムに関する勧告ITU-R BT.2074として発行された。
- ② MMT対応多重化装置・多重分離装置等の開発
- 作成した伝送効率の高い運用仕様に基づき、MMT対応多重化装置と、多重分離装置及びリアルタイムデコーダを開発。
 - 当該装置を用いて、8K衛星伝送実験を行い、機能検証、性能評価を実施した結果、パケット損失もなく正常に受信・再生ができることを確認した。
 - また、本件で開発したMMTによる多重化技術は、高度広帯域衛星放送に採用が開始された。



8K衛星伝送実験の概要



高度広帯域衛星放送の試験放送

6 高効率映像圧縮符号化技術 (High Efficiency Video Coding)
 7 多様な伝送路に対応したメディア伝送方式 (MPEG Media Transport)
 8 国際電気通信連合無線通信部門 (ITU-R) 第6研究委員会 (SG6: 放送業務)

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」（平成 29 年 6 月 19 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・国際標準の実績については、下表に示すとおり。特に、国際標準化について、衛星放送伝送方式に関しては、ITU-R SG4 WP4B 会合において、超高精細度テレビジョン放送の衛星伝送方式に関する新勧告 (B0. 2098) が承認・発行された他、次世代多重化技術に関しては、ITU-R SG6 WP6B⁹会合や ISO/IEC¹⁰の関連会合において、MMT を用いた多重化に係る運用仕様をまとめた新勧告（それぞれ BT. 2074、ISO/IEC TR 23008-13）が承認・発行されるなど、当初目標を達成できており、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 26 年度	平成 27 年度	平成 28 年度	合計
査読付き誌上発表論文数	0 件 (0 件)	1 件 (1 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)	2 件 (2 件)	5 件 (4 件)	6 件 (6 件)	13 件 (12 件)
その他の誌上発表数	7 件 (0 件)	7 件 (0 件)	5 件 (1 件)	19 件 (1 件)
口頭発表数	14 件 (6 件)	16 件 (0 件)	8 件 (1 件)	38 件 (7 件)
特許出願数	3 件 (0 件)	7 件 (0 件)	2 件 (0 件)	12 件 (0 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	10 件 (10 件)	5 件 (5 件)	7 件 (7 件)	22 件 (22 件)
国際標準獲得数	2 件 (2 件)	2 件 (2 件)	5 件 (5 件)	5 件 (5 件)
受賞数	1 件 (0 件)	3 件 (1 件)	3 件 (3 件)	7 件 (4 件)
報道発表数	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)

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。

⁹ 国際電気通信連合無線通信部門 (ITU-R) 第 6 研究委員会 (SG6：放送業務) の作業部会 (WP6B：放送サービスの構成及びアクセス)

¹⁰ 国際標準化機構 (International Organization for Standardization) と国際電気標準会議 (International Electrotechnical Commission)

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>通信・放送サービスを取り巻く環境が大きく変化している中、超高精細度映像による新たな放送に対するニーズが高まっており、世界最先端 IT 国家創造宣言（平成 25 年 6 月 14 日決定）においても、次世代放送サービスの実現による映像産業分野の新事業創出、国際競争力の強化として、『8K に対応した放送については 2016 年に、衛星放送等における放送開始を目指す。』や『2020 年には、市販のテレビで 4K・8K 放送やスマートテレビに対応したサービスを受けられる環境を整備する。』ことが求められている。</p> <p>超高精細度映像の放送は、現行のハイビジョン放送を遥かに上回る伝送容量が必要であるため、衛星デジタル放送や地上デジタル放送により伝送するためには、高度な映像圧縮伝送による伝送路帯域の大幅削減や、衛星放送帯域（12GHz 帯）や地上放送帯域（UHF 帯）においてさらに周波数利用効率のよい伝送方式の開発が求められおり、これらの技術開発によって、現在割り当てられている衛星放送や地上放送の周波数帯域を拡大することなく、超高精細度映像を用いた新たな放送サービスを実現するための伝送基盤技術を早期に確立し、より一層の電波の有効利用を行う必要があったもの。</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、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他、外部の有識者から構成される本研究開発の運営委員会や、外部有識者による継続評価会において、研究開発の進捗状況の確認や今後の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>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、伝送容量を拡大する技術として、伝送効率の高い変調方式や干渉／歪み補償技術、時空間符号化を応用した次世代 SFN 技術等を確立した他、高圧縮・伝送効率向上技術として、従来の映像圧縮伝送技術よりも更に伝送効率を高めた新たな高圧縮・伝送効率向上技術や、IP パケットを用いた MMT による多重伝送方式を確立することで、限られた伝送容量内での超高精細度映像の伝送を可能とし、周波数の有効利用に資することができた。</p> <p>また、本研究開発の成果の一部は、国際標準化機関における勧告に反映されるなど、我が国の国際競争力強化に大きく貢献した。</p> <p>さらに、本研究開発で開発した 16APSK 等の多値変調やロールオフ率低減による衛星放送の伝送容量拡大技術や MMT による多重化技術については、高度広帯域衛星デジタル放送（衛星 4K・8K 放送）の伝送技術、多重化技術に採用され、2016 年 8 月には試験放送が開始された他、これに関連し、当該放送を受信するための受信機や、STB を開発するために必要となる MMT 解析装置や MMT 記録・再生装置が複数のメーカーから販売されるなど、社会的・経済的効果があった。</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>本研究開発の成果は、衛星及び地上放送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、成果の一部は、2018 年 12 月から実用放送が開始される高度広帯域衛星デジタル放送（衛星 4K・8K 放送）で活用されるなど、新たな放送サービスに対する国民のニーズに応える形となっており、広く国民の利益にも繋がっていると考えられる。</p>

	<p>なお、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・選定を行ったものである。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、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、かつ、諸外国においても、例えば韓国では、地上波による4K放送を目指した実証試験が実施され、また、米国では次世代放送の技術標準であるATSC3.0の検討が進められるなど、放送の高画質化に向けた取り組みが世界的に進展している状況であり、我が国においても超高精細度映像伝送を行う次世代放送サービスの実現に向けて、早期に研究開発に取り組む必要があったところ。</p> <p>世界最先端IT国家創造宣言（平成25年6月14日決定）においても、次世代放送サービスの実現による映像産業分野の新事業創出、国際競争力の強化として、『8Kに対応した放送については2016年に、衛星放送等における放送開始を目指す。』や『2020年には、市販のテレビで4K・8K放送やスマートテレビに対応したサービスを受けられる環境を整備する。』と記載されており、国策として次世代放送サービスの実現に向けた研究開発を優先的に着手する必要があったもの。</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>

5 政策評価の結果（総合評価）

本研究開発では、伝送効率の高い変調方式や干渉／歪み補償技術等を開発し、伝送容量拡大を可能とする要素技術を確立するとともに、超解像予測処理技術やMMTを用いた多重化技術等を開発し、超高精細度映像の高圧縮化技術及び伝送効率向上技術を確立することにより、衛星デジタル放送や地上デジタル放送による、超高精細度映像の伝送を実現し、周波数の一層の有効利用に資することができた。特に、本研究開発で開発した衛星放送の伝送容量拡大技術、MMTを用いた多重化技術については、国際標準化を獲得するとともに、2018年12月から実用放送が開始される高度広帯域衛星デジタル放送に採用され、2016年8月には試験放送が開始されるなど、世界最先端IT国家創造宣言（平成25年6月14日決定）に記載された、『8Kに対応した放送について2016年に衛星放送による放送開始』という国策としての目標達成にも大きく貢献した。

また、多くの論文の発表、特許の出願、国際標準化に係る活動なども着実に実施され、当初目標を十分に達成しており、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>

地上放送に関する取り組みとして、4K・8Kロードマップに関するフォローアップ会合第二次中間報告（平成27年7月 総務省）において、『地上放送における4K・8Kの実現には技術やコスト等の解決すべき課題は多い。このため、より効率的な伝送を実現するべく、速やかに総合的な研究開発の取組を進めて、その上で、技術的な可能性を検証するために、都市部における地上波によるパブリックビューイング向けなどの伝送実験等を検討することが考えられる。』と提言されたことを踏まえ、本研究開発の成果も活用しながら、引き続き総合的な研究開発の取組を進めていく必要がある。

具体的には、現行の地上テレビジョン放送の特徴（移動体受信や中継局ネットワークによる放送エリア拡大）を継承したまま、現行の約4倍の伝送効率向上を可能とする技術について、本研究開発の成果も活用しながら、平成28年度以降も引き続き研究開発に取り組んでいく。（平成28年度から、地上テレビジョン放送の高度化技術に関する研究開発を実施中。）

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」（平成29年6月19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。

- ・目標の達成度については、計画に沿って目標を達成している。対外発表数や、標準化への取組なども十分な成果を挙げている。
- ・実施体制については、受託者だけでなく、有識者による運営委員会も構成されており妥当である。
- ・経済的効率性については、得られた成果は予算に対して適切なものと考えられる。
- ・総合的に見ても大変有益であったと考えられる。

7 評価に使用した資料等

- 4K・8K ロードマップに関するフォローアップ会合 第二次中間報告（平成 27 年 7 月 30 日）
http://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01ryutsu11_02000058.html
- 電波政策ビジョン懇談会最終報告書（平成 26 年 12 月 26 日）
http://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban09_02000151.html
- 世界最先端 IT 国家創造宣言（平成 25 年 6 月 14 日）
http://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/pdf/it_kokkasouzousengen.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>
<http://www.tele.soumu.go.jp/j/sys/fees/purpose/kenkyu/index.htm>