

次世代移動通信システムの導入に向けた 周波数共有技術に関する基本検討結果

3～4GHz帯へのIMT-Advancedシステム導入に向けて、周波数有効利用に資するための周波数共有技術に関する技術的調査を行うため、総務省技術試験事務として「次世代移動通信システムの周波数共有技術」に関する調査検討会が設置された。ドコモは、2006年度から2009年度にかけて、この調査検討会に参加し、干渉検討用伝搬モデルや干渉緩和技術による効果の検証などを通して積極的に貢献を行ってきた。

先進技術研究所

ふじい ひろまさ あさい たかひろ
藤井 啓正 浅井 孝浩おくむら ゆきひこ
奥村 幸彦

無線アクセス開発部

さが え ゆうた
寒河江 佑太

1. まえがき

ドコモでは、ブロードバンド移動通信の実現に向けて第4世代移動通信システムであるIMT (International Mobile Telecommunications) - Advancedの研究開発を進めている。効率的なブロードバンド移動通信の実現にあたっては、高度な無線通信技術に加え、連続した広い周波数帯域を利用することが必要となる。ITU (International Telecommunication Union) の2007年世界無線通信会議 (WRC-07: World Radiocommunication Conference-2007)^{*1}においても、ブロードバンド移動通信の必要性が認められ、IMT (第3世代および第4世代移動通信システム) に使用する新たな周波数として、計

428MHz幅が確保された[1]。これを受けて、各国においてIMTで使用する周波数の検討が進められている。

これらの新たな周波数帯の中で、ブロードバンド移動通信に適した3GHz帯以上の周波数帯については、3.4～3.6GHz (200MHz幅)の帯域がIMT周波数として割り当てられた。さらに日本や欧州では、IMT-Advancedを含むブロードバンド移動通信の周波数として、3.6GHz以上の周波数帯の使用も検討されている[2][3]。しかしながら、これらの周波数帯域では、世界的に固定衛星通信業務 (FSS: Fixed Satellite Service) として衛星通信システムが運用されているため、IMT-Advancedの導入にあたっては、これらの既存システムとの周波数共有技術の確

立が特に重要となる。そのためには、既存システムの保護を前提としつつ、IMT-Advancedの通信エリアや通信速度の十分な確保を行うことが重要な課題である。

このような背景の下、総務省の技術試験事務^{*2}として、「次世代移動通信システムの周波数共有技術」に関する調査検討会が行われ、IMT-Advancedと既存業務との周波数共有についての技術的調査が行われた。

ドコモは、周波数利用効率^{*3}の高いIMT-Advancedの導入を早期かつ円滑に行うことを目指して、この調査検討会への積極的な貢献を行ってきた[4][5]。前回本誌に掲載した記事[4]では、本調査検討の背景や、検討開始後2年間の検討に基づく最終年度に向けた検討方針について

*1 世界無線通信会議 (WRC) : 各周波数帯の利用方法、衛星軌道の利用方法、無線局の運用に関する各種規定、技術基準などをはじめとする国際的な電波秩序を規律する無線通信規則の改正を行うための会議で、各国主管庁およびITUに登録している事業者などの関係団体が出席し、通常3～4年ごとに開催される。

*2 技術試験事務: 電波を有効に利用できる実現性の高い技術について技術的検討を行い、その技術の早期導入を図ることを目的として、総務省により実施されている施策。

*3 周波数利用率: 単位時間、単位周波数当りで伝送できる情報ビット数。

報告した。

本稿では、その後の周波数共用技術に関するドコモの取組みを中心に、4年にわたる調査検討会での検討により得られた主な結果について概説する。なお、本検討は、調査検討会の構成員であるパナソニックモバイルコミュニケーションズ株式会社とともに推進した。

2. 次世代移動通信システムの周波数共用技術に関する調査検討

「次世代移動通信システムの周波数共用技術」に関する調査検討会は、2006年度から2009年度までの4年にわたり設置され、ドコモを含む移動通信事業者、衛星通信事業者、国内外の主要メーカなどが構成員として参加し、次世代移動通信システムの周波数共用技術に関するさまざまな角度からの調査検討が行われた。

本調査検討会は、主にマイクロ波帯（3～4GHz帯）の周波数有効利用に資するため、次世代移動通信システムの周波数共用技術についての調査検討を通して、我が国における次世代移動通信システムの技術基準の策定に寄与することを目的としている。

具体的には、IMT-Advancedの導入が検討されている周波数帯（3～4GHz帯）に対して、主に次の検討が行われた。

- ・システム共用検討のための伝搬モデルの検証
- ・既存システムの受信性能調査

- ・周波数共用技術の実現可能性に関する検証

3. システム間干渉検討用伝搬モデルITU-R 勧告 P.452の検証

ITU-R (Radiocommunication sector) *4 勧告 P.452には、システム間の共用にかかわる干渉計算用の伝搬モデルが規定されている[6]。

本検討では、この伝搬モデルを、IMT-AdvancedとFSSの周波数共用検討に用いることの妥当性を明らかにするため、干渉計算を行ううえで影響が大きい、異常伝搬発生確率およびクラッタ損失に着目し、モデルの検証を行った[7]～[10]。

3.1 異常伝搬発生確率の検証

夜間冷却などにより、地表付近とその上空の空気に温度の逆転層が形成されることに起因するダクト効果のように、電波が通常よりも遠くまで伝搬する現象が発生する確率について、実験により検証を行った。この現象は、伝搬損失の推定値を小さくする伝搬損失推定における重要な要素であり、本検討では、勧告 P.452により算出される推定値の妥当性を確認するため、その指標の1つとなる異常伝搬発生確率を実験により確認する。

本実験では、東京都武蔵野市と神奈川県横須賀市に送受信機を設置し、1年以上にわたり伝搬状況を観測した。

測定された伝搬減衰量 (PL_{MES}) が見通し伝搬での減衰量 (PL_{FSL}) を下回る累積確率（時間率）を評価した結果を図1に示す。結果から、実験結果と勧告 P.452で規定されている推定方法により算出した値が、よく一致していることが確認できた。

3.2 クラッタ損失の妥当性の検証

クラッタとは、送受信装置の周囲に存在し、送受信機間の伝搬に対して大きな影響を与える地物（建物や地形変動）を指す。

クラッタ損失の勧告 P.452における算出方法において、都市部を想定して規定されているクラッタパラメータの妥当性について検証を行い、発展を続ける都市構造に対して、既存の算出方法のパラメータセットでは、想定される平均建物高が十分ではないことを明らかにした。この検証結果に基づき、2009年6月に開催されたITU-R SG3 (Study Group 3) WP3M (Working Party 3M) *5 会合において、都市部中心などのエリアに使用するクラッタパラメータなどの新しいパラメータセットの追加提案を行った[7]。本提案は承認され、勧告 P.452の第14版に反映された。

さらに、現状の算出方法では考慮されていない、周波数特性および干渉確率を考慮した算出方法についても提案を行った[10]。今後は、この算出方法が勧告 P.452の改訂版に盛り込まれるように提案を行っていく

*4 ITU-R：電気通信分野における国際連合の専門機関である国際電気通信連合 (ITU) の無線通信部門で、無線通信に関する国際的規則である無線通信規則の改正に必要な検討、無線通信の技術・運用などの問題の研究、勧告の作成および周波数の割当て・登録などを行う機関。

*5 ITU-R SG3 WP3M：ITU-Rにおいて、電波伝搬を取り扱う第3研究委員会 (SG3) の傘下に設置されている、ポイント・ポイント伝搬および地上・宇宙間伝搬を専門に扱う作業部会 (WP3M)。

予定である。

4. 周波数共用技術適用のためのシステム調査

周波数共用条件および共用技術の検討を行ううえでは、IMT-Advancedと衛星システムとの間に必要なガードバンド^{*6}幅の決定などにおいて、共用対象となるシステムの受信装置特性を把握することが必要である。

そこで、これらの点に関して、共用が想定される衛星通信システムのFSS受信機で使用される市販のLNB (Low Noise Block converter)^{*7}/LNA (Low Noise Amplifier)^{*8}を用いた実験(図2)を基に、AM (Amplitude Modulation) -AM特性^{*9}およびAM-PM (Phase Modulation)特性^{*10}について、LNB/LNAに適したモデルを提案した[11][12]。

また、AM-PM特性の評価には、測定系全体が安定した周波数により動作している必要がある。しかし、LNBは周波数変換機能をもつ機器であり、かつ内蔵されている局部発振器の周波数維持性能は必ずしも安定していない。そこで、このような状況においても、精度よく測定が可能な方法を提案した[11]。

さらに、市販のLNBに関する帯域外歪み特性に関して、モデルにより推定された形状と実験により得られた結果がよく一致していることが分かり、提案したモデルおよびモデルを用いた評価の妥当性が確認できる(図3) [13]。さらに、AM-

AM特性とAM-PM特性各々の影響の評価を行い、歪み発生の要因としてはAM-AM特性が支配的であるが、正確に推定を行うには、AM-PM特性の考慮も必要になる場合があることを示した[14]。

5. 周波数共用技術の検証

ITU-R 報告M.2109[15]において、IMT-AdvancedとFSSとの共用検討について報告されている周波数共

用時に有効とされる3つの干渉緩和技術(MIMO: Multiple Input Multiple Output^{*11}, Sector Disabling (一部セクタ停波), DSA: Dynamic Spectrum Access/Allocation (動的周波数制御))が報告されている。本検討では、これらの技術について屋外実験検証を含めた検討を行い、干渉抑圧効果などを明らかにした。そして、これらの検証結果の一部は、2010年6月に開催されたITU-R SG5 WP5D^{*12}会合へ入力を行い[16]、

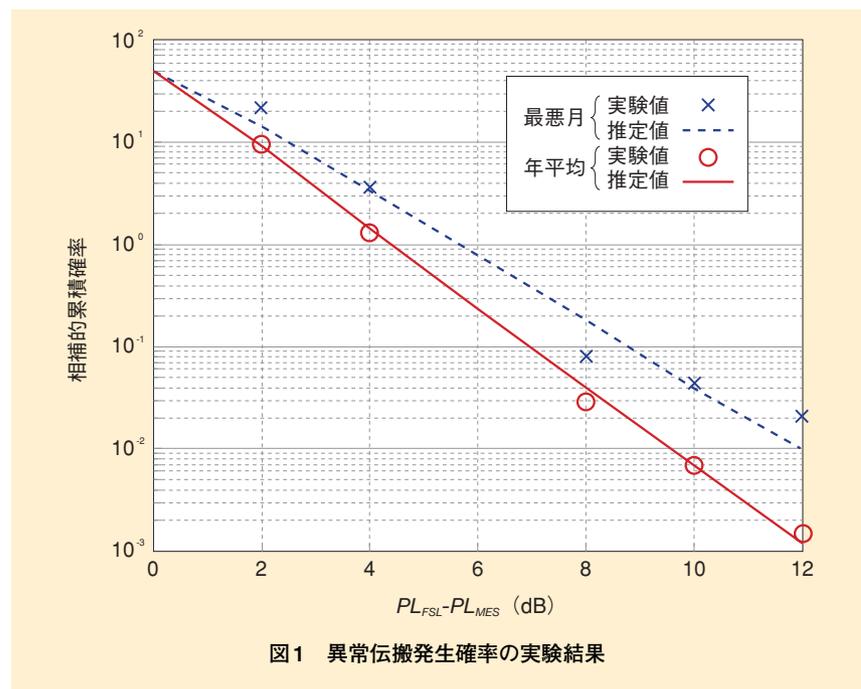


図1 異常伝搬発生確率の実験結果

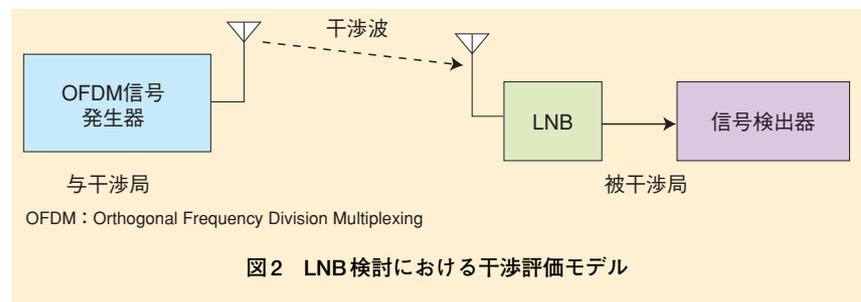


図2 LNB検討における干渉評価モデル

*6 **ガードバンド**: システム間の電波干渉を防ぐため、システムごとに割り当てられる周波数帯域間に設けられる帯域。
 *7 **LNB**: 周波数変換機能を併せもつLNA (*8参照)。
 *8 **LNA**: アンテナで受信された信号を初めに増幅する装置。増幅時に加えられる雑音レベルが低く、微弱な受信信号でも歪

みが少ない状態で増幅される。
 *9 **AM-AM特性**: 入力振幅に対する出力振幅の特性。理想的には、入力振幅と出力振幅が比例関係となるが、特に過大な振幅が入力されると、出力振幅が理想的な場合に比べ小さくなる。
 *10 **AM-PM特性**: 入力振幅と入出力位相差の関係。理想的には、入力振幅にかかわら

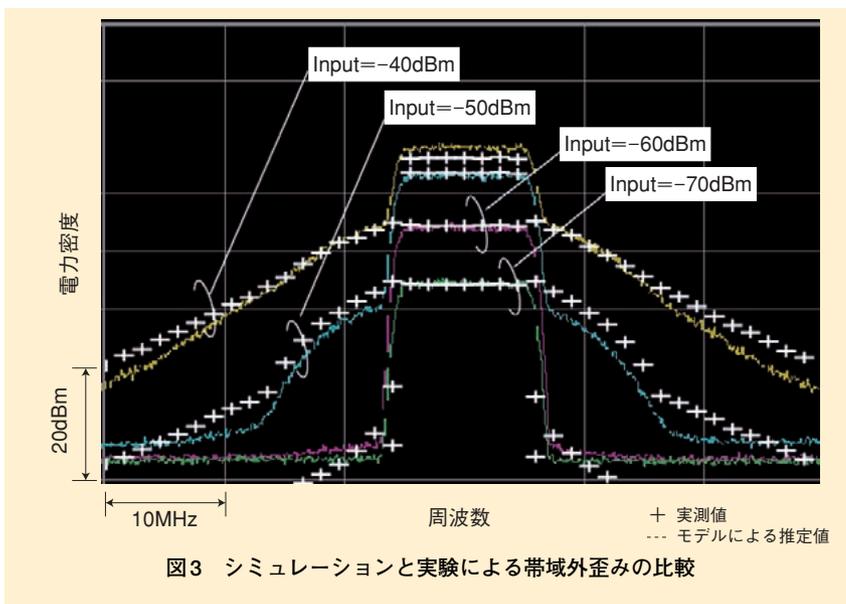
ず、入出力の位相差は一定の値となるが、特に過大な振幅が入力されると、位相差が理想的な場合の値からかい離する。

IMTとFSSの周波数共用技術に関して作成が進められているITU-R新勧告案の作業文書に反映された[17].

5.1 実験概要

本実験は、神奈川県横須賀市YRP付近で実施した。実験を行ったエリアの概要および送信アンテナの設置状況などを図4に示す。

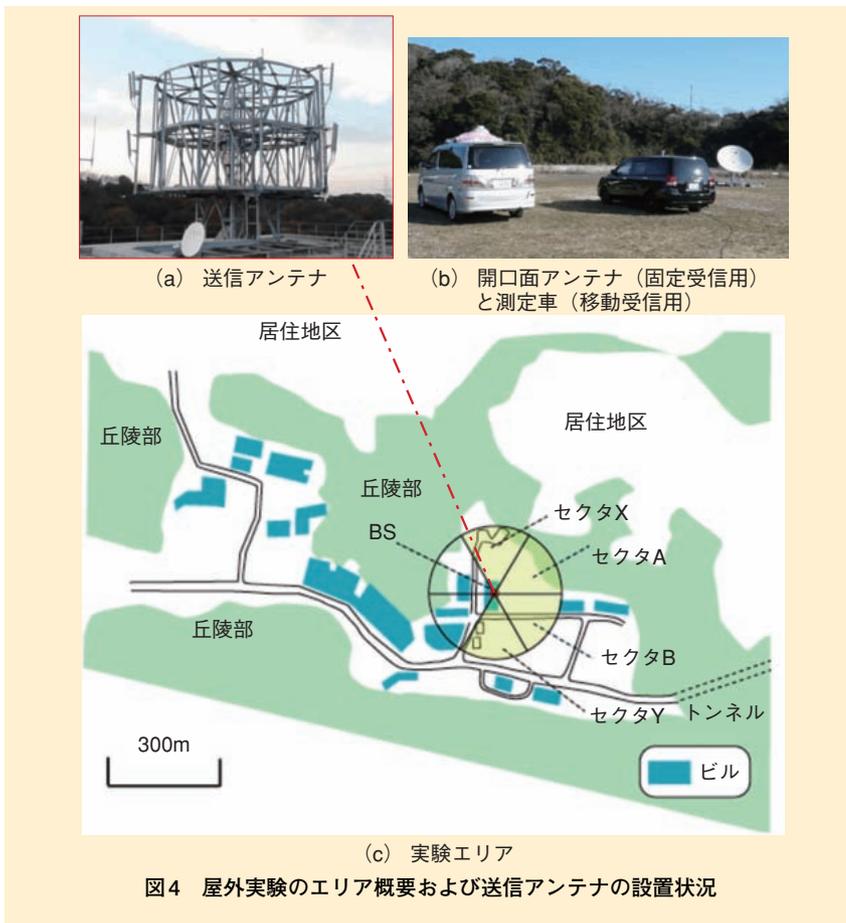
受信信号の測定は、Sector DisablingおよびDSAに関する実験においては、測定車を用いた装置のみを用い、MIMOの実験においては、開口面アンテナを用いて干渉信号の測定を行った。



5.2 MIMOによる干渉抑圧効果

一般にMIMOは、送受信側で複数のアンテナを使用する無線通信を指すが、報告M.2109では、主に送信側で複数のアンテナを使用してビームを形成することにより、干渉の回避を行う方式[18][19]として言及されている。本検討では、このビーム形成による干渉抑圧効果を屋外実験により検証した。具体的には、1基地局（BS：Base Station）が複数のアンテナを使用する基本構成に加え、セクタ間/サイト間で連携する構成について検証を行った（図5）[16][17].

この検証により得られた結果を表1に示す。結果より、MIMO技術におけるビーム形成の適用により15dB程度の大きな干渉抑圧量が達成できることが分かる。また、表に



* 11 MIMO：複数の送受信アンテナを前提とし、マルチパスなどにより生じる各アンテナ間の伝搬特性の違いを利用し、特定のアンテナで受信される電力の強さの制御や、複数の独立した情報を同時に伝送することを可能とする無線技術。ここでは、被干渉局への干渉電力を抑圧しつつ、所望受信局での受信電力を大きくするよ

うに送信アンテナウェイトを制御。
* 12 ITU-R SG5 WP5D：ITU-Rにおいて、移動通信、固定通信などの地上業務を取り扱う第5研究委員会の傘下に設置されている、IMTを専門に扱う作業部会。

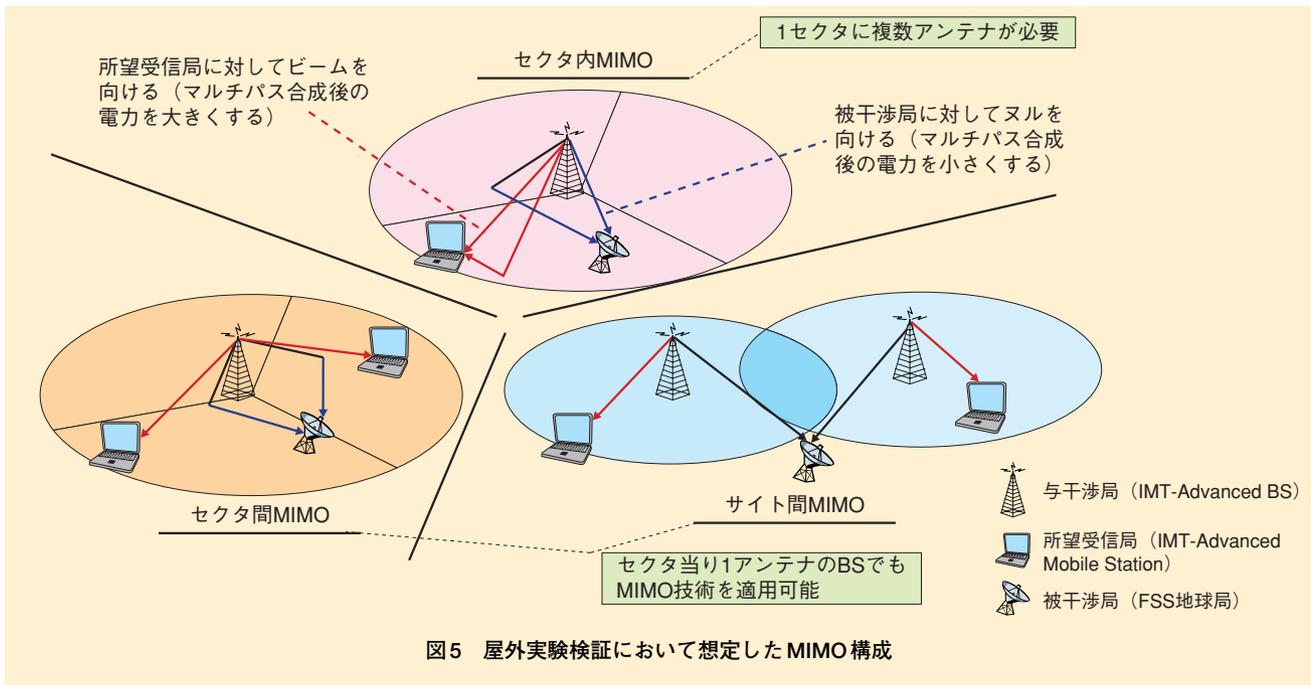


図5 屋外実験検証において想定したMIMO構成

は示していないが、サイト間で連携を行った場合に、個別の局部発振器^{*13}を用いると、これらの発振周波数が変動することで、抑圧効果が劣化することを確認した。

5.3 Sector Disablingによる干渉抑圧効果

Sector Disablingは、非優先側の送受信機を設置する際に、被干渉局が存在する方向のセクタを使用しないことで、被干渉局へ与える影響を回避する方法である。この方式は、高度な技術を用いずに、大きな干渉抑圧効果が得られる方法として期待される。

本方法の適用効果を実伝搬環境で確認した結果を表2に示す。本実験では、セクタA、B、X、Yの中で、セクタAあるいはセクタBのみ

を停波した場合の該当セクタ内全体および中心部(図6)の干渉抑圧効果を測定した。実験結果より、セクタ内全体でも7dB程度、セクタ中心部では、約8dBの干渉抑圧効果が得られることが分かり、これらはシミュレーションにより検討した結果とほぼ一致することを確認した[16][17]。

5.4 DSAによる干渉抑圧効果

DSAは、広義では、動的に周波数を割り当てる方式を指すが、ここでは、被干渉局での干渉波電力などの情報を使用して与干渉局の使用周波数帯や送信電力などを制御する方法を想定している。この方式は、「被干渉局が実際に許容できる干渉レベルに基づく動的な周波数共用」

表1 MIMOによる干渉抑圧効果の検証結果

MIMO 構成	FSS局における干渉抑圧量
セクタ内	18.1dB
セクタ間	14.7dB
サイト間	14.8dB

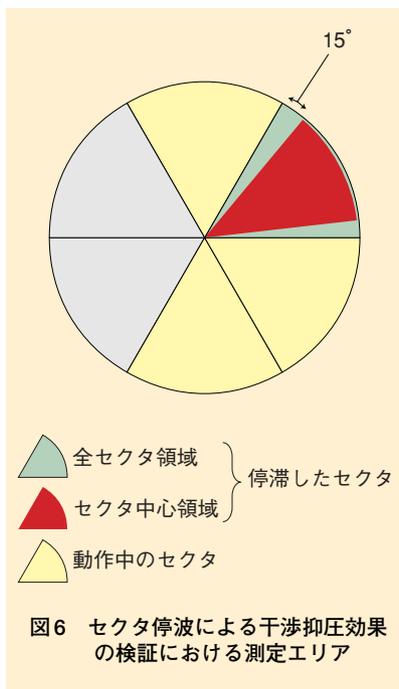
表2 Sector Disablingによる干渉抑圧効果の検証結果

	全セクタ領域	セクタ中心領域
セクタA	6.9dB	8.2dB
セクタB	7.5dB	8.1dB

を実現するうえで、重要な技術の1つである。DSAに分類される技術として、ドコモでは、送信電力制御^{*14}を用いた優先システムと非優先システムの周波数共用に関して方式提案を行ってきており[20][21]、本検討では屋外実験による効果検

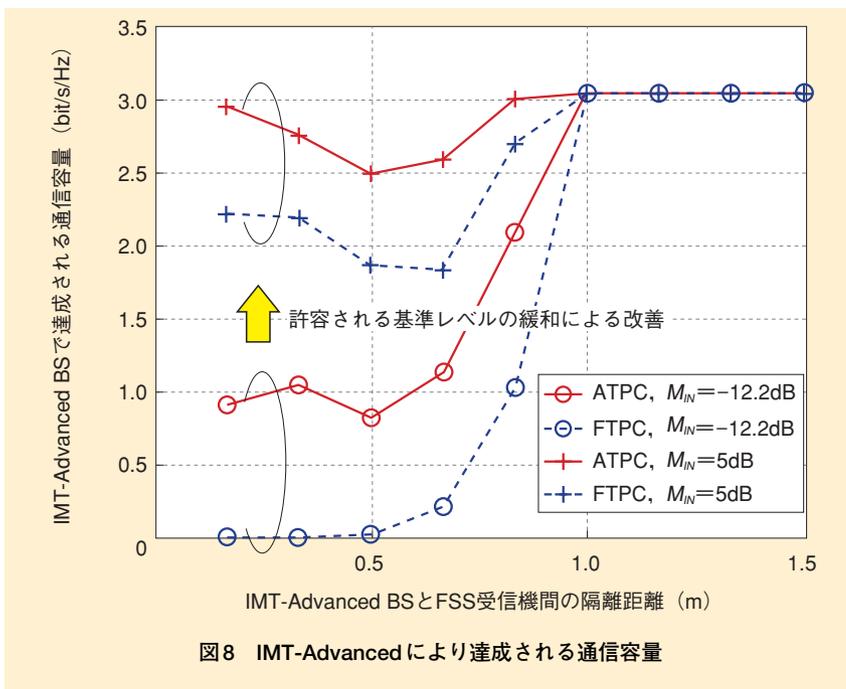
*13 局部発振器：各送受信機内で独立して、一定の周波数をもつ信号を発生させる装置。

*14 送信電力制御：目標となる基準を満たすように、送信機の電力を適応的に変更する技術。本稿では、被干渉局での受信電力を一定以下とするように送信電力が制御される。



証を行った[22].

屋外実験で得られた測定結果を図7に示す。これを基に算出した結果により、送信電力を適応的に変更するATPC (Adaptive Transmit Power Control) を用いると、送信電力を固定とし、送信可能な場合のみ送信を行うFTPC (Fixed Transmit Power Control) に比べ、通信容量を大幅に増加可能であることを示すことができた。また、許容される基準レベル M_{IN} (雑音レベルに対する相対値) が大きくなるほど、IMT-Advancedで達成される通信容量が大きく改善されることが確認できた(図8)。これらのことから、被干渉局での所望信号の受信状態により干渉許容レベルを動的に制御することは、全体の周波数利用効率改善に対し非常に有効な方法である



ことが分かる。

6. あとがき

本稿では、IMT-Advancedの円滑

な導入に必要となる既存システムとの周波数共用技術に関するドコモの取組みを中心に、総務省の技術試験事務に係る調査検討会で得られ

た主な検討結果について概説した。

今後は、これらの成果の一部をITU-Rの関連会合へ入力するとともに、周波数共用技術の発展的技術について、引き続き検討を行う予定である。

文 献

- [1] 総務省：“国際電気通信連合（ITU）2007年世界無線通信会議（WRC-07）の結果,” Nov. 2007.
- [2] 総務省：“「周波数再編アクションプラン」（平成22年2月改定版）の公表,” Feb. 2010.
- [3] “Availability of frequency bands between 3400-3800 MHz for the harmonized implementation of Broadband Wireless Access systems (BWA),” ECC/DEC/(07)02, Mar. 2007.
- [4] 藤井, ほか：“次世代移動通信システムの導入に向けた周波数共用技術に関する基本検討,” 本誌, Vol.16, No.4, pp.74-79, Jan. 2009.
- [5] H. Fujii：“Studies on Spectrum sharing between IMT-Advanced and Fixed Satellite Services -Overview of a Technical Examination Service-,” IEICE TCSR International Workshop, May. 2010.
- [6] ITU-R Recommendation P.452-14：“Prediction procedure for the evaluation of interference between stations on the surface of the Earth at frequencies above about 0.1GHz,” Oct.2009.
- [7] ITU-R WP3M Contributions Document 3M/83-E：“PROPOSED MODIFICATION TO RECOMMENDATION ITU-R P.452-13 CLUTTER LOSS PREDICTION,” May. 2009.
- [8] H. Fujii and A. Sato：“Method for Estimating Representative Values of Clutter Heights for Recommendation ITU-R P.452,” VTC 2009-Fall, Sep. 2009.
- [9] H. Fujii and H. Yoshino：“Investigation of the Method of Calculating Clutter Losses in Recommendation ITU-R P.452 Using 3D Maps,” ISAP 2008, Oct. 2008.
- [10] H. Fujii, T. Asai, Y. Okumura and A. Sato：“Extension of Clutter Loss Calculation for ITU-R Recommendation P.452,” Submitted to the ISAPE 2010.
- [11] H. Fujii, T. Asai, Y. Okumura, R. Kawachi, I. Hiradate, H. Akazawa and T. Sotoyama “AM-PM Characteristics of Low Noise Block Converters,” APCC2009.
- [12] H. Fujii, T. Asai, Y. Okumura, R. Kawachi, I. Hiradate, H. Akazawa and T. Sotoyama：“AM-AM Characteristics of Low Noise Block Converters,” RWS 2010, Jan. 2010.
- [13] H. Fujii et. al：“A Study on Applying Nonlinear Models for Spectrum Shape Estimation,” Submitted to IEEE ICWIT 2010, Sep. 2010.
- [14] Y. Fukuda, S. Tomisato et. al：“Out-of-Band Distortion Power of OFDM Transmission with Low Noise Block Converters for Spectrum Sharing Systems,” Submitted to IEEE ICWIT 2010, Sep. 2010.
- [15] ITU-R Report M.2109：“Sharing studies between IMT Advanced systems and geostationary satellite networks in the fixed-satellite service in the 3 400-4 200 and 4 500-4 800 MHz frequency bands,” Oct. 2007.
- [16] ITU-R Document 5D/720：“Proposed modifications to working document towards a preliminary draft new Recommendation ITU-R M.[IMT.MITIGATION],” Jun. 2010.
- [17] ITU-R Document 5D/TEMP/374：“Working Document towards a Preliminary Draft New Recommendation ITU-R M.[IMT.MITIGATION],” Jun. 2010.
- [18] H. Fujii, T. Asai and T. Ohya：“Optimum Weighting for Adaptive Array Antennas under Spectrum Sharing Environments,” VTC2010-Spring, May 2010.
- [19] H. Fujii, T. Asai and T. Ohya：“Extensions of Linear Constraint Adaptive Array and Null-Space Adaptive Array for Spectrum Sharing Environments,” ICMU 2010, Apr. 2010.
- [20] H. Fujii and H. Yoshino：“Spectrum Sharing by Adaptive Transmit Power Control for Low Priority Systems and its Achievable Capacity,” IEICE Trans. on Commun., Vol.E92-B, No.8, pp.2568-2576, Aug. 2009.
- [21] H. Fujii and H. Yoshino：“Spectrum Sharing by Adaptive Transmit Power Control for Low Priority Systems and its Achievable Capacity,” CrownCom 2008, May 2008.
- [22] H. Fujii, T. Asai, Y. Okumura, R. Kawachi, I. Hiradate, H. Akazawa and T. Sotoyama：“Capacity Achievable by Spectrum Sharing with Adaptive Transmit Power Control: Based on Field Measurements,” CrownCom 2009, Jun. 2009.