

## <基本計画書>

移動通信システムにおける周波数の高度利用に向けた要素技術の研究開発  
～ 超高速移動通信システムの実現に向けた要素技術の研究開発 ～

### 1. 目的

近年、移動通信における音楽配信・動画配信が普及しており、固定インターネットの一層の高速化と同様に、移動通信においても今後ますます高速化、高品質化、大容量化が求められると考えられる。現在の携帯電話等の移動通信システムで主に使われている 3GHz 以下の周波数帯域は、既に様々なシステムに稠密に使われており、更なる高速・高品質・大容量化を実現するためには高い周波数帯域の開拓が必須である。

低周波数帯に比べ、高周波数帯は、広い帯域を確保できる可能性があり、高速伝送には有利である一方で、伝搬損失が極めて大きく、現在の携帯電話のセルサイズ（数百 m～数 km）を実現することは極めて難しい。今後、IMT に特定された周波数帯よりも高い周波数帯を活用し、高速・高品質な伝送を実現するニーズに対応できる超高速移動通信を可能とする技術の開発が求められる。

本研究開発では、5GHz 以上の周波数帯を用いて、将来的に現行の携帯電話システムの最高伝送レート(10Mbps 程度：HSDPA) の一万倍、4G システムで想定されている最大伝送レート (1Gbps) の 100 倍の伝送レート (最大 100Gbps) を実現する超高速移動通信システムの実現に必要な要素技術のうち、まずは実現性が高いと考えられる超高速無線伝送技術、電波伝搬環境改善技術、高周波数帯における電波伝搬測定技術の研究開発を行い、ひいては、電波の有効利用に資することを目的とする。

### 2. 政策的位置付け

I C T 国際競争力懇談会での最終とりまとめ（平成 19 年 4 月）において、重点分野における基本戦略として以下のとおり明記されているところである。

#### 【抜粋】

#### II ワイヤレス分野

#### 3 国際競争力強化に向けた具体的取組方策

#### (3) 日本技術の国際展開に向けた研究開発・標準化・知的財産権獲得

日本企業が次世代移動通信システムの研究開発により獲得する知的財産権が標準に反映されることが重要であり、日中韓やアジア太平洋電気通信共同体における連携、先進諸国との間の連携を図りながら、日本の研究開発リソースを結集した特区的な地域において研究開発や実証実験を推進し、戦略的な研究開発・標準化を進めることが重要である。

こうした各種の政府方針等に鑑み、本研究開発を推進することが必要である。

### 3. 目標

5GHz 以上の周波数帯を用い、10Gbps（最大 100Gbps）の超高速移動通信システムを実現するための要素技術のうち、

- ①見通し伝搬路 MIMO 技術、超広帯域 OFDM 技術等を活用した超高速無線伝送技術の開発（本研究では第一段階として低速（人の歩行速度以上を想定）の移動環境を想定）
- ②準見通し伝搬路を確保することにより、電波不感地を解消する電波伝搬環境改善技術の開発
- ③Insec.以下の時間分解能で遅延波を分離可能とする、高周波数帯における電波伝搬測定技術の開発

を目標とする。

#### 4. 研究開発内容

##### (1) 概要

本研究開発では、5GHz 以上の周波数帯を用いて超高速移動通信システムを実現するための要素技術のうち、超高速無線伝送技術、電波伝搬環境改善技術、高周波数帯における電波伝搬測定技術の研究開発を実施する。

近年の MIMO、OFDM 技術等の研究を活用することにより、伝送効率を向上し、低い受信レベル・高い干渉レベルの環境であっても高速高品質伝送を実現する超高速無線伝送技術の研究開発を実施する。

また、高い周波数帯では伝搬損失が極めて大きいため、伝搬損失を低減し、遠方・見通し外であっても高い受信レベルを実現する電波伝搬環境改善技術の研究開発を実施する。

さらに、我が国における高周波数帯移動通信技術の研究を加速するため、電波伝搬測定技術を開発し、実験結果からチャンネルモデルを明確化する。

##### (2) 技術課題および到達目標

###### 技術課題

###### ア 超高速無線伝送技術

伝送効率向上技術として、近年 MIMO 技術、OFDM 技術などが精力的に研究されているが、本研究開発では、下記イの電波伝搬環境改善技術を用い、受信レベルが高く独立した複数の準見通し伝搬路の活用を含め、反射装置等による 2 次放射源のチャンネル情報を活用した見通し伝搬路 MIMO 技術、チャンネルやトラヒック等の状況に応じてサブキャリア単位のフレキシブルな送信電力制御を可能とする超広帯域 OFDM 技術等について、実用化を考慮し検討する。

これらの最新の超高速無線伝送技術や電波伝搬環境改善技術を実装した超高速無線伝送実験装置を試作し、その効果を検証する。

###### (a) 超高速無線伝送実験装置の開発

低速の移動環境を想定し、見通し伝搬路 MIMO 技術・超広帯域 OFDM 技

術等を活用し、複数の品質の高い伝搬路を利用する超高速無線伝送実験装置を開発する。

なお、使用する周波数に関しては、システムの実現性等を考慮した上で、5GHz～60GHz から目標を達成するに適切な周波数を技術的に検討することとする。

(b) 超高速無線伝送技術の評価

開発した超高速無線伝送実験装置の伝送特性を、伝搬路シミュレータを接続して評価する。また、実環境においても走行実験を行い、スループット分布等を測定する。移動局への高利得マルチアンテナの適用も検討する。

併せて、無線伝送シミュレータを開発し、シミュレーションにより超高速無線伝送技術の効果を検証する。

イ 電波伝搬環境改善技術

従来の移動通信システムの伝搬環境は一般に見通し外であり、伝搬損失は、伝搬距離の 3.5 乗程度で急速に増加する。ビル影などでは更に大きな伝搬損失があり短い距離でも不感地になることがある。また、移動通信では一般に伝搬損失は周波数の 2.5 乗程度で増加するため、高い周波数帯では伝搬損失は更に厳しく、セルサイズは小さくならざるを得ない。

現在、ストリートチャンネルのような不感地対策としては、小型基地局、ブースタ等が使われているが、コストが高く設置場所の制限があるなど制約が多い。固定無線通信では反射板を使うケースがあるが、電波の入射方向、反射方向に応じて反射板の向き、形状が決まり、また移動通信のように広いエリアをカバーすることができない。

近年、リフレクトアレー、メタマテリアルのような人工材料を使った反射装置を用いれば、反射装置の向きに関わらず、任意の方向の入射波を任意の方向に反射させることが可能なことが報告された。このような人工材料の反射装置は周波数選択性があるので、必要な周波数帯のみ所望のエリアを照射し、他の周波数帯の無線システムに影響を与えないことも可能である。このような反射特性制御装置を、ビル壁、看板などに使えば、付加構造物なしで所望のサービスエリアを形成できる。

本研究開発では、反射特性制御装置による反射のみで送受信局間の伝搬路を構成する準見通し伝搬路を確保することにより、伝搬損失を軽減する技術を開発する。また、併せて、本装置の現行の移動通信システムへの適用可能性についても検証する。

(a) 反射特性制御装置の開発

実環境で使用可能なリフレクトアレー、メタマテリアル等により反射特

性（入射角・反射角・周波数特性等）を制御する反射特性制御装置を開発する。具体的には、基地局-反射装置間距離を 500m 程度、反射装置-サービスエリア間距離を 100m 程度、入射角範囲、反射角範囲をそれぞれ独立に 0～70 度の範囲で任意に設定可能とする。

なお、反射特性制御装置のサイズ、設置方法については、実現性等を考慮した上で、最適な諸元を技術的に検討することとする。

(b) 反射特性制御装置の評価

開発した反射特性制御装置の特性を、電波暗室等の実験環境で測定する。また、実環境においても試験を行い、実用性を検証する。

併せて、計算機シミュレーションによりブースタ、小型基地局、リレー、分散アンテナシステム等の技術の特性を評価し、反射特性制御装置の特性と比較し、それぞれの適用領域等を明確にする。

ウ 高周波数帯における電波伝搬測定技術

新周波数帯の無線伝送技術を開発するにあたり、まず電波伝搬特性を解明することが肝要である。例えば、従来ミリ波帯は屋内での使用を中心に検討されており、ベクトルネットワークアナライザによる屋内伝搬測定が行われているが、ベクトルネットワークアナライザ法では送信局と受信局を有線接続する必要があり、見通し外を含む屋外伝搬測定には一般に適用できない。

一方、Sliding Correlator 法は、送受信機間の有線接続は不要だが、時間分解能が十分得られず、10nsec.以下の遅延波を分離して測定する事が困難である。また、MIMO 等のように伝搬路を分離して伝送する技術を適用する技術の適用性評価のためには、到来方向、偏波特性の測定も重要であるが、受信レベル、遅延特性、到来方向、偏波特性を体系的に測定された事例はない。

本研究開発では、1Gbps 以上の高速 Sliding Correlator 法等により 1nsec.以下の時間分解能で屋外伝搬測定が可能な電波伝搬測定技術を開発し実測を行う。受信レベル、遅延特性と併せて、到来方向、偏波特性を測定し、MIMO、OFDM の伝送特性評価に必要な伝搬チャネルモデルを検討する。

(a) 電波伝搬測定装置の開発

電波伝搬特性（受信レベル、遅延特性、到来方向、偏波特性）を同時測定可能な電波伝搬測定装置を開発する。遅延特性に関しては、1nsec.以下の時間分解能で遅延波を分離可能とし、受信信号の到来方向・偏波面毎に遅延波を分離測定する。

(b) 電波伝搬測定実験及びシミュレーション

開発した電波伝搬測定装置の特性を電波暗室等で評価する。次に、屋内

外実環境における電波伝搬測定実験を実施する。また、電波伝搬シミュレータを開発し、シミュレーションを実施する。

実験及びシミュレーション結果から、伝搬チャネルモデルを構築し、無線伝送シミュレーションに反映するなど、無線伝送技術評価に資する。

## 到達目標

無線伝送技術及び電波伝搬環境改善技術の開発により、セルサイズ 500m 程度、10Gbps（最大 100Gbps）の無線伝送の実現に必要な要素技術を開発し、実験及びシミュレーションによりその効果を検証する。開発した要素技術の現行の移動通信システムへの適用可能性についても併せて検証する。

高周波数帯電波伝搬測定技術の開発により、新周波数帯における無線伝送技術開発・評価に必要な電波伝搬特性を測定・評価する技術を開発し実験・シミュレーション結果を示す。また、伝搬チャネルモデルを構築する。

なお、上記の目標を達成するに当たっての年度毎の目標については、以下の例を想定している。

（例）

### <平成 21 年度>

#### ア 超高速無線伝送技術

- ・ MIMO、OFDM 技術の最新の無線伝送技術に関する動向を踏まえ、周波数、適用技術、有効性等についての見通しを検討・考察し、超高速無線伝送実験装置を設計する。

#### イ 電波伝搬環境改善技術

- ・ 反射特性制御装置の設置の効果等について検討を行った上、実験用反射特性制御装置を試作する。
- ・ 反射特性制御装置の基本特性評価用実験系を構築する。
- ・ 反射特性制御装置の基本特性評価用シミュレータを開発する。

#### ウ 高周波数帯における電波伝搬測定技術

- ・ 電波伝搬実験装置を開発し予備実験（電波暗室における伝搬実験装置の性能評価実験）を実施する。
- ・ 電波伝搬シミュレーション系を構築する。

### <平成 22 年度>

#### ア 超高速無線伝送技術

- ・ 周波数、適用技術等を決定し、超高速無線伝送実験装置を試作する。
- ・ 超高速無線伝送シミュレーション系を構築する。

#### イ 電波伝搬環境改善技術

- ・ 電波暗室内で、試作した実験用反射特性制御装置の基本伝搬特性（入射角・

反射角・周波数特性等)を測定する。

- ・開発したシミュレータを用い、反射特性制御装置の伝搬特性を評価し、実験結果と比較し、シミュレーション系の妥当性を検証する。
- ・実験、シミュレーション結果に基づき、必要に応じて、実験系、シミュレーション系、反射特性制御装置を改良する。

#### ウ 高周波数帯における電波伝搬測定技術

- ・屋内電波伝搬基礎実験を実施し、受信レベル・遅延特性を測定する。併せて伝搬シミュレーションを実施し、実験結果と照合し、シミュレーション系の検証を行う。
- ・実験、シミュレーション結果を検証し、必要な改良を行う。

### <平成23年度>

#### ア 超高速無線伝送技術

- ・開発した超高速無線伝送実験装置を伝搬路シミュレータに接続し、超高速無線伝送実験を実施し、伝送特性(スループット分布、BER特性等)を評価する。
- ・無線伝送シミュレーションを行い、実験結果と照合し、シミュレーションの妥当性を検証する。
- ・実験、シミュレーション結果を検証し、必要な改良を行うと共に、複数無線局干渉実験系を開発する。

#### イ 電波伝搬環境改善技術

- ・実環境で、反射特性制御装置の伝搬特性を測定し、実用性を検証する。
- ・計算機シミュレーションにより、反射特性制御装置の適用条件(基地局-反射装置間距離、反射装置-サービスエリア間距離、入射角・反射角範囲、周波数帯域等)を明確にする。
- ・小型基地局、ブースタ、リレー、分散アンテナシステム等を使用した場合の伝搬特性を評価し、反射特性制御装置の結果と比較する。

#### ウ 高周波数帯における電波伝搬測定技術

- ・屋内外電波伝搬測定実験を実施し、伝搬特性(受信レベル、遅延特性、マルチアンテナ相関、偏波相関、周波数相関、到来方向分布、人体影響評価等)を測定する。
- ・伝搬シミュレーションにより、実験できない環境について、伝搬特性を計算する。

### <平成24年度>

#### ア 超高速無線伝送技術

- ・屋内外無線伝送実験、複数無線局干渉実験を実施し、10Gbps以上の伝送速度の実現性を検証し課題を明確にする。
- ・計算機シミュレーションにより、様々な環境における伝送特性を評価する。

イ 電波伝搬環境改善技術

- ・これまでの実験、シミュレーション結果から、反射特性制御装置及び小型基地局、ブースタ、リレー、分散アンテナシステムの適用領域等を明確にする。

ウ 高周波数帯における電波伝搬測定技術

- ・実験及びシミュレーション結果から、高周波数帯におけるチャンネルモデルを構築する。

5. 実施期間

平成21年度から24年度までの4年間

6. その他

(1) 提案および研究開発に当たっての留意点

提案に当たっては、基本計画書に記されている目標に対する達成度を評価することが可能な具体的な評価項目を設定し、各評価項目に対して可能な限り数値目標を定めると共に、超高速無線伝送技術、電波伝搬環境改善技術、高周波数帯における電波伝搬測定技術それぞれの実用化について、将来見込みを記載し、提案すること。なお、提案にあたっては目標を達成するための具体的な研究方法及び年度目標について明記すること。

研究開発の実施に当たっては、関連する要素技術間の調整、成果の取りまとめ方等、研究開発全体の方針について幅広い観点から助言を頂くと共に、実際の研究開発の進め方について適宜指導を頂くため、学識経験者、有識者等を含んだ研究開発運営委員会等を開催する等、外部の学識経験者、有識者等を参画させること。

また、本研究開発において実用的な成果を導出するための共同研究体制又は研究協力体制について研究計画書の中にできるだけ具体的に記載すること。

(2) その他

本研究開発で確立した技術の普及啓発活動を実施すると共に実用に向けて必要と思われる研究開発課題への取組も実施し、その活動計画・方策については具体的に提案書に記載すること。

## ＜基本計画書＞

### 次世代無線通信測定技術の研究開発 ～ 尖頭電力の高精度測定技術の研究開発 ～

#### 1. 目的

電波利用のニーズの高まりに伴い高周波数帯の利用、無線設備の広帯域化が進展しており、今後、更に高度な無線通信システムの導入が予測される。その導入にあたっては、電波の有効利用に資する形での技術基準の策定や、信頼性の高い認証制度の運用が求められ、そのためには、無線システムの特性を正確に把握する測定技術が不可欠となる。ところが、既存の測定技術では、このような高度な無線システムの特性を把握することは非常に困難になりつつある。その中でも、室内環境において高速のデジタル通信を実現する UWB 無線等の極めて広帯域な無線設備が注目されているが、この利用においては、既存の無線サービスとの共存が要求されるため、技術基準として厳しい条件が課せられている。その一つとして、尖頭電力の許容値が設定されており、UWB 無線の測定方法を定めている ITU-R 勧告 SM. 1754 によれば、分解能帯域幅 50MHz による尖頭電力の測定が要求されている。

しかし、現時点では、分解能帯域幅 50MHz の条件下で尖頭電力を正確に測定できる測定器は存在せず、換算式を使って、分解能帯域幅 3MHz で測定した結果を 50MHz に換算している状況である。換算式はある特定の変調方式を前提としているため、UWB 無線の変調方式によっては、更に厳しい許容条件となる場合がある。

このように、UWB 無線をはじめとする極めて広帯域な無線システムの進展に伴い、これら無線システムの特性を広帯域な条件下で高精度に把握することが求められていることから、広帯域な分解能帯域幅で、尖頭電力を正確に検出できる測定技術に関する研究開発を実施する。本技術が実用化されれば、UWB 無線では、換算式に依らずに正確な測定が可能となるとともに、測定装置や測定手法によるばらつきなどが改善されることにより、技術基準の厳密な運用が可能となる。更に、今後導入が予定される広帯域な無線通信システムに関して、厳密な共用基準の設定やその導入促進に資するものと期待される。

#### 2. 政策的位置付け

「重点計画 2008」（平成 20 年 8 月 20 日 IT 戦略本部決定）の 2.6①(1)(7)b)において、「2010 年までに、電波利用の進んでいない周波数帯（ミリ波帯等）において容易に無線システムの利用を可能とする技術や、多様な移動通信方式を制御して柔軟に電波の利用を可能とする端末－基地局間協調技術等を実現するため、未利用周波数帯の開拓や周波数有効利用技術の高度化に資する研究開発を実施する。」こととされている。

また「第 3 期科学技術基本計画 分野別推進計画」（平成 18 年 3 月 28 日総合科学技術会議）の情報通信分野において、周波数の有効利用技術として「2010 年までに、



電波利用の進んでいない周波数帯（高マイクロ波帯、ミリ波帯等）において容易に無線システムの利用を可能とする技術を実現する。」こととされている。

### 3. 目標

UWB 無線等に代表される極めて広帯域な無線設備の信号電力を正確に把握するため、測定帯域幅を大幅に拡大し、かつ信号の劣化を可能な限り抑制した高精度な測定技術を確立する。具体的には、30GHz までの周波数帯において、分解能帯域幅 50MHz のガウスフィルタを用いて高精度な尖頭電力測定を可能とする測定技術の実現を目標とする。

### 4. 研究開発内容

#### (1) 概要

分解能帯域幅 50MHz の条件下で尖頭電力を正確に測定できる技術について研究開発する。具体的には、120MHz 幅以上の広帯域な被測定信号を高精度（1.6G サンプル/秒以上・14 ビット以上）にデジタル化し、広帯域にわたり平坦な群遅延特性を有する高精度ガウスフィルタをデジタルフィルタで実現する。これにより、帯域内におけるインパルス応答の劣化が 10%以下の正確な尖頭電力測定を可能とする技術として、超広帯域な振幅確率分布（APD）測定技術及び汎用測定器と接続するインターフェース技術等を実現する。

#### (2) 技術課題および到達目標

##### （技術課題）

##### ア 広帯域・高精度ガウスフィルタの実現

現在の測定器で実現されているデジタルガウスフィルタの分解能帯域幅は 3MHz 程度であるため、UWB 無線の尖頭電力測定には、分解能帯域幅 50MHz の低遅延歪みガウスフィルタを実現しなければならない。この実現には、分解能帯域幅の 10 倍程度の標本化速度が必要となることから、500M サンプル/秒の超高速度で APD 処理までの IF 信号処理を行う必要がある。このため、デジタルガウスフィルタの演算数や乗算ビット数など演算処理のパラメータを最適に設定した回路構成（演算能力 1T 演算/秒程度）により IF 信号処理を行い、併せて IF 帯域内の周波数特性を補償しなければならない。また、汎用無線計測器等への搭載を考慮し、消費電力を減らすために回路の小型化を実現する必要がある。

更に量子化雑音を抑制しつつ、120MHz 幅の広帯域な IF 信号をデジタル化するには、1.6G サンプル/秒以上・14 ビット以上の性能が要求される。

##### イ 準ミリ波帯入力時の高感度測定の実現

被測定 RF 信号を IF 帯域の信号に変換するためには、120MHz 以上の帯域幅において目的外の周波数帯域の信号を抑圧して後段のダウンコンバータの入力飽和を抑え通過帯域の信号電力を増幅するプリセレクタが必要になる。しかし、現在

のスペクトラムアナライザに内蔵されるプリセクタの帯域幅は 30MHz 程度であり、雑音指数も 25dB 以上と大きく、インパルス帯域幅が内蔵プリセクタの帯域幅で左右されたり、測定マージンがとれないなど、準ミリ波帯における尖頭電力測定には不十分である。このため、準ミリ波帯において高感度の APD 測定を実現するには、20dB 以下の雑音指数とケーブル損失を含め 15dB 以上の利得を有するプリセクタを開発する必要がある。また、プリセクタ及び汎用測定器による周波数変換の際にも、広帯域な入力信号の特性補償が課題となる。

(到達目標)

30GHz までの周波数帯において、分解能帯域幅 50MHz における正確な尖頭電力測定を可能とするため、帯域内におけるインパルス応答の劣化が 10%以内となる超広帯域 APD 測定装置を実現することを目標とする。

なお、上記の目標を達成するに当たっての年度毎の目標については、以下の例を想定している。

(例)

<平成 21 年度>

超広帯域 APD 測定装置 IF 信号処理部の研究開発

120MHz 幅の IF 信号のデジタル化では、200M サンプル/秒・14 ビットの AD 変換器 8 個の同期をとりつつ並列化させた 1.6G サンプル/秒・14 ビットのデジタルボードを採用することにより、量子化雑音の発生を抑制し、変換速度を向上させる。また、AD 変換後の演算処理において、タップ数や乗算ビット数などの最適なパラメータを検討して処理速度 500M サンプル/秒相当の高速化を図るとともに、パラメータ可変型の等化器を用い、IF 帯域内の周波数特性を補償することによって、低遅延歪みガウスフィルタを実現する。以上により、分解能帯域幅 50MHz を有する超広帯域 APD 測定装置の IF 信号処理部の開発及び性能評価を行う。

<平成 22 年度>

超広帯域 APD 測定装置 RF 部の研究開発

準ミリ波帯 RF 信号を入力とし目的の周波数帯域を通過させるプリセクタと、入力される RF 信号を 120MHz 以上の帯域幅が確保された IF 信号に変換する汎用スペクトラムアナライザから構成される RF 部を開発する。

また、RF 部を制御し、平成 21 年度に研究開発した IF 信号処理部と協調動作させる超広帯域 APD 総合制御・表示部を開発する。そして、IF 信号処理部、RF 部及び超広帯域 APD 総合制御・表示部を組み合わせた総合動作試験を実施し、準ミリ波帯において所期の性能が確保されていることを検証する。

## 5. 実施期間

平成 21 年度から平成 22 年度までの 2 年間

## 6. その他

### (1) 提案及び研究開発に当たっての留意点

提案に当たっては、本基本計画書に記されている目標に対する達成度を評価することが可能な具体的な評価項目を設定し、各評価項目に対して可能な限り数値目標を定めるとともに、尖頭電力の高精度測定技術の実用化について、将来見込みを記載し、提案すること。

研究開発の実施に当たっては、関連する要素技術間の調整、成果の取りまとめ方等研究開発全体の方針について幅広い観点から助言を頂くとともに、実際の研究開発の進め方について適宜指導を頂くため、学識経験者、有識者等を含んだ研究開発運営委員会等を開催する等、外部の学識経験者、有識者等を参画させること。

また、本研究開発において実用的な成果を導出するための共同研究体制又は研究協力体制について研究計画書の中にできるだけ具体的に記載すること。

### (2) その他

応募者は、本研究開発で確立した技術の普及啓発活動を実施すると共に、無線通信用計測器への搭載を検討するなど、実用に向けて必要と思われる研究開発課題への取り組みも実施し、その活動計画・方策については具体的に提案書に記載すること。