

<基本計画書>

未利用周波数帯への無線システムの移行促進に向けた基盤技術の研究開発
～ 超高周波搬送波による数十ギガビット無線伝送技術の研究開発 ～

1. 目的

無線インターネットやスマートフォン等の普及による情報伝送需要の急増や機器の ICT 化に伴う電波利用の拡大により、既存の無線通信に割り当てられている周波数帯では急速に伝送容量がひっ迫することが予想されている。加えて、今後は ITS や電子タグ等の次世代の ICT サービスにより更なる電波利用の拡大が見込まれることから、通信容量を確保することは喫緊の課題となっており、その解決策として未利用周波数帯の活用が求められている。

近年、ミリ波帯を利用するための研究開発が実施されているが、伝送速度は毎秒数ギガビット級であり、超高精細画像の非圧縮リアルタイム無線伝送や大容量データの瞬時転送を実現するための毎秒数十ギガビット級の伝送速度を実現するには、更に周波数の高いテラヘルツ波帯を用いる必要がある。テラヘルツ波帯は、ミリ波と光波の中間の周波数帯に位置し、ミリ波帯に比べ周波数が高いため、簡易な変調方式や広帯域幅を用いて超高速伝送が可能になるとともに、ミリ波帯に比べ波長が短いため、通信機器をより小型化できる可能性が高い。一方、光波の場合、レーザーでは高指向性により位置決めにかかる時間がかかる、LED では高速変調が難しい、といった問題点があるが、テラヘルツ波帯はこれらの問題を同時に克服しうる。しかし、現時点では未利用周波数帯であるテラヘルツ帯について、送受信技術、アンテナ技術などは確立しておらず、当該周波数帯における技術の確立が期待されている。

そのため、本研究開発では、世界的に周波数分配が行われていない 275 - 370GHz のテラヘルツ帯を用いて、毎秒数十 (20 - 40) ギガビット (Gbps) 級の超高速伝送を可能とする無線通信基盤技術を確立する。当該技術により新たな電波資源を開拓し、周波数の有効利用や既存業務の高い周波数への移行を促進するとともに、国際標準化を通じて無線通信分野における我が国の国際競争力の強化を図る。

2. 政策的位置付け

- ・新成長戦略（閣議決定（平成 22 年 6 月））

同成長戦略において、次のとおり、我が国の情報通信技術の国際展開等が示されている。

(3) アジア経済戦略

(日本の「安全・安心」等の技術のアジアそして世界への普及)

「その上で、環境技術において日本が強みを持つインフラ整備をパッケージでアジア地域に展開・浸透させるとともに、アジア諸国の経済成長に伴う地球環境への負荷を軽減し、日本の技術・経験をアジアの持続可能な成長

のエンジンとして活用する。」

(5) 科学・技術・情報通信立国戦略

(情報通信技術は新たなイノベーションを生む基盤)

「情報通信技術は、距離や時間を超越して、ヒト、モノ、カネ、情報を結びつける。未来への成長に向け、「コンクリートの道」から「光の道」へと発想を転換し、情報通信技術が国民生活や経済活動の全般に組み込まれることにより、経済社会システムが抜本的に効率化し、新たなイノベーションを生み出す基盤となる。」

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」

「ホワイトスペースなど新たな電波の有効利用」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70兆円の新市場の創出を目指す）」

・ 新たな情報通信技術戦略（IT戦略本部決定（平成22年5月））

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

「今後、世界的な成長が期待され、我が国が強みを有する技術分野（新世代・光ネットワーク、次世代ワイヤレス、・・・等）を特定して集中的に研究開発を行う・・・。」

・ ICT維新ビジョン2.0（総務省決定（平成22年5月））

地球的課題の解決に向けた国際貢献

新たな電波の有効利用の促進

「ホワイトスペース等新たな電波の有効利用により、2020年時点で新たに50兆円規模の電波関連市場の創出」

「2020年時点で、コードのいないワイヤレスブロードバンド家電の世帯普及率80%を実現」

・ 総務省アクションプラン2011（総務省決定（平成22年8月））

「ICT維新ビジョン2.0」の推進による「強い経済」の実現④

ホワイトスペース等新たな電波の有効利用の促進

「ホワイトスペース特区」において地域の特性に応じたサービスやシステムの実現を目指した実証実験を行うとともに、電波資源のより一層の拡大を可能とする技術の研究開発等を推進

・ 「グローバル時代におけるICT政策に関するタスクフォース 国際競争力強化検討部会 中間取りまとめ」（平成22年5月17日 国際競争力強化検討部会）

ICT研究開発重点プロジェクトとして、「いつでもどこでも接続可能なプロ

ードバンドワイヤレスプロジェクト」が記載されており、その中で「モバイルネットワークをさらに高速化するブロードバンドワイヤレス技術や、家電間でのコンテンツ超高速伝送や電力供給のコードレス化を実現する家庭内ワイヤレス技術等を 2015 年までに確立。」との言及がある。本目的達成のために「テラヘルツ技術」の活用が期待される。

3. 目標

世界的に周波数分配が行われていない 275 - 370 GHz のテラヘルツ帯を用いて、数 m 程度の距離を数十 (20 - 40) Gbps で伝送する無線通信システムを実現するための基盤技術を確認する。本周波数帯は未開拓周波数帯域であるため、アンテナをはじめ多くの要素技術を新たに開発する必要がある。したがって、高速化については段階を踏み、まず 10Gbps 用の基盤技術を確認し、その知見を反映して数十 (20 - 40) Gbps 用の基盤技術確認及び無線通信システム試作を行う。

4. 研究開発内容

(1) 概要

本研究開発では、未利用の超高周波帯である 275 - 370 GHz のテラヘルツ帯を用い、大容量のデータを瞬時に伝送することを可能とする無線通信の基盤技術を確認する。

具体的には、275 - 370 GHz のテラヘルツ波帯に対応する超高周波帯送受信技術や超高周波アンテナ技術、復調された超高速データ処理する超広帯域データ受信技術等の要素技術を確認する。また、機器の小型化が可能であるというテラヘルツ帯の特長を利用し、これらを一体化して送受信器をモジュール化するシステム化技術を順次開発する。さらに、超高周波電磁波を高精度に観測する超高周波帯計測技術を開発することで伝搬・干渉等のデータを取得する。

(2) 技術課題及び到達目標

目標を達成するにあたり、いくつかの異なる技術的アプローチが考えられる。以下では現時点で想定される方法、技術課題について述べる。

技術課題

ア 超高周波帯送受信技術の開発

データ信号を超高周波搬送波に載せて送受信するための技術を開発する。送信側では、光技術を応用した光領域での超高速信号変調を想定している。その場合、多くの光技術が流用できるが、超高速変調された光波を超高周波の電波に変換する光-超高周波変換技術が未だ確認されておらず、その技術開発が課題となる。受信側では、超高周波の電波を直接に超高速電子回路により受信するか、電光変換によって光波帯に変換したうえで受信することが想定される。前者では 300GHz 帯で数十 (20 - 40) Gbps に対応する超広帯域にわたりノイズ

フィギュア 2~5dB 程度を達成する増幅器等の超高速電子デバイスの開発、後者では電波-光の高効率周波数変換技術が新たに確立すべき技術課題となる（以下では前者の開発を想定する）。

イ 超広帯域データ送受信技術の開発

受信した数十 Gbps の超広帯域（超高速）のデータ信号を処理し、比較的低速なメモリ等の記憶素子に格納する技術（シリアル-パラレル変換）を確立する。シリアル-パラレル変換技術自体は光通信等の分野で実現しているが、超高周波の電波とのインターフェースや、携帯機器への搭載を想定した 3D 実装、省電力化は未開発の技術であり、最終的には 5cm×5cm 程度の小型化を実現する。また、データ送受信に必要な誤り訂正符号を搭載し、必要に応じて通信路特性に合わせた改良を行う。

ウ 超高周波アンテナ技術の開発

275 - 370GHz の超高周波に対応し、かつ小型化されたアンテナ技術はまだ確立されていない。従来の電波による伝送と比較すると、伝搬損失、広帯域化による感度劣化等から、高周波に最適化されたアンテナ形状の設計及びより高いアンテナ利得を持つ回路設計が新たに必要となる。小型化の観点からは、平面アンテナ方式が有力と考えられる。電波の有効利用や干渉を防ぐ観点から電磁波をビーム状にするアレイ化等の実装を行い、最終的に 10dBi 以上の利得を持つ送受信アンテナ技術を確立する。また、アンテナと送受信デバイスを一体化し、給電線長 1mm 以下の低損失デバイスを実現する。

エ システム化技術（モジュール化技術、伝送実験）の開発

超高周波帯に対応したアンテナや発振器、送受信器等のモジュール化技術を開発する。また、開発した送受信モジュールを用いて超高周波送受信システムを試作し、伝送に必要な電波伝搬や干渉等のデータを取得する。

オ 超高周波帯計測技術の開発

ア~エの技術を実現するためには、超高周波帯における電波そのものの波形を実時間で高精度に計測する技術が必須であるが、40Gbps 級の超高速波形の計測は、既存の電波計測システムではほぼ不可能である。本課題では、光技術等を利用して、300GHz の超高周波帯における 40Gbps 級の超高速変調受信波形の計測・再生を、光波計測と同程度の高信号雑音比、高ダイナミックレンジで可能とする計測技術（超高周波オシロスコープ）を開発する。

到達目標

275 - 370GHz の超高周波搬送波を用いて数 m 程度の距離を数十（20 - 40）Gbps で伝送する無線伝送システムを実現するための基盤技術を確立することを最終

目標とする。当該周波数帯においては、送受信器やアンテナ等の新しい要素技術開発を含むことから、段階を踏んだ開発を考え、実施期間前半においては 10Gbps の通信を実現するための要素技術の確立を行い、その技術及び知見を活用して実施期間後半において数十（20 - 40）Gbps の通信を実現する要素技術の確立とシステム試作を実施する。

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 23 年度＞

ア 超高周波帯送受信技術の開発

10Gbps のデータを送受信するために十分な帯域を持った以下の開発を行う。

- ・アレイ導波路型回折格子や超高速フォトダイオード等を用いた光-超高周波変換技術の開発
- ・（最終的に数十（20 - 40）Gbps を見据えた）300GHz 帯における超広帯域増幅器の設計

イ 超広帯域データ送受信技術の開発

受信した 10Gbps データを処理しメモリに格納するまでの以下の技術を検討・開発する。

- ・シリアル-パラレル変換、メモリ構成、超高周波の電波とのインターフェース等の基本設計
- ・携帯機器への実装上の制約（体積、消費電力等）を満たすための、3D実装、Through-Silicon via、LTCC の可能性を検討
- ・回路間の干渉の低減化（メタマテリアル吸収体等の開発）

ウ 超高周波アンテナ技術の開発

できるだけ簡素な変調方式により 10Gbps を送受信するために必要な帯域を持ったアンテナの検討、設計を行う。

- ・送信側アンテナ、受信側アンテナとしての必要条件を規定
- ・アンテナ方式（アンテナ構造、ビーム制御機構、マルチパス伝搬等）の検討

オ 超高周波帯計測技術の開発

超高周波搬送波自体とそれに載っている 10Gbps データ信号を計測するための以下の計測や整備を実施する。

- ・各種計測機器による超高周波信号の基礎特性を計測
- ・超高周波信号計測環境（暗室、探針、テストフィクスチャ）の整備

<平成24年度>

ア 超高周波帯送受信技術の開発

10Gbps のデータを送受信するために十分な帯域を持った以下の開発を行う。

- ・ 300GHz 帯で増幅器を構成するに足る性能を持つ InP-HEMT 素子の開発
- ・ 上記増幅器を含む、10Gbps 変調超高周波搬送波の受信回路の開発
- ・ 結晶成長技術に基づく高品位の 2D 電子系チャネルの実現のため結晶成長等を含めた素子開発

イ 超広帯域データ送受信技術の開発

- ・ 平成23年度に検討した受信器実装方式とメモリ方式の実際のデバイスとしての 10Gbps 動作原理確認
- ・ FEC 等の既存技術に基づく誤り訂正符号方式の検討

ウ 超高周波アンテナ技術の開発

- ・ 平成23年度に開発したアンテナ方式に従ってのアンテナ作成及び動作確認を行い、10Gbps に対応した帯域を持つことを確認

エ システム化技術（モジュール化技術、伝送実験）の開発

- ・ 10Gbps 変調された超高周波の伝搬特性評価

オ 超高周波帯計測技術の開発

- ・ 10Gbps 変調された超高周波信号を計測可能な超高周波オシロスコープの原理確認

<平成25年度>

ア 超高周波帯送受信技術の開発

- ・ 前年度までに開発された光-超高周波変換器の広帯域化
- ・ 前年度までに開発された増幅器の広帯域化に向けた素子の改良、回路の最適化

イ 超広帯域データ送受信技術の開発

受信した数十（20 - 40）Gbps のデータを遅延なく処理しメモリに格納するため以下の技術を検討・開発する。

- ・ 10Gbps 用小型シリアル-パラレル変換デバイスの高速化に向けた再設計と各素子の低消費電力化
- ・ 誤り訂正符号の実装

ウ 超高周波アンテナ技術の開発

前年度までに開発した 10Gbps 用アンテナを広帯域化に向けた再設計と試作

エ システム化技術（モジュール化技術、伝送実験）の開発

- ・平成24年度までに得られた成果に基づき、数十（20 - 40）Gbps 対応システム設計を再検討

オ 超高周波帯計測技術の開発

超高周波搬送波自体とそれに載っている 40Gbps 級のデータ信号を計測するための以下の計測や整備を実施する。

- ・各種計測機器による超高周波信号の基礎特性を計測
- ・超高周波信号計測環境（暗室、探針、テストフィクスチャ）の整備
- ・光技術に基づいた超高速オシロスコープの 10Gbps 対応の試作、測定実証

<平成26年度>

ア 超高周波帯送受信技術の開発

超広帯域増幅器を含む数十（20 - 40）Gbps 変調搬送波の受信回路の実現

イ 超広帯域データ送受信技術の開発

- ・平成25年度に検討に基づくシリアル-パラレル変換デバイスのモジュール化と数十（20 - 40）Gbps の動作原理確認
- ・実装された符号の性能評価と、必要に応じた改良

ウ 超高周波アンテナ技術の開発

- ・平成25年度に開発したアンテナ方式に従ってのアンテナ作成及び動作確認を行い、数十（20 - 40）Gbps に対応した帯域において 10dBi 以上の利得を持つことを確認

エ システム化技術（モジュール化技術、伝送実験）の開発

- ・数十（20 - 40）Gbps に対応したモジュールの開発と動作確認
- ・数十（20 - 40）Gbps に変調された超高周波の伝搬特性評価

オ 超高周波帯計測技術の開発

- ・40Gbps 変調レベルの超高周波信号を計測可能な超高周波オシロスコープの原理確認

<平成27年度>

イ 超広帯域データ送受信技術の開発

- ・伝搬実験等で得られた伝搬特性を考慮し、符号の最適化に向けた指針を検討

エ システム化技術（モジュール化技術、伝送実験）の開発

- ・平成26年度までに得られた成果に基づいたモジュールの改良を施した数十（20 - 40）Gbps 対応の試作
- ・伝搬実験から得られた成果に基づいた数十（20 - 40）Gbps 対応の超高速伝送実験

オ 超高周波帯計測技術の開発

- ・光技術に基づいた超高速オシロスコープの40Gbps 対応の試作、実測評価

5. 実施期間

平成23年度から平成27年度までの5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、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数値目標及びその根拠を提案書に記載するとともに、超高周波帯送受信技術、超広帯域データ受信技術、超高周波アンテナ技術、システム化技術、超高周波帯計測技術の実用化の将来見込みを記載し、提案すること。なお、提案に当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。

研究開発に実施に当たっては、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受けるとともに、実際の研究開発の進め方について適宜指導を受けるため、学識経験者、有識者を含んだ研究開発運営委員会等を開催する等、外部の学識経験者や有識者等を参加させること。

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）国際標準化等への取組み

国際競争力の強化を実現するためには、本研究開発の成果を研究開発期間中及び終了後、速やかに関連する国際標準化規格・機関・団体への提案を実施することが重要である。このため、研究開発の進捗に合わせて、国際標準への提案活動を行うものとする。なお、提案を想定する国際標準規格・機関・団体及び具体的な標準化活動の計画を策定した上で、提案書に記載すること。

（3）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ともに、平成32年頃の実用化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。