

### 2.2 ワイヤレスネットワーク技術

#### 2.2.1 第1期中期計画 ワイヤレスアクセス

高速移動時のセルラー環境でも 100 Mbps を超える情報伝送レートでの通信が可能な大容量・広帯域・広域移動通信システム、さらにこの新システムと既存システムの間を複数の端末を持たずにシームレスに接続するソフトウェア無線通信システムを実現するための無線通信技術、デジタル信号処理技術、ネットワーク構成技術に関して研究開発を行った。これら研究開発した通信システムを利用してマクロセル、マイクロセル間及び異種並びに同種システム間の通信をシームレスに切り替えて伝送できる新世代移動通信システムを構築し、テストベッドで実証した。

##### (1) マルチメディア無線通信技術の研究開発

ネットワーク層 (OSI 参照モデル第3層) 以下で異種無線通信システム間の高速ハンドオーバを可能とする Beyond3G アーキテクチャの1つであるモバイルイーサネット上で、IEEE802.11 システムと第3世代携帯電話システム (W-CDMA) との間のハンドオーバ、さらに IEEE802.11 システムと IEEE802.16 システムのハンドオーバを実現した。アプリケーションは、通常の Web アクセスのみならず、実用リアルタイムアプリケーションを対象とし、上記異システム間をリアルタイムにハンドオーバするモバイル端末上で、VoIPv6 電話・IPv6 ビデオストリーミング・IC カードから携帯端末へ権限委譲する方式のモバイル電子商取引を動作させた。これらのハンドオーバについては屋内・屋外における実証実験システムを構築し、実環境に準じた機能・性能評価を行った。また、無線セキュリティとして、無線の特長であるマルチキャストを利用した暗号化キー配布方式、位置情報を用いて無線の種類に依存しない同キー生成方式を提案するとともに、その実証試験システムを構築した。また、実証試験以外に提案システムのスケーラビリティを評価するため大規模計算機シミュレーションを用いた評価も行った。モバイルイーサネット/モバイル IP ネットワークを対象とした大規模ネットワークシミュレータ MIRAI-SF を構築し、この無線プラグインと

して IEEE802.11 a/b/g/e、802.16、802.21 (ドラフト仕様) を実装した。また、最大モバイル端末数3万を可能とするシミュレーション環境を構築し、大規模な無線ネットワークを想定した高速ハンドオーバー方式や無線セキュリティの評価を行った。これらの開発技術は平成17年に総合デモンストレーションとして一般公開された。

##### (2) 新世代移動通信システム (第4世代移動通信システム) の研究開発

平成16年度に新世代移動通信システムとして直交周波数分割多重 (OFDM) と時分割多元接続 (TDMA) を利用した DPC-OF/TDMA 方式を提案し、平成17年度にはその実証試験のため、マイクロ波帯で 100 MHz 帯域幅を用いた物理層装置及び IP 接続が容易でユーザーが自由に好きなチャンネルにアクセスできるプロトコルを備えた MAC 層装置から成る総合移動通信プロトタイプを開発した。そして時速 100 km 下においても伝送レート 70 Mbps 以上の伝送速度が実現できるブロードバンドパケット伝送システムを実現した (図2.2.1)。

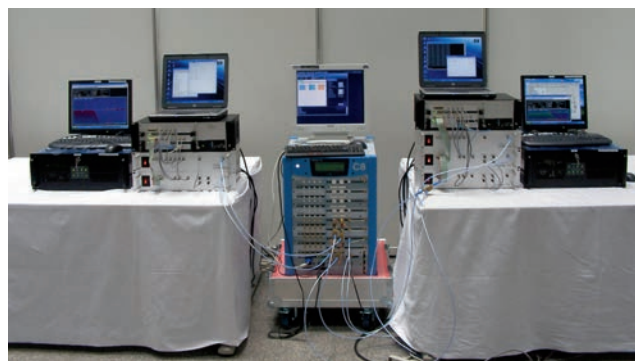


図2.2.1 ブロードバンドパケット伝送システム

また、異なる商用の無線通信システムを1台の機器でソフトウェアの変更のみで実現できるソフトウェア無線通信機を世界で初めて開発した。特に平成16年度には無線 LAN (IEEE802.11 a/b)、第3世代携帯電話システム (W-CDMA)、地上波デジタル TV (13セグ) の利用が1台の無線機でソフトウェアの変更だけで実現でき、各通信システムをシームレスに切替え可能なソフトウェア無線機を開発し、この無線機による屋外シームレス

伝送実験 (W-CDMA、IEEE802.11 b) に成功した。また、W-CDMA、802.11 無線 LAN (2 GHz、5 GHz) に対応可能な高周波モジュールを開発し、これらを処理可能なデジタル信号処理プラットフォームの研究開発を行った (図2.2.2)。



図2.2.2 高周波モジュール

### (3) 成層圏無線中継システムの研究開発

#### a) プロジェクトの背景

1990年代後半、携帯電話は第2世代が普及し、無線は「いつでもどこでも誰とでも」通話できるようになるための技術として発展する中、多数必要となる基地局設置コストを減らし、かつ広域にわたる高速無線アクセスを可能とするため、地上と衛星軌道の間に位置する未開拓空間とも呼ばれる成層圏 (高度約20km) に大型飛行船を活用した IT 基地を設置する構想が生まれた。成層圏は気流が安定し、静止軌道に比べると格段に伝搬距離と伝搬遅延が短いためアンテナや送信出力は小さくて済み、また地上からみて、高さ20kmの電波塔を建てた場合と同等であるため、少ない送信電力かつ1つの成層圏基地局で直径100km以上の範囲を一度にカバーすることも可能とされた。

平成9年のITU世界無線通信会議 (WRC、ジュネーブ) において、「High Altitude Platform Station (HAPS)」という無線局が無線通信規則 (RR) 上で定義され、そのための専用周波数帯として48/47 GHz帯が分配されるに至った。

その後、日本では総務省と文部科学省が主導し、NICTの第1期中期計画の開始から3年ほど遡った平成10年より、当時の航空宇宙技術研究所 (NAL)、海洋科学技術センター (JAMSTEC)、通信・放送機構 (TAO)、及び通信総合研究所 (CRL) の連携により、成層圏飛行船技術 (日本では「成層圏プラットフォーム (SPF)」と

名付けられた) とその通信・放送分野への応用技術、及び環境計測技術の研究開発プロジェクトがスタートした (図2.2.3)。またそれらの進捗を確認するための成層圏プラットフォームワークショップ (SPSW) を毎年東京で開催するようになり、SPSWには情報収集のために多くの国々の大学、研究機関から多数の研究者が集まるようになった。SPSWは平成17年までに計5回開催された。このプロジェクトは、飛行船構造、材料、モーター、太陽電池、燃料電池、制御、無線とそのアクセス制御、周波数共用と開拓、信号処理、環境センサ等の要素技術、及び第3世代携帯電話や当時検討が進められていた地上放送のデジタル化の他、防災、環境保全、さらには防衛に至るまで、非常に多岐の分野にわたる広い裾野と波及効果をもつ巨大プロジェクトとして内外から大きな期待を集めた。

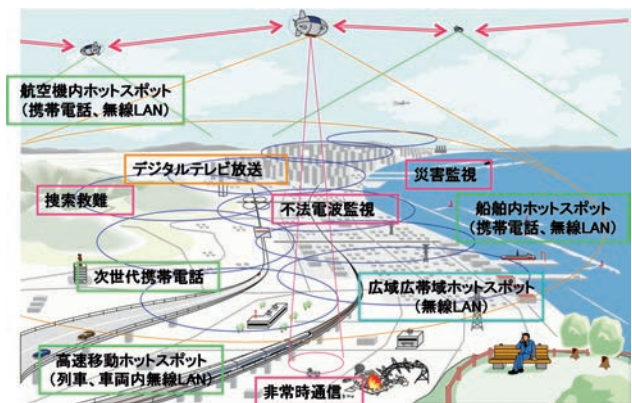


図2.2.3 成層圏プラットフォームによる通信・放送分野への応用例

#### b) CRLでの研究開発

CRLとTAOが連携し、SPFに搭載する通信・放送ミッションの研究開発を担当した。CRLでは、ITUにおいて日本が提唱してその国際的な分配を目指していたKa帯 (31/28 GHz帯) を使い、地上に同時に複数のセルを生成する機能をもつ、マルチビームと適応可変ビームの同時形成が可能なデジタルビーム形成 (DBF) アンテナの開発を行った。アンテナ素子数は100素子以上が理想であったが、まずはその評価用ということで4×4の16素子で試作し、そのための独自のビーム形成アルゴリズムを考案・開発した。その他、WRCですでに分配が決まっていた48/47 GHz帯を使い、DBFよりは同時形成ビーム数は少ないが、コストが安くかつ高い利得が得られる機械駆動制御型のマルチビームホーン (MBH) アン

テナを試作開発した。TAOでは、「横須賀成層圏プラットフォームリサーチセンター」が横須賀リサーチパーク(YRP)に設置され、携帯電話の基地局機能をSPFに担わせるための2GHz帯セクタアンテナや、SPFをデジタル放送タワーとして使うためのUHF帯送信装置等が開発された。

平成14年には、試作開発された通信・放送ペイロードをSPFの代用となる各種航空機に搭載しての疑似環境での実証実験がTAOにより開始された。DBFアンテナとMBHアンテナによる高速アクセス通信実験は双発ヘリコプタ(Vertol)、デジタル放送実験は小型ジェット(Gulfstream)を利用してYRP上空及び北海道大樹町にて行った。またCRLでは、米国航空宇宙局(NASA)開発の高高度ソーラープレーン無人機(Pathfinder Plus)に無線中継機を搭載しての実験をハワイにて行い、世界で初めて高度20kmの航空プラットフォームによる地上での第3世代携帯電話の直接接続によるTV電話とデジタルハイビジョン放送の受信に成功した(図2.2.4)。その成果についてCRLとNASAの両方でプレスリリースを行い、両国で数多く報道された。



図2.2.4 NASAの高高度滞空型ソーラープレーンによる携帯電話中継とデジタル放送の実証

平成16年になると、飛行船の制御試験用に独立行政法人宇宙航空研究開発機構(JAXA)が開発した定点滞空試験機(全長68m、滞空高度4km)による実験が大樹町で開始され、同年に新たに発足したNICTはデジタル放送、光通信、及び将来の電波監視への応用を目指した電波到来方向推定の3ミッションを同試験機に搭載して実験に参加した。飛行船制御は成功し、合わせてNICTの

ミッションもすべて成功した。特に光通信では高度4kmの飛行船と地上局が相互にレーザーを捕捉し追尾することに成功した(図2.2.5)。

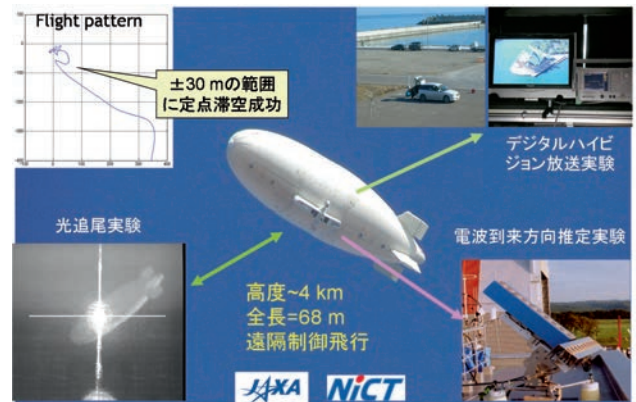


図2.2.5 JAXA開発の定点滞空試験機による通信・放送ミッションの実証

### c) ITUでの周波数分配獲得活動

CRLはTAOと連携し、総務省主導の元で、HAPS用の追加周波数帯としてKa帯(31/28GHz)獲得に向けて平成9年よりITU-R及びWRCにおいて活発な寄与活動・ロビー活動を行ってきた。その結果、HAPSのKa帯における無線システムの基本特性のほか、従来の固定業務や静止衛星、電波天文、地球探査業務等への干渉評価に関する合計6本の日本提案勧告を成立させた。また、平成12年のWRC-2000(イスタンブール会合)では、これらの勧告をベースとした周波数分配獲得活動を行い、無線通信規則(RR)上でのKa帯のHAPSによる使用に関する規定とこの分配に賛同するタイ、インドネシア、ベトナム等を含むアジアの12か国の国名を列挙した脚注の追加に成功した。この新しい規定と脚注の追加により、適用可能な国は限定されているものの、実質的にKa帯がHAPS用として国際的に確保されることとなった。またその後も寄与を続け、平成15年のWRC-2003(ジュネーブ会合)では、日本提案に賛同する国をさらにロシア等を含め7か国増やし、かつ南北アメリカ地域までも含めることで合意された。

### d) その後の動向

プロジェクト自体は、上記のようにCRLとTAOが担当した通信・放送ミッションについては基盤技術の開発とその成層圏を含む上空での代替機による実証評価、更には高速アクセス用の周波数分配の獲得に成功したが、肝心の飛行船技術、特に電源技術に課題が残り、低高

度(4km)での短時間の定点飛行制御には成功したものの、成層圏高度での定点飛行制御までは至らず、平成17年度にプロジェクトとしてはいったん終了することとなった。欧米でも結局、ロッキードマーチン等の大手企業が成層圏飛行船の開発に挑んだが、いずれも成功しなかった。その後、携帯電話や地上デジタル放送は地上の基地局や送信局の増設で普及した。しかし、当時のコンセプト自体はそれから10年近く経過した今でも生きており、これらの技術は、航空機内インターネットのための旅客航空機搭載用のミリ波アンテナや大規模災害時の通信確保のための小型無人飛行機による無線中継技術などに受け継がれている。

## 2.2.2 第2期中期計画 ユビキタスマバイル

高効率・高信頼な途切れない無線ネットワークの実現及び広域・超高速無線通信技術に資する研究開発を実施した。具体的には、(1)周波数利用効率の更なる向上を目指し、無線機周囲の電波利用状況に応じて無線通信方式の最適化機能を具備した高信頼可変無線通信技術、(2)利用可能な通信ネットワークを移動端末が認知して、通信を途切れさせることなくネットワーク接続を適応的に行うネットワーク連携技術、(3)地上・海上等、利用シーンを問わず広域な無線アクセスを可能とする広域無線通信技術、(4)近距離においてGbpsオーダーの伝送速度を提供する超高速無線ネットワーク技術、(5)医療や健康管理支援システム用通信技術、生体内外無線伝送技術及び医療現場における安全な無線利用技術に関する研究開発を実施した。

### (1) 高信頼可変無線通信技術(コグニティブ無線通信技術)

無線機周囲の電波状況(周波数利用状況、電磁干渉状況、通信回線品質など)を認識(通信環境認識)し、認識結果に基づき最適な無線通信システムを選択(システム選択)して、システム選択結果に基づき無線機をソフトウェア的に再構築(システム再構築)するコグニティブ無線通信技術に関する研究開発を行った。具体的には、コグニティブ無線機開発に必要な無線通信デバイスの開発と、無線機を再構築する際に必要となるハードウェア/ソフトウェアプラットフォームの設計・開

発を実施した。デバイス開発では、UHF帯から6GHz帯までをカバーする各種デバイス(アンテナ、フィルタ、アンプ、送受信ミキサ等)を開発した。ハードウェアプラットフォーム開発では、ソフトウェアのみでシステムが高速に変更可能なFPGAを用いた汎用信号処理ハードウェアを平成19年に開発した。ソフトウェアプラットフォーム開発では、通信環境認識を行うスペクトラムセンシング部、スペクトラムセンシング部とシステム選択部及びシステム選択後の無線機再構築部とのインタフェースの開発を行い、主たる研究開発成果をIEEE 1900.4及び1900.6において平成21年度に国際標準化し、IEEE 1900.4に準拠するコグニティブ無線機を世界で初めて開発した。また、開発したコグニティブ無線機は、平成22年度にシンガポール情報開発庁(IDA)が募集した「ホワイトスペース特区を利用したホワイトスペース通信実験」に採択され、実証試験に利用された。

### (2) ネットワーク連携技術(コグニティブ無線ネットワーク技術)

ユーザーセントリックな無線ネットワークサービスの提供を目指して、利用可能な無線ネットワークの回線品質の認識結果に基づく最適ネットワーク構成の構築・運用規範に関する研究開発を行った。具体的には、ネットワークアーキテクチャ、基地局構成及び基地局・ネットワーク側との協調アルゴリズム設計を実施して、平成20年度には、これらの設計結果を実装したヘテロジニアス型コグニティブ無線基地局を開発した。平成21年度には、周囲の無線ネットワーク及び電波利用状況を認知した上で、既存ネットワークに繋ぐ回線を確立する可搬型基地局(コグニティブ無線ルータ)を開発した。平成22年度には、神奈川県藤沢市に500台のコグニティブ無線ルータを設置して、一般ユーザーによるインターネット接続及び各種アプリケーションによる大規模社会実証実験を行った(図2.2.6)。また、電波が使用されていない周波数帯(ホワイトスペース)を自動的に探索して無線ネットワークを構築する、ホワイトスペース対応コグニティブ無線ネットワークの構築を世界で初めて成功した。これらの成果は電波の利用状況をすべてネットワーク側に具備されたサーバ(クラウド)に格納し、状況に基づき利用者に最適な無線通信システムを提供するシステムに反映され、このシステムアーキテクチャをコ

グニティブワイヤレスクラウドと名付け、国際的に提案を行った。これがワイヤレスにおいて“クラウド”という言葉を使用した世界で初めての例となった。主たる研究開発成果は、IEEE 802.11 af、IEEE 802.19.1、IEEE 1900.4 a において国際標準化された。なお、開発したコグニティブ無線ルータは、平成23年には、東日本大震災の後、被災地域の支援要請を受け岩手県遠野市に設置され、通信手段を失った災害対策本部の連絡手段、病院において医師が医療データベースにアクセスする手段、また、被災地で活動されているボランティアの通信手段などの形で利用された（この貢献により NICT は遠野市より感謝状を授与された）。



図2.2.6 左：ヘテロニアス型コグニティブ無線基地局  
右：コグニティブワイヤレスクラウド用サーバ

### (3) 広域無線通信技術

#### a) 海上高度交通システム (海上 ITS)

船舶の安全・快適運行を目的とした、船舶間及び陸船舶間をメッシュ状無線ネットワークで接続する船舶間通信システムを実現するための要素技術の研究・開発を行った。具体的には、平成18年度に海上マルチホップメッシュネットワークシミュレータを開発し、平成19年度以降、IEEE802.16 e 標準仕様の無線通信システムを基本として、媒体アクセス制御 (MAC) 層技術、インターネットプロトコル (IP) 等のデータ伝送における経路選択及び経路構築技術の研究開発を行い、シンガポールにおいて屋外実証実験を実施した。要素技術は IEEE 802.16 n へ寄与文書として提出して、国際標準化活動への寄与を果たした。

#### b) 安全運転支援車車間通信システム (車車間 ITS)

UHF 帯 (700 MHz 帯) を用いた交差点における衝突等を防止することを目的とした安全運転支援のための車車間通信システムに関する研究開発を実施した。具体的には、UHF 帯電波伝搬特性の測定及びそのモデル化を行い、この電波伝搬モデルに基づく周波数共用技術及び衝突防止用通信プロトコルの設計・開発を行った。開発し

た各要素技術を ITS Forum006 に準拠した物理層とともに無線機に実装して、平成22年度に、屋外実験に世界で初めて成功した。

#### c) 特定小電力無線システムの高度利用技術

ガス・電気・水道等を中心とした遠隔検針及び監視・制御等の実現を目的としたスマートユーティリティネットワーク (SUN) 構築技術の研究開発を実施した。具体的には、UHF 帯 (400 MHz および 900 MHz) における電波伝搬特性の測定結果から通信エリアの見積もりを行い、広域をカバーして、低消費電力で運用可能なマルチホップ無線通信システムの MAC 層及び物理層の技術仕様を設計した。主たる研究成果は、IEEE 802.15.4 g、IEEE 802.15.4 e において国際標準化に提案され採択された。また、これらの標準化に準拠した無線機器の開発及びガスメータ等への導入についても、平成23年に世界に先がけて成功した。

#### d) 公共・公益分野におけるブロードバンド無線通信システム (公共ブロードバンド)

警察・消防等の公共・公益分野における動画伝送等のマルチメディアコンテンツの無線伝送を目的とした、VHF (200 MHz) 帯ブロードバンド無線通信システムに関する研究開発を実施した。具体的には、VHF 帯の電波伝搬測定を実施し、通信範囲の設計を実施、5 MHz の占有帯域幅を有する直交周波数分割多元接続 (OFDMA) を採用する無線アクセス装置を設計・開発した (図2.2.7)。平成22年度には、商用可能な可搬型基地局の開発を行い、社団法人電波産業会 (ARIB) 公共ブロードバンドシステム移動通信システム開発部会へ技術仕様を提案し、ARIB STD T-103 として標準化された。



図2.2.7 公共ブロードバンドシステム

#### (4) 超高速無線ネットワーク技術

大容量 AV 機器間通信及び超高速ファイルダウンロード等のアプリケーションに利用できるミリ波帯無線パーソナルエリアネットワーク (WPAN) の実現を目的として、60 GHz 帯を利用した 1 Gbps 以上の伝送速度をもつ近距離無線システムに関する研究開発を実施した。具体的には、ミリ波帯 WPAN システムの要素技術 (物理層、MAC 層、指向性アンテナ制御プロトコル) を開発して、平成 19 年度に、IEEE 802.15.3c に国際標準化された。国際標準化に際しては、国内外主要企業を中心とした 19 機関 2 大学から成るミリ波実用化コンソーシアムを設立して、NICT は標準化作業を先導した。平成 22 年度には、IEEE 802.15.3c 仕様に準拠して、1.5 Gbps 以上の伝送速度を達成するプロトタイプ開発に世界で初めて成功した。また、60 GHz 帯高周波 CMOS トランシーバ部の開発にも世界で初めて成功した。ミリ波帯無線 LAN の標準化作業を行う IEEE 802.11 ad にも研究開発成果を寄与文書として入力して、MAC 層標準仕様が国際標準化された。

#### (5) 生体内外無線通信技術の研究開発

##### a) 研究開発の概要

医療現場をワイヤレス技術で支援する“ICT ユビキタス医療”の実現を目指して、医療や健康管理を支援するシステムに必要な通信技術の研究開発や、新たな医療検査、治療に資する生体内外無線伝送技術、医療現場における安全な無線利用のための技術の研究開発を行った。具体的には、生体の動的電波伝搬モデル化や生体内外電波伝搬の実測、通信方式の改良や伝送特性評価等を実施した。

平成 19 年 1 月には産学官連携による共同研究組織「医療 ICT コンソーシアム」(NICT、民間企業 15 社及び 3 大学) を結成して、各分野からの意見を反映した IEEE802.15.6 (W-BAN: 無線ボディエリアネットワーク) 国際標準化を推進し、アプリケーション及び要素技術の両面から実用化を見据えた研究開発を指向した。W-BAN 要素技術とシステム開発を着実に進めた結果、平成 21 年 5 月には「低消費電力セキュア BAN 搭載ユビキタス型心電計の開発に初めて成功 ~安心の見守りボディ・エリア・ネットワーク (BAN) の実現~」、平成 22 年 5 月には、「UWB ハイバンドを用いた BAN システムの開発に初めて成功 ~国内 UWB 制度に準拠・TELEC 認証済~」の報道発

表を行って研究開発の成果を広く社会に発信した。

##### b) 研究成果について

##### ① 生体の動的電波伝搬モデル化

ウェアラブル端末を用いた W-BAN の準静的なモデルに対して、より現実的な動的チャンネルモデルを提案してデータを系統化した。具体的には、人体の基本動作を歩行、立ち座り、寝転び等のタイプ別に 7 分類し、シミュレーションソフトウェアにより再現性のあるデータを作成した (図 2.2.8)。

医療機器に対する電波妨害への耐性 (RF イミュニティ) を確認するため、高品質伝送を可能とする超高帯域 (UWB) 信号に対して、シリンジポンプ、無線テレメトリ機器、ベッドサイドモニタ等といった一般的な医療機器との電磁両立性 (EMC) を評価した (図 2.2.9)。

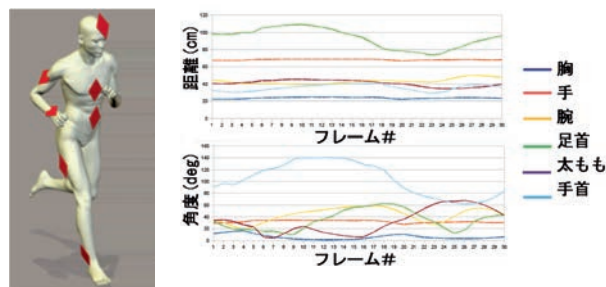


図 2.2.8 ウェアラブル端末を用いた W-BAN による走行動作の例とアンテナ距離 (上) 及び角度 (下) の結果。縦軸は腰にあると仮定した W-BAN コーディネータと各部位にある W-BAN センサ間の距離、コーディネータと各センサの相対位置を示す角度を示す。

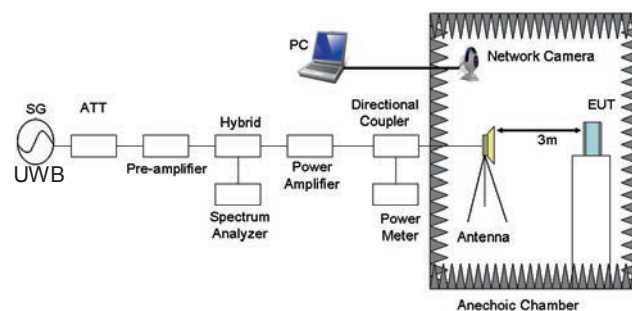


図 2.2.9 EMC 評価系の構成

##### ② 生体内外電波伝搬の研究

平成 20 年度に NICT 数値人体モデルを使用した時間領域差分法 (FDTD) による解析に着手した。平成 21 年度には、液体ファントムを用いた伝搬損失測定実験によるインプラント W-BAN 用電波伝搬モデルを構築した。伝搬モデルは IEEE802.15.6 に提案し、方式評価用伝搬モデルとして採用された (図 2.2.10 (a))。さらに構築し

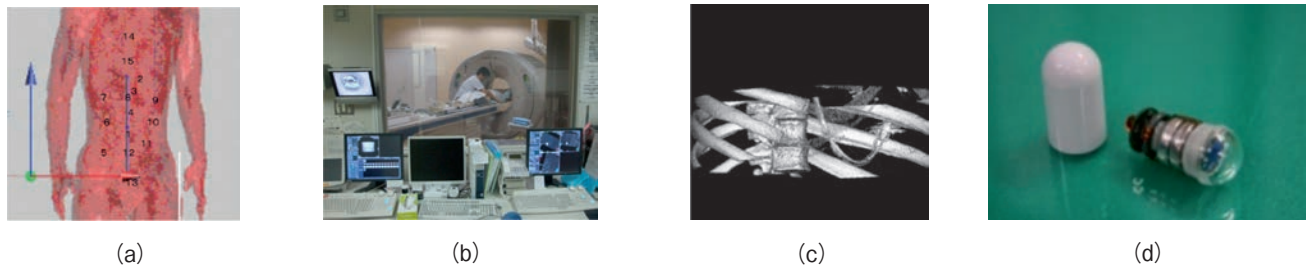


図2.2.10 (a) NICT 数値人体モデルを利用した FDTD 解析によるインプラント W-BAN 用電波伝搬モデルの構築  
 (b) インプラント W-BAN の生体利用実験—CT 測定の様子  
 (c) インプラント W-BAN の生体利用実験—胃部カプセル型信号発生器の3次元 CT 画像  
 (d) 信号減衰測定に使用したカプセル型信号発生器の試作品

た電波伝搬モデルを利用して、GFSK 変調によるインプラント W-BAN 用物理/メディアアクセス制御層(PHY/MAC 層) 技術を IEEE802.15.6 に提案した。また、平成 21 年度から 2 年間は、公立大学法人横浜市立大学医学部の協力を得て、インプラント W-BAN の生体内外間の電波伝搬測定を実施した(図 2.2.10 (b)、(c))。また、カプセル型小型信号発生器(図 2.2.10 (d)) を体内に一時留置した際の体外受信信号レベルを測定し、FDTD 解析結果との整合性を確認した。

### ③ W-BAN 通信方式の改良と伝送特性評価

生体に関わるセンサ情報伝送の優先度に応じた制御を可能にするビーコンモード、省電力化可能なノンビーコンモードが混在した MAC 層技術の検討、セキュア通信技術の開発、チャープ UWB 及びインパルス UWB のハードウェア搭載を仮定した通信品質等の検討並びに医療用周波数帯域の割当のある 400 MHz 帯の使用を前提とした狭帯域 GFSK 通信方式の差動復調特性等を検証した。また、超高速インターネット衛星「きずな」(WINDS) を用いた衛星国際通信実験(タイ-YRP-鹿島間)において、W-BAN データ伝送実験を初めて成功させた。実験では、W-BAN システムからのデータを、通信衛星を経由して伝送した場合の伝送遅延時間変動下での W-BAN 動作への影響を評価した。

### c) その他の研究活動

医療 ICT のための標準化・法制化を推進するため、IEEE802.15.6 標準化に NICT 独自提案等により積極的に寄与した。なお、NICT が副議長、セクレタリ等の重職を務めることで IEEE802.15.6 活動をリードした。

学術的価値を高めるため、平成 18 年度に電子情報通信学会内に医療情報通信技術研究専門委員会を設置して定期的に研究会を開催した。平成 19 年以降は、毎年「国

際医療 ICT シンポジウム (ISMICT)」を企画して国内外(フィンランド、カナダ、台湾等)で開催した。

## 2.2.3 第3期中期計画 スマートワイヤレス

飛躍的に増加する端末を収容し、クラウド系のネットワークと協調しながら、平時・災害時における様々な利用シーンに合わせて無線リソースの制御を行い、無線ネットワークを柔軟に構成可能とするスケーラブルワイヤレスネットワーク技術の研究開発を行った。また、ブロードバンドから低速まで柔軟なワイヤレス伝送を実現するため、利用状況や利用条件等に応じて適切に無線パラメータを変更させ、再構築可能な無線機間ネットワークを実現するスマートブロードバンドワイヤレスネットワーク技術の研究開発を行った。

### (1) スケーラブルネットワーク技術の開発

半径数百 m の範囲内に存在するガスメータや、電気メータおよび放射線量計等の各種環境モニターからの情報収集、制御が可能な省電力 Wi-SUN システムの技術仕様について、IEEE802.15.4 g/4 e 委員会での標準化を完全に終了させた。当該委員会では、副議長及びテクニカルサブエディタとして標準化を推進した。また、この仕様を推進する Wi-SUN アライアンスを国内外の民間企業 9 社とともに創設し、国際標準化をベースにした相互接続可能な民間規格の策定に寄与するとともに、この技術仕様に基づく小型無線モジュール(2 cm × 4 cm 程度)及び同モジュールを組み込んだ無線機を開発した(図 2.2.11)。また、既に特定の利用目的のために割り当てられている周波数において、「空間的」、「時間的」に利用可能なホワイトスペースと呼ばれる周波数帯を利用

するホワイトスペース Wi-SUN の研究開発を行い、その技術仕様の標準化を行う IEEE802.15.4 m 委員会を立ち上げ、副議長、セクレタリ、及びテクニカルエディタとして技術仕様を標準化させた。さらに、標準化を行った IEEE802.15.4 g をベースにして、MAC 層を簡略化させるための研究開発を行い、その仕様を ANSI/TIA PN-4957.200 として標準化させた。当該標準化では副議長として会合を主導した。加えて、前述の無線機研究開発成果を活用し、規格認証団体 Wi-SUN アライアンスの発起人メンバとして、多様なアプリケーションに対する各認証仕様 Wi-SUN プロファイルの策定に主導的に寄与した。成果の一つとして、家庭内エネルギー管理システムにおける標準通信アプリケーション ECHONET Lite を実現するための Wi-SUN プロファイルを策定し、平成25年から東京電力をはじめとする国内主要電力会社に採用されたことが挙げられる (図2.2.12)。



図2.2.11 左：Wi-SUN 無線モジュール、右：無線モジュールに電池ボックス、インタフェース部をつけた無線機

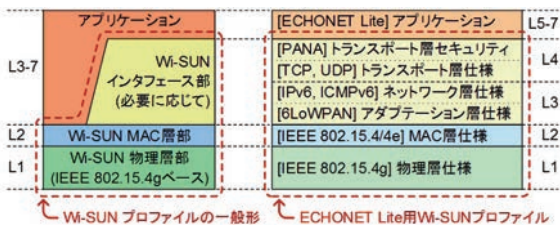


図2.2.12 上：ECHONET Lite 用 Wi-SUN プロファイルのプロトコルスタック、下：ECHONET Lite 用 Wi-SUN プロファイルの動作実証

また、これらの各種環境モニターから Wi-SUN で局所的に集められた情報を数十 km の範囲で広域に収集するために通信距離 40 km 程度までサポートをする UHF 帯 (TV 帯ホワイトスペース) を用いた IEEE802.22 規格準拠のスマート WRAN システムの開発に世界で初めて成功した。このシステムを用いて、平成26年に、岩手県遠野市で伝送実験が行われ、12 km の長距離伝送が可能であることが実証された。また、この標準規格に中継機能等の面的拡張機能を追加する研究開発を行い、IEEE802.22 b 委員会を立ち上げ、議長として研究開発した仕様の標準化を行っている。更には、IEEE802.22 システムをホワイトスペースで利用するために、一次利用者と二次利用者間の干渉計算、監視を行うホワイトスペースデータベース (WSDB) の開発に成功した (図2.2.13)。

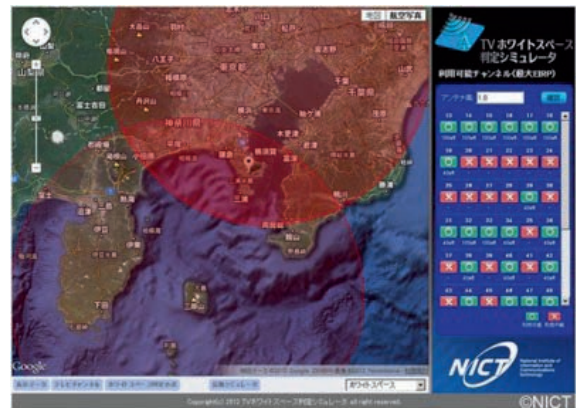


図2.2.13 WSDB の動作画面

## (2) ブロードバンドワイヤレスネットワーク技術の研究開発

ホワイトスペースで動作可能なスマート WLAN の仕様を設計し、物理層、MAC 層方式、無線 LAN システム間の共存方式をホワイトスペース WLAN の標準規格である IEEE802.11 af に提案し、最終標準ドラフト方式として採択された。この標準化において NICT は、副議長及びセクレタリとして標準化を主導した。また、平成24年には、このドラフト標準に基づく無線機の開発に世界で初めて成功した。さらに、ホワイトスペースを利用するシステム間共存方式を IEEE802.19.1 に提案し、最終標準ドラフト仕様として採択された。そして、これらの標準に準拠した無線機の開発に世界で初めて成功した。以上の成果に基づき、英国電波規制当局 (Ofcom) が実施した TV White Spaces Pilot プロジェクトに参画し、ロン



ドン市街地において、ホワイトスペース帯 LTE システムを用いた 40 Mbps 以上の移動体高速ブロードバンド通信と、IEEE 802.11 af システムを用いた 3.7 km の固定地点間通信に成功した(図2.2.14)。ホワイトスペースを用いた市街地における移動体高速通信及び固定地点間通信は、本実証が世界で初めての事例となった。また、本実証において利用可能周波数の管理を目的として開発したデータベースは、Ofcom の審査を経て認定を受けた。本成果は、英国をはじめとする世界各国のホワイトスペースの制度化に多大な貢献をもたらすことが予想される。

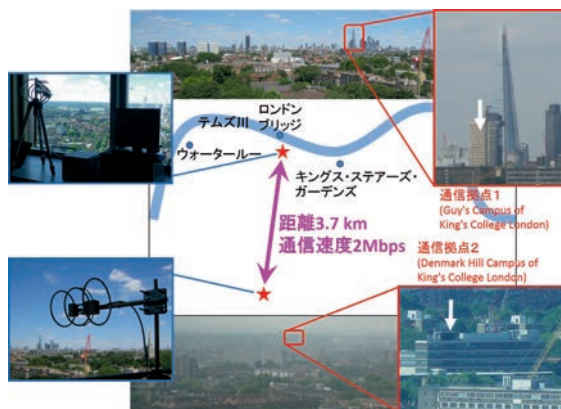


図2.2.14 英国 Ofcom パイロットにおけるホワイトスペース通信実証 (IEEE 802.11af)

スマート WPAN として、ミリ波における見通し外通信時の電波伝搬モデルを確立し、最大 1.7 Gbps まで対応した IEEE802.11 ad/15.3 c 準拠の通信システム、及び見通し外においても通信パスを探索可能なビームステアリングアンテナの開発を行い、同システム上で動作する低密度パリティ検査 (LDPC) 符号化復号化装置 (1 Gbps 以上で動作) を開発した他、これらを融合させた見通し外ミリ波伝送方式の基礎試験を行った(図2.2.15)。



図2.2.15 左：ビームステアリングアンテナのデモンストレーション、右：LDPC 符号化、復号化装置のデモンストレーション

### (3) 自律分散ワイヤレスネットワーク技術の研究開発

災害に強く実際に社会に実装可能で経済活動の促進や人命救助に役立つ自律分散ワイヤレスネットワーク技術の実現を目指し、耐災害ワイヤレスメッシュネットワーク、大規模災害時の通信確保を目指した小型無人飛行機による無線中継システム、インフラに依存しない端末間通信システムの研究開発に取り組んでいる。また伝搬条件の悪い環境での無線利用の可能性を拡大するための UWB による屋内測位システムや有線接続なしに給電と通信を同時に実現するシート媒体通信技術の研究開発にも取り組んでいる。

耐災害ワイヤレスメッシュネットワークでは、地域型の分散ネットワークアーキテクチャである「NerveNet」と呼ばれる技術を基盤とした基地局ノード30局程で構成されるワイヤレスメッシュネットワークテストベッドを国立大学法人東北大学キャンパス内に設置し、災害時にインターネット等が使用不能になることを想定した大規模な実証実験を平成25年3月に実施した。

小型無人飛行機による無線中継では、プログラム通りに自動で2時間以上巡回飛行することが可能な無人飛行機を仮想の電波塔として活用し、災害による情報孤立地域との通信回線を発災直後に迅速に確保するシステムの開発を行い、平成25年3月から平成26年にかけて仙台、北海道大樹町、和歌山県白浜町、香川県坂出市等において多くの実証実験を成功させた(図2.2.16)。また無人飛行機のための周波数有効利用や無線の信頼性向上技術に関する総務省の委託研究(平成25～27年度)を受託し、ITU や国際民間航空機関 (ICAO) 等の国際標準化活動への寄与も行っている。

インフラに依存しない端末間通信ネットワークでは、920 MHz 帯の電波を用い、基地局を通さずに端末同士だけで、しかもリアルタイム通信ができない環境でも端末を持った人や車の移動により時間差において広報やセンサなどの情報を拡散・収集するネットワークを開発した(図2.2.17)。東京都台場地域や京都府精華町けいはんな地域にテストベッド設備を実装し、バス会社や自治体と連携した評価実験を平成26年3月より実施している。このネットワークは、大量のデータや全国規模・全世界規模のやりとりには適していないが、地域に根ざした情報のやりとりに適しており、低いコストで住民や観光客の暮らしや活動を支援する地域の街づくりへの貢献が期

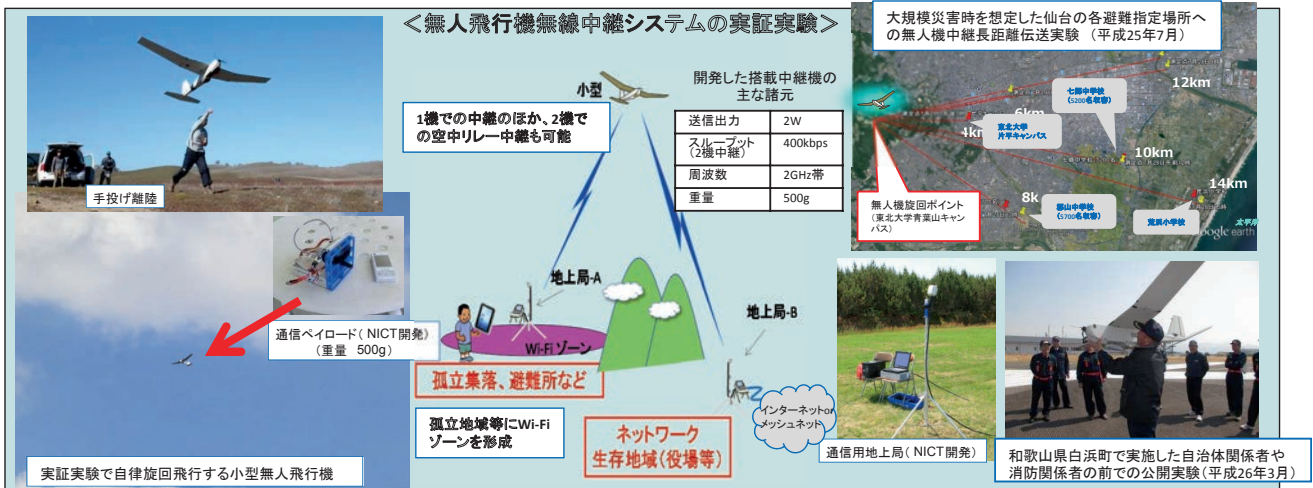


図2.2.16 小型無人飛行機による災害時無線中継システム

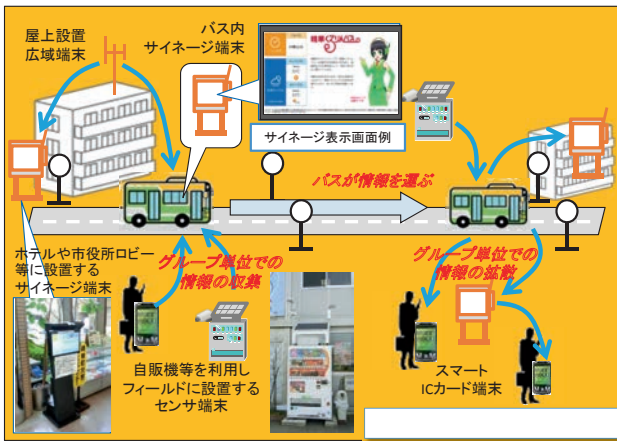


図2.2.17 インフラに依存しない端末間通信ネットワーク

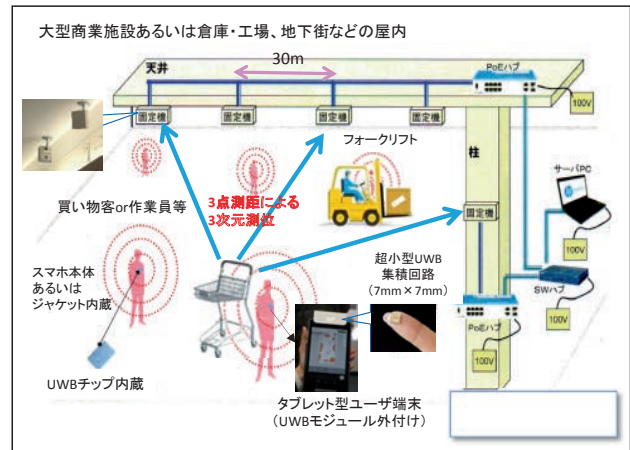


図2.2.18 UWBによる屋内測位システム

待される。IEEE802.15.8の中で平成27年度末の国際標準化に向けた審議が進められており、研究室メンバーが Vice Chair や Adhoc リーダの役職で主導し、NICT 提案方式が採用されるよう活動している。

UWB (超広帯域無線) による屋内測位システムでは、インパルス型の UWB を用い、GPS 電波の届かない屋内や地下等でも高い精度 (30cm程度) で位置を検知することのできる屋内測位システムを開発し、ショッピングモールや物流倉庫に実装して平成26年3月より評価実験を実施している (図2.2.18)。このシステムは、他の屋内測位方式と比べて最も精度が高い。研究開発と並行し、UWB の使用に関する規則改訂の審議に副主査やワーキンググループリーダーとして貢献した。

シート媒体通信技術は、厚さ数 mm のシート (2次元シート) に電磁波を閉じ込め、表面近傍のみに染み出すエバネッセント波により任意のシート上のデバイスに対して無接点で情報通信と給電を同時に行う技術であり、シートとの間で高効率に情報や電力の入出力を行うカプラや、シート上の任意の場所に、通信信号や給電電力を集中する技術などを開発してきた (図2.2.19) (詳細については 2.10.6 を参照のこと)。第3期中期計画では、特にウェアラブルでフレキシブルな布状シートにも適用できるようにするための高効率な小型カプラの開発を行い、ヘルスケアや脳波計測、小型の玩具、ワイヤレスディスプレイ等に应用するための研究開発を進めている。

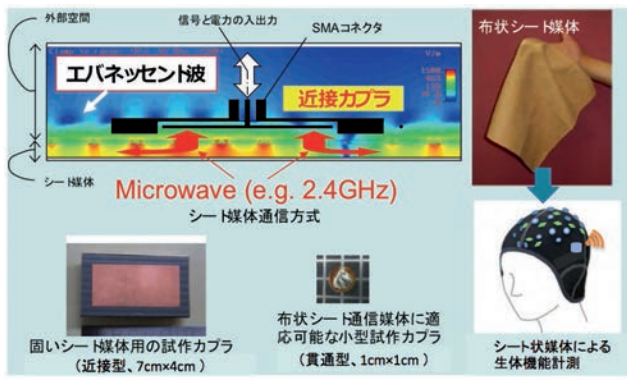


図2.2.19 布状シートを用いたウェアラブル媒体による通信・給電システム