

I-2 NICTワイヤレスネットワーク 研究所の研究開発概要



門脇 直人 (かどわき なおと)

ワイヤレスネットワーク研究所
研究所長

子供の頃からラジオ少年として育ち、今でもラジオなしでは生きていけない。スポーツは大学で少しかじったアメリカンフットボールとスイミング。カラオケではサザンオールスターズ、読書はSF、特に J.P. ホーガンが好き。空海を尊敬し、たまに寺社仏閣巡りに出かける。

「移動環境や災害等の非常時、有線によるアクセスが困難な領域などで、周波数資源やエネルギー資源を有効利用しつつ、人やモノが柔軟かつ確実に繋がるワイヤレスネットワークの研究開発を行っています。」

ワイヤレスネットワーク研究所は、新世代ネットワークにおける重要な役割を担うワイヤレス通信技術の研究を進めると同時に、安心・安全でスマートな社会実現への貢献、ワイヤレスコミュニケーションの源泉である周波数資源の一層の高度利用への貢献を果たすことを目的とした研究開発を行っています。図に研究開発の方向性を示します。

● 新世代ネットワーク実現のためのワイヤレス研究

ワイヤレス通信技術は、光ファイバの敷設が困難な地域や移動環境においてネットワーク接続を行うために必要不可欠です。様々なユーザの要

求に応え、確実にネットワーク接続を実現するため、簡易な低速伝送端末からギガビット級の超高速伝送までスケラブルに通信可能なワイヤレスネットワーク技術や、基地局やアクセスポイントに依存しない自律的なワイヤレスネットワーク技術、地上のみならず海域や上空、宇宙空間の移動体をブロードバンドに接続する宇宙通信技術を開発することにより、ネットワークのカバレッジや利用形態を大きく拡張することが可能となります。これらの技術は光ファイバ網との連携・融合により、新世代ネットワークの構築において重要な機能を実現可能とするものです。

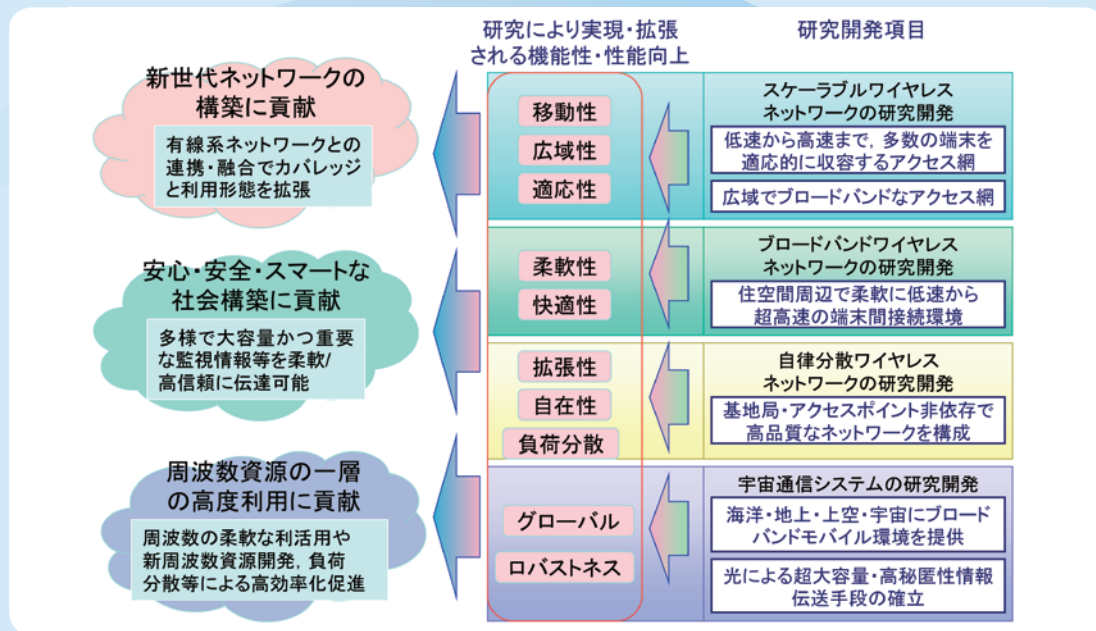


図 ワイヤレスネットワーク研究所の研究開発の方向性

● 安心・安全でスマートな社会構築に貢献するワイヤレス研究

前述のスケーラブルなワイヤレスネットワーク技術は、これまでに研究開発を進めてきたコグニティブ無線技術、スマートユーティリティネットワーク技術等を基に融合システム化およびプラットフォーム化技術を確立することにより実現できるものです。この技術は自然環境やエネルギー消費量、電波利用環境など多様な情報を集約し、かつ解析された情報をフィードバックすることにより、例えばエネルギー消費量を制御するようなシステムの構築に貢献できます。また、通信インフラのない地域での観測情報収集などを可能とする自律ワイヤレスネットワーク技術や、観測衛星など宇宙からの大容量観測情報を地上に伝送する宇宙通信技術は、環境監視や国土保全、防災・減災のために重要な役割を果たします。東日本大震災の直後には、超高速インターネット衛星「きずな」用地球局を被災地に運び、救援活動に当たる東京消防庁や航空自衛隊の前線基地と首都圏の本部の間にブロードバンド衛星回線を提供し活動を支援しました。また、コグニティブ無線ルータを避難所等に設置して被災者や地方自治体にインターネット接続環境を提供する等の活動を行いました。このように安心・安全でスマートな社会構築に直接貢献するシステム研究と実証をあわせて推進しています。

ブ無線ルータを避難所等に設置して被災者や地方自治体にインターネット接続環境を提供する等の活動を行いました。このように安心・安全でスマートな社会構築に直接貢献するシステム研究と実証をあわせて推進しています。

● 周波数資源の一層の高度利用のためのワイヤレス研究

携帯電話をはじめ多様な無線通信システムの爆発的な利用拡大に伴い、システム拡張や新たなブロードバンドワイヤレス技術の導入のための周波数確保は困難な状況になってきています。そのため、周波数資源の一層の高度利用技術が求められています。この要求に応えるため、コグニティブ無線技術を応用したホワイトスペース通信技術(特定の場所や時間帯での未利用周波数帯を活用したワイヤレス通信技術)や、インフラ系/自律系ワイヤレスネットワークおよび有線系ネットワークの協調によるトラヒック分散技術、さらにテラヘルツ領域の通信応用技術の研究開発など、周波数利用の一層の効率化や新たな周波数資源の開発に取り組んでいます。

体とその周囲を取り巻く ボディエリアネットワーク

－健康見守り、視覚障がい者安全補助へのアプローチ－

「ボディエリアネットワーク(BAN)とその標準規格 IEEE802.15.6 について述べ、超広帯域無線を用いて試作した健康見守りのための BAN と視覚障がい者安全補助のための BAN を紹介します。」

李 還幫 (リ カンホウ)

ワイヤレスネットワーク研究所
ディペンダブルワイヤレス研究室 主任研究員

1994年名古屋工業大学大学院博士後期課程了。博士(工学)。同年郵政省通信総合研究所(現 NICT)入所。以来、技術試験衛星 ETS-VI や COMETS などを用いた移動体衛星通信の実験研究、ウルトラワイドバンドとボディエリアネットワークの研究開発および標準化活動などに従事。1999～2000年、米国スタンフォード大客員研究員。2002年より電通大客員准教授、2009年より同客員教授。2006～2012年、IEEE802.15.6 副議長。2011年より電子情報通信学会通信ソサイエティ研専連営会議副議長。1995年度電子情報通信学会学術奨励賞、1997年度同論文賞、2002年科学技術庁注目発明、2009年 NICT 個人成績優秀賞、2012年 IEEE-SA Standards Board acknowledges with appreciation 各受賞。著書「ビタビ復号を用いたブロック符号化変調方式」、[Wireless Body Area Network](共著)など。現在、歴史本を嗜み中。

ボディエリアネットワークとその標準化

ボディエリアネットワーク(BAN: Body Area Network)は、図1に示すように、体の表面、中およびそのごく近辺に配置されている小型端末を無線通信で結ぶことによって構成され、体とその周囲を取り巻く無線ネットワークです。体温、心電、3軸加速度などを測るセンサーと組み合わせれば、体の健康状態と活動状況をリアルタイムにモニタでき、生活習慣病予防や高齢



者見守り、そして看護負担軽減などでの利用に役に立ちます。また、ゲームコントローラやワイヤレスヘッドホンなどの身の回りで用いる小型端末間の音声、画像、データのワイヤレス伝送にも利用できるため、安心、安全、便利な暮らしを支える技術として、注目を集めています。

近年、無線 LAN や Bluetooth などが普及し、身近で利用されるようになってきていますが、これらの無線標準規格を策定したのは、

IEEE802 LAN/MAN 標準化委員会です。同標準化委員会は、2007 年 12 月に BAN の無線標準規格を策定するためのタスクグループを設置し、アメリカ、欧州およびアジアから30以上の研究機関、企業、大学が集まり、世界で共通に利用できる BAN 仕様を定める作業を進めました。そして、2012 年 2 月に、BAN の無線標準規格が完成され、IEEE802.15.6 という番号が付与されて発行されました。

● 超広帯域無線と BAN

標準規格 IEEE802.15.6 は、通信方式や電波仕様などを定義する物理(PHY)層、およびネットワークのセットアップと端末のチャネルアクセス方法などを定義する媒体アクセス制御(MAC)層の規格を定めています。NICT は健康見守りとヘルスケアへの応用に重点を置きながら、BAN タスクグループの立ち上げ、標準仕様の提案および標準化作業において中心的な役割を果たしました。図 2 に示すように、NICT は法制化小委員会、チャネルモデル小委員会、技術仕様要件小委員会などを主導しました。

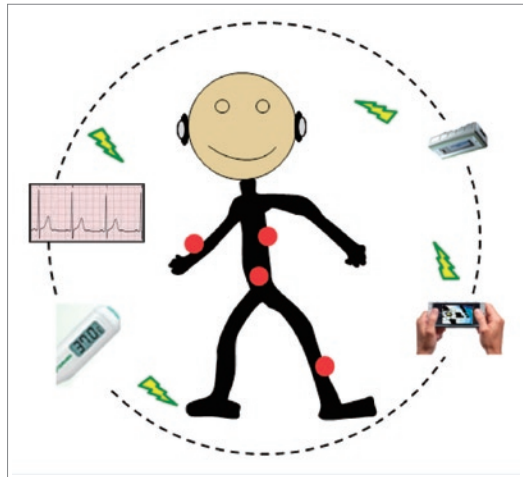


図1 体とその周囲を取り巻くBAN

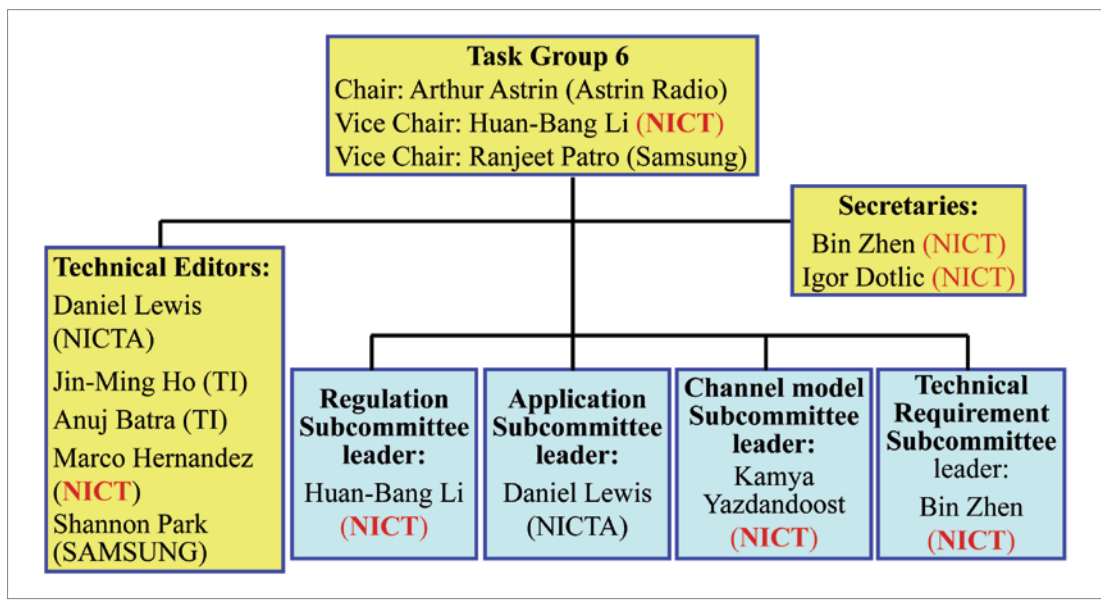


図2 BAN標準化タスクグループの組織図

BANは狭帯域無線技術または超広帯域(UWB: Ultra-Wideband)無線技術を用いて実装できます。狭帯域無線技術は確立されているものが多いのに対して、UWB無線技術は新しく開拓する必要のある技術です。UWBは非常に広い周波数帯域幅(500MHz以上)にわたって電力を拡散させ、極めて低い電力密度をもって通信を行うことが特徴で、以下の利点を有します。

- ・放射電力密度は従来の狭帯域信号の数万～数十万分の一程度で、人体への影響が小さいと考えられます。
- ・低消費電力の特徴があり、小型電池で動作するBANにとって好適です。
- ・放射電力密度が低く、かつ高い周波数を使用するため、電波の伝搬距離が限定的であり、システム間の共存にとって好都合です。
- ・狭帯域PHYよりも高いデータレートをサポートします。

一般にUWBに割り当てられている周波数帯域は、ローバンド(日本では3.4～4.8GHz)とハイバンド(日本では7.25～10.25GHz)に分けられるため、国と地域によって使用周波数帯域が異なります。ローバンドの使用は干渉回避の制限がかけられるため、制限のないハイバンドを用いたシステムが望まれます。

超広帯域無線を用いたBANの研究開発

● 健康見守りBAN

健康見守りBANは、図3に示すように腕時計型、ペンダント型、腰ベルト装着型などの体へ取り付ける小型端末と固定型端末から構成されます。これらの端末はそれぞれ脈拍、心電、3軸加速度、体重等のセンサーと組み合わせて用いられます。端末は全て国内法制度で認められているUWBハイバンドを用いました。腰ベルト装着型端末はBANのハブであり、ネットワークの形成と制御、および他の端末へのチャネル割当を行うなどの役割を担っています。各端末は1秒ごとにデータを送信していますが、1回のデータ送信とハブから受信したとの返信を受け取るまで約4ミリ秒で完了します。残りの時間は送受信を行わないスリープモードに移り、消費電力の削減につとめています。

図3のモニタ画面の例では、各種取得データがリアルタイムに表示され、3軸加速度計によって、人の転倒を検知してアラームを鳴らしている例を示しています。

● 視覚障がい者安全補助用BAN

視覚障がい者安全補助用BANは、アメリカ、欧州、および日本などで共通に利用できる

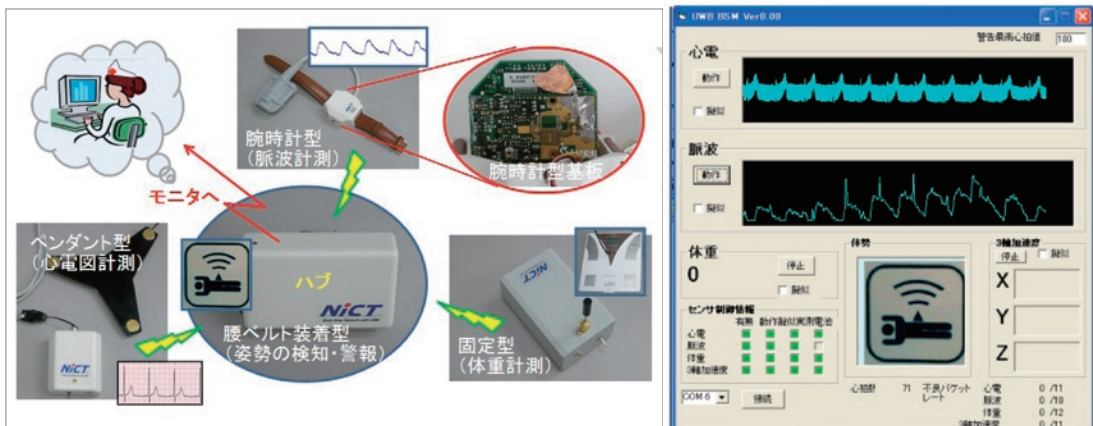


図3 健康見守りBANの構成とモニタ画面例

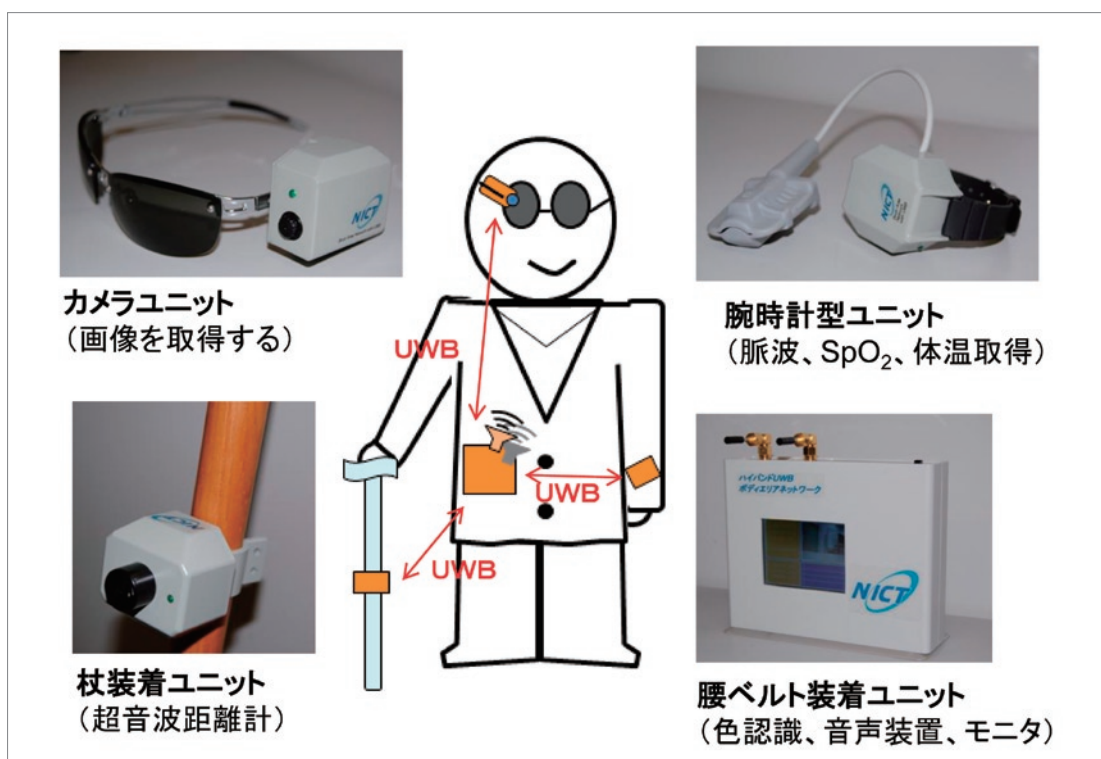


図4 視覚障がい者安全補助用BAN

UWB ハイバンド 7.25 ~ 8.5GHz を用い、その全体構成は図4 のとおりです。

サングラスにカメラを取り付けて交通信号などの色信号、腕時計型端末からは脈波、SpO₂ (血中酸素飽和度)、体温などのデータ、杖に取り付けられている超音波センサからは進路障害物検知情報などを取得させます。これらの情報をUWB 経由でベルト装着ユニット(ハブ)に送り、特にカメラの画像伝送はUWB の高いデータレート特徴を利用しています。ハブでは認識した色を音声で教え、また、進路に障害物があるときに、これを検知し音声で告げます。モニタには、障害物までの距離や、脈波、SpO₂、体温などのデータが表示され、これらのデータを音声または振動等の形で使用者に伝えれば、周囲状況の把握や健康管理などにさらなる活用が可能です。

まとめ

BAN は体を取り巻く小型端末からの音声、画像、データなどを利便的に取り扱い、様々な利活用が可能です。標準規格 IEEE802.15.6 が成立し、そして発行されたことは、さらに BAN の技術開発に拍車をかけ、安心・安全な福祉社会を実現する1つのコア技術として、大いに期待されます。

高度電波利用データベース技術を利用した次世代ワイヤレス通信ネットワーク

「ブロードバンド通信用周波数の枯渇に対応するため、『空間的』『時間的』に利用可能な周波数を二次利用する技術が高度電波利用データベースを用いたワイヤレス通信です。」

原田 博司 (はらだ ひろし)

ワイヤレスネットワーク研究所
スマートワイヤレス研究室 室長

大学院修了後、1995年よりCRL(現NICT)勤務。主に次世代無線通信システムの研究開発(通信方式)、標準化活動に従事。モットーは「波は乗るものではなく、波は作るものである」、「2回考える前に、まずは行動」。博士(工学)。

背景

携帯電話に代表される無線局の数は既に1億台を超え、既に移動通信に適した周波数帯で確保できるチャンネル数(周波数帯域)は限界に達しつつあります。しかしながら、昨今のブロードバンド化への要求の高まりとともに、次世代で求められる無線機に対してもブロードバンド化が要求され、周波数の有効利用を行いつつブロードバンド通信を行う周波数帯域を確保する必要があるというジレンマに陥っています。

この問題を解決するために、免許されている無線局(これを周波数の一次利用者と呼びます。)の利用周波数帯であっても、空間的、時間的に利用されていない時間であれば、その周波数を一次利用者への干渉を起こさないよう利用を行う周



波数の二次利用(共同利用)を行うワイヤレスネットワークの研究開発を現在行っています。

図1にその利用モデルを示します。1つは、この技術を基地局に導入した場合です。基地局自らが一次利用者に割り振られていない周波数、もしくはシステムに既に割り振られているが利用されていない周波数を見つけ出し、その周波数を用いて独自の通信システムを実現させるものです。もう1つが、端末に導入した場合です。端末自らが一次利用システムに割り振られていない周波数、もしくは各システムに割り振られているが利用されていない周波数を見つけ出し、次に、その周波数を用いて端末間で通信を行います。

この周波数の再利用を行うワイヤレスネットワークを実現するには、電波の一次利用者の電波の利用状況を適切に把握するとともに、

①一次利用者からの通信領域と再利用を行う無線局の通信領域が干渉しないよう電波を高度に監理する高度電波利用データベース技術及びこの技術を用いたワイヤレスクラウドネットワーク、②電波の一次利用者に干渉を与えることがわかった場合、もしくは、通信トラフィックが変わった場合に、周波数、送信出力、通信方式等の各種無線パラメータを変更する再構築可能無線機(基地局、端末)等の研究開発が必要になります。

● 高度電波利用データベース技術を利用したワイヤレスクラウドネットワーク

高度電波利用データベース技術を利用した周波数共同利用ワイヤレスクラウドネットワークの概要を図2に示します。同図においては、一次利

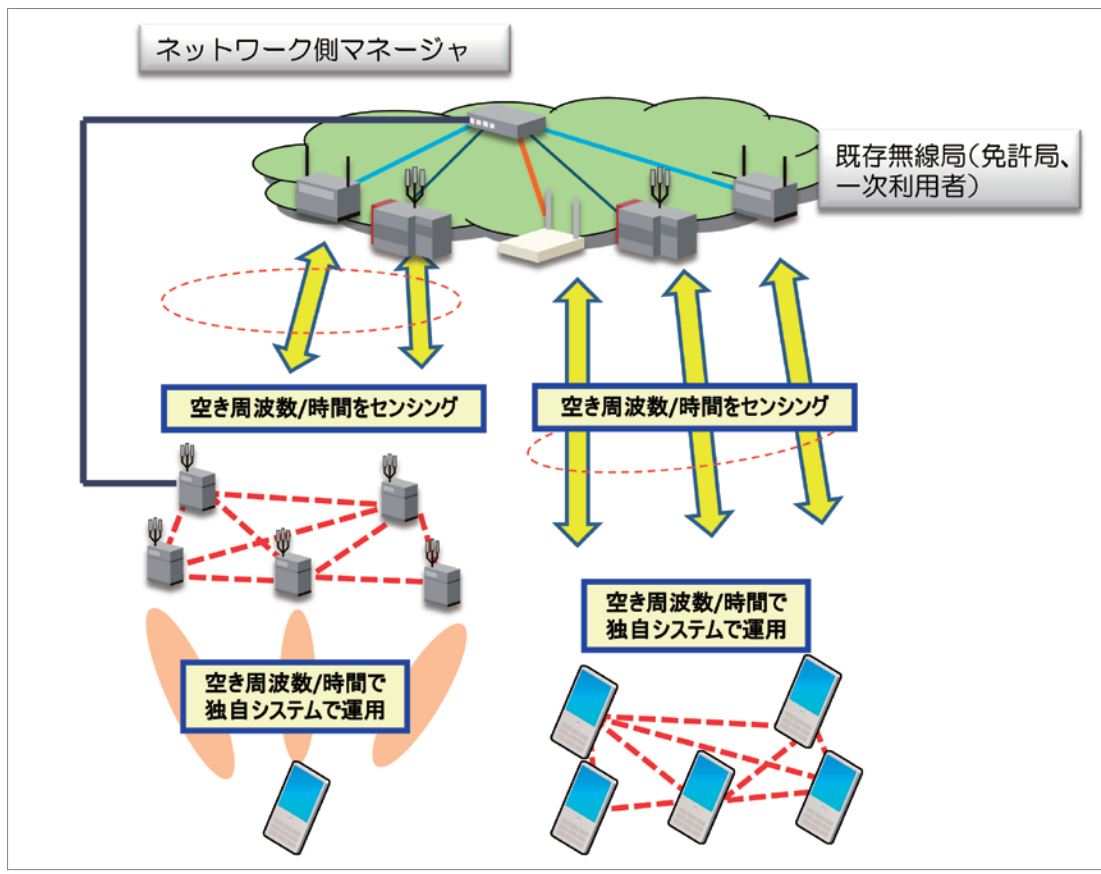


図1 利用モデル

用者が利用している周波数帯を3つの二次利用者(二次利用無線ネットワーク)が利用することを想定しています。

まず、すべての二次利用者は、(a)一次利用者と二次利用者間の高度電波利用サーバ(以下サーバ(a)とする。)にアクセスします。このサーバ内には電波の利用状況を示すデータベースがあり、一次利用者の位置、無線局の情報(出力に代表される無線パラメータ)、アンテナに関する情報(高さ、利得、方向等)の情報が格納されています。このサーバに対し、二次利用者は自身の無線局の情報、位置、アンテナの情報等を入力し、一次利用者に干渉を与えない周波数を調査してもらいます。そして、二次利用者はこの周波数を利用して通信を開始します。

上記の手順により、一次利用者と二次利用者との間で干渉を起こさない通信が実現できますが、二次利用者間には干渉を引き起こす可能性が

あります。そこで、さらに同図(b)、(c)で記載した二種類の二次利用者間電波監理/共存サーバを用いて二次利用者間で干渉が起きないように周波数の監理を行います。

(b)と(c)の違いは、(b)は異種アクセス方式を用いた二次利用者間の電波監理/共存を検討するサーバであり、(c)は同種アクセス方式を用いた二次利用者間の電波監理/共存を検討するサーバである、ということです。(c)は必要に応じて設置され、すべての二次利用者が(c)を介さず直接(b)に接続されることもあります。

(b)および(c)の基本動作はほぼ同じです。各サーバは、二次利用者から、自身の位置、無線機の情報、アンテナに関する情報を得、これをもとに、各二次利用者に干渉を与えない周波数等の通信パラメータを調査してもらいます。そして、二次利用者はこの周波数を利用して通信を開始します。干渉を与えるようでしたら、干渉を減ら

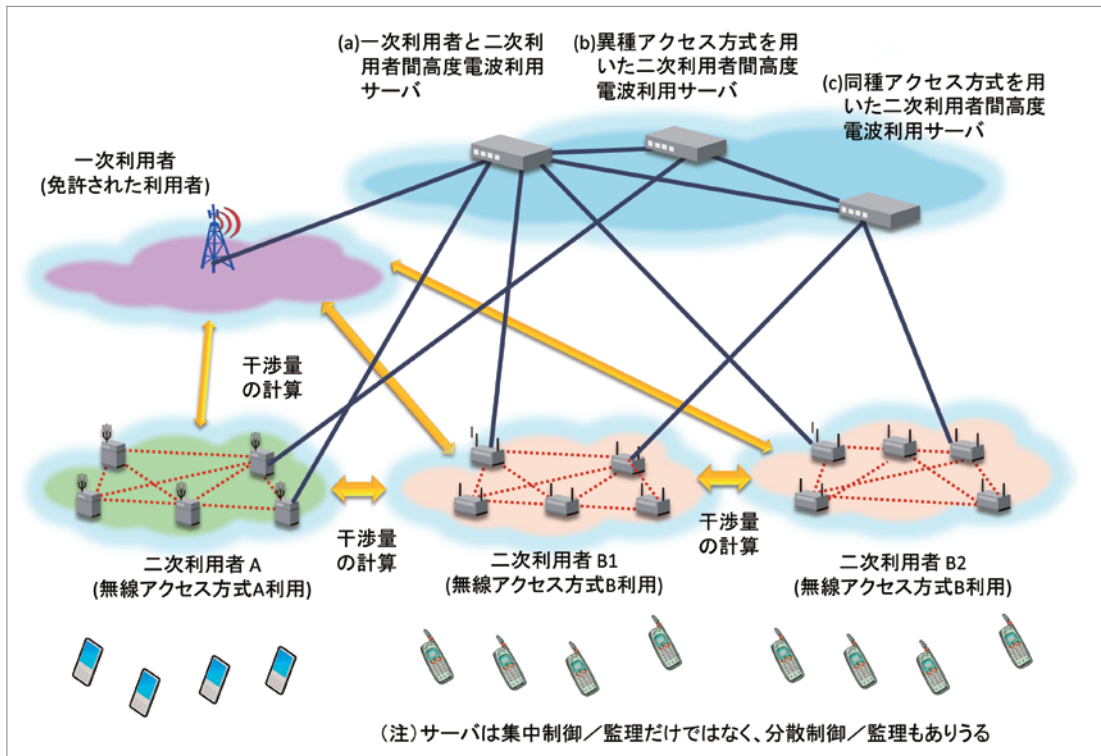


図2 高度電波利用サーバ技術を利用した周波数共同利用ワイヤレスクラウドネットワークの概要

すための方策(周波数の変更、出力の低減等)をそれぞれの利用者に必要に応じて提案します。

以上のような高度電波利用データベース技術を用いることによる周波数共用を行うことにより、高密度な電波利用を行います。NICT では、すでに図 3 に示すワイヤレスクラウドネットワーク用サーバ群を設置し、この技術が実現できる体制にあります。さらに、図 4 に、このサーバで表示可能な一次利用者の電波利用状況を示します。



図3 整備しているワイヤレスクラウドネットワーク用サーバ群

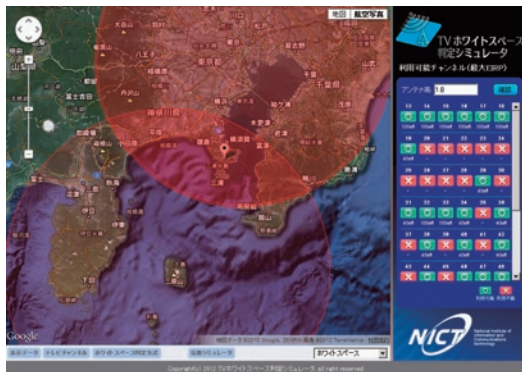


図4 高度電波利用サーバの利用例(一次利用者、この例はTV局の放送エリアの表示と、ある位置での利用可能なチャネルの情報の表示)



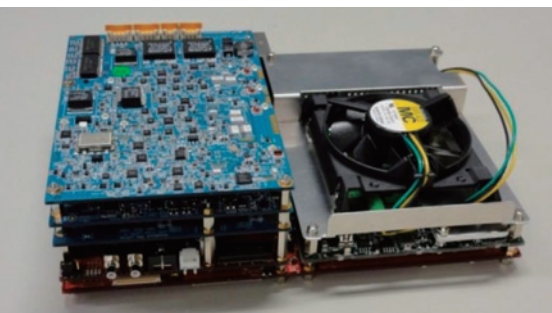
図5 再構築可能無線機(左: 高周波部、右: 信号処理部)

再構築無線機の研究開発

さらに、このワイヤレスクラウドネットワークで決定した各種無線パラメータが変更可能な無線機についての研究開発を行っています。図 5 に示すように、周波数、出力等を自由に変更可能な、各種周波数(400MHz - 5GHz 帯)で対応可能な、アンプ、ミキサ等の開発およびそれらを集積化した高周波部、そして、信号処理回路を駆使し、ソフトウェアの変更のみで、通信方式を変更可能なソフトウェア無線機の開発を行っています。すでに、IEEE802.11 系、802.16 系無線システム、第 3 世代携帯電話システム等が実現できるソフトウェアの開発も終了しています。これらの既存システムをこの高度電波利用サーバを利用して、利用可能な周波数に自由に移動することができ、電波の高密度利用が可能になります。

今後の展望

このようなネットワーク実現のためには、国際的な仕様の基準づくりである標準化が必要になります。また、各国の規制当局との調整が必要になります。現在、米国、英国、日本を中心として、この技術基準づくりが行われつつあります。現在まで、国際標準化機関へ 1,000 件以上の寄与文書を提出し、研究開発の成果を標準化させようとしており、すでに数多くの技術が標準仕様として採択されています。今後は実現に向けた大規模実証、国際協調を積極的に行う予定です。



電波をフレキシブルに利用する コグニティブ無線システム

ー試作システムの紹介と国際標準規格への取り組みー

「携帯電話のような無線端末が接続するシステムは、通信方式や周波数があらかじめ決められています。無線端末の接続先や使用するアプリケーションは場所や時間により異なるので、同一地域で複数のシステムを同時に運用する場合、電波の利用に偏りが生じます。その結果、効率的に電波を使用できず、通信速度が遅くなるなどの問題が発生します。このような問題を解決する『コグニティブ無線技術』について紹介します。」

石津 健太郎 (いしづ けんたろう)

ワイヤレスネットワーク研究所
スマートワイヤレス研究室 研究員

大学院修了後、2005年よりNICT勤務。実証システム開発や国際標準化活動など精力的な研究開発を推進。東日本大震災後には、開発した機器を自ら展開して支援活動を実施。学生時代はボーイスカウト指導者。現在の趣味は、登山、水泳、ドライブなど。博士(情報科学)。

背景

携帯電話を使った無線によるデータ通信の利用は、1990年後半にメール交換や簡単な情報提供サービスにより始まりましたが、特にスマートフォンが一般的になった2010年以降では、従来はケーブル(有線)接続によりパソコンでアクセスしていたような情報も、日々の生活の中で無線ネットワークを使って通信されるようになりました。無線ネットワーク通信の需要は爆発的に増加を続けており、今後はますます拡大することが予想されます。

無線通信を行うために必要な周波数は無線通信事業者や無線システムに割り当てられますが、特に6GHz以下の移動通信に適した周波数は割当てがひっ迫しています。利用者の需要に応えよ



うと様々な無線技術の研究開発が行われてはいますが、周波数の割当てには限界があり、電波を限りある資源と考えて、より効率的に利用することが求められています。その技術のひとつとして、「コグニティブ無線」と呼ばれる技術が注目されています。

コグニティブ無線とは、システムが周囲の電波環境を認識(センシング)して、その結果に基づいて最適な電波の利用方法を決定し、その決定に基づいて無線システムの機能を変更(再構築)する一連の技術を指します。例えば、運用されている複数の無線システムのうち、利用率が低い無線システム

を積極的に使用すれば、電波をより有効に利用できるようになります。

コグニティブ無線技術は、図1に示すように大きく2つに分類できます。「ヘテロジニアス型」は、運用中の無線システムのうち、利用率が低い等の観点から無線システムを選択し、無線資源に余裕がある無線システムを積極的に使用することにより、無線ネットワーク全体の通信速度や利便性を向上させます。「周波数共用型」は、地理的あるいは時間的に他システムへの電波干渉を与えないと判断される周波数を使用することで、新たな無線システムの運用を可能にします。

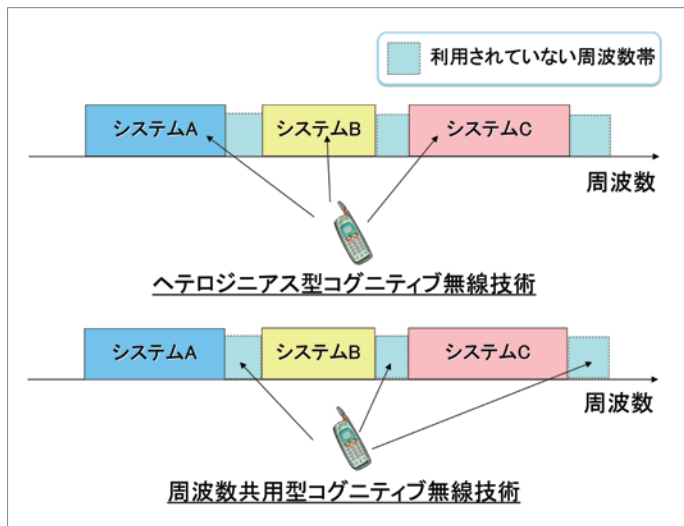


図1 コグニティブ無線技術の分類

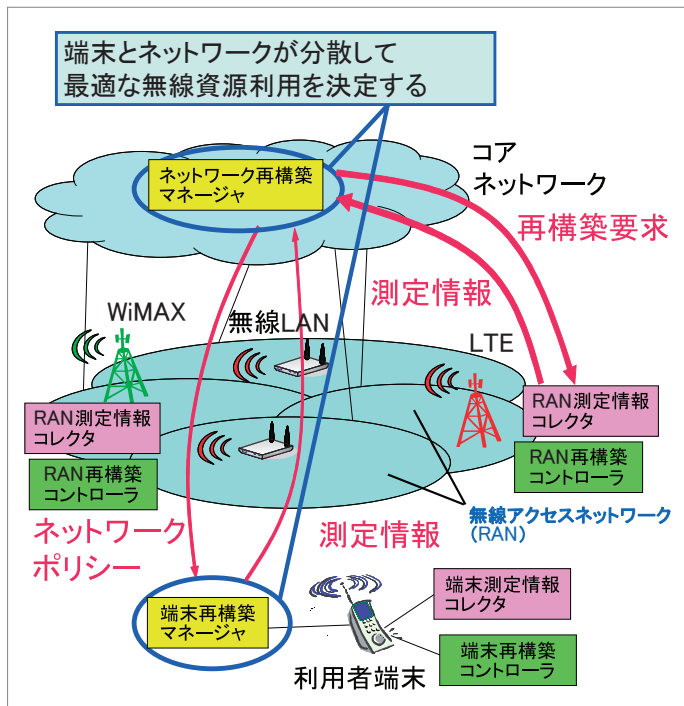


図2 コグニティブ無線ネットワークの構成

● コグニティブ無線システムの構成と試作

コグニティブ無線技術は、それぞれの端末に個別に適用しても効果はありますが、多くの端末に適用して協調して制御を行えば、より効率的な運用が可能です。特に、LTE、WiMAX、無線LANのような異なる無線システムから構築された「異種無線ネットワーク」では、図2に示すように複数の機器が協調制御された無線ネットワークを構築でき、端末や基地局の測定情報を

ネットワーク再構築マネージャに報告して、高速、安定、低料金など各無線システムの異なる特徴に着目した統計処理や高度な分析に基づく制御が可能になります。

ここでは、コグニティブ無線ネットワークの実現例として、2つの試作機を紹介します。まず、ヘテロジニアス型の実現例として、図3に示すコグニティブ無線ルータシステムがあります。このシステムでは、商用の異種無線ネットワークと利用者端末向けローカ

ル無線LANを「コグニティブ無線ルータ」と呼ばれる機器が中継します。ネットワーク再構築マネージャとコグニティブ無線ルータが協調して無線アクセスネットワークを選択しますので、利用者は使用する無線アクセスネットワークを気にせず、自動的に最適なものを利用できます。NICTでは、2010年9月から1年半の間、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大規模実証実験を行い、市町村規模での動作を評価しました。また、東日本

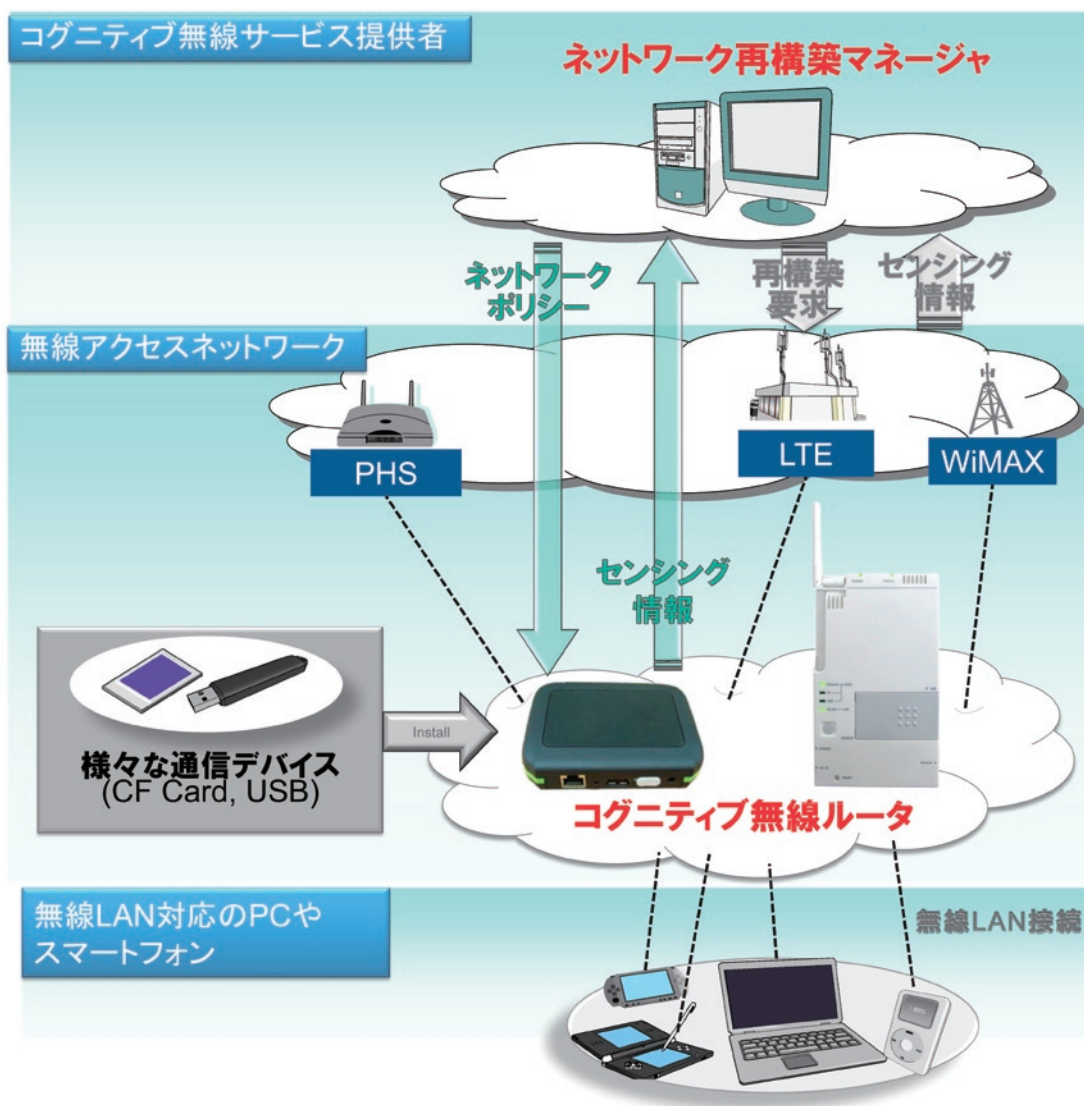


図3 ネットワークポリシーに基づき無線通信システムデバイスの選択制御が可能なコグニティブ無線ルータシステム (ヘテロジニアス型の一例)

大震災後には通信手段が失われた避難所や病院等に提供し、無線ネットワークの運用が不安定な状況でも安定した通信を提供できることが確認されました。

一方、周波数共用型の実現例として、図4に示す再構築可能なコグニティブ無線基地局とコグニティブ無線端末から構成されるシステムを開発しました。このシステムでは、基地局が400MHz～6GHzの周波数において電波強度測定、通信方式判定、電波干渉検出を行い、ネットワーク再構築マネージャはそのセンシング情報を受信した上で、空き周波数帯のデータベースを参照して電波干渉を与えない周波数と通信方式を決定します。基地局と端末は、ネットワーク再構築マネージャからの指示に基づき機能を再構築して通信を行います。

● 国際標準規格への取り組み

コグニティブ無線技術の一部は、様々な国際標準化規格として提案してきました。そのひとつであるIEEE1900.4は、コグニティブ無線ネットワークの基礎アーキテクチャとしては世界初の規格であり、NICTはその創設時から参画し、2009年2月に策定を完了させました。IEEEの他にも、NICTではITUや欧州の標準化団体においても、議論の初期段階からコグニティブ無線に関して研究開発した技術の提案を続けています。

● 今後の展望

さらなる電波の有効利用を行うため、テレビ放送周波数を利用して通信を行うための議論が

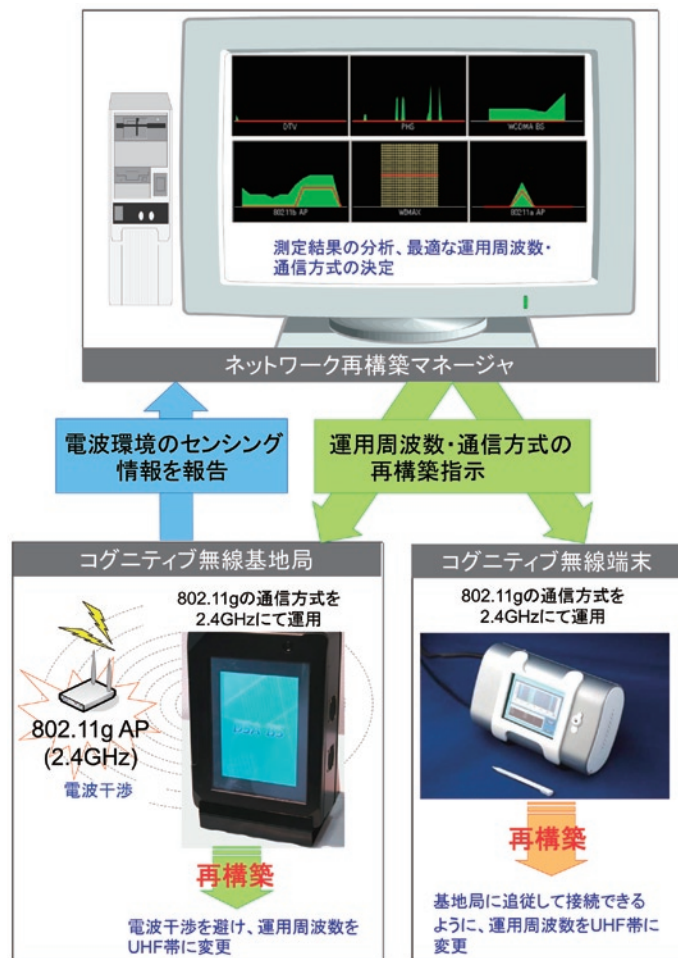


図4 電波環境センシングに基づき運用周波数と通信方式(PHY/MAC)の再構築が可能なコグニティブ無線システム(周波数共用型の一例)

始まっています。このような周波数帯は「ホワイトスペース」とも呼ばれ、電波を有効に利用する技術の突破口として、世界でも技術基準の策定が始まっています。日本でも、総務省が2009年11月にホワイトスペース活用に向けた検討チームを発足させ、現在では具体的な技術基準の策定を検討しています。このような周波数の利用には、放送に影響を与えないことを確認する方式の研究開発や、日本独特の国土事情や周波数利用を考慮した慎重な技術検討が必要であり、現在、NICTでは要求される技術の開発を進めています。

東日本大震災被災地における 無線LANによる インターネット環境の構築

—NICTが開発した「コグニティブ無線ルータ」の活用—

村上 誉 (むらかみ ほまれ)

ワイヤレスネットワーク研究所
スマートワイヤレス研究室 主任研究員

1997年北大・工・電子卒。1999年同大大学院修士課程了。同年郵政省通信総合研究所(現NICT)入所。2003～2005年デンマーク国オールボー大学客員研究員。子どもの頃から家電製品が好きで、大学時代に初めて手にした携帯電話とPHSで移动通信分野に目覚めました。季節が変わると携帯電話の機種を買い替えることを趣味とし、趣味と実益を兼ねた研究者生活を送っています。

「使用可能な無線システムを認識して通信先を切り替えることで、高い耐障害性を発揮する『コグニティブ無線ルータ』を東日本大震災被災地に震災直後より提供しています。」



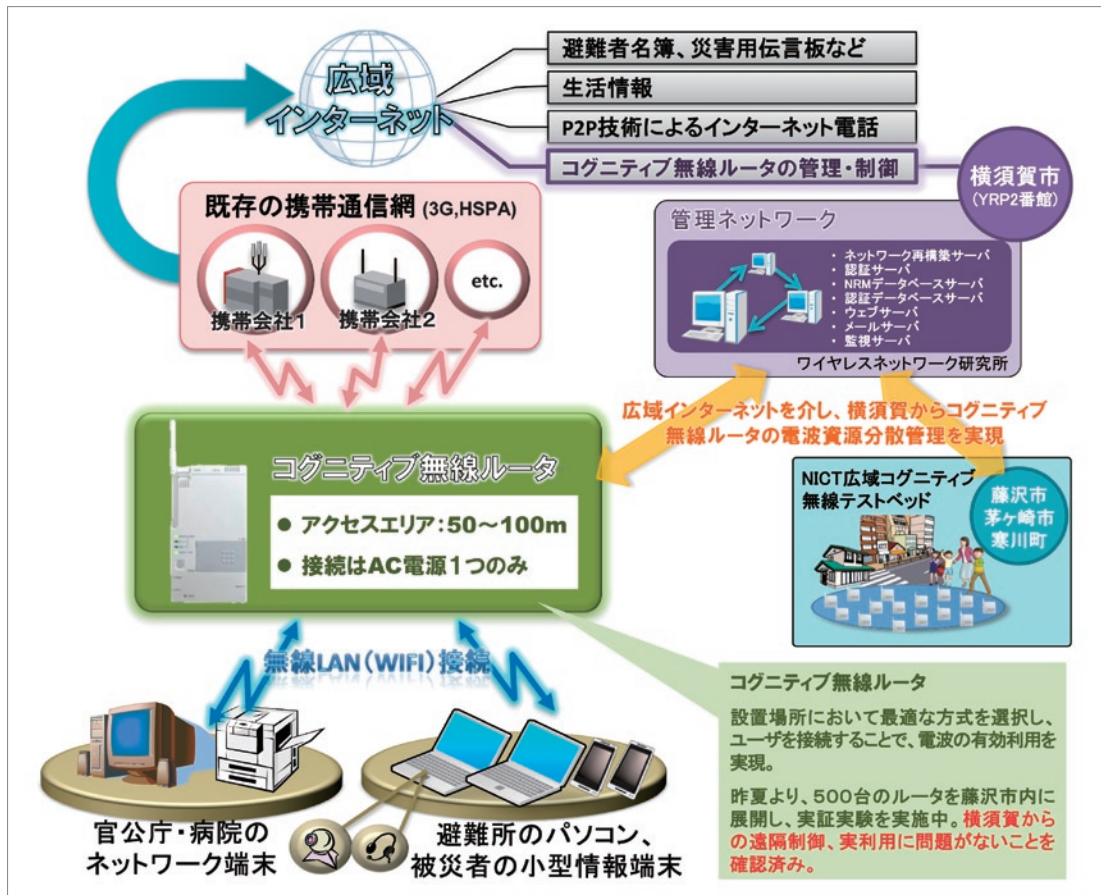


図1 コグニティブ無線システムの構成

● コグニティブ無線システムとは

私たちスマートワイヤレス研究室では、携帯電話や無線 LAN 等の異種の無線システムを統合的に取り扱い、電波の有効利用や効率的な情報通信ネットワークを実現するコグニティブ無線技術の研究を進めています。本技術を活用すれば、短時間でインターネット環境を構築すると共に携帯電話回線の効率的利用等が実現できます(図 1)。本技術を実装したコグニティブ無線ルータを用いると、無線 LAN によるインターネット環境の構築が容易に行え、大規模機能実証にて可搬性と耐障害性に優れることが確認されています。東日本大震災において、少しでも復興の手助けになればと考え、これまで岩手県内の避難

所に 28 台、宮城県内に 17 台、福島県内に 23 台の計 68 台のコグニティブ無線ルータを設置し、高速で安定したインターネットアクセス環境を提供してきました。

このコグニティブ無線システムは、当研究室が大きく関わって規格化した IEEE1900.4 というコグニティブ無線の制御方式に準拠して、機器の稼働状況や電波環境、トラフィック量等の情報が当研究室の管理装置に収集され、自動で情報分析を行ってコグニティブ無線ルータにフィードバックして制御を行い、安定で高速な通信環境が常に維持できるように運用されています。

● 東日本大震災被災地での利用について

被災地に設置したルータ(図 2)は、様々な形で利用されています。最初に設置した岩手県大槌町立安渡小学校は海岸沿いの避難所になっていましたが、被災された方々は、ルータと同時に設置された PC を使って津波被害状況を伝えるインターネット上のニュース映像や安否情報を確認されていました(図 3、4)。その際、震災後 20 日以上経過しているにもかかわらず、映像を見ながら「こんなふうには津波が来ていたんだ!」と会話されていたのが印象的でした。また、救援物資等の情報を検索・閲覧したり、子どもたちが息抜きに動画を探して楽しんでいたり、限られた情報の中で生活する際の心の安心を満たす手段としても利用されていることに気付きました。また、手持ちの小型携帯端末を無線 LAN でインターネットに接続し、情報を取得する姿も見られました。避難所の他にも、災害対策本部の連絡手段や、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として、また、被災地で活動されているボランティアの方々の通信手段としても利用されています。

● 今後の展望

東日本大震災においては、1995 年に発生した阪神・淡路大震災で得られた教訓が活かされ、物資の備蓄や被災時の対処マニュアルは機能したと言われています。では通信環境はどうかというと、日進月歩の通信技術の世界では、被災地に求められる通信のあり方はかなり変わってきていると思います。まず、携帯電話の普及によって、個人が電話やメールを直接やりとりすることが可能となりました。私たちが被災地入りしたときには、すでに衛星回線を使った臨時電話回線が整備されている避難所が数多くあり、もちろんそれらも



図2 インターネット接続に用いたコグニティブ無線ルータ

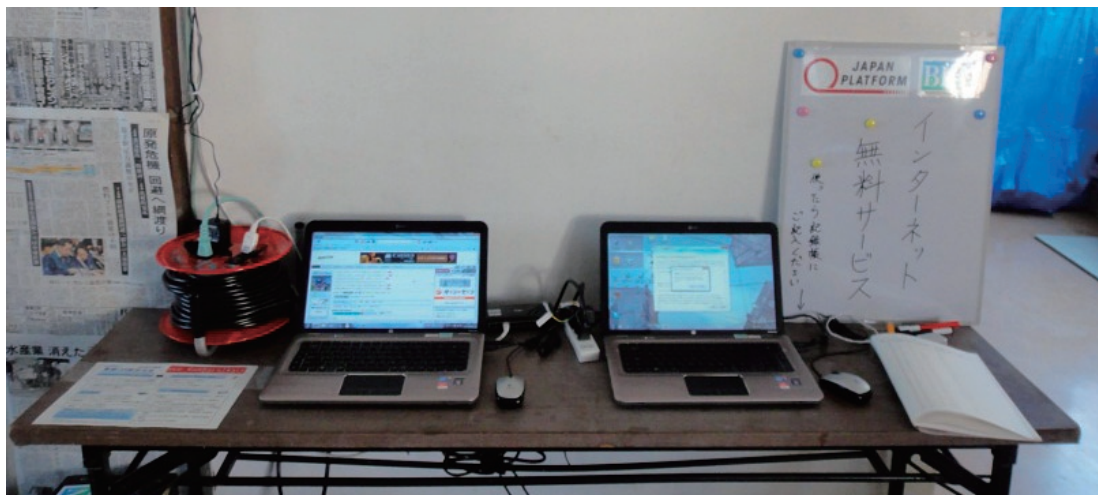


図3 避難所の小学校内に設置したコグニティブ無線ルータによるインターネット接続環境



図4 端末を操作して様々な情報を求める被災された方々

重宝されていたのですが、インターネット接続については可能な避難所であっても、スタッフ専用であったり時間制限があるなど、自由な通信が行えない状況でした。ブログやSNS、インターネット掲示板やTwitterなどのコミュニティサイトを介した通信が一般に可能となった現在、テレビや電話ではなかなか手に入らない口コミ情報や蓄積された情報の参照を可能にするインフラは、厳しい生活の中で少しでも安心を提供する手段になり得ると考えます。

今後、こういった通信手段の進化に合わせ、専門家の視点から災害時の通信のあり方についてどのような技術が求められるか、常に念頭において研究開発を進めていきます。スマートワイヤレス研究室では特にここ数年、世界の最先端の通信技術の研究を進めながら、それをいかに実用化に結びつけるかを追求しています。標準化団体に対し提案して商品化のための仕様の共通化を行ったり、一部機能について民間企業と共同で商品化一歩手前の技術検証を行うなどしており、東日本大震災の際に設置したコグニティブ無線ルータもそのような活動から生まれたものです。他にも多くの技術の研究開発を進めていますので、被災時に限らず様々な形で皆様に使っていただけるよう努力いたします。

震災後1年半以上が経過して、有線インターネット回線の復旧や、避難所から仮設住宅への移転等により、状況に応じて設置した機器が有効に活用していただけるよう移設をすすめています。このような移設のプロセスを通じ、着実な復旧の歩みを感じています。まだ被災地の復興には長い道のりがありますが、本システムがその一助となりますことを、心より願っております。

新しい無線システムを生み出す ワイヤレスグリッド技術

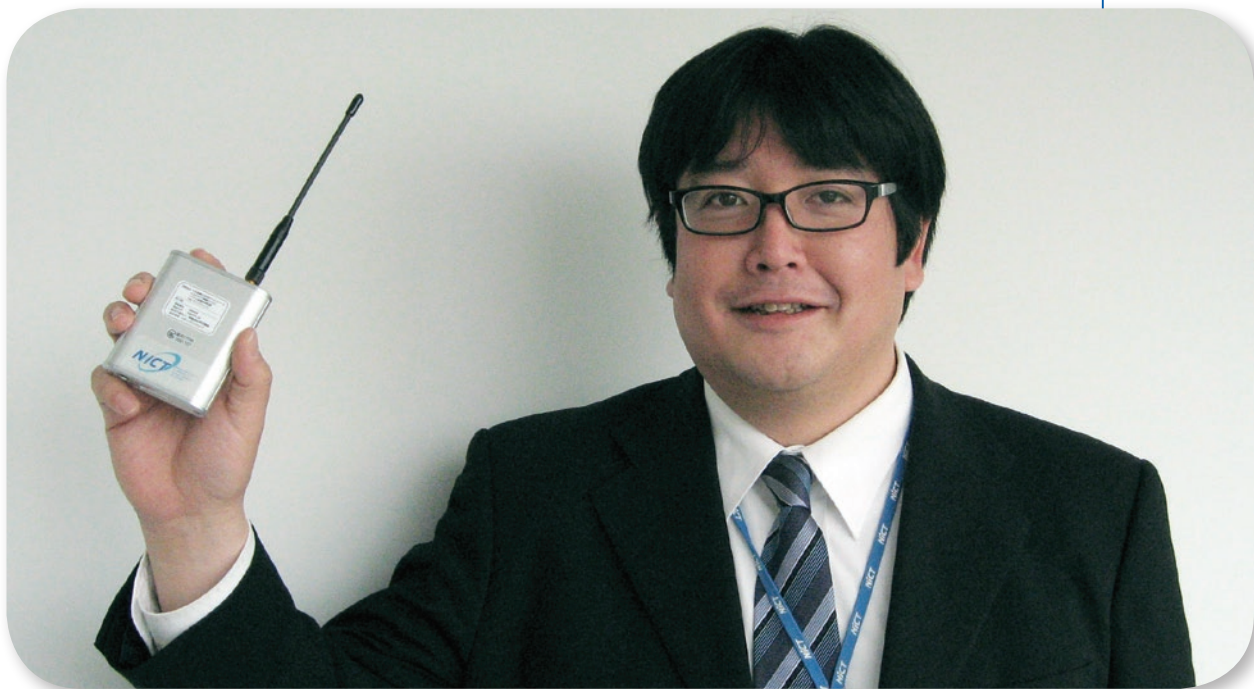
—省電力型SUNの研究開発と標準化—

児島 史秀 (こじま ふみひで)

ワイヤレスネットワーク研究所
スマートワイヤレス研究室 主任研究員

1999年大阪大学大学院博士後期課程修了。同年郵政省通信総合研究所（現 NICT）入所。以来、384kbps 高速 PHS、低レート動画リアルタイム伝送、ROF マルチサービス路車間通信、VHF 帯自営用移動通信の研究開発に従事した。現在、SUN における PHY/MAC 技術に関する研究開発、および標準化推進活動に従事。博士（工学）。休日には、現勤務地でもある横須賀の散策を嗜むも、坂のあまりの多さに戸惑う。

「将来の効率的エネルギー運用のカギを握るスマートメータのための高度無線通信方式の研究開発に成功し、国際標準規格として承認されることで世界的に認められています。」



● 検討の背景と技術課題

電気・ガス・水道メータの検針データ収集を無線通信を用いて自動的に行うスマートユーティリティネットワーク (SUN: Smart Utility Networks) が、業務合理化とサービス向上をもたらす新たな無線システムとして注目を集めています。本システムは次世代電力網スマートグリッドにおけるスマートメータ用無線ネットワークとしても有望です。

図1にSUNの利用イメージを示します。図1(a)では、各家庭のメータに取り付けられたSUN無線機の検針データが、無線通信によってSUNのサービスエリア内で集約され、そこから必要に応じてWAN (Wide Area Networks) 等の広域無線システムによって伝達されます。わが国でのSUNのサービスエリアは、図のように集合住宅の一棟や、一戸建住宅地の一区画に相当し、1km程度の規模になると考えられます。

SUNに求められる主要技術課題は以下のとおりです。

● マルチホップ通信技術

図1(a)に示されるように、SUNのサービスエリア内で無線機間の伝搬距離による電波減衰や、建造物の遮蔽等による電波減衰の影響で、十分なサービスエリアが確保できない場合があります。この場合、無線機同士がバケツリレーのように通信を中継する形態が有効です。メータの新規設置や撤去等の状況変化に応じて、中継経路は自律分散的に設定されることが望まれます。

● 省電力動作技術

電池駆動の場合 (例えばガスメータ) に電池交換のコストを下げるため、無線機の省電力動作が望まれます。具体的な数値目標として、電池交換なしの10年間の動作を想定しています。

図1(b)は別の利用イメージとして、放射線量監視の例を示しています。本利用イメージにおいても、SUNのマルチホップ通信技術は、多地点にわたる監視を、また、省電力動作技術は年規模での長期的な監視を効果的に実現することができます。

私たちはマルチホップ通信機能を有する省電力型SUN実現のための高度PHY/MAC技術に関する研究開発を行っています。

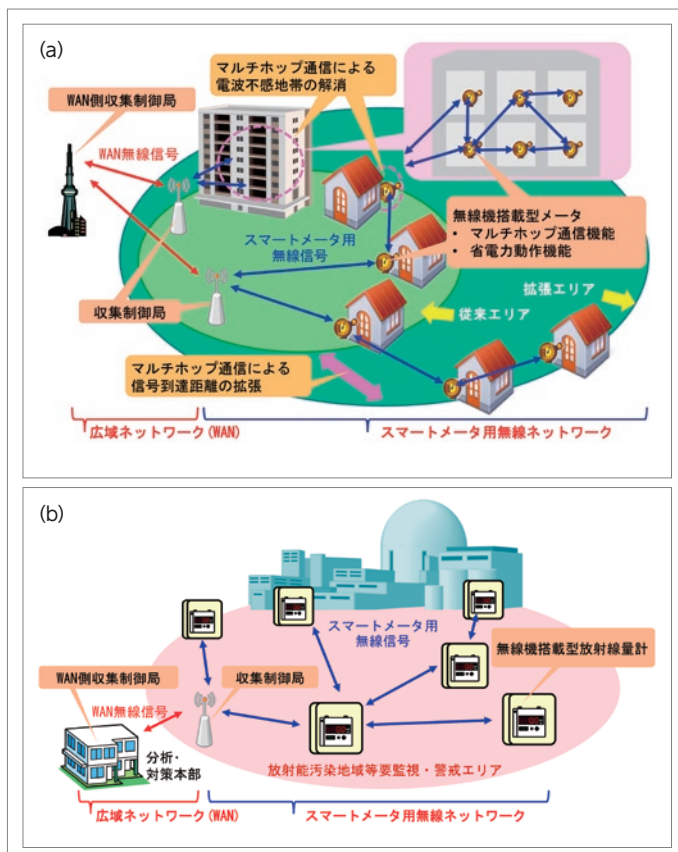


図1 SUNの利用イメージ: (a) ガスメータの自動検針 (b) 放射線量モニタリング

● 小電力型 SUN のための PHY/MAC 技術

● PHY 技術

SUN の運用周波数として、わが国で有望と考えられているのは、スマートメータ無線用に新たに割り当てられた 920MHz 帯です。データ伝送速度としては、100kbps 程度が前述の検針データ収集の用途には最も適当と考えられています。また、SUN のサービスエリア内に配置されるメータの個数は最大で 10,000 台にも達することから、低コストの無線機実装が必須となり、シングルキャリア変調のひとつである FSK 方式の適用が検討されています。

● MAC 技術

図 2 に、検討するスーパーフレーム構成を示します。スーパーフレームは、定期的に送信される同期用信号のビーコンの間隔内で設置される時間単位です。本検討では、消費電力の低減を目的と

してビーコンは休止可能としています。同時に、アクティブ期間であるスーパーフレーム長の割合を、図のようにスリープ期間に対して小さくし、データフレームの送受信はスリープ期間にも継続して行われるようにすることで、さらに消費電力を低減しています。各無線機は以上のような同期を用いながら、図のようにツリー

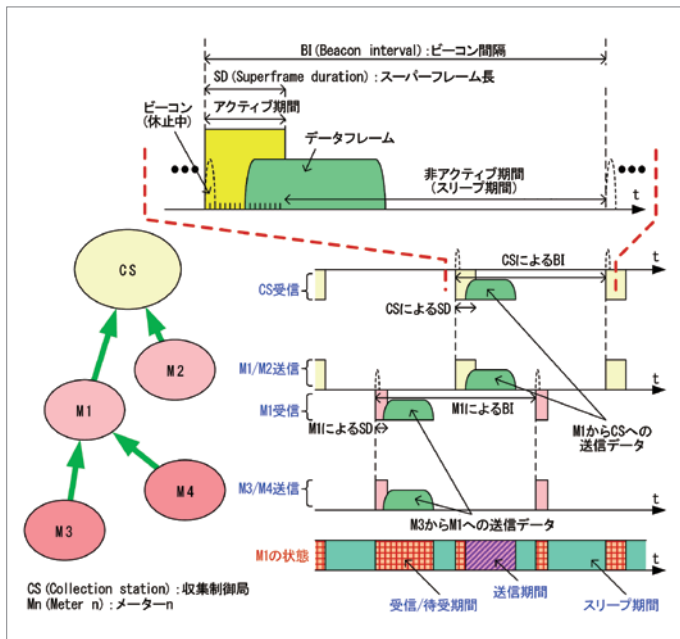


図2 省電力マルチホップ通信の概要

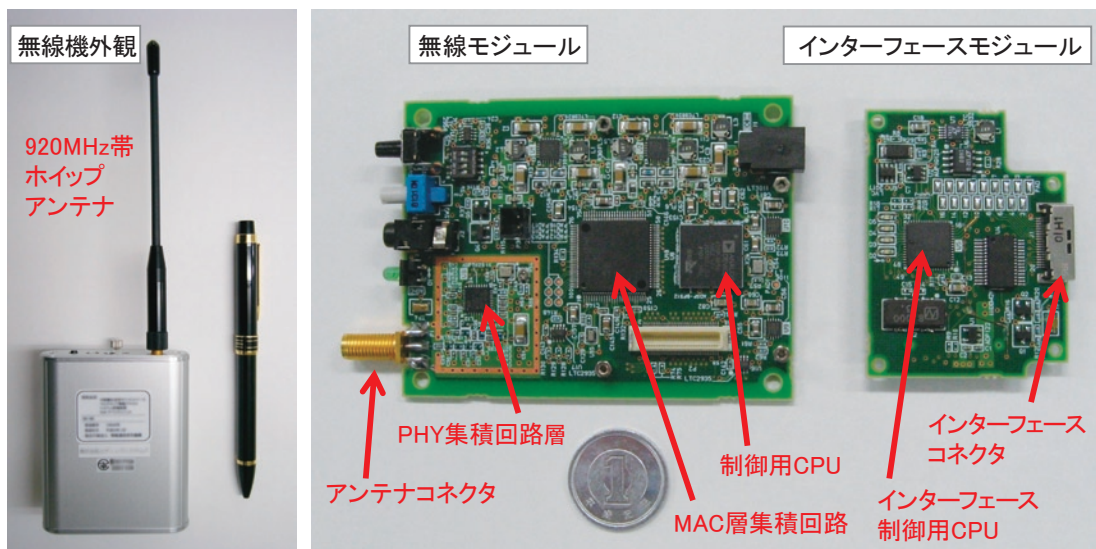


図3 開発されたSUN無線機

状構造を自動的に構成し、マルチホップ通信によって、検針データを収集制御局へと中継していきます。

の計測値を定期的にインターネット上のサーバにアップロードし、遠隔地からの確認を可能とした動作画面を示しています。

SUN 無線機の開発と実証

SUN 普及の歩みと今後の展開

前述の仕様に基づき開発した SUN 無線機を図 3 に示します。周波数帯は 920MHz 帯で、送信電力は 20mW です。図 4 は、SUN の動作例を示します。図 4(a) は SUN 無線機をガスメータ実機に接続することで収集された各検針値の表示画面です。また図 4(b) は同様に放射線量計

IEEE 802 委員会では、SUN の PHY 仕様、MAC 仕様について、それぞれ IEEE 802.15.4g、IEEE 802.15.4e というタスクグループで標準化が行われ、ともに 2012 年 3 月に標準規格が策定されました。前述の検討内容は、NICT による提案として両規格に採用されています。NICT におけるワイレグリッド研究開発の主要テーマである SUN システムは、上記標準化の終了や、規格認証団体 Wi-SUN の設立を足がかりとし、着実に普及のシナリオを歩み始めています。

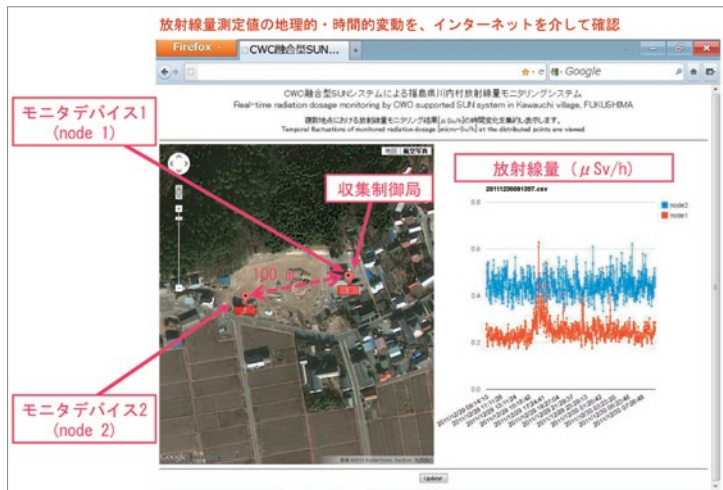
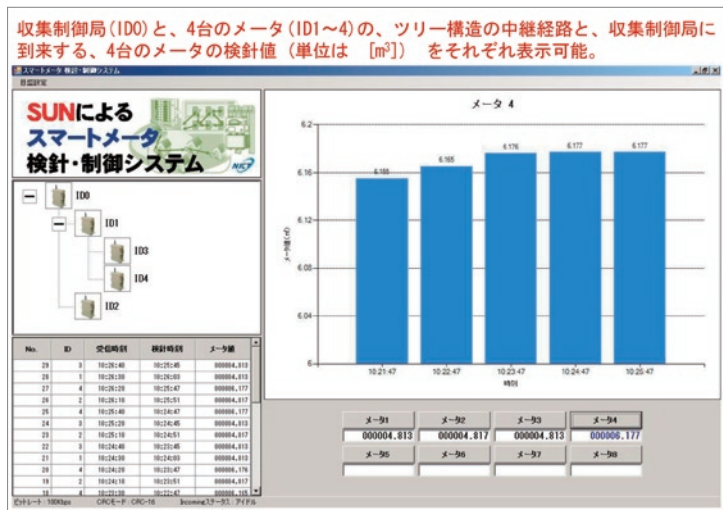


図4 SUNの動作画面 上: (a) ガスメータの自動検針 下: (b) 放射線量モニタリング

高速・大容量通信を実現した新しい光無線通信装置

ーファイバ敷設が困難な場所でも1km以内なら高速・大容量の通信ネットワークが構築可能にー

「空間光をシングルモード光ファイバに直接結合することにより、1本の光ファイバと等価な信号伝送を実現した光無線通信装置について紹介します。」

有本 好徳 (ありもと よしのり)

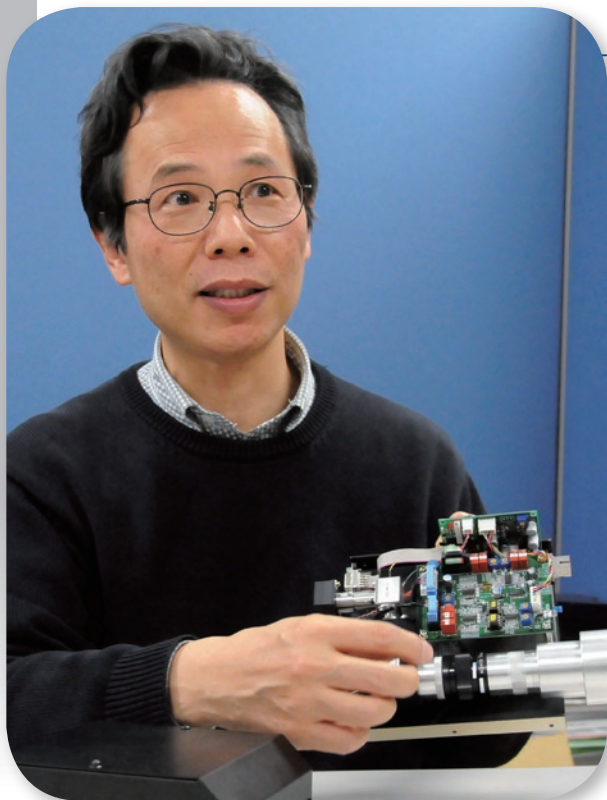
ワイヤレスネットワーク研究所
宇宙通信システム研究室 主任研究員

大阪大学大学院修了後、1979年郵政省電波研究所(現NICT)に入所。衛星管制、宇宙通信、光無線通信などの研究に従事した後、現在は光無線通信装置の開発に携わっている。装置の光学設計、電気設計、機械設計は筆者自身がおこなっている。博士(工学)。

NICTでは、10,000km以上の遠距離にある人工衛星との間で、レーザー光を使って大容量通信を実現する技術を、10年以上にわたって研究してきました。この研究開発で蓄積したレーザー光の精密な追尾技術を活用して、光ファイバの敷設が困難な場所でも光ファイバと同等の高速・大容量の通信ネットワークが構築できる新しい光無線通信装置を開発しました。

● 世界最高の通信容量を持った光無線通信装置

空間を通してレーザー光を伝送する光無線通信は、光ファイバ通信や電波を用いた無線通信と比較すると、ケーブルの敷設や無線局免許等の手続きが不要で、相手局が見えれば数kmにわたって高速・大容量の信号が伝送できるため、今でも



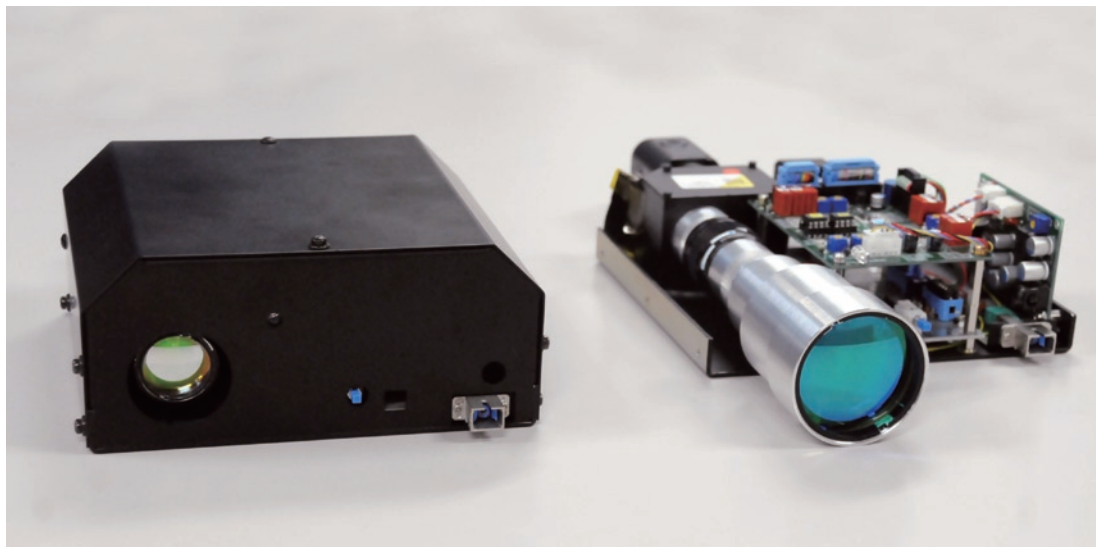


図1 光無線通信装置(左)と遠距離用の大型望遠鏡を取り付けた場合(右)

複数の製品が企業や大学内の LAN の拡張や映像信号の伝送等に使われています。しかしながら、これらの製品は波長 $0.78 \mu\text{m}$ から $0.85 \mu\text{m}$ のレーザを使っているため、送信出力を人体(目)に対して安全な数 mW に制限する必要があり、また、使用している光源や受光デバイスの動作速度の制約から、ギガビットイーサネット(1.25Gbps)程度までの通信が実用上の限界でした。さらに、ネットワーク機器との接続において光電変換が必要なたため、伝送サービスごとに信号波長や変復調方式、信号形式を変えた装置を開発する必要がありました。

このような問題点を解決し、無線通信においてもシングルモード光ファイバ通信を使ったネットワークと同じように 10Gbps から 1Tbps の高速・大容量を実現するためには、空間を伝送した光を直接光ファイバに結合する光無線通信方式が有効と考えられます。しかしながら、 $10 \mu\text{m}$ という微小な光ファイバの開口に光を効率良く安定に結合させる高い精度を持った光学系を実現することは容易ではありません。通信相手から空間を伝送してきたレーザ光は大気ゆらぎによって到来角が変動したり、光無線通信装置の

設置場所の振動や建物の熱ひずみによって入射角が変動するので、安定した信号受信のためには、これらの変動を打ち消す自動追尾システムも必要になります。

そこで、衛星間光通信のために NICT で開発してきたレーザ光の精密な指向・追尾技術を活用することにより、光ファイバとの結合に必要な精度を持った小型の光無線通信装置(図 1)を開発しました。この装置を使って、2006 年から現在までに、10/100 ギガビットイーサネット、光符号分割多重化(CDMA: Code Division Multiple Access) 信号、さらには高密度波長多重(DWDM: Dense Wavelength Division Multiplexing) による 1.28Tbps の大容量光信号が、地上の数百 m の距離にわたって光ファイバと同様に伝送できることを示してきました。

● 開発した装置の概要と屋外伝送実験

NICT で開発した光無線通信装置の動作原理を図 2 に示します。この装置は、光アンテナ(ビームエキスパンダ)、水平・垂直の 2 方向についてビームの角度を制御できる高速ミラー駆

動機構、追尾センサを内蔵したファイバ結合光学系から構成されています。

伝送に用いる波長 $1.55 \mu\text{m}$ の信号光と波長 $0.98 \mu\text{m}$ のビーコン光の2種類のレーザを1本のシングルモードファイバから送信しますが、対向する装置では、このビーコン光の方向をファイバ結合光学系にある追尾センサで検出し、ミラーの角度を動かしてファイバの入射角を一定に保つことにより光ファイバと同等の安定した信号伝送を行います。

このような単純な構成を用いているにも関わらず、追尾サーボの帯域が 8kHz 以上と広く、装置の内部損失も 2dB 以下と小さくできたため、光ファイバとの直結を特徴とする数少ない光無線通信装置の中では世界最高性能を実現しています。内部構造の詳細を図3に示します。装置全体の重量は 1.2kg 以下、設置調整時のみに使用する CCD カメラを除いた消費電力は 1.2W 以下で、電池駆動でも 24 時間以上の連続運用ができます。

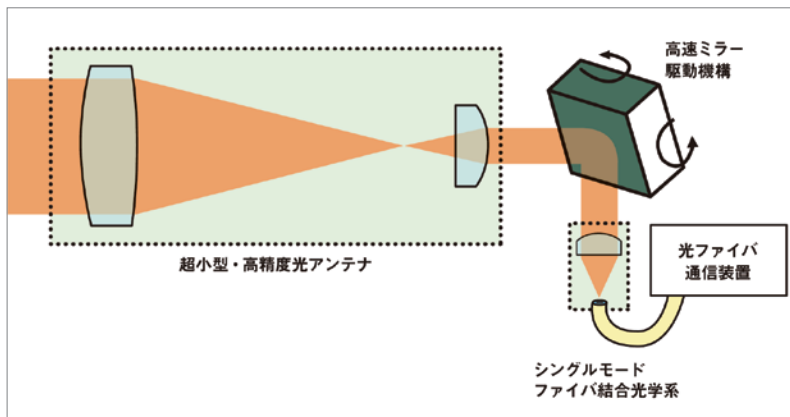


図2 新しい光無線通信装置の動作原理

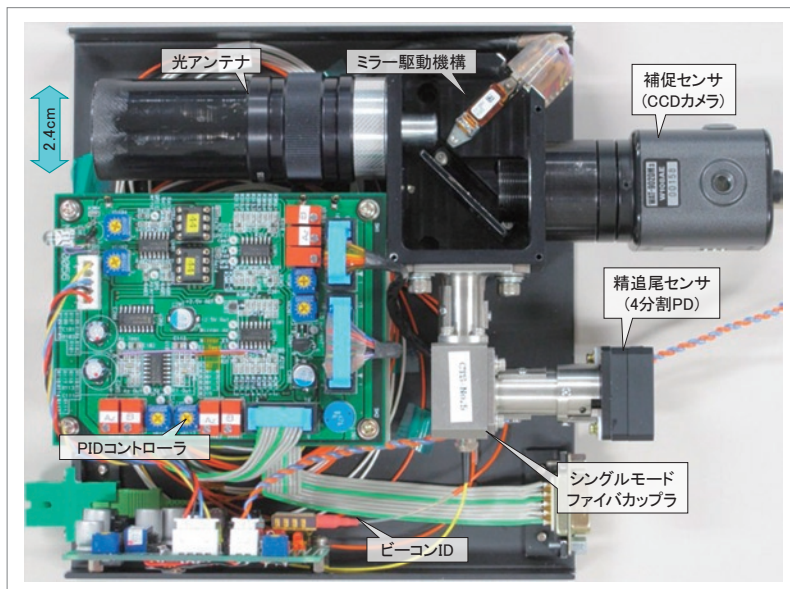


図3 光無線通信装置の内部構造

この装置 2 台を対向させることにより、距離 30m から 1km まで各種の光信号伝送を実施してきました。図 4 及び 5 には、2007 年にイタリア・ピサにあるサンタナ大学で 1.28Tbps の DWDM 信号伝送実験を実施した時の様子を示しています。2009 年にも同じ場所で 10Gbps のイーサネット信号伝送実験を実施しています。

最初の屋外実験から 5 年が経過しましたが、この装置を超える性能を持った光無線通信装置は未だに開発されておらず、NICT が技術的に世界をリードする位置にあります。この技術を実用化するための技術移転にも取り組んでおり、製造コスト削減のための設計の見直し、設置調整の簡易化のための検討も進めております。大型の車両や船舶・航空機に 10Gbps 以上の伝送容量を持った通信を提供するためには、本稿で紹介した光無線通信方式しか解決手段がないため、情報通信技術が成熟するにつれて本研究開発成果を活用する分野が広がっていくものと期待しています。



図4 サンタナ大学通信研究所の屋上に設置した光無線通信装置



図5 サンタナ大学通信研究所から対向局を見た伝送路の様子

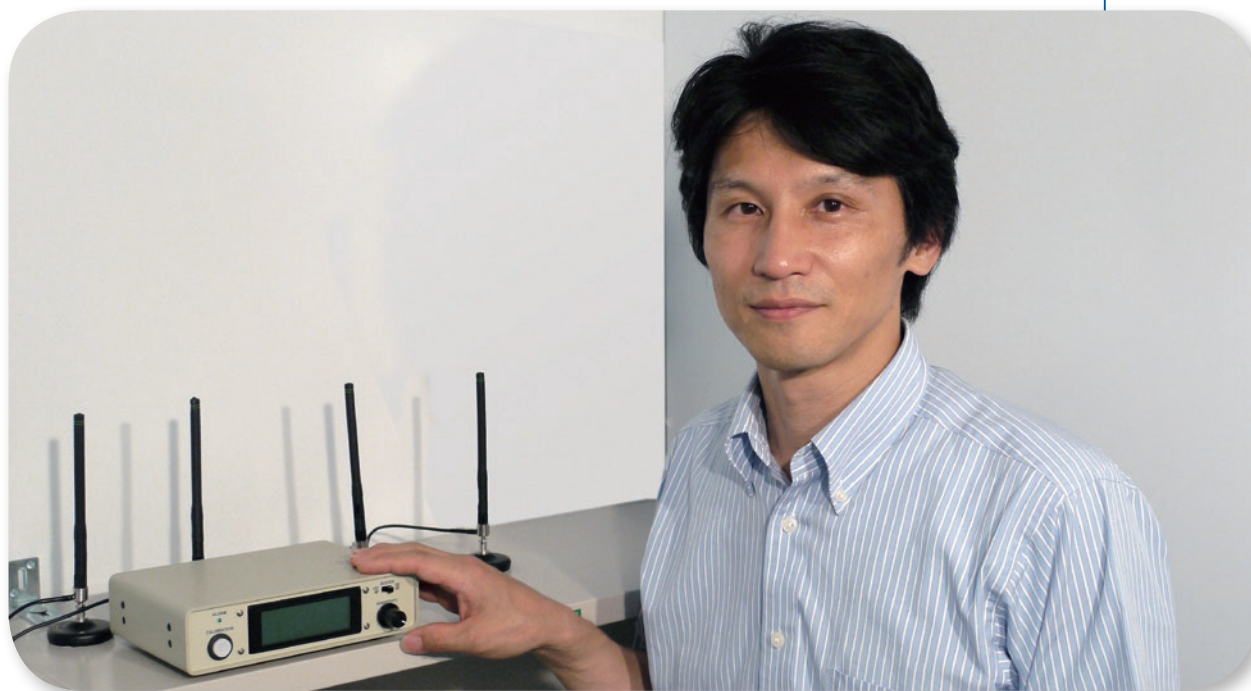
電波を使った 侵入者検知システムの開発

辻 宏之 (つじ ひろゆき)

ワイヤレスネットワーク研究所
宇宙通信システム研究室 主任研究員

大学院修了後、1992年、郵政省通信総合研究所(現NICT)に入所。アレーアンテナ信号処理、航空機通信システムなどの研究に従事。横浜国立大学大学院客員教授。博士(工学)。人に役立つ技術をめざし、これまでアレーアンテナを使った発信者の位置特定技術やセキュリティシステムなどの研究を行ってきました。現在は、航空機や列車などでインターネットが快適につながる環境をめざした技術に関心を持ち研究に取り組んでいます。

「新発想・新原理の電波による侵入検知システム1台だけで、今まですべての窓・ドアに付けていた開閉センサーや陰までは見通せなかった赤外線センサーをすべて置き換えてしまいます。」



システムの概要

最近、セキュリティへの関心が高まり、ホームセキュリティシステムを導入する人も少なくありません。これまで、人の侵入や窓・ドアの開閉といった「イベント」を検知するためには、焦電型赤外線センサーやドアセンサーなどを侵入経路または対象物ごとに取り付ける方法が一般的です。しかし、すべての窓にセンサーを設置することは面倒であるばかりでなく、当初想定していない侵入経路・対象物は検出できないという欠点もあります。このような課題に対し、NICTでは電波を使って夜間・休日などで無人になった空間全体を丸ごと監視できる新しいタイプの侵入者検知システムを開発しました。このシステムは、部屋に1つ設置するだけでよく、今までの侵入センサーのように全ての窓や経路に機器を設置する必要がありません。しかも感知レベルの不安定さや物陰までは見通せないという欠点のある赤外線センサーをも全て置き換えてしまうことができる新しいセキュリティシステムです。

開発のきっかけ —失敗から学ぶ—

このシステムの開発は意外なところから始まりました。2006年頃、空間上に複数配置したアンテナ(以後、アレーアンテナと呼びます)を使って、屋内の電波発信源の位置を正確に推定しようという研究を、当時卒業研究のため研修員であった慶応義塾大学の学生と行っていました。この技術は高速無線伝送や位置管理を行うといったアプリケーションの要素技術として利用できます。方式の検討と実験を繰り返し行っていました。なかなか良い結果が出ず失敗の繰り返しでした。その1つの原因として、少しでも家具が動いたりドアが開いたりすると電波の伝わり方が変化し、推定結果に大きく影響するという問題がありました。年の瀬も迫ったあるとき、検討していた方法が部屋の環境変化に敏感であるなら、位置を検出するのではなくホームセキュリティのためのセンシングに使えるのではと思いつき、実験を行ったのがクリスマスイブでした。結果は予想以上で、送受信のアンテナを部屋に1か所それぞれ

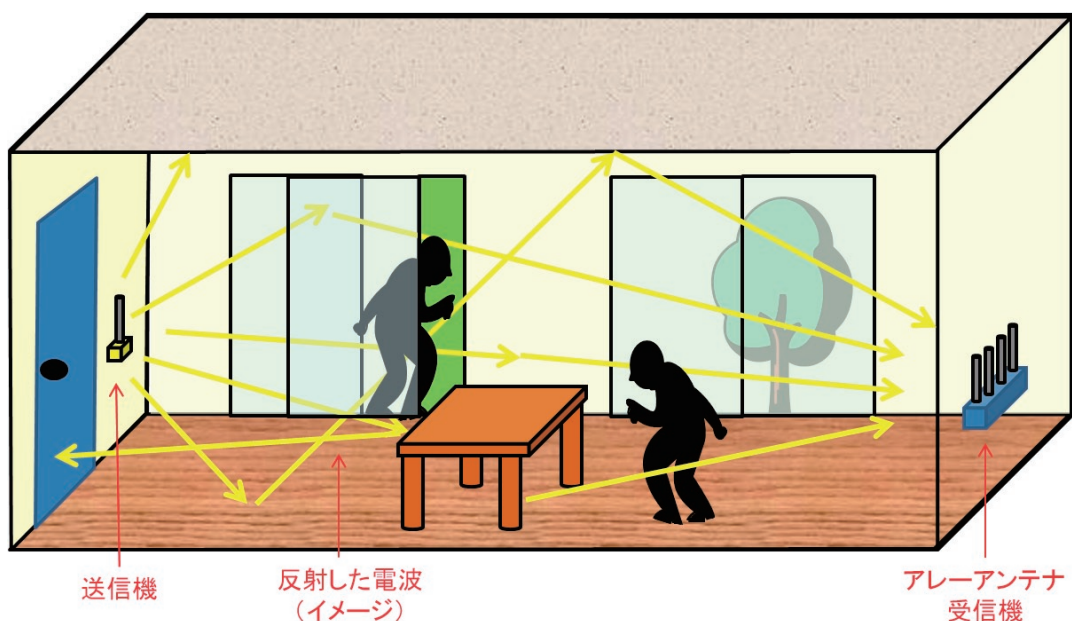


図1 アレーアンテナを使ったセキュリティシステムのしくみ

設置するだけで、ドアの開閉、人の動き、家具の移動など見事に検知できることが確認できました。それがきっかけとなり現在に至っています。余談ではありますが、その学生は急ぎよ卒業論文のテーマが変更になりましたが、無事卒業できました。

● アレーアンテナを使ったセキュリティシステムの動作原理

本システムの動作原理を簡単に説明します。図1のようにある部屋の1か所に電波を出す送信機を置き、別の場所にアレーアンテナを持った受信機を置きます。送信機から四方八方に放射された電波は、床、天井、窓、家具といったあらゆるものに反射もしくは吸収されて、複雑な経路を経た後受信点に到着します。このあらゆるものと複雑な経路というのがこのシステムのポイントです。この結果、受信点のアレーアンテナには様々な方向から電波が入射し受信されます。もしもこの送受信間の途中経路で人の侵入や窓が開くなどのイベントが発生すると電波の伝わり方が変わり、受信点では電波の受信強度ばかりでなく入射する角度が変化します。本システムではこの空間的に変化する電波の入射のパターン変化をアレーアンテナでうまくとらえることによりイベントを検出します。これまで受信点において1つのアンテナで受信強度の変化のみを検出する方式はありましたが、この方式では送信機の変動や些細な室内の変化により受信強度が変化してしまい誤検知を引き起こすことが多かったため実用化に至っていませんでした。一方、アレーアンテナを用いる方式は、電波の伝わり方を空間的に検出するため確実な検出を実現することができます。通信では一般に電波の複雑な反射(マルチパスと呼ばれる)は、通信品質を劣化させる原因となるため厄介な存在でしたが、ここでは電波のマルチパスを積極的

に利用し、センサーから見通せない隠れた場所でのイベントも検出できるという利点を持っています*。

* 近年、マルチパスの環境でアレーアンテナを利用し、通信速度や品質を改善する手法が開発され無線LANなどで実用化されています。

● リアルタイムイベント検出評価装置の開発

当初、この研究を行うに当たり、既存の装置を組み合わせることで実験および評価を行ってきました。その結果、実験装置自体が大きくなり、またデータを収集してから解析を行うという方式をとっていたため扱いにくく効果もわかりにくいという欠点がありました。そこで、システム構成の見直しと信号処理の方式を工夫することにより、装置の小型化と小型マイコンでのリアルタイム処理を可能としたイベント検出評価装置の開発に成功しました。装置の外観を図2に示します。この装置は送受信装置が一体となっており、イベントを検出する処理装置も内蔵しています。この装置にアンテナを接続するだけで、人の侵入や窓などの開閉のイベントの発生を音で知らせてくれます。またUSBポートを内蔵しており、PCを接続すれば、データの記録やその他詳細な情報を表示することができます。様々な解析を行うことができます。

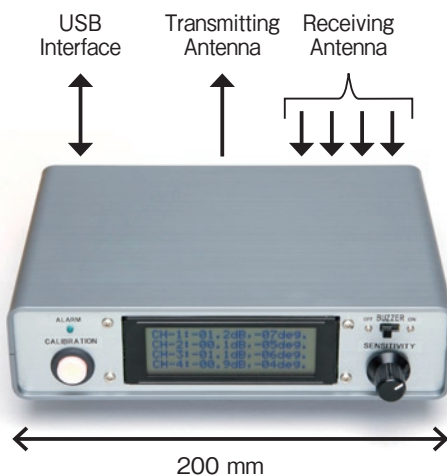


図2 リアルタイムイベント検出評価装置の外観

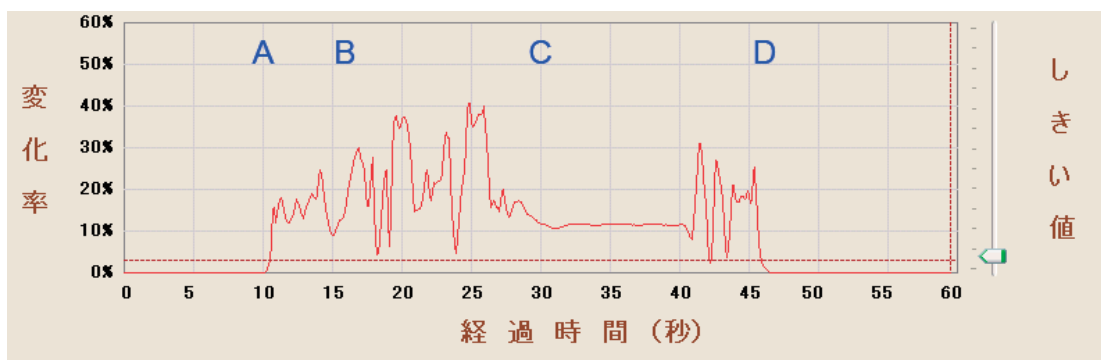


図3 イベント検出結果の例

なお、この装置のハードウェアの構成は、現在の携帯電話端末よりも単純であるため、将来は携帯電話程度の小型化は可能であると考えています。

● 評価装置によるイベント検出

この評価装置を使った実際のイベントの検出例を示します。ある部屋に人がドアを開け侵入したときの検出結果を図3に示します。横軸は時刻で、縦軸は本方式により得られた状態の変化を数値化した結果を示します。ここでは時刻Aでドアを開けて人が部屋に入り、時刻Bから部屋の中を歩きまわり、時刻Cで一旦静止後、時刻Dで部屋を出るといった動作を行っています。図3の結果より、何もイベントが発生していないときグラフはほぼ0を保ったまま一定の値ですが、時刻Aからのドアの開閉、時刻Bからの人の動きとともに値が変化しているのがわかります。また、この装置ではこの値に適当なしきい値を設定し、あるレベルを超えるとイベントの発生としてブザー音を出すようになっています。このしきい値を調整することで検出感度が調整できます。最後に部屋を出てドアを閉めると、もとの0に戻っています。さらに、人が部屋で静止している時刻Cと人がいないときの値を比較すれば、人の動きだけでなく、部屋の人の存在までも検出できることがわかります。

● まとめと今後の展開

開発したシステムは、部屋に1つ設置するだけで部屋全体の監視を実現し、送受間の見通しがとれない場所のイベント検出も可能となりました。装置が簡便で容易に設置できるため、現状の警報システムとの連携も容易となっています。また本システムは、部屋の人の動きや存在の有無、家具などの配置の変化、さらには浴室やトイレ内などの人の動きの監視、物の置き忘れまでも検出ができるため、今後様々な使われ方が期待されます。現在は、より安定して精度の高い検出方法の改良を進めるとともに実用化を目指しています。

「きずな」(WINDS)の 宮城県での運用について

「東日本大震災において、消防、自衛隊の要請で、超高速インターネット衛星『きずな』を用いて救助活動の支援を行い、災害時の衛星通信の威力と可能性を改めて実感しました。」



高橋 卓 (たかはし たかし)

ワイヤレスネットワーク研究所
宇宙通信システム研究室 研究マネージャー

大学院修士課程修了後、1991年に郵政省通信総合研究所(現 NICT)入所。高速衛星通信、衛星通信システムなどの研究に従事。

秋岡 眞樹 (あきおか まき)

ワイヤレスネットワーク研究所
企画室 専門推進員

大学院修了後、科学技術特別研究員を経て1993年に郵政省通信総合研究所(現 NICT)に入所。宇宙環境、宇宙技術などの研究に従事。博士(理学)。



● 超高速インターネット衛星「きずな」(WINDS)

「きずな」は2008年2月に種子島宇宙センターからH-IIAロケット14号機で打ち上げられました。打ち上げ後4年以上たちましたが、順調に運用を続け、数々の実験を精力的に実施しています。最大の特徴は、世界最高速の衛星通信性能をもち、アジア太平洋全域をサービスエリアとするブロードバンドIP通信が可能であることです。「きずな」にはNICTが開発した再生交換機を搭載しており、搭載交換機を使用した再生交換モードでは、多数の地点を同時に結んで最高155Mbpsの通信が可能です。また、搭載再生交換機をバイパスしたベントパイプモードでは2点間で1.2Gbps超の通信が可能で、様々な実験やイベントをこなしてきました。

スーパーハイビジョン映像の伝送実験や高精度4Kカメラによる3D映像など、次世代の映像コンテンツの大容量伝送実験を成功させています。2009年7月には、皆既日食映像伝送実験において、車載局を硫黄島に持ち込みハイビジョン4チャンネル分をNICT本部(小金井市)へリアルタイムで伝送し、インターネット等を介して報道番組等ひろく日本中のお茶の間にも提供しました。2010年1月には、神奈川県の大和成和病院の手術室と神戸国際会議場を「きずな」で結び、心臓外科手術の3D映像中継実験を成功させています。

「きずな」の地球局設備は、地上網で広く普及しているイーサネットと外部機器と接続されます。このため、コンピュータやテレビ会議、IP電話をはじめ、多くのネットワーク対応機器をその

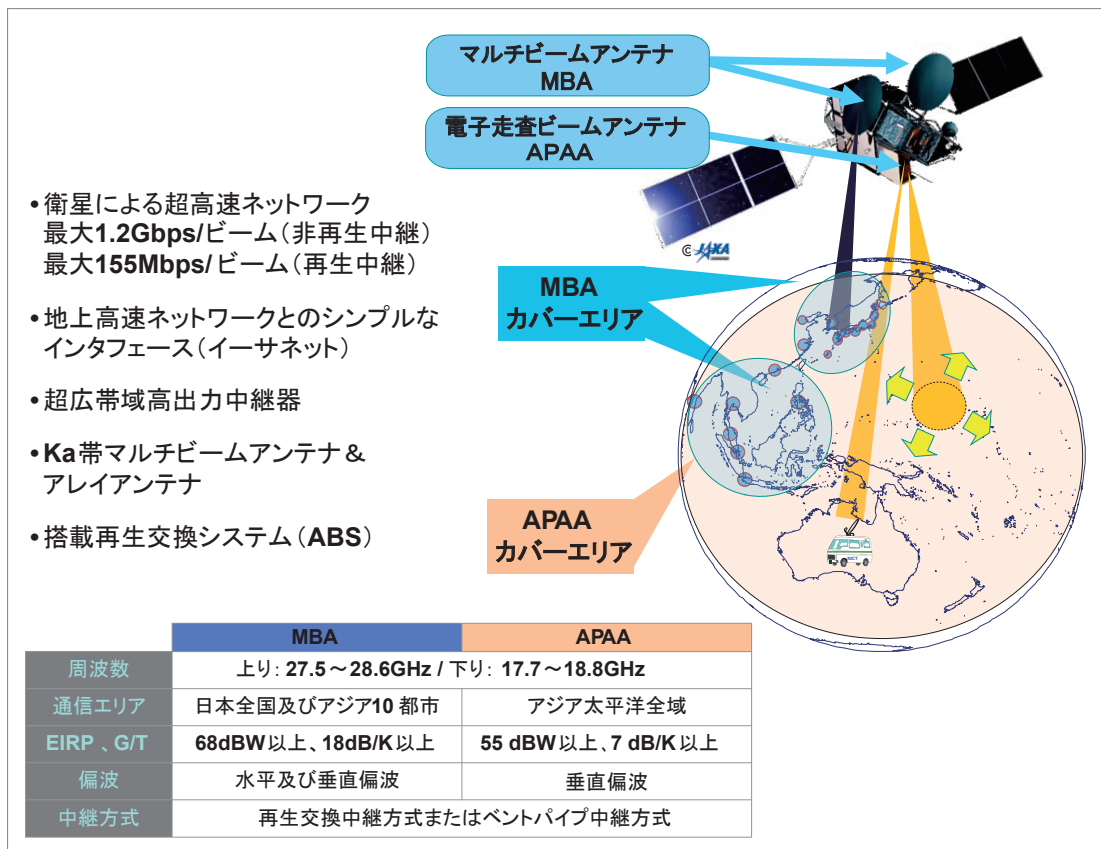


図1 超高速インターネット衛星「きずな」(WINDS)の概要

まま接続して運用する事ができます。このシンプルなインターフェースは、最先端の通信衛星である「きずな」をととも使い勝手のよいものになっています。

● 災害時の衛星通信利用について

地上の光ファイバー網と異なり、地上通信網のないどんなところでも、地球局設備があればすぐに大容量ブロードバンド回線を開設できる点が「きずな」の強みです。これは、大規模災害による通信途絶に対しても大きな力を発揮します。この点について、実際の現場で活動する消防などの関係者も「きずな」に強い関心を持っていました。2010年10月に沖縄でAPEC電気通信・情報産業大臣会合が開催された際には、併設され

た政府展示において災害救助活動における「きずな」の利用を含む展示実験を東京消防庁の方々と協力して実施しました。災害時に緊急援助隊として遠隔地に派遣されたときの通信に関する問題点や重要性などの議論をもとに、2011年4月からのNICT第3期中期計画が開始されたら協力して取り組もうと、具体的なプランを練り始めていたところでした。

その矢先、3月11日に東日本大震災が起こってしまいました。すぐにNICT本部から関係機関に情報収集を始めましたが、思うように電話が通じません。テレビを見ているだけで、想像したこともないような被害に見舞われていることはわかります。「きずな」を使用する状況になった場合に備えて、念のため衛星運用スケジュールの確保と必要な資機材の集積準備を開始しました。夜



図2 気仙沼市での活動状況

屋上に可搬型VSAT (IDU及びODU) を展開し、窓越しにケーブルを災害対策本部に引き込んで運用した。

中、日付も変わった12日未明、東京消防庁の担当者から、「緊急消防援助隊が活動する現地との通信に「きずな」を使いたいとの話が出ているが、協力してもらえる可能性はあるか？」との連絡がありました。大急ぎで資機材の確保状況の確認と情報収集と準備を本格化させました。また、一緒に「きずな」プロジェクトを進めている宇宙航空研究開発機構(JAXA)の担当者とも調整し、「きずな」使用のスケジュール変更とリソース等の確保に協力していただきました。あたふたと一応の準備を整え、14日には現地に追加派遣される緊急消防援助隊の東京都隊とともに大手町の東京消防庁本庁を出発しました。

14日深夜に気仙沼市に入り、15日朝に気仙沼市災害対策本部の置かれた気仙沼消防署・防災センターに到着、設置場所や電源・信号線ルート等の調査・調整を始めました。東京側で作業しているチームメンバーの手際よさもあり、アンテナ設置、室内や消防車両へのケーブル敷設、アプリケーション機材の立ち上げも含め、夕方4時ごろには大手町の東京消防庁作戦室との間に衛星回線が確保できました。

その後、航空自衛隊の災害派遣の部隊とともに松島基地に移動し、入間(埼玉県)と松島の間にブロードバンド通信回線を提供しました。

● 被災地での活動を踏まえて

NICTは防災につながる研究はしているものの、防災機関ではありません。「きずな」のチームも災害対応機関の活動に役立つ研究をこれから…、というところでしたので、「きずな」の持てる力を十分に発揮できたとは思っていません。報道される被害状況に衝撃を受けて、何かできることがあるならやらなければ、と走り出してしまったようなもので、準備も十分といえるものではありませんでした。それでも、実際の災害対策現場で「きずな」が使われたことで、ささやかながらも被災

地と救援部隊のお役に立つことができました。加えて、「あれもできる」「ここはこうすればよい」とたくさんのことに気付くことができました。

今回の一連の活動で、「きずな」による衛星通信はハイビジョンの映像やテレビ会議に加え、IP電話やWiFi付携帯電話も衛星回線とうまくつなぎこむと被災地でかなりの有効活用が期待できることがわかりました。「きずな」を使えばそのままインターネットにつなぎこめますので、被災地での救助活動や被災者支援にそのまま役立てられます。ファイル共有ツールやVPNなども有用です。作業開始後半日程度でブロードバンド回線を開通させられる即応力を今回も発揮してくれました。災害現場で使うツールはワイヤレスでアクセスできるものでなければ、運用現場にかえて負荷をかけてしまうかもしれないことも貴重な教訓としたいと思います。そして、とにかく電源の継続的な確保の大切さ。ここにあまり詳しいことを書く余裕はありませんが、後から考えるとあたりまえに思えてしまうことも多いです。

今後、衛星通信の先端技術を追求する研究開発に加え、それを実際の現場で使えるものに仕上げていくためにやるべきことがいろいろあることをあらためて痛感させられました。報道や関係機関などでは、衛星携帯電話をはじめ衛星通信の重要性があらためてとりあげられているようです。今回の活動の中で気付いたことで検証の必要なことは、被災地から帰ってすぐ実験や検討を始めています。現場の人たちに現場のイロハも教えていただきながら研究開発を推進していきたいと考えています。

東日本大震災で亡くなられた方のご冥福と、被災された地域の復興を心よりお祈り申し上げます。

宇宙光通信と衛星量子鍵配送

「衛星からのデータ通信容量が年々増加しており、今や衛星通信でも光通信の時代に入りました。光通信はレーザーを使うため、光を用いる量子 ICT 技術とも親和性が良く、将来、衛星量子鍵配送も期待されます。」

豊嶋 守生 (とよしま もりお)

ワイヤレスネットワーク研究所
宇宙通信システム研究室 室長

1994 年、郵政省通信総合研究所(現 NICT)に入所。ETS-VIによる光通信実験に従事し、その後 JAXA 出向、ウィーン工科大学在外研究を経て、OICETS との光通信実験を実施。博士(工学)。



● 衛星通信におけるデータ伝送速度の増加

年々高速化する地上通信回線は、やがて近い将来には光ファイバにより全てがつながるネットワークが実現されると考えられています。こうした「光」を使った情報通信技術は、宇宙通信ネットワークにも拡大応用され、宇宙と地上における通信が「光」で結ばれる光ネットワーク時代の到来が想定されます。電波も光波も同じ電磁波ですが、光は数百テラ Hz という搬送波周波数のために、アンテナや機器の小型・軽量化が可能で、周波数資源の有効活用ができて法的規制も緩やかです。2015 年には、観測衛星等からのデータ伝送速度が約 20Gbps 以上になると試算されており(図 1)、このような高速・大容量通信は光通信でなければ実現できません。近年に

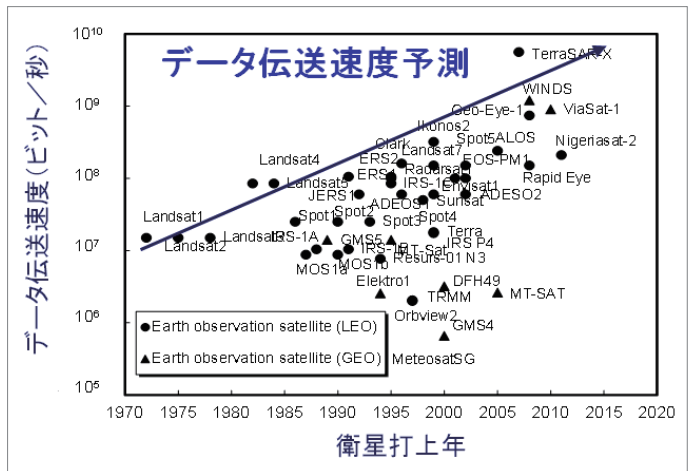


図1 衛星のデータ伝送速度の動向

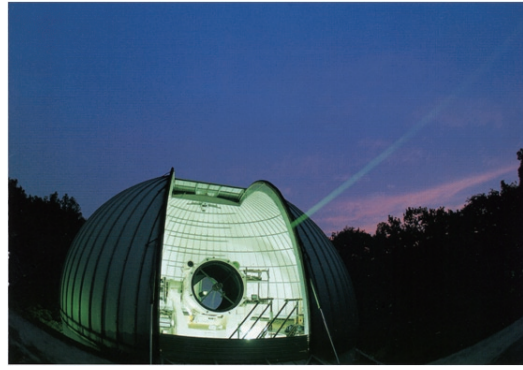


図2 NICT光地上局の望遠鏡

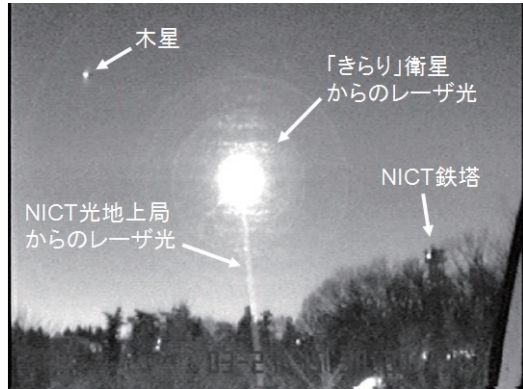


図3 世界初の低軌道衛星-地上局間の光通信実験

おける目覚ましい光学技術の発達に伴い、レーザーを用いた宇宙通信が実現可能な時代に突入しました。

衛星-地上間光リンクの確立

NICTでは、1994年に技術試験衛星VI型「きく6号」(ETS-VI)を用いて、世界で初めて地上-静止衛星間の光通信実験に成功しました。その後、欧州宇宙機関(ESA)では、静止衛星ARTEMISと地球観測衛星SPOT4との間で、2001年から光通信回線をデータ中継のために1日2回定期的に利用しています。宇宙航空研究開発機構(JAXA)の開発した光衛星間通信

実験衛星(OICETS*、以下「きらり」)は、2005年8月に軌道高度610kmの太陽同期軌道へ投入され、2005年12月にARTEMISとの間で双方向衛星間通信実験が国際協力として実施されました。当時、筆者もJAXAに出向し光通信機器の開発に携った後NICTに戻り、2006年~2009年、東京都小金井市にあるNICT宇宙光通信地上局(以下、NICT光地上局、図2)の上空において、世界初の地上-低軌道衛星間の光通信実験を実施しました(図3)。この実験により、低軌道衛星-地上局間光回線への大気ゆらぎの影響を初めて実測できたことは、学術的意義だけでなく、都市部に散在するビル間の光通信、航空機等の飛翔体との光通信、地上における光無線技術等へ広範に応用されることが期待されています。

空間量子鍵配送への応用

情報通信技術では、情報漏えいや不正アクセスなどを防止する情報セキュリティ技術の要請が高まっており、盗聴技術が高度化する中で暗号技術は益々重要になってきています。量子暗号システムは、量子信号の伝送媒体として光子を用いているため、光通信とは非常に親和性が



図4 UQCC国際会議でのビル間量子鍵配布のデモンストレーションの様子

よいシステムです。現状、ファイバ中での量子鍵配送では、ファイバ中の損失などの影響によりその伝送距離は150km程度が限界で海を挟むような大陸間を伝送できませんが、自由空間においては、より遠方への伝送が可能で、地球を周回する衛星を用いると、地球上のどこでも量子鍵配送が可能となります。多くの場合、量子鍵配送には光の偏光が用いられますが、前述した衛星「きらり」との光通信実験において、世界で初めて衛星-地上間での偏光特性を取得し、量子鍵配送への影響を定量的に測定することができました。NICTでは、空間伝送用の量子鍵配送システムの実現性を確認するためにプロトタイプモデルを開発し、2010年10月に開催されたUQCC国際会議において距離約1.37kmのビル間で量子鍵配送のデモンストレーションを行いました(図4)。

地球規模での衛星を用いた量子鍵配送

任意の2つの地上局を用いた量子鍵配送・共有実験は、地球規模で図5に示す手順で実現可能となります。

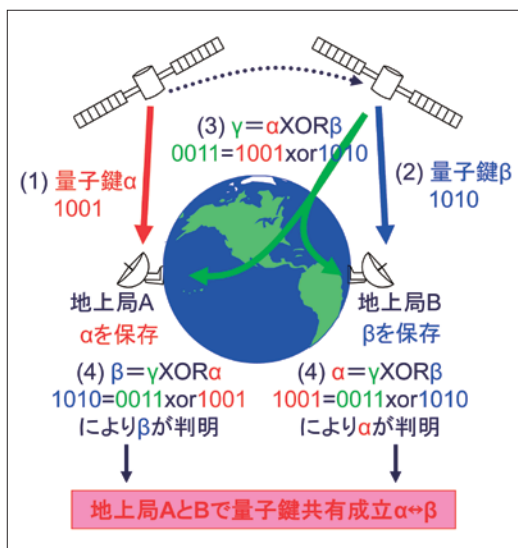


図5 任意の2つの地上局を用いた量子鍵配送

- 1) 衛星から量子鍵 α を量子鍵配送により生成・配信し、地上局Aで量子鍵 α を保存します。
- 2) 地上局Bの上空で、衛星から量子鍵 β を生成・配信し、地上局Bで量子鍵 β を保存します。
- 3) 衛星では量子鍵 $\gamma = \alpha \text{ XOR } \beta$ を算出し通常の通信回線で両ユーザに配信します。(XORは排他的論理和で、 γ は盗聴されてもよい)

4) それぞれの地上局で自分の量子鍵と γ を排他的論理和(XOR)することで相手の量子鍵を共有できます。

任意の2つの地上局を用いた量子鍵配信・共有実験は、例えば、ヨーロッパで量子鍵を衛星に送信し、地球の反対側の日本で受信することによりグローバルな量子鍵配信が可能となります。ファイバ通信では現状150km程度しか量子鍵配送できないと言われていまずので、ファイバ通信の距離では実現できない長距離伝送が可能である衛星量子鍵配送では、地球規模で量子鍵配送が可能であるということは、将来の応用へ重要な意味を持つと考えられます。

● 今後の展望

宇宙通信システム研究室では、小型衛星の打ち上げ機会を捉えて、軌道上から小型光トランスポンダ(Small Optical Transponder: SOTA)による光通信の宇宙実証を考えています。現在、SOTAのフライトモデルを開発中で、50kg級の小型衛星へ搭載する予定です。その搭載質量は6kg程度で、直径約5cmの光アンテナを備えています(図6)。SOTAには、量子鍵配送の基礎実験用の非直交な偏光を持つレーザーを2台搭載しており、地上局においてフォトンカウンティングレベルでの光子測定実験を行う予定です。これにより、量子鍵配送に必要な基礎的なデータを取得する予定です。こうした光学技術は、地球観測衛星等で取得される様々な環境・災害観測データの伝送に役立つ他、高セキュリティな回線確保のため、社会の安心・安全を支える基盤として期待されています。

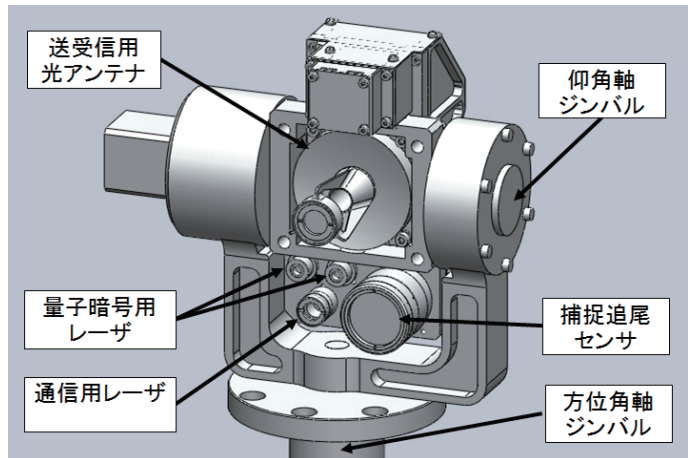


図6 開発中の超小型衛星搭載用の小型光トランスポンダ

*キーワード

【光衛星間通信実験衛星「きらり」(OICETS)】

「きらり」(OICETS)は、欧州宇宙機関(ESA)の先端型データ中継技術衛星「ARTEMIS」との間での実証実験を主な目的に、2005年8月24日にカザフスタン共和国バイコヌール宇宙基地からドニエプルロケットにより打ち上げられた技術試験衛星です。「きらり」のような低高度地球周回衛星と地上局間の光通信においては、受信光レベルが大気による減衰やゆらぎにより大きく変動するため、高速で移動しながら地上局に正確にレーザーを送信し続けるには極めて難易度の高い技術が必要となります。本稿で紹介したように、NICTとJAXAは、同衛星と光地上局との間で光通信実験に成功しました。こうした低軌道地球周回衛星と光地上局とを結ぶ光通信実験成功は世界で初めてのことで、日本の技術力の高さを証明することができました。