

第I章

ネットワーク基盤技術

I-1.光ネットワーク技術

宮崎哲弥、和田尚也・古川英昭・宮澤高也、原井洋明・ベド カフレ、
井上真杉・大和田泰伯、淡路祥成、川西哲也・菅野敦史

I-2.ワイヤレスネットワーク技術

門脇直人、李 還帮、原田博司、石津健太郎、村上 誉、児島史秀、
有本好徳、辻 宏之、高橋 卓・秋岡眞樹、豊嶋守生

I-3.ネットワークセキュリティ技術

高橋幸雄、中尾康二・井上大介、
井上大介・衛藤将史、高橋健志、野島 良、
大久保美也子、松尾真一郎

I-4.新世代ネットワーク基盤構成技術及びテストベッド技術

益子信郎、西永 望、下條真司、三輪信介



I-1 ネットワーク進化の最先端をリードし、 新世代ネットワークの実現を目指す



宮崎 哲弥 (みやざき てつや)

光ネットワーク研究所
研究所長

2002年より独立行政法人通信総合研究所(現 NICT) 超高速フォトニックネットワークグループ勤務。超高速光通信・全光信号処理、多値光通信方式の研究に従事。博士(工学)。自ら実験をしなくなつて久しくなります。レーザー光を様々な光学機器を通してシングルモード光ファイバに結合させる実験をまたいつかしたいと思いつつ日々が過ぎていきます。

「光ネットワーク研究所では要素基盤技術からシステム化技術、さらにネットワークアーキテクチャまでの研究成果を統合し、革新的情報通信技術の開発を進めていきます。」

日常生活を支える光ネットワーク

光ファイバ通信ネットワークは、全世界的に急増しているインターネットトラフィックを支える情報社会のインフラとして、地球を1つに結ぶ光海底ケーブルなどの基幹系から各家庭への光ファイバ接続サービスや携帯電話の基地局網を支える末端のアクセス系に至るまで導入されています。現状の光ファイバ通信ネットワークではインターネットトラフィックの交差点となるノードに電子回路処理技術によるルータが設置され、パケットの宛先検索や経路切り替えが行われています。一方、ノード間を結ぶリンクは、光ファイバ1本あたりに異なる情報を複数の光波長に載せて一括伝送する波長多重伝送技術が用いられています。

しかし、伸び続ける情報伝送のニーズに既存のネットワーク技術だけで対応しようとすると、ノードにおいてはルータ内の処理が追いつかずトラフィックが滞ってしまうボトルネックが顕著となり、リンクにおいては波長数増大に伴う中継増幅器や光ファイバの伝送波長帯域不足、さらにネットワーク全体で設備規模や電力消費が膨大となるなどの問題が顕在化しつつあります。これらの問題は先進国だけに限らず、人口が急増し情報インフラ整備が進みつつある新興国においても社会の持続的発展のため解決すべき課題となるでしょう。一方で金融ビジネス、医療応用など低遅延性や確実性が重視される場合とメールやTwitterなど低価格性が重視される場合もあり、通信サービスに対する要求は多岐にわたっています。

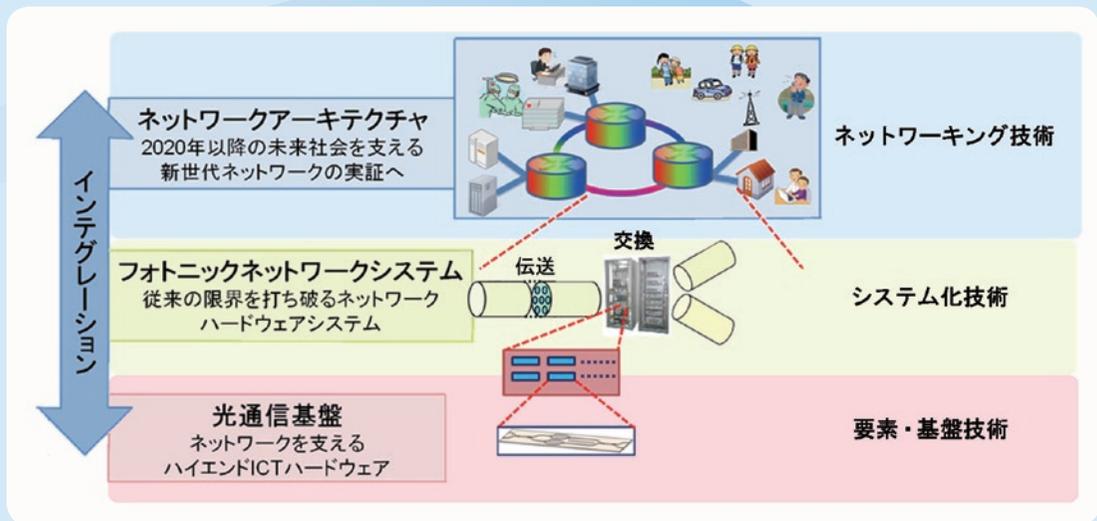


図1 光ネットワーク研究所の研究内容

● 明るい未来社会の実現を目指して

そこで、光ネットワーク研究所では様々なサービス要求に柔軟に適応し、通信量の飛躍的増加に伴う電力消費エネルギーの増大を抑えるとともに高信頼性も確保する、将来に向けて持続発展可能な新世代ネットワークの実現に向けて以下の研究課題について重点的に取り組んでいます。

まず、光パケットと光パスを統合的に扱うことのできるネットワークのアーキテクチャを確立します。この技術は、インターネットのデータ通信も混雑なく交通整理をしつつ、これまで困難であった通信の医療応用や超高精細動画通信などを、高品質かつ低消費電力でサービスして、生活の質の向上や低エネルギー社会など未来社会の実現に貢献するものです。また、切れにくいネットワークの実現を目指して、自律制御によるネットワークの高信頼化技術も開発します。

そして、この光パケット・光パス統合ネットワークを支えるハードウェアとして、光ネット

ワークの物理層における限界を打ち破る究極の光ノード技術や、マルチコアファイバ等を用いて飛躍的な通信容量の増大を可能とする光伝送技術と交換システム技術の研究を進めています。

さらに、1波長あたりの伝送速度の高速化技術、波長多重のための未開拓光波長帯域における光通信技術の開発や、あらゆる環境でブロードバンド接続を実現しつつ環境への影響も小さいICTハードウェア技術の研究開発にも取り組んでいます。

以上の研究課題に対して国内外の民間企業、大学などの研究機関とも連携し、光パケット・光パス統合ネットワークを中核とした新世代ネットワークの基盤となる革新的情報通信技術の研究開発を進めていきます。

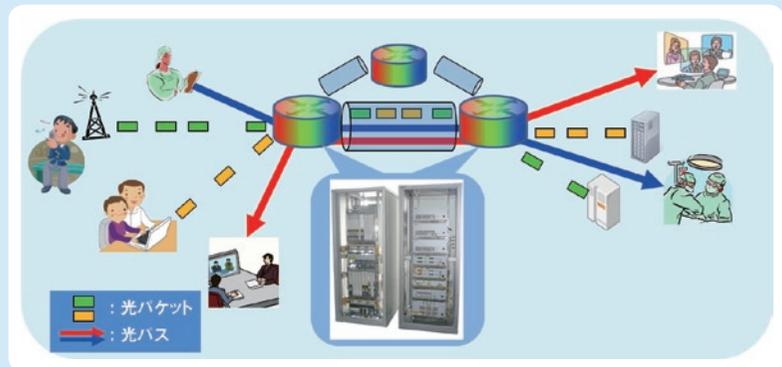


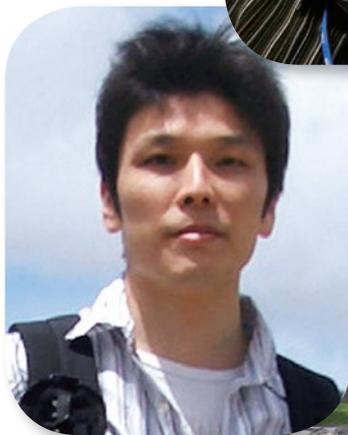
図2 光パケット・光パスの概念図

光パケット・光パス 統合ネットワーク

—多様なサービスの実現、運用の簡易化、省エネに貢献—



「多様なサービスを高速かつ省電力で提供可能な光パケット・光パス統合ネットワークの基本原則を説明し、NICTの最新の光技術を駆使して開発した光統合ノードを紹介します。」



和田 尚也 (わだ なおや)

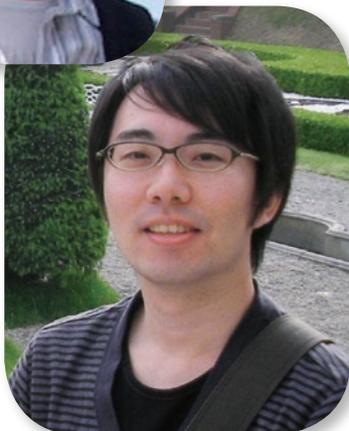
光ネットワーク研究所
フォトニックネットワークシステム研究室 室長

大学院博士後期課程修了後、1996年、CRL(現NICT)に入所。以来、フォトニックネットワークや光伝送システムに関わる研究に従事。博士(工学)。

古川 英昭 (ふるかわ ひであき)

光ネットワーク研究所
ネットワークアーキテクチャ研究室 主任研究員

大学院博士後期課程修了後、2005年、NICTに入所。以来、フォトニックネットワークに関わる研究、AKARIアーキテクチャ設計プロジェクトなどに従事。博士(工学)。趣味は旅行。



宮澤 高也 (みやざわ たかや)

光ネットワーク研究所
ネットワークアーキテクチャ研究室 研究員

大学院博士後期課程修了後、2007年、NICTに入所。以来、光ネットワークに関わる研究、AKARIアーキテクチャ設計プロジェクトなどに従事。博士(工学)。趣味は、ゴルフ、ミュージアム巡りなど。

はじめに

近年、通信トラフィックは増大し続けており、それに伴い、通信機器の消費電力も増加の一途をたどっていることから、低消費電力で大容量通信が可能な技術の開発が求められています。また、多様なコンテンツがネットワーク上で流通することが想定され、Web 閲覧やメール交換、センサ情報収集といったベストエフォート型サービス(通信のサービス品質(Quality of Services: QoS)は保証されないが、低コストかつ効率的なデータ通信)から、デジタルシネマ配信や遠隔医療といった QoS 保証型サービス(ネットワーク資源の排他的利用でコスト高だが、QoS が保証されるデータ通信)まで、多様な形態のデータ通信を提供できる仕組みが求められています。

これらの課題に対して、私たちは、通信機器に光技術を導入することで消費電力の抑制を図り、パケット交換・パス交換の両方式を採用することで多様な通信サービスの提供を可能とする、「光パケット・光パス統合ネットワーク」の研究開発を行っています。

光パケット・光パス統合ネットワークとは

現在のインターネットで使用されているパケット交換方式は、通信回線を多数のユーザで共有するため、回線利用効率を高めることができません。一方で、従来型の電話網などに取り入れられているパス(回線)交換方式は、ユーザが通信回線を一時占有するため、QoS を確保できます。光パケット・光パス統合ネットワークは、これら両交換方式を1つのネットワークで提供するものであり、ユーザは利用シーンに合わせて、ベストエフォート型サービスと QoS 保証型サービスを選択することができます(図1)。

また、現在のネットワークの中継装置であるルータでは、光信号を一旦電気信号に変換してデータ転送処理を行っており、処理量の増大に伴って大規模化する中継装置の消費電力が問題となります。そこで、データを光信号のままパケット交換処理が可能な光パケットスイッチと、データを光信号のままパス交換処理が可能な光パススイッチの研究開発が行われています。本統合ネットワークでは、光パケット交換機能と光パス交換機能を両方具備した光パケット・光パ

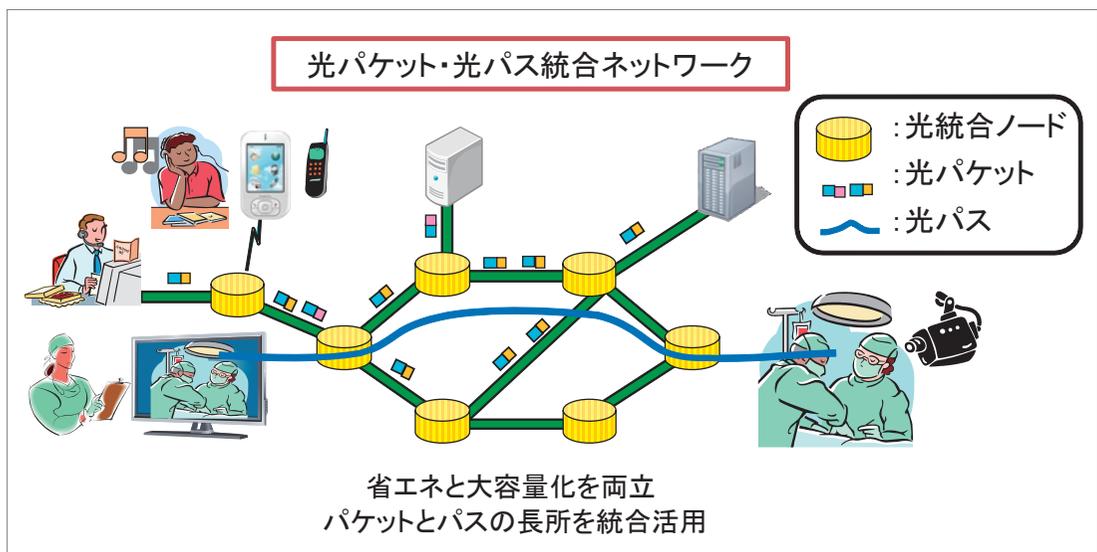


図1 光パケット・光パス統合ネットワークの概念図

ス統合ノードを用い、データ伝送速度に依存しない低消費電力かつ大容量の転送処理を可能にします。

本統合ネットワークでは、光パケット交換用と光パス交換用にそれぞれ別のネットワーク資源(波長)を割り当てており、複数の波長を並列で伝送および処理可能な波長分割多重技術を用いて、両交換方式を共存させています。両交換方式に割り当てている資源量を、トラフィックの状況やユーザの要求に応じて動的に変えることで、資源の効率的な利用ができます。例えば、災害時に通信が繋がりにくい場合、光パケットの資源量を増やすことで、多数のユーザが回線を使用することができます。一方、重要な通信の品質を確保する要求が増えた時に、光パスの資源量を増やすこともできます。また、光パケット交換用資源では、通信相手に届ける実際のデータだけでなく、光パス資源の予約/解放のための制御信号も光パケットで送受信することで、余分な制御用インターフェースを減らし、ネットワークの制御部および管理運用を簡易化することができます。

開発した光パケット・光パス統合ノード

我々は、2011年に、NICTの最新の光技術(光スイッチ、光増幅器、等)の研究成果を結集し、安定性と操作性に優れた光パケット・光パス統合ノードを開発しました(図2)。この光統合ノードは、光ファイバを環状に接続したリングネットワーク用に開発されており、100Gbpsの光パケット信号と、1チャンネルあたり10Gbpsの光パス信号(計7チャンネル)を、同時に転送できます。本光統合ノードには、光パケットスイッチ機能、光パススイッチ機能、光信号をクライアント側ネットワークから光統合ネットワークに挿入するAdd機能、光統合ネットワークからクライアント側ネットワークへ分岐するDrop機能、前述の動的な資源割り当て機能などがあります。ここでは、Add機能を有する光挿入装置及びDrop機能を有する光分岐装置の中に、光パススイッチが搭載されています。

これまで、光統合ノード2台を光ファイバ50kmで接続したリングネットワークを構築し、遠隔地からNICTのテストベッドネットワーク

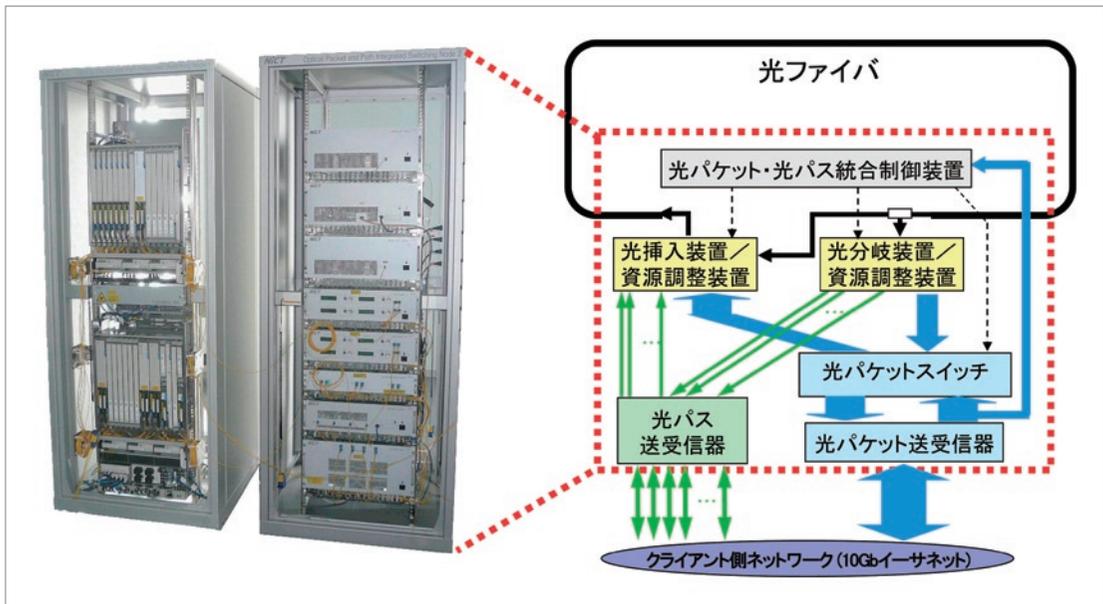


図2 開発した光パケット・光パス統合ノード

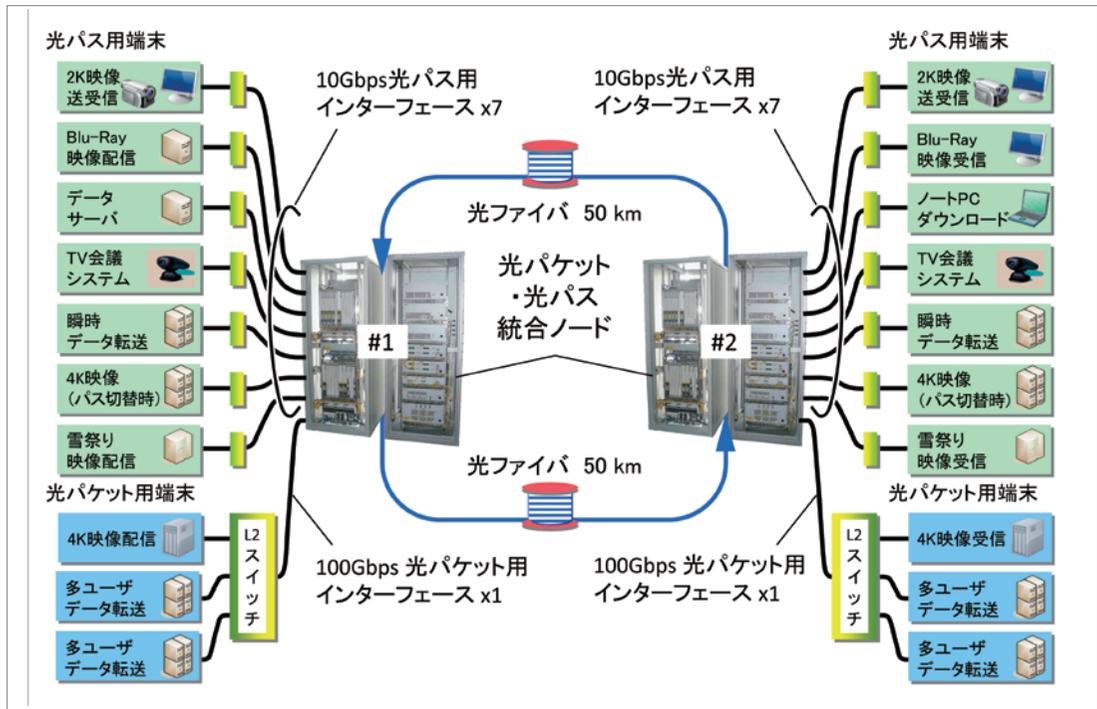


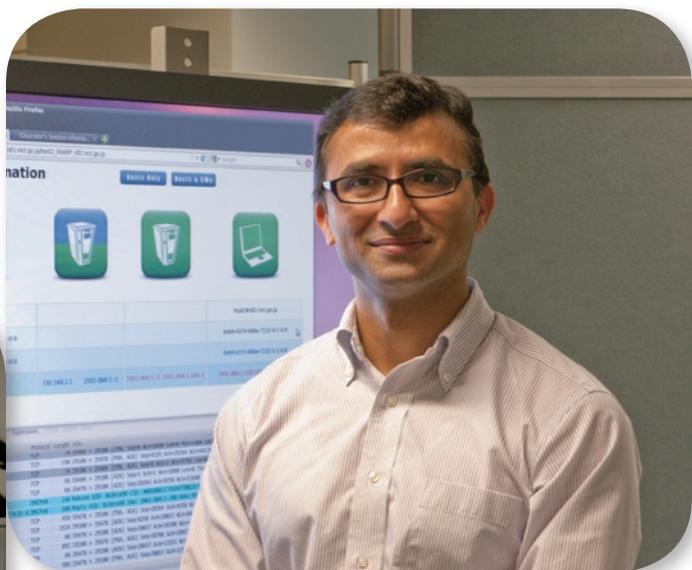
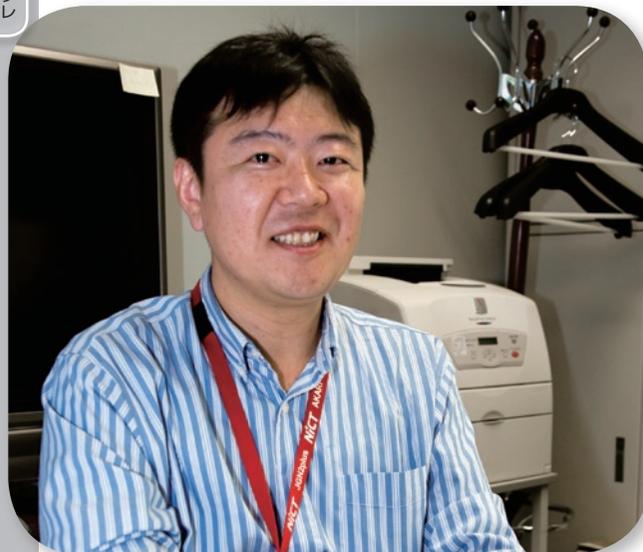
図3 実証ネットワークの構成図

JGN-Xの通信回線を経由して送られてきた4K映像(ハイビジョンの4倍の解像度)などの高精細映像の転送、双方向テレビ会議、高速データ転送などの動態展示を行い、安定動作を実証してきました(図3)。

● 今後の展望

今後は、光統合ノードの機能をさらに強化するため、光バッファ機能の導入、統合制御装置の高機能化や自動化等の研究開発を進め、JGN-Xのインフラとして利用するとともに、多くのユーザや管理者が容易に利用できる、信頼性の高い光パケット・光パス統合ネットワークの実用化を目指していきます。

ID・ロケータ分離による 新世代ネットワークアーキテクチャ



「我々が提案するHIMALISというID・ロケータ分離方式を紹介します。これは、異種間ネットワーク通信、移动通信、マルチホーム、セキュリティ対応等に適した方式です。」

原井 洋明 (はらい ひろあき)

光ネットワーク研究所
ネットワークアーキテクチャ研究室 室長

入所当時の光ネットワーク分野を含めて、現在はより幅広く新世代ネットワークの研究開発に従事。2007年IEEE ComSoc Asia-Pacific Young Researcher AwardにおいてOutstanding Young Researcher表彰。2009年文部科学大臣表彰若手科学者賞受賞。趣味はプロ野球のナイトゲームを見ることだが実践できていない。たまた、野球観戦、ゴルフ・スキー。

Ved P. Kafle (ベド カフレ)

光ネットワーク研究所
ネットワークアーキテクチャ研究室 主任研究員

現在、新世代ネットワークの設計、実装、評価、アルゴリズム最適化、プロトコル及びアーキテクチャの研究開発に従事しています。現在の関心事は、新しいネーミング及びアドレス方式、ID・ロケータ分離アーキテクチャ、名前またはIDの解決メカニズム、異機種ネットワーク層プロトコルの統合、ユビキタスセンシングとコンピューティングのためのインターネットへのリソースに制約のあるセンサーネットワークの統合、分散移動管理機能、通信ネットワークのプライバシー、セキュリティ及び信頼性にあります。2009年に新世代ネットワークアーキテクチャの標準化への貢献に対し、日本ITU協会賞を受賞しました。同じ年に、国際会議ITU-T Kaleidoscopeにおいて論文賞を受賞しました。休みには2人の娘と遊んだり、日本のネパール人のコミュニティでボランティア活動をしたり、バドミントンやジョギングを楽しんでいます。

はじめに ーなぜ新世代ネットワークなのかー

今やインターネットは、私たちの日常生活になくてはならないものになっています。近い将来には、インターネットには、家電製品、乗り物、健康・環境監視センサーなどの多種多様なデバイスが相互接続される日が来るでしょう。しかし、40年前に設計されたインターネットは、当時遠方の知人のコンピューターとの通信をするためのもので、携帯・微小デバイスの無線接続、セキュリティとサービス品質の提供、低消費電力での大容量のデータの効率的な転送などは考慮されていませんでした。アプリケーションがこのような要求をするようになって、様々な機能がオリジナルのインターネットアーキテクチャに、全体の最適化を考慮することなく、ランダムに追加されてきました。その結果、現在のインターネットには負荷がかかり過ぎ、本来あった拡張性という特徴が次第に失われてきました。それゆえ、前述した要求を、さらに将来に生じる要求も満たすようにするために、私たちは白紙から新世代ネットワークを設計してきました。

新世代ネットワークは、海外では、“Future Internet” とか “Future Network” などと呼ばれていますが、現在のインターネットでの制約条件は継承しません。新世代ネットワークは、膨大

な数の多種多様な移動デバイスを想定し、様々なネットワークプロトコルをサポートします。この記事では、このような目標を達成するために必要な ID・ロケータ分離という概念について、現在のインターネットのアーキテクチャと比較しながら説明します。

ID・ロケータ分離の概念

図 1(a)は、現在のインターネットのプロトコルの階層構造を示します。IPアドレスは、アプリケーション層とトランスポート層で、端末やセッションやサービスの識別子(ID)として利用され、同じ IP アドレスが、ネットワーク層ではネットワーク内での端末の接続位置(ロケータ)として利用されます。1つの IP アドレスを ID とロケータの両方に使用することは、異種のプロトコル、移動通信、マルチホーム接続、セキュリティ、経路制御の拡張などに適していません。端末が、ネットワークを移動した場合、端末の IP アドレス(ID とロケータの両方)が変更され、元の IP を識別子として用いた現在進行中のセッションが切れます。また、マルチホーム接続は、接続しているネットワークが混雑・切断した場合に、別のインターフェースに切り替えるためのものですが、それぞれのインターフェースは独自の IP アドレスを持っている

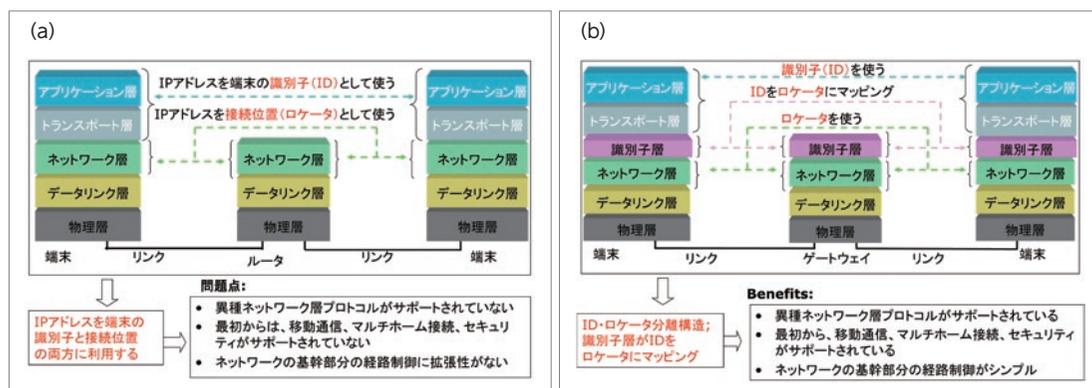


図1 プロトコル階層図 (a) 現在のインターネットの場合 (b) ID・ロケータを分離した新世代ネットワークの場合

ため、接続切り替え時にセッション ID が変更になり、通信セッションの滑らかな継続は困難です。同様に、IP アドレスに紐付いたセキュリティ情報は、端末の IP アドレスの変更で無効になります。さらに、コアネットワークは、それぞれのエッジネットワークまたはアクセスネットワークごとの経路表を作成しますが、エッジネットワークのサイズが小さく、数が非常に多くなった場合には、基幹の経路表のサイズは非常に大きくなり、エッジネットワークの IP アドレスの設定が頻繁に変更になると、基幹の経路表を更新する処理負荷が高くなり、最終的には、基幹の経路制御の機能に支障が出るでしょう。

従って、新世代ネットワークのプロトコル階層は、図 1(b) に示すように ID とロケータを切り離す (ID・ロケータ分離) 必要があります。トランスポート層とネットワーク層の間に挿入された識別子層は、ID をロケータにダイナミックにマッピングし、端末の移動やマルチホーミングによってネットワーク層がロケータを変更した場合にも、アプリケーション層やトランスポート層は、端末や通信セッションの識別用に同じ ID を使い続けることができます。この特徴は、ネットワーク層で別の種類のプロトコルを使うことを可能とします。データのパケットのヘッダには、送信元と宛先の両方の ID とロケータが含まれています。ゲートウェイは、パケットがエッジネットワークとコアネットワークを横断する際に、ID をヘッダの中のネットワークプロトコルやロケータの値を変換するための参照値として使います。これにより、新世代ネットワークでは、エッジネットワークやコアネットワークで異なるタイプのネットワーク層プロトコルの利用が可能となります。

● HIMALIS アーキテクチャ

ID・ロケータ分離の概念に基づき、NICT は HIMALIS (Heterogeneity Inclusion and

Mobility Adaptation through Locator ID Separation: ロケータと ID を分離することによる異質性の許容と移動への適応) アーキテクチャを提案してきました。図 2 は HIMALIS アーキテクチャの主要な構成要素であるエッジネットワーク、コアネットワーク、論理制御ネットワークを示しています。コアネットワークはエッジネットワーク同士を接続するために高速なルータとリンクで構成されています。

● ネットワークアクセス機能

端末 (図 2 の端末 1) がエッジネットワークに接続するとき、DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) 等の初期設定プロトコルの実行や AA、LNS、GW の ID やロケータ等のエッジルータのパラメータを入手します。端末は次に、認証と登録のために AA にコンタクトします。認証が済むと、端末には新しいロケータが割り当てられます。端末の端末名、端末 ID、ロケータ、公開鍵は LNS のホストテーブルに保存され、端末 ID とロケータは GW の ID テーブルに保存されます。端末にはアクセスキーも割り当てられ、信頼性の証明や AA、LNS、GW との暗号化メッセージのやりとりに使われます。端末は新しいロケータを HNR に、ロケータ更新メッセージを送ることによって登録します。こうしてこの端末は他の端末と通信する準備ができました。

● セッション初期化機能

端末 1 が端末 2 と通信したいとき、端末 1 は端末 2 の端末名しか知らないため、端末 1 は端末 2 の ID、ロケータ、公開鍵を LNS に問い合わせます。LNS は DNR、HNR から情報を入手して端末 2 の ID、ロケータ、公開鍵を受け取り端末 1 に送ります。こうして端末 1 は端末 2 に対して制御パケットを交換し始め、セキュリティコンテキスト (セッションキーなど)

を確立し、両方のGWのIDテーブルにID・ロケータのマッピングを保存します。GWはIDテーブルからID・ロケータのマッピングを使うことによってパケットのヘッダの中のネットワークプロトコルやロケータの変換を行います。

● 移動通信機能

(a) 移動端末(たとえば端末1)は移動して新エッジネットワークにアクセスして新しいロケータを得て、(b) 旧GWにある端末1のロケータ情報を新しいロケータに更新し、移行中にも旧GWが新しいGWにパケットが転送されるようにし、(c) 端末2とそのGWの情報を更新し、新しい位置にいる端末1にパケットを転送できるようにする、(d) 端末1のHNRレコードを更新し、(e) 旧エッジネットワークから切断する、という手順で信号をやりとりします。HIMALISアーキテクチャでは、ネットワー

クアクセスやセッション初期化のプロセスで確立されたセキュリティコンテキストを移動管理機能の安全確保にも使用できます。

● 実装の様子

HIMALISアーキテクチャに基づくID・ロケータ分離の技術はNICTにおける新世代ネットワークの研究の重要な要素です。私たちはHIMALISアーキテクチャを、ローカルなテストベッドネットワーク上で実装してきました。DNRとHNRの機能はPlanetLab(約1,000ノードから成る地球規模のオーバーレイテストベッドネットワーク)のノードにも実装し、実験しています。最近では、HIMALISをLinuxのカーネルに実装し、それをJGN-Xに接続して実験・検証できるようになっています。このようにHIMALISアーキテクチャを継続的に改良し、広範な検証を通じて、HIMALISが普及するよう研究開発をしていきます。

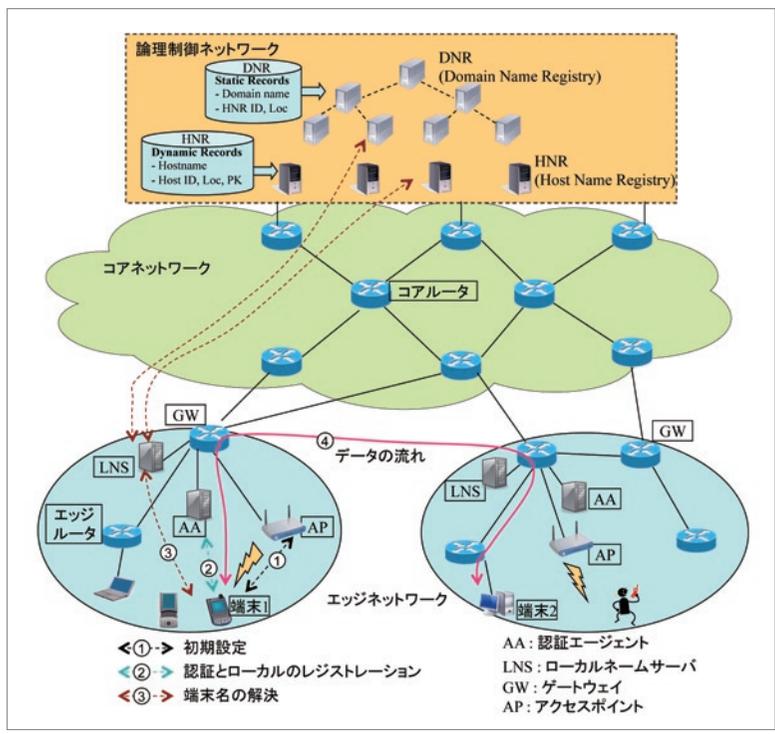


図2 HIMALISアーキテクチャの構成要素

地域の神経網を担うネットワーク NerveNetの研究

「人や街の状況をセンサが捉え、データが処理・判断されて様々なサービスや情報が提供されるスマートな街への期待が高まっています。その神経系を担うネットワークの研究を紹介します。」



井上 真杉 (いのうえ まさぎ)

経営企画部
企画戦略室 プランニングマネージャー

大学院博士課程修了後に郵政省通信総合研究所(現NICT)に入り、超高速無線LANやモバイル通信の研究に取り組む。人々にとって必要な情報通信は？という利用者視点で将来の情報通信を考えている。

大和田 泰伯 (おおわだ やすのり)

光ネットワーク研究所
ネットワークアーキテクチャ研究室 研究員

中学時代に中古で買ったMacintosh IIcxと草の根BBSを通じて通信に興味を持つ。大学院博士課程修了後、大学の特任助教やベンチャー企業立ち上げなどを経験し、現職にて無線分散アクセス網の研究に従事。趣味は写真やアウトドア、アーチェリーなど。



● 未来の地域社会の通信

私たちはアクセスネットワーク(人が最初に接続されるネットワーク)の研究を2006年から行っています。そのコンセプトは、人が五感で感じるように、センサが感知する気象、交通、災害、防犯などの地域事象データをネットワークを通じて収集・処理し、また人が反射的に行動を起こすように、センサデータに基づいた情報やサービスを適切なタイミングで地域社会や住民、その地域を訪れた人に提供するものです。そして、非常時にも頼れる強いものです。いわば地域の神経網の役割を果たす意味でそのネットワークをNerveNet(ナーヴネット)と名付けました。

● NerveNetに必要な3つの機能

NerveNetに必要な機能の1つは「自律・自

動的にネットワークを構成する」機能です。地域の情報通信サービス企業、自治体、NPO(非営利団体)などが地域の要求に基づいて適宜ネットワークを構築するためには、簡易に設置できることが大切です。災害時も通信を継続させるために、一部が故障したり切断されたりしても自律的にネットワーク構成を変更して機能を維持する必要があります。

2つ目は、「ネットワーク単体で情報サービスを提供する」機能です。例えば「私と同じ興味を持ち、この近くを通る人へこの情報を3日間提供したい」という要求があるとします。現在は、地域ネットワークの外のインターネット上にあるサーバがその要求を受けてサービスを提供します。これに対し、ネットワーク単体で情報サービスが提供できれば、災害等で外部への接続が途切れても提供を継続できます。インターネットと接続して連携しながらもネットワーク単体での

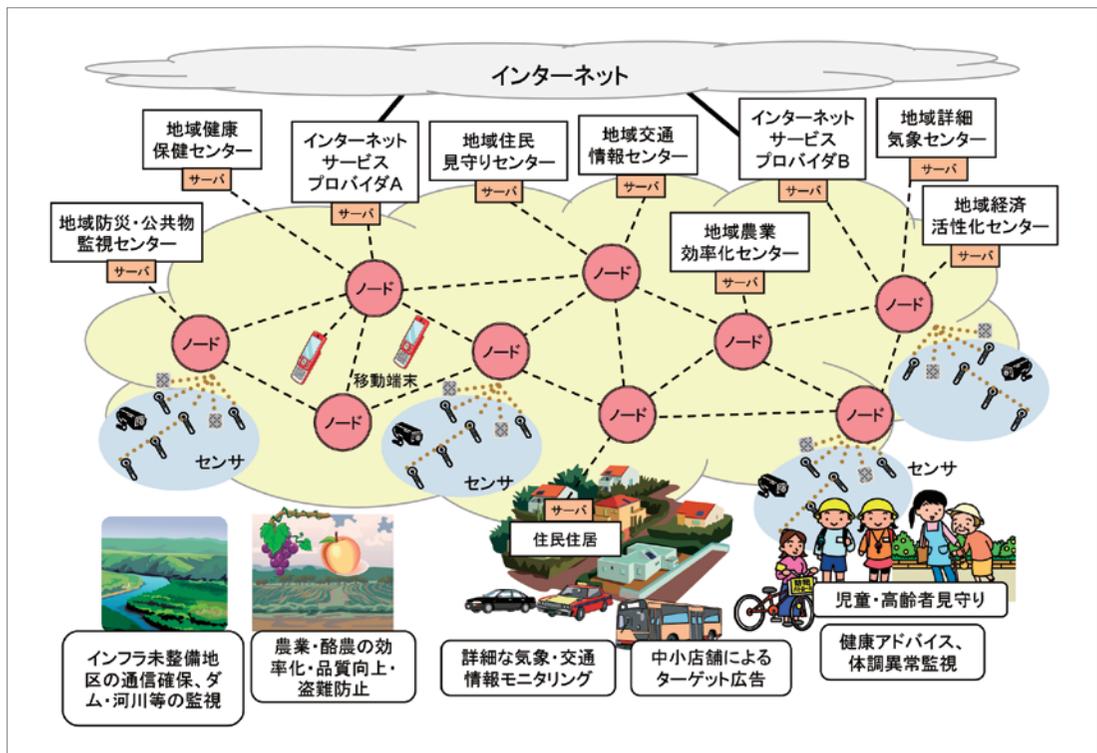


図1 地域分散ネットワークNerveNetの構成と活用イメージ

情報提供機能を活用することで、コスト低減と、地域企業や住民等による自営的情報通信による地域活性、地域産業振興が期待できます。

3つ目は、「プラットフォーム」機能です。現在は、児童見守りや気象観測などサービスごとにネットワークシステムを構築するのが一般的です。要望はあっても規模が小さいサービスは実現されにくい状況です。サービス種別に依存しない共通基盤を築ければコストを低減でき、多様なサービスを生みやすくなります。

● 通信制御と情報処理を分散実行する NerveNet の構成

NerveNet は、複数のノード(通信装置)同士が無線(有線も可)で自動的につながることでネットワークを構成できるシステムです(図 1)。各ノードが設置されると、電波が届く周辺のノードを探して自動的に無線接続します。電波が直接届かない遠くのノードに至るルートを自動探索し、複数ルートを記憶します。そのため、あるルートの途上で通信障害が発生しても、直ちに別ルートに切り替えられるという災害に強い特長があります。各ノードにはユーザ端末、サーバ、センサなどを接続でき、インターネットなど外部ネットワークを介さずにそれら同士の通信を行えます。例えば、自分の子どもの居場所情報を自宅のサーバで収集管理することも可能です。また、複数のノードで外部ネットワークに接続できるので、インターネット上の通常サービスも利用できます。

ノード自身はデータベースを搭載し、ノード間でデータを同期する機能があります。これに

より、ユーザの必要とする情報をネットワーク上で分散して保持することができます。通信障害が発生しても、接続可能なノードから必要な情報を取得できます。

NerveNet は、平時では既存の携帯電話システム等と併用して重層的ネットワークを構成し、社会の耐災害性向上やスマートフォンの大量データ通信の分散化に寄与できます。また、災害発生後の被災地において停止した既存通信システムを代替する臨時通信システムとしても威力を発揮します。

デモ実験の実施のため、2011年10月には、都立小金井公園で実施された東京都・小平市・西東京市・武蔵野市・小金井市合同総合防災訓練の場で、臨時ネットワークとしてノード9台で NerveNet を構築し、安否確認とメッセージ配信を訓練参加者に体験してもらいました(図 2、3)。避難所に見立てた場所に配置した災害情報端末(無線でノードに接続)に IC カードをタッチすると、自分がその避難所にいることを登録できます。その情報がネットワークを通じて瞬時に他の避難所の災害情報端末に表示されます。また、

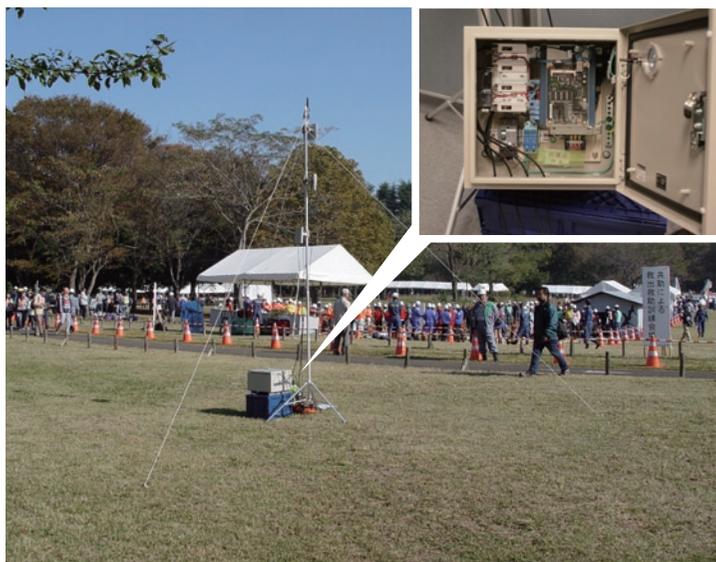


図2 ノード実証機と平成23年度東京都・小平市・西東京市・武蔵野市・小金井市合同総合防災訓練(都立小金井公園)での臨時ネットワーク構築の様子

合同総合災害訓練

The screenshot shows a disaster information terminal interface. At the top, it says '合同総合災害訓練' (Contract Comprehensive Disaster Training). The main area is divided into several sections:

- Map:** A map showing evacuation routes and sites. Numbered markers 1, 2, 3, 4, and 5 are placed on the map.
- Evacuation Site Information:**

発信者	広報内容
大和田泰伯	災害対策本部からの物資配給情報です。本日の物資配給時刻をお知らせします。A避難所の配給時刻は午前9時B避難所の配給時刻は午前9時30分を予定しております。
発信場所	
避難所2	
- Evacuee Lists:**
 - 1 現在の避難者数 33人

小泉 綾女
塩田 優
奥野 翔
恩田 怜奈
柳原 健
浦野 そら
小越 俊一
 - 2 現在の避難者数 27人

氏名
中村H
原井洋明
勝田しんじろう
大谷 誠一
沢田 里奈
 - 3 現在の避難者数 24人

氏名
実藤
いな 森
大和田泰伯
大西真晶
矢戸 一
 - 4 現在の避難者数 26人

森脇 莉沙
横田 直人
永野 晃司
中原 光臣
井上 啓介
大畑 弘也
新谷 美紀

At the bottom, there are buttons for '広報発信' (Broadcast), '広報履歴一覧' (Broadcast History List), and '安否確認(検索)' (Safety Confirmation/Search). The NICT logo and name are also visible.

図3 (上) 災害情報端末の画面(各避難所の避難者名や配信したメッセージを表示)
(右下) 災害情報端末を操作する防災訓練参加者



災害情報や支援物資情報など任意の情報を入力すると、他の災害情報端末に配信され音声発信されます。これらの情報は、外部サーバにも携帯電話網を通じて伝達し、インターネットから閲覧できるようにしました。

● 今後の展望

今後、災害対策技術の研究開発の実証として、東北地域内に構築する実験設備を用いた検証を行っていきます。耐災害性を高める通信技術の性能検証に加えて、それらを包含した通信システムの実現に向けた取り組みも予定しています。例えば、今後の社会基盤となる電気自動車(EV)用充電ステーション、LED 街灯、電子掲示板(デジタルサイネージ)等と通信を一体化した装置の技術検証や実用化検討を自治体や企業と共同で行っていく予定です。これらの取組みは、人と人、人と物との通信だけでなく、様々なセンサやデータ処理装置などの機器同士が人を介さずに通信する M2M(Machine to Machine) 通信、ある

いはモノのインターネット(Internet of Things: IoT)と呼ばれる新しい通信の実現につながり、これからの街づくりを支える情報通信基盤の一役を担うことになると考えています。私たちは、安心・安全で多彩な情報サービスが享受できる未来に向けて取り組んでいきます。

光通信インフラの革新を 目指して

—空間/モード分割多重光ファイバ通信時代の幕開け—

「情報通信の根幹を支える光ファイバ通信は容量枯渇の危機に直面しています。次世代の光ファイバ通信インフラを構築する空間/モード分割多重方式などの取組みを紹介します。」

淡路 祥成 (あわじ よしなり)

光ネットワーク研究所

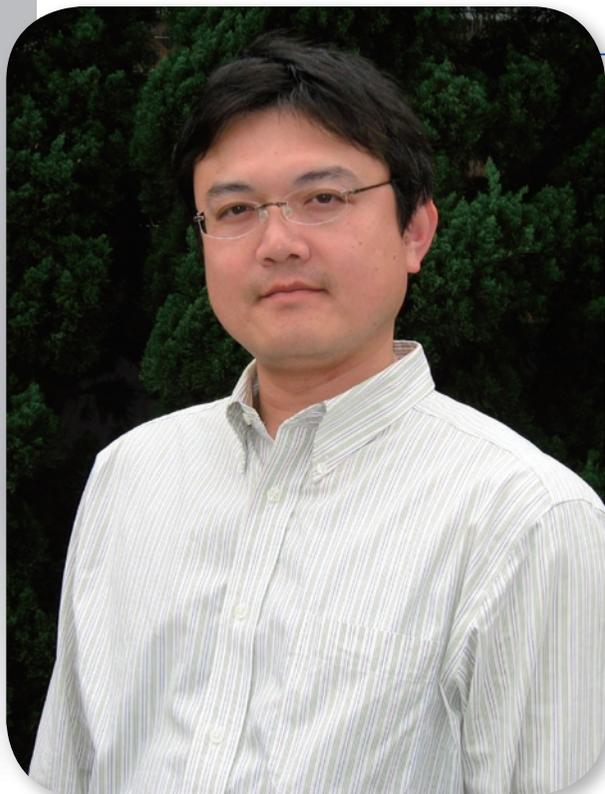
フォトニックネットワークシステム研究室 研究マネージャー

大学院修了後、1996年、郵政省通信総合研究所(現NICT)に入所。光信号処理、光増幅器、光パケットスイッチングなどに関する研究に従事。2004～2006年、内閣官房にて情報セキュリティ政策に従事。博士(工学)。

光ファイバ通信容量危機

インターネット人口の爆発的な増加をはじめ、スマートフォン/タブレットのめざましい普及やインターネットでのリッチコンテンツサービスの一般化を根幹で支えているのは、他の通信媒体に比べて圧倒的に大容量・低損失な光ファイバ通信であることはよく知られています。しかしながら、光ファイバの持つ伝送帯域といえども無限ではありません。これまで表面化していなかったのですが、光ファイバ通信研究の最先端では容量枯渇に関する危機感がにわかに増大しています。

通信用のシリカ*1系光ファイバは、波長1.55ミクロン付近に極低損失を実現できる透明な領域を持っており、この波長帯で実用的な光増幅器が発明されたことで、一気に通信容量の拡大が行われ



たのが1990年代の終わりでした(図1)。つまり、光ファイバ通信の大容量という特徴は伝送媒体の低損失領域と光増幅器の増幅領域が広い波長帯で重なり合ったから生じたものに他なりません。従って、波長分割多重(WDM)通信の初めの頃は波長チャンネル数の増設のために未利用の発振波長のレーザ光源と光増幅器の開発を行う周波数開拓が盛んに行われました。ひと通り1.55ミクロン近傍の周波数開拓が進むと、無線通信と同様に周波数利用効率を上げる取り組みに研究の中心が移っていき、差動4値位相変調(DQPSK)や直角位相振幅変調(QAM)、直交周波数分割多重(OFDM)といった高度な変調フォーマットが光技術によって実装可能になってきています。

周波数利用効率は理論的にはシャノン限界^{*2}に沿って、信号品質(OSNR)の向上とともに高くなっていきますが、ここで光ファイバ特有の問題が発生しました。OSNRを向上させるためには、信号光のパワーを増加させる必要があり、波長多重

されたそれらの信号チャンネルの合計パワーは直径わずか9ミクロン程度の光ファイバのコアに集中します。このような非常に高いパワー密度においては、光ファイバを構成するシリカ材料といえども顕著な三次の非線形性(光の強度に依存して光信号自身に変化する現象。材料によって、二次、三次…と効果の大きさが変化する。)を示し、信号光の波形歪みやスペクトル変化などを引き起こすためOSNRには実質的に極大値が表れます。また、さらにパワー密度が高くなると光ファイバのコアがプラズマ^{*3}化して焼損するファイバフューズ現象を引き起こし、通信機器の破損や火災の危険性にもつながってきます。

● NICT発 –世界に向けてのEXATイニシアチブ–

このようなパワー挿入限界、増幅器の帯域限界と、トラヒック需要予測を鑑みて、当時仏アルカテルのE. Desurvireが2006年の論文で容

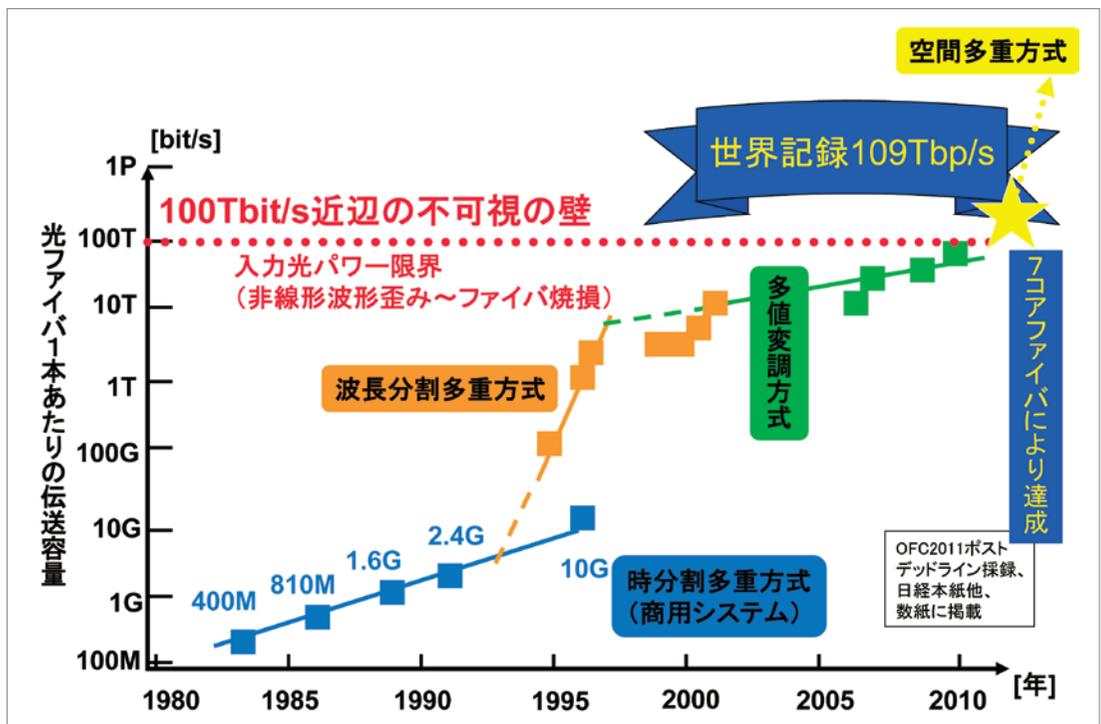
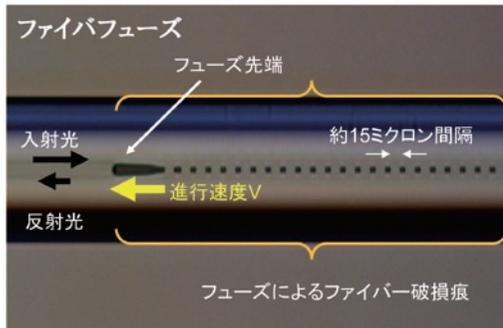


図1 容量枯渇とブレイクスルー

- EXAT : EXtremely Advanced Transmission
- 光通信インフラの飛躍的な高度化に関する研究
 - NICTは2008年1月に第一期研究会を設置・開始
 - 飛躍的な高度化とは、現在の技術を3桁～5桁超えるリンク伝送容量・ノード処理容量の高度化をめざす

30年前に実用化された
SSMFの限界を打破



Multi-level modulation
Multi-core fiber
Multi-mode controlling
Triple "Multi-" Techs

図2 EXATイニシアチブと3M技術

量枯渇(Capacity Exhaustion) について問題提起しています。実際に、光ファイバ1本あたりの伝送容量の伸びは2001年を境に100テラビット毎秒に漸近して飽和しつつあるようにも見えます(図1)。しかしながら、このような危機的問題に対しての反応は芳しくなく、事実上放置されていたのですが、2008年1月にNICTの呼びかけにより、産学官の研究者が結集して誕生したEXAT研究会(光通信インフラの飛躍的な高度化に関する研究会)が本格的に取り組みを始めました。議論の結果、容量枯渇を打破し、来たる20年後に3～5桁(千～10万倍)の容量増加を実現するためには、多値変調(Multi-level modulation)、マルチコアファイバ(Multi-core fiber)、マルチモード制御(Multi-mode controlling)の3つの技術領域(3M技術: Triple Multi- Techs)を発展させることが重要であるとの結論を得て(図2)、同年11月に国際シンポジウムを開催して日本発のEXATイニシアチブとして世界に発信を始めました。その後も

関連の深い研究機関から矢継ぎ早に論文発表を行った結果、海外でも当該分野の急速な展開が始まっています。特に、マルチコアファイバやマルチモード(数モード)ファイバを積極的に利用した空間/モード分割多重伝送方式は、先述の光挿入パワー限界を大幅に押し上げることが可能な技術です。

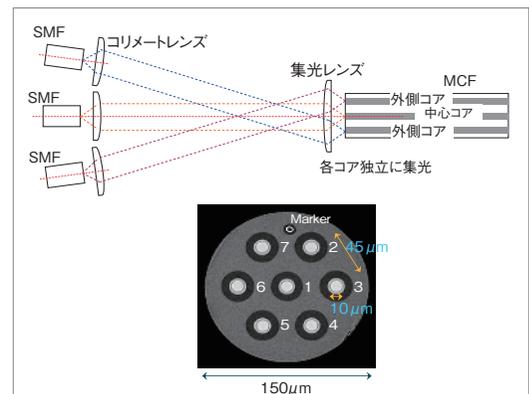


図3 レンズ結合型マルチコアファンイン/ファンアウトとトレンチアシスト型7コアファイバ

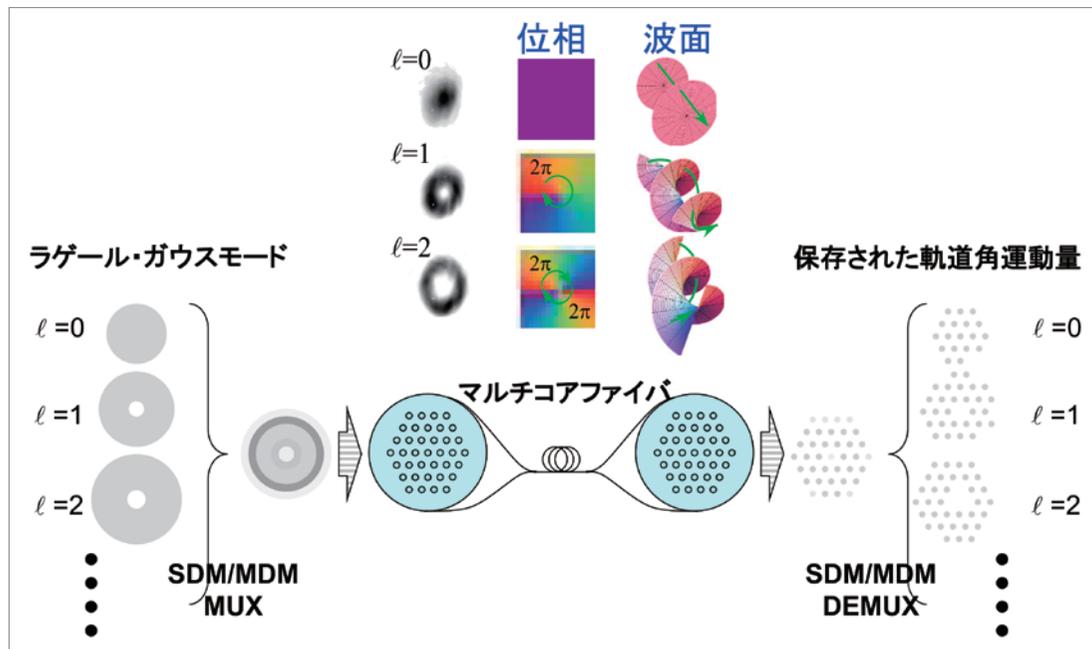


図4 マルチコアファイバによるラゲール・ガウスモード分割多重信号伝送

● 多角的な研究体制から生み出された世界記録

NICT においては、「革新的光ファイバ技術の研究開発」と「革新的光通信インフラの研究開発」の委託研究を実施して、国内の研究機関の力を結集し当該分野の研究開発の加速を図ると共に、自らも率先して先鋭的かつハイリスクな研究に取り組んでいます。

一例を紹介すると、空間光学の常識からは実現不可能とされていたレンズ結合型マルチコアファンイン/ファンアウト結合装置の開発に成功し、トレンチアシスト型7コアファイバを用いて、2011年に、当時、伝送容量の世界記録である109テラビット毎秒を達成しました(図3)。100テラビット毎秒は容量枯渇問題で実質的な壁と考えられていたので、これを新しい空間分割多重方式で突破したのは歴史的にも意義深いことと言えます。

また、NICTでは学会等で多数派を占める、高次LPモードを用いたモード分割多重方式と一線を画し、光通信業界ではほとんど知られて

いなかったラゲール・ガウスモードを用いたモード分割多重方式と光ファイバ伝送の実証実験を世界で初めて行いました(図4)。

● 今後の展望

今後は、引き続き我が国が当該分野で重要な役割を果たしていくために、国際協力・連携等を積極的に進め、関連技術の標準化、実用化の加速に貢献していきたいと思えます。

用語解説

*1 シリカ

二酸化ケイ素(SiO₂)、いわゆるガラス。

*2 シャンロン限界

通信チャンネルが持つ信号対雑音比と周波数帯域幅によって決まる、伝送容量の限界のこと。1948年にC. E. Shannonが定式化した。

*3 プラズマ

気体の温度が上昇すると気体の分子は解離して原子になり、さらに原子核のまわりをまわっていた電子が原子から離れ、陽イオンと電子に分かれる(電離)。電離によって生じた荷電粒子を含む気体をプラズマという。

「ひかり」を自由にあやつる

— 高速高精度光変調技術で拓く大容量通信と宇宙をみる極限技術 —

「高速で高精度な光変調技術の研究は、将来の大容量光通信を実現するだけにとどまらず、宇宙をみるための究極の精度を持つ光信号源の研究につながっています。」



川西 哲也 (かわにし てつや)

光ネットワーク研究所
光通信基盤研究室 室長

学生ベンチャー、大手メーカー、大学といろんな環境を経て1998年にCRL(現NICT)のメンバーになりました。国内外の様々な機関の研究者、大学からの研修生の皆さんと力を合わせて光通信技術やマイクロ波フォトリソグラフィーの研究をしています。

菅野 敦史 (かんの あつし)

光ネットワーク研究所
光通信基盤研究室 主任研究員

2005年筑波大学大学院卒。筑波大学大学院VBL特別研究員を経て2007年NICT入所。大学時代のテーマである半導体光物性研究から一貫して光技術の研究に従事。高じて写真が趣味となり日夜研鑽中。



● 光変調技術で「ひかり」をあやつる

今や「ひかり」といえば新幹線というよりも先にインターネットが思い浮かぶのではないのでしょうか。誰もが携帯電話やインターネットを使ったときに、どこかで「ひかり」を使った通信、すなわち、光通信のお世話になっているはずで。光ファイバを使えば、遠くまで光にのせた情報を伝えることができます。人間同士が会話をするときには音の高さや強さ、長さを変化させて情報を伝えるように、光通信では光を変化させます。このことを光変調と呼びます。最も簡単な光変調として光が「ある」、「ない」の2通りでデジタル信号を送るオンオフキーイング(OOK)と呼ばれる方法がこれまで使われてきました。最近では、メールを消さずにどんどんため込む、デジタルカメラでどんどん撮影するといった、とにかくデータを保存しておいて必要なときに選んで取り出すというライフスタイルが広がりつつあり、大量のデータをス

ムーズにやりとりする技術が求められています。私たちは、このようなニーズに応えるため、高速光通信を支える光変調技術の研究開発を進めており、光変調の高速性の追求に加えて正確に光をあやつる技術で世界トップクラスの成果を上げています。この技術は様々な分野での利用が期待できる中で、私たちは、極限性能を追求する電波天文への応用を目指した研究を行っています。ここでは大容量通信を実現するための最新の高速高精度光変調技術と巨大な電波望遠鏡を支える基準信号発生技術を紹介します。

● 高速高精度光変調で大容量の光通信を

光は光波とも呼ばれ、電波と同じ電磁波の一種です。電磁波を特徴付けるのは、大きさ(振幅)、振動の速さ(周波数)、波動のタイミング(位相)の3つの要素です。これらを変化させることで、情報を伝えます。先にご紹介したOOKは、振幅

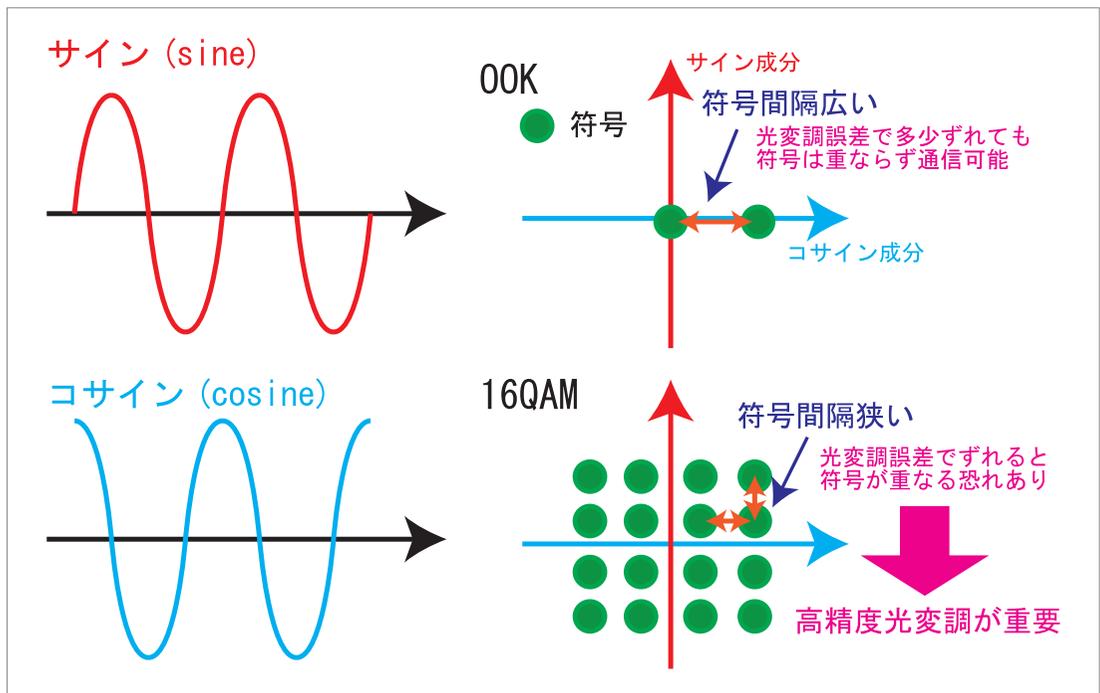


図1 (左) 光の波形: サインとコサイン (右) OOKと16QAMのコンステレーション

が“1(オン)”か“0(オフ)”の2通りの光波の状態(シンボルまたは符号と呼ぶ)を使うもので、1回の光変調でデジタル信号を1つ(1ビット)伝えることができます。より多くの情報を送るためには、①光変調をより速くする、②1回の光変調でより多くのビットを送る、という2つのアプローチがあります。①は高速に、②は高精度に光を変調する技術に相当します。長年にわたり①の高速化が研究のトレンドでしたが、NICTでは世界に先駆けて①と②の両立に取り組んできました。

ここで、②の高精度光変調について説明します。位相、振幅をそれぞれ、2通りずつ、組み合わせを考えると全部で4つの符号を使えば1回の変調で2ビットを送ることができます。nビット送るためには 2^n 個の符号が必要です。符号を増やすには正確な光変調が重要になります。日本語の発音に例えてみましょう。五十音に加えて、同じ「あいうえお…」でも振幅の小さいものを別の音とすると決めたとします。そうすると、短い言葉でたくさんの情報を伝えることはできるかもしれませんが、音の大きさを正確に言い分ける、聞き分ける能力が必要になります。光変調でも同

じことがいえます。光の状態をより正確に制御できないと符号の区別ができなくなります。波動の一種である光波は図1(左)に示すようなサイン、コサインの2成分で表されます。周波数を一定とすると、光波の状態、つまり、光変調の形式はこれらの2成分を縦軸・横軸とした平面上の点で表すことができます。一度にたくさんの情報を送るときには多数の符号が必要になります。符号を2次元平面上に表した図のことをコンステレーション(星座図)と呼びます。複雑なコンステレーションをもつ信号を高速で発生させることが大容量伝送実現の鍵です。図1(右)は16個の符号を使って一度に4ビットの信号を送る16値直交振幅変調(16QAM)と従来のOOKのコンステレーションです。16QAMでは符号間の距離が小さく、高精度光変調が重要であることがわかります。NICTは一度に2ビット送ることができる4値位相変調(QPSK)と高速な変調速度を両立する技術を世界で初めて2004年に発表し、それ以降、1つの光で100Gbpsの通信を実現することは特別なことではなくなりました。さらに世界初の50Gbps 16QAMを可能とする集積

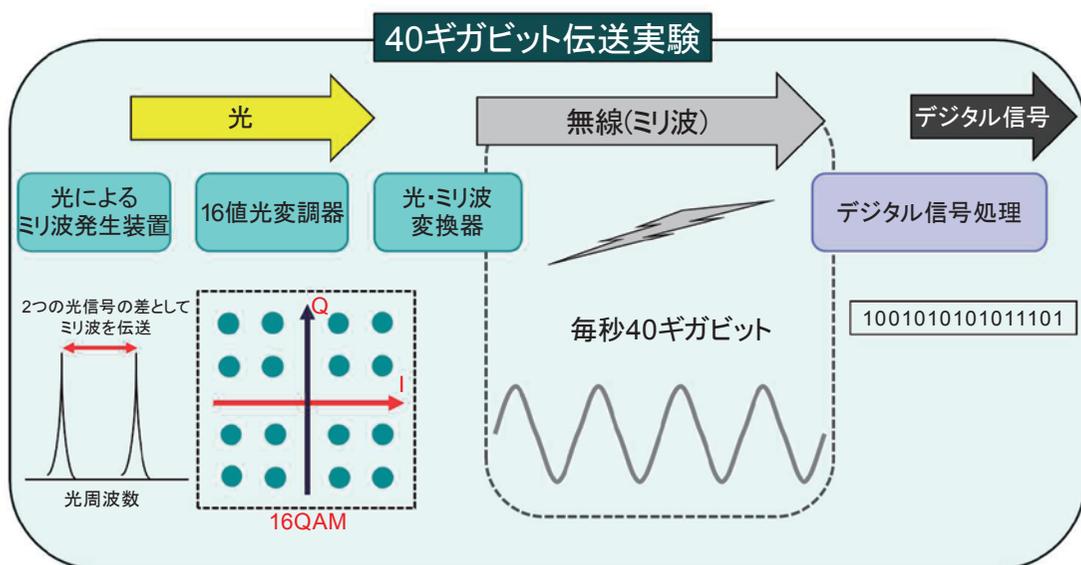


図2 光ファイバ無線技術による超高速無線伝送の概念図

光変調デバイスを実現しました。無線分野では従来から様々で複雑な変調方式が利用されていましたが、光の周波数は携帯電話の使用周波数と比べて10万倍高く、複雑な変調方式は困難であるというのが常識でした。しかし、ここで紹介した高速高精度光変調技術や、高速信号処理技術などによりこの課題は克服されつつあります。一方、光変調技術で、高度な無線変調信号を発生させることも可能となり、世界最高速度(2011年9月当時)の40Gbps無線伝送を実現しています(図2)。

● 究極の高精度光変調で宇宙をみる

また、極限技術へのチャレンジとして、国立天文台と共同で世界最大の電波望遠鏡ALMA(アタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計)向けの基準信号発生技術の研究を行っています。ALMAはチリの高山地域で国際プロジェクトとして開発が進められている世界最高の感度と分解能を備えた電波望遠鏡です。最長18.5km離れた66台以上のパラボラアンテナで構成されます。これらのアンテナを連動させるためには基準光信号が必要となります。光変調の精度を表す重要

な指標である消光比(光をオフしたときに消え残る光の大きさを表す)がありますが、従来技術と比べて1万倍を達成しました(図3)。ALMAで必要となる高い安定度、広い周波数範囲での信号発生などの条件を満たす信号源を高い消光比の光変調技術で実現しました。高い消光比の変調はALMA向けの信号源だけではなく、より高度な変調方式実現に重要であることが明らかになってきています。基礎研究から応用研究までを一貫して確実に進めていくことの重要性を示す成果であるといえるでしょう。

大容量通信のために光ファイバの中でコンステレーションを描きながら、本当の宇宙をみるための技術にもつながるなんて、夢があると思いませんか？

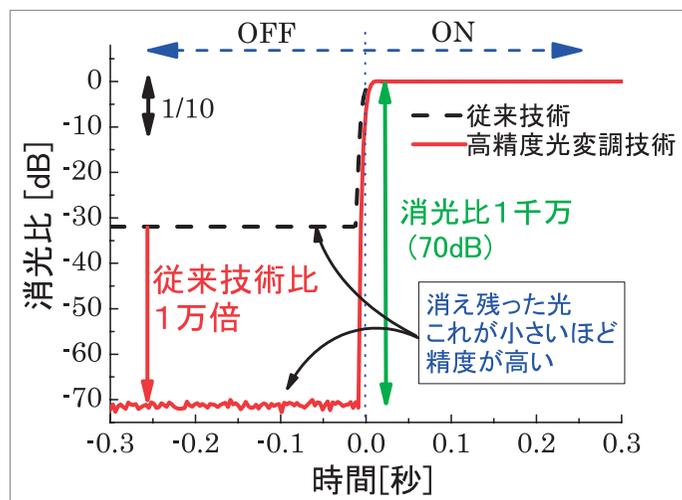


図3 高消光比変調による光のオン/オフ

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。

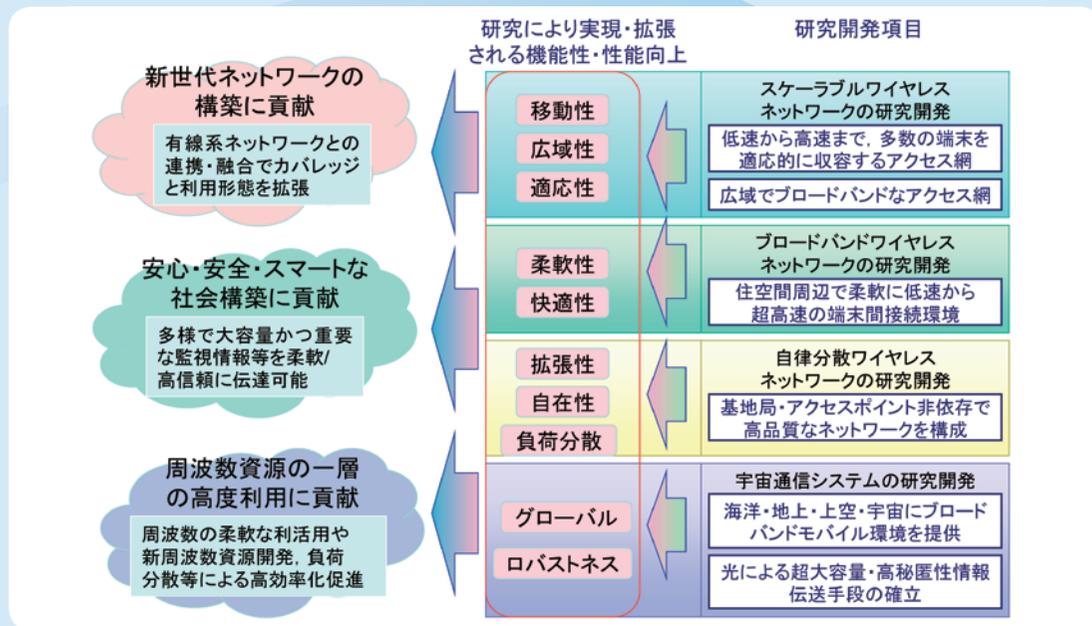


図 ワイヤレスネットワーク研究所の研究開発の方向性

● 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運営会議副議長。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。

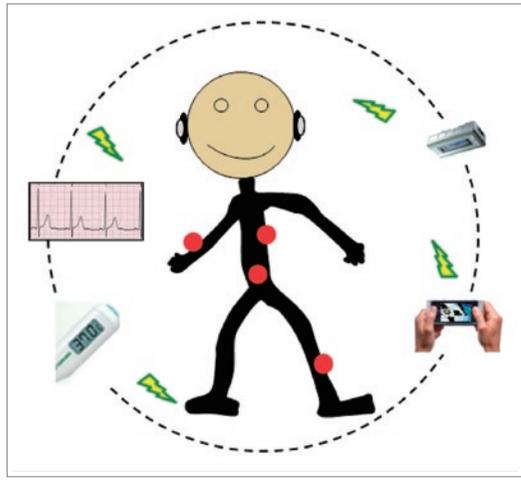


図1 体とその周囲を取り巻くBAN

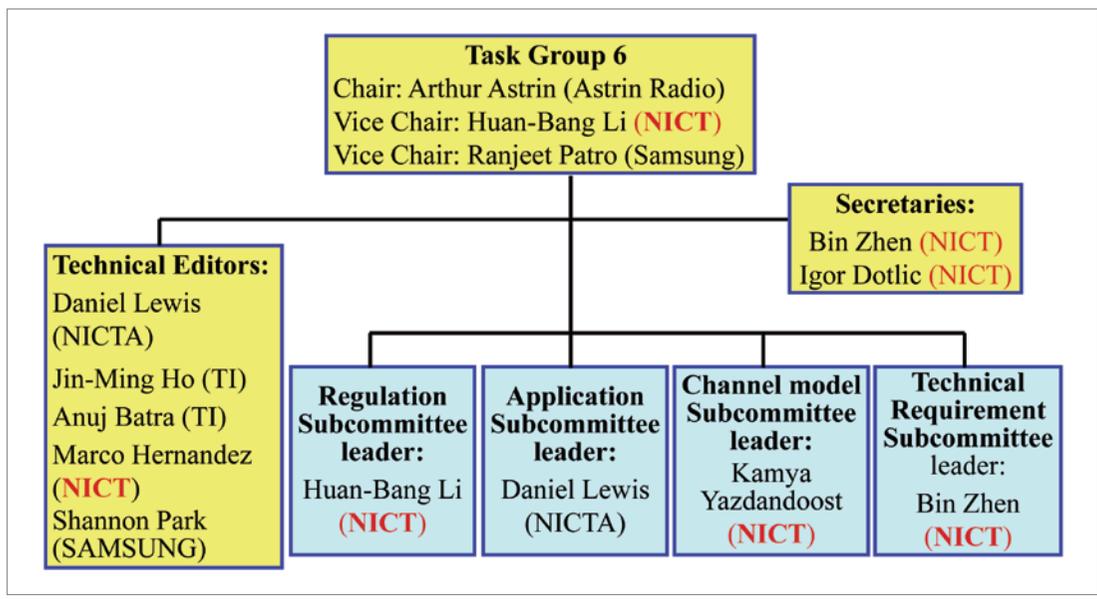


図2 BAN標準化タスクグループの組織図

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られて用いられます。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

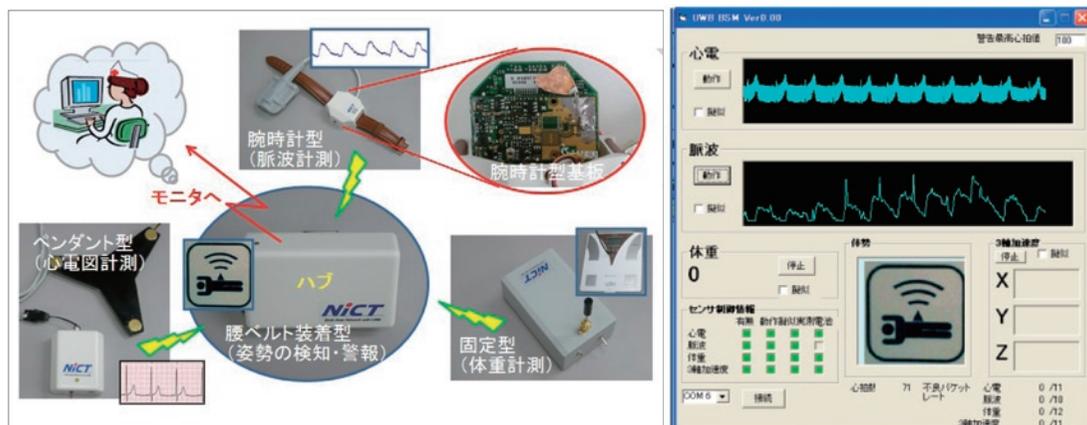


図3 健康見守りBANの構成とモニタ画面例



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

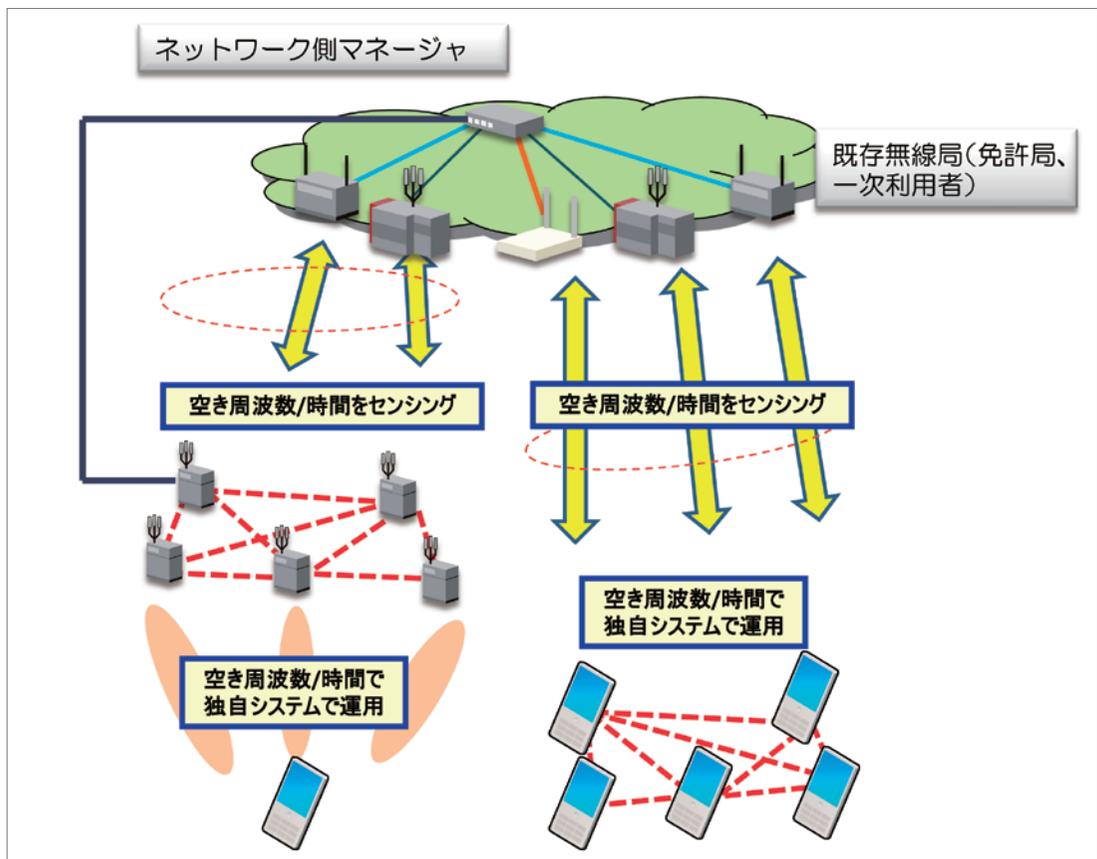


図1 利用モデル

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

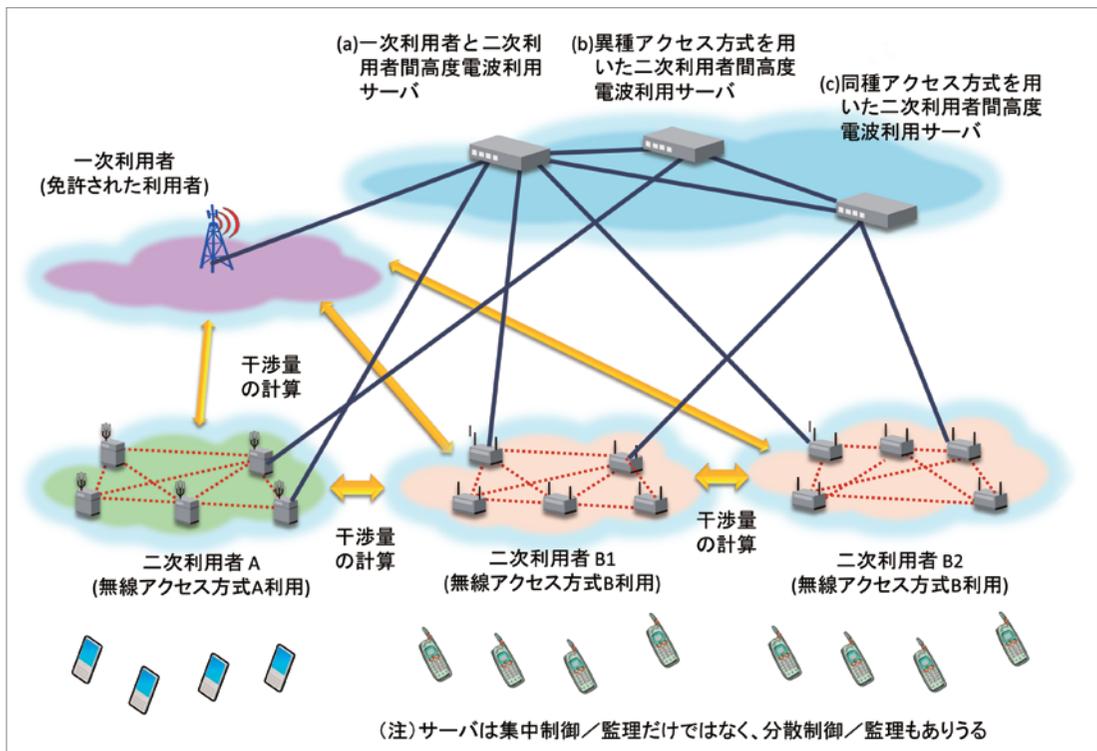


図2 高度電波利用サーバ技術を利用した周波数共同利用ワイヤレスクラウドネットワークの概要

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

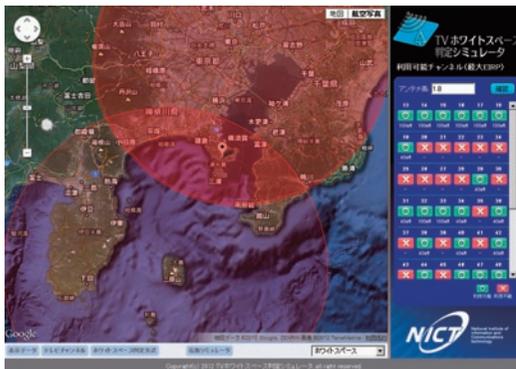


図4 高度電波利用サーバの利用例(一次利用者、この例はTV局の放送エリアの表示と、ある位置での利用可能なチャネルの情報の表示)



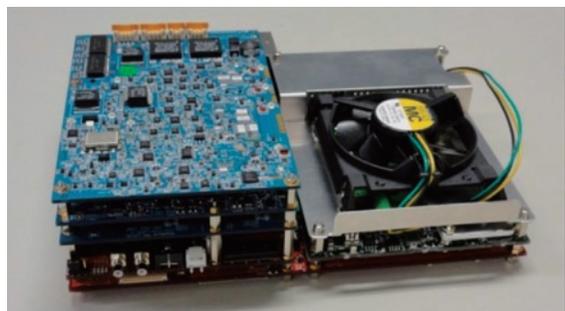
図5 再構築可能無線機(左: 高周波部、右: 信号処理部)

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。

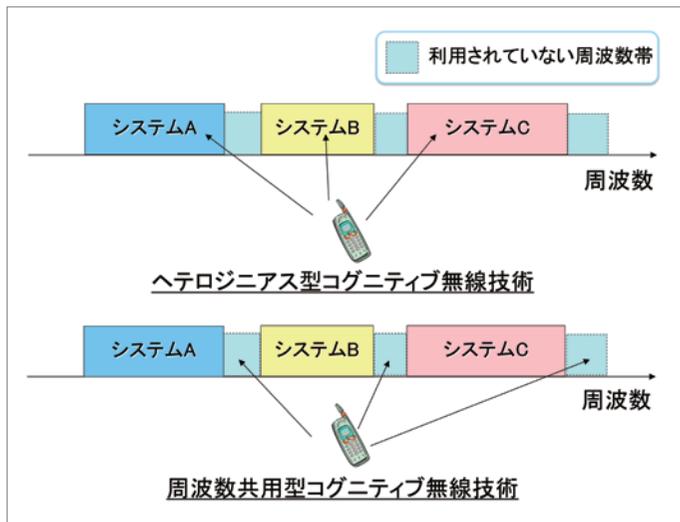


図1 コグニティブ無線技術の分類

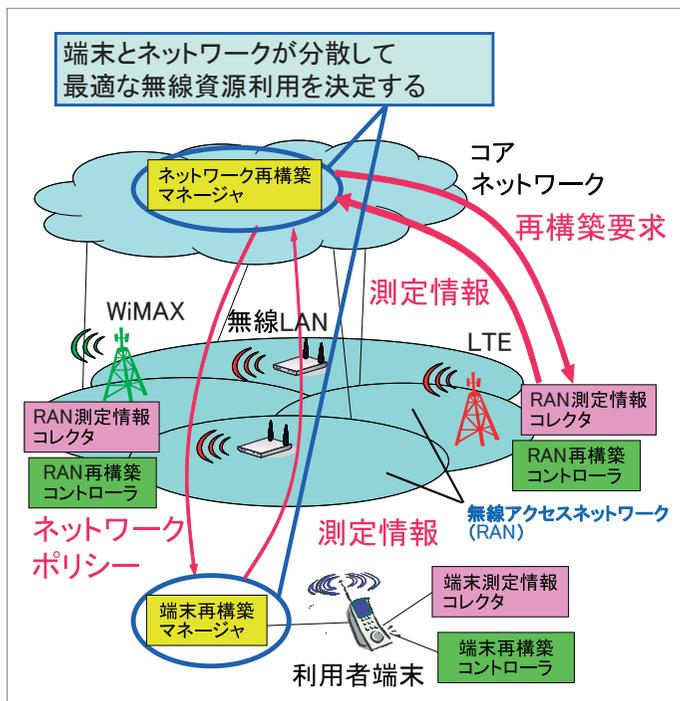


図2 コグニティブ無線ネットワークの構成

● 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

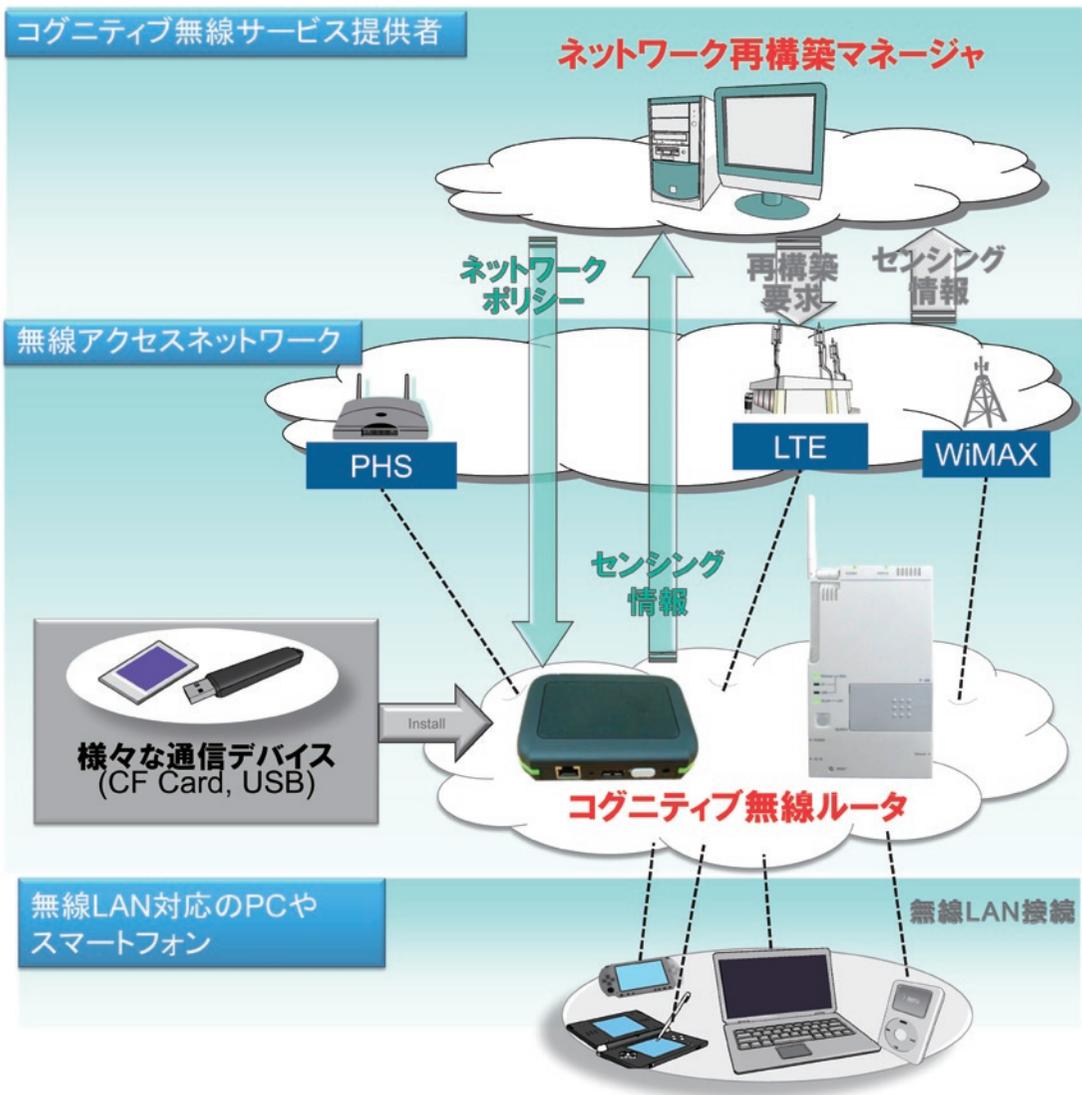


図3 ネットワークポリシーに基づき無線通信システムデバイスの選択制御が可能なコグニティブ無線ルータシステム（ヘテロジニアス型の一例）

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

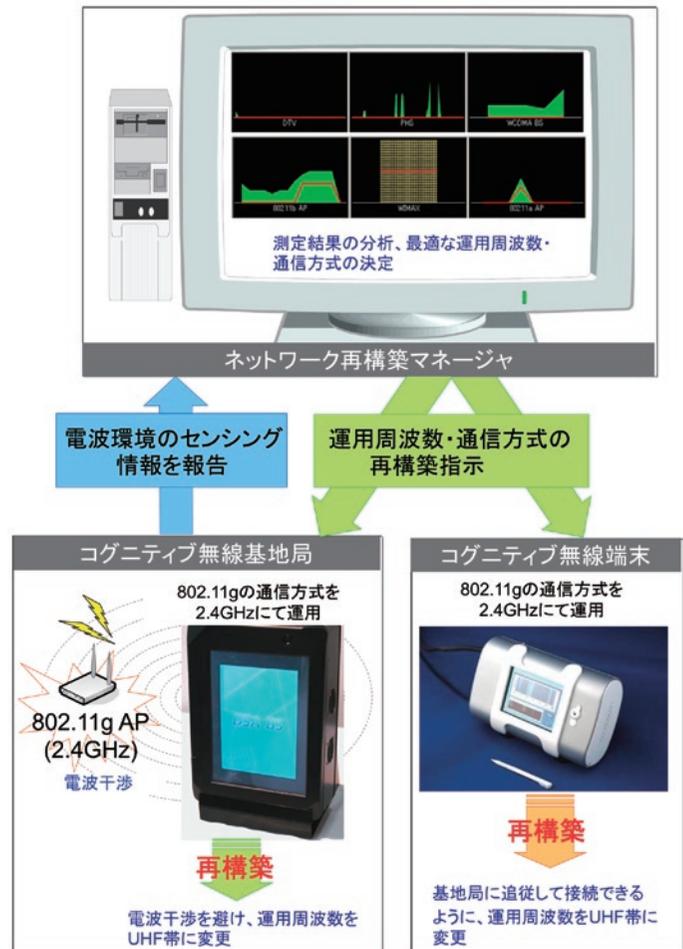


図4 電波環境センシングに基づき運用周波数と通信方式(PHY/MAC)の再構築が可能なコグニティブ無線システム(周波数共用型一例)

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。」



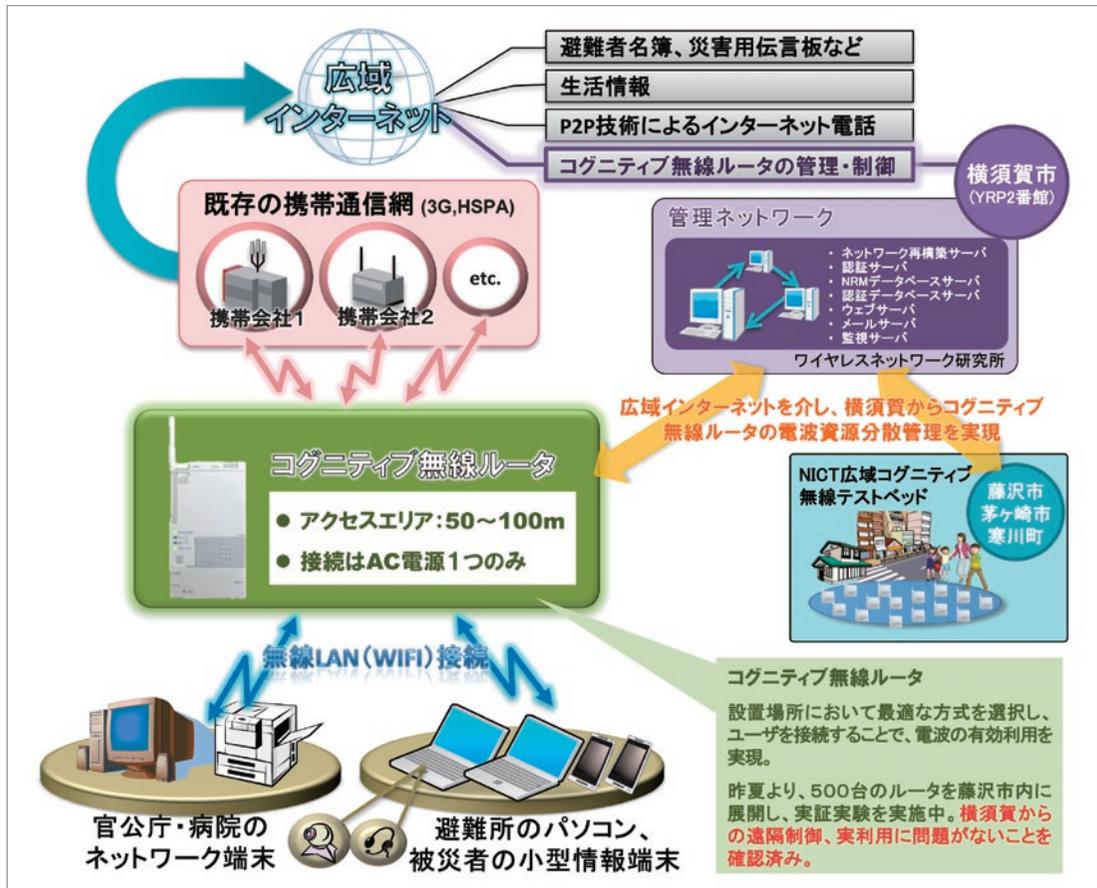


図1 コグニティブ無線システムの構成

● 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

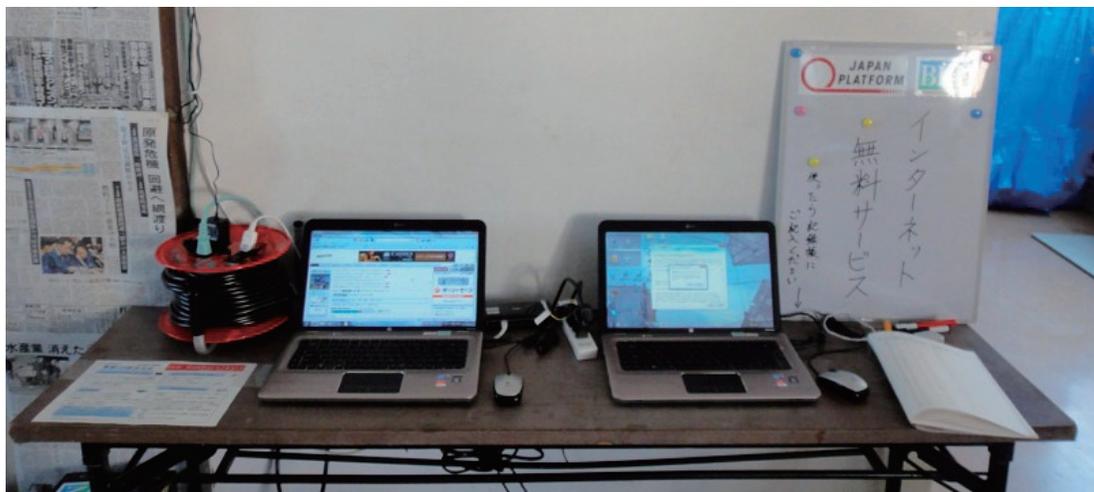


図3 避難所の小学校内に設置したコグニティブ無線ルータによるインターネット接続環境



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

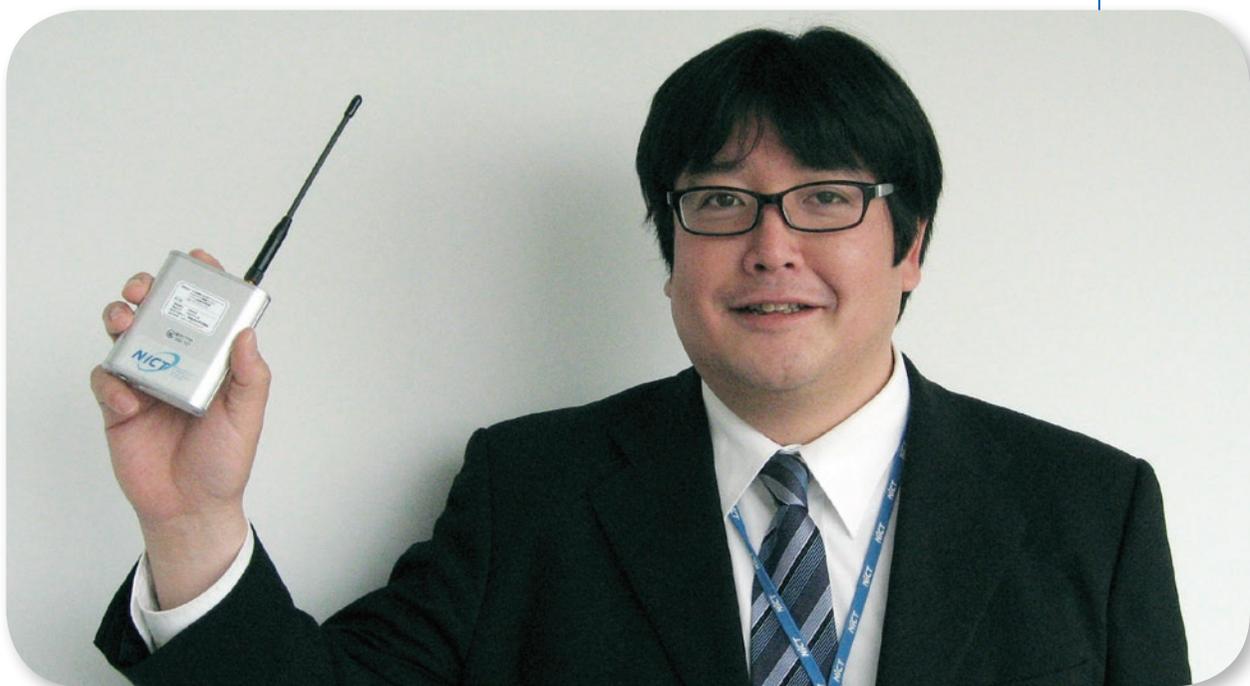
－省電力型SUNの研究開発と標準化－

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。

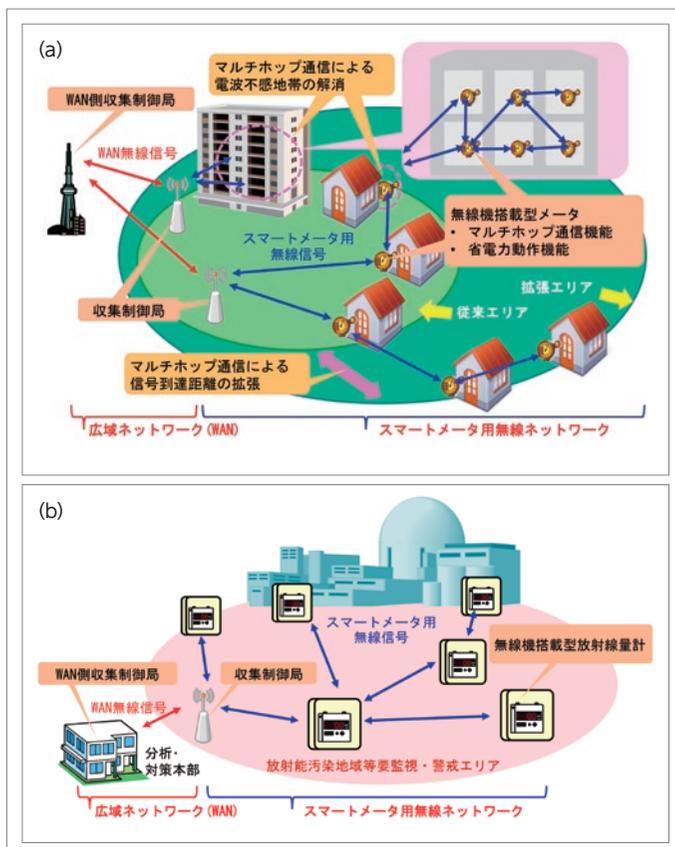


図1 SUNの利用イメージ: (a) ガスメータの自動検針 (b) 放射線量モニタリング

● 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

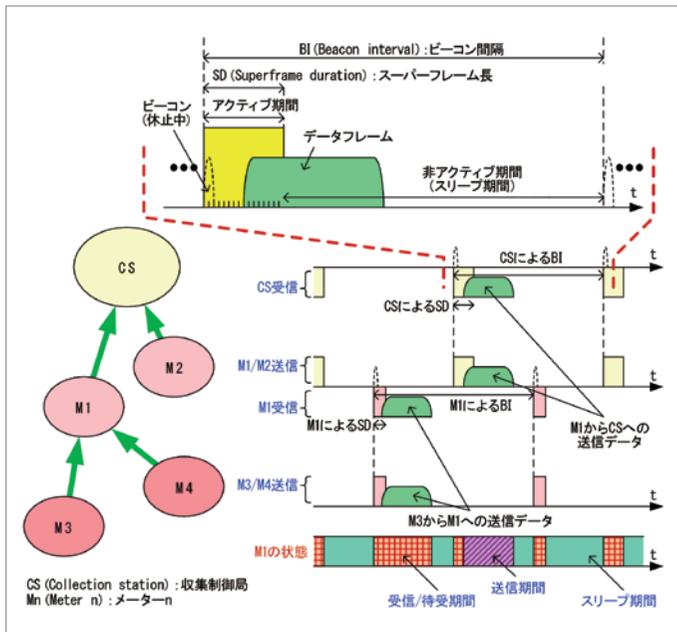


図2 省電力マルチホップ通信の概要

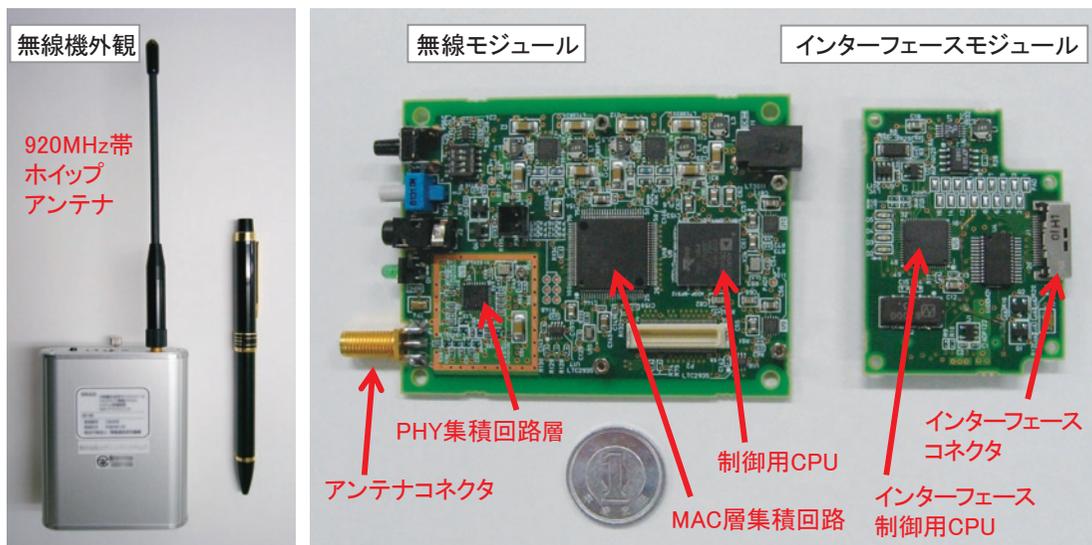


図3 開発されたSUN無線機

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。

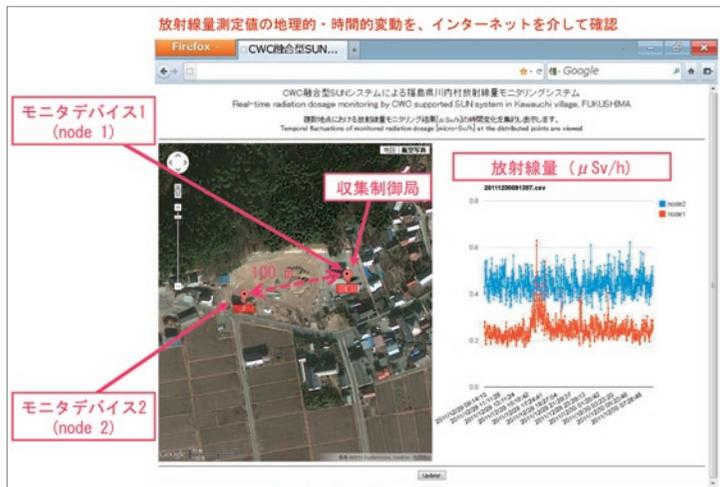


図4 SUNの動作画面 上: (a) ガスメータの自動検針 下: (b) 放射線量モニタリング

高速・大容量通信を実現した新しい光無線通信装置

—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—

「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)

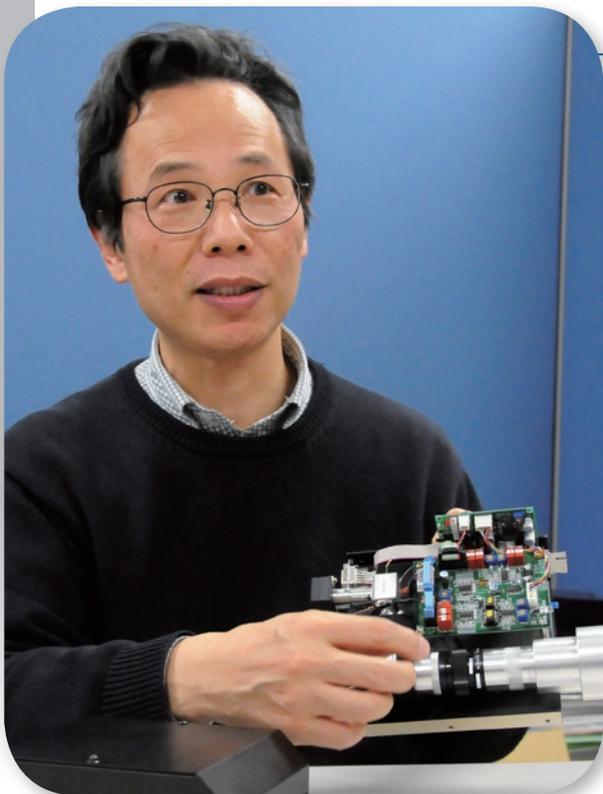
ワイヤレスネットワーク研究所
宇宙通信システム研究室 主任研究員

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



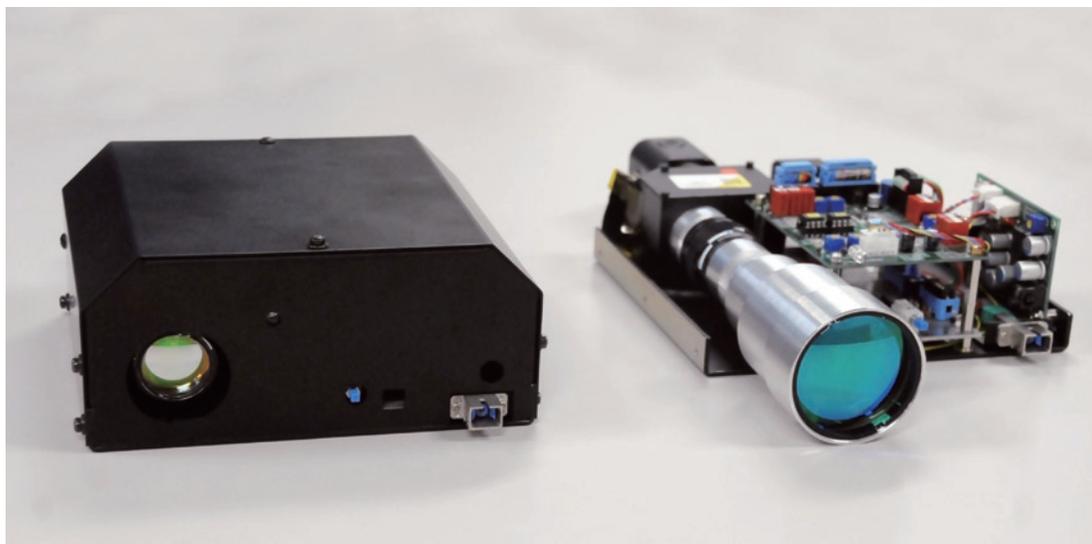


図1 光無線通信装置(左)と遠距離用の大型望遠鏡を取り付けた場合(右)

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。

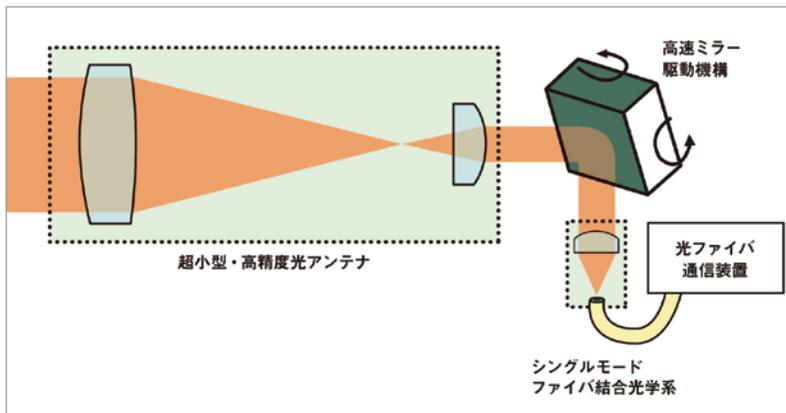


図2 新しい光無線通信装置の動作原理

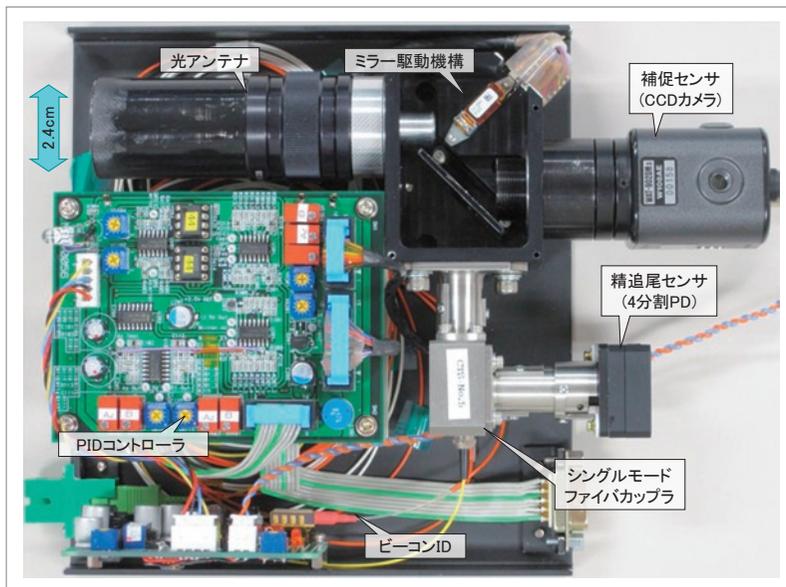


図3 光無線通信装置の内部構造

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

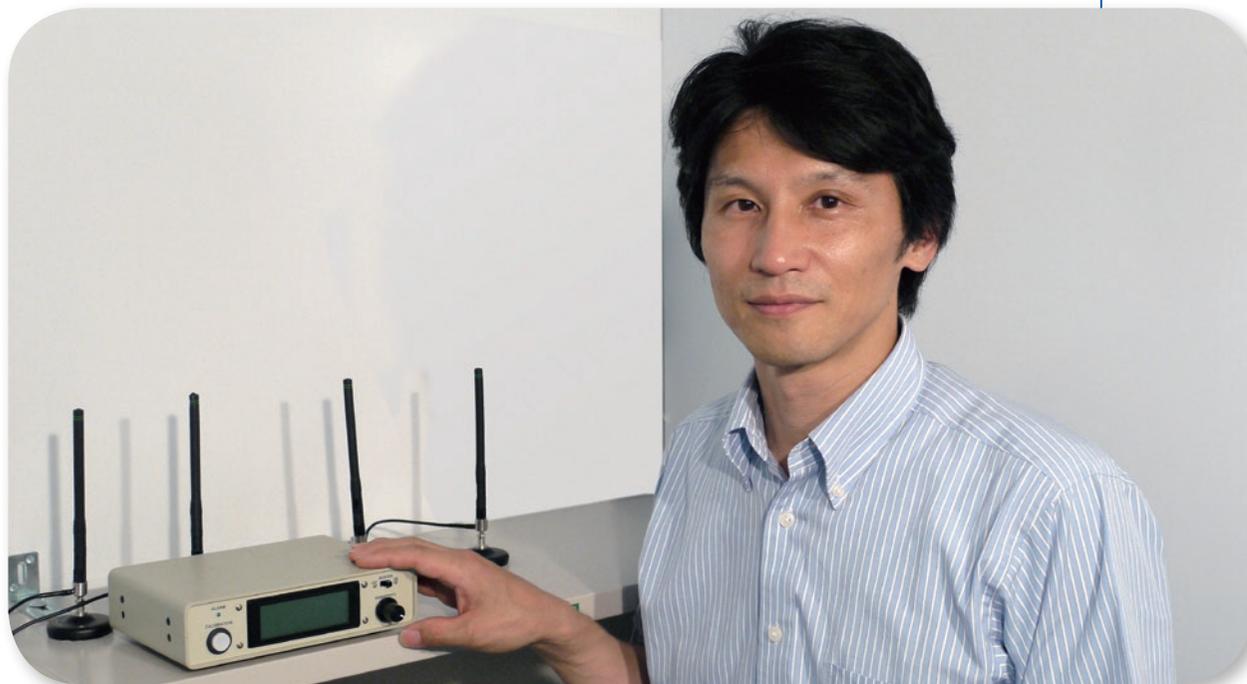
電波を使った 侵入者検知システムの開発

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

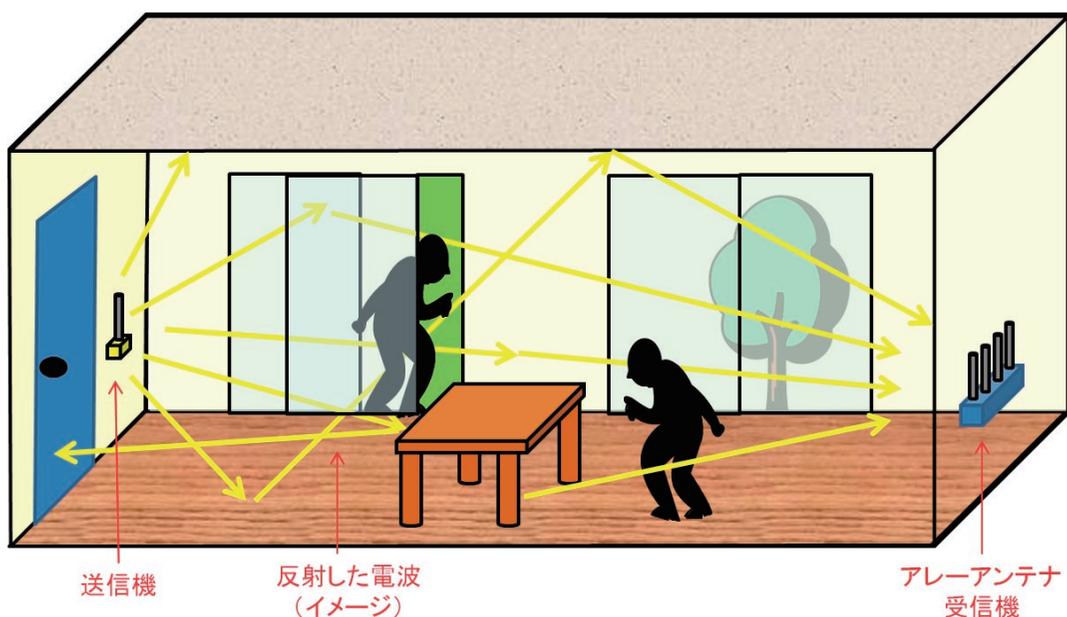


図1 アレーアンテナを使ったセキュリティシステムのしくみ

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。

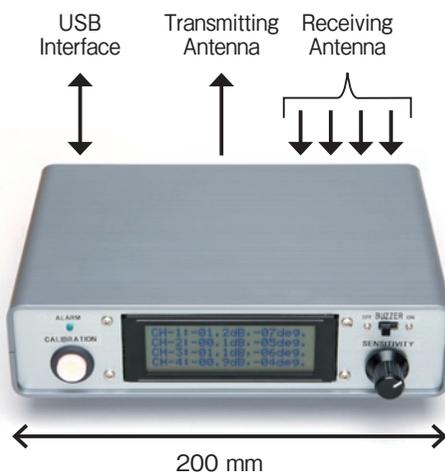


図2 リアルタイムイベント検出評価装置の外観

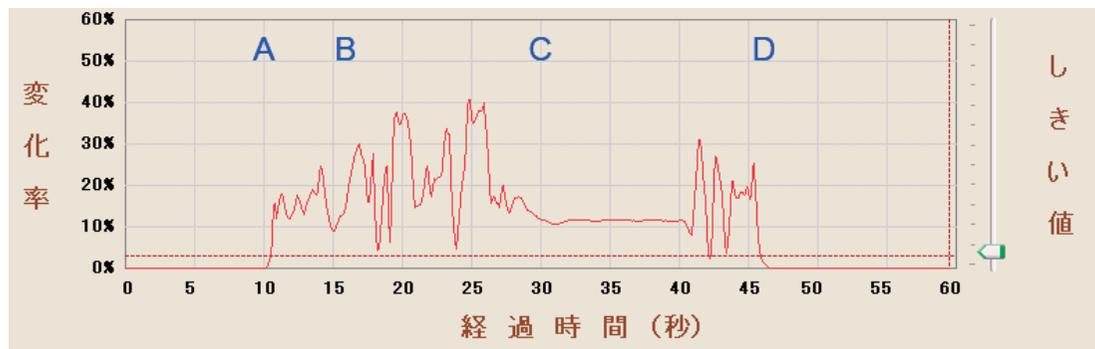


図3 イベント検出結果の例

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等で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

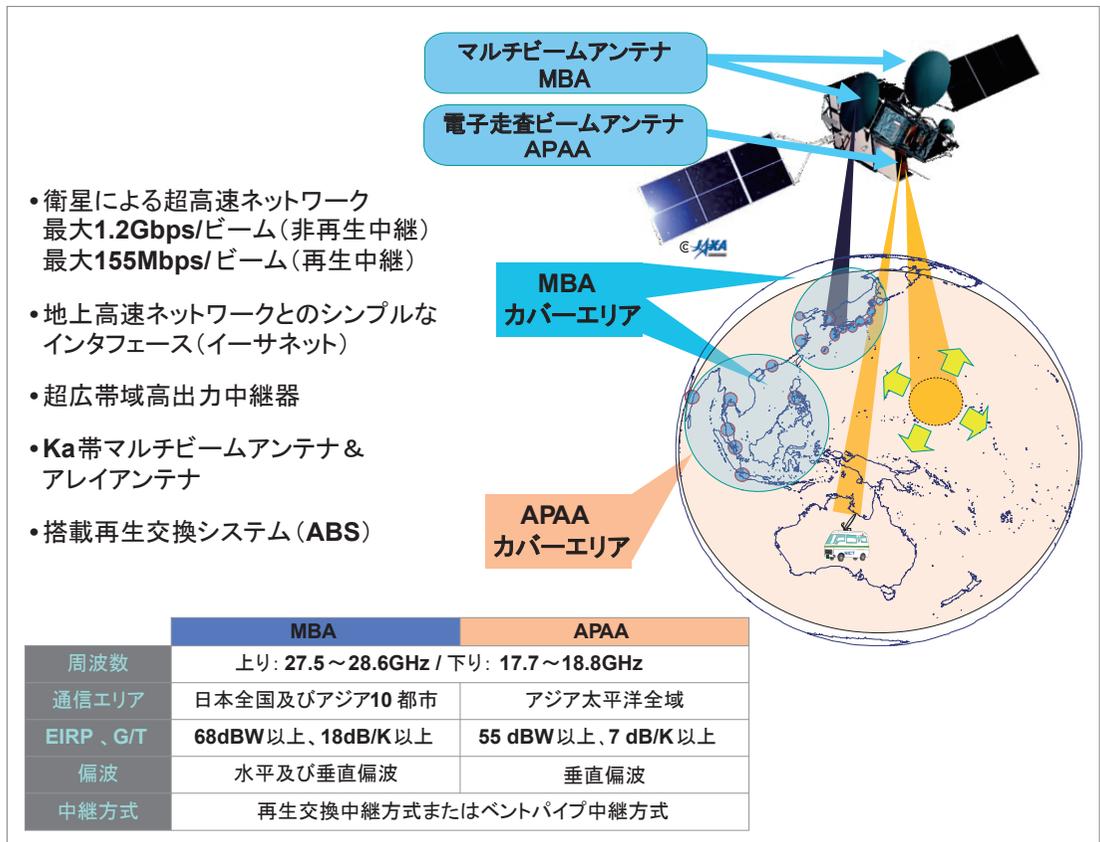


図1 超高速インターネット衛星「きずな」(WINDS)の概要

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によさもあり、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

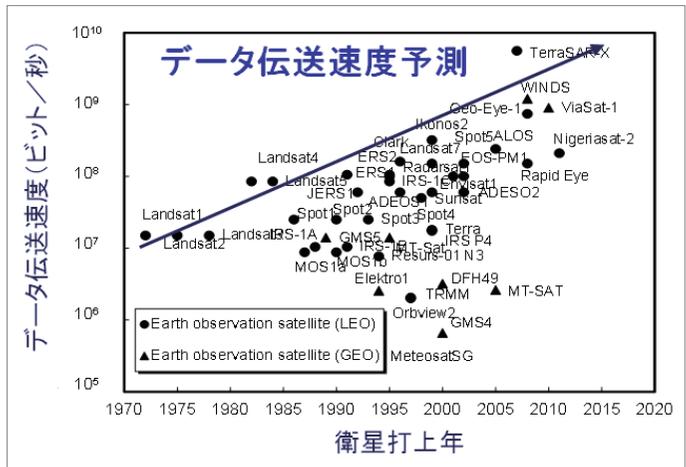


図1 衛星のデータ伝送速度の動向

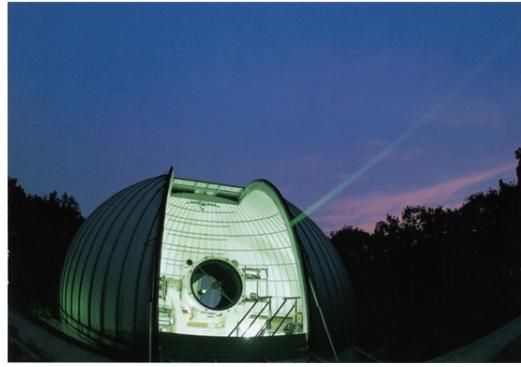


図2 NICT光地上局の望遠鏡

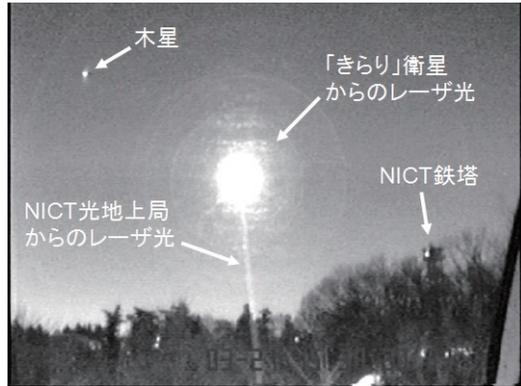


図3 世界初の低軌道衛星-地上局間の光通信実験

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。

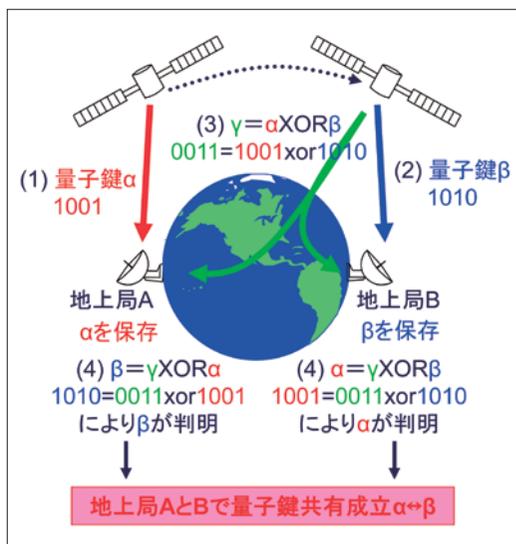


図5 任意の2つの地上局を用いた量子鍵配送

- 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。

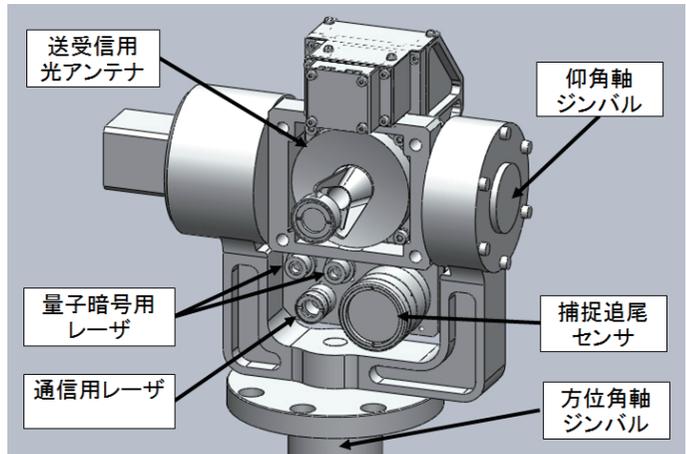


図6 開発中の超小型衛星搭載用の小型光トランスポンダ

*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。

I-3 安心・安全に情報をやりとりできる ネットワークセキュリティの研究開発を推進

高橋 幸雄 (たかはし ゆきお)

ネットワークセキュリティ研究所
研究所長

出身は島根県の西の端、益田市の中国山脈を見渡せる周りに誰もいない星のきれいな田舎で育ちました。1982年京都大学理学部(修士)を卒業し、郵政省電波研究所(現 NICT)に入所しました。VLBIと呼ばれる電波望遠鏡を使ったプレート運動、日本等の位置の基準、さらには天文の研究を行い、また、日本の標準時のもとになる日本標準時、さらには位置認証の研究を実施してきました。2008年情報セキュリティ大学院大学で学位(情報学)を取得しました。毎週自転車の遠乗りとジョギングとお酒を楽しんでいます。



「情報通信社会の中で大きな脅威となっているサイバー攻撃時のセキュリティの課題に関して、安心・安全な情報をやり取りできるように、ネットワークセキュリティの研究開発を推進しています。」

はじめに

今やインターネットに代表される情報通信ネットワークは、生活において不可欠なライフラインの1つになっており、またクラウドやスマートフォンなど新しい技術により大きな変革を迎えています。その中で、サイバー攻撃は、DDoS 攻撃や、標的型・APT 攻撃、Web、SNS、メールを介した攻撃など、多種多様でかつ極めて巧妙になってきており、大きな脅威となるとともに、防御や対策が難しくなっています。サイバー攻撃は、金銭目的や主義主張、さらには国家的な紛争・脅威にも使われ、オールジャパンあるいは国際連携で協力して対抗する必要があります。

ネットワークセキュリティ研究所の目指すもの

ネットワークセキュリティ研究所では、誰もが安心・安全に通信を行うことができるように、NICT の中立性を活用し、サイバー攻撃に対抗するための理論と実践を融合させたネットワークセキュリティの研究開発を実施し、世界的な研究拠点になることを目指しています。

サイバー攻撃は、多くの場合、ウィルス、ワーム、ボット等の総称である“マルウェア”によって引き起こされており、日夜新種の攻撃が出現しています。そのため、日々の攻撃に対応を行う“現在志向”の実践的研究開発と、中長期的視点で攻撃

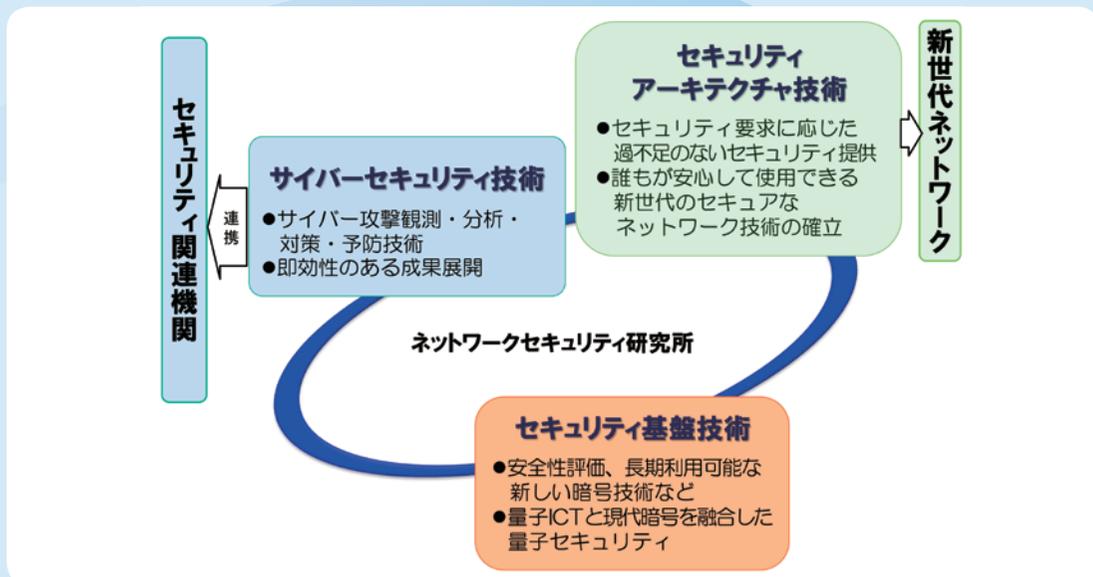


図 ネットワークセキュリティ研究所の3つの研究課題

をしにくくする“未来志向”の先進的研究開発の両輪で推進し、攻撃側優位の現状から防御側優位にしていきたいと考えています。

● ネットワークセキュリティ研究所の研究開発について

当研究所は、サイバーセキュリティ技術、セキュリティアーキテクチャ技術、セキュリティ基盤技術の研究開発を、三位一体で実施しながら、ネットワークセキュリティの研究を推進しています。

サイバーセキュリティ技術では、サイバー攻撃をリアルタイムで把握し適切な対応を実施するため観測・分析・対策技術の研究開発を行うとともに、攻撃の前兆を捕えて予防を行うための基盤技術を確立し、攻撃者にとって抑止力となる実践的かつ先行的対策を可能にしていきます。また、Web、SNS、スパムメール等のサービスレイヤでのサイバー攻撃や標的型攻撃に対応した観測・分析・対策の技術開発を進めていきます。さらに、得られたマルウェアや攻撃トラフィックのデータを、研究や人材育成に役立てることで、日本のセキュリティ技術のポテンシャル向上に貢献していきます。

セキュリティアーキテクチャ技術では、クラウドやモバイル技術の急速な発展による多様化した

ネットワーク環境や利用環境に対応し、利用者の要求に応じたセキュリティが確保できるアーキテクチャ技術の研究開発を実施しています。多様化したネットワーク環境では、インターネットのような一様なネットワーク、一様なセキュリティでは対応できなくなり、安全性も不十分となってしまいます。そのため、サイバー攻撃の回避、複雑度の高いシステムに対応可能な過不足のない脆弱性管理、大規模認証などが行えるセキュアな新しいネットワークを実現するための技術開発を行っていきます。

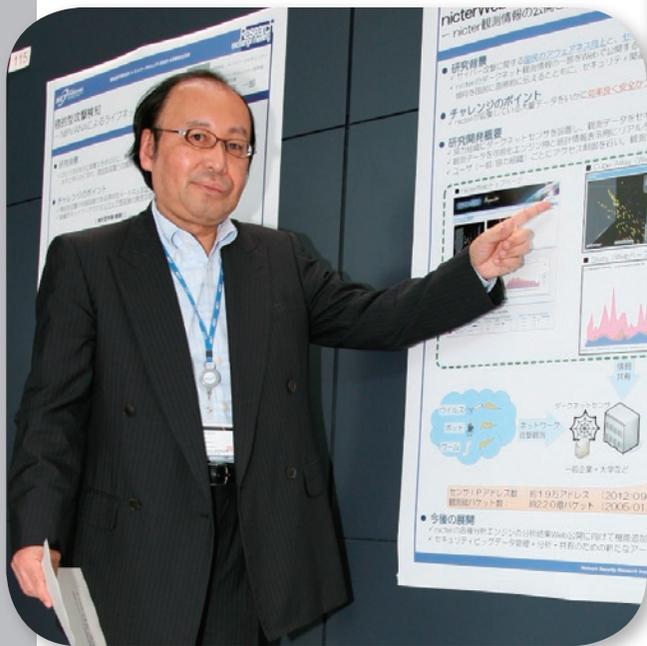
セキュリティ基盤技術では、盗聴検知が可能で極めて安全性が高い量子セキュリティ技術や、既存の現代暗号よりも遥かに安全性が高く超高速の量子計算機が実現しても安全な長期間利用可能な新しい暗号技術を開発していきます。また、電子政府推奨暗号リストの維持等への貢献など、暗号の安全性に関する研究や活動を行っていきます。

● おわりに

研究の成果展開や社会貢献を積極的に行い、国内外の研究機関等とも連携し、国民誰もが安心・安全に情報通信を行うことができるように研究開発を進めて参ります。

インシデント分析センター nicter

—世界最先端のサイバーセキュリティ技術の研究開発—



「nicter は進化型のセキュリティ
フレームワーク。日本の、そして世界の
セキュリティを向上させるため、
実践的なサイバーセキュリティ技術の
研究開発を行っています。」

中尾 康二 (なかお こうじ)

ネットワークセキュリティ研究所
主管研究員

1979年早稲田大学卒業後、国際電信電話株式会社に入社。KDD 研究所を経て、現在 KDDI 情報セキュリティフェロー、及び NICT ネットワークセキュリティ研究所 主管研究員兼務。ネットワーク及びシステムを中心とした情報セキュリティ技術に関わる技術開発に従事。

井上 大介 (いのうえ だいすけ)

ネットワークセキュリティ研究所
サイバーセキュリティ研究室 室長

2003年横浜国立大学大学院工学研究科博士課程後期修了後、独立行政法人通信総合研究所(現 NICT)に入所。2006年より nicter の研究開発に従事。現在ネットワークセキュリティ研究所 サイバーセキュリティ研究室 室長と、ネットワーク研究本部 ネットワークシステム総合研究室 研究マネージャーを兼務。博士(工学)。SF 小説や SF 映画、テクノ、ハウス、エレクトロがエネルギー源。

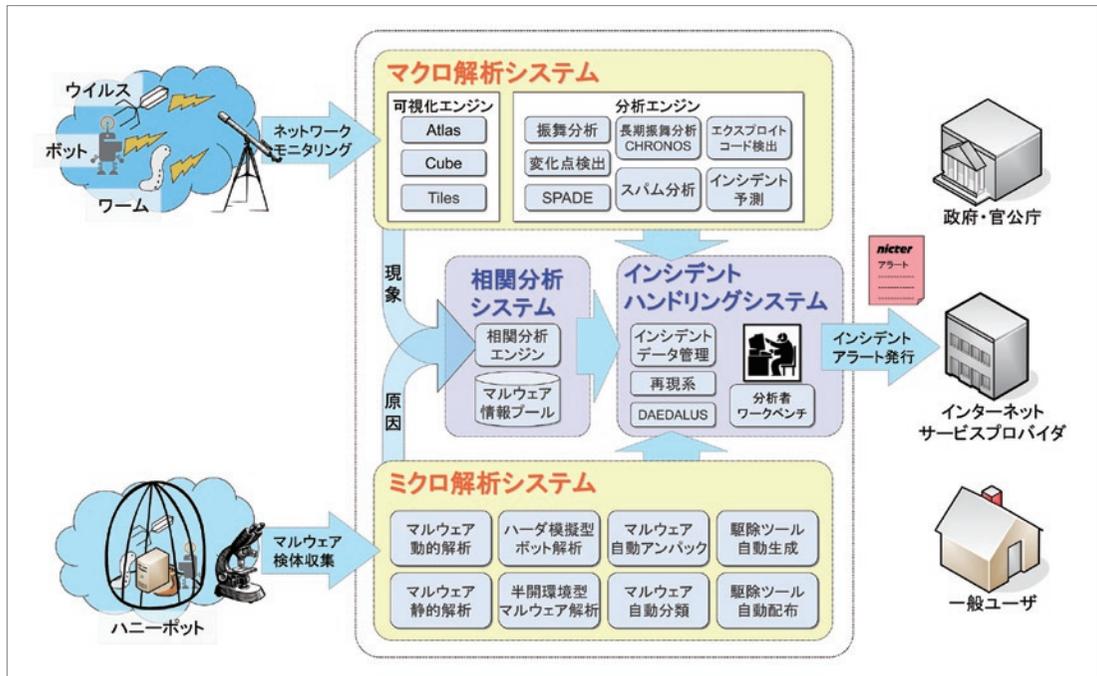


図1 nictcrの全体像

はじめに

インターネットは私たちの社会活動や経済活動に多大な恩恵をもたらし、インターネット普及以前の時代にはもはや逆戻りできない不可逆的な変化を現代社会の隅々にまで及ぼしています。一方、その発展と同調するように、インターネットにおけるサイバー攻撃の脅威も拡大の一途を辿っています。サイバー攻撃は人間であるクラッカー*1が引き起こすものですが、そのツールとして使われるのがマルウェア*2と呼ばれる不正なプログラムです。90年代前半までマルウェアは愉快犯もしくは自己顕示を目的として作成・流布されることが多かったのですが、90年代後半以降は金銭詐取を目的とした組織的な犯罪のツールとして利用され始め、高度化・巧妙化が急速に進んでいます。

このような、マルウェアに起因するサイバー攻撃に対抗するために、ネットワークセキュリティ

研究所サイバーセキュリティ研究室では、インシデント分析センター nictcr*3の研究開発を進めています。

インシデント分析センター nictcr

nictcr はリモート感染型マルウェア*4の世界的な活動傾向をリアルタイムに把握し、それに起因したサイバー攻撃の早期発見、原因究明、対策導出を可能にするため、マクロ解析システム、マイクロ解析システム、関連分析システム、インシデントハンドリングシステムの4つのサブシステムから構成されています(図1)。以下では、これらのサブシステムの概要を紹介します。

マクロ解析システム

マクロ解析システムでは、国内外の複数地点に観測用のセンサを設置し、「未使用」のIPアドレス

*1 悪意を持ってハッキング行為を行う者。
 *2 ウィルス、ワーム、トロイの木馬、スパイウェア、ポットなど情報漏えいやデータ破壊、他のコンピュータへの感染など有害な活動を行うソフトウェアの総称。“malicious”と“software”を組み合わせた造語。

*3 Network Incident analysis Center for Tactical Emergency Response.
 *4 ネットワークを経由して能動的に攻撃を行うことで感染を広げるタイプのマルウェア。最近では2008年11月に感染爆発を起こしたConfickerや、2011年8月から増加傾向が確認されているMortoなどが有名。

を大量^{*5}に観測しています。本来、未使用のIPアドレスに対して通信は成立し得ませんが、実際に観測してみると相当数のパケットが届きます。これらの大部分は、マルウェアが次の感染対象を探すためのスキャンや、マルウェア同士がP2Pネットワークを確立するためのランデブー用の通信など、マルウェアに起因したパケットなのです。したがって、未使用のIPアドレス(以下、ダークネット)を観測・分析することによって、インターネットにおけるセキュリティインシデントの一大要因となっているマルウェアの活動傾向を捉えることが可能になります。以下、マクロ解析システムに含まれる可視化エンジンについて概説します。

(1) Atlas

Atlas(図2)は、ダークネットに流れ込むトラフィック(以下、ダークネットトラフィック)を世界地図上でリアルタイムにアニメーション表示する可視化エンジンです。ダークネットに到着したパケットの1つ1つについて、送信元IPアドレスから送信元の緯度・経度を割り出し^{*6}、その送信地点から宛先IPアドレスが属する国の首都に向けてパケットが飛来する様子をアニメーション表示することで、世界的なマルウェアの活動傾向を直感的に把握することができます。各パケットの色はパケットの種別^{*7}を表し、パケットの軌道の高さはポート番号の大きさに比例(対数軸)し

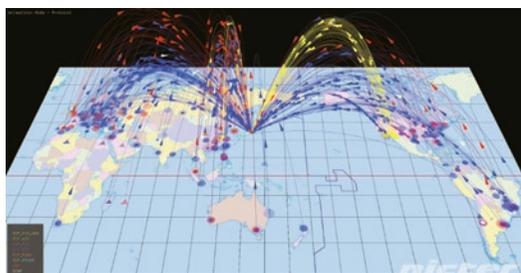


図2 Atlas

*5 2012年3月末現在で約19万のIPv4アドレス。

*6 IPアドレスと緯度・経度のマッピングはMaxMind社のGeoIP City Databaseを利用

ています。また、マウス操作による視点の変更や拡大縮小、パケットオブジェクトのクリックによる詳細情報の表示など、分析者のインタラクティブな操作が可能です。

(2) Cube

Cube(図3)は、ダークネットに到達したパケットを、その送信元と宛先の各種情報に基づいて、三次元空間に浮かぶ立方体中にアニメーション表示する可視化エンジンです。立方体の縦軸に送信元/宛先IPアドレスを、横軸に送信元/宛先ポート番号を取り、送信元(図3の左平面)から宛先(図3の右平面)に向けてパケットを通過させることで、マルウェアによるスキャンの形状などが可視化されます。CubeはAtlasと同様、マウス操作による視点の変更や拡大・縮小、パケットの詳細情報などを表示でき、送信元ホストからの攻撃の様子をリアルタイムに把握することが可能です。

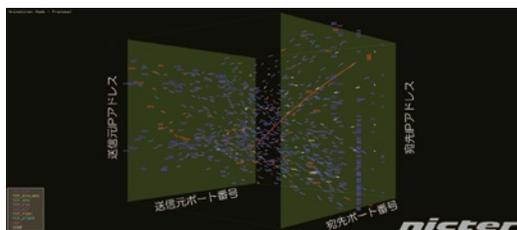


図3 Cube

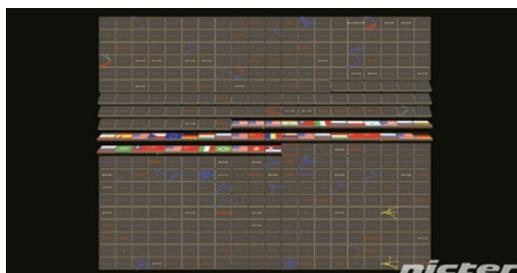


図4 Tiles

*7 青: TCP SYN, 黄: TCP SYN-ACK, 緑: TCP ACK, 桃色: TCP FIN, 紫: TCP RST, 橙: TCP PUSH, 水色: TCP OTHER, 赤: UDP, 白: ICMP(後述のCube, Tilesにおける色も同様)

(3) Tiles

Tiles(図4)はダークネットトラフィックを送信元ホストごとにスライスし、各ホストの短時間(30秒間)の挙動を分析・可視化するエンジンです。図4の小さなタイルの1つ1つが送信元ホストごとの挙動を表しており、最新の分析結果に随時更新されていきます。タイルの裏側は送信元ホストが属する国の国旗が示されています。1つのタイルは、パケットの時刻、送信元/宛先ポート番号、宛先IPアドレスを用いて可視化および分類されます。この分類の履歴を蓄積することによって、ある送信元ホストの挙動が既知のスキャンパターンであるのか、あるいは新規のスキャンパターンであるのかをリアルタイムに判定することが可能となります。

マクロ解析システムでは前述の可視化・分析エンジンに加えて、図1上部に示すような各種分析エンジンの研究開発を行っています。

● ミクロ解析システム

ミクロ解析システムは、ハニーポットと呼ばれるおとりサーバやWebサイトの巡回を行うWebクローラなどでマルウェアの検体を捕獲し、その検体を自動解析するシステムです。以下、ミクロ解析システムに含まれる動的解析エンジン(図5)について概説します。

リアル空間においてウィルスをシャーレで培養して観察するように、動的解析はマルウェアをサンドボックスと呼ばれる箱庭環境で実行し、その際にマルウェアが使用したAPI*⁸やネットワークアクセスなどの挙動を解析する手法です。ところが、近年の高度化されたマルウェアは動的解

析に対抗するため、自己の周囲のネットワーク環境を調査して、自己がサンドボックス内にいることを検知すると実行停止や自己消去を行なうなどの解析回避機能を持っています。そのため、nicterの動的解析エンジンは、サンドボックス内にDNSサーバやWebサーバなど多数のダミーサーバからなるインターネットエミュレータを配置することで、マルウェアの解析回避機能を無効化しています。また、マルウェアが解析回避のために行う仮想マシン検出に対抗するため、マルウェアを実行する犠牲ホストはOS自動復元機構を持った実マシンによって構成されています。

このようなサンドボックス内での動的解析の結果、犠牲ホストからはAPIログが、インターネットエミュレータからはサーバログが出力され、それらのログからマルウェアの挙動が抽出できます。加えて、犠牲ホストとインターネットエミュレータの間で観測されるパケットデータに含まれるスキャンが、後述する相関分析の鍵となります。

動的解析エンジンは1検体あたり6~9分の高速な解析を実現し、さらに解析の並列化により1日あたり最大7,000検体の解析が可能となっています*⁹。

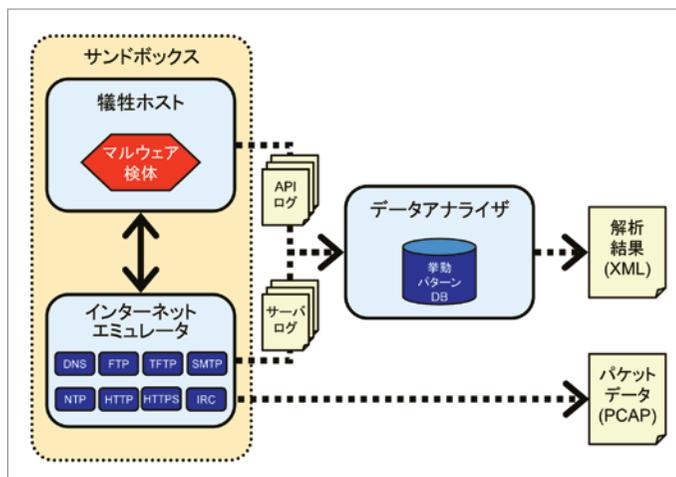


図5 マルウェア動的解析エンジン

*8 Application Program Interface.
 *9 2012年3月末現在。

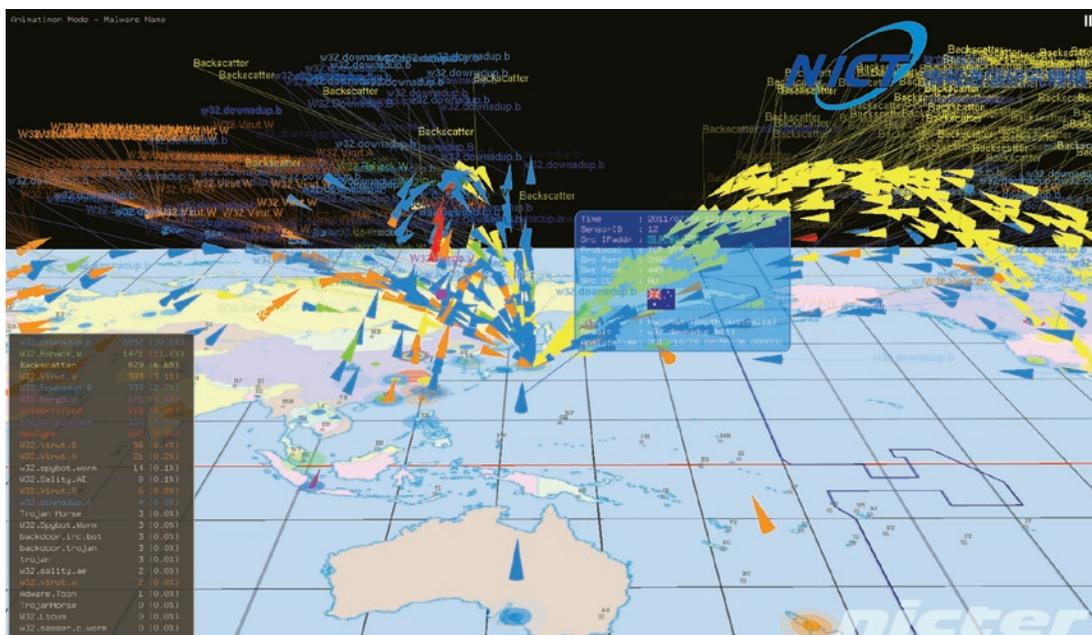


図6 相関分析結果の可視化

ミクロ解析システムでは、前述の動的解析エンジンに加えて、図1下部に示すような各種解析エンジンの研究開発を行っています。

● 相関分析システム

相関分析システムは、マクロ解析システムにおいて観測されたマルウェアからのスキャンを各種の特徴^{*10}によってプロファイリングし、ミクロ解析システムにおいてマルウェアから抽出されたスキャンのプロファイルとの照合を行い、類似したプロファイルを持つマルウェアの候補を探し出します。つまり、マクロ解析システムで捉えた「現象」（サイバー攻撃）と、ミクロ解析システムで蓄積した「原因」（マルウェア）とを結びつける答え合わせのシステムです。マクロ解析結果とミクロ解析結果はマルウェア情報プール(MNOP: Malware kNOWLEDge Pool)に蓄積されるとともに、相関分析エンジンによってリアルタイムに照合が行われます。

図6は可視化エンジンAtlas上で相関分析結果を可視化したものです。各パケットオブジェクトの上方に、相関分析の結果、第一候補として挙げられたマルウェア名を表示しています。また、パケットの詳細情報の中にもマルウェア名(図6の例ではw32.downadup.b)を表示しています。さらに、相関分析の結果を累計することで、マルウェアの世界的な活動傾向を把握することが可能となります。図6の左下のボックスは、相関分析結果(マルウェア名ごとのユニークホスト数)の累計を表しており、2011年時点で70%を超えるホストがw32.downadup.b(あるいはそれと同様のスキャンエンジンを持つマルウェア)に感染しているものと自動推定しています。

● インシデントハンドリングシステム

インシデントハンドリングシステムは、マクロ解析、ミクロ解析、相関分析の各サブシステムからの出力を集約・蓄積し、インシデント発生時の

*10 パケットのプロトコル、TCPフラグ、送信元ポート番号およびその変化、宛先ポートのセット、宛先IPアドレスの遷移(シーケンシャル/ランダム)、単位時間あたりのパケット数、ペイロード長など。

データ管理や、その再現を可能にします。また、DAEDALUS^{*11}は nicter の大規模ダークネット観測網を応用したアラートシステムです。以下、DAEDALUS について概説します。

従来のダークネット観測は組織外からダークネットに飛来するパケットを観測する、つまり“外から内”への異常な通信を収集するという考え方でした。一方、DAEDALUS は組織内から送出されたパケットを分散配置されたダークネットで観測する、つまり“内から外”(または内から内)への異常な通信を網にかけるという、従来とは逆転したダークネットの活用法に基づいています。換言すると、DAEDALUS は組織内で起こったマルウェア感染などをダークネットによって検知し、該当する組織にアラートを自動送信することで、ダークネット観測をサーバやホストが存在するライブネットの保護に活かすシステムです。

図7は DAEDALUS の可視化エンジンです。中央の球体がインターネット、その周りを周回している各リングが、nicter のセンサを設置している各組織のネットワークを表しています。球体とリングの間を飛び交う流星状のオブジェクトはダークネットトラフィックを表しています。リングの水色の部分がライブネット、濃紺の部分がダークネットであり、リングの外周の「警」のマークは組織内でアラートの原因となった送信元ホストを指し示しています。この可視化エンジン上でのアラート表示と同時に、該当組織にはメールベースのアラートが自動送信され、実際のセキュリティオペレーションのトリガとして活用されています。

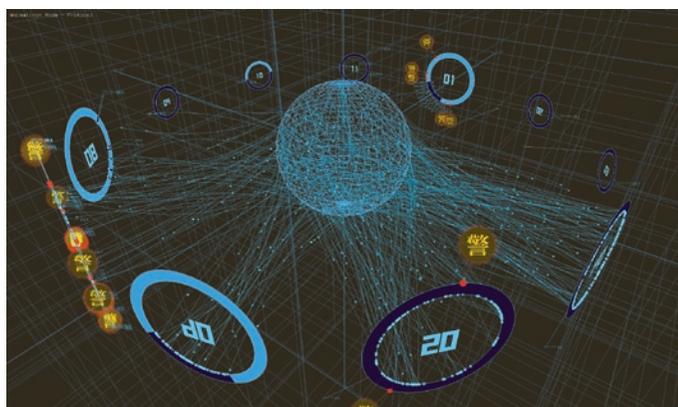


図7 DAEDALUSの可視化エンジン

まとめと今後の課題

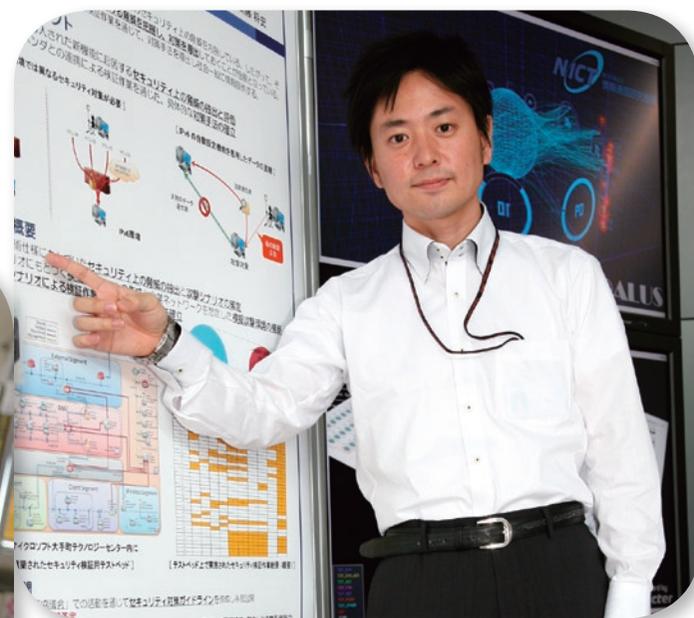
本稿では、セキュリティインシデントの早期発見、原因究明、対策導出を目的としたインシデント分析センター nicter について概説しました。nicter の研究開発によって、ネットワーク経由で感染を広げるリモート感染型マルウェアの大局的な活動傾向の把握と迅速な原因究明が可能となり、その分析結果の一部は nicterWeb^{*12} というサイトから一般公開を行っています。また、nicter の大規模ダークネット観測網を応用したアラートシステム DAEDALUS の外部展開など、研究成果の社会還元を推進しています。

一方、本稿の冒頭でも述べたように、インターネットにおける脅威は日々進化しており、Web を媒体とした攻撃手法(ドライブ・バイ・ダウンロード攻撃)や、SNS を媒介したマルウェア、特定の組織を狙った標的型攻撃など、これまでの nicter の仕組みでは捉えられない新たな脅威が生まれてきています。今後も、このような新たな脅威に対抗可能な実践的研究開発を推進するとともに、攻撃者側が圧倒的に有利な現在の状況を一変させ得る根源的なセキュリティ技術の研究開発を、産学官の連携の下に取り組んでいきます。

*11 Direct Alert Environment for Darknet And Livenet Unified Security.
*12 <http://www.nicter.jp/>

ネットワークリアルタイム可視化システムNIRVANA

—トラフィックの「今この瞬間」を描き出すネットワーク管理支援ツール—



「複雑化するネットワークを見える化し、ネットワーク管理を『苦しみのない世界』に。NIRVANAはnicterからスピノフした強力なネットワーク管理支援ツールです。」

井上 大介 (いのうえ だいすけ)

ネットワークセキュリティ研究所
サイバーセキュリティ研究室 室長

2003年横浜国立大学大学院工学研究科博士課程後期修了後、独立行政法人通信総合研究所(現 NICT)に入所。2006年よりnicterの研究開発に従事。現在ネットワークセキュリティ研究所サイバーセキュリティ研究室 室長と、ネットワーク研究本部 ネットワークシステム総合研究室 研究マネージャーを兼務。博士(工学)。サッカーアルゼンチン代表とS.S. ラツィオがエネルギー源。

衛藤 将史 (えとう まさし)

ネットワークセキュリティ研究所
サイバーセキュリティ研究室 主任研究員

2005年、NICT入所。以来、nicter プロジェクトやIPv6セキュリティなど、情報通信セキュリティ技術の研究開発に従事。nicterプロジェクトでは主に次世代型サイバー攻撃観測プラットフォームの研究に取り組む。博士(工学)。

● はじめに

ネットワークが生活空間の隅々にまで張り巡らされ、地球上のどこかに蓄積された膨大なデータにハンドヘルドデバイスやタブレットコンピュータからアクセスし、海外にいる同僚とリアルタイムにビデオ会議をする…。私たち 21 世紀初頭の人類を取り巻く通信環境は、スタートレックの生みの親、ジーン・ロッデンベリー氏の豊かな空想をも上回るスピードで進化を続けているようです(もちろん亜空間通信はまだ実現していませんが)。しかしながら、その通信環境を支えるネットワークの管理は、エンタープライズ号の艦内のようにコンピュータ任せとはいかず、現代のネットワーク管理者達を悩ませ続けています。

そこで、ネットワークセキュリティ研究所サイバーセキュリティ研究室では、通信環境の進化とともに複雑化するネットワーク管理の負荷を軽減するために、ネットワークリアルタイム可視化システム NIRVANA*1 の開発を行っています。NIRVANA は、ネットワークを流れるトラフィックをリアルタイムに可視化することで、ネットワークの疎通確認や障害検知、輻輳の把握や設定ミスの検出などを迅速に行うことを可能にし、組織のネットワーク管理の効率を劇的に向上させる支援ツールです。そして、その可視化の仕組みは、同研究室で研究開発を進めているインシデント分析センター nicter で培ってきた技術群を応用したものです。

● ダークネットからライブネットへ

インシデント分析センター nicter は、サイバー攻撃の発生を早急に把握するために、インターネット上に複数のセンサを設置し、未使用の IP

アドレス(以下、ダークネット)の大規模観測を行っています。ダークネットにはマルウェアが次の感染対象を探すためのスキャンなど、不正なトラフィック(以下、ダークネットトラフィック)が大量に届きます。nicter では、ダークネットトラフィックを自動分析すると同時にリアルタイムに可視化し、迅速なセキュリティオペレーションを実現するための研究開発を行っています。

この nicter のダークネットトラフィック向けに開発した可視化技術を、ライブネットトラフィック(ユーザ端末やサーバ等が接続された実ネットワークを流れる通信)に応用し、強力なネットワーク管理支援ツールとしてスピノフしたシステムが NIRVANA なのです。

● NIRVANA のシステム構成

NIRVANA は、観測対象ネットワークからトラフィックを収集するセンサシステム、収集したトラフィックを集約するゲートシステム、集約されたトラフィックを視覚化する可視化システムという 3 つのサブシステムからなります(図 1)。これは、nicter のダークネット観測システムから継承したシステム構成です。

センサシステムには、観測対象ネットワークからポートミラーリングやネットワークタップによって複製・分岐されたライブネットトラフィックを入力します。また、sFlow*2 によってサンプリングされた情報を入力することもでき、組織のネットワーク環境に応じた柔軟な観測方法を選択可能です。センサシステムは観測対象ネットワークに複数設置できるため、例えば、組織のネットワークが日本各地に分散しているような場合にも対応できます。

ゲートシステムは、センサシステムにおいてパケットサマリデータ*3 に変換されたライブネットトラ

*1 nicter real-network visual analyzer

*2 高速・大容量化したネットワーク管理の効率化を可能にする、ネットワークスイッチ等における情報収集技術のインターネット標準(RFC 3176)。

*3 パケットをネットワーク層とトランスポート層のヘッダ情報と、アプリケーション層のハッシュ値に圧縮したデータ。ライブネットトラフィックに比べ、大幅なデータ量の削減が可能。

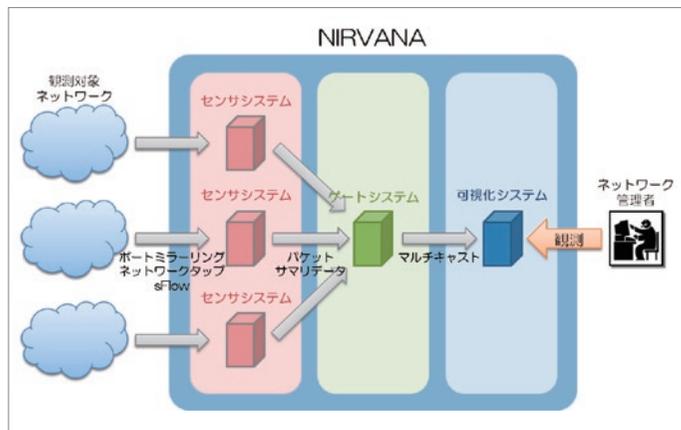


図1 NIRVANAのシステム構成

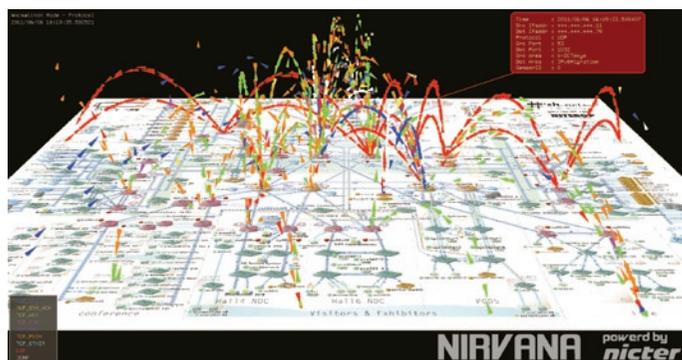


図2 NIRVANAによるライブネットトラフィックの可視化（パケットモード）*4

フィックを集約し、可視化システムに向けてマルチキャストします。組織のネットワーク規模に応じて、ゲートシステムを複数設置することも可能です。

可視化システムは、ゲートシステムからマルチキャストされたパケットサマリデータを受信し、リアルタイムに3Dアニメーション表示します。可視化に必要な情報はマルチキャストされていますので、ネットワーク管理者が複数いるような場合でも、可視化システムのハードウェアを追加してマルチキャストを受信すれば、多地点でのモニタリングが可能になります。可視化システムは単体動作させることも可能であり、ローカルに保存したPCAPファイル*5を再生して可視化することができます。

● NIRVANAによるライブネットの可視化

NIRVANAの可視化システムは、リアルタイム性、インタラクティブ性、カスタマイズ性を重視して設計・開発されています。リアルタイムに可視化されたライブネットトラフィックは、ネットワーク管理者の操作によってインタラクティブに拡大縮小や視点切替え、一時停止、詳細情報の表示などが行えます。また、3Dオブジェクトの形状や色、軌道の高度、スピードなど多岐に渡るパラメータをカスタマイズ可能です。さらに、フィルタリング機能も充実しており、送信元 / 宛先 IP アドレスやプロトコル、ポート番号、センサシステムのIDなどによってトラフィックのフィルタリングが可能です。

NIRVANAにはパケットモードとフローモードという2つのモードがあります。パケットモードは、ライブネットトラフィックをパケット単位で可視化するモードであり、ネットワークの疎通確認や、経路の障害検知などに威力を発揮します。図2は、Interop Tokyo*6 2011の展示会場ネットワーク[ShowNet*7]にNIRVANAを導入し、パケットモードでトラフィックを可視化したものです。各パケット(ロケット)の色はパケットの種別*8を表し、パケットの軌道の高さはポート番号の大きさに比例(対数軸)しています。また、図右上の赤色のウインドウには、選択されたパケットの詳細情報が表示されています。パケットはルータをホップするように流れていきますが、これにはOSPF*9によって

*4 Copyright (c) Interop Tokyo 2011 NOC Team Member and NANO OPT Media, Inc. All rights reserved.

*5 ネットワーク上を流れるパケット情報を保存するためのファイル形式。多くのネットワーク管理ツール(tcpdump、Wireshark等)で利用されています。

*6 例年、数百の出展社が最新のネットワーク機器やソリューションを展示し、同時に多数の講演やコンファレンス等が開催される、ネットワーク分野における世界最大規模のイベント。

*7 国内外のネットワークベンダが世界最先端のネットワーク機器を結集して構築する、Interopの心臓部とも言える展示会場全体のネットワーク。

定期的に取得したルーティングテーブルを利用しており、パケットの送信元 / 宛先 IP アドレスの組からその経路を決定しています。そのため、観測中に経路の変更が起こった場合でも動的に追従可能です。

一方、フローモードはトラフィックの流量を直感的に把握するためのモードです。フローモードではネットワーク機器間のトラフィック量を表現するためにリボン状の曲線を用い、その高さや太さ、色によって相対的な流量を表しています。図3は「ShowNet」をフローモードで可視化したものです。図中央の基幹ルータ間のホップが赤いリボンで表現されており、この機器間を流れるトラフィック量がネットワーク中で最大であることが把握できます。また、各機器の上に表示されている青と赤のバーは、それぞれ送・受信パケット数(設定によってはデータ量)を表しています。フローモードを用いることで、ネットワークのボトルネックを迅速に把握することが可能になり、前述のパケットモードとの併用で、ネットワーク管理の負荷を劇的に軽減できます。

NIRVANA の中で描かれるネットワーク図は、汎用の作画ツール Microsoft Visio^{*11} によって作成できます。NIRVANA はネットワーク図中の各オブジェクト(ネットワーク機器)に設定された IP アドレスを読み込んで、図中の座標に IP アドレスを自動設定することができます。そのため、ネットワークの構成変更が頻繁に起こるような組織でも、容易に NIRVANA のネットワーク図をアップデートすることができます。また、ネットワーク管理者のアイデア次第で、様々なネットワーク図を用いることができます。

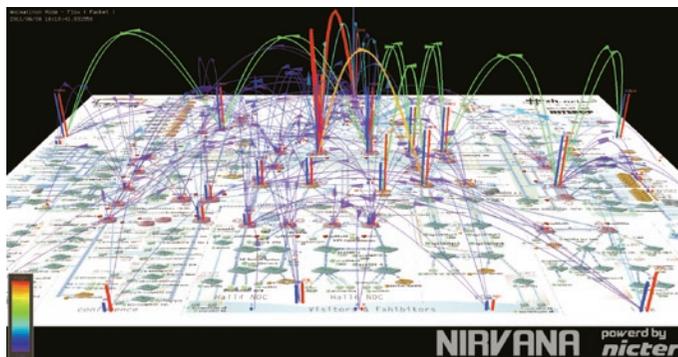


図3 NIRVANAによるライブネットトラフィックの可視化(フローモード)^{*10}

まとめ

仮想化技術の発達やクラウドコンピューティングの普及などにより、ますます複雑化するネットワーク管理が「苦しみのない世界」となることを目指し、インシデント分析センター nictcr の研究成果からスピノフした NIRVANA の社会展開と、さらなる高度化を進めていきます。

^{*8} 図2の例では、青:TCP SYN、黄:TCP SYN-ACK、緑:TCP ACK、桃色:TCP FIN、紫:TCP RST、橙:TCP PUSH、水色:TCP OTHER、赤:UDP、白:ICMP。

^{*9} Open Shortest Path First, ダイクストラ法によって最短経路のルーティングテーブルを作成するルーティングプロトコル。

^{*10} Copyright (c) Interop Tokyo 2011 NOC Team Member and NANO OPT Media, Inc. All rights reserved.

^{*11} Microsoft 及び Visio は、米国 Microsoft Corporation の米国及びその他の国における登録商標又は商標です。

セキュリティ情報交換と標準化 (CYBEX)

—地球規模でのサイバーセキュリティ構築に向けて—

高橋 健志 (たかはし たけし)

ネットワークセキュリティ研究所
セキュリティアーキテクチャ研究室 研究員

早稲田大学理工学研究科修了、2002年 Tampere University of Technology にて研究員、2004年同大学国際情報通信研究科にて研究員、2006年(株)ローランド・ベルガー社にてコンサルタントを経て、2009年より現職。情報通信プロトコル、サイバーセキュリティ、およびマルチメディア符号化に関する研究に従事。好きなことは新たな経験。経験の積み重ねこそが人生と信じ、現在はサイクリング、テニス、クッキング、そして中国語の学習に注力。博士(国際情報通信学)。

「組織・国境を越えた情報交換を促進することにより、サイバーセキュリティを向上させたい。その土台となる情報交換フレームワークについて、研究・標準化活動を展開しています。」



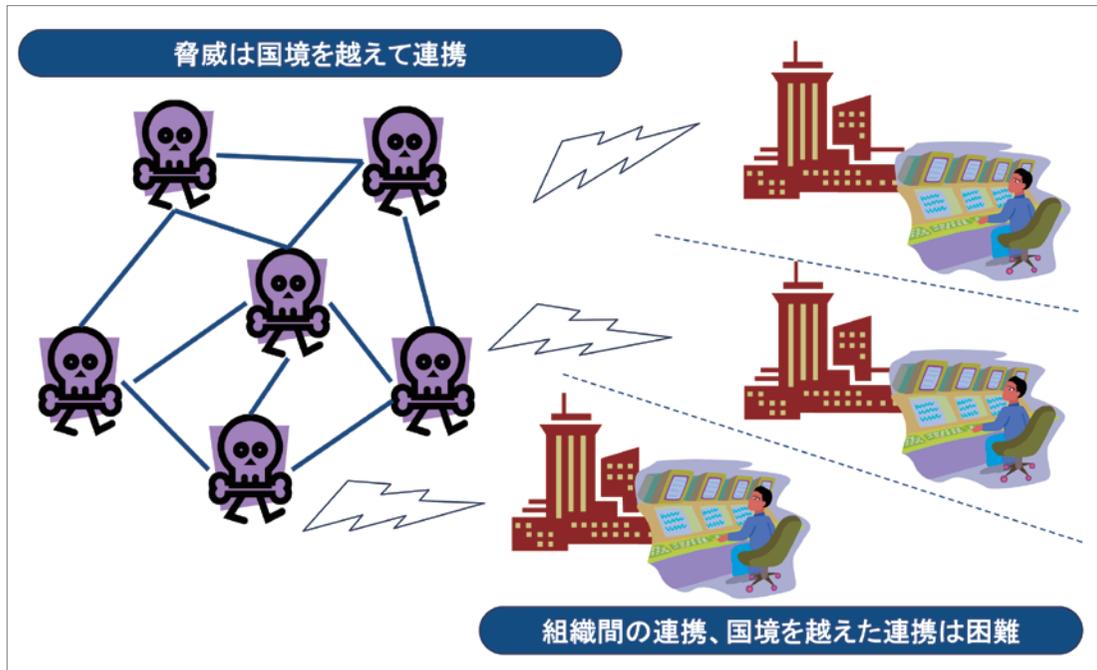


図1 脅威に劣後する対策

● 研究活動の背景

インターネットが世界規模で普及したことにより、近年、サイバー社会が急速に発展してきました。しかしながら、サイバー社会におけるセキュリティ、すなわちサイバーセキュリティに関しては、未だ発展途上の段階にあります。サイバー社会には国境はなく、脅威は国境を越えて襲ってきますが、その対策は各国・各組織が個別に対応しているのが現状です(図1)。すなわち、悪意のあるユーザーはリターンキーを押すだけで、互いに連携して世界中のコンピュータに対し攻撃が可能ですが、その対策は各国・各組織で独立して実施されています。各組織が連携するには、組織の壁を越えた情報交換が効率的に行われる必要がありますが、現時点では、必要に応じてメール、電話、対面での打ち合わせなど、時間と人手を要して実施しているのが現状です。

このような状況が生じている主な要因の1つ

に、情報交換のフォーマットやフレームワークが各国・各組織で統一されていないことが挙げられます。各国・各組織が協力してサイバーセキュリティ対策を実施するためには、サイバーセキュリティ情報の交換フォーマットやフレームワークがグローバルに共有される必要があります。

● 国際標準 CYBEX(X.1500)の構築

前述の情報共有フレームワークを構築すべく、我々は現在、国際標準化組織ITU-TにおいてCYBEX(Cybersecurity Information Exchange Techniques)という、組織間でのサイバーセキュリティ情報を交換するのに必要な技術群・フレームワークを定義しています。尚、CYBEXは組織間での情報交換に特化しているため、その情報の取得・活用についてはCYBEXの範囲外です(図2)。

CYBEXでは、この「サイバーセキュリティ情報の交換・共有」を実現するために、情報の表現手法、発見・交換手法、信頼性構築手法、

伝送手法のそれぞれを規定しています。特に、この情報の表現手法、発見・交換手法においては、後述する我々のオントロジの研究が大きく活かされています。CYBEX 自体は、ITU-T 勧告 X.1500 として勧告化されましたが、CYBEX を実現する具体的な技術については、今後も更なる発展が求められ、私も研究成果を積極的に ITU-T や IETF という国際標準化機関での活動に活かしています。

● 情報交換の基礎となるオントロジ

CYBEX に貢献する活動の 1 つとして、我々は

サイバーセキュリティ情報のオントロジを構築しました(図 3)。オントロジとは、世界を概念レベルでモデリングしたものを指しますが、ここでは、サイバーセキュリティオペレーションのあるべき姿をモデル化したものを指し、サイバーセキュリティオペレーションの業務領域、そのそれぞれの領域の業務を実施するプレイヤー、および彼らが扱う情報群という、3種類の情報を構造化して定義しています。すなわち、「どのオペレーションを」「誰が」「どの情報を利用して」実施するかをモデル化しています。本オントロジ構築に当たっては、日本だけでなく、米国、韓国のサイバーセキュリティ

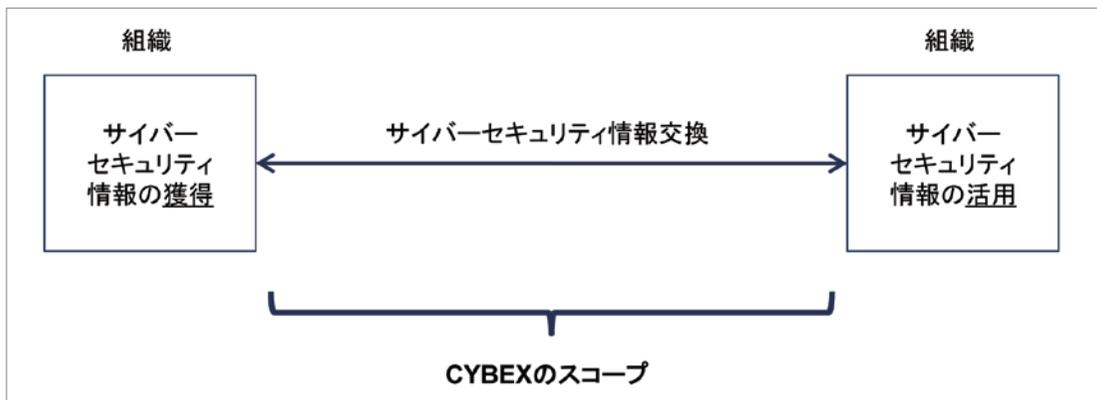
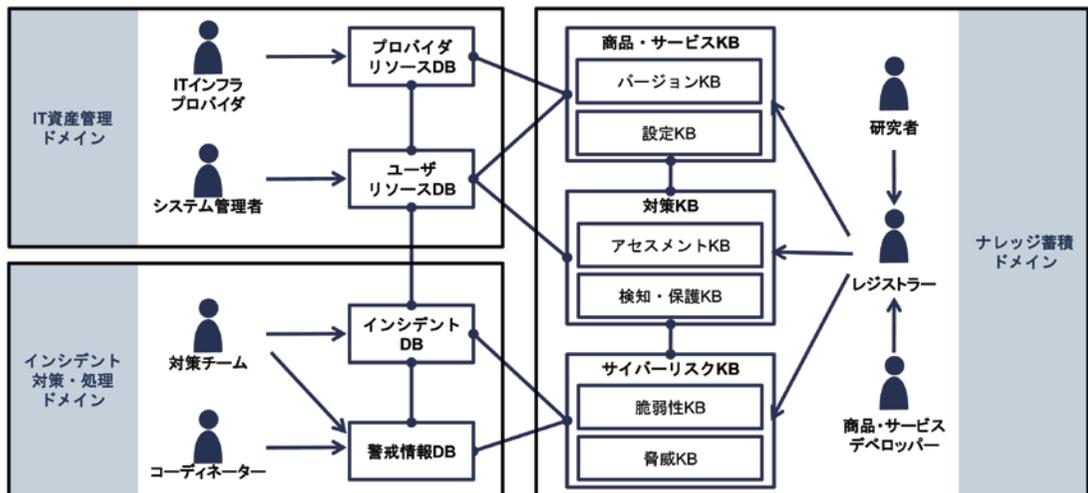


図2 CYBEXの範囲



DB: データベース KB: ナレッジベース

図3 サイバーセキュリティオントロジ

オペレーションの現状を鑑みており、サイバーセキュリティ先進国の知見が大いに活かされています。

本オントロジにより、サイバーセキュリティオペレーションの中でどのようなプレイヤーがどのような情報を必要とし、どのような情報交換がなされるべきかというものを体系立てて議論していくことが可能となり、CYBEX で交換されるべき情報を網羅的に議論するための土台となっています。これまでも様々な業界標準の動きはあったものの、部分最適な規格になる傾向がありました。CYBEX では、本オントロジに基づいて検討を進めることにより、サイバーセキュリティオペレーションを広く俯瞰しての規格制定を構築することを目指しています。

● 地球規模でのサイバーセキュリティ向上を目指して

このように、私はサイバーセキュリティ情報を「知」として共有するための手法・フレームワークを研究しております。ここにご紹介したもの以外にも、これらの世界中に存在するサイバーセキュリティ情報を、効果的に発見するための手法などの研究および開発も手掛けています。本オントロジに限らず、研究の成果を世の中に生きる形に昇華すべく、成果の国際標準化活動への展開、およびデモツールの構築・公開にも積極的に貢献しています。詳しくは、我々のホームページ (<http://cybex.nict.go.jp/>) をご参照ください。

暗号技術の新展開



野島良 (のじま りょう)

ネットワークセキュリティ研究所
セキュリティ基盤研究室 主任研究員

大学時代に暗号技術を試みましたが、全く歯が立ちませんでした。その延長線上に今の自分がいますが、今は暗号解読ではなく、暗号技術を設計する立場になりました。博士(工学)。

「盗聴者への情報漏えいを防ぐことを主目的として発展してきた暗号技術に対する新たな展開先、プライバシー確保型 IP トレースバックを紹介します。」

● 暗号技術の広がり

暗号技術は、2者間の通信において盗聴者にメッセージの内容が漏れないようにすることを主目的として発展してきました。しかし、近年のインターネットの発展に伴い、その応用範囲は急激に拡大しています。中でも、我々が所属するネットワークセキュリティ研究所においては、内積暗号、秘匿計算プロトコルと呼ばれる汎用性の高い暗号技術の研究・開発に力を注いできました。ここでは、秘匿計算プロトコルの一種である「オブリビアス秘密鍵暗号プロトコル」とその応用技術「プライバシー確保型IPトレースバック」について紹介したいと考えています。

そもそもIPトレースバック技術とは、インターネット上で不正を働いたユーザを追跡する技術です。もう少し具体的に述べると、IPトレースバックにおいては、各ルータが通過するパケットを保存しておきます。そして、実際に攻撃が行われた際には、攻撃を行ったパケットが保存されているルータを探索することにより、結果的に攻撃を行ったコンピュータを見つけ出すことが可能となります。

このIPトレースバック技術は非常に有用な技術ですが、探索する際に不正ユーザだけではなく、正当なユーザのプライバシーをも暴露してしまう可能性があります。我々が提案したプライバシー確保型IPトレースバック技術は、IPトレース

バック技術の一種です。ただし、正当なユーザのプライバシーを確保しながら、不正ユーザを追跡することが可能になります。

IPトレースバックとプライバシー確保型IPトレースバックに関する問題は、次のように単純化することができます。2人のユーザ(花子と太郎)を考えます。太郎はIPアドレスの集合 $A = \{a_1, \dots, a_n\}$ を、花子はIPアドレス a を保持しているとします。花子の目的は、 A の中に a が含まれているかどうか調べる事です。この問題は、花子が a を太郎に送り、太郎が A の中に a が含まれているかどうかを調べる事により解決可能になります。実際にIPトレースバックでは、同じようなことが行われます。一方、プライバシー確保型のIPトレースバックにおいては、問題が若干難しくなります。この技術を実現するためには、太郎が A を漏らさずに、そして花子が a を漏らさずに、 a が A に含まれているか調べる必要があります。この一見解決不可能な問題を、我々は、オブリビアス秘密鍵暗号プロトコルを開発・応用することにより解決しました。ここでは、このオブリビアス秘密鍵暗号プロトコルの概要とその応用についてご紹介します。

● 秘密鍵暗号

秘密鍵暗号においては、秘密鍵 SK を使いメッセージ M を暗号化することができます。



図1 秘密鍵暗号の説明

この暗号化されたメッセージを $\text{Enc}(\text{SK}, M)$ と表します。ここで秘密鍵 SK を保有する人だけが、 $\text{Enc}(\text{SK}, M)$ から M を取り出すことが可能になります。逆に、 SK を保有していない人は M に関する情報を一切得る事ができません(図 1)。秘密鍵暗号として代表的なものに、DES(Data Encryption Standard) と AES (Advanced Encryption Standard) があります。

● オブリビアス秘密鍵暗号

オブリビアス秘密鍵暗号プロトコル(以降、OEP)は、2者(太郎、花子)間の暗号プロトコルです。

太郎は秘密鍵暗号の秘密鍵 SK を、花子はメッセージ M を保有します。このプロトコルは、お互いの情報 SK と M を秘密にしたまま暗号文 $C = \text{Enc}(\text{SK}, M)$ を計算することを可能にします。ここで、もちろん C を得られるのは花子であり、太郎は C に関する情報を一切得る事ができません(図 2)。

ここで「オブリビアス」という単語に関してですが、直訳すると「気付かない」という意味がありま

す。太郎と花子は相手の入力について「気付かない」ため、プロトコル名にオブリビアスという用語が使われています。

● IPトレースバックへの応用

プライバシー確保型 IPトレースバック技術において、太郎と花子は、お互いの情報を隠しながら、 a が $A = \{a_1, \dots, a_n\}$ に含まれているかどうかを検証する必要性がありました。この問題は、OEP を使うと簡単に解決できます。

- (1) 太郎は、秘密鍵暗号の秘密鍵 SK を選び、 $\text{Enc}(\text{SK}, a_1), \dots, \text{Enc}(\text{SK}, a_n)$ を花子に送ります。
- (2) 花子は、OEP を使い $\text{Enc}(\text{SK}, a)$ を得ます。そして、 $\text{Enc}(\text{SK}, a_1), \dots, \text{Enc}(\text{SK}, a_n)$ の中に、 $\text{Enc}(\text{SK}, a)$ と同じになるものがあつた場合、 a が A に含まれていると判定します。OEP を使うことにより、お互いに SK と a が漏れないため、花子の秘密情報である a が太郎に漏れる事はありません。さらに、 SK が花子に漏れないので、 n 個の暗号文から太郎の秘密情報 A が漏れることもありません(図 3)。

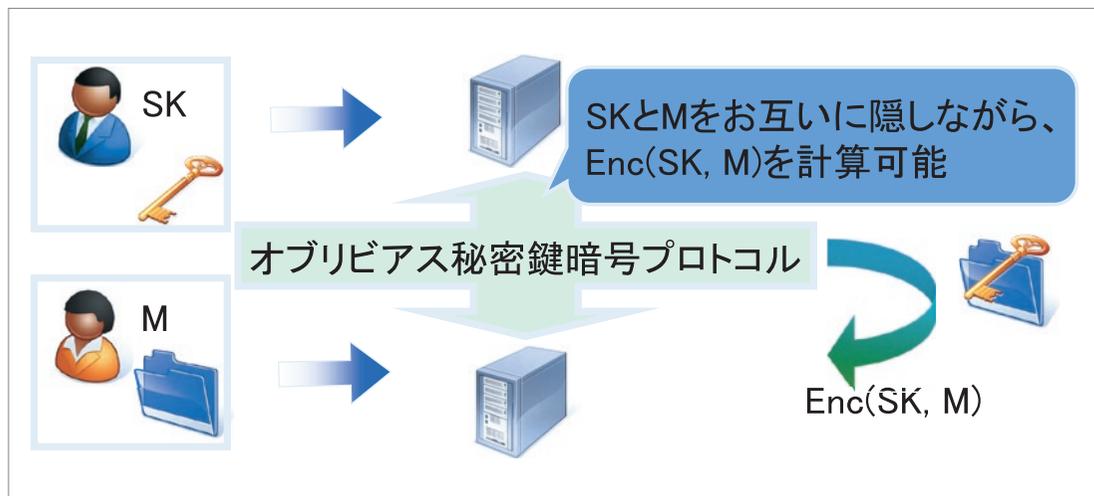


図2 オブリビアス秘密鍵暗号プロトコルの説明

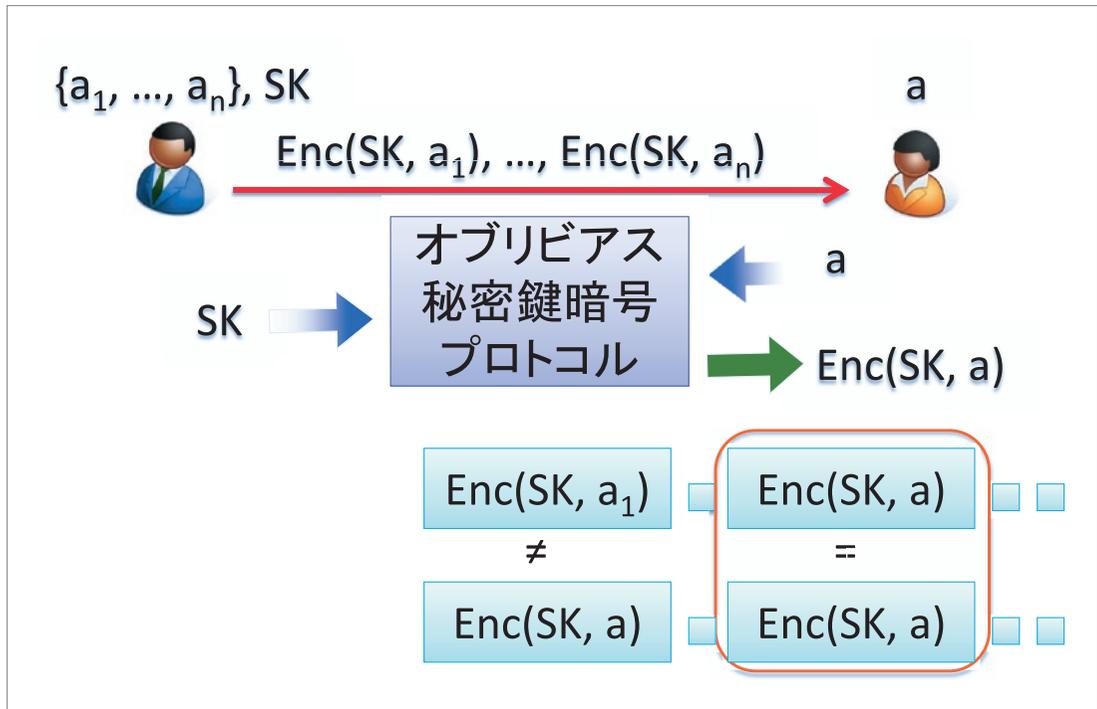


図3 プライバシー確保型IPトレースバックの説明

● 今後の研究について

ここまでオブリビアス秘密鍵暗号プロトコル、及びプライバシー確保型 IP トレースバック技術を簡単に紹介してきました。その具体的構造まで説明することはできませんでしたが、既にオブリビアス秘密鍵暗号プロトコルは、実装・実験が無事に終了しています。今後は、IP トレースバック技術、オブリビアス秘密鍵暗号の更なる発展・普及に努めたいと考えています。

プライバシー保護技術

大久保 美也子 (おおくぼ みやこ)

ネットワークセキュリティ研究所
セキュリティアーキテクチャ研究室 主任研究員

のどかな景色の水のきれいな田舎で育ち、子どもの頃は暗くなるまで野山を駆けて遊んでいました。スポーツの経験は、陸上競技(短距離走や幅跳び)、バレーボール、剣道を少々…。基本的にスポーツ全般好きです。近視 & 乱視で中学の頃眼鏡をかけ始め、現在では体の一部です。暗号の研究は社会人になってから本格的に始めたのでやや遅めのスタートでしたが、生涯現役!を目指しています。

「複雑に入り組んだサービス間の中にあっても個々の要求に応じ、プライバシーを守れる仕組み作りが今後ますます重要となります。本稿では、ネットワーク上でフレキシブルにプライバシー保護を実現する技術について紹介します。」



● はじめに

ネットワークの用途が日々変化し拡大をし続けている昨今、これまで対面もしくは書面でしか扱えなかった契約・取引・売買などの手続きもインターネットを介して行えるようになってきました。このように利便性の向上に伴い、ネットワーク上で不正なくこれらの手続きが行えるよう、意識して防御しなければならないことも増えてきています。また、近年では、インターネットを活用することにより様々な情報が入手可能となり、簡単にほしい情報を集めたり調べたりすることができるようになりました。その一方で、自分で気がつかないうちにプライバシーに関わる情報を侵害されうる可能性も高くなっていきます。

このような状況を踏まえ、私たちの研究室ではネットワークを本来の効率性や利便性を損ねることなく、安全性とプライバシー保護機能とをフレキシブルに提供できる大規模認証基盤の実現を目指して研究を進めています。

● ネットワークの利用用途の変化と求められる機能

ネットワーク上で不正行為が行われないようにするためには様々な要求条件が満たされなければなりません。例えば、契約の場合では、ネットワーク上で通信している相手か本当に契約相手本人か？電子データで送られてくる契約書の内容は通信の途中で改ざんされていないか？本人の意思確認が出来るか（本人印のようなものが確認できるか）？などをチェックできる仕組みが必要になります。

一方で、個人的な内容を含む契約・取引・売買などの場合には、必要以上には個人個人のプライバシーに関わる情報は漏らしたくないという

要求が出てきます。例えば、電子オークションなどでは、応札の手続きを匿名で進めたいなどの要求が出てきます。また、電子投票などでは、有権者が投票を行う際に誰であるかが特定されてはいけない、立候補者の誰に投票したのかが識別されてはいけない、などの要求が出てきます。

一見すると不正を防止し安全性を保つための要求条件とプライバシーを保護するための要求条件が相反する要求事項に見えますが、暗号技術を活用することによりそれらの要求事項を両立させることができるようになります。

保護したいプライバシー情報は、ユーザごとに、また利用シーンごとに異なります。さらに大規模ネットワークへ多数の端末が接続するこれからのネットワーク上では、考慮すべき状況が複雑化・多様化します。同一ユーザであったとしても用いる端末やデバイスが異なる場合や異なるサービス間でユーザ情報の交換などが行われる場合など、起こりうる複合的な事象を全て踏まえた上で、守られるべきセキュリティレベルを保ちつつ個々のプライバシーを保護することが望めます。例えば、複数のサービス間で同一ユーザであることが識別される必要がある場合、同一ユーザであることを識別されることがプライバシーの侵害につながる場合等も出てきます。また、複数の異なるデバイスを用いていても、同一ユーザであることが識別されることによりプライバシー侵害などの可能性も出てきます。

ある用途や目的に特化し、保護すべきプライバシー情報を確定するようなシステム設計であれば、従来からある暗号技術などを複数用いることにより、ある程度構成することができます。しかし、目的が多様化し、また保護すべきプライバシー情報も画一的でなくなってきている昨今、それらの方向性の異なる要求事項を1つのシステムで実現することは困難もしくは構成すること

が出来たとしてもシステムの肥大化を招いてしまいます。

● 我々の目指す安全かつ利便性の高いセキュリティ技術

そこで私たちの研究室では、プラットフォーム上でのユーザおよびサービス提供側などの様々な要求条件にフレキシブルに応えられるプライバシー保護機能を備えた認証方法の提供を可能にする暗号技術を研究対象としています。

例えば1つのプラットフォームで、電子投票や申請システムやアンケートなどそれぞれの目的・保護したいものの要求条件に沿った機能を提供可能となる総合情報基盤を目指しています。

これらの実現により、コスト面では、1システム数百万から数億円かかる複数システムを1システム分のコストで提供することが可能となります。また、機能面では、1つのプラットフォー

ム上でユーザ・サービス提供側双方の安全性を保持した上で、個別ユーザごとの、またサービス提供者ごとの異なる要求事項や、ユーザの利用目的や提供サービスごとに異なる必要な機能などをフレキシブルに実現できるプライバシー保護機能を備えた認証の提供が可能となります。

具体的には、図に示すように、目的により異なるプロトコル(メッセージの内容を匿名にするブラインド署名、署名者のIDを匿名にするグループ署名など)を構成するために、それぞれのプロトコルを個別に構成するのではなく、1つのデジタル署名を活用することにより、両方のプロトコルの機能を同一のプラットフォーム上で提供することが可能となります。また、効率面では従来技術を複数用いた構成に比べ、システム全体としてのコンパクト化を実現でき、利便性についても、用途ごとへのフレキシブルな機能提供が可能となります。

提案方式の特徴

メッセージや署名の匿名性を守りながら正しい署名であることは検証できる機能を効率的に提供可能

提案方式の応用

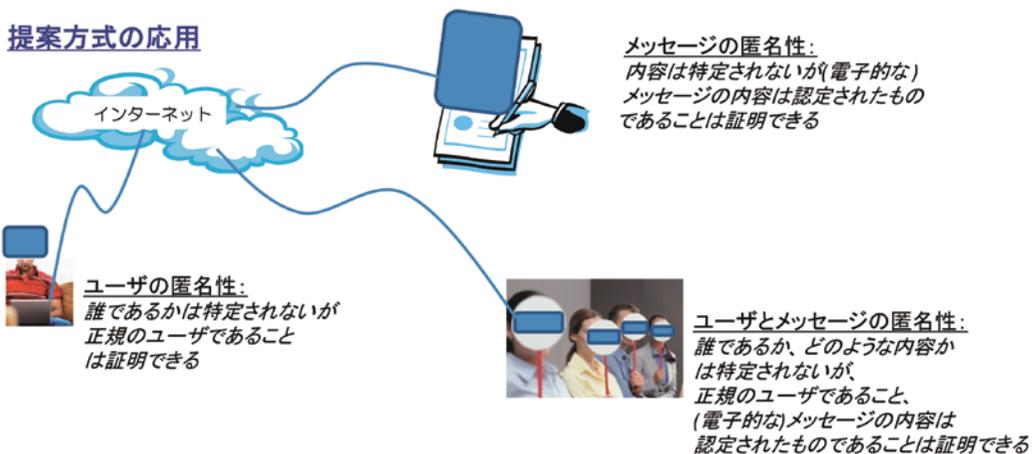


図 プライバシ保護のための提案方式の活用イメージ

● 今後の展望

ネットワークの利用用途は限りなく広がって
いく可能性を秘めています。私たちの研究室
ではその可能性を最大限に伸ばしていけるよ
う、セキュリティの技術を防御するための
手段として用いるのではなく、その可能性を
促進する手段として活かしていきたいと考
えています。

I-1
光
ネット
ワーク
技術

I-2
ワイヤレス
ネット
ワーク
技術

I-3
ネット
ワーク
セキュ
リティ
技術

I-4
新世代
ネット
ワーク
基礎
構成
技術

II
ユバ
サル
ミニ
データ
セン
サ
基礎
技術

III
未
来
IC
基礎
技術

IV
電
磁
波
セン
シン
グ
基礎
技術

過不足のないセキュリティを実現する セキュリティアーキテクチャ

ーネットワーク利用者の状況に合わせたセキュリティの実現ー

松尾 真一郎 (まつお しんいちろう)

ネットワークセキュリティ研究所
セキュリティアーキテクチャ研究室 室長

博士 (工学)。大学院修了後、1996年にNTTデータ通信株式会社に入社、情報セキュリティと暗号の応用に関する研究に従事。2009年にNICTに入所、2011年から現職。情報セキュリティの研究は国際標準化が重要であり、ISO/IEC JTC1における暗号技術の標準化作業の日本における主査を務め、国際標準化のために世界を飛び回る日々を送っています。日本発のセキュリティ技術が世界で利用される例を1つでも多く作るのが夢です。

「ネットワーク上のサービスを利用する際に、利用者にとって確認しにくいセキュリティを可視化し、複雑なシステムでも適切なセキュリティ技術を利用可能にします。」



● ネットワークの多様化とセキュリティ対策の複雑化

近年、ネットワークにおける様々な処理やサービスの環境が大きく変化しています。従来は、いわゆるクライアント・サーバという形態でサービスが実現され、情報セキュリティの設計もこの形態に合わせた形で行われてきました。しかし、クラウドコンピューティングが普及し、セキュリティを考える際の出発点となる情報資産の保管場所が多様化するとともに、スマートフォン、センサーやRFIDタグなど、従来のセキュリティ技術が保護の対象としていなかったデバイスが大量にネットワークに接続されるようになってきました。NICTが実現を目指している新世代ネットワークにおいても、およそ10兆個のデバイスがネットワークに接続され、ネットワーク仮想化やID・ロケータ分離^{*1}などの技術をベースにして、状況に応じた通信環境を提供することが目標になっています。

従来の情報通信技術(ICT)でのシステムにおけるセキュリティは、ITU-T^{*2}やIETF^{*3}などで

標準化されている技術を利用して実現されてきていますが、これらの技術は画一的な環境やセキュリティ要求に対応するものでした。しかし、ネットワーク環境が多様化・複雑化する場合には、ネットワークにおけるセキュリティ上の脅威も複雑化し、脅威への対策を見つけ出すことは非常に困難になります。このような状況では、既存のセキュリティ技術では、必要なセキュリティ対策が取られていなかったり、逆に過剰な対策で通信速度を犠牲にするケースが多く出現することになります。

そこで、このような複雑なネットワーク上の脅威に対して、過不足のないセキュリティ対策をタイムリーに実現するための仕組みが必要となっています。

● 過不足のないタイムリーなセキュリティ対策

ICTにおけるセキュリティ確保の基本的な考え方は従来から存在しますが、いたってシンプルです。

	(Ⅰ)脆弱性に起因しない攻撃	(Ⅱ)脆弱性に起因した攻撃
攻撃	サービス不能(DoS)攻撃など	不正侵入、マルウェア感染、情報詐取、プライバシー情報漏洩など
観測・分析技術	nicterによる攻撃の観測・分析 (サイバーセキュリティ研究室)	
		攻撃の原因となる脆弱性の分析や脆弱性への対処の大部分は人海戦術で実施
対策技術	nicterアラート/マルウェア対策ユーザサポート技術/予防基盤技術(サイバーセキュリティ研究室)	
	攻撃発生時のシステムレベルのマイグレーションは自動化困難	現在の認証・プライバシー保護技術は多様かつ膨大な数のデバイスには対応できない

図1 ICTにおけるセキュリティの分析と対策の分類と課題

あるサービスを実現するシステムを設計するときに、守るべき情報資産(クレジットカード番号、個人情報、パスワード)などと、その保管場所を洗い出し、個々の場所に保管された情報への攻撃の成功確率を見積もり、損害の期待値から優先順位付けを行い、カバーすべき攻撃について、必要な対策技術をシステムに組み込みます。この考え方自体は普遍的なものであり、将来においても大きくは変わらないと考えられます。しかし、システムが稼働した後にシステムの脆弱性が新たに発見された場合の対応は、該当するシステムの仕様に精通し、かつネットワークセキュリティのエキスパートが人海戦術で行っているというのが実情です。何が適切なパッチなのか、新しいパッチがセキュリティや性能の問題を引き起こさないのかなど、セキュリティパッチの管理だけでも膨大で、難しい作業になります(図1)。

新しい時代のネットワークに必要なことは、システム設計の時点だけではなく、いつまでもシステムがセキュアであることです。そのために、システム設計の時に必要な対策を見つけ出すこと、システム運用時に発生する脆弱性にタイムリーに

対応できること、脆弱性や脅威への対策は過不足がない、すなわち十分かつ通信性能を極力犠牲にしていないことが求められます。

● 新たなセキュリティアーキテクチャの実現に向けて

現在、我々が研究しているセキュリティアーキテクチャでは、複雑化するネットワークにおいて過不足のないタイムリーなセキュリティを提供する「フレキシブルセキュリティ基盤」と、モノに付けられるような計算能力の低いデバイスを含む10兆個のノードに対応できる認証・プライバシー保護技術「セキュリティコンポーネント」の実現のための技術の実現を目指しています。

フレキシブルセキュリティ基盤では、過不足のないタイムリーなセキュリティ対策を導出するための、セキュリティ知識ベース・分析エンジンの実現を目指しています(図2)。セキュリティ知識ベースは、ネットワーク機器等に潜む脆弱性、対策技術、ネットワーク形態、ネットワーク機器の性能などのデータベース(DB)を総称したものです。

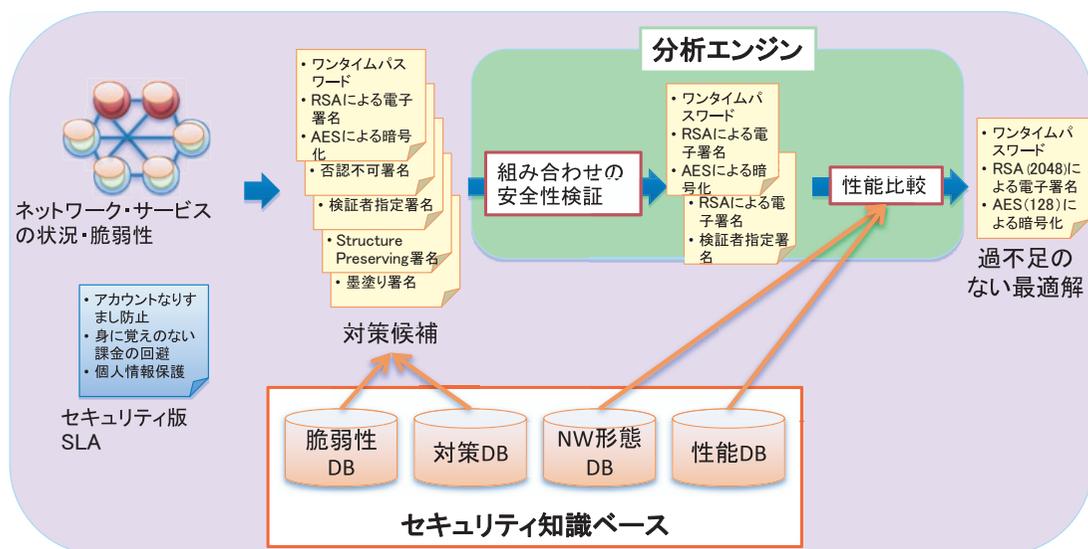


図2 セキュリティ知識ベース・分析エンジンの概念図

サイバーセキュリティ研究室のnicterの観測結果とも連携します。そして、分析エンジンは、セキュリティ知識ベースと連携し、複数のセキュリティ対策案の中から、安全かつ処理性能が一番高い対策を選び出すことで、過不足のないセキュリティを実現するものです。すでに、第一歩としてモバイル機器の利用者に向けて、その時に使っているサービスの脆弱性をセキュリティ知識ベースから引き出し iPad や Android タブレット上で可視化する Risk Visualizer(図 3)のプロトタイプを構築しました。フレキシブルセキュリティ基盤は、ネットワーク仮想化や ID・ロケータ分離といった新世代ネットワークの特長を活かすことで、新世代ネットワークにおける次世代のセキュリティの基盤となります。

セキュリティコンポーネントにおいては、計算能力の低いデバイスでも利用可能な認証・プライバシー保護技術を確立するとともに、異なる管理下にあるネットワーク同士でも認証やプライバシー保護ができる技術を研究しており、匿名性と文書の秘匿性を同時に実現できるプライバシー保護技術や、RFID タグ向けの認証技術を確立しています。これらの研究も、新世代ネットワークの実証に組み込む予定です。



図3 Risk Visualizerシステムにおけるネットワーク利用のリスク表示例

用語解説

*1 ID・ロケータ分離

端末の名前と位置を示す識別子を別々に管理し、方式が異なるネットワークでも、同じ ID を使用することで、端末の移動や経路上の障害等によりネットワークが切り替わっても継続して通信を可能とする NICT が開発している技術。

*2 ITU-T

国際連合の専門機関の1つである国際電気通信連合 (ITU) の電気通信標準化部門。

*3 IETF

インターネット技術の標準化について検討を行う組織。ここで策定された技術仕様は RFC として公表される。

I-4 新世代ネットワーク 次世代ネットワークのさらに先を見据えて



益子 信郎 (ましこ しんろう)

ネットワーク研究本部
副研究本部長

自分で作ることが好きで、野菜作りから家具、庭の造作など家周りで活動しています。学生時代から趣味にしてきた登山も最近は計画倒れの連続で、趣味とは言えない状況ですが、いつか子どもたちと山に行くのが夢です。

「NICTの新世代ネットワーク研究では、未来社会の基礎となるネットワークの開発を目指して、NICT内外の研究者を集結し、産学官の連携のもとに研究を推進しています。」

はじめに

ネットワーク環境の進歩により現代社会は大きく発展を遂げており、インターネットは、今や社会基盤として市民生活に欠くことのできないものとなっています。しかし一方で、インターネットでやりとりされるデータ量は爆発的に増え続けており、2025年には現在の数十倍から数百倍になると推定されています。そうすると、ICT機器の使用電力が増大し、エネルギー消費の観点からネットワークを自由に使えなくな

ります。また、セキュリティ面では、大量のデータや不正パケットを送りつけてサービスを妨害するDoS攻撃や迷惑メール問題など、複雑かつ巧妙化する脅威に対して抜本的な対策が求められています。さらに、ネットワークの構造そのものについても、次々と新しい要求に対処した結果、機能の重複や互換性の問題が発生しています。現行のインターネットのシステムにおいて、このような状態が続けば、やがてネットワークは行き詰ってしまうでしょう。この状況を打破するために、これまでのインターネッ

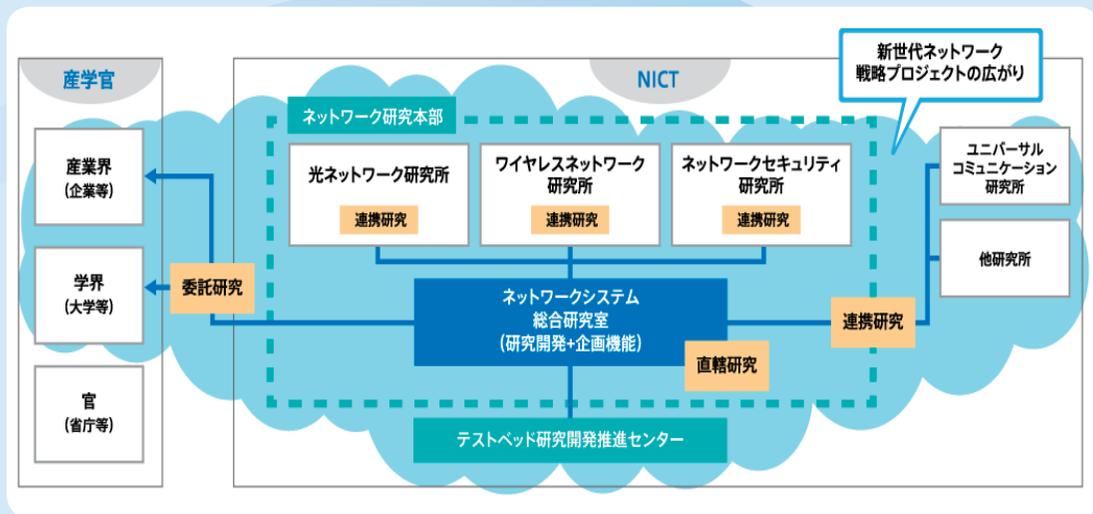


図1 新世代ネットワーク研究体制

トの改良ではなく、白紙から新しく作り直すべく研究開発を進めているのが「新世代ネットワーク」です。未来社会で新世代ネットワークが果たすべき役割は何かというビジョンを作成し、実現のために必要となる様々なネットワーク技術の研究開発に取り組んでいます。様々な社会問題を情報通信技術の力で解決し、個人や社会の潜在能力を開花させることにより、豊かで持続発展可能な社会の実現を目指しています。

● 新世代ネットワーク研究

NICT では、物理層からアプリケーション層まで各レベルでの研究開発から、それらの技術を統合したシステム開発までに至る総合的な研究開発を、産学官が連携して取り組んだ新世代ネットワーク戦略プロジェクトを開始しました(図1)。また、開発された技術を実際のネットワークに適用した際に安定して動作するかについて検証するテストベッドを用意し、システムの実用上の課題を検証しています。さらに、これらの一連の活動を企画、連動させるために、ネットワーク研究本部を設置するとともに、産学官連携の場である新世代ネットワーク推進フォーラ

ムを設置し、新世代ネットワークに関する戦略・方針を検討しています。

新世代ネットワークの研究開発は、有線、無線をシームレスにとらえ、物理レベルからコンテンツレベルまで、先端技術から応用技術までを総合的に推進する必要があります。また、このような広範囲にわたる研究開発には国を挙げて取り組む必要があること、大学などの研究機関における独創的な研究が研究開発の加速には不可欠であること、産業界における新世代ネットワーク実現に向けた研究開発にプロジェクトの成果を円滑に継承させる必要があることを考慮し、産学官が緊密に連携する体制の構築が必要です。このため、新世代ネットワーク戦略プロジェクトでは、委託研究や共同研究の枠組みを活用し、伝送技術からサービス技術まで大学や民間企業と連携しつつ複数の研究開発プロジェクトを立ち上げ、新世代ネットワーク実現のため研究開発を推進しています(図2)。

● 新世代ネットワーク技術の展開

テストベッド研究開発推進センターでは、新世代ネットワーク技術の確立に向け、様々な新技術を実装する新世代通信網テストベッド

「JGN-X」と、大規模なネットワークエミュレーションを可能とする「StarBED³」等を活用し、産学官による研究開発と実証をスパイラル的に進展させ、そのプロトタイプ構築と運用を目指します。JGNは、先端的なネットワーク技術の研究開発や多様なアプリケーションの実証実験を推進するための大規模な研究開発用テストベッドネットワークとして、1999年からのJGN、2004年からのJGN2、2008年からのJGN2plusとして継続的に運用され、その都度、最先端の機能、性能を取り込みながら発展してきました。またStarBEDは、大規模汎用のネットワークシミュレーターとして、2002年からのStarBED、2006年からのStarBED2として継続的に運用され、インターネットからユビキタスネットワークへとミッションスコープを拡大してきました。

2011年4月、NICTの第3期中期計画スタートに合わせ、テストベッド研究開発推進センターを設置し、テストベッドを活用した研究開発体制を強化するとともに、機能、性能をバージョンアップしたJGN-X及びStarBED³の運用を開始しました(図3)。JGN-Xでは構築・運用の目的を新世代ネットワーク技術の確立とその展開にフォーカスし、日本を縦断する広域ネットワークに様々な新技術を実装するテストベッド環境を活用することで、ネットワークユーザと効果的に連携して、無線・光技術の統合管理、ネットワークの仮想化、多種多様レイヤの運用管理等の研究開発を加速していきます。また、「StarBED³」と一体化することで、エミュレーションから広域ネットワークでの実証に至るまで、ネットワークの総合的なテストベッド環境が提供可能になります。

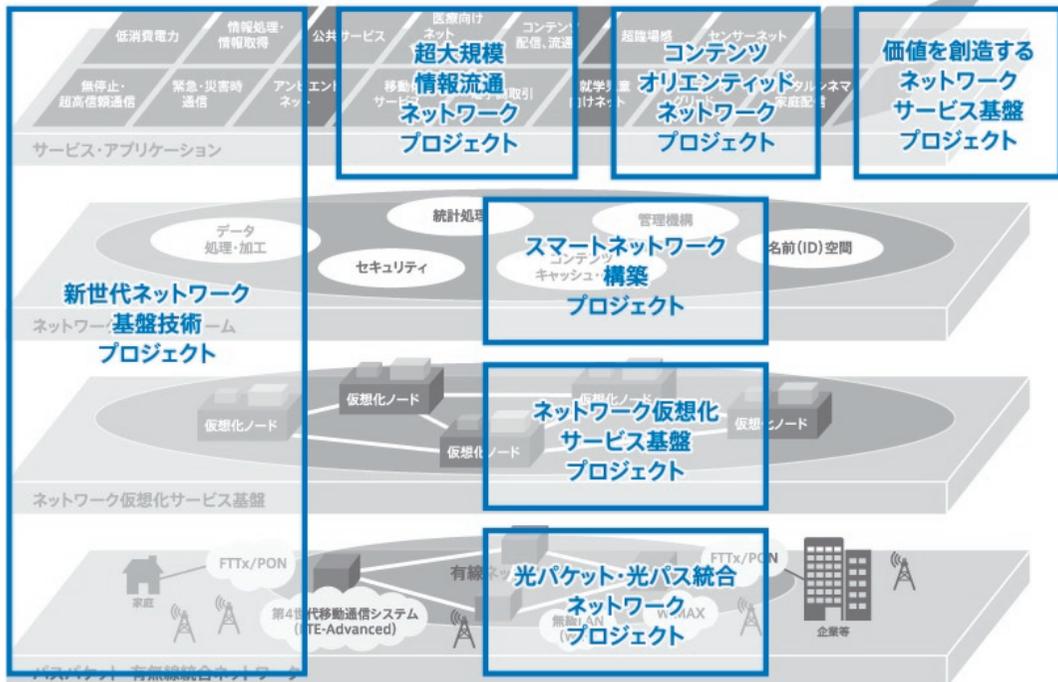


図2 新世代ネットワーク戦略プロジェクト

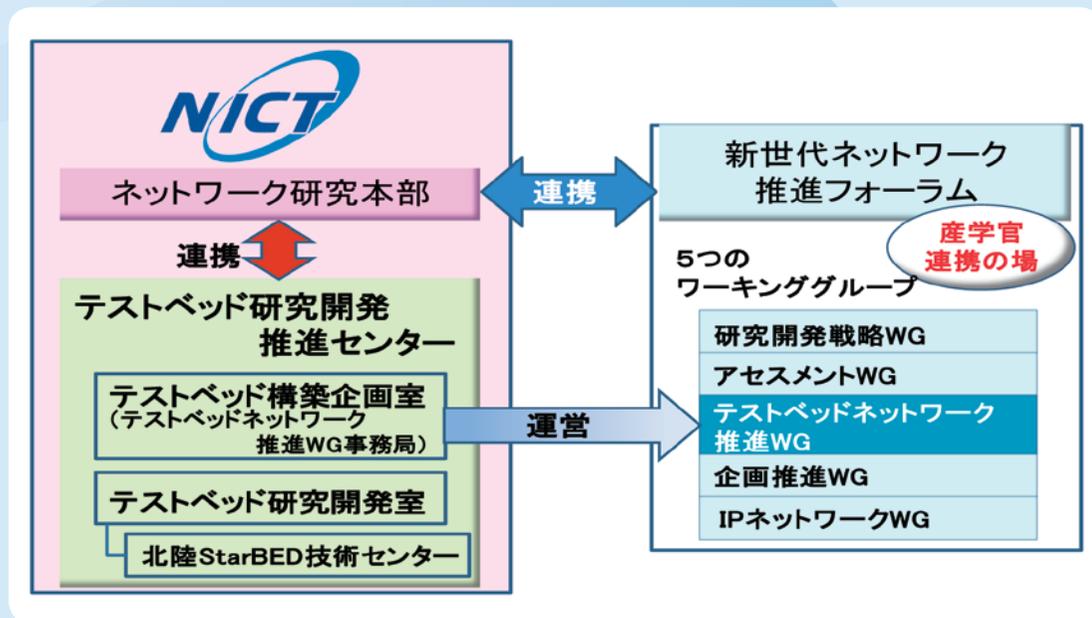


図3 新世代ネットワークの研究開発の推進体制

テストベッド研究開発推進センターでは、この JGN-X と StarBED³ を核としたテストベッド環境を活用し、産学官による新世代ネットワーク技術の研究開発と実証をスパイラル的に進展させ、その成果を本環境にタイムリーにフィードバックするとともに、ワイヤレス等のテストベッドとの連携を拡大していくことで、新世代ネットワークのプロトタイプを構築していきます。

新しいネットワークのかたち ITU-T Y.3001について

—新世代ネットワークの国際標準化がスタート—

「インターネットが動き始めてからもう何十年も経ちました。この勧告には世界の人々の新しいネットワークへの期待が詰まっています。」

西永望 (にしなが のぞむ)

ネットワーク研究本部

ネットワークシステム総合研究室 室長

大学院修了後、名古屋大学特別研究員、助手を経て、1999年郵政省通信総合研究所(現 NICT)に入所。博士(工学)。現在は大学時代の専門分野とは異なり、新世代ネットワークのプロモーションを生業として、日々世界を渡り歩いています。

● 新世代ネットワークの必要性とその標準化の成り立ち

インターネットは30年近く前に今とほぼ同じ構成(アーキテクチャ)になりました。その頃にインターネットを使える人はネットワークの研究者が中心だったといわれています。そのため、インターネットにつながっている人は仲間同士で、ネットワークセキュリティを考慮に入れませんでした。その当時インターネットは、仲間内で、メールやデータをやりとりする小さいネットワークだったのです。しかし今はどうでしょう。日本のインターネットの人口普及率は78%を超え、世界では20億人近くがインターネットを利用しています。インターネットを使ったアプリケーションも次々と生まれました。しかし、



このままでいいのでしょうか？いいえ、いつかは破綻するでしょう。そこで今のインターネットに替わる新しいネットワークが必要になります。この新しいネットワークを日本では「新世代ネットワーク」、世界では「将来ネットワーク(Future Networks)」と呼んでいます。NICTはこのインターネットの問題点にいち早く気づき、2006年頃から新世代ネットワークの研究開発に着手しました。NICTでは新世代ネットワーク技術の基礎検討を始めながら、社会的視点から、「どのような新世代ネットワークが将来望まれるか？」を中心に新世代ネットワークのビジョンや新世代ネットワークの実現目標を策定してきており、これを世界初の国際標準化の取組みに対して多数提案してきました。そして新しいネットワークの形、ITU-T Y.3001が策定されました。

● ITU 勧告*1 Y.3001*2 の内容

Y.3001は4つの目的と12の設計目標からなる将来ネットワークに関する世界で最初の標準化文書です。Y.3001では、以下の4つの目的を持つネットワークを将来ネットワークとして位置づけています。

1. サービス指向(Service awareness)

将来ネットワークは、アプリケーションやユーザーが要求するサービスを適切に提供することを目的とします。すなわち、ユーザーが今、使いたいサービス(たとえばメールの配信、Webページの閲覧)だけでなく、今後新しく爆発的に増えるサービスについても、管理や展開コストが著しく上昇しないように対応できるネットワークです。そのためにネットワークはアプリケーションやユーザーに最適となるように柔軟性を持たなければなりません。

2. データ指向(Data awareness)

将来ネットワークは分散環境に置かれた膨大なデータを処理するための最適な構成をしており、必要なデータがどこにあるとも、ユーザーが安全で、簡単に、素早くかつ正確にアクセスできることを目的とします。

3. 環境指向(Environmental awareness)

将来ネットワークでは、環境に配慮し、基本的な構成の設計やその結果としての実装、稼働時において、材料やエネルギー、温室効果ガスの削減をし、環境への影響を最小限に抑えることができます

4. 社会経済的観点

(Social and economic awareness)

将来ネットワークは、ネットワークを中心とした経済サイクルに、様々なプレイヤーが容易に参入できるように様々な社会経済的な課題に取り組みます。また、将来ネットワークは普及が容易で持続的であるために、ライフサイクルコストを削減できるような構成となります。これらによりユニバーサルサービスが可能で、すべてのステークホルダ(利害関係者)に適切な競争と適切な利益をもたらすものとなります。

これら4つの目的を達成するために、より具体的に12の設計目標を設定しました。以下の通りです。

1. 様々なトラフィック特性や振る舞いを持つネットワークサービスを収容できる**サービスの多様性(Service diversity)**
2. 新しいユーザーからの要求によって生まれる新しいサービスをサポートするための**機能的柔軟性(Functional flexibility)**

3. ネットワークの利用効率を向上させるための**資源の仮想化(Virtualization of resources)**
4. 大量のデータを最適かつ効率的に処理できる**データアクセス(Data access)性**
5. エネルギー効率を最大化させると共にユーザーの要求を最小のトラフィックで実現できるようにする**エネルギー消費量(Energy consumption)**
6. 地域にかかわらず、ネットワーク設備の提供を促進し、加速できる**サービスの普遍化(Service universalization)**
7. 持続的な競争環境を提供する**経済的インセンティブ(Economic incentives)**
8. 効率的に動作、維持が可能で、かつサービスや通信の増加をサポートできる**ネットワーク管理(Network management)**
9. 膨大な数の通信機器が様々な種類の異なるネットワーク間をダイナミックに移動する**モビリティ(Mobility)**
10. サービス要件とユーザーの要求に基づいて、ネットワーク機器の性能を**最適化(Optimization)可能**
11. モビリティとデータアクセスをスケーラブルにサポートできる**識別(Identification)**
12. 困難な状況においても、耐障害性を持つ**信頼性とセキュリティ(Reliability and security)**

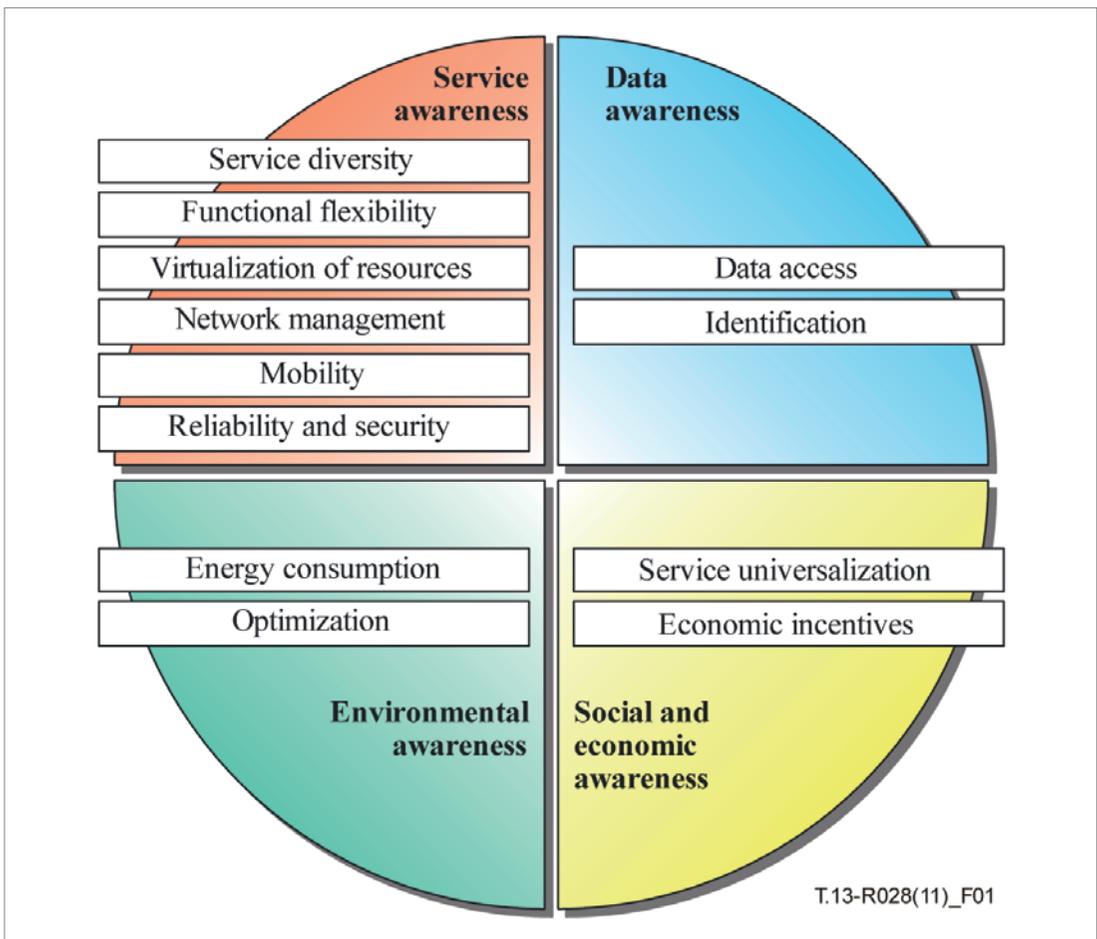


図 4つの目的と12の設計目標

将来ネットワークの目的と設計目標との関係を図に示します。設計目標によっては2つ以上の目的と関連するものもありますが、この図では主要なものに関係づけて表現されています。

● 将来ネットワークの今後

このY.3001は将来ネットワークの目的と設計目標を記述した文書で、将来ネットワークを構築するためには、様々な技術開発が必要となります。日本ではNICTが中心となって、産学官で新世代ネットワークを開発する、新世代ネットワーク戦略プロジェクトがすでに進行中です。今後は詳細部分の技術開発を進めると共に、開発した技術が世界中で使われるように国際標準化活動を推進していきます。

用語解説

*1 ITU 勧告

情報通信分野におけるデジュール標準規格。国内標準はデジュール標準を基礎として用いなければならないほか、政府調達においては、適当な場合にはデジュール標準に準拠した仕様で調達しなければならない等重要な標準規格。

*2 Yシリーズ

「グローバル情報通信インフラストラクチャー(GII)およびインターネットプロトコル」に関する規定。現在既にサービスが始まっている次世代ネットワーク(NGN)はY.2000シリーズで勧告化された。

参考文献

[1] Recommendation ITU-T Y.3001(2011),
Future Networks: Objectives and Design Goals.

新世代通信網テストベッド JGN-X



下條 真司 (しもじょう しんじ)

テストベッド研究開発推進センター
センター長

ネットワークの進化により、イノベーションを創出し豊かで、安全・安心な社会を新世代ネットワーク技術により実現すべく、欧米、アジアをはじめグローバルに活動中です。「未来を予測する最高の方法は、創造することだ」という米国の計算機科学者 Alan Kay 氏の言葉を信じつつ、活動しています。今年度は、自らもクラウドの中に生活することを決め、目下、様々な抵抗にあいながらも実践中。

「新しいネットワーク技術により、イノベーションを起こすべく NICT では JGN-X と StarBED という2つのテストベッドを展開し、技術開発を行うとともに、広く利用してもらっています。新たなサービスやビジネス創造につながる動きについてここで紹介します。」

● 新世代通信網テストベッド JGN-X

新世代ネットワークは、様々な問題を抱えるインターネットを新しい技術のイノベーションにより変革することによって実現できるものです。しかし、インターネットのように国際間にまたがる多様なステークホルダーと多様な技術が絡み合っていて上がっているものだと、その中でイノベーションを興すことは容易ではありません。そのため、新しい技術やアイデアを現状の技術とすりあわせつつ安全に試してみることで箱庭が必要です。それが、テストベッドです(図1)。テストベッドの目的としては、以下のようなものが挙げられます。

- ・ 複数の製品群との相互接続性と産業エコシステムにおける立ち位置の確認
- ・ 国際連携と標準化

- ・ 技術を実際に展開する際の社会的アセスメントと問題点の洗い出し
- ・ 技術の応用研究と運用に対する人材育成
- ・ 新しいイノベーションの創成

総務省では、1999年から我が国におけるブロードバンド技術の研究開発とその普及を目指してテストベッド網の構築が始まりました。当時、ブロードバンドは普及しておらず、まだMbpsの時代であったことから、将来をにらんでJapan Gigabit Network (JGN)と名付けられました(図2)。1999年4月から2004年3月までのJGN、2004年4月から2008年3月までのJGN2、2008年4月から2011年3月までのJGN2plus、2011年4月からのJGN-Xへと続いています。この間、2004年の通信・放送機構(TAO)と通信総合研究所(CRL)が統合されNICTが設立されたことにより、

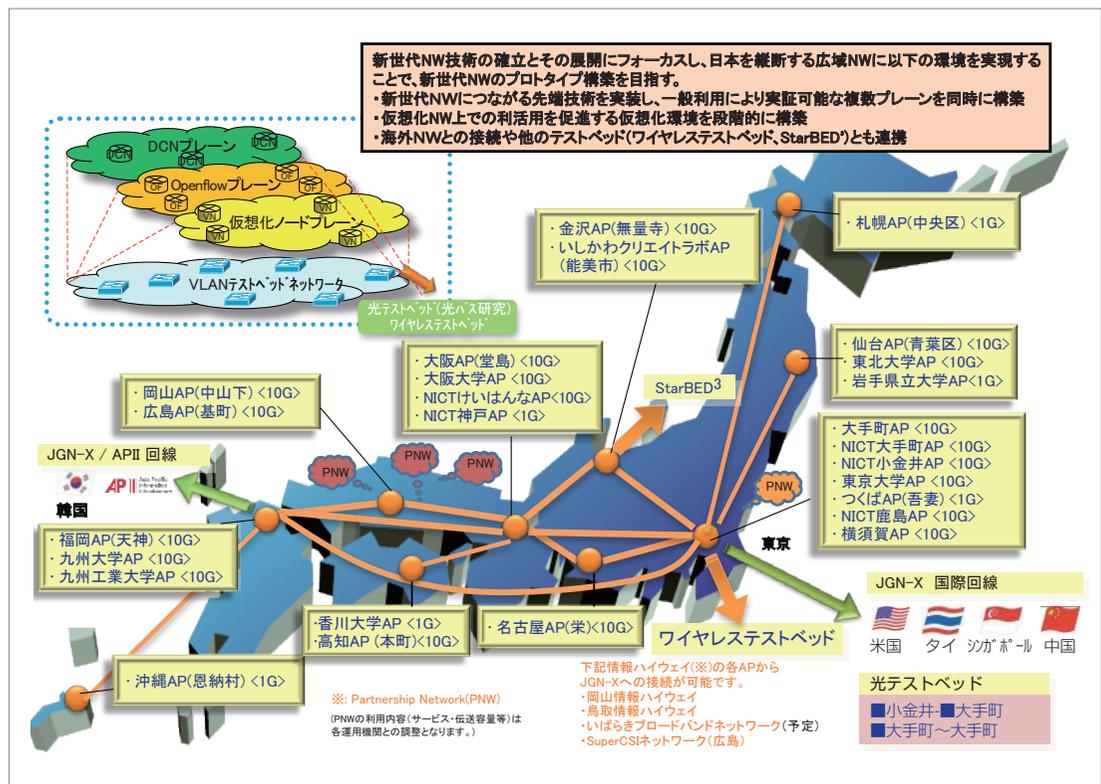


図1 JGN-Xの概要と構成

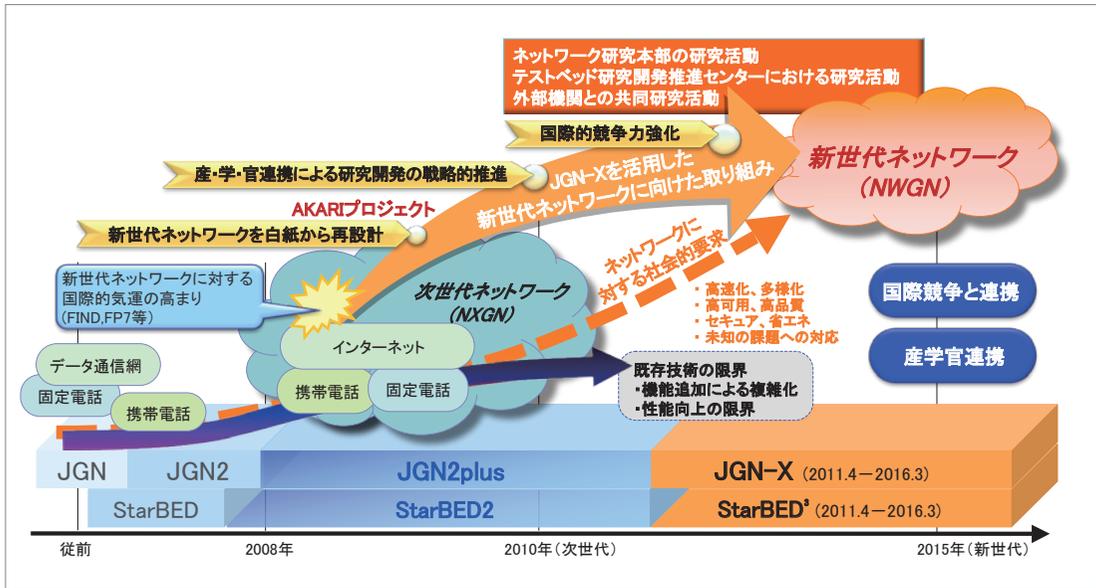


図2 テストベッドの進化

テストベッドの運営主体が NICT に移ることになりました。2011 年から新たな中期計画が始まるのにあわせて、これまで運用してきたネットワークテストベッドに、クラスタから構成される計算機群によるシミュレーション/エミュレーションテストベッド StarBED³ を加えて、2つのテストベッドインフラストラクチャを構築、運用し、利用者に提供しています。ネットワー

クテストベッドである JGN-X とシミュレーション/エミュレーションテストベッドである StarBED³ を統合して、ICT グローバルテストベッドと呼んでいます。これまでのインフラ偏重のテストベッド整備からサービスプラットフォームという、より上位サービスを提供するテストベッドへと大きく変貌を遂げ、2015 年頃までに最先端技術を組み込んだ大規模な実験ネットワークおよびエ

ミュレーション環境を順次構築・運用するとともに、実験ネットワークについては NICT で研究開発を進めている新世代ネットワークのプロトタイプに進化させ、2020 年頃には新世代ネットワークの実現を目指しています。



図3 SuperComputingでの国際バス設定の実験展示

● 新世代ネットワークへの進化

新世代ネットワークに向けて、様々な技術要素が提案されており、そのイメージは混沌としています。しかし、利用者側から期待されている新世代ネットワークはこれまでの単なる土管としてのネットワークではなく、セキュリティや QoS などの様々な要求にタイムリーに応える利用者それぞれに対するオンデマンドサービスネットワークです。

これを実現するための基盤的な機能が、ネットワーク仮想化です。すなわち、物理的なネットワークの上に、利用者それぞれのニーズに対応する仮想的なネットワークを複数、オンデマンドに作り出すことができる機能です。

JGN-X では、このネットワーク仮想化技術を活用して、新世代ネットワークプレーンと呼ぶインフラを構築し、その中長期的な運用および一般利用提供を通じて、新世代ネットワーク技術の実用化および普及を目指す取り組みを

開始しています。いくつかのプレーンが JGN-X 上に同時に存在しており、それぞれの仮想ネットワークの中では、各利用者が自分たちのためだけのネットワークサービスを受けています。また、このネットワーク仮想化技術は、光パス・パケットスイッチのような柔軟な光ネットワークの上でこそ真価を発揮するため、早期の導入が望まれています。JGN-X ではネットワーク仮想化技術をはじめとするさまざまな新世代ネットワーク技術をいち早くテストベッド内に展開、サービスとして利用者に提供することで新しいサービスを利用した応用が花開くことも期待しています。また、JGN-X は米国、タイ、シンガポール、香港に足を持つ国際テストベッドであり、アジア太平洋地域への技術展開、協力が促進されることを狙っています。その成果は放送局と連携したさっぽろ雪まつりでの実証実験や SuperComputing での国際的連携成果として現れています(図 3、4)。



図4 さっぽろ雪まつりでの映像伝送実験の様相

大規模エミュレーション環境 StarBED³ (スターベッド・キュービック)

—新世代のネットワーク技術を検証可能とするために—

三輪 信介 (みわ しんすけ)

テストベッド研究開発推進センター
テストベッド研究開発室 副室長
北陸 StarBED 技術センター センター長

大学院博士課程修了後、北陸先端科学技術大学院大学助手を経て、2001年独立行政法人通信総合研究所(現NICT)に入所。非常時通信、セキュリティテストベッドなどの研究に従事。博士(情報科学)。NICTでは、テストベッドとネットワークセキュリティの2足のわらじを履いています。実はさらに日本地域経済学会に所属する経済学者でもあるというマルチタレントが売りです。

「StarBED³では、複雑なシステムや様々なネットワーク、デバイスを模擬する技術を研究開発し、新世代ネットワーク技術の研究開発を支援する基盤を提供しています。」



はじめに

NICT では、さまざまな新世代のネットワーク技術やその上でのサービス技術の研究開発における検証や実験の基盤として、大規模エミュレーション環境 StarBED³ を構築・運用しています。ここでは、この StarBED³ について紹介します。

StarBED とは？

StarBED は 2002 年に当時の通信・放送機構により北陸 IT 研究開発センターに構築されました。2006 年からは NICT の北陸リサーチセンターとして、第 2 期プロジェクト(StarBED2 Project) を開始し、2011 年 3 月末の終了まで、特に、いかに本物に近い複雑さや規模を持った環境を実現するかに焦点を当てた検証・実験環境を提供してきました(図 1)。

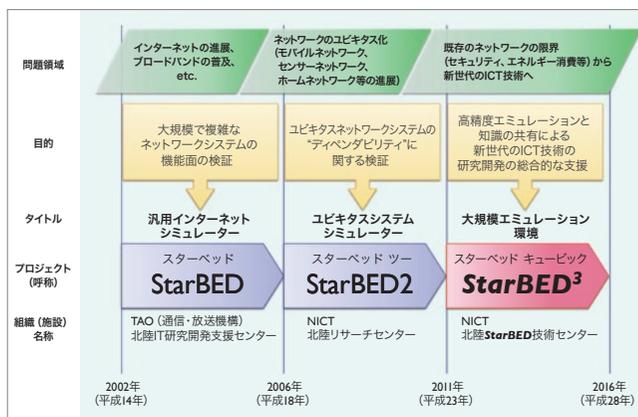


図1 StarBEDの変遷

さらに、2011年4月より新しいプロジェクトとして開始した StarBED³ では、組織を一新し、広域のネットワークテストベッド網である JGN-X と同じチームとして、施設も北陸 StarBED 技術センターとして、新たなスタートを切りました。StarBED³ では、さらに複雑化・大規模化しながら進化を続ける ICT 環境に対応し、起こりうる問題を予測するような検証や、実際に運用を行う人材の育成を行うための基盤の構築と提供を目指しています(図 2)。

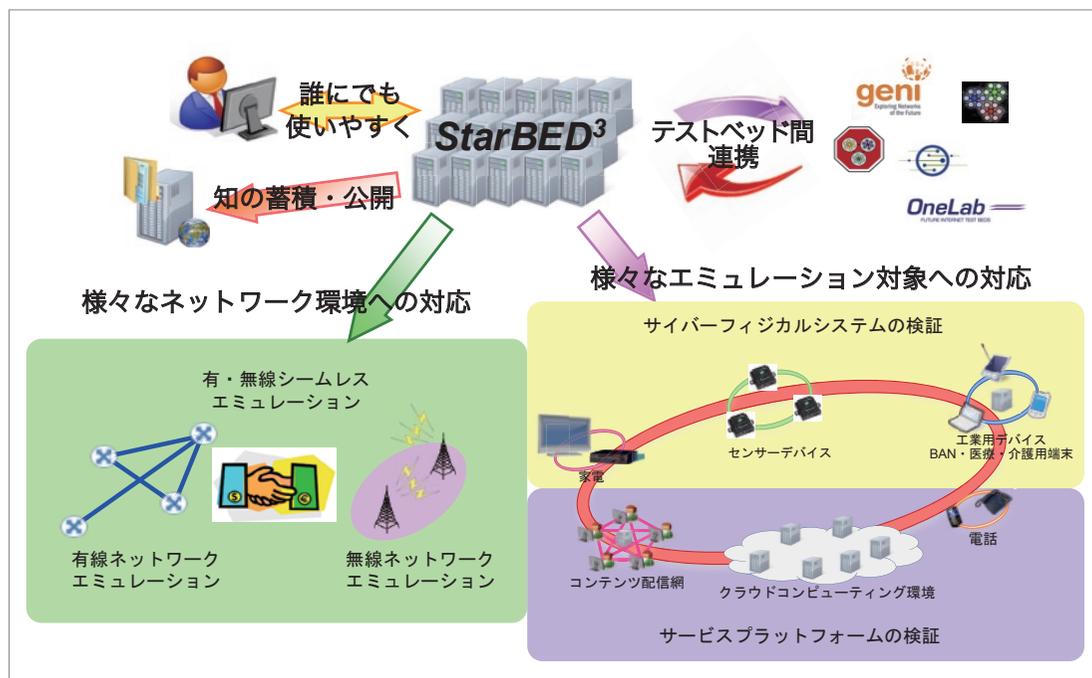


図2 StarBED³の研究課題イメージ

StarBED の技術

北陸 StarBED 技術センターでは、1,000 台以上もの多数の PC サーバと 100Gbps を超える広帯域の相互接続スイッチといった設備を構築し、運用するだけでなく、その上にさらにインターネットそのものや無線、ユビキタスシステムなどを模擬するエミュレーション技術など検証・実験を支援する技術を研究開発しています。

例えば、StarBED の 1,000 台以上の PC サーバや相互接続を制御しながら実験を進めるための支援ツール群 SpringOS、物理的には有線ネットワークしか用意されていない StarBED で無線ネットワークを模擬するための QOMET、物理環境などの異なる環境やセンサーネットワークとホームネットワークなど異なる種類のネットワークを同じ時間軸の上でエミュレートできるようにする Rune など、大規模エミュレーション環境の

制御からエミュレーション技術まで幅広く研究開発を続けています(図 3)。

StarBED の利用事例

StarBED は、共同研究などを通して、多くの方に利用されています。ここでは一例として、NICT 内部での利用事例をご紹介します。

NICT では、サイバーセキュリティについてもさまざまな研究開発を行っており、その一環として、ウィルスやワーム・ボットなどのマルウェアの脅威を体験したり分析したりできる環境として、「小規模攻撃再現環境」を開発、構築してきました。小規模攻撃再現環境では、社内ネットワークなどを再現した環境で実際のマルウェアなどを発生させ、その挙動をホストおよびネットワークの両面から分析し、対処方法を安全に体験できます。小規模攻撃再現環境では、隔離した環境

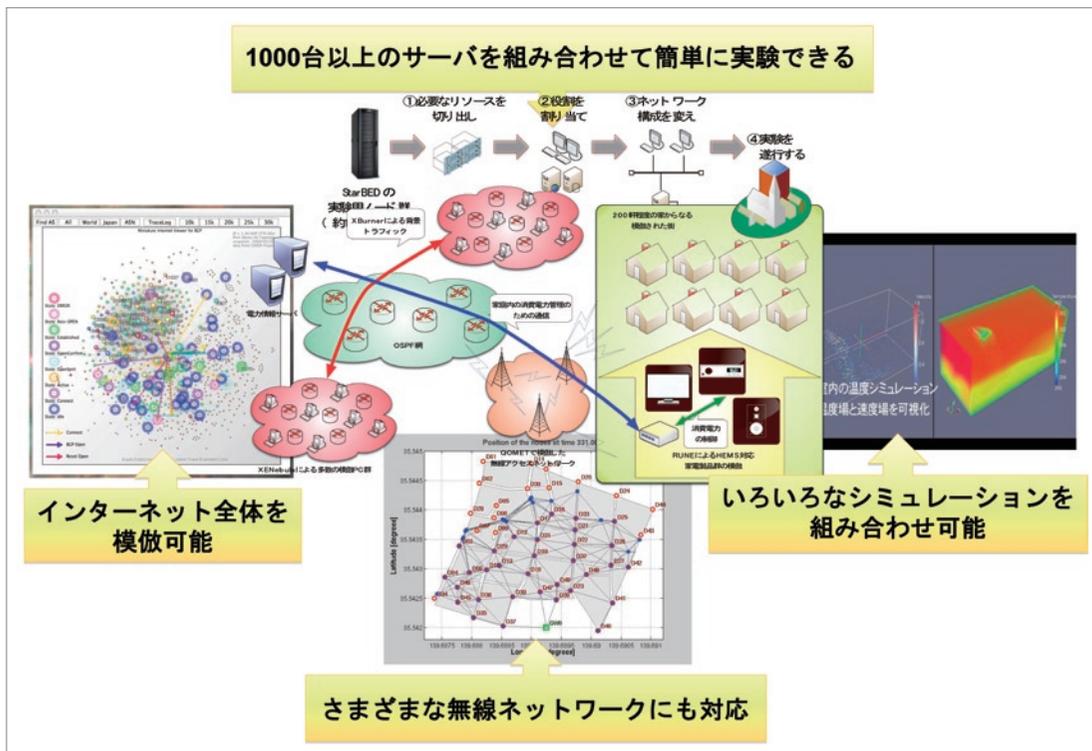


図3 StarBEDの技術

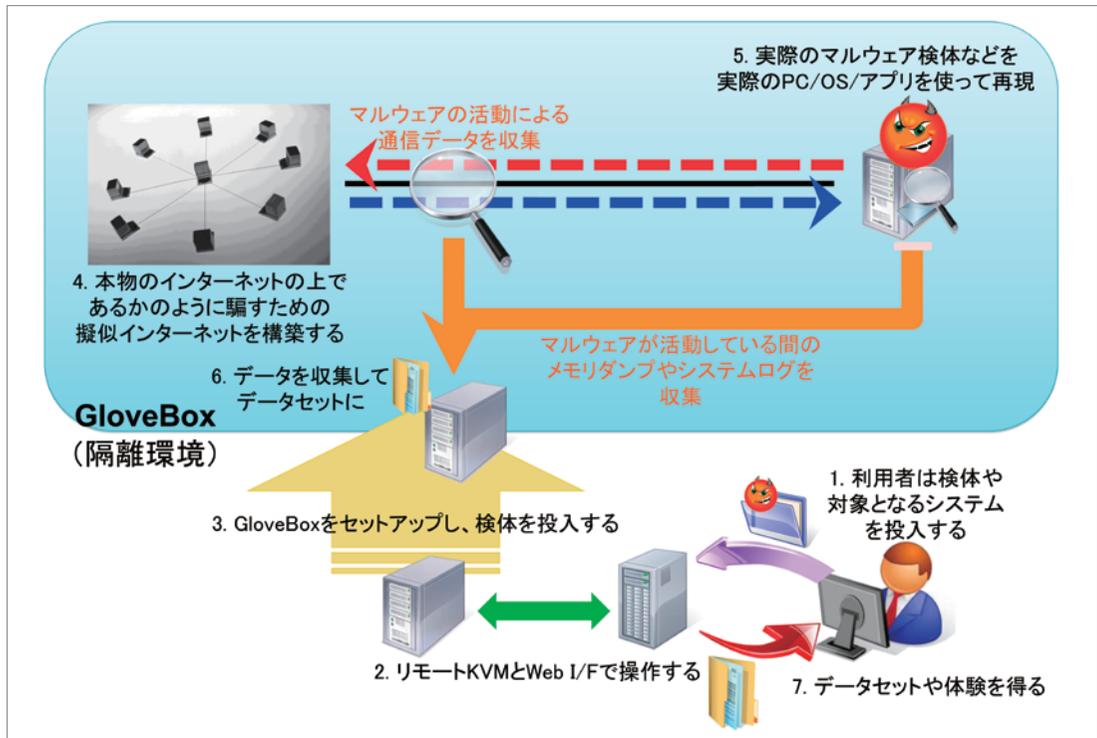


図4 小規模攻撃再現環境の概要

内でマルウェア等が動作するために、本来なら汚染される危険が伴うマルウェア等の分析や体験を安全に行うことができます(図4)。

StarBED は、インターネットなどと接続するための設定を特段行わなければ、インターネットなどとは接続されていない隔離環境として使うことができます。小規模攻撃再現環境の開発の際には、実際に StarBED 上に小規模攻撃再現環境のプロトタイプを構築し、隔離の具合や実際のマルウェア等に関するデータがきちんと取得できるのかなどの実験を行い、その結果を反映する形で小規模攻撃再現環境が構築されました。

このように、プロトタイプシステムを StarBED で構築して、その効果を検証した上で、実際のシステムを構築するような方法は、研究開発のコストやシステム構築失敗のリスクを下げる上で非常に有効な方法です。StarBED は、さまざまな検証・実験に使うことができる汎用の大規模エミュレーション環境を集中的に用意することで、NICT だ

けではなく社会全体の研究開発のコストやリスクを引き下げることに貢献できると考えています。

● おわりに

StarBED³ では、複雑化する ICT 環境に対応するために、StarBED 自身のエミュレーション能力の向上と、StarBED 以外のテストベッドとの連携機能の強化の 2 つのアプローチを採りたいと考えています。

幸いなことに、StarBED³ からはプロジェクトの組織体制が変更され、日本全域にわたる新世代のネットワークテストベッドである JGN-X と同じチームで研究開発を行っています。これによって、有機的なテストベッドの融合によるシナジーが得られるはずで。我々は、さらなる研究開発を続けることで、JGN-X と StarBED³ を中心としたテストベッドを、ICT 環境のいろいろな軸への拡大に対応させていきたいと思。い。