

活発化する新世代ネットワークと フューチャーインターネットの動向

三橋 昭和 株式会社インプレスR&D インターネットメディア総合研究所 所長

米国で急ピッチに進む GENI テストベッド: スパイラル2 が10月から稼働へ 日本は2011年度から NWGN 用次期 JGN テストベッドがスタート

2015年～2020年の稼働を目指して国際的に研究開発が進められている新世代ネットワーク (NWGN) あるいは欧米でのフューチャーインターネットが、実証実験に向けていよいよ具体的な姿を見せ始め、注目されている。ここでは、日本と米国で研究開発が進む実証実験用のテストベッドの動向を中心に報告する。

ICT 分野に起こり始めた 2つのパラダイムシフト

ITU(国際通信連合)は、2009年末時点での世界の携帯電話の加入者数は約46億人となり、2010年末までに50億人に達するとの見通しを発表した(2010年2月)。また、モバイルブロードバンド接続の契約者数は、2010年中に10億人を超える見込みであり、さらに、5年以内に、スマートフォンやノートパソコンからのモバイル経由のインターネット接続が、固定回線からのインターネット接続を上回ると予想している。日本がリードしているFTTHも、欧米や中国・韓国で急速に普及が進展し始めている。これらの有線・無線ネットワークインフラの高速・広帯域化の促進に加えて、高品質な映像コンテンツ配信サービスの急速な拡大やクラウドサービスの進展に伴って、2020年までに、ネットワーク上の情報の伝送量(トラフィック)は、現在の1000倍以上にも達すると予想されている。

このような情報ネットワークの動向を背景に、現在、情報通信 (ICT) 分野において2つの大きなパラダイムシフトが起こり始めている。

1つは、コンピューター・システム分野でのパラダイム

シフトである。従来のクライアント・サーバー・モデルやピアツーピアモデルなどの分散処理システムに代わって、多様なサーバー類を連携させてクラウド化し、ユーザーによるICT設備の保有から利用への変革をもたらす集中型のクラウドコンピューティングの登場である。

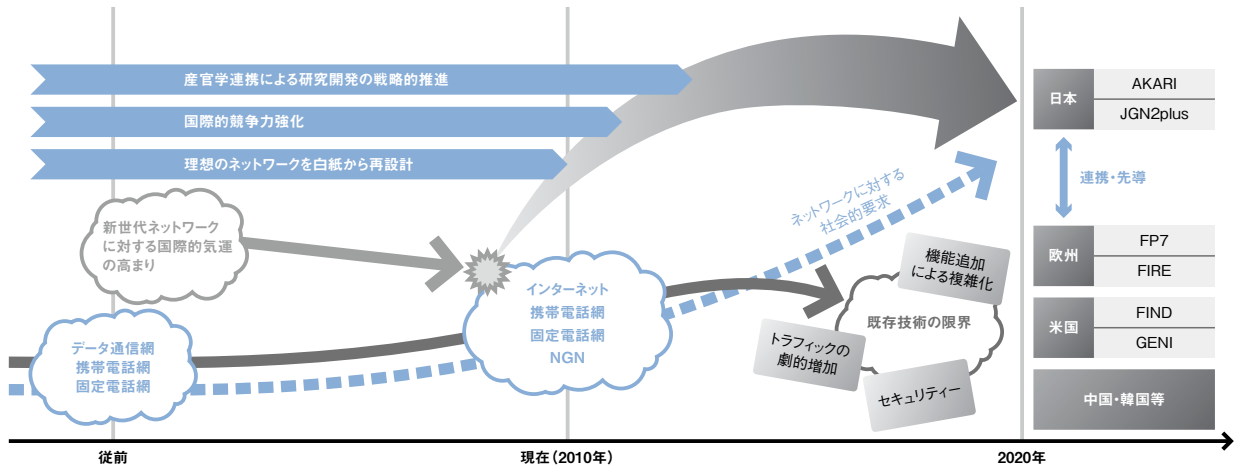
他の1つは、ネットワークシステム分野でのパラダイムシフトである。現在、世界的規模で普及しているインターネットや、日本では2008年からNTTがサービスを開始したNGN(次世代ネットワーク)は、いずれもIP(インターネットプロトコル)ベースのパケットネットワークとして普及している。しかし、これらのIPパケットネットワークへの限界説が浮上し、その解決のために日米欧を中心に動き出した新世代ネットワーク (NWGN: New Generation Network)、あるいは欧米でのフューチャーインターネット (FI: Future Internet) 構想が登場してきた。これらは、ポストIPインターネットあるいはノンIPネットワークとも言われ、2020年頃の実現を目指して現在のIPの改良ではなく、白紙の状態 (Clean Slate; クリーンズレート) から、理想的なネットワークアーキテクチャーを実現しようという取り組みである。

このようなクリーンズレートのアプローチで研究開発する新しいネットワークは、日本では新世代ネットワーク「NWGN」、欧米では「FI」、ITU-Tでは「FN」(Future Network)と呼ばれ、世界的な研究開発競争が加速している。

なぜ新世代ネットワークの研究に取り組むのか

それでは、なぜ今、このような新世代のネットワーク

図1 国際連携を強化しながら研究開発が進められる新世代ネットワーク



- 出所 NICT/JAIST 主催：Proceedings of The International Symposium on ICT System Testbeds, 2010年3月30日
 (注1) 日本：AKARI プロジェクト、ネットワーク仮想化プロジェクト、JGN2plus ネットワークテストベッドなど（NICT および NICT ファンドの産学連携プロジェクト）。
 (注2) 米国：FIND プロジェクトおよび GENI プロジェクト、FIA (Future Internet Architecture Project) プロジェクトなど（NSF ファンドプロジェクト）。
 (注3) 欧州：FP7^(*)1) プログラムの中に Future Networks 分野のいくつかのプロジェクトが進められている。例えば FIRE^(*)2) プロジェクト（EC）。
 (※1) Framework Programme 7、欧州（EC：European Commission）の第7期研究開発プログラム（2007年～2013年の7年間）。そのなかには、情報通信、環境、エネルギー、健康、ナノエレクトロニクス、バイオなどの分野があり、情報通信分野の中に Future Networks の R & D プロジェクトが含まれている。
 (※2) Future Internet Research and Experimentation、欧州のフューチャーインターネット研究プロジェクトの14のテストベッド関連プロジェクトが、2008年より順次活動を開始。欧州全域をカバーするギガビット研究開発ネットワークテストベッド「GÉANT2」（ジアン2）を運用。現在 GÉANT3 を計画中。

の研究開発に取り組むようになったのだろうか。現在、企業のビジネス活動、行政、教育から一般市民によるショッピングやトラベル予約などは、ますますインターネットへの依存性を高めている。しかし、今後も、40年前（1969年、ARPANET）に実験が始まり普及している現在のインターネットで、爆発的に急増していく情報量に対応していけるかどうか。あるいは、インターネットのセキュリティやプライバシーの保護、あるいは障害時の回復力なども含めた信頼性を高め、安心・安全な情報インフラを提供できるのかどうか。このようなインターネットの今後の展開に懸念が生まれてきた。そこで、これらの懸念や課題の解決に向けて、欧米と日本ではほぼ同時期に新世代ネットワークやフューチャーインターネットの取り組みが開始されたのである。

この懸念を裏付けるかのように、最近になって、インターネットの限界についての議論が高まっている。例えば、インターネットの原点となった ARPANET を推進してインターネットの神様とも言われるローレンス・ロバーツ博士（Dr. Lawrence Roberts）自らが『IEEE Spectrum』（2009年7月号）に、‘The Internet is broken’（インターネットは壊れている）を発表したのをはじめ、最近では英国の有名な学術誌のネイチャーに、‘Four Ways to Reinvent the Internet’（インターネットを再発明す

るための4つの方法：Katharine Gammon 著、2010年2月4日号）が発表され、大きな話題を呼んでいる。

活発化する国際標準化の活動

このような、2010年から2020年に向けての ICT のパラダイムシフトに対応して、日米欧を中心に世界各国では、すでに、例えば図1に示すような新しいプロジェクトが次々に立ち上がり、国際連携を深めながら研究開発への取り組みが進められている。

また、標準化機関の活動も活発化し始め、デジュール標準としてはITU-Tに、2009年1月にフューチャーネットワークに焦点を当てた「FG-FN」(Focus Group on Future Networks) が設立され、すでに4回目のFG-FN 会合が先ごろ（2010年3月29日～4月2日）東京で開催された。ここでは、日本と韓国が議論をリードしている。さらに、ISO（国際標準化機構）やIETF（インターネット技術標準化委員会）、また欧州の地域標準化機関であるETSIでも議論がスタートしており、フューチャーインターネットに向けた標準化への取り組みが活発化している。

「新世代ネットワーク」(NWGN) の取り組み

日本では、独立行政法人 情報通信研究機構（NICT）において、2006年にAKARI（アカリ）アーキテクチャ設

計プロジェクト(略称: AKARIプロジェクト)をスタートさせ、またネットワーク仮想化の重要性に対応して、ネットワーク仮想化プロジェクトを発足、2015年頃に新世代ネットワーク(NWGN)のプロトタイプ実現を目指して、研究開発を展開している。

また、NICT自身の研究に加えて、NICTの競争的助成資金により産学連携の研究プロジェクトが多数進められている。さらに、これらの研究から創生される新技術を実証するネットワークテストベッド(実際の運用環境に近い試験用ネットワーク基盤)が必要であるが、現在、JGN(Japan Gigabit Network)の後継であるJGN-2plusテストベッドが稼働している。JGN2plusは、米国およびアジアに接続されており、米国やアジアの研究者とネットワークで接続した実験などを通して共同研究が進められている。

新世代ネットワークは、ネットワークアーキテクチャーやプロトコルの研究だけでは実現できず、フォトニックネットワークやワイヤレス／モバイルネットワーク、センサーネットワークなどの物理的ネットワーク技術と、それを支える革新的デバイス技術、安心・安全を確保するセキュリティ技術、超高精細映像のリアルタイム配信や高度なITS(高度道路交通システム)などのアプリケーション技術、クラウドコンピューティング技術、などを総合化する必要がある。そこで、戦略的な研究開発を推進するために新世代ネットワーク研究開発戦略本部をNICTに設置(2007年10月)するとともに、新世代ネットワーク研究全体を俯瞰してアドバイスするプログラムコーディネーターを指名している。

さらに、国家レベルでNWGNを推進するため、産学官の「新世代ネットワーク推進フォーラム」が設置され(NWGNフォーラム、2007年11月)、総務省がサポートする本格的な体制が確立された。そこでは、研究開発の促進と世界のFI研究との連携や情報の共有、標準化への対応、今後の社会からの要請や新世代ネットワークの社会に与えるインパクトなどについて議論を進めている。

NICTでは、前述したAKARIプロジェクトが、クリーンスレートのアプローチを基本として、すでに、2006年にNWGNアーキテクチャーとプロトコルの概念設計(たたき台)の作成をスタートしている。2011年には、産学官の研究成果である主要な要素技術を実装した

NWGNのテストベッドをスタートさせる予定だ。産学官の研究者は、これを用いて自由に新しい革新技術のシステムやサービスを実験し、新世代ネットワークのプロトタイプにまとめ上げ、標準化の推進とともに、2016年頃から順次商用ネットワークに導入してサービスを提供していくというロードマップを発表している(図2)。

日本ではJGN2plusとStarBEDが活躍!

現在、日本ではJGN2plus(NICT)とインターネットシミュレーター(模擬実験システム)としてStarBED(石川県・NICT 北陸リサーチセンター)が活動しているが、NICTの次期中期計画(5年計画)がスタートする2011年から、新しいネットワークテストベッドをスタートさせる予定だ。

「JGN2plus」の研究プロジェクトには、2008年4月～2010年2月の間に、全国から研究者が延べ998名、大学・国立研究所などの355の研究機関が参加して活発な展開を行っている。シミュレーターであるStarBEDは、大規模な実証実験が不可能な場合、あるいはコスト的に困難な場合に使用する施設であり、ネットワークセキュリティや災害対応ネットワークの検証に不可欠である。このシステムでは、約1000個のプロセッサノード(機器)が、ローカルのイーサネットスイッチで接続されていて、速度的にはネットワーク機器間は10Gbps、ノードの多くは1Gbps×n本、古いノードは100Mbps×n本でつながっている。このStarBEDの中では、任意のトポロジー(ネットワーク構成)を生成し、独立して実験が行えるのが特徴だ。StarBEDを外部機関と接続して利用する場合には、JGN2plusを利用する(資料5-1-1)。

米国のフューチャーインターネット

米国のフューチャーインターネットに関しては、GENIプロジェクトディレクターであるチップ・エリオット博士(Dr. Chip Elliott)の「GENI- 未来のネットワークの探求」と題する講演(2010年3月30日、NICT/JAIST主催「ICTシステムテストベッドに関する国際シンポジウム」)をもとに紹介する。

現在米国では、全米科学財団(NSF)が出資する、FINDとGENIという2つのプロジェクトが推進されて

いる。

(1) FIND プロジェクト

NSFのフューチャーインターネットの研究基盤プロジェクトであるFIND（ファインド、Future Internet Network Design）では、既存のインターネットと互換性を考慮しないことを前提に、フューチャーインターネットのさまざまな要素技術の研究を促進することを目指している。このFINDプロジェクトは、ネットワークアーキテクチャーの第一人者であるMIT（マサチューセッツ工科大学）のデイビッド・クラーク博士（Dr.David D. Clark）が中心となって推進されている。

(2) GENI プロジェクト

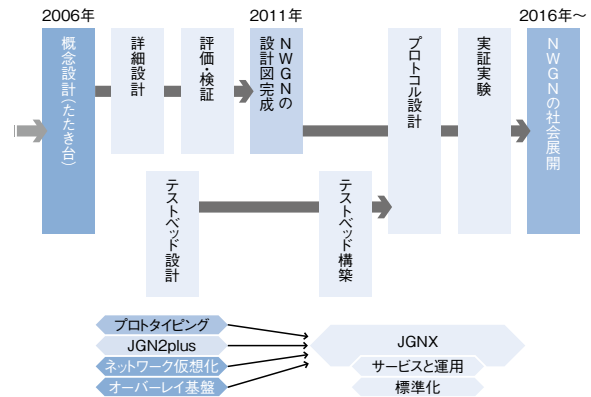
GENI（ジニー、Global Environment for Networking Investigations）は、2010年頃（その後2010年10月に確定）の全国的な稼働を目指して、2005年8月に発表された新しいフューチャーインターネット研究用ネットワークテストベッドプロジェクトであり、FINDで創造された新しいアーキテクチャーや技術要素を実証する実験プラットフォームである。すなわち、GENIは、フューチャーインターネットの開発に向けて、適切なネットワークの規模でその可能性を実証する仮想ラボとも言えるものだ。

ここでは、グローバルなネットワーク環境で、

- (1) 科学 (Science) : 大規模なネットワークの複雑な振る舞いを理解し予測する課題
- (2) 技術 (Technology) : 新しいアーキテクチャーや基盤を開発する課題
- (3) 社会 (Society) : セキュリティーやプライバシー保護の信頼性のある新しいアプリケーションや経済活動を可能にする課題

という3つの課題が重視されており、これをNSFでは

図2 NICTにおけるNWGN実現へのロードマップ(AKARIプロジェクト)



出所 NICT、AKARI アーキテクチャ設計プロジェクト「研究開発実証計画」、<http://akari-project.nict.go.jp/index2.htm>

NWGN : New Generation Network
NICT : 独立行政法人 情報通信研究機構

「ネットワーク科学とエンジニアリング」(NetSE : Network Science & Engineering)というプログラムで取り組んでいる。

GENIの3つのコンセプト

さらに、このGENIプロジェクトでは、次の3つのコンセプトをベースに概念設計が行われている。

1つは、高度にプログラム可能なネットワークを想定していることである。現在、コンピューターはプログラムで動作するが、ネットワーク全体をプログラミングすることは不可能に近い。つまり、コンピューターはプログラミングできても、ルーターやスイッチに対するプログラミングは不可能なのだ。しかし、GENIでは、ネットワーク全般にわたって、コンピューターと同じようにプログラミングを可能にすることを目指している。

資料 5-1-1 NICTにおける次世代ICTシステムのテストベッドとその役割

レイヤー	テストベッドの名称	稼働期間	役割
下位レイヤーを担当	JGN	1999.4 ~ 2004.3	日本の研究開発用ギガビットネットワーク。TAO（通信・放送機構、現NICT）によって運営された2.4Gbpsの光ファイバー回線による研究開発用テストベッドネットワーク。
	JGN 2	2004.4 ~ 2008.3	JGNの次世代ネットワーク。NICTによって運営された10Gbpsの光ファイバー回線研究開発用のテストベッドネットワーク。
	JGN 2 plus	2008.4 ~	JGN2の次世代ネットワーク。NICTによって運営されている10G ~ 100Gbpsの光ファイバー回線による研究開発用のテストベッドネットワーク。
	JGN X（仮称）	計画中	JGNファミリーの流れを汲む、次世代ネットワークテストベッド。低位レイヤーのみならず、オーバーレイネットワークや仮想化ノードなど、クラウドコンピューティングに必要とされるネットワーク機能ももつネットワークテストベッド。
上位レイヤーを担当	StarBED	2002.4 ~ 2006.3	インターネットシミュレーターおよびその開発プロジェクト名。クラスター型コンピューター上でIP（Internet Protocol）を用いたシステムの大規模検証が行える。
	StarBED 2	2006.4 ~ 2011.3	ユビキタスネットワークシミュレーターの開発プロジェクト名。StarBEDをベースに、非IPネットワークや無線ネットワーク、センサーで観測される物理量なども含んだシステムの大規模検証が行えるよう拡張されている。
	StarBED 3（仮称）	計画中	StarBED、StarBED 2の実績を踏まえ、クラウドミドルウェアはもとより、セキュリティ、エネルギーなどの要素も含めたシミュレーションが可能なネットワークシステムテストベッド。

2つ目は、上記のプログラマブルなネットワークにより全面的に仮想化され、これによってエンドツーエンド(端末同士の通信)でユーザーの要求に合致した「ネットワークスライス」(論理的に分離されたネットワーク)を提供する。

3つ目は、GENIでは、いろいろな異なるネットワークが連携(フェデレーション)して共存する、異種ネットワークの連携環境となるが、いろいろなグループがこのようなネットワークを統括することを想定している。

GENIプロジェクトにおける2つの実験

現実に稼働し、世界中がつながっている大規模なインターネットと同規模のテストベッドを構築するのは不可能である。そこで、GENIプロジェクトでは、2種類の実験を可能にする方針で、ネットワーク構築が進められている。

1つは、適切に規模のコントロールができ、再現可能な実験ネットワーク(純粋なGENIネットワーク)の構築である。これによって大規模なネットワークの複雑な振舞い(科学)を解析して理解することができる。他の1つは、GENI(テストベッド)に、現実に動いているインターネットを接続して連携させることによって、現実の状態(生の状態)を反映させながら、さまざまなサービスに対応する実験を行えるようすることである。これによって、例えば1万人あるいは場合によっては10万人もの人々が、GENIの実験に参加できるようになる。

具体的に、GENIでは、大学のキャンパスネットワークや国立の研究機関のネットワークなど、現実に稼働している商用ネットワークをGENIに対応できるようにさせ(GENI対応ネットワーク)、商用ネットワークと実験ネットワーク(GENI)を共存・連携させて運用することを想定している。すなわち、現実のサービスとGENIによる実験のサービスの差がなく利用できるようになるのだ。これによって、GENI対応の大規模なネットワーク基盤を、容易に、しかも経済的に構築できることになる。

スパイラル開発とフェデレーション(連携型)による構築

(1) スパイラル開発の手法で構築

現在、GENIテストベッドは、2011年の完成に向けて

構築の真っ最中である。この構築にはスパイラル開発(計画・設計・構築・統合・利用⇒計画・設計・構築…)という手法が用いられており、「スパイラル1(Spiral 1): 2008年10月～2009年9月」「スパイラル2(Spiral 2): 2009年10月～2010年9月」のように、すでにスパイラル1は終了してスパイラル2に突入している。現在は、GENIのインフラを使用して初期段階の実験が開始されている。その規模はメゾスケール(Meso-scale)、すなわち中規模レベルの全国展開されたGENIであるが、このうえで、相互運用可能なコントロールフレームワークやセキュリティを考慮したシステム設計などの実験が行われている。このGENIプロジェクトは想像以上の驚くべきスピードで進んでおり、最終的な目標に向かって、かなりレベルの高いプロトタイプができつつあるという。

(2) 複数ネットワークを連携させて構築

GENI構築のもう1つの特徴としてフェデレーション(連携型)による構築がある。これは、複数のネットワークを「のり」でくっつけるように連携させることによって、大規模なGENIを構築する手法である。これによって最短でしかも最も低いコストで構築が可能となった(図3)。

すなわち、GENIのプロトタイプでは、GENI対応の複数の大学キャンパスや複数の全国的なバックボーン/地域ネットワークを接続し、さらに複数のコンピューティングセンターやクラウドに加えて、海外のインフラをも連携させて、GENIのプロトタイプを構築しているのである。

Internet2とNational Lambda Railの2つのバックボーン

現在、米国には、大学のキャンパスをはじめ多くの研究機関などを結ぶナショナルバックボーンとして、次のような2つのナショナルフットプリント(国家的ネットワーク基盤)がGENIに提供されている。

- (1) 10GbpsのInternet2(1996年2月にスタートした、大学や企業が参加する研究・教育用ネットワーク。全米の200以上の大学、70のリーディング企業、45の政府研究機関が参加)
- (2) 30GbpsのNational Lambda Rail(NLR。ナショナル・ラムダレール。全米規模の光ネットワークテスト

ベッドで、全米280以上の大学や米政府の各研究機関などが参加する研究・教育用ネットワーク)

2009年には、GENI対応の機器がInternet2上の3か所の拠点に設置され、引き続き拡大しているところであり、また、2010年には、National Lambda Railの5か所にGENI対応の機器が設置される予定だ。

現在、GENIは、米国のスタンフォード大学やUCLA、プリンストン大学などを含む14のキャンパスに展開されているが、目標としては、GENIを単にキャンパスや研究上の拠点におくということではなく、広く学生が参加できるように構築されている。例えば、大学の教室や寄宿舎などにも導入することによって、学生がGENIの実験にオプトイン(自主的に参加)できるようにする。これによって、1万～10万人あるいはそれ以上の規模の現実のユーザーが実験に参加できるようになる。

これらを実現するため、技術的には2010年はOpenFlow技術(OpenFlowスイッチングコンソーシアムが提唱しているネットワーク制御技術)を8つのキャンパスに実装するが、OpenFlowはInternet2とNational Lambda Rail上で展開される。さらに、WiMAXを8～9個のキャンパスに展開する予定だ。

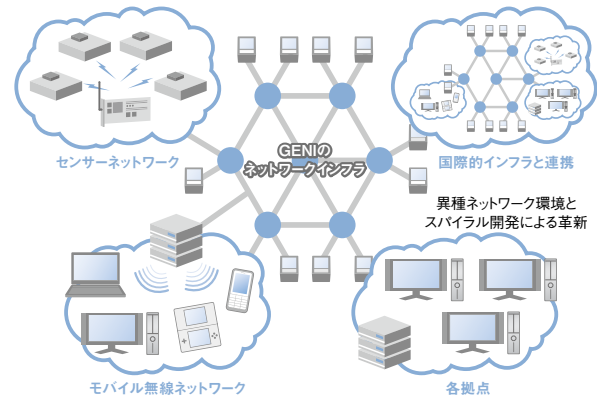
当面の目標は、2010年10月からエンドツーエンド、つまり一貫通貫型のGENIをこの14のキャンパス全体をつないで、運用を開始できるようにすることである。さらに、2011年には、21のキャンパスまで拡大していく計画だ。このGENI対応のキャンパスネットワークは、そのキャンパスのイントラネットとして利用しながら、同時にGENIの実験も走らせることが可能になる。

この「スパイラル2」の段階で重要なことは、強力な産学連携が構築されることによって、Arista(アリスタ)やシスコシステムズ、ジュニパーネットワークス、ヒューレット・パカード、NECなどからGENI対応のハードウェア製品、またAT&TラボやNiciraなどからGENI対応のソフトウェア製品が提供されるようになってきたことである。

世界各国の研究者同士のコラボレーション

ここでは、日本のAKARI/JGN2plusの概要を紹介した後、米国のFIND/GENIのうちGENIプロジェクトを詳しく紹介した。米国では、いよいよ2010年10月

図3 米国におけるGENI対応のインフラと異種ネットワーク環境のイメージ



出所 NICT/JAIST 主催: Proceedings of The International Symposium on ICT System Testbeds, 2010年3月30日

から、14以上のGENI対応キャンパスおよび2つのバックボーンを用いて、メゾスケールのプロトタイプという形で、GENI上で最初の歴史的な実験が開始される。

フューチャーインターネットは、おそらく現在のインターネットのように、米国から始まって世界に広がっていくのではなく、世界の複数箇所から同時に生まれてくるものと予測される。すでに日米欧をはじめ韓国や中国、ブラジルなどでもフューチャーインターネットの取り組みが始まっている。このため、フューチャーインターネットの実現には、各国政府の予算的措置はもちろんのこと、国際研究開発競争の環境下ではあるが、一国の研究で実現できるほど容易なネットワークでないため、世界各国の研究者同士のコラボレーションが何よりも重要となる。

日本のJGN2plusおよび2011年からスタートする次期JGN(仮称:JGN X)とGENIを接続して、新世代ネットワーク/フューチャーインターネットの連携・研究を実施することが始まろうとしている。

* * *

本稿は、2010年3月30日に開催された「ICTシステムテストベッドに関する国際シンポジウム」(NICT/JAIST主催)および「新世代ネットワーク推進フォーラム第3回総会」(2010年4月2日)での取材をもとに、慶應義塾大学 青山友紀教授、北陸先端科学技術大学院大学(JAIST) 丹康雄教授にご協力をいただき、日米の動向を中心にまとめたものである。ここに厚く御礼申し上げる。



[インターネット白書 ARCHIVES] ご利用上の注意

このファイルは、株式会社インプレスR&Dが1996年～2012年までに発行したインターネットの年鑑『インターネット白書』の誌面をPDF化し、「インターネット白書 ARCHIVES」として以下のウェブサイトで公開しているものです。

<http://IWParchives.jp/>

このファイルをご利用いただくにあたり、下記の注意事項を必ずお読みください。

- 記載されている内容（技術解説、データ、URL、名称など）は発行当時のものです。
- 収録されている内容は著作権法上の保護を受けています。著作権はそれぞれの記事の著作者（執筆者、写真・図の作成者、編集部など）が保持しています。
- 著作者から許諾が得られなかった著作物は掲載されていない場合があります。
- このファイルの内容を改変したり、商用目的として再利用したりすることはできません。あくまで個人や企業の非商用利用での閲覧、複製、送信に限られます。
- 収録されている内容を何らかの媒体に引用としてご利用される際は、出典として媒体名および年号、該当ページ番号、発行元（株式会社インプレスR&D）などの情報をご明記ください。
- オリジナルの発行時点では、株式会社インプレスR&D（初期は株式会社インプレス）と著作権者は内容が正確なものであるように最大限に努めました。すべての情報が完全に正確であることは保証できません。このファイルの内容に起因する直接的および間接的な損害に対して、一切の責任を負いません。お客様個人の責任においてご利用ください。

お問い合わせ先

株式会社インプレス R&D

✉ iwp-info@impress.co.jp