

■S1 群 (情報環境とメディア) - 6 編 (次世代ネットワーク)

6 章 新世代ネットワーク

(執筆著: 原井洋明) [2009年12月 受領]

■概要■

新世代ネットワーク (NWGN: New Generation Network) は、欧米では将来インターネット (Future Internet) と呼ばれる未来社会を支えるネットワークの総称である。2005~2007年頃から研究活動が開始され、欧州・北米・南米及びアジアで着実に広まりつつある。2009年からはITU-Tにて標準化に関わる活動も開始された。

本章では、NWGNの国内外の研究活動状況と国際標準化活動を紹介し、NWGNに関連する要素技術概要を解説する。なお我が国では、新世代ネットワークとは、まず理想のネットワークを設計し、その後、理想へ向かって移行する流れで実現すべきものと位置付けられることが多い (図6・1)。こうすることで、次世代ネットワーク (NGN) はより洗練されたネットワークとして継続が可能となり、新世代ネットワーク実現の障害も低くなる。

新世代ネットワークとは? という問いの解は今後明確になるだろうが、例えば、後述するAKARIアーキテクチャ設計プロジェクトにおいては以下のように定義されている¹⁾。

新世代ネットワークは、人類の多様な要求を許容し、現実社会と仮想ネットワーク空間のギャップを埋め、人類の進化の可能性を促進するための基盤を提供するネットワークである。また、新世代ネットワークは、RFIDタグやセンサ・アクチュエータのような1兆個規模の小デバイスを取り込むことで安全な生活を人々に提供するものである。

なお、本章は、2009年末時点での技術動向などの記述であり、状況は時々刻々と変化する旨を了解いただきたい。

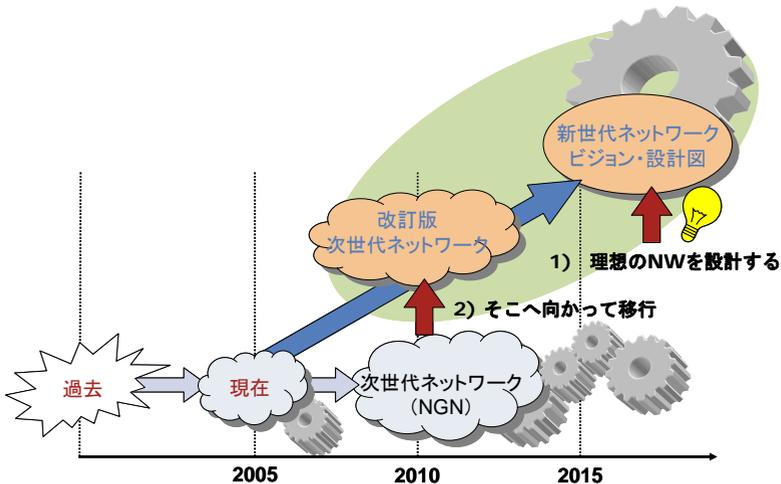


図6・1 新世代ネットワーク実現へのアプローチ (©NICT)

【本章の構成】

本章では、NWGN の経緯の解説，国内外にて活発に活動する研究開発プロジェクトと国際標準化動向を紹介する．また，NWGN の鍵となる言葉とともに NWGN に関する要素技術概要を解説する．

■S1 群 - 6 編 - 6 章

6-1 新世代ネットワーク関連プロジェクト

(執筆著：原井洋明) [2009年12月 受領]

現在のインターネットを置き換える未来のインターネットを研究開発するプロジェクトが各国で始められている (図 6・2)。未来インターネットや新世代ネットワークなど呼び方は違うが、そこでの共通点は「白紙から (Clean Slate)」である点と長期的研究である点である。

米国では NewArch プロジェクト²⁾が 2000 年に始まり、SIGCOMM での FDNA (Future Directions in Network Architecture) ワークショップの開催を経て、2006 年からの FIND (Future InterNet Design)^{3),4)} というアーキテクチャ設計プロジェクトや GENI (Global Environment for Network Innovations)^{5),6)} というテストベッド構築プロジェクトなど、米国科学財団 (NSF) のプロジェクトへつながっていった。

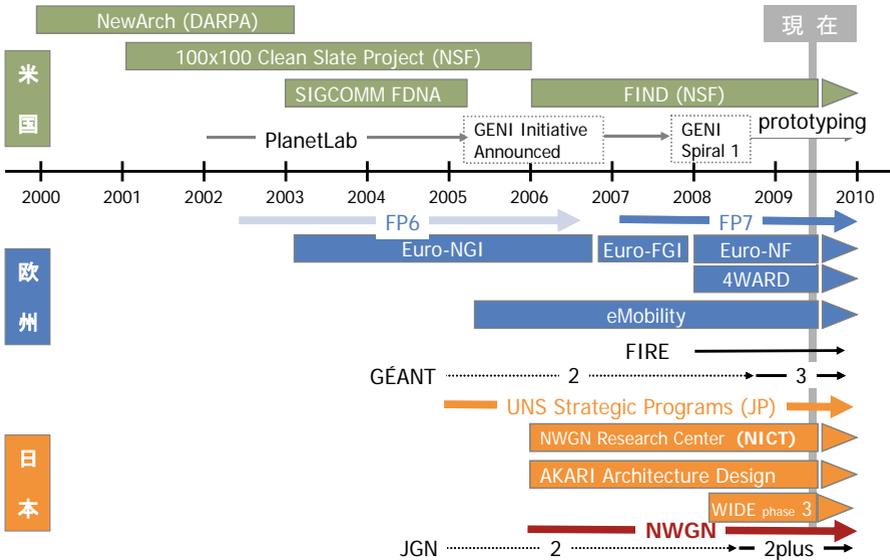


図 6・2 新世代ネットワークプロジェクト動向

欧州連合が EU 域内の研究開発・技術革新を支援するための枠組計画 (Framework Programme : FP) を実施するヨーロッパにおいても、新世代ネットワーク関連プロジェクトが始まっている。2003 年から始まった FP 6 においては、Euro-NGI⁷⁾ や Autonomic Communication⁸⁾ などのプロジェクトが実施された。2007 年から 2013 年まで実施される FP 7 において、4WARD (Architecture and Design for the Future Internet)⁹⁾ や Euro-NF (Anticipating the Network of the future - from theory to design)¹⁰⁾、FIRE (Future Internet Research and Experimentation)¹¹⁾ として、新世代ネットワークに関する本格的なプロジェクトが始まっている。

日本では 2005 年に UNS 戦略プログラム¹²⁾ が総務省からリリースされ、ここでは「光を武

器に non-IP までを見越した新たなコンセプトのネットワーク」と書かれている。「既存のインターネットアーキテクチャにとらわれずに、将来まで見越したネットワーク統合アーキテクチャとして」設計する必要があることが明記されている。更に情報通信研究機構 (NICT) において、未来のネットワークの研究開発として、2006 年新世代ネットワーク研究センターが発足し、ネットワークアーキテクチャについて重点的に研究を進める体制となっている。AKARI アーキテクチャ設計プロジェクト¹³⁾ が同年に結成された。2007 年には、基礎研究から応用に至るまでのロードマップの作成、社会・経済的側面の検討、国際標準化の推進、実証実験などを推進する母体として、「新世代ネットワーク推進フォーラム」¹⁴⁾ が設立された。同年、NICT において「新世代ネットワーク研究開発戦略本部」¹⁵⁾ が発足し、新世代ネットワークのビジョンや、研究開発を先導する中長期的な戦略の策定、研究開発戦略やロードマップの国内外への戦略的発信などを実施している。WIDE プロジェクト¹⁶⁾ では、第三期となる 2008 年より、Future Internet をキーワードとした研究開発活動を実施している。

■S1 群 - 6 編 - 6 章**6-2 クリーンズレート**

(執筆者：原井洋明) [2009 年 12 月 受領]

クリーンズレートは新世代ネットワーク設計において標榜される言葉であり、既存のネットワークの制約を気にせず、白紙からネットワークを設計することを指す。

2006 年から始まった米国 NSF の FIND (Future Internet Design) プログラムでは、当初からクリーンズレートな設計を標榜するプロジェクトを採用した。同じく米国 NSF の GENI (Global Environment for Network Innovations) プログラムでも 2005 年の計画当初からクリーンズレート設計とそれを検証できるテストベッドの重要性が解かれていた¹⁷⁾。

また、2003 年頃にスタートした米国の 100x100 Clean Slate Project は、米国の 1 億 (100 M) 戸の家庭に 100 Mbps のネットワークを届けるためにあるべくネットワークアーキテクチャを確立することを目指し、セキュリティ、経済、プロトコル設計、スイッチ構成、ネットワーク管理などの研究を行うプロジェクトである¹⁸⁾。

我が国では、2006 年に開始した AKARI アーキテクチャ設計プロジェクト¹³⁾ がクリーンズレート設計を指向している。

■S1 群 - 6 編 - 6 章**6-3 新世代ネットワーク推進フォーラム¹⁴⁾**

(執筆者：原井洋明) [2009年12月受領]

新世代ネットワーク推進フォーラムは、2007年11月に発足した産学官連携フォーラム。英語名称は、New Generation Network Promotion Forum。

既存技術の延長に捉われることのない新しい設計思想・技術に基づいた「新世代ネットワーク」の創出に向けて、産・学・官の連携のもと、関係者が集結してネットワークの専門家のみでなく幅広く異分野の知見も取り込んだ体制を構築し、戦略・ビジョンの作成や研究活動の裾野を広げる取組を実施し戦略的な研究開発を推進することを目的とする。

目的達成のため、ワーキンググループ（以降、WG）などを設け、以下の活動を実施する。

- ・基礎研究から応用までの研究開発戦略の検討（研究開発戦略 WG）
- ・新世代ネットワークの社会・経済的側面の検討（アセスメント WG）
- ・テストベッドネットワーク・実証実験などの推進（テストベッドネットワーク推進 WG）
- ・新世代ネットワークのビジョン共有・発信、啓発活動（企画推進 WG）
- ・欧米アジアとの国際連携の推進（新世代ネットワーク推進委員会）

2009年4月現在の会員数 253。

■S1 群 - 6 編 - 6 章

6-4 新世代ネットワーク研究開発戦略本部 (NICT)¹⁵⁾

(執筆者：原井洋明) [2009年12月受領]

新世代ネットワーク研究開発戦略本部は、新世代ネットワークに関する研究開発を戦略的に推進するため、2007年10月に情報通信研究機構(NICT)に発足。新世代ネットワーク研究開発戦略本部(以降、戦略本部)は、新世代ネットワークに関する中長期的な研究開発戦略を策定すること、国際的な連携・競争の中で先導的・主導的役割を果たすこと、長期的・国際的視野を有するICT関係の研究開発人材を育成すること、などを目的とする。

戦略本部は、発足以来、産学官の連携による推進体制の整備や今後の国際連携のための関係構築を行ってきた。また、集中的に今後のICT分野における研究開発戦略を検討する戦略ワーキンググループ(以降、戦略WG)を内部設置している。戦略WGにおいては、新世代ネットワークによる社会問題解決の方向性とそのための技術要件、及び、新世代ネットワークによる将来社会ビジョン(図6・3)とそれを実現する技術要件をまとめた報告書「Diversity & Inclusion: Networking the Future 新世代ネットワークにおけるビジョンと技術要件」¹⁹⁾を2008年に公表。その後、上述の社会問題解決と将来ビジョン実現のために必要な様々な技術要件を串刺しにして、五つのネットワークターゲットとして「価値を創造するネットワーク」、「トラスタブルネットワーク」、「生活環境を支えるネットワーク」、「ユーザが制約を意識しないネットワーク」、「地球にやさしいネットワーク」としてまとめ(図6・4)、これらのネットワークの研究開発戦略を示した「新世代ネットワーク技術戦略(中間報告)」²⁰⁾を2009年に公表している。また、これらの技術の実現を支えるネットワーク科学に関する研究開発戦略として「新世代ネットワークファンダメンタルズ」を示している。



図6・3 新世代ネットワークビジョン (©NICT)

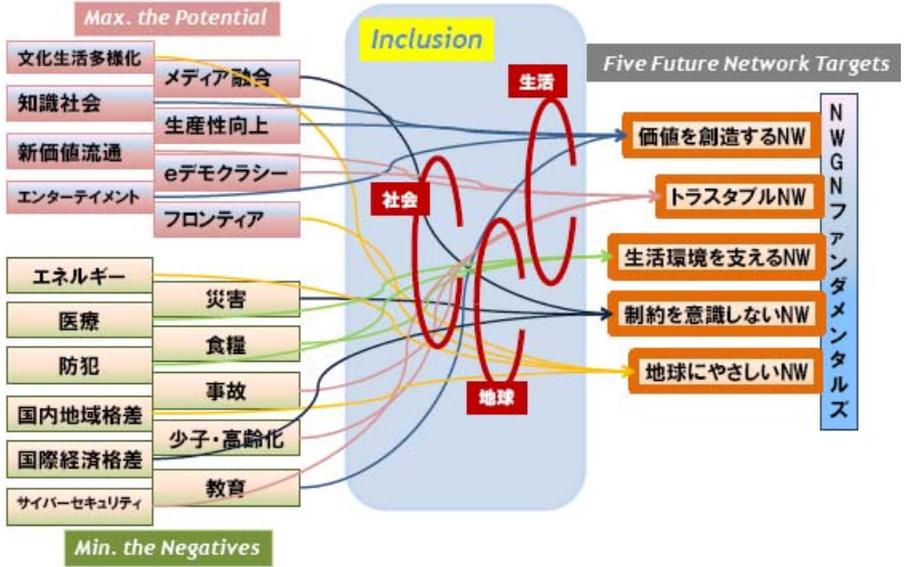


図 6・4 技術ターゲット (©NICT)

■S1 群 - 6 編 - 6 章

6-5 AKARI アーキテクチャ設計プロジェクト¹³⁾

(執筆者：原井洋明) [2009年12月 受領]

AKARI アーキテクチャ設計プロジェクトは、情報通信研究機構 (NICT) を中心に 2006 年に発足した新世代ネットワーク設計プロジェクト。

現在人類が抱える問題を解決し、地球規模での文明のさらなる発展を支える、未来社会を支えるネットワークをデザインする。白紙から将来のネットワークアーキテクチャを設計し、2015年までに新世代ネットワークに資する要素技術を構築、20~30年後の情報ネットワーク社会とその基盤ネットワークを実現することを目指している。アウトプットドキュメントとして、概念設計書を公表している²¹⁾。

AKARI プロジェクトは、新世代ネットワークの全体構成及び構成要素を構築する際の判断基準となる設計原理として、結晶合成、現実結合、持続進化という三原則を掲げている (図 6・5)¹⁾。これは、新世代ネットワークが、人類の多様な要求を許容し、現実社会と仮想ネットワーク空間のギャップを埋め、人類の進化の可能性を促進するための基盤を提供すると考えていることによる。

要素技術には、パケット・パス統合ネットワーク技術、ネットワーク仮想化技術という、先述の新世代ネットワーク戦略 WG の五つのターゲットのうち、ユーザに制約を意識させないネットワーク実現に貢献する技術や、ID・ロケータ分離構造というネットワーク階層構造の見直しまで示唆した提案などを行っている (図 6・6)。また、新世代ネットワーク実現にいたる過程に有用なネットワークテストベッドへの要求条件を述べている。

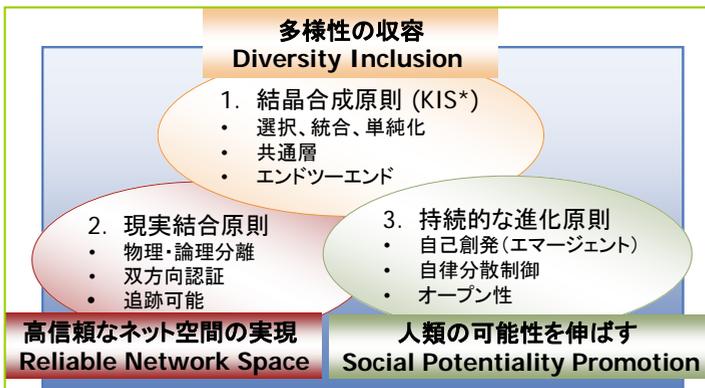


図 6・5 新世代ネットワーク設計原理

■S1 群 - 6 編 - 6 章

6-6 ID・ロケータ分離

(執筆著：原井洋明) [2009年12月受領]

ID・ロケータ文分離は、インターネットにおいて、一つのIPアドレスをノード識別子と位置指示子として用いたために起きている問題を解決するために、それぞれを異なるアドレス体系に分離する構造を指す。

伝統的なインターネットでは、IPアドレスは、アプリケーション層やトランスポート層におけるノード識別子として機能する。また、IPアドレスは、ネットワーク層では位置指示子として機能し、ルータではフォワーディング処理のための識別子となる。単一のIPアドレスを機器識別子 (IDと呼ぶ) 及び位置指示子 (ロケータと呼ぶ) として用いることは、モビリティやマルチホーム管理、ネットワークの再番号割当て、セキュリティとプライバシー、スケーラブルな経路制御、トラヒックエンジニアリングなどにおいて問題となる。

もし、伝統的なインターネットアーキテクチャが、新世代ネットワークでも継承されるなら、これらはより大きな問題となる。新世代ネットワークは、伝統的なインターネットよりもよりダイナミックな変化が起こるネットワーク環境において、多くの異種の通信デバイスを通じて多くのユーザにより多様なサービスをサポートすると期待されているからである。それゆえ、新世代ネットワークでは、ノード識別子と位置指示子にそれぞれ異なるエンティティをもつ、機器識別子と位置指示子を分離したネットワークアーキテクチャ (以降、ID・ロケータ分離アーキテクチャ) が有用である。

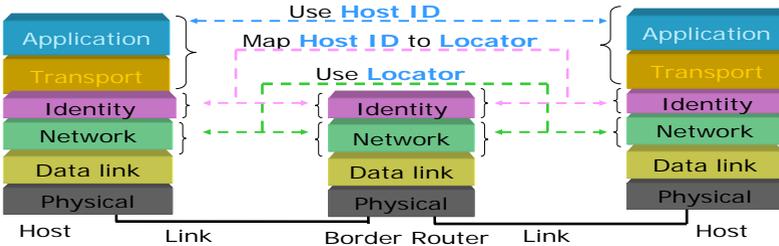


図 6・7 ID・ロケータ分離構成

ID・ロケータ分離アーキテクチャにおいて、IDは、アプリケーション層とトランスポート層では、ノードを識別するために用いられる。ロケータは、ネットワーク層において、ノードの位置を示すために用いられる (図 6・7)。IDとは、あるネットワーク領域でそれを唯一として識別するためにノードに与えられる名前である。IDは、ロケータとは独立したものであり、文字列として、あるいは、ビット列として表される。同様に、ロケータは、ネットワークトポロジーにおけるノードの場所を表現する。ロケータは一時的なもので、ノードの移動やネットワークの再番号割当てにより変化する。ロケータはパケットのネットワーク層ヘッダに存在し、パケットの送受信ノードがネットワークトポロジー全体のどこにあるかという場所に関する情報を経路制御システムに提供する。ノードは、進行中の通信セッションを中断することなく、いつでもロケータを変更できる。こうして、効果的なモビリティ、マ

マルチホーム、セキュリティアソシエーションをサポートする。ID・ロケータ分離アーキテクチャは、次の特長をもつ^{21), 22)}。

- (1) ノードを識別する技術とノードの場所を特定する技術が独立して発展できるように、ノードにはネットワークの相互接続技術とは独立した ID を用いる。
- (2) ノードには公衆用であったり私設用であったりと異なる ID の集合を用い、かつ、これらの異なる識別子の集合をつなげるために、動的で安全なマッピングシステムを用いる。
- (3) 異なる集合のロケータを用いる。いくつかはグローバルなものであり、他はローカルのみで有効なものもある。
- (4) あるとき、または、時間が異なっても、一つ以上のロケータと一つの ID とを関連付けることを可能にする。また、動的で安全なマッピングシステムを ID と関連するロケータを繋ぐために用いる。逆に、多くの ID が一つのロケータと関連付けすることも可能とする。
- (5) 移動やマルチホームによる ID・ロケータの関連付けの変化があっても、それをパケット転送機能に即座に反映できるように、ネットワークエッジに上記のマッピング機能を置く。
- (6) スケーラビリティを確保するために、ネットワークの基幹分には、グローバルなロケータベースの経路制御システムを用いる。

なお、コンセプト自体は NGN においても有用なものであり、ITU-T にて Y.2015 (NGN における端末識別子と位置情報の分離のための一般要求条件) として勧告化されている。IETF や IRTF においても課題として取り上げられており、インターネットでの問題解決のために LIN 6, HIP, LISP などのプロトコルが提案されている。

■S1 群 - 6 編 - 6 章**6-7 パケット・パス統合ネットワーク**

(執筆著者：原井洋明) [2009 年 12 月 受領]

パケット・パス統合ネットワークは、ユーザに対して、単にデータ転送を提供する従前のインターネットサービスだけではなく、高い信頼性を持ち、帯域や遅延保証が可能なエンド・ツー・エンドのパスサービスを提供するためのネットワーク構成技術。

光回線交換技術をパスサービスに用い、1 Gbps を超える高速の映像伝送サービスをパスに集約すると、パケット交換にかかる処理を減らすことが可能で、大容量化と消費エネルギー削減を両立する手段として有効である。

2009 年現在では、基幹ネットワークへの展開を志向したパケット、時間フレーム、波長、ファイバなどのインフラを制御する統合制御プレーンの枠組みに GMPLS (Generalized Multi-Protocol Label Switching) が標準化されている²³⁾。しかしながら、GMPLS は、OSPF、RSVP など、既存の技術を適用することを想定しており、今後、ネットワークが大規模化したときの枠組みとして機能するか、エンドまでパスが直結したときに GMPLS を拡張する形で実現できるかは明らかではない。

新たな分散制御、自動機器設定技術、課金構造、大容量高速光交換技術・高速無線技術の進展により、現状の多階層に渡るパケット交換提供・回線交換提供機能を一元化するために本技術の確立が必須となる。

■S1 群 - 6 編 - 6 章

6-8 ネットワーク仮想化

(執筆著: 原井洋明) [2009 年 12 月 受領]

仮想化技術とは、物理的な計算機資源を複数の論理的な資源として見せるための技術である。仮想化技術を利用することで、計算機資源を使う複数のユーザは、各々が独立に、また他のユーザに透明的にその資源を利用できる。

ネットワーク仮想化技術とは、この仮想化技術をネットワークに拡張したもの、すなわち、共有された物理的な基盤ネットワークを複数の論理的なネットワークとして見せる技術である。ネットワーク仮想化技術は、新世代ネットワーク技術のクリーンシートな設計を実験的に評価・確認するための利用が期待されている。これはネットワークの仮想化を通して、ユーザが、複数のネットワークアーキテクチャを、共有された基盤ネットワーク上に構築、配置、そして評価をすることが可能になったからであるといえる²¹⁾。

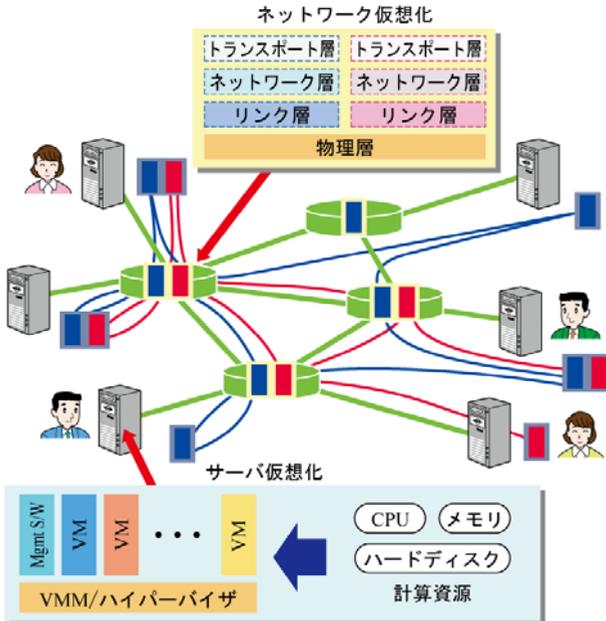


図 6-8 ネットワーク仮想化

例えば、GENI においては、複数のネットワーク実験を同時に実行するためにネットワーク仮想化技術が用いられる。ネットワーク仮想化技術により、インフラを提供する物理ネットワークプロバイダとネットワークプロトコルや接続機能を提供するサービスプロバイダが機能分担することで、様々なサービスを提供することも可能となる²⁴⁾。

論理的なネットワークを構築するうえでネットワーク仮想化技術への要求条件は以下の五つである²⁵⁾。

- ・性能 (Performance)

- ・ 拡張性 (Scalability)
- ・ 孤立性 (Isolation)
- ・ 柔軟性 (Flexibility)
- ・ コード移植性 (Code-Reusability)

性能は、ネットワーク入出力性能を指す。拡張性はネットワーク仮想化技術で論理的に分割できるネットワーク数 (スライス数)、孤立性は分割されたネットワークの情報が互いに隠蔽されていることを指す。柔軟性は、任意のカーネルやネットワークプロトコルスタック、ネットワーク資源が利用できることを指す。コード移植性は、最新の技術を利用できることやソフトウェアエンジニアリング作業を最小限にすることを指す。

■S1 群 - 6 編 - 6 章

6-9 GENI (Global Environment for Network Innovations) ^{5),6)}

(執筆著者：原井洋明) [2009年12月受領]

GENI (Global Environment for Network Innovations) は 2005 年に基本設計の検討を開始した米国科学財団 (NSF) 支援の長期的ネットワークテストベッドプロジェクトである。

GENI は新しいインターネットアーキテクチャやネットワークサービスの研究開発を促進するための共有グローバルファシリティ (テストベッド) の開発を目指している。安定性、セキュリティ、QoS などの既存のインターネットアーキテクチャの問題点の解決、新しいネットワーク技術の実ネットワーク上での実証実験環境の構築、及び、光、モバイル、センサなどの革新技術の取り込みを狙い、複数のネットワーク実証実験が同時かつ独立に遂行できるネットワーク共通基盤の必要性を主張している。NewArch プロジェクトなどのクリーンスタートアプローチを採用する多様な研究プロジェクトやネットワークアーキテクチャの実行環境の構築を目指すものの、プロジェクトの初期の段階からプロトタイプ設計、実装を義務づけるなど、実現可能性向上とリスク軽減を図りつつ、現行インターネットからのマイグレーションや国際展開を意識した相互接続 (Federation) を重視する戦略をとっている。

2009 年現在、BBN 社による GPO (GENI Project Office) 主導のもと、年 3 回開催の GENI Engineering Conference を中心に進捗報告と意識合わせが行われ、IETF と同様の推進方法となった。2008~2009 年にプロトタイプ構築を行い、その後テストベッド構築、初期オペレーションを行うという開発スケジュールになっている。

2009 年現在、GENI プロジェクト内で五つのクラスタが形成され、GPO が設計したテストベッド参照モデルに基づいて、並行して競争的にテストベッド設計が進められている。五つのクラスタのうち、最終的に一つのクラスタに集約されるか、もしくは複数が併存するヘテロジニアスなテストベッドになるかは 2009 年 3Q の時点では不明であり、今後の GPO の戦略次第である。以下に五つのクラスタの特徴を簡単にまとめる。

- ・クラスタ A : TIED Control Framework

USC/ISI 主導。フレームワーク連携におけるセキュリティ・相互信頼を重視した制御フレームワーク。

- ・クラスタ B : PlanetLab Control Framework

Princeton 大主導。PlanetLab, OpenFlow (Stanford 大学), SPP (Super-charging PlanetLab Platform) (Washington 大学) により構成される制御フレームワーク。Mid-Atlantic Crossroads などの地域研究開発ネットワークやキャンパスネットワークの制御プレーンとの連携を進めている。

- ・クラスタ C : ProtoGENI Control Framework

ユタ大学主導。大規模ネットワークエミュレータ Emulab の制御機構をベースとした制御フレームワーク。ユーザオプトインのための DTunnel (Georgia Tech) やヘテロジニアスワイヤレステストベッド、エミュレータ (CMU) とのインテグレーションを進めている。

- ・クラスタ D : ORCA Control Framework

Duke 大学及び RENCİ 主導。サービスオリエンテッドリソース制御方式 Open Resource

Control Architecture (ORCA) (Duke 大学) と光テストベッドのリソース制御方式 BEN (Breakable Experimental Network) (RENCI) を連携させた制御フレームワーク. ViSE (UMass) と KanseiGENie (Ohio State 大学) という二つのセンサネットワークテストベッドとの統合も進めている.

- クラスタ E : ORBIT Control Framework

Rutgers 大学主導. ORBIT インドアワイヤレスグリッドテストベッドの制御機構をベースとした制御フレームワーク. WiMAX ノードの収容など, 通信方式の多様化を進めている.

■S1 群 - 6 編 - 6 章**6-10 4WARD⁹⁾**

(執筆者：原井洋明) [2009年12月受領]

欧州第7期フレームワークプログラム (FP7) の ICT Challenge 1 : Pervasive and Trustworthy Network and Service Infrastructures²⁶⁾ の 1.1 The Network of the Future において、2008年に発足した、4 WARD は欧州ネットワーク産業界の競争力を増加し、欧州市民の生活の質の向上を目指したプロジェクトである。

情報に直接触れ、ユビキタス環境を提供するディペンダブルでインターオペラブルな有無線技術が融合されたネットワークを構築することでそれを実現する。より具体的には、全体の枠組みのなかで、単一ネットワークアーキテクチャの運用を向上するのに必要なイノベーションを、パスの一般化 (Generic Path)、ネットワーク内管理 (In-Network Management)、情報中心のネットワーク形成 (Network of Information) という3本の技術により生み、一方、複数の異なる特化されたネットワークアーキテクチャを仮想化技術により構築するアプローチをとっている。その際、既存のインターネットのような継ぎ接ぎによる発展アプローチを避けている。また、相互接続可能なネットワークの設計開発をしたり、価値や雇用を生むための方法論などネットワークに関係のある非技術的な社会経済問題に取り組んだりしている。

■S1 群 - 6 編 - 6 章

6-11 ITU-T SG13 における標準化活動

(執筆著者：原井洋明) [2009年12月受領]

ITU-T においても, Study Group 13 において 2009 年に Q.21/13 (Future Networks)²⁷⁾ 及び Focus Group on Future Networks (FG-FN)²⁸⁾ が設立された. Q.21/13 における初期の Future Network の定義は, 「革新的なサービス, 機能, 施設を提供できるネットワークであり, 既存のネットワーク技術を用いては実現が難しいもの」と定義されている. 2009 年現在, FG-FN において, 将来ネットワークに関する技術動向やビジョンの共有などを行っている.

■参考文献

- 1) H. Harai, K. Fujikawa, V. P. Kafle, T. Miyazawa, M. Murata, M. Ohnishi, M. Ohta, and T. Umezawa, "Design Guidelines for New Generation Networks," IEICE Transactions on Communications, vol.E93-B, no.3 (to appear), 2010.
- 2) D. Clark, et al., "NewArch Project: Future-Generation Internet Architecture," 2003.
<http://www.isi.edu/newarch/>
- 3) Future Internet Design, <http://www.nets-find.net/>
- 4) D. Fisher, "US National Science Foundation and the Future Internet Design," ACM SIGCOMM Computer Communication Review, vol.37, no.3, pp.85-87, Jul. 2007.
- 5) The Global Environment for Network Innovations, "GENI: Global Environment for Network Innovations," <http://www.geni.net/>
- 6) C. Elliott and A. Falk, "An Update on the GENI Project," ACM SIGCOMM Computer Communication Review, vol.39, no.3, pp.28-34, Jul. 2009.
- 7) D. Kofman, et al., "Euro NGI," 2006, <http://eurongi.enst.fr/>
- 8) M. Smirnov, et al., "Autonomic Communication," 2006.
<http://www.autonomic-communication.org>,
- 9) The 4WARD Project, "4WARD Project," <http://www.4ward-project.eu/>
- 10) Euro-NF, "Euro-NF," <http://euronf.enst.fr/>
- 11) FIRE, "FIRE," <http://cordis.europa.eu/fp7/ict/fire/>
- 12) 情報通信審議会, "ユビキタスネット社会に向けた研究開発の在り方について～UNS 戦略プログラム～," 2005,
http://www.soumu.go.jp/s-news/2005/pdf/050729_7_2.pdf
- 13) NiCT, "AKARI アーキテクチャプロジェクト," <http://akari-project.nict.go.jp/>
- 14) 新世代ネットワーク推進フォーラム, <http://forum.nwgn.jp/>
- 15) 新世代ネットワーク研究開発戦略本部, <http://nwgn.nict.go.jp/>
- 16) WIDE プロジェクト, <http://www.wide.ad.jp/>
- 17) S. M. Bellovin, D. D. Clark, A. Perrig, and D. Song, "Report of NSF Workshop on A Clean-Slate Design for the Next-Generation Secure Internet," GENI Design Document 05-05, Jul. 2005.
- 18) 100x100 Clean Slate Project, <http://100x100network.org/>
- 19) 情報通信研究機構 新世代ネットワーク研究開発戦略本部, "Diversity & Inclusion: Networking the Future 新世代ネットワークにおけるビジョンと技術要件," 新世代ネットワーク研究開発戦略本部 (NiCT), 2008.
- 20) 情報通信研究機構 新世代ネットワーク研究開発戦略本部, "新世代ネットワーク技術戦略(中間報告)," 新世代ネットワーク研究開発戦略本部(NiCT), 2009.
- 21) AKARI アーキテクチャ設計プロジェクト, "新世代ネットワークアーキテクチャ AKARI 概念設計書," ver.1.1, 2008, ver.2.0, 2009.
- 22) V. P. Kafle, K. Nakauchi, and M. Inone, "Generic identifiers for ID/locator split internetworking," First ITU-T Kaleidoscope Academic Conference - Innovations in NGN: Future Network and Services, 2008.

- 23) E. Mannie, (Ed.), "Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS) Architecture," RFC 3945, 2004.
- 24) N. Feamster, L. Gao, and J. Rexford, "How to Lease the Internet in Your Spare Time," ACM SIGCOMM Computer Communications Review, pp.61-64, 2007.
- 25) A. Nakao, R. Ozaki, and Y. Nishida, "CoreLab: An Emerging Network Testbed Employing Hosted Virtual Machine Monitor," ACM ROADS 2008 (Proceedings of the 2008 ACM CoNEXT Conference), Article no.73, 2008.
- 26) J. Schwarz da Silva, "Future internet research: The EU framework," ACM SIGCOMM Computer Communication Review, vol.37, no.2, pp.85-88, Apr. 2007.
- 27) ITU-T Study Group 13, Question 21/13,
<http://www.itu.int/ITU-T/studygroups/com13/sg13-q21.html>
- 28) Focus Group on Future Networks, <http://www.itu.int/ITU-T/focusgroups/fn/>