

## 2 研究活動 ネットワーク基盤技術

### 2.5 新世代ネットワーク技術

#### 2.5.1 新世代ネットワーク技術の概要

平成17年夏にUNS 戦略プログラムが総務省から発表された。その中核をなす新世代ネットワークは、「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」を「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」として構築することが目標とされている(図2.5.1)。

NICT においては、第2期中期計画当初の平成18年に

新世代ネットワーク研究センターが発足し、新世代ネットワークの概念設計を実施するフェーズ、いわば「新世代ネットワークとは何か」を検討するフェーズとして、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を構築した。AKARI アーキテクチャ設計プロジェクト(以降 AKARI プロジェクト)はその体制の中心として、NICT と大学の連携により開始された。当時、欧米でも既存のインターネットを置き換える、将来のインターネットを研究開発するプロジェクトが推進されており(図2.5.2)、AKARI プロジェクトも「白紙から(Clean

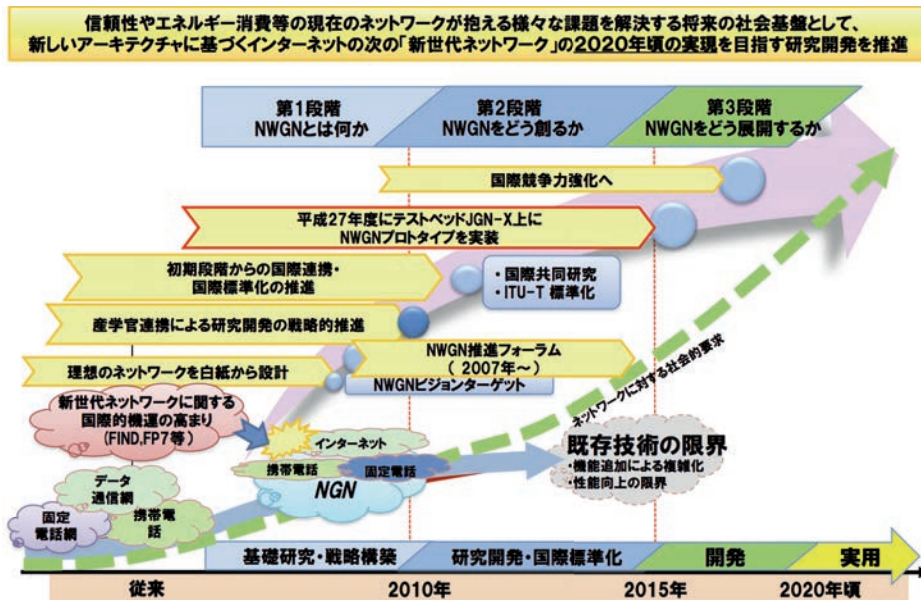


図2.5.1 日本における新世代ネットワーク研究開発のロードマップ

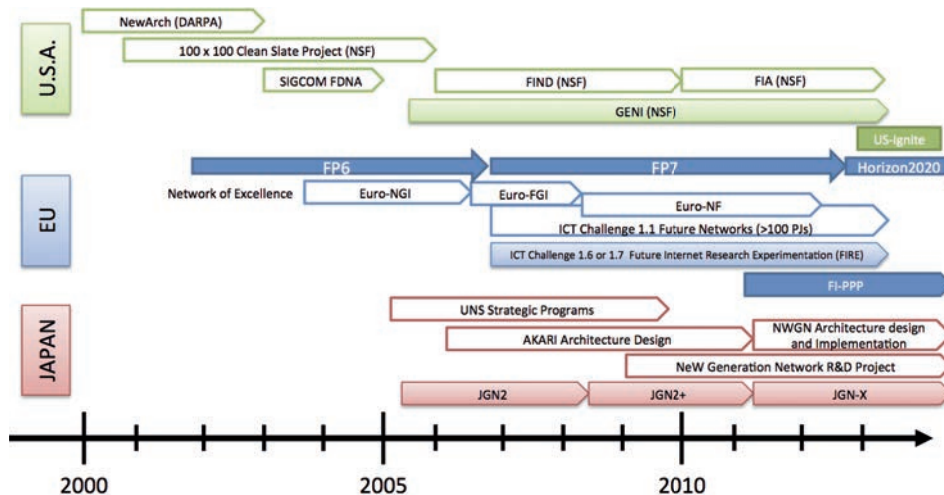


図2.5.2 国際的な新世代ネットワーク研究開発の流れ

表2.5.1 NICT が成立に大きく貢献した将来ネットワーク領域の ITU-T 勧告 (○はエディタとしての貢献も含む)

ITU-T Y.3001 (平成23 年5月)	Future Networks: Objectives and Design Goals	将来ネットワークの4個の目的・方向性(サービス指向、データ指向、環境指向、社会経済指向)と12個の設計目標を規定	
ITU-T Y.3011 (平成24 年1月)	Framework of Network Virtualization for Future Networks	1つの物理ネットワーク上に複数の仮想ネットワーク構築を可能にするネットワーク仮想化に関する勧告	○
ITU-T Y.3021 (平成24 年1月)	Framework of Energy Saving for Future Networks	ネットワークの環境負荷低減に関して、トラヒックのピークシフト、キャッシュの有効利用、クロック速度変更、スリープモード等によりネットワークのエネルギー効率を改善する方向性を記載	
ITU-T Y.3031 (平成24 年5月)	Identification Framework in Future Networks	モビリティをサポートし、データにアクセスしやすくするための識別子の条件整理	○
ITU-T Y.3032 (平成26 年1月)	Configurations of node identifiers and their mapping with locators in future networks	将来網におけるノード識別子の構成法、位置識別子、ノード識別子と位置識別子の交換法	○
ITU-T Y.3033 (平成26 年1月)	Framework of Data Aware Networking for Future Networks	データ指向ネットワークの全体像と、名前付け、経路制御、キャッシュ、セキュリティ、モビリティ等の設計目標	○

Slate：クリーンスレート)」の設計、長期的研究、既存技術からの移行を十分に考慮する実装という目標レベルでは共通していた。平成19年に、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」が設立され、NICT が事務局を務め現在に至る。また、同年、「新世代ネットワーク研究開発戦略本部」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た。

第3期中期計画期間の平成23年度から平成27年度は、新世代ネットワークの詳細設計を実施する、いわば「新世代ネットワークをどう創るか」のフェーズであり、NICT では1年前倒して、平成22年度から新世代ネットワーク戦略プロジェクトを立ち上げ、平成27年度末までに NICT の JGN-X に新世代ネットワークのプロトタイプを構築することを目指し、産業界や学術機関と連携しつつ研究開発を実施している。多岐にわたる新世代ネットワーク構築の要素技術群をシステム化するにあたって、新世代ネットワークの基本構造の構成技術に関する研究開発及び複合サービス収容ネットワーク基盤技術の研究開発の2つの大きな括りを用いて、それぞれの技術をシステム化することを目標としている。

あわせて、国際的なポジションの確保のために、国際連携・国際標準化活動を推進している。欧米との研究開発連携の枠組を構築し、NICT 及び産学が新世代ネットワークに関する国際連携研究を開始し、特に ITU-T の

将来ネットワークに関する標準化活動等を推進し、平成23年度に成立した ITU-T Y.3001 をはじめとする将来網の勧告化(Y.3000シリーズ)に貢献した(表2.5.1)。

## 2.5.2 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研究開発戦略本部(以下、戦略本部)は、平成19年10月に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に発足し、平成22年度末に解散した。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した。

戦略本部は、発足以来、産学官の連携による研究開発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(以下、戦略WG)を内部に設置している。戦略WGでは、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技術要件及び新世代ネットワークによる将来の社会ビジョンとそれを実現する技術要件をまとめた報告書「新世代ネットワークにおけるビジョンと技術要件」を平成20年に公表した。ここでは、様々な社会問題や課題を ICT で解決することを基本とし、第1に、現在の社会問題—エネルギー、災害、医療、格差社会、少子高齢化、食糧などの負の部分をはできるだけ最小化し、第2に、人の知の領域を増やす、あるいは、生活の質を向上させる、

生産性を向上させるなど新しい価値を最大化し、第3に、グローバル化が一層進むことによって生じる紛争や対立、格差、過疎といった問題に対して、多様性を尊重し、新たな協調を促進するようなネットワークを構築する、の以上3点をビジョンとして掲げた(図2.5.3)。



図2.5.3 新世代ネットワークビジョン

その後、前述のビジョンを実現するために必要な様々な技術要件を抽出し、それらの中から新世代ネットワークの設計目標として、5つのネットワークターゲット：「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」を打ち出した。そして、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)」を平成21年に公表した。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の「新世代ネットワークファンダメンタルズ」を図2.5.4に示す。

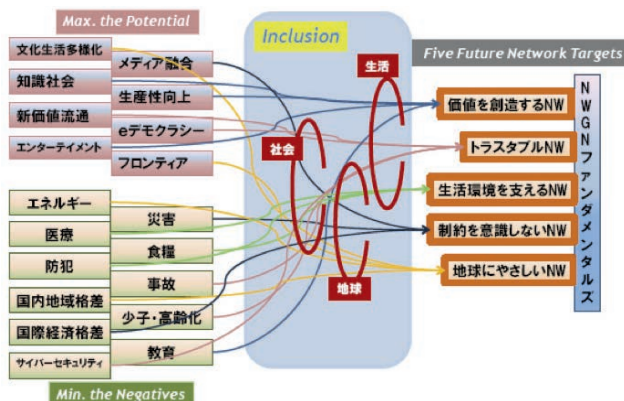


図2.5.4 ビジョンから5つのネットワークターゲットへ

この戦略に基づき、新世代ネットワークの実現を目指し、有線・無線をシームレスにとらえ、物理層からアプリケーション層まで、先端技術から応用技術までを総合的に推進する、新世代ネットワーク推進プロジェクトが平成22年から始まった。

### 2.5.3 AKARI アーキテクチャ設計プロジェクト (AKARI プロジェクト)

NICT は平成18年5月に、NICT と大学を中心としたAKARI プロジェクトを開始した。このプロジェクトは、現在人類が抱える様々な問題を解決し、地球規模での文明の更なる発展を支え、未来社会を支えるネットワークを白紙からデザインし、平成23年度までに新世代ネットワークに資する要素技術を確認して、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の実現等を目指した。新世代ネットワークの要求条件、設計目標、設計原理、有望な要素技術等をまとめた、新世代ネットワークアーキテクチャ概念設計書第1.0版を平成19年4月に公表した。

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3原則を掲げた(図2.5.5)。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。



図2.5.5 AKARI アーキテクチャの設計原理



要素技術として、ネットワーク自動構成技術、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5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、地域センサ・無線ネットワーク技術という生活環境を支えるネットワーク実現に貢献する技術、ID・ロケータ分離構造というユーザ（ここではアプリケーション開発者）に制約を意識させないのみならず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た（図2.5.6）。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提案している。

NICT では、AKARI プロジェクトの設計原理と概念設計を基に、平成27年度の要素技術確立と JGN-X 上での新世代ネットワークのプロトタイプ構築を目指し、ネットワークシステムを開発しつつ、それをネットワークテストベッドで利用し広域に展開しながらそれらの概念に基づいたシステムを開発し、実験的に実証している。例えば、ネットワーク自動構成技術は、HANA というシステムに結実し、平成24年度以降 JGN-X の仮想 IP ルータを使い広域展開されている。地域センサ・無線ネットワークは、NerveNet というシステムとして発展し、北海道岩見沢市や NICT 本部での実証試験を経て、平成24年度に無線リンク部に WiFi 及び WiMAX を用いたシステムが国立大学法人東北大学構内に無線テストベッドとして整備された。

## 2.5.4 新世代ネットワークの基本構造の構成技術に関する研究開発

新世代ネットワークの基本構造（アーキテクチャ）の構成技術に関しては、ネットワーク仮想化技術、モバイルネットワーク仮想化技術、光パケット・光パス統合ネットワーク技術及びスマートネットワーク構築技術の確立を目指している。以下それぞれの技術を概説する。

### (1) ネットワーク仮想化技術

ネットワーク仮想化技術とは、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。これによりサービスごとに仮想化されたネットワークを構築でき、サービスからの要求に基づいて、ネットワーク内に分散クラウド用の計算リソース等を配置し、サービスに応じたネットワーク内処理を実現することができる。ネットワーク仮想化技術は、同時に新世代ネットワーク技術の既存技術にとらわれない白紙からの設計という思想による基本構造の構成技術を実験的に評価・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独立に構築、実験、評価をすることが可能になるためである。

ネットワーク実証実験のための基盤技術の研究開発として、PC をノードとするネットワーク仮想化テスト

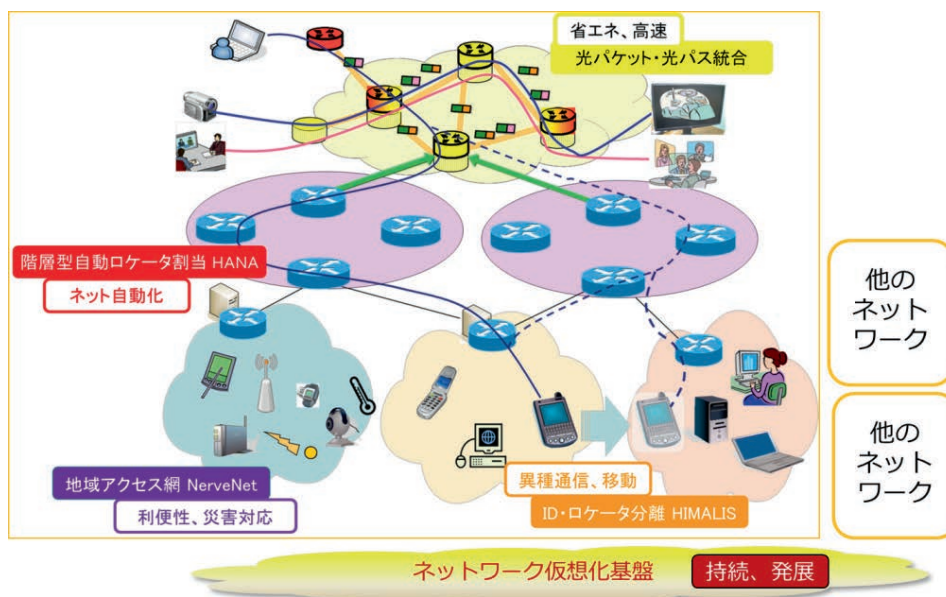


図2.5.6 AKARI アーキテクチャの実装

ベッド CoreLab を国立大学法人東京大学との連携で開発し、展開した。プリンストン大学の PlanetLab をベースとして独自に拡張した管理機能を開発し、仮想資源については、KVM によるホスト型仮想化(スループット・ジッタ・移植性に優位)、OpenVZ によるリソースコンテナ型仮想化(スライス数の観点で拡張性の高い)技術を選択可能なネットワーク仮想化技術を平成20年頃に開発した。また、同時期に仮想資源へのネットワークイメージの高速インストール技術を開発した。これらを、平成21年頃に JGN2 plus に展開して実験できる環境を整えた。当初は、オーバレイの機能のみであったが、トンネル通信機能 GRE を組み込んでより汎用性の高いシステムに拡張、また、OpenFlow 技術を組み込んで、クリーンスレートで高速なシステムに拡張した。

一方、産学との連携により、商用レベルのネットワーク装置をベースに更なるネットワーク仮想化技術の高度化を図った。具体的には、仮想化ノードをルータと OpenFlow スイッチ、汎用サーバをベースに開発し(図2.5.7)、複数のスライスを、それぞれネットワークサービスやアプリケーションの開発を望む利用者に提供する仮想ネットワークのプロトタイプを平成23年までに開発した。平成24年からは、JGN-X 上での試験運用



図2.5.7 仮想化ノード



図2.5.8 NW 仮想化テストベッド

が行われ、複数の研究開発プロジェクトが成果実証のためにそのネットワークを利用している(図2.5.8)。

## (2) モバイルネットワーク仮想化技術

モバイルネットワーク仮想化は前述のネットワーク仮想化をモバイルネットワークに拡張するものである。ここでは、概念目標として BYON の実現を提案している(図2.5.9)。BYON では、無線基地局まで伸張されたネットワーク仮想化の技術と、仮想化された資源の移動技術を駆使することで、通信デバイスのモビリティをサポートしながらも、常にユーザの近傍に局所化された専用ネットワークを構築することを目指している。これによって、例えば移動先であってもプライベートネットワークと社内向けネットワークの双方に対して、異なる通信経路や通信プロトコル、また異なる通信品質やセキュリティ性能を保持しながらアクセスすることが可能となる。さらに、BYON の概念では、通常クラウド内に集約されているアプリケーションサーバや制御サーバの機能を、必要に応じてユーザデバイスの近傍に移動させる概念を含む。これによって、デバイスは物理的に遠方にあるクラウドとデータを送受信する必要がなくなるため、アプリケーションレベルでの即時応答性が期待できると同時にネットワーク内トラフィック削減にも貢献できる。また、物理的なデータの到達範囲が限定されることは、本質的に閉域性の高いネットワークを構築することと同じであり、セキュリティ上の脅威に対して耐性の高いネットワーク構築方法とも言える。

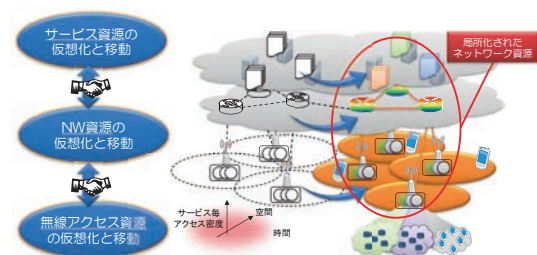


図2.5.9 BYON の概念

これを実現するために、NICT では、平成24年に仮想無線インタフェースの概念を提唱した(図2.5.10)。仮想無線インタフェースは無線基地局が備える物理的な無線インタフェースを適切に抽象化して仮想基地局を構成するための機能モジュールである。例えば、登録サービ

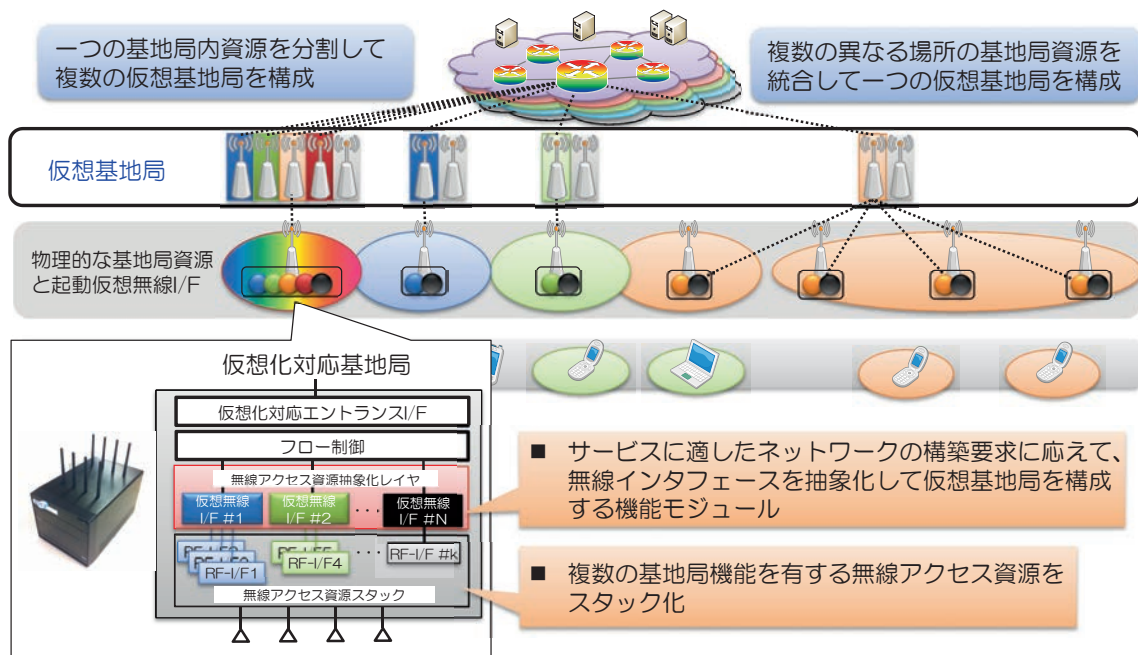


図2.5.10 仮想無線インターフェースの導入と仮想基地局

スに対して構成される仮想ネットワーク毎に仮想基地局を構成し、同仮想ネットワーク上のアプリケーションサーバと端末間のデータの橋渡しを担う。なお、単一の基地局資源を論理的に分割して複数の仮想基地局を構成する場合と、複数の場所の基地局資源を論理的に統合して、単一の仮想基地局を構成する場合の2種類を実現する必要がある。とりわけ後者については、サービス提供エリアを拡大したうえで、提供サービス毎に異なるポリシーの異種無線アクセスシステム間ハンドオーバー制御を採用する等、サービス毎に異なるネットワーク制御を実現するために重要な研究課題と考えている。現在NICT構内にワイヤレス仮想化テストベッドを構築しており、平成26年度末にはNW仮想化テストベッドとの接続を計画当中である。

### (3) 光パケット・光パス統合ネットワーク技術

パケット交換サービスとエンド・ツー・エンドのパスサービスを利用者に提供する光パケット・光パス統合ネットワーク技術の開発により、これまで以上に高速で安価なサービスと低遅延で低データ損失なサービスを単一光ネットワークで提供することを目指す。ネットワーク事業者視点では、大量のデータ交換能力、省エネルギー、柔軟で効率的な資源利用を簡素な制御で実行するネットワークとなる。具体的な要素技術の成果は2.1.2

に述べたが、JGN-X への実装という観点からは、平成24年に、JGN-Xの光ファイバを含み総長で244 km、最大同時に4パケットを保持できる光バッファを有する光パケット・光パス統合ノード装置を開発し、5ホップ、244 km 伝送した際のパケット誤り率が $10^{-4} \sim 10^{-9}$ 程度の性能をもつことを示した。また、平成25年にOpenFlow 技術との連携に成功した。

### (4) スマートネットワーク構築技術

現在のネットワークで問題となっているのは、(1) 経路表の肥大化に起因した、パケットの宛先検索を高速化するための回路の規模と処理量の増加、経路が安定するまでの時間の増加、(2) 複数のレイヤのネットワークを同時に管理運用することによる管理運用コストの増加、(3) アドレス、名前解決の手動設定による人的ミスに起因する安定性の低下、(4) 移動通信時の遅延の増大や異種プロトコル間の情報の不達、等があげられる。

上記の問題を解決するスマートネットワーク構築技術の研究開発の実施により、利用者に高い利便性と信頼性を提供し、可用性が高く運用管理が容易なネットワークを構築した。より具体的には、2.1.3で記したID・ロケータ分離ネットワークHIMALIS、及び階層型自動ロケータ割当機構HANAなどの開発により実現した。JGN-Xへの展開という観点では、平成24年に、JGN-Xの仮想



IP ルータ8台を用いた広域ネットワークを構築し、そこから、HANA を用いて階層アドレス構造に従い自動的にIPv4、IPv6アドレスをルータ及びホストに割り当てるネットワークを構築できるようにした。また、同じく平成24年に、端末が有するネットワーク層プロトコルがIPv4であるかIPv6であるかに依存せず動作するアプリケーションを支えるHIMALISをLinuxのカーネルに実装したホスト及びゲートウェイ機構を持ち、HANAによりロケータを割り当てられるネットワークを構築し、小金井からJGN-X上のHANA基幹ルータに接続した。これらJGN-Xでの構築は継続中で、現在、ネットワークに接続するノード数を増やしながらか、実験を実施している。図2.5.11に以上の概略を示す。

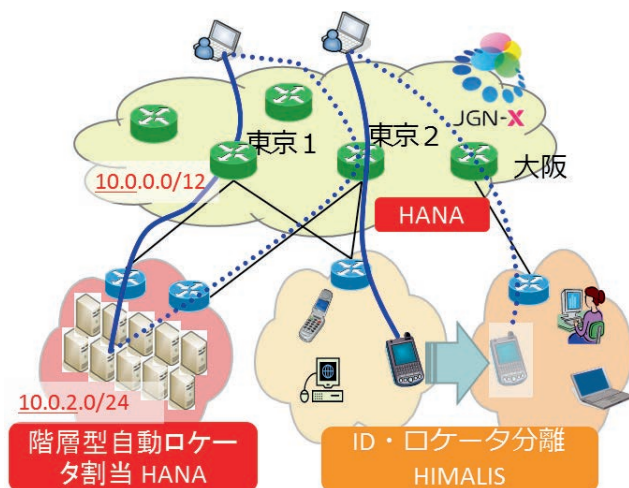


図2.5.11 スマートネットの概念

### 2.5.5 複合サービス収容ネットワーク基盤技術の研究開発

複合サービス収容ネットワーク基盤技術に関しては、超大規模情報流通ネットワーク技術と価値を創造するネットワークサービス基盤技術の確立を目指している。以下それぞれの技術を概説する。

#### (1) 超大規模情報流通ネットワーク技術

有無線のネットワーク技術やデバイス技術の発展により、従来は困難であった小さなモノやセンサのネットワーク接続が可能になりつつある。そうした背景のもと、モノやセンサを含む実世界に存在するデバイスを活用し、生活に密着した高度な情報サービスを提供する、いわゆ

るスマートサービス(スマートシティ、スマートホーム、スマートカー、スマート医療等)の実現に対する期待が高まっている。スマートサービスの本格的実現には、様々な技術的課題があるが、特に、ユーザ端末・モノ・センサー・デバイス等の膨大かつ多様なノードをいかにネットワークサービスに接続し、利用可能としていくかが、大きな課題である。近い将来、ネットワークに収容すべきノードの数は兆単位に及ぶといった予測もある。しかし、そうした膨大なノード群を従来のインターネットが基本とするクライアント・サーバを中心としたアーキテクチャで収容することは、莫大なコストとリソースを必要とし、現実的ではない。

超大規模情報流通ネットワークプロジェクトでは、こうした課題の解決を目指し、膨大かつ多様なノード群をネットワークに収容し、様々なスマートサービスを実現可能とする「超大規模情報流通ネットワークサービス基盤」の研究開発に取り組んでいる。大規模化・多様化に対応していくため、各ノードが自律的に動作して規模拡張性を保ち、処理の共有化やデータ転送の最適化等をネットワーク全体として実現する分散型のアーキテクチャを基本としている。ここで開発された技術によって構成されるミドルウェア実装をPIAXと呼び、JGN-X上で利用できるテストベッドを平成24年度から一般公開している(<http://piax.jgn-x.jp/index.jp.html>)。

#### (2) 価値を創造するネットワークサービス基盤技術

価値を創造するネットワークサービス基盤は、従来のように伝送技術だけに焦点を置くのではなく、ユーザの一手前までがネットワークであり、価値の創造やイノベーションの創出を支援する機能までも含めて提供すべきと考え、その主体である情報サービスへと接続対象を拡大し、情報サービスを様々な組み合わせることで人々の生活や社会システムに直接働きかけることができるようなネットワーク基盤作りを目指している。SCNは、サービス連携に連動して動的にネットワーク資源を制御するための技術で、OpenFlowに代表されるようなプログラム可能ネットワーク基盤と、サービスコンピューティングやクラウドなどの情報サービス基盤の中間に位置するミドルウェアとして実現される。プログラム可能なネットワークは、ソフトウェアからネットワークを操作するためのAPIやコマンドを提供しているが、SCN

ミドルウェアはこの機能を活用して、ネットワークの構成をアプリケーションの実行に適した形に自動的に調整する。

SCN ミドルウェアは、①アプリケーション要求を宣言的に記述するための宣言的サービスネットワーク記述言語 (DSN)、②プログラム可能なネットワークを制御するためのコマンドを実行するためのネットワーク制御プロトコルスタック (NCPS)、③ DSN 記述を解釈し NCPS のコマンド列に変換する機構、によって構成される (図2.5.12)。アプリケーションが DSN を使って「このサービスとこのサービスの間でこんなデータをやり取りしたい」という簡単な要求を与えると、それらのサービスが動いているノードを探したりデータをやり取りするパスを設定したりする NCPS のコマンドを生成し、アプリケーションの要求を満たす最適なネットワークを自動的に作成する。

毎回アプリケーション開発者の要求に対してネットワークの再設定をする必要がなく、管理負荷を軽減することが可能になると期待される。

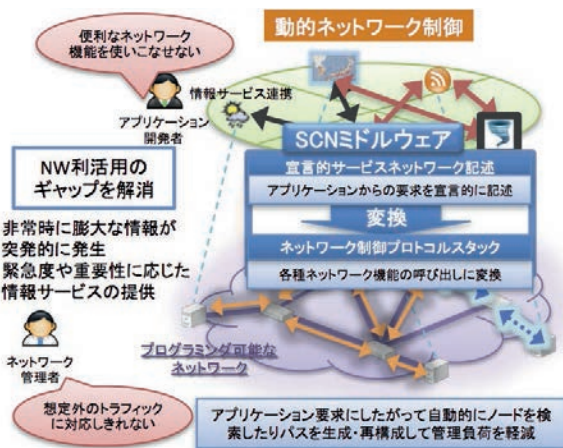


図2.5.12 SCN技術の概要

SCN ミドルウェアの効果は、災害時など既存システムで想定していない事態が発生した際、ネットワークの高い処理性能と拡張性を生かしながら、膨大な情報を組み合わせ集約・分析したり、情報サービスの代替サービスを発見し提供したりするなど、既存の情報サービスを様々に組み合わせ刻々と変化する状況に対応させたい場合に発揮される。SCN ミドルウェア技術を利用することで、突発的なアプリケーションからの要求に対しても、ネットワークを動的かつ継続的に再構築することができるようになる。これにより、アプリケーション開発者にとってはネットワークの性能をより効果的に利用できるようになり、またネットワーク管理者にとっては