

## 平成24年度研究開発成果概要書

「新世代ネットワークを支えるネットワーク仮想化基盤技術の研究開発  
課題ア 統合管理型ネットワーク仮想化基盤技術の研究開発」(149ア01)

副題 フレキシブルにプログラム可能で状況に適応した多様な  
サービスを提供可能な進化型ネットワーク仮想化基盤技術

### (1) 研究開発の目的

本研究開発においては、新世代の重要情報通信基盤の構築を目的とする。  
現在の通信基盤が抱える様々な課題の全てを解決する革新的な設計思想  
を持つ情報通信基盤の構築には、進化型ネットワーク仮想化(Advanced  
Network Virtualization)の考え方が必要となる。つまり、情報通信基盤は  
広義では、データを伝達する通信のための資源を有する「リンク」とプロト  
コルを解釈しリンクを選択するプログラムを実行する計算資源やストレ  
ージ資源を有する「ノード」を基本要素として構成されるが、進化型のネッ  
トワーク仮想化技術では、この広義のネットワーク全体を仮想化する。

具体的には、進化型ネットワーク仮想化の考え方にに基づき、後述5つの要  
件を満たしながら、ネットワークを自由な発想で白紙から創造・設計するこ  
とを可能とし、さらにそれらを複数同時に収容する基盤(メタアーキテク  
チャ)を実現する新世代の重要情報通信基盤の構築を目的とする。

進化型ネットワーク仮想化をベースとした新しい情報通信基盤の要件。

- ① 資源の抽象化 (Abstraction)
- ② 資源の独立分離性 (Isolation)
- ③ 資源の柔軟性 (Elasticity)
- ④ プログラム可能性 (Programmability)
- ⑤ 認証性 (Authentication)

### (2) 研究開発期間

平成23年度から平成26年度(4年間)

### (3) 委託先

日本電信電話(株) <幹事>、国立大学法人東京大学、(株)日立製作所、  
日本電気(株)、富士通(株)

### (4) 研究開発予算(百万円単位切上げ)

平成23年度	650 (決定金額)
平成24年度	750 (契約金額)
平成25年度	693 ( " )
平成26年度	198 ( " )

(5) 研究開発課題と担当

課題ア：統合管理型ネットワーク仮想化基盤技術の研究開発

- T-1 進化可能なネットワーク仮想化基盤アーキテクチャ技術  
(国立大学法人東京大学)
- T-2 制制御管理機構技術 (日本電信電話株)
- T-3 リソース制御技術 (株日立製作所)
- T-4 スライス拡張技術 (国立大学法人東京大学)
- T-5 ネットワークのスライス収容技術 (株日立製作所)
- T-6 プログラム性拡張技術 (日本電気株/株日立製作所)
- T-7 エッジ仮想化技術 (国立大学法人東京大学/日本電気株)
- T-8 ゲートウェイ機能強化技術 (富士通株)
- T-9 テストベッド連携とベンチマークおよびアプリによる技術評価 (日本電信電話株)

(6) これまで得られた研究開発成果

今年度の研究開発により、「進化するネットワーク仮想化技術」の5つの技術要件「資源抽象化」「資源独立化」「資源柔軟性」「プログラム性」「認証性」を満たす9つのサブ課題を分担して要素技術の研究開発を行い、従来のプロトコルやネットワークアーキテクチャにとらわれない新しいネットワーク機能を実現するための、深遠なプログラム性を持つネットワーク仮想化基板技術の設計、および、一部の試作・評価を遂行した。

		(累計) 件	(当該年度) 件
特許出願	国内出願	14 件	7 件
	外国出願	2 件	2 件
外部発表	研究論文	6 件	1 件
	その他研究発表	50 件	33 件
	プレスリリース	3 件	1 件
	展示会	16 件	12 件
	標準化提案	1 件	0 件

具体的な成果

- (1) AsiaFI Network Virtualization Workshop
- (2) 雪まつり実験についてプレスリリース：複数種類の SDN 切替えによる放送配信・運用実験に“さっぽろ雪まつり”にて成功
- (3) GEC15：proto-GENI と日本の VNode を接続したデモ実験に成功

(7) 研究開発イメージ図

# 平成24年度「新世代ネットワークを支えるネットワーク仮想化基盤技術の研究開発 課題ア: 統合管理型ネットワーク仮想化基盤技術の研究開発」 の研究開発目標・成果と今後の研究計画

## 1. 実施機関・研究開発期間・研究開発費

- ◆実施機関 日本電信電話株式会社(幹事者)、国立大学法人東京大学、株式会社日立製作所、日本電気株式会社、富士通株式会社
- ◆研究開発期間 平成23年度から平成26年度(4年間)
- ◆研究開発費 総額 2299.7百万円(平成23年度 649.7百万円, 平成24年度 750.0百万円, 平成25年度 693.0百万円, 平成26年度 198.0百万円)

## 2. 研究開発の目標

進化型ネットワーク仮想化技術を実現する要件である「(1) 資源の抽象化 (2) 資源の独立分離性 (3) 資源の柔軟性 (4) プログラム可能性 (5) 認証性」という観点から、9つの技術課題(課題T1~T9)を抽出し、研究開発を遂行する。最終目標は、課題T1~T9を解決することにより、進化型ネットワーク仮想化技術の基本的要件を満たすこととする。

最終成果として、ネットワーク仮想化基盤の装置が提供可能な資源量の範囲において、同時に100のスライスを構築、利用可能とする。平成25年度末までに検証のための装置として仮想化ノードを5台、仮想化ゲートウェイを20台、管理制御システムを1システム、製作する。既に情報通信研究機構が保有する「旧仮想化基盤」の仮想化ノードおよび仮想化ゲートウェイと合わせて、平成26年度にJGN-X上でシステム検証を行い、さらに課題イ、課題ウとの連携による統合実験により実証する。

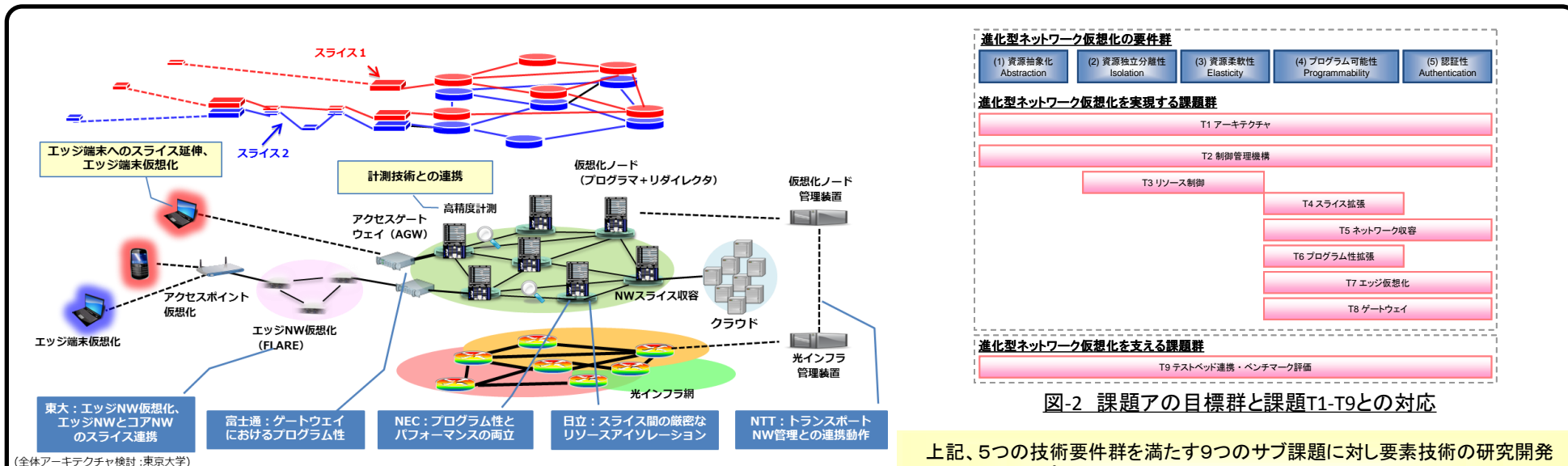


図-1 統合管理型ネットワーク仮想化基盤のイメージと分担

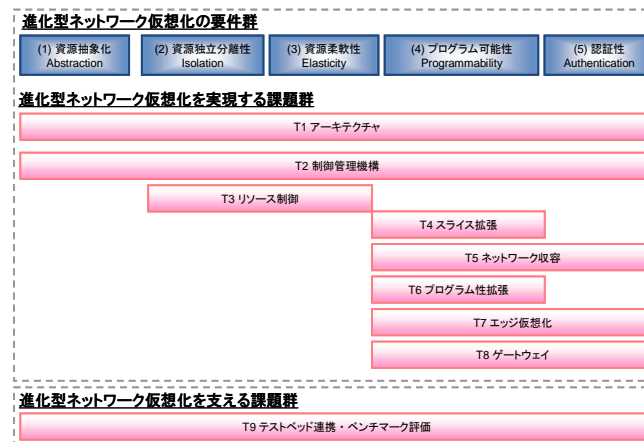


図-2 課題アの目標群と課題T1-T9との対応

上記、5つの技術要件群を満たす9つのサブ課題に対し要素技術の研究開発を行い、従来のプロトコルやネットワークアーキテクチャにとらわれない新しいネットワーク機能を実現するための、深遠なプログラム性を持つネットワーク仮想化基盤技術の設計、および、一部の試作・評価を遂行した。

### 3. 研究開発の成果 (1/3)

#### T1 進化可能なネットワーク仮想化基盤アーキテクチャ

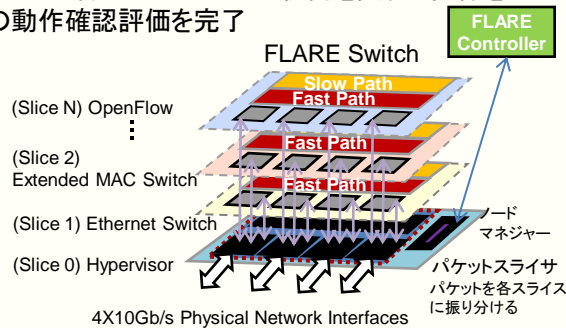
東大

##### 【成果】

- 進化可能なネットワーク仮想化ノード技術としてDeeply Programmableなノードアーキテクチャの研究開発を行った
- プログラム性とパフォーマンス性を両立するために、メーコアプロセッサに仮想化技術を適用し、パケットスライサとデータプレーンFast Path/Slow Pathから構成される小型・省電力のネットワーク仮想化ノードの開発しJGN-XのVNODEとデータプレーン結合を行い広域ネットワーク実験を実施した
- リダイレクタの汎用化・低廉化として、OpenFlow based VLAN Redirector の設計と開発を実施 (VLAN MACアドレス管理方式について検討を実施し要件を明確化)しデータプレーン上の動作確認評価を完了



ネットワークプロセッサを使用した  
小型ネットワーク仮想化装置FLAREの開発



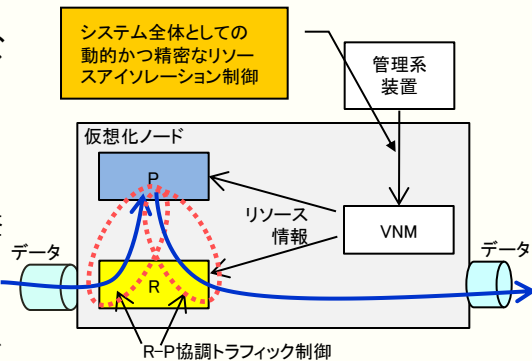
FLAREスイッチアーキテクチャ

#### T3 リソース制御

日立

##### 【成果】

- リダイレクタ (R)、プログラマ (P)、管理系の連携によるリソースアイソレーションを共同で設計し、部分的に実装
- リダイレクタ、プログラマ、AGW からのシステム全体のリソースアイソレーションを評価・調整し、全体連携を部分的に実現
- 階層化シェーパ使用によるリソースアイソレーションを評価・改善し、リダイレクタにおけるアイソレーション適用範囲を拡大



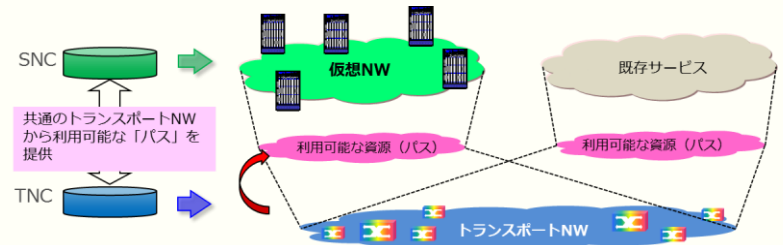
VNM: 仮想化ノード・マネージャ、P: 仮想化ノード・プログラマ、R: 仮想化ノード・リダイレクタ

#### T2 制御管理機構

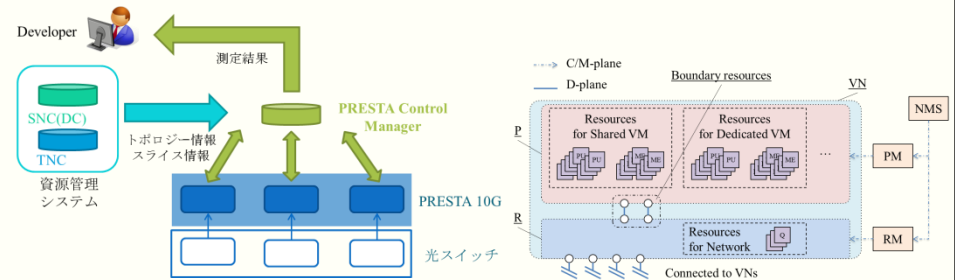
NTT

##### 【成果】

- 前年度開発したトランスポートネットワーク管理制御システムを光パスへ拡張し、光パスおよびマルチレイヤパスを対象としたトランスポートネットワーク制御管理の基本機能動作確認を完了
- トランスポートネットワークコントローラ (TNC) における光クロスコネクタ装置の制御API機能、制御コマンドの発行機能の検討および実装を完了
- 高精度パケットモニタ装置 (PRESTA10G) を用い、仮想化ネットワークのGRE Key やVLAN IDなどのユーザ情報と、トポロジ情報に適用して、フィルタ、光スイッチを動的設定する機構の基本設計を実施
- 仮想化ネットワーク管理システムと連携するためのインターフェースの設計およびPRESTA Control Managerの基本設計を実施
- 仮想化ノードにおける資源分離を適切に行うために、階層化資源管理方式の基本設計および実装を実施
- 課題T1、T3、T8の機能と連携した仮想化ノード管理システムの機能拡張を実施



仮想化ノード管理システムとトランスポートネットワーク制御管理との連携



PRESTAと仮想化ノード管理システムとの連携

階層化資源管理方式

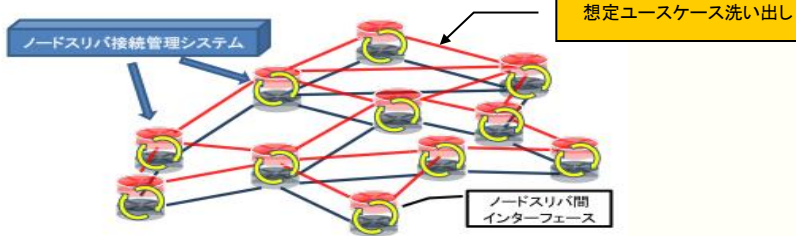
### 3. 研究開発の成果 (2/3)

#### T4 スライス拡張

東大

##### 【成果】

- スライス間連携が必要と想定される様々なユースケースの洗い出しを実行
- スライス間連携の例として課題ウからの要件のヒアリングを実施し最も簡単なスライス間導通の要件を明確化



#### T6 プログラム性拡張

NEC

— プログラム性とパフォーマンスの両立 —

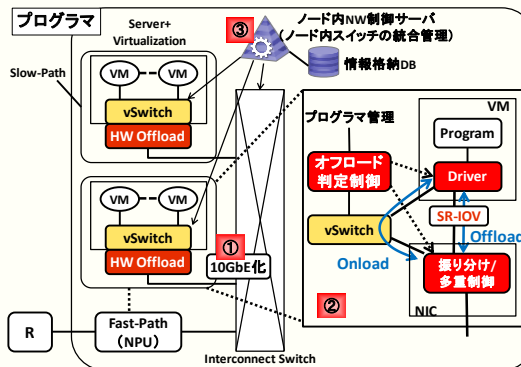
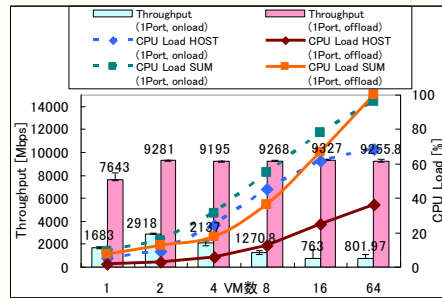
##### 【成果】

- Slow-PathのネットワークI/O性能向上のための検討・試作を実施

- ① プログラム内部の10GbE化
- ② vSwitchオフロードによる性能向上
- ③ vSwitch、物理スイッチの連動制御技術

- 上記Slow-PathのネットワークI/O性能向上①～③を組み込んだプログラマ部の試作・検証を完了
- ホストCPUの負荷を抑えつつ、ネットワークI/Oの性能向上を達成

- 64のVM起動時においても性能が低下することなくワイヤレート性能を達成

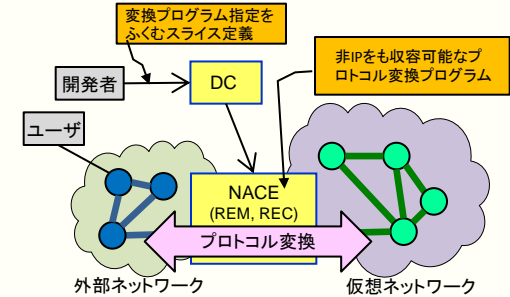


#### T5 ネットワークのスライス収容

日立

##### 【成果】

- 課題T6-2の技術により自由なプロトコル(非IP)によるネットワーク収容機能を実現
- 上記ネットワーク収容機能のためのスライス定義法と管理法を開発し、暫定仕様により実装
- 上記の環境においてMACヘッダ挿入/削除型のネットワーク収容を実現・評価した結果、1 Gbps以上の性能を確認。今後は最高性能の確認と適用範囲拡大を行う



NACE: ネットワーク収容装置  
 REM: リダイレクタ拡張管理部  
 REC: リダイレクタ拡張要素  
 DC: ドメインコントローラ

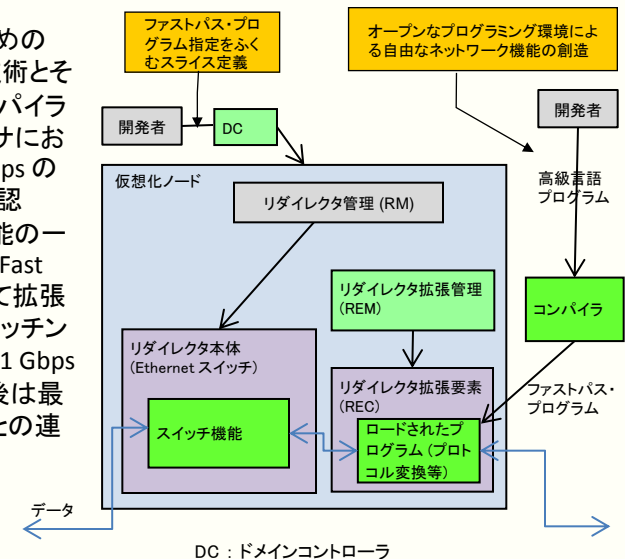
#### T6-2 プログラム性拡張

日立

— 新しいプログラム技術によるプログラム性向上 —

##### 【成果】

- Fast Path 処理基盤のためのSRAM/DRAMわりあて技術とそれを実現する言語、コンパイラを開発し、専用プロセッサにおける評価の結果、500 kppsの性能がえられることを確認
- ノード機能オフロード機能の一種であるスイッチ機能をFast Path 処理基盤を使用して拡張し、IPアドレスによるスイッチング機能を実装・評価して1 Gbps以上の性能を確認。今後は最高性能の確認、管理系との連携と機能拡大を行う



DC: ドメインコントローラ

### 3. 研究開発の成果 (3/3)

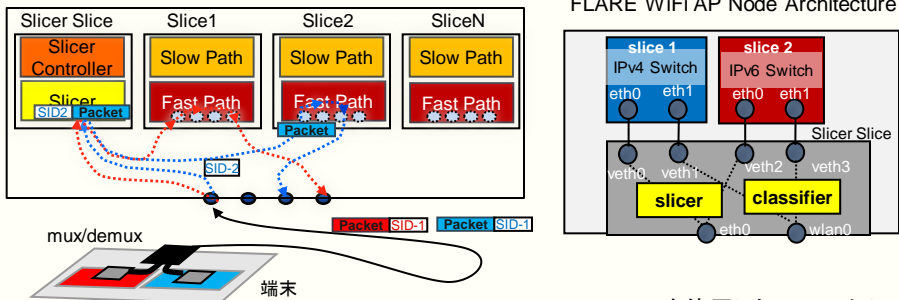
#### T7 エッジ仮想化技術

東大

ー エッジ端末ネットワーク仮想化技術 ー

##### 【成果】

- エッジ端末における複数仮想マシンのスライス収容方式検討と実装
- 組込系、モバイル端末、クラウドサーバ、エッジ内スリバーのスライス多重化
- WiFi APへのFLAREを用いたネットワーク仮想化の実装
- 10GbEに加えGbEをサポートによりGbE装置を直接収容するFLAREスイッチ試作



スライスID(SID) 複数仮想マシン多重化とスライス収容

FLAREを使用したWiFiアクセスポイント仮想化

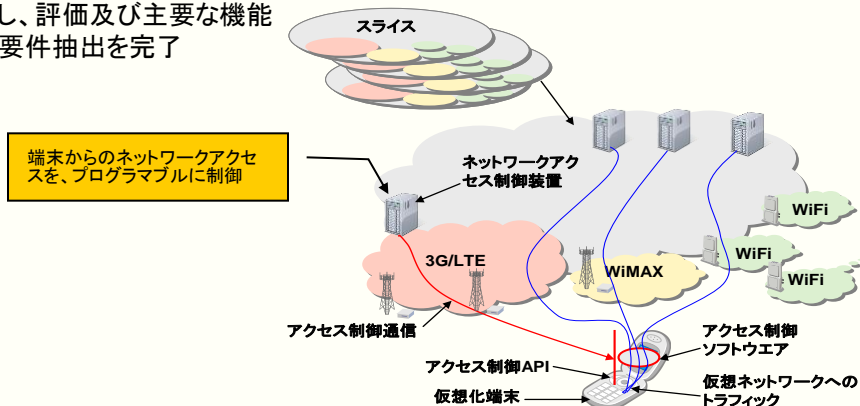
#### T7 エッジ仮想化技術

NEC

ー ネットワークアクセスのプログラム技術 ー

##### 【成果】

- OpenFlowを用いることにより、端末からのネットワークアクセスの動的制御に必要な基本機能を開発完了
- 端末からのネットワークアクセスの動的な経路選択に関する評価環境を構築し、評価及び主要な機能要件抽出を完了



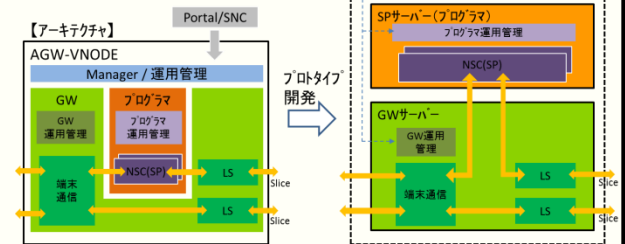
#### T8 ゲートウェイ機能強化

富士通

##### 【成果】

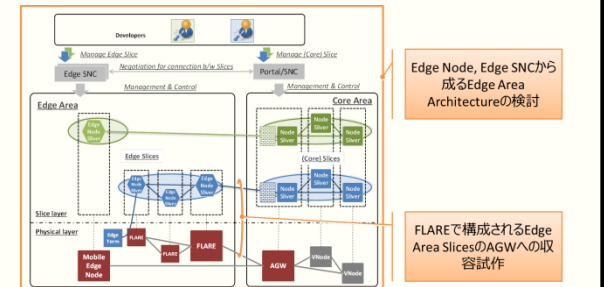
##### ① AGWプログラマビリティ機能 (AGW-VNODE) の開発

- アーキテクチャの検討
  - AGW内にGW機能とプログラマビリティ機能を統合
  - 全ての機能を一筐体で提供する一体型装置
- AGW-VNODEプロトタイプの開発
  - 各コンポーネントのソフトウェア開発



##### ② Edge Area管理方式検討

- Edge Area Architectureの検討
- Edge Node “FLARE”のAGWへの収容試作

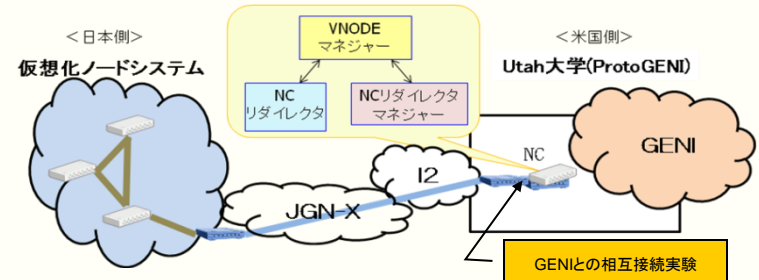


#### T9 テストベッド連携とベンチマーク評価

NTT

##### 【成果】

- 仮想化ノードを米国ユタ大学に設置し、米国テストベッドのGENIとの相互接続デモンストレーションを実施
- 雪まつり実験やInteropにおけるアプリケーション実験



4. これまで得られた成果(特許出願や論文発表等) ※成果数は累計件数と( )内の当該年度件数です。

	国内出願	外国出願	研究論文	その他研究発表	プレスリリース	展示会	標準化提案
新世代ネットワークを支えるネットワーク仮想化基盤技術の研究開発*1	14 (7)	2 (2)	6 (1)	50 (33)*2	3 (1)	16 (12)	1 (0)

\*1 課題ア:統合管理型ネットワーク仮想化基盤技術の研究開発

\*2 国際会議予稿(査読付き)4件を含む

5. 研究成果発表会等の開催について

(1)国際会議でネットワーク仮想化基盤について発表

- ・AsiaFI Network Virtualization Workshop:【1件】
- ・Evening Demo Session: VNode Demo (GEC14, GEC15, GEC16) :【3件】
- ・GEC15:proto-GENIと日本のVNodeを接続したデモ実験に成功(日本電信電話/東京大学/日立製作所/日本電気/富士通)

(2)信学会大会、研究会でネットワーク仮想化について発表

- ・電子情報通信学会(日本電信電話/日立製作所):【4件】
- ・NV研究会(日本電信電話/東京大学/日本電気/富士通):【6件】
- ・第2回仮想化ネットワークシンポジウム(日本電信電話):【1件】
- ・IEEE Symposium / IEEE International Conference (日立製作所):【2件】

(3)雪まつり実験についてプレスリリース

- ・プレスリリース(NICTのプレスリリースに連名):  
“複数種類のSDN切替えによる放送配信・運用実験に“さっぽろ雪まつり”にて成功” 2/5日刊工業、日経コミュニケーション、他に掲載

6. 今後の研究開発計画

今後は、深遠なプログラム性をネットワーク内部に持たせる「Deeply Programmable Network」の概念を前面に打ち出し、国際的に競争力の高い先進的なネットワーク仮想化技術を成熟させるために、引き続き9つのサブ課題を進める。特に(1)ジェネリックなネットワーク仮想化アーキテクチャ定義(2)高度スライスデザイン定義(3)リソースアイソレーションの高度化(4)プログラム性とパフォーマンス性向上の両立(5)トランスポートを含めた垂直リソース制御(6)計測技術(7)スライス間連携技術(8)端末仮想化技術(9)テストベッド機能の充実(10)外部情報発信(海外連携・標準化等)という10のテーマに沿った研究開発をさらに進め、国内外の業界動向や成果展開・利用促進に向けた取り組みとして、研究成果のJGN-X展開を推進する。また、課題イ、課題ウへの新機能の提供と連携、実証実験と研究開発のフィードバック・ループを確立し新たなネットワークサービスの創出を進める。テストベッド連携・評価として、GENIとの連携、およびベンチマークによる機能・性能評価を継続的に進め、米国GEC (GENI Engineering Conference) 等の対外発表に注力し、国際的なVisibilityを高め世界最先端の新世代ネットワーク研究を推進する。