

JGN-X の設計と実装

山本 成一^{†,††} 小林 和真^{†,†††,††††} 河合栄治^{†,††††} 下條真司^{†,†††††}

† 独立行政法人情報通信研究機構

†† 東京大学 生産技術研究所

††† 倉敷芸術科学大学

†††† 奈良先端科学技術大学院大学

††††† 大阪大学

JGN-X (Japan Gigabit Network eXtreme) [1] とは、独立行政法人 情報通信研究機構 (NICT) [2] が運用している新世代通信網テストベッドネットワークの名称である。1999 年に第一世代の JGN の提供が開始された後、JGN2, JGN2plus として更新を続け、2011 年 4 月より、第四世代の JGN-X として新世代ネットワークの技術開発に重きをおいたテストベッドネットワークサービスとして提供を開始している。本稿では、JGN-X におけるテストベッドネットワーク提供の設計と実装を解説し、新世代ネットワーク技術の活用事例を紹介する。

Design and Implementation of JGN-X

Seiichi YAMAMOTO^{†,††}, Kazumasa KOBAYASHI^{†,†††,††††}, Eiji KAWAI^{†,††††},

and Shinji SHIMOJO^{†,†††††}

† National Institute of Information and Communications Technology

†† Institute of Industrial science, The University of Tokyo

††† Kurashiki University of Science and The Arts

†††† Nara Institute of Science and Technology

††††† Osaka University

JGN-X (Japan Gigabit Network eXtreme) is High Speed Advanced Testbed Network for Research and Development (R&D), which is operated by NICT (National Institute of Information and Communication Technology). At 1999, JGN had started as first generation of the testbed. JGN had updated as JGN2(second generation), JGN2plus(third generation), continuously. At 2011, JGN-X had started as fourth generation to enhance research and development of “New Generation Network Fundamental Technologies”. In this paper, we introduce Design and Implementation of JGN-X, and also introduce practical use of New Generation Network Fundamental Technologies.

1. テストベッドネットワーク・研究開発ネットワーク

テストベッドネットワークとは、ネットワークに関する技術について、研究および開発するために利用される専用のネットワークである。例えば、新しく車を開発する場合には、製品として一般的に利用される前に、専用の道路（テストサーキット）において必ず試験

走行が実施される。ネットワーク技術においても同様に、新しいネットワークプロトコルや機器が開発された場合には、試験を行うための専用のネットワークが必要になる。このときに利用されるのがテストベッドネットワークである。車の例では、安全確認を目的とした急ブレーキ試験や、燃費確認を目的とした長距離走行試験等、通常の利用状態を超えた限界状態を再現可能な形で容易に実現できることが要求される。この

ために、雨天の悪路を模した道路や、周回道路等が提供されている。テストベッドネットワークにおいても同様に、広帯域な回線や、長距離の回線利用が必要となる。JGN では、単純な回線提供だけでなく、早くから IPv6 や IP マルチキャストのプロトコル動作にも対応しており、先進的なネットワーク環境をいち早く利用者へ提供することを心がけてきた。また、独立行政法人が提供するテストベッドネットワークとして、広く多くの人に利用されることも目的となっている。我が国のネットワーク技術およびその技術から発展した産業が成長するよう、JGN は日本国民であれば、誰でも利用できるネットワークとして提供されている。(但し、研究開発用途に限る)^(注1)

2. JGN の歴史

- JGN (第一世代:1999 年 4 月-2003 年 3 月)

1999 年 4 月に TAO (通信・放送機構) [3] により運用を開始した JGN は、日本の各地を ATM [4] ベースのバックボーンで結ぶテストベッドネットワークを実現し、この広域かつ高帯域なネットワークにて多くの研究開発が行われた。JGN はブロードバンド環境が普及していなかった当時においては、貴重な実験環境であり、学術機関の他、自治体や民間企業等、多くの実験利用者が利用した。また、実験利用者による研究開発だけでなく、TAO 自身も広域なネットワークテストベッドを運用する技術開発をはじめ、IPv6 技術の検証や推進活動のためのデモンストレーションを実施した。

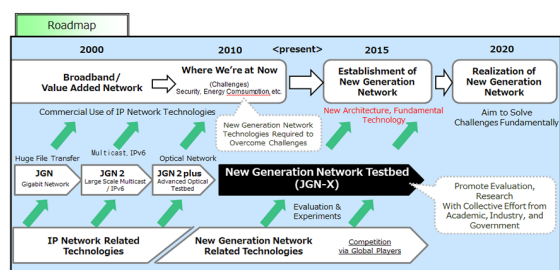


図 1 JGN のロードマップ

- JGN2 (第二世代:2003 年 4 月-2008 年 3 月)

2003 年 4 月より、TAO と CRL (通信総合研究所) [5] が統合して組織された NICT にて、JGN に引き続き JGN2 の運用が開始された。全国網を ATM からイーサネットへ更新し、JGN からのフィードバックとして得られた IPv6 技術の知見を反映させ、公式なサービスとして、IPv4/IPv6 の接続性提供を開始した。また、従来の JGN は、レイヤ 2 以上の技術開発をターゲット

としたテストベッド環境であったが、より低レイヤの研究でも利用できるよう、物理的な光レベルの接続を行う光テストベッド (OXC:Optical CROSS Connect) の提供も開始した。この環境では光パーストスイッチング、GMPLS 技術の開発等が促進された。さらに、IPv6 の普及および利用促進を目的として、IPv6 の応用的な技術である IPv6 マルチキャストについて、プロトコルおよび機器の動作検証も行った。IPv6 マルチキャスト技術は、当時では未成熟な段階であった為、国内外のメーカーが製造するルータ、スイッチにて任意の機器を相互接続した汎用的な形態での利用が困難であった。このため NICT 主導の元、JGN2plus にて各機器の製造会社が参加する形で大規模 IPv6 マルチキャスト相互接続実験を行い、各製造会社との情報共有を重ねた。その結果、国産機器メーカーを中心に、各社の IPv6 マルチキャスト実装の相互接続性を高め、任意の機器同士で相互接続可能な状態へと状況を改善することに貢献した。さらに、成熟しつつある IPv6 マルチキャスト技術を利用して、実際のテレビジョン放送に利用されるビデオコンテンツを配信する実証実験を重ね、IPv6 技術の普及促進に貢献した。

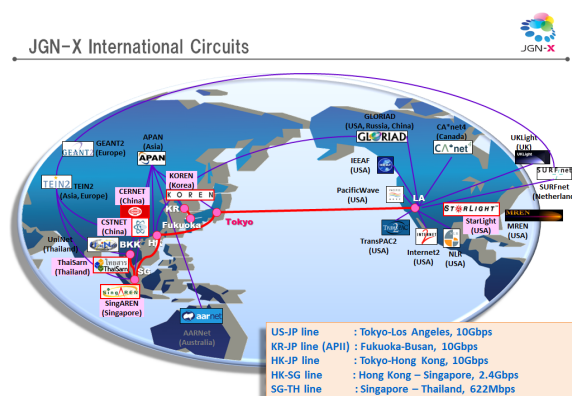


図 2 JGN-X と海外機関の接続状況

また、従来では国内のみに閉じていた JGN 環境を海外のテストベッドネットワークへと相互接続を実施させる事も開始された。具体的には、2004 年 8 月の東京-シカゴ間の国際回線設置をはじめ、シンガポールおよびタイへの国際回線設置、そしてアクセスポイント設置がされた。この相互接続実施により国際的な共同研究活動が顕著に増加し、ネットワーク研究における我が国の国際競争力の向上に大きく貢献した。(その後、韓国および香港への回線が追加され、現在に至る。) 図 2 に JGN-X と海外機関の接続状況を示す。

JGN2 の 5 年間の活動では、175 の研究プロジェクトが登録され、延べ 1820 人の研究者、618 の機関がテストベッドネットワークを利用した。

- JGN2plus (第三世代:2008 年 4 月-2011 年 3 月)

(注1): 別途、事務手続き(利用申請、共同研究契約)は必要である。利用料金は発生しない。

2008 年 4 月から JGN2 に引き続いて運用が開始された JGN2plus では、試験的に仮想化技術を追加し、「管理仮想化ルータサービス」および「仮想化ストレージサービス」の試験運用を開始した。図 3 に仮想化技術の概要を示す。

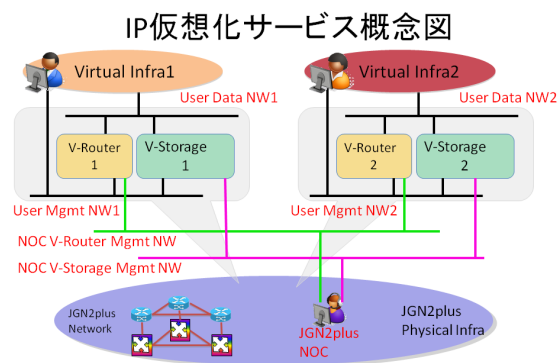


図 3 仮想化技術の概要

これらは、JGN バックボーンネットワーク (10Gbps) 上に直結されたルータや 計算機環境 (VM およびストレージ) を貸し出すサービスである。従来型の JGN では、ネットワーク部分のみの貸し出しサービスであったため、利用者が実験時にネットワークのエンドポイントとなる機器を繋ぎ込む必要があった。この場合は利用者が JGN の接続点 (アクセスポイントや PNW^(注2) / PAP^(注3)) までの回線を用意することであり、利用開始までの高い障壁となっていた。しかしながら、仮想化ストレージサービスで貸し出される VM およびストレージを利用すれば、JGN 上に存在する機器を実験利用時のエンドポイントとすることにより、機器繋ぎこみが必須でなくなり、実験開始が容易となった。また、従来の JGN サービスでは、ネットワークトポロジの設定は NOC^(注4) による静的な設定のみであり、実験利用者による変更は不可能であった。この問題においても管理仮想化ルータサービスにて、貸し出しルータを利用することにより、JGN 上に実験利用者が自在に操作可能なトポロジ変更ポイントが設置され、実験の

(注2): PNW は、パートナーシップネットワークの略であり、JGN アクセスポイントに直結した他組織のネットワークである。主に地方自治体が運用する情報ハイウェイ等の各都道府県内ネットワークである。実験利用者は、この PNW のどこかに接続すれば JGN 利用が可能になる。

(注3): PAP は、パートナーシップアクセスポイントであり、PNW と同様 JGN アクセスポイントに直結した他組織ネットワークに接続されたアクセスポイントである。実験利用者は PAP に接続すれば JGN 利用が可能になる。

(注4): NOC: Network Operation Center, JGN の管理運用を携わる専任チーム。実験利用者からのオダに対するネットワーク機器の設定や、監視、故障対応等、ネットワーク関連のあらゆる作業を担当する。

自由度が向上した。[6], [7]

JGN2plus の 3 年間での活動では、121 の研究プロジェクトが登録され、延べ 1119 人の研究者、377 の機関がテストベッドネットワークを利用した。

3. JGN-X の設計と実装

2011 年 4 月より 5 年の計画で JGN2plus から引き続き運用されている JGN-X について、その設計方針を紹介する。

JGN-X で目標としている StarBED3 [8] との連携や有無線を統合したテストベッドに関する技術開発、そして国内外の他研究組織とのさらなる連携を実現するため JGN2plus から JGN-X への更改にて検討した点を解説する。図 4 に、JGN-X 上に構築された新世代ネットワーク技術を、図 5 に、JGN-X に関与する研究テーマを示す。第 1. 章にて挙げた、テストベッドネットワークの設計では、通常利用の限界を超えての実験実施が可能となる事が要件となる。JGN-X では、この要件に加え、これまでの 3 つの JGN プロジェクト (JGN, JGN2, JGN2plus) における知見を元にその設計を行った。以下にその要点を示す。

・ ソフトウェアベースの仮想化ルータの導入

JGN2plus にて試験的に導入した「管理仮想化ルータ」、「仮想化ストレージ」機能を、試験稼働で蓄積した運用知見を元に統合し、JGN-X では「IP 仮想化サービス」の名称で、標準サービスとして提供を開始した。この中で新規に導入された機能としてはソフトウェア実装による仮想化ルータ機能がある。JGN2plus にて導入した仮想化ルータは、ハードウェア実装であった為、実験利用者毎の性能が各ハードウェアの限界まで確実に提供できる長所があった。しかしながら、提供可能なルータの数がルーティングプロセッサの数に依存していたことや、利用可能なネットワークインターフェースも物理的ネットワークインターフェースに依存しており、実験利用者の初期設定を実施する際には、現地での物理作業が必須であり、導入までの時間的制限や頻繁な設定変更が困難であること等、物理的な制約が発生してしまうことが課題であった。一方で、ソフトウェアベースの仮想化ルータ実装は、PC を含めた各種仮想化技術の進展に伴い、ここ数年で飛躍的な性能向上がみられた。このため、JGN-X では、このソフトウェアベースの仮想化ルータ (ロジカルルータ) の導入を全拠点の対応ルータにて実施した。JGN-X ではロジカルルータの導入により、多くの利点が享受できている。具体的な例を以下に示す。

－ 迅速な展開への対応

ロジカルルータは、実験利用者用の設定投入を行えば、すぐに利用可能になる。物理的に専用ポートを割

り当てる場合は、ハードウェアベースの仮想化ルータと同様、現地で配線作業等、物理作業が必要になるが、論理回線 (vlan) への接続や、同一筐体内のロジカルルータ同士におけるトンネルインターフェース接続の場合は、遠隔からの設定変更のみで対応できるため、速やかな貸出が可能となった。

－ より適切な資源分配への対応

ロジカルルータの利用により、筐体を提供している資源を分割し、実験利用者へ提供することが可能となった。また、ハードウェアベースの仮想化ルータと比較すると、筐体一台あたりに利用可能なルータ数が増加した。このため、実験利用者の負荷や利用計画に応じて、該当するロジカルルータの集約や分散が可能となり、より適切な資源利用が可能となった。

－ パス設計コストの低減化

JGN-X のロジカルルータでは、VPLS [9] の利用が可能である。このため、JGN-X の多くの箇所でロジカルルータを経由した L2 パス延長が可能となった。従来型の L2 パス延長では、VLAN を利用しているため、スパンニングツリー (STP [10] [11]) 設計に人的リソースが必要となり、運用管理のコストが高かった。VPLS での L2 延長は、STP を利用せずに (VPLS 区間のみであるが) 冗長性確保をしつつ、ループフリーとなることから、運用コストの低減に繋がっている。

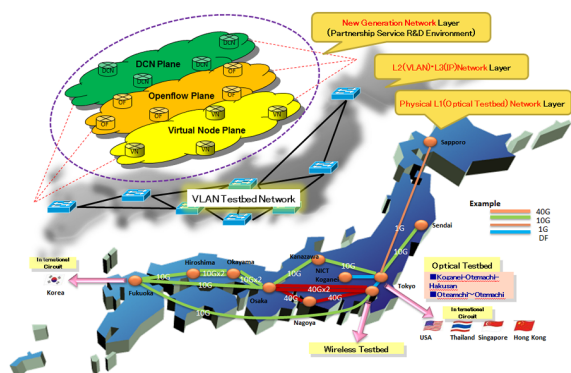


図4 JGN-X 上に構築された新世代ネットワーク技術

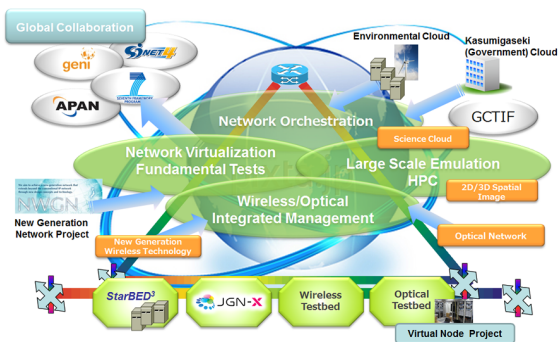


図5 JGN-X に関する研究テーマ

● バックボーン回線へのタップ挿入

テストベッドネットワークを通過するトラフィックに対し、パケットレベルでの計測が必要になった場合、従来では機器のポートモニタ機能やサンプリング機能を利用し、特定トラフィックのコピー出力やサンプリング出力を利用していた。この場合、機器内部でパケットのコピー処理が実施されるため、パケットの転送間隔を厳密に維持することが困難である場合や、目的のパケットが出力として得られない場合がある。このため、厳密な測定を行う場合は、タップを用いた物理レベルでのモニタが必要になる。タップ挿入には計画作業が必要となり、導入には大きなコストを伴う。この問題に対応するため、JGN-X ではバックボーン回線の初期インストール時に、各アクセスポイントの主要機器のバックボーン側インターフェースをタップを挟んで回線を収容する形態に統一した。全拠点の全バックボーンインターフェースにタップが挿入されているため、厳密な測定が必要になった場合でも、計画作業を伴うことなく、計測機器の用意ができれば、任意のタイミングで、測定を開始することが可能となっている。

● 管理用回線のインターネット接続化

テストベッドネットワークでは、限界まで帯域を利用してプロトコルや機器の性質を確認することや、また、意図せずにフラッドやループを伴う事故が発生することがある。JGN-X ではこのような場合においても、安定した管理が可能となるよう、実験利用者が利用する回線とは物理的に独立した別回線を管理用回線として用意している。従来の JGN 環境においても、独立した別回線 (ISDN 接続) を用意していたが、監視センター側の収容回線の都合より、同時にアクセス可能な回線数に制限があった。このため、通常利用時の監視等、計画的に各アクセスポイントへ接続する際には問題が無かったが、大規模障害時等、任意の複数のアクセスポイントに接続する際には非常に煩雑な手順となるという問題があった。この問題に対応するため、JGN-X では各アクセスポイントに対し、管理用にインターネット接続回線を用意し、24 時間継続的に監視および操作が可能な状態を維持している。なお、各アクセスポイントと監視センターの間はインターネットを経由するため、管理用の通信はアクセス制限および暗号化を施している。

● 物理的リングトポロジの構築

JGN-X で利用している物理回線は複数のリング (閉路) を内包するトポロジとなるよう配置を行った。一般的に、トンネル技術を用いて、物理的回線パスと異なる仮想的・論理的なパスを作成することは可能であるが、帯域を確保しつつ、冗長となるパスが必要となる場合は、物理的な別回線が必要となる。一世代前の JGN2plus ネットワークでは、直線状のトポロジであっ

***1 Partnership Access Point (PAP) (Planned)**
***2 Partnership Network (PNW)** (Services Supported at PAP - PNW (Service, Bandwidth) will depend on each operating institutes)

JGN-X connectivity is enabled through APs in the following information highways (*2)

- Okazaki Information Highway
- Tohoku Information Highway
- Kansai Information Highway (Planned)
- SuperC@Network (deceased)

APs and PNWs:

- Okayama AP <10G>
- Hiroshima AP <10G>
- Osaka AP <10G>
- NICT Fukuoka <10G>
- NICT Kobe <1G>
- Nagoya AP <10G>
- Sapporo AP <10G>
- Kanazawa AP <10G>
- Ishikawa Gakko Labo AP <10G>
- Sendai AP <10G>
- Tohoku University <10G>
- Otemachi AP <10G>
- NICT Otemachi AP <10G>
- NICT Koganei AP <10G>
- Information of Tokyo <10G>
- Teikoku AP <10G>
- NICT Kasahara <10G>
- Yokohama <10G>
- Koganei <10G>
- Otemachi <10G>

Optical Testbed

JGN-X / API Circuit

JGN-X International Circuits

- USA
- Thailand
- Singapore
- Hong Kong

[illegible]

- 分散 NOC による運用

ローラを利用した OpenFlow 環境を構築し、OpenFlow テストベッドの利用モデルが確認された。[14] その他のレイヤ等、詳しくは各実験の報告を参照されたい。(RISE with Trema [15], SDTN [16], LIME [17], sa46t [18], presta [19], vnode [20], DCN [21], [22])

5. ま と め

本稿では、新世代通信網テストベッドネットワークである JGN-X について、設計と実装を解説し、実用例の紹介を行った。JGN-X では今までに運用された 3 つの世代の JGN 環境にて蓄積した運用知見を活用し、先端的なテストベッドネットワーク環境を提供している。

今後は、RISE を含めた開発中の新世代ネットワークサービスを一般サービスとして提供できるよう、JGN2plus から継続的に検討を行なっている仮想化環境を含めた統合的な資源管理の成果 [23], [24] を反映し、他のサービスとの連携を意識したオーケストレーション環境の構築を予定している。

また、NICT が運営している大規模エミュレーション基盤環境である StarBED3 についても、JGN-X との連携を模索し、実験利用者に対して高い付加価値をもたらす、統合テストベッド環境の実現をめざし、基

盤技術の開発を行う予定である。

6. 謝 辞

さっぽろ雪まつり実証実験は、多くの実証実験参加機関の協力により実施できた。ここに感謝の意を記す。各機関の名称については NICT プレスリリースを参照されたい。[25]

参考文献

- [1] JGN-X:Japan Gigabit Network eXtreme, <http://www.jgn.nict.go.jp/>
- [2] NICT:National Institute of Information and Communications Technology, <http://www.nict.go.jp/>
- [3] 通信・放送機構, TAO:Telecommunications Advancement Organization of Japan, <http://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/285133/www.shiba.tao.go.jp/index.html>
- [4] ATM:Asynchronous Transfer Mode, “ATM forum”. <http://web.archive.org/web/20050701081559/http://www.atmforum.com/>
- [5] 通信総合研究所, CRL:Communications Research Laboratory, <http://www.nict.go.jp/about/history.html>
- [6] 山本成一, 中村一彦, 三宅喬, 金海好彦, 長谷部克幸, 太田善之, 田中仁, 美甘幸路, 樋山寛章, 小林和真, 下條真司, “JGN2plus における運用: 安定性とチャレンジ, テストベッドネットワークに対する運用面からの試み”, 信学技報, IA, インターネットアーキテクチャ 108(223), pp33-38, 2008
- [7] 山本成一, 長谷部克幸, 太田善之, 田中仁, 小林和真, 下條真司, “複数の研究開発ネットワークにて協調した大規模映像配信実験” 信学技報, IA, インターネットアーキテクチャ 109(208), pp43-48, 2009
- [8] StarBED3, 北陸 StarBED 技術センター, <http://starbed.nict.go.jp/index.html>
- [9] Loa Andersson, Eric C. Rosen, “Framework for Layer 2 Virtual Private Networks (L2VPNs)”, RFC4664, <http://tools.ietf.org/html/rfc4664>
- [10] Perlman Radia, “An Algorithm for Distributed Computation of a Spanning Tree in an Extended LAN”. ACM SIGCOMM Computer Communication Review 15 (4) 445.
- [11] “802.1D IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks. Media Access Control (MAC) Bridges”. IEEE. 2004. p. 154. Retrieved 19 April 2012.
- [12] “複数の新世代技術を活用した「多層仮想化ネットワーク」による 国内外複数拠点への同時放送配信・運用実験に成功”, NICT プレスリリース, 2012 年 2 月, <http://www.nict.go.jp/press/2012/02/08-2.html>
- [13] OpenFlow, <http://www.openflow.org/>
- [14] 河合栄治, 金海好彦, 齋藤修一, 石井秀治, 高田智明, 小林和真, 下條真司, “RISE, OpenFlow テストベッド”, 情報処理学会研究報告.IOT, インターネットと運用技術, 2012-IOT-18(5), 1-6, 2012 年 6 月
- [15] Trema, Full-Stack OpenFlow Framework in Ruby and C, <http://trema.github.com/trema/>
- [16] 磯貝彰則, 福田亜紀, 増田暁生, 平松淳, “マルチドメイン SDTN の実現に向けたグローバルネットワーク構築の実証実験”, 信学技報, vol. 111, no. 468, NS2011-181, pp. 13-16, 2012 年 3 月.
- [17] “LIME:Lightweight interactive multimedia environment (LIME) for IPTV” services, ITU-T Recommendations , H.762 <http://www.itu.int/ITU-T/recommendations/rec.aspx?id=10642>
- [18] Naoki Matsuhira, “sa46t, Stateless Automatic IPv4 over IPv6 Encapsulation / Decapsulation Technology: Specification”, draft-matsuhira-sa46t-spec-05, Internet Draft, <http://tools.ietf.org/html/draft-matsuhira-sa46t-spec-05>
- [19] 清水健司, 桑原世輝, 瀬林克啓, 丸山充, “10Gb/s 高精度ネットワーク測定プラットフォームによる広域網測定統合環境の高度化 ~ PRESTA 10G による perf-SONAR の拡張について ~”, 信学技報, vol. 110, no. 190, NS2010-57, pp. 55-58, 2010 年 9 月.
- [20] 中尾彰宏, “仮想化ノード・プロジェクト:新世代のネットワークをめざす仮想化技術”, NICT News, 2010 年 6 月号, <http://www.nict.go.jp/publication/NICT-News/1006/01.html>
- [21] Dynamic Circuit Network, Internet2, <http://www.internet2.edu/network/dc/>
- [22] 田中仁, 大槻英樹, “JGN2plus における DCN(Dynamic Circuit Network) の展開”, Advnet2009, 2009 年 6 月,
- [23] 樋山寛章, 金海好彦, 衣川昌宏, 三宅喬, 山本成一, 長谷部克幸, 小林和真, “JGN2plus テストベッドネットワークでのバーチャル AS ホスティングサービスの検討”, 信学技報, IA, インターネットアーキテクチャ 108(223), pp49-54, 2008
- [24] 樋山寛章, 金海好彦, 三宅喬, 山本成一, 長谷部克幸, 河合栄治, 小林和真, “JGN2plus IaaS における仮想資源割り当てメタシステムの設計”, 信学技報, IA, インターネットアーキテクチャ 109(208), pp29-36, 2009
- [25] “実証実験 参加機関 一覧:複数の新世代技術を活用した「多層仮想化ネットワーク」による 国内外複数拠点への同時放送配信・運用実験に成功”, NICT プレスリリース 別紙, 2012 年 2 月, <http://www.nict.go.jp/press/2012/02/pdf/20120208-02.pdf>