

# 広域SDN環境とオンデマンドクラウド構築サービスを用いたソフトウェア定義クラウド環境構築に関する提案

市川 昊平<sup>1,a)</sup> 竹房 あつ子<sup>2,b)</sup> 木戸 善之<sup>3,c)</sup> 渡場 康弘<sup>3,d)</sup> 伊達 進<sup>3,e)</sup>

**概要:** 近年の仮想化およびソフトウェア技術の発展に伴い、広域に分散するSDNテストベッドや、オンデマンドに計算資源を配備可能なクラウド構築サービスなどの研究開発が進められつつある。しかしながら、これらSDN環境とクラウド環境を統合的に扱い、広域に分散するソフトウェア制御可能なクラウドシステムの構築にはまだ困難が伴う。本稿では、我々が構築中の国際SDNテストベッドと、NIIが提供するオンデマンドクラウド構築サービスをSINETの動的VLANサービスで結合し、動的にSDN環境とクラウドを統合したソフトウェア定義クラウド環境構築手法に関して述べる。

**キーワード:** Software-Defined Networking, 広域分散システム, インタークラウドシステム

## A Proposal on Software-Defined Cloud Environment using Wide-area SDN Environment and On-Demand Virtual Cloud Service System

KOHEI ICHIKAWA<sup>1,a)</sup> ATSUKO TAKEFUSA<sup>2,b)</sup> YOSHIYUKI KIDO<sup>3,c)</sup> YASUHIRO WATASHIBA<sup>3,d)</sup>  
SUSUMU DATE<sup>3,e)</sup>

**Abstract:** With the development of recent virtualization and software technology, the research and development on widely distributed SDN testbeds and on-demand Cloud services have been promoted. However, it is still difficult to build a software-controllable widely distributed Cloud system that handles these SDN environments and Cloud environments in an integrated fashion. In this paper, we describe a method to provide software-defined Cloud environments that integrate the SDN and Cloud environments by combining our international SDN testbed and the on-demand virtual Cloud service system provided by NII with the dynamic VLAN service of SINET.

**Keywords:** Software-Defined Networking, Widely Distributed Systems, Inter-Cloud Systems

### 1. はじめに

仮想計算機技術の発達により、計算資源の配備はソフトウェアによって動的に制御可能となり、計算資源の共有・利用効率を高め、米国Amazon社におけるAmazon EC2に代表されるようなスケラブルで柔軟な仮想計算機基盤を提供するクラウドサービスを実現可能としている。学術分野においてもクラウド技術の利用は浸透しており、今日では米国のFutureGridプロジェクトや国内のNIIのオンデマンドクラウド構築サービスのように、地理的に分散する複数の研究機関や大学、データセンタの保有する計算資

<sup>1</sup> 奈良先端科学技術大学院大学  
Nara Institute of Science and Technology,  
8916-5 Takayama-cho, Ikoma, Nara 630-0192, JAPAN  
<sup>2</sup> 国立情報学研究所  
National Institute of Informatics,  
2-1-2 Hitotsubashi, Chiyoda-ku, Tokyo 101-8430, JAPAN  
<sup>3</sup> 大阪大学サイバーメディアセンター  
Cybermedia Center, Osaka University,  
5-1 Mihogaoka, Ibaraki, Osaka 567-0047, JAPAN  
a) ichikawa@is.naist.jp  
b) takefusa@nii.ac.jp  
c) kido@cmc.osaka-u.ac.jp  
d) watashiba-y@cmc.osaka-u.ac.jp  
e) date@cmc.osaka-u.ac.jp  
© 2018 Information Processing Society of Japan

源上に、動的に仮想計算機を配備・集約することによって、複数拠点間にまたがるインタークラウド環境を構築する技術に関して研究開発が推進されつつある [1], [2], [3]. このような仮想計算機環境は、ソフトウェア制御により容易に構築・共有・破棄ができ、ユーザごとに独立したテストベッドを与えることが可能であり、分散システム研究に関連する新しいアイデアの実験の場および教育の場として活発に活用されている。

また、このような計算機資源の割り当てを動的にソフトウェアで制御し、複数拠点間において仮想計算機資源を共有するテストベッド環境構築技術の成熟とともに、これら複数拠点間を結ぶネットワークにおいても、ソフトウェアで柔軟に制御を可能とする仮想ネットワークに対する期待が高まりつつある。我々はこのような現状を鑑み、国際共同研究コミュニティ、PRAGMA (Pacific Rim Applications and Grid Middleware Assembly) において拠点間を結ぶ広域仮想ネットワークテストベッド構築に関する研究開発プロジェクト、PRAGMA-ENT (PRAGMA Experimental Network Testbed) を発足し、インタークラウド環境における Software Defined Networking (SDN) テストベッド環境の開発・展開に従事してきている [4].

しかしながら、これら仮想計算機テストベッド環境および仮想ネットワークテストベッド環境の研究開発は個別に推進されつつある一方で、これらを統合的に扱い、広域に分散するソフトウェア制御可能なクラウドシステムを構築するためには、テストベッド間の接続の確立方法や計算機資源の統合的な扱い方法などまだ解決すべき課題は多い。本研究ではこの課題に対し、SINET の動的 VLAN サービスを活用し、テストベッド間の接続を動的に確保した上で、NII が提供するオンデマンドクラウド構築サービスを用いて SDN テストベッド環境とインタークラウド環境を統合するソフトウェア定義クラウド環境構築手法の確立を目指している。

本稿では、本目的に向けて現在、設計・実装および技術的検証を行っている状況について報告する。2 節では、まず、現在までに構築を進めている SDN テストベッドである PRAGMA-ENT について概説し、3 節では本研究で目指しているソフトウェア定義クラウド環境構築に関して、現在取り組んでいる設計や技術検証の状況に関して解説する。4 節では今後取り組むべき課題について述べ、最後に 5 節でまとめる。

## 2. PRAGMA-ENT

PRAGMA は主に環太平洋地域の大学及び研究所によって構成される国際共同研究コミュニティであり、ネットワークを積極的に活用することによって実施する世界規模の学術活動である e-Science を実施・実現する上での研究課題や問題の解決に向けて、共同研究を継続的に行うコミ  
© 2018 Information Processing Society of Japan



図 1 構築中の広域 SDN テストベッド環境，PRAGMA-ENT の概要

ニティである。PRAGMA コミュニティの特徴的な点としては、バイオ情報や環境、地理など計算科学的アプローチを必要とする個別の専門分野の科学者とコンピュータ工学の研究者が共に多く在籍し、活発な共同研究を長年続けてきている点にある。PRAGMA では、この e-Science における実証的研究のために、PRAGMA テストベッドと呼ばれる共有の計算機基盤を構築してきた [5]. このような共有の計算機テストベッドを構築するにあたって、PRAGMA コミュニティに参画する各組織は相互にある一定の計算機資源を提供しあい、広域に分散した大規模な計算環境の構築を進めている。

このような計算機環境の広域テストベッド環境の成熟に伴い、これら広域に分散する計算機資源を接続するネットワークに関してもソフトウェアで柔軟に制御可能な仮想ネットワークへの需要の高まりを受け、我々は広域に分散する OpenFlow[6] ベースの SDN テストベッド、PRAGMA-ENT の構築を始めた。PRAGMA-ENT では、拠点間ネットワーク全体を完全にソフトウェアで制御可能なネットワークテストベッドの構築を目指しており、これによって広域ネットワーク上での様々な実証的なネットワーク実験を可能とすることを目指している。本目的の実現のため、PRAGMA-ENT に参画する各組織は、それぞれ拠点ごとに OpenFlow スイッチを提供し、各スイッチ間を各国の学術研究用の高速ネットワークで接続する環境の構築を進めている。具体的には、図 1 に示すように、現在までに JGN (Japan Gigabit Network) の RISE (Research Infrastructure for large-Scale network Experiments) [7], Internet2, TWAREN (TaiWan Advanced Research and Education Network) 等を活用し、5 カ国 10 組織を接続した広域 OpenFlow ネットワークを構築している。参画組織によっては、ハードウェア OpenFlow スイッチを配備できず、ソフトウェアベースの Open vSwitch を用いたり、データプレーンにおいても学術研究高速ネットワークが利用できない組織においては GRE (Generic Routing Encapsulation) 等のオーバーレイネットワーク技術を用いるなど柔軟な方法で相互に接続を確立している。

このようにして構築が進められている PRAGMA-ENT

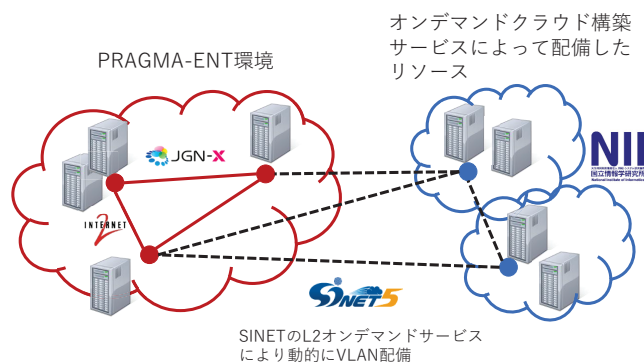


図 2 L2 オンデマンドサービスとオンデマンドクラウド構築サービスを使用した PRAGMA-ENT 環境拡張の概要

では、拠点間を接続するネットワーク経路が広域環境上で複数存在するマルチパスネットワークを形成しており、現在までに経路制御の最適化などで様々な実証的研究を実施している。例えば、U-chupala らの研究 [8] では、各アプリケーションの使用帯域に合わせて、最大のパフォーマンスを得られる経路を自動的に選択する経路制御実験を実施したり、また Nakasan および Huang らの研究 [9], [10] では、拠点間に存在するマルチパスを同時に使い、利用可能な帯域を集約することで高速なデータ転送を実現している。また Kido らの研究 [11] では拠点間におけるリモート高精細可視化において輻輳制御を OpenFlow で実施し、通信の安定化を図る実験等を行っている。

上述の通り、PRAGMA-ENT においてはある一定の成果が認められているが、PRAGMA-ENT が展開するネットワークはまだ限定的であり、大規模なネットワーク実証実験を実施する上で、より規模の大きいネットワーク実証実験基盤の構築が求められている。また、現状の PRAGMA-ENT は各国の学術研究ネットワークを静的な拠点間 VLAN 設定によって構築しており、テストベッドの上で実行されるネットワーク実験の実施スケジュールに応じて、構成変更などの手間を要している。インタークラウドにおける実証実験においては、個々の実証実験内容に応じて必要とする仮想ネットワークのトポロジや要件が異なり、また実験基盤を必要とするのは評価作業を行う一時的な期間に限定される。そのため、手作業でネットワークの配備方法をその都度に変更する運用は非効率であり、実証実験の実施を効率よく行えない。そのため、ソフトウェア制御により動的に複数のテストベッドを連携させ、オンデマンドに実証実験基盤を配備可能な技術の確立が求められている。

### 3. ソフトウェア定義クラウド環境

我々が現在取り組んでいるソフトウェア定義クラウド環境は、NII が提供するオンデマンドクラウド構築サービスと PRAGMA-ENT 上の各ネットワーク拠点間に、SINET の L2 オンデマンドサービスにより動的に VLAN を配備することによって、PRAGMA-ENT が提供するテストベッ

© 2018 Information Processing Society of Japan

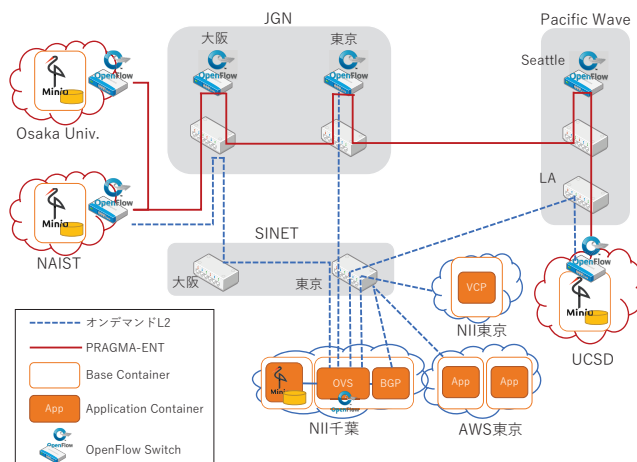


図 3 研究開発中のソフトウェア定義クラウド環境のアーキテクチャ

ドと NII のオンデマンドクラウド構築サービスを動的に統合した大規模なテストベッドを構築することを目指している。図 2 に示すように、オンデマンドクラウド構築サービスによって動的に確保されたリソースと PRAGMA-ENT のリソースを L2 オンデマンドサービスにより動的に接続することによって、実証実験に必要な大規模な実験環境をオンデマンドで構築することを目指している。

#### 3.1 実装するユースケース

ソフトウェア定義クラウド環境を実現するにあたって、現在は一つユースケースを定義し、そのユースケースの実装を通して研究開発を実施している。具体的には各地に分散するオブジェクトストレージに格納されているデータを商用および学術クラウドのリソースを動的につないで分析・処理するというユースケースの実装に取り組んでいる。これはバイオ情報分野では典型的なユースケースであり、各地に分散して保管されているバイオ情報データベースを各地の計算機リソースを連携して分析し処理するというパターンに当てはまる。

図 3 に構築中のクラウド環境の詳細なアーキテクチャ図を示す。構築中のクラウド環境は、PRAGMA-ENT のリソースとオンデマンドクラウド構築サービスにより追加したリソースからなる。PRAGMA-ENT のネットワーク回線およびサイトは赤い実線で示している。オンデマンドクラウド構築サービスのリソースは青い線で示している。青い破線で示したネットワーク回線は L2 オンデマンドサービスによって接続するネットワークである。オンデマンドクラウド構築サービスの中で動作するミドルウェアは VCP (Virtual Cloud Provider) と呼ばれ、異なるクラウドサービス上で Docker コンテナベースの環境を構築するツールである。複数ユーザの環境の隔離のために、VCP はまずベースとなるベースコンテナを実行し、その中で Docker in Docker 形式でユーザのアプリケーションを実行するためのアプリケーションコンテナを配備する。本環境

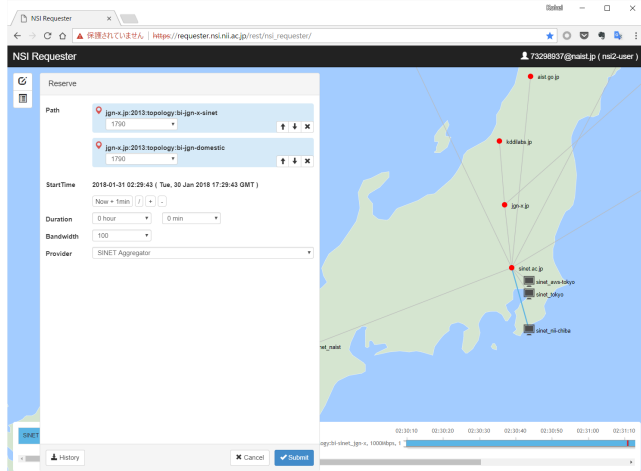


図 4 NSI Requester による L2 オンデマンドサービス操作画面

ではアプリケーションとしてオープンソースの S3 互換オブジェクトストレージである Minio [12] を実行している。NII 東京のサイト上では、VCP を制御するための VC コントローラが起動しており、サービスネットワークに接続されたクラウド環境を制御する。VC コントローラは上記のアプリケーションコンテナに加え、PRAGMA-ENT 側のネットワークとオンデマンドクラウド構築サービス側のネットワークを接続するために、NII 千葉のサイトにおいて Open vSwitch (OVS) を実行するコンテナを起動する。さらに Amazon Web Services (AWS) 上のリソースを接続するためのソフトウェア BGP (Quagga) を実行するコンテナも同じく NII 千葉のサイトにおいて起動する。

本環境を構築する手順は以下の通りとなる。まず、PRAGMA-ENT とオンデマンドクラウド構築サービス側のリソースを接続するために L2 オンデマンドサービスにより L2VPN 回線を配備する。各国の学術研究ネットワークでも拠点間の L2VPN をオンデマンドに相互に確立する要求は高く、異なる学術研究ネットワーク間で L2VPN を統一的に制御するために、NSI (Network Service Interface) が標準化され、国際的な L2 オンデマンドサービスが構築されている。SINET もこの国際 L2 オンデマンドサービスに参加しており、NSI を用いた L2VPN 回線の予約・配備が可能である [13]。SINET は NSI にアクセスするためのポータルとして NSI Requester を提供しており、このポータルを通じて異なる学術研究ネットワークにまたがるオンデマンドな L2VPN を配備可能としている。図 4 がその NSI Requester の操作画面である。ここで L2VPN を配備したいアクセスポイントを選択し、設定可能な VLAN 範囲から使用したい VLAN を指定し、予約日時や期間を要求する。SINET のアクセスポイントからローカルのサイトまでは初期設計時にある決められた範囲の VLAN を疎通させておくのみで、実際のサイト間の PtoP の VLAN はこのサービスで要求した段階で初めて配備され、予約 © 2018 Information Processing Society of Japan

時間が終了すると自動的に破棄される。本研究では予め、NII 側、PRAGMA-ENT が拠点として利用している RISE の OpenFlow スイッチ側、奈良先端科学技術大学院大学のサイト側、米国の UCSD (University of California, San Diego) サイト側で受け入れ可能な VLAN の範囲を個別に定義し、各アクセスポイントとの間で疎通可能な VLAN の設定は済ませた。

次に、オンデマンドクラウド構築サービスの VC コントローラを通じて、ベースコンテナおよびアプリケーションコンテナの配備を行う。VC コントローラは REST ベースのユーザインタフェースを持っており、Python 等から呼び出すためのライブラリ、VCP SDK を提供している。実際には VCP では典型的な利用用途をまとめたアプリケーションテンプレートを Jupyter Notebook 上で提供しており、この Jupyter Notebook からオンデマンドクラウド構築サービスの制御を実施することを推奨している。Jupyter Notebook 上で実行した手順は保存可能で、後から同じ手順をたどってアプリケーション実行環境を再構築可能である。本研究では NII 東京サイトの VCP が起動するコンテナ上で Jupyter Notebook も動作し、オンデマンドクラウド構築サービス側のリソースを管理している。

最後に、アプリケーションコンテナ上でオブジェクトストレージサービスの Minio を起動する。オンデマンドクラウド構築サービス側のリソースは、VC コントローラから制御して配備可能である。AWS 上のリソースも VCP がクラウドサービスとして AWS に対応しているため、VC コントローラから制御可能である。ただし、AWS のリソースと我々の環境の間でネットワーク接続を確立するためには BGP の設置が必要であり、この BGP もソフトウェア BGP としてコンテナ上で起動している。一方で、PRAGMA-ENT 側のリソース上では個別に Docker コンテナを起動し Minio サービスを配備している。

以上のように完全に自動化はまだ達成していないが、PRAGMA-ENT とオンデマンドクラウド構築サービスをソフトウェアで制御することによって、統合的なインタークラウド環境を実現できている。

#### 4. 今後の課題

今後はまだ一部自動化出来ていない部分を自動化できるように進めていく予定である。具体的には、NSI を通じた L2VPN の確立は現状 Web インタフェースから手動で実行しているが、NSI のインタフェースをプログラムから直接アクセスするなど検討する。また、オンデマンドクラウド構築サービスに対応する NII のリソースや AWS は VCP からソフトウェアで制御できるが、PRAGMA-ENT 側のリソースに関しては現状一元的にソフトウェアで制御できる環境になっていない。VCP はベアメタルサーバもその管理下に設定可能なことから、PRAGMA-ENT 側のリ



ソースを VCP 経由で制御可能にするなど、統合的な制御を実現できるよう研究開発を進める予定である。

また、構築したインタークラウド環境を用いた実証的実験を実施する予定である。構築したインタークラウド環境は商用および学術クラウドリソースにまたがり、かつ日米間を横断するリソースであり、規模が大きい。特に日米間のネットワーク回線は JGN および SINET を用いた複数経路を有しており、マルチパスを用いたネットワーク制御の最適化など実証的研究の場として興味深い。またコンテナに配備した Open vSwitch や Quagga などソフトウェアスイッチ・ルータなどのコンテナ化は NFV (Network Function Virtualization) の観点からも高機能化や最適化など研究の余地があると考えられる。

## 5. まとめ

本稿では、国際 SDN テストベッド: PRAGMA-ENT と、NII が提供するオンデマンドクラウド構築サービスを統合的に利用したソフトウェア定義クラウド環境構築手法に関して現在の研究開発の取り組み状況およびそのアーキテクチャに関して報告した。具体的には、動的 VLAN サービスである L2 オンデマンドサービスを NSI 経由で活用し、既存の PRAGMA-ENT リソースにオンデマンドクラウド構築サービスのリソースを動的に追加し、大規模な実証的実験環境をオンデマンドに構築できることを示した。今後はまだ自動化が完了していない部分の自動化のための研究開発を進めるとともに、構築したソフトウェア定義クラウド環境の活用に向けた実証的な実験を進める予定である。

謝辞 本研究成果の一部は、平成 29 年度国立情報学研究所公募型共同研究および、JSPS 科研費 15K00170 の助成を受けて実施されたものである。

## 参考文献

- [1] Fox, G. C., von Laszewski, G., Diaz, J., Keahney, K., Fortes, J., Figueiredo, R., Smallen, S., Smith, W. and Grimshaw, A.: *Future-Grid: A Reconfigurable Testbed for Cloud, HPC and Grid Computing*, (online), available from <https://portal.futuregrid.org/references/futuregrid-reconfigurable-testbed-cloud-hpc-and-grid-computing>), Chapman & Hall (2012).
- [2] 竹房あつ子, 横山重俊, 政谷好伸, 丹生智也, 佐賀一繁, 長久勝, 合田憲人: SINET を活用したインタークラウド環境構築システムの開発, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 117, No. 153, pp. 7-12 (オンライン), 入手先 <https://ci.nii.ac.jp/naid/40021284494/>) (2017).
- [3] Takefusa, A., Yokoyama, S., Masatani, Y., Tanjo, T., Saga, K., Nagaku, M. and Aida, K.: Virtual Cloud Service System for Building Effective Inter-Cloud Applications, *2017 IEEE International Conference on Cloud Computing Technology and Science (CloudCom)*, IEEE, pp. 296-303 (2017).
- [4] Ichikawa, K., U-Chupala, P., Huang, C., Nakasan, C., Liu, T.-L., Chang, J.-Y., Ku, L.-C., Tsai, W.-F., Haga, J., Yamanaka, H., Kawai, E., Kido, Y., Date, S., Shimojo, S., Papadopoulos, P., Tsugawa, M., Collins, M., Jeong, K., Figueiredo, R. and Fortes, J.: PRAGMA-ENT: An International SDN testbed for cyberinfrastructure in the Pacific Rim, *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, Vol. 29, No. 13, p. e4138 (online), DOI: 10.1002/cpe.4138 (2017).
- [5] Tanaka, Y., Yamamoto, N., Takano, R., Ota, A., Papadopoulos, P., Williams, N., Zheng, C., Huang, W., Pan, Y.-L., Wu, C.-H., Yu, H.-E., Shiao, J. S., Ichikawa, K., Tada, T., Date, S. and Shimojo, S.: *Cloud Computing and Big Data*, Vol. 23, chapter Building secure and transparent inter-cloud infrastructure for scientific applications, pp. 35-52, IOS Press (2013).
- [6] McKeown, N., Anderson, T., Balakrishnan, H., Parulkar, G., Peterson, L., Rexford, J., Shenker, S. and Turner, J.: OpenFlow: enabling innovation in campus networks, *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, Vol. 38, No. 2, pp. 69-74 (2008).
- [7] Ishii, S., Kawai, E., Kanaumi, Y., Saito, S.-i., Takata, T., Kobayashi, K. and Shimojo, S.: A study on designing OpenFlow controller RISE 3.0, *19th IEEE International Conference on Networks (ICON 2013)*, IEEE, pp. 1-5 (2013).
- [8] U-chupala, P., Watashiba, Y., Ichikawa, K., Date, S. and Iida, H.: Application-aware network: network route management using SDN based on application characteristics, *CSI Transactions on ICT*, Vol. 5, No. 4, pp. 375-385 (online), DOI: 10.1007/s40012-017-0171-y (2017).
- [9] Nakasan, C., Ichikawa, K., Iida, H. and Uthayopas, P.: A simple multipath OpenFlow controller using topology-based algorithm for multipath TCP, *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, Vol. 29, No. 13, p. e4134 (online), DOI: 10.1002/cpe.4134 (2017).
- [10] Huang, C., Nakasan, C., Ichikawa, K., Watashiba, Y. and Iida, H.: A Multipath OpenFlow Controller for Multiple TCP Stream Applications, *Journal of Information Processing*, Vol. 25, pp. 924-933 (online), DOI: 10.2197/ipsjip.25.924 (2017).
- [11] Kido, Y., Ichikawa, K., Date, S., Watashiba, Y., Abe, H., Yamanaka, H., Kawai, E., Takemura, H. and Shimojo, S.: SAGE-based Tiled Display Wall enhanced with dynamic routing functionality triggered by user interaction, *Future Generation Computer Systems*, Vol. 56, pp. 303-314 (2016).
- [12] Minio Inc.: Minio Website, , available from <https://www.minio.io/>) (accessed 2018-01-31).
- [13] 竹房あつ子, 栗本崇, 合田憲人: SINET5 と NSI ネットワークテストベッドを用いた国際間オンデマンドネットワークの構築, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 116, No. 484, pp. 47-52 (オンライン), 入手先 <https://ci.nii.ac.jp/naid/40021158480/>) (2017).