

Wi-Fi とクラウドを複数のネットワークを介してつなぐ広域仮想網を日米間で実証

【ポイント】

- 特性が異なる Wi-Fi 接続、インターネット回線、クラウドサーバを SDN で一括制御
- 高遅延・低速から低遅延・高速まで多様な IoT サービス向けネットワークをカスタムメイド
- 屋内移動型ロボットのインターネット経由での遠隔操縦など、製造・物流での用途に期待

国立研究開発法人情報通信研究機構(NICT、理事長: 坂内 正夫)、国立大学法人東京大学大学院情報学環(東京大学、総長: 五神 真)、株式会社 KDDI 研究所(KDDI 研究所、代表取締役所長: 中島 康之)は、株式会社日立製作所及び米国ユタ大学(The University of Utah、ソルトレイクシティ市)の協力を得て、NICT が開発した仮想化 Wi-Fi を含めた複数の仮想網で構成される有無線マルチドメイン仮想網^{*1} の国際実証実験に世界で初めて成功しました。

本成果により、要件が多岐にわたる個々の IoT サービス向けに、異なる事業者から Wi-Fi 接続、インターネット回線、クラウドサーバ等を必要な容量で調達し、規模や通信量に見合ったカスタムメイドな専用ネットワークをインターネット上に構築することが可能になります。Wi-Fi エリア内を移動するロボットを、クラウドからインターネット経由でストレスなく操縦するといった用途に利用でき、特に製造業や物流分野での応用が期待されます。

本成果は、3 月 8 日(火)~9 日(水)に米国で開催される「24th GENI Engineering Conference(GEC-24)」で展示します。

【背景】

Wi-Fi 通信機能を内蔵するスマートグラスや移動型ロボット等の無線 IoT デバイスと、遠隔のクラウドサーバとの常時通信を基本とするサービスの需要が、製造業や物流分野で急速に高まっています。最近では海外拠点のクラウドが利用される事例も増え、国際・国内回線や Wi-Fi 等の複数のネットワークを経由した利用が一般的です。しかし、ネットワークごとに特性や運用ポリシーが異なるため、全体として一貫した通信品質を確保することが困難でした。

東京大学大学院情報学環、KDDI 研究所らの研究グループは、NICT の委託研究「新世代ネットワークを支えるネットワーク仮想化^{*2} 基盤技術の研究開発」の一環として、複数の有線仮想網を共通の品質やポリシーで相互接続する技術等を共同開発しました。しかし、無線仮想網の相互接続までは実現できていませんでした。

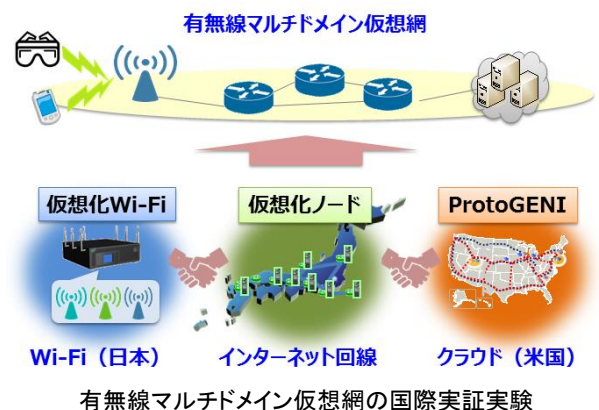
一方、NICT は、ユーザ密集等により Wi-Fi が混雑する環境において、SDN(Software-Defined Network)技術に基づき、特定アプリケーションの通信品質を優先的に確保できる仮想化 Wi-Fi^{*3} 基地局の開発を進めてきました。

【今回の成果】

本研究グループは、このたび、クラウドを含む有線仮想網と Wi-Fi 仮想網を相互接続する技術を新たに開発し、Wi-Fi -インターネット-クラウド間をつなぐ有無線マルチドメイン仮想網を日米間で構築する実証実験に成功しました。

今回の成果は、通信方式が異なる複数の無線仮想網との相互接続にも応用可能で、新しい無線技術が次々と実用化される IoT 時代の SDN 相互運用の高度化に向けて、大きな一歩を踏み出したと言えます。

今回の実験では、東京大学、KDDI 研究所が中心となって開発した「スライスエクスチェンジポイント(以下、SEP)^{*4}」に、NICT が日立の協力を得て開発した Wi-Fi 仮想網接続機能を追加することで、SDN による 3 つの仮想網の一括制御を実現しました。国内からの海外クラウド利用を想定し、国内 Wi-Fi 仮想網と、ユタ大学の仮想化基盤 ProtoGENI^{*5} 上に構築されたクラウドを、JGN-X^{*6} 上で運用される仮想化ノード^{*7} による有線仮想網が中継する構成としました。



有無線マルチドメイン仮想網の国際実証実験

【今後の展望】

本成果により、海外拠点のクラウドを利用したスマートグラス向けサービスや、屋内移動型ロボットの安全な遠隔自動操縦等、製造・物流を中心に、Wi-Fi とクラウドを利用した IoT サービスへの幅広い応用が期待されます。

なお、本成果は、3 月 8 日(火)~9 日(水)に米国で開催される「24th GENI^{*8} Engineering Conference(GEC-24)」で展示します。(http://groups.geni.net/geni/wiki/GEC24Agenda)

<関連するプレスリリース>

- ・ 2013年6月11日: NICT
「仮想化対応 WiFi ネットワークを開発
～無線 LAN 基地局仮想化によって混雑時でもつながる WiFi 通信を実現～」
<http://www.nict.go.jp/press/2013/06/11-1.html>
- ・ 2015年3月31日: 国立大学法人東京大学大学院情報学環、日本電信電話株式会社、
株式会社 KDDI 研究所、株式会社日立製作所、日本電気株式会社、富士通株式会社
「グローバルなマルチドメインプログラマブル高機能仮想網の実現と新世代ネットワークアプリケーション実験に成功 ～日米欧連携強化で新世代ネットワーク技術の実用化に向けた研究開発を加速～」
<http://www.ntt.co.jp/news2015/1503/150331a.html>

<用語解説>

*1 マルチドメイン仮想網

複数の異なるネットワーク仮想化基盤(ドメイン)を相互接続することによって構成され、全体として一貫性のあるアドレス体系やセキュリティポリシー、通信品質が確保された一つの仮想ネットワークとして動作可能な、仮想ネットワークの集合体。特に、仮想化ノードのように、通信プロトコルの書き換えといったプログラム性が高いものをマルチドメイン高機能仮想網と呼ぶ。

*2 ネットワーク仮想化(技術)

仮想化技術等を用いてネットワークを構成するルータやサーバ等のハードウェアの CPU 処理能力や記憶容量等の物理資源を論理的に分割し、これらの資源を任意に組み合わせることで、独立で自由に通信プロトコルを書き換え可能な論理ネットワークを複数共存させる技術。この発表資料においては、生成された論理ネットワークをスライスと呼ぶ。

*3 仮想化 Wi-Fi

優先度が高いサービス専用の基地局資源を動的に確保することで、Wi-Fi 混雑環境下においても、特定サービスの通信品質を優先的に向上させることができる技術。複数の物理基地局から構成される Wi-Fi ネットワーク上に、特定サービスの利用者だけが接続を許可されるサービス専用仮想基地局を論理的に構成する。基地局稠密配置環境下においては、Wi-Fi モジュール単体や Wi-Fi チャンネルの物理的通信容量の限界を超えて伸縮可能な容量を有し、かつ単一の物理基地局と等価な振る舞いをする基地局を構成できる。

*4 SEP(スライスエクスチェンジポイント)

インターネットにおける IX(Internet eXchange)のように、複数の異なるネットワーク仮想化基盤間において、仮想網を相互に接続するための仮想ネットワーク接続機構。東京大学、KDDI 研究所らが 2012 年に提案し、2014 年より GENI で同様の機構の普及が開始。

参考: VNode Project,

“Federation Architecture and Common API / Common Slice Definition (Draft V2.0)”, March 2014.
http://nvlab.nakao-lab.org/Common_API_V2.0.pdf

*5 ProtoGENI

GENI の主要プロジェクトの一つ。ユタ大学を中心に開発され、全米に広がる Internet2 にバックボーンを持つテストベッドプロジェクト。仮想ネットワークを動的に構築し、プログラムを自由に導入することで、新世代ネットワークの実証実験が可能。日本の仮想化ノードとは構成技術が異なる。

*6 JGN-X

NICT が整備する新世代ネットワークのためのテストベッド(実際の運用環境に近い試験用のプラットフォーム)。NICT では「Japan Gigabit Network」(JGN)の運用開始以来、一貫してネットワーク技術の実証を志向したネットワークテストベッドを整備してきており、2011 年 4 月、NICT のネットワーク研究の柱となる新世代ネットワーク技術の実現とその展開のための新たなテストベッド環境として、新世代通信網テストベッド「JGN-X」を構築、運用を開始している。

参考: <http://www.jgn.nict.go.jp/ja/info/what-is-jgn-x.html>

*7 仮想化ノード

ネットワーク仮想化技術に基づき、仮想ネットワークを複数独立に構築可能なシステム。具体的にはルータ、スイッチ、サーバやネットワークプロセッサ等から構成される。2008 年度から 2010 年度に、NICT、東京大学、NTT、NEC、日立、及び富士通研究所の共同研究により研究開発が行われ、2011 年度からは、NICT の委託研究として KDDI 研究所が加わり、次世代の仮想化ノードの研究開発が行われた。

参考: 2010 年 3 月 30 日 NICT プレスリリース

新たなネットワークの実現を支えるネットワーク仮想化ノードの実証実験を産学官で開始
<http://www.nict.go.jp/press/2010/03/30-1.html>

*8 GENI (Global Environment for Network Innovations)

2005年に基本設計の検討を開始したNSF(アメリカ国立科学財団:National Science Foundation)が支援する長期的ネットワークテストベッドプロジェクト。新しいインターネット構成やネットワークサービスの研究開発を促進するため、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テストベッドの開発を目指している。

補足資料

(1) 実証実験の概要と成果

今回の実証実験では、仮想化 Wi-Fi 基地局による Wi-Fi 仮想網、及びユタ大学が開発した仮想化基盤 ProtoGENI を用いて構築したクラウド機能を有する仮想網(以下、ProtoGENI 仮想網)を、仮想化ノードによる有線仮想網(以下、VNode 仮想網)を介して相互接続し、異なる 3 つの仮想化基盤(ドメイン)で Wi-Fi 仮想網内の Wi-Fi 端末から ProtoGENI 仮想網内のサーバまでの全区間を包含する有無線マルチドメイン仮想網を構築しました。3 つのドメインそれぞれにおいて利用する無線資源、ネットワーク資源、サーバ資源をまとめて記述した一つの仮想網(スライス)定義ファイルを作成し、日米にまたがる有無線マルチドメイン仮想網がワンクリックで構築できることを実証しました。仮想網定義ファイルの入力から仮想網の構築完了までの所要時間は約 4 分でした。

図 1-1 に、今回の有無線マルチドメイン仮想網の実験構成を示します。各ドメインの仮想網は、それぞれ NICT 本部に設置された仮想化 Wi-Fi 基地局 2 台、JGN-X が運用する国内 3 拠点の仮想化ノード、ユタ大学キャンパス内に設置された ProtoGENI ノード 4 台を用いて構成しました。仮想網間を SEP により相互接続するために、制御プレーン相互接続用のゲートキーパー(GK)ノード及びデータプレーン相互接続用のゲートウェイ(GW)ノードを各ドメインに 1 台ずつ構築しました。GK 間通信を中継する SEP コアノードを、GK と同じ制御用ネットワーク上に構築しました。

物理構成としては、SEP コア、VNode 仮想網向け VNode-GK 及び VNode-GW、ProtoGENI 仮想網向け Omni-GK 及び Omni-GW をユタ大学内に設置しました。Wi-Fi 仮想網向け WiFi-GK 及び WiFi-GW は、仮想化 Wi-Fi 基地局とともに NICT 本部(東京)に設置しました。NICT 本部・JGN-X 間の接続には JGN-X のアクセス回線を、JGN-X・ユタ大学間の接続には TransPAC 国際回線を、米国内は Internet2、ユタ州内は Utah Education Network(UEN)といった回線を、それぞれ利用しました。

VNode 仮想網内は、ノード間でレイヤ 2 トンネルを構築する技術である GRE によるメッシュ型トポロジーとし、仮想網内での輻輳や障害発生時に即座に代替ルートに切り替えるといった機能を必要に応じて導入することが可能な構成としました。すなわち、任意のプロトコルやパケットフォーマットが新規に設計できるという VNode 仮想網の「高機能」という特徴は、今回構築した有無線マルチドメイン仮想網でも維持されています。

図 1-2 は、今回構築した有無線マルチドメイン仮想網により、NICT 本部内の Wi-Fi 端末がユタ大学内のクラウドサーバからパケットロスなく安定した応答が得られる様子を示しています。Wi-Fi 端末 40 台により擬似的な Wi-Fi 輻輳状態を生成した上で、端末・クラウドサーバ間で 400KByte のデータが往復する時間を、応答時間として計測しました。なお、図 1-1 の実験構成では、VNode-GW をユタ大学に設置した関係で、上記データが端末・クラウドサーバ間を 1 往復する間に、物理的に日米間リンクを 3 往復することになります。64Byte という小さいサイズのデータでも応答時間は約 400ms になります。このような理由により、図 1-2 では有無線マルチドメイン仮想網利用時でも、応答時間が 400ms 以上となっています。

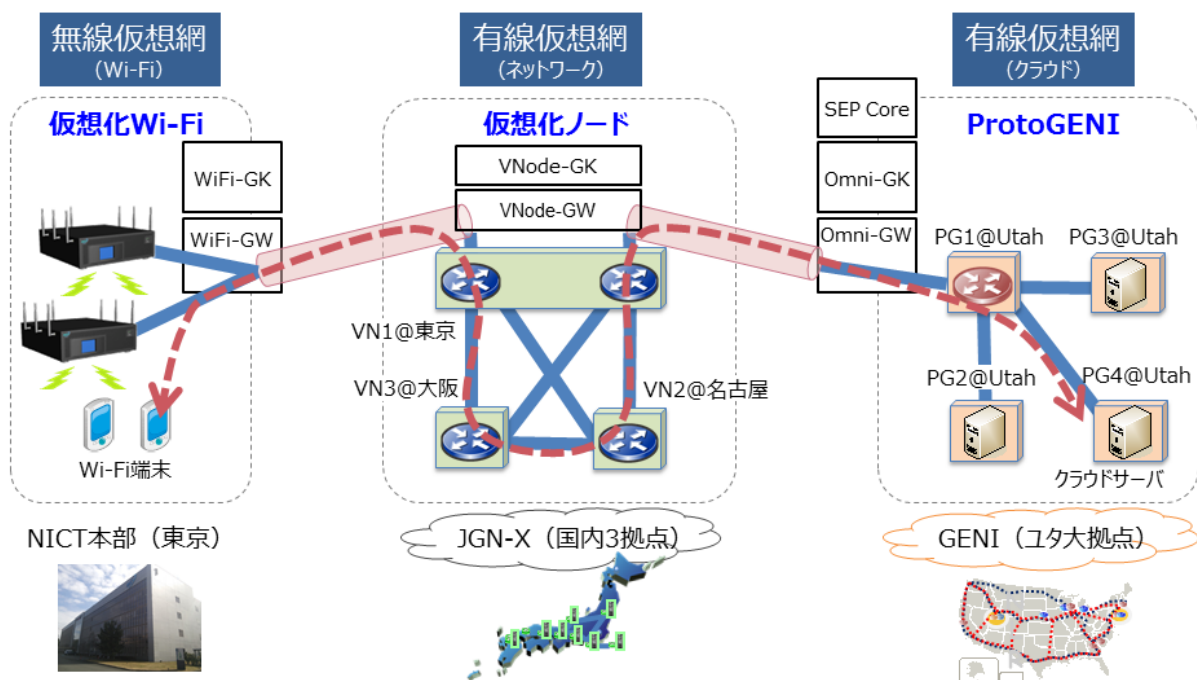


図 1-1: 有無線マルチドメイン仮想網の実験構成

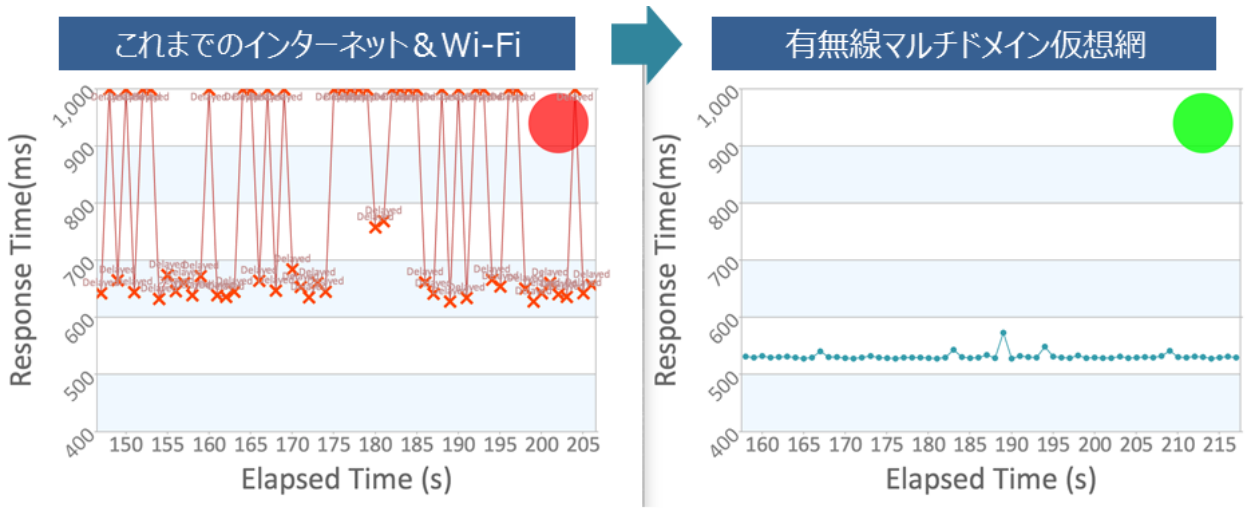


図 1-2: 有無線マルチドメイン仮想化網によりクラウドサーバからの応答が安定

(2) SEP による有無線マルチドメイン仮想網構築の仕組み

図 2 に、SEP による有無線マルチドメイン仮想網構築の仕組みを示します。図 2 は、それぞれのドメインにおいて利用する無線資源、ネットワーク資源、サーバ資源をまとめて記述したスライス定義を、仮想化 Wi-Fi 側に構築したポータル機能を持つ Wi-Fi ポータルに投入するケースを示しています。

基本的な手順は以下の通りです。

- (1) まず、仮想網全体のスライス定義を受け付けた Wi-Fi ポータルは、Wi-Fi 仮想網に関する記述部分を分割し、それに基づく Wi-Fi 仮想網の構築を仮想化 Wi-Fi コントローラ(VNCS)にリクエストします。
- (2) Wi-Fi ポータルは、Wi-Fi 仮想網構築完了後、分割された残りのスライス定義を WiFi-GK に通知します。この時、仮想化 Wi-Fi コントローラが決定した WiFi-GK・VNode-GK 間 VLANID を併せて通知します。
- (3) WiFi-GK は、残りのスライス定義を ProtoGENI 仮想網用と VNode 仮想網用に再度分割します。まず ProtoGENI 仮想網用スライス定義を、SEP が規定するメッセージフォーマット及びプロトコルに基づき、Omni-GK に通知します。
- (4) 最後に、ProtoGENI 仮想網構築完了後、VNode 仮想網定義を VNode-GK に通知します。

Wi-Fi ポータル、Omni-GK 及び VNode-GK は、それぞれ受け取ったスライス定義を基に、ドメイン固有の仮想網生成コマンドを生成し、各ドメイン内のコントローラが提供する制御 API 等を用いて個別に仮想網を構築します。仮想網全体を削除する場合は、上記と逆の手順で、個別の仮想網を順に削除します。

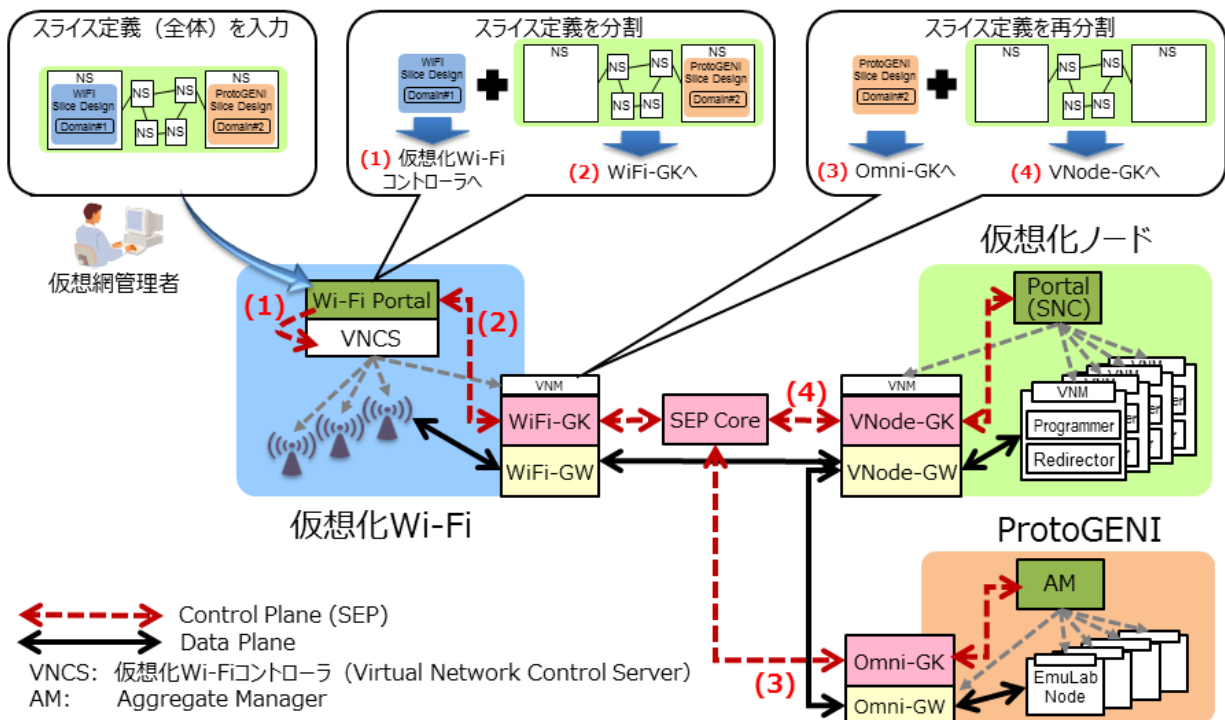


図 2: SEP による有無線マルチドメイン仮想網構築の仕組み

(3) 実証実験システム

図 3 に、今回構築した実証実験システムのうち、NICT 本部側に設置したシステムの外観を示します。NICT が開発した仮想化 Wi-Fi システムは、仮想化 Wi-Fi 基地局(複数)、それを収容する OpenFlow 機能を具備した WiFi-GW、及び仮想化 Wi-Fi コントローラ(VNCS)から構成されます。今回の実験では、仮想化 Wi-Fi コントローラと SEP ソフトウェアが動作する WiFi-GK 間で仮想網生成・削除コマンドの受け渡しができるように(図 2 の(1)、(2)の機能に相当)、Wi-Fi ポータルを新規に構築しました。Wi-Fi ポータル及び WiFi-GK は、1U サイズの IA サーバ上にそれぞれ仮想マシンとして実装しました。WiFi-GK、WiFi-GW は、VLAN を介して、それぞれ SEP コア、VNode-GW(ともにユタ大学内に設置)に接続しました。

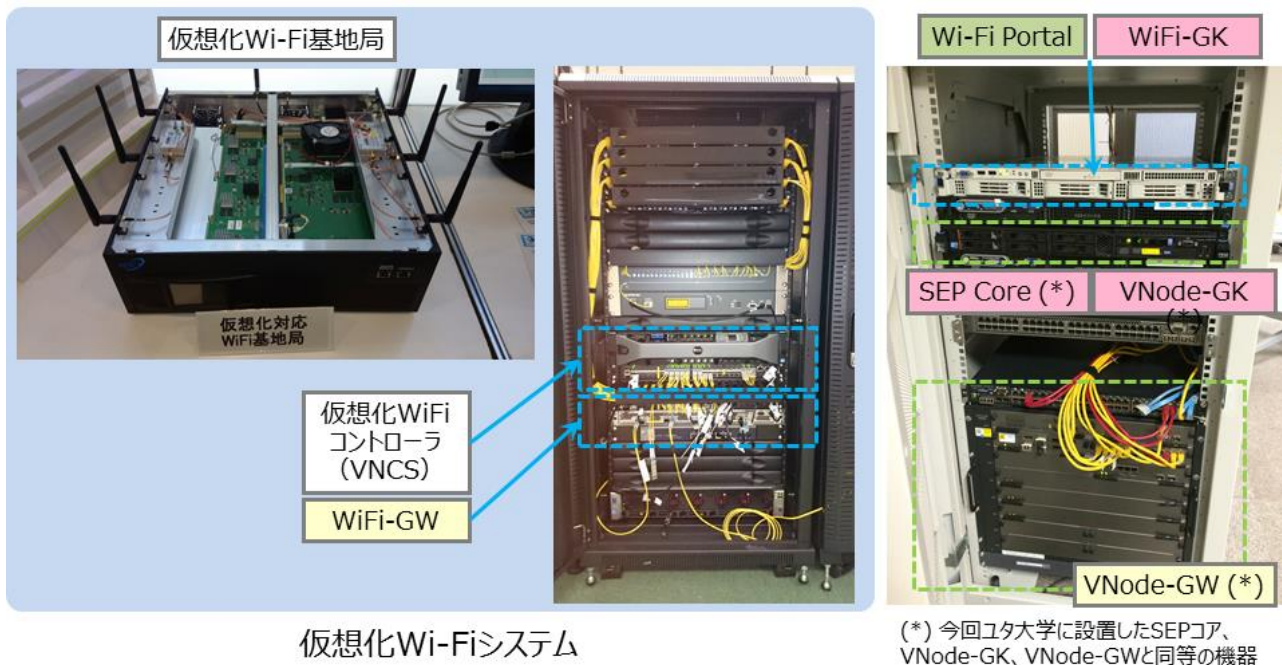


図 3: 実証実験システムの外観(NICT 本部)

< 本件に関する問い合わせ先 >

国立研究開発法人情報通信研究機構
ネットワーク研究本部 ネットワークシステム総合研究室
中内 清秀、西永 望
TEL: 042-327-5403 FAX: 042-327-6128
Email: nwgn-pub@ml.nict.go.jp

国立大学法人東京大学大学院情報学環
中尾研究室
TEL: 03-5841-2384
E-mail: info@nakao-lab.org

株式会社 KDDI 研究所
営業・広報部
TEL: 049-278-7464
E-mail: inquiry@kddilabs.jp

< 広報 >

国立研究開発法人情報通信研究機構
広報部 報道担当
TEL: 042-327-6923
E-mail: publicity@nict.go.jp

国立大学法人東京大学大学院情報学環
中尾研究室
TEL: 03-5841-2384
E-mail: info@nakao-lab.org

株式会社 KDDI 研究所
営業・広報部
TEL: 049-278-7464
E-mail: inquiry@kddilabs.jp