

## 3-2 NICT 総合テストベッドを通じた国際連携に関する取組

### 3-2 *International Cooperation through NICT's Integrated Testbed*

鳥越祐之 後藤雅徳 村田健史

TORIGOE Yushi, GOTO Masanori, and MURATA Ken Takeshi

我が国の ICT 産業の競争力を確保するため、NICT では第 4 期中長期計画において、技術実証及び社会実証に対応したテストベッドの構築及び運営に取り組んできた。その一環として、外国の研究機関等とのテストベッドの相互接続によって、NICT の研究開発成果の国際展開を推進してきた。

現行の第 5 期中長期計画では、基礎研究から成果普及まで一気通貫で取り組むための国際的に魅力ある研究開発ハブを形成することとしている。特に、Beyond 5G の実現に向け、テストベッドを構築することとしている。さらに、国際的な共同研究等を通じて、国際展開に取り組むこととしている。

本稿では、NICT 総合テストベッドを通じた国際連携について、多国間会議及び多国間・二国間 MOU 等を通じた協力について述べた後、国際共同公募及び国際共同プロジェクトについて述べる。最後に JGN 国際ネットワークの変遷等とともに、第 5 期中長期計画中の展望について述べる。

NICT has been working on development and operation of testbeds under the Fourth Medium-to Long-term Plan. As part of these efforts, NICT has been promoting the international development of its R&D results by interconnecting testbeds with foreign institutions.

The current Fifth Medium-to Long-term Plan calls for the formation of an internationally attractive R&D hub for a comprehensive approach through which to work from basic research to the dissemination of results. In particular, it plans to build a testbed for the realization of Beyond 5G. Furthermore, it aims to work on international development through international joint research and other means.

This paper describes international cooperation through the NICT's Integrated Testbed. It describes cooperation through multilateral conferences, multilateral and bilateral MOUs, etc., international joint public solicitation and international joint projects. Finally, it describes the transition of the JGN international network and the prospects for the Fifth Medium-to Long-term period.

#### 1 まえがき

我が国の ICT 産業の競争力を確保するためには、研究開発から社会実装までの加速化を図ることが重要であり、このため、基礎研究段階の研究開発と同時に研究開発成果の技術実証に取り組むことで、一気に実用化やシステム化を目指すことが必要である。また、実用化前に幅広い利用者に利用してもらう社会実証の取組も重要である。このような観点から、NICT では第 4 期中長期計画 [1] において、テストベッドに係る取組を一層強化し、技術実証及び社会実証に対応したテストベッドの構築及び運営に取り組んできた。その一環として、外国の研究機関等とのテストベッドの相互接

続によって国際的な研究環境を整備し、NICT の研究開発成果の国際展開を一層推進してきた。

第 5 期中長期計画 [2] では、NICT の重点研究開発分野における我が国の国際競争力を確保・強化する観点から、基礎研究から成果普及まで一気通貫で取り組むための国際的に魅力ある研究開発ハブを戦略的・機動的に形成することとしている。特に、Beyond 5G の実現に向け、研究開発・技術実証・社会実装のオープンイノベーション拠点として、運用、利用及び改善を通じて実証環境が循環進化するテストベッドを構築することとしている。さらに、国際的な共同研究等の積極的な国際連携を通じて、NICT の優れた研究開発成果の国際展開に取り組むこととしている。

本稿では、NICT 総合テストベッドを通じた国際連携に関する取組について、多国間会議及び多国間・二国間 MOU 等を通じた協力について述べた後、国際共同公募及び国際共同プロジェクトについて述べる。最後にその他の協力の枠組み、JGN 国際ネットワークの変遷とともに、第 5 期中長期計画への展望について述べる。

## 2 多国間会議

NICT は、総合テストベッドを通じた国際連携を推進するため、ICT に関する政府間及び研究ネットワーク間の多国間会議への参加・貢献を行っている。

### 2.1 G7 及び G20

2016 年 4 月に開催された G7 香川・高松情報通信大臣会合 [3] では、あらゆる人やモノがグローバルにつながる「デジタル連結世界」の実現に向けて G7 各国の連携・協力による取組を強化することとし、そのための基本原則や行動計画を取りまとめた成果文書として「デジタル連結世界憲章」及び「G7 情報通信大臣共同宣言」が採択された [4]。また、G7 各国の具体的な取組を集め、国際機関も含めた相互の連携・協力を図るべく、「G7 協調行動集」(共同宣言の附属書)が策定された [4]。

憲章の G7 ICT 戦略では、i. ICT へのアクセスの向上において、「(b) (前略) 世界規模での ICT インフラ (中略) の、質及び手頃感の向上」が、また、iii. イノベーションの促進において、「(f) 研究開発及び新たな技術の受容の促進」が言及された。共同宣言の行動計画では、i. ICT へのアクセスの向上において、「12. (前略) 世界的な連結性の強化にも資する、教育及び研究開発の目的のためのオープンなインフラを提供する国立研究教育ネットワークの整備、相互接続及び利活用の重要性を認識する。」旨、また、「27. (前略) IoT、ビッグデータ分析、5G モバイル通信、人工知能 (AI) 及びロボット技術などの新たな技術に関する、ICT の研究開発を奨励することへの合意を再確認する。(後略)」旨言及された。

また、協調行動集では、イノベーションの促進において、「日本は、研究開発のためのオープンなインフラを提供するテストベッドネットワーク (JGN) を含む、国立研究教育ネットワークにおける継続的な連携を歓迎する。」旨言及された。

2021 年 4 月に開催された G20 コネクティビティとソーシャル・インクルージョン・フォーラム [5] において、NICT 児島総合テストベッド研究開発推進センター長から、研究教育用超高速ブロードバンドの接続性と国際共同研究プロジェクトの成果について発表を行った。発表では、ブロードバンドへの接続性は、テレワーク、遠隔医療、遠隔教育等 ICT 利用の急拡大に

より非常に重要になっており、Beyond 5G の開発に向けて、超高速ブロードバンドへの期待が世界で高まっている旨強調した。

2021 年 8 月にイタリア (トリエステ) で開催された G20 デジタル大臣会合 [6] では、強靱で強力な持続可能で包摂的な経済回復のためのデジタル化の活用を全体のテーマとして議論が行われ、「G20 デジタル大臣宣言」が採択された [7]。

大臣宣言のデジタル経済では、4 月のフォーラムを踏まえ、vii. 接続性と社会的包摂において、「高性能なデジタル接続を含む、安全で強靱性のあるインフラに基づく高品質なデジタルサービスの提供は、将来的に非常に重要である。接続性は、労働力の中断を最小限に抑え、オンラインでの学習や仕事をサポートし、公共サービスやスマート医療システムへのアクセスを可能にし、地域の結束力を強化し、将来の労働力を準備するために、誰でも、どこでも、仕事のスキルアップや再教育プログラムを促進する。」旨言及された。また、「2021 年 4 月に開催された「コネクティビティとソーシャル・インクルージョン・フォーラム」を機会とした、G20 各国、国際機関、その他のステークホルダーによるオープンな対話の中で、我々は、接続性によるイノベーション、成長、包摂性の促進、接続性を通じたグローバルな課題への取組、全ての人のための接続性に関する優良事例の共有といった重要な議題を取り上げた。」旨言及された。

### 2.2 APAN (アジア太平洋)

APAN (Asia Pacific Advanced Network、アジア太平洋先端ネットワーク) [8] は、アジア太平洋地域において、研究教育コミュニティ向けに先端ネットワーク環境構築の調整をする場であるとともに、ネットワーク技術やネットワークを使ったアプリケーション・サービス展開の推進を行っている。また、この目的のために、欧米を始めた他の国際機関との協力関係を結んでいる (図 1)。

APAN は 1997 年 6 月に国際コンソーシアムとして発足し、2008 年 8 月に改組し香港において法人として登録している。2021 年 8 月現在の会員カテゴリとカテゴリごとの会員数は次のとおりである。

- Primary Member: 17 機関。各国/地域ごとに 1 機関で投票権を有する会員。
- Associate Member: 3 機関。各国/地域から複数参加でき、ネットワーク提供の調整をする会員。
- Affiliate Member: 2 機関。ネットワークを利用するコミュニティを代表する会員。
- Liaison Member: 1 機関。APAN と目的を同じくする同業組織。



図1 APANネットワーク (apan-topology\_original1-2018.png -<https://apan.net/about/network-maps/> より)

NICT は、日本からの Primary Member である APAN-JP の構成員として参加している。

APAN は年に2回、おおむね2月と8月に、会員が主催する会合を開催し、その会合を中心に5つの委員会、技術分野の作業部会6、アプリケーション分野の作業部会6のほか、各種ワークショップ等の活動をしている。なお、技術分野の作業部会である IoT WG の議長は NICT が務めている。

新型コロナ蔓延の影響で、2020年3月に予定されていた APAN49 ネパール会合は中止になり、それ以降の APAN50 香港会合(2020/8)・APAN51 パキスタン会合(2021/2)・APAN53 インドネシア会合(2021/8)はオンラインでの会合となった。

NICT は、前身である郵政省通信総合研究所(CRL)が APAN 設立に関与し、引き続き APAN に参加している。2011年に APAN と NICT の間で覚書(MOU)を締結しており、“MOU Partner”となった。これは現在も継続している(2021年に更新)。過去にも、Future Internet Testbed WG(活動終了)の議長を務めるなどの貢献をしてきている。

### 2.3 Asi@Connect, TEIN

Asi@Connect は、アジア太平洋地域で主に発展途上国の国家研究教育ネットワーク(NREN)向けに高速イ

ンターネットへの接続を提供するとともに、人材の育成を行っているプロジェクトである。韓国の TEIN\*CC(TEIN \* Cooperation Center)が、EU や韓国政府・ソウル市、ほかの NREN からの資金を得て、運営している。Asi@Connect は2016年9月に開始され、当初5年間の予定であったが、2年間延長され、2023年8月まで継続することになっている。予算総額は、3,650万ユーロ(約46億9千万円)である。2021年8月現在の参加パートナー国/地域数は24である。

Asi@Connect の前身は、2000年に ASEM3 会合で発足した TEIN(Trans-Eurasia Information Network)であり、2001年に韓国-フランス間に2Mbps回線が開通した(TEIN1)。以後、TEIN4までプロジェクトが運営された。

- TEIN1 (2001 - 2005) 帯域 2 M - 155 Mbps。韓国-フランス間
- TEIN2 (2006 - 2008) 帯域 45 M - 622 Mbps。EU からの資金提供開始。GÉANT (DANTE) が運営
- TEIN3 (2009 - 2012) 帯域 2.5 Gbps。アジア地域のパートナー数: 19。GÉANT (DANTE) が運営
- TEIN4 (2012 - 2016) 帯域 10 Gbps。パートナー数: 24。2012/9に TEIN\*CC へ運営移行

Asi@Connect の活動は以下の6つの作業パッケージ(WP: Working Package)に分類され、WP1は TEIN\*CC

### 3 NICT 総合テストベッド利活用の向上と拡大を目指して

が実施し、WP2 から WP6 は TEIN\*CC が公募 (Open Call) したプロジェクトに助成金を出す形で実施されている。2021 年 8 月の時点で第 5 次公募の応募・審査中である。

- WP1 : Network Procurement and Management、ネットワーク調達と管理
- WP2 : Capacity development of developing country NRENs、途上国 NREN の人材育成
- WP3 : Research and Education Network Design & Operations and associated capacity development、研究教育ネットワーク設計・運用及び関連の人材育成
- WP4 : Deployment of specialized network products, services and application and associated capacity development、ネットワーク製品・サービス・アプリケーションの展開と関連人材育成
- WP5 : Promoting Asi@Connect enabled research and education collaboration for societal benefit、Asi@Connect を利用可能な社会的利益のための研究教育コラボレーションの促進
- WP6 : Helping to bridge the digital divide in developing countries、発展途上国におけるデジタル・デバイド解消支援

### 3 多国間・二国間 MOU 等

NICT は、テストベッドを通じた国際連携を推進す

るため、研究教育ネットワーク間の多国間及び二国間の MOU 等を締結し、定期的に改訂・更新するとともに、同 MOU 等に基づく国際連携活動への参加・貢献を行っている。

#### 3.1 APOnet (アジア太平洋・大洋州)

2017 年 12 月に APR (Asia-Pacific Ring) として締結した 7 者間 MOU が 2020 年 11 月に終了し、この覚書を、新たにメンバーを加えて 11 者とし内容も見直した上で、2021 年 6 月に APOnet (Asia Pacific Oceania network、アジア太平洋・オセアニア ネットワーク) [9] として、MOU を締結した [10]。アジア太平洋・オセアニア地域の 100 Gbps 回線のオーナーによるものである (図 2)。

主な目的には、従来の相互の回線バックアップの他、経路選択の適正化などが含まれている。

参加機関は、NICT、ARENA-PAC、オーストラリア学術・研究ネットワーク (AARNet)、米国次世代インターネット開発のための大学協議会 (Internet2)、韓国科学技術情報研究院 (KISTI)、国立情報学研究所 (NII)、米国 Pacific Wave、ニュージーランド先端研究教育ネットワーク (REANNZ)、シンガポール先端研究教育ネットワーク (SingAREN)、米国 TransPAC、米国ハワイ大学である。

#### 3.2 AER (アジア太平洋・欧州)

2019 年 6 月に、シンガポールとロンドン間で、



図 2 APOnet ネットワーク



図3 AER ネットワーク

100 Gbps 回線 CAE-1 (Collaboration Asia Europe-1) が開通した。CAE-1 は、AARNET (豪州)・GÉANT (欧州)・NORDUnet (北欧)・SingAREN (シンガポール)・SURF (蘭)・TEIN\*CC (韓) が共同で調達したものである。

CAE-1 と NICT 及び NII の回線、欧州内回線により、アジア-欧州地域で、リング状のネットワークが形成されることから、このリングを AER (AsiaPacific-Europe Ring、アジア太平洋-欧州リング) として、2019 年 7 月、CAE-1 参加機関と NICT 及び NII で回線の相互バックアップや研究協力等を目的として覚書を締結した [11]。

なお、2021 年 1 月に、サウジアラビア・アブドラ王立科学技術大学 (KAUST) が、シンガポール-サウジアラビア-アムステルダム間に 100 Gbps 回線 2 本を設定し、APAN51 (2021 年 2 月) で AER への参加の意向を表している (図 3)。

### 3.3 GÉANT (欧州)

GÉANT は、欧州の NREN の連合組織で、NREN を相互接続するネットワークを管理運用している。

1986 年に活動開始し、2014/10 に再編されており、前身は、TERENA (連合組織)・DANTE (NW 運用) である。

本部は、オランダ・アムステルダム及び英国・ケンブリッジに置かれている。

GÉANT は元々ネットワーク/プロジェクトの名称である。

DANTE が TEIN を運用していた時期 (2006-2012) から、NICT と GÉANT とは協力関係にあり、定期的に会合を持っている。

### 3.4 NIA (韓国)

NIA (National Information Society Agency、韓国情報社会振興院) は、韓国国家機関であり、情報化政策研究・通信インフラ構築支援・情報通信関連標準化支援を行っている。

また、韓国の高度研究用ネットワーク (KOREN) を運用している。KOREN は、現在、ソウル-香港及びソウル-シンガポール間に 100 Gbps の国際回線を持ち、NICT の国際回線と相互バックアップしている。

### 3.5 SingAREN・NSCC (シンガポール)

NICT は、シンガポールの SingAREN (Singapore Advanced Research and Education Network、シンガポール先端研究教育ネットワーク) 及び NSCC (National Supercomputing Centre Singapore, Science and Engineering Institute、シンガポール国立スーパーコンピューティングセンター科学技術研究所) と、東京-香港-香港-シンガポールの 100 Gbps 回線を共同運用している。実際の回線運用は、NICT と SingAREN で行い、NSCC は回線利用者の立場にある。

NICT とシンガポールとの回線共同運用は、2017 年 11 月の同回線の開通に始まっている。同回線はアジア地域における最初の 100 Gbps 回線であり、前述の APR 形成の端緒となり、ひいては AER、APOnet 形成に至っている。

SingAREN は SingAREN Open Exchange (SOE) を運営しており、東南アジア地域のネットワーク・ハブとなっているだけでなく、欧州や大洋州地域への中継点として重要な役割を果たしている。

### 3.6 NECTEC、UniNET (タイ)

NECTEC (National Electronics and Computer Technology Center、国立科学技術開発庁 国立電子コンピュータ技術センター) は、タイ王国において、1) 技術基盤の構築、2) 技術エコシステムの発展促進、3) 先端技術開発への準備をミッションとする国立機関であり、UniNET (高等教育・科学・研究・イノベーション省 事務次官事務局 教育開発用情報技術管理室) は、タイ王国内の大学・高等教育機関のネットワークを構築・維持管理している。

UniNET が高等教育機関向けのネットワークを提供している一方、NECTEC は、政府研究機関向けのネットワーク ThaiSarn を運用しており、UniNET と ThaiSarn とで、タイの研究教育ネットワーク ThaiREN が形成されている。

NICT と NECTEC 及び UniNET とで、バンコク-シンガポール間に 1 Gbps の回線を設定運用している。2016 年 2 月には、同回線を使って、日本-タイ間で相

### 3 NICT 総合テストベッド利活用の向上と拡大を目指して

互に 4 K 映像を配信する国際伝送実験を行った。

#### 3.7 JUCC (香港)

JUCC (Joint Universities Computer Centre Ltd, 大学連合コンピューターセンター) は、香港大学・香港中文大学等の大学を会員とした高等教育機関(大学)によるコンソーシアムである。

2017年頃から、ネットワークリソースの共有や相互扶助を目的とした GNA (Global Network Architecture) が提唱され、これに準拠した交換点(eXchange Point)として、2018年4月に HKOX (Hong Kong Open eXchange) を JUCC が開設した。NICT の JGN と HKOX は、2019年2月に香港で 10 Gbps 回線接続している。

なお、HKOX は、2021年1月に、HARNET R&E Node と改称している。(HARNET は JUCC が運用する会員向けのネットワーク、Hong Kong Academic and Research Network)

#### 3.8 ASGC (台湾)

ASGC (Academia Sinica Grid Computing Center、台湾中央研究院グリッドコンピューティングセンター) は、台湾・中央研究院配下の組織である。中央研究院内で e-Science 用のインフラを運用している。WLCG (World-wide Large Hadron Collider Computing Grid) に加盟しており、LHCOPN/LHCONE の Tier-1 の役割を持つ。

また、防災・減災関係の研究も活発に行われており、ひまわりリアルタイム Web のサーバが ASGC 内に置かれている (5.2 参照)。

NICT (JGN) とはシンガポールでネットワーク相互接続している。

#### 3.9 TransPAC/Indiana 大学(米国)

TransPAC は、1998年に始まったインディアナ大学国際ネットワーク (IN@IU) が、米国 NSF から資金を得て、管理運営するプロジェクトの一つである。IN@IU は、TransPAC の他、NEA3R (ネットワーク)、NetSage (ネットワークの分析) などのプロジェクトも運営しており、ネットワーク接続を提供することで国際的な研究教育の推進を目的としている。現在の TransPAC5 プロジェクトは、2020年から5年間の計画で進められている。

TransPAC は、シアトル-東京間に 100 Gbps 回線を持ち、グアム-シンガポール 100 Gbps 回線コンソーシアムにも参加している。NICT の実証実験でも TransPAC の協力を得て実施したものがある。例えば、2018年2月のさっぽろ雪まつり 8 K ライブ配信 (5.1 参照) や 2019年11月に米国コロラド州デンバーで

開催された SC19 での日米間 500 Gbps データ転送実験 (5.4 参照) においては、TransPAC 回線を利用している。

## 4 国際共同公募による共同研究プログラム

NICT は、先進国・地域の資金提供機関と連携して、国際共同公募による共同研究プログラムを実施している。

### 4.1 米国 NSF JUNO

NICT と米国国立科学技術財団 (NSF: National Science Foundation) のコンピュータ情報科学工学局 (CISE: Directorate for Computer and Information Science and Engineering) に属するコンピュータネットワーク部 (CNS: Division of Computer Network Systems) は、2007年以來、主に将来ネットワーク/新世代ネットワークの研究分野において連携を行ってきた。共同研究プログラムの形成に向けて、2008年及び2009年に第1回及び第2回日米将来ネットワーク ワークショップを NSF と共同開催した。2010年から2012年度まで、NICT・NSF が共同で将来インターネットの設計に向けた7件の研究提案に資金を提供し、日米の研究者を支援した (日米共同研究プログラム第1弾)。

2012年3月、日米両政府は「インターネットエコノミー日米政策協力対話(第3回局長級会合)」[12]において、「新世代ネットワーク (NWGN) / 将来インターネットの研究開発」分野で協力することが確認された。共同研究プログラムの形成に向けて、2012年11月、第3回日米将来ネットワーク ワークショップ [13] を NSF と共同開催し、共同研究を行う3つの領域を特定した。2013年5月、NICT と NSF は、それぞれの国の研究者に対して、この3領域における共同研究を支援するために連携することで合意し、包括的協力覚書 (MOU) を締結した [14]。同 MOU に基づき、2013年7月から11月まで、NSF と共同で「将来ネットワークの実現に向けた超大規模情報ネットワーク基盤技術に関する研究」に関し、(1) モデル化及び設計、(2) モバイルコンピューティング・ネットワークング技術、(3) 光ネットワーク技術の3領域について、日米共同研究プロジェクト提案の公募を行った [15]。2014年2月から2017年2月まで、JUNO (Joint Japan - US Network Opportunity) (日米共同研究プログラム第2弾) として、7件 (NICT との連携を含む) の日米共同研究プロジェクトが実施された [16]。

2016年3月、JUNO 後継プログラムの形成に向けて、スマートコミュニティを支える高信頼ネットワークに関するワークショップを NSF と共同開催し、共同研究を行う2つの領域を特定した。2017年7月から12月

まで、NSF と共同で「スマートコミュニティを支える高信頼ネットワーク構成技術の研究開発」に関し、(1) IoT (Internet of Things) /CPS (Cyber-Physical Systems) 信頼確立のための基盤技術、(2) IoT/CPS を支える光ネットワーク技術の2領域について、日米共同研究プロジェクト提案の公募を行った[17]。2018年9月から2021年8月まで、JUNO2(日米共同研究プログラム第3弾)として、5件(NICTとの連携を含む)の日米共同研究プロジェクトが実施された[18]。

2020年11月、JUNO2後継プログラムの形成に向けて、プログラム可能なネットワークに関するワークショップをNSFと共同でオンライン開催し、共同研究を行ういくつかの領域を特定した。2021年9月から12月まで、NSFと共同で「次世代コアとBeyond 5G/6Gネットワークのためのプログラム可能なネットワークの研究開発」に関し、(1) ネットワークアーキテクチャ/ネットワーク内インテリジェンス及びプログラム可能なネットワーク機能に関する基礎技術、(2) スマートサービス、アプリケーション及び研究用テストベッドでの実験の2領域について、日米共同研究プロジェクト提案の公募を行った[19]。2022年から3年間、JUNO3(日米共同研究プログラム第4弾)として、最大5件(NICTとの連携を含む)の日米共同研究プロジェクトを実施する予定である。

## 4.2 欧州 FP7、Horizon 2020

NICT では、欧州連合(EU)との連携により研究開発の促進が期待できる領域について、2013年度から欧州委員会(EC)が実施する第7次欧州研究開発フレームワーク計画(Framework Programme 7: FP7)及びFP7の後継の研究開発プログラムであるHorizon 2020と連携して共同で公募を行い、日欧の共同研究を実施してきた。日欧が協力して研究開発を行うことで、双方の強みを戦略的に組み合わせるとともに、国際標準化をにらんだ研究開発力の強化や国際的な研究開発・実証環境の構築を図るとともに、研究開発分野における協力関係を継続し、深化させることを狙いとしている。

第1弾では、ECが実施するFP7と連携して、2012年10月から11月まで「新世代ネットワークの実現に向けた欧州との連携による共同研究開発」と題して、以下の3つの課題について共同で公募を行った[20]。

- 課題ア モノのネットワークとクラウドを融合するネットワークサービス基盤の研究開発
- 課題イ ネットワークテストベッドを活用した日欧における実証的共同研究
- 課題ウ コンテンツ指向ネットワークングによる省エネルギーコンテンツ配信の研究開発

公募の結果、2013年4月から2016年3月までの3年間、3件の日欧の共同研究を実施した[21]。課題イでは、日本と欧州のテストベッドを接続し、接続されたテストベッドを用いた実証的共同研究開発を行うことを狙いとした。なお、第1弾共同研究開発の開始にあたり、2013年7月、総務省との共催により平成25年度「日欧国際共同研究」に関する講演会を東京で開催した[22]。

第2弾では、ECが実施するHorizon 2020と連携して、2014年1月から4月まで「新世代ネットワークの実現に向けた欧州との連携による共同研究開発および実証」と題して、以下の2つの課題について共同で公募を行った[23]。

- 課題A 大規模スマートICTサービス実証基盤を用いたアプリケーション実証
- 課題B 高い密度で集中するユーザに対応可能なアクセスネットワークの開発

公募の結果、2014年10月から2017年9月までの3年間、2件の日欧の共同研究を実施した[24]。課題Aでは、NICTが設置する大規模Smart ICTテストベッドJOSEと、欧州で開発が進められてきたテストベッド技術と実証実験の経験を連携させ、新たな価値を生み出すICTサービスを開発することを目的とした。なお、第2弾共同研究開発の開始にあたり、2014年10月、総務省、ECとの共催により、「第5回日欧ICT国際共同研究シンポジウム」をベルギーブリュッセルで開催した[25]。

第3弾及び第3弾追加募集では、ECが実施するHorizon 2020と連携して、2015年10月から2016年1月まで(追加募集は2016年4月から6月まで)、以下の3つの課題について共同で公募を行った[26]。

- 課題番号183 欧州との連携による公共ビッグデータの利活用基盤に関する研究開発
- 課題番号184 欧州との連携による情報指向ネットワークングに関する実証的研究開発
- 課題番号192 高齢者の活動的・健康的な生活を実現するための欧州との連携によるネットワークプラットフォーム基盤技術の研究開発

公募の結果、2016年7月から2019年6月まで(追加募集は2016年11月から2019年10月まで)の3年間、4件の日欧の共同研究を実施した[27][28]。課題番号184では、日欧双方で実施されているテストベッドやICN(Information Centric Network)に関する研究開発成果を活用して、ICN技術を展開するために効果を発揮するグローバルなテストベッドを構築・フェデレーションし、高品質メディアやコンテンツ配信などを多数の多様な環境にあるユーザに対して効率的に実現するためのICNプロトコルやフレームワークを開発することを目的とした。なお、2016年10月、総務省、EC

### 3 NICT 総合テストベッド利活用の向上と拡大を目指して

との共催により、「第6回日欧国際共同研究シンポジウム」を幕張メッセで開催した [29]。

第4弾では、ECが実施する Horizon 2020 と連携して、2017年10月から2018年1月まで、以下の2つの課題について共同で公募を行った [30]。

- 課題番号195 欧州との連携によるハイパーコネクテッド社会のためのセキュリティ技術の研究開発
- 課題番号196 欧州との連携による Beyond 5G 先端技術の研究開発

公募の結果、2018年7月から2021年6月までの3年間、2件の日欧の共同研究を実施した [31]。課題番号196では、100 Gbps以上の超高速アプリケーションを収容可能な Beyond 5Gの先進的な光技術と無線技術を用いる通信システムとネットワークの共同研究を行うことを目的とした。なお、2018年12月、総務省、ECとの共催により、「第7回日欧国際共同研究シンポジウム」をオーストリア ウィーンで開催した [32]。

## 5 国際共同プロジェクト

NICTは、大容量、長距離、低遅延の伝送を必要とするときに可能とするテストベッドの特徴を活かし、アジア太平洋、米州、欧州、大洋州の関係機関と連携して、関連する研究開発成果の技術実装、社会実装及び国際

展開を推進する国際共同プロジェクトを実施している。

### 5.1 シンガポール-日本間 8K 多重化ライブ配信

NICTは、2018年2月のさっぽろ雪まつりの機会を利用して、IPマルチパス技術及びIPマルチパス技術を応用し、複数の長距離国際回線で超高精細8K非圧縮ライブ映像を多重に送信することで、途中での物理的な回線断が発生しても、映像が一切途切れることなく再生できることを実証した [33]。

この実証実験のため国際ネットワーク部分においては、シンガポールの SingAREN・NSCC・南洋工科大学、米国 Internet2・Pacific Wave・TransPAC の協力を得て、

- シンガポール→[香港経由]→日本
- シンガポール→[米国西海岸経由]→日本

の伝送遅延時間の大きく異なる長距離100 Gbps国際回線2本を実現している。

この回線を通して、さっぽろ雪まつりの8K映像をシンガポールに、またシンガポールからの8K映像を大阪にライブ配信した(図4)。

### 5.2 気象衛星画像リアルタイム公開

ひまわりリアルタイム(図5)はNICTが開発した、気象衛星データリアルタイム可視化ツール [34]-[36]で



図4 シンガポール-日本間 8K 多重化ライブ配信実証実験



あり、年間で約 300 万アクセスがある。気象庁気象衛星センターのひまわりクラウド [37] と NICT の時空間データ GIS プラットフォームを L2VPN 網で接続し、NICT 等が開発した広帯域・高遅延ネットワーク用データ転送プロトコル HpFP (High-performance and Flexible Protocol) [38]-[40] により準リアルタイム伝送している。NICT、千葉大学環境リモートセンシング研究センター、京都大学学術情報メディアセンター、九州大学情報基盤研究開発センター、信州大学総合情報センターなどを JGN 及び SINET5 上の L2VPN で接続した JHPCN 広域分散クラウド上で Web サーバを各拠点に分散することで冗長化及び負荷分散を実現し、台風接近に伴う停電等においても止まらない定常的な運用を可能とした (図 6)。

ひまわりリアルタイムアプリは Google Play 及び App Store において NPO 法人太陽放射コンソーシアムが公開しており (図 7)、Google Play では国内外で 1 万を超えるダウンロードがある。ひまわりリアルタイムは日本語、英語、韓国語、中国語 (繁体字・簡体字)、インドネシア語、ミャンマー語、タイ語、ロシア

語、フランス語、テトゥン語、マレー語の 12 か国語化しており、アクセスの約半数が国外からである。

現在、タイ (NECTEC)、フィリピン (ASTI)、及び台湾 (ASGC) にミラーサイトを立ち上げることでアクセスのローカルティ向上試験を進めている (図 8)。データ伝送は JGN 国際回線を含む APAN ネットワークを活用しており、データ通信プロトコルは上記の HpFP を用いている [41]。HpFP は JGN 国際回線でもその有効性が確認されている (図 9)。

### 5.3 Data Mover Challenge コンテスト

大量のデータを共有し活用する国際共同研究が活発化し、これらの大容量データを国際間で高速に転送する需要が高まった。これに対応するため、DTN (Data Transfer Node、広域データ転送用に特化して構築されたサーバ) [42] を利用した通信・プラットフォームが普及してきている。

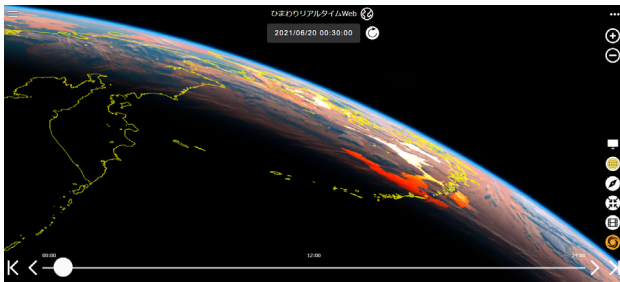


図 5 ひまわりリアルタイム



図 7 ひまわりリアルタイムスマートフォンアプリ

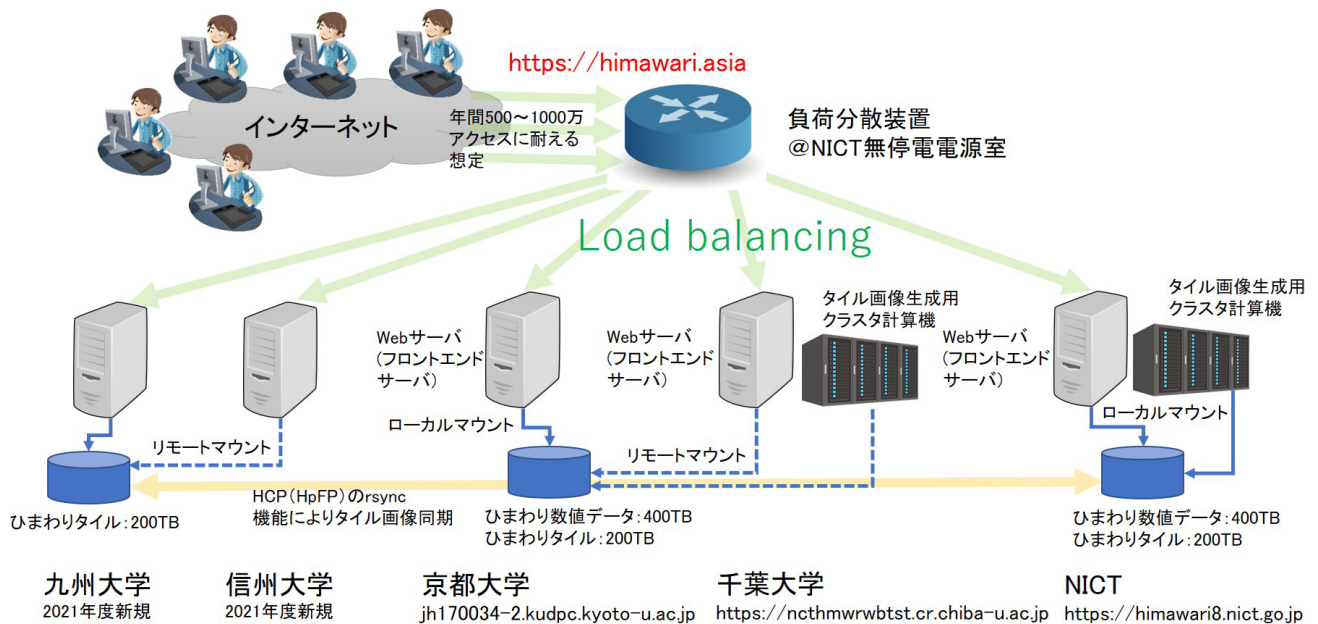


図 6 JGN 及び SINET5 上の L2VPN 網を用いたひまわりリアルタイム負荷分散システム (計画中の内容を含む)

### 3 NICT 総合テストベッド利活用の向上と拡大を目指して

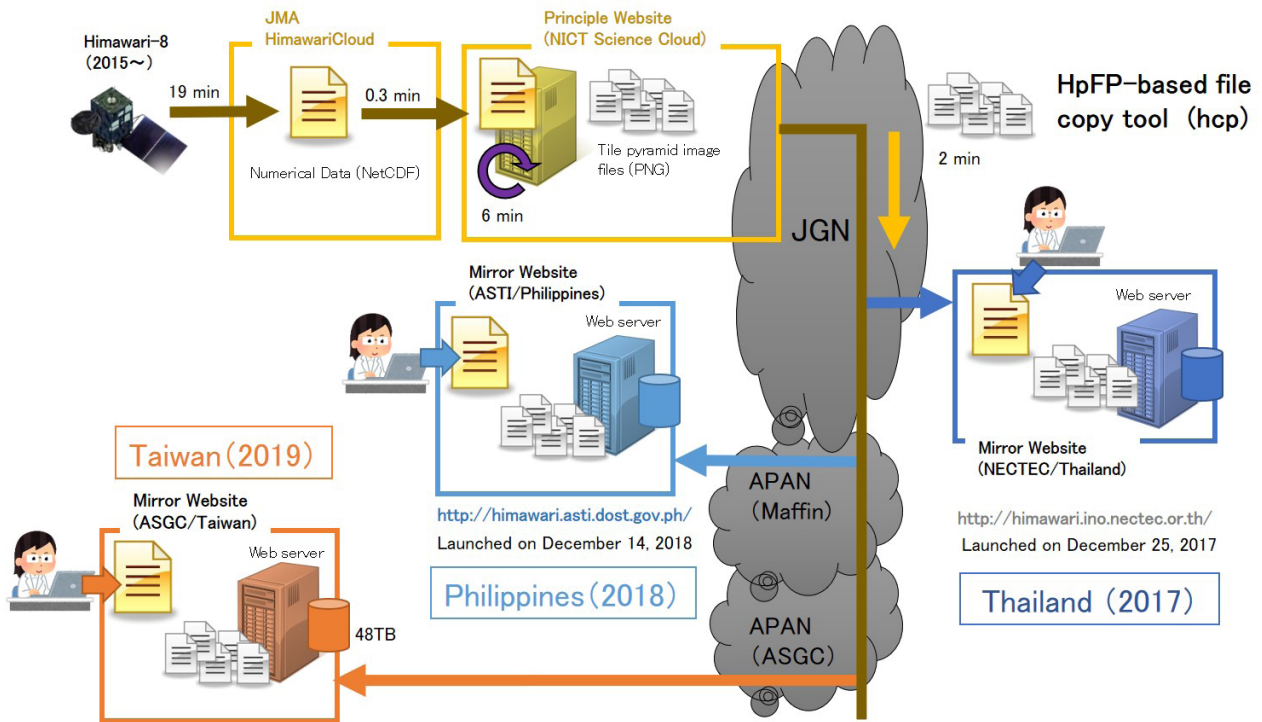


図8 タイ・フィリピン・台湾のひまわりリアルタイム Web ミラーリングと高速データ伝送

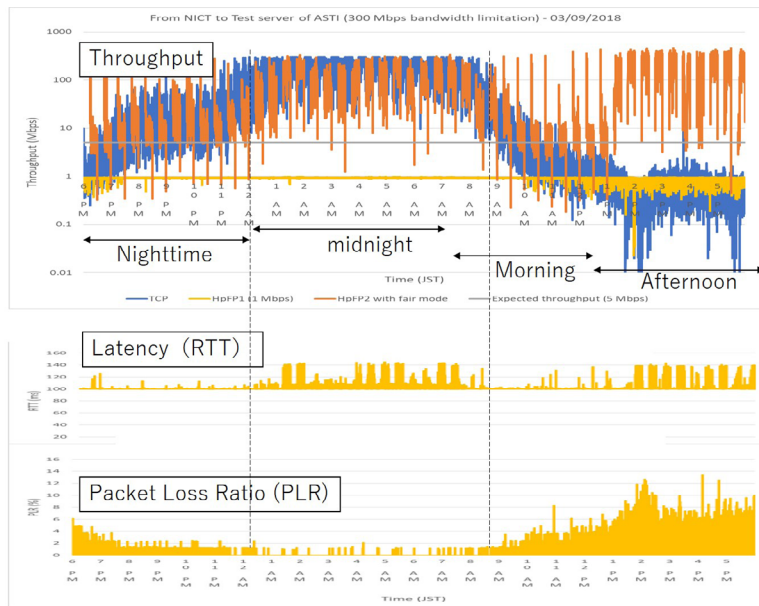


図9 HpFP の NICT (日本) – NECTEC (タイ) 間でのデータ通信性能：輻輳時の高い通信性能を示している

Data Mover Challenge (DMC) コンテストは、データ転送技術(メモリ間・ディスク間)の競技会であり、シンガポール NSCC (National Supercomputing Centre) [43] の主催で、インフラ (100 Gbps 回線及び DTN) を提供するパートナー機関とともに開催している。成績優秀者の表彰式が、毎年3月頃に NSCC が開催する国際会議 SCAsia [44] で行われている。

2019年に最初のコンテスト DMC19 が開催され、2020年に DMC20、2021年10月現在 DMC21 がそれぞれ

開催されている。NICT は、DMC19 よりパートナーとして参加し、DTN (東京設置) 及び東京 - 香港 - シンガポール 100 Gbps を提供してきている。

競技参加チームは、自らが開発したデータ転送ツールとソフトウェアを DTN 上にインストールし、コンテストに臨む。実際には、各チームに DMC 期間中5日間で割り当てられ、最初の3日間でソフトウェアのインストール、残り2日間でデータ転送し競技用にデータ収集するスケジュールである。

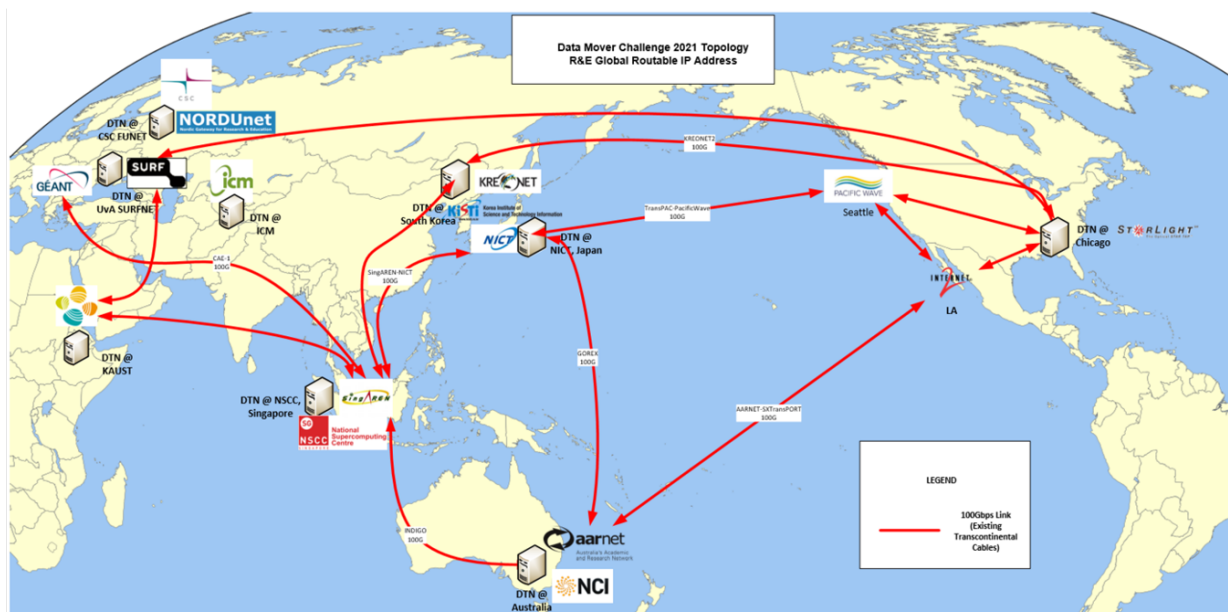


図 10 DMC21 ネットワーク構成 (出典: NSCC Singapore, "Data Mover Challenge 2021 Participants' Information")

表 1 DMCの変遷

	DMC19	DMC20	DMC21
実施期間	2019/1 - 2019/3	2019/8 - 2020/1	2021/8 - 2021/9
競技参加チーム数	7	7 <sup>*1</sup>	7 <sup>*2</sup>
パートナー数 (回線・DTN提供者)	9	19	21
DTN数 <sup>*3</sup> ( )内は設置国。 下線は新規参加国	5 (日本・シンガポール・ 韓国・オーストラリア・ 米国)	9 (日本2・シンガポール・ 韓国・オーストラリア・ 米国・ <u>英国</u> ・ <u>オランダ</u> ・ <u>デンマーク</u> )	9 (日本・シンガポール・ 韓国・オーストラリア・ 米国・ <u>英国</u> ・ <u>オランダ</u> ・ <u>デンマーク</u> ・ <u>サウジアラビア</u> )
ネットワーク	L2-VLAN	L2-VLAN	L3、一部L2-VLAN
テストシナリオ	両方向転送	片方向転送 1対多の同時転送	片方向転送 1対多の同時転送 IPv6

<sup>\*1</sup> NICTは、JAXA/NICTチームとして参加し、「Experimental Excellence Award」を受賞した。

<sup>\*2</sup> 2021/10時点の参加者数。NICTは「チーム武蔵野」として参加。

<sup>\*3</sup> DTN間は100 Gbps回線で接続。

図10にDMC21でのネットワーク構成、表1にDMCの変遷を示す。

#### 5.4 国際間実験回線(計500 Gbps)によるデータ伝送実験

長距離高速ファイル転送プロトコルMMCFTP (Massively Multi-Connection File Transfer Protocol) は、同時に多くのTCPコネクションを使用し、安定した超高速データ転送を実現するものである。MMCFTPを使った伝送実験は、NICTのテストベッド等を使って、2015年頃から行われており、2017年

11月に開催されたSC17での実証実験(NICT/NII共同)では日米間の100 Gbps 3経路を用い、転送速度231 Gbpsを達成した。

2年後のSC19においては、日米間で100 Gbps 5経路の設定が可能になったことから、図11のネットワークを構成し、NICT/NII共同で実証実験を行った[45]。

このネットワークは、JGN・SINET5(NII)・WIDEプロジェクト・SingAREN・TransPAC・Pacific Wave・Internet2・CANARIE・CAE-1(3.2参照)・GÉANT・NORDUnet・SURFnet・TEIN\*CC・AARNetから成るものである。

### 3 NICT 総合テストベッド利活用の向上と拡大を目指して



図 11 SC19 500 Gbps 伝送実証実験

#### 5.5 eVLBI 実験 (長距離精密周波数比較)

NICT では、VLBI (超長基線電波干渉法) を応用して、大陸間の光格子時計の周波数を精密に比較する技術を開発している。従来の測地 VLBI より格段に大域幅の広い 3-14 GHz の観測を可能とするために、VLBI 観測局間を光ファイバネットワークによって接続する技術 (e-VLBI) を用い、イタリア INAF - NICT 間を JGN 等の国際ネットワークで接続して 4-6 Gbps のデータレートでデータを伝送した。

国際ネットワークは、イタリア GARR、欧州 GÉANT、米国 Internet2 及び TransPAC の協力を得て構成している (図 12)。

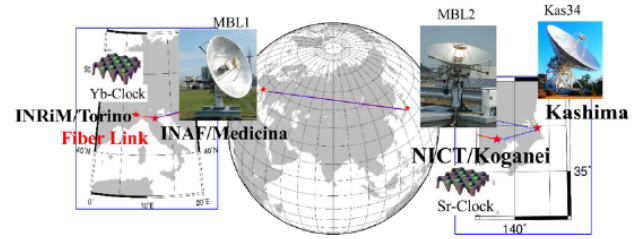


図 12 国際的な VLBI 観測ネットワークへの貢献

背景にして、災害管理、環境モデリング、スマートコミュニティ、コネクテッドコミュニティなどの幅広い応用分野で、国際的な科学ネットワークに参加できる技術的・文化的能力を備えた新世代の研究者を育成することを目的とした、サイバーインフラストラクチャの共同研究活動を支援している。

現在の機関メンバーは以下である。

- 米国フロリダ大 ACIS 研究所 (NSF)
- NICT
- 台湾 CECEA (Center of Excellence for Cyber-Enablement of Applications)
- ポルトガル INESC-TEC (Institute for Systems and Computer Engineering, Technology and Science)
- 韓国 KISTI (Korea Institute of Science and Technology Information)

最初の CENTRA 会合は 2016 年 3 月に台湾で開催され、以後、2017 年 4 月 CENTRA2 米国、2018 年 5 月 CENTRA3 日本、2019 年 4 月 CENTRA4 韓国、2021 年 9 月 CENTRA5 ポルトガルと毎年一度開催されている (2020 年は新型コロナ蔓延のため中止)。このほか、オンラインでウェビナーが頻繁に開催されている。

#### 6.2 JGN 国際ネットワークの変遷

以下に JGN 国際ネットワークの変遷経緯を示す。

- JGN2
  - 2004 年 8 月 東京 - シカゴ 10 Gbps (OC-192 SONET)
  - 2005 年 11 月 東京 - バンコック 45 Mbps (ATM)
  - 東京シンガポール 155 Mbps (OC-3 SONET)
  - 2007 年 福岡 - 釜山 2.4 Gbps
  - 東京 - 香港 2.4 Gbps
- JGN2plus
  - 2008 年 東京 - LA - シカゴ 10 Gbps
  - 2009 年 東京 - バンコック廃止
  - 東京 - シンガポール - バンコック 622 Mbps

## 6 その他

その他の協力の枠組みとして CENTRA と JGN 国際ネットワークの変遷について述べる。

#### 6.1 CENTRA

CENTRA (Collaborations to Enable Transnational Cyberinfrastructure Applications) [46] は、世界レベルで、研究所・ラボ間の協力関係を構築するためのパートナーシップを推進し、それ自体がフレームワークともなっている。

ソフトウェアで定義されたサイバーインフラ及び地球規模問題を解決するデータ・ソフトウェアの出現を

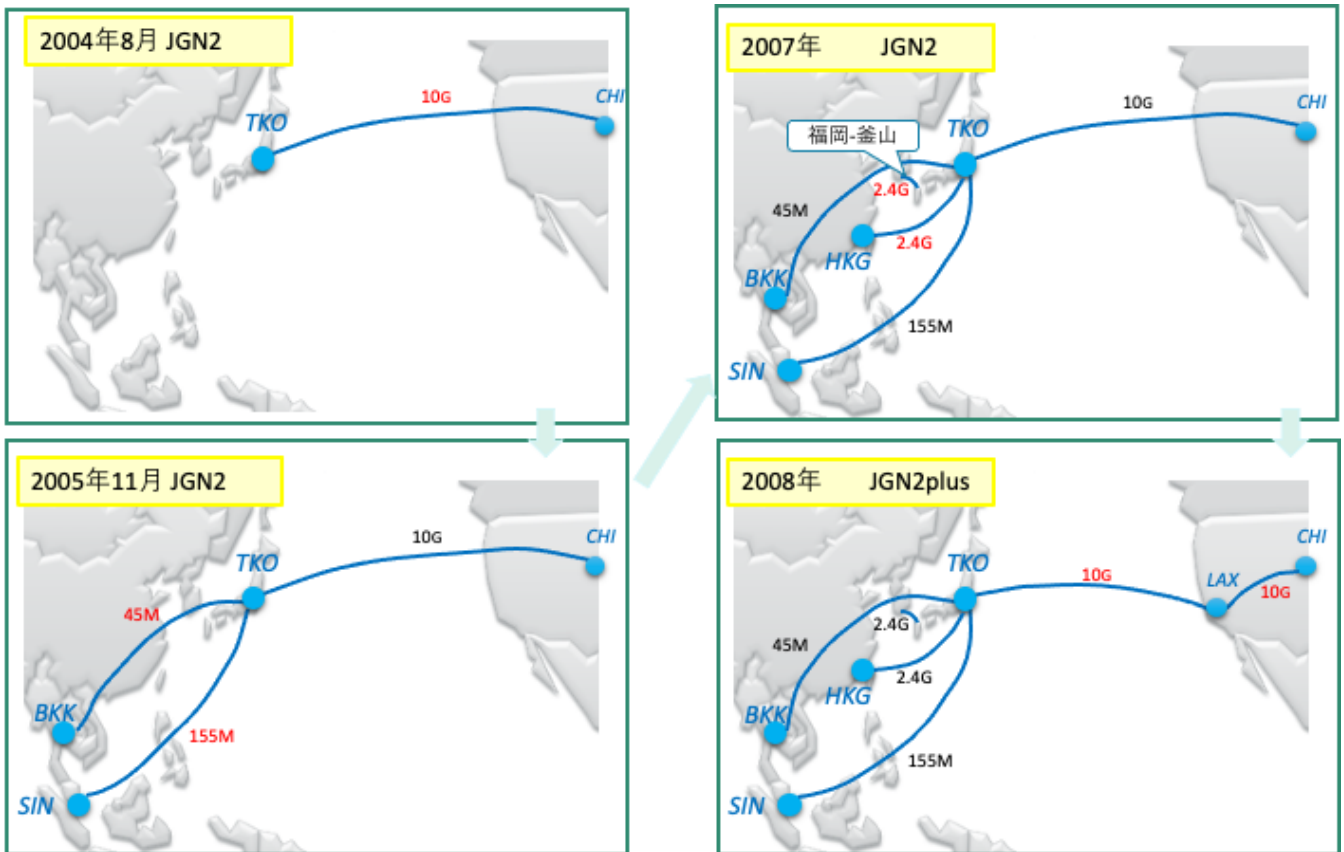


図 13 JGN 国際ネットワークの変遷① (2004年8月～2008年)

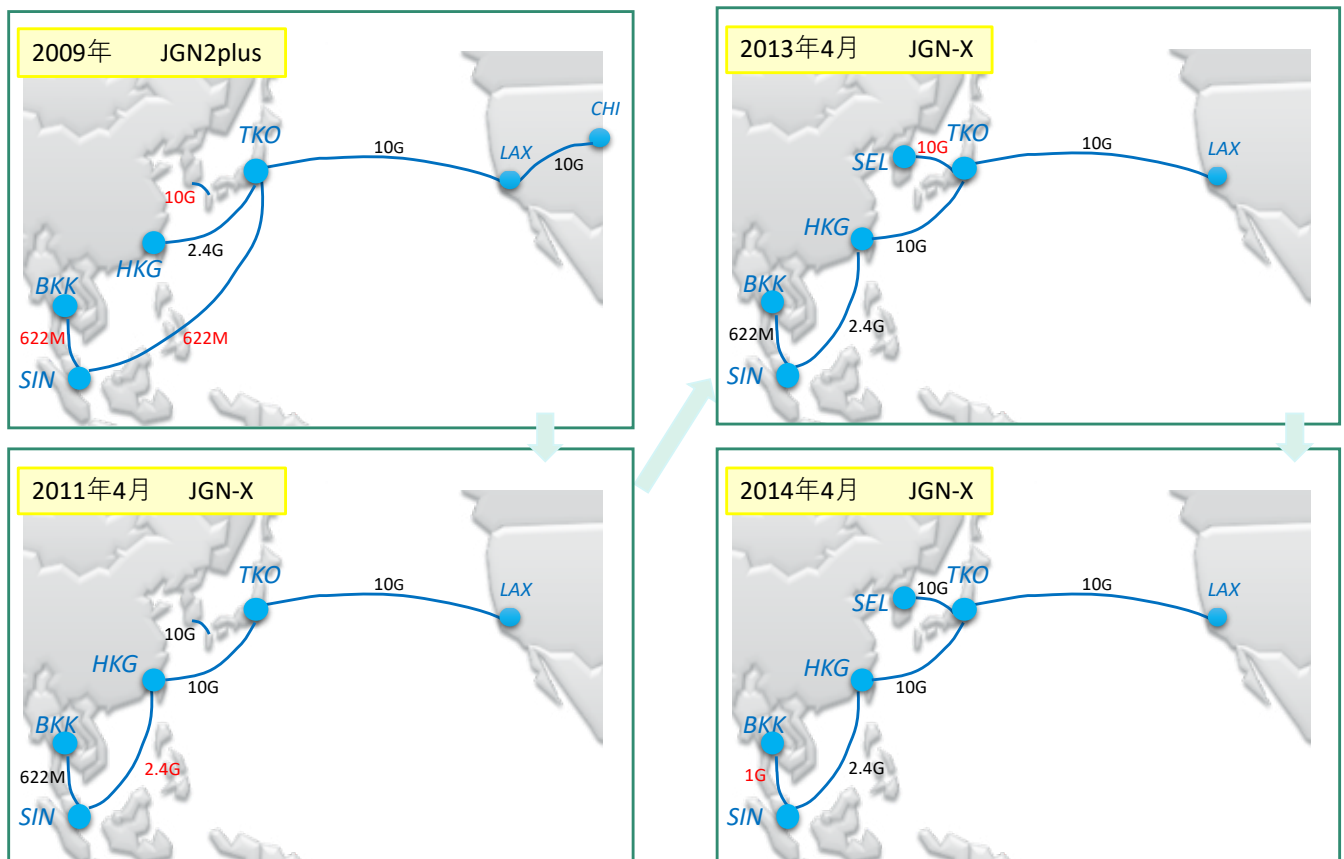


図 14 JGN 国際ネットワークの変遷② (2009年～2014年4月)

### 3 NICT 総合テストベッド利活用の向上と拡大を目指して

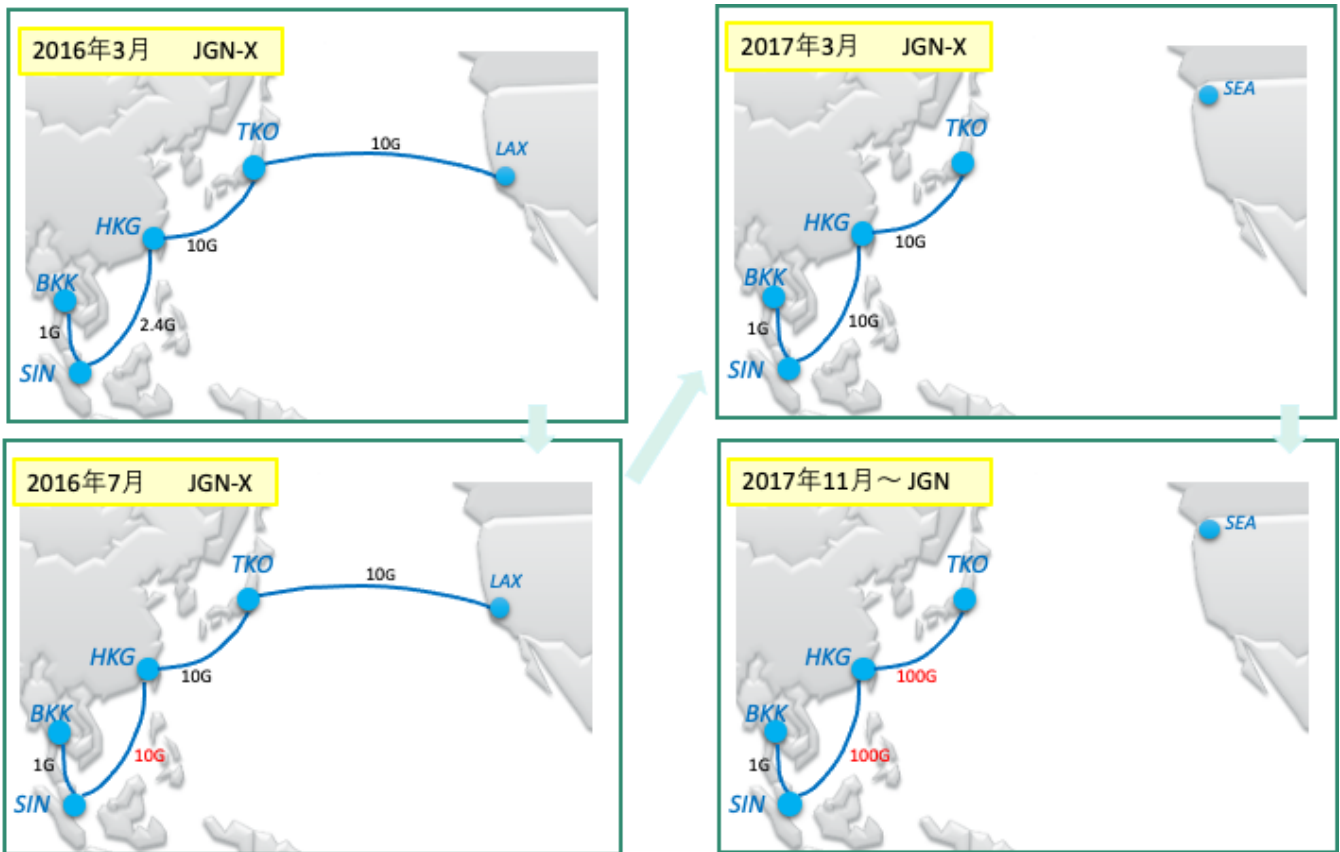


図 15 JGN 国際ネットワークの変遷③ (2016年3月～2017年11月)

- 福岡 - 釜山 10 Gbps
- JGN-X
  - 2011年4月 東京 - LA 10 Gbps (LA - シカゴ廃止)
  - 東京 - シンガポール 2.4 Gbps (SIN-BKK は 622 Mbps 維持)
  - 2011年3月 東京 - シンガポール 廃止
  - 2011年4月 東京 - 香港 10 Gbps
  - 香港 - シンガポール 2.4 Gbps
  - 2013年3月 福岡 - 釜山廃止
  - 2013年4月 東京 - ソウル 10 Gbps
  - 2014年4月 シンガポール - バンコック 1 Gbps
  - 2016年3月 東京 - ソウル 廃止
- JGN
  - 2016年7月 東京 - シンガポール 10 Gbps
  - 2017年3月 東京 - LA 廃止
  - 2017年11月 東京 - 香港 / 香港 - シンガポール 100 Gbps (シンガポールと共同運用)

州、大洋州の研究教育ネットワークの可用性向上に果たしてきた役割は大きい。多国間、二国間の協力を通じて、単独のネットワークでは実施できない広域の共同研究プロジェクトの実現を可能にしてきた。また、多数の研究教育ネットワークが協力することで、より高速の伝送実験の実施や相互のバックアップを可能にしてきた(図 13～15)。

今後も、国際的な共同研究プロジェクトを着実に実施していくことが、高速研究教育ネットワークの利用実績となり、将来のネットワーク高度化に向けた基礎になると考えられる。技術の進展や国際動向を踏まえ、近い将来高速化や、Beyond 5G に向けた低遅延化等、JGN 国際回線の一層の高度化が期待されるものと想定される。

今後の国際回線高度化の実現のためにも、互恵的な関係にある国内・海外の研究教育機関・ネットワークとの協力関係や共同公募、共同研究の推進・拡大が重要であると考えられる。

#### 【参考文献】

- 1 総務省, 財務省, “国立研究開発法人 情報通信研究機構 中長期目標 (第4期) (令和3年度～令和7年度),” Feb. 2021.
- 2 総務省, 財務省, “国立研究開発法人 情報通信研究機構 中長期目標 (第5期) (平成28年度～平成32年度),” Feb. 25, 2021 変更.
- 3 総務省, “G7 香川・高松情報通信大臣会合の開催結果,” April 30, 2016.

## 7 第5期中長期計画への展望

東京 - シカゴの 10 Gbps 回線で開始され、現在、東京 - 香港 - シンガポールの 100 Gbps 回線を軸とした JGN 国際回線が、アジア太平洋及び接続する米州、欧

- 4 G7 香川・高松情報通信大臣会合, “デジタル連結世界憲章; G7 情報通信大臣共同宣言; G7 協同行動集,” April 29-30, 2016.
- 5 G20 Italia 2021, “Special event on ‘connectivity and social inclusion,’” April 27, 2021.
- 6 総務省, “G20 デジタル大臣会合の開催結果,” Aug. 6, 2021.
- 7 G20 トリエステ デジタル大臣会合, “G20 デジタル大臣宣言,” Aug. 5, 2021.
- 8 “APAN (Asia Pacific Advanced Network),” <https://apan1.apan.net>.
- 9 “APONet (Asia Pacific Oceania Network),” <https://www.aponet.global/?lang=ja>.
- 10 情報通信研究機構, “アジア太平洋・オセアニア地域を接続するグローバルな研究・教育ネットワークの連携が実現,” June 17, 2021.
- 11 情報通信研究機構, “アジア - 欧州間 研究・教育用ネットワーク (AER) に関する研究協力覚書の締結,” July 22, 2019.
- 12 総務省, “インターネットエコノミー日米政策協力対話 (第3 回局長級会合) の結果,” March 23, 2012.
- 13 情報通信研究機構, “第3 回日米将来ネットワークワークショップ,” Oct. 2 2012.
- 14 情報通信研究機構, “米国国立科学財団 (NSF) と MOU を締結 新世代ネットワーク研究における日米共同研究に向けて連携,” May 30, 2013.
- 15 情報通信研究機構, “新世代ネットワークの実現に向け 米国との共同研究開発の公募を開始,” July 10, 2013.
- 16 情報通信研究機構, “日米共同による「将来ネットワークの実現に向けた超大規模情報ネットワーク基盤技術に関する研究」の連携プロジェクトがスタート,” Feb. 4, 2014.
- 17 情報通信研究機構, “スマートコミュニティを支える高信頼ネットワークの基礎技術の創出に向け米国との共同研究開発の公募を開始,” July 31, 2017.
- 18 情報通信研究機構, “スマートコミュニティを支える高信頼ネットワーク構成技術及び脳情報通信に関する日米共同研究開発を開始,” Sept. 3, 2018.
- 19 情報通信研究機構, “次世代コアと Beyond 5G / 6G ネットワークに関する日米共同研究の公募を開始,” Sept. 29, 2021.
- 20 情報通信研究機構, “新世代ネットワークの実現に向け 欧州との共同研究開発の公募を開始,” Oct. 2, 2012.
- 21 情報通信研究機構, “「新世代ネットワークの実現に向けた欧州との連携による共同研究開発」を開始,” June 3, 2013.
- 22 情報通信研究機構, “平成 25 年度「日欧国際共同研究」に関する講演会,” June 20, 2013.
- 23 情報通信研究機構, “新世代ネットワークの実現に向け欧州との共同研究開発の公募を開始,” Jan. 7, 2014.
- 24 情報通信研究機構, “欧州との連携による日欧共同公募第 2 弾の研究開発を開始,” Oct. 16, 2014.
- 25 European Commission, “Report on the 5 th EU-Japan Symposium in ICT Research and Innovation,” Nov. 6, 2014.
- 26 情報通信研究機構, “欧州との連携による日欧共同公募第 3 弾の研究開発を開始,” July 1, 2016.
- 27 情報通信研究機構, “欧州との共同研究開発の公募第 3 弾を開始,” Oct. 20, 2015.
- 28 情報通信研究機構, “欧州との連携による日欧共同公募第 3 弾追加の研究開発を開始,” Nov. 1, 2016.
- 29 総務省, “「第 6 回日欧国際共同研究シンポジウム」の開催結果,” Oct. 26, 2016.
- 30 情報通信研究機構, “欧州との共同研究開発の公募第 4 弾を開始,” Oct. 31, 2017.
- 31 情報通信研究機構, “欧州との連携による日欧共同公募第 4 弾の研究開発を開始,” July 2, 2018.
- 32 総務省, “「第 7 回日欧国際共同研究シンポジウム」の開催結果,” Jan. 18, 2019.
- 33 情報通信研究機構, “シンガポール-日本間で環太平洋マルチパスによる 8 K 多重化ライブ配信を実施,” Feb. 26, 2018.
- 34 “ひまわりリアルタイム,” <https://himawari.asia>.
- 35 村田健史, 武田康男, 菊池真似, “ひまわり 8 号と地上写真からひと目でわかる 日本の天気と気象図鑑,” 誠文堂新光社, 東京, 2017.
- 36 樋口篤志, 豊嶋紘一, 村田健史, 可知美佐子, “ひまわり 8 号が観測した地球の姿 (静止気象衛星 ひまわり 8 号・9 号とその利用),” 気象研究ノート, vol.238, pp.1-9, (公社) 日本気象学会, 東京, 2018.
- 37 “ひまわりクラウド,” [https://www.data.jma.go.jp/sat\\_info/himawari/nmhs.html#cloud](https://www.data.jma.go.jp/sat_info/himawari/nmhs.html#cloud).
- 38 村田健史, 水原隆道, 長屋嘉明, “IoT/M2M 時代に向けた高性能遠隔制御のための通信プロトコル - 新しい社会システムデザインに向けた基盤通

信技術の創出-,” 協会報 FORN 2016 年 9 月号, no.312, pp.6-9, (一財) 電波技術協会, 神奈川, 2016.

- 39 村田健史, 深沢圭一郎, “JHPCN が拓くビッグデータサイエンス: 高速データ伝送技術,” 京都大学 学術情報メディアセンター全国共同利用版広報, vol.19, no.2, pp.12-18, 京都大学学術情報メディアセンター, 京都, 2021.
- 40 村田健史, 岡田雅樹, 山本和憲, 長屋嘉明, Praphan Pavarangkoon, 水原隆道, 高木文博, 村永和哉, 木村映善, “インテルサット衛星回線による南極・昭和基地からの効率的データ伝送の提案 ~帯域制御型プロトコルの活用~, ” 信学技報, vol.116, no.41, SAT2016-3, pp.13-17, (社) 電子情報通信学会, 東京, 2016.
- 41 P. Pavarangkoon, K. T. Murata, K. Yamamoto, K. Muranaga, A. Higuchi, T. Mizuhara, Y. Kagebayashi, C. Charnsripinyo, N. Nupairoj, T. Ikeda, J. Tanaka and K. Fukazawa, “Development of international mirroring system for real-time web of meteorological satellite data,” Earth Science Informatics, vol.13, no.4, pp.1461-1476, 2020, DOI: 10.1007/s12145-020-00488-z
- 42 “ESnet Data Transfer Nodes,” <https://www.es.net/science-engagement/technical-and-consulting-services/data-transfer-nodes/>.
- 43 “NSCC (National Supercomputing Centre),” <https://www.nssc.sg/>.
- 44 “SCAsia,” <https://www.sc-asia.org/>.
- 45 NICT 総合テストベッド, “SC19 (米国デンバー) にて国際間実験回線 (計 500 Gbps) によるデータ伝送実験に成功,” Nov. 18-21, 2019.
- 46 “CENTRA (Collaborations to Enable Transnational Cyberinfrastructure Applications),” <https://www.globalcentra.org/>.



**鳥越祐之 (とりごえ ゆうじ)**

ソーシャルイノベーションユニット  
総合テストベッド研究開発推進センター  
主管エキスパート

**後藤雅徳 (ごとう まさのり)**

ソーシャルイノベーションユニット  
総合テストベッド研究開発推進センター



**村田健史 (むらた たけし)**

ソーシャルイノベーションユニット  
総合テストベッド研究開発推進センター  
研究統括  
博士 (工学)  
時空間データ GIS プラットフォーム