

第1回次世代学術情報ネットワーク・データ基盤整備作業部会

次期ネットワーク基盤について （案）

2020年5月14日
国立情報学研究所

- 1. 海外動向**
- 2. 技術動向**
- 3. SINETの現状**
- 4. SINETの課題と利用機関からの要望**
- 5. 今後の方向性**

1. 海外動向

米国 Internet2 Network

- Internet2 networkは米国の高等教育機関等のための研究教育用ネットワーク
 - 317の大学、60の政府機関、43の地域・州教育ネットワークが接続
 - 全米を400Gbps（メトロは800Gbps）へとアップグレードすべく、新光ファイバ網（CenturyLink）と新光伝送装置(Ciena）を採用（次頁も参照）
 - 現在構築中

NGI Optical Upgrade

ciena
Experience. Outcomes.

CORNING
SMF-28 Ultra Optical Fiber

Program Highlights

- Nationwide Upgrade of Optical Kit
- Open Line System
- Flex Grid (>100 Ghz channels)
- Upgraded SMF28 ULTRA Fiber on many paths / some new huts
- New Wavelogic 5 400-800G transponders for Internet2 backbone
 - 95 gigabaud at 105 Ghz spacing for distance
- Substantially greener profile (space, power)
- 13 implementation phases
- Implementation underway



新I2 Network関連のニュースリリース

Internet2 to upgrade fiber backbone with Ciena's 800-Gbps WaveLogic 5

(Oct 21st, 2019)

The upgrade will enable Internet2 to deploy 800-Gbps wavelengths in metro locations and support 400 Gigabit Ethernet interconnect over native 400G wavelengths.

U.S. research and education network service provider Internet2, will upgrade its network with **open line systems and the 800-Gbps capabilities** of the WaveLogic 5 Extreme coherent chipset as deployed in the Waveserver platform, says technology supplier Ciena. **The upgrade will enable Internet2 to deploy 800-Gbps wavelengths in metro locations and support 400 Gigabit Ethernet interconnect over native 400G wavelengths between Internet2 points-of-presence system-wide.**

The flexible grid open line system will enable access for Internet2's membership to a contiguous coherent optical network that can facilitate wavelength delivery and data transfer throughout the continental United States, asserts Ciena. The OLS also will enable wavelengths launched directly from Internet2's member networks to be transported to strategic endpoints beyond their regional footprints. The upgrade will see Internet2 reduce the overall space and power footprint of its current optical add/drop locations by as much as two-thirds, Ciena adds.

"Ciena put forth a great proposal that met Internet2's objectives to efficiently increase capacity, increase optical reach, and support open line system use cases. Together with superior coherent modems and a proven support system, the openness, flexibility, and greener profile of this network will play a key role in our ability to accelerate discoveries in the research and education community," commented Howard Pfeffer, president and CEO of Internet2. "We are delighted to have Ciena as a partner in tackling the great research and education challenges of the next decade."

<https://www.lightwaveonline.com/network-design/high-speed-networks/article/14069024/internet2-to-upgrade-fiber-backbone-with-cienas-800gbps-wavelogic-5>

Internet2 to travel over CenturyLink's low-loss fiber network

(Dec 17th, 2019)

The selection of CenturyLink's infrastructure is part of an overall network upgrade program Internet2 has launched that includes the use of flex-grid open line systems from Ciena.

U.S. research and education network operator Internet2 says it will use CenturyLink's **new low-loss fiber network** to improve its fiber-optic network performance. The selection of CenturyLink's infrastructure is part of an overall network upgrade program Internet2 has launched that includes the use of flex-grid open line systems from Ciena.

CenturyLink announced this past July that it had embarked on deployment of **low-loss ITU-T G.652.D compliant single-mode fiber from Corning across its North American and European footprint**. The service provider also reconfigured its amplifier spacing to optimize its network for high-capacity requirements. The fiber agreement with Internet2 will run through at least 2042.

The combination of the CenturyLink fiber and Ciena optical transport technology will enable 200-Gbps transmission initially, with an upgrade path to 400G and 800G over what Internet2 called "many high use spans" in the future.

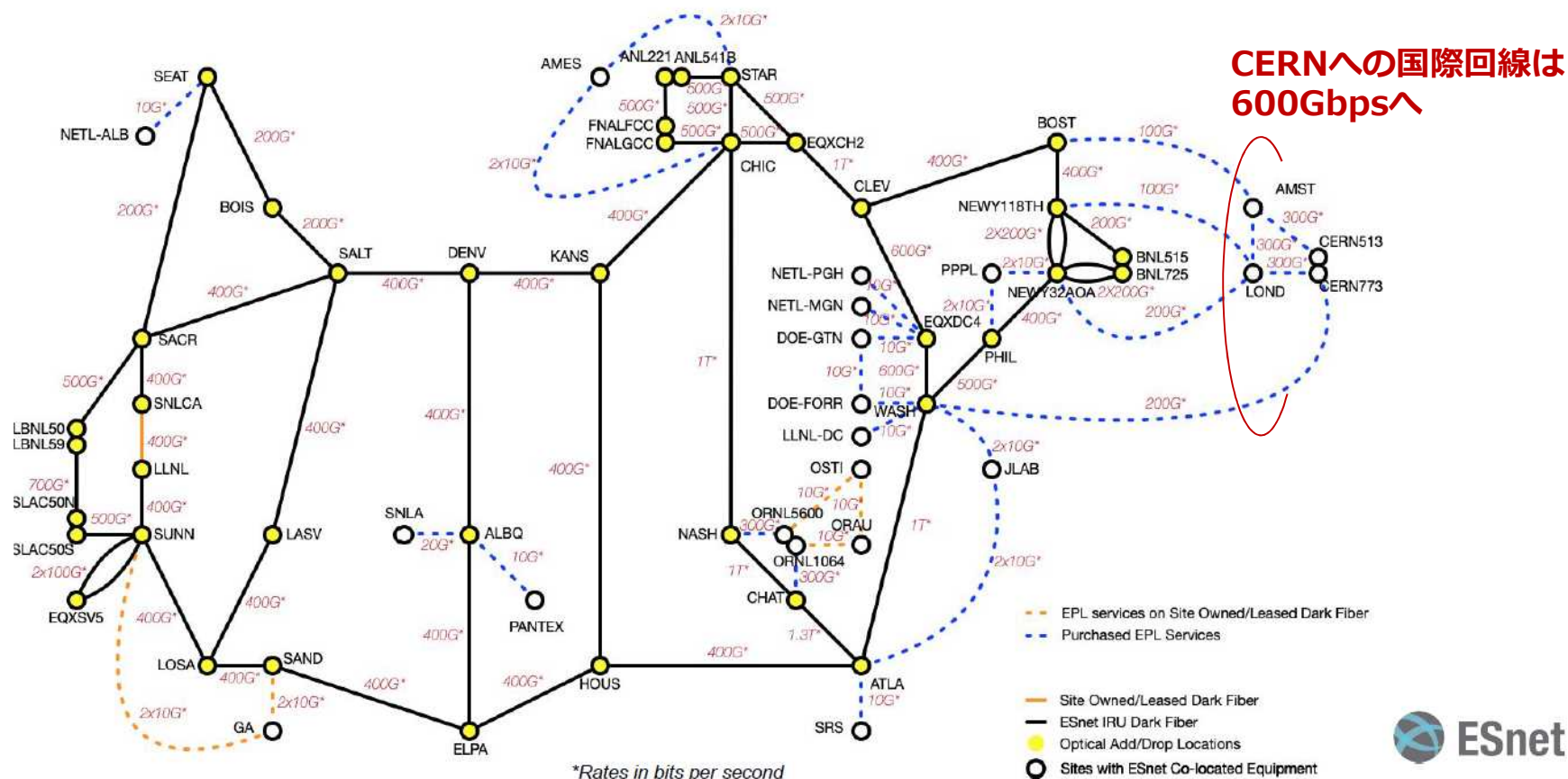
"We believe the combination of the most advanced fiber from CenturyLink with the latest coherent transmission technologies from Ciena provides enormous opportunities to enable research and academic pursuits in the United States," said Rob Vietzke, vice president of network services for Internet2. "Whether it is tracking the origins of Neutrinos in the Antarctic, comparing gene sequences, or studying the climate, this new optical network, with its ability to span very long distances at very high bandwidths and improved efficiency, is essential to providing the best research infrastructure for data-intensive science on the globe."

<https://www.lightwaveonline.com/network-design/high-speed-networks/article/14073788/internet2-to-travel-over-centurylinks-lowloss-fiber-network>

米国 ESnet (Energy Sciences Network)

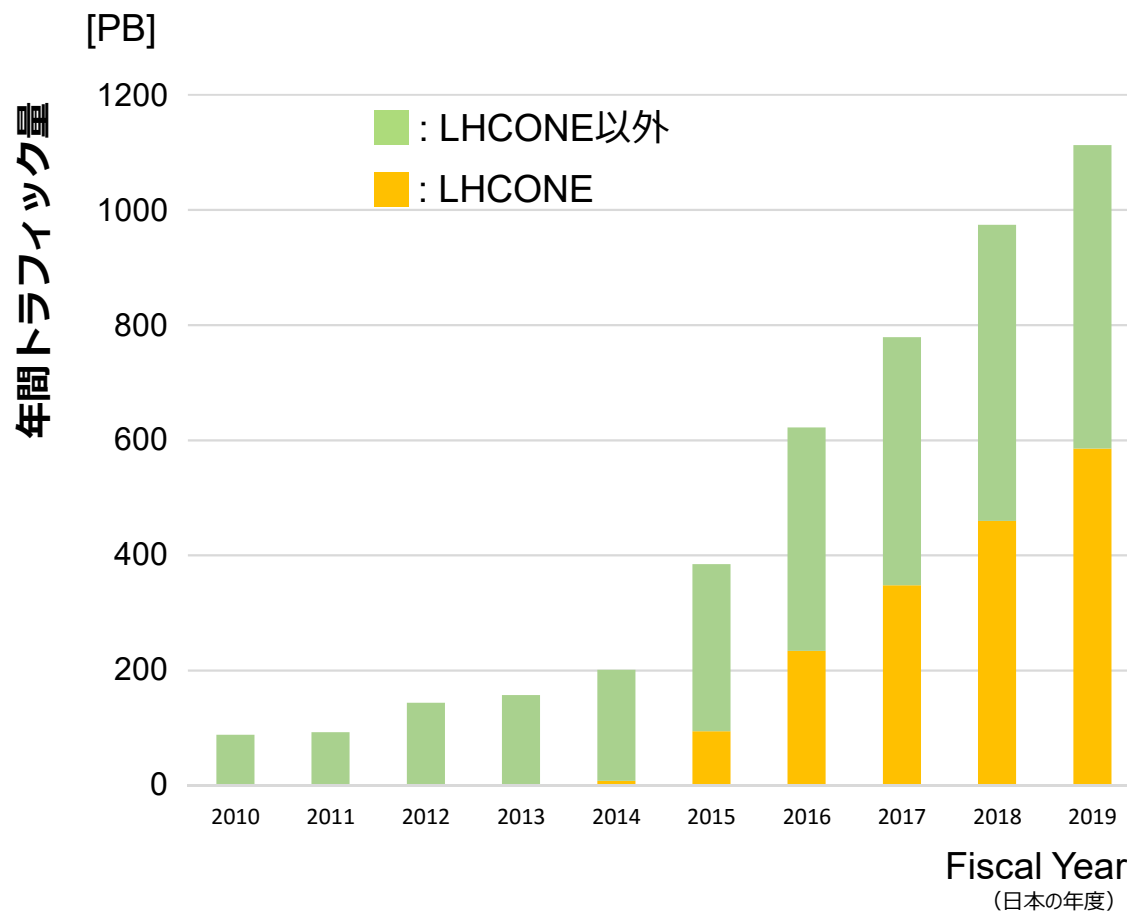
- ESnetは米国の科学研究を支えるための高性能研究ネットワーク
 - DOE (Department of Energy)が出資し、ローレンス・バークレー国立研究所が運用
 - 50のDOE研究拠点（全国立研究機関、スパコン、主要な科学設備等）と接続
 - 2021年には最大1Tbps以上の帯域が必要であり、400G波長と400GEの導入を検討中

Jun 2021 (Optical) Bandwidth Capacity Plan
 (Based on 29-year (adjusted) trend usage prediction analysis which includes Feb 2019 traffic data, and additional site input)



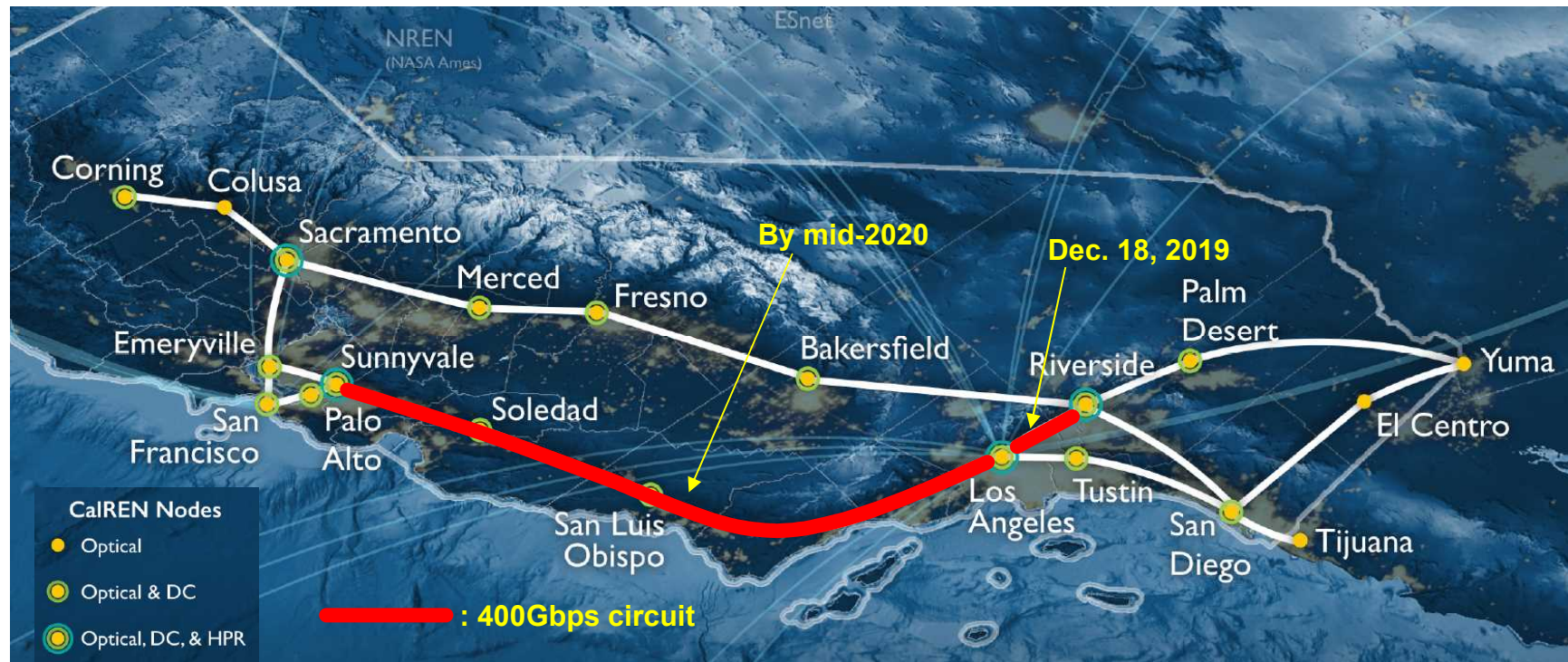
ESnetのトラフィック

- ESnetの年間トラフィック量の伸びは下図の通り（出展URLのデータから算出）
 - 2010年から2019年までの10年間の平均伸び率は、1.40倍／年
 - トラフィックの約半分がLHCOHE (LHC, Belle II, Pierre Auger Observatory, NOvA, XENON等)関連



米国 California Research and Education Network (CalREN)

- CalRENはカリフォルニア州の研究教育ネットワークで、Internet2に接続されている43の地域・州教育ネットワークの一つ。ESnetにも接続されている
 - 研究教育者、K-20 (幼稚園から大学院まで) の生徒・学生など、約2000万人が利用
 - 2019年12月18日に、Los AngelesとRiversideの間を400Gbps化
 - 2020年中旬までに、Los AngelesからSunnyvaleまでを400Gbps化する予定

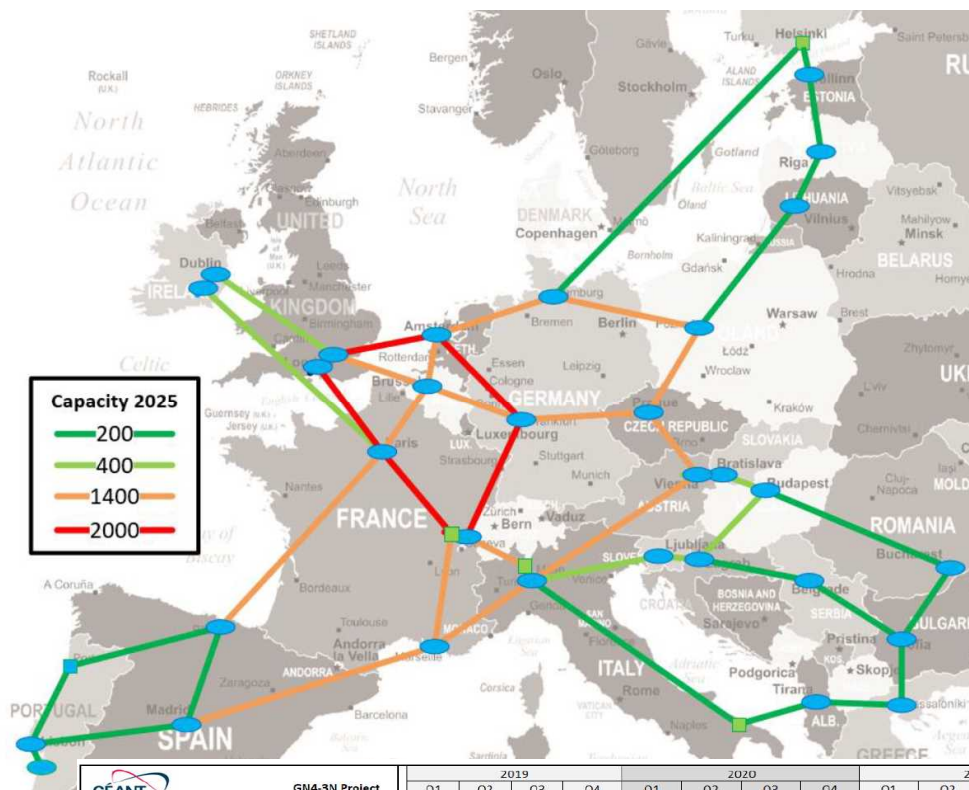


欧州 GÉANT Network

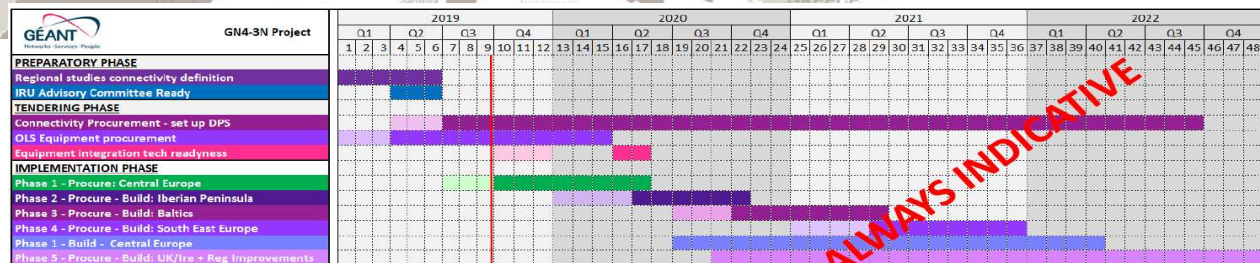
- GÉANT networkはヨーロッパの各NRENのバックボーンネットワーク
 - 40か国の約10,000機関が接続し、5,000万ユーザが利用
 - 2025年には主要国間に400Gbps~2Tbpsの回線帯域が必要であり、伝送装置としてOpen Line Systemを導入し、400GEインタフェースを導入していく予定

IP/MPLS layer 2025

- Forecast in 2025 according to current growth rate and 3N expansion
- 400G+ interfaces become a necessity in core locations



出展: <https://meetings.internet2.edu/media/medialibrary/2019/12/09/201911-Havern-GEANT-network-update-v2.pdf>



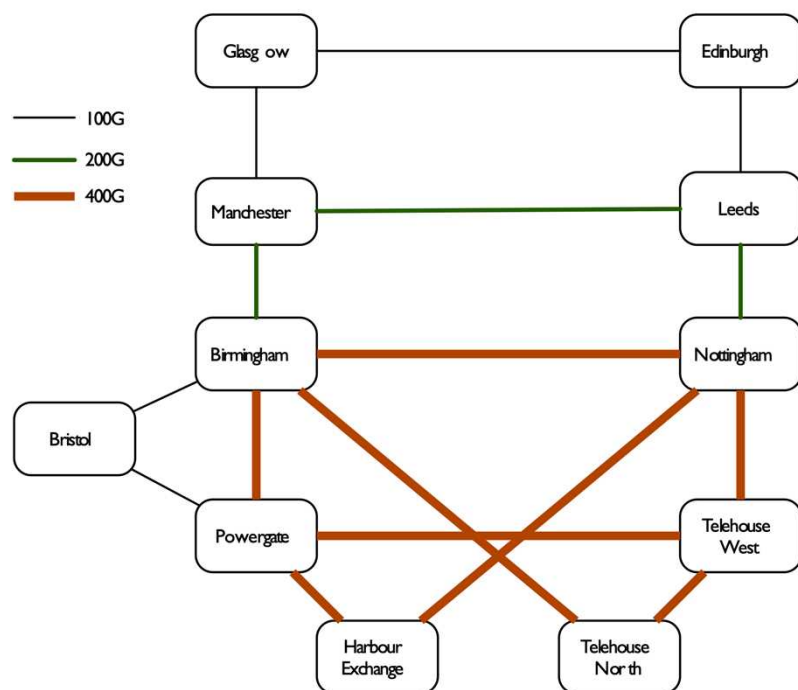
- LHCONE L3VPN: A global infrastructure for High Energy Physics data analysis (LHC, Belle II, Pierre Auger Observatory, NOvA, XENON)



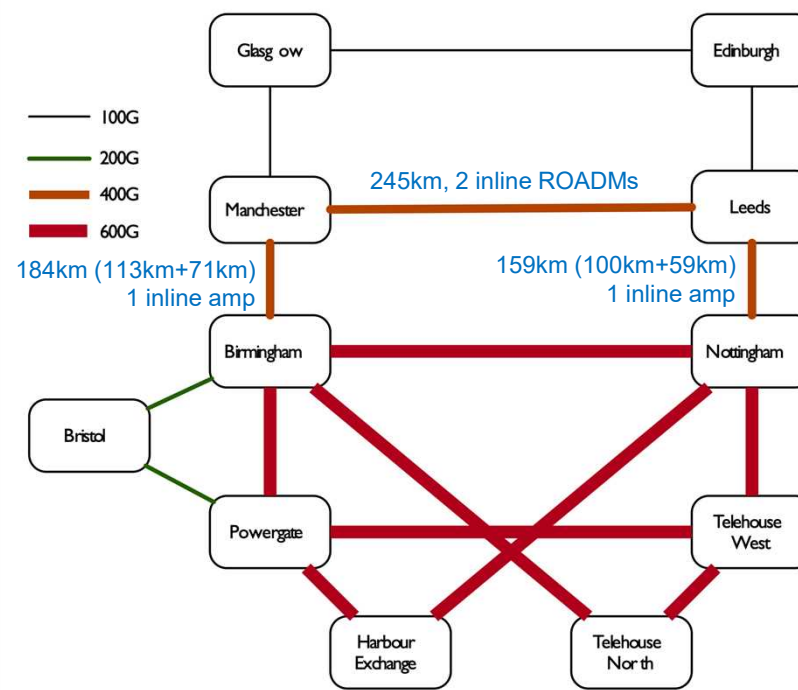
英国 Janet

- Janetは英国の研究教育ネットワーク

- K-12 (幼稚園から高校まで) を含む約1000機関の1800万人以上が利用
- 2018年8月にBirmingham – Nottingham間に400Gbpsを導入し、現在拡張検討中



以前の構成

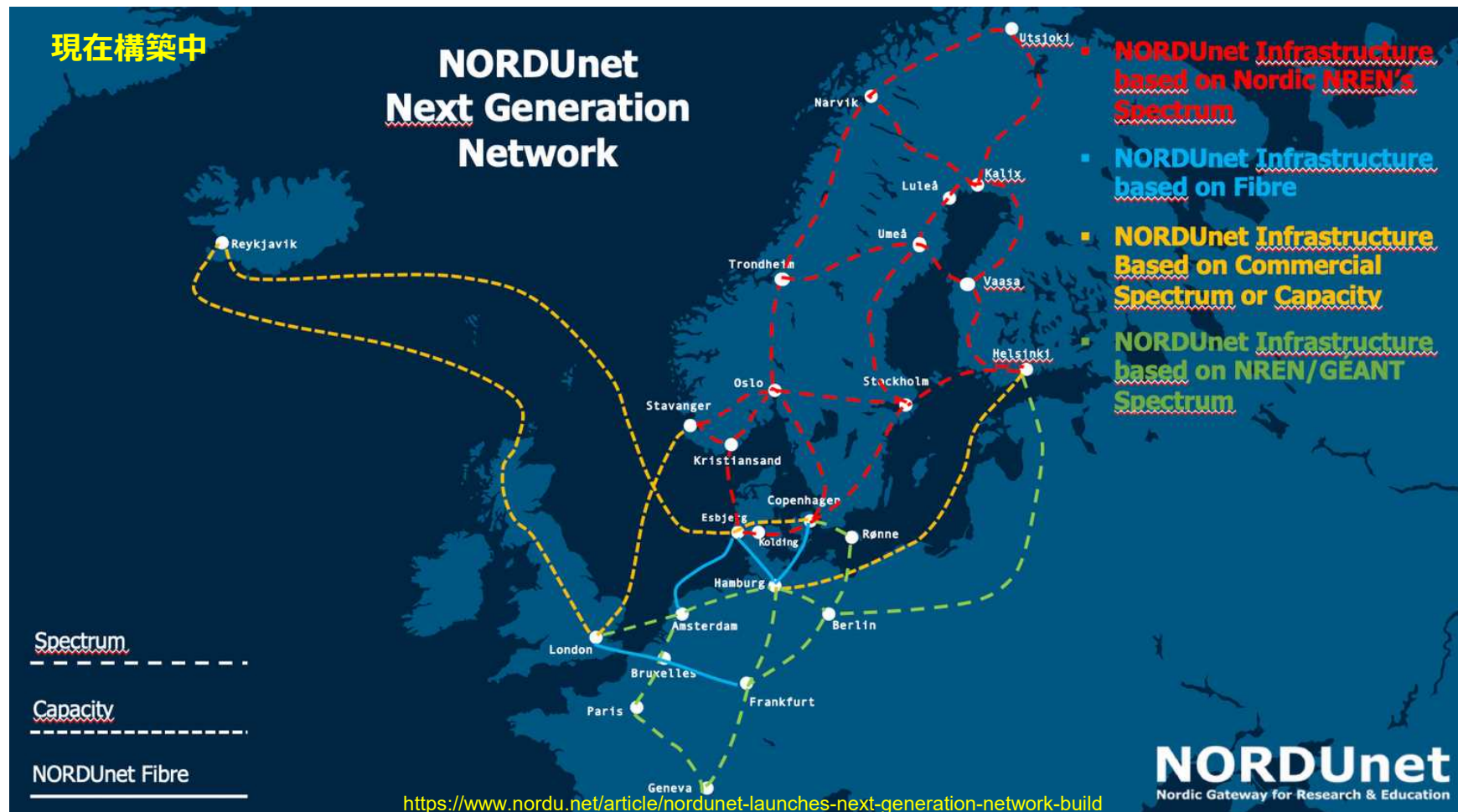


計画された構成
(現在、青字部分だけ400Gbps化)

- You might have thought where we wanted 600G
- Some routes too long to run WaveLogic Ai cards at 400G in 75GHz.

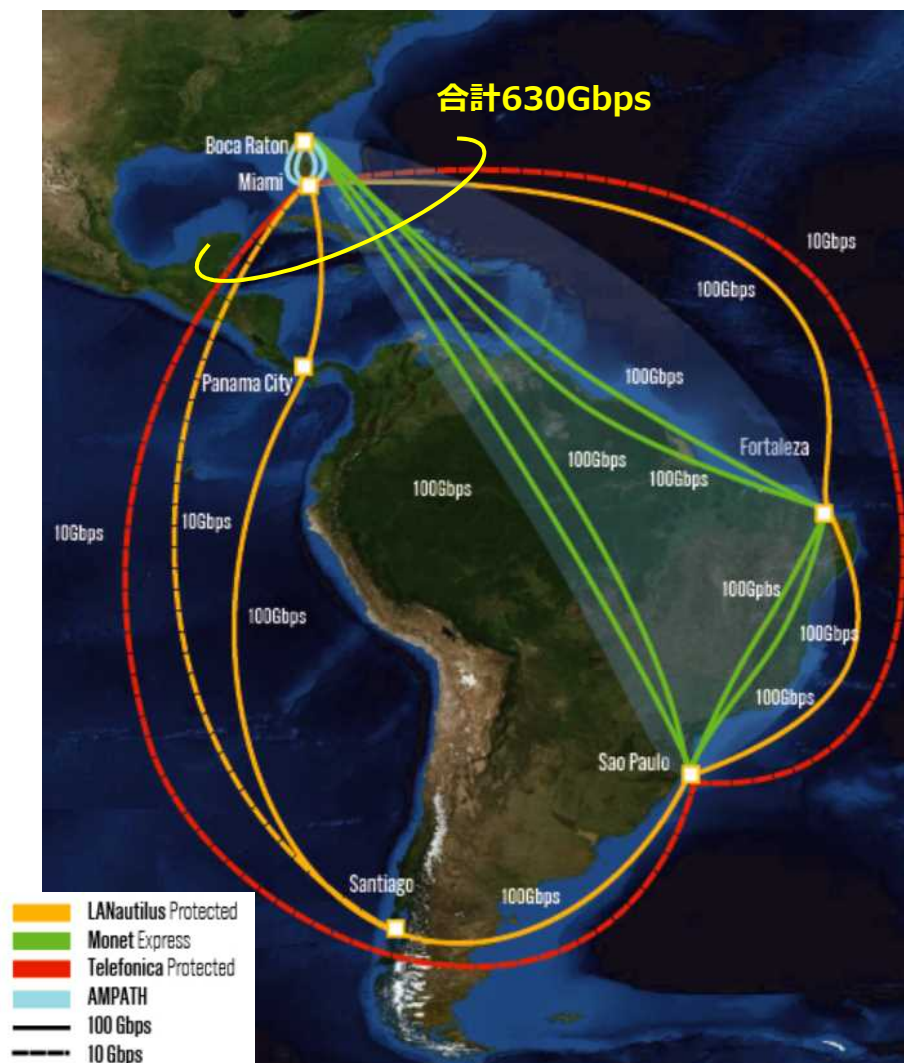
北欧 NORDUnet

- NORDUnetは、北欧5国の研究教育ネットワーク (DeiC (Denmark), RHnet (Iceland), Uninett (Norway), SUNET (Sweden), Funet (Finland)) のバックボーンネットワーク
 - 北欧全体の人口は約2700万人、9つの公用語がある
- 現在、新光ネットワークを構築中であり、1Tbpsまで拡張可能にする予定



北米－南米回線 (AmLight-ExP)

- NSFファンドにより、北米－南米間に複数の200Gbps国際回線を追加導入



<https://www.amlight.net/?p=3935>

Miami, Florida, August 30, 2019 – Florida International University (FIU), Rede Nacional de Ensino e Pesquisa (RNP), Academic Network of Sao Paulo (ANSP), the Association of Universities for Research in Astronomy (AURA), and Angola Cables are pleased to announce the **addition of three 200Gbps optical waves for research and education between the U.S. and Brazil**. These three 200Gbps optical waves represent the Express path of the **AmLight Express and Protect (AmLight-ExP)** project, a 5-year **National Science Foundation (NSF)** award to FIU (OAC-1451018), and with support from AURA, and the AmLight Consortium.

The Express path is built upon the Monet submarine cable system, linking the U.S. to Brazil, and operated by Angola Cables. The approach chosen to add these new optical waves was through the use of optical spectrum, where Angola Cables assigned a total of 150GHz over the Monet submarine cable system to be used by the AmLight Consortium. The AmLight Consortium uses the 150GHz spectrum to create three 200Gbps optical waves between Boca Raton, Fortaleza, and Sao Paulo. Each optical wave enables the use of **two 100Gbps client ports**. The Express path is represented in the figure by the solid green segments, where each segment represents a 100Gbps link from the 200Gbps optical wave; the Protect path is represented by the other segments in the figure that form a ring around South America.

The AmLight Consortium built the Express path using **CIENA generated waves** over the Subcom constructed optical spectrum, a nascent approach that will provide the AmLight Consortium with the flexibility of upgrading the bandwidth capacity as optical technology advances. The spectrum will be available to the research and education community at least until 2032. This is important for the **Large Synoptic Survey Telescope (LSST)**, whose science mission will rely upon a robust network service that can provide the bandwidth that's needed to transport 12.7 GB images within 5 seconds from the LSST Base site in La Serena, Chile to the archive site at the National Center for Supercomputing Applications, in Urbana-Champaign Illinois for roughly 10 hours every night, 365 nights a year, over the 10 year period of the LSST survey. Starting in 2022, LSST will make about 1000 visits per night (and each visit includes 2 images) each night with its 3.2 billion pixel camera, recording the entire visible southern sky twice each week.

欧州－南米回線（BELLA）

- EUファンドにより、欧州－南米間に100Gbps以上の国際回線を2020年に導入



BELLA is being implemented by a Consortium of the Regional Research and Education Networks of Europe (GÉANT) and Latin America (RedCLARA) and the National Research and Education Networks (NRENs) of Brazil, Chile, Colombia, Ecuador, France, Germany, Italy, Portugal and Spain.

Funding for BELLA is provided by the European Union through three European Commission (EC) Directorates (DG-CONNECT, DG-DEVCO and DG-GROWTH) and by the Latin American NREN community.



Funded by the European Union

https://www.geant.org/News_and_Events/Pages/GEANT-and-RedCLARA-announce-signature-of-BELLA-contract.aspx

(GÉANT news, August 2, 2018)

GÉANT and RedCLARA today announced the signing of an Indefeasible Right of Use (IRU) contract with EllaLink, for spectrum on a direct submarine cable connecting Europe and Latin America.

Procured on behalf of the BELLA Consortium, the BELLA IRU will provide for the transatlantic data-sharing and collaboration needs of the European and Latin American research and education communities for the next quarter of a century, in areas such as **astronomy, particle physics, and earth observation**. With funding from the European Union (EU) and the Latin American NREN community, the IRU represents a key financial element in the building of the EllaLink cable, **which is expected to be operational in late 2020**.

GÉANT and RedCLARA were first interconnected in 2003 under the EU-funded ALICE project to support scientific and academic collaboration between the two continents. Since then connections speeds have grown by over 1,600% from 622 Megabits per second (Mbps) to the current 10 Gigabits per second (Gbps). However, there is no direct submarine cable capable of supporting research and education data needs between Europe and Latin America, limiting capacity and cost-effectiveness.

With spectrum on the EllaLink cable however, research and education traffic will flow directly between the two continents, not only reducing latency by up to 60% and improving data protection, but also providing cost-effective and – importantly – scalable connectivity at significantly higher speeds than have previously been possible.

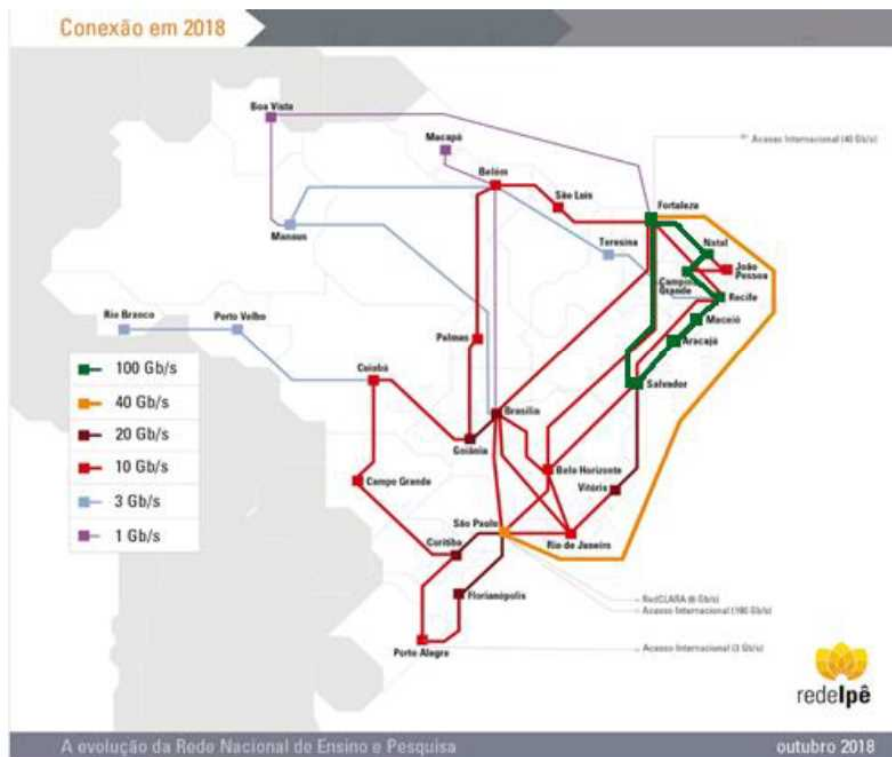
The need to scale connectivity was highlighted recently by exciting **discoveries in the area of astronomy** – an important part of the Latin American research community – such as the merger of two neutron stars (known as a ‘Kilonova’) and the detection of ‘Oumuamua’, the most elongated asteroid known to science, that required collaboration involving infrastructure and scientists in Europe and Latin America.

Such collaborations between the two continents are set to expand significantly in the coming years, and with programmes such as Copernicus – the EU’s earth observation programme – the importance of the BELLA connectivity will only increase.

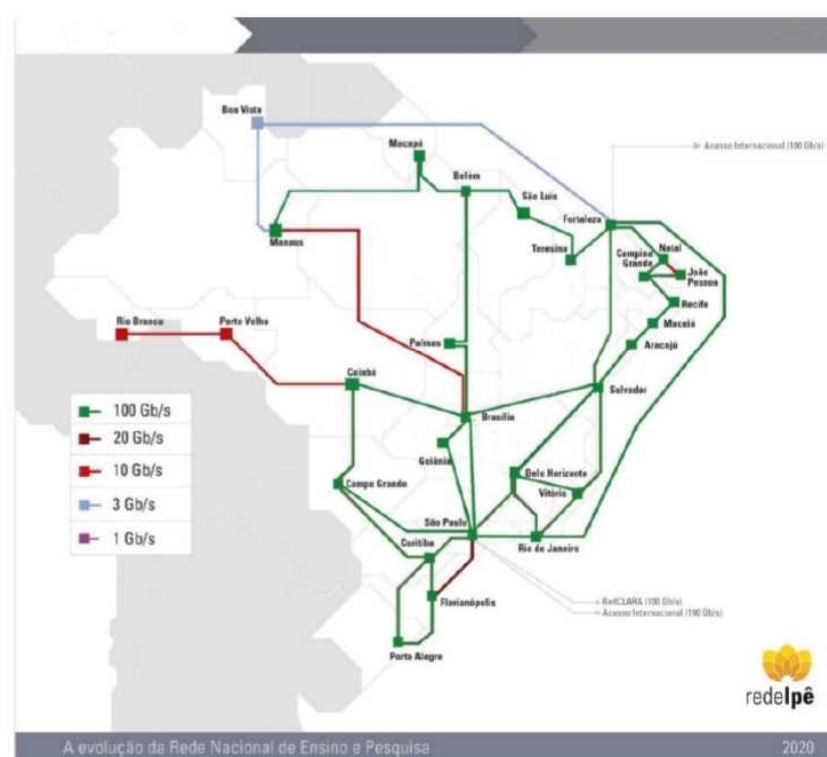
南米ブラジル RNP

- RNP (Rede Nacional de Ensino e Pesquisa) はブラジルの研究教育ネットワーク
 - 大学や研究機関等の約1500機関、約400万人が利用
 - 2021年に増強予定。近い将来の400Gbpsの適用も視野

Current Backbone (2018)



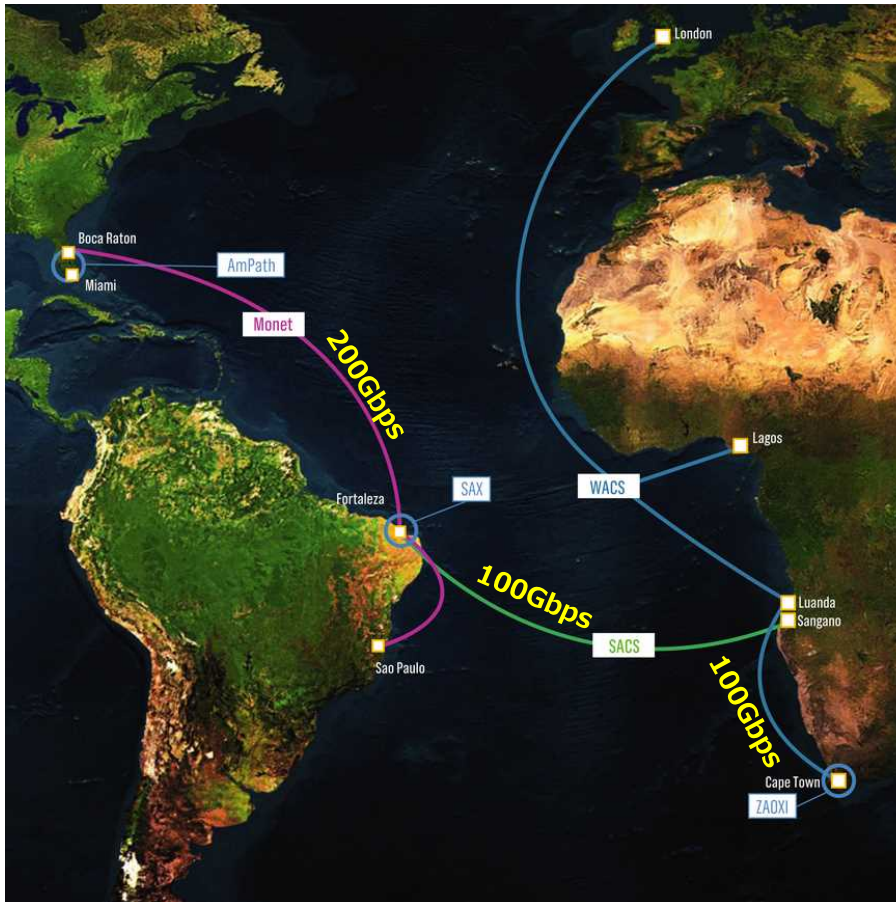
Backbone Nx100 G (2021)



北米－南米－アフリカ回線 (AARCLight)

• NSFファンドにより、北米－南米－アフリカを接続する100Gbpsの国際回線が開通

Miami, Florida, March 1, 2020 – Florida International University (FIU), Rede Nacional de Ensino e Pesquisa (RNP), Tertiary Education and Research Network of South Africa and South African National Research Network (TENET/SANReN), and Angola Cables are pleased to announce the activation of **lightpaths initially provisioned at 100Gbps linking North America, South America, and Africa for research and education.**



The Americas Africa Research and eduCation Lightpaths (**AARCLight**) project (NSF OAC-1638990) provided support for a grant to plan, design, and define a strategy for high-capacity research and education network connectivity between the U.S., Brazil, and West, Central and Southern Africa. The study indicated a high level of enthusiasm to engage in collaborative research among the U.S., Brazil and the African communities.

The **AmLight-SACS** project (NSF OCI-1937344), successfully established a 100G pathway using the South Atlantic Cable System (SACS) and West African Cable System (WACS), to extend the AmLight-ExP network **from Fortaleza, Brazil to ZAOXI open exchange point in Cape Town, South Africa.**

AmLight-SACS leverages the network infrastructure in the southern hemisphere that is available to the R&E community. Using optical spectrum on Monet, AmLight-ExP links AMPATH R&E Exchange Point in Florida (USA) to South America eXchange (SAX) in Fortaleza (Brazil) at 200Gbps. SAX R&E Exchange Point is operated by RNP. Using optical spectrum on SACS, AmLight-ExP provisioned a 100G pathway from Fortaleza to Sangano (Angola). TENET/SANReN capacity on WACS was used to activate a 100G pathway between Sangano and ZAOXI R&E exchange point, in Cape Town. At ZAOXI, the Ubuntunet Alliance Network connects East Africa.

The SACS cable system between Fortaleza, Brazil, and Sangano, Angola, is the first modern east-west subsea cable in the South Atlantic. The activation of the AmLight-SACS path adds redundancy and resiliency to the global R&E network fabric by providing a transatlantic route across the South Atlantic, shortening paths from the Southern Hemisphere countries to Africa and Europe. The newly established connection provides a baseline for planning the next generation of collaborations involving major scientific instruments, safe in the understanding that there will be efficient, available, and unmediated connectivity and capacity between the continents.

欧州－アフリカ回線 (AfricaConnect3)

• EUファンドにより、アフリカのインターネット接続環境の改善を支援

Co-funded by the European Union, AfricaConnect3 builds on the work carried out by AfricaConnect (2011-2015) and AfricaConnect2 (2015-2019) which contributed to support the creation, development and use of high-capacity research and education networks in Africa.

Through those two successive phases, 19 countries were connected to the three Regional Research and Education Networks (RRENs):

- Eastern and Southern Africa NRENs form the **UbuntuNet Alliance (UA)**
- West and Central Africa NRENs form the **Western and Central African Research and Education Network (WACREN)**
- Northern African NRENs are grouped under the **Arab States Research and Education Network (ASREN)**

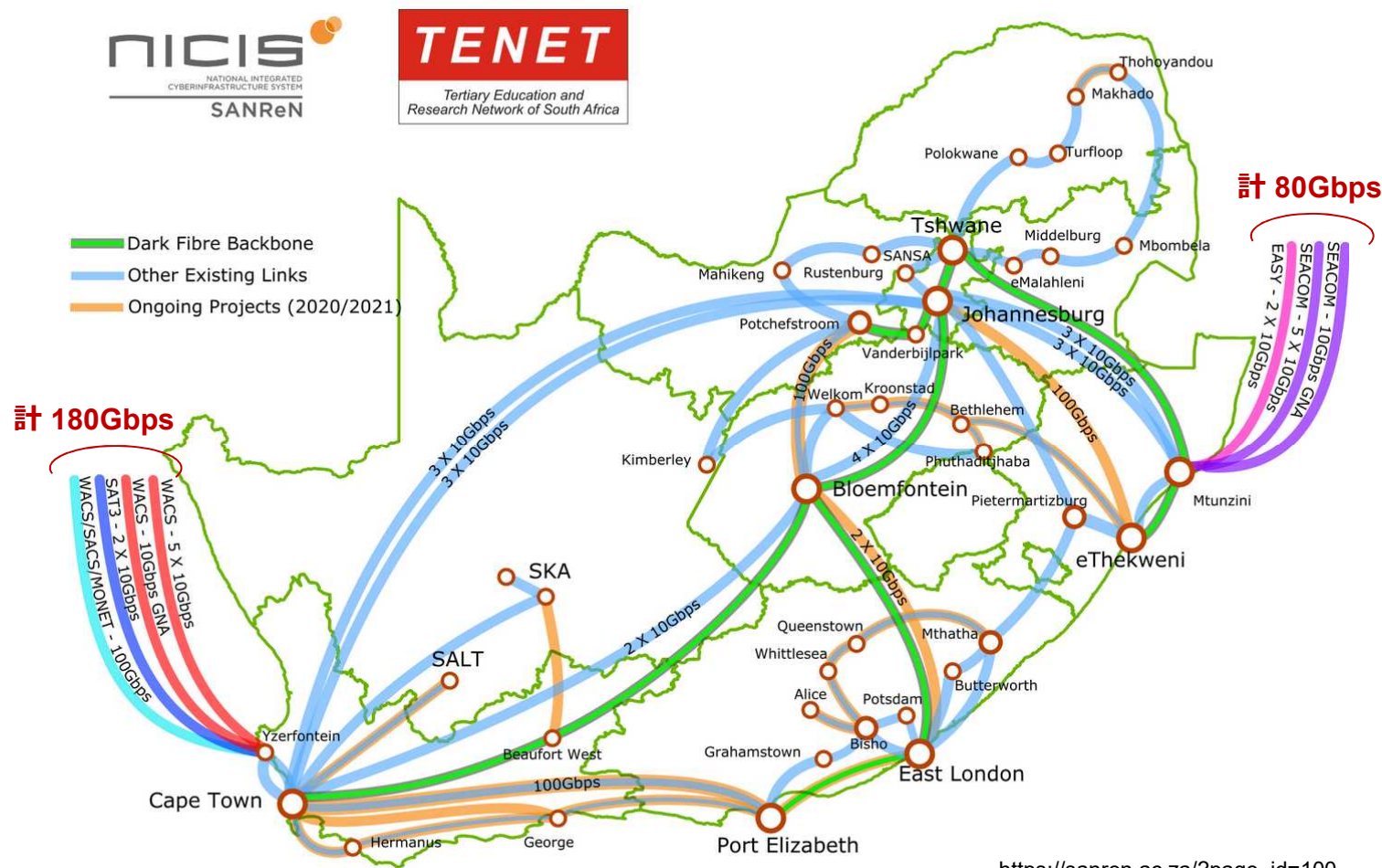
AfricaConnect3 will consolidate and expand the results of previous projects in contributing to enhance human capital development in Africa (the Overall Objective of this Action). More specifically, it will seek to unlock the potential of education and research through increased access of African education and research institutions to digital infrastructures and technologies (the Specific Objective of the Action). By facilitating access to educational and research resources and enabling research collaboration, AfricaConnect3 will support the digital transformation of those sectors and digital skills development.



南アフリカ SANReN

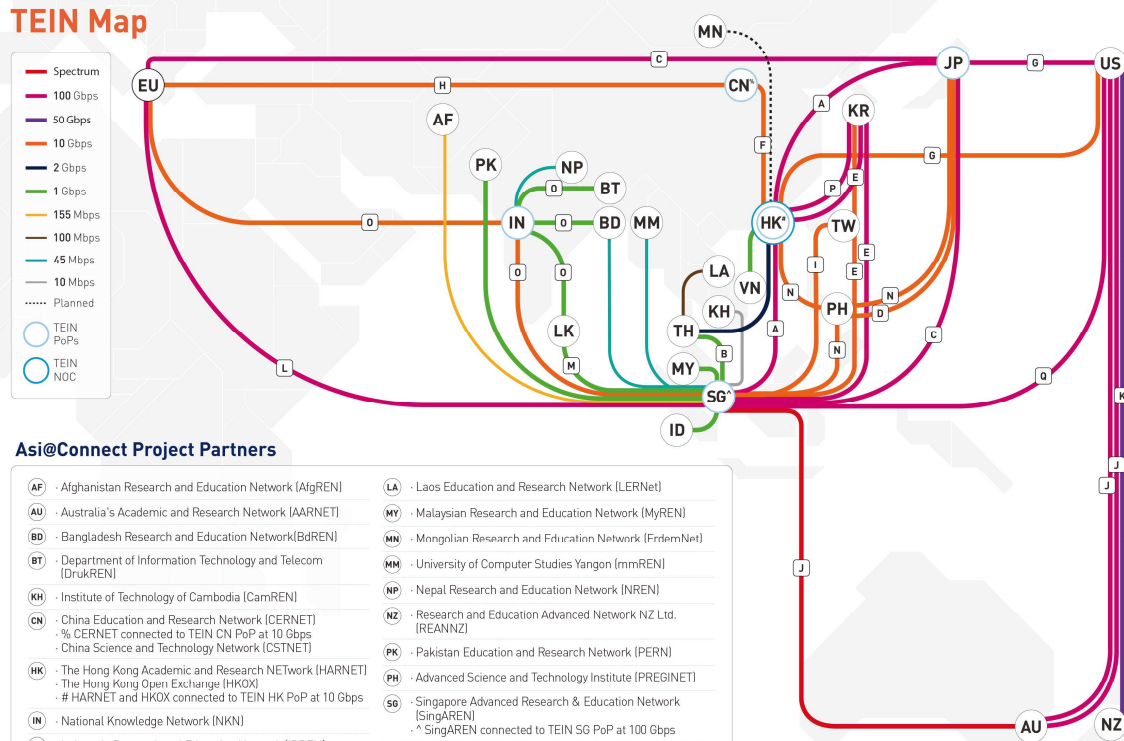
• SANReN (South African National Research Network) は南アフリカの研究教育ネットワーク

In 2019/2020, progress has been made in the upgrade of the SANReN core national backbone to dark fiber, **with an initial capacity of 100Gbps**. At the end of March 2019, SANReN had connected 236 sites to the network. Science, research, education, and innovation entities are eligible for connection to the SANReN network. These include South African public universities, science/research councils, national facilities and institutions, academic hospitals and museums. **There is capacity on four undersea cables, which connect the network to the rest of the world. The Total Available Broadband Capacity on the network is 3557Gbps, as at 31 March 2019.**



- **5000万ユーザをもつユーラシア地域の研究教育ネットワーク**
 - TEIN(Trans-Eurasia Information Network)プログラムとして、EUファンドの支援をもとに各NRENからの回線等を相互接続し、アジアのICT環境開発にも尽力

TEIN Map



Asi@Connect Project Partners

AF	- Afghanistan Research and Education Network [AfREN]	LA	- Laos Education and Research Network [LERNet]
AU	- Australia's Academic and Research Network [AARNET]	MY	- Malaysian Research and Education Network [MyREN]
BD	- Bangladesh Research and Education Network[BdREN]	MN	- Mongolian Research and Education Network [FrdmNet]
BT	- Department of Information Technology and Telecom [DrukREN]	MM	- University of Computer Studies Yangon [mmREN]
KH	- Institute of Technology of Cambodia [CamREN]	NP	- Nepal Research and Education Network [NREN]
CN	- China Education and Research Network [CERNET] - % CERNET connected to TEIN CN PoP at 10 Gbps - China Science and Technology Network [CSTNET]	NZ	- Research and Education Advanced Network NZ Ltd. [REARNZ]
HK	- The Hong Kong Academic and Research Network [HARNET] - The Hong Kong Open Exchange [HKOX] - # HARNET and HKOX connected to TEIN HK PoP at 10 Gbps	PK	- Pakistan Education and Research Network [PERN]
IN	- National Knowledge Network [NKN]	PH	- Advanced Science and Technology Institute [PREGINET]
ID	- Indonesia Research and Education Network [IDREN]	SG	- Singapore Advanced Research & Education Network [Singapore] - ^ SINGAREN connected to TEIN SG PoP at 100 Gbps
JP	- Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries Research Network [MAFFIN] - National Institute of Information and Communications Technology [NICT] - National Institute of Informatics [NII]	LK	- Lanka Education and Research Network [LEARN]
KR	- National Information Society Agency [KOREN] - Korea Institute of Science and Technology Information [KRFONET]	TW	- Academia Sinica Grid Computing [ASGC]
		TH	- Thailand Research Education Network Association [ThaIRFN]
		VN	- National Agency for Science and Technology Information [VinaREN]

* As of December 2019.

** Other regions [Central Asia, Africa and Latin America] can be connected via global R&E networks such as EU[GÉANT] and US[Internet2]

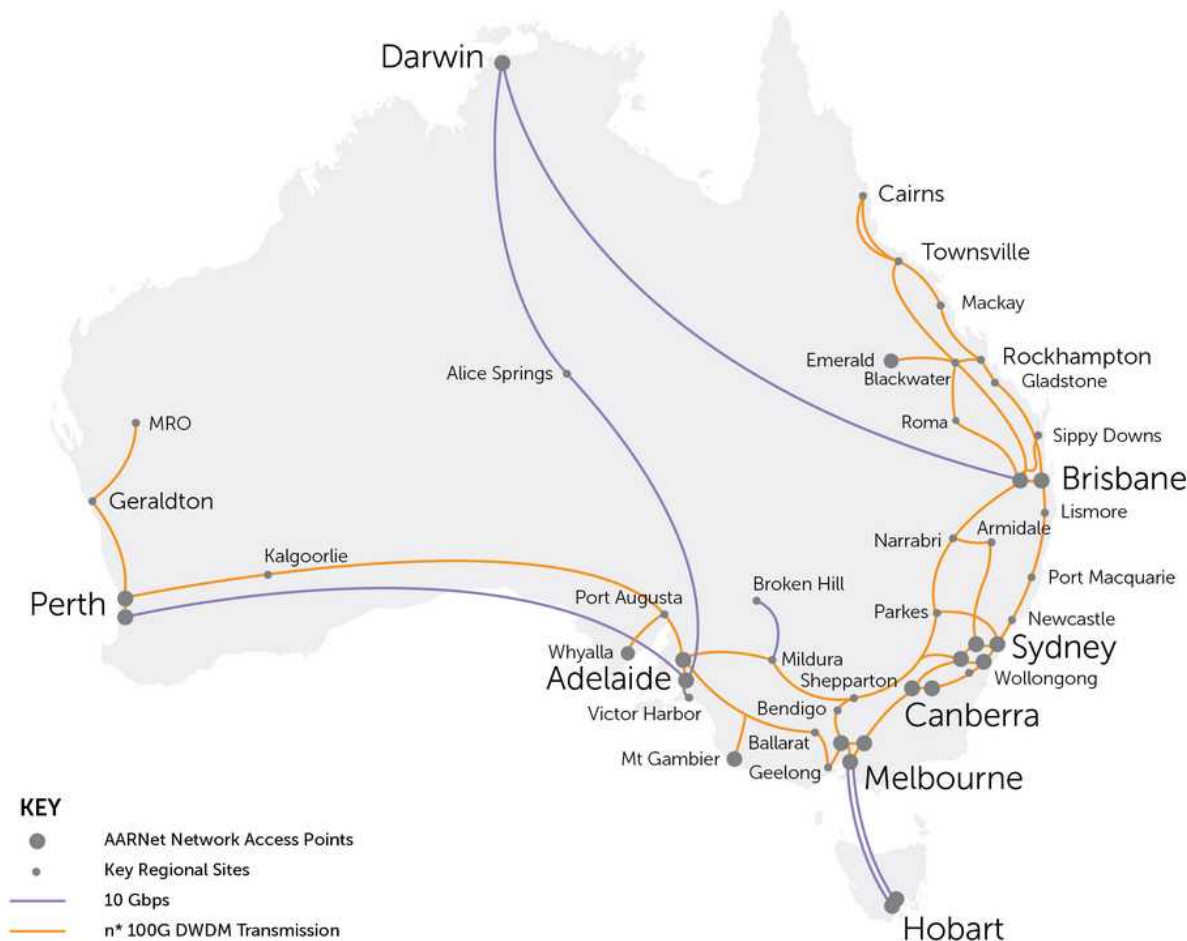
The following links are fully financed/co-financed by the link owners whose support is gratefully acknowledged

A		National Institute of Information and Communications Technology National Supercomputing Centre Singapore Advanced Research & Education Network
B		National Institute of Information and Communications Technology Thailand Research and Education Network
C		National Institute of Informatics
D		Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries Research Network
E		National Information Society Agency
F		China Education and Research Network TEIN Cooperation Center
G		TransPAC/Pacific Wave
H		Co-funded by China and EU
I		Academia Sinica Grid Computing
J		Australia's Academic and Research Network
K		Research and Education Advanced Network New Zealand
L	    	
M		Lanka Education and Research Network
N		Advanced Science and Technology Institute
O		National Knowledge Network
P		Korea Research Environment Open Network
Q		National Supercomputing Centre Internet2 Singapore Advanced Research & Education Network



豪州 AARNet (国内)

- AARNetは豪州の大学、研究機関、K-12等のための研究教育ネットワーク
 - 利用機関数は1100強（大学: 38, 研究機関:20, 医療機関:30, K-12:1000 等）
 - 現状は100Gbpsの構成であるが、400Gbps/600Gbps化に向けた実験を実施



Cisco and Australia's Academic and Research Network (AARNet) have successfully demonstrated 600 Gbps on the AARNet production network using Cisco Network Convergence System (NCS) 1004.

This groundbreaking terrestrial trial is a first for Australia and proves the future scalability of the AARNet network.

The testing utilized Cisco NCS 1004 flexibility to adjust modulation format and baud rate to achieve the maximum data throughput over different distances. The following configurations have been successfully tested:

- **600G** single wavelength in a metro data center to data center environment (approximately **15km**)
- **500G** single wavelength over regional distances greater than **300km** (roughly equivalent from Sydney to Newcastle, Wollongong or Goulburn)
- **400G** single wavelength over inter-capital distances greater than **750km** (roughly equivalent from Sydney to Melbourne)

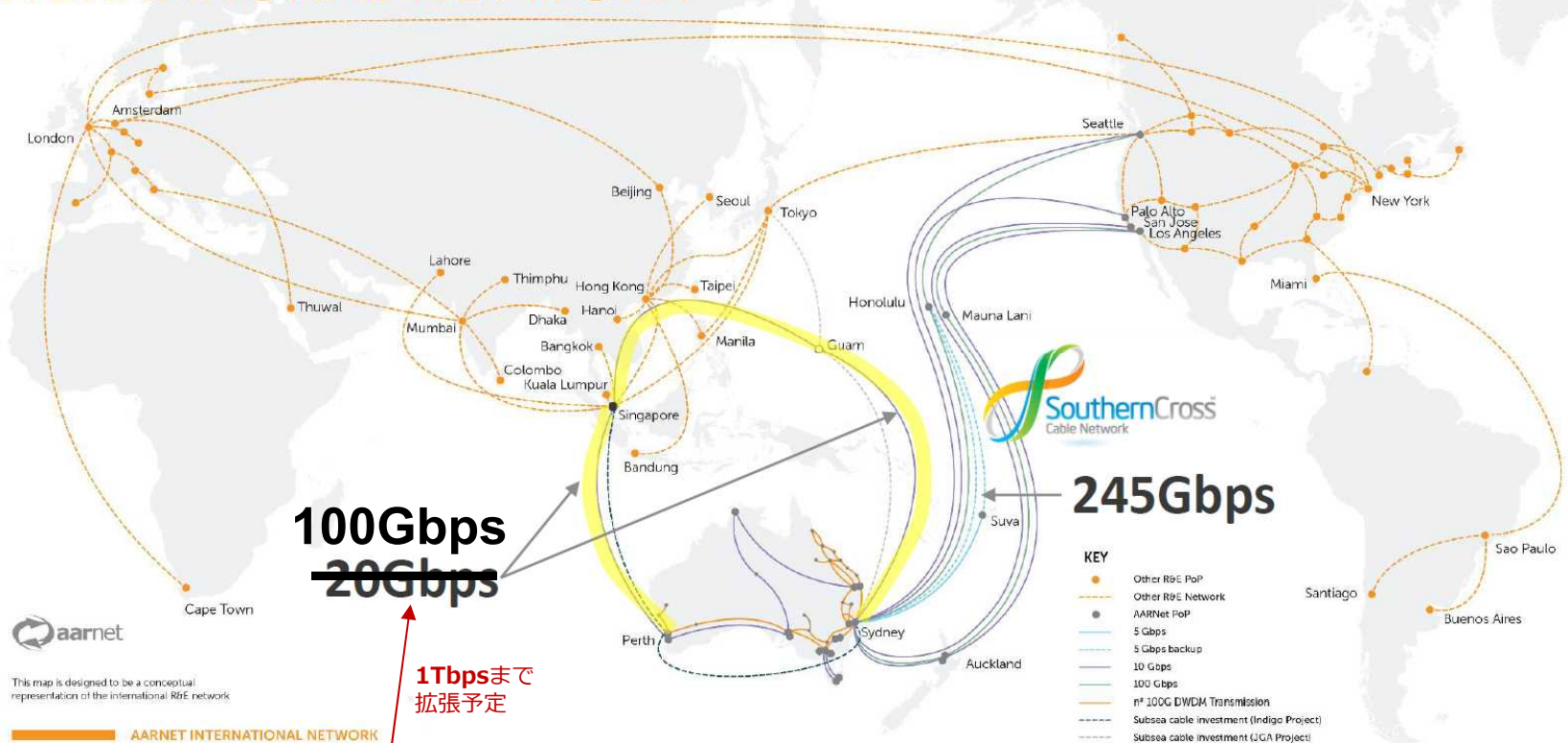
(March 6, 2019)

<https://news.aarnet.edu.au/aarnet-trials-600-gigabit-over-live-networks-with-cisco/>

豪州 AARNet (国際)

- AARNetは、国際回線にも力を入れている
- 1Tbpsの国際回線容量確保を視野に入れ、海底ケーブル会社との連携を実施

INTERNATIONAL NETWORK

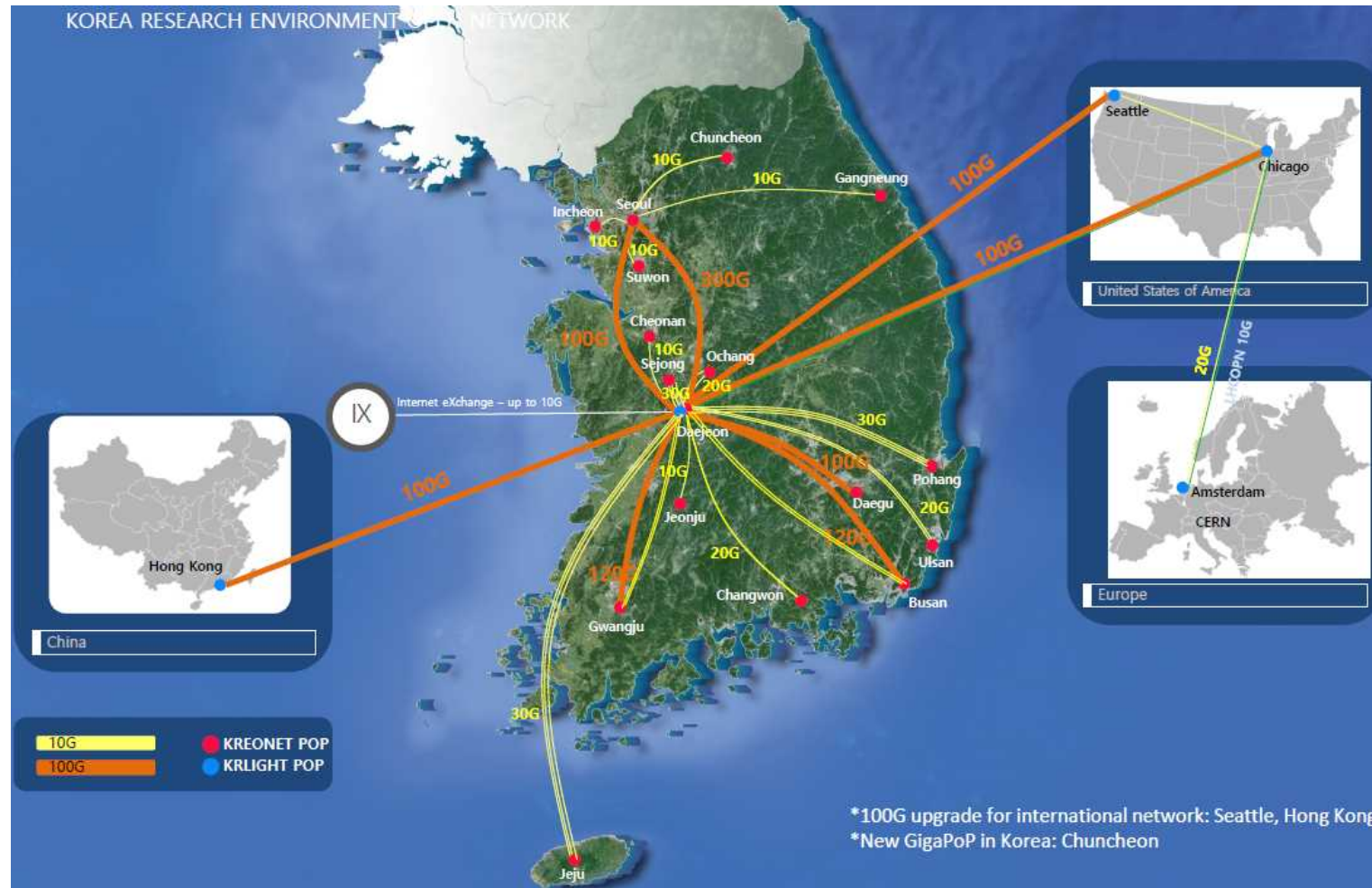


Australia's Academic and Research Network (AARNet) has announced the launch of high-bandwidth services **capable of delivering more than one Terabit per second for research and education purposes**, with the expectation of increasing capacity out of Perth by **up to 50 times the existing amount**.

The high-bandwidth service will utilize Indigo subsea cables **connecting Sydney, Perth and Singapore**.

韓国 KREONET

- KREONETは、韓国の研究を支える高性能ネットワーク（教育用にKORENがある）
 - 200の大学、研究機関等が利用し、主要拠点を100Gbps～300Gbpsで接続
 - Chicago, Seattle, Hong Kongを100Gbps, Chicago～Amsterdamを 20Gbpsで接続



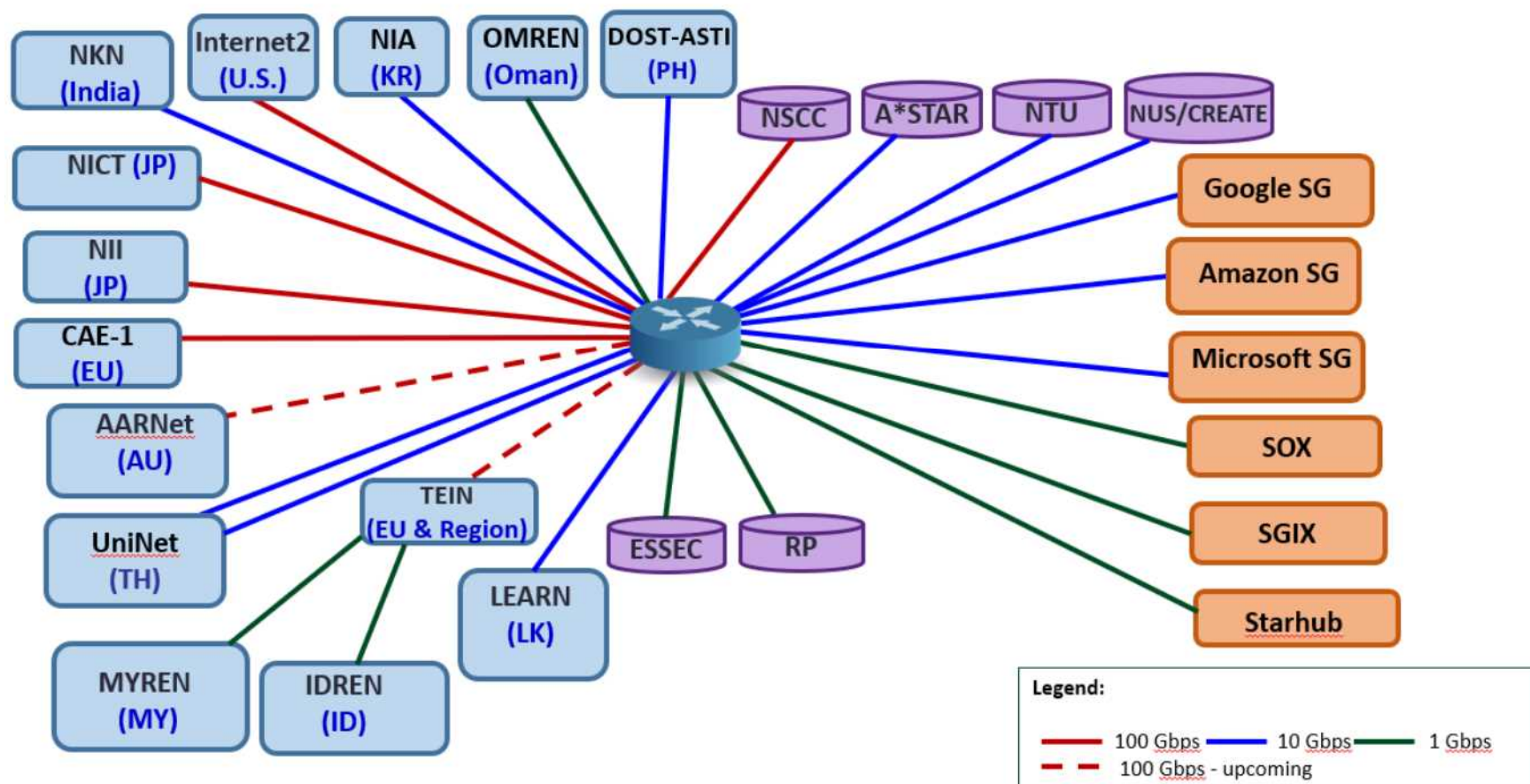
-
- 图例
- | 图例 | 带宽 |
|----|----------|
| | 100G |
| | 10G × n |
| | 2.5G × n |
- 伝送装置は中国製(2社)を使用

伝送装置は中国製(2社)を使用

シンガポール SingAREN

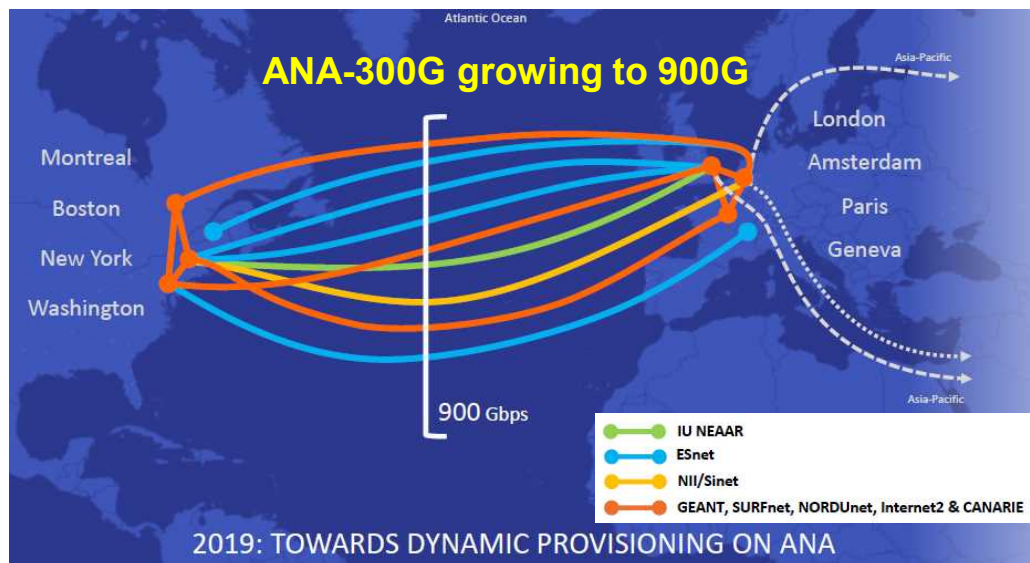
- SingAREN Open Exchange (SOE)(National Supercomputing Centre Singaporeも共同出資)をコアにした対外接続を積極的に展開

SingAREN Open Exchange (SOE)



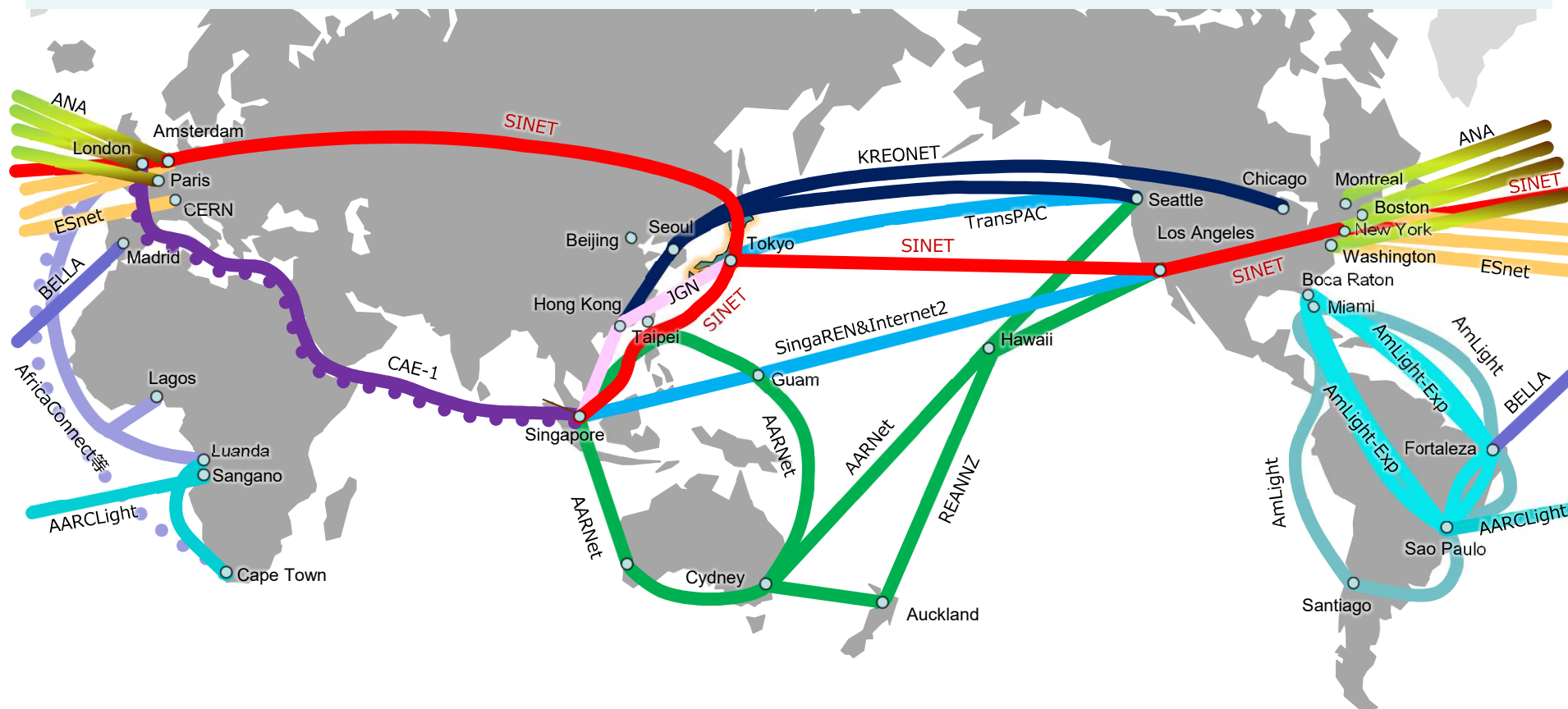
Global Networkingの動向

- 各国の国際回線を相互にバックアップしたりロードシェアするトレンドにある



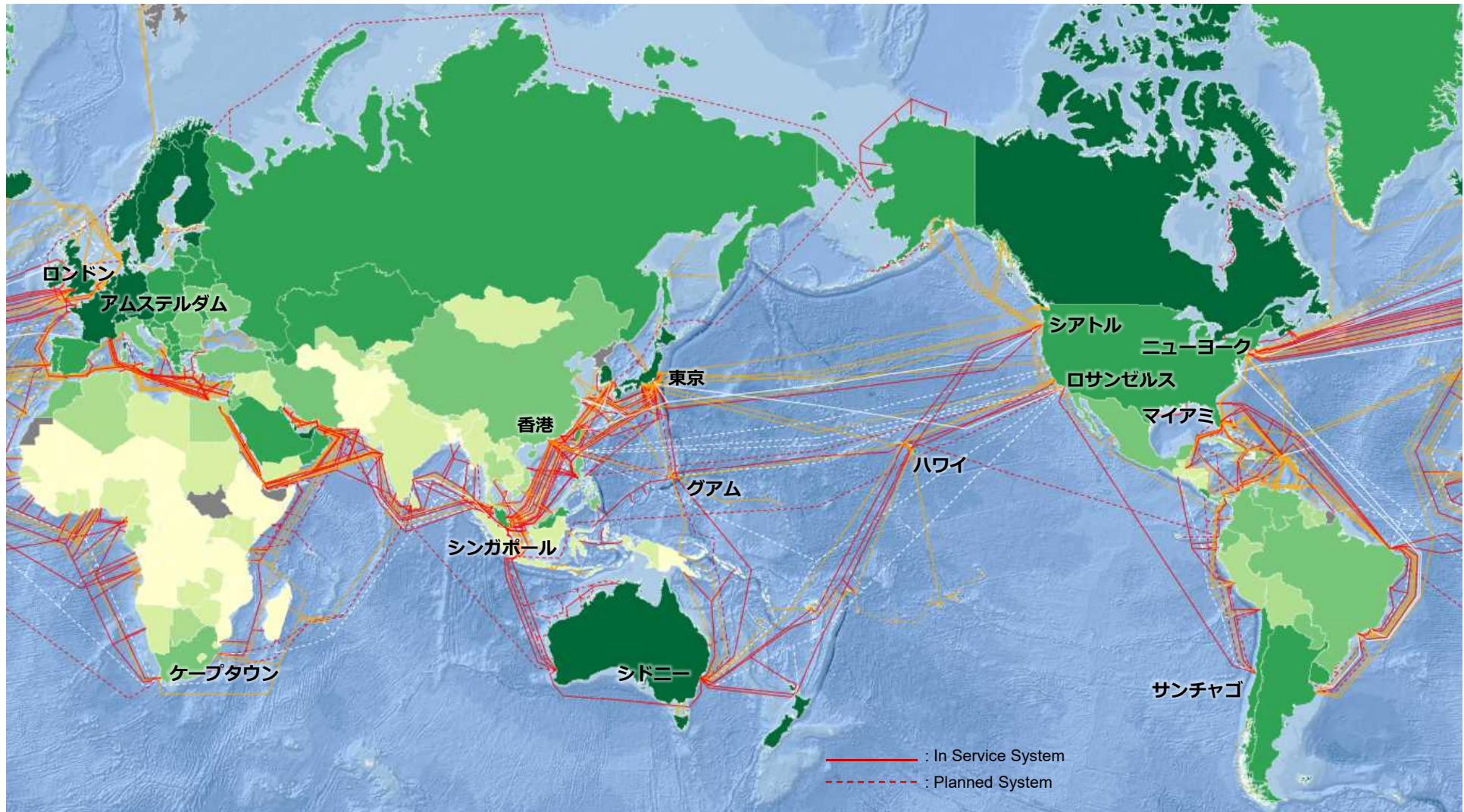
国際回線の全体構成

- 下図は100Gbps以上の回線のみを示す
- 国際回線は、国際大型研究プロジェクト（LHC, LSST, SKA等）の進展により、急激に増強される傾向にある
 - 例）AmLight : 230Gbps→630Gbps、ESnet : 300Gbps→600Gbps (planned)



海底ケーブルの動向

- 新設ケーブルの動向やアジアの諸情勢等を考慮し多様なルートを確認しておく必要がある



2. 技術動向

光伝送技術の動向

• 伝送容量の拡大のため、大きく以下の3点での技術開発が進められている

① ルータと伝送装置間のインタフェース

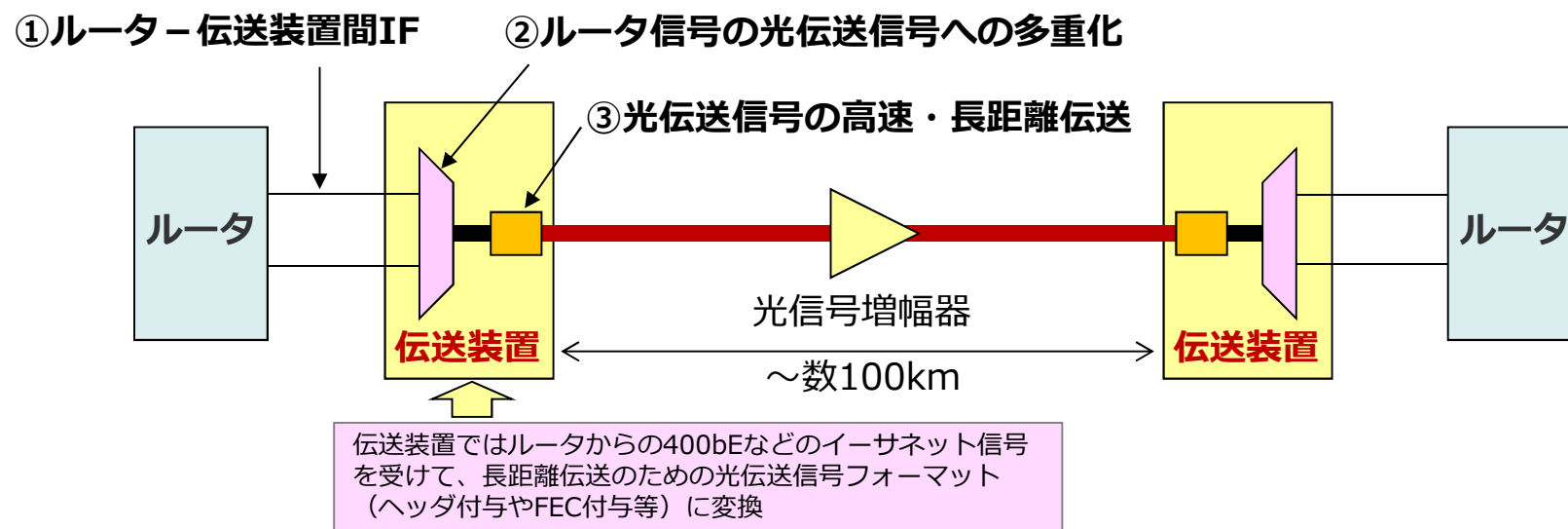
- まもなく400GbE製品の本格市場導入が開始
- 次の規格は800GbEや1.6TbEと想定され、2020年前半の標準化を目標に検討中

② ルータ信号の光伝送信号への多重化

- 100Gbpsを超える光伝送信号フォーマットはITU-Tで既に標準化済み
- 400Gbpsや800Gbps等の光信号伝送に対応可能

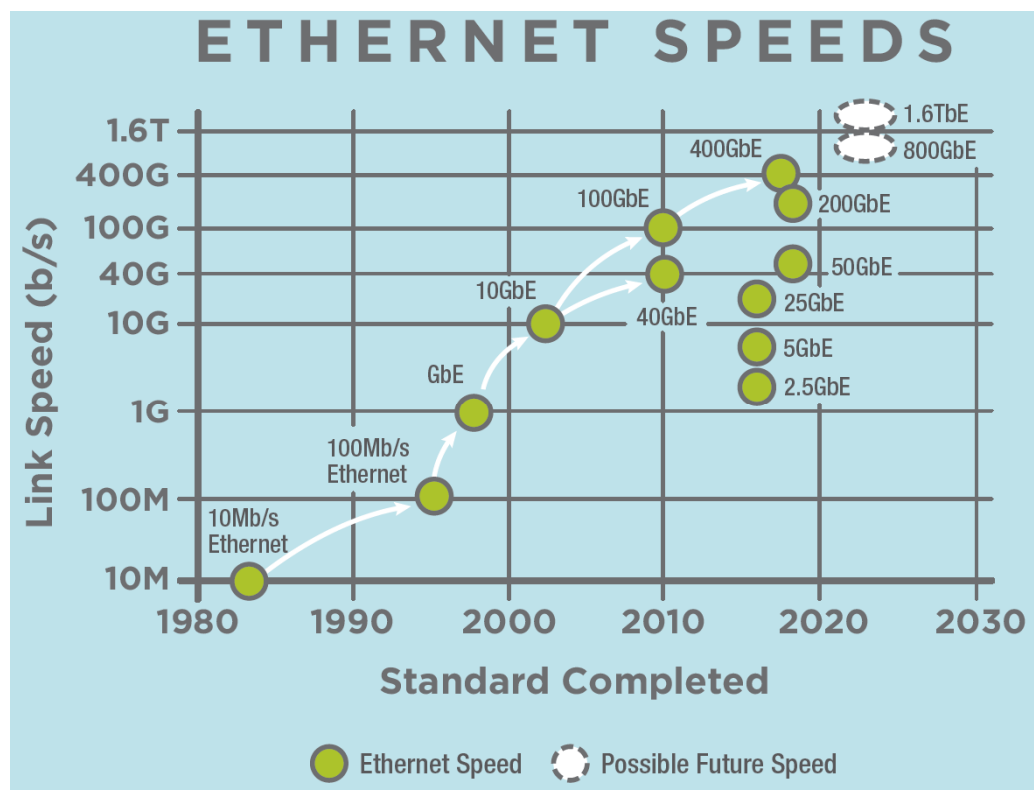
③ 光信号の高速化・長距離伝送化

- 光信号の高速化はボーレート高速化や多値符号化、長距離伝送化はデジタル処理による歪み補正等の技術が進化。現在、400Gbps長距離伝送用装置が市場投入中。800Gbps伝送は短距離のみ。



① ルータと伝送装置間のインタフェース

- Ethernetが主流であり、標準化はIEEEやEthernet Allianceがリード
 - まもなく400GbEの製品が市場に本格導入
 - 2020年代前半に800GbEや1.6TbEの標準化が予定されているが、安定した製品が市場に登場する時期は2024年以降と予想
 - ただ、Ethernet Technology Consortiumが、2020年4月に800GbEの初期仕様を発表するなど検討が加速

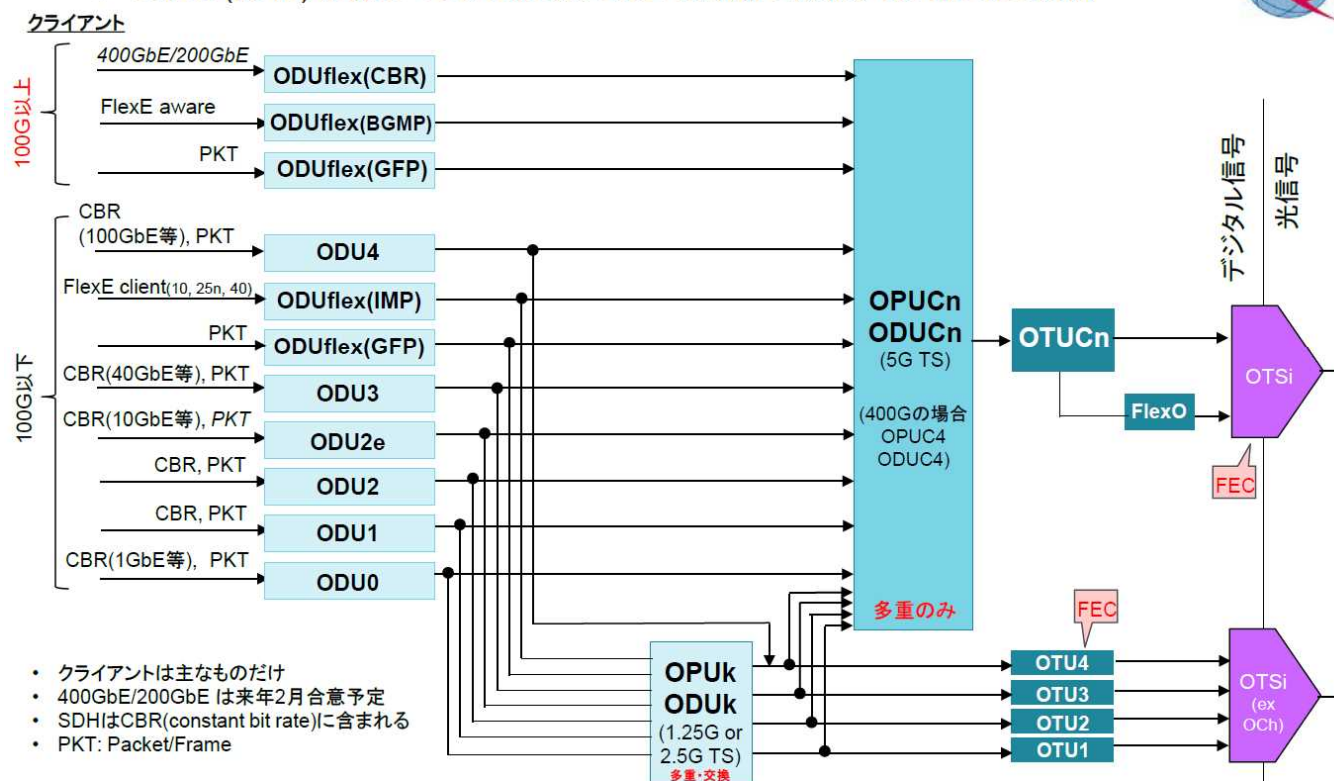


② ルータ信号の光伝送信号への多重化

- 100Gbpsを超える光伝送信号フォーマットはITU-Tで既に標準化済み
 - 100Gbpsを1コンテナとして、n個のコンテナを多重化する方法
 - 400Gbps光伝送信号には400GbE×1あるいは100GbE×4を収容可能
 - 400Gbpsを超える600Gbpsや800Gbpsなどの光伝送もこのフォーマットを利用

■ G.709: Interfaces for the optical transport network

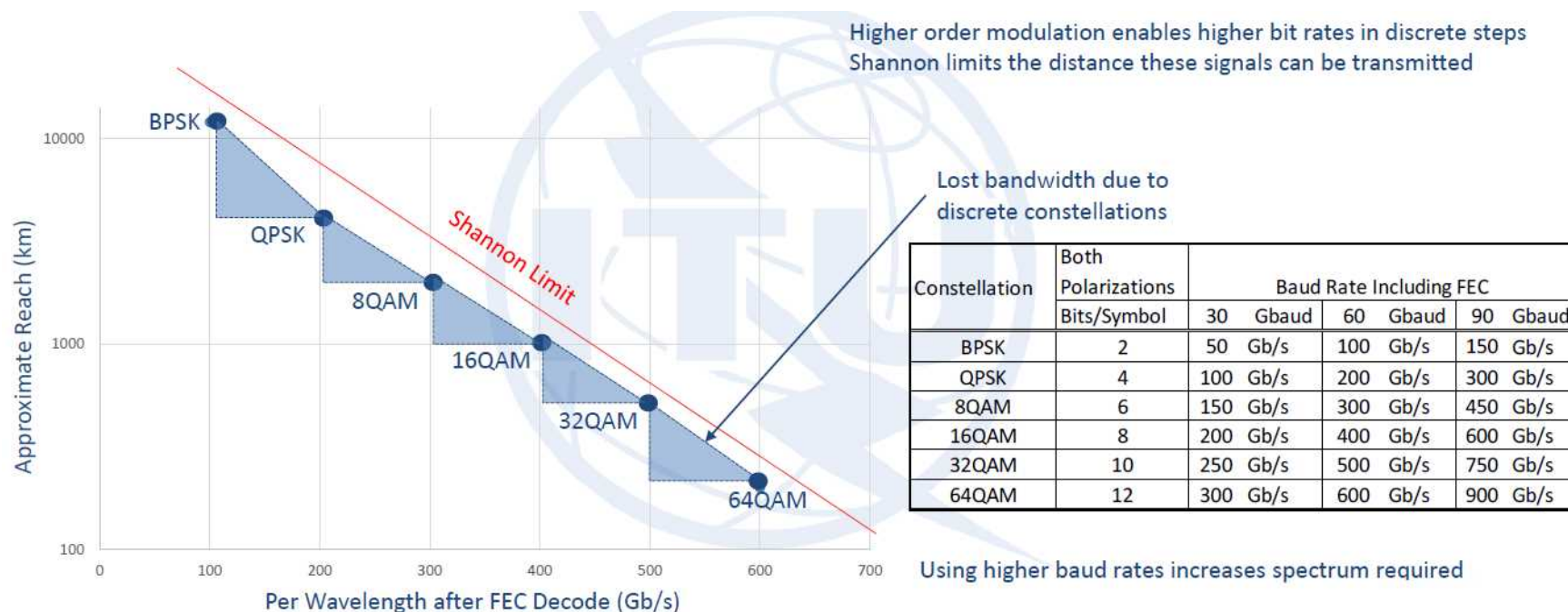
- G.709 (2016) 承認につき、100G以上の多重改訂を提供、400GbEにも対応



③光信号の高速化・長距離伝送化

- 光信号伝送の高速化は、光信号のボーレートの高速化に加え、多値符号化（QPSK、16QAM、64QAMなど）の技術が進化
- 光信号伝送の長距離伝送は、高度なDSPによる、長距離伝送時の波長分散・偏波分散などの信号歪みの補正や高度なFECによる誤り訂正などの技術が進化
- 400Gbps長距離伝送用装置が市場投入中。800Gbps伝送は短距離のみ

DSP: Digital Signal Processor



③高度DSPの開発動向

- 超高速光伝送を可能にする高度DSPの進化例を下図に示す
- 100Gbpsを超える光信号を扱うDSPは、同一のDSPでボーレートや符号化方式等の調整により、伝送距離に応じた最適な光信号速度に調整することが可能
- 現時点では同一のDSPチップで200Gbpsから800Gbpsまでの速度調整が可能



出典:

<https://www.ntt-electronics.com/new/information/2016/3/industry-first-16nm-100g-200g-coherent-dsp.html>

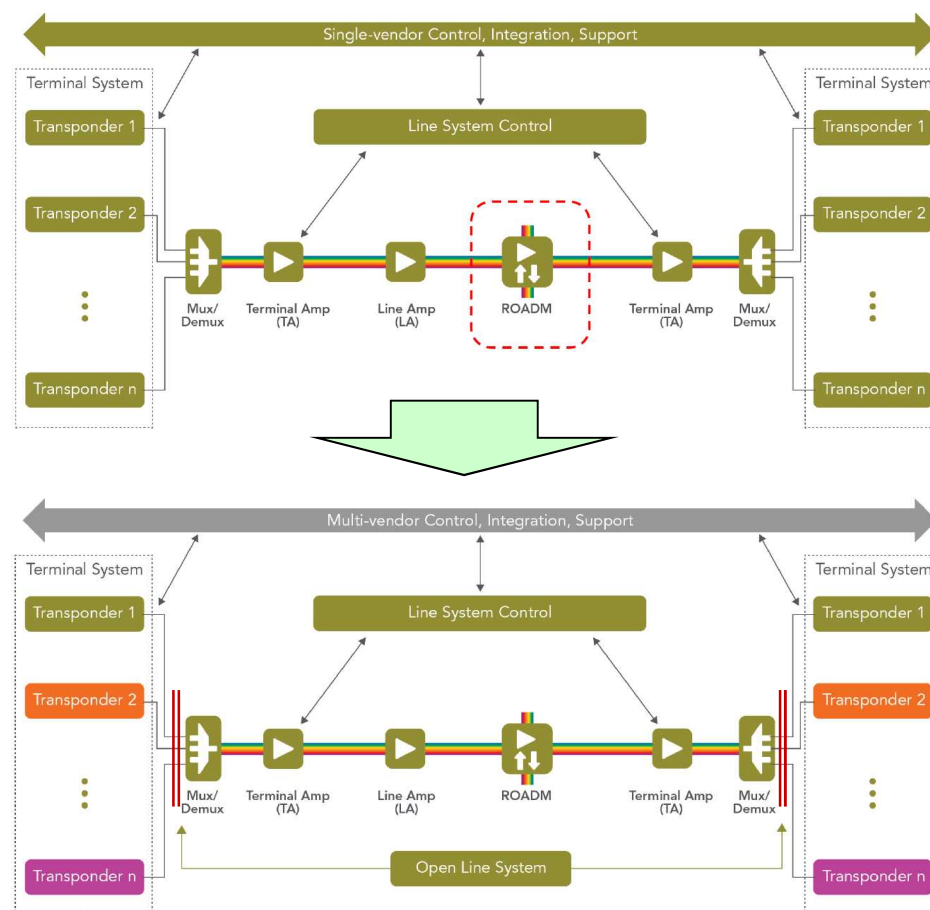
<https://www.ntt-electronics.com/new/information/2018/3/ntt-electronics-reaches-industry-milestone-with-64gbaud-high-performance-coherent-dsp.html>

<https://www.ciena.com/insights/articles/How-coherent-technology-decisions-that-start-in-the-lab-impact-your-network.html>

<https://www.ciena.com/insights/articles/800G-is-here-pushing-the-boundaries-of-what-your-network-can-do.html>

Open Line Systemの動向

- 一般的な波長多重伝送装置は、大きく、Transponder、Mux/Demux、Ampで構成される
- Open Line Systemでは、TransponderとMux/Demuxを分離しオープンにすることで、Transponder機能を持つ他社製のスイッチ等を接続することを可能としている
- これにより、波長多重伝送装置を効率的に共用することが可能となり、コストの削減が期待できる



伝送装置開発動向@OFC2019

Coherent Technology

In the weeks leading up to OFC2019, both Ciena and Infinera announced their roadmaps for the next generation of coherent technology. Both companies' announcements focused on new DSPs and optics **designed to reach maximum speeds of 800Gbps, but more importantly to deliver speeds of 200Gbps and 400Gbps over longer distances than existing solutions**. Like 400ZR, these DSP chips use the latest generation (and most expensive) 7nm silicon processes and cost tens of millions of dollars to design and prototype.

Infinera announced the ICE6, an 800Gbps solution that it had only hinted of during last year's OFC. This year, the company demonstrated the ICE6 InP photonic integrated circuit that contained two full sets of transmit and receive optics operating at up to 800Gbps speeds. In terms of bandwidth density, this 1.6T PIC offers roughly a 2.5x improvement over the ICE4 PIC (1.6T bidirectional vs 1.2T unidirectional), which reached volume production last year. Infinera also announced that the 7nm DSP designed to work with the PIC would prototype in 3Q19 and power ICE6 samples by the end of the year. The company expects ICE6 based 800G systems to ship in the second half of 2020.

Ciena announced the WaveLogic 5 Extreme (WL5e), a solution capable of 800Gbps but optimized for higher performance 400Gbps long haul and 600Gbps metro regional transport. Like the Infinera solution, the WL5e is designed to outclass the 600G hardware reaching the market this year: Ciena claims a 20% improvement in spectral efficiency over these solutions. The company also highlighted strategic decisions giving it more ownership of foundational electro-optics component technologies. Ciena expects systems using the WaveLogic 5 Extreme will be in production by the end of 2019, which would limit the market window for competing solutions.

Huawei did not announce any new coherent products but indicated that it continues to invest in higher baud rate DSPs and coherent solutions. The company has 600Gbps technology based on its H6 oDSP and low power 200Gbps pluggable coherent solutions based on its G6 oDSP.

Compact Modular Platform

The promise of faster-than-400Gbps compact modular platforms became more real at OFC2019. While **Ciena's** Waveserver Ai 400Gbps platform has been the only 400Gbps platform shipping in 2018, more solutions operating at 400Gbps and above are arriving in early 2019.

Fujitsu demonstrated T600 600Gbps operation over 80km on SMF and over 120km using OFS's TeraWave ultra-low-loss (ULL) fiber. Fujitsu claims to have more than a dozen trials in place across all verticals – service provider, cable/MSO, and cloud network operators.

ADVA's 600Gbps Teraflex, based on the Acacia AC1200 module, will be commercially available in early 2019. The Teraflex is one of the newer sled-based compact modular systems, designed with three slots that support up to 1.2Tbps each. As with many of the newer systems, the Teraflex supports open management interfaces for integration into a disaggregated, SDN-based optical network architecture.

Cisco's strategy is focused on evolving compact modular systems to be more flexible with features such as removable sleds, replaceable power supplies, and transponders with L1/L2 switching. Cisco and Verizon conducted a trial with the NCS 1004 demonstrating the benefits of the programmable line rate. A similar trial with research network AARNet in Australia was conducted.



Cisco NCS 1000



Ciena Waveserver Ai



ADVA Teraflex



Fujitsu 1FINITY T100/T200



Huawei OSN902



Infinera Groove G30

5G技術の動向

- 次世代モバイル規格5Gの登場により、データを収集する速度が飛躍的に向上することから SINETとモバイル基盤との結合は研究推進の強力なツールとなる

＜5Gの主要性能＞	超高速 超低遅延 多数同時接続	最高伝送速度 10Gbps 1ミリ秒程度の遅延 100万台/km ² の接続機器数
-----------	-----------------------	--

5Gは、AI/IoT時代のICT基盤



出典：“2030年頃を見据えたネットワークビジョンに関する考察（議論のたたき台）”，事務局，情報通信審議会 電気通信事業政策部会 電気通信事業分野における競争ルール等の包括的検証に関する特別委員会（第1回），総務省，2018

ローカル5G（自営網）の海外動向

- ローカル5Gは、MNOによる全国向け5Gサービスとは別に、地域の企業や自治体等が自らの建物や敷地内でスポット的に自営でネットワークを構築し利用可能とする新しい仕組み
- 日本では、地域の企業や自治体等だけでなく、MNO以外の事業者（非MNO）による役務提供が可能

MNO: Mobile Network Operator

Sub-6: 6.0GHz以下、ミリ波：概ね24GHz～300GHz

国名	概況	進捗度	利用周波数帯	役務提供
日本	- Sub-6及びミリ波帯両方で、自営専用の免許帯域を、地域の企業・自治体等だけでなく、非MNOに開放する方針 - ミリ波帯の一部を昨年末に開放済	○	4.6-4.8 GHz 28.2-29.1 GHz	○
米国	3.5 GHz帯は、「市民ブロードバンド無線サービス」の制度により地域の企業・自治体等や非MNOが利用可能 - ミリ波帯は、MNO向けに割り当てられた周波数をSpectrum Leasing（長期的に利用しない地域で周波数リース）という制度により、非MNOが利用可能	○	3.55～3.72 GHz 28/37/39 GHz帯	○
ドイツ	3.7-3.8 GHz帯及び26 GHz帯を、地域の企業・自治体等のみが利用可能 - 特に3.7-3.8 GHz帯が先行して、Industry 4.0向けの産業IoTとして大手自動車メーカー等の利用組織が積極的に利用	○	3.7-3.8 GHz 26 GHz帯	×
英国	Sub-6及びミリ波帯両方を、既存利用者（固定無線アクセス、衛星等）と共用する形で利用可能	○	1.8/2.3/3.8-4.2 GHz 26 GHz帯	○
フランス	- 同国産業界で自営5G周波数に対する需要が低い点、電波干渉リスク懸念が導入メリットを上回る点を背景に、自営用に周波数割当しない方針 - 代替案として、非MNOがMNO-5Gにアクセス可能な仕組みを整備	×	—	—
豪州	ミリ波帯を、3種の免許形態（クラス免許/周波数免許/設備免許）で利用可能	△	26 GHz帯	○

ローカル5G（自営網）の海外動向（続き）

国名	概況	進展度	利用周波数帯	役務提供
中国	・産業IoT向けの専用周波数、及び自営向けの免許不要周波数／共用周波数の検討中だが、具体的な周波数の特定には至っていない ・但しHuawei社が多くのトライアルユースケースを国内で実施	×	—	—
韓国	・5Gの自営利用に向けた周波数の議論は行われていない ・但しLG社がHuawei製品利用してトライアルユースケース実施	×	—	—
インド	・免許帯域を用いた産業IoTの議論は行われているが、自営・ローカル利用向けの周波数の検討は進められていない	×	—	—
香港	・26GHz帯、28 GHz帯の中の400 MHzが自営用に検討されている	×	26/28 GHz帯	—
シンガポール	・5G向けの周波数の審議中であるが、自営利用のオプションも含まれている。	×	—	—

【進展度の定義】

- ： 免許帯の5G周波数がSub-6及びミリ波帯両方で、自営用に割り当てられている
- △： Sub-6、ミリ波帯のどちらか一方のみ割り当てられている
- ×

×： 割り当て検討中 or 割り当てない方針

【役務提供の意味】

- ： 5G周波数免許を、地域の企業や自治体等だけでなく、MNO以外の事業者（非MNO）へ与える
- ×
- ： 自営免許制度無し（進展度×の国）

【参考文献】

- ・「諸外国におけるローカル5Gとプライベートネットワークの動向」マルチメディア振興センター(社) 飯塚 留美
(株)ハイテクノロジー推進研究所 マルチメディア推進フォーラム PART804「ローカル5Gの展望、ユース ケースと課題(3)」 2019.9.25
<http://ahri.co.jp/business/forum/backnumber/2019.pdf>
- ・「5G ローカル自営利用の動向」クアルコムジャパン合同会社 城田 雅一
総務省情報通信審議会 情報通信技術分科会 新世代モバイル通信システム委員会 ローカル5G検討作業班（第3回） 2019.1.10
https://www.soumu.go.jp/main_content/000594337.pdf

ネットワーク機能仮想化技術の動向

- 汎用サーバへのNFV機能の実装により、きめ細かなネットワーク機能の実現が可能になる

- NFV (Network Functions Virtualization) は、従来、個別の専用機器を組み合わせてネットワーク運用を実現していたものを、個々の機能を仮想化し、ネットワーク上のプラットフォームに集約して制御可能とする技術。
- NFVにより、汎用設備を複数の用途に使い分けることが可能となり、それらが集約されることにより、ネットワークの統合的な運用や目的に応じた柔軟な利用が実現する。

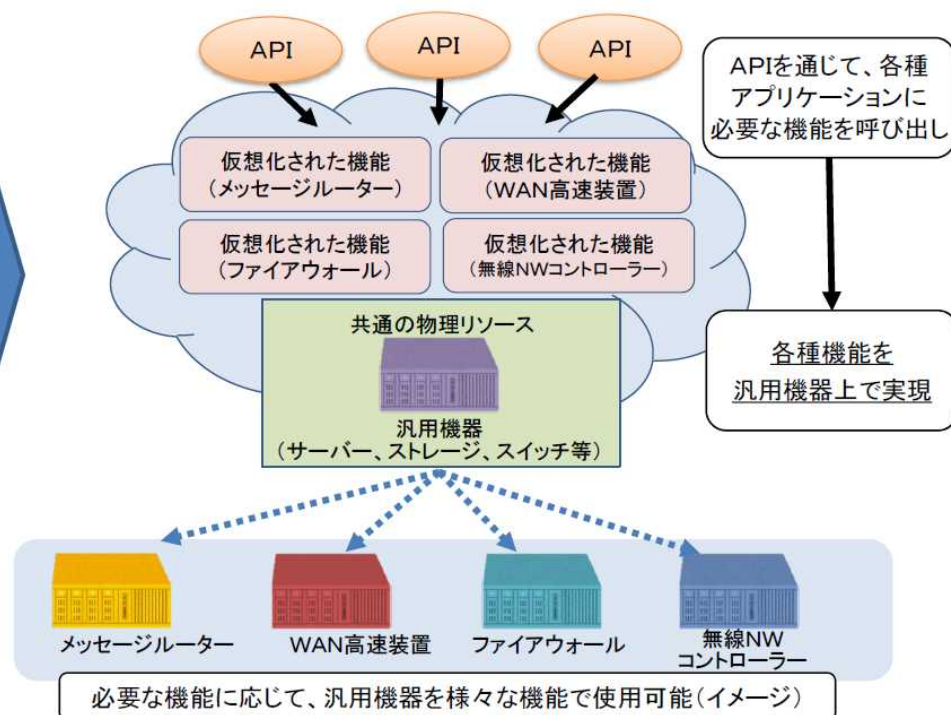
NFVについて

■ 従来のアプローチ



様々な機能に応じて
個別の専用機器を設置

■ NFVによるアプローチ

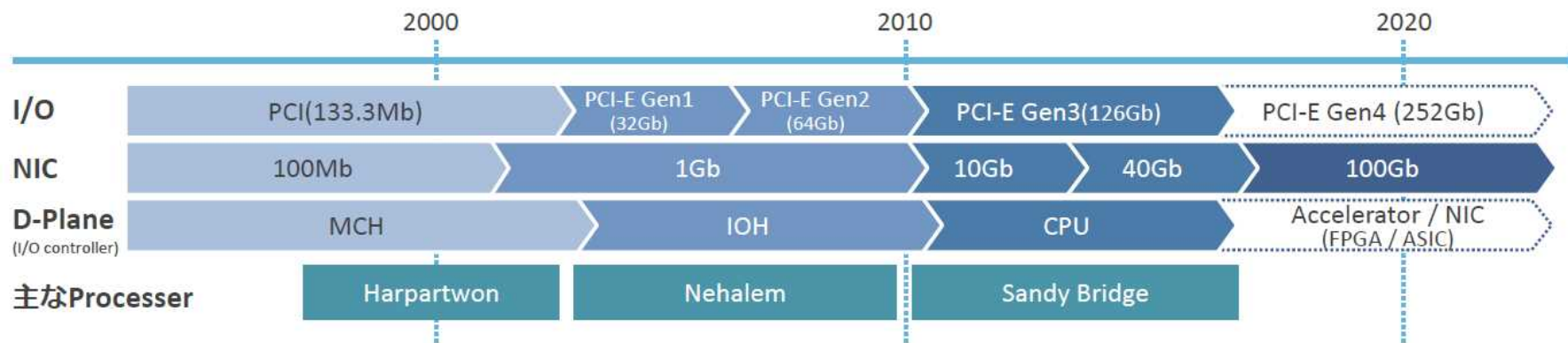


(出典) NFV White Paperを基に作成

出典：“2030年頃を見据えたネットワークビジョンに関する考察（議論のたたき台）”，事務局，情報通信審議会 電気通信事業政策部会 電気通信事業分野における競争ルール等の包括的検証に関する特別委員会（第1回），総務省，2018

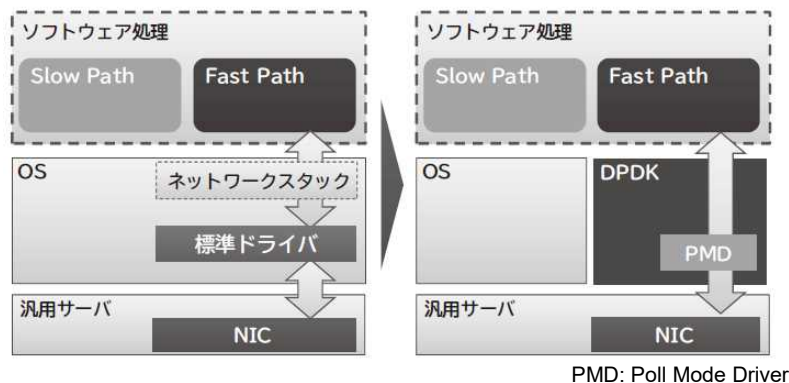
汎用サーバによるパケット処理の高速化

- 汎用サーバにおけるパケット処理のハードウェア性能向上（I/O, NIC: 上図）と、ソフトウェア処理の高速化（DPDK: 下図）が進んでいる



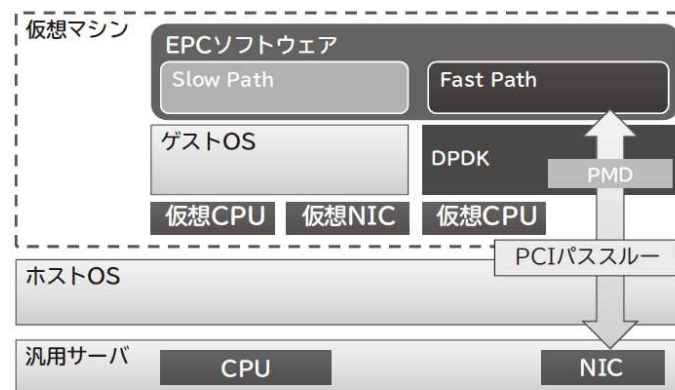
出典：“ネットワーク仮想化の技術動向”，KDDI研究所，情報通信審議会 情報通信技術分科会 I Pネットワーク設備委員会（第 50 回），2019

DPDK: Data Plane Development Kit



DPDKを採用した際のソフトスタックのイメージ図（左：標準ドライバと右：DPDKの比較）

vEPC (virtualized Evolved Packet Core) はモバイルデータ通信のコア技術



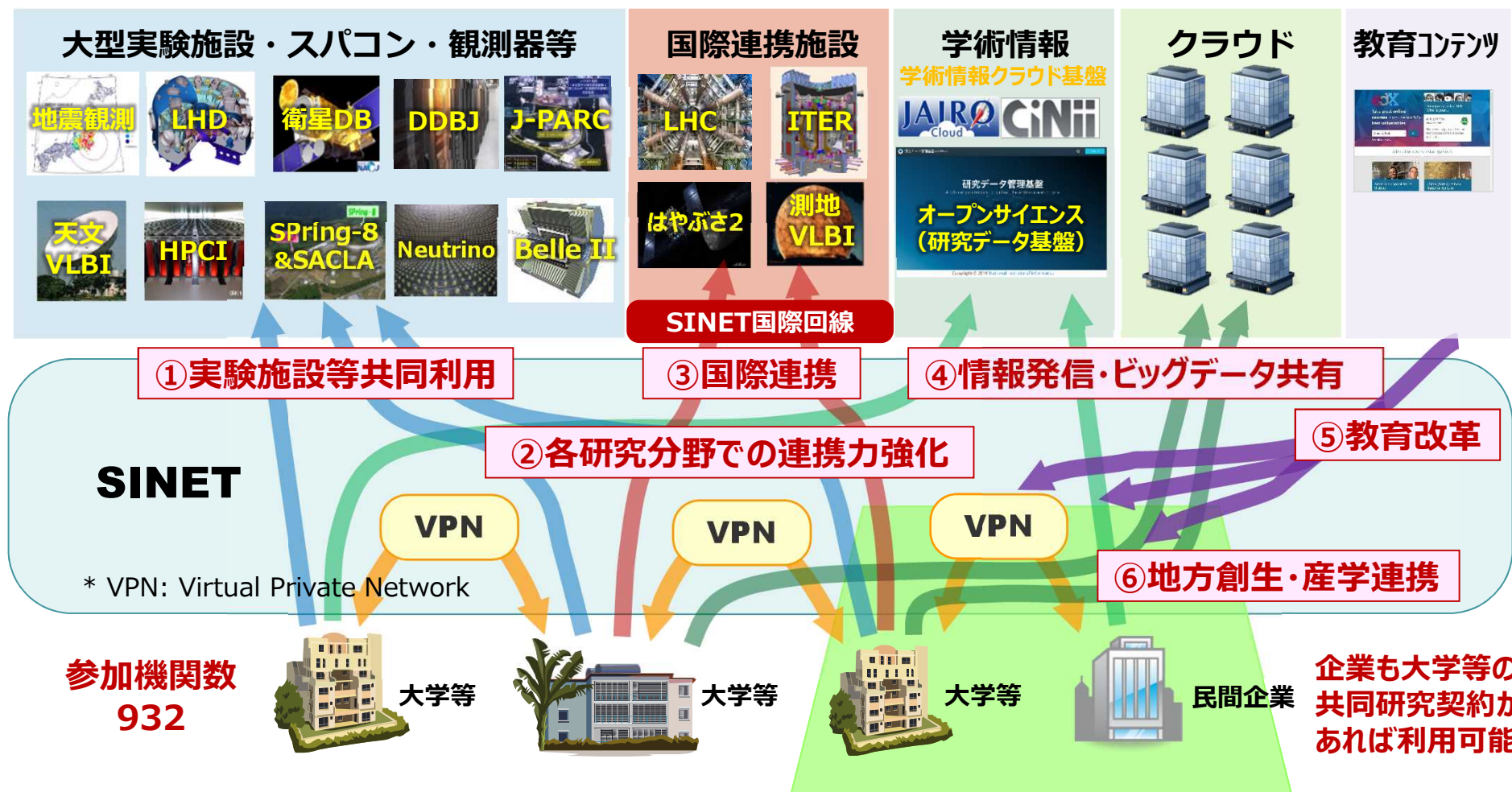
PCIパススルー、DPDKを用いた構成

PCI: Peripheral Component Interconnect

3. SINET5の現状

SINETの用途

- SINETは、①大型実験施設等の共同利用、②各研究分野での連携力強化、③世界各国との国際連携、④学術情報の発信やビッグデータの共有、⑤大学教育の質的向上、⑥地方創生や地方大学の知識集約型拠点化・産学連携等のための基盤

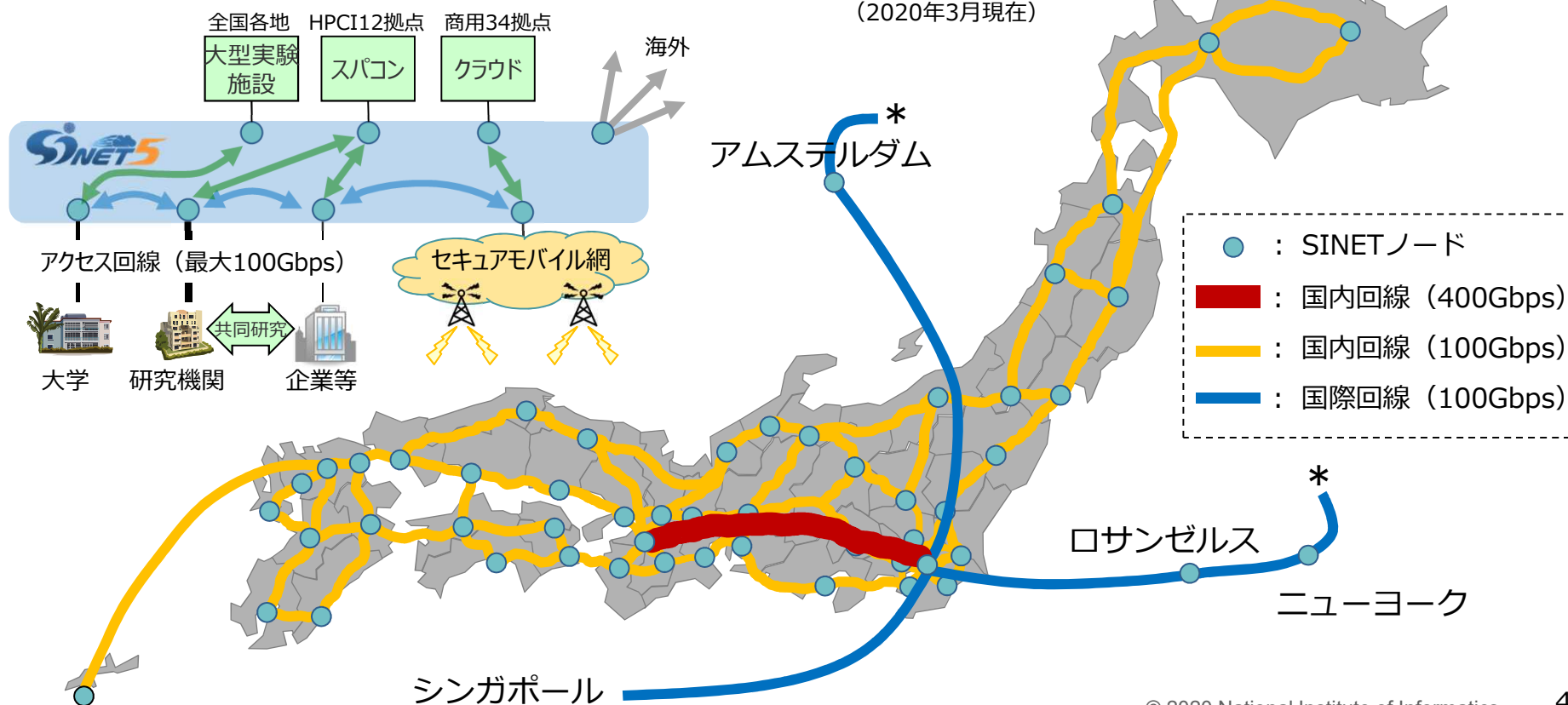


SINETの現状

- 全都道府県にSINETノードを設置し100Gbps回線で接続、海外も100Gbps
- 民間企業も大学等の共同研究契約があれば利用可能

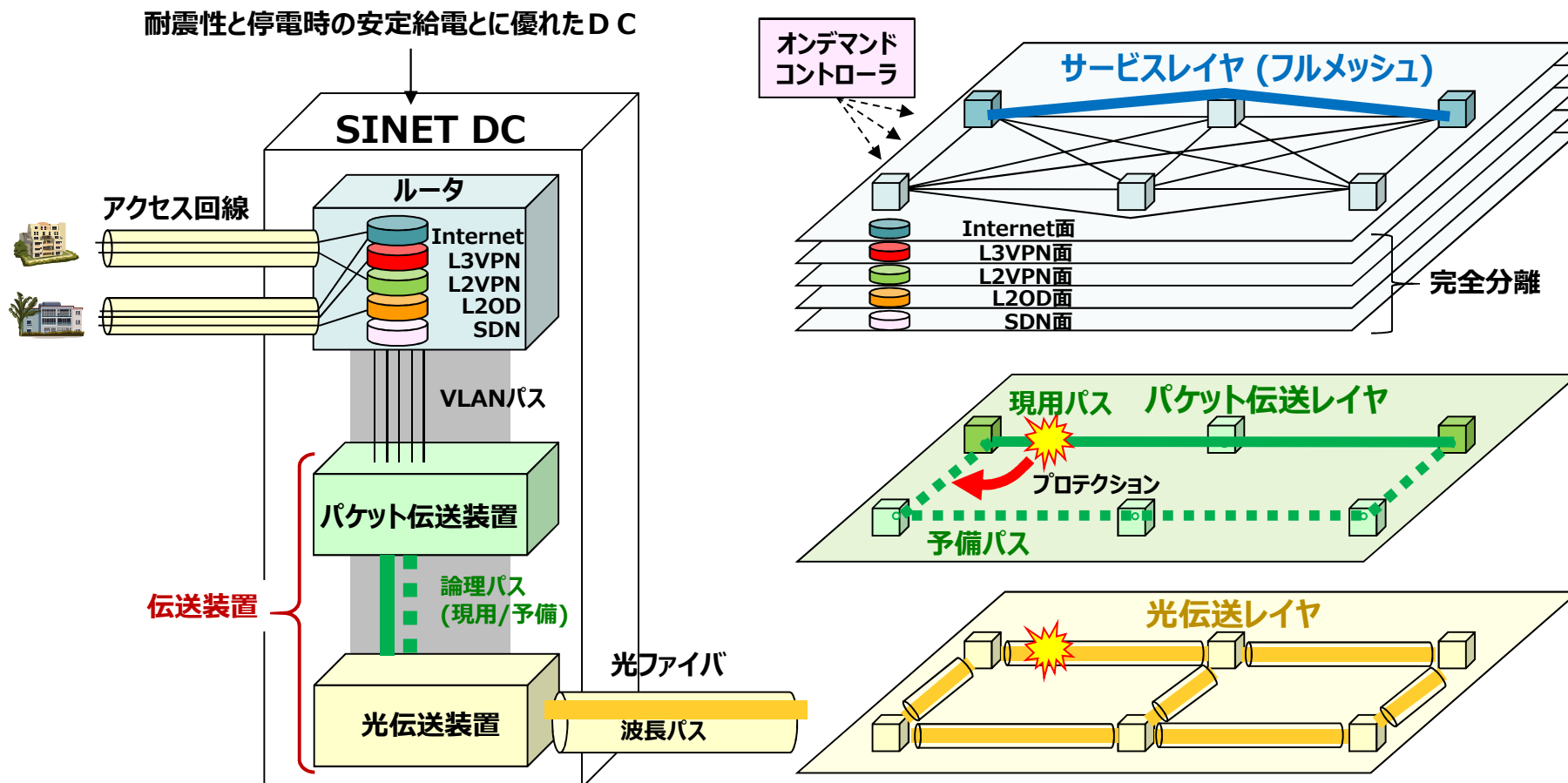
	国立大学	公立大学	私立大学	短期大学	高等専門 学校	大学共同 利用機関	国立研究 開発法人	その他	合計
加入機関数	86 (100%)	86 (92%)	406 (67%)	77 (24%)	56 (98%)	16 (100%)	26	179	932

(2020年3月現在)



SINET5のアーキテクチャ

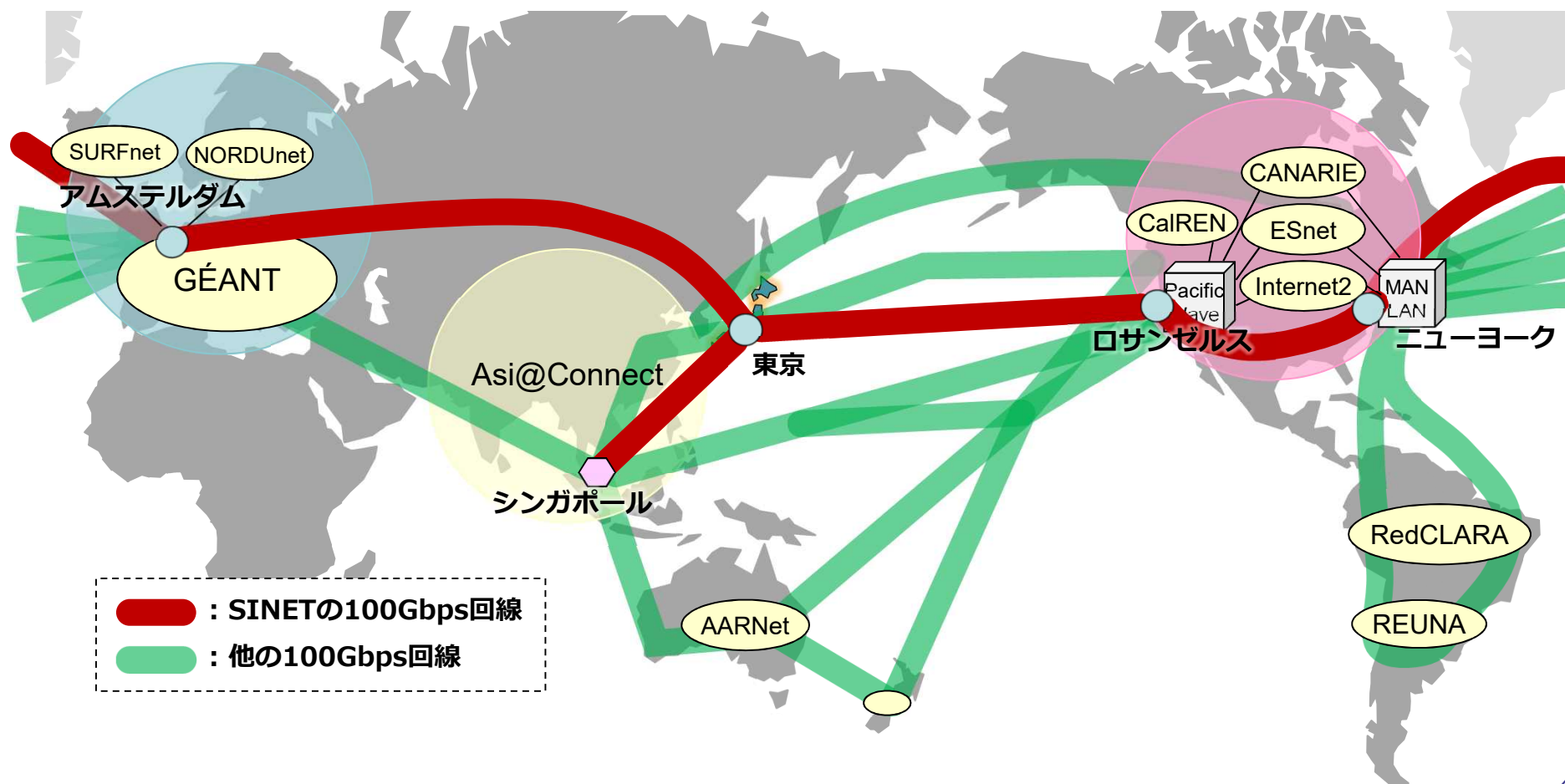
- 光ファイバと最先端の伝送装置を用いて、SINET DC間を論理的にフルメッシュ状に100Gbpsで接続することで、**任意の拠点間で超高速性と低遅延性を同時に実現**
- SINET DC間に冗長経路を確保し迂回機能を多段に実装することで、**高信頼性を実現**
- サービスレイヤにインターネットとは分離した面を複数設け、**高セキュリティ性を実現**



SINET5の国際回線

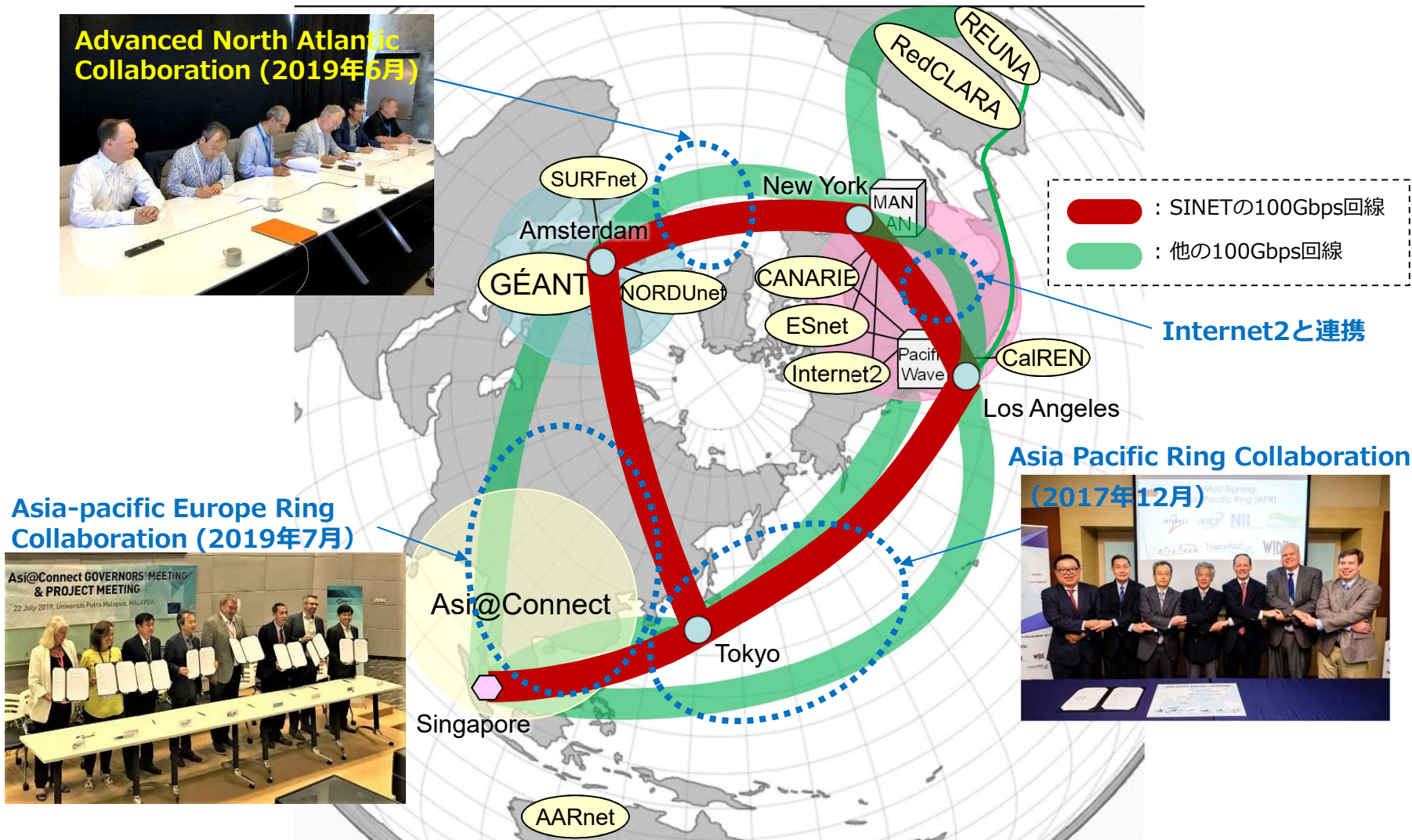
- 欧州直結* 100Gbps回線によりLHC等の日欧連携、米国100Gbps回線により Belle II等の日米連携、アジア100Gbps回線によりアジア各国との連携を強化
 - この2～3年の間に他国の100Gbps国際回線の整備が急速に進展

* SINET4までの米国経由に比べ大幅に遅延時間を短縮し、高性能通信を実現



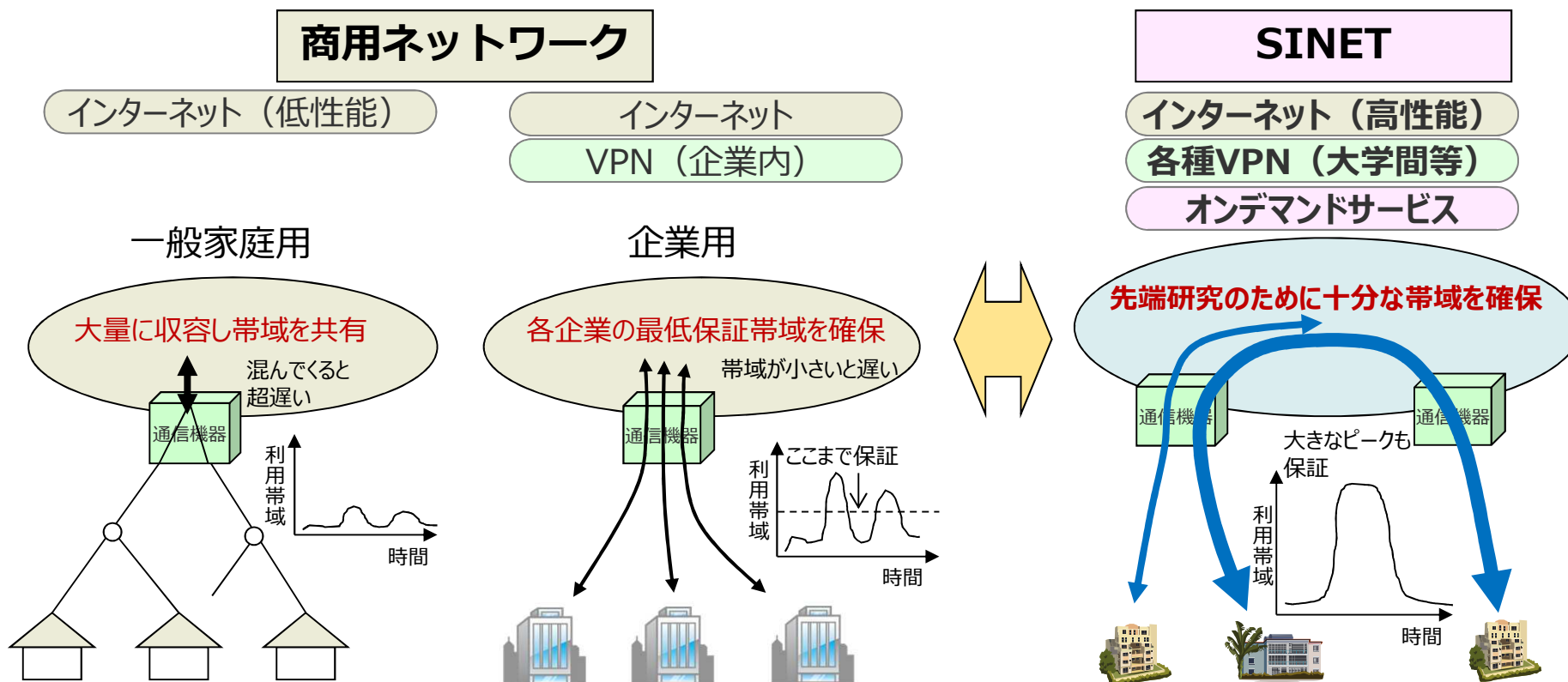
国際連携による高信頼化

◆ 他国所有の国際回線と相互バックアップのMoUを締結し高信頼化を推進



SINET5の特徴

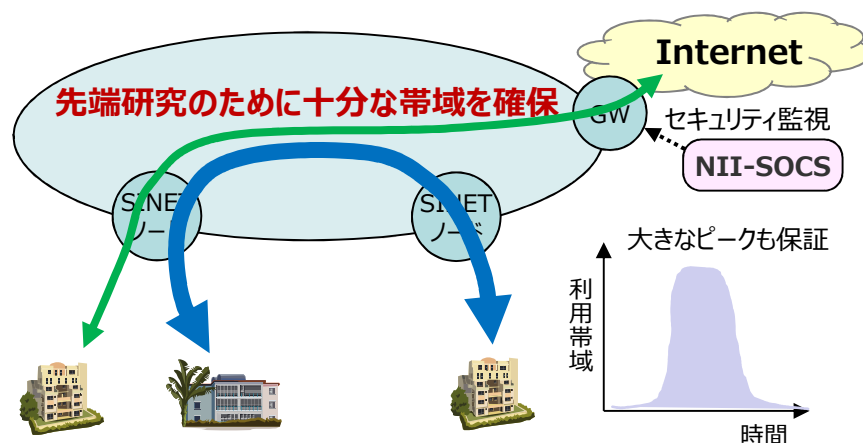
- 任意の拠点間で高性能** : 全都道府県を100Gbpsでカバーし、大容量データ転送に適した帯域を絞らないアーキテクチャであるため、任意の拠点間で高性能に通信可能
- 通信サービスが豊富** : インターネットに加え、セキュアな通信環境を実現するVPNサービス、機動的に通信環境を設定するオンデマンドサービス等を利用可能
- 大学等にとって便利** : アクセス回線を用意するだけで、多様な通信環境を高性能、低コスト、迅速に整備可能



SINET5の主なサービス

- インターネットに加え、セキュアな通信環境を実現するVPNサービス、機動的に通信環境を設定するオンデマンドサービス、セキュアなモバイルサービス等を提供

超高速インターネット

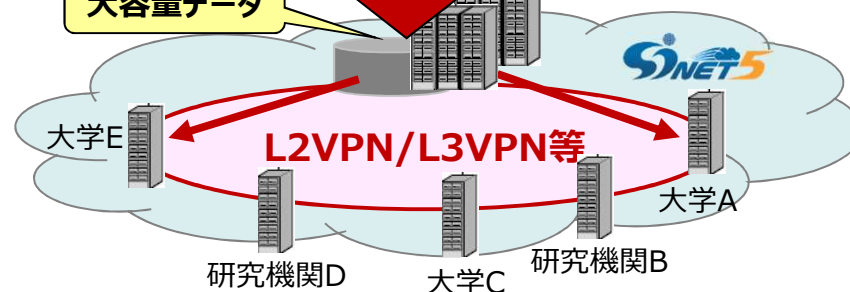


多様なVPNサービス

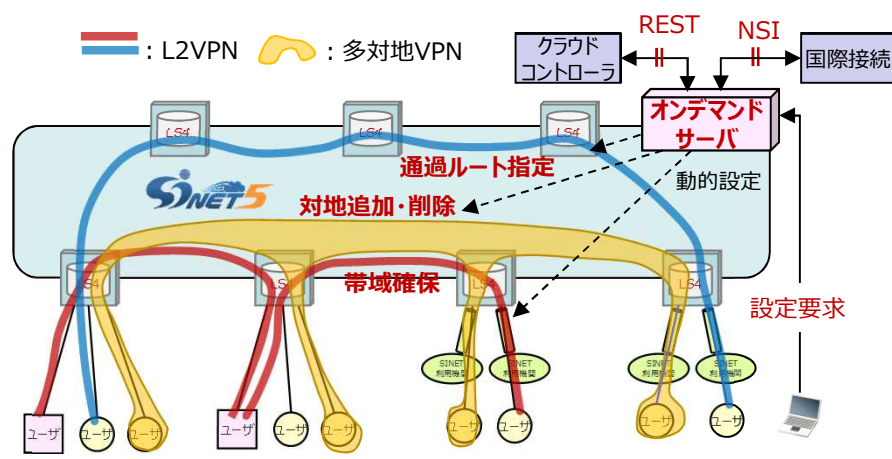
共同研究の例

大型実験施設

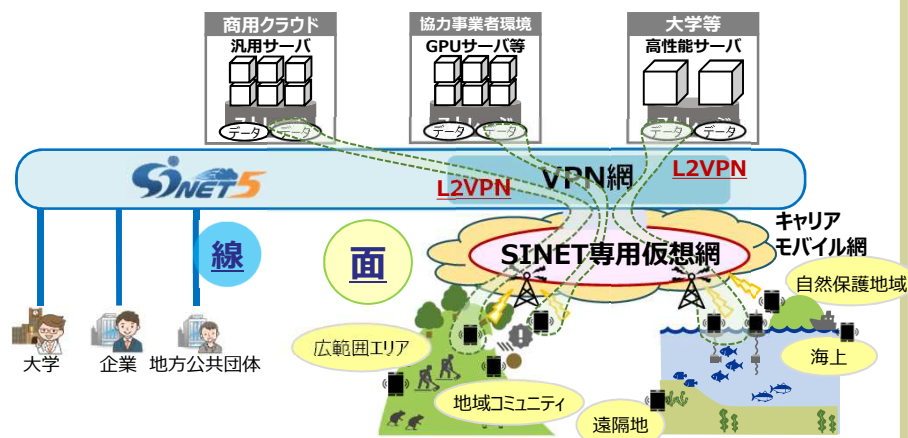
大容量データ



オンデマンドサービス



セキュアなモバイルサービス



(参考) SINET5のサービスメニュー

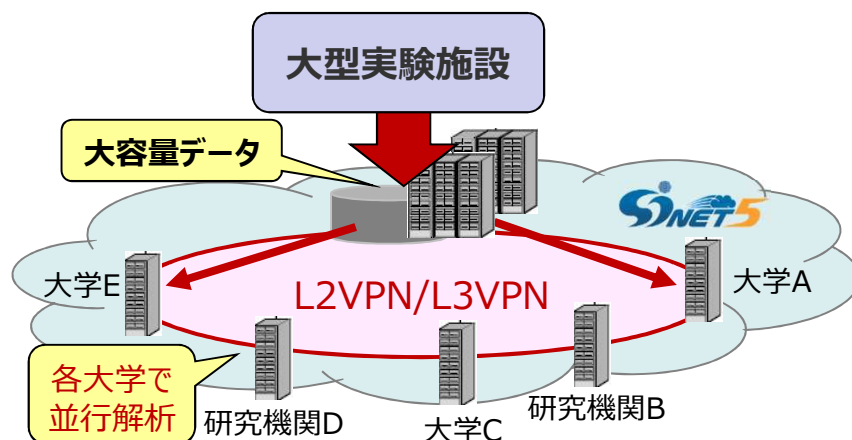
- 大学等からの要望を基に、共考共創で新サービスを開発・提供
- VPN系サービス（インターネットとは完全に切り離された通信環境）が急増中

サービスメニュー		適用領域
L3サービス	インターネット接続（IPv4/v6 dual stack）	インターネット利用
	フルルート提供	ネットワーク運用、ネットワーク研究
	IPマルチキャスト（+QoS）	映像配信、遠隔講義
	アプリケーション毎QoS	通信品質保証
	L3VPN（+QoS）	共同研究
L2サービス	L2VPN/VPLS（+QoS）	共同研究、クラウド利用
	仮想大学LAN	マルチキャンパス接続
	L2オンデマンド（基本）	大容量データ転送、帯域保証
	L2オンデマンド（NSI）	国際共同実験
	L2オンデマンド（REST）	クラウド連携
L1サービス	波長専用線	個別ネットワーク構築
広域データ収集基盤	モバイルVPN	IoT研究等
アクセス回線冗長化対応	マルチホーミング	マルチノード接続、マルチISP
	リンクアグリゲーション	マルチアクセス回線の仮想一体化
	冗長トランクグループサービス	アクセス回線障害時の切り替え
ネットワーク運用安定化	DDoS Mitigation機能	異常トラフィック制御・抑止
ネットワーク仮想化機能	汎用サーバによるネットワークサービス	仮想ルータ、仮想FW等
転送性能向上	通信パフォーマンス計測	対地間通信品質管理
	高速ファイル転送ソフトウェア	大容量ファイル転送

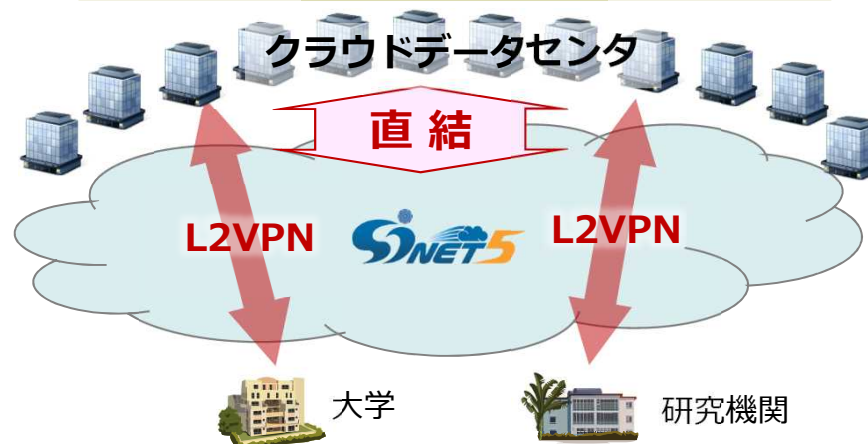
SINET VPNで広がる世界

- セキュアで高性能なSINET VPNサービスの利用が拡大中（3,000VPN以上）
 - インターネット上でユーザ端末ソフトウェアで行うVPNとは性能が全く異なります

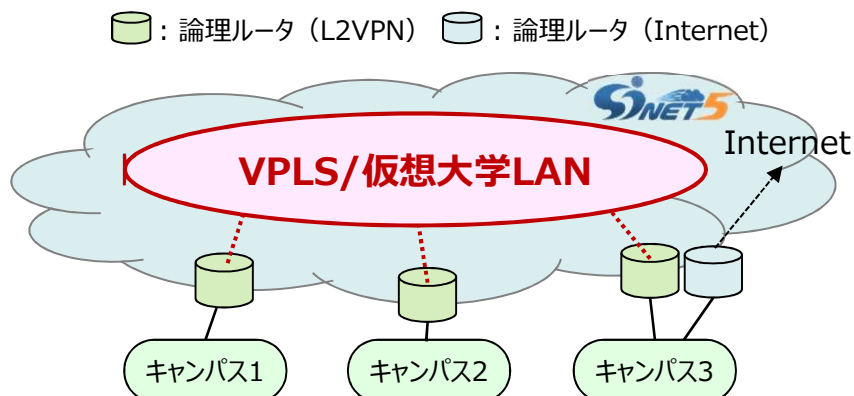
共同研究環境の形成



クラウド利用

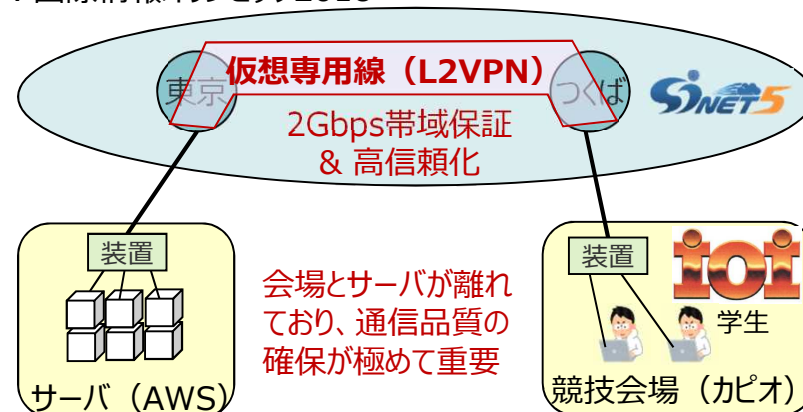


マルチキャンパス



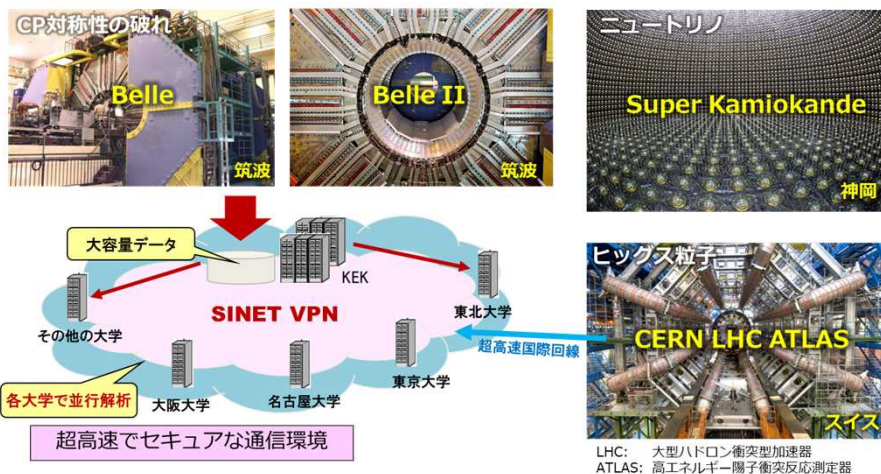
一時的な帯域保証

例：国際情報オリンピック2018



SINET利用例（先端研究1）

例1) 高エネルギー研究



例2) ハイパフォーマンスコンピューティング基盤



例3) 核融合研究

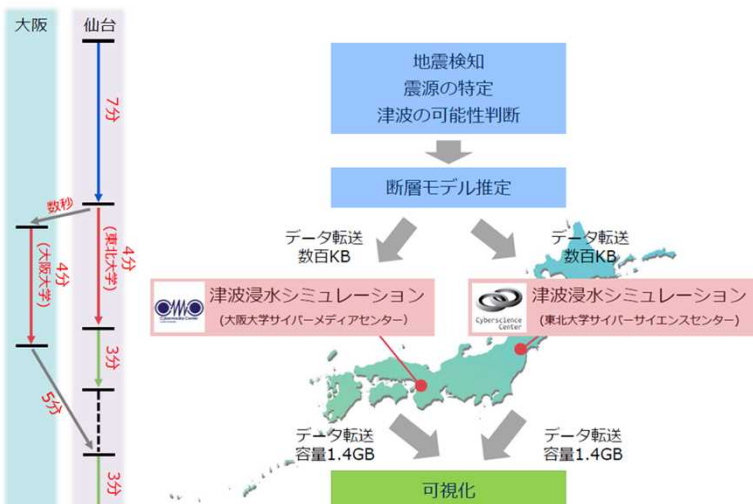


例4) 地震研究

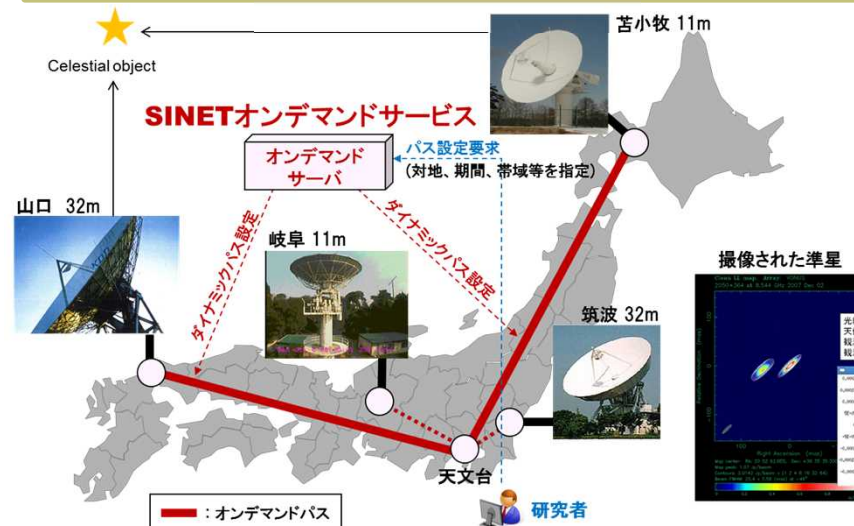


SINET利用例 (先端研究2)

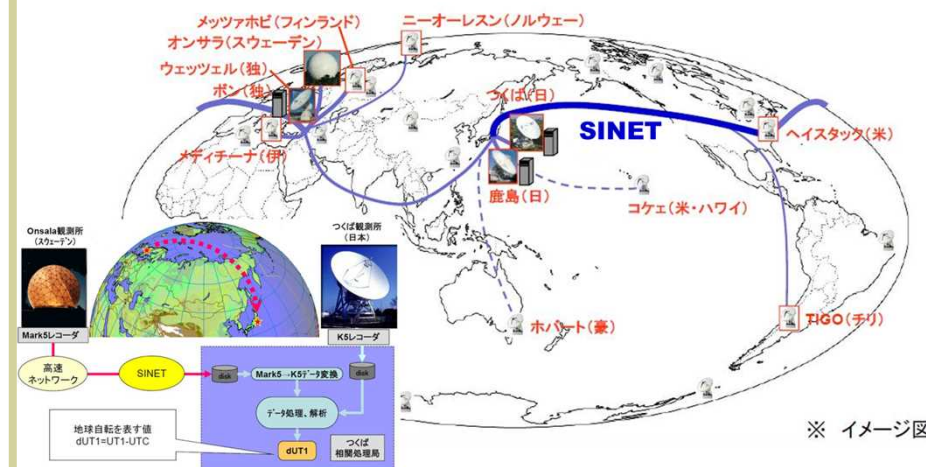
例5) リアルタイム津波浸水被害予測



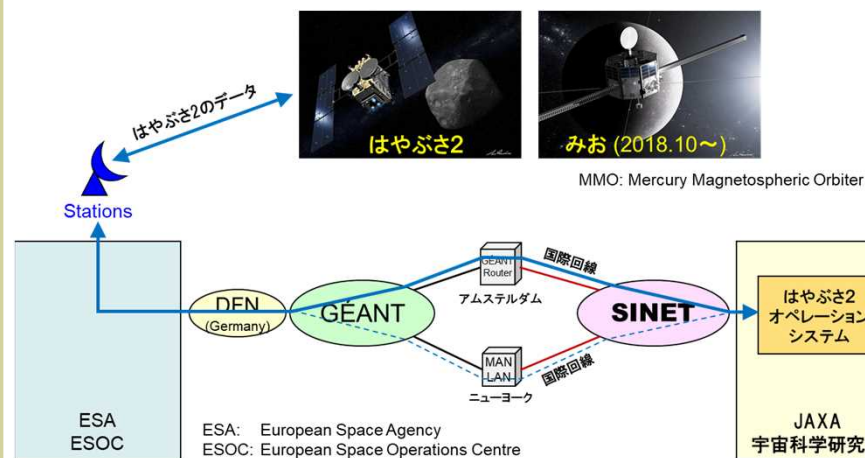
例6) 天文研究



例7) 測地研究



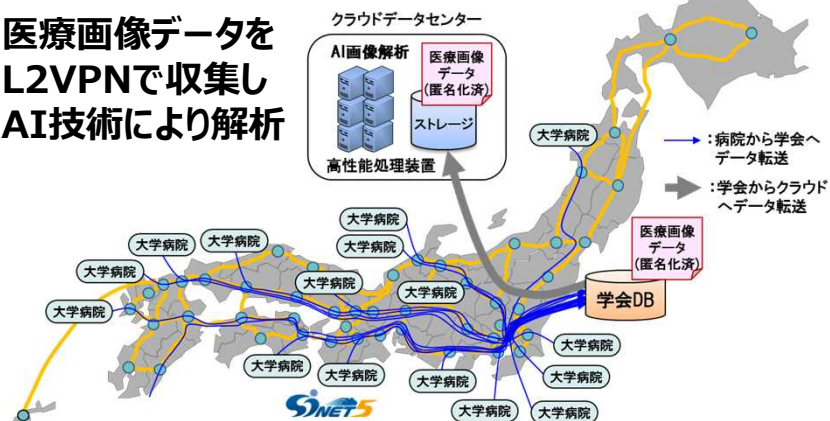
例8) はやぶさ2



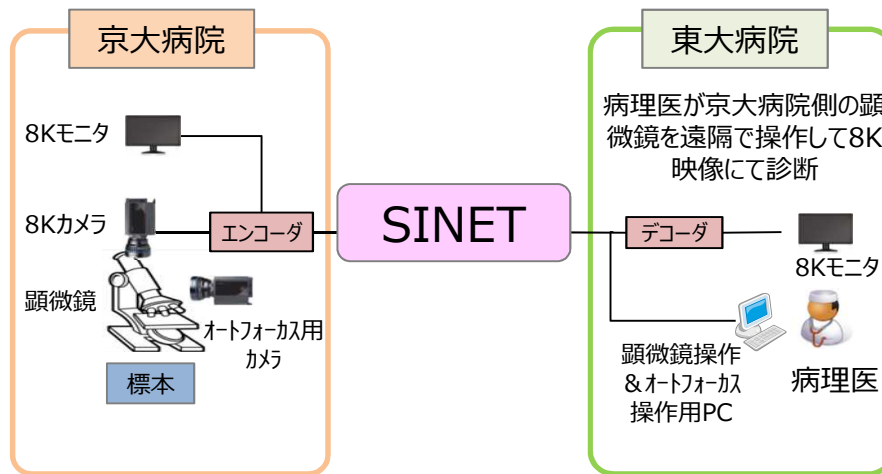
SINET利用例（医療）

AMEDプロジェクト

医療画像データを
L2VPNで収集し
AI技術により解析



8 K映像による遠隔病理診断実験

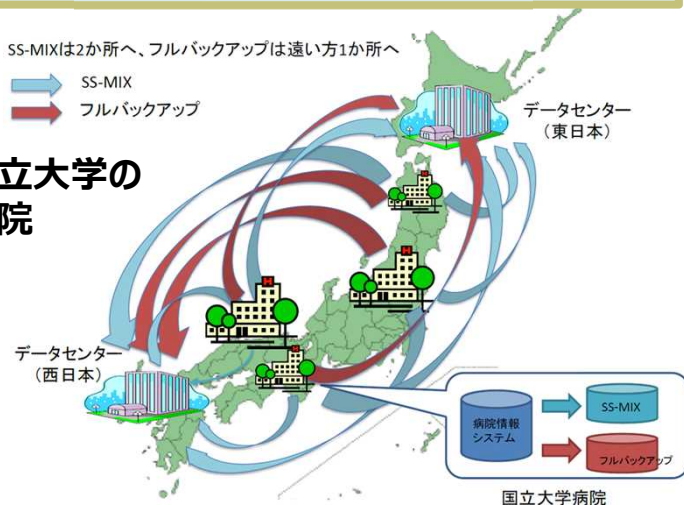


医療情報バックアップ[®]

SS-MIXは2か所へ、フルバックアップは遠い方1か所へ

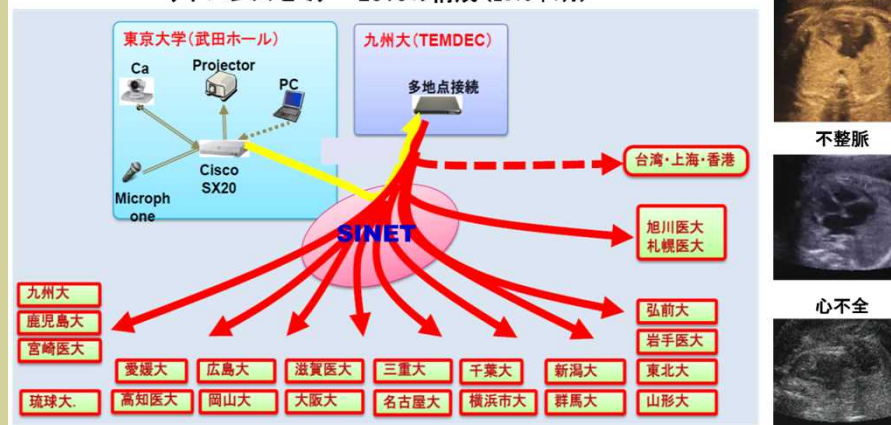
SS-MIX
フルバックアップ

42国立大学の 46病院



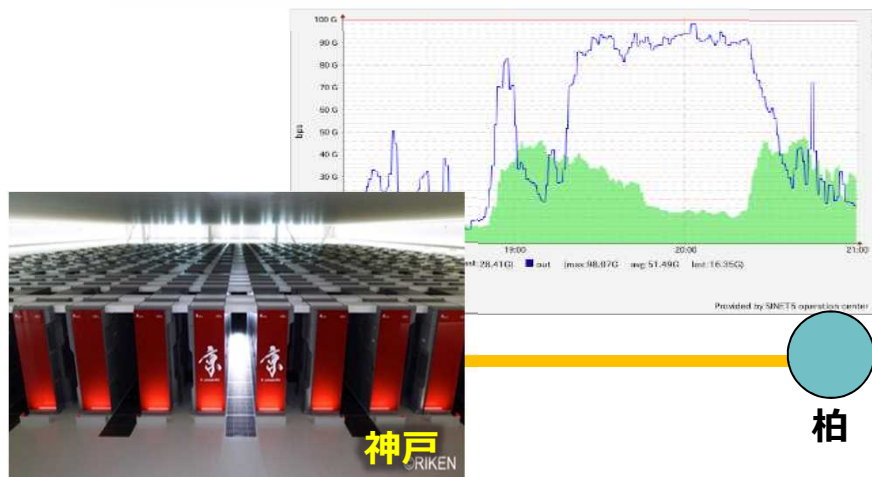
遠隔医療教育

アドバンスセミナー2016の構成 (2016年1月)

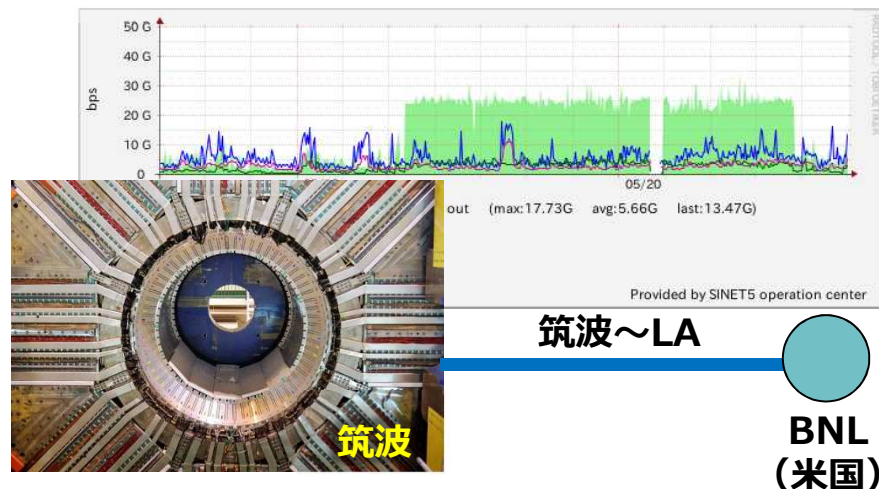


SINET利用例 (超高速・広帯域)

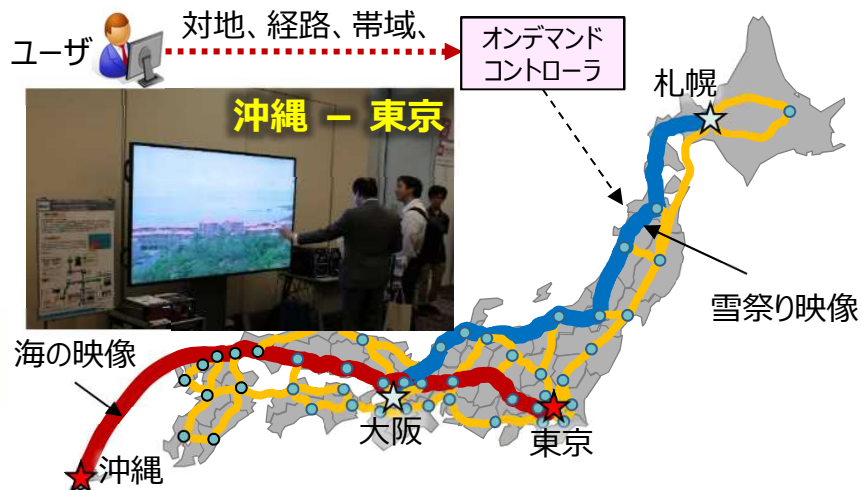
HPCI : 90Gbps級の実利用



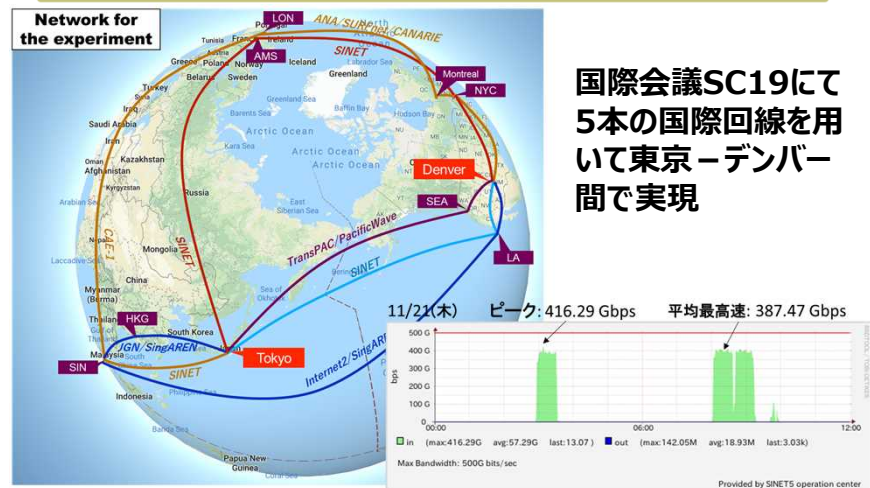
Belle II : 数10Gbps級の国内外利用



8K映像伝送 : 25~50Gbpsの実利用



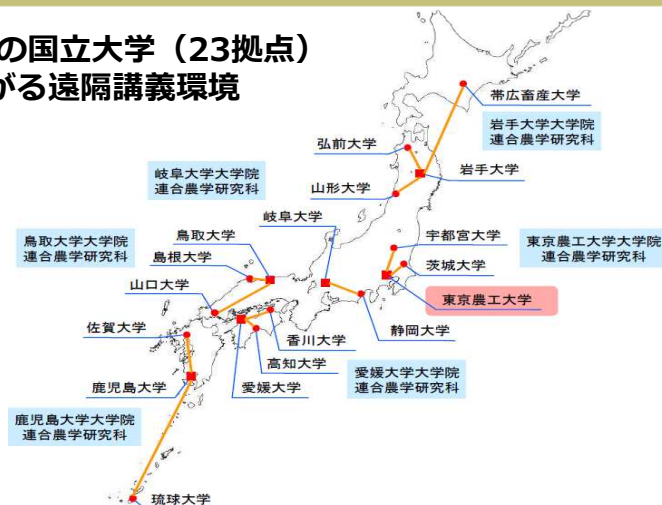
世界最速 (416Gbps) のファイル転送



SINET利用例 (遠隔教育)

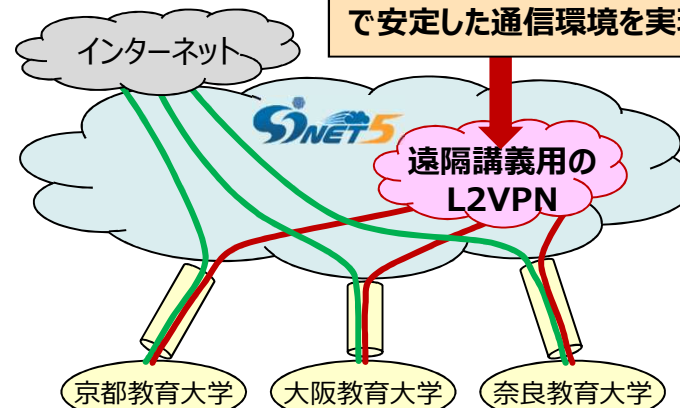
連合農学研究科を結ぶ遠隔講義環境

全国18の国立大学 (23拠点)
にまたがる遠隔講義環境



3 教育大学にまたがる遠隔講義環境

学内FW等の影響なしにセキュア
で安定した通信環境を実現



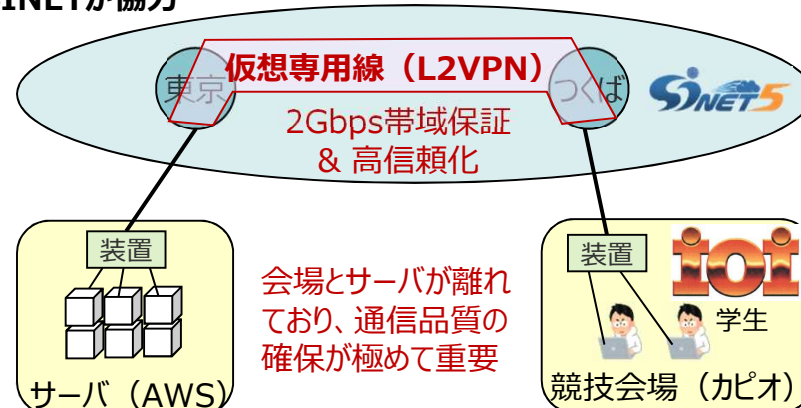
北海道内国立大学教養教育連携事業

国立大学教養教育コンソーシアム北海道
THE CONSORTIUM OF NATIONAL UNIVERSITIES IN HOKKAIDO FOR LIBERAL ARTS EDUCATION



国際情報オリンピック2018

国際的な生徒・学生プログラミングコンテスト (2018年9月) に
SINETが協力



SINET利用例（直結クラウド）

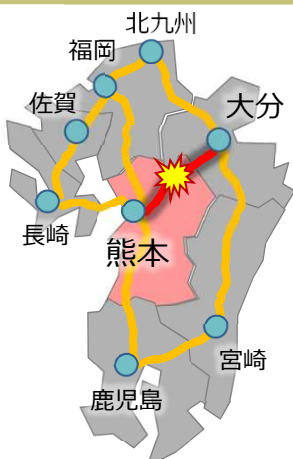
◆ SINETに直結したセキュアな商用クラウドサービス（29社提供）を、167の加入機関に提供し、226の利用（各機関が複数のクラウドを利用するケースあり）を推進



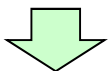
災害に対する安定性

- 熊本地震(2016年4月), 北海道豪雨(2016年8月), 西日本豪雨(2018年7月), 北海道胆振東部地震(2018年9月)では、光ファイバ断に対して瞬時に経路を切り替え、安定した運用を継続

熊本地震 (2016年4月)

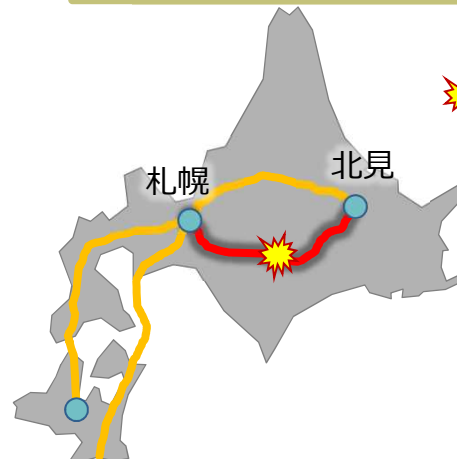


熊本県阿蘇郡南阿蘇村
で光ファイバ断

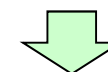


熊本－大分間経由を
福岡－北九州経由へ
自動切り替え

北海道豪雨 (2016年8月)



北海道日高町－十勝清水間
で広範囲に光ファイバ断



南ルート経由を
北ルート経由へ
自動切り替え

西日本豪雨 (2018年7月)

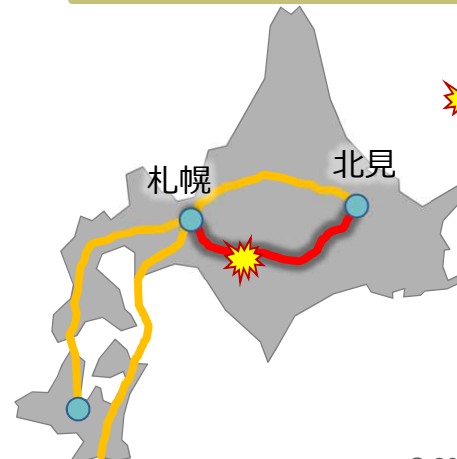


広島県呉市周辺
で光ファイバ断

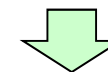


広島－岡山経由を
四国経由や日本海側
経由へ切り替え

北海道胆振東部地震 (2018年9月)



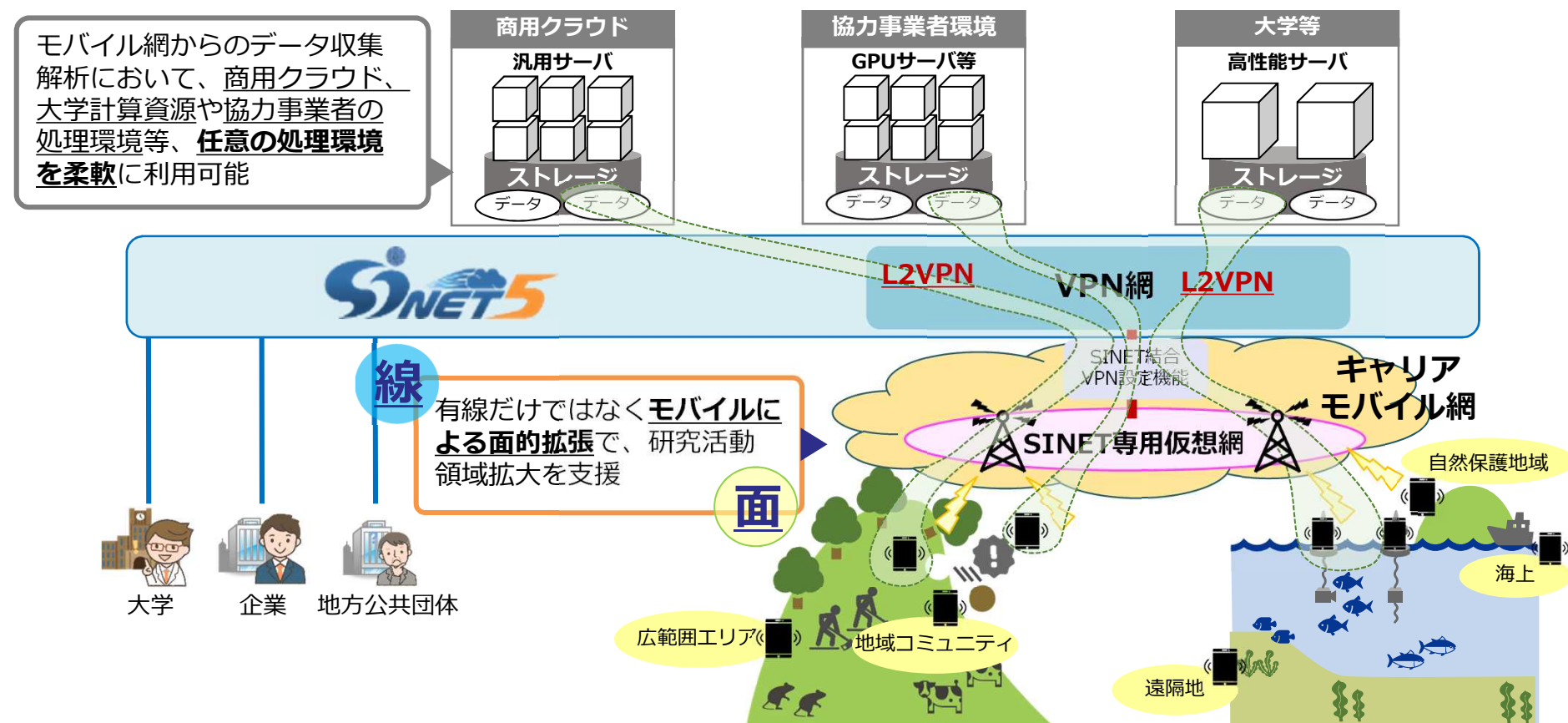
北海道厚真町
で光ファイバ断



南ルート経由を
北ルート経由へ
自動切り替え

SINETのモバイル機能 – モバイルSINET

- これまでSINETでカバーできていなかった遠隔地、広範囲エリア、移動体などに対して、セキュアなモバイル通信環境を提供
 - センサー等から発生するデータを閉域ネットワークにより大学等のサーバまで転送可能
 - 商用モバイル網の中にSINET専用の仮想網を形成し、SINET VPN網と接続して実現



モバイルSINETのメリット

- 2018年12月から実証実験を開始し、幅広い分野の研究に、従来の研究環境では得られなかったメリットを提供

利用研究者からの成果報告書・利用アンケートより得られた実際の活用メリット抜粋



農林水産研究

有線が届かない研究現場
からの安心安全のデータ収集環境を提供

- 酒造/製茶工程改善のための機密性の高いデータの集積
- 農場/生産場からの安全確実なデータ転送
- 発情時期を逃さない乳牛飼育データのリアルタイムモニタリング など



自然環境研究

立ち入りが制限される自然環境
からの安心安全のデータ収集環境を提供

- 安全で高速な通信環境が可能にした生態調査基盤確立
- 大震災時の多地点からのリアルタイム地震データ転送
- 多数/高精度なマイクロ気象データ収集



医療/ライフサイエンス研究

プライバシー情報を扱う研究
にセキュアな通信環境を提供

- 脳波/生体データ等のプライバシー情報のセキュリティ確保
- 災害現場での迅速なトリアージ判断を支援する医療データ転送
- 24/365の緊急時病院データ閲覧



社会活動支援研究

移動体や屋外活動を対象とする研究
に安心安全の通信環境を提供

- 屋外ロボットの安全な誘導
- 屋外競技場でのアスリートデータ解析
- 高齢者交通環境のリアルタイムモニタ
- 屋外でシームレスなIoTデータ収集
- セキュアな教育情報管理



情報系研究

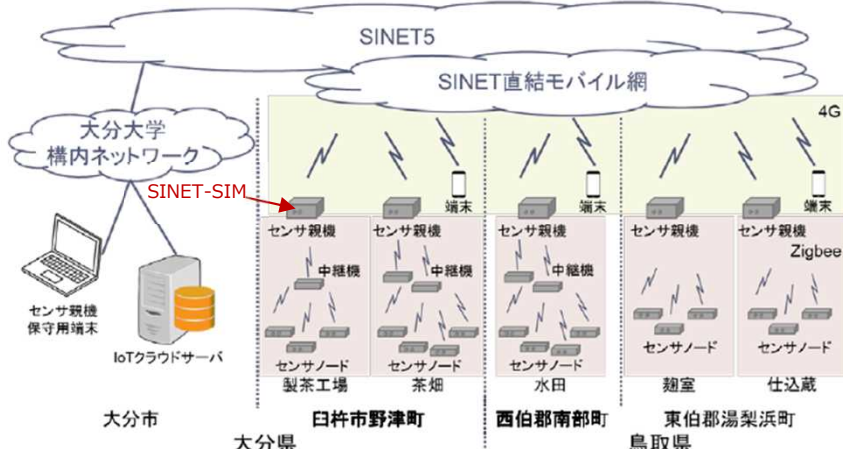
モバイル通信を用いた情報系研究
に安心安全の研究環境を提供

- 低遅延なエッジコンピューティング環境
- インターネット経由による悪影響排除
- 現実に近いモバイル環境を容易に利用可能
- 論理的閉域環境で情報保全の確立
- ソフトウェア実行安全性確保

モバイルSINET利用例

酒造における生産最適化 (大分大学)

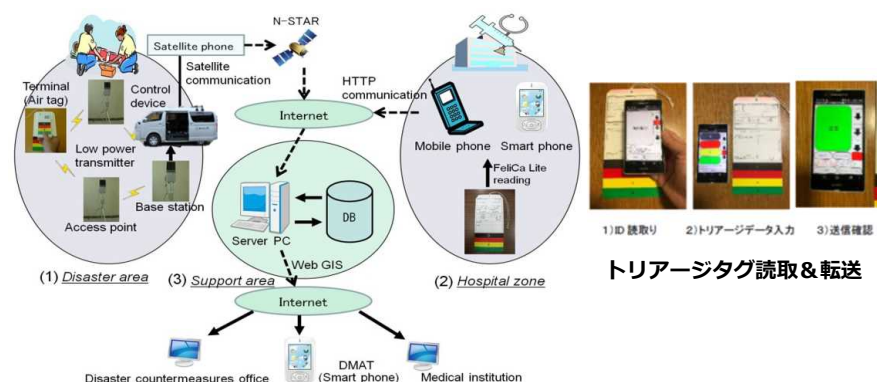
- 酒造：各現場（水田、麴室、仕込み蔵、甑場）にセンサを設置し、モバイルSINETにより大分大学にデータを転送し、生産環境の最適条件を解析
- 製茶：茶畑からのデータ収集・解析により、新芽霜被害を最大限に防止



産学連携

トリアージ情報伝達システム (新潟大学)

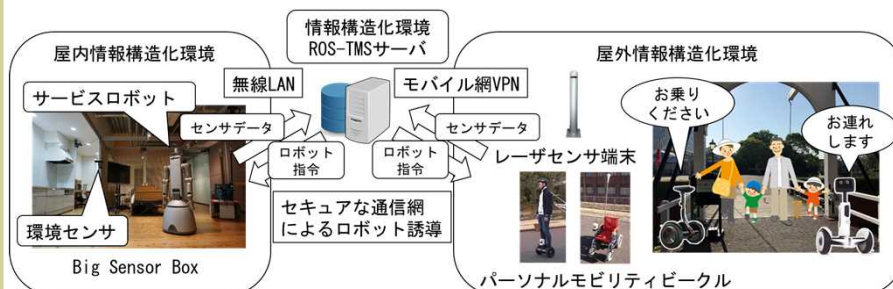
- モバイルSINETを活用した迅速なトリアージ情報の集約・共有システムを確立
- 画像をモバイルSINETを経由して新潟大学内サーバに集約、災害現場情報を地図上で閲覧可能なシステムを開発



トリアージタグ読取と転送

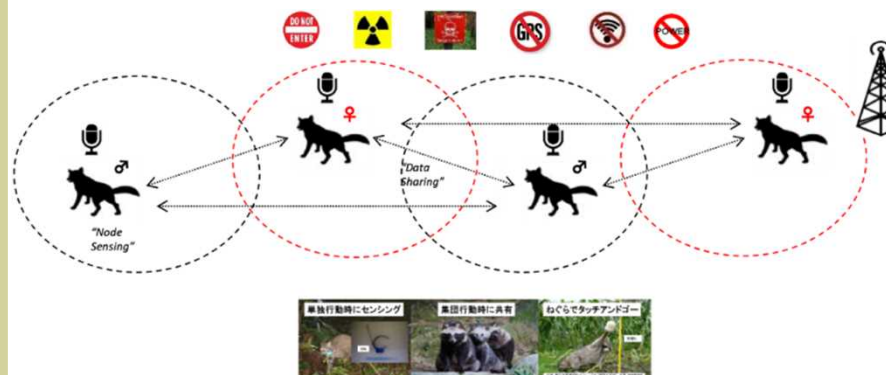
屋外サービスロボット制御 (九州大学)

- サービスロボットを誘導制御するために、ロボット/センサ/制御サーバ間のネットワークをセキュアなモバイルSINETを活用して実証
- 屋内センサ端末とパーソナルモビリティビークルをモバイルSINETでつなぎ、屋内外をシームレスに移動可能な自動走行パーソナルモビリティビークルを開発



森林環境音・景観センシング (東京大学)

- 森林などの自然環境に、広帯域環境音・景観画像センサを設置し、モバイルSINETを活用して東京大学にデータを転送し、解析・アーカイブ

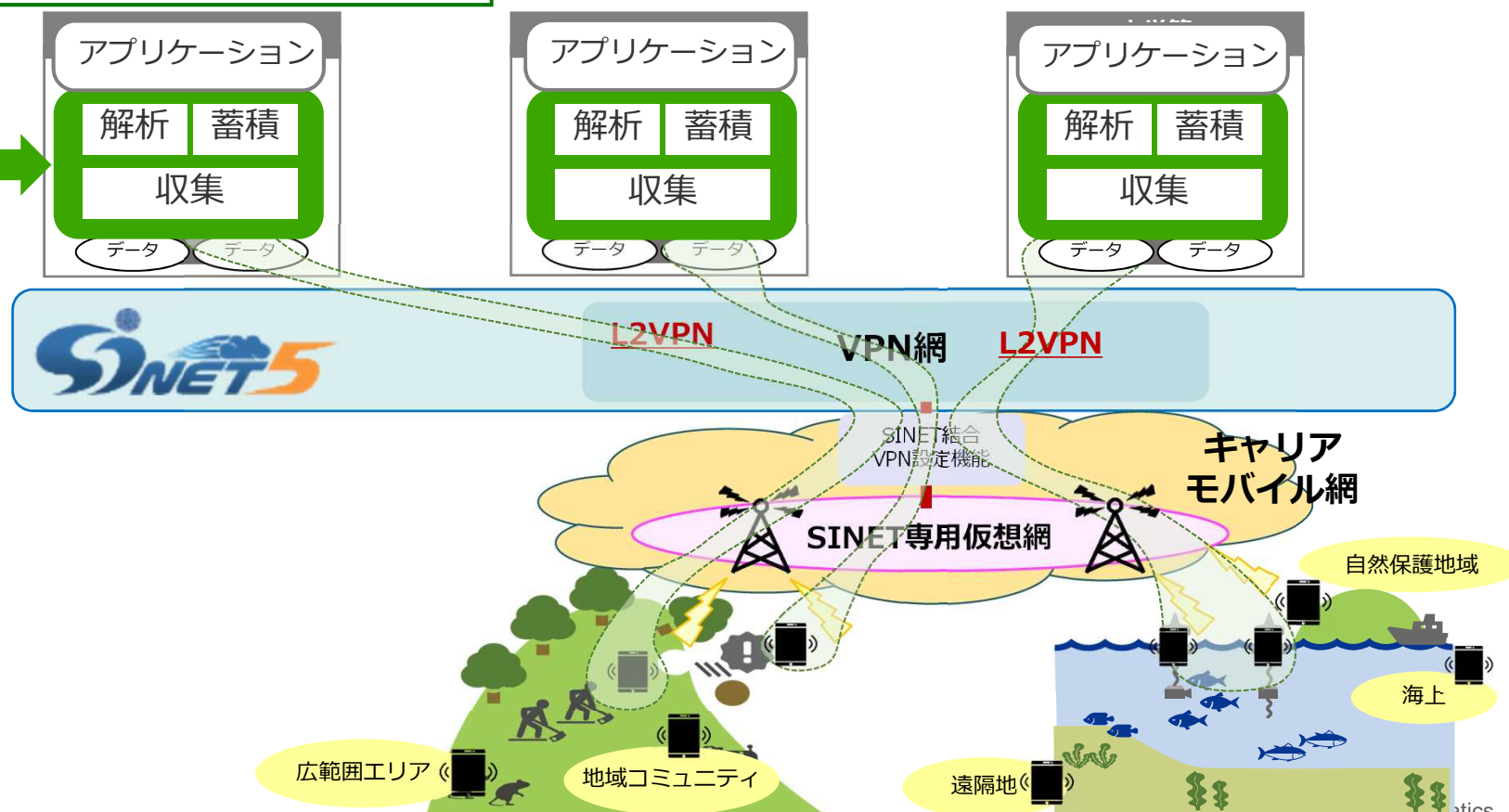


モバイルSINET活用例 ～SINETストリーム～

- モバイルSINETを有効活用するため、データ収集・蓄積・解析に必要な基本ソフトウェアとして、アプリケーション開発支援パッケージ「SINETストリーム」を提供
- モバイルSINETとSINETストリームが連携して、データ解析アプリ開発者を支援

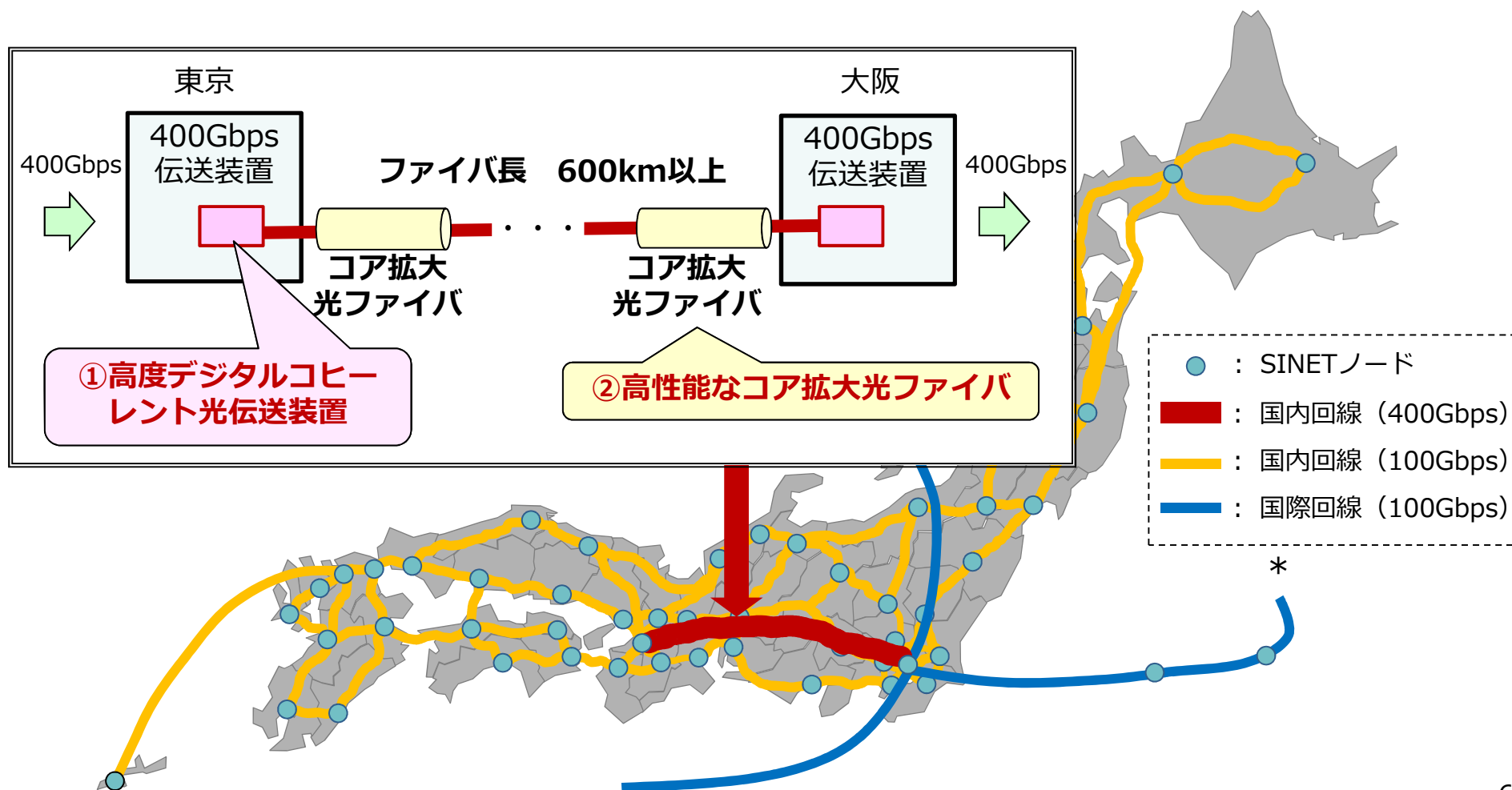
SINETストリーム

- ✓ センサ等からの観測データを取りこぼしなく収集
- ✓ 収集されたデータをリアルタイムに解析
- ✓ 収集・解析データの蓄積



400Gbps回線の増設（2019年12月）

- ◆ 2019年12月9日、世界最高水準の400Gbps回線を、東京-大阪間で運用開始
- ◆ 大学等が集中する関東エリアと関西エリア間でのデータ通信需要増等による回線容量逼迫を解消（パケットロスとは0に）

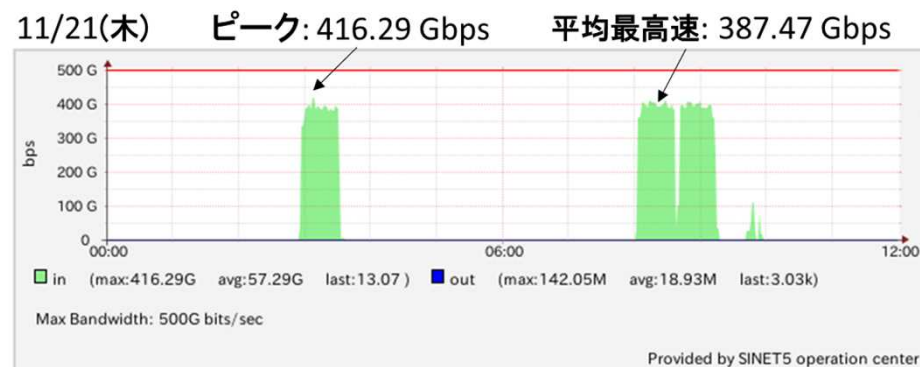
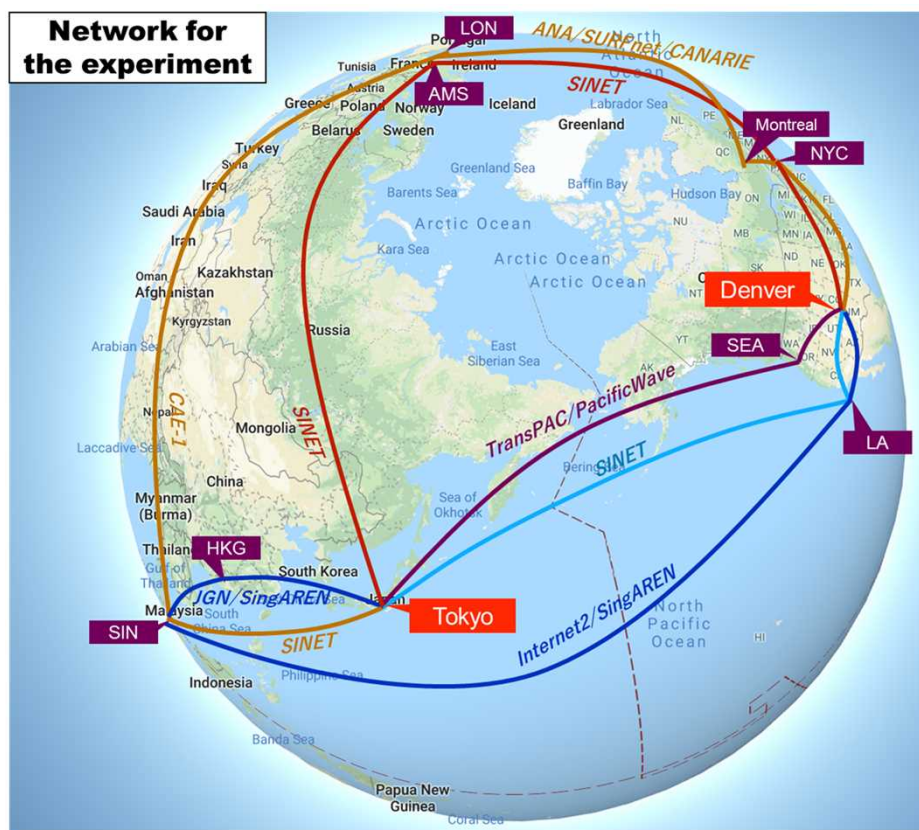


400Gbps超の国際データ転送実験（2019年1月）

- 国際会議SC19*¹にて、100Gbps国際回線5本を用いて、東京・デンバーに配備した1組のサーバ間でデータ転送。NII開発のファイル転送プロトコルMMCFTP*²を使用
- ピーク転送速度 **416.3Gbps** を記録

*1) 11/18-21 米国デンバー

*2) Massively Multi-Connection File Transfer Protocol



実験中のトラフィック状況(5回線合計)

実験概要

- 96TBデータを東京からデンバーに7回転送（メモリ間転送）
- 転送時間30分強
- サーバ機種: DELL PowerEdge R7425
- 実験協力: 情報通信研究機構

ネットワーク協力: AARNet, canarie, GÉANT, Internet2, JGN, NORDUnet, PACIFIC WAVE, SCinet, SingAREN, SURFnet, TEIN*CC, TransPAC

機材協力: Cisco Systems, Inc./シスコシステムズ合同会社, Juniper Networks, Inc./ジュニパーネットワークス株式会社, デル株式会社, 日本コムシス株式会社