

LHCアトラス実験における国際広帯域 ネットワークの活用と展望

岸本巴, 田中純一, 真下哲郎, 兼田充, 松井長隆, 中村智昭^A

東京大学素粒子物理国際研究センター, 高エネルギー加速器研究機構計算科学センター^A

Oct. 12 2018



ICEPP
The University of Tokyo

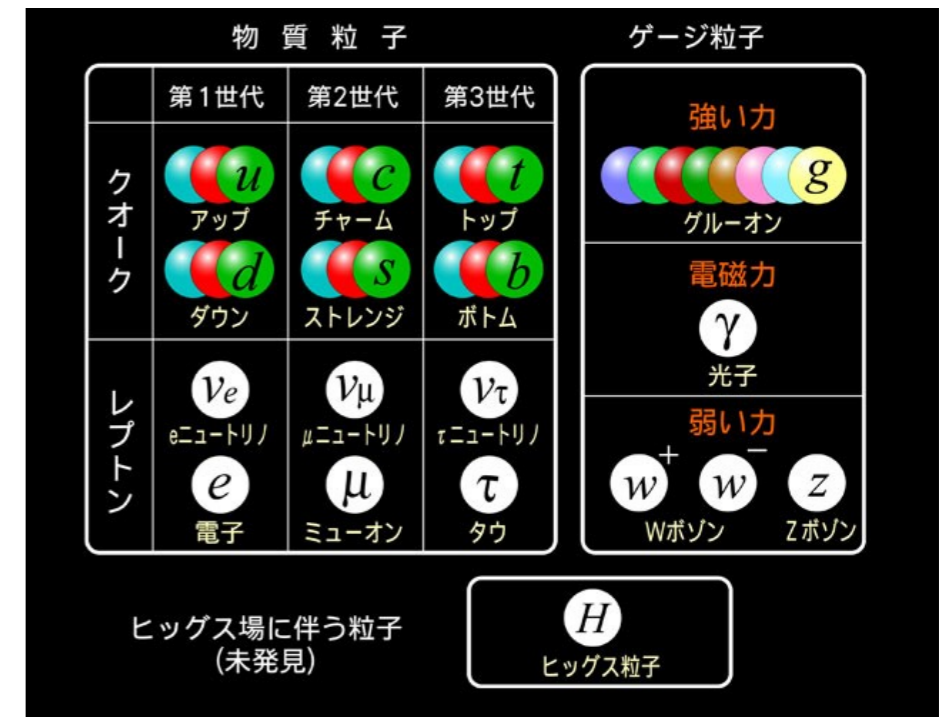


素粒子物理学における標準模型

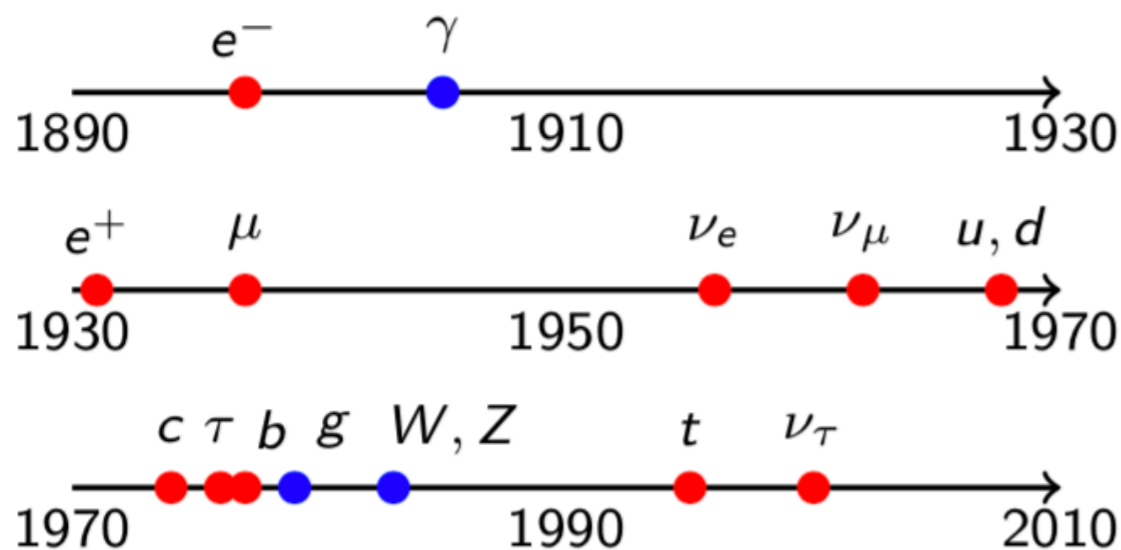
✓ 世界を構成する基本物質は何か? それらの相互作用は?

✓ 素粒子標準模型 (Standard model)

- Fermions: 物質を構成する粒子
- Gauge bosons: 力を媒介する粒子
- Higgs boson: 質量を与える粒子



✓ 素粒子発見のあゆみ:



21世紀初頭、Higgs bosonは素粒子標準模型で唯一未発見の粒子

LHC加速器とアトラス実験

✓ Large Hadron Collider (LHC)

- 世界最高エネルギーの陽子・陽子衝突型の円型加速器
- 2010年から本格稼働

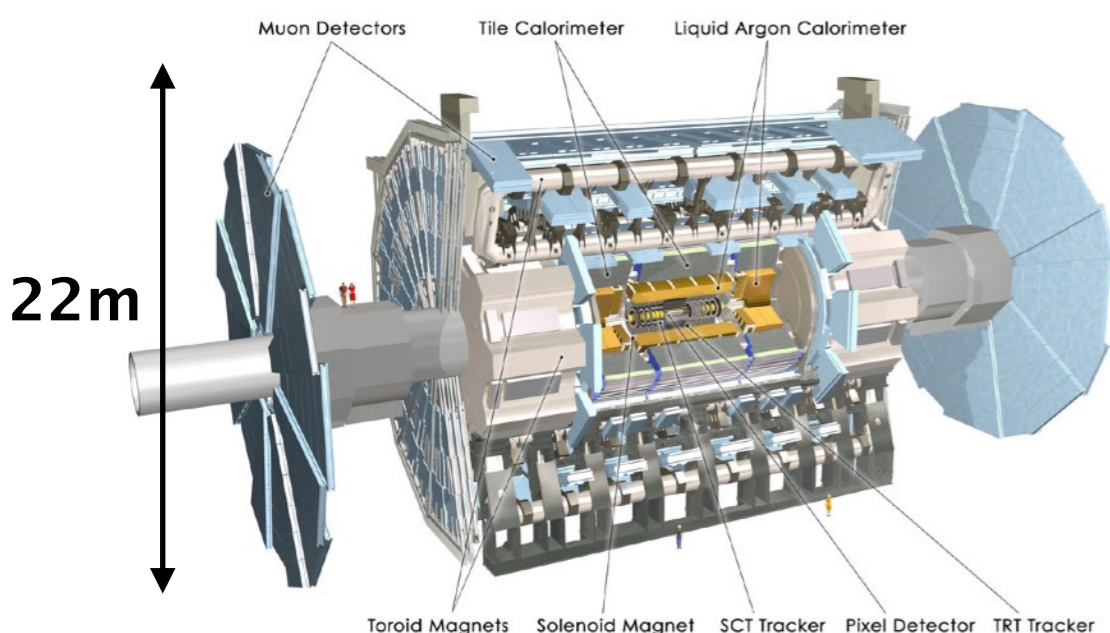
✓ アトラス実験

- 標準模型の検証、Higgs bosonの探索、新物理の探索などを目的とした**汎用実験**
- 世界38ヶ国から約3000人が参加

日本も17の研究機関から
約150人が参加

スイス・ジュネーブの郊外 (CERN)

周長 ~27km, 重心系最大衝突エネルギー14TeV



Higgs bosonの発見

- ✓ 2012年、ついにLHCにおいてHiggs bosonの発見を報告
- ✓ The Nobel Prize in Physics 2013



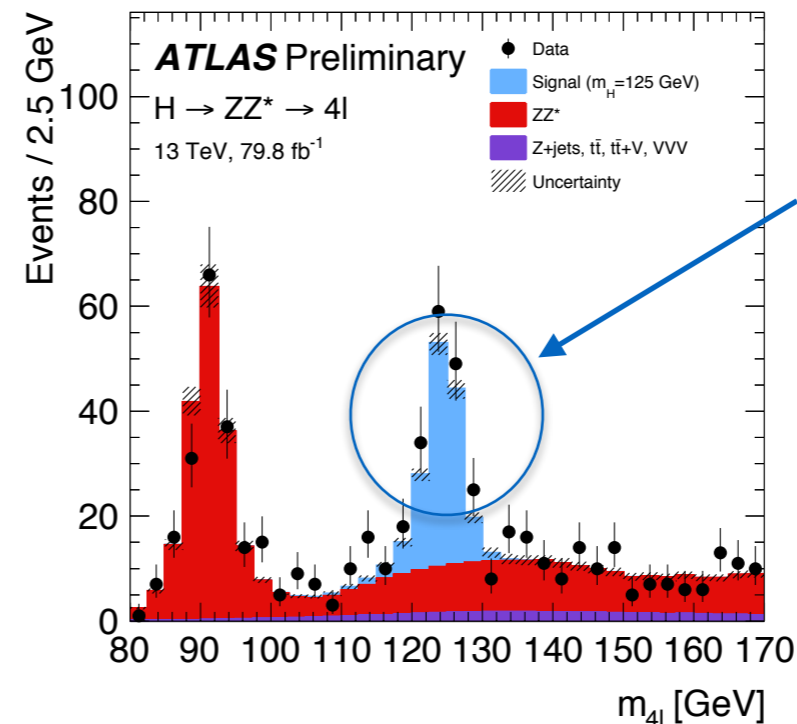
Photo: A. Mahmoud
François Englert
Prize share: 1/2



Photo: A. Mahmoud
Peter W. Higgs
Prize share: 1/2

The Nobel Prize in Physics 2013 was awarded jointly to François Englert and Peter W. Higgs "for the theoretical discovery of a mechanism that contributes to our understanding of the origin of mass of subatomic particles, and which recently was confirmed through the discovery of the predicted fundamental particle, by the ATLAS and CMS experiments at CERN's Large Hadron Collider"

最新の結果 (2018)

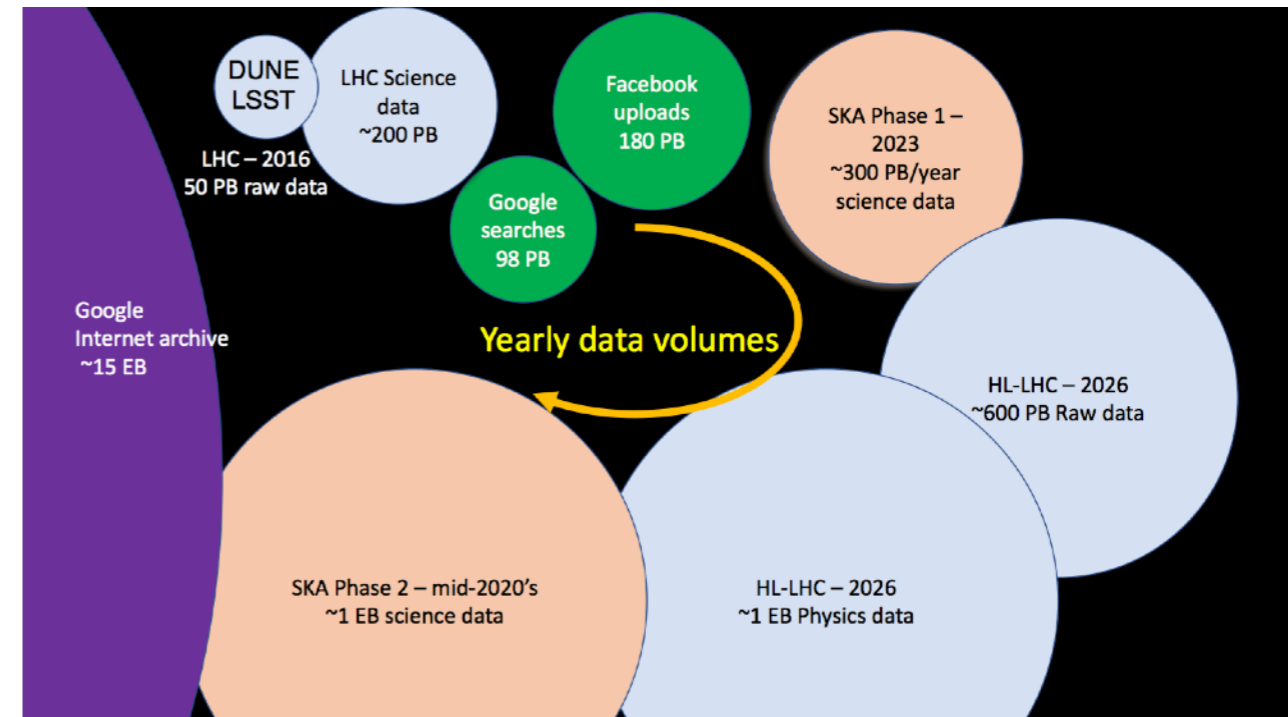


Higgs bosonによる信号
80fb⁻¹ ≒ 8,000兆回の衝突データを使用

- ✓ 標準模型は完成、アトラス実験も終わり?!
- 標準模型では説明できない物理(暗黒物質など)があります
- Higgs bosonの精密測定、新物理の探索など、課題はたくさん

加速器実験における計算機

Elizabeth Sexton-Kennedy, ICHEP 2018



- ✓ LHCで生成されるデータ量:
 - ~200PB/year (二次データも含む)
 - 世界各国で資源を分担する仕組み
→ **Grid computing**の発展

- ✓ 計算機及びネットワークは、加速器、検出器と並んで実験を成功させるための重要な要素となっている
 - 物理解析の即時性

Higgs boson発見時のCERN所長のコメント

Global Effort → Global Success

Results today only possible due to extraordinary performance of accelerators – experiments – **Grid computing**

Observation of a new particle consistent with a Higgs Boson (but which one...?)

Historic Milestone but only the beginning

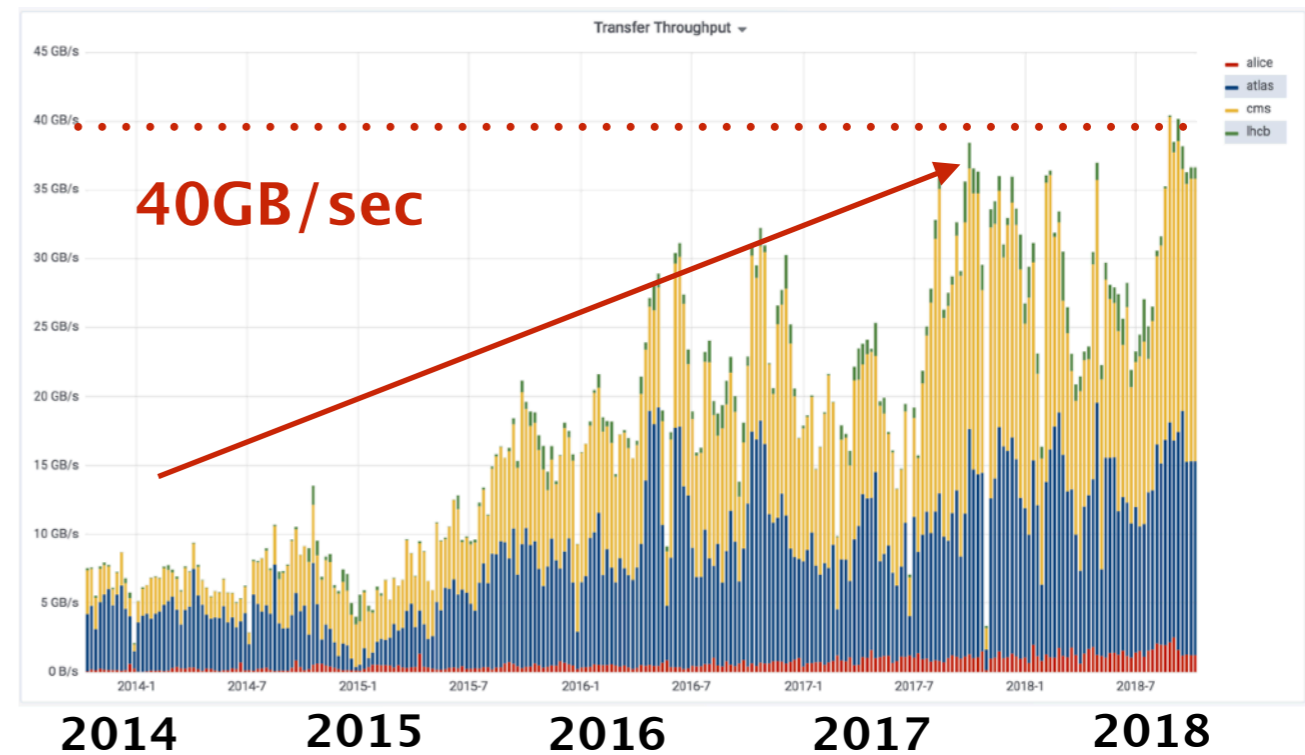
Global Implications for the future



WLCGとは?



7日間平均のWLCG転送スループット



✓ Worldwide LHC Computing Grid (WLCG)

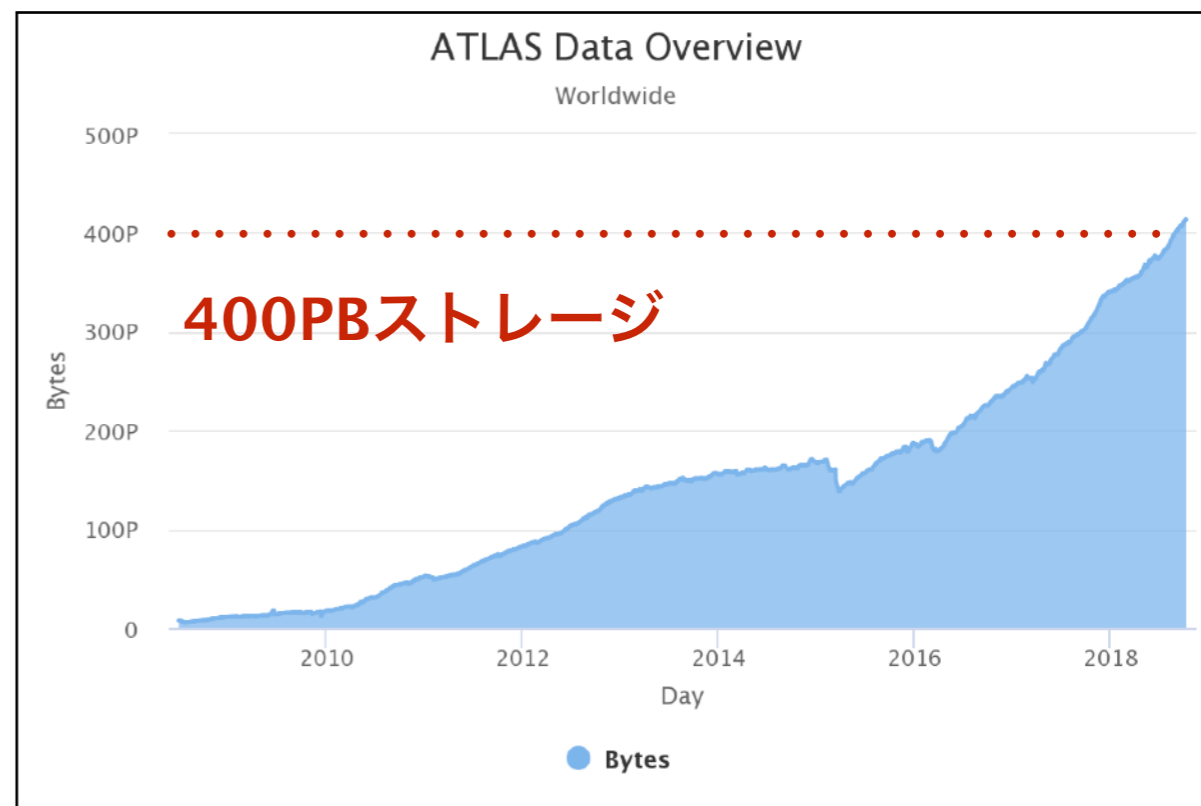
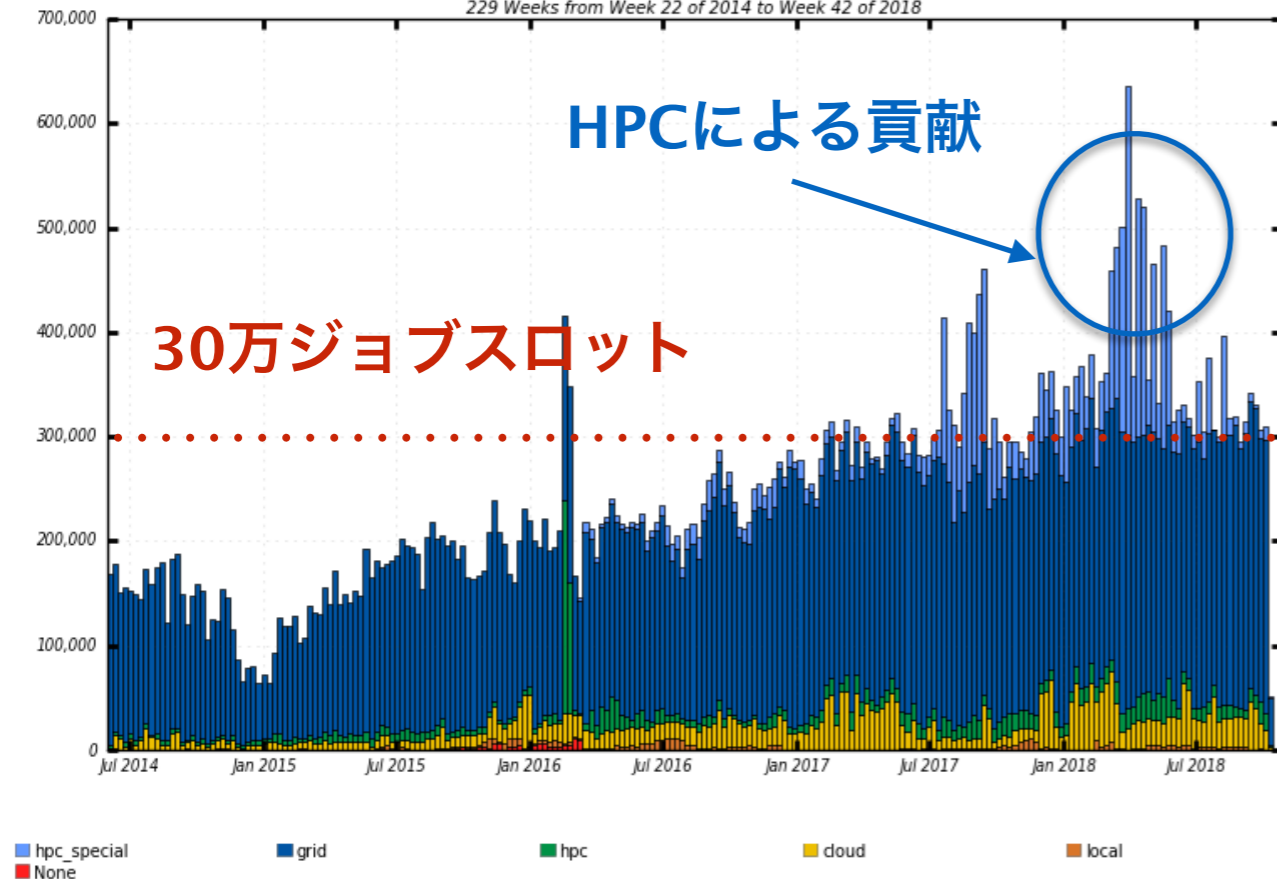
- 世界各国で計算機資源・データを分散配置、Grid middlewareを展開
- Tier0 (CERN), Tier1 (BNL..計13サイト), Tier2 (**ICEPP**..)
- 広帯域学術ネットワークで接続 (10 Gbps ~ 100 Gbps?)

WLCGにおけるアトラス実験の計算機資源



Slots of Running Jobs

229 Weeks from Week 22 of 2014 to Week 42 of 2018



- ✓ 計算機資源は常に不足気味、需要も増加傾向
 - High Performance Computer (HPC)などの従来のGridサイトでない資源も積極利用
 - ストレージに対してはデータサイズの削減などの地道な努力

東京大学地域解析センター

- ✓ 東大素粒子センターに、日本におけるATLAS実験のデータ解析の拠点として、**地域解析センター**を設置 (2007~)
 - **WLCG**として使用する資源と、それ以外(**非WLCG**)の資源を分けて運用
 - ▶ WLCGではATLAS実験のみをサポート ← **東京Tier2**
 - ▶ 非WLCGはATLAS日本グループ専用 (ローカル資源)

4th system (2016-2018)

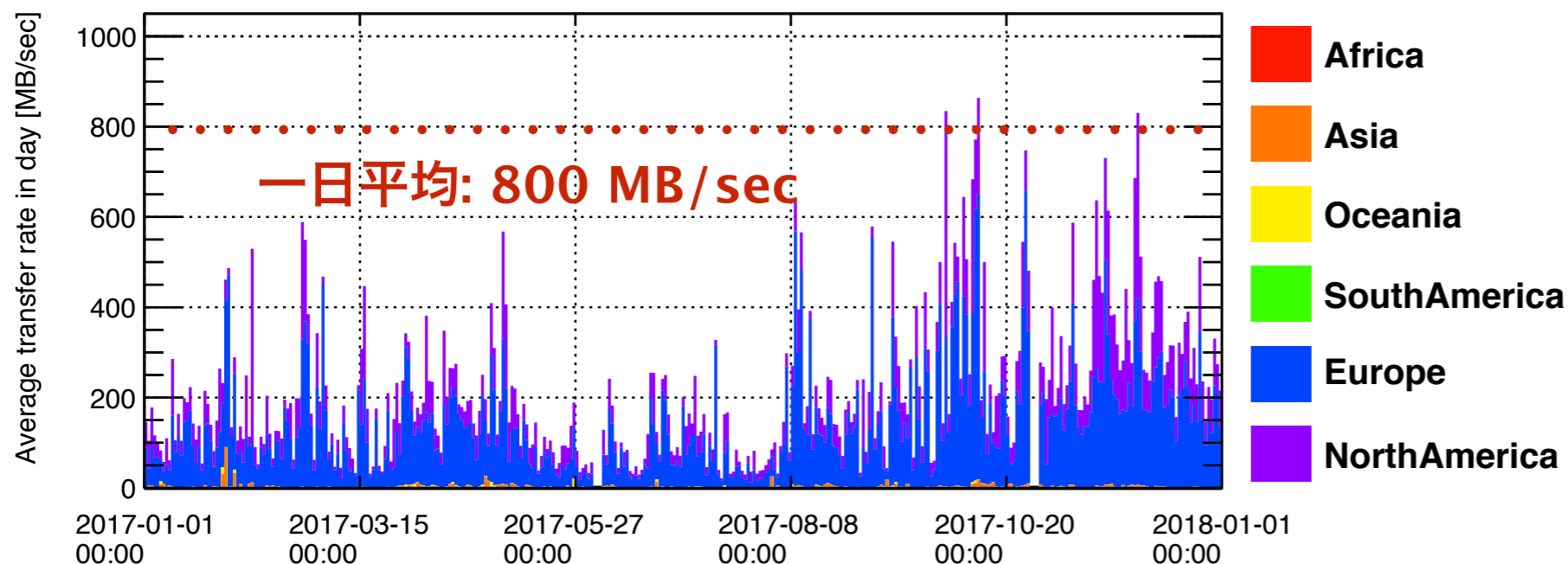
- ✓ 第4期システムが稼働中
 - 3年毎のシステム総入れ替え
 - ~10k CPU cores、~10PB disk
 - 20 GbpsでSINET5に接続

10年以上の安定した運転実績



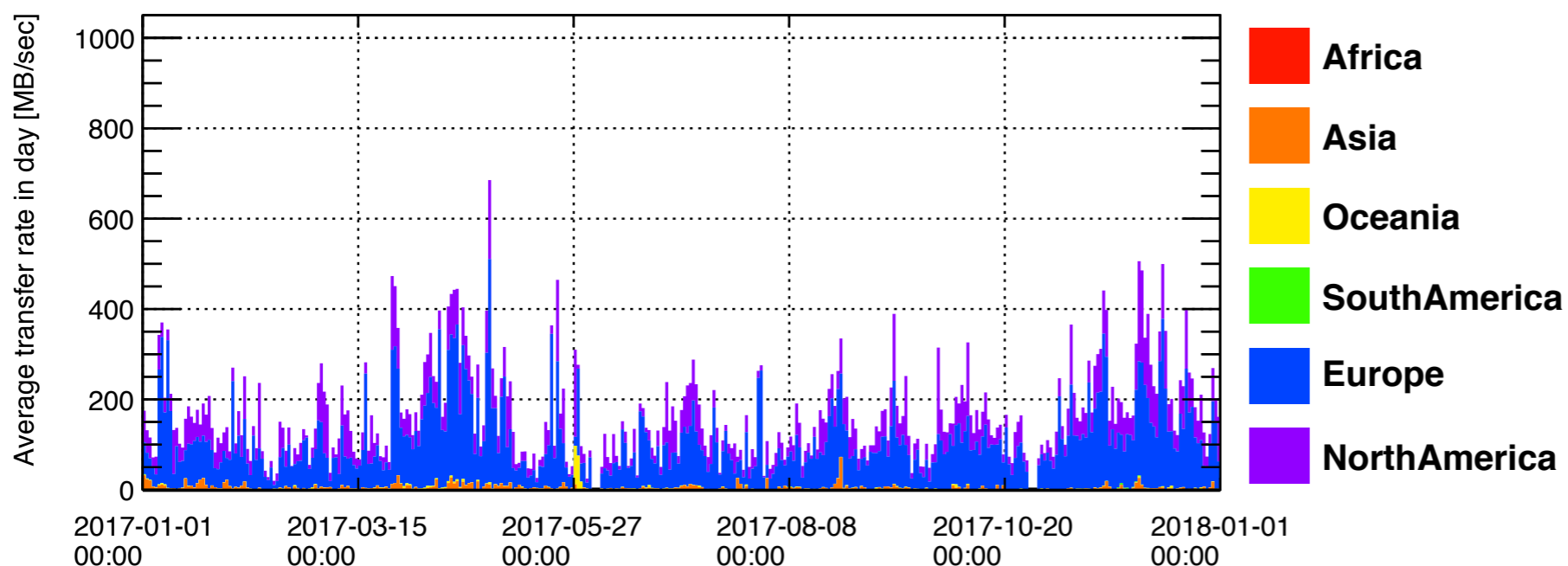
東京Tier2のデータ転送実績

Incoming



- 2017年の総転送量:
 - ▶ ~6.3 PB (In), ~4.9 PB (Out)
- 1日平均で最大 ~800MB/sec
- ヨーロッパのサイト (主にCERN)との通信が多い
- ICEPPへの流入、送出が同程度

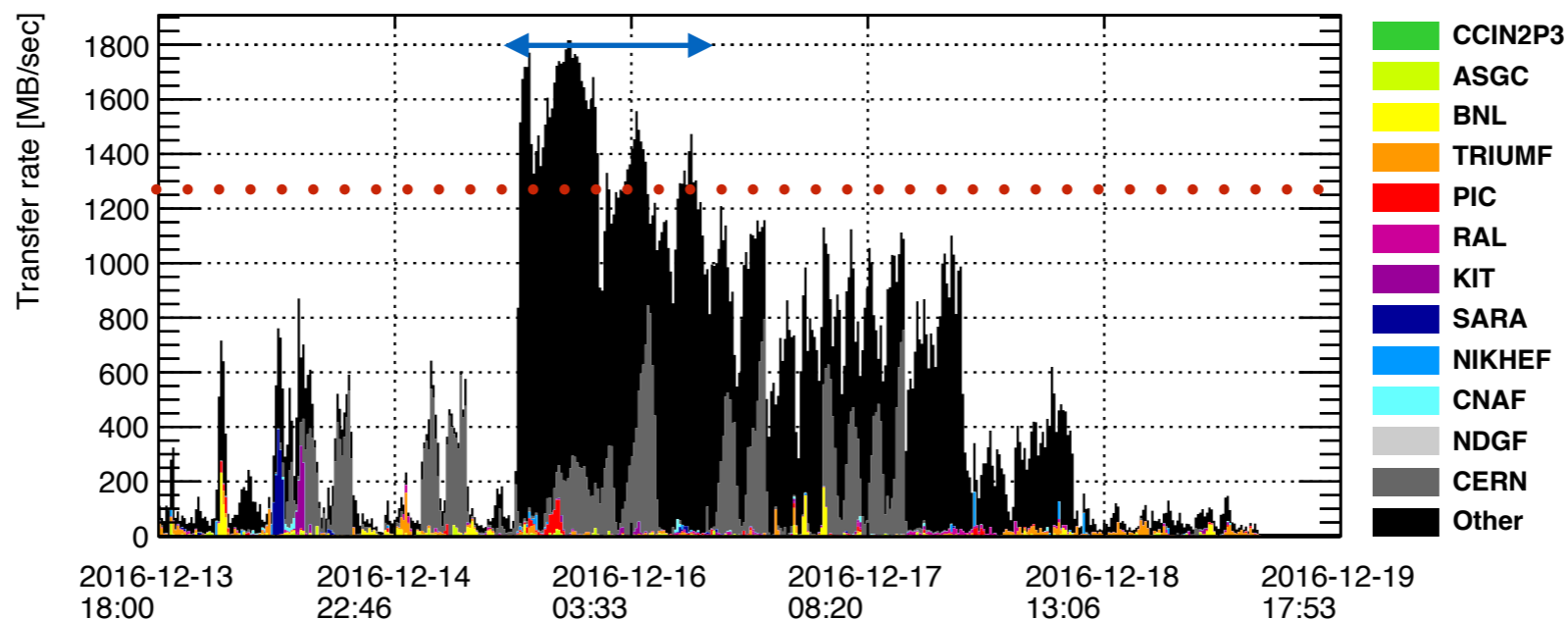
Outgoing



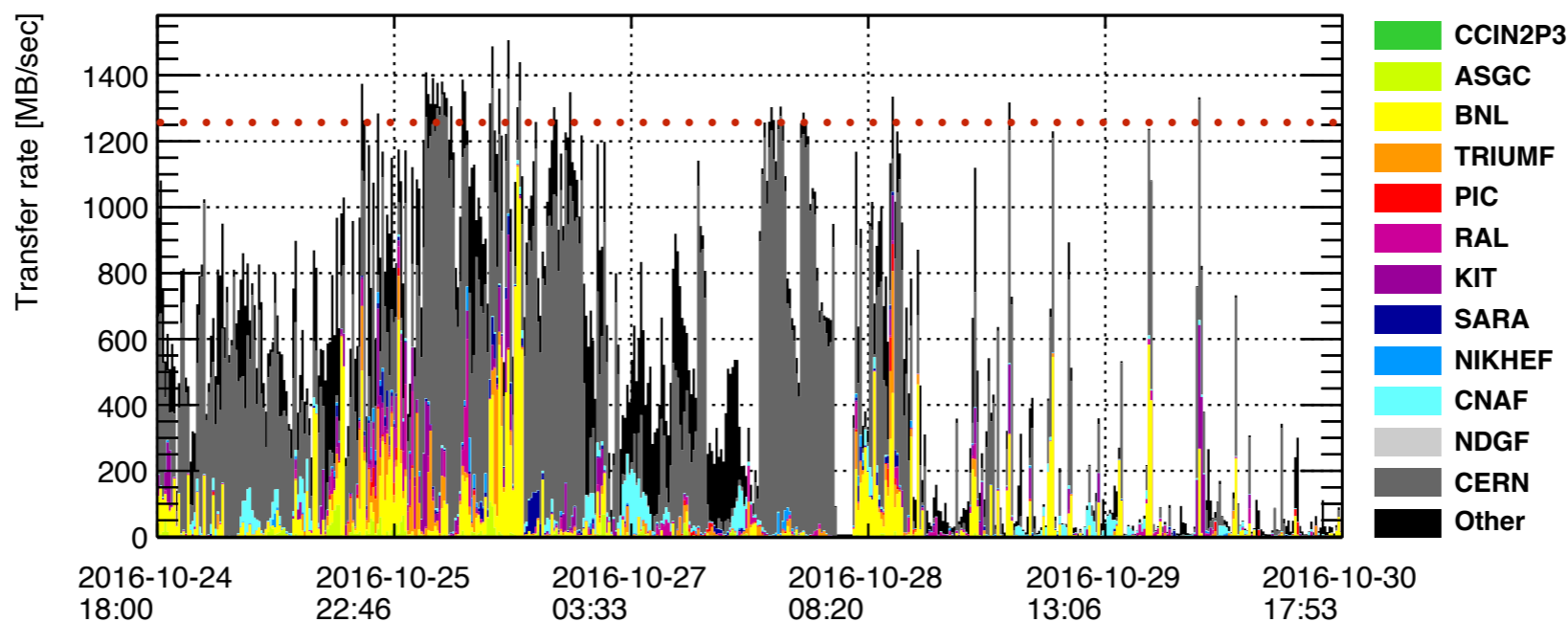
東京Tier2のデータ転送実績

約1日間

Outgoing



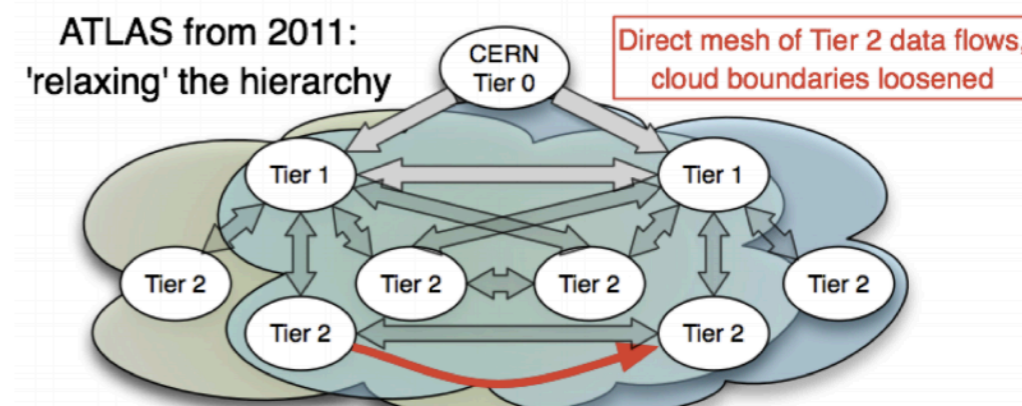
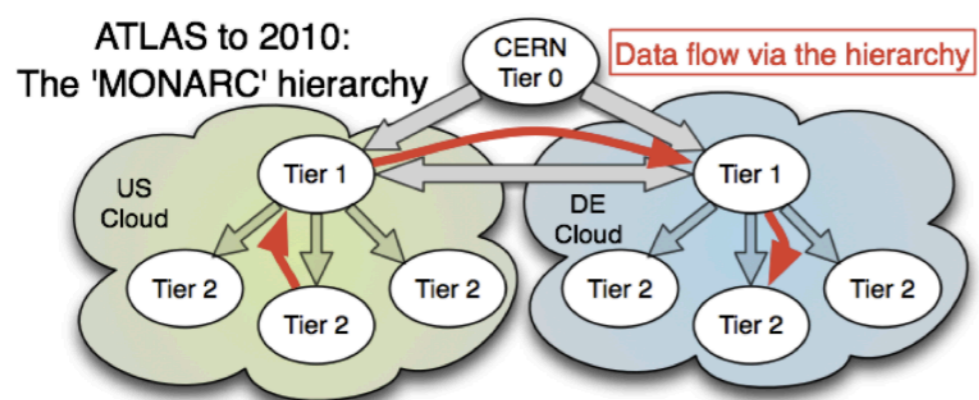
InComing



- > 10Gbpsの転送が一日程続くことも観測されている

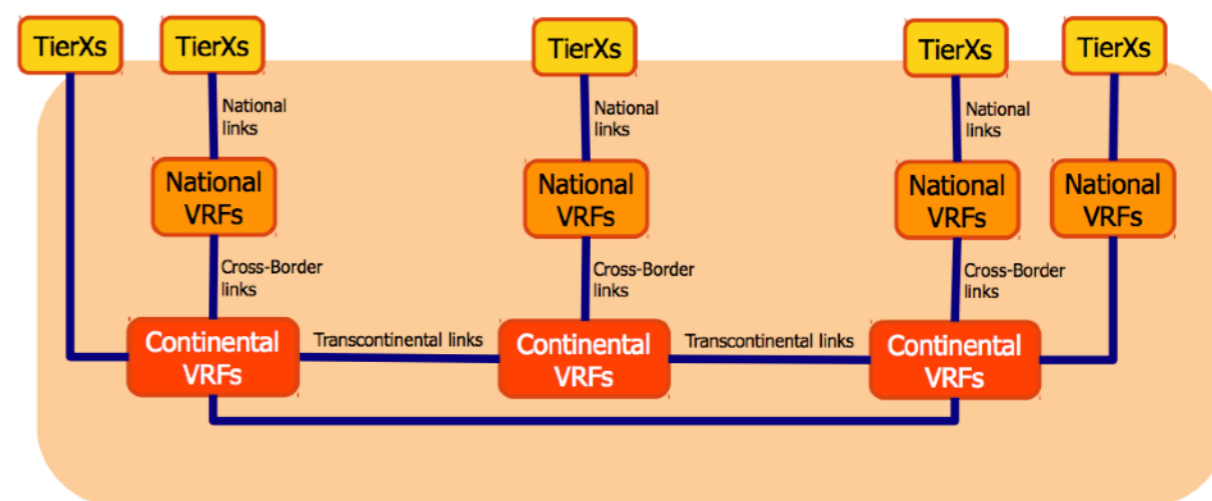
LHC Open Network Environment (LHCONE)

- ✓ ネットワークバンド幅の増強による分散コンピューティングモデルの変化



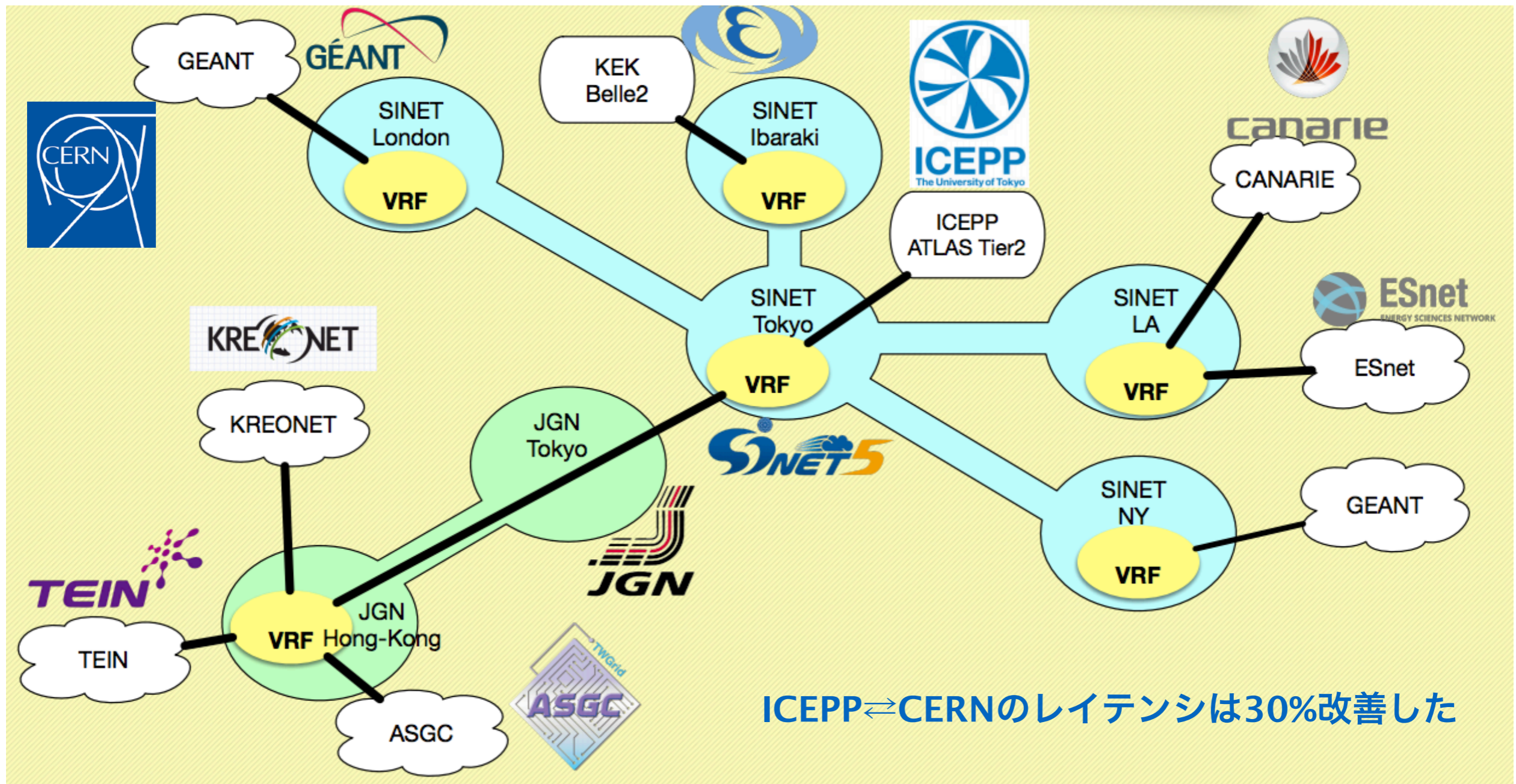
- ✓ LHCONE (<http://lhcone.web.cern.ch/>)

- Tier2同士のデータ転送を行い、効率的なデータ分散と、データアクセスを実現
- **L3 VPNによる閉鎖経路**
- 東京Tier2も2016年から本格的にLHCONEに接続



東京Tier2におけるLHCONE

鈴木総 (KEK), HEPiX 2017 autumnのスライドより



- 東京大学情報基盤センター, SINET, JGNの協力のもとに実現

HEPiX

WLCG deployment plan: timeline

- By April 1st 2017
 - - Sites **can provide IPv6-only CPUs** if necessary
 - - Tier-1's **must provide dual-stack storage** access with sufficient performance and reliability
 - At least in a testbed setup
 - **Stratum-1 service at CERN** must be dual-stack
 - A dedicated **ETF infrastructure** to test IPv6 services must be available
 - ATLAS and CMS must deploy all **services** interacting with WNs in dual-stack
 - All the above, without disrupting normal WLCG operations

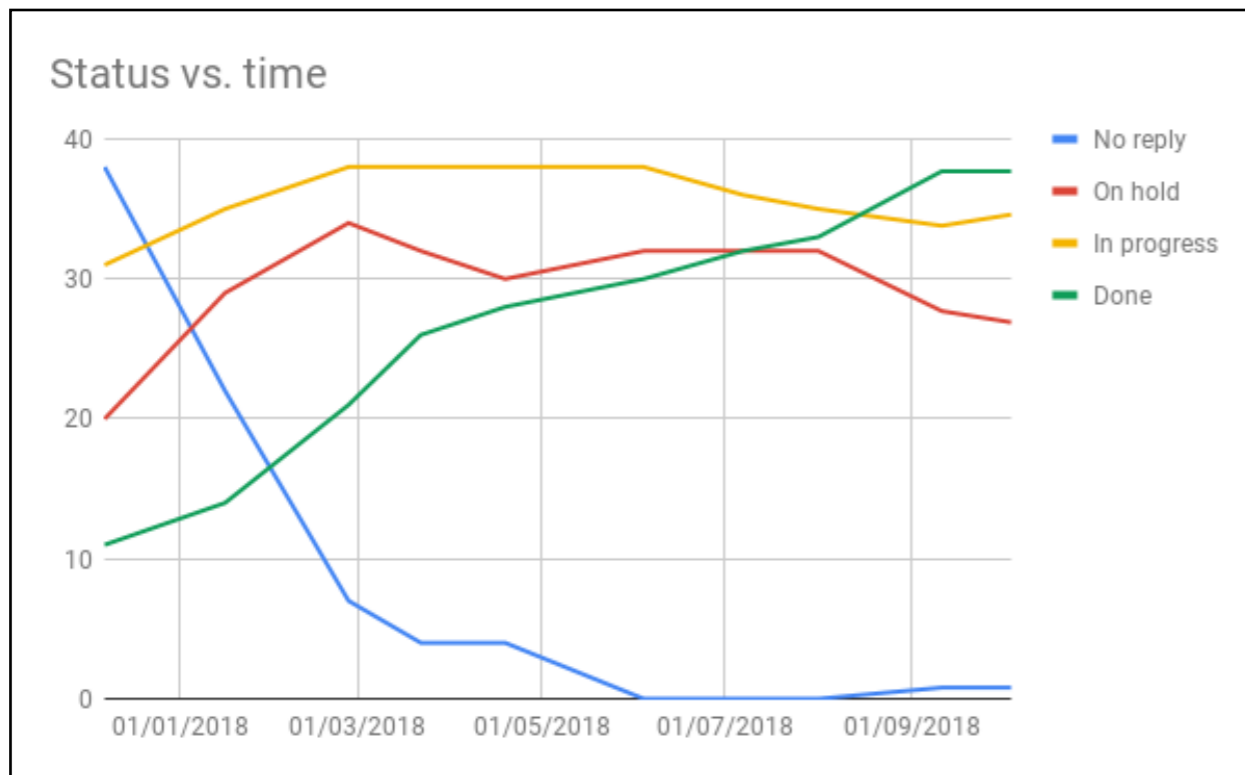
新しいサイトではIPv4が
取得しづらい実情

- By April 1st 2018
 - - Tier-1's must provide **dual-stack storage access in production** with increased performance and reliability
 - Tier-1's must upgrade their **Stratum-1 and FTS to dual-stack**
 - The **official ETF infrastructure** must be migrated to dual-stack
 - GOCDB, OIM, GGUS, BDII should be dual-stack

- By end of Run2
 - - A **large number of sites** will have **migrated their storage** to IPv6
 - The recommendation to keep IPv4 as a backup will be dropped

By end of Run2
= By end of 2018

WLCGのIPv4/IPv6 dual stackへの移行状況



WLCG Tier2 サイトの移行状況

← 38%のサイトが移行済み

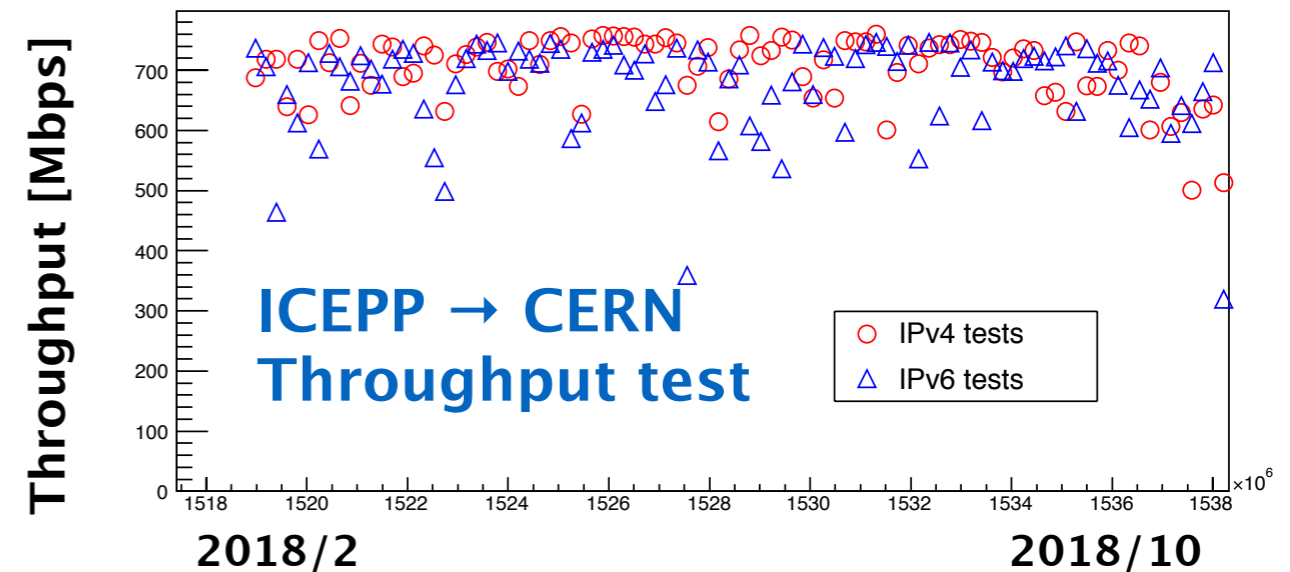
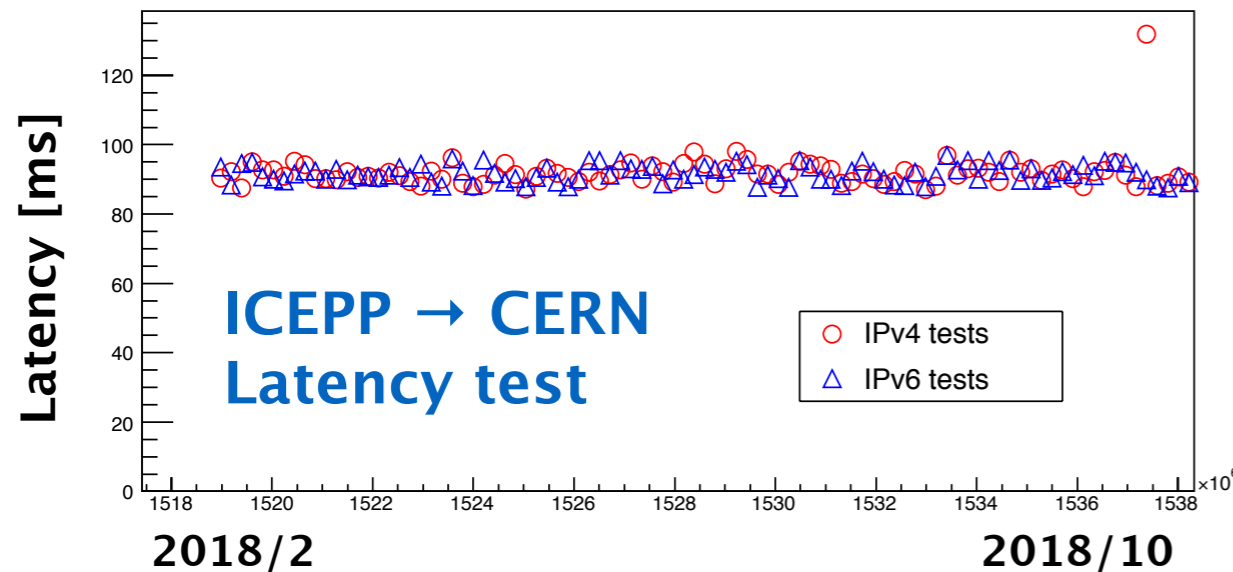
WLCG全体の約25%のデータ転送がIPv6で行われている

David Kelsey, HEPiX 2018 autumn

- 東京Tier2も2019年からは、ストレージシステムをIPv4/Ipv6 dual stackで運用することを目標にしている



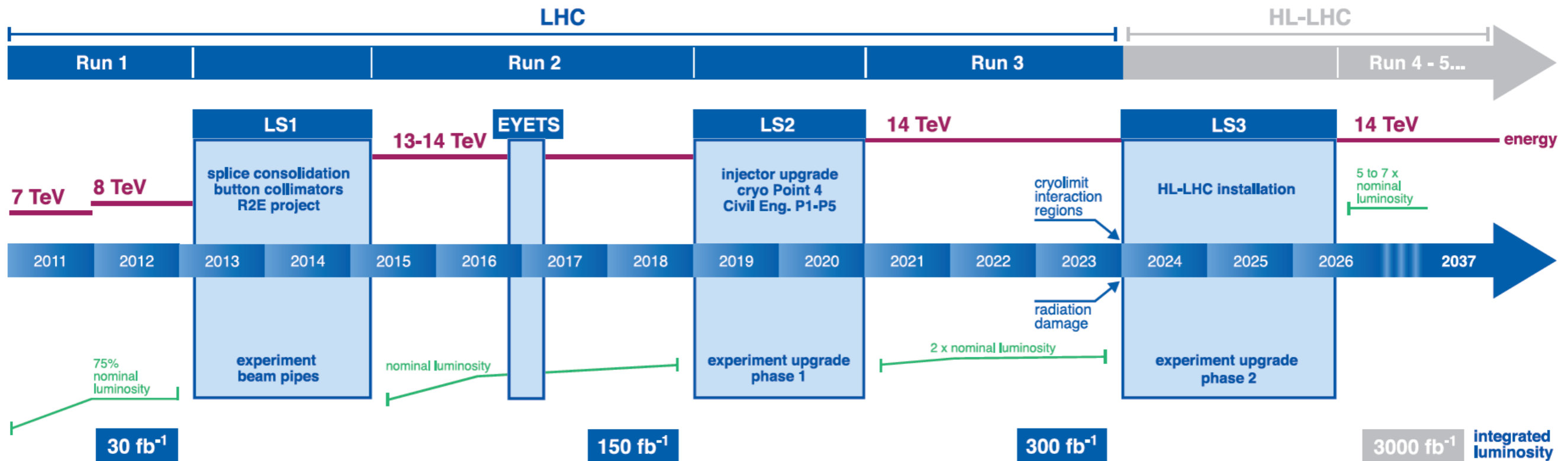
- ✓ 2018年1月: perfSONARをIPV4/IPV6 dual stack化
 - 主要なWLCGサイトとのIPv6による性能評価を開始



- ✓ 2018年8月: 欧州向けにIPv6でのLHCONE利用が可能
 - 北米向け、アジア向けもIPv6 LHCONEを利用したい
- ✓ 2019年1月: Dual stackでストレージのサービスを開始 (?)

LHCの今後のスケジュール

LHC / HL-LHC Plan



Higgs bosonの発見

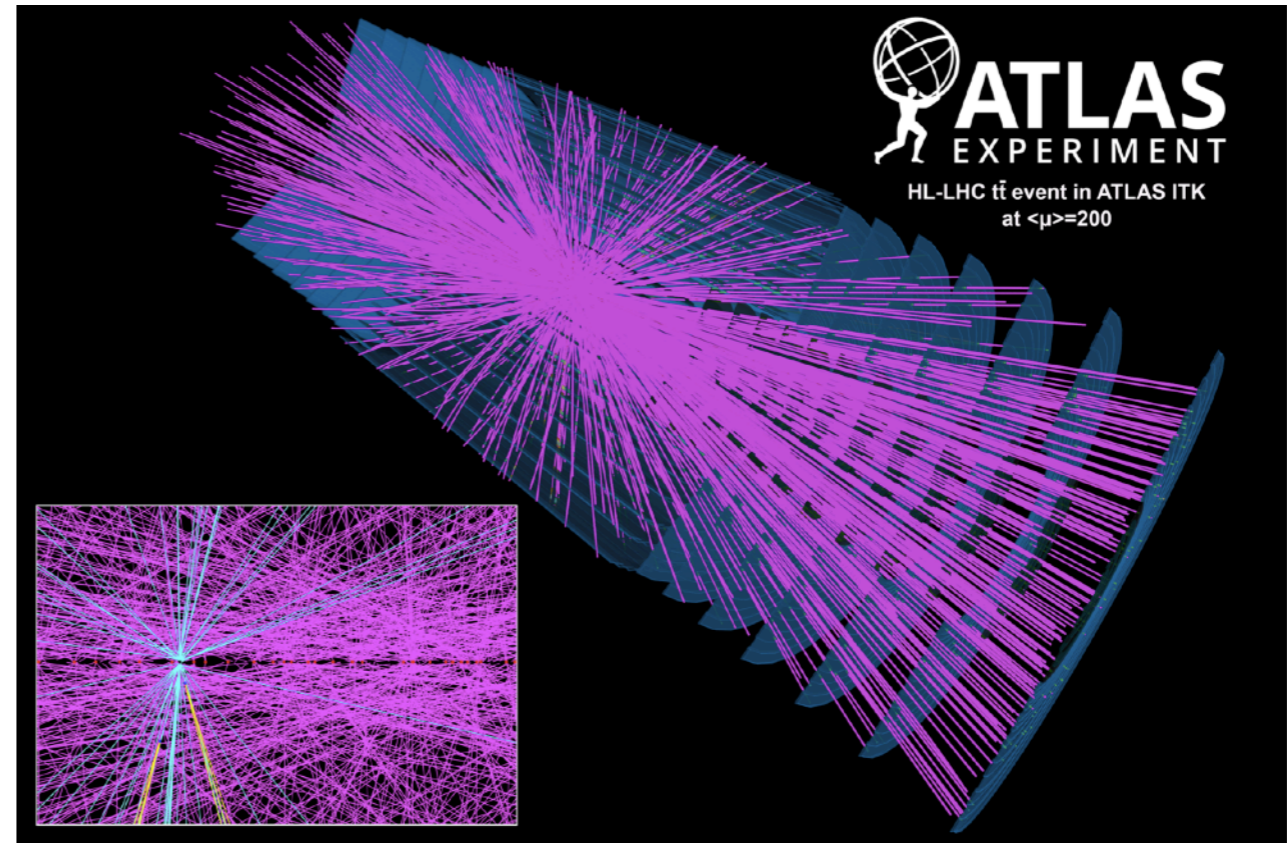
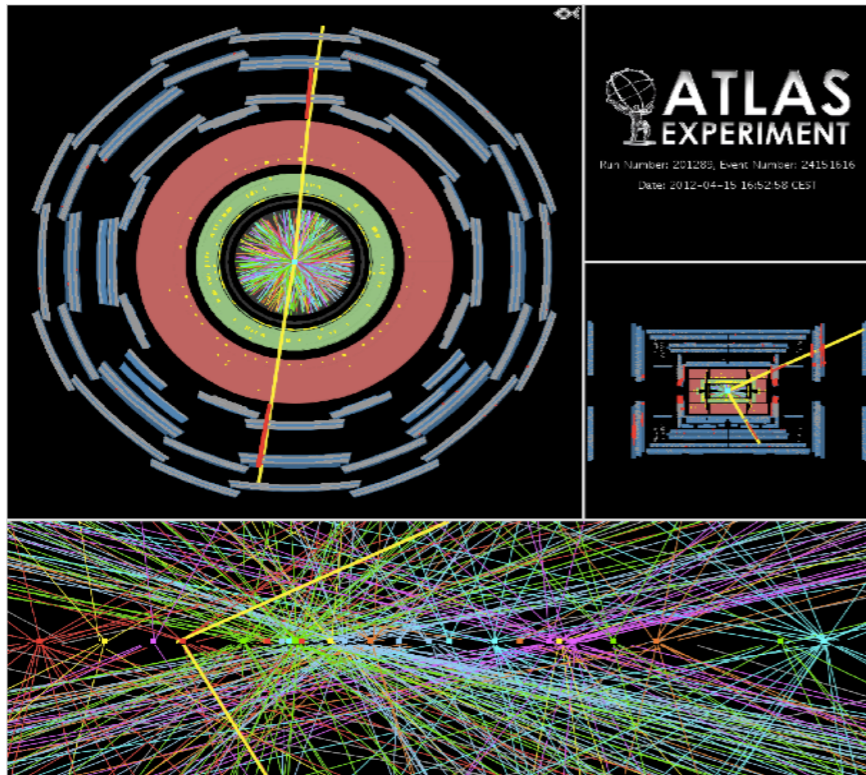
現在

LHCの大型アップグレード
(HL-LHC)

パイラアップとは?

2016 (LHC-Run2)の事象

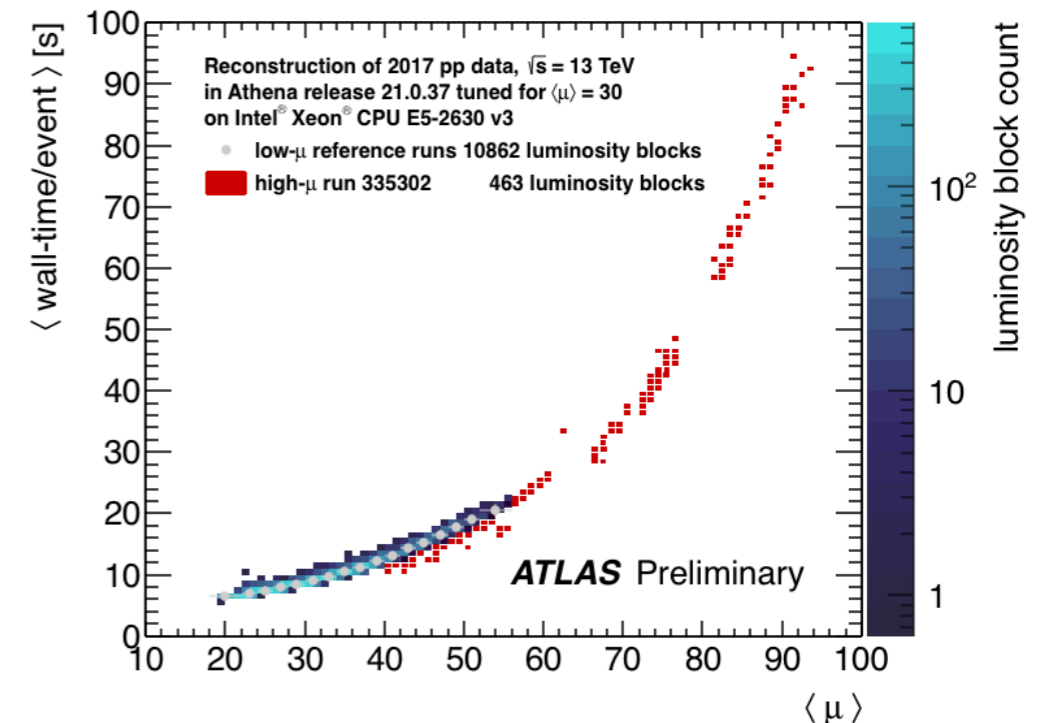
~27の多重衝突 (パイラアップ)



2026 (HL-LHC)ので予想される事象

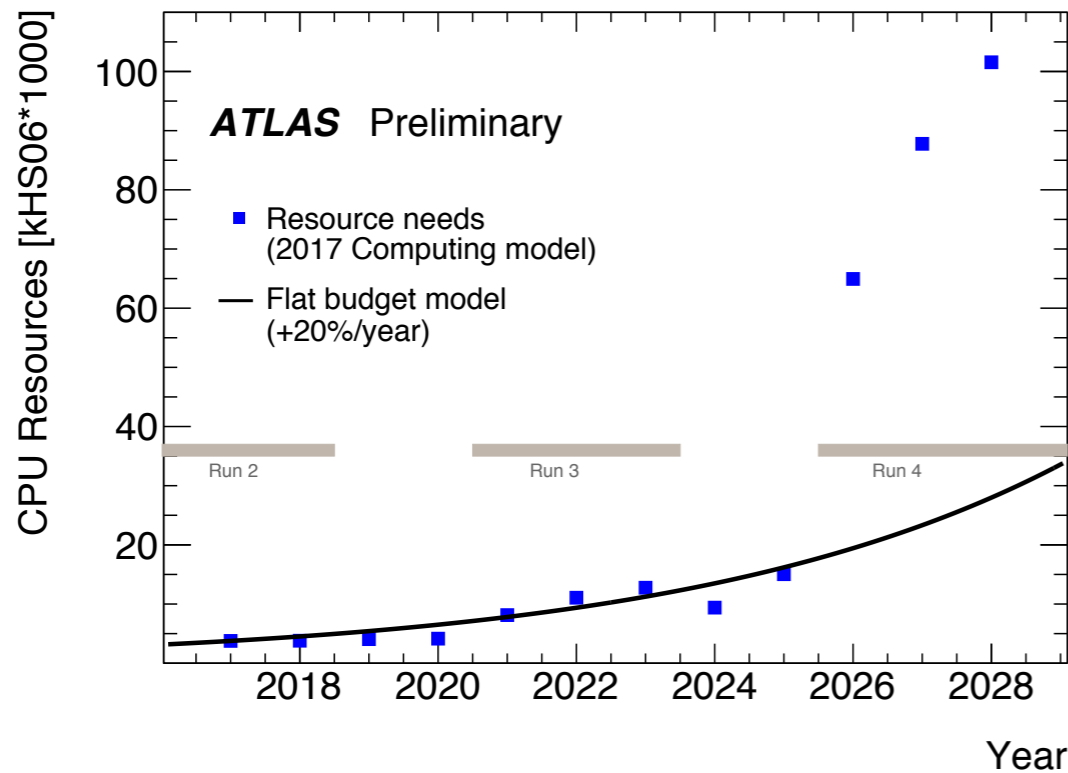
~200のパイラアップ...

- ✓ 物理解析に必要なデータ量を確保するためのアップグレード
- ✓ 一方で検出器・計算機にはチャレンジング

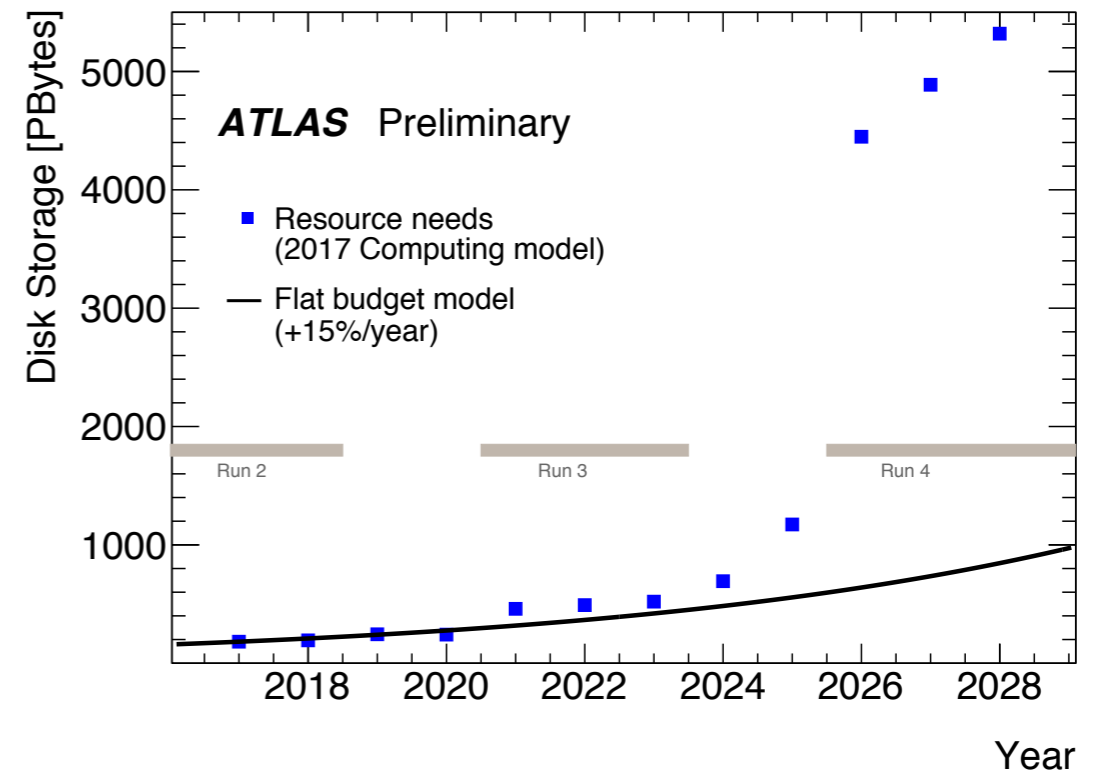


HL-LHC 2026年問題？

CPUの必要量



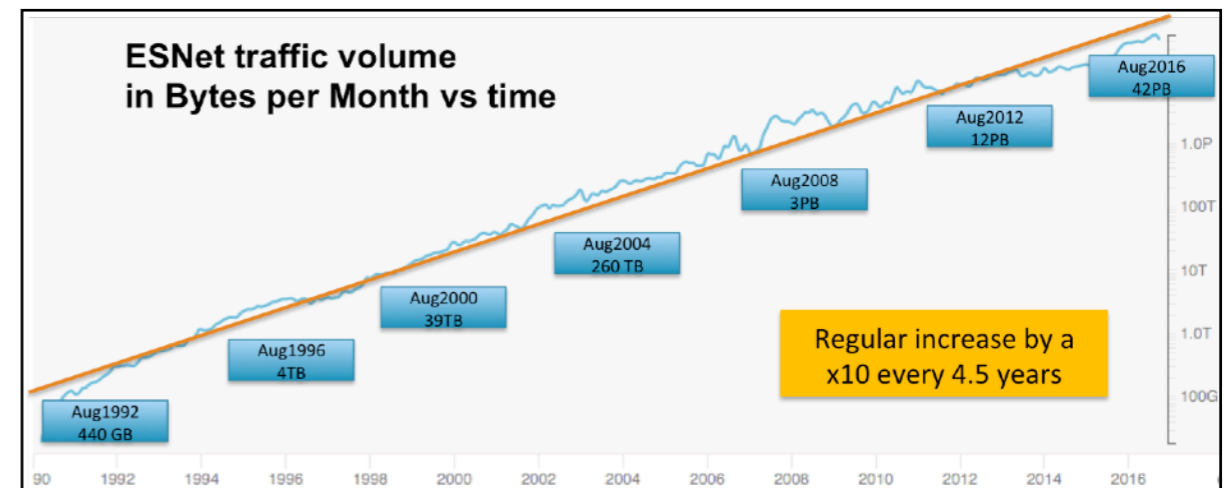
DISKの必要量



✓ LHCのアップグレード (HL-LHC)により計算機の需要が急増

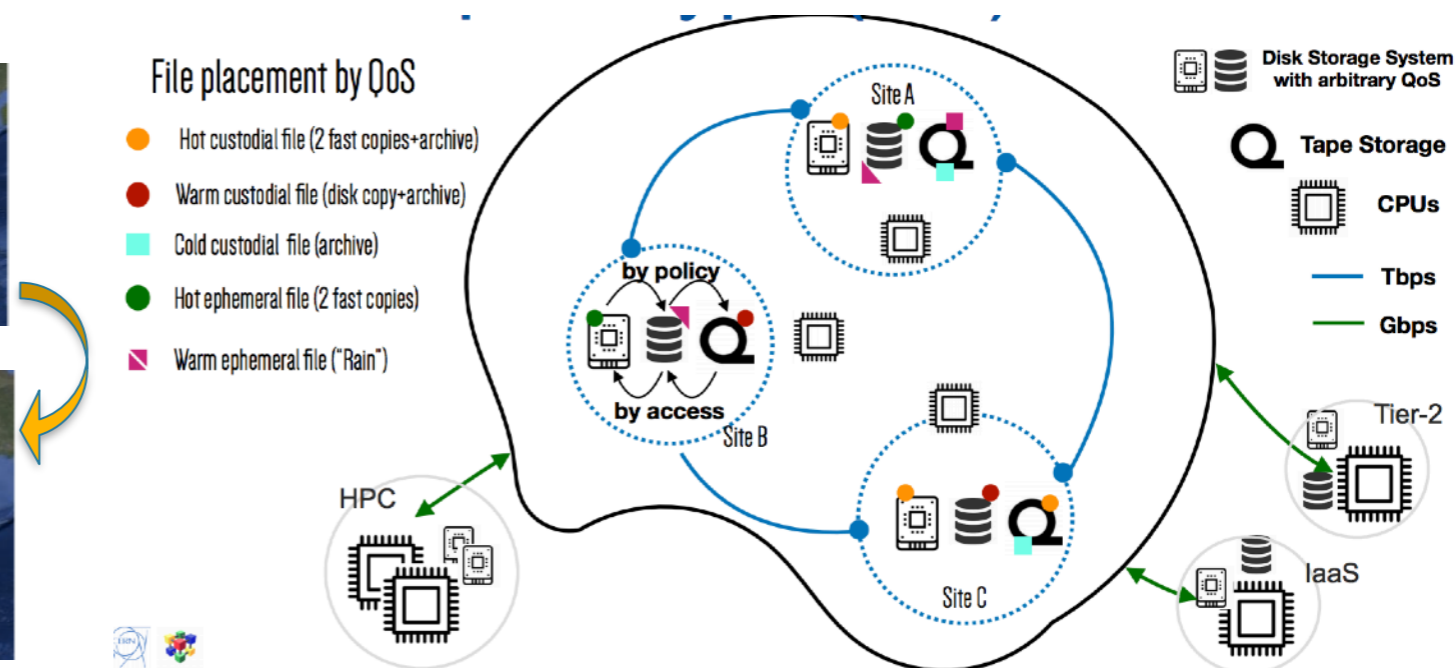
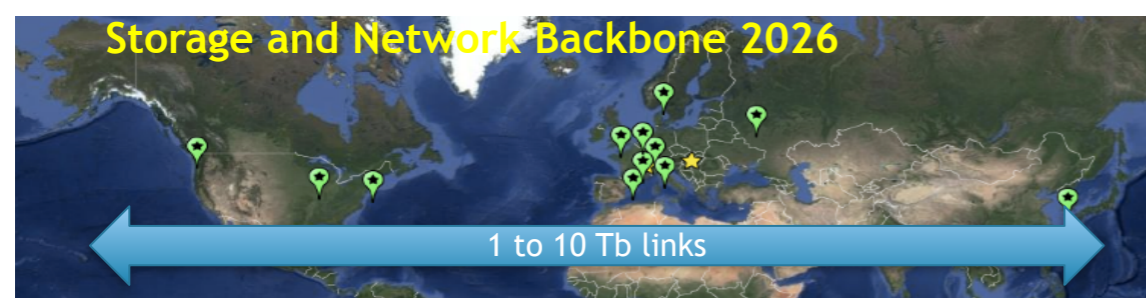
- 一定の予算, 単純な計算機の性能向上を仮定しても不足
- 一方で、ネットワークは順調にスケールしている (?)

より、ネットワークに依存したコンピューティングモデルを考えることができるか...



HL-LHCにおけるコンピューティングモデル

Data Lake model



- ✓ 従来のGridではCPUとストレージの関係が強い **Jobs go to Data..**
 - Gridサイト内だけで閉じない仕組みが必要 (?)
- ✓ HPC、クラウド資源、ボランティア資源(BOINC)などの利用
- ✓ リソースの集約、統合による運用コストの削減
- ✓ キャッシュの積極的利用、データレプリカを減らす...etc

...様々な可能性の議論、R&Dが進行中、いずれも国際ネットワークが鍵になりそう

まとめ

- ✓ LHCアトラス実験はHiggs bosonの精密測定、新物理の探索のためにデータを蓄積、解析が進行中
- ✓ 計算機及びネットワークは実験を成功させるための重要な要素
 - 東京Tier2もその一翼としてフル稼働中
 - ▶ SINET, JGN, UTNetの協力により、LHCONE、IPv6による通信を実現できた 引き続きご協力よろしく願いいたします..
 - ▶ 2026年から始まるHL-LHCでは計算機資源が不足
 - コンピューティングモデルの進化が必要
 - 国際広帯域ネットワークはこれらを考える上で鍵となりそう

Backup