



高エネルギー分野での *Data Grid*

平成19年2月20日
於：NAREGIシンポジウム

高エネルギー加速器研究機構
計算科学センター
川端 節彌



概要

1. はじめに
2. 高エネルギー実験の現状と将来
3. **Large Hadron Collider (LHC) 実験**
4. KEKでのGridへの取り組み
5. KEKでのNAREGIへの取り組み
6. まとめ



1. はじめに

Standard Model of FUNDAMENTAL PARTICLES AND INTERACTIONS

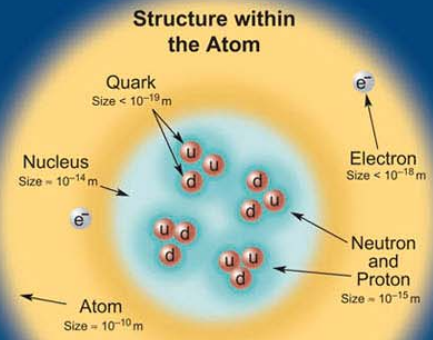
The Standard Model is a quantum theory that summarizes our current knowledge of the physics of fundamental particles and fundamental interactions (interactions are manifested by forces and by decay rates of unstable particles).

FERMIONS matter constituents
spin = 1/2, 3/2, 5/2, ...

BOSONS force carriers
spin = 0, 1, 2, ...

Leptons spin = 1/2		
Flavor	Mass GeV/c ²	Electric charge
ν_e lightest neutrino*	$(0-0.13) \times 10^{-9}$	0
e electron	0.000511	-1
ν_μ middle neutrino*	$(0.009-0.13) \times 10^{-9}$	0
μ muon	0.106	-1
ν_τ heaviest neutrino*	$(0.04-0.14) \times 10^{-9}$	0
τ tau	1.777	-1

Quarks spin = 1/2		
Flavor	Approx. Mass GeV/c ²	Electric charge
u up	0.002	2/3
d down	0.005	-1/3
c charm	1.3	2/3
s strange	0.1	-1/3
t top	173	2/3
b bottom	4.2	-1/3



If the proton and neutrons in this picture were 10 cm across, then the quarks and electrons would be less than 0.1 mm in size and the entire atom would be about 10 km across.

Unified Electroweak spin = 1		
Name	Mass GeV/c ²	Electric charge
γ photon	0	0
W^-	80.39	-1
W^+	80.39	+1
Z^0 Z boson	91.188	0

Strong (color) spin = 1		
Name	Mass GeV/c ²	Electric charge
g gluon	0	0

Color Charge
Only quarks and gluons carry "strong charge" (also called "color charge") and can have strong interactions. Each quark carries three types of color charge. These charges have nothing to do with the colors of visible light. Just as electrically-charged particles interact by exchanging photons, in strong interactions, color-charged particles interact by exchanging gluons.

Quarks Confined in Mesons and Baryons
Quarks and gluons cannot be isolated – they are confined in color-neutral particles called hadrons. This confinement (binding) results from multiple exchanges of gluons among the color-charged constituents. As color-charged particles (quarks and gluons) move apart, the energy in the color-force field between them increases. This energy eventually is converted into additional quark-antiquark pairs. The quarks and antiquarks then combine into hadrons; these are the particles seen to emerge.

Two types of hadrons have been observed in nature mesons (q \bar{q}) and baryons (qqq). Among the many types of baryons observed are the proton (uud), antiproton ($\bar{u}\bar{u}\bar{d}$), neutron (udd), lambda Λ (uds), and omega Ω^- (sss). Quark charges add in such a way as to make the proton have charge 1 and the neutron charge 0. Among the many types of mesons are the pion π^+ (u \bar{d}), kaon K^- (s \bar{u}), B⁰ (db), and η_c (c \bar{c}). Their charges are +1, -1, 0, 0 respectively.

Properties of the Interactions

The strengths of the interactions (forces) are shown relative to the strength of the electromagnetic force for two u quarks separated by the specified distances.

Property	Gravitational Interaction	Weak Interaction (Electroweak)	Electromagnetic Interaction	Strong Interaction
Acts on:	Mass – Energy	Flavor	Electric Charge	Color Charge
Particles experiencing:	All	Quarks, Leptons	Electrically Charged	Quarks, Gluons
Particles mediating:	Graviton (not yet observed)	W^+ W^- Z^0	γ	Gluons
Strength at $\left\{ \begin{array}{l} 10^{-18} \text{ m} \\ 3 \times 10^{-17} \text{ m} \end{array} \right.$	10^{-41}	0.8	1	25
	10^{-41}	10^{-4}	1	60

Visit the award-winning web feature [The Particle Adventure at ParticleAdventure.org](http://TheParticleAdventure.org)
This chart has been made possible by the generous support of:
U.S. Department of Energy
U.S. National Science Foundation
Lawrence Berkeley National Laboratory
©2006 Contemporary Physics Education Project. CPEP is a non-profit organization of teachers, physicists, and educators. For more information see CPEPweb.org

Particle Processes

These diagrams are an artist's conception. Blue-green shaded areas represent the cloud of gluons.

$n \rightarrow p e^- \bar{\nu}_e$

A free neutron (udd) decays to a proton (uud), an electron, and an antineutrino via a virtual (mediating) W⁻ boson. This is neutron β (beta) decay.

$e^+ e^- \rightarrow B^0 \bar{B}^0$

An electron and positron (antilepton) colliding at high energy can annihilate to produce B^0 and B^0 mesons via a virtual Z boson or a virtual photon.

Unsolved Mysteries

Driven by new puzzles in our understanding of the physical world, particle physicists are following paths to new wonders and startling discoveries. Experiments may even find extra dimensions of space, mini-black holes, and/or evidence of string theory.

Universe Accelerating?

The expansion of the universe appears to be accelerating. Is this due to Einstein's Cosmological Constant? If not, will experiments reveal a new force of nature or even extra (hidden) dimensions of space?

Why No Antimatter?

Matter and antimatter were created in the Big Bang. Why do we now see only matter except for the tiny amounts of antimatter that we make in the lab and observe in cosmic rays?

Dark Matter?

Invisible forms of matter make up much of the mass observed in galaxies and clusters of galaxies. Does this dark matter consist of new types of particles that interact very weakly with ordinary matter?

Origin of Mass?

In the Standard Model, for fundamental particles to have masses, there must exist a particle called the Higgs boson. Will it be discovered soon? Is supersymmetry theory correct in predicting more than one type of Higgs?



2. 高エネルギー実験の現状と将来

■日本が関係している主な高エネルギー実験

■昨年度終了

- 神岡・KEKでのSK/K2K実験

■進行中

- KEKでのBELLE実験
- 神岡でのKamLAND実験
- 米国FermiLabでのCDF実験

■建設中

- J-PARCでの各実験
- 神岡・東海でのSK/T2K実験
- LHC(CERN)でのATLAS実験、ALICE実験

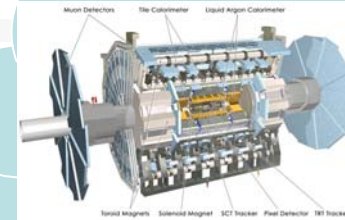
■将来計画

- SuperBファクトリー
- International Linear Collider (ILC)

■HEPnet-J:

High Energy Physics Network in Japan

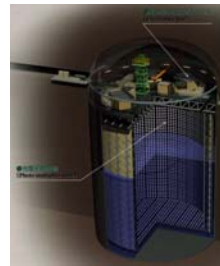
- KEKがSINET/SuperSINET (NII)上に構築し運用している。



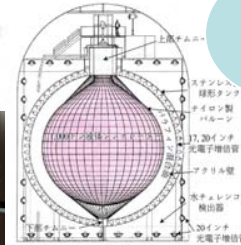
LHC ATLAS実験



FNAL CDF実験



SuperKamiokande



KamLAND実験



J-PARC
JAEA東海研



KEK BELLE実験

- SuperSINETノード
- SINETノード



2. 高エネルギー実験の現状と将来 (2)

■ 加速器科学の実験では

- 測定技術の発展 ⇒ 情報量の劇的な増大 ⇒ 膨大なストレージ資源
 - 大容量のデータストレージと処理能力(CPU能力)が必要
 - ホスト研究所だけで必要な計算資源のすべてを用意するのが困難になっている。
- 共同研究参加機関の計算機システム間の協調が必要。
 - 大学の研究室でもある程度の計算資源をもてるようになった。
 - ネットワーク整備の充実とその高速化
- ただ接続するだけのWAN分散データ解析システムでは不便
 - ⇒ Data Grid (Virtual Data Analysis System)
 - CDFでは、計算資源の半分をFNALが残りの半分を共同研究参加機関。
 - BaBarでは、SLACとCC-IN2P3(リヨン)とが主に分担。
 - LHCでは、階層構造をもったRegional Centersで分担。

■ 研究環境

- 研究者は、実験施設から離れた大学等の研究室にいることが多い。
 - 遠く離れた共同研究者と同じ計算機環境で、必要に応じていつでも、計算したり、議論したりしたい。
 - 中性子や放射光実験の研究者は、サンプルを実験施設に送り、ビームを照射してもらい、そのデータを自分の研究室で解析する。
 - The collaboration environment over WAN or *Collaboratory Facility*
 - 共同で建設した大型加速器を、遠隔の研究室から診断したり、制御できると大変便利。
 - The Global Accelerator Network or *GAN*, suggested by ICFA.

■ 巨大加速器施設LHCやILCでは

- 世界的規模の共同研究ができる環境が必要。
- 解決策 ⇒ *Virtual Computer System, Virtual Laboratory*



3. Large Hadron Collider (LHC) 実験

■ 主な目的

- Higgsの探索⇒質量の起原？

■ 4つの実験装置

- ATLAS, CMS, ALICE, LHCb

■ 2005年

- 検出器組み込み
- データチャレンジ3

■ 2006年

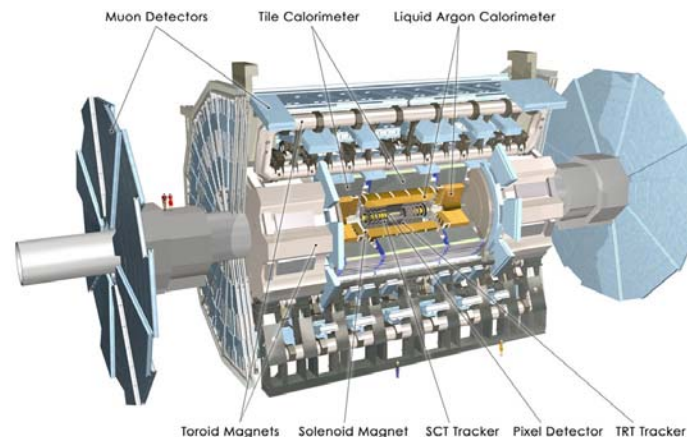
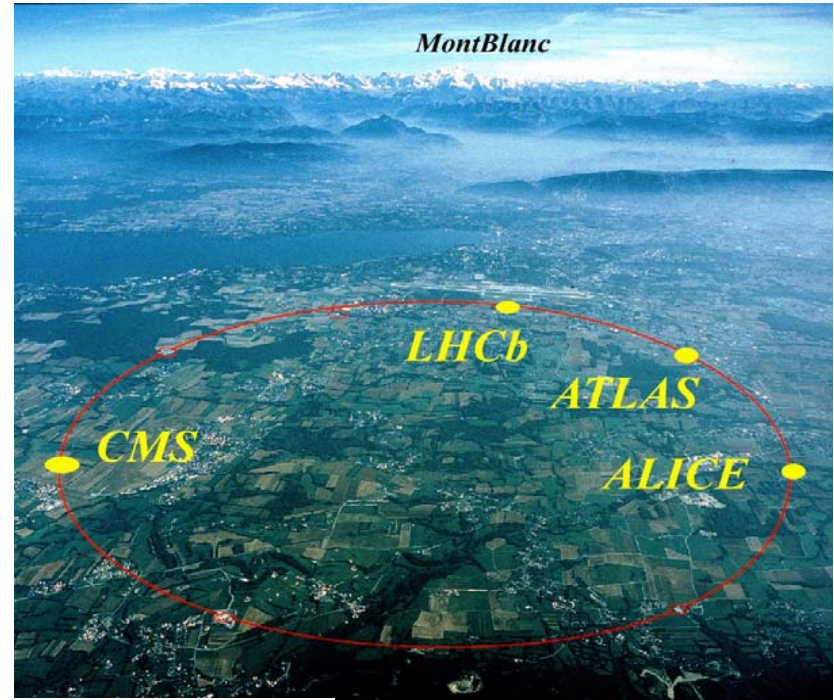
- 検出器コミッショニング
- データチャレンジ4

■ 2007年夏:

- 加速器試運転

■ 2008年春:

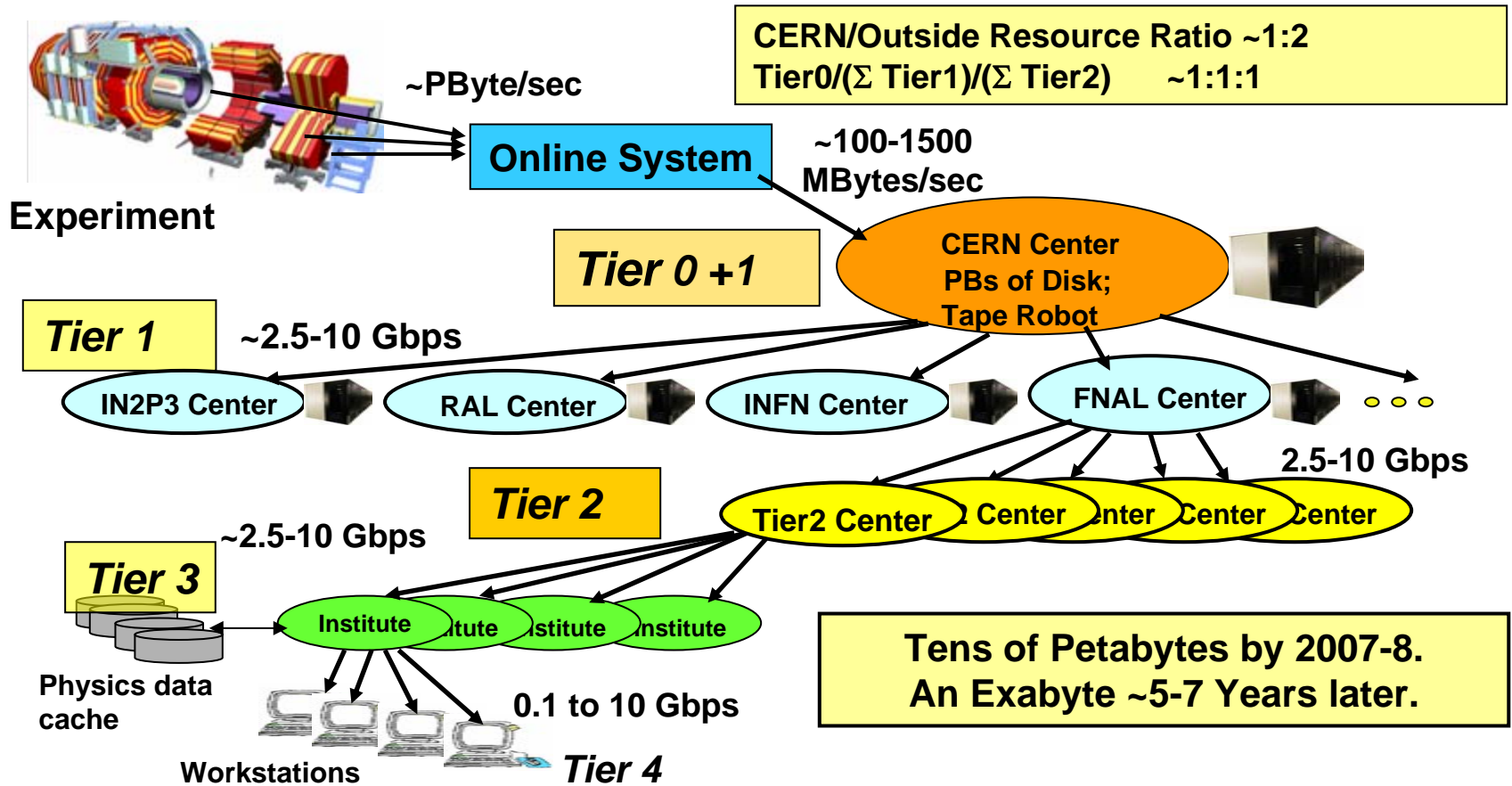
- 物理実験開始





3. Large Hadron Collider (LHC) 実験(2)

■ 階層型地域解析センター



3. Large Hadron Collider (LHC) 実験(3)

■Tier1サイトへの要請

■資源の提供

- 計算資源と記録資源(一時、恒久)
- ネットワーク接続性
 - Dedicated 10 Gbit link

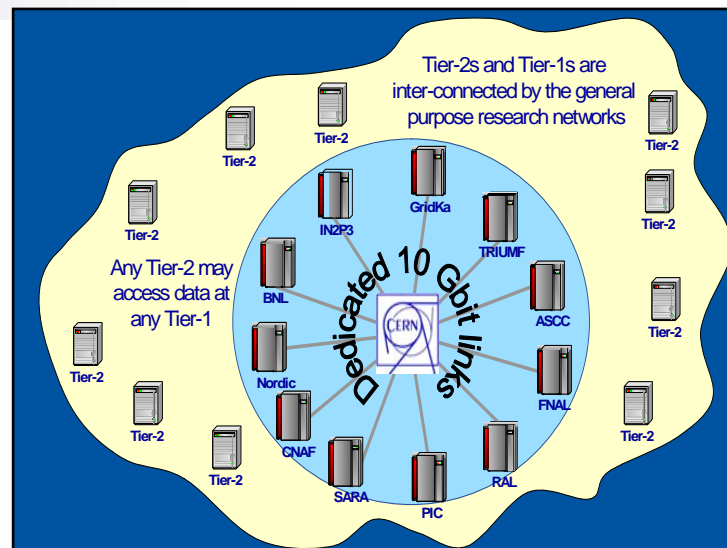
■機能

- 実験コンピューティングモデルのTier1
- カタログ、データベース、VOBOX

■運用

- 高可用性: 準オンラインシステム
- CIC (Core Infrastructure Center)
 - Infrastructure services
 - VO services : VOMS
 - VO-specific services : replica, VOBOX etc
 - Grid Operation Center
 - Monitoring
 - Control of production
 - Support to ROCs
 - Problems cannot be solved by a ROC

■すべての要請を満たすのは大変。



■Regional Operation Center

■Certification

- Certify the middleware installation
- Customization, local configuration, testing

■Management

- Coordinate upgrade of middleware in the region
- Keep repository of RC configuration
- Certificate and verify RC sites

■Grid support

- Provide support for users and RCs
- Provide knowledge base
- User problem resolution by ticketing system



3. Large Hadron Collider (LHC) 実験(4)

■Tier1センター

LHC Tier1 Centers	Planned to be pledged in 2008				Experiments served with priority			
	CPU (KSI2K)	Disk (TB)	Tape(TB)	WAN(Gbps)	ALICE	ATLAS	CMS	LHCb
TRIUMF / Ca	1270	740	480	10		○		
CC-IN2P3 / Fr	6770	3800	3460	10	○	○	○	○
FKZ-GridKA / de	7140	3300	3470	20	○	○	○	○
CNAF / it	5500	2500	2100	20	○	○	○	○
SARA/NIKHEF / nl	4380	2500	1810	10	○	○		○
Nordic Data Grid	3960	1400	1070	10	○	○	○	
PIC / es	2250	1200	1420	10		○	○	○
ASGC / tw	3400	1500	1300	10		○	○	
RAL / uk	2710	1500	2070	10	○	○	○	○
BNL / us	5300	3100	2020	20		○		
FNAL / us	4260	2000	3220	20			○	

■東京大学国際素粒子物理センターICEPP: Tier2

■WLCG-MOU: 署名; 東大側2006年3月31日、CERN側4月10日

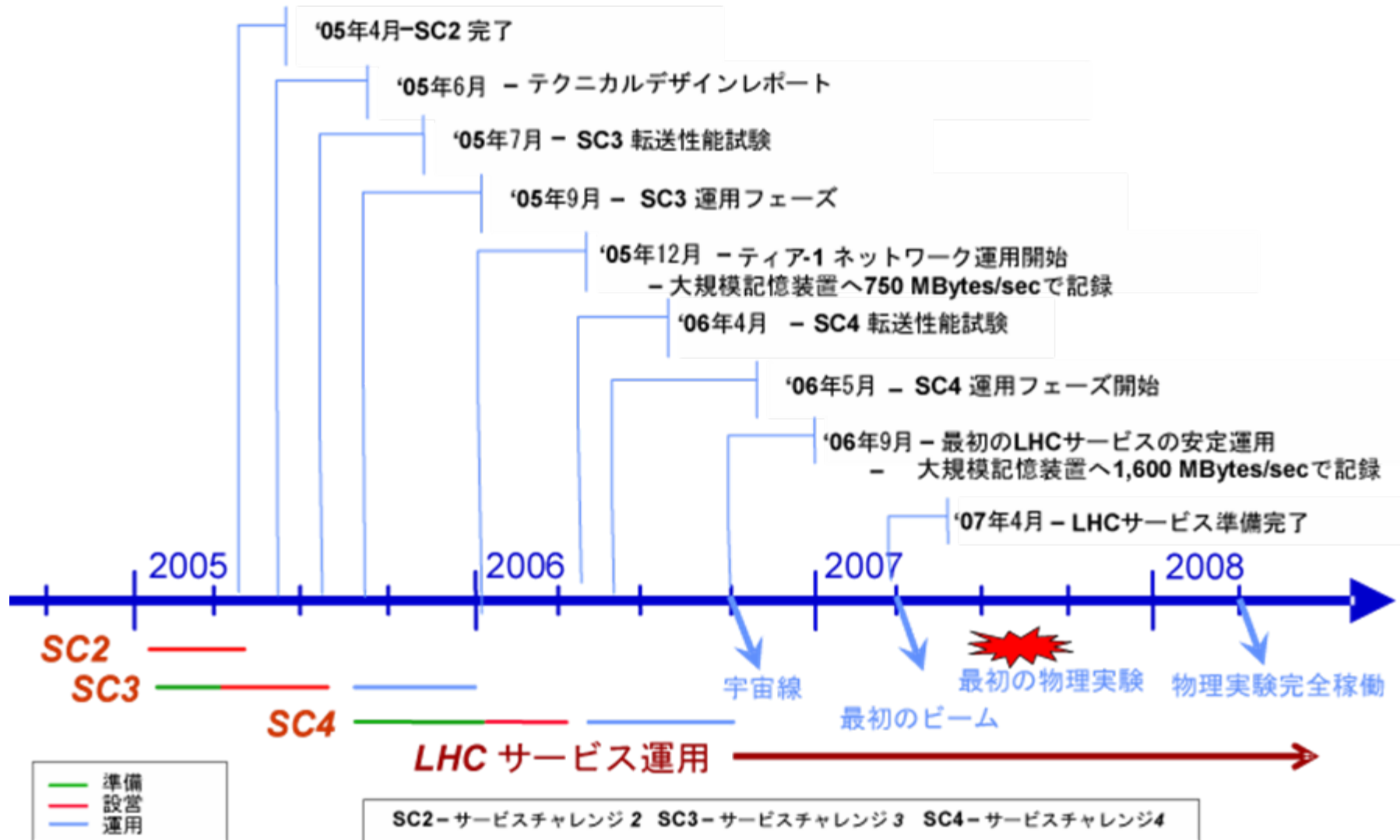
ICEPP / jp	1000	200	2000		×	○	×	×
------------	------	-----	------	--	---	---	---	---

■国内共同研究者向けに同程度の資源を提供



3. Large Hadron Collider (LHC) 実験(5)

■ LCGサービスチャレンジ





4. KEKでのGridへの取り組み

4.1. KEK B ファクトリー: Belle 実験

■沿革

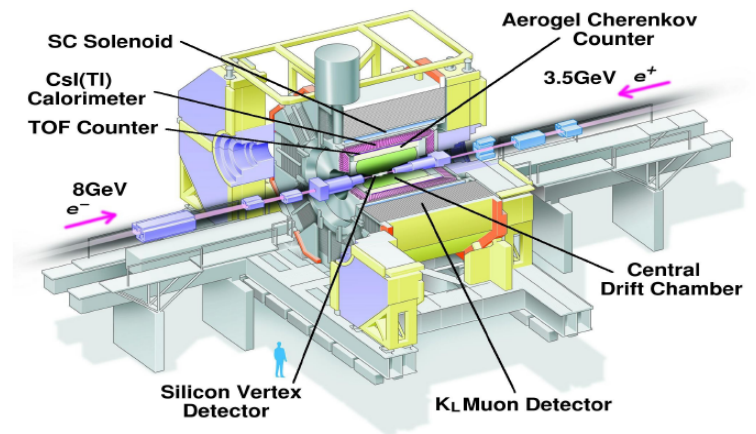
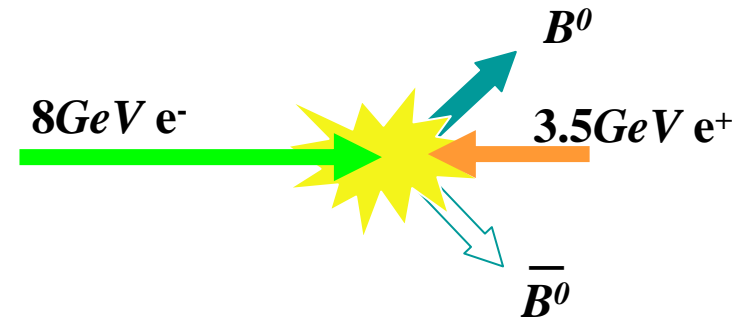
- H 6年度予算承認、建設開始
- H11年度実験開始
- H15年度世界最高の設計性能を実現
- H18年12月までに 710fb^{-1} のデータを蓄積

■目的

- 粒子・反粒子の物理法則の差異の発見
 - CPの破れを発見
- 小林・益川理論を実証
- B中間子などの崩壊現象を用いて
 - 新しい物理法則を探る。

■特徴

- 高いルミノシティの電子・陽電子衝突
- 400名からなる実験チーム
 - 世界13ヶ国・56機関
- 米国SLACとの激しい競争



General purpose detector for various B/charm/ τ physics.



4. KEKでのGridへの取り組み(2)

4.1. Belle実験(2)

■現在 1 PBの実験データ⇒3年後は 2~3PB

■Peak Luminosity

■ $1.7 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$

■蓄積したLuminosity :

■2006年12月現在 : 710 fb^{-1}

■ $1 \text{ fb}^{-1}/\text{day} \sim 1 \text{ TB}/\text{day}$

■ $1 \text{ fb}^{-1} \sim 10^6 \text{ BB}$ イベント

■2007年冬には

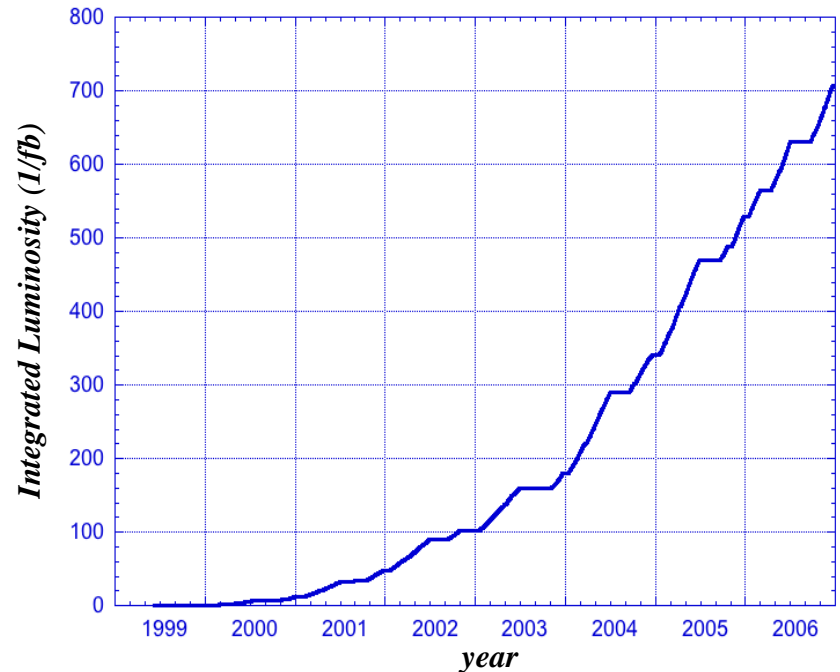
■クラブキャビティを導入

■Luminosityが2倍になる

■H16年8月~

■SRBを使ってBelle実験参加機関でデータ共有

■KEK, U. Melbourne (Australia), と名古屋大学





4. KEKでのGridへの取り組み(3)

■新計算機システム

- 共通情報システム : 平成18年2月20日更新
 - 共通計算機システム ■グリッドシステム ■メールシステム
- Bファクトリー計算機システム : 平成18年3月23日更新
 - CPU : 45,662 SI2K ■ Disk : 1 PB ■ Tape : 3.5 PB

■第1期

■KEK Grid CA

- APGRID PMA 公認、2006年1月から運用。
 - 日本で3番目のGrid CA
 - NAREGI CA software を使用
 - KEK 職員等と共同利用者が利用可能。

■共通情報システム内のグリッドシステム

■LCGとSRBを運用

- 対象 : 特定実験グループ
- WN: 36 nodes x 2 =72 CPU
- Storage: Disk (2TB) + HPSS(~200TB)
- Supported VO: Belle, APDG, Atlas_J
- 運用開始: 平成18年5月～

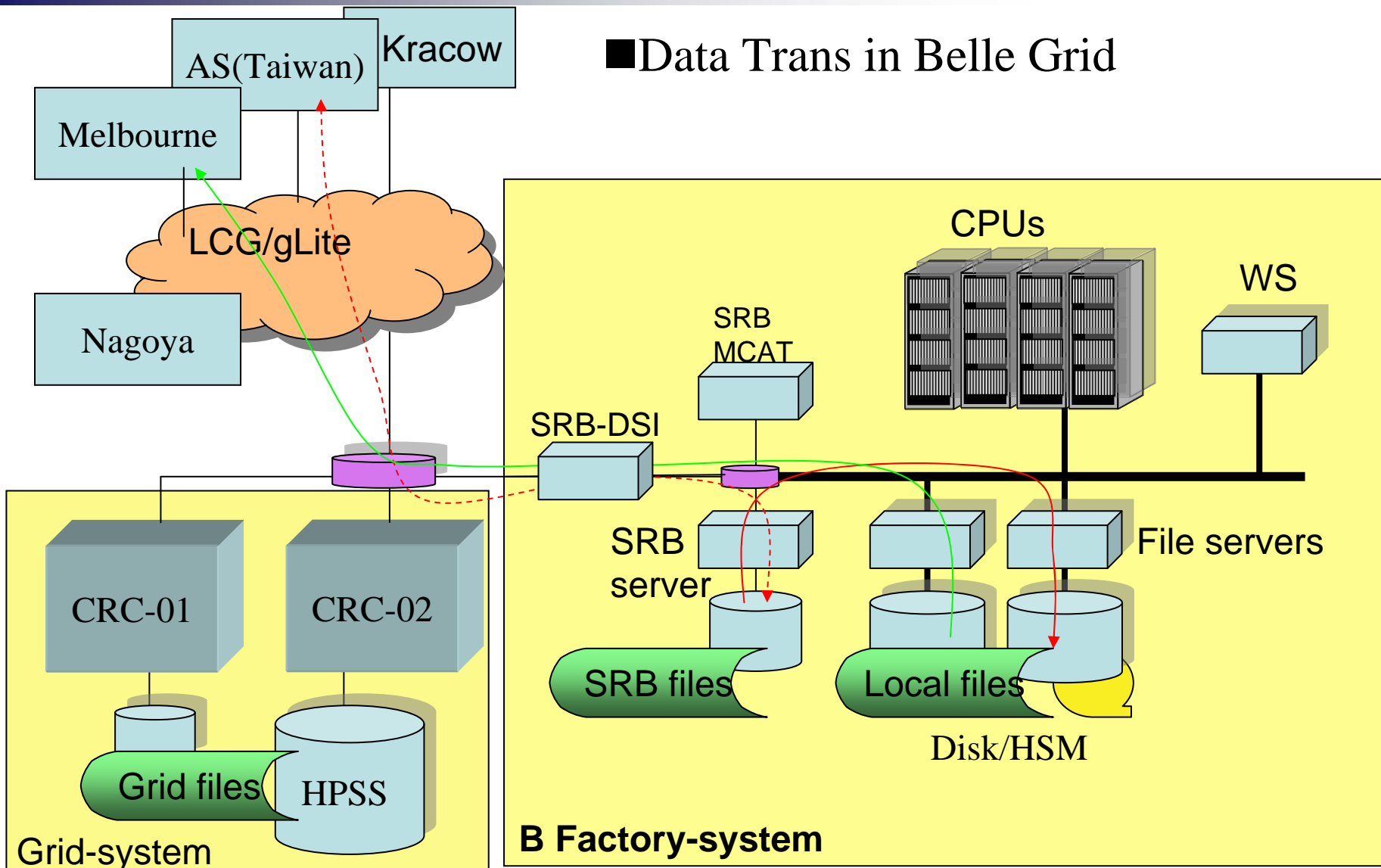
■第2期(H19冬～)

- Bファクトリー実験にLCGを導入



4. KEKでのGridへの取り組み(4)

■Data Trans in Belle Grid





5. KEKでのNAREGIへの取り組み

■大学共同利用機関KEK

- 共同研究先である国内の大学のGRID環境配備を支援
 - 日本の研究機関、特に大学の研究室には、ITの専門スタッフが皆無に近い。
 - GRIDミドルウェアは、導入、運用のコストが非常に大きい。
 - ⇒利用者等の負担が少ないGRIDミドルウェアが望まれる。
 - 国際的共同研究⇒EGEE, OSG等とInteroperableであることが必要

■NAREGIへの期待

- 日本語によるサポート
- 時差を気にしなくてよい
- 商用レベルの品質保証、十全な事前テスト
-
- NAREGIがEGEEやOSGと対等なミドルウェアに育って欲しい

■NAREGIとgLiteとのInteroperabilityへの期待

- 国内ユーザは、NAREGIを使って、LCG(gLite+ α)の利用機関と協調可能
 - GRID divide (new digital divide) からの脱却
 - 高エネルギー分野で、日本はGRIDで遅れを取っている
 - 近いtime zoneにいるアジア太平洋諸国へのNAREGIの普及の可能性
- KEKは、NAREGIのInteroperabilityへの取り組みに出来る限り協力



5. KEKでのNAREGIへの取り組み(2)

■JST-CNRS共同研究

- 日本側:NAREGI, KEK 仏側:CNRSの研究所等
- 第1回ワークショップ:平成18年6月23,24日於パリ
- CC-IN2P3(Lyon)とKEKとの共同研究
 - 目的:
 - NAREGIとgLiteのInteroperabilityのテスト
 - ファイル共有とジョブの相互投入

■KEK-CNRS研究協力協定(AIL)

- 平成18年度から開始
- 共同研究テーマを公募、審査
 - KEK計算科学センターとCC-IN2P3とで共同提案
 - NAREGIとgLiteのInteroperabilityのテスト
 - ILC (International Linear Collider) におけるData Grid網の構築

■CSI事業の中で

- HEPnet-Jを包含するようなVOを提案
 - HepNet-JにData GRID網を構築
 - 東北大/筑波大/神戸大/広島工大/名古屋大/KEK
 - 当面はLCGをベース
 - NAREGIとgLiteとのInteroperabilityが完成した暁には、NAREGIに移行予定



5. KEKでのNAREGIへの取り組み(3)

■NAREGI-beta テストベッド

■5nodes+3nodes(DG)

■組み込み

■Naregi-beta 1.0 : Nov. 2006

■Information, PSE, WFT, GVS

■Naregi-DG : Feb 2007

■プログラム実行テスト

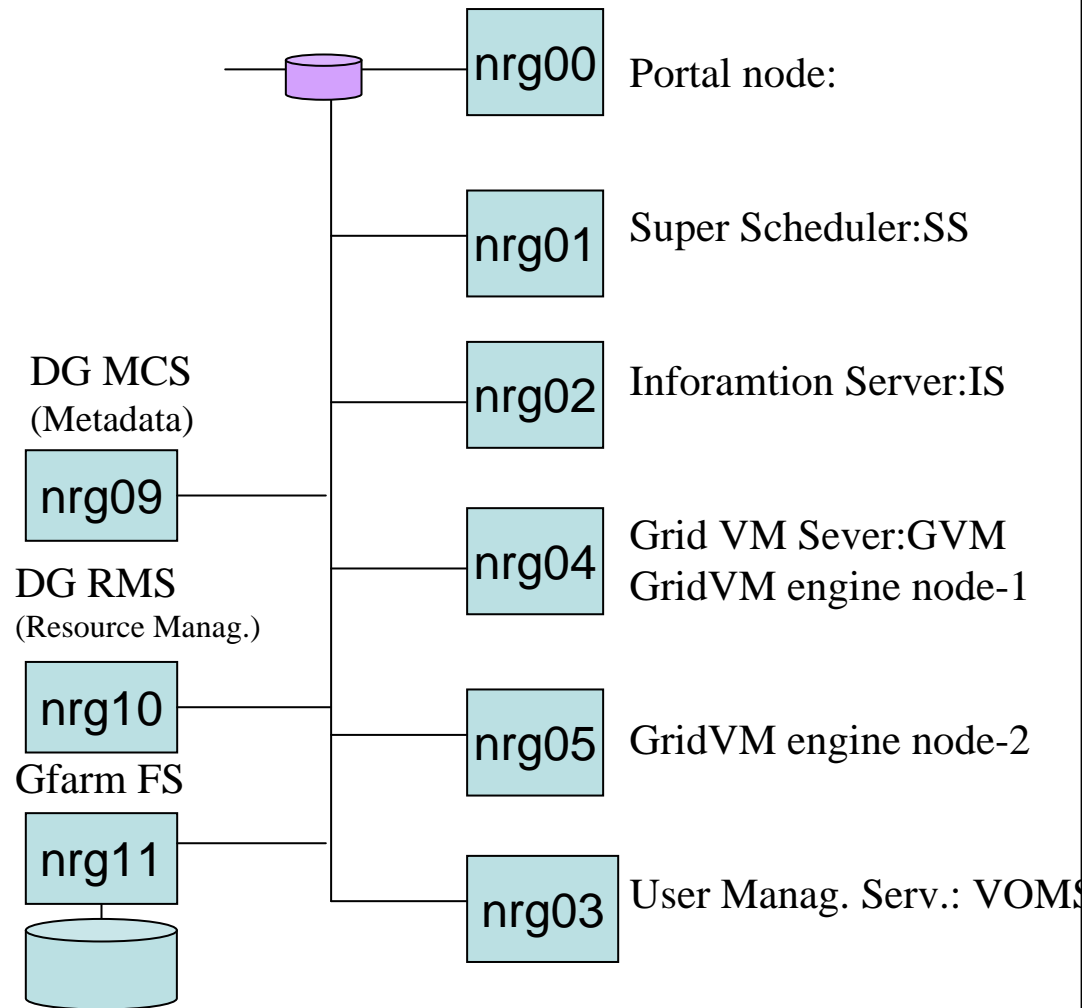
■P152 (重イオン) 実験データ解析

■データ解析

■解析結果をSRB-DSI経由で
SRBに格納

■Belle event simulation

■installation ok, テスト中

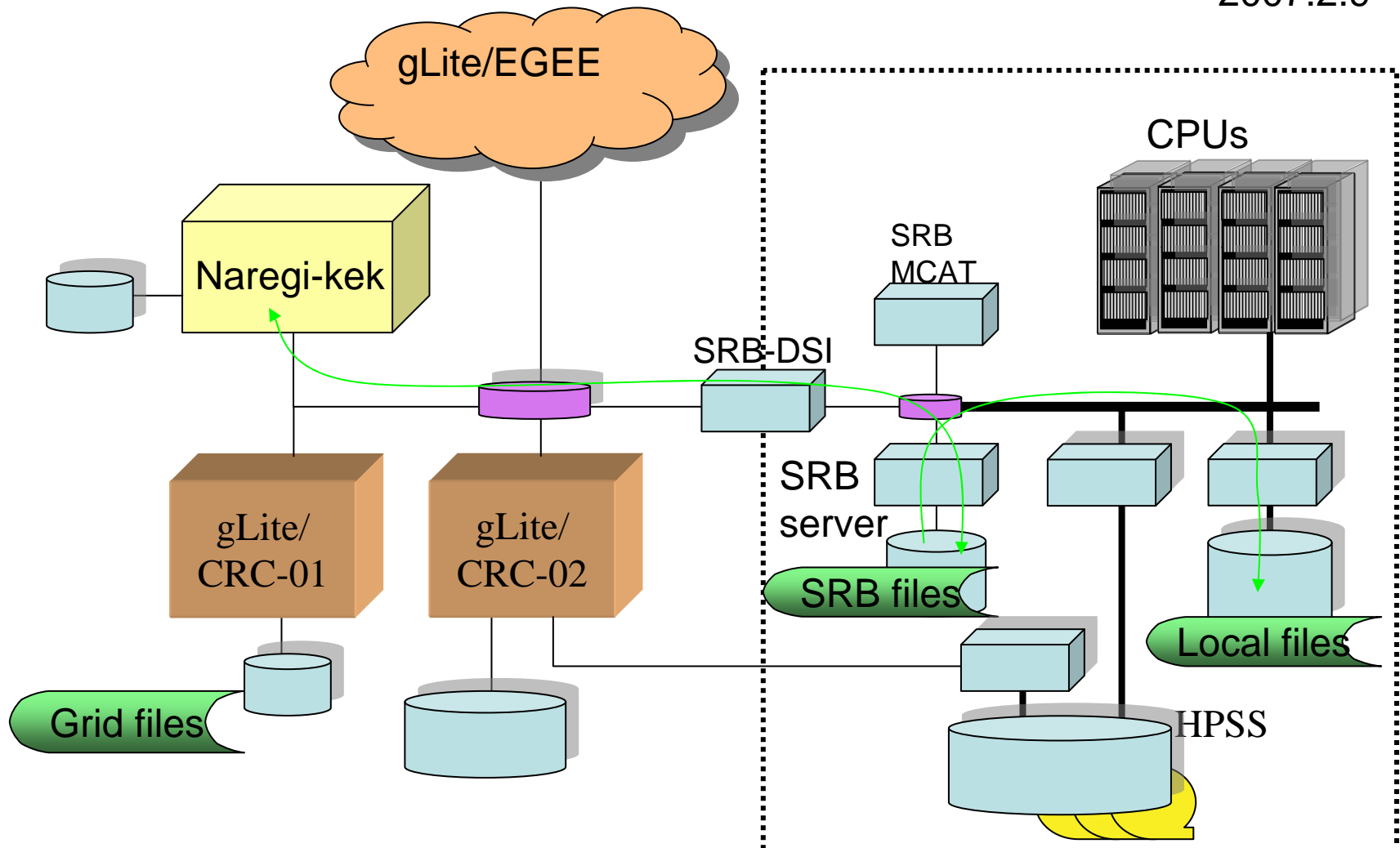




5. KEKでのNAREGIへの取り組み(4)

■KEKでのGrid環境

2007.2.9





6. まとめ

■LHC実験

- 2008年春:実験開始
- WLCG (World LHC Computing Grid):概ね準備完了

■Belle実験

- 新計算機システム導入
 - システム規模 : LHCのTier1センターレベル
- LCGによるGrid
 - シミュレーションデータを参加機関で共有
 - 将来は実験データも共有、ジョブの相互投入

■HepNet-JにGrid網の構築(CSI事業)

- 東北大/筑波大/神戸大/広島工大/名古屋大/KEK

■KEKでのNAREGI

- KEK Grid CA局 (APGRID PMA)
 - 2006年1月から運用, NAREGI CA を使用
- NAREGI-beta テストベッド
 - データ解析プログラムでテスト
 - SRB-DSIでSRBとの整合性確認
 - NAREGI-DGを組み込み中

■今後

- NAREGI-DGのテスト
- gLiteとのInteroperabilityのテスト

■SINET/SuperSINET:

研究に不可欠なインフラ

■CSI事業:

更なる発展を強く期待

■国立情報学研究所の

ご支援に大変感謝します。