

ALICE 実験準備状況



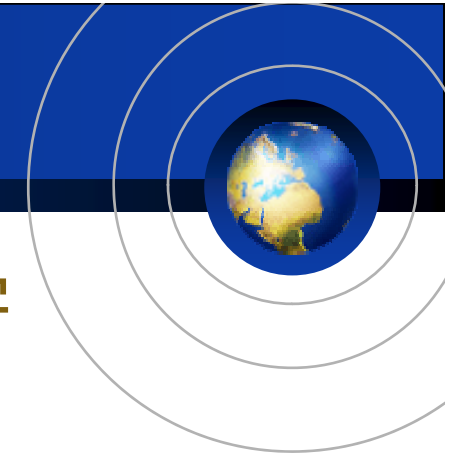
志垣賢太 ( 広島大学)

for the ALICE Collaboration

日本物理学会シンポジウム
LHC First Collision へ向けた実験準備

2008 年 3 月 24 日 近畿大学

発表概要



- **LHC における高エネルギー原子核物理学**
 - RHIC における物理成果を踏まえて
 - パarton非閉込相の存在確認
 - LHC における物理課題, 意義, 期待される新展開
 - 透過的測定を軸にparton非閉込相の包括的理解へ
- **ALICE の現状, 計画**
 - 検出器, 解析環境
 - 初期物理戦略, 測定実現性, 成果予見
- **まとめ, おわりに**



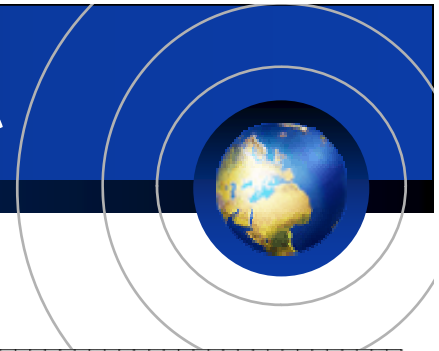
高エネルギー原子核物理学の目的



- 非摂動的 QCD が支配する強場中の素粒子多体系
 - cf. 素粒子単体, 素粒子間素過程
- クォーク閉込によるハドロン質量発現機構
 - cf. ヒッグス機構による素粒子質量発現機構
- 宇宙開闢後 $\sim 10^{-5}$ 秒間の物質状態
 - cf. 宇宙開闢後 $\sim 10^{-12}$ 秒間の粒子生成と相互作用
- LHC (+ ALICE, ATLAS, CMS, LHC-b):
 - 強電弱相互作用の統一的・包括的理解プログラム



RHIC: パarton非閉込相存在確認



■ 稠密: クォークのエネルギー損失

- ジェット (高横運動量ハドロン) 収量抑制

- ジェット形状変化

■ parton由来: 色価遮蔽, クォーク自由度顕在化

- J/ψ 収量抑制

- 構成クォーク数スケーリング則

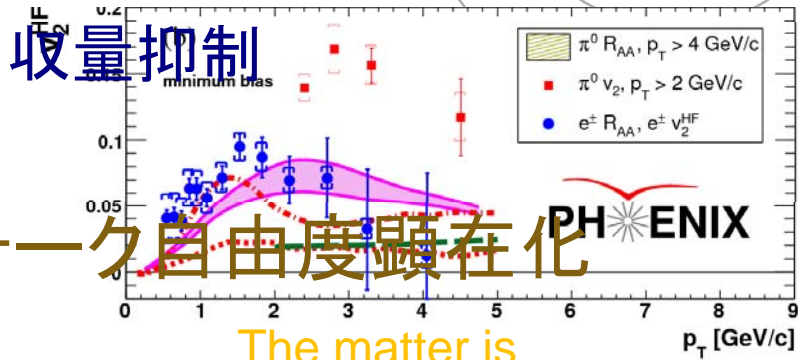
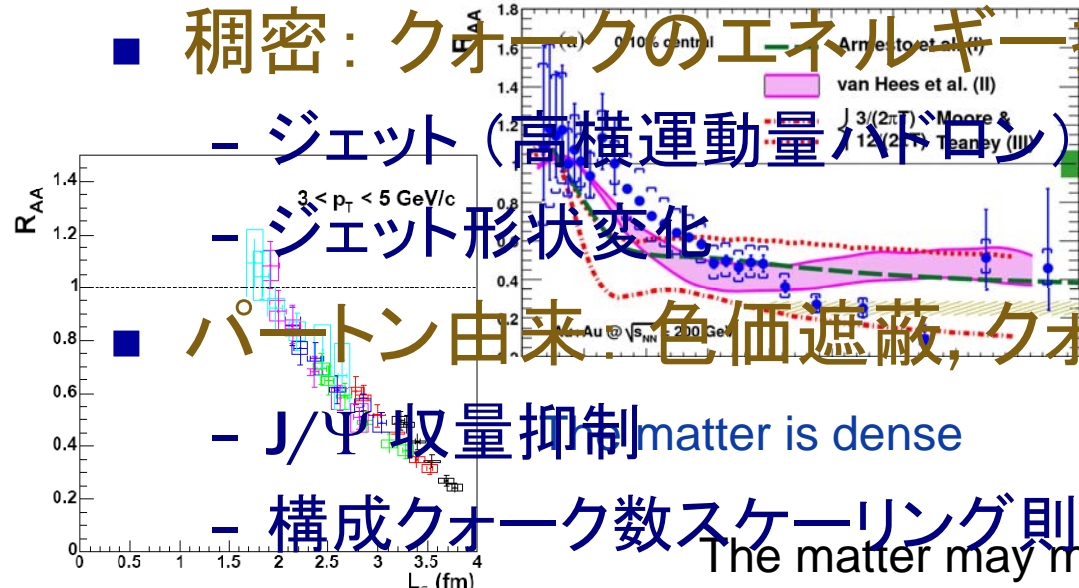
強結合: 完全流体

- 流体力学で記述される集団運動

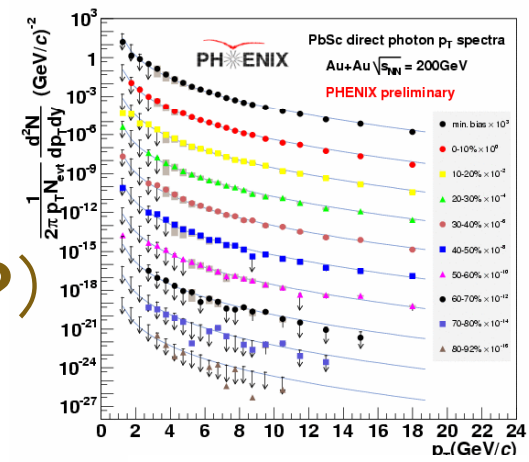
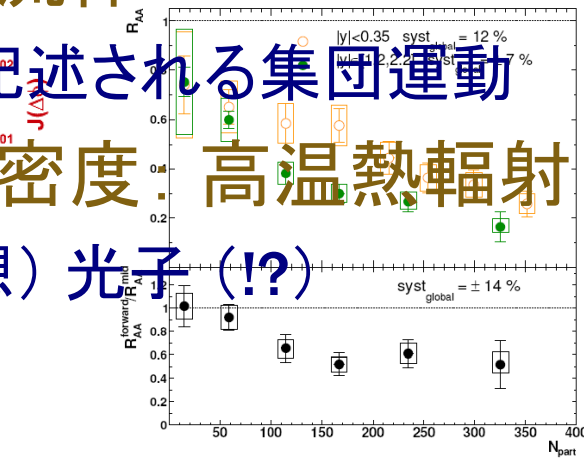
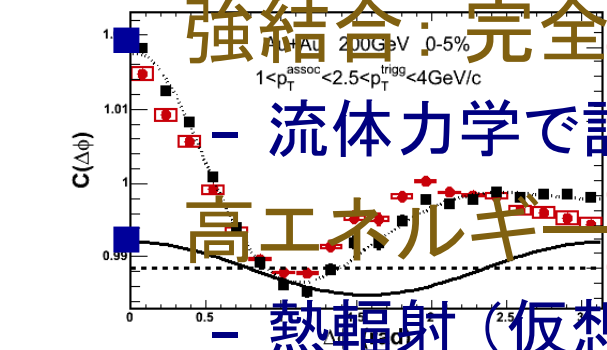
高エネルギー密度: 高温熱輻射 (!?)

- 熱輻射 (仮想) 光子 (!?)

The matter modifies jets



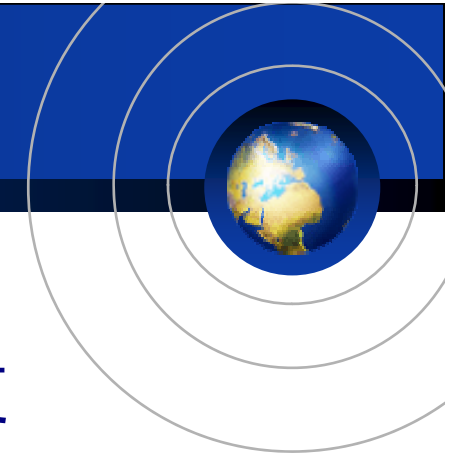
The matter is strongly coupled



The matter is hot



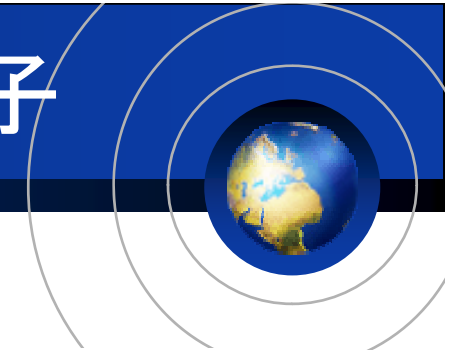
LHC: 直面する壁を越えて



- 到達パートン密度
 - より高い横運動量領域でのジェット抑制, 変更
 - J/Ψ , Υ 抑制 / 再結合 (熱的生成)
- 到達温度, 持続時間, 衝突初期の時空発展
 - 熱輻射光子
 - 熱輻射光子 HBT 相関
- カイラル対称性回復, ハドロン質量起源
 - 低質量ベクトル中間子質量状態
- *i.e.* 透過的測定による包括的理解
- LHC → 物理条件による測定実現性の壁を制覇

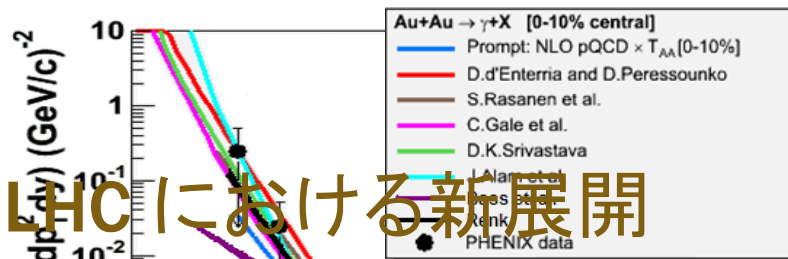
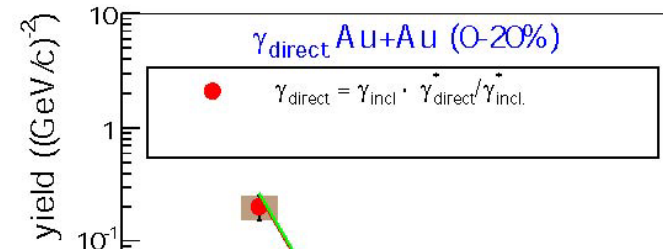


LHC による新展開 #1: 熱輻射光子



■ RHIC における成果

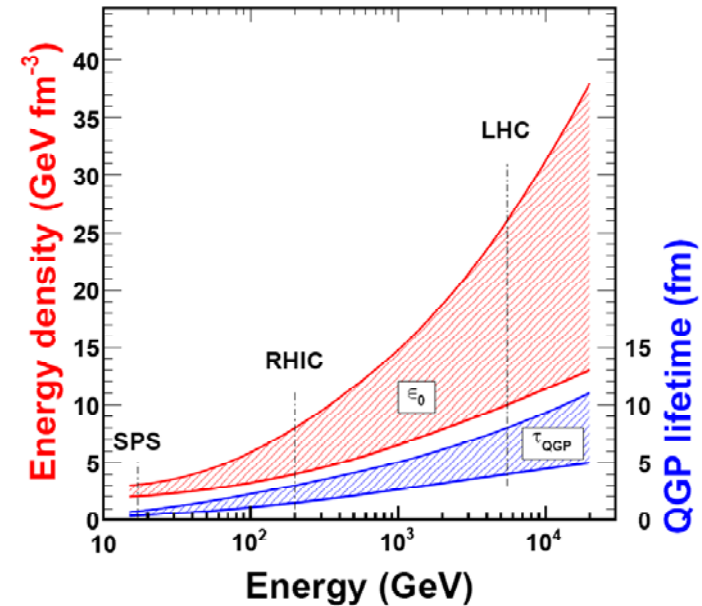
- 仮想光子を用いた間接測定
 - 300 ~ 500 MeV の熱輻射を示唆
- 熱輻射を含めた理論に不定性



■ LHC における新展開

熱輻射光子の直接測定

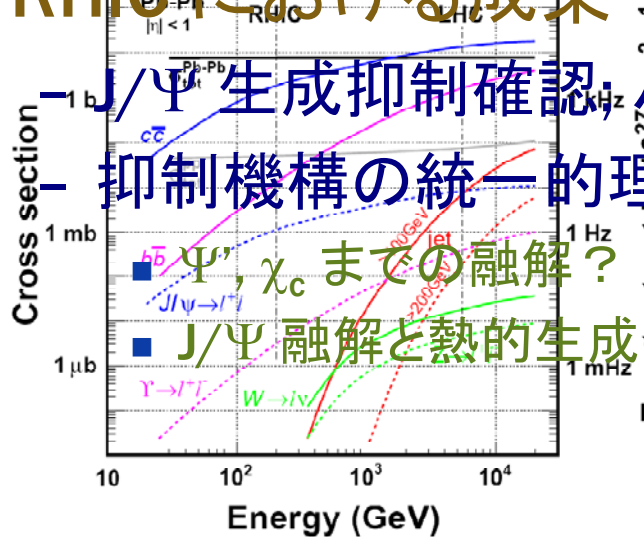
- 到達温度、熱輻射持続時間増大
- ジェット抑制による背景光子低減
- ALICE-PHOS 検出器
- ハートン多体系の熱的性質の理解へ



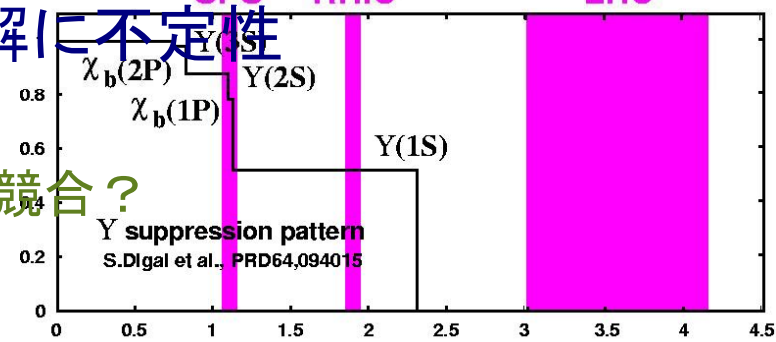
LHCによる新展開 #2: 重クォークonia



RHICにおける成果



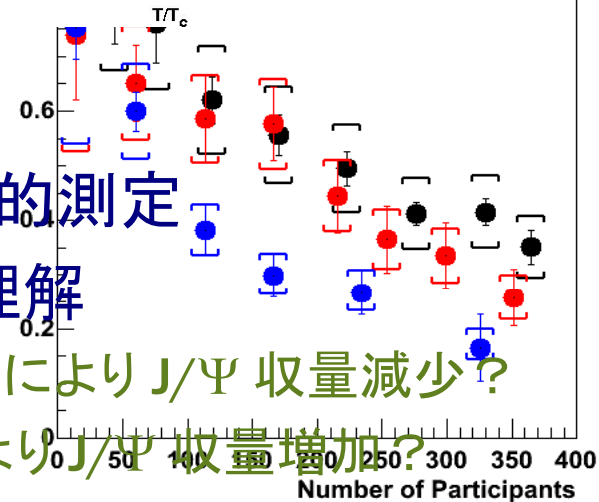
パートン非閉込相生成の有力信号



LHCにおける新展開

- J/ψ, Υ, 励起状態を含めた系統的測定
- 抑制機構、競合過程の包括的理解

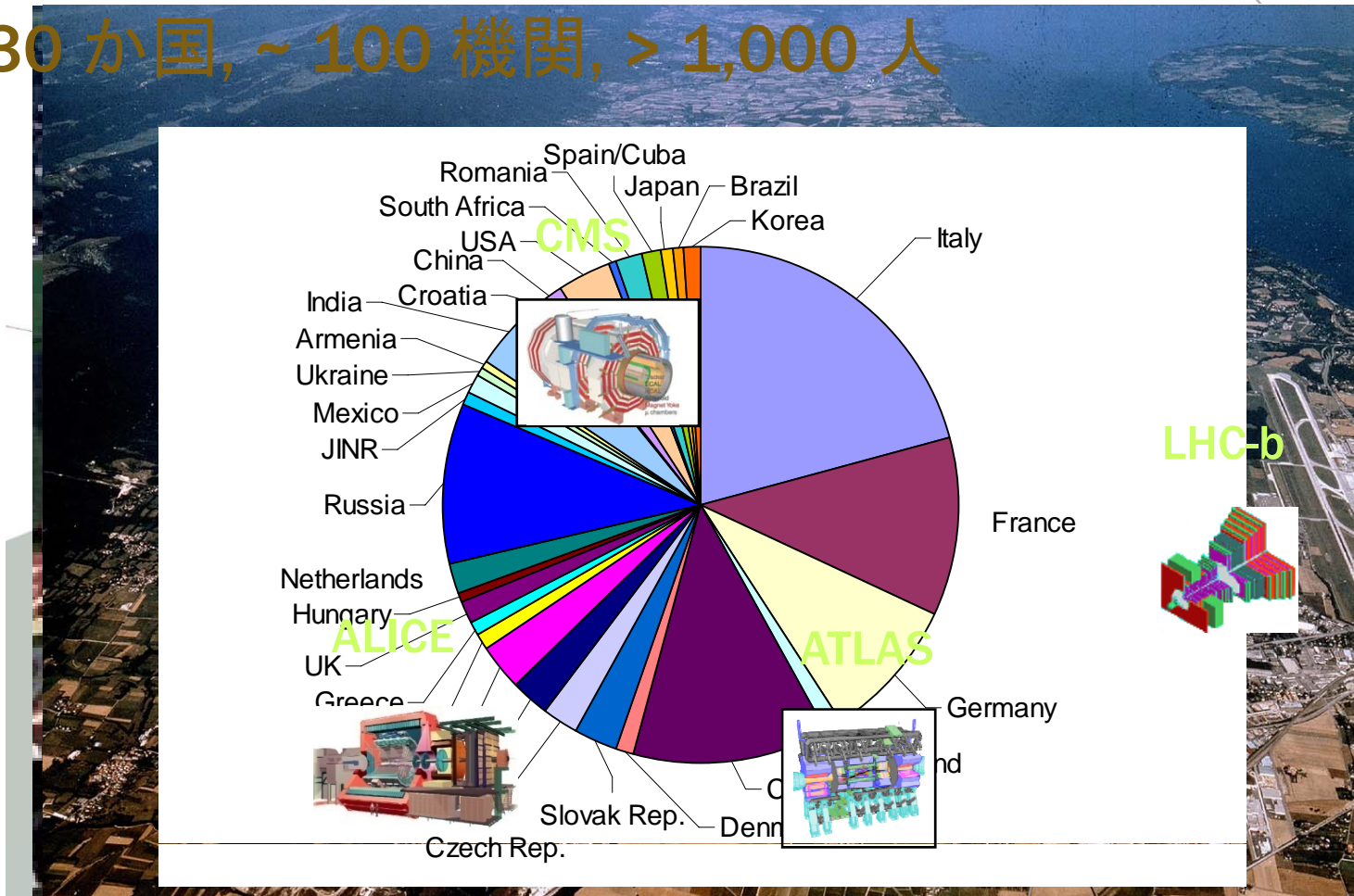
- 到達エネルギー密度増大 → 融解により J/ψ 収量減少? (PHENIX at RHIC (1.2 < |y| < 2.2))
- c-cbar 生成量増加 → 再結合優勢により J/ψ 収量増加? (NA50 at SPS (0 < |y| < 1))



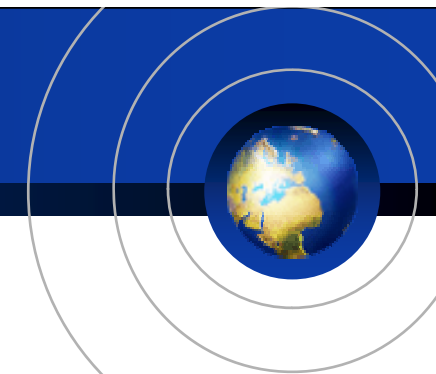
A Large Ion Collider Experiment



- LHC 唯一の原子核衝突に特化した実験
- 30 か国, ~ 100 機関, > 1,000 人



日本国内推進体制：ALICE-J



■ 正式参加機関として 2006 年 MoU 調印

- 広島大学

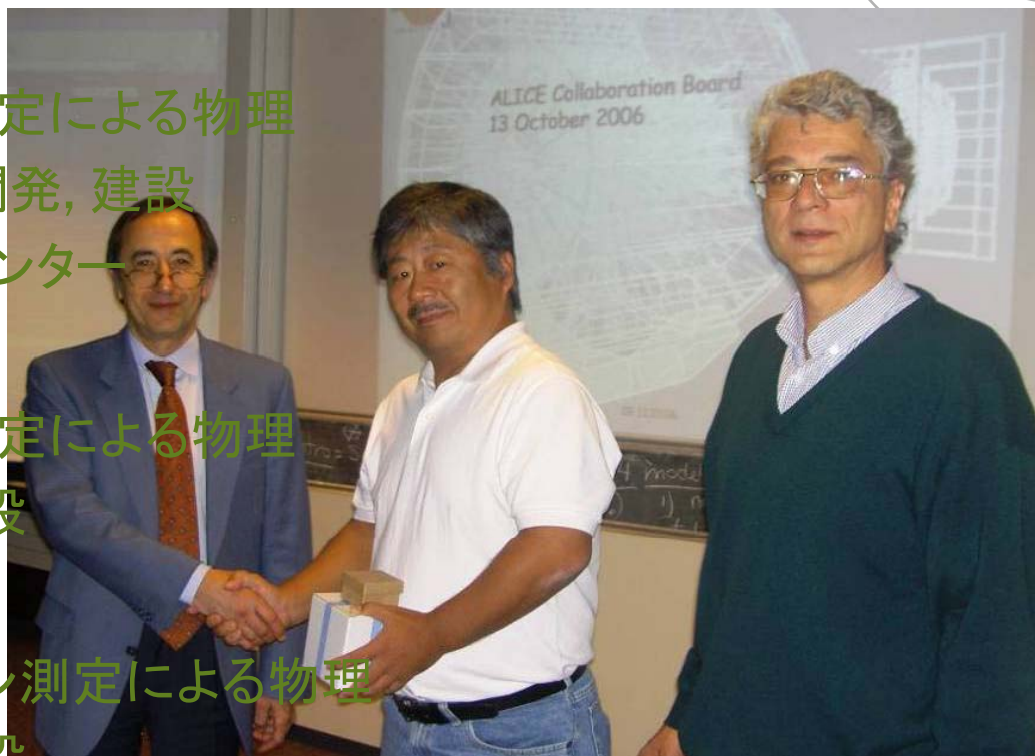
- 主として光子測定による物理
- PHOS 検出器開発, 建設
- “Tier 2” 解析センター

- 東京大学 CNS

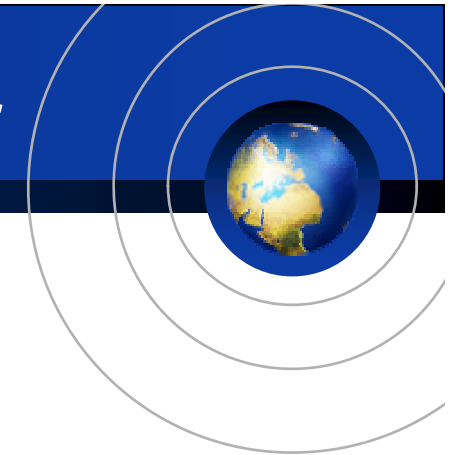
- 主として電子測定による物理
- TRD 検出器建設

- 筑波大学

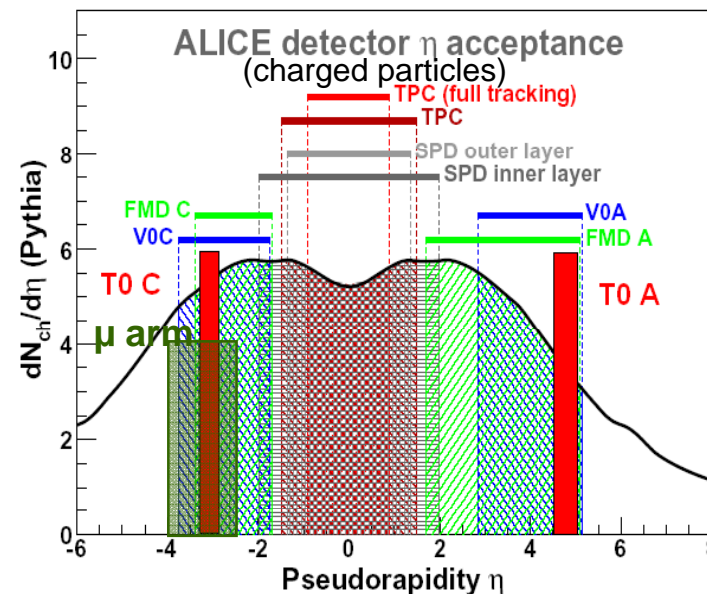
- 主としてハドロン測定による物理
- TRD 検出器建設
- CERN 分室開設



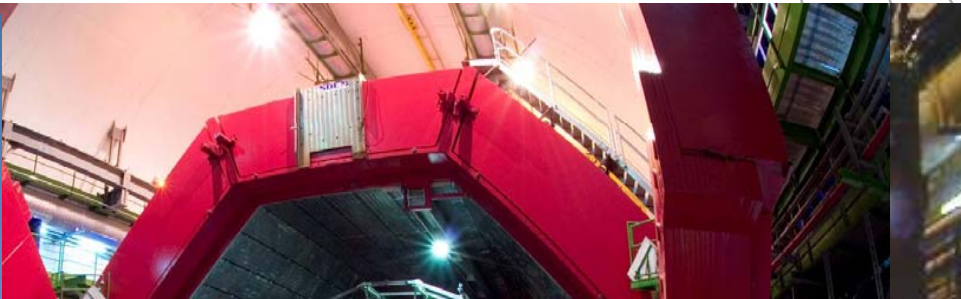
ALICE: “汎用” 原子核衝突測定器



- 中心領域スペクトロメータ: $-0.9 < \eta < 0.9$
 - 飛跡検出・粒子同定: 全方位角
 - 特化型検出器 HMPID, PHOS, EMCal: 一部の立体角
- 前方 μ スペクトロメータ: $-4 < \eta < -2.4$
- 荷電粒子多重度測定: $-3 < \eta < 5.4$



ALICE (L3) 電磁石 + 検出器架台



■ 設置完了



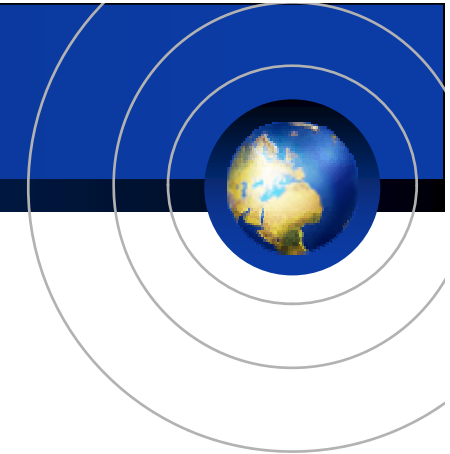
2008/03/24

日本物理学会シンポジウム/LHC First Collision へ向けた実験準備/ALICE 実験準備状況/志垣賢太

10/34

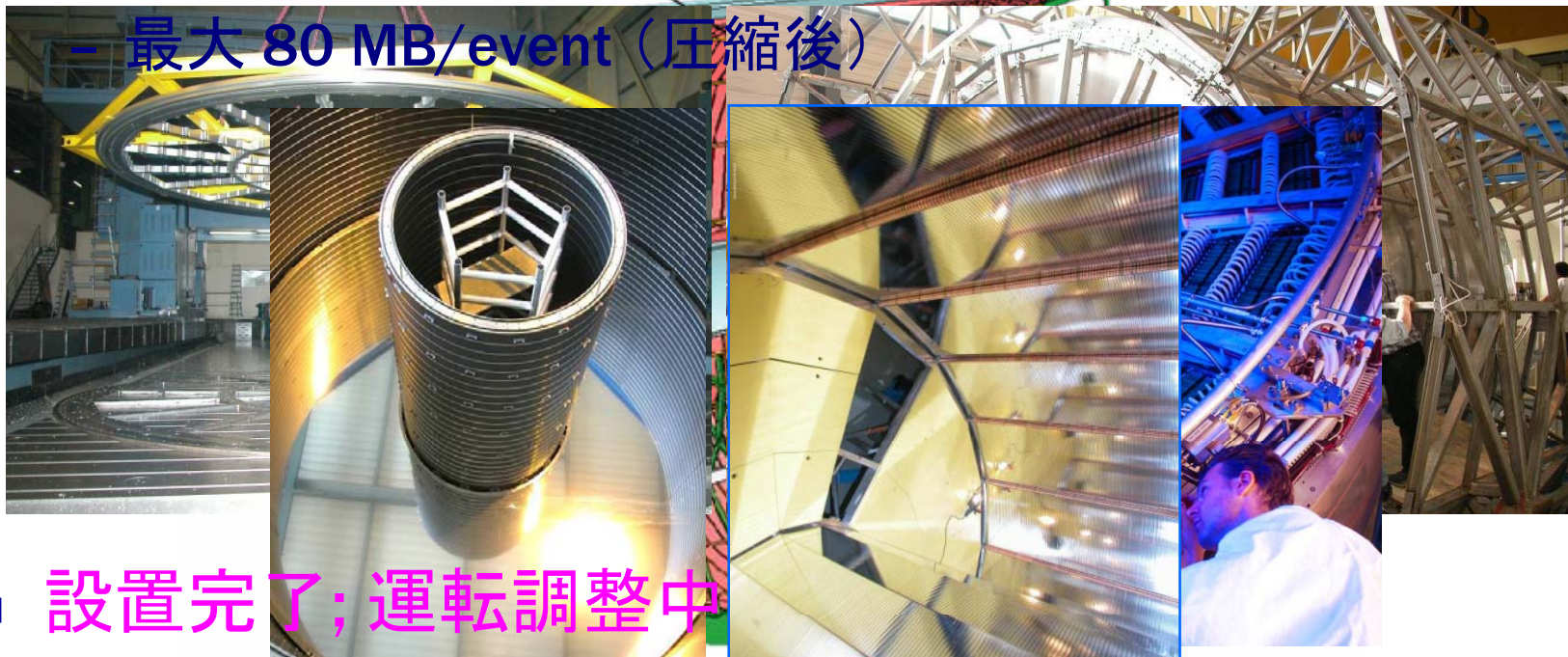


Time Projection Chamber



■ 主飛跡検出器

- $|\eta| < 0.9$, 全方位角
- 88 m^3 , 全長 10 m , 半径 5.6 m , 570 k チャンネル
- $3 \% X_0$, Ne (86)/CO₂ (9.5)/ N₂ (4.5), O₂ ~ 1 ppm
- 最大 80 MB/event (圧縮後)



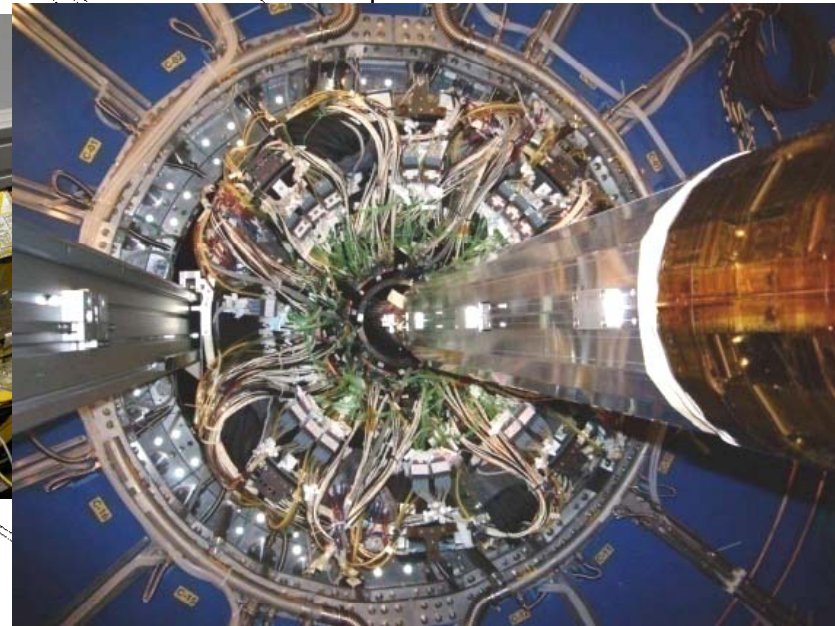
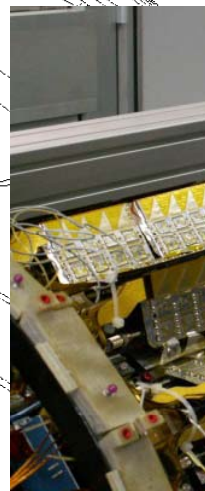
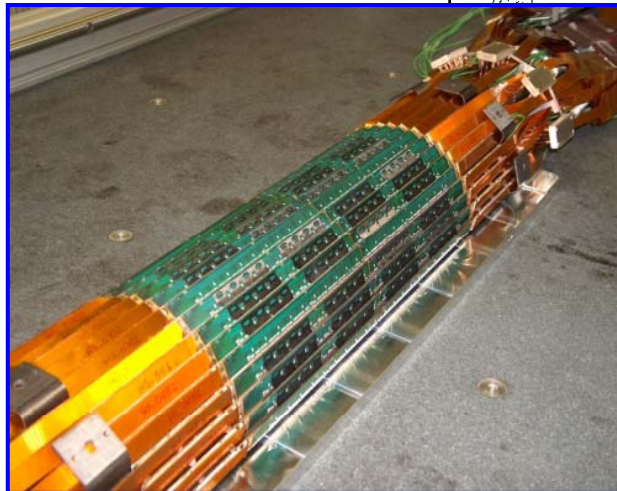
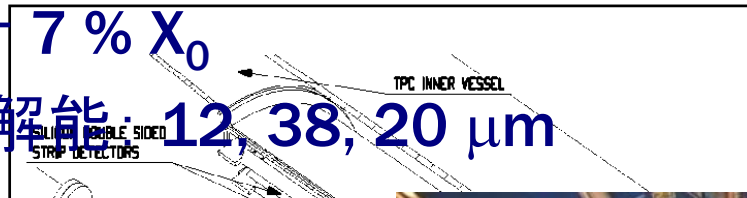
■ 設置完了; 運転調整中



Inner Tracking System



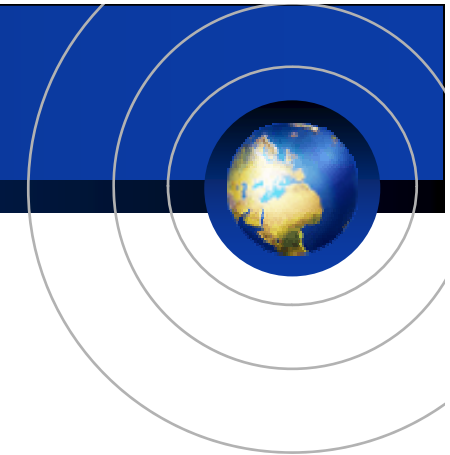
- 飛跡検出 ($|\eta| < 1$) + 粒子多重度 ($|\eta| < 2$)
- シリコン・ピクセル, ドリフト, ストリップ
 - 各 2 層; 計 7% X_0
 - $r\phi$ 位置分解能: 12, 38, 20 μm



- 設置完了; 運転調整中



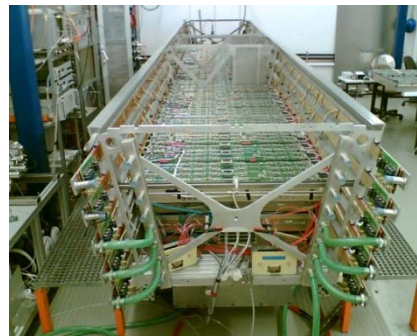
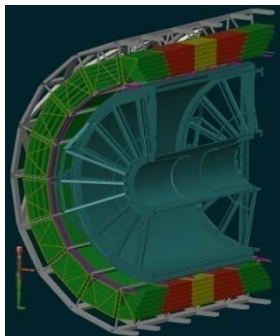
Transition Radiation Detector



■ 飛跡検出 + 電子識別

- $|\eta| < 0.9$, 全方位角
- 28 m^3 , 22 % X_0 , Xe (85)/CO₂ (15), 1.2 M チャンネル
- $r\phi$ 位置分解能 400 – 600 μm , z 位置分解能 23 mm
- e/π 分離 > 100 ($p_t > 3 \text{ GeV}/c$)

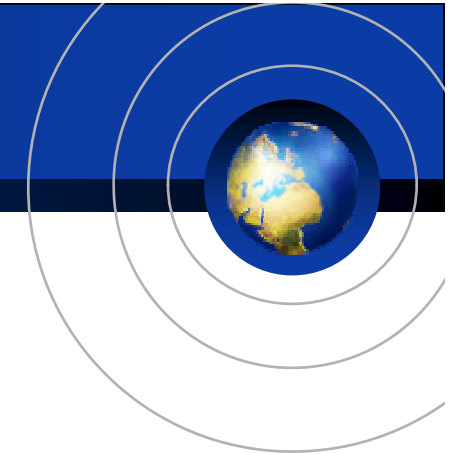
- *ref.* 渡辺健悟 24aZV12, 佐野正人 24aZV13, 高原明久 24aZV14



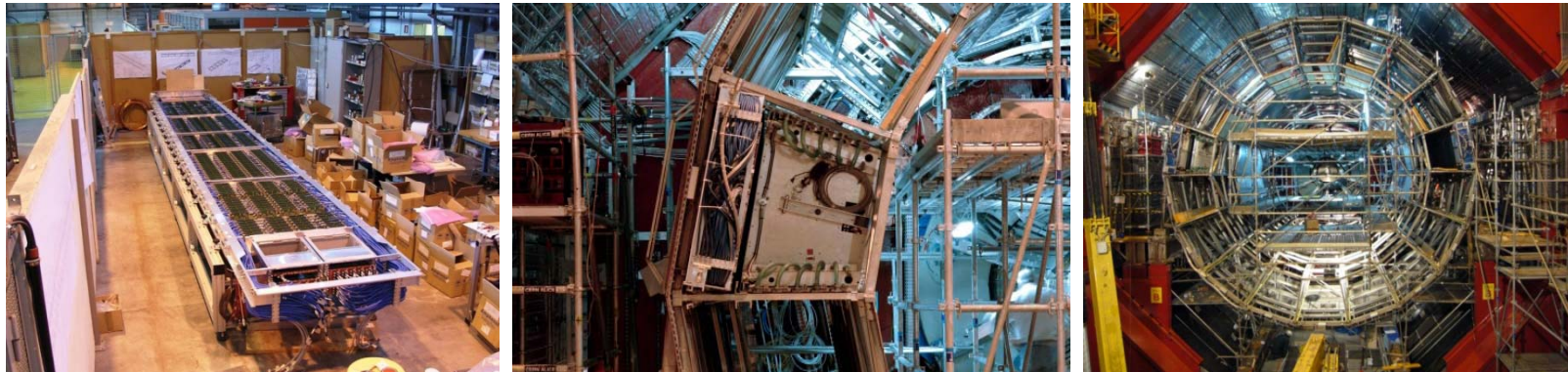
■ 2/4 モジュール設置完了; 運転調整中



Time of Flight



- ハドロン識別
- MRPC
 - $|\eta| < 0.9$, 全方位角; 飛行距離 3.7 m
 - 時間分解能 ~ 50 ps, 160 k チャンネル



- 4/8 モジュール設置完了; 運転調整中

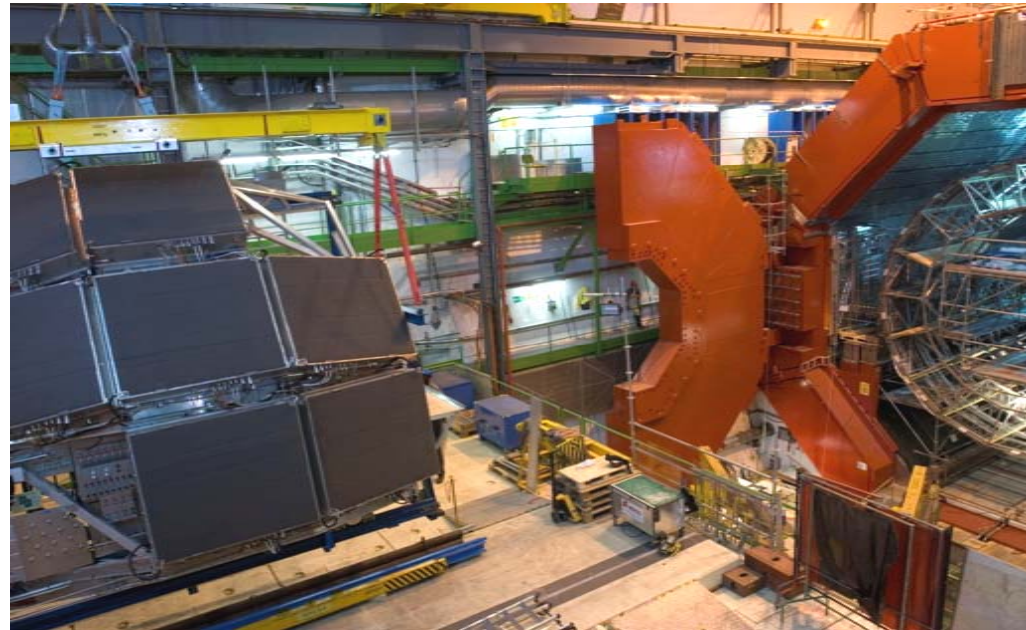
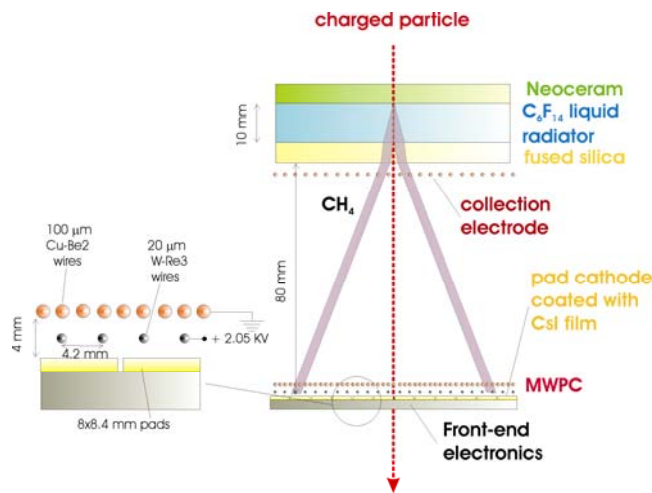


High Momentum PID

■ リング・イメージング・チェレンコフ

- $|\eta| < 0.6, \Delta\phi = 58^\circ$

- $\gamma_{th} = 1.57$; CsI カソード読出し, 11 m², 16.1 k チャンネル



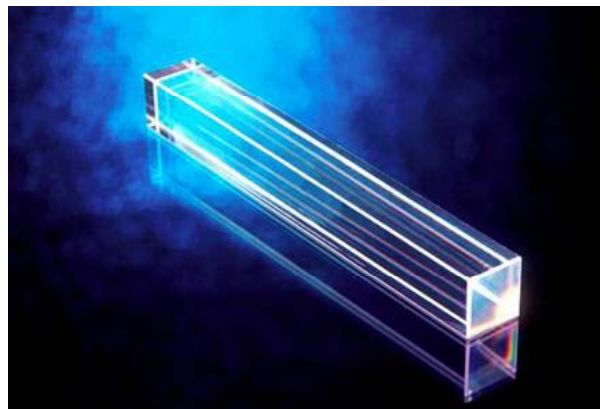
■ 設置完了; 運転調整中



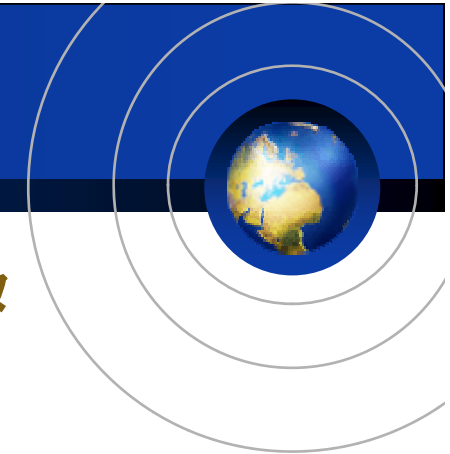
Photon Spectrometer



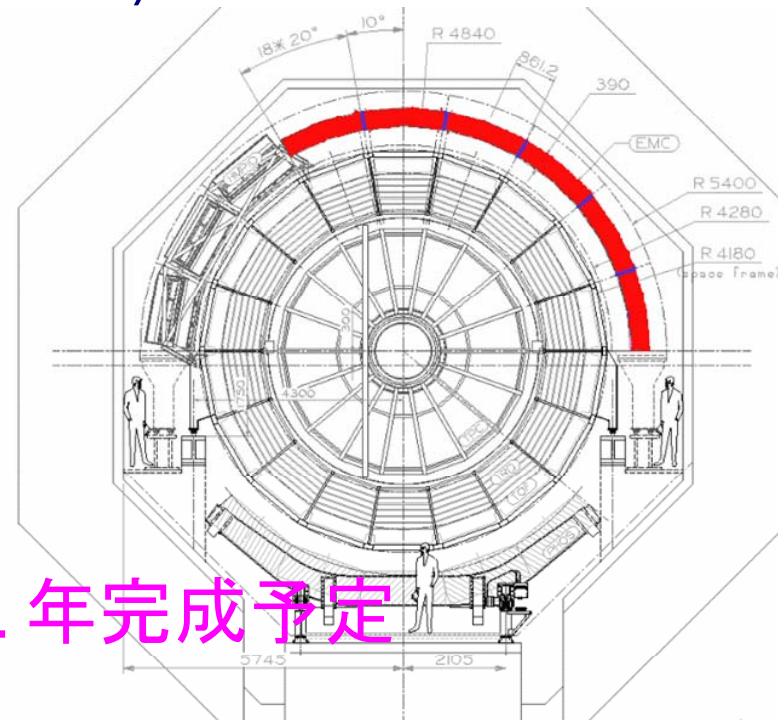
- 高分割, 高精度電磁カロリメータ
- 詳細後述



Electro-Magnetic Calorimeter



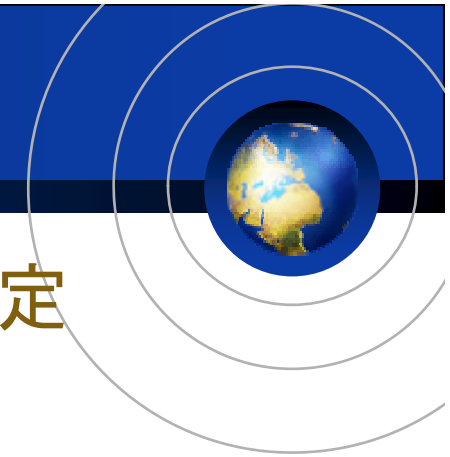
- 鉛シンチレータ・サンプリング・カロリメータ
 - $|\eta| < 0.7, \Delta\phi = 107^\circ$
 - APD 読出, 13 k チャンネル
 - エネルギー分解能 $\sigma/E \sim 10 \%/ \sqrt{E}$
 - ジェット・タギング



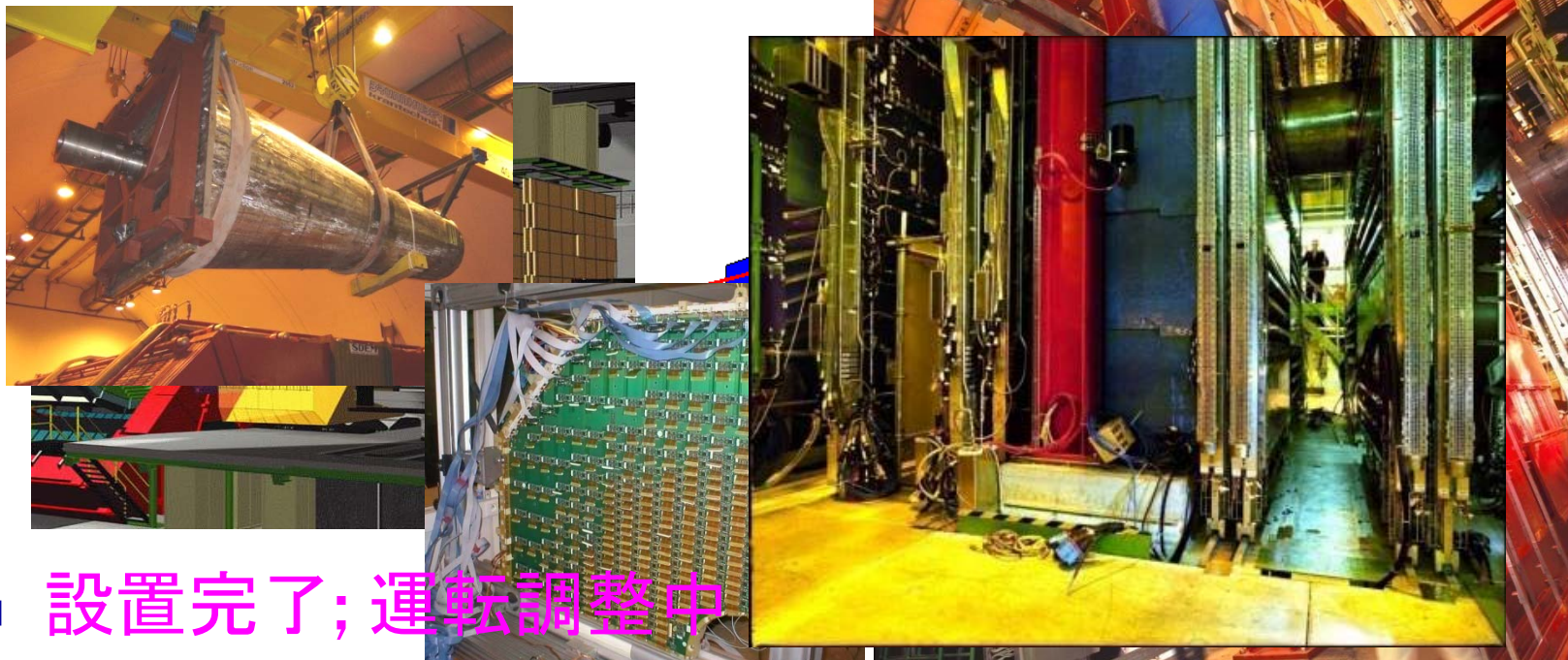
- 2009 年設置開始; 2011 年完成予定



Forward (di-)μ spectrometer



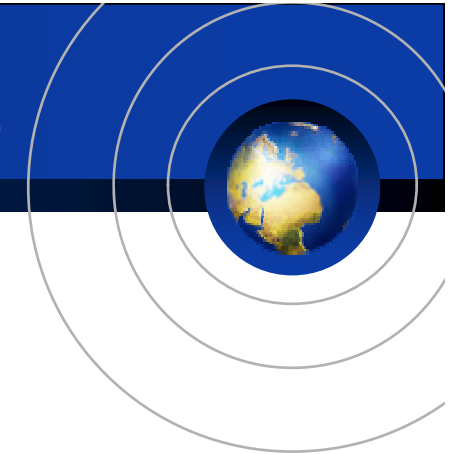
- 前方領域でのクォークonia, 重フレーバ測定
 - $2.4 < \eta < 4.0$
 - 質量分解能: $< 70 \text{ MeV (J/\Psi)}$, $< 100 \text{ MeV (}\Upsilon\text{)}$
 - 運動量カットオフ $4 \text{ GeV}/c$



- 設置完了; 運転調整中



トリガ, データ収集, オフライン処理

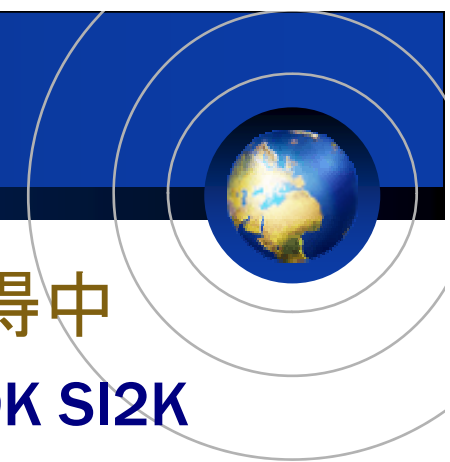


- 1.2 GB/s (当初 500 MB/s); 2.5 PB/y
- 階層型トリガ
 - 中央トリガ・プロセッサ L0, L1, L2
 - 高次トリガ
 - 1 K CPU; 20 K CPU まで増強可能な設計
- GRID
 - 2007 年 12 月検出機試験に伴いデータ処理試験
 - 全取得データの系統的再構成
 - 再構成データ 18 TB の世界的共有
 - 4 大陸, 65 サイト, 7.5 K CPU, 1 PB ディスク

■ 設置完了; 動作確認済; 運転調整中



LHC 計算機グリッド広島 “Tier 2”



- 稼働準備最終段階; WLCG サイト証明取得中
 - Xeon 5160/5355 × 2 CPU × 90 ノード > 400K SI2K
 - RAID ディスク 42 TB
 - 1 ~ 2 年以内にディスク拡充予定



境界条件 #1: LHC 立上・運転計画



■ LHC 立上日程

- 2008/04 加速器, 実験閉鎖
- 2008/06 ビーム調整 ($p+p$, $\sqrt{s} = 10 \text{ TeV} ?$)
- 2009 $p+p$, $\sqrt{s} = 14 \text{ TeV}$, $10^{32} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
- 引続き? $Pb+Pb$, $\sqrt{s_{NN}} = 5.5 \text{ TeV}$, $5 \times 10^{25} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$

■ 当初数年間に期待される実験条件

- $p+p$ $\sqrt{s} = 14 \text{ TeV}$, $10^{31} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ (ALICE), 10^7 s/年
 $\sqrt{s} = 5.5 \text{ TeV}$, $10^{31} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$, $10^6 \text{ s/年} \times 1 \text{ 年}$
- $Pb+Pb$ $\sqrt{s_{NN}} = 5.5 \text{ TeV}$, $10^{27} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$, 10^6 s/年
- $p+Pb$ $\sqrt{s_{NN}} = 8.8 \text{ TeV}$, $10^{29} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$, $10^6 \text{ s/年} \times 1 \text{ 年}$
- $Ar+Ar$ $\sqrt{s_{NN}} = 6.3 \text{ TeV}$, $10^{29} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$, $10^6 \text{ s/年} \times 1 \text{ 年}$



境界条件 #2: ALICE 建設・立上計画



■ 2008 年運転開始時の検出器構成

- 完全: ITS, TPC, HMPID, μ , トリガ検出器系
- 一部: TRD (4/18), TOF (8/18), PHOS (1/5)
- 低減: 高次トリガ (30%)

■ *i.e.* 当初性能:

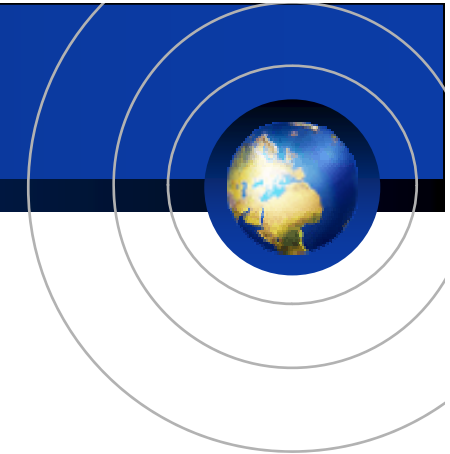
- ほぼ完全なハドロン, μ 測定能力
- 部分的な電子, 光子測定能力

■ 完成へ向けた中期計画

- 2009 高次トリガ増強
- 2009-2010 TRD, TOF, PHOS 完成
- 2010-2011 EMCal 設置



初期戦略 #1: p+p 衝突の物理

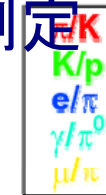


■ Pb+Pb 衝突に対する基準測定

- 未踏エネルギー領域における素過程測定

- s, c, b, クォークonia, ...

- ref. 洞口拓磨 25pZB10



■ p+p 衝突固有の物理

- 未踏エネルギー領域における粒子生成機構

- 生成粒子多重度, バリオントランスポート, p (GeV/c)

- ALICE 検出器の利点

- 運動量 < 100 MeV/c ($X_T < 10^{-5}$) から > 100 GeV/c を網羅
- 優れた粒子識別
- ミニマム・バイアス, 粒子多重度, その他のトリガ

■ 高多重度 p+p 衝突事象の物理



初期戦略 #2: Pb+Pb 光子精密測定

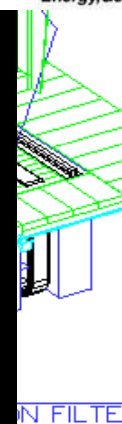
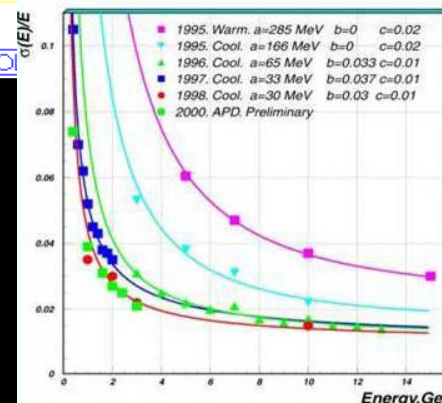


■ “光子スペクトロメータ” PHOS

- 光子, 中性中間子, ジェット, タギング

- + L0, L1 トリガ
- 100 MeV ~ 100 GeV の広い領域
- 高エネルギー分解能, 高分割

- $\sigma/E \sim 3\%$ (1 GeV)
- PbWO_4 単結晶: $22 (1.0 R_{\text{Moliere}}) \times 22 \times 180 (20 X_0) \text{ mm}^3$
- APD (雪崩式光ダイオード) + 電荷読出前置増幅器
- 単結晶から前置増幅器まで $-25 \pm 0.1^\circ \text{C}$
- ref. 溝口謙太 24aZV9
- $|\eta| < 0.12, \Delta\phi = 100^\circ$, 設置半径 4.6 m
- $56 \times 64 \times 5$ 基; 17,920 チャンネル, 12.5 t



PHOS 製作状況, 設置計画



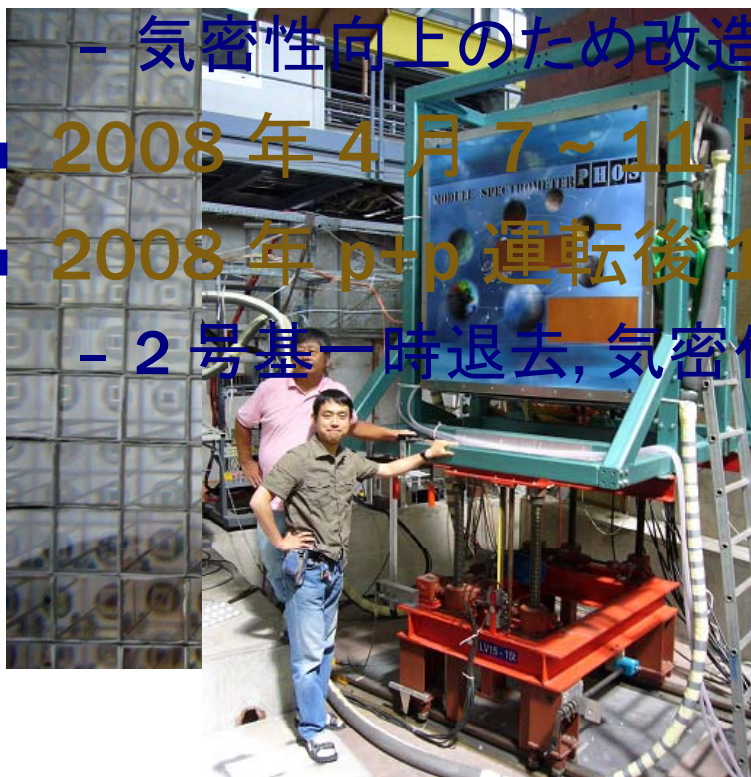
- 2006 年 1 号基製作, ビーム試験 (CERN PS/SPS)
 - ALICE データ収集系による読出
 - 較正, 解析手法確立

- 気密性向上のため改造中

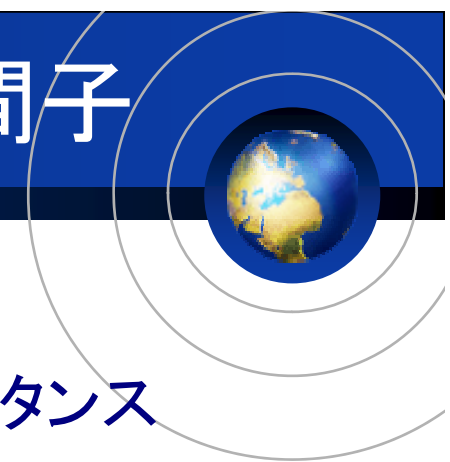
- 2008 年 4 月 7 ~ 11 日 2 号基設置 (常温, 温調)

- 2008 年 p+p 運転後 1, 3 号基設置 (-25°C)

- 2 号基一時退去, 気密化後再設置



光子測定による物理 #1: 中性中間子

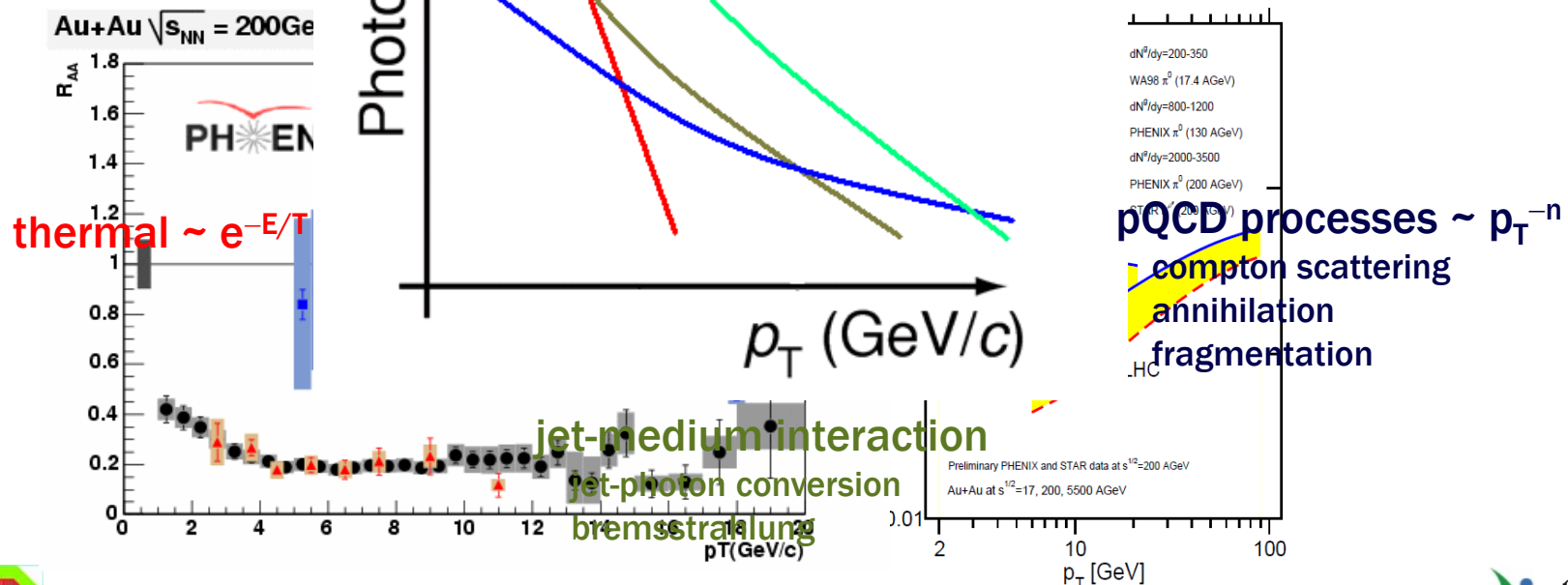


■ Day-1 プログラム

- 当初設置の PHOS 2 ~ 3 基で十分なアクセプタンス

■ RHIC 以上に強い抑制, 高い測定可能 p_t 領域

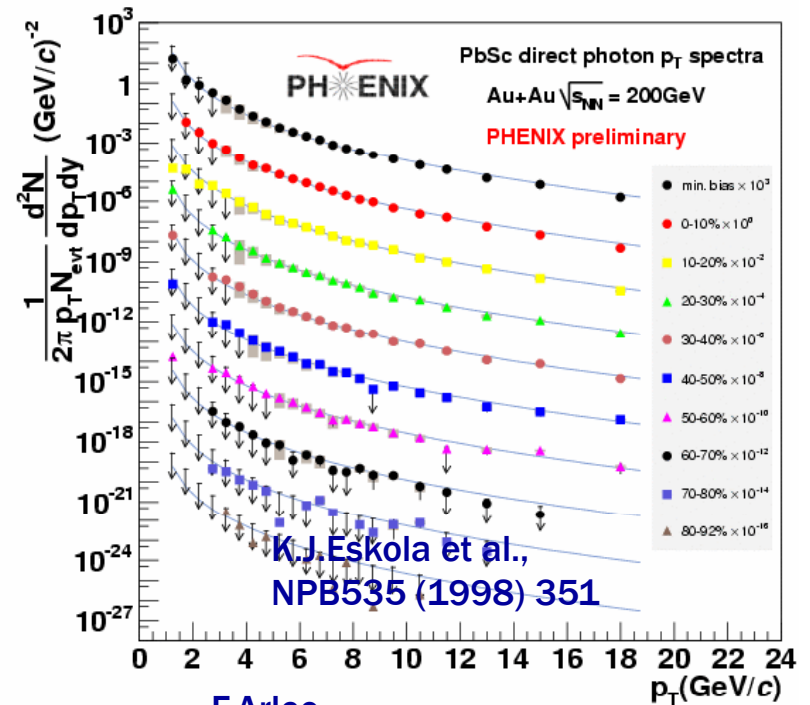
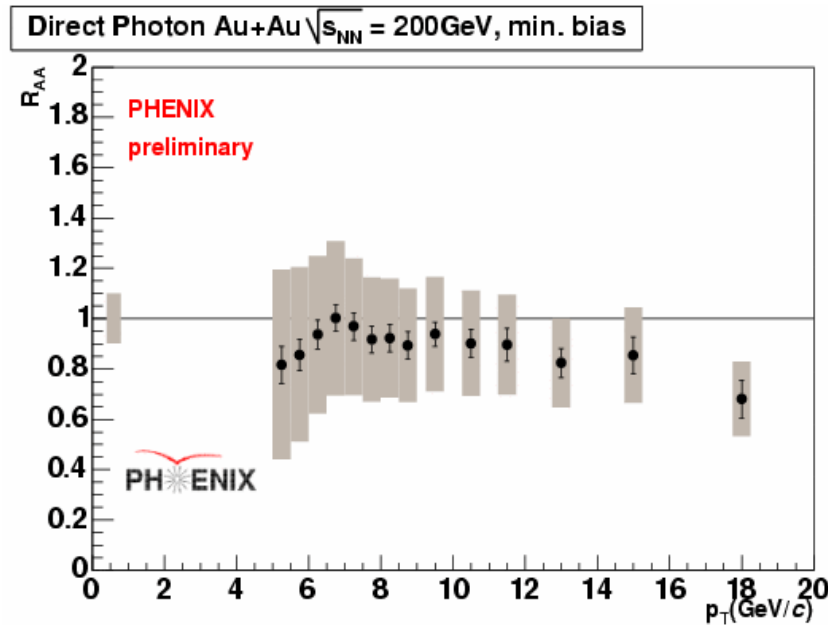
- より明確なクォークのエネルギー損失測定
- 直接生成光子測定に対する背景雑音低減



光子測定による物理 #2: pQCD 光子



- RHIC における直接生成光子測定: pQCD と無矛盾
 - p+p 衝突の単純重合との差異に有意な制限不可
 - 原子核内パートン構造関数変化に有意な制限不可
 - スtring 破砕クエンチング



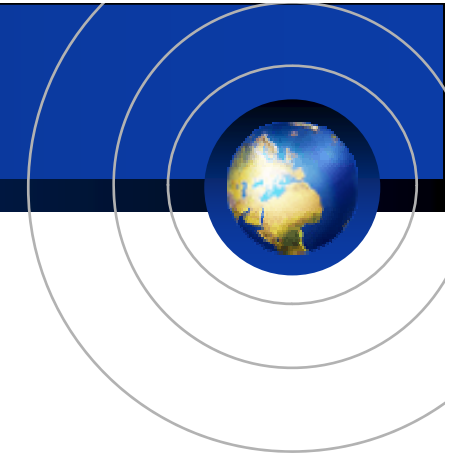
K.J. Eskola et al.,
 NPB535 (1998) 351

F. Arleo,
 hep-ph/0601075 (2006)

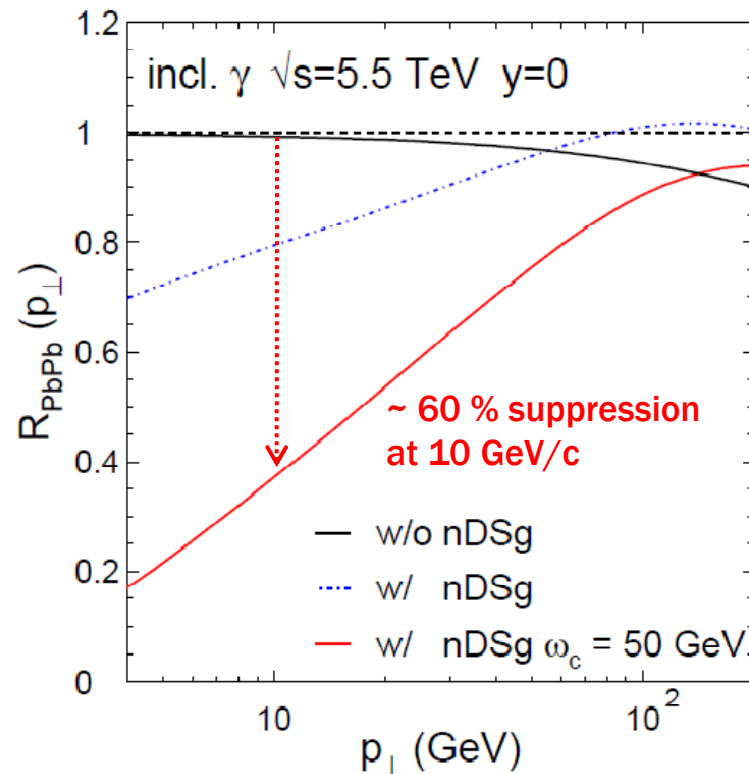
tions of x at 10^{-1} and 10^{-2} and $Q^2 = 10000 \text{ GeV}^2$ as obtained by using the GRV-LO [25] distri-



ストリング破砕クエンチング



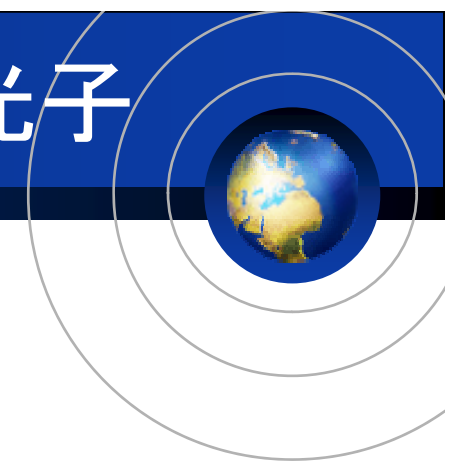
- LHC: pQCD 光子の有意な抑制の予言
 - クォークのエネルギー損失の独立な測定
 - 熱輻射光子に対する背景雑音低減



F.Arleo,
hep-ph/0707.2320 (2007)



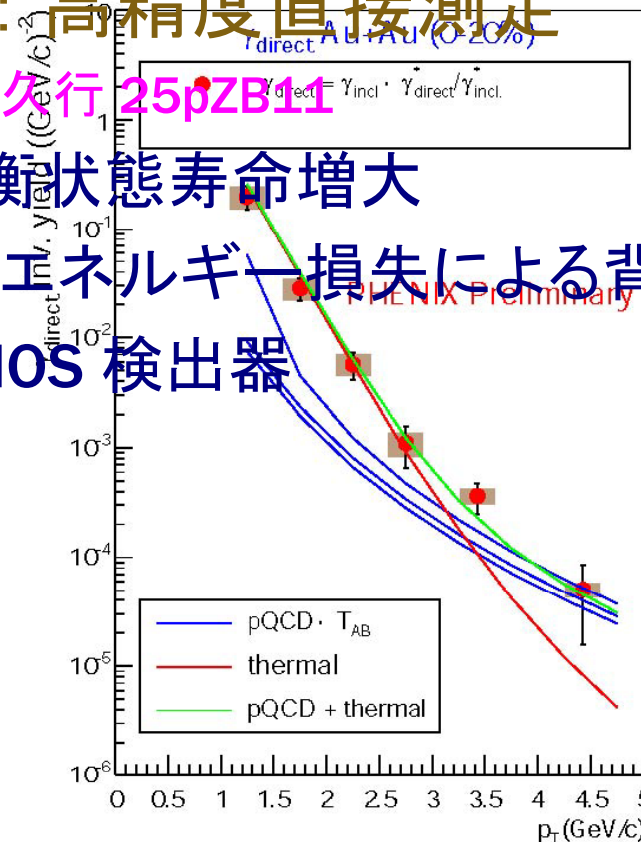
光子測定による物理 #3: 熱輻射光子



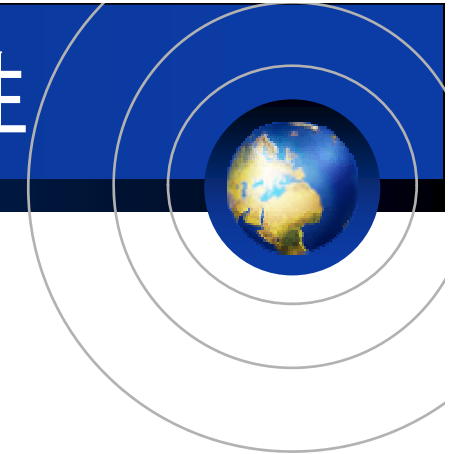
- RHIC/PHENIX: 仮想光子による間接測定
 - 300 ~ 500 MeV の熱輻射成分存在を示唆

- LHC/ALICE: 高精度直接測定

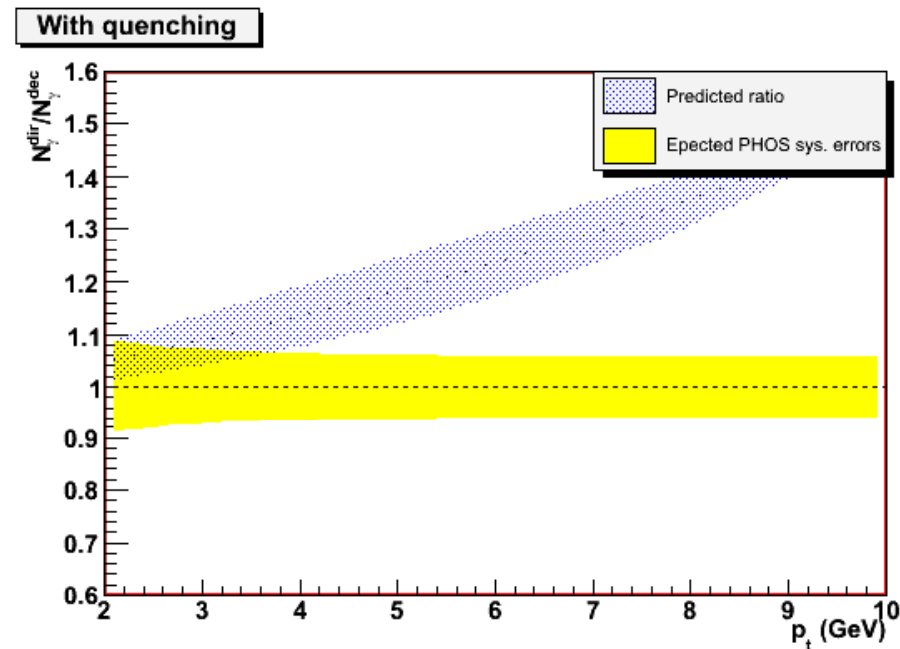
- ref. 鳥井久行 25pZB11
 - 高温熱平衡状態寿命増大
 - クォークのエネルギー損失による背景雑音光子抑制
 - 高性能 PHOS 検出器



直接生成, 熱輻射光子測定実現性



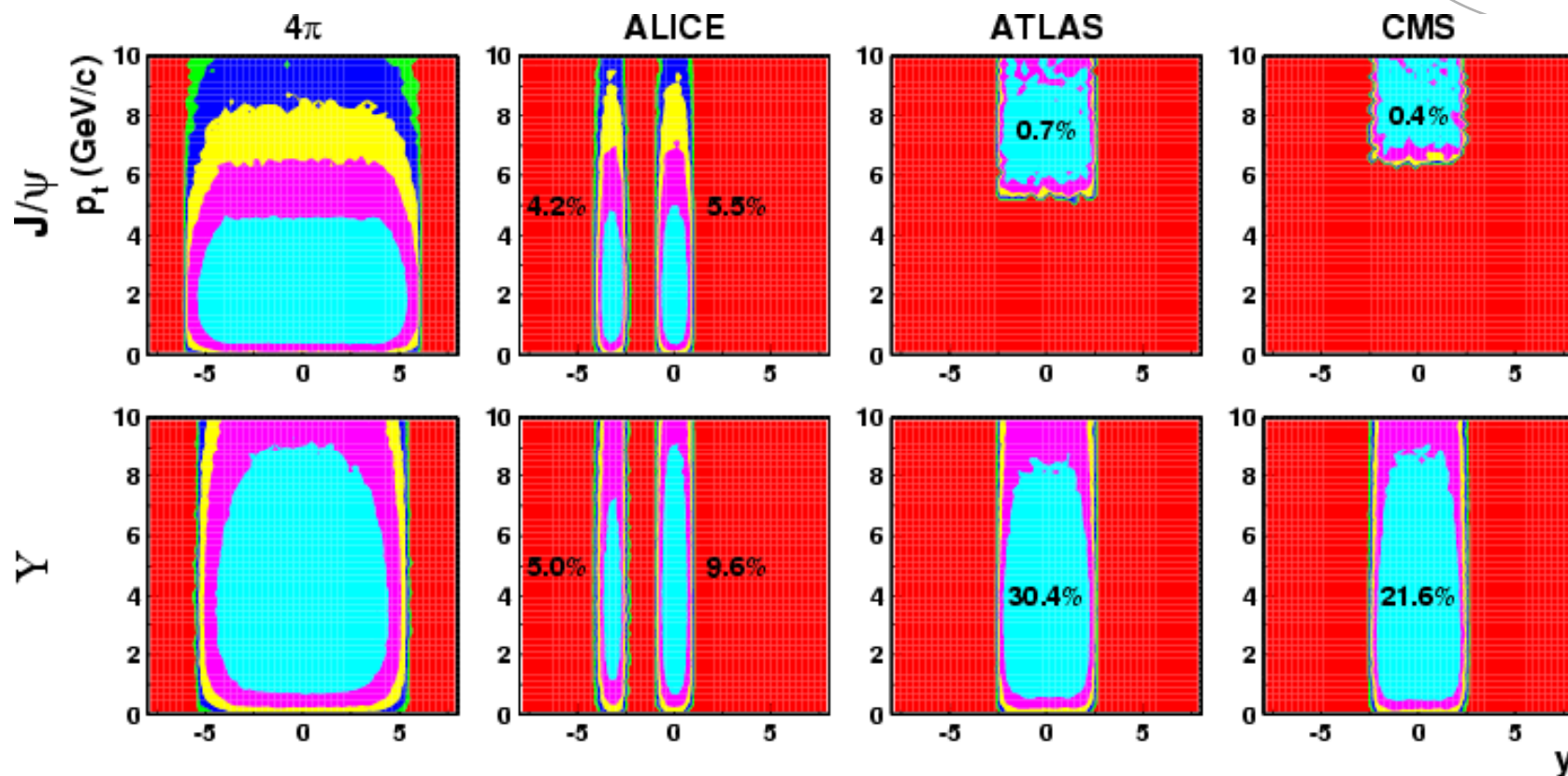
- 期待される信号対背景光子比
 - 4 ~ 10 % (3 GeV/c) - 25 ~ 50 % (10 GeV/c)
- PHOS 検出器による測定の系統誤差見積
 - 8.9 % (2 GeV/c) - 5.7 % (10 GeV/c)



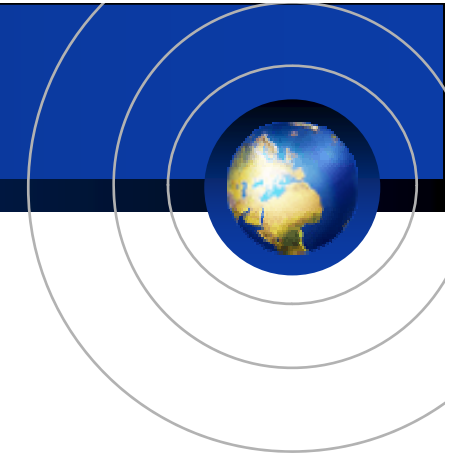
初期(?)戦略 #3: 重クォークコニア



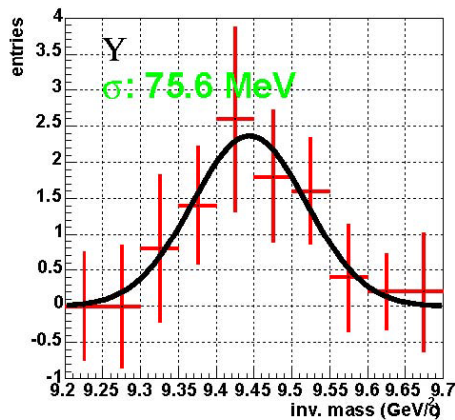
- 広い p_t , ラピディティ領域にアクセプタンス



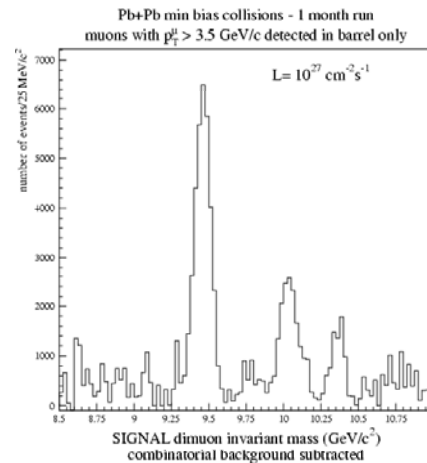
重クォークonia精密測定



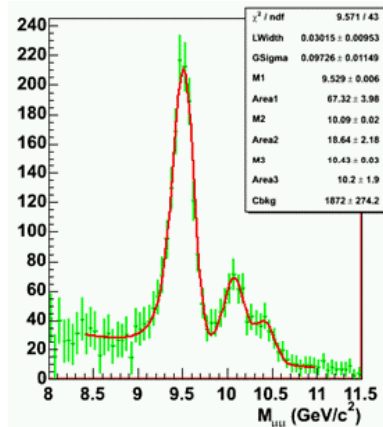
- ALICE (, CMS): Υ 励起状態を分離可能
 - 質量分解能 ~ 100 MeV が必要



ALICE e^+e^-
 $\sigma < 80$ MeV

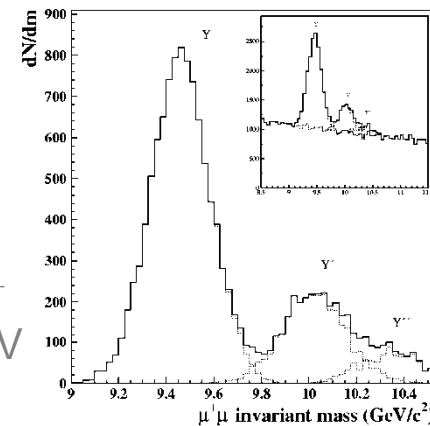


CMS $\mu^+\mu^-$
 $\sigma \sim 80$ MeV



ALICE $\mu^+\mu^-$
 $\sigma < 100$ MeV

ATLAS $\mu^+\mu^-$
 $\sigma > 120$ MeV



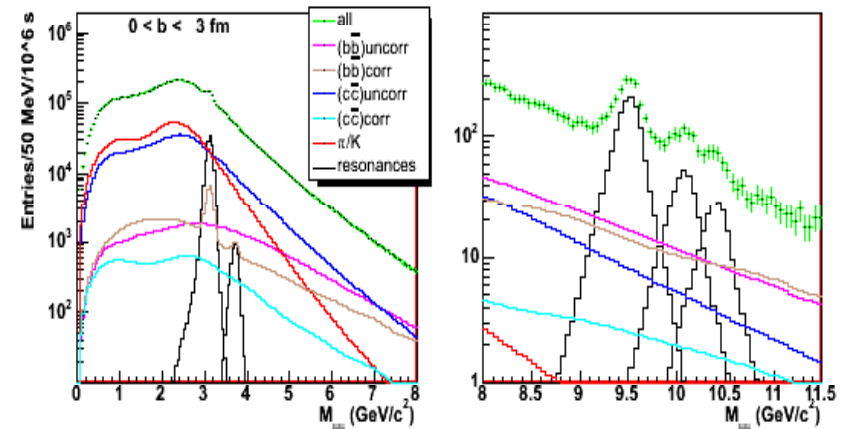
重クォークonia測定実現性



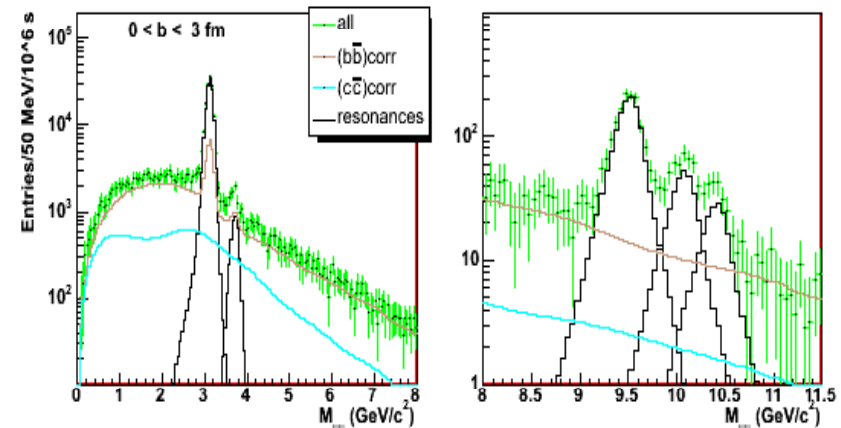
- e.g. Pb+Pb 運転 10^6 秒
 - J/Ψ: 十分な高統計
 - ~ 20 GeV/c まで測定可
 - Ψ': 有意性上の挑戦
 - Υ(1s), Υ(2s): 有意性良好
 - ~ 8 GeV/c まで測定可
 - Υ(3s): 複数年の測定期待

	S[10 ³]	B[10 ³]	S/B	S/√(S+B)
J/Ψ	130	680	0.20	150
Ψ'	3.7	300	0.01	6.7
Υ(1S)	1.3	0.8	1.7	29
Υ(2S)	0.35	0.54	0.65	12
Υ(3S)	0.20	0.42	0.48	8.1

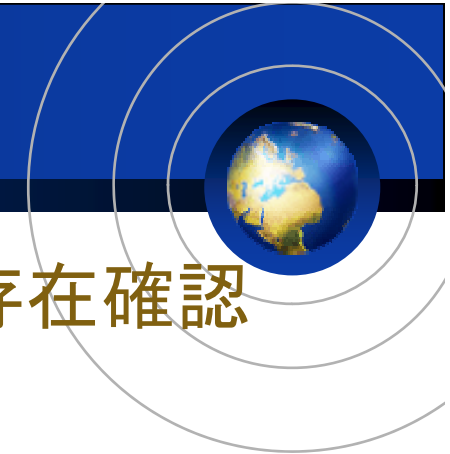
μ⁺μ⁻ raw spectra



μ⁺μ⁻ after combinatorics subtraction



まとめ, おわりに



- 近年の進展 (RHIC): パarton非閉込相存在確認
- LHC において期待される新展開
 - parton非閉込相の性質探求, 包括的理解
 - 熱輻射光子測定
 - 重クォークoniaの系統的精密測定
- 実験開始当初から豊潤な物理成果の期待
 - 数か月内の稼働に向け順調に準備進行中
 - ALICE-J: PHOS, TRD 検出器を軸に最重要物理課題に全力傾注
- ALICE: “汎用” 高エネルギー原子核衝突検出器
 - 広範囲の物理課題に対応した設計
 - 未知の現象に対しても高い対応可能性

