

LHC計画の現状

日本物理学会

シンポジウム：近未来のエネルギーフロンティアと素粒子物理

2003年9月10日

宮崎ワールドコンベンションセンター

尼子 勝哉

(KEK)

CERN プレスリリース - 2003年6月20日

■ L.Miani所長、第125回CERNカウンセルでLHCのスケジュールを確認

- ✓ 2002年に直面した問題は全て解決した
- ✓ LHCは2007年春にスタートさせる

Organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire
European Organization for Nuclear Research

20.06.2003

CERN confirms LHC schedule

LHC dipole magnet cold masses being installed into their supports at CERN.

Geneva, 20 June 2003. The CERN Council, where the representatives of the 28 Member States of the Organization decide on scientific programmes and financial resources, held its 125th session today under the chairmanship of Professor Marco Despin (CH). Highlights of the meeting included confirmation that the Large Hadron Collider (LHC) and its detectors are on schedule for a 2007 start-up, and that the LHC computing grid (LCG) project is about to reach a major milestone.

The Large Hadron Collider
CERN's Director General, Professor Luciano Maiani (IT) underlined a comprehensive review of the status of the LHC project by saying that management is more committed than ever to the current LHC schedule. He said that the major obstacles for the accelerator and detectors have been overcome, and that there is now a clear path to project completion. "All of the problems we encountered in 2002 have been overcome", he said, "although there remain hurdles to overcome, there is no showstopper. We can confirm with fewer reservations than ever that the LHC will start in spring 2007". Professor Maiani drew particular attention to the LCG project, which will make an important step forward in distributed computing technology on 1 July when it deploys an operational computing Grid for the LHC. Negotiations are also underway with the European Union for the "Enabling Grids for E-sciencE" (EGEE) project, which aims to create a Europe-wide Grid infrastructure by combining the many Grid initiatives across the continent.

話の焦点： 2007年のLHCスタートに向けた準備の現状

- LHCの概要
- 2002年問題とは？
- 加速器建設の現状
- 加速器建設の今後のスケジュール
- 実験グループ測定器建設の現状
- 実験進行の予測
- まとめ

LHCの概要： 目的とする物理

- 電弱相互作用セクターにおける自発的対称性の破れの機構の原因究明
 - ヒッグス粒子の実験的探索 (質量範囲 $< 1 \text{ TeV}$)
- 標準理論の精密検証とそれからのずれの探求
 - LHCはW/Z粒子、トップ粒子、ボトム粒子の製造工場
- 超対称性粒子の探求をはじめとする標準理論を越える理論の検証
- CPの破れの精密測定
- 重イオン相互作用の研究
- 全く新しい物理の探求

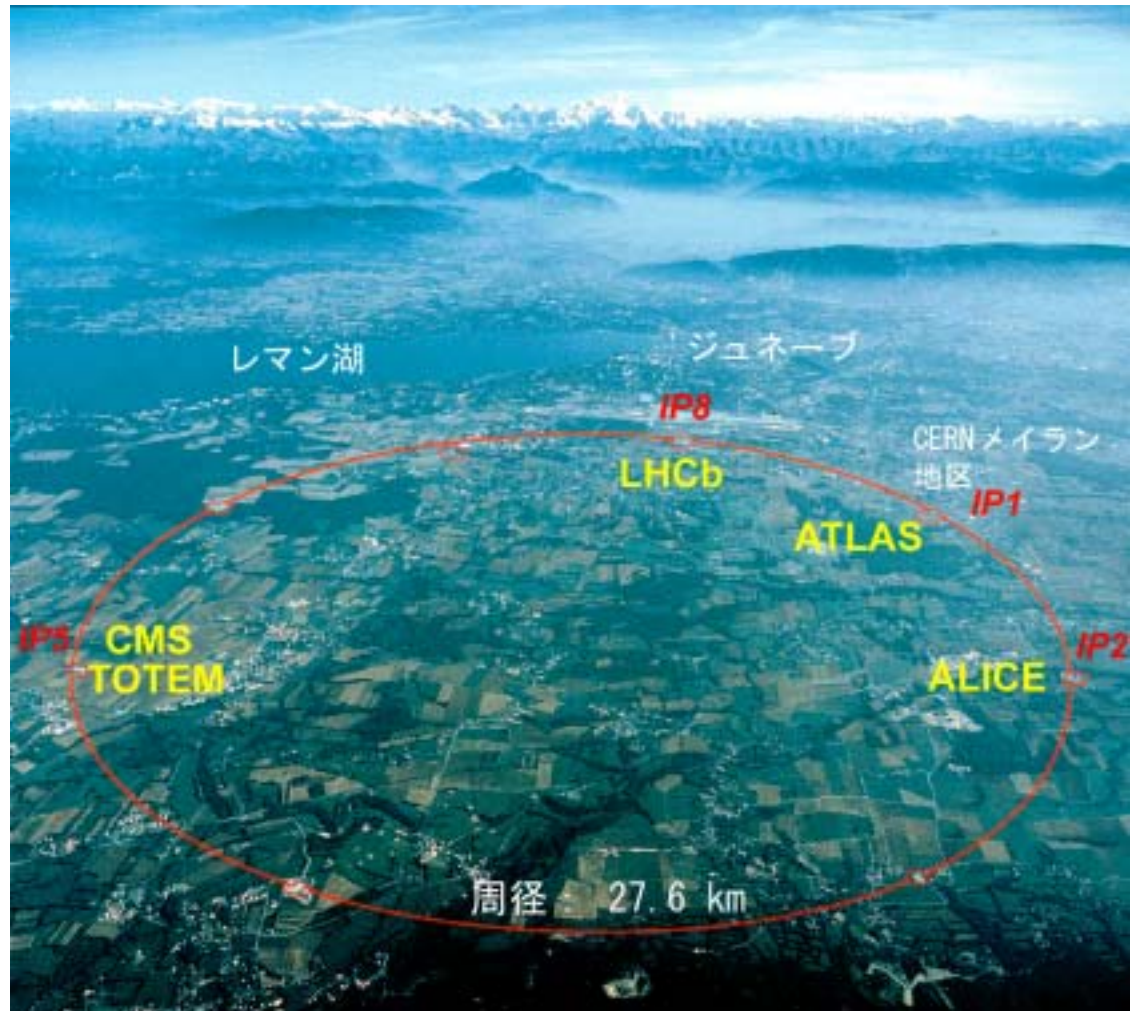
LHCの概要： 加速器と実験グループ

■ LHC加速器

- 陽子陽子およびイオンイオン衝突型加速器
- 既存のLEPトンネルに設置される

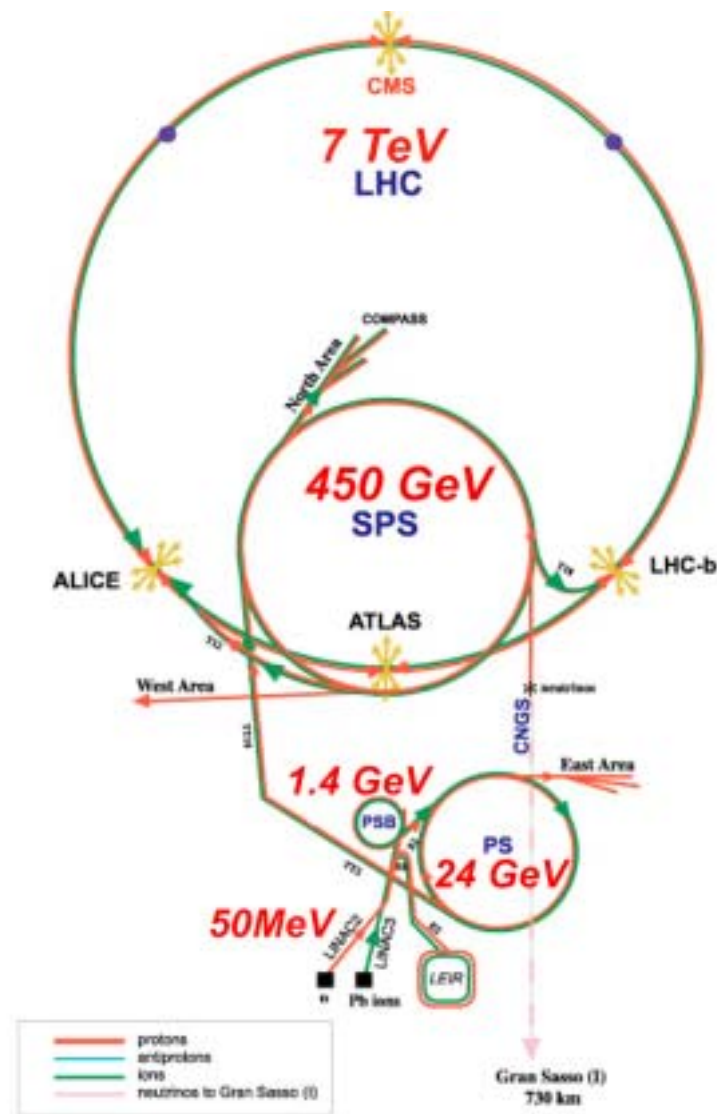
■ 実験グループ

- ATLAS
 - CMS
 - LHCb
 - ALICE
 - TOTEM
- General purpose
- Dedicated



LHCの概要： 加速器主要パラメーター

陽子衝突	定常運転時
ビームエネルギー	7 TeV
ルミノシティ	$1 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
バンチ間隔	25 ns
バンチサイズ	77 mm x 16 μm (rms)
バンチ数	2808
バンチ内粒子数	1.15×10^{11}
バンチ交差角	285 μrad



LHCの概要： 加速器主要パラメター

Pbイオン衝突	定常運転時
ビームエネルギー	2.76 TeV/u
ルミノシティ	$0.5 \times 10^{27} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
バンチ間隔	99.8 ns
バンチサイズ	77 mm x 15.9 μm (rms)
バンチ数	592
バンチ内イオン数	7×10^7
バンチ交差角	100 μrad

LHC計画の2002年問題とは？

Nature 2001年10月の記事 *Nature* 413 (2001) 441

「電磁石製作コスト高騰でLHCが危機」

■ 加速器建設

2,600 + 480 MCHF

■ ATLAS実験

475 + 68 MCHF

■ CMS実験

475 + 63 MCHF

■ ALICE実験

119 + 7 MCHF

■ 日本円概算で

加速器 400 億円
実験 110 億円

news
Nature 413, 441 (2001); doi:10.1038/35097216
nature 04 October 2001

Large Hadron Collider in crisis as magnet costs spiral upwards

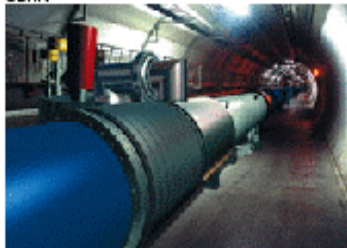
DAVID ADAM

[LONDON] Europe's attempt to build the world's most powerful particle accelerator was plunged into crisis this week as project managers admitted that it faces cost overruns of several hundred million dollars.

CERN, the European particle physics laboratory, where the Large Hadron Collider (LHC) is being built, will face years of budget cuts and belt-tightening as a result of the overruns, its management told staff. But this will cover only a fraction of the extra costs, and CERN is preparing to take the awkward step of asking its 20 member states to cover the rest.

Scheduled to open in 2006, the LHC is intended to be the world's next major high-energy physics facility. But the technical challenge of designing and building the superconducting magnets needed to steer protons and ions through the LHC's accelerators has proven more difficult — and expensive — than CERN expected. Problems with such magnets contributed to the 1993 demise of the US Superconducting Supercollider.

CERN



Running short: CERN may turn to its member states for the cash to finish the Large Hadron Collider.

CERNは加速器コスト問題と測定器建設コスト問題をまとめて公表！

LHC 2002年問題の解決

- 2001年10月: CERNが公式にLHC予算超過を認める
- 2001年11月: CERN評議会でLHC計画についての外部評価委員会設置
決定。議長はR. Aymar(次期CERN所長)
- 2002年 6月: 外部評価委員会からの勧告がでる(人的資源の方針、
予算管理の改善、等)、CERNは勧告に基づく**実施基本計画**の
作成をCERN評議会に約束
- 2002年 9月: 外部評価委員会勧告に基づく**基本計画**をCERN評議会に提出
- 2002年12月: CERN評議会がLHCプロジェクト2003年～2010年**基本計画承認**

基本計画骨子

- ✓ LHC建設終了を2006年から2007年に延期
- ✓ 各グループの**実験装置の一部を建設延期(Staging)**
- ✓ LHC以外のプロジェクト縮小とR&Dの大幅な縮小。
- ✓ 2005年にPS, AD, SPSの運転を止める。
- ✓ EIB銀行からの現金借用と実験装置の超過コストに対する参加国の援助要請
- ✓ その他



L.Maiani



R.Aymar

加速器建設の現状：LHC加速器電磁石

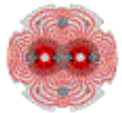
■ LHCの電磁石

- 多種類かつ膨大な生産台数
- 技術的に大きなチャレンジ要素が多く含まれている
 - 加速器建設スケジュールの重要なファクター



電磁石名	台数	磁場	温度	サイズ
主双極超伝導電磁石	1232	8.33 T	1.9K	14.3 m
主四極超伝導電磁石	392	223 T/m	1.9K	3.1m
ビーム分離双極超伝導電磁石	24	3.5/3.8 T	1.9/4.5K	9.45 m
強収束四極超伝導電磁石	32	205 T/m	1.9K	6.37/5.5 m
挿入四極超伝導電磁石	102	160/200 T/m	1.9/4.5K	2.4~4.8m
補正電磁石など	~5000	---	超 / 常伝導	---

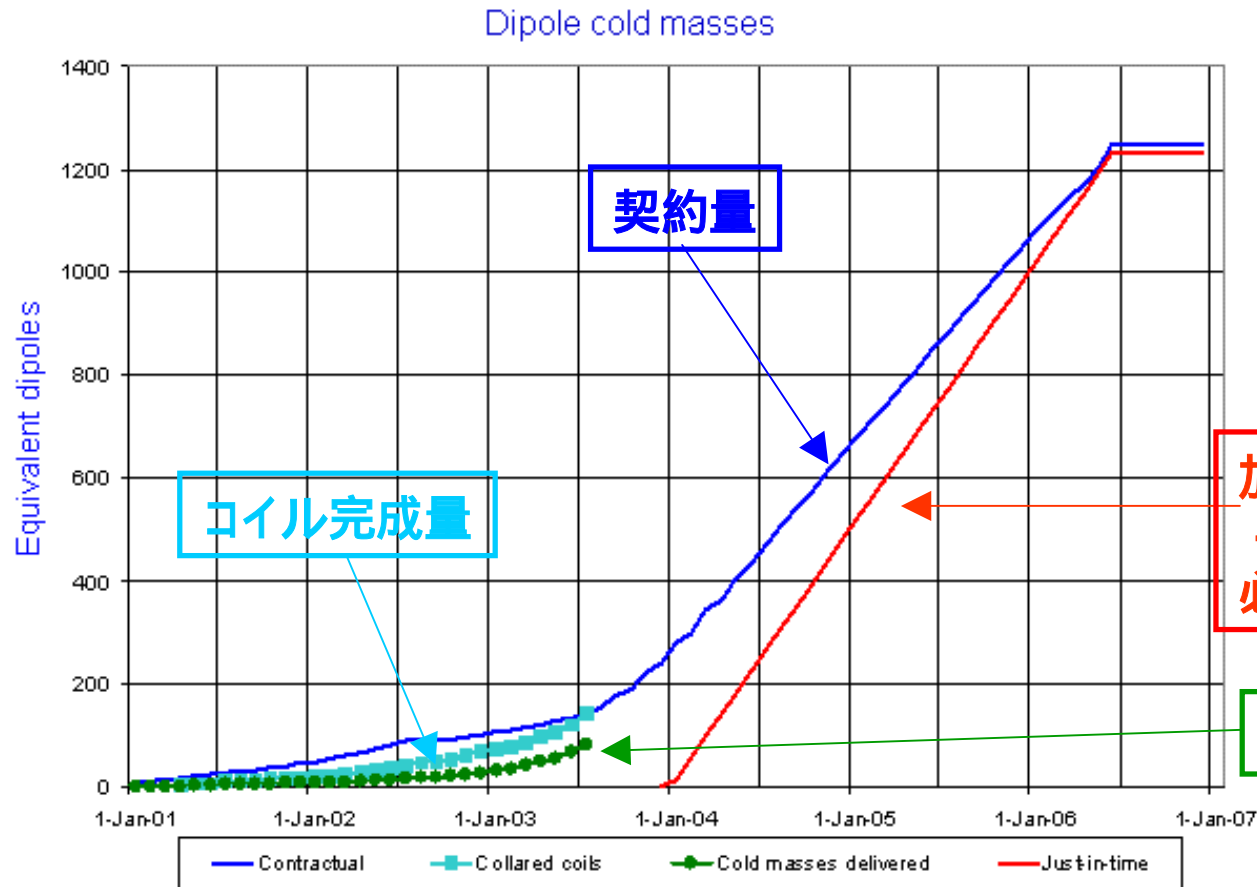
加速器建設の現状： 主双極超伝導電磁石



LHC Progress
Dashboard



- 加速器各コンポーネントについて
進行状況情報が
WEB公開されて
いる
(Dashboard)



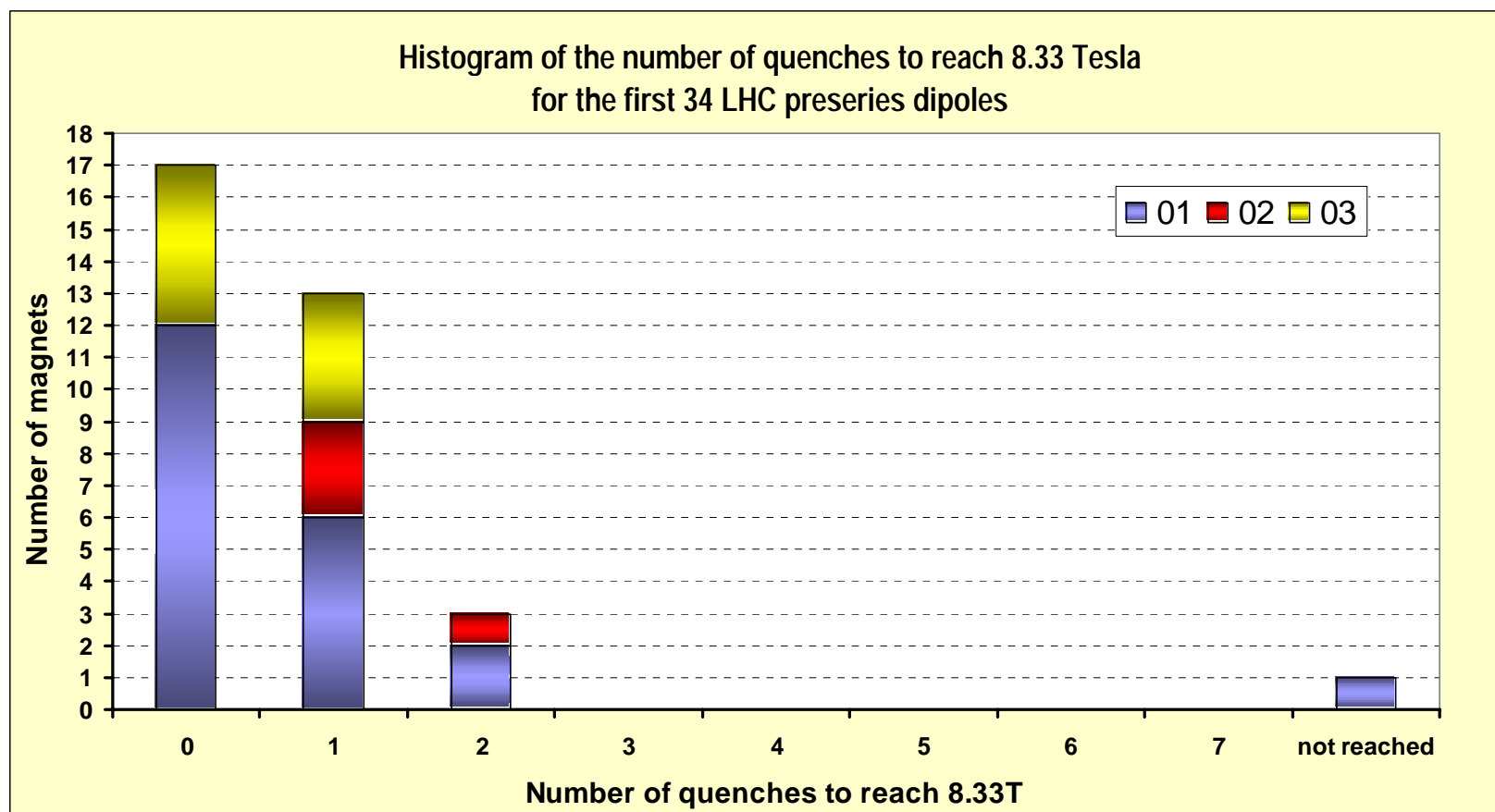
加速器建設をスケジュールどおり進めるのに必要な最低量

納入量

加速器建設の現状： 主双極超伝導電磁石

■ 8.33 Tesla到達までのクエンチ数の分布

- 今まで製作した34台のうち、磁場達成できなかったのは1台だけ
- 2002年以降の製作に関しては、全て磁場達成

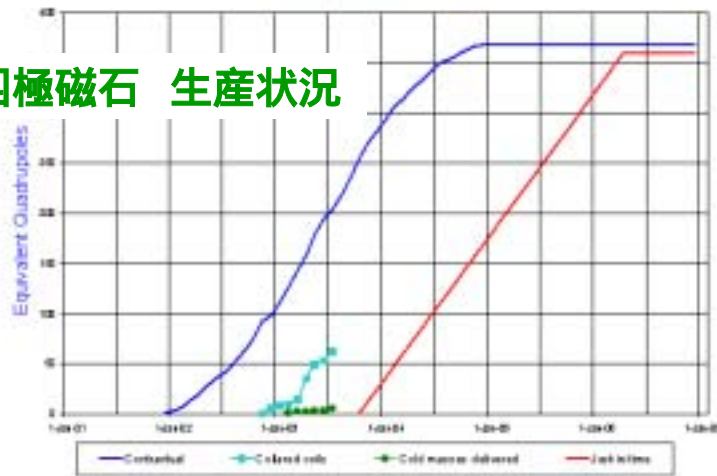


加速器建設の現状： 主四極超伝導電磁石など



Quadrupole cold masses

主四極磁石 生産状況

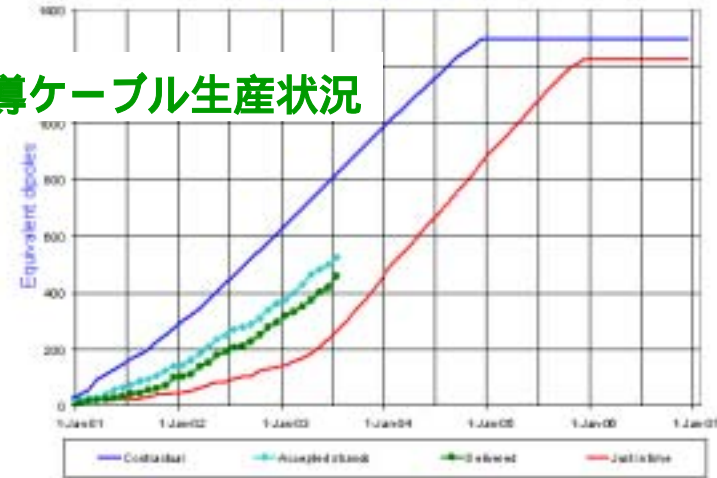


Updated 31 Jul 2003

Data provided by T. Tortshanzoff AT-MAS

Superconducting cable 1

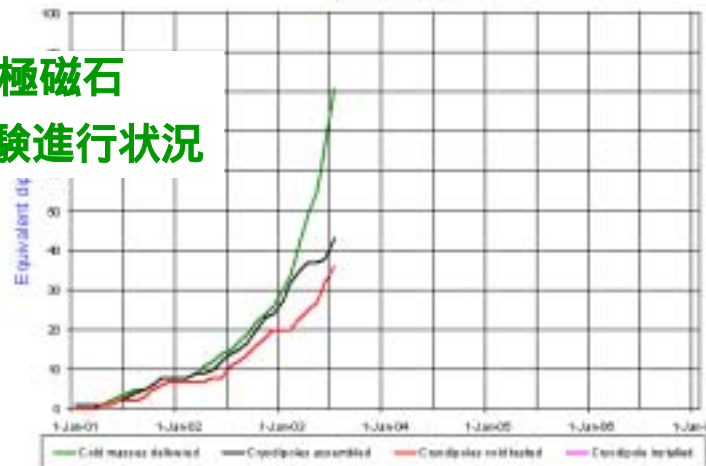
超伝導ケーブル生産状況



Updated 31 Jul 2003

Data provided by A. Verweij AT-MAS

主双極磁石
完成試験進行状況



Updated 31 Jul 2003

Data provided by D. Tommasini AT-MAS

加速器建設の国際協力

■ 加速器建設分担比率

CERN = ~90%

米国 = ~ 5%

日本 + カナダ + ロシア + インド = ~ 5%

四極磁石

断面図



■ 日本 (KEK)からの寄与

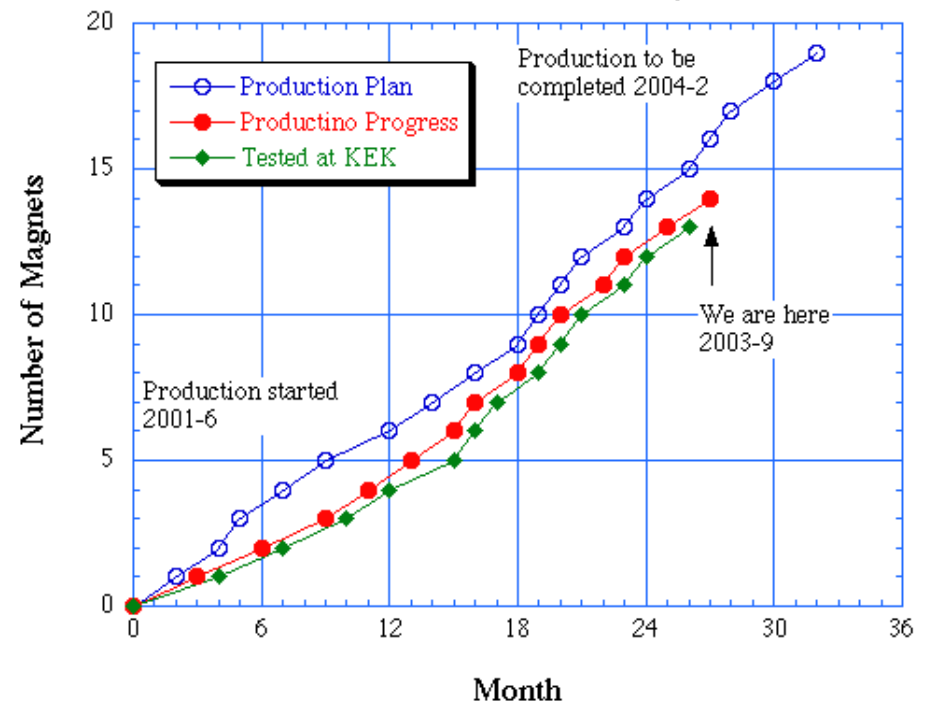
強収束四極超伝導電磁石の本体
(MQXA)

製造台数: 16台 + 2台
(スペア-)

← LHCに必要な総数32台の半数

← 残りはFermilabで製造

MQXA-Production

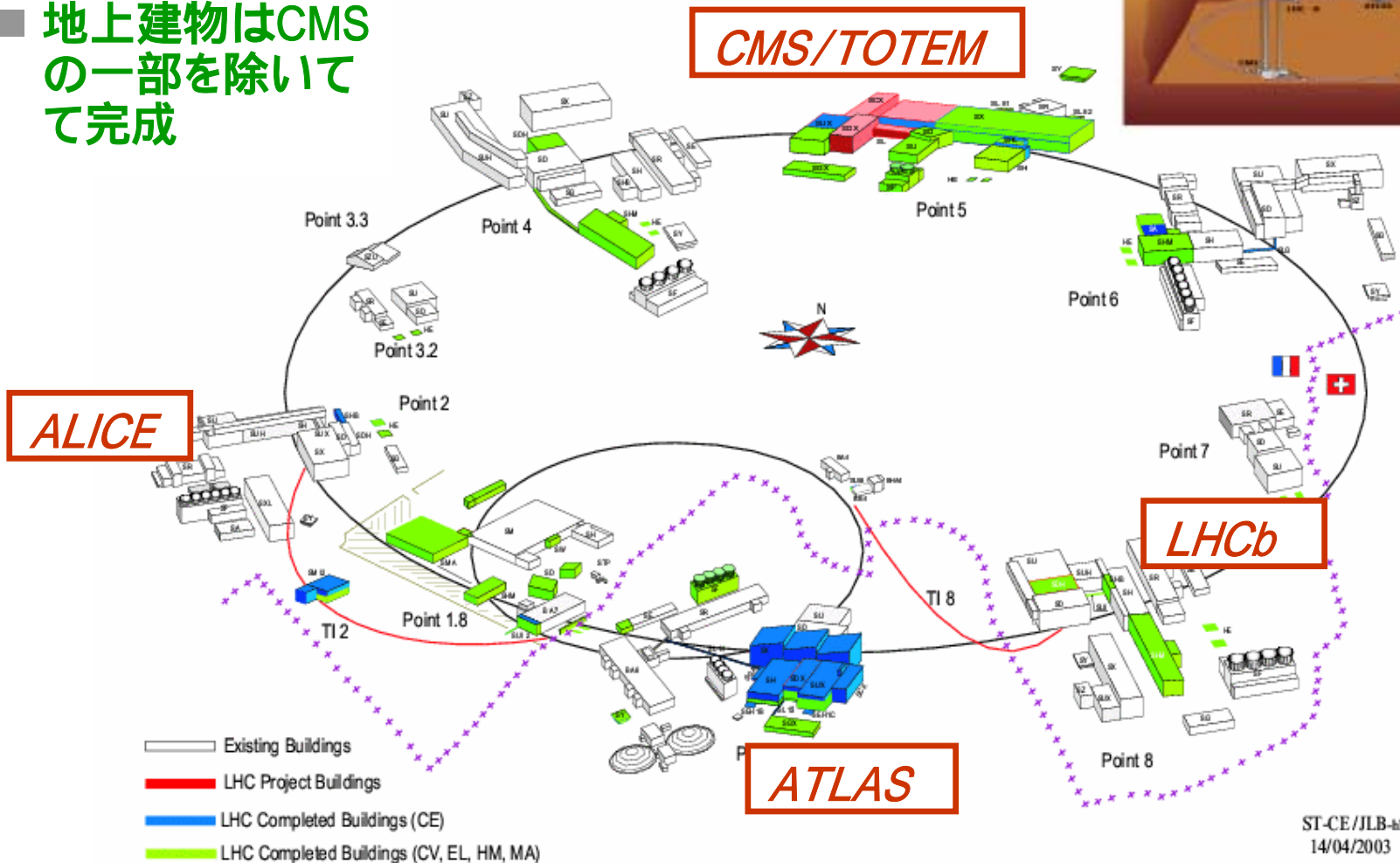


加速器建設の現状： 各種電磁石



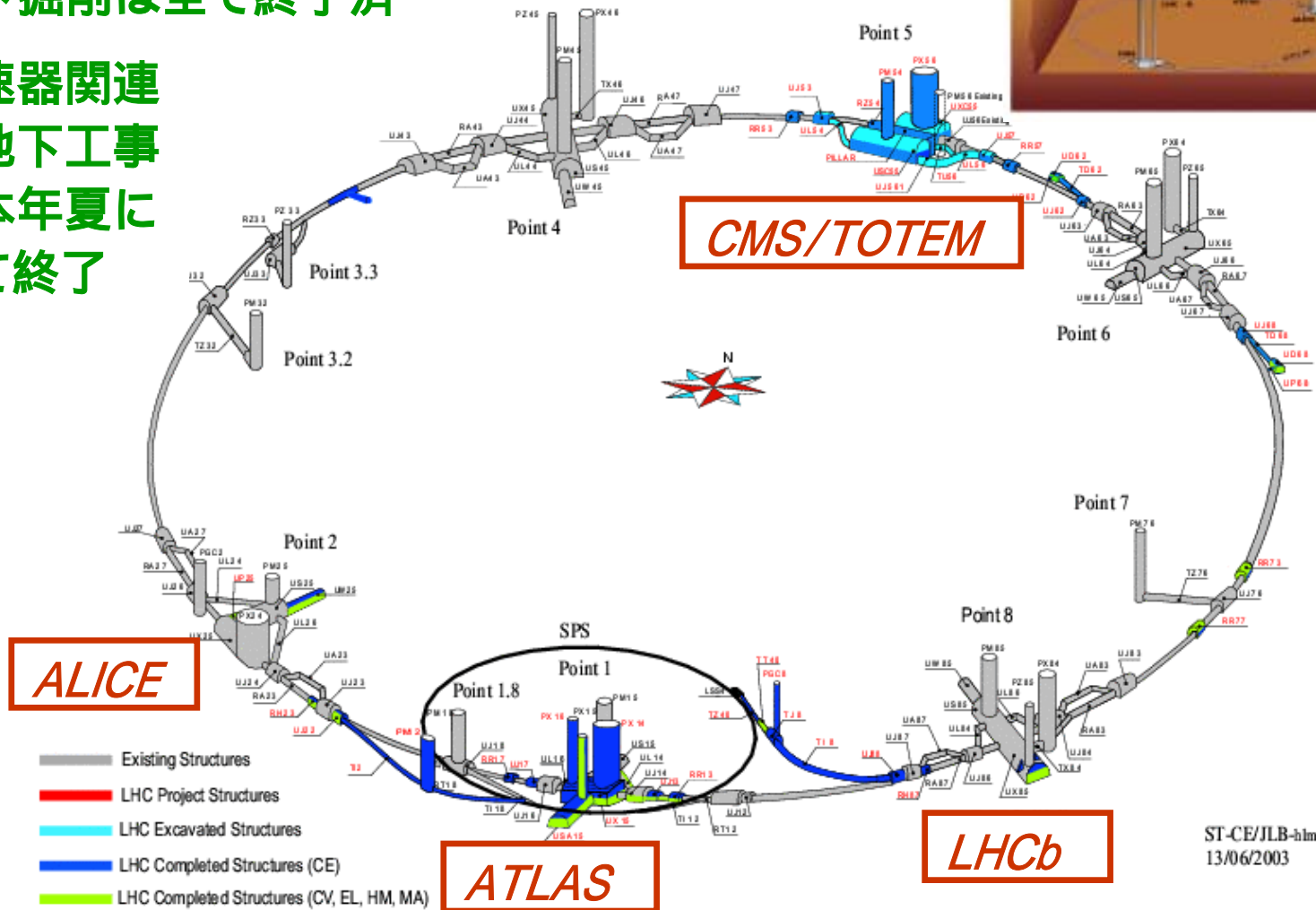
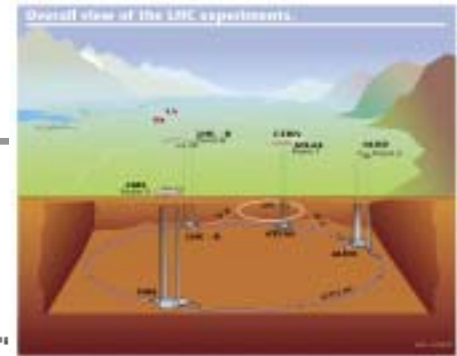
加速器建設の現状： 地上建物工事

- 地上建物はCMSの一部を除いて完成

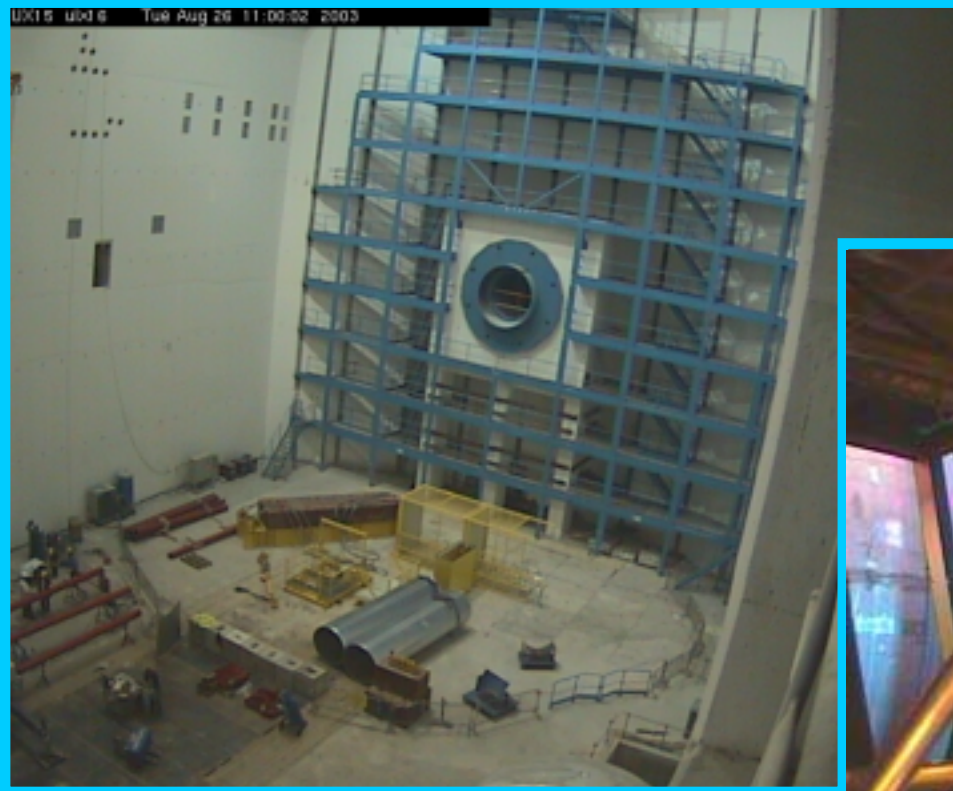


加速器建設の現状： 地下土木工事

- 地下掘削は全て終了済
- 加速器関連の地下工事は本年夏に全て終了



加速器建設の現状： 実験室の現状



ATLAS地下実験室現状
2003.08.26

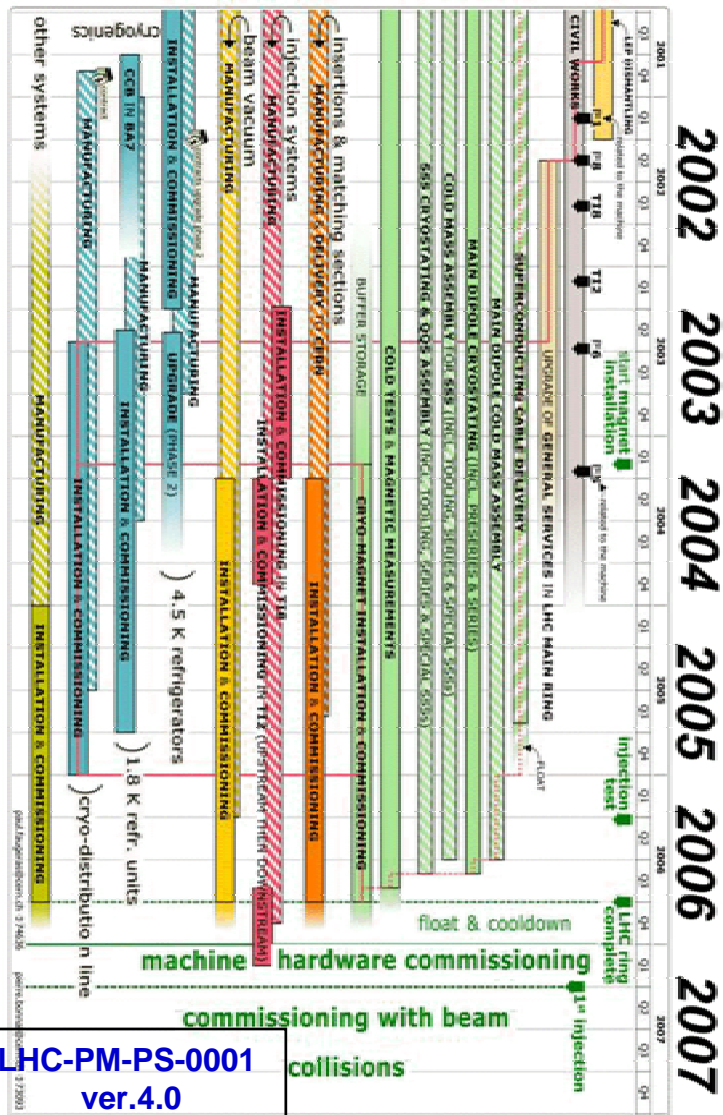
CMS地上実験室現状
2003.08.26



ATLAS実験室
完成引渡式
2003.06.04

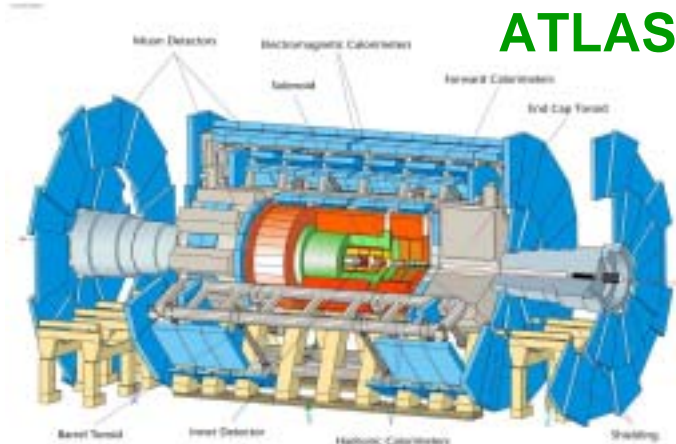


加速器建設の今後のスケジュール



年月	イベント
2003年2/4期	加速器関連土木工事完了
2004年1/4期	電磁石設置開始
2004年2/4期	CMS実験室引渡し
2005年3/4期	超伝導ケーブル最終納入
2006年1/4期	入射テスト開始
2006年3/4期	電磁石設置完了、 LHCリング完成・閉鎖
2006年4/4期	電磁石冷却開始
2007年1/4期	加速器ハードウェア稼動調整
2007年2/4期	ビーム初入射 ビームを用いた稼動調整
2007年3/4期	初衝突

2007年に向けた実験グループの準備状況は？



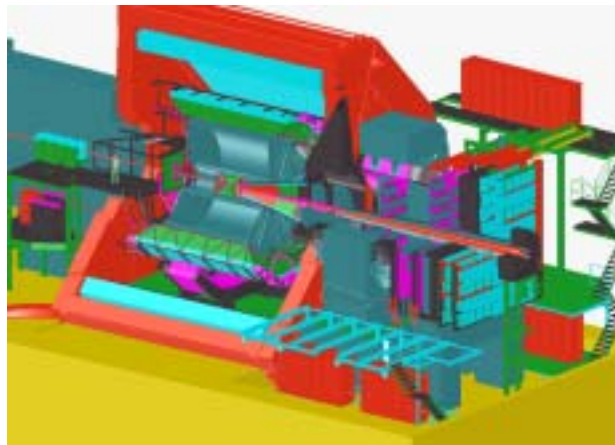
CMS



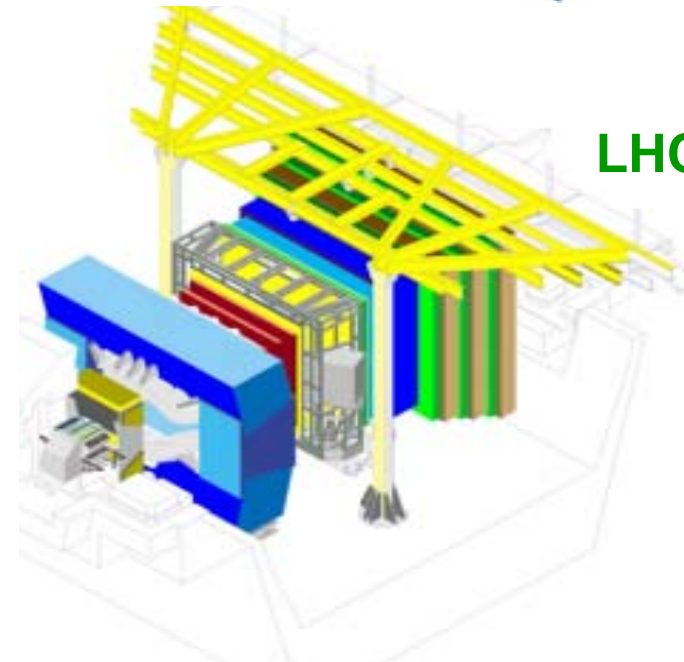
TOTEM



ALICE



LHCb



ATLAS実験

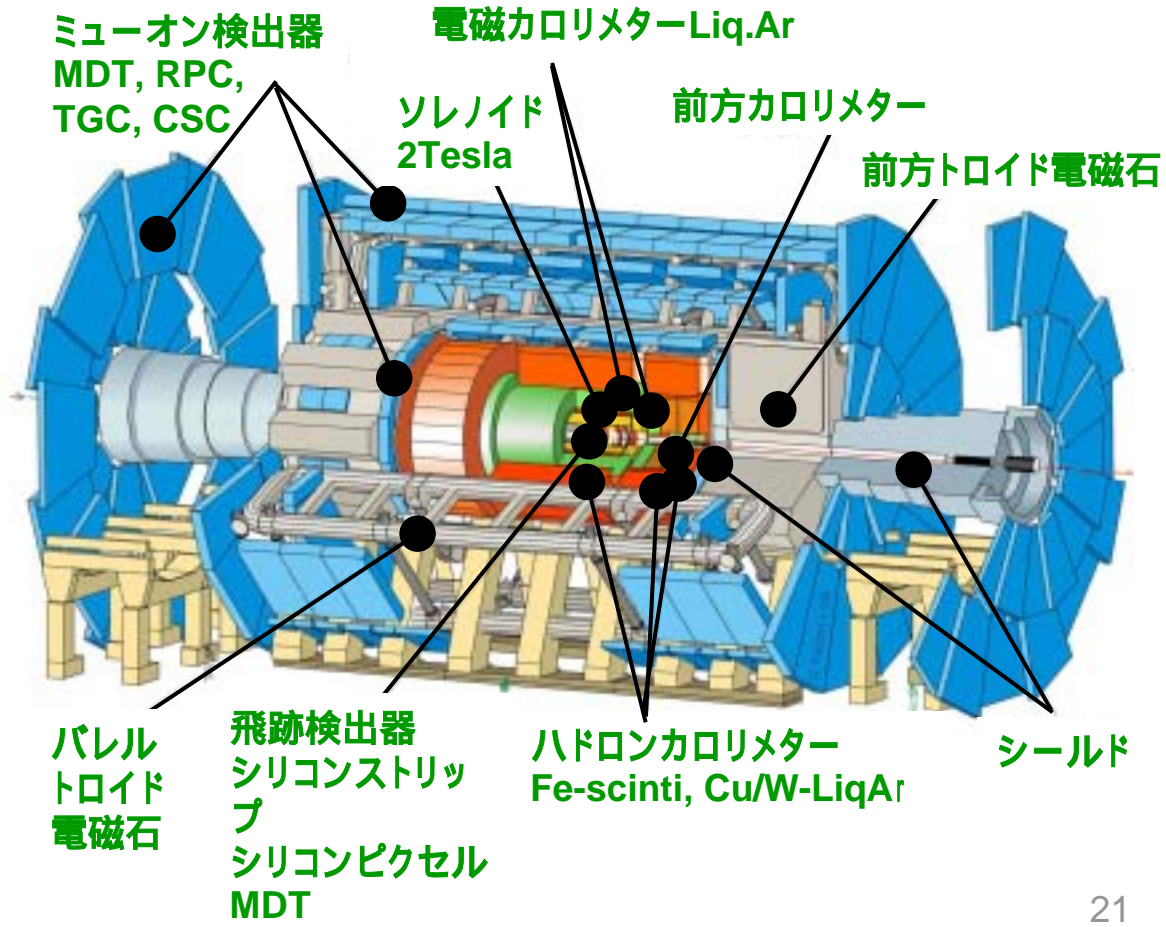
物理目的	ヒッグス粒子探索、標準理論の精密検証、標準理論を超える理論の検証,....
実験グループ	34カ国、~1600人 (日本グループが参加)

l x r	~ 40 m x 10 m
重量	~ 7000 ton

竣工 2007年4月

Staging部分

- 飛跡検出器**
 - ピクセル1層
 - endcapTRT最外層
- カロリメーター**
 - Liq.Ar読出回路一部
 - HADCAL前方遷移部
- ミュオン**
 - 前方遷移部
 - CSCの半分
- その他**
 - DAQオンラインファーム 50~70%
 - High Luminosity用シールド



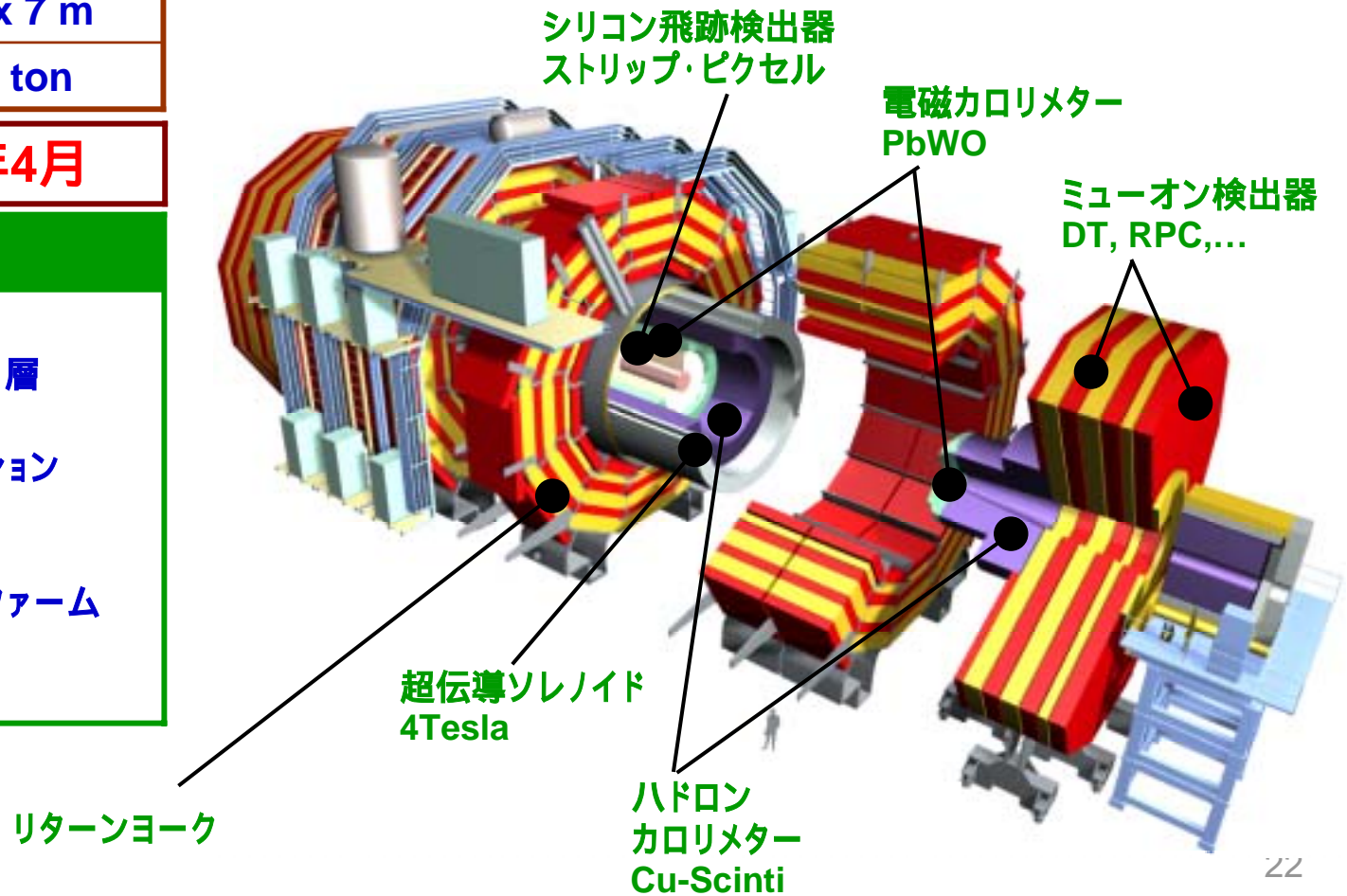
CMS実験

物理目的	ヒッグス粒子探索、標準理論の精密検証、標準理論を超える理論の検証,....
実験グループ	36カ国、~1900人

l x r	~ 20 m x 7 m
重量	~ 13000 ton

竣工 2007年4月

- ### Staging部分
- 飛跡検出器**
 - 前方ピクセル第3層
 - ミューオン**
 - 前方第4ステーション
 - 前方RPC
 - その他**
 - DAQオンラインファーム 50%



ALICE実験

物理目的	クォーク・グルオン プラズマ、クォーク閉じ込め、カイラル対象性の回復、...
実験グループ	29カ国、~940人

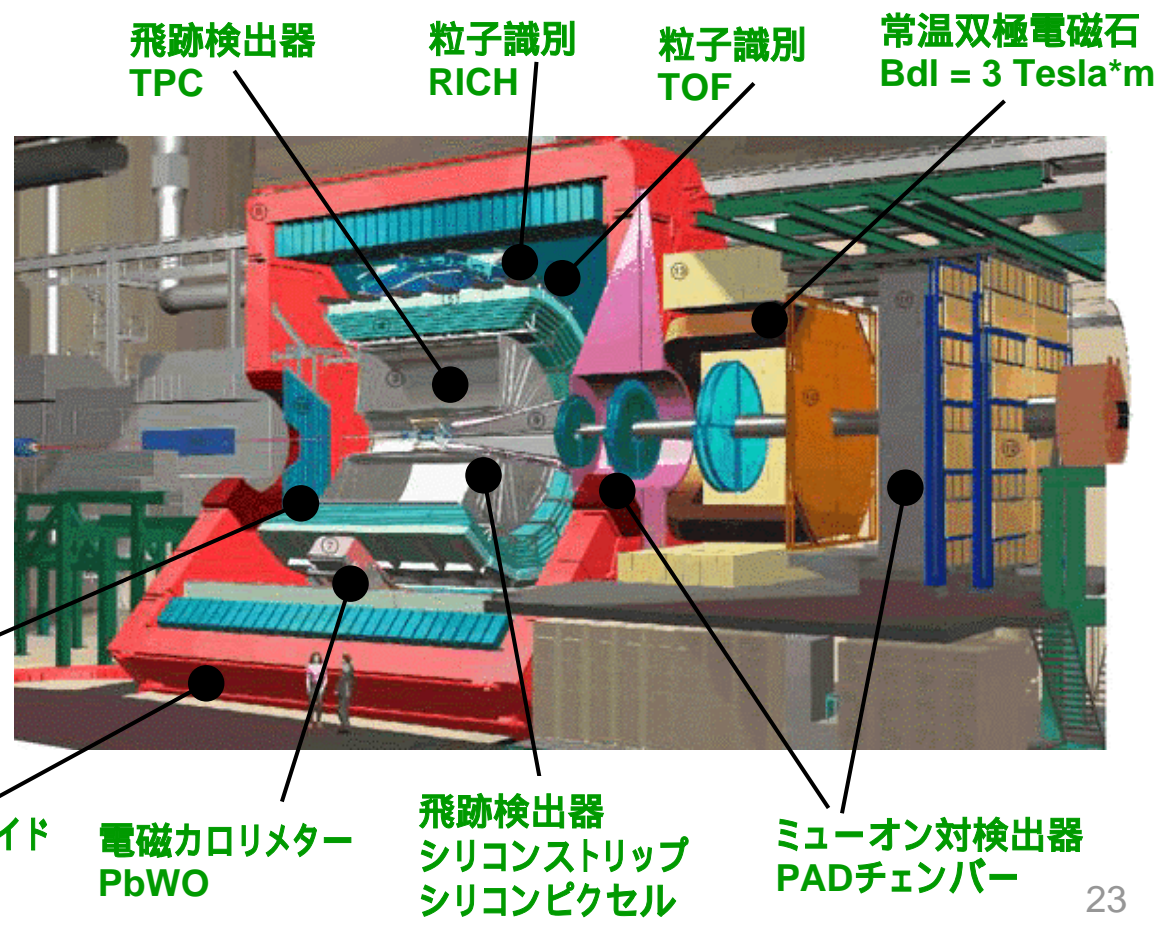
l x r ~ 25 m x 8 m

竣工 2007年4月

Staging部分

カロリメータ
- PbWOの一部

粒子識別
- TRDの一部



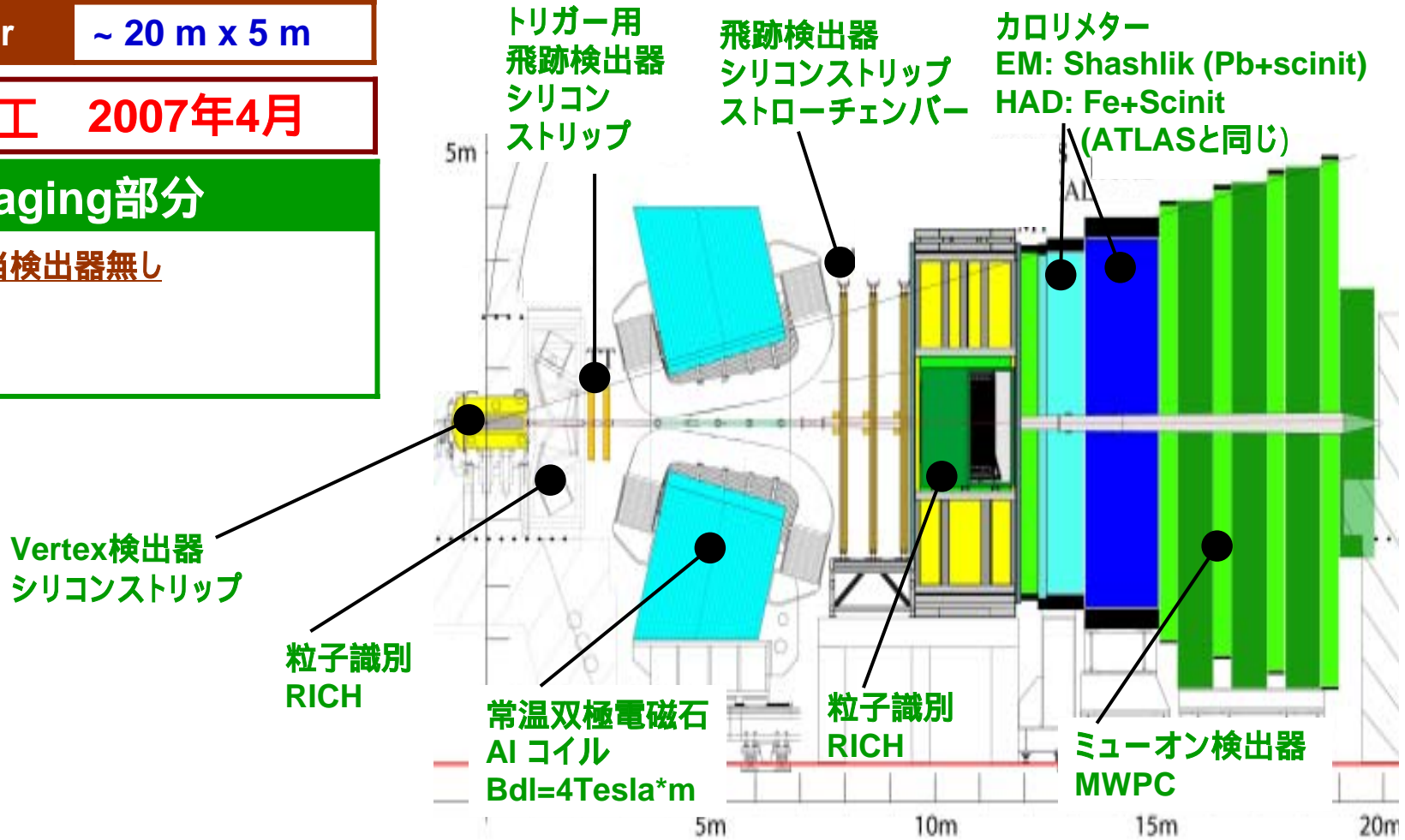
LHCb実験

物理目的	CKM行列パラメータ精密測定、標準理論を超える新しい物理探索、.....
実験グループ	15カ国、~570人

l x r ~ 20 m x 5 m

竣工 2007年4月

Staging部分
該当検出器無し



TOTEM実験

物理目的	陽子・陽子衝突全断面積測定、ルミノシティ測定、....
実験グループ	8カ国、~38人

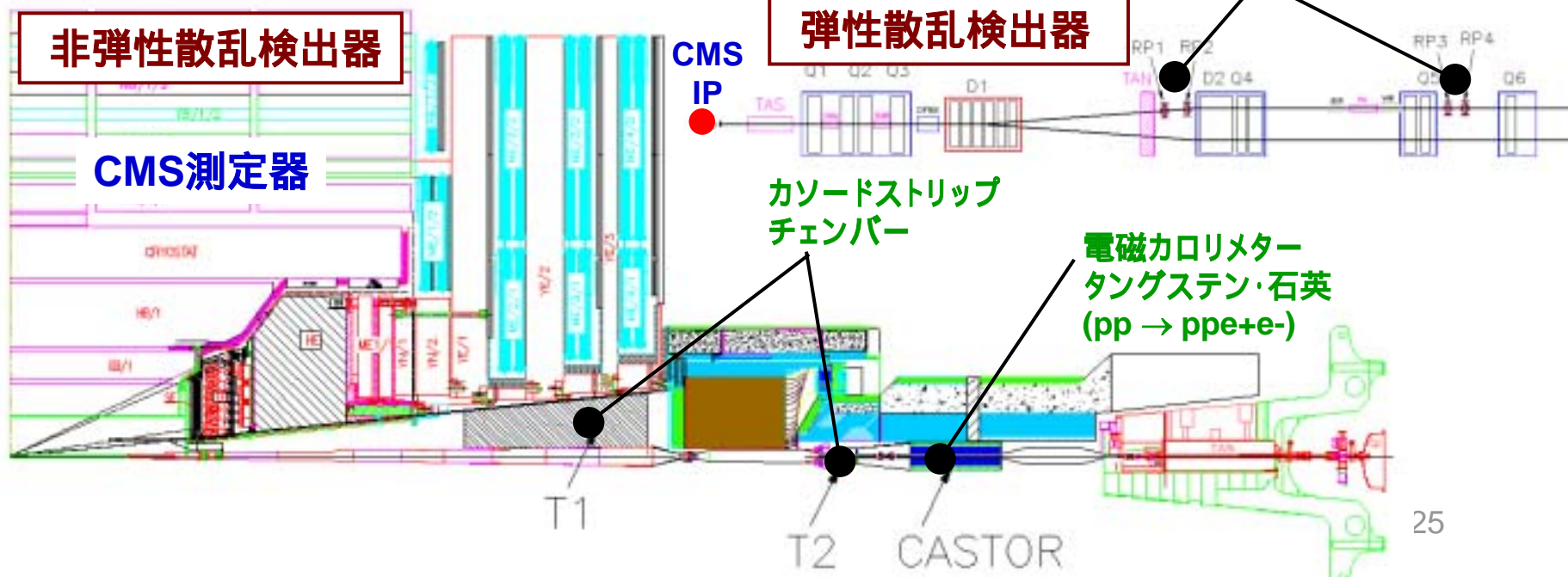
竣工 2007年4月

Staging部分
 該当検出器無し

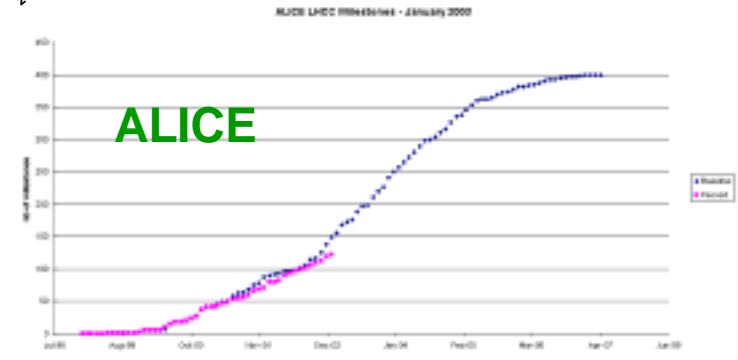
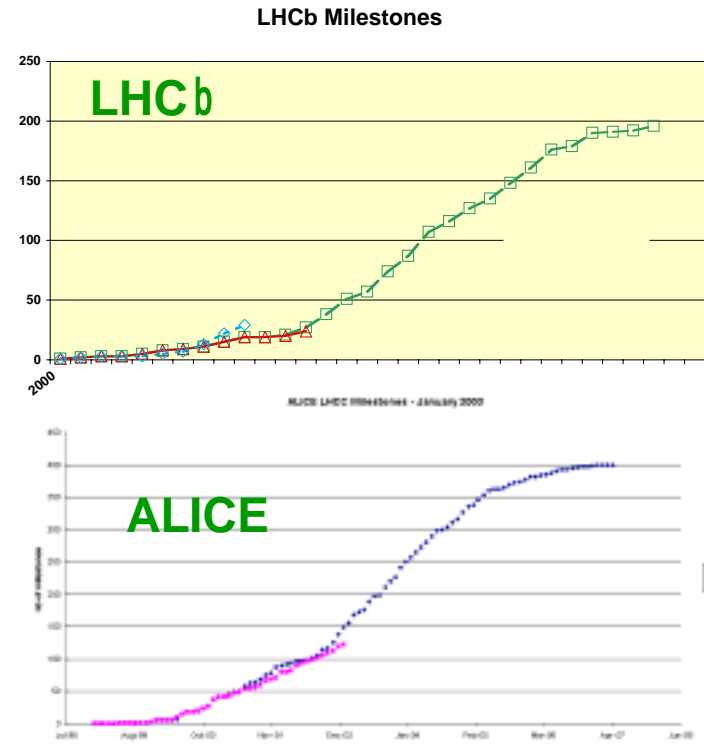
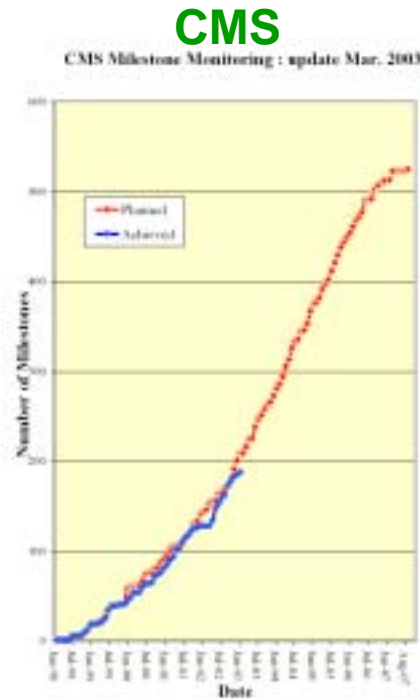
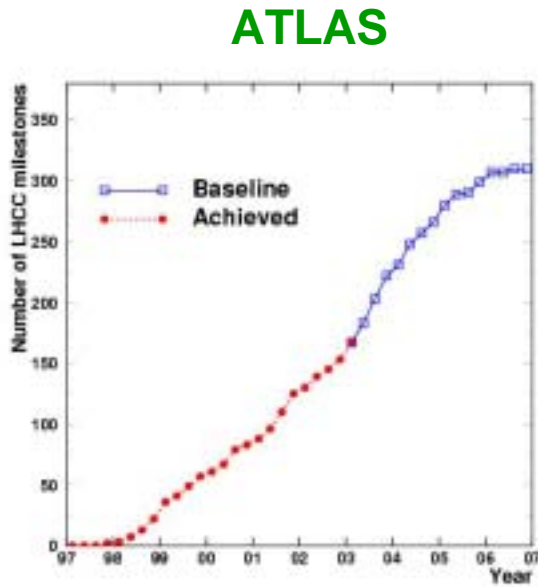
Luminosity Independent Method

$$\sigma_{tot} = \frac{16\pi}{1 + \rho^2} \times \frac{(dN/dt)|_{t=0}}{N_{el} + N_{inel}} \longrightarrow \text{pp弾性・非弾性散乱同時測定}$$

Roman Pot
シリコンストリップ



各実験グループ準備状況 - LHCCマイルストーン達成状況



各実験グループとも設定した計画達成ペースに沿って建設を進めている

2007年4月以降の実験進行シナリオ案 - 1

4月～5月		定義: T0 = 2007年4月
加速器	<ul style="list-style-type: none"> ◆ シングルビーム・モード運転調整 [注]参照 ◆ シングルバンチから最終バンチ数への増加調整試験 	
実験	◆ ビーム・ガス事象を用いた測定器調整、ミュオン・トリガ調整、....	
6月		
加速器	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 衝突ビーム・モード運転開始 ◆ 1バンチから43x43バンチ・モードへ (ゼロ交差角)、$L \sim 10^{32} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ 	
実験	◆ タイミング調整、初衝突事象の観測	
7月		
加速器	<ul style="list-style-type: none"> ◆ ノンゼロ交差角での衝突ビーム・モード運転開始 ◆ 75nsバンチ運転開始、936x936バンチ・モード、$L \sim 10^{33} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ ◆ 25nsバンチ運転開始、2520x2520バンチ・モード、$L \sim 10^{33} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ ◆ 電子雲問題対策の開始 	
実験	◆ 物理実験データ収集準備と試験データ収集	
8月～10月		
加速器	◆ シャットダウン (無しのシナリオもありえる)	

[注] 運転開始時はE=6～6.5TeV(初期数ヶ月間)、加速器調整終了次第E=7TeV²⁷

2007年4月以降の実験進行シナリオ案 - 2

11月～5月 物理実験開始 (7ヶ月間 1 st Physics Run)	
加速器	<ul style="list-style-type: none">◆ バンチ間隔 75ns、936x936モード、$L \sim 10^{32} \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$で運転開始◆ event overlap < 2 pileup/crossingの範囲でバンチ強度増加◆ バンチ間隔 25ns、2808x2808モードへ移行 (< 2 pileupは保持)◆ バンチ強度増加、定常運転、$L \sim 10^{33} \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
実験	<ul style="list-style-type: none">◆ ATLAS/CMSそれぞれ積分ルミノシティ $\sim 10 \text{fb}^{-1}$
6月 (2008年)	
加速器	<ul style="list-style-type: none">◆ Pb + Pb衝突 (2週間程度、ただしスケジュールは未確定)
実験	<ul style="list-style-type: none">◆ ALICEデータ収集
6月中旬～	
加速器	<ul style="list-style-type: none">◆ 長期シャットダウン

[注] $L \sim 10^{34} \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ は2009年開始

1st Physics Runで期待される物理

ATLAS / CMS

1st Physics Runで積分ルミノシティ ~ 10 fb⁻¹

◆ Higgs

← 140 ~ 155 GeVあるいは180 ~ 550 GeVの質量範囲は5 σ で結論
(H \rightarrow ZZチャンネルのみ)

◆ squarkおよびgluinoの質量範囲 < ~ 2 TeV

LHCb

1st Physics Runで積分ルミノシティ ~ 2 fb⁻¹

◆ $\sigma(\beta) \approx 0.6^\circ$ $\sigma(\alpha) \approx 5^\circ \sim 10^\circ$ $\sigma(\gamma) \approx 3^\circ$

ALICE

◆ Pb Pb 粒子多重度測定

◆ P P散乱断面積測定 (Pb Pbのレファレンスデータ)

TOTEM

◆ log s か (log s)² か ?

まとめ

- ✓ 2002年問題はLHC計画のスケジュール進捗に大きな影響を与える出来事であった。
 - ← 大きなプロジェクトの全体管理の難しさを示す例となった
 - ← しかし、これにより全体スケジュールは堅実なものとなった
- ✓ LHCの5実験の測定器は2007年春には実験準備完了
 - ← stagingされる検出器が一部ある
- ✓ LHC加速器は2007年秋 / 冬にはEbeam = 7TeV、バンチ間隔 25ns、 $L \sim 10^{33} \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 運転で物理実験 (1st Physics Run) 開始
- ✓ 1st Physics Runだけで今後のHEP物理に決定的な影響を与える結果が出ると予測される