

LHCとATLAS

神前 純一

KEK

ATLAS Group

LHC物理解析研究会

東京大学, 2005年1月22日

- はじめに
- LHC加速器
- ATLAS測定器
- LHCでの物理

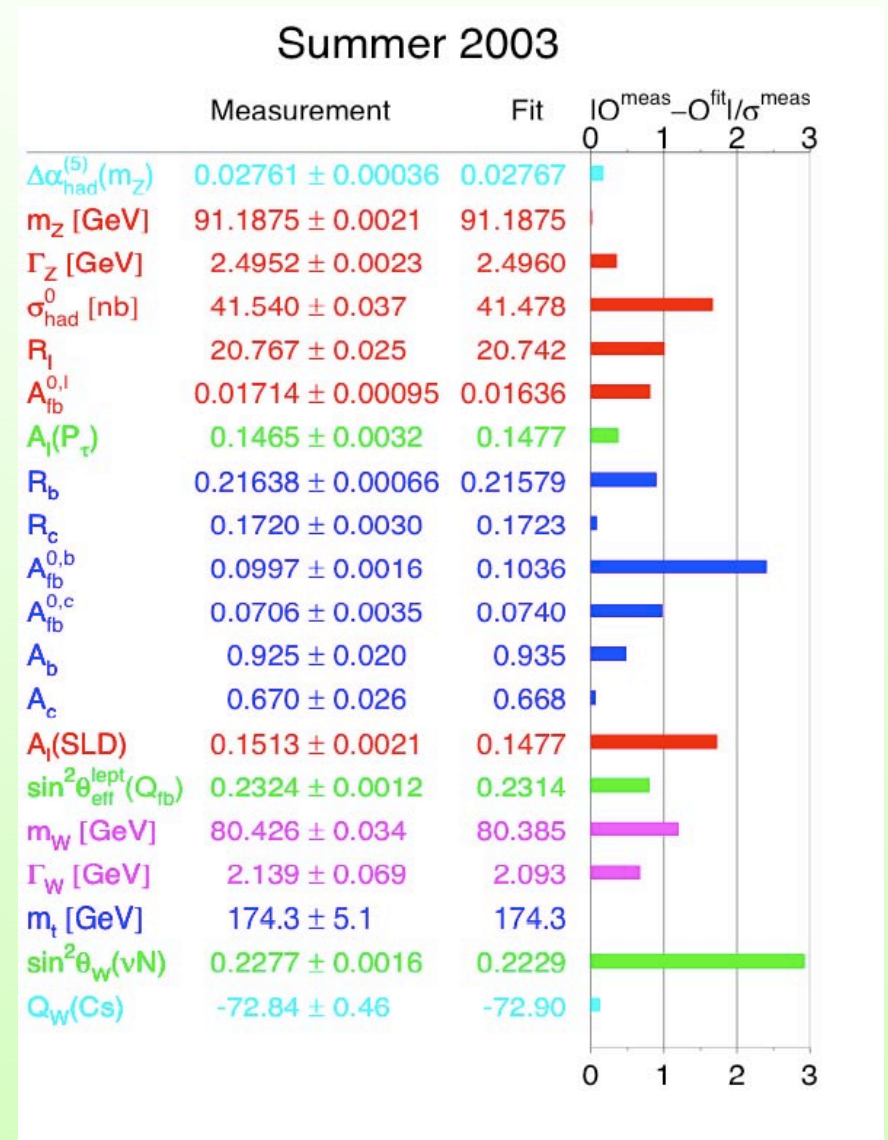
20世紀から21世紀へ

標準模型の著しい成功

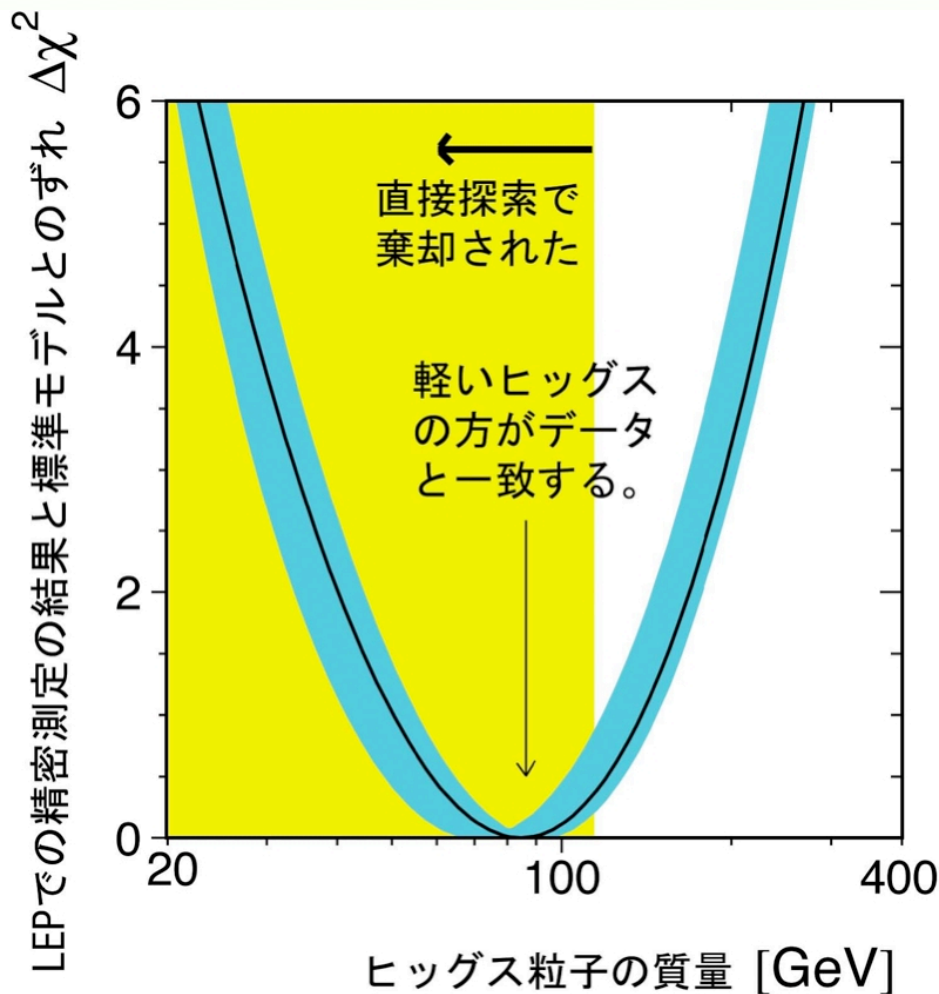
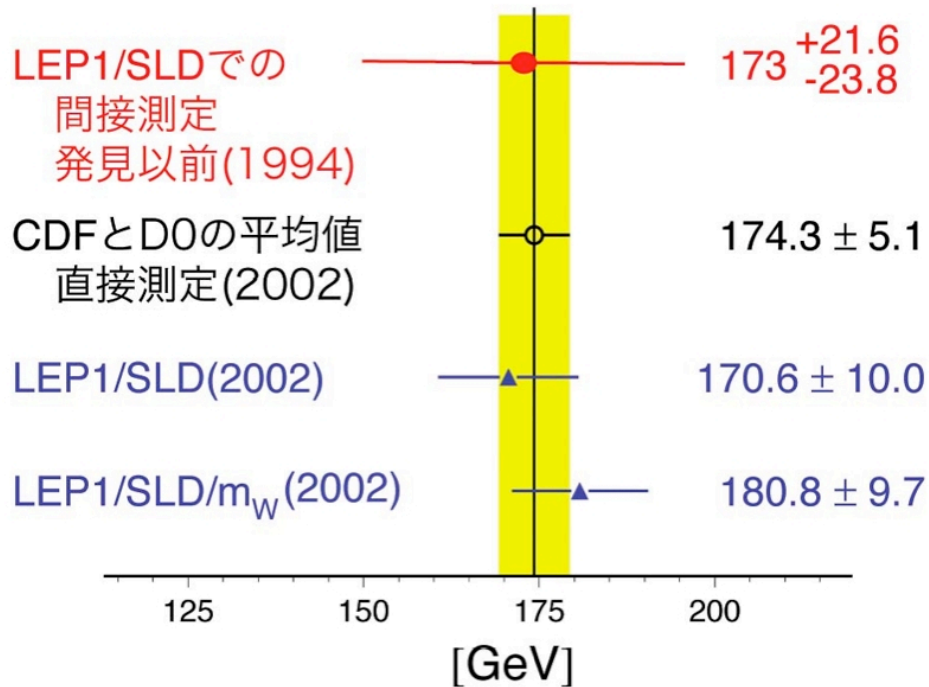
量子電磁弱理論 + 量子色力学

特に LEP (1989-2000)において
非常に高精度(0.1%)の測定が
行なわれた

Loop の効果を通じて直接見えない
粒子(top, Higgs)の性質も測定
された



図：トップクォークの質量



まだ見えていない Higgs 粒子の質量に対しても強い制限がある

LHCの役割

1. 非常に成功している標準模型の起源は？

電磁弱対称性の破れのメカニズムの解明

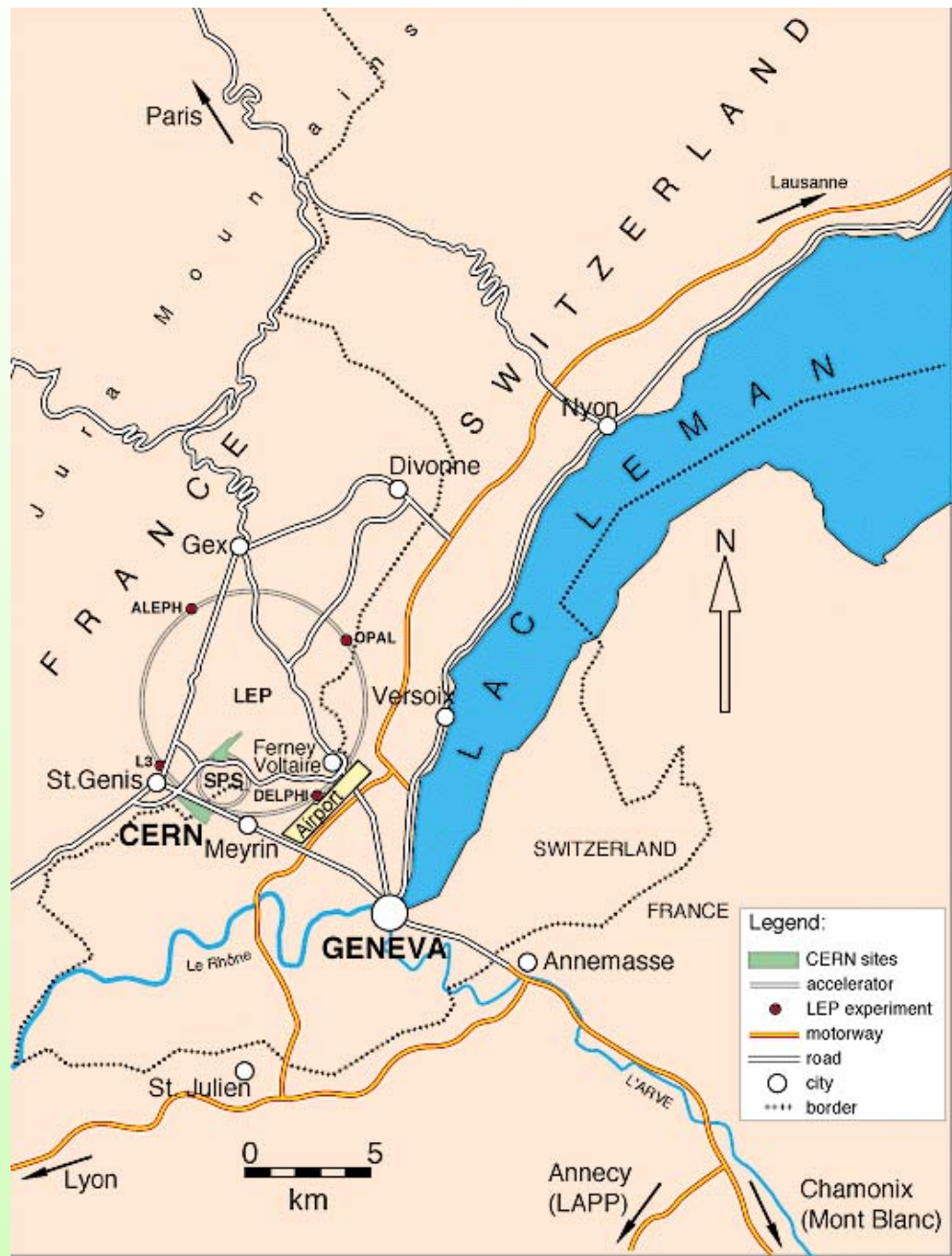
--> Higgs 粒子の発見とその性質の測定

2. より高いエネルギーの世界はどうなっているのか？

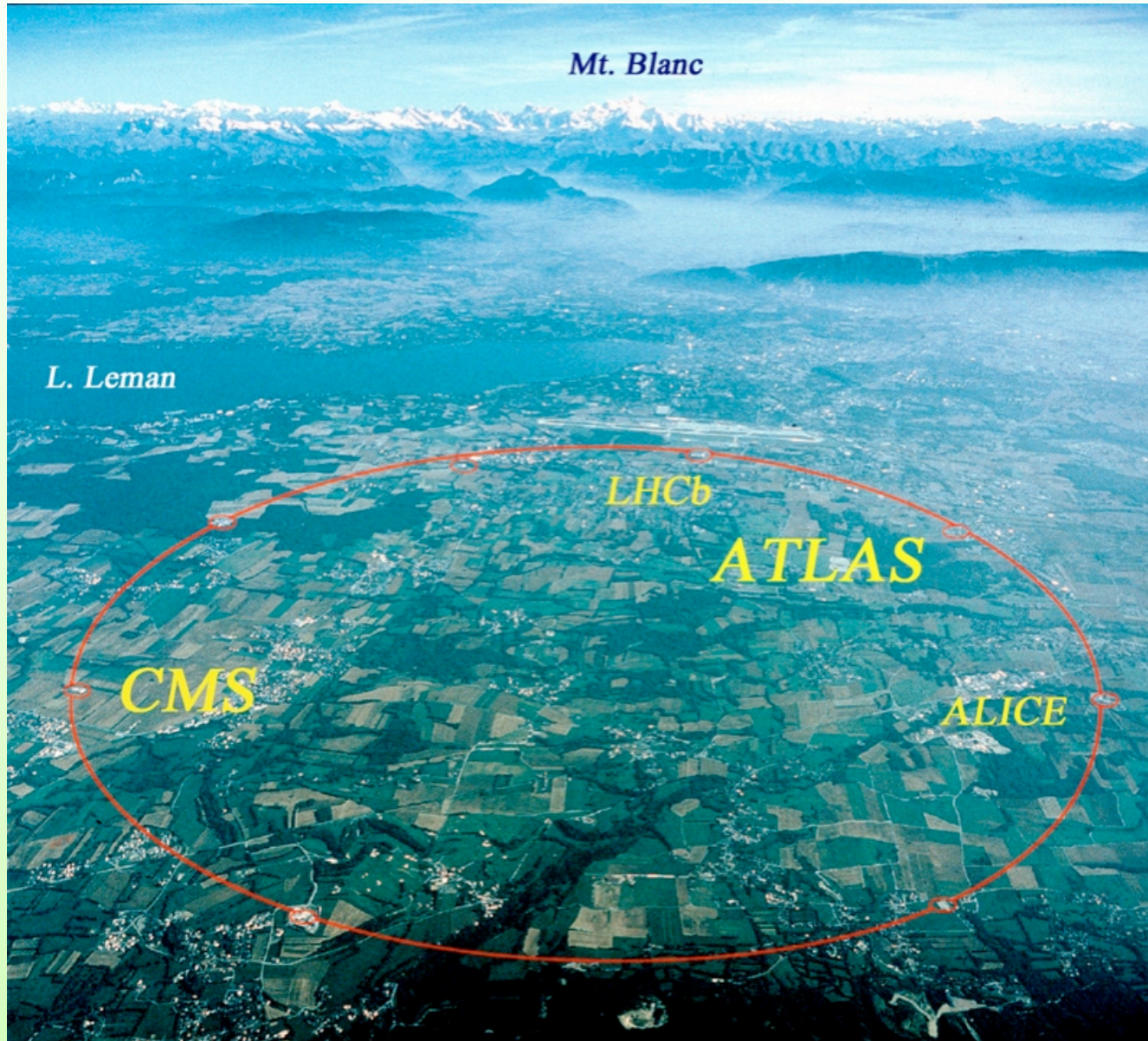
i. 超対称性

ii. 余次元

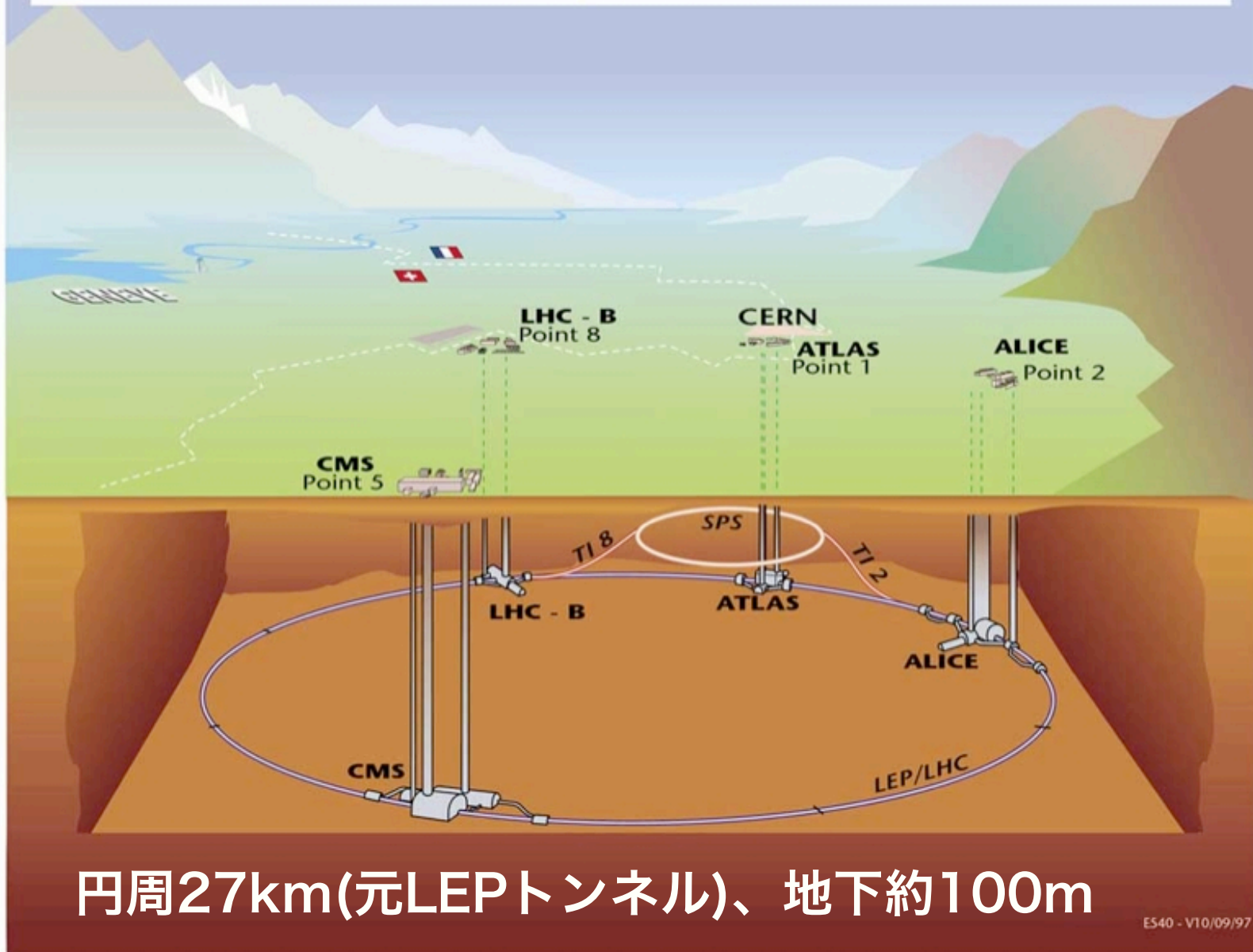
これらの問題に答え、新たに21世紀の物理を切り拓く



CERN



Overall view of the LHC experiments.



衝突エネルギー

陽子(7TeV) + 陽子(7TeV) = 14TeV の衝突エネルギー

参考) Tevatron@Fermilab

陽子(980GeV) + 反陽子(980GeV)
= 1.96TeVの衝突エネルギー

どのくらいの衝突エネルギーを有効に使えるのか?

陽子は複合粒子 $p = u + u + d + \dots$

-> $1/3 \times 7 \text{ TeV} + 1/3 \times 7 \text{ TeV} \approx 5 \text{ TeV}$

ただし低いエネルギーの gluon がたくさんある

-> より低いエネルギーの衝突がたくさん起こっている

ルミノシティ

LHCの目標

$$L = 10^{33} \text{ cm}^{-2} \text{ sec}^{-1}$$



$$L = 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ sec}^{-1}$$

参考) KEK-B factory (陽電子3.5GeV+電子8GeV)

$$L = 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ sec}^{-1}$$

Tevatron

$$L = 10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ sec}^{-1}$$

Event発生数

初期ルミノシティ $L = 2 \times 10^{33} \text{cm}^{-2}\text{sec}^{-1}$

最初の1年間の積分ルミノシティ $\rightarrow 10 \text{fb}^{-1}$

物理過程	Event Rate	Event数(1年間)
$W \rightarrow e \nu$	30Hz	10^8
$Z \rightarrow ee$	3Hz	10^7
tt	1.6Hz	10^7
bb	200kHz	2×10^{12}
Higgs(130GeV)	200/時間	5×10^5
SUSY(1TeV)	20/時間	5×10^4

衝突の頻度

- 2835 bunches/beam
- 10^{11} protons/bunch
- 40 MHz beam crossing

25nsecの間隔でビームがすれ違う



10^9 Hz Low energy QCD events



10^6 Hz Hard scattering



約 10^2 Hz Data taking

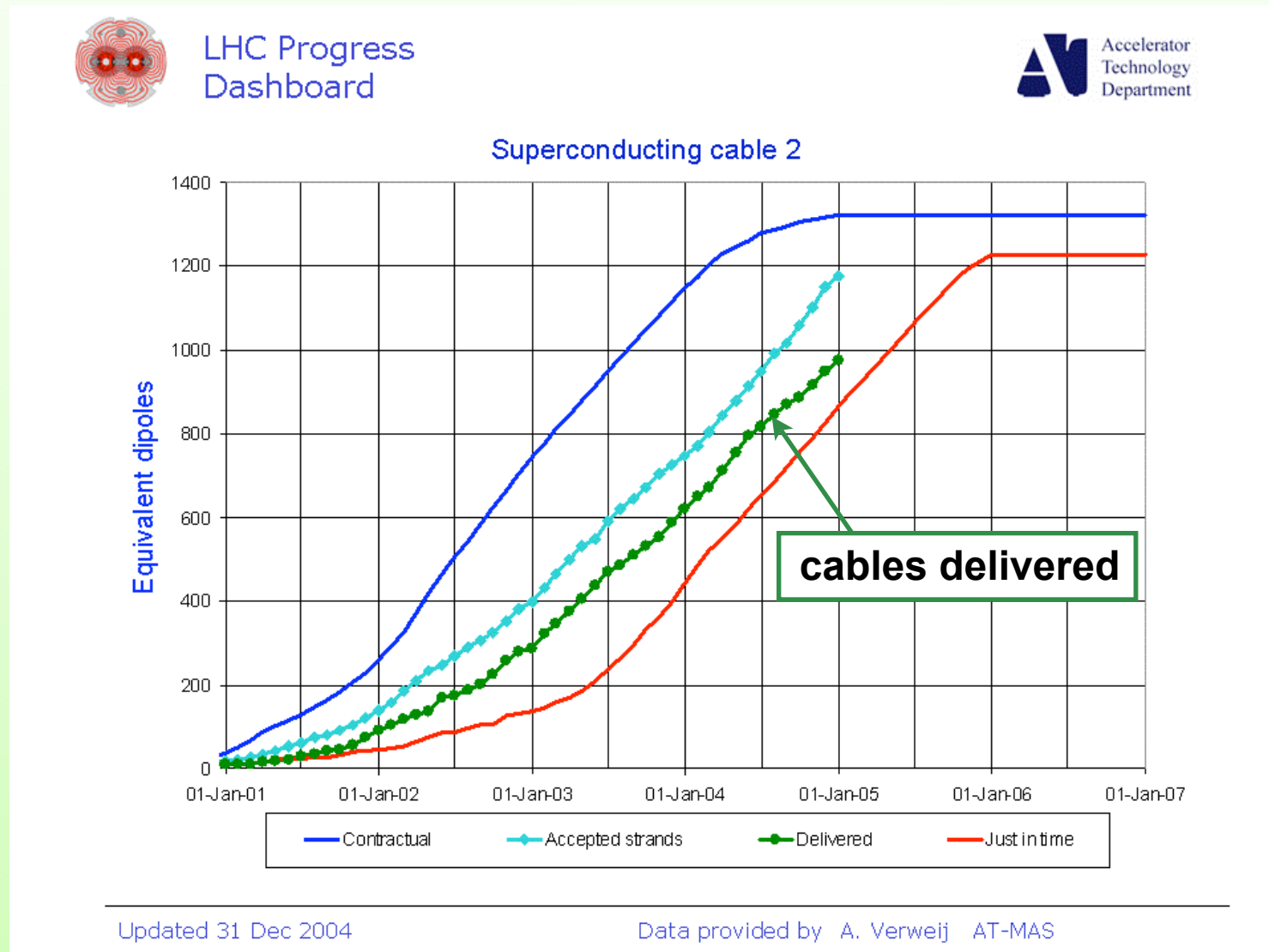
Dipole Magnet

7TeVの beam energy を得る
ために8.33Teslaの超伝導
dipole magnet を1232本使う
1台14.3m
1.9K の He 温度で運転する



LHC Progress Dashboards

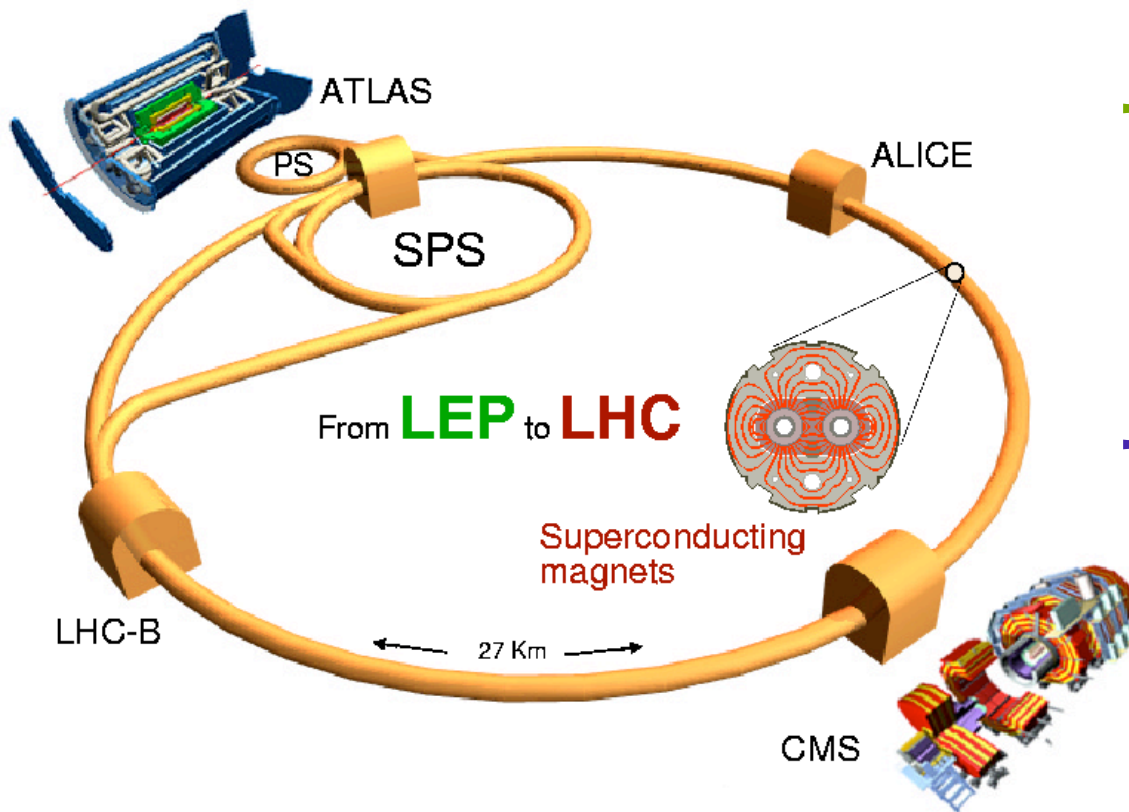
<http://lhc-new-homepage.web.cern.ch/lhc-new-homepage/>



LHCスケジュール

- 2007年春 1-beam での加速を開始
- 2007年夏 2-beam での運転を行ない
 $10^{33}\text{cm}^{-2}\text{sec}^{-1}$ をめざす。
- 2007年末以降 衝突beamでの実験を開始
 $10\text{fb}^{-1}/\text{year}$: low luminosity runs
- 以後2-3年で $10^{34}\text{cm}^{-2}\text{sec}^{-1}$ へ到達。
 $100\text{fb}^{-1}/\text{year}$: high luminosity runs

The Large Hadron Collider (LHC)



二つの汎用実験

ATLAS

CMS

二つの専用実験

LHCb (B-Physics)

ALICE (Heavy-Ion Collision)

	Beams	Energy	Luminosity
LEP	$e^+ e^-$	200 GeV	$10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
LHC	p p	14 TeV	10^{34}
	Pb Pb	1312 TeV	10^{27}

ATLAS Collaboration

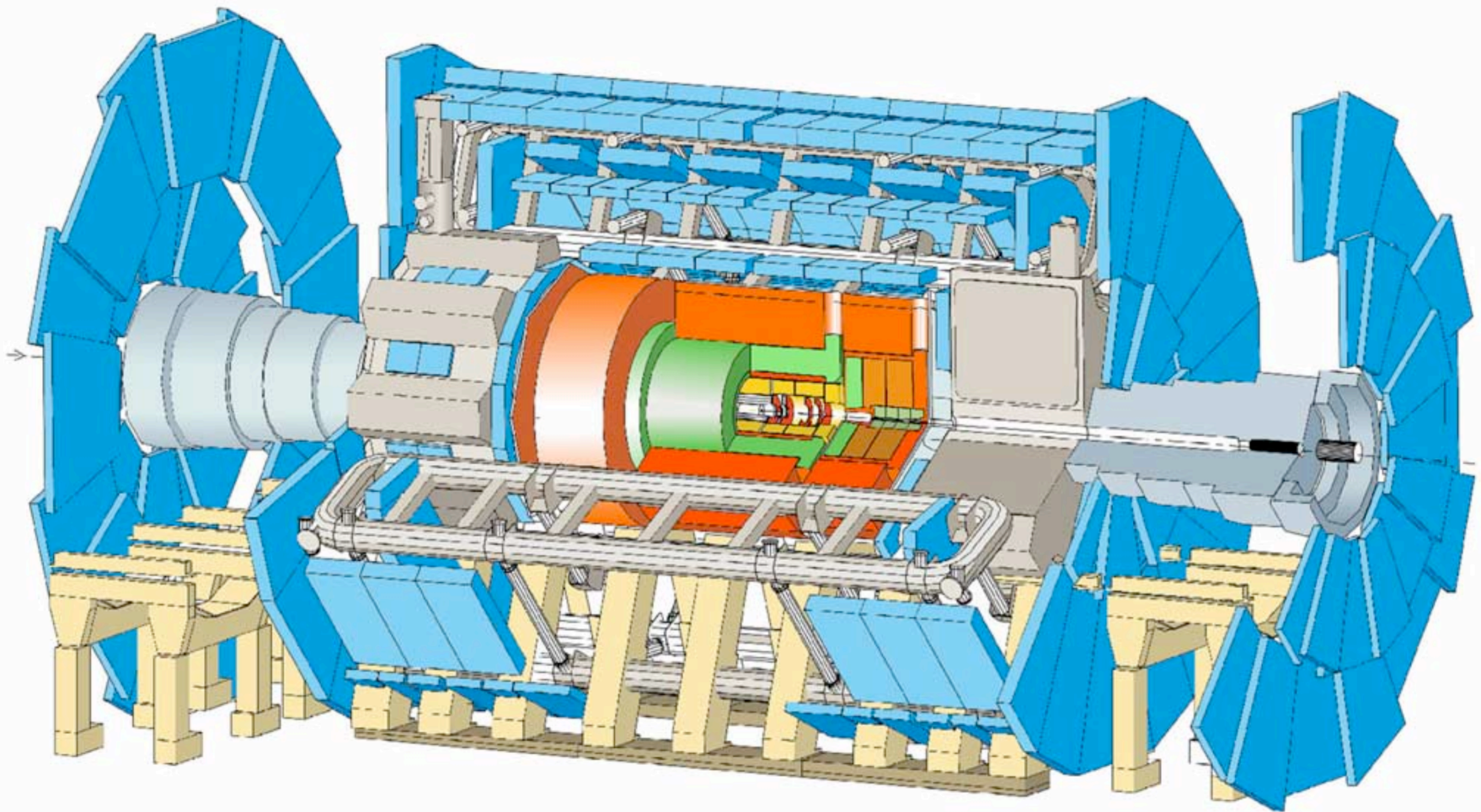


- 34カ国
- 151機関
- ~1300 authors

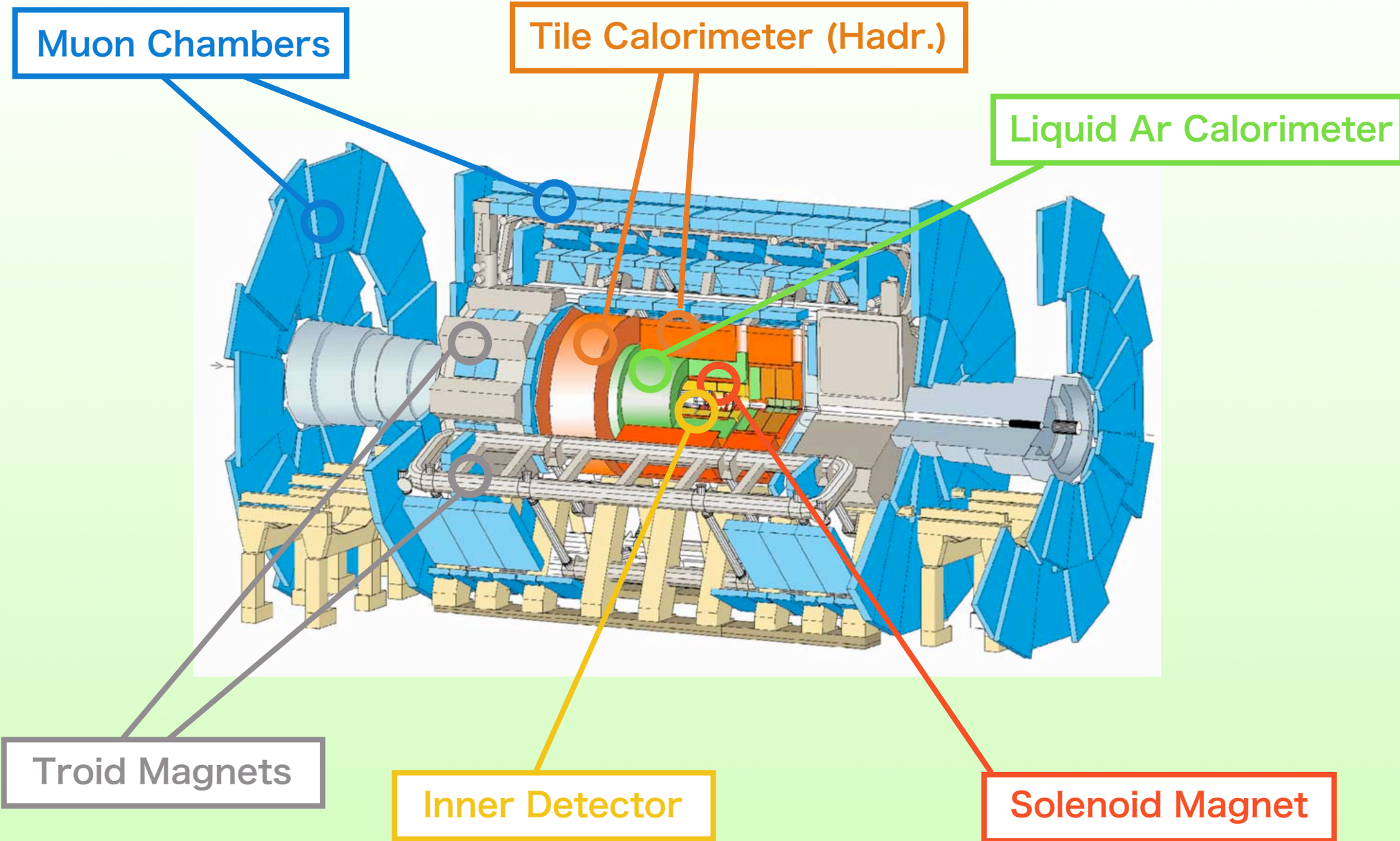
参加国 top10ランキング

	国名	予算(MCHF)	参加人数	比
1	United States	80.7(17%)	232(18%)	1.06
2	CERN	60.5(13%)	137(10%)	0.77
3	France	52.8(11%)	90(6.9%)	0.63
4	Italy	45.1(9.6%)	141(11%)	1.15
5	Germany	40.0(8.5%)	109(8.3%)	0.98
6	United Kingdom	34.1(7.3%)	105(8.0%)	1.10
7	Japan	32.2(7.0%)	61(4.7%)	0.67
8	Russia	26.1(5.6%)	102(7.8%)	1.39
9	Switzerland	18.5(4.0%)	14(1.1%)	0.28
10	Canada	15.1(3.2%)	40(3.1%)	0.97
all	Sum	468.4(100%)	1306(100%)	

ATLAS測定器

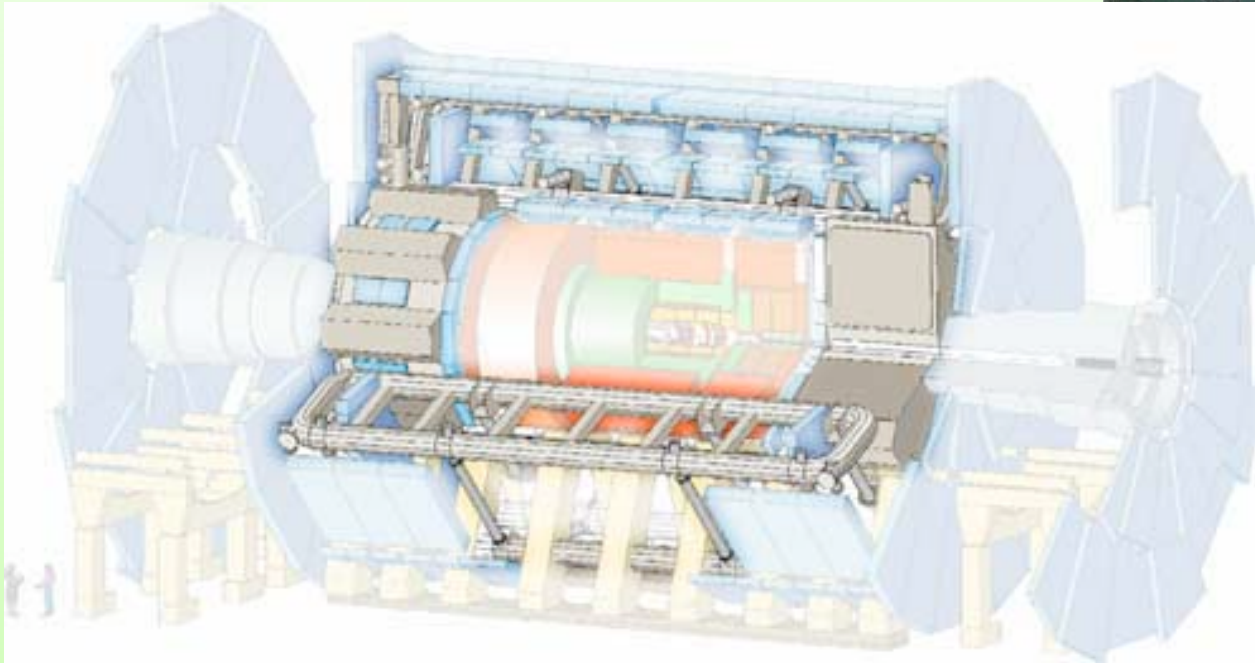


<i>Diameter</i>	<i>25 m</i>
<i>Barrel toroid length</i>	<i>26 m</i>
<i>End-cap end-wall chamber span</i>	<i>46 m</i>
<i>Overall weight</i>	<i>7000 Tons</i>



Magnets

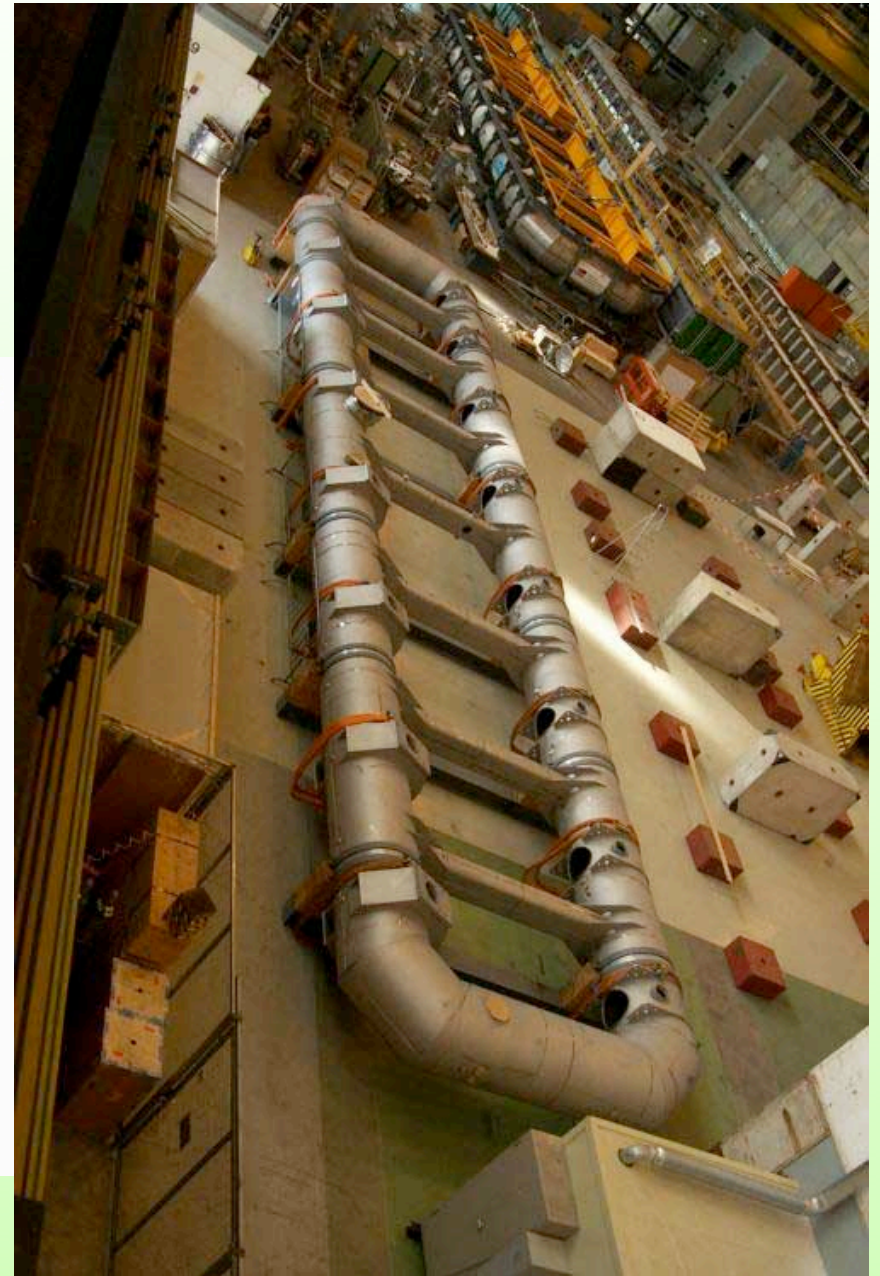
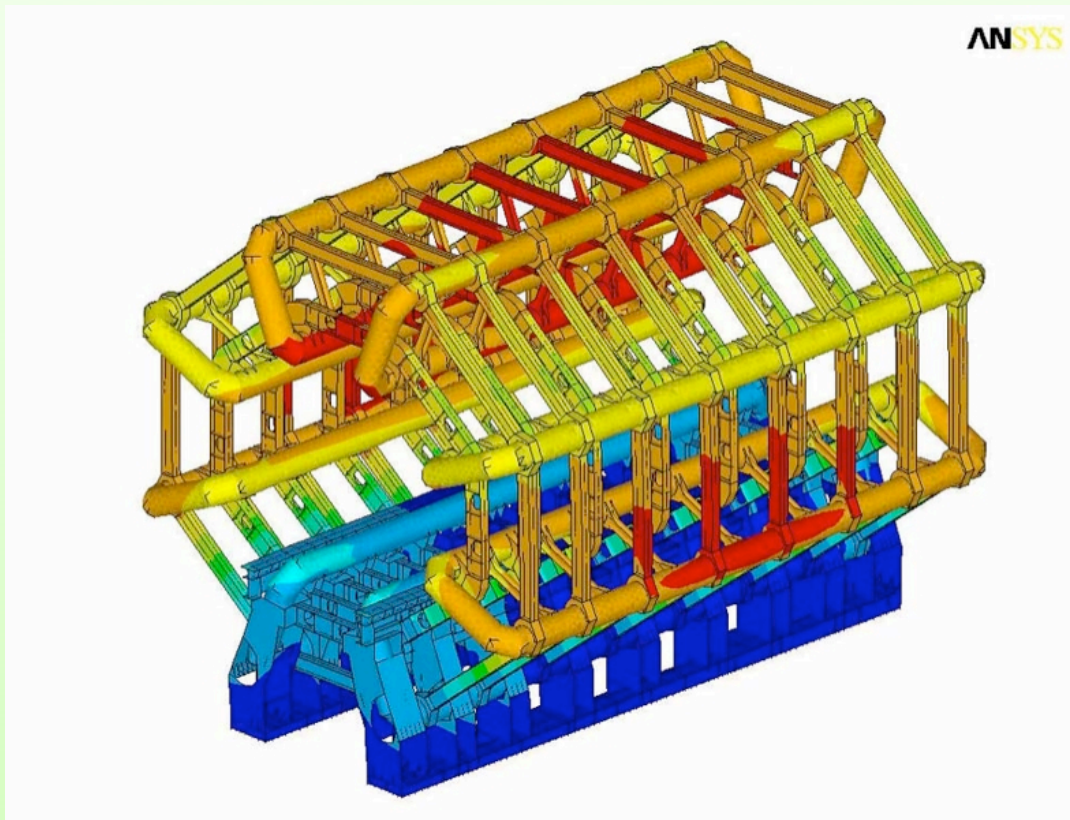
Central Superconducting Solenoids (2T)



Barrel and End-cap Superconducting Toroids

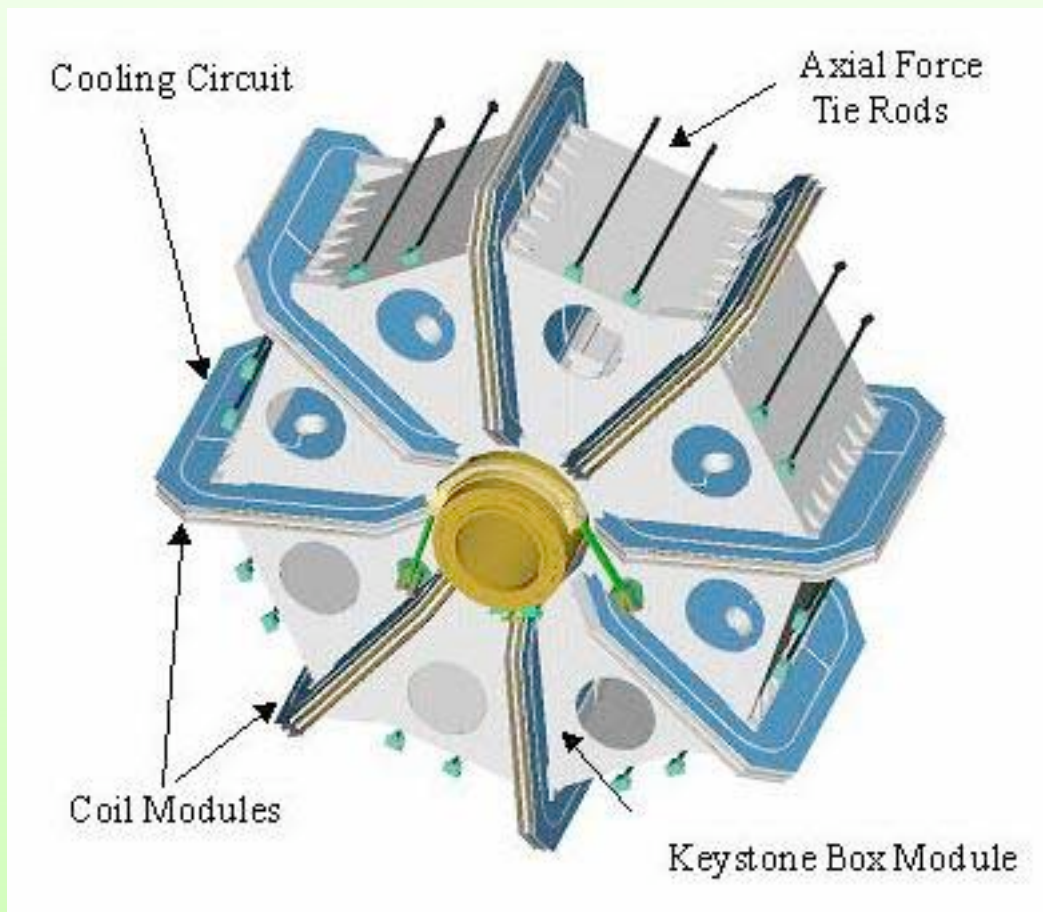
Barrel Toroid

- $|\eta| < 1.3$
- 2 - 6 Tm
- 1.08GJ



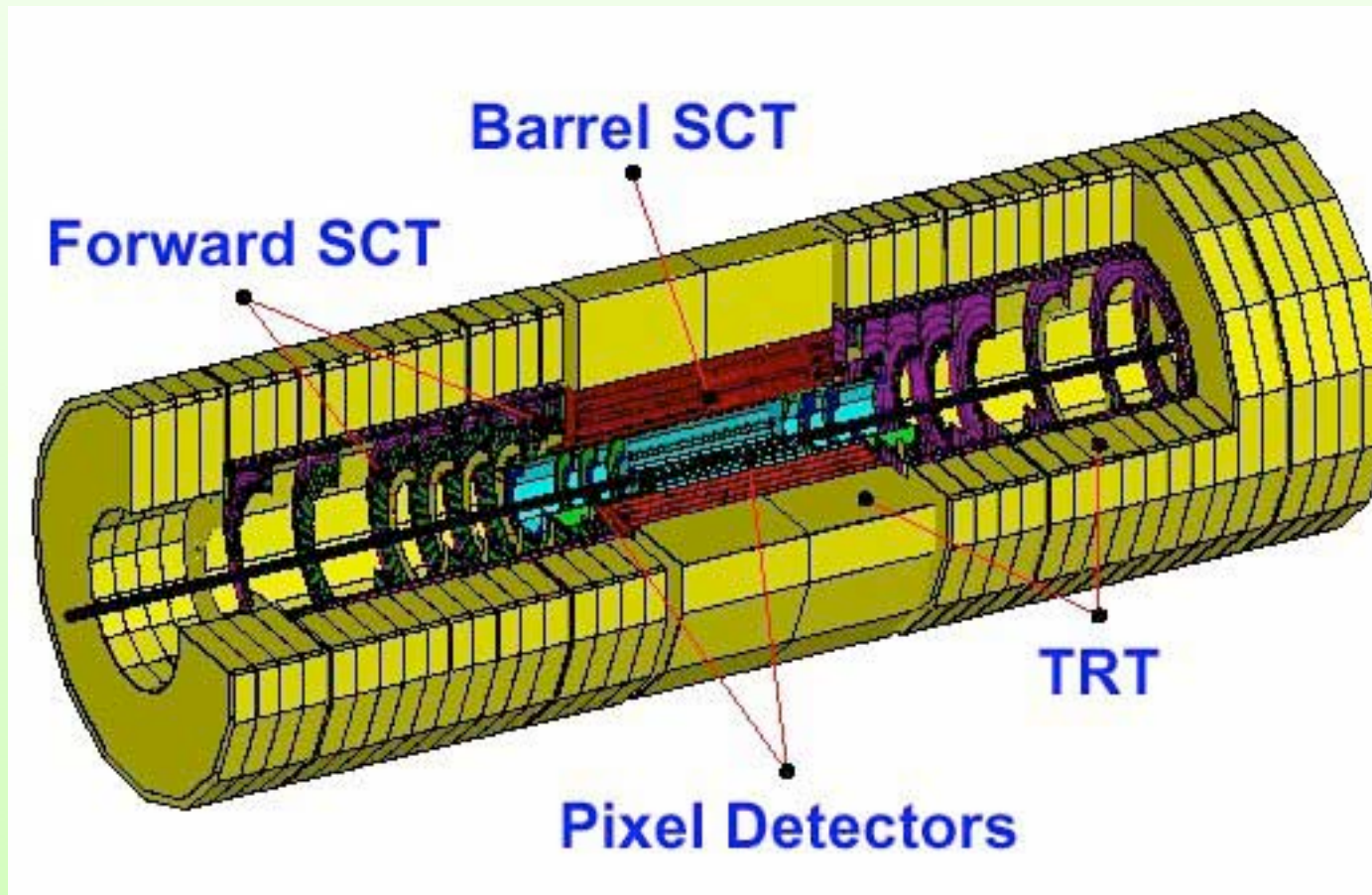
End-cap Toroid

- $1.6 < |\eta| < 2.7$
- 4 - 8 Tm
- 2x0.2GJ

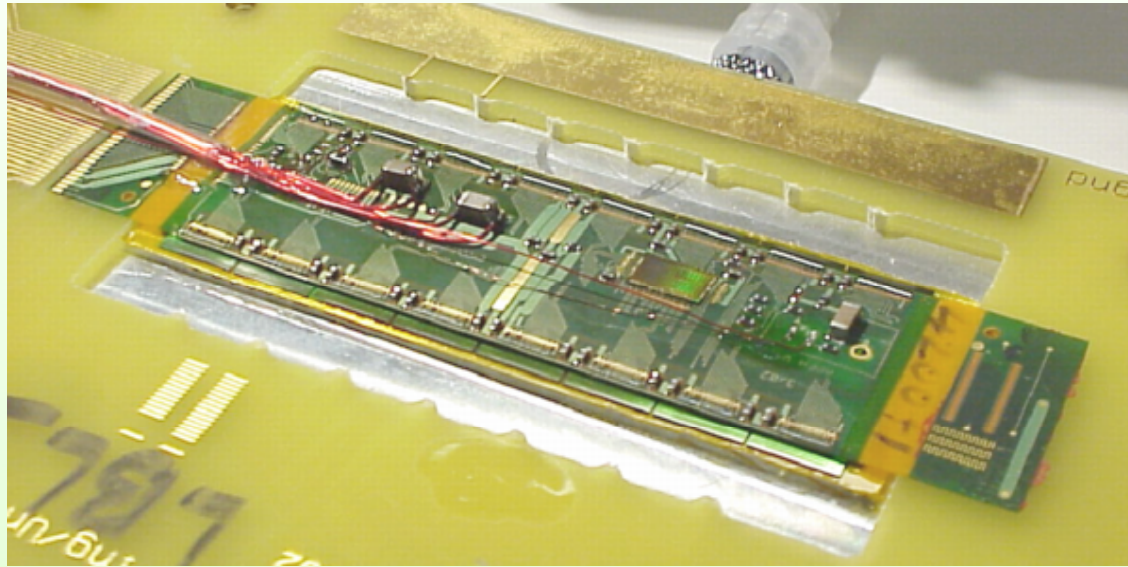


Inner Detector

- Silicon Pixels Detector
- Silicon Microstrip Detector
- Transition Radiation Tracker



Silicon Pixels Detector



Support Structure

Barrel $|\eta| < 1.7$:

radius $\sim 4, 10, 13$ cm

σ in $r\phi = 12, z = 66$ (μm)

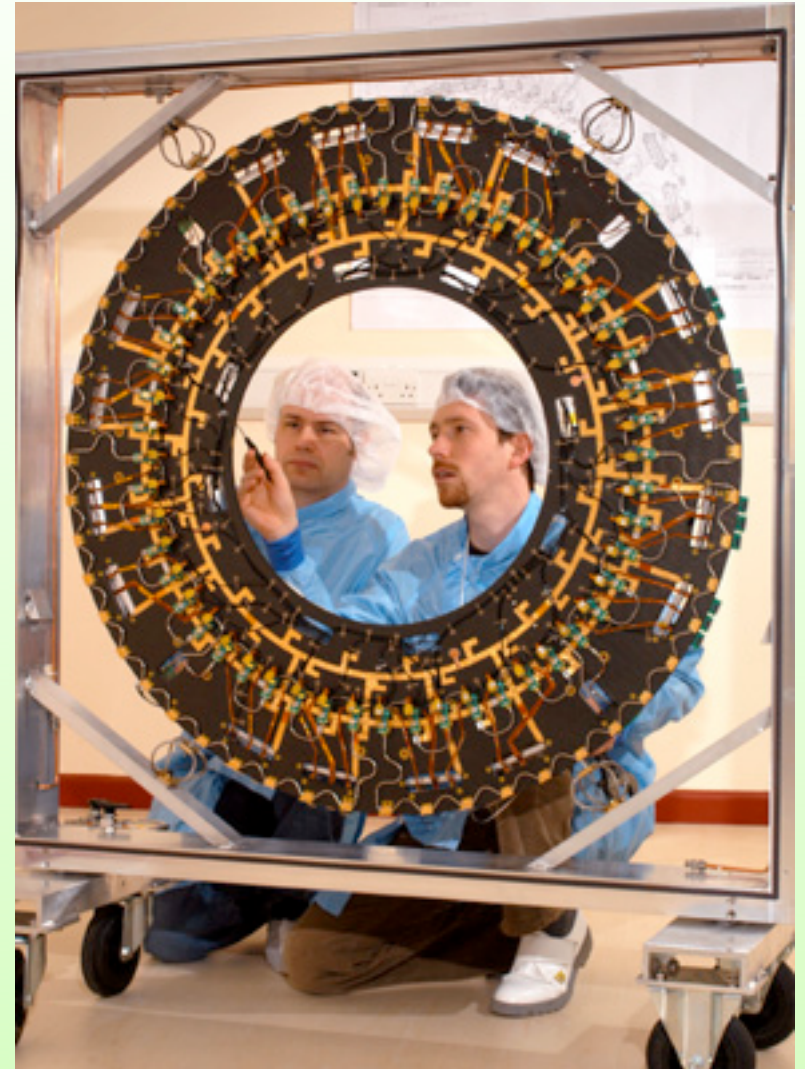
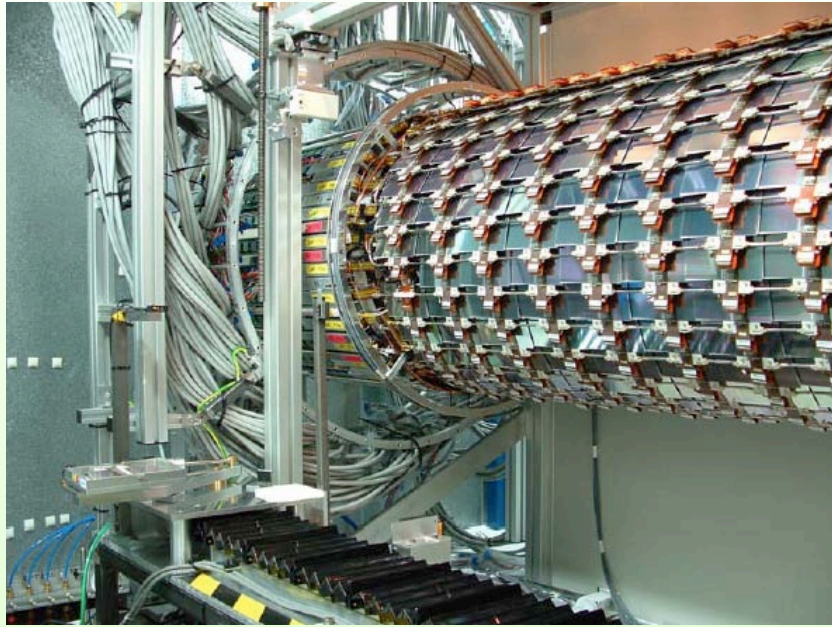
End-cap $1.7 < |\eta| < 2.5$:

z 11 - 20 cm

σ in $r\phi = 12, r = 77$ (μm)



Silicon Micro-strip Detector



Barrel (4 layers) $|\eta| < 1.4$:

radius $\sim 30, 37.3, 44.7, 52$ cm

σ in $r\phi = 16, z = 580$ (μm)

End-cap $1.4 < |\eta| < 2.5$:

σ in $r\phi = 16, r = 580$ (μm)

Transition Radiation Tracker

Straw tube: 4mm ϕ

Barrel:

$$|\eta| < 0.7$$

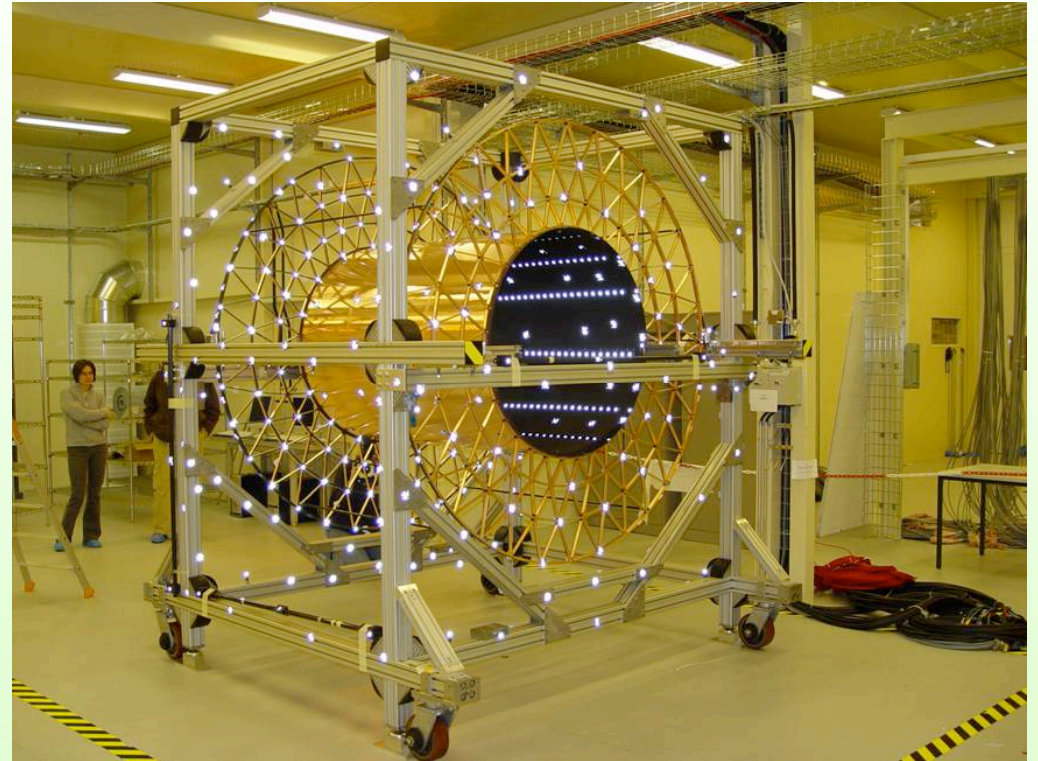
radius \sim 56-107 cm

End-cap:

$$0.7 < |\eta| < 2.5$$

radius \sim 64(48) -103 cm

$$\sigma / \text{straw} = 170 \mu\text{m}$$



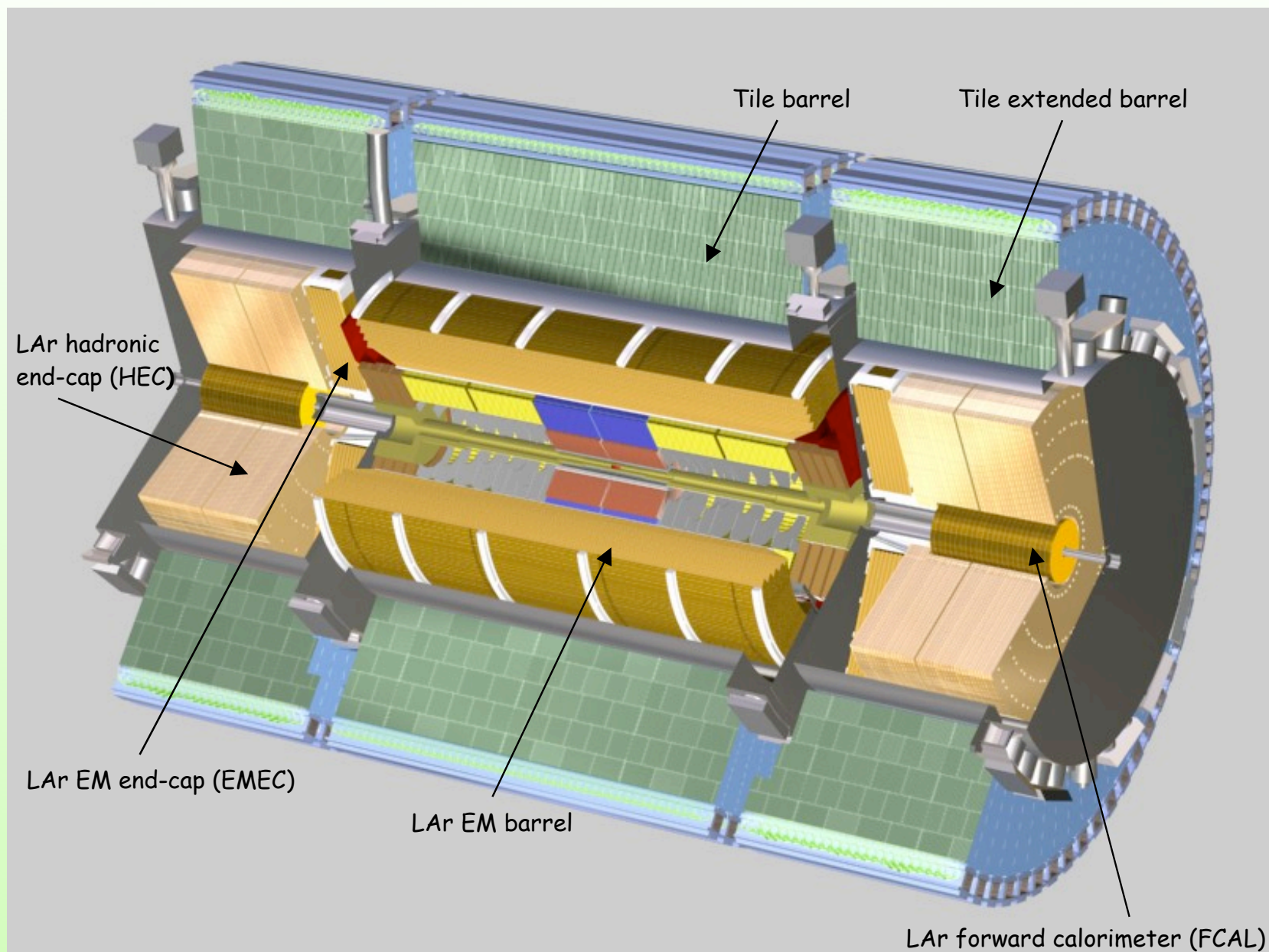
Barrel Inner Detector Support Structure

Inner Detector Performance

$$\sigma(1/p_T) \approx 3.5 \times 10^{-4} \oplus 1.3 \times 10^{-2} / (p_T \sqrt{\sin \theta}) \text{ (GeV}^{-2}\text{)}$$

charge mis-id. $< 2\%$ (μ), $< 5\%$ (e) for $p_T=1\text{TeV}$

ATLAS Calorimetry



Electromagnetic Calorimeter

Liquid Ar Calorimeter + Pb
with accordion geometry

Coverage

Barrel: $|\eta| < 1.475$

End-cap: $1.375 < |\eta| < 3.2$

Energy resolution

$$\sigma(E)/E = a/\sqrt{E(\text{GeV})} \oplus b$$

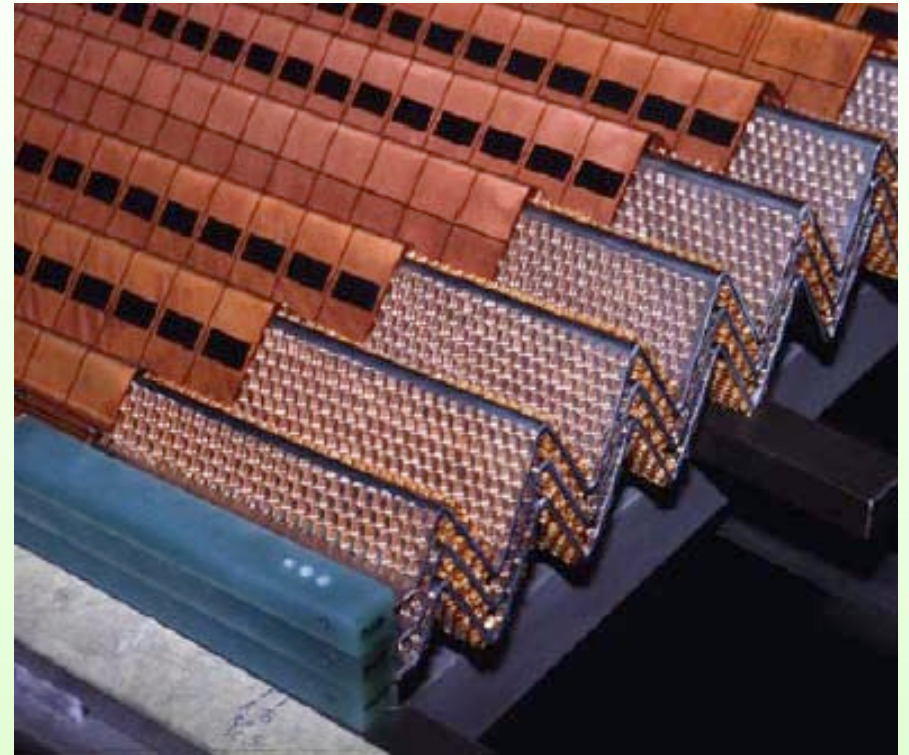
$$a \approx 10\% \quad b \leq 0.7\%$$

Fine granularity ($\Delta\eta \times \Delta\phi$)

Barrel: 0.025×0.025

End-cap: 0.025×0.025 ($1.375 < |\eta| < 2.5$)

0.1×0.1 ($2.5 < |\eta| < 3.2$)



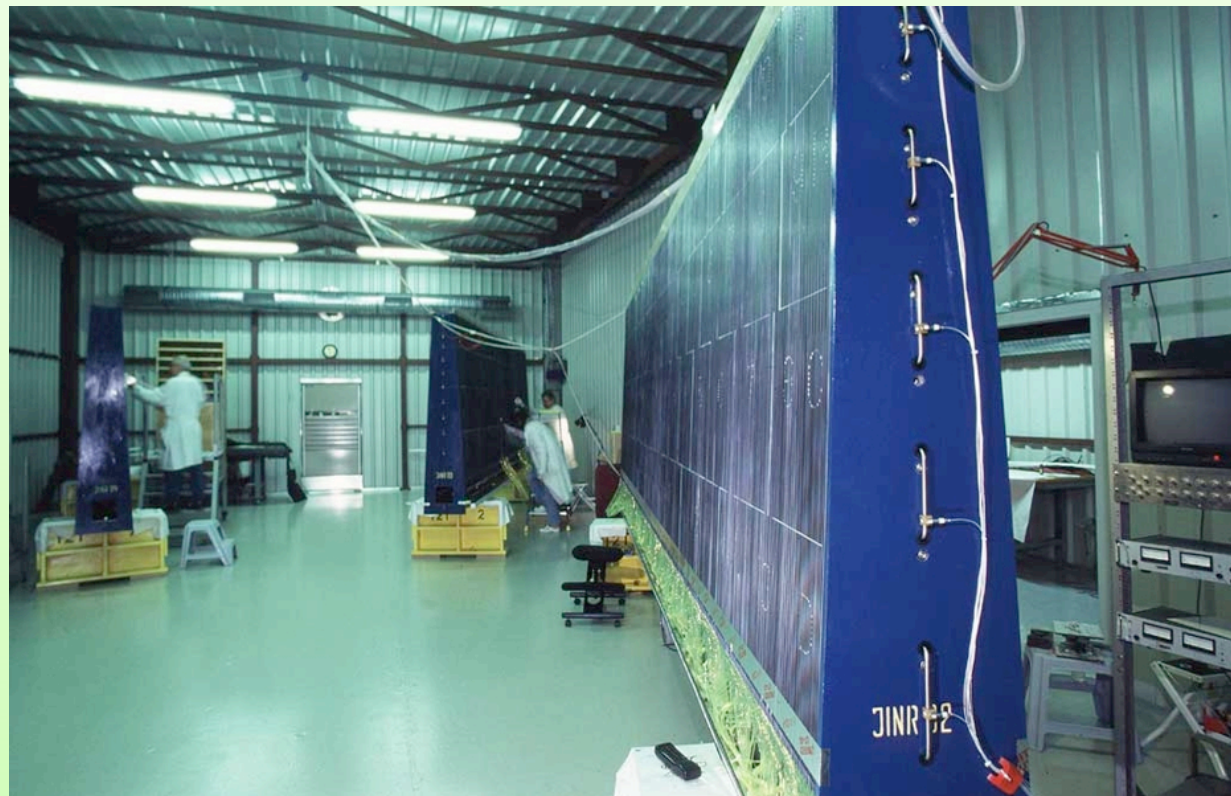
Hadronic Calorimeters

Barrel ($|\eta| < 1.7$)

Iron + scintillating-tile (11λ at $\eta=0$)

$$\Delta \eta \times \Delta \phi = 0.1 \times 0.1$$

$$a = (40-45)\% \text{GeV}^{1/2}, b = (2-3)\%$$



Hadronic Calorimeters

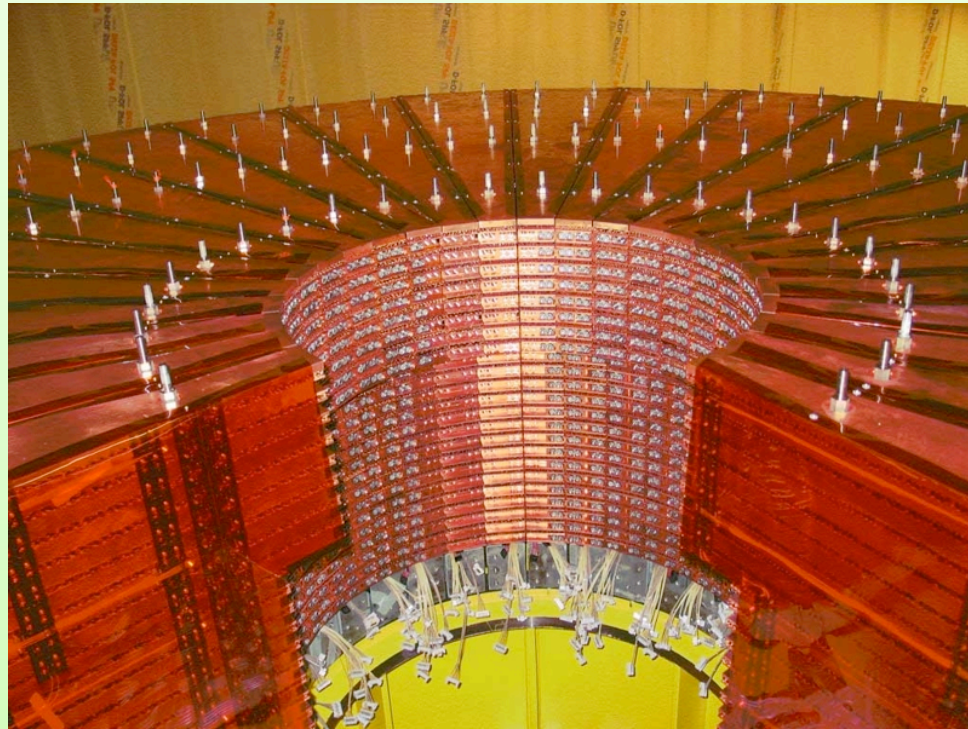
End-cap (Liquid Ar)

Cu: $1.5 < |\eta| < 3.2$

$\Delta\eta \times \Delta\phi = 0.1 \times 0.1$ ($|\eta| < 2.5$)

$\Delta\eta \times \Delta\phi = 0.2 \times 0.2$ ($|\eta| > 2.5$)

$a = (55-60)\% \text{GeV}^{1/2}$, $b = (2.5-3)\%$



Hadronic Calorimeters

Forward (Liquid Ar)

Cu+W: $3.1 < |\eta| < 4.9$

$\Delta \eta \times \Delta \phi \sim 0.2 \times 0.2$

$a \approx 100\% \text{GeV}^{1/2}$, $b \approx 10\%$



測定器としての performance

μ

Inner Detector + Muon System

$p_T=100\text{GeV}$ の μ に対し $\approx 2\%$ の resolution

e, γ

(Inner Detector +)EM Calorimeter

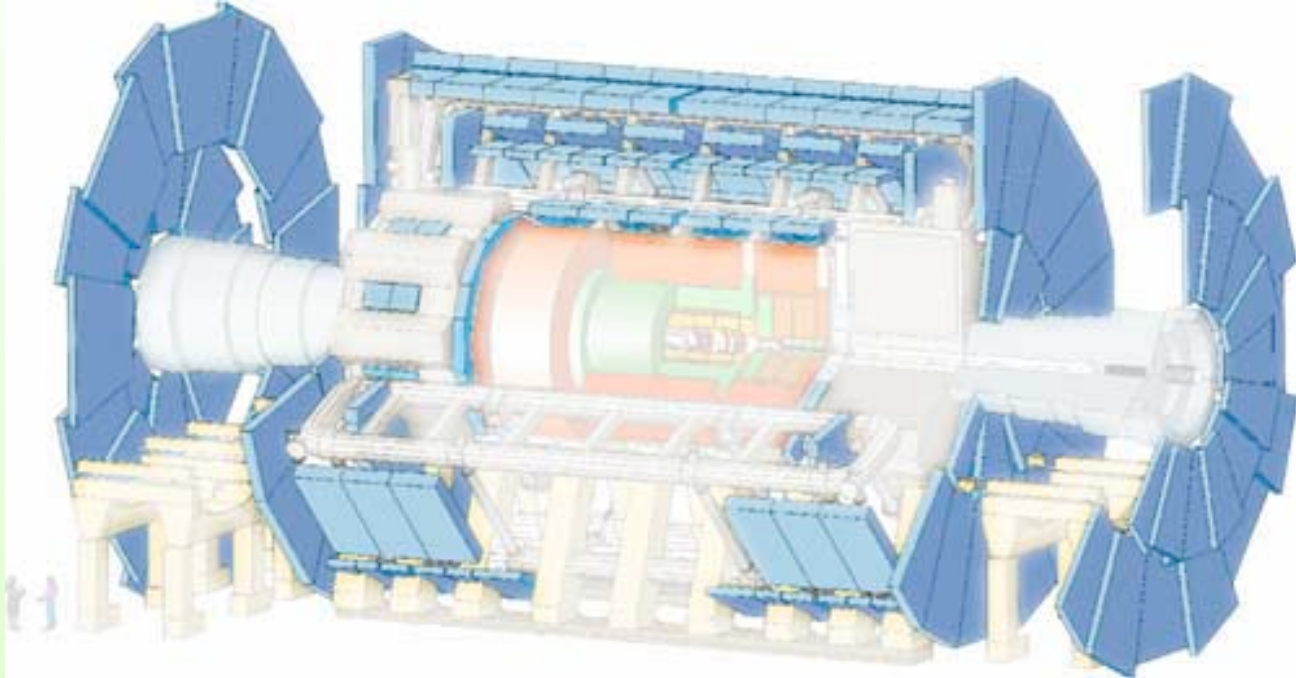
$E=100\text{GeV}$ に対し $\approx 1.5\%$ の resolution

Jet

Inner Detector + Calorimeters

$E=100\text{GeV}$ に対し $\approx 8\%$ の resolution

Muon Systems



Muon Spectrometer ($|\eta| < 2.7$)

Precision chambers : MDT, CSC(fwd)

Trigger system : RPC(barrel), TGC(endcap)

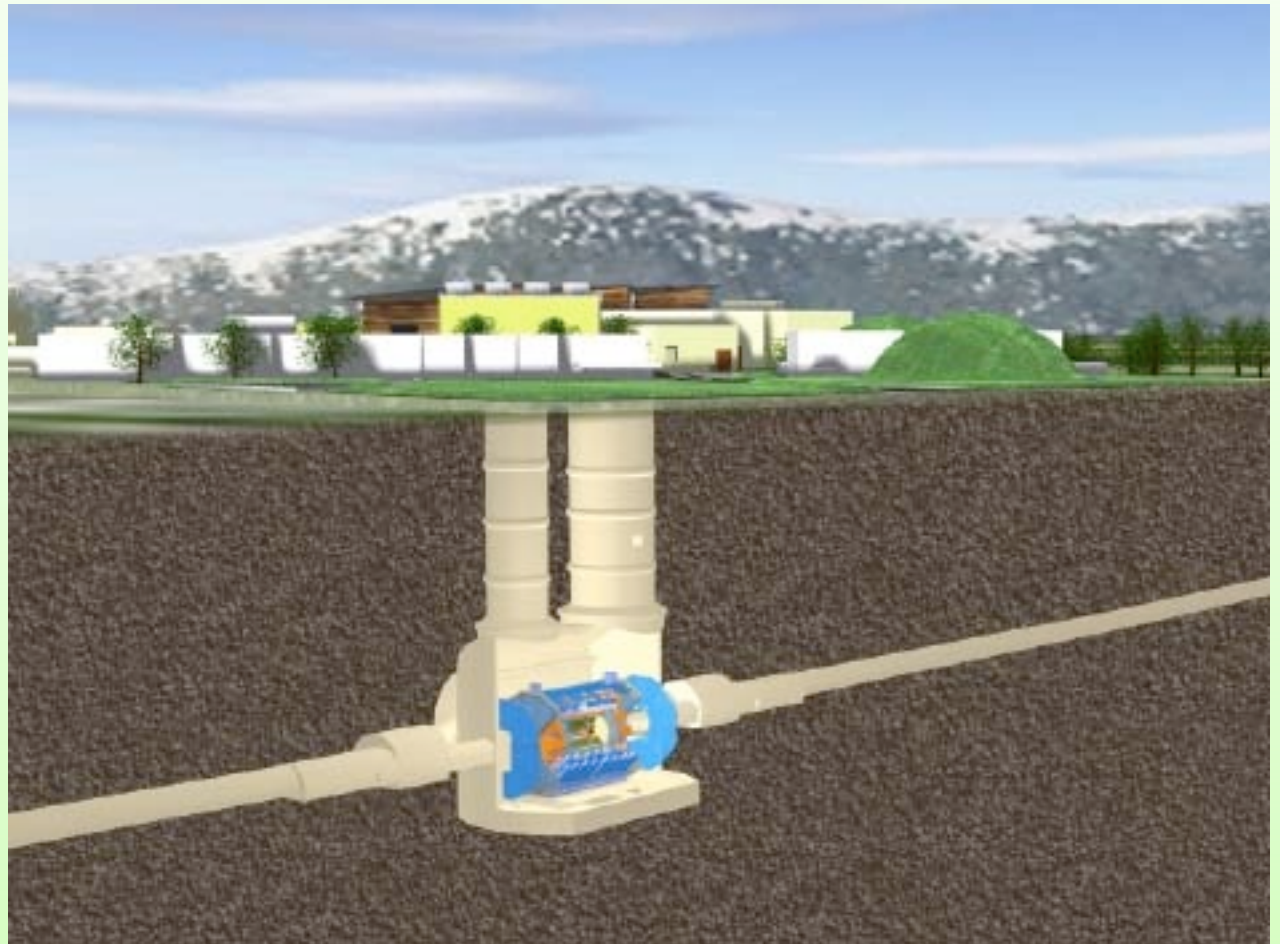
ATLAS地下実験ホール

地下約100m

長さ 55m

幅 32m

高さ 35m





実験ホールへの Installation

2004年10月28日

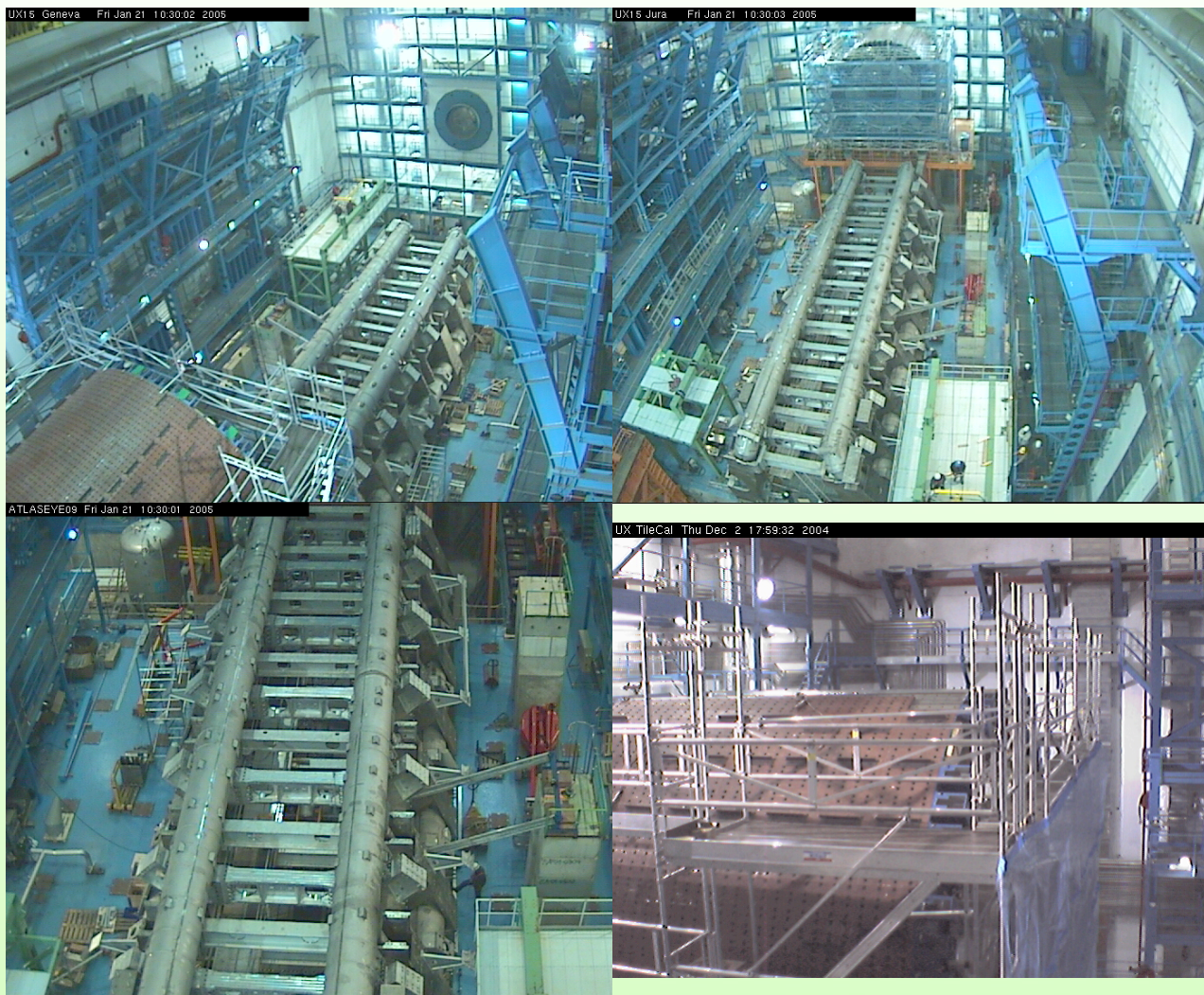
Barrel LAr calorimeter + Solenoid

2004年11月8日 Barrel Toroid-1



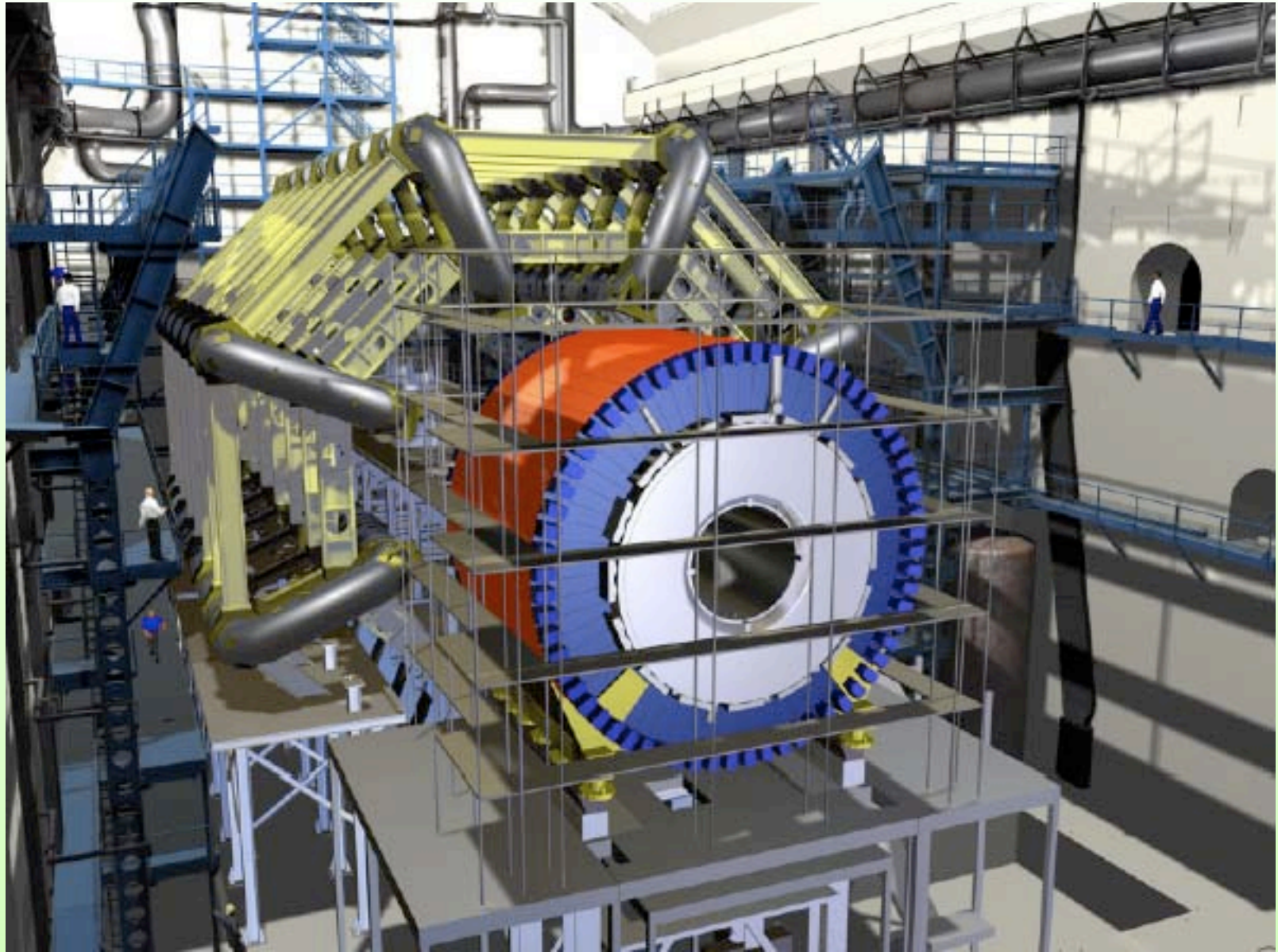
Barrel Toroid-2 も既に install された

ATLAS実験ホールの Web Camera



http://atlaseye-webpub.web.cern.ch/atlaseye-webpub/websites/pages/UX15_webcams.htm

2005年8月?



LHCでの物理

Higgs

SUSY

その他

Exotic search、 B-physics、 top、
QCD and Electroweak、 、 、

2007-2008年の「現実」は？

Missing ET の大きな event が多い？

--> SUSY?

Peak があった？

--> Higgs?

何が起きても対応できる準備が必要!