

「特定領域研究」中間評価ヒアリング

ヒッグス粒子と超対称性の発見が 切り拓く21世紀の素粒子物理学



完成間近の
ATLAS検出器
(2007年2月)

領域代表者 東京大学大学院理学系研究科・教授
駒宮幸男

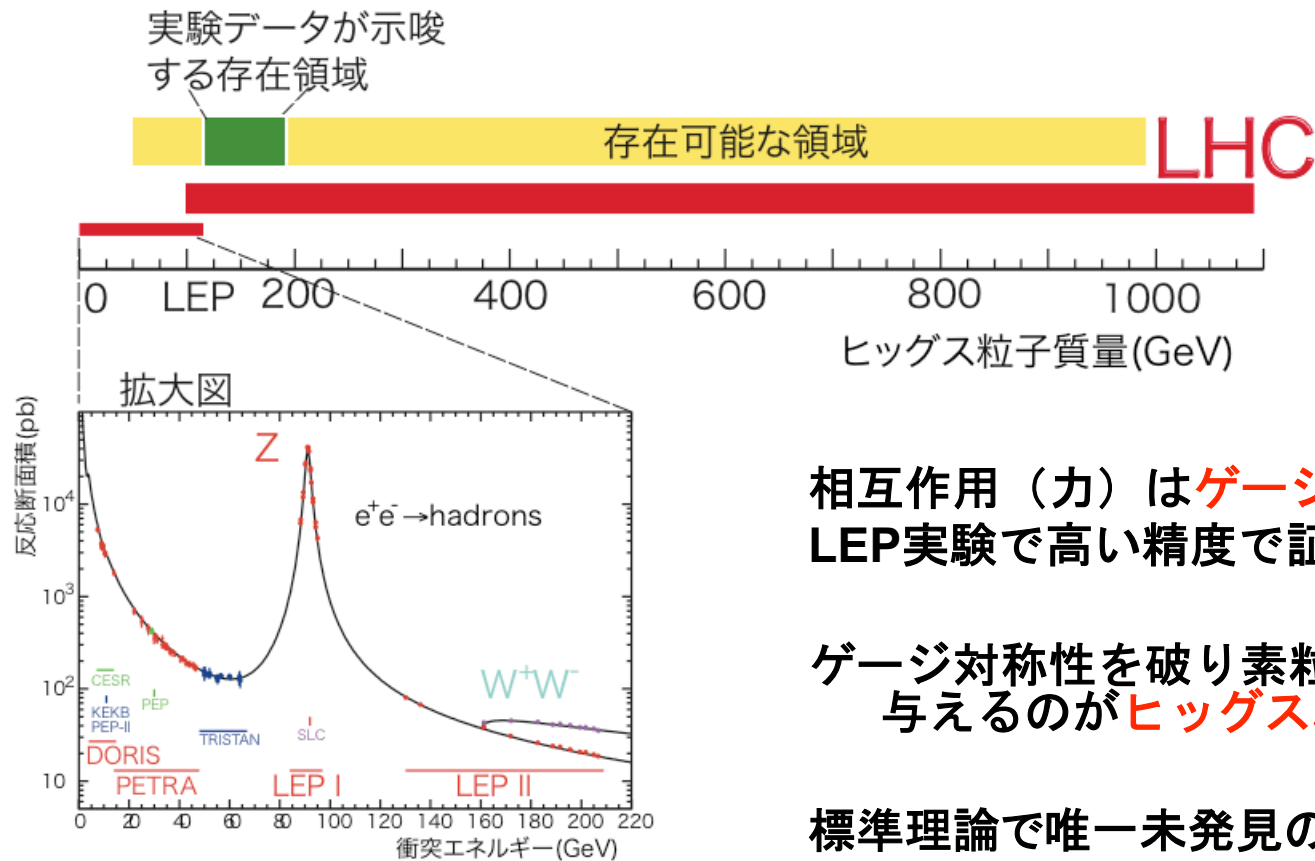
研究の目的

世界最高エネルギーの加速器LHCを用いた国際協力実験**ATLAS**と世界最高輝度ミュオンビームを用いた国際協力実験**MEG**を遂行し、

- ・**ヒッグス粒子の確実な発見**を通して、質量の起源や真空の構造を解明する。
- ・**超対称性の発見**を通して、力の統一や宇宙の暗黒物質を解明する。
- ・標準理論を超える新しい素粒子現象の理論的研究を総結集し、その本質に迫る。

これらの発見が可能な実験は世界でLHCとMEGだけである。

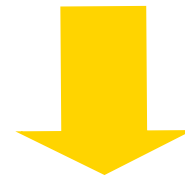
ヒッグス粒子(質量の起源)



相互作用（力）はゲージ原理が支配
LEP実験で高い精度で証明

ゲージ対称性を破り素粒子に質量を
与えるのがヒッグス粒子

標準理論で唯一未発見の粒子

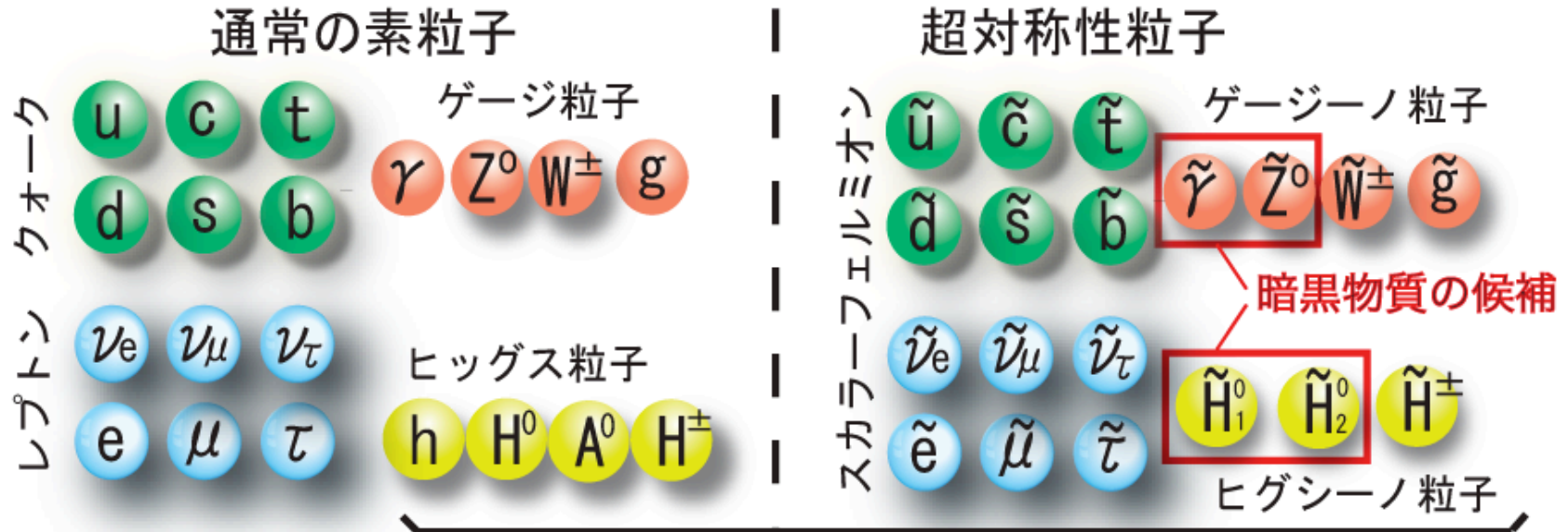


LEP実験ではヒッグス粒子を
114～約200 GeVの狭い
質量範囲に絞り込んだ(信頼度95%)

素粒子物理の最緊急課題:
ヒッグス粒子の直接の発見

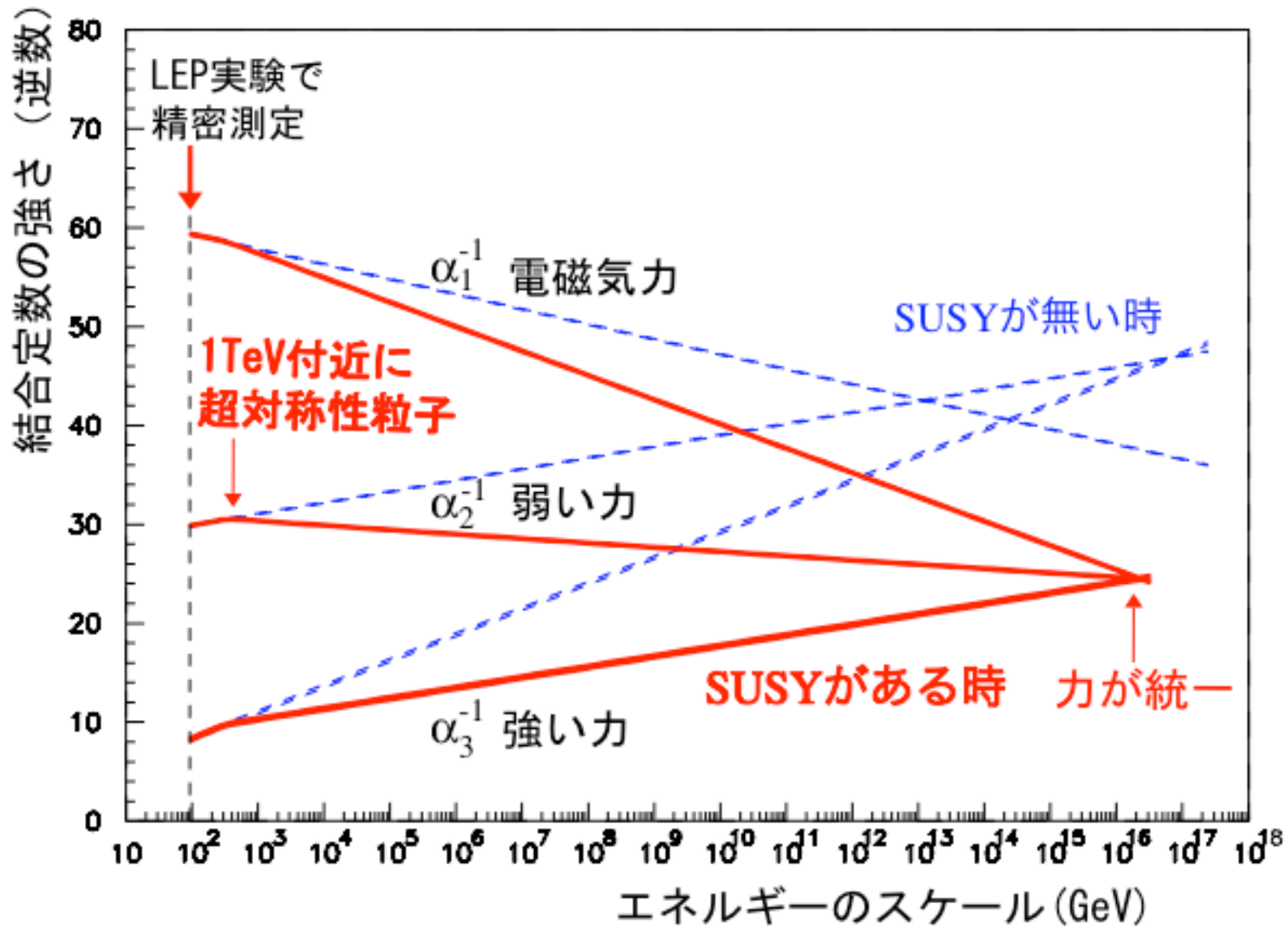
超対称性粒子(SUSY)

- ・超対称性=フェルミ粒子とボーズ粒子を入れ換える対称性
重力を含む力の超統一で決定的な役割
- ・全ての素粒子に超対称性パートナーが存在し、その質量はTeV以下
⇒反粒子の発見に匹敵する成果
- ・最も軽い超対称性粒子は、宇宙の「暗黒物質」の最有力候補
⇒宇宙構造の理解



ヒッグス、超対称性粒子は未発見

超対称性は、力の大統一を予言



各研究の連携

二つの実験は超対称性と大統一を異なるアプローチで迫る

ATLAS実験

ヒッグス粒子の探索
超対称性の探索
余次元の探索

MEG実験

荷電レプトン数の破れの探索

理論研究

暗黒物質の解明
暗黒エネルギー解明の第一歩
超弦理論・時空構造の研究

理論研究

1. **トップダウン型 (理論→実験)**
実験で検証可能な理論の
予言
2. **ボトムアップ型 (実験→理論)**
実験での発見が理論を画期的に
発展

実験と理論研究の連携をはかり、理論の研究成果を国際協同実験に反映させ、ATLAS及びMEG実験の来るべき物理解析を主導的に展開していくために、本研究領域は今までに3回の国際学会を開催してきた。



LHC 加速器 (CERN)

世界最高エネルギーの陽子陽子衝突型加速器

$\sqrt{s}=14\text{TeV}$ (2008年稼働)



ジュラ山脈

CERN
研究所

ATLAS
実験

Geneva
空港



LHC
トンネル
円周**27km**
地下100m

ATLAS実験

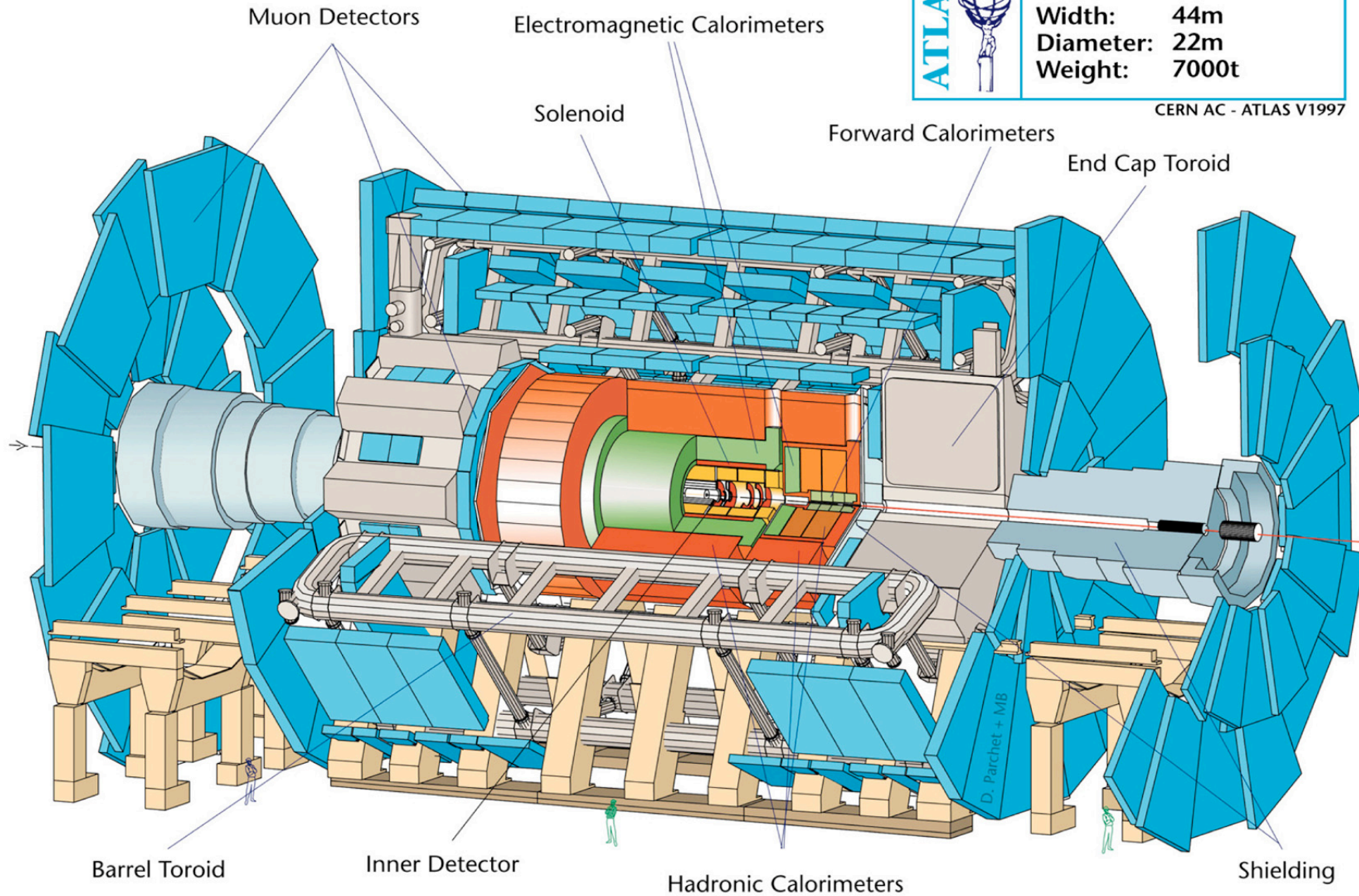
世界35カ国 研究者1800人
の国際共同実験

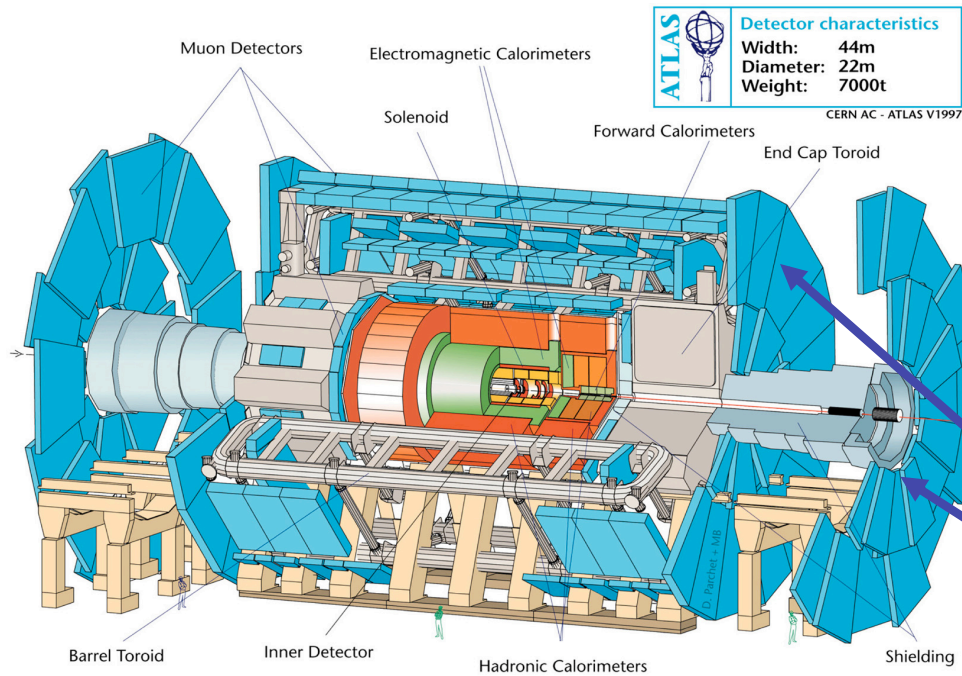


Detector characteristics

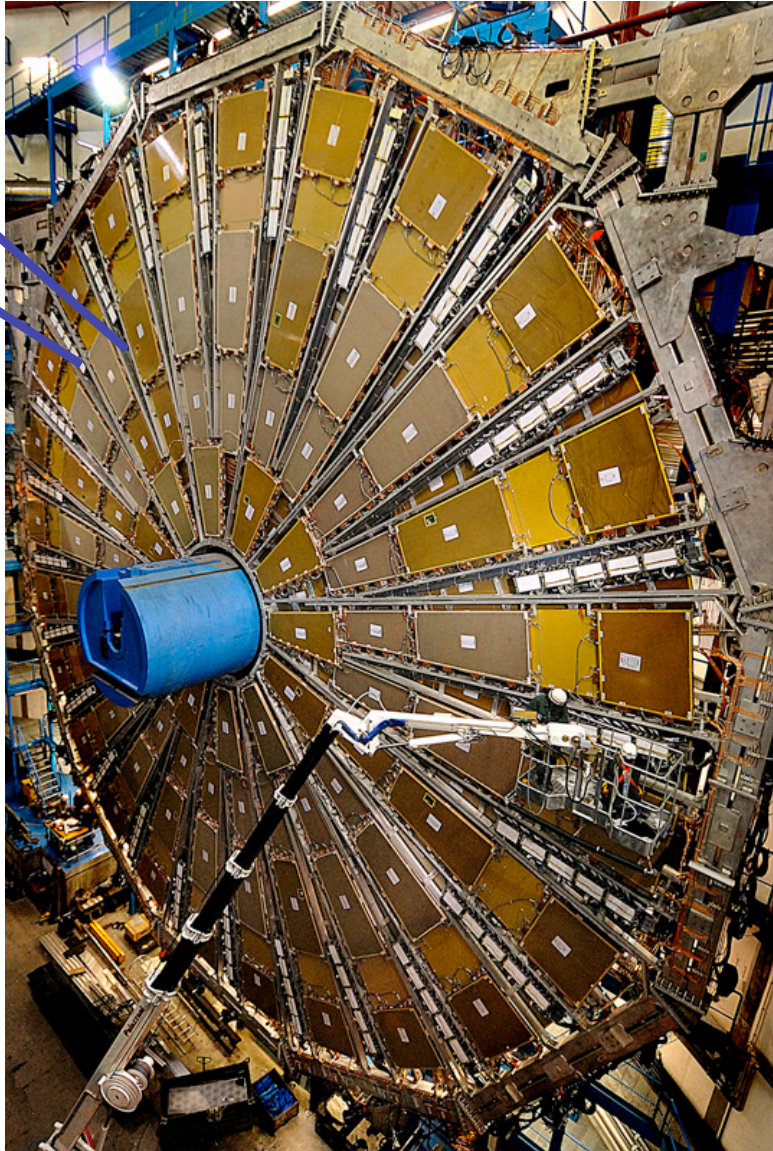
Width: 44m
Diameter: 22m
Weight: 7000t

CERN AC - ATLAS V1997



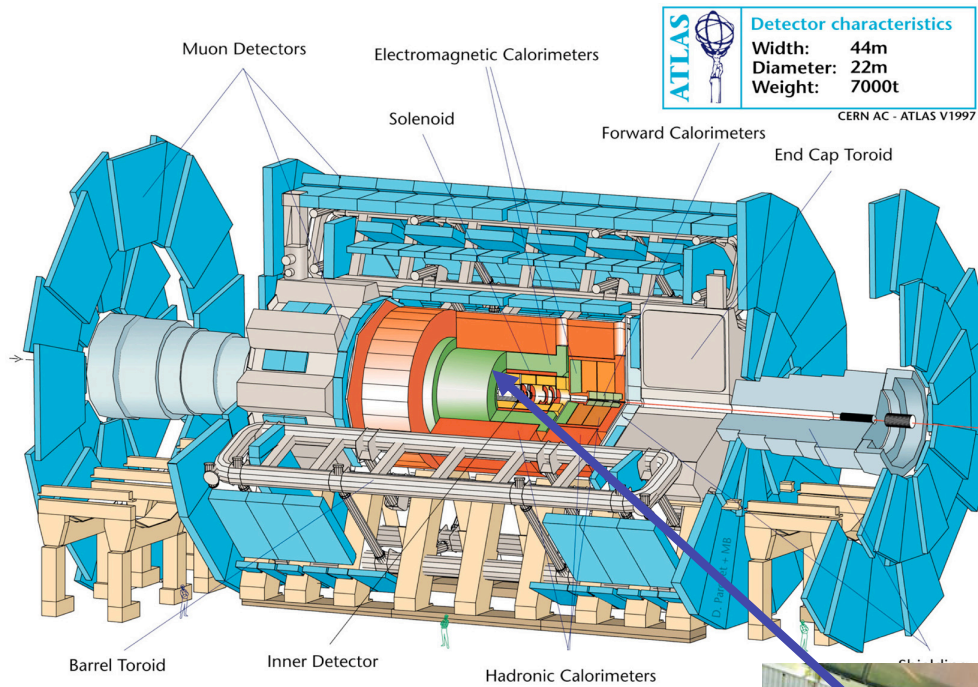


ATLAS ミューオン・トリガー・チェンバー



ヒッグス粒子や超対称性
 粒子の発見に重要な役割
 をするミュオンを含む事
 象を高い効率でトリガーで
 きる

本領域の研究者が中心となって
 チェンバー及び電子回路の設計と制
 作を行った。 現在調整中

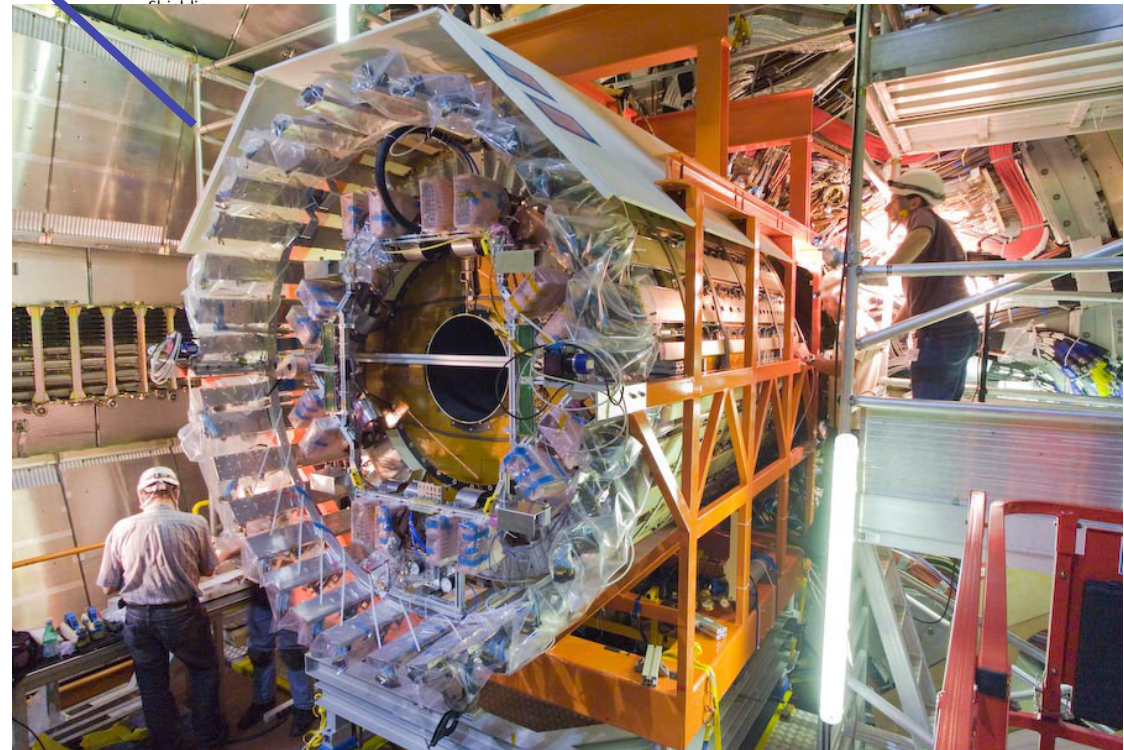


ATLAS シリコン荷電 粒子飛跡検出器

中核部分を本領域の研究者が建設
既に完成し、宇宙線で試験中

中央のシリコン飛跡検出器も、超対称性粒子やヒッグス粒子の発見で鍵となる。

高いバックグラウンド環境下において、荷電粒子の飛跡を捉えて運動量を測定する



ATLAS実験用 物理解析センター 東京大学素粒子物理国際研究センター

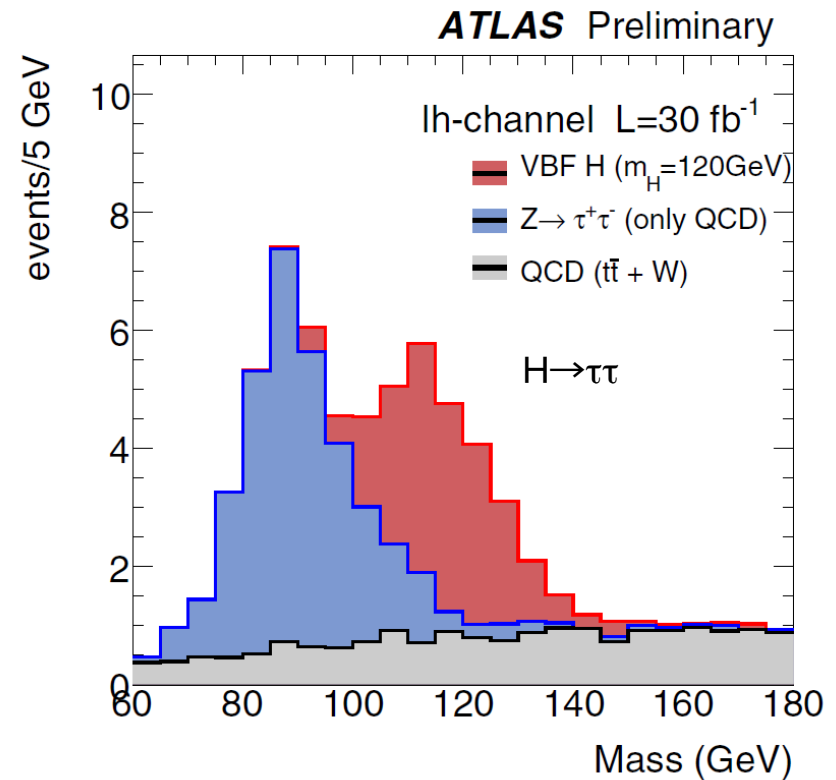
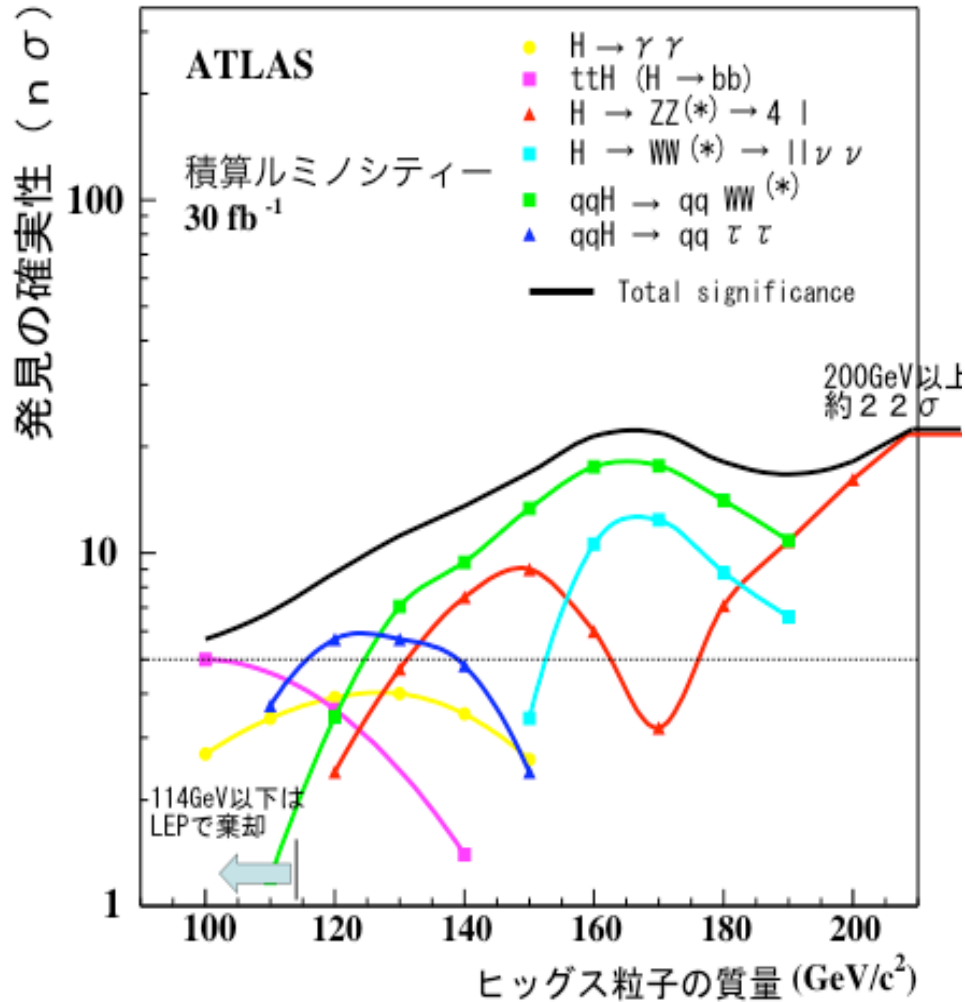
分散型コンピュータシステムGRIDを用いた世界的規模の物理解析を行う

物理解析に必要となる計算機も稼動しており、現在解析に必要なシミュレーション事象を大量に作り、物理解析の準備研究を行なっている

2600 CPU cores、1PB Disks、3.2PB Tapes



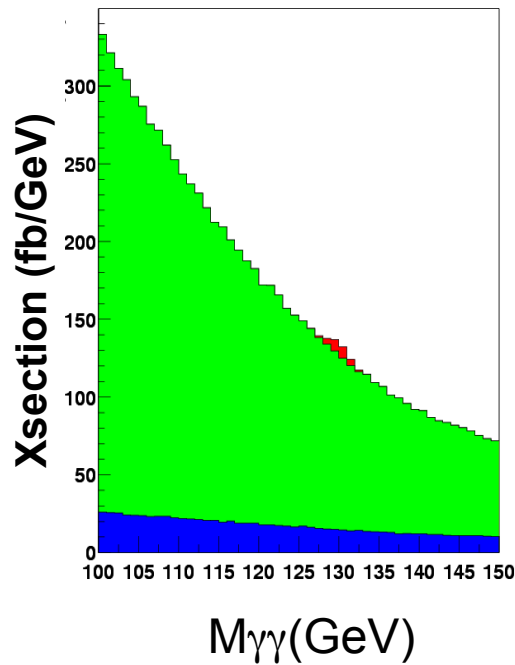
ATLAS:ヒッグス粒子の発見能力



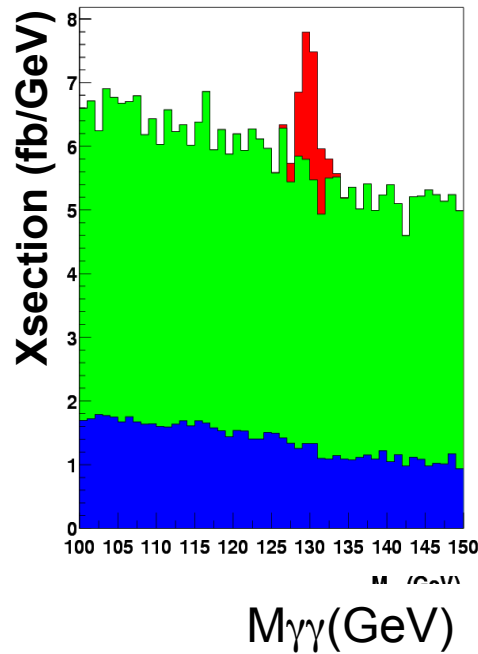
軽いヒッグス粒子は従来探索が困難であったが、本領域の研究によって早期発見の方法を開発した。

ATLAS: ヒッグス粒子の発見能力

$H \rightarrow \gamma\gamma + 0j$

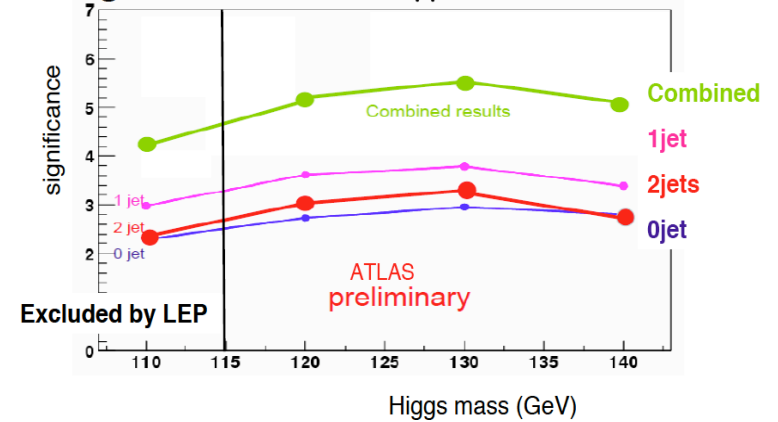


$H \rightarrow \gamma\gamma + 1j$



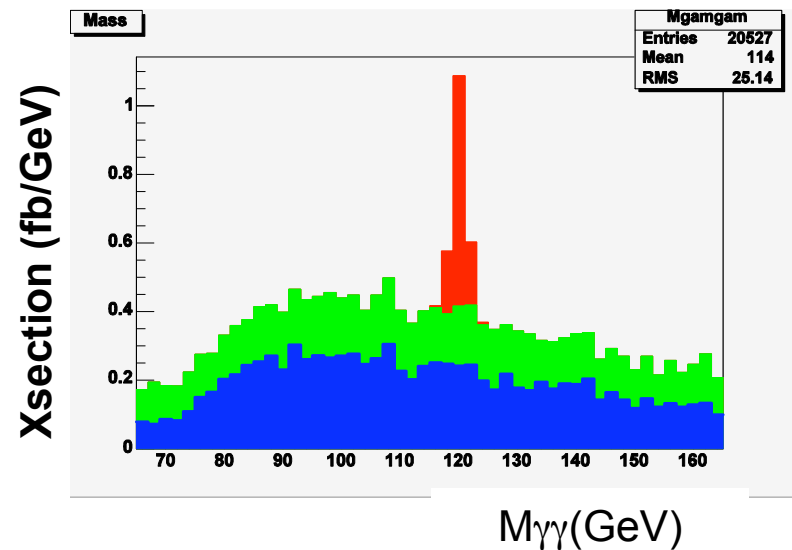
本領域の最新の研究: ヒッグス $\rightarrow\gamma\gamma$
 モードの探索だけでも、 10fb^{-1} あればヒッグス
 粒子が発見できる

Significance on $H \rightarrow \gamma\gamma$ @ $L = 10\text{fb}^{-1}$

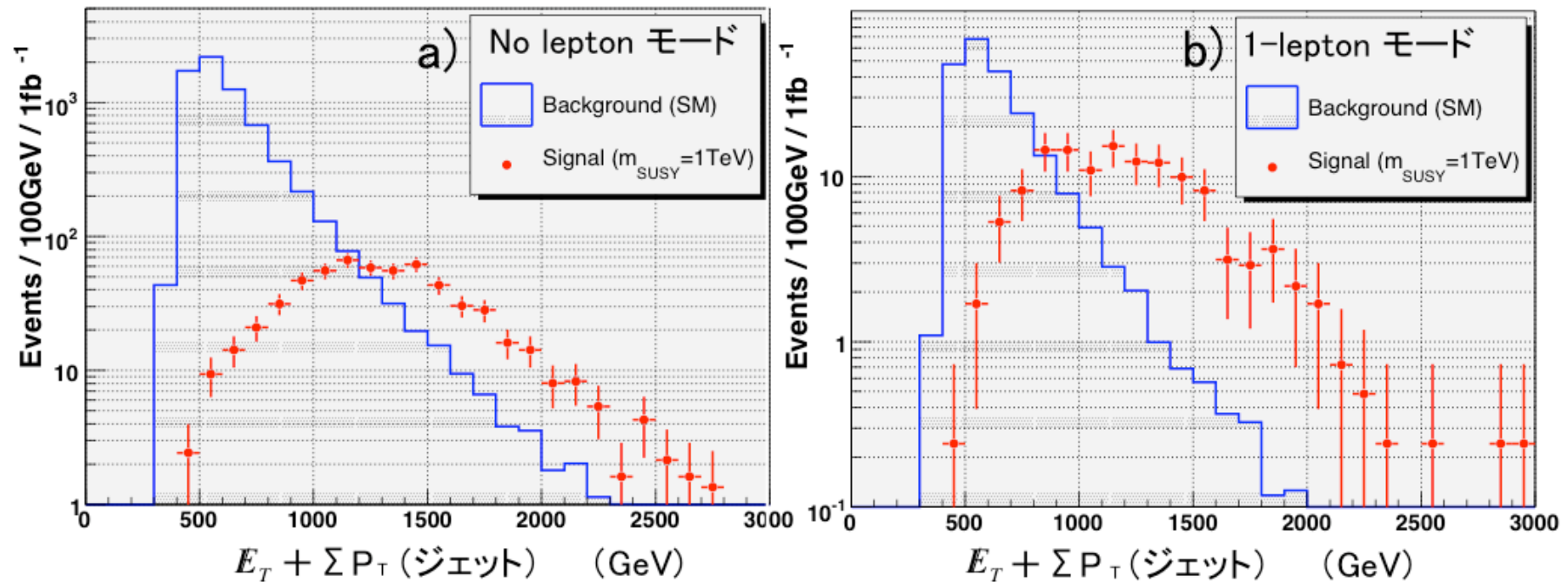


ヒッグス粒子発見能力 2γ 崩壊

$H \rightarrow \gamma\gamma + 2j$



超対称性粒子群の探索



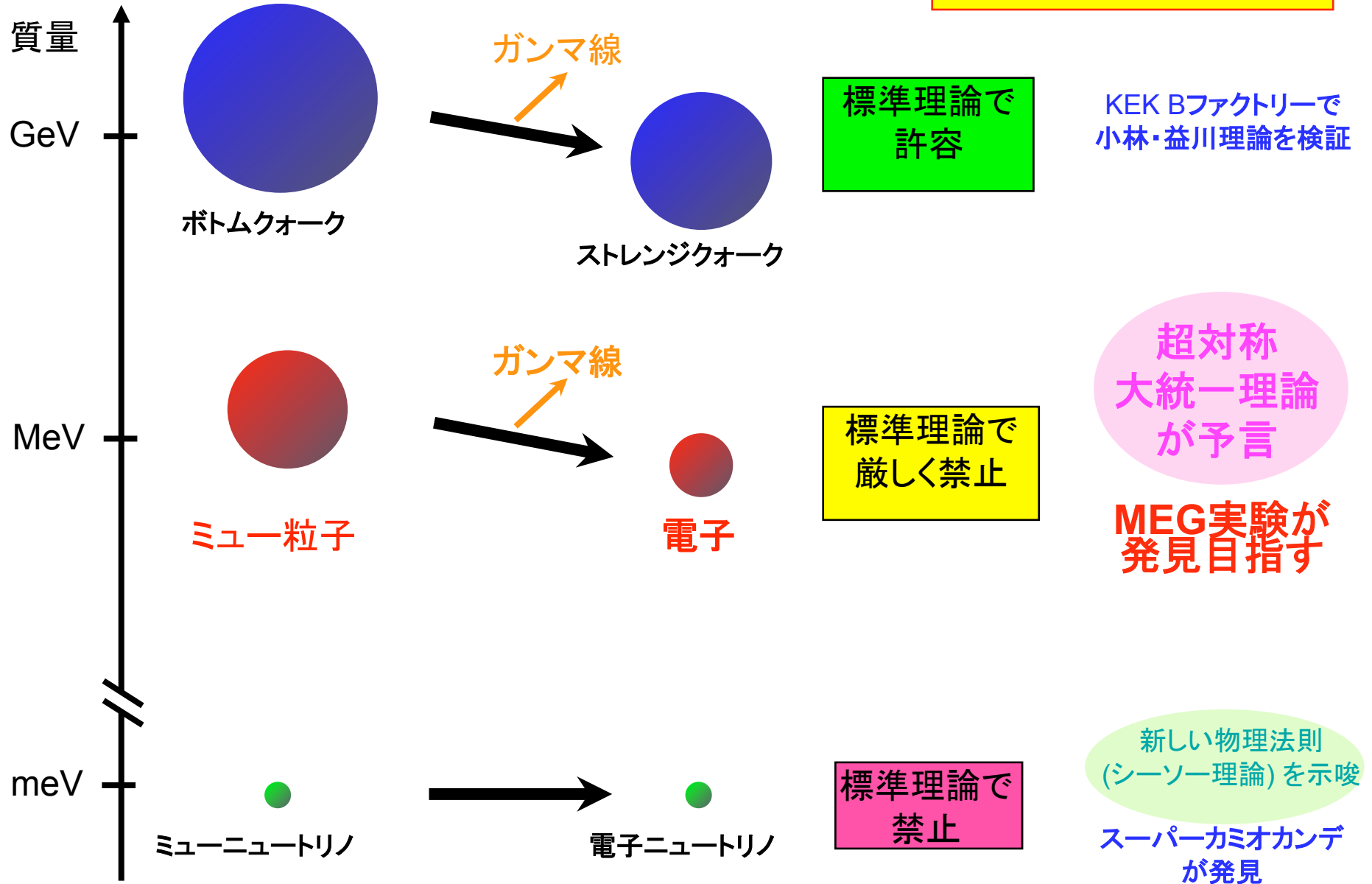
実験開始後にバックグラウンドを実際のデータを用いて評価して、超対称性粒子のシグナルを捉える方法を確立してきた

2-3fb⁻¹のルミノシティで(本領域の終了まで)
約2TeVの質量領域まで発見できる

MEG実験

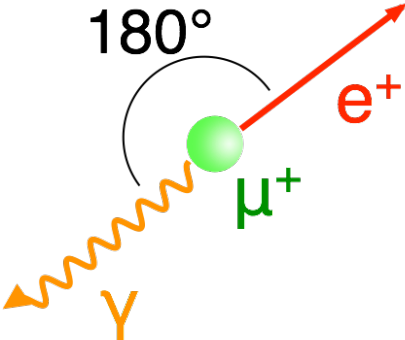
異なる世代の素粒子間の遷移

新しい物理法則への道標



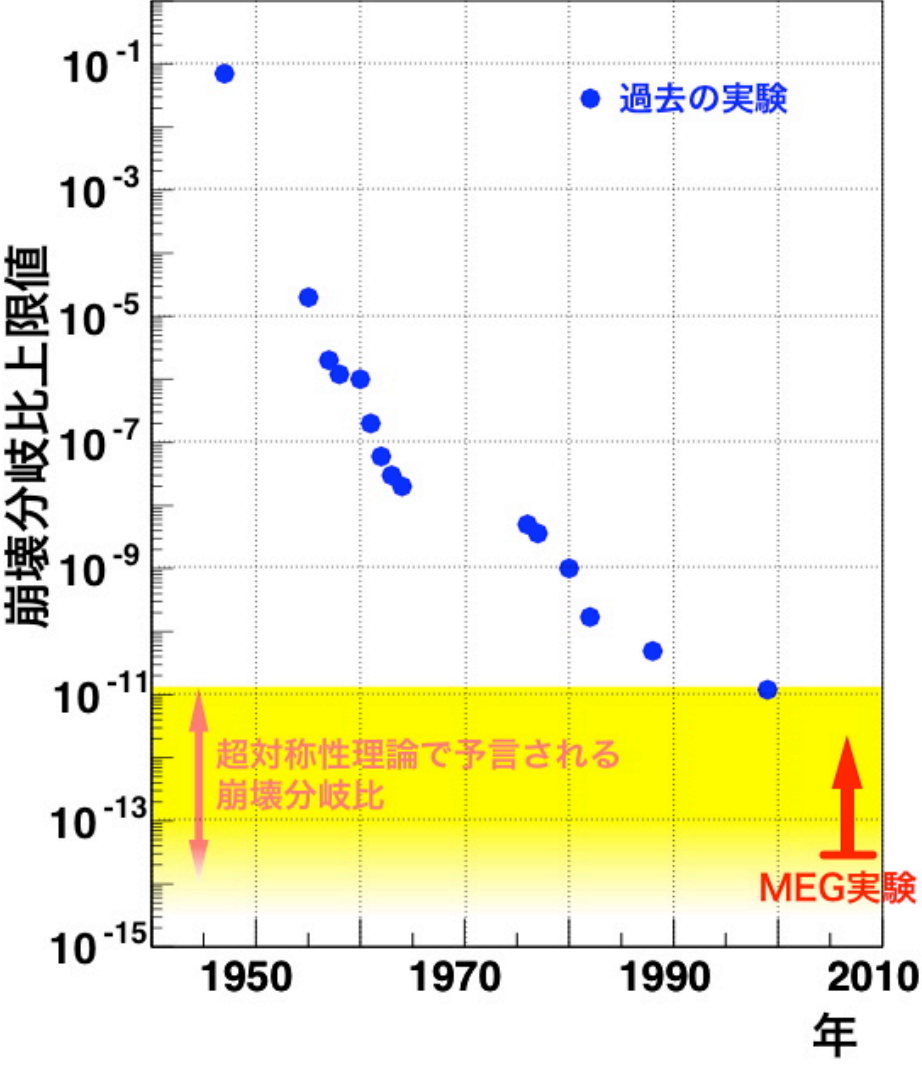
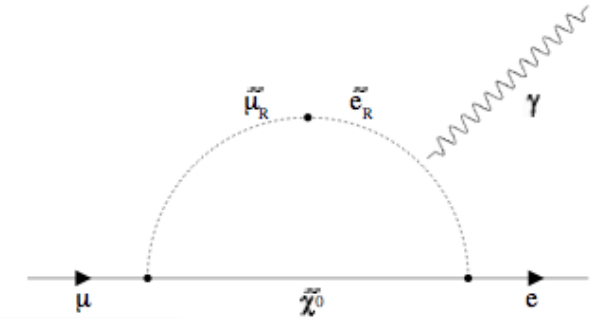
μ→eγ崩壊の探索

標準理論では
起こらない



超対称大統一理論の予言:

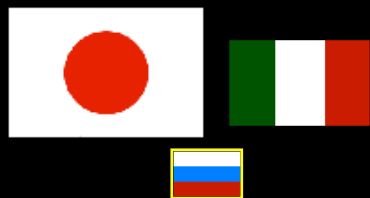
分岐比 $10^{-11} - 10^{-14}$



MEG 国際共同実験

本研究領域の研究者(代表:森)が実験を提案
スイス、イタリア、ロシア、米国の研究者が参加(総計約60名)

液体キセノン検出器



超伝導スペクトロメータ



トリガー、電子回路

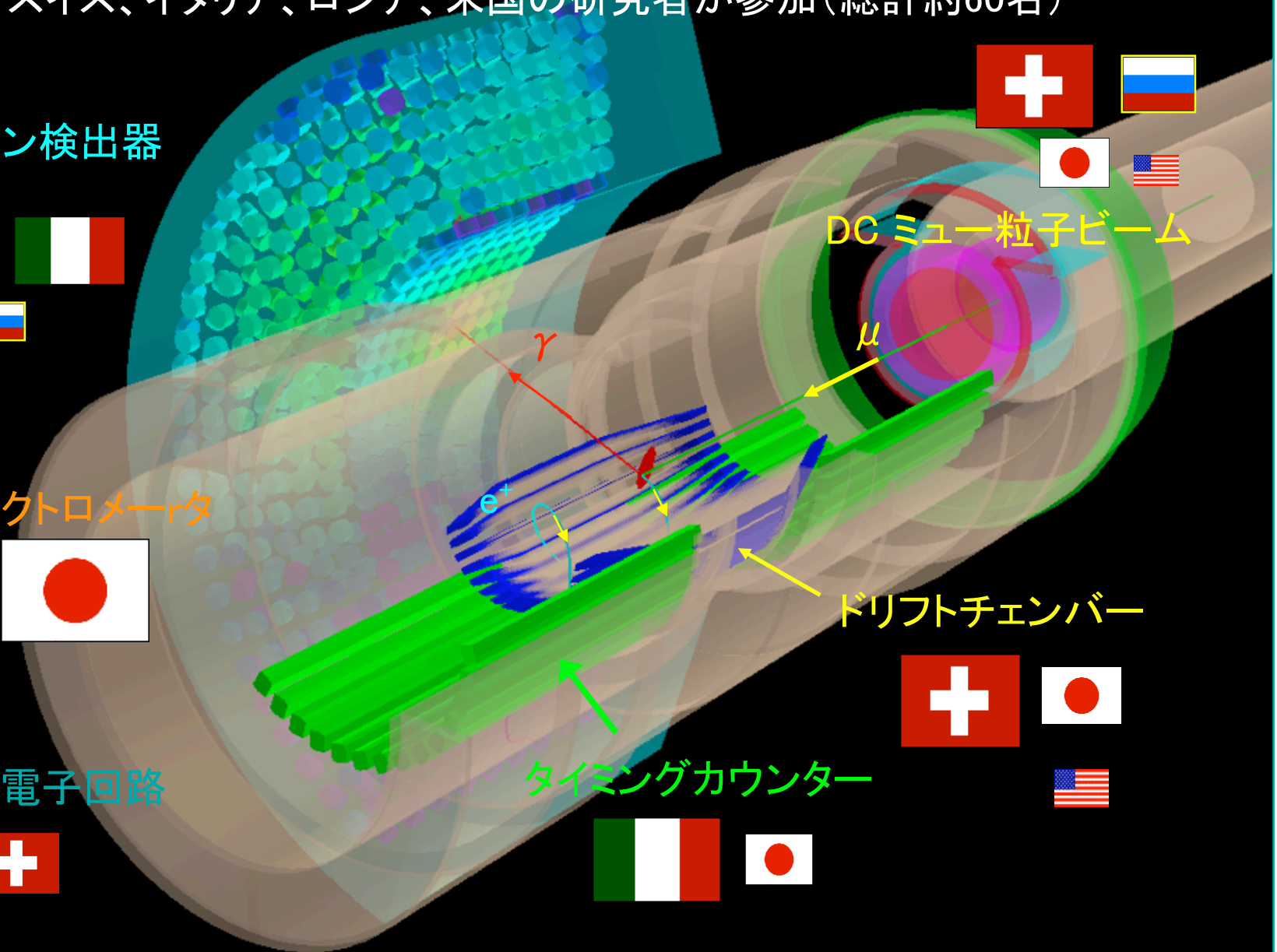
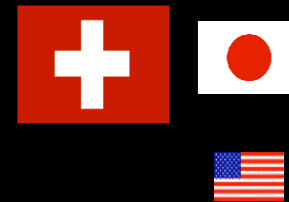


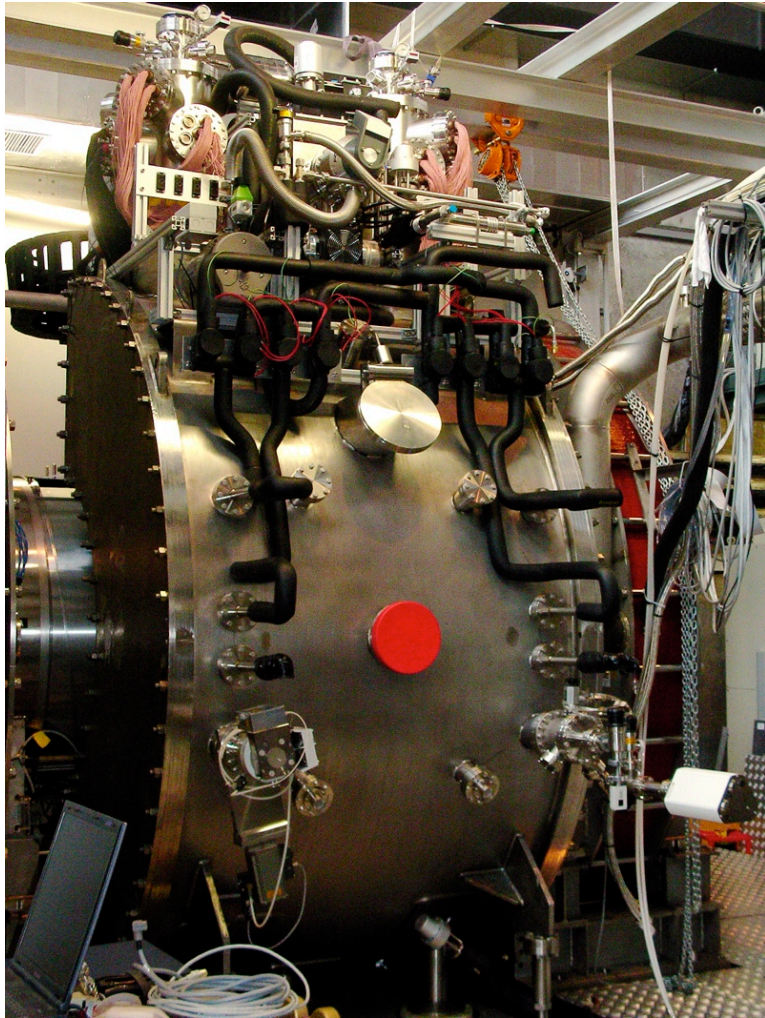
タイミングカウンター



DC ミュー粒子ビーム

ドリフトチェンバー



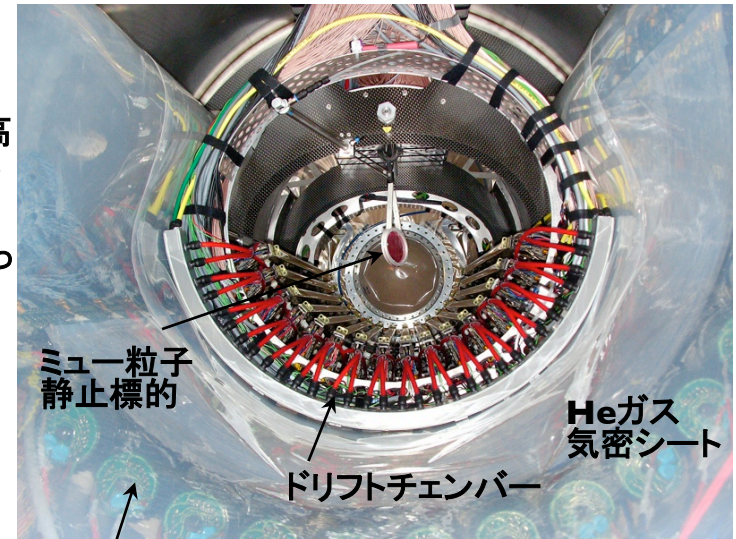


本研究領域による成果

- ✓ビームライン・測定器は建設・設置が終了
- ✓現在立ち上げ・調整中

陽電子スペクトロメータ

勾配磁場により高
計数率下で高分
解能実現、
現在宇宙線を使っ
て校正を開始



ミュオン粒子
静止標的

Heガス
気密シート

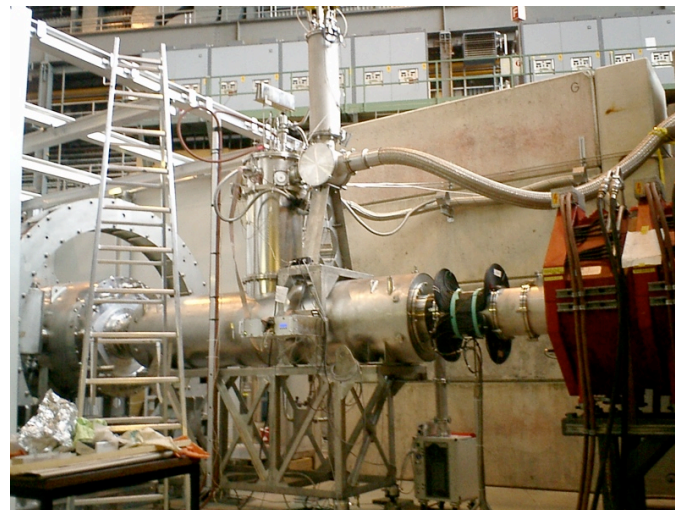
ドリフトチェンバー

タイミングカウンター



液体キセノン ガンマ線測定器

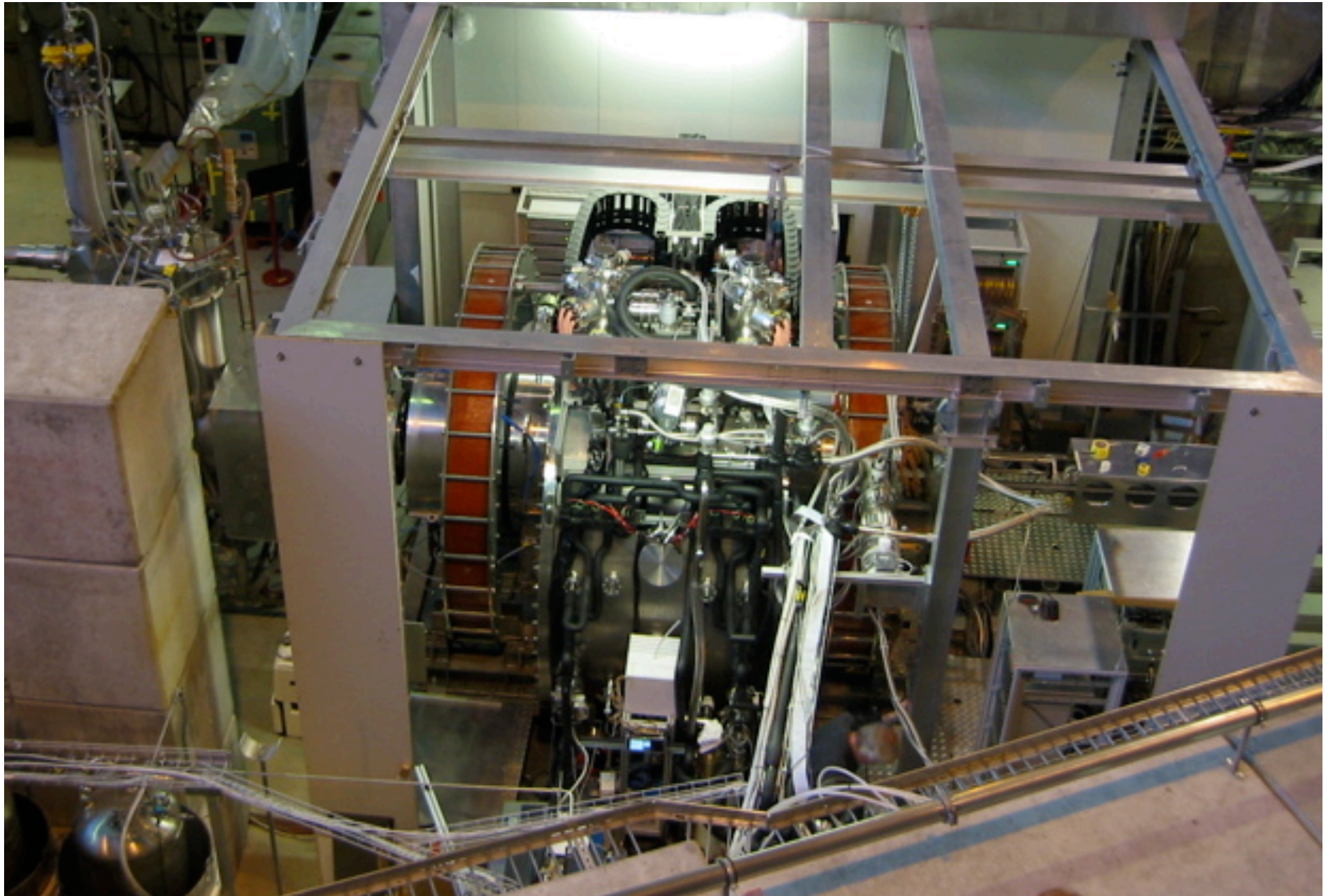
新しい測定器を提案・
開発・実証、
研究成果により文科大
臣賞、小柴賞を受賞



ミュオン粒子 ビームライン

毎秒 10^8 を超え
る強度を達成

完成間近のMEG測定器



LHCの予定

FNAL-KEK製
4重極磁石(フォーカス用)
の冷却事故
2007年の実験開始はなし

加速器 及び 測定器 は Ready 2008年 2月
冷却試験など

$\sqrt{s}=14\text{TeV}$ Commissioning Run 2008年 5月

$\sqrt{s}=14\text{TeV}$ Physics Run 2008年夏

2008年の終わりには 約 $\int L dt = 0.1 \text{fb}^{-1}$ ($L=10^{31} \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$)

(SUSY up to 1TeV)

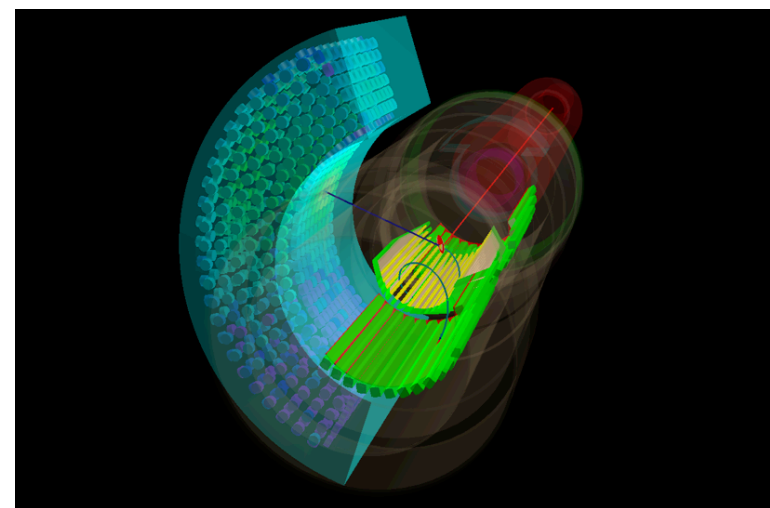
2009年 $\int L dt = \text{a few fb}^{-1}$ ($L=10^{32} \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$)

(Higgs , SUSY up to 2TeV)



MEG実験の予定

9月終りよりビームラインの最終調整
並行して各測定器を立ち上げ、較正用データを取得
今年中に物理データ収集開始
来年度より長期運転、2年で分岐率 10^{-13} 到達を目指す



まとめ

将来の素粒子物理学の根幹に関わる新粒子や新現象を発見できる実験が、LHCでのATLAS実験とPSIでのMEG実験である。LHCは2008年夏から稼動。MEG実験は今年中に開始。

ヒッグス粒子と超対称性を発見して、その本質を研究することで、標準理論を超えた新しい素粒子物理の方向性を決定する。

人類未踏の最高エネルギーでの実験においては、理論で予想もされなかった新粒子・新現象を発見できる可能性もある。

本特定領域研究は、確実に結果をもたらす実験と、それに深く関わる理論研究を総結集して、標準理論を超えて超高エネルギーでの物理の原理に総合的に迫る初めての試み。