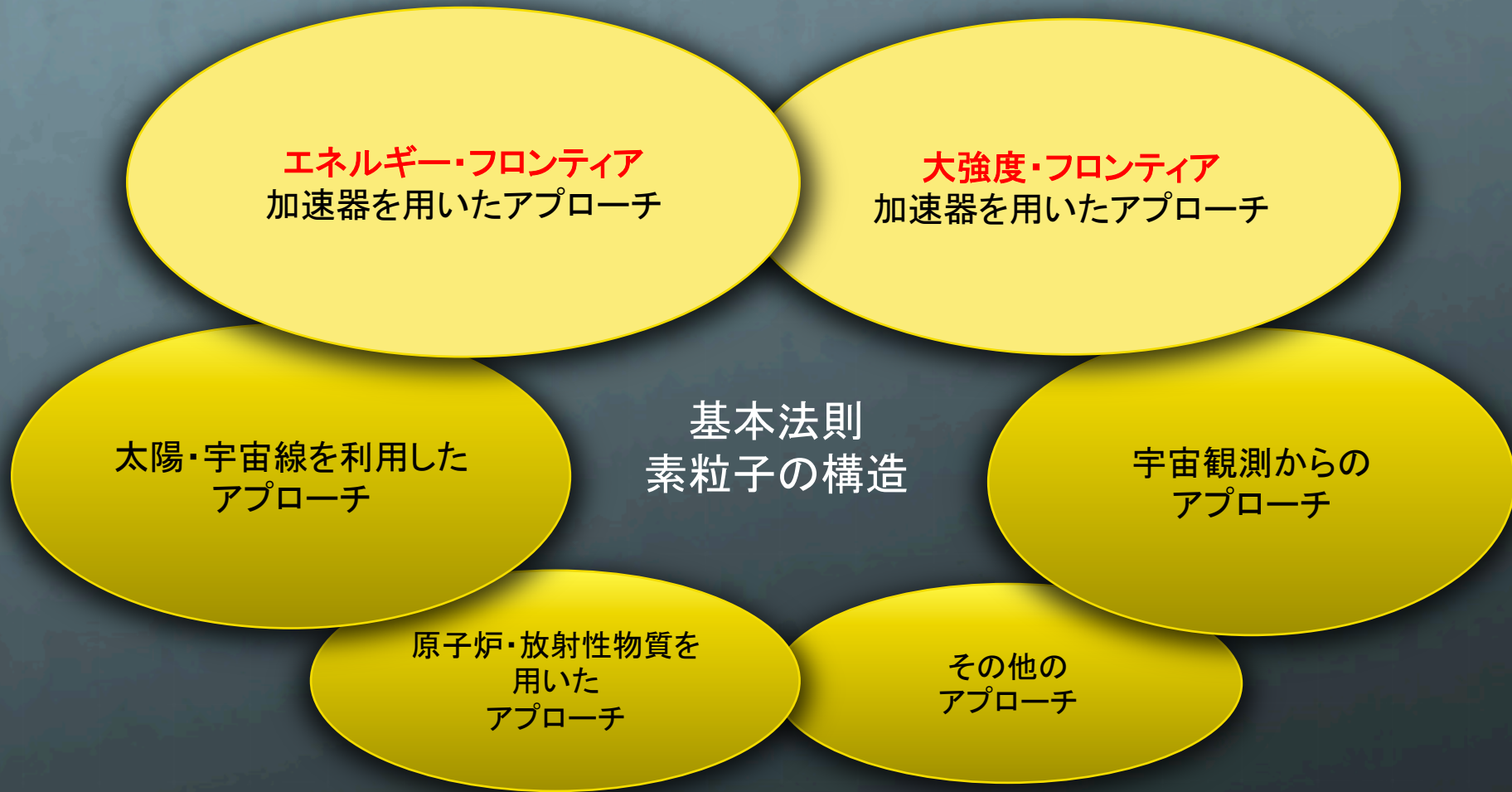


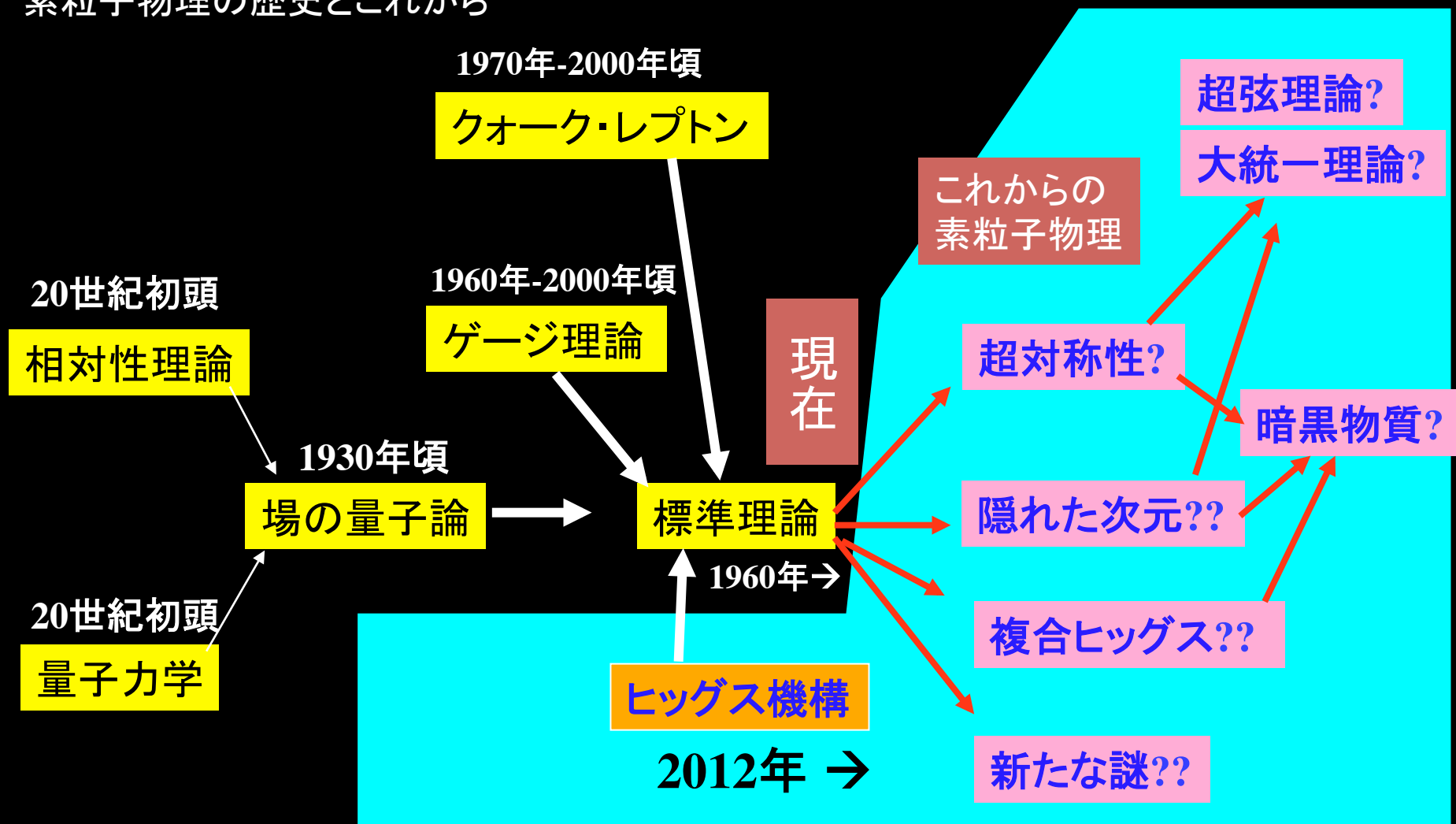
フロンティア加速器で目指す素粒子物理の深化



素粒子物理の様々な手法

山下 了
satoru@icepp.s.u-tokyo.ac.jp

素粒子物理の歴史とこれから

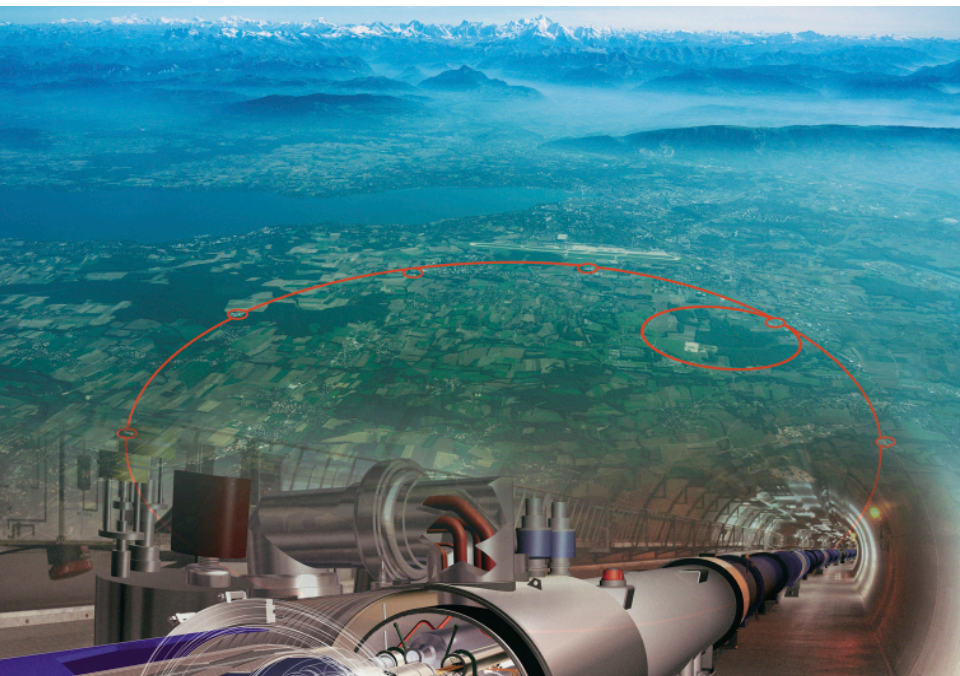


新たな船出 新たな挑戦・新たな研究
今が研究を始めるベストタイミング

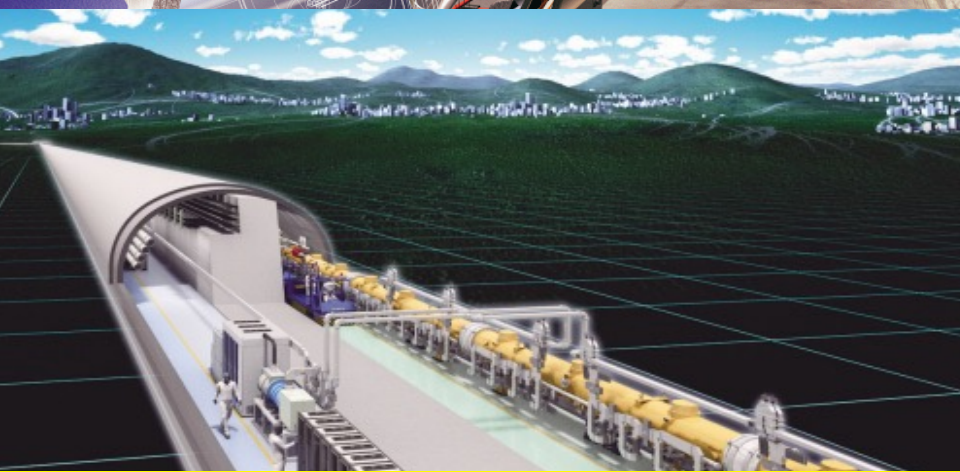
エネルギーフロンティア

フロンティア加速器

大強度フロンティア



LHC @CERN 最高エネルギー陽子コライダー



ILC(計画中) 最高エネルギー電子コライダー



J-PARC@東海村 中エネルギー・大強度加速器



superKEKB@つくば(建設中)
中エネルギー・大強度電子コライダー

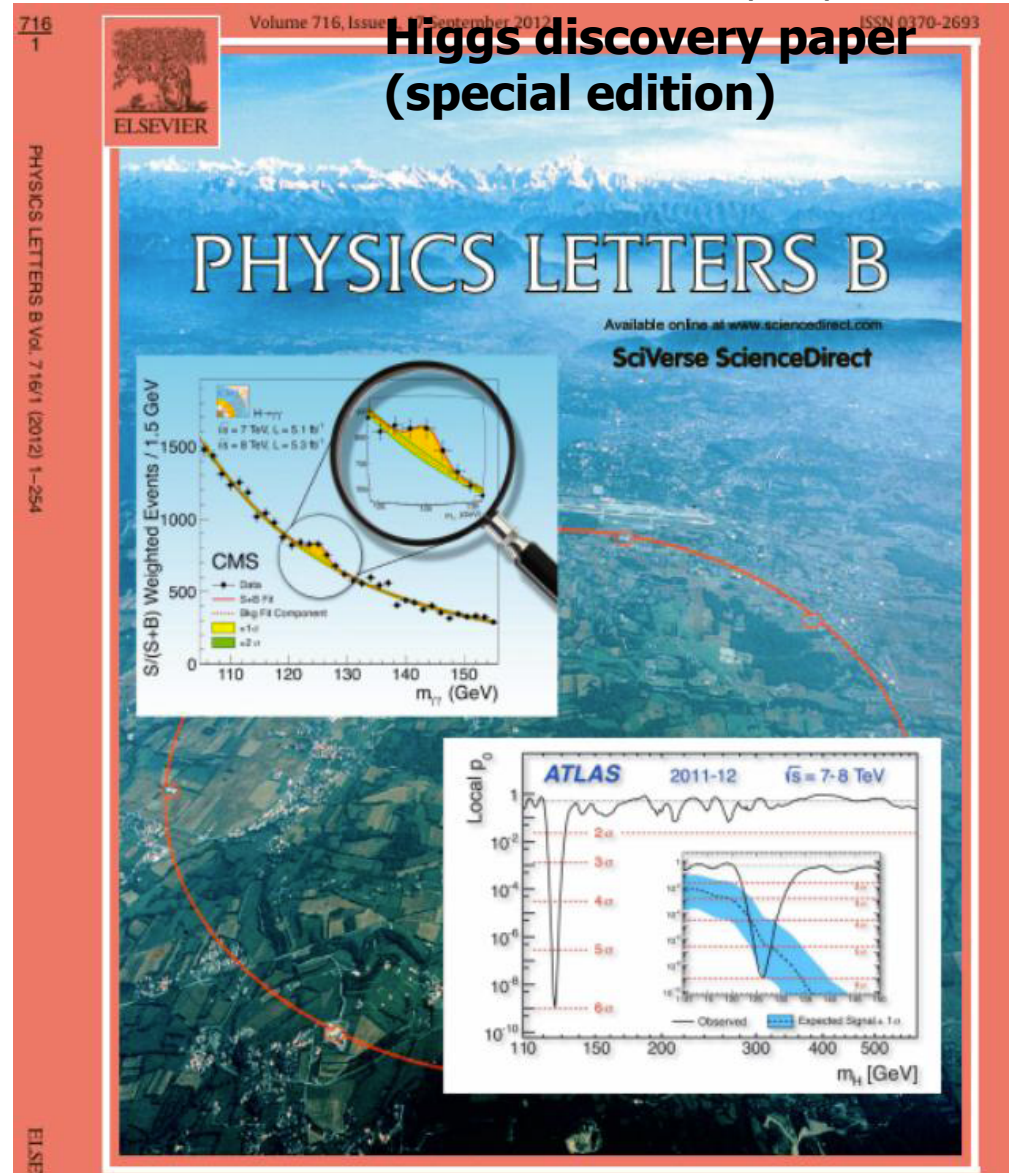


サイクロトロン@PSI(スイス)
低エネルギー・大強度加速器

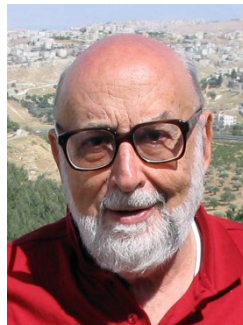
ATLAS+CMS seminar at CERN at the 4th July, 2012 (← Japanese news paper)

PLB 716 (2012) 1-29 ATLAS
PLB 716 (2012) 30-61 CMS

Higgs discovery paper (special edition)



2013 NOBEL PRIZE IN PHYSICS
François Englert
Peter W. Higgs



2013年

小柴先生のスライド(2009)より

$u^L, \bar{u}^L, d^L,$
 $\bar{d}^L, e^L,$
 ν_e^L

$c^L, \bar{c}^L, s^L,$
 $\bar{s}^L, \mu^L,$
 ν_μ^L

$t^L, \bar{t}^L, b^L,$
 $\bar{b}^L, \tau^L,$
 ν_τ^L

**4 Interactions and
4 mediating Bosons**

Strong Interaction on
colored Quarks and
Gluons, **g** .

$u^R, \bar{u}^R, d^R,$
 $\bar{d}^R, e^R,$
 ν_e^R

$c^R, \bar{c}^R, s^R,$
 $\bar{s}^R, \mu^R,$
 ν_μ^R

$t^R, \bar{t}^R, b^R,$
 $\bar{b}^R, \tau^R,$
 ν_τ^R

E-M interaction on
charged particles and
Photon, **γ** .

Weak Interaction and
 Z^0, W^{+-} .

1st Family or
e-Family

2nd Family or
 μ -Family

3rd Family or
 τ -Family

Gravitational
Interaction on all and
Gravitons.

ほぼ全ての素粒子と結合し、区別し、質量をもたらす「**ヒッグス粒子**」

標準理論とそれを超える理論で異なる結合
→ 新物理の研究の大きな入り口

世代を区別

4 Interactions and
4 mediating Bosons

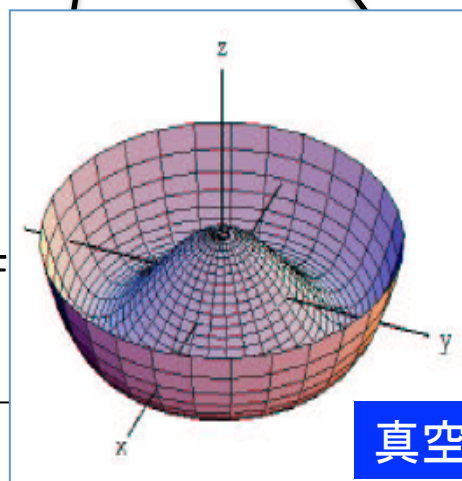
$u_L, u_L, u_L,$
 $d_L, d_L, d_L,$
 e_L
 ν_e^L
 μ^L
 ν_μ^L
 τ^L
 ν_τ^L

ヒッグス粒子

$u_R, u_R, u_R,$
 $d_R, d_R, d_R,$
 e_R
 ν_e^R
 μ^R
 ν_μ^R
 τ^R
 ν_τ^R

1st Family or
e-Family

2nd
 μ -F



3rd
family or
family

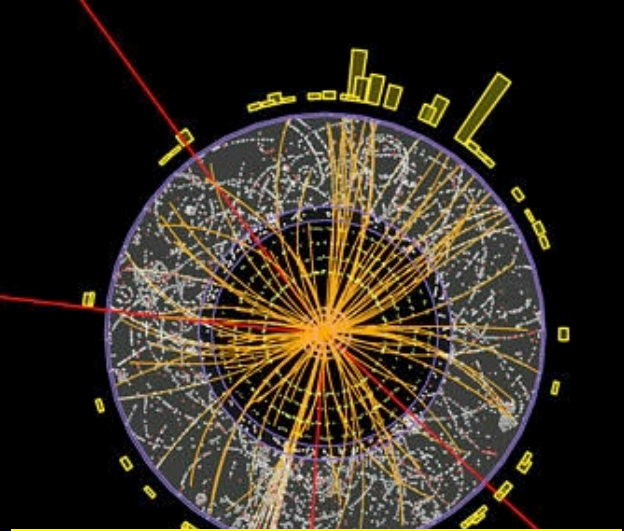
Strong Interaction on
右系と左系を結びつける
(湯川結合)

E-M interaction on
charged particles and
Photon, γ .

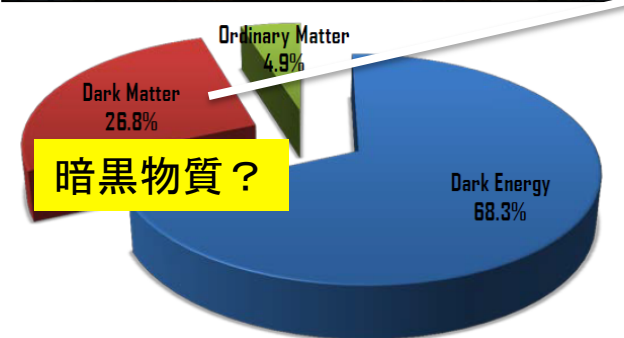
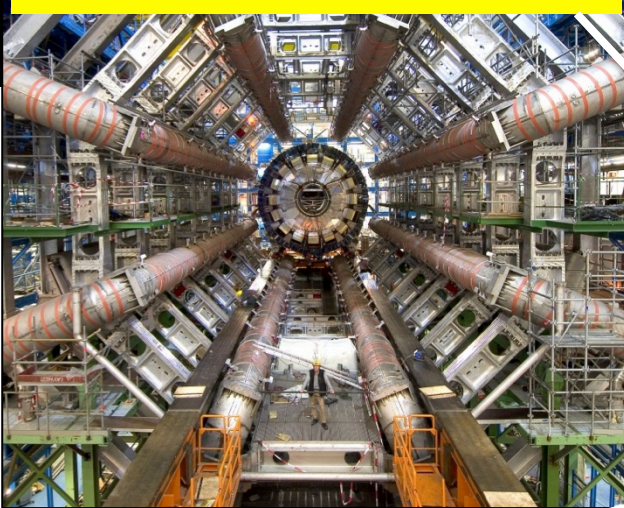
これまでにな
新たな「力」 Interaction and
 $Z, W^\pm$.

G r a v i t a t i o n a l
Interaction on all and
Gravitons.

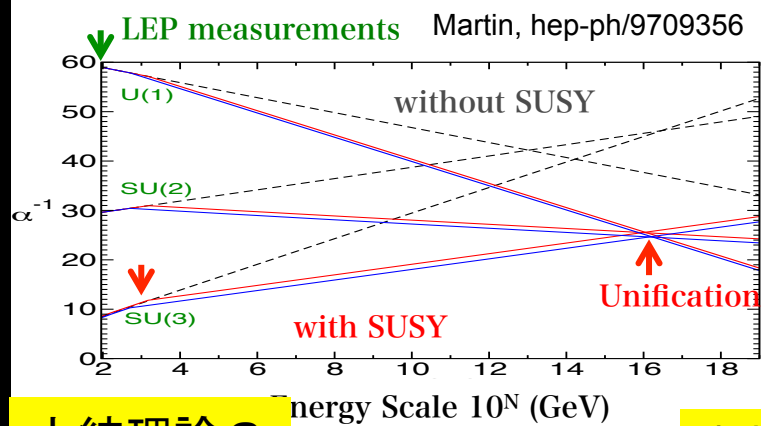
真空中に満ちる(自己結合)



宇宙開闢から1兆分の1秒後の再現

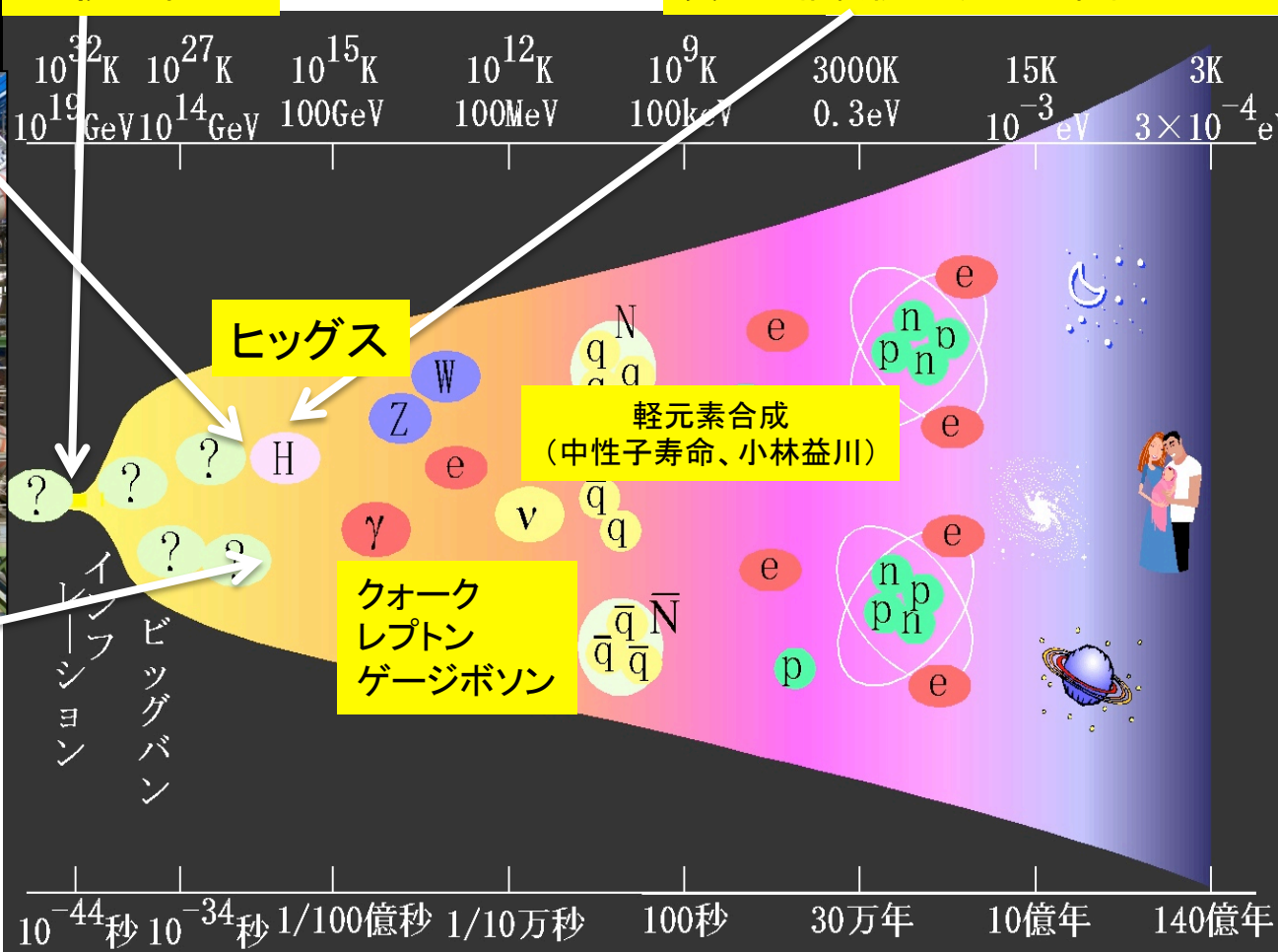


暗黒物質？

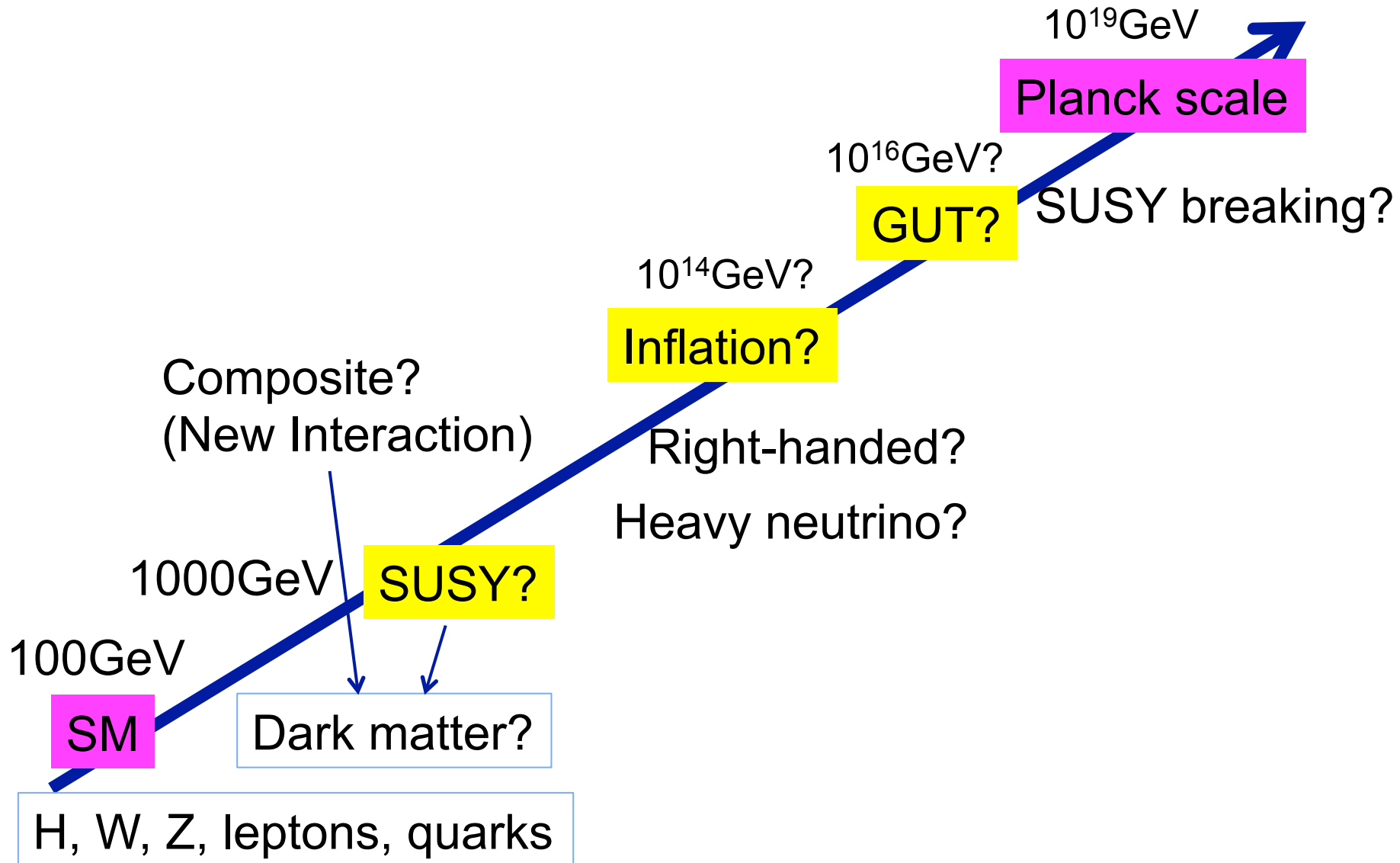


大統理論？

真空の相転移・自発的対称性の破れ



DIRECTIONS



現在の素粒子物理実験の目指すもの

エネルギーフロンティア 加速器

粒子検出器

大強度フロンティア 加速器

新たな素粒子を直接生成・測定

3世代フェルミオン混合・CP

ヒッグス粒子の全容解明

ヒッグス場の構造(いくつの場か?)
真空の安定性(トップクォーク+ヒッグス)
自発的対称性の破れの原因(自己結合)
質量の起源(湯川結合)
宇宙の相転移で何が起きたか?

100 GeV → TeV スケールの**新粒子探索**

ダークマター(宇宙の暗黒物質)探索
超対称性(自然の新たな対称性)?
複合ヒッグス(新たな力の存在)?
余剰次元(5次元)?
ヒッグス場の真空凝縮の原因は?

最も軽い**ニュートリノ**の全容解明

新たな(ステライル)ニュートリノはいるか?
MNS(牧・中川・坂田)行列のユニタリー性
レプトンのCPの破れ

最も重い**トップクォーク**の全容解明

新たな(第四世代)フェルミオン?
複合模型・新たな力?
質量の精密測定(真空の安定性)

超精密測定実験で標準理論を超える

B-ハドロンの超稀崩壊探索・測定実験
ミューオンの超稀崩壊探索実験
中性子・ミューオンの電気双極子能率測定

目指す素粒子物理の深化

自然の新たな対称性・構造の決定
物質・反物質の非対称性の原因
大統一理論(クォーク・レプトン統合+力の統一)

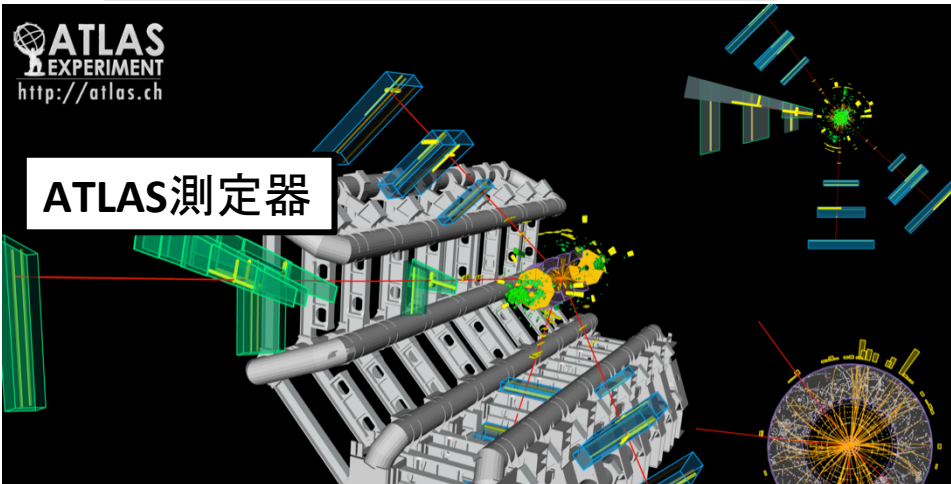
究極の目標: 重力を含めた超大統一理論の完成

現在の素粒子物理実験の目指すもの

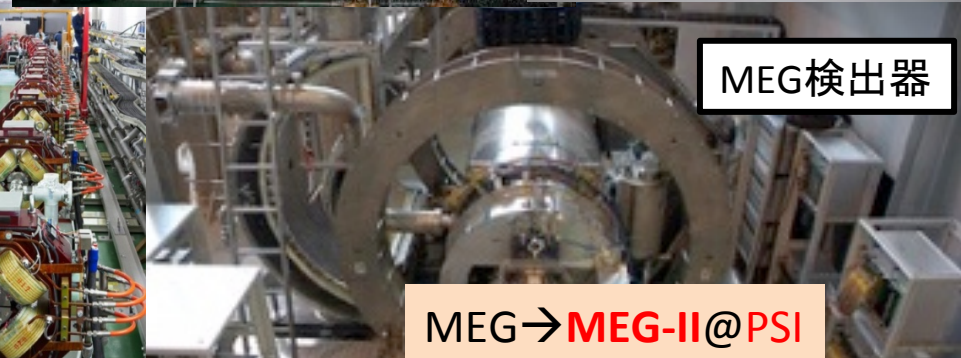
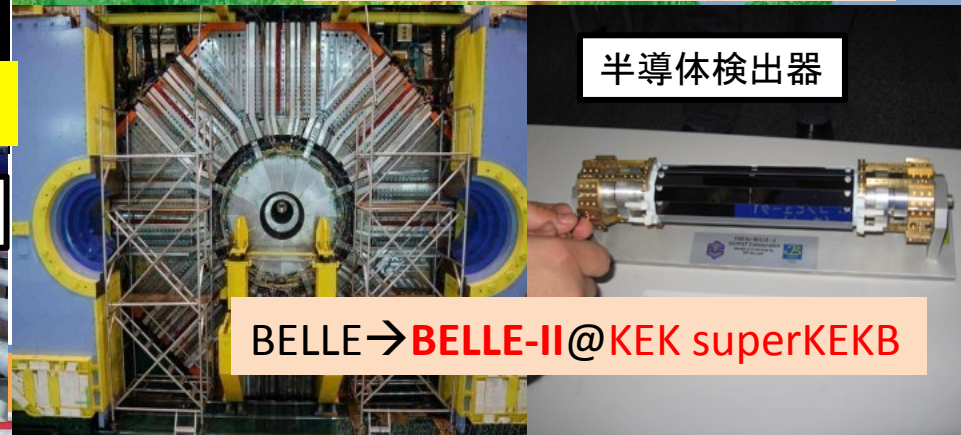
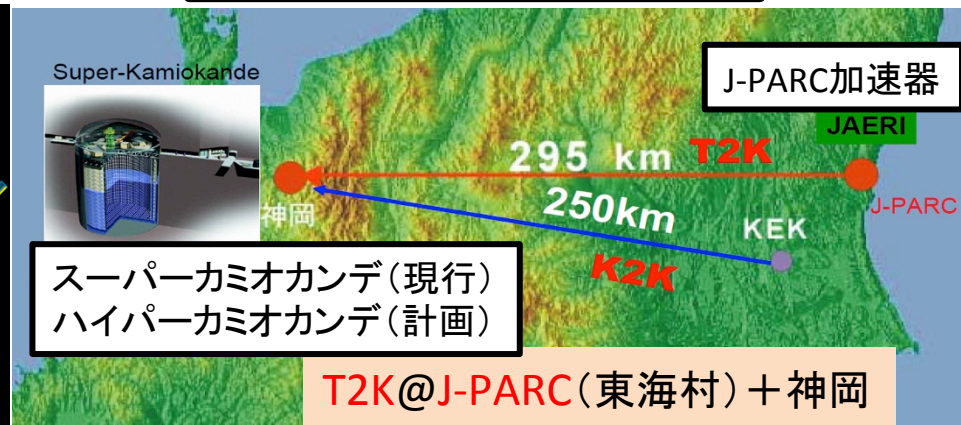
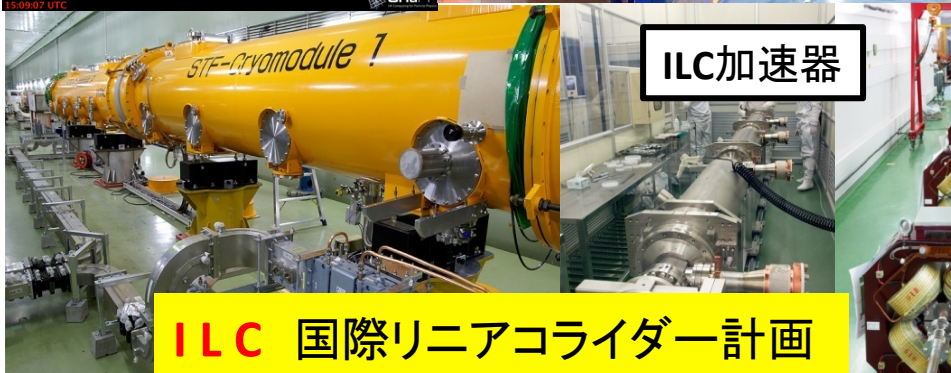
エネルギーフロンティア 加速器

粒子検出器

大強度フロンティア 加速器



LHC (8TeV→13TeV-14TeV) 再稼働@CERN



世界での主要「フロンティア加速器素粒子実験」と東大物理

- エネルギーフロンティア加速器実験（コライダー実験）
 - 陽子・陽子コライダー LHC (Europe/US/Japan..) ATLAS* / CMS
 - 電子・陽電子コライダー ILC (計画: world)* ILD* / SiD
- 大強度(インテンシティー)フロンティア加速器実験
 - 電子・陽電子コライダー superKEKB(Japan)* BELLE-II *
 - 固定標的型 J-PARC(Japan)・FNAL(USA)・PSI(スイス)
 - ニュートリノ T2K * → HyperK (計画)* , MINOS@FNAL → DUNE(計画)
 - ミューオン (MEG実験→MEG-II@PSI*, J-PARC*/US: $\mu \rightarrow e$, 磁気能率)
 - 中性子 (電気双極子EDM)@PSI, TRIUMF, J-PARC (寿命・EDM(計画))*
 - K中間子 (CP-violation, 超稀崩壊測定)@J-PARC / CERN

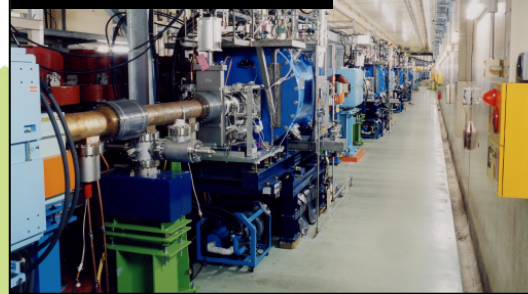
* 印 = 東京大学が中心グループとして参画しているもの

フロンティア加速器での素粒子物理研究 研究の現場は世界中にある

DESY@ハンブルグ



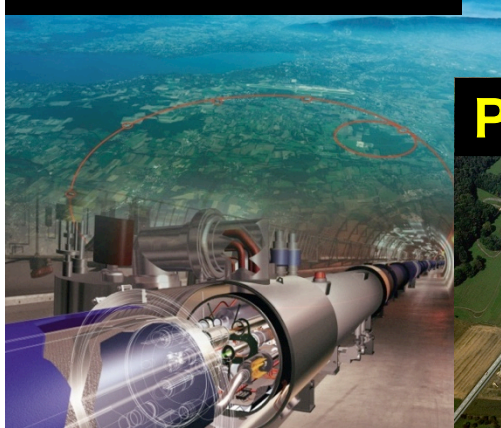
KEK@つくば



SLAC @スタンフォード



CERN@ジュネーブ



PSI@スイス



FNAL@シカゴ

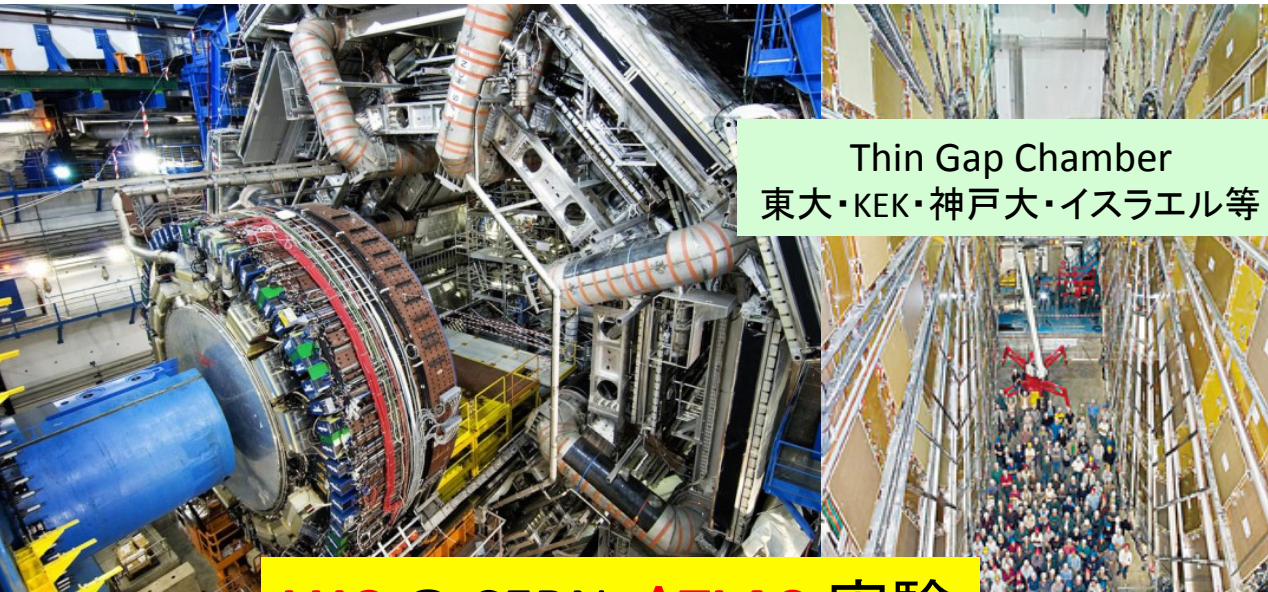


J-PARC@JAEA(東海村)



大学院学生が主力となり
世界とともに最前線で研究

フロンティア加速器での素粒子物理研究の現場 大規模実験の例



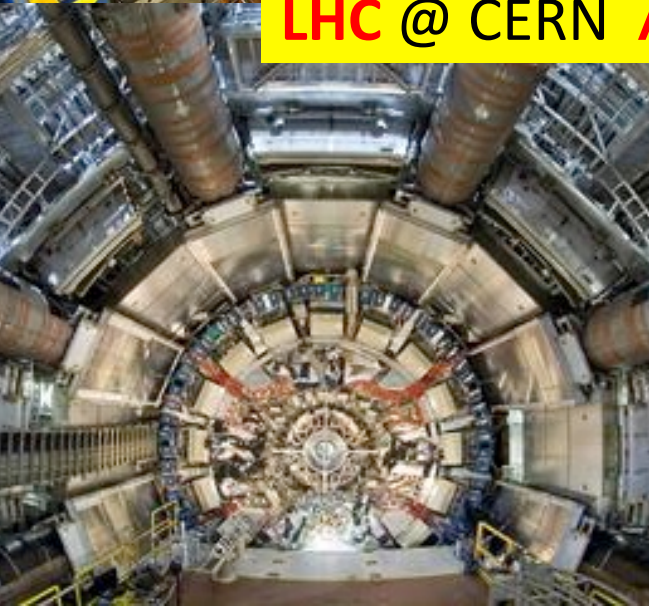
Thin Gap Chamber
東大・KEK・神戸大・イスラエル等

LHC @ CERN ATLAS 実験



**superKEKB @ KEK
BELLE II 実験**

J-PARC @ 東海 T2K 実験

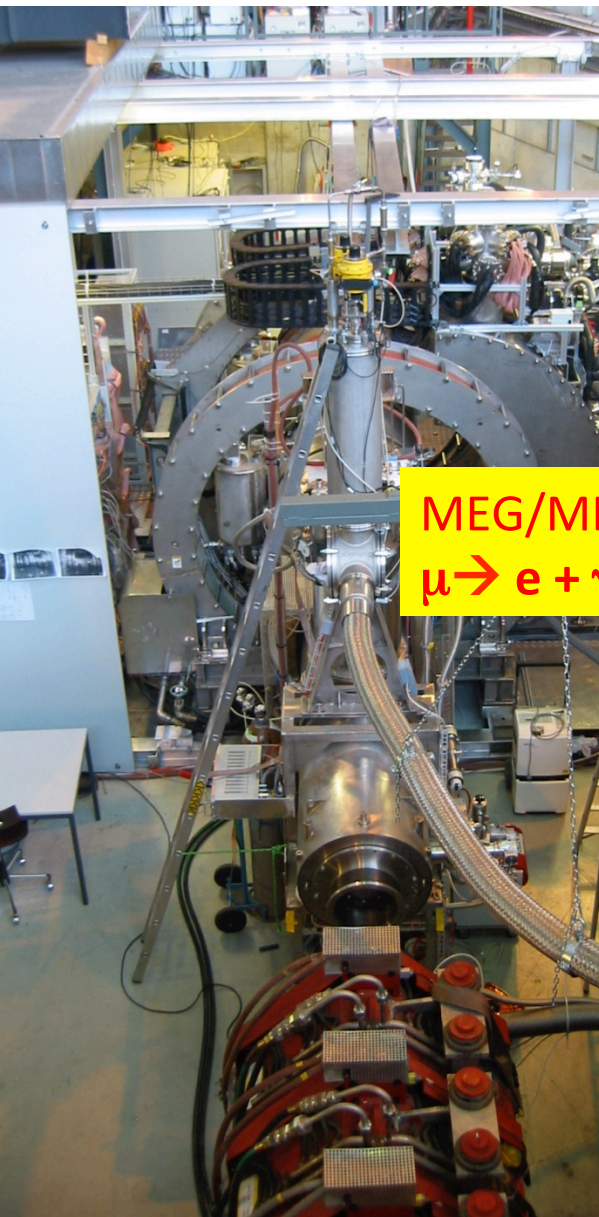


東京大学
地域解析センター

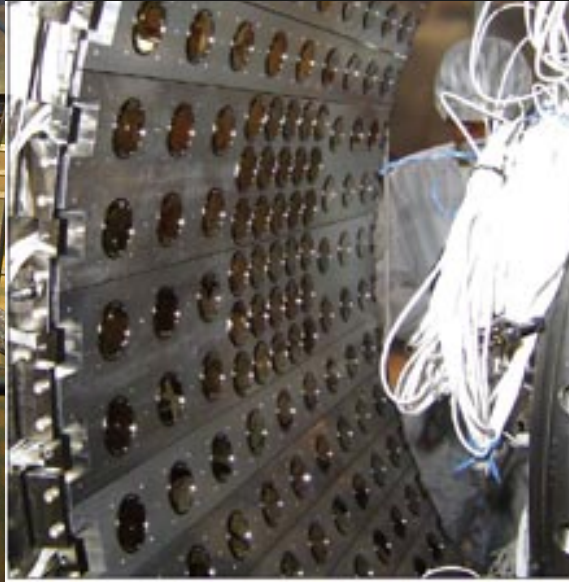
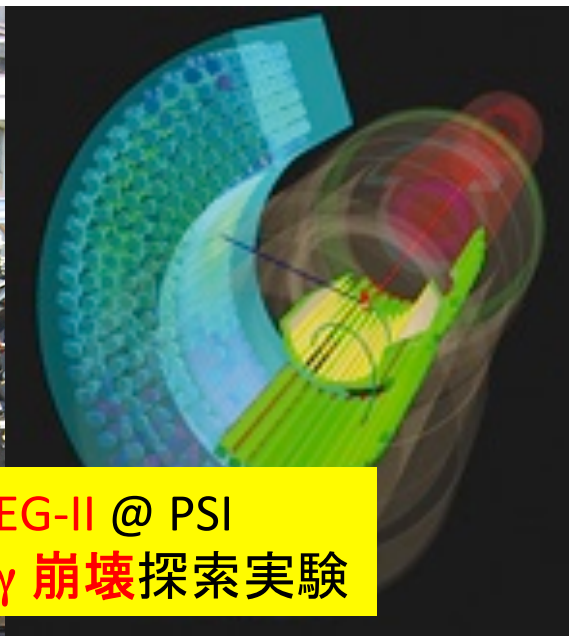


フロンティア加速器での素粒子物理研究の現場

中小規模実験の例



MEG/MEG-II @ PSI
 $\mu \rightarrow e + \gamma$ 崩壊探索実験



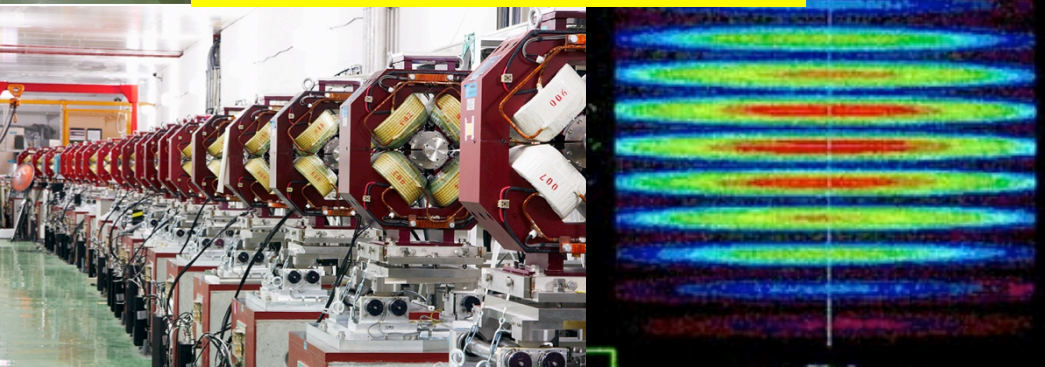
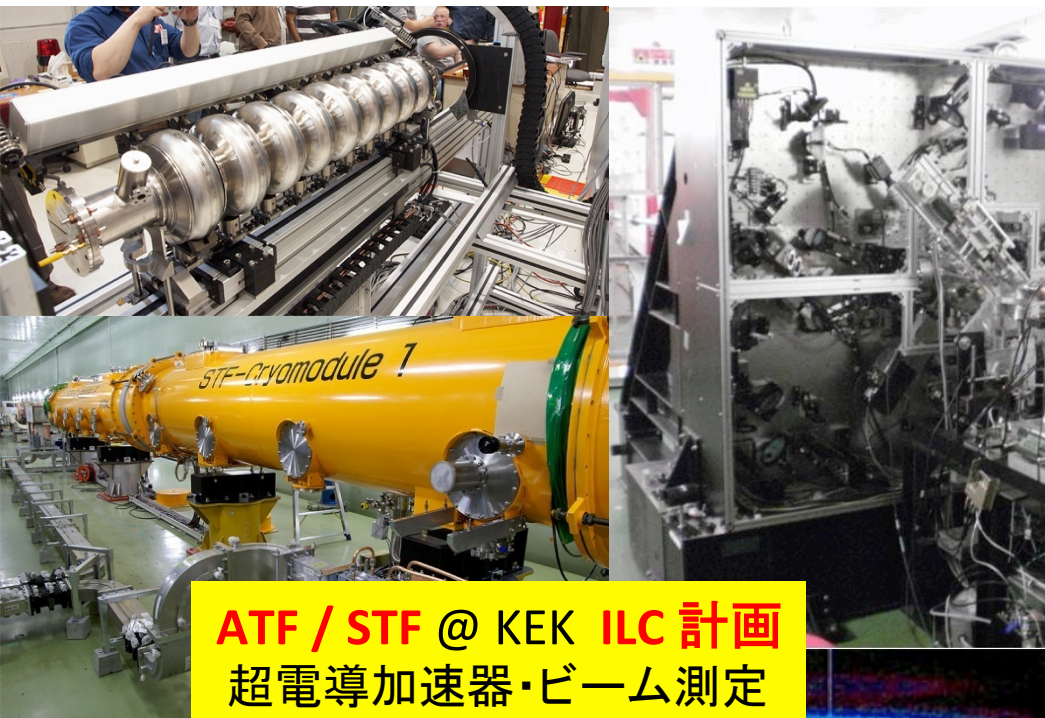
J-PARC MLF / BL05
中性子寿命 測定実験



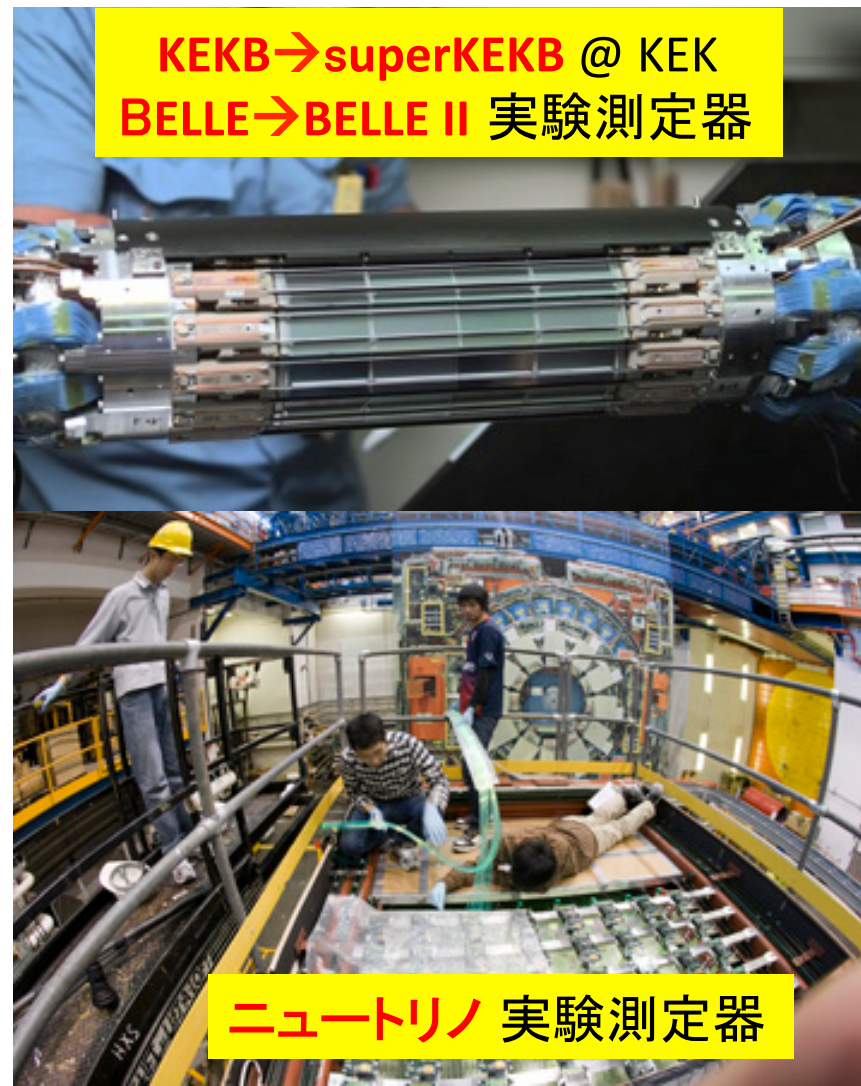
フロンティア加速器での素粒子物理研究の現場

加速器・検出器開発

加速器開発の例

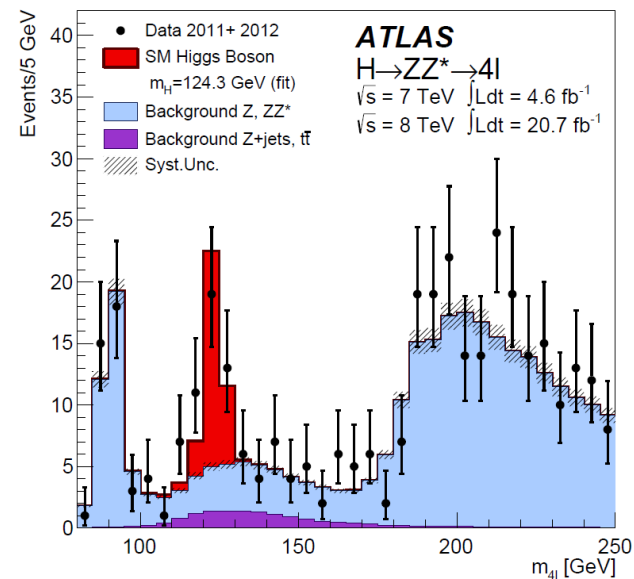
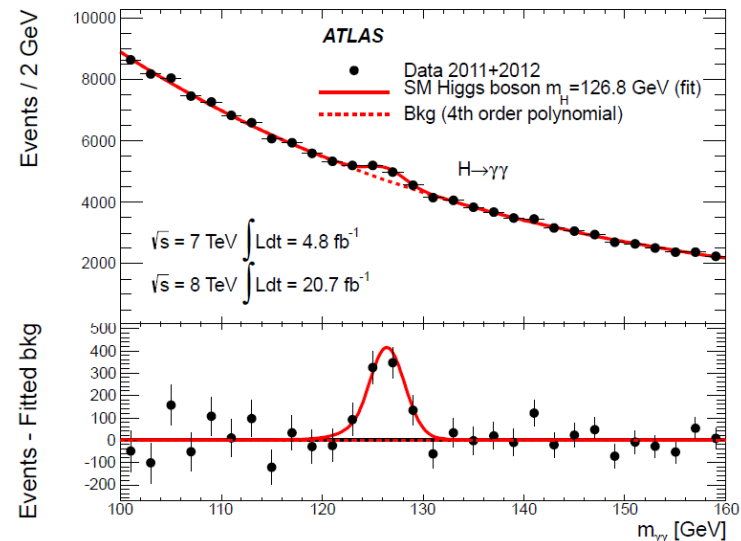
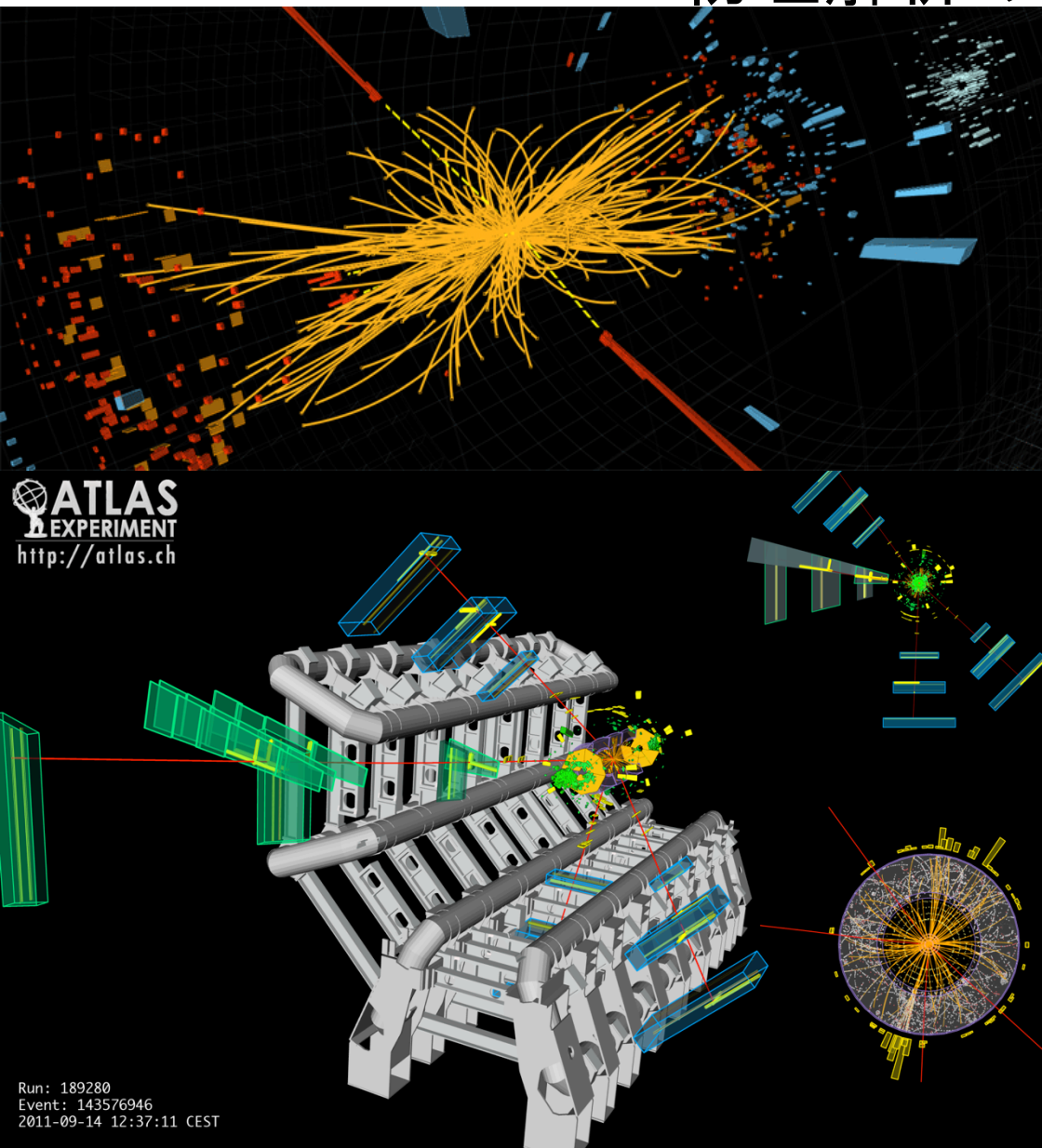


測定器開発の例



フロンティア加速器での素粒子物理研究の現場

物理解析の例



科学
知る

理学・工学分野の科学・夢ロードマップ

素粒子物理学

2010年代

2020～2030年代

エネルギースケール
宇宙開闢からの時間

テラ(10^{12})電子ボルト
 10^{-10} 秒～ 10^{-12} 秒

10^{25} 電子ボルト
 10^{-34} 秒

10^{27} 電子ボルト
 10^{-43} 秒 O?

発展から新しい展開へ

質量・新物理

量子重力・
ビッグバンの起源

物質・宇宙・
時空の起源

「ヒッグス粒子」の発見

「質量の起源」機構の決定

「新粒子・新現象」の発見
希崩壊現象・TeVスケールでの新現象?

「新物理」原理決定
超対称性? 余剰次元?

大統一理論の完成
クォークとレプトンの統一的理解
三つの力の統一と進化

「陽子崩壊」の発見

「ニュートリノ振動」全貌解明
混合角 θ_{13} の発見

「ニュートリノのCP破れ」発見

何故、宇宙から反物質は消えたのか?

ニュートリノは自身の反粒子か?

インフレーション宇宙の微視的理解

究極理論完成へ
「物質と時空の統一」
超弦理論
ワープする宇宙

暗黒物質粒子の直接検出

暗黒物質の正体の決定

暗黒エネルギーの正体解明

宇宙観測の新展開

2010年代

2020～2030年代

LHC

⇒ LHC大強度化

電子・陽電子リニアコライダー

KEKB/Belle ⇒ SuperKEKB/Belle II

T2K

⇒ J-PARC 大強度化 ⇒ 次世代ニュートリノ(ν)検出器

次世代 ν ビーム

新たな展開

新加速原理の加速器
新原理の量子センサー

インターネットWeb

創薬・癌検診・治療

次世代の最先端加速器・計測装置

未来型装置

放射光・中性子・材料

超高速データ処理

次世代量子センサー

加速器駆動原子炉・核変換

未来社会

かつての半導体・IT・超伝導のような
基礎物理からの技術革命の再現

技術
生きる

粒子線治療

次世代の医療・生命・物質・天文科学

物理・実験施設の面：**ベストタイミング**

- **2010年から2015年5月現在の間の大きな進展**
 - **ヒッグス粒子**発見
→ いよいよヒッグスを用いた新物理研究がスタート
 - **SuperKEKB**計画が承認されアップグレード中(2016年度稼働予定)
 - **ニュートリノ**の重要な混合角(θ_{13})が測られた → 次世代の研究がスタート
 - **MEG-II**実験、**COMET**実験が承認され建設がスタート
 - **ILC**計画の国際技術開発・設計で加速器の技術設計書が完成
 - **LHC**加速器の8TeVから13TeVへの増強が完了 再稼働
- **現在稼働中**: フロンティア加速器が日本と欧州で稼働中
CERN **LHC**(ジュネーブ), **J-PARC**(東海村), **PSI**(スイス)
- **増強・建設中**(検出器・建設・物理解析)
 - **LHC** (8→13TeVで再稼働→14TeV、将来は強度増強を予定)
 - **superKEKB** (2017年には物理実験開始)
 - **J-PARC** (強度増強300→750KWへ) **MEG-II**(PSI) **COMET@J-PARC**
- **次世代フロンティアの設計・計画** (加速器・測定器開発): 次世代の研究の場
 - 電子・陽電子エネルギーフロンティア計画 **ILC** in Japan
 - 次世代ニュートリノ計画 **HyperK** in Japan, **DUNE@US**