

LHCの近況

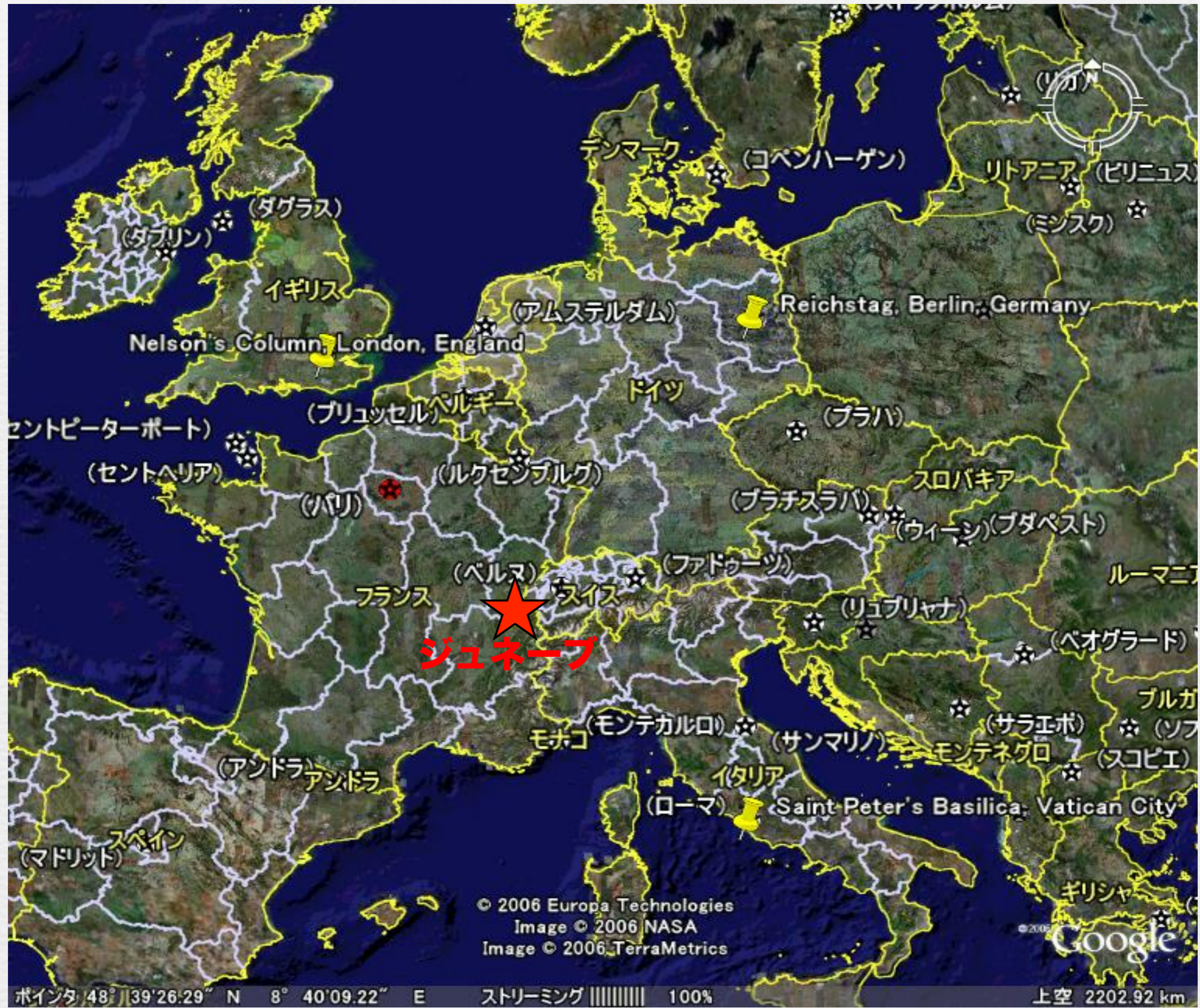
高エネルギー加速器科学研究奨励会講演会

2012年10月5日

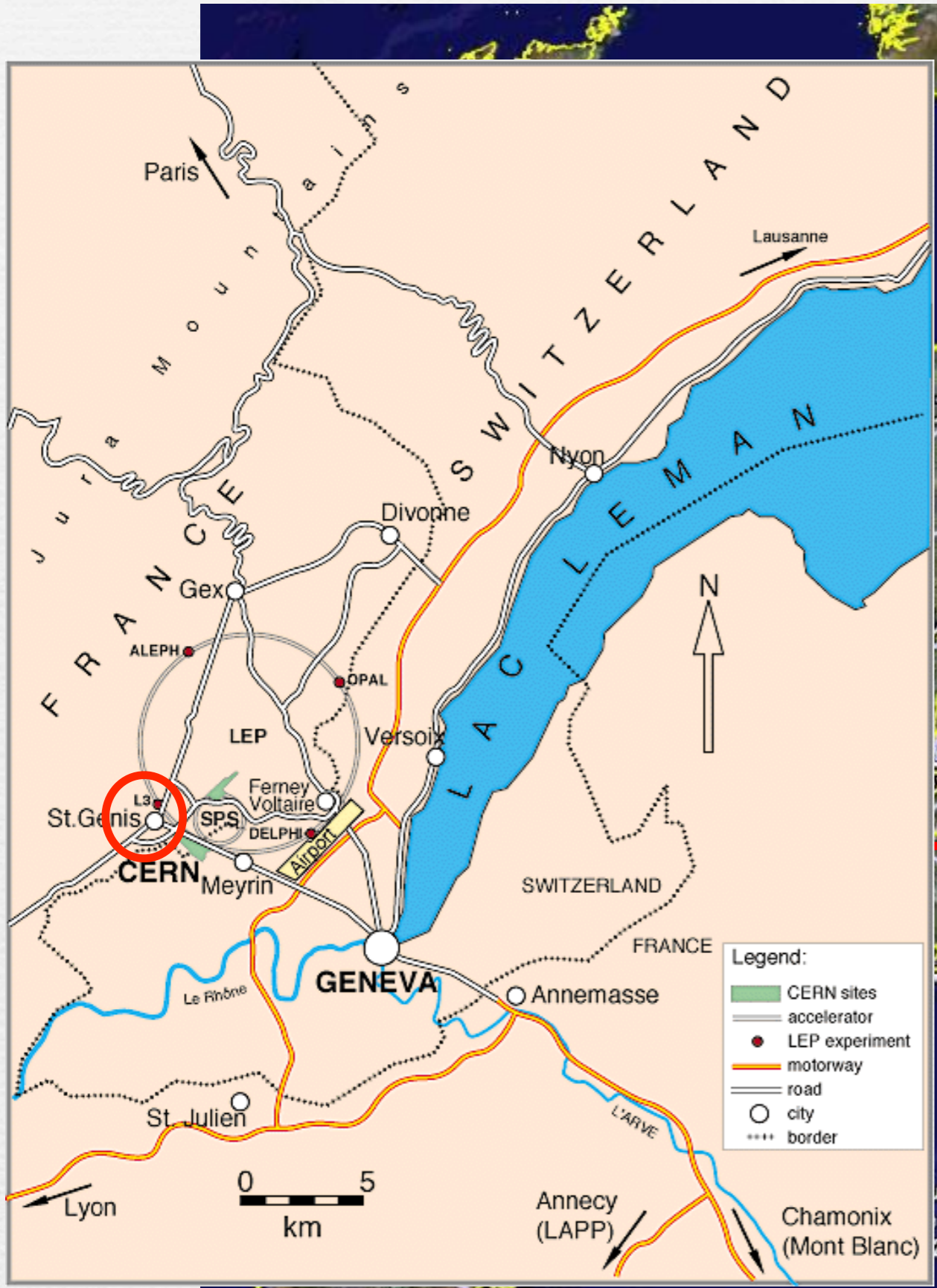
戸本 誠

名古屋大学大学院理学研究科
タウ・レプトン物理研究センター

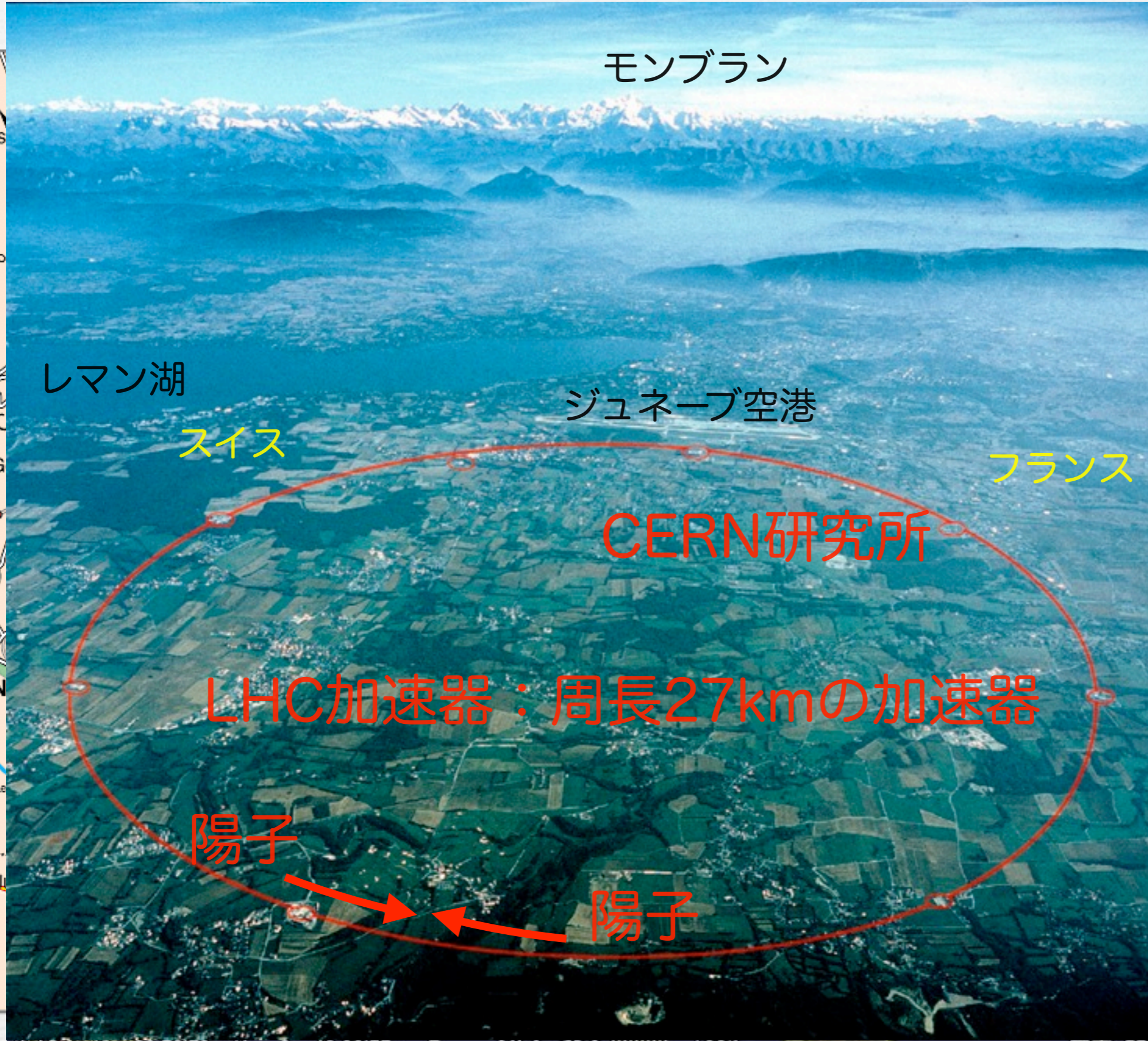
今日のお話：Large Hadron Collider



今日のお話：Large Hadron Collider

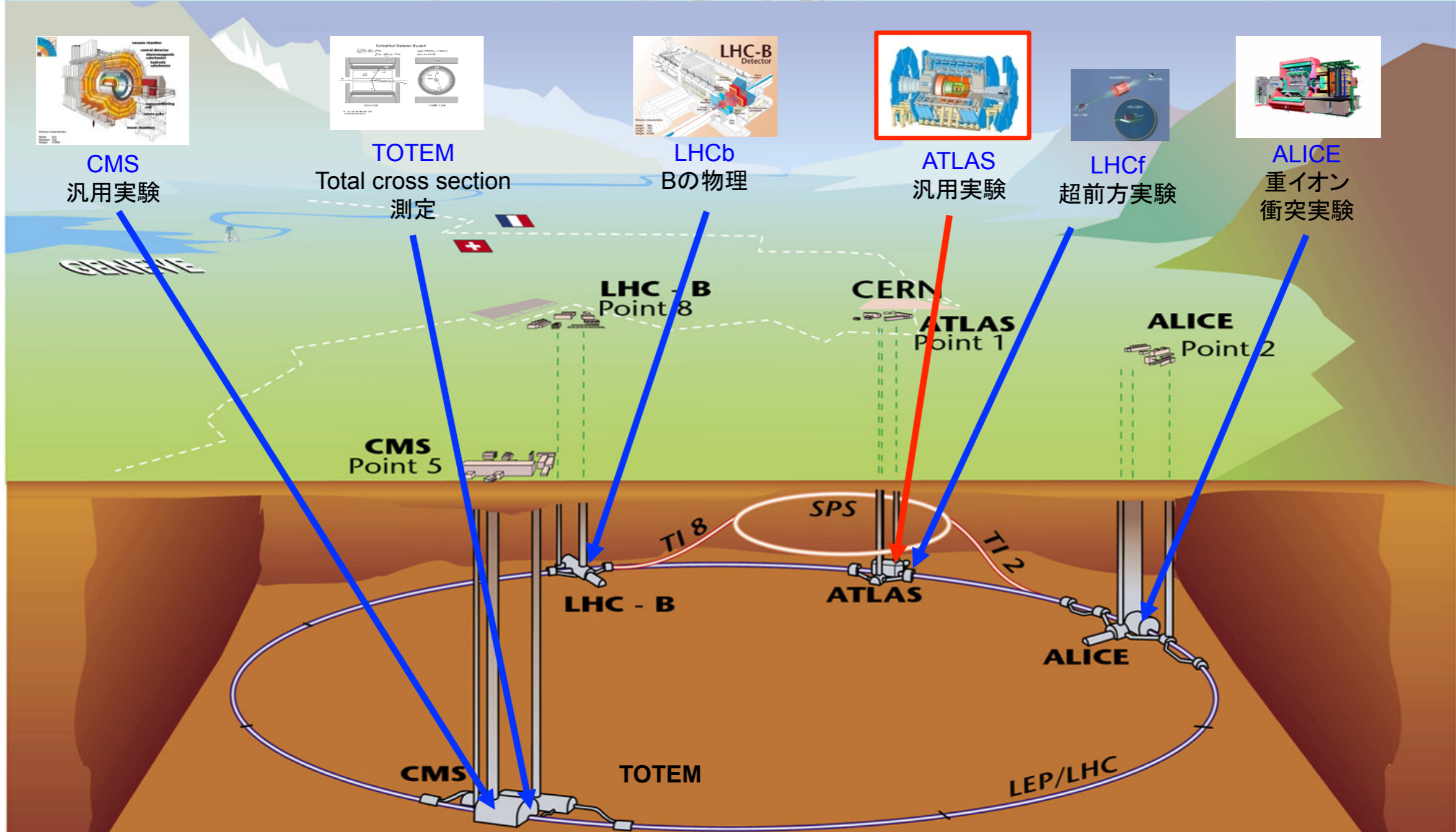


今日のお話：Large Hadron Collider



今日のお話：Large Hadron Collider

LHCにおける実験プロジェクト



3.5~7TeVまで陽子を加速→ATLAS/CMSで衝突
 世界最高エネルギー：宇宙誕生 10^{-12} 秒後の世界

LHCの近況

LHCの近況

2008年9月10日 LHCではじめて陽子ビーム周回に成功

LHCの近況

2008年9月10日 LHCではじめて陽子ビーム周回に成功

2008年9月19日 LHC加速器事故

LHCの近況

- 2008年9月10日 LHCではじめて陽子ビーム周回に成功
- 2008年9月19日 LHC加速器事故
- 2009年11月23日 LHCで初めて陽子陽子衝突現象を観測

LHCの近況

- 2008年9月10日 LHCではじめて陽子ビーム周回に成功
- 2008年9月19日 LHC加速器事故
- 2009年11月23日 LHCで初めて陽子陽子衝突現象を観測
- 2010年3月30日 7TeVの物理データ収集をスタート

LHCの近況

- 2008年9月10日 LHCではじめて陽子ビーム周回に成功
- 2008年9月19日 LHC加速器事故
- 2009年11月23日 LHCで初めて陽子陽子衝突現象を観測
- 2010年3月30日 7TeVの物理データ収集をスタート
- 2011年12月13日 ヒッグス粒子が存在すれば、115GeVから130GeVにありそう？

LHCの近況

- | | |
|-------------|-----------------------------------|
| 2008年9月10日 | LHCではじめて陽子ビーム周回に成功 |
| 2008年9月19日 | LHC加速器事故 |
| 2009年11月23日 | LHCで初めて陽子陽子衝突現象を観測 |
| 2010年3月30日 | 7TeVの物理データ収集をスタート |
| 2011年12月13日 | ヒッグス粒子が存在すれば、115GeVから130GeVにありそう？ |
| 2012年4月 | 8TeVの物理データ収集をスタート |

LHCの近況

- | | |
|-------------|-----------------------------------|
| 2008年9月10日 | LHCではじめて陽子ビーム周回に成功 |
| 2008年9月19日 | LHC加速器事故 |
| 2009年11月23日 | LHCで初めて陽子陽子衝突現象を観測 |
| 2010年3月30日 | 7TeVの物理データ収集をスタート |
| 2011年12月13日 | ヒッグス粒子が存在すれば、115GeVから130GeVにありそう？ |
| 2012年4月 | 8TeVの物理データ収集をスタート |
| 2012年7月4日 | ヒッグス粒子と思われる新粒子を発見 |

7月4日:CERNにて新粒子発見を発表



内容

ヒッグス粒子の紹介

詳細は次の講演で

ヒッグス粒子を作る加速器

ヒッグス粒子を捉える検出器

新粒子の発見とその意義

ヒッグス粒子の紹介

詳細は次の講演

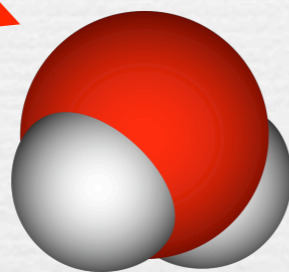
物を構成している素粒子



物を構成している素粒子



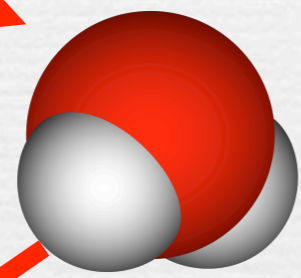
分子
 10^{-9}m



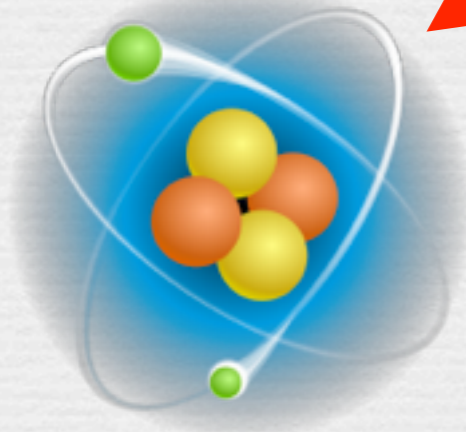
物を構成している素粒子



分子
 $10^{-9}m$



電子



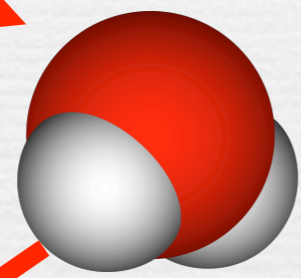
原子
 $10^{-10}m$

原子核
 $10^{-14}m$

物を構成している素粒子

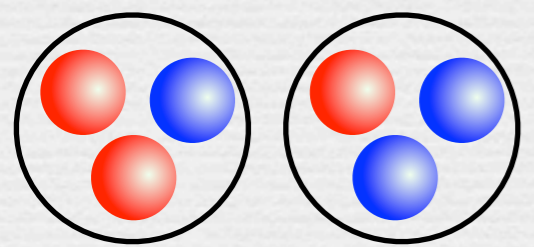
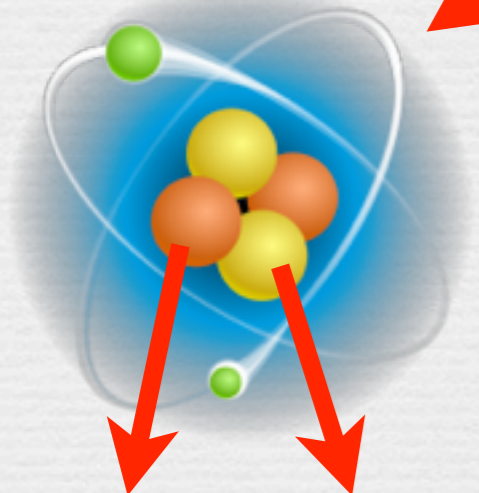


分子
 $10^{-9}m$



電子

原子
 $10^{-10}m$
原子核
 $10^{-14}m$

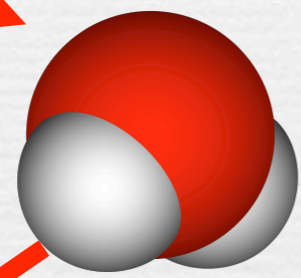


陽子 中性子 $10^{-15}m$

物を構成している素粒子



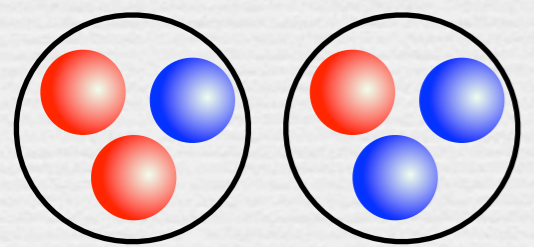
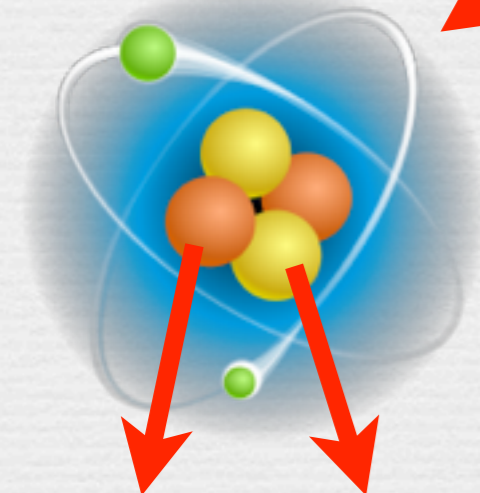
分子
10⁻⁹m



電子

原子
10⁻¹⁰m

原子核
10⁻¹⁴m

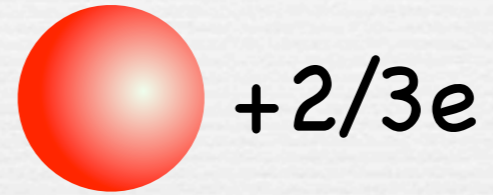


陽子 中性子 10⁻¹⁵m

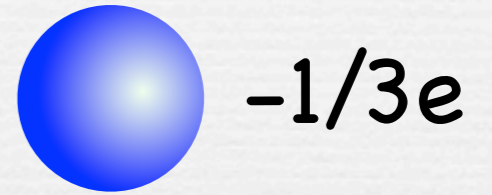
クォーク

アップ(u)

ダウン(d)



+2/3e



-1/3e

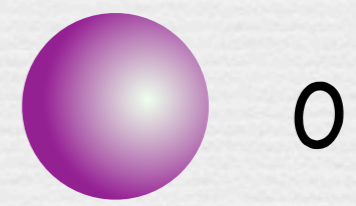
レプトン

電子

ニュートリノ



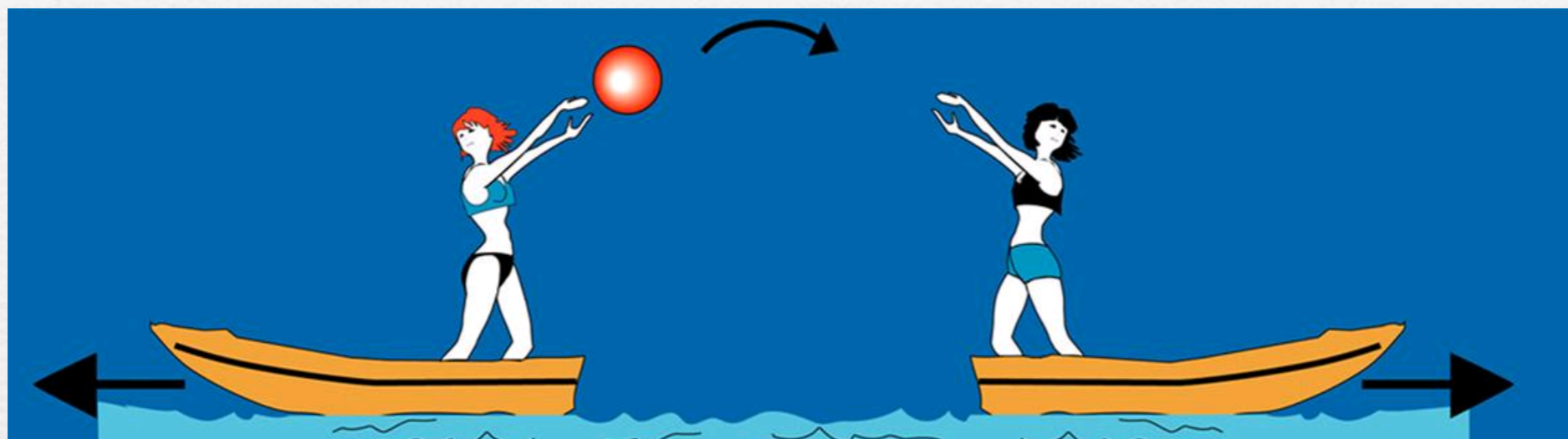
-e



0

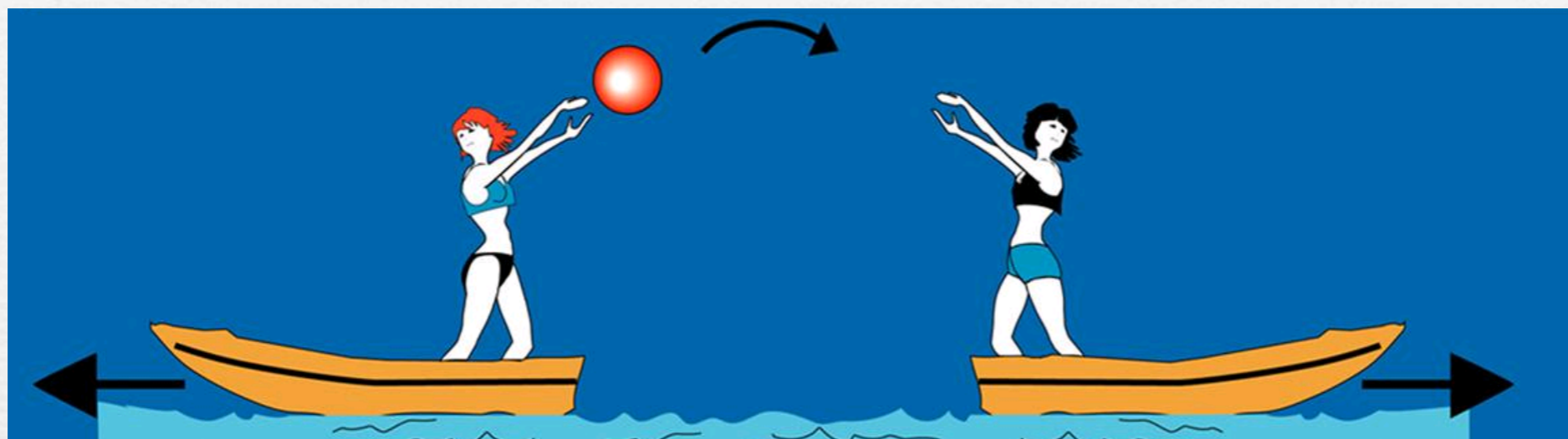
素粒子に働く力

力 = 力を伝える粒子の交換



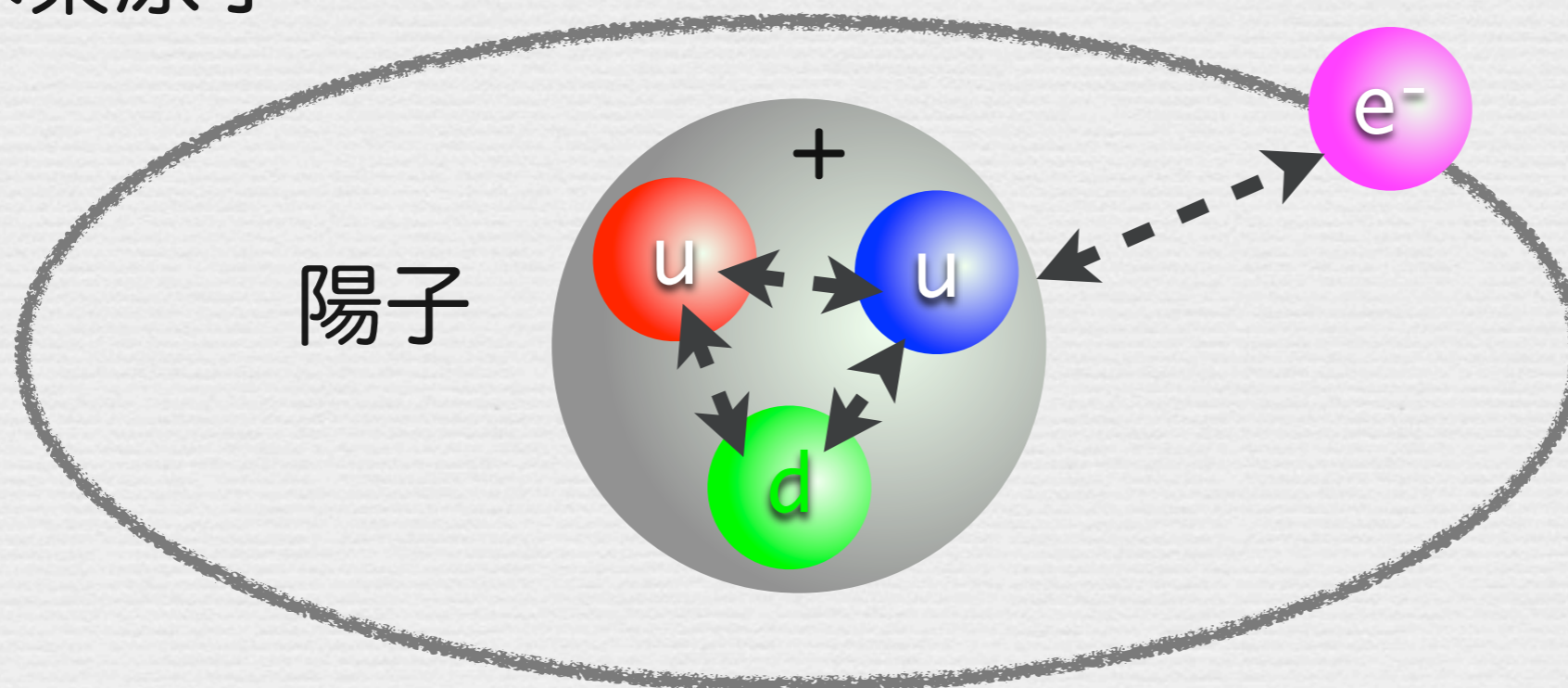
素粒子に働く力

力 = 力を伝える粒子の交換



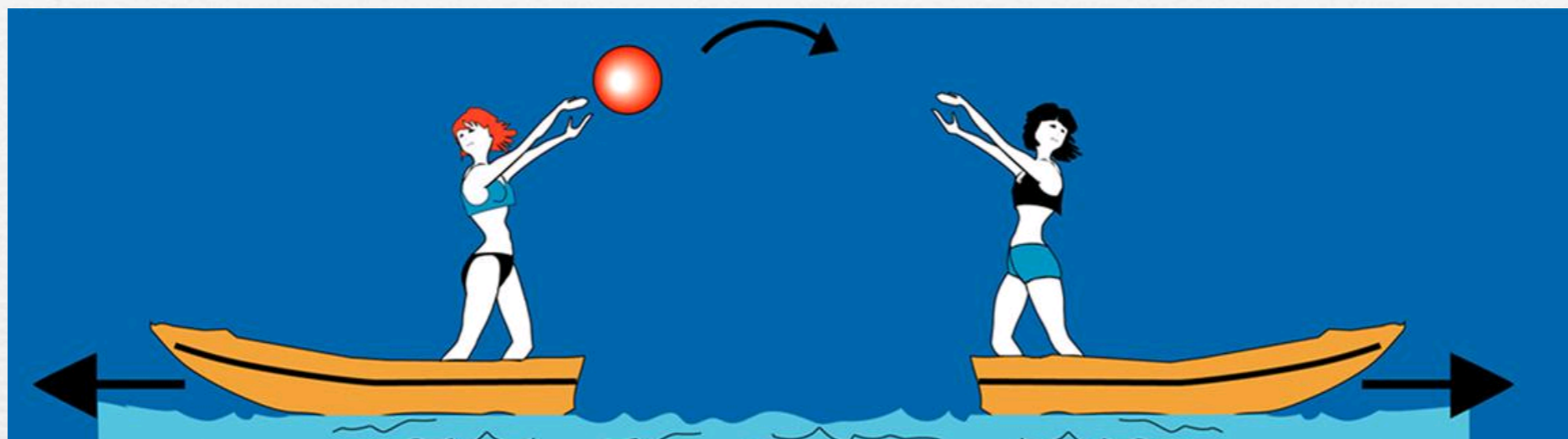
水素原子

電子



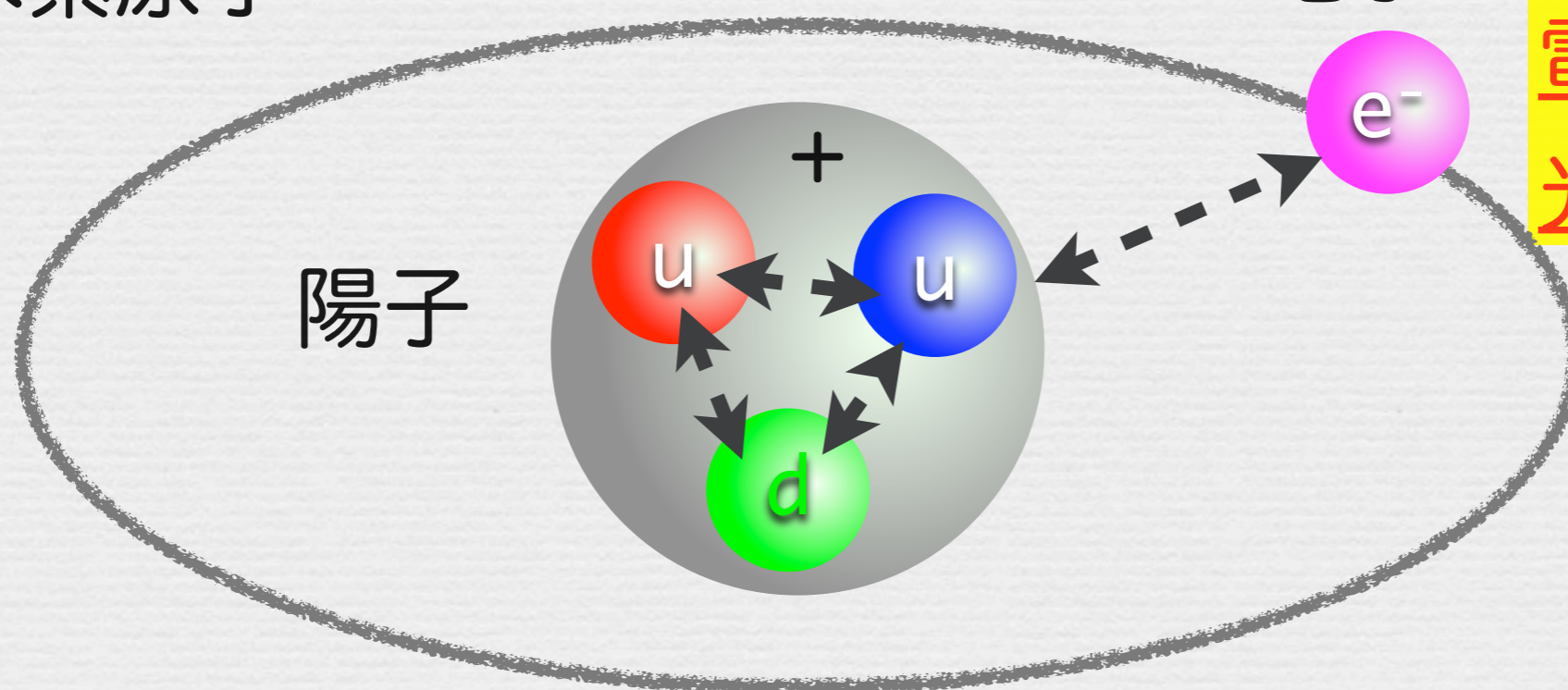
素粒子に働く力

力 = 力を伝える粒子の交換



水素原子

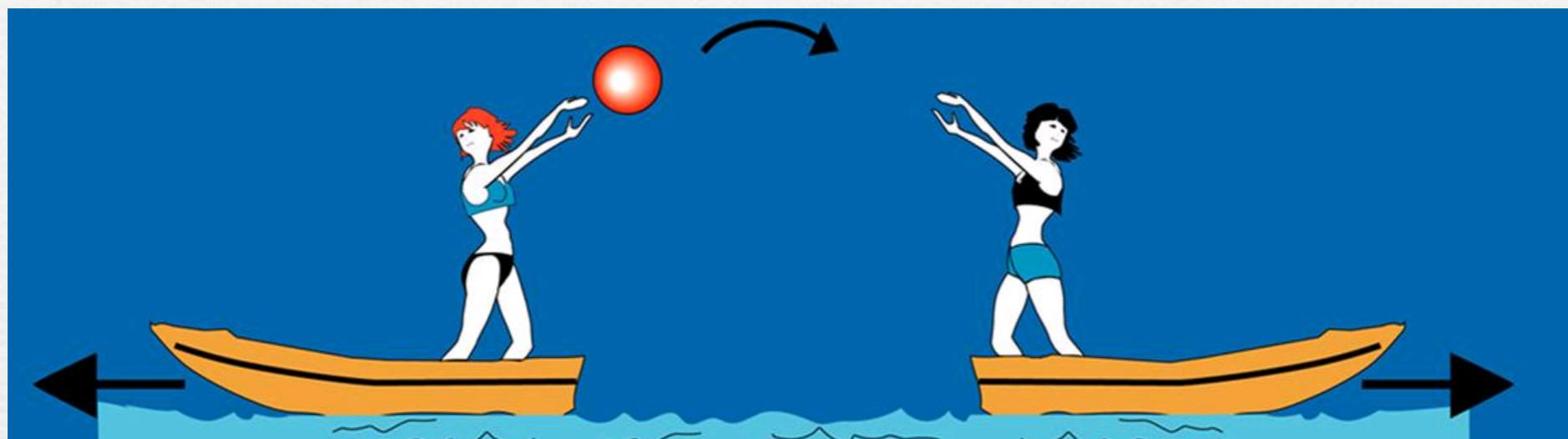
電子



電磁気力
電荷を感じて
光子を交換

素粒子に働く力

力 = 力を伝える粒子の交換

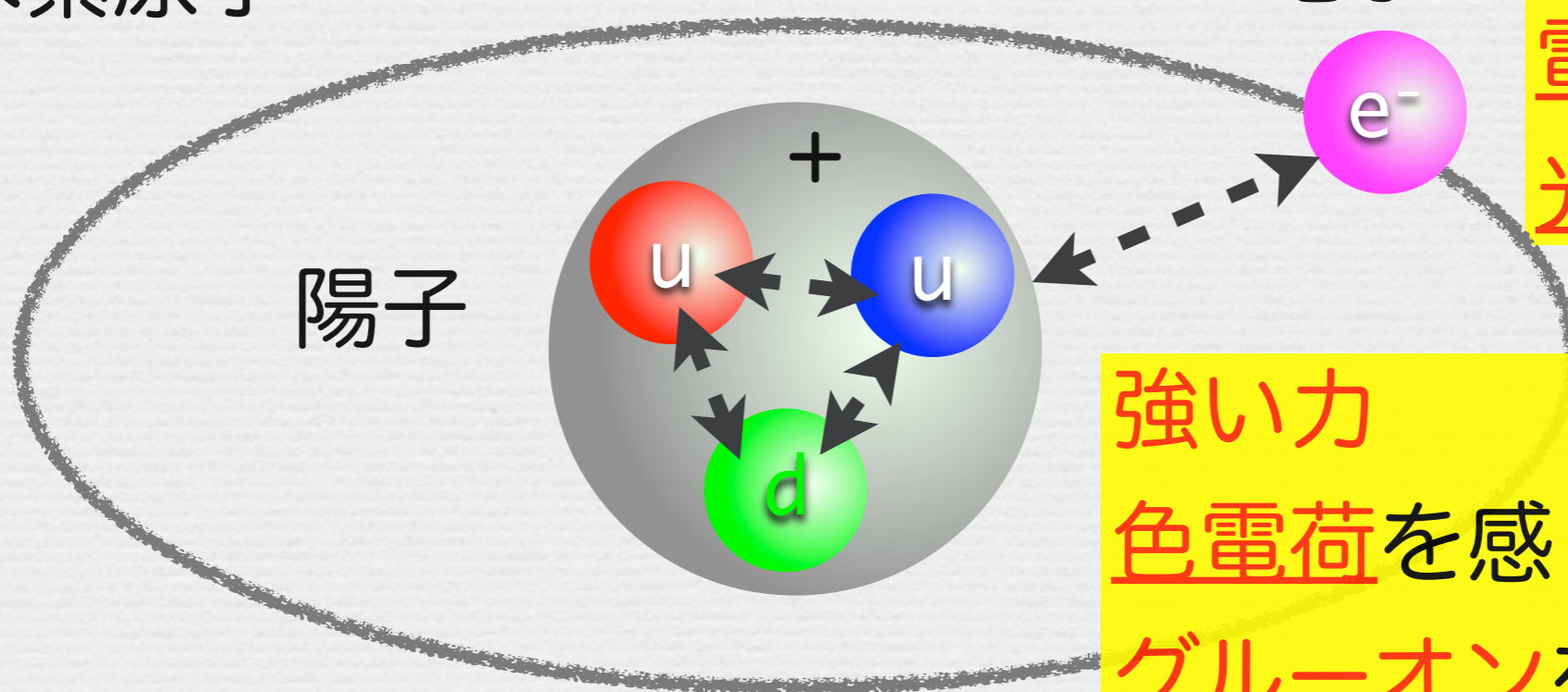


水素原子

電子

電磁気力
電荷を感じて
光子を交換

陽子

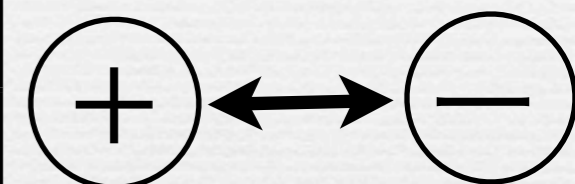


強い力
色電荷を感じて
グルーオンを交換

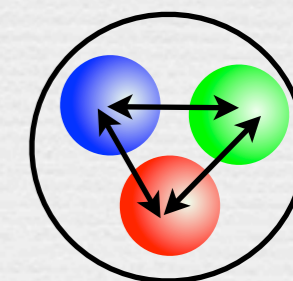
4種の力

種類	強さ	到達距離	電荷	伝える粒子
電磁気力	1/137	無限	電荷 (+/-)	光子 (フォトン)
強い力	~0.1	10^{-15}m	色電荷 (3種)	グルーオン
弱い力	10^{-5}	10^{-18}m	弱電荷	W^{\pm} 、Z粒子
重力	10^{-38}	無限	質量	グラビトン (未発見)

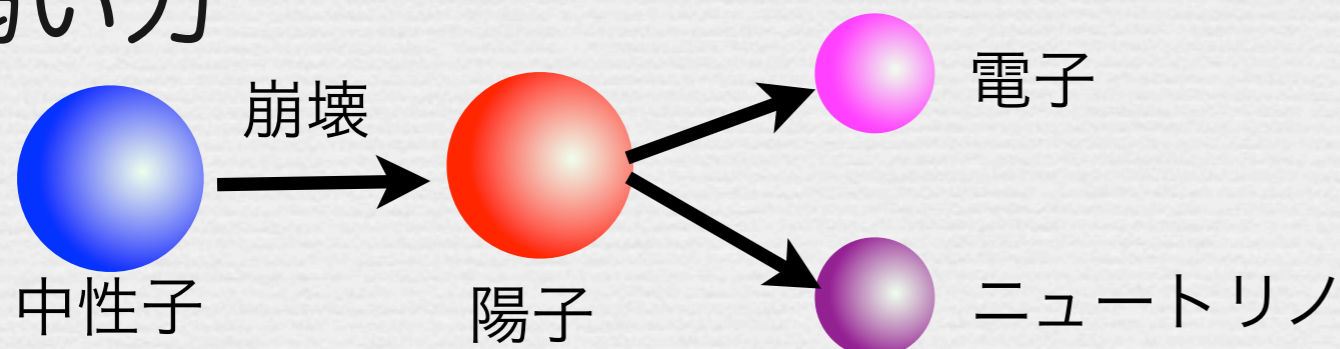
電磁気力



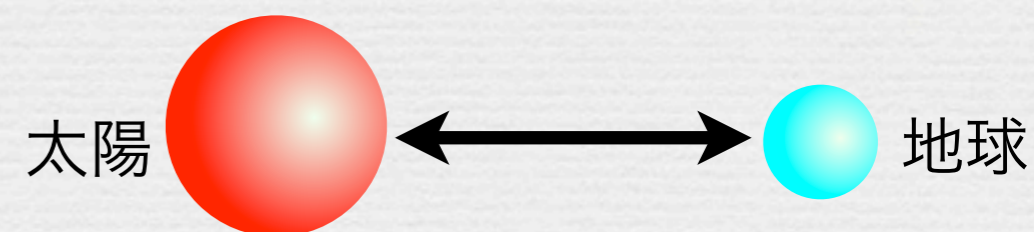
強い力



弱い力



重力



素粒子の標準模型

物質を構成する

力を伝える

クォーク

レプトン

電荷： $+2/3e$

電荷： $-1/3e$

電荷： 0

電荷： $-e$

アップ(u)

ダウン(d)

電子ニュートリノ

電子

電磁気力：光子



強い力：グルーオン



弱い力：Z、W粒子



第1世代



素粒子の標準模型

物質を構成する

力を伝える

クォーク

レプトン

電荷： $+2/3e$

電荷： $-1/3e$

電荷： 0

電荷： $-e$

電磁気力：光子

アップ(u)

ダウン(d)

電子ニュートリノ

電子

光

第1世代



チャーム(c)

ストレンジ(s)

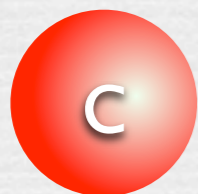
ミューニュートリノ

ミュー粒子

強い力：グルーオン



第2世代



弱い力：Z、W粒子



素粒子の標準模型

物質を構成する

力を伝える

クォーク

レプトン

電荷： $+2/3e$

電荷： $-1/3e$

電荷： 0

電荷： $-e$

電磁気力：光子

アップ(u)

ダウン(d)

電子ニュートリノ

電子

強い力：グルーオン



第1世代



強い力：グルーオン



チャーム(c)

ストレンジ(s)

ミューニュートリノ

ミュー粒子

弱い力：Z、W粒子

弱い力：Z、W粒子



第2世代



第3世代

トップ(t)

ボトム(b)

タウニュートリノ

タウ粒子



素粒子の標準模型

物質を構成する

力を伝える

クォーク

レプトン

電荷 : $+2/3e$

電荷 : $-1/3e$

電荷 : 0

電荷 : $-e$

電磁気力 : 光子

第1世代

アップ(u)

ダウン(d)

電子ニュートリノ

電子



チャーム(c)

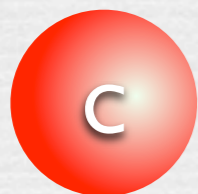
ストレンジ(s)

ミューニュートリノ

ミュー粒子

強い力 : グルーオン

第2世代



トップ(t)

ボトム(b)

タウニュートリノ

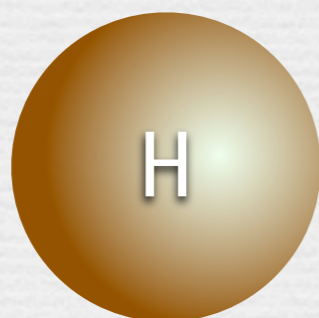
タウ粒子

弱い力 : Z、W粒子

第3世代



未発見! ?



ヒッグス粒子 : 素粒子に質量を与える

質量の起源

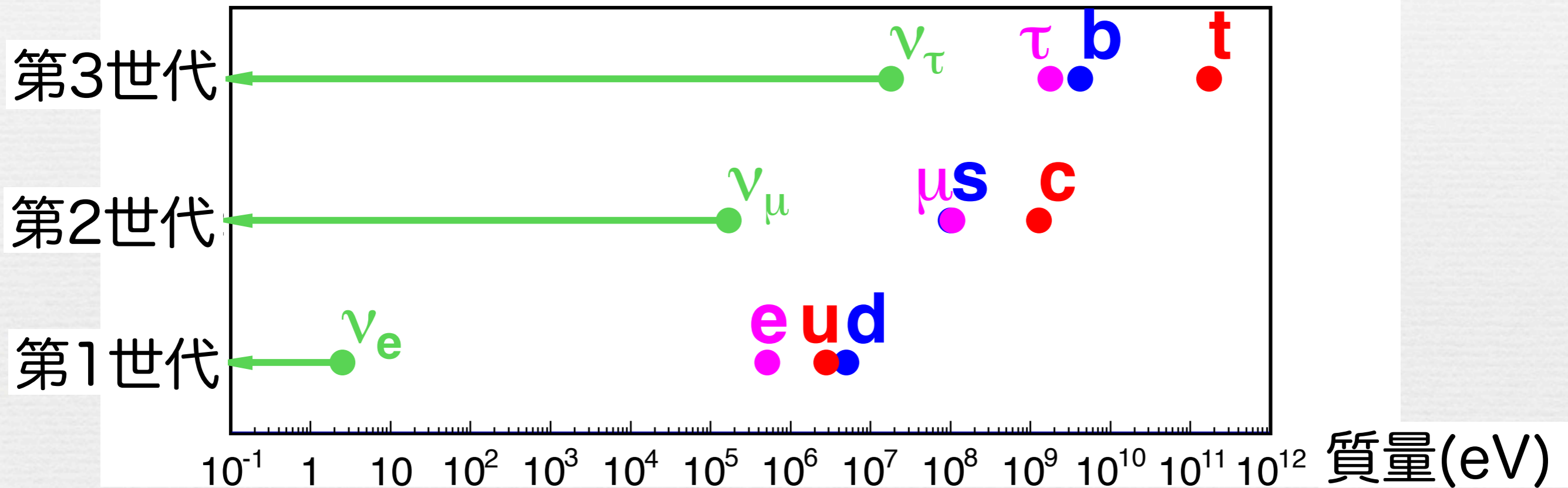
「標準模型」：素粒子は、本来 質量=0 であるべき

実際には、、、

質量の起源

「標準模型」：素粒子は、本来 質量=0 であるべき

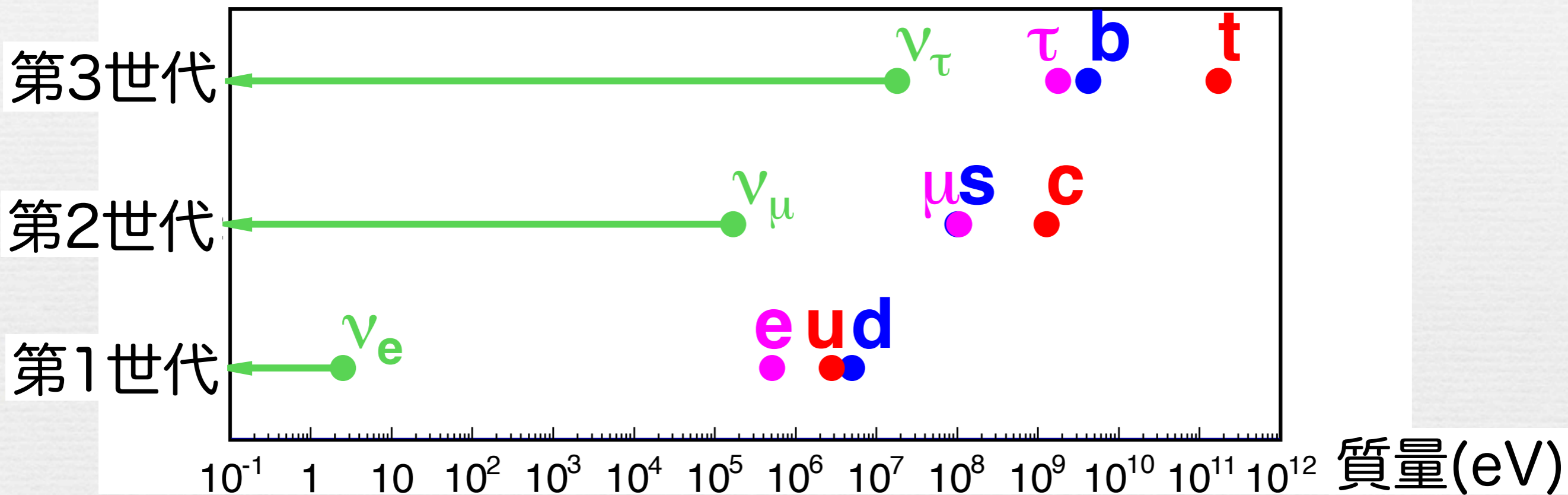
実際には、、、



質量の起源

「標準模型」：素粒子は、本来 質量=0であるべき

実際には、、、



1/1000mg

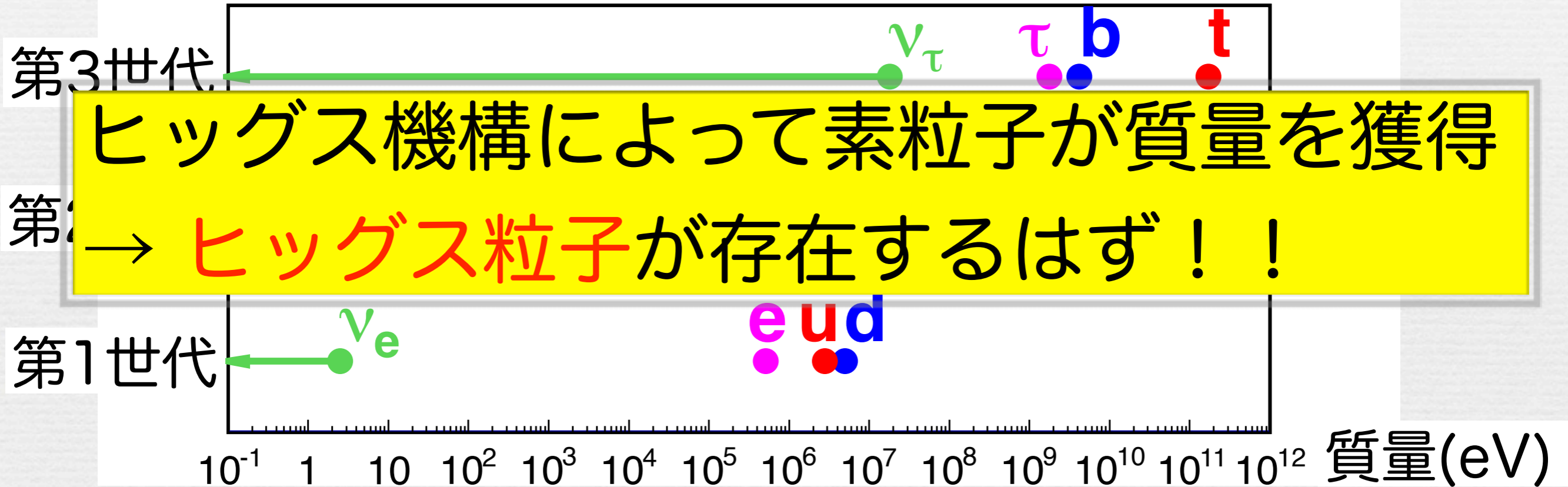
1000kg



質量の起源

「標準模型」：素粒子は、本来 質量=0であるべき

実際には、、、



1/1000mg

1000kg

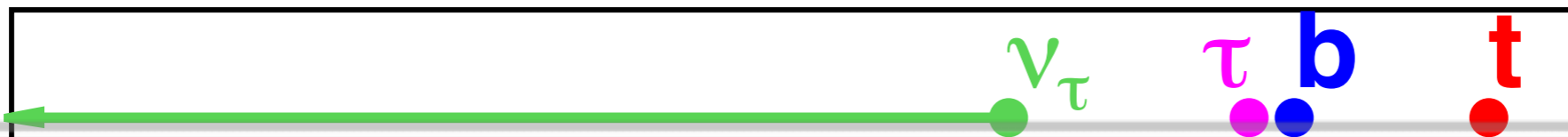


質量の起源

「標準模型」：素粒子は、本来 質量=0であるべき

実際には、、、

第3世代



ヒッグス機構によって素粒子が質量を獲得

第2世代

→ ヒッグス粒子が存在するはず！！

第1世代



加速器で作り、測定器で捉える！



1/1000mg

1000kg

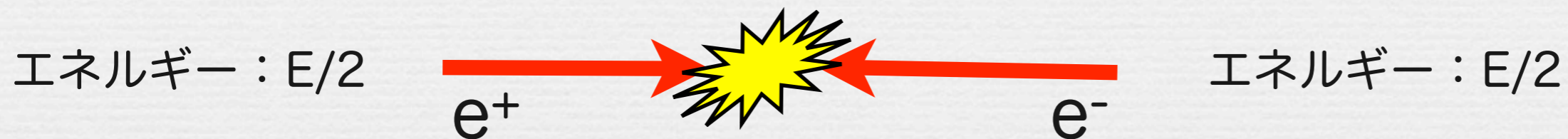


ヒッグス粒子を作る 加速器

素粒子実験の考え方

未知粒子であるヒッグス粒子を作り出し、それを測定する

未知粒子 = 既知の実験では作り出せない → 重たい



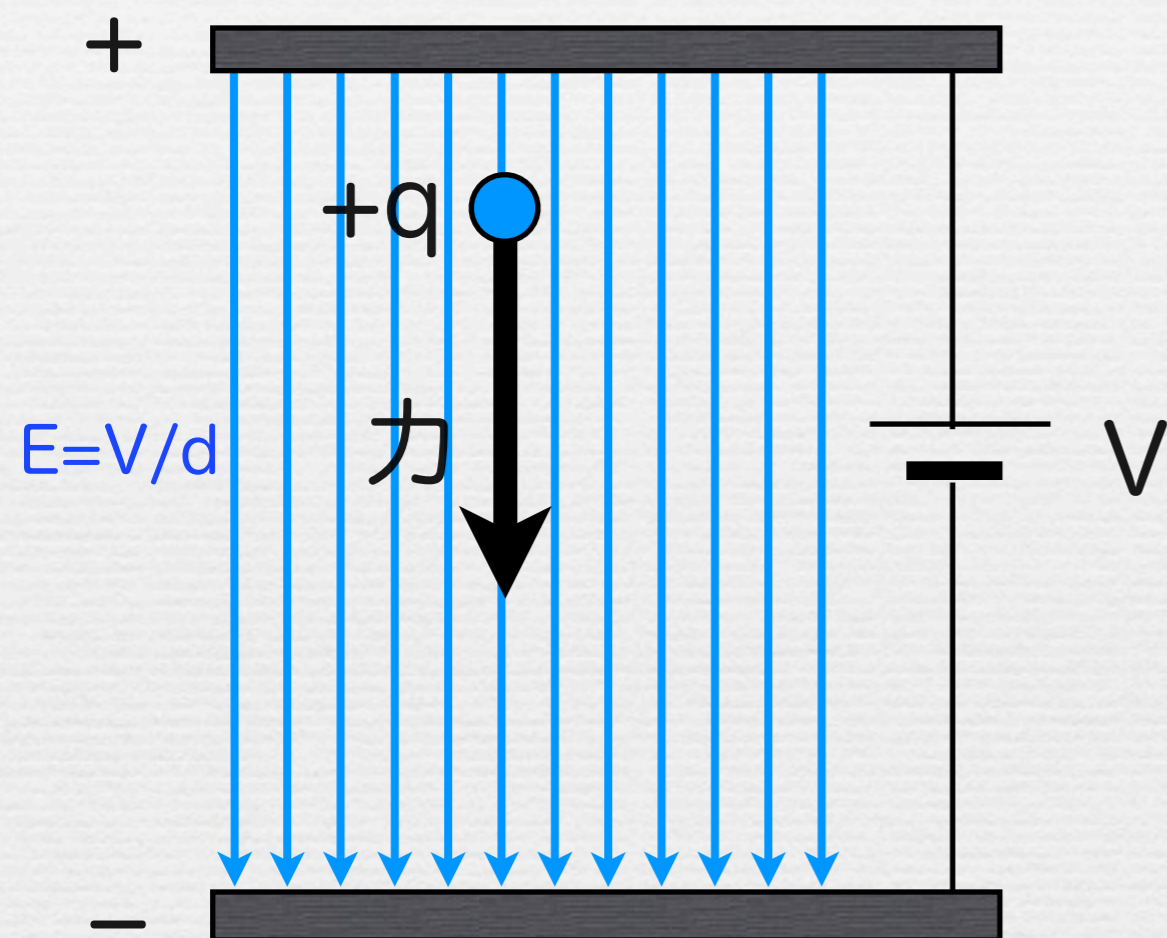
$$E = Mc^2$$

質量 M の未知なる素粒子を生成する能力

高エネルギー！ → 加速した粒子を衝突させる

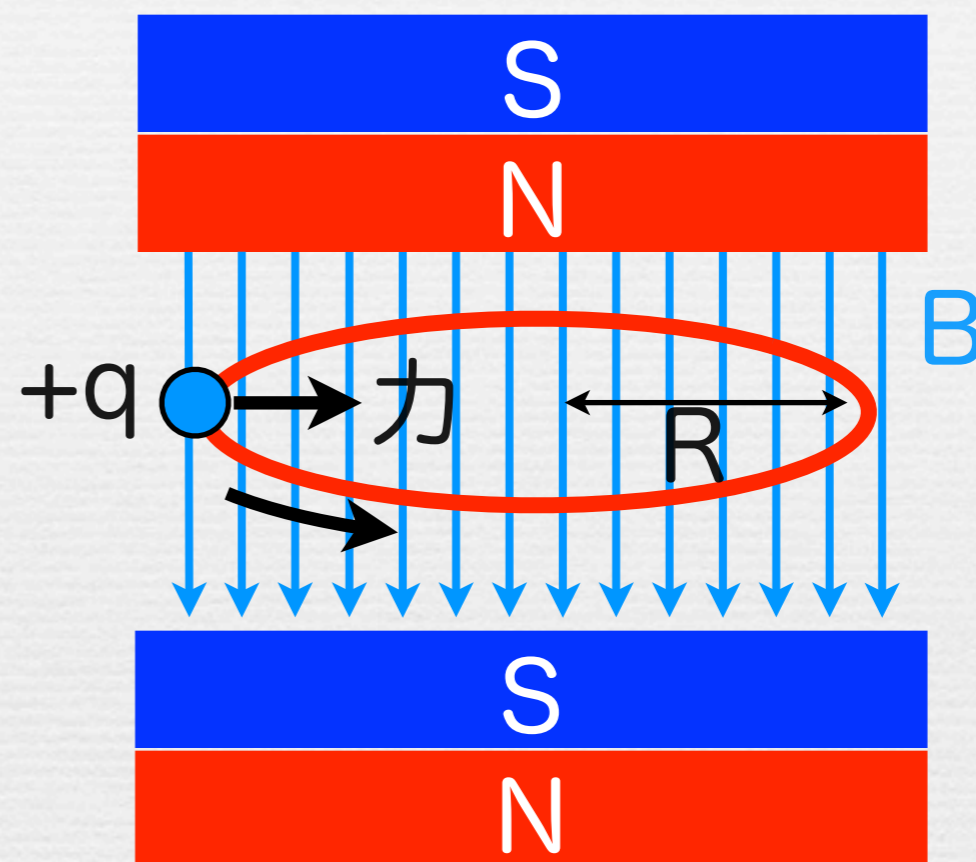
粒子を加速する

電荷を持った粒子を電場や磁場の中で運動させる



電場が大きいと
荷電粒子の加速大

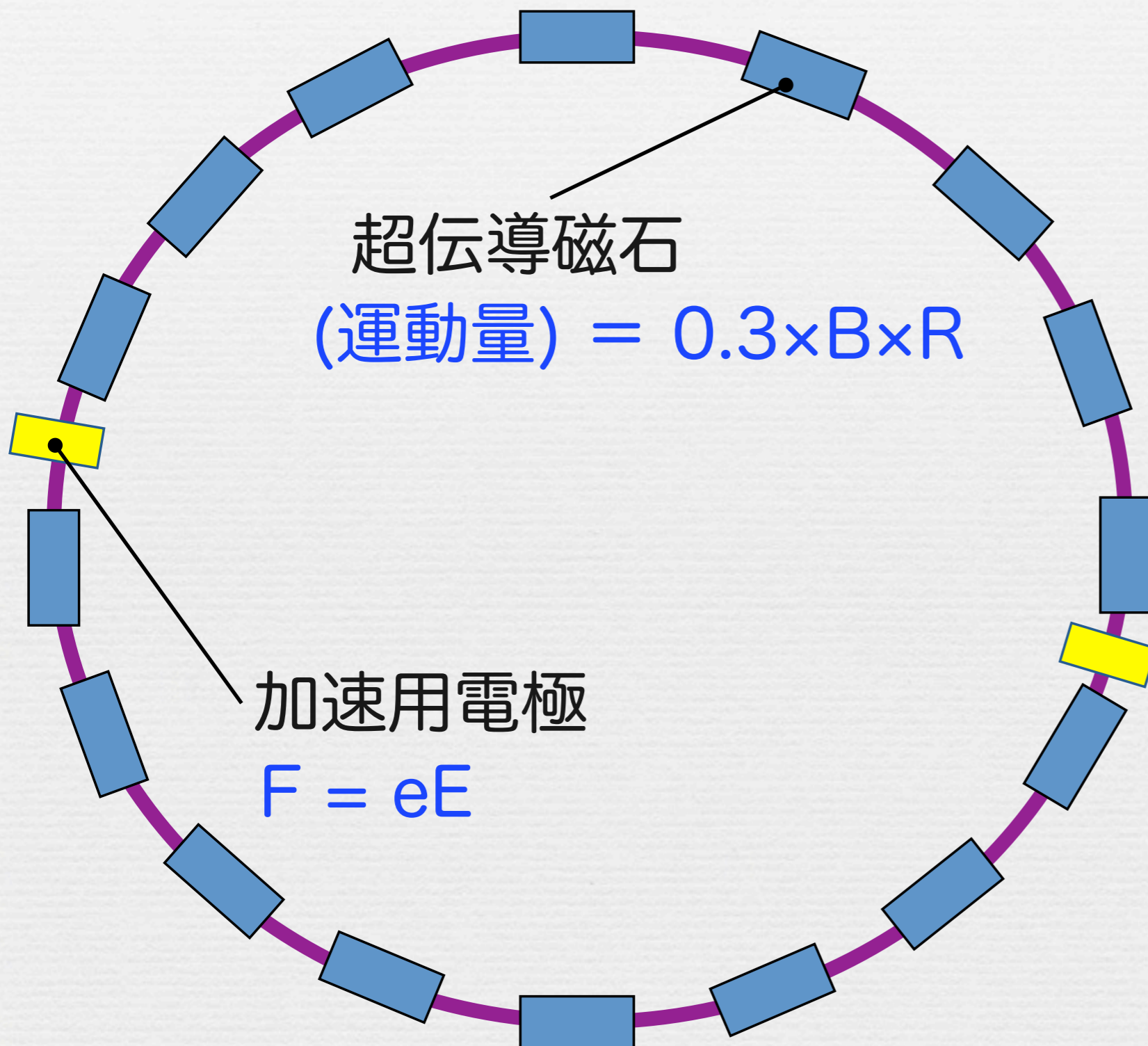
$$F = qE$$



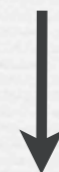
磁場
回転半径を大きくして
より加速した荷電粒子を回す

$$(\text{運動量}) = 0.3 \times B \times R$$

加速器の原理



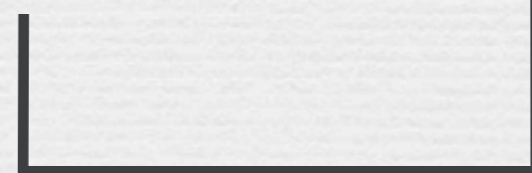
荷電粒子を磁場で回す



電極で加速



より強い磁場で回す

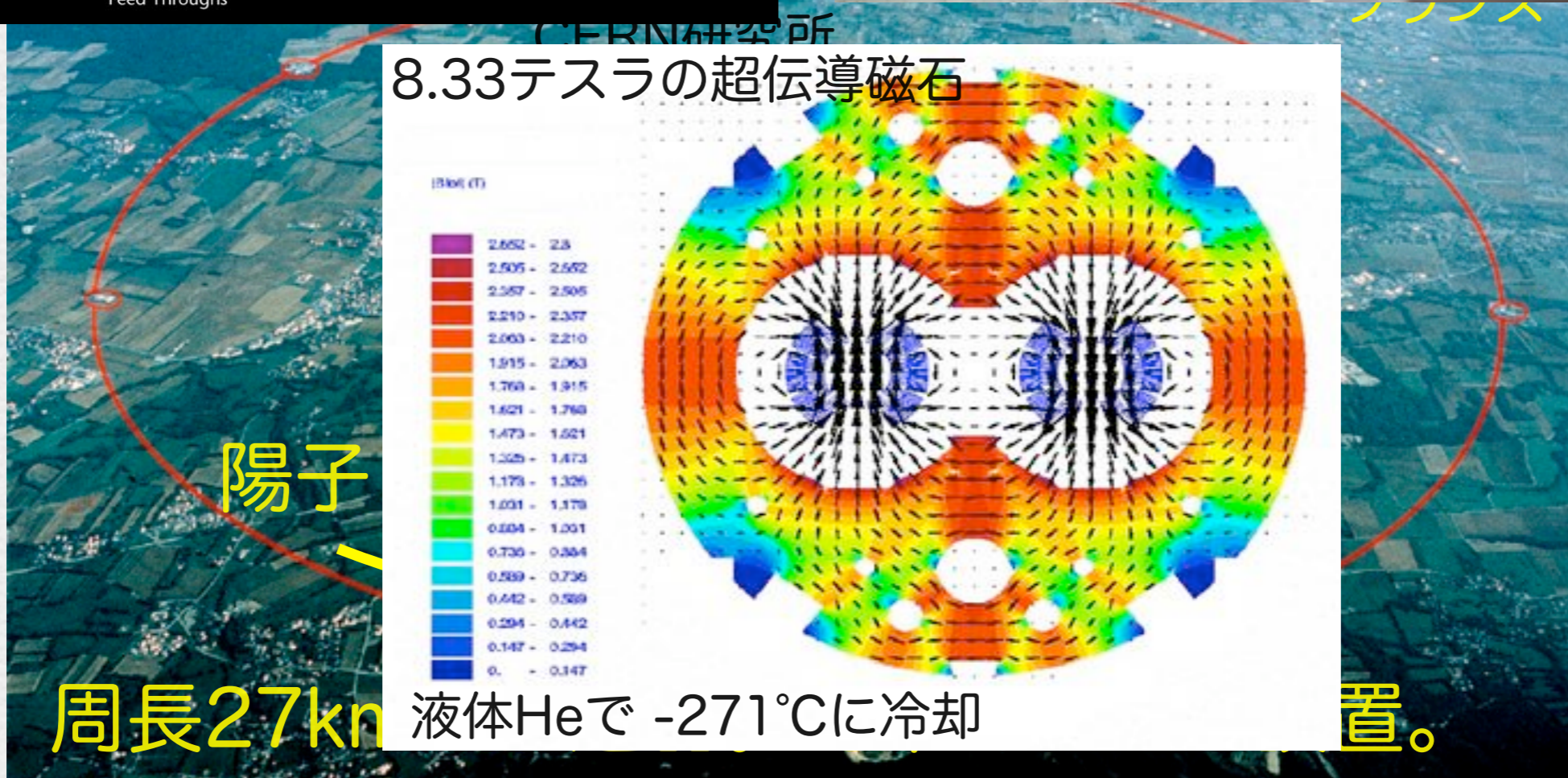
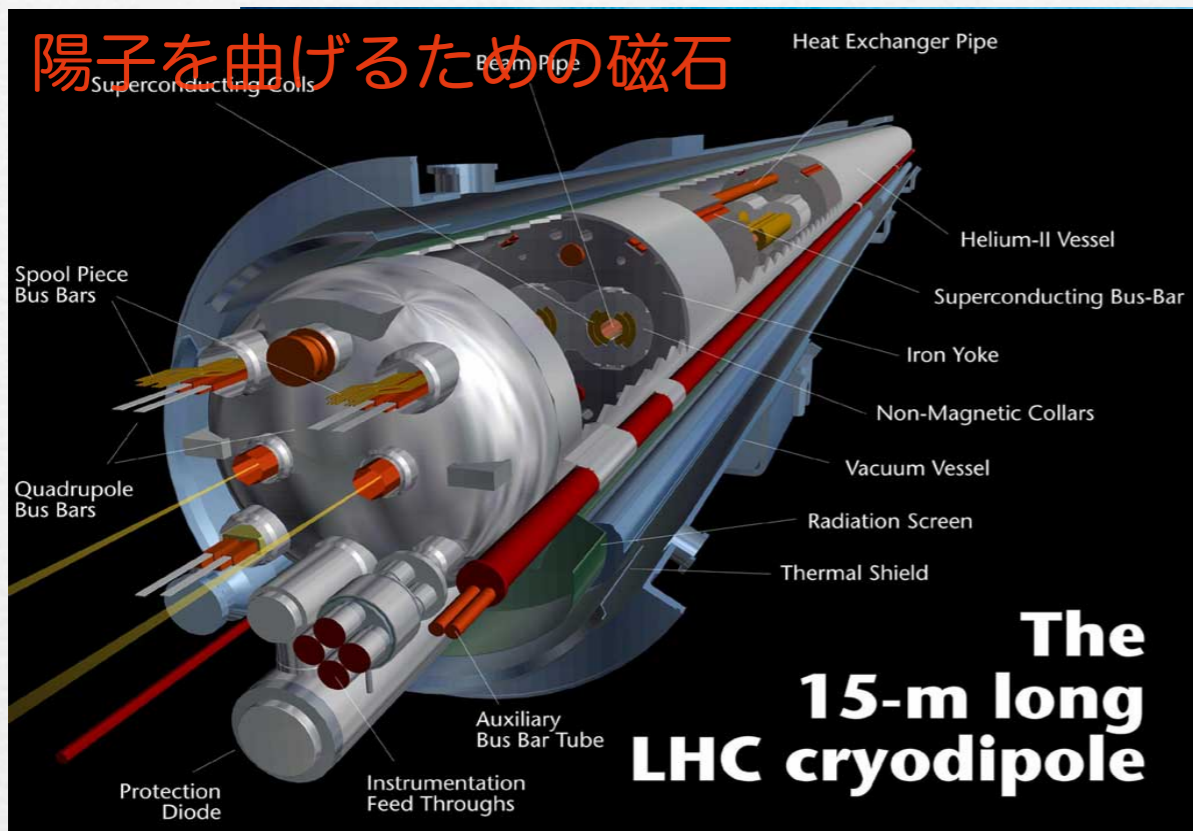


目標のエネルギーに到達するまで

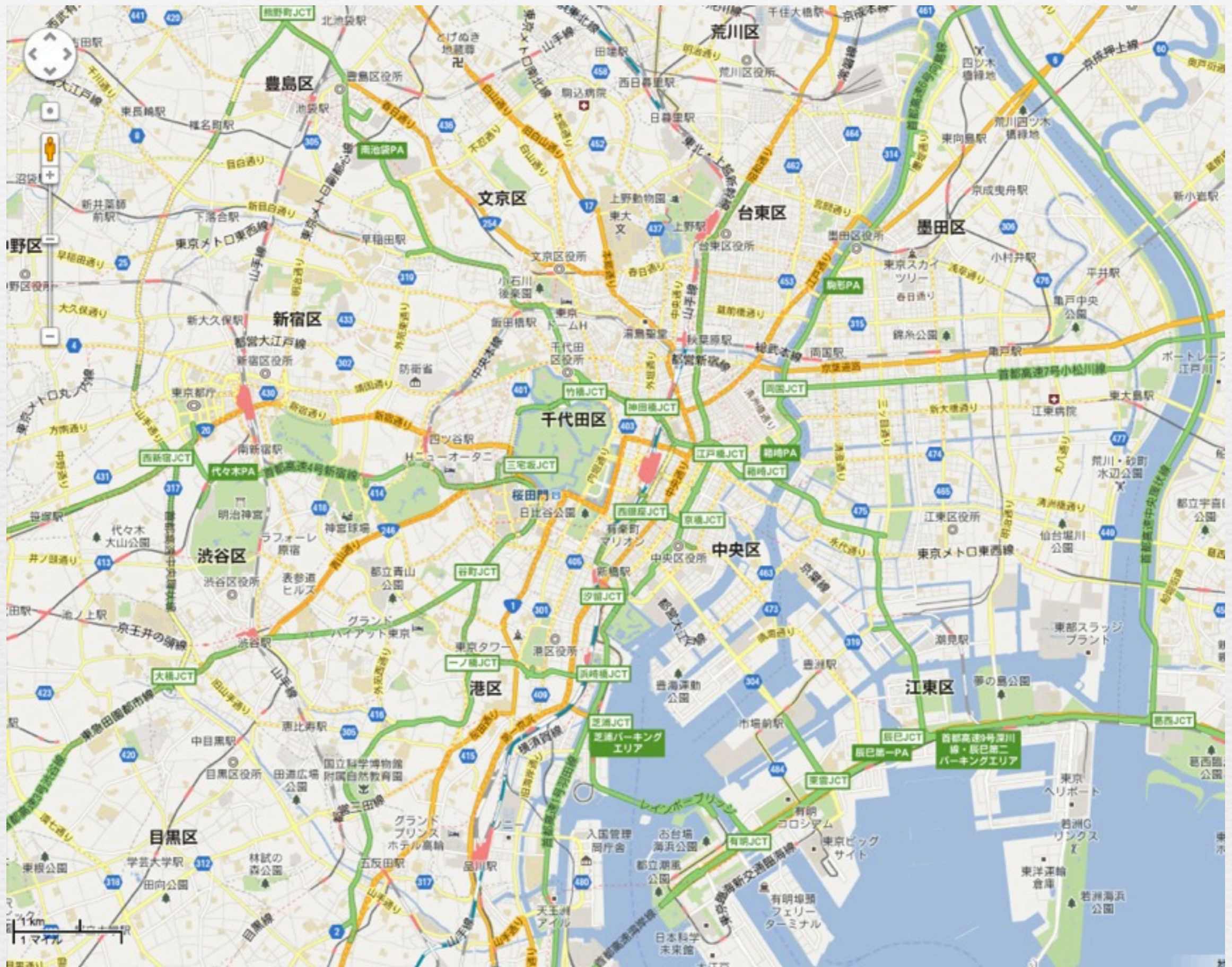
最先端加速器 Large Hadron Collider



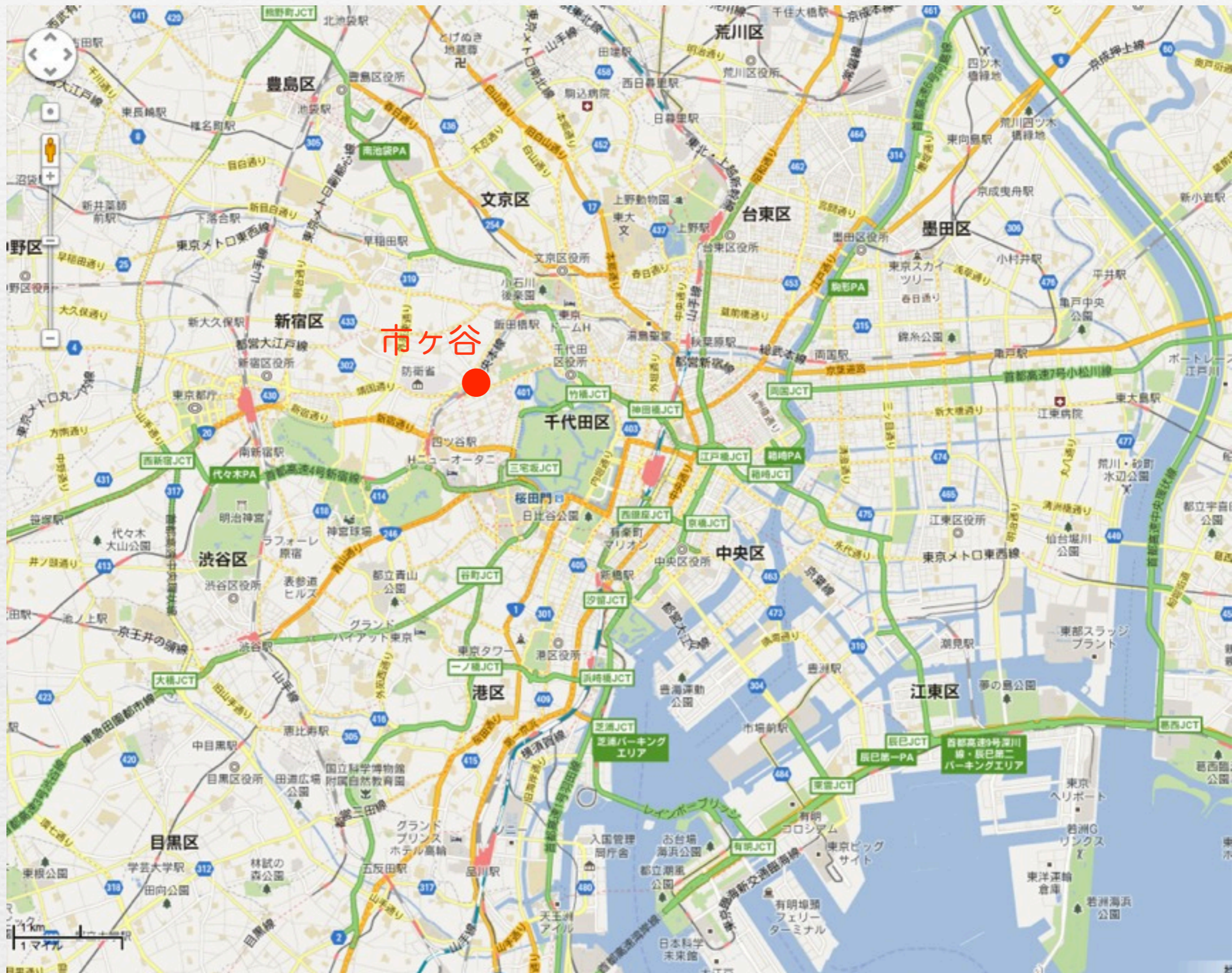
最先端加速器 Large Hadron Collider



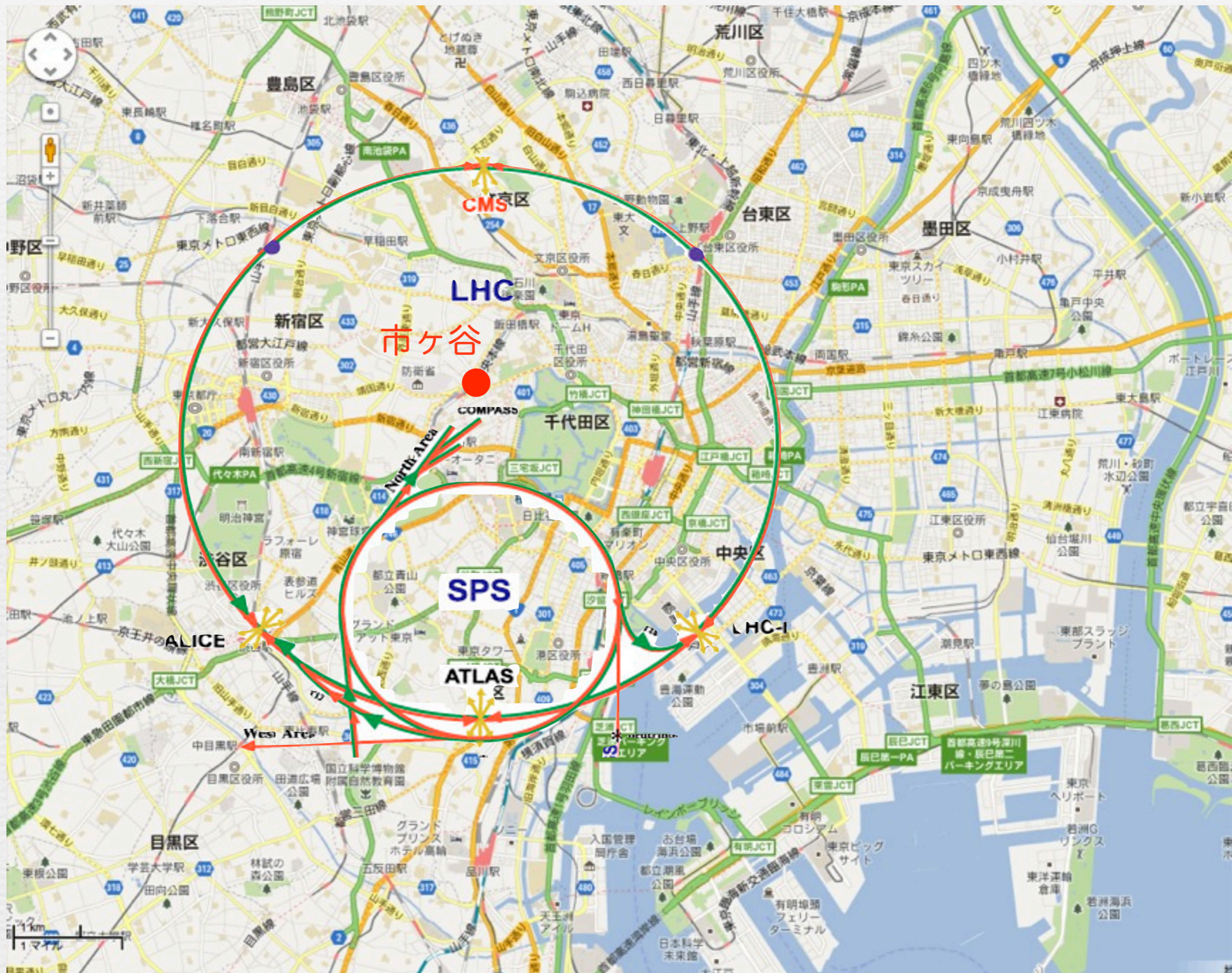
LHC加速器の大きさ



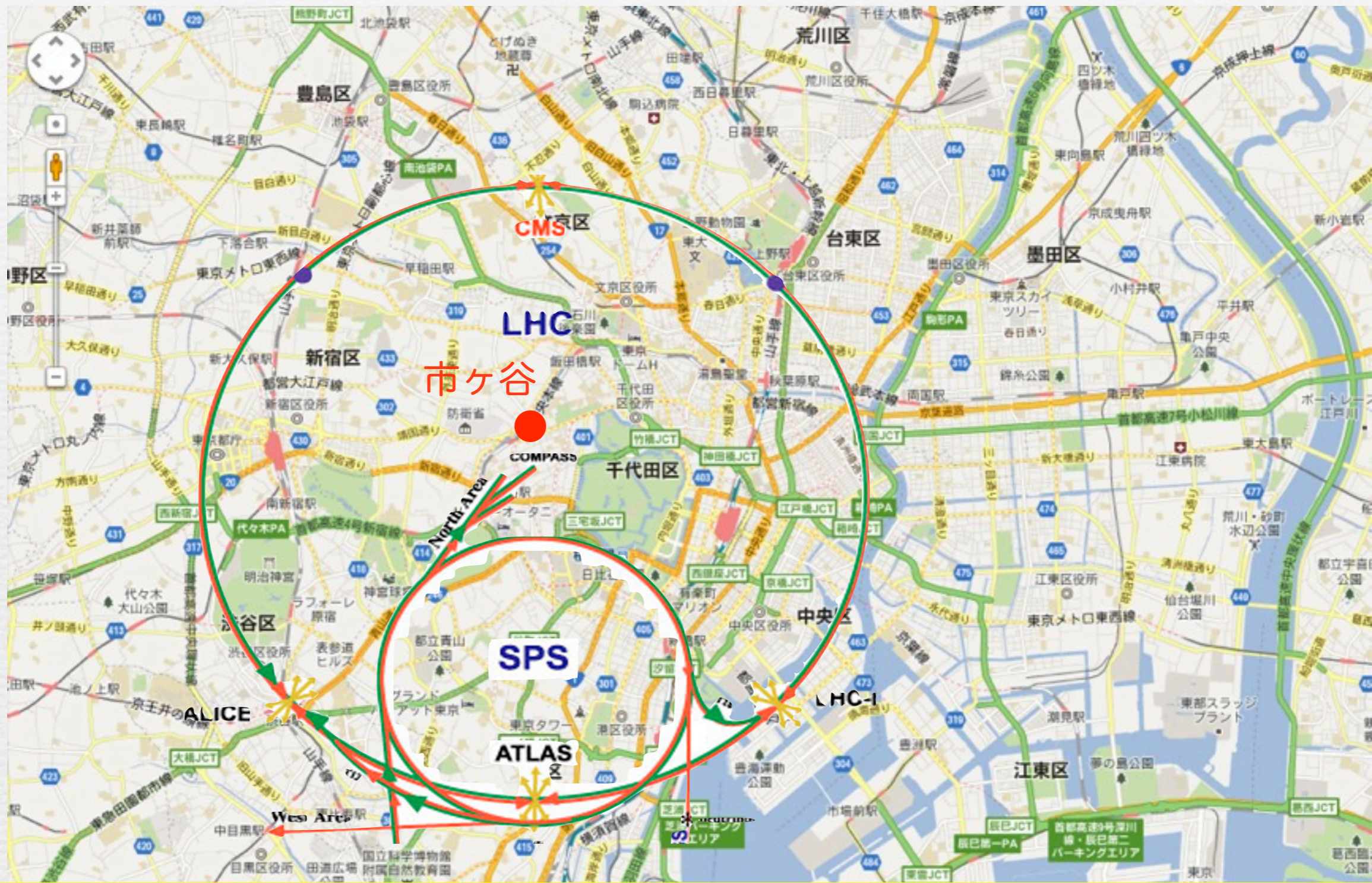
LHC加速器の大きさ



LHC加速器の大きさ



LHC加速器の大きさ



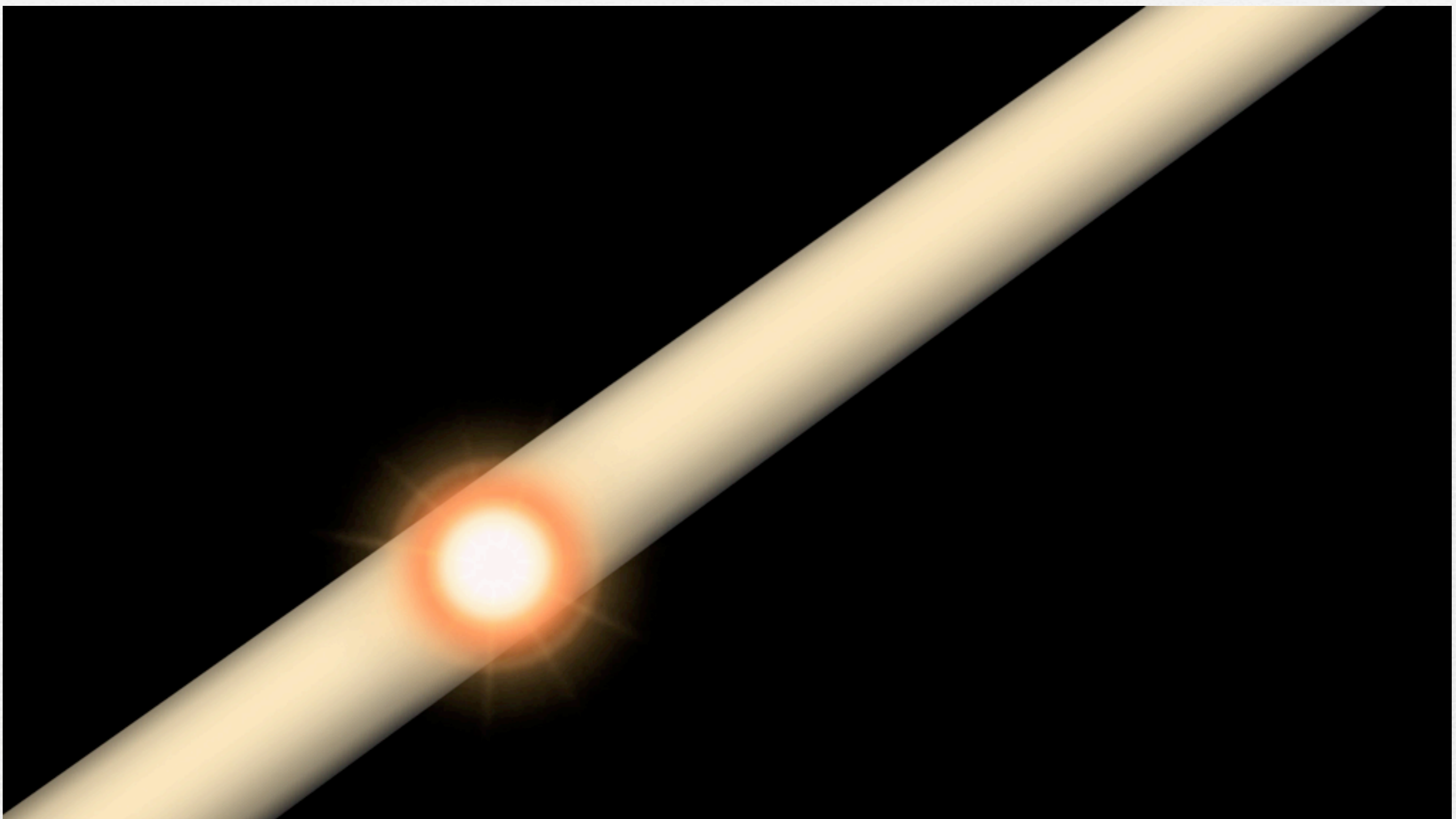
大阪環状線 < LHC~名古屋地下鉄名城線 < 東京山手線

~21km

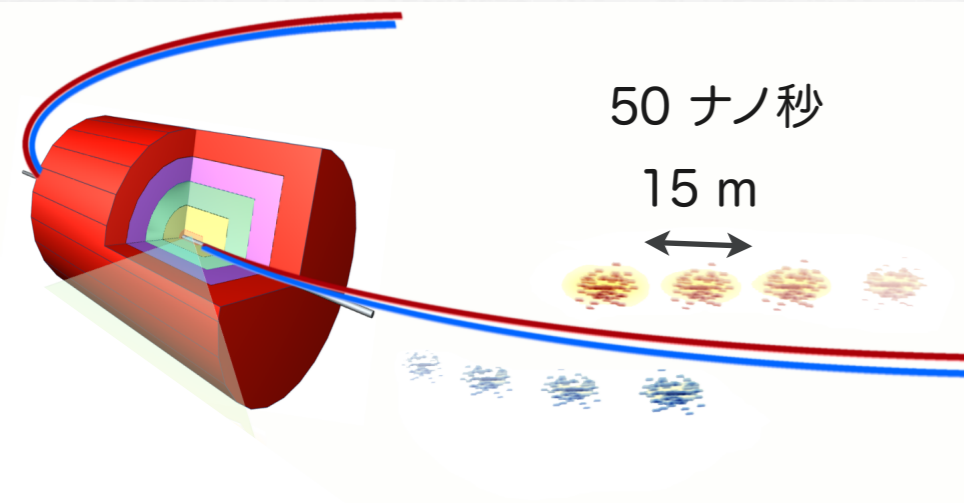
~27km

~34.5km





LHC加速器の性能



加速粒子	陽子×陽子
ビーム塊あたりの陽子数 (n_1, n_2)	千億 個
陽子ビーム塊の数 (n_b)	1380→2808
ビーム塊の間隔 (f_r)	50ナノ秒→25ナノ秒
衝突点でのビーム半径 (σ_x, σ_y)	~0.020 mm→0.015mm
エネルギー	3.5TeV→4TeV→7TeV

7TeVの陽子：光の速度の99.99999991%まで加速
光速 - 10km/時



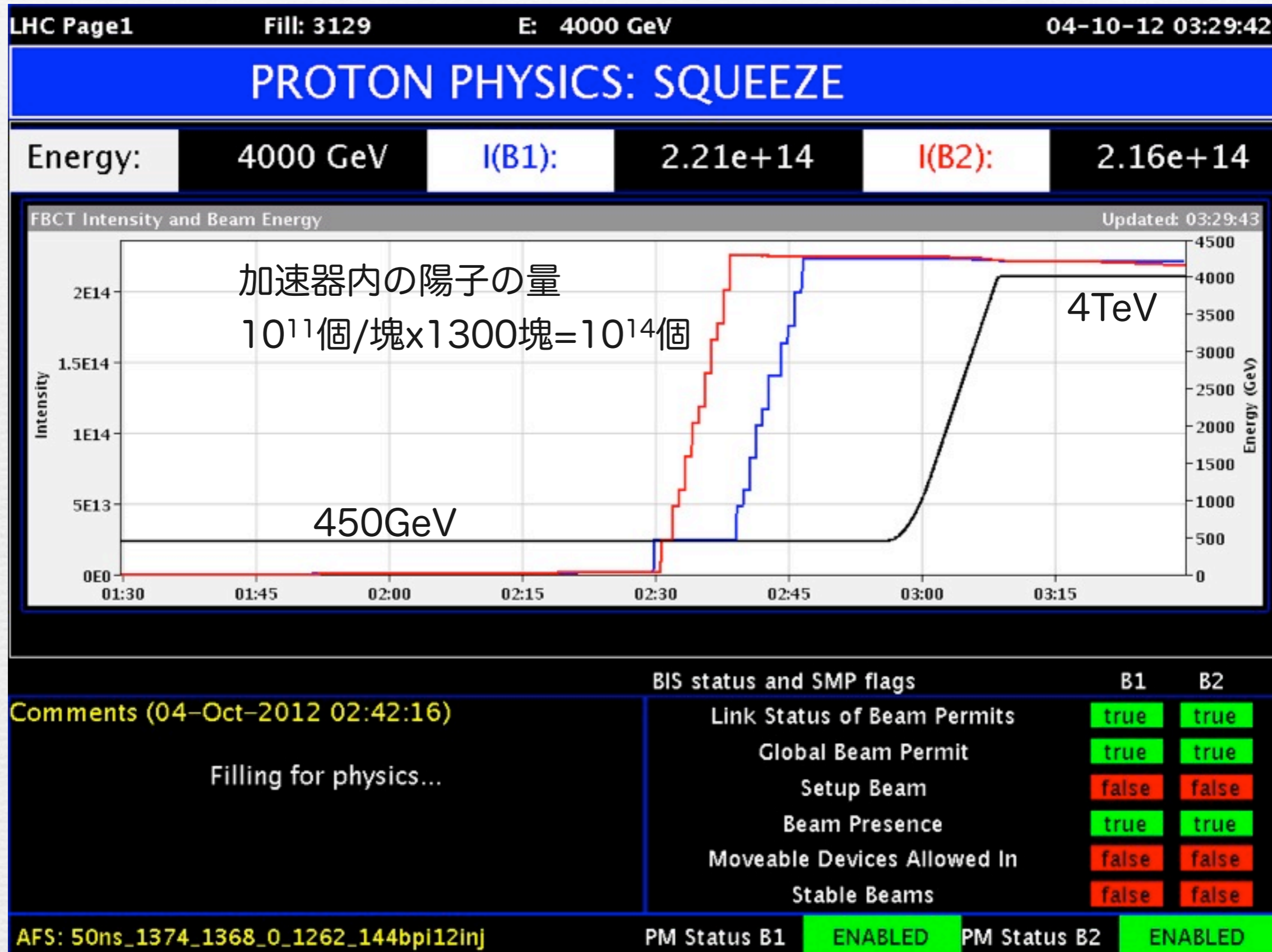
陽子ビームを絞り込むための磁石

ビーム衝突輝度 (ルミノシティ)

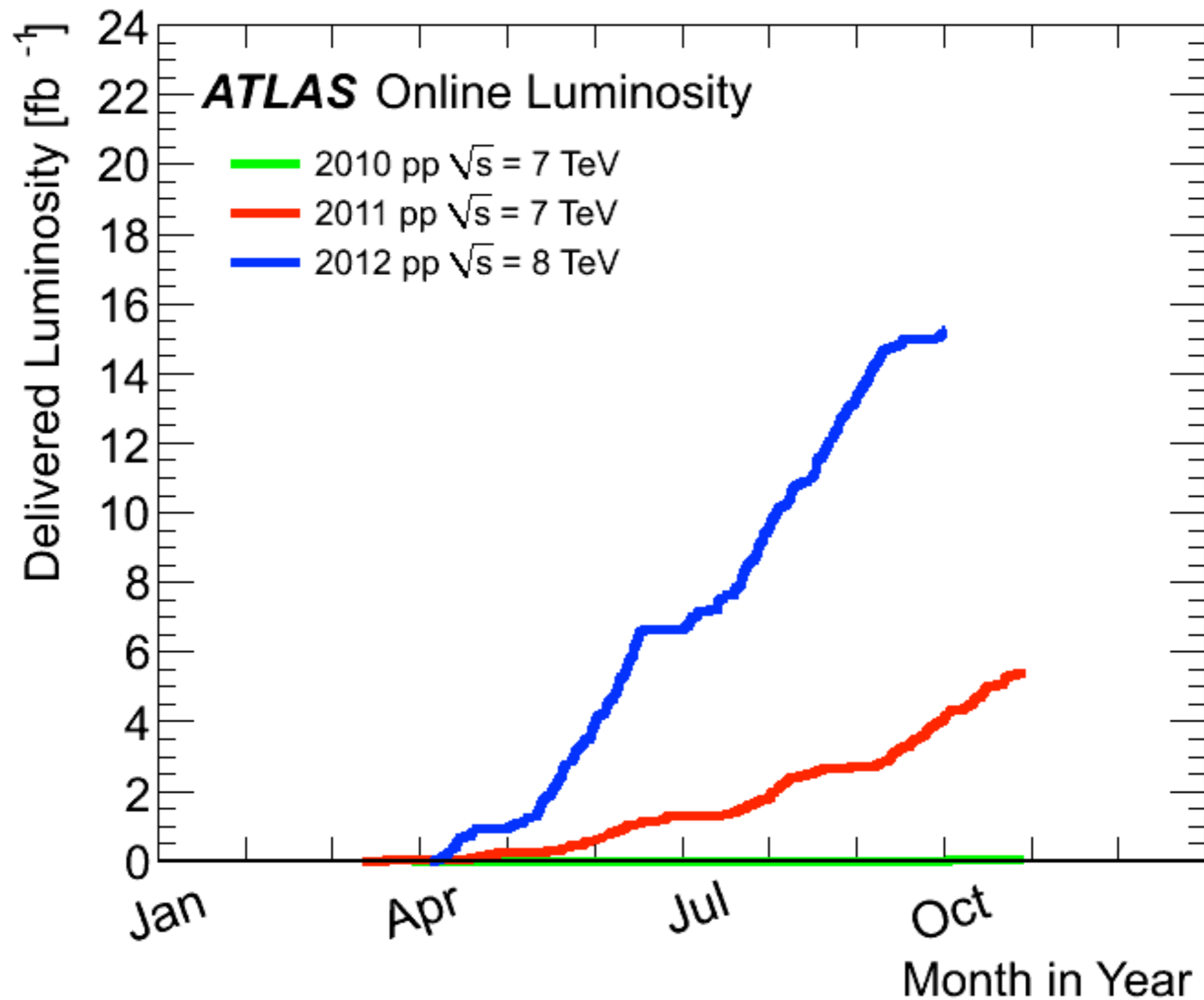
$$L = \frac{n_b f_r n_1 n_2}{4\pi \sigma_x \sigma_y}$$

沢山の陽子を絞って衝突させる

加速器の運転の様子

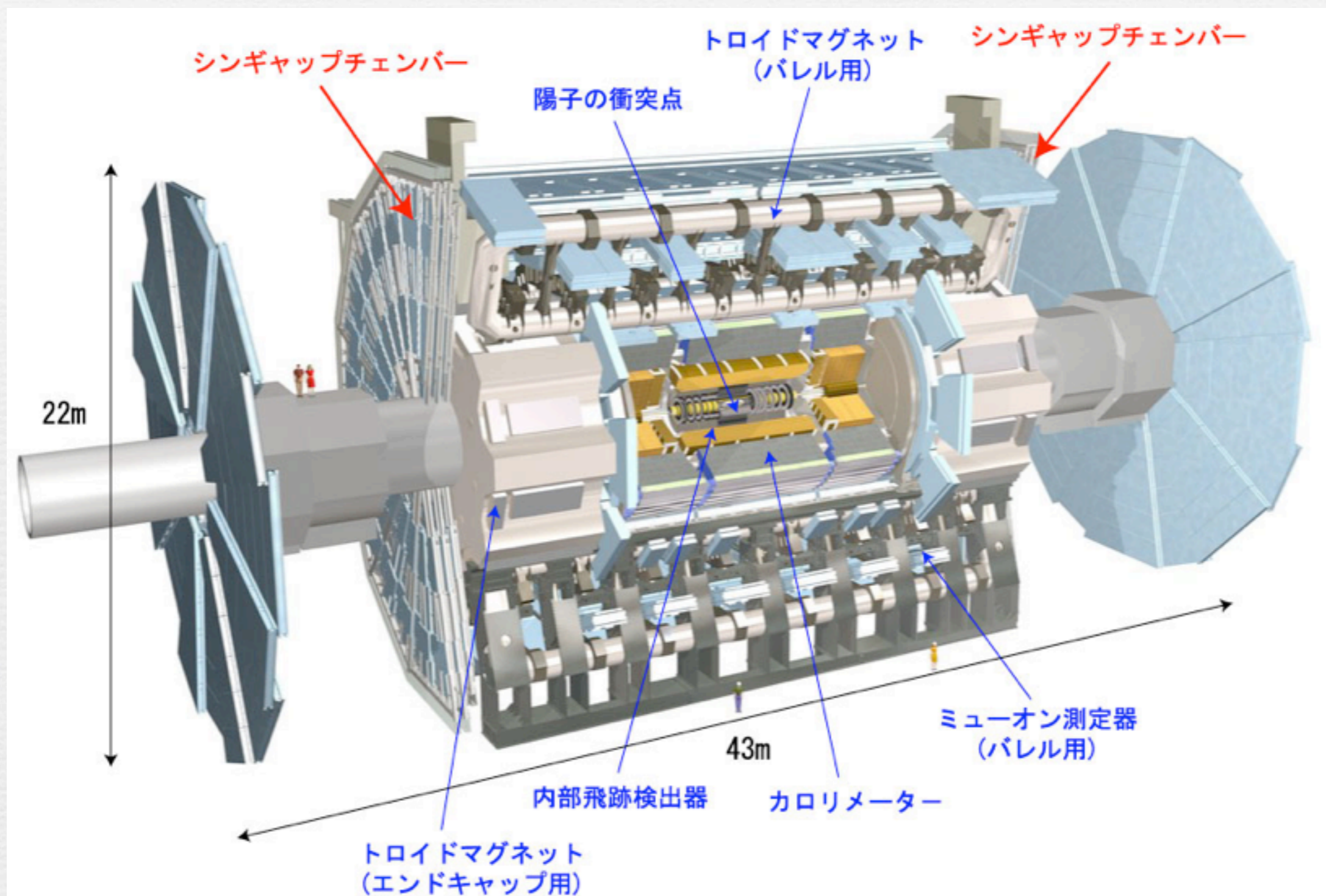


ビーム輝度



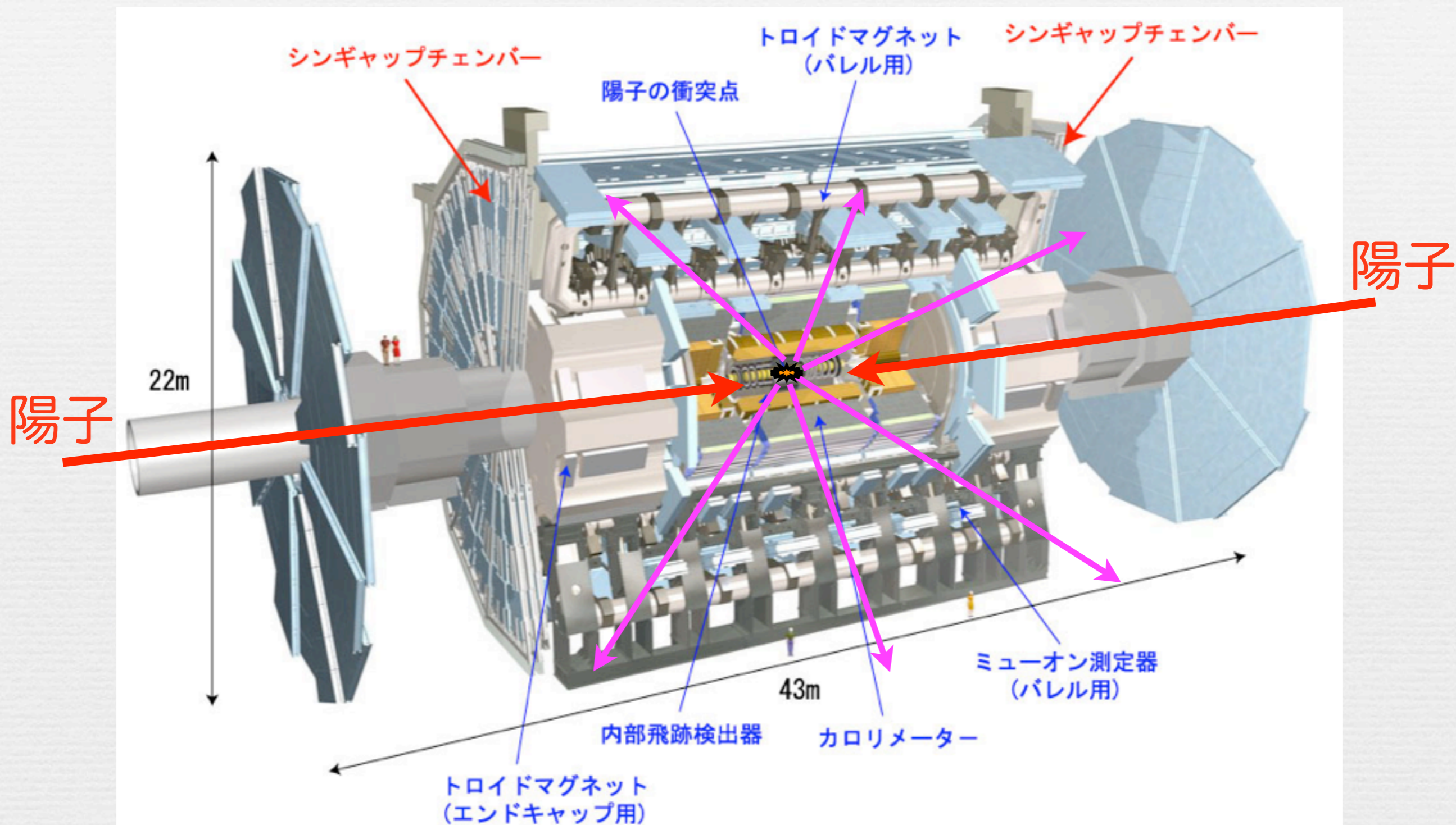
ヒッグス粒子を捉える 検出器

粒子検出器 アトラス検出器



総重量：7000トン

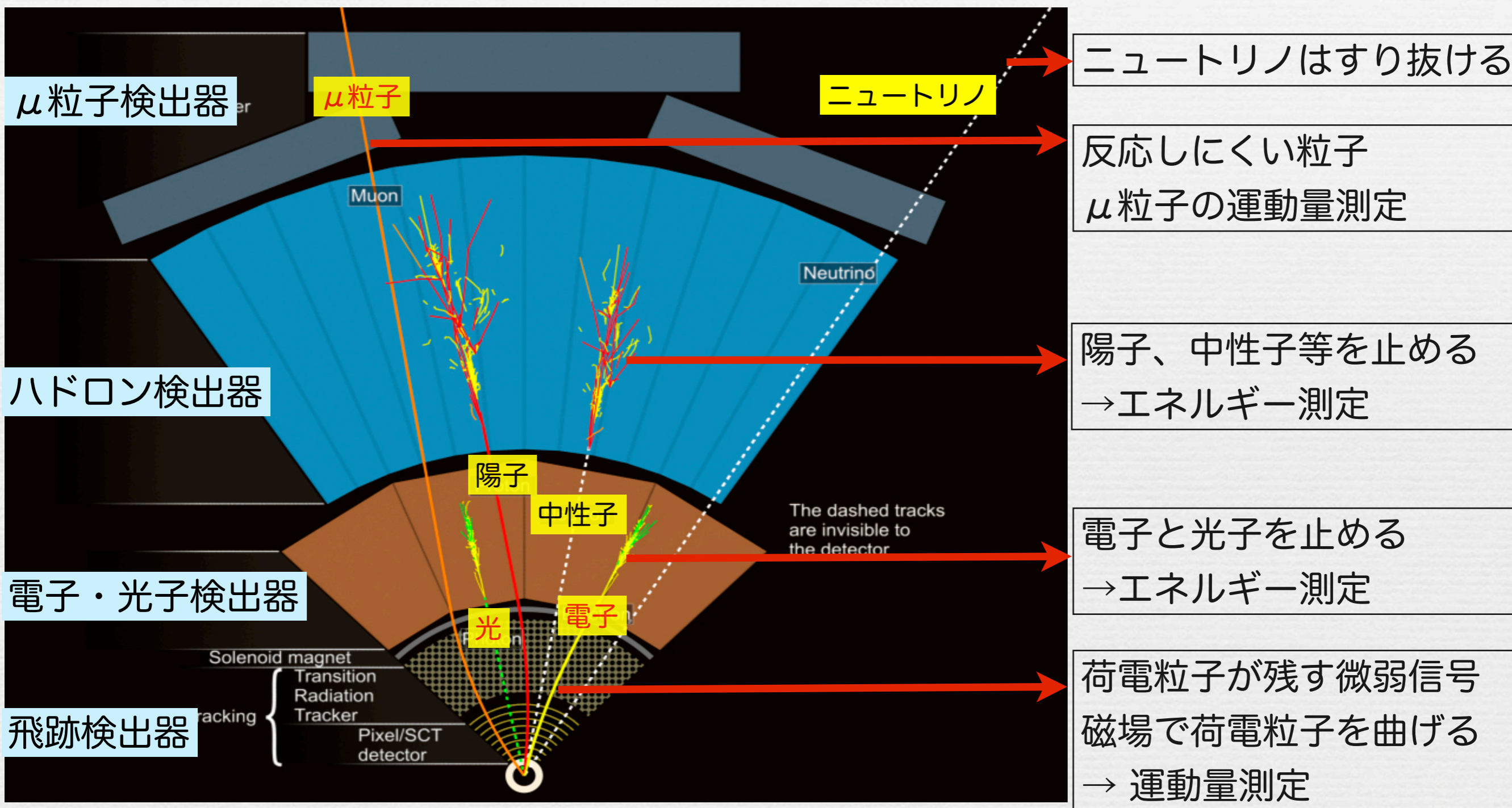
粒子検出器 アトラス検出器



ヒッグス粒子は不安定 → 軽い安定粒子に化ける (崩壊)
 衝突点で起きたイベントの写真を安定粒子を使って撮影
 読み出し数：1億6千万チャンネル (1億6千万画素デジカメ)

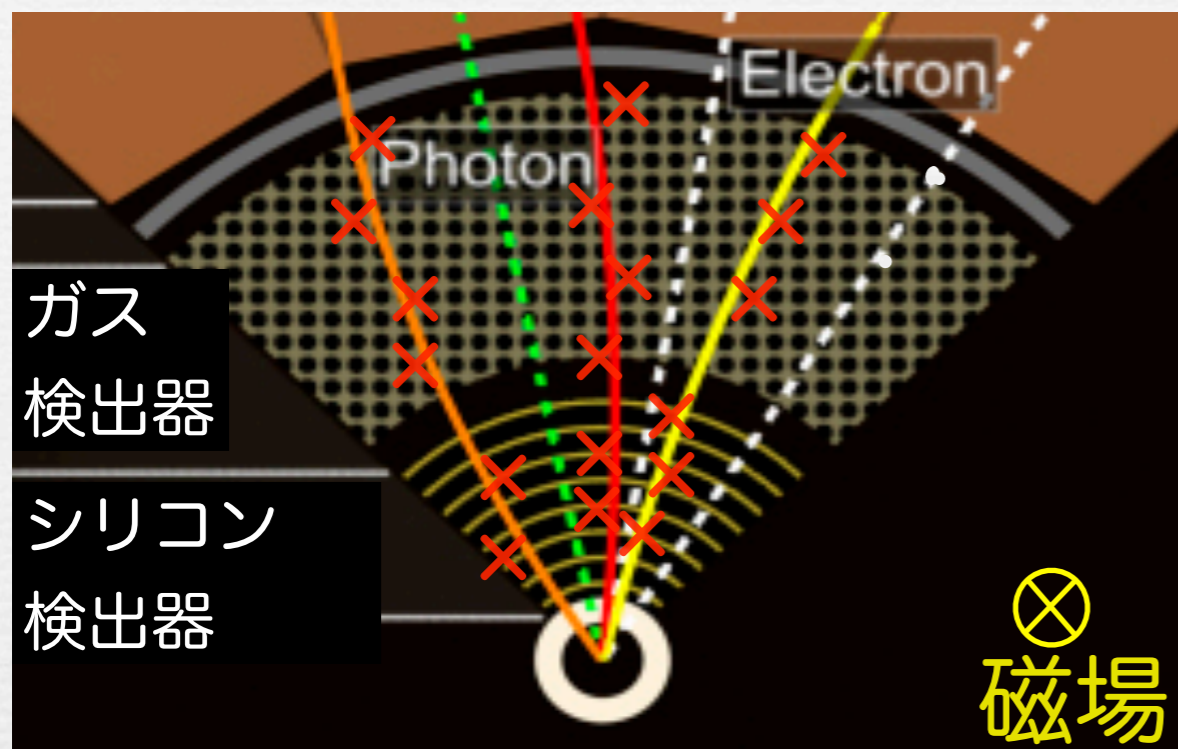
検出器の原理

検出器の物質と粒子との相互作用を利用する

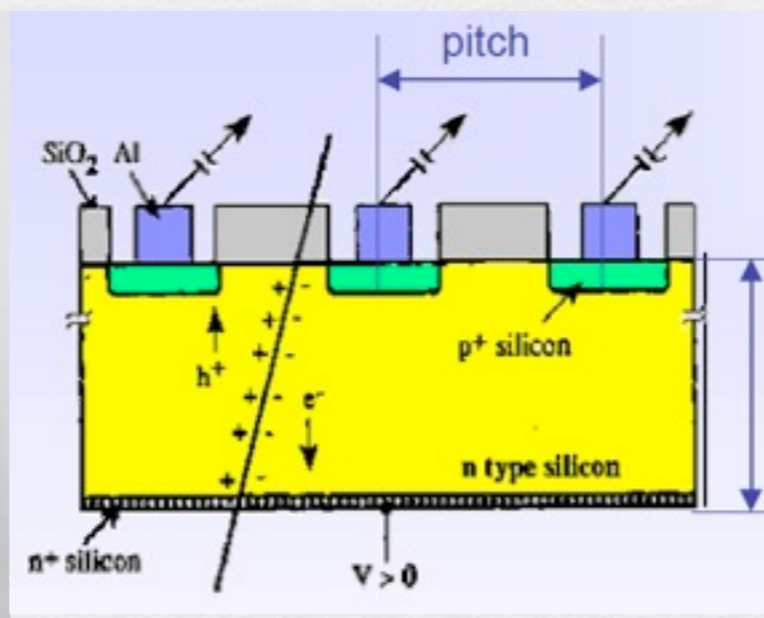
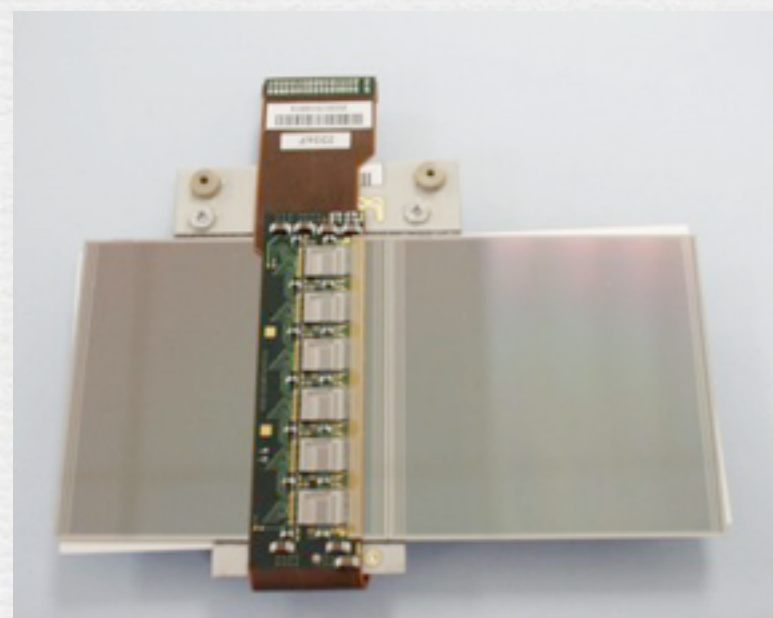
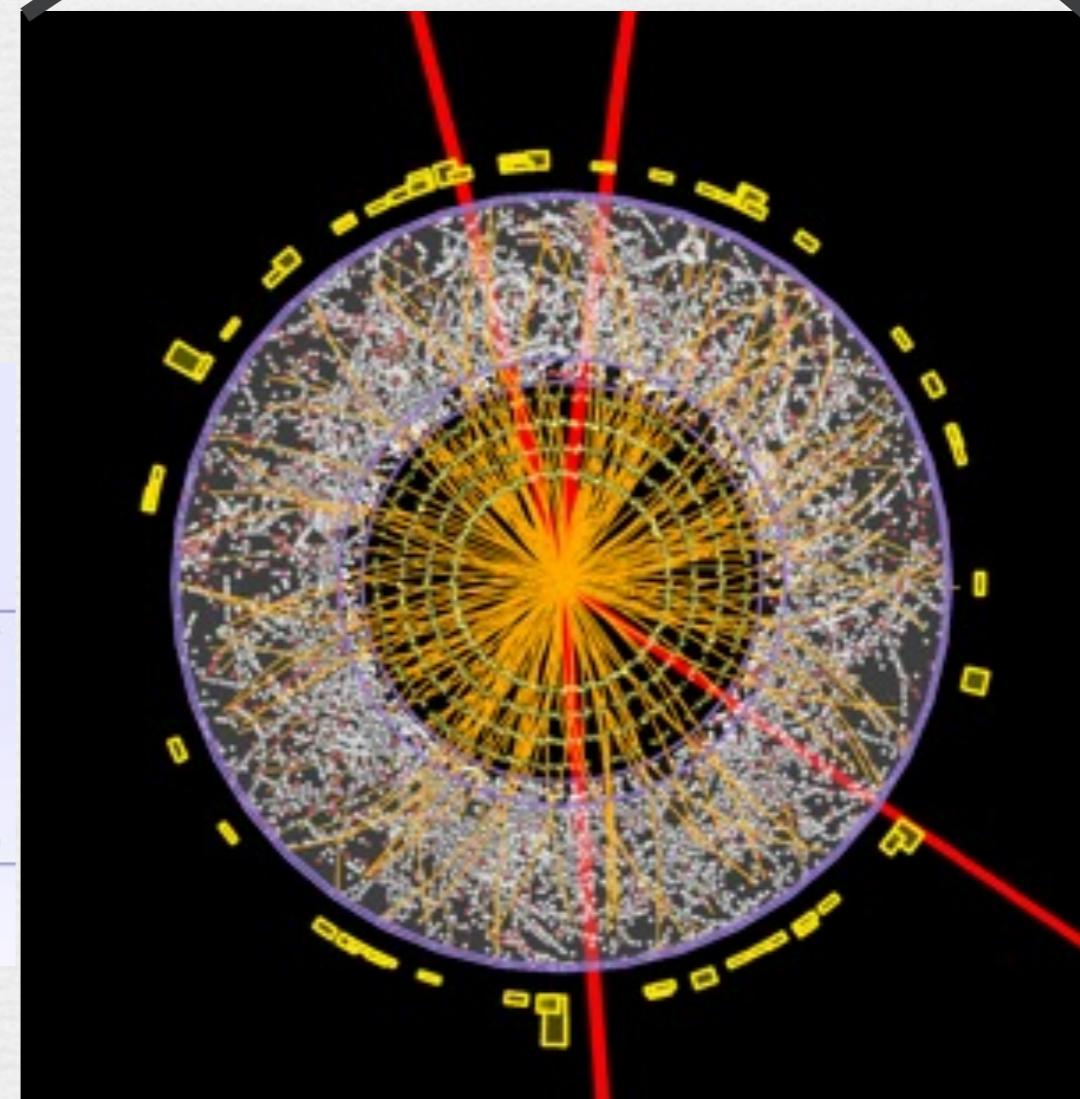
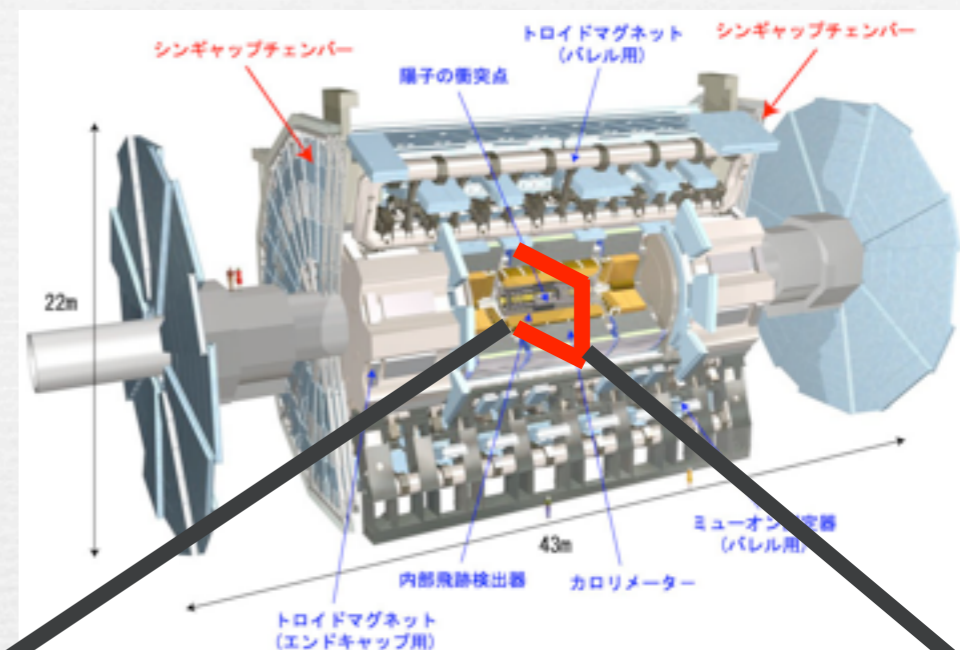


粒子の種類、エネルギー、運動量を測定

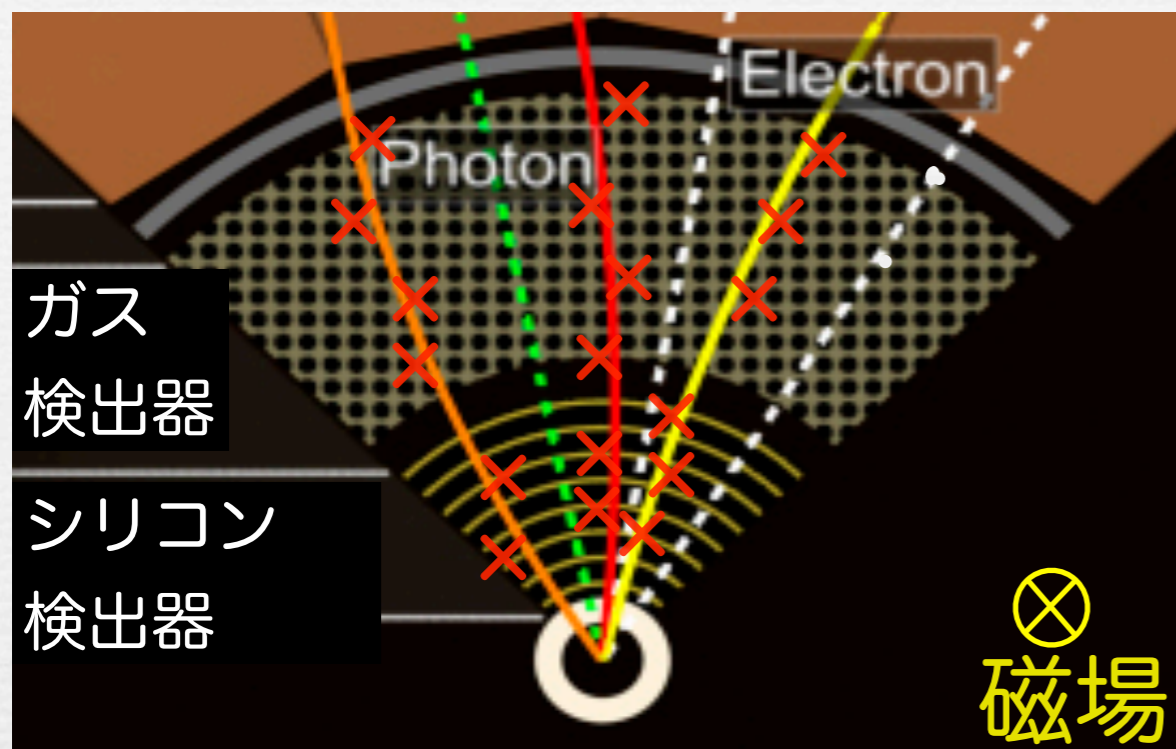
運動量測定 (飛跡検出器)



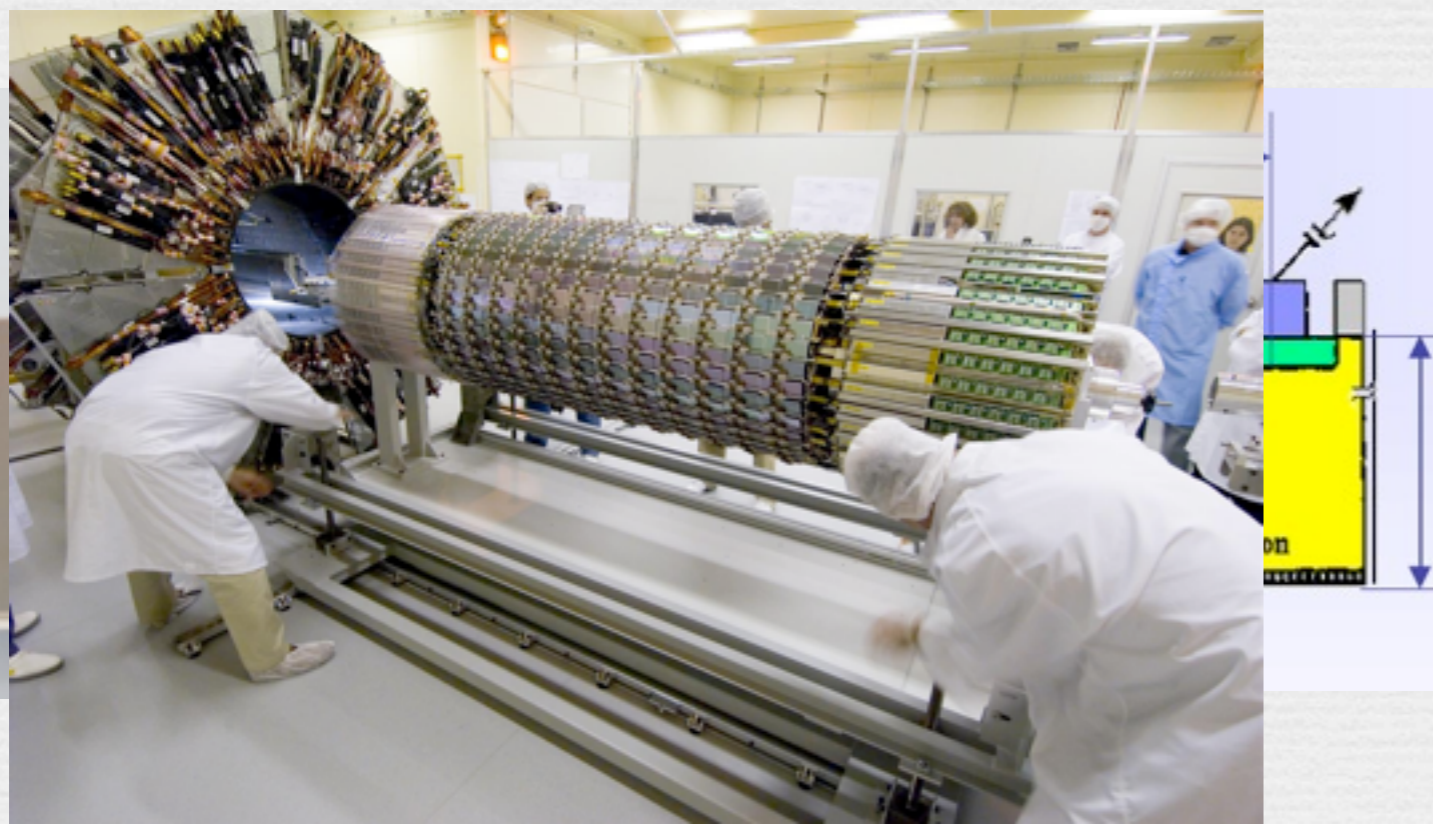
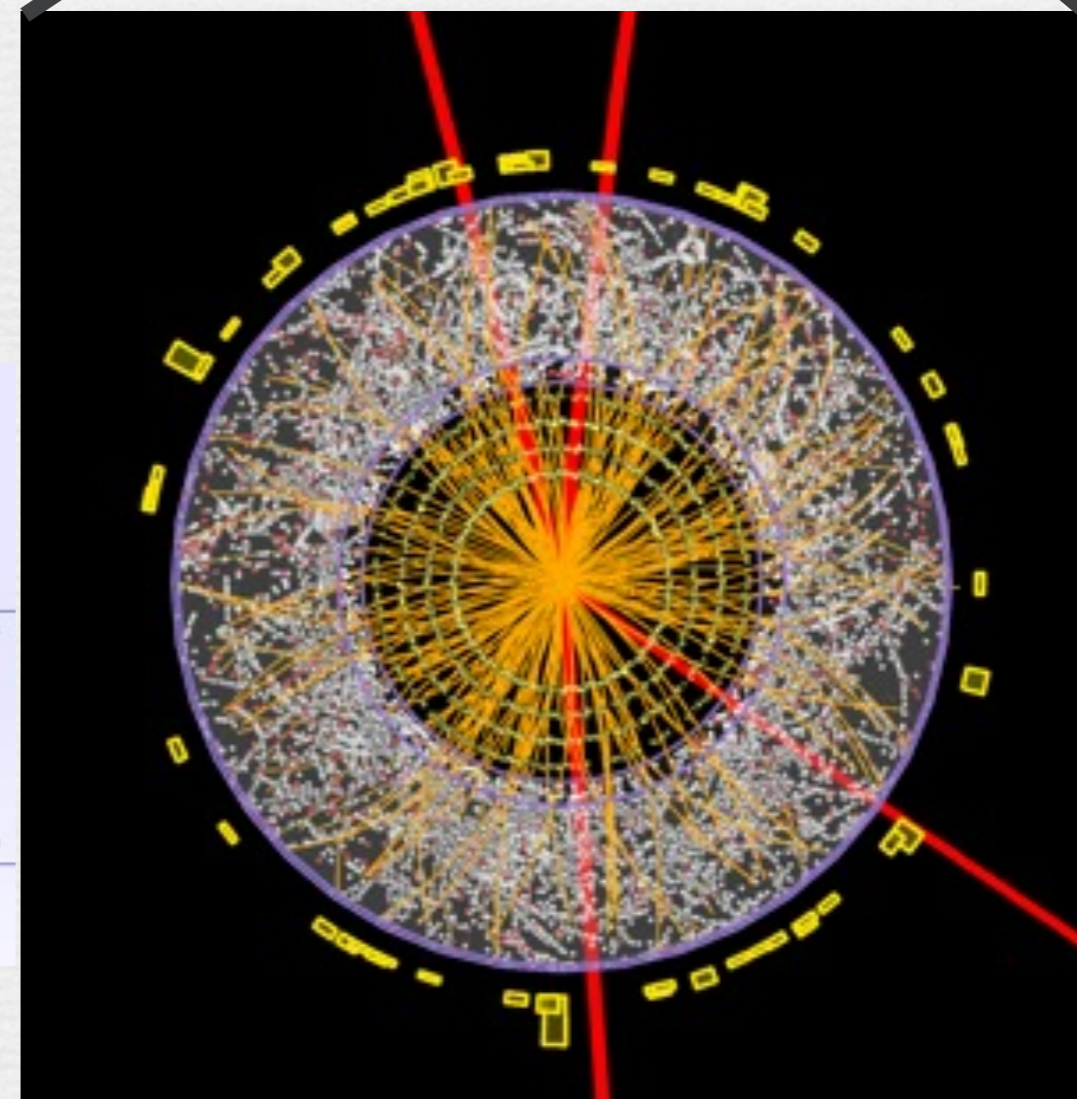
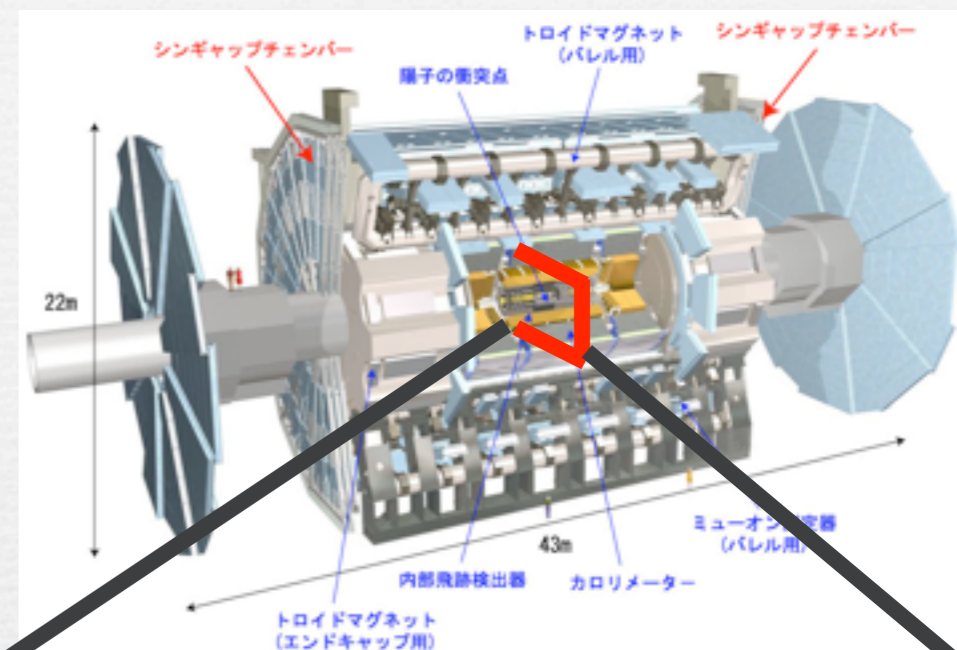
$$(\text{運動量}) = 0.3 \times (\text{磁場}) \times (\text{半径})$$



運動量測定 (飛跡検出器)



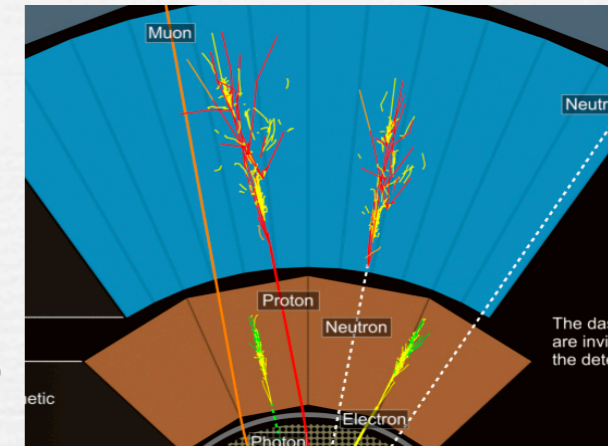
$$(\text{運動量}) = 0.3 \times (\text{磁場}) \times (\text{半径})$$



エネルギー測定器（カロリメータ）

光子/電子、ハドロン(複数のクォークからなる粒子)を物質で止める

→ そのとき出る光や熱を電気信号として捉える

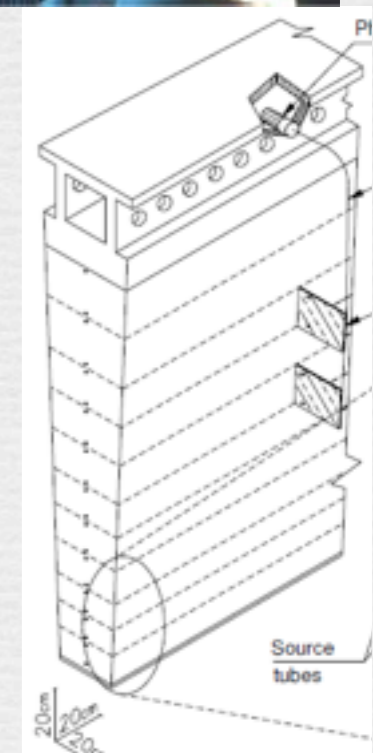
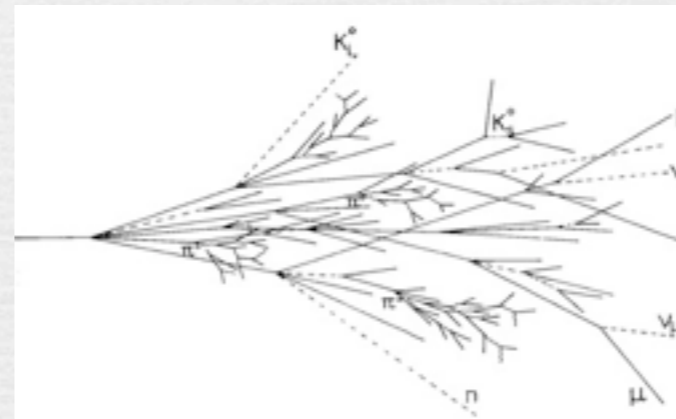
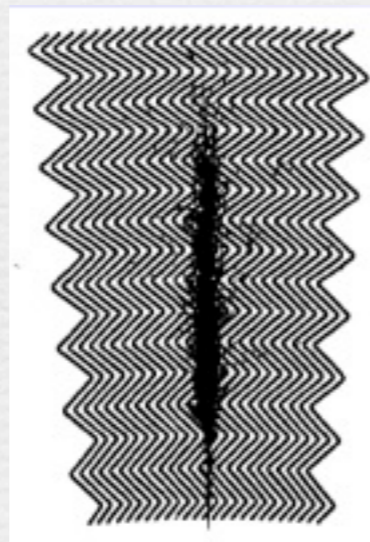


○ ATLAS 電磁カロリメータ

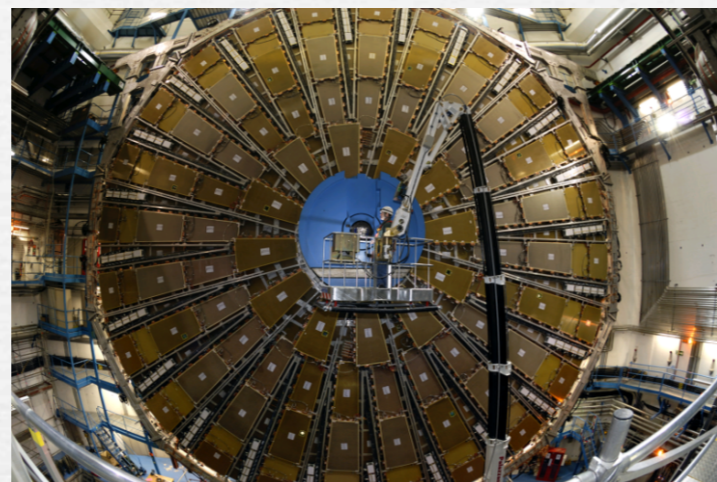
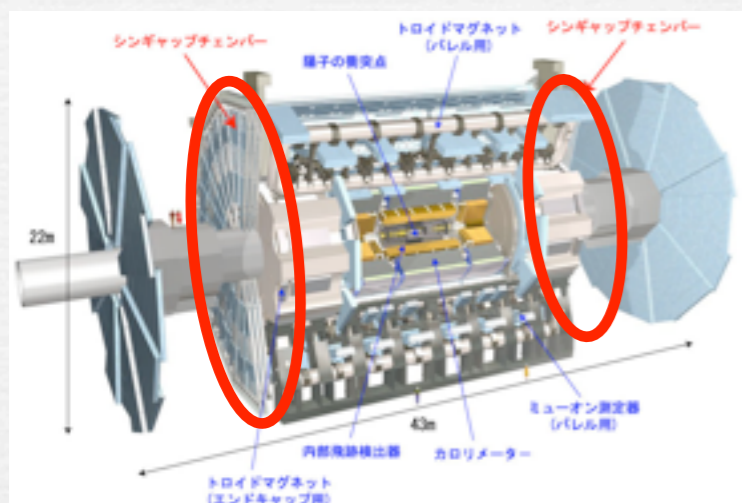
液体アルゴン+鉛/鉄+銅読み出し板

○ ATLAS ハドロンカロリメータ

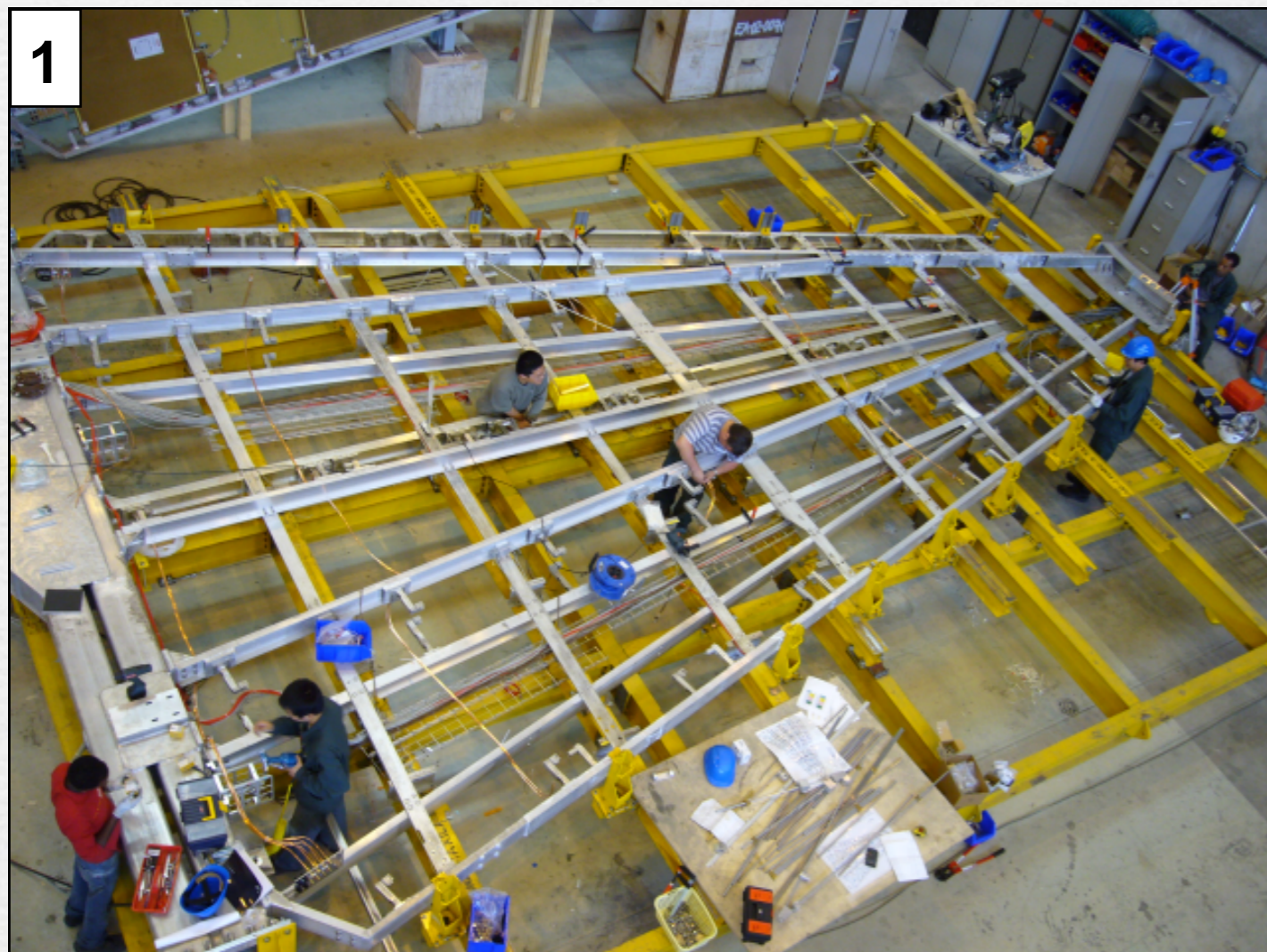
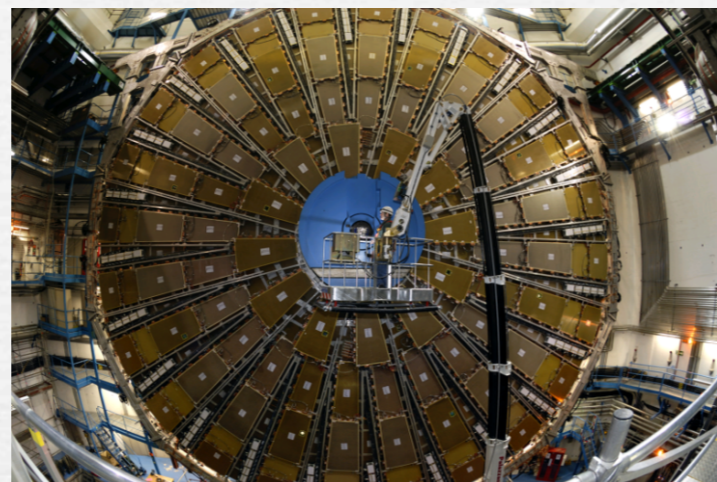
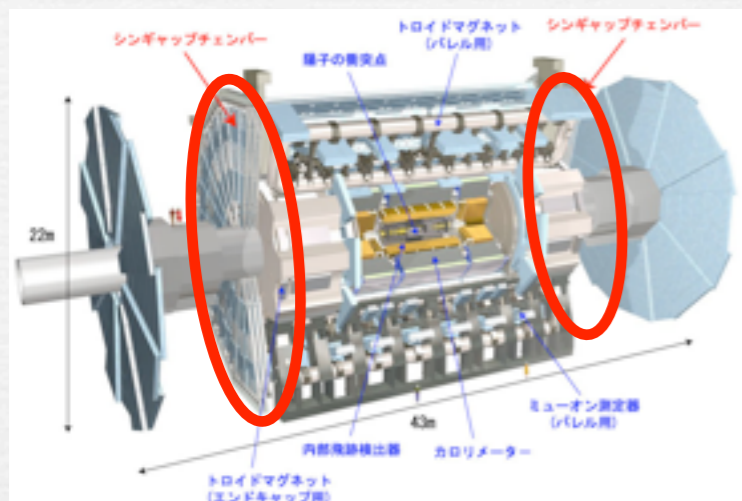
鉄+シンチレータ



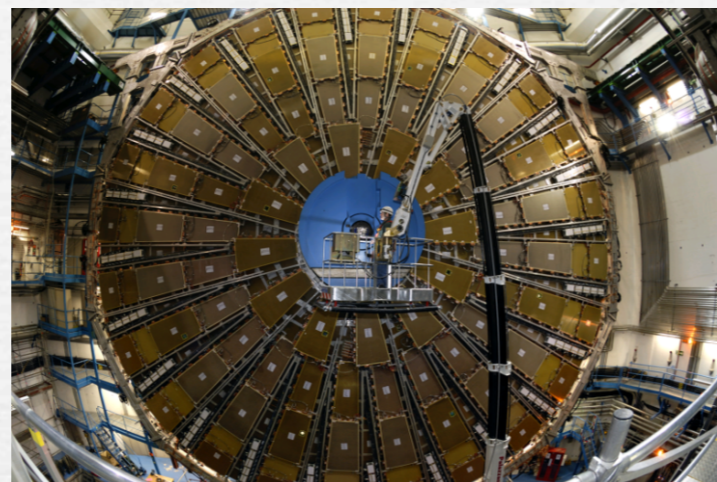
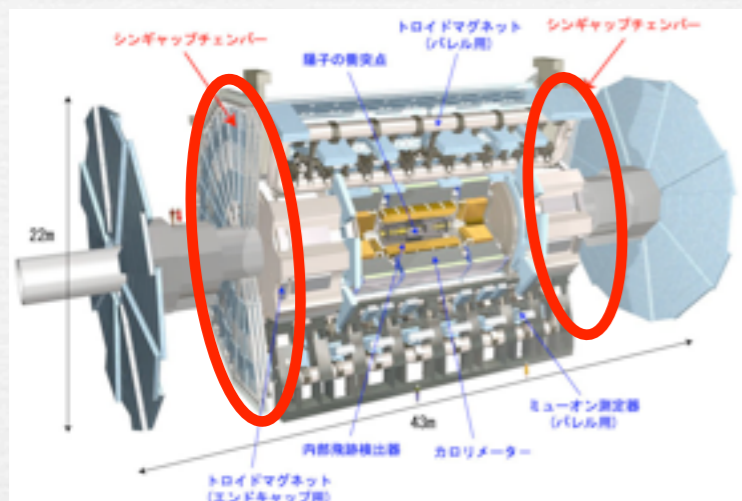
μ 粒子検出器の組み立て



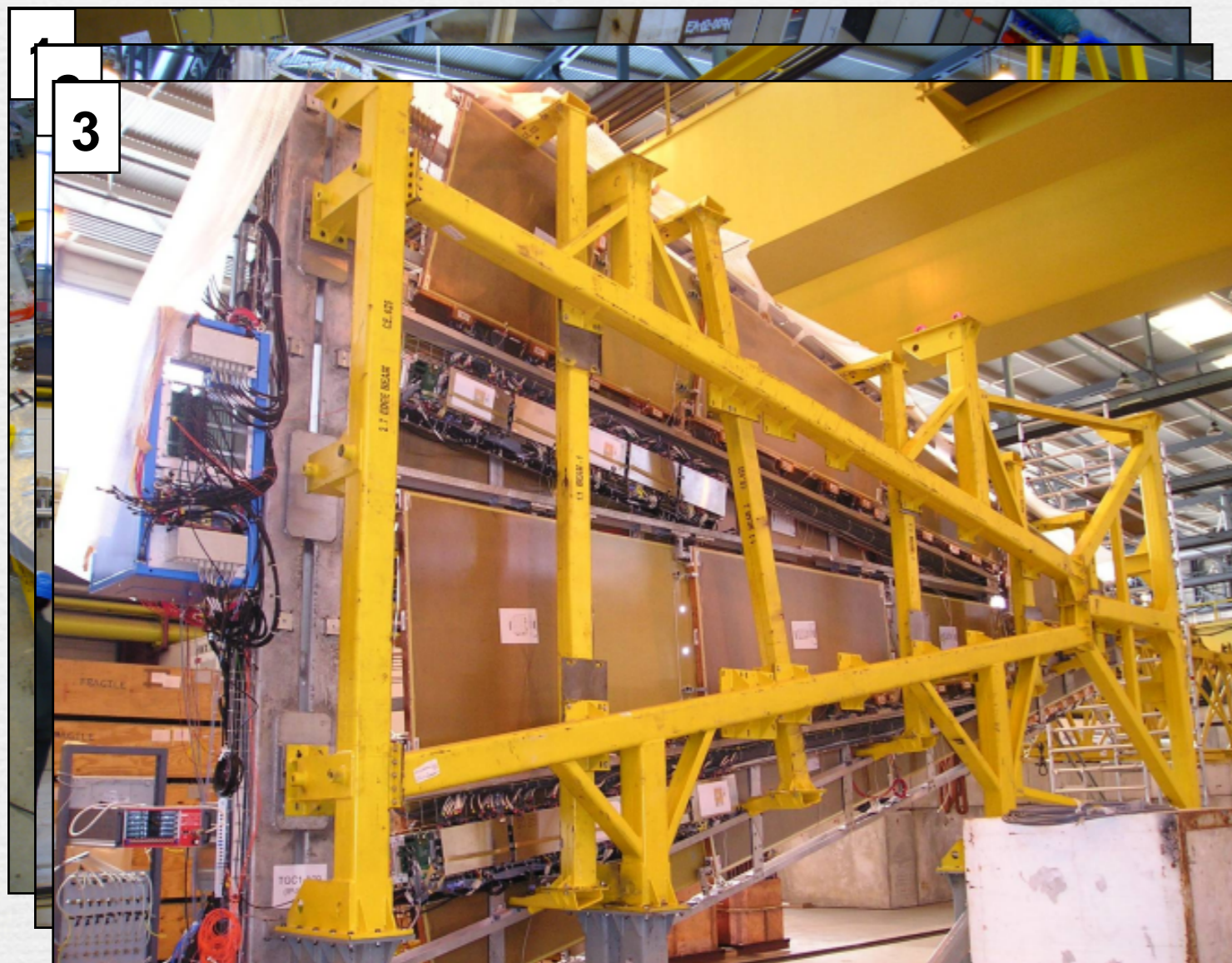
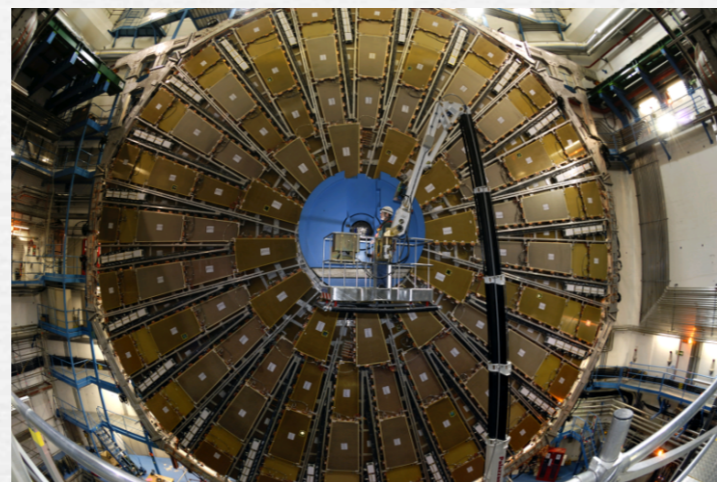
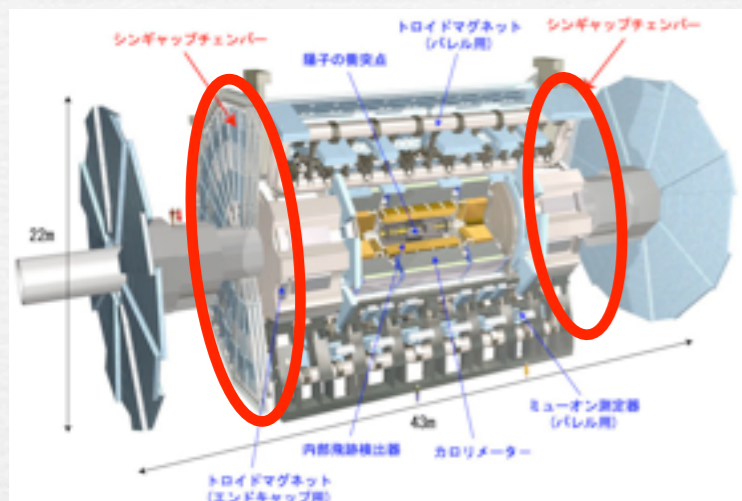
μ 粒子検出器の組み立て



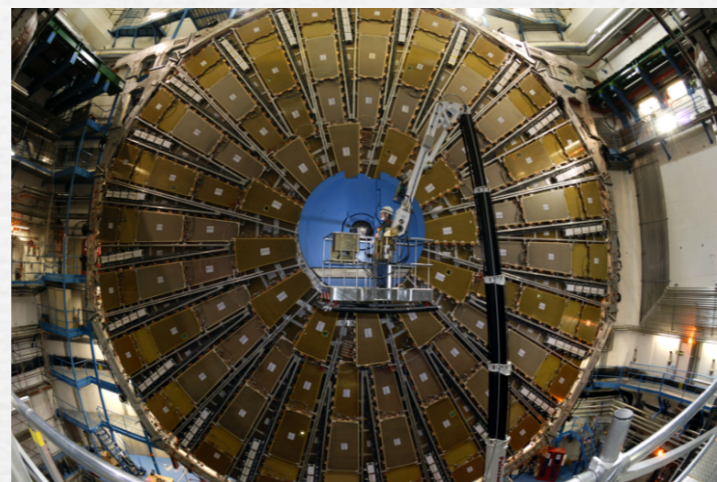
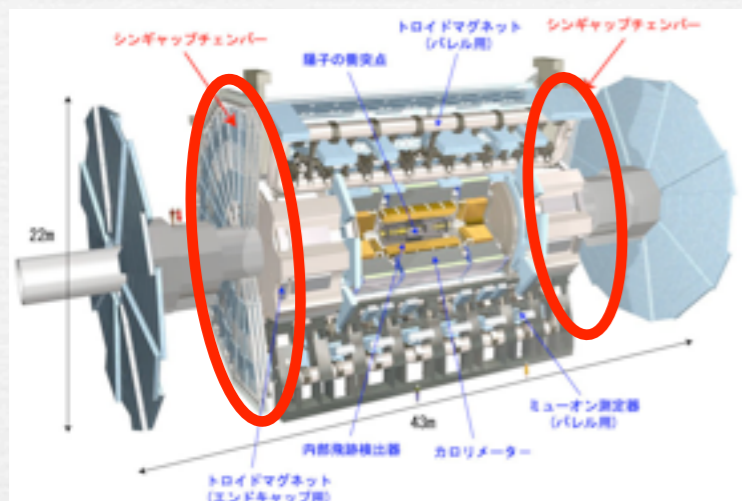
μ 粒子検出器の組み立て



μ 粒子検出器の組み立て



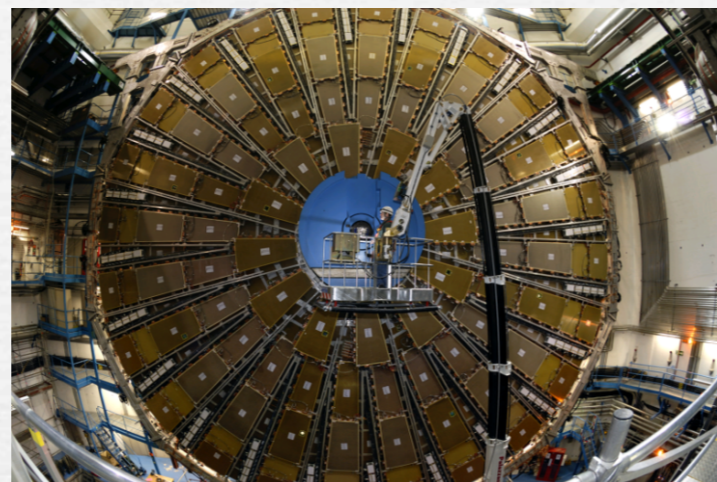
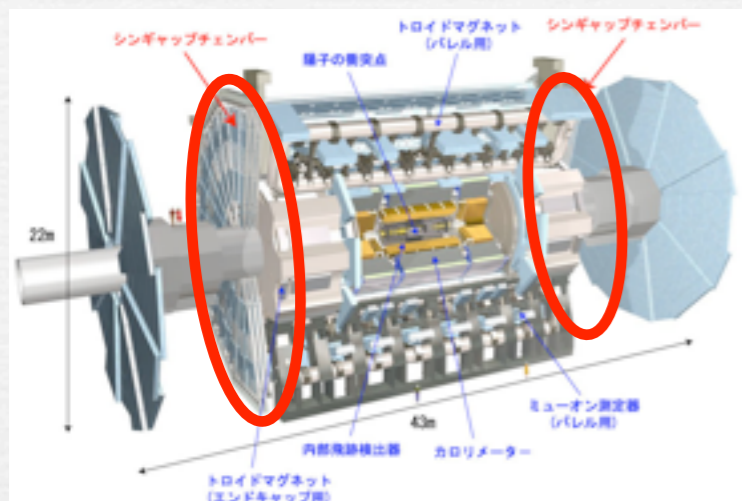
μ 粒子検出器の組み立て



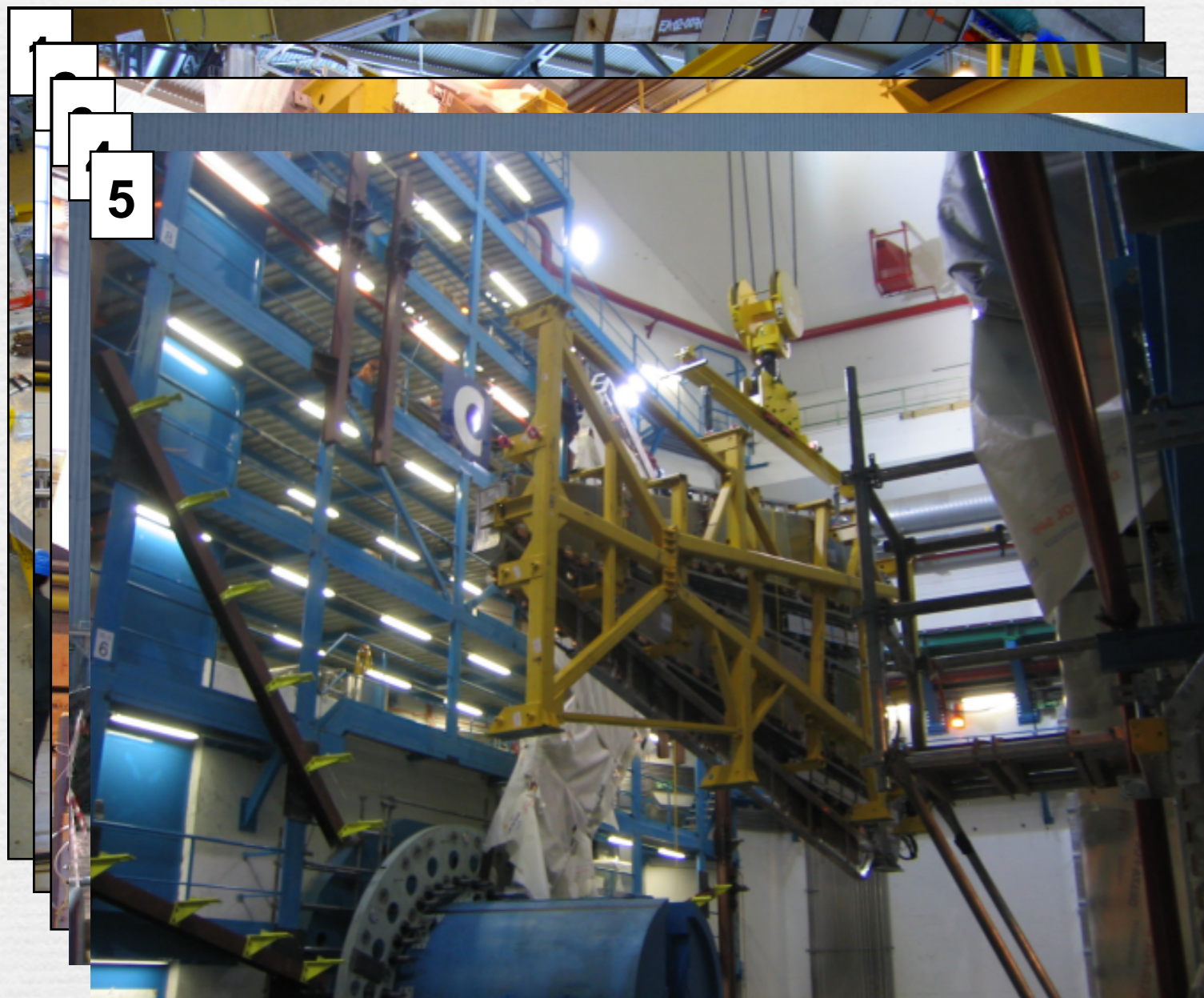
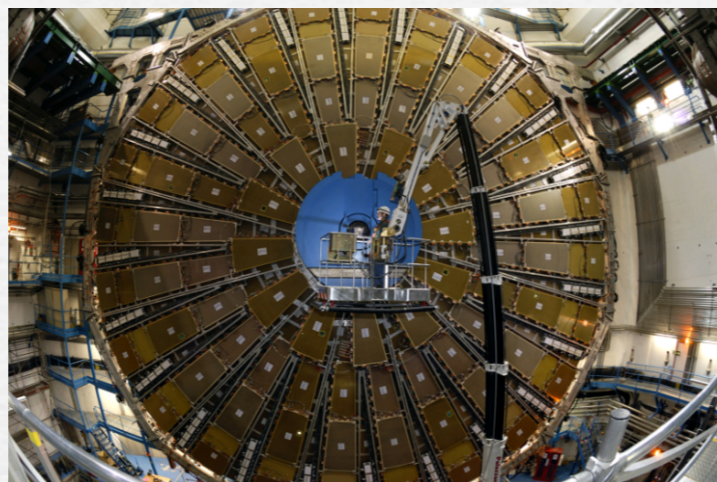
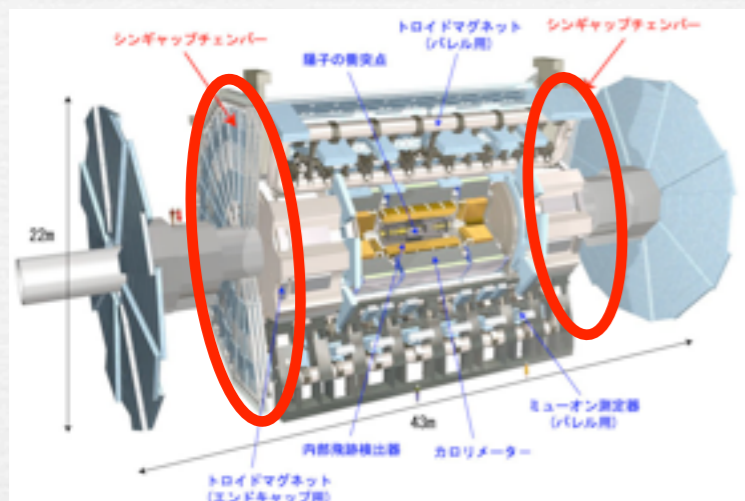
4



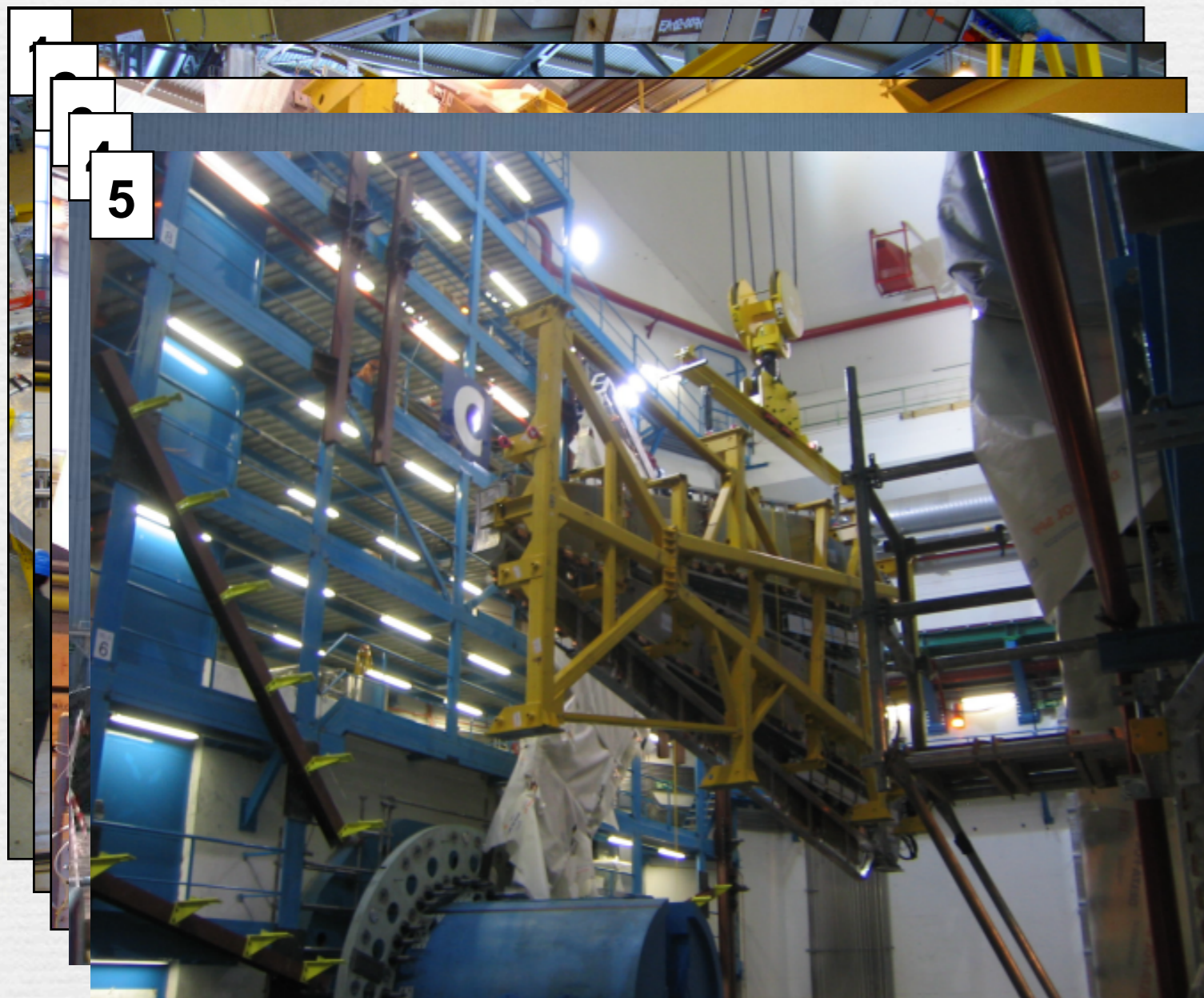
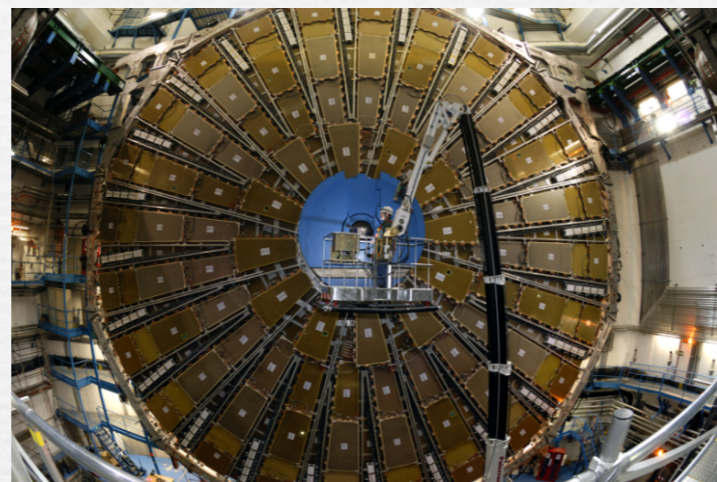
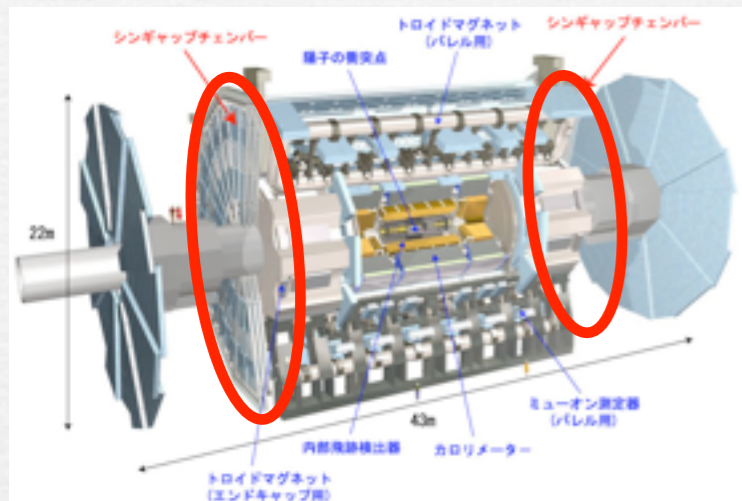
μ 粒子検出器の組み立て



μ 粒子検出器の組み立て



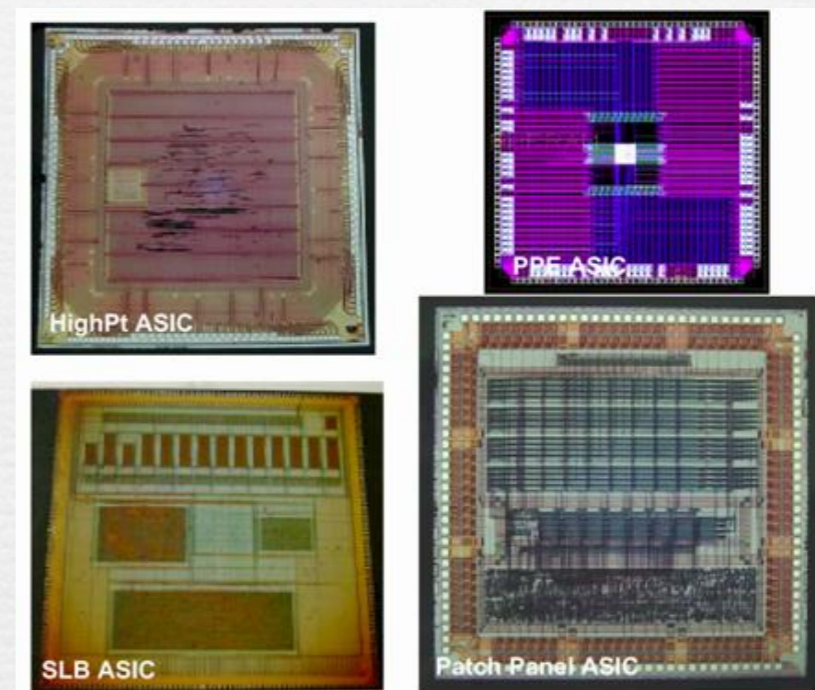
μ 粒子検出器の組み立て



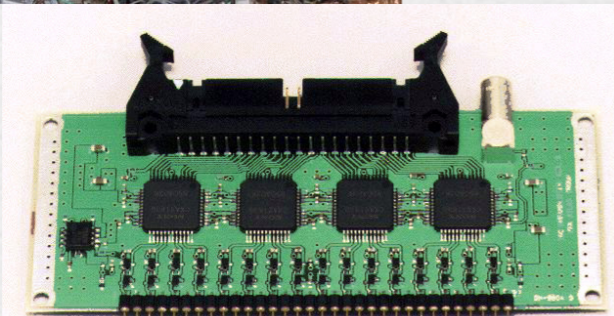
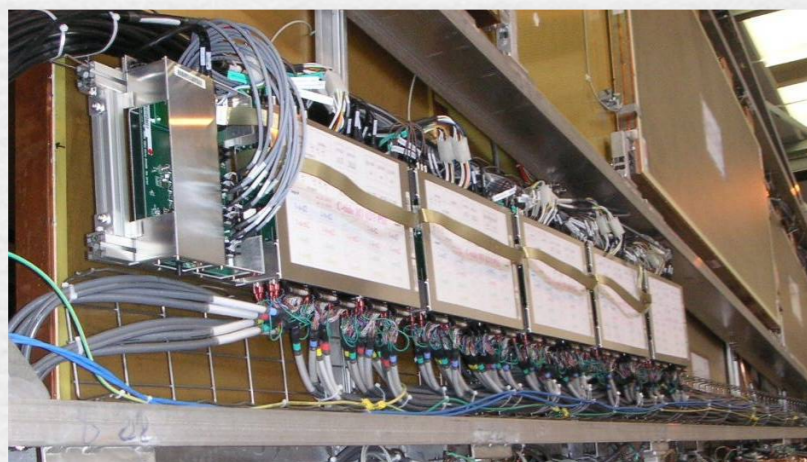
検出器の建設



32万チャンネルの回路も研究者の手作り



若い学生達が頑張っています！！！！



LHC建設に貢献した主な日本企業

古河電気工業	LHC加速器	超伝導ケーブル
新日本製鐵	LHC加速器	双極電磁石の特殊ステンレス材
東芝	LHC加速器	収束用超伝導四極電磁石
JFEスチール	LHC加速器	電磁石用非磁性鋼材
カネカ	LHC加速器	電磁石用ポリイミド絶縁テープ
IHI (+Linde)	LHC加速器	低温ヘリウムコンプレッサー
東芝	アトラス	超伝導ソレノイド
浜松ホトニクス	アトラス, CMS, LHCb	シリコン検出器, 光電子増倍管, 光検出ダイオード
川崎重工業	アトラス, CMS	液体Arカロリメータ容器, 鉄構造体
林栄精器	アトラス	ワイヤーチェンバー
東芝	アトラス	信号読み出し集積回路
ソニー	アトラス	検出器信号アンプ
ジーエヌディー	アトラス	トリガー用電子回路
フジクラ	アトラス	耐放射線性光ファイバー
クラレ	アトラス	シンチレーションファイバー
有沢製作所	アトラス	銅箔ポリイミド電極シート

新粒子の発見とその意義

陽子・陽子衝突

陽子・陽子衝突

陽子・陽子衝突

ボール同士の衝突：次の反応が予測可能

陽子・陽子衝突

ボール同士の衝突：次の反応が予測可能



陽子同士の衝突：次の反応は予測不可能
反応の起こる確率は解る

陽子・陽子衝突

反応	反応頻度
LHC加速器で起こる任意の反応 (ほとんど、軽いクォーク、グルーオン)	毎秒 5千万 回
ヒッグス粒子生成	100秒間に1回



陽子同士の衝突：次の反応は予測不可能
反応の起こる確率は解る

陽子・陽子衝突

反応	反応頻度
LHC加速器で起こる任意の反応 (ほとんど、軽いクォーク、グルーオン)	毎秒 5千万 回
ヒッグス粒子生成	100秒間に1回

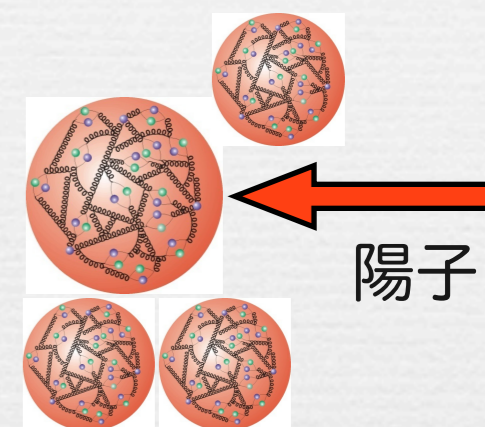
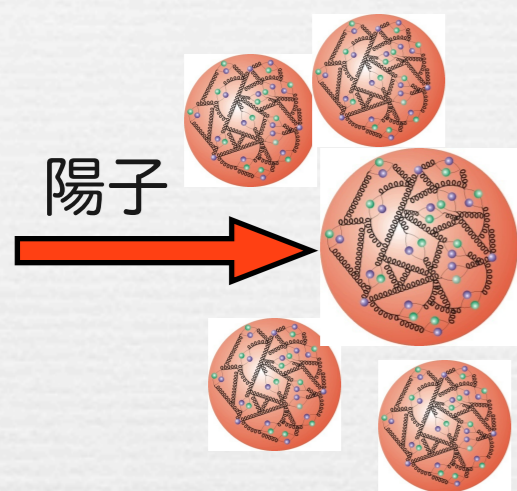
ヒッグス粒子は、
5,000,000,000(五十億)回に1回程度しか生成しない！



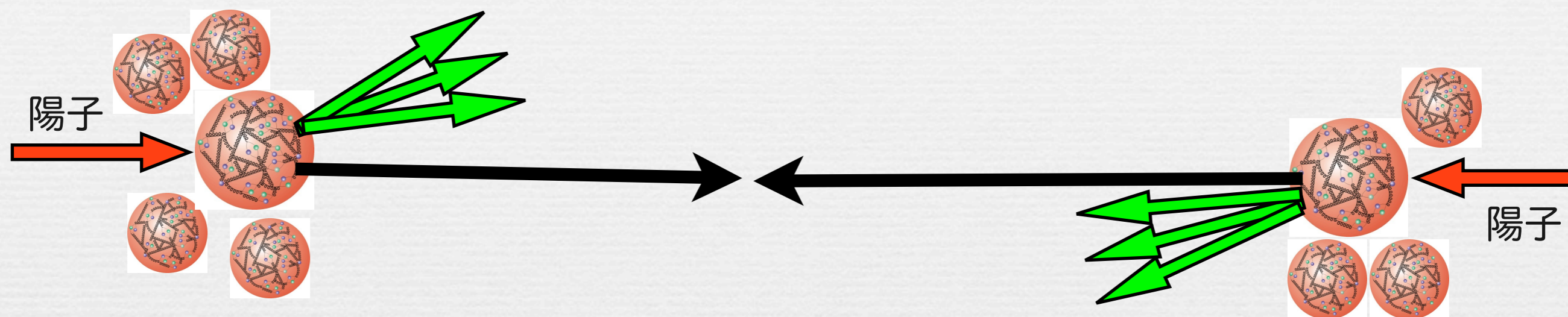
陽子同士の衝突：次の反応は予測不可能
反応の起こる確率は解る

陽子・陽子衝突

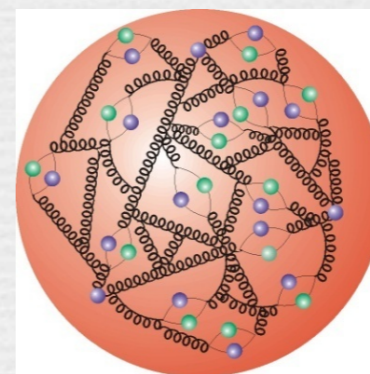
陽子・陽子衝突



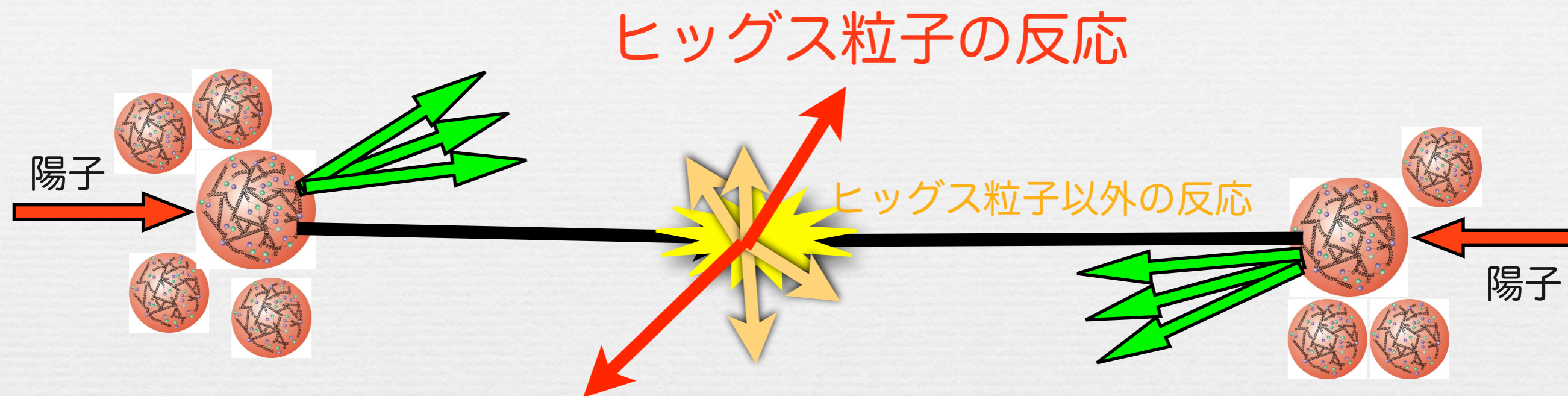
陽子・陽子衝突



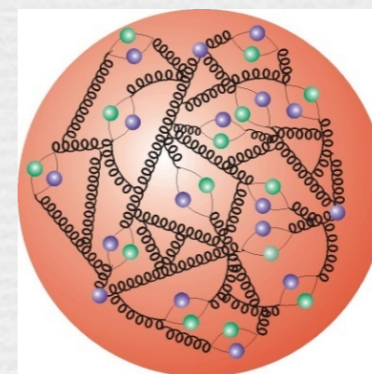
陽子の中は沢山のクォーク、グルーオン
一部だけが衝突による反応に関与



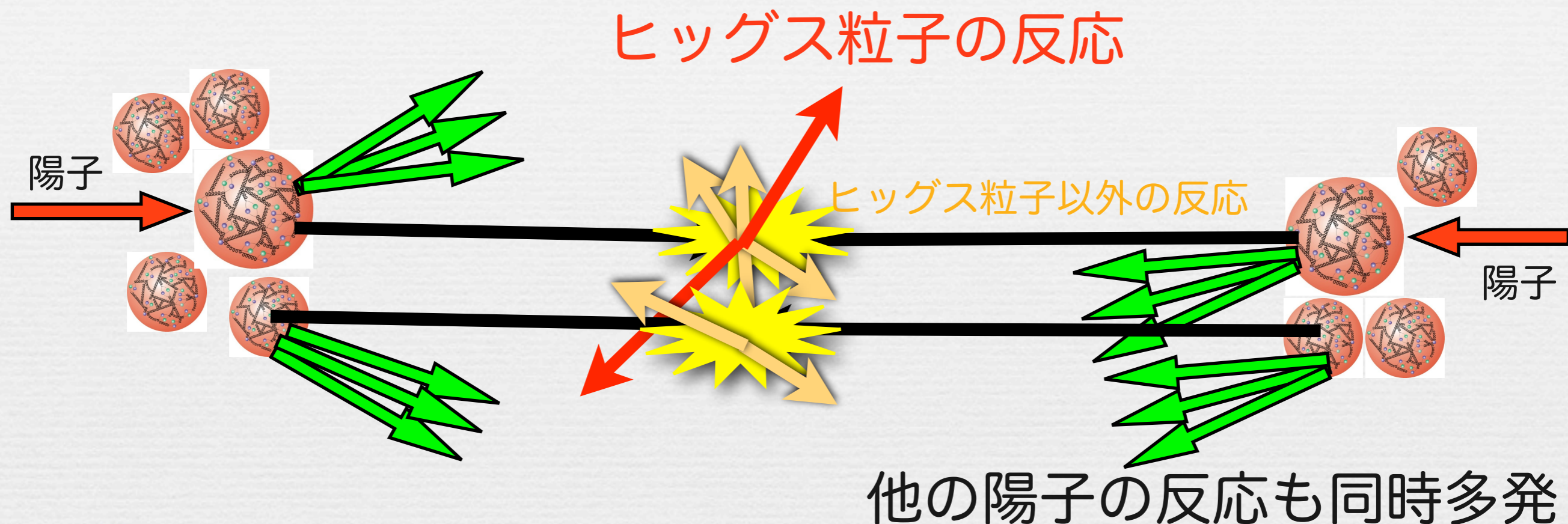
陽子・陽子衝突



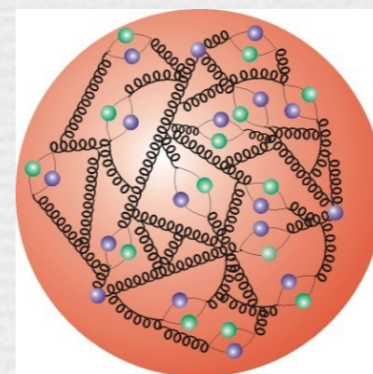
陽子の中は沢山のクォーク、グルーオン
一部だけが衝突による反応に関与



陽子・陽子衝突

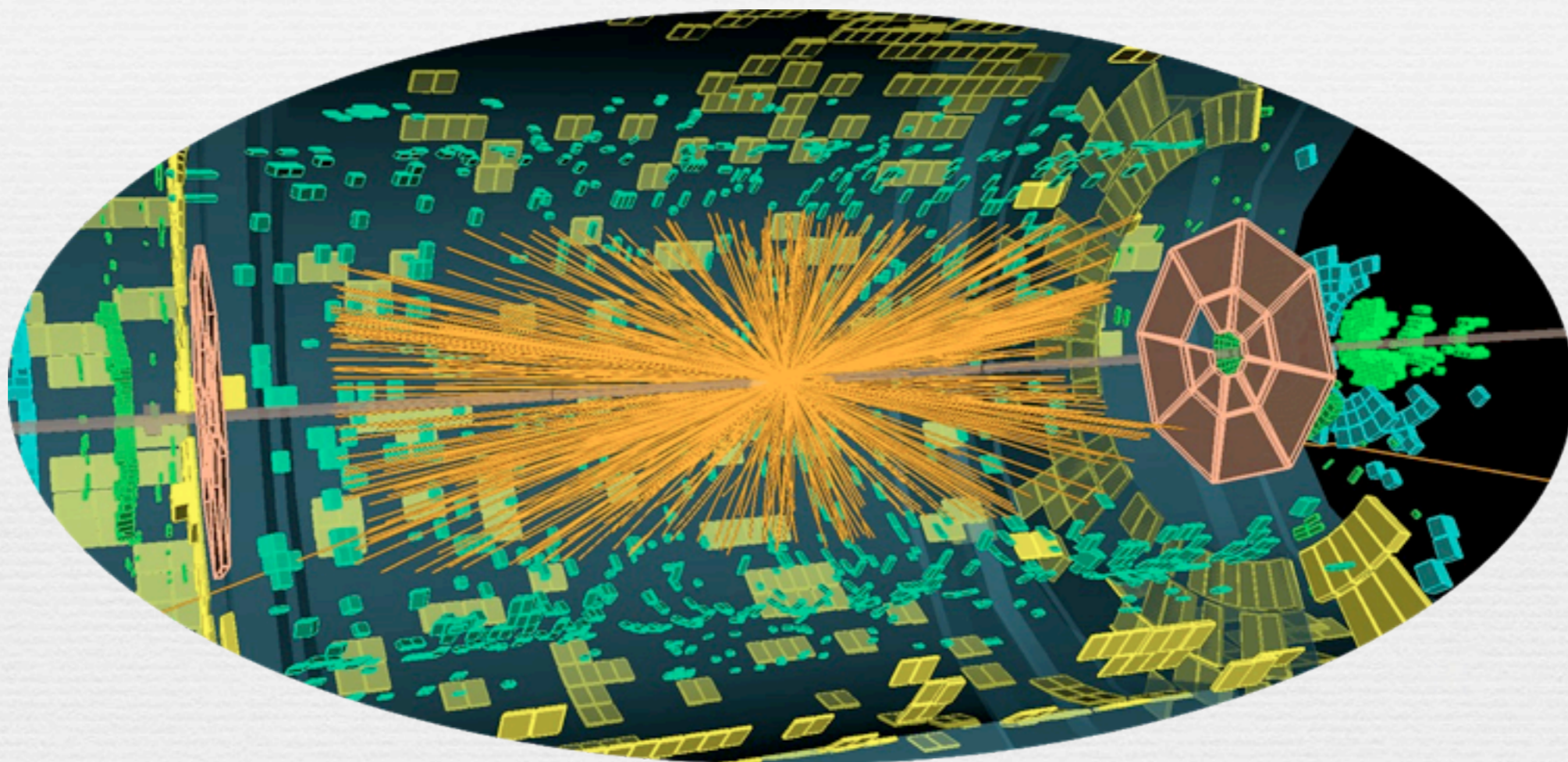


陽子の中は沢山のクォーク、グルーオン
一部だけが衝突による反応に関与



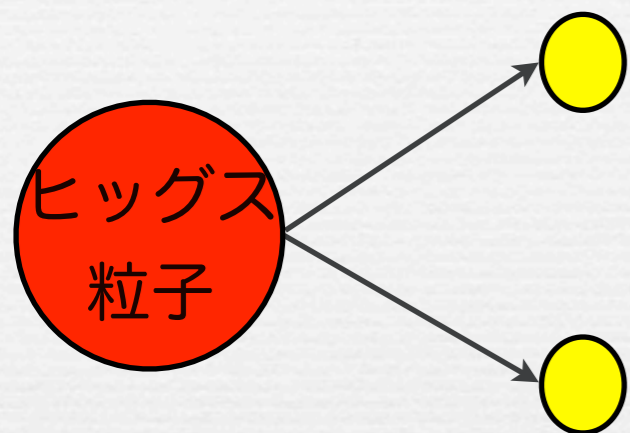
実際の陽子陽子衝突反応

全ての反応は、無数の安定粒子になる
ヒッグス粒子があってもなくても



ヒッグス粒子の崩壊過程を理解する
ヒッグス粒子を含む事象(50億分の1)を選ぶ
ヒッグス粒子から崩壊した安定粒子を選ぶ
ヒッグス粒子を復元する

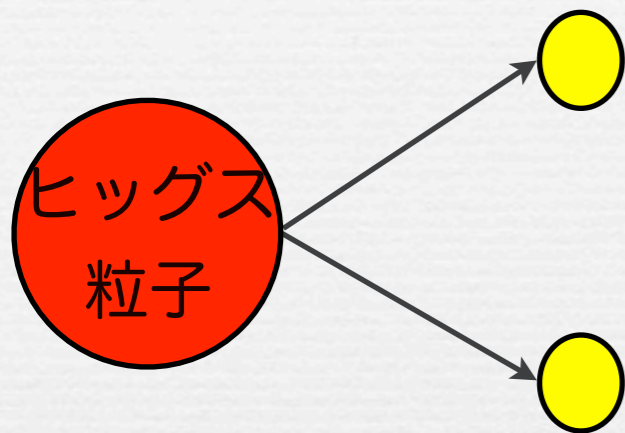
ヒッグス粒子が何に化けるか？



ヒッグス粒子は、質量の大きな素粒子が好き
確率はわかるが、何に化けるかはわからない

$t\bar{t}$, ZZ , W^+W^- , $b\bar{b}$, $\tau^+\tau^-$, ... 光子 光子

ヒッグス粒子が何に化けるか？



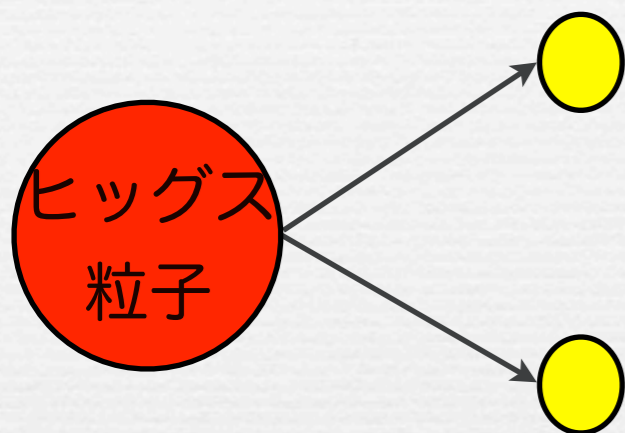
ヒッグス粒子は、質量の大きな素粒子が好き
確率はわかるが、何に化けるかはわからない

~~$t\bar{t}$~~ , ZZ , W^+W^- , $b\bar{b}$, $\tau^+\tau^-$, ... 光子 光子

重すぎ

解析のレベルが高い

ヒッグス粒子が何に化けるか？



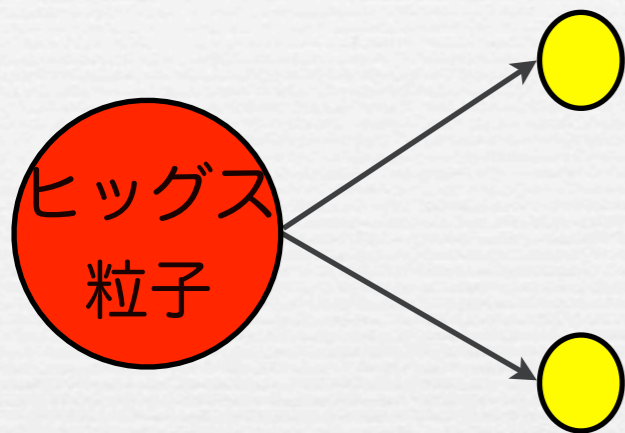
ヒッグス粒子は、質量の大きな素粒子が好き
確率はわかるが、何に化けるかはわからない

~~$t\bar{t}$~~ , ZZ , W^+W^- , $b\bar{b}$, $\tau^+\tau^-$, ... $\gamma\gamma$

重すぎ
解析のレベルが高い

ヒッグス粒子が何に化けるか？

ヒッグス粒子は、質量の大きな素粒子が好き
確率はわかるが、何に化けるかはわからない



~~$t\bar{t}$~~ , ZZ , W^+W^- , $b\bar{b}$, $\tau^+\tau^-$, ... 光子 光子

重すぎ 解析のレベルが高い

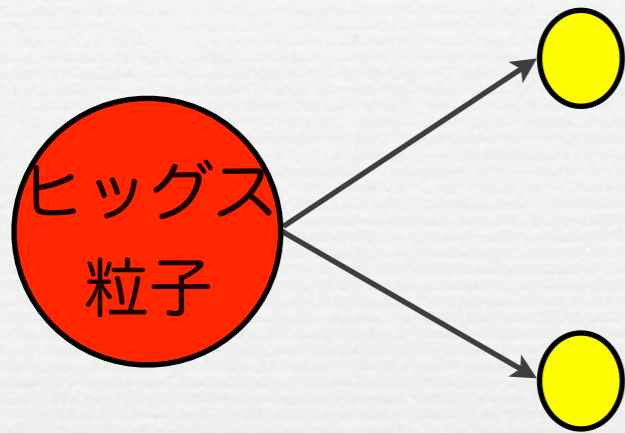
Z粒子はさらに軽い粒子に化ける

$Z \rightarrow$ 電子(e^-) + 陽電子(e^+)

μ 粒子(μ^-) + 反 μ 粒子(μ^+)

ヒッグス粒子が何に化けるか？

ヒッグス粒子は、質量の大きな素粒子が好き
確率はわかるが、何に化けるかはわからない



~~$t\bar{t}$~~ , ZZ , W^+W^- , $b\bar{b}$, $\tau^+\tau^-$, ... 光子 光子

重すぎ 解析のレベルが高い

Z粒子はさらに軽い粒子に化ける

$Z \rightarrow \text{電子}(e^-) + \text{陽電子}(e^+)$

$\mu \text{粒子}(\mu^-) + \text{反}\mu \text{粒子}(\mu^+)$

ヒッグス粒子 \rightarrow 光子 光子

ヒッグス粒子 $\rightarrow Z Z \rightarrow e^+e^- e^+e^-, e^+e^- \mu^+\mu^-, \mu^+ \mu^- \mu^+ \mu^-$

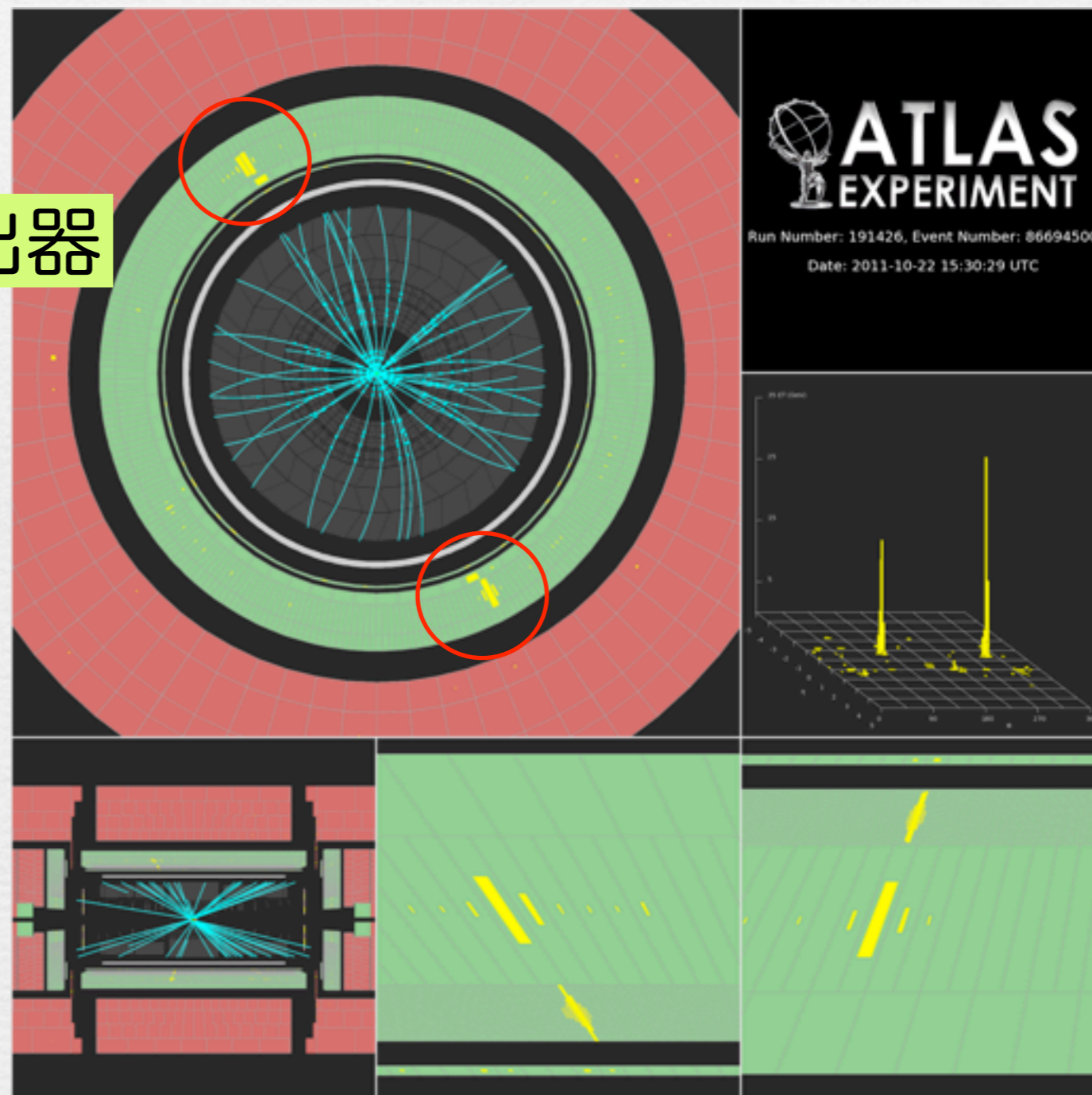
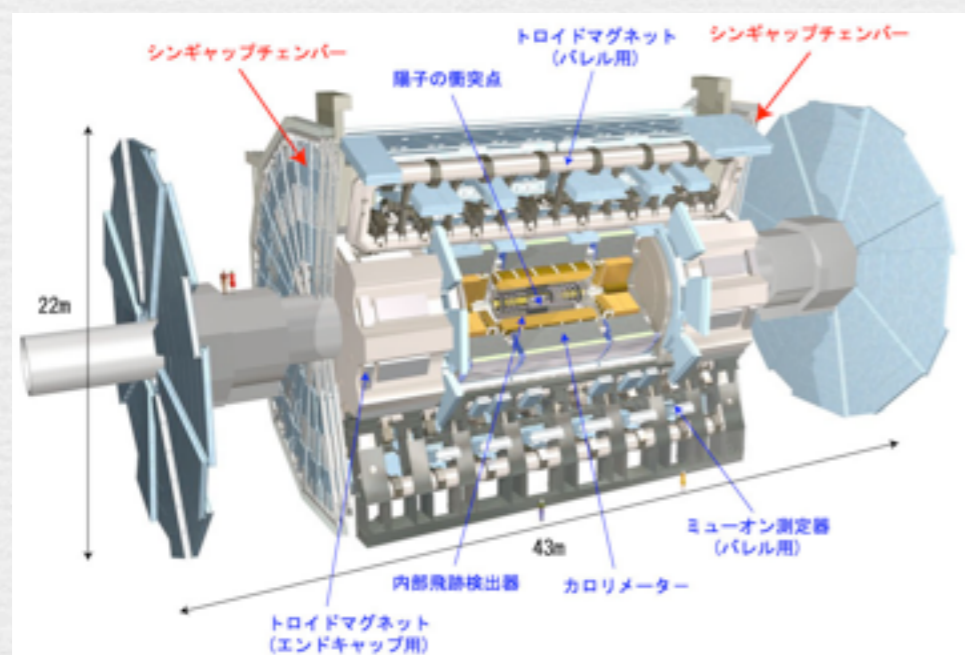
を例にして解析の詳細を紹介します

電子、 μ 粒子、光子からヒッグス粒子を「復元」する

ヒッグス粒子らしきイベントを集める

陽子 + 陽子 → ヒッグス粒子 → 光子 光子を探す
 → 2本の光子のあるイベントを沢山集める

電子・光子検出器



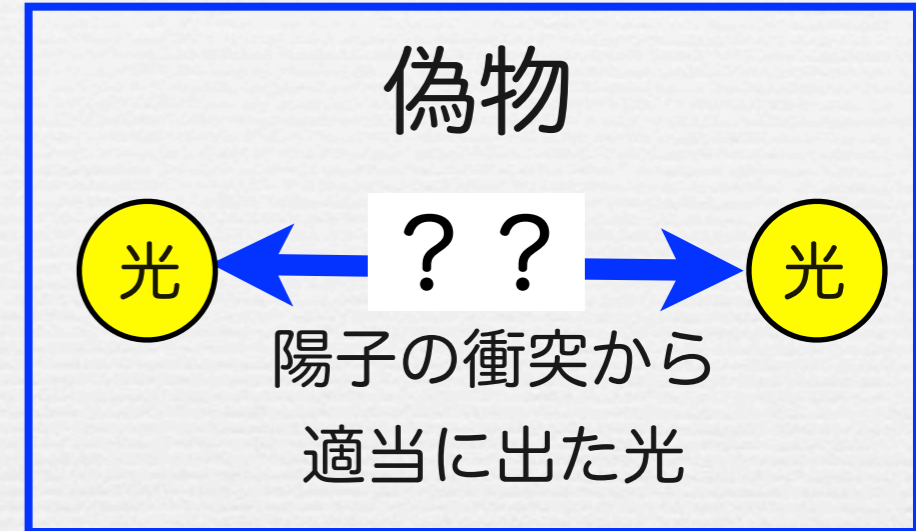
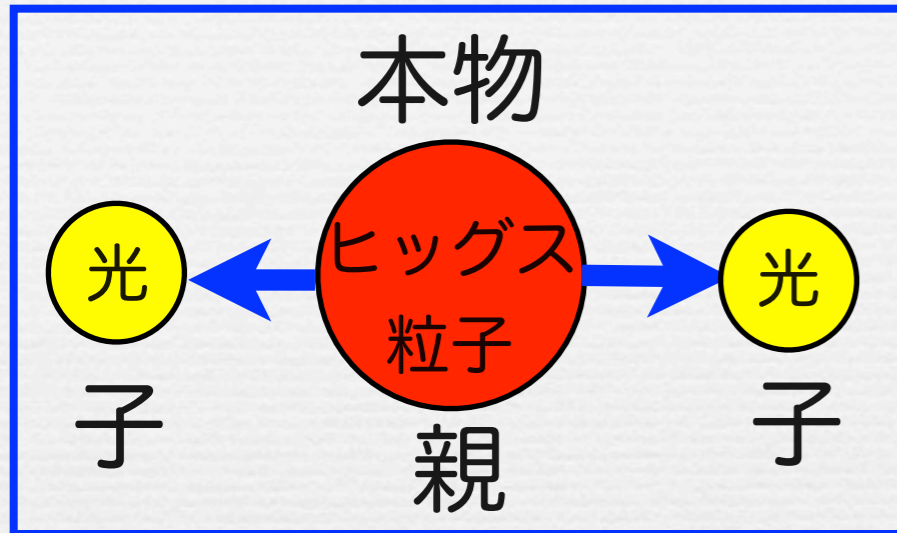
偽物：

陽子 + 陽子 → 光子 光子

光のエネルギー、運動量を検出器で測定

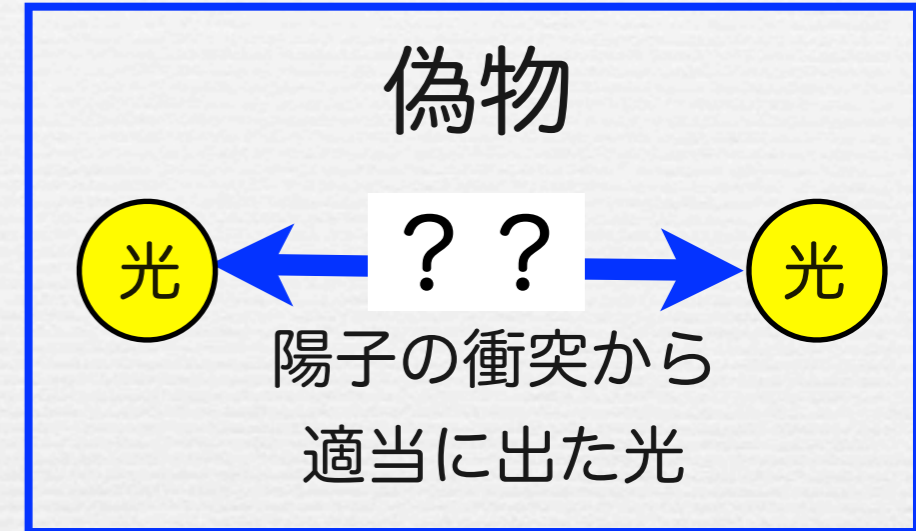
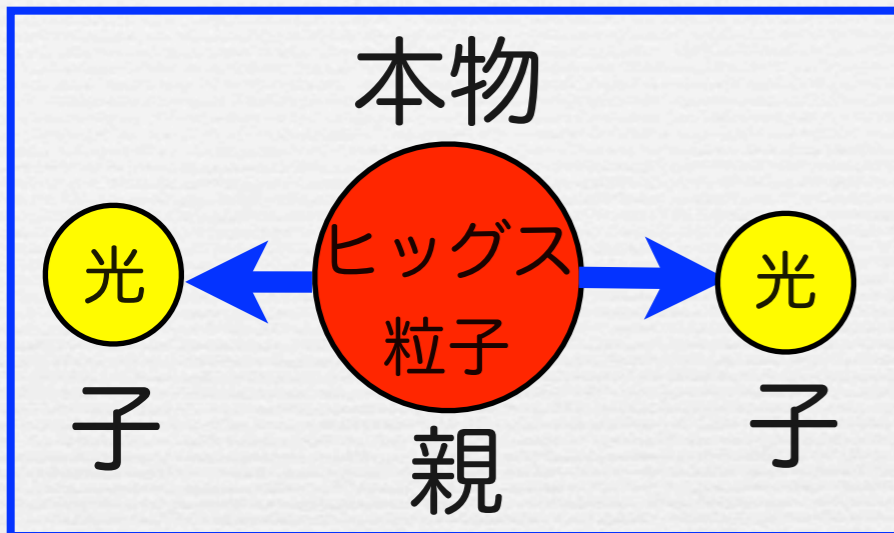
質量の復元

2本の光子のあるイベントは2種類に大別される



質量の復元

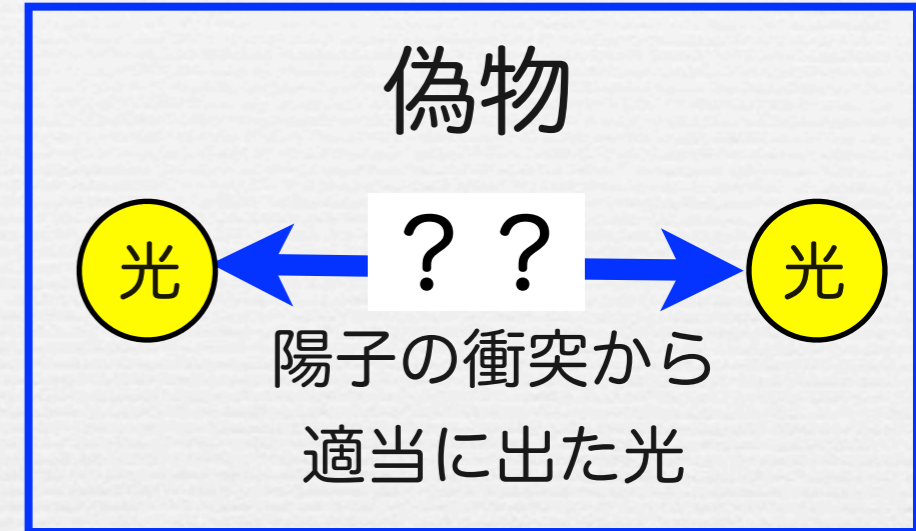
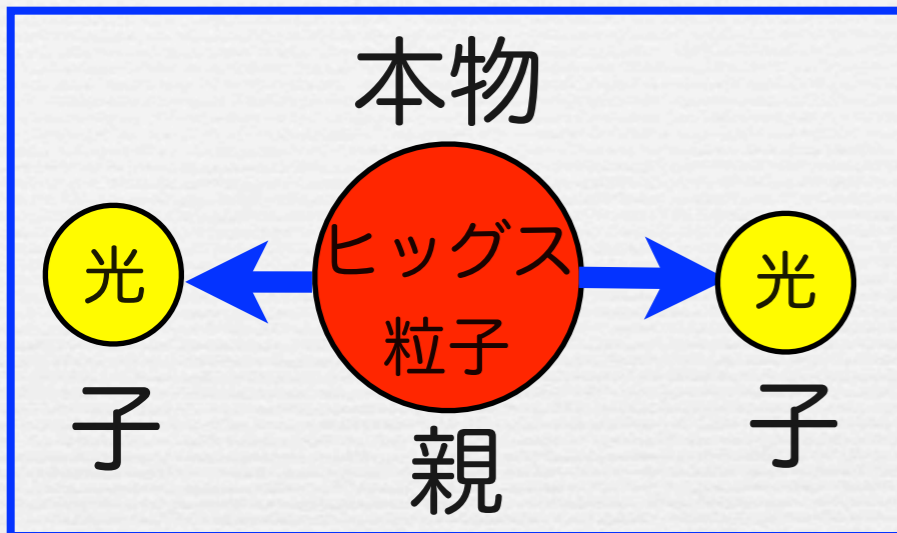
2本の光子のあるイベントは2種類に大別される



$$(親の質量)^2 = (子のエネルギー和)^2 - (子の運動量和)^2$$

質量の復元

2本の光子のあるイベントは2種類に大別される



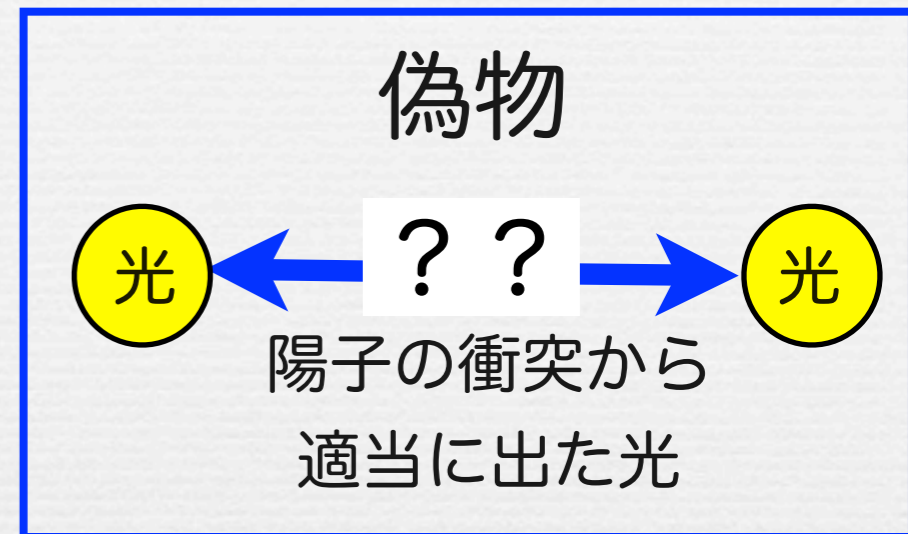
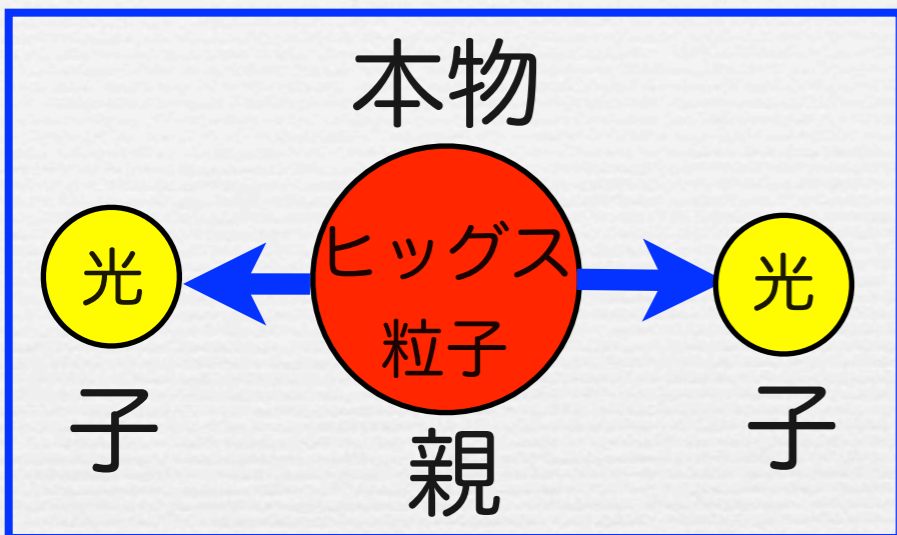
$$(親の質量)^2 = (子のエネルギー和)^2 - (子の運動量和)^2$$

ヒッグス粒子
||
の質量

||
適当な質量

質量の復元

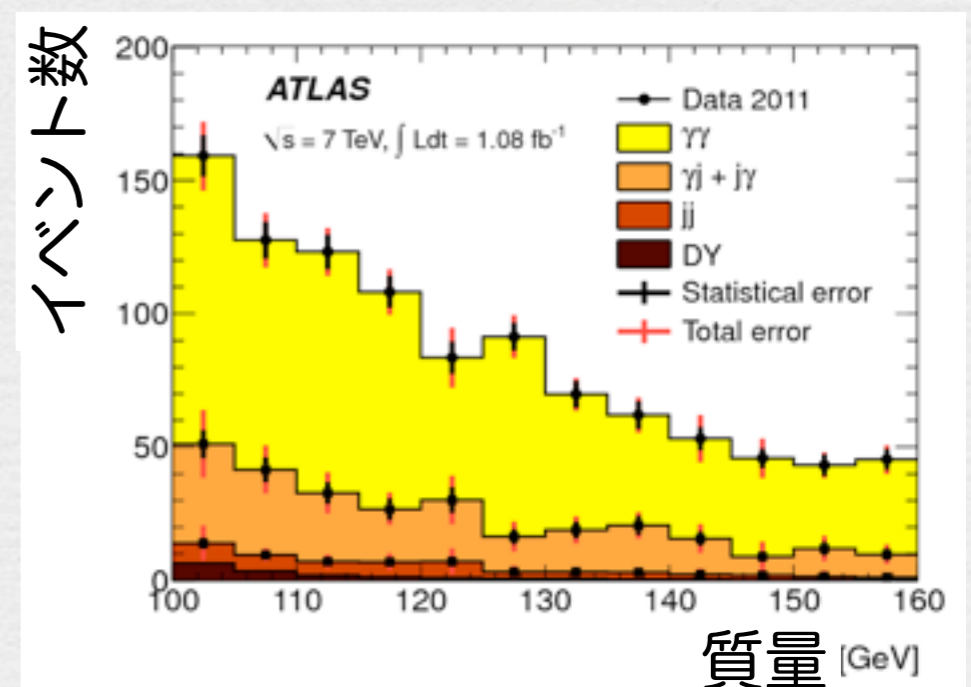
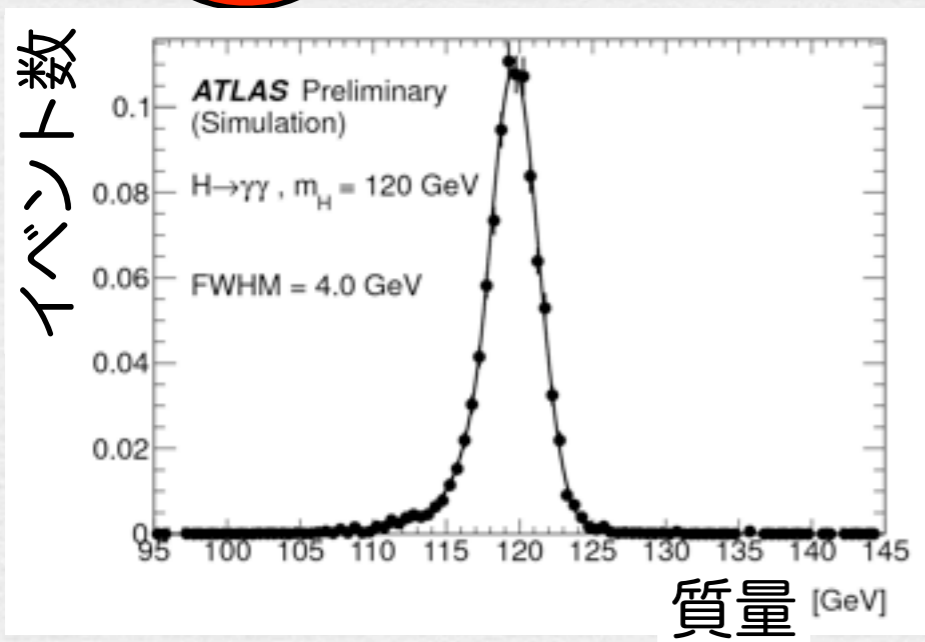
2本の光子のあるイベントは2種類に大別される



$$(親の質量)^2 = (子のエネルギー和)^2 - (子の運動量和)^2$$

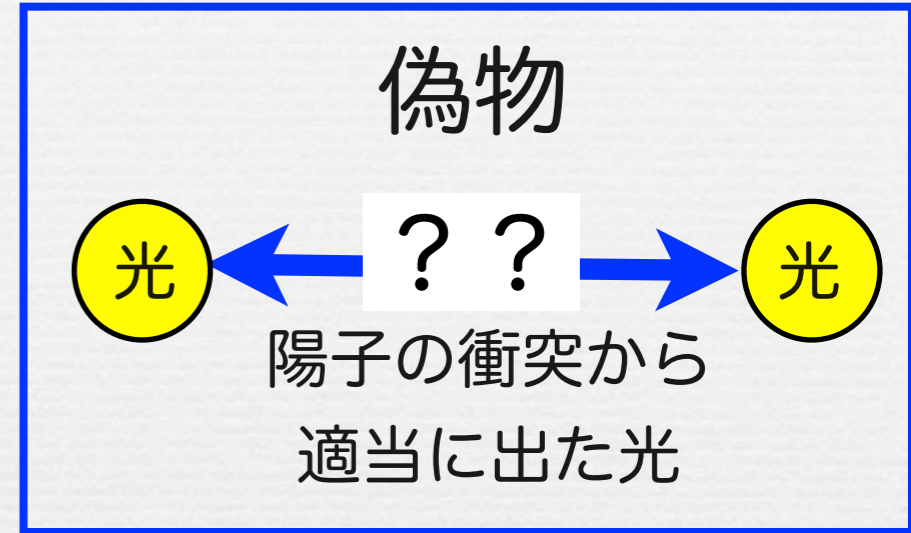
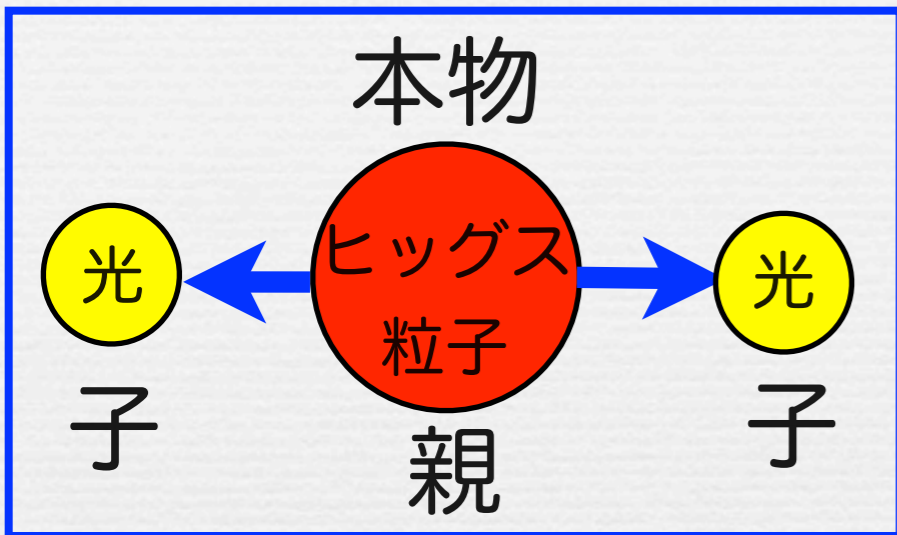
ヒッグス粒子
||
の質量

||
適当な質量



質量の復元

2本の光子のあるイベントは2種類に大別される



$(\text{親の質量})^2 =$

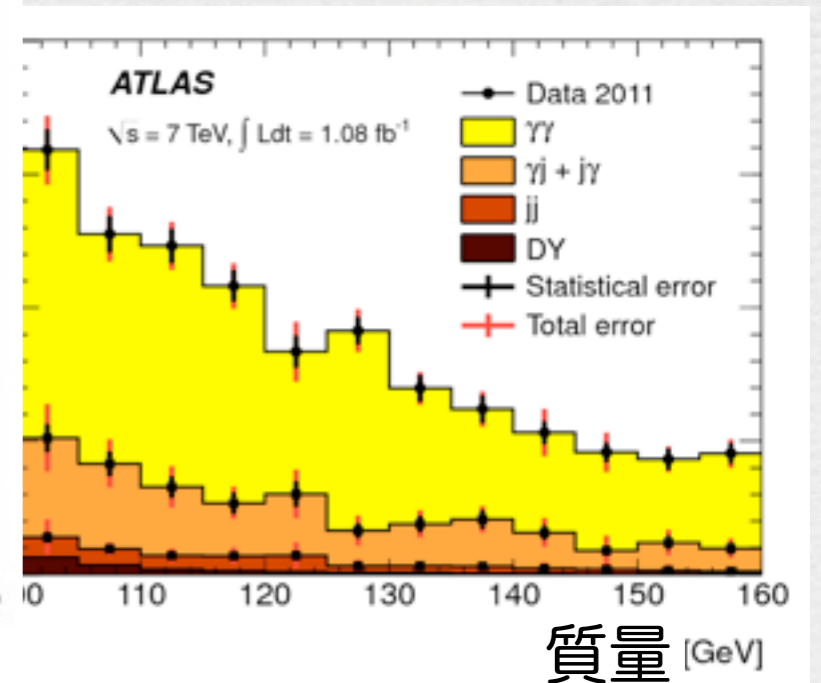
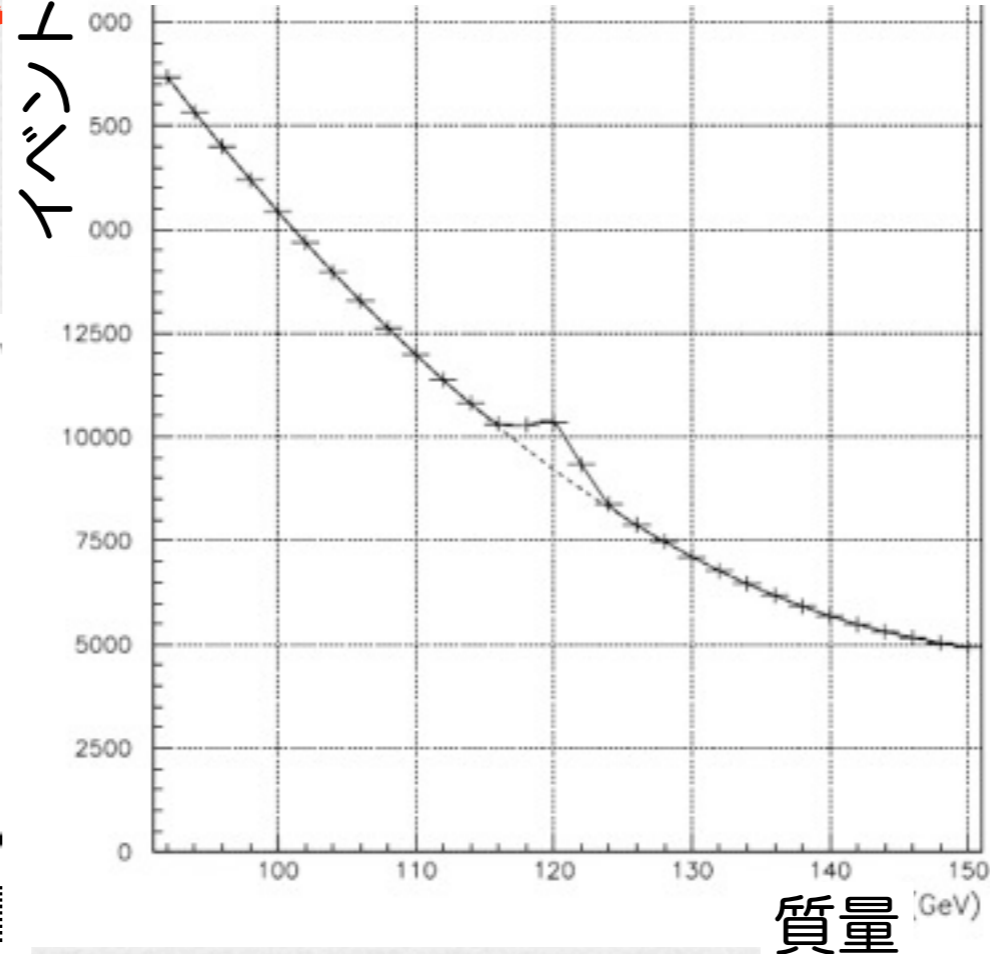
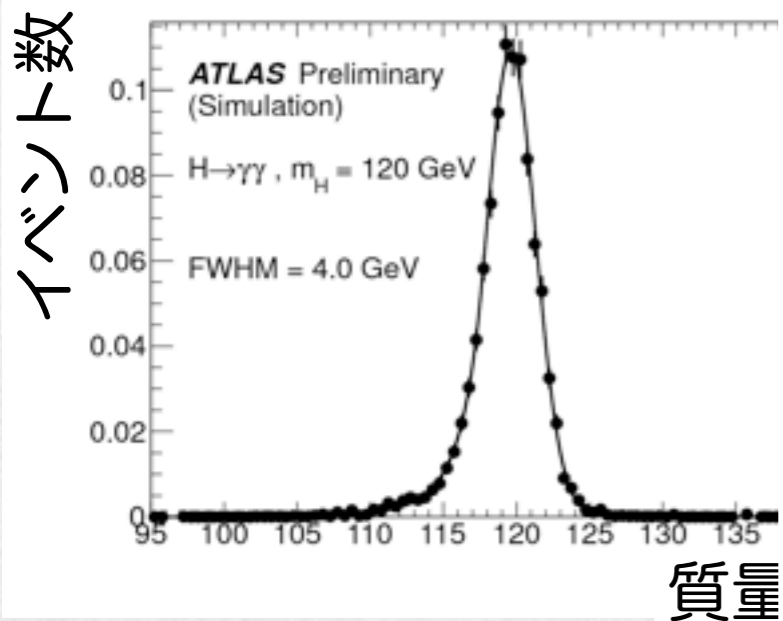
ヒッグス粒子の質量

総イベント数

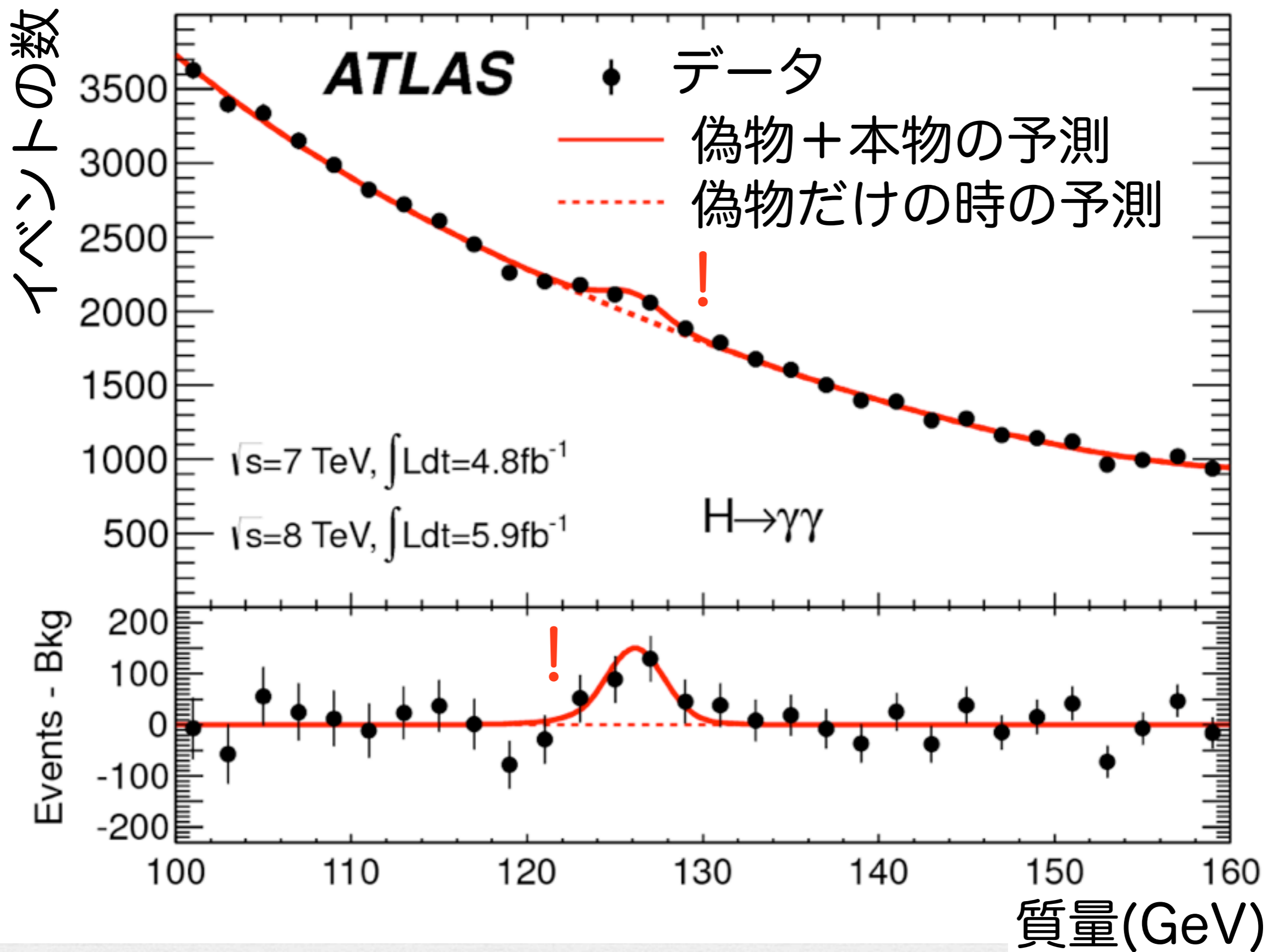
シミュレーションによる予想

$(\text{子の運動量和})^2$

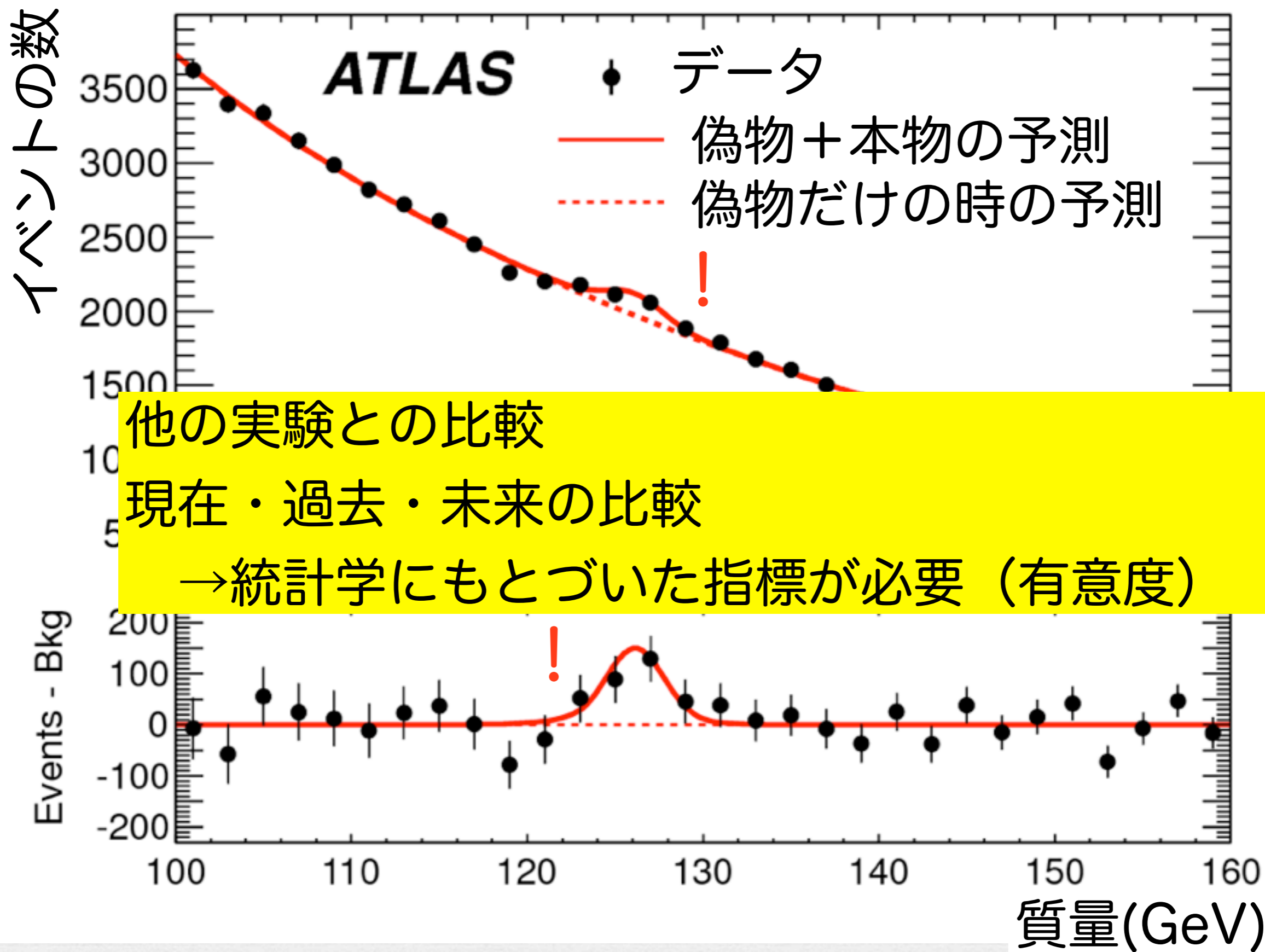
適切な質量



実際のデータ



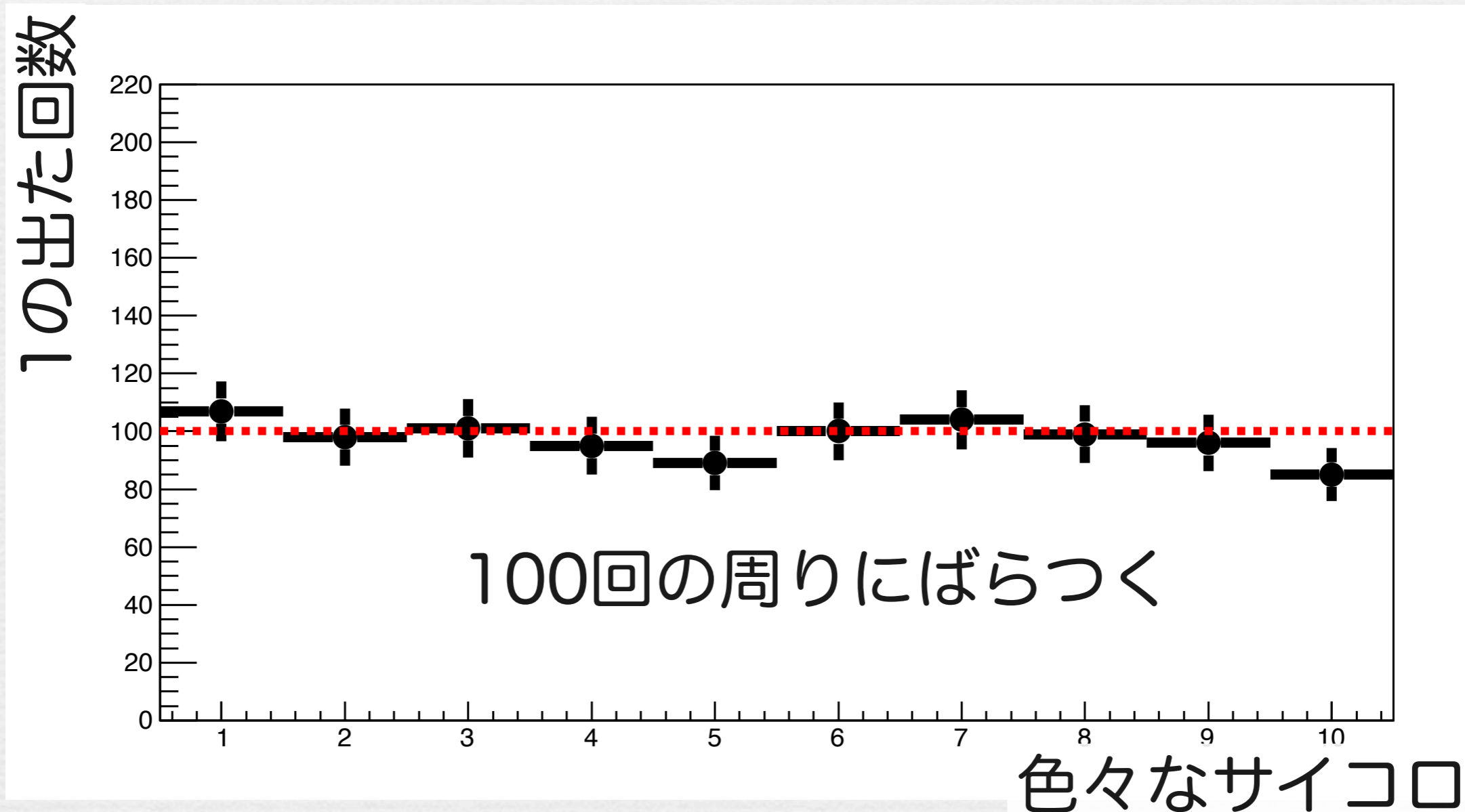
実際のデータ



いかさまサイコロを探す

普通のさいころの1の目が出る確率 $1/6$

10個のサイコロをそれぞれ600回ずつ振ってみる



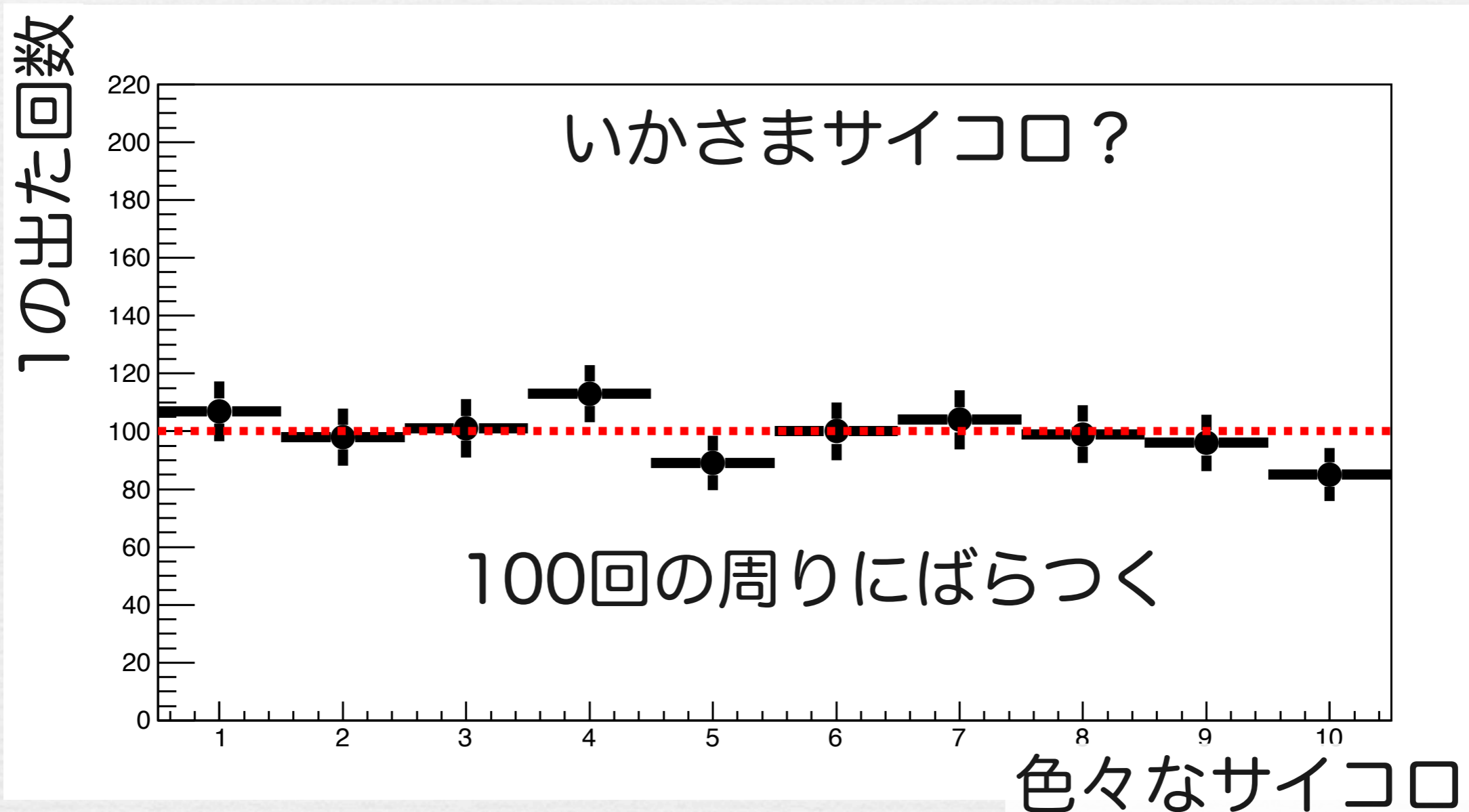
いかさまサイコロを探す

普通のさいころの1の目が出る確率 $1/6$

10個のサイコロをそれぞれ600回ずつ振ってみる

9個は普通

1個は $1/5$ で1の目が出るいかさまサイコロ



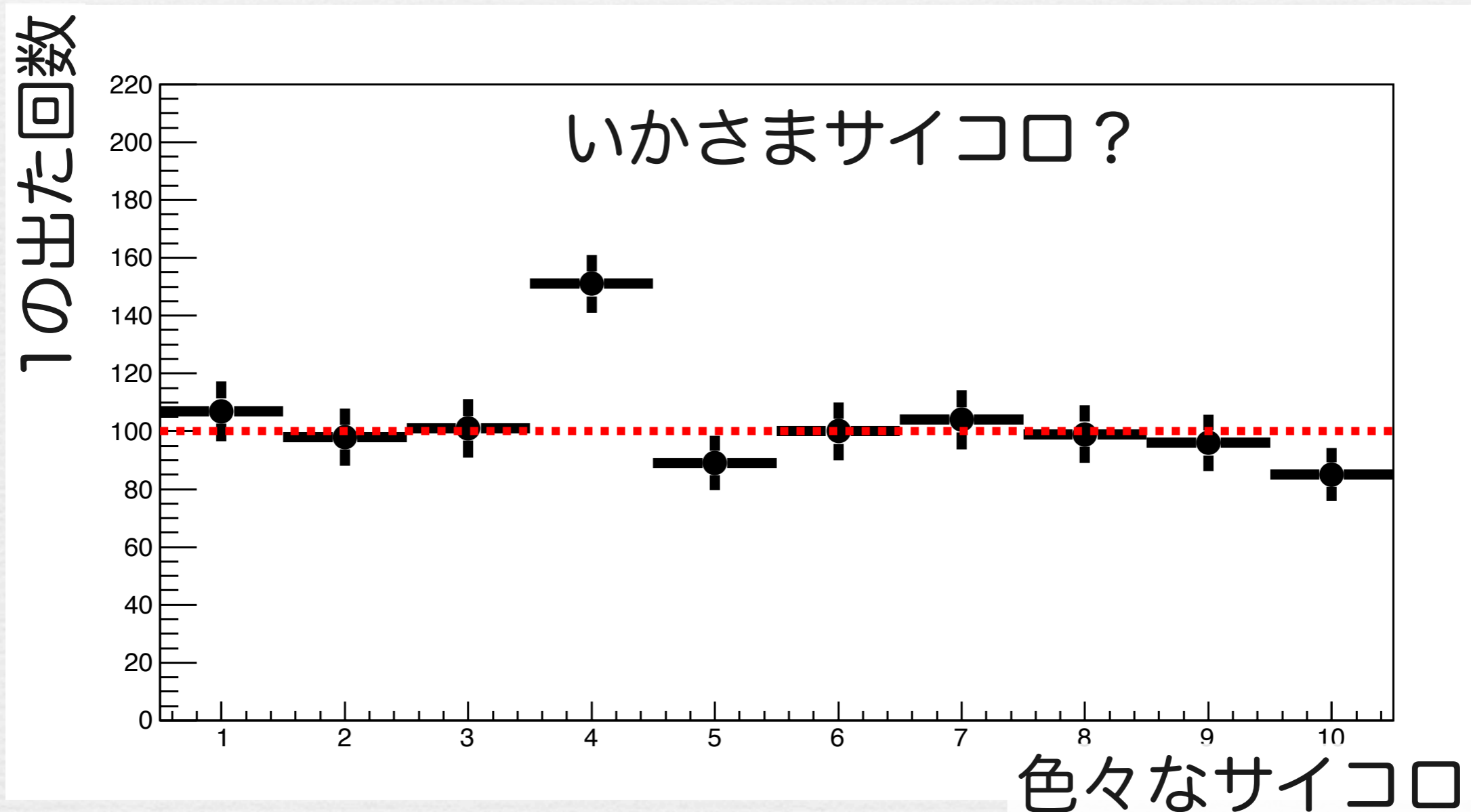
いかさまサイコロを探す

普通のさいころの1の目が出る確率 $1/6$

10個のサイコロをそれぞれ600回ずつ振ってみる

9個は普通

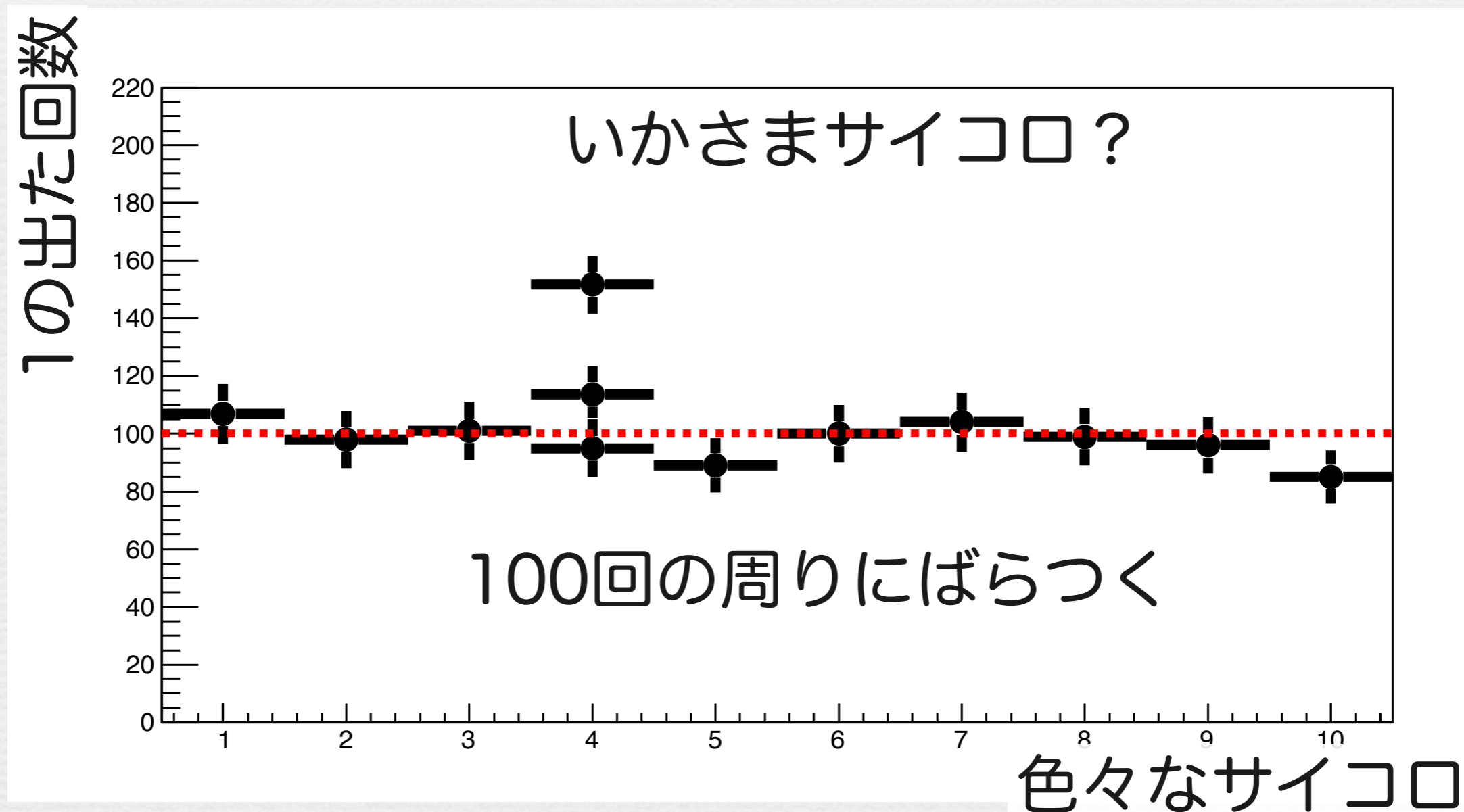
1個は $1/4$ で1の目が出るいかさまサイコロ



指標（有意度）

本物＝探している物(いかさまサイコロ)、偽物＝その他
偽物からのズレが有意かどうか？

偽物が統計的にふらついて本物と間違える確率 $\equiv p_0$

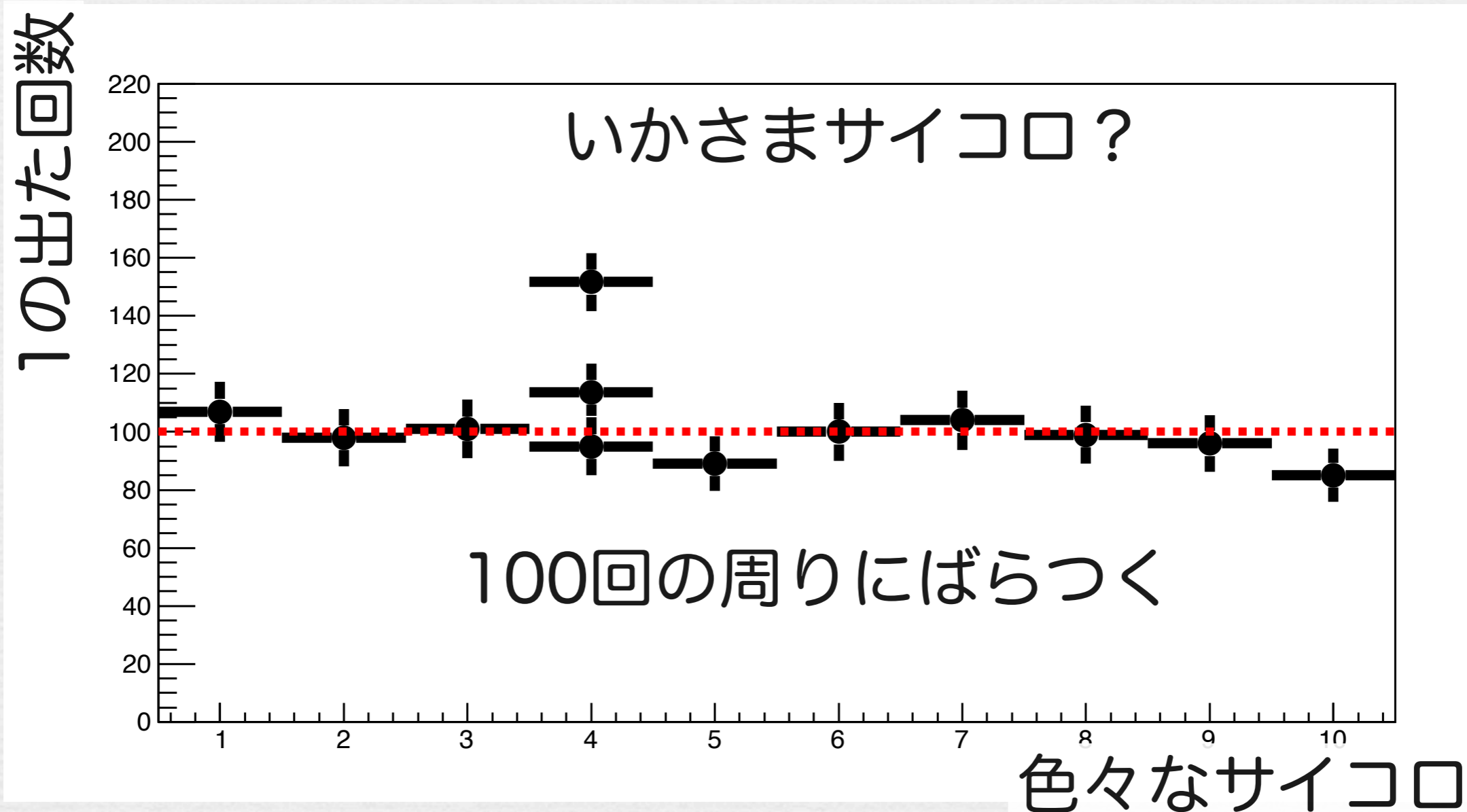


指標（有意度）

本物＝探している物(いかさまサイコロ)、偽物＝その他
偽物からのズレが有意かどうか？

偽物が統計的にふらついて本物と間違える確率 $\equiv p_0$

偽物と本物との違いがクリアである程小さな p_0

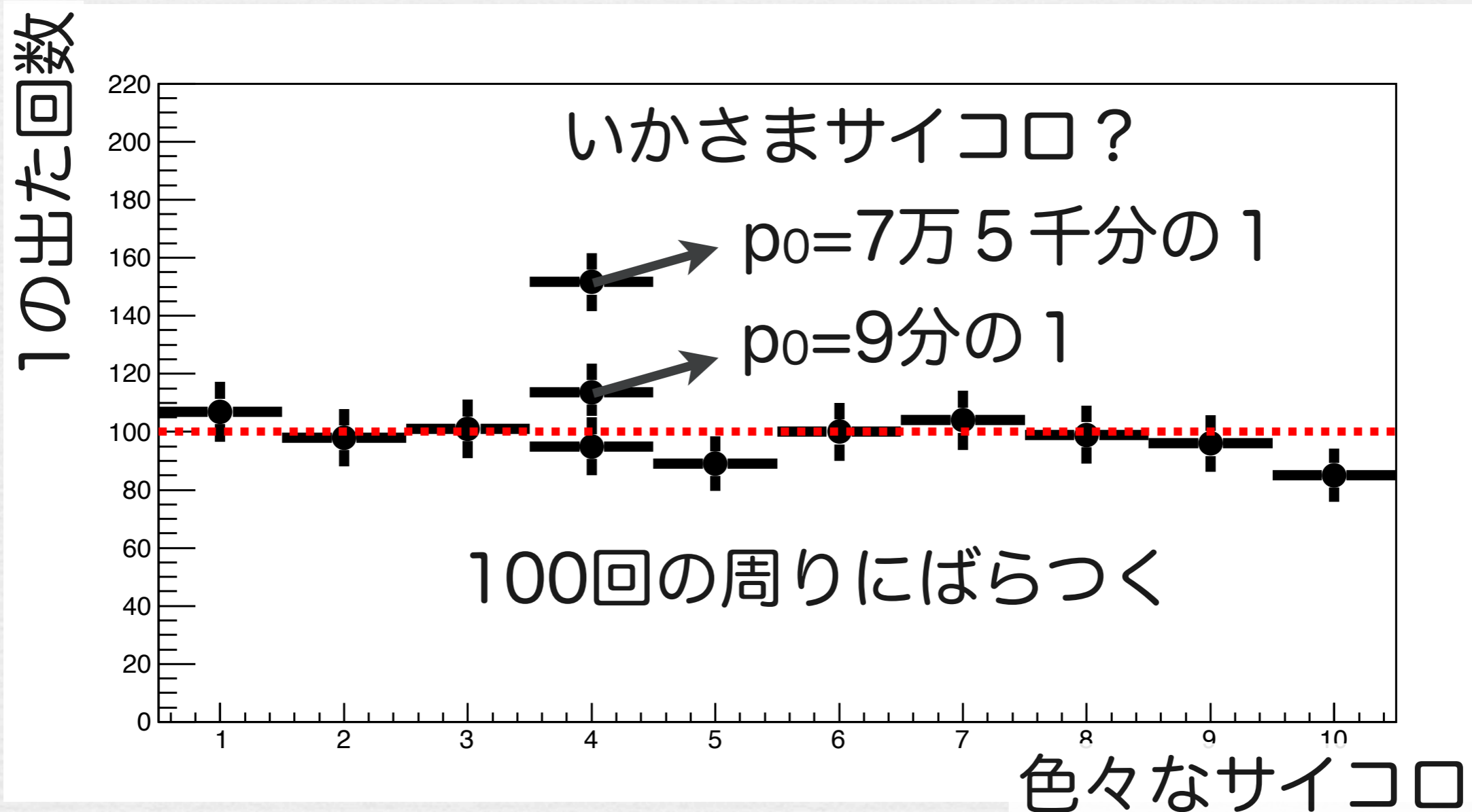


指標（有意度）

本物＝探している物(いかさまサイコロ)、偽物＝その他
偽物からのズレが有意かどうか？

偽物が統計的にふらついて本物と間違える確率 $\equiv p_0$

偽物と本物との違いがクリアである程小さな p_0



指標（有意度）

本物＝探している物(いかさまサイコロ)、偽物＝その他
偽物からのズレが有意かどうか？

偽物が統計的にふらついて本物と間違える確率 $\equiv p_0$

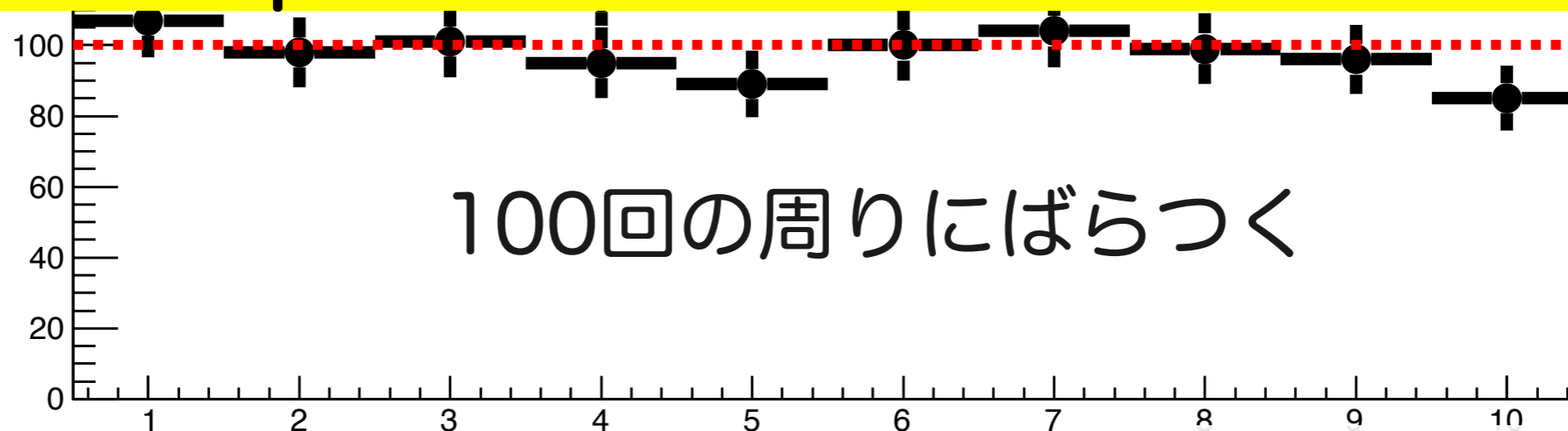
偽物と本物との違いがクリアである程小さな p_0

✕

素粒子実験研究者が良く用いる指標

兆候 ... $p_0 = 740$ 分の1

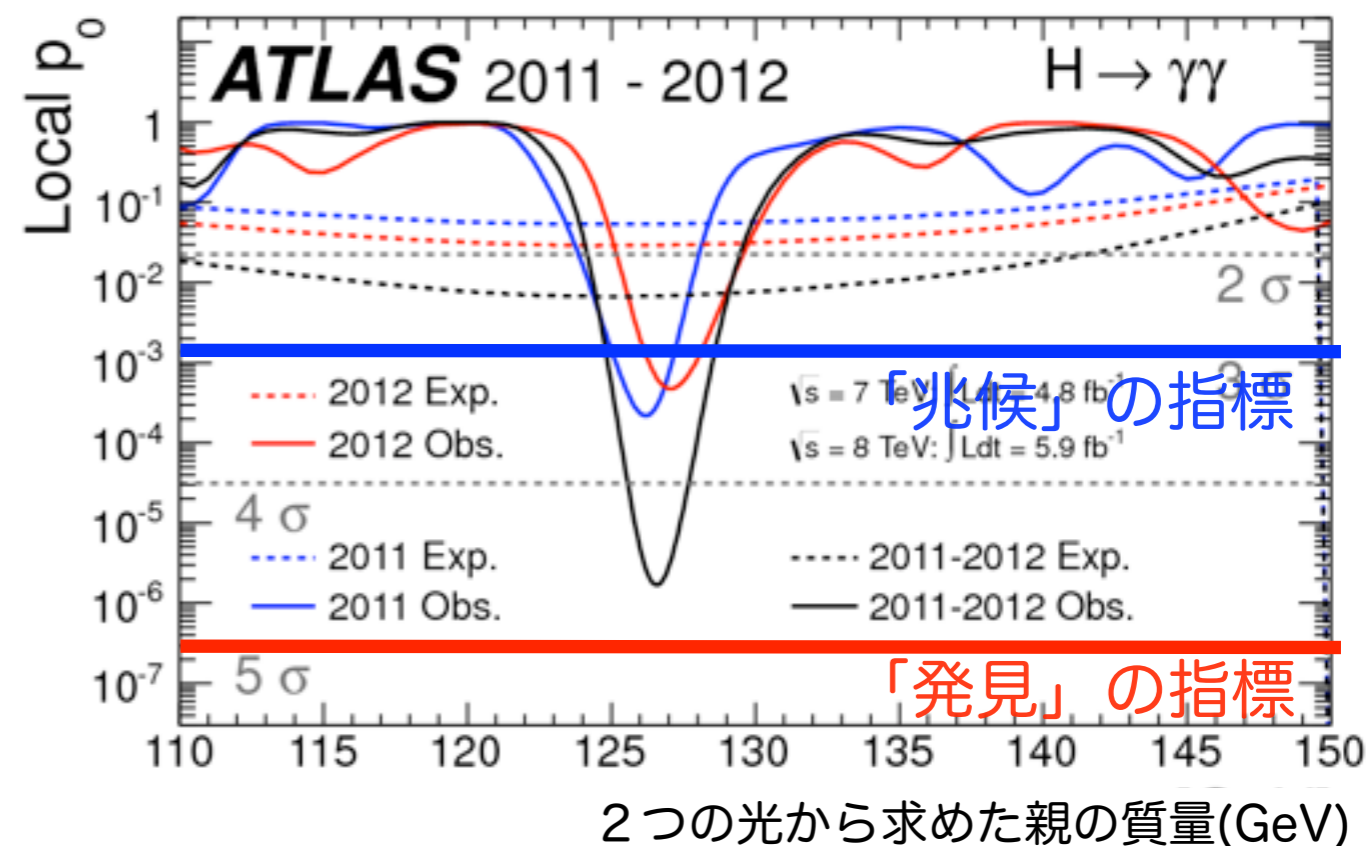
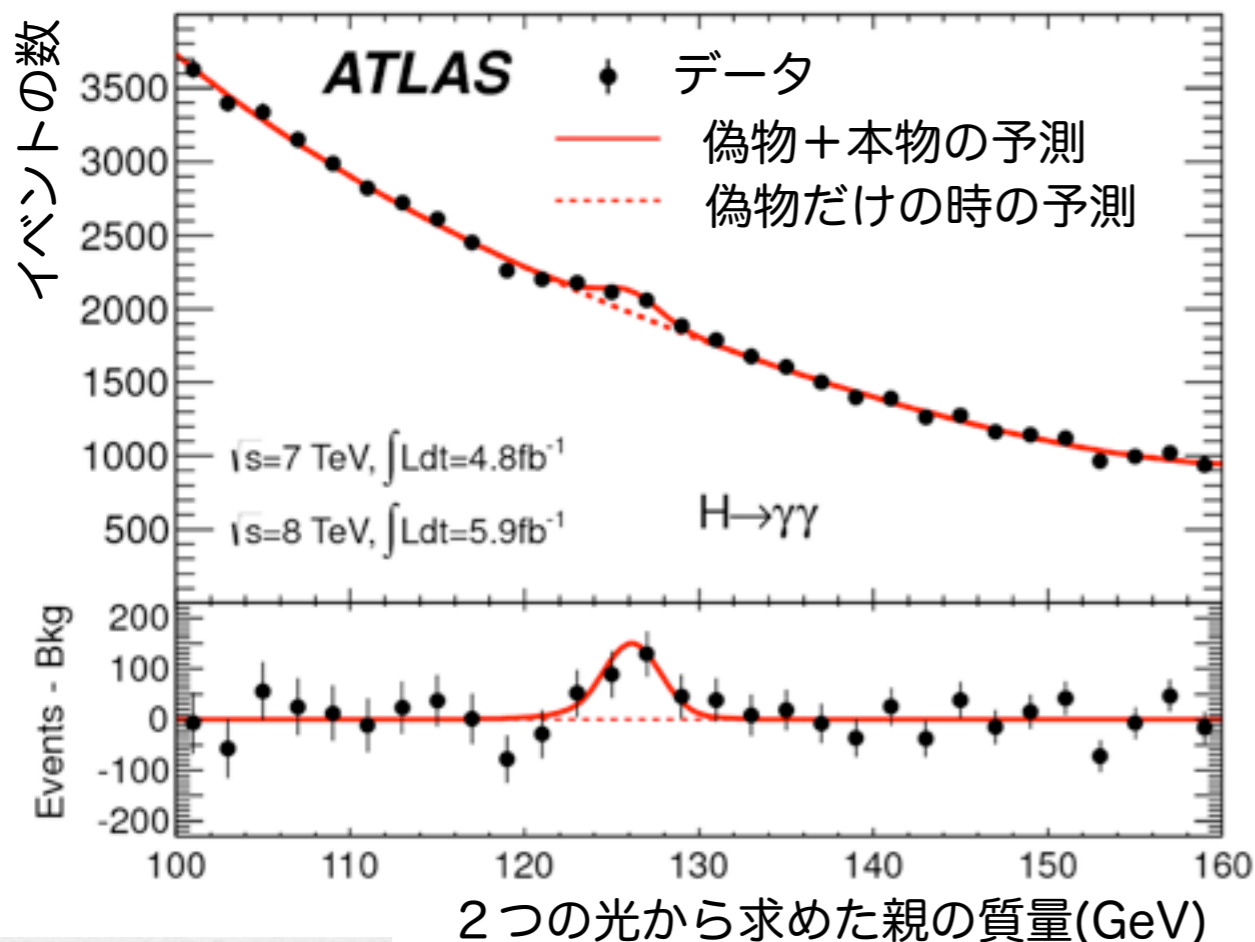
発見 ... $p_0 = 350$ 万分の1



100回の周りにばらつく

色々なサイコロ

陽子陽子 \rightarrow H \rightarrow 光子 光子

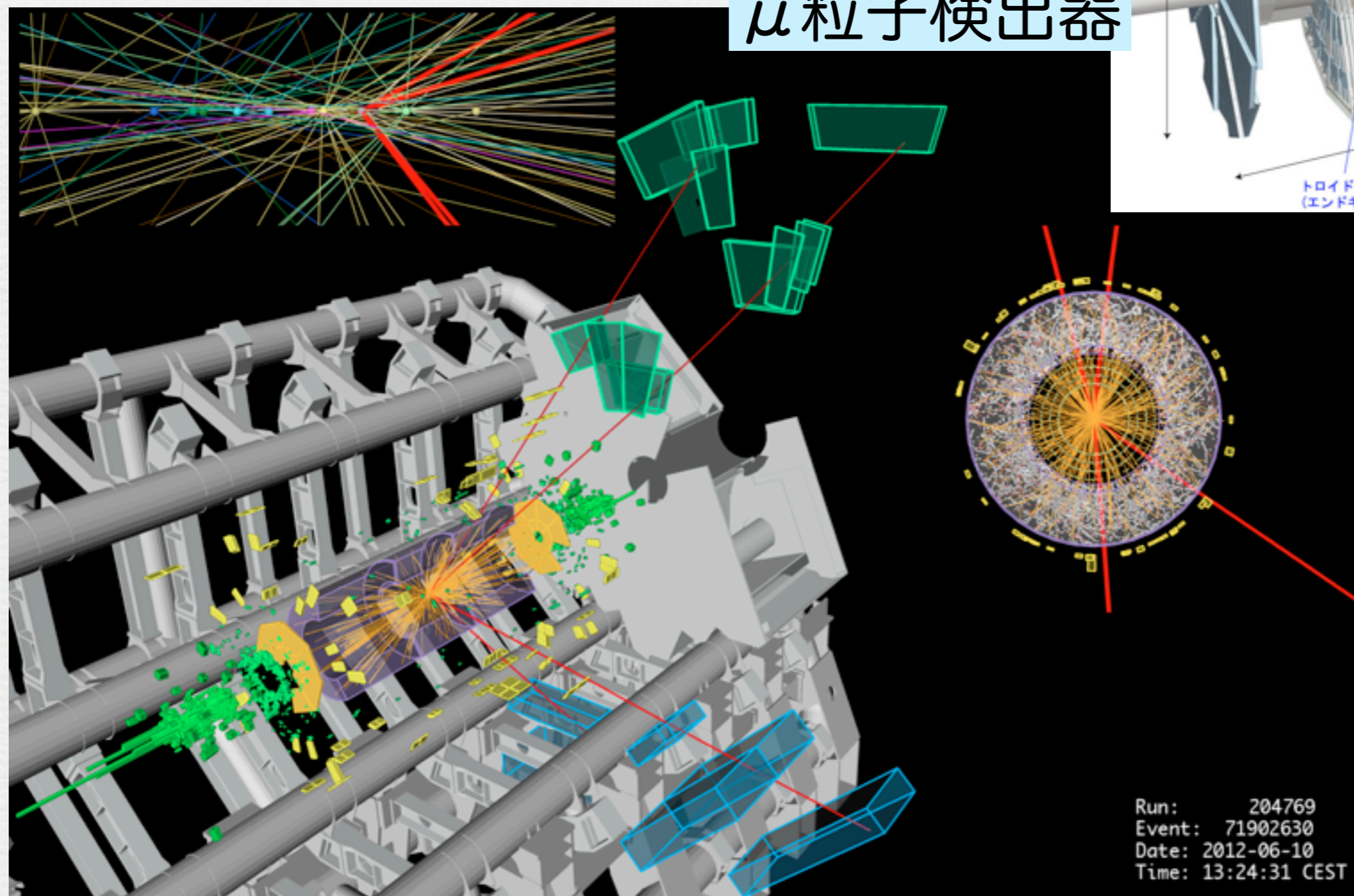
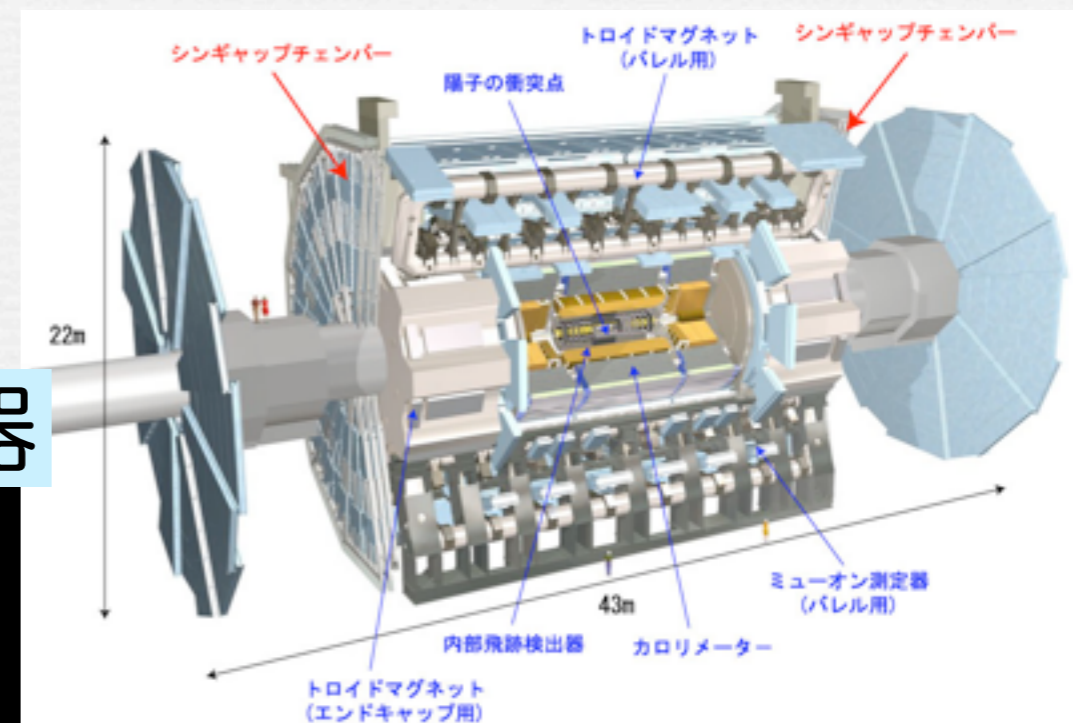


偽物が統計的にふらついて本物と間違える確率

$$p_0 = 30 \text{ 万分の } 1$$

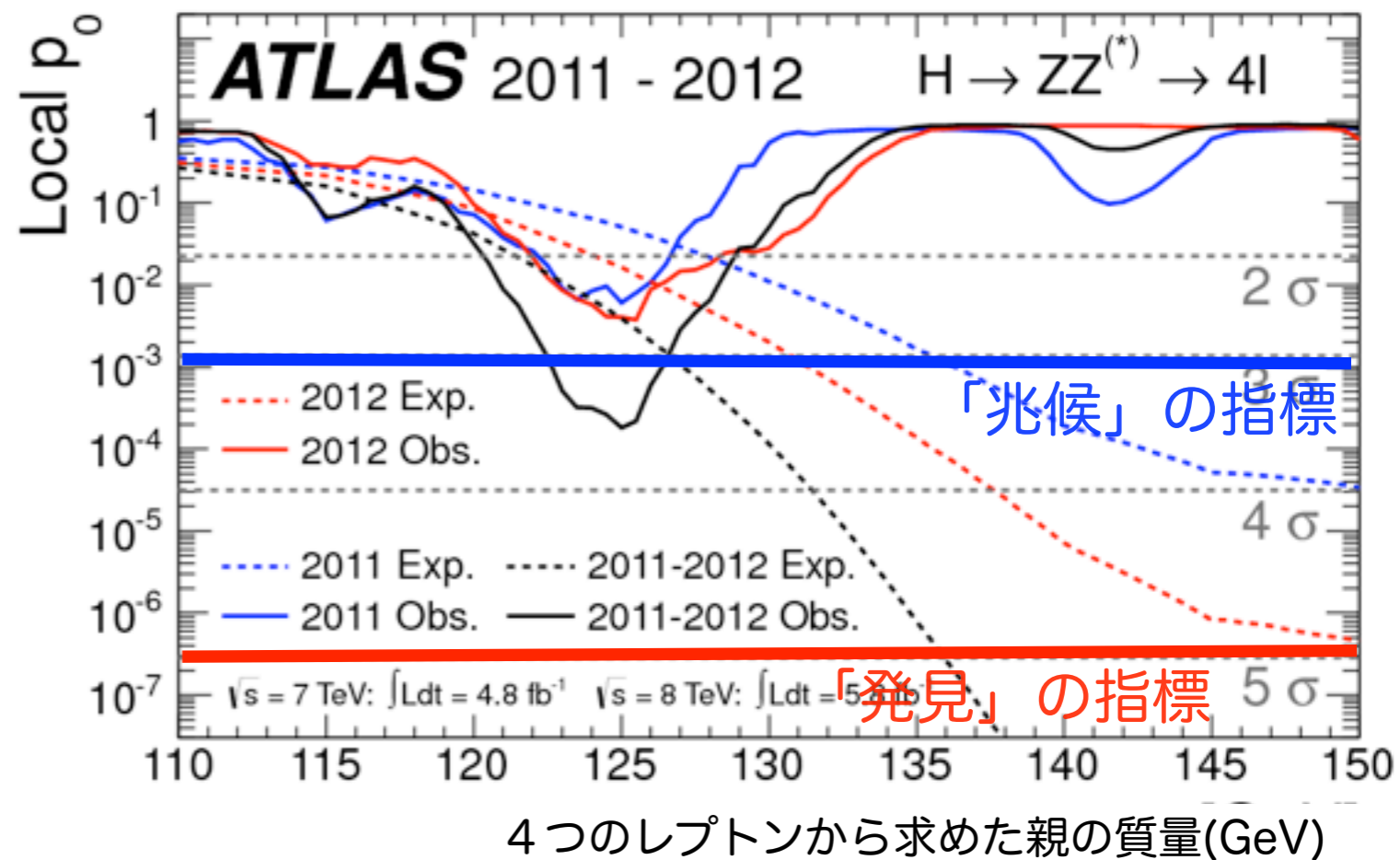
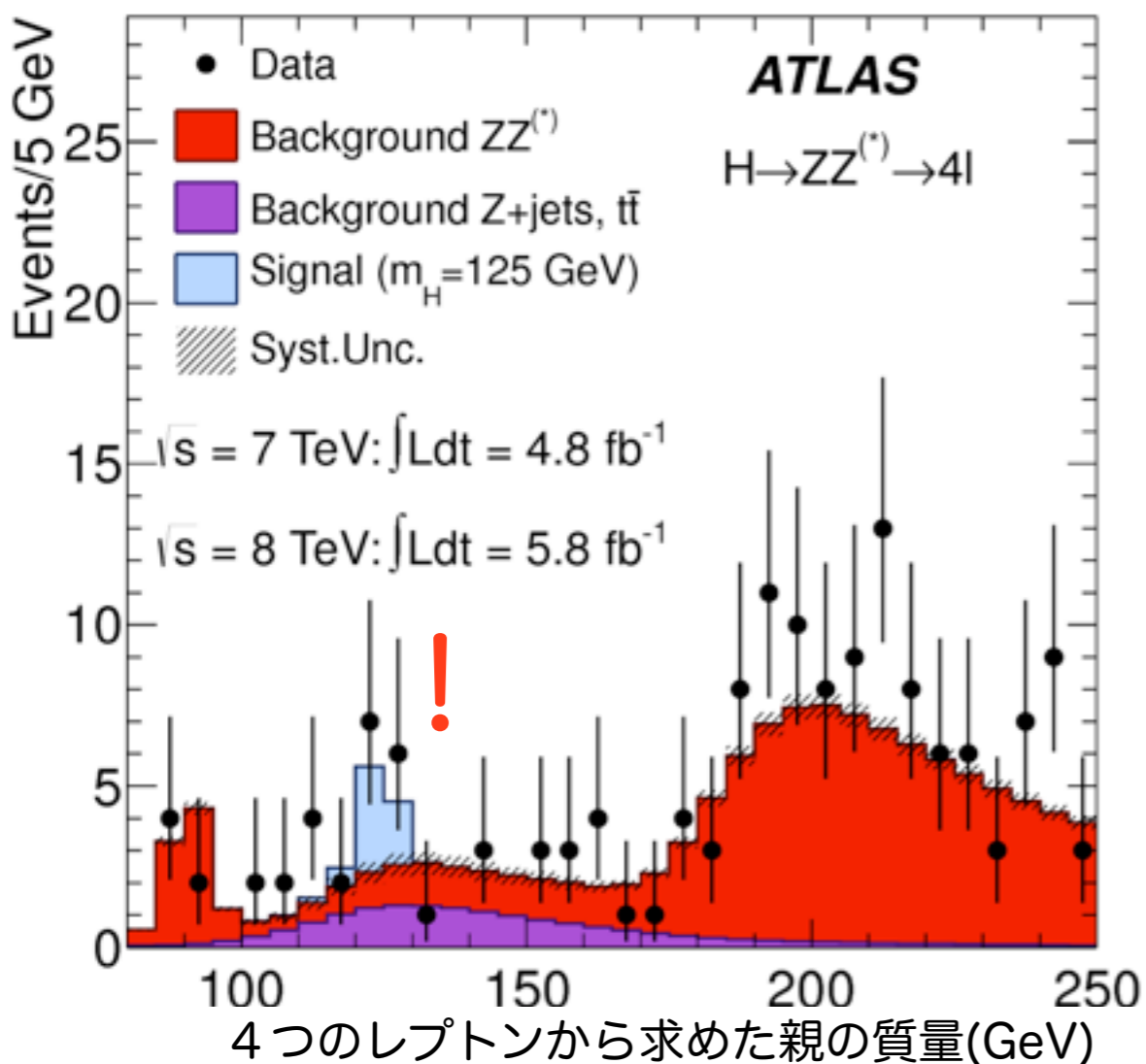
陽子 + 陽子 \rightarrow H \rightarrow ZZ \rightarrow 4 μ : 候補イベント

μ 粒子検出器



Run: 204769
 Event: 71902630
 Date: 2012-06-10
 Time: 13:24:31 CEST

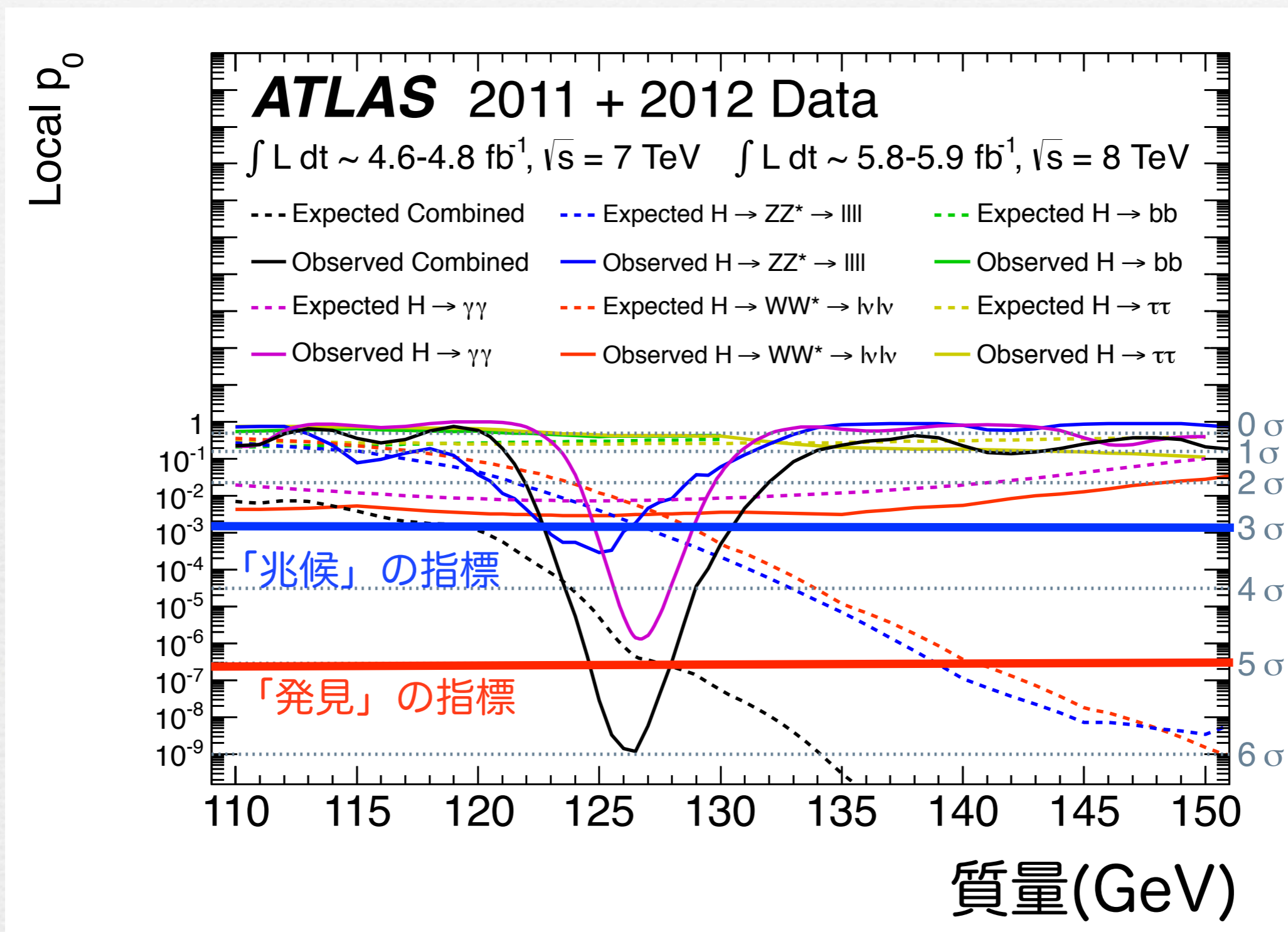
陽子陽子 \rightarrow H \rightarrow ZZ \rightarrow 4 レプトン : データ



偽物が統計的にふらついて本物と間違える確率

$$p_0 = 6 \text{千分の} 1$$

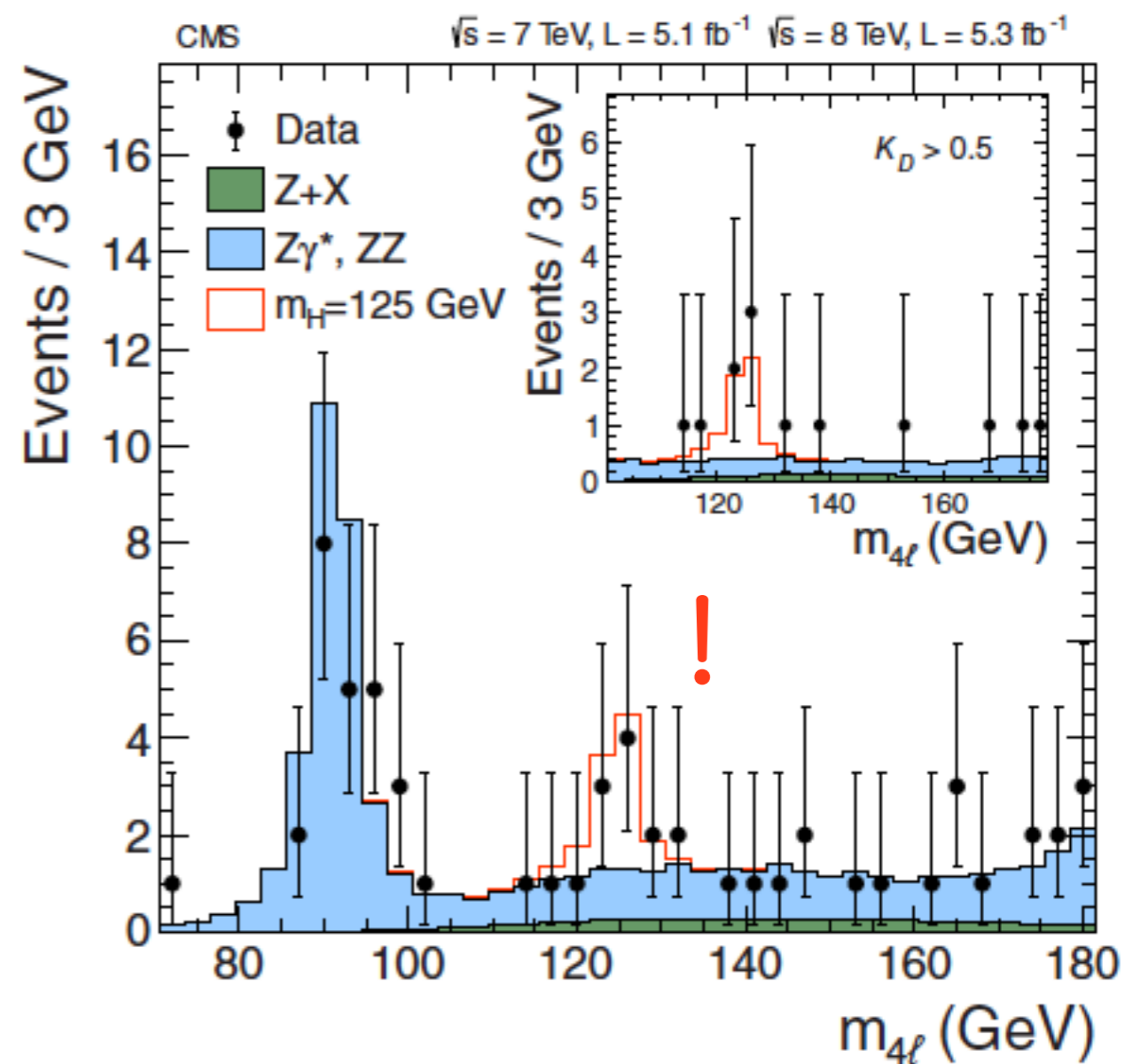
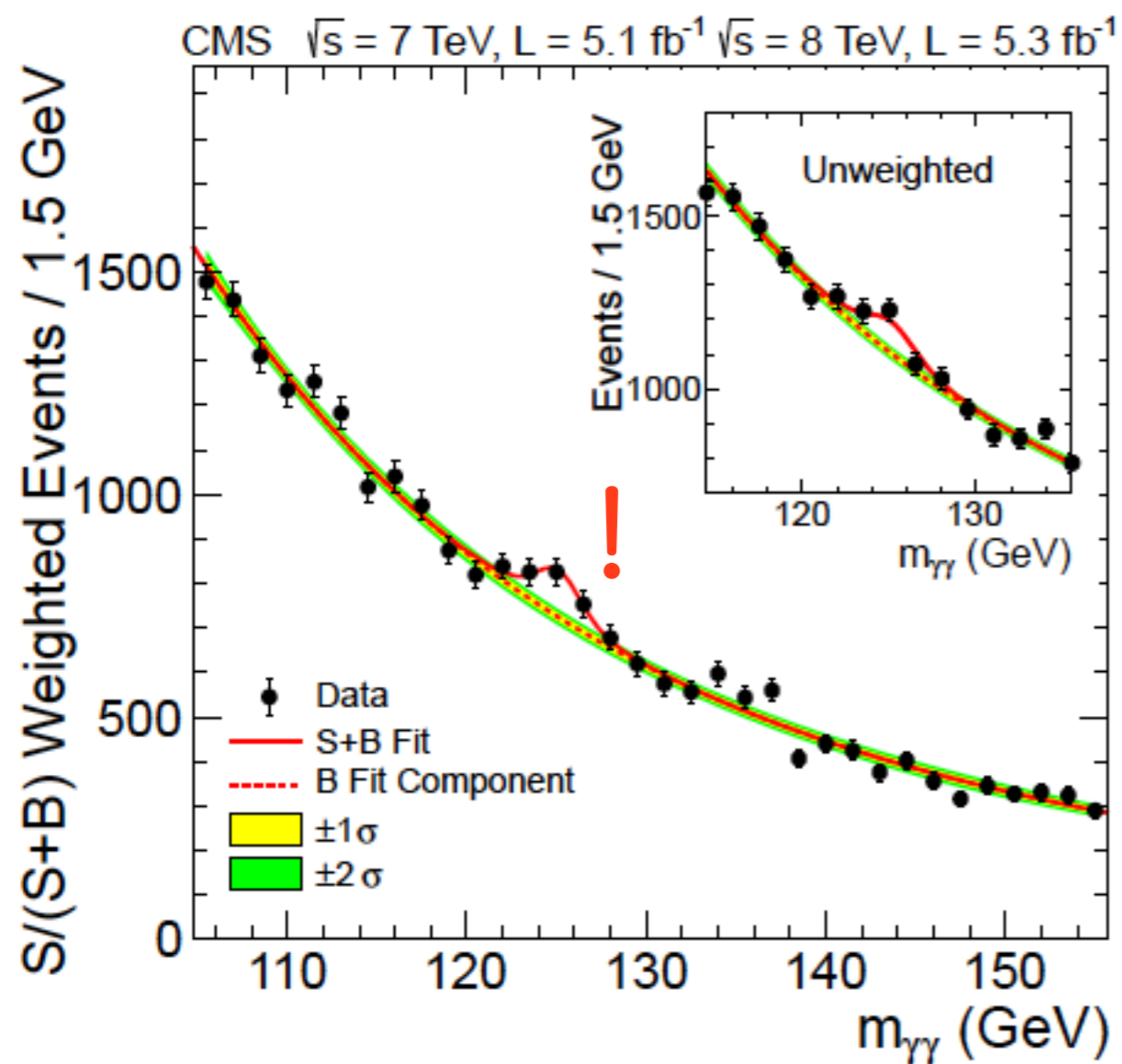
全ての探索をあわせると、、、



偽物が統計的にふらついて本物と間違える確率

$p_0 = 6$ 億分の1

となりのCMS実験でも新粒子を確認



$p_0 = 350$ 万分の1

観測結果の解釈

質量126GeV付近に新粒子を発見

光子 光子

$ZZ \rightarrow 4$ レプトン 同じ質量の新粒子を確認

隣の実験でも、同じ質量の新粒子を確認

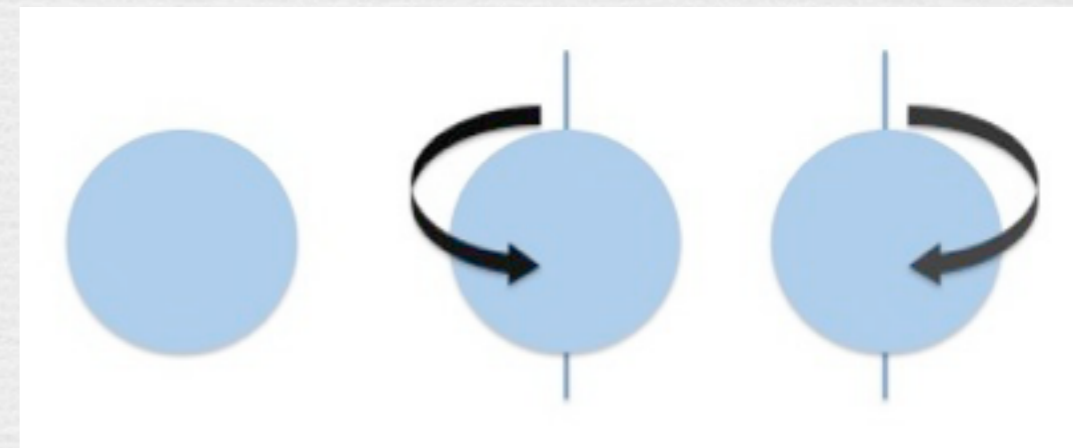
新粒子は、ヒッグス粒子か？

その可能性は大きいですが、未確定
さらなる身元確認が必要

ヒッグスならば？

スピンのゼロ

重い粒子ほどくっつきやすい



素粒子には固有のスピン

まだまだ続くLHC実験



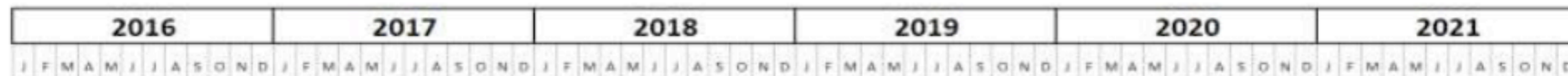
7-8 TeV : $\sim 20 \text{ fb}^{-1}$

ヒッグス

13-14 TeV:

ヒッグスの性質
超対称性？

休止して14 TeVの
ための修理を行う。

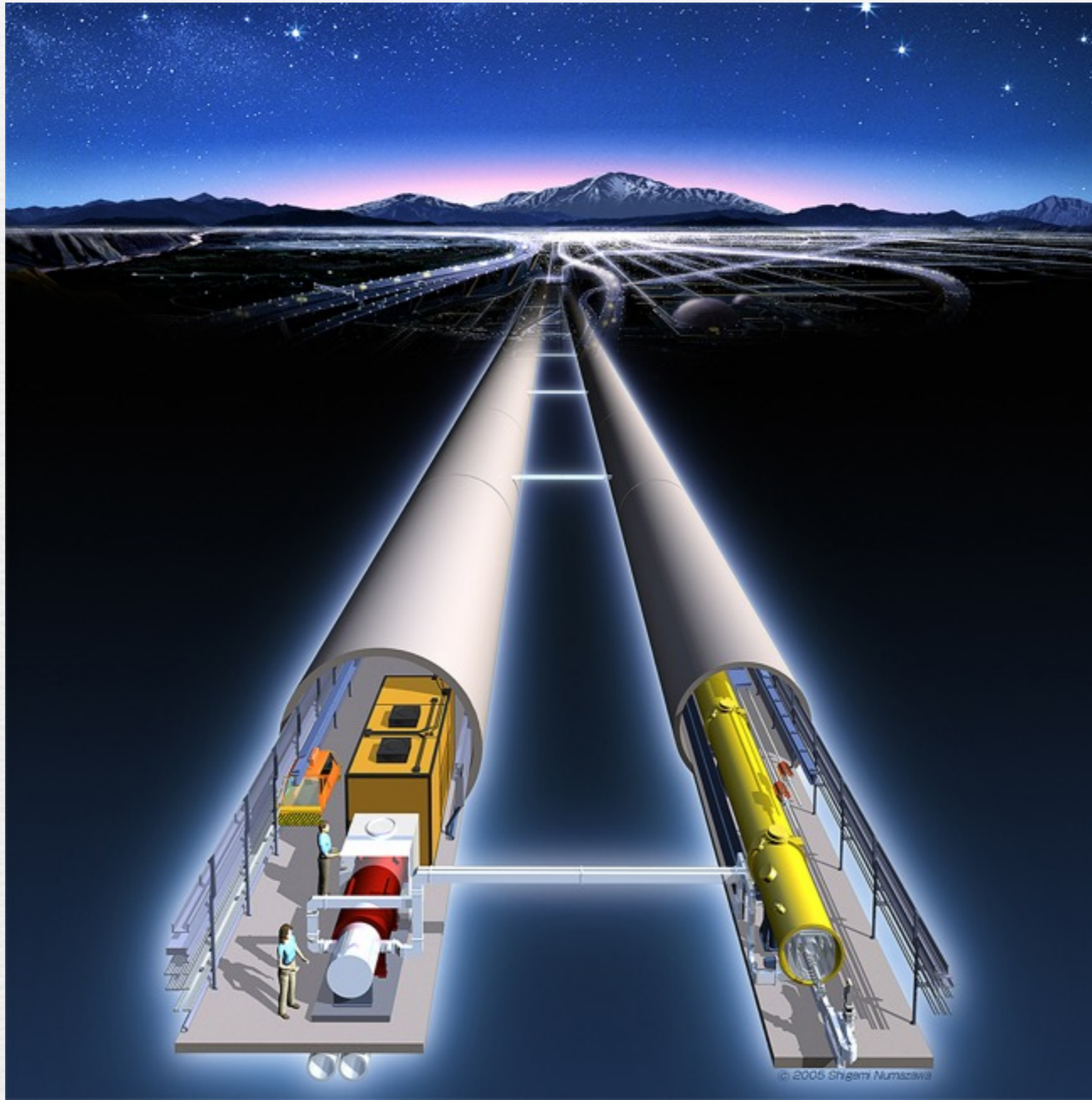


13-14 TeV: up to 300 fb^{-1}

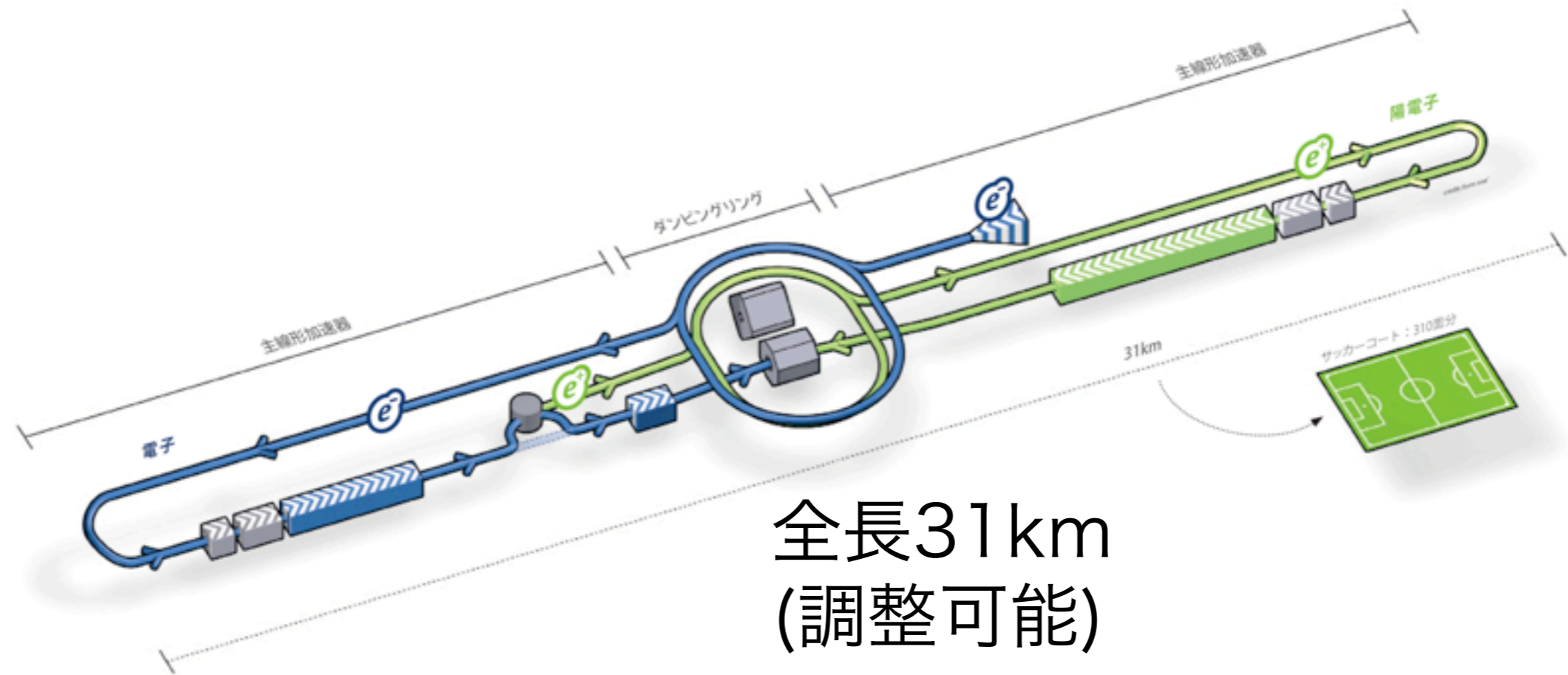
HL-LHC

目標: 2030年までに
 3000 fb^{-1} を達成する。

国際リニアコライダー計画



国際リニアコライダー計画



全長31km
(調整可能)



結論

LHC実験は、
2009年から物理データを収集開始、順調に動いている
質量126GeV付近に新粒子を発見！！

ヒッグス粒子と矛盾しないが未確定
データ量を増やして、ヒッグス粒子の性質を確認する

もし、ヒッグス粒子なら？

ヒッグス粒子の性質には理論的な裏付けがない

→ 実験による新たな知見が不可欠

→ LHCで更なる新粒子の発見の可能性

→ ILCなどの新しい実験プロジェクト

これからの素粒子実験は面白い！