ILC将来計画

2026/11/19

大阪公立大学, 大阪大学RCNP, 大阪大学D3C

岩崎 昌子







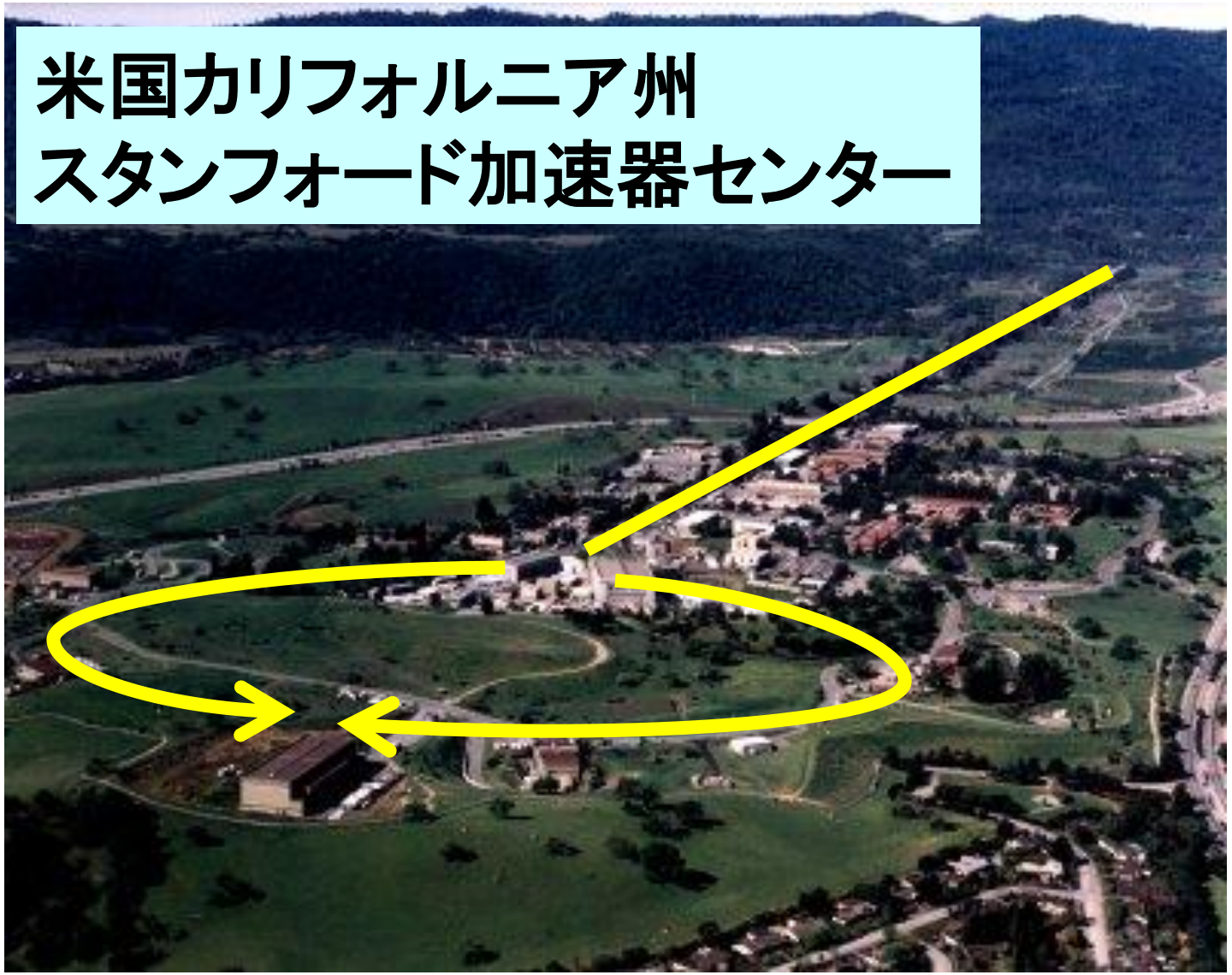
D3 CENTER
DIGITAL DESIGN, DATABILITY,
AND DECISION INTELLIGENCE

自己紹介

- KEK TRISTAN実験で学位取得　博士(理学)　奈良女子大学
- アメリカで加速器実験(SLD BaBar ILC)に参画
- 東京大学で加速器実験(Belle T2K ILC)に参画
- KEKでSuperKEKB加速器開発に参画
- 大阪公立大学で加速器実験(BelleII)に参画
- 大阪大学RCNP・D3Cで機械学習プロジェクトを推進
- ILC-Japan広報としても活動

謝辞 : 本スライドはILC日本グループ関係者 (石野雅也，末原大幹，大谷航，阪井寛志，陣内 修，堀井泰之) が作った資料を大いに活用させて頂きましたm(_ _)m

SLD実験(1991-1998)



SLC加速器
実在した唯一の
線形電子・陽電子衝突型加速器
直線部約3km
加速器のエネルギー90GeV

この実験の特徴
偏極ビーム・CCD崩壊点検出器

※1993年から電子ビームのスピン高偏極化に成功

❶ ILC加速器 実現に向けて これまでの歩み

現在作成中の広報資料より
（本日、このスライドの
説明はしません）

1980年代後半

リニアコライダーの研究開発に着手

1980 - 2000

CERNでLEP円形電子・陽電子衝突型加速器実験を実施

実在した最もエネルギーが高い電子・陽電子衝突型加速器
加速器のエネルギー 90 ～209 GeV

1991 - 1998

SLACでSLC線形電子・陽電子衝突型加速器実験を実施

実在した唯一の線形電子・陽電子衝突型加速器
加速器のエネルギー 90 GeV

※1993年からは電子ビームのスピン高偏極化に成功!

2004

国際リニアコライダー（ILC）計画スタート

日米欧それぞれで進めてきたリニアコライダー計画を
「国際リニアコライダー(ILC)」に統一
国際協力による設計・研究がスタート

リニアコライダーの技術決定
「超伝導加速器技術の選択」

❶ ILC加速器 実現に向けて これまでの歩み

現在作成中の広報資料より
（本日、このスライドの
説明はしません）

2005～

KEKの超伝導リニアック試験施設棟(STF)で、
超伝導加速技術開発研究を実施

日米独で製造された加速空洞の接続統合試験に成功(2010年)
現在までに平均33MV/mの電子ビーム加速に成功

2016

KEKの先端加速器試験施設(ATF)で
高品質ビーム生成に成功

極小ビームサイズ(50nm)を達成
現在までに41nmのビームサイズを達成

2017

日本の高エネルギー物理学研究者会議が
250GeV ILCの早期実現を提案

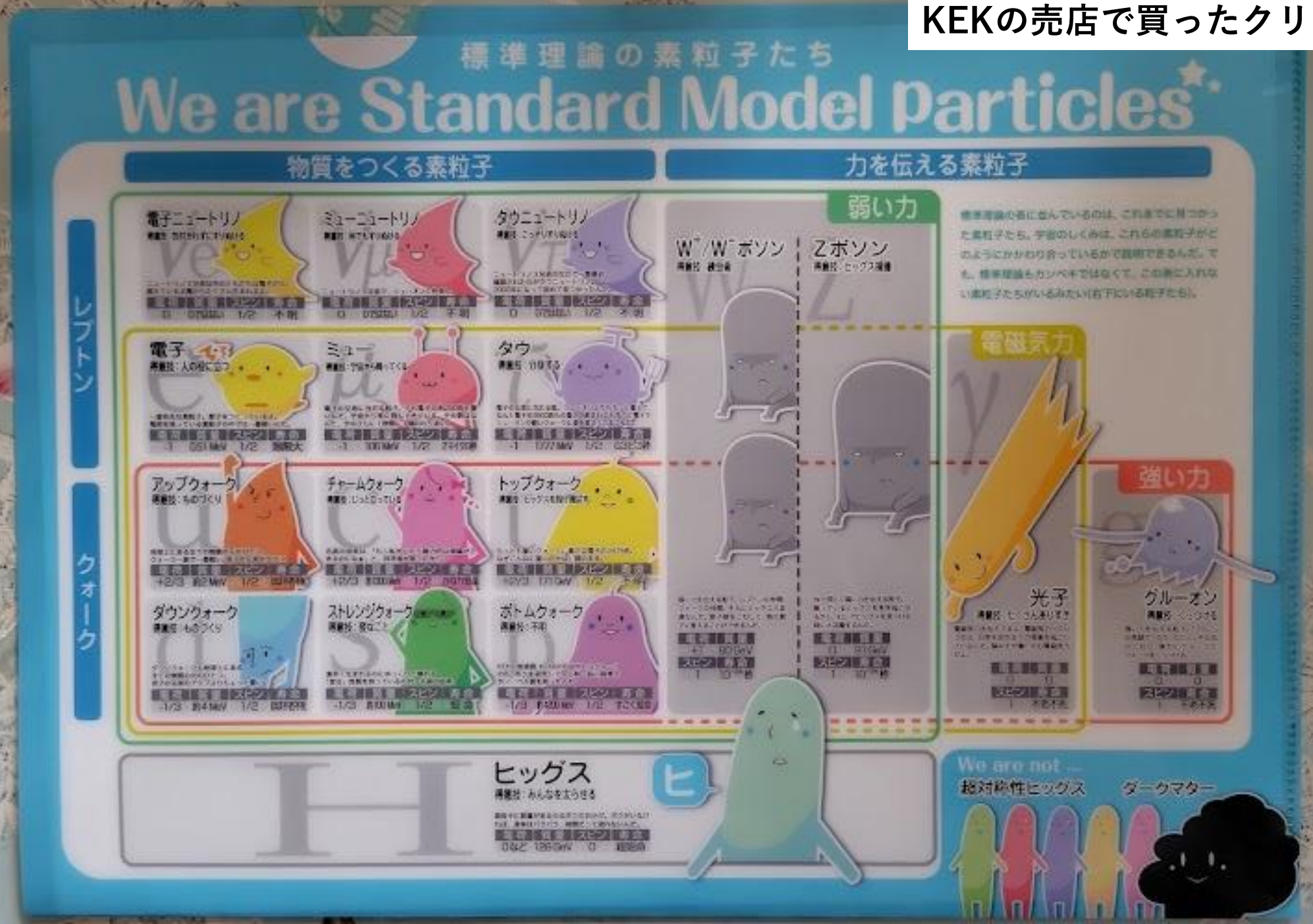
2023

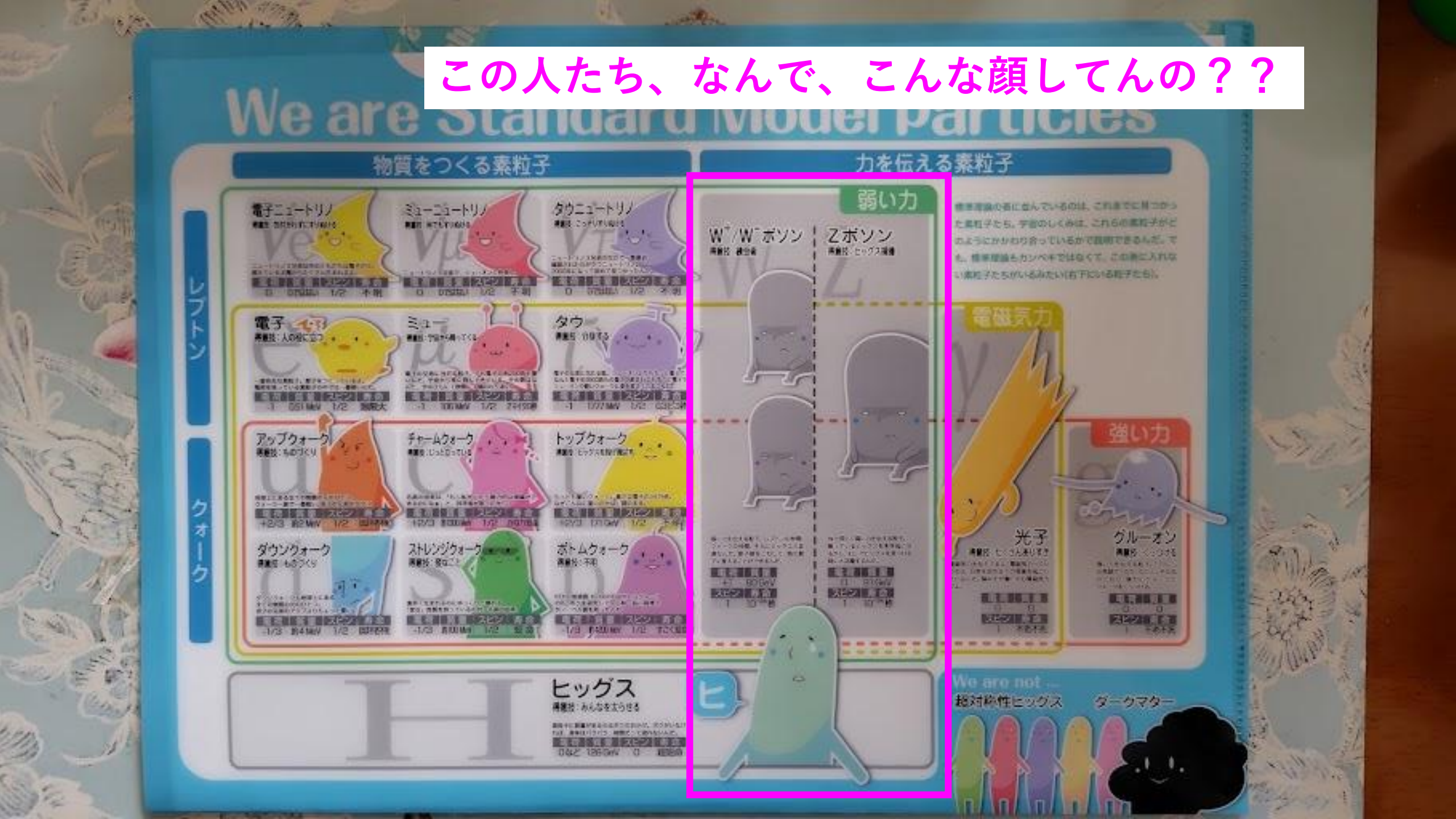
「ILCテクノロジーネットワーク（ITN）」発足

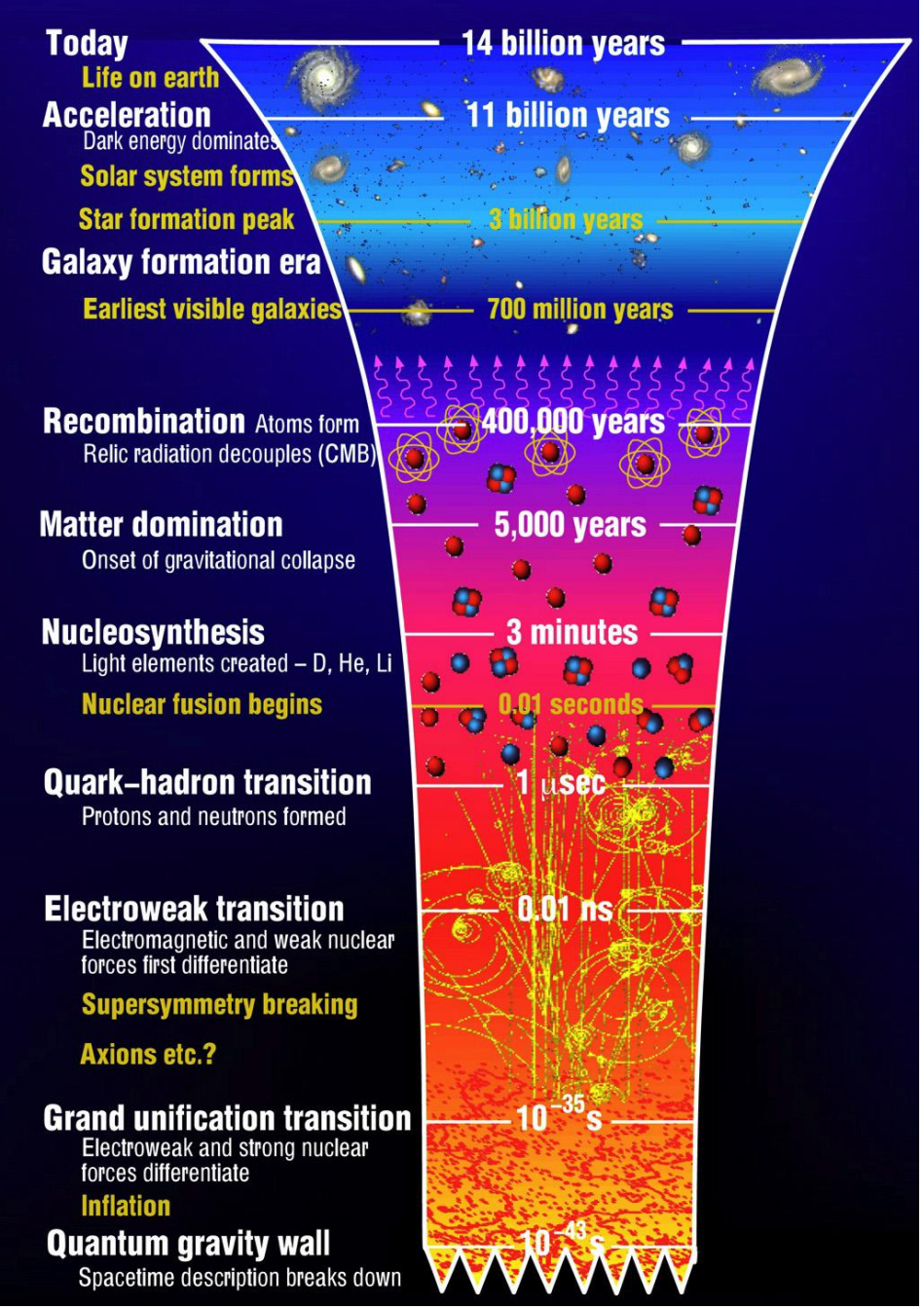
ILC実現を目指し、技術開発を国際的に進めるあらたな枠組み
第１回会合には10ヵ国28研究機関が参加

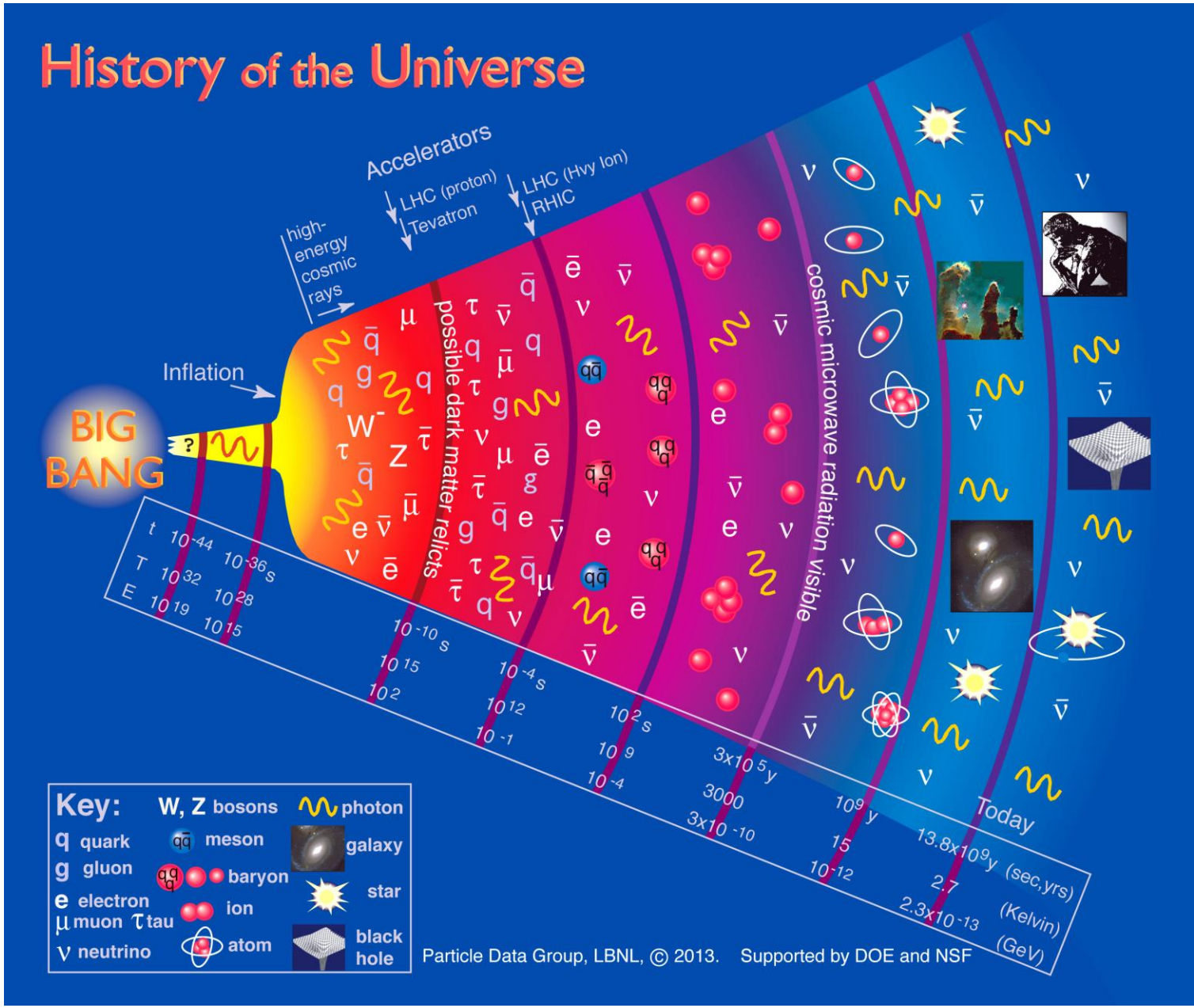
ILC実現に向けて努力中！

KEKの売店で買ったクリアファイル




この人たち、なんで、こんな顔してんの？？
We are Standard Model particles
物質をつくる素粒子
力を伝える素粒子
レプトン
クォーク
電子ニュートリノ
ミューニュートリノ
タウニュートリノ
電子
ミュー
タウ
アップクォーク
チャームクォーク
トップクォーク
ダウンクォーク
ストレンジクォーク
ボトムクォーク
ヒッグス
弱い力
W⁺/W⁻ボソン
Zボソン
電磁気力
光子
強い力
グルーオン
We are not ...
超対称性ヒッグス
ダークマター


Today
Life on earth
Acceleration
Dark energy dominates
Solar system forms
Star formation peak
Galaxy formation era
Earliest visible galaxies
14 billion years
11 billion years
3 billion years
700 million years
Recombination Atoms form
Relic radiation decouples (CMB)
400,000 years
Matter domination
Onset of gravitational collapse
5,000 years
Nucleosynthesis
Light elements created – D, He, Li
Nuclear fusion begins
3 minutes
0.01 seconds
Quark–hadron transition
Protons and neutrons formed
1 μsec
Electroweak transition
Electromagnetic and weak nuclear forces first differentiate
Supersymmetry breaking
Axions etc.?
0.01 ns
Grand unification transition
Electroweak and strong nuclear forces differentiate
Inflation
10 -35 s
Quantum gravity wall
Spacetime description breaks down
10 -43 s


History of the Universe
Accelerators
LHC (proton)
Tevatron
LHC (Hvy Ion)
RHIC
high-energy cosmic rays
Inflation
BIG BANG
possible dark matter relicts
cosmic microwave radiation visible
Today
Key:
W, Z bosons
photon
quark
meson
galaxy
gluon
baryon
star
electron
ion
muon
tau
atom
black hole
neutrino
Particle Data Group, LBNL, © 2013. Supported by DOE and NSF

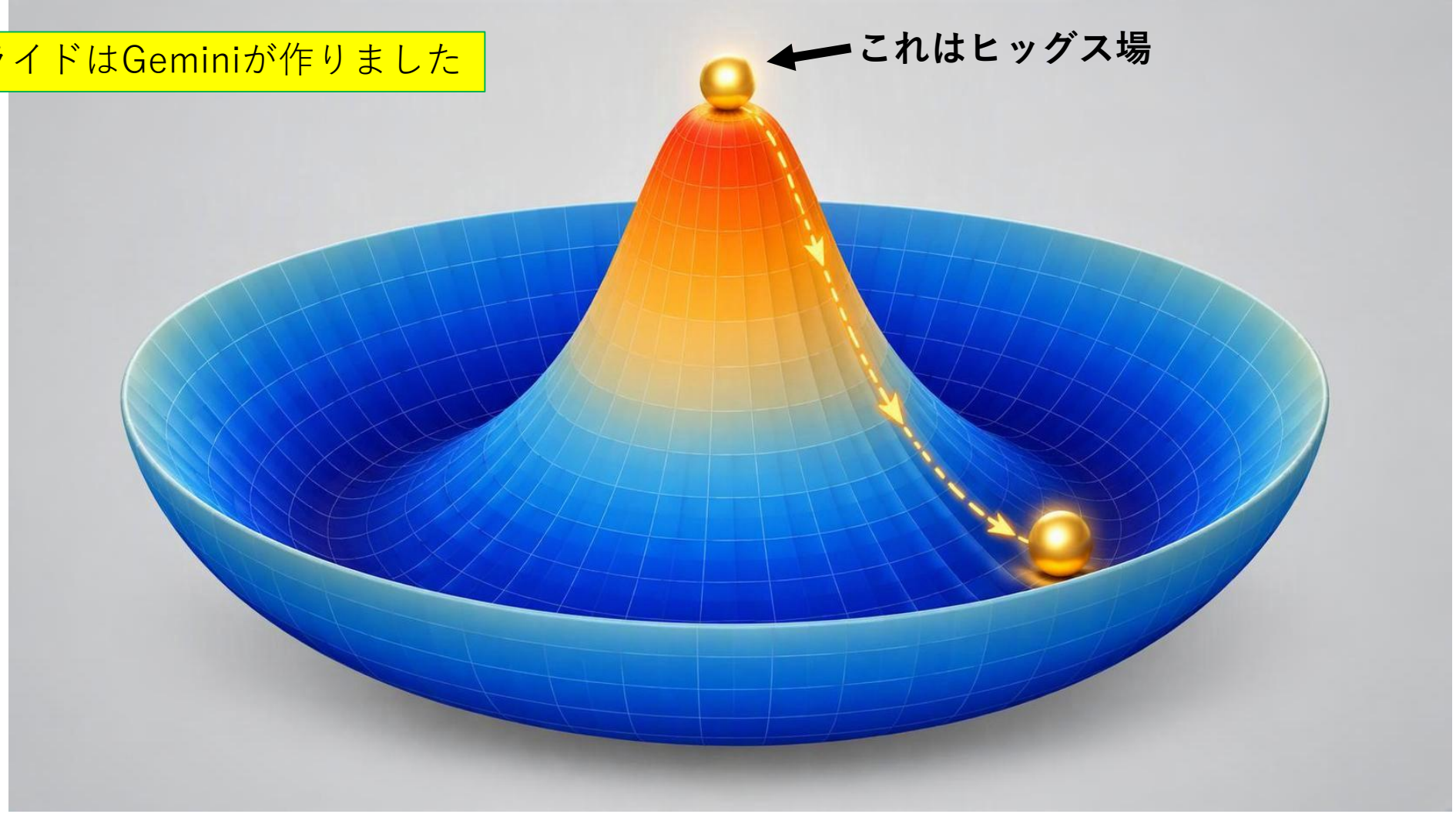


対称性が破れる前の宇宙（質量ゼロの世界）

- 誕生直後の超高温宇宙：すべての粒子は「質量ゼロ」
- ヒッグス場（スカラー場・自由度4）：向きを持たない場として空間に存在
- 自発的対称性が破れる前の姿：W＋・W-・Zに相当する粒子とヒッグスの4成分は、
  すべて質量ゼロで光速で飛び回っていた

注：このスライドはGeminiが作りました

注：このスライドはGeminiが作りました



宇宙が冷えて起きた相転移：「電弱対称性の自発的破れ」

- **宇宙の膨張と冷却**：温度が下がり、宇宙のエネルギー状態が変化（電弱相転移）
- **不安定から安定へ**：メキシカンハット型の頂点（ゼロの真空）から、エネルギーの低い谷底へ転がり落ちる
- **自発的対称性の破れ**：ヒッグス場が空間全体で「ゼロでない値（真空期待値）」を持ち、宇宙の対称性が破れた

注：このスライドはGeminiが作りました



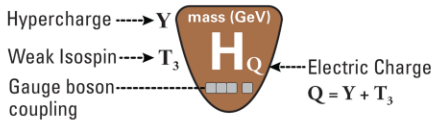
W・Zボソンの質量獲得と「ヒッグス粒子」の誕生

- 「**WとZがヒッグスを食う**」：ヒッグス場の**自由度4つのうち3つ**を、W+・W-・Zが吸収（縦偏極成分の獲得）
- **質量の獲得**：ヒッグスを食ったことでW+・W-・Zは重くなり、弱い力は近距離にしか届かなくなった
- **残った最後の1つの自由度**（場の振動）が「**ヒッグス粒子**」として観測される

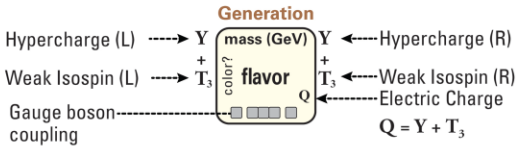
ウィキペディア
（標準模型の数学的定式化）より

The Standard Model of Particle Physics

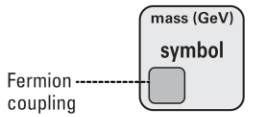
Spin 0 (Higgs Boson)

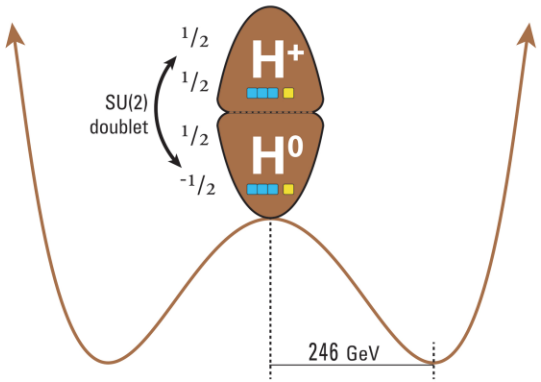


Spin 1/2 (Fermions)

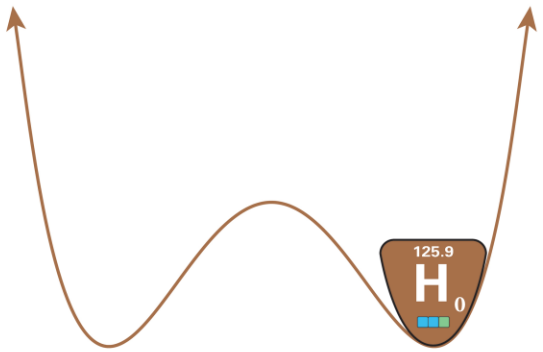


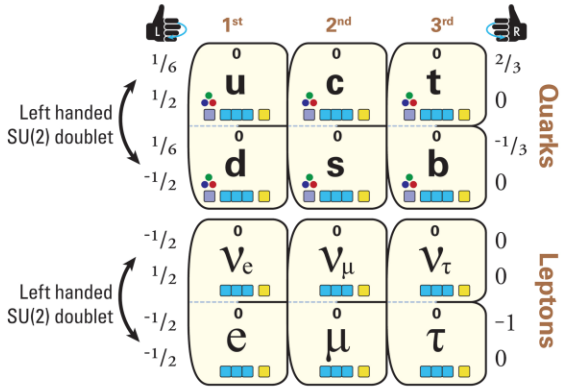
Spin 1 (Gauge Bosons)

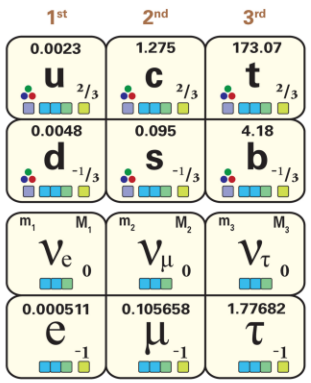


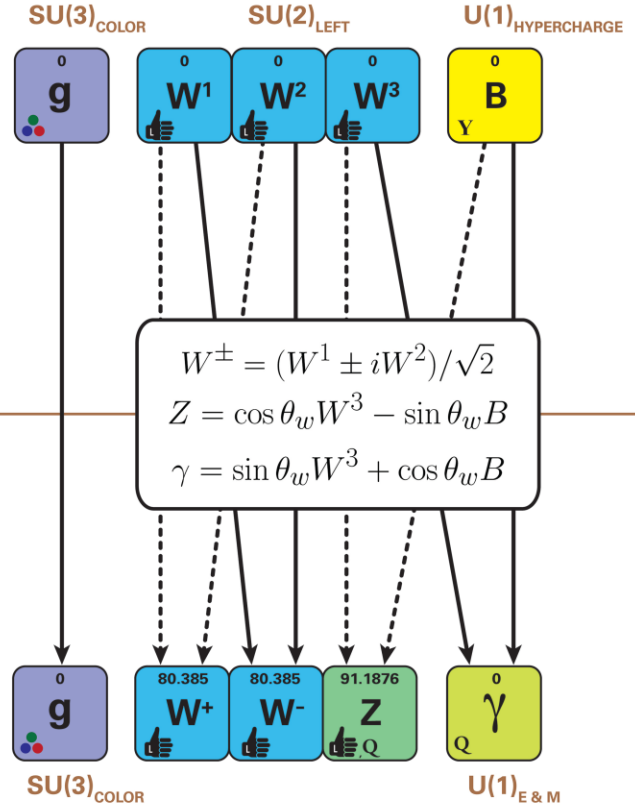


Unbroken Symmetry
Broken Symmetry









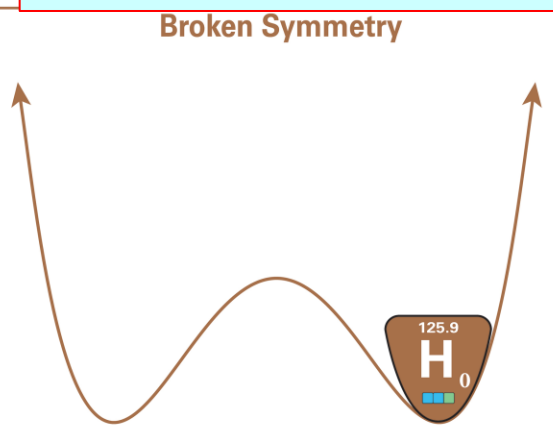
ウィキペディア
（標準模型の数学的定式化）より

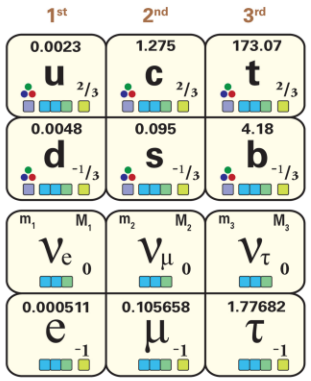
The Standard Model of Particle Physics

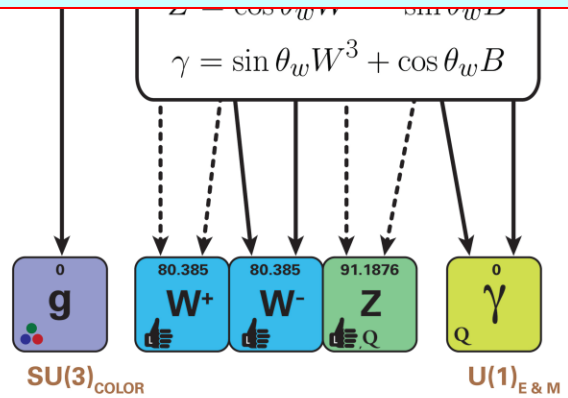
【説明文】
この図は標準模型の構造を示したものです。
よく見かける「4×4のマス目」に粒子を並べた図よりも、重要な関係性やパターンをより完全かつ誤解のない形で表現しています。

具体的には、標準模型におけるすべての粒子が描かれており、それぞれの文字記号、質量、スピン、**カイラリティ（右巻(右手型）・左巻(左手型)の別）**、電荷、そしてゲージボソン（すなわち強い力や電弱相互作用）との相互作用が示されています。

さらに、ヒッグス粒子の役割や電弱対称性の破れの構造も描かれており、ヒッグスの真空期待値がどのようにして電弱対称性を破り、その結果として残りの粒子の性質がどのように変化するのかを示しています。



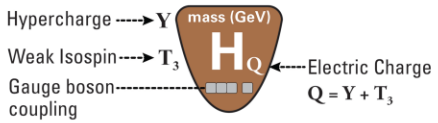




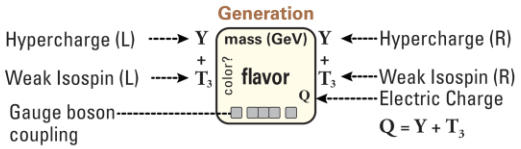
ウィキペディア
（標準模型の数学的定式化）より

The Standard Model of Particle Physics

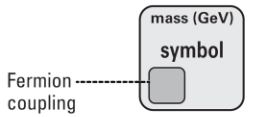
Spin 0 (Higgs Boson)

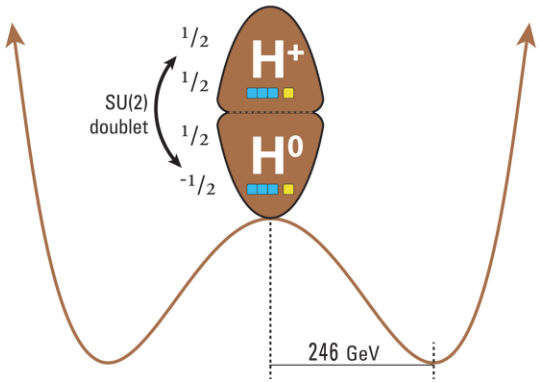


Spin 1/2 (Fermions)



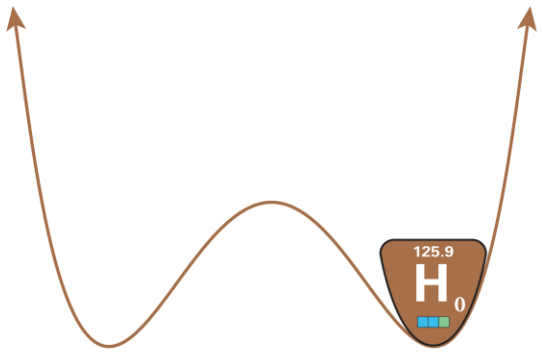
Spin 1 (Gauge Bosons)

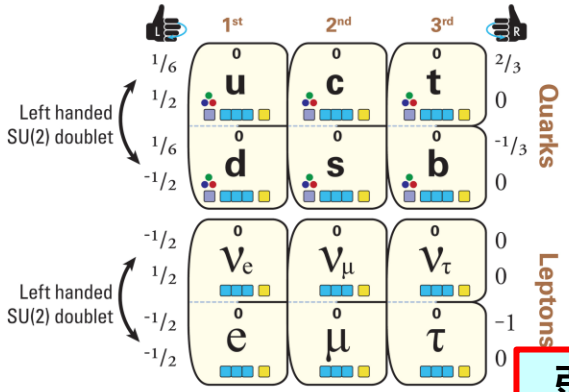


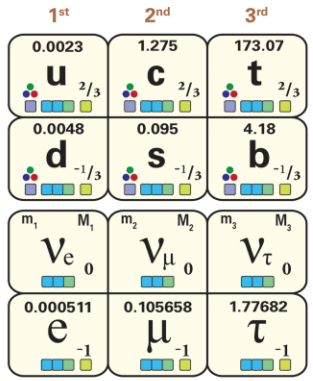


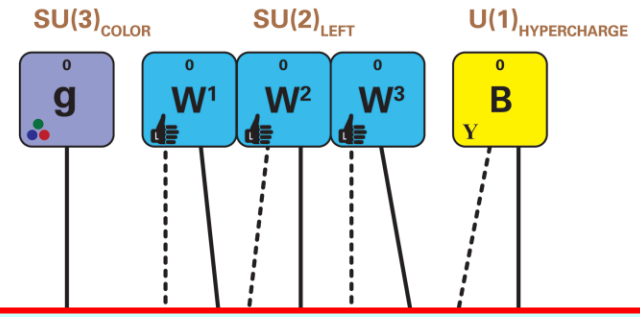
Unbroken Symmetry

Broken Symmetry



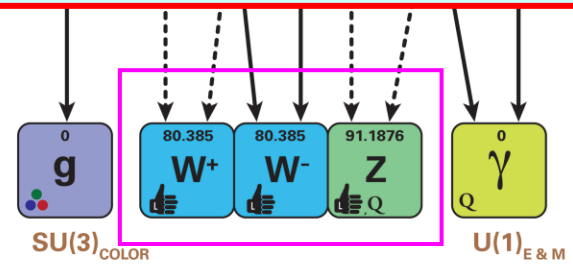






弱い相互作用のルール：「左手型しか見ない」

W+・W- ボソン は、粒子のカイラリティを極端に選り好みします



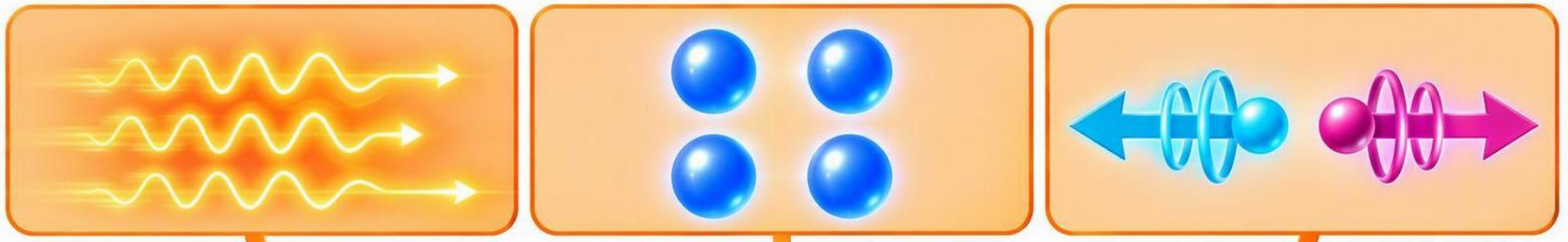
超高温の宇宙初期（すべてが対称・質量ゼロの世界）

注：このスライドはGeminiが作りました

電弱相互作用のゲージ粒子は
すべて質量ゼロ

ヒッグス場（スカラー場・自由度4）
4 種類のスカラー粒子

左手型（L）と右手型（R）は完全に別粒子。



宇宙の膨張と冷却（電弱相転移）

ヒッグス場が「真空期待値」を獲得
空間全体が「ヒッグスの海」で満たされる
4つの自由度が「3（円周方向）：1（半径方向）」に分化

自発的対称性の破れ

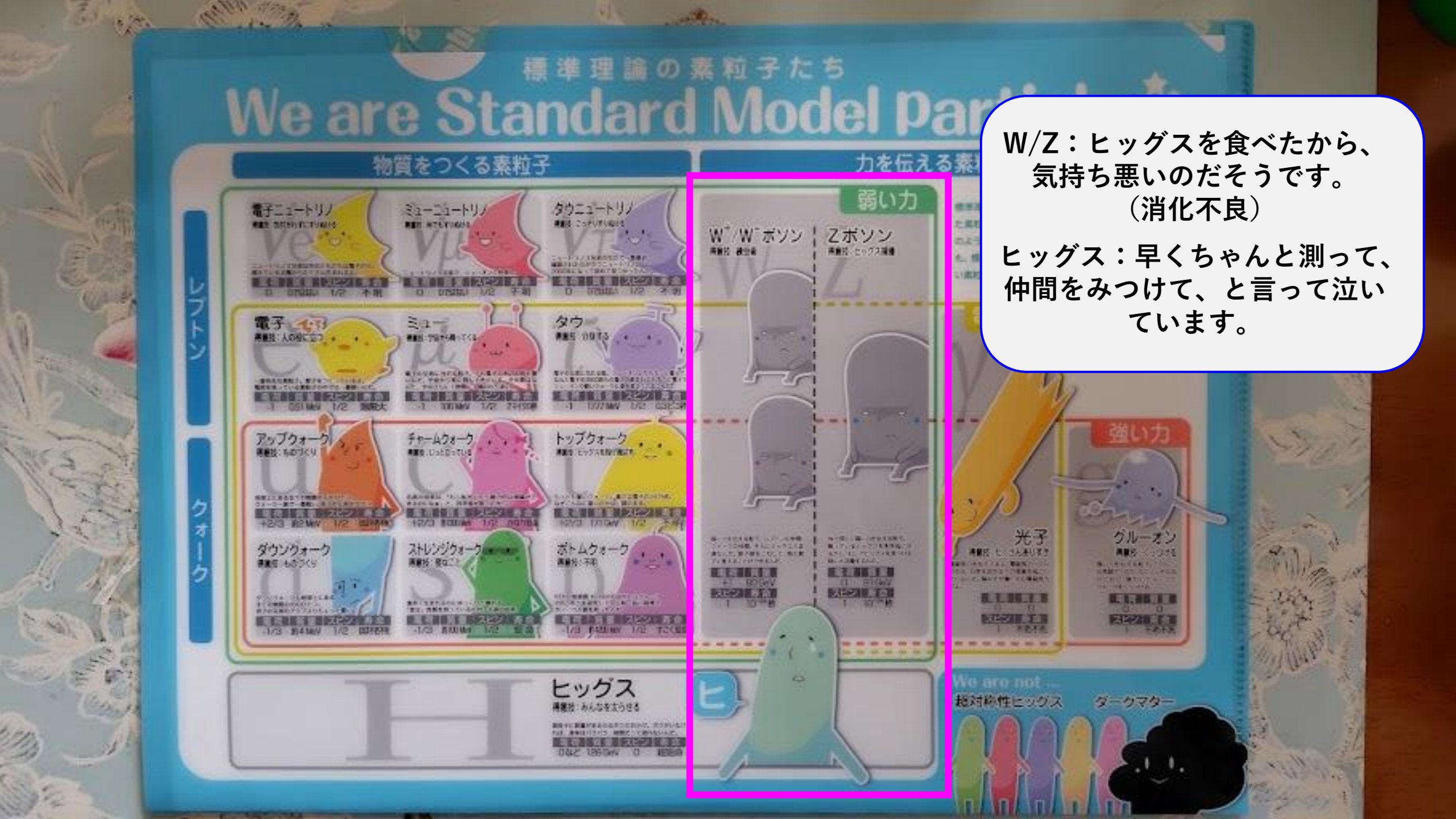




- 「WとZがヒッグスを食う」
  ヒッグス場の自由度を吸収し重くなる
- 光子はそのまま

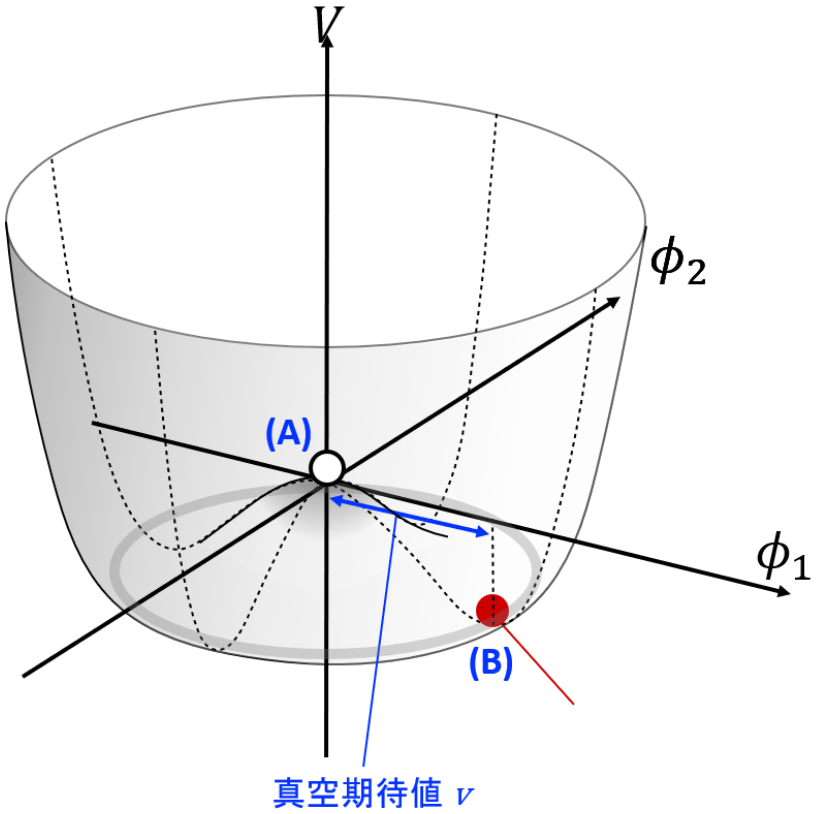
W・Zに食われずに残った
最後の自由度がヒッグス粒子

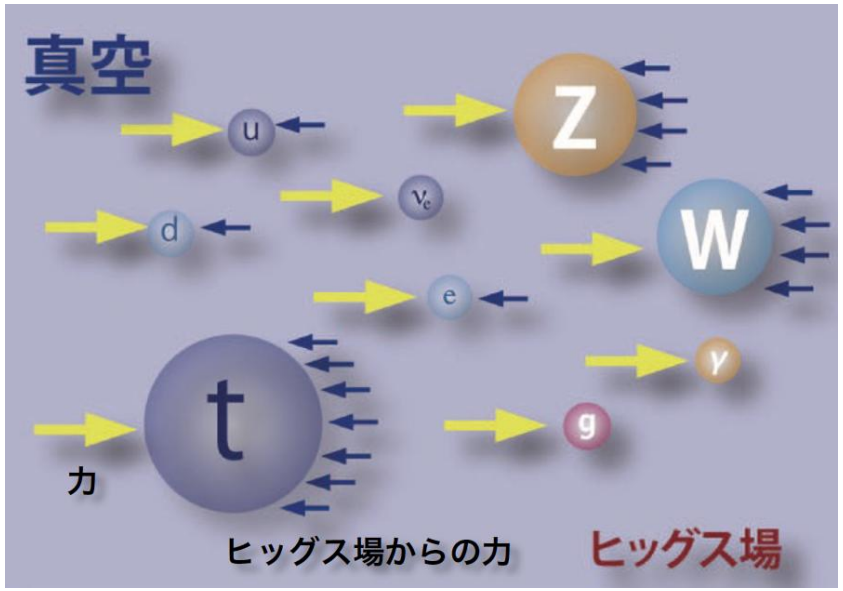
電子やクォークがヒッグス場と衝突：質量を獲得
左手型（L）・右手型（R）がまざる


標準理論の素粒子たち
We are Standard Model Par
物質をつくる素粒子
力を伝える素
レプトン
クォーク
電子ニュートリノ
ミューニュートリノ
タウニュートリノ
電子
ミュー
タウ
アップクォーク
チャームクォーク
トップクォーク
ダウンクォーク
ストレンジクォーク
ボトムクォーク
ヒッグス
弱い力
W+/W−ボソン
Zボソン
強い力
光子
グルーオン
We are not ...
超対称性ヒッグス
ダークマター
W/Z：ヒッグスを食べたから、
気持ち悪いのだそうです。
（消化不良）
ヒッグス：早くちゃんと測って、
仲間をみつけて、と言って泣い
ています。

ヒッグスファクトリー実験将来計画

ヒッグス粒子を大量に生成し、
ヒッグス粒子の相互作用や電弱相互作用に関する精密測定を通じて
ヒッグス機構による質量獲得メカニズム
（電弱対称性の自発的破れによる質量獲得メカニズム）を理解したい



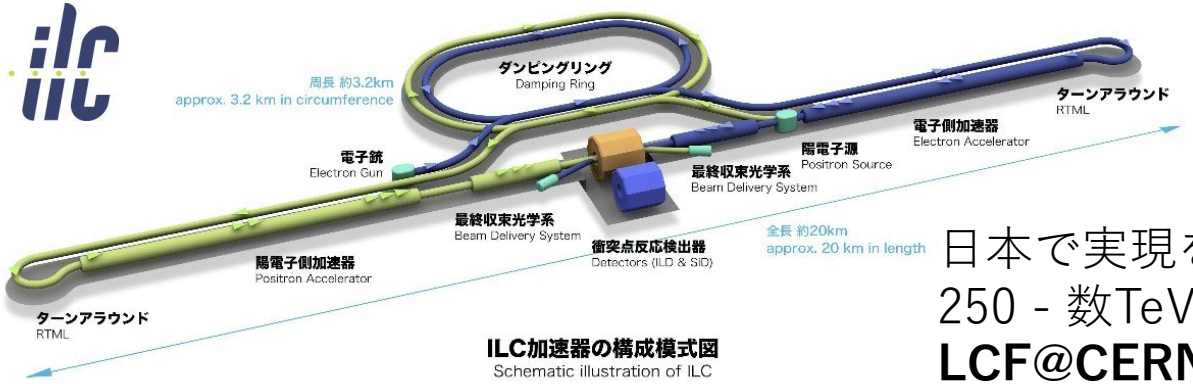


誕生初期の
宇宙の解明

高ネルギー新物理の
兆候を探る

ヒッグスファクトリー実験将来計画：候補たち

線形

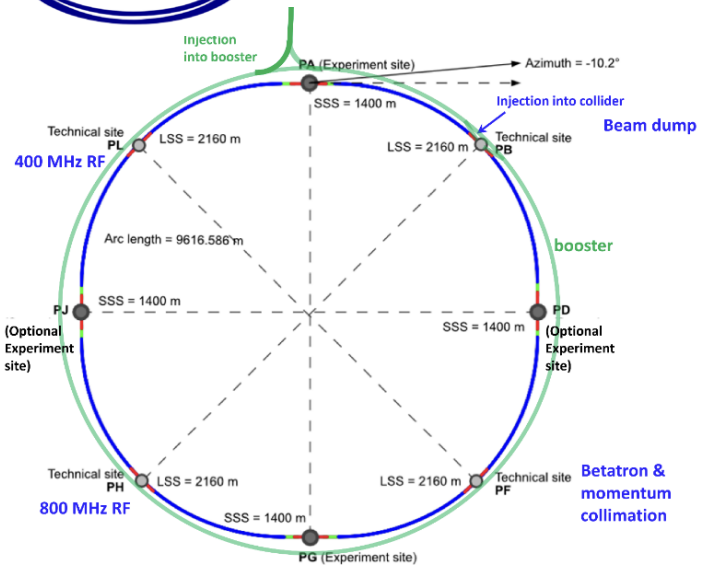


ILC加速器の構成模式図
Schematic illustration of ILC

線形と円形の長所・短所は後述

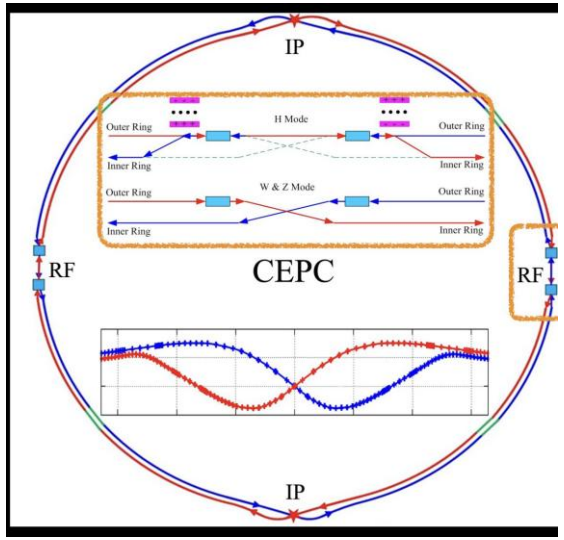
日本で実現を目指す線形コライダー計画
250 - 数TeVの**エネルギー拡張性**
LCF@CERN (CERNのLC) も提案されている

円形



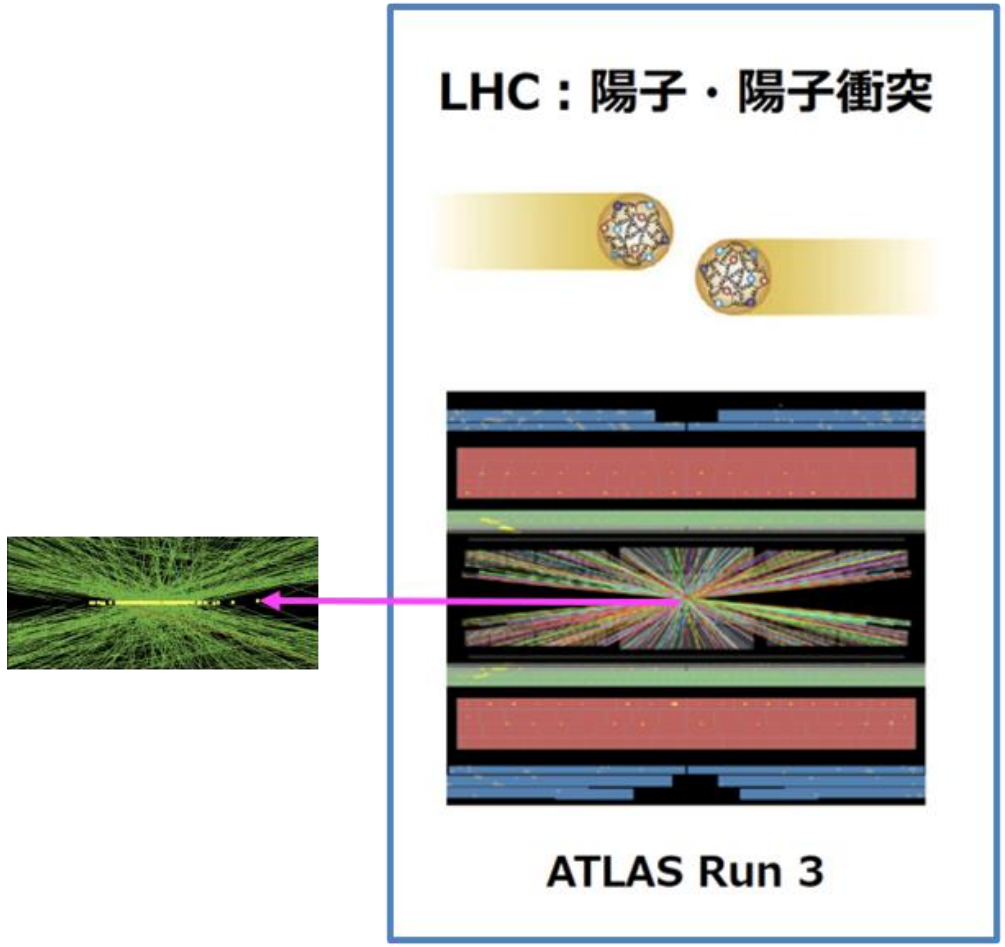
周長 91/100 km
円形コライダー計画
FCC @ CERN
CEPC @ 中国
技術的には類似

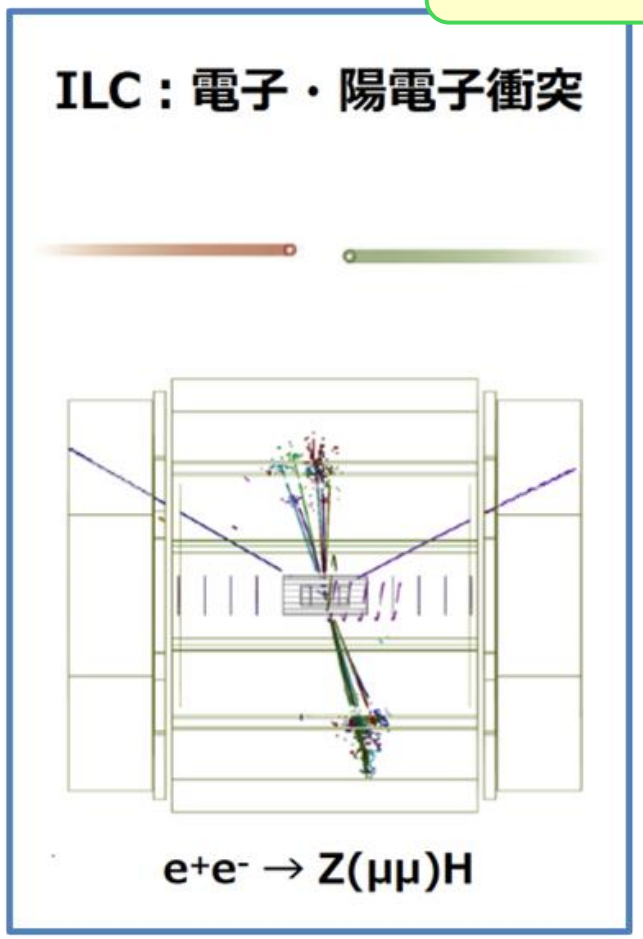
ee : 365 GeVまで
pp : その後



ハドロン型 vs レプトン型コライダー

クリーンな終状態





14000 GeV

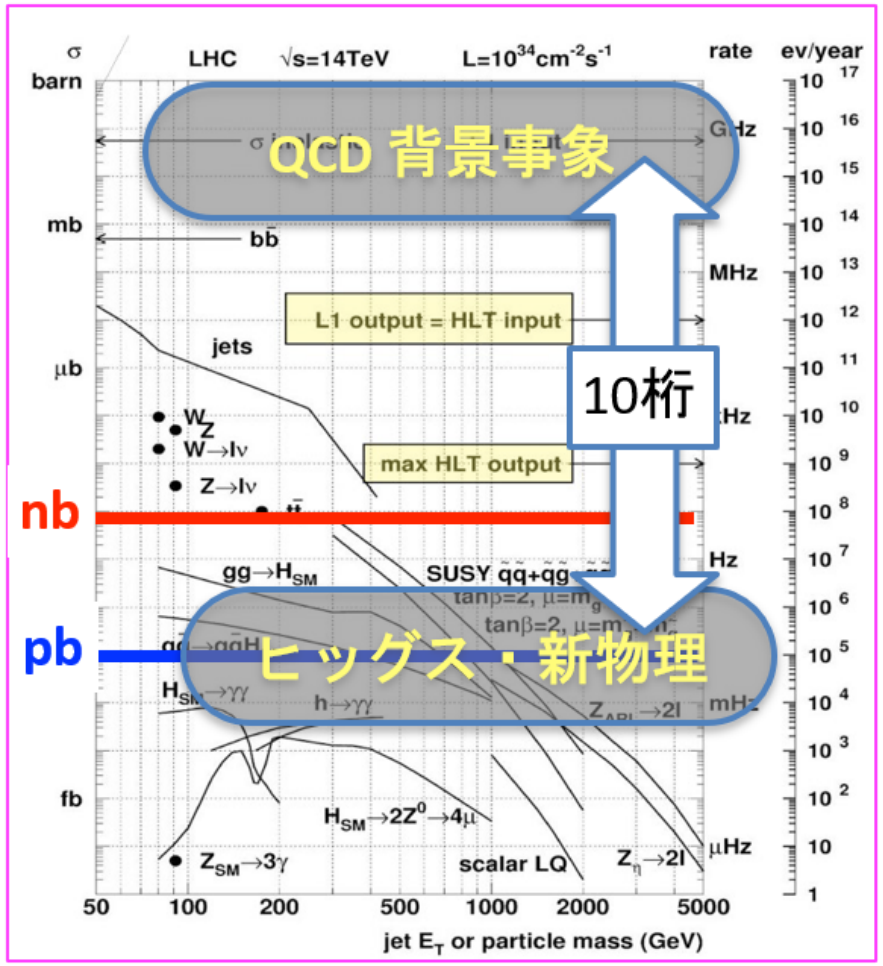
240 GeV -

- ビームエネルギー： ハドロン型 >> レプトン型
- ハドロン型：高エネルギー事象は稀，レプトン型：全エネルギーを衝突に利用
- ハドロン型：p_T（横方向運動量）のみ保存，レプトン型：p（4元運動量）保存

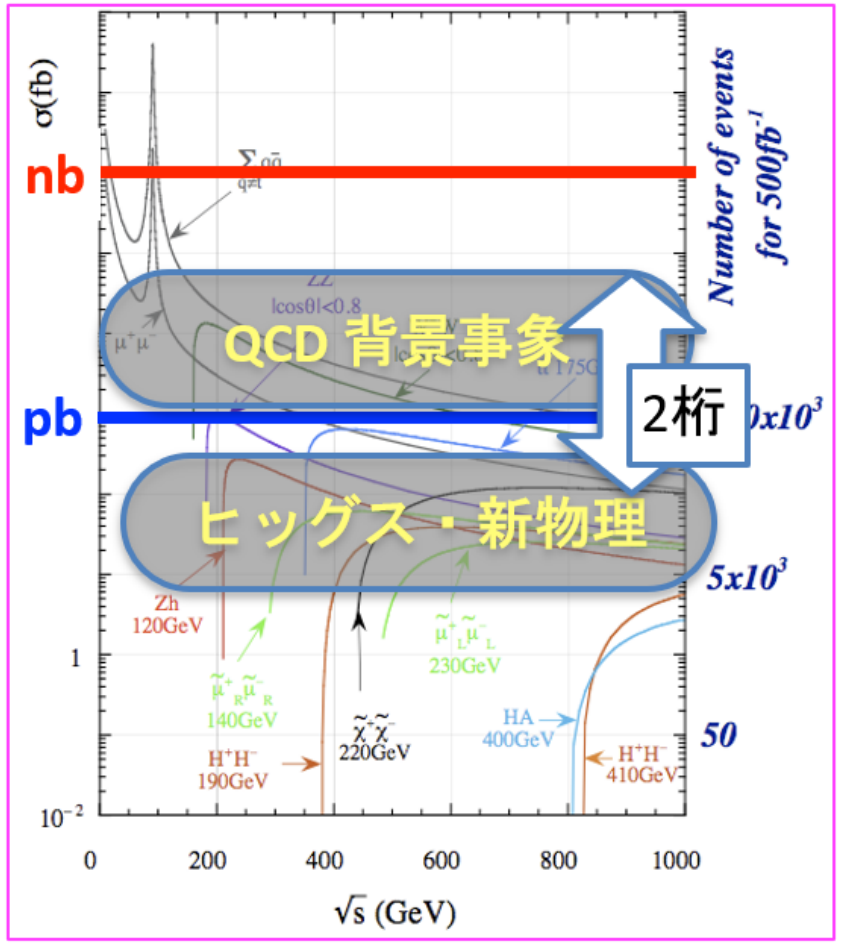
ハドロン型 vs レプトン型コライダー

S/N比大

ハドロンコライダー



レプトンコライダー

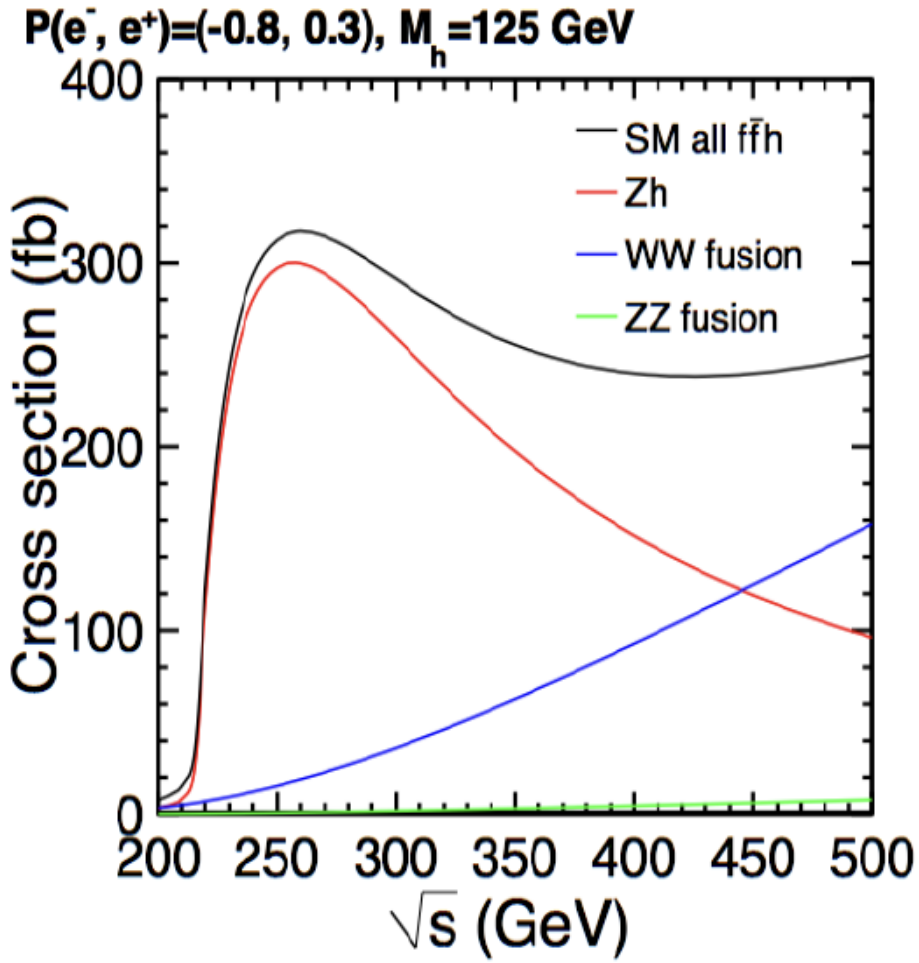


- 信号断面積はLHCの方が一桁大きい
- 一方背景事象はLHCが圧倒的数桁多い

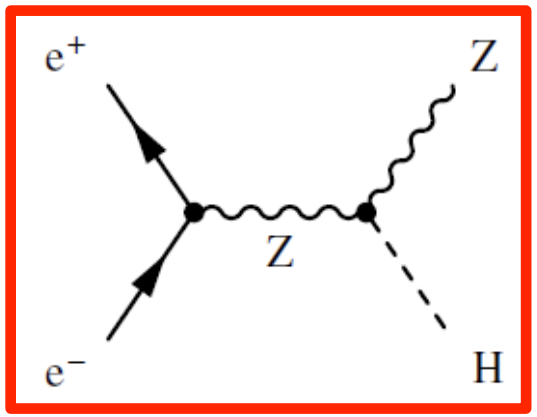
クリーンな終状態、S/N比

精密測定が可能

電子陽電子コライダーでのヒッグス粒子生成過程

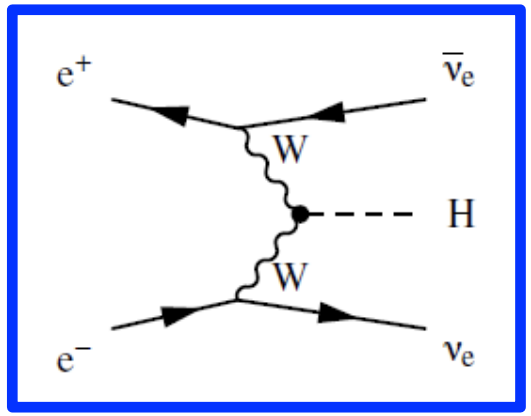


ZH随伴生成：250GeV付近で支配的



Higgs-strahlung

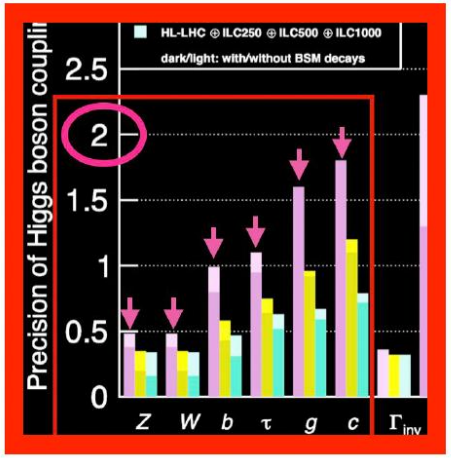
WW融合：350GeV以上で徐々に割合増加



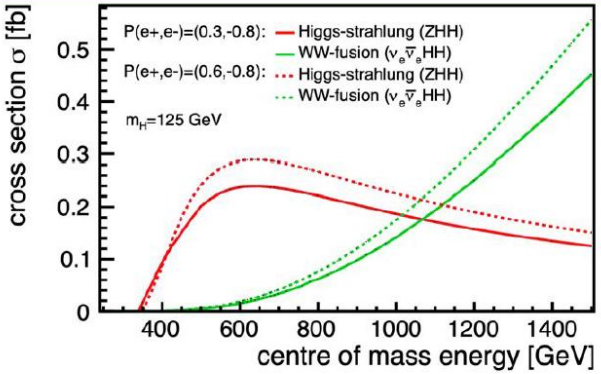
WW fusion

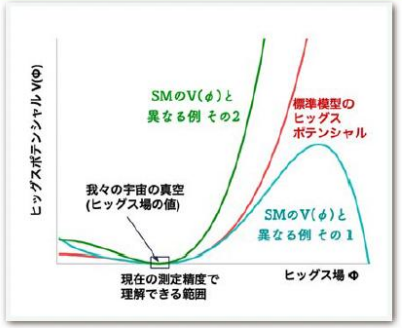
電子陽電子コライダーで狙う物理

Higgs Coupling



Higgsの自己結合

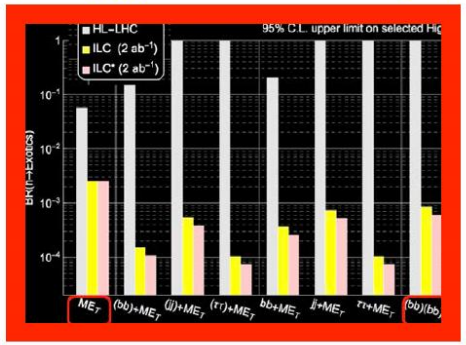




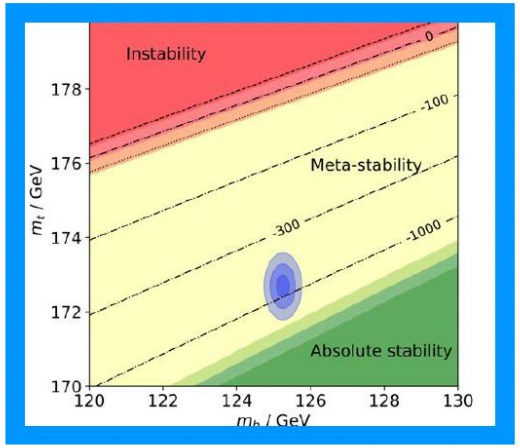
250 GeV　380 GeV　550 GeV >>> 1000GeV? >>> multi-TeV?

HF後の新技術によるEnergy拡張

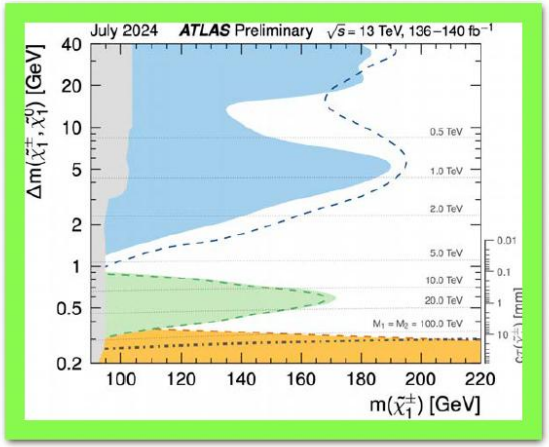
Higgs Exotic Decay



top mass >> Vac.安定性

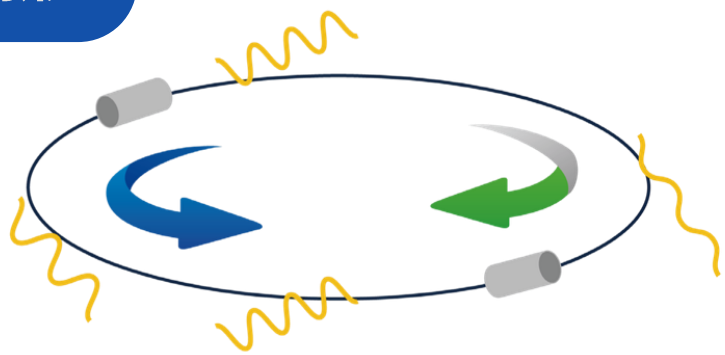


(Electro-Weak) SUSY



円形加速器 vs 直線型加速器：ILCはなぜ**直線型加速器**なのか？

円形



電子・陽電子ビームは
磁場で曲げられると光を放出する

↓

ビームのエネルギーが下がってしまう

直線型



ビームを曲げずに加速すると
光を放出しない

↓

効率よくビームを加速器できる！！

ただし、これは加速器側のメリット
測定器にとっては、高エネルギーの電子・陽電子ビームが頂ければ、〇でも一でもよいのでは？

ILCのここがすばらしい１

偏極ビーム

ILCの偏極ビーム

- 偏極ビームとは、電子や陽電子のスピン（自転の向き）をそろえたビームのこと
- **ILCでは「右巻きビーム」と「左巻きビーム」が作れる**
- 電子ビームはもちろん、陽電子ビームも偏極可能（世界的にも希少）

何がいいの？

- 電弱相互作用（弱い相互作用）は、右巻きと左巻きを区別する
  ➡電弱相互作用に関する詳細な情報が得られる
- **Wボソンの背景事象を削って**、信号をきれいに見ることもできる



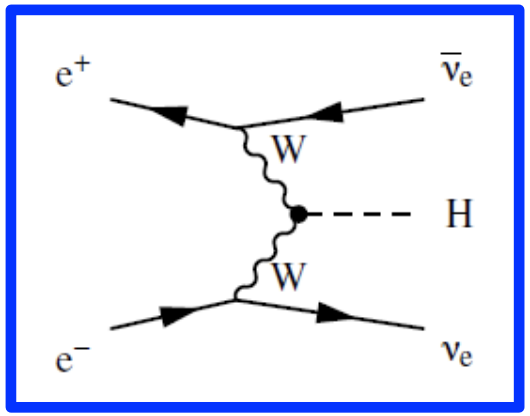
G. Moortgat-Pick, “Physics aspects of polarized e+ at the linear collider”, https://doi.org/10.48550/arXiv.hep-ph/0607173

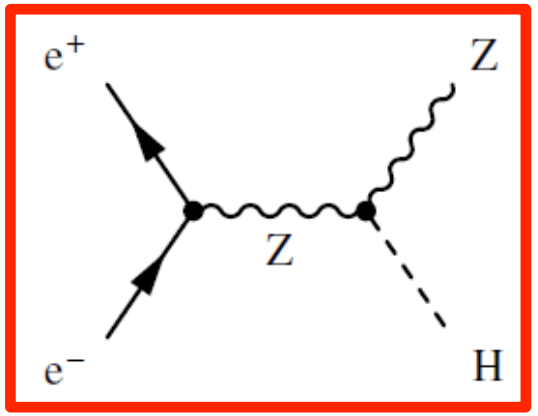
WW fusion **Higgs-strahlung**

Beam polarization	$e^+e^- \to H\nu\bar{\nu}$	$e^+e^- \to HZ$	$e^+e^- \to W^+W^-$	$e^+e^- \to ZZ$
右巻き電子ビーム $(+80\%, 0)$	0.20	0.87	0.20	0.76
左巻き電子ビーム $(-80\%, 0)$	1.80	1.13	1.80	1.25
$(+80\%, -60\%)$	0.08	1.26	0.10	1.05
$(-80\%, +60\%)$	2.88	1.70	2.85	1.91

Table 1: Scaling factors of Higgs production, in Higgs-strahlung and WW fusion, and of the dominant SM background processes WW and ZZ production, at $\sqrt{s} = 500$ GeV, for several polarization configurations compared with the unpolarized case [18, 19].

Higgs production via WW fusion exists only for left-handed electrons and right-handed positrons







ILCのここがすばらしい２

ナノビーム

ナノビームとは

- 衝突点でビームを「ナノメートル」（10億分の1m）まで絞る技術
- 電子・陽電子ビームを極限まで絞り込んで衝突させる

何がいいの？

- **衝突頻度が飛躍的に増える** ➡ ビームが細いほどビーム内の粒子の密度が高まり衝突しやすくなる
- **衝突点の位置が正確に決まる** ➡ 衝突で生成された粒子の崩壊情報の精度が向上
- **ILCでは思いっきり絞れる** ➡ 衝突点でビームを強く絞ると、衝突点を超えたビームが大きく広がってしまうが、ILCは使い捨てビームだから広がってもOK（ビームを再利用しないので広がってもOK）
- すでに実証済み ➡ KEKのATF2で世界最小サイズのビームを実現

衝突点でのビームサイズ $(\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z)$ 一覧

注：Geminiがまとめてくれました

実験 / 加速器名	加速器のタイプ	水平サイズ (σ_x)	垂直サイズ (σ_y)	バンチ長 (σ_z)	特徴・集束方式 / 出典
SLD (SLC)	電子・陽電子（直線型）	$\sim 1.5\ \mu m$ テキスト	$\sim 0.65–0.8\ \mu m$ テキスト	$\sim 700\ \mu m–1.1\ mm$ テキスト	単一パスの線形加速器。微小なフラットビームを実現。 テキスト
LEP	電子・陽電子（円形型）	$\sim 150\ \mu m$ テキスト	$\sim 5–10\ \mu m$ テキスト	$\sim 10\ mm$ テキスト	CERNの大型円形ストレージリング。 テキスト
Belle (KEKB)	電子・陽電子（非対称円形型）	約 $100–150\ \mu m$ テキスト	約 $1–3\ \mu m$ テキスト	約 数 mm ($3 \text{--} 6\text{ mm}$程度) テキスト	非対称Bファクトリー。垂直方向に強く絞り込み。 テキスト
Belle II (SuperKEKB)	電子・陽電子（ナノビーム円形型）	約 $10–11\ \mu m$ テキスト	約 $48–62\ nm$ テキスト	約 $5–6\ mm$ テキスト	「ナノビーム方式」により垂直方向を極限まで絞り込み。 テキスト
LHC (ATLAS / CMS)	陽子・陽子（大型円形型）	約 $16\ \mu m$ テキスト	約 $16\ \mu m$ テキスト	約 $7.5\ cm$ ($75\ mm$) テキスト	ハドロンコライダー。放射損失が少ないため丸型に近いビーム。 テキスト

衝突点でのビームサイズ $(\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z)$ 一覧

注：Geminiがまとめてくれました

実験 / 加速器名	加速器のタイプ	水平サイズ (σ_x)	垂直サイズ (σ_y)	バンチ長 (σ_z)	特徴・集束方式 / 出典
ILC (国際リニアコライダー)	電子・陽電子 (将来直線型)	約 516–640 nm テキスト	約 5.7–7.7 nm テキスト	約 300 μm テキスト	超伝導リニアコライダー。原子数十個分の厚さの超扁平ビーム。 テキスト
FCC-ee (将来円形コライダー)	電子・陽電子 (将来巨大円形型)	約 6.4–14 μm テキスト	約 28–36 nm テキスト	約 5–15 mm テキスト	周長約91km。クラブ・ウェスト方式等により円形でありながらナノサイズを実現。 テキスト

各世代・方式の傾向とポイント

- **レプトン円形コライダー（LEP, Belle, FCC-ee）**: 水平方向は数百 μm～数十 μmと比較的広いですが、垂直方向は衝突点で強力な磁石（最終収束系）により数 μmから数 nm(Belle II や FCC-ee) まで極限まで平たく（フラットビームに）絞り込まれます。
- **リニアコライダー（SLD, ILC）**: リングを周回しないため、直線の利点を活かしてビームサイズ自体をサブミクロン～ナノメートル単位（特に垂直方向は数 nm）に絞り込み、高い衝突確率（ルミノシティ）を稼ぎます。
- **ハドロンコライダー（LHC）**: 陽子はシンクロトロン放射光による自然なビーム収縮が起きにくいため、レプトン機に比べて衝突点でのビームスポットの物理的サイズ自体は大きめ（十数 μm以上）になります。

SLDの経験：小さく安定したビームスポットの威力

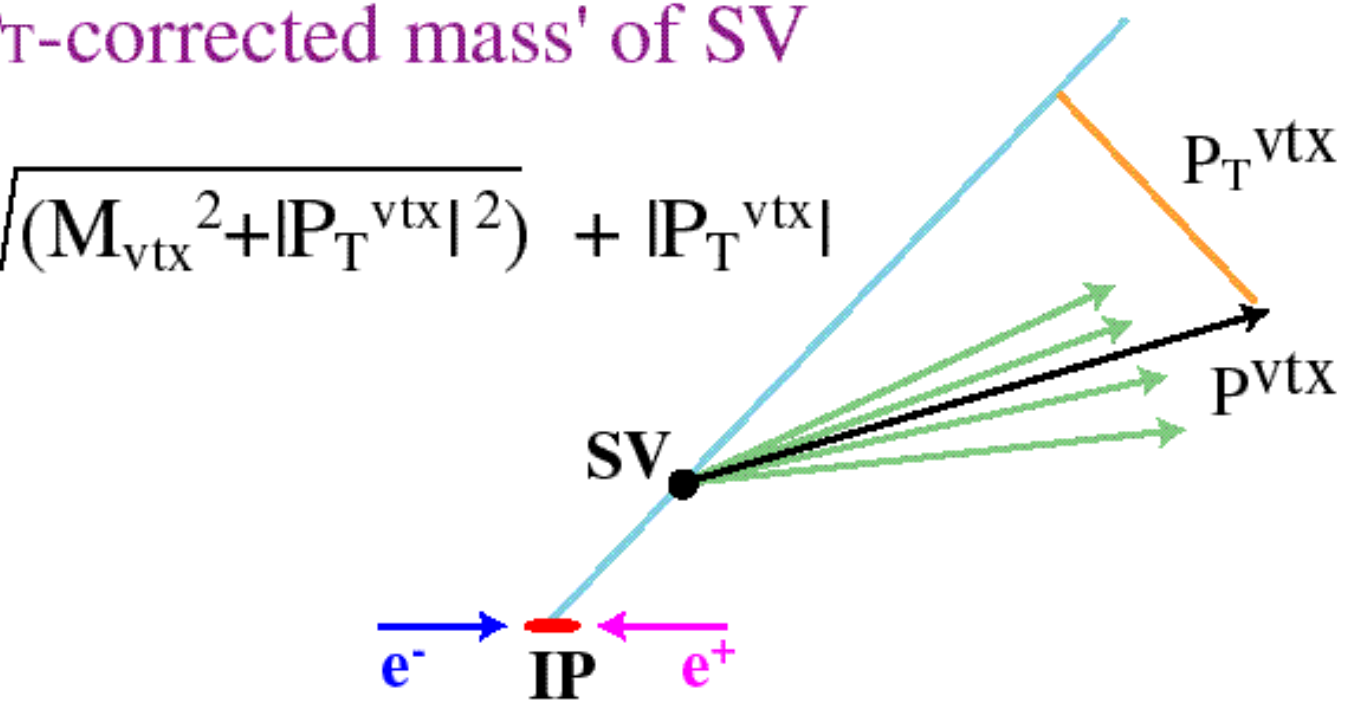
Flavor-tagging → Mass-tag method

based on the topological vertex finding

1. Reconstruct Secondary Vertex

2. Form 'P_T-corrected mass' of SV

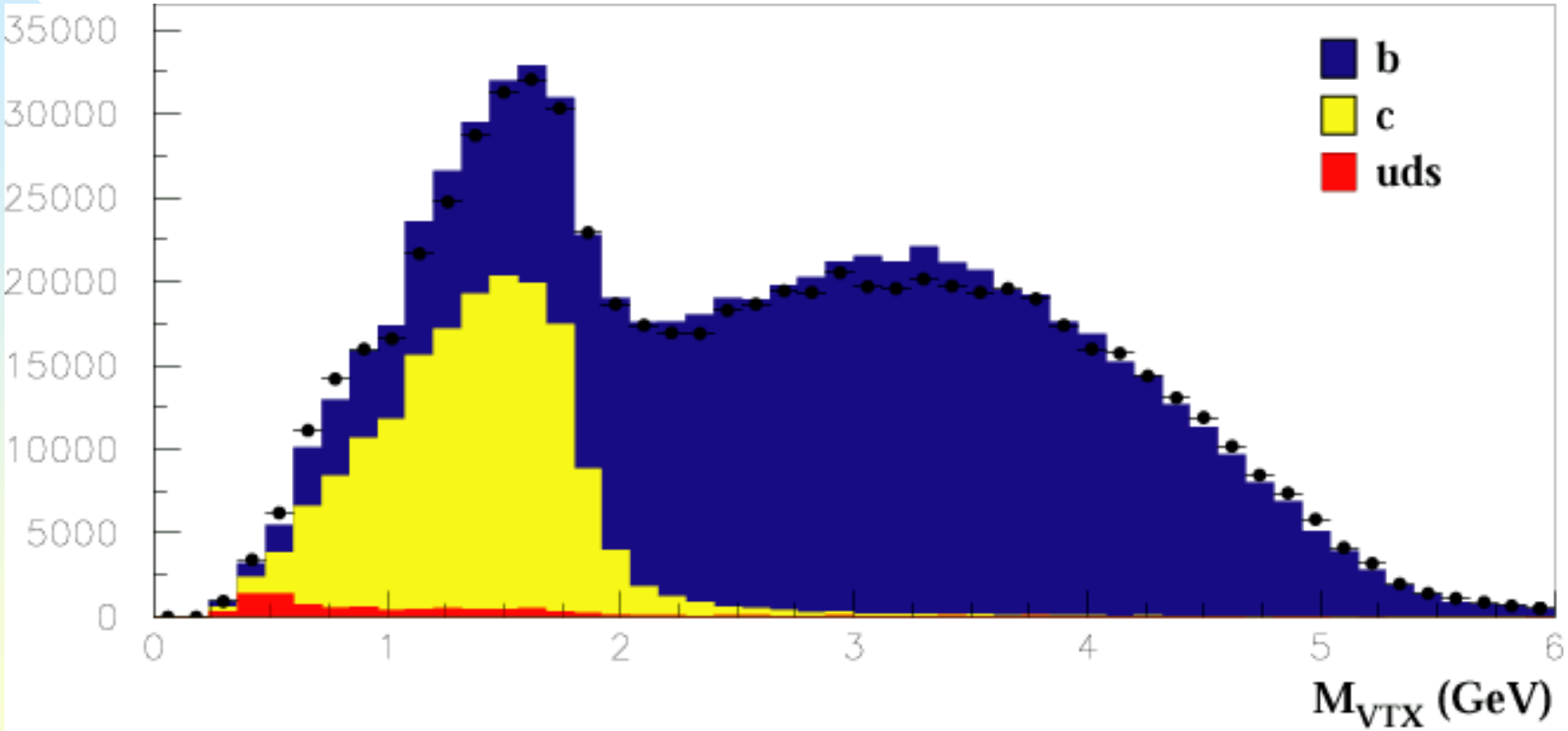
$$M_{corr.} = \sqrt{(M_{vtx}^2 + |P_T^{vtx}|^2)} + |P_T^{vtx}|$$



3. Identify heavy-quark signals with M_{corr}

SLDの経験：小さく安定したビームスポットの威力

B-tagging



b-tagging : P_T corrected mass > 2.0 GeV

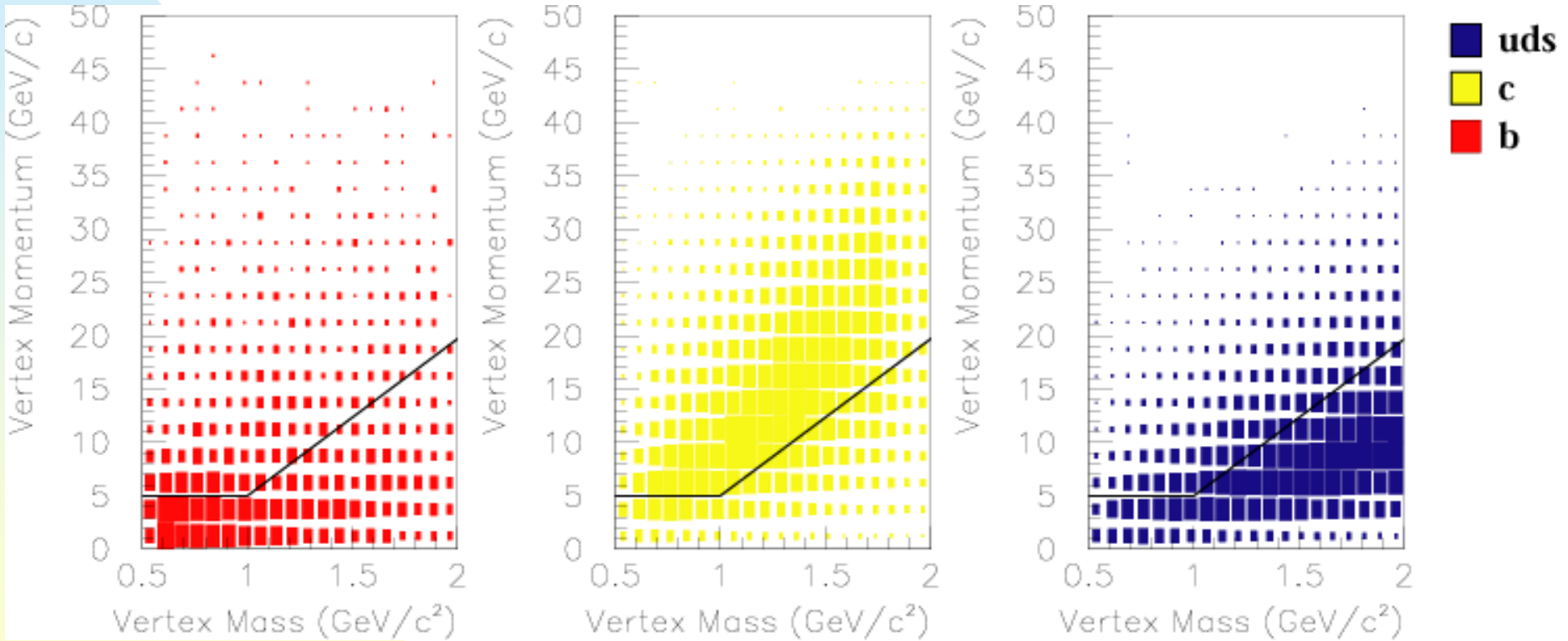
efficiency = 50% purity = 98%

SLDの経験：小さく安定したビームスポットの威力

c-tagging

In general, c-tagging is difficult

→strongly depends on the detector performance

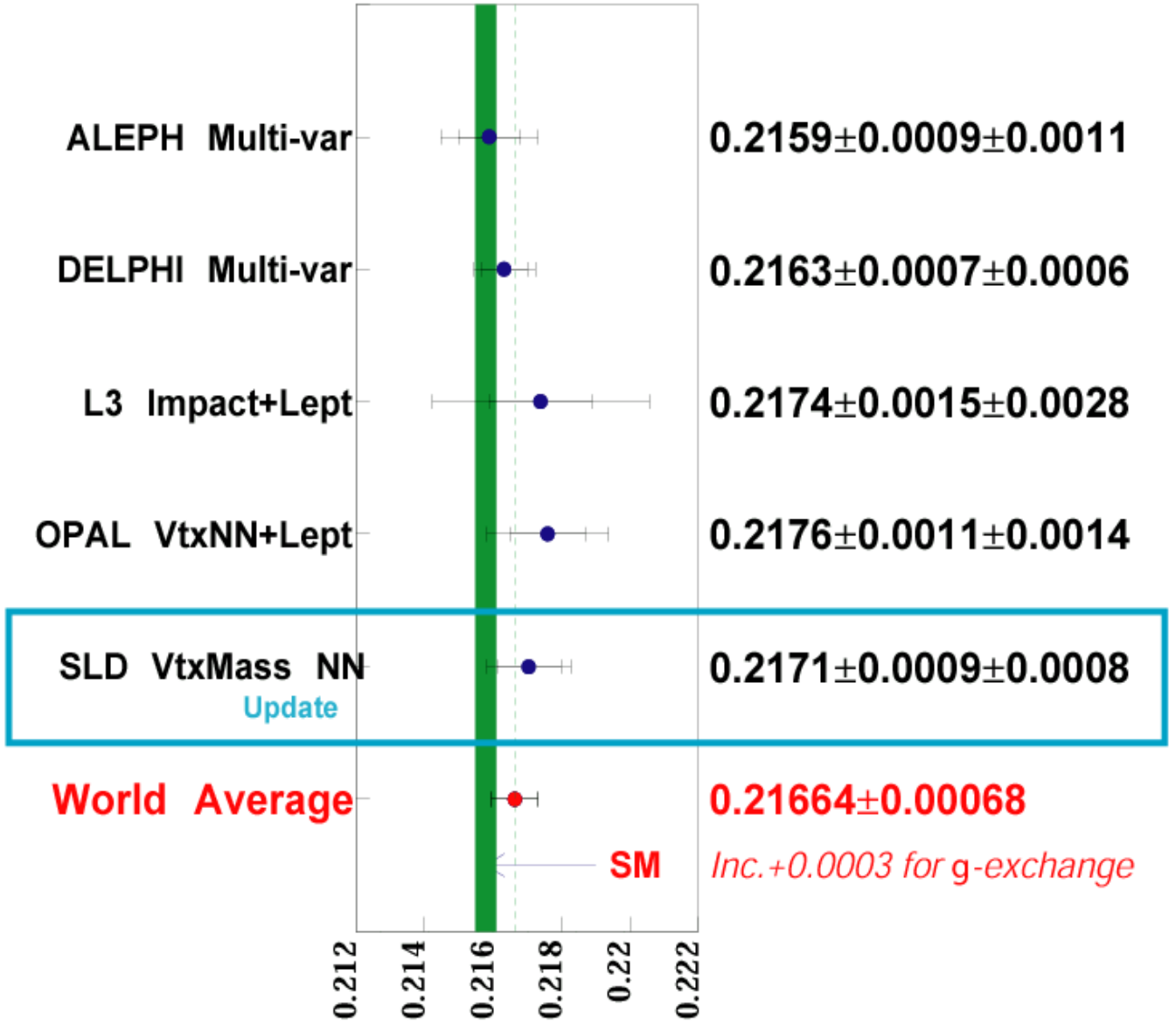


c-tagging : 0.5 GeV < P_T corrected mass < 2.0 GeV

+ 2-dim. Cut on vertex mass and momentum

efficiency = 16% purity = 70%

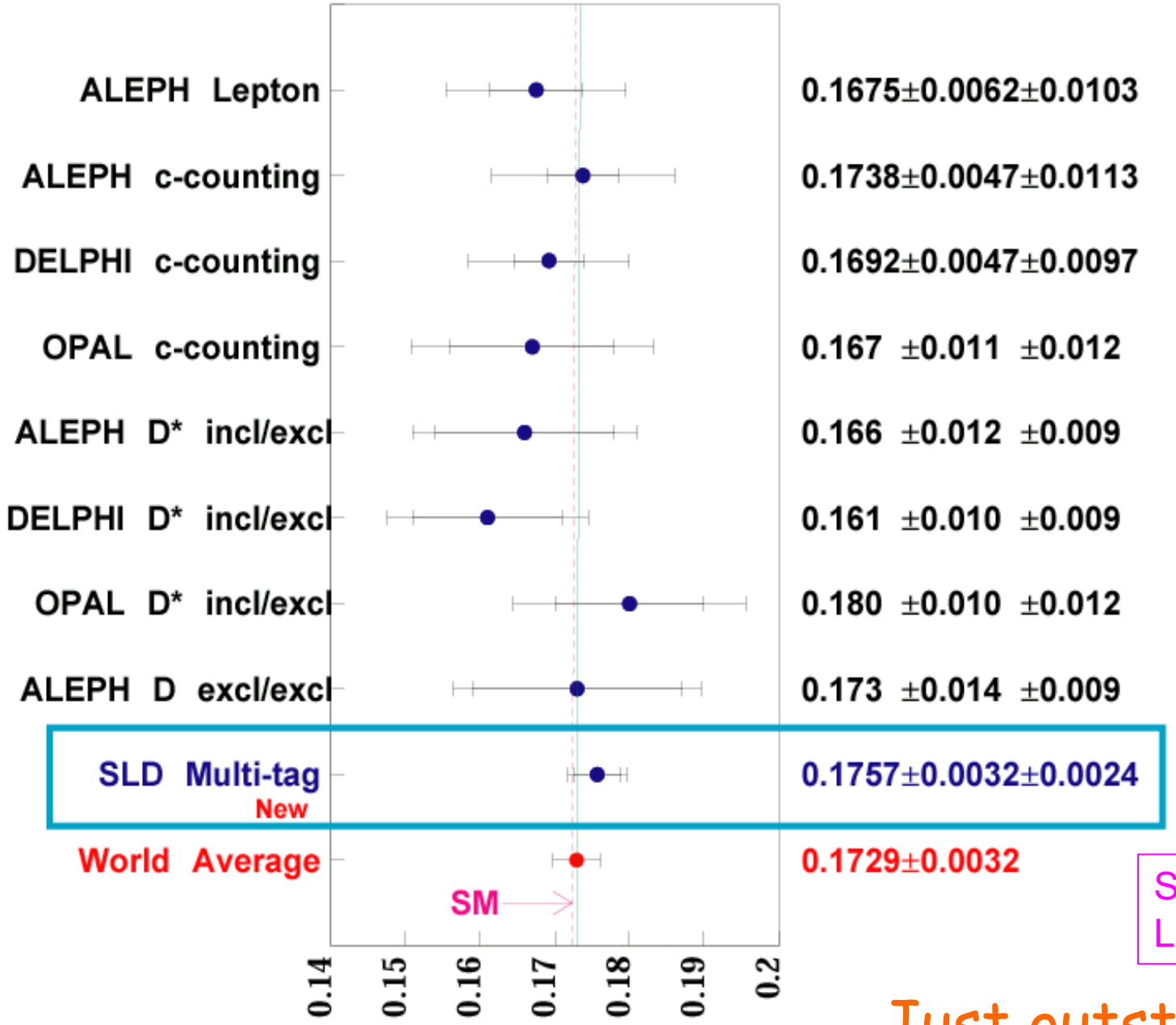
R_b Measurements (Winter-2001)



SLD：約60万事象
LEP：それぞれ420-450万事象

Note: LEP exp.s have 10 times higher statistics than SLD!

R_c Measurements (Winter-2001)



SLD：約60万事象
LEP：それぞれ420-450万事象

Just outstanding!

円形加速器 vs 直線型加速器：長所と短所

ヒッグスファクトリー実験を行うためのポイント

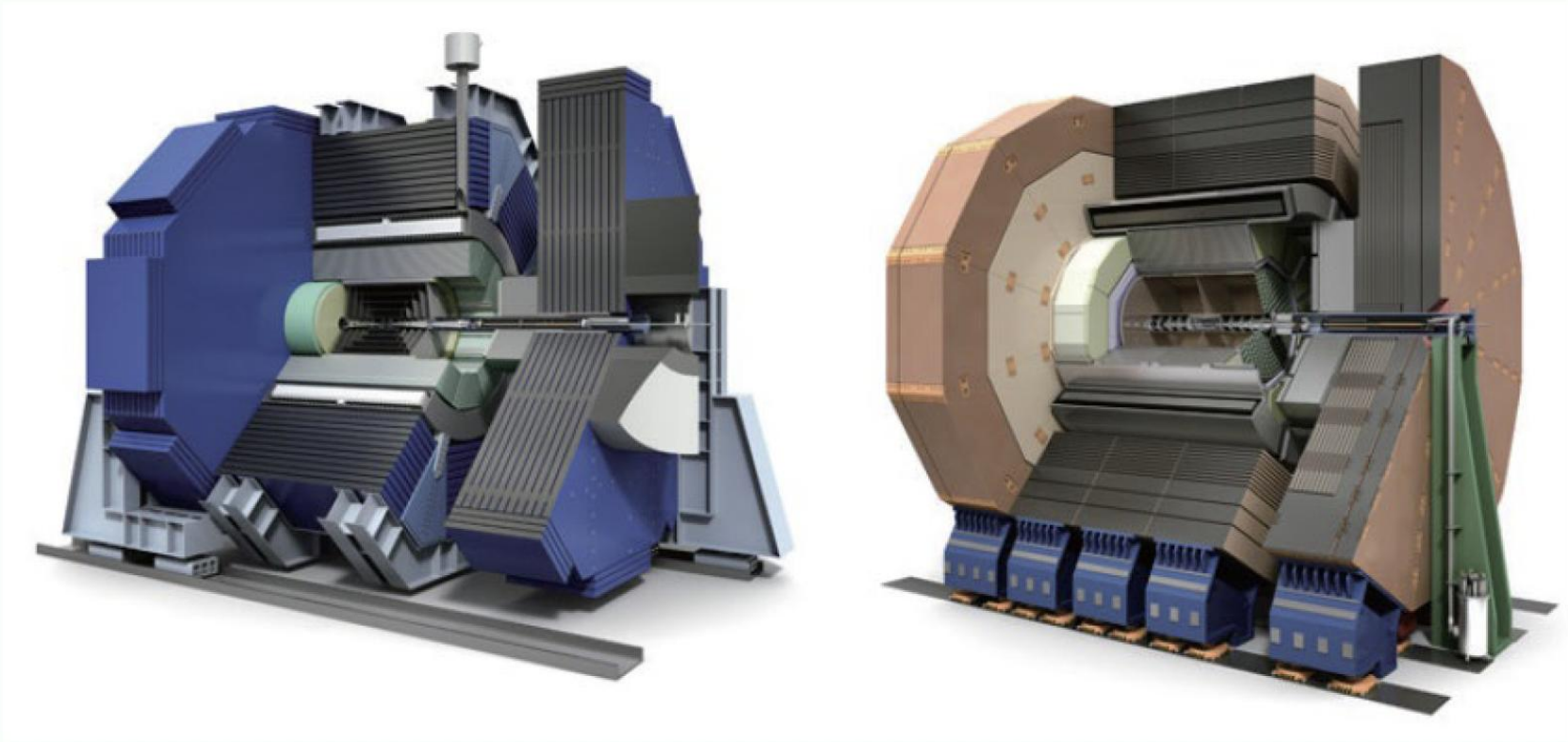
	線形（ILC）	円形（FCC-ee, ..）
1. 高いエネルギー（将来拡張性）	○ （○）	○ （△）
2. ルミノシティー	△	○
2. ビーム偏極	○	× Tera-Z実験でカバー
3. 小さくて安定した衝突点	○	△ 交差角度を持たせて対抗

編極電子ビーム（＋偏極陽電子ビーム）と極小ビームスポットは
ILCの強力な武器です

測定器

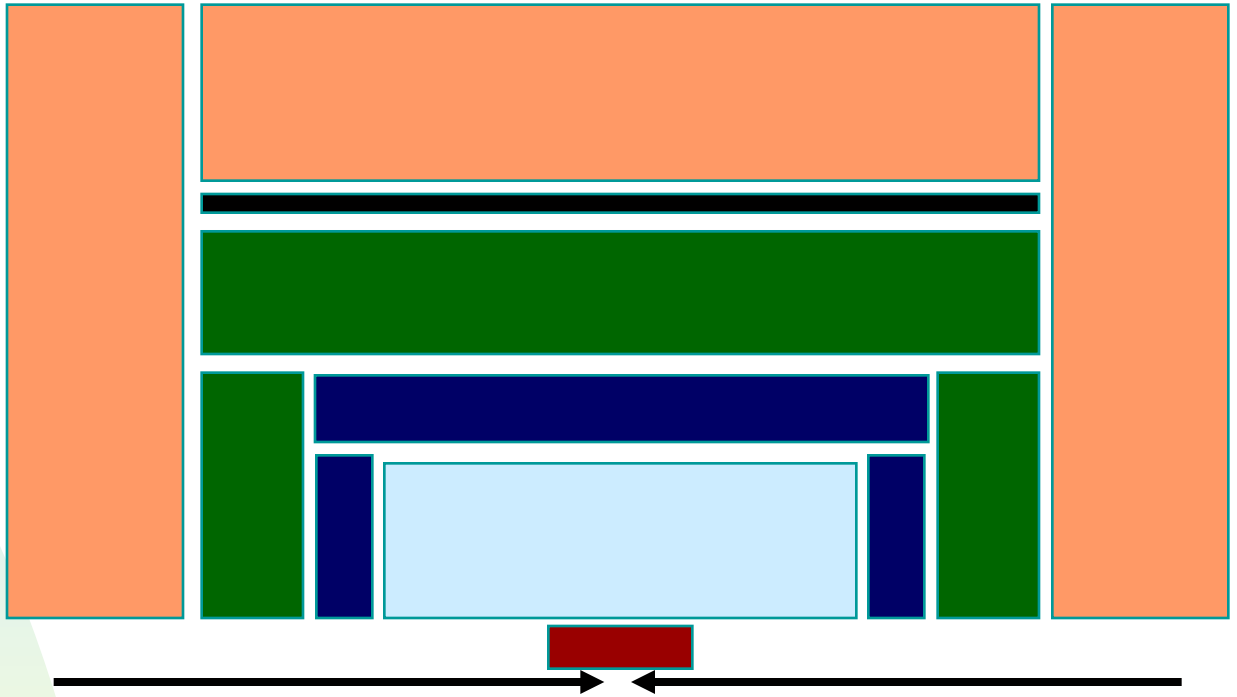
電子・陽電子の衝突により，ヒッグス粒子等の重粒子を生成する

衝突点に大型測定器をおいて、これらの粒子を測定する



ILCに設置する測定器案：SiD測定器(左)とILD測定器(右)

コライダー実験で一般的な測定器構成



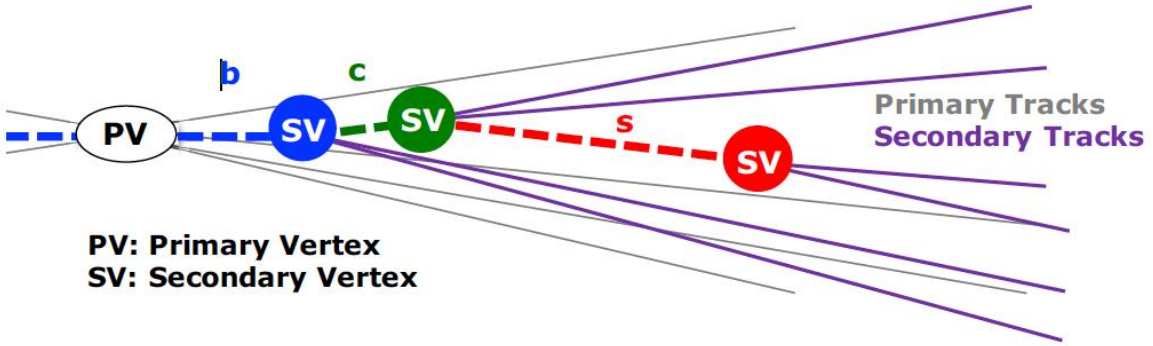
Vertex Detector：B・D中間子の崩壊点を求める
Central Tracker　：荷電粒子の飛跡を測定する
　磁場中で動作させて、飛跡の曲率から運動量を求める
EM Calorimeter　：電磁粒子（光子・電子）のエネルギーを測定する
HAD Calorimeter：ハドロンのエネルギーを測定する
Coil　：磁場を生成する
Muon detector　：μ粒子を検出する

There are many important things
we should consider for LC detectors:
but I'd like to focus on
1) Vertex detector and 2) Calorimeter (EM)

These are the key detectors for
Heavy-Flavor tagging → Vertex Detector
Jet reconstruction → Calorimeter (Tracker)

崩壊点検出器：フレーバー同定

陣内さんのスライドより



ヒッグス結合，自己結合
トップ湯川測定などで
b-taggingが重要

- 二次崩壊点を見つけて重いクォークのジェットのフレーバーを同定
  - u, d, s, gluon jet : single vertex
  - c - jet : 2 vertices
  - b - jet : 3 vertices

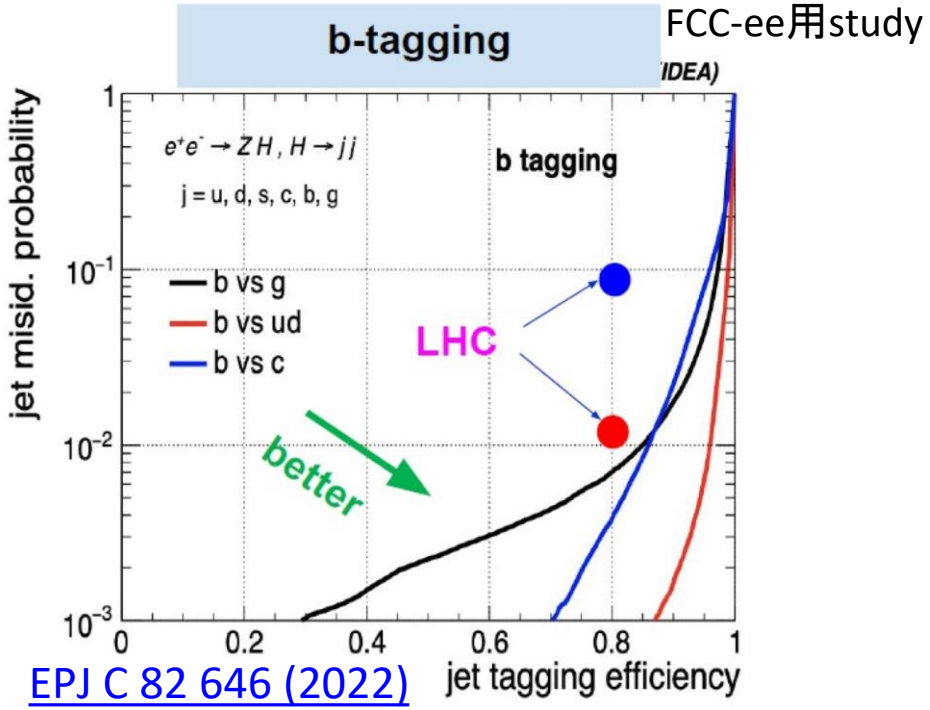
- 高精度 崩壊点測定が必要

$$\sigma \leq 5 \oplus \frac{10}{p\beta \sin^{3/2}\theta}\,[\mu\mathrm{m}]$$

(位置分解能 ⊕ 多重散乱)

(100GeV 付近 LHCでは 10-15 μm)

FCC-ee用study



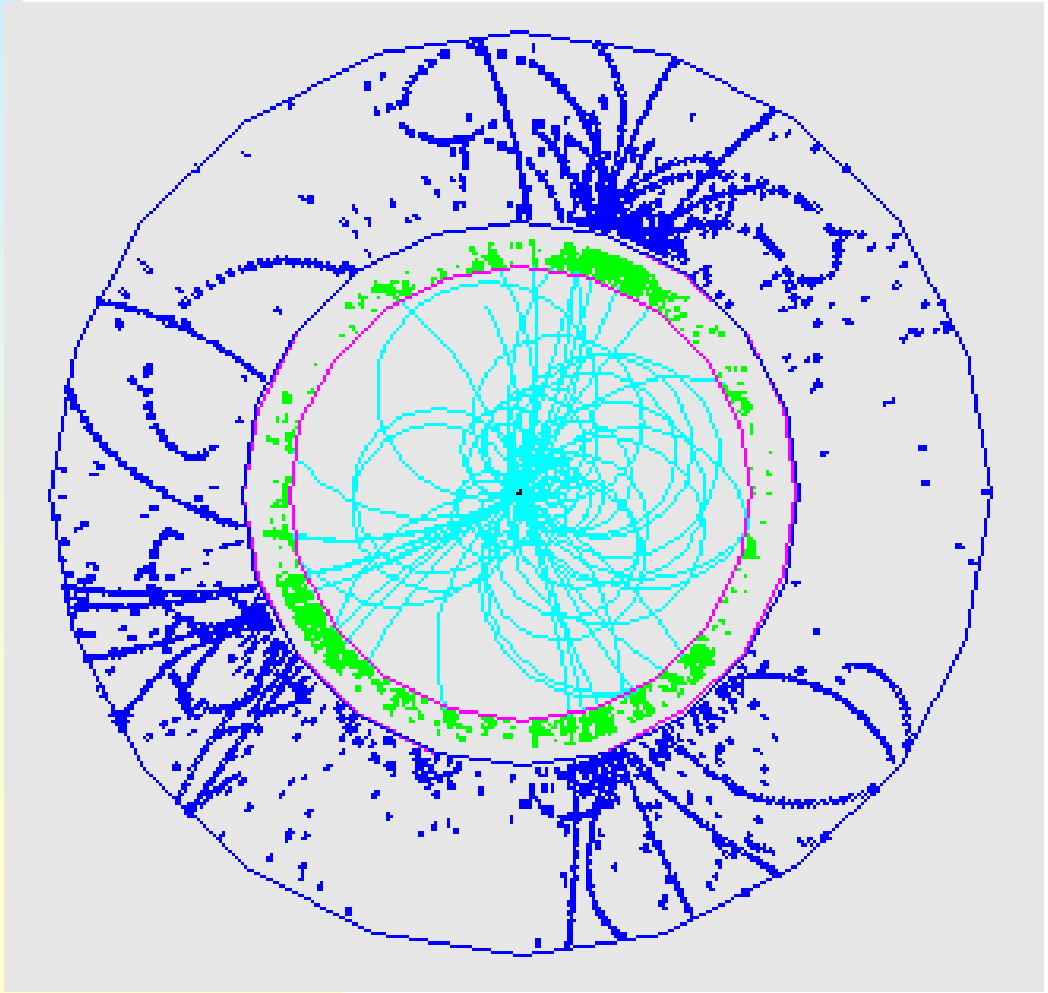
EPJ C 82 646 (2022)

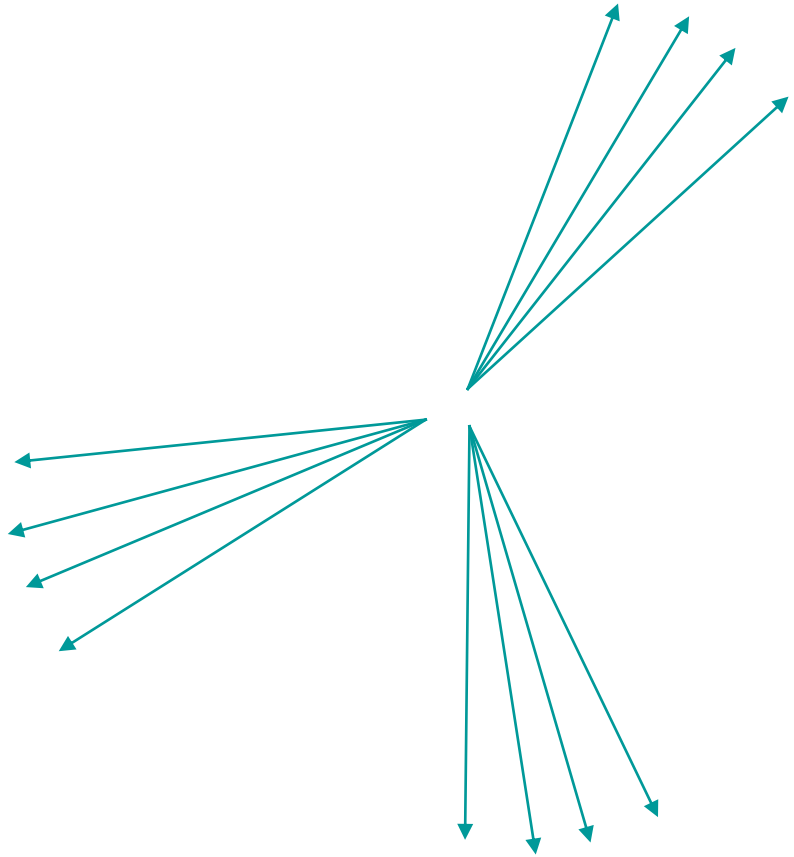
- Calorimeter

In the future linear collider experiments,

many physics processes have multi jets in the final states

→ Good Jet reconstruction is essential



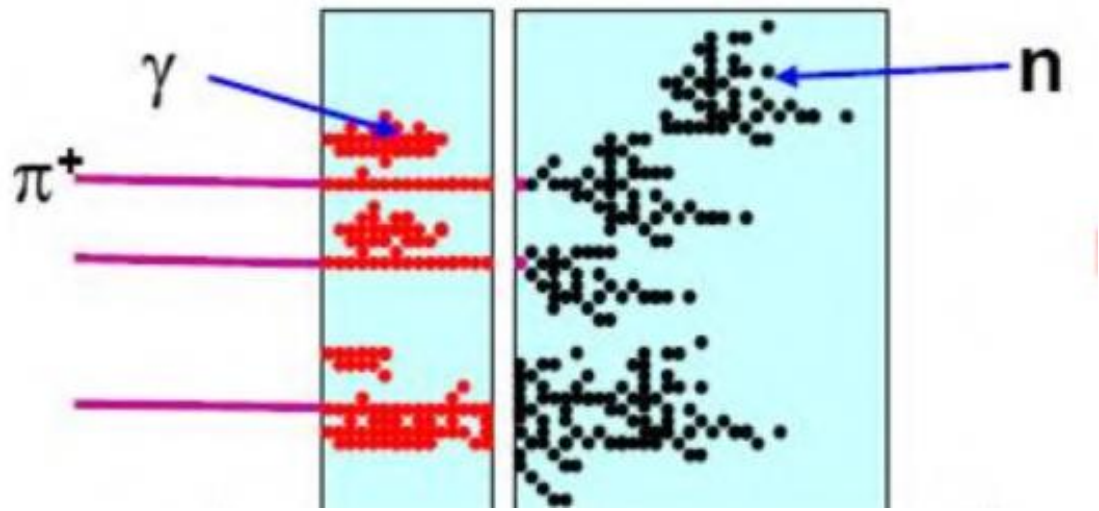


How to reconstruct the jets?

	Tracker	Calorimeter (EM, HAD)
Charged hadron, electron	✓	✓
Neutral hadron, photon		✓

For charged particles, we can use

1) Tracker or 2) Calorimeter



Strategies for the jet reconstruction

1) Calorimeter only

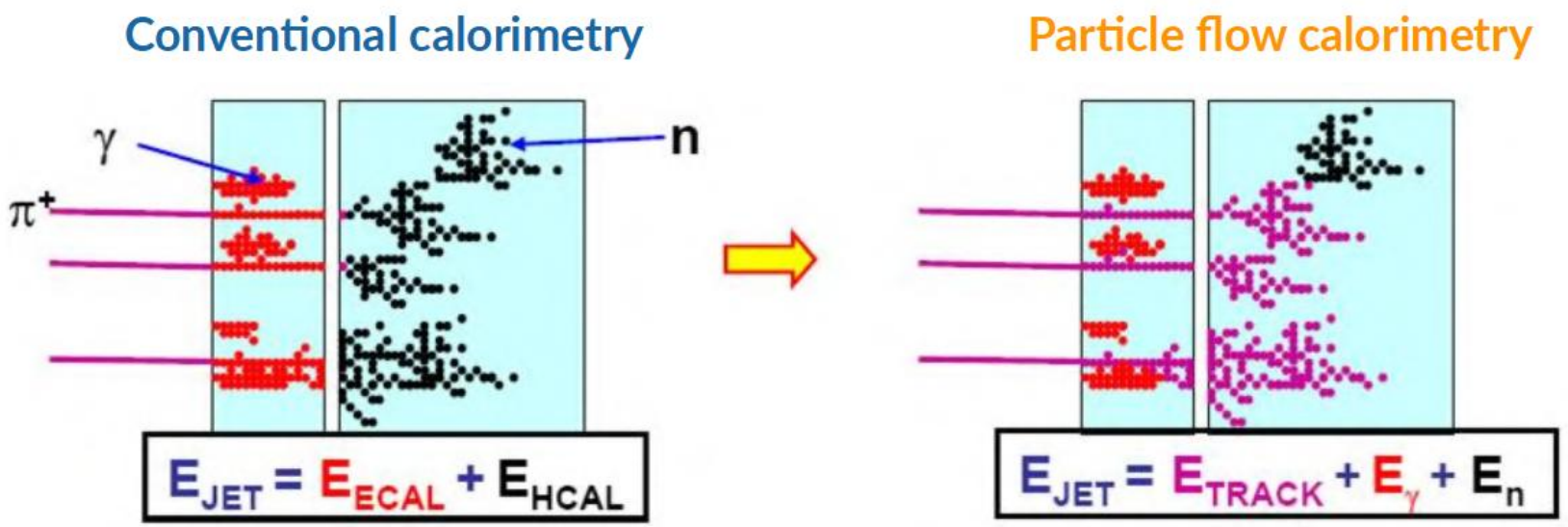
Low B filed, Compensated response

2) Tracking + Calorimeter

.. Particle-Flow (Energy-Flow) Algorithm

High B filed, Large radius

Fine granularity to separate neutral / charged



Strategies for the jet reconstruction

1) Calorimeter only

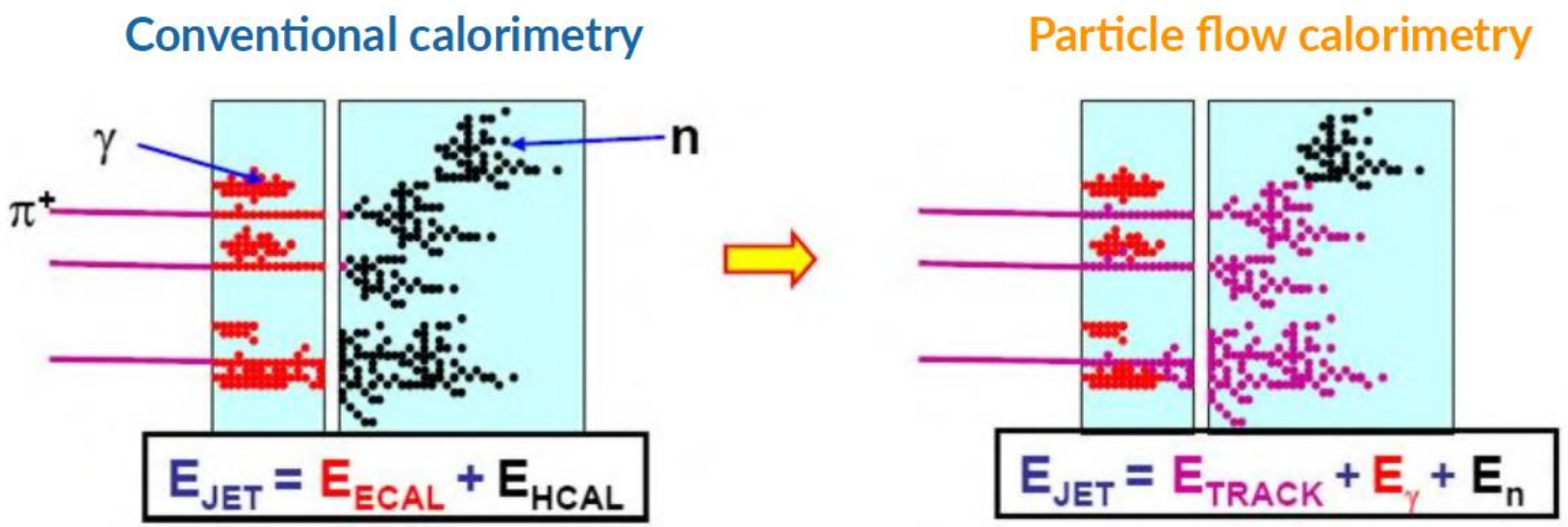
Low B f

2) Tracking

高磁場 and/or 大きな半径
高細度（細かい粒度）なカロリメータ

.. Particle-Flow (Energy-Flow) Algorithm

High B filed, Large radius
Fine granularity to separate neutral / charged



Strategies for the jet reconstruction

1) Calorimeter only

Low B filed, Compensated response

2) Tracking + Calorimeter

.. Particle-Flow (Energy-Flow) Algorithm

High B filed, Large radius

Fine granularity to separate neutral / charged

Av. momentum of charged particle ~ 2.4 GeV @E_{CM} = 500GeV

...σ_P(Tracker) is better than σ_E(Calorimeter)

→We want to Particle-Flow Algorithm for the jet-reconstruction at LC

Jet Reconstruction … Particle Flow method

We use Tracker for charged particles

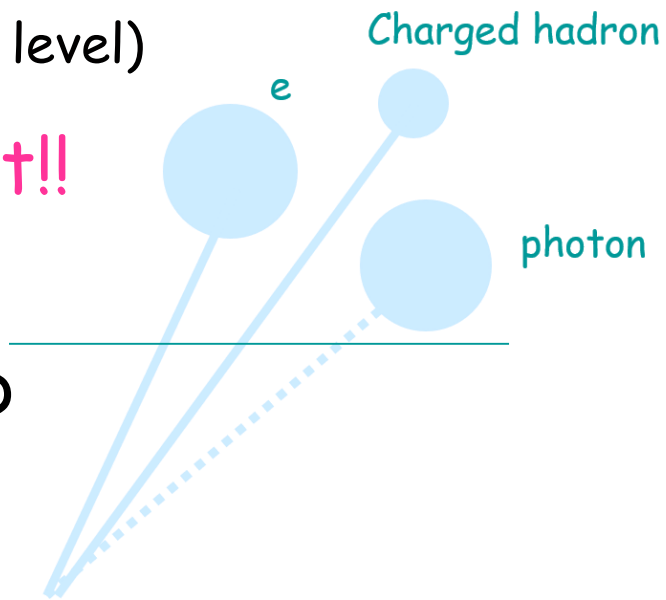
Calorimeters neutral particles

For example, in $e^+e^- \rightarrow tt$ (6jets,4jets) events,

Charged particles carry ~60% of event energy → Tracker

Photons	20%	EM Cal
Neutral hadrons	10%	HAD Cal
Neutrino	10%	cannot detect

(E_{CM} = 500GeV, Generator level)



At first, γ reconstruction in EM CAL is important!!

カロリメータにおける荷電粒子と光子の寄与を分離するため
細かい粒度をもったカロリメータの開発が進められている

新規技術の導入

陣内さんのスライドより

さまざまな新しい技術の導入が検討されいてる

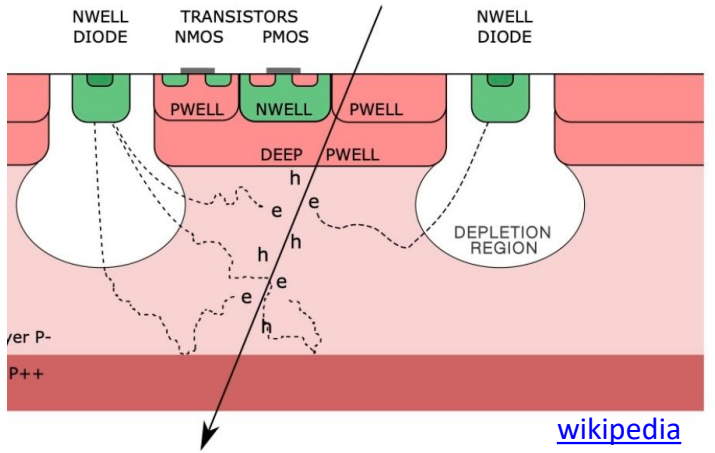
- MAPS
- 新しいカロリメータ技術
- 時間分解能
- 量子技術（量子センサー，量子マテリアル）
- 解析技術（ML/ AI）
- …

これらは分野を問わず共通の技術：異分野融合の活動が可能な研究領域

MAPS

陣内さんのスライドより

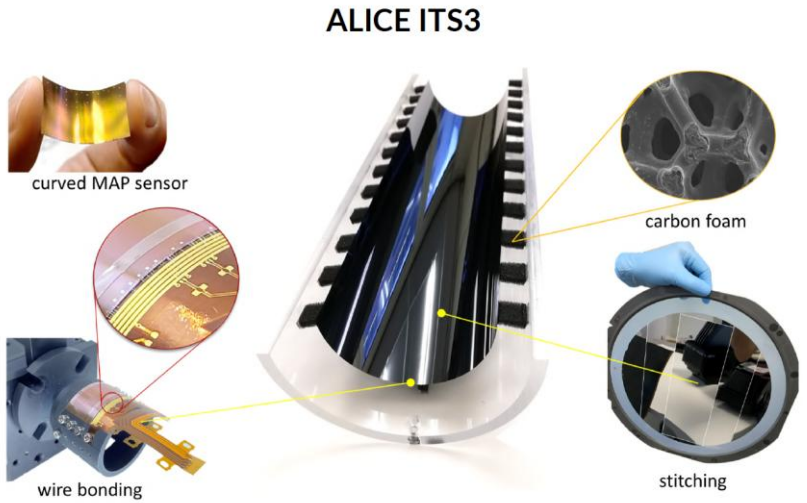
- Monolithic Active Pixel Sensor (MAPS)
  - センサー層と読み出し層を同一シリコンウェハ上に形成
  - 薄型化可能(数十μm以下)
  - 高精細ピクセル化可能(5-30μm)
  - CMOS技術により量産、大面積化可能
  - 高時間分解能の可能性
  - 低消費電力(~10mW/cm^2)



wikipedia

- 将来コライダー実験への応用に向けた研究開発が進んでいる
  - 崩壊点検出器、飛跡検出器、デジタルカロリメータ

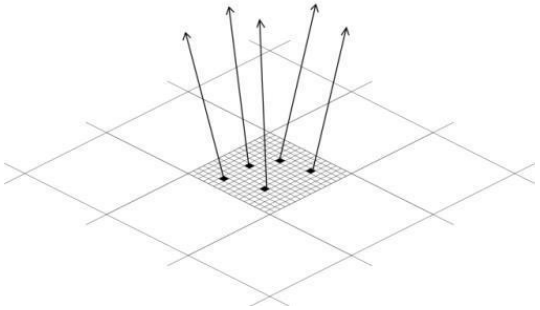
- ALICE ITS3 https://arxiv.org/pdf/2401.04629
  - 極薄MAPSシリコンセンサー(<50μm) → 湾曲可能！
  - 支持構造が不要なので物質量を大幅に削減可能
    - 0.3% X_0 @ITS2 → 0.05% X_0@ITS3



デジタルカロリメータ

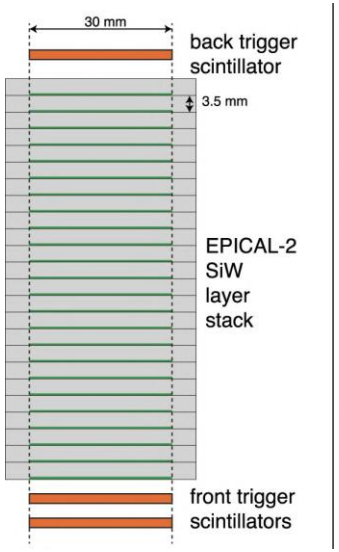
陣内さんのスライドより

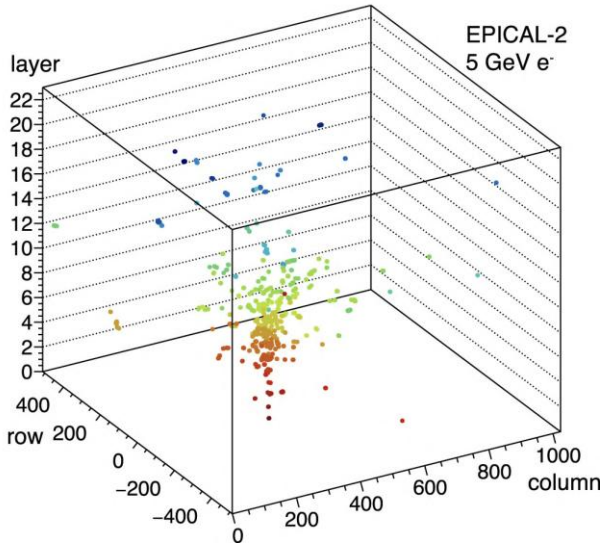
- 究極粒度(granularity)のECAL
  - シャワーエネルギーを粒子数で測る
  - アナログエネルギー測定におけるLandau揺らぎ、角度揺らぎを回避
  - 電磁シャワーの3Dイメージング
  - $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$の識別

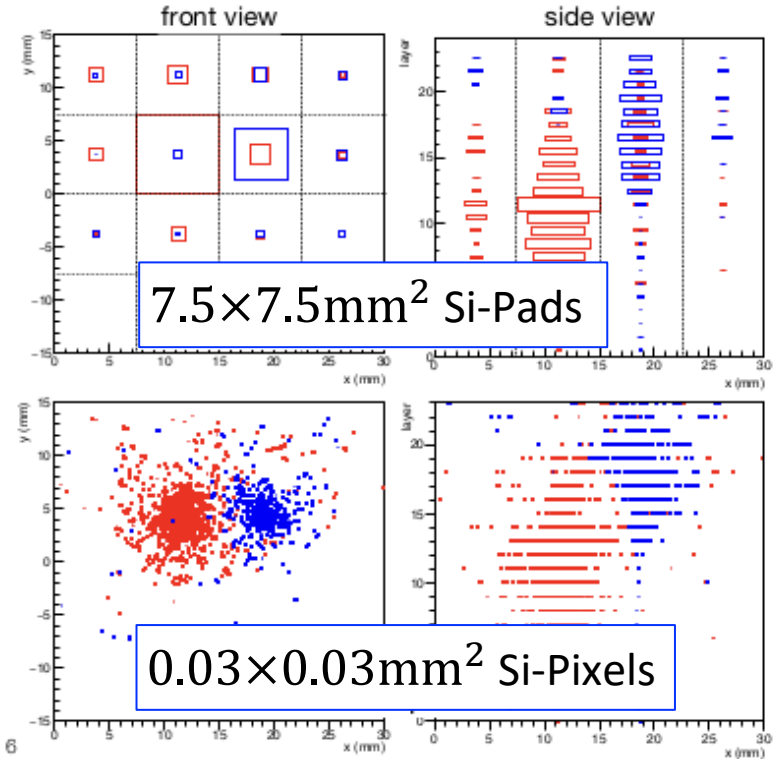


$N_{\mathrm{pixels}} = N_{\mathrm{particles}}$

- MAPS技術を用いたdigital ECAL
  - Pixel size 30x30μm^2







まとめ

陣内さんのスライドより

- **素粒子物理学の進化**
  - 真空や時空についてまだ多くの謎
  - 鍵を握っているのはヒッグス，更なる詳細研究が必要
  - 先端加速器によるヒッグスファクトリー建設は世界のコンセンサス
- **ヒッグスファクトリー**
  - 世界で複数の提案（日本，欧州，中国）
  - 線形コライダーが合理的な解である（技術要素，エネルギー拡張性）
- **次世代基幹計画**
  - 広い領域で理解・支持とともに，共同研究の輪の拡大が必須
  - 宇宙線分野とも検出器開発等で相乗効果をもたらす共同研究を進めたい