
















ヒッグスファクトリーの 物理と状況

末原 大幹
(東大ICEPP)

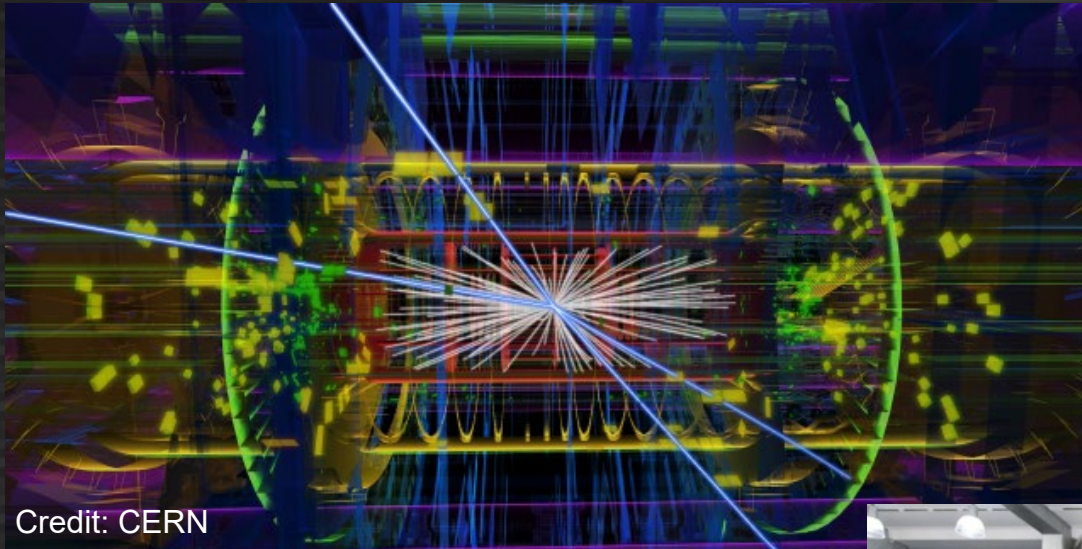
素粒子「標準模型」

物質粒子				ゲージ粒子	
	第1世代	第2世代	第3世代		
クォーク	 u アップ	 c チャーム	 t トップ	強い力  g グルーオン	
	 d ダウン	 s ストレンジ	 b ボトム		
レプトン	 ν_e eニュートリノ	 ν_μ μ ニュートリノ	 ν_τ τ ニュートリノ		
	 e 電子	 μ ミューオン	 τ タウ	弱い力  W^+ W^- Z Wボソン Zボソン	
 H ヒッグス粒子					

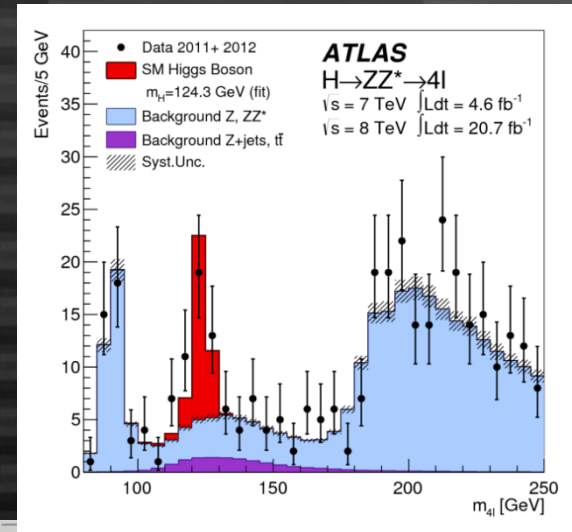
出典: 高エネルギー加速器研究機構

ヒッグス粒子が素粒子のミッシングピースだった
(1994年までに他の全ての素粒子は発見された)

「ヒッグス粒子」発見: 2012/7/4



Credit: CERN

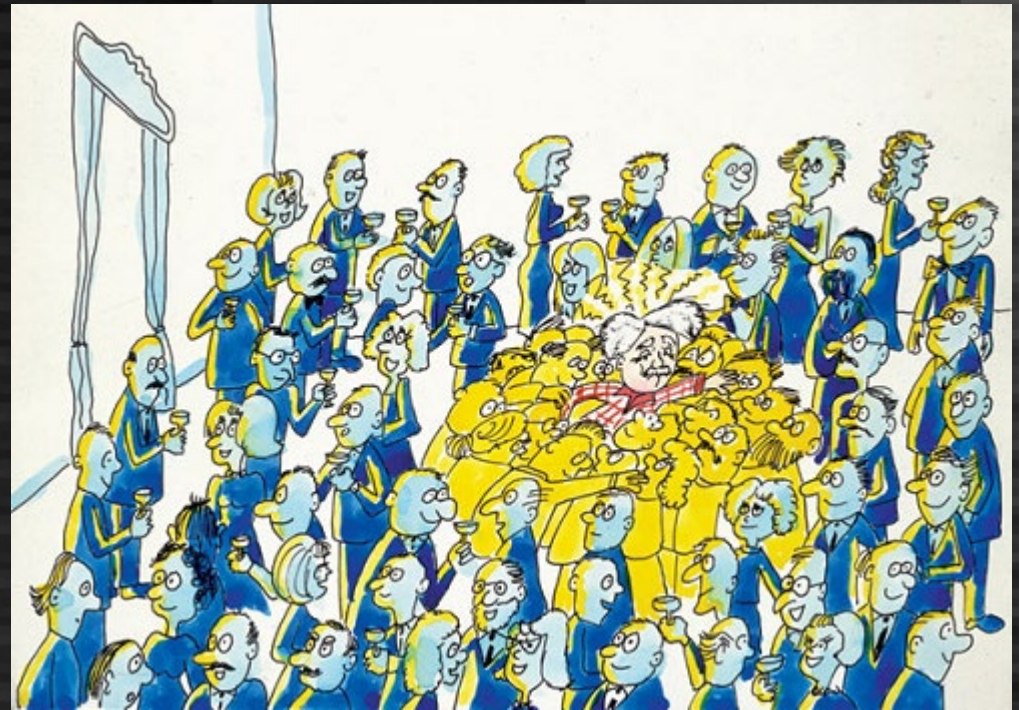


2013年、ヒッグス、
 アングレーン両氏が
 ノーベル物理学賞受賞

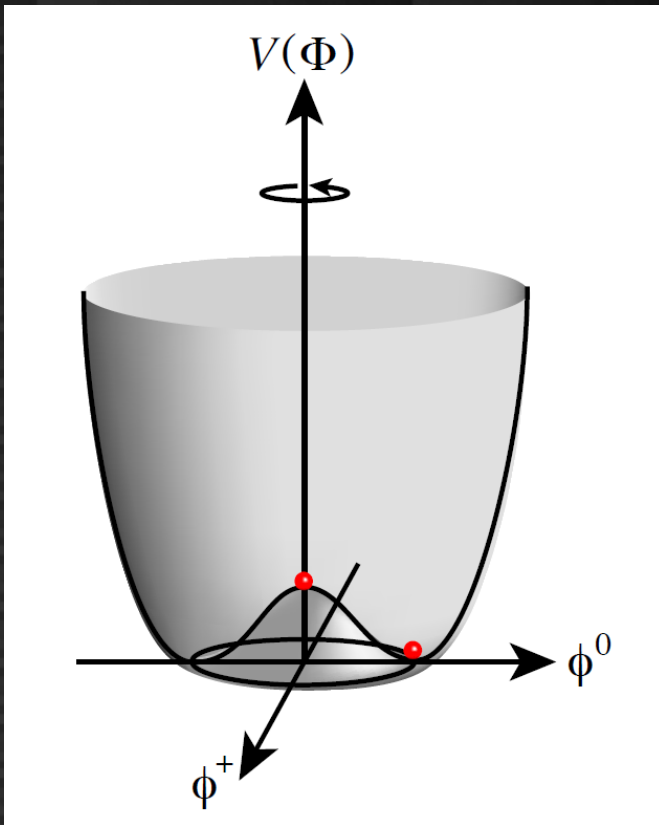


ヒッグス粒子とは

- 真空中に「凝縮」している(真空期待値246GeV)
- ヒッグス粒子と相互作用する粒子は真空中を通過するとヒッグス粒子から「抵抗」を受ける
 - 抵抗の大きさが
質量: 粒子に固有
- 唯一の「スカラー」素粒子 (spin 0)
 - フェルミオン: $\frac{1}{2}$
 - ゲージボゾン: 1



ヒッグスと自発的対称性の破れ



真空のスカラーポテンシャル $V(\Phi)$
 $\mu^2 < 0$ のとき、
 $\Phi=0$ の真空は不安定で、 Φ が0でない
真空に崩壊する (真空の相転移)
我々の宇宙ではヒッグスの真空期待値
 $v = 246 \text{ GeV}$

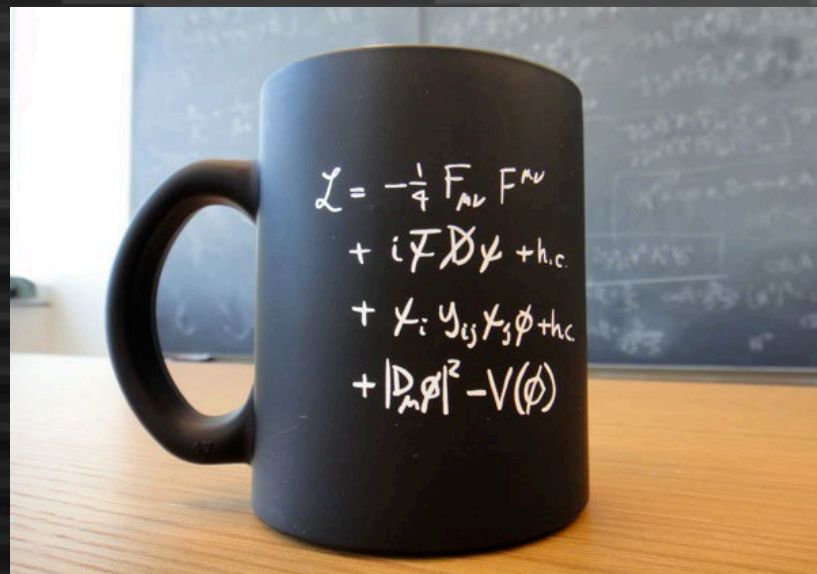
このとき、 μ はヒッグス粒子の質量項となり
 λ は自己結合定数となる

$$V(\Phi) = \mu^2 |\Phi|^2 + \lambda |\Phi|^4 + \text{h.c.}, \quad \mu^2 < 0, \lambda > 0$$

$$m_h^2 = 2 \lambda v^2$$

標準模型の問題点

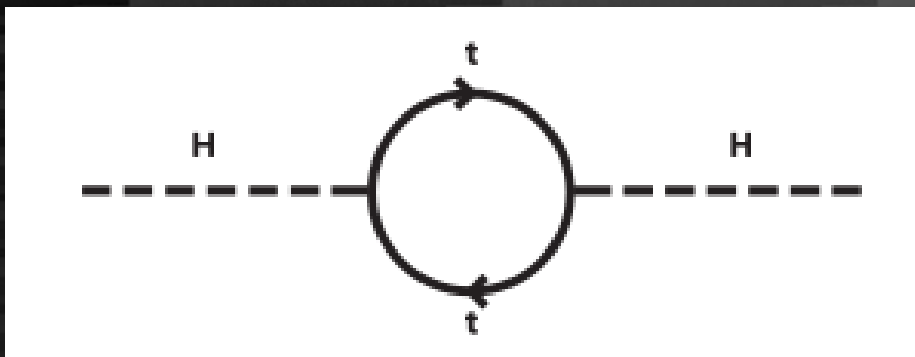
- ヒッグス粒子の「自然さ」
- ダークマター
- 宇宙の物質生成
- ニュートリノ質量
- クォーク・レプトンの世代
- ...



ヒッグス粒子と「自然さ」

- 2012年、ヒッグス粒子発見 → 質量125 GeV

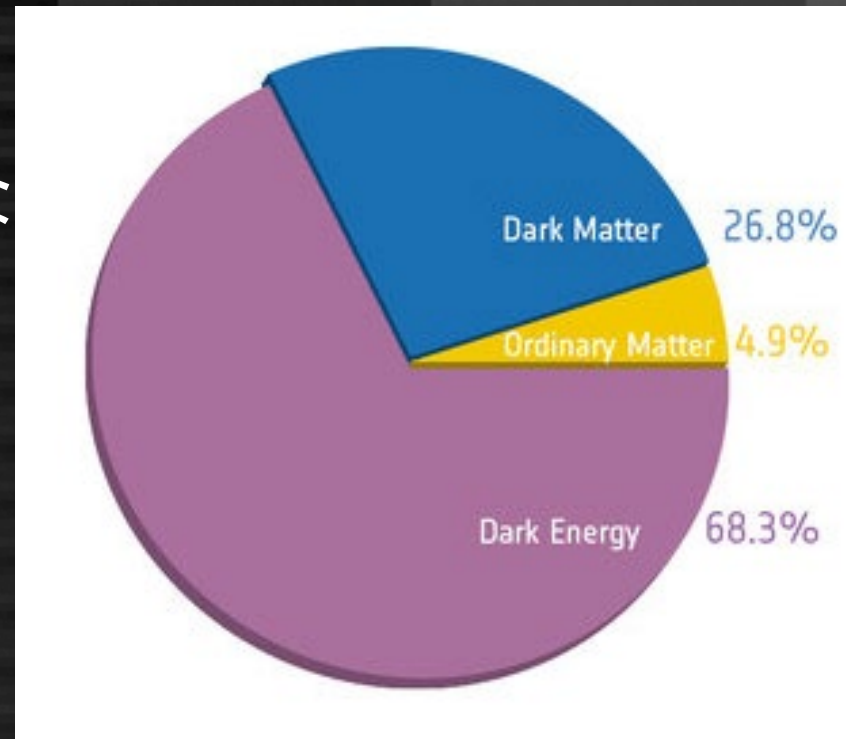
- ヒッグス粒子は図のようなダイアグラムによる自己エネルギーを持つ



- 閉線はエネルギーについて積分するが、非常に高いエネルギーまで標準模型が成り立つとすると、この図のエネルギーが発散する (それを打ち消す裸の質量を仮定すると不自然)
- 電弱エネルギーの近くに新物理の存在を示唆
 - ループの寄与を打ち消すような新物理を仮定する
 - 1 TeVで約2桁のfine tuning, 10 TeVで4桁のfine tuning

ダークマターとダークエネルギー

- 既存の「素粒子」は全体の4.9%
- 「ダークマター」が26.8%
 - ダークマターは物質なので、他の物質と何らかの反応をする。それを検出できると考えられている
(ただしまだ見つかっていないことから反応性は低い)
- 「ダークエネルギー」が68.3%
 - 宇宙の膨張に関わる量。
詳細はいっさい不明

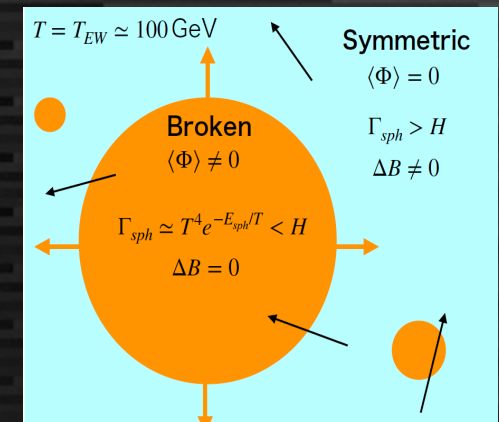
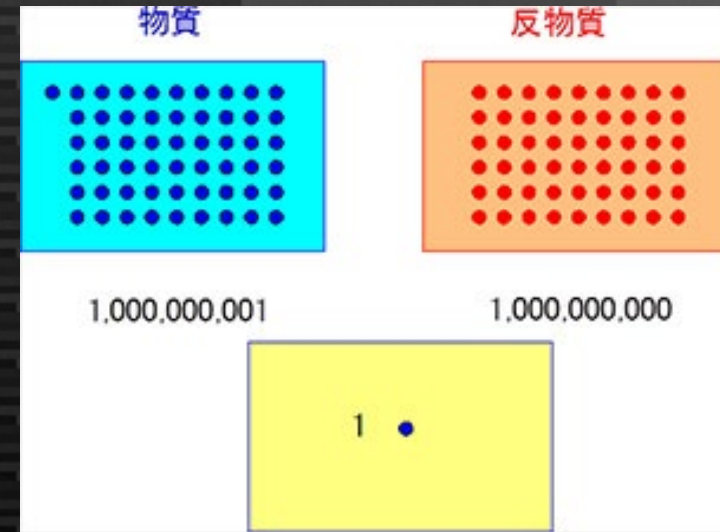


ダークマターの候補

- 新粒子(未知の相互作用)
 - 重くて反応しにくい中性粒子
Weakly Interacting Massive Particles (WIMP)
 - W, Zより少し重い電弱エネルギースケールの粒子
 - 「弱い力」のみにより標準模型の粒子と結合
 - 軽くて反応しにくい中性粒子
Weakly Interacting Slim Particles (WISP)
 - WIMPよりさらに反応しにくい
 - 低エネルギーの特殊な実験で探索
(今回は取り上げません)
- 既存の物体(ブラックホール、矮星など)

宇宙の物質生成

- ビッグバンの時に物質・反物質は真空からペアで生成した
 - 宇宙が冷えるとともに物質と反物質は対消滅し同数だけ消えていく
- いつのまにか物質が1/10億だけ多くなっていて、物質だけが残った
 - 物質と反物質で物理法則は厳密には等しくない。(弱い力のみ)
 - ただし現在わかっている非対称性では1/10億のずれを説明できない。(もっと小さい)
 - 物質生成に対する多数の仮説がある
 - レプトジェネシス・電弱バリオジェネシス...

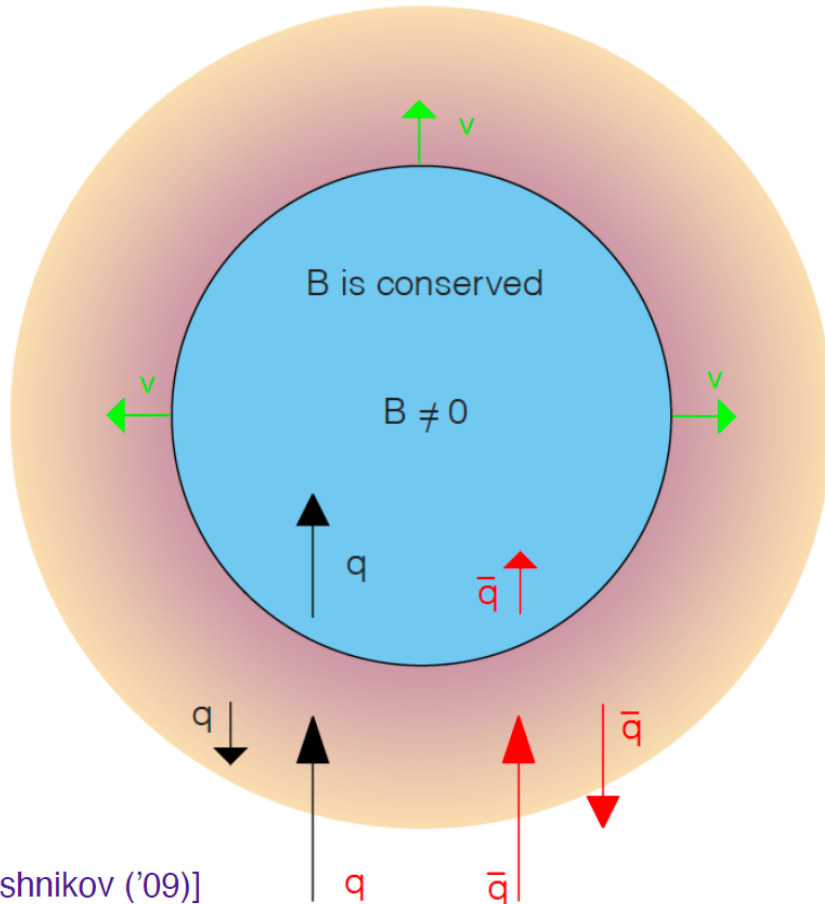


ヒッグス場の相転移により
非対称性ができる

Mechanism of EWBG

泡の周りで起きる現象

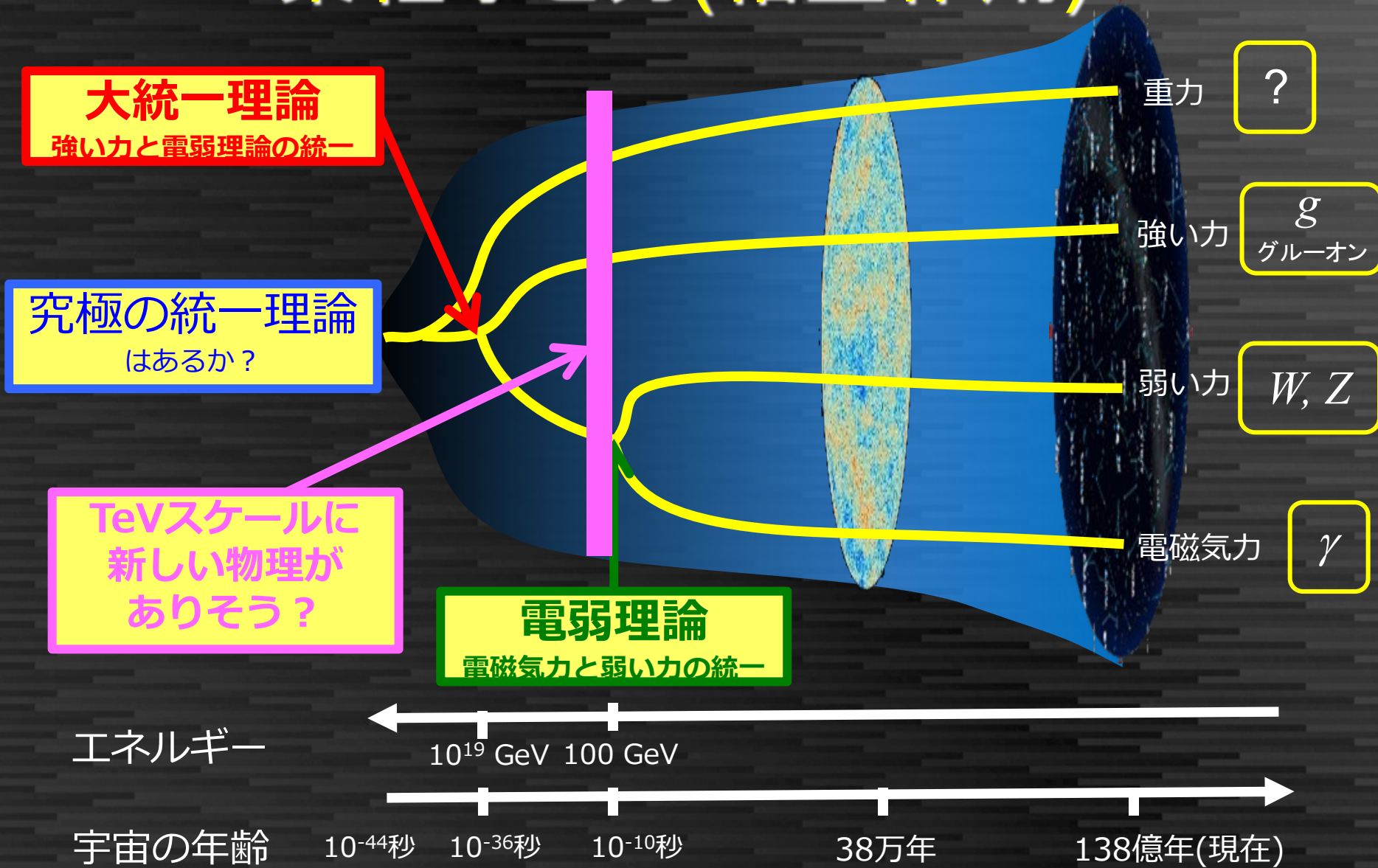
B is not conserved: $B = 0$



[Shaposhnikov ('09)]

1. 泡に q, \bar{q} が飛び込む。
2. 泡の壁における CP の破れによって、壁面での侵入と反射に q, \bar{q} 間の差ができる。
3. 泡内部では B が保存されているので、 $n_q \neq n_{\bar{q}}$ が維持される。
4. 泡外部では B が激しく変化しているため $n_q = n_{\bar{q}}$ となる。
5. 泡が拡大、衝突しながら上記過程を繰り返す。
6. 最終的に $B \neq 0$ の非対称相の宇宙となる。

素粒子と力(相互作用)



超対称性 (SUper SYmmetry: SUSY)



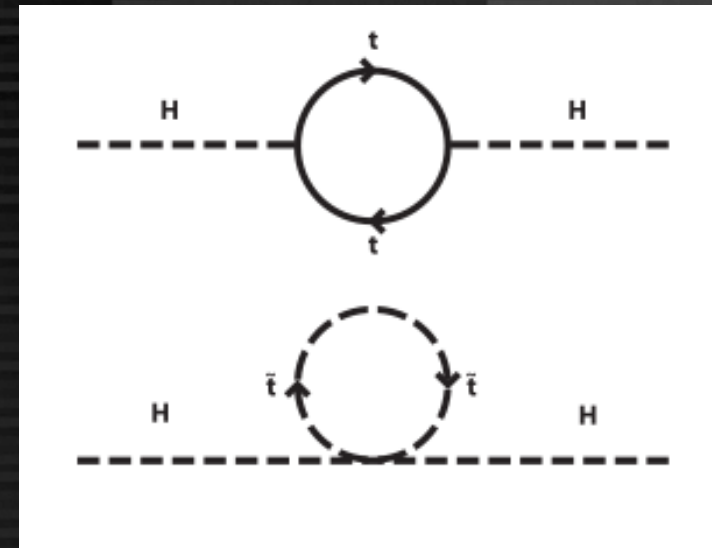
ダークマター候補

超対称性

スピンの異なるパートナー粒子

SUSYとヒッグス階層性問題

- ヒッグスには「自然さ」の問題があった
 - 巨大な輻射補正とそれを「たまたま」極めて高い精度(24ケタ)で打ち消す裸(輻射補正前)の質量
- 標準模型の全粒子にspinが1/2違うパートナーがいれば輻射補正を打ち消すことができる
 - 自然さの回復
- ただし、パートナーがあまり重いとやはり輻射補正がずれるので、TeV領域に新粒子を要求



SUSYにおけるダークマター

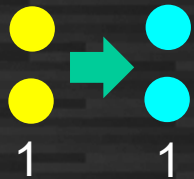
Rパリティ: 超対称性を規定する保存量

標準模型の粒子: 1

超対称性粒子: -1

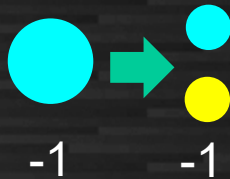
反応の前後でRパリティの積は保存

例1)



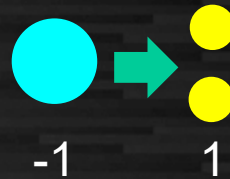
OK

例2)

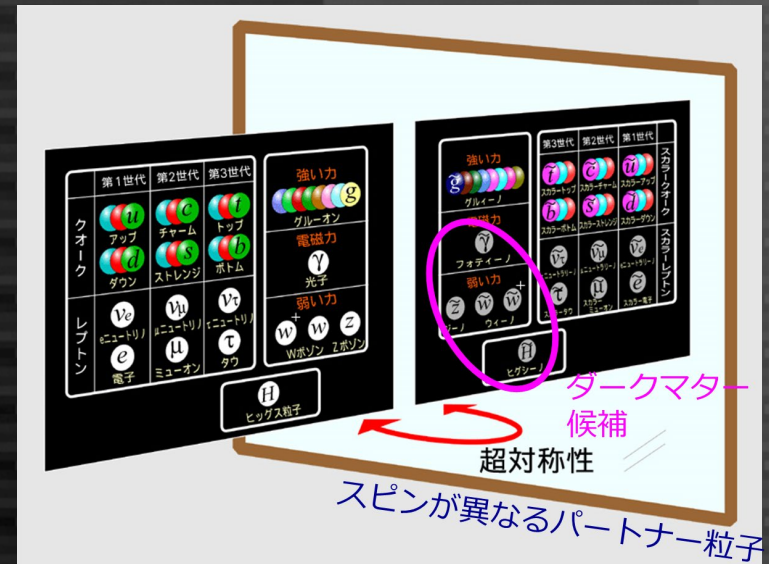


OK

例3)



NG



結論: 超対称性粒子は単体での崩壊では消滅できない

最も軽い超対称性粒子(LSP)は安定

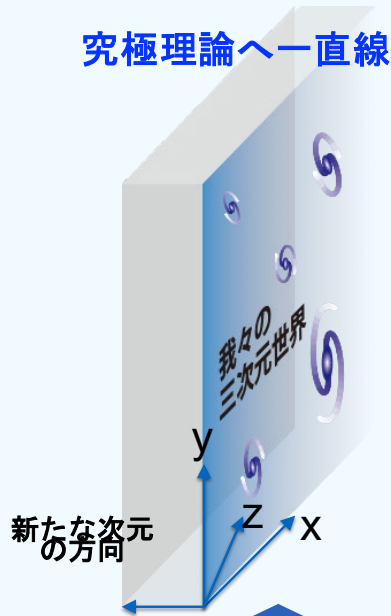
その他、余剰次元モデル、リトルヒッグスモデルなど、ヒッグスの階層性問題解決とダークマターを含むモデルが存在

加速器実験による直接探索が鍵となる

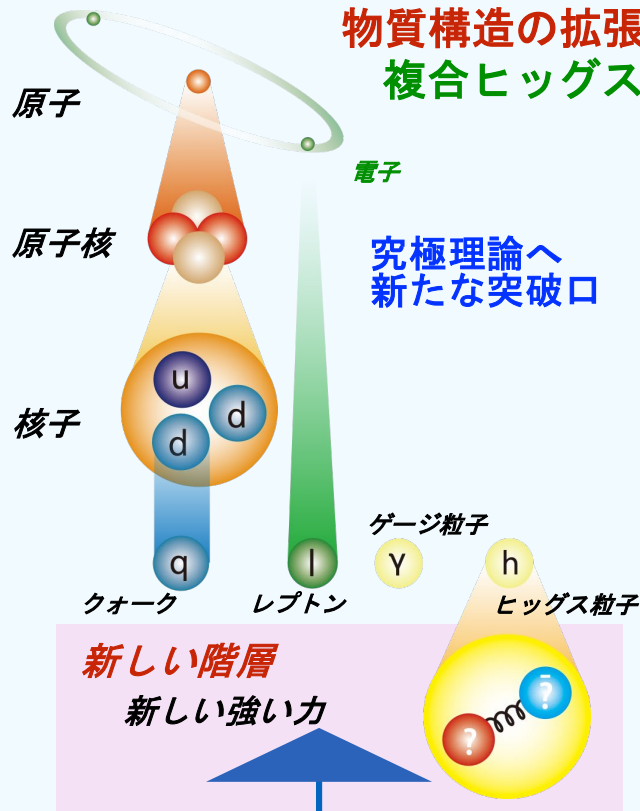
様々な可能性

時空概念の拡張
超対称性または余剰次元

究極理論へ一直線



物質構造の拡張
複合ヒッグス



究極理論へ
新たな突破口

全く新しい原理？
複数字宇宙+人間原理？

標準理論と究極
理論が直結？



第二の道：「より深い階層」

標準理論からの
ズレが見られな
かった場合

第一の道：「新たな次元」

現在地
(電弱スケール)

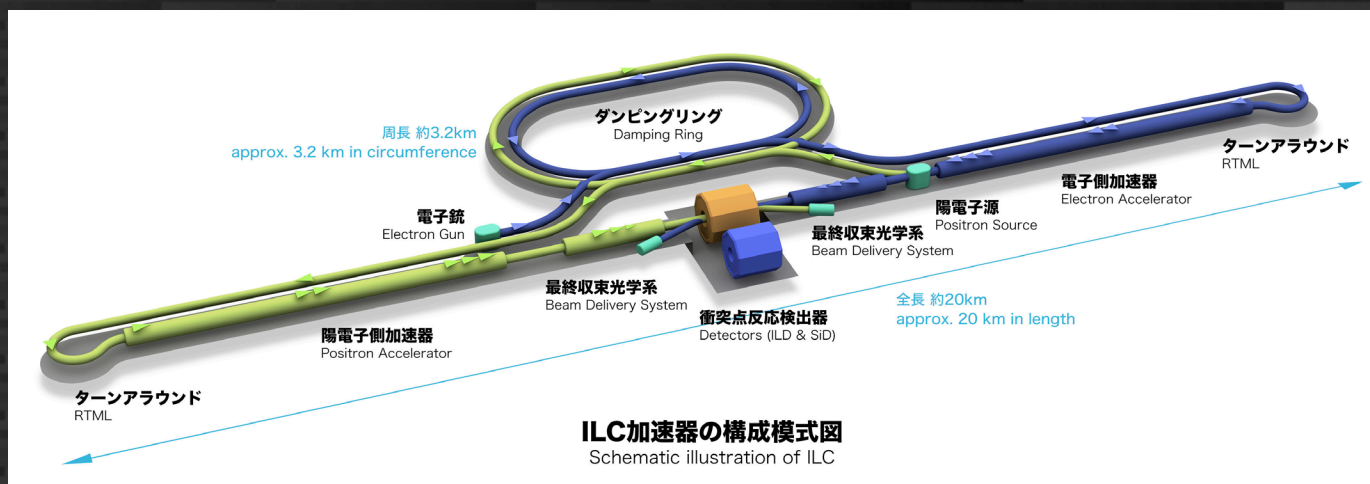
第三の道：「複数字宇宙？」

ヒッグスを巡る数々の謎

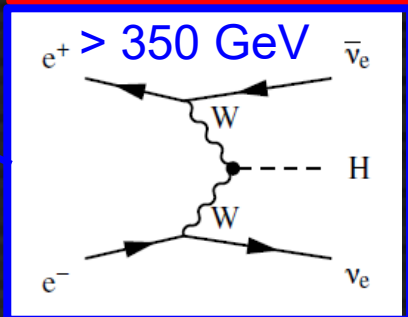
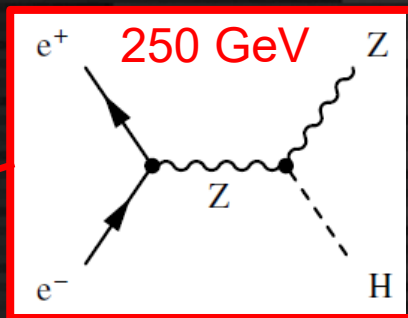
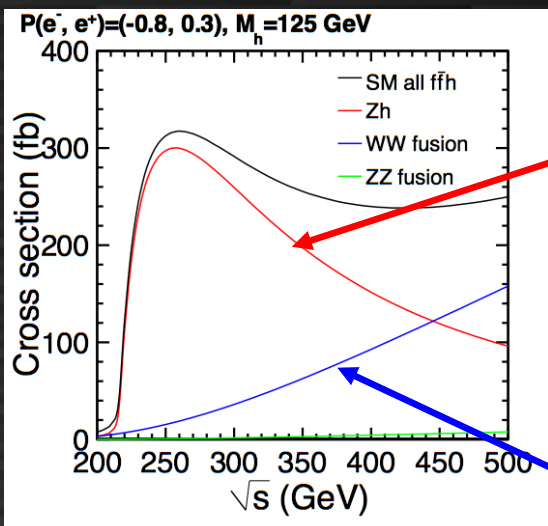
- 「自然さ」の問題 – TeV新物理を強く示唆
- 標準理論で「唯一の」スカラー粒子
 - ヒッグス粒子は他にないのか?
 - 他にヒッグスがある模型: Two Higgs doubletなど
 - ヒッグス粒子は本当に素粒子なのか?
 - 複合ヒッグス模型ではヒッグスは複合粒子
- 他の粒子との結合(=質量)はどう決まったのか?
 - クォーク、レプトンの世代との関係は?
- 暗黒物質やダークセクターとの結合は?
- 宇宙の物質生成に関わるか? etc...

ILCの概要

- 電子陽電子衝突型加速器
 - 重心系エネルギー: 250 GeV「ヒッグスファクトリー」
→ 1-3 TeV upgradeでさらに広範な新物理探索
 - 直線 20 km (50 kmまで延長可)
- 日本がホストする国際プロジェクト (2038-)
 - 日米欧の三極で分担 “Global project”
 - 「ILC国際研究所」は長期にわたる国際拠点へ



ヒッグス生成@ILC



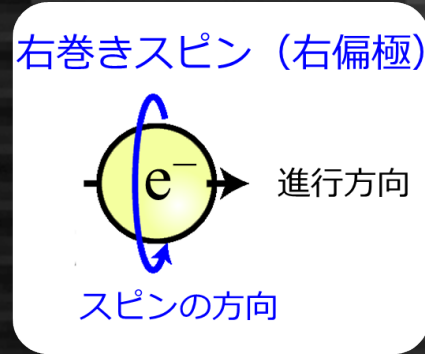
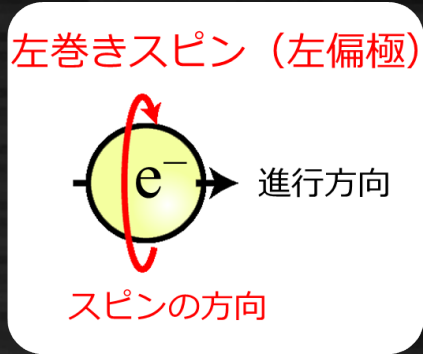
$$N_{\text{detected}} = \epsilon \sigma \mathcal{L}_{\text{int}}$$

\mathcal{L}_{int} は積分ルミノシティ
 ILC 250 GeVでは
 2 ab^{-1} を想定
 (eLpR, eRpLを0.9 ab^{-1} ずつ)
 ϵ はほぼ100%。ただし
 背景事象を選ぶ過程で
 信号事象も一部が失われる
 (解析手法による)

250 GeVでは $e^+e^- \rightarrow ZH$ が重要
 断面積は電子・陽電子偏極にもよる
 電子左偏極、陽電子右偏極(eLpR)
 が最も生成断面積が大きい。

(eRpLで約6割程度)

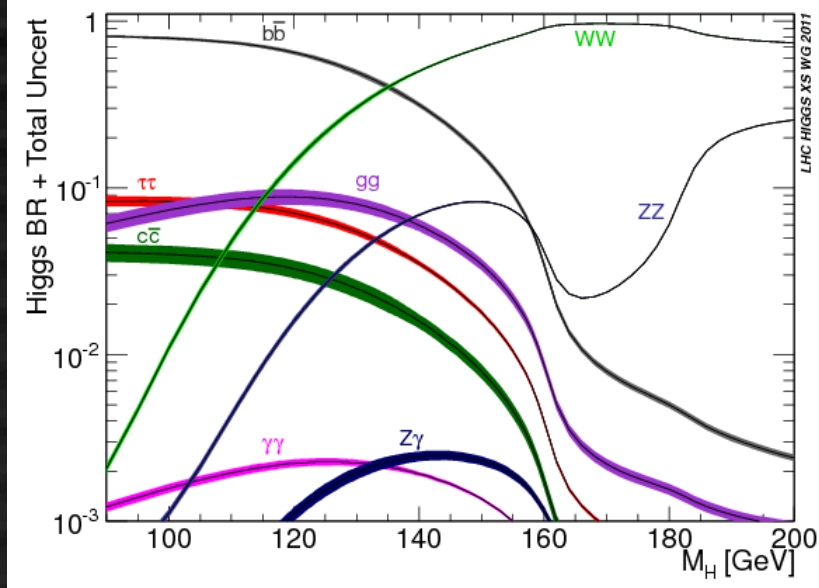
$0.9 \times 300 \times (1+0.6) = 432,000$ 事象
 200日x5年走るとして、432/day



ヒッグスの崩壊

- 生成したヒッグス粒子は即座に崩壊する
 - ヒッグスは電荷もバリオン・レプトン数も持たないので粒子・反粒子ペアに崩壊
 - ヒッグス粒子の結合は質量の2乗に比例
 - 重い粒子に壊れやすい
 - ただしヒッグスの質量の $\frac{1}{2}$ を越えるとエネルギー保存を満たさないため確率は下がる (off-shell崩壊と呼ぶ)

崩壊モード	崩壊分岐比	ILC 事象数
bb	58.1%	290,000
WW	21.5%	110,000
gg	8.2%	41,000
$\tau\tau$	6.3%	32,000
cc	2.9%	15,000
ZZ	2.6%	13,000
$\gamma\gamma$	0.2%	1,000



ヒッグスの測定

崩壊モード	崩壊分岐比
bb	58.1%
WW	21.5%
gg	8.2%
$\tau\tau$	6.3%
cc	2.9%
ZZ	2.6%
$\gamma\gamma$	0.2%

- ヒッグスの崩壊生成物はさらに崩壊する

– b, c, gluon

→ ハドロンジェット

(多数のハドロンの束)

– $W \rightarrow qq$ (2/3), lv (1/3)

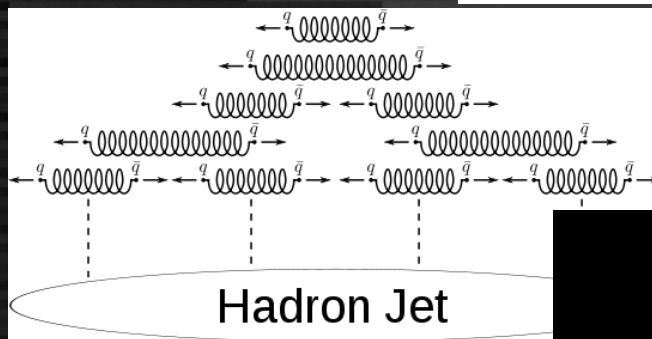
$Z \rightarrow qq$ (70%), $\nu\nu$ (20%), $\ell\ell$ (10%)

クォークはハドロンジェットになる

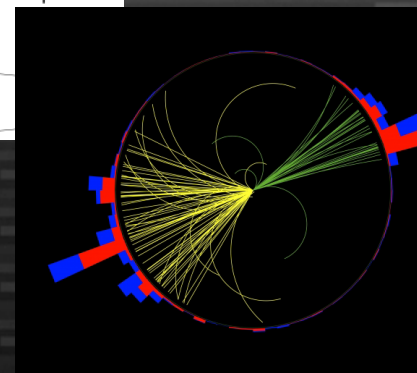
□ $\tau \rightarrow$ 1~数個のハドロン/レプトンに崩壊 (tau jet)

□ $\gamma \rightarrow$ 高エネルギー光子としてそのまま検出可能

- **ジェットやレプトンを測定器で検出する (後述)**

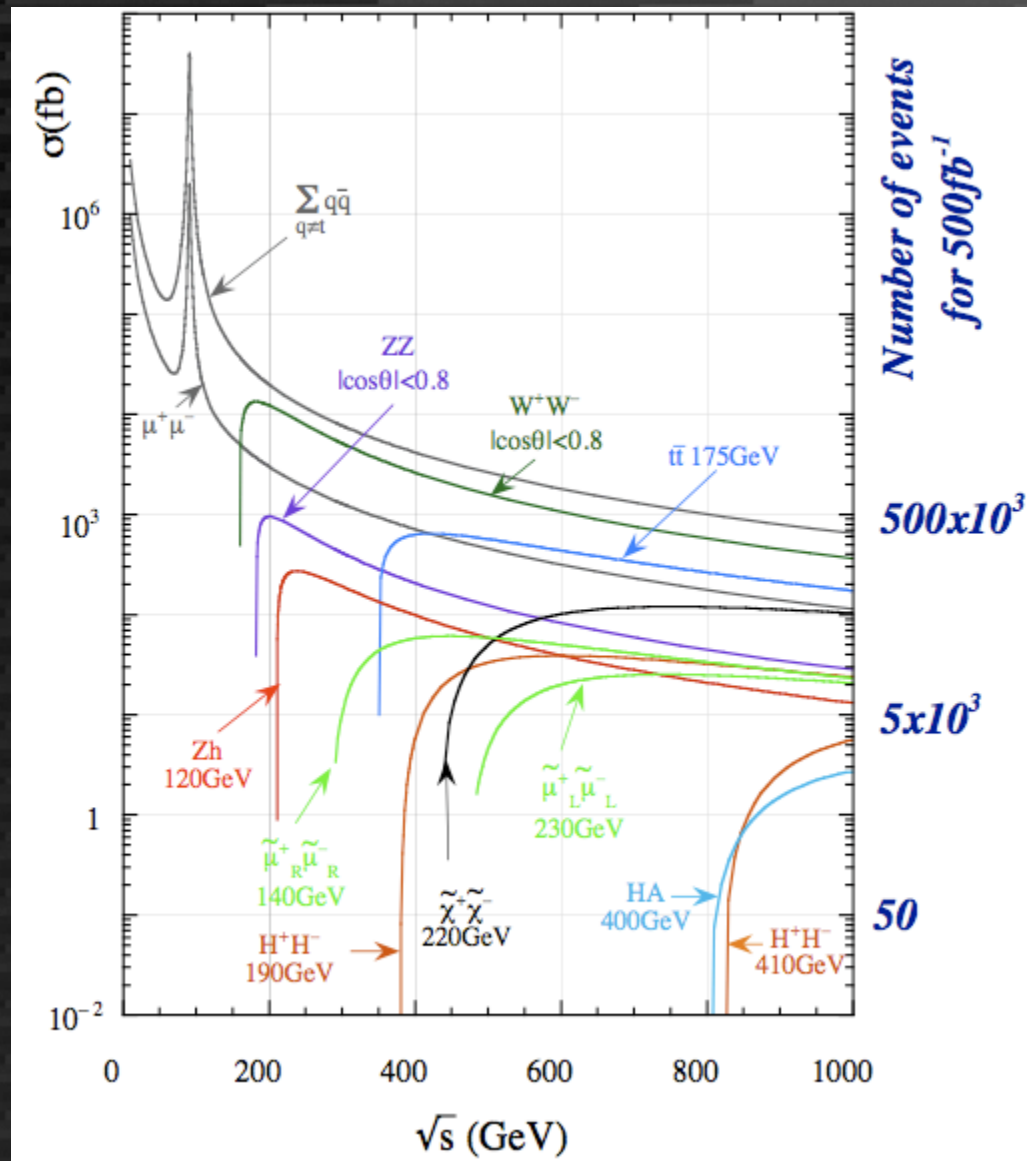


CMS



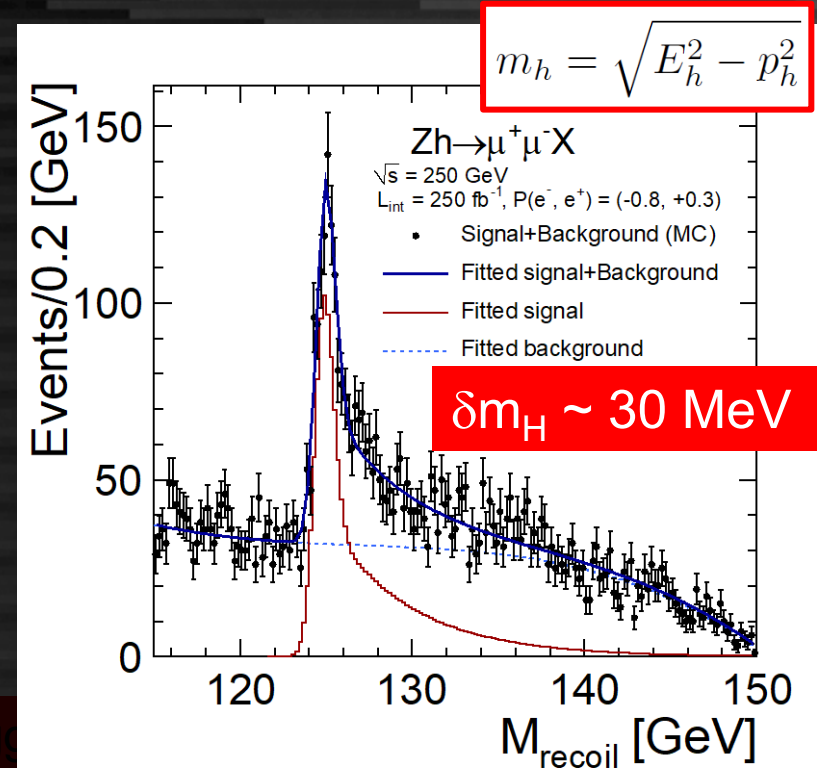
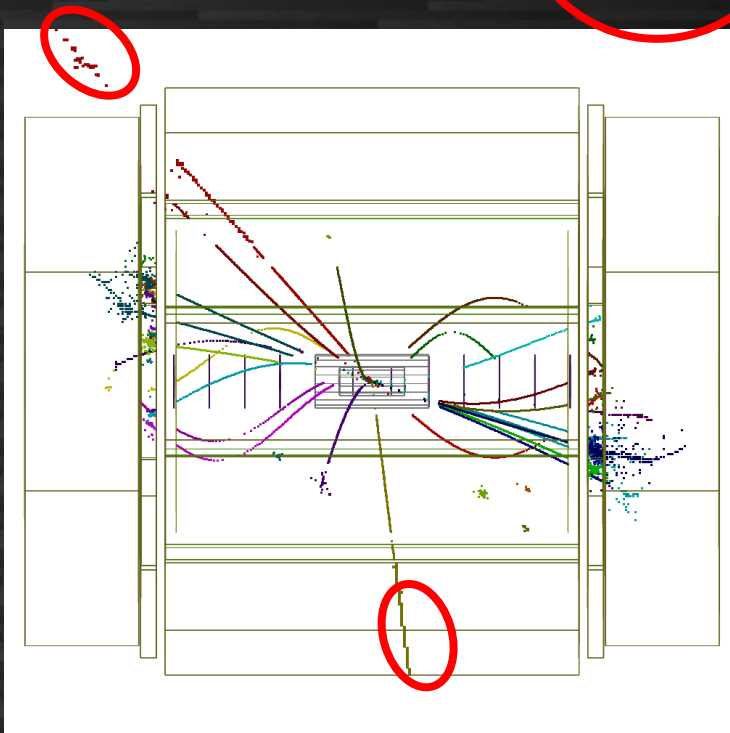
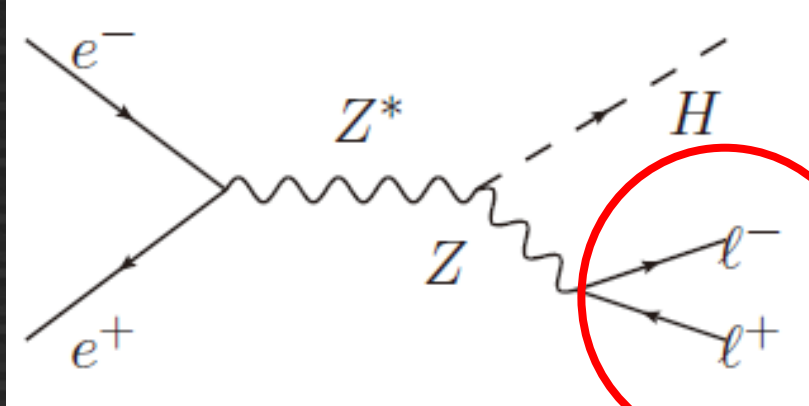
ヒッグスの測定 (2)

- 事象分離
 - 信号事象(ヒッグス)の10~100倍の背景事象がある
 - Z, Hの運動量・エネルギーや生成角、クォークの種類等の情報を駆使して背景と信号を分離する
 - ILCの始状態の4元運動量は明確



ヒッグス反跳質量測定

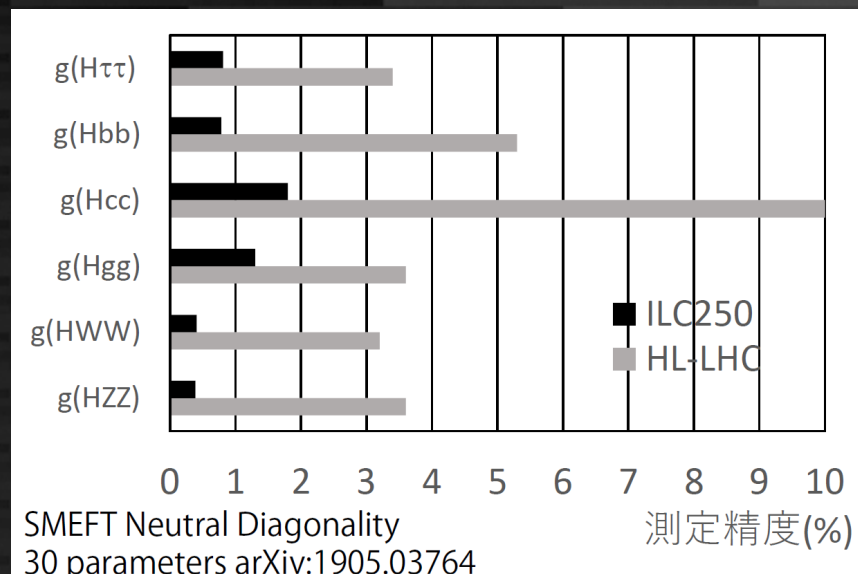
- “Higgsを見るのにHiggsを見ない”
→ 反跳されるZ → llのみを使う
(4-momentum conservation)
- “Higgsを見ない”のでどんな崩壊でも関係なく見える
→ ヒッグスの性質に依存しない



ヒッグスの結合定数測定

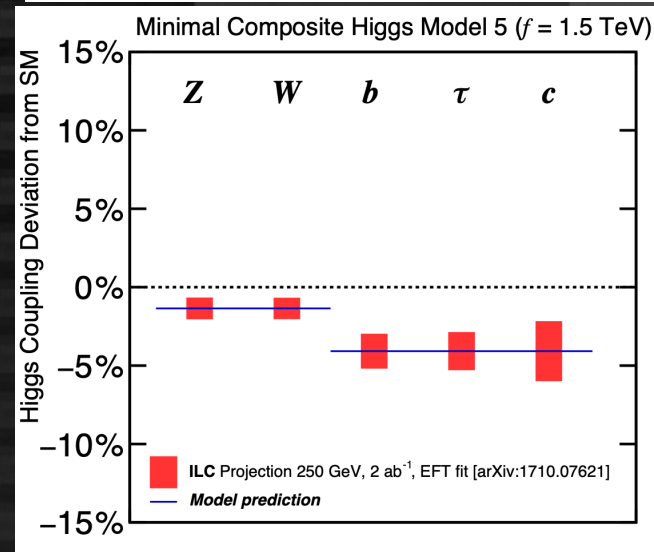
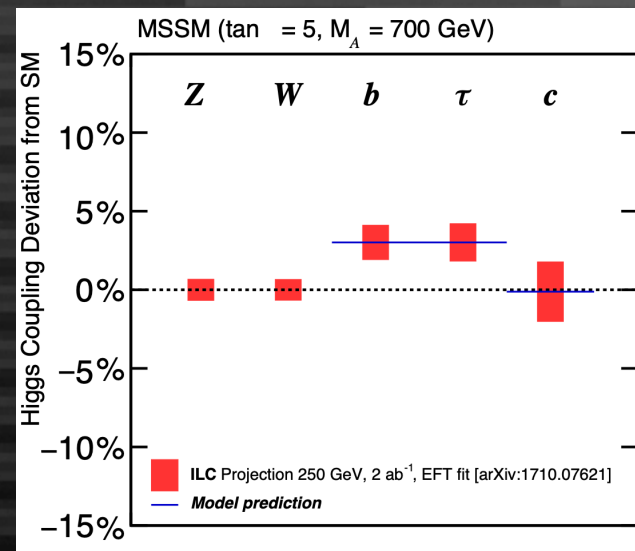
- 各崩壊の事象数を高精度測定
 - 精度: $\frac{\sqrt{S+N}}{S}$ S: 信号事象数
N: 背景事象数
 - 1万事象、背景なしで1%統計誤差
 - 1万事象、背景10万で3%統計誤差
- 精度: 統計誤差と系統誤差による。
電子陽電子コライダーは理論予測の精度が高く系統誤差も1%以下に抑えられる。
ILCでは概ね1%以下の精度で各結合定数を決定する。

崩壊モード	崩壊分岐比	ILC 事象数
bb	58.1%	290,000
WW	21.5%	110,000
gg	8.2%	41,000
$\tau\tau$	6.3%	32,000
cc	2.9%	15,000
ZZ	2.6%	13,000
$\gamma\gamma$	0.2%	1,000



ヒッグス結合定数による新物理探索

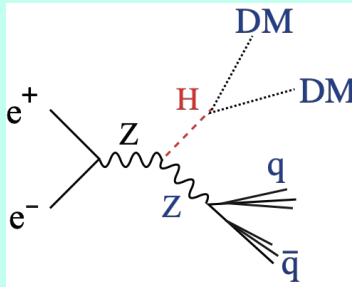
- ヒッグスの結合定数の標準理論からのずれが発見できれば、そのパターンから新物理を区別できる。
 - SUSY: b/τ の結合が上昇
 - 複合ヒッグス: フェルミオンの結合定数が下がる
- ずれが見えるかどうかは新物理のパラメータによるが、
ILCではTeV新物理の多くをカバーする



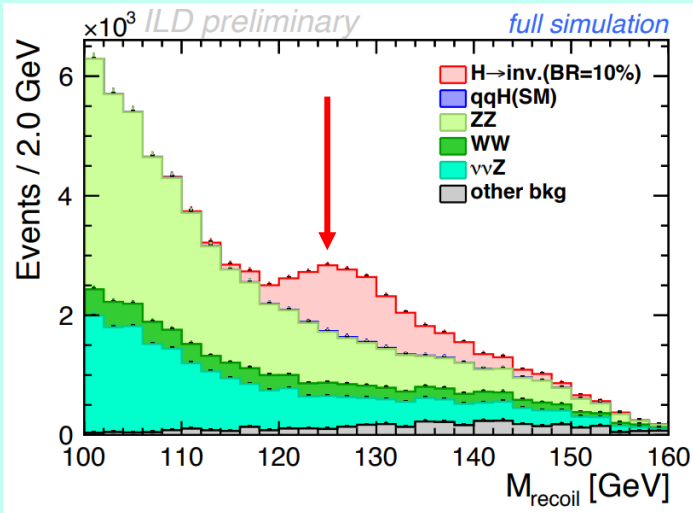
	ゲージ場との結合		湯川結合			2 HDの質量 与え方パターン	代表的なモデル
	hVV	$h\tau\tau$	hbb	hcc			
	K_V	K_τ	K_b	K_c			
Type-I	↓	↓	↓	↓		ν フィリックモデル (H1:SM H2: ν)	
Type-II	↓	↑	↑	↓		SUSY型	
Type-X	↓	↑	↓	↓		輻射シーソーモデル ($\mu g-2$ を説明)	
Type-Y	↓	↓	↑	↓		論理的に残された パターン	

ヒッグスと新粒子の直接結合探索

Higgs Invisible Decays

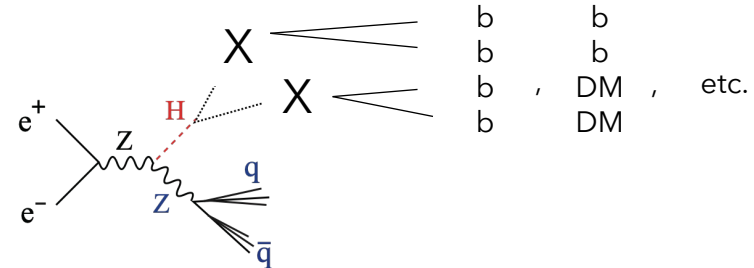


Hadronic Z decay (ILD), Kato, 2002.12048

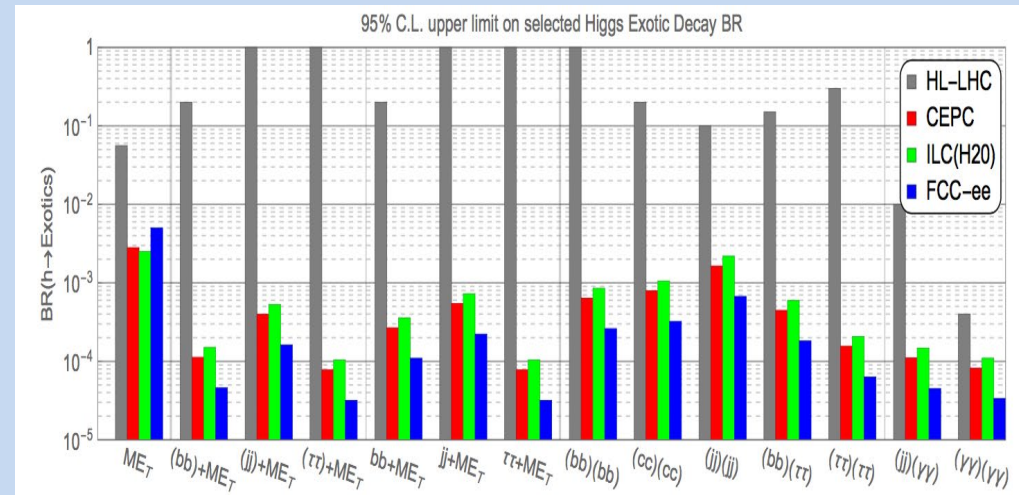


Invisible decay branching ratio: 0.3%
(95% CL upper limit)

Exotic Higgs Decays

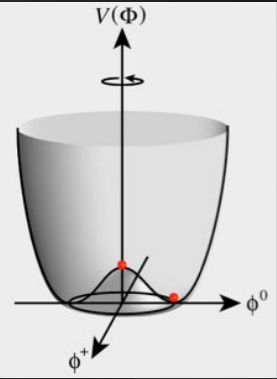


Liu, Wang, Zhang [1612.09284]

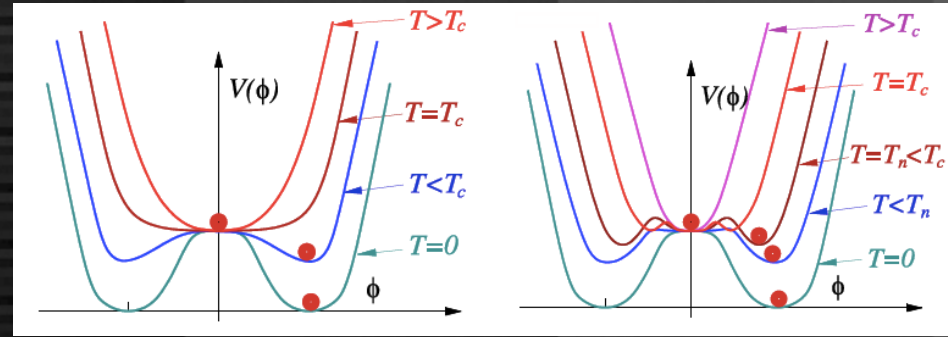


LC sensitive to various exotic Higgs decays

ヒッグス自己結合



ヒッグス
ポテンシャル
の4次の項
真空の構造
を決める



$$V(\eta_H) = \frac{1}{2} m_H^2 \eta_H^2 + \lambda v \eta_H^3 + \frac{1}{4} \lambda \eta_H^4$$

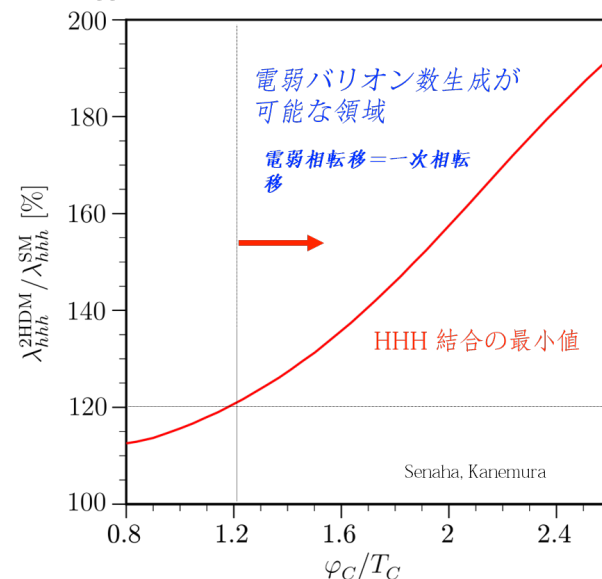
真空の2次相転移

真空の1次相転移
スファロンによる
電弱バリोजェネシス
に必要

宇宙の物質生成を解き明かす
二つのプローブ

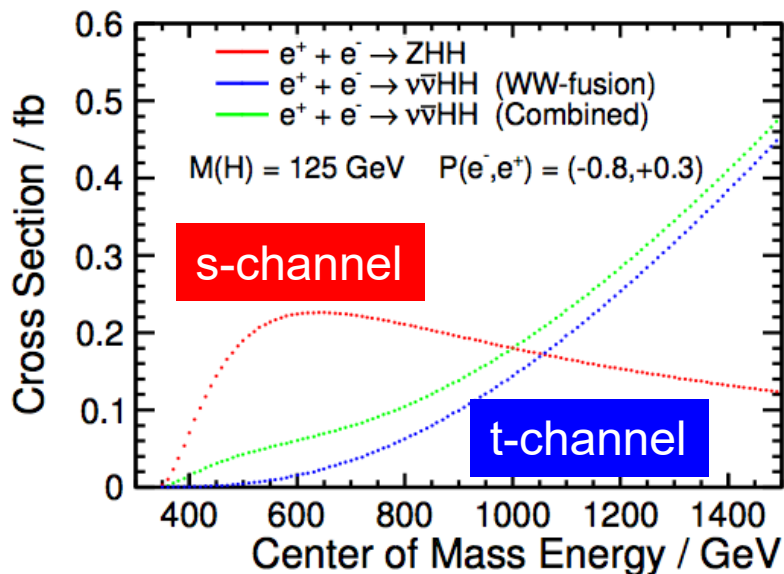
- ヒッグスと電弱バリोजェネシス
 - 真空の一次相転移
- ニュートリノとレプトージェネシス
 - 重いレプトン崩壊のCP破れ

例: 2 Higgs Doublet Model (2HDM)

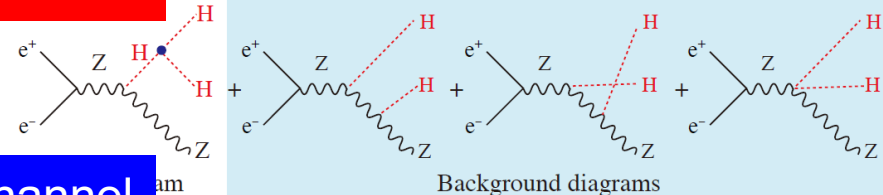


電弱バリオ
ジェネシスなら
λの値は
O(10%)以上
増加する

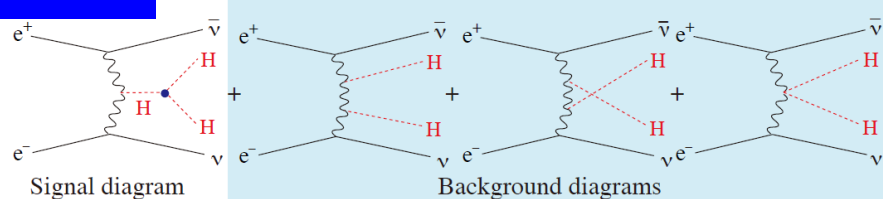
ヒッグス自己結合@ILC upgrade



s-channel

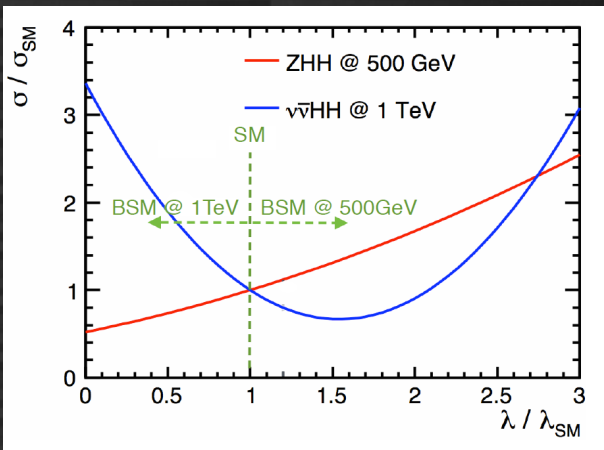


t-channel



干渉項の効果でさらに実質断面積低下

断面積が小さく困難。1 ab^{-1} でO(100)事象



干渉項が3点結合の測定精度に影響

s-channelは正の干渉,
t-channelは負の干渉
(LHCは負の干渉)

channel	\sqrt{s} [GeV]	λ 精度
s (正の干渉)	500-600	~20%
t (負の干渉)	>1000	<10%

深層学習によるジェット再構成性能の抜本的な改善に取り組んでいる

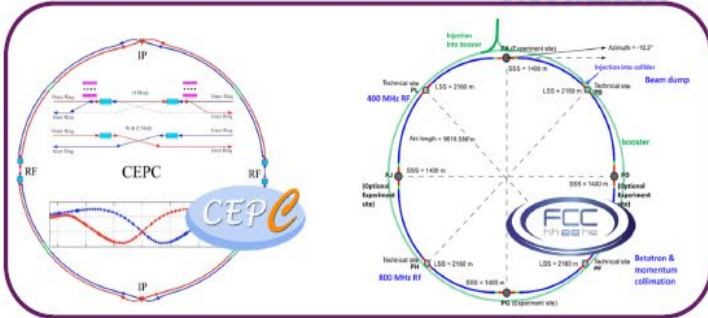
Targets of e+e- Higgs factory



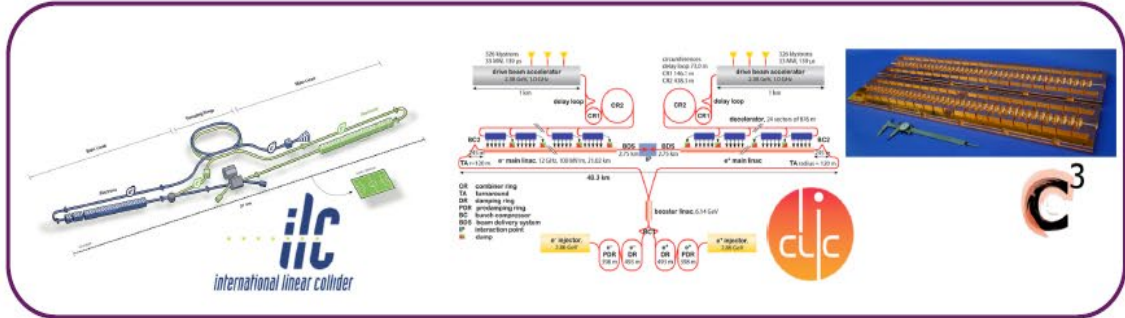
Higgs factory Projects

e+e- colliders

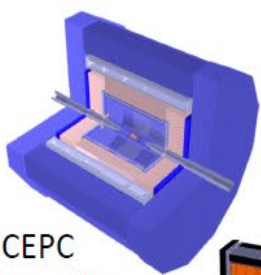
Circular



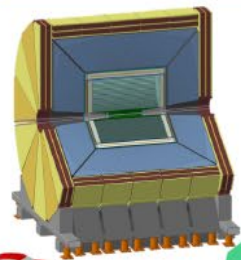
Linear



Detector Concepts



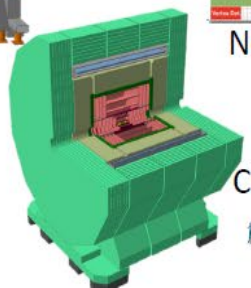
CEPC Baseline



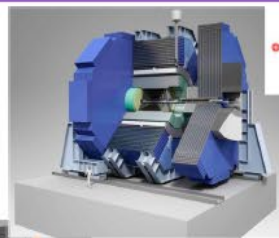
IDEA



Noble LAr/LC



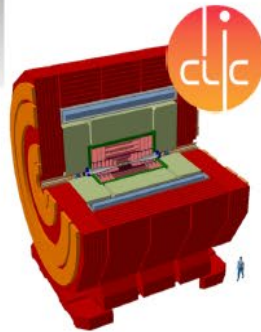
CLD



SiD



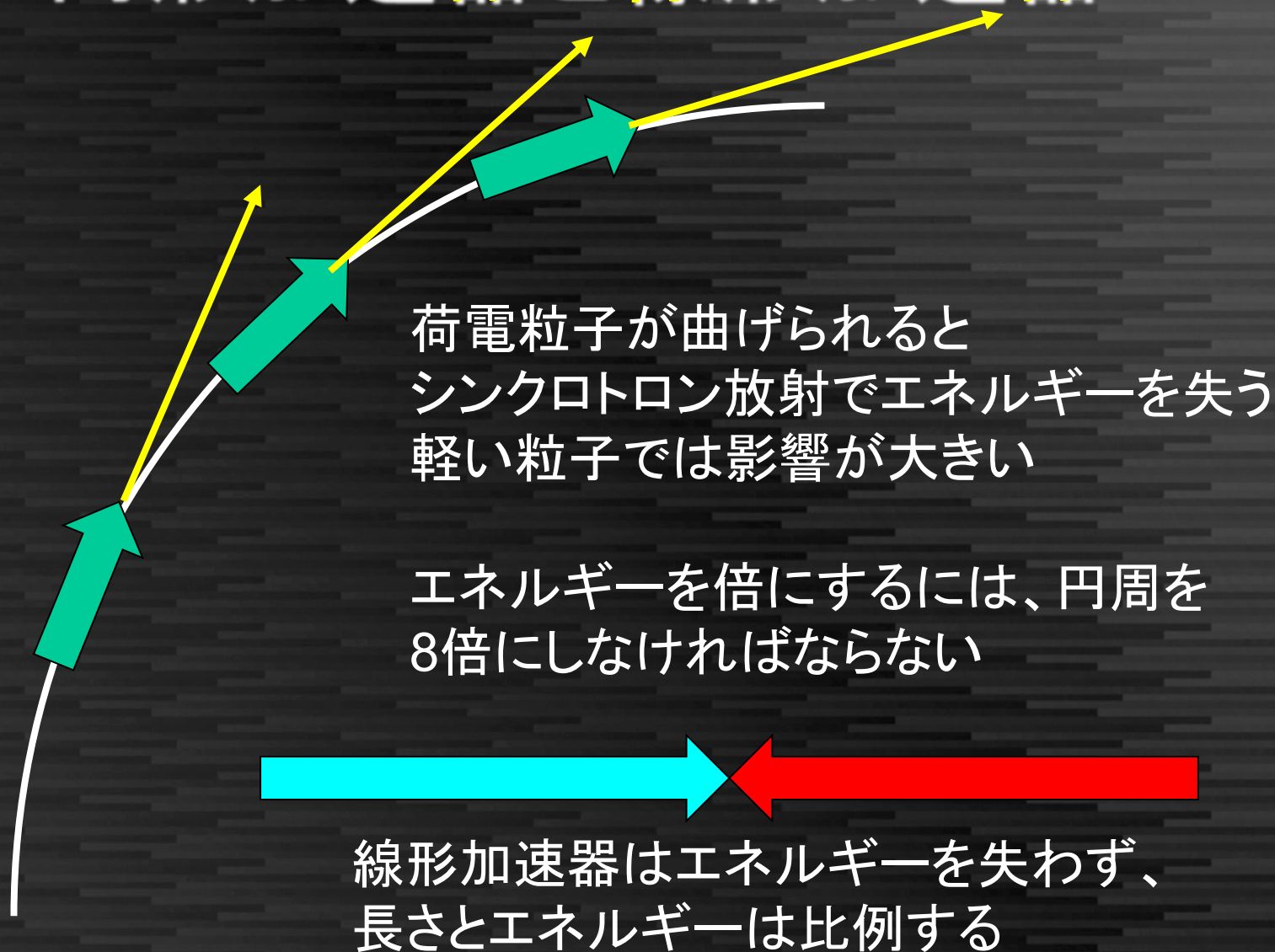
ILD



CLIC

M.C Fouz

円形加速器と線形加速器



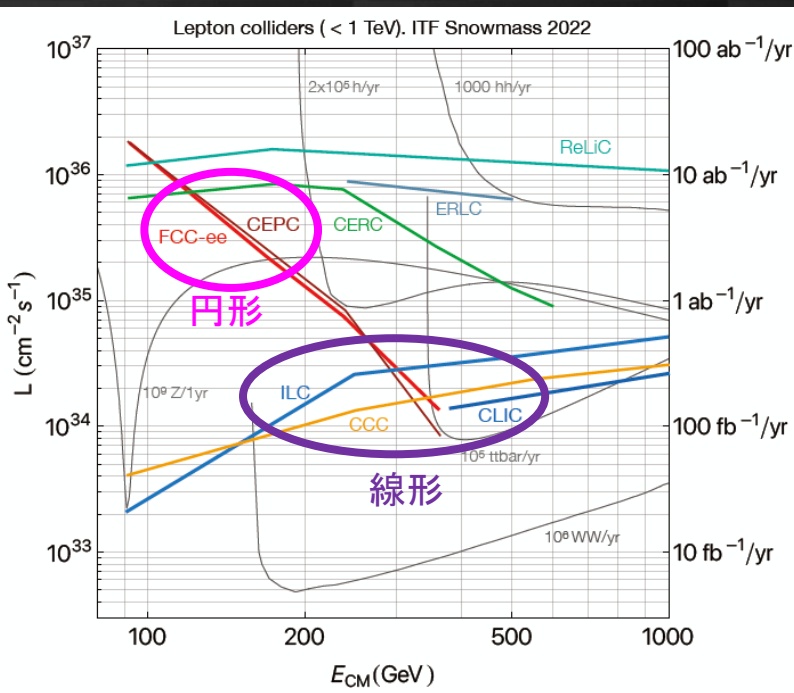
線形コライダーと円形コライダー

Luminosity:

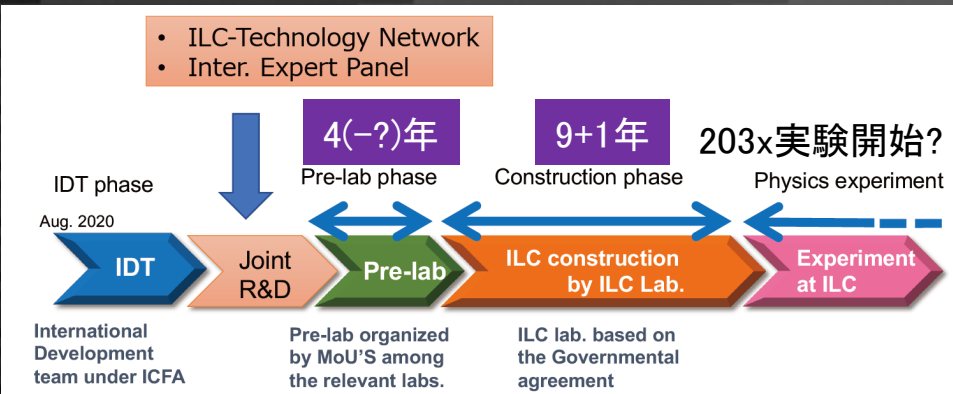
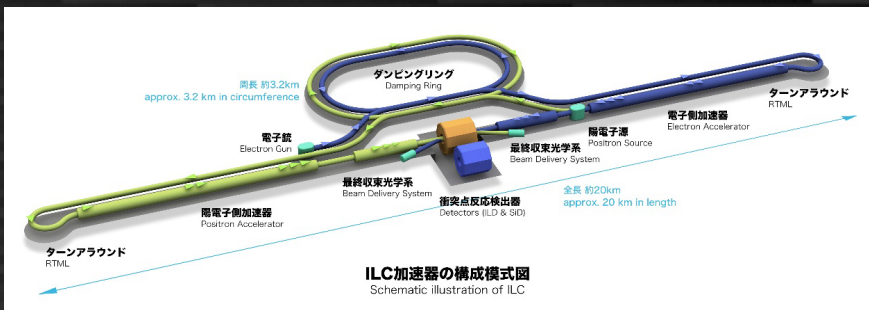
加速器の衝突頻度を表す量。積分Luminosityは全断面積の逆数になっていて、Cross sectionを掛けると期待する事象数を求められる。

円形加速器: 何度も衝突させてluminosityを稼げるが、シンクロトン放射で失うエネルギーを再加速する必要があり、電力で最終的に制限される。

線形加速器: 一回しか衝突できないので、もとの電荷とどれだけ絞れるかで決まる



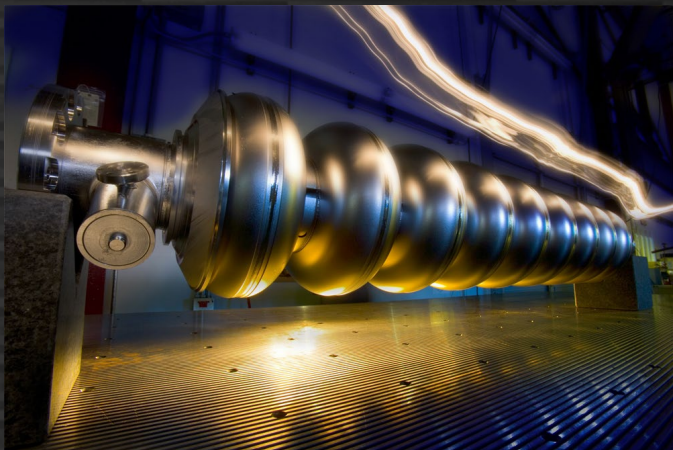
- 91–160 GeV
円形コライダーが有利
(線形ERLでは円形に近いluminosityに到達可)
- 250 GeV
円形コライダーがやや高いluminosity
線形コライダーの偏極により物理reachは同等
- 350 GeV
円形コライダーでも可能だが線形が有利
- > 500 GeV
線形コライダーでのみ実現可能



「国際協力で日本に建設する国際プロジェクト」
超伝導加速空洞、加速部12 km, 全長20 km
加速勾配平均32 MV/m



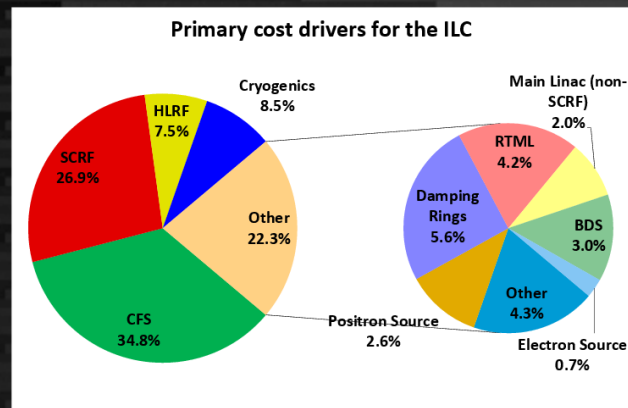
超伝導加速空洞を液体ヘリウムで冷却



超伝導加速空洞を8000本並べて
電子・陽電子を加速し衝突させる



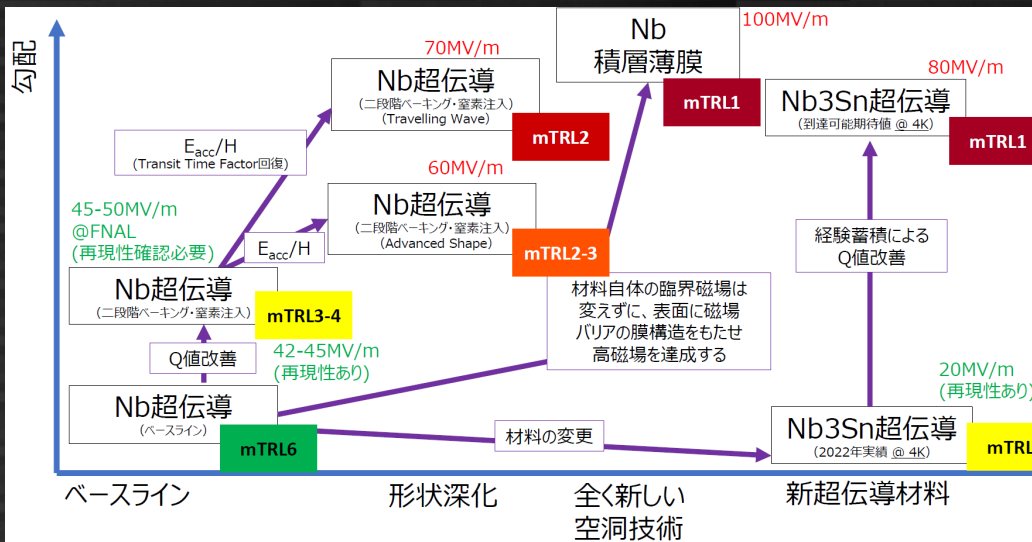
最終収束試験設備@KEK



ILC加速器のコスト見積もり: 5152-5830億円 (±25%)

ILC (upgrade path)

エネルギーアップグレードのためには加速勾配の向上が必要



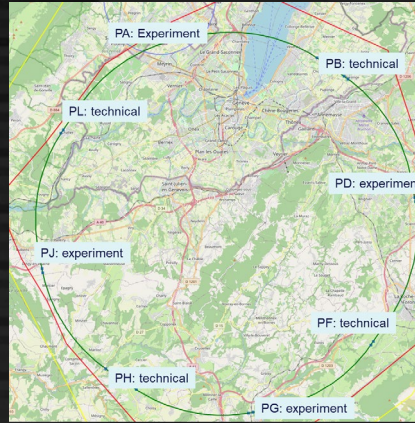
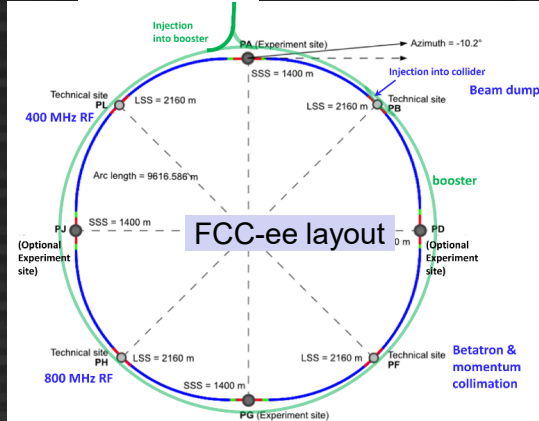
- 45-50 MV/m
空洞表面処理の改善
(うまくいけばILCにそのまま使える)
- 60-70 MV/m
空洞形状の改善・進行波加速管
(抜本的なデザイン変更, upgrade用)
- 100 MV/m
積層薄膜 (原理実証の段階)
- それ以上
新奇加速に置き換え or afterburner

Possible upgrade シナリオ

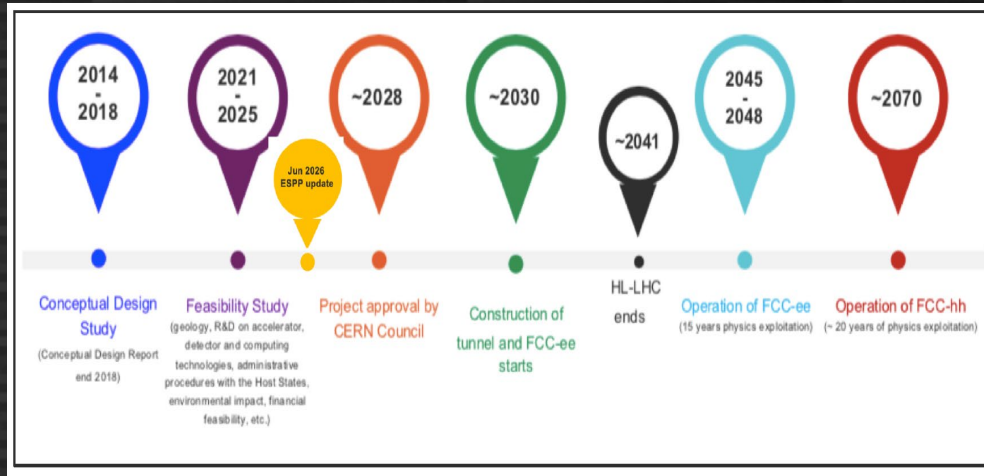
- -2050年: 250 GeV Higgs factory (表面処理の改善がよければ350 GeVも?)
- 2050年-: 550 GeV - 1 TeV with 60-70 MV/m (追加部分)
- 2070年-: 2-3 TeV with 100+ MV/m (薄膜) 既存空洞の置き換えが必要
(電力に対して抜本的な何かが必要?)

FCCee

周長 91.1 km, 2 IP, エネルギー
91-365 GeV



	\sqrt{s}	L/IP ($\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Int. L/IP (ab^{-1})	Comments
e^+e^- FCC-ee	~90 GeV	Z	230 $\times 10^{34}$	2-4 experiments Total ~ 15 years of operation
	160	WW	28	
	240	H	8.5	
	~365	top	1.5	
pp FCC-hh	100 TeV	5×10^{34} 30	20-30	2+2 experiments Total ~ 25 years of operation
PbPb FCC-hh	$\sqrt{s_{NN}} = 39 \text{ TeV}$	3×10^{29}	100 $\text{nb}^{-1}/\text{run}$	1 run = 1 month operation
ep Fcc-eh	3.5 TeV	1.5×10^{34}	2 ab^{-1}	60 GeV e- from ERL Concurrent operation with pp for ~ 20 years
e-Pb Fcc-eh	$\sqrt{s_{eN}} = 2.2 \text{ TeV}$	0.5×10^{34}	1 fb^{-1}	60 GeV e- from ERL Concurrent operation with PbPb



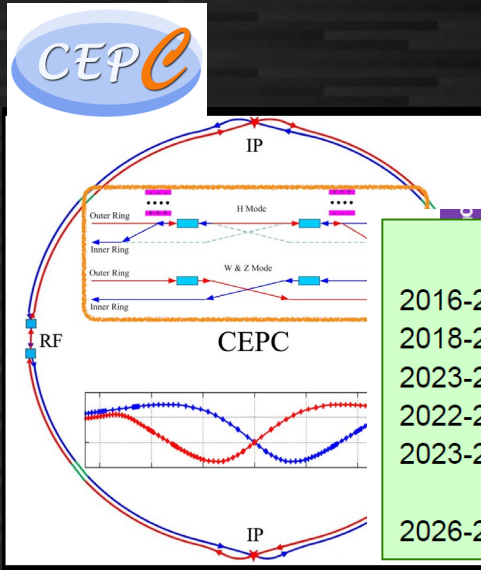
“FCC feasibility study”が進行中
CERNが100億円規模の予算をつけ
研究開発、詳細設計を推進

2025年にレポートが発表される予定
その後、欧州物理戦略アップデート
を経て、Pre-TDR phaseに移行、
2028年頃の建設決定を目指している

予算規模は15 BCHF (2.6兆円)の
巨大プロジェクト、予算の裏付けはまだない
pp colliderはさらに数倍の費用

測定開始は2045-2048が目標
100 TeV pp colliderにアップグレード
(2070年以降)

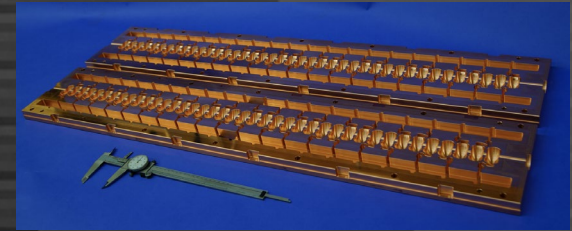
その他のHiggs factories



Ideal Accelerator Roadmap

2016-2021	MOST phase-1 accelerator R&D
2018-2023	MOST phase-2 accelerator R&D
2023-2028	MOST phase-3 accelerator R&D
2022-2023	Accelerator TDR completion
2023-2025	Site selection, engineering design, prototyping and industrialization
2026-2034	Construction and Installation

中国でもFCCと類似した計画が検討中
 こちらは**2035年頃**の実現を目指す(中国国内計画)
 2026-の中国5カ年計画への採択を
 目指している(採択は建設決定に直結?)



Cool copper collider
 USの計画で、常伝導だが液体窒素温度で運転して効率を向上させる
 8 kmでHiggs factoryが可能
 (かなりアグレッシブなデザイン)
 USは直近10年は建設不可能
 → 2040年代が最短



CLIC: CERNの常伝導リニアコライダー計画
 380 – 3000 GeV
 Technologyは比較的進展
 FCCのbackup optionと位置づけられている(?)

Operation mode		ZH	Z	W*W	tt
\sqrt{s} [GeV]		~240	~91.2	158-172	~360
L / IP [$\times 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$]	CDR (2018)	3	32	10	
	Latest	5.0	115	16	0.5

Higgs factoryをめぐる情勢

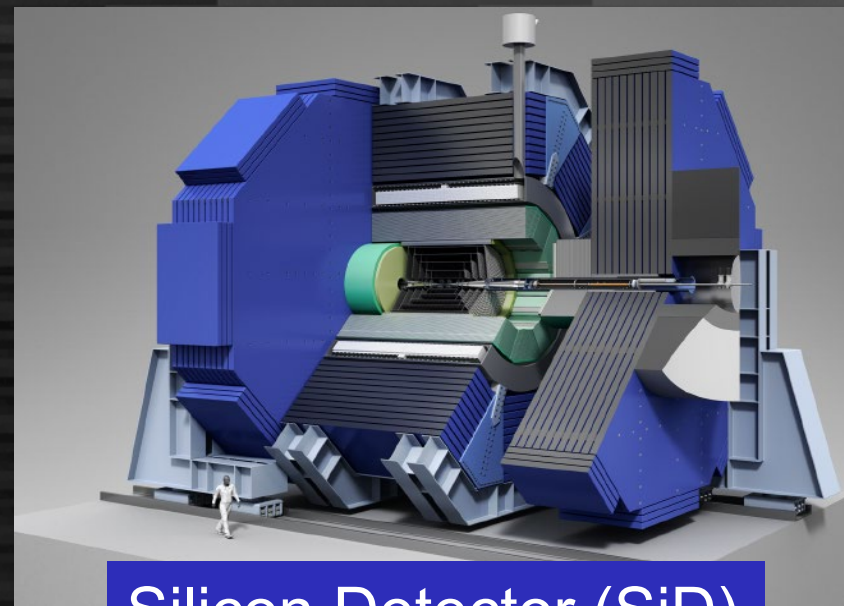
- $e+e-$ はLHCの次のコライダーとして最有力
 - 欧州、アメリカいずれもそのような位置づけ
 - 欧州戦略に向けFCCが注目を集めている
 - CERNが強力にpushしているが、予算獲得は困難
- ILCはglobal projectの枠組み作りを進めている
 - リニアコライダーの優位性(energy upgrade, cost)はある
 - 日本にとって現状唯一可能なenergy frontierのcollider計画
 - 日本単独で作るのは困難、国際合意による建設を目指す
- 物理・測定器開発はILCもFCCeeも共通部分が多い
 - ただし、違う部分もある(バンチ構造、想定エネルギーなど)
 - どちらにも使える技術として開発を進める
 - 建設が決まればそのプロジェクトに特化していく

ILCの測定器



International Large Detector (ILD)

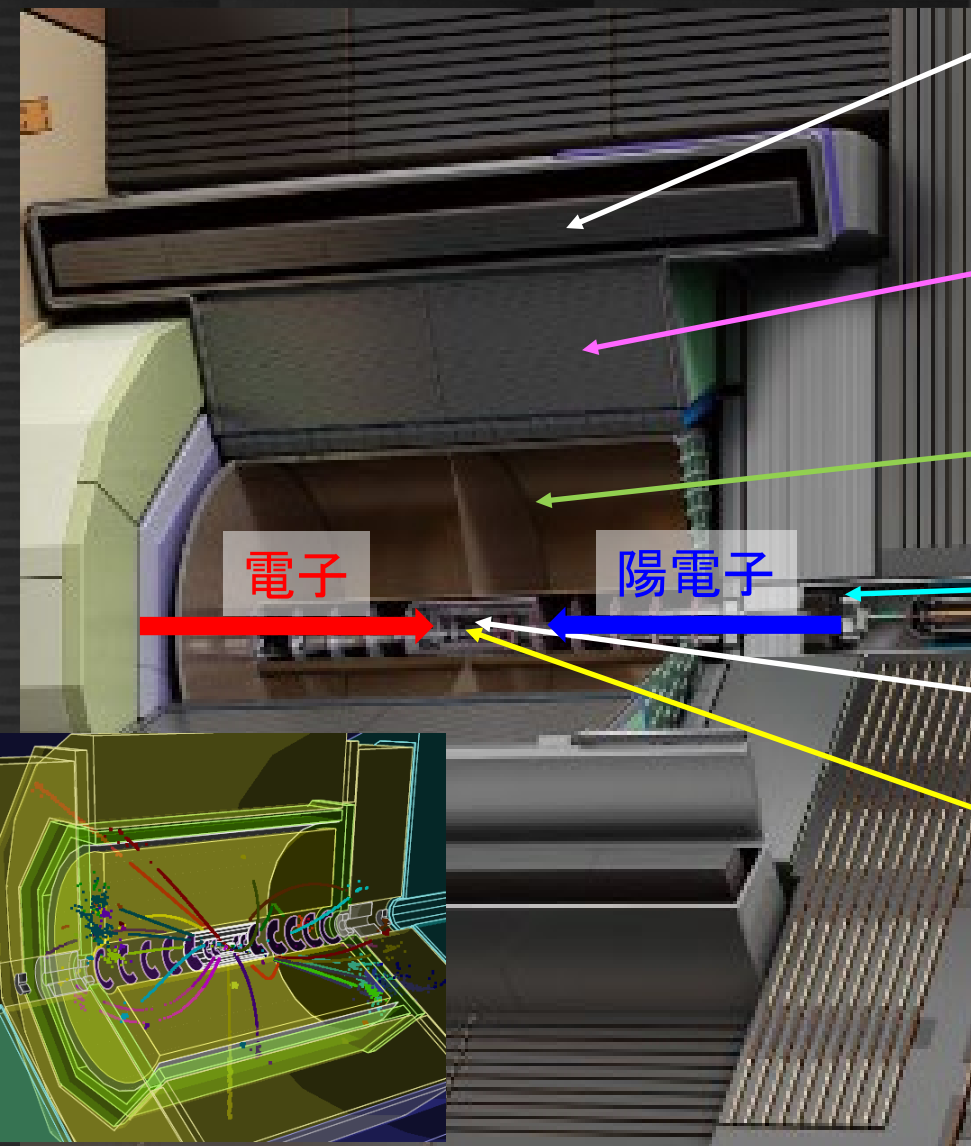
主に日本+ヨーロッパ



Silicon Detector (SiD)

主にアメリカ

2つの測定器グループがある
焦点は1つしかないので、交互に置く(push-pull)か、
あるいは1つに統合するか。



超伝導電磁石 (3.5 Tesla)
強力な磁場で荷電粒子を曲げる

カロリメータ
中性粒子の位置、エネルギーを測定

ガス検出器(TPC)
荷電粒子の運動量を正確に測定

ビームパイプ

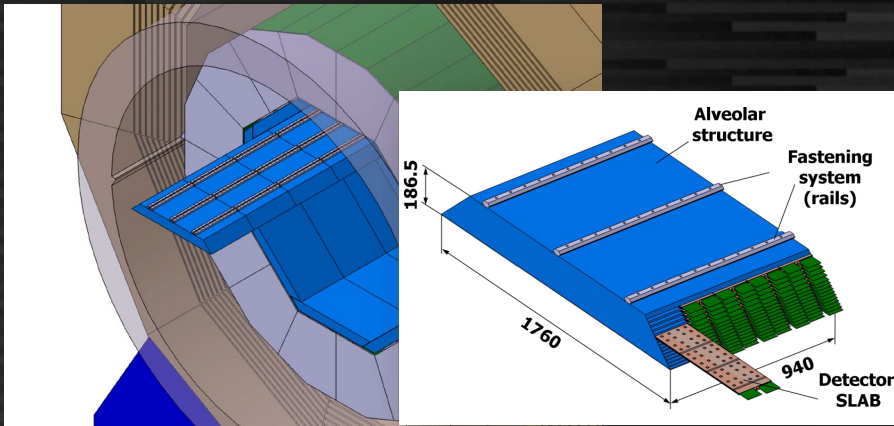
シリコン崩壊点検出器・飛跡検出器
荷電粒子の位置を精密に測定する

衝突点

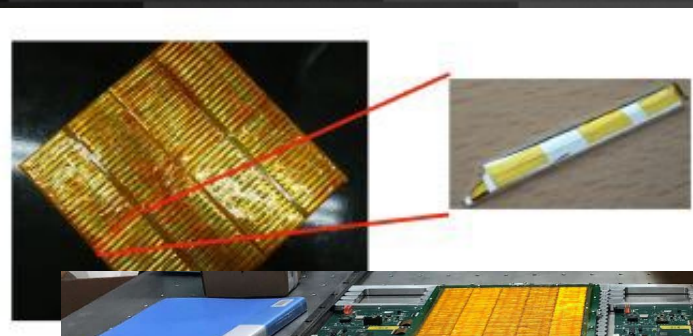
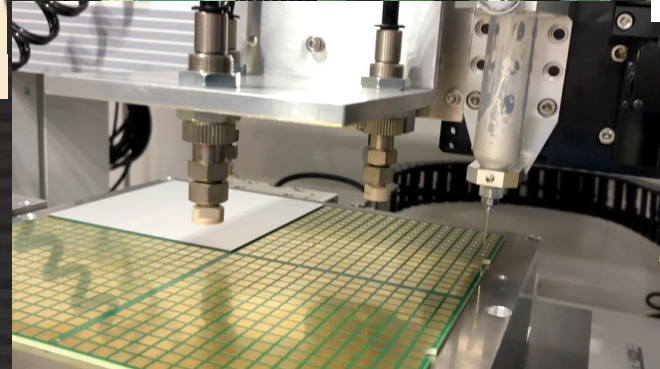
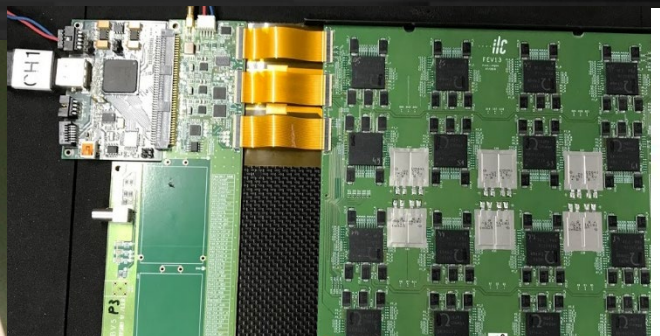
内側に荷電粒子の検出器、
外側にカロリメータがある
得られた粒子の情報から
元の反応を再構成していく

電磁カロリメータ

タングステンとセンサーの
多層カロリメータ (20-30層)
読み出し回路(ASIC, フロントエンド)
をセンサーと吸収層の間に
挟み込んでいる
合計 $10^7 \sim 8$ チャンネル



シリコンセンサー
(浜松ホトニクス製)
日仏共同開発

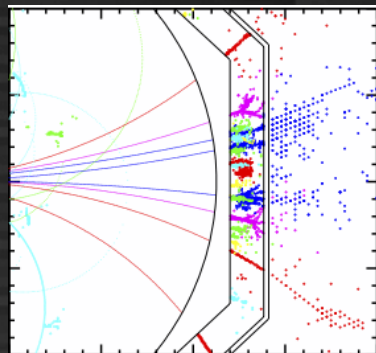


シンチレータ (日中独)

解析技術: 深層学習の活用

Transformer, graph neutral networkなどの技術を物理性能向上、測定器最適化・デザイン等に活用、AI研究へのフィードバックも目指す

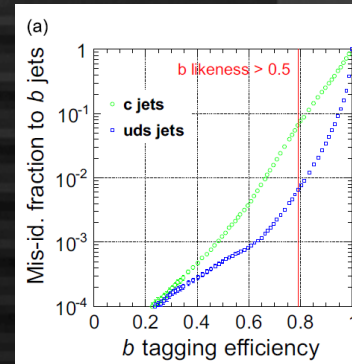
Particle flow (for jet reconstruction)



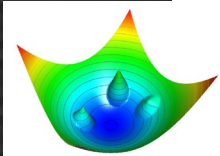
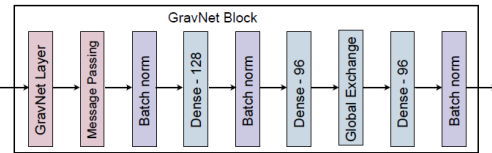
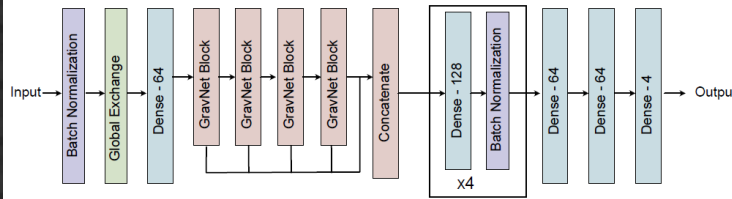
Reconstruct particles in jets and subtract contribution from charged particles

PandoraPFA: human-tuned algorithm developed in ~2008
Still used in most of analyses

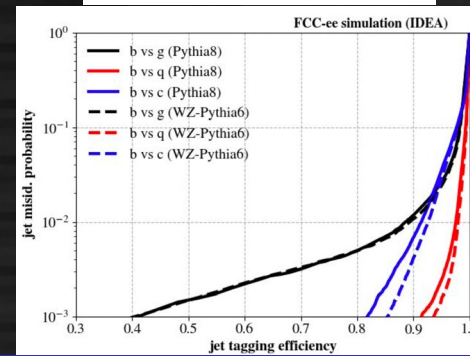
Flavor tagging (b/c/s/g tagging)



LCFIPlus:
b/c tagging software developed in 2012
BDT used with ~40 input params



GNN algorithm developed for CMS HGCal being tried



FCCee ParticleNet:
>10 times better!
Maybe due to fast simulation (no scattering) but still worth to try with full simulation

Using PID (kaon-tag) can help → both hardware (dE/dx, timing, Cherenkov) and algorithm studies

より高精細な測定器の性能を最大限に引き出すにはDNNが有効のはず

まとめ

- HL-LHC後の将来コライダーとして、
e+e- Higgs factoryは最有力
 - ヒッグスを通じて新物理探索、時空の構造解明
 - 新物理直接探索も(今回は省略)
 - リニアコライダーならアップグレードで
50年以上にわたり新物理探索の最有力ツールに
 - Circular colliderは100 TeV ppコライダーへのステップになり得る
- ILCとCERNのFCCee, 中国など
様々なプロジェクトが進んでいる
 - いずれか一つは実現すると期待 (もちろんILCに強く期待)
 - 物理・測定器技術は共通技術が多く、協力して進めたい

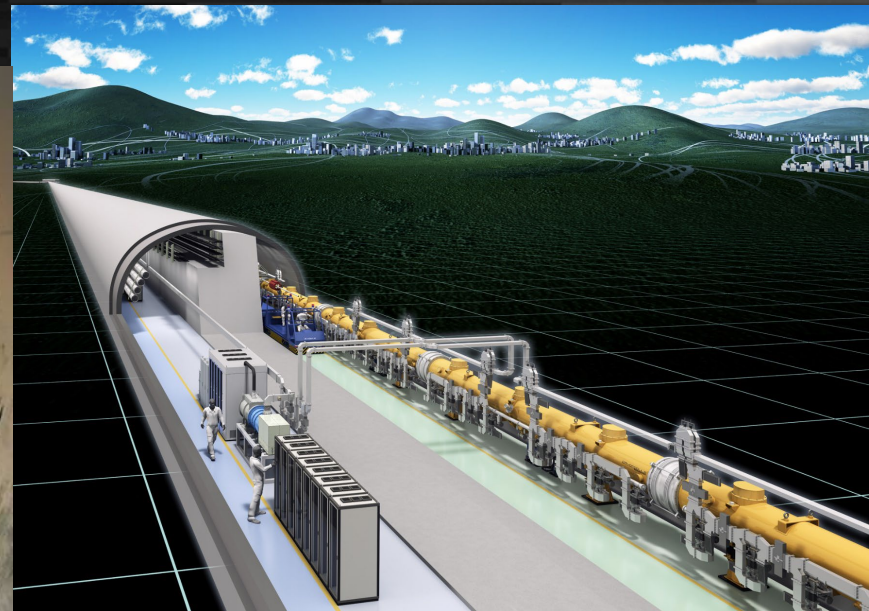
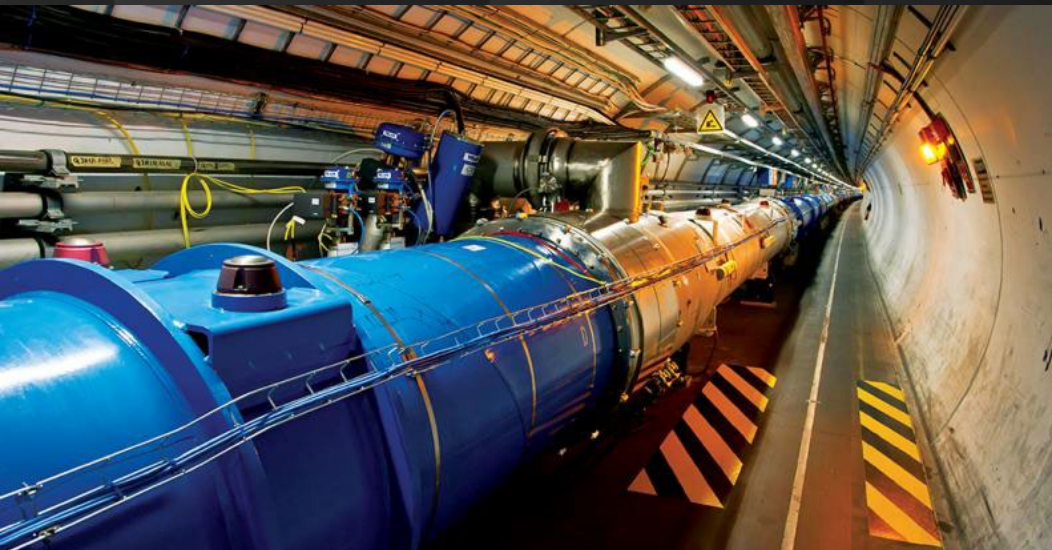
宇宙の謎を解き明かす二つの加速器

LHC Large Hadron Collider

- 現存最大の加速器 27 km
- スイス・ジュネーブ近郊
- 日本からも多数参加
- 2012年、質量を司るヒッグス粒子発見

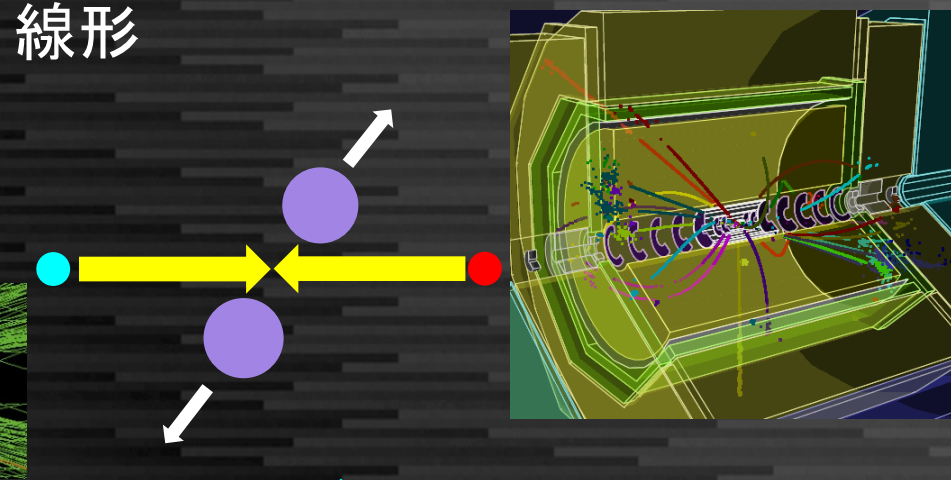
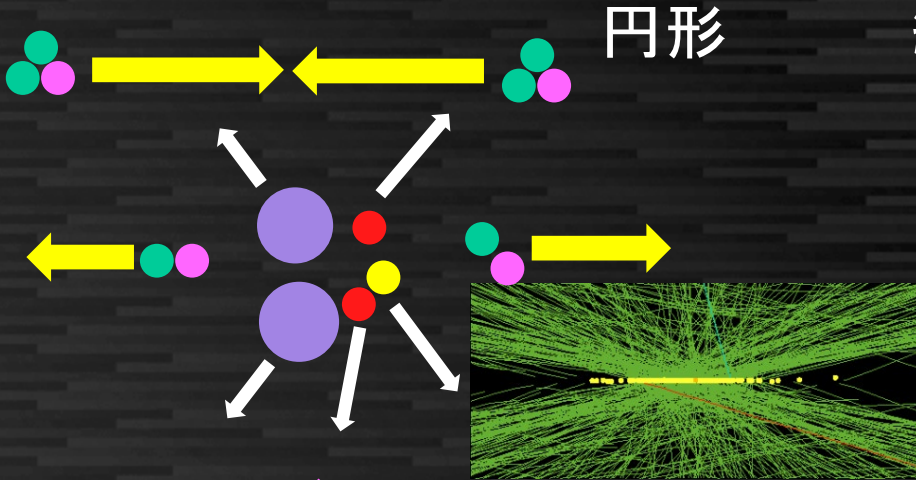
ILC International Linear Collider

- 次世代直線加速器 20 km
- 日本に建設予定 (海外からも多数参加)
- LHCより精密な測定が可能



陽子・陽子衝突 13-14 TeV

電子・陽電子衝突 250- GeV



- エネルギーは高い
- 複合粒子同士の衝突のためエネルギーの大半は見たい反応に寄与しない
- 不要な生成粒子が多い

- エネルギーは低め
- 素粒子同士の衝突のためすべてのエネルギーを新粒子生成に利用できる
- 不要な生成粒子は少ない

重いが見やすい状態が得意

軽ければ見にくい状態でも見える

得意分野を生かし、協力して新物理を探索