

国際リニアコライダー計画で変わる 科学・技術・社会

栗木雅夫 広島大学教授/日本加速器学会会長

第18回未来エネルギーフォーラム・シンポジウム 2024/3/23 (土)

国際リニアコライ ダー計画で変わる 科学・技術・社会

1

リニアコライダーという加速器

円から線へ

2

国際リニアコライダー計画ILC

宇宙の謎を調べる実験室

3

ILCで変わる科学

混迷の時代の羅針盤

4

ILCで変わる技術

超伝導とナノビームが拓く

5

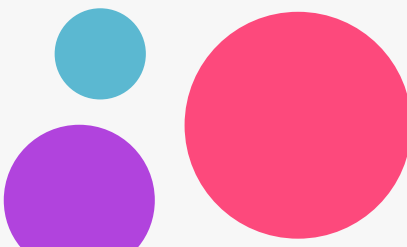
ILCで変わる社会

ILCは社会を変える、世界を変える

6

まとめ

世界から期待される日本へ



リニアコライダー という加速器



THELLIOI

加速器 = 電場で粒子を加速

電場で粒子を加速

粒子

+

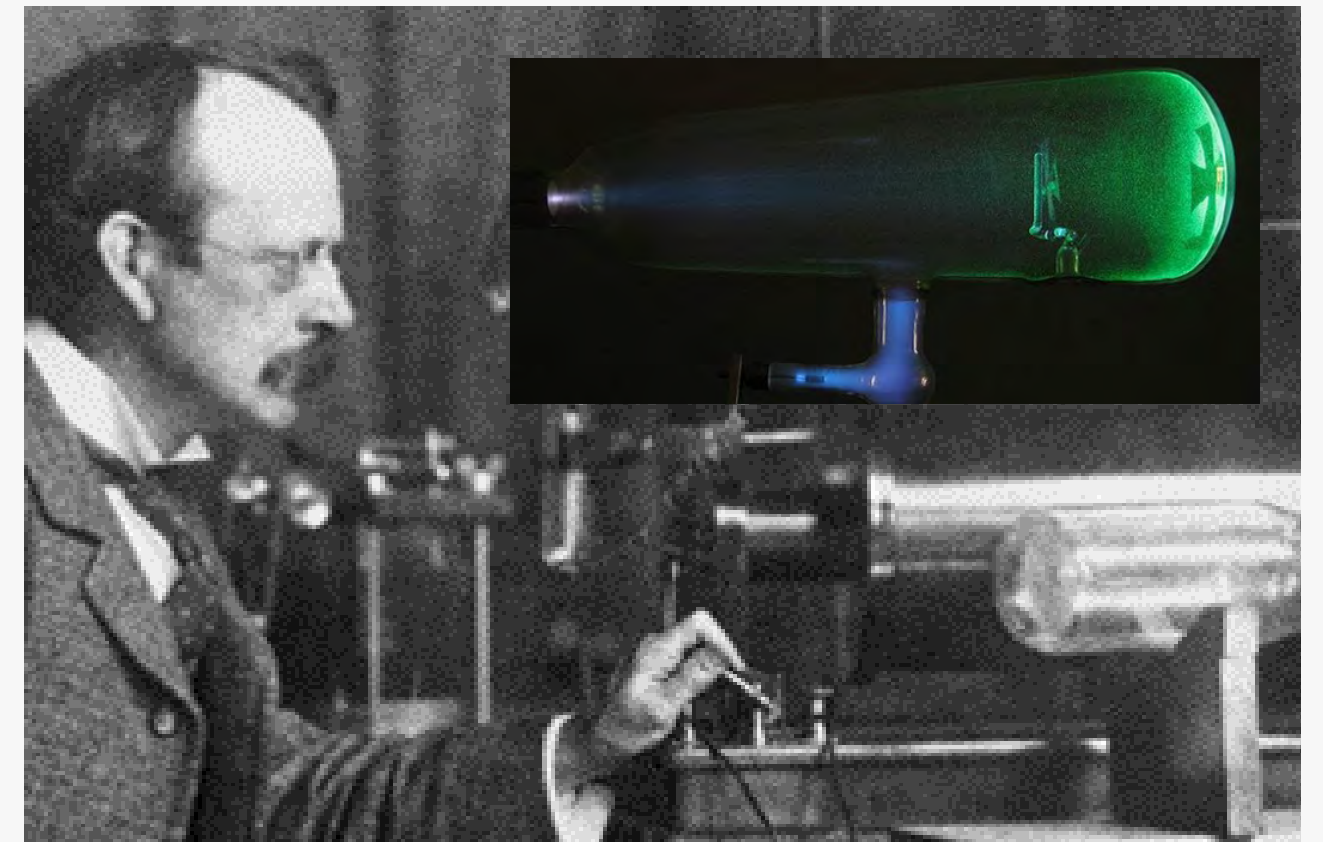
+

電場 (電圧)

-

1897年 陰極線管
で電子を発見

20cm , 100kV

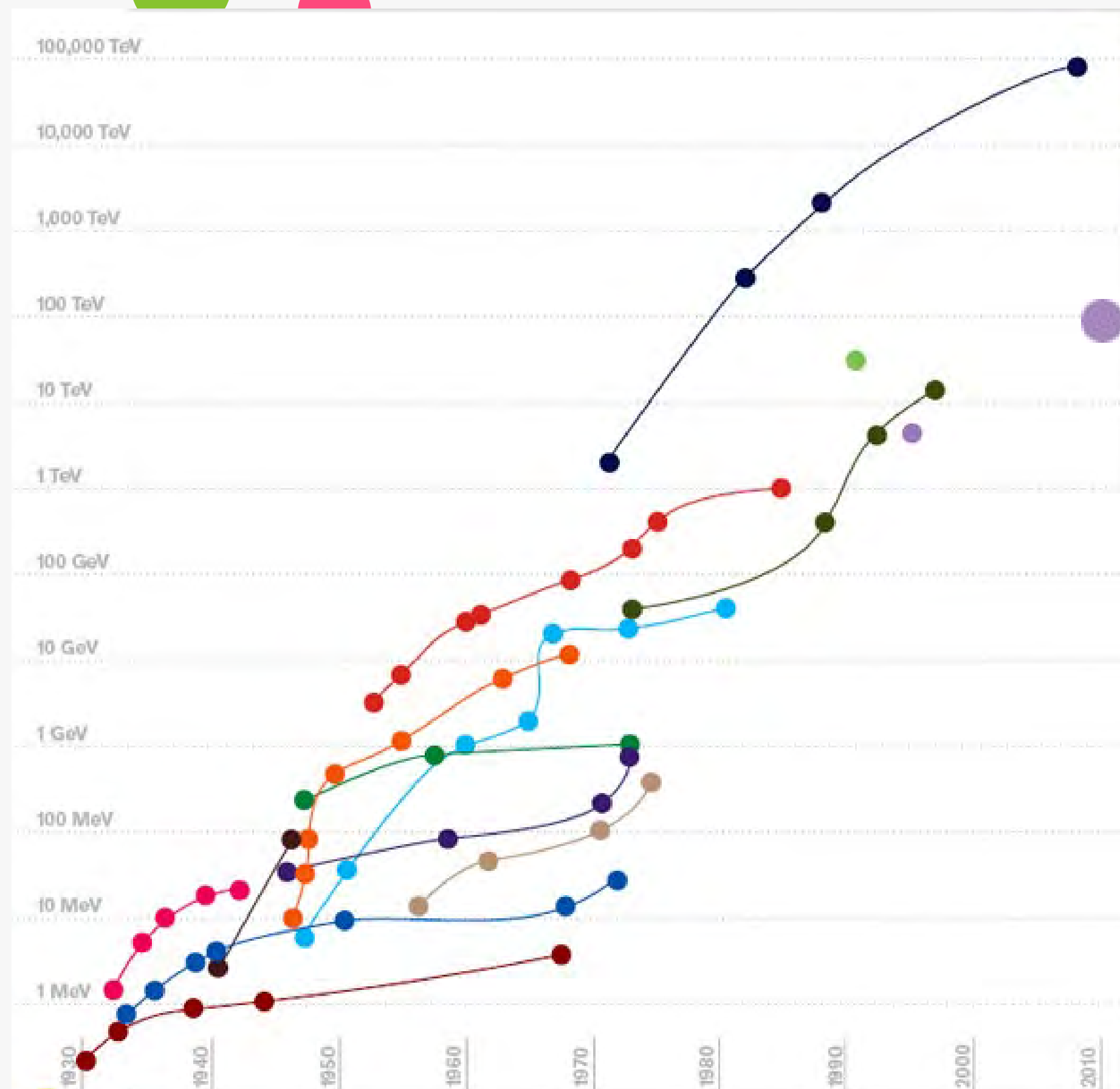


2012年 LHC加速器で
ヒッグス粒子を発見

27km, 13.6 TeV



Livingston Plot



コライダーは同じ重心系エネルギーを再現する、静止した陽子と加速された粒子のエネルギーとして表示。

- Wideroe加速器
- 線形加速器
- サイクロトロン
- 電子シンクロトロン
- Cockcroft-Walton
- 陽子シンクロトロン
- Van de Graaff
- Betatron
- Storage ringコライダー
- Synchrocyclotron
- リニアコライダー

加速器のエネルギー増大は

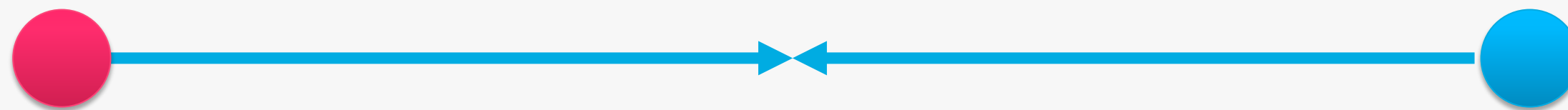
技術の発展 × 加速器コンセプトの進化

コライダーの威力

ヒッグス粒子の生成
($e+e- \rightarrow Zh$)

コライダー
ビームの正面衝突

125GeV + 125 GeV
(250GeV ILC)



固定標的

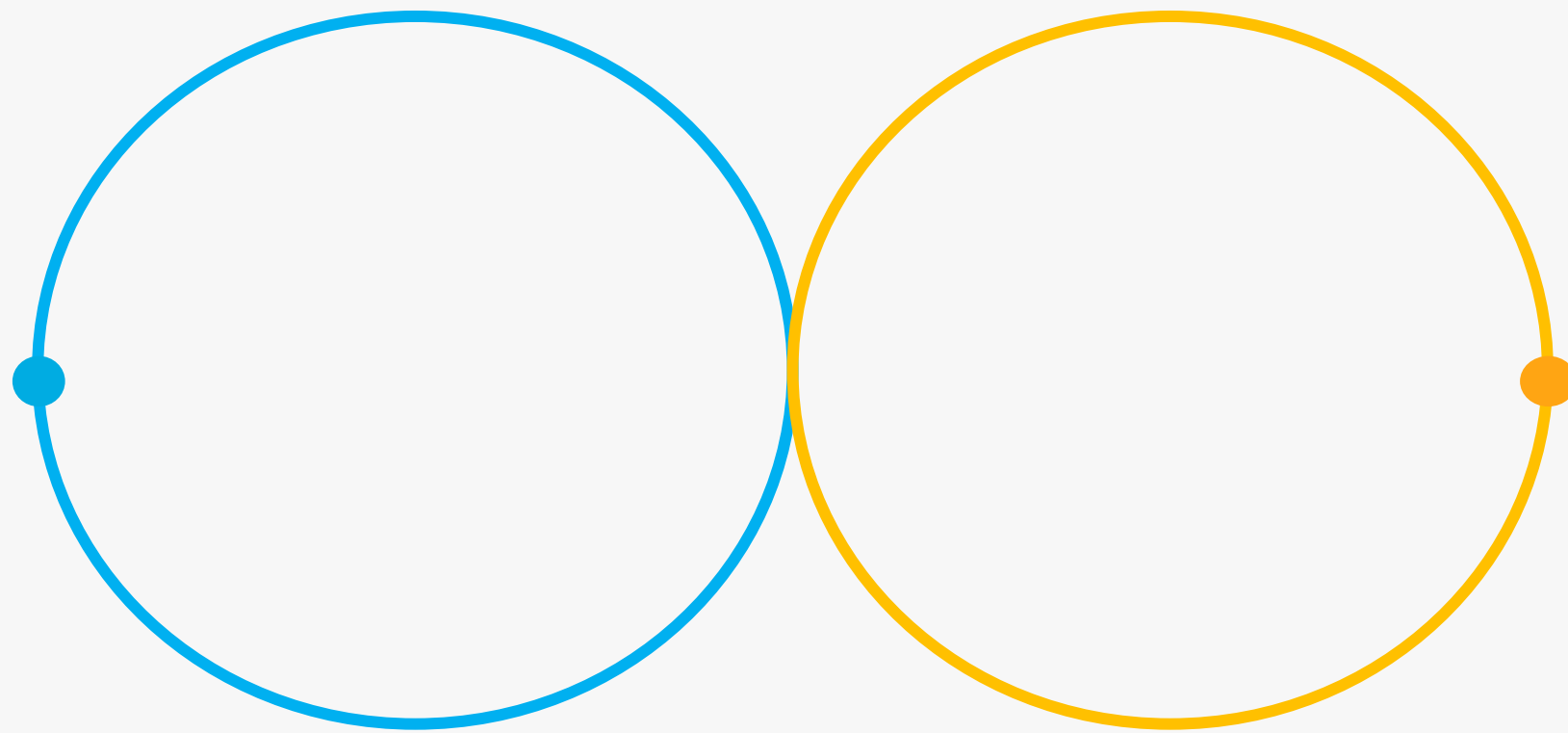
ビームが静止した標的に衝突

62,500,000 GeV

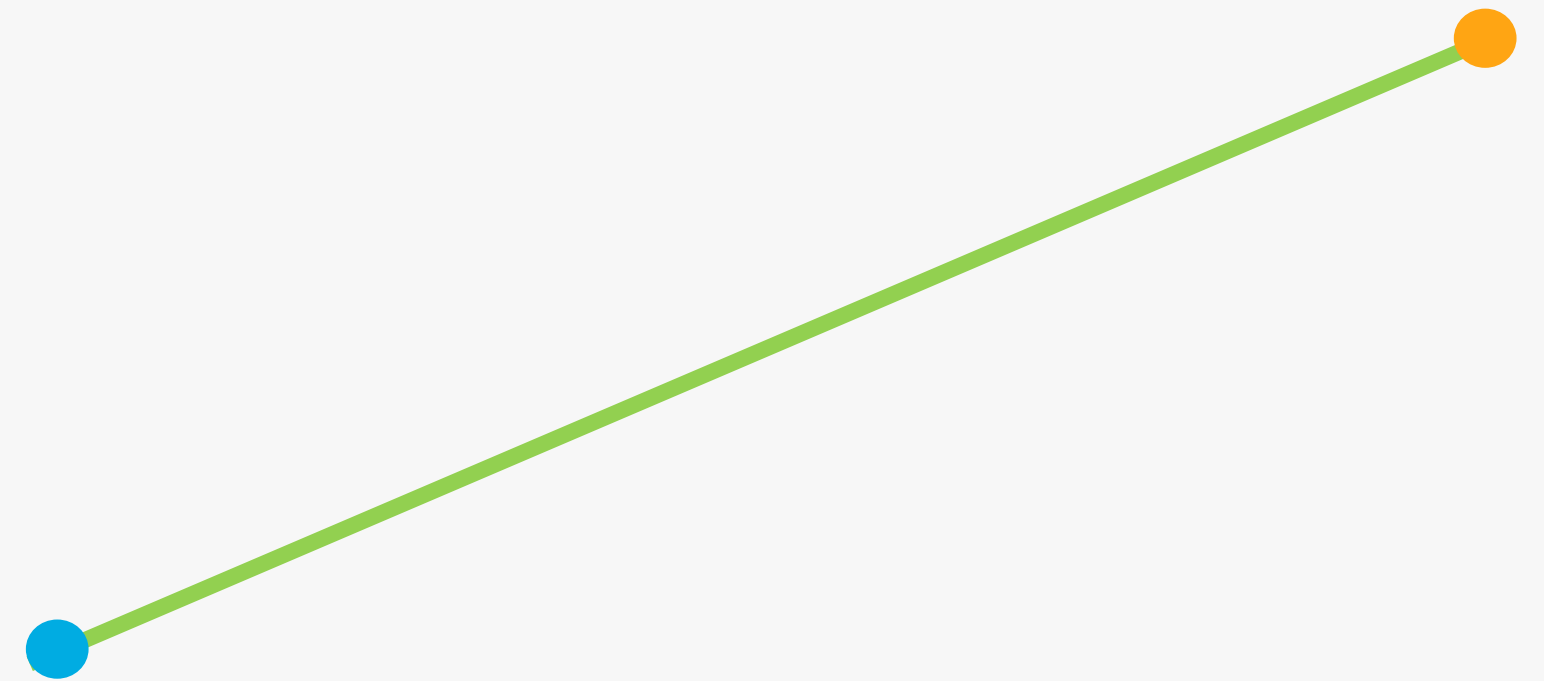


同じ現象を見るのに
25万倍のエネルギー
が必要！

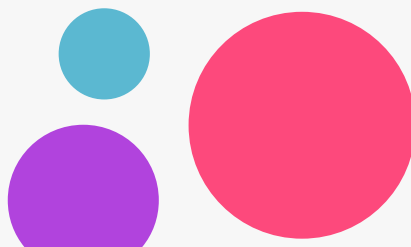
二つのコライダー：円形と線形



円形コライダー



リニアコライダー



コライダー加速器

EUROPE

ASIA

US

AdA

PETRA DORIS

TRISTAN/(S)KEKB

SLC

PEP/PEP II

HERA

BEPC/BEPC II

SPEAR

TEVATRON

ISR

Sp \bar{p} S

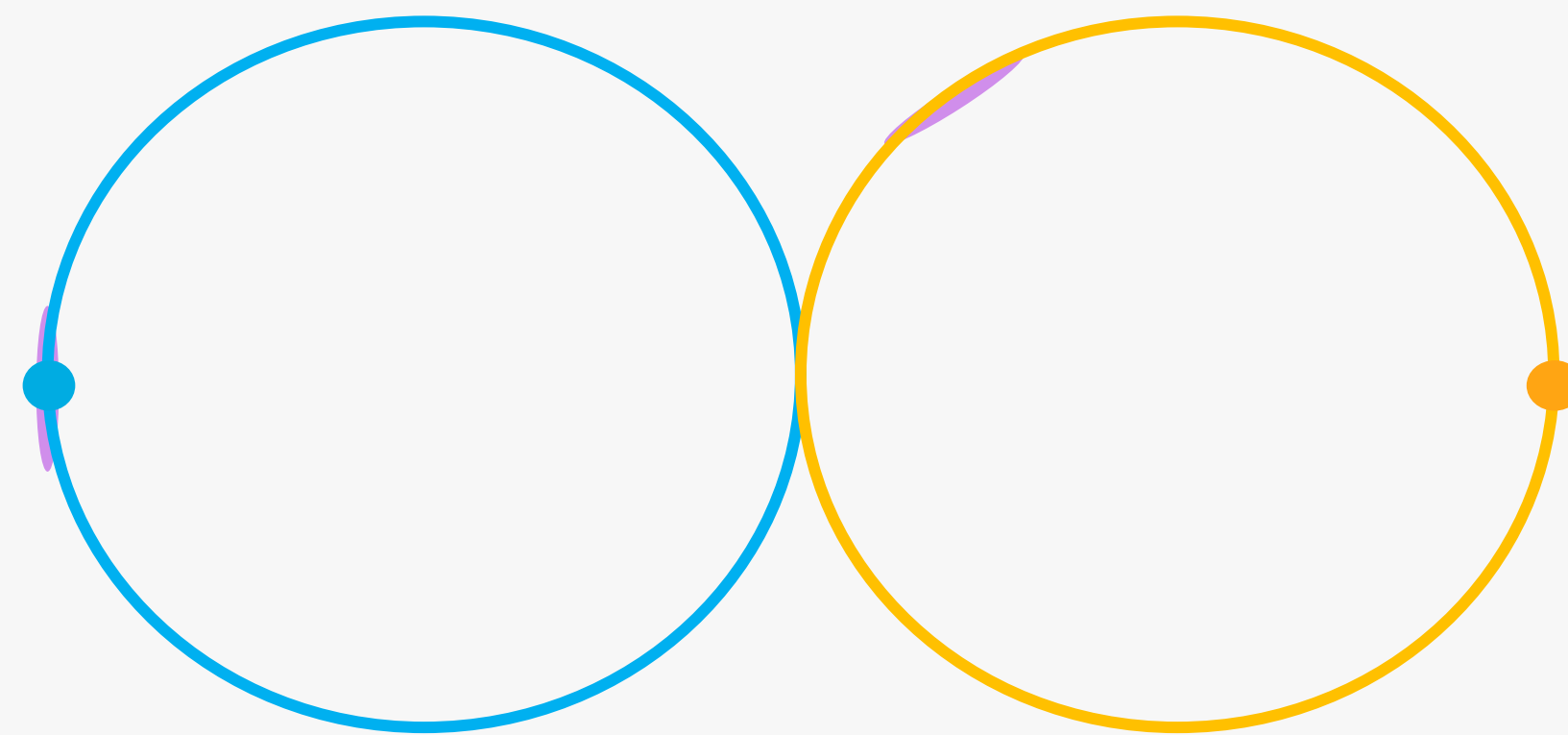
International
Linear
Collider

LEP/LHC

これまでに建設されたコライダーのほとんどは円形

円形コライダー

- 多数回の加速で高エネルギービームが得られる（シンクロトロン加速）。
- ビームが周回するので、ルミノシティが高い。
- エネルギーが高くなると、シンクロトロン放射によるエネルギー損失で、これ以上加速できなくなる。
 - 電子・陽電子：100GeV程度
 - 陽子：100TeV程度
- エネルギー増強にはあらたなトンネルを掘りなおす必要がある（**拡張性ない**）





リニアコライダー

技術の進歩により際限なく進化

- 加速は一度きり。高性能（高加速勾配）の加速空洞が必要。
- シンクロトロン放射が無い。
- 加速空洞の高性能化、トンネル延長によりエネルギー増強が容易！

(高い拡張性)



コライダーコンセプト

パワーマシンからナノマシンへ

コライダーの性能 = イベント数 $N = \sigma \mathcal{L}$ $\mathcal{L} = \frac{f n_b N^2}{4\pi \sigma_x \sigma_y}$ ビームパワー
ビームサイズ

リングコライダー

- 一回加速してしまえば、あとは周回させるだけ。ビームを積んで大きなビームパワー。
- ビームを絞ると周回が不安定になる。ビームをあまり絞らずに、安定して周回させる。

とにかく大パワー



リニアコライダー

- ビームの再利用はできないので、電力節約のためビームパワーを抑える。
- 衝突点を通過したあとのビームは使わないので、気にせずにガンガン絞る。

とにかくナノビーム



加速器発展の歴史

新たな加速器は新たな扉を開く

主に電子加速器を想定

静電型加速器

1,000,000 eV

サイクロトロン

20,000,000 eV

シンクトロン

100,000,000,000 eV

リングコライダー

2x100,000,000,000 eV

リニアコライダー

2x2,000,000,000,000 eV

リニアコライダー (ILC)は新時代の100年加速器



国際リニアコライダー 計画ILC

HELIOS



ILC国際リニアコライダー

歴史と由緒ある正統派

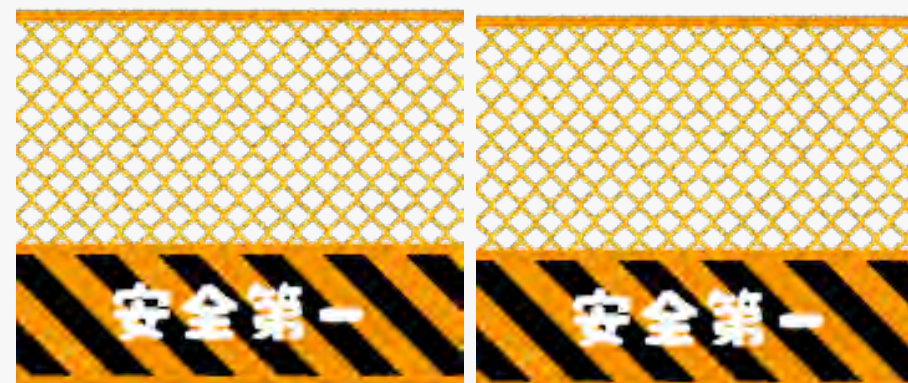
1980年代

今はリングコライダーが主流だけど、いずれリニアコライダーの時代がくる。いまから研究しておこう。

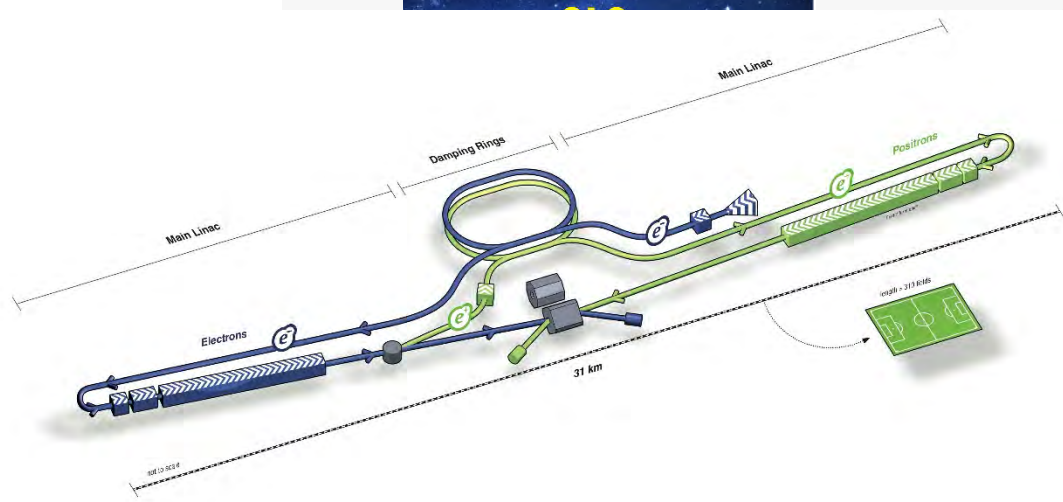
横谷馨先生



日本初のリングコライダー
トリスタン建設現場
1986年稼働開始



2004年 世界統一プロジェクトILC発足

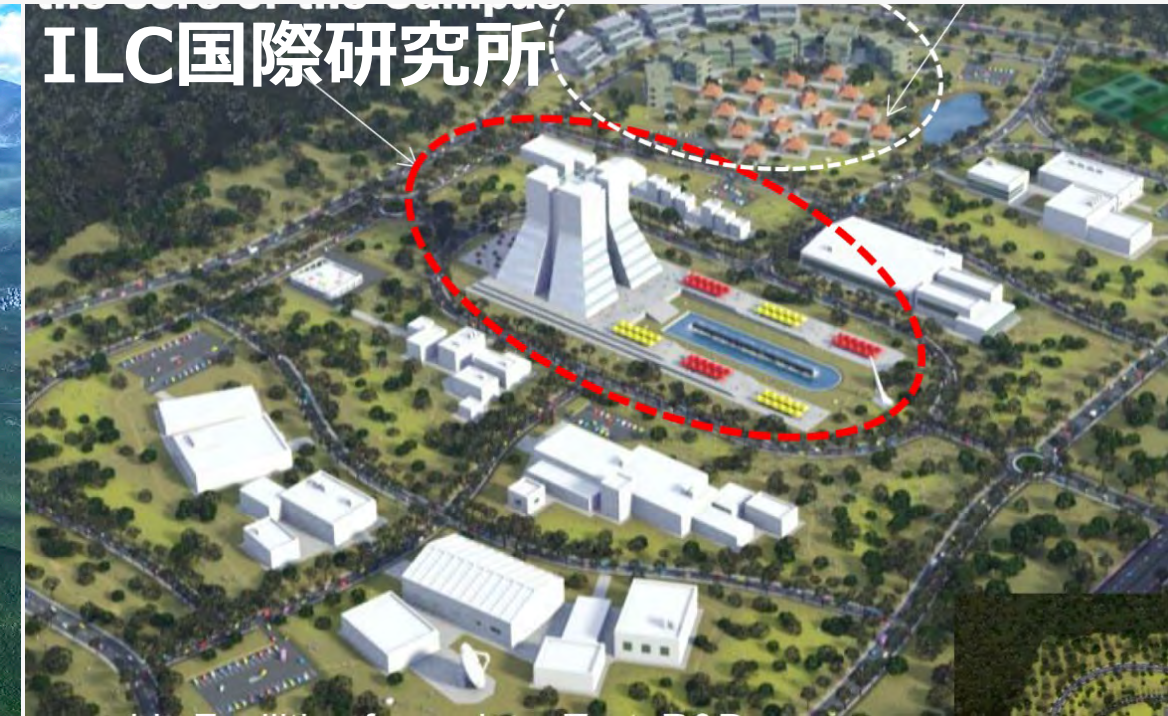


第18回未来エネルギーフォーラム
2024/3/23 (土)

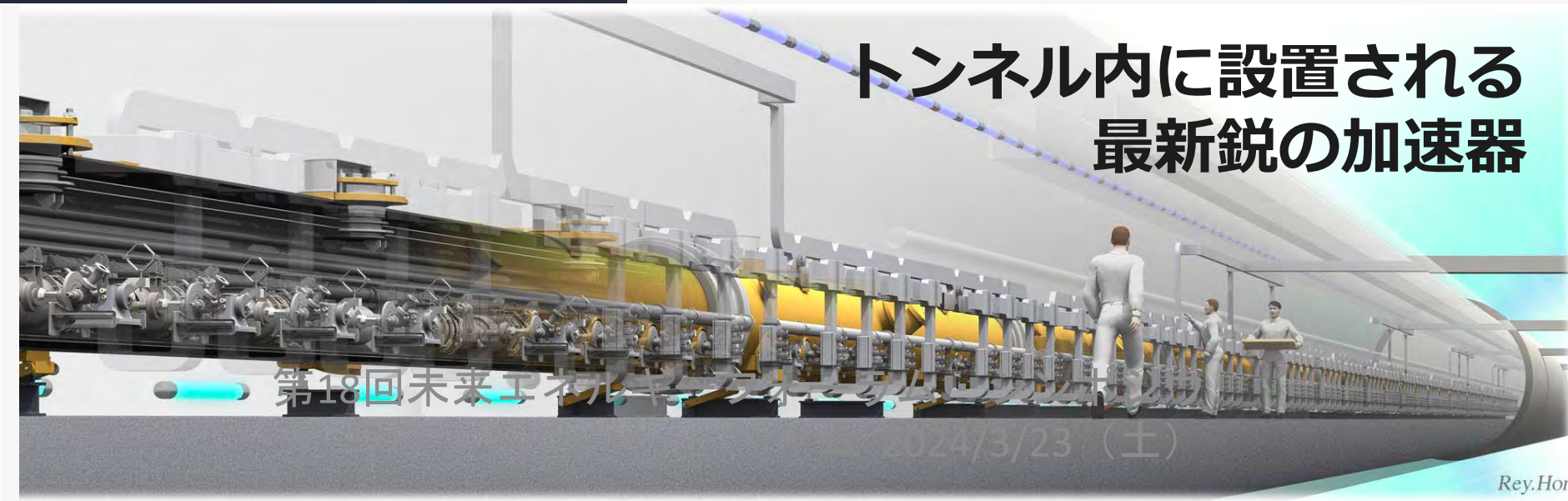
ILC国際リニアコライダー

米国、欧州が日本へのILC建設を支持。

ILC建設候補地、東北地方、北上山地

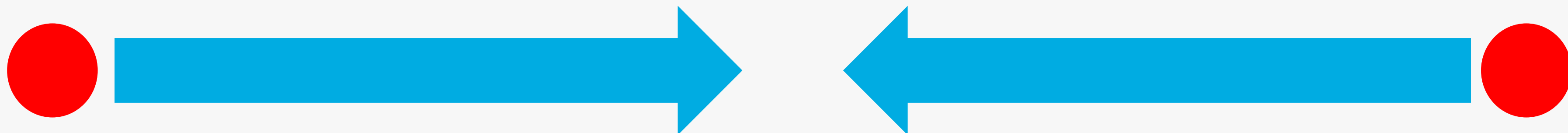


宇宙の謎に、最新鋭の加速器で挑む



リニアコライダーの構成要素：加速

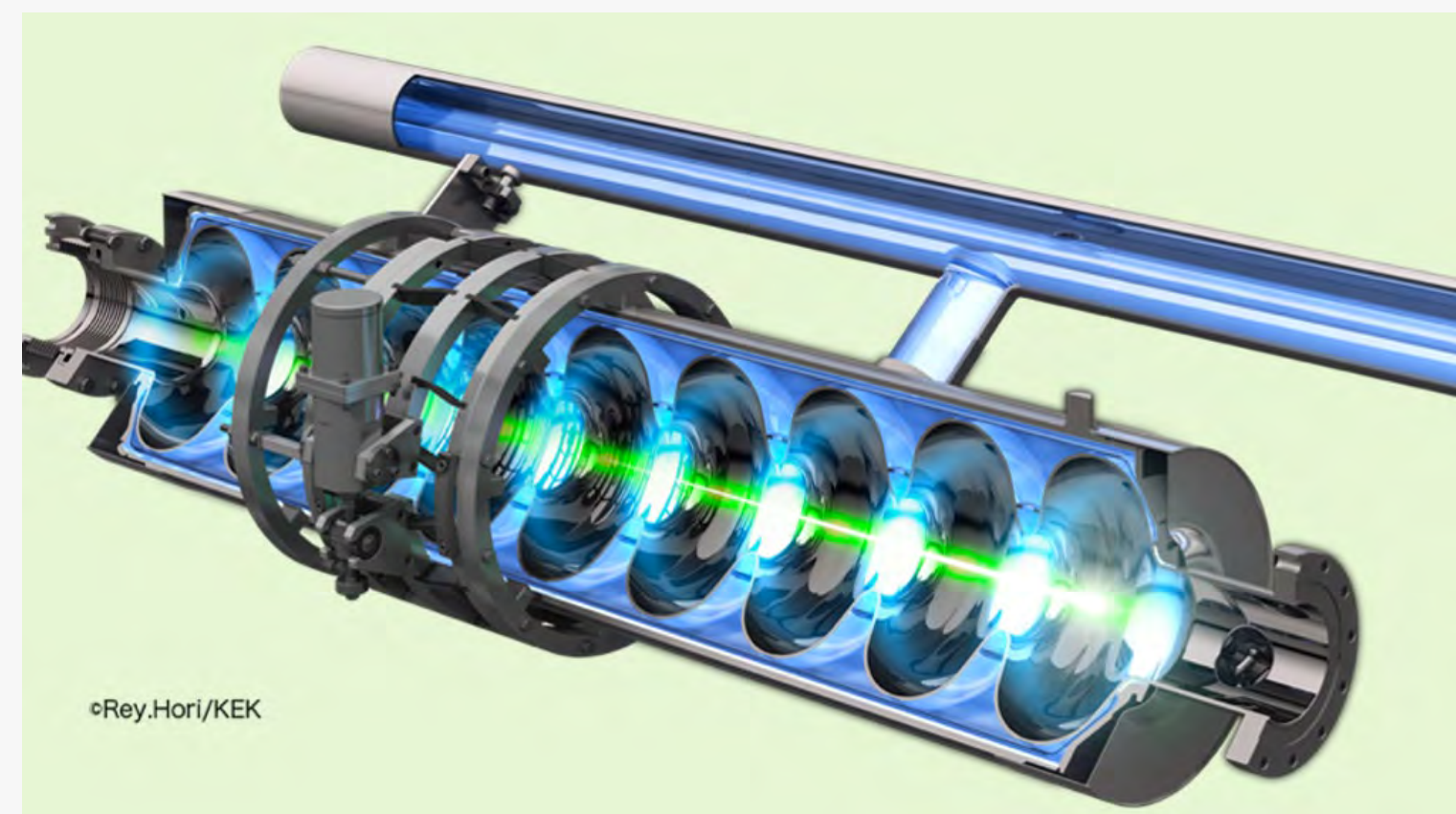
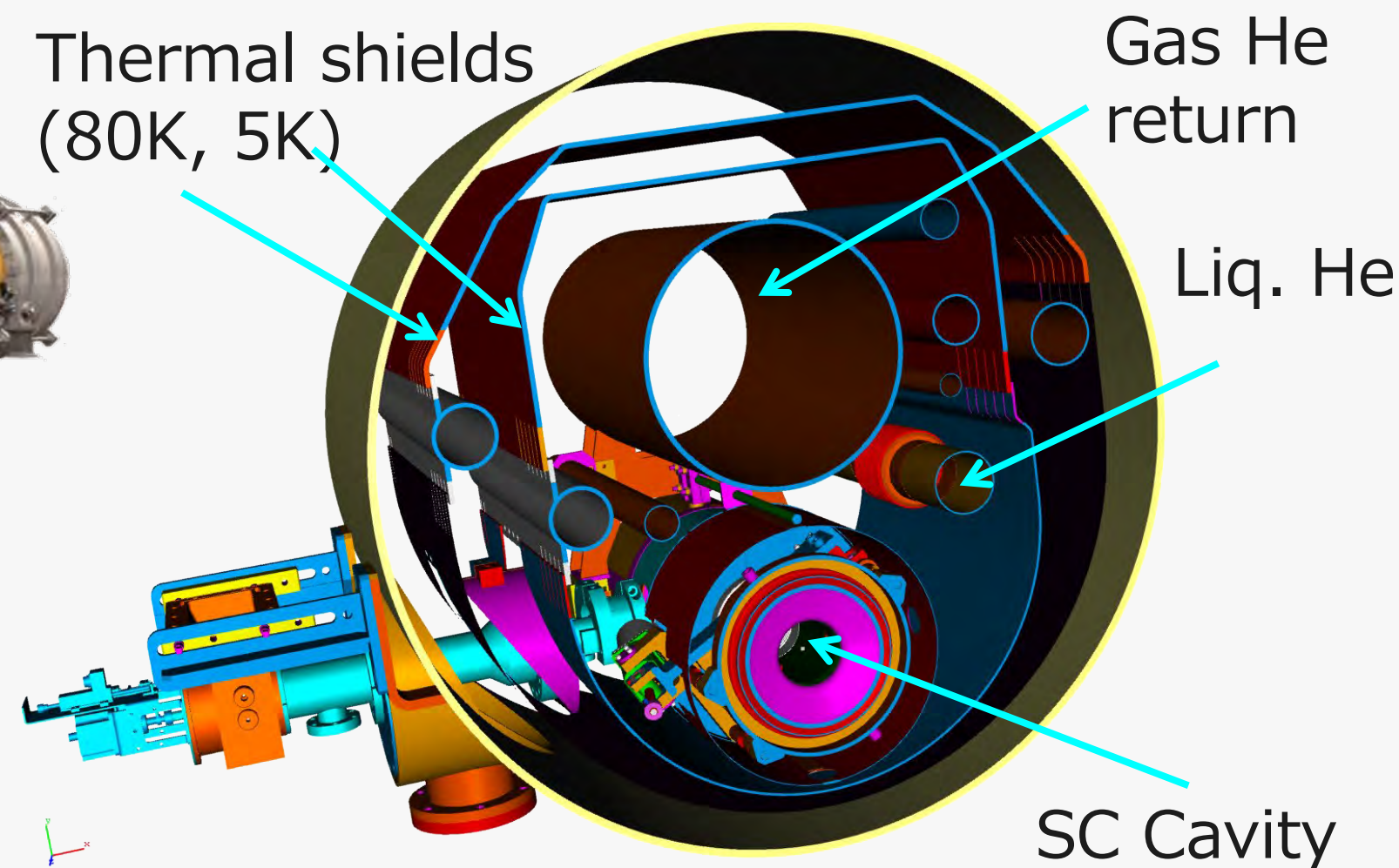
粒子を生成し、
必要なエネルギーまで加速する



加速は一度きりなので、強力な
加速器が必要。1%でも不足し
たら、実験ができない！



超伝導加速器



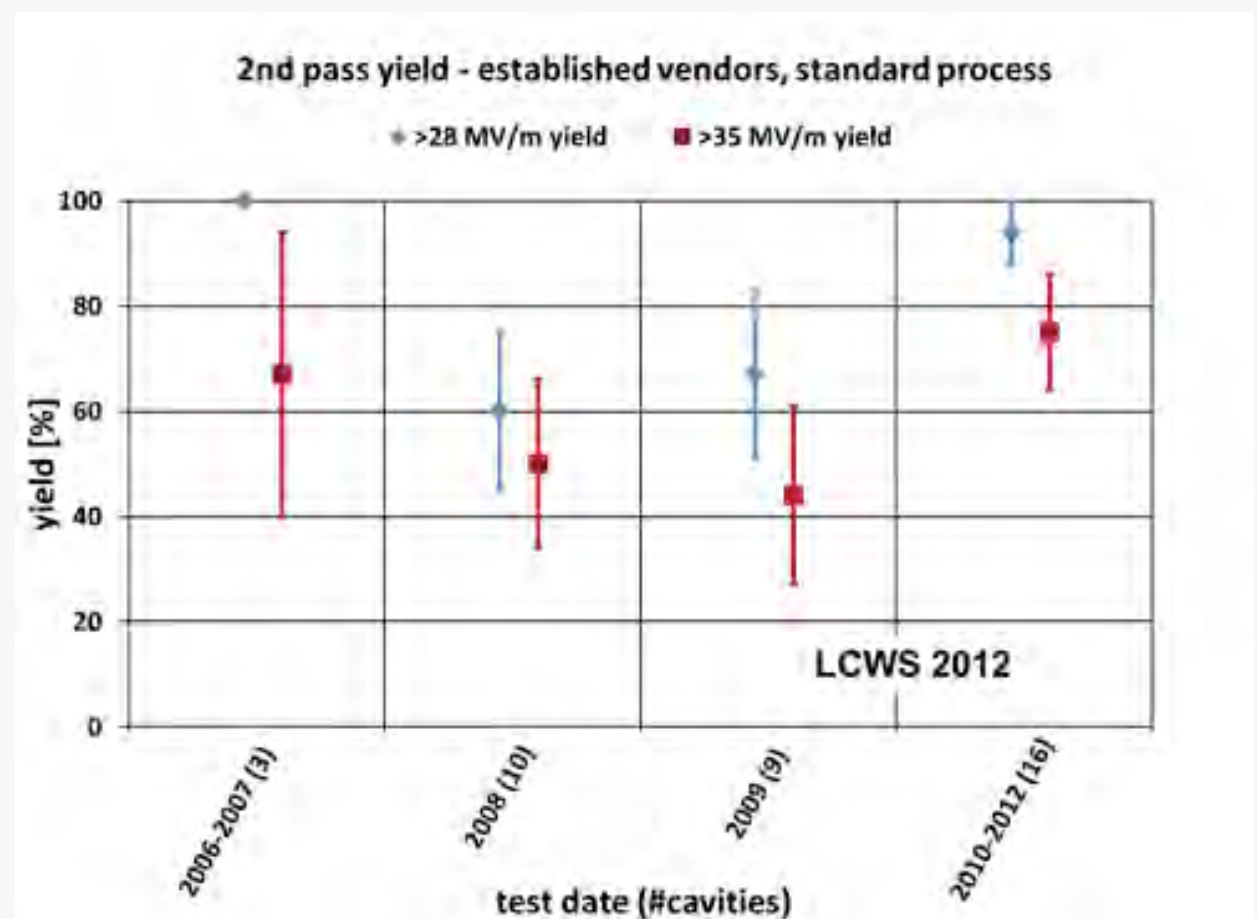
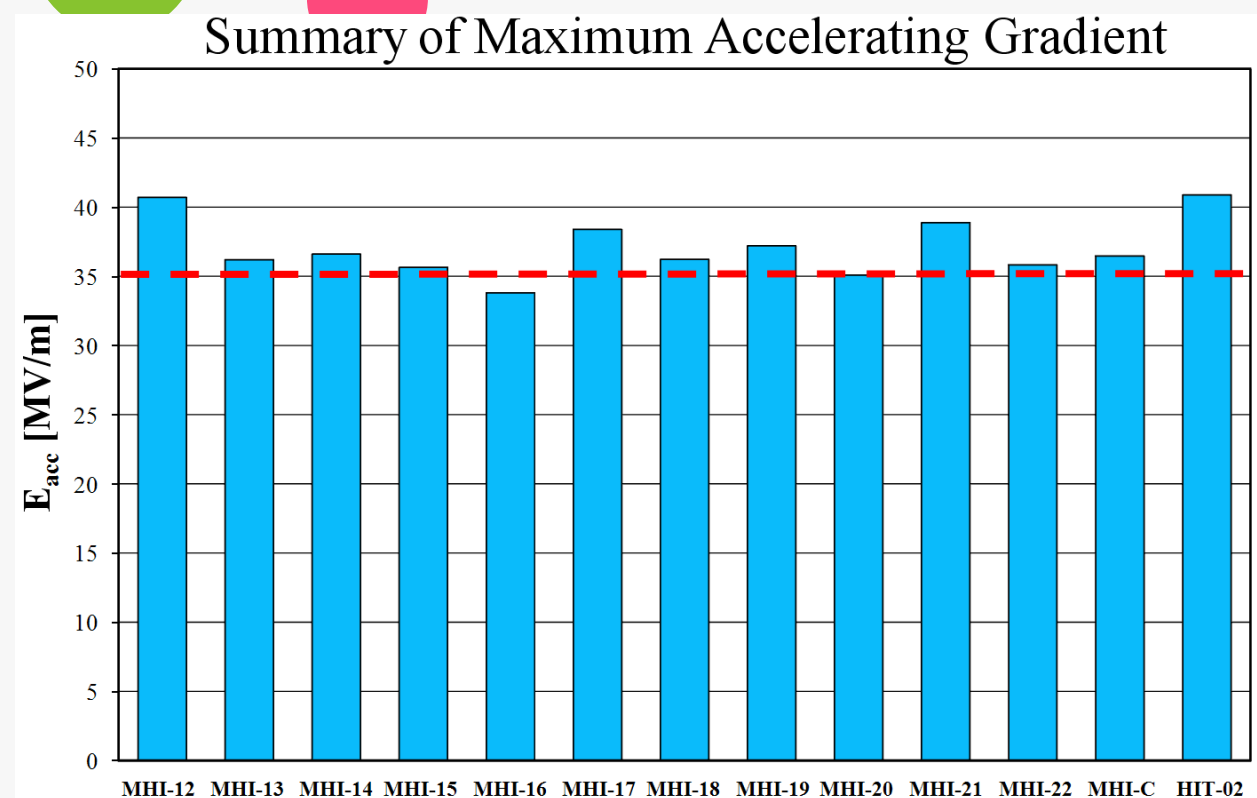
超伝導加速空洞

- 断熱容器内で、超流動ヘリウムにより 2.0 K(-271°C)に加速器を冷却。
- 超伝導=省電力で、高い加速勾配 31.5 MV/mを実現。

第18回未来エネルギーフォーラム・シンポジウム 2024/3/23 (土)

加速試験

- **ビーム加速試験(STF-Phase II)を行い、全ての空洞がILCの仕様(35 MV/m \pm 20%)を満たしていることを確認。**
- **ILC仕様を満たす空洞の製造歩留まりは、2012年の時点で90%。**
- **生産、品質管理、技術的互換性を含め、ILCの超伝導加速器技術は成熟しており、高い信頼性がすでに確認されている。**



リニアコライダーの構成要素：ナノビーム

加速したビームをナノサイズまで絞って、正確に衝突させる！
高いルミノシティ実現には必須の技術。

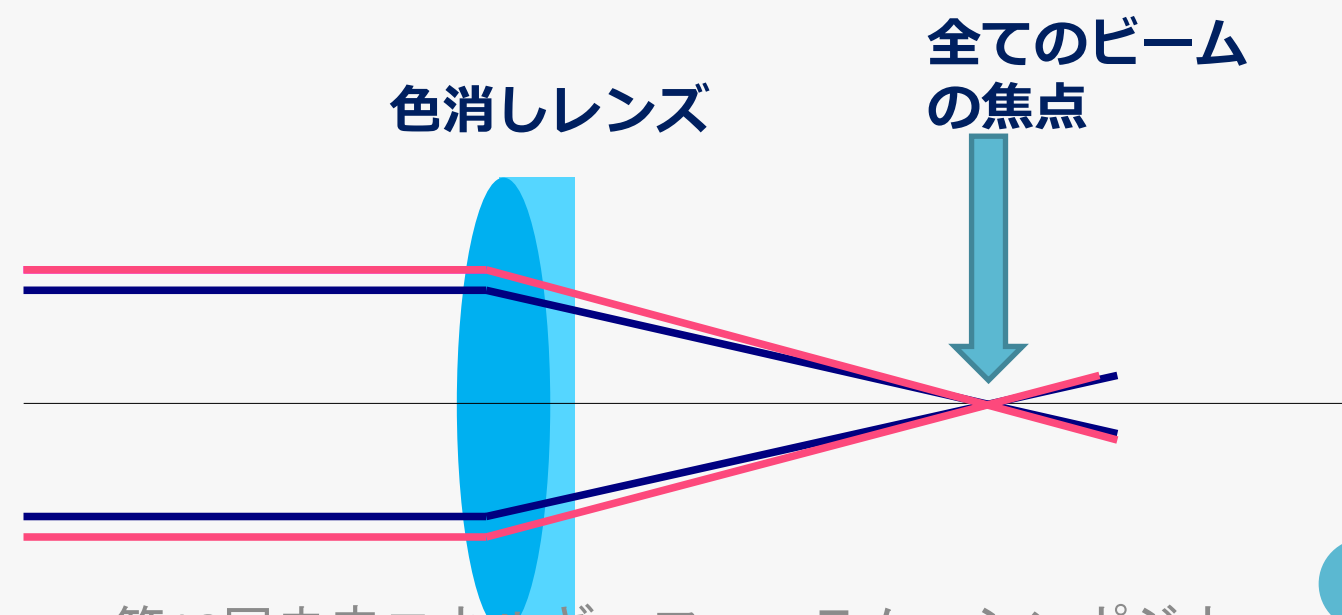
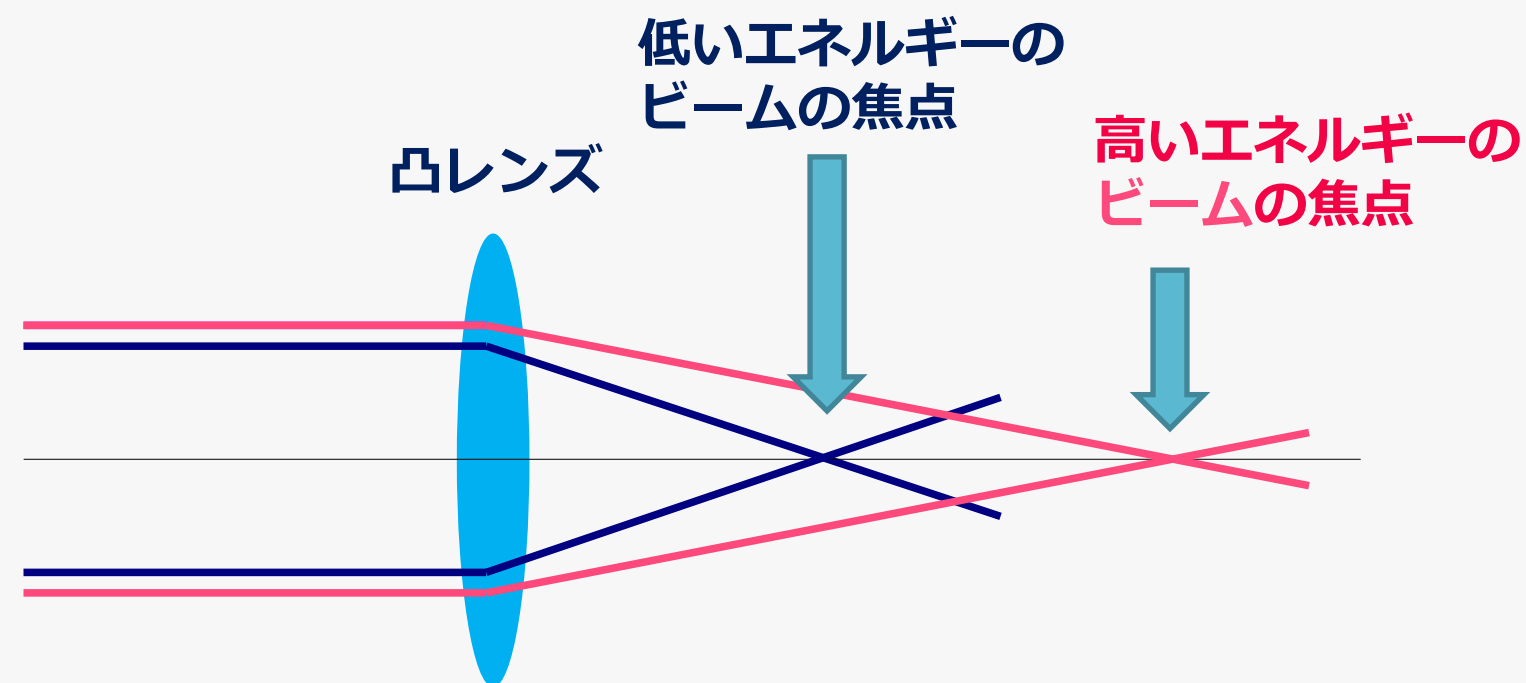
ナノサイズにすることで、確実に
衝突させる（ビームの有効利用）

超平行ビーム + 収束 = ナノビーム



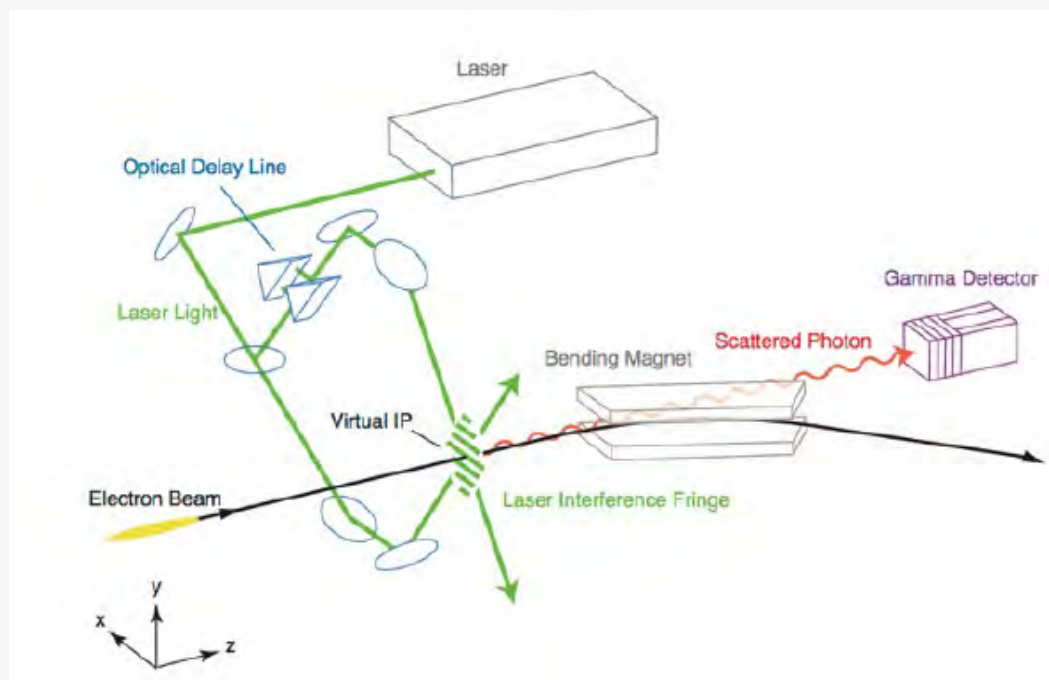
ナノフォーカス = 色消しレンズ

- ビームを強いレンズ（電磁石）で絞り込む。
- ビームは0.1%くらいエネルギー広がりがあるので、像がぼやける（色収差）。
- 色収差補正により、ナノサイズまで絞り込む。



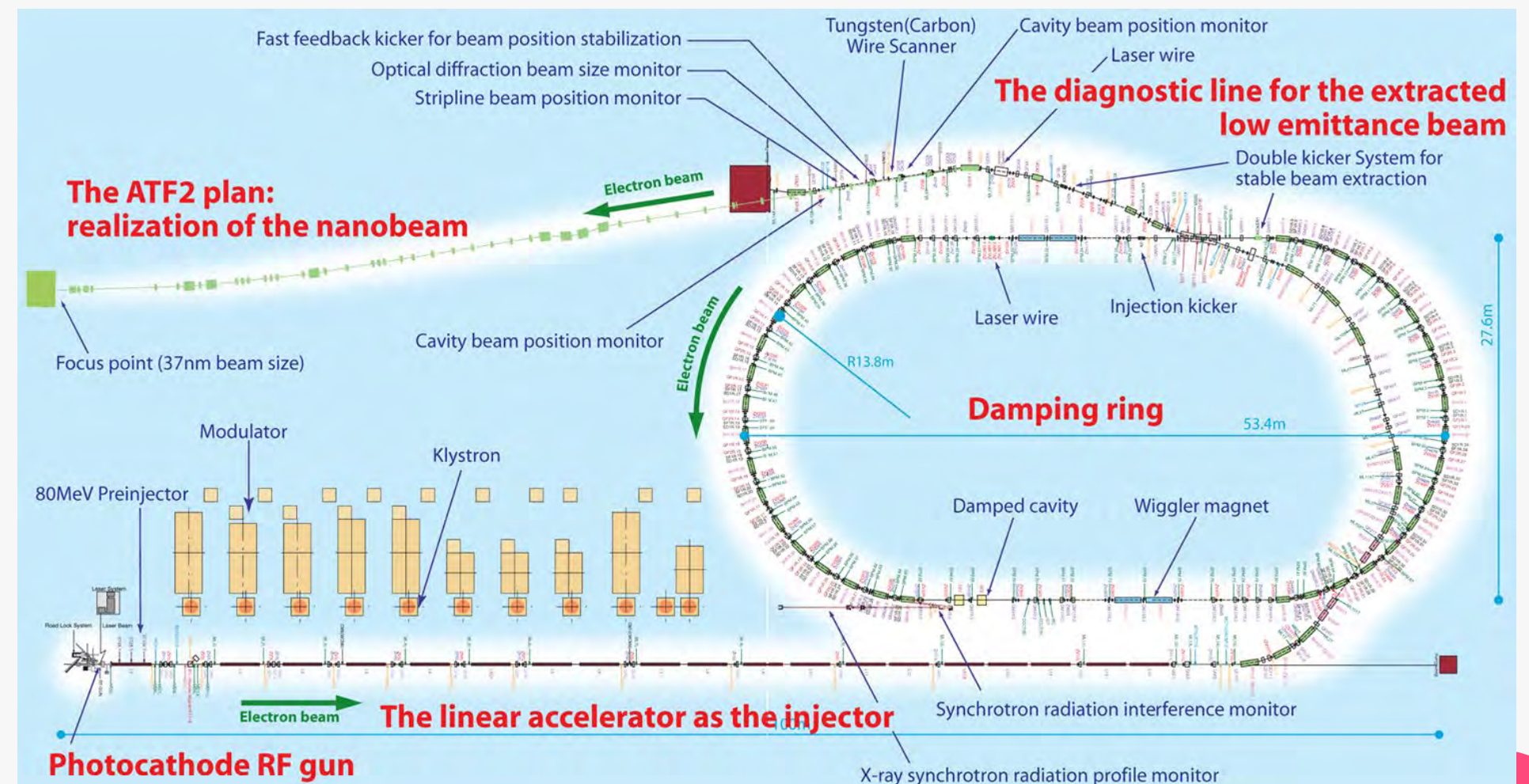
ナノビームの実証

- リングで超平行なビームをつくり、それを実際にナノサイズまで絞り込む実験をKEKのATF加速器で実施中。
- ナノサイズビームは日本発の技術（レーザー干渉計モニター 新竹教授の発明）で計測。
- エネルギー1.3GeVのATFで41 nm のビームサイズを直接観測。ILCの仕様75.5nm(1.3 GeV)を余裕で達成。



ビームサイズのエネルギー依存性
(ビームサイズはエネルギーEの $1/\sqrt{E}$ に比例)

エネルギー	ATFでの実証値	ILCの設計値
1.3 GeV	41 nm	75.5 nm
125 GeV	4.2 nm	7.7 nm



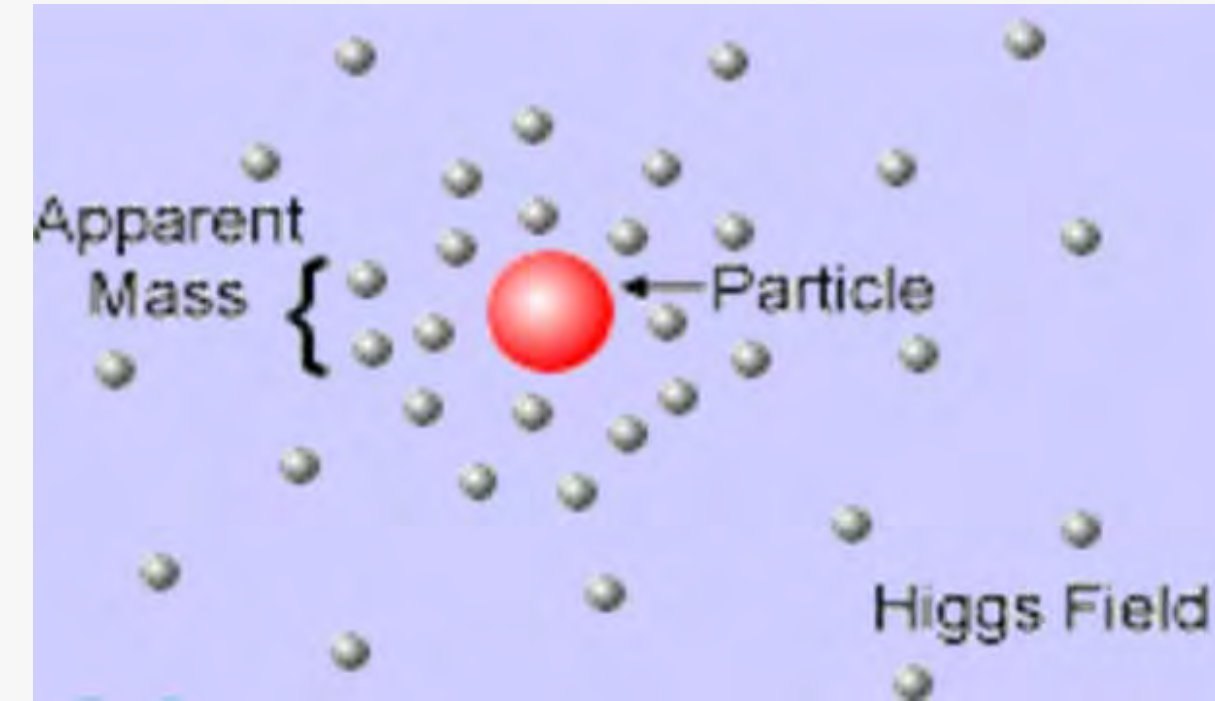
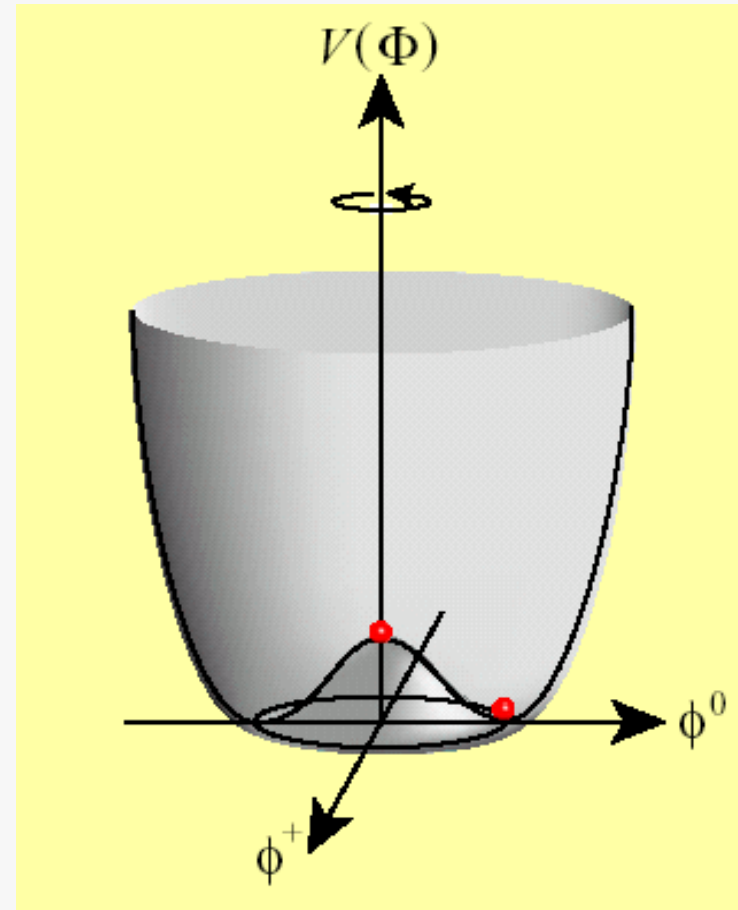
ILCでかわる科学

HELLO!

Higgs Particle

ヒッグス機構

- 質量の無い粒子から出発。
- ヒッグスポテンシャルによる自発的対称性の破れ=電磁気力と弱い相互作用の統一。
- すべての粒子はヒッグス場と結合し、質量を獲得。

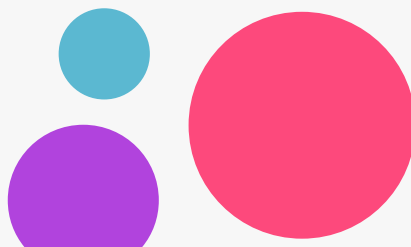


Y. Nambu



P. Higgs

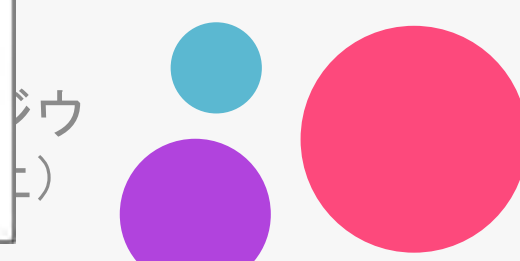
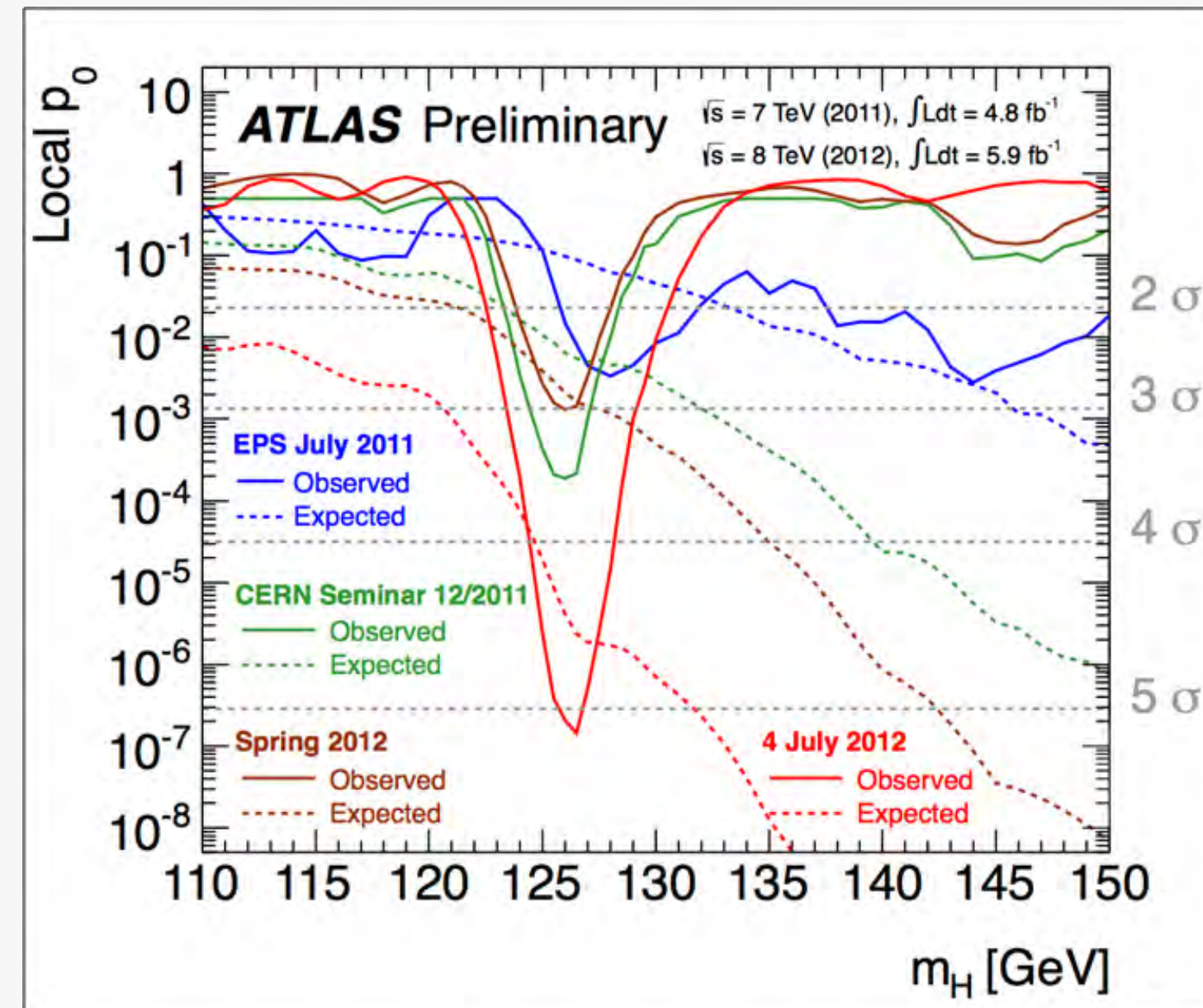
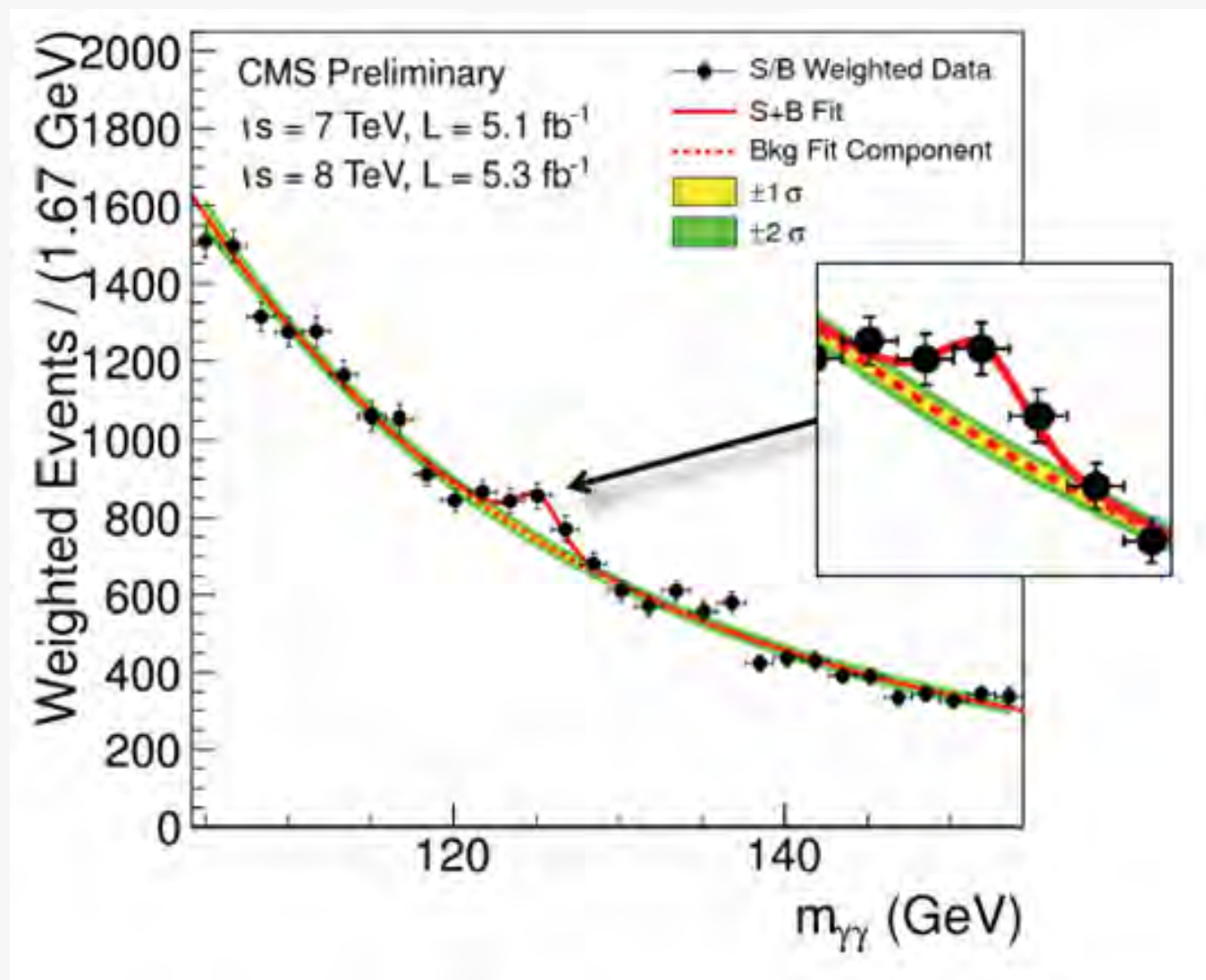
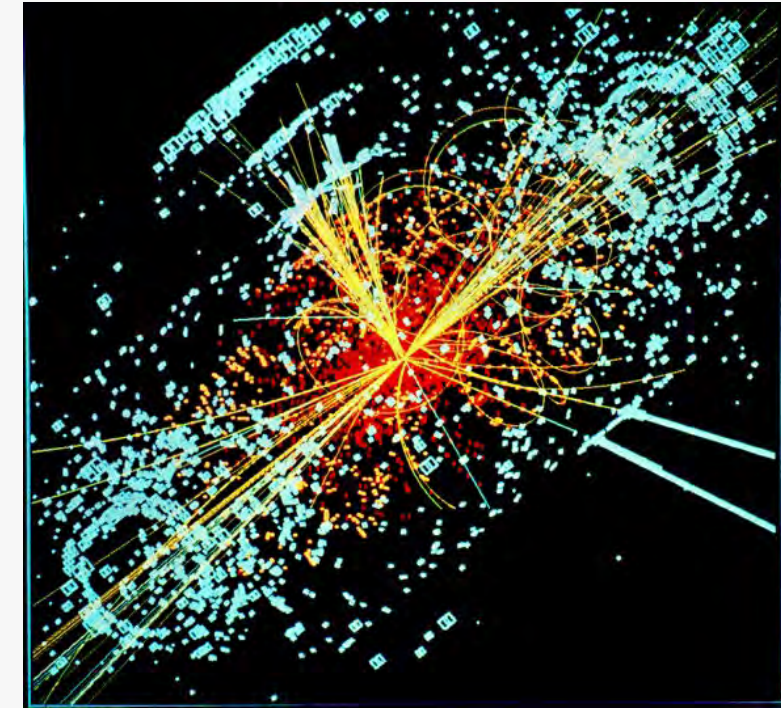
$$V(\phi) = -\mu^2\phi^2 + \lambda\phi^4$$
$$\langle \phi \rangle = \begin{pmatrix} 0 \\ v/\sqrt{2} \end{pmatrix}$$
$$M_H = 2\lambda v^2$$



Discovery of "Higgs"

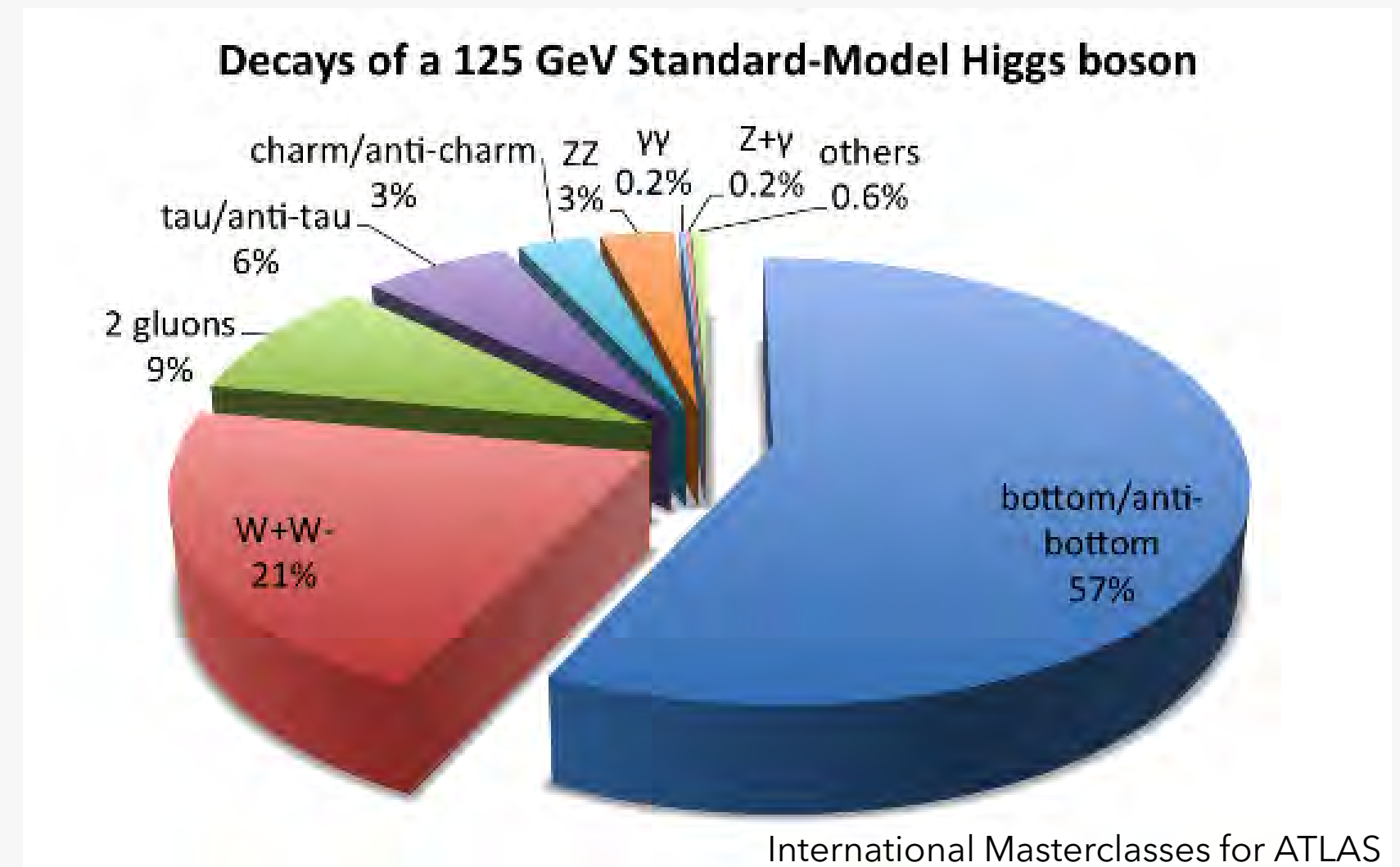
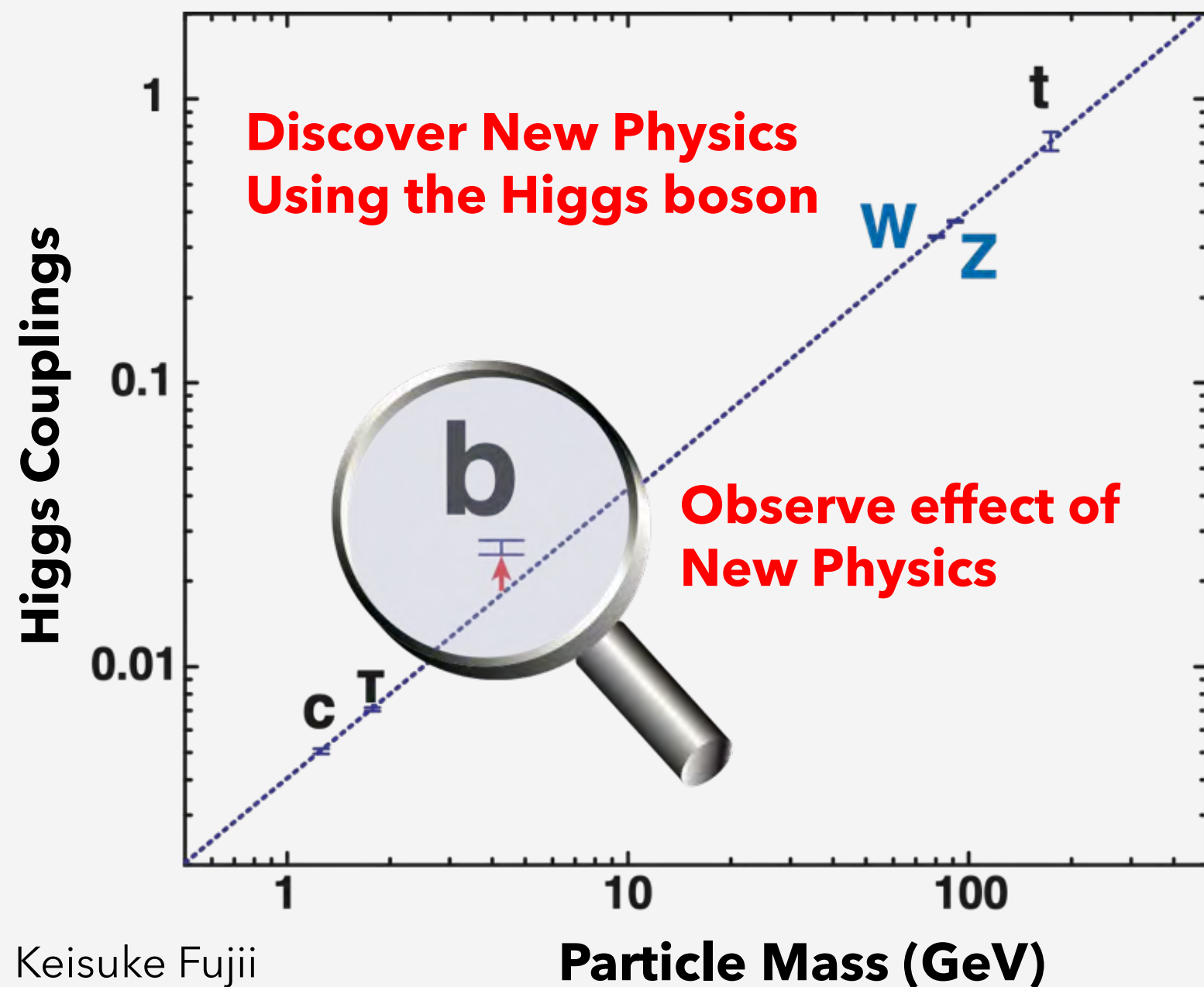
The Discovery of the Higgs particle was Announced on Jul.4, 2012.

The mass is 125GeV.



Higgs 結合

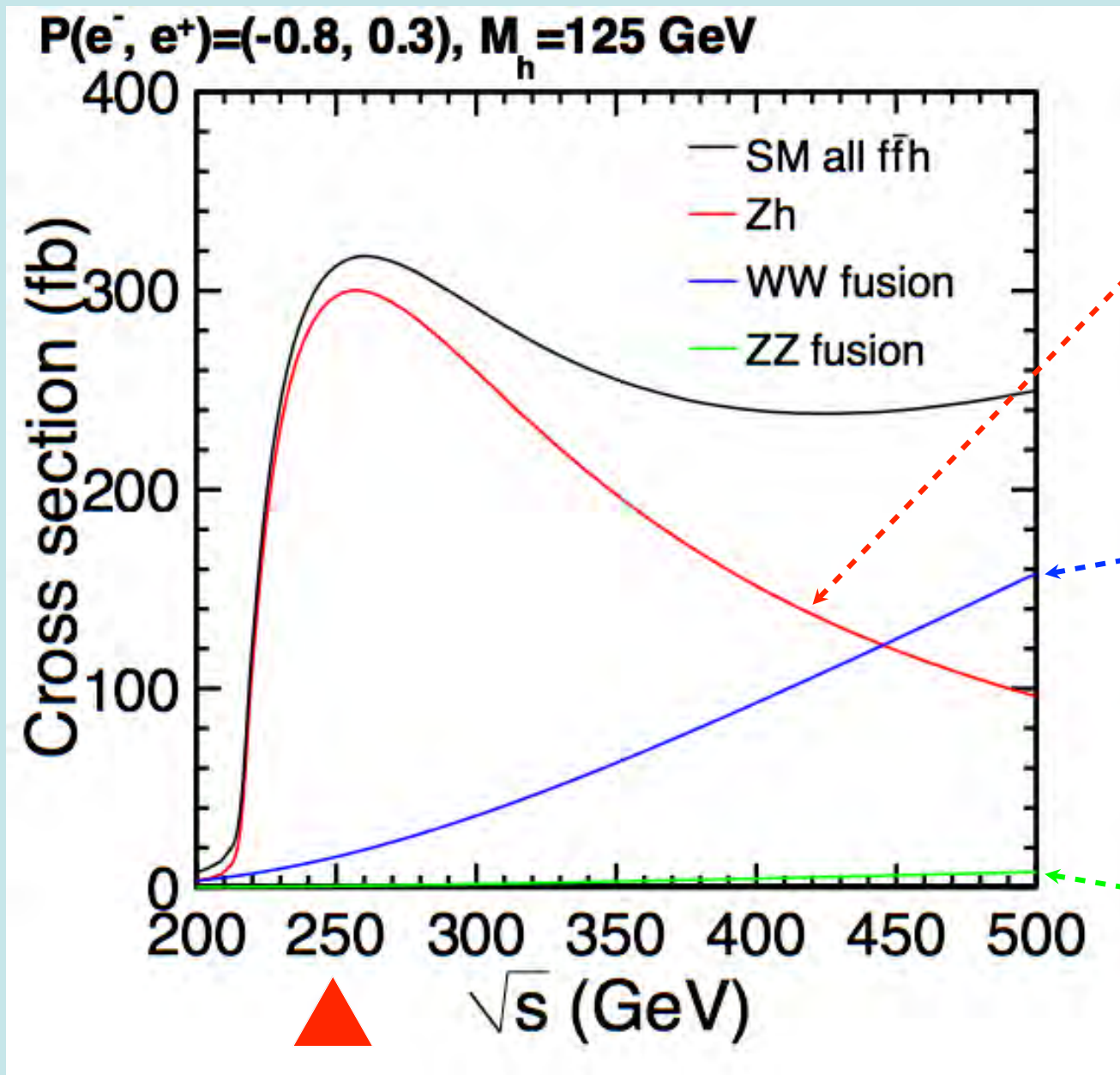
ヒッグスとの結合の強さ = 質量
ずれが見つかれば、新しい物理に直結！



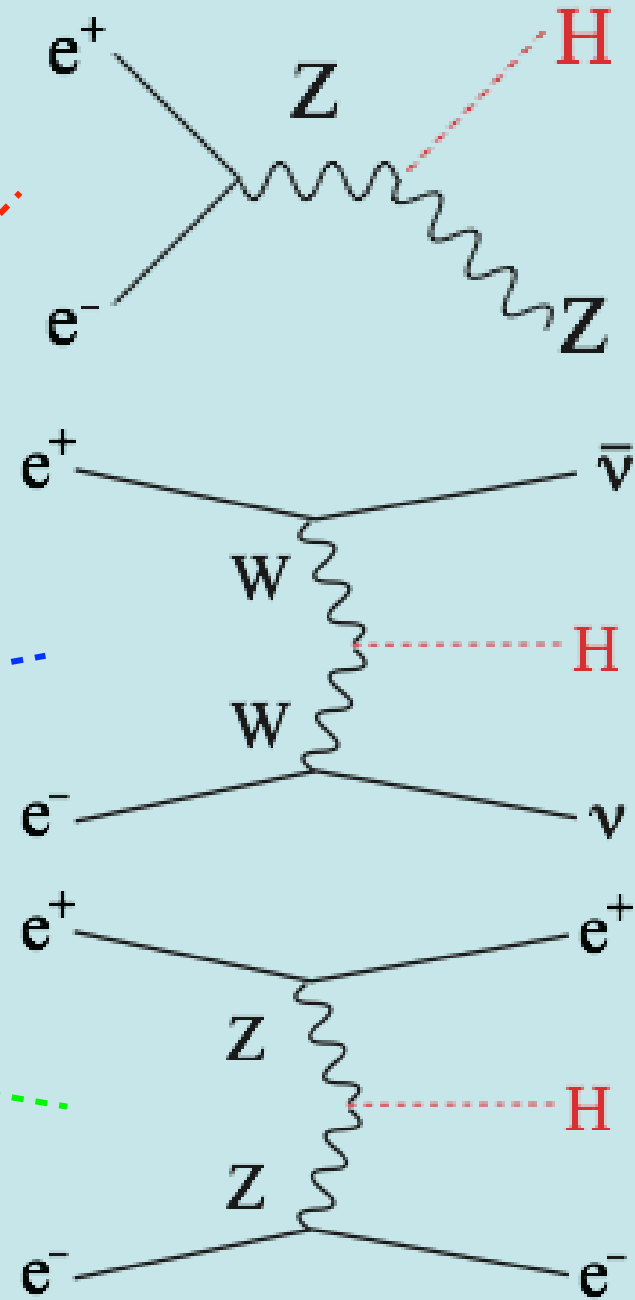
→ If New Physics exists, these ratios are altered.

250 GeV is Special

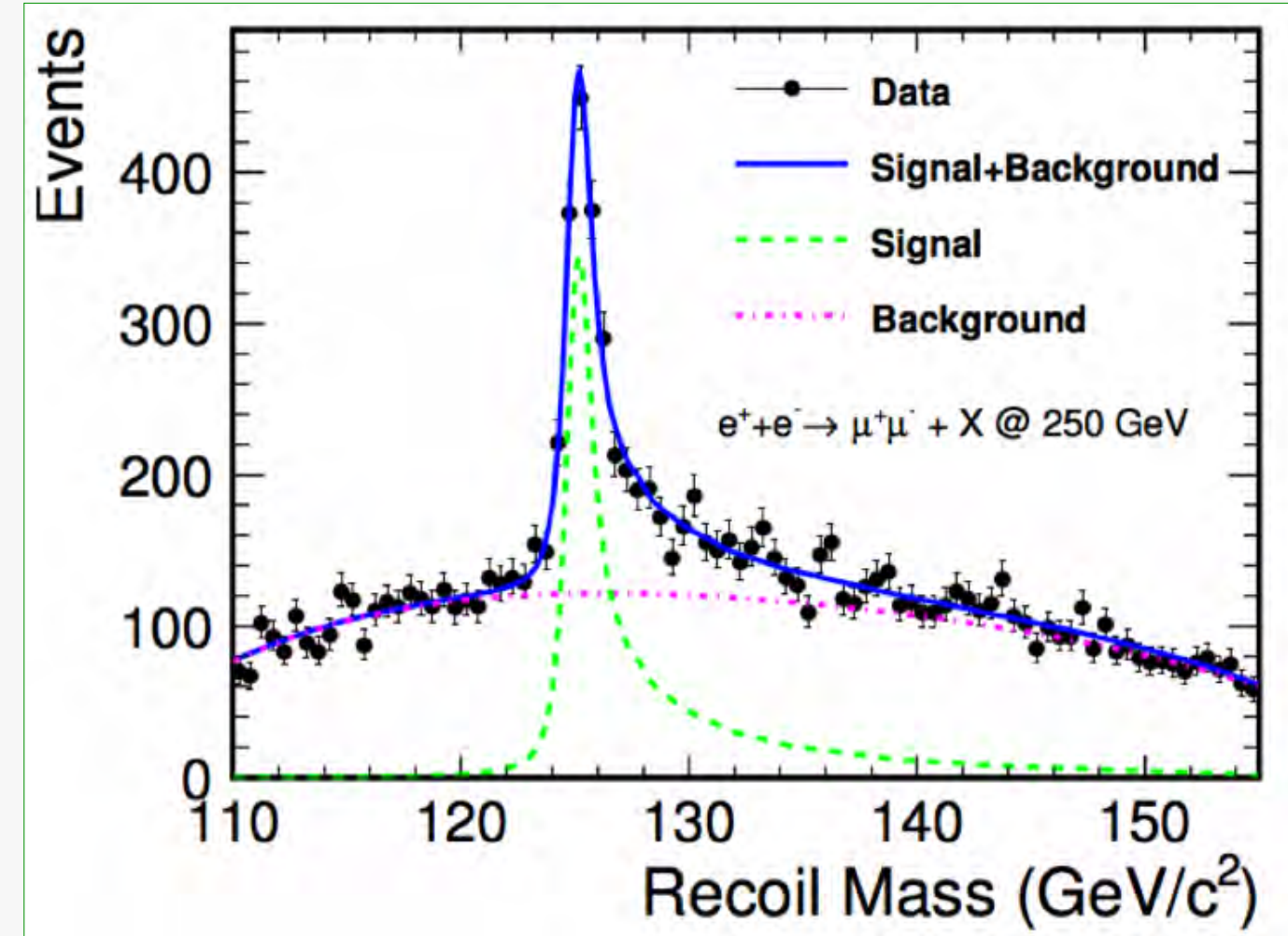
Production Cross Section
 (=How often Higgs bosons are produced)



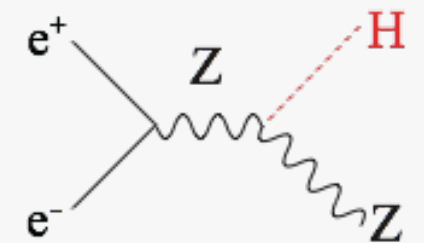
Approx. 0.5 million Higgs bosons with 2 ab^{-1} of data



Keisuke Fujii



Yan, Watanuki, Fujii, Ishikawa et al.
 Phys. Rev. D94 (2016) no.11, 113002



$$P_{ee} = P_Z + P_H$$

$$M_{\text{recoil}} = \sqrt{(P_{ee} - P_Z)^2}$$

Produce many Higgs bosons, study them in detail for New Physics !!

ILCで変わる科学

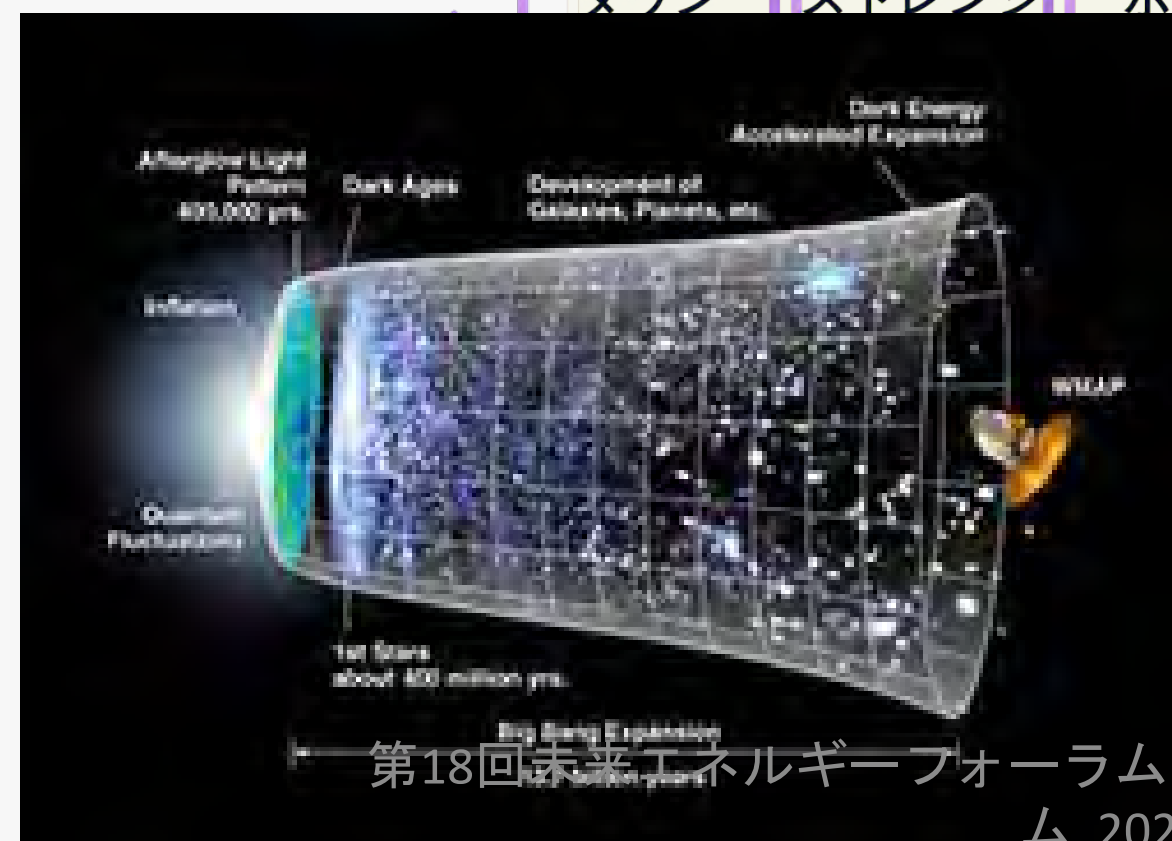
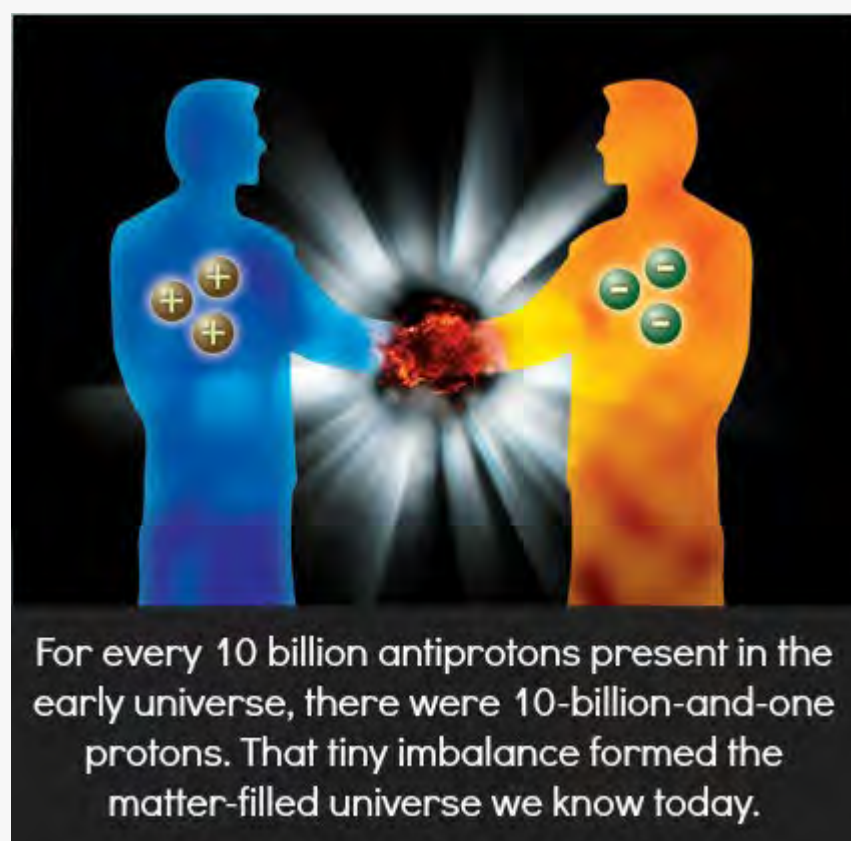
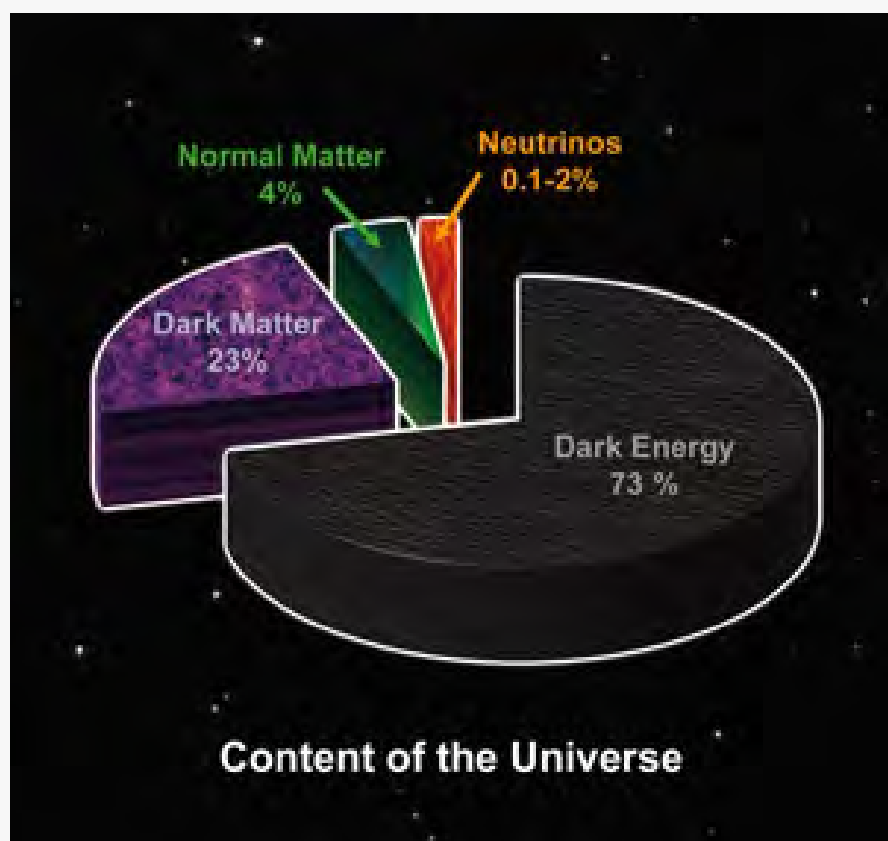
すでにヒッグスは発見されているが...

- 現在の素粒子物理：標準模型。
- 6種類のクォーク、6種類のレプトン、5個のボソンによりほぼすべての現象をうまく説明。
- 多くの説明できない現象。

素粒子の標準模型

物質の三世代 (フェルミ粒子)			相互作用 / 力の伝搬 (ボース粒子)		
	I	II	III		
質量	$\approx 2.2 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.28 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 173.1 \text{ GeV}/c^2$	0	$\approx 124.97 \text{ GeV}/c^2$
電荷	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0	0
スピン	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	0
	u アップ	c チャーム	t トップ	g グルーオン	H ヒッグス粒子
	d ダウン	s ストレンジ	b ボトム	γ 光子	
	$\approx 4.7 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 96 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 4.18 \text{ GeV}/c^2$	0	$\approx 91.19 \text{ GeV}/c^2$
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	1
	τ タウ	ν_μ ミューニュートリノ	ν_τ タウニュートリノ	Z Zボソン	
	$\approx 1.777 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 1.0566 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 1.0566 \text{ GeV}/c^2$	0	$\approx 80.433 \text{ GeV}/c^2$
	0	0	0	±1	±1
	0	0	0	1	1
	W⁺ W ⁺ ボソン	W⁻ W ⁻ ボソン			

クォーク
レプトン
スカラー粒子
ゲージ粒子



神の粒子

- ゲージ対称性、質量、複数の相互作用（電磁気力、弱い相互作用）は「矛盾」。
- ヒッグス粒子は、ゲージ対称性を維持しつつ、質量生成（フェルミオンとボソン）と電弱統一の両方を同時に実現。
- 現在の素粒子理論（標準模型）の「都合の悪い部分」をすべて解決してくれる存在。

Goddam particle

忌々しい粒子

正体を露わにしたい！



リニアコライダーで 変わる技術

リニアコライダーで変わる技術

予測でき
る変化

リニア
コライダー

予測でき
ない変化

超伝導加速器と常伝導加速器

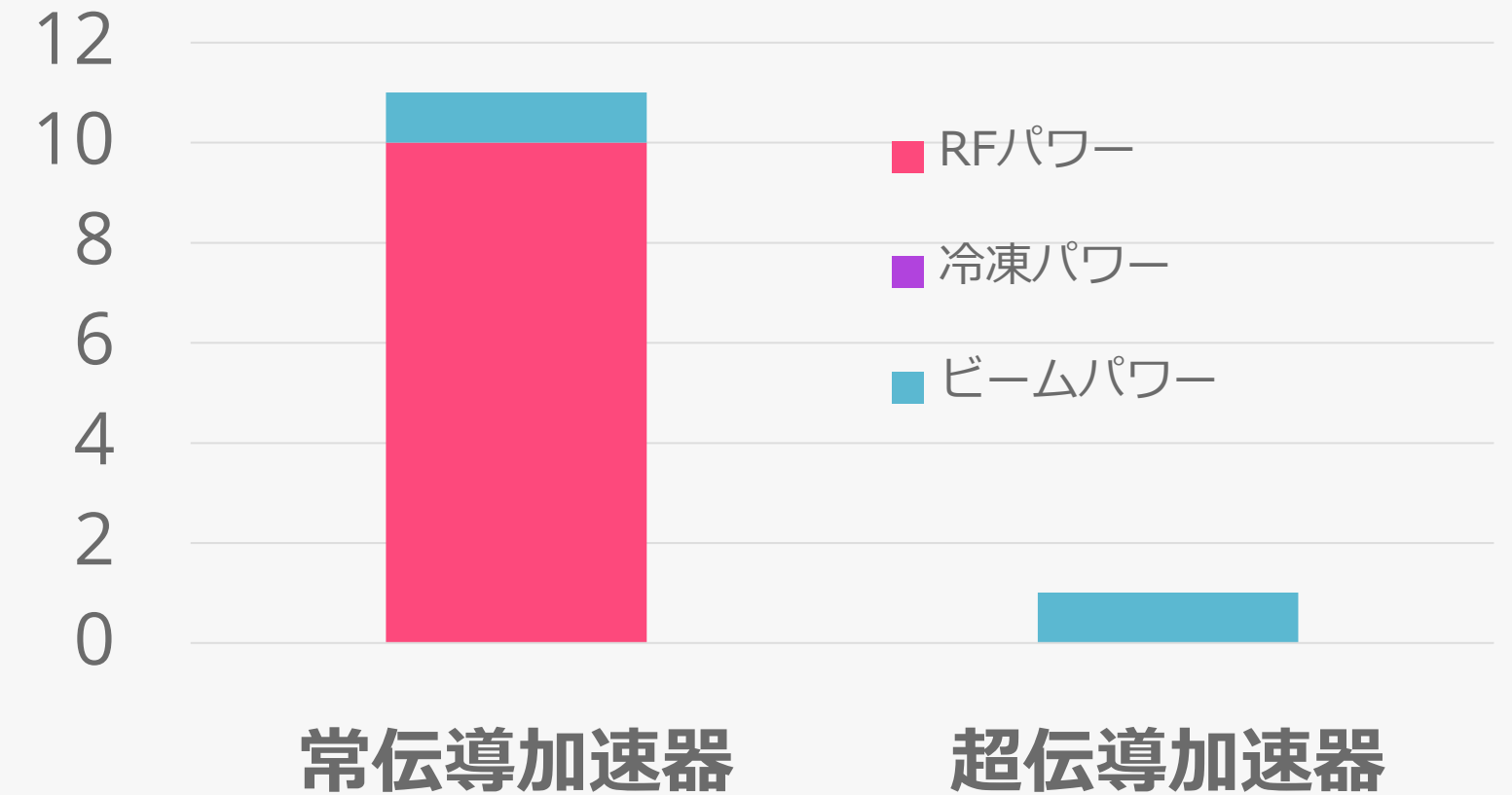
常伝導加速器
低いエネルギー効率、
安い導入費用

超伝導加速器
高いエネルギー効率
高い導入費用

ILC国際リニアコライダー
超伝導加速器への大規模投資
社会的学習過程

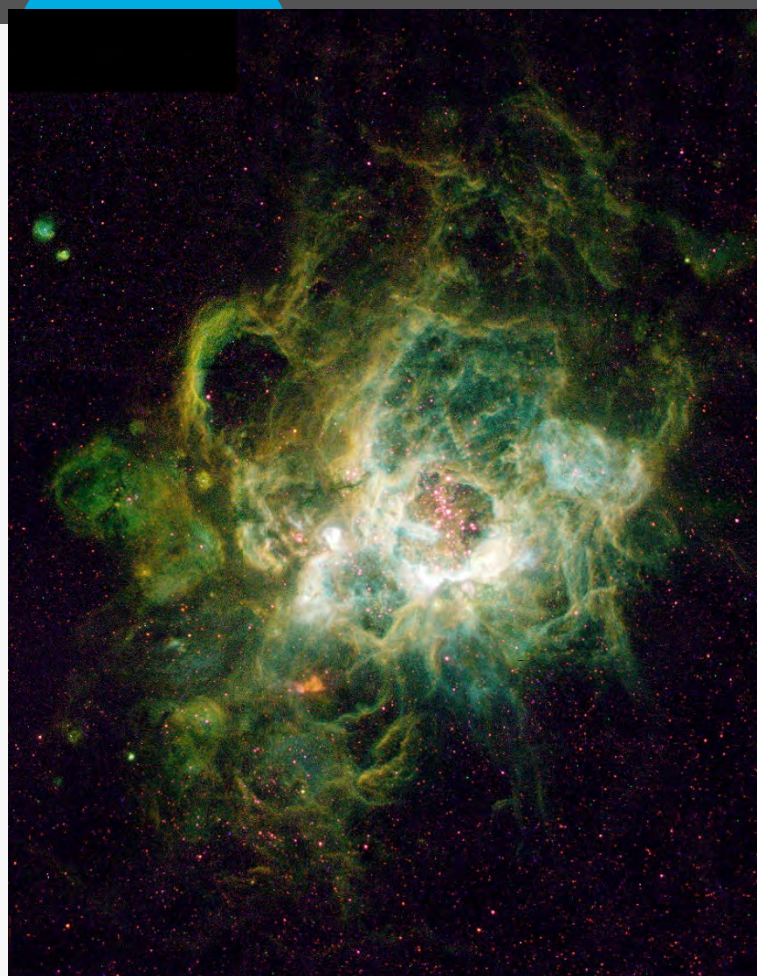
常伝導加速器
低いエネルギー効率、
安い導入費用

超伝導加速器
高いエネルギー効率
安い導入費用



超伝導加速器の電力効率はおよそ1000倍。

ビームのコスト低下
新たな分野へのビーム利用
大強度ビームの利用



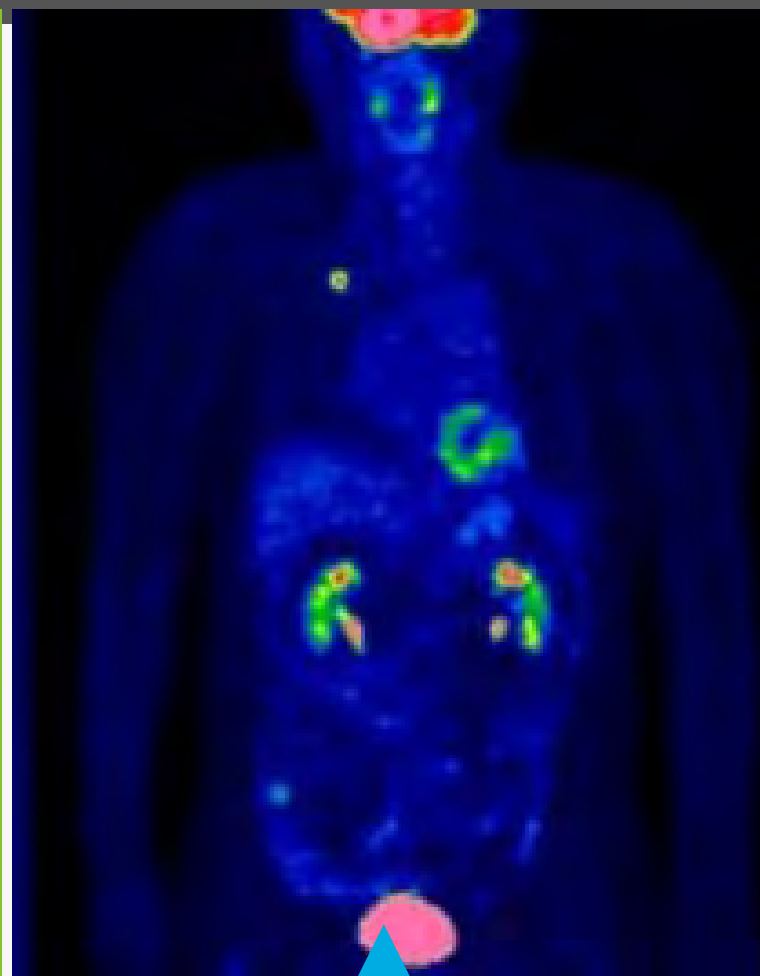
微小な世界

極微の世界を探る。

細胞、病原菌

ウイルス

ナノサイエンス



薬を設計

タンパク質、酵素の
構造と機能解析によ
り、新薬を設計。

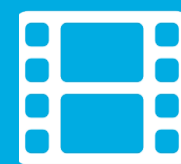
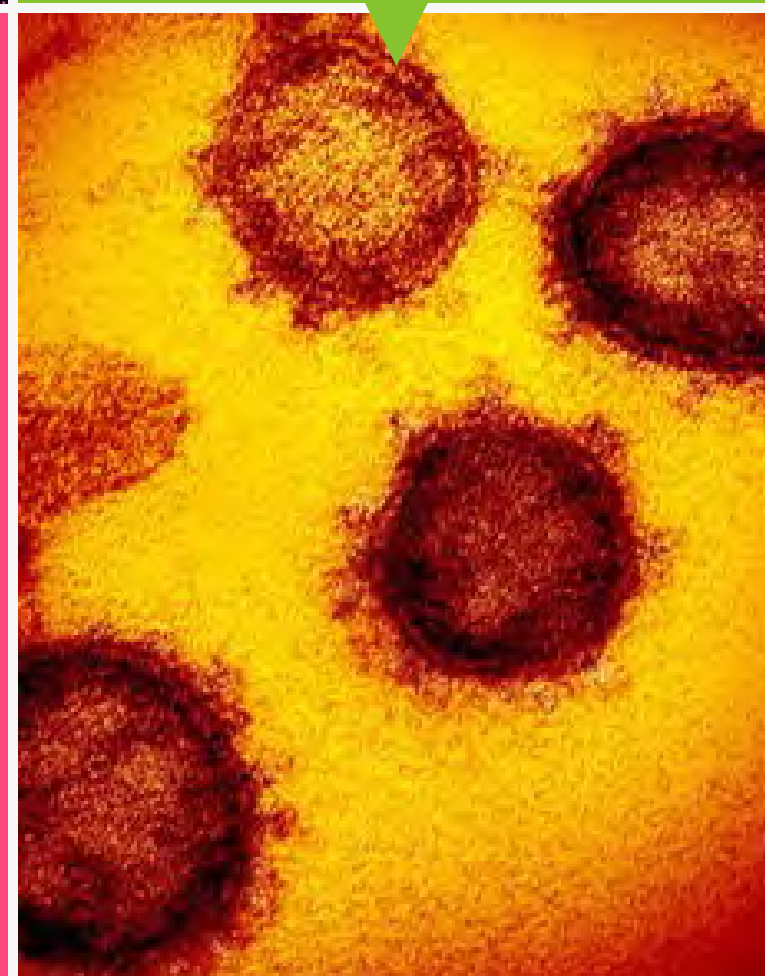


究極を探る

物質の最小単位は？

質量はどう生まれたか？

宇宙の構造は？



健康を支える

レントゲン透視撮影

CT

PETガン診断

ガン放射線治療



生活を支える

構造物の非破壊検査

セキュリティ検査

生活を支える素材

(タイヤ、防水絆創膏、絶縁材)

加速器でさぐる歴史と文化

- 炭素14の割合から年代を推定。加速器質量分析により精度が飛躍的に向上。
- ルーブル美術館は、PIXE分析専用の加速器(AGLAE)を所有。



東京大学 (AMS)



CC Huthe Meow



AFP通信

ルーブル美術館(PIXE)

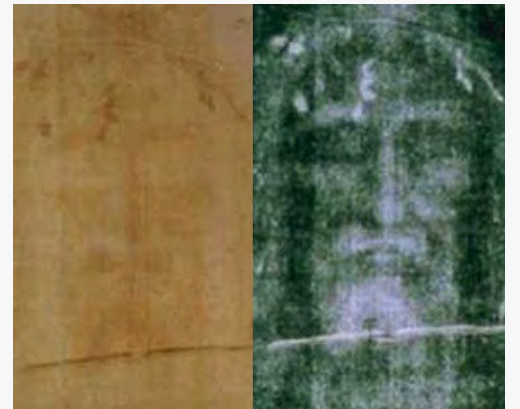


オックスフォードの研究者が偽物と鑑定したエジプト男子立像、加速器分析で本物と判明。



青森県大平山元遺跡の土器を加速器で分析し、縄文時代が16000年前からはじまっていたことが判明。

トリノの聖骸布は、加速器による分析から、キリストの遺骸を包んだ布ではなく、11世紀(1000-1050AD)に作られた聖画像であると判明。



イタリア人画家、フェルナン・レジェの作品の一つが贗作であることが加速器を用いて判明。



加速器の経済規模

医療・医学利用

粒子線治療：140億円

画像診断：1兆4,600億円
放射線治療：1,400億円
乳がん検査：200億円 など

設備・装置：3,900億円

- 加速器
- 診断用X線装置
- 医療放射線関連装置・製品 など

工業利用

半導体加工
1兆2,300億円



放射線滅菌
3,100億円

- 注射針・注射筒
- 真空採血管
- 人工関節・人工骨 など

計測・検査
1,800億円

- 放射線測定器
- 非破壊検査 など

ラジアルタイヤの製造などの
高分子加工：1,100億円



第18回未来エネルギーフォーラム・シンポジウ

ム 2024/3/23 (土)

ビームのコスト低減

利用機会の増大

経済全体の付加価値の増大

4.4兆がX倍

医学利用
1,000億円
4%

4兆3,700億円

工業利用
2兆2,200億円
51%

農業利用
2,400億円
5%

農業利用

突然変異育種



ジャガイモ芽止め

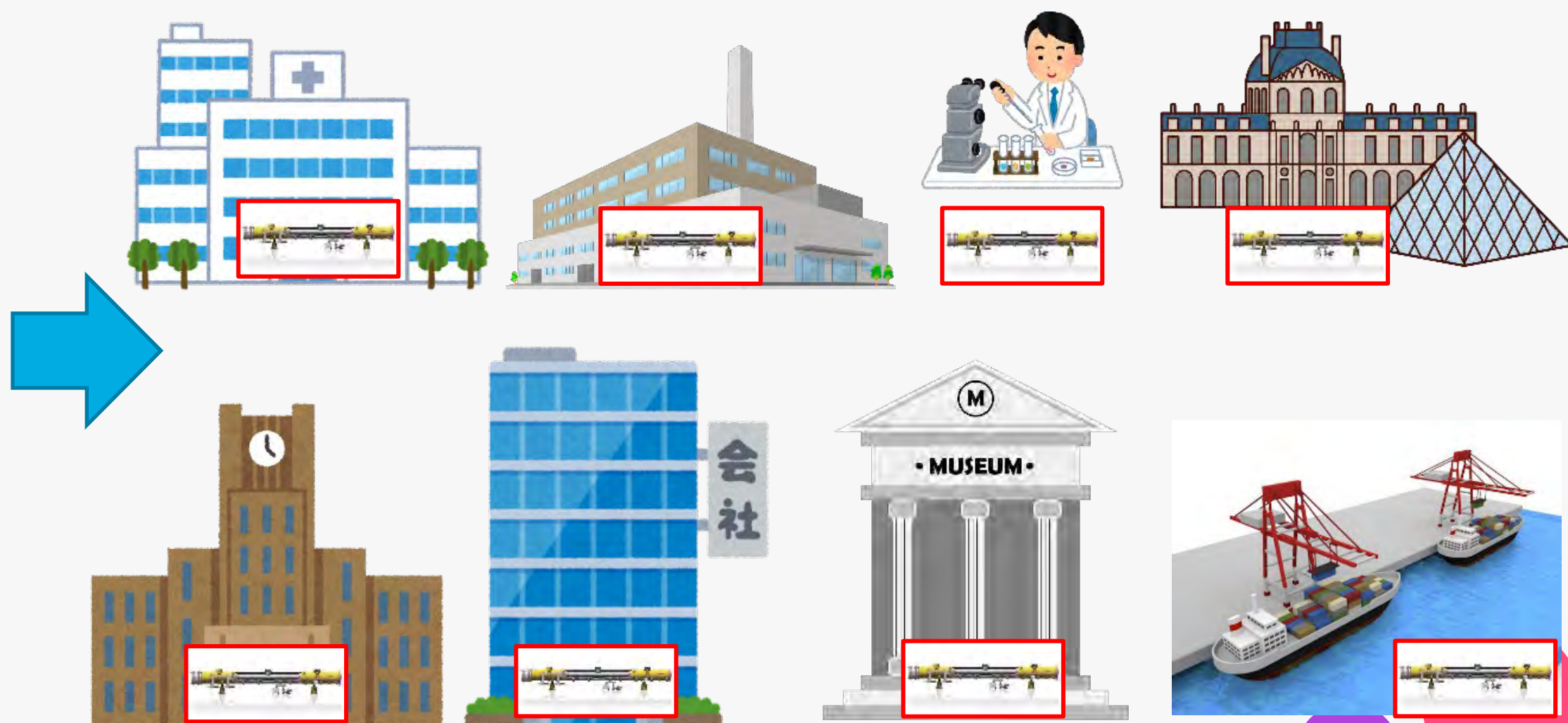


- 食品照射
- 放射能分析 など

第29回原子力委員会資料第1-1号 内閣府
「放射線利用の経済規模調査」(2017年)

加速器利用のパラダイムシフト

- 少数の大型加速器から、多数の小型加速器へ。
- すでにこの変化は徐々に進行している。
- 超伝導加速器の普及により、環境負荷などの社会的コストをかけずに、実現。

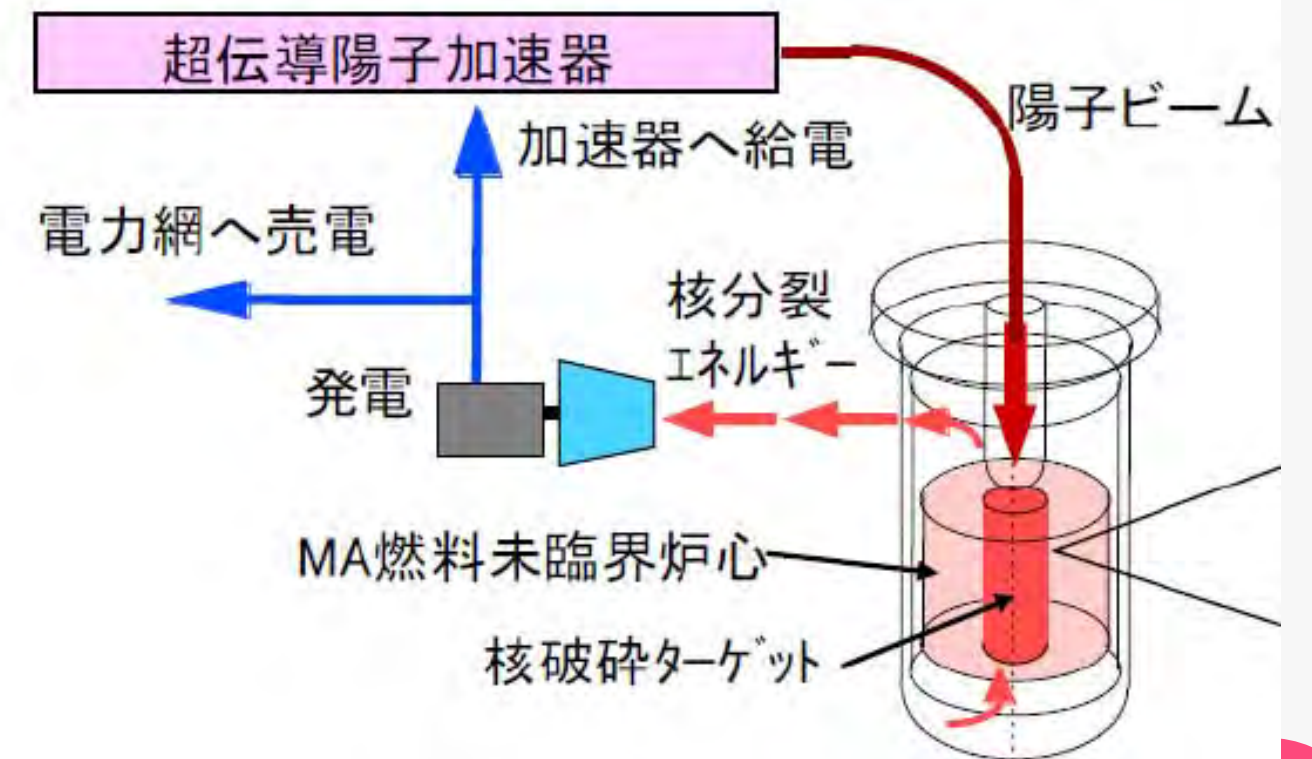


ひろがるビーム利用

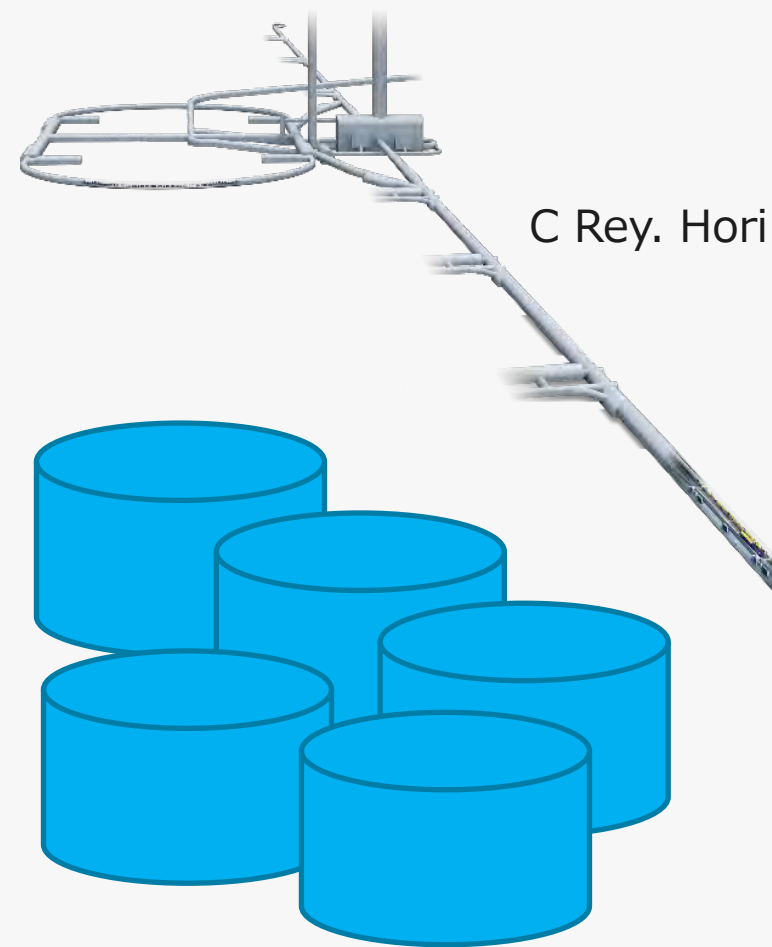
- α 崩壊を行う核種（Ac225等）をがん細胞に輸送。がん細胞のみが死滅。
- 短寿命核を含む適切な核種を必要なだけ製造：加速器の得意分野。



- 長寿命核種を短寿命核に変換。
- 発電した電力で加速器をドライブ、余剰電力を利用。



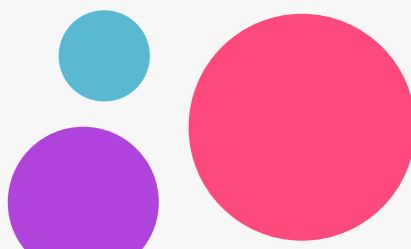
挑戦から生まれる叡智



<https://aaa-sentan.org/ILC/>
情報化時代の幕開け

大量のデータ

世界中でデータを共有：WWW






なぜWWWはCERNで生まれたのか？

- GAFAのために、CERNはWWWを作ったわけではない。
- 人類が扱ったことのない大量のデータを目の前に、必要に迫られて生まれたのがWWW。
- 人類未踏の挑戦（CERNのLEP計画）が予測できない巨大な変化を生む。
 - Google 推定売上高 21兆円（2021年）
 - アップル 推定56兆円（2021年）
 - Facebook 推定41兆円（2021年）
 - Amazon 推定41兆円（2021年）
 - 四社の時価総額は日本のGDPを超える

ILCから何が生まれるか？

リニアコライダーで 変わる社会



リニアコライダーで変わる社会

- 社会を変えてきた原動力
 - 人類の移動（出エジプト）：人類の始まりと世界への旅
 - 農業：各地に生まれる社会
 - 大航海時代：むすびつく社会（グローバル時代）
 - 産業革命：人間の身体能力の拡張
 - 情報革命：人間の情報処理能力の拡張
- 生産力、身体能力、思考能力の拡張、そしてグローバル化により、人類社会は「地球村」の実現にむけて進化してきた。
- 残った障壁が国家、民族、人種、宗教。
- CERNはこれらの超克に挑んでいる。

地球村創生ビジョン

https://www.kok.or.jp/project/pdf/global_village_vision.pdf

(財)国土計画協会

伊藤 滋 (財)国土計画協会 会長 委員長
内館 牧子 脚本家、作家
大滝 精一 学校法人至善館 理事
寺島 実郎 一般財団法人日本総合研究所 会長
藤井 健 株式会社東急総合研究所 顧問
増田 寛也 株式会社野村総合研究所 顧問 座長

ビジョン策定の背景

- 世界の分断
 - 自国主義、ポピュリズム
 - 多国間協調体制の後退（米中、米ロ対立）
 - デジタル革命、GAFAの登場と脅威
 - 地球温暖化
- 世界平和の希求と持続可能な地球の実現
- ILCを核とした「地球村創生ビジョン」のケーススタディ = グリーンILC



CERN science for peace から ILC science for earth

世界が協力して 人類共通課題に挑む

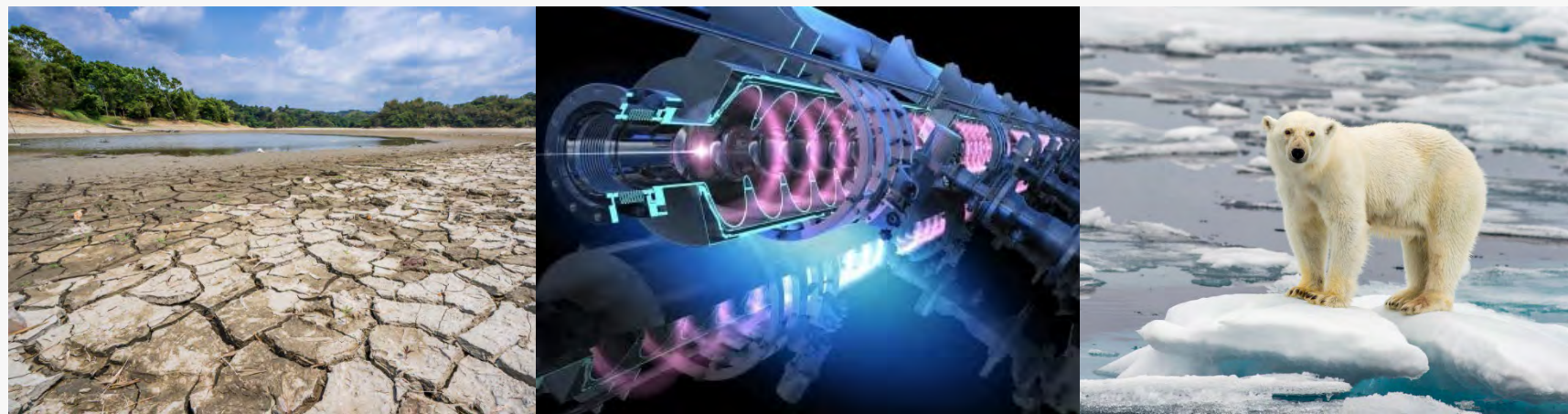


普遍的な価値の強化



ソフトパワーによる平和構築

地球的課題への取り組み



第18回 未来エネルギーフォーラム・シンポジウム
2024/3/23 (土)

第二の開国

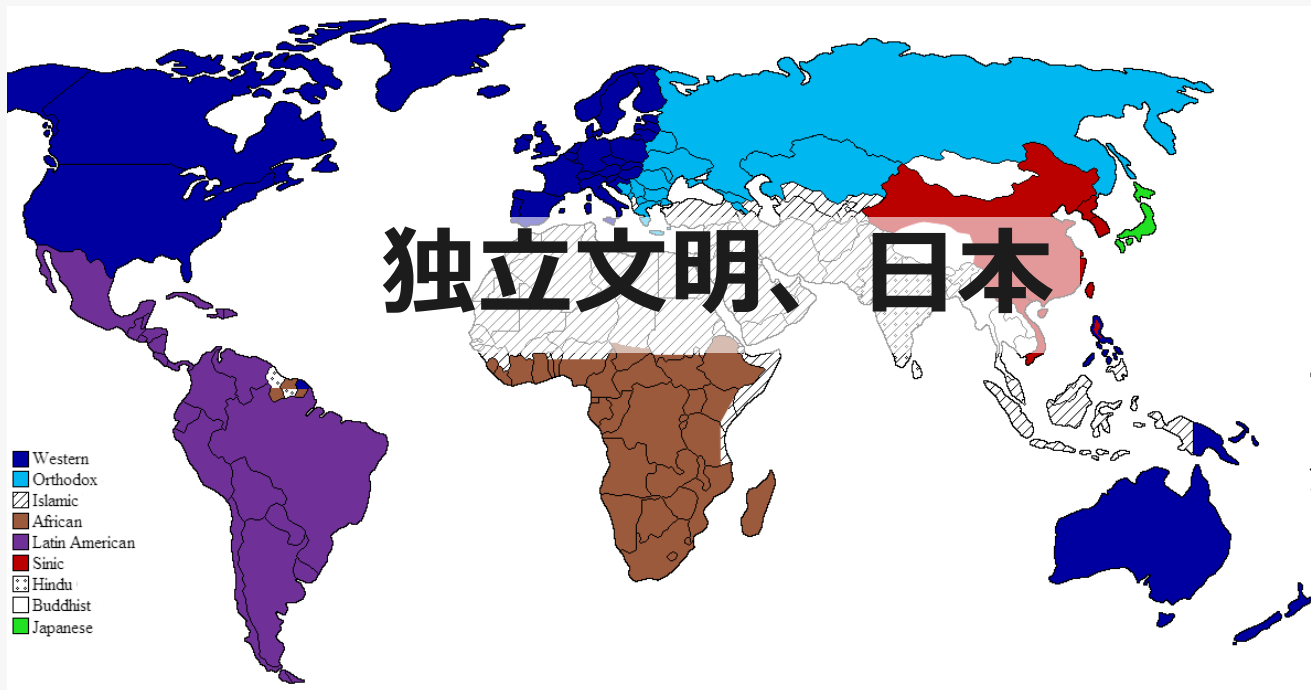


S. Huntington 「文明の衝突」
現代は世界7大文明の衝突の時代

日本だからこそできる
科学と文化による文明間の融和



世界で高まる自国中心主義、対立、そして紛争

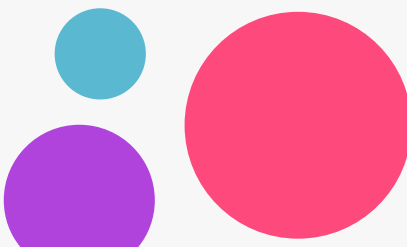


独立文明、日本

覇権的な文明
とは距離を置
いた
世界で唯一の
独自の文明

ILCにより、日本は世界のハブへ
~第二の開国~

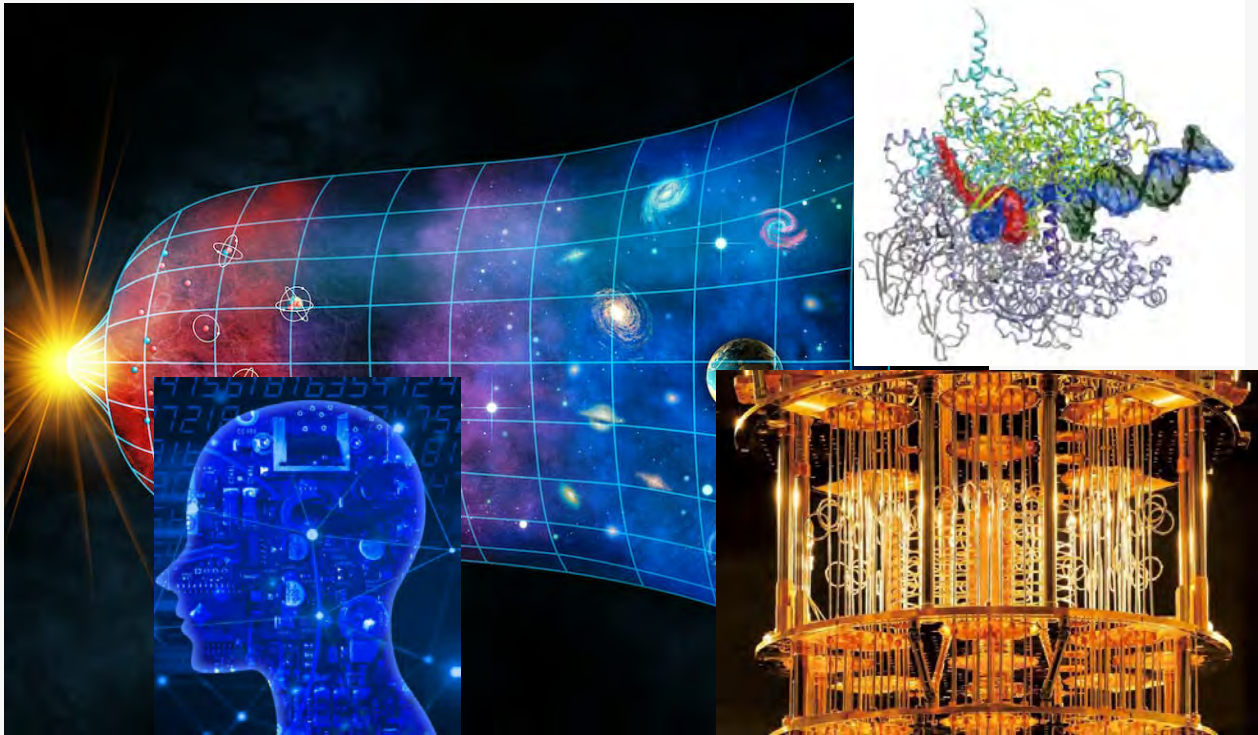
第18回未来エネルギーフォーラム・シンポジウ
ム 2024/3/23 (土)



ILC : 創造の世界拠点

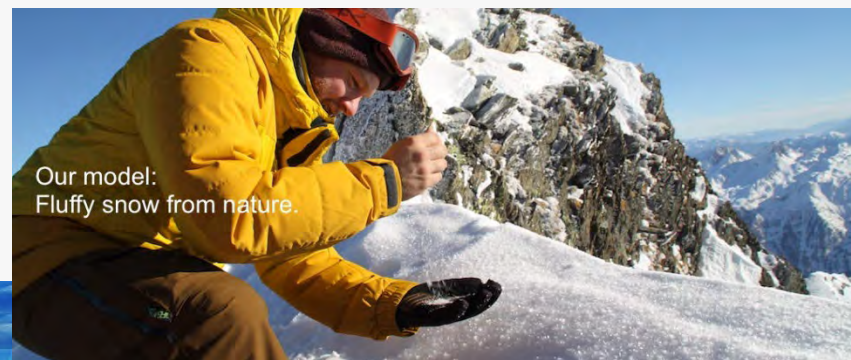
人類の叡智を創る

riken

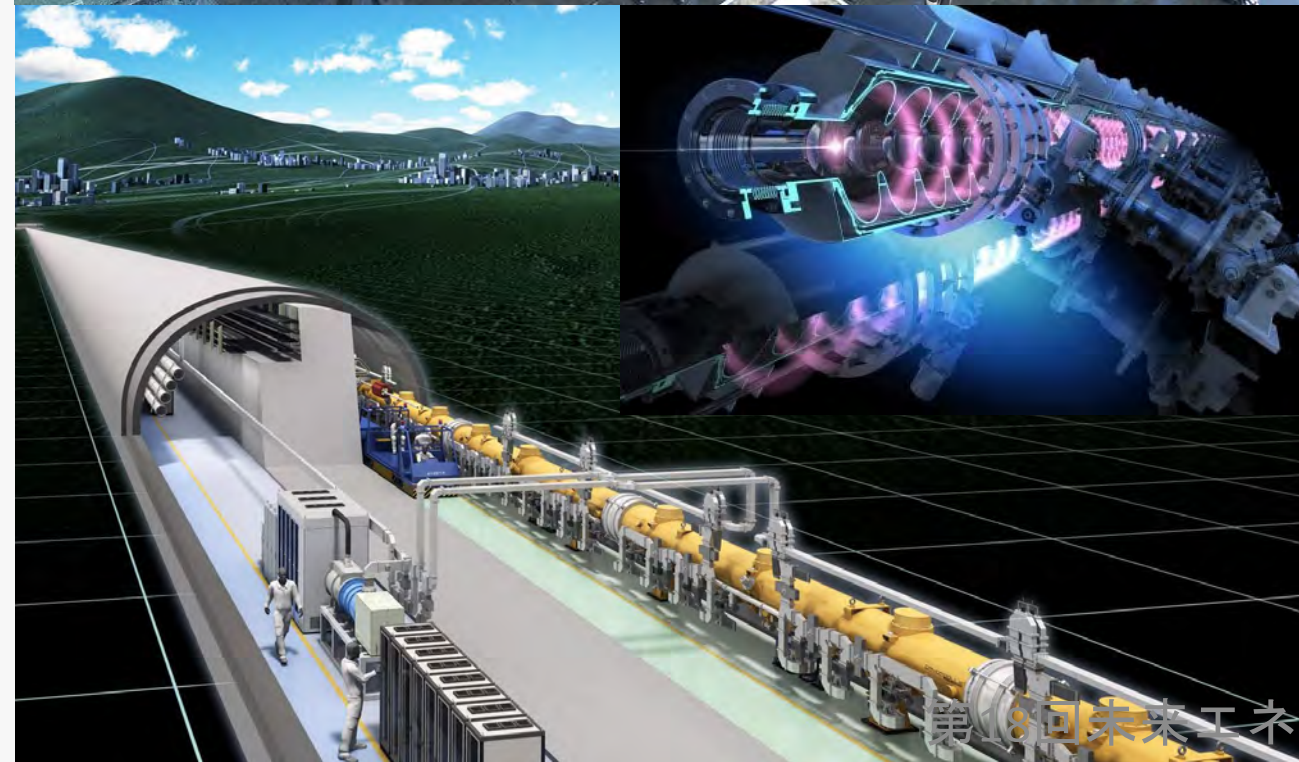


google

生活・ビジネスを創る



数千人の高度人材が集積する 創造の世界拠点がILC



Rei Hori

平和と文化を創る

岩手県

CERN



Wikipedia

子供達の未来を創る

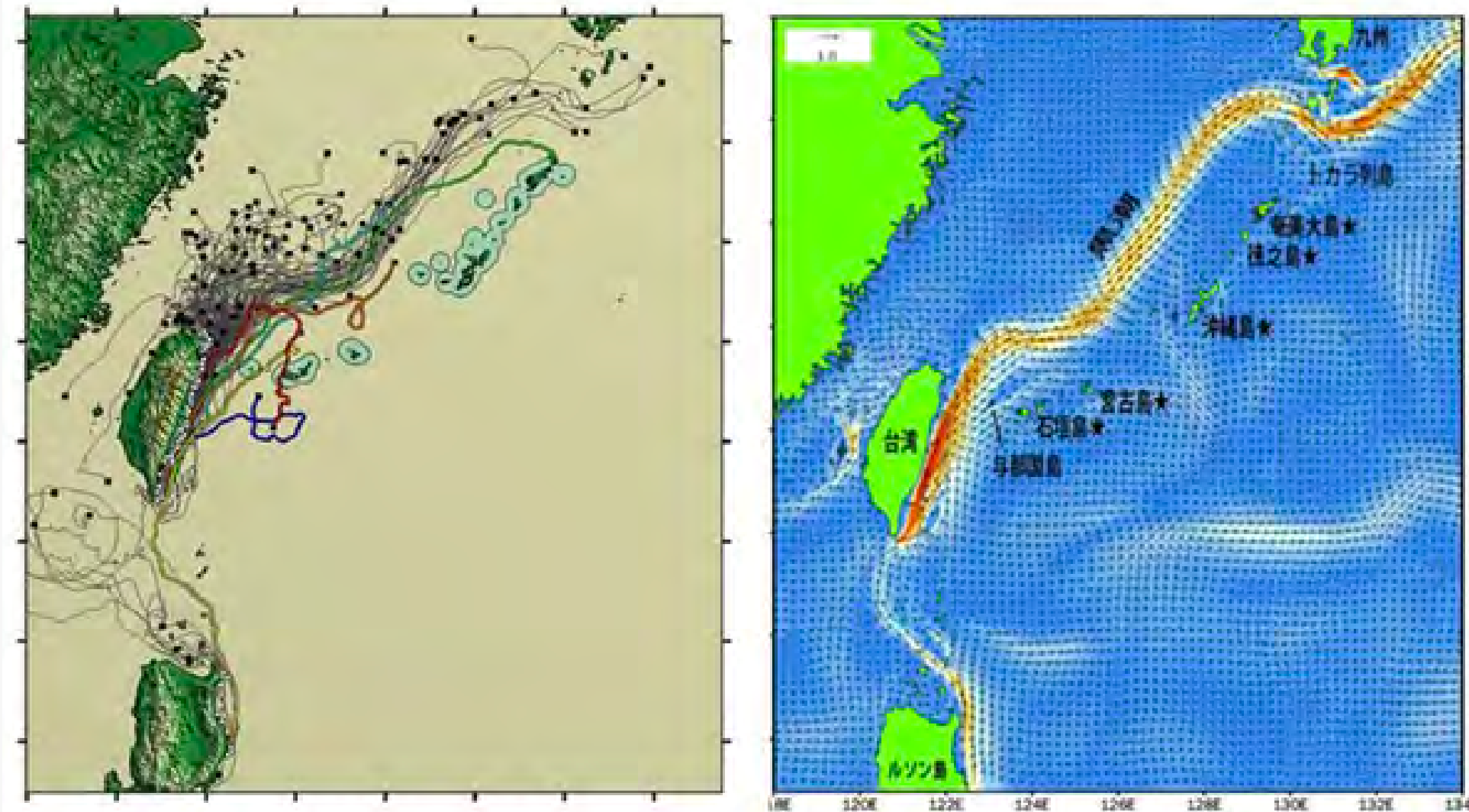


第8回未来エネルギーフォーラム・オンライン
ム 2024/3/23 (土)

先輩達に続け！

東京大学総合研究博物館

- 琉球列島に人類が到達したのは3万年前。
- 黒潮の流れに阻まれ、台湾から定住に必要な10人以上の男女がほぼ同時に漂着する確率はゼロ。
- 古代の人類は一大プロジェクトとして琉球列島への移住を試みたはず。
- 島があるかどうかもわからない命がけのプロジェクト。





スギメ

SUGIME

第18回未来エネルギーフォーラム・シンポジウム
ム 2024/3/23 (土)



蓬莱山

荒波



紀元21世紀

©Rey.Hori/KEK



旧石器時代

国際リニアコライダー計画で変わる科学・技術・社会

リニアコライダー

ナノビームにより省電力でコライダーを実現。高い拡張性。

リニアコライダーで変わる技術

社会にいきわたる加速器ビーム。発生する技術の相転移。

リニアコライダーで変わる科学

素粒子の標準模型の背後に潜む新物理をヒッグスで明らかにする。

リニアコライダーで変わる社会

グローバル社会「地球村」実現にむけた知の拠点、出撃基地。

世界からの期待に応える日本、世界を牽引する日本。

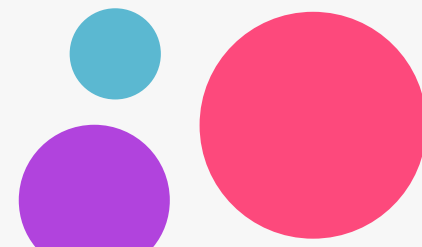
第18回未来エネルギーフォーラム・シンポジウム 2024/3/23 (土)

国際加速器スクールISBA23, 韓国で開催!

- 開催地：慶州、
- 広島大学とKAERI
- 世界で活躍する
加速器の基礎、加
研究、最新の加速
レーザー加速) 加
- 加速器シミュレ
- KAERI, PALの
- 新羅王国の足跡
- 毎日が国際交流

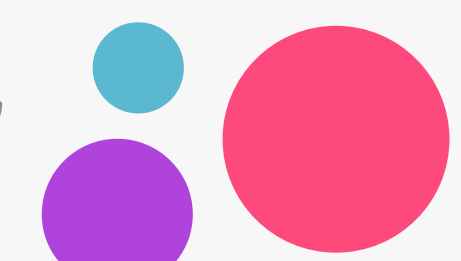
仏国寺仏舎利塔

今年はタイ!





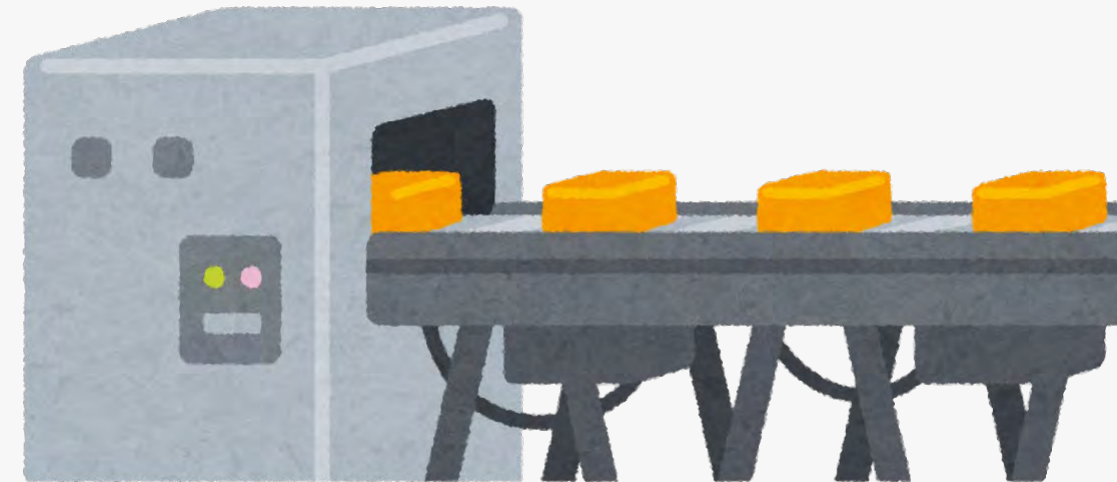
Backup



リニアコライダーの一次の歩

- 基本技術は出来上がったが、まだ多くの課題がある。
 - 性能向上
 - 信頼性向上
 - 工学設計
 - サイト検討、設計
 - 製造法検討、決定
 - 組織設計
 - 国際交渉
- これをやるのが準備研究所。ILCの国際組織ICFA-IDTが現在提案中。
<https://doi.org/10.5281/zenodo.4742018>

量産技術



国際交渉



サイト調査



詳細設計



新物理はすぐそこに！



Dmitri Mendeleev

(1834 - 1907)

ウオッカと周期表の発明者。
 沢山の元素の背後にある物理（原子模型、価電子）を明らかに。

PERIODIC TABLE OF ELEMENTS

Chemical Group Block

素粒子の背後にある物理は？

素粒子の標準模型

	物質の三世代 (フェルミ粒子)			相互作用 / 力の伝搬 (ボース粒子)	
	I	II	III		
質量	$\approx 2.2 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.28 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 173.1 \text{ GeV}/c^2$	0	$\approx 124.97 \text{ GeV}/c^2$
電荷	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0	0
スピン	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	0
	u アップ	c チャーム	t トップ	g グルーオン	H ヒッグス粒子
	d ダウン	s ストレンジ	b ボトム	γ 光子	
	e 電子	μ ミュー粒子	τ タウ粒子	Z Zボソン	
	ν_e ニュートリノ	ν_μ ニュートリノ	ν_τ ニュートリノ	W Wボソン	

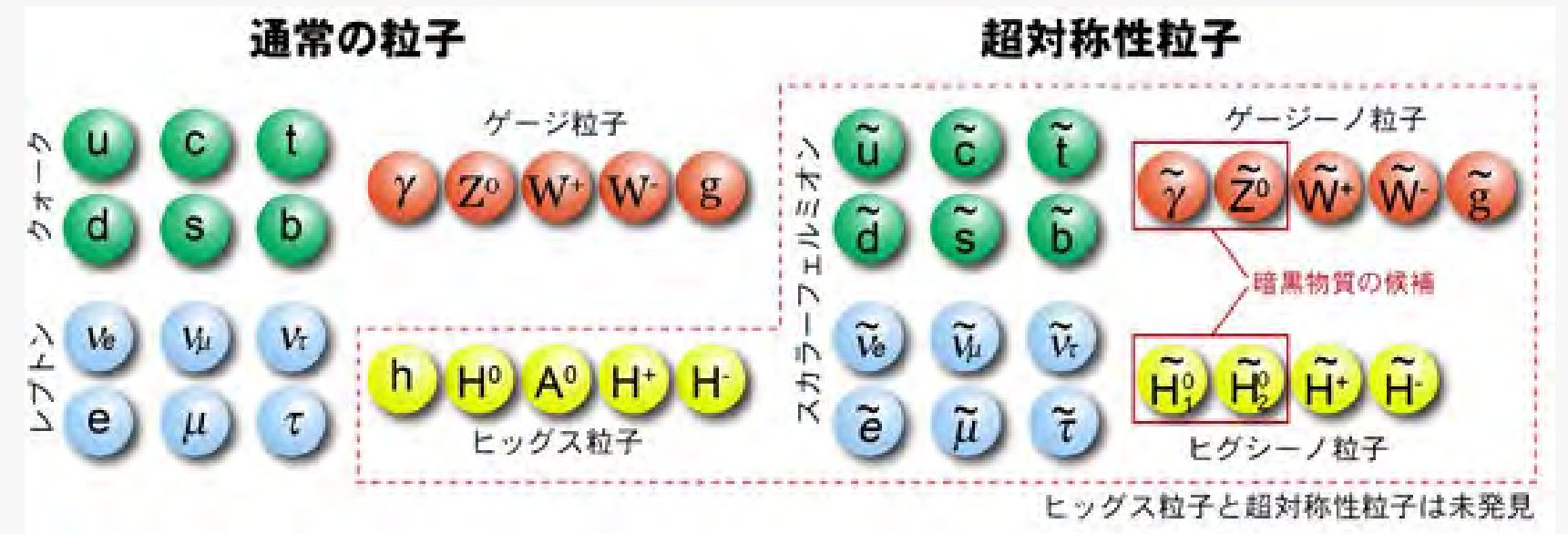
クォーク

スカララー粒子

ゲージ粒子
ベクトル粒子

ヒッグスは一つか？

- 粒子はペアとなっている。ヒッグス場も二つ。
- ヒッグス場は複素数であるから、成分としては実部、虚部をあわせて四つ。そのうち三つは W^\pm と Z^0 に吸収されて観測されない。一つがヒッグス場として観測される。
- 自発的対称性の破れによって電弱相互作用を統一するには、相互作用の大きさを高い精度で合わせこむ必要がある（fine tuning 問題）。フェルミオンとボソンのペアを想定する超対称性ではこれを実現。
- ヒッグス粒子は9個に増える。



ILCから始まる新しい社会

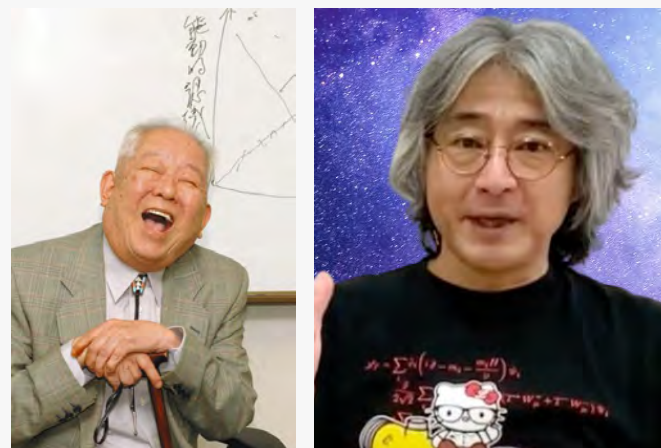
ILCを核とした科学田園都市構想 グリーンILC



ILC研究所による教育プログラム



科学が身近な生活



世界とつながる教育



教師向けプログラム

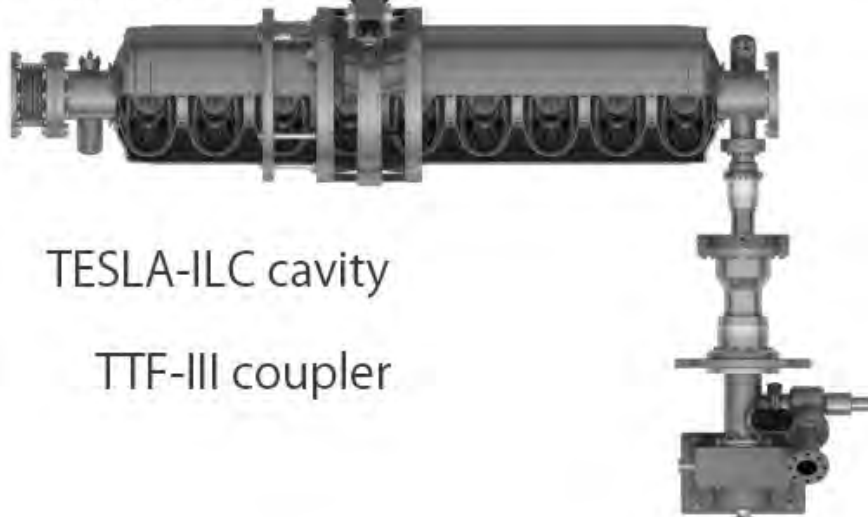


異なる加速空洞を一つの容器に



- 異なる研究所で作成した、異なる設計の超伝導空洞モジュールを一つの冷凍容器に入れて運転。
- 設計や規格(metric vs imperial)の違いを吸収し、互換性を確保する仕様 (Plug-compatibility)の技術実証試験。

Blade tuner



TESLA-ILC cavity

TTF-III coupler

Lever-arm tuner



TESLA-XFEL cavity

TTF-III coupler

Slide-jack tuner (center)



TESLA-like KEK cavity

STF-2 coupler

Slide-jack tuner (end)

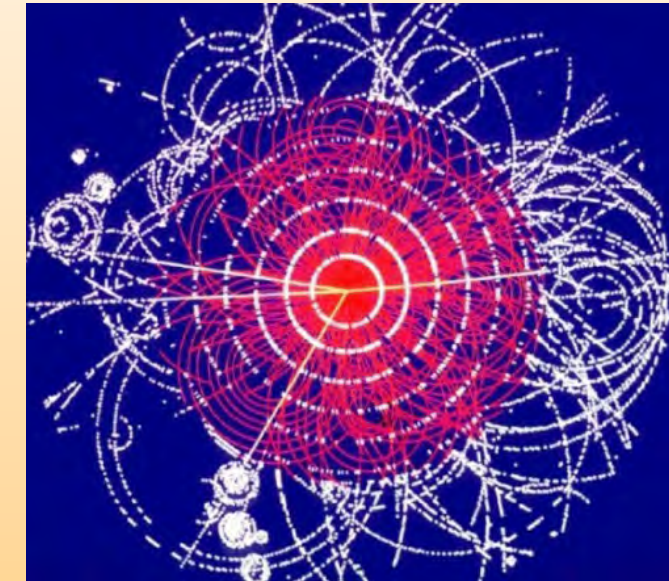
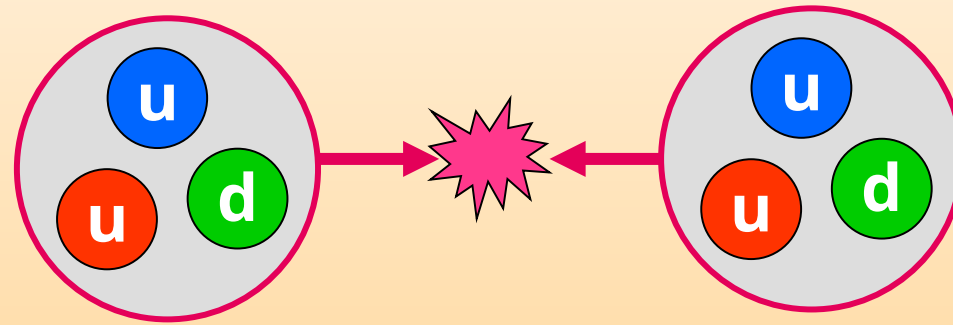


TESLA-like KEK cavity

STF-2 coupler

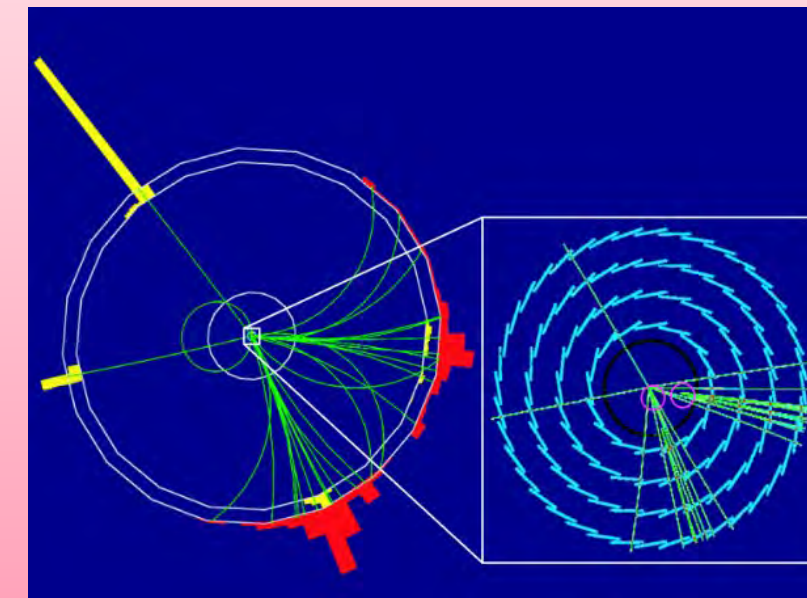
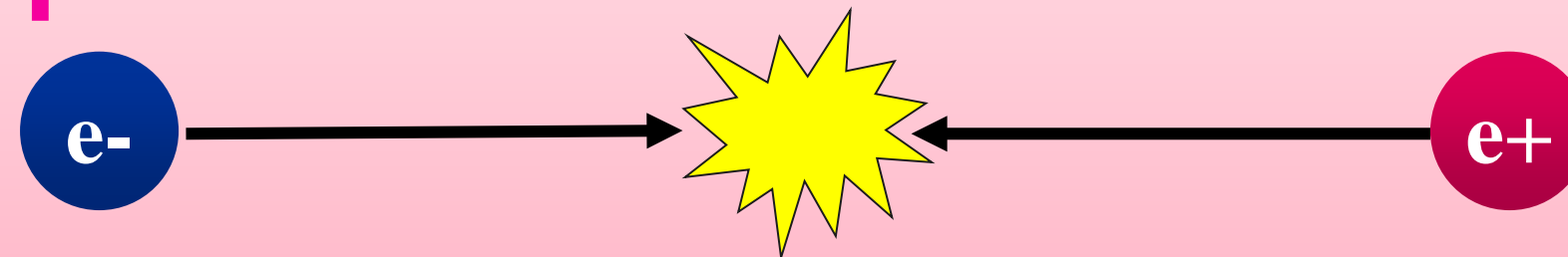
Hadron and Lepton Colliders

Hadron Collider



- 複合粒子同士の衝突。
- 反応する粒子、エネルギーは毎回バラバラ。
- 反応しなかった残りの粒子がノイズをつくる。

Lepton Colliders



- 素粒子同士の衝突。
- 初期エネルギーは毎回同じ。
- イベント全体を再構成可能。
- 未知の現象発見に大きな感度。



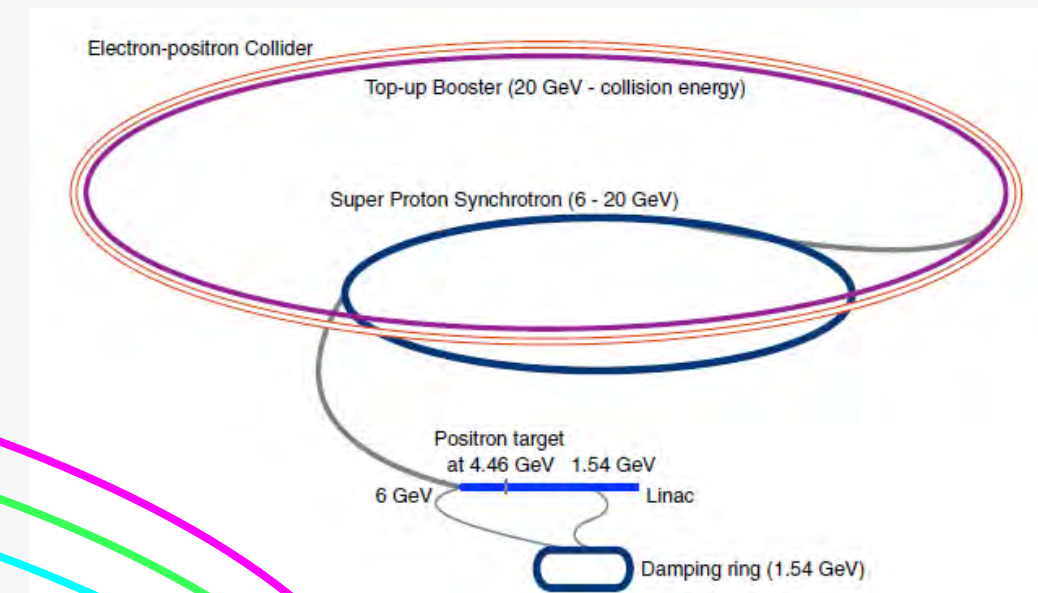
e+e- Ring Colliders

- CME 200 GeV を超える電子・陽電子 Ring Colliderは適切ではない。
 - 240GeV CMEで周長はおよそ100km. コストはリニアコライダーの倍以上。
 - 100MWの電力（およそILCの総消費電力）がビームを周回させるためだけに必要。
 - これ以上の発展は困難。航空機が主力となっている時代に、世界最大の巨大戦艦をつくるようなものである。
- 将来的な100TeV PPコライダーへの転用を視野に、「つなぎ」としての240 GeV 電子・陽電子 コライダーがCERN(FCCee)および中国(CEPC)で検討されている。
 - ILCあるいは他の電子陽電子コライダーが実現した場合には、存在意義が無い。
 - コストがリニアコライダーの数倍になるので、将来的なインフラの転用を想定しないと、極めて非効率なプロジェクトとなる。
 - 電子・陽電子リニアコライダーが先行し、次にHE-PPコライダーを作るのが妥当。

FCCeeとILCのスケール

- ILC250は全長20km、北上山地の良質花崗岩岩盤のトンネル内に建設。
- FCCはジュネーブ南部のモラッセ盆地の地下トンネルに建設。
- 現CERN-SPS(Super Proton Synchrotron)を注入器として利用。

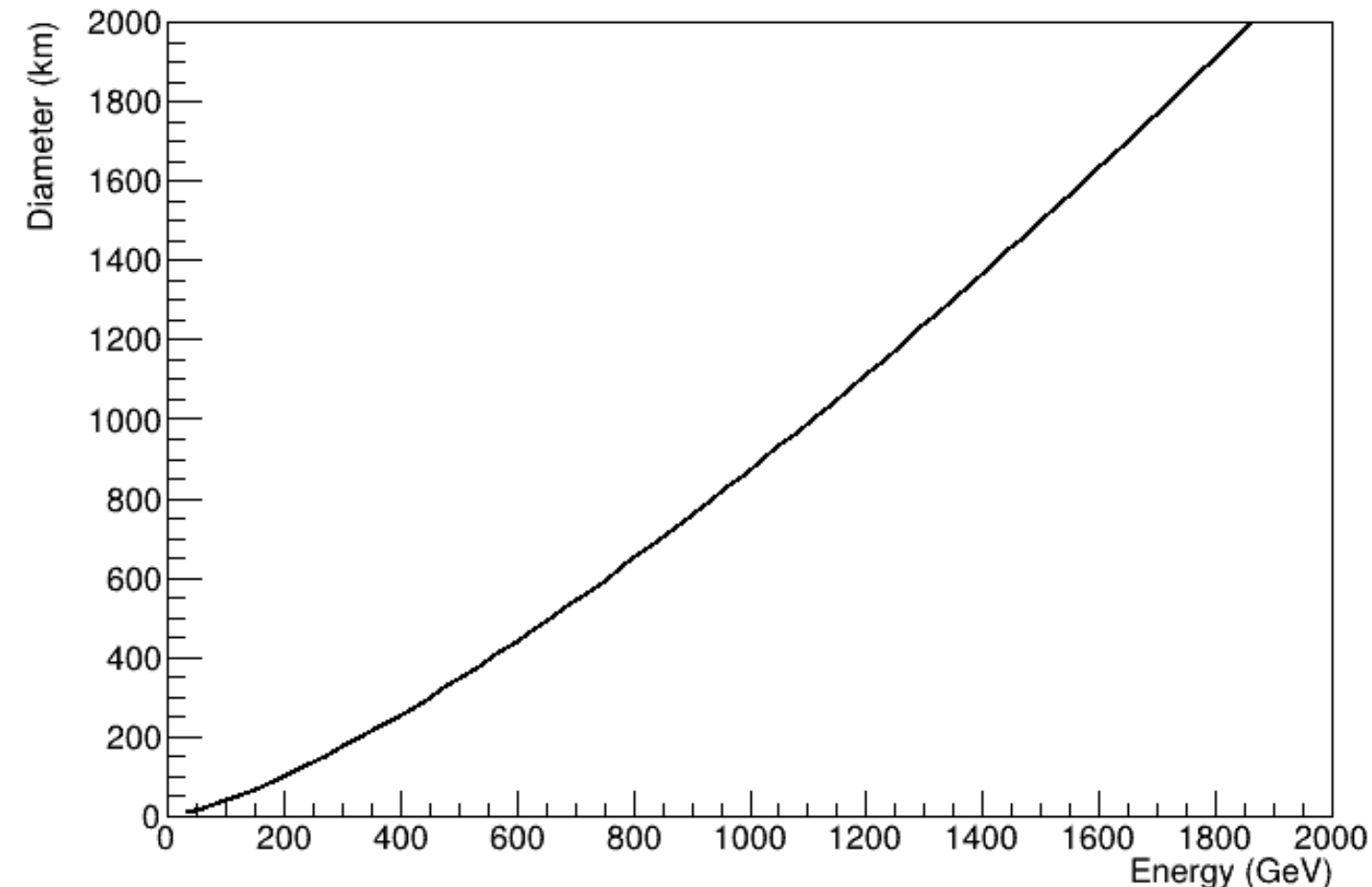
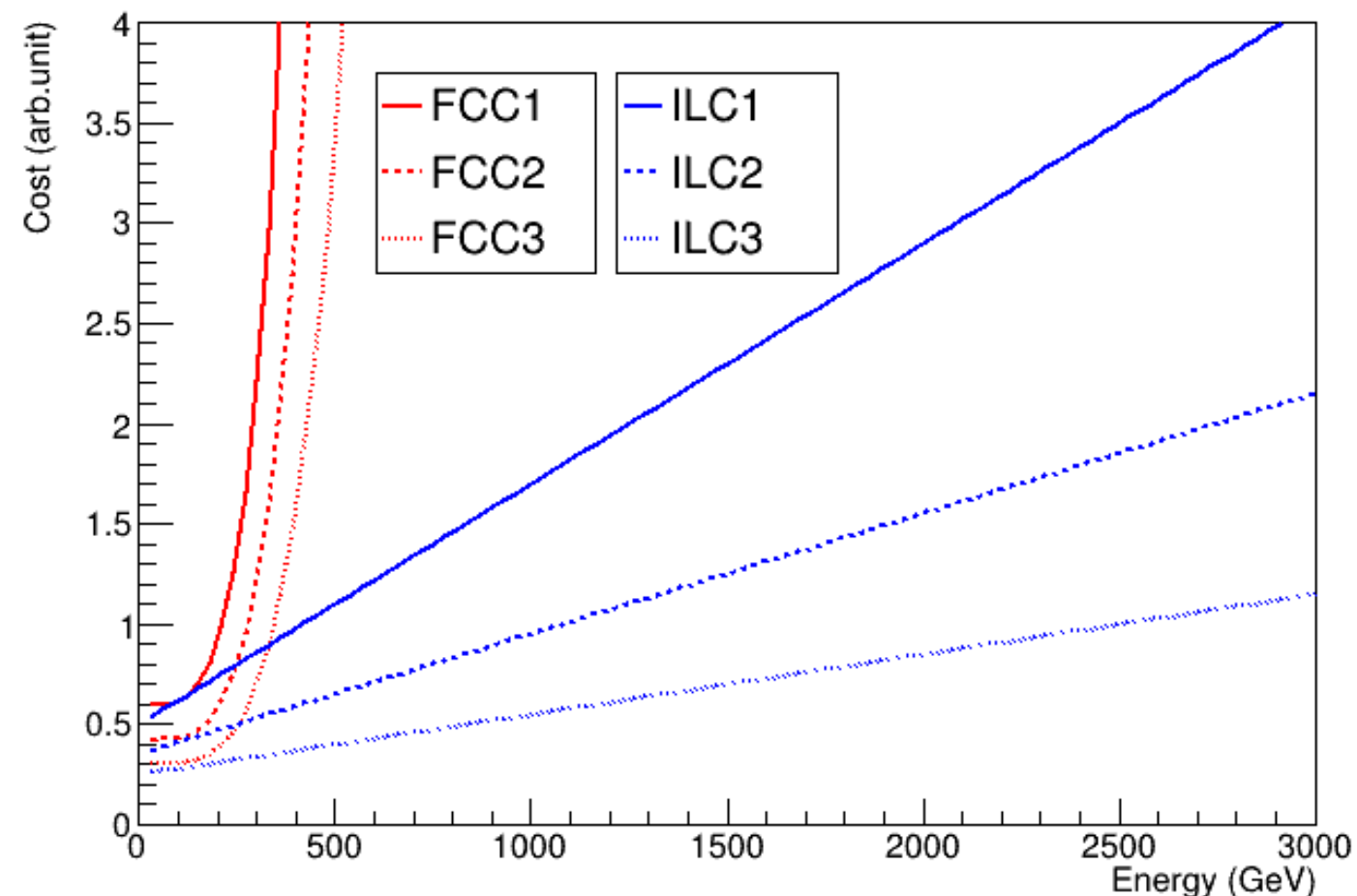
ILC250
(全長20km)



FCCee
電子リング (新設98km)
陽電子リング (新設 98km)
ブースターリング (新設 98km)

SPS(CERN既存,
周長6.9km)
第18回未来エネルギーフォーラム・シンポジウム
2024/3/29(土)

FCCとILCの将来性



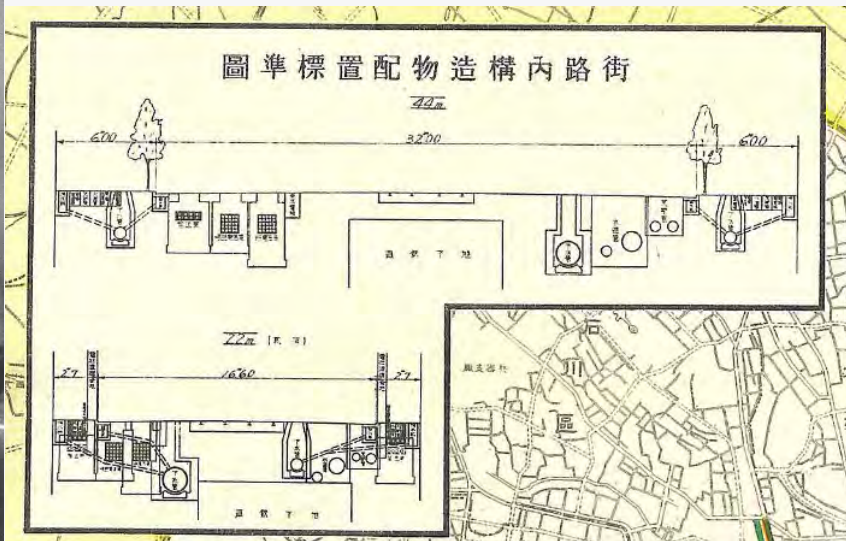
- FCCの ρ は100kmに固定。
- ILC1およびFCC1が現状の見積をもとにした推計。
- FCC2, ILC2は主加速器のコストが $1/2$ 、その他の部分が $1/\sqrt{2}$ 。
- FCC3, ILC3は主加速器のコストが $1/4$ 、その他の部分が $1/2$ 。
- FCCの場合は技術革新があってもエネルギーが伸びない。ILCは線形に伸びる。

- FCCの周長とエネルギーを自由パラメーターとしたときの、各エネルギーでコスト最低となる周長 ρ 。
- 周長 $4/3$ 乗で大きくなる。

復興から創造



関東大震災からの帝都東京再建で、
世界最先端都市をめざした後藤新平



後藤が最先端都市を目指したように、
最新の科学技術による新しい科学田園都市

「科学的よりみたる合理的施設の上に経済的なる計画を
実現しもって文明都市の実態を具備せしむ」

ILC都市構想は、
地方創生のモデルケース

内閣府HP

