

素粒子物理学の将来展望における Higgs Factoryの位置付けと、 ILCの実現に向けた取り組み

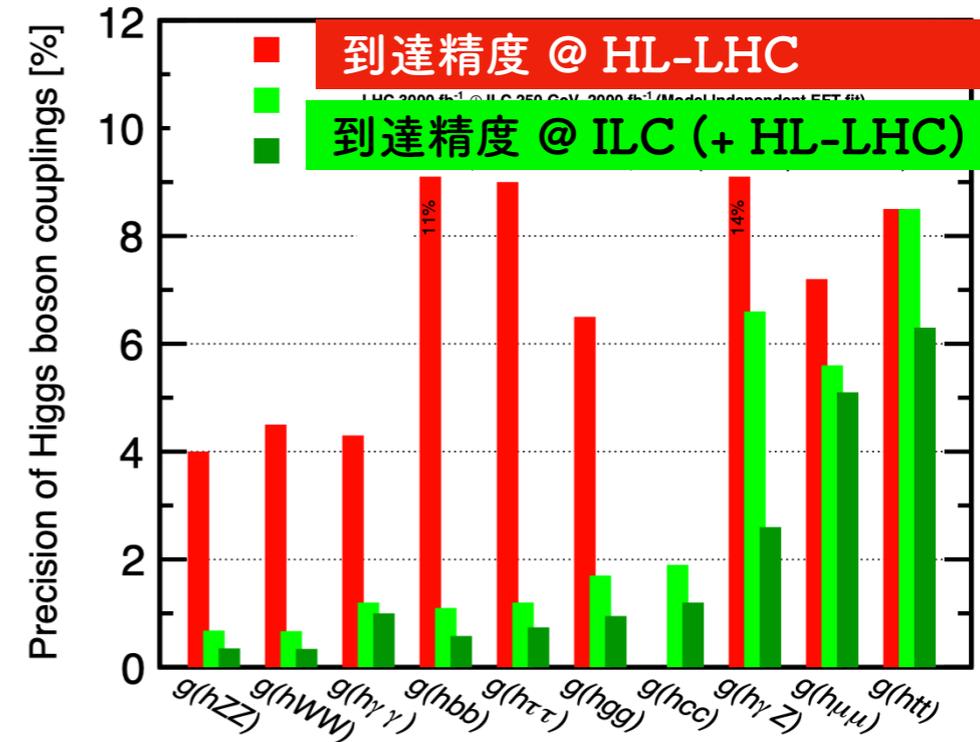
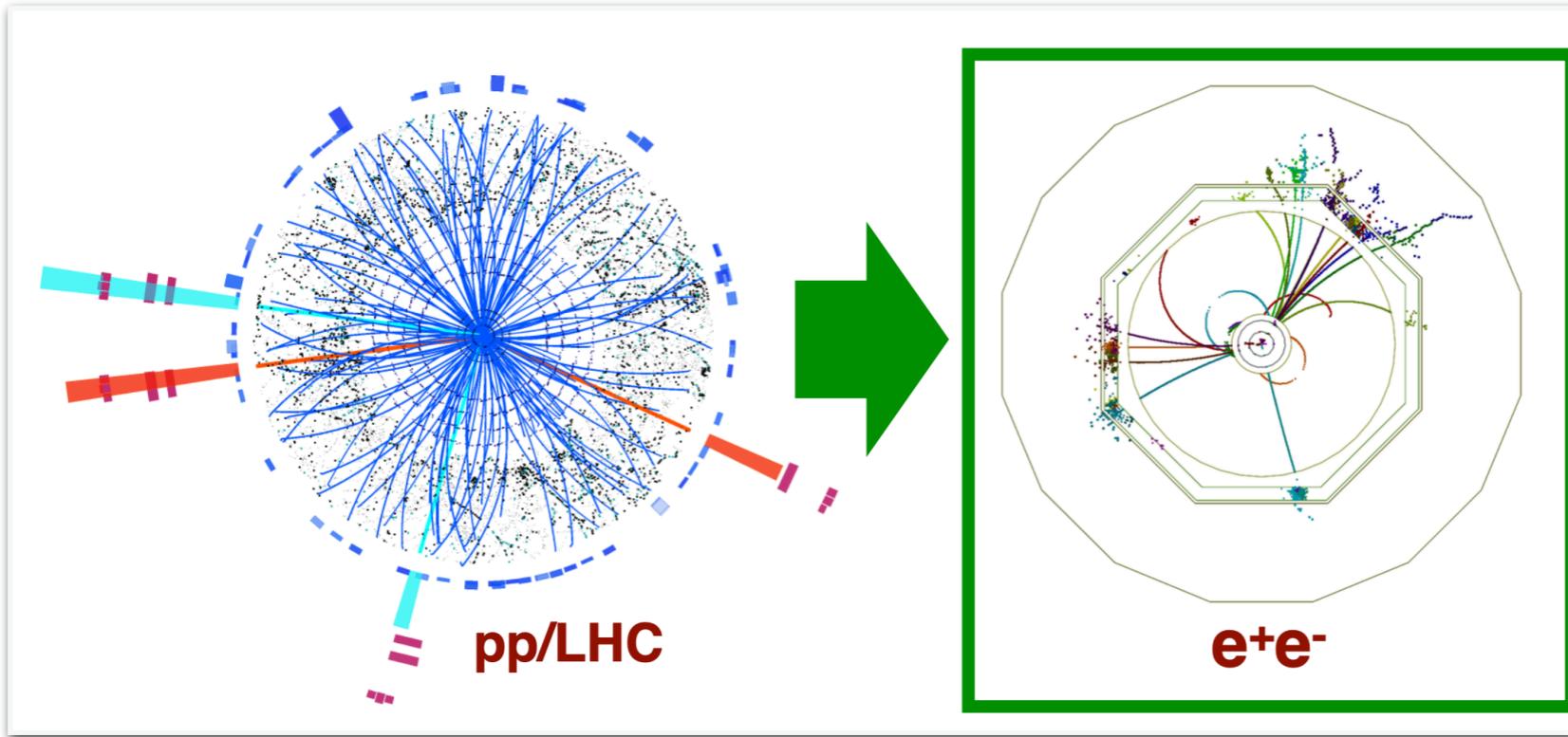
(2024.10.03)

石野 雅也

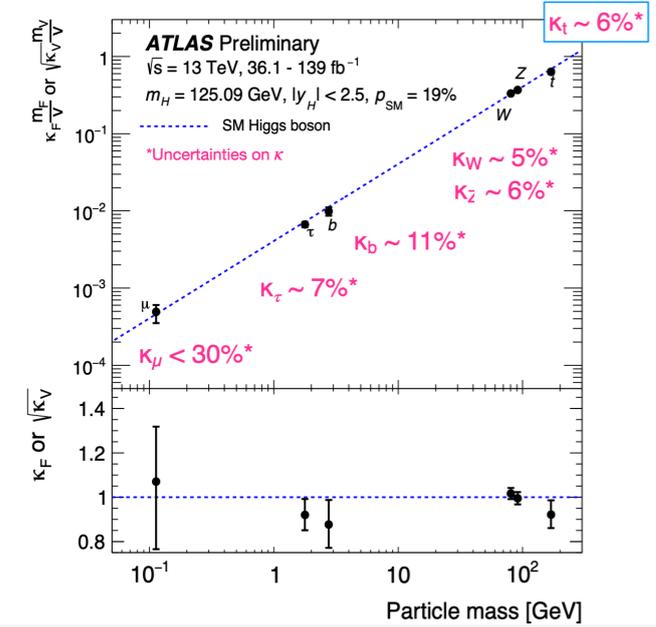
東大 素粒子物理国際研究センター / ILC-Japan代表

「Higgs粒子の精密測定は、新しい物理の扉を開く」

その実現には、Higgs Factory (e⁺e⁻コライダー) が必要



Higgsと素粒子の結合強さ測定 @ LHC



Higgs真空は (標準模型で仮定している通り) 質量だけを見ているのか?

素粒子の持つ別の性質を感じて結合強さを変化させていないか?

- up v.s. downタイプ
- クォーク v.s. レプトン
- 第2世代 v.s. 第3世代

e⁺e⁻コライダーを使って Higgs粒子の性質を精密に測定する (HL-LHCで到達できない世界)

$$\kappa = g_X / g_X^{SM} = 1 + \Delta\kappa$$

$$\Delta\kappa \sim O(v^2/\Lambda^2)$$

例えば、1TeVに新物理 → ~6%のズレとして表出

この差異を捉えて、新しい物理の正体を察するには、HFが必要

[A] e⁺e⁻ Higgs Factory → [B] Energy Frontierへ

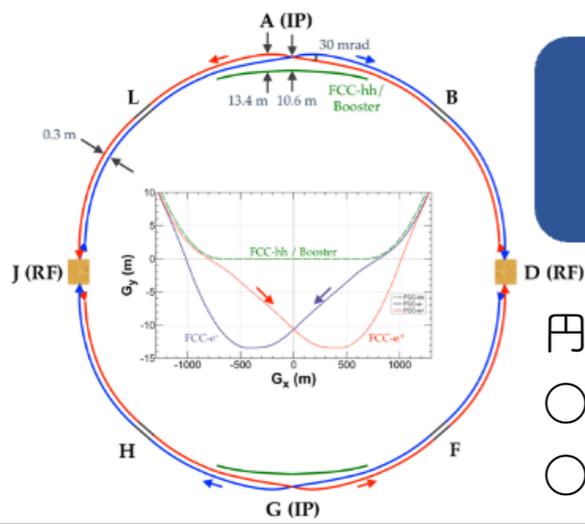
理想形

[A] Higgs粒子の精密測定により **次の新物理のエネルギースケール** を知る
→ **Higgs Factory** でやる

精密測定

[B] [A] の科学的結果 & **その時点での最良の加速器技術** で 次の加速器を作り、
Energy Frontierで、素粒子/宇宙の「なぜ？」を解明していく

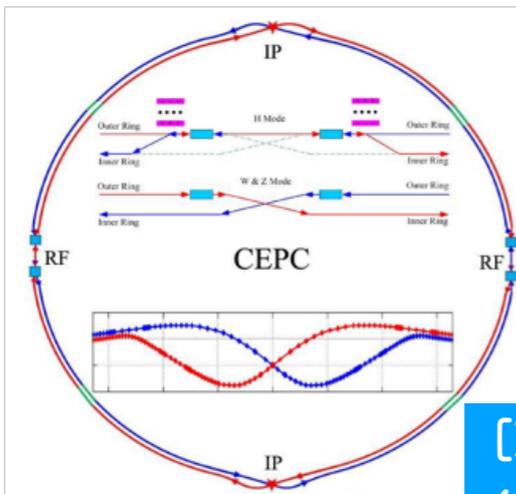
Energy Frontier



FCC-ee
(CERN)

円形加速器 (周長90km)

- 高いルミノシティ
- 陽子・陽子への拡張性
- × 建設コスト高 (2兆円以上)
- × 運転コスト高 (300 MW)



CEPC
(中国)

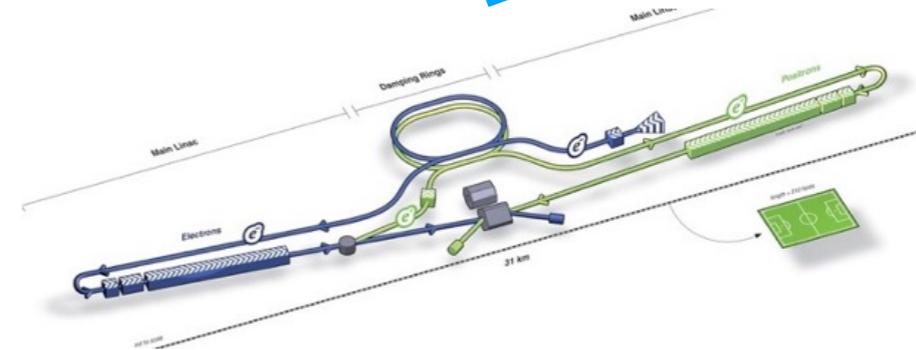
円形加速器 (周長100km)

[B] $\sqrt{s} \sim 100$ TeV p-p衝突
(16T磁石を開発できれば)

ILC 250

直線 20km

- 建設コスト 半分 (以下)
- 運転コスト 低 (120 MW)
- △ 衝突点の数 (普通は1点。2点作れるがコスト上がる)
- △ ルミノシティ (精密測定は十分可能)



ILCに特徴的なアドバンテージ

[A] の科学的結果をふまえて

[B] 期間の 技術革新 (衝突エネルギー & 輝度) 導入

➡ 総合的にリーズナブルな形で [B] へ進める

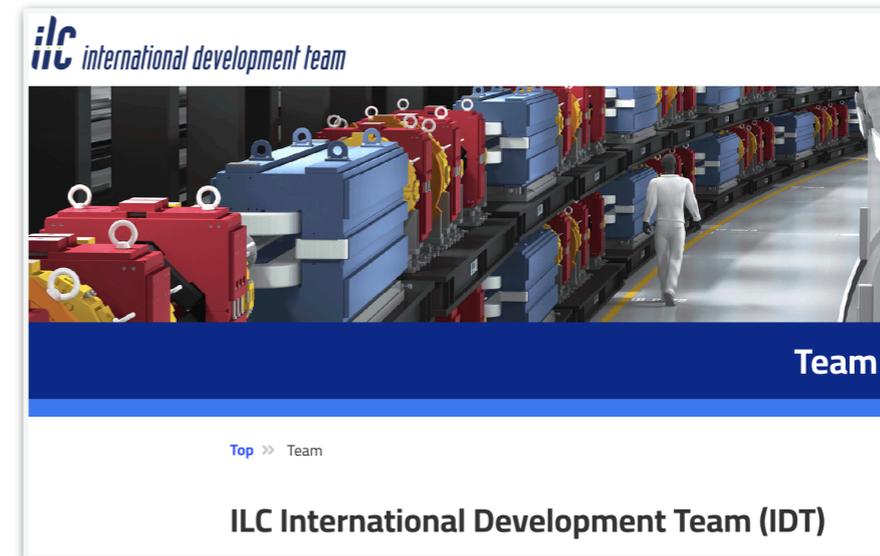
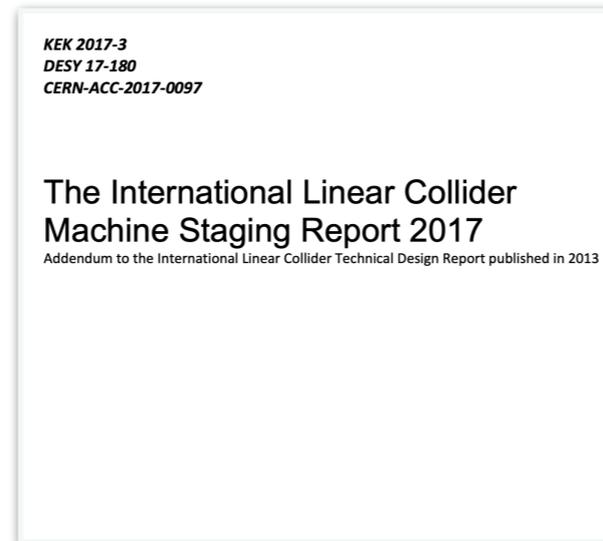
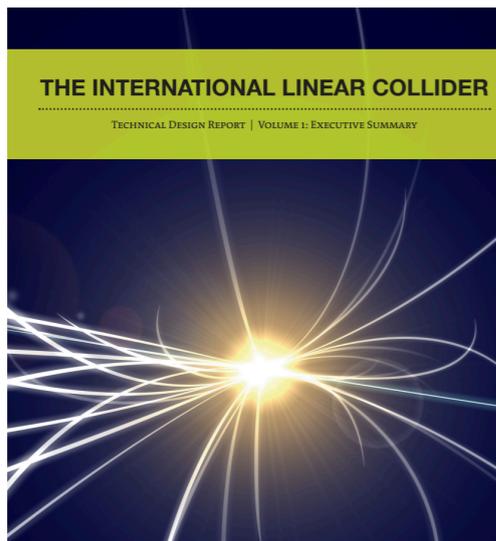
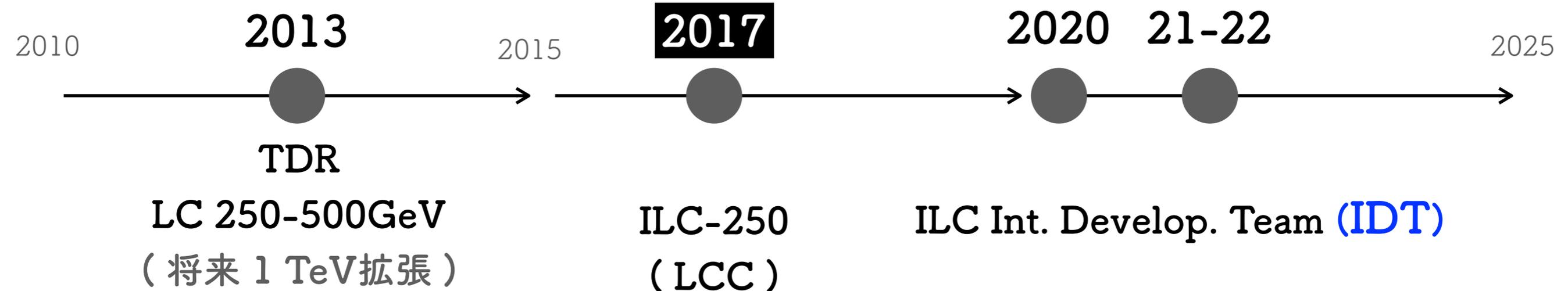
CFP 2017

→ ILC250・日本国内・早期実現

ILC250物理意義の検証委員会

→ Beyond SMの方向性を定め得る

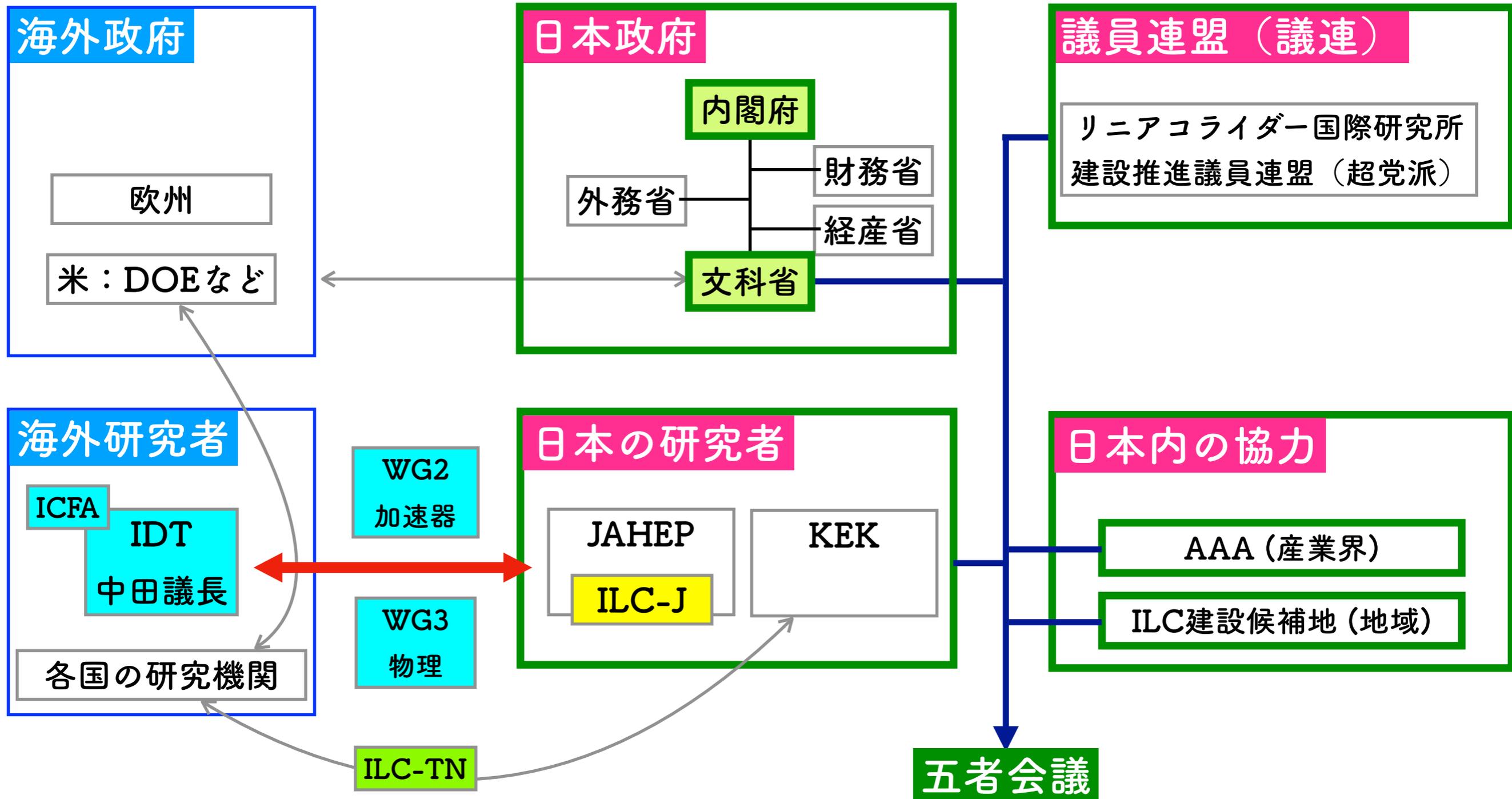
IDTによる Pre-Lab提案
 → Pre-Lab移行は時期尚早
 (2nd. 有識者会議)



日本に建設するILCのための、
 ILC Pre-Lab の準備 (国際的研究者)

- 素粒子分野の振興を期待。ヒッグス粒子の精密測定がもつ学術的な意義は認められる。
- ILC 計画の今後の見通しを明確にするような大きな進展は見られない
 - 不足 (ILC) : 国際的な研究協力と **費用分担の見通し**、国民/科学コミュニティーの広い支持、
 - 不足 (広域) : 分野の将来について **国際的に統一された提案/ロードマップ** (FCC-ee)

➔ 日本政府がILC誘致の関心表明を前提とした **ILC 準備研究所への移行は時期尚早**
- 費用分担の議論が進まない原因の1つ、**立地問題を一旦切り離せ**
- ITERなど、過去のGlobal Projectに学べ
 - ➔ IDTの元に設置された**国際有識者会議 (IEP)**
- 次世代加速器の開発に重要な技術課題に対して、国際的に連携して取り組む必要
 - ➔ **ILC Technology Network**
- 国内外のステークホルダーとの関係構築
 - ➔ **ILC-Japan / KEK ILC推進**



Global ProjectとしてILCの実現に関心を持つ
 国内外の研究者/政府間の理解・議論のもとプロジェクトを推進する

WP-prime 2: クライオモジュール組立・試験・設計決定

目標 (モジュール)
 8空洞入りモジュール
 加速勾配: 31.5MV/m
 Q値: $<1 \times 10^{10}$

Rey.Hori/KEK

WP-prime 1: 空洞量産実証

目標 (空洞単体テスト)
 冷凍機則に則った9セル空洞で
 加速勾配: 35MV/m
 Q値: $\sim 1 \times 10^{10}$

目標
 SLCやS-KEKB
 を超える大量の
 陽電子生成技術
 確立

陽電子源

WP-prime 8~10: 陽電子源開発

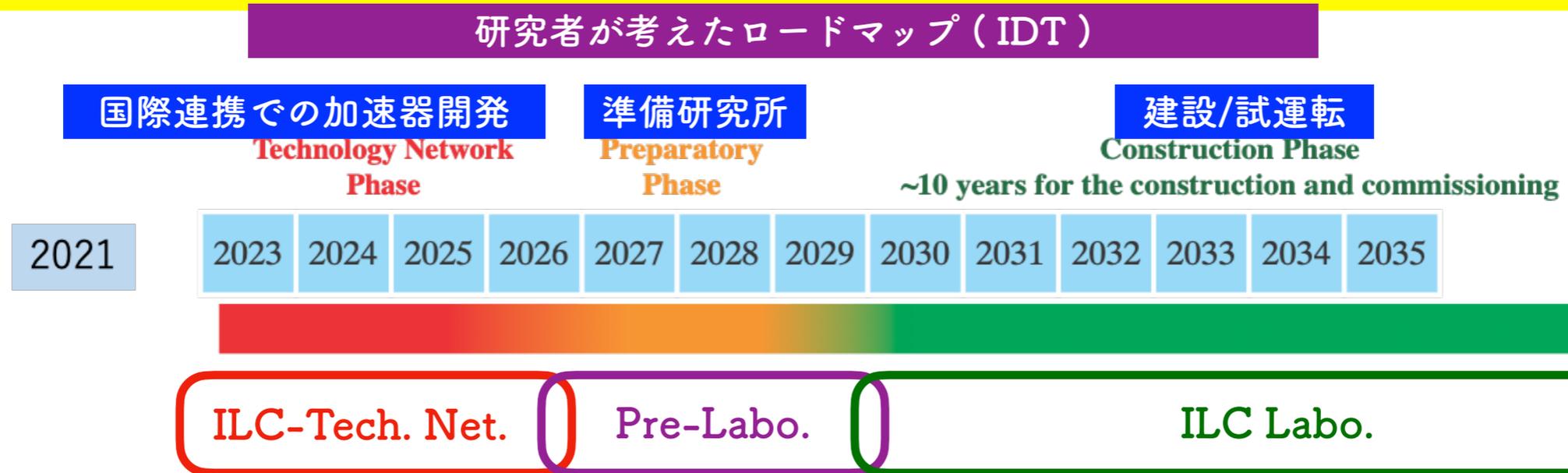
ビームダンプ

WP-prime 15: 最終収束系

ビームダンプ

目標:
 ATF-FFで垂直方向
 37nmを安定にkeep。

- ILCで必要とされる技術に関して、Showstopperは存在しない
- 一方、量産開始までに必要とされる技術を、よりマチュアにしておくべき時期
- 国際的に密接な関係を取りながら、研究プログラムを進める経験も重要



[Step-1] パートナー国が集まって Global Projectの形 を議論/決定する

- ILCの建設に関心を持つ世界の**研究者/政府**は、これをGlobalプロジェクトとして進めるための議論をする
- **費用分担ルール**、責任分担ルール、推進組織の形態、**サイトの決定方法**、etc. **ルールを決める**
立地問題切り離し

[Step-2] [1] のルールに従い 具体的なILCの形 を議論し、決定していく

世界の研究者+政府は、Global Projectとして、どんなILCを作るか、どこがホストするか、議論する

(a) 日本政府は、ILC250をホストすることへの関心を表明する

(b) Europeは、例えば、最初から長いトンネルを掘って、既存技術で 250 > 380 > 500 GeV提案... とか
ここで、色々出てきて、本気の競争をするのは"良いこと"

[Step-3] [2] が進めば次に進む → **準備研究所の開始** ILCの建設に向けて、さらに議論/決定、推進する

Global project:

費用分担、責任の分担、組織形態、サイトの決定など、プロジェクトのあらゆる面について、パートナー国が議論し、ルールを決める。その上で、**Global Project**として進める。

(例：ITER、SKA 身近なところでは ATLAS/CMS実験)

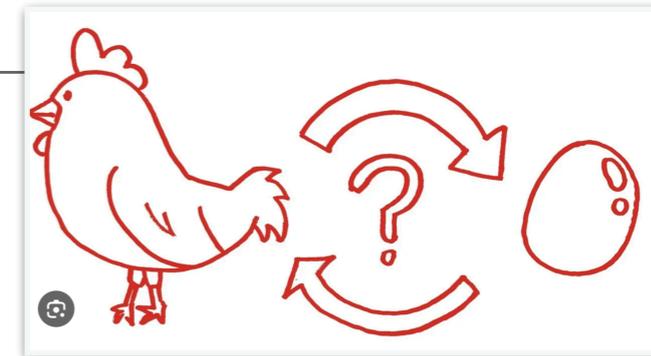
International Project :

(わかりやすい) (高額プロジェクトでの困難)

LHC, HERA, FCC ホストが最初から定義されてプロジェクトをリード。 費用 ~90% はホスト

準備研究所の提案が認められなかった (2021/2022) ことを受けて

国際有識者会議による分析



日本政府： ILCは "**Global Project**" と認識。研究者間の国際的なコンセンサスがないと進めない

世界のパートナー： 日本（政府）が誘致を表明しないと、始まらない (各国、いろいろな温度)

これを解きほぐすために必要なアプローチ

それよりも何よりも、**次の加速器、その次の加速器をタイムリーに作っていくためには、**

このタイミングで、新しい加速器建設の枠組みが必要

素粒子物理学における次の基幹計画

- **Higgs Factoryとその意義**
- 3つのプロポーザル と **ILCの位置付け（アドバンテージ）**
- **LCのアドバンテージ、i.e. Energy拡張性を含めたコヒーレントなシナリオ構築**

ILCプロジェクトの実現に向けた取り組み

- 歴史のふりかえり ▶ 2nd. 有識者会議 (2021-22)で指摘されたポイント
- それを受けた、**現在のプロジェクト進め方**
 - **Global Projectとして、ILCを段階的に推進する**
 - **ILCの実現可能性を高める。同時に、将来に渡り大規模加速器を作る枠の構築**
- **ILC Technology Networkという枠で、国際協力で加速器開発を推進している**