

# ILCプロジェクトの経緯と概要

素粒子物理研究とILC

拡大高エネルギー委員会 2021年8月21日 森俊則

# ILCプロジェクトの経緯と概要

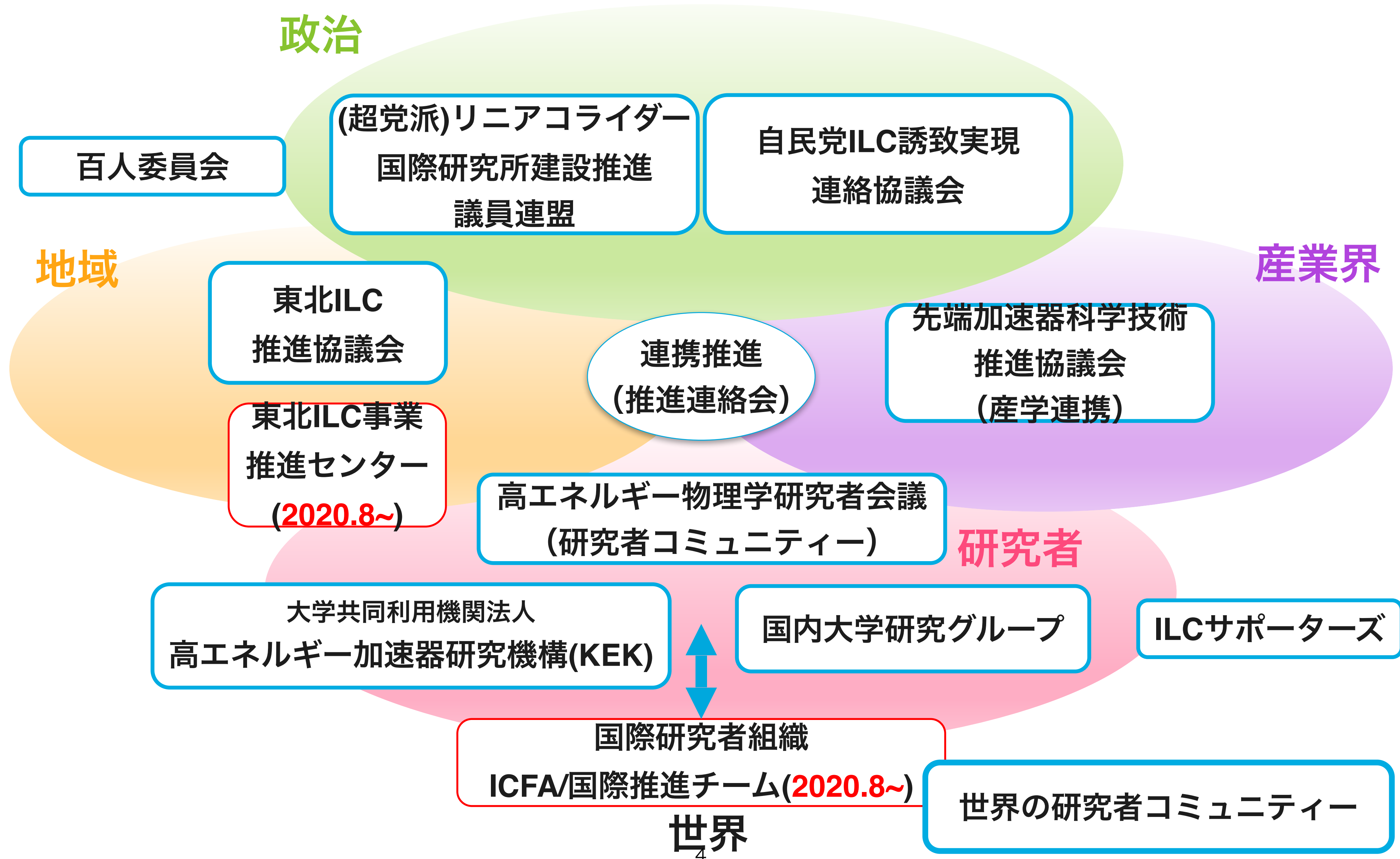
## 素粒子物理研究とILC

- そもそもどうしてリニアコライダー？
  - 「国際」「リニア」「コライダー」による「ヒッグスファクトリー」
- ILCプロジェクト
  - 国際：将来戦略のグローバル化、政府間の議論
  - 国内：政府・政治・産業・学術・地域でのサポート
- ILC Pre-Labに向けて

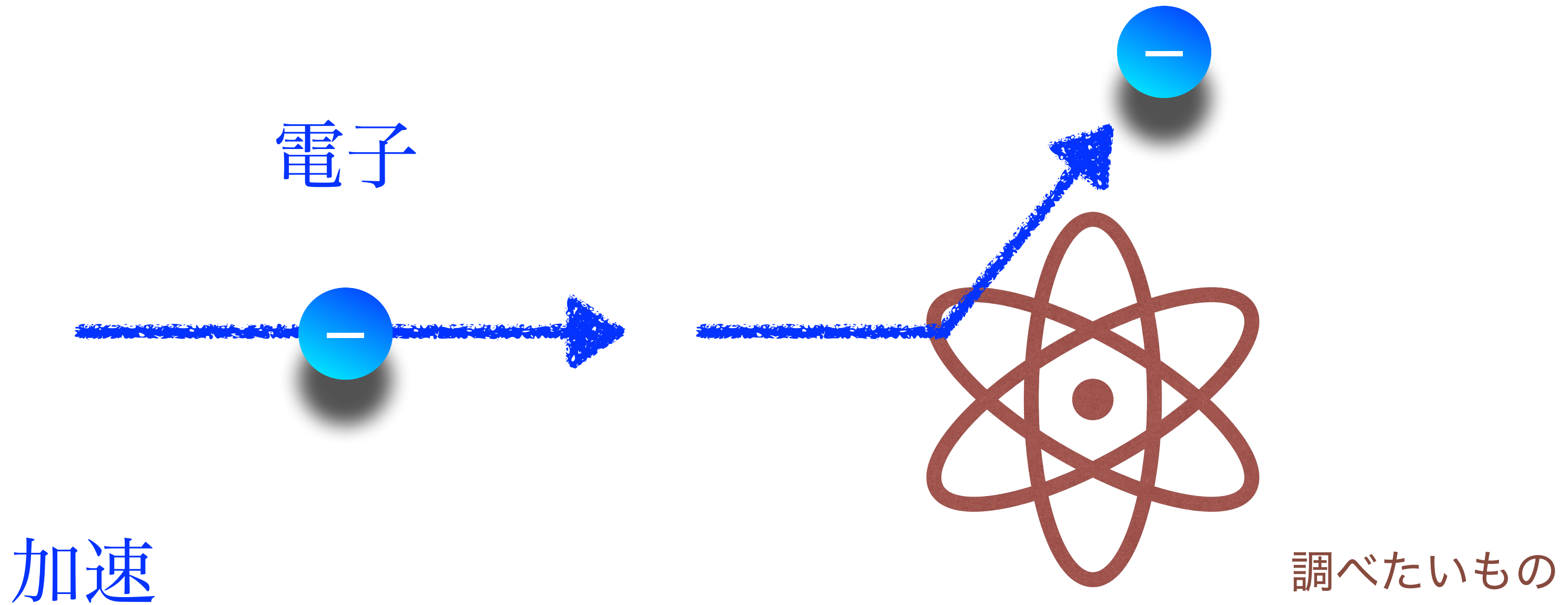
- **1965.6 M. Tignerが、初めてリニアコライダーのアイデアを提案**
- 1974.4 高エネルギー加速器研究機構(KEK)の前進である文部省 高エネルギー物理学研究所(高工研)創設
- **1984 日本でのリニアコライダーの開発研究スタート**
- 1986 KEK TRISTAN加速器始動
- 1988 SLAC SLC加速器始動
- 1989 CERN LEP加速器始動
- 1987 日米協力によるリニアコライダー研究スタート
- **1992.12 JLC-I レポート出版\*** JLC計画の概要の英文報告書
- 1993.6 米国SSC計画中止
- **1997.5 高エネルギー委員会 次期計画小委員会報告\***：電子陽電子リニアコライダーを日本の高エネルギー物理学研究の次期基幹計画とする
- 2003.5 計画名称がJLCからGLCに変更
- **2004.1 OECD Global Science Forum声明\***：電子陽電子リニアコライダーを次期計画とする高エネルギー物理学国際コミュニティの合意に注目、長期大型計画はグローバルに推進されるべき。科学者だけではなく、各国の財政機関からの助言が必要
- **2004.9 国際将来加速器委員会(ICFA)がInternational Technology Recommendation Panel (ITRP)の答申に基づき次期リニアコライダーの技術として超伝導技術を採用。日米欧リニアコライダー計画がILCに一本化**
- 2006.7 欧州素粒子物理戦略2006：エネルギー領域 500 GeVから1 TeVにおいてILCは精密測定フロンティアを開拓するための唯一の手段
- **2007.2 ILC Reference Design Report (RDR)完成\***
- **2012.2 高エネルギー物理学将来計画検討小委員会答申\***：LHCにおいてヒッグスなどの新粒子の存在が確認された場合、日本が主導して電子陽電子リニアコライダーの早期実現を目指す
- **2012.7.4 質量125GeVのヒッグス粒子発見**
- **2012.10 日本高エネルギー物理学研究者会議\***：ILCを国際コミュニティの同意と各国の参画を得たグローバル・プロジェクトとして日本に建設することを提案
- **2013.2 国際推進組織リニアコライダー・コラボレーション(LCC)結成**
- **2013.5 欧州素粒子物理戦略\***：日本の高エネルギー物理学コミュニティの提案を歓迎し、欧州のグループは参加を熱望する。
- **2013.6 ILC技術設計書(TDR)刊行\***
- **2013.6 中国香山会議**：中国のILCへの参加および中国独自(ライバル)計画立案
- **2013.9 AsiaHEP/ACFA声明\***：AsiaHEPとACFAは、日本がILCをホストするという高エネルギー物理学研究者会議の提案を歓迎し、日本政府がILC計画を始めることを期待する
- **2013.9 日本学術会議「国際リニアコライダー計画に関する所見」\***
- **2014.5 米国エネルギー省 素粒子物理計画優先度付け諮問委員会(P5)報告**：想定されるいずれの予算状況においてもILCに参加すべき
- **2015.6 文部科学省 ILCに関する有識者会議「これまでの議論のまとめ」\***
- **2017.9 高エネルギー物理学将来計画検討委員会答申\***
- **：250GeV-ILCの日本国内での建設をただちに開始すべき**
- **2018.7 文部科学省 ILCに関する有識者会議「ILC計画見直しを受けたこれまでの議論のまとめ」\***
- **2018.12 日本学術会議「国際リニアコライダー計画の見直し案に関する所見」\***
- **2019.3 文部科学省声明 (ICFA/Linear Collider Board会議(東京)にて)**：初めて日本政府としてのILC計画への見解を表明
- **2019.5 KEK ILC国際ワーキンググループ提言公表\***：建設・運転経費の国際分担についての考え方、ILC実施組織のあり方、技術的課題に取り組むための国際協力について提言
- **2020.2 文部科学省声明アップデート(ICFA/LCB会議(米国)にて)**
- **2020.2 ICFA ILCに関する声明\***：日本でのILC建設にあらためて期待を示し、国際推進チーム(IDT)の設置を提言
- **2020.6 欧州素粒子物理戦略2020\***：「次期最優先コライダーは電子陽電子ヒッグスファクトリー」と明言。日本でILCがタイムリーに実現する場合には、協働してILC計画に取り組む意向が示された
- **2020.8 ILC国際推進チーム(IDT)始動\***
- **2020.10 高エネルギー物理学研究者会議 ILC推進パネル設置\***

# 日本国内の推進体制

2020年8月中旬より



# 素粒子物理の研究

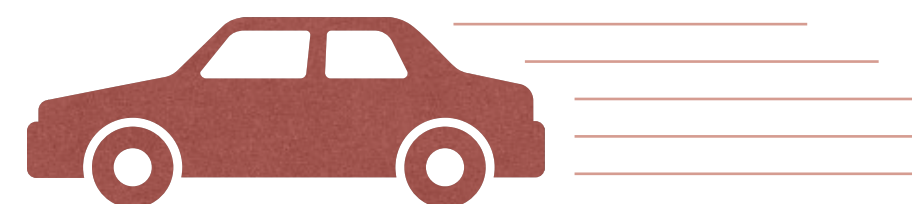
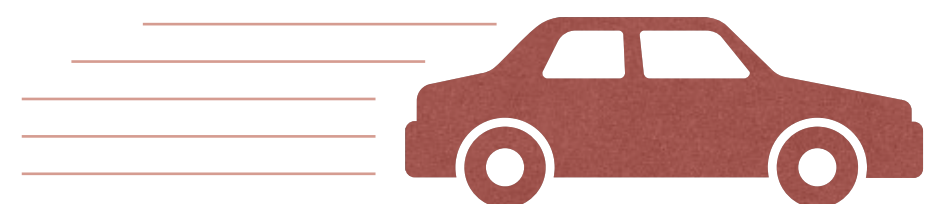


より高いエネルギー  
= より高い分解能

原子核（陽子・中性子）がクォークで  
できていることを発見（～1970）

# コライダー（衝突型加速器）の発明

ビッグバン（宇宙の始まり）の再現実験



# コライダー（衝突型加速器）の発明

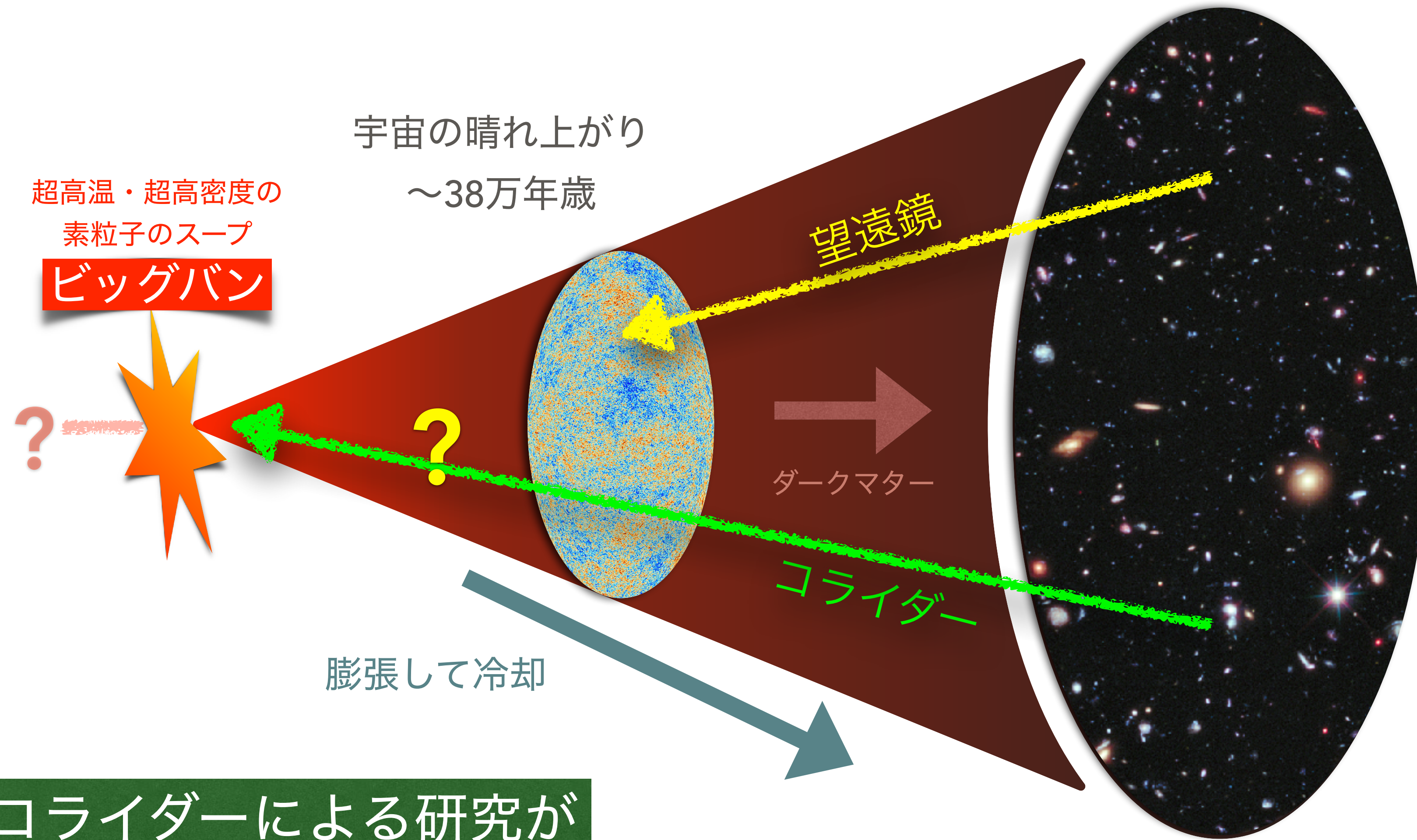
## ビッグバン（宇宙の始まり）の再現実験

すべてのエネルギーが衝突に使われる！！

新しい素粒子が次々と発見された：チャームクォーク、タウレプトン、ボトムクォーク、グルーオン、Wボゾン、Zボゾン、トップクォーク、ヒッグス粒子

ビッグバンの  
再現！

# 宇宙は約140億年前にビッグバンから生まれた



コライダーによる研究が  
宇宙始りの謎を解く



# 円型コライダの限界

電子・陽電子コライダー

©KEKフotonファクトリー

放射光によりエネルギーを失う

$$E_{\text{loss}} \propto$$

加速器の半径によって  
到達できる最高エネルギーに制限

放射光の  
科学・産業・医療等への活用

# リニアコライダーの発明

## 次世代のコライダー

- 加速技術が発展すれば  
いくらでも衝突エネルギーを  
上げることができる
- 効率よく加速し、効率よく衝突させる  
最先端技術が決め手となる
- 欧米亜三極による国際共同開発により  
最初に技術的に完成したのが「ILC」



# 「国際」リニアコライダー黎明期

## ヒッグス発見前

- 1990年頃より米、日、独を中心に開発研究

2003年、独政府はTESLAプロジェクト見送ることに

- 2004年、ICFAにより技術を統一して全世界による協力で開発研究する体制へ
- 2007年、Reference Design Report

米国政府の腰が引けていく

- 2012年、LHCでヒッグス粒子発見

実現には  
国際協力が  
不可欠

衝突エネルギーは  
> TeV ?

## ILCの国際推進

- 2012年、**ヒッグス粒子の発見**  
日本研究者コミュニティが日本に建設することを提案
- 2013年、**ILC技術設計書**が完成、ICFAがLCB/LCCを設立して実現へ向けて国際的に推進
- 2013年、学術会議ILC検討委員会、2014年～2017年、文科省有識者会議
- 2013年に欧州（欧州戦略アップデート）が、2014年に米国（エネルギー省P5委員会）がILC日本建設を支持、ICFAは**全世界的に協調して日本建設実現を目指す動き**を高く評価し支持

**2013年に技術完成、2014年には全世界の研究者コミュニティが日本建設を支持**

**世界の将来戦略が初めてグローバルにまとまった**

# 宇宙の「相転移」

ヒッグス場～電磁場  
ヒッグス粒子～光子

- 宇宙の「真空」が相転移を起こして、現在の宇宙が始まった
  - 素粒子が静止し、原子、物質、星そして銀河が生成された
- 宇宙は、真空つまりヒッグス場によって作り上げられていた！
- 宇宙の「真空」には他にも別の「場」が潜んでいるかもしれない
  - ニュートリノ質量、ダークエネルギー、インフレーション、...

真空中に「ヒッグス場」が充満

原始宇宙

現在の宇宙

2012年、LHCにおいて質量 125 GeV のヒッグス粒子が発見され、3世代ニュートリノ混合が確立された。この期を捉え、本委員会は日本の高エネルギー物理学の基幹となる大規模将来計画に関して、以下の提言をする。

- LHCにおいて質量 125 GeV のヒッグス粒子が発見された今、ヒッグス粒子の詳細研究によって標準モデルを超える物理の方向性を示すべく、衝突エネルギーを **250 GeV** とする国際リニアコライダー (ILC) の日本国内での建設をただちに開始すべきである。並行して、LHC およびそのアップグレードによる新物理の探究を間断なく続けるべきである。
- 3世代ニュートリノ混合が確立し、レプトンセクターにおける CP 対称性の研究への道筋が示された。今後は T2K 実験による CP 対称性の破れの探索と J-PARC ニュートリノビームの増強を継続して進めつつ、陽子崩壊探索にも優れた感度を持つハイパーカミオカンデの早期実現を国際プロジェクトとして推進すべきである。

高エネルギー委員会は、これらの基幹となる大規模計画の早期実現を目指し、あらゆる手段をもって取り組むべきである。

## ヒッグスファクトリー「ILC」

- 2017年7月、国際リニアコライダー（ILC）をヒッグスファクトリーとして早期に日本に建設することを日本の研究者コミュニティ（JAHEP）が提案
- 2017年11月、リニアコライダーボード（LCB）による検討の後、国際将来加速器委員会（ICFA）が日本の提案を強くサポート
- 2018年1月～7月、文科省有識者会議、2018年8月～12月、学術会議ILC検討委員会  
→ **ILCの残された課題を指摘**
- 2019年3月、東京でのICFA/LCB会議において日本政府がILCに対する関心を表明

国際 + リニア + コライダー

as ヒッグスファクトリー



## この2年間の進展

- ・ 2019年、学術会議マスタープラン、サイエンスの意義評価
- ・ 2020年2月、ICFA/LCB会議（@米国SLAC）：
  - ・ 日本政府がILCに関心を持って欧米と協議を進めると表明
  - ・ ICFAは、8月より国際推進チーム（IDT）を立ち上げて、国際ILC準備研究所（ILC Pre-Lab）の1～1.5年後の開始に向けて国際推進体制を強化する
  - ・ 国際推進体制が大きく一新されるため、文科省ロードマップより提案取下げ
- ・ 2020年6月、欧州戦略アップデート発表、ヒッグスファクトリーが最優先プロジェクト、ILCのタイムリーな実現に大きな期待
- ・ 2020年8月、国際推進チーム（IDT）発足
- ・ 2021年6月、IDTより ILC Pre-Lab Proposalが公表
  - ・ KEKとJAHEPで「ILC計画に関する主な課題について」を文科省に提出

# ILC準備・建設・実験へのステップ

2020年8月 ICFAの下で国際推進チーム発足

第1段階 国際推進チーム（1~1.5年）→研究所間合意

世界の研究所間でILC準備研究所設立

第2段階 ILC準備研究所（4年程度）→政府間合意

政府間合意によりILC研究所設立

第3段階 ILC研究所による建設（10年程度）

第4段階 ILC研究所により運転（20年以上）

← 現在

国際的な議論により、ILC実現への道筋が明確になった。

# ICFAの下にIDTを設置、ILC準備研究所の開始を目指す

**ICFA**

## **ILC International Development Team**

### **Executive Board**

<i>Americas Liaison</i>	Andrew Lankford (UC Irvine)
<i>Working Group 2 Chair</i>	Shinichiro Michizono (KEK)
<i>Working Group 3 Chair</i>	Hitoshi Murayama (UC Berkeley/U. Tokyo)
<i>Executive Board Chair and Working Group 1 Chair</i>	Tatsuya Nakada (EPFL)
<i>KEK Liaison</i>	Yasuhiro Okada (KEK)
<i>Europe Liaison</i>	Steinar Stapnes (CERN)
<i>Asia-Pacific Liaison</i>	Geoffrey Taylor (U. Melbourne)

**Working Group 1**  
Pre-Lab Setup

ILC Pre-Lab の準備

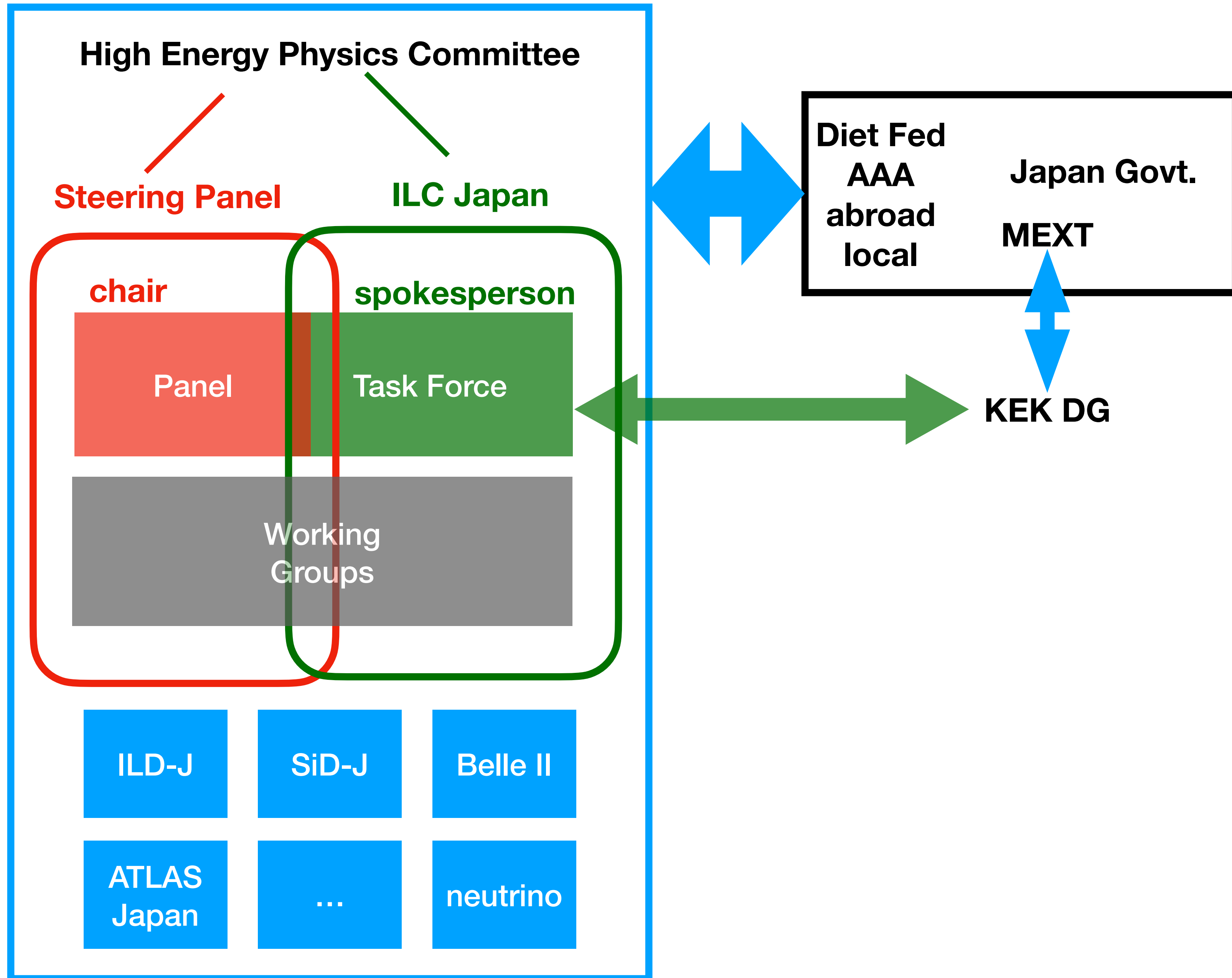
**Working Group 2**  
Accelerator

加速器

**Working Group 3**  
Physics & Detectors

物理・測定器

# HEP community in Japan (JAHEP)



# JAHEP ILC Steering Panel 推進パネル

Established by Japan High Energy Physics Committee, 28<sup>th</sup> October, 2020

- ・メンバーはコライダー研究者中心
- ・コミュニティのgrassroots activities

## Preamble

Upon the establishment of the ILC International Development Team (IDT) by the International Committee for Future Accelerators (ICFA) on 2<sup>nd</sup> August, 2020, the International Linear Collider project has entered the transitional phase towards the ILC Pre-Lab in a time frame of one to one and a half years.

To help facilitate transition into the preparatory phase of the ILC project, the Japan High Energy Physics Committee (HEPC) that represents Japan Association of High Energy Physicists (JAHEP) established the ILC Steering Panel (Panel). This document elaborates the terms of reference of the Panel.

- ・任期は来年春頃に進展をみて判断

## Mandate

The mandate of the Panel is to lead the high energy physics community in Japan to advance the ILC project towards its timely realization. The mandate includes:

- developing coherent promotion strategies and putting them into action,
- in promotion of the ILC project, cooperating with other scientific communities, government authorities, legislators, corporate leaders, regional governments, and media, as well as international communities and authorities,
- cooperating closely with the IDT and KEK.

The Panel will regularly report its activities to the HEPC. Important decision items will be discussed by the HEPC and shared in the high energy physics community in Japan.

## ILC ジャパン設立趣意書

国際リニアコライダー（ILC）を実現するため、日本の高エネルギー物理学研究者を結集し、その ILC 推進活動の主体として ILC ジャパンを設立する。ILC ジャパンは ILC 推進に関する研究者コミュニティの代表であり、高エネルギー加速器研究機構（KEK）と両輪となって、責任を持って ILC を推進する。

- KEK は ILC ジャパンに協力し、支援を行う。
- ILC ジャパンの代表としてスポークスパーソンを置く。スポークスパーソンは、国内外に対し、ILC 推進に関して研究者コミュニティを代表する。
- ILC ジャパンは、ILC 準備研究所（Pre-Lab）が設立されるまでの間、その設立に向けて以下の活動を行う：
  - 国内研究者の参加を促し、ILC 推進活動をリードする。
  - 準備研究所設立のため、海外研究機関との国際議論の窓口となる。
  - 準備研究所の執行本部（Central Bureau）の日本のコアとなる部分を作るため、国内の大学・研究機関の間の合意を形成する。
  - 推進活動においては、高エネルギー物理学研究者会議の ILC 推進パネルでのポトムアップの議論を反映させる。
- ILC 準備研究所設置後は、ILC ジャパンは準備研究所と共に ILC 研究所の実現を図る。

コミュニティが  
KEKと両輪となって  
責任を持って  
ILCを推進する  
→ Pre-Lab実現へ

任期は再来年8月末まで  
(次期高エネ委と同じ)  
その先は状況を見て判断


発起人代表：

高エネルギー物理学研究者会議



森俊則  
高エネルギー委員長

高エネルギー加速器研究機構



山内正則  
機構長

# 本日のアジェンダ

イントロ（経緯・概要） 20'

Speaker: 森俊則

物理について（IDT-WG3） 15'

Speaker: 村山齊

有識者会議で指摘された課題について 15'

Speaker: 藤井恵介

IDTによるPre-Lab Proposalについて 20'

Speaker: 道園真一郎

ILCプロジェクトについて 30'

Speaker: 山内正則

ILCジャパン、推進パネル、測定器チャレンジ 20'

Speakers: 浅井祥二, 山下了, 川越清以

議論 20'

\*時間配分はあくまでも目安