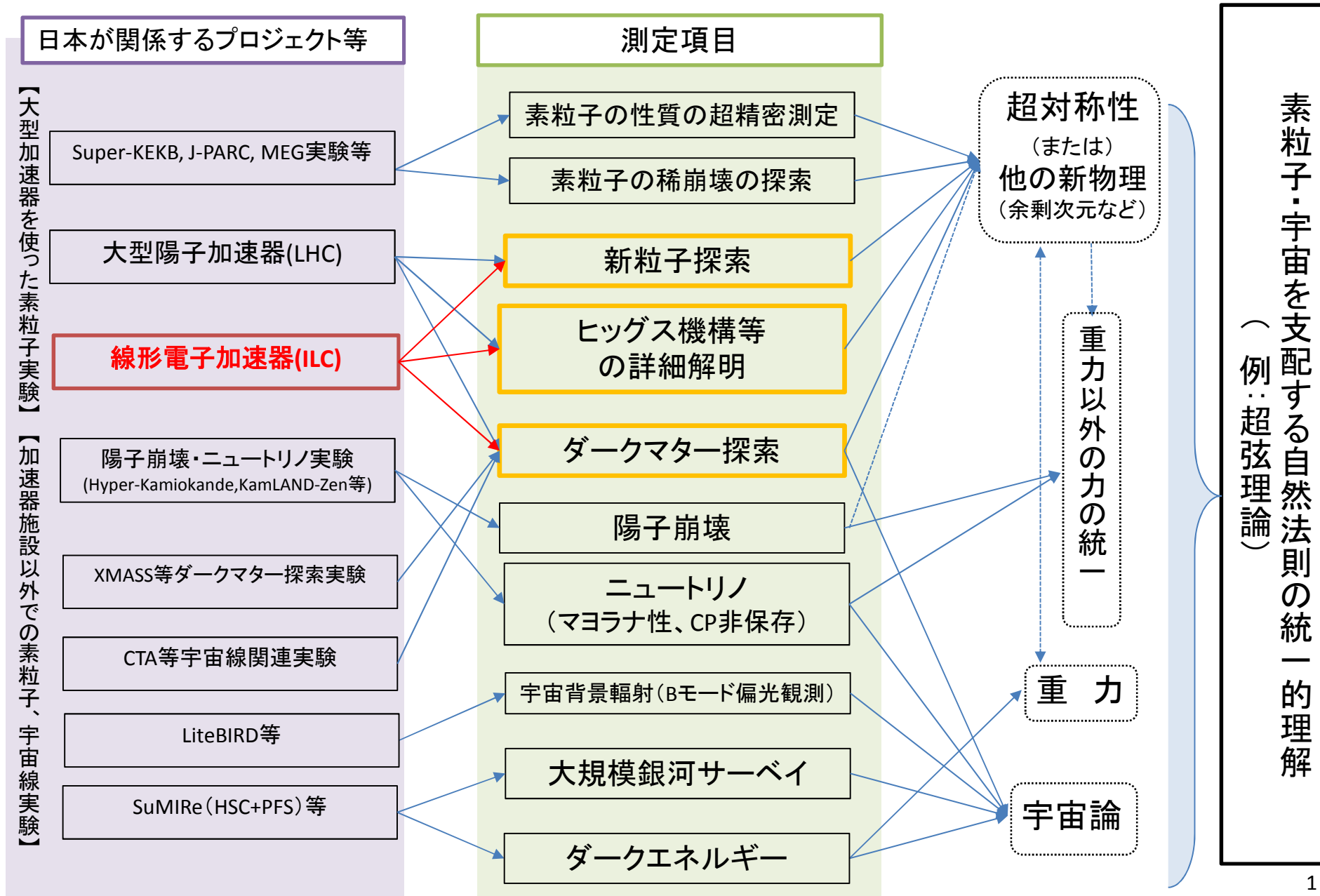


・素粒子物理学における今後の課題・研究動向・ILCの位置づけ



・大型陽子加速器(LHC)の成果に応じたILCの物理学的意義の整理

(1)LHCで期待される成果	(2)今後の物理における優先課題	(3)左記についてILCが貢献可能な研究課題	(4)左記のILCにおける発見の科学的インパクト	(5)備考
<b>【1. 新粒子の発見】</b>				
超対称性と思われる事象の発見	超対称性の解明	①カラーを持たない超対称性粒子(SUSY)の発見 ②ヒッグス粒子の精密測定からLHCでの発見との関係を明らかにし、超対称性を確立し、その破れの機構の解明を目指す。 ※①では暗黒物質の同定を期待。	超対称性の存在を証明	左記①について、ILCに必要な性能はLHCで発見されたSUSY粒子の質量に依存 左記②については、ILCの性能が基本設計値の250GeV-500GeVで観測可能
複合ヒッグスと思われる重い粒子の共鳴状態の発見	新しい力の解明	ヒッグス粒子とトップクォークの性質の詳細測定により、LHCでの発見との関連を通してヒッグス粒子の複合性(ヒッグス粒子が素粒子でないこと)を確認する。	複合ヒッグス粒子の確認  (新しい『強い力』の発見)	ILCの性能が500GeVで観測可能
レプトンペアに崩壊する新粒子の発見	新しいゲージ相互作用の解明	LHCで発見された粒子と、標準理論の中性ゲージボゾンとの干渉を精査し、新しいゲージ相互作用(力を与える粒子群)を確定する。	新しいゲージ相互作用の確立 (新しい『弱い力』の発見)	ILCの性能が500GeVで、新粒子の相互作用の詳細決定、及び理論の絞り込みが可能
<b>【2. ヒッグス機構等の詳細解明】</b>				
ヒッグス粒子の三点結合(自己結合)の測定	標準理論からのずれを高精度で測定	ヒッグス三点結合のずれを測定し、ヒッグスポテンシャルを決定することにより、ヒッグス機構の確認。 ①ずれがないことを観測 ②ずれがあることを観測	①の場合、標準理論の確認。 ②の場合、標準理論を超える現象を確認。 ※これにより、宇宙の物質・反物質非対称性を説明するなどの理論の検証につながる	ILCの性能が500 GeVで約30%の精度で測定可能。 1TeVへのエネルギー高度化後に高精度測定が可能。
トップ質量とヒッグス質量の測定	より高い精度での2つの粒子の測定	トップ質量、ヒッグス質量を詳細に測定し、新しい物理のエネルギースケールを同定する。	標準理論の適用限界を探る (真空の安定性に決着)	ILCの性能が500GeVで観測可能

電弱対称性の破れの起源

新しい力

「真空」の物理

(1)LHCで期待される成果	(2)今後の物理における優先課題	(3)左記についてILCが貢献可能な研究課題	(4)左記のILCにおける発見の科学的インパクト	(5)備考
----------------	------------------	------------------------	--------------------------	-------

### 【3. 上記以外の新現象の発見】

暗黒物質と思われる事象の痕跡を発見	暗黒物質の解明	単独光子事象などの研究で、LHCで発見された新現象の性質を精査し、観測した粒子が暗黒物質であることの同定を図る。	これまで未発見の暗黒物質をはじめて観測宇宙の構造形成に迫る	暗黒物質 余剰次元	LHCで発見できれば、ILCの性能が500GeVで観測可能
余剰次元のヒント※と思われる現象の発見 (※複数の重い粒子の共鳴状態の発見等)	他の実験での同類の現象の発見による新現象の解明	カラーを持たない類似の粒子の探索や、標準粒子生成過程、ヒッグスやトップの精密測定を行い、LHCでの発見との関係を明らかにすることで、余剰次元解明の第一歩となる。	余剰次元の探索の足がかりを観測拡張された時空の発見		LHCで発見できれば、ILCの性能が500GeVで観測可能

### 【4. 標準理論を超える発見なし】

LHCにおいて標準理論を超える新現象・新粒子の発見や兆候が見られなかった場合、ILCでの新物理の方向を探求する研究の戦略は以下の通り。

- (1)ヒッグス粒子と他の素粒子との結合定数の精密測定を行い標準理論の予言からのずれを精査し、ずれのパターンから電弱対称性の破れの原因を探ることで素粒子物理学の今後の方向を見極める。
- (2)トップクォークの質量とヒッグス粒子の質量の精密測定から、標準理論の適応限界スケールを同定する。
- (3)トップクォークとZボゾンやWボゾンのスピン偏極に依存した結合定数の精密測定を行い、複合ヒッグスモデル、余剰次元などの物理を探る。
- (4)LHCでの超対称性未発見の原因を精査して、LHCで見えない超対称性粒子の性質を特定して重点的に探索。特に暗黒物質の候補の探索は重要。
- (5)新しい相互作用を担う中性ゲージボゾンを、Zボゾンや光子との混合によって生ずる干渉効果を観測することで、5TeVを超える質量領域まで探す。
- (6)理論で予想されていない新現象・新粒子を含めた新物理の探索のためには、事象トポロジーを分類し各トポロジー毎に標準理論で予言する分布からの有意なずれを系統的に探る。LHCで発見できない粒子でもILCでの発見の可能性はある。
- (7)ヒッグス粒子の自己結合の測定により、ヒッグスポテンシャルを決定する。さらに標準理論の予言からのずれを探す。

これらの研究は250GeV-500GeVにおいて確実に実行可能。電子・陽電子衝突の特徴であるバックグラウンドが低くクリーンな実験環境と理論の予言の正確さを用いて、エネルギースキャン(エネルギーを少しずつ変えながら測定)、電子(陽電子)のスピン偏極、エネルギー・運動量の保存を適宜駆使して新物理を探求する。(4)の探索はビームエネルギーより小さい質量の粒子に限られる。(7)は500GeVでの誤差は30%、1TeVアップグレードでの誤差は10%。

#### 記入要領:

- (1)LHCで期待される成果:考えられる場合を記述
- (2)今後の物理における優先順位付け:LHCでの成果を踏まえ最も優先される課題を記述
- (3)ILCで可能な測定:具体的に考えられている研究内容を記述
- (4)ILCでの成果のインパクト:(2)の優先課題の解決に対し、ILCの成果がいかに貢献したか、そのインパクトを具体的に記述
- (5)備考:LHCでの成果が得られたエネルギー領域とILCに求められる性能の関係性について記述

国際リニアコライダー（ILC）に関する有識者会議への進捗報告  
（素粒子原子核物理作業部会）

・これまでの検討内容・意見等

1. 概要（検討事項）

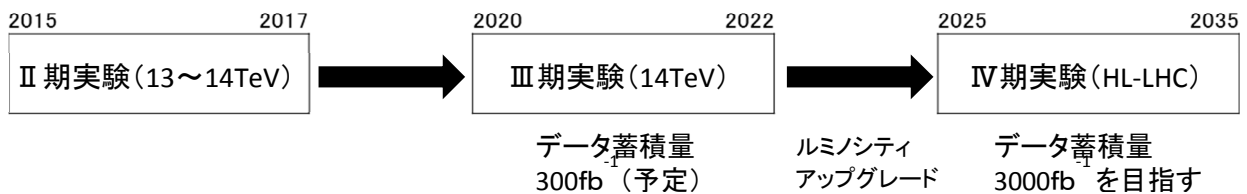
- （1）素粒子原子核物理学分野における将来の目標と ILC の位置付け
- （2）上記のうち、既存加速器（LHC 等）で見通せる成果
- （3）上記のうち、ILC が目指す成果及びその際の性能

2. 将来の素粒子物理学（高エネルギー分野）の目標に対しての ILC の役割

○素粒子物理学における究極の目標は、素粒子・宇宙を支配する自然法則の統一的理解である。この理解に至るまでには、重力以外の力の統一や、超対称性、あるいはこれら以外の新たな物理について実験的に研究していくことが重要と考えられている。

○これらを研究するために、エネルギーフロンティア加速器 LHC により超対称性粒子などを直接観測する方法が取り組まれてきている<sup>\*</sup>。それと共に、大強度を目指した加速器である KEKB や J-PARC などでの間接的な探索を含む様々な研究が進められている。

※LHCの実験スケジュール



<sup>\*</sup>fb<sup>-1</sup>(インバースフェムトバーン): 衝突量を表す単位。現状の LHC では 1fb<sup>-1</sup> は約 70 兆回の衝突に匹敵する。

○現在 LHC において探索が進められている新しい物理現象が発見されるか否かにかかわらず、電子・陽電子衝突型加速器の次世代計画として提案されている ILC は、その特徴であるバックグラウンドの少ないクリーンな実験環境において LHC での実験の限界を超える研究能力のある実験施設であり、精密測定や新粒子・新現象の探索により新しい物理の全容解明に貢献し得る点で重要である。

○ILC の目指す研究は基本的に素粒子の標準理論を超える新物理探索と解明で、その内容は以下の通りである。

- （1）ヒッグス粒子やトップクォークの詳細研究から標準理論を超える物理の証拠を探索する
- （2）超対称性粒子などの新物理の探索、及び発見された場合その詳細研究<sup>\*</sup>
- （3）その他

※LHC で新たな物理が発見される場合、それが ILC のエネルギー範囲や測定精度で到達し得るかにも留意が必要

### 3. LHCの成果を踏まえた ILC 等のシナリオ

(1) LHC で新粒子 (超対称性や複合ヒッグスと思われる粒子) が観測 (発見) された場合

今後: ILC により、LHC での発見との関連を通して、新粒子の背後にある物理現象を  
解明する。エネルギーが十分であれば電子・陽電子における測定は新しい物  
理を広範囲に理解するのに大変有効。

効果: 超対称性の存在の証明、あるいは複合ヒッグス粒子の確認などにつながり、  
大きな発見や研究の進展が期待される

(2) LHC でヒッグス粒子にかかわる測定で標準理論からの大きなずれが見えた場合。

今後: LHC では困難なヒッグスの自己結合や質量、トップクォークの結合や質量の  
精密測定によって、標準理論からのずれや新しい物理のエネルギースケール  
を同定する

効果: 標準理論を超える事象が確認されれば大きな発見であり、その後、新たな理  
論構築に向けた研究の進展が期待される

(3) 上記以外の新現象 (暗黒物質や余剰次元) と思われる事象の兆候を観測 (発見) され  
た場合

今後: LHC で発見された新現象の性質を ILC で精査

効果: 暗黒物質の初観測や余剰次元の探索の足がかりを観測し、大きな発見と研究  
の進展が期待される

(4) LHC で標準理論により説明できない現象が全く観測されない場合

今後: ILC で LHC では精査が困難なヒッグス粒子の詳細解明を行い、ヒッグス機構  
の背後の標準理論を超える物理 (超対称性理論、複合ヒッグス理論) を見極  
めることや、LHC での未発見の原因を精査し、LHC では探索が困難な超対称性  
粒子等の性質を特定して重点的に探索するなど、ILC を活用した複数の戦略  
が考えられる。

効果: 超対称性等が発見された場合は大きな発見となる。LHC で発見できない粒  
子でも ILC での発見の可能性はある。

**※いずれの場合も、必要な加速器のエネルギーなどの性能を考慮のうえ、期待され  
る成果が投資に見合うと広く認識されるかの検証が必要**

-----  
(以下、今後議論)

### 4. 特定の課題に特化して新物理を探索するアプローチ

### 5. 国際協力と人材養成