

ILC に関する国内外の動き

前回の報告（平成 29 年 1 月）以降の最も特筆すべき動きは、250GeV からのステージング案に関する議論の進展である。昨年 12 月盛岡で開催されたワールドワイドなリニアコライダーワークショップ LCWS2016 を契機に始まったこの検討は、国内では、高エネルギー委員会のもとに設置された「ILC250GeV Higgs Factory の物理意義を検証する委員会（通称：浅井委員会）」において ILC に直接関わっていない研究者の中立的な視点から、また、国際的には、リニアコライダーコラボレーション（LCC）の物理ワーキンググループやパラメータワーキンググループを中心に ILC コミュニティの視点から進められた。浅井委員会の検討結果は、7 月 22 日に開催された拡大高エネルギー委員会に報告され、その検討結果に基づいて、高エネルギー物理学者会議（JAHEP）として ILC を 250 GeV Higgs Factory として早期に国内建設することを提案する声明が採択された[1]。この提案は、リニアコライダーボード（LCB）でも議論され、11 月には ICFA で議論され正式に承認される見込みである。500 GeV から 250 GeV への初期エネルギーの変更に伴い、ILC 物理の戦略の再最適化が行われ、解析手法などにいくつかの重要な進展があった。これらについては後述する。LCC では、これと並行して、250 GeV でのルミノシティの最適化やコスト評価が進んだ。

これらの動きと並行して、国内では、文科省の「国際リニアコライダー（ILC）に関する有識者会議」が、2015 年の中間まとめ[2]でも課題としてあげられていた ILC の体制やマネジメントの検証を行うため、2017 年 2 月に「体制及びマネジメントの在り方検証作業部会」を設置した。作業部会は 6 月までに報告書をまとめたが、これは、有識者会議からの報告として既に公表されている[3]。今後は、13 TeV LHC のこれまでの結果や、250 GeV Higgs Factory の提案などが検討されることが予想される。

また、素核研 ILC グループが中核研究所の一つとして参加している International Large Detector (ILD)測定器グループでは、後述のように、測定器フルシミュレーションのためのソフト群を刷新し、それを用いたコストの低減の可能性も含めた全体設計の再最適化の準備が進んでいる。これらの検討結果を踏まえて、欧州戦略の入力として ILD の物理と測定器検討のまとめを作る方向で作業を行なっている。

物理の検討

これまで、素核研 ILC グループは、LCC や ILD などの国際的な枠組みを通して、国内外の大学、研究機関と連携を取りつつ、ヒッグス粒子およびトップクォークの精密測定、新粒子／新現象探索の 3 本柱について物理の強化を進めてきた。特に、文科省有識者会議の中間まとめで指摘された「新粒子発見の可能性に関する見通しの検討」については、前回報告の後、LCC 物理WGからの報告として公表済みである[4]。しかし、250 GeV スタート案がコミュニティとして採択されたことで、ヒッグス粒子の精密測定、およびそれをプロ

ブとした新物理探索が喫緊の課題になった。250 GeVスタートでは、重心系エネルギー500GeVで可能であった、Wボソン融合によるヒッグス全幅測定が困難になるなど、ヒッグス粒子の結合定数測定において、いくつかの潜在的な問題が考えられる。標準理論を超える物理 (BSM) の対称性は、それが何であれ、標準理論の電弱対称性をその部分群として持つはずであるから、このことを考慮したEffective Field Theory (EFT)を用いた解析によって、ヒッグス粒子とWとの結合をヒッグス粒子とZとの結合と関連づけ、これらの問題を克服する方法をSLACのTim Barklow氏、Michael Peskin氏、東京大学のJunping Tian氏らと開発した。これによって、250GeVでのZh生成の測定や、W/Z粒子に関する精密測定を組み合わせることでモデル非依存にヒッグスと他の粒子の結合、および自己結合を引き出すことが可能になった[5]。強調すべき新しい知見は、ILCでは、未知数である20個を超えるEFT係数をヒッグス粒子生成過程のみならず、ヒッグス生成以外の電弱過程を偏極ビームを駆使して精密測定することにより、曖昧さを残さずに決定できることが明らかとなったことである。HL-LHCでの3ab⁻¹のデータと組み合わせると、同じ2ab⁻¹の全積分ルミノシティに

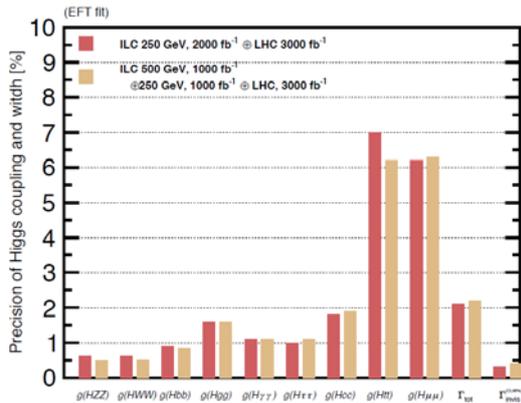


図 1: EFT 解析によるヒッグス結合定数の精度比較: 赤: 250 GeV 2ab⁻¹と HL-LHC の結果を組み合わせ合わせた場合、橙: 250 GeV 1 ab⁻¹, 500 GeV 1ab⁻¹ データを HL-LHC データと組み合わせ合わせた場合

対して、250GeVデータのみでのEFT解析をした場合と、重心系エネルギー500GeV運転を含んだEFT解析をした場合のヒッグス結合の測定精度を図1に比較した。同じ全積分ルミノシティのデータに対してヒッグス結合定数の期待される精度は同程度であることが分かる。また、250 GeVでは直接アクセスできないトップ湯川結合、分岐比の小さいミュオン粒子をのぞいて、0.5%から2%の精度での測定が可能であることが見て取れる。BSM物理の効果は、ヒッグス結合定数の標準理論からのズレとして現れると期待される。HL-LHCの新粒子発見リーチを超えるいくつかのBSM物理について、ILCでそれらをヒッグス結合のズレとして発見可能かどうか、テストしたものを図2に

によって、ヒッグス粒子とWとの結合をヒッグス粒子とZとの結合と関連づけ、これらの問題を克服する方法をSLACのTim Barklow氏、Michael Peskin氏、東京大学のJunping Tian氏らと開発した。これによって、250GeVでのZh生成の測定や、W/Z粒子に関する精密測定を組み合わせることでモデル非依存にヒッグスと他の粒子の結合、および自己結合を引き出すことが可能になった[5]。強調すべき新しい知見は、ILCでは、未知数である20個を超えるEFT係数をヒッグス粒子生成過程のみならず、ヒッグス生成以外の電弱過程を偏極ビームを駆使して精密測定することにより、曖昧さを残さずに決定できることが明らかとなったことである。HL-LHCでの3ab⁻¹のデータと組み合わせると、同じ2ab⁻¹の全積分ルミノシティに

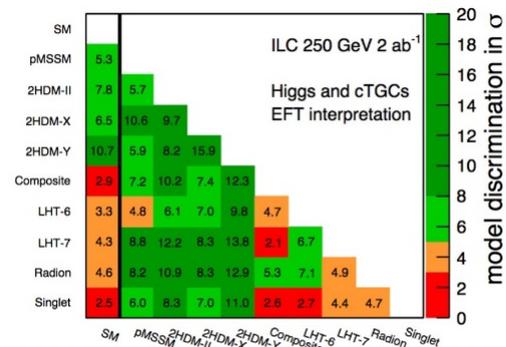


図 2: 250 GeV ILC の様々な新物理モデルへの感度を標準理論からのズレ (第一コラム)、モデル相互間 (その他のコラム) のシグマ値で示したもの

示す。多くのモデルについて、感度があることが分かる。

ILCでは、リニアコライダーの持つ高い拡張性を活かし、250 GeVヒッグスファクトリーの結果に基づいて、加速器のエネルギー増強を行うことが可能である。どのエネルギーに増強するかは250 GeVでの結果に左右されるが、500 GeV における Zhh 生成反応を使ったヒッグス粒子の三点自己結合の測定は、電弱対称性の破れの根幹に関わり、250 GeV で何が起ころうと、いずれは行う必要のある重要な課題である。前回、ILCフルデータ (H20 シナリオ) で 28%から26%まで改善したと報告したが、これはおもな崩壊過程である $Zhh \rightarrow Z(bb)(bb)$ に $Zhh \rightarrow Z(bb)(WW)$ 過程が混ざった状態である。そのため、現在、 $Zhh \rightarrow Z(bb)(bb)$ 解析と $Zhh \rightarrow Z(bb)(WW)$ 解析のオーバーラップを評価し、ヒッグス自己結合測定精度評価の精密化が進んでいる。また、 Zhh 反応を用いた自己結合測定は、断面積に標準理論からのズレが観測されたとしても、自己結合を含まないファイマン振幅に異常がある場合との区別ができなければ、モデル非依存には成し得ないが、この問題を克服するEFTを用いたモデル非依存な解析手法を開発したことは特筆される[6]。

ヒッグス粒子が関与する CP の破れは、 hZZ あるいは hWW の異常結合としても現れうる。この異常結合の測定精度をEFTにより見積もる、総合的なフルシミュレーションによる解析が進行中である。ヒッグスとゲージボソンとの結合に現れると期待されるCPを破る異常結合に関して、新物理スケールを 1TeVとおいた場合、H20シナリオで0.7%(1 σ)の感度が得られている。現在、可能な運動学的情報の全てを駆使した行列要素法の適用によるさらなる精度向上の研究が進んでいる。

ヒッグス粒子とともに電弱対称性の破れの物理と強く関わっていると期待されるのがトップクォークである。前回報告でトップクォークの異常結合測定に関して報告したが、それ以後も研究が進められている。ILD 測定器のフルシミュレーションに基づく、重心系エネルギー500GeVでのトップ対生成の研究で、終状態が bジェット2本とW崩壊からの荷電レプトン2つの場合の完全な力学的再構成を行い、行列要素法によって ttZ 結合に現れると期待される異常結合を形状因子としてフィットするものである。一方、250 GeVでは、トップクォークの直接生成が不可能であるので、同じ第三世代クォークであるbクォークのつい生成を用いた異常結合の探索の検討も進んでいる。

前述の通り、ステージングシナリオにより、重心系エネルギー250GeVでの物理の検討が重要であるが、ヒッグス粒子研究以外の物理を追求することも必要である。現在、250GeVにおける新たなゲージボソン Z' の間接測定可能性を検証する研究が進められている。これは $e^+e^- \rightarrow Z' \rightarrow ff$ 過程への新物理の干渉効果による、生成されたフェルミオン対の角度分布のずれから見積もることができる。現在、レプトン対に崩壊する場合の Z' 間接測定可能性が検証されており、特に Z' 質量 2.5TeVの場合、特定の Z' モデルは棄却可能であることが分かってきた。また、250 GeVでも、LHCでは発見の難しい、圧縮された質量スペクトルを持つ新粒子(典型例としてヒッグシーの探索)や、暗黒物質が発見される可能性がある。これらの新粒子探索についても検討が進んでいる。

ソフト開発および GRID 環境整備

物理検討を下支えするのが、シミュレーションのためのソフト群の開発や大量 MC データ生成のための GRID 環境整備である。ILD ソフトウェア・グループの中で、素核研 ILC グループはカロリメータを中心とするシミュレーション・ソフトウェアの開発と MC データプロダクションを担当している。

詳細基本設計書 (DBD) の完成後、ILD は従来の Geant4 ベースの測定器シミュレーター (Mokka) から、測定器ジオメトリーを記述する新しい枠組みである DD4Hep を使った Geant4 シミュレーションへ移行するためのソフト開発を進めてきた。測定器のモデルとして、従来とほぼ同じ大きさの L モデルと、少し小さい S モデルの 2 種類のモデルを基準モデルとして用意し、測定器の最適化を行う計画である。ハドロンカロリメータに関しては形状や読み出し技術等に関して様々なオプションがある。それらの系統的な比較研究はリソースの観点から難しいと考えられていたが、一つの形状で 2 種の異なる読み出し方法をシミュレーションする方法が開発され、この比較が可能になった。このハイブリッド・ハドロン・カロリメータ・モデルを最適化に使用することが 4 月にリヨンで開催された ILD Workshop で合意された。

新しい測定器モデルに対応した解析プログラムが開発され、そのベータ版が 7 月にリリースされた。これら二つの基準測定器モデルでは、ILC の最新パラメータに応じた修正(L* の 4.3m から 4.1m に変更)、バーテックス測定器近辺のジオメトリーの改善、Low Pt トラック (Pt \sim 0.3GeV/c) や前方トラックのトラッキング効率の改善、最新の PFA 解析プログラムの組み込みとより細かいキャリブレーション、Particle ID 等の LCFIPlus の新しい機能の組み込みなども行われている。これら二つの基準モデルに対する系統的テスト MC プロダクションを 7~8 月にかけて行い、問題点の洗い出しを行った。電磁カロリメータはシリコン読み出しが標準になっているがシンチレータ読み出しとのハイブリッド・電磁カロリメータ・モデル(ILD_15_v02 と ILD_s5_v02)が新しく開発され、MC プロダクションでの使用の可否判断のため検証を進めている。

MC プロダクションに関しては、多数のジェネレータ・プロセスを少数のプロダクション・タスクで処理できるように ILCDirac システムを改善することが昨年来の課題であった。そのため、ILD 固有のディレクトリー構造とファイル名規約を、CLIC グループと共用している ILCDirac の中で処理できるようにする必要があった。そこで、3 月に CERN を訪問し、この問題に ILCDirac 開発チームとともに取組み、この問題の解決を行った。5 月以降、この方式による MC プロダクションが行えるようになり、物理グループからの要請によるプロダクションをより迅速に行えるようになった。また、生成したデータの管理のために日本歯科大と協力して ELOG サーバーの運用を始めた。7 月のベータ版リリース以降、ELOG を用いたデータプロダクションを行い、ILD グループに提供した。7 月初め以降の

データ生成状況を図 3 に示す。

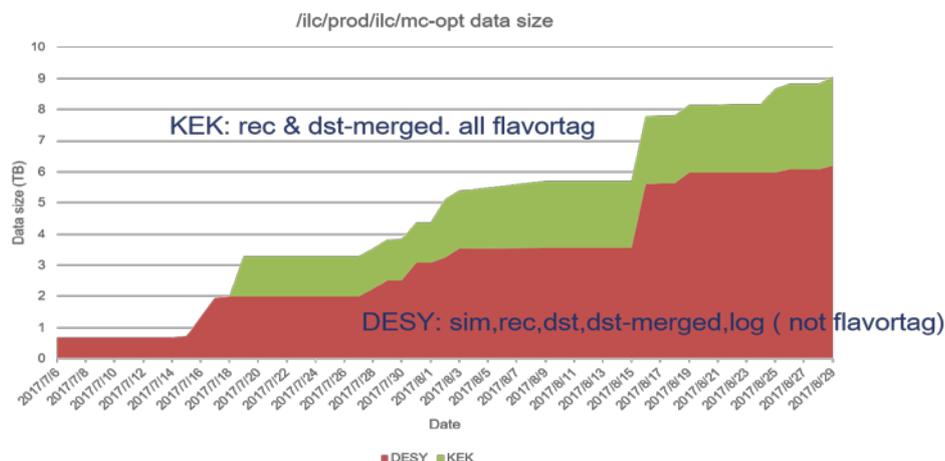


図 3：新しいシミュレーションの枠組みによる MC データ生成の実績

最適化のプロダクションでは、イベント生成のために Whizard2 ジェネレータを使用する予定であるが、この開発が遅れている。従って、近々予定している最適化のプロダクションでは DBD で使用した 500GeV のデータを用いる予定である。一方、ILC 250 の物理ケースの研究のためには Whizard2 を用いることが望ましいと考えている。ILD の新しいシミュレータや解析プログラムも Whizard2 で提供される新しい機能にも対応しておくことが望ましい。そのために 9 月に ILC ジェネレータグループとプロダクショングループが集合し、Whizard2 を用いるにあたっての課題（データフォーマット、様々なファイルの分類方法、メタデータの管理など）について洗い出し、今後の開発方針を確認した。

ILC のための測定器開発研究の進捗

物理シミュレーションに基づく現実的な測定器設計の最適化には、それを支える各測定器要素のハードウェア開発が不可欠である。日本の ILC 物理／測定器グループは ILC グループの主要メンバーとして、特に、ILD 測定器の設計原理である Particle Flow Analysis (PFA) の要となる主要測定器要素、すなわち、バーテックス検出器 (VTX)、主飛跡検出器 (TPC)、および精細カロリメーター (CAL) に力を入れて開発研究を進めている。素核研 ILC グループは、特に VTX および TPC の国内開発拠点となっている。また、素粒子原子核研究所の低温グループと協力して超伝導ソレノイドの設計や 2 相 CO₂ 冷却システム (2PCO₂) 開発を行っている。更には、ILC 物理測定器グループにおいても、加速器と関連の深い Machine Detector Interface (MDI) 部分、ILC 加速器のための ATF・ATF2 による研究や陽電子源の開発等の ILC 加速器研究にも関わっている。今回は、2PCO₂ 冷却システム開発、TPC、MDI、陽電子源開発について最近の進展を報告する。

2相 CO2 冷却システム (2PCO2)

バーテックス検出器に使用されるピクセルセンサーとして、我々は高精細 CCD (Fine Pixel CCD:FPCCD) の R&D を行っている。FPCCD は放射線耐性の向上のため、 -40°C 程度まで冷却して使用する。このような冷却を実現するため、2相 CO2 冷却システムの開発を行っている。

この 2 相 CO2 冷却システムの課題の一つとして、使用する O リングの劣化がある。高圧の CO2 にさらされた O リングは内部に CO2 分子が入り込み、それが減圧された時に膨張して O リングの内部に損傷を与える (図 4)。この現象は Explosive Decompression (ED) と呼ばれる。ED を起こしにくい O リングの材質を調べるため、CO2 の加圧・減圧を行う試験装置を作製し、各種の O リングの試験を行い、2 相 CO2 冷却システムに適した O リングの材質を明らかにした。

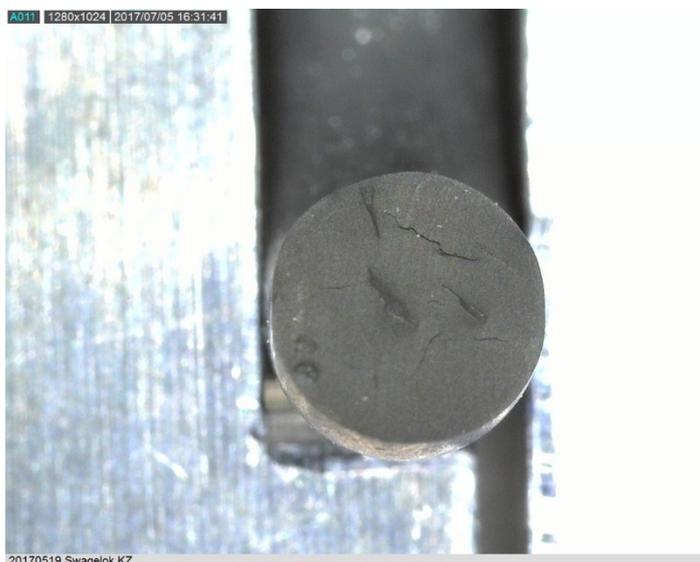


図 4: Explosive Decompression によって内部に亀裂の入った O リングの断面の写真

主飛跡検出器(MPGD 読み出し TPC)

ILD 測定器では、主飛跡検出器としてマイクロパターン・ガスディテクター (MPGD) を端部検出器とする Time Projection Chamber (TPC) を採用している。DESY、KEK、Saclay 等の主要研究所と多くの大学チームからなる国際研究組織 LCTPC コラボレーションの枠組みの中で、その研究開発を進めている。その中でも、KEK と佐賀大学や広島大学等の大学チームからなる国内グループは、清華大学や IHEP (北京) とも協力して LCTPC アジア・グループとして、Gas Electron Multiplier (GEM) を増幅装置とする端部検出器の開発研究を進めている。特に LCTPC アジア・グループとして最重要課題に位置付け、集中して進め他のが企業 (フジクラ) とともに開発した実機サイズの高開口度 GEM 型陽イオンゲート装置を搭載した TPC 端部検出器の磁場中での電子ビームによる性能試験である。LCTPC コラボレーションは、ドイツ DESY 研究所に、端部検出器の電子ビームによる性能試験のための大型プロトタイプモジュール (LP) と超伝導ソレノイドマグネット (PCMAG: これは KEK-DESY 共同研究により設置した) を設備しているが、前回報告で紹介したように、この試験装置を用いて 2016 年 10 月末から 11 月中旬まで、DESY にて TPC 端部検出器のビーム試験を行った。陽イオンゲート装置が要求される性能を満たすか否かは、ILD の主飛跡検出器として MPGD-TPC が解となりうるか否かを左右する最重要の課題である。今回の実験では、光学的開口度 80% 以上の GEM 型ゲート装置を搭載した検出器の

性能と開口度 100% の場合の性能とを比較するため、GEM 型ゲート装置の代わりに電場成型器 (Field shaper) を搭載した検出器の 2 台の試験を行った (図 7 参照)。

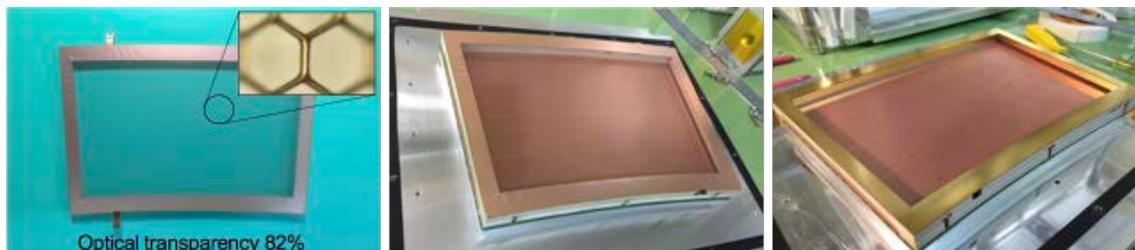


図 5 図: (左) 実機サイズの高開口度 GEM 型ゲート装置、(中) GEM 型ゲート装置を搭載した端部検出器、(右) 電場成型器を搭載した端部検出器

今回のビーム試験の重要ポイントは、陽イオンゲート装着による位置分解能の劣化が十分低く抑えられるかどうか、そして、電子透過率が粒子ビームに対しても 80% 以上になっているかどうかである。図 7 に、ドリフト距離の関数として位置分解能を、ゲートを装着した場合 (赤) としない場合 (黒) についてプロットした。この図から位置分解能の劣化は、十分低く抑えられていることが確認できる。ゲートの有無による電荷量変化から求めた電子透過率は 82% で、光学開口率とコンシステントである。現在、エネルギー損失分解能も含め、ビーム試験データの様々な解析が進んでいる。

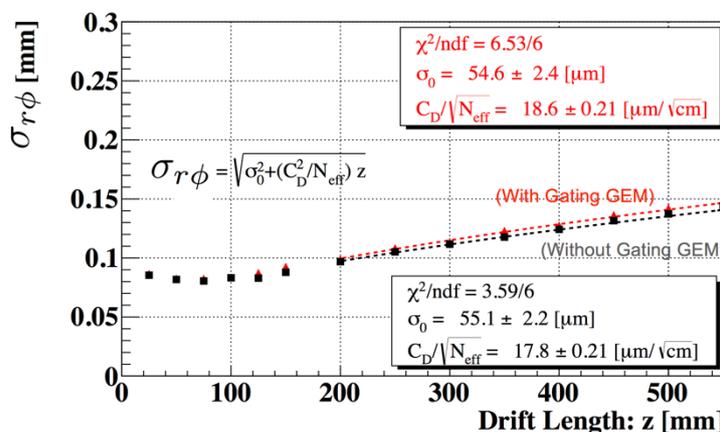


図 6: ドリフト距離の関数としてプロットした位置分解能: ゲート有り (赤)、ゲート無し (黒)

加速器- 測定器インタフェース (MDI) と実験室周りの検討

ILC ステージングの検討の一貫として、重心系エネルギー 250 GeV のルミノシティ増強案が検討されている。この増強案では、ビームのコリメーション条件を満たすように垂直方向のビームサイズはそのまま、水平方向のエミッタンスつまり水平方向のビームサイズが小さくなり、ビームストラールングが増える。これに伴う実験、測定器への影響をシミュレーションにより評価した。バックグラウンドは許容可能範囲内であった。この検討で、250 GeV での影響を重心系エネルギー 500 GeV 時とほぼ同等に抑えるとの条件下で、ルミノシティを数 10% 増強できることが分かった。さらに増強するためには、バーテックス検出器の最内層半径を約 1 mm ビームラインから遠ざけるか、ソレノイド磁場を 3.5 テスラから 4 テスラ

にする必要があることも判明した。

実験室関係では、測定器の運転に必要なユーティリティと、そのためのユーティリティ室の地下実験室の近くでの配置の検討を開始した。並行して、素核研・低温グループとともに、anti-DID の製作方法を検討し、さらに、anti-DID を超伝導ソレノイド電磁石へ組み込んだ際に働く電磁力に耐え、安定に支持する方法の検討を開始した。また、地下実験室での超伝導ソレノイド電磁石の運転中の液体ヘリウムリーク事故時の安全性について、シミュレーションにより実験室内の安全性を確かめた。ここでは、ILD と SID の二つの測定器用ソレノイドがそれぞれのガレージポジションで同時にリークを起こした場合について、そのヘリウムガスの流れをその比率の関数として動的にシミュレーションした。下図はリーク後 2, 6, 15 秒後の状態を示している。ヘリウムガスは直径 18m の垂直シャフトと地下実験室の最上部にとどまりその下部は安全であることが確かめられた。

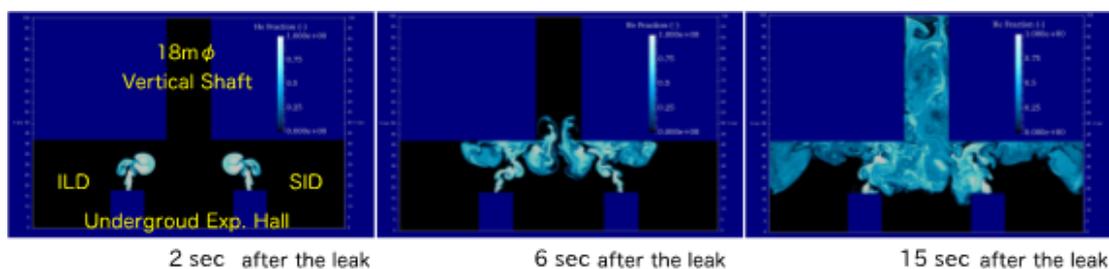


図 7: 実験室内でのヘリウムガスリークのシミュレーション

陽電子源開発

素核研 ILC グループでは、物理検討や測定器開発に加えて、物理に触発された偏極陽電子源開発や物理屋の得意とする電磁シャワーシミュレーション等の手法を活かした陽電子源の研究開発を行っている。この研究は加速器研究施設、原研、広島大学、ANL、DESY、ハンブルグ大学、CERN、IHEP、BINP などと共同で、リニア・コライダー・コラボレーション (LCC) の ILC 陽電子源グループとして一体となって進めている。

ILC ではアンジュレーターによる偏極陽電子源がベースラインである。偏極が得られることが利点であるが、陽電子生成回転ターゲットの高速回転と高真空の両立、熱とストレスの問題、陽電子生成後にターゲットを通り抜けた光子の処理 (photon dump) などが厳しい課題である。また電子側と陽電子側が完全に一体となることによる運転の難しさ、特に低エネルギー衝突実験時やコミッショニング時の難しさがある。そのため ILC 陽電子源グループではアンジュレーターによる偏極陽電子源の困難を克服する努力をすると同時に、建設に関する技術的リスクを最小化するためにコンベンショナル陽電子源の開発を並行して進めている。

KEK のグループは主としてコンベンショナル陽電子源の開発を中心に進めている。コンベンショナル陽電子源でもアンジュレーター陽電子源と同様に回転ターゲットを用いるが、

要求される回転速度はアンジュレーター陽電子源に比べて有意に小さく(1/20)、難易度は相対的に低い。しかし、それでもかつてない挑戦的なターゲットであり、設計検討を進めるとともに、試作品を作って確認する必要がある。素核研のグループは、主としてこのコンベンショナル陽電子源の陽電子生成回転ターゲットの研究を行っている。

回転軸を含む中央部分の試作機を一昨年昨年度完成させ、その試作機を使った真空試験を広島大学と共同で昨年度末に開始した。その状況(2017年6月)を図8の写真に示す。2017年2月から回転を伴う5ヶ月強の連続真空試験を行い、ILCの要求する 1×10^{-6} Paより良い真空度を回転中に達成できることが確認された。これはコンベンショナル陽電子源の確実な実現に向けて大きなステップと考えている。ただし時々真空が悪化する現象や、真空度が長期的には少しずつ悪くなる現象などがみられ、これらの原因を追求するために、各種の条件を変えて試験を継続している。この試験を継続し、その知見をもとに改良した設計を今後行う予定である。

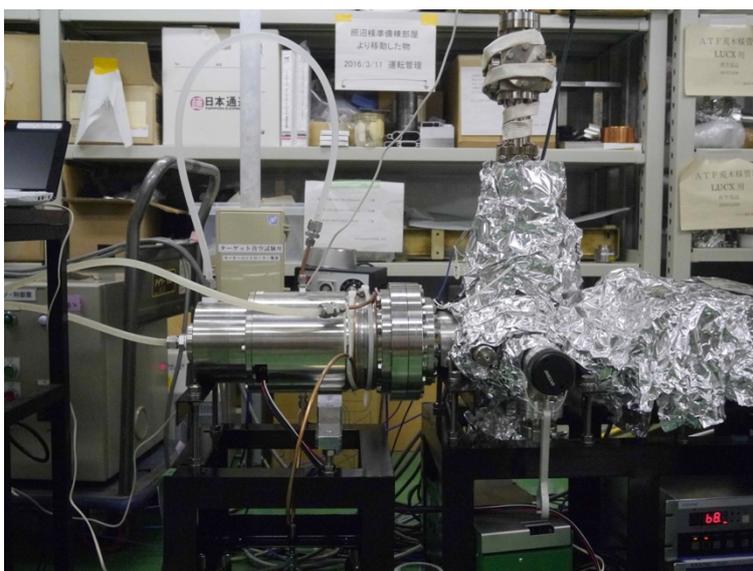


図 5 : 陽電子生成用回転ターゲット中央部の試作機

250 GeVからのステージング案は、陽電子源の設計や技術選択にも大きく影響する。今年度はコンベンショナル陽電子源の詳細なコスト評価を行った。その結果コンベンショナル陽電子源を用いることで ILC 計画全体のコストを下げる事ができることが分かった。

陽電子源の技術選択は期待される物理成果に影響する。今後はこれらを物理研究者と加速器研究者の間でよく情報交換し、各種の技術選択の利害得失を理解した上で合意形成を図っていく必要がある。素核研 ILC グループはこの合意形成をリードしていきたい。

一方、上記と並行して物理に触発された逆コンプトン散乱ベースの偏極陽電子源開発も行なっている。これに関しては「自発発振・光蓄積空洞の原理検証(科研費、基盤 A、課題番号 25246039、H25-29)」を得て研究を進めている。CW 運転において自発的な発振によって、フィードバック制御を一切行うことなく 19 万倍という高い増大率でレーザー光を光空洞内に蓄積することに成功し、このアイデアの基本的な正しさを実証した。加速器ビームとレーザー光の効率の良い衝突のためにはパルス運転ができる自発発振・光蓄積空洞が必要である。この現在はパルス化の研究を進めている。

参考文献

- [1] 「[LHC RunII のこれまでの結果を踏まえた ILC の化学的意義と ILC の早期実現の提案](http://www.jahep.org/files/JAHEP-ILCstatement-20170722.pdf)」
<http://www.jahep.org/files/JAHEP-ILCstatement-20170722.pdf>
- [2] ILC に関する有識者会議 「これまでの議論のまとめ」 ,
http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/shinkou/038/index.htm
- [3] ILC に関する有識者会議 「体制及びマネジメントの在り方の検証に関する報告書」 ,
http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/shinkou/038/gaiyou/1393962.htm
- [4] “The Potential of the ILC for Discovering New Particles”, LCC Physics Working Group, [arXiv: 1702.05333](https://arxiv.org/abs/1702.05333).
- [5] “Improved Formalism for Precision Higgs Coupling Fits”, Tim Barklow, Keisuke Fujii, Sunghoon Jung, Robert Karl, Jenny List, Tomohisa Ogawa, Michael Peskin, and Junping Tian, arXiv: 1708.08912 <https://arxiv.org/abs/1708.08912>.
- [6] “Model-Independent Determination of the Triple Higgs Coupling at the e^+e^- Colliders”, Tim Barklow, Keisuke Fujii, Sunghoon Jung, Michael Peskin, and Junping Tian, [arXiv: 1708.09079](https://arxiv.org/abs/1708.09079).