

## 会議報告

## 国際ワークショップ LCWS12, IEEE Special LC event 報告

松田 武\*・田内 利明\*

Report on the International Workshops of LCWS12 and IEEE Special LC Event

Takeshi MATSUDA\* and Toshiaki TAUCHI\*

## 1. はじめに

本報告は昨年10月21日-26日に米国テキサス州アーリントンで開催されたリニアコライダーワークショップ (LCWS12) 会議とその翌週の10月29日-11月3日にカリフォルニア州アナハイムで開催された2012 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference (IEEE/NSS/MIC) の特別プログラムとして企画されたLCイベント (Special Linear Collider Event: 10月30日-31日) の報告である。それぞれの会議のプログラム及び講演スライド、また、会場や会議風景のスナップ写真などへのリンクは以下のとおりである。

<http://ilcagenda.linearcollider.org/conferenceOtherViews.py?view=standard&confId=5468>

<https://indico.desy.de/conferenceDisplay.py?confId=6537>

## 2. GDE 会議：TDR の完成と新 LC 推進組織へ

今回の LCWS12 の GDE 会議の第一目的は、2012 年末の詳細な審査に向けて ILC の技術設計書 (TDR) を最終確認することであった。ILC 物理ディレクター (山田作衛氏) と ILC 測定器コンセプトグループ (ILD グループ及び SiD グループ) 他がまとめる ILC での物理と測定器についての詳細基本設計書 (DBD) とともに、この TDR は 2012 年 12 月 13 日-14 日に高エネルギー

加速器研究機構 (KEK) で開催される ILC のプログラム諮問委員会 (ILC PAC) で国際的に審査される。TDR の完成は GDE の最後のマイルストーンであり、この審査後に TDR は最終決定され、来年 6 月に将来加速器国際委員会 (ICFA) に提出される。このため、GDE 会議では TDR を最終確認するセッションが設けられた。TDR の著者、共同研究者及び編集者が集まり、残された問題、図等も含めて内容の妥当性と不足部分、参考論文リストの充実などについて議論が行われ、詳細審査への準備も始められた。筆者 (田内) はその中の Beam Delivery System (BDS) と Machine Detector Interface (MDI) とのジョイントセッションに参加した。特に MDI は TDR や DBD のいろいろのところで記述されるため、それぞれのテキストを見ながら内容の重なりや整合性のチェック、1つ1つの図のチェックも行った。

今回の GDE 会議では ILC と CLIC の共同で 4 つの特別ワーキンググループと前々回からの 7 つの加速器ワーキンググループによるセッションが設けられた。前者は GDE のプレナリーセッションであり、後者はパラレルセッションであった。4 つの特別ワーキンググループは、ILC と CLIC に共通の課題ごとに設置され、そのテーマは、a) 電力消費、b) エミッタンスの保存、c) システム試験 (施設)、d) コストとスケジュールであった。ヨーロッパの研究者の多くは ILC と CLIC の両方のチームに属している。これからも、少なくとも共通課題ごとに 1 つのチームとして共同研究と設計を進める将来的な展望が得られたように思う。

\* 高エネルギー加速器研究機構 KEK, High Energy Accelerator Research Organization  
(E-mail: Takeshi.Matsuda@kek.jp, Toshiaki.Tauchi@kek.jp)

GDE 会議でコストとスケジュールが公に議論されたのは今回が初めてである。TDR 完成の間近さを実感させるものであった。コスト評価は ILC と CLIC で『価値評価 (Value estimation)』という同じ方法が採用された。この方法は ITER や LHC でも採用されたとのことである。構成部品それぞれの Value は、主な工業国での生産コストを基礎とし、仕様を満足するものについて適当な発注量を仮定して、妥当な最低購入価格として定義される。この Value は通貨の単位で表される。したがって、これはいわば“裸のコスト”評価でどの資金提供機関でも利用できるものである。Value には、ビームの(試)運転、建設開始前に必要な開発研究、建築の技術検討、概念図や各構成要素の設計、土地取得、実験のための測定器、税金、非常事態対応、インフレーションなどの費用などは含まれない。

ILC では Value の単位は ILCU (ILC Unit) で 2012 年 1 月 1 日の米ドル (USD) で定義される。CLIC CDR の場合、2010 年 12 月のスイスフラン (CHF) で定義されている。これとともに、装置の搬入・設置や試験などに必要な労働は Labor として定義される。この Labor はプロジェクトに参加する研究機関から提供され、ILC では外部委託分 (Labor の約 23%) も含まれる。Labor は人数と時間の積を単位として表される。重心系エネルギー 500 GeV での ILC と CLIC の実験開始までに必要な建設期間はそれぞれ 10 年と 7 年である。この建設期間には 1 年間の加速器システムの試運転 (commissioning) が含まれている。

Labor についての発表で興味深かったのは、LHC 建設における技術者と研究者の人員総数 (Full Time Equivalent, FTE) の 14 年間 (1995 年 - 2008 年) に渡る推移であった。人員数は技術と科学部門に大別され、その最大時に技術者約 450 人と科学者約 300 人であった。全期間では約 7,000 人 (FTE) 年であった。ILC や CLIC ではほぼ倍の Labor が評価されている。ILC のコストの詳細な審査は、PAC が選出する国際委員会によって 2013 年 2 月にロンドンで行われる。

LCWS12 では、新組織リニアコライダーコラボレーション (LCC) のディレクターである Lyn Evans 氏 (前 LHC プロジェクトリーダー) より

その組織概要が発表された。世界の主要な研究所の所長と各領域から 2 名の合計 16 名のメンバーで構成されるリニアコライダーボード (LCB) が ICFA の下に新設され、その下に執行機関 (directorate) が置かれる。Evans 氏は新執行機関の長となるが、加速器が専門のため物理担当として村山齊氏 (Kavli-IPMU 機構長兼カリフォルニア大学バークレー校) を補佐 (deputy) に指名した。ディレクターの下には ILC, CLIC, 及び物理測定器の三つのグループが置かれる。2013 年 2 月にバンクーバーで LCB と ILCSC の合同会議が開催され、正式に LCC が発足する。

次章で詳しく報告するように、LHC における“Higgs 粒子”の発見を受けて今回の会議では ILC と CLIC とともに当初は低いエネルギーから運転を開始し、順次エネルギーを増強するステージングシナリオの可能性が公に議論の俎上に上がった。特に、ステージングシナリオを前提として ILC の日本誘致を進めたいとする日本の高エネルギー物理学研究者会議の声明が森俊則氏 (高エネルギー委員会将来計画委員会委員長) によって報告された。これは“日本のイニシアティブ”として高い注目を得た。

また、Higgs ファクトリーの議論の特別なセッションも用意され、LC の他にリングコライダー、光子コライダーなどの可能性も議論が行われた。横谷馨氏 (KEK) によるセッション報告では、LC が技術的にも最も可能性が高く、“Higgs 粒子”発見後多数提案されたリングコライダーには加速器理論の面からも多くの未知の領域があり、“LC が実現されるまでの加速器理論屋の良い宿題”と報告して喝采を浴びた。

最終日の加速器と物理測定器の合同プレナリーセッションでの加速器のサマリートークで、Lyn Evans 氏は“日本のイニシアティブ”に強い支持を表明する一方、CERN での将来の高エネルギーリニアコライダーの計画として CLIC を準備すること、また、ILC と CLIC の間での更なる協力推進を提言した。測定器のグループに対しては、二つの測定器の建設準備のために“普通のコラボレーション”の形態に向かうように提言したが、この“普通”の意味は聴衆には必ずしも明確ではなかったように思う (それぞれ違った捉え方があった)。

### 3. LCWS12:LHC 最新結果の LC プロジェクトへのインパクト

2012 年 7 月 4 日, CERN は LHC (Large Hadron Collider) における ATLAS 実験と CMS 実験の共同セミナーと記者会見を開催し 125 – 126 GeV の “Higgs 粒子” の発見を報告した.

LCWS12 では LHC の結果についての二つのトークが行われた. まず “LHC Higgs: Results and Projections” (CMS 実験代表者である J. Incandela 氏 /UCSB&CERN) では, 2012 年 4 月からの LHC の 8 TeV (重心系エネルギー) 運転が非常に順調に進み, 1 日当たりの最大積分ルミノシティーは  $300 \text{ pb}^{-1}$  に達して, 10 月末の時点で約  $18 \text{ fb}^{-1}$  の積分ルミノシティーを実験に提供したことが報告された. さて “Higgs 粒子” の発見であるが, ATLAS 実験と CMS 実験は 2 光子崩壊モードでそれぞれ  $4.5 \sigma$  及び  $4.1 \sigma$  の統計精度で “Higgs 粒子” の明瞭なピークを見出し, 測定されたその他の崩壊モードも総合すると, それぞれ  $5.9 \sigma$  (126.5 GeV) 及び  $5 \sigma$  (125.3 GeV) の精度で “Higgs 粒子” を確認した. 測定された崩壊モードを見るとこの “Higgs 粒子” は標準モデルにおける最も単純な Higgs 機構による予想と矛盾しないものである.

LHC の結果に関するもう一つの報告 “Where is the New Physics? Results from LHC” (Meenashi Narain/Brown University) は超対称性 (Supersymmetric ; SUSY) 粒子をはじめとする新粒子探索について報告した. 主要な結論は “SUSY 粒子は未発見” であった. すなわち, (1) 質量 1 TeV 程度までカラーを持つ超対称性粒子 (Constrained Minimum Supersymmetric Standard Model, c MSSM : 5 つのパラメータのみに依存する最小の SUSY モデル) は存在しない, (2) 第三世代クォークの (すなわち LHC でも検出しやすいトップクォークやボトムクォークに崩壊する) 超対称性パートナーとして数百 GeV 程度の質量の stop, sbottom を含む “natural” SUSY はない (Natural SUSY では, stop, sbottom, stau, Chargino, Neutralino, Higgsino, Gluinos 以外のすべての超対称性粒子の質量は 10 – 50 TeV 程度であり, LSP は Higgsino-like である). (3)  $Z'$  をはじめとする重い新粒子

(Exotic particle) は質量 2 – 3 TeV 以下には存在しない, というものであった.

上記の LHC 報告に対応して ILC での物理についての二つのトークが行われた. 詳しくお伝えする紙面はないが, まず “Higgs Physics at LC and Requirements” (藤井恵介氏 /KEK) は, Higgs 粒子が “標準理論において不可欠で重要な仮定” から 7 月 4 日をもって事実になったことを強調した. “Higgs 粒子” は LC で手の届くところであり, 真空期待値に対応する基本的物理量の Higgs 粒子質量を LC では 30 MeV の精度で測定することが可能で (LHC では恐らく数百 MeV), 500 GeV の LC では Higgs 粒子とクォーク, レプトン及びゲージ粒子のすべての相互作用を LHC での測定の 10 倍の精度 ( $O(1\%)$ ), Higgs 粒子自己相互作用は  $O(10\%)$  のレベルで, しかも理論モデルによらずに測定することができることを訴えた.

もう一つの ILC 物理のトーク “Exploring Natural Supersymmetry” (Jenny List/DESY) では, LHC 実験は, カラーを持たない超対称性粒子の探索, そして, 前出のようにカラーを持つ超対称性粒子においても第 3 世代 (すなわちトップクォークとボトムクォーク) の軽い SUSY パートナーの探索に不向きであり, 質量 250 GeV 以下の Higgsinos や stop が存在する可能性が強調された. これらは重心系エネルギー 500 GeV の LC で発見可能で詳細な測定も行うことができることが報告された. これまでのところ LHC で SUSY 粒子は見つからないのは期待外れではあるが, Naturalness から理論的に期待の大きい Natural SUSY が LC で見つかる希望があるとの結論であった.

今年の LCWS12 は, GDE 会議における TDR と同様, 物理と測定器についての詳細基本設計書 (DBD) を全体で議論する最後の機会であった. “Higgs 粒子” の発見は LC 建設を促進するものである. 一方, 3 TeV の CLIC プロジェクトに関して, 初日のトーク “CLIC – Status, CDR, and Costs” (Stainer Stapnes 氏 /CERN) は, 衝突エネルギー 500 GeV の場合でも CLIC の建設開始を 2022 – 23 年に想定している. LHC の最近の結果も考慮して, CERN の次期計画は LHC の 14 TeV 運転や LHC のルミノシティーアップグ

リード後の結果を見て決めると CERN とヨーロッパの高エネルギーコミュニティーが決心しようとしているように思える。

#### 4. IEEE/NSS/MIC : LC 特別イベントと “日本のイニシアティブ”

今年の IEEE Nuclear Science Symposium (NSS) では通常プログラムの他に開催初日の NSS プレナリーセッション直後の午後から、一日半の LC 特別イベント (Linear Collider Special Event) が企画された。NSS プレナリーセッションの冒頭では 1,000 人以上と思われた聴衆を前に CERN 所長 Rolf Heuers 氏による 1 時間のトーク “The Large Hadron Collider: Unveiling the Universe” があった。NSS プレナリーセッションの最後に LC 特別イベントへの案内があったが、そのスライドに大きく “日本のイニシアティブ” と書かれていたのに筆者 (松田) は少々驚いた。

この LC 特別イベントの最初のセッションは CERN 所長 R. Heuer 氏の挨拶で始まり、GDE 責任者の B. Barish 氏による ILC の紹介、CLIC プロジェクト責任者の S. Stapnes 氏による CLIC の紹介、前出の村山齊氏による LC での物理の紹介が続いた。以後のプログラムは添付したリンクでご覧いただきたいが、初日の第 2 セッションでは、ILC 及び CLIC 加速器技術と LC 測定器の紹介、2 日目は LC 測定器 R&D の到達点と測定器技術のスピンオフについての報告、その後、社会及び産業界における加速器の応用のセッションが続いた。

村山齊氏のトークは Higgs の物理と LC の役割をわかりやすく説明する熱演であった。ニュートリノ質量やダークマター等の素粒子の標準理論を超える現象 (BSM) が観測されているにも関わらず、LHC では BSM が尻尾を現さず、BSM 理論をどの方向で構築すべきか当惑する理論屋を戯画化するスライド等もあって、筆者 (松田) は次期 LC での Higgs の精密測定に期待する理論研究者の苦悩の一端を垣間見た印象である。IEEE/NSS のプレナリーセッションに引き続いて行われた初日午後のセッションの聴衆の数は参加者数

を数えたわけではないが、500 名を超えていた印象を持った。IEEE/NSS の通常のセッションと並行して開催された 2 日目の参加者数は 100 名 - 150 名程度で、会社関係者も含めて LC 関係者が多かったものと思われる。

LC 特別イベントを締めくくる Forum Discussion には、CERN 所長、KEK 機構長、CLIC 計画責任者、FNAL 副所長 (加速器担当)、DESY の HEP 担当ディレクター、前出の村山齊氏に、GDE のプロジェクトマネージャーの一人である山本明氏 (KEK) がパネラーとして参加した。おそらくパネラーの事前協議による Forum の議論の方向付けのイントロダクションと鈴木 KEK 機構長による “ILC Proposal from Japan” のトークの後、全パネラーがそれぞれの立場からコメントし、その後聴衆を含めた質疑応答が行われた。パネラーのコメントと質疑応答について詳述する紙面はない。“日本のイニシアティブ” に関して、“不安定に見える日本の政治状況は心配ではないか” との質問に対し、“日本は安定した国である” との CERN 所長の簡潔な返答 (但し理由は述べなかった) に対しては聴衆から喝采が湧いたが、質疑応答におけるパネラーの返答は基本的に LC 特別イベントの開催趣旨にそうもので “日本のイニシアティブ” に強く期待するものであったと思う。

#### 5. 最後 に

LC プロジェクト、特に ILC プロジェクトの歴史は JLC/GLC, NLC や TESLA までさかのぼり、数えれば 20 年以上に至る。ILC プロジェクトが発足するころから、国内でも国外でも ILC の意義については “まずは Higgs 精密測定マシン” とする意見と “1 TeV 以上の新発見マシンでなければ意味がない” とする主張が交錯した。LHC における “Higgs 粒子” の発見と SUSY 粒子の未発見を経て、ようやく議論が落ち着いてきた感がする。いずれにせよ、ILC の日本誘致、あるいは “日本のイニシアティブ” に世界の高エネルギー研究者の期待が集まりつつあるようであるから、日本の高エネルギー物理学コミュニティーの責任は大変大きいと言えよう。