

ILCJ-CTF 第二回会合

栗木雅夫 (広島大)

ILCJ-CTFの任務

- ILC in Japanの実現のために、ILCの物理、測定器、加速器についてのR&Dを組織する。
- ILCの物理の先鋭化、明確化、広範化。
- ILC測定器の技術課題の解決（信頼性、工学設計）、性能向上、先鋭化。
- ILC加速器の技術課題の解決（信頼性、工学設計）、性能向上、先鋭化。
- 組織論的必要性：高エネルギーコミュニティ内でのプロモーション。

技術のライフサイクル

- 技術（検出器、加速器、施設）にはライフサイクルがある。
- その段階は、萌芽、発展、成熟、超熟。
- 萌芽：新規性のある技術。高い性能のポテンシャルを持ち、リスクが極めて高い。
- 発展：高い性能を持つが、信頼性が未確立の状態。
- 成熟：高い性能を持ち、一定程度の信頼性が確立された状態。
- 超熟：新規技術よりも性能は劣るが、極めて高い信頼性が確立された状態。
- 技術の特性によって、どのライフステージの技術を用いるかは異なってくる。

- 容易に交換可能、直列接続された要素の少ないシステムにおいては、発展段階から成熟段階の技術が用いられる。何故なら、信頼性が低くても、部品の交換で対応でき、かつ稼働率への影響は限定的だからである。
- 容易に交換できない、直列接続された要素の多いシステムにおいては、成熟段階から超熟段階の技術が用いられる。何故なら、信頼性が低いと、稼働率の大幅な減少へとつながるからである。
 - 復帰時間： $MTTR$ (Mean Time To Recovery)
 - 信頼性： $MTBF$ (Mean Time Between Failure)
 - 単独要素の稼働率： $A_i = (MTBF - MTTR) / MTBF$
 - 直列システムの稼働率 $\prod A_i$
 - 並列（冗長）システムの稼働率： $1 - \prod(1 - A_i)$

- 加速器：成熟から超熟の技術を用いることが多い。特に大パワーデバイス（電源、加速管）ではそれが顕著。性能の高い新しい設計よりも、性能の低い古い設計の空洞を用いる。このような技術選択は、宇宙開発、深海調査など、性能よりも信頼性を優先する分野に共通に見ることができる。
- 検出器：発展から成熟の技術。信頼性が多少低くても、定期的な交換を前提とし、かつシステムに冗長性をもたせることで高性能、低信頼デバイスを利用。このような技術選択は、意図的に冗長性を高める設計をおこなうなど、情報システムに典型的にみることができる。

プロジェクトと技術のライフサイクル

- 技術のライフサイクルという視点に加えて、プロジェクトのライフサイクル（あるいは時間効果）も考慮する必要がある。
- 実装（設計、製作、据え付け、調整等）に必要な時間(Δ_I)の技術は、運転開始よりも Δ_I 前の時点で、必要な技術ステータスに達している必要がある。すなわち、現在から X 後に運転開始のプロジェクトに対しては、開発期間は $X - \Delta_I$ である。
- Δ_I の短い技術は、現在の技術が発展段階にあっても、開発期間 $X - \Delta_I$ にて成熟させればよい。
- Δ_I の長い技術は、開発期間 $X - \Delta_I$ が短くなる。それが負の場合は、現状の技術を前提にプロジェクトを検討する。

ILCで用いるべき技術

- ILCは発案（1980年）、設計の具体化（2000年～）、設計の完成（2013年）、建設開始（2020年代～）、運用（2030年代～）という、30年以上にわたる計画。
- 技術の進展に伴い、どのような技術をどの時点で取り込むか、というのは、プロジェクトの成否をわける重要な観点。慧眼をもって新規技術を取り込むべき場合もあれば、あえて陳腐化した技術を採用する場合もある。
- 加速器の例でいうと、2004年の時点で超伝導加速器を導入したことは、慧眼だろう。この決断は、専門家集団の一年以上にわたる調査検討の結果の判断で、彼らは5-10年の技術開発で実用レベルに達するだろうという見通しを持っていた。
- 文部科学省、学術会議の有識者会議は、このような技術的見地、システム工学的見地については一貫して素人集団に見える。日本の学術界は、方針決定においてみると完全な後進国。

技術のステージング

- 以上の見地から、ILCのための技術開発を行うには、そのステージを位置づける必要がある。
- 発展段階の技術と、現時点で成熟している技術は、当然ながら異なる取り扱い。
- プロジェクトは単に技術の集合体ではなく、その統合も重要。MTTRが小さい、あるいは冗長性の高い部分は信頼性は低くても良い。一方で、その逆の技術には極めて高い信頼性が必要。
- システムへのインパクトも考慮する必要がある。システム全体に影響を及ぼす技術変更と、限定的な変更では、システムエンジニアリング的な扱いは異なる。

ILCのタイムライン

- ICFA-IDTは、当初設定したタイムラインから、最小の遅延でのILC250GeVの実現を目指している。このタイムラインを前提とする。
- 当初のタイムラインでは、建設開始は2026年であった。IDTでは準備研究所に先行して2023年から2年の加速器RDを行い、その後3年から4年で準備研究所を終えるとしているため、遅延は2-3年、建設開始は2028～2029年。
- 建設期間は準備研究所で最終決定するが、10年とすると、運転開始は2038年から2039年。
- 10年以上のILC250GeV運転を仮定すると、Energy Upgradeは2040年代末以降。

研究開発課題のカテゴリー

- 研究開発課題を、時間的特性、応用可能性の二軸でカテゴリー分けをする。
- 時間的特性
 - ILC250GeVを想定した課題を、ILC in near futureとする。これには主に発展から成熟段階の技術が該当する。
 - ILC Energy Upgradeを想定した課題をILC in far futureとする。これには、主に萌芽から発展段階の技術が該当する。
- 応用可能性
 - 一般的な応用可能性の広いものと、プロジェクト指向型の課題に分ける。
 - 応用可能性の高い技術は、技術の文脈をなるべく広くとり、幅広い共同体制により推進すべきである。
 - 応用可能性の低い課題は、プロジェクトに特化したものであるから、プロジェクトへの参加を募りつつ、組織的に推進する。

研究開発課題のカテゴリー (2)

	A) Near Future	B) Far Future
1) Generic	A1: ILC250での利用が想定され、かつ一般的応用可能性が高いもの	B1: ILC Upgradeでの利用が想定され、一般的応用可能性が高いもの
2) Project Oriented	A2: ILC250での利用が想定され、かつ一般的応用可能性が低い、プロジェクト遂行に必要なもの	B2: ILC Upgradeでの利用が想定され、かつ一般的応用可能性が低い、プロジェクト遂行に必要なもの

- A1,B1の課題は、一般的応用可能性が高いため、広い技術的文脈の上に位置づけが可能で、幅広い共同研究の可能性を持っている。また、技術的なインパクトも高いため、競争的資金での実施が適している。よって、これらの課題へは共同研究の組織づくりと予算申請への支援を行う。
- A2,B2の課題は、プロジェクト遂行に必要なものであるが、一般的な技術的な文脈の上での位置づけが困難な課題である。これらの課題については、組織的推進が必要であり、直接的な研究資金の支給を行う。

A1: Near - Generic

- 深層学習/機械学習による事象再構成（シャワー、V0粒子、二次崩壊点、フレーバー）
- ILC半導体検出器:LGAD, SOI
- SKEKB-ILC-LHC物理シナジー検討：ヒッグスと結合する新奇物理（ダークフォトン、LFV Higgs decay、荷電ヒッグス、Heavy neutrino）
- GAN（Generative Adversarial Network）によるBG疑似イベント生成など、計算機資源の共有、節約。
- ILCにおける τ g-2測定
- ILCにおける τ EDM測定
- ヒッグス自己結合測定：Di-Higgs @HadC & LepC
- Exotic physics search at Beam dump（ビームダンプ設計）：Dark photon, Axion, etc.
- 教師無し学習によるアノマリー検出
- 新物理シナリオ検討、特に人間原理・マルチバース
- 量子コンピューティングによる解析、MCシミュレーション。
- 超伝導加速空洞Nb材料の基礎研究、FG/MG/LG、最適化の追求
- 機械学習等をもちいた加速器調整
- 機械学習等を用いた加速器パラメーターの最適化

A2: Near-Project Oriented

- ILC-DAQシステム検討
- MPGD読み出し回路開発
- 電荷および時間計測のためのMulti-channel ASIC開発
- 検出器の電源設計（消費電力の低減、Fail-safe, 安全性と信頼性）
- 検出器の熱設計、冷却システムの設計
- 検出器の工学設計（構造力学設計、建設、アライメント、移動、アクセス、安全設計）
- 検出器のモニターシステムの検討と設計
- 各検出器サブシステムにおける荷電および中性粒子再構成
- 測定器量産化技術開発（製作の自動化、自動化に最適化したモジュール設計）
- Crab cavity 設計およびプロトタイピング
- 有効場理論解析の高度化：loop level, 新物理のマッピング、次のオーダーによるCPの破れ、
- ナノビーム長期安定試験、

- 機械学習によるビーム安定制御
- アンジュレーター陽電子源のための磁気収束デバイス開発
- アンジュレーター陽電子源のための高速回転標的の開発
- 電子ドライブ陽電子源のための回転標的の開発
- 電子ドライブ陽電子源のための磁気収束デバイス開発
- 電子ドライブ陽電子源のためのAPS常伝導空洞の開発
- 電子ドライブ陽電子源のためのAM+PM制御可能な高周波源の開発
- 電子ドライブ陽電子源のための運転調整シナリオの開発
- ダンピングリングの工学設計
- ダンピングリングにおけるフリンジ場のダイナミックアパーチャーへの影響研究
- ダンピングリングにおけるFast-ion instability の影響評価
- ダンピングリングにおけるElectron cloud instabilityの影響評価
- ダンピングリングへの入出射システム試験
- BDS (Beam Delivery System) におけるオンラインビーム診断システムの開発
- BDSにおけるビーム軌道への高速フィードバック試験

- BDSビームラインの工学設計
- 主ダンプの工学設計
- ビームダンプや周辺環境等の放射化の評価
- 主ダンプの窓交換のリモート化のための設計研究
- 超伝導加速空洞の縦測定の高周波系 + モニター系構築
- 超伝導加速空洞の縦測定、モジュール試験でのX線/中性子線マッピング開発
- 超伝導加速空洞の縦測定、モジュール試験での冷却法、試験評価法の最適化
- 超伝導加速空洞縦測定インフラ設計（クライオスタット、放射線シールド） + 冷凍機制御
- 超伝導加速空洞モジュール試験インフラ設計（放射線シールド、インストール）
- 超伝導加速空洞モジュール試験の冷凍法と冷凍機制御（熱効率最適化）
- 超伝導加速空洞 2 連モジュール試験の高周波系（LLRF）
- 超伝導加速空洞 2 連モジュール試験の高周波系（モジュレータ）
- 超伝導加速空洞 2 連モジュール試験の高周波系（分配系）
- 超伝導加速空洞クリーンルーム作業方法（ツール開発含む）の確立
- 超伝導加速空洞表面処理の最適化（電解研磨、熱処理）

- 超伝導加速空洞の高周波、熱シミュレーション
- 超伝導加速空洞のデータベース構築
- 超伝導加速空洞の量産化製造方法の最適化
- 超伝導加速空洞の内面検査＋局所研磨の最適化
- 超伝導加速空洞プリチューニングの最適化
- 超伝導加速空洞性能測定の実験最適化
- 超伝導加速空洞の性能向上のための磁気シールド材料開発
- 超伝導加速空洞のチューナー設計・製造・試験
- 超伝導加速空洞のカップラー設計・製造・試験
- 超伝導電磁石＋cold BPM設計・製造・試験
- クライオモジュール設計（熱バランスの最適化）・製造・試験
- クライオモジュール輸送・保管法の確立（真空系、湿気対策含む）

B1:Far- Generic

- 次世代カロリメータ開発（MAPSによるピクセルカロリメータ、LGADによる時間分解カロリメータ）
- 高時間分解能光検出器：例えば、dual readout calorimeter
- 重いシンチレーターによるカロリメータ
- 常温硬化シンチレーター開発
- レーザーコンプトンによる偏極陽電子生成
- 高耐久スピン偏極フォトカソード開発
- 超伝導加速空洞の空洞形状
- Nb₃Sn Thin-film 超伝導加速空洞開発
- 多層膜超伝導加速空洞

B2:Far-Project oriented

- 検出器Upgradeシナリオの検討
- 加速器Upgradeシナリオの検討
- 施設Upgradeシナリオの検討
- A1, A2, B1などの成果に大きく依存するため、現時点での課題は抽象的とならざるを得ない。

ILCJ 共同研究促進事業：ILC2.0（仮）

- ILC研究開発のプレゼンスを高めることが目的のために、本取り組みに共通の名前をつける。ILC2.0（仮）
- 予算の原資は、素核研予算、ICEPP予算、加速器RD予算。
- 予算を共通の基金等にプールすることは困難なため、テーマ毎、あるいは使用用途別に支出することとなる。
- Wish listのアイデア募集の会合（kick off 会合）を行う。
- これまでにILCパネル等で蓄積したアイテムリスト
<https://docs.google.com/spreadsheets/d/190GNc3t7c1j5QKc9dx9nWste2vXtYhmfsxEtKHnC9Nk/edit#gid=0>

ILC2.0勧誘プロセス

- Kick off会合により確定したwish listを公開し、参加者、参加研究機関（研究室）を募る。
- A1の測定器関連課題について、測定器開発センターとの協力のもと、科研費等競争的資金への応募を支援する。
- B1の測定器関連課題について、測定器開発センター、QUPとの協力のもと、科研費等競争的資金への応募を支援する。
- A1,B1の加速器関連の課題について、KEK加速器、日本加速器学会の協力のもと、科研費等競争的資金への応募を支援する。
- A2, B2の加速器関連の課題については、加速器RD予算をあてる。
- A2, B2の検出器、物理関連の課題については、ICEPP予算、素核研予算をあてる。
- 科研費のスケジュールが始まっているので、迅速に開始したい。
- 広報TF(近隣分野対応), 物理WG, 国際加速器RDTFと連携のもとで、栗木が中心となり各大学、研究機関などへ参加を呼び掛ける。

採択について

- A1,B1課題については、応募は基本的にすべて採択とする。
- A2,B2課題については、応募のうち、予算規模に応じて採択数を決定する。
 - 加速器予算は2023年度からなので、加速器関連課題の研究開始は2023年度開始。所内予算で手当てできるものは例外的に先行して2022年度開始。
 - 測定器、物理関連課題の研究開始も、2023年度。所内予算で措置できるものは例外的に先行して2022年度開始。

これからのスケジュール

- 2022年7月：Kick off meeting
- 2022年8月：応募開始（随時受付）。
- A1,B1課題については、応募された時点で、可否を判断し、コンサルを開始。
- A2, B2課題については、第一次締め切りは11月。予算額に応じて採択件数を決定。12月には予算額が確定している？
- 2023年4月：研究開始。