

LHC/ATLAS

アップグレードレビュー

KEK 於, 2013年11月23日~23日

レビュー委員: J Dorfan, E Elsen (chair), F Gianotti, M Lamont, J Nash, M Nojiri, L Rossi, A Schopper and B Strauss. Apologies were received from K Yokoya.

Introduction

KEK commissioned a committee to review the proposed 10-year program of Japanese engagement in the planned upgrades of the Large Hadron Collider (LHC) and the ATLAS experiment. The program was conceived by physicists from KEK and Japanese universities under the leadership of T Kobayashi (Tokyo) and K Tokushuku (KEK). The proposed program comprised of significant contributions to the high-luminosity upgrade of the LHC accelerator (HL-LHC) and to associated upgrades to the ATLAS experiment.

Large Hadron Collider (LHC) と ATLAS 実験のアップグレード計画に関して、今後 10 年間の日本の関与計画の提案についてレビューするため、KEK は委員会を招集した。その提案は T Kobayashi (Tokyo) と K Tokushuku (KEK) の指揮のもと、KEK や日本の大学の研究者により立案された。この提案は、LHC 加速器の高輝度アップグレードと、それに関する ATLAS 実験のアップグレードに対して大きな貢献を行うというものである。

The committee met at KEK on November 22-23, 2013. The proposal was laid out in individual presentations by the proponents in which they described their particular activity and proposed contribution. The committee then met in camera and composed an initial set of observations, which were shared with the proponents.

委員会は2013年10月22日と23日に KEK に於いて開催された。まず、個々の貢献箇所に関してそれぞれの責任者からプレゼンテーションがなされ、そこでは具体的な活動や寄与への提案が述べられた。委員会はその後、委員のみで会合を開き、まず初期の見解をまとめ、それらを提案者たちに提示した。

In preparing for the review the committee had also been presented with a set of criteria to guide the evaluation:

- Overall strategy of the proposal as an element of the Japanese contribution to the upgrade of the LHC;
- Coherence of the proposal with the ATLAS physics program and the overall upgrade plans

- General organization on the upgrade work;
- Soundness of the requested budget;
- Progress on the detector R&D;
- Relevance of the plan for the ATLAS/LHC collaboration;
- Relevance of the Japanese contribution to LHC operation and physics program.

Rather than meticulously following this structure the committee chose to address the criteria in the individual statements on the aspects of the proposed program, which follow after an initial assessment of the overall program.

このレビューの準備として、以下のような評価のガイドとなる基準が、委員に対して示された。

- LHC アップグレードに対し、日本が寄与をするという観点を基にした、提案の総合的な戦略性
- ATLAS の目指す物理やアップグレードの全体的な計画と、この提案の整合性
- 組織の妥当性
- 要求予算の妥当性
- 開発研究の進捗状況
- ATLAS/LHC のコラボレーションにとっての重要性
- LHC 運転と物理プログラムに対する、この日本の寄与の重要性

この提示された項目に厳密に従うより、委員会は、まずプログラムの全体評価をした上で、この提案の様々な面に対して個々に意見を述べ、その中でこの基準に関連した記述をすることにした。

Context of Review

レビューの内容

The Japanese ATLAS/LHC groups have made outstanding contributions to the accelerator and experiments in key areas, including provision of LHC inner triplet quadrupoles and the design and construction of ATLAS's superconducting central solenoid magnet. In addition the groups have contributed significantly to the construction and operation of the forward muon-trigger chambers and to the silicon tracker. The LHC-Grid computing environment (Tier-2) installed at the University of Tokyo has regularly achieved high performance figures and has proved to be very reliable. The latter activity, however, does not fall into the purview of this committee.

日本の ATLAS/LHC グループは、加速器と実験の鍵となる領域で極めて優れた貢献をしてきた。そこには、LHC の四重極電磁石や、ATLAS の超伝導ソレノイド電磁石の設計と建造も含まれる。そして、アトラス実験の前方ミュオン粒子トリガー検出器とシリコン飛跡検出器の建設と運転において、日本グループは多大なる貢献をしている。東京大学に設置した LHC-Grid コンピュータ環境 (Tier-2) も、ほぼ恒常的に高い性能結果を出しており、非常に安定した Tier-2 であることを示している。しかしながら、Tier-2 に関してはこの委員会の評価の範囲外であるので、これ以上の記述は行わない。

Overall the committee arrives at the following observations:

- The Japanese groups have been very effective in design, construction and operation of their contributions. Their work has been essential to the success of the LHC and has been delivered in a very efficient manner.
- The groups are strongly engaged in the analysis of ATLAS data and have made essential contributions to the physics program including the discovery of the Higgs particle.
- The program has attracted young physicists who are now engaged in leadership roles.
- The program has also highlighted effective technology transfer and the capabilities of Japanese industry to address technical challenges and to deliver reliable components in time.
- The new program represents a wonderful opportunity for a successful continuation and international recognition of this excellence.

As a whole the committee is very much impressed by the proposed plan.

現在までの活動と提案された計画に関して、委員会の全体的な見解は以下の様である：

- 日本グループは、担当した部所の設計、建設、そしてその運用において、非常に効果的に実行した。日本グループの活動は、LHC の成功に必要な不可欠なものであり、それらは非常に効率よく遂行されてきた。
- 日本グループは ATLAS のデータ解析に深く関与しており、ATLAS 実験の物理プログラムへの重要な貢献をしている。そこには、ヒッグス粒子の発見に関するプログラムも含んでいる。
- ATLAS 日本グループのプログラムは若い物理学者を惹きつけ、現在では彼らが ATLAS 実験の中で様々なリーダーシップを執る役割を担っている。
- また、このプログラムは、技術的な挑戦や時間通りの納入といった点で、日本企業の優れた能力や効果的な技術移転を強く印象づけた。
- 今回の新しいプログラムは、これまでの成功を継続し、さらに卓越した国際的な認識を得る上での素晴らしい機会となる。

全体的な印象として、委員会は、この提案された計画は大変すばらしいものと捉えている。

LHC Accelerator

LHC 加速器

The KEK group has proposed to build the superconducting single-aperture separation dipoles (D1) for the LHC. The currently installed separation dipoles have to be replaced with wider aperture magnets because of the planned insertion region optics changes which involves the installation of new inner triplet quadrupoles and a significant reduction of the beam size at the interaction point. This upgrade of the machine optics is key to the luminosity upgrade of the LHC. The Japanese engagement in the final focus project follows naturally from their contribution to the existing triplet system that was built in collaboration with Fermilab and CERN. It also leverages the expertise of the KEK magnet group and maintains the close collaboration with the partners at CERN. In Japan it calls for a strong engagement of Japanese hi-tech industry.

KEK は LHC のアップグレードに対して、ビーム分離のための単一開口の超電導偏向磁石 (D1) (superconducting single-aperture separation dipole (D1)) を建設することを提案している。アップグレードに伴い、衝突領域のビーム光学設計を変更する。その内容は、新しい衝突点のビーム収束磁石 (inner triplet quadrupole) を設置し、衝突点でのビーム径をさらに小さくするという計画である。このため、現在使用されているビーム分離用の磁石は、より広い開口を持つものに交換されなければならない。この衝突点付近の光学設計の変更は、LHC のビーム輝度向上の鍵となるものである。この部所へ日本の関与は、現在の LHC のビーム収束磁石を KEK が Fermilab や CERN と共同開発した経緯の流れをくんでいる。また、このプロジェクトは、KEK の低温グループの専門性をさらに高めるとともに、これまでと同様に、CERN の専門家たちとの密接な共同研究を維持することが出来る。国内的な影響としては、このプログラムは日本のハイテク産業の強力な関与が必要となる。

Several other, smaller activities on the accelerator support the breadth of the Japanese engagement at CERN. Such activities are seen to be relevant in radio frequency, in diagnostics and in explaining and overcoming beam related performance limitations.

加速器に関してその他複数の比較的小規模な貢献の提案がでていますが、これ等は CERN における日本の関与の幅を広げることになる。特に、高周波関連、加速器のビーム関連の性能の限界を理解し、克服するための、加速器の診断法関連分野で重要であると考えられる。

As will be explained it may require that the proposed program be re-enforced with additional highly qualified staff in order to meet the stated goals. It should be added and emphasized that even modest contributions beyond the explicitly proposed components would allow for additional Japanese industry engagement in HEP as successfully realized in the past.

以下で説明がなされることになるが、提案通りのゴールを目指すのであれば、熟練した人材を増やし、プログラムを強化する必要があるかもしれない。さらに、一つ強調しておきたいことは、今回具体的に提案された部所を超えてさらに貢献を行うことができた場合は、その規模に関わらず、過去の経験からわかるように、日本の産業と高エネルギー物理のさらなるつながりが期待できるということである。

Accelerator - D1 Dipoles

加速器 — D1 双極磁石

The committee was presented with a well thought-out proposal for R&D, design and construction of the D1 dipole magnets. These magnets are key to the LHC upgrade. A delay in completion of these components would seriously compromise the start of the upgrade physics program.

委員会は D1 双極磁石の開発研究、設計、建設に関する、よく練られた提案を受けた。この磁石は、LHC アップグレードの鍵を握るものであり、この完成が遅れると、物理プログラム開始に深刻な影響を与える。

An excellent design is being developed in close contact with CERN. Here the team is leveraging extensive past experience in superconducting magnet design and construction.

CERN との密接な協力関係のもと、素晴らしいデザインで開発が行われている。ここでは、チームはこれまでの超伝導電磁石の設計・建設の豊富な経験をもとに、さらに進歩させている。

There is an impressively thorough analysis and detailed consideration of all key issues in preparation for a conceptual design report. The organization is good and the deliverables and timelines are well defined and will be fine-tuned as the project progresses. The plan up to model development requires more R&D. It is important that this phase receives the necessary resources.

構想設計報告書を準備する上での多くの主要な問題に対して、見事なほどの徹底的な分析と詳細な考察がなされている。また、組織形態は良好であり、期日を含めた製造計画が綿密に定められており、プロジェクトの進行に伴ってさらに微調整できる。モデル磁石の開発までの計画には、より多くの開発研究が必要である。この局面で、必要な人的・物的資源があることが重要である。

The deliverables include two spare magnets besides the four magnets required for LHC operation including the one for the string test. This is considered prudent in view of the complexity and the importance of the magnets. A proposed magnet test facility includes a horizontal cryogenic test bench. This would be a large investment and would stretch available manpower and technical infrastructure. The available cooling capacity at KEK is limited. Domestic safety requirements may restrict elements of the cryogenic testing of the completed D1 magnets and adversely impact the delivery schedule.

LHC の実際の運転に必要な磁石 4 台に加えて、さらに 2 台の予備を含み、そのうち一つは開発時の試験に作ったものを当てている。この磁石の複雑さと重要さの観点から、2 台の予備磁石を持つことはとても賢明な判断である。提案されているマグネットのテスト施設には、磁石を横にして試験する低温施設が含まれている。これは大変大きな出資であり、必要なマンパワーと技術的なインフラの拡大をもたらすことができる。現在、KEK の磁石冷却装置の能力には限りがある。日本の安全基準はとて厳しいため、完成した D1 磁石の低温での検査に制限を与え、スケジュールが遅れる可能性がある。

The proposed budget is probably realistic but without contingency. It runs at the level of 2-2.5% of the CORE value of the HL-LHC upgrade, which is somewhat smaller than the 4% contribution to the LHC as a whole in earlier times. This reduction can be attributed to the reduction in staff and the aforementioned lack of industrial engagement in hi-tech components beyond the dipoles.

提案された予算はおそらく現実的ではあるが、不測の事態の場合については考慮されていない。HL-LHC アップグレードの貢献規模を CORE 値としてみると、日本の貢献は全体の 2-2.5% となり、この値は LHC 建設期の初期貢献が 4% であったことを考えると幾分少ない。この原因はスタッフ数の減少や、前述したように、この磁石の貢献を超えた、LHC ハイテク部品に関する日本企業の関与を想定してないことによるものと考えられる。

The committee is concerned about the small number of experts and the continuity of leadership for a project of this size and of this duration. In fact, much of the overall expertise hinges on a single person, which evidently presents a risk. Even when considering the competence and the successful history of the group, more experts are needed to maintain close contact with domestic industry and CERN simultaneously. Additional staff is critical for the transition from the sound design to detailed engineering and fabrication. The shortage of manpower in this critical field has even wider implications: the number of experts world-wide is small. Thus it is important to try and recruit new staff and develop the required level of expertise.

委員会は、専門家の数の少なさと、この規模の長期プロジェクトに対して日本がリーダーシップを持続できるか憂慮する。事実、一人の専門家が持つ知識に多くを依存しており、それは明らかにリスクを伴っている。たとえこのグループの能力の高さと過去の成功事実を考慮したとしても、日本国内の企業と CERN の両方と同時に綿密なコンタクトを維持するためには、より多くの専門家が必要である。適正設計から具体的なエンジニアリングや製造の段階へ移るために、さらなる人員補充は必須である。この重要な部位への人員不足は、より広範囲への影響がある（世界的にみても専門家の数が少ない）。したがって、新しい人員を採用し、彼らを要求されたレベルの専門家へと教育していくことは重要である。

While the proposed contribution to HL-LHC helps to maintain expertise at KEK in the domain of hadron collider science and technology the committee notices a certain lack of technological innovation. As an example, the Nb3Al material studies had to be abandoned. It is hoped that with the proposed injection of additional personnel there may be room again to pursue innovative activities.

提案された HL-LHC への寄与は、KEK がハドロンコライダーのサイエンスとテクノロジーへの専門知識の維持する点では効果があるが、これだけでは技術革新に対する欠如があると、委員会は考える。例えば、超電導磁石の新材質である Nb3Al の研究が、このために既に停止されている。委員会の提言の通り人員を補給することにより、再び技術革新につながる研究へ踏み入る余地ができると望まれる。

Given the importance of the D1 project the recommendations are further detailed below:

- Discuss with CERN the possibility of either: performing the cryogenic tests of the D1 magnets at CERN; or have CERN contribute the horizontal cryostats for use at KEK;
- Reassess the manpower needs taking fully into account the other responsibilities of the magnet group;
- Prepare a preliminary Resource Loaded Schedule in order to assess the ability of the organization to produce the proposed deliverables within the proposed budget.

D1 プロジェクトの重要性を十分理解したうえで、さらに詳細な提言を以下に挙げる：

- D1 磁石の低温試験を CERN において行う可能性と、あるいは横向き低温試験施設を KEK に設置するうえで CERN にも貢献してもらう可能性を、CERN と協議する。
- 低温グループが、KEK での他の義務も行っていることも考慮に入れて、マンパワーの見積もりを見直す。
- 提案予算で製造するのに十分な組織の能力があるかを評価するため、資源を考慮した年次計画案を準備する。

Accelerator - Other projects

加速器— 他のプロジェクト

The program presents other welcome additions to the LHC accelerator program. These activities run at comparatively modest cost and comprise both hardware and intellectual contributions. The contribution to the LHC injector upgrade, which aims to produce beams with challenging levels of brightness, includes:

-The upgrade of the PS-Booster RF systems (ongoing) with a well-developed plan for staged deployment and testing of the wide-band FineMet-FT3L cavities and solid-state amplifiers is in place;

-The provision of 44 solid-state amplifiers that are required to power the RF cavities of 2 rings of the PS-Booster;

-Study, design and prototype of a longitudinal damper cavity system for the PS.

この提案においては、LHC 加速器プログラムに対するその他の場所への貢献計画についても説明を受けた。それらは、比較的少ないコストで済む、ハードウェアと知的貢献の両面がある。LHC インジェクターのアップグレードは、そのビーム輝度を画期的に向上させる挑戦的なプログラムであるが、そこに関する寄与としては以下の通りである。

- 現在進行中の PS-Booster RF システムのアップグレードへの貢献。（広帯域の FineMet-FT3L cavity と半導体増幅器の段階的な配備に関与する、綿密な計画を伴う）
- 44 台の半導体増幅器の供給。これは、（4 つのリングを持つ）PS-Booster の 2 つのリングの RF キャビティに高周波を供給するのに必要な台数である。
- PS（陽子サイクロトロン）のための longitudinal damper cavity system の設計とプロトタイプ製作に関する研究。

These contributions exploit existing facilities and established expertise in the novel application of new technology. The use and testing of the FineMet-FT3L technology at J-PARC will lead to its application at J-PARC.

これらの貢献は、KEK で確立した新しいテクノロジーの応用で、KEK の経験と施設を利用する。J-PARC 施設を利用して FineMet-FT3L のテストを行い、この技術を PS-B で使用することは、J-PARC における更なる応用を導くことに成り得る。

The highly advanced superconducting RF infrastructure is available for cavity preparation and performance recovery demonstrated with KEKB-operated cavities. The crab-cavity technology was pioneered at KEKB and is one solution to overcome the luminosity reduction induced by

the large crossing-angle necessary for rapid bunch separation either side of the interaction point. The LHC will profit from the available expertise and knowledge transfer.

KEK には、KEK-B での実際の使用で証明されているように、超電導高周波空洞に関して、空洞の製作と損傷した空洞の回復技術に関して非常に高度なインフラが整っている。Crab-cavity の技術は KEKB で先駆けて開発されており、バンチの分離のために大きなビーム交差角を必要とする事によってビーム輝度が減少してしまうという問題を、クラブ空洞の導入で克服することが出来る。これは LHC でも応用ができ、この経験と知識移転からは多くの利を得ることができる。

In addition, the accelerator groups foresee to contribute their expertise in beam dynamics notably the calculation of electron cloud effects which present a possible limitation to the peak luminosity performance at the LHC and to advanced beam instrumentation based on synchrotron radiation emitted by the proton beams. These contributions are significant contributions to the accelerator program, may become highly relevant for the operation of the accelerator and support the close collaboration with CERN.

さらに、KEK の加速器グループは彼らのビームダイナミクスに関する専門的な知識をもって、LHC アップグレードに貢献することを検討している。特に、LHC に於けるピーク luminositiy の限界を決める可能性がある electron cloud の計算への貢献や、陽子からの放射光を使ったビーム調整用の測定器などである。これらは今回の加速器アップグレードプログラムに対して非常に大きな貢献となり、加速器の運転時に重要な役割を果たす。それは、CERN と KEK の密接な共同研究をサポートするものになり得る。

In addressing specifically the involvement of industry it is noted that a broader participation of Japanese contenders introduces healthy competition and constitutes a great benefit for Japanese industry and technological development, an aspect that is also highly relevant in developments towards the ILC. It is recommended that some type of engagement, duly weighted against work accomplished in the laboratory, be maintained in the future.

企業の関与に関連する点を特に強調すれば、日本企業が後半に関与することにより、LHC アップグレードにおいて健全な競争を引き起こし、また、日本の産業と技術開発にも大きな利益を生じさせる。そして、これは ILC の開発にも強く関連する。KEK で培われた分野を重視しつつ、将来にわたって協力していくことを提言する。

ATLAS Detector

ATLAS 検出器

The Japanese research groups have chosen to engage in one experiment, ATLAS amongst the two general-purpose experiments at the LHC. This decision and the coherent approach of engaging in detector, trigger, operation and physics analyses with responsibilities for key components makes for a very strong visibility in ATLAS and beyond. In fact, the performance measured by any standard is canonically higher than expected from the resource share of Japan in ATLAS.

日本の研究グループは、LHC の二つの汎用実験うち、ATLAS 実験一つに集中することを選択した。この決定と、それに伴う検出器、トリガー、オペレーション、そして物理解析に対して一貫して重要な部分に責任を持って担当するアプローチは、ATLAS の内外において、非常の強い認知度を得るものとなっている。実際、日本の貢献している物的・人的資源の比率を考慮すれば、このグループの達成度はあらゆる点で基準を上まっている。

The proposed program is a natural continuation of their highly visible and successful contribution to ATLAS in key components of the experiment. Their proposed engagement is critical for the ATLAS upgrade and the success of the physics program.

提案されているプログラムは、ATLAS における日本の目覚ましい貢献を基盤とした、自然な流れである。彼らが提案しているように関与することは、ATLAS アップグレードと物理プログラムの成功のために必須である。

The committee is very pleased to see that a new generation of bright physicists has emerged. They are introducing innovative ideas in detector construction, trigger and physics analyses and have already demonstrated leadership. The ATLAS groups should be commended for this achievement.

委員会は、優秀な新しい世代の物理学者たちが育成されていることに対し、非常に満足している。彼らは検出器建設やトリガー、そして物理解析に対する新しいアイデアを示し、すでにリーダーシップを発揮している。ATLAS グループはこの事実について賞賛されるべきである。

The proposed projects also offer the possibility to continue and expand the successful partnership with industry, which in several aspects is unique and world leading. It should be emphasized that the relevance of Japanese industry for particle physics detectors is world-singular and reaches much further than supplying Japanese groups with high-quality detection devices. The more important it is that there be groups in Japan to maintain the direct dialogue to advance technology. ATLAS plays an important role in this context.

提案プロジェクトは、企業とのパートナーシップの継続とさらなる拡張の可能性も提供する。日本のグループと企業の協力体制は様々な点で独創的であり、他国をリードしている。素粒子物理検出器に対する日本企業の役割は世界で特異的なものであり、単に日本グループに高品質の検出装置を提供する以上の重要性を持っていることは強調しておく。そこで重要な事は、最新テクノロジーを前進させるために、企業と研究者が直接対話を行いながら進めていくグループが日本に存在していることである。ATLASはこの観点でも重要な役割を果たしている。

The committee observed that in order to guarantee fully successful and timely delivery of the complete program, more people would be beneficial. The actual date of delivery of upgrade components depends on the evolution of the overall LHC schedule, which leaves little room for delays in completion. Completion of the R&D is hence critical.

プログラムを時間内に完遂するためには、より多くのマンパワーがある方が良く、委員会は考える。アップグレードにおけるそれぞれの検出器の完成期日は、LHCの全体的なスケジュールによって替わり、完成までの時間的余裕がなくなることも起こりうる。したがって、開発研究段階を完了することは重要な事である。

ATLAS Tracker Upgrade

ATLAS 飛跡検出器のアップグレード

The physics goal of the LHC upgrade is twofold: increase the (integrated) luminosity significantly and maintain or exceed the precision of the detectors that has been reached in operating situations with lower event pile-up. These two aspects allow for precision studies of the discovered Higgs particle and extend the direct searches for new physics to the highest mass scales.

LHC アップグレードで得られる結果は、2 要素から支えられる。一つは（積分）ルミノシティを高くすることであり、もう一つは、低いパイルアップ環境下でうまく動作している現検出器で達成している精度を、高いパイルアップ環境でも維持あるいはさらに改善させることである。これら二つの側面により、今回発見されたヒッグス粒子の精密測定と、世界最高エネルギーでの新物理探索が可能となる。

Without a tracker upgrade the physics program is not viable. The current tracker will eventually suffer from radiation damage and does not provide the granularity that is commensurate with the occupancies expected at higher luminosities that will be provided by HL-LHC. The tracker is the key component that allows to separate interaction vertices and therefore helps unfolding pile-up contributions in the calorimeter.

飛跡検出器のアップグレード無しでは、この物理プログラムは実現不可能である。何故ならば、現在の飛跡検出器は、放射線損傷により使用困難になることや、また、検出素子が大きいため、HL-LHC で実現する高いルミノシティで予想される粒子密度だと占有率が上がってしまうからである。飛跡検出器は、一度の衝突で多数起こる陽子・陽子衝突同士を分離するのに鍵となる測定器で、それはさらに、カロリメータで測定するエネルギーをそれぞれの多重衝突に振り分ける上での助けとなる。

In the construction of the tracker ATLAS fully relies on the expertise of the Japanese groups and industry. ATLAS expects to converge on a final design for the tracker by 2015. The detailed technology choices, i.e. sensors and assembly, will depend on the R&D program, in which the Japanese groups play an important role. The ongoing sensor R&D in Japan is critical.

飛跡検出器の建設の上では、ATLAS は日本のグループと企業の豊富な経験に大きく依存している。ATLAS は、新しい飛跡検出器のデザインを 2015 年までに最終的なものとする予定である。センサーや組立法に対する詳細なテクノロジーの選択は、現在の開発研究結果に左右される。その中で、日本のグループは重要な役割をしており、現在進行中であるセンサーの開発研究は必須である。

The commitment in the tracker upgrade construction is hence a wise decision: the Japanese groups will be able to profit from their engagement in R&D, maintain a leading role and have the advantage of direct contacts to leading Japanese manufacturers.

したがって、飛跡検出器アップグレードの建設に関与することは、賢明な判断である。日本グループは、現在進めている開発研究と直接関係づけられ、中心的役割を続けることができる。また、世界をリードする日本のセンサー製造企業と、直接コンタクトを取れる利点を持っている。

The specific commitment of the Japanese groups will depend on the outcome of the R&D and ATLAS decision process. The overall size of the tracker upgrade program will certainly require the budget presented and little depends on sensor technology. The proposed contribution compares well with previous and present Japanese engagement in large international HEP projects.

日本グループが関与する具体的な内容は、現在の開発研究結果と ATLAS 実験全体での判断による。飛跡検出器アップグレード全体プログラムには提示された予算規模が必要であり、それはセンサーのテクノロジーにはほとんど影響されない。提案された日本の分担率は、昨今の大きな国際的な素粒子物理プロジェクトにおける日本の貢献と遜色ない。

Overall this is a high-profile and rewarding endeavor.

まとめると、この提案は高い目標を掲げており、完遂すれば高評価される計画である。

ATLAS Muon Detector

ATLAS ミューオン検出器

The ATLAS muon spectrometer consists of several components: precise muon momentum measurement is provided by monitored drift tube chambers (MDT) over most of the coverage, supplemented by cathode strip chambers (CSC), arranged in so-called “small wheels” at small radii in the end-cap region. Resistive Plate Chambers (RPC) and thin-gap chambers (TGC) are used in the central and end-cap regions, respectively, to provide the muon trigger. The goal of the muon detector upgrade is to provide better muon momentum selectivity at the trigger level and robust muon measurements in the difficult forward region by replacing the small wheels with new detectors.

ATLAS のミューオン検出器はいくつかの構成要素からなる。運動量の高精度測定は、大部分の領域を覆っている Monitored Drift Tube chamber(MDT)と、Cathode Strip Chamber(CSC)で行われる。CSC はエンドキャップ部の半径の小さい部分に設置され、Small Wheel と呼ばれる構造に組み込まれている。Resistive Plate Chambers (RPC) と Thin Gap Chambers (TGC) はそれぞれセントラル部分とエンドキャップ部に設置され、ミューオンをトリガーするのに用いられている。ミューオン検出器アップグレードの目標は、より良い運動量測定精度をトリガーレベルで達成し、超前方部のように困難な箇所においてもミューオンを安定して測定することである。これを、Small Wheel を新しい検出器と交換することで達成する。

The New muon Small Wheel detector (NSW) will consist of TGCs and Micromegas. The TGC is based on the existing chambers albeit with finer readout strips for good position resolution and the addition of cathode pad readout for on-line track finding. It will serve to precisely reconstruct track segments at the primary trigger level, while the Micromegas will be used for precision momentum measurements during full event reconstruction. The proposal for the New Small Wheel muon detector has been presented as a Technical Design Report, which has been critically reviewed. The Japanese groups have decisively contributed to the physics case of the NSW detector. They plan to engage strongly in the R&D of the Micromegas both at Kobe and Tokyo University. The committee was convinced that the Japanese groups have the competence to deliver a working detector for phase 1.

New Small Wheel (NSW) 検出器は、TGC と Micromegas 検出器から構成される。NSW の TGC は、現在の TGC をベースにさらに細かい読み出しストリップを使用し、位置精度を高くしている。また、カソードのパッドのデータ読み出しを加えて、オンラインでの飛跡再構成を実現する。これにより、精度よく飛跡のセグメントを初段トリガーレベルから使うことが出来る。Micromegas は、後段の事象再構成での運動量の精密測

定に使われる。NSW のミュオン検出器の提案は ATLAS 実験の Technical Design Report として提出されており、これは既に注意深くレビューされている。日本のグループは NSW 検出器の設置によって得られる物理結果の見積もりに大きく貢献している。神戸大学と東京大学が、Micromegas 検出器開発研究に強く従事している。Phase-1 アップグレードでの NSW の完成に関して、日本のグループが大きく寄与することと委員会は確信している。

Possible upgrades for phase 2 still have to be investigated.

Phase-2 でのアップグレードについては、更なる検討が必要である。

ATLAS Muon Trigger

ATLAS ミューオントリガー

The trigger is essential in extracting the physics at the LHC and the physics to be gained from the upgrade in particular. The higher the pile-up and the occupancy is the more relevant the sophistication of the trigger and the importance of lepton signatures becomes, particularly in the forward direction.

トリガーは LHC から物理結果を得るために必要不可欠であり、とりわけ、アップグレードによって得られる物理成果のためには重要になる。また、パイルアップが厳しく測定器が頻繁に反応している状況では、高度化したトリガーがより必要となり、また同時に、検出器の超前方でのレプトンを捕らえることも重要である。

The Japanese groups in ATLAS contributed significantly to the construction and operation of the thin-gap chambers and had full responsibility of the delivery and operation of the forward level 1 trigger of the TGC. This project naturally continues their detector engagement.

ATLAS の日本グループは、TGC の建設から運転まで非常に重要な貢献をしてきた。そして、TGC を使った前方の初段ミューオントリガーに関しては、単独で担当してきた。アップグレードにおいても、彼らがここを担当していくのは自然な流れである。

The proposed engagement follows the operating demands of the LHC. Initially the TGC information from the present small wheels will be made available for coincidence logics and subsequently, with the advent of the New muon Small Wheel detector, be extended to the reconstruction of muons pointing to the interaction point. The NSW will have standalone tracking capability and hence provide much more selectivity.

提案は、アップグレードした LHC での運転要件に沿っている。第一段階としては、現在の Small Wheel の TGC の情報を使ってコインシデンスを取れるようにする。その後、NSW 検出器の導入に伴い、ミューオンがビーム衝突点から飛来しているかを判定可能になるように拡張する。NSW は単独でも飛跡再構成の能力を持っており、これにより、より良い事象選択が出来る。

The Japanese groups will provide the sector-logic firmware and some hardware components. The proposed solution is technically sound, fulfils the requirements and naturally extends into

an engagement on the future upgrade for phase 2-running after long-shutdown 3. ATLAS relies on their unique expertise for the successful upgrade of this vital component.

日本グループは、Sector Logic のファームウェアと複数のハードウェアを提供する。提案された計画は技術的に妥当なものであり、要求を満たしている。そしてそれは、Long Shutdown-3 後の Phase-2 運転に求められるアップグレードへと、自然に拡張することができる。ATLAS 実験は、この重要な要素のアップグレードにおいて、独創的な専門知識を持つ日本グループに負っている。

New Engagements in ATLAS

ATLAS 内での新しい貢献

New university groups joined the Japanese ATLAS group and to some extent bring new ideas for relevant engagement in ATLAS. Such engagement is partially driven by experience of the principal investigators gained during affiliation at institutions abroad. Such new areas of involvement add to the breadth of the physics program at relatively modest cost with potentially large benefits in physics and technology.

ATLAS 日本グループに新たな大学が参加し、新しいアイデアをもって ATLAS の活動に臨んでいる。これは特に、その大学の中心研究者が、彼の海外の研究機関での経験をもとに推し進めている。新しい領域の開拓は、比較的低予算でありながら物理プログラムに多様性をもたらし、潜在的に物理やテクノロジーの大きな発展に繋がる。

The two projects of this kind are

- Liquid argon (LAr) calorimeter trigger and electronics
- Fast Tracker Trigger (FTK) for phase 1

次の二つのプロジェクトが提案されている：

- 液体アルゴンカロリメータトリガーとそのエレクトロニクス
- Phase-1 アップグレードでの Fast Track Trigger(FTK)

The LAr calorimeter trigger upgrade improves the granularity of the calorimeter at the first trigger level so as to improve the rejection of background when operating at larger than design luminosities. The existing readout will be augmented, and later replaced, by a parallel digital readout of the same information in finer resolution which allows for better identification of calorimeter objects and further topological processing in the central trigger processor.

LAr カロリメータトリガーのアップグレードは、初段トリガーでのカロリメータの読み出しを細密にすることにより、バックグラウンドの除去能率を改善するのが狙いであり、これは LHC のルミノシティが初期設定値よりも高くなった場合、効果が大きく現れる。まずは現在の読み出し回路を強化し、その後、並列にデジタル読み出しするシステムへと交換が予定されている。これにより、読み出し回路と同じ精度でトリガーを構成でき、（電子や光子などの）カロリメータで判定する粒子の同定効率をあげ、トポロジーを使ったトリガー論理を中央初段トリガーで使用できるようになる。

For that matter the Japanese groups will concentrate on the backend signal transmission using mezzanine cards placed on electronics boards according to ATCA standard. They will also contribute to the front-end reconstruction of energy signals using FPGAs.

このシステムに関して、日本グループはバックエンドの信号送信を主に担当する。これは ATCA 規格クレートを使用する回路基板上に置く、補助基板によって実現する。さらに、FPGA を使ったフロントエンドでのエネルギー再構成にも貢献する。

The Fast Tracker Trigger (FTK) employs massive use of associative memory to enable track reconstruction and momentum measurement in real time. The engagement results from a prior engagement of the Waseda principal investigator with the initiator of the original proposal, the University of Chicago. The activity in Japan focusses on the development of the mezzanine board for massive exchange of track information over the backplane and continues with studies of future applications of the track trigger concept at LHC phase 2.

Fast Track Trigger(FTK)は連想記憶素子を大規模に使用して、飛跡の再構成と運動量測定をリアルタイムで行なうトリガーシステムである。シカゴ大学を中心に提案されているもので、現在の早稲田大学の主研究者が、シカゴ大学に所属している時に関与したことによる。日本グループは、バックプレーンを通して膨大な飛跡情報の交換を行なうための補助基板に貢献する。さらに、Phase-2 のトラックトリガーへの応用を検討する。

Both proposals have in common the exposure to advanced electronics implementation at the interface of physics algorithms and firmware implementation. Such skills are in high demand and clearly beneficial for the field and beyond. The cost of either of these programs is modest in comparison to the larger upgrade items. At the same time they attract a relatively large number of students.

両提案共に、物理アルゴリズムを高度なエレクトロニクスや FPGA のファームウェア上で実装を行なうものである。そのようなスキルは、この分野やその他でも非常に需要があり、明らかに有用なものである。どちらのプログラムも、既に述べた大規模アップグレードに比べて、予算要求も小さい。また、これらのプロジェクトは、多くの学生の関心を引きつけている。

Both programs nicely complement the physics diversity of the Japanese LHC engagement.

両プログラムは、日本グループの LHC 物理結果に対する貢献の多様性を見事に引き出している。

Conclusion

まとめ

The proposed 10-year engagement of the Japanese HEP community at the LHC and the ATLAS experiment rests on two main pillars: the construction of the superconducting beam-separating dipoles and significant contributions to the new tracker of the ATLAS experiment. Both activities entail significant involvement of Japanese industry and bind the majority of resources. These flagship activities are complemented by a number of smaller activities for the accelerator and detectors, and attractive engagements often driven by universities, where young researchers enter the field and are seen to take the lead.

日本の高エネルギー物理コミュニティが参画する向こう 10 年の LHC と ATLAS への貢献は、二つの主な柱に基づいている：それは、加速器の超伝導ビーム分離磁石の建設と、ATLAS 実験の新しい飛跡検出器への寄与である。両活動は、非常に大きな日本の企業の関与を必要とするとともに、提案予算の大部分を決めている。これらの主要な活動に加え、加速器や検出器に関するいくつかの小規模な活動が提案されている。そこには大学によって推し進められるものも含まれており、若い研究者たちが活躍し、主導をしている様子が垣間見える。

The LHC/ATLAS team has built a reputation of successful construction of accelerator components and HEP-detectors. As one of the leaders in the field they will contribute significantly to the upgraded LHC, the high-energy frontier project of the field.

この LHC/ATLAS チームは、加速器及び高エネルギー物理実験の測定器の建設において優れた実績を示してきた。この分野を主導するグループとして、LHC のアップグレードと、エネルギーフロンティアの高エネルギー物理プロジェクトに多大な貢献をする。

The budget presented has only been resolved at the top level. The D1-dipole will be constructed in industry; since the design has not been fully completed the cost of the magnets, including the tests is uncertain. Given this boundary condition it is mandatory that sufficient expert staff be found and assigned to the project to avoid surprises during construction. -For the phase 2 tracker upgrade the technology choices have not been made to arrive at a more detailed budget assessment, although there is little doubt that the order of magnitude of the cost is correct. The committee is confident that given the large international framework in which the tracker R&D and construction is placed, the right technological choices for the tracker will be made. Japan fulfils a particularly important role for the tracker upgrade with the relevant hi-tech industry in the country.

今回示された予算は、大まかに算定されたものである。D1-磁石は企業に発注されることになるが、そのデザインが完全には決まっていないため、マグネットや試験にかかる費用については不明なところがある。このような状況においては、十分に専門家を人員補充してプロジェクトへ割り当てるのが、建造中に不測の事態を起こさないために必要不可欠である。飛跡検出器の Phase-2 アップグレードに関しては、テクノロジーの選択がまだなされていないので、具体的な予算評価はできていない。しかしながら、予想している予算規模は、オーダーで正確であると考えられる。飛跡検出器の開発研究と製造は、大きな国際フレームワークで進められているので、正しい技術選択がなされると委員会は確信している。飛跡検出器のアップグレードにおいて、日本は、その国内のハイテク企業と共に特に重要な役割を担う。

Beyond the two flagship activities the committee saw a rich and diverse activity in Japan in the detector, trigger and physics analysis and, to a lesser extent, in the accelerator field. The Japanese contributions to the LHC and the ATLAS detector are vital and reach beyond the financial contributions. In view of this high standing the committee strongly supports the efforts of the ATLAS/LHC Japanese teams to ensure that competence and leadership are effectively transferred from senior scientists presently in charge of the various activities and projects to the younger generations.

これらの二つの主要となる活動のほか、トリガー、物理解析、そして加速器の分野まで、日本には多様な活動が存在すると委員会は認識した。LHC と ATLAS 検出器に対する日本の役割はこのプロジェクトに必須なもので、財政上の役割以上に貢献している。この高い基準の観点から、LHC/ATLAS 日本チームがそれを継続しようとする努力と、現在多くの活動やプロジェクトで活躍しているベテランから、リーダーシップを若い世代に受け継ごうとしている努力を、委員会は強く支持する。

The Japanese groups have been particularly talented in generating high impact at the LHC both in terms of performance of the accelerator and in physics return. Japanese industry in many respects is world-leading.

日本のグループは、加速器のパフォーマンスと物理の成果の両方の観点で、LHC に強いインパクトを与える高い才能を持ったグループである。また、日本の企業は多くの点で世界のトップレベルである。

Overall the committee is very pleased with the proposed plan, which is sound and guarantees high visibility at the LHC and in particle physics in general.

全体的に、委員会はこの計画提案を歓迎する。これは、LHC と素粒子物理全体に対して、とても健全なことであり、グループの高い認知度を保証するものである。