

資料3

科学技術・学術審議会学術分科会研究環境基盤部会
学術研究の大型プロジェクトに関する作業部会
(第82回) R1. 6. 18

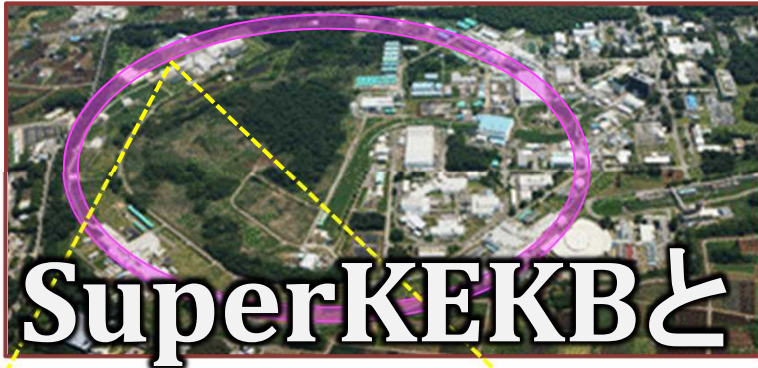
Super KEK B-factory計画 SuperKEKBとBelle II

高能加速器研究機構
素粒子原子核研究所
後田 裕

本日お話しすること

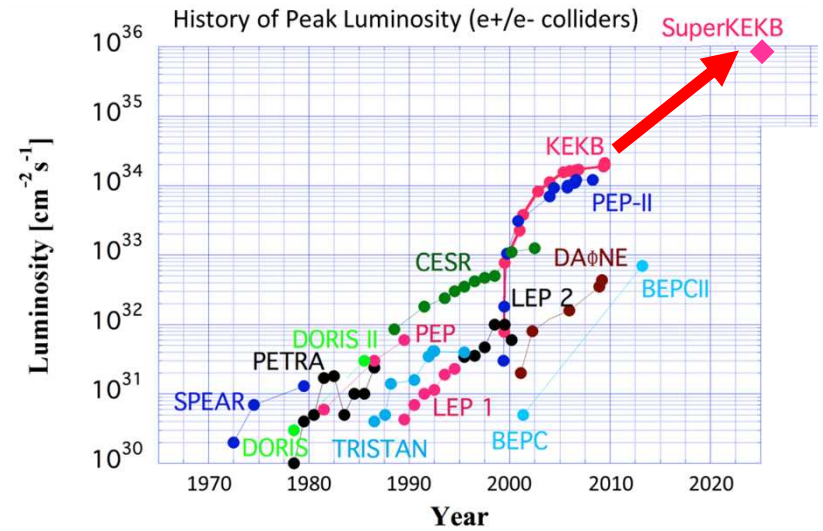
- イントロダクション
 - プロジェクトの目的と概要
- 国内外コミュニティの状況（学術的動向）
 - 新物理探索、LHC, LHCbとの関係
- 国際協力の方策、共同利用研究体制の実態
 - 組織と意思決定
 - コラボレーションへの参加、権利と義務
- プロジェクトのマネジメント状況
 - 計画の進捗評価
 - 資金分担・資金計画とその評価
- その他運営の国際的な側面について

新しいナノビーム衝突方式により、性能を世界記録の40倍にUP! 前身計画500年分相当の素粒子反応(B中間子対、 τ 対、c対合計1600億対!)を10年程度で「製造」する大工場



素粒子反応を詳細に記録する眼。1秒間に2600対の生成と崩壊が起こるのを、その他の反応も含めて1秒間に3万回記録可能。

クルマ: 年間1億台
スマホ: 年間14億台
SKEKB: 年間160億対



宇宙初期に起きていた反応を人工的に再現して観測

標準理論を超える新物理現象を探索

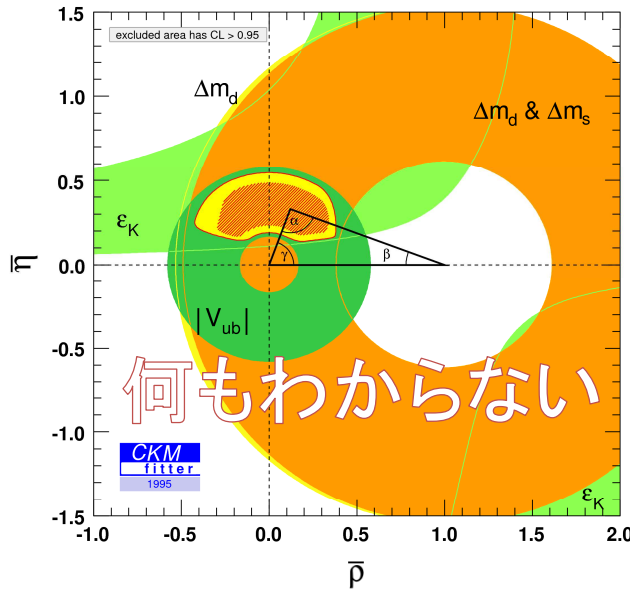
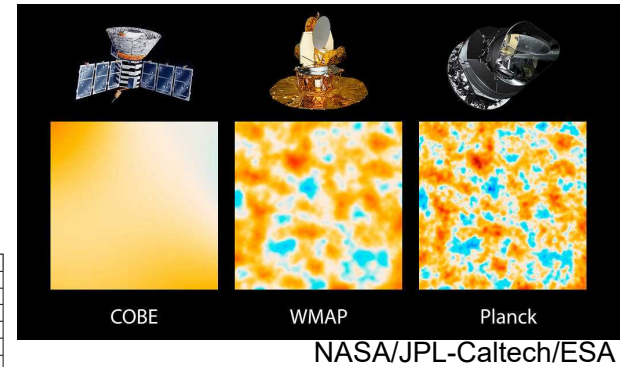
なぞの解明へ

- 物質優勢宇宙
- 暗黒物質
- 荷電レプトンフレーバーと普遍性
- 左右対称性
- クォーク・レプトンの世代の起源
- クォーク4つからなるハドロン

...

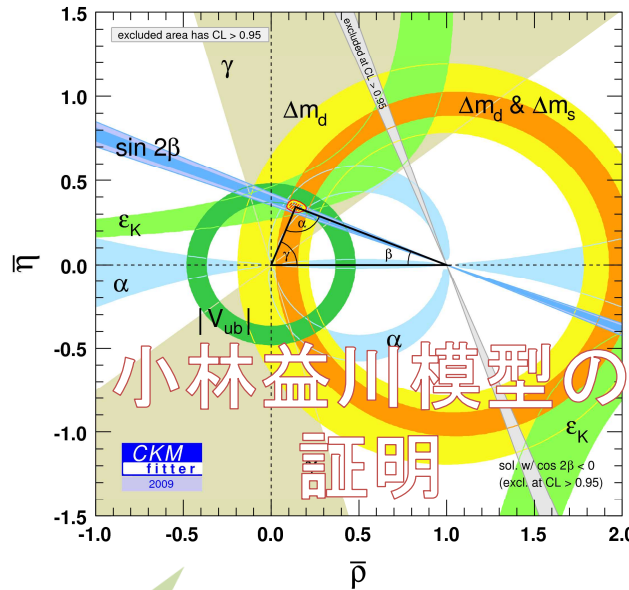
ハイスピードカメラ: ~1000fps
Belle II: 30000fps

精密測定のもたらす革新



何もわからない

B-factory以前



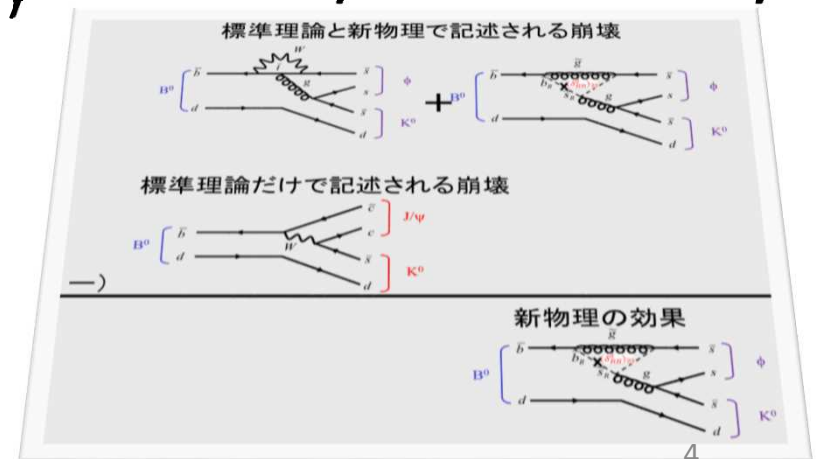
小林益川模型の証明

B-factory

例えば、小林益川の説明したCP対称性の破れだけでは、物質優勢宇宙を説明するのに不十分

隠れた新物理を
あぶり出す

Super B-factory



新しい衝突方式による限界突破！ 未来へと続く世界有数の知の拠点へ



- R&D開始 2000年 (1st workshop)
- 建設開始 2011年 (Groundbreaking ceremony)
- 2016/2-2016/6 試験運転
- 2018/3-2018/7 調整運転 (4/26 初衝突)
- 2018/7-2019/2 崩壊点位置検出器の挿入など
- 2019/3- 本格物理運転

学術的動向

実験主導で素粒子物理学の次のパラダイムを決定

Higgs粒子を発見
SUSY粒子が発見されない
(もうちょっと重いところまで探そう)

もしかして、SUSYではないのか？
虚心坦懐に新物理を探すべき。

LHCbやBelleでは何か怪しげな兆候が見えている！？

Belle IIからの報告に期待！

未知の重い粒子の量子力学的寄与を、精密測定により見つけ出す

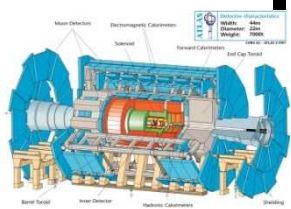
SuperKEKB/Belle II:

- 電子陽電子衝突のクリーンな環境での精密測定
- B, D, τ を使った幅広い観測網

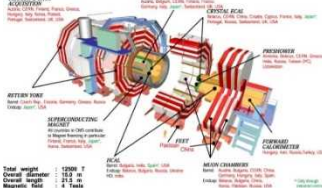
LHCb

- ハドロン反応による大量のデータ
- B, Bs, Dを使った幅広い観測網

Direct Search



ATLAS@CERN
CMS@CERN

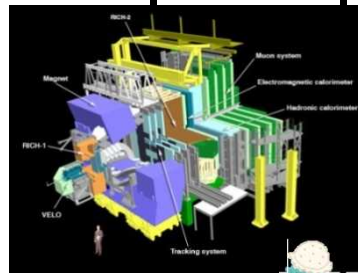


Indirect Search

B(b)

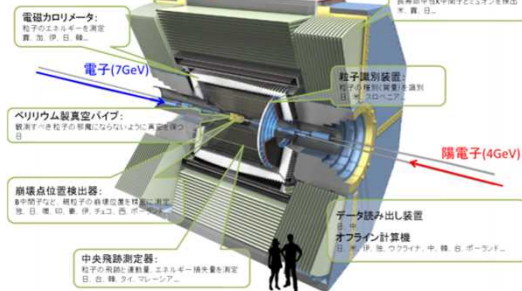
D(c)

τ



LHCb@CERN

Belle II



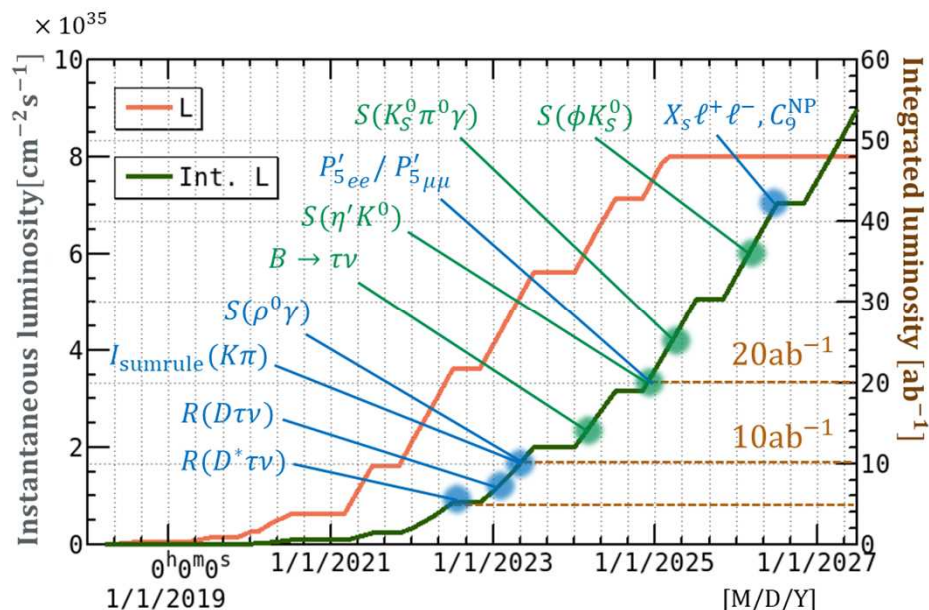
高エネルギー衝突により、未知の重い粒子を生成

両方のアプローチのinterplayにより今日の素粒子物理学が形成された

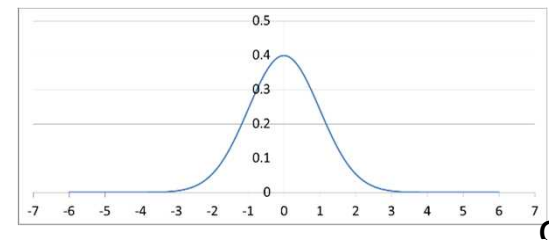


運転計画と発見の可能性

統計的ふらつき



- 5 σ (observation)
- 3 σ (evidence)



σ	$\pm N\sigma$ に入る確率(%)
2	95.4
3	99.7
4	99.99
5	99.9999

現在の世界平均中央値を仮定

今後、年間8~9か月間運転することを基本方針として、性能向上とデータ蓄積、物理解析を計画している(必要に応じて機器の維持・増強を行う)。

前身計画KEKBの経験から4年程度で設計性能に到達すると仮定すると、2027年ごろに区切りとなるデータ量(前身計画の50倍)に到達できる見込み。

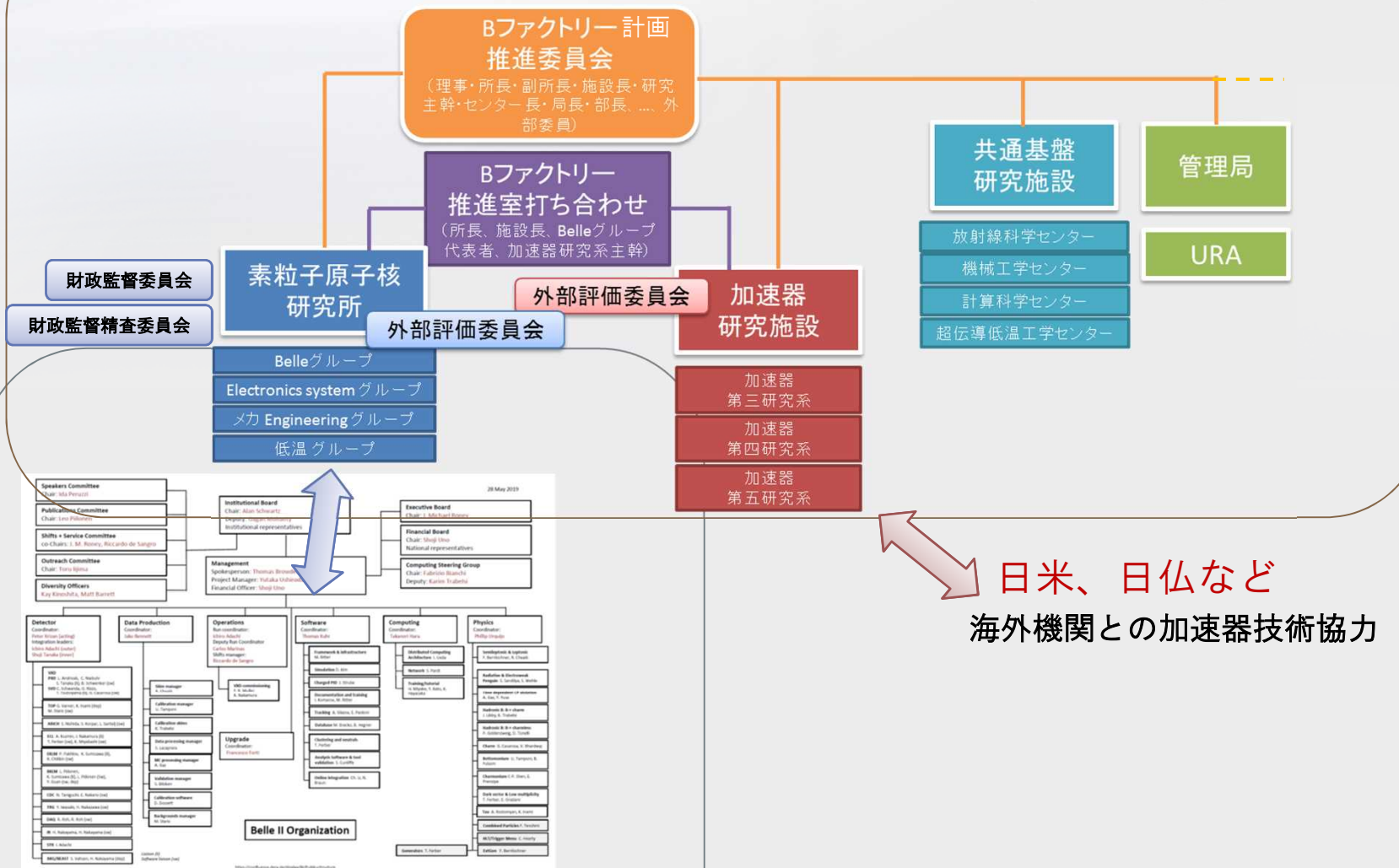
現在観測されている様々な異常の示唆が本当であれば、毎年のように3 σ ないし5 σ でそれらの異常を確認できる。逆に確認できなければ、異常を生み出すような理論モデルを排除できる。

3 σ を超えると騒がれる。5 σ を超えないと確定とされない。

標準理論(小林益川模型を含む)は、5 σ を超える測定によって構築。3 σ , 5 σ を超える新現象を多数測定したい。

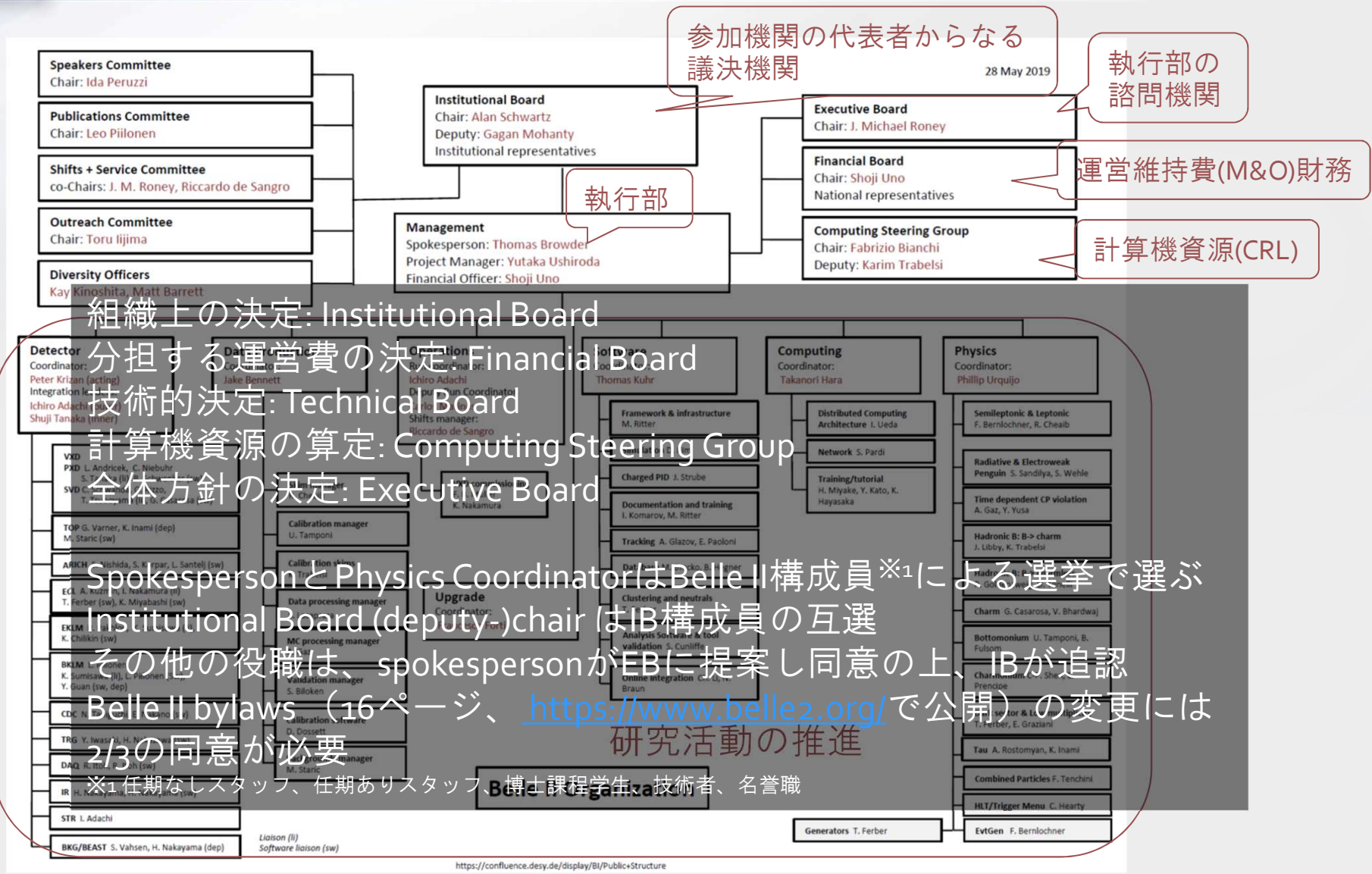
国際連携事業 実施体制

KEK（とKEKが招集する外部委員会）



Belle II国際コラボレーション

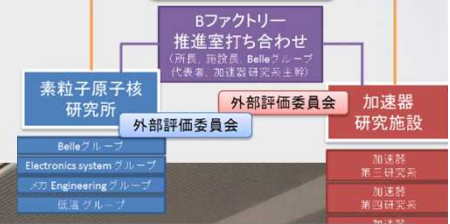
Belle II国際コラボレーション



加入手続き、権利と義務

- 参加機関の興味、メリット
 - 持っている技術を活かしたい（伸ばしたい）
 - データを解析したい、物理論文の著者になりたい
- コラボレーション側のメリット
 - 専門性を持った人たちによる測定器の運転維持、ソフトウェアの整備・改善
 - 運転に必要なコスト（維持費、計算機、シフト要員）の分配
 - 新しいアイデア（物理解析、測定器、ツール）の導入
- 新規参加機関は、応募の動機、グループの規模、歴史、service task（＝物理解析以外の仕事）として何に貢献するかを表明。推薦書を添えてIBに申請
- コラボレーションは、参加を許可することでメリットが得られるか、グループの規模、ファンディングは適切か、過去の業績は良好かなどを審議。投票。
- 参加機関は、service task (測定器の開発・維持・運転、計算機・ソフトウェアの開発・管理など)をこなし、各種シフトを取り、運転資金と計算機資源の割り当てを充足する。一方で、参加研究者はデータを解析することができ、物理論文（コラボレーションの共著）の著者になる権利を持つ。

進捗の外部評価



「Bファクトリー実験専門評価委員会」 通称BPAC

- 11名の委員と、審査のテーマに応じて委員外の専門家を5~9名招集。
- 評価を年に3~4回実施。直近は2019年2月。
(次回6月23~25日)
- 報告書速報版2/21(3ページ)、最終報告書5/11(29ページ)

中田 達也	スイス連邦工科大学 ローザンヌ校物理学科
田島宏康	名古屋大学地球環境研究所
David CASSEL	コーネル大学
Heiko LACKER	フンボルト大学
Niko NEUFELD	欧州原子核研究機構 (CERN)
Marcel DEMARTEAU	オークリッジ国立研究所
Michael SULLIVAN	SLAC国立加速器研究所 (SLAC)
Zoltan LIGETI	ローレンスバークレー国立研究所
石野雅也	東京大学大学院理学系研究科
Stefania Gori	シンシナティ大学
Gloria Corti	欧州原子核研究機構 (CERN)

「Bファクトリー加速器レビュー委員会」 通称ARC

- 16名の外部委員とKEKから4名の役職指定メンバー (施設長と3主幹)
- 評価を年に1回程度実施。直近は2018年3月。
(次回2019年7月)
- 報告書最終版 3/28 (28ページ)

Frank Zimmermann	CERN
Ralph Assmann	DESY
Paolo Chiggiato	CERN
John Fox	SLAC
Andrew Hutton	JLab
In Soo Ko	POSTECH
Catia Milardi	INFN-LNF
Evgeny Perevedentsev	BINP
Matt Poelker	JLab
Katsunobu Oide	CERN/KEK
Qing Qin	IHEP
Bob Rimmer	JLab
John Seeman	SLAC
Michael Sullivan	SLAC
Tom Taylor	CERN
Rogelio Tomas	CERN
Seiya Yamaguchi	KEK, Director of Acc. Lab. (ex officio)
Makoto Tobiyama	KEK, Head of Acc. Division IV (ex officio)
Yusuke Suetsugu	KEK, Head of Acc. Division V (ex officio)
Kazuro Furukawa	KEK, Head of Acc. Division III (ex officio)

測定器側、加速器側双方の会議に、お互いに出席、報告、議論。
また、委員の一人(SLAC Michael Sullivan氏)は両方の委員会を兼務。

<https://www.belle2.org/>

→“Public Review meetings”で公開

海外との費用分担(運転維持費)

加速器運転維持費

国際的合意(IUPAP/ICFAガイドライン)に基づきホストであるKEKが負担

日本

電気代、装置維持費、運転員人件費など

測定器運転維持費(M&O; 2-3億円/年)

ホストであるKEKが半分、残りをKEK以外が学位保有者数に従い分配。

日本の負担分(KEK+日本の大学)は、現状約60%

日本 60%

外国 40%

測定器の電気代、低温機器保守管理費、ガス代、安全監視員人件費、中核計算機保守員人件費など

計算機運転維持費(約23億円相当/年(H32))

生データ記録のためのテープは、KEK:外国=1:1

その他の計算機資源(CPU, Disk)は学位保有者数の比で配分

日本 20%

外国 80%

分散型計算機環境(GRID): 各国に分散した計算資源を共同で利用。データ増大に伴い増強

KEKの負担額

運転維持経費年間 80~90億円



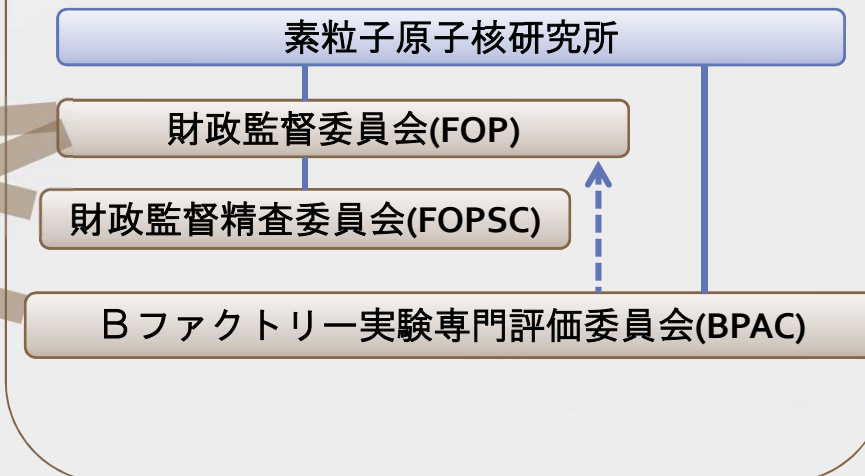
測定器運転維持費・計算機資源の管理

Belle II国際コラボレーション

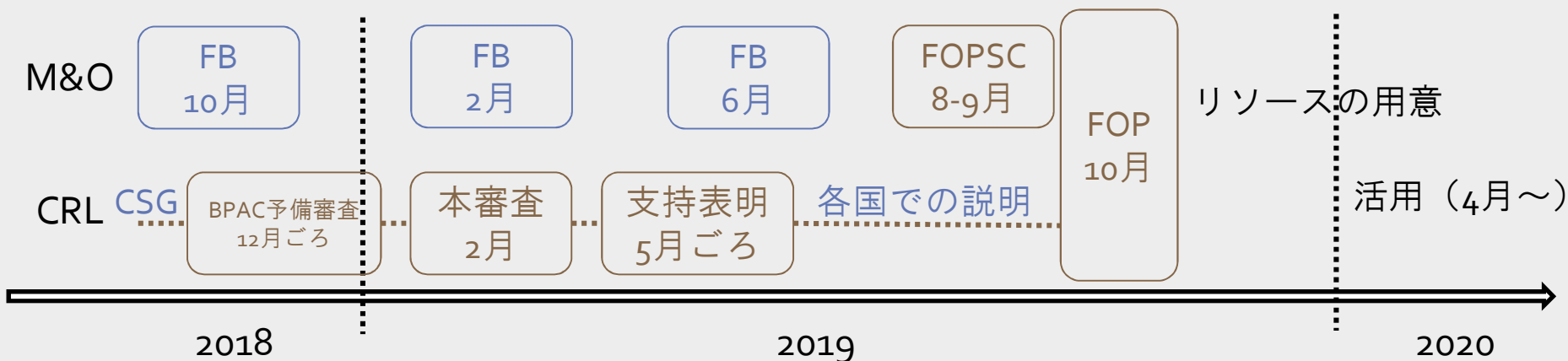
28 May 2019



KEKが招集する外部委員会



前年度決算と翌年度予算を審査し承認 (→10月)
(当該年度の状況やその先3年の計画も確認)
それに基づき翌4月からのリソースを用意



その他、国際的な運営について

素粒子実験の大型計画では、そもそもの物理目標を達成するために国際的な協力が不可欠で、それを当然のものとして受け入れる土壌、既成の枠組みが存在する。

- 参加機関の義務と権利は明確にされている
- 参加研究者による投票で代表者を選び、参加機関による投票で重要項目の議決を行うなど、一般的な組織運営を行っている
- 測定器運転のための予算・資源分担は学位を保有する研究者数に応じて公平に決められ、審査の仕組みも確立している
- 物理解析のために必要な計算機資源やデータは、各地に分散され、共有される。情報の区分ごとの共有方針が明文化されている
- 研究者、技術者ともに国境を越えて協力し課題を遂行する。若手研究者のキャリアパスは、国境に関係なく、コラボレーション内外に広がっている。
- 可能な限り single point of failure をなくすべく、情報共有・技術移転を進めている

(国際的に公平な運営をする中での) ホスト国のメリット:

- 加速器大型計画のホストには、高度な加速器・測定器技術、エンジニアリングスキルの他に、高いレベルのインフラ、ロジスティクス、国際組織運営能力が求められるため、非常に限られた国しかホストができない。ホストをすることは、日本の国際的信用を高めることにつながる。(また、海外機関がホストする国際プロジェクトに胸を張って参加できる。)
- プロジェクトが成功した際には、その最大の栄誉を負う。(日本のおかげで、難しいプロジェクトが成し遂げられ、成果が上げられた。)
- 世界中から最先端の技術と頭脳が集まる知の拠点として、頭脳循環、技術交流が進み、水準の向上が期待できる。
- 国民に世界の最先端を身近に感じさせ、科学のすばらしさを通じて夢と希望を与え、科学技術立国の基盤を支える。

【比較】前身Belle実験の実態

- 測定器建設費のほぼすべてをKEKが負担
 - 一部、外国で製造した検出器を導入（日米協力）
- 測定器運転経費のすべてをKEKが負担
 - 資金を集める枠組みなし
- 計算機資源の大半をKEKが負担
 - リソースを出せる機関からは個別の貢献（シミュレーション）
- 国際的な運営体制
 - 選挙による代表者選び
 - Institutional Board, Executive Boardによる組織運営
 - 国際的に開かれたデータ共有、物理解析、国際会議での発表

まとめ

- SuperKEKB加速器は、新しいナノビーム衝突方式により、性能を世界記録の40倍に向上。Belle II測定器は一秒間に3万回の素粒子反応をもれなく記録。これまで見つけることのできなかつた新しい物理現象を、精密測定によりあぶり出し、宇宙・素粒子の数々の謎に迫る。世界の新物理探索実験と競争関係かつ相補的關係にある。
- 物理成果に対する高い期待により、ヨーロッパから約400名、アジアから約210名、アメリカから約150名、日本から約160名、合わせて900名を超える研究者が集結して国際連携事業として推進してきた。建設が終わり、本格物理運転が始まったところ。
- 素粒子実験業界の標準的な形態の国際実験組織により事業を実施している。
- 参加機関の権利と義務は明らかにされている。加速器運転の責任はホスト国が負う。測定器運転及び実験遂行上の負担は国際的に分担される。一方で、物理解析を行うためのデータとリソースは共有される。
- プロジェクトの進捗、国際拠出運転維持経費の財務、計算機資源は外部委員会により評価・監督されている。
- 研究者・技術者の協力関係、若手研究者のキャリアパスは国際的に広がっており、KEKがその中心的拠点となっている。
- Belleのころと比べると特に財政面で国際色が増しており、国際的な責任も大きくなっている。