

平成21-25年度 科研費 新学術領域研究

多彩なフレーバーで探る
新しいハドロン存在形態の包括的研究

平成21年11月27日

領域代表者： 飯嶋 徹 （名古屋大学理学研究科）

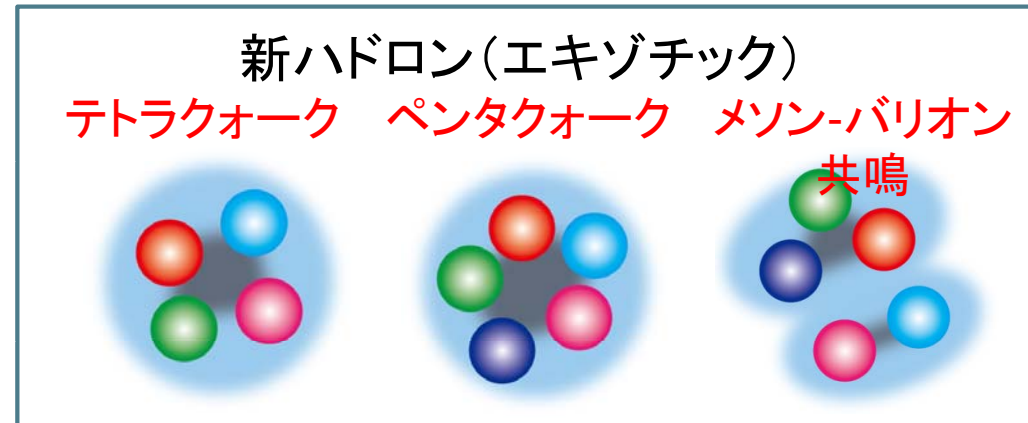
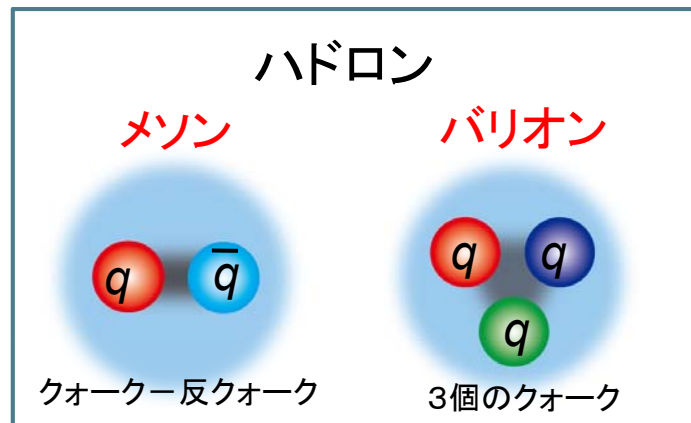
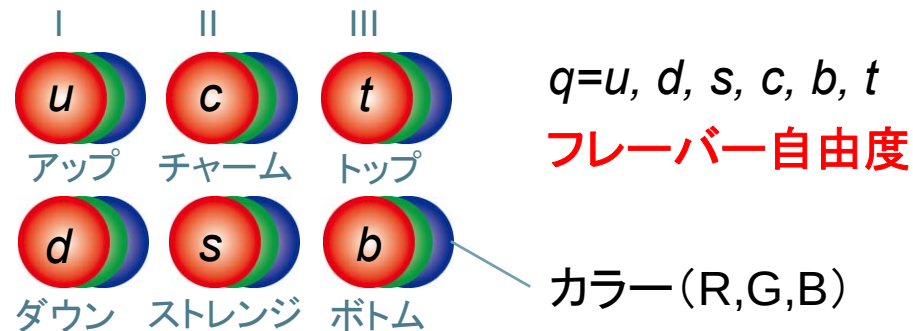


ハドロン物理の未解決課題-1

メソン、バリオン以外のハドロンはないのか？

2

クォーク(3世代6種類)



量子色力学(QCD)は、カラーが無色になることを要請するのみで、メソン($q\bar{q}$)、バリオン(qqq)以外の存在を制限しない(無い方が不思議)。

QCDに基づいた理解を！

A SCHEMATIC MODEL OF BARYONS AND MESONS *

M. GELL-MANN

California Institute of Technology, Pasadena, California

Received 4 January 1964

A simpler and more elegant scheme can be constructed if we allow non-integral values for the charges. We can dispense entirely with the basic baryon b if we assign to the triplet t the following properties: spin $\frac{1}{2}$, $z = -\frac{1}{3}$, and baryon number $\frac{1}{3}$. We then refer to the members $u^{\frac{2}{3}}$, $d^{-\frac{1}{3}}$, and $s^{-\frac{1}{3}}$ of the triplet as "quarks" q and the members of the anti-triplet as anti-quarks $\bar{q}$. Baryons can now be constructed from quarks by using the combinations (qqq) , $(qqq\bar{q})$, etc., while mesons are made out of $(q\bar{q})$, $(qq\bar{q}\bar{q})$, etc. It is assumed that the lowest baryon configuration (qqq) gives just the representations **1**, **8**, and **10** that have been observed, while the lowest meson configuration $(q\bar{q})$ similarly gives just **1** and **8**.

A formal mathematical model based on field theory can be built up for the quarks exactly as for p , n , Λ in the old Sakata model, for example ³⁾ with all strong interactions ascribed to a neutral vector meson field interacting symmetrically with the three particles. Within such a framework, the

ハドロン物理の未解決課題-2

ハドロンの質量はどのようにして生成されたのか？

4



真空中の「抵抗」なし

対称性の自発的破れ

ヒッグス凝縮

電弱対称性

LHC実験

クォーク凝縮

カイラル対称性

本研究



物質の質量の99%を担うのは強い相互作用における対称性(カイラル対称性)の自発的破れ。

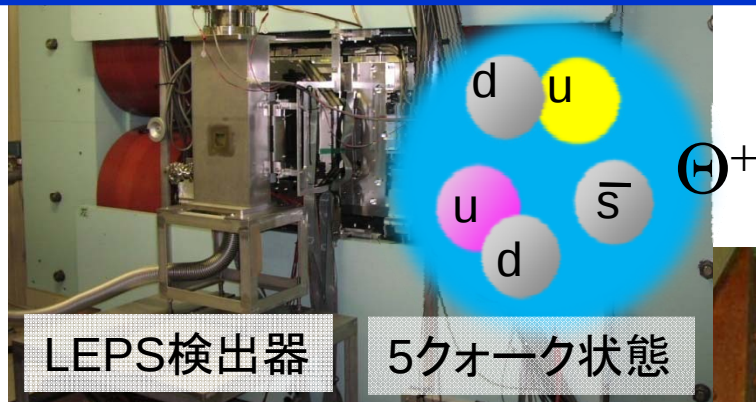
が、機構解明につながる実験的検証は成されていない。

日本発 3つの重要な発見

5

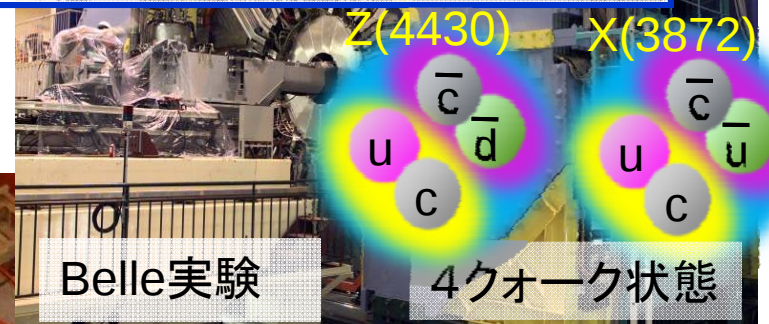
SPRing-8のLEPS実験におけるペンタクォーク候補(Θ^+)の発見

中野(実験代表、04仁科記念賞)、堀田、與曾井ら
Phys.Rev.Lett.91,012002 (2003) #cite=796



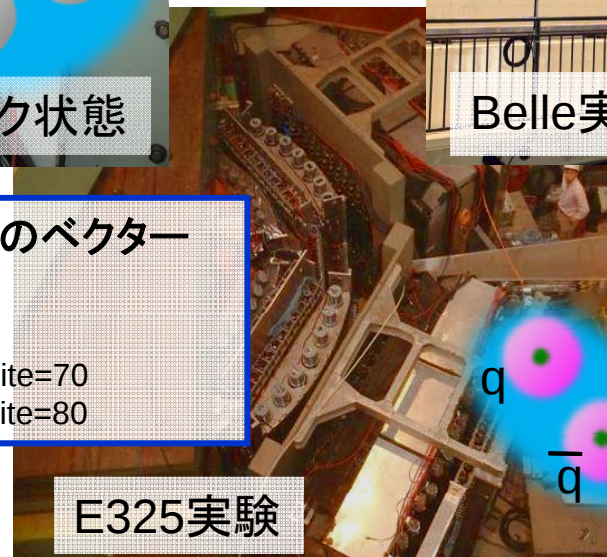
Bファクトリー実験におけるエキゾチックハドロンの相次ぐ発見(10種類以上)

飯嶋、堺井(共同実験代表)、宮林ら
Phys.Rev.Lett.91,262001(2003) #cite=429
Phys.Rev.Lett.91,262002(2003) #cite=210
Phys.Rev.Lett.89,142001(2002) #cite=201



KEK-PS実験による原子核中でのベクター中間子の質量減少の発見

延與(実験代表)、四日市、小澤ら
Phys. Rev. Lett. 86, 5019 (2001) #cite=70
Phys. Rev. Lett. 96, 092301 (2006) #cite=80



原子核
ベクター中間子
 q
 $\bar{q}$
カイラル対称性の部分的回復を示唆

本領域の研究者が世界をリード!

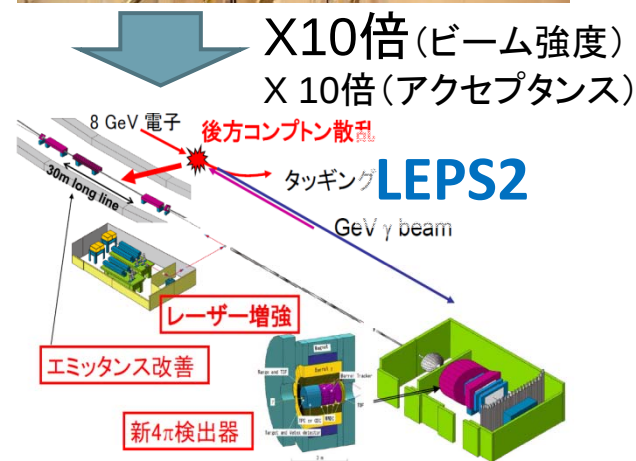
日本独自の加速器施設の更なる高輝度化

6

電子陽電子コライダー



レーザー電子光施設



陽子シンクロトロン



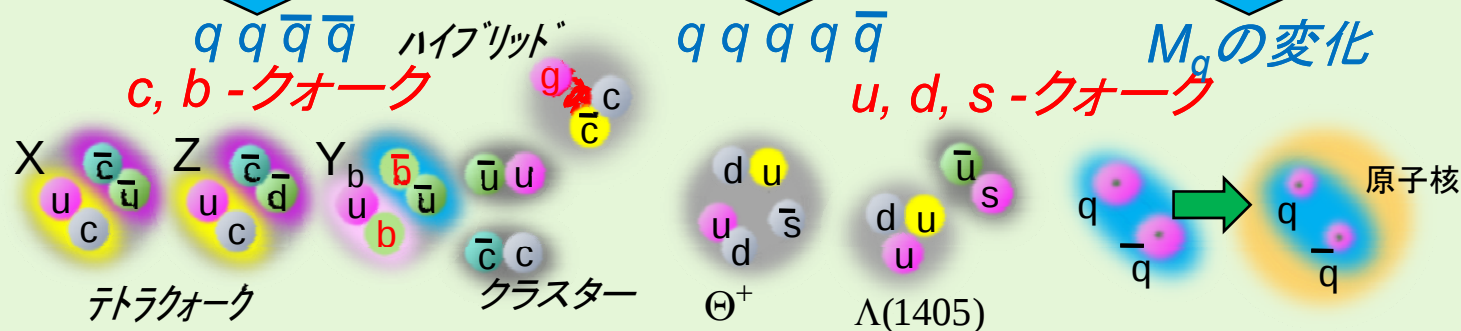
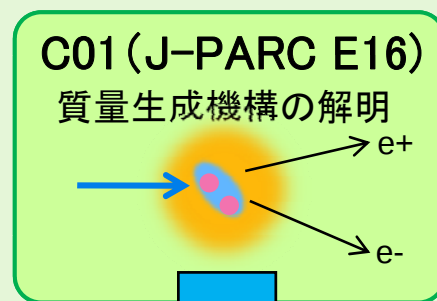
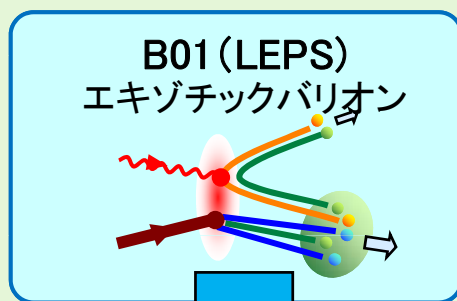
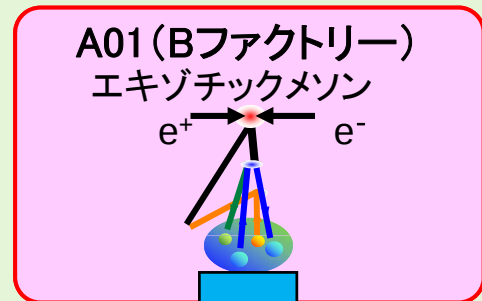
ハドロン研究に絶好の機会＋日本の優位性は明らか！

「多彩なフレーバーでさぐる新しいハドロン存在形態の包括的研究」

世界をリードする素粒子原子核分野の実験・理論研究者が、「ハドロン」という共通のキーワードを得て結集、その境界領域に新しいハドロン物理学を創成する。

E01(理論研究) QCDに基づく統一的な理解+実験への予言

クォークがどのように質量を獲得し、どのような形態でハドロンに閉じ込められるのかを探る



多彩なフレーバーと密度を変数とした(マルチ)クォーク物質の豊富なデータ

D01(検出器): 将来の加速器増強に向けて必要となる検出器共同開発

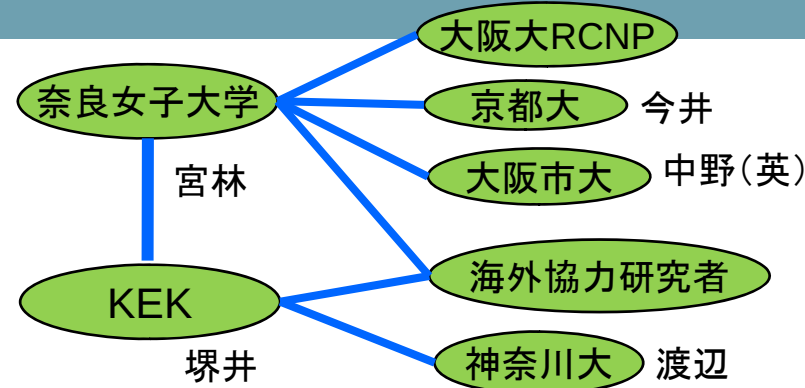
A01:Bファクトリー実験におけるエキゾチック ハドロンの研究(代表:堺井義秀)

核物理研究者
Belle NPC

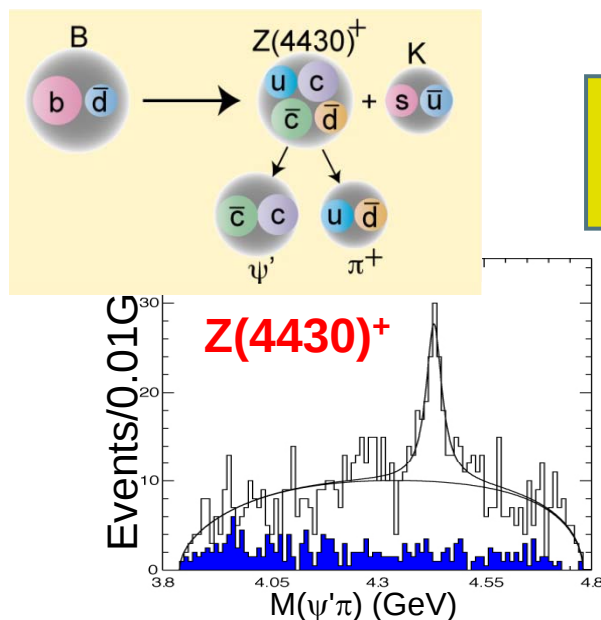
中野他
18名

8

- 既已取得された大量データ(10億個のB崩壊)の組織的かつ系統的な解析。
- 組織と環境の整備 - 研究員、計算機
- 理論研究との連携
- 核物理研究者の参加



これまでに10種類以上のチャーム
を含んだエキゾチック状態を発見

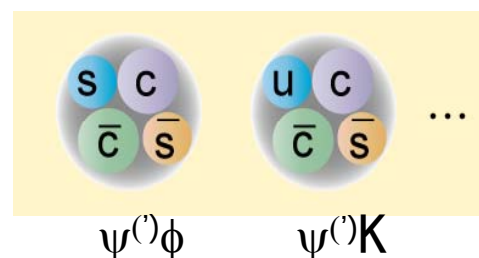


まだ多くの探
きれていない
モード

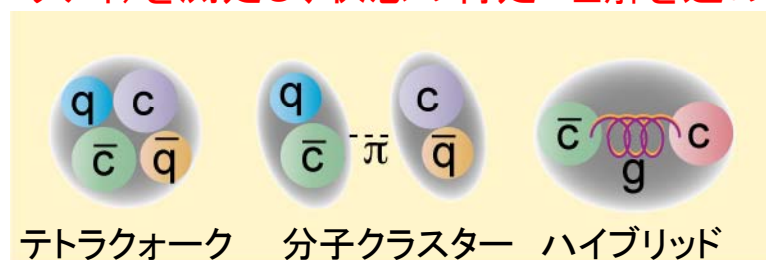
新たなエキゾチック状態の探索

理論研究者

保坂他



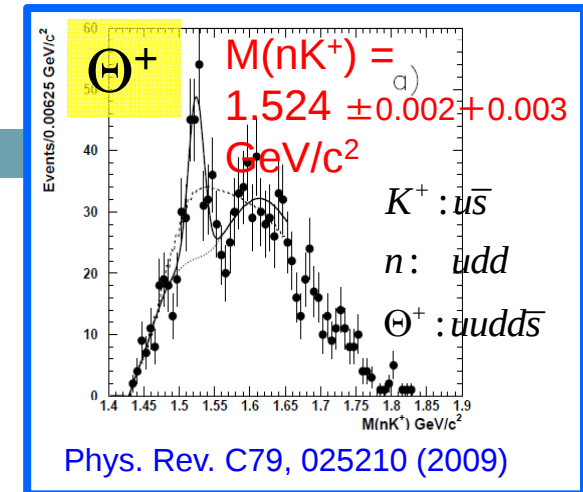
見つかった新粒子の性質(崩壊モード、スピン、
パリティ)を測定し、状態の特定・理解を進める。



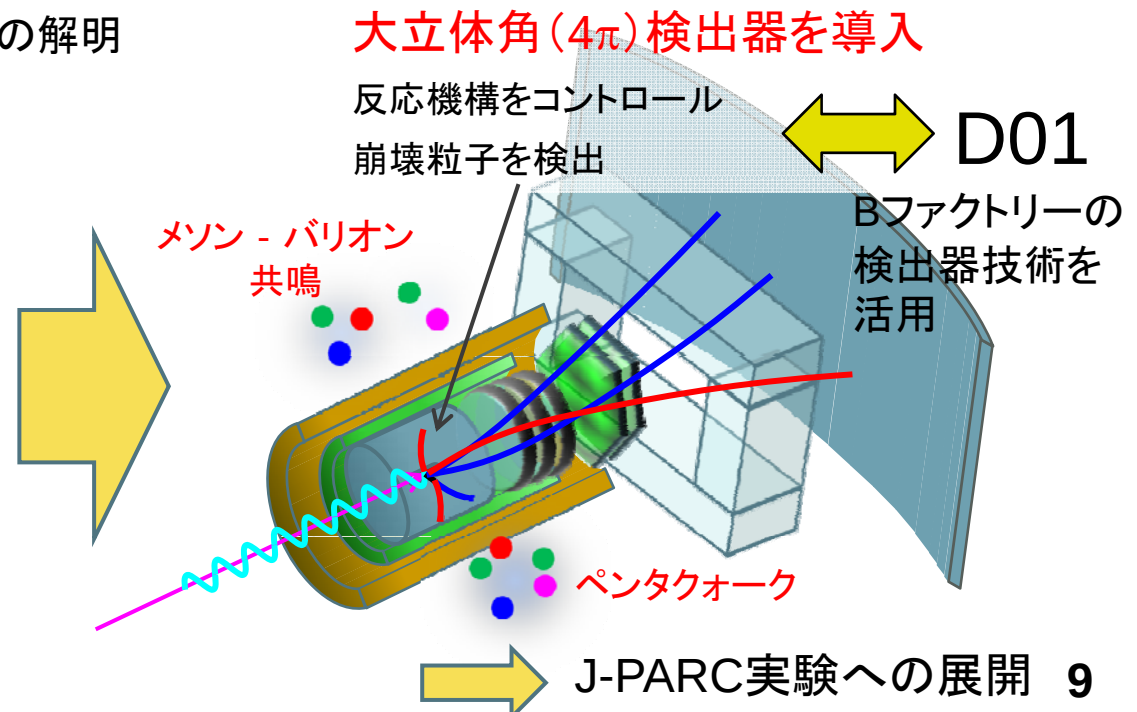
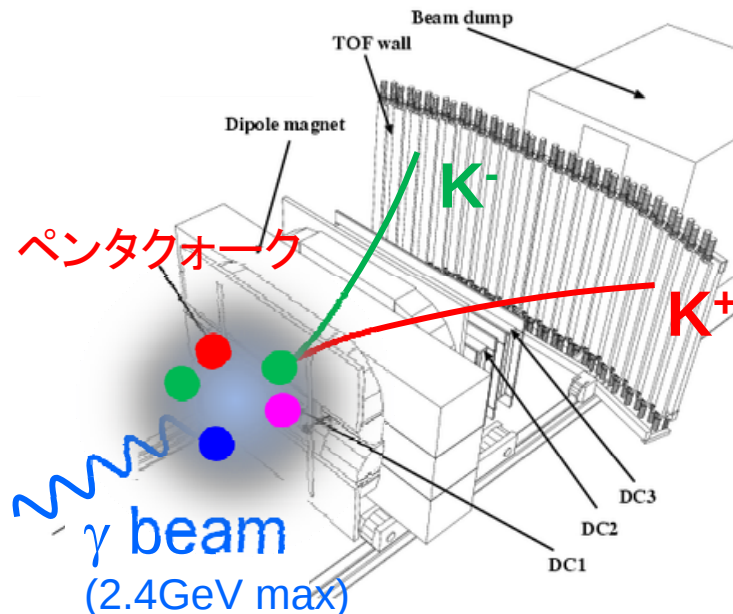
B01: 異状な構造をもつバリオンの存在形態の解明 (代表: 野海博之)

9

- 通常のクォーク模型を超えるハドロンの描像を探究
ペンタクォーク(Θ^+) + メソン-バリオン共鳴($\Lambda(1405)$)
- 道具立て
 - ▣ 大立体角検出器の導入 (澤田、與曾井、成木、堀田)
 - ▣ 光子ビーム実験推進 (中野) + 増強 (村松、依田)
 - ➡ K中間子ビーム (谷田)
- 生成機構と崩壊モードの包括的研究
 - ➡ スピン、パリティの決定、構造の解明



高統計データにより再確認された Θ^+ の信号



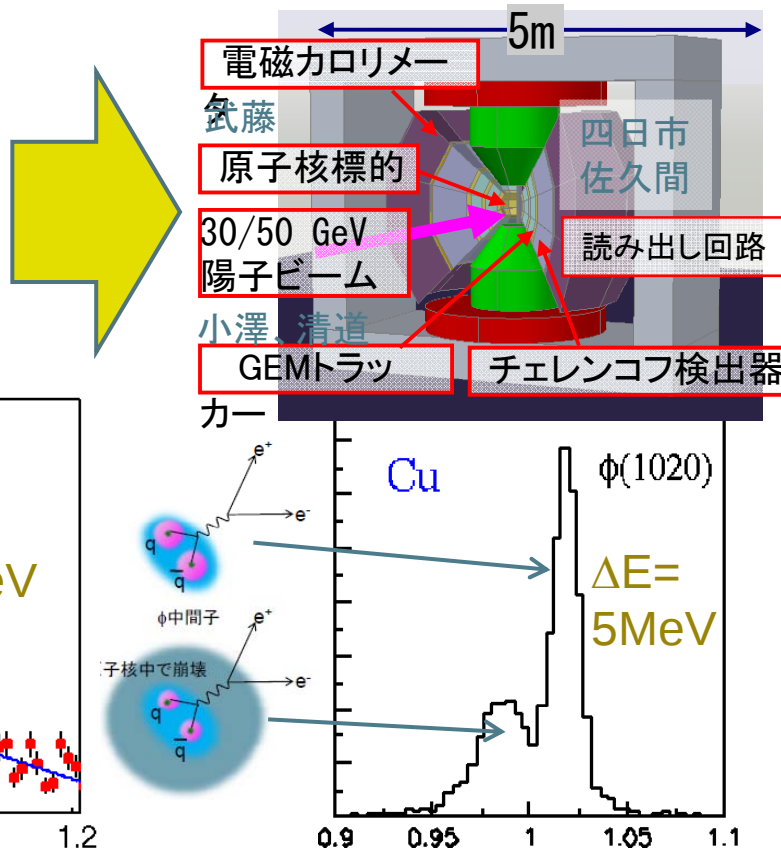
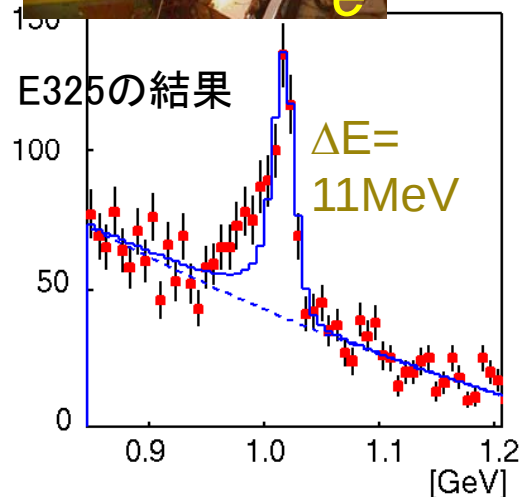
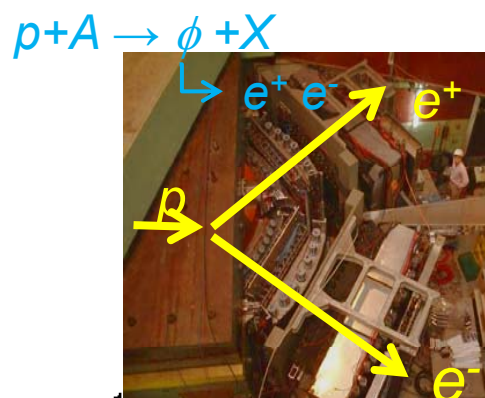
C01: カイラル対称性の破れによる質量生成機構の実験的解明(代表: 延與秀人)

10

□ J-PARC 新実験(E16)で、質量生成の機構を解明する。

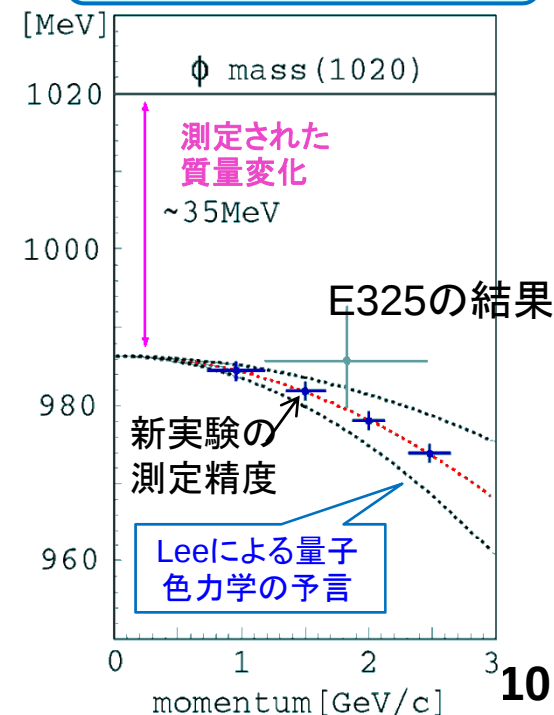
- ビーム増強+大立体角+高分解能スペクトロメータ
- 明確な分離構造+核内分散関係の導出

↔ D01との連携



標的核依存性→密度依存性

運動量依存性
→ 核内分散関係の導出



D01: 高輝度実験に向けた先端的測定器の開発 (代表: 飯嶋 徹)

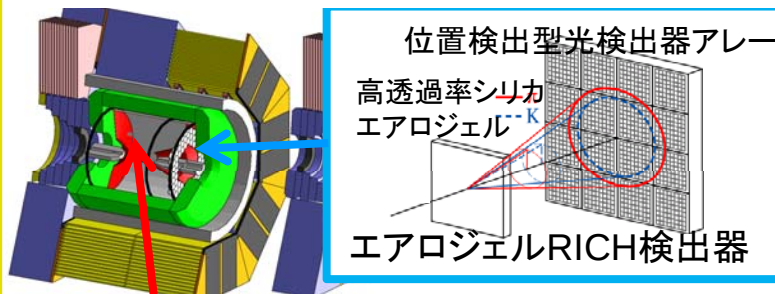
計画研究A01,B01,C01との連携

11

- 3実験プロジェクト(Bファクトリー, LEPS, J-PARC)で必要となる共通技術を共同開発し、システムの共通化を図る。
 - 粒子識別装置、飛跡検出器、半導体検出器
 - 高輝度化に向けた高速読み出し回路-連携による資源の共有

素粒子・原子核や周辺領域への波及効果

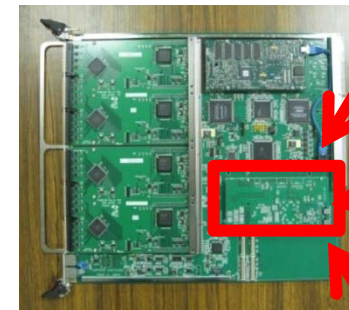
目標1: 次世代粒子識別装置の高輝度Bファクトリー実験への導入 足立、原、居波



高時間分解能 高精度研磨石英
1次元光検出器
TOP(Time-Of-Propagation) カウンター

目標2: 高速読み出し回路の共同開発、システムの共通化 味村

「COPPER」モジュール



各検出器の用途に応じた「FINNESE」カード



半導体検出器用
読み出し回路

坪山



粒子識別装置用
高時間分解能TDC

青木



飛跡検出器用
Flash ADC

内田

「独自の最先端装置開発によって最先端の物理成果を」

E01: 多彩なフレーバーがもたらすクォークハドロン物質の新形態に関する理論研究(代表: 保坂 淳)

12

A01: $q q \bar{q} \bar{q}$
 c, b -クォーク

B01 $q q q q \bar{q}$
 s -クォーク

C01 M_q の変化
 u, d -クォーク

実験研究の豊富なデータをQCDに基づいて統一的に理解

現象の予言や新しい測定の提案

素粒子物理、原子核物理、多体問題の研究方法を集約
量子色力学 (QCD) の第一原理 + 有効理論による研究

クォーク模型によるハドロン分光
(竹内, 森松, 土手, 滝澤)

クォーク分布と破砕関数
(森松, 斉藤, 熊野)

QCDの第一原理に基づいた研究 (菅沼, 国広, 原田, 岡, Lee)
有効模型の基礎付けとシミュレーション

新しいハドロンの存在形態とその生成ダイナミクスの理解。

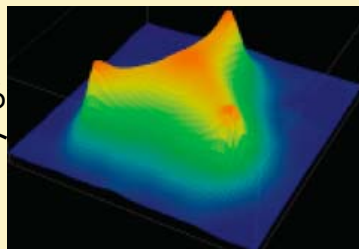
カイラル有効理論による構造と相互作用 (原田, 国広, 岡, 保坂, 慈道, Wise, Oset)

散乱・生成・崩壊機構の解明
(保坂, 慈道, Oset)

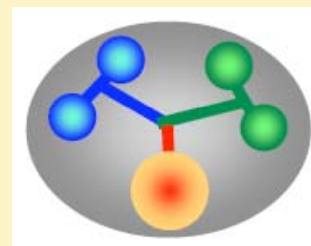
研究員 + 大学院生の積極的参加

例えば...

格子QCDによる
クォーク間のスト
リング (菅沼)



原子核理論
で培われた
4体5体計算

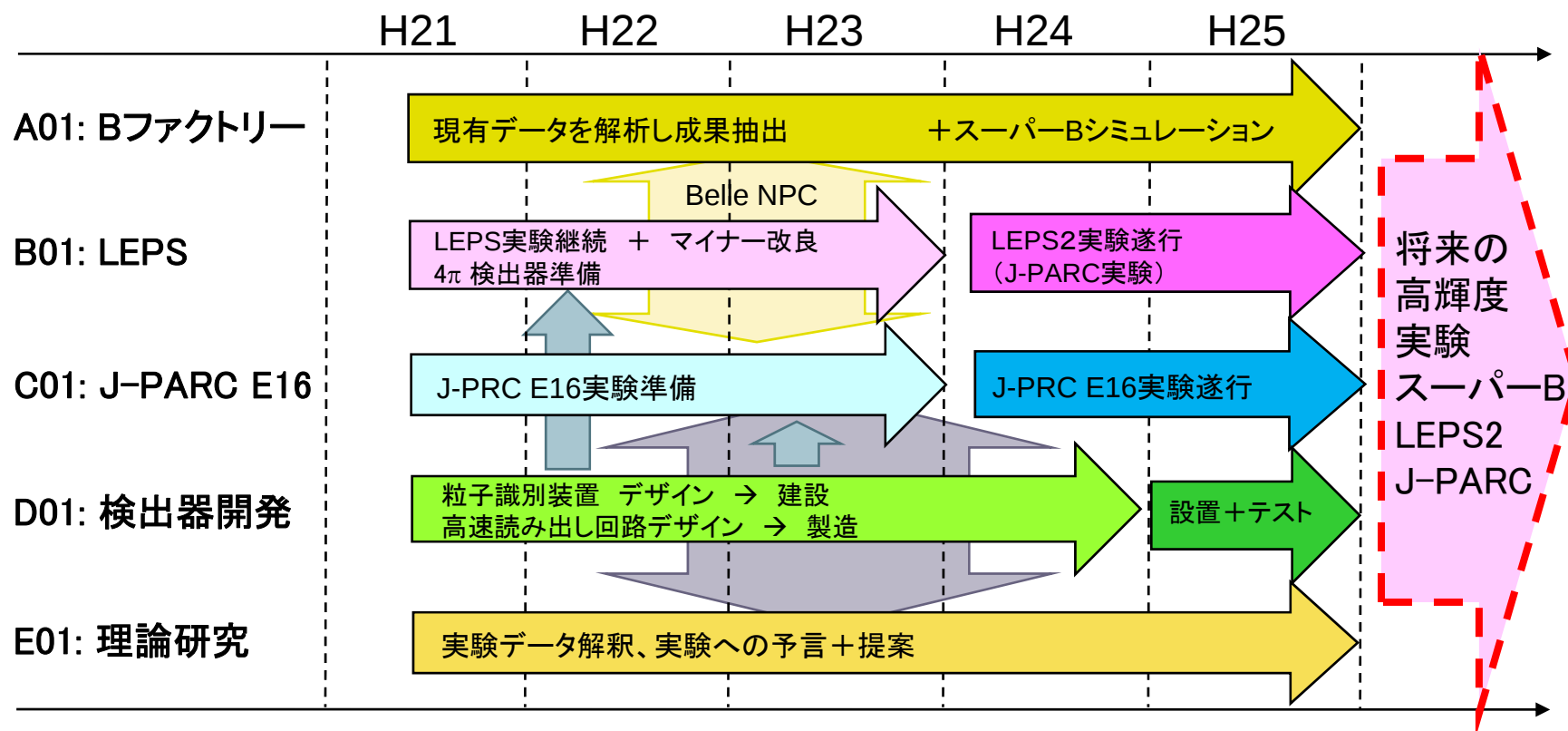


エキゾチック状態を解析

研究計画(全体的な流れ)

13

- 研究期間内に確実な物理成果
- 実験の改良、新しい実験の開始
- 将来の高輝度実験への発展(出口)
- 連携: 実験と理論、検出器共同開発、Belle NPCなど



領域マネジメント

14

共通するサイエンスの興味に根ざした、実験プロジェクト、素-核分野間の壁を超えた本格的な研究交流を目指す。

□ 研究に**新しい血(知)**を！

- ▣ Bファクトリー解析に核物理研究者の目
- ▣ LEPSやJ-PARCの実験にBファクトリーの実験技術を導入して最大限の成果を引き出す。

Belle Nuclear Physics Consortium (2009.3-)
RCNPを窓口とする核物理研究者のBelleデータ解析チーム(中野他18名)

- 新たな観点でBelleデータを解析
- 検出器や読み出しシステムの共同開発
- Belle解析ソフト講習会等で支援
核物理研究者を対象としたBelleデータ解析講習会(2008.9)

飯嶋(Belle共同代表)が中野と協力して設置

多彩なフレーバーで探る新しいハドロン存在形態
(2008.12, 名古屋)



これまでに開催した準備研究会

- エキゾチックハドロンの研究－HEP-Nuclear クロスオーバー(2005.5, 奈良)
- 多彩なフレーバーで探る新しいハドロン存在形態(2008.12, 名古屋)
- 多彩なフレーバーで探るマルチクォークハドロン－Bファクトリー, LEPS, J-PARCのクロスオーバー(2009.3, 日本物理学会シンポ)

など

既に本格的連携がスタートしている。

総括班の役割

15

計画研究の遂行を助け、計画研究間や公募研究との相互作用を促進する。

- 有機的な連携の促進
- 研究成果の集約、発信
- 研究指針の策定
- 境界領域で活躍できる
若手育成
- 啓蒙活動の推進

メンバー

計画研究代表

各実験代表

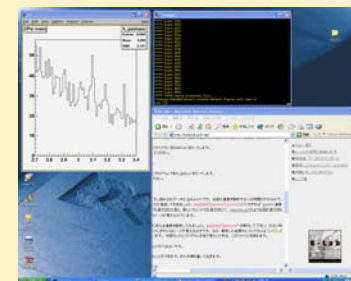
中野貴志、四日市悟

評価担当

山内正則、土岐博、S.Olsen

具体的な事業

- 領域研究会
- 検出器ワークショップ *
- 国際会議の開催
- 研究評価
- 総括班会議
- Belleソフトウェアフェスタ(解析講習会)
- 若手スクール
- ホームページ運営
- B-lab.
高校生向け新粒子
探索プログラム



+ Belle Nuclear Physics Consortium

公募研究の役割

新しいハドロンの形態に関する研究のネットワーク

➡ より幅の広い成果

16

□ 計画研究と相補的な研究を推進。

- 国内外の関連実験研究
- 将来の実験に向けた検出器開発
- 相補的アプローチによる理論研究
- 新しい解析の提案 (Belle NPC)

格子QCD
大規模計算

弦理論のアプローチ

E01 理論研究

次世代を担う若手研究者
による提案を歓迎

計画研究

D01 検出器開発

A01 Bファクトリー
e⁺e⁻コライダー

B01 LEPS
電子光ビーム

C01 J-PARC
陽子シンクロトロン

新しい検出器開発

新しい解析提案
Belle NPC

国内外研究所

東北大核理研
光ビーム

中国高能研
e⁺e⁻コライダー

RHIC
重イオン・コライダー

LHC (ALICE)
重イオン・コライダー

500万円以下/年 × 6件 + 150万円以下/年 × 8件を予定

まとめ

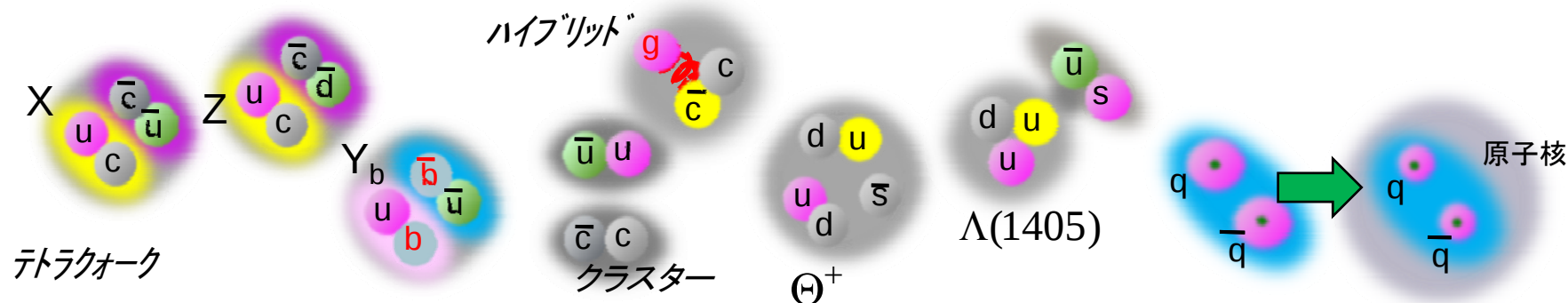
17

素粒子－原子核の連携研究によって、
ペンタクォークやテトラクォークの確立と構造の理解を進める。



メソン－バリオンを超えた新しい物質の存在形態
に関する新たな学問を創成。

クォークの閉じ込めと質量生成機構の完全解明に向けて！



基礎物理学に対する日本独自の貢献となる。