

科学研究費助成事業（基盤研究（S））公表用資料  
〔令和2（2020）年度 中間評価用〕

平成30年度採択分  
令和2年3月31日現在

原子核中における中間子質量変化の系統的測定による  
ハドロン質量起源の研究

Origin of hadron mass studied by the systematic  
measurement of spectral change of mesons in nuclei



課題番号：18H05235

四日市 悟 (YOKKAICHI, SATOSHI)

国立研究開発法人理化学研究所・仁科加速器科学研究センター・専任研究員

研究の概要（4行以内）

KEK-PS E325 実験で兆候をつかんだ原子核中での中間子の質量変化は、「カイラル対称性の自発的破れによるハドロン質量の生成」の実験的証拠と捉え得る重要な現象である。これを J-PARC で世界一の精度で測定するため E16 実験を提案、本資金でスペクトロメータを建設し、E325 の結果を再確認し、さらに原子核内のクォーク凝縮を導出、かつ質量変化の運動量依存性を得る。

研究分野：原子核物理（実験）

キーワード：放射線 X 線粒子線/GEM/電子検出器/飛跡検出器/カイラル対称性

1. 研究開始当初の背景

KEK-PS で 2002 年にデータ取得を終了した E325 実験でベクトル中間子 ( $\rho$ ,  $\omega$ ,  $\phi$ ) の原子核中における質量変化現象の証拠をつかみ、2006-7 年に発表した。これは、2008 年ノーベル賞の南部陽一郎らの提唱した「カイラル対称性の自発的破れによるハドロン質量の生成」というメカニズムの実験的証拠と捉え得る重要な現象である。より詳細な測定が待たれたが、高度な実験技術が要求されるため、現在にいたるまで追試と呼べる実験もほとんど行われていない。この状況下で、E325 実験を高度化した J-PARC E16 実験を提案している。

2. 研究の目的

J-PARC に建設中である新一次ビームライン（高運動量ビームライン）の完成と同時に実験を開始して、系統的な再測定により E325 の結果を約 10 倍のデータ量で再確

認し、原子核内のクォーク凝縮を導出、さらに質量変化の運動量依存性を得る。

3. 研究の方法

J-PARC ハドロン実験施設に現在建設中の新一次ビームラインに新しい電子・陽電子対スペクトロメータを建設し(図 1)、

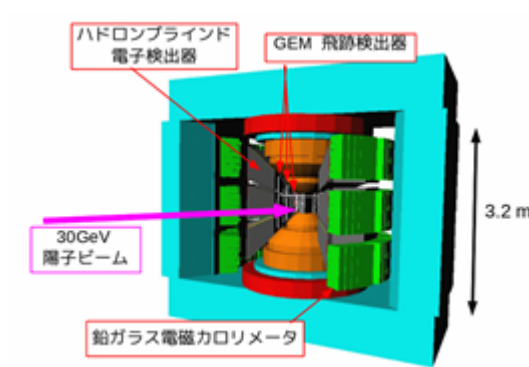


図1. スペクトロメータ模式図。上中下3段 26 モジュールからなる。本計画では中段のみを建設する

KEK-PS E325 実験で得た 6 倍 (15000 個) から 12 倍 (30000 個) の  $\phi$  中間子データを収集する。

J-PARC MR 加速器 からの高強度一次ビーム (30 GeV,  $1 \times 10^{10}$  /pulse) を、標的起源の電子バックグラウンドを抑えるため物質量を減らした極薄の原子核標的 (放射長で最大 0.5%、Cu で 80 $\mu$ m、Pb で 30  $\mu$ m) に照射し、 $1 \times 10^7$  Hz の反応レートに耐える検出器で大立体角をカバーする。

この反応レートに耐えるため、飛跡検出器としては GEM 飛跡検出器 (GTR) を採用した。位置分解能 100 $\mu$ m を達成、 $\phi$  中間子に対する質量分解能はその運動量に依存して 6~8MeV となる。電子同定には前段:ハドロブラインド電子検出器 (HBD、ガスケレンコフ検出器の一種)、後段:鉛ガラス電磁カロリメータ (LG) の 2 段構成を用いる。HBD と LG の組み合わせによって、背景雑音となるパイ粒子を電子と誤認する確率を 0.03% まで下げることができる。

#### 4. これまでの成果

2018 年から 2019 年にかけて、スペクトロメータを構成する検出器である LG を 6 モジュール、GTR を 6 モジュール、HBD を 4 モジュールと、その読み出し回路を製作し、スペクトロメータ磁石内に設置し、コミッションング準備を完了した。(写真 1) これらは 2020 年 2 月に予定されていた、J-PARC 高運動量ビームラインの使用開始と同時にコミッションングをおこなうべく整備したが、J-PARC における施設変更許可の遅れにより、残念ながら 2020 年 3 月現在まだビームはでていない。



写真 1. スペクトロメータ磁石内部に設置された検出器。右上から中央にかけて走るのはビームパイプ。

#### 5. 今後の計画

J-PARC の中期的なビームスケジュール、すなわち 2021 年度(計画第 4 年度)における加速器改造のためのロングシャットダウンを考慮にいれ、2020 年(第 3 年度)には、春および秋に予定されているコミッションングを完遂する。2021 年度にはデータ解析とともに検出器を増備し、2022 年(第 5 年度)に物理データ取得をおこない、 $\phi$  中間子の質量変化とその標的核依存性および速度依存性を測定する。理論との比較により原子核中のクォーク凝縮の変化を導出、また、質量変化の運動量依存性を導出する

6. これまでの発表論文等 (受賞等も含む)  
"Trigger Merging Module for the J-PARC E16 Experiment",  
M. Ichikawa et al, IEEE Transactions on Nuclear Science, 66, 2022 (2019)  
"Measurement of Vector Meson Mass in Nuclear Matter at J-PARC".  
S. Ashikaga et al (J-PARC E16 Collaboration),  
JPS Conf. Proc. 26, 024005 (2019)

#### 7. ホームページ等

<http://ribf.riken.jp/~yokkaich/E16/E16-in-dex.html>