

令和2年8月11日

J-PARC センター
大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構

J-PARC ハドロン実験施設で新たなビームラインの運転を開始しました

高エネルギー加速器研究機構（KEK）と日本原子力研究開発機構（JAEA）が共同で運用する、茨城県東海村にある大強度陽子加速器施設 J-PARC のハドロン実験施設¹⁾では、かねてより新たな陽子ビームラインの準備を進めてきましたが、6月24日に第三者機関による施設検査に合格し、ビームラインの運転およびそこでの共同利用実験を開始しました。新たなビームラインの運転により、日本で一番高いエネルギーとなる陽子ビームを、実験に使えることになりました。



図 1：大強度陽子加速器施設 J-PARC とハドロン実験施設

J-PARC ハドロン実験施設では、J-PARC の主リング（MR）加速器で加速された

30GeV の陽子ビームを用いて、原子核物理や素粒子物理の実験研究が行われています。これまでは、高強度の π （パイ）中間子²⁾やK（ケイ）中間子といった、陽子ビームを金属標的に照射して発生する二次粒子と呼ばれる粒子を使って、ストレンジクォーク³⁾を含むハドロンや原子核の実験が強力に押し進められてきました。今回新たに運転を開始したビームラインでは、30GeV という高運動量の陽子ビームを直接実験に用いることができるようになります。また、このビームラインをさらに高度化し、高運動量の2次ビームの利用ができるようになると、高い質量を持つハドロンの生成や、チャームクォークを含む希少なハドロンについても研究を展開することができるようになります。高運動量の陽子を直接用いることにより、ハドロン実験施設で行われる実験の幅が、さらに一段と広がりを見せることとなります。

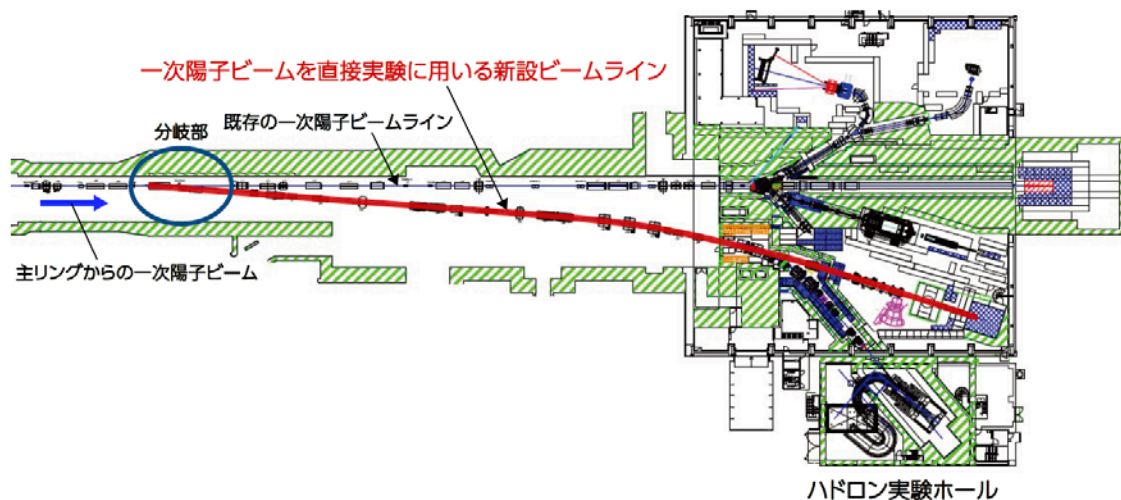


図 2：主リング（MR）加速器からハドロン実験施設まで。図中の赤いラインが今回新設されるビームラインです。

MR 加速器から取り出されてハドロン実験施設に入射する陽子ビームは既存の一次陽子ビームラインを用いて輸送されますが、毎秒 10 兆個（ 10^{13} 乗）程度の陽子数という、30GeV のエネルギーでは世界最高強度を誇るビームです。既存の一次陽子ビームラインの途中に特殊な形状をした電磁石を設置することにより、このビームラインを走る陽子ビームのごく一部（ $1/1000$ から $1/10000$ ）を切り取って、新設のビームラインに分岐させます。これにより、分岐元の二次粒子生成に使われる陽子ビームラインにはほとんど影響を与えずに、新設ビームラインでは毎秒 10 億個（ 10^9 乗）から 100 億個（ 10^{10} 乗程度）の 30GeV 陽子ビームを直接実験に使用することができます。この陽子ビームは、切り取り後のビームと

しては日本で一番高いエネルギーとなります。

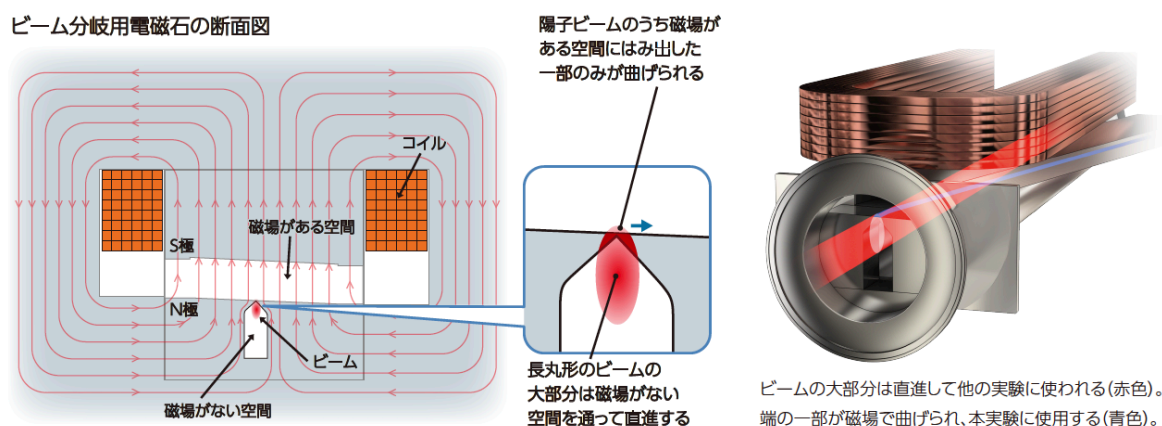


図 3：既存の一次陽子ビームラインから、一部の陽子ビームを新設ビームラインへ分岐させる電磁石

ハドロン実験施設では、これまで、この新たなビームラインに使用する電磁石やビームモニタ、真空システムなど種々の機器の準備や設置、試験を進めてきました。今回、5月24日から調整運転を開始し、第三者機関による施設検査に6月24日付で合格したものです。

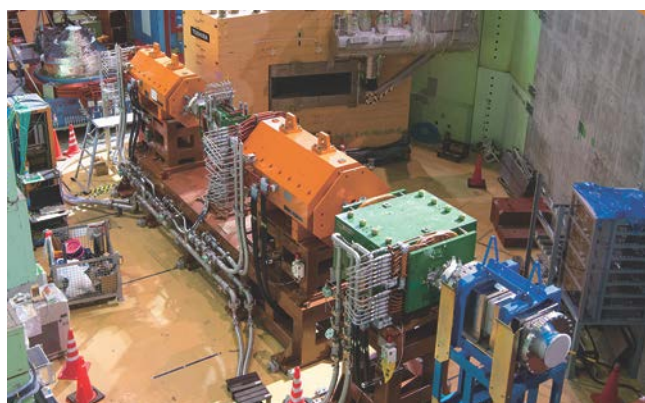


図 4：新設のビームライン

新たに運転を開始したビームラインでは、質量は周りの環境で変化するのか、という謎に答えを出そうという実験⁴⁾が始まりました。新設ビームラインに運ばれてくる陽子ビームを標的に照射すると、標的の原子核内に「 ϕ (ファイ)」という中間子が生成されます。 ϕ 中間子は電子と陽電子の対に壊れますが、この電子と陽電子の運動量を精密に測定することにより、もとの ϕ 中間子の質量を得ることができます。2008年にノーベル物理学賞を受賞した南部陽一郎教授が提唱した理論に基づ

く計算によると、原子核の内部のように密度がとても大きい環境では質量が変化するとされていますが、原子核内に存在する ϕ 中間子でも実際に質量が変化するか、変化するならばどのように変化するかを実験的に明らかにすることを目的としています。この実験は、今後検出器の調整などを進め、データを取得する予定です。

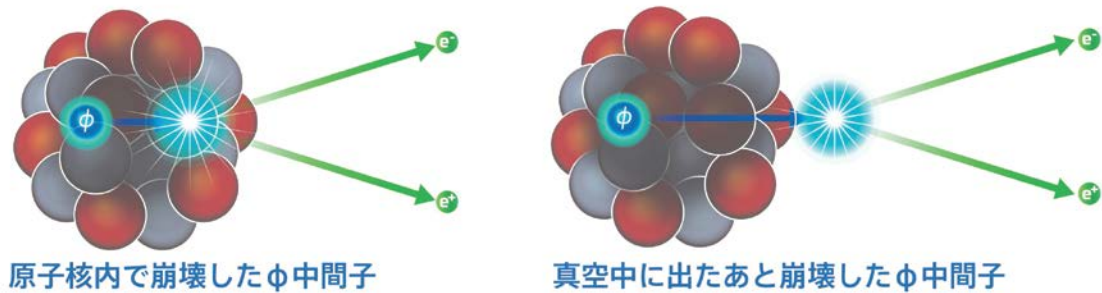


図 5：原子核内外での ϕ 中間子の崩壊のイメージ図



図 6：建設中の実験装置に集う J-PARC E16 実験コラボレーター（2019 年撮影）。

なお、下記のテレビ番組の中で、戦争を乗り越えた現代において加速器が繰り広げる研究の世界として、新設のビームラインで始まったこの実験に取り組む京都大学の成木恵准教授と学生達の様子が紹介されます。ぜひご覧ください。

BS1 スペシャル「原子の力を解放せよ～戦争に翻弄された核物理学者たち」

8月16日(日) NHKBS1

前編 22時00分～22時50分 「日本の”原爆開発”疑惑・75年目の真相」(50分)

後編 23時00分～23時49分 「科学者たちの葛藤」(49分)

1) J-PARC ハドロン実験施設

J-PARC は、大強度の陽子ビームで生成する多彩な二次粒子を用いて、さまざまな素粒子・原子核の研究や物質科学・生命科学の研究を行なっている施設です。「ハドロン」とは素粒子・原子核物理の用語で「強い相互作用で結合した複合粒子」という意味です。身近な存在として、原子核を構成する陽子・中性子のようにクォーク(物質を構成する素粒子)3個から構成される粒子(バリオン)や中間子(注2参照)等があります。J-PARC のハドロン実験施設では、クォーク間やハドロン間という極微の世界に働く「強い相互作用」の性質を調べる実験が行われており、それにより物質がどのように形づくられているのかに迫ろうとしています。

2) 中間子

クォークと反クォーク(クォークの反粒子)から構成される粒子。中間子には様々な組み合わせがあり、湯川博士の中間子論で有名な π 中間子や、 ϕ 中間子、K中間子、B中間子などがあります。

3) ストレンジクォーク

物質を構成する素粒子で、6種類ある。地球上の物質はそのうち「アップ(u)クォーク」と「ダウン(d)クォーク」から成っていますが、極めて密度が大きくなる中性子星内部など宇宙においては「ストレンジ(s)クォーク」が大きな役割を果たしていると考えられています。ハドロン実験施設ではこのストレンジクォークを含む粒子の性質を解明する研究が精力的に進められています。

4) 質量は周りの環境で変化するのか、という謎に答えを出そうという実験

J-PARC E16 実験(理研、KEK、東京大学、京都大学、大阪大学 RCNP、広島大学、筑波大学、東北大学、長崎総合科学大学、JAEA、JASRI、BNL、Academia Sinica)。「強い相互作用」の性質を解き明かすことにつながります。

季刊誌 J-PARC No.12(2019年6月)参照。