

CONSTRUCTION AND BEAM COMMISSIONING OF J-PARC HADRON EXPERIMENTAL FACILITY

Yoshinori Sato^{1,A)}, Keizo Agari^{A)}, Erina Hirose^{A)}, Masaharu Ieiri^{A)}, Yohji Katoh^{A)}, Akio Kiyomichi^{A)}, Michifumi Minakawa^{A)}, Ryotaro Muto^{A)}, Megumi Naruki^{A)}, Hiroyuki Noumi^{B)}, Shin'ya Sawada^{A)}, Yoshihisa Shirakabe^{A)}, Yoshihiro Suzuki^{A)}, Minoru Takasaki^{A)}, Hitoshi Takahashi^{A)}, Kazuhiro Tanaka^{A)}, Akihisa Toyoda^{A)}, Yutaka Yamanoi^{A)}, and Hiroaki Watanabe^{A)}

^{A)} High Energy Accelerator Research Organization (KEK)

1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki 305-0801

^{B)} Research Center for Nuclear Physics

10-1 Mihogaoka, Ibaraki, Osaka, 567-0047

Abstract (英語)

J-PARC Hadron Experimental Facility is a multi-purpose nuclear and particle physics facility using secondary particles (kaons, pions, and so on) produced on the production target, using 50GeV-15μA (750kW) primary proton beams extracted from 50GeV Proton Synchrotron at J-PARC. The primary proton beams accelerated in 50GeV synchrotron are extracted with the third order resonance extraction method (duration of extraction is 0.7 second.), and transported to Hadron Experimental Hall. The first beam extraction and the successful transportation to the beam dump in Hadron Experimental Hall was carried out on p.m.7:35 in January 27th, 2009. This article reports construction, first beam commissioning, and the future plan of Hadron Experimental Facility in detail.

J-PARCハドロン実験施設の建設とビームコミッショニング

1. J-PARCハドロン実験施設の概要

J-PARCハドロン実験施設^[1-4]は、50 GeV-15 μA(750kW)の大強度陽子ビームを二次粒子生成標的に照射し、 10^7 個/s程度のK中間子ビームを生成してストレンジネスを含んだ原子核や、K中間子の稀崩壊モード探索による素粒子標準模型を越える現象の研究等、多様な原子核・素粒子物理学実験を行うための施設である。図1にハドロン実験施設の全体図を示す。

50GeVシンクロトロンで30GeVまで加速された陽子は3次共鳴を用いた遅い取り出し方式(取り出し時間0.7秒)で出射され、約200 mの一次ビームラインで輸送され、ハドロン実験ホール内の二次粒子生成標的(T1)に照射される。T1標的に生成したK中間子等の二次ビームは二次ビームラインによって実験エリアに輸送され、実験に供与される。現時点でハドロン実験ホール内には1本の二次ビームライン(K1.8BR)が建設されている。T1標的には陽子ビームの30%が二次粒子生成によって失われ、残りのビームは最下流に設置されたビームダンプ^[5]によって吸収される。

2. 遅い取り出しビームライン

遅い取り出しビームラインは50GeVトンネルと接続したスイッチヤードと呼ばれるトンネル内に設置

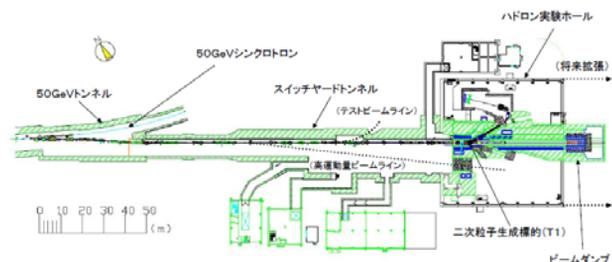


図1 ハドロン実験施設全体図

された輸送ビームラインである。スイッチヤードには、将来一次ビームの一部を分岐して高運動量の陽子ビームを実験ホールに導く高運動量ビームラインや、0.1%損失相当の標的を設置してテスト実験用のビームラインが建設可能である。

遅い取り出しビームラインには36台の電磁石が設置されており、その多くはKEKつくばにおいてニュートリノビームラインで使用されていた電磁石を改造・移設したものである。遅い取り出しビームラインではビームロスによる放射化が前提となっているので、無機コイルを用いた耐放射線電磁石や、冷却水・電気のセミリモート着脱方式を採用している。また、真空についても真空膜(アルミニウム製膜厚100μm)で加速器と真空を切り、オイルフリースクロールポンプで排気を行っており、メンテナンスの手間と建設コストを大幅に削減した。

¹ E-mail: yoshinori.sato@kek.jp

3. ハドロン実験ホール機器

図2にハドロン実験ホールの全体図を示す。ハドロン実験ホールは幅60m、長さ56mの大きさで、実験室のフロアは地下6.4mの半地下構造となっている。実験ホールは当初計画の半分の長さで建設されたため、第2期計画時には下流への拡張が行われる。実験ホール内には二次粒子生成標的(T1)を始点とする二次ビームラインを建設するための孔が4カ所設けられ、現時点では1本(K1.8BR)のみ使用されている。

T1標的に陽子ビームが照射されると、一次ビームライントンネルは強い放射線環境となる。電磁石は無機コイルを用いた耐放射線電磁石を使用し、電気及び冷却水の供給はビームレベルから5m上部のサービスレベルから行われる。また、真空接続を遠隔で着脱可能なピローシール^[6]も用いられている。

T1標的自体は直径360mmの純ニッケル円盤5枚から構成され、ビーム軸方向の厚さは54mmである。純ニッケル円盤は1回のビーム取り出しに約1回転させ、かつ円盤の下部を冷却水に浸して直接水冷する。回転水冷方式により、熱負荷を分散させつつ冷却することで750kW陽子ビーム照射時のT1標的での熱負荷(約14kW)に耐えることができる。

T1標的の下流では、750kWビームの30%損失相当の二次粒子が下流に放出され、そのエネルギーは200kW程度にも達する。これらの多くは中性子やγ線であり、標的の下流の機器に対する熱負荷となる。標的のすぐ下流には二次ビームを一次ビームから分岐させる偏向電磁石等が設置されるので、これらを保護するための銅コリメータが2台設置される。設計時の懸案は電磁石間を接続する真空パイプの冷却及びメンテナンス方法であった。この問題はT1標的の下流に幅3m、高さ5mの大型真空槽^[7]を設置し、電磁石やコリメータを真空中に設置して運転する方式を採用することで、真空パイプそのものを不要とした。T1標的及び大型真空槽(ターゲットステーション)の概要を図3に示す。大型真空槽内の電磁石及び遮蔽体はプラグ構造となっており、サービススペースから遠隔で着脱することが可能である。また、電気及び冷却水はサービススペースから供

図2 ハドロン実験ホール全体図

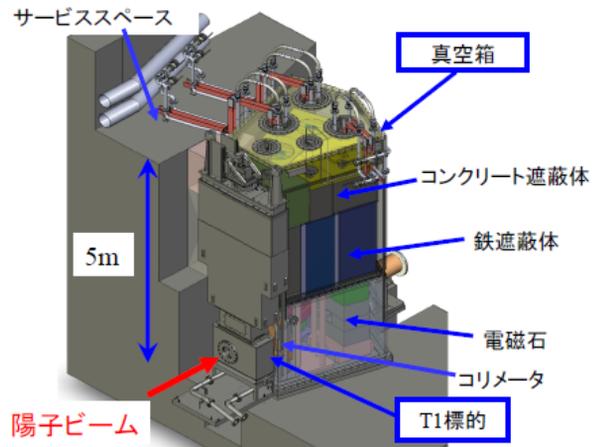


図3 T1標的及び大型真空槽の概要

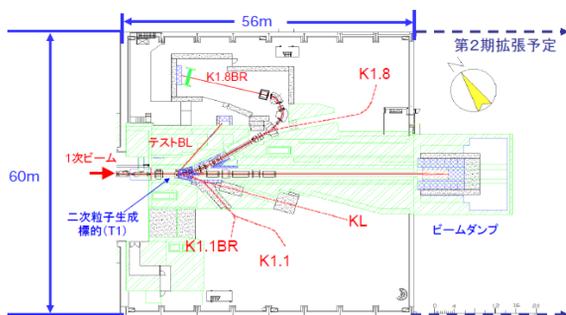
4. ビーム診断装置

50GeVシンクロトロン内でパンチ化されていた陽子ビームは、遅い取り出しビームラインでは直流に近い状態となるため、加速器で通常用いられるBPMやCTのようなモニタは役に立たない。KEK-PS等ではビームプロファイル測定にセグメント化されたイオンチェンバ(SPIC)や、蛍光スクリーンと撮像管が使用されてきたが、J-PARCのような大強度ビームではすぐに機器が損傷してしまうため使用できない。

我々は、1Pa程度の低真空中で陽子ビームが残留ガスをイオン化して生じる電子を電場と磁場でドリフトさせてプロファイルを測定する残留ガスビームプロファイルモニタ(RGIPM)^[8]を開発し、一次ビームラインに11台設置した。加速器と真空が繋がっている上流部分では、陽子ビームが5-10μmの金属フォイルに衝突して発する遷移放射光(OTR)を測定するOTRモニタ^[9]を3台設置した。また、ビームロスモニタとして安価な空気イオンチェンバを40本スイッチャードトンネル内に配置した。

遅い取り出し方式においては、ビームの時間構造を均一化するためのフィードバックシステムが用いられる^[10]。ビームの時間構造を測定するためのスプルモニタとして、Arガス封入の比例計数管及び光電子増倍管を真空膜付近に設置し、真空膜でのビーム損失で生じる二次粒子を検出し、ビームの時間構造を測定した。

50GeVシンクロトロンからの最初のビーム取り出しでは、陽子ビームの強度が1回当たり10¹¹個程度と低いため、僅かなビームでも確実に検出できる従来型の蛍光スクリーン及び撮像管カメラを9台準備した。また、陽子ビームの強度を確実に測定するための二次電子放出モニタ(SEC)を2台準備した。遅い取り出しビームラインにおけるビーム診断装置の配置を図4に示す。



給される。

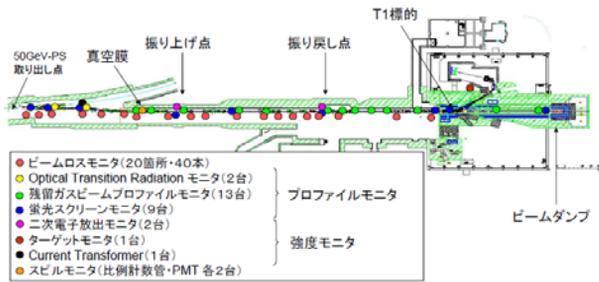


図4 ビーム診断装置配置図

5. ビームコミッショニング

2009年1月27日の午後から最初の取り出し試験が行われ、同日19時35分にハドロン実験ホール最下流のビームダンプまで陽子ビームが到達したことを確認した。その後加速器側で遅い取り出しビーム軌道調整が行われ、2月10日にはT1標的を挿入し、二次ビームの発生が確認された。

50GeVシンクロトロンからの3次共鳴を用いた遅い取り出し自体は成功したが、取り出された陽子ビームは図5に示すように時間的に連続なビームではなく、主に100Hz程度の周波数成分を持つ「間欠」ビームとなっている。これは主に50GeVシンクロトロンの電磁石に 10^{-4} 程度のリップルがあるためだと考えられている。このような時間構造のビームでは、カウンター実験において検出器の瞬間的な計数率が想定の上2桁以上高くなり、実験を遂行するのが非常に困難である。今後の加速器の改良に期待したい。今回のビーム取り出しでは、1回の取り出しにつき最大 4×10^{11} 個の陽子ビームが実験ホールに輸送された。

なお、K1.8BR実験グループは限られた調整時間と上記のようなビーム時間構造にもかかわらず検出器等の調整を行い、K1.8BR実験エリアにおいて初めての K^+ 中間子生成を確認した^[10]。

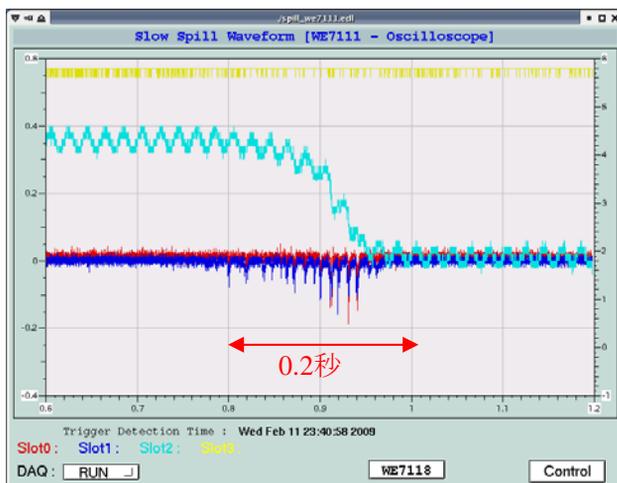


図5 スピルモニタで観測されたビーム時間構造
水色が50GeVシンクロトロン内に蓄積された陽子ビーム強度(単位: 10^{12} 個)、赤及び青色が遅い取り出しビームラインのスピルモニタで観測された陽子

ビーム時間構造。

6. まとめと今後の計画

ハドロン実験施設は2009年1月27日に最初の陽子ビーム取り出しを行い、K1.8BR実験エリアで最初のK中間子ビームの生成を確認した。2009年2月末でビーム運転を終了し、2009年秋に向けてK1.8ビームライン及びKLビームラインを新たに建設中である。これまで一次ビームライン・二次ビームラインの調整時間は非常に限られていたため、今後本格的な実験開始に向け、精力的に調整を行っていく予定である。

参考文献

- [1] <http://j-parc.jp/>
- [2] ハドロンビームラインサブグループ中間報告書
田中万博他、KEK Internal 2002-8, 2002
- [3] ハドロンビームラインサブグループ第2次中間報告書
田中万博他、KEK Internal 2004-3, 2004
- [4] ハドロンビームラインサブグループ第3次中間報告書
田中万博他、KEK-Internal 2007-1, 2007
- [5] 上利恵三他、In this proceedings.
- [6] 山野井豊他、"Development of Pillow Sealing for J-PARC Hadron Beamline", Proceedings of the 2nd Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, pp. 736-738, 2005.
- [7] 高橋仁他、"Magnet Operation in Vacuum for High Radiation Environment Near Production Target", IEEE Transactions of Applied Superconductivity Vol. 16, No. 2, pp. 1346-1349, 2006.
- [8] 里嘉典他、"Performance of residual gas ionization profile monitor for high intensity proton beams", Proceedings of the 3rd Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, pp. 118-120, 2006.
- [9] 豊田晃久他、In this proceedings.
- [10] T. Suzuki (University of Tokyo), *et. al.*, private communications.