

CURRENT STATUS OF THE J-PARC ACCELERATOR COMPLEX

J.Kishiro

High-intensity Proton Accelerator Centre in Japan Atomic Energy Research Institute, JAERI
2-4 Toukai-Mura, Shirakata, Shirane, Naka-gun, Ibaragi, 319-1195

Abstract

Japan Particle Accelerator Research Complex (J-PARC) is the joint project between Japan Atomic Energy Research Institute (JAERI) and High Energy Accelerator Research Organization (KEK) aiming to realize the 1MW class high power proton accelerators. The accelerator complex consists of 400MeV H⁻ LINAC, 3GeV Rapid-Cycle-Synchrotron (RCS) of 25Hz repetition rate and 50GeV Main-Ring (MR). The project has been organized in 1999 by combining the High Intensity Neutron facility in JAERI and the Japan Hadron facility in KEK. The budget has been approved in 2001 and the civil engineering was started in 2002 at JAERI site. Most of the accelerator components have been ordered to the industries. The LINAC equipments will be installed in the tunnel in FY. 2005 and the first beam will be delivered by the middle of FY. 2006. The first beam from 3GeV RCS will be by May 2007.

J-PARC加速器の建設状況

1. はじめに

J-PARC大強度陽子加速器施設は、日本原子力研究所 (JAERI) と高エネルギー加速器研究機構 (KEK) との統合計画として平成11年組織化され、現在茨城県東海村の原子力研究所敷地内に建設が進んでいる。この計画は、それに先立つJAERIの中性子科学センター構想と、KEKでの大強度陽子加速器計画を統合し、ひとつの計画として再編成したものである。

加速器構成は、400MeVのH⁻を加速する線形加速器 (LINAC)、3GeV、25Hzの速い繰り返し加速器 (RCS) 及び50GeVの主加速器 (MR) より成る。これらの加速器構成により、1MWにものぼる大強度の中性子を生成し物質生命科学の研究、及び0.75MWの50GeVビームを取り出して原子核素粒子の研究を行うことを目的としている。

統合を契機に、それまでの加速器設計を詳細に検討し、現在加速器構成機器の殆どの発注が終了している。又加速器地下トンネルや制御室或いは電気・冷却施設等の建物の建設も中盤にさしかかっている。LINACでは平成18年度中ごろからビーム試験を実施し、その後RCSの詳細試験を行って、平成19年後半には最初のビーム共用を予定している。

本稿では、これらの現状を加速器建設の視点から、紹介する。

2. 加速器全様と建物の現状

平成12年度から始まった加速器地下トンネルや施設関係の建物建設は既に中盤を越しており、LINACやRCSは電源室などの建物に及んでいる。図1は平成16年度初頭の建設状況を示し、LINACよりMRを望んだものである。防風林と世界一海に近い加速器施設と言う困難な状況の中で、平成17年度終了を目指し建設が精力的に進んでいる。



図1: J-PARC加速器施設の建物建設状況。

J-PARC加速器の設計に際しては、1MWと言う世界最大のビーム強度の達成を目標としている為に、ビーム損失を極力低く抑えることに主眼が置かれた。電子ビームと異なり、陽子ビームは周辺機器を極めて強く放射化し、残留放射線は機器の維持改善の作業を非常に困難にする。設計の指針として、平均で1W/mのビーム損失に抑制することを掲げたが、この値は加速される陽子の0.1%しか損失を許容しないと言う、非常に困難な設計を要した。

3. 線形加速器

J-PARC加速器の内、LINACの構成を図2に示す。

LINACは、

イオン源

RFQ, Drift Tube LINAC (DTL),

Separated-type Drift Tube LINAC (SDTL)

Annular Coupled Structure LINAC (ACS)

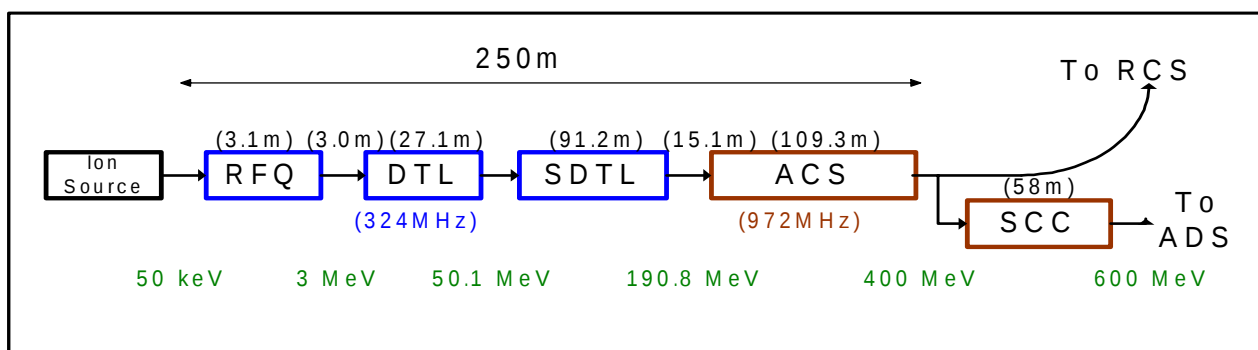


図2：線形加速器の構成。

の4種類の空洞より構成される。

イオン源は、 H^- イオン電流の増加を目的にセシウム充填型と、初期の安定な運転を目的にした非充填型の2種類の開発を行った。現在両方ともに運転に供する装置が製作され、セシウム充填型では最大72mAの H^- ビームを生成出来ている。又非充填型では最大34mAの生成に成功している。目標性能は60mAであるが、安定化を図った両タイプの改善を行っている。

イオン源、RFQその後のDTLまで含めた50MeV-LINACは、現在KEKにおいて組み立てが終了しており、ビーム加速試験が繰り返されている(図3)。



図3：KEKに組み立てられた50MeV-LINAC。

4．3GeV-RCS

3GeV-RCSは25Hzの繰り返しで運転される。この速い繰り返し運転と、1MWと言う世界最大のビーム強度を実現する上で、設計・建設では以下の指針が重要である。

- 偏向電磁石などの磁場変化が速い為に、渦電流の影響を極力避ける構造が必要である。
- 大電流ビームによる空間電荷力を抑制する上で、電磁石や真空機器などの口径を出来るだけ大きくする必要がある。
- ビームの損失を制御し、損失を局所化することにより、周辺機器の放射化を抑制する。
- 高勾配加速装置が不可欠である。

- 将来の改造或いは維持保守の作業性を当初から勘案しておく必要がある。

時間変化の速い磁場に晒される真空容器やモニター機器などには、かなり大きな渦電流が誘起され、機器に熱を発生する。この渦電流は、周辺装置に誘起されるだけではなく、電磁石の端板或いはコイル線材そのものにも発生し、磁場を攪乱する。この困難を避ける為に、RCSで使用する偏向電磁石や4極電磁石では、従来のコイル線材では無く、直径3mmのアルミニウムを素線材として、約30本ほどを冷却パイプに巻きつけたストランド線を使用した。

半径 R_0 の従来のホロコンダクターで電磁石を製作した場合の線材に発生する熱量は以下の式で表せる。

$$P_{\text{hollow}} = \frac{\pi \omega^2 B^2}{8\rho} R_0^4$$

しかし、同じ半径を n 本の細線で構成した場合、その熱量は、

$$P = \frac{P_{\text{hollow}}}{n} \frac{1}{2} \left(\langle \cos \theta \rangle + \langle \frac{1}{\cos \theta} \rangle \right)$$

と減少することを利用したものである(ここで θ はストランド線のツイスト角である)。図4は4極電磁石のコイル断面を示し、ストランド線を耐放射線性能の高いBTレジンと言うポリイミド系樹脂で含浸している。



図4：ストランド線を使用した4極電磁石コイル。

電磁石は現在量産過程にあり、図5に完成した4極電磁石を示す。



図 5 : 4 極電磁石

図 5 で明らかな様に、大電流の陽子ビームに発生する空間電荷効果を低減する為に、非常に大きな口径の電磁石が必要であった。

入射や加速途中で、空間電荷効果或いは何らかの不安定性などの原因でビームがそのエミッタンスを増大した場合、損失を招く。J-PARC の様な大強度加速では、その損失が周辺機器に強い放射化を引き起こし、修理や維持保守作業を困難にすることが容易に想定される。これを避ける為に、RCS ではビーム損失を局所化

する目的でコリメーターを装備している。コリメーターは入射部に置かれ、銅或いはモリブデンのアブソーバーをベタトロン振動位相で 180° 離れた総数 6 個所の位置に設置している。図 6 にその外観を示す。



図 6 : ビームコリメーター。

RCS の構成機器は殆ど全てが既に発注されており、平成 17 年度には加速器トンネルも完成して据付作業が開始される予定である。

5 . 50GeV-MR

50GeV-MR は 0.75MW の陽子ビーム加速を目指す周長 1567.5m のシンクロトロンである。繰り返しは約 3.6 秒で運転される。RCS 同様、大強度の陽子ビーム加速を少ないビーム損失で実現する上で、電磁石は大型にならざるを得ない。偏向電磁石と 4 極電磁石の全てが発注を終了している。現在、磁場測定の準備

が進められている。図 7 に、50GeV-MR 用 4 極電磁石の磁場測定の様子を示す。



図 7 : MR 用 4 極電磁石磁場測定風景

J-PARC 加速器郡の中で一番エネルギーが高くなる MR では、何らかの異常時に機器の高放射化を防ぐ上で、積極的にビームを取り出すビームアポート系が必須である。ニュートリノ実験用の速い取り出し系と共用する形で、世界初の両極性セプトムを考案し、その実現を検討している。

加速高周波空洞は、大きなビーム電流によるビームローディングの観点から、インピーダンスの低い広帯域無同調型を採用して、運転の安定化を図っている。その制御には、昨今のデジタル技術を駆使して、ビームフィードフォワード或いはフィードバック双方とも、デジタル信号処理を施したシステムの開発を行っている。空洞と大電力駆動部は発注が終了しており、現在は主に RCS 用空洞の冷却方法の実験的検討を行っている。

6 . まとめ

日本原子力研究所東海研究所敷地内に建設が進んでいる大強度陽子加速器 (J-PARC) は、加速器機器の殆どの発注が終了し、現在製作メーカーを交えた実施設計を精力的に行っている。平成 19 年度末のビーム共用を目指し、建物を含めた建設は順調に推移している。

参考文献

- [1] JHF Project Office, “JHF Accelerator Design Study Report”, KEK Report 97-16, March 1998.
- [2] High-intensity Proton Accelerator Project Team. “Accelerator Technical Design Report for High-intensity Proton Accelerator Facility Project, J-PARC”, JAERI-Tech 2003-044 or KEK Report 2002-13, March 2000.
- [3] “Report of the Accelerator Technical Advisory Committee for the JAERI-KEK Joint Project”, May 2002, Private communication