

ELECTRICAL AND MECHANICAL FACILITIES FOR THE J-PARC 50 GeV SYNCHROTRON

Seiichi Imamura^{1,A)}, Hiroshi Ito^{A)}, Masanobu Miyahara^{A)}, Masakazu Yoshioka^{A)}

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

1-1 Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken, 305-0801

Abstract

The design of the electrical and mechanical support infrastructure facilities for the 50 GeV J-PARC Synchrotron is based on many years of experience with large-scale accelerator facilities such as TRISTAN and the B-factory at KEK. After a seven-year construction period, the full beam commissioning of the J-PARC accelerator complex began in May of 2008. The first neutrino event at the Super-Kamiokande was successfully observed in February 24, 2010. During this period, no significant trouble with the high-voltage electric power system or utility facilities for the cooling water and air ventilation systems has occurred. This paper outlines the electrical and mechanical facilities of the 50 GeV Synchrotron.

J-PARC 50 GeVシンクロトロンの電気設備・機械設備

1. J-PARC 50 GeVシンクロトロン

1.1 J-PARC概要

J-PARCは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)の共同プロジェクトとして2001年度に建設を開始し2008年5月に全施設のコミッショニングを開始した。2010年1月からは長基線ニュートリノ実験(T2K)の物理ランもスタートし2月24日にはスーパーカミオカンデ観測施設で最初のニュートリノ事象が観測された。本論文ではJ-PARC施設のうち主としてKEKの所掌範囲の50GeVシンクロトロン(MR)およびハドロン、ニュートリノ実験施設の電気、機械設備について報告する。

J-PARC施設はいくつかのサブシステムで構成される。本来は全システム一体として電気、機械設備について共通の担当部署を編成することが自然であるが、諸般の事情から両機関がそれぞれの予算所掌範囲をそれぞれの方針で設計、建設、運用することとなった(建築、土木も同様)。その中で電気については一つの事業所内で電力契約や高調波の問題など一体として扱うべきことから共通の土俵で情報交換しつつ設計を行なった経緯はある。リニアックと3GeV速い繰り返しのシンクロトロン(RCS)、および物質生命研究施設(MLF)がJAEA所掌、MR、ハドロン、ニュートリノ実験施設および中央制御棟がKEK所掌である。

今後の長期にわたるJ-PARC運用に当たり両機関の違いを理解しておくことは重要である。KEKは施設部が電気、冷却水、空調、防災監視などについて設計段階から、建設、運用まで全てを担当する。一方JAEAは、建設は建設室が、運用は工務技術部がそれぞれ担当する。またKEKでは施設部の所掌範囲の冷

却水設備は、JAEAでは研究系所掌となる。

また長期運転にあたり注意すべきは、JAEA所掌の冷却水システムにはポンプが1システムに1台の構成という点である。KEK所掌部分は全て複数台にし、保守性を考慮し1台はスタンバイにしている。ポンプが1台の場合、運転中に故障すると修理完了まで長期停止を余儀なくされるので「予防保全」が極めて重要となる。

1.2 MR概要

MRの電気負荷設備は現在のところ総計~25MWで、電磁石、高周波加速が大部分を占める。電磁石は実験室やビーム輸送路のDC電磁石とMRシンクロトロンのAC電磁石の2種類あって、特に後者は数秒周期で大きく時間的に変化するパターン負荷である。冷却水、空調システムとも、これらの電気負荷設備に対応したシステムとなる。ここで大切なことは施設全体のエネルギーフローを把握しておくべきことで、投入電力は最終的には冷却塔により全て空中に放出するので、その円滑な流れを構成することが加速器施設の電気、機械設備に求められる要件である。

2. 電気設備

2.1 J-PARC全体の特高電力システム概要

図1にJAEA東海事業所全体の電力系統図を示す。J-PARC建設に当たり154特高変電所(154特高)とそれに接続するリニアック(リニアック、RCSが主負荷)および50GeV特高変電所(50GeV特高)を新設し、JAEA旧来設備は154特高に「中央変電所」という旧名称をそのままに、他の二変電所とともに接続されている。このうち50GeV特高(負荷はMR、MLF、ハド

¹ E-mail: simamura@mail.kek.jp

ロン、ニュートリノ)がKEK所掌となった。J-PARC全体の電力は~50MW程度であり、既存の中央変電所の負荷(~20MW)より遥かに大きくなっている。通年電力使用計画は、経済的運用の観点から重要で、ピーク電力需要期の7~9月を停止して長期保守期間にあてている。

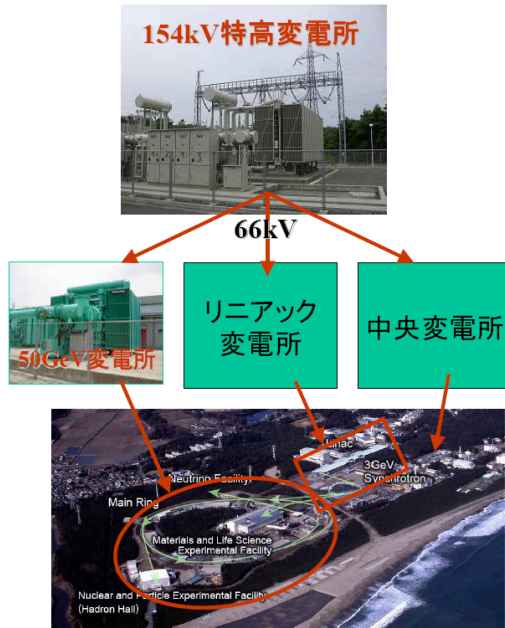


図1：東海事業所電力系統図

2.2 50 GeV特高変電所

図1、2に示すように154特高では商用ラインより154KVで受電している。ここには2台の特高変圧器(154KV/66KV 110MVA)があり、1号変圧器からリニアック特高変電所、中央変電所へ、2号変圧器から50GeV特高へ給電している。50GeV特高では3台の特高変圧器により、実験装置系へは22KV及び6.6KV、一般施設のサブ変電所(8カ所)へは6.6KVで給電している。特高変電所には力率改善用コンデンサ及び高調波フィルターを設置し、力率改善と高調波の商用電源系統への流出を防ぎ、電力品質の向上を図る。各サブ変電所からは照明、コンセント、動力、空調等へ電力供給を行っている。

2.3 課題

電源系統としての今後の大きな課題は、高調波の流出防止とパターン負荷による電圧のフリッカである。フリッカは今ではさほど問題にはなっていないが、今後の運転で、MRの繰り返し周期を現状の3秒台から2秒台へ、将来的にはさらに1秒台へと上げることが計画されており、対策が必要となる。また加速器の増強計画については電力会社との協議が必要であることに留意したい。

MRの高調波対策は設備側の問題というより電磁石電源の設計方針に問題があった。力率を1にしてしまったため高調波フィルターを投入すると過進相となる。電磁石電源の22KV系統に設置してある

6.5MVarの高調波フィルターをJ-PARC全システム運転時のみ投入することで凌いでいる。このような事態を避けるため、設計段階から装置系と電源供給側双方で高調波に対する認識を統一する必要がある。

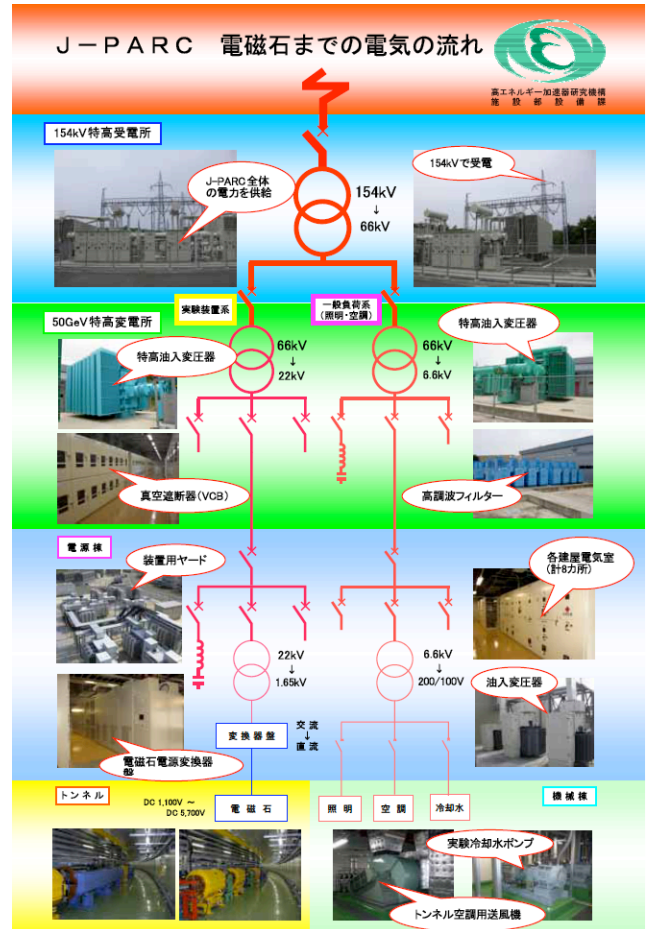


図2：MR電力系統図

3. 機械設備

3.1 冷却水設備

MR冷却水は負荷の種類により系統を分けずに1系統(各系統は3ループで構成)にした。MRトンネル全長1.6kmを3等分し、3箇所(3箇所)の機械棟に各1系統設置し、冷却水を供給している。3ループを以下に説明する；①負荷に供給する1次側：ステンレス製ポンプ(200kW)で32℃の冷却水(純水6,900L/min×2台)を供給、②中間ループ：プレート式熱交換器(8,650kW×2基)により中間冷却水ポンプ(純水8,300L/min×2台)を1次側水温が32℃一定になるようインバーター制御、③冷却塔を含む3次側：プレート式熱交換器(4,330kW×4基)により冷却水ポンプ(未処理水1,100L/min×15台)で開放型冷却塔(1,150kW×15台)により30℃(湿球温度27℃時)になるように冷却している。このように制御方式はコスト削減と省エネ化実現のため、三方弁でなくインバーター制御を採用した。

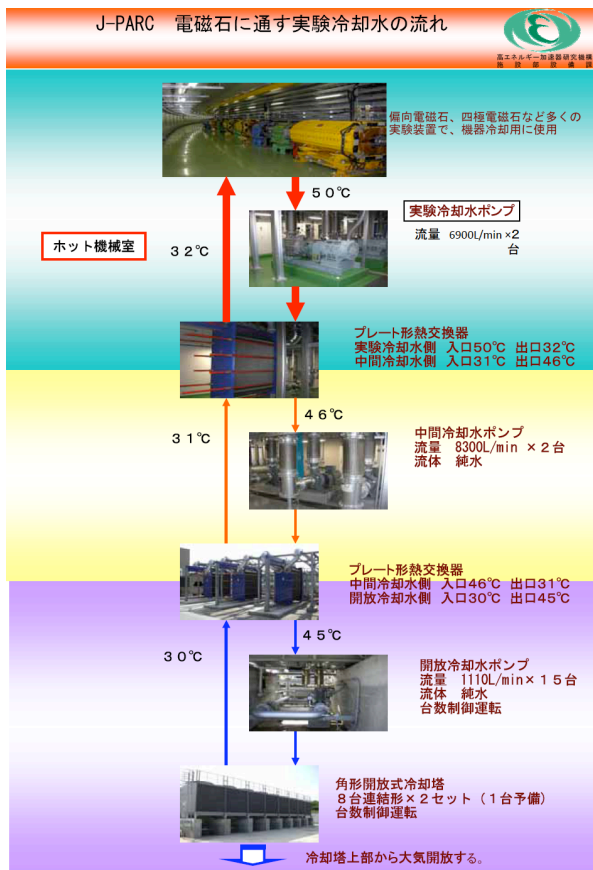


図3：冷却水系統図

3.2 空調設備

空調システムも冷却水同様に3箇所の機械棟に設置した。それぞれ熱源チラーユニット(300kW×2台)、冷水ポンプ(1,720L/min×2台)および空気調和機(冷房500kW、暖房EHヒーター150kW)で構成され、ダクトを通してトンネルに冷風を供給する。リターンは各機械室サブトンネル自体をリターダクトとする吸込み方式とした。設計段階はトンネル内温度30°Cと想定したが、実空調負荷と経済運転実現を考慮し、通年で25°Cと決め安定した温度で運転している。運転モードは3モードある。①実験モード：運転時はトンネル内循環空気量75,000m³/h、排気18,000m³/hである。②排気モード：排気時で循環空気量55,000m³/h、排気38,000m³/hである。③休止モード：循環空気量75,000m³/h(フィルター通過風量20,000m³/h)、排気18,000m³/hである。なお排気は全てフィルター通過風量である。通常の空気バランスは、トンネルと外部の間に側室を設け、側室のみ負圧とし、トンネル及び地上施設は空気圧±0に調整をしている。

3.3 課題

KEK標準設計に従い、供給量安定化のためリバースリタン方式の配管を検討すべきだったが、コスト削減とトンネル内の配管スペースが限られていたため実現できなかった。このことも一因と思われるが

流量が若干低下する事例があり安定運転阻害要因の一つである。今後解決策を追求しなければならない。

もう一つは実験施設が海岸立地のため冷却水の水质及び腐食の問題がある。開放型冷却塔を使用していることにより、海からの塩分を含んだ砂が冷却塔及び3次側冷却水に入り、配管の腐食及び水质劣化の懸念が内陸(つくば市)に比べて高い。現在、冷却水に薬液注入を行い水质の安定化を計っている。チラーユニットも耐塩害仕様を導入しているが、常に腐食の懸念がある。既にインバーター制御基板の排気ファンが腐食により故障した。今後も塩害に対しては十分な注意が必要である。

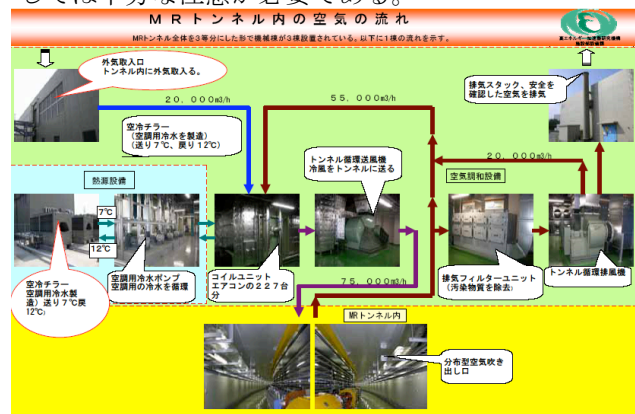


図4：空調システム

4. まとめと課題

今後J-PARCのピーク電力はビーム電力増強に従い、右肩上がりに増加するし、共同利用マシンに相応しい年間5000時間以上のユーザー運転の実現をはかるためには、年間使用電力も増加していく。そのための運転計画立案には、予算、実験計画、電気・機械設備の保守などの諸要件を考慮しつつ、KEK/JAEAの両機関が連携してあたらねばならない。しかも実験側もMLF、ニュートリノ、ハドロンとあって、それぞれが求めるところに微妙な違いもある。電力計画やフリッカ、高調波問題などは商用ラインへの流出抑制もしなければならない。これら全てを満たすためには強力なマネジメント機能を備える必要がある。

ユーザー運転にとってピーク性能の向上とともに重要な要件は、稼働率の向上である。電気、機械設備は加速器を含めた大型実験施設のインフラとして、大電力・長期間運転と、高稼働率運転を支えねばならない。そのためには、装置側担当者は設備のことを理解すべきであるし、逆に設備担当者は装置のことを理解しなければならない。お互いの専門性を重視しつつ、相互理解をはかることは重要である。

謝辞

本論文はKEK設立以来連続と積み重ねてきた大型加速器施設における電気、機械設備設計・建設・運用の実績をベースとしている。筆者らは先輩諸兄弟のご努力に敬意を表するものである。