

# J-PARC MR 第一電源棟における機器冷却水アップグレード計画

## EQUIPMENT COOLING WATER UPGRADE PLAN AT J-PARC MR D1 POWER SUPPLY BUILDING

白形政司<sup>#, A)</sup>, 大越隆夫<sup>A)</sup>, 久保田親<sup>A)</sup>, 西川雅章<sup>A)</sup>, 国安祐<sup>B)</sup>

Masashi J. Shirakata<sup>#, A)</sup>, Takao Oogoe<sup>A)</sup>, Chikashi Kubota<sup>A)</sup>, Masaaki Nishikawa<sup>A)</sup>, Yu Kuniyasu<sup>B)</sup>

<sup>A)</sup> KEK/J-PARC

<sup>B)</sup> Mitsubishi Electric System & Service

### Abstract

At the Japan Proton Accelerator Research Complex (J-PARC) located in Tokai-mura, Ibaraki Prefecture, the main ring beam intensity has been increased by upgrading the main electromagnet and various magnet power supplies and adding an RF acceleration equipment. In addition, the air conditioning system has been upgraded, but it is predicted that the flow rate of cooling water will be insufficient in the future. Originally, there were three power supply buildings along the main ring, each of which houses part of the main magnet power supply. In addition, the first power supply building receives the beam transport path and injection equipment, the second power supply building receives the slow extraction equipment, and the third power supply building receives the RF acceleration equipment and fast extraction equipment. The cooling water system in each power supply building was optimized according to the original design, and it became clear that the flow rate in the first power supply building would be insufficient in the near future because the equipment was upgraded to increase the MR beam intensity. The first power supply building has three pumps, two of which are in operation at all times and one is a spare. One option would be to increase the size of the pumps themselves, but this would require a considerable amount of modification at one time. For various reasons, this is not feasible, so the decision was made to make it possible to operate three pumps in order to resolve the flow shortage. Specific modifications have begun in FY2023, and by the end of FY2024, three pumps will be operational. The cooling water upgrade plan, including future measures, is presented here.

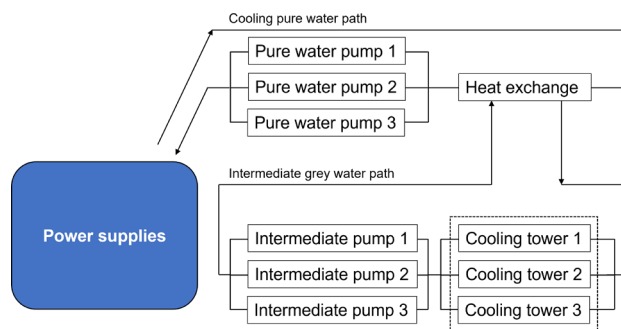
## 1. はじめに

茨城県東海村にある大強度陽子加速器施設 J-PARC では、主リング(以下、MR と略記)のビーム強度を上げるために主電磁石をはじめとした各種電磁石電源の更新、RF 空洞と電源の増設等を行っている。電源棟は当初主リングに沿って三棟(入射部からビームに沿って順に第一電源棟、第二電源棟、第三電源棟と呼ばれる。または D1, D2, D3 と略記する)あり、それぞれが主電磁石電源の一部を収納している。それに加え第一電源棟がビーム輸送路機器と入射機器を、第二電源棟が遅い取り出し機器を、第三電源棟が RF 加速装置と速い取り出し機器をそれぞれ受け持っている。

各電源棟の冷却水設備は当初設計に合わせて最適化されており、MR ビーム強度増強のために機器が更新あるいは増設されたため第一電源棟では近い将来流量が不足することが明らかになった。ポンプそのものをサイズアップするという選択肢もあるが、その場合一度にそれなりの規模の改造をしなければならない。しかしながら、限られた工事期間、近年著しい機器の長納期化など諸般の事情から難しいと考えられるので、予備機を含めたポンプ3台運転を可能にすることで流量不足解消を目指すこととした。2023 年度から具体的な改造を始め、2024 年度中にポンプ3台運転が可能となるようにする。

## 2. MR 第一電源棟冷却水システム

電源棟の現在の冷却水システムの概要[1]を Fig. 1 に示す。電源本体を流れる冷却水は純水である。冗長性を持たせるため純水ポンプは3台を用意し、常時2台稼働、1台予備という運用を行っている。純水はヤードに設置した熱交換器を介して装置冷却水(名称がやや紛らわしいので注意)と熱交換を行い、装置冷却水は3基の冷却塔により大気中に熱を放出する。装置冷却水ポンプも常時2台稼働、1台予備の運用を行っている。



One pump is reserved for the redundancy.  
The number of pumps are two for D4, D5, D6.

Figure 1: Schematic diagram of cooling water system in the power supply buildings.

<sup>#</sup> masashi.shirakata@kek.jp

第一電源棟内に設置されている電源の内訳は、当初 Table 1 の通り(入射キッカー電源等の冷却水を使用しない電源は除いている)であった。電源棟機械室からの純水は電源室内で A 系(管径 125A), B 系(同 125A), C 系(同 100A)の三系統に分岐しており、それぞれ主電磁石系と一部入射機器、ビーム輸送路系と補正電磁石、入射機器系の電源に供給されていた。

Table 1: Original Power Supply Arrangement in D1 Power Supply Building

電源種別	機器名	電源種別	機器名
A 主電磁石	BM3, BM4	入射機器	入射ポンプ-1, 2, 3
	QFP, QFR, QDR		
	QFS, QDS, QFT, QDT		
	SFA, SDA, SDB		
B ビーム輸送路	ビーム振り分け電磁石	補正電磁石	ステアリング(補正二極電磁石)
	BT-1, 2, 3		
C 入射機器	入射セプトラム I, II		入射ダンプセプトラム

電源棟内に設置する電源の種類は、各電源棟間で大きく異なっているため要求する水量に違いがあり、第一電源棟では最も小さい 1,190 L/min のポンプが設置されている。常時 2 台運転なので、供給できる冷却水量は最大 2,380 L/min である。

MR では 2008 年にビーム運転を開始して以来、様々な改造を行ってきた。MR には当初入射調整用の入射ダンプと周回ビーム用のアポートダンプという二つのビームダンプが用意されていたが、入射ダンプセプトラムの周回ビームへの漏れ磁場が大きかったことからアポートダンプへのビーム取り出しが確立した後、しばらくして入射ダンプは廃止となった。それに伴い、入射ダンプキッカー電源、入射ダンプセプトラム電源は第一電源棟より撤去された。冷却水の需要が減ったのはこの時だけで、その後は入射セプトラム I 電磁石電源の更新、主電磁石電源の大幅改変、RF 電源の新規設置などが続き、需要が供給を上回るようになる。Table 2 に 2023 年 3 月時点での第一電源棟内設置電源と必要冷却水量(予定分を含む)を示す。

MR のビーム強度増強計画にとまない、主電磁石系では偏向電磁石電源がすべて新作の電源に置き換えられた。新しい偏向電磁石電源には新たに専用の電源棟(第四～第六電源棟)を建設してそちらに移設したため、旧来の BM1～BM6 電源は不要となり、第一電源棟からは BM3 電源が撤去されている。四極電磁石、六極電磁石電源については主に既存の電源の組み直しで対応し、QDT と SD 電源では新規製作を行っている。ビーム輸送路系では新規製作したビーム振り分け電磁石電源が試験中であるため、冷却水供給ラインに新旧二つの電源がぶらさがったままである。RF-12, 13 号機はビーム強度増強のために新たに第一電源棟内に設置したもので、320 L/min が純増となる。この時点で需要予測は合計 2,719 L/min となっており、339 L/min 不足ということになる。将来的には旧ビーム振り分け電磁石電源、模擬負荷、

Table 2: Demand of Cooling Water

機器名	冷却水流量 [L/min]	母管系統
QFP(旧 QFR)	106	A
QFS1(旧 QFS)	74	A
QFS2(旧 QFP)	74	A
QDS1(旧 QDS)	72	A
QDS2(旧 QDR)	74	A
QFT1(旧 QFT)	71	A
QFT2(旧 QDT)	73	A
QDT(旧 QFR 試験機)	100	A
SFA(旧 S2)	16	A
SD	41	A
大口径 QDT(旧 BM4)	390	A
入射ポンプ3	17	A
新振り分け電磁石電源 用模擬負荷	35	A
ステアリング	186	B
ビーム振り分け	190	B
BT-1	172	B
BT-2	198	B
BT-3	205	B
BT 予備電源	34	C
ビーム振り分け(新)	50	C
入射セプトラム I	150	C
入射セプトラム II	10	C
補正キッカー	61	C
RF-12 号機	160	C
RF-13 号機	160	C

(2023 年 8 月から)

入射ポンプ3の 242 L/min は不要にできるが、それでも 100 L/min ほど不足するうえ、さらに追加される電源の予定もあるためこのままでは不都合である。

### 3. 冷却水系の改造

#### 3.1 方針の決定

2 章において、2023 年 8 月以降冷却水の供給量が 339 L/min 不足することが明らかになった。調査の結果幸いにも電源棟建屋本体の母管のサイズには余裕があり、ポンプ周りだけを増強すれば問題は解決する。最も単純な方法はポンプのサイズアップであるが、ポンプ 2 台の調達とポンプ室の改造をメンテナンス期間中(通常七月初旬から十月末の約 4 ヶ月)にすべて終わらせなければならぬ。近年の電動機やポンプの納期を考えると、

現実にはかなり困難である。そのため、ポンプ 3 台同時運転で対応することとした。将来的に予備機となる 4 台目のポンプを調達する必要があるが、これがメンテナンス期間のあいだに冷却水流量不足問題を解決する唯一の解である。

### 3.2 電源盤改造

Figure 2 に第一電源棟の純水ポンプ、装置冷却水ポンプ、装置冷却水系統冷却塔を示す。純水ポンプ、装置冷却水ポンプ共、常時 2 台稼働 1 台予備の運用であり、電源盤において 3 台同時運転はそもそも出来ない仕様となっている。これに 4 台目のポンプの制御系を追加し、3 台同時稼働が可能となるような改造を加える。電気の供給容量は足りているので基幹部には手を加えず、純水ポンプ、装置冷却水ポンプの制御系を改造し、Fig. 3 の様に予備機選択スイッチに No. 4 を追加した。また、ポンプ室内に将来増設用に CP-D1-C2 動力制御盤 (Fig. 4) を新設した。ここには 4 台目の純水ポンプ PPW-D1-1-4、装置冷却水ポンプ PCD-D1-1-4、装置冷却水系統冷却塔 CT-D1-1-4 を接続することができる。



Figure 2: Pure water pumps PPW-D1-1-1~3 (upper), equipment cooling water pumps PCD-D1-1-1~3 (middle), and cooling towers CT-D1-1-1~3 (lower).

### 3.3 熱交換器の更新

Figure 5 に第一電源棟ヤードにある熱交換器を示す。電源本体を冷やす純水は電源棟ヤードに設置した熱交換器を介して装置冷却水と熱交換を行う。熱交換器もポ

ンプ 2 台運転を前提とした容量になっているため、こちらも更新する必要がある。型式 SX-415B-NP-139 から SX-415B-NP-209 への置き換えを行う。内容積のみ 165.6 L から 249.6 L にアップし、他の仕様は現状と同じである。熱交換器本体は長納期品であったため 2023 年度に本体の調達のみを行い、2024 年度のメンテナンス期間に工事を行えるよう計画した。交換工事は主電磁石通電試験と干渉しないよう、ヤード高圧停電期間中となる本年 (2024 年) 9 月 20 日までに完了する予定である。



Figure 3: Modification of pump power supply pane. No.4 was added to the reserve unit selection.



Figure 4: Power control board CP-D1-C2.



Figure 5: Heat exchanger HE-D1-1.

### 3.4 流量配分の調整

Table 2 の中で大きな流量を占めているものに大口径 QDT (旧 BM4) 電源がある。大口径 QDT は現在電磁石製作中であるため電源は使用しておらず予備機として保管しているのみであり、流量を絞ることが可能である。ただし電源としては盤が 9 面あり、保守のためそれぞれに 10 L/min 程度は流しておかなければならない。それでも 300 L/min 強の流量を浮かすことができるので、2024 年夏の熱交換器取り換えまでの間を凌げる。実際、2023 年秋から 2024 年春までのビーム運転は、この方法により増設した RF-13 号機用の流量を捻出した。

## 4. まとめ

J-PARC MR では、ビーム強度の増強に向けて継続的にアップグレードを行っている。その課程において第一電源棟の冷却水流量が不足することが予見されたため、現実的な対策を講じた。拘束条件として大きいのは、以

下の 3 点である。

- ビーム運転予定に影響を与えないこと。
- 昨今の物品調達の長納期化。
- 他のメンテナンス予定と競合しないこと。

そのため、ポンプのサイズアップは行わず、ポンプ 3 台運転が出来るように分電盤の制御系を改造した。また、予備機となる 4 台目用の分電盤を増設した。さらに熱交換器をポンプ 3 台運転に対応したものに今夏中に交換予定である。

## あとがき

日本加速器学会のセッションカテゴリーには、先人の努力により「加速器土木・放射線防護」の項目がある。ここにはアライメント、加速器インフラ、建屋、冷却、空調、放射線遮蔽などが含まれるが、設備関連の話はあまり多くない。冷却水の温度管理などはビームの品質に直結しているにもかかわらず設備の性能が語られることはほとんど無い上、多くの場合それらの資料が参考文献として参照できるようにはなっていない。(本稿も例外ではない。それぞれの事業所において仕様書や設計図等はもちろん保管されているのであるが、外部から参照することほぼ不可能である)

加速器は往々にして当初設計の性能を達成した後もそれを超える目標を目指し進化してゆくものであるが、装置のアップグレードは十分なインフラが整っているものである。冷却水や空調設備などに関する話は、もっとあって然るべきであろう。

## 参考文献

- [1] M. Shirakata, "Maintenance plans of utilities", presented at J-PARC Accelerator Technical Advisory Committee Meeting 2023 (ATAC2023), Jan. 26-28, 2023, Tokai, Japan.  
[https://kds.kek.jp/event/45201/contributions/229990/attachments/163764/212278/ATAC2023\\_Maintenance\\_plans\\_of\\_utilities.pdf](https://kds.kek.jp/event/45201/contributions/229990/attachments/163764/212278/ATAC2023_Maintenance_plans_of_utilities.pdf)