

# J-PARC MR-RF 変圧整流器の修理と新設 RF システムへのインストール REPAIRMENT OF A TRANSFORMER-RECTIFIER UNIT AND INSTALLATION INTO THE NEW RF SYSTEM IN J-PARC MR-RF.

古澤将司<sup>#,A)</sup>、大森千広<sup>A)</sup>、杉山泰之<sup>A)</sup>、長谷川豪志<sup>A)</sup>、原圭吾<sup>A)</sup>、吉井正人<sup>A)</sup>

沖田英史<sup>B)</sup>、島田太平<sup>B)</sup>、田村文彦<sup>B)</sup>、野村昌弘<sup>B)</sup>、山本昌亘<sup>B)</sup>

Furusawa Masashi<sup>#,A)</sup>, Chihiro Ohmori<sup>A)</sup>, Yasuyuki Sugiyama<sup>A)</sup>, Katsushi Hasegawa<sup>A)</sup>

Keigo Hara<sup>A)</sup>, Masahito Yoshii<sup>A)</sup>

Hidefumi Okita<sup>B)</sup>, Taihei Shimada<sup>B)</sup>, Fumihiko Tamura<sup>B)</sup>, Masahiro Nomura<sup>B)</sup>, Masanobu Yamamoto<sup>B)</sup>

<sup>A)</sup> High Energy Accelerator Research Organization, KEK

<sup>B)</sup> Japan Atomic Energy Agency, JAEA

## Abstract

In J-PARC MR, Tetrodes are used in a RF final amplifier to generate RF voltage. Transformer-rectifier unit and anode power supply are used to supply the electric power to the anode of the tetrodes. J-PARC locates near ocean and the transformer-rectifier units are placed outdoor. Therefore, the units are affected by salty sea breeze. The radiators of two transformer-rectifier units leaked oil by 2020 because of the salty damage. One of them could not be repaired with a sealant. Therefore, we removed old radiators of this unit in 2019 and attached new radiators in 2020. We plan to use the repaired units for the new RF anode power supply in 2022.

## 1. 概要

J-PARC MR では 2021 年に加速器運転で T2K 実験に 515 kW、ハドロン実験施設に 64 kW のビームを供給した。更なるビーム強度増強に向けて加速器の高繰り返し化が進められており、このために 2 次高調波用の RF12,13 号機を増設中である。現在は終段増幅器と電源機器の設置を勧めている [1,2]。

J-PARC シンクロトロンでは、大強度陽子ビームを加速するため、四極真空管を使った高周波終段増幅器を RF 源として使用している。プレート直流電源(定格 1200 kW, 13 kV-92 A)は、屋外ヤードに据え付けられた変圧整流器から電力が供給される。

変圧整流器は海岸から約 300 m の距離に位置するため、これまでに塩害腐食の影響を受けている。2020 年までに変圧整流器 2 台が塩害によるラジエータから油漏れが発生した。うち 1 台は油漏れが初期段階であったことから、シーリング剤塗布による補修を行った。もう 1 台はシーリング剤塗布による修理が不可であったため、修理のため 2019 年に使用場所から移動し、再利用のために湯漏れしたラジエータの交換作業を計画、実施した。後者の変圧整流器は、RF13 号機で 2022 年から再使用する予定である。

本会では、RF 電源用大型変圧整流器の修理内容と、今後の使用計画について報告する。

## 2. MR RF の変圧整流器と陽極電源

### 2.1 変圧整流器と陽極電源の定格

RF 終段増幅器の四極真空管には、ビーム加速用電圧とビームに補填する電流を送電する必要がある。このため受電盤から真空管プレート間に、定格容量 AC 1700 kVA / DC 1500 kW の変圧整流器と、定格容量 1200 kW の陽極電源を使用し、真空管プレートに必要な電力を供給する。

Figure 1 に 6.6 kV 受電盤から真空管プレートまでの整流、昇圧過程を示す。最初に、受電盤から給電された AC 6.6 kV を、変圧整流器で AC 6.6 kV / DC 505 V に変圧、整流する。その後、インバータユニット 15 台を使用した陽極電源にて、DC 505 V / DC 10 kV まで昇圧されて、真空管プレート部分に送電される。

Figure 2 に、現在使用されている MR-RF 変圧整流器、Table 1 に RF で使用する変圧整流器の定格値を示す。

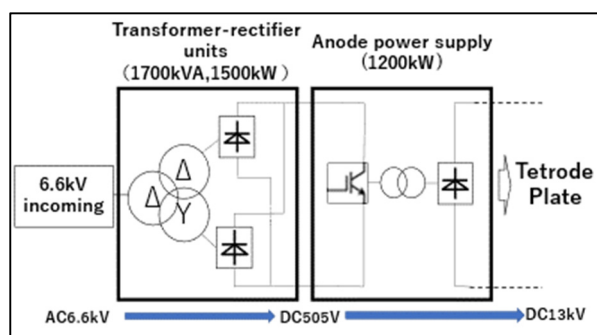


Figure 1: Voltage rectification and boosting to the tetrode plate.

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



Figure 2: MR-RF transformer-rectifier unit.

Table 1: The Rated Value of MR-RF Transformer-Rectifier Unit

Size	2890 mm × 3000 mm × 3010 mm
Weight	11500 kg
Voltage Input/Output	AC 6.6 kV/DC 505 V
Capacity AC/DC	AC 1700 kVA / DC 1500 kW
Amount of electric insulating oil	4400 L

## 2.2 変圧整流器の油漏れ

RF の変圧整流器の設置場所は海岸付近に位置するため、塩害による外装の腐食劣化に注意を払う必要がある。

2020 年までに、RF 変圧整流器 2 台で、ラジエータからの油漏れが発生した。このうち 1 台は、初期の油漏れであったことから、ラジエータ表面へのシーリング剤塗布によって絶縁油漏れを止めることができた。シーリング剤での補修前後のラジエータを Fig. 3 に示す。[3]

しかしもう 1 台は、毎年可能な範囲で油止め処理を行ってきたが、腐食が進行したため、ラジエータの交換による修理の計画を立てることとした。このため 2019 年から 2020 年にかけて、変圧整流器のラジエータ交換による修理作業を行った。

## 3. 修理作業

2019、2020 年に行った変圧整流器修理作業を記載する。ラジエータ取外し、取り付け中は変圧整流器内部の絶縁油 4400L を取り出し、別容器で保管する必要がある。絶縁油は危険物に分類されるため、大量に取り扱う際は事前に消防機関への申請が必要となる[4]。このため作業区画を危険物仮取扱所として事前に申請した。

2019 年、2020 年の変圧整流器修理作業の工程を Fig. 4 に示す。



Figure 3: Repair of the radiator. A: before repair, B: after repair.

2019, 2020 Schedule	Day1	Day2	Day3	Day4	Day5	Day6	Day7	Day8	Day9	Day10	Day11	Day12
1 Removing oil	■	■	■									
2 Removing radiators (2019) Attaching new radiators (2020)				■								
3 Filling oil					■	■	■					
4 Degassing								■	■	■	■	■

Figure 4: Schedule of radiators repair.

## 3.1 変圧整流器のラジエータ取外し

2019 年 9 月~11 月に、Fig. 5 から Fig. 8 に示す手順で、変圧整流器の破損ラジエータ取外しを行った。

- 変圧整流器の絶縁油取り出し（作業期間：3 日）  
ラジエータ取外し前に、ポンプとドラム缶を配置し、変圧整流器内部から絶縁油 4400 L を取り出した。  
絶縁油は引火性の液体であるため、高速で油移送を行うと引火の危険性がある。このため専用のオイルポンプを使用し 10 L/minute 程度の速度で変圧整流器からドラム缶へ移送を行った。

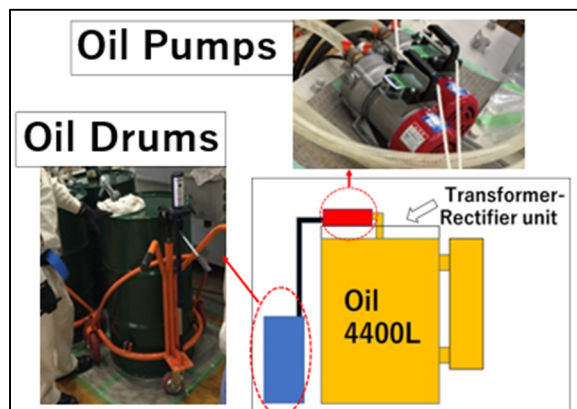


Figure 5: Removing oil.

- ラジエータの取り外しと封止(作業期間:1日)  
作業建屋内のクレーンを使用し、変圧整流器に接続されているラジエータを取り外した。変圧整流器に取り付けられているラジエータ4個の内、油漏れしていたラジエータは2個のみだが、今後の再発の可能性をふまえると、全ラジエータを耐塩害塗装された新規ラジエータに交換する必要がある。このため変圧整流器のラジエータ4個全てを取り外した。  
取外し後は、ラジエータ取付穴部分に封止フランジを取り付けた。

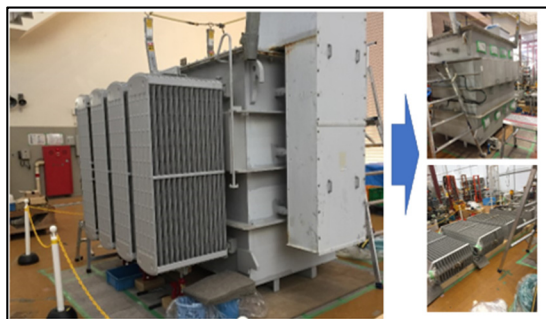


Figure 6: Removing radiators.

- 変圧整流器の絶縁油戻し(作業期間:3日)  
ラジエータ取付作業までの1年間、内部回路保護のために変圧整流器に絶縁油を満たしておく必要がある。このためドラム缶に取り出した絶縁油を変圧整流器内に戻した。移送速度は、絶縁油取り出し時と同じ速度で行った。絶縁油を戻す際、変圧整流器内部に不純物が入らないよう、フィルターを通して絶縁油を移送した。

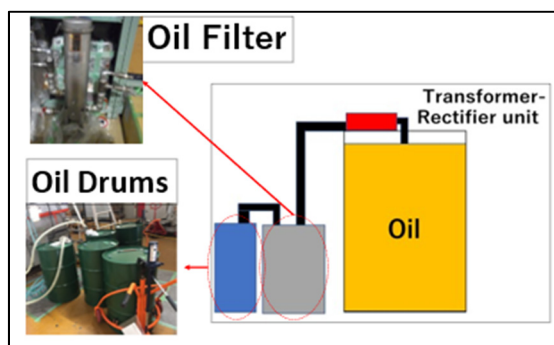


Figure 7: Filling oil.

- 絶縁油の脱気と窒素充填(作業期間:5日)  
変圧整流器内で使用される絶縁油は、酸素が混入すると、酸化により絶縁性が劣化する。絶縁油移送時は絶縁油が空気と接触するため、油内に酸素が混入する。これを除去するために、油用脱気装置を用いて、絶縁油内の溶存ガス除去を行った。絶縁油が脱気装置内の真空容器を流すように、約200 L/hの速度で循環させることで、真空容器内で絶縁油と溶存酸素を分離させることができる。絶縁油量は4400 L程度であったため、脱気時間は合計22 h程度となった。

脱気作業終了後、再度酸素が絶縁油内に再度溶存しないように、変圧整流器内の油面上空間部分の空気を不活性ガスに置換する必要がある。このため真空ポンプを使用して変圧整流器油面上部から空気を取り除き、その後窒素を充填した。

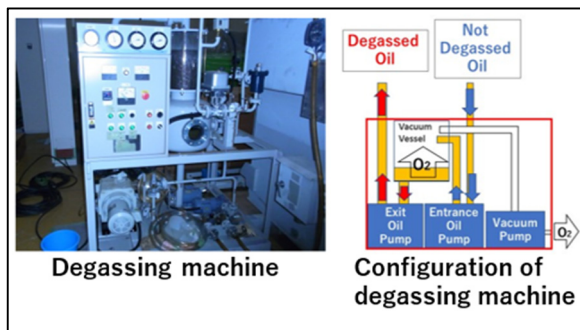


Figure 8: Degassing.

### 3.2 変圧整流器のラジエータ取り付け

新規ラジエータの製作完了は2020年のため、2019年作業時はラジエータを取り付けず、取り付け口部分に封止蓋をした状態で、次回作業時まで保管した。2020年9月に、耐塩害塗装された新規ラジエータがJ-PARCに納品された。このため2020年10月に、3.1の取り外し時と同様の手順でラジエータ取り付け作業を行った。

## 4. 修理後の予定

変圧整流器は内部に絶縁油4400 Lが内蔵されているため、使用されていない場合、危険物として取り扱われる[4]。したがって、再利用するまでの期間、変圧整流器の保管場所となるJ-PARC敷地内の50 GeV変電所の一部を危険物屋外貯蔵所として指定し、申請を行った。2021年のRF13号機に設置するまでの変圧整流器保管場所として、J-PARC敷地内の50 GeV変電所の一部を危険物貯蔵所として申請した。

修理後の変圧整流器は、危険物貯蔵所で再使用まで保管する予定である。Figure 9に保管場所となっている50 GeV変電所内の危険物貯蔵所を示す。



Figure 9: Storage location of the transformer-rectifier unit.

## 5. まとめ

RFシステムの変圧整流器では、設置場所が海岸付近に位置するため、塩害によるラジエータの腐食が発生している。

2019年に絶縁油漏れが発生し、使用場所から取り外された変圧整流器一台について、新設RFシステムでの再使用に向けて、2019年から2020年までに、耐塩害塗装された新規ラジエータへの交換を行った。

新規ラジエータに交換し使用可能となった変圧整流器は、修理後にJ-PARC 50 GeV変電所内の危険物貯蔵所に移動し、現在保管している。この変圧整流器は、MRビーム増強計画のために増設中の2次高調波空洞システムの装置として、2022年度から運用する予定である。

## 参考文献

- [1] K. Hara *et al.*, “J-PARC MR における2次高調波用高周波加速空洞の開発状況”, Proceedings of the 15th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Nagaoka, Japan, Aug. 7-10, 2018, pp. 312-315.
- [2] K. Hasegawa *et al.*, “J-PARC MR のビームパワー増強に向けたRFシステムの準備状況”, Proceedings of the 16th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Kyoto, Japan, July 31 - August 3, 2019, pp.1169-1172.
- [3] 古澤将司 他, “J-PARC シンクロトロン高周波システム変圧整流器の絶縁油漏れラジエータ修理” 2020年千葉大学技術研究会 P-3-04.
- [4] 総務省消防庁、消防法、第三章「危険物」、第十条、第一項。