

## J-PARC RCS MW 級陽極電源のアップグレード

### UPGRADE OF MW-CLASS ANODE POWER SUPPLY FOR J-PARC RCS

植木克彦<sup>A)</sup>, 富永勇<sup>A)</sup>, 長谷川智宏<sup>A)</sup>, 山崎長治<sup>#A)</sup>, 佐藤耕輔<sup>B)</sup>, 山本昌亘<sup>C)</sup>, 吉井正人<sup>D)</sup>,  
Katsuhiko Ueki<sup>A)</sup>, Isamu Tominaga<sup>A)</sup>, Chihiro Hasegawa<sup>A)</sup>, Choji Yamazaki<sup>#A)</sup>, Kosuke Sato<sup>B)</sup>,  
Masanobu Yamamoto<sup>C)</sup>, Masahito Yoshii<sup>D)</sup>

<sup>A)</sup> Toshiba Mitsubishi-Electric Industrial Systems Corporation

<sup>B)</sup> Toshiba Corporation

<sup>C)</sup> Japan Atomic Energy Agency

<sup>D)</sup> High Energy Accelerator Research Organization

#### Abstract

A MW-class DC power supply based on series resonant inverter technology already developed for application to the proton synchrotron accelerator. Moreover, we achieved upgrades of the DC power supply by addition of inverter units. The performance of the DC power supply was tested. The tests showed the power of the DC power supply upgraded from 1.2MW to 1.5MW.

#### 1. はじめに

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)により共同開発された大強度陽子加速器施設(以下、J-PARC と略する)では、物質・生命科学及び素粒子に関係する様々な研究が行われている。本施設の加速器は、リニアックと RCS(rapid cycling synchrotron)、MR(main ring)と呼ばれる二つのシンクロトロンで構成されおり、各加速器で加速された陽子は、各施設に供給され、各分野の研究に用いられる。

既に、MW 級の直列共振形ゼロ電流スイッチング方式のインバータを用いた直流電源(以下、陽極電源とする)が開発され、四極管増幅器用の高圧直流源として運用している(装置構成は Fig.1 参照)。陽極電源は MW 級出力でありながら、低電圧リップル( $\pm 0.2\%$ 以下)、低電圧変動( $\pm 1.0\%$ 以下)、さらに従来の四極管用電源では必要とされていたクローバ回路を無くすことを実現している[1]。

現在、J-PARC ではさらなるビームパワーの増強が計画されており、それに伴う各装置のアップグレードも進められている。本論文では、陽極電源の出力容量増強を RCS に設置されている 12 台を対象に検討した。限られたスペースで陽極電源主回路のインバータユニット(Fig.2 参照)を増設する方法を検討し、現状の定格である 13kV-92A-1.2MW から出力電流をアップさせ、13kV-116A-1.5MW に増強したので報告する。

#### 2. 陽極電源の出力容量増強方法の検討

陽極電源の出力容量増強方法について、下記 3 案で検討した。

- ①インバータユニット単体の高出力化
- ②陽極電源主回路盤の増設
- ③既設陽極電源主回路盤へのインバータユニット増設

# YAMAZAKI.choji@tmeic.co.jp

①の案を実行するには、IGBT 素子の選定から、LC 共振部の再設計、ユニットの電気絶縁設計の見直し等、多岐に渡る検討が必要になり、多くの時間と費用が必要となる。②の案に関しては、陽極電源の敷設場所に新たに主回路盤を設置するスペースが無いいため、増設自体が現実的ではなくなってしまう。③の案に関しては、ダイオード整流部分が現状のままでも出力電流の増強に対応できることから、ユニットの増設のみで比較的容易に出力容量の増強が可能である。

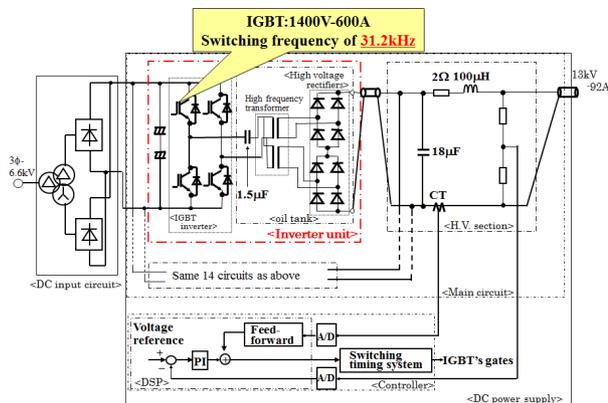


Figure 1: Schematic diagram of the DC power supply.

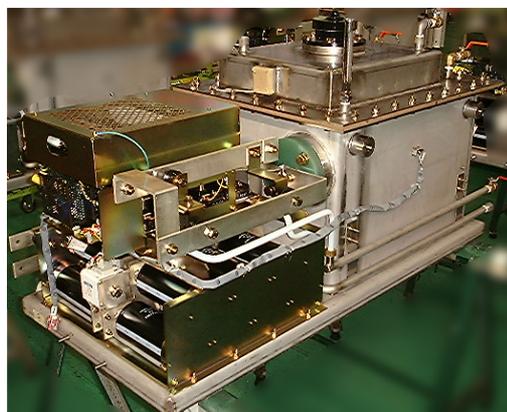
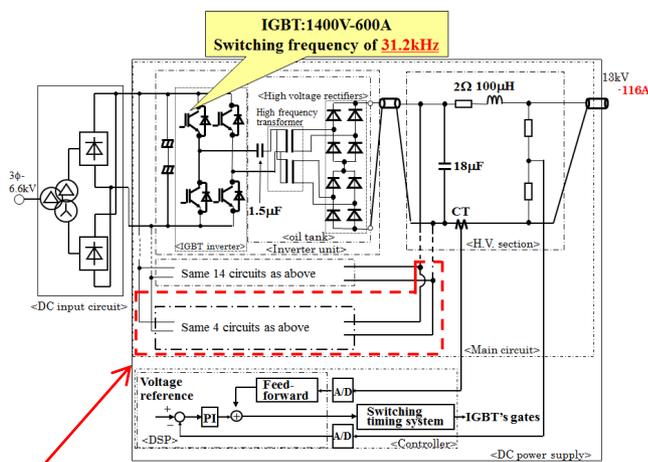


Figure 2: External view of Inverter unit.

以上から、Fig.3 のように陽極電源の現主回路盤に対して、インバータユニットを現状の 15 台から 4 台増設し、19 台にする方法を採用した。Table.1 がユニットの増設前後での性能を比較したものである。出力容量は 1500kW となり、約 1.25 倍の増強となる。

Table 1: Specifications of Upgrades of the DC Power Supply

Item	Before upgrade	After upgrade
Output power	1.2MW	1.5MW
Output current	92A (Duty60%)	116A (Duty60%)
Output voltage	13kV	13kV
Inverter units	15 units	19 units
Dimensions(WxDxH)mm	4500x2000x2710	4500x2000x3560



Added inverter units

Figure 3: Schematic diagram of upgrades of the DC power supply.

### 3. 陽極電源のインバータユニット増設改造

インバータユニットの増設改造は、既設の陽極電源主回路盤天井部にユニットを追加で設置する方法とした。本構成であれば、新たに装置を敷設するスペースを必要とせず、陽極電源のユニット増設改造が可能となる。天井部にユニットを追加するため、既設主回路盤天井部に筐体を追加で設置し(Fig.4 参照)、その中にインバータユニットを 4 台挿入する構造とした。

本構成での実現にあたり、下記 3 項目が課題となった。

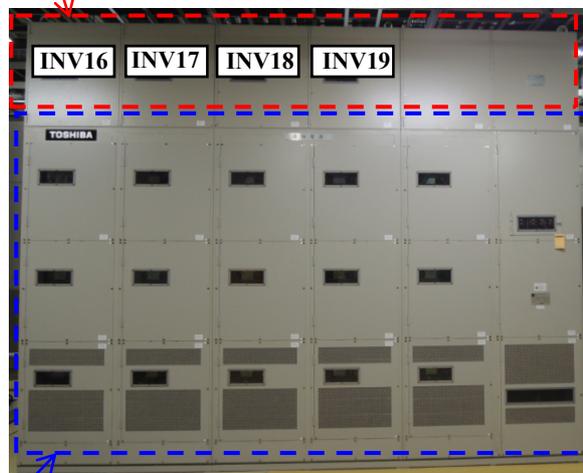
- ①既設主回路盤と増設ユニットの接続方法
- ②増設改造後の冷却系統
- ③増設部筐体の荷役方法

次節にて、各項目に関する対策の検討結果を報告する。

#### 3.1 既設主回路と増設ユニットの接続方法

陽極電源の主回路は 13kV の高電圧となっており、既設主回路盤と増設ユニットを接続するには、その主回

Added inverter units



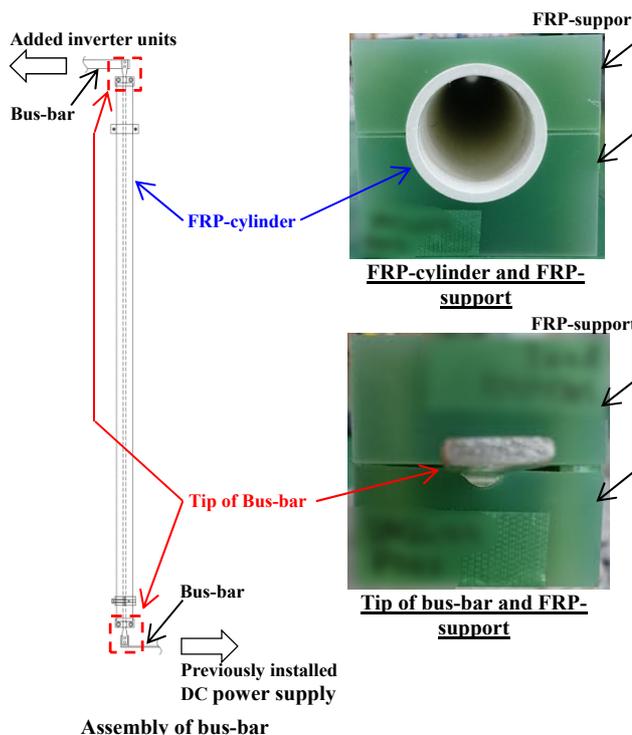
Previously installed DC power supply

Front view

Figure 4: External view of DC power supply main circuit.

路との接続部周辺の絶縁隔離距離を確実に確保可能な構成にする必要がある。しかし、この接続部と既設主回路盤の絶縁隔離距離に余裕が無いため、電線で接続した場合、電線の僅かに弛んだ部分が既設主回路盤と接近し、十分な距離を保てなくなる恐れがあった。

そこで、Fig.5 のように FRP 製の円筒とサポートを用いて銅ブスバーを固定し、既設主回路盤との絶縁距離を確実に確保できる方法を考案した。また、円筒の絶縁耐圧仕様を 24kV 以上に設計し、内部の銅ブスバーが仮に円筒に接近したとしても、既設主回路盤との沿面絶縁隔離距離を維持できる構成とした。



Assembly of bus-bar

Figure 5: Detail of bus-bar.

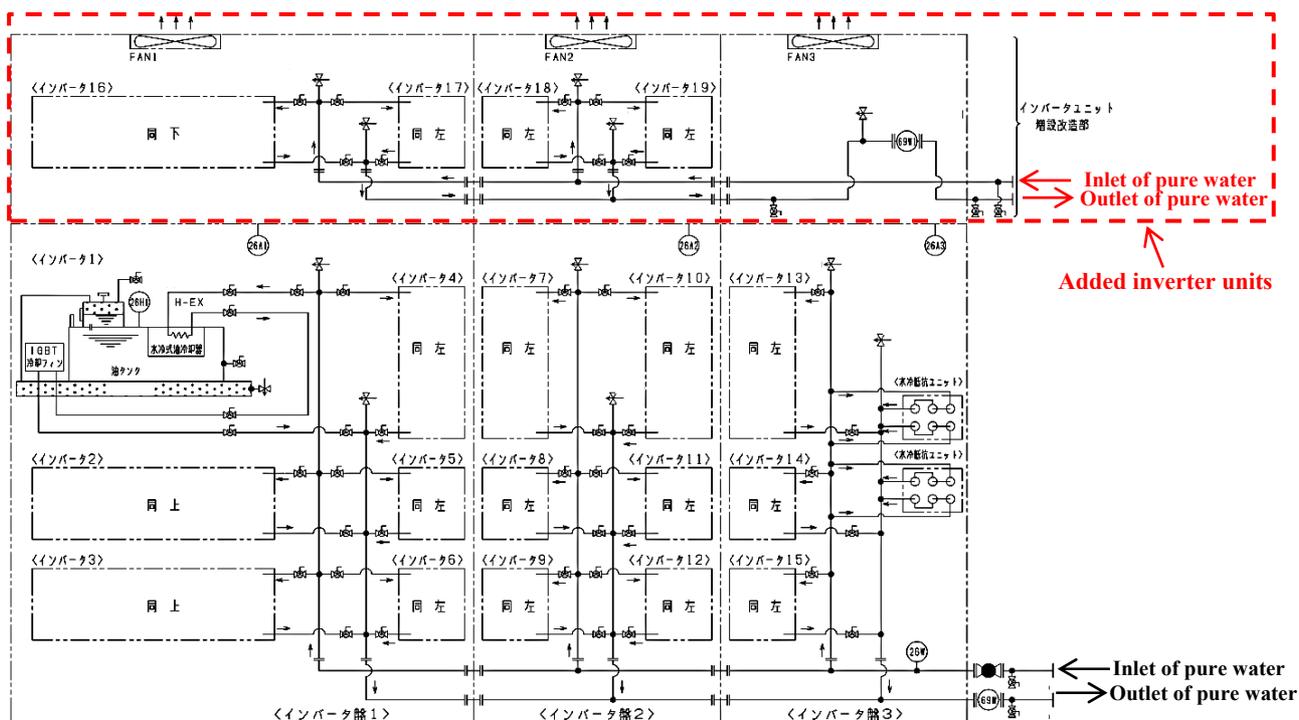


Figure 6: Cooling system diagram of DC power supply main circuit.

### 3.2 増設改造後の冷却系統

増設したインバータユニットへの冷却水の供給方法において、既設主回路盤の冷却系統から増設部のユニットへ冷却水を供給する場合、既設主回路盤の冷却系統の改造及び増設改造部を含む装置の冷却水流量のバランス調整が必要となる。そのため、増設改造の作業量が増加してしまうことになる。

そこで、Fig.6 のように、既設主回路盤と増設部分の冷却系統を独立させる構成とした。本構成にしたことで、増設改造による既設主回路盤の冷却系統の改造作業が不要となった。

### 3.3 増設部筐体の荷役方法

陽極電源の敷設場所の天井には荷役設備が無く、また陽極電源天井部に門型クレーンを設置するための十分な空間が無いため、増設部筐体の荷役方法を検討する必要があった。

そこで、Fig.7 のように、増設部筐体を幅 1500mm、奥行き 2000mm、高さ 850mm の 3 台の筐体に分割し、1 台ずつ荷役可能な構成とした。本構成にしたことで、フォークリフトで陽極電源前まで筐体を荷役し、そのまま陽極電源の天井まで持ち上げ、筐体の取付作業を行うことを可能にした(Fig.8 参照)。



Figure 7: External view of a cabinet of added inverter units.



Figure 8: Installation work of a cabinet of added inverter units.

#### 4. 試験結果

インバータユニット増設改造後の陽極電源単体での運用試験をした。ただし、増設改造時点では 18 台のインバータユニットでの運用となっているため、出力電流の定格は 110A(Duty 60%)となる。Fig.9 は電源単体試験時の出力波形となり、ピーク電流 115.8A が達成できていることを確認した。

また、Fig.10 にて、ビーム加速試験時の陽極電源の出力波形を示す。110A(Duty 60%)の平均電流を超えない範囲にて、ピーク電流 145.8A で運用できることが確認できた。この結果より、最終的に 19 台のインバータユニットでの運用になれば、当初目指していた陽極電源の出力容量増強が達成できることも確認できた。

できた。直列共振形ゼロ電流スイッチング方式のインバータのメリットにより、比較的容易なアップグレード改造が実現できた。

本稿での結果は、インバータユニット 18 台での運用であるが、最終的にはインバータユニット 19 台で運用する予定である。

#### 参考文献

- [1] Fusao Saito, Manabu Souda, Choji Yamazaki, Masahito Yoshii, Chihiro Ohmori, Masanobu Yamamoto, Fumihiko Tamura, "Development of MW-class high-voltage DC supply based on series resonant converter technology", The 2005 International Power Electronics Conference, Niigata, Japan, 2005, pp.1499-1503.

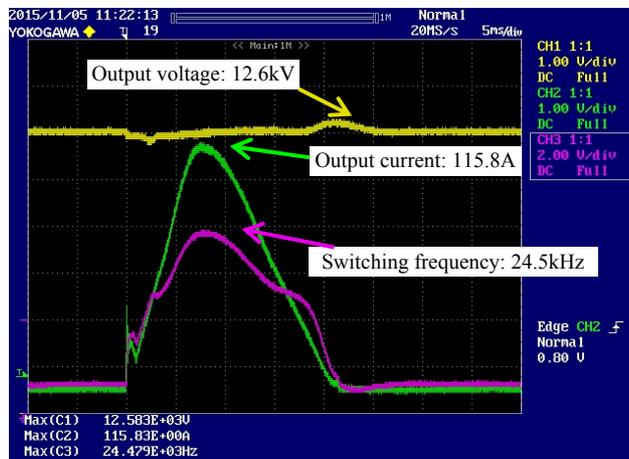


Figure 9: Output voltage and current waveform.

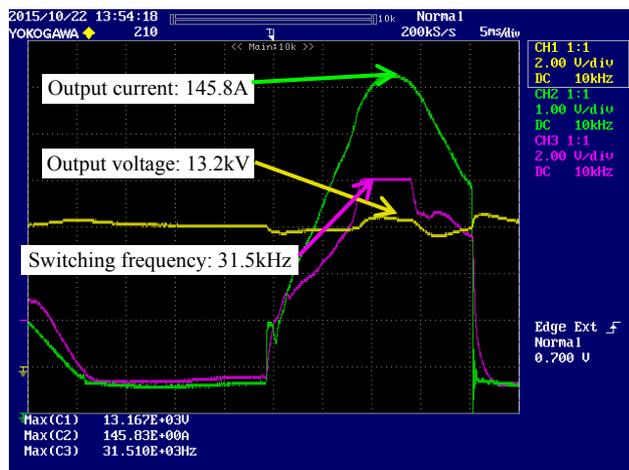


Figure 10: Output voltage and current waveform. (Beam test)

#### 5. まとめ

陽極電源のインバータユニットを、15 台から 19 台に増設することで、出力容量を約 1.25 倍に増強することが