

## J-PARC リニアック用 972 MHz 半導体増幅器の特性評価

### PERFORMANCE TEST OF J-PARC LINAC 972 MHz SEMICONDUCTOR AMPLIFIER

中野秀仁<sup>#, A)</sup>, 不破康裕<sup>A)</sup>, 篠崎信一<sup>A)</sup>, 溝端仁志<sup>B)</sup>

Hideto Nakano<sup>#, A)</sup>, Fuwa Yasuhiro<sup>A)</sup>, Shinichi Shinozaki<sup>A)</sup>, Satoshi Mizobata<sup>B)</sup>

<sup>A)</sup> J-PARC Center, JAEA

<sup>B)</sup> J-PARC Center, KEK

#### Abstract

In the J-PARC linac, klystrons are used as RF source. To improve the stability of RF power supply, the replacement of klystrons with semiconductor amplifiers is under consideration. Since the output of a semiconductor amplifier is relatively small, klystrons were installed in high power sections. Progresses of semiconductor production technology have allowed to manufacture semiconductor amplifiers that are expected be practical use. In the J-PARC linac, the installation in a debuncher 2 cavity with relatively small output power is planned. Characteristics test of a prototype semiconductor amplifier were conducted before full scale installation.

#### 1. J-PARC リニアックの高周波源の現状

J-PARC リニアックでは、高周波源としてクライストロンが用いられている[1]。クライストロンは高圧電源、冷却水、絶縁油など付随する部品が多く、メンテナンス箇所及び点検項目が多い。また、放電によりインターロックが稼働し J-PARC リニアックのビームを止めてしまうこともある。近年、高周波電力供給の安定性向上のため、半導体増幅器への置き換えが検討されている。

トランジスタ増幅器は耐電力の上限が真空管増幅器に比べ小さいため大電力を必要とする高周波電力源では使用されなかった。半導体製造技術の進歩により実利用が期待できる半導体増幅器が製造可能になった。J-PARC リニアックの 972 MHz の区間の必要電力をグラフにしたものが Fig. 1 である。多くの区間は 2 MW を必要とするが、数ヶ所は数百 MW 程度である。これらの箇所であれば置き換えが検討できると考えた。その中でも特に出力電力の小さなデバンチャー2 空洞用クライストロンの半導体増幅器への置き換えを計画している。定格 2.5 kW の半導体増幅器を 100 個程並列に結合し 200 kW 出力の増幅器の製作を計画している。本格的な

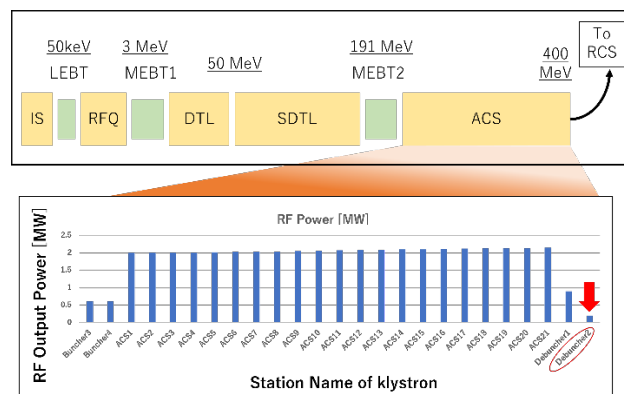


Figure 1: Required power for 972MHz driving part of J-PARC linac.

製作の前に試作機として定格 2.5 kW の半導体増幅器を作製したためその性能試験を実施した。

#### 2. 実験セットアップ

特性試験として主に立上り立下り時間特性と入出力特性を測定した。立上り立下り時間特性は 20 dB の方向性結合器を用いてオシロスコープで波形を取得し調べた。入出力特性はパワーメータを用いて入力及び出力 RF の電力値を測定した。Figure 2 と Fig. 3 に実験時のブロックダイアグラムを示す。入出力特性の試験は、繰り返し周波数 25 Hz, 50 Hz パルス幅 800  $\mu$ s で行った。

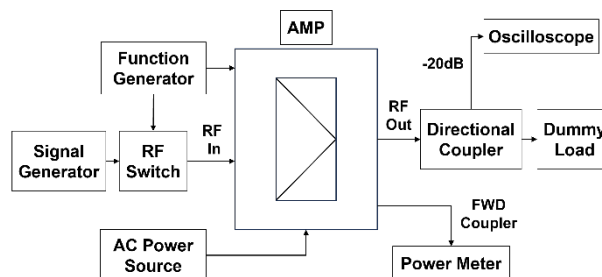


Figure 2: Block diagram of rise/fall time characteristics test.

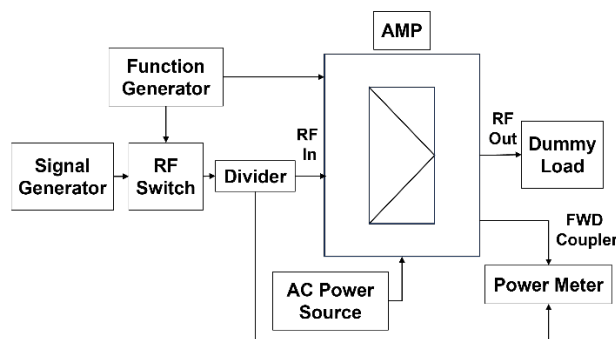


Figure 3: Block diagram of input/output characteristics test.

<sup>#</sup> hnakano@post.j-parc.jp

### 3. 性能試験

#### 3.1 立上り立下り時間特性試験

半導体増幅器の出力 RF の立上り立下り時間特性を測定した。出力 RF の大きさは 37.21 dBm。20 dB の方向性結合器を挟みオシロスコープで波形を取得した(Fig. 4, Fig. 5)。必要性能を満たしていることが確認された。

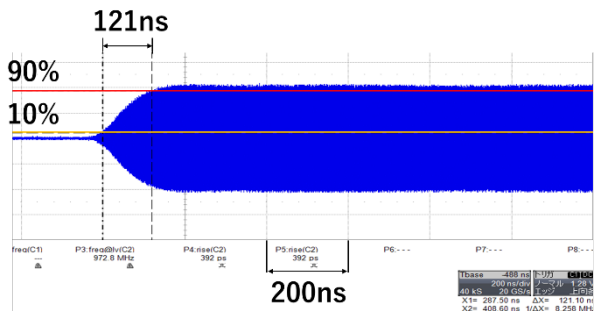


Figure 4: Rise time characteristics of output RF. Horizontal axis 200ns/bin.

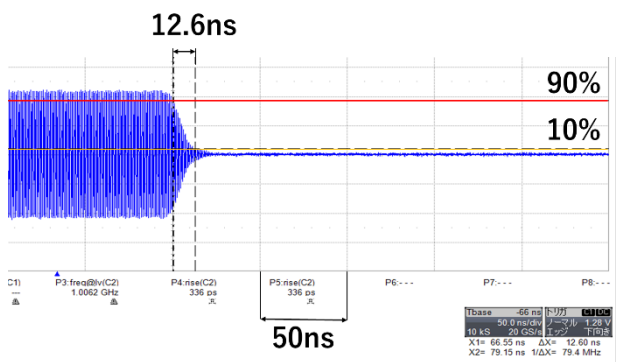


Figure 5: Fall time characteristics of output RF. Horizontal axis 50ns/bin.

#### 3.2 入出力特性試験

入力 RF の大きさを変化させて半導体増幅器の入出力特性を測定した。入力 RF は増幅器の入力端子に分配器を設置して計測した。出力 RF は出力モニタ用端子で計測した。繰り返し周波数 25 Hz(Fig. 6)と 50 Hz(Fig.



Figure 6: Input/output characteristics at repetition frequency 25 Hz.

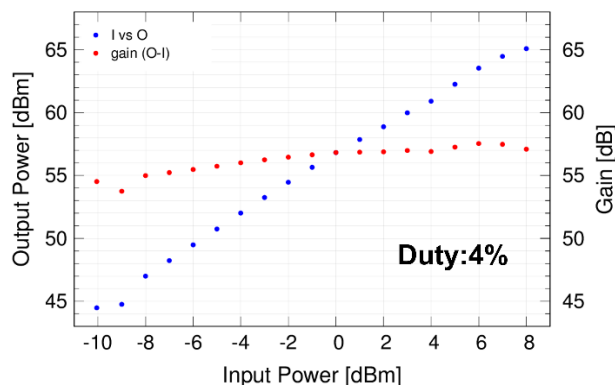


Figure 7: Input/output characteristics at repetition frequency 25 Hz.

7)での測定を行った。パルス幅は 800  $\mu$ s。どの領域でも定格の 54 dB 以上増幅できていることが確認された。

#### 3.3 電力安定性試験

繰り返し周波数 50 Hz で約 6 時間、1 分間隔で出力 RF の電力を記録した(Fig. 8)。出力が安定した 120 分以降の平均、標準偏差は 2577 $\pm$ 6.212 [W]であり、電力の変動は約 0.2%であった。

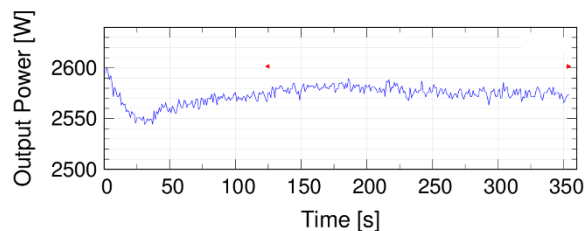


Figure 8: Time variation of output RF acquired at 1 minute intervals.

### 4. まとめと今後の展望

J-PARC リニアック高周波源用半導体増幅器の試作機の特性評価を行った。立上り立下り時間特性、入出力特性を測定し、要求される性能を十分満たしていることが分かった。また、電力安定性も有している。今後はデバンチャー2 クライストロン半導体増幅器への置き換えを目指し開発を進める。

#### 参考文献

- [1] High-intensity Proton Accelerator Project Team, "ACCELERATOR TECHNICAL DESIGN REPORT FOR HIHG-INTENSITY PROTON ACCELERATOR FACILITY PROJECT, J-PARC", JAERI-Tech 2003-044, KEKReport2002-13.