

J-PARC リニアックのエネルギー増強に向けた ACS 空洞の大電力試験再開 RESUMING OF ACS HIGH-POWER TEST FOR J-PARC LINAC ENERGY UPGRADE

田村潤 *^{A)}、青寛幸 ^{A)}、根本康雄 ^{A)}、浅野博之 ^{B)}、鈴木隆洋 ^{C)}、
Jun Tamura*^{A)}, Hiroyuki Ao^{A)}, Yasuo Nemoto^{A)}, Hiroyuki Asano^{B)}, Takahiro Suzuki^{C)}

^{A)}J-PARC Center, Japan Atomic Energy Agency

^{B)}Nippon Advanced Technology Co.,Ltd

^{C)}Mitsubishi Electric System & Service Co.,Ltd

Abstract

The beam energy of the Japan Proton Accelerator Research Complex (J-PARC) linac is going to be increased from 181 to 400 MeV. This energy upgrade is carried out by adding the Annular-ring Coupled Structure (ACS) linac to the beam transport at the downstream of the 191-MeV drift tube linac. For the energy upgrade, the high-power test of the ACS linac had been performed until the 2011 Tohoku earthquake occurred. The earthquake caused a tremendous damage to the J-PARC accelerator facility and made the high-power test impossible. The restoration of the facility for the high-power test has been completed by the last of 2012 fiscal year and the high-power test has been resumed. So far, the resumed high-power test has been performed for two ACS modules. In the process of increasing the RF power put into the ACS cavity, we didn't observe critical problem. As the conditioning progressed, the pressure and the discharge rate inside the cavity have been decreased. It is expected that the more stable operation is achieved by the enough conditioning before the 400 MeV beam operation.

1. はじめに

J-PARC では、3GeV シンクロトロン of ビームパワー 1MW を達成するために、リニアックのビームエネルギーを 181MeV から 400MeV に増強することを計画している。これは、リニアック下流部のビームトランスポートラインに、Annular-ring Coupled Structure (ACS) 空洞 25 台を設置することにより行う^[1]。ビームエネルギー増強時の J-PARC リニアックの概略を Fig. 1 に示す。イオン源で生成される大強度の負水素イオンビームは、RFQ、Drift Tube Linac (DTL)、Separated-type Drift Tube Linac (SDTL) で 190MeV まで加速された後、ACS により最終的に 400MeV まで加速される。

このビームエネルギー増強に向けて J-PARC リニアックでは、専用の試験ピットに ACS 空洞を設置して大電力試験を行っていたが^[2,3]、2011 年 3 月 11 日の震災により中断することとなった。2012 年度末に施設の主な復旧工事が完了し、中断していた大電力試験を再開した。修繕された大電力試験ピットと設置された ACS 空洞 (加速モジュール 11 号機) を Fig. 2 に示す。本報

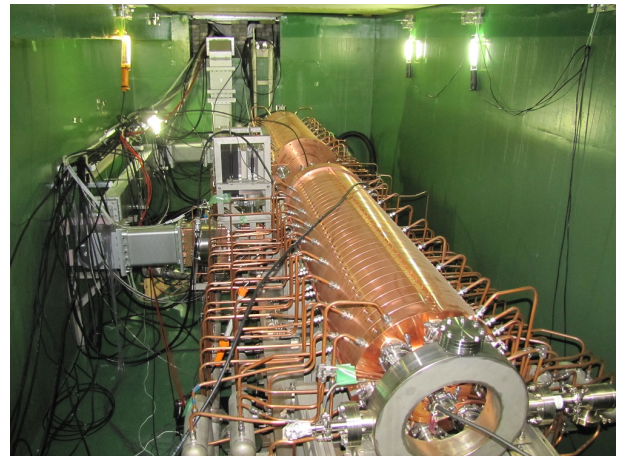


Figure 2: ACS accelerator module 11 installed in the restored test pit.

告では、再開した ACS 空洞の大電力試験について報告する。

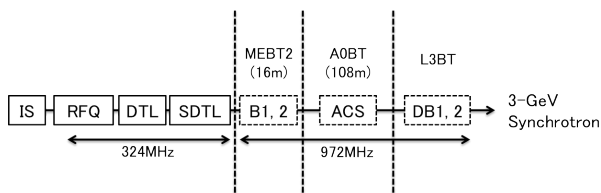


Figure 1: Diagram of J-PARC linac accelerating structures. In the J-PARC linac energy upgrade, 2 ACS buncher modules (B1, 2), 21 ACS accelerating modules and 2 ACS debuncher modules (DB1, 2) are installed in the beam transport called MEBT2, A0BT and L3BT, respectively.

*jtamura@post.j-parc.jp

2. 試験目的

震災復旧後、2 台の ACS 空洞について大電力試験を行った。1 台目は ACS 加速モジュール 1 号機で、ACS 量産機製作前に一度大電力を投入した空洞である^[4]。その後約 6 年が経過しているため、問題なく電力を投入できるか確認することを目的とした。2 台目は ACS 加速モジュール 11 号機で、RF 入力窓の内側 (真空側) に、Fig. 3 に示す VSWR 調整用アイリスが設置された空洞である。今回が初めての電力投入であり、この RF 入力部において顕著な発熱および放電がなく、問題なく電力を投入できるか確認することを目的とした。それぞれの空洞について、設計加速電場 4.2MV/m を実現する定格

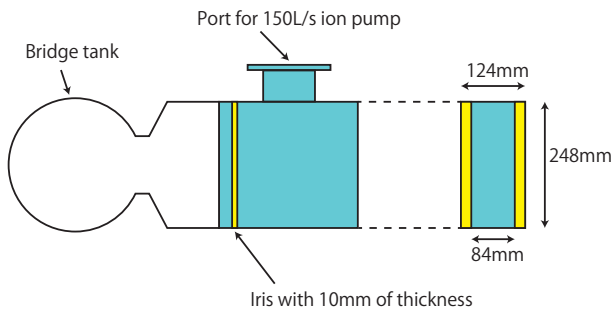


Figure 3: The iris across a rectangular waveguide to adjust the VSWR.

電力を Table 1 に示す。

Table 1: Required power to achieve the designed accelerating field of 4.2MV/m

Module	Shunt impedance	Cavity length	Power
M01	39.6 MΩ/m	2.94 m	1.3 MW
M11	49.6 MΩ/m	3.38 m	1.2 MW

3. 試験体系

クライストロン電源から出力される RF 電力 (周波数 972MHz) を、50Hz の繰り返しで空洞に投入した。ビームのパルス幅 500μs に対して RF のパルス幅は 600μs であり、duty は 3% である。この投入電力に対して、温度約 27℃、流量 250L/min の冷却水で空洞を冷却した。大電力試験の体系図を Fig. 4 に示す。

空洞内の真空は、加速タンク外側の真空マニホールに設置された 500L/s のイオンポンプ計 2 台と、RF 入力窓のすぐ内側に設置された 150L/s のイオンポンプで排気を行った。圧力測定は、ブリッジタンク中央の RF 入力セルおよび、上流側加速タンク外側の真空マニホールに設置された二つの B-A ゲージで行った。空洞の真空排気体系を Fig. 5 に示す。電力投入時は、空洞内の圧力が上昇して 1×10^{-4} Pa を超えたときに電力投入を

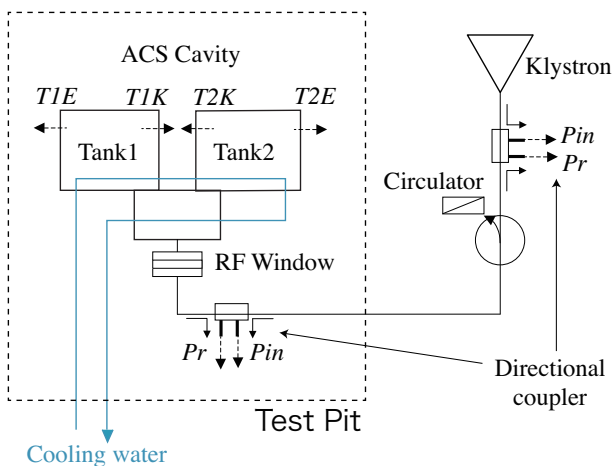


Figure 4: Schematic view of the ACS high-power test.

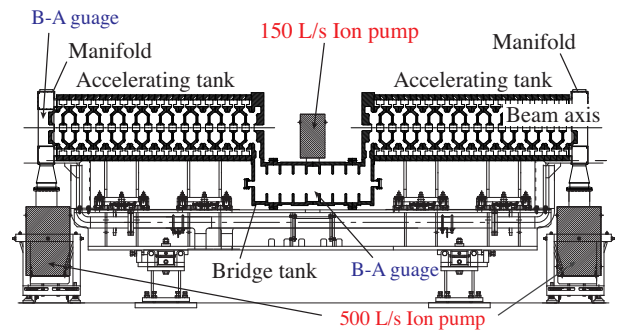


Figure 5: Configuration of the vacuum system for ACS accelerator module.

停止するようインターロックを設定した。

4. ACS 加速モジュール 1 号機

ACS 加速モジュール 1 号機について、定格加速電場の約 15% のマージンを加えた 1.75MW までのコンディショニングを行い、これに約 30 時間を要した。この加速モジュールについては、一度コンディショニングを行っているため、前回の約 2/3 の時間で定格電力を投入することができた^[4]。コンディショニングを開始してからの、投入ピーク電力、投入平均電力、空洞内圧力 (より圧力の高かったブリッジタンク部) を Fig. 6 に示す。最初の約 20 時間、パルス幅を 50μs に固定して、投入ピーク電力を 1.75MW まで上げていった。その後、ピーク電力を 1.75MW に固定して、パルス幅を 50μs から 600μs へと伸ばして行った (約 10 時間)。

コンディショニングが進むにつれて電力投入時の空洞内圧力が下がり、Fig. 6 には示していないが、ブリッジタンク部の圧力が 2×10^{-6} Pa まで下がることを確認した。これは、残留ガスによるビームロスが 0.1W/m 以下となる 4×10^{-6} Pa を下回っている。約 6 年前のコンディショニングでは、電力投入時のブリッジタンク部の到達圧力が 1×10^{-5} Pa であった^[4]。これは、以前のコンディ

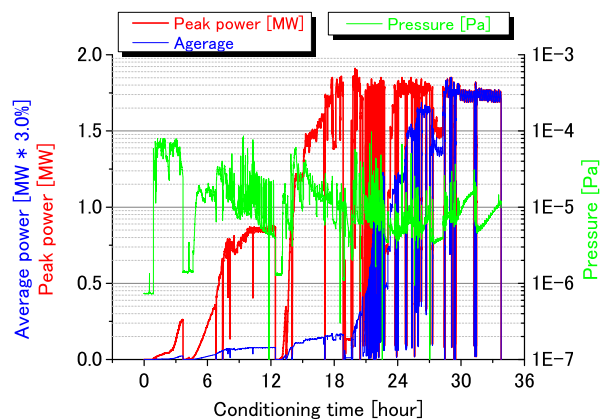


Figure 6: Conditioning history of ACS accelerator module 1. Red line shows the input peak power measured with the directional coupler. Blue line shows the input power averaged by the duty factor. Green line shows the pressure in the bridge tank.

ショニング時には真空マニホールドに設置された計2台のイオンポンプ(排気速度500L/s)でのみ真空排気を行っていたこと、今回の大電力試験でよりコンディショニングが進んだことが原因と考えられる。投入電力700~800kWでガス放出が見られたが、この領域を超えると目立ったガス放出は見られなかった。パルス幅を上昇させる間、突発的な放電が起こったが、コンディショニングが進むにつれてその頻度が下がるのが確認できた。

5. ACS 加速モジュール 11 号機

ACS 加速モジュール 11 号機について、定格加速電場の約 20% のマージンを加えた 1.75MW までのコンディショニングを行い、これに約 50 時間を要した。これは、これまで行われた他の ACS 空洞のコンディショニングに要した時間と同程度である^[2,3,4]。コンディショニングを開始してから、投入ピーク電力、投入平均電力、空洞内圧力(より圧力の高かったブリッジタンク部)を Fig. 7 に示す。加速モジュール 1 号機と同様に、最初はパルス幅を 50 μ s に固定して投入ピーク電力を上げていった(約 25 時間)。その後、パルス幅を 600 μ s に固定して、再度、投入ピーク電力を低いところから 1.75MW まで上げていった(約 25 時間)。

Fig. 7 には示していないが、その後のコンディショニングによりブリッジタンク部の圧力が 4×10^{-6} Pa まで下がることを確認した。このモジュールは今回が初の大電力投入であるため、エージングによる圧力上昇が頻繁に起こったが、これまでと同じように、通過した投入電力領域では顕著な圧力上昇は見られなくなった。

この加速モジュール 11 号機は、VSWR 調整のためのアイリス付き導波管を設置した空洞であるが、加速モジュール 1 号機に比べて RF 入力部の顕著な発熱および放電は見られず、問題なく大電力を投入することができた。

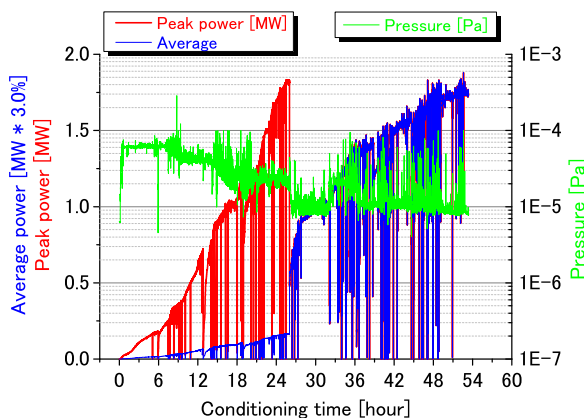


Figure 7: Conditioning history of ACS accelerator module 11. Red line shows the input peak power measured with the directional coupler. Blue line shows the input power averaged by the duty factor. Green line shows the pressure in the bridge tank.

6. まとめ

2012 年度末に施設の主な復旧工事が完了し、中断していた大電力試験を再開した。これまで、2 台の空洞について大電力試験を行い、大きな問題なく定格以上の電力を投入することができた。電力投入に要した時間は震災前に行われた他の ACS 空洞と同程度であり、コンディショニングが進むにつれて空洞内圧力が下がり、放電発生 の頻度が下がることも確認できた。しかし、加速モジュール 1 号機、11 号機ともに、定格以上の投入電力では、半日に数回程度放電による RF 停止が起こっており、さらなるコンディショニングが必要である。

これまでのところ、ACS 空洞 25 台のうち、5 台について大電力投入済である。残りの 20 台については、加速器トンネルに空洞を設置した後、一斉にコンディショニングを行う計画である。400MeV ビーム試験の開始前に十分なコンディショニングを行うことができるよう、準備を進めている。

7. 謝辞

この ACS 空洞の大電力試験には、J-PARC リニアック RF グループの皆様のご協力をいただいた。深く感謝いたします。

参考文献

- [1] J. Tamura, et al., "RECOVERY EFFORTS FROM THE TOHOKU EARTHQUAKE AND ENERGY UPGRADE PREPARATION OF THE BEAM TRANSPORT FROM J-PARC LINAC TO 3-GEV SYNCHROTRON", Proceedings of LINAC2012, Tel-Aviv, Israel.
- [2] H. Ao, et al., "ACS CAVITY FOR J-PARC LINAC", Proceedings of the 8th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Tsukuba, Aug. 1-3, 2011.
- [3] H. Ao, et al., "ANNULAR-RING COUPLED STRUCTURE FOR THE ENERGY UPGRADE OF THE J-PARC LINAC", Proceedings of LINAC2012, Tel-Aviv, Israel.
- [4] H. Ao, et al., "First annular-ring coupled structure cavity for the Japan Proton Accelerator Research Complex linac", Phys. Rev. ST Accel. Beams, 15, 051005 (2012).