

J-PARC リニアック 50 Hz 運転検証試験 J-PARC LINAC 50 Hz OPERATION VERIFICATION STUDY

近藤恭弘^{*,A)}, 地村幹^{A)}, Ersin Cicek^{B)}, 福井佑治^{B)}, ニッ川健太^{B)}, 不破康裕^{A)}, 後藤陸斗^{C)}, 平野耕一郎^{A)}, 石川将樹^{D)}, 伊藤崇^{A)}, 北村遼^{A)}, 小坂知史^{C)}, 宮尾智章^{B)}, 溝端仁志^{B)}, 森下卓俊^{A)}, 守屋克洋^{A)}, 中野秀仁^{A)}, 南茂今朝雄^{B)}, 大越清紀^{A)}, 岡部晃大^{A)}, 柴田崇統^{B)}, 神藤勝啓^{A)}, 高橋博樹^{A)}, 田村潤^{A)}, 田崎竜太^{E)}
Yasuhiro Kondo^{*,A)}, Motoki Chimura^{A)}, Ersin Cicek^{B)}, Yuji Fukui^{B)}, Kenta Futatsukawa^{B)}, Yasuhiro Fuwa^{A)}, Rikuto Goto^{C)}, Koichiro Hirano^{A)}, Masaki Ishikawa^{A)}, Takashi Ito^{A)}, Ryo Kitamura^{A)}, Satoshi Kosaka^{A)}, Tomoaki Miyao^{B)}, Satoshi Mizobata^{B)}, Takatoshi Morishita^{A)}, Katsuhiro Moriya^{A)}, Hideto Nakano^{A)}, Kesao Nanmo^{B)}, Kiyonori Ohkoshi^{A)}, Kota Okabe^{A)}, Takanori Shibata^{B)}, Katsuhiro Shinto^{A)}, Hiroki Takahashi^{A)}, Jun Tamura^{A)}, Ryuta Tasaki^{E)}

^{A)} Japan Atomic Energy Agency (JAEA)

^{B)} High Energy Accelerator Research Organization (KEK)

^{C)} NAT Co.

^{D)} Nuclear Engineering Co., Ltd.

^{E)} Kanto Information Service Co., Ltd.

Abstract

Various upgrade plans of the J-PARC linac are underway, and repetition-rate doubling project is one of the most important part. Currently, the linac supplies a 400 MeV H^- ion beam to the 3 GeV synchrotron (RCS) at a repetition rate of 25 Hz. However, to deliver the beam to both RCS and proton-beam irradiation facility under planning, it is necessary to raise the repetition rate from 25 Hz to 50 Hz. Prior to construction of the beamline to the irradiation facility, we conducted a verification of the 50 Hz operation of all the linac apparatus simultaneously within the current operational limits in May 2025. And also, the verification of the 50 Hz operation of the particle counter system, which is one of the most important safety devices of the J-PARC accelerator, was conducted. As a result, any significant problems were not found out, and it is now ready for the upcoming 50 Hz-beam acceleration demonstration. This paper describes this details of the demonstration of the 50 Hz operation, without beam acceleration, of the J-PARC linac.

1. はじめに

J-PARC (Japan Proton Accelerator Research Complex) は、世界的に見てもユニークな多目的加速器施設であり、物質・生命科学研究施設 (MLF) における物質・生命科学研究、ハドロン実験施設やニュートリノ実験施設などにおける、素粒子・原子核実験といった多様な研究が日々推進されている。J-PARC 加速器は、400 MeV リニアック、3 GeV 速い繰り返しシンクロトロン (RCS)、30 GeV シンクロトロン (MR) から成っている。RCS についてはすでに当初計画通りの MLF 1 MW 利用運転を達成しており [1]、将来計画である MLF 第 2 ターゲットステーション (TS2) [2] の実現に向け、さらなる大強度化が検討されている [3]。MR についても所期の性能である早い取り出しでの 0.75 MW をすでに達成しており、1.3 MW 化に向けてアップグレードが進んでいる [4]。それに対し、原子力発電に伴う高レベル放射性廃棄物の減容化・有毒度低減のための、加速器を用いた核変換技術の基礎研究を行うための核変換実験施設 (TEF) [5, 6] は、J-PARC の大きな柱の一つであり [7]、J-PARC 計画の前身計画の一つである、日本原子力研究所の中性子科学計画 (NSP) 時代から計画に含まれている [8] にもかかわらず、いまだ実現していない。TEF に対する社会的情勢が変化してきたことにより、多様な陽子ビーム照射

のニーズに対応すべく、陽子ビーム照射施設としてその在り方の見直しが行われており [9]、加えて、当初 TEF に含まれていた照射後試験 (PIE) 設備は、より汎用性の高い PIE 施設として検討中である [10]。どのような施設として実現するにせよ、当初計画であるこの施設が実現しない限り計画は未達であり、J-PARC 完成のためにはこの施設の実現が必須である。以上をふまえた未来の J-PARC のイメージを Fig. 1 に示す。図中、薄い黄色の箱で示されるのは、既存の施設、薄橙色で示されるのは現在はまだ無い施設である。



Figure 1: Image of the future J-PARC.

* yasuhiko.kondo@j-parc.jp

上記 J-PARC の将来構想に基づき、リニアックにつ

いてもアップグレードを検討中である。Table 1 に、J-PARC リニアックの諸元を、Fig. 2 に、リニアック増強のロードマップを示す。

Table 1: Specifications of the J-PARC Linac

Beam species	H ⁻
Energy	400 MeV
Peak current	50 mA
Pulse width	500 μs
Repetition rate	50 Hz
Duty factor	2.5%
Beam power to RCS (w chop)	133 kW
to TEF (w/o chop)	250 kW

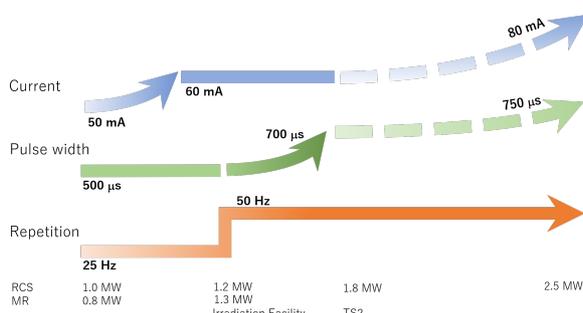


Figure 2: Road map of the J-PARC linac upgrade.

J-PARC リニアック増強では、Fig. 2 に示す、3つのパラメータを増強する。まずピーク電流であるが、現状決定している J-PARC 加速器のアップグレードは、2028 年までの MR 1.3 MW 化である。この運転で MLF 1 MW を維持するためには、MR に取られる分を補填するため、RCS には 1.2 MW 相当の出力が要求される。このためには、現状でも H⁻ リニアックとして世界最高である 50 mA のピーク電流を、60 mA に増強することを計画しており、課題はあるものの、60 mA での運転が可能であることをすでに実証している [11]。

次にビームパルス幅であるが、TS2 が実現した場合、現状 TS2 は 0.5 MW を想定しているため、現行 MLF と合わせて 1.5 MW、MR 分も合わせると 1.8 MW ほどが要求される。これにはリニアックの長パルス化で対応する予定であり、600 μs までのパルス幅は、60 mA と同様に実証済み [11] であるため、すでに RCS 1.5 MW まででは対応可能であることが示されている。それ以上の長パルス化にはクライストロン電源の増強等が必要となる可能性があり [12]、今後の課題である。なお、TS2 が 1 MW を受け入れ可能になる（あるいは、さらに別の施設にビームを供給する）可能性も想定して、RCS 2.5 MW までを視野に入れている [3] が、そのためにはピーク電流、パルス幅共にさらに増強する（80 mA、750 μs を想定）必要があり、イオン源については要求性能が達成できそうなことが実証されている [13] もの、初段加速器や高周波源の大幅なアップグレードが必要と見込まれており、リニアックの具体的な検討はこれからである。

最後に繰り返し周波数であるが、すでに述べた通り、TEF は当初計画であり、J-PARC リニアックは繰り返し周波数 50 Hz が仕様である。しかしながら、現状では TEF、あるいは陽子ビーム照射施設は存在しておらず、J-PARC リニアックは繰り返し周波数 25 Hz にて RCS に 400 MeV 負水素イオンビームを供給している。すなわち、現状では仕様の半分以下のビーム出力しか使えていないことになる。リニアック本体は 50 Hz 運転が可能のように製作されているが、建設時のコストダウンから、高周波源や、特に冷却水施設は 50 Hz 運転に対応しておらず、また、粒子数カウンタなどの安全系機器や、制御・タイミング系は、50 Hz 運転を必要とする施設自体まだ存在しないため、当然ながら 25 Hz 前提で構築・運用されている。しかしながら、陽子ビーム照射施設へのビーム供給を両立するためには、繰り返し周波数を 25 Hz から、仕様通りの 50 Hz に上げることが必須であり、照射施設へのビームライン建設を待たずして、現状のリニアックで可能な範囲内の 50 Hz ビーム加速試験を行い、課題を抽出していくことが重要であると考えている。

当初、2024 年にリニアック機器の 50 Hz 運転検証、2025 年にリニアックの 50 Hz ビーム加速試験を実施する予定であったが、2024 年、2025 年共に J-PARC の運転計画の変更があり、2024 年は試験自体が中止となり、2025 年についてはビーム試験を行うことが難しい状況となった。そのため 2025 年に、リニアック実機では、本来 2024 年に行う予定であった、全機器の 50 Hz 運転検証試験（ビーム加速なし）を、2025 年上期の利用運転後の 5 月 26 日から 28 日に行った。6 月 26 日にリニアックローカルの 50 Hz タイミングの準備、27 日朝より高周波源から順次立ち上げ、その日のうちにイオン源および全空洞が 50 Hz 運転された。28 日にデータ取得、機器停止、タイミングを 25 Hz に復帰し、試験終了とした。また、50 Hz ビーム加速に必須となる粒子数カウンタの 50 Hz での動作検証を J-PARC リニアック棟に設置されている 3 MeV リニアック [14] において、6 月に実施した。本論文ではこれらの試験について述べる。

2. タイミング・制御系

2.1 粒子数カウンタシステムの 50 Hz 試験

J-PARC リニアックのビーム調整用ビームダンプは、リニアックの最大出力ビームを受け入れることは出来ないため、粒子数カウンタで加速粒子数を計測して、ビームダンプへの入射粒子数がダンプ容量以下であることを担保している [15]。2025 年上半年期まで運用していた粒子数カウンタのシステムは 50 Hz 動作には対応しておらず、リニアック 50 Hz 運転のためには、システムの更新が必要であった。第 1 章で述べた通り、2025 年には 50 Hz ビーム試験を行う予定であったので、粒子数カウンタシステムの更新と動作検証を行った。粒子数カウンタのハードウェアは、使い勝手向上の改良などを施した新型に更新されたが、50 Hz での動作は従来から対応しており、今回の主な更新は、データ収集・処理のソフトウェアの 50 Hz 対応のための改修である。粒子数カウンタは、J-PARC の安全を担保する重要なシステムであり、確実に 50 Hz で粒子数を計数できていることを確認する必要がある。このため、J-PARC リニアック棟で稼働し

ている、負イオン源と RFQ [16] から構成される 3 MeV リニアック [14] で更新した粒子数カウンタシステムの動作試験を行った。

まず、3 MeV リニアックをこれまで通り 25 Hz で運転し、RFQ 下流の同じ電流モニタの信号を分岐し、50 Hz 用に更新した新システムを、専用の 50 Hz トリガでデータ収集を行い、3 MeV リニアックで運用していたその結果、1 時間の積算粒子数で、既存粒子数カウンタでは 2.1×10^{18} 、新粒子数カウンタ Main 系で 2.2×10^{18} 、Sub 系で 2.3×10^{18} (J-PARC リニアック実機で使用する際は、冗長性を持たすため 2 系統必要) であり、ビームのない 25 Hz 分のトリガで想定されるノイズの範囲内で新旧一致したので、新システムは正常に動作していると判断した。

次に、新粒子数カウンタシステムを 3 MeV リニアックに組み込み、校正を行い、50 Hz でのビーム試験を行った。Figure 3 に、50 Hz で加速された、RFQ 出口でのビーム波形を示す。



Figure 3: 50 Hz beam acceleration of the 3-MeV linac at J-PARC linac building.

J-PARC リニアックにおいては、ビーム電流 30 mA RFQ の予備機 [17] など、一部の加速空洞で、設計パルス幅 500 µs での空洞の 50 Hz 動作の実績はあるものの、繰り返し周波数 50 Hz でビームを加速したのは今回が初めてである。Figure 4 に、新粒子数カウンタで計数した粒子数を示す。

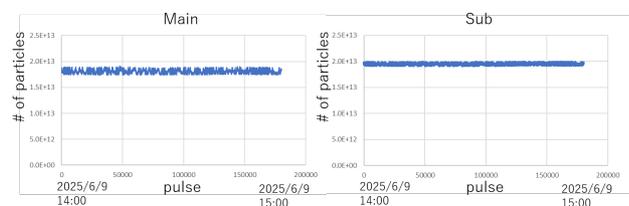


Figure 4: Beam particle counting using the new particle counter system at 3-MeV linac.

横軸はパルス数であり、グラフ全体、1 時間にわたり安定に計数できていることがわかる。

以上の試験により、リニアック 50 Hz 加速試験のための安全系の対応は完了したので、今後加速試験を行う場合、すぐさま実施できる態勢が整った。また、今年 2025 年の秋以降の利用運転には更新された粒子数カウンタシステムを運用する予定である。

2.2 50 Hz 検証試験のためのタイミング系

今回の 50 Hz 運転検証試験においては、リニアック機器のみ 50 Hz で動作させた。Figure 5 に、50 Hz 運転検証

試験のタイミング分配系の概念図を示す。

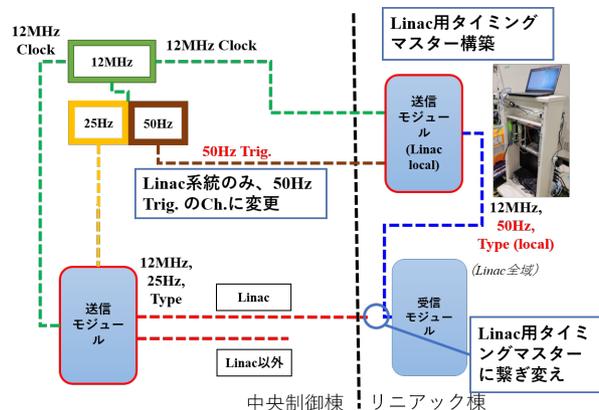


Figure 5: Timing distribution for 50 Hz validation.

本来、J-PARC リニアックを 50 Hz で運転するためには、J-PARC 全域に 50 Hz トリガを配信し、リニアック以外の機器は照射施設へビームが送られるタイミングでは動作しないように、タイプ列と呼ばれる動作を定義する信号を定義しなおさなければならない [18]。今回の試験終了後は再び 25 Hz ビーム運転に戻すため、タイプ列の再定義は行わず、本来中央制御棟に置かれ、各加速器に協調したタイミング信号を生成する送信モジュールを、リニアック専用の物を別途リニアック棟において仮に運用することで、リニアック機器にのみ 50 Hz タイミングを送信した。

3. 負水素イオン源の 50 Hz 運転

J-PARC 負水素イオン源は、すでにイオン源テストスタンドにおいて、50 Hz 運転の実績がある [19] が、今回の試験は、リニアック全機器の当時 50 Hz 運転実証が趣旨なので、イオン源の 50 Hz 運転も行った。J-PARC リニアックにおいては、通常の調整運転においてもイオン源は単体でのビーム運転が可能となっており、本試験においても、イオン源下流の低エネルギービーム輸送系に設置されているファラデーカップ (FC) [19, 20] を挿入し、50 keV ビームを引き出した。Figure 6 に、イオン源の波形を示す。

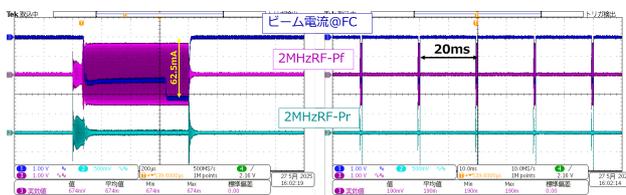


Figure 6: Waveform of the ion source 50 Hz operation.

Figure 6 の波形は、上から FC で測定したビーム電流、イオン源プラズマを駆動する 2 MHz RF の入力波形、およびその反射波形であり、FC でのビーム電流測定値は、通常の利用運転時と同様に 62.5 mA である。本試験においてはパルス幅 150 µs のビームを引き出した。Figure 6 右図により、ビームパルスが 20 ms 間隔、すなわち 50 Hz で引き出されている様子がわかる。

4. 加速空洞、高周波源の 50 Hz 動作試験

Table 2 に、J-PARC リニアックの加速空洞の構成を示す。SDTL、ACS については、2つの空洞を1つのクライストロンで駆動しており、クライストロンの総数は、RFQ1 台、DTL3 台、SDTL16 台、ACS25 台の 45 台である。中エネルギービーム輸送系の 2 台のバンチャ空洞と 2 台のチョッパ空洞 (RF デフレクタ) は、それぞれ半導体アンプ (SSA) で駆動される。また、RCS へのビーム輸送系 (L3BT) [21] までの電磁石も同時に励磁 (DC) した。

J-PARC リニアックの加速空洞、高周波源の仕様は、当初より 500 μ s 幅ビームを出すのに必要な RF パルス幅 600 μ s、繰り返し周波数 50 Hz、すなわちデューティ比 3% であり、そのように製作されている。ただし、それらを冷却するための冷却水設備は、建設時のコストダウンのため 25 Hz 分の容量で作られており、現状ではすべての加速空洞、高周波源をフルスペックで運転することは出来ない。そのため、今回の試験では、冷却水への負荷が半分程度になるように高圧電源、クライストロンのパルス幅を調整し、50 Hz 運転での負荷が利用運転時と変わらないようにした。Table 3 に、各空洞へのパルス幅を示す。

Table 3 で、HV pulse は、クライストロンを駆動する高圧電源のパルス幅、RF pulse はクライストロンの出力 (空洞への入力) パルス幅である。バンチャ、チョッパは SSA 駆動なので、高圧電源は無い。今回はビーム試験は行わなかったが、これらのパルス幅は最大ビームパルス幅 160 μ s に対応するパルス幅である。

加速空洞の 50 Hz 運転の例として、Fig. 7 に、324 MHz 空洞である SDTL1、Fig. 8 に、972 MHz 空洞である ACS1 の波形を示す。

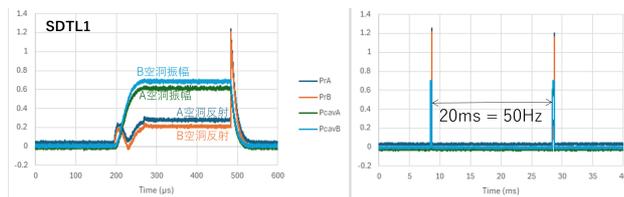


Figure 7: Waveform of SDTL1 50 Hz operation.

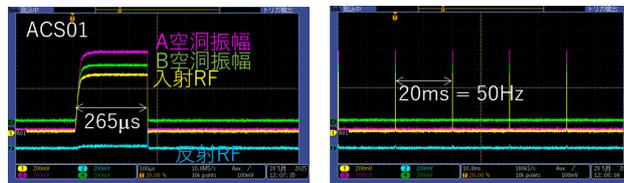


Figure 8: Waveform of ACS1 50 Hz operation.

Figure 7 の左図の波形は、上から、SDTL1B 空洞振幅、SDTL1A 空洞振幅、SDTL1A 空洞反射波、SDTL1B 空洞反射波である。SDTL 空洞では、RF 電力は空洞に入る前に、立体回路で分岐されており、入射 (図には表示されていない)、反射は各空洞ごとに 1 系統、1 モジュール

で 2 系統ずつである。Figure 7 の右図により、RF が 50 Hz で投入されていることがわかる。

Figure 8 の左図の波形は、上から、ACS1A 空洞振幅、ACS1B 空洞振幅、ブリッジカップラへの入射波、反射波である。ACS 空洞は、2つの空洞がブリッジカップラで結合されており、クライストロンからの RF 電力はブリッジカップラへ投入される。そのため、入射、反射は、1 モジュールにつき 1 系統ずつである。

Figure 7 の右図により、RF が 20 ms 間隔、すなわち 50 Hz で投入されていることがわかる。Figure 9 は、冷却水の温度上昇から計算した各 ACS 空洞の消費電力の、利用運転時の 25 Hz と今回試験の 50 Hz 運転での比較を示す。前述の通り、今回の試験ではパルス幅をおよそ半分で運転しているので、平均電力は 25 Hz と 50 Hz で同等であることがわかる。

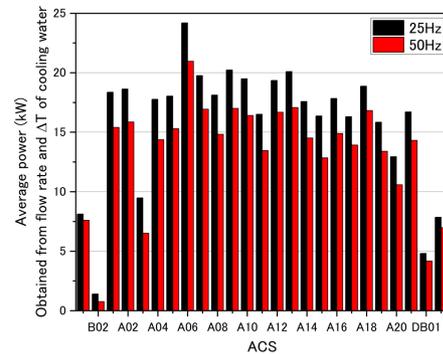


Figure 9: Averaged power dissipation of each ACS cavities derived from the cooling water load.

5. ビームモニタの 50 Hz 運転時ノイズ確認

今回の試験では、リニアックでのビーム加速は行わなかったが、今後のビーム試験に向けて、ビームモニタ [26] のノイズ確認を行った。Figure 10 に、主要なモニターの、加速空洞 50 Hz 運転時の信号状況を示す。

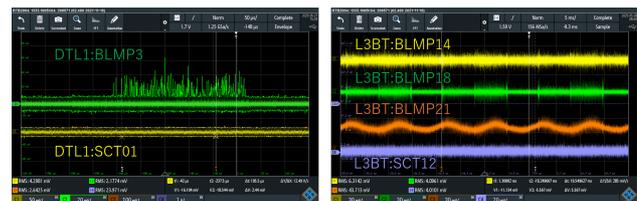


Figure 10: Noise measurement of the beam monitors.

Figure 10 左図は、粒子数カウンタに用いられるという意味で非常に重要な、DTL1 の電流モニタ (DTL1:SCT01) の波形である。近傍のロスモニタ DTL1:BLMP3 で RF ノイズが観測されている時間が加速空洞に電力が投入されている時間であるが、DTL1:SCT01 のノイズは 25 Hz 運転時と変化ない。

Figure 10 右図は、L3BT のビームモニタの波形である。上 3 つはビームロスモニタの波形であり、普段の 25 Hz 運転時からノイズが多い傾向にはあるが、50 Hz 運転になって有意なノイズ増加は観測されなかった。一番下は

Table 2: Summary Table of the J-PARC Cavities

	RFQ [22]	Buncher	Chopper [23]	DTL [24]	SDTL [24]	ACS [25]
Type	4-vane RFQ	pillbox	RF deflector	Alvarez DTL	Separated function DTL	Annular-ring Coupled CCL
Resonant frequency (MHz)			324			972
Output energy (MeV)	3	3	3	50	191	400
Number of cavities	1	2	2	3	32	25 ^a
Number of RF sources	1	2	2	3	16	25
Operating power (peak, MW)	0.4	0.01	0.1	1.0 ~ 1.3	0.2 ~ 0.8	1.0 ~ 1.4 ^b
RF source	klystron	SSA	SSA	klystron	klystron	klystron

^a including 2 bunchers and 2 debunchers

^b 0.1 ~ 0.3 for bunchers and debunchers

Table 3: Pulse Widths for the Cavities

	HV pulse (μs)	RF pulse (μs)
Buncher, Chopper		295
RFQ	390	260
DTL	370	325
SDTL	340	295
ACS	310	265

リニアック直線部最下流の電流モニタ (L3BT:SCT12) の波形である。このビームモニタの位置は、50 Hz での利用運転が実現した場合、照射施設への分岐よりも下流にあたり、25 Hz 分のビームが観測される場所である。ここでも SCT のノイズは小さいままであった。

総じて、25 Hz 運転時と比べ、問題となるようなノイズの増加は観測されず、ビームモニタは 50 Hz ビーム試験に向けて準備が完了していることが確認できた。

6. まとめ

J-PARC における陽子ビーム照射施設の実現に向けた、リニアック全機器の同時 50 Hz 運転検証試験を 2025 年の 5 月 26 日から 28 日に行い、全機器 50 Hz での動作に大きな問題がないことが確認できた。J-PARC リニアックにおいて、個別の機器 (イオン源、高周波源、一部の空洞) では 50 Hz 試験の実績はあったが、正規にインストールされた機器を、一斉に 50 Hz 運転したのは初めてであり、一つの大きなマイルストーンに到達したと言える。また、今後予定されている 50 Hz ビーム試験に向けて、重要な安全機器である粒子数カウンタシステムの 50 Hz 動作試験も同時期に行い、これで 50 Hz ビーム試験の準備はすべて完了した。今後は、まずは 50 Hz のビーム加速試験を行い、陽子ビーム照射施設行きのビームラインの建設に繋げていく計画である。

謝辞

J-PARC リニアックの、運転、維持管理にご尽力いただいているすべての方々へ感謝いたします。

参考文献

- [1] P. K. Saha *et al.*, Beam loss and beam emittance minimization at J-PARC RCS for simultaneous operation to the MLF and MR, in: Proceedings of the 15th International Particle Accelerator Conference (IPAC'24), Nashville, TN, USA, 2024, pp. 939–942. doi:10.18429/JACoW-IPAC2024-TUAN1
- [2] N. Aizawa, et al., J-PARC 物資・生命科学実験施設 第 2 ターゲットステーション 概念設計書, Tech. Rep. 第 1.2 版 (2020). https://mlfinfo.jp/_src/resource/PEPngy9XwF/TS2CDR.pdf
- [3] K. Yamamoto *et al.*, Beyond 1-MW Scenario in J-PARC Rapid-Cycling Synchrotron, in: Proc. 68th Adv. Beam Dyn. Workshop High-Intensity High-Brightness Hadron Beams (HB'23), No. 68 in ICFA Advanced Beam Dynamics Workshop on High-Intensity and High-Brightness Hadron Beams, JACoW Publishing, Geneva, Switzerland, 2024, pp. 270–273. <https://jacow.org/hb2023/papers/wec3c1.pdf>
- [4] H. Hotchi, Y. Sato, Progress of beam power upgrade in J-PARC main ring, in: Proc. IPAC'25, No. 16 in IPAC'25 - 16th International Particle Accelerator Conference, JACoW Publishing, Geneva, Switzerland, 2025, pp. 1124–1127. <https://meow.elettra.eu/81/pdf/TUPB072.pdf>
- [5] J.-P. C. Nuclear Transmutation Division, Technical design report on J-PARC transmutation experimental facility — ADS target test facility (TEF-T) — (in japanese), Tech. rep., JAEA-Technology 2017-003 (2017). doi:10.11484/jaea-technology-2017-003
- [6] Partitioning, N. S. Transmutation Technology Division, E. Center, Safety design report on J-PARC transmutation physics experimental facility (TEF-P) (in japanese), Tech. rep., JAEA-Technology 2017-033 (2017). doi:10.11484/jaea-technology-2017-033
- [7] 日本原子力研究所・高エネルギー加速器研究機構共同推進チーム, 大強度陽子加速器計画, Tech. rep., JAERI-Tech 2000-003, KEK Report 99-5 (1999). doi:10.11484/jaeri-tech-2000-003
- [8] M. Mizumoto, Development of proton linear accelerator and transmutation system, in: Proc. of GLOBAL'93, Seattle, 1993, pp. 357–362.
- [9] S. Meigo *et al.*, Conceptual study of J-PARC proton beam irradiation facility (in japanese),

- Tech. rep., JAEA-Technology 2024-026 (2025). doi:10.11484/jaea-technology-2024-026
- [10] S. Saito, S. Meigo, S. Makimura, Y. Hirano, K. Tsutsumi, F. Maekawa, Conceptual study of post irradiation examination (PIE) facility at J-PARC (in Japanese), Tech. rep., JAEA-Technology 2023-025 (2024). doi:10.11484/jaea-technology-2023-025
- [11] Y. Liu *et al.*, Progress in linac beam commissioning for high-intensity operations for J-PARC power upgrades, in: Proc. IPAC'25, No. 16 in IPAC'25 - 16th International Particle Accelerator Conference, JACoW Publishing, Geneva, Switzerland, 2025, pp. 855–857. <https://meow.elettra.eu/81/pdf/TUAD1.pdf>
- [12] Y. Fuwa, A. Ono, T. Takayanagi, S. Shinozaki, S. Mizobata, Z. Fang, Analysis of voltage droop on j-parc klystron high voltage power supply, in: Proceedings of the 17th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan (PASJ2020), Particle Accelerator Society of Japan, Online, 2020, pp. 780–782, paper ID: FRPP40. https://www.pasj.jp/web_publish/pasj2020/proceedings/PDF/FRPP/FRPP40.pdf
- [13] T. Shibata, K. Nanmo, K. Shinto, K. Ohkoshi, I. Kawai, R. Kitamura, T. Morishita, Y. Kondo, Y. Sato, Phase space measurements of 90 mA and 52.5 keV H⁻ ion beam at J-PARC frontend, in: Proc. IPAC'25, No. 16 in IPAC'25 - 16th International Particle Accelerator Conference, JACoW Publishing, Geneva, Switzerland, 2025, pp. 514–516. <https://meow.elettra.eu/81/pdf/MOPM082.pdf>
- [14] Y. Kondo *et al.*, Upgrade of the 3-MeV linac for testing of accelerator components at J-PARC, Journal of Physics: Conference Series 1350 (1) (2019) 012077. doi:10.1088/1742-6596/1350/1/012077
- [15] H. Takahashi, Y. Sawabe, T. Ishiyama, H. Sakaki, Monitoring system of number of particles in J-PARC linac and RCS, JPS Conference Proceedings 33 (2021) 011014. doi:10.7566/JPSCP.33.011014
- [16] Y. Kondo, T. Morishita, R. A. Jameson, Development of a radio frequency quadrupole linac implemented with the equipartitioning beam dynamics scheme, Phys. Rev. Accel. Beams 22 (2019) 120101. doi:10.1103/PhysRevAccelBeams.22.120101
- [17] Y. Kondo *et al.*, High-power test and thermal characteristics of a new radio frequency quadrupole cavity for the Japan Proton Accelerator Research Complex linac, Phys. Rev. ST Accel. Beams 16 (040102) (2013) 040102. doi:10.1103/PhysRevSTAB.16.040102
- [18] F. Tamura, M. Yoshii, J. Chiba, T. Katoh, Timing system for j-parc, in: Proceedings of the 2005 Particle Accelerator Conference, 2005, pp. 3853–3855. doi:10.1109/PAC.2005.1591646
- [19] K. Shinto *et al.*, Operation status of the J-PARC high-intensity RF-driven negative hydrogen ion source in 2023/2024 (in Japanese), in: Proceedings of the 21st Annual Meeting of the Particle Accelerator Society of Japan (PASJ2024), Particle Accelerator Society of Japan, Yamagata, Japan, 2024, pp. 525–528, paper ID: WEP096. https://www.pasj.jp/web_publish/pasj2024/proceedings/PDF/WEP0/WEP096.pdf
- [20] K. Shinto *et al.*, Progress of the J-PARC cesiated RF-driven negative hydrogen ion source, AIP Conference Proceedings 2052 (1) (2018) 050002_1–050002_7. doi:10.1063/1.5083756
- [21] M. Ikegami, T. Ohkawa, T. Morishita, H. Sako, Beam dynamics design of debuncher system for J-PARC linac energy upgrade, in: Proceedings of the Particle Accelerator Conference (PAC09), IEEE, Vancouver, BC, Canada, 2009, p. TH6PFP054. <https://accelconf.web.cern.ch/PAC2009/papers/th6pfp054.pdf>
- [22] Y. Kondo *et al.*, Beam test of a new radio frequency quadrupole linac for the Japan Proton Accelerator Research Complex, Phys. Rev. ST Accel. Beams 17 (120101) (2014) 120101. doi:10.1103/PhysRevSTAB.17.120101
- [23] K. Hirano *et al.*, Development of RF chopper system at J-PARC linac, in: Proceedings of the 10th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan (PASJ2013), Particle Accelerator Society of Japan, Nagoya, Japan, 2013, pp. 858–861, sUP016. https://www.pasj.jp/web_publish/pasj10/proceedings/PDF/SUP0/SUP016.pdf
- [24] T. Ito *et al.*, Operating status of the j-parc dtl/sdtl, in: Proceedings of the 20th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan (PASJ2023), Particle Accelerator Society of Japan, Funabashi, Japan, 2023, pp. 1002–1006, PASJ2023-FRP58. https://www.pasj.jp/web_publish/pasj2023/proceedings/PDF/FRP5/FRP58.pdf
- [25] H. Ao, T. Sugano, DEVELOPMENT OF THE ANNULAR-RING COUPLED STRUCTURE FOR J-PARC, in: Proceedings of the 11th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan (PASJ2014), Particle Accelerator Society of Japan, Aomori, Japan, 2014, pp. 160–164, PASJ2014-SUOLA3. https://www.pasj.jp/web_publish/pasj2014/proceedings/PDF/SUOL/SUOLA3.pdf
- [26] K. Moriya, T. Miyao, K. Okabe, K. Warigai, A. Miura, N. Hayashi, J. Kamiya, Beam monitors in the J-PARC linac and its current activities, in: Proceedings of the 20th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan (PASJ2023), PASJ, Funabashi, Japan, 2023, pp. 475–479, in Japanese. https://www.pasj.jp/web_publish/pasj2023/proceedings/PDF/WEP0/WEP04.pdf