

Operation maintenance of the thyatron for the power supply of the extraction kicker magnet in the J-PARC 3GeV RCS

Tomohito Togashi, Masao Watanabe, Kazuaki Suganuma, Tomohiro Takayanagi, Tomoaki Ueno
 Norio Tani, Yasuhiro Watanabe, Michikazu Kinsyo
 Japan Atomic Energy J-PARC Center
 2-4 Shirane Shirakata, Tokai-Mura, Naka-gun, Ibaraki 319-1195, Japan

Abstract

The 3-GeV RCS (Rapid Cycling Synchrotron) of J-PARC (Japan Proton Accelerator Research Complex) uses 8 pulse kicker magnets for the beam extraction at a repetition rate of 25 Hz. Each kicker power supply has 2 thyatrons and thus they are 16 in total. An average life time of thyatrons even more than the J-PARC annual operation time of 5000 hours and a stable operation with a downtime of less than only 0.5% has already been achieved. The present maintenance procedures and statistics for the long term operation with thyatrons are reported in this paper.

J-PARC 3GeV RCS キッカー電磁石電源のサイラトロン運転維持管理

1. はじめに

J-PARC^[1] 3-GeV シンクロトロンでは、3GeV に加速した陽子ビームの取り出しに、サイラトロンを採用したキッカー電磁石電源^{[2]-[3]}を採用しており年間約 5,000 時間の連続運転が行われている。連続運転を開始した 2009 年 1 月の運転では、約 13%であった停止率もサイラトロンの適切な conditioning ならびに運転維持管理方法の確立により 2012 年現在では停止率も 0.5% 以下で推移しており安定な運転を継続維持している。本稿では、RCS におけるサイラトロンの運用に関する統計と、運転維持管理方法について報告する。

2. サイラトロンスイッチ

RCS キッカー電磁石電源の高電圧矩形パルス電源のスイッチング素子には、EEV 社製の重水素封入型 4 ギャップセラミックスサイラトロンを採用している。表 1 に、サイラトロンの仕様とキッカー電磁石電源の運転パラメータを示す。また、図 2 にレンジングの手法により受け入れ検査の段階から適切な conditioning で利用しているサイラトロンの使用状況及び、交換を実施したものの使用時間を示す。

表 1: サイラトロン仕様と電源運転パラメータ

	CX1193C specification	Kicker operation
Peak anode voltage	130kV max	60kV
Peak anode current	10kaA max	3kA(1 μ sec 後に戻り電流あり)
Average anode current	4A max	0.24A
Rise time	30nsec@3kA	20~30nsec
Jitter	1nsec(typical) 5nsec(max)	~6nsec (回路ジッタ含む)

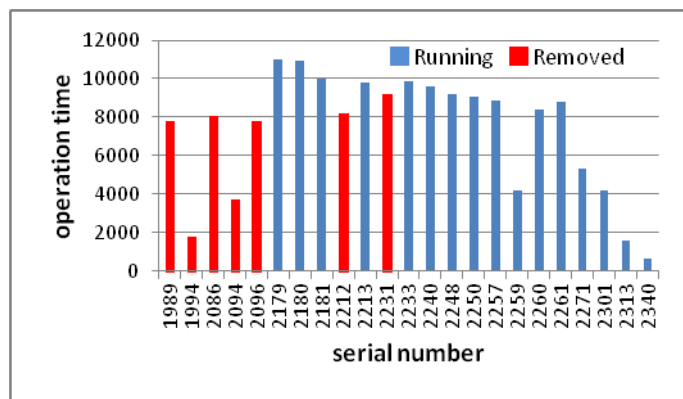


図 2 サイラトロン使用時間の統計

2012 年 7 月 2 日現在、適切な conditioning で使用を開始したサイラトロンの平均運転時間は約 7,590 時間であり、10,000 時間以上継続して使用しているものも存在する。交換を実施したサイラトロンの平均運転時間は約 6,654 時間であり、交換本数は延べ 7 本である。交換した要因としては、ブレイクダウン電圧が加熱ヒータ電圧の調整範囲を超えたものが 2 本 (1994、2094)、測定器で観測された出力電流波形に異常が認められたものが 3 本 (1989、2212、2231)、累計運転時間が 8,000 時間に達したため予防保全の観点から交換を実施したものが 2 本 (2086、2096) である。この内 2096 は、試験用の電源で現在も連続通電試験を実施して寿命の確認を行っている。

3. 運転維持管理の内容

3.1 レンジングによる加熱ヒータ電圧調節と管理

RCS キッカー電磁石電源で採用しているサイラトロンは、本体内部に水素化チタン粉末を詰め込んだリザーバタンクが搭載されており、加熱ヒータ電圧

togashi.tomohito@jaea.go.jp

を変更する事により、サイラトロン内部のガス圧を調節する事ができる。ガス圧の調節はサイラトロンの高圧保持能力に大きな影響を及ぼすばかりでなく、本体の耐圧性能に重篤な影響を与える原因となるため、加熱ヒータの電圧調節は安定な運転を確保する上で非常に重要な要素となる。サイラトロンの動作特性は、図3のように運転時間と共に変化して行くため RCS では定期的にレンジング^[4]を行い、加熱ヒータ電圧の設定を決定している。ブレークダウン電圧が 0.1V 変化するまでの経過時間は、過去の統計からおよそ 500 時間から 2,000 時間程度の間幅広く分布している。それらの平均は約 1,037 時間になる事から、RCS ではレンジング後 1,000 時間を超えない期間で再度レンジングを行い、加熱ヒータの電圧を一定の条件で調節している。レンジングによって得られた結果は図4のようなトレンドチャートで管理を行い、サイラトロンの健全性を判定する目安として運用している。

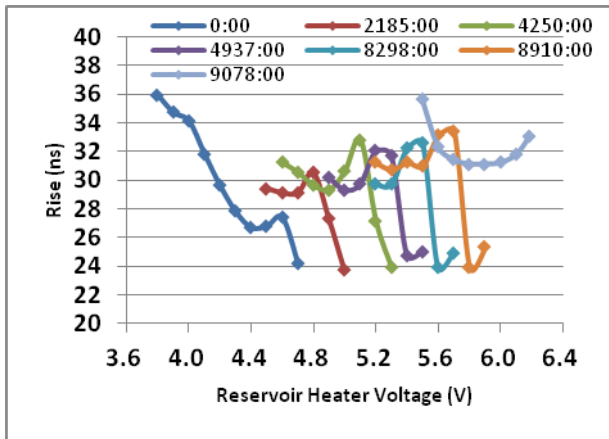


図3：サイラトロン動作特性の経時変化

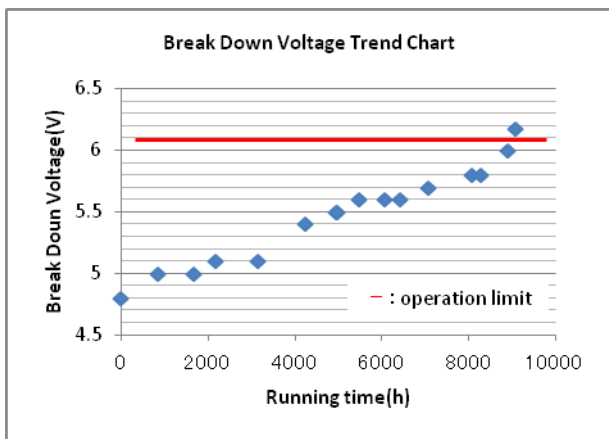


図4：ブレークダウン電圧トレンドチャート

3.2 停止回数の個別管理

現在 RCS では、定期的なレンジングにより導き出されたブレークダウン電圧から-0.3V 下げた値を定常運転の最適値と定めて運用を行っている。しか

しながら、サイラトロンの個体差や使用時間による動作特性の劣化になど様々な要因によって故障発生頻度に大きな差が生じる事がある。この場合、故障の発生状況に応じて、加熱ヒータ電圧の設定値を個別に微調整する必要がある。このため、図6に示す通り、運転中の故障発生状況を故障要因別に管理する手法を用いて微調整が必要なサイラトロンの切り分けを実施している。これにより、図7に示す通りの改善を行うことができる。

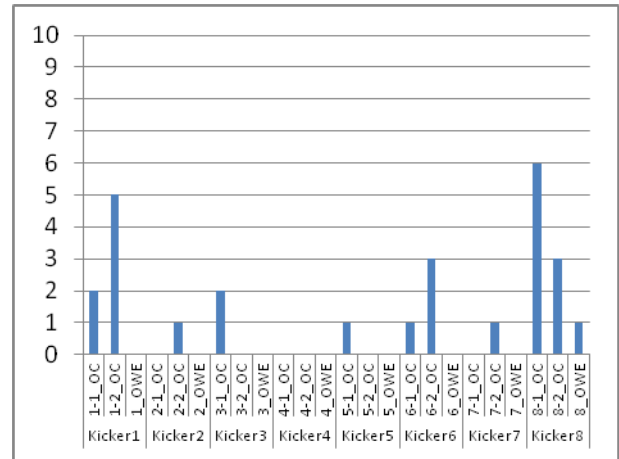


図6：要因別停止回数(Run36)

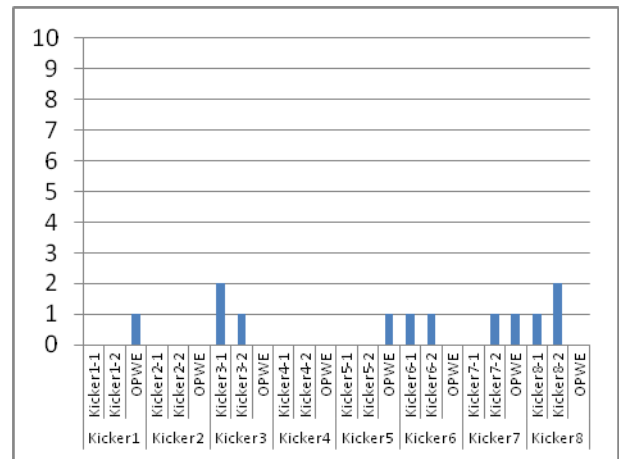


図7：要因別停止回数(Run37)

3.3 サイラトロン出力特性の統計管理

現在 J-PARC では 1 サイクル約 2 ヶ月の連続運転を実施する場合があります、キッカー電磁石電源の連続運転時間は最大で約 1,000 時間となる。サイラトロンの加熱ヒータ電圧の最適値は時間の経過と共に増加し、その変化は動作特性に表れる。大きな動作特性の変化はサイラトロンの健全性に多大な影響を及ぼす事から運転中の加熱ヒータ電圧の調節や、速やかな交換の判断が必要となる場合がある。このため、RCS ではサイラトロン出力電流波形の 10%-90% Rise Level と Jitter の定期的な波形測定とトレンド

チャートによる経時変化の管理を行っている。図 8 に、2012 年 4 月に交換を実施したサイラトロン^{ns}の統計データを示す。このサイラトロンの場合、運用開始後約 600 時間で 16 回の故障が発生した事から運転中に加熱ヒータ電圧を 0.2V 程度下げて運用を行った。約 1,000 時間を超えた後はレンジング結

果に基づいた正規の加熱ヒータ電圧で安定に動作していたが、およそ 8,000 時間を経過した頃から Rise Level に大きな変化が発生、ヒータ電圧の調整で特性がコントロールできなくなり交換を判断した。このように、出力測定結果の統計管理は安定な運転を確保する上で非常に重要な要素となる。

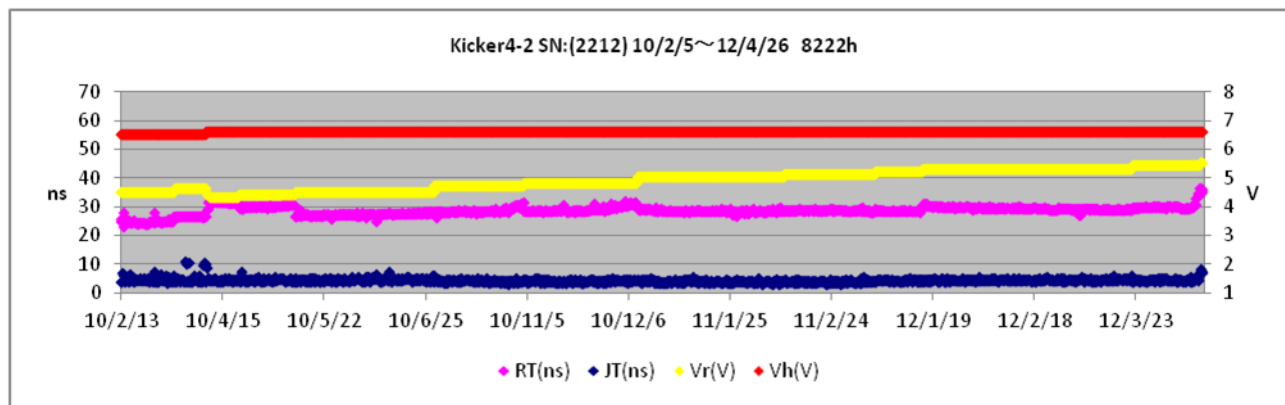


図 8 使用済みサイラトロン^{ns}の Rise Level と Jitter の推移統計

4. まとめ

図 9 に Run21 から Run43 までの運転実績を示す。

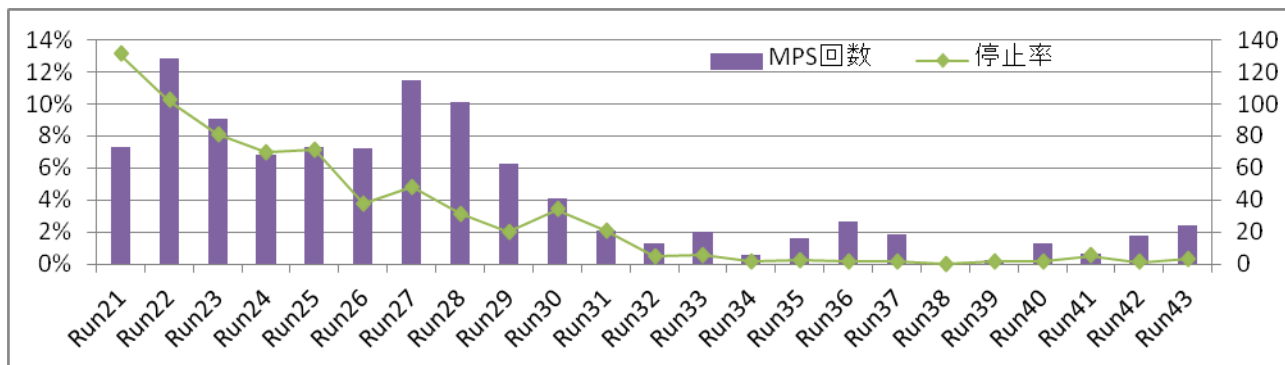


図 9 Run21 から Run43 までの運転実績

RCS では 2009 年 1 月の Run21 まで、メーカーが推奨する加熱ヒータ電圧でサイラトロン^{ns}の運用を実施していたが、2000 時間程度の運転で 16 本中 9 本が寿命を迎える結果となった。交換したサイラトロン^{ns}の分解調査の結果、加熱ヒータ電圧の設定が低すぎる事が判明したため、2009 年 2 月の Run22 より加熱ヒータ電圧の設定をブレイクダウン電圧から 0.2V 下げるレンジングの手法を取り入れた。その後、統計データを効果的に集計、運用する手法の確立を模索し、低すぎる加熱ヒータ電圧で長時間利用したサイラトロン^{ns}の交換を進めた。その結果、加熱ヒータ電圧の設定値をブレイクダウン電圧から 0.3V 下げた値にする事で、停止回数を減少させる効果が期待できる結果が得られた事から Run29 より運用の変更を実施した。2010 年 5 月の Run33 には、全てのサイラトロン^{ns}が適切な使用経緯のものへの入れ替わり Run34 以降の故障発生回数は、Run 毎平均で約 13.4 回となった。また、停止率は平均で約 0.22%となっている。初期の頃と比較すると停止回

数で約 1/10、停止率は約 1/60 にまで改善した。総使用時間も 8,000 時間を超えるサイラトロン^{ns}が多数存在し、寿命の観点からも大幅な運用状況の改善がなされた。サイラトロン^{ns}の交換についても 2010 年 2 月に共用運転を中断して交換する事象を最後に、定められた停止期間中に交換を実施している。これらの事から予防保全を含め、統計データに基づく運転管理手法が有効に機能していると言える。

参考文献

- [1] “Accelerator Technical Design Report for High-Intensity Proton Accelerator Project, J-PARC,” JAERI Technical Report, 2003-044 and KEK Report 2002-13.
- [2] M. Watanabe *et al.*, Proceedings of the IPAC’10, p. 3296 (2010).
- [3] J. Kamiya, T. Ueno, and T. Takayanagi, IEEE Trans. Appl. Supercond. 16, 1362 (2006).
- [4] 明本光生, “サイラトロンスイッチを使用した大電力パルス電源の現状”, J.Particle Accelerator Society of Japan, Vol.7, No.1, 2010(15-24)