

サイラトロン CX2004X の初期検査

INITIAL TEST OF THYRATRON CX2004X

菅沼和明[#], 富樫智人, 金正倫計
 Kazuaki Suganuma [#], Tomohito Togashi, Michikazu Kinsho
 Japan Atomic Energy Agency
 2-4 Shirane, Shirakata, Tokai, Ibaraki, 319-1195

Abstract

We started the initial tests of thyatron CX2004X at the switching test stand of the J-PARC. Deuteron gauss of this model is about 2 times as much as CX1193C one, by employing two reservoir tanks. A log life time more than thyatron CX1193C could be expected.

1. はじめに

本報告は、J-PARC 3GeV Rapid Cycling Synchrotron^[1] (RCS) の出射キッカーシステムに採用を検討しているサイラトロンの適応検査に関するものである。

J-PARC 3GeV RCS の出射キッカーシステム^[2]は、電圧 60kV、電流 3kA、パルス幅 1.2 μ 秒、繰返し 25Hz のパルス電磁石システムである。181MeV から 3GeV に加速した陽子を物質・生命科学実験施設 (Material and Life Science Facility : MLF) および 50GeV シンクロトロン (Main Ring : MR) に蹴り出している。より安定に、より長い時間、陽子ビームを供給することは、J-PARC 施設を利用し研究を進めるユーザーに我々が求められている優先事項である。しかしながら、3GeV シンクロトロンのキッカー電磁石電源で使用するサイラトロンの寿命、及び調整運転によるビーム供給の休止が、J-PARC 施設全体の連続運転の制限となりうる懸念がある。具体的には、現在 3GeV シンクロトロンのキッカー電磁石電源で使用するサイラトロン CX1193C は、安定した動作を維持するため、また、長時間の使用を実現するため、およそ 1000 時間から 2000 時間毎に、ビームの供給運転を停止し、サイラトロンの調整運転を行っている^[3]。サイラトロンの動作に起因せず、連続したビーム運転を実現するため、また更なる長寿命化を目指し新しいサイラトロン CX2004X について、その可能性の調査を開始した。サイラトロン CX2004X の重水素を充填した 2 つのカプセル (リザーバ) のヒーター特性を測定した結果、2 つのリザーバの役割は異なるものであった。リザーバへの重水素の充填量の増量と 2 つのリザーバの結線を変更することで、使用中の CX1193C よりも長寿命になると期待できる。

2. キッカーマグネットシステム

RCS の出射キッカーシステムは、双子型分布定数

[#] suganuma.kazuaki@jaea.go.jp

キッカー電磁石 8 台と高電圧パルス電源 8 台で構成される。Table 1 に代表的なキッカー電磁石電源システムの仕様を示す。1 台のキッカー電磁石電源は 2 本の e2V 社製のサイラトロン (CX1193C) を使用している。サイラトロンの電流立ち上がり時間は約 30nsec で、キッカー電磁石の特性インピーダンスは 10 Ω である。電磁石の終端は短絡されていて、電流を全反射させ、磁場を発生させている。

Table 1 : Specifications of the Kicker Magnet System

The number of magnet section	8
Magnetic flux density	360~460Gauss
The number of DC power supply	8
The number of thyatron tube	2/magnet
Pulse width	~1200ns
Repetition rate	25Hz
The number of high-voltage coaxial cable	4 cables /magnet section
Impulse withstand voltage of high-voltage cable	690kV
Matching resistor	4/ magnet

3. サイラトロン CX1193C の運転状況

RCS の出射キッカーシステムに使用するサイラトロンは、e2V 社製の型式 CX1193C である。2009 年 1 月から供用運転を開始し、年間およそ 5500 時間を目標に運転を行っている。Table 2 に 2009 年から 2012 年までの代表的なキッカー電磁石電源システムでの出来事を記す。Table 3 には、各年に使用したサイラトロンの本数、及び各年に交換したサイラトロンの最少使用時間と最大使用時間を記す。Figure 1 には、各年におけるサイラトロンのミスファイヤ等によるキッカーシステムの運転停止率の関係と各年における供用運転時間の関係を記す。話

を Table 2 に戻すが、RCS 出射キッカーシステムでは、毎年のように何らかのトラブルに見舞われた。特に 2009 年のトラブル (ミスファイヤ) は、およそ 2 年の月日を費やしてトラブル改善を実現している。その後のサイラトロンのミスファイヤ等に起因したビーム停止率は 1%以下に抑えられており、サイラトロン及び出射キッカーシステムは、安定運転を実現している。Table 3 に各年におけるサイラトロンの交換本数を記す。交換本数は年々減少し、2009 年は 18 本の交換が必要であったが、2012 年には 8 本にまで抑えられている。今後の年間の交換本数は 10 本程度になるものと考えられる。

Table 2 : Operation History of Kicker System

Year	Technical issues
2009	Many miss firings of Thyatron tubes
2010	Dielectric breakdowns at connector of the high-voltage coaxial cables.
2011	The Japan Earthquake
2012	Degradation of matching resistor

Table 3 : Number of Replace a Fresh Thyatron

Year	The number of replacement of thyatron tube	Operating hour (min)	Operating hour (max)
2009	18	600	4600
2010	11	2140	6791
2011	3	7777	8059
2012	8	8222	11904

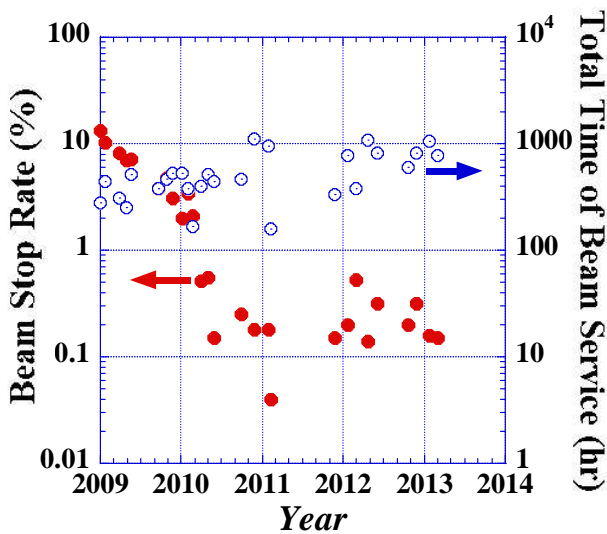


Figure 1 : Record of beam stop rate in beam operation.

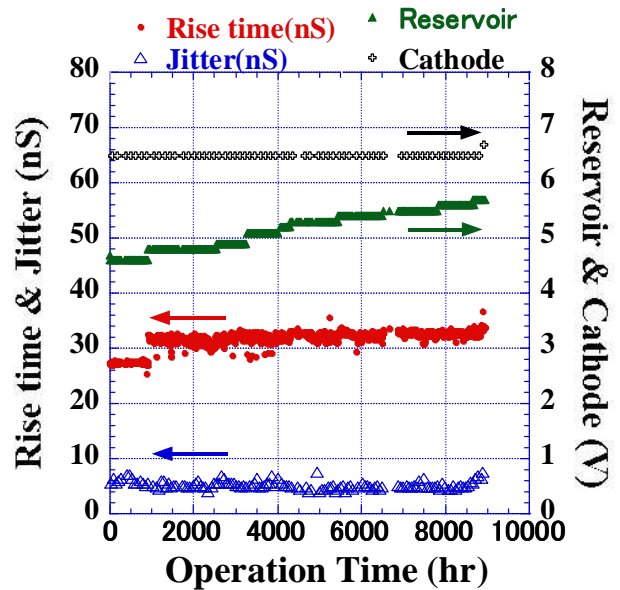


Figure 2 : Typical data of thyatron CX1193C.

Figure 2 には、2010 年 5 月から 2012 年 10 月まで実際に運転に使用したサイラトロン CX1193C シリアルナンバー 2260 の運転積算時間と電流の立ち上がり時間、電流の立ち上がり時のジッター、カソードヒーターの設定電圧、リザーバヒーターの設定電圧の関係を記す。特筆すべきはリザーバヒーターの設定電圧の緩やかな上昇である。サイラトロン CX1193C は、安定した動作を維持するために、同様に、長時間の使用を可能とするため、およそ 1,000 時間から 2,000 時間毎に、ビームの供給運転を休止して、サイラトロンの調整運転を行っている。この作業の結果がグラフに現れている。シリアルナンバー 2260 は上記の調整を行い、最終的に電流の立ち上がるタイミングに揺らぎが生じ寿命となった。

4.サイラトロン CX2004X の検査

長寿命化を目指してサイラトロン CX2004X を選択し検査を開始した。CX2004X と CX1193C の違いは、重水素が充填されているリザーバと呼ばれるカプセルの数であり、CX2004X が 2 個、CX1193C が 1 個である。Figure 3 に CX2004X の回路図を示す。筆者らは、CX2004X の初期検査としてリザーバ電圧と電流の特性を調べた。Figure 4 に測定回路を示す。また、測定結果を Figure 5 及び Figure 6 に示す。メインのリザーバとサブのリザーバでは、電流の変化に違いがある。メインのリザーバは電圧の変化に追従して電流値が上昇している。サブのリザーバは電圧に対する電流値の変化は見られない。メインのリザーバの特性は CX1193C とほぼ同じである。リザーバ内には純チタンの粉末が入れられていることから、メインのリザーバは重水素を脱離し、サブの

リザーバは、サイラトロン真空管内の不純物を吸着すると考えられる。現状の使用では、長寿命化が望めないが、サブリザーバに重水素を充填し、回路の接続を変更することで RCS のキッカー用サイラトロンの長寿命化に対応できる。

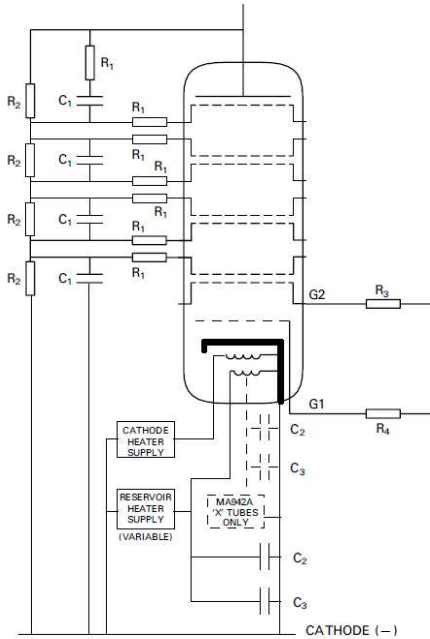


Figure 3 : Schematic diagram of thyratron CX2004X.

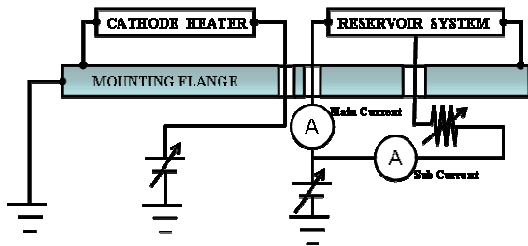


Figure 4 : Measuring circuit of reservoir current.

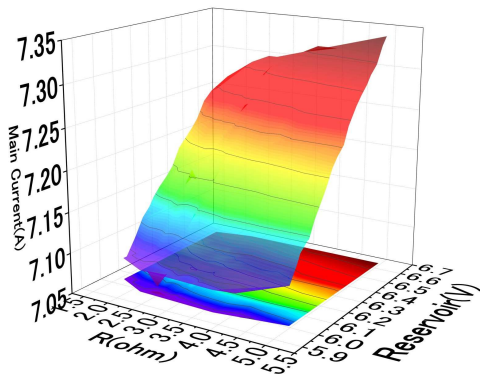


Figure 5 : Property of main reservoir current.

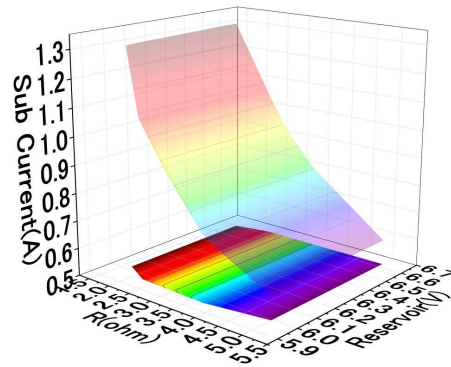


Figure 6 : Property of sub reservoir current.

5. まとめ

以下に本報告のまとめを記す。

長寿命化を目指しサイラトロン CX2004X の検査を開始した。CX2004X と従来のサイラトロン CX1193C の違いは、重水素が充填されているリザーバと呼ばれるカプセルの数で、CX2004X が 2 個、CX1193C が 1 個となっている。CX2004X の 2 つのリザーバのヒータ電圧とヒーター電流の関係を調べた。それぞれのリザーバの役割は異なるものである。リザーバ内は純チタンの粉末であることから、メインのリザーバは重水素を脱離し、サブのリザーバは、サイラトロン真空管内の不純物ガスを吸着すると考えられる。サブリザーバに重水素を充填し、回路接続を変更することで RCS の出射キッカー用サイラトロンの長寿命化に対応できると考えられる。今後、より詳細な検査を行い、長寿命サイラトロンの完成を目指す。

謝辞

サイラトロンのリザーバ電圧と電流の測定では、日本アドバンステクノロジー（株）の佐藤篤氏に多大なご協力頂きました。お礼申し上げます。

参考文献

- [1] 山崎良成. “Accelerator technical design report for J-PARC”, KEK-report 2002-13(2002).
- [2] J. Kamiya et al., “Performance of extraction kicker magnet in a rapid cycling synchrotron”, Phys. Rev. ST Accel. Beams 12,072401 (2009).
- [3] 富樫智人. “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”, Proceedings of 9th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan(2012).