

Simulation Study of Collimators in the J-PARC Main Ring with the STRUCT

Junpei Takano^{#,A)}, Koji Ishii^{A)}, Yoichi Sato^{A)}, Masashi Shirakata^{A)}

^{A)}High Energy Accelerator Research Organization

1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

Abstract

To increase the beam power of the J-PARC Main Ring, installation of new compact collimators is planned in summer shut down 2012 and 2013. The new collimators have L shape jaws to catch the beam halo in both horizontal and vertical planes. Case studies of the additional new collimators had been done with using STRUCT, which is the code of beam scattering in accelerators.

STRUCT を用いた J-PARC MR コリメータのシミュレーション

1. 新 MR コリメータの構造

大強度陽子加速器 (J-PARC) の主リング (MR) では 2012 年夏および 2013 年夏にコリメータを増強する予定である^[1]。既存の MR コリメータは水平と垂直の Jaw が独立して設置されているが、今回新たに導入する MR コリメータは Jaw の形を L 型にし、一台で水平・垂直の両方向を削ることが可能となり、コリメータ本体のビーム進行方向の長さを短くすることができる。このようにすることで MR のコリメータエリアのビームラインにある空きスペースにより多くのコリメータを設置することが可能となる。

Jaw の移動機構は昇降・横行共に遮蔽体の上部にくる構造となっている。昇降機構については東日本大震災の経験から、地震による真空ダクトの揺れを抑えるためジャッキの本数を 1 本から 3 本に増やした。図 1 は新 MR コリメータの試験機の写真である。

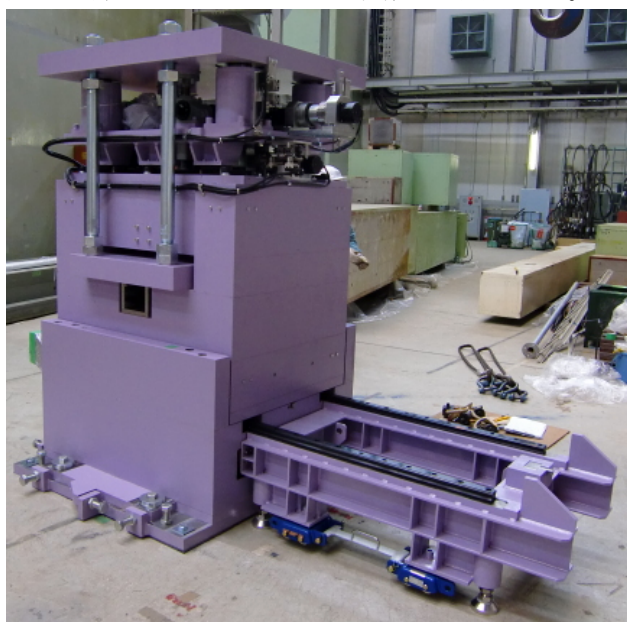


図 1 : 新 MR コリメータの試験機

2. STRUCT を用いたシミュレーション

2.1 2012 年夏の配置案

図 2 に現状のコリメータの設置状況、2012 年夏の設置案、2013 年夏の設置案を示す。現状では②③⑦の場所にコリメータが設置されている。2012 年夏に当初予定されていた MR コリメータの増強計画では②の旧コリメータを撤去し、②と⑥に新コリメータを設置することになっていた。まずこれを 2012A 案として粒子トラッキングコード STRUCT^[2]を用いてリング全体のビームロスに対する各コンポーネントにおけるビームロスの率を求めた。以下ではビーム進行方向に対する Jaw の位置の上下左右を UDLR と表記する。③と⑦の旧コリメータ内の Jaw の位置は変えないので③は UR⑦は DL となる。今回 2012A1 として②UR③UR⑥UR⑦DL、2012A2 として②UR③UR⑥DL⑦DL の 2 つのケースについて計算した。その結果、2012A1 より 2012A2 がコリメータでのビームロスの回収率が高いことが分かった。計算結果を表 1 に示す。

表 1 : 2012A の計算結果

	2012A1	2012A2
Collimator	93.96%	94.39%
Quad (Total)	1.01%	1.00%
QDR007	0.20%	0.20%
Drift Spaces	5.01%	4.60%
Others	0.02%	0.02%

次に②と③の間にある QDR007 におけるビームロスを低減させる観点から⑥の新コリメータを①に設置した場合について計算した。この配置案を 2012B とし、Jaw の位置の対応表を表 3 に示す。表 4 はその計算結果である。この結果、2012B4 が 2012 年の配置案としては最も良いものであることが分かった。また、2012B1 と 2012B4 が 2012A の配置案も含めて

[#] junpei.takano@j-parc.jp

QDR007におけるビームロスが約半分となった。このことから四極電磁石におけるビームロスを低減させるためには、その上流に2台の新コリメータを設置し、Jawの向きは同じにすべきということが分かった。

表 2 : 2012B の Jaw の位置の対応表

Collimator	①	②	③	⑦
2012B1	UR	UR	UR	DL
2012B2	UR	DL	UR	DL
2012B3	DL	UR	UR	DL
2012B4	DL	DL	UR	DL

表 3 : 2012B の計算結果

	2012B1	2012B2	2012B3	2012B4
Collimator	94.11%	94.26%	94.16%	94.41%
Q (Total)	0.81%	0.88%	0.87%	0.72%
QDR007	0.11%	0.21%	0.21%	0.10%
Drift Spaces	5.05%	4.84%	4.96%	4.85%
Others	0.03%	0.02%	0.02%	0.02%

表 4 : 2013 年の Jaw の位置の対応表

Collimator	①②	③④	⑤⑥	⑦
2013a	UR	UR	UR	DL
2013b	UR	UR	DL	DL
2013c	UR	DL	UR	DL
2013d	UR	DL	DL	DL
2013e	DL	DL	DL	DL
2013f	DL	UR	DL	DL
2013g	DL	DL	UR	DL
2013h	DL	UR	UR	DL

表 5 : 2013 年の配置案の計算結果 1

	2013a	2013b	2013c	2013d
Collimator	95.82%	96.26%	96.41%	96.59%
Q (Total)	0.58%	0.50%	0.44%	0.42%
Drift Spaces	3.58%	3.23%	3.13%	2.99%
Others	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%

2.2 2013 年夏の配置案

2013 年は③にある旧コリメータを撤去し、③④⑤⑥に新コリメータを設置する。この際の Jaw の位置について表 4 のケースで STRUCT の計算を行った。このとき、①②、③④、⑤⑥はそれぞれ同じ向きに Jaw を設置するものとした。この計算の結果、2013d がコリメータでのビームロスの回収率と四極電磁石でのビームロスにおいて最も良い解となった。この結果から、2012 年は 2013 年の配置案を見越して 2012B1 で設置することにした。

表 6 : 2013 年の配置案の計算結果 2

	2013e	2013f	2013g	2013h
Collimator	96.58%	96.27%	96.52%	96.12%
Q (Total)	1.24%	0.51%	0.44%	0.49%
Drift Spaces	2.18%	3.20%	3.02%	3.38%
Others	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%

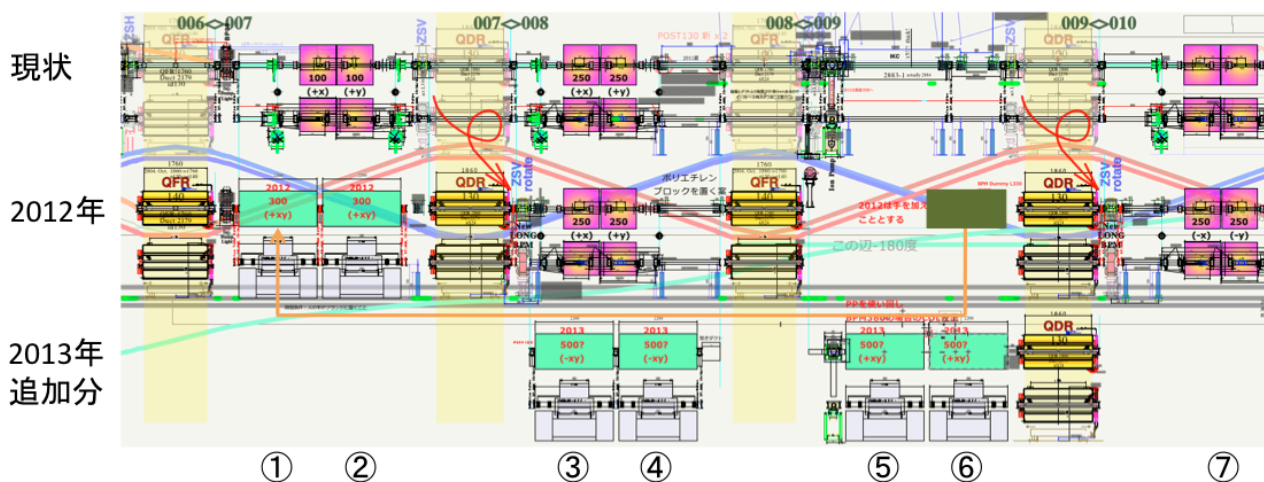


図 2 : コリメータの現状および配置案

2.3 Jaw の長さの最適化

これまでJawの長さは全て300mmとして計算してきた。2012年夏に導入するコリメータも300mmで製造中である。しかし、より最適なJawの長さを求めるべく2013dのケースで③④⑤⑥のJawの長さを変えてSTRUCTで計算を行った。その結果を図3、4、5に示す。

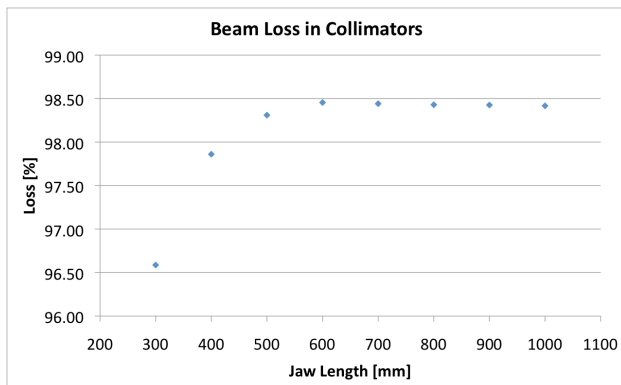


図3：コリメータにおけるビームロス

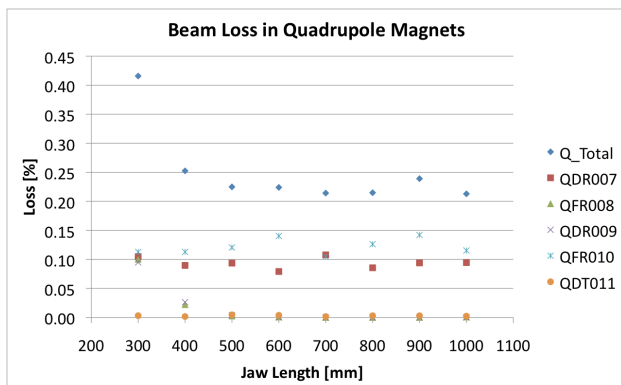


図4：四極電磁石におけるビームロス

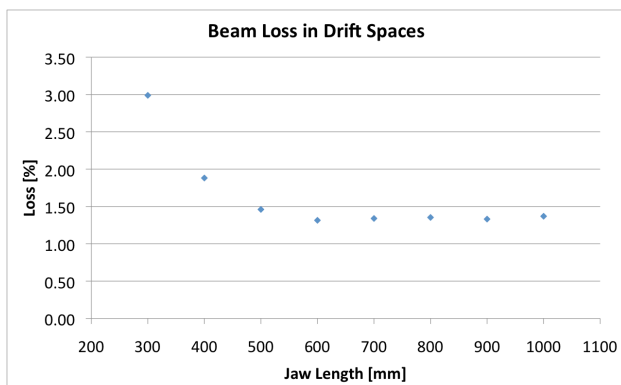


図5：ドリフトスペースにおけるビームロス

この結果、Jawの長さを600mm程度に延ばすことでコリメータでのビームロスの回収率を上げ、四極

電磁石とドリフトスペースにおけるビームロスを低減できることが分かった。しかしながら、Jawの長さを500mmより長くすると遮蔽体から中性子が漏れてくるため、この新しいコリメータの最適なJawの長さは500mmであると言える。

2.4 Jaw の材質

現在設置されているコリメータと①②の新コリメータのJawの材質はタンタルである。2013年に導入する③④⑤⑥の新コリメータのJawの材質についてタンタルとタングステンのどちらにするべきか検討した。STRUCTの計算条件としてはJawの配置を2013dとし、Jawの長さを500mmとした。この計算結果を表7に示す。

表7：Jawの材質の比較

	Tantalum	Tungsten
Collimator	98.31%	98.72%
Q (Total)	0.22%	0.15%
Drift Spaces	1.46%	1.13%
Others	0.00%	0.00%

この結果から、Jawの材質はタングステンにすることで四極電磁石におけるビームロスを約3割減にすることができることが分かった。従って、2013年に導入する新コリメータのJawの材質はタングステンにするべきである。ただ、材料の加工が難しいため、合金の比率を調整するなど検討する必要がある。

3. まとめ

2012年および2013年の夏に行われるMRコリメータの増強についてSTRUCTを用いて計算を行った。新規導入のコリメータの配置やJawの向きを最適解を求め、さらにはJawの長さの最適化、材質の比較を行った。その結果、コリメータでのビームロスの回収率を上げ、四極電磁石でのビームロスを減らすことが可能であることが分かった。今後、2013年に導入する新コリメータの設計・製造を進めて行くこととなる。

参考文献

- [1] M. J. Shirakata, "Collimator Upgrade Plan of the J-PARC Main Ring", Proceedings of IPAC2011, San Sebastian, Spain, Sep. 4-9, 2011
- [2] A. Drozhdin and N. V. Mokhov, "The STRUCT Program User's Reference Manual", SSCL-MAN-0034 (1994)