

APERTURE SURVEY OF THE J-PARC MAIN RING

Junpei Takano[#], Ainosuke Ando, Koji Ishii, Tadashi Koseki, Masahito Tomizawa, Takeshi Toyama, Kazuaki Niki, Hiroshi Matsumoto, Shuei Yamada, Noboru Yamamoto
 KEK Accelerator Laboratory / J-PARC Center
 203-1 Shirakata, Tokai, Ibaraki, 319-1106

Abstract

The physical aperture of Main Ring (MR) is designed larger than $81 [\pi \text{ mm mrad}]$ except the collimator section. To survey the aperture with beam, local bumps had been set by using steering magnets at injection energy (3 GeV). The survey points are injection septa, injection kickers, collimators, injection dump kickers, injection dump septa, electro static septa (ESS), slow extraction septa, fast extraction kickers, fast extraction septa, and dispersion peaks in arc sections. Analyzed data and tools of measurements are shown in this proceeding.

J-PARC Main Ring のアパーチャサーベイ

1. アパーチャの測定と解析方法

本測定においては Main Ring[1]でのビームを入射エネルギーの 3 GeV のまま 2 秒間維持し、そのままアポートダンプへビームを捨てるという設定にした。この 2 秒の間のうち、MR cycle 開始後 170msec はビームの入射に必要な時間であり、その後 130msec は入射セプタムの漏洩磁場の影響があるため、最初から 300msec 後からローカルバンプがたち始めるように設定した。ローカルバンプは 3 台のステアリング電磁石を用いて $\pm 80\text{mm}$ まで 1 秒間かけて少しずつ立つようにした。このときの DCCT でビームの生き残りの時間変化を測定することで MR のアパーチャの調査を行った。図 1 に DCCT の測定結果の一例を示す。

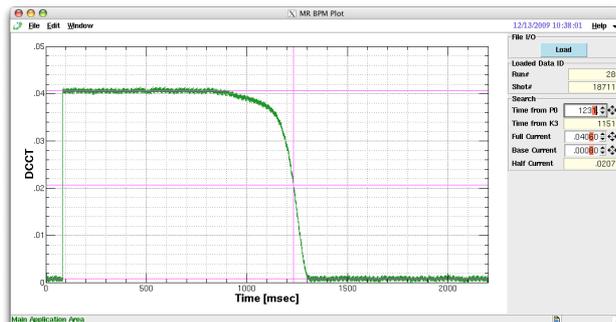


図 1 : ローカルバンプを立てた時の DCCT の測定例

この測定結果から各ローカルバンプのピークがどの程度の時にビームが半分ロスするかを調べることで各測定点でのアパーチャを解析した。

2. アパーチャの解析結果

表 1 および表 2 に水平方向と垂直方向のアパーチャサーベイの結果を示す。表内の A はリング外側または上側に立てたローカルバンプのピーク値[mm]、B はそのアパーチャ[$\pi \text{ mm mrad}$]、C はリング内側または下側に立てたローカルバンプのピーク値[mm]、

D はそのアパーチャ[$\pi \text{ mm mrad}$]である。

表 1 : 水平方向のアパーチャサーベイの結果

Location	A	B	C	D
QFT003	60.8	98.1	-58.7	91.4
QFR006	47.8	87.3	-40.2	61.8
QFR008-close	31.6	37.7	-51.2	99.0
QFR008-open	49.5	92.5	-49.9	94.0
QFR010-close	44.9	77.1	-25.6	25.1
QFR010-open	44.8	76.7	-38.8	57.5
QFP012	63.2	102.3	-54.5	76.0
QFT075	63.4	106.7	-61.8	101.4
QFR078	65.3	163.0	-66.9	171.1
QFR082	43.6	72.7	-55.4	117.3
QFR152	46.8	82.7	-45.6	78.5
QFP156	60.7	94.3	-57.8	85.5
QFX026	51.7	166.1	---	---
QFX033	53.8	181.6	---	---
QFX054	54.3	183.2	---	---
QFX061	57.6	208.2	---	---
QFX098	55.1	188.6	---	---
QFX105	54.6	187.0	---	---
QFX126	55.4	190.7	---	---
QFX133	55.8	195.4	---	---
QFX170	55.2	179.8	---	---
QFX177	55.5	193.3	---	---
QFX198	55.8	194.5	---	---
QFX205	53.4	178.9	---	---

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

表1で、LocationはLocal Bumpのピーク位置にある四極電磁石の名称であり、QFT003は入射セプタムの上流、QFR006は入射キッカーとコリメータ007の間、QFR008-closeはコリメータ008の下流でコリメータを閉じた状態、QFR008-openはコリメータを開けた状態、QFR010-closeはコリメータ010の下流でコリメータを閉じた状態、QFR010-openはコリメータを開けた状態、QFP012は入射ダンプセプタムの下流、QFT075はESS群の中間、QFR078はESS下流、QFR082は遅い取り出し(SX)セプタム1と2の間、QFR152は速い取り出し(FX)キッカー3と4の間、QFP156はFXセプタムの下流である。また、QFX026からQFX205はアーク部ディスパージョンのピークにおける結果である。

表2：垂直方向のアーチャーサーベイの結果

Location	A	B	C	D
QDT005	45.1	78.9	-46.4	83.5
QDR007-close	30.3	36.2	-42.8	72.3
QDR007-open	41.1	66.7	-34.5	47.0
QDT011	52.2	108.6	-46.0	84.3
QDS014	65.0	158.4	-65.7	161.8
QDX044	50.9	87.1	-50.8	86.7
QDT077	62.2	150.0	-61.8	148.1
QDT083	48.3	93.0	-49.1	96.1
QDR151	51.6	105.1	-52.5	108.8

表2で、QDT005は入射セプタムと入射キッカーの間、QDR007-closeはコリメータ007とコリメータ008の間でコリメータを閉じている状態、QDR007-openはコリメータを開けた状態、QDT011は入射ダンプキッカーAとBの間、QDS014は入射ダンプセプタムの下流、QDX044はアーク部、QDT077はESSの下流、QDT083はSXセプタム2と3の間、QDR151はFXキッカー2の上流である。

次項より入射ダンプセプタム、SXセプタム、FXセプタムの水平方向のアーチャーサーベイについて詳しく述べる。

3. 入射ダンプセプタムのアーチャー

18日間のニュートリノビームラインへの50kW連続運転から33日後にMRの残留線量の測定を行った結果、図2に示すように入射ダンプセプタム付近、特に入射ダンプセプタム1の上流側における残留線量が高いことがわかった。また、表1にも示したように、入射ダンプセプタム付近ではリング内側のアーチャーが狭い。そこでさらに詳しく入射ダンプセプタム内でのアーチャーを調査するため、SAD[2]を用いて構築したMRのオンラインモデル上にこのローカルバンプ軌道を再現し、その軌道をビームラインの図面上に書き込み、真空ダクトとの位置関係を調べた。その結果を表3に示す。

表3：入射ダンプセプタムのアーチャーサーベイ

Location	A	B	C	D
セプタム1上流	120.8	73.7	289.8	100.1
セプタム1下流	131.1	74.6	220.2	100.6
セプタム2上流	117.4	74.8	134.5	100.6
セプタム2下流	128.7	74.8	142.2	101.0

ここで、Aはリング内側の真空ダクトのアクセプタンス、Bはリング内側にローカルバンプを立てたときのビーム位置をアクセプタンスに換算したものの、Cはリング外側の真空ダクトのアクセプタンス、Dはリング外側にローカルバンプを立てたときのビーム位置をアクセプタンスに換算したものであり、それぞれ単位は[π mm mrad]である。

表3のB列から、セプタム1上流のリング内側が他に比べて狭いことがわかる。このセプタム1の周回ビームダクトのリング内側には漏洩磁場の周回ビームへの影響を減らすためにシールドが設置され

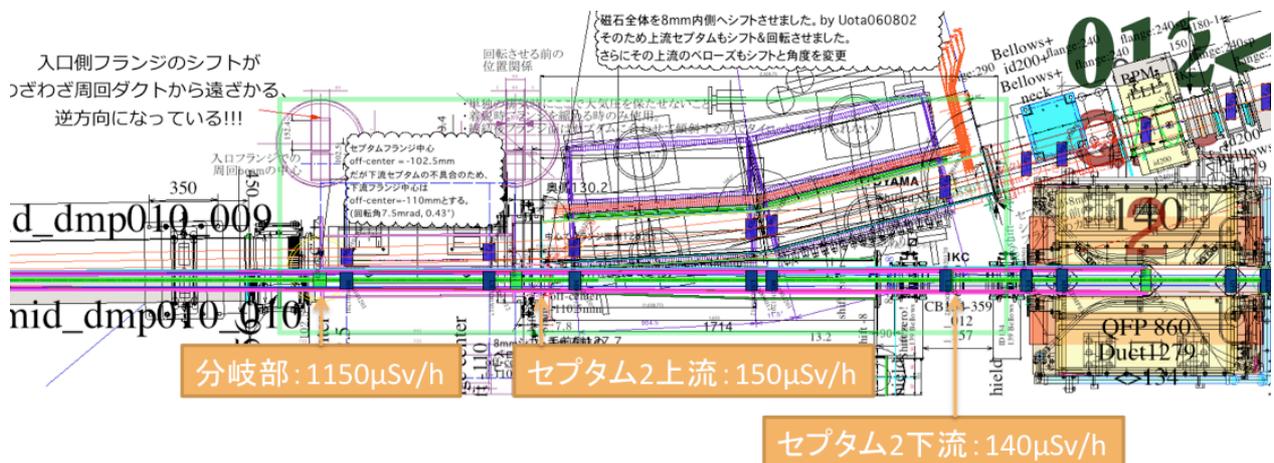


図2：入射ダンプセプタム付近の残留線量

ている。そのためここでのアパーチャが狭くなり、ビームがロスしている可能性がある。今後トンネル内での設置状況等さらに詳しく調査する予定である。

4. SX セプタムのアパーチャ

表 1 の QFR082 での値からわかるように、SX セプタムでのアパーチャはリング内側に広く、リング外側には狭いという結果であった。図 3 にアパーチャサーベイのプロットを、表 4 に SX セプタム内でのアクセプタンスを示す。

図 3 : QFR082 におけるアパーチャサーベイ

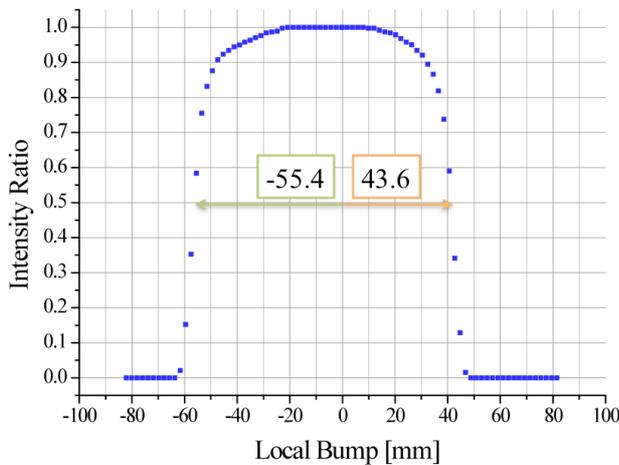


表 4 : SX セプタムのアパーチャサーベイ

Location	A	B	C
SM11 上流	83.2	111.1	51.2
SM11 下流	93.9	103.3	57.8
SM12 上流	96.9	97.8	59.7
SM12 下流	108.7	101.3	67.0
SM21 上流	111.0	100.1	68.6
SM21 下流	105.2	97.3	65.1
SM22 上流	102.9	97.2	63.7
SM22 下流	97.4	100.3	60.2
SM23 上流	94.2	104.6	58.3
SM23 下流	89.2	117.0	55.2
SM24 上流	87.4	124.7	54.1
SM24 下流	83.4	154.3	51.7

ここで、A はリング内側にローカルバンプを立てたときのビーム位置をアクセプタンスに換算したものの、B はリング外側の真空ダクトのアクセプタンス、C はリング外側にローカルバンプを立てたときのビーム位置をアクセプタンスに換算したものであり、単位はそれぞれ[π mm mrad]である。SX セプタムは大きな真空容器の中にセプタム磁石が設置されてお

り、リング内側に関してはビーム軌道を制限するものは無い。

リング外側はセプタム面によって制限されているが、表 4 の B 列に示したように 81 [π mm mrad]より十分大きい。しかしながら実際のアパーチャサーベイでは C 列のように狭いという結果となった。これはセプタム面が設計よりも周回軌道に近い位置に設置されている可能性があることを意味する。ローカルバンプ軌道から最も近いセプタムの位置は SM21 の下流であり、ここでアパーチャが制限されていると考えられる。ただ、現段階ではこのエリアの残留線量は 2.5~15 [μ Sv/h]と低いため、通常の運転ではビームがセプタム面に当たってはいないものと考えられる。

5. FX セプタムのアパーチャ

FX セプタムはニュートリノビームラインとアポートダンプの二方向へ出射するため周回ビームのリング内側と外側の両方にセプタムが設置されている。表 5 に測定結果を示す。表内の列項目は表 3 と同じである。

表 5 : FX セプタムのアパーチャサーベイ

Location	A	B	C	D
SM30 上流	117.5	61.0	117.5	67.6
SM30 下流	134.9	72.1	134.9	79.6
SM31 上流	109.2	74.2	109.2	82.0
SM31 下流	348.7	80.8	348.7	92.2
SM32 上流	201.6	81.6	201.6	90.3
SM32 下流	242.5	84.5	242.5	90.8
SM33 上流	224.4	84.9	224.4	93.6
SM33 下流	165.3	85.6	165.3	94.4
QFP156	156.6	85.5	156.6	94.3

この領域においてはリング内側と外側の両方もローカルバンプのピークにおいて 81[π mm mrad]を超えているため十分なアパーチャが取れていると考えられる。

6. まとめ

入射ダンプセプタムではセプタム 1 の上流でリング内側のアパーチャが狭くなっているためビームロスが生じ、残留線量が高いものと考えられる。SX セプタムでは残留線量が低いものの、リング外側のアパーチャが狭いという結果となった。FX セプタムでアパーチャは特に狭いところはなく、残留線量も少ないため特に問題は無いと考えられる。

参考文献

- [1] “J-PARC 加速器の現状”, Proceedings of the PASJ2010, Himeji, Aug. 4-6, 2010
- [2] SAD Home Page, <http://acc-physics.kek.jp/SAD/>