

J-PARC Main Ring Abort Lineにおける
プロファイルモニタの製作

東京大学大学院 佐藤究

ICEPPシンポジウム 2/20

Japan Proton Accelerator Research Complex: J-PARC



MR

遅い取り出し(SX): debunch → SX Kicker → HD
早い取り出し(FX): 8 bunches → FX kicker → NU

サイクル時間 5.20 s
サイクル時間 2.48 s

J-PARC Main Ring: MR

図のキャプション整理

✓ 30 GeV 陽子シンクロトロン

大強度

パルスあたり陽子数(FX) : 2.7×10^{14}

サイクル時間 2.48 s で520 kW相当

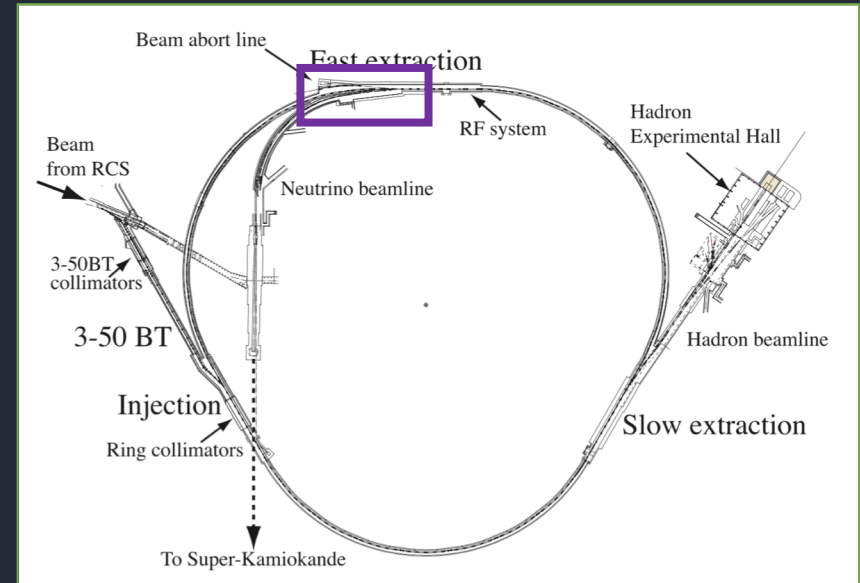
陽子シンクロトロンのうち最高

アップグレードを予定 :

2020s 後半目標

高繰り返し 2.48 s \rightarrow 1.16 s

陽子数増大 3.3×10^{14} ppp \rightarrow ビーム強度1.3 MW



大強度陽子シンクロトロン：ビーム強度の段階的アップグレード

Circumference [m]	1567.5
Superperiodicity	3
Typical cycle time for FX [s]	2.48
Typical cycle time for SX [s]	5.2
Injection energy [GeV]	3
Extraction energy [GeV]	30
Harmonic number	9
Number of bunches	8

Table. parameters of J-PARC MR

Typical transition gamma	j31
Physical aperture [π mm-mrad]	>81
Collimator aperture [π mm-mrad]	54-81
Number of bending magnets	96
Number of quadrupole magnets	216
Number of sextupole magnets	72
rf frequency [MHz]	1.67-1.72
Number of rf systems	9

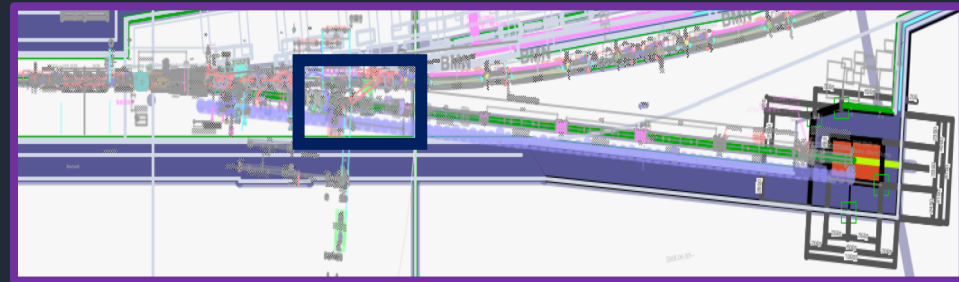
Motivation : New Abort MRPM導入

MR: 段階的アップグレードによるビーム大強度化

- ビームパラメータ最適化のためのスタディを実施 → 利用運転条件を変更
任意の取り出し条件 : 3–30 GeVの全ての領域でビームスタディを行う必要がある

アボートラインでプロファイル測定

MR Abort line (MR Abort)... ビームダンプへ安全に輸送するためのライン
+ 任意取り出し条件でビームプロファイル測定



- ✓ MRから独立 : 測定による周回ビームへの影響なし
- ✓ 四重極電磁石のdoublet (AbortQ)を用いた計測が可能

アボートラインで測定することで効果的なビームパラメータの最適化を図る

Multi Ribbon Profile Monitor: MRPM

プロフィールモニター：Multi Ribbon Profile Monitor

薄膜ターゲットの二次電子放出による
電圧を格子状に計測し、ビームサイズを測る

要請

- 大強度ビームに対する耐久性
- 高精度な測定

- ✓ Single passing をTi 薄膜で受ける
- ✓ 狭いリボンピッチ

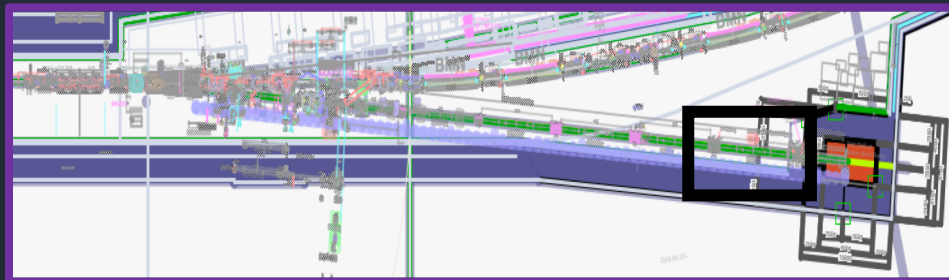
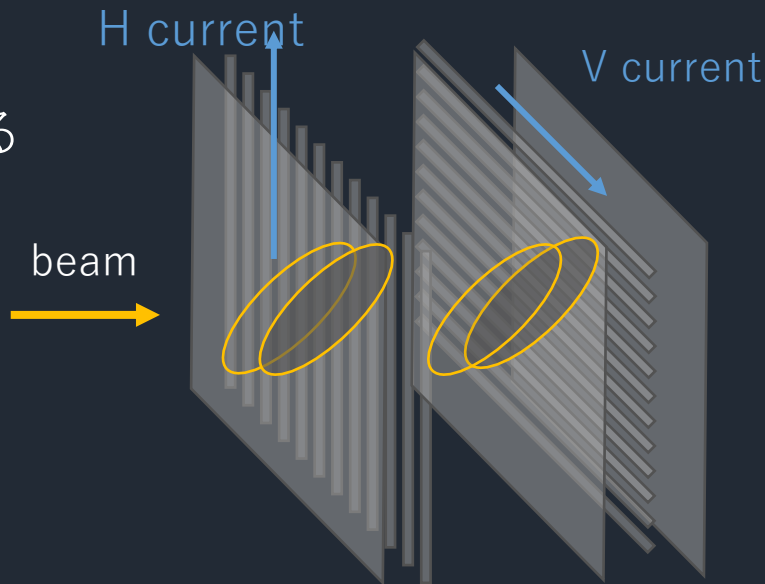
アポートラインにMRPMをインストール
直接的なプロフィール測定を行う

Abort End MRPM

Material… Ti

Ribbon pitch width… 50 mm

of channels… H: 15, V: 15



目的と方法：

任意の取り出しタイミングに対して測定可能なAbort MRPMをインストール
3-30 GeVの全ての領域でビームスタディができる
スタディを行い、ビームパラメータ最適化を進める

➤ SAD計算

- ・アボートライン Latticeモデルの作成
- ・Optics計算
- ・Particle Tracking計算

➤ MRPMの製作とインストール

- ・ターゲット作成
- ・...

発表内容

➤ AbortQとMRPMを用いたビームハローの観測

➤ AbortQとMRPMを用いたエミッタンス測定

- ・AbortQの励磁によるLattice制御(Qscan)
- ・ビームスタディ

ビーム波形の積分値 → Gaussian fittingでビーム幅 → $K1 \cdot L$ vs σ
→ 2次関数でFitting → Fittingパラメータの決定からエミッタンス同定

2月インストール, study → 3月インストール
4月Beam study 予定

Abort Line Lattice Model: Qscan method

ビーム力学 エミッタンス測定手法: Quadrupole scan method

仮定: Linear Optics ... 離散的に配置された複数の加速器構成要素を
各要素に対応した線形写像: Transfer Matrixの積で構成

Transfer matrix in vertical plane*: M *Horizontalについてはdispersionを考慮

$$\begin{pmatrix} y \\ y' \end{pmatrix}_{MRPM} = M \begin{pmatrix} y \\ y' \end{pmatrix}_{inj}, \quad M = \begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} \\ m_{21} & m_{22} \end{pmatrix}$$

Lattice制御によって得られる、3つの異なるtransfer matrices M_a, M_b, M_c に対して
入射ビームのビームパラメータがMRPMにおけるビーム幅を用いて得られる

$$\begin{pmatrix} \sigma_a^2 \\ \sigma_b^2 \\ \sigma_c^2 \end{pmatrix}_{MRPM} = \begin{pmatrix} \beta_a \epsilon \\ \beta_b \epsilon \\ \beta_c \epsilon \end{pmatrix}_{MRPM} = \begin{pmatrix} m_{a11}^2 & -2m_{a11}m_{a12} & m_{a12}^2 \\ m_{b11}^2 & -2m_{b11}m_{b12} & m_{b12}^2 \\ m_{c11}^2 & -2m_{c11}m_{c12} & m_{c12}^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \beta \epsilon \\ \gamma \epsilon \\ \alpha \epsilon \end{pmatrix}_{inj.}$$

$$\beta \epsilon \gamma \epsilon - (\alpha \epsilon)^2 = \epsilon^2$$

- ✓ AbortQの磁場(K1*L) m_{12} を変化、Latticeを制御しながらビーム幅の応答曲線を得る
- ✓ 3点以上のビーム幅に対して3パラメータ(α, β, γ)を解きエミッタンスを導出

AbortQを用いたQscanによって任意の場所におけるエミッタンス同定が可能

Abort Line Lattice Model(SAD): Optics計算

MRPM設計のためのビーム幅の見積もり

#145_02 → FX Kicker Magnets, Septums 直線部からアボートダンプ

→ Abort Q → New MRPM → End MRPM → AbortEND

latticeモデルに対するOptics計算 (SAD): σ vs. Field strength

ビーム分布: Gaussian と仮定

$$\sigma_x = \sqrt{\beta_x \epsilon_x + \left(\eta_x \frac{dp}{p}\right)^2}, \sigma_y = \sqrt{\beta_y \epsilon_y}, \quad \beta, \eta \text{ は SAD 計算, } \epsilon, \frac{dp}{p} \text{ を測定値}$$

条件 FX Kicker, Septumの励磁量は利用運転のパラメータ

➤ FX tune (21.35, 21.44),
SX tune (22.275, 20.78)

➤ Ignore Off-Axis effect at Quadrupoles

➤ KM, septum have Ideal $B\rho$ s

➤ COD calculation with ANGLE

➤ Abort Q: sweep K_1L (from 500 A)

➤ momentum spread: 0.3 % $\sim 3\sigma$ fixed

➤ V dispersion: $\eta_y = 0$

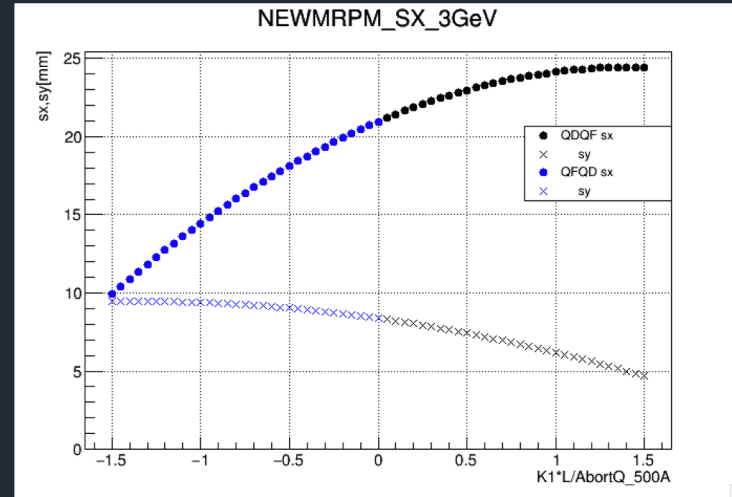
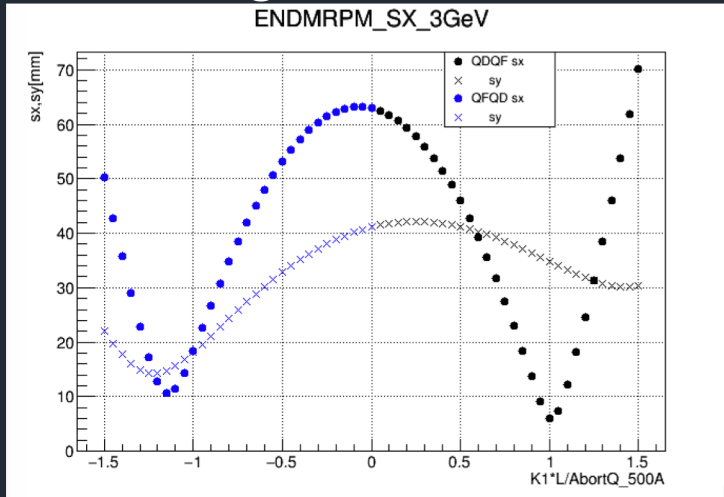
	FX_3 GeV	SX_3 GeV	SX_8 GeV	SX_30 GeV
$B\rho$ [T·m]	12.8	12.8	29.7	103
$\epsilon_x = \epsilon_y$ [$\mu\text{mm-mrad}$] 1σ	4	2.6	1.1	0.32

3-50BT

Hadron SY

Abort Line Lattice Model(SAD): Optics計算結果

ビーム幅 1-Sigma (mm)@MRPM



AbortQ 500 A

EndMRPM

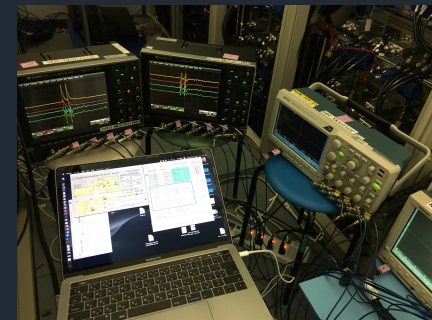
	FX		SX		8 GeV		30 GeV	
	3 GeV		3 GeV					
Sigma(mm)	QDQF	QFQD	QDQF	QFQD	QDQF	QFQD	QDQF	QFQD
Horizontal	8.10	19.81	6.19	19.38	35.23	39.76	26.78	27.62
Vertical	43.98	22.10	34.77	18.13	27.32	22.62	14.73	14.01

NewMRPM

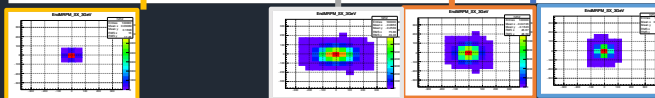
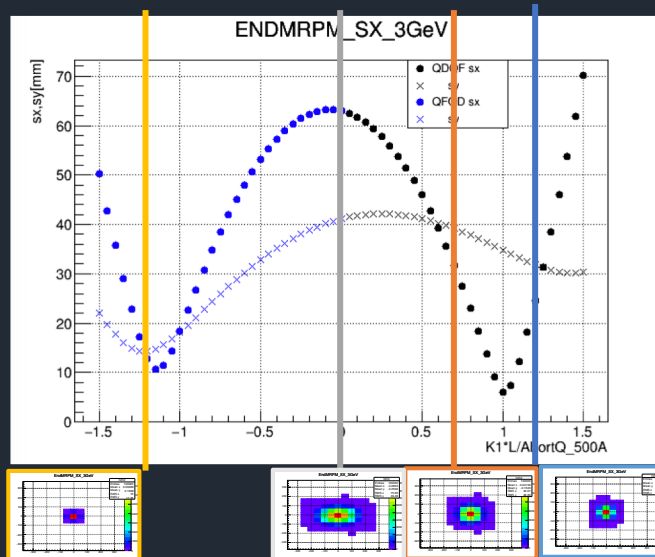
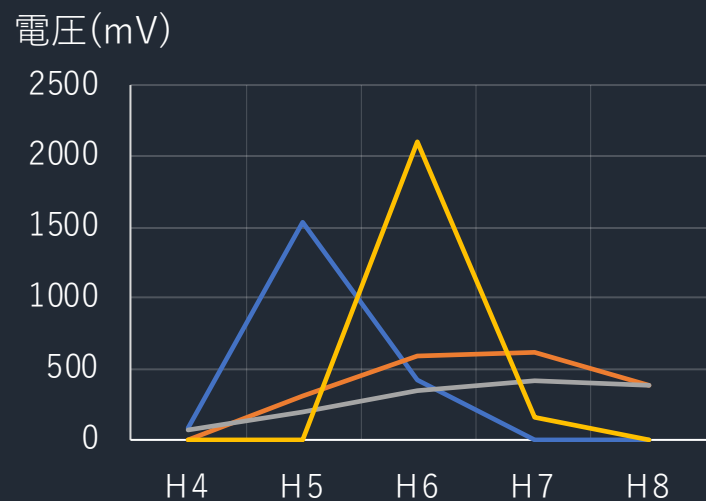
	FX		SX		8 GeV		30 GeV	
	3 GeV		3 GeV					
Sigma(mm)	QDQF	QFQD	QDQF	QFQD	QDQF	QFQD	QDQF	QFQD
Horizontal	28.08	16.63	24.62	14.70	15.70	12.82	8.96	8.47
Vertical	8.96	13.67	6.18	9.39	4.97	5.88	2.87	3.01

Qscan study @End MRPM: Preliminary results

End MRPM Qscan Study: SX利用運転条件でピーク電圧計測
 AbortQ DFを+に +600 A, +300 A, 0 A, -600 A: 4点



直接オシロに接続@D3 LCR
 生信号は2008年頃以降初



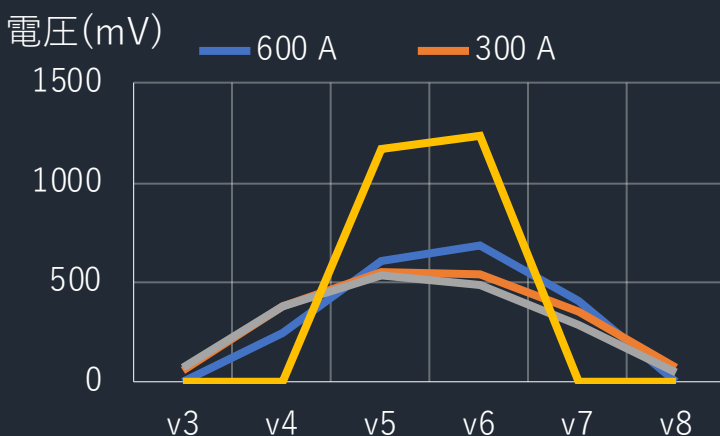
ビーム長手方向に対するch対応

オシロ	H	#1				#2			
V	ch	1	2	3	4	5cl	6	7	8
#6	8								
	7								
	6								
	5								
#5	4cl								
	3								
	2								
	1								

電流による中心のシフト

ビーム幅の傾向が一致

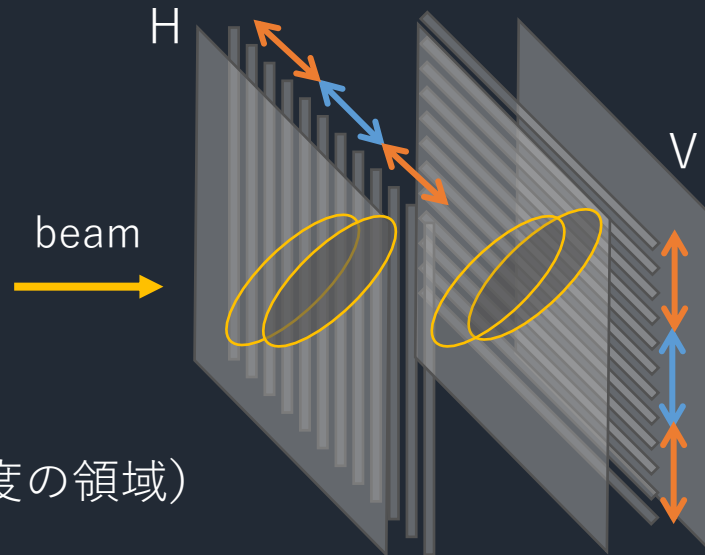
SADモデルを信頼する



MRPM設計:ターゲットピッチの決定

ビームハロー部分の観測を可能にしたい
 ケーブルの制限：ターゲットの総ch数は96

- H: 64 ch
- V: 32 ch
- Minimum 2.5 mm pitch
- SPAN : $6\sigma + \alpha$ (10~20 %)
- 中央部(コア) は2.5 mm Pitch (Min x 6 程度の領域)
- ブランク幅 1 mm固定



NewMRPM

	FX		SX		8 GeV		30 GeV	
	3 GeV		3 GeV					
Sigma(mm)	QDQF	QFQD	QDQF	QFQD	QDQF	QFQD	QDQF	QFQD
Horizontal	28.08	16.63	24.62	14.70	15.70	12.82	8.96	8.47
Vertical	8.96	13.67	6.18	9.39	4.97	5.88	2.87	3.01

Horizontal



Vertical



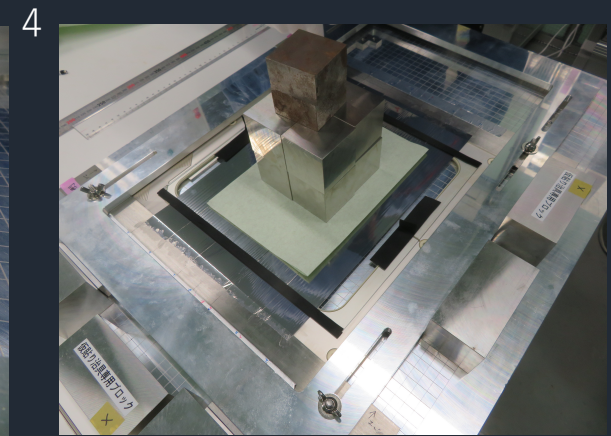
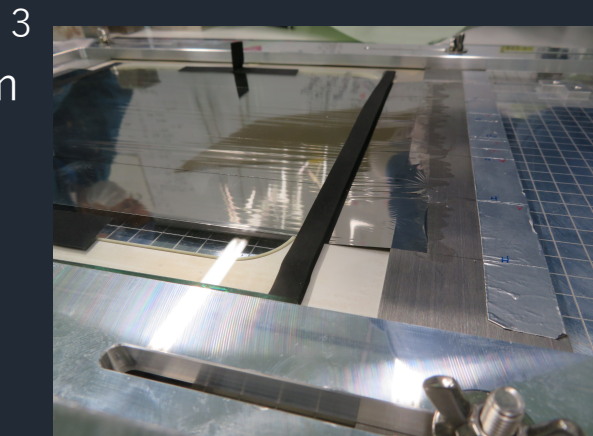
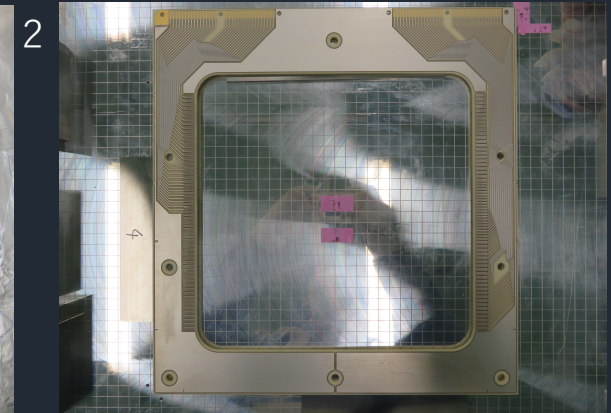
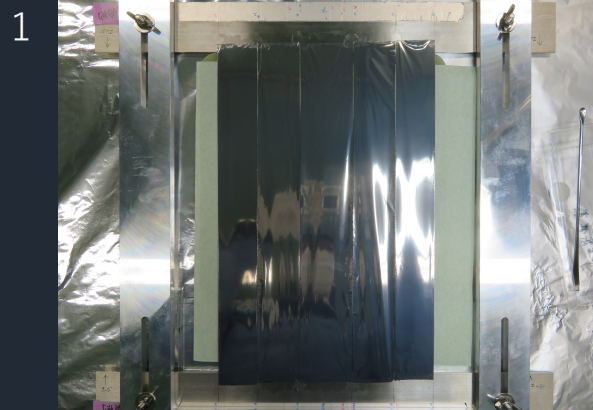
ターゲット製作(フォイルアプライ)

Vertical, Horizontal
2枚ずつ: V1,V2,H1,H2

- 1.仮貼り
- 2.基盤に接着剤を印刷
- 3.ガラス板をのせる
- 4.重りをのせる

フォイルの幅の誤差 < 0.5 mm
仮貼りで許される値

接着剤(主剤+硬化剤)の劣化
前ロットの主材を用いた



レーザーカット：薄膜からリボン作成

ターゲット

長さ: ~250 mm

厚み: 1.2 micron Ti foil

ピッチ: 2.5/3.5 mm

V: 33ch, H: 65ch



YAGレーザーによるカットの様子

条件

Ar フロー: 圧力@レギュレータで 0.01 MPa固定
レーザー条件: 発振器Power 80%(電流 40.29 A),
パルス 60000 Hz, 10.7 W

台座のx,yに並行となるようにターゲット基盤をセット
レーザーの点灯、台座の座標を制御してカット

リボン幅測定結果：ターゲットの選択

リボンエッジの座標(x,y)を測定

x, yの誤差 < 10 μ m

V1

H1

張り替えを含む

特に問題なし

V2

H2

特に問題なし

ファイル継ぎ目部分
リボンを過度に切っている



空白幅: 1 mm
リボン幅: 1.5 mm
2.5 mm

張り替え箇所的位置にばらつき、ファイルのずれた境界近傍で過度に切断

H1, V2を採用→インストール

H2, V1は予備→リボン剥がして新ターゲットに転用

Abort MRPM Installation



まとめと今後の予定：

任意のビーム取り出し条件で測定可能なAbort MRPMをインストール
ビームスタディを行い、ビームパラメータ最適化を進める

➤ SAD計算

- ・アボートライン Latticeモデルの作成
- ・Optics計算
- ・Particle Tracking計算

リアルK1*L, 励磁パターン
軌道オフセットによる低次寄与

➤ MRPMの製作とインストール

- ・ターゲット作成
- ・...

2月 Study with End-MRPM

3月 Install New-MRPM

4月 Study with New/End-MRPM

➤ AbortQとMRPMを用いたビームハローの観測

➤ AbortQとMRPMを用いたエミッタンス測定

- ・AbortQの励磁によるLattice制御(Qscan)
- ・ビームスタディ

ビーム波形の積分値 → Gaussian fittingでビーム幅 → K1*L vs sigma
→ 2次関数でFitting → Fittingパラメータの決定からエミッタンス同定

Acknowledgement

Special thanks to Y. Hashimoto, Y. Sato, S. Igarashi, T. Koseki,
M. Uota, M. Shirakata, T. Shibata, H. Kuboki, M. Tomizawa, R. Muto, J. Takano,
H. Sakai, M. Endo, H. Fujiyama
and J-PARC Main Ring Accelerator group

