

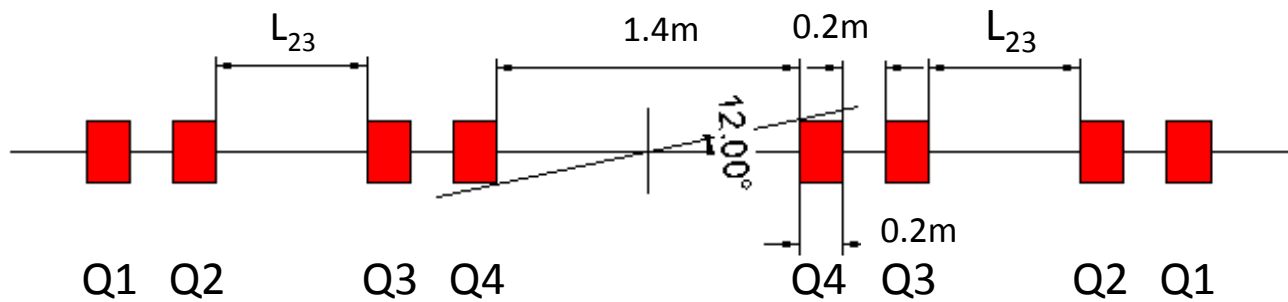
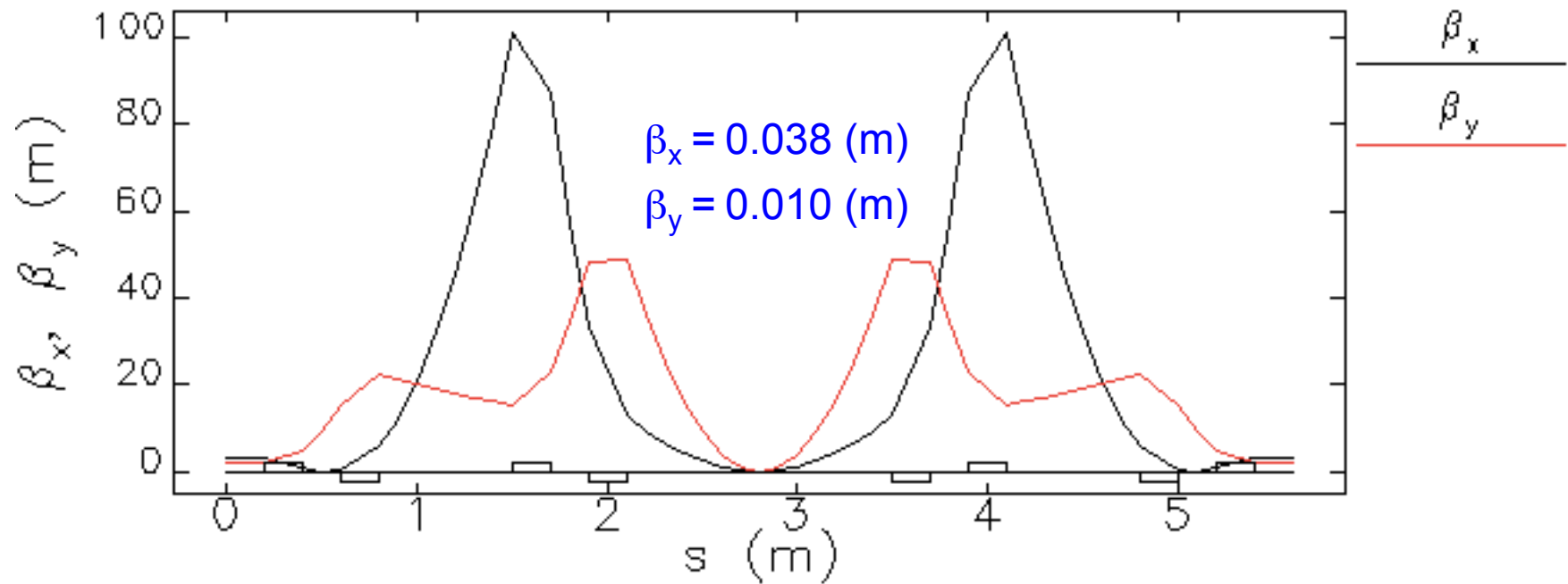
cERL-LCSオプティクスの検討

ビームダイナミクスWG打ち合せ

2012年7月26日

中村 典雄、島田 美帆、小林幸則

LCS衝突部の配置



L_{23} をパラメータとして変化させてみる。

LCS衝突部案のK値(1)

中心でのtwiss parameter: $\beta_x=0.038$ m, $\beta_y=0.010$ m, $\alpha_x=0.0$, $\alpha_y=0.0$

両端でのtwiss parameter: $\beta_{x0}=3.4281$ m, $\beta_{y0}=2.0$ m, $\alpha_{x0}=0.0$, $\alpha_{y0}=0.0$

四極電磁石のK値: 制限なし ($K = B'L/B\rho$ [m^{-1}])

	K_{Q1}	K_{Q2}	K_{Q3}	K_{Q4}
A1: $L_{23}=0.7\text{m}$	5.0383150	-2.1720558	2.8206848	-2.8177384
A2: $L_{23}=0.6\text{m}$	5.3975836	-2.3200825	2.9450277	-2.8222864
A3: $L_{23}=0.5\text{m}$	5.8220883	-2.5038306	3.1009853	-2.8228983
A4: $L_{23}=0.4\text{m}$	6.3315802	-2.7395275	3.3035246	-2.8168515
A5: $L_{23}=0.3\text{m}$	6.9541551	-3.0558954	3.5795671	-2.7995366
A6: $L_{23}=0.2\text{m}$	7.7298912	-3.5101353	3.9837395	-2.7631456

L_{23} を小さくすると、Q1, Q2, Q3のK値が増える傾向にある。

LCS衝突部案のK値(2)

電源による制限($K < 5$)を加えてみる。

中心でのtwiss parameter: $\beta_x=0.038$ m, $\beta_y=0.010$ m, $\alpha_x=0.0$, $\alpha_y=0.0$

両端でのtwiss parameter: β_{x0} , β_{y0} 可変, $\alpha_{x0}=0.0$, $\alpha_{y0}=0.0$

四極電磁石のK値: $K < 5$ ($K = B'L/B\rho$ [m^{-1}])

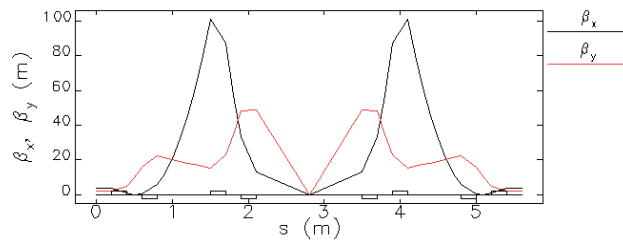
	K_{Q1}	K_{Q2}	K_{Q3}	K_{Q4}
A1: $L_{23}=0.7$ m	4.9999959	-2.1713004	2.8212314	-2.8159166
A2: $L_{23}=0.6$ m	4.9999878	-2.1949430	2.9584610	-2.8544422
A3: $L_{23}=0.5$ m	4.9999314	-2.2203553	3.1309068	-2.9022690
A4: $L_{23}=0.4$ m	4.9999994	-2.2462713	3.3539505	-2.9628148
A5: $L_{23}=0.3$ m	4.9999959	-2.2693195	3.6532954	-3.0411456
A6: $L_{23}=0.2$ m	4.9998519	-3.3572658	4.0590077	-2.6399260

L_{23} を小さくすると、Q2, Q3のK値が増える傾向にある。

LCS衝突部オプティクス(1)

(1) A1

Q2-Q3間 $L_{23}=0.7\text{m}$
Q1-Q2, Q3-Q4間 0.2m



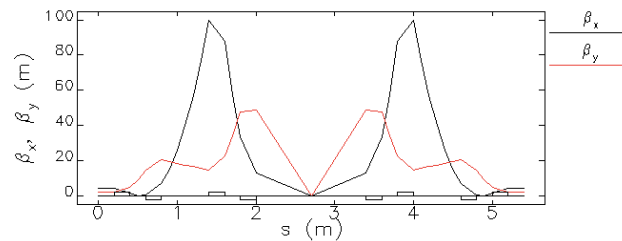
$\beta_{x0}=3.4934\text{ m}, \beta_{y0}=2.0551\text{ m}$
 $\alpha_{x0}=0.0, \alpha_{y0}=0.0$
 $\gamma_{x0}=0.2863\text{ m}^{-1}, \gamma_{y0}=0.4866\text{ m}^{-1}$

K値[m ⁻¹]	
Q4	-2.815917
Q3	2.821231
Q2	-2.171300
Q1	4.999996

Q1-衝突点までの距離: 2.6m

(2) A2

Q2-Q3間 $L_{23}=0.6\text{m}$
Q1-Q2, Q3-Q4間 0.2m



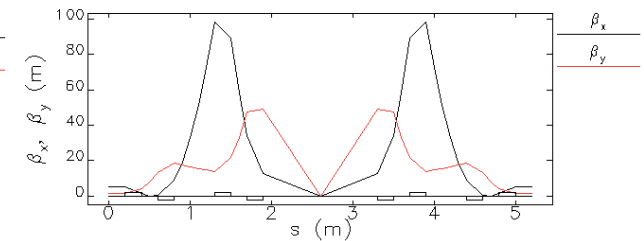
$\beta_{x0}=4.3265\text{ m}, \beta_{y0}=1.8898\text{ m}$
 $\alpha_{x0}=0.0, \alpha_{y0}=0.0$
 $\gamma_{x0}=0.2311\text{ m}^{-1}, \gamma_{y0}=0.5292\text{ m}^{-1}$

K値[m ⁻¹]	
Q4	-2.854442
Q3	2.958461
Q2	-2.194943
Q1	4.999988

Q1-衝突点までの距離: 2.5m

(3) A3

Q2-Q3間 $L_{23}=0.5\text{m}$
Q1-Q2, Q3-Q4間 0.2m



$\beta_{x0}=5.5024\text{ m}, \beta_{y0}=1.6915\text{ m}$
 $\alpha_{x0}=0.0, \alpha_{y0}=0.0$
 $\gamma_{x0}=0.1817\text{ m}^{-1}, \gamma_{y0}=0.5912\text{ m}^{-1}$

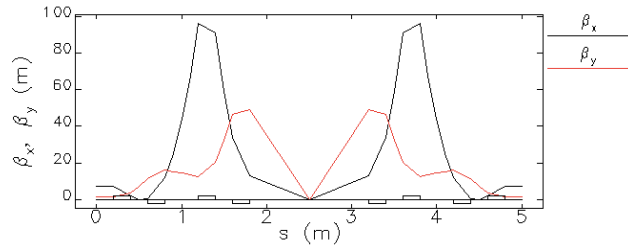
K値[m ⁻¹]	
Q4	-2.902269
Q3	3.130907
Q2	-2.220355
Q1	4.999931

Q1-衝突点までの距離: 2.4m

LCS衝突部オプティクス(2)

(4) A4

Q2-Q3間 $L_{23}=0.4\text{m}$
Q1-Q2, Q3-Q4間 0.2m



$\beta_{x0}=7.2397\text{ m}, \beta_{y0}=1.4537\text{ m}$
 $\alpha_{x0}=0.0, \alpha_{y0}=0.0$
 $\gamma_{x0}=0.1381\text{ m}^{-1}, \gamma_{y0}=0.6879\text{ m}^{-1}$

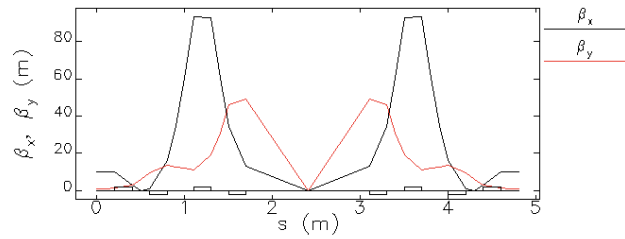
K値[m⁻¹]

Q4	-2.962815
Q3	3.353951
Q2	-2.246271
Q1	4.999999

Q1-衝突点までの距離: 2.3m

(5) A5

Q2-Q3間 $L_{23}=0.3\text{m}$
Q1-Q2, Q3-Q4間 0.2m



$\beta_{x0}=9.9665\text{ m}, \beta_{y0}=1.1677\text{ m}$
 $\alpha_{x0}=0.0, \alpha_{y0}=0.0$
 $\gamma_{x0}=0.1003\text{ m}^{-1}, \gamma_{y0}=0.8564\text{ m}^{-1}$

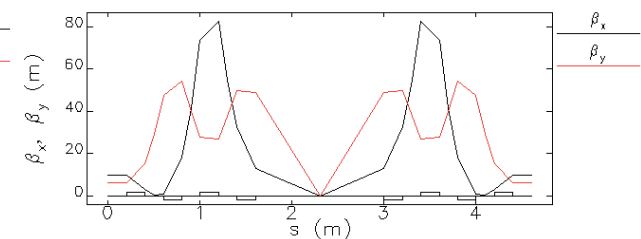
K値[m⁻¹]

Q4	-3.041146
Q3	3.653295
Q2	-2.269320
Q1	4.999996

Q1-衝突点までの距離: 2.2m

(6) A6

Q2-Q3間 $L_{23}=0.2\text{m}$
Q1-Q2, Q3-Q4間 0.2m



$\beta_{x0}=10.0\text{ m}, \beta_{y0}=6.4071\text{ m}$
 $\alpha_{x0}=0.0, \alpha_{y0}=0.0$
 $\gamma_{x0}=0.1\text{ m}^{-1}, \gamma_{y0}=0.1561\text{ m}^{-1}$

K値[m⁻¹]

Q4	-2.639926
Q3	4.059008
Q2	-3.357266
Q1	4.999852

Q1-衝突点までの距離: 2.1m

ビームサイズ(1次転送行列)

1次の転送行列によるビームサイズ

$$\delta x = R_{11}\delta x_0 + R_{12}\delta x'_0$$

$$\delta y = R_{33}\delta y_0 + R_{34}\delta y'_0$$

$$\begin{aligned}\sigma_x^{(1)} = \langle \delta x^2 \rangle &= \sqrt{\left\{ R_{11}^2 \langle \delta x_0^2 \rangle + R_{12}^2 \langle \delta x_0'^2 \rangle - 2R_{11}R_{12} \langle \delta x_0 \delta x_0' \rangle \right\}} \\ &= \sqrt{R_{11}^2 \beta_{x0} + R_{12}^2 \gamma_{x0} - 2 \cdot R_{11}R_{12} \alpha_{x0} \cdot \epsilon_{x0}}\end{aligned}$$

$$\sigma_y^{(1)} = \langle \delta y^2 \rangle = \sqrt{R_{33}^2 \beta_{y0} + R_{34}^2 \gamma_{y0} - 2 \cdot R_{33}R_{34} \alpha_{y0} \cdot \epsilon_{y0}}$$

色収差の影響

2次転送行列による色収差

$$\delta x = T_{116} \delta x_0 \frac{\delta p}{p} + T_{126} \delta x'_0 \frac{\delta p}{p}$$

$$\delta y = T_{336} \delta y_0 \frac{\delta p}{p} + T_{346} \delta x'_0 \frac{\delta p}{p}$$

$$\sigma_x^{(2)} = \sqrt{T_{116}^2 \beta_{x0} + T_{126}^2 \gamma_{x0} - 2 \cdot T_{116} T_{126} \alpha_{x0}} \cdot \varepsilon_{x0} \cdot \frac{\sigma_p}{p}$$

$$\sigma_y^{(2)} = \sqrt{T_{336}^2 \beta_{y0} + T_{346}^2 \gamma_{y0} - 2 \cdot T_{336} T_{346} \alpha_{y0}} \cdot \varepsilon_{y0} \cdot \frac{\sigma_p}{p}$$

$$\sigma_{x,y} = \sqrt{(\sigma_{x,y}^{(1)})^2 + (\sigma_{x,y}^{(2)})^2}$$

2次までの転送行列によるビームサイズはシミュレーションと良く合う。

2次の転送行列(1)

中心でのtwiss parameter: $\beta_{x0}=0.038$ m, $\beta_{y0}=0.010$ m, $\alpha_{x0}=0.0$, $\alpha_{y0}=0.0$

両端でのtwiss parameter: $\beta_{x0}=3.4281$ m, $\beta_{y0}=2.0$ m, $\alpha_{x0}=0.0$, $\alpha_{y0}=0.0$

四極電磁石のK値: 制限なし

	T_{116}	T_{126}	T_{336}	T_{364}
A1: $L_{23}=0.7$ m	-25.4429	0.8522	8.9556	4.7940
A2: $L_{23}=0.6$ m	-26.4443	0.2711	9.2895	4.7447
A3: $L_{23}=0.5$ m	-27.5793	-0.3605	9.7201	4.7265
A4: $L_{23}=0.4$ m	-28.8654	-1.0532	10.2988	4.7562
A5: $L_{23}=0.3$ m	-30.3121	-1.8179	11.1154	4.8629
A6: $L_{23}=0.2$ m	-31.9010	-2.6626	12.3339	5.0993

L_{23} を小さくすると、 T_{116} , T_{336} が大きくなる。

2次の転送行列(2)

中心でのtwiss parameter: $\beta_{x0}=0.038$ m, $\beta_{y0}=0.010$ m, $\alpha_{x0}=0.0$, $\alpha_{y0}=0.0$

両端でのtwiss parameter: β_{x0} , β_{y0} 可変, $\alpha_{x0}=0.0$, $\alpha_{y0}=0.0$

四極電磁石のK値: $K < 5$

	T_{116}	T_{126}	T_{336}	T_{346}
A1: $L_{23}=0.7$ m	-25.2175	0.9241	8.8550	4.7658
A2: $L_{23}=0.6$ m	-24.1937	0.9148	9.1778	4.8407
A3: $L_{23}=0.5$ m	-23.1926	0.9043	9.6235	4.9662
A4: $L_{23}=0.4$ m	-22.2207	0.8911	10.2656	5.1723
A5: $L_{23}=0.3$ m	-21.2845	0.8724	11.2386	5.5138
A6: $L_{23}=0.2$ m	-20.0015	1.2239	7.5718	3.8653

L_{23} を小さくすると、 T_{116} は小さくなるが、 β_{x0} が大きくなる。

運動量変動による影響(1)

LCS直前でのパラメータ値

$$E = 35.51 \text{ MeV } (\gamma\beta = 69.4942), \quad \varepsilon_{nx} = \varepsilon_{ny} = 0.3 \text{ mm mrad}, \quad \sigma_t = 3 \text{ ps}$$

衝突点でのビームサイズ(シミュレーション結果)

β_{x0}, β_{y0} 固定	$\sigma_p/p = 0.3\%$		$\sigma_p/p = 1\%$	
	σ_x [um]	σ_y [um]	σ_x [um]	σ_y [um]
1次転送行列	12.81	6.57	12.81	6.57
A1: $L_{23}=0.7\text{m}$	15.87	7.06	33.60	10.83
A2: $L_{23}=0.6\text{m}$	16.09	7.10	34.73	11.07
A3: $L_{23}=0.5\text{m}$	16.34	7.14	36.02	11.38
A4: $L_{23}=0.4\text{m}$	16.64	7.20	37.49	11.81
A5: $L_{23}=0.3\text{m}$	16.98	7.30	39.15	12.44
A6: $L_{23}=0.2\text{m}$	17.37	7.45	40.99	13.41

L_{23} が大きい方が運動量広がり(変動)の影響は小さい。

運動量変動による影響(2)

LCS直前でのパラメータ値

$$E = 35.51 \text{ MeV } (\gamma\beta = 69.4942), \quad \varepsilon_{nx} = \varepsilon_{ny} = 0.3 \text{ mm mrad}, \quad \sigma_t = 3 \text{ ps}$$

衝突点でのビームサイズ(シミュレーション結果)

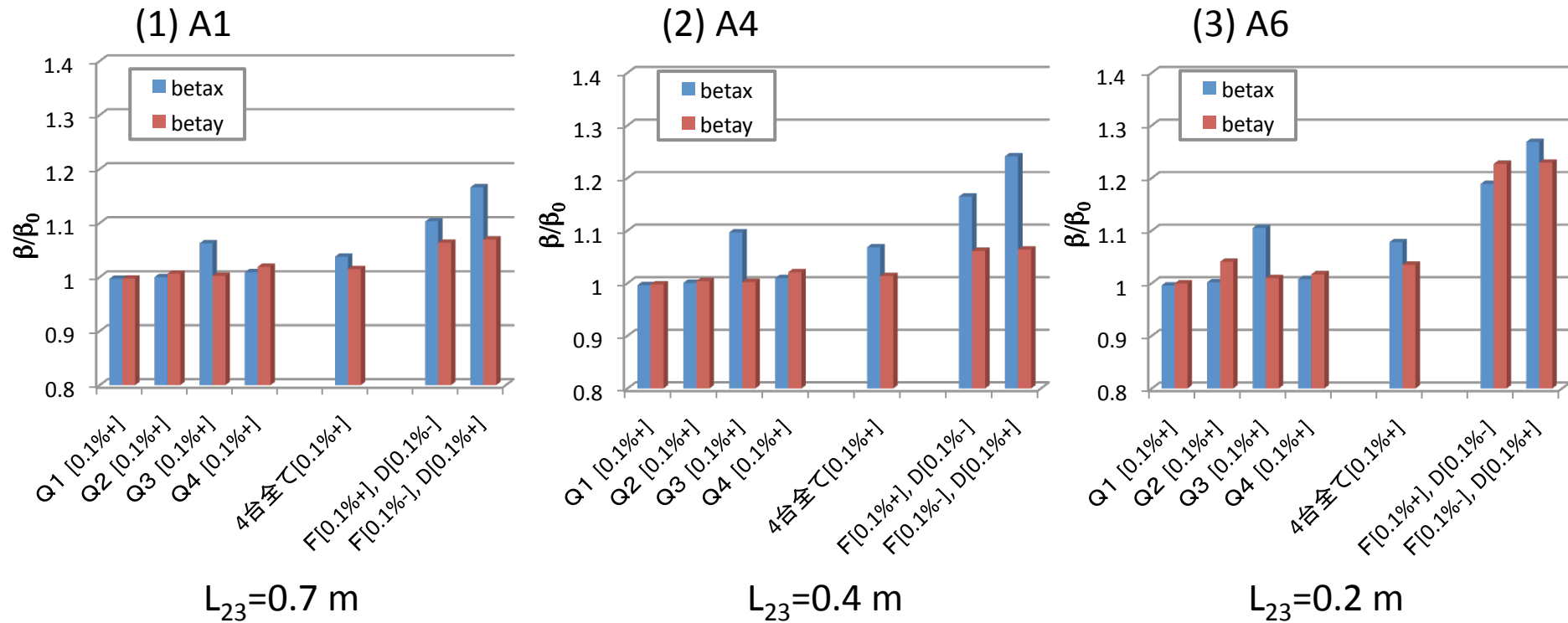
K < 5	$\sigma_p/p = 0.3 \%$		$\sigma_p/p = 1 \%$	
	σ_x [um]	σ_y [um]	σ_x [um]	σ_y [um]
1次転送行列	12.81	6.57	12.81	6.57
A1: $L_{23}=0.7\text{m}$	15.87	7.06	33.61	10.84
A2: $L_{23}=0.6\text{m}$	16.25	7.06	35.57	10.83
A3: $L_{23}=0.5\text{m}$	16.76	7.06	38.08	10.82
A4: $L_{23}=0.4\text{m}$	17.46	7.06	41.44	10.83
A5: $L_{23}=0.3\text{m}$	18.49	7.07	46.10	10.87
A6: $L_{23}=0.2\text{m}$	17.94	7.59	43.62	14.22

L_{23} が大きい方が運動量広がり(変動)の影響は小さい。

磁場誤差の影響

QのK値に0.1%の誤差を与えたときの β 関数の変化

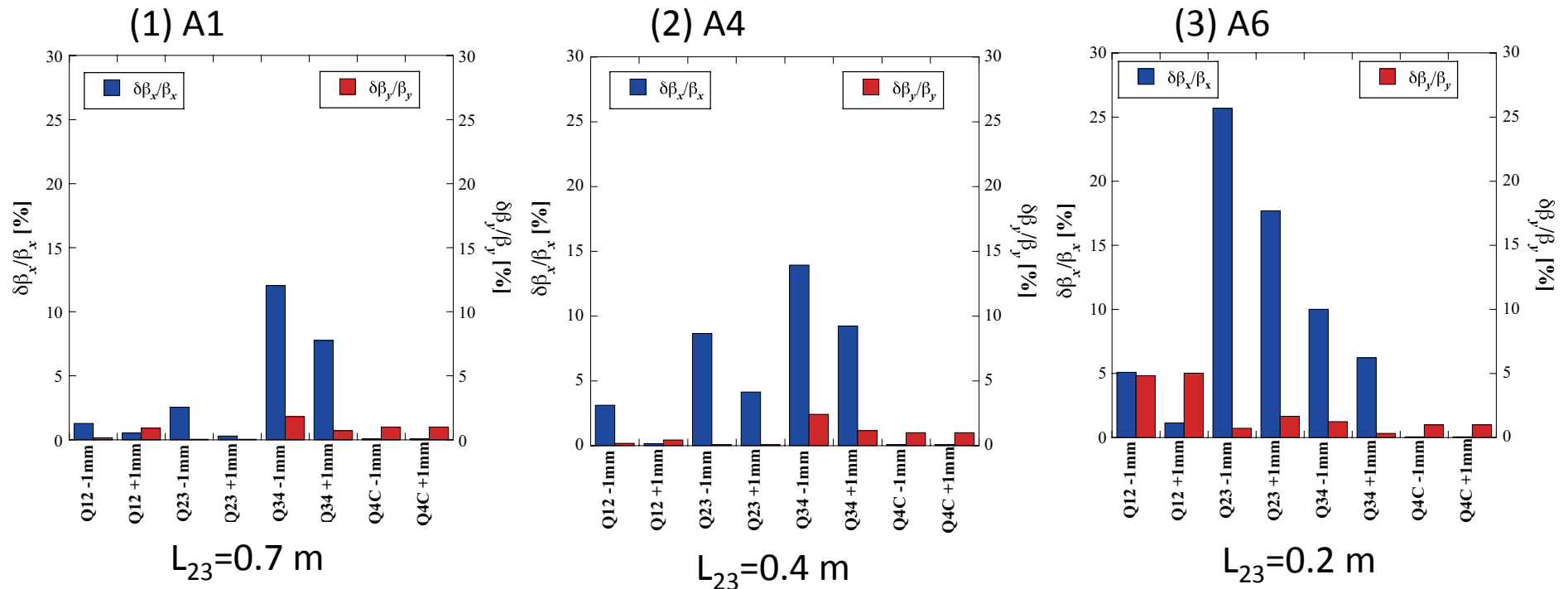
1. 各電磁石一つに誤差を与える。
2. 4台全てに同じ誤差を与える。
3. FとDで異なる誤差(+0.1%, -0.1%)を与える。



L_{23} が大きい方が磁場誤差の影響は小さい。

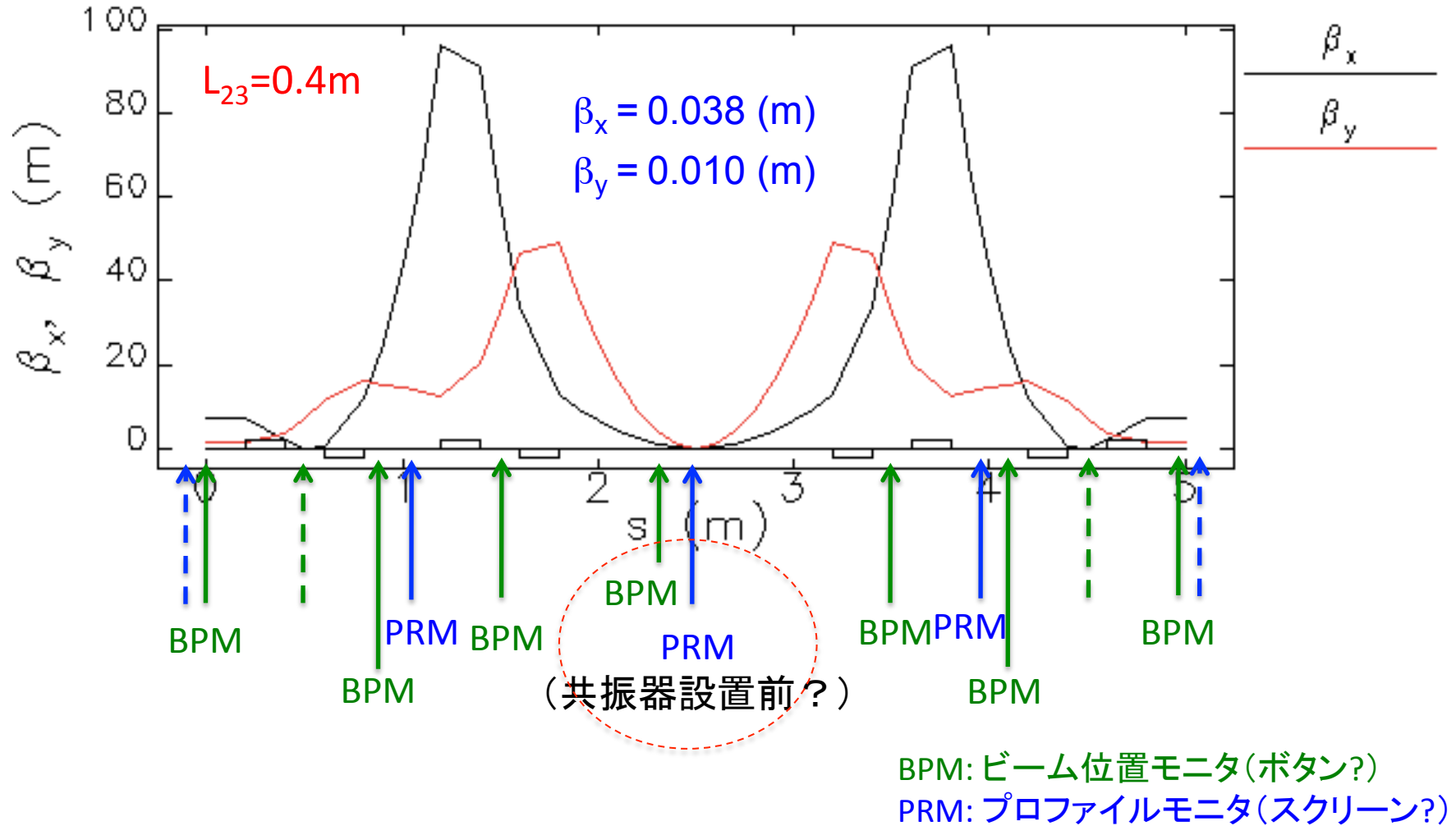
設置誤差の影響

Q1-Q2, Q2-Q3, Q3-Q4, Q4-Collision Point間の距離に $\Delta z = \pm 1\text{mm}$ の誤差を与えた場合の β 関数の変化 ($K < 5$)



L_{23} が大きい方が設置誤差の影響は小さい。

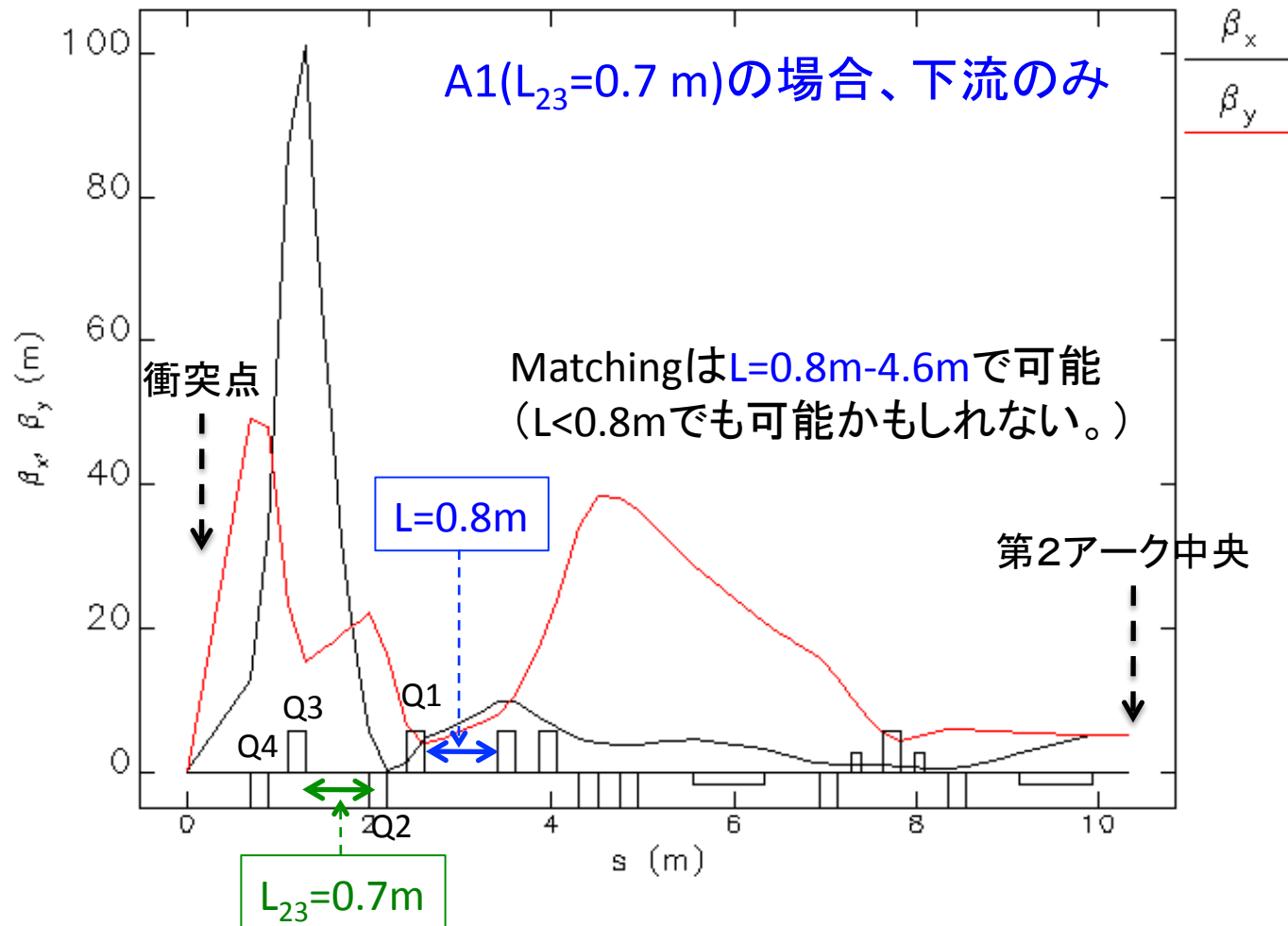
モニタの配置・構成例



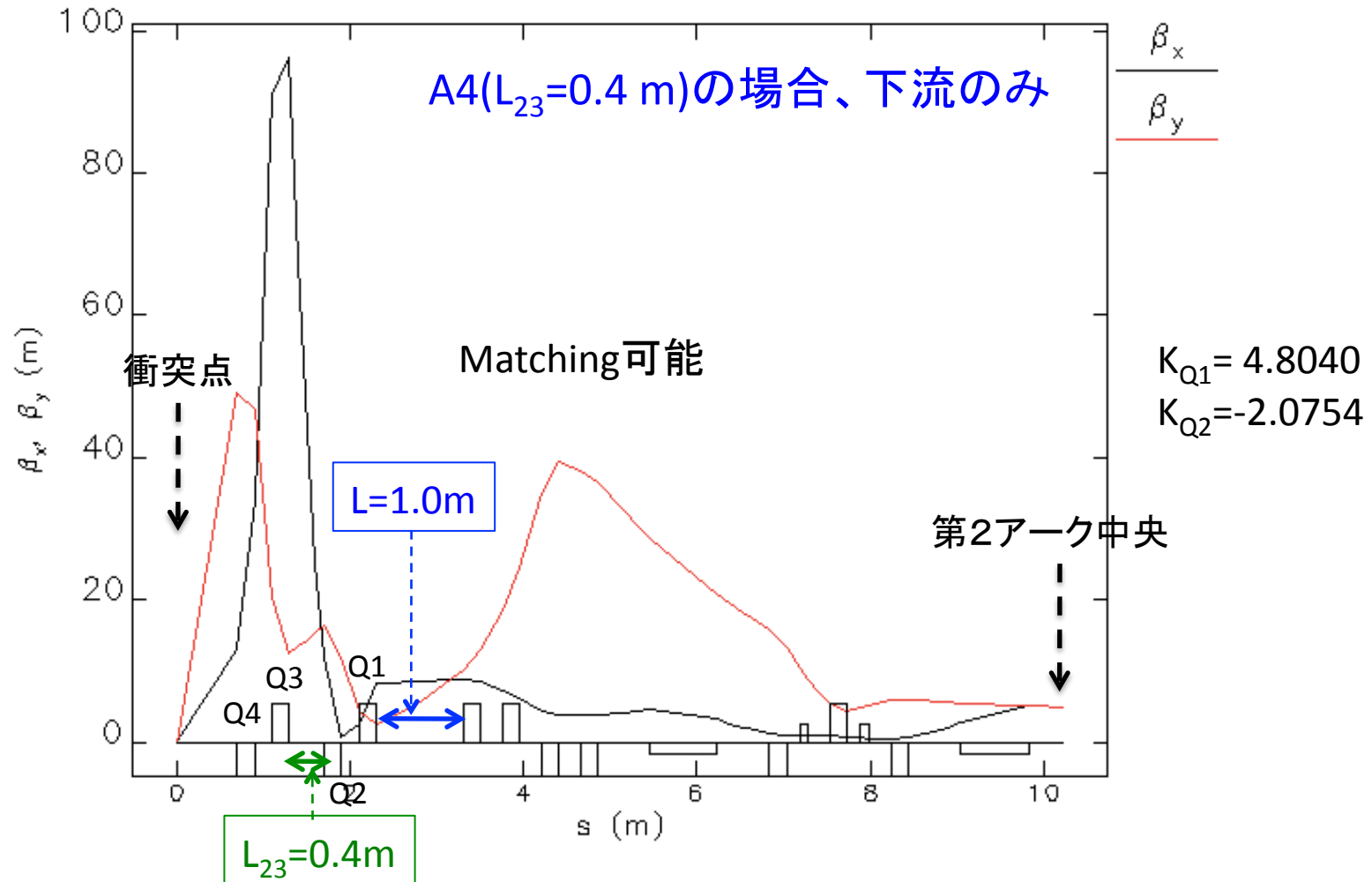
モニタが必要であれば、 L_{23} はある程度の長さ(0.4-0.5m?)を確保すべきか。

マッチングの例(1)

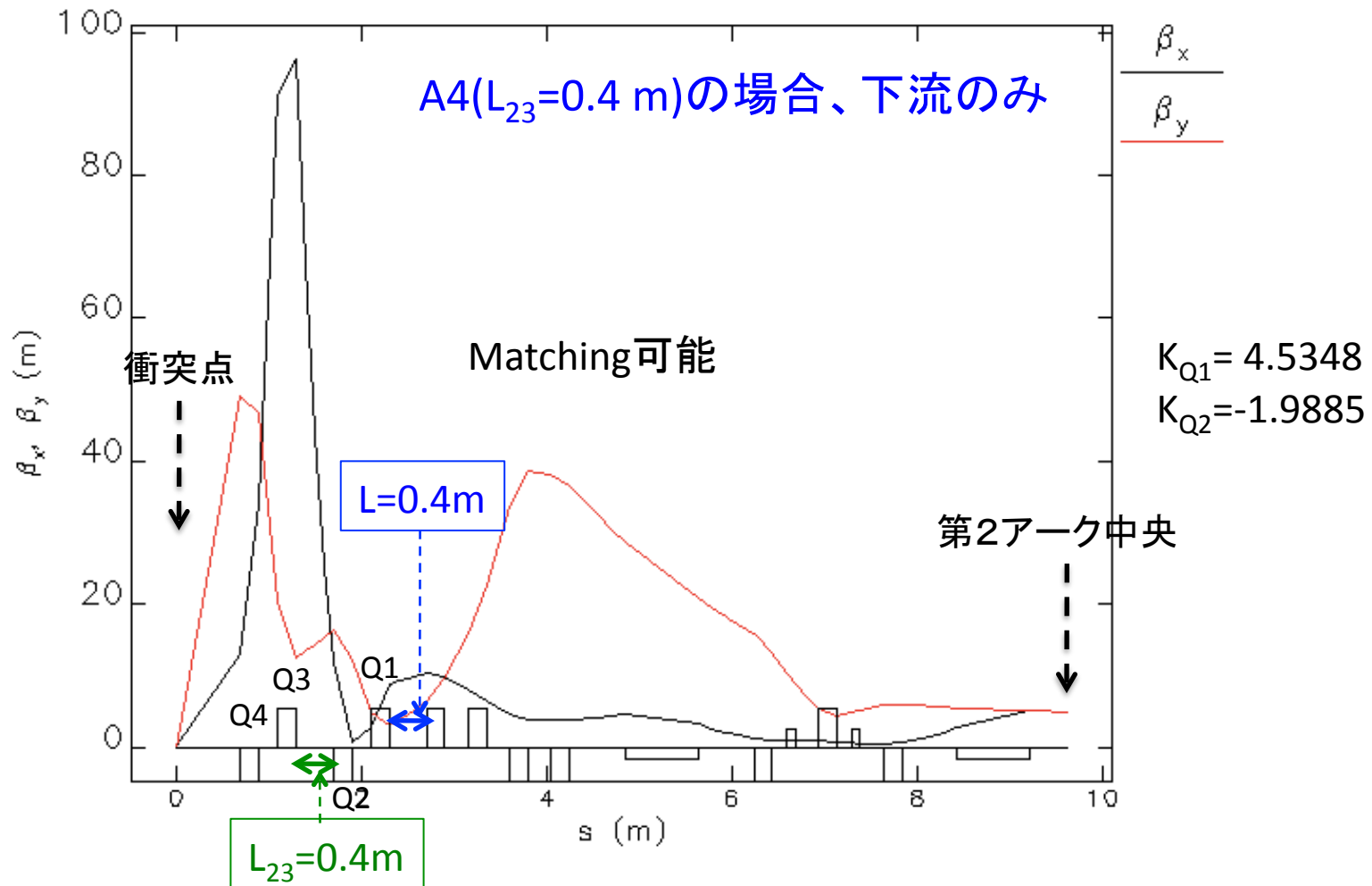
Q1,Q2及びその下流のQ4台でアーク部とマッチングをとる。



マッチングの例(2)



マッチングの例(3)



まとめと課題

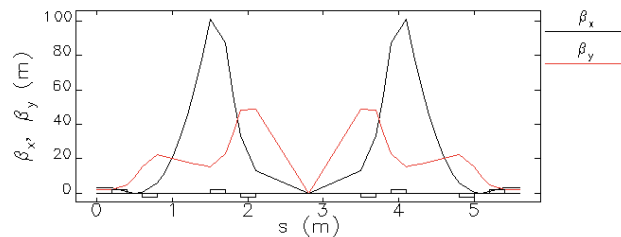
- 運動量変動のビームサイズへの影響は、Q2-Q3間距離 L_{23} が大きい案の方が相対的に小さい。ただし、大きな差ではない。
- 四極電磁石の磁場誤差及び設置誤差の影響は、Q2-Q3間距離 L_{23} が大きい案の方が相対的に小さい。ただし、大きな差ではない。
- 調整にモニタ等が必要であれば、Q2-Q3間距離 L_{23} をある程度確保することが有効であろう。
- マッチングを進めて、必要なマッチングのスペースや四極電磁石の配置を検討する。

その他参考資料

LCS衝突部案の例(2)

(1) 案A1

Q2-Q3間 0.7m
Q1-Q2, Q3-Q4間 0.2m
 $\alpha_x=0, \alpha_y=0$



$\beta_{x0}=3.4281 \text{ m}, \beta_{y0}=2.0 \text{ m}$
 $\alpha_{x0}=0.0, \alpha_{y0}=0.0$
 $\gamma_{x0}=0.2917 \text{ m}^{-1}, \gamma_{y0}=0.5 \text{ m}^{-1}$

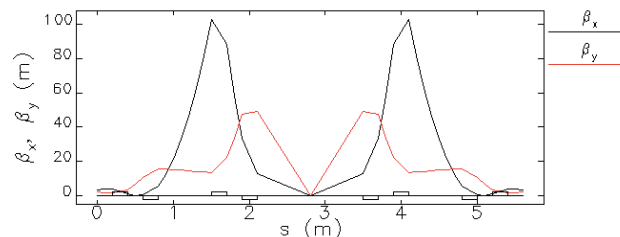
K値[m-1] (SADの定義)

Q4	-2.81774
Q3	2.820685
Q2	-2.17545
Q1	5.087382

Q1-衝突点までの距離: 2.6m

(1') 案A1'

Q2-Q3間 0.7m
Q1-Q2, Q3-Q4間 0.2m
 $\alpha_x=-1, \alpha_y=+1$



$\beta_{x0}=3.4281 \text{ m}, \beta_{y0}=2.0 \text{ m}$
 $\alpha_{x0}=-1.0, \alpha_{y0}=1.0$
 $\gamma_{x0}=0.2917 \text{ m}^{-1}, \gamma_{y0}=0.5 \text{ m}^{-1}$

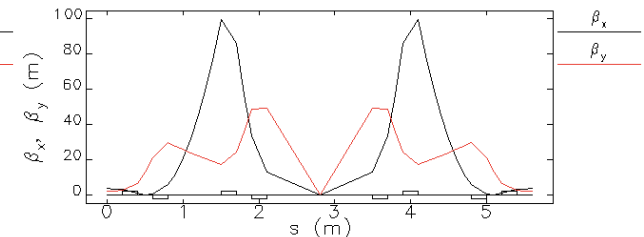
K値[m-1] (SADの定義)

Q4	-2.763439
Q3	2.806767
Q2	-2.300397
Q1	4.868829

Q1-衝突点までの距離: 2.6m

(1'') 案A1''

Q2-Q3間 0.7m
Q1-Q2, Q3-Q4間 0.2m
 $\alpha_x=+1, \alpha_y=-1$



$\beta_{x0}=3.4281 \text{ m}, \beta_{y0}=2.0 \text{ m}$
 $\alpha_{x0}=1.0, \alpha_{y0}=-1.0$
 $\gamma_{x0}=0.5834 \text{ m}^{-1}, \gamma_{y0}=1.0 \text{ m}^{-1}$

K値[m-1] (SADの定義)

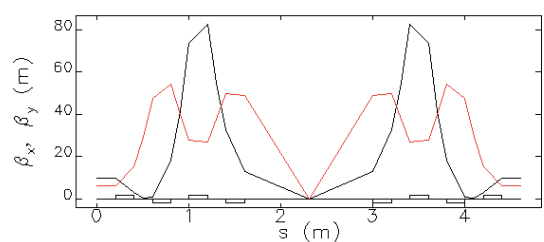
Q4	-5.207753
Q3	2.832603
Q2	-1.980807
Q1	5.207753

Q1-衝突点までの距離: 2.6m

LCS衝突部案の例(3)

(3) 案A4

Q2-Q3間 0.2m
Q1-Q2, Q3-Q4間 0.2m



$\beta_{x0}=10.0$ m, $\beta_{y0}=6.4072$ m
 $\alpha_{x0}=0.0$, $\alpha_{y0}=0.0$
 $\gamma_{x0}=0.1$ m-1, $\gamma_{y0}=0.1561$ m-1

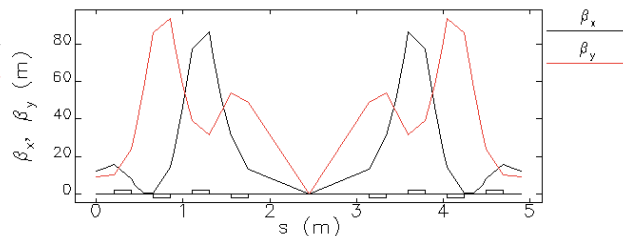
K値[m-1] (SADの定義)

Q4	-2.639926
Q3	4.059008
Q2	-3.357266
Q1	4.999852

Q1-衝突点までの距離: 2.1m

(4) 案B1

Q2-Q3間 0.25m
Q1-Q2, Q3-Q4間 0.25m
 β 関数の最大値が100m以下



$\beta_{x0}=11.9403$ m, $\beta_{y0}=8.9807$ m
 $\alpha_{x0}=-9.0171$, $\alpha_{y0}=-2.6590$
 $\gamma_{x0}=6.8934$ m-1, $\gamma_{y0}=0.8986$ m-1

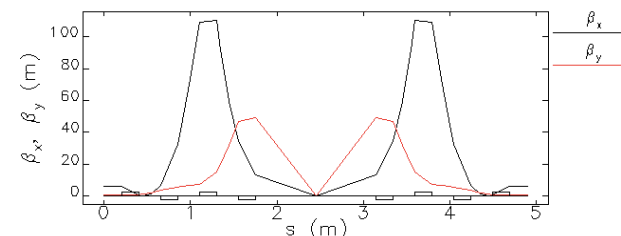
K値[m-1] (SADの定義)

Q4(Q8)	-2.25767
Q3(Q7)	3.639511
Q2(Q6)	-3.11304
Q1(Q5)	4.412806

Q1-衝突点までの距離: 2.25m

(5) 案B2

Q2-Q3間 0.25m
Q1-Q2, Q3-Q4間 0.25m
 β 関数の最大値が100m以上



$\beta_{x0}=5.9524$ m, $\beta_{y0}=0.7182$ m
 $\alpha_{x0}=0.7209$, $\alpha_{y0}=1.8359$
 $\gamma_{x0}=0.2553$ m-1, $\gamma_{y0}=6.0852$ m-1

K値[m-1] (SADの定義)

Q4(Q8)	-2.98771
Q3(Q7)	3.388876
Q2(Q6)	-1.42507
Q1(Q5)	7.154015

Q1-衝突点までの距離: 2.25m

2次の転送行列

	T_{161}	T_{162}	T_{363}	T_{364}
A1 ($L_{23}=0.7\text{m}$)	-25.2175	0.9241	8.8550	4.7658
A1' ($\alpha_x=-\alpha_y=-1$)	-26.4301	0.3758	11.1456	5.6492
A1'' ($\alpha_x=-\alpha_y=+1$)	-24.2253	1.2907	7.5751	4.2593
B1	-20.4215	1.8465	7.4242	3.9510
B2	-28.8876	-2.5010	27.6211	11.0325
A2 ($L_{23}=0.2\text{m}$)	-20.0015	1.2239	7.5718	3.8653
A3 ($L_{23}=0.4\text{m}$)	-22.2207	0.8911	10.2656	5.1723

$$\sigma_x^{(2)} = \sqrt{T_{161}^2 \beta_{x0} + T_{162}^2 \gamma_{x0} - 2 \cdot T_{161} T_{162} \alpha_{x0}} \cdot \varepsilon_{x0} \cdot \frac{\sigma_p}{p}$$

$$\sigma_y^{(2)} = \sqrt{T_{363}^2 \beta_{y0} + T_{364}^2 \gamma_{y0} - 2 \cdot T_{363} T_{364} \alpha_{y0}} \cdot \varepsilon_{y0} \cdot \frac{\sigma_p}{p}$$

衝突点でのビームサイズ(1)

LCS直前でのパラメータ

$$E = 35.51 \text{ MeV } (\gamma\beta = 69.4942), \quad \varepsilon_{nx} = \varepsilon_{ny} = 0.3 \text{ mm mrad}, \quad \sigma_t = 3 \text{ ps}$$

	$\sigma_p/p = 0.3 \%$		$\sigma_p/p = 1 \%$	
	$\sigma_x[\text{um}] (\sigma_x^{(2)})$	$\sigma_y[\text{um}] (\sigma_y^{(2)})$	$\sigma_x[\text{um}] (\sigma_x^{(2)})$	$\sigma_y[\text{um}] (\sigma_y^{(2)})$
色収差なし	12.81	6.57	12.81	6.57
A1 ($L_{23}=0.7\text{m}$)	15.87 (9.28)	7.06 (2.58)	33.60 (30.95)	10.83 (8.61)
A1' ($\alpha_x=-\alpha_y=-1$)	16.06 (9.61)	7.01 (2.45)	34.59 (32.02)	10.49 (8.17)
A1'' ($\alpha_x=-\alpha_y=+1$)	15.69 (8.98)	7.13 (2.77)	32.65 (29.93)	11.33 (9.23)
B1	18.28 (12.96)	8.31 (5.08)	45.20 (43.20)	18.14 (16.94)
B2	18.85 (13.75)	7.05 (2.57)	47.70 (45.83)	10.80 (8.56)
A6 ($L_{23}=0.2\text{m}$)	17.94 (12.47)	7.59 (3.79)	43.62 (41.56)	14.22 (12.63)
A4 ($L_{23}=0.4\text{m}$)	17.46 (11.79)	7.06 (2.58)	41.44 (39.28)	10.83 (8.61)

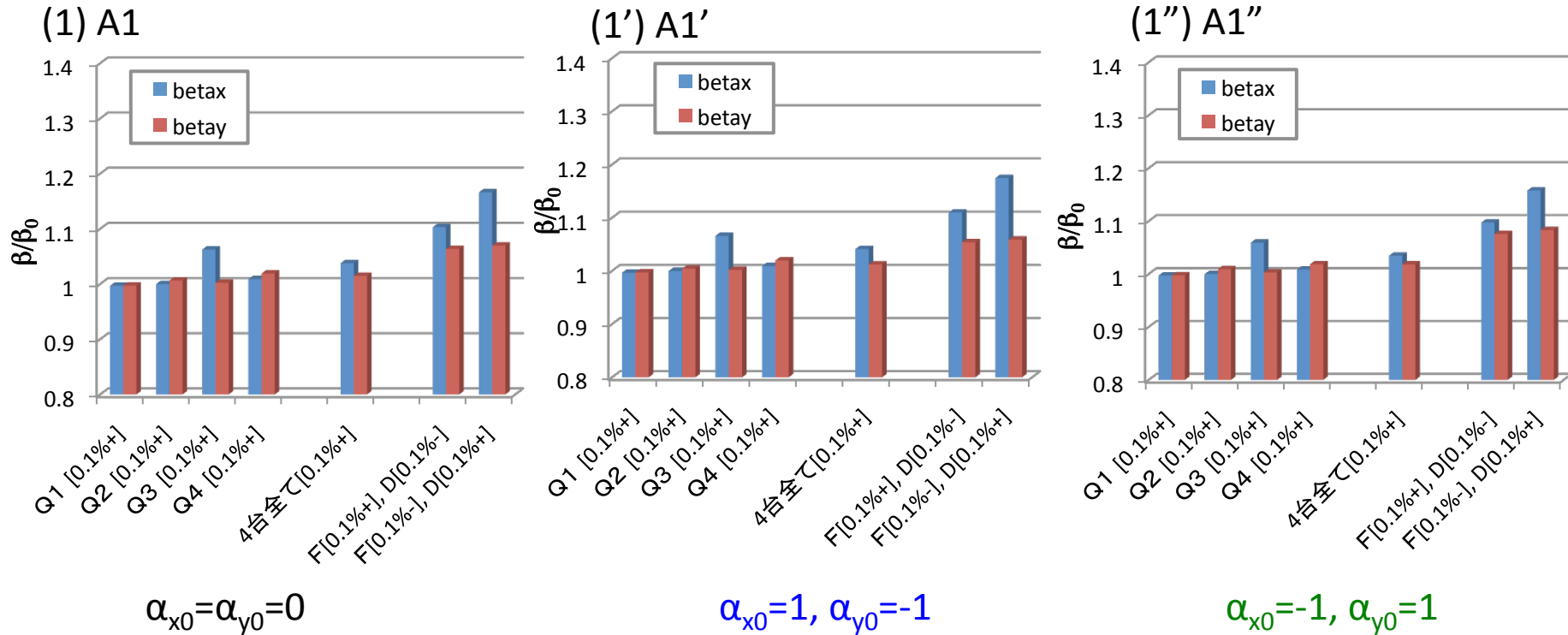
(1) α_{x0}, α_{y0} による大きな違いはない。(2) B1,B2はA1-A6と比べて大きな差はない。

磁場誤差の影響(2)

QのK値に0.1%の誤差を与えたときの β 関数の変化

1. 各電磁石一つに誤差を与える。
2. 4台全てに同じ誤差を与える。
3. FとDで異なる誤差(+0.1%, -0.1%)を与える。

$L_{23}=0.7$ m

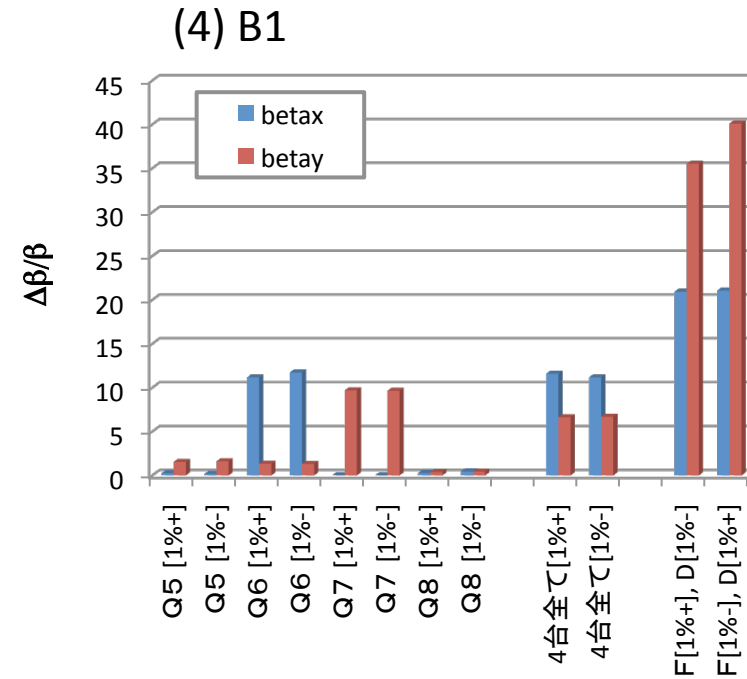
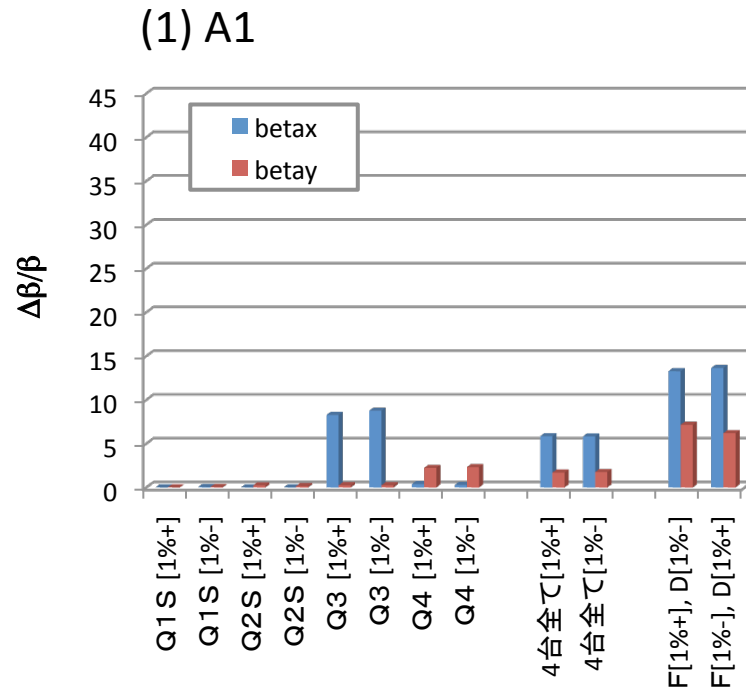


α_{x0}, α_{y0} による大きな違いはない。

磁場誤差の影響(3)

QのK値に1%の誤差を与えたときの β 関数の変化

1. 各電磁石一つに誤差を与える。
2. 4台全てに同じ誤差を与える。
3. FとDで異なる誤差(+1%, -1%)を与える。

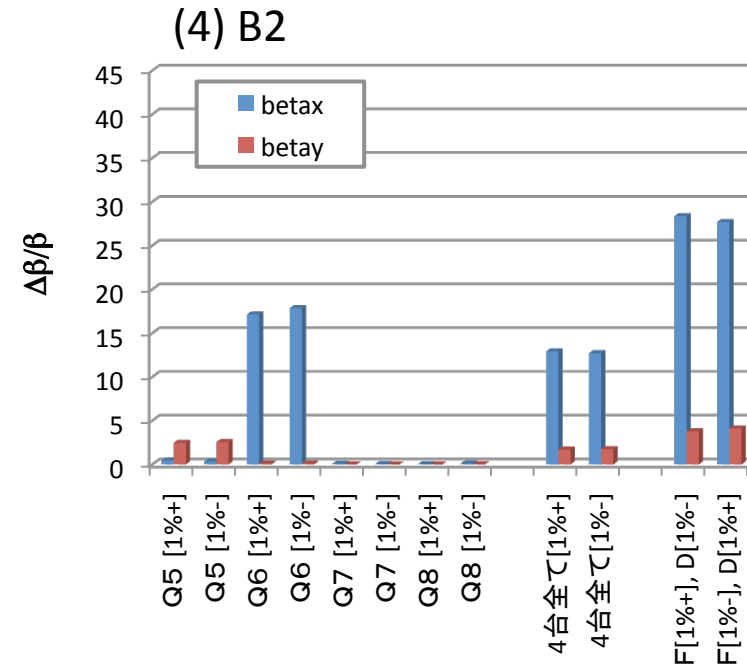
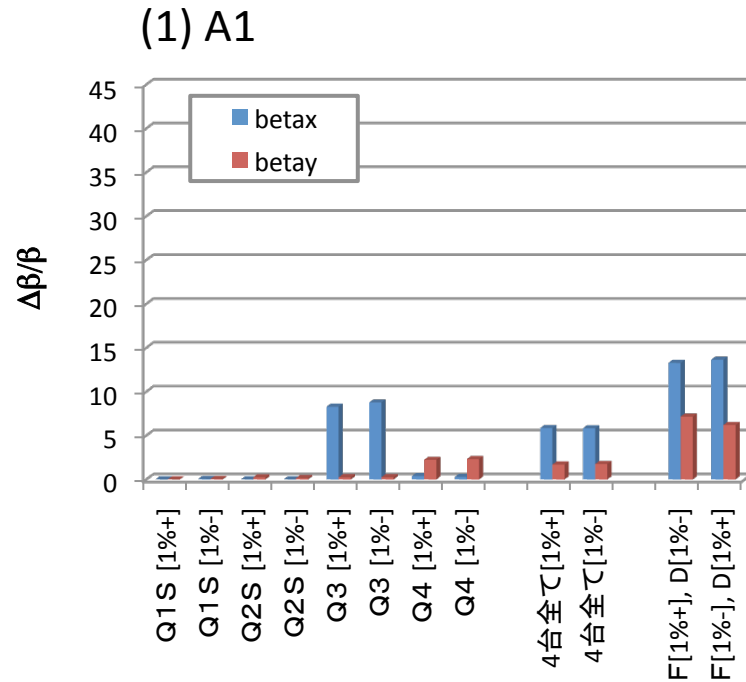


B1は、A1に比べて誤差の影響が大きい。

磁場誤差の影響(4)

QのK値に1%の誤差を与えたときの β 関数の変化

1. 各電磁石一つに誤差を与える。
2. 4台全てに同じ誤差を与える。
3. FとDで異なる誤差(+1%, -1%)を与える。



B2は、A1に比べて誤差の影響が大きい。