

MEBT

第2回大強度陽子加速器計画技術報告会

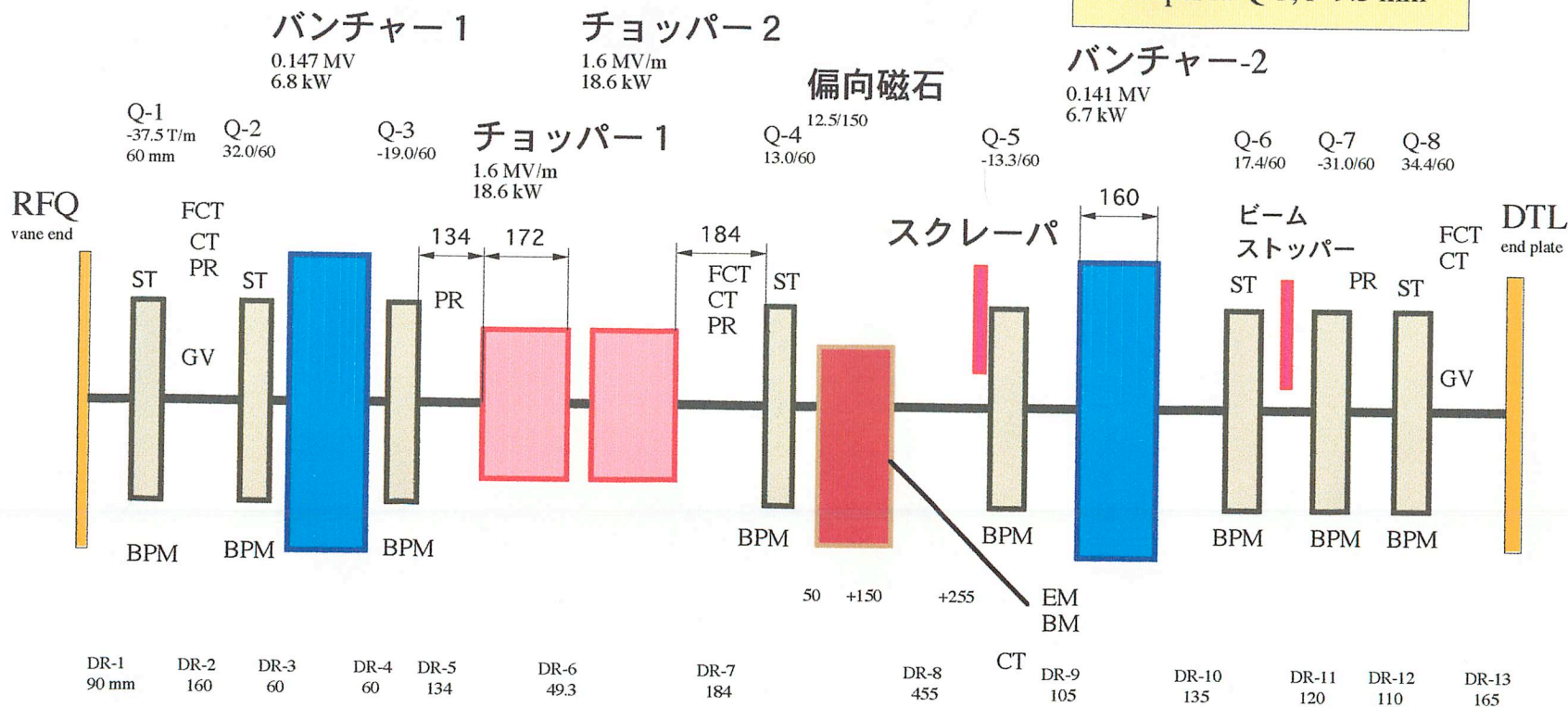
T. Kato
2001.11.15

MEBT layout

2001.10.29 T. Kato

四極磁石 8台、バンチャー 2台
 偏向磁石 1台、チョッパー 2台

全長 2989.9 mm
 Normal beam size < 10 mm
 Deflected < 26 mm
 Scraper at Q-5, r=9.5 mm

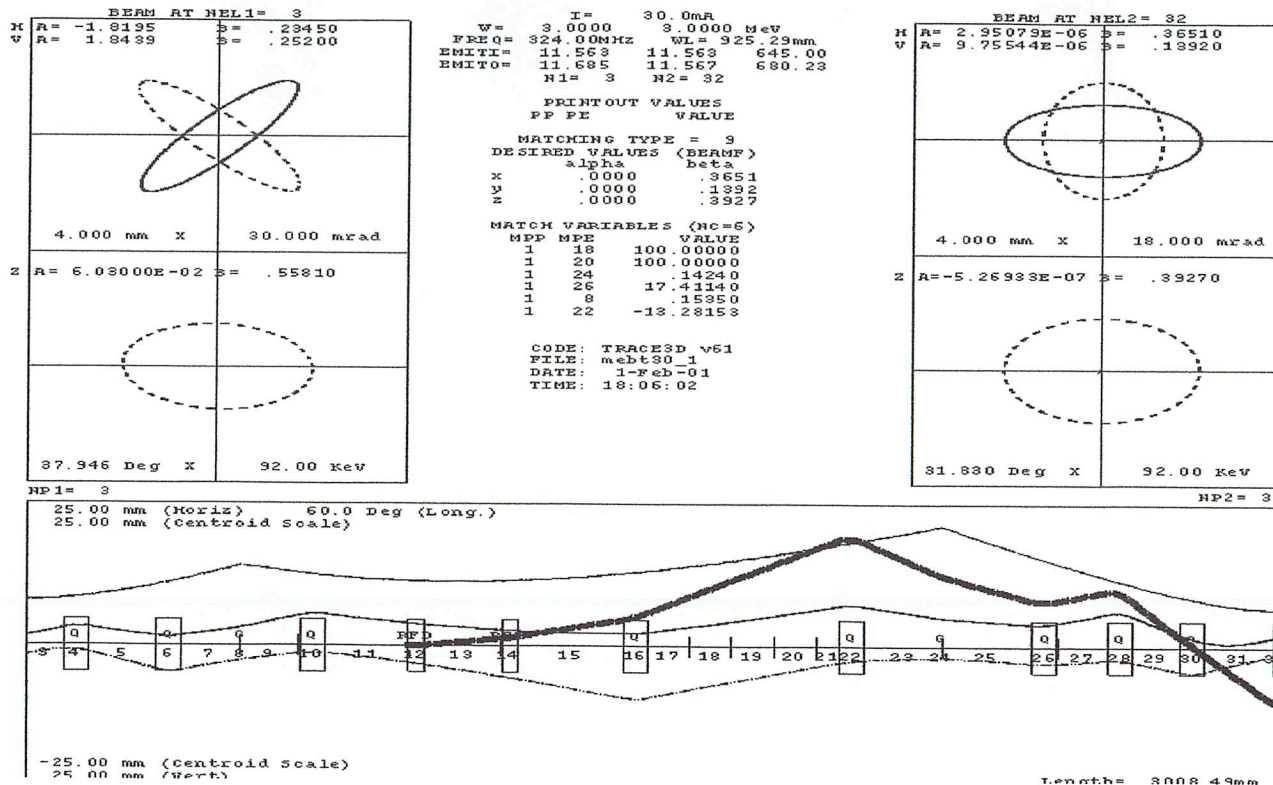


BPM = ビーム位置モニター CT = 電流モニター GV = ゲイトバルブ BM = バンチモニター --> バンチ長さ測定

Proton linac-NEM = エミッタンスモニター FCT = 位相モニター --> ビーム平均エネルギー測定用 PR = プロファイルモニター

MEBT beam design

機能：マッチング、チョッピング、ビーム測定



*優先順位

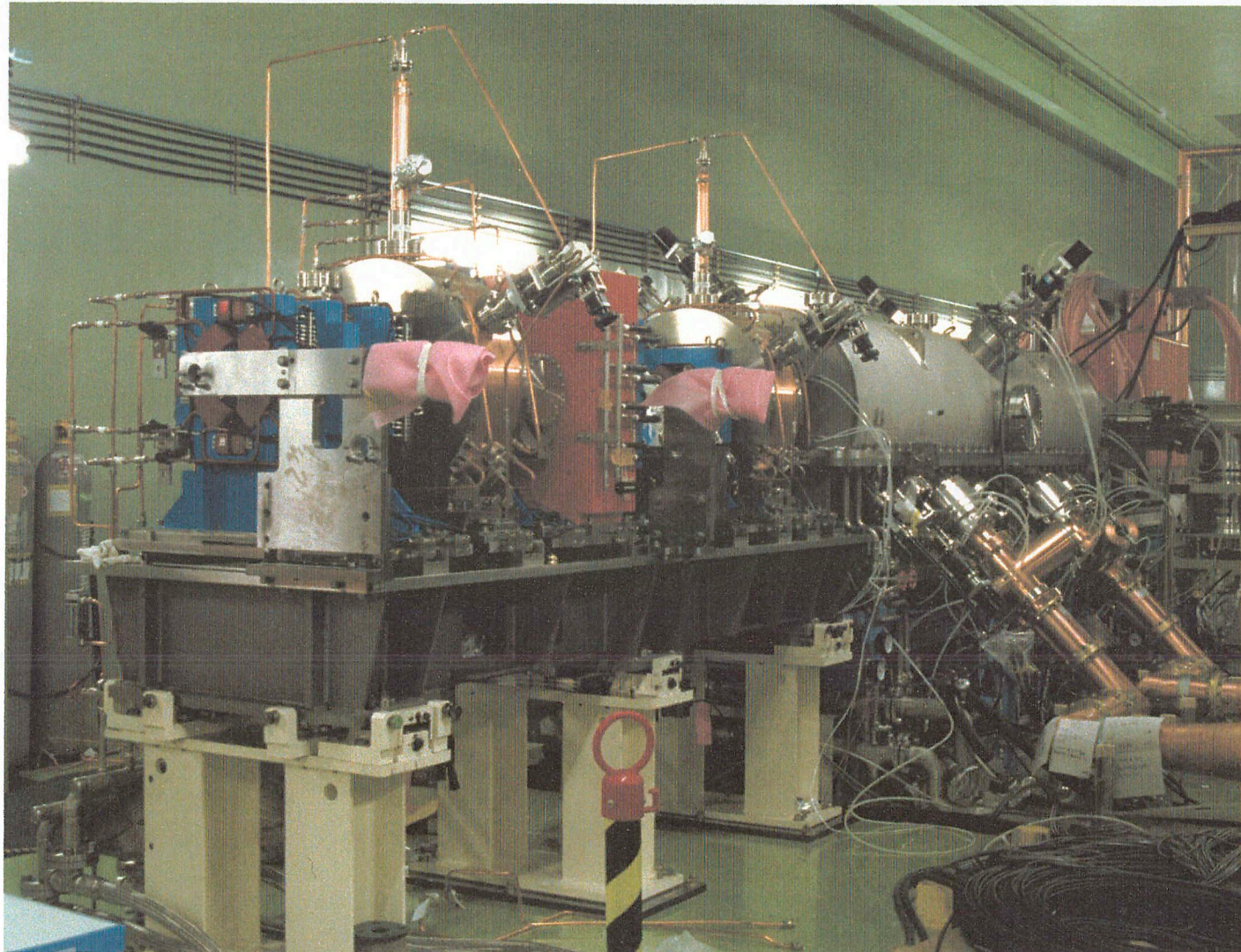
chopping or
em. growth
(99.9%)

*大電流時の
振る舞い

*チューニン
グ法の確立

MEBT - 全景

五十嵐
池上
木代
久保田
高崎
内藤
野口
Wang
山口
吉野
上野
池上
近藤
伊藤
新井
岡田



Proton linac-MEBT

MEBT - 機器

四極磁石	8	電流モニター(CT)	4
ステアリング磁石	5	位相モニター(FCT)	3
偏向磁石	1	プロファイル(PR)	4
バンチャー	2	位置モニター(BPM)	8
チョッパー	2	エミッタンス(EM)	1
スクレーパ	1	バンチモニター(BM)	1
ビームストッパー	1		
ゲイトバルブ	2		

* スクレーパは電流測定可能

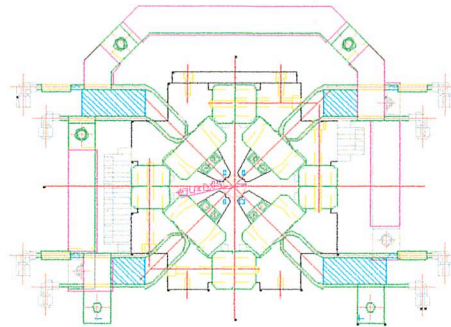
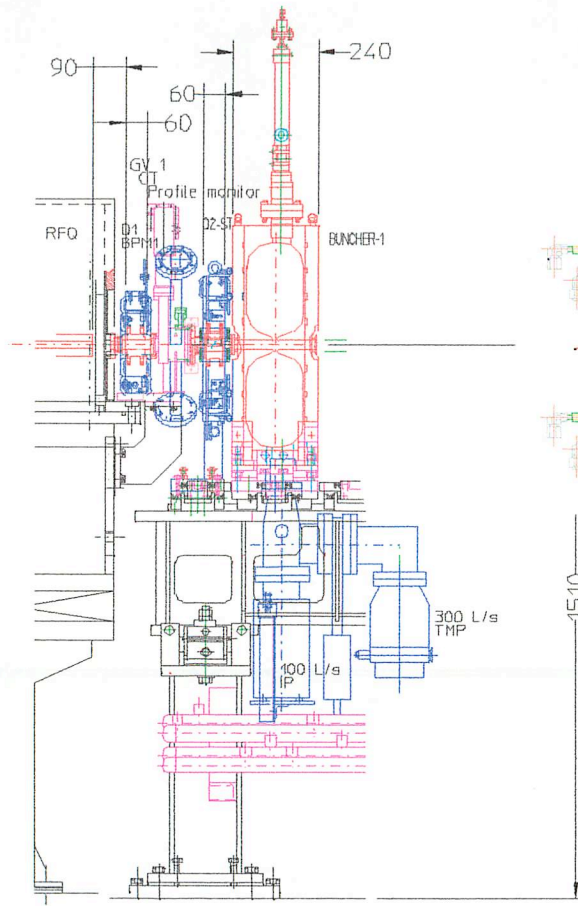
* BPMは四極磁石内のビームダクトに設置

* ステアリングコイルは四極磁石ヨークに付加

* 磁石設置精度は0.05 mm

メカニカルデザイン

Kubota



バンチャー 1

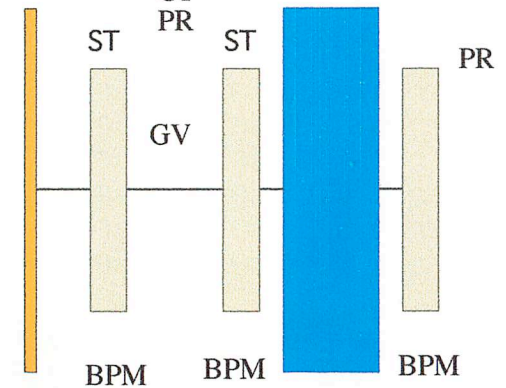
0.147 MV
6.8 kW

Q-1
-37.5 T/m
60 mm

Q-2
32.0/60

Q-3
-19.0/60

RFQ
vane end



DR-1
90 mm

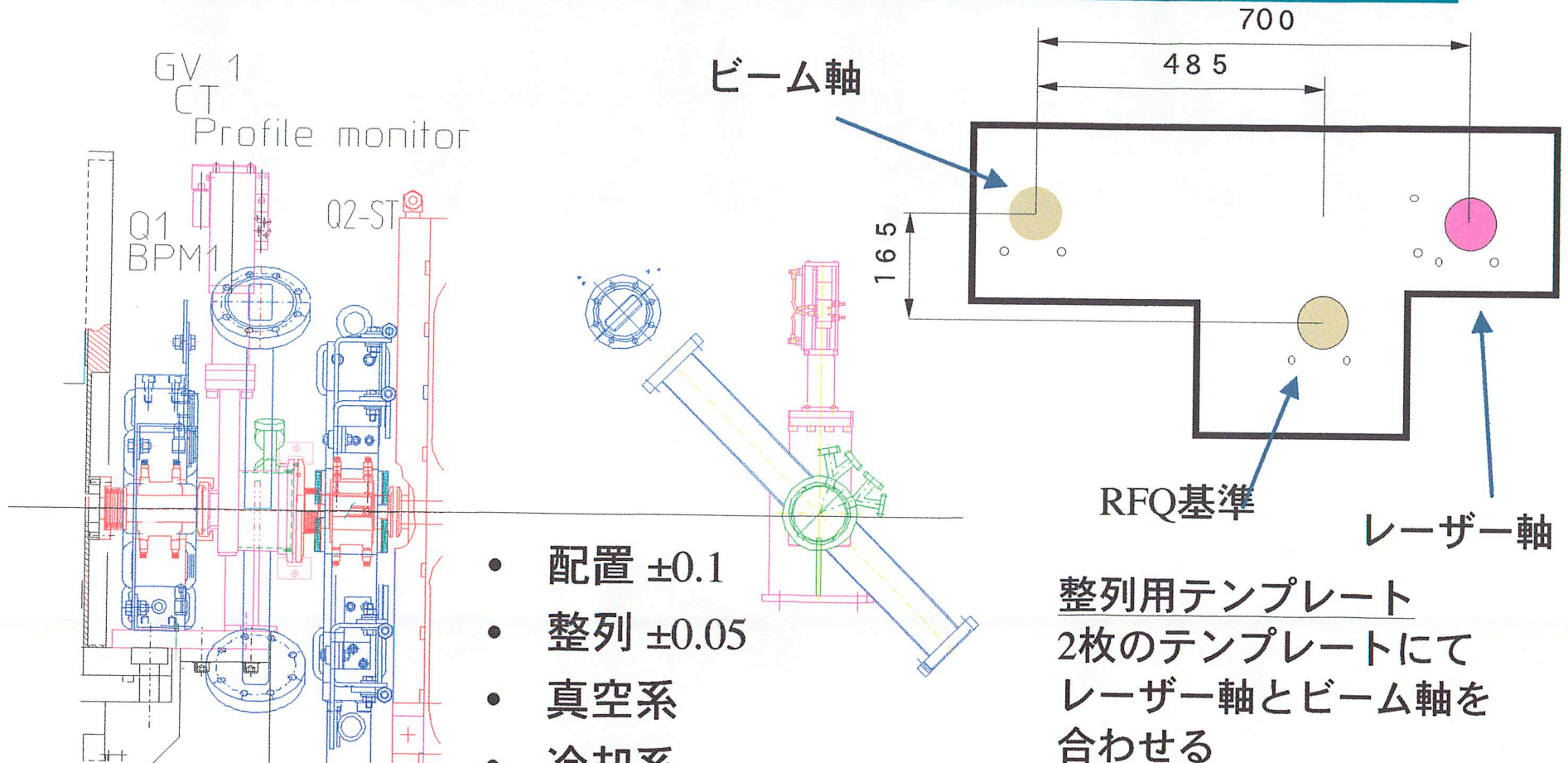
DR-2
160

DR-3
60

DR-4
60

DR-5
134

メカニカルデザイン (2) Kubota



Proton linac-MEBT

- 配置 ± 0.1
- 整列 ± 0.05
- 真空系
- 冷却系
- 組立
- 修理

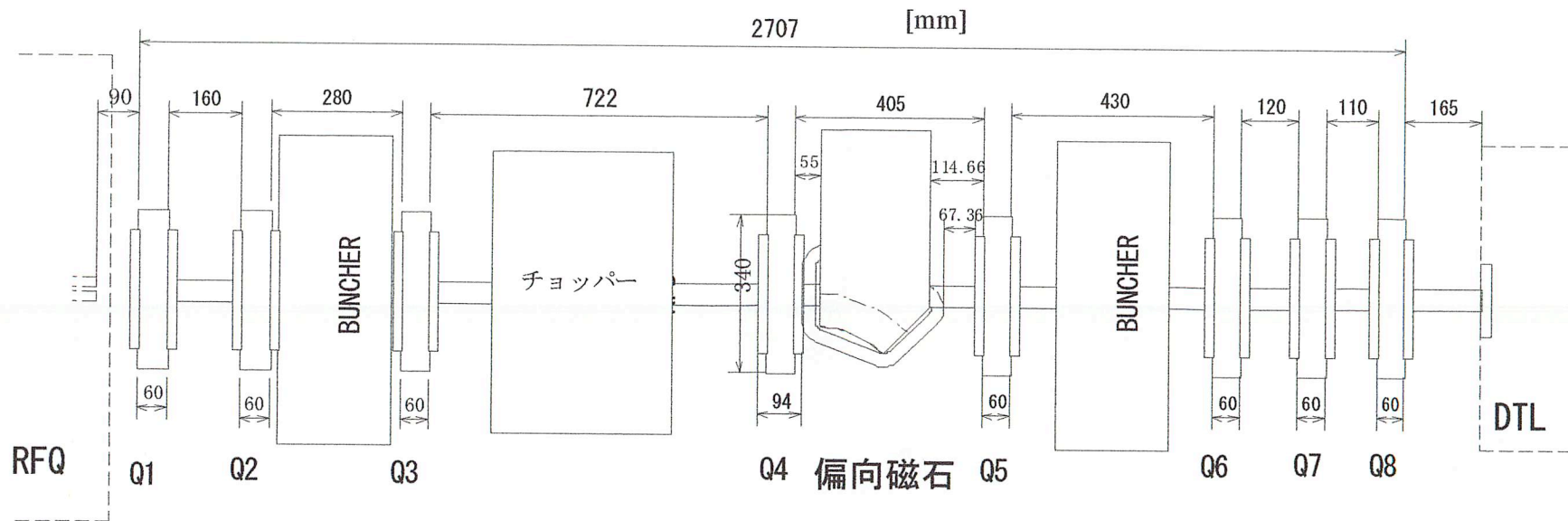
整列用テンプレート
2枚のテンプレートにて
レーザー軸とビーム軸を
合わせる
レーザーターゲットと光
学ターゲットが設置可能

MEBT用磁石の基本設計

Yoshino

• 電磁石の構成

- 四極電磁石--- 8台 (内、1台はRFQ側架台に設置)
- 偏向電磁石--- 1台 (ビームアナライザー用)



MEBT四極電磁石の特性

Yoshino

- ボア径の異なる3種類の四極磁石

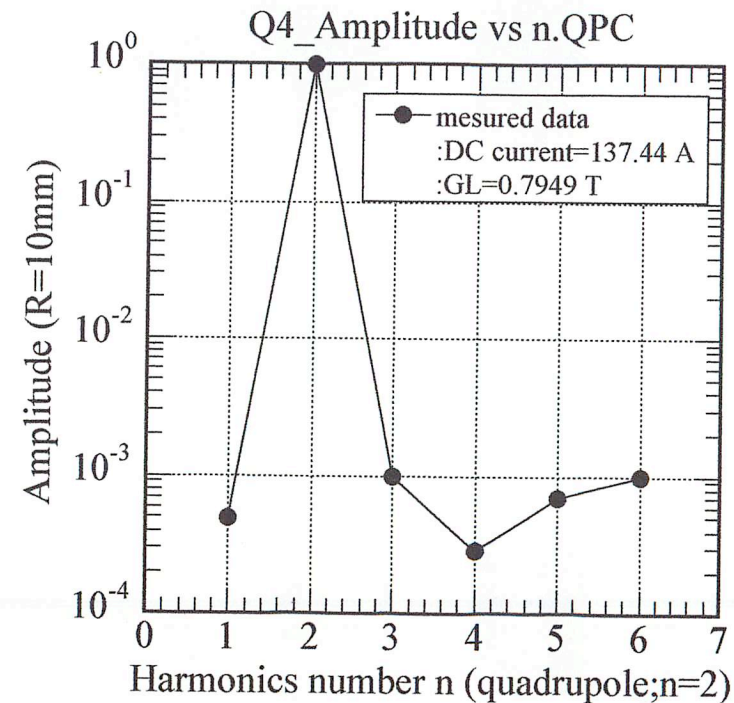
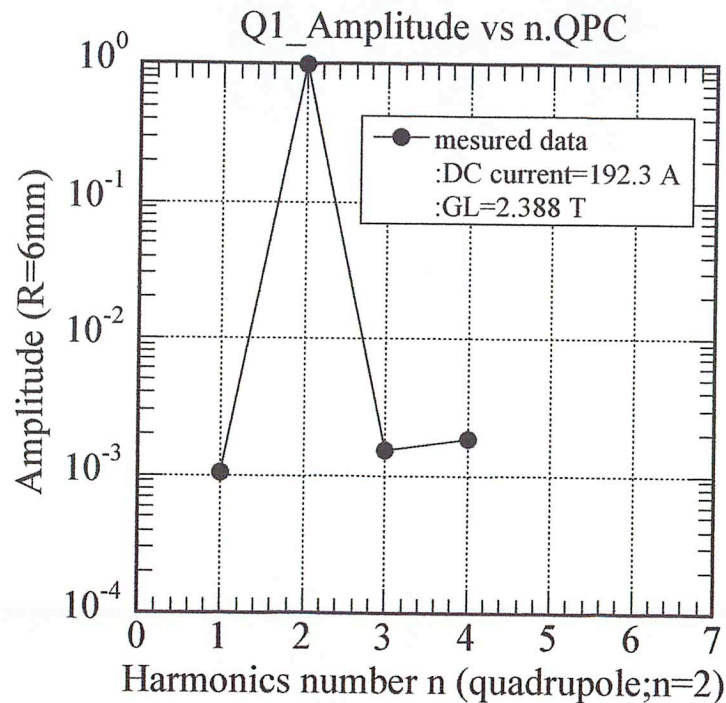
MEBT Qmag特性値

		Q1	Q2,Q3,Q6,Q7,Q8	Q4,Q5
要求磁場強度 (GL)	[T]	2.25	1.14~1.92	0.780~0.786
最大磁場強度 (GL)	[T]	3.54	2.39(Q3,Q6=1.74)	1.14
最大磁場勾配(G)	[T/m]	46.7	31(Q3,Q6=22.6)	14.1
実効長	[mm]	75.8	77.0	80.9
鉄心軸長	[mm]	60	60	60
ボア一直径	[mm]	30	41	52
コイル巻数	[turn/pole]	15	19	19
コイル寸法	[mm]	4×4,t=0.8	5×6,t=1.0	5×6,t=1.0
最大電流	[A]	300	300(Q3,Q6=200)	200
コイル抵抗値	[mΩ]	30.5	25.3~25.9	25.4, 25.9
コイル電圧値{MAX}	[V]	9.7	7.9(Q3,Q6=5.3)	5.3
流量設定値	[Liter/min]	2.8	2	2
流速	[m/s]	2	1.4	1.4
コイル水路系統数		4	2	2
入り口水温	[°C]	27	27	27
水温上昇値	[°C] (MAX)	11	15.7(Q3,Q6=7)	7
コイル圧力損失	[MPa]	0.21	0.22	0.22

四極磁石磁場測定結果

Yoshino

- サーチコイルによる測定結果



Q1 (ボア径φ30) の高次極成分

(n=5以上は、-110dBV以下のノイズ内)

Proton linac-MEBT

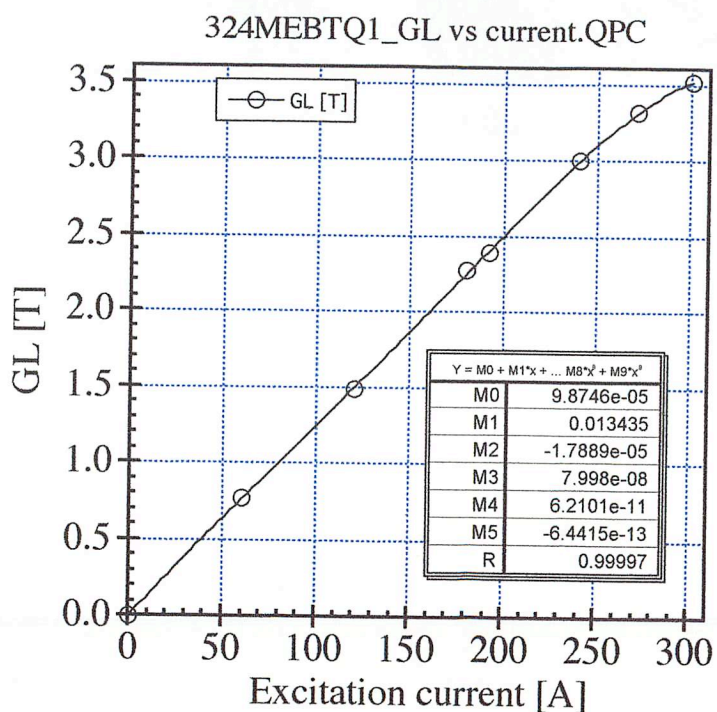
Q4 (ボア径φ52) の高次極成分

{Q5 (ボア径φ52) も同様}

四極磁石磁場測定結果

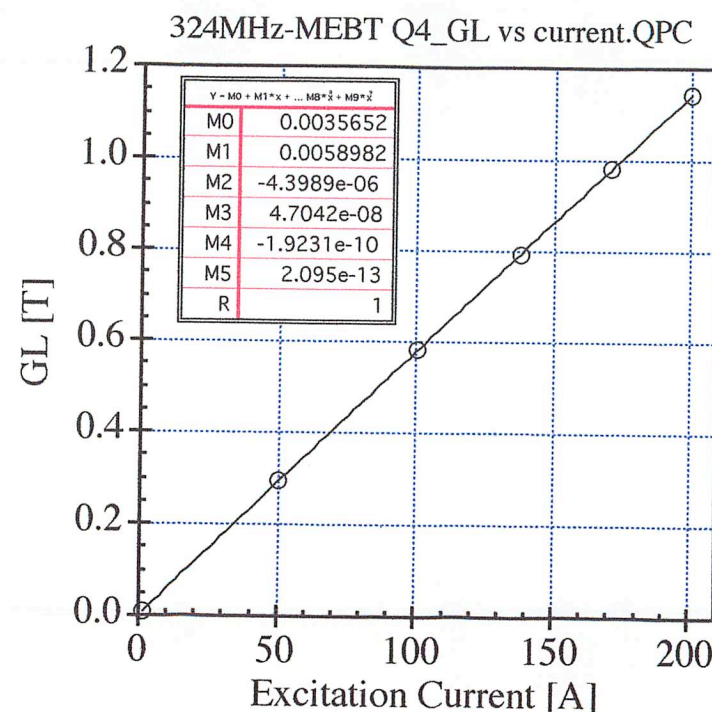
Yoshino

- サーチャコイルによる測定結果



Q1 (ボア径φ30) の磁場強度
(要求磁場強度2.25T)

Proton linac-MEBT

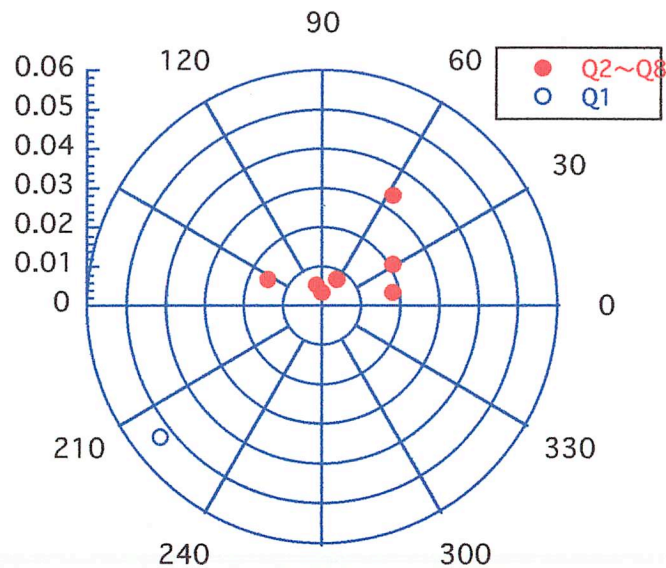


Q4 (ボア径φ52) の磁場強度
(要求磁場強度0.78T。Q5も同様)

四極磁石磁場中心のずれ

Yoshino

• サーチコイルによる測定結果



四極磁場中心ずれ [mm]
(下流から見た場合)

※機械中心は、ボア内の円筒中心

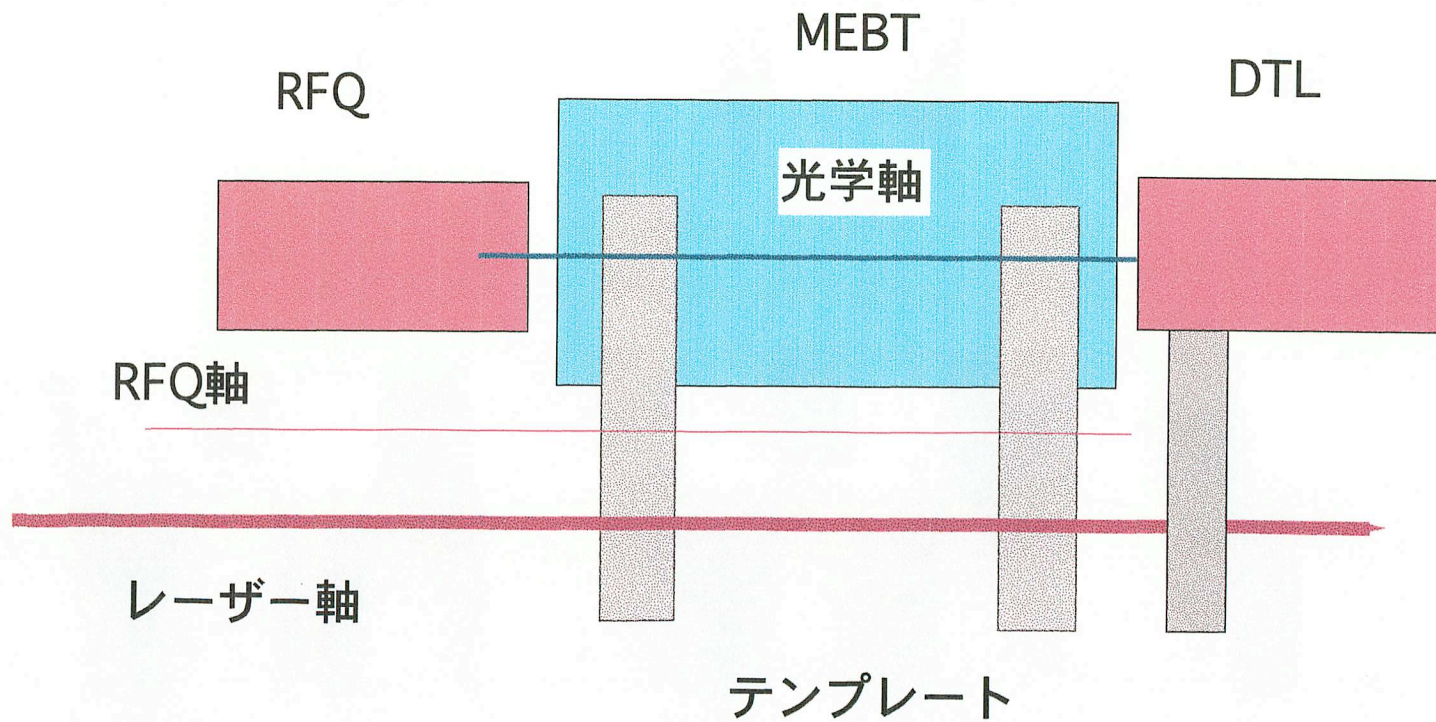
※Q1の磁場中心は、左へ $45\mu\text{m}$ 、下へ $23\mu\text{m}$ ずれているが、磁石足の設置基準面からボアセンターまでの寸法のずれ（測定の平均値）が、左へ $45\mu\text{m}$ 、上へ $47\mu\text{m}$ あるので、基準面からの磁場中心は左へ $90\mu\text{m}$ 、上へ $24\mu\text{m}$ となる

（仕様 $\pm 0.1\text{mm}$ ）。

※Q2~Q8は、 $33\mu\text{m}$ 以内。

（仕様 $\pm 0.03\text{mm}$ 、設置精度含めて $\pm 0.05\text{mm}$ ）

MEBT-RFQ-DTLの整列



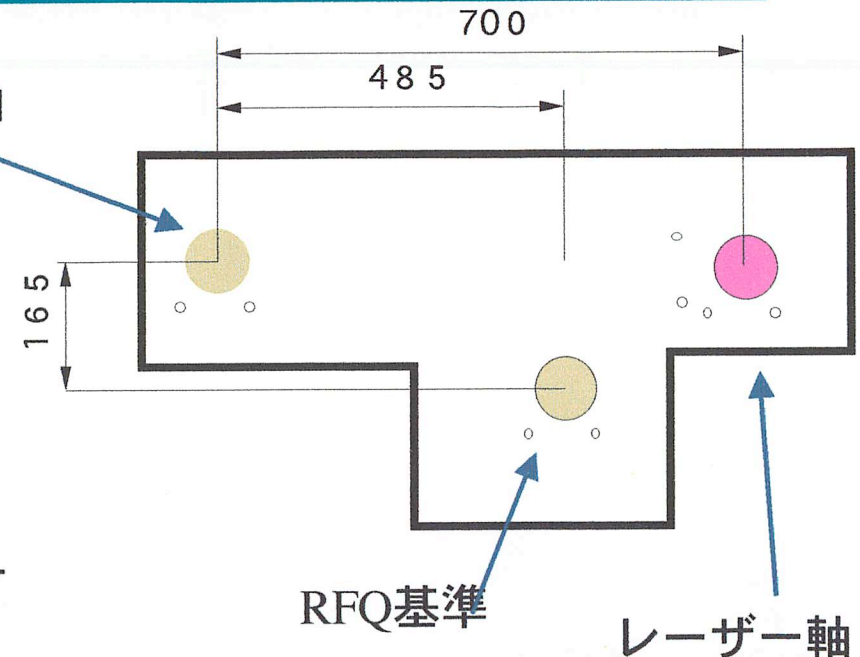
四極磁石設置精度

Yoshino

• 四極磁石設置方法

- Q1は、RFQ架台基準面に押し当て取付け。
- Q2~Q8は、MEBT架台基準ピンに押し当て取付け。
 - 磁石ポアセンターが同軸になるように、アライメントスコープ(TAYLOR HOBSON)等で、事前に測定し基準ピンと垂直微調用シート(シム)を用意。
 - MEBT架台には、アライメント用プレートを上・中・下流に取付け、ビーム軸とRFQターゲット軸とを合わせた。

ビーム軸

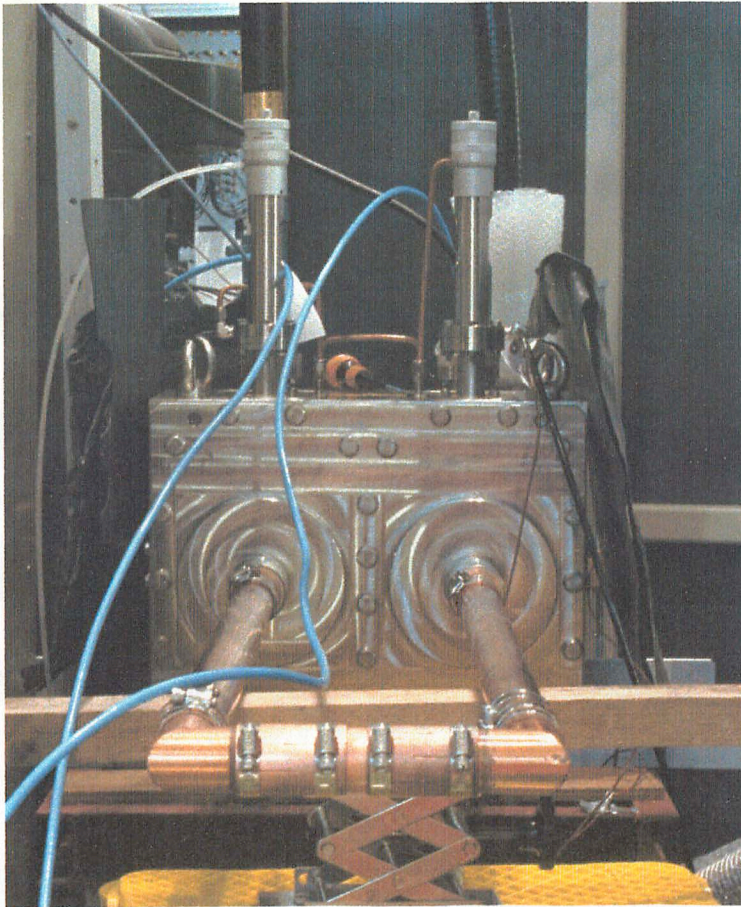


• 磁石設置結果

- アライメントスコープで測定した結果、ビーム軸とポアセンターのずれは $20 \mu\text{m}$ 以内で、RFQターゲット軸とMEBTテンプレート軸とは、水平方向はゼロ、垂直方向は $7 \mu\text{m}/\text{m}$ の傾き。

Chopper High-Power Test

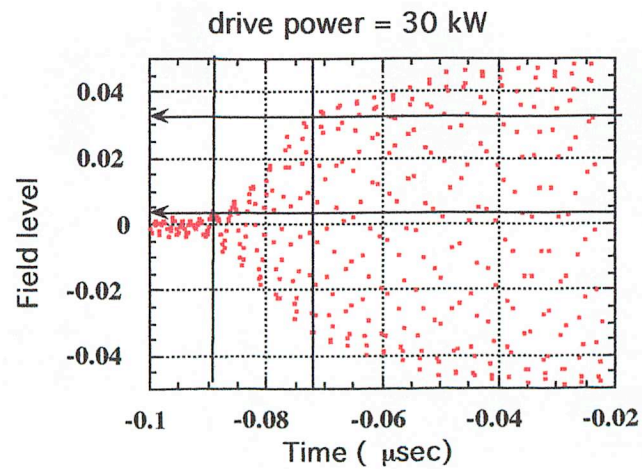
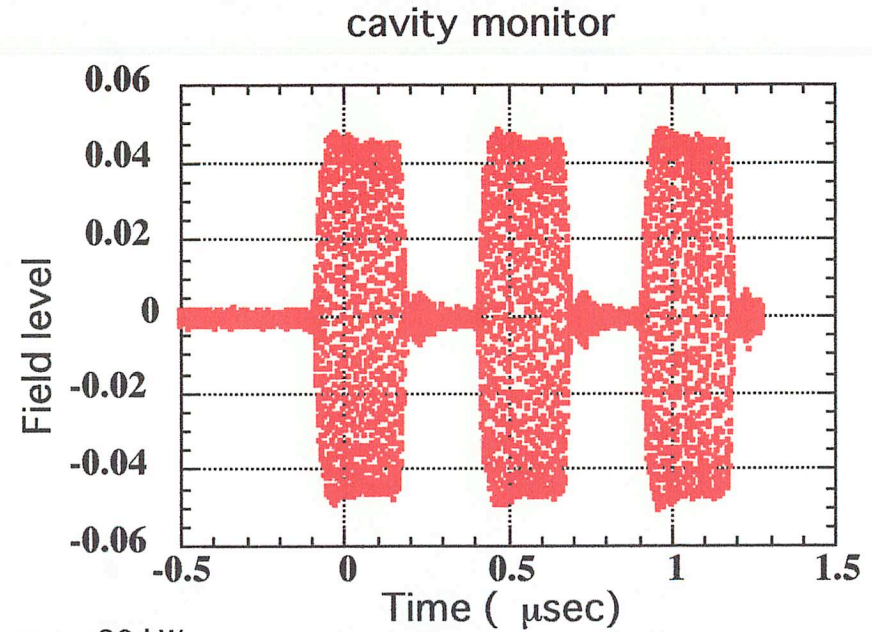
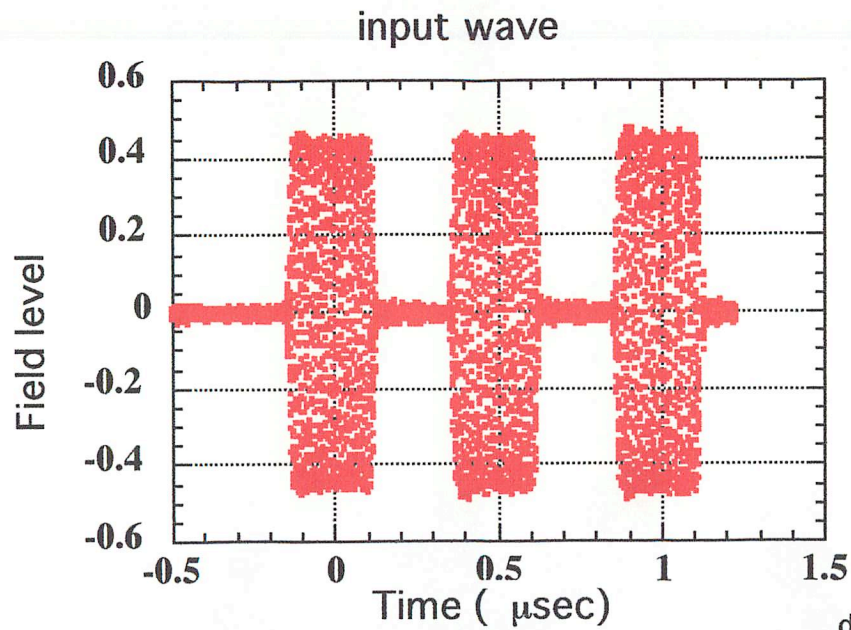
Wang, Naito, Kubota, Yoshino, Yamaguchi, Kobayashi



Proton linac-MEBT

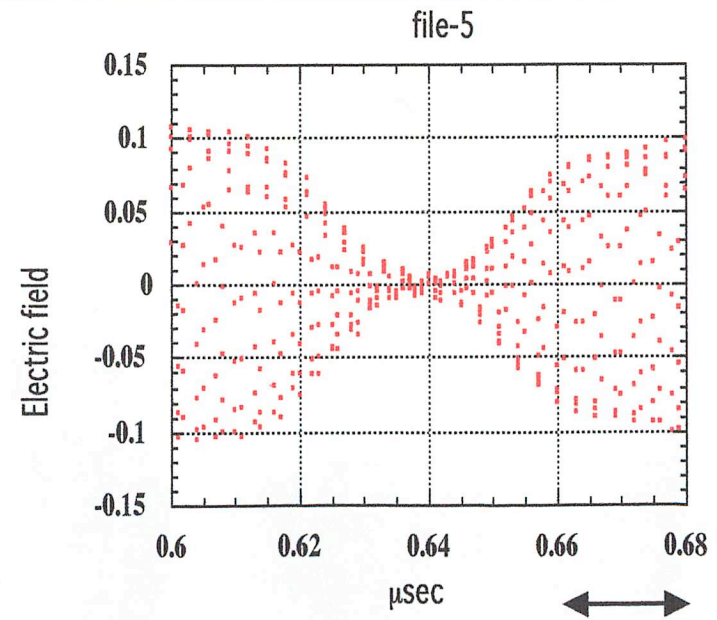
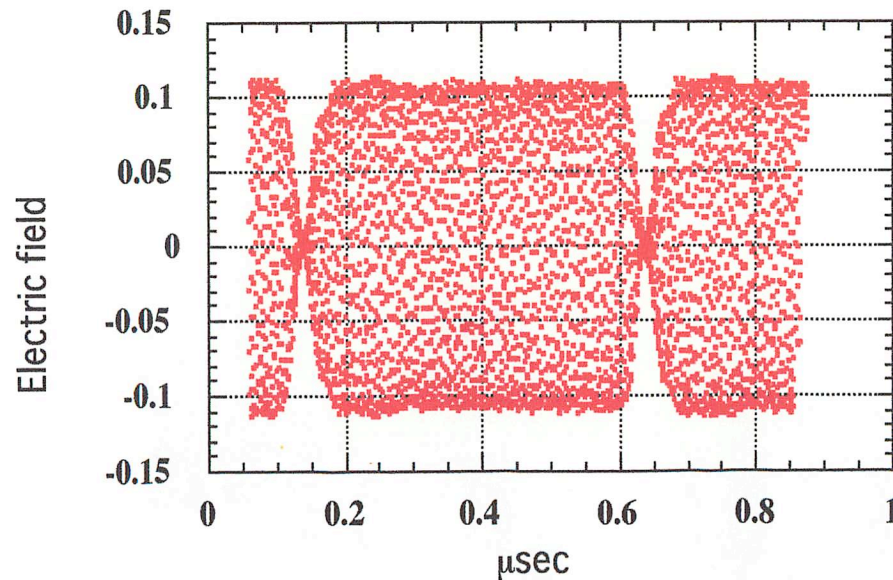
- Peak 30 kW
- No discharge
- Rising time up to design field (90-10%) ~ 15 nsec
- 50 Hz, 500 μ sec
- ~ 2 MHz repetition,
- $\sim 50\%$ chopping ratio
- Loaded Q-value ~ 11
- 324 MHz, max 2MV/m

Chopper - normal pulse (30 kW)



Chopper (short beam pulse)

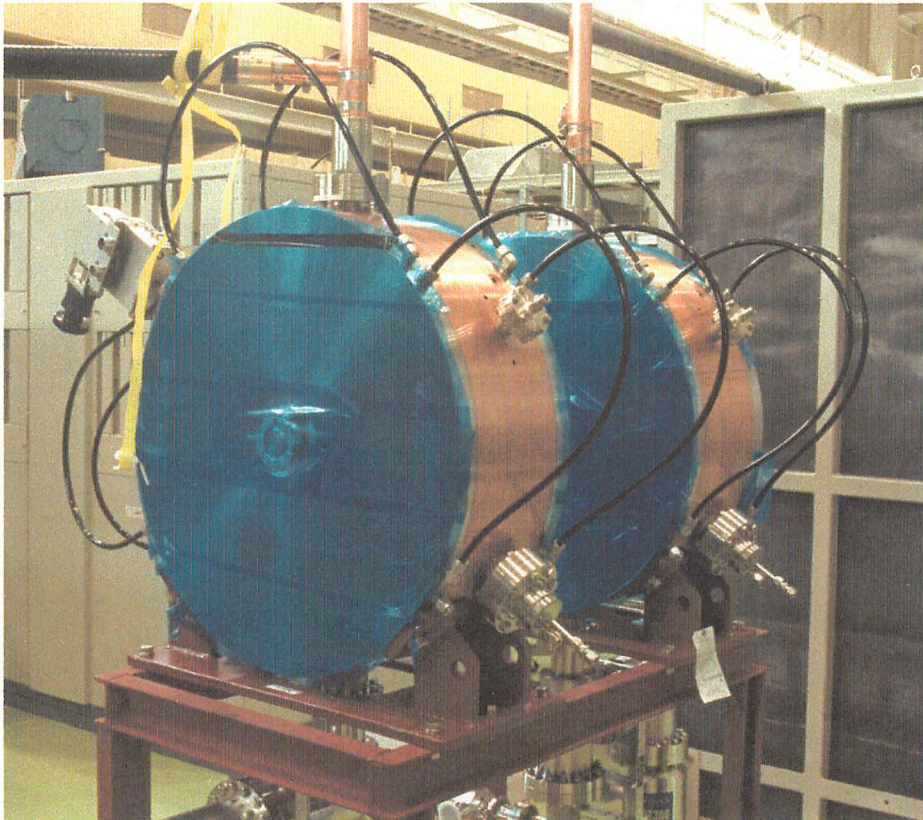
RFチョッパーの特徴：チョッパー用高電力増幅器は、放送用のCWアンプを基本としているので、低レベル入力信号の変調により、自由な運転が可能



30 kW励振時のチョッパー空洞波形モニターシグナル。パルス長さ約500 nsec程度のパルスの立ち下がり部分と、次のパルスの立ち上がり部分を示す。Rfの1周期は3.1 nsec

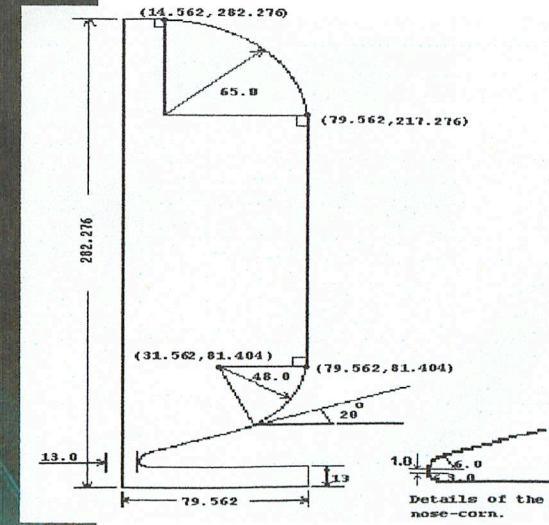
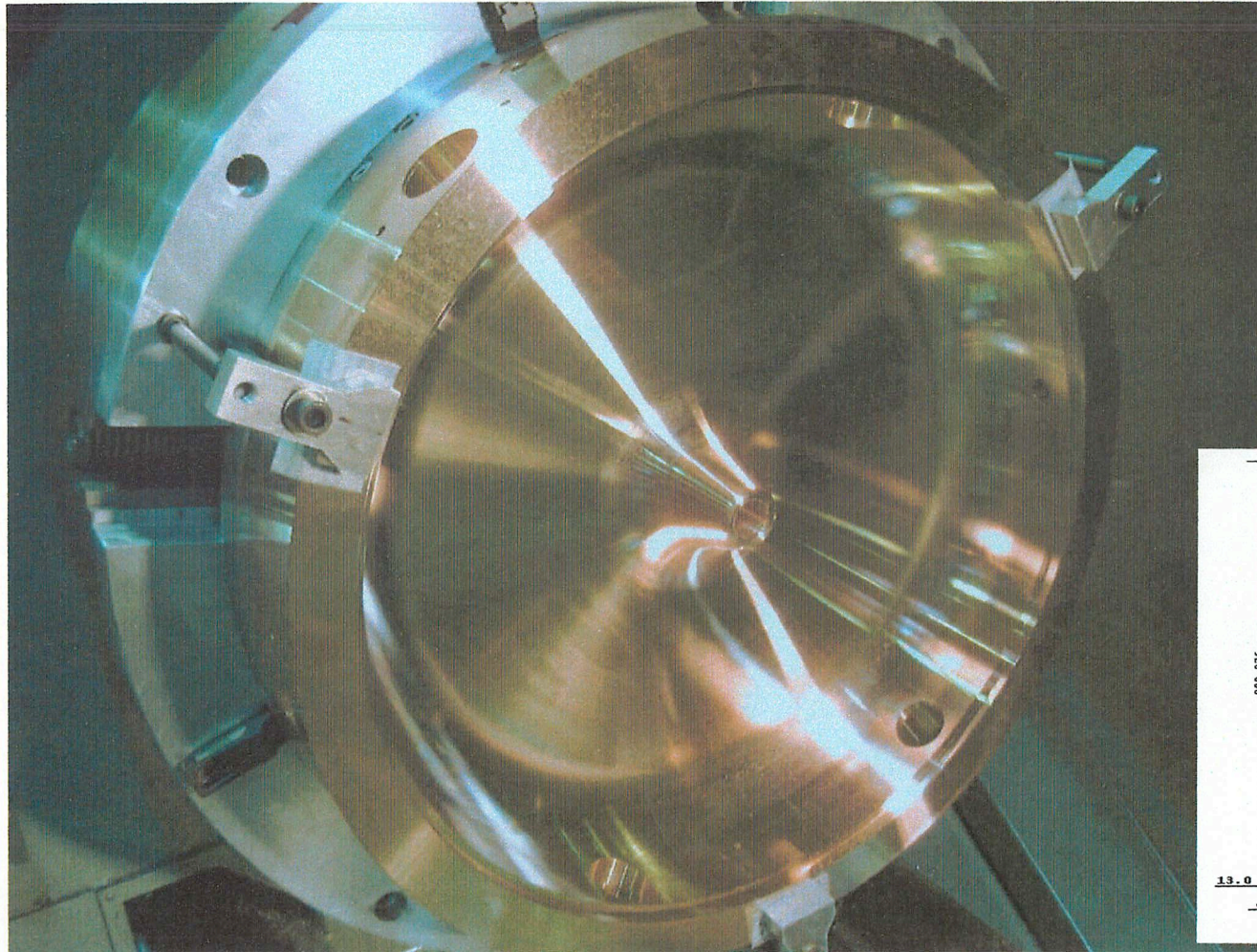
Buncher High-Power Test

Naito, Kubota, Yoshino, Yamaguchi



- Peak 10 kW
- 50 Hz, 600 μ sec
- No discharge
- $Q_0 \sim 27300, 27600$
calculation ~ 28300

Buncher half-cavity



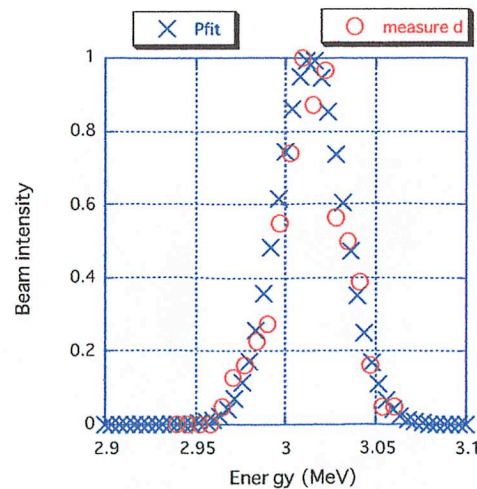
Proton linac-MEBT

偏向磁石ラインでの測定

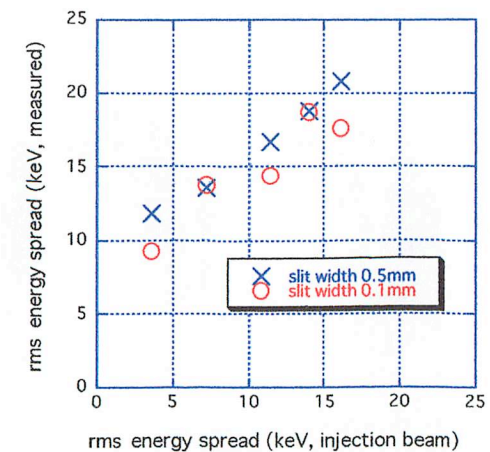
- エネルギー
– RFQビームの分析
- エネルギー幅
- 横エミッタンス
- 縦エミッタンス

*精度向上のために
スリット2枚使用
* $\Delta p/p$ の効果の評価のために
偏向磁石を含む3次元
ビーム計算コードとの対応

エネルギー測定シミュレーション結果



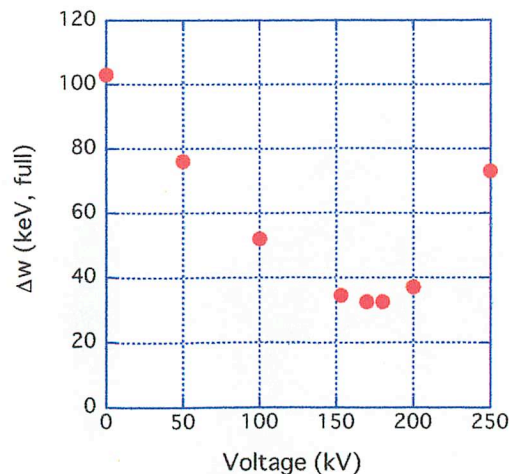
測定ビームエネルギー分布



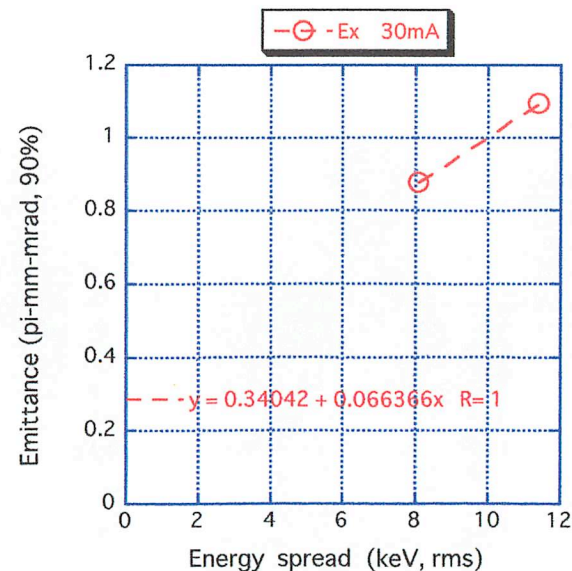
入射エネルギー幅と
測定幅の比較

偏向磁石ラインでのエミッタンス測定

- ビームライン上のバンチャーを活用する
- $\Delta p/p$ を変化させてx-xdエミッタンスを測定する
- y-ydエミッタンスは $\Delta p/p$ の影響を受けない
- シミュレーション（3次元、BENDを含む）との対比



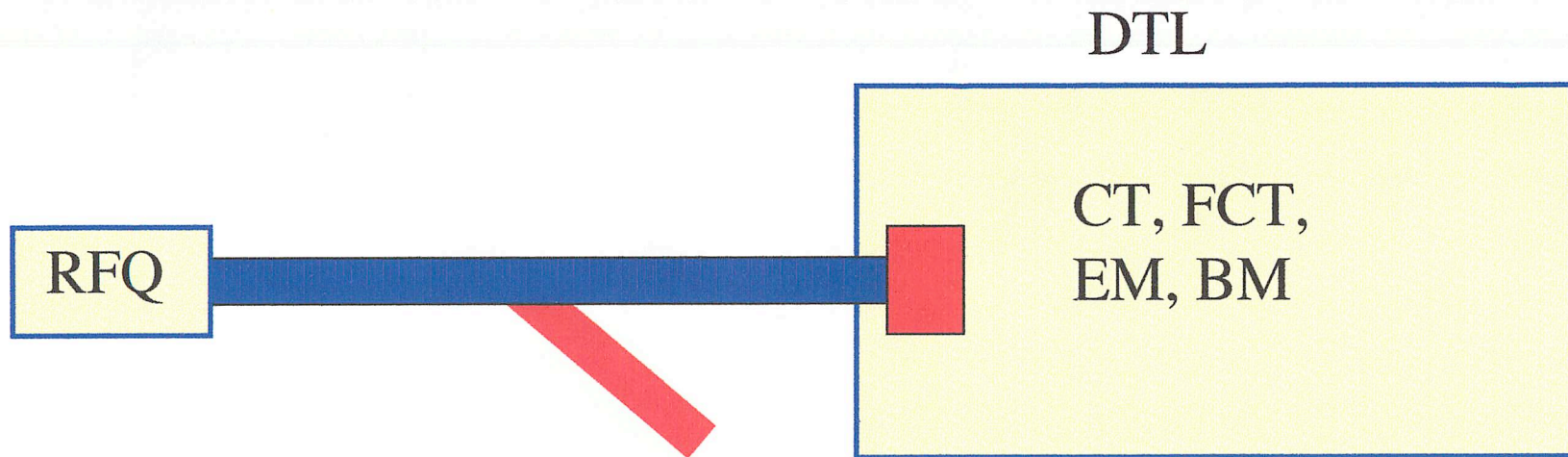
バンチャー電圧を変化させた時のエネルギー幅



入射ビームのエネルギー幅を変化させた時の、スリット測定によるx-xdエミッタンス（電流30mA、シミュレーション結果）

直線ビームラインでの測定

Arai, Okada

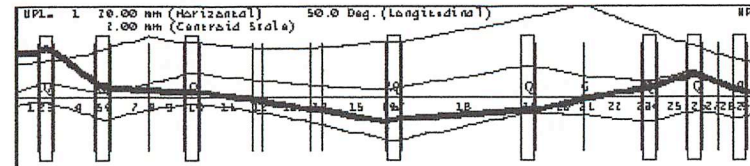


偏向ラインの測定と
直線ラインの測定と
の比較検討をしてお
く事が重要

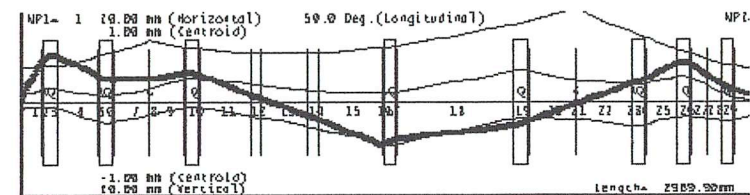
DTLが設置されるので、
DTL入り口のビームを直接
観測出来る機会は将来にお
いて期待できない

アライメント、ステアリング磁石

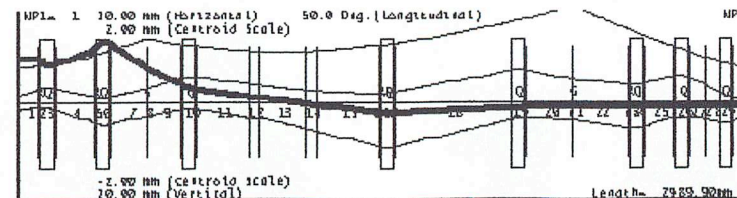
- MEBT内部の素子の整列
 - ± 0.05
- MEBTとRFQ & DTLの整列
 - ± 0.1
- ステアリング磁石 5セット



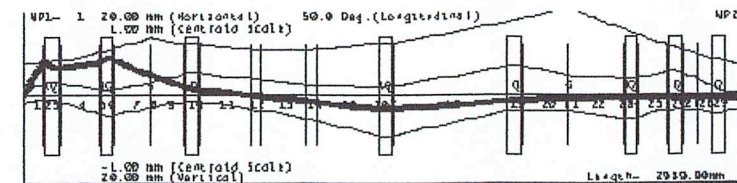
$\Delta x = 1 \text{ mm}$



$\Delta x' = 5 \text{ mrad}$



$\Delta y = 1 \text{ mm}$



$\Delta y' = 5 \text{ mrad}$