

PLA-94-2  
94/06/20

# 1 GeV リニアック検討資料

## 1 GEV LINAC DESIGN NOTE

題目(TITLE)

MECHANICAL AND RF CHARACTERISTICS FOR A HIGH-POWER  
MODEL OF THE 432 MHz DTL

著者(AUTHOR)

内藤富士雄

概要(ABSTRACT)

A high-power model of the 432-MHz Drift Tube Linac (DTL) has been constructed at KEK for the 1-GeV proton linac of the Japanese Hadron Project (JHP). The model is the lowest energy end of the DTL being connected to a RFQ for a beam test. Radio-frequency qualities of the model significantly depend upon the mechanical qualities of the tank. We thus developed a number of new techniques in order to obtain the mechanical qualities. The mechanical and rf characteristics has been measured in order to confirm the properties of the DTL. We discuss the accuracy of the construction and the alignment of the model. We also discuss rf characteristics of the model.

KEY WORDS: Ion Source, RFQ, DTL, Magnet, Monitor, Beam Dynamics, Transport, Vacuum, Cooling, Klystron, Low Level RF, High Power RF, Modulator, Control, Operation, Radiation, Others

高エネルギー物理学研究所 KEK

# MECHANICAL AND RF CHARACTERISTICS FOR A HIGH-POWER MODEL OF THE 432 MHz DTL

Fujio NAITO, Takao KATO, Eiichi TAKASAKI and Yoshihshige YAMAZAKI  
National Laboratory for High Energy Physics, KEK  
1-1 Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken, 305

Toshihiro KAWASUMI, Kiichi SUZUKI and Yousuke IINO  
Mitsubishi Heavy Industry, Ltd. MHI, Nagoya Aerospace System Works,  
10 Oye-cho, Minato-ku, Nagoya-shi, 455 JAPAN

## ABSTRACT

A high-power model of the 432-MHz Drift Tube Linac (DTL) has been constructed at KEK for the 1-GeV proton linac of the Japanese Hadron Project (JHP). The model is the lowest energy end of the DTL being connected to a RFQ for a beam test. Radio-frequency qualities of the model significantly depend upon the mechanical qualities of the tank. We thus developed a number of new techniques in order to obtain the mechanical qualities. The mechanical and rf characteristics has been measured in order to confirm the properties of the DTL. We discuss the accuracy of the construction and the alignment of the model. We also discuss rf characteristics of the model.

## 432 MHz DTL大電力モデルの機械的及び高周波的特性

### 1. 序

高エネルギー物理学研究所では大型ハドロン計画用 1 GeV陽子リニアックを構成する各部の開発を行っている。その一環としてドリフトチューブリニアック（以下DTLと略す）の大電力モデルが製作された。本モデルの仕様を表1に示す。本モデルはDTLのビーム入射部であり、構造が最も込み入っており、かつビーム特性への影響の大きい部分でもある。

仕様にあるようにDTLの周波数は従来の主流の200MHzに比べて2倍以上の432MHzなので、直径でほぼ1/2に小型化され高精度加工機器の使用が可能になった。それに伴い製作の基本となる技術を殆ど見直し、新規に開発を行なった。具体的な開発要素は、

- (1) 永久4極磁石（以下PQMと略す）の製作、
  - (2) PQMのドリフトチューブ（以下DTと略す）内への組み込みと封入方法、
  - (3) DTのタンク内への取付け及び位置設定法、
  - (4) タンク結合法、
- 等である。

開発に於て我々が考慮した点に、より大強度への拡張性がある。特に高冷却性を得る事が重要となるので、機能材であるが熱伝動性の良い銅を構造材料にも積極的に使用している。故に本DTLは従来のように鉄に銅鍍金で本体を作るのではなく、全て無酸素銅で製作している。

DTLのタンクの高周波特性（共振周波数、Q値、電場分布）は組立の各段階で測定している。各部の組み込みや接合時には、各接触面の高周波的な接合程度を確認する手段としてRFの特性測定を行なった。また本DTLは基本特性（Q値等）を維持で

きる範囲内に於て、加速空洞の加工とドリフトチューブの配列の精度不足やビーム負荷により生じる加速電場の歪みを軽減するために、ポストカップラーを用いて加速電場の安定化を行なった。加速電場の歪みはビーム特性を劣化させ、ビーム損失を生じる場合がある。従って加速電場の安定化は大強度ビームの加速の場合には特に重要である。

以下、製作と組立の結果及び高周波特性の測定結果を述べていく。

表1. 432MHz DTL大電力モデル仕様

入射エネルギー	3	MeV
出射エネルギー	5.4	MeV
周波数	432	MHz
全長	1.2	m
セル数	18	
ポストカップラー	8	
ユニットタンク数	2	
材質	OFC	

### 2. 機械的な特性

#### (1) 永久4極磁石の組込み<sup>1)</sup>

16個の永久磁石片からなる4極磁石はDT内殻に挿入され、SUSのバンドで固定する。そして内殻は焼きばめ法でDT外殻内に封入される。焼きばめされた面で機械強度と位置精度を保持する。真空はこの焼きばめ面を薄く電子ビーム溶接（以下EBWと略す）することで封じる。EBW後、DTの端面は超精密フライス盤で鏡面加工される。全加工終了後、DT全体にクロメート処理を施す。

全処理終了後、DT外周から機械中心を求め、そこと回転コイルで測定した内蔵PQMの磁場中心の位置

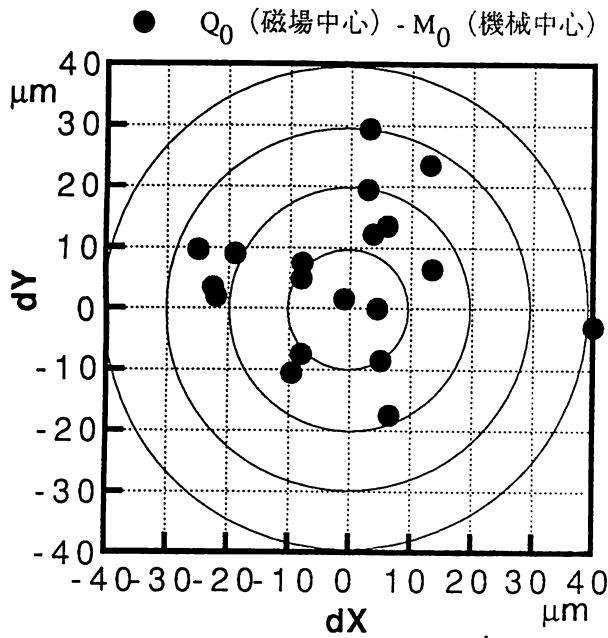


図1. DT完成後の磁場中心の機械中心からのずれ量

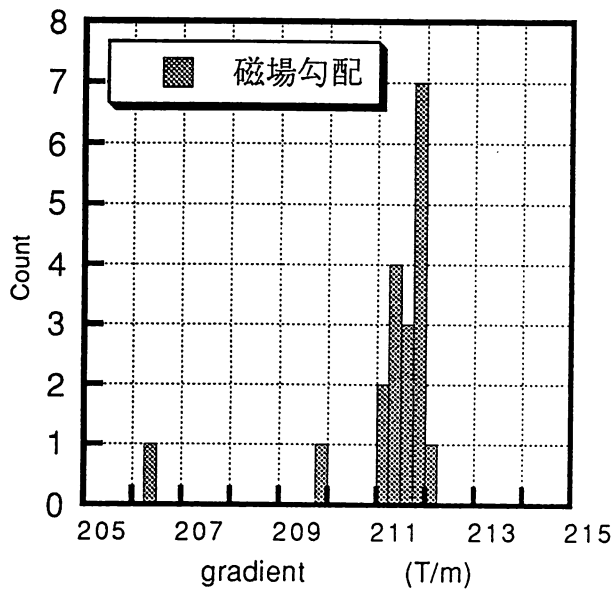


図2. 磁場勾配分布 (DT完成後)

を比較した。図1に結果を示す。殆ど $\pm 30 \mu\text{m}$ 以内に測定結果は分布している。測定精度は約 $\pm 10 \mu\text{m}$ である。分布の標準偏差はx軸 $16 \mu\text{m}$ 、y軸 $12 \mu\text{m}$ である。図2に磁場強度の分布を示す。非常に良い精度でできているのが分かる。なお図1中で1点だけ大きくずれた点は、図2の強度分布で他より低くでている点に対応している。EBW前には差は観測されなかったので、EBW時の熱遮蔽に問題があったと推測される。

## (2) タンク内への固定

ドリフトチューブのタンクへの固定は、タンクに開けたテーパ状の穴にテーパ状のステムを圧入

して行なう。テーパ状のステム固定部は位置とRFの接触を確保する。真空は再外部に用意したOリングで封じる。テーパ圧入法は、従来の方法に比較して長期の安定性を確保できる可能性がある。

DTはタンク内への配列後は位置調性が不可能なので、位置測定を行ないながら装着する。測定対象はX(水平)及びY(垂直)軸周りでの回転とZ軸(ビーム軸)上の位置、それとビーム軸とボア中心のずれ量である。XとY軸上の回転は接触型のゲージ4本をDT端面にあてて測定し、Z軸上の位置はマグネスケールを利用して測定する治具を開発した。ボア中心(DT機械中心)は、従来は光学ターゲットを差し込んで望遠鏡で測定したが今回は4分割型光ダイオードを備えたターゲット<sup>2)</sup>を開発し、レーザーを照射して電氣的に位置測定を行なった。位置測定治具の精度は約 $\pm 20 \mu\text{m}$ であった。テーパ圧入後、その位置がずれていた場合にはDTをタンクからはずし、ステムを塑性変形させてから再装着した。塑性変形(引き伸ばしと曲げ)治具は新規に開発した。塑性変形の精度は引き伸ばしで約 $\pm 20 \mu\text{m}$ 、曲げで約 $\pm 10 \mu\text{m}$ であった。DT固定の作業時間は最初の2本は計33時間必要であった。それ以降は平均約5時間/本であった。

テーパ圧入後のDT内PQMの磁場中心(機械中心を測定した結果からの計算値)とビーム軸のずれを図3に示す。測定精度は約 $\pm 20 \mu\text{m}$ である。次にDTのビーム軸方向位置の設計値からのずれを図4に示す。ずれの分布の標準偏差は $8 \mu\text{m}$ であったので、測定精度を考慮しても設計値から $\pm 30 \mu\text{m}$ 以内にはDTを固定できている。ただし両図共に設置時

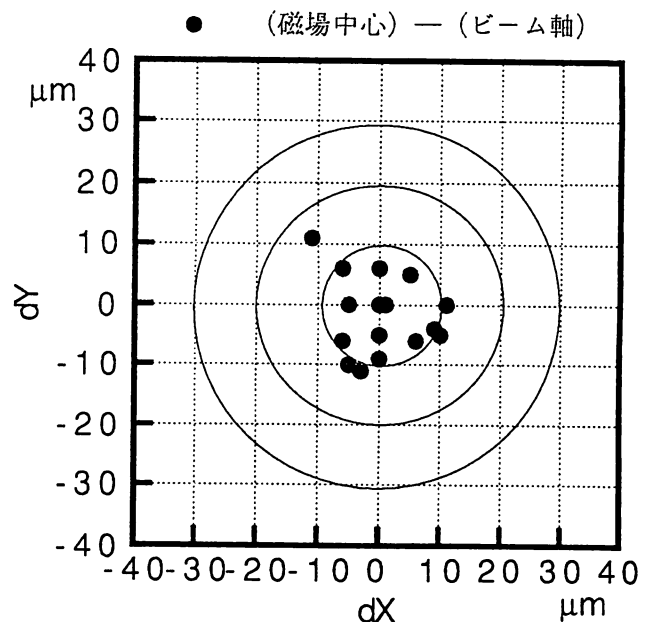


図3. DT設置後の磁場中心のビーム中心からのずれ  
磁場中心は測定した機械中心値に図1のずれを補正して算出。

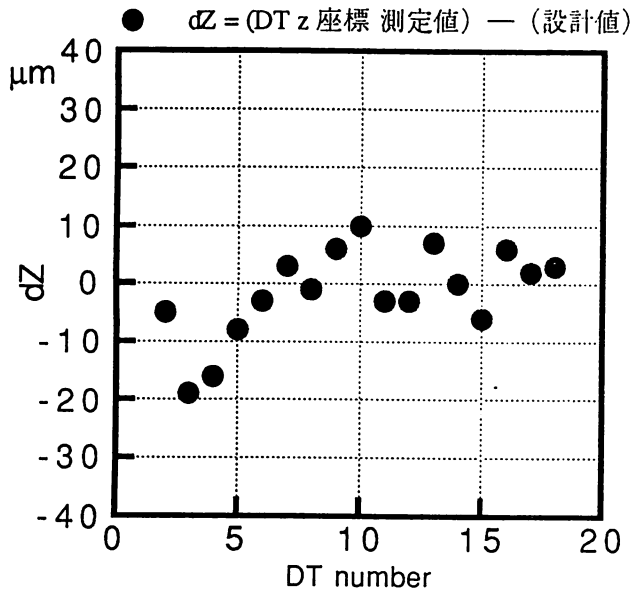


図4. DT設置時のビーム軸方向(Z)の位置の設計値からのずれ

に測定した値であり、本来必要な長期的な安定性を確認するには一定期間後に再測定する必要がある。従ってビーム実験が一段落した時点（1年後位）にDT位置の再測定を行なうつもりである。

### 3. 高周波的特性

#### (1) 共振周波数、Q値

DT装着後、加速モードの共振周波数は431.637MHz（真空、30℃）、Q値は43900（計算値の88%）であった。次節で述べるポストカップラーを装着した場合は共振周波数は431.703MHz（真空、30℃）、Q値は41400であった。なお上記測定は入力カップラーが未装着でチューナーはタンク内壁面に設定した状態で行なった。

#### (2) 加速電場分布

ポストカップラーが無い状態で加速電場の分布を図5(a)に示す。測定は直径4mmのアルミ球をビーム軸上で移動させ、自励振の周波数変化を測定して行なった。平均加速電場分布の標準偏差は0.6%である。次いで最下流のチューナーを挿入して加速電場を傾けた場合の分布が同図(b)である。そしてポストカップラーを調整して安定化させると同図(c)の様になる。電場の勾配が殆ど無くなっている。この安定化した状況でチューナーを抜いた場合が(d)である。同様の操作を最上流のチューナーを使用して傾きを逆にした場合でも行ない安定化を確認している。(d)の分布の標準偏差は0.3%であり、十分な平坦度が確保できた。なお平均電場測定精度は±0.5%程度と推定される。

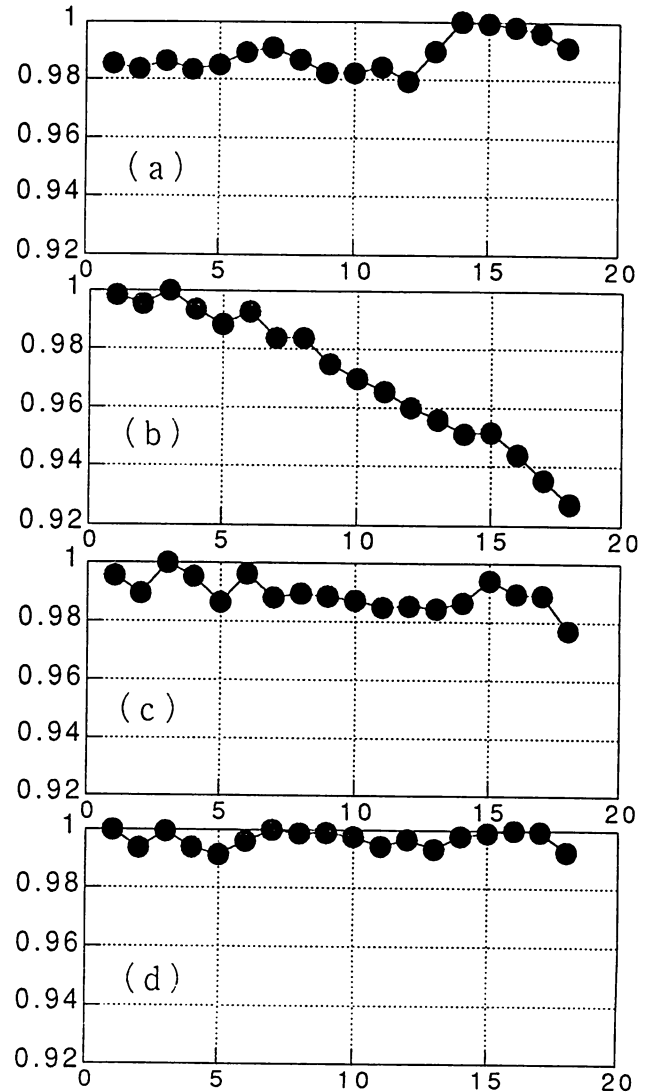


図5. 平均加速電場の分布

横軸はセル番号。縦軸は最大値を1に規格化した核セルでの平均加速電場。(a)~(d)の内容は本文参照。

### 4. まとめ及び今後の予定

機械的な精度は測定系の誤差も含めて全体的にみて±30μm程度であり、初期の目標は達成できた。加速電場の一様性も十分であった。今後はビーム試験のために、まずビームラインへの移設と大電力試験を夏から秋にかけて行なう予定である。その後ビーム加速の試験に移行する。

上記作業と並行して本モデルの製作と組み立て過程で判明した種々の問題点を修正するために全工程を見直す作業を行なう予定である。

#### 参考文献

- [1] F. Naito et al., Proc. 1992 Linac Conf., Ottawa, CANADA, AECL-10728, 320 (1992)
- [2] I. Sato et al., Proc. 7th Meeting on Linac, KEK, JAPAN, KEK82-14, 170 (1982)