

# PROTON DRIFT TUBE LINAC FOR THE JAPANESE HADRON FACILITY

T. Kato, Z. Igarashi, C. Kubota, F. Naito,  
E. Takasaki, T. Takenaka and Y. Yamazaki  
National Laboratory for High Energy Physics

## ABSTRACT

A 432 MHz-150 MeV drift-tube linac is planned for an injector of the Japanese Hadron Facility. Studies of mechanical design are widely investigated to achieve fundamental methods of fabrication. In this paper, outlines of our studies are reported.

## 1. 序

大型ハドロン計画の入射器としての 1 GeV 陽子リニアックの中で、ドリフトチューブリニアック(DTL)は、RFQ のビーム (3 MeV)を加速して、次段の high- $\beta$  リニアック(CCL)へ入射 (150 MeV) させる。従って、CCLの中でビーム損失が少ない事が重要であることから、DTL では入射ビームの縦と横のエミッタンスを増大させる事無く、安定にビームを加速する事が必要となり、要求される性能が厳しいものとなる。ここでは現在進めている基本的な技術の開発状況について報告する。

## 2. 基本的な仕様と構造

Table 1 に主なパラメータを示す。現時点では出力 1 MW 程度のクライストロンを考えているが、出力 3 MW のクライストロンにして、システムを簡単にする案も検討している。空洞の表面最大電場がキルパトリックリミットの 75 % 以下になる条件のもとで有効シャントインピーダンスを最適化して、空洞の形を決めている。収束磁石には 4 極永久磁石を使う。製作の容易さから磁石の大きさと強さはすべて同じにするので、位相進みは  $55^\circ$  から  $70^\circ$  まで変化する。これをドリフトチューブに閉じ込めるか、又は真空にさらす構造にするかは、大きな問題であり、現在は双方の可能性を検討している。システムの空洞への取り付け法は従来のように 1 本ずつ空洞へ取り付けの方法を予定している。

## 3. 入射部の問題点

入射エネルギーは、RFQと 4 極永久磁石の開発の結果により、下げる可能性がある。3 MeV の RFQ はその周波数が 432 MHz と高いので難しさが増大しており、出来れば出力エネルギーを下げて長さを短くするか、周波数を半分に落としたいところである。一方、DTL では、アクセプタンスを犠牲にする事なく、しかも長期 (20 年) の使用年限に耐えうる事を考慮すると、入射エネルギーと永久磁石の選択の幅が狭くなる。現時点では複数の候補を考えて、開発を行っている。

既存の DTL の入射付近でエミッタンスの増大が起こっており、これは field energy と equipartitioning の考え方から説明されている<sup>1,2</sup>。Fig.1にその様子を示す。横軸は入射ビームのバンチ幅であり、縦軸はパーティションパラメータ  $P$  を表す。入射エネルギーが 2MeV と 3MeV, 加速電場が 2MV/m と 3MV/m の場合について  $P$  を図示してある。 $P = (\epsilon_L / \epsilon_T)^2 * (a/b)^2$  はビームの縦方向と横方向の運動エネルギーの非対称性を表す量であり、 $\epsilon_L$  と  $\epsilon_T$  は縦

と横のrmsエミッタンス、 $a$  はビームのrms半径、 $2b$  はrmsパンチ長さを表す。RFQからのビームの粒子分布が一様であると仮定すれば、DTLの横方向エミッタンスの増加は  $((P+2)/3)^{1/2}$  で与えられる。ここでビームの規格化エミッタンスは  $2.8\pi$  mm.mrad、電流 20 mA、位相進み  $60^\circ$  を仮定している。

#### 4. 開発の現況

##### 4 極永久磁石

候補としては、サマリウムコバルト系 (SmCo) とネオジウム鉄ボロン系 (Ne) が考えられる。Ne はキュリー温度が低い ( $\sim 300^\circ\text{C}$ ) ので発熱を伴うドリフトチューブの溶接法が使えない。又、錆易い、放射線に弱い等の報告がある<sup>3</sup>。SmCo はキュリー温度は高い ( $\sim 700^\circ\text{C}$ 以上) が、Ne に比べて約 20 % 程度 4 極磁石としての性能が落ちる。これらの材料 (住友 CORMAX-2300, NEOMAX-35) を使って16 分割の永久磁石を試作した。磁石の内径は 14 mm, 外径は 46 mm である。Fig.2 に磁石部分の形と計算コード PANDIRA による計算結果を示す。SmCo で得られた磁場勾配 (150 T/m) は、計算値に比べておよそ 15 % 小さく、それは必要な値に比べて 9 % 小さい。又、磁場中心とメカニカル中心は約  $90\mu\text{m}$  ずれており、今後の製作法に注意する必要がある。残留磁束密度の約 10% 大きい CORMAX-2700 相当の磁石を用いれば、必要な磁場勾配は得られると予想される。

##### 永久磁石のドリフトチューブへの組み込み法

###### \*電鋳

電鋳は温度が高くないので有力な接合法と思われる。ドリフトチューブの中に永久磁石を入れて試験した結果、厚い鍍金 (0.5 mm) は何等問題は無く、電鋳による接合試験でも良い結果が得られている。

###### \*電子ビーム溶接

この方法は今まで用いられていた。磁場のシールドを施して電子ビームが曲がらないようにして、試験中である。いずれにせよ、熱による磁場の劣化の恐れがあり、問題が多い。

###### \*レーザー溶接

ドリフトチューブの外側部分の接合 (直径 80 mm) とビームパイプ部分 (直径 10 mm) の接合試験 (銅と SUSについて) の結果、基本的には期待が持てることがわかったが、熱の問題は残る。

###### \*放出ガステスト

モデル磁石と同じサンプル (表面積  $30\text{ cm}^2$ ) を使用して、真空中のアウトガスの試験を行った。SmCo の場合、SUS304 と比べて、真空排気開始後、260 時間では約 27 倍 (到達圧力  $1.5 \times 10^{-7}\text{ Torr}$ )、384 時間後では約 20 倍 (到達圧力  $6.5 \times 10^{-8}\text{ Torr}$ ) ガス放出量が多い結果が得られた。実験結果を第 1 タンクに当てはめると、永久磁石を真空シールする時に比べて、全放出ガス量は、10倍以上多い事になる。従って、磁石をシールしない組み込み法を採用する場合には、磁石の脱ガス等の対策を検討する必要がある。

##### モデル空洞の製作

モデル空洞の製作により、製作法の開発を行う予定である。ステムの影響が大きい入射部モデル空洞 (長さ 2.6 m, 35 セル) を作り、主にステムまわりとポストカップラーについてのテストを行う。高電力高電界の試験の為に、

数セルの大電力空洞を作り、放電限界、ステム結合部、冷却の試験を行う予定である。

参考文献

1. T. P. Wangler, "Developments in the physics of high current linear ion accelerators", in New Techniques for Future Accelerators, 181(1986).
2. R. A. Jameson, "Equipartitioning in linear accelerators", 1981 Linear Accelerator Conf., 125(1981).
3. E. W. Blackmore, "Radiation effects of protons on samarium-cobalt permanent magnets", IEEE Trans. on Nucl. Sci. NS-32, 3669(1985).

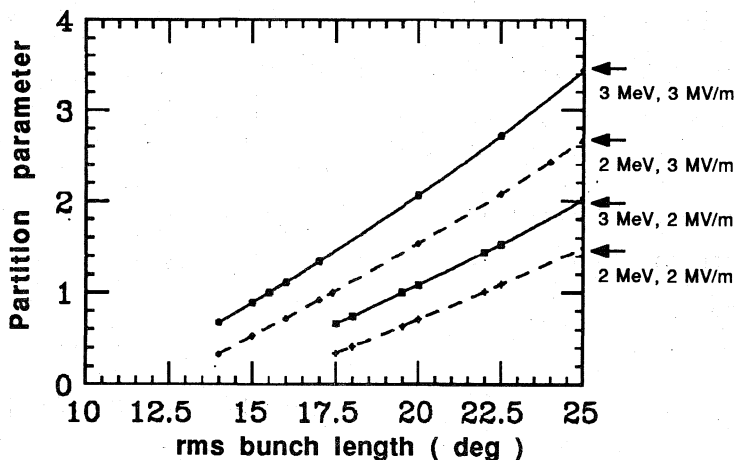


Table 1 DTL のパラメーター

周波数	432 MHz
加速電場	3.0 MV/m
入射エネルギー	3 MeV
出力エネルギー	148 MeV
励起電力	9.0 MW
RF パルス幅	600 $\mu$ s
RF 繰り返し	50 pps
ビームパルス幅	400 $\mu$ s
ピーク電流	20 mA
タンク長さ	75.7 m
タンク数	13
セル数	342
アクセプタンス	8.9 $\pi$ mm.mrad
位相進み	$\sim 60^\circ$
タンク直径	44 - 42 cm
D/T 直径	8 - 7 cm
ビーム孔直径	1 cm

Fig.1 Partition parameter vs. rms bunch length b.

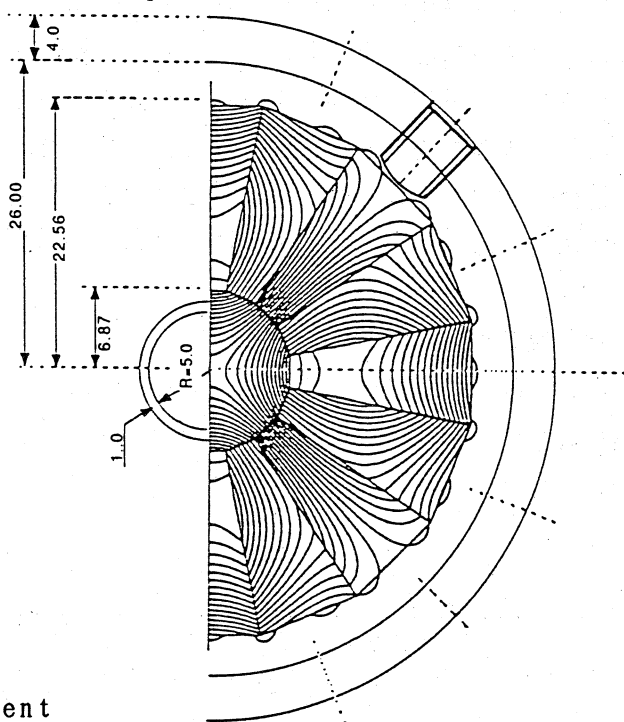


Fig.2 Geometry of the permanent quadrupole magnet. Calculated results with PANDIRA are also shown.