

# A Conceptual Design of the CW- DTL for the JAERI High Intensity Proton Accelerator

H. Ino\*, E. Chishiro, N. Ouchi, M. Mizumoto and Z. Kabeya\*

Japan Atomic Energy Research Institute

Tokai- mura, Naka- gun, Ibaraki- ken, 319- 11, Japan

\*Mitsubishi Heavy Industries, LTD. Nagoya Aerospace Systems

10, Oye- cho, Minato- ku, Nagoya, 455, Japan

## Abstract

The JAERI Neutron Science Project (NSP) requires a linac that accelerates a proton beam to 1.5 GeV. This linac starts with a radio- frequency quadrupole (RFQ) linac, which is followed by a drift- tube linac (DTL), and a superconducting structure. In this paper, we focus on the DTL part of the accelerator. We discuss the present CW- DTL design parameters, beam simulation, and measurements of the 1/3 size cold model of the CW- DTL. The CW- DTL causes a few emittance growth in the simulation. The stabilized condition was obtained on the cold model by inserting post couplers every three cells.

## 原研大強度陽子加速器用 CW-DTL の概念設計

### 1. はじめに

原研では、大強度陽子ビーム及びそれによって駆動される強力中性子源を用いて基礎科学研究や消滅処理研究を行うための中性子科学研究計画 (NSP: Neutron Science Project) を提案している[1]。計画の中心となる大強度陽子加速器は現在までのところ、イオン源、200MHzRFQ (radio-frequency quadrupole)、200MHzDTL (drift-tube linac)、600MHz超伝導加速空洞[2],[3]、及び蓄積リングで構成することが検討されており、加速エネルギー1.5GeV、最大ビームパワー 8MW を想定している。このうち、DTL が使われるのは加速エネルギー 2~100MeVの低エネルギー部である。表1に現在のDTLに対する基本仕様を示す。本報告では、この基本仕様に沿って検討したパラメータ及びビーム・シミュレーション結果について報告する。また、加速器入射部のフルモックアップ試験を想定して製作した1/3サイズのコールドモデル (エネルギー 2~10MeV、60セル) の電磁場測定結果についても報告する。

表1. CW-DTLの基本仕様

入射/出射エネルギー	[MeV]	2/100
共振周波数	[MHz]	200
粒子		H-
デューティ		~CW
ビーム電流	[mA]	30

表2. CW-DTLの設計パラメータ

Tank No.	1	2	3
入射/出射エネルギー [MeV]	2/33	33/67	67/100
平均電場強度E0 [MV/m]	1.5	1.5	1.5
同期位相 $\phi_s$ [deg.]	-55 → -30	-30	-30
収束系ラティス	FODO	FODO	FODO
4極電磁石磁場勾配 [T/m]	77.3 - 14.5	14.5 - 11.0	11.0 - 9.3
実効シャフトインピーダンス [M $\Omega$ /m]	28.3 - 31.4	52.4 - 37.0	40.3 - 30.6
壁ロス(100%Q) [MW]	1.3	1.1	1.2
最大表面電場(kilpatrick)	0.47 kilp.	0.91 kilp.	0.99 kilp.
セル数	135	69	59
Tank長 [m]	32.2	32.2	34.9
Tank diameter [cm]	91.8	96.8	95.9
Drift-tube diameter [cm]	20	20	20
Bore radius [cm]	1	1.1	1.2
Corner radius [cm]	1.9	1.9	7
Outer nose radius [cm]	-	0.5	0.5
Inner nose radius [cm]	0.5	0.5	0.5
Flat length [cm]	-	0.5	1
Face angle $\alpha$ [deg.]	0	50	60

### 2. CW-DTLパラメータ

表2に現在のCW-DTLに関する主なパラメータを示す。また、図1にDT (drift-tube) の各部名称を示す。以下に、これらのパラメータを設定した経緯を説明する。

#### 2.1 タンク分割数

ビームの質の観点から言えば、低エネルギー部でタンクを細かく分割すると、タンク間のドリフトスベ

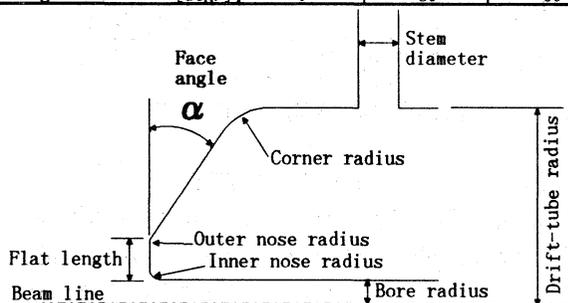


図1. DT (drift-tube) 各部名称

ースにおいて縦方向のエミッタンスが悪化するため、タンクの分割数は少ないほど良い。しかし一方で、運転モード (TM<sub>010</sub>) と他のモードとの周波数差の観点から言えば、全長約 100m にも及ぶ DTL は幾つかに分割する必要がある。これらのことを考慮して、DTL は全体を 3 タンクに分割した。各タンクにおける運転モードと TM<sub>011</sub> モードとの周波数差は約 50kHz となる。

## 2.2 平均電場強度 E<sub>0</sub>

本 DTL において CW 運転を考えた場合、発熱による変形を抑制するためには、効率の良い冷却を行うと共にある程度平均電場強度 E<sub>0</sub> を低めに設定する必要がある。ビームの質に最も影響を及ぼす DT (drift-tube) について幾つかの熱計算を行い、E<sub>0</sub>=1.5MV/m とした。この場合 DT の最高温度は 54°C (corner radius 部) となり、熱膨張によるボア中心のずれは約 60μm となる。

## 2.3 同期位相 φ<sub>s</sub>

PARMTEQ コードによって計算された RFQ のビームをもとに、位相方向 rms 値の 6 倍の広がりを受け入れるように設定した。その結果、入り口で φ<sub>s</sub> = -55 deg とし、加速過程で粒子がパンチされるに従い徐々に安定領域を狭くし、加速エネルギー 20MeV 以降は φ<sub>s</sub> = -30 deg. 一定とした。

## 2.4 収束系

4 極電磁石の磁場勾配はパンチビームの space charge を考慮した Coupled envelope equations[4] と Equipartitioning[4] 理論を組み合わせることにより求めた。図 2. に粒子の加速エネルギーに対する磁場勾配を示す。最も磁場勾配が高いのは DTL 入り口の 77.3T/m であるが、4 極電磁石の開発については既に 80T/m[5] を達成しており問題はない。ラティスはビームサイズをより小さくできる FODO を設定した。

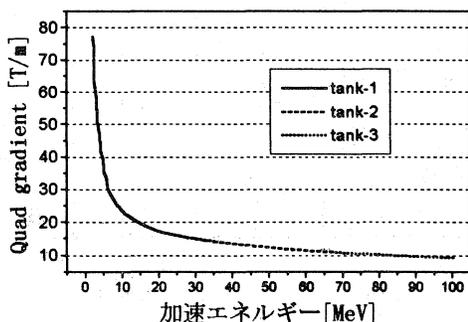


図2. CW-DTL磁場勾配の設定

## 2.5 実効シャントインピーダンス ZTT

図 3. に CW-DTL の各加速エネルギーに対する ZTT を示す。tank-2、及び tank-3 の DT に face angle α をそれぞれ 50deg、60deg 付けることにより、全体を通して ZTT=28MΩ/m 以上を得ることができる。

その結果 100%Q 値での壁ロス、face angle を付けない場合より約 21%減少する (4.6→3.6MW)。

## 2.6 放電限界

本検討では放電限界の指標として kilpatrick limit を用いた。SUPERFISH による計算では、最も電場が集中するところは、tank-1 で inner nose の部分、tank-2、tank-3 で outer nose 部分となり、それぞれ最高 0.47、0.91、0.99kilpatrick となる。

## 2.7 ボア径

Equipartitioning に従ってビームを加速した場合、ビームサイズは加速されるにつれて大きくなる。ここでは rms ビームサイズの 6 倍の余裕を持たせるため、tank-1、2、3 のボア半径をそれぞれ 1.0cm、1.1cm、1.2cm とした。

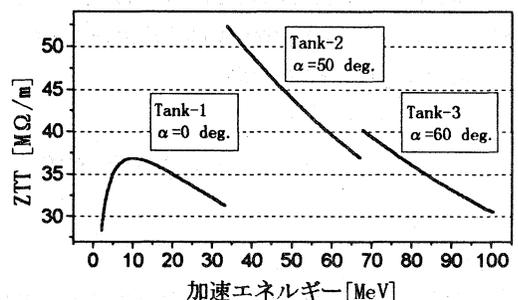


図3. 実効シャントインピーダンス

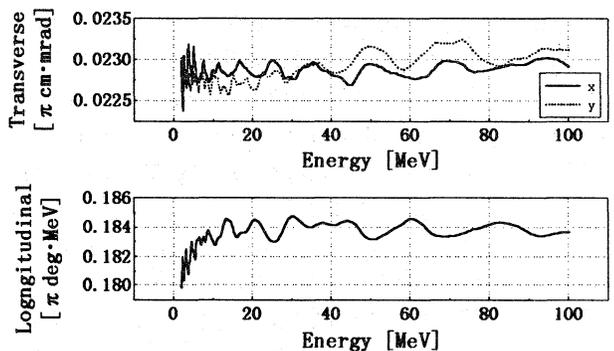


図4. 横方向及び縦方向の加速エネルギーに対するrmsエミッタンス

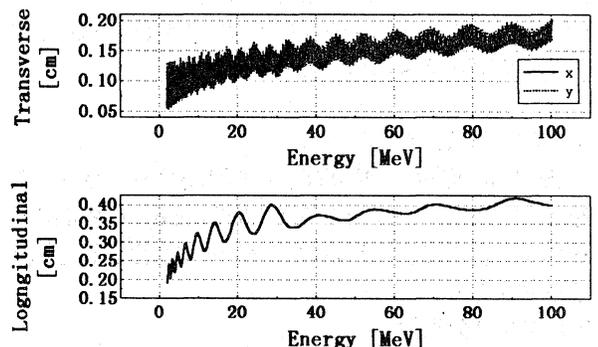


図5. 横方向及び縦方向の加速エネルギーに対するrmsビームサイズ

### 3. ビーム・シミュレーション

表 2. のパラメータをもとに PARMILA コードを使い、粒子数 10,000 のビーム・シミュレーションを行った。粒子の電流値は 30mA、入射エミッタンスは PARMTEQ による RFQ の出力値をもとに rms 値で横方向  $0.023\pi\text{cm}\cdot\text{mrad}$ 、縦方向  $0.18\pi\text{MeV}\cdot\text{deg}$  とした。またこの計算ではタンク間のマッチングは取れているものと仮定し、タンク間のトランスポート系は省略している。粒子の各加速エネルギーに対する rms エミッタンスを図 4. に、rms ビームサイズを図 5. にそれぞれ示す。横方向、縦方向とも加速過程においてビームサイズは増加するが、エミッタンスの増加はほとんど無い (3%以内)。

### 4. CW-DTL コールドモデル

表 2. のパラメータをもとに加速エネルギー 2~10MeV までのコールドモデル (実機の 1/3 サイズ、60 セル) を製作し、電磁場特性を測定した。このコールドモデルでは群速度を上げ、電場分布を調整するための手段としてポストカブラを使用している。このコールドモデルの測定では、ポストカブラを 3 セル毎に 1本ずつ左右交互に取付けている (合計 19 本)。図 6. にポストカブラの挿入量に対するビーム軸上の電場分布の安定度  $D_x$  を示す。 $D_x$  は次式で定義される。

$$D_x = \sum_{i=1}^N |E_i - \langle E \rangle| / \langle E \rangle$$

$E_i$  は  $i$  番目のセルの平均加速電場、 $\langle E \rangle$  はタンク全体の平均加速電場、 $N$  は全セル数 (60 セル) を示す。図 6. より、DT とポストカブラとの距離が 28mm のとき、電場が最も安定することが分かる。また、この時のモード分布を図 7. に示す。この図より群速度と光速の比は  $V_g/c=0.047$  となる。各ポストカブラの先端には楕円形のタブがあり、これを個々に回転させることにより更に電場を微調整することが出来る。図 8. にタブの調整前と後の各セルの平均電場強度を示す。この場合タブを調整することにより  $D_x$  は約 65%改善している。

### 5. まとめ

原研大強度陽子加速器用 CW-DTL の現在のパラメータを紹介し、またビームシミュレーションによってこのパラメータが加速過程でエミッタンスの増加をほとんど起こさないことを確認した。更に、2~10MeV までの 1/3 スケールのコールドモデルを製作し、3セル毎に 1本の割合でポストカブラを挿入することにより電場が安定化されることを確認した。今後パラメータについては更に最適化を行っていく。

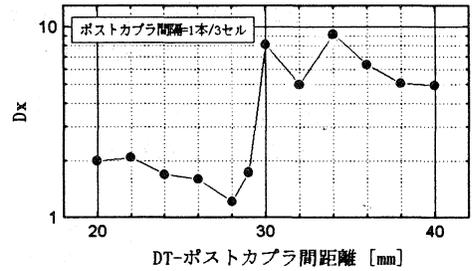


図6. ポストカブラ挿入による電場の安定化

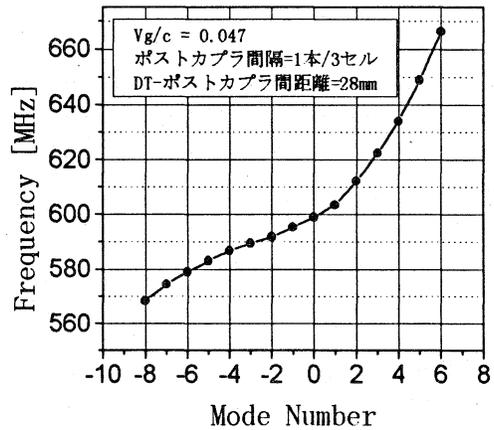


図7. モード分布

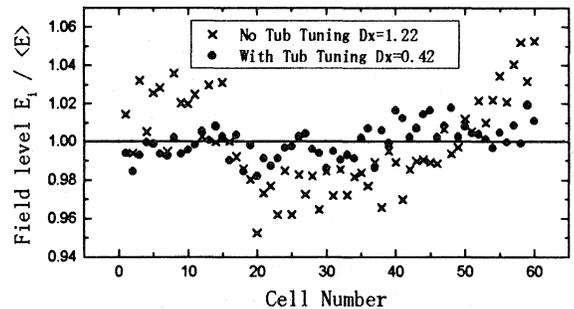


図8. タブによる電場の微調整

### 参考文献

- [1] M. Mizumoto, et al. "Development of High Intensity Proton Accelerator for Neutron Science Research Plan", Proc. of The 21st Linear Accelerator Meeting in Japan, 1996, p86-88
- [2] N. Ouchi, et al., "Fabrication and Test of a superconducting single cell cavity for the High Intensity Proton Linac", this meeting.
- [3] Y. Honda, et al., "A Conceptual Design on Superconducting Proton Linac for Neutron Science Project", this meeting.
- [4] Martin Reiser, "Theory and Design of Charged Particle Beams", JOHN WILEY & SONS, INC.
- [5] K. Hasegawa, et al., "R&D WORKS OF THE DTL FOR THE BTA IN JAERI", The 18 th Linear Accelerator Meeting in Japan, KEK, July 1993.