

統合計画陽子リニアック MEBT1 用ビーム・モニターとそのビーム・テスト

五十嵐 前衛^{1,A)}、木代 純逸^{A)}、濁川 和幸^{A)}、廣木 文雄^{B)} 富澤 哲夫

^{A)} 高エネルギー加速器研究機構

〒305-0801 茨城県つくば市大穂 1 - 1

^{B)} 日本原子力研究所

〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2-4

概要

高エネルギー加速器研究機構 (KEK) と日本原子力研究所 (JAERI) の統合計画として大強度陽子加速器の建設が現在、進められている。この加速器のうちイオン源、RFQ および MEBT1 (RFQ から DTL までの BT ライン) が完成し、KEK サイトで組み立てられ、ビーム加速試験を行っているところである。本年度中には更に DTL リニアックを設置してビーム加速試験を行う予定である。

本稿では上記、MEBT1 に設置されたビーム・モニターとそのビーム・テスト結果について報告する。

1. はじめに

統合計画陽子リニアック^[1]は H イオン源、RFQ(3MeV), DTL(50MeV), SDTL(190MeV)そして ACS(400MeV)から構成される。次段の加速器 3GeV リングは出力ビーム・パワー 1 MW を目標としており、これを達成するためにリニアックは平均 330 μ A 以上のビーム電流が要求されている。このような大強度ビームを加速するためにはビーム損失をいかに抑えるかが鍵となる。このためには高品質ビームの発生や加速とともにビーム診断系の役割も重要である。

MEBT1 では RFQ と DTL 間のビーム・マッチング、3 GeV リングの入射損失を抑えるため、縦方向アク

セプタンスから外れる部分をあらかじめ削る、ビーム・チョップ、およびビーム診断等^{[1],[2]}を行う。図 1 に全長約 3m の MEBT1 のレイアウトを示す。

ビーム・モニターとしては電流モニター(CT)、位相モニター(FCT)、ワイヤー・スキャナー(WS)、ビーム位置モニター(BPM)、エミッタンス・モニター(EM)、ファラデー・カップ(FC)がある。

2. 各ビーム・モニターについて

2.1 リニアックのビームについて

統合計画リニアックのビーム・パラメーターおよびビーム構造を表 1、図 2 に示す。特徴的な事はビーム・チョップを行うためにビームがバースト・パルスとなることである。従って、ビーム・モニターとしては 300ns ~ 500 μ s のパルスに対する十分な応答が要求されるところが設計上、難しい点である。

表 1: ビーム・パラメーター

バンチ周波数	: 324MHz
チョップ周波数	: 1.36MHz
繰り返し	: 25Hz
最大ビーム電流	: 50mA
パルス幅	: 500 μ s

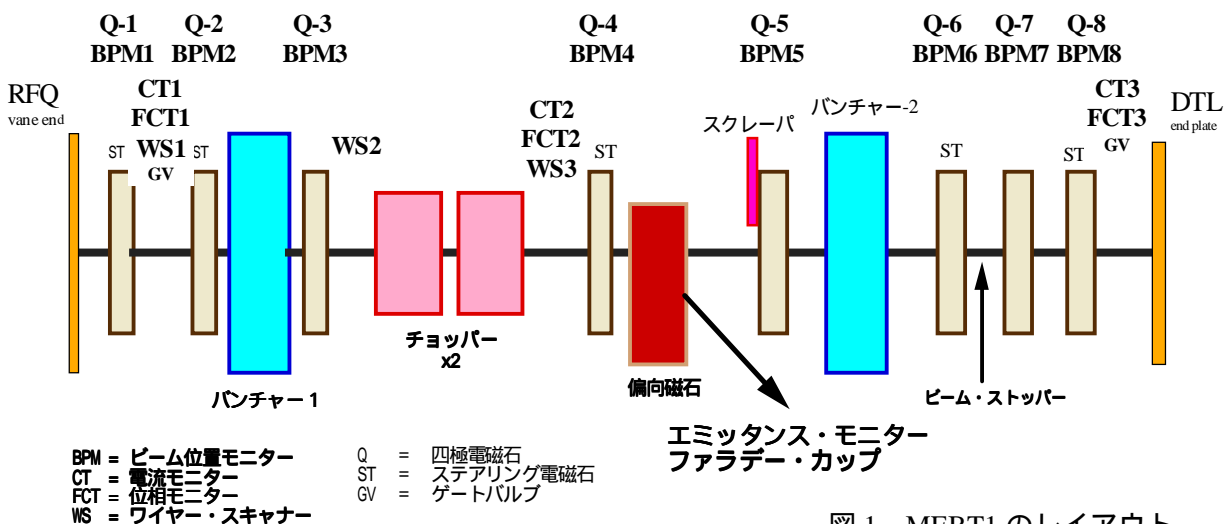


図 1 MEBT1 のレイアウト

¹ E-mail: igarasiz@post.kek.jp

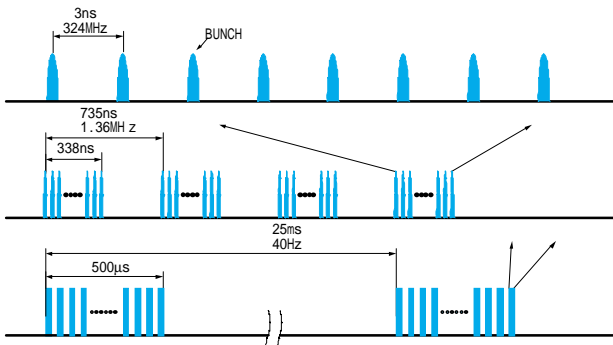


図2：ビーム構造

2.2 ビーム電流モニター (CT)

コア材はファインメット(日立金属 k.k 製、FT-3M 型)、外径×内径×幅 = 59 × 45 × 10 で、巻線は50ターンである。シールドは内側アルミと外側純鉄の二重構造。ヘッド・アンプは図3に示すような低入力インピーダンス回路^[1]で低域の特性を伸ばしている。図4にパルス応答波形、図5に実際のビーム波形を WE7000(YOKOGAWA 製)で取り込みディスプレイ上に表示したものを示す。

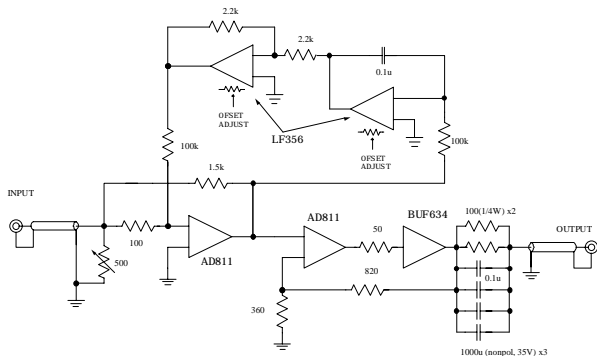


図3 ヘッド・アンプ

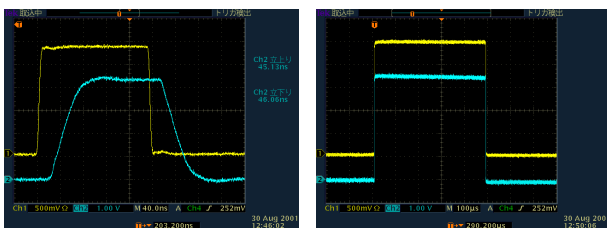


図4 左：50mA/200ns 右：50mA/500µs
に対するCTの応答波形(上:入力、下:出力)

2.3 位相モニター (FCT)

多空胴の陽子リニアックではバンチ位相モニターは各空胴の加速フィールド・レベルや位相を決定する上で極めて重要である。本リニアックでは空胴間に1台以上の位相モニターを設置する方針である。FCT(Fast CT)の構造は上記のCTと同様であるがコア・サイズが外径×内径×幅 = 59 × 45 × 5 で、巻線は1ターンとなっている。図6にFCTの周波数およびパルス応答を示す。また図7に実際のバ

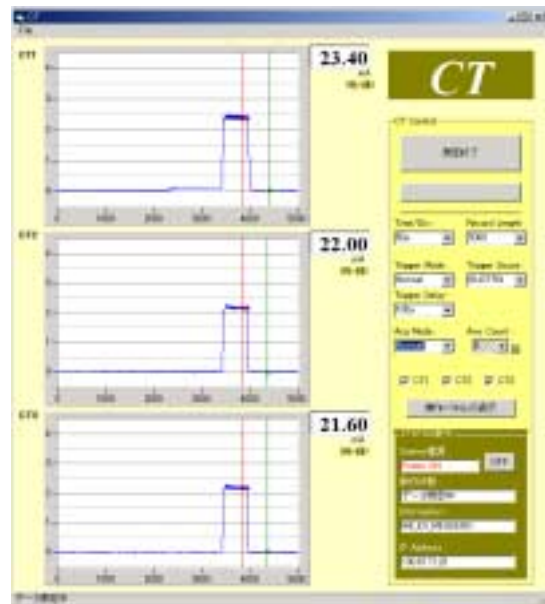


図5 WE7000システムによるCTの表示
(CT1:RFQ出口、CT2:Q4前、CT3:MEBT1出口)

ンチ波形を、図8に2つのFCTのバンチ位相信号をWE7000に取り込みTOF(Time of Flight)によりエネルギーを計算しディスプレイに表示したものを示す。このTOFによりMEBT1で2ヶ所、MEBT1の下流に設置のテスト・ベンチで1ヶ所の計3ヶ所でのビーム・エネルギー測定結果は $3.00 \pm 0.03\text{MeV}$ であった。この $\pm 1\%$ の誤差はFCT間の距離測定の精度によると思われる。

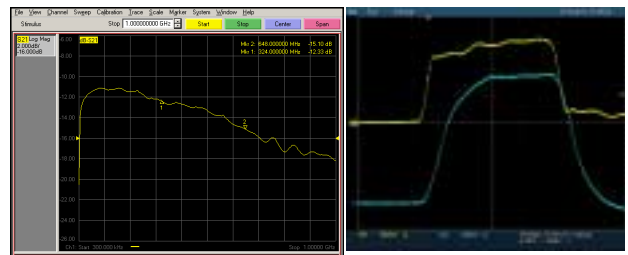


図6 FCTの周波数(0.3MHz~1GHz) および
パルス(0.5ns/div、上:入力、下:出力)応答

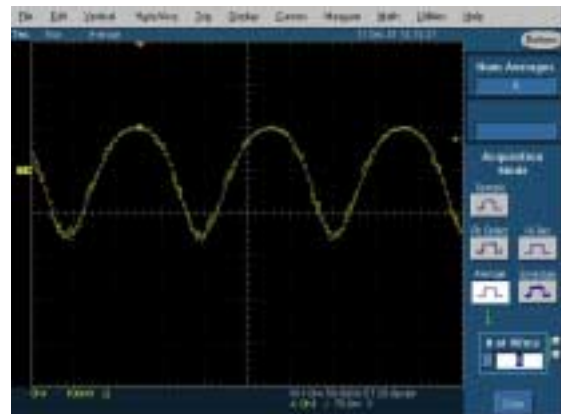


図7 FCT1の生信号 1ns/div 0.1V/div
ビーム電流 = 8mA

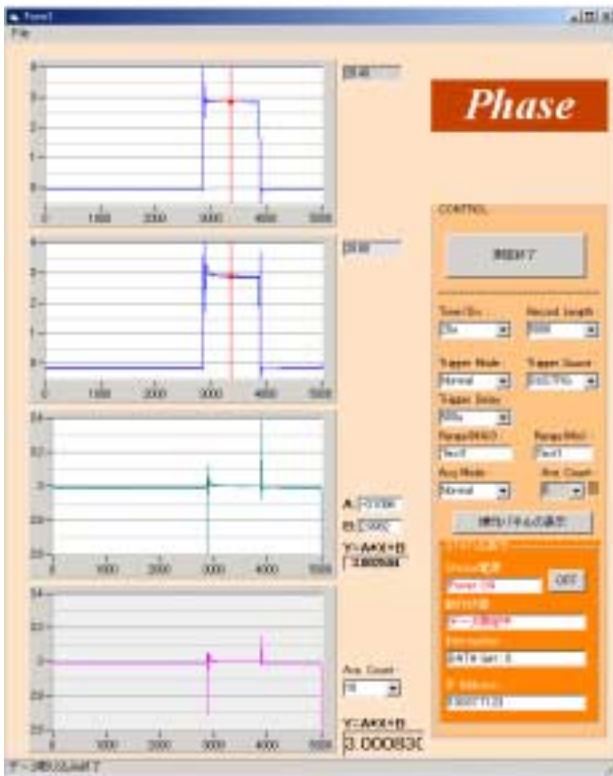


図 8 位相 / エネルギーの表示、上から FCT1 ,FCT2、エネルギー、エネルギー 10 回の平均値

2.4 ビーム位置モニター (BPM)

検出器はストリップ・ライン型電極を採用し、スペース的な制約から全て四極電磁石の内部に設置した。また、アライメントは電極が四極電磁石の2つの隣接したポール端の基準面に接触することにより行うこととした。図 9 に設置途中の電極を、また図 10 には BPM の生信号示す。

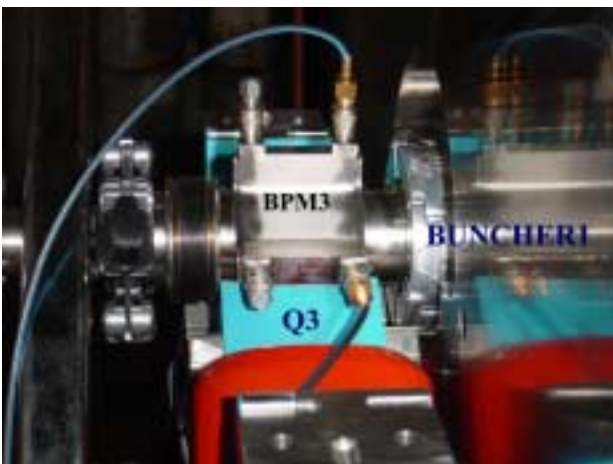


図 9 四極電磁石(Q3)に設置途中の電極

3MeV、Hビームの β は 0.08 程度であり、その発生する電磁場は Lorentz 収縮の効果が十分でない^{[1],[3]}ため、ビーム方向にも電場成分を持つ。すなわち TEM モードには成らない。バンチ周波数が低ければ無視

できるが 324MHz では出来ない。したがって、BPM の感度が $\beta = 1$ の場合と異なり、ワイヤーやアンテナを用いた方法では校正不能である。計算により感度を求めるとともに、ステアリング磁石とワイヤー・スキャナーを用いて、これを確認する必要がある。

BPM 処理回路はビーム・チョップの様子を測定するため 20ns 程度の応答を要求されていること等から AM/PM 方式を採用し準備を進めている。

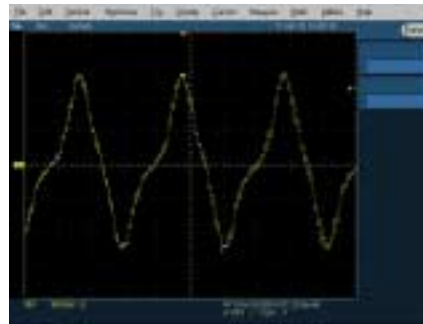


図 10 BPM1 の生信号

1ns/div
50mV/div
ビーム電流
=8mA

2.5 ワイヤー・スキャナー(WS)

ワイヤーは当初 50 μ mφのタングステンを用いたが恐れていた通り溶断してしまった。エネルギー損失が少なく融点が高い材料ということで、現在 7 μ mφのカーボン・ファイバーを用いたものを準備している。

駆動装置はパルス・モーターを使用し、制御は新たに開発した WE7000 用モジュールを用いて行う。

3 . おわりに

CT および FCT に関しては細かい点を除けば、ほぼ満足の行く結果が得られたが、BPM と WS は準備不足もあり今回の原稿に間に合わなかった。しかし BPM に関しては当初、危惧された RFQ、バンチャー、チョッパー等からの RF の回り込みが全く見られず、これだけでも 1 つの成果だと考えている。

研究会の発表時には各モニターのビーム・テスト結果について発表したい。

参考文献

- [1] Y.Yamazaki, et al., "Accelerator Technical Design Report for High-Intensity Proton Accelerator Facility Project" <http://hadron.kek.jp/member/onishi/tdr/index.html>
- [2] JHF Project Office, "JHF ACCELERATOR DESIGN STUDY REPORT" KEK Report 97-16
- [3] R.E.Shafer, "BEAM POSITION MONITOR SENSITIVITY FOR LOW- β BEAMS" Proceedings of the 1994 International Linac Conference." p905-907