

SUMMARY TALK (II) -- BEAM MONITOR

Masayuki OYAMADA

Laboratory of Nuclear Science, Tohoku University

1-2-1 Mikamine, Taihaku-ku, Sendai 982

ABSTRACT

This paper summarizes 8 papers which were classified into the "BEAM MONITOR" and presented at the poster session, and an extra brief talk on a bunch length monitor using a multichannel coherent radiation spectrometer.

ポスターセッション「ビームモニタ」のまとめ

1. はじめに

今回のリニアック技術研究会の新しい試みとしてポスターセッションのまとめをテーマ毎にやりたいのでビームモニターの発表をまとめて欲しいとの主催者の依頼を筆者の浅学を省みずに引受けてしまった。当日はポスターセッション時間一杯をビームモニターの掲示板の前で過ごし、執拗な質問を繰り返した。中にはかなり意地悪な質問もあったが役目がらでもありお許しを願いたい。

2. 発表論文

発表件数は8件で例年とはほぼ同じである。以下に簡単に列挙する。

1. 柳田謙一他 立ち上がりの速いビーム電流モニターの開発 (21-p12)[1]
2. 細野米一他 ピコ秒パルス電子線モニターの開発 (21-p13)[2]
3. 本間彰他 伝送線路形式のピックアップを用いたビームモニターの応答(21-p14)[3]
4. 小林利明他 アモルファスコアを用いたビーム位置モニター(21-p15)[4]
5. 諏訪田剛他 KEK 電子/陽電子ライナック用ビーム位置モニターの開発(II)(21-p16) [5]
6. 早野仁司他 ワイヤースキャナービームサイズモニターのビームテスト(21-p17) [6]
7. 池上雅紀他 7 MeV 陽子線形加速器のエミッタンス測定装置(21-p18)[7]
8. 五十嵐前衛他 KEK 40 MeV 陽子リニアックのモニター系 (21-p19)[8]

内容に従って分類を試みると1~3はビームパルスまたはパンチの波形観測用、4~6はビーム位置およびサイズの観測、7は新しく建設された陽子リニアックに組み込むエミッタンスモニタ、8は長年運転実績のあるKEK 40 MeV 陽子リニアックの各種のビームモニタに

ついでの発表であった。

早い立ち上がりのビーム波形の観測に関するキーポイントをつぎに挙げる。

- ・ピックアップ部
 - ・伝送線路、ストリップライン
 - ・壁電流、抵抗体、ローディングコア、キャビティ
 - ・同軸端、ボタン電極
 - ・チェレンコフ光
 - ・ウェークフィールドの混入
- ・信号の伝送
 - ・同軸ケーブル、セミリジッドケーブル
 - ・高次モード
 - ・光として伝送
 - ・分散、ロス、帯域幅、フィルタ
- ・ピックアップ部と伝送線路のマッチング
 - ・良いインピーダンスマッチング
 - ・わざと mismatching
- ・測定部の早さ
 - ・サンプリングスコープ (rise time 20 ps)
 - ・トランジェントデジタイザ
 - ・ストリークカメラ (rise time 0.6 ps)

つぎに各論文を簡単に紹介する。

2. 1 立ち上がりの速いビーム電流モニターの開発 原研 大型放射光グループ 柳田他

SPring-8 入射用リニアックでは 1 ns の非常に短いビームと 40 ns のビームを加速することが計画されている。この電流波形を観測するために立ち上がり時間 300 ps 以下でドループの少ないモニタが必要となる。彼らはこの要求にマッチしたモニタとして壁電流モニタを試作しその動作特性を確認した後で改良型を制作しテストを行った。壁電流モニタの構造は文献 [1] の図 1 を参照。

この構造での動作原理はローディングフェライトコアの内側のビーム電流と同軸のセラミック抵抗体が1ターンの電流トランスになっており、コモンモードのノイズ電流はシールドケースの外側を流れる。更にシールドケース自体がRF共振器になっており、周波数帯域を高い方に伸ばす役割を果たしていることを確かめた。波形の立ち上がり時間はこの共振周波数で決まる。ローディングフェライトコアの比透磁率の周波数依存性が $1/f$ で周波数の低い方まで伸びているところまでモニタの帯域幅が広がる結果を得た。

以上の試験結果にもとづいて改良型のモニタを試作した。改良のポイントは共振器(シールドケース)の周波数を2GHzまで高めたことと比透磁率が20kHzまで伸びているフェライトを採用したことである。このことにより立ち上がりが早く、パルス幅の広いビームまで使えるモニタを製作できた。

2.2 ピコ秒パルス電子線モニターの開発

東大工 細野他

第一筆者の細野氏は速いパルス技術に関して長く広い経験を持っている。筆者等は東京大学および大阪大学のピコ秒パルスリニアックのビーム波形モニタとして非常に簡単なものを考案してテストを行なった。(参考文献[2])。モニタの構造は市販のRFコネクタ(SMA、BNC、N)を削り落として内部導体と外部導体を同一面に仕上げたものである。これを単独にまたはビームパイプに取りつけてビーム軸に近づけてセットする。波形は10mのセミリジッドケーブル($f_c=18$ GHz)を用いて測定室まで導きサンプリングスコープ($f_c=14$ GHz)により観測した。実験に用いたビームのパンチ幅は東大のが10ps、阪大のが30psである。観測された波形の立ち上がりは約25-30psで、この値はサンプリングスコープの立ち上がり時間に相当する。このモニタの感度はRFコネクタの内部導体の面積に比例していることが実験的に確かめられた。モニタの出力はパンチの電荷量に比例している。

この発表に対してモニタ感度がビームとの距離に対する依存性について質問があった。出席者の中から、シングルパンチの場合は r^{-2} 、長いパルスでは r^{-1} であり、実際のビームでは指数は -1 と -2 の間になるとのコメントがあった。

2.3 伝送線路形式のピックアップを用いたビームモニターの応答

北大工 本間他

この論文は伝送線路をピックアップとして用いた場合の波形応答について解析的に求めた結果と実験結果を比

較したものである。ここで用いた伝送線路はビーム位置モニタに一般的に用いられるストリップライン(50 Ω)ではなく直径0.5mmの細い線で、特性インピーダンスは計算で200 Ω と求められている。ビームの下流側はダクトに直接接地されており、上流側は信号取り出し用の同軸ケーブルに接続されている。参考文献[3]図3参照。電子ビームによる信号はピックアップの両端のみで誘起されるとし、さらにインピーダンスのミスマッチによりピックアップの両端で信号は多重反射される。ガウシアン形のシングルパンチを観測した場合のシミュレーションで求めた波形と阪大産研シングルパンチリニアックでの実験から得られた波形を比較した。実験ではウェークフィールドの影響を除くためモニタ部の前後にテーパーダクトを接続した。これが内場場合には波形に影響が見られた。図3および図4に見られるように最初のピークの後に極性が反転したピークが現われるがその形の一致は良くない。その理由は何なのか検討してみる必要があるのではないだろうか。

2.4 アモルファスコアを用いたビーム位置モニター 東大工原子力工学施設 小林他

小林等はアモルファスコアを用いたビーム電流モニタ、波形モニタを開発した実績を持つ。このモニタではトロイダルコアに対して巻き線を均一にして漏洩インダクタンスをできるだけ小さくしてきた。今回開発した位置モニタはそれとは逆に4組の巻き線を上下左右に片寄せして巻き、ビームが中心軸を外れたときに出力に差が出るようにした。その差からビームの位置が求められる。シミュレーションは計算とワイヤにパルス電流を流してオシロスコープ観測する2方法で行ない、東大リニアックのビームを用いた実験と比較した。

アモルファスコアを用いたビーム位置モニタの性能は下記のような特長を持っている。

- ・ダイナミックレンジが大きい。mA \sim A
- ・位置分解能は1mm。
- ・測定できるビームのパルス幅はnsから μ sまで。
- ・位置のリニアリティは中心から ± 15 mmの範囲。

2.5 K E K 電子/陽電子ライナック用ビーム位置 モニターの開発(II)

K E K 放射光入射器 諏訪田他

前回の研究会で諏訪田等は30cm長のワイヤ電極を用い、位置精度0.25mmのビーム位置モニタを報告した。今回はBファクトリの入射器に使うことを念頭にして、ピックアップ電極をストリップラインにし長さも13cmとコンパクトにした。信号処理の電子回路の周波数250MHzである。

テスト実験は東大リニアックのシングルバンチビームを用いて行なった。リニアックからのビームは出口で3 mm ϕ のコリメータで位置を固定して、このモニタを導波管型ビーム位置モニタと共に精密移動ステージにセットした。参考文献 [5] Fig.3 参照。ピックアップからの信号をサンプリングオシロスコープで観測するとともにスペクトラムアナライザで周波数成分を観測した。その結果はストリップラインの長さから計算したものと良い一致を示した。ビーム位置モニタを水平方向に移動してビームとモニタの相対位置に関して Δ/Σ カーブを求めた。実験結果は計算値と誤差の範囲内で良く一致している。

2. 6 ワイヤスキャナービームサイズモニターのビームテスト

KEK 加速器 早野他

早野等は東北大核理研と共同で東大リニアックを用いてビームモニタのテストを行なった。実験はワイヤスキャナの他にアモルファスコアを使用したカレントトランス型電流モニタ、スクリーンモニタおよびストリップライン型ビーム位置モニタを同時に使用しデータを比較した。実験全般を通してビームアナライザを通った後のビーム波形、強度のバルス毎の変化に悩まされた。実験結果は本報告書に5ページにわたって詳細に報告されている。参考文献 [6] 参照。

スキャンニングワイヤから発生する γ 線は下流に設置したイオンチェンバおよびシンチレーションカウンターでアナログ電流信号として取り出す。イオンチェンバの出力は後ろに400 nsの台形状の尾を引く。この時間はガス中での電子の移動時間に相当する。ピーク値比較でのS/N比は3であった。それに対してシンチレータの出力はビーム波形を再現しておりS/N比は印加する高圧電圧を適切に選べば80が得られた。

最終的なテストのスキャンおよびデータ取り込みはコンピュータにより制御した。ワイヤ駆動のステージの分解能が非常に高いので、スキャンに時間がかかり過ぎるくらいがある。

スキャン中のワイヤの振動が測定結果に影響があるかどうかを見るためにワイヤを固定し上流のステアリングの電流を変化した場合のデータと比較した結果、ほとんど影響がないことがわかった。

ビームプロファイルはスクリーンモニタ画像ををデジタル処理したデータとワイヤスキャナのデータを比較すると非常に良く一致した。

さらにモニタの2.5 m上流のQマグネットと組み合わせてエミッタンスの測定を行なったが、ワイヤスキャナとスクリーンモニタの結果はおおむね一致した。

2. 7 7 MeV 陽子線形加速器のエミッタンス測定装置

京大化研 池上他

京大化研のイオンリニアックが完成した。リニアックの下流にエミッタンス測定装置を建設中であるが今回の発表はハードウェアについての報告である。

RFQ型リニアックはRF接続の容易さを考えてベンが45度傾いて取付けられているが加速されたビームはX、Y平面で対称ではない。このままではビームハンドリングが不便なので下流に2組のスキューQダブレットを設置し対称面を45度回転している。エミッタンス測定装置はこの間に設置してある。

エミッタンス測定装置の無酸素銅スリットブロックには0.2 mm \times 40 mmの貫通孔があり、 ± 20 mm可動なのでエミッタンスの測定範囲は ± 20 mm、 ± 20 m rで分解能はそれぞれ0.2 mm、0.2 m rである。

エミッタンスの測定と解析はネットワークで接続されたPCsとVAXによって行なわれるが、ソフトウェアを製作中で、完成次第エミッタンスを測定して秋の物理学会で発表する予定である。

2. 8 KEK 40 MeV 陽子リニアックのモニター系

KEK 加速器 五十嵐他

KEK 40 MeV 陽子リニアックには下記のビームモニタが開発され組み込まれている。

- ・マルチワイヤプロファイルモニタ、2ヶ所
H: 32本、V: 32本、2.5 mmピッチ。
- ・エミッタンスモニタ
スリットおよびファラデーカップ。
- ・コアモニタ
マクロビーム波形観測用。
- ・バンチモニタ
40 MeV タンクの後。アモルファスコア1ターン。
- ・速度 (エネルギー) モニタ
飛行時間法、ライン上の2ヶ所のバンチモニタよりの基本波 (201 MHz) の位相を比較。
- ・モーメントムアナライザ
パルスビームの任意の位置の運動量分布が分かる。
運動量測定幅は2.2%、測定時間感覚は2.2 μ s。
上記モニタによって取り込まれたデータはビーム強度レコード記憶される。必要に応じてトレンド記録としてチャート形式で取り出ししている。ポスタでは、イオン源、リニアック入口、リニアック出口、ブースタ入口、ブースタ、主リング、20 MeV リニアック速度モニタ、40 MeV リニアック速度モニタの10日間の記録が展

示された。

担当者の努力によりモニタの整備はほぼ完成の域に達したとの印象であった。

3. コヒーレント放射を使ったバンチ長計測 (番外)

東北大 中里他

ポスタセッションで発表されたバンチモニタはいずれも時間ドメインでの測定方法によるが、まとめの議論の中で東北大中里等によって開発されているコヒーレント放射スペクトロメータを利用した周波数ドメインにおける測定法について簡単な紹介がなされた。参考文献 [9] 参照。これは球面状の開設格子と 10 本の検出器を組み合わせでシングルバンチ 1 発の形状を測定するものである。

会場での議論ではこの測定法では周波数成分の大きさだけの測定で、位相が分からないので複雑なバンチの形状は再現できないのではとの指摘があった。中里氏はダンピングリングの後ろなど、ほぼガウシアン分布と考えられる場所では有効な測定手段になるとの見通しが述べられた。さらにバンチが短くなれば短いほど測定が容易になることが力説された。

4. まとめ

このようなまとめのセッションを企画された実行委員会に満場の拍手が送られた。ポスタセッションでの議論も心なしかいつもの年より熱気が感じられ、次回以降もテーマを変えて続けられることを希望する。

参考文献

- [1] 柳田謙一他「立ち上がりの速いビーム電流モニタの開発」本研究会報告集
- [2] 細野米一他「ピコ秒パルス電子線モニターの開発」本研究会報告集
- [3] 本間彰他「伝送線路形式のピックアップを用いたビームモニターの応答」本研究会報告集
- [4] 小林利明他「アモルファスコアを用いたビーム位置モニター」本研究会報告集
- [5] 諏訪田剛他「KEK 電子/陽電子ライナック用ビーム位置モニターの開発(II)」本研究会報告集
- [6] 早野仁司他「ワイヤースキャナービームサイズモニターのビームテスト」本研究会報告集
- [7] 池上雅紀他「7 MeV 陽子線形加速器のエミッタンス測定装置」本研究会報告集
- [8] 五十嵐前衛他「KEK 40 MeV 陽子リニアックのモニター系」本研究会報告集
- [9] 中里俊晴「コヒーレント放射を使ったバンチ長計測」本研究会報告集