

20-P28

## BEAM MATCHING SECTION FOR ICR LINAC

H.Dewa, H.Fujita, M.Ikegami, M.Inoue, Y.Iwashita, S.Kakigi,  
M.Kando, A.Noda, H.Okamoto and T.Shirai

Institute for Chemical Research, Kyoto University  
Gokanoshō, Uji-city, Kyoto-fu 611, Japan

### ABSTRACT

The beam matching section between 433 MHz proton RFQ Linac and Alvarez Linac was developed. Six permanent magnetic quadrupole lenses (PMQs) and a double gapped buncher are installed in a 565 mm beam matching section. Each PMQ is consist of eight trapezoidal magnets made of Nd-Fe-B. The beam matching section with the PMQs can be designed under the small space restriction.

### 化研リニアックのビームマッチングセクション

#### 1. 序

京都大学化学研究所の陽子線形加速器は433 MHzのRFQリニアックとアルバレ型リニアックからなる。イオン源からでてきた50 keVの水素イオンをRFQリニアックでRFバンチと2 MeVまでの加速を行ない、565 mmのビームマッチングセクション(BMS)を経てアルバレで7 MeVまで加速する。RFQから出てきたビームをそのままアルバレで加速すると横方向のビームマッチングがとれないのでRFQとアルバレの間にBMSを設ける必要がある。

長いBMSを設置するとRFQからアルバレまでビームが進む間にバンチ幅が広がってしまう。このためBMSの設計においては横方向の収束のみならず、縦方向の収束も考える必要がある。

このBMSについては初め8個の永久磁石四重極レンズ<sup>1)</sup>(Permanent Magnetic Quadrupole lens; PMQ)とバンチャーによるデザイン<sup>2)</sup>が考えられたが、5 kW程度の電源で200 kVの電圧を発生させるため、バンチャーを大きくする必要があり、このためビーム光学系を新しく設計することとなった。新しい設計のもとでダブルギャップバンチャーを製作した<sup>3),4)</sup>が、PMQについては前のデザインのもとで製作されたPMQのうちの4個をビームが発散しないように設置しただけで、ビ

ームのマッチングはとれていなかった。

そこでマッチングがとれるように今回新しくPMQを製作した。ビームがPMQに当たらないようにビーム径とPMQの内径の比を大きくすること及びビーム通過型のパルスビーム電流モニターを設置することを考慮してBMSのビーム光学の再設計を行なった。以下BMSの設計、PMQの設計および製作について報告する。

#### 2. BMSの設計

ビーム軌道計算のための計算機コードであるTRACE 3-Dを使ってBMSの設計計算を行なった。まずビーム径と内径の比を大きくとるためにできるだけビーム径が小さくなるような収束系とした。また同じ収束力を得る場合でも磁場勾配を小さくして磁石の長さを長くするようにした。こうすることでPMQの内径を大きくできる。

またトロイダルコアをつかったビーム非破壊のビーム電流モニター<sup>5)</sup>をアルバレ直前に設置するための空きスペースを設けた。30ターンのコイルを巻いたトロイダルコアはトーラス型のガラス管に封入されている。ガラス管の内径、外径、長さはそれぞれ12 mm、40 mm、45 mmである。このモニターとアルバレの後ろのファラデーカップによりアルバレのトランスミッションを測定す

ることができる。

図1にTRACE 3-Dの計算結果を示す。バンチャーの前に4個、後ろに2個のPMQを配置した。最大のビーム半径は5番目のPMQで5.0 mmである。ただしエミッタンスの値はPARMTEQによる粒子数1000個のビームシミュレーション計算から得られた100%エミッタンスの値である。

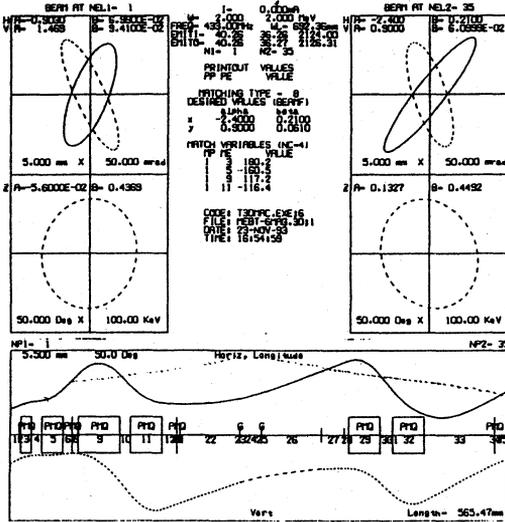


図1 TRACE 3-Dの計算結果

### 3. PMQの設計

BMSにおいては永久磁石でできたPMQを用いてビームマッチングをおこなっている。PMQを使うことの利点は小型なものが製作できること、小型でも強い磁場が得られること、冷却が不要なことがある。不利な点としては磁場の強さを変えられないこと、高次成分を含むこと等がある。このBMSでPMQを使った理由は、小型化の要求が大きかったためと、計算上はビーム電流が変化した場合に磁場の強さを変えなくてもビームロスが生じないことが確かめられているためである。製作したPMQの形状を図2に示す。

8つの台形型磁石からなる構造のもので次式で表される四重極成分の磁場勾配が発生する。

$$\frac{\partial B}{\partial r} = \frac{8 B_r}{\pi r_1} \left(1 - \frac{r_1}{r_2}\right) \cos^2\left(\frac{\pi}{8}\right) \sin\left(\frac{\pi}{4}\right)$$

ただし  $B_r$  は磁石の残留磁束密度、 $r_1$ 、 $r_2$  はそれぞれPMQの内半径及び外半径である。磁石の

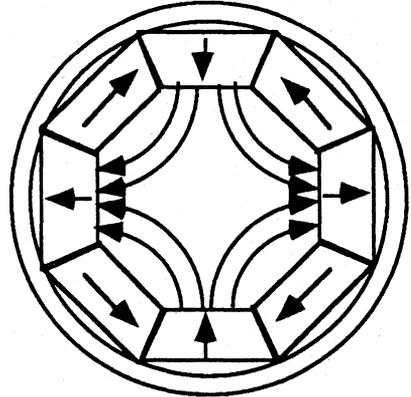


図2 台形8セグメントPMQ

磁束密度を高くすることで同じ磁場勾配でも内径を大きくすることができる。磁石の材質はNd-Fe-Bで現在入手できる最も磁束密度の高い永久磁石である住友特殊金属(株)のNEOMAX-41Hである。NEOMAX-41Hの残留磁束密度は12.9 kGが得られている。磁石は保護のため表面にNiコーティングを行なっている。PMQは磁石の長さ、外径、磁場勾配などの異なる6個4種類のを製作した。

	磁石長 [mm]	内径 [mm]	磁場勾配 設計値 [kG/cm]	磁場中心の ずれ x, y [mm]	角度ずれ [deg]	磁場勾配 測定値 [kG/cm]
No.1	12.0	11.6	18.0	0.044, 0.032	1.2	17.05
No.2	24.0	12.4	16.0	-0.025, 0.089	-0.6	15.71
No.3	48.0	14.6	11.7	0.037, 0.075	0.3	11.25
No.4	36.0	14.6	11.7	-0.089, 0.013	-0.5	11.06
No.5	36.0	14.6	11.7	-0.051, 0.041	-0.7	11.10
No.6	36.0	14.6	11.7	0.036, -0.039	-2.2	11.14

表1 PMQのスペック

### 4. 磁場測定

回転コイルによる角度方向の磁場測定<sup>6)</sup>を行なった。測定された磁場勾配、磁場中心のずれ、磁場の角度方向の結果を表1に示す。設計値と比較すると磁場勾配は2%から6%程度小さい値となった。反磁場の影響、磁石のバラツキ、製作誤差等のため、設計時には式の値に0.9(経験値)をかけた値を得られる磁場勾配であるとしていたが、それよりもやや弱い。設計値と実測値の違いを補

正するために、PMQの組み込み位置は設計通りとせず、再びマッチング計算を行ない、その結果からPMQの位置をずらしてマッチングがとれるようにした。この程度の磁場中心のずれ及び角度のずれについては、加速管の長さが短いためビームロスの点から言えば全く問題ないと思われる。次にNo. 1のPMQの磁場のフーリエ成分（四重極成分を100%とする。）を図3に示す。ダイポール成分（ $n=1$ ）及び高次成分（ $n \geq 3$ ）ともに $n=2$ の四重極成分と比較して十分小さい。

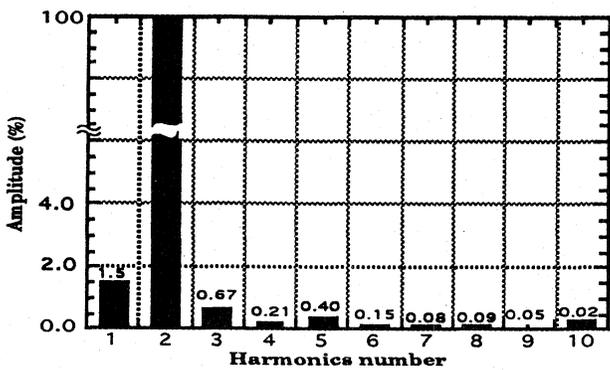


図3 PMQの磁場のフーリエ成分

### 5 PMQの組み込みとトランスミッション

6個のPMQのうち2個のPMQはRFQの端板内に設置し、バンチャーの前後にはPMQを入れるホルダーがRFQ及びアルバレの端板に位置の精度良く取り付けられるようになっている。図2にBMSを横から見た断面図を示す。

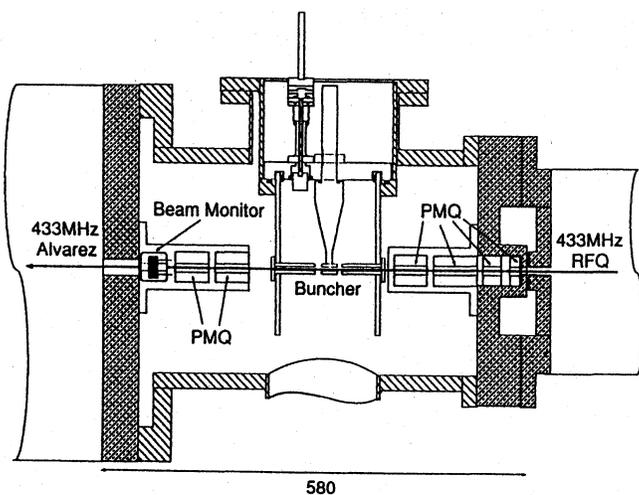


図2 BMSの断面図

バンチャーの位相および電圧を最適にしたときアルバレのトランスミッションは約90%であった。このときバンチャー電圧は100kV×2であった。ほぼ良好な結果を得たが100%にならないのは次の原因が考えられている。現状ではイオン源からRFQへの入射でミスマッチングが起きていることである。このためRFQから出てくるビームのエミッタンスが計算値の約2倍となっており、RFQのトランスミッションが80%と低くなっている。このためBMSでもビームロスがあり、ミスマッチングが起きていると考えられる。これについては現在LEBTの改良を進めている。

### 5. おわりに

PMQを収束要素として利用することにより、自由度の大きい、小型のBMSを製作することができた。今後LEBT系の改良が進み10mA以上の大電流ビームになった場合、空間電荷効果によるミスマッチの影響がでてくる可能性がある。ビームロスの増加があるかどうかやエミッタンスの増大について今後検証していく必要があると考えている。

### 参考文献

- 1) H.Okamoto and Y. Iwashita; Bull. Inst. Chem. Res., Kyoto Univ., Vol.64, No.1, pp20-24 (1986)
- 2) M.Sawamura et al.; Bull. Inst. Chem. Res., Kyoto Univ., Vol.66, No.1, pp38-43 (1988)
- 3) H.Dewa et al.; Bull. Inst. Chem. Res., Kyoto Univ., Vol.70, No.1, pp38-43 (1992)
- 4) H.Dewa et al.; Proceedings of the 18th Linear Accelerator Meeting in Japan pp160-164 (1993)
- 5) H.Dewa et al.; Bull. Inst. Chem. Res., Kyoto Univ., Vol.72, No.1, pp76-86 (1994)
- 6) H.Okamoto et al.; Rev. Sci. Inst., Vol.60, No.9, September, pp. 2950-2980 (1989)