

BENDING MAGNETS FOR THE DOUBLE-SIDED MICROTRON

T. Tanaka, K. Sato, K. Hayakawa and O. Takeda
Atomic Energy Research Institute, Nihon University

ABSTRACT

Bending magnets for the first turn orbit in the double-sided microtron have been constructed and installed. The field uniformity of $\Delta B/B_0 = \pm 0.07\%$ has been obtained for main sector magnets, which is not necessarily enough for stable operation of the microtron. Pole surface coils were tested and found to be so effective that the field uniformity of $\pm 0.01\%$ was obtained.

ダブルサイデッドマイクロトロンへの偏向電磁石の製作

1. 序

ダブルサイデッドマイクロトロンへの電磁石系のうち、入射後最初の一周までの電磁石がすでに製作され、磁場分布の測定をほぼ終わって設置されている。偏向電磁石の設計は TRIM の計算結果に基づいて行ったが、主偏向電磁石 (EM1 ~ EM4) についてはさらに、モデル電磁石の製作とその磁場分布の測定を行い、その結果を考慮して実際に使用する電磁石を設計・製作した。本報告では、主偏向電磁石の磁場測定結果と、磁場の均一度の改善について述べる。

2. 主偏向電磁石の磁場測定および磁場分布の改善

主偏向電磁石では、曲率半径の異なるビームを設計通りに偏向させるために、広範囲に渡って均一な磁場が必要になる。計算機による加速のシミュレーションをもとに、主偏向電磁石は磁場の均一度 $\Delta B/B_0 = \pm 0.02\%$ を目標に設計・製作した。

磁場測定は、主偏向電磁石 1 台ごとに行った。測定には 0.1°C 以下に温度制御されたホール素子を用い、 $1\text{m} \times 1\text{m}$ の範囲でパルスモーターによって駆動する駆動台に取付け、ポールギャップの中心面上でのギャップ方向成分の分布をフィールドクランプから十分外側までの範囲に渡って測定した。

ポールエッジの内側の平坦部における磁束密度は、 1867.19 G が必要であるため、それぞれの電磁石はこの付近の値に励磁して測定した。測定結果から求めた等磁場曲線を電磁石 EM1 を例に第 1 図に示す。等磁場曲線は 0.1867 G ごと、すなわち磁場の平坦部の 0.01% ごとに描かれている。測定の結果、平坦部での磁場の均一度は $\Delta B/B_0 = \pm 0.1\% \sim 0.15\%$ 程度であった。この結果は磁場の均一度が設計より 5 倍も悪いことを示す。これにはビームの無分散側に相当する部分での磁場の落ち込みが大きく寄与している。また、ポールピースのエッジ部分は磁場の平坦部を広くするためにシムが取付けてあるが、その効果が過剰でエッジ付近に鋭い磁場のピークがみられる。さらに全体の磁場分布が、ポールギャップの狂いを反映していることが、ギャップの測定結果から解った。このため、以下の改良を行った。

- 1) シムの厚さは 1.5 mm であったが、これを 0.2 mm 削り、1.3 mm にする。
- 2) ギャップの一様性を向上させるために、ポールピースとヨークとのあいだのスペーサーを調整する。
- 3) ポールピースとヨークとのあいだのポールピース側に取付けたシムの取付け具合が良くなく隙間があったので、シムの取付けボルトの数を増やす。
- 4) 十分な磁場の均一度が得られない場合にポールピースの表面に磁場補正用の表面コイルを取付けるためのネジ穴を開ける。

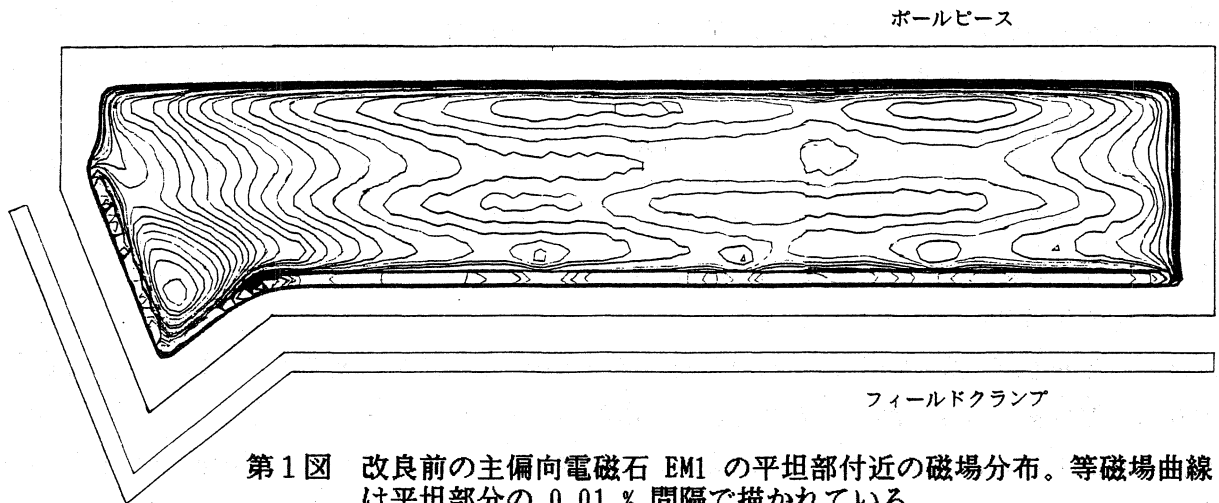
これらの改良を行ったのちに測定した磁場分布を EM1 を例に第 2 図に示す。第 1 図と比較するとシムの厚さを 0.2 mm 削った効果として、磁場のピークが消えている。また、ギャップの調整を行った結果と考えられるが、4 台の電磁石ともポールピースの無分散側での磁場の落ち込みが小さくなっており、全体として、磁場の均一度は、 $\Delta B/B_0 = \pm 0.07\%$ 程度まで改善されている。しかし、依然として無分散側での落ち込みが大きい。このような磁場分布の場合、曲率半径の異なる軌道では、軌道に沿った磁場の積分値の設計値からのずれ方が異なり、励磁電流を調整してもすべてのビームの位置と偏向角を設計どおりにはできない。この場合、偏向角の狂いをステアリングコイルで補正することも可能ではあるが、設計軌道からの軌道長の狂いとそれによるビームバンチのマイクロ波に対する位相の狂いは避けられないため、可能な限りステアリングコイルによる補正を少なくしたい。そこで、磁場の均一度をさらに改善する試みとして、ポールピースの表面に補正コイルを巻くことによって均一度をあげるテストを次のように行った。

3. 表面コイルによる磁場分布の改善

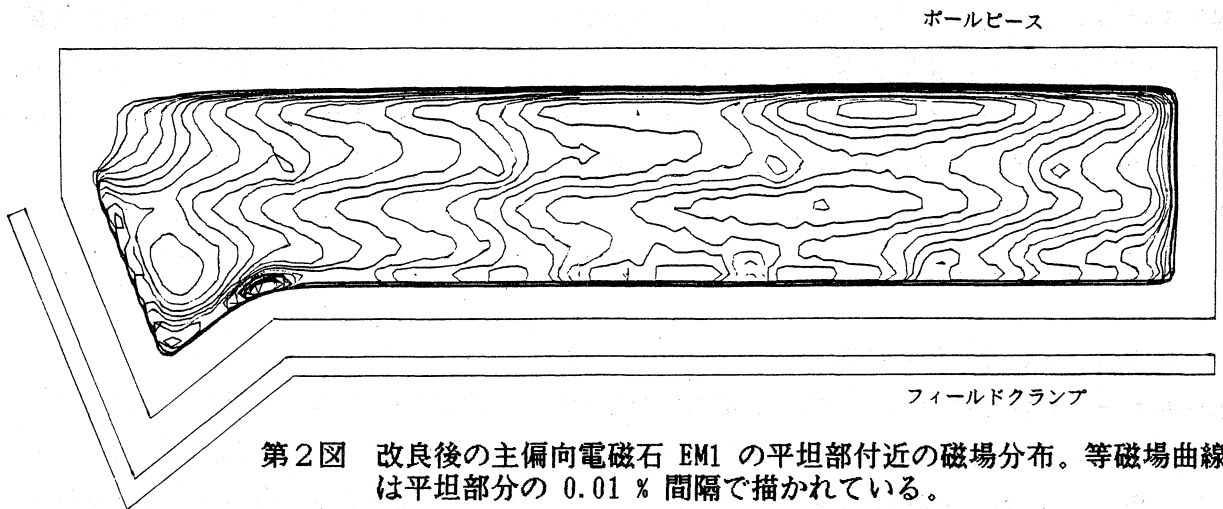
ポールピースの表面にコイルを巻いて磁場分布を補正する方法は、簡単に実現でき、経済的でやり直しが効き、必要ならばコイルの電流値を調整して最適値を求めることもできる。EM4 について、直径 0.6 mm の銅線を用いてガラスエポキシ板の上に、磁場測定で得られた等磁場曲線に沿って巻いたコイルを製作し、ポールピースの上下の両面に取付けてその効果を試した。

コイルの形状としては、ギャップの中心面上で求めた磁場分布から得た、平坦部分の 0.01 % ほどの等磁場曲線を用いた。試験的なものなので無分散側の磁場の落ち込みのある領域付近のみを補正する事にした。コイルの形状を第 3 図に示す。理想的には $\Delta B/B_0 = \pm 0.0025\%$ まで改善される。この等磁場曲線の間隔と、主コイルの励磁電流値から、補正コイルに必要とされる電流値は約 0.40 A となるので励磁電流を 0.40 A にして、このときの磁場分布の改善の様子を調べた。それぞれの場合の等磁場曲線の分布を第 4 図に示す。これらの図を比較すれば表面コイルによる磁場の改善の効果は明らかである。

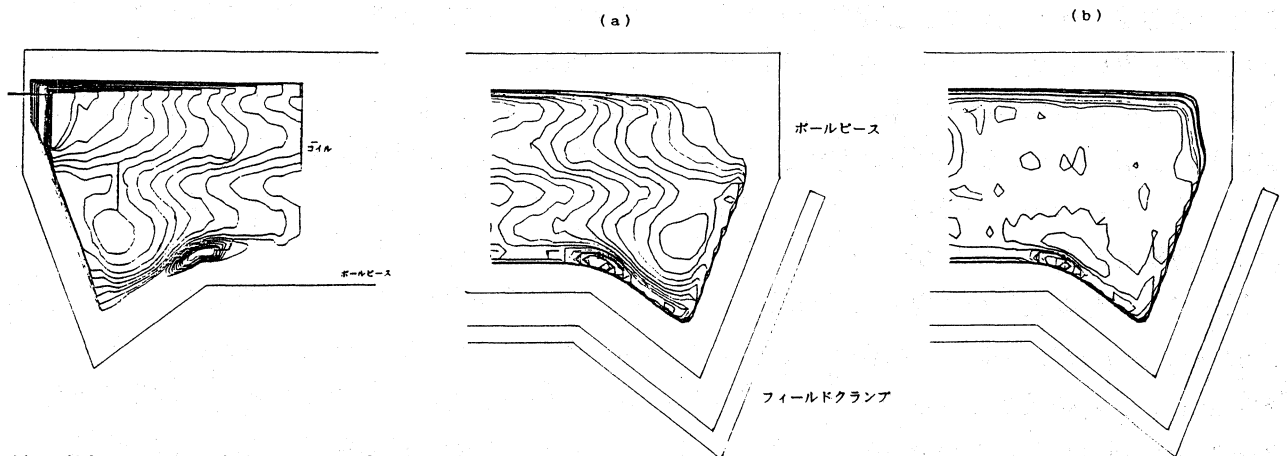
補正コイルを励磁した状態では、 $\Delta B/B_0 = \pm 0.01\%$ まで改善されており、目標としていた $\pm 0.02\%$ を上回っている。この値は、ホール素子の温度安定度を考慮したときの測定精度と同程度である。この結果から、ポールピースの表面に補正コイルを取付けて磁場を補正する事で十分均一な磁場が得られる事が確かめられた。このため、今後 4 台の主偏向電磁石すべてに表面コイルを、ポールピースの全面に渡って製作し、取付けることにし、ガラスエポキシ両面プリント基板による製作を検討中である。



第1図 改良前の主偏向電磁石 EM1 の平坦部付近の磁場分布。等磁場曲線は平坦部分の 0.01 % 間隔で描かれている。



第2図 改良後の主偏向電磁石 EM1 の平坦部付近の磁場分布。等磁場曲線は平坦部分の 0.01 % 間隔で描かれている。



第3図 EM4 に取りつけた表面コイルの形状。EM4 の上側のポールピースに取付けた状態を下から見たときを示す。

第4図 表面コイルの電流値 0 A (a)、0.40 A (b) のときの磁場分布の比較。等磁場曲線は平坦部分の 0.01 % 間隔で描かれている。