UPGRADE OF THE KEK POSITRON GENERATOR (DESIGN OF THE FOCUSING SOLENOID COIL)

T.Oogoe, A.Enomoto, S.Ohsawa, M.Yokota, K.Kakihara, T.Kamitani, I.Sato and A.Asami
National Laboratory for High Energy Physics (KEK)

ABSTRACT

Upgrade of the KEK Positron Generator is necessary for increasing positron-beem intensity. As a part of the positron generator upgrade, the focusinng solenoid coil will be reconstructed in order to produce a field twice as strong as before. This report describes the idea for fabricating this new focusing solenoido coil.

KEK陽電子発生装置の増強 (陽電子ビーム収束用ソレノイドコイルの変更)

1．はじめに

高エネルギー物理学研究所の陽電子発生装置に於ては、High Luminosity 実験の開始、Bーファクトリー計画の検討等が進められているため、陽電子ビームの強度を上げることを強く望まれている。そのため昨年度より陽電子発生措置の増強の検討と一部装置の準備を開始した。

この報告では、陽電子発生用ターゲットの直後にある加速管を覆うように設置されている収束用ソレノイドコイルの新規製作について述べる。

2．ソレノイドコイルの検討

今回の増強の目的は、陽電子の収量を増やすことである。そのために、ビームトランスポートのアクセプタンスを大きくする必要があり、陽電子発生用ターゲットの直後にあるパルスコイル、ソレノイドコイル、四極電磁石の強化が不可欠である。その中のソレノイドコイルでは、磁束密度を0.2 Teslaから0.4 Teslaに強化することになる。そのため、下記の点について考慮し検討した。

1) 磁束密度　0.2Tesla（現在）→ 0.4Tesla

2) ソレノイドコイルサイズ

外形直径：現在使用している架台を使用する。
現在のソレノイドコイルを予備とする。

内径直径：加速管が設置できること。

長さ　：4 m 加速管2本を覆う（約8 m）

2) 磁束の漏れ・磁束の傾き

3) 放射線

2.1 冷却

現在のソレノイドコイルは、冷却用コイルの両側に平角銅線によるダブルパンケーキ巻のコイルをセットしたソレノイドコイルを並べたものである。そのためコイルの発熱は中央の冷却用コイルによって取り去っている間接冷却である。そのため、現在のコイルを使用し磁束密度を２倍にすることは冷却の問題で不可能である。なお、現在のリターンヨークでは磁束密度が飽和してしまう。

以上のようなことから、新しくソレノイドコイルを製作することにした。コイルの材料はHOLLOW CONDUCTOR（ホロコン）を使用する。ホロコンでは直接冷却方式が可能である。

2.2 コイルの巻数

平角銅線に比較して、ホロコンを使用すると巻数が大幅に減る。それを補うためにいくつかの工夫を行なった。

1) ソレノイドコイルの外形直径を最大に利用できるホロコンサイズを選んだ。

2) コイルを固定する場合樹脂による含浸があるが、樹脂による含浸では樹脂の厚みが必要である。また、テープによる固定もあるが、コイルの面が出しにくいためコイルが傾いて設置され磁束の方向が決まりにくい。以上のようなことから、リターンヨークとコイルを一体で含浸する方法をとった。この場合出きるかぎり多くのコイルを１個の含浸してしまった方がよい。このようにして、スペースファクターを高め、巻数を増やすことができた。

3) コイルの両端を同じ位置より取り出すのではなく、左右に取り出すことにより、コイル間の結線、冷却管の接続がしやすくなる。１つのコイルで1/2巻程度ではあるが巻数も増える。

上記（特に2).3))により樹脂の含浸による構造に比較して２０％前後の巻数を増やすことが出来た。

2.3 磁束の漏れ・磁束の傾き

ソレノイドコイルを覆うリターンヨークには、飽和磁束密度が高く、透磁率（μ）の大きい材質を使用しなければならない。高い磁束密度を持たせるためには含まれる不純物元素の少ない鋼板を使用する必要がある。なお、今回使用している鋼板はガス切断後熱処理を行ない磁気特性の回復を図っている。今回使用した鋼板（ＳＳＭ２５）とＳ１０Ｃの化学成分を表１、Ｂ－Ｈ曲線を図１、図２に示す。

ダブルパンケーキ巻のコイルを製作したとき、コイル中央部（巻始め位置）では銅線を曲げなければならず、磁束の一部に傾きの要素が加わる。平角銅線のように厚みの薄いものを使用したときは巻数が多いので傾きを無視することができるが、ホロコンのように厚みの厚いものでは巻数が少ないため影響を受けやすい。特に、ソレノイドコイルのように同じコイルを並べるものにおいては傾きの部分が重なり合うため磁界の一部に大きな傾きが出来る。今回製作のソレノイドコイルに於ては、傾きの部分が集中しないように図３のように、コイル中央部を４（a.b.c.d）箇所にした。コイルは同じものを製作し、上下左右にコイルを回転させ、コイル中央部が続かないように並べた。

2.4 放射線

ソレノイドコイルの設置される位置は、陽電子発生用ターゲットの直後であることから放射線が強い、そのため含浸に使用される樹脂について検討を行なった。トリアジン樹脂を主成分としたＢＴResinという熱硬化性樹脂を使用することにした。トリアジン樹脂は加熱により硬化して、トリアジン環が形成され、トリアジン環が高エネルギー放射線に対して安定である。なお、電気特性や耐熱にも優れている。しかし、融解温度が今まで使用してきた樹脂より高い。そのため扱いにくい、割れやすいのではないか等の不安が

ある。使用部分は、ターゲットに最も近い1 set（約45cm）目だけに使用した。

3．ソレノイドコイルのパラメータ

磁束密度：　0.4 Tesla

ソレノイドコイル全長：　8320 mm（図4）

ソレノイドコイル実長：　7512 mm（16ＳＥＴから成る）

ホロコン：　14 mm×14 mm　　t＝4.5 mm

巻　数　：　21.5 turn×14 coil×16 set

アンペアターン：　2.75×10（全長）

直流抵抗：　2.75 mΩ（計算値、40℃、1 coil）

　　　　　　2.67～2.71 mΩ（測定値、20℃、1 coil）

電　流　：　550 A（計算値、1 coil）

電　圧　：　1.5 V（計算値、1 coil）

流　量　：　2.0 l/min（計算値）　　　　3.4 l/min（測定値）

上昇温度：　6.7 ℃（計算値）

4．現在までの結果と今後の予定

リターンヨークに使用した鋼材の測定結果は予定通りであった。磁束の集中する端板に於ても磁束密度は飽和点には達しないことを確認している。

冷却水流量が計算（経験式）より大分多く流れているが現在まで測定したすべてのコイルが同じ値を示していることから問題はないものと考える。なお、現在製作中のコイルについてもですべて測定を行なう。

各コイルにおいて直流抵抗、磁場測定、インダクタンス、冷却流量の検査を行ない、各ＳＥＴではそれに加え絶縁耐圧、絶縁抵抗、励磁特性、中心軸上磁場分布の測定を行なっている。

今後の測定としてはソレノイドコイルをすべて設置した状態における磁場測定、特に真空引き口、冷却配管、Ｗ・Ｇ等によりコイルが巻けない部分の磁力の落ち込み、及び、磁束の傾きの測定が重要になる。今回のコイルが取付けられなかった位置のなかで、パルスコイルとソレノイドコイルの間は２つの磁場のつながる大変重要な位置なので可能なかぎりの大きさのコイルを入れることにした。４m加速管上流、下流の間もスペースが開き過ぎているのでコイルを入れることにしている。

今回始めて使用した樹脂（BTレジン）に於ては、早急に結果がでるとは思われないので時間をかけ観察する必要がある。

	Ｃ	Ｓｉ	Ｍｎ	Ｐ	Ｓ	
ＳＳＭ２５	0.002	0.01	0.15	0.007	0.003	(%)
Ｓ１０Ｃ	0.08	0.28	0.36	0.016	0.020	(%)

表1　化学成分表

Reference

熊谷教孝：　ＯＨＯ’８４高エネルギー加速器入門　高エネルギー加速器用電磁石

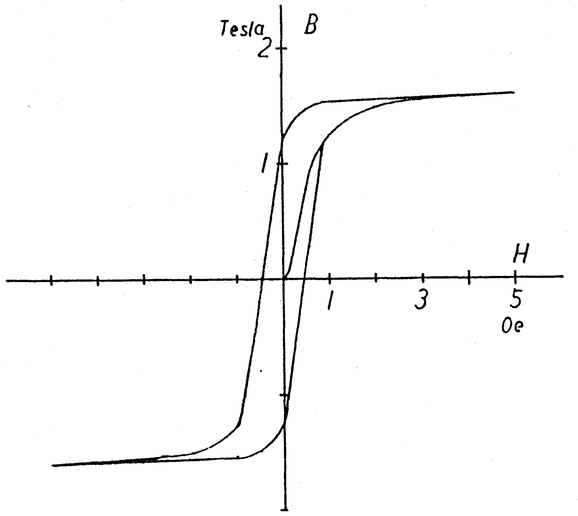

図1　ＳＳＭ２５鋼材

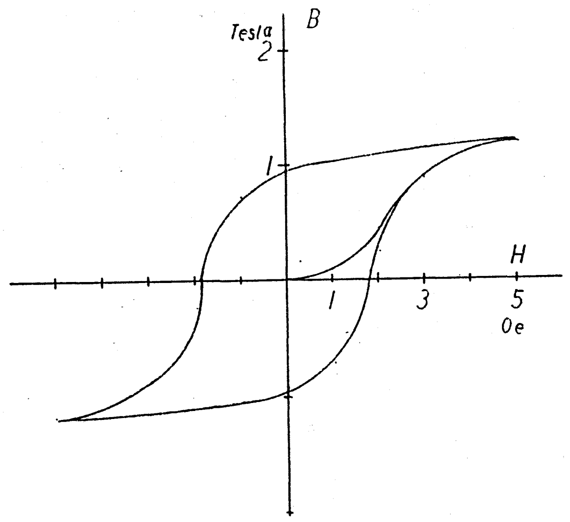

図2　Ｓ１０Ｃ鋼材

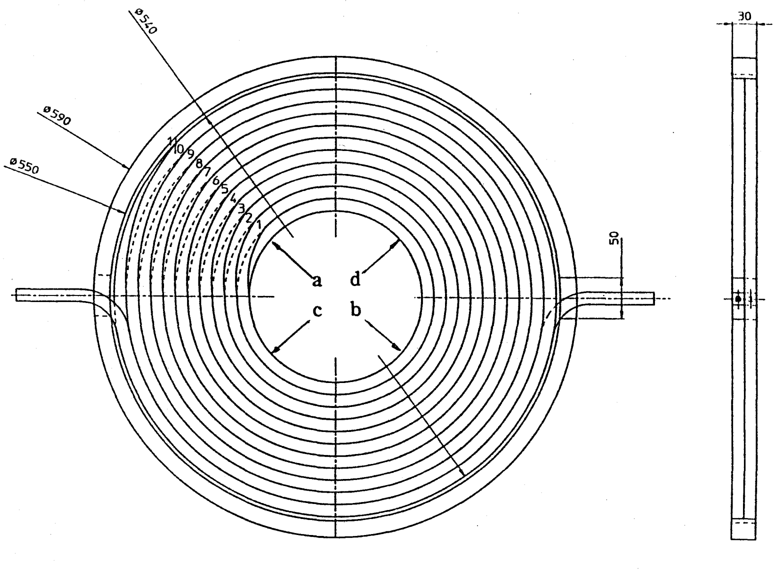

図3　コイル中央部（巻始め位置）

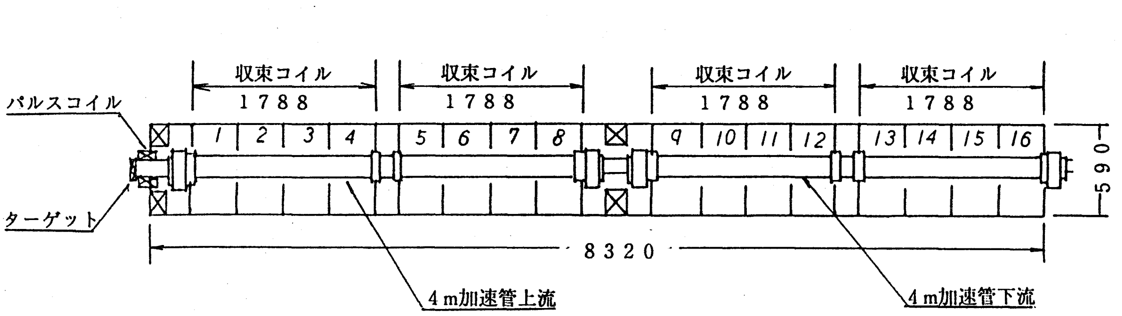

図4　ソレノイドコイル全体図