

[P7-30]

IMPROVEMENT OF THE KLYSTRON HEATER TRANSFORMER FOR 125MeV LINAC

K.Kanno*, T.Tanaka, Y.Hayakawa, K.Sato, K.Hayakawa, H.Nakazawa*, K.Yokoyama*,
T.Sakai*, I.Sato, K.Kageshima**, R.Kageshima**, and S.Fukuda***

Atomic Energy Research Institute, Nihon University
7-24-1, Narashinodai, Funabashi, 274-8501 Japan

* Graduate School of Science and Technology, Nihon University
7-24-1, Narashinodai, Funabashi, 274-8501 Japan

**Nihon Denji Kogyo Co., Ltd.

524-5, Kitano-cho, Hachioji, Tokyo, 192-0906, Japan

***High Energy Accelerator Research Organization, KEK
1-1, Oho, Tsukuba, 305-0801, Japan

Abstract

The heater transformer for the klystron of 125MeV Linac has been improved by changing the insulating materials and the winding frame to avoid the breakdown of the insulator. After that, there has been no breakdown occurred. The electric field strength around the heater transformer coils was calculated with the finite element method. From the result of calculation, it was shown that the improvement of the heater transformer was effective.

125MeV リニアック用クライストロンヒータートランスの改良

1. はじめに

日本大学電子線利用研究施設の 125MeV リニアックは FEL 発振と利用研究を主な目的として建設された。1998 年 1 月に電子線加速、同年 2 月にはアンジュレーター放射光の観測が行われ[1]、現在アンジュレーター放射光利用と FEL 発振にむけて研究が進められている。

ところが、クライストロンのコンディショニング中にパルストランスを収納するオイルタンク内で頻繁に放電が発生した[2]。クライストロンのヒータートランスに放電痕が認められ、カットコアに巻いてある絶縁紙が破損するなどの障害があった。そこで放電を避けるために、ヒータートランスの耐圧構造を改良することにした。

ここでは、放電の状況と改良点を報告する。

2. オイルタンク内の放電

オイルタンクは 30MV/m 以上の絶縁耐圧を持つ高品質絶縁油で満たされている。その中にヒータートランス等を入れることで、クライストロンアッセ

ンブリの耐圧を高くしている。

クライストロンのコンディショニング中に、ヒータートランス周辺で放電が時々発生していた。コンディショニングが進むにしたがって、次第に放電が頻繁になり、激しくなったため、加速器の運転を一時停止し、絶縁油の交換を行った。廃油は薄茶色に濁り、タンクの底に残留した油は黒ずんでいた。

油の交換後もヒータートランス二次側コイルを包むポリイミドフィルム周辺でコロナが観測され、二次側コイルとカットコアの間にアーク放電がテレビカメラによって確認された。

3. 放電による損傷

ヒータートランスの二次側コイルに巻いたポリイミドフィルムには炭素吸着がみられた。また、カットコアに巻いたポリイミドフィルムは破れ、炭化や炭素吸着がみられた。また、二次側コイル枠のエポキシ樹脂板は剥離しており、炭化や炭素吸着がみられた。エポキシ樹脂板は特に損傷がひどく、図 1 のように広域にわたって剥離し、炭化がみられ、ヒータートランスは使用不可能であると判断された。

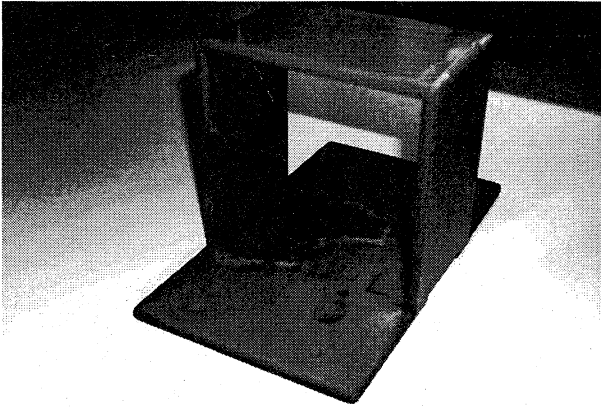


図1. トランスのエポキシ樹脂板。エポキシ樹脂が炭化し、ガラスクロスを接着させることができなくなり、剥離してしまっている。

4. 損傷についての考察

二次側コイルを包むポリイミドフィルム周辺ではコロナ放電だけでなく、コイル枠に損傷を与えるような激しい放電がカットコアの外側と二次側コイルのエポキシ樹脂板との間に発生していたことが予測された。また、絶縁油を交換した際にタンクの底に溜まっていた油が黒ずんでいたことから、絶縁油が放電で分解し、炭化していたと考えられる。

絶縁油の交換後も放電がおさまらなかったことから、ヒータートランスが絶縁油の絶縁耐圧を越える電界強度になる場所があると考えた。そして、放電が油を分解し、二次側コイルに巻いたポリイミドフィルムの表面がその炭素粒子を吸着し、薄い導体と化し、絶縁油の絶縁耐圧をさらに大きく越える電界強度を発生させたと考えた。このことを考慮して、電界強度が弱くなる構造にすることを考えた。

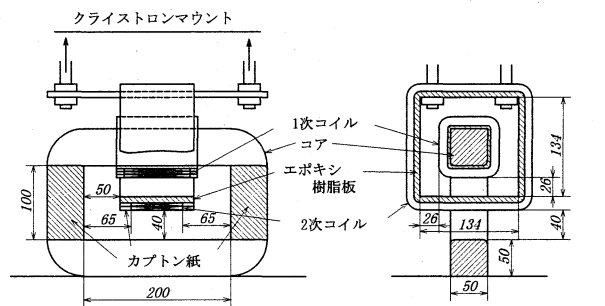
5. ヒータートランスの改良

電界強度を弱めるため以下の改良を行った。図2-a)に改良前、図2-b)に改良後の配置図を示す。

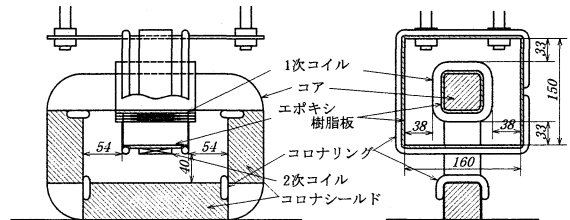
- 1) 二次側コイル枠の内側のサイズを 134×134mm から 160×150mm まで広げ、エポキシ樹脂板の厚さは 8mm から 4mm に薄くした。これにより、二次側コイルと一次側コイルの間隔の最小値が 26mm から 33mm にまで広がった。
- 2) コイルを巻き付ける枠に使われるエポキシ樹脂をボイドレスエポキシ樹脂に変更した。コイルを巻くのに使用したポリイミドフィルムもクラフトペーパーに交換した。

- 3) コロナ放電を避けるために、銅のコロナリングを二次側コイルのエポキシ樹脂板の両エッジに取り付けた。
- 4) カットコアのエッジ全体を丸くした。(古いカットコアでは内側のエッジのみ丸くしていた。)
- 5) カットコアを包むために使用していたポリイミドフィルムは取り去った。かわりに、角を丸めた銅板をコロナシールドとして取り付けた。
- 6) コロナリングはカットコア内側すべての角にも取り付けた。

改良の結果、放電は全く起こらなくなった。



a)改良前のヒータートランス



b)改良後のヒータートランス

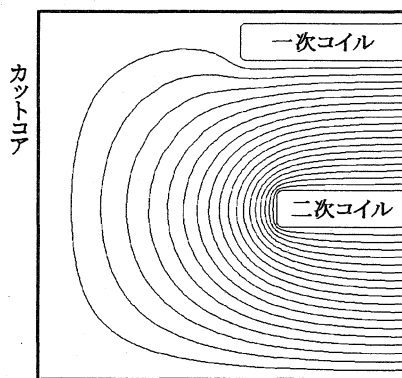
図2. ヒータートランスの配置図。a)は改良前、b)は改良後である。二次側コイルの幅を縮めてカットコアとの距離を縮め、コロナリングをその両端に取り付けた。さらに、カットコアの四隅にも取り付けた。一次側入力電圧は 100V、二次側出力は 18V である。

6. 電位、電界強度の数値計算

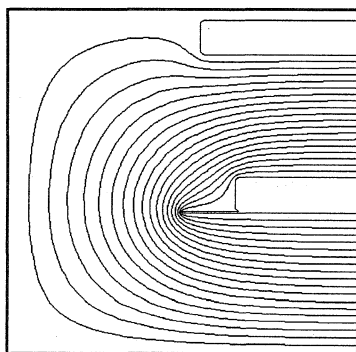
ヒータートランスの改良前で炭素が付着している場合としていない場合に分け、改良後の場合と3つのモデルに分け、ヒータートランスのカットコア内側の電位、電界強度を有限要素法により計算をした。

改良前のヒータートランスカットコア内側 100×200mm の領域で計算した等電位線を図3に示す。

カットコアの内側エッジを太線で表している。上部に断面 $10 \times 90\text{mm}$ の一次側コイルが、中央部には断面 $10 \times 70\text{mm}$ の二次側コイルが位置している。ただし、左右が対称であるので左半分のみを図示している。境界条件は、カットコアと一次コイルの電位 0V 、二次側コイルの電位 270kV である。図3-b) は、ポリイミドフィルムが板状の導体になったと仮定し、厚さ 0.5mm の板を付加えた計算結果である。図4は改良したカットコア内側の等電位線を示す。二次側コイルの断面は $10 \times 45\text{mm}$ にした。円で表わされているのはコロナリングである。



a)炭素付着なし



b)炭素付着

図3. 改良前のヒータートランス内のモデル等電位線。

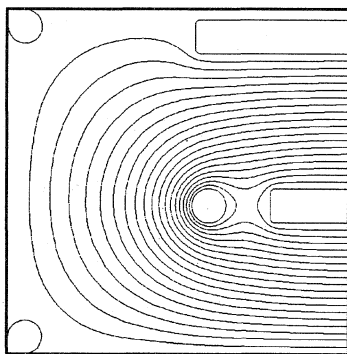


図4. 改良後のヒータートランス内のモデル等電位線

次に、等電位線に直行する電界強度を計算した。改良前の炭素が付着していない場合、二次側コイルの角で電界強度が最大となり 26MV/m 、炭素が付着している場合、導体化したポリイミドフィルムの先が最大で 60MV/m を越える値となった。絶縁油の絶縁耐圧は 30MV/m 以上である。炭素が付着していない場合でも、放電の可能性があったと考えられる。付着している場合は、ポリイミドフィルムの先で放電が必然的に起こる電界強度の値が得られた。また、改良後、二次側コイル端にあるコロナリングとカットコア側の電界強度は最大となるが、 20MV/m を越えなかった。このことから、今回の改良がきわめて有効であったといえる。さらに、改良したヒータートランスは、たとえ絶縁シートが導体化しても二次側コイルのエポキシ樹脂板の両エッジに取り付けたコロナリングの効果により、電界強度が高くない構造になっている。

7. まとめ

絶縁油が炭化し、その炭素粒がヒータートランスの二次側コイルに巻いたポリイミドフィルムに付着し、電界強度の強い部分を作り出したと考えられる。ポリイミドフィルムに炭素が吸着し、導体化したと考えた。この状態は絶縁耐圧を越える電界強度が発生することを有限要素法によって算出できた。また、コロナリングを取り付けた場合、改良前のヒータートランスと比べ、最大電界強度が小さくなるのが計算から明らかになった。コロナリングを付けたヒータートランス周辺では放電は発生していない。

参考文献

- [1]I.Sato et al., Proc. of this meeting.
- [2]I.Sato et al., Proc.of 23rd Linear Accelerator Meeting in Japan, 22(1998).