

DEVELOPMENT OF HIGH POWER VACUUM CIRCULATOR

Atsushi Miura ^{#,A)}, Shigetsugu Tsuruoka^{A)}, Kibatsu Shinohara^{A)}
 Tsutomu Taniuchi^{B)}, Shinsuke Suzuki^{B)}, Hirofumi Hanaki^{B)}

^{A)} Nihon Koshuha Co. Ltd

Nakayama-chou 1119, Midori-ku, Yokohama-City, Kanagawa, Japan, 226-0011

^{B)} Japan Synchrotron Radiation Research Institute (JASRI/SPring-8)
 Kouto 1-1-1, Sayo-cho, Sayo-gun, Hyogo, JAPAN, 679-5198

Abstract

We have developed high power vacuum circulator for useful exchanging from pressure type (SF6) waveguide to vacuum type component. Measured amount of out-gas from ferrite surface are only 34 times by one of stainless steel. New brazing method between metal and ferrite was developed and thermal conductivity at the connection part is 9.3 times compare with filled amicon. High power tests of resonance type isolator and phase shifter were performed. No discharge was occurred at input power level of 45MW and vacuum level was reached at 5×10^{-6} Pa for short aging time.

真空大電力サーキュレーターの開発

1. はじめに

SF6 等を使用した加圧型の立体回路はコストが安価なメリットがある反面、放電後のメンテナンスや位相の安定度の問題があり真空導波管への変更を検討する必要がある。しかしながら真空仕様のサーキュレーターは存在せず、これが変更の障害となることが多い。サーキュレーターに使用されるフェライトはこれまで超高真空部品として使用された実績が無く、全く未開の部品である。このため本稿では、

- 1) 大電力サーキュレーターで使用される特殊なフェライトの真空中でのアウトガス評価、
 - 2) フェライトと金属の真空接合方法の開発、
 - 3) 単向管とフェライト移相器の大電力試験、
- を行ったので報告する。

2. フェライトの真空中でのアウトガス量測定

フェライトの真空中でのアウトガス量を真空放置法で測定した。

SUS 製のステンレスチャンバー（内表面積 0.28 m^2 、体積 $8.3 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ ）の内部を真空引き後、バルブ封止する。試料（フェライト）の有無による真空度の速度変化から試料のアウトガス量を測定する。試料の大きさは $\Phi 50 \text{ mm}$ 、厚さ 3.5 mm の円柱である。試料は両端面鏡面研磨したもの、しないものについて準備した。またフェライトの温度も変化させ、夫々のアウトガス量を測定した。

真空はイオンポンプで 10^{-5} Pa 台まで排気しその後バルブ封止後 10^{-3} Pa 台に達するまでの時間（一時間弱程度）を測定した。測定結果を表 1 に示す。

表 1：フェライトのアウトガス量測定結果

	単位面積当たりのアウトガス量 [Pa · m/sec]
真空チャンバー	4.1×10^{-9}
フェライト (常温)	1.4×10^{-7}
フェライト (97°C)	7.6×10^{-7}
フェライト (97°C 17h ベーキング後)	4.9×10^{-7}

フェライトの単位面積当たりのアウトガス量は SUS の 34 倍程度であるが、表面積が小さいため問題にはならないことが分かった。また 97°C で 17 時間ベーキング後のアウトガス量は 65% まで減少し、ベーキングの効果があることがわかった。鏡面研磨によるアウトガスの減少効果は観測できなかった。

3. フェライトと金属の真空接合方法

3.1 フェライトのメタライズ

フェライトのメタライズ法としてメッキ法、スパッタ法、爆着法、溶射法、DBC 法等がある。これらは低電力用サーキュレーターで使用されるスピネル型フェライトでは既に実用化されている。

我々はメッキ法、スパッタ法、爆着法について評価を行ったが、従来の方法もしくは改善策ではメタライズできなかった。

DBC 法では薄膜接合が可能であったが時間的な問題でまだ評価が進んでいない。

[#] miura@nikoha.co.jp

3.2 フェライトと金属の真空接合方法と熱伝導率の改善

フェライトのメタライズが不要な活性ロー材による真空ロー付けも試みた。熱応力歪を最小限にする工夫を各種行ったが、厚さと垂直方向に簡単に碧開することが分かり接合できなかった。

我々の用途ではフェライトに大きな力が掛からないため新接合法として下記の方法を採用した（特許出願中）。フェライト端を金属で押し付け、その金属と接合先の金属を真空ハンダ付けするものである。金属とフェライトの間にも真空ハンダを設置し隙間を無くすことで熱伝導も改善される。

この結果接合は成功した。この接合部の真空中での相対熱伝導率を測定した結果を表2に示す。アミコン (Stycast 910-50-1) に比較して 9.3 倍もの熱伝導の向上が得られた。これは真空以外のサーキュレーターでも応用できることを意味する（特許出願中）。

表2：相対熱伝導度測定結果

充填材	相対熱伝導度 (充填材アミコンを1とする)
アミコン (Stycast 910-50-1)	1
真空ハンダ	9.3

*アミコンの熱伝導 カタログ値 1.4 [W/m・K]

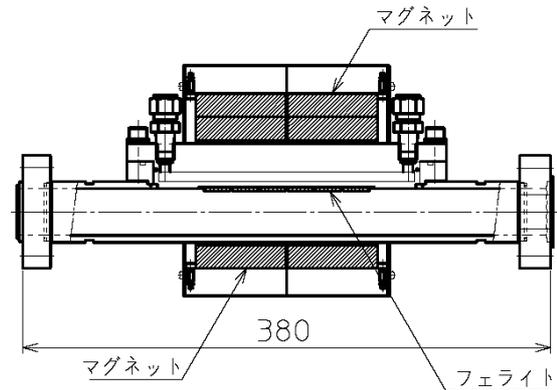


図1 単向管構造図



写真1 単向管外観 (中央に見える覗き窓は放射温度計測定用 窓材質 BaF₂)

4. 単向管とフェライト移相器の大電力試験

4.1 単向管の大電力試験

サーキュレーターは強磁場中に導波管を設置する構造である。しかしながら強磁場中に設置される真空導波管コンポーネントは殆ど無い。強磁場下で起こる新たなマルチパクタ現象が懸念された。そこで低電力仕様の安価なサーキュレーターとして共鳴型単向管を製作し大電力試験を行った。

図1、写真1に夫々単向管の構造図、外観を示す。フェライトは接合温度が低い真空ハンダ付けのため、導波管との接合はフランジによるネジ止め方式とした。表3に低電力試験結果を示す。

図2、写真2に夫々大電力試験のセットアップ、外観を示す。

順方向と逆方向は単向管を逆向きに設置して夫々行った。繰り返しは 10Hz で、パルス幅 0.7 μ sec と 2.5 μ sec で夫々透過電力を増していった。

表3：単向管低電力試験結果

At 2856MHz	順方向	逆方向
VSWR	1.04	1.04
挿入損失	0.22dB	—
アイソレーション	—	8.88dB

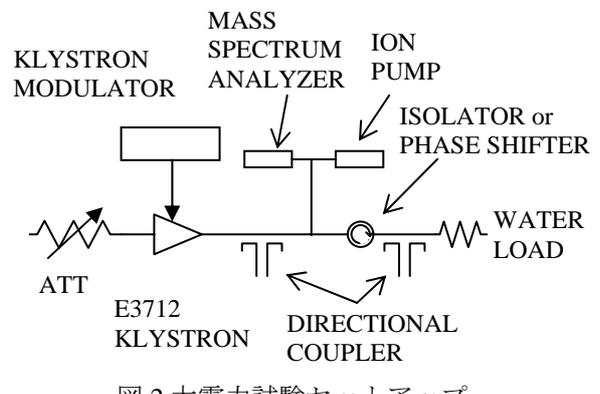


図2 大電力試験セットアップ



写真2 大電力試験 外観

エージングの様子はセラミック等の場合と酷似しており、数 MW 以下で多くのアウトガスを放出し、それ以上では比較的順調に電力増加できた。図3にパルス幅 $2.5 \mu\text{sec}$ 、繰り返し 10Hz で透過電力を増加していった時のアイソレーションと挿入損失を示す。

順方向の測定では最大 45MW まで電力投入したが、問題となる放電や放電痕は観測されなかった。

逆方向ではフェライトの温度上昇が 10 度になるところまで測定した。逆方向での測定の結果、アイソレーションは電力上昇と共に減少することがわかった。パルス内でのフェライトの発熱も原因として考えられるので、パルス幅を $0.15 \mu\text{sec}$ に下げたが傾向は全く同じであった。この現象は高周波磁界により共鳴点がずれていくことによると考えられる。この結果共鳴型の単向管は安価であるが MW 級では使用が困難であることも分かった。

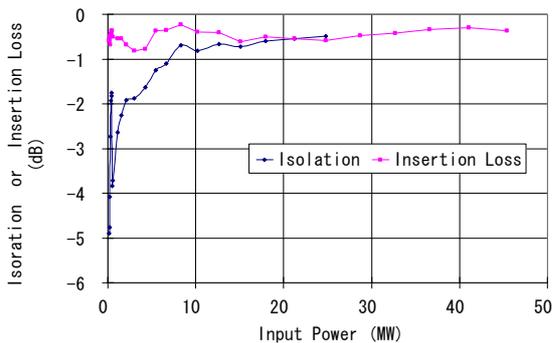


図3 単向管大電力試験結果 (パルス幅 $2.5 \mu\text{sec}$ 、繰り返し 10Hz)

4.2 フェライト移相器の大電力試験

次に移相型サーキュレーターや大電力移相器に適用可能なフェライト移相器としての評価を行った。単向管は磁石を増設することにより移相器としての動作をさせることができる。

移相器の低電力試験結果を表4に、大電力試験結果を図4に示す。フェライトの共鳴点で使用せず、RFをフェライトで吸収させなければ各特性の電力依存性は無く実用に問題無いことが分かった。

表4: フェライト移相器低電力試験結果

At 2856MHz	順方向	逆方向
VSWR	1.07	1.04
挿入損失	0.04dB	0.07dB
移相量	6.86deg	0deg

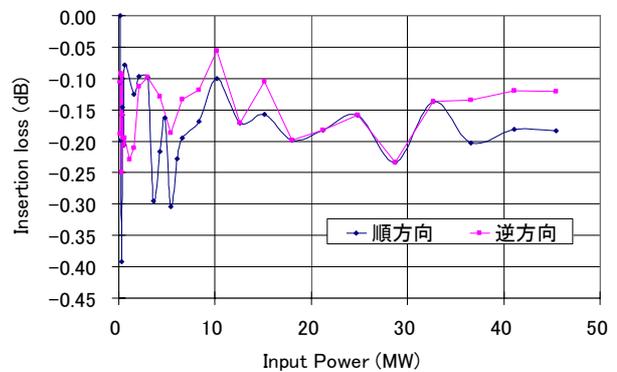


図4 フェライト移相器大電力試験結果 (パルス幅 $2.5 \mu\text{sec}$ 、繰り返し 10Hz)

大電力試験の詳細は本研究会発表 (THPS044) を御参照下さい^[1]。

4. 今後

今後は Y 型サーキュレーターの大電力試験、kW 級での真空単向管の最終評価を行う予定である。

5. 謝辞

フェライトのメタライズ評価として、下記御関係者にご協力を頂きましたので、謝意を申し上げます。

スパッタ法 千葉工業大学 坂本 幸弘先生
 爆着法 旭化成株式会社様
 DBC 法 オリエントマイクロウェーブ株式会社様

参考文献

- [1] T. Taniuchi, et al., “真空仕様 S バンド単向管及びサーキュレーターの大電力試験”, Proceedings of the 7th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Himeji, Aug. 4-6, 2010