

Ozonized Water Rinsing of RF Windows

Hiroshi Sakai, Tetsuo Abe, Tatsuya Kageyama, Yasunao Takeuchi, Kazuo Yoshino
High Energy Accelerator Research Organization
1-1 Oho, Tukuba, Ibaraki, 305-0801

Abstract

Ozonized water rinsing has successfully cured two input couplers suffering from continuous electrical discharge on the vacuum-side surface of the RF ceramic window at input power levels over 300 kW. This paper reports the surface treatment process applied to the RF ceramic window and the direct evaluation through high power testing of input couplers fabricated for the KEKB ARES cavity system.

RF窓に対するオゾン水洗浄

1. はじめに

これまで、KEKB常伝導加速空洞^[1]用高周波入力結合器^[2] (図1) 約60台の大電力試験 (図2、3) を行ってきたが^[3]、近年セラミックス表面の汚れが原因と思われる連続放電 (発光) 等により実用に適さないものが増えてきた。そこで、半導体などの洗浄に用いられているオゾン水によりセラミックス表面を洗浄し、放電の元となる表面の汚れが除去できるかを実験したので報告する。

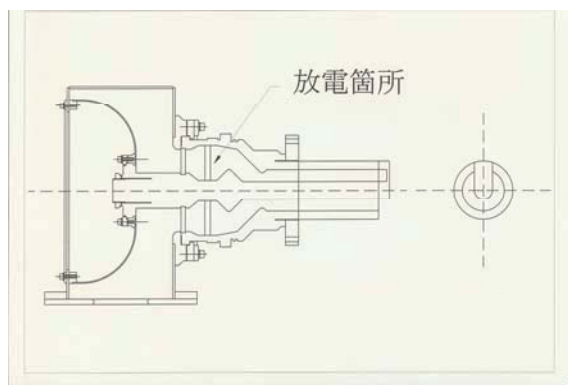


図1 高周波入力結合器

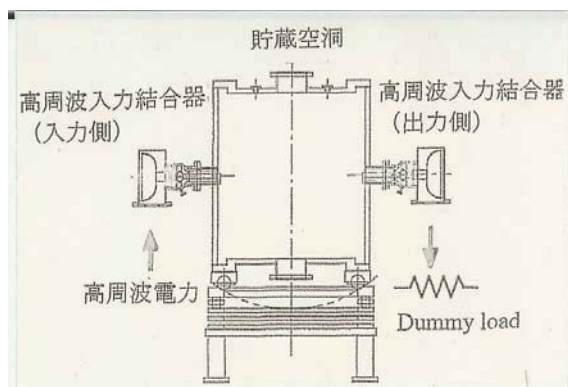


図2 大電力試験セットアップ

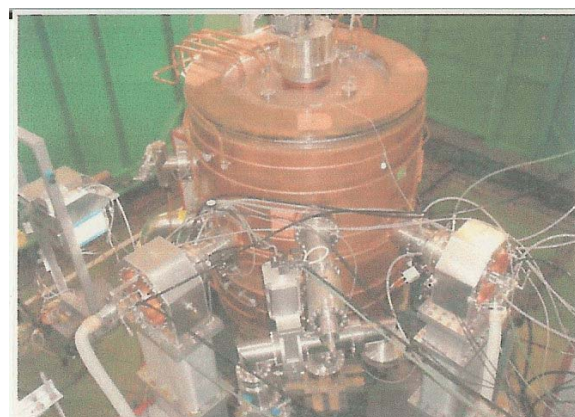


図3 大電力試験の様子

2. 洗浄とベーキング

近年、オゾン水洗浄処理は加速器関連の高周波・真空機器の表面処理に幅広く応用されている。我々の入力結合器RFセラミック窓に適用されたオゾン水洗浄、加熱脱ガス処理 (ベーキング) の手順および条件を以下に示す。なお、オゾン水洗浄については、KEKB超伝導加速空洞用入力結合器のオゾン水洗浄処理設備を使わせて頂き、そこで確立された手順^[4]に基本的に従った。

- 1、高周波入力結合器を導波管と本体に分ける。
- 2、本体のセラミックス窓を真空側からアセトン、超純水、オゾン水の順番ですすぎ洗浄する。(図4)
- 3、真空側の本体セラミックス窓にオゾン水を満たし (図5)、5~10分後にオゾン水を捨てる。(保持時間はオゾン水濃度で変化)
- 4、乾燥窒素を流しながら自然乾燥。
- 5、温風機とリボンヒーターを使用し、真空側本体セラミックス窓を真空状態にて150℃1週間のベーキング。(図6)



図4 オゾン洗浄処理の様子

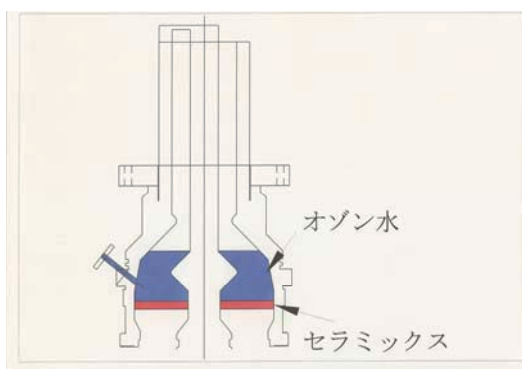


図5 オゾン水洗浄箇所

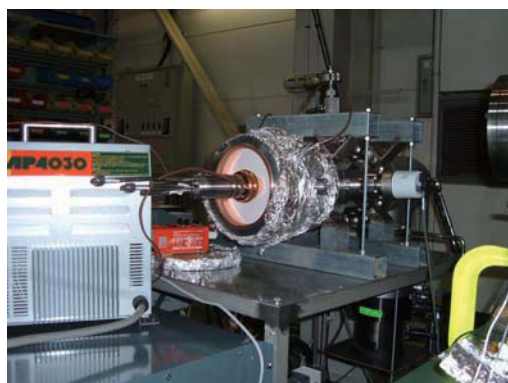


図6 ベーキングの様子

3. 実験

実験には、大電力試験で500kW入力したものの放電が激しい2台の高周波入力結合器と、新品の高周波入力結合器を選び、大電力試験の結果で判定した。これら4台の入力結合器の構造は基本的に同じであるが、M38～40号機の3台については、同軸直管部（図1側面図左側）でのマルチパクタ放電抑制を目的として、外導体内面に微細な溝加工が施されている^[5]。

3.1 試験で放電した高周波入力結合器の場合

一度大電力試験を行った高周波入力結合器の洗浄前後の大電力試験時の履歴を以下に示す。

3.1.1 M37号機

2006年7月19日より試験を開始し、2日目80kWで輝点が出現した。4日目190kWで再び輝点出現し、7日目370kWで断続的な発光が現れるが390kWでいったん発光が消える。その後、400kWで再び発光し入力パワーとともに放電輝度が増して来たので試験を中止した。（図7）



図7 洗浄前の発光（37号機）

2007年1月、オゾン水洗浄と2日間の窒素乾燥を行い、1月26日より真空引きを開始し、2月5日から9日まで5日間ベーキングを行った。

2007年2月26日オゾン水洗浄後の電力試験を開始。3月6日、370kWで微かな発光が現れるが、すぐに消えた。7日間で500kWまで到達したが、洗浄前のような激しい放電による発光現象は観測されなかった。

3.1.2 M38号機

2006年7月5日より最初の試験を開始。その日のうちに600kWまで到達したが、200kWを過ぎたあたりで輝点および発光を確認した。2日目で830kW到達。この後、セラミック窓の発光によりアークセンサーのインターロックが作動。再度入力したが当該インターロックが作動する入力パワー閾値が著しく下がってきたので試験を中止した。（図8）



図8 洗浄前の発光（38号機）

2007年3月オゾン水洗浄と2日間の窒素乾燥を行い、3月28日より真空引きを開始し、4月3日から6日まで4日間ベーキングを行った。

(図9, 10)

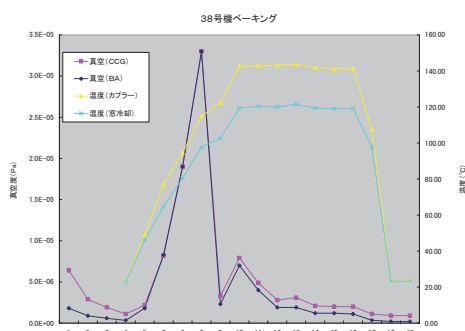


図9 38号機ベーキング時の真空圧力履歴

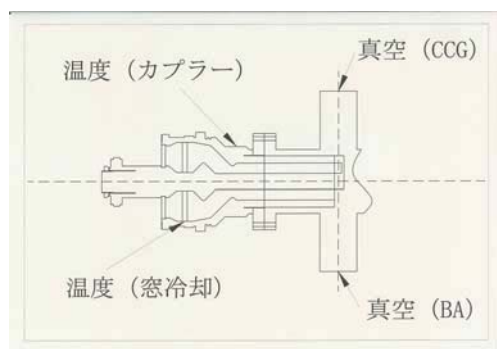


図10 熱電対と真空ゲージの位置

2007年4月11日洗浄後の試験を開始。4月19日440kWで1度発光するが37号機同様すぐに消えた。その後、6日間で500kW到達。37号機同様洗浄前のような激しい発光(放電)は観測されなかった。

3.2 新品の高周波入力結合器の場合

新品の高周波入力結合器については、最初からオゾン水洗浄を行ってから大電力試験を行った。

3.2.1 M39号機

2007年6月、前の2台同様に洗浄とベーキングを行い同月25日より試験を開始。従来の大電力試験ではコンディショニングに時間を要する入力電力80kW~120kWのところもスムーズに通過した。7月2日、240kWで輝点が出現したがすぐに消えた。およそ7日間で500kWに到達、発光は観測されなかった。

3.2.2 M40号機

2007年7月、39号機同様の処理を行い7月17日より試験を開始した。やはり低電力部分はスムーズに通過した。しかし、450kWあたりから軽微な真空圧力上昇を伴う放電が幾度か起こったが、

短時間でコンディショニングされ、無事500kWまで到達した。

4. まとめ

実験結果を下表にまとめる。

	オゾン水濃度 (mg/l)	保持時間 (分)	ベーキング 温度 (°C)	発光 洗浄前/後
37号機	10	10	135	有/無
38号機	20	7	143	有/無
39号機	10	10	136	/無
40号機	13	10	126	/無

以上のことから、今回行ったRF窓に対するオゾン水洗浄およびベーキング処理が、連続放電の症状を呈するまでに劣化していたセラミックス表面の状態改善にかなり効果があることがわかった。また、電力試験前にRF窓のオゾン水洗浄とベーキング処理を行った場合、従来に比べてコンディショニング時の真空圧力の跳ねなども少なく、非常にスムーズに電力試験を行うことが出来た。

今後は、RF窓に対するオゾン水洗浄の効果について、セラミックス試料を用いたマイクロレベル観察の側面からも検証を行う予定である。

5. 謝辞

本件の実験を行うにあたり、超伝導空洞グループの光延、高野両氏に対しオゾン水発生装置の準備または、オゾン水に対する様々な助言をいただいたことを深く感謝いたします。

参考文献

- [1] T. Kageyama *et al.*, APAC98-6D039
- [2] F. Naito *et al.*, APAC98-6D040.
- [3] H. Sakai *et al.*, PAC-2005-TPPT012.
- [4] Y. Kijima *et al.*, EPAC-2000-THP1A11.
- [5] T. Abe *et al.*, EPAC-2006-TUPCH127.