

High Power test of C-band RF window Using Resonant Ring

T.Takenaka¹⁾, H.Katagiri, K.Nakao, S.Michizono, S.Fukuda

KEK, High Energy Accelerator Research Organization

1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801, Japan

Abstract

High power test of C-band rf window is carried out using a resonant ring. The window is the mix-mode type developed last year, where the electric fields decrease at the periphery. Rf power of the maximum 350 MW is transmitted through the window. During the resonant-ring test, optical emission is measured and analyzed through spectrometer, which indicates the good durability for the high-power usage.

Cバンド-レゾナントリングを用いた高周波窓の大電力試験

1. はじめに

KEK電子陽電子入射器において検討しているCバンド化計画^[1]では、40MWの高周波出力を加速管に投入する。昨年はCバンドクライストロンの40MW出力に使用できる窓を目指し、160MWの試験をおこなった。

昨年、試験をした窓は現在クライストロンギャラリーに使用されており、第一の目的は達した。高周波窓の耐性を評価するために300MWを目標に試験を行った^[2]。

レゾナントリング (Fig.1) では、クライストロンから発生する2倍, 3倍の高調波はカットされるが、基本波出力を同期・重畳させることにより、10~20倍の通過電力を得ることができる。レゾナントリングの運転周波数の波長と整合をとるため、スペーサを挿入して粗調整を行い、運転周波数により微調整を行っている。レゾナントリングは大電力高周波源で用いられる各種部品 (高周波窓、フランジ、導波管等) の開発に適しており、今回も導波管回路に用いる高周波窓の評価を行った。

最初は高周波窓の挿入部分を直接、直管で組み、十分にガス出しをした後に高周波窓の試験を行っている。レゾナントリングへの入力は繰り返しとパルス幅等を徐々にあげながらおこなった。前回に比べ2倍強の300MW~350MWのパワーだった為フランジ、窓の温度上昇にも気を配った。

高周波窓の試験では前回をはるかに越えるパワーを投入するので表面溶融が懸念された。高周波窓の試験評価には発光の確認と同時に発光分析も行った。

また、前回の試験と比較するため、窓の高周波損失測定も行われた。

ここでは昨年を大きく上回る大電力での直管および高周波窓の試験と発光分析などについて報告する。

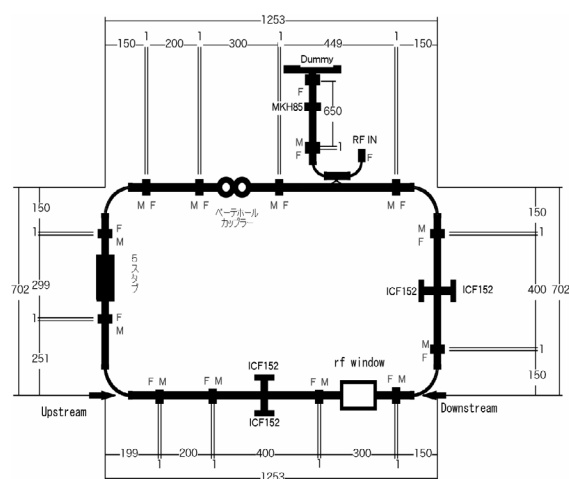


Fig.1 Cバンドレゾナントリング(周長約3.9m)

2. 最大通過電力

最初、通過電力評価試験は直管にて行われ、Fig.2に示すように最大通過電力403MW、パルス幅 2∞ 、繰り返し50ppsを達成した。通過電力350MWではパルス幅 2∞ 、繰り返し50ppsで数時間運転された。

次に高周波窓に取り替えて評価試験をした。Fig.3は300MW連続運転時のパルス波形を示し、Fig.4には9時間連続運転を行ったときの通過電力と真空圧力を示してある。このデータを見るとレゾナントリングでの真空悪化による3回のトリップがあったが真空は時間とともに良くなっており、充分期待できる。

なお、高周波窓での最大通過電力は350MW、 1∞ 、25ppsに達することが出来た。繰り返いを50ppsにするとフランジ等の温度上昇が大きくなりレゾナントリングのチューニング調整が頻繁になった為、今回の試験は基本的に25ppsとした。

¹⁾ E-mail:tateru.takenaka@kek.jp

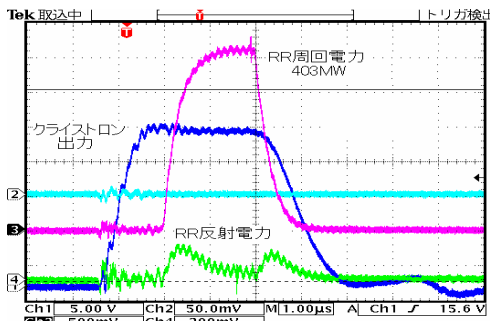


Fig.2 403MW通過電力(直管)
パルス幅2ns(ch3)、繰り返し50pps

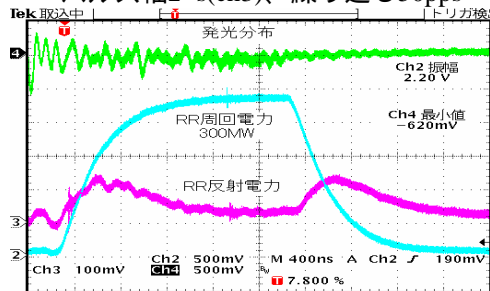


Fig.3 300MW通過電力(高周波窓)
パルス幅2ns(ch2)、繰り返し25pps

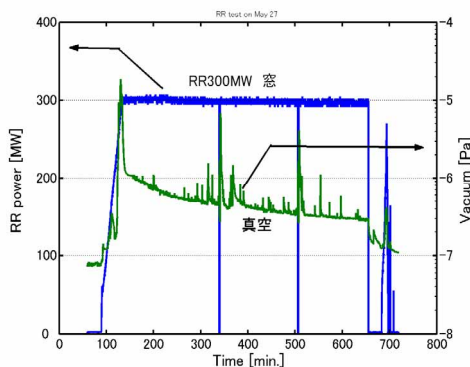


Fig.4 300MW高周波窓通過電力と真空圧力

直管を用いたときの通過電力378MW、25ppsでフランジ部の温度は48.7度、導波管部は39度になった。高周波窓では300MW、25pps運転のとき同調の最適化を行うため挿入した35mmスペーサで45.6度、接合フランジで42度となっていた。また、放射線レベルは15 μ Sv/hであった。

3. 直管・高周波窓のコンディショニング

直管のコンディショニングは昨年160MWを8日間で行ったが、今回は300MW、10日間であった。高周波窓のコンディショニングは直管で既に400MWまで通過していたので高周波窓以外での反射が生じず350MWまで5日間で到達し300MWの9時間連続運転までには8日間でおこなえた。コンディショニングの方法として高周波電力のパルス幅を短く、繰り返しを少なくして運転すると早い段階で大電力まで到達し、あとのコンディショニングが比較

的楽であった。

コンディショニング終了後、窓の真空漏れ試験をしたが、漏れはなかった。

4. 高周波窓の高周波損失

高周波損失は水晶温度計を用いセラミック窓外導体の入出力流量の温度差を測定した。そのときの流量は1l/min。高周波損失 (Fig.5) の測定は46MW ~ 227MWの間でおこない、平均電力9.6kWのときの損失は6.44Wで0.1%以下である。非常に少ない損失で、昨年より2割程度小さくなっている。このような現象はSバンド高周波窓でもみられ高周波窓の個体差の範囲と思われる。

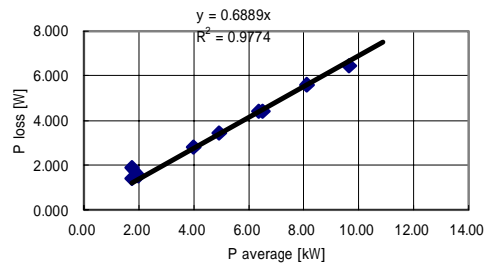


Fig.5 高周波窓の高周波損失

5. 発光分析

ここでCバンドとSバンドの発光パターンを比較するとCバンド (Fig.6) の場合 2 nsのパルス後半から発光があり、Sバンド (Fig.7) では立ち上がりからの発光が見られた。これはCバンド用に開発された窓の特性に起因するものと思われる。このCバンド用のMix-Mode窓^[3]では端部の電界が低いため、マルチパクタに時間がかかると推測している。

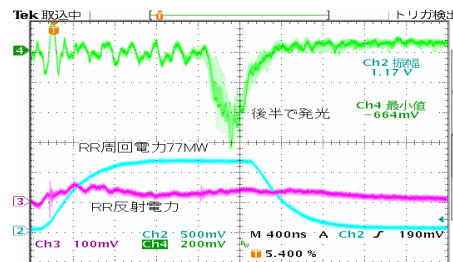


Fig.6 Cバンド発光77MW

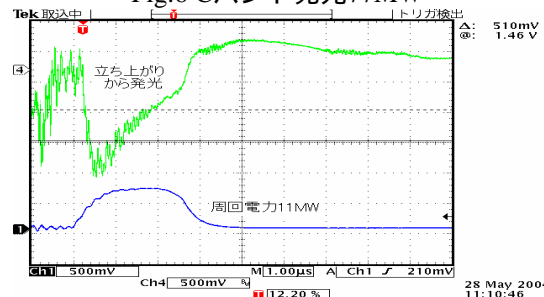
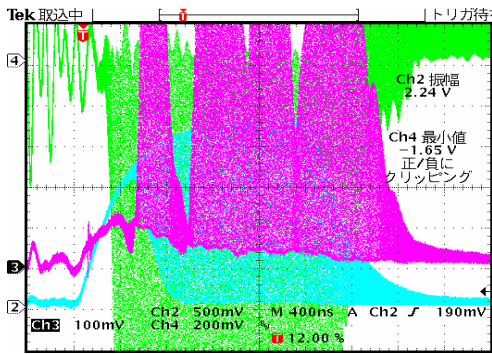


Fig.7 Sバンド発光50MW

また、放電時にはCバンドでもFig.8に示すようにパルス全体にわたって発光が見られた。



ch2 周回電力、ch3 RR反射、ch4 発光
Fig.8 放電時の波形

Fig.9は通過電力122MWで発光したときに上流側から撮影した。この発光は窓の端部が導波管に反射して4本の筋に見える。

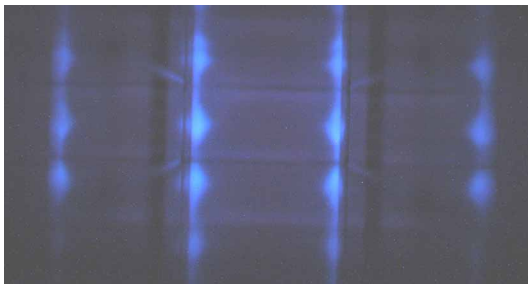


Fig.9 レゾナントリング窓上流から撮影したときの発光分布(122MW)

6. スペクトル

通常の発光スペクトルは330nm付近に酸素のF⁺中心が現れ、694nmのCr不純物中心に起因する基線スペクトルからなる。表面が溶融したものは410nmのF中心発光が見られる^[4]。今回のCバンド窓にはF中心のスペクトル(Fig.10)が現れなかった。

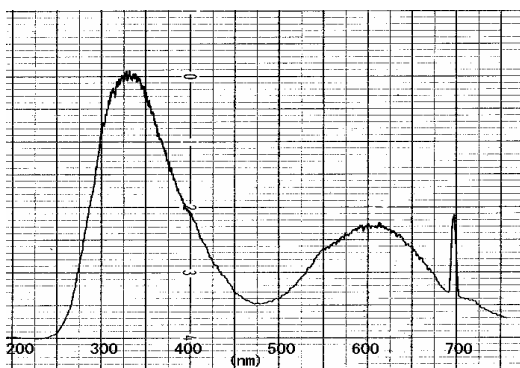


Fig.10 40MW通過電力時の410nmにF中心は無い(300MWで10時間運転後)

7. 通過電力と発光強度

発光は履歴依存性があり、分光器で測定した330nmの発光強度と通過電力の関係をFig.11に示す。

最初50MW程度で発光が観測できたが、通過電力を下げていくと発光はなくなり、再び通過電力を増しても80MWまで発光は生じなかった。その後、90MW程度で発光は間歇的となり、その履歴により発光しない場合もあった。

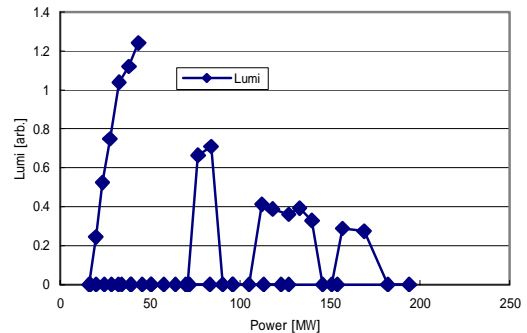


Fig.11 通過電力と発光強度

8. まとめ

直管での通過電力は403MWに到達した。高周波窓では最大350MWで運転され、300MWの9時間運転において放電は3回と非常に少なく真空も時間とともに良くなっている。

この試験評価は信頼性を上げるため発光分析等も行った。今回の試験はSバンドの高周波窓では限界に近い通過電力だがCバンドの高周波窓はMix-Modeとしたため大きな問題はなく、表面溶融に特徴的な発光スペクトルは現れず、窓本体の真空漏れもなかった。

今後この窓は再度組立てを行った上で加速管組立て室の導波管高周波窓として使用する予定である。現在稼働中のCバンドのクライストロン窓に真空漏れがなければCバンド用高周波窓の開発は一段落となる。

参考文献

- [1] 福田茂樹, 他, “ SuperB計画の為にKEK電子陽電子ライナックCバンド化計画”, 第28回リニアック技術研究会論文集、東海、茨城、2003.
- [2] 竹中たてる, 他, “ C-バンド-レゾナントリングを用いた大電力試験”, 第28回リニアック技術研究会論文集、東海、茨城、2003.
- [3] 道園真一郎, 他, “ Cバンド・ミックスモード高周波窓の開発”, 第28回リニアック技術研究会論文集、東海、茨城、2003.
- [4] S.Michizono et al., IEEE Trans. on Electr. Insul., 28 (1993) 692.