

508.58MHz 300kW ウォーターロードの開発

THE DEVELOPMENT OF 508.58MHz-CW300kW WATER LOAD

三浦厚^{#, A)}, 金田健一^{A)}, 篠原己拔^{A)}, 恵郷博文^{B)}, 大橋裕二^{B)}, 渡部貴宏^{B)}, 佐々木茂樹^{B)}
 Atsushi Miura^{#, A)}, Kenichi Kaneta^{A)}, Kibatsu Shinohara^{A)}, Hiroyasu Ego^{B)}, Yuji Ohashi^{B)}, Takahiro Watanabe^{B)},
 Shigeki Sasaki^{B)}

^{A)} Nihon kosyuha co.ltd

^{B)} Japan Synchrotron Radiation Research Institute (JASRI/SPring-8)

Abstract

High power dummy loads of a coaxial waveguide filled with pure water have been used at SPring-8 for over 20 years. Their maximum receptive power is 300 kW (CW) and the peak power is 3 MW at an operation frequency of 508.58 MHz. Instead of the existing design, we developed a new type of dummy load that features a high power attenuation of 4.68 dB/m at the TM01 mode of a circular waveguide, a very simple structure, and the compatibility with the existing load. The new dummy load consists of 1) a transformer from a rectangular waveguide (WR1500) to a coaxial line, 2) a compact mode-converter from the coaxial TEM to the circular TM01, and 3) the circular waveguide filled with pure water. The input VSWR of the load is 1.05 at the center frequency of 508.58 MHz and the bandwidth is 8 MHz for VSWR<1.1. As the result of high power test, the operation was successful for the power of 330 kW (CW) or less. We report the design, production and high power test of the developed dummy load.

1. はじめに

SPring-8 では約 20 年間使用した純水仕様 508.58MHz ウォーターロードの代替器として全長 4.12m 以下の大電力ダミーロードの導入を検討している。現在使用しているダミーロードは同軸導波管変換器と同軸のウォーターロードで構成される。仕様は最大入力電力 300kW (CW)、ピーク 3MW である。このダミーロードは純水での誘電損失が不足しているためダミーロード内に定在波が発生しており、また長い複雑なインピーダンス変換部のため、メンテナンスし難い構造となっていた。そこでインピーダンス変換部を短くし、十分な高周波損失量を得られ且つメンテナンス性の優れたダミーロードの開発を行った。本器は同軸導波管変換器 (WR-1500) と純水で満たされた円形導波管から構成される (Figure 1)。全長を短く抑えるため、単位長さ当たりの伝送損失が大きい円形導波管 TM01 モード(4.68dB/m)を採用した。変換器の同軸部 TEM モードから円筒導波管 TM01 モードへの変換部で大気と水を仕切るためのアルミナセラミックス製同軸窓を設けた。この窓は真空ロー付で製作し、コンパクトで取り換え可能(デマウンタブル)な構造にした(特許出願中)。本稿ではこのダミーロードの設計、製造、大電力試験の結果を報告する。

2. 大電力ダミーロードの設計

2.1 仕様

基本仕様を Table 1 に示す。その他現行機の置き換えであることから全長は 4.12m 以下、円筒部外形

[#]miura@nikoha.co.jp

Φ200mm 以下、導波管フランジ面から円形導波管中心まで 300mm 程度及び冷却水入出力位置も現行機と同位置であることが要求される。またメンテナンス性が良いことも必要である。

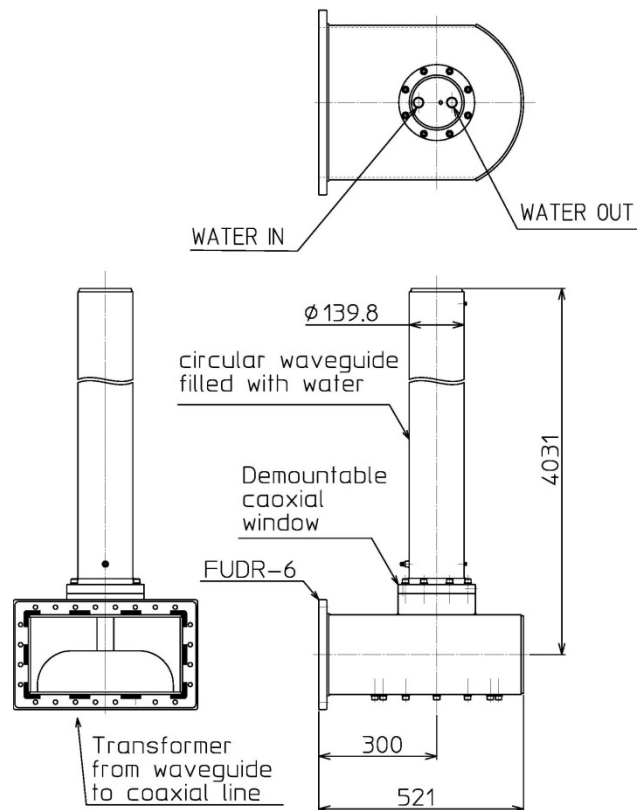


Figure 1: External view of the developed 508.58MHz high power dummy load. Refer Figure 2 which shows the inner structure of the coaxial window.

Table 1 : Main Specifications of 508.58MHz high power dummy load

| | |
|-----------------------------------|---------------|
| Frequency | 508.58 ± 5MHz |
| Maximum input power | 300kW (CW) |
| Maximum input peak power | 3MW |
| Input VSWR | <1.2 |
| Cooling water | Pure water |
| Flow rate of cooling water | >230L/min |
| Maximum pressure of cooling water | 1MPa |
| Pressure loss of cooling water | <0.27MPa |
| Inlet waveguide of RF power | WR-1500 |
| Flange of the waveguide | FUDR6 |

2.2 設計

純水の場合、周波数 508MHz では非常に誘電損失が小さく十分な高周波損失を得るためには全長を長くする必要があります。しかし、ダミーロードの全長は、設置スペースの関係から全長 4.12m以下に制限される。同じ直径の場合、純水で満たされた同軸と円形導波管の高周波誘電損失を比較すると Table 2 の様になる。円形導波管 TM01 モードの減衰量は、4m 往復で 37dB となる。既設ダミーロードは約 1m のインピーダンス変換部があるため同軸 TEM モードより約 14dB 吸収率が向上する。そのため本機では TM01 モードを採用し、高周波の投入口である矩形導波管から円形導波管へのモード変換器、円形導波管の構成にした。インピーダンス変換は水の誘電率 (≒79) がアルミナの誘電率 (≒9.5) の 2 乗に近いことから、1/4 波長の厚さを持つアルミナ同軸窓とし、帯域は狭いが非常にコンパクトなインピーダンス変換器とした (Figure 2)。この結果円形導波管の長さを充分確保できた。同軸窓部はアルミナにツバが付いた形状の金属筒を内外導体に真空ろ一付しツバの部分で O リングにより純水のシールを行った。RF コンタクトは金属筒の端面での嵌め合い接触で行われるため、この O リング部への高周波の侵入はない。また、TEM から TM01 のモード変換部のアンテナ長も 100mm 以下に収まるため、構造のコンパクト化に寄与している。この結果、矩形導波管部、同軸窓部、円形導波管部の解体、交換が容易に行える様になりメンテナンス性が向上した (特許出願中)。ピーク電力 3MW 入力時は大気側の電界強度が 1MV/m 以下になる様ドアノブ型モード変換器を採用した。各寸法はシュミレーション (HFSS) により決定した。Figure 3 に VSWR のシュミレーショ

ン結果を示す。VSWR が 1.1 以下となる帯域は 14MHz であるが、SPring-8 での運用には十分な帯域である。Figure 4 に 3MW 入力時の電界強度分布を示す。最大電界強度は 1MV/m 以下であることがわかる。

Table 2: Dielectric loss of transmission line of 100 mm in diameter and filled with pure water

| Mode | Dielectric loss (dB/m) |
|-------------------|------------------------|
| Coaxial TEM (50Ω) | 3.84 |
| Circular TE11 | 4.36 |
| Circular TM01 | 4.68 |

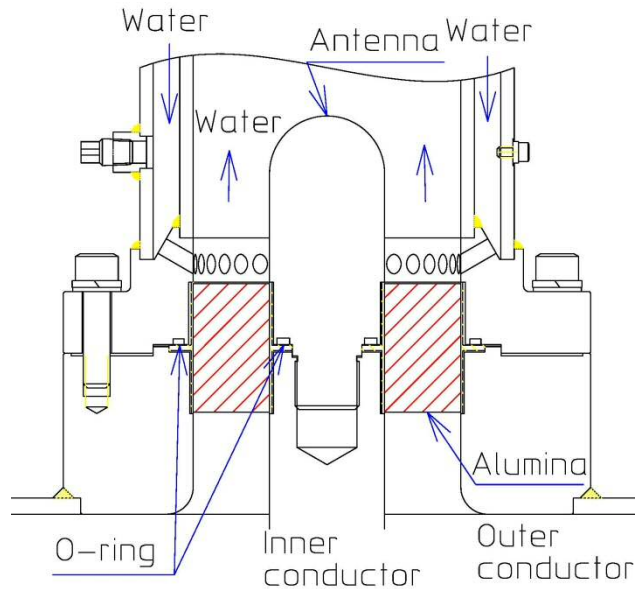


Figure 2: Structure of the coaxial window and the mode converter from TEM to TM01.--

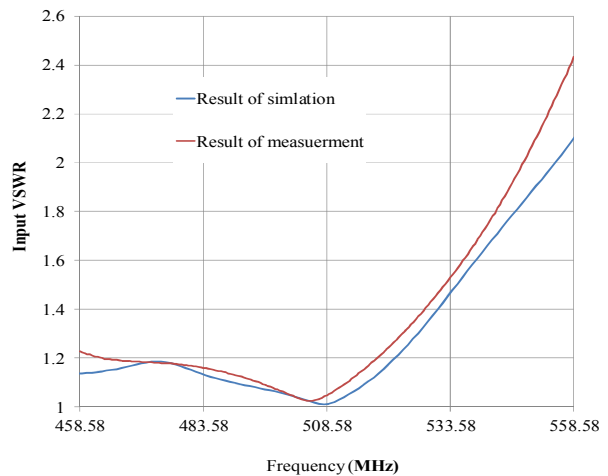


Figure 3: Simulated and measured results of input VSWR of the circular TM01-type type high power dummy load. Dielectric constants of alumina and water were used 9.48 and 74 respectively for simulation

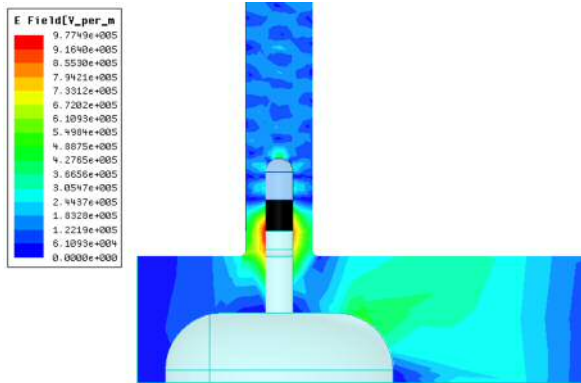


Figure 4: Electric field strength inside circular TM01-type type high power dummy load. Input power is 3MW. Black part indicate position of alumina ceramics

3. 製造及び低電力試験

円形導波管部は2重管構造とし SUS を溶接して製作した。冷却水は外筒部からセラミック表面に噴射され円形導波管内を高周波進行方向に流れる。矩形導波管部はアルミ製で導波管とドアノブ及び内軸の3部品をネジ組立している。同軸窓部はツバ付の内外円筒とアルミナ間を真空ロー付けしているため、大気側のアルミナと内外導体の間に空隙ができない。低電力試験の結果を Figure 3 に示す。VSWR は中心周波数 508.58MHz で 1.05、帯域幅は VSWR1.1 以下で 8MHz (無調整) となっており、ほぼシミュレーションどおりの高周波性能であった。

4. 大電力試験

大電力試験の様子を Photo 1 に示す。クライストロンからサーキュレーターを経てダミーロードに接続して 300kW の CW 大電力運転を行った。入力及び反射電力は方向性結合器で測定した。また、試験時のダミーロード冷却水流量は 250L/min で、入力電力については流量及び入出力温度差による入熱評価も合わせて行った。同軸窓部及びドアノブ変換器のネジ締結部の放電の有無を確認するため内導体及び外導体に熱電対を設置した。熱電対の温度上昇が非線形にならないことを確認しながら入力電力を徐々に上昇させた。1回目の試験では温度上昇は非線形にはならなかったが入力電力 100kW で内導体の温度が 80°C 近くに達したため、試験を終了した。当初、アンテナ部が純水により冷却されるため、同軸部の除熱も行われると思われた。しかし、電気的な接触を優先しアンテナと内導体の締結を考慮してアンテナを SUS 製にしたこと、また、アンテナのネジ締結部の熱伝導が悪いことが原因であった(図2参照)。このためアンテナと内導体の材質を SUS、アルミから熱伝導の良い銅に変更し、更に接続ネジの径とピッチを変更して接触面を増やした。ネジ部の熱伝導は仮定(接触実効面積等)があるので正確な計算が難しい。そこで熱伝導率はヒータ加熱によ

る実験で求め、入力電力 300kW で 80°C以下になることを確認した。内導体とアンテナの交換時に1回目の大電力試験による放電痕のあとが無いことを確認し再度大電力試験を行った。Figure 5 に入力電力を上昇させた時の内外導体の温度上昇を示す。冷却水の吸熱で計算した入力電力でも 300kW 超えとなるように、入射電力(方向性結合器での測定値)は 330kW まで行った。温度上昇は非線形にならず放電等が起こっていないことが確認でき、仕様の電力を特に問題なくクリアできた。

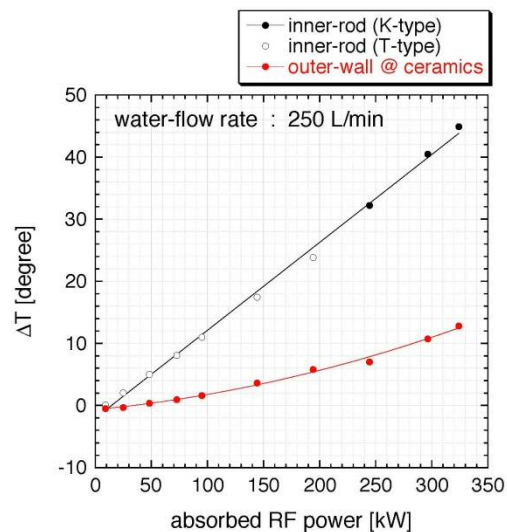


Figure 5: The result of high power test. ΔT is temperature rise from the initial temperature before high-power operation.



Photo 1: View of high power test station.

5. まとめ

今回シミュレーションでは同軸導波管変換部、同軸窓部、同軸円形導波管モード変換部其々で最適化を行った。製作したダミーロードにおいて無調整でほぼ設計どおりの VSWR が得られているため、各部のシミュレーション最適化設計は良好である。また、大電力試験の結果から、円形導波管部の高周波吸収性能は十分であることがわかった。これらにより、仕様性能を満たし、現行機よりも良好な吸収性能とメンテナンス性を向上させたダミーロードの開発に成功した。

ただ、冷却水の流速が早いアンテナ部分が銅製のため長時間使用による浸食が危惧される。表面処理を含めて今後の課題である。

このダミーロードはピーク入力電力 3MW まで耐える設計なので、冷却水流量を増やし、ドアノブ部の内軸を水冷すれば更に大電力化が可能である。

5. 謝辞

設計・製作・大電力試験にご協力頂いた JASRI 関係者の皆様及び協力会社の皆様に謝意を申し上げます。