

伝送路エージングと熱量測定のためのダミーロード開発と評価

Development and evaluation of dummy loads for calorimetry and transmission line conditioning

山崎響、小林貴之、平内慎一、澤島正之、樋田信裕、佐藤文明、日向淳、寺門正之、石田圭人、池田亮介、新屋貴浩、矢嶋悟、梶原健

Hibiki Yamazaki, Takayuki Kobayashi, Shinichi Hiranai, Masayuki Sawahata et al.

量研 (QST)

ジャイロトロンから放射される大電力ミリ波は、電子サイクロトロン共鳴加熱/電流駆動に広く利用されており、その出力パワーの測定やコンディショニングにはダミーロード (DL) が用いられる。DLで許容されるパワーと時間は、その構造と材料に強く依存するが、ジャイロトロン開発においては、ジャイロトロンの空洞共振器の熱膨張の時定数が通常0.5秒であるため、0.5秒以上のパルス幅と、ジャイロトロンの最大出力である1 MWの入射パワーで使用できることが望ましく、そのため主に金属製のDLが用いられてきた。しかし、金属製DLは入射したミリ波の反射率が高く、精密な熱量測定が困難という問題があった。そこで、本研究では最大1 MW、数百ミリ秒のミリ波入射を想定した低反射DLの開発を目的として、新たに試験的に製作した低反射DLと既存のDLの特性評価、および有限要素法を用いた熱伝導解析を行い、低反射DLの特性評価と、許容できる入射熱量の評価を行った [1,2]。

本研究で開発したDLは、ミリ波の吸収体であるTiO₂を塗布したメイン円筒の他に、内側円筒と円錐ミラーを有し、内側円筒とメイン円筒の間で複数回の反射を繰り返す構造としたことで、効率的なミリ波の吸収と低反射性能を実現している (図1)。試験伝送路を用いて、従来の電力測定用DLとの特性比較を行った結果、低反射DLでは、吸収電力が従来のDLと比較して3-7%増加することがわかった。同時にDLからの反射ミリ波を迷光として吸収していると考えられるジャイロトロン内部のDCBの冷却水温の温度上昇を調査すると、82 GHzでは1%、110/138 GHzでは15-17%と顕著に水温が減少する結果が得られた。DCB水温の値は、DLからの反射を吸収するためのプリロードを設置した場合とほぼ同等であり、これにより新開発のDLでの低反射性能を実証した。

また、IRカメラによる表面温度測定とDLの冷却水温の時間変化を元に有限要素法による熱伝導解析を行った結果、1 MW x 0.5秒の入射では、主材料であるA6061-T6アルミ合金の融点は

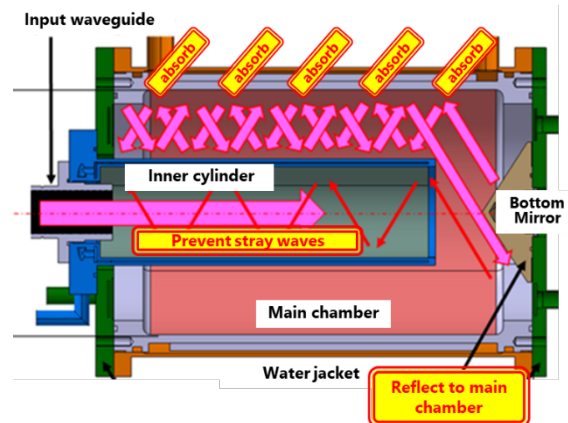


図1: 開発した低反射DLの構造および入射したミリ波の伝搬経路

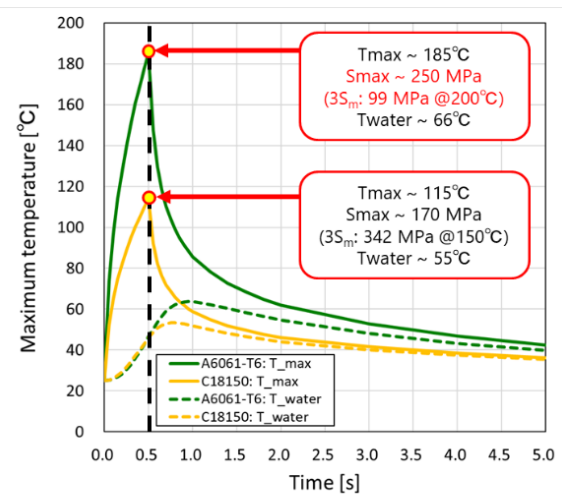


図2: FEMによって計算した1 MW入射時の温度の時間発展と熱応力および許容応力値

超えないものの、最大熱応力が許容応力を超過することがわかった (図2)。一方で、入射パワーが0.15 MW以下と低い場合には、現状の材料と構造、冷却能力であっても、CW入射に耐えられる結果が示された。これによって、ジャイロトロン開発に有用なミリ波入射に対する高精度な熱量測定が実現可能であることを示した。

[1] T. Kobayashi *et al.*, Plasma Fus. Res., **17**, 1205015, 2022.
[2] H. Yamazaki *et al.*, Fusion Eng. Des., Submitted, 2022.