

大電力ミリ波帯広帯域偏波器の熱応力解析

Thermal stress analysis of a wideband polarizer for high power millimeter wave

松原史明¹⁾, 小山岳¹⁾, 滝井啓太¹⁾, 佐井拓真¹⁾, 三枝幹雄¹⁾, 小林貴之²⁾, 森山伸一²⁾
 F.MATSUBARA¹⁾, G.GOYAMA¹⁾, K.TAKII¹⁾, T.SAI¹⁾, M.SAIGUSA¹⁾, T.KOBAYASHI²⁾, S.MORIYAMA²⁾

¹⁾茨大工, ²⁾原子力機構
¹⁾Ibaraki Univ., ²⁾JAEA

1.はじめに

JT-60SA 電子サイクロトロン加熱電流駆動用広帯域偏波器の主要部品である反射型回折格子の熱応力解析を行った。偏波器の使用周波数は110 [GHz]と138 [GHz]であり、偏波器は偏波面回転用と楕円度調整用の2種類の反射型回折格子を用いる[1]。本研究では発熱が大きい偏波面回転用に関して110 [GHz]で、1 [MW]、100秒運転を仮定して解析を行った。また、反射型回折格子の材質は、無酸素銅・クロム銅・アルミナ分散強化銅に関して検討を行った。

2. 偏波器 1/4 モデルを用いた熱伝導解析

有限要素法解析ソフト FEMTET を用いて、実際の偏波器を1/4にしたモデルを作成し、熱伝導解析を行った。この時、入射電磁波による発熱を式(2.1)で計算し、回折格子面に与えた。また、偏波器側面に接続される真空封止用部品の耐熱温度が80 [deg.]であることから、偏波器側面の温度分布も解析により求めた。

$$OhmicLoss = \frac{R_s}{Z_0} \times 4 \times 1.5 \quad (2.1)$$

3. 回折格子 1 周期モデルを用いた熱応力解析

3.1. 解析モデルと解析概要

無酸素銅・クロム銅・アルミナ分散強化銅を材質の候補として、偏波器の回折格子部分の熱応力解析を行い、降伏応力以下で使用可能な条件を探った。解析モデルを図1に、拘束条件を図2に示す。また、各材質の物性値を表1に示す。ここで、発熱量は式(2.1)と同様の方法で算出した。

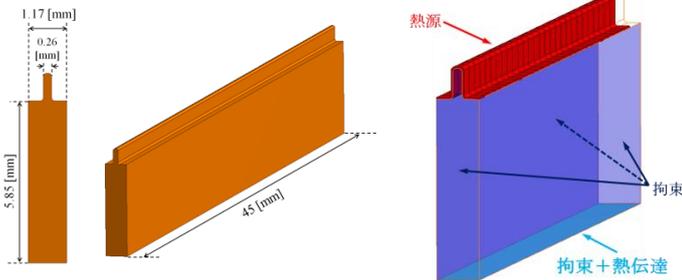


図1. 解析モデル

図2. 拘束条件

表1. 物性値

	無酸素銅	クロム銅	アルミナ分散強化銅
比熱 [J/kg/K]	385	461	390
質量密度 [kg/m ³]	8.94×10 ³	8.89×10 ³	8.9×10 ³
熱伝導率 [W/m/K]	391	323	365
電気伝導率 [S/m]	59.2×10 ⁶	48.1×10 ⁶	53.4×10 ⁶
線膨張率 [1/°C]	17×10 ⁻⁶	17×10 ⁻⁶	16.6×10 ⁻⁶
ヤング率 [GPa]	118	119	130

3.2. 解析結果

回折格子 1 周期モデルを用いて入射電磁波による発熱を与えて熱応力解析を行った時の熱伝導の分布(クロム銅)を図3に示す。また、熱伝達率 h を変化させ、降伏応力以下となる値を探った結果を表2にまとめる。

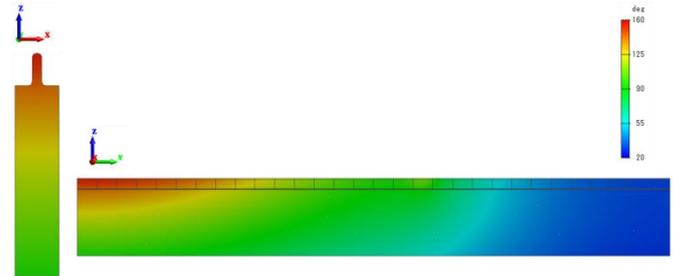


図3. 熱伝導分布(クロム銅)

表2. 解析結果

	無酸素銅		クロム銅		アルミナ分散強化銅	
	最高温度 [°C]	最大応力 [MPa]	最高温度 [°C]	最大応力 [MPa]	最高温度 [°C]	最大応力 [MPa]
h=23,000 [W/m ² /K]	172	324	203	395	184	380
h=26,000 [W/m ² /K]	161	299	190	364	172	350
h=40,000 [W/m ² /K]	131	228	155	279	141	269
降伏応力 (安全係数1.5倍)	227		364		386	

4. 流量の算出

流速 v=10 [m/s](流量 Q=26.4 [L/min])相当の時に熱伝達率 h=40,000 [W/m²/K]というデータ[2]をもとに、真空封止用部品を使用するために必要な冷却(流量)と熱応力が降伏条件を超えないための冷却を算出した。算出した流量を表3にまとめる。

表3. 流量の算出

	熱伝導解析 偏波器側面80(deg.)以下		熱応力解析 各材質降伏条件以下	
	熱伝達率 [W/m ² /K]	流量 [L/min]	熱伝達率 [W/m ² /K]	流量 [L/min]
無酸素銅	16,000	10.6	40,000	26.4
クロム銅	20,000	13.2	26,000	17.2
アルミナ分散強化銅	18,000	11.9	23,000	15.2

5. まとめ

偏波器 1/4 モデルを用いた熱伝導解析と回折格子 1 周期モデルを用いた熱応力解析を行った。両解析から冷却に必要な流量を算出し、無酸素銅は冷却の条件が厳しく、アルミナ分散強化銅は最良であったが入手困難であったため、クロム銅を材質の候補とした。今後は、式(2.1)で計算していた発熱量を FDTD 法を用いて算出し解析を行う。

参考文献

- [1]J.L.DOANE.et al.,INT.J.ELECTRONICS.77.489-509(1994).
- [2]日本機械学会.伝熱工学資料.23-56(2009).