

薄膜カロリメーターの熱伝導解析

Heat conduction analysis of thin film calorimeter

松浦寛人¹、梅田雄太郎¹、シャヒヌールイスラム²、大内理人²、中嶋洋輔²、
小田大輔³、門信一郎³、水内亨³、永岡賢一⁴

Hiroto MATSUURA¹, Yutaro UMEDA¹, MD SHAHINUL ISLAM², Masato OOUTI², Yosuke NAKASHIMA², Daisuke ODA³, Shinichiro KADO³, Tohru MIZUUCHI³, NAGAOKA Kenichi⁴

大阪府大¹、筑波大²、京都大³、核融合研⁴

Osaka pref. Univ.¹, Univ. Tsukuba², Kyoto Univ.³、NIFS⁴

筑波大学のガンマ 10/PDX の D モジュールの熱流束測定に用いられているカロリメーターアレイは薄膜金属受熱板に熱電対を取り付けた構造になっている。[1] そのカロリメーターチップの熱伝導解析は、通常チップ内の温度分布を考慮しない集中熱容量系 (Lumped-Heat-Capacity system) 近似を用いている。

$$qS = c\rho V \frac{dT}{dt} \sim c\rho V \frac{\Delta T}{\Delta t} \quad (1)$$

これはチップの熱絶縁が完全であれば問題ないが、現実にはサポート部からの熱損失が必ず存在し、チップ内の熱伝導に対するチップ背面からの熱伝達 (及びその他の熱損失) の大きさを表わすビオ数 $Bi = \frac{hV}{\kappa S}$ が有限な値を取る。従って、図 1 に見られる様に通常は Δt の加熱パルス (つまり放電ショット) が終了したあとでもゆっくりチップ温度の上昇が続き、最大値を示した後でショット前の値まで減少する。実験的には、この最大値をもって温度上昇値 ΔT を評価しているため、評価された熱流束の値 q に誤差を含む可能性がある。

文献 [2] では、無限大境界、熱シンク境界および熱絶縁境界条件でのステップ熱流束に対する温度応答の解析式が導かれている。図 2 は厚さ 2 ミリの銅薄膜に 0.5 MW/m^2 の熱流束が 450 ミリ秒照射した時の温度応答を示している。薄膜内 3 カ所の温度変化は完全に重なっており、膜内の温度分布が一樣と見なして良いことが判る。膜の厚さを 2 倍にして実効的に熱損失の効果を模擬した図 3 では照射が切れた直後 ($t = 0.5 \text{ s}$) に多少の温度勾配が形成されていることがわかる。温度測定点がプラズマ照射面から遠いほどピーク温度に到達するのに時間遅れが大きく、ピーク値が大幅に減少している。しかし、このモデル計算で図 1 の様なカロリメーターの信号の長時間変化を定量的に説明することは未だに成功していない。

現在、京都大学のヘリオトロン J のダイバータープローブアレイ [3] に熱流束測定の為のカロリメーター機能を追加する改造設計を進めている。講演ではその検討結果も紹介する。本研究は双方向型共同研究 (NIFS14KUHL061/NIFS14KUGM089) の援助を受けている。

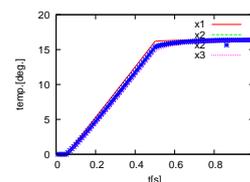
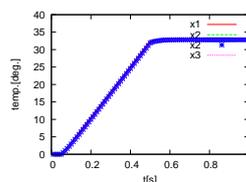
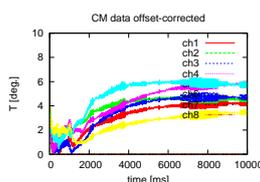


Fig.1 長時間信号 (# 232818) Fig.2 1次元温度応答 (損失なし) Fig.3 1次元温度応答 (損失あり)

[1] 岩元美樹他、第 30 回年会講演会 (2013, 東工大) 05aE45P.

[2] H.Matsuura, et al., Fusion Science and Technology, **63** 180-183 (2013).

[3] W. Ang et al., J. Plasma Fusion Res. **5** 292 (2002).