

水平等温面まわりの自然対流CFD解析 (第2報：平板厚さの影響)

津田 和則*・茂地 徹**・桃木 悟*

CFD analysis on natural convection around an isothermal horizontal plate
(Part : Effect of plate thickness)

by

Kazunori TSUDA*, Toru SHIGECHI**, Satoru MOMOKI*

In the authors' previous report the numerical analysis was presented around an isothermal horizontal thin plate. There is no report that discusses the effect of plate thickness on the fluid flow and heat transfer due to natural convection around an isothermal horizontal plate. In this report the numerical results by CFD code for the velocity and temperature fields and the local and average Nusselt numbers are presented and discussed for various thick plates.

Key words : natural convection, CFD, isothermal horizontal plate, effect of plate thickness

1. まえがき

有限幅の水平加熱平板まわりの自然対流は半導体や電子機器等の冷却に応用されている。しかし、伝熱設計において、伝熱体が下向き水平加熱面、垂直側面および上向き水平加熱面の複数の面で構成されるため、水平加熱平板まわりの自然対流による流動と伝熱の理論的予測は容易ではない。その主な理由は、これまで数多くの実験および理論(数値解析を含む)研究が行われているにもかかわらず、有限幅の下向き水平加熱面からの自然対流の伝熱機構解明が不十分であるためである。つまり、Aihara らの下向き水平平板まわりの自然対流実験⁽¹⁾で得られている伝熱面近くの特異な流動様相(境界層の外側に形成される流れの反転)を十分に説明する理論あるいは数値解析は公表されていない。前報⁽²⁾で Aihara らの実験を数値的に再現するため実験領域全体を計算領域とし、かつ同等の条件で CFD 数値解析を試みた。ただし、実験では擬似的に2次元現象を実現していることから、2次元数値解析を実施し、水平下向き等温面の実験データとの比較を行ってよい結果を得ている。しかしながら、Aihara らの実験では薄板全面を等温加熱しているに

もかかわらず下向き面下の結果の整理だけにとどまっている。そこで、前第1報⁽³⁾では、本解析における上面と側面の数値解析結果を整理し、Aihara らの実験では提示されなかった結果について議論している。これまでは薄い平板について述べてきたが、本報では、板厚の影響による流動様相の変化、温度場の変化およびヌッセルト数の変化を前報⁽²⁾⁽³⁾と同様の解析方法で計算し、それらの結果と比較している。

主要記号

a	: 温度伝導率[m ² /s]
g	: 重力加速度[m/s ²]
L	: 平板の幅[m]
Nu_x	: 局所ヌッセルト数
Nu	: 平均ヌッセルト数
p	: 圧力[Pa]
Pr	: プラントル数
q	: 局所熱流束[W/m ²]
Ra	: レイレイ数
t	: 平板の厚さ[m]

平成18年12月14日受理

*大学院生産科学研究科(Graduate School of Science and Technology)

**機械システム工学科(Department of Mechanical Systems Engineering)

- u : x 方向速度 [m/s]
 - v : y 方向速度 [m/s]
 - α_x : 局所熱伝達係数 [W/(m²·K)]
 - α : 平均熱伝達係数 [W/(m²·K)]
 - T_w : 温度
 - ΔT : 温度差(= $T_w - T_\infty$)
 - T_∞ : 無次元温度
 - k : 熱伝導率 [W/(m·K)]
 - μ : 粘性係数 [Pa·s]
 - ν : 動粘性係数 [m²/s]
 - ρ : 密度 [kg/m³]
 - f : 流れ関数
- 添字
- 0 : 基準
 - w : 壁面
 - ∞ : 周囲
 - u : 上面
 - b : 下面
 - s : 側面
 - ave : 平均

2.2 数値解析モデル

Aihara らの実験結果から装置の中央部は擬似的2次元現象を実現しているため、CFDによる数値解析もFig.2に示す2次元モデルで実施した。

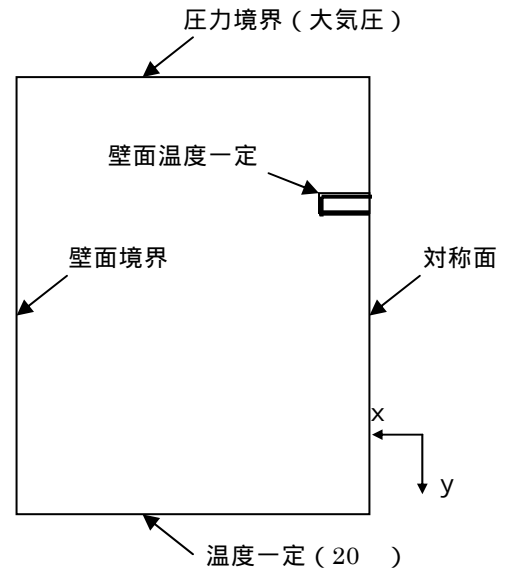


Fig.2 2次元解析モデル

2. CFD 解析

2.1 Aihara らの実験装置⁽¹⁾

実験設備の主要寸法を3次的に示すとFig.1のようになる。対称性から1/4モデルを示す。

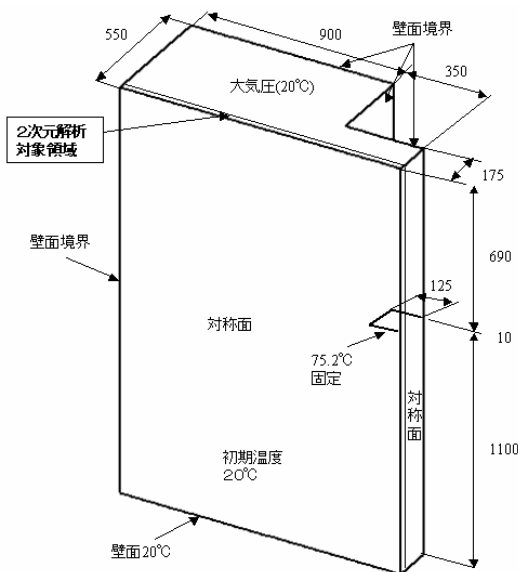


Fig.1 実験設備の主要寸法(1/4モデル)

2.3 空気の物性

浮力は空気の密度差で考慮し、比熱、粘性および熱伝導率は膜温度 $(T_w + T_\infty)/2$ で評価する。

2.4 基礎方程式

連続の式

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \tag{1}$$

運動量の式

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \tag{2}$$

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + g(\rho - \rho_0)$$

エネルギー式

$$u \frac{\partial \theta}{\partial x} + v \frac{\partial \theta}{\partial y} = a \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} \right) \tag{3}$$

