

氏名	下山 力生
授与した学位	博士
専攻分野の名称	工学
学位授与番号	博甲第4766号
学位授与の日付	平成25年 3月25日
学位授与の要件	自然科学研究科 産業創成工学専攻 (学位規則第5条第1項該当)
学位論文の題目	発熱体の最適配置による自然対流熱伝達促進と流動挙動に関する研究
論文審査委員	教授 堀部 明彦 教授 富田 栄二 教授 柳瀬眞一郎

### 学位論文内容の要旨

近年、電子機器では高性能化、高密度実装化が急速に進展し、発熱密度の増加および放熱面積が減少する傾向にある。そのため、電子部品の温度が上昇し、熱に起因するトラブルが多発している。放熱対策として強制空冷を用いると、騒音の発生、信頼性やメンテナンス性が問題となるため、電子機器の冷却技術では自然空冷が注目されている。そこで、本研究では電子機器の自然空冷技術の高度化を図ることを目的とし、次の2つの体系について熱流動特性を解明するとともに、発熱体を最適に配置することで熱伝達を促進する手法について検討した。

#### ①密閉管内に水平発熱体が鉛直方向に配列された場合

密閉管内に鉛直方向に配列された水平平行発熱体まわりの自然対流の流動挙動および熱伝達特性の関連性を明らかにするとともに、各設計パラメータが水平発熱体まわりの熱伝達特性に及ぼす影響について検討した。結果として、発熱体の配置などの諸因子を最適化することで上部領域では渦運動が生成されることを見出した。この渦運動は、中間領域からの上昇流に伴う流れと発熱面と冷却面間の温度差から生じる流れが互いに干渉することで生成される。渦運動が生じると冷却面との熱交換量が増大し、熱伝達は促進されることが明らかになった。なお、管内の流れ場は上部領域だけが渦運動が生成される場合と発熱体に沿った流れに分けられ、その他の領域では全て発熱面に沿った流れとなることが分かった。各設計パラメータが変化した場合について検討し、渦運動が生成される場合は発熱体の間隔を代表長さとした修正レイリー数、発熱面に沿った流れの場合は修正レイリー数および発熱体直径に対する管内径の比である無次元径を関数とする平均ヌセルト数を求める実験整理式を提案した。

#### ②水平発熱面の上方に円筒発熱体を設置した場合

煙突効果により水平発熱面の熱伝達の促進を図ることを目的とし、上方に円筒発熱体を設置した場合の熱流動特性について検討を行った。結果として、円筒発熱体を水平発熱面の上方に設置した場合には、周囲空気が円筒発熱体によって誘引されるため水平発熱面まわりの空気流速が増大し、熱伝達は促進された。ただし、円筒発熱体高さや水平発熱面と円筒発熱体の間隔が小さい場合など、円筒発熱体出口付近で速度分布が不均一になる場合では逆流が発生し、熱伝達を低下させることが分かった。また、逆流の生成条件は、円筒発熱体との間隔を代表長さとした修正レイリー数および円筒発熱体のアスペクト比を用いて定義できることを明らかにした。市販の熱流体解析ソフトの適用可能性について検討したが、汎用コードを用いた一般的な数値解法では十分な精度で予測できず、実測による評価が必要であることを確認した。最後に、水平発熱面の熱伝達は逆流の判別条件を用いて場合分けを行い、水平発熱面まわりの修正レイリー数、円筒発熱体まわりの修正レイリー数および円筒発熱体高さや水平発熱面と円筒発熱体との間隔の比である無次元高さを関数とする平均ヌセルト数を求める無次元整理式を提案した。

以上のように本研究は電子機器の自然空冷技術の高度化を目的とし、発熱体を最適に配置することで自然対流熱伝達の促進を図るものである。得られた研究成果は自然空冷技術の進展に寄与するとともに、付加価値の高い製品開発環境の構築に貢献できることが考えられる。

## 論文審査結果の要旨

本論文は、本研究では電子機器の自然空冷技術の高度化を図ることを目的とし、次の2つの体系について熱流動特性を解明するとともに、発熱体を最適に配置することで熱伝達を促進する手法について検討した。

### ・密閉筐体内に水平発熱体が鉛直方向に配列された場合

密閉筐体内に鉛直方向に配列された水平平行発熱体まわりの自然対流の流動挙動および熱伝達特性の関連性を明らかにするとともに、各設計パラメータが水平発熱体まわりの熱伝達特性に及ぼす影響について検討した。結果として、発熱体の配置などの諸因子を最適化することで上部領域では渦運動が生成されることを見出した。この渦運動は、中間領域からの上昇流に随伴する流れと発熱面と冷却面間の温度差から生じる流れが互いに干渉することで生成される。渦運動が生じると冷却面との熱交換量が増大し、熱伝達は促進されることが明らかになった。なお、筐体内の流れ場は上部領域だけが渦運動が生成される場合と発熱体に沿った流れに分けられ、その他の領域では全て発熱面に沿った流れとなることが分かった。各設計パラメータが変化した場合について検討し、渦運動が生成される場合は発熱体の間隔を代表長さとした修正レイリー数、発熱面に沿った流れの場合は修正レイリー数および発熱体直径に対する筐体内径の比である無次元内径を関数とする平均ヌッセルト数を求める実験整理式を提案した。

### ・水平発熱面の上方に円筒発熱体を設置した場合

煙突効果により水平発熱面の熱伝達の促進を図ることを目的とし、上方に円筒発熱体を設置した場合の熱流動特性について検討を行った。結果として、円筒発熱体を水平発熱面の上方に設置した場合には、周囲空気が円筒発熱体によって誘引されるため水平発熱体まわりの空気流速が増大し、熱伝達は促進された。ただし、円筒発熱体高さや水平発熱面と円筒発熱体の間隔が小さい場合など、円筒発熱体出口付近で速度分布が不均一になる場合では逆流が発生し、熱伝達を低下させることが分かった。また、逆流の生成条件は、円筒発熱体との間隔を代表長さとした修正レイリー数および円筒発熱体のアスペクト比を用いて定義できることを明らかにした。市販の熱流体解析ソフトの適用可能性について検討したが、汎用コードを用いた一般的な数値解法では十分な精度で予測できず、実測による評価が必要であることを確認した。最後に、水平発熱面の熱伝達は逆流の判別条件を用いて場合分けを行い、水平発熱体まわりの修正レイリー数、円筒発熱体まわりの修正レイリー数および円筒発熱体高さや水平発熱面と円筒発熱体との間隔の比である無次元高さを関数とする平均ヌッセルト数を求める無次元整理式を提案した。

以上のように、得られた研究成果は自然空冷技術の進展に寄与するとともに、付加価値の高い製品開発環境の構築に寄与出来るなど工学的に大きく貢献するものであり、学位に値するものと判断する。