

|         |  |        |      |
|---------|--|--------|------|
| 氏名(本籍)  | 穂積良和(東京都)  |        |      |
| 学位の種類   | 博士(工学)   |        |      |
| 学位記番号   | 博甲第4968号   |        |      |
| 学位授与年月日 | 平成21年3月25日   |        |      |
| 学位授与の要件 | 学位規則第4条第1項該当   |        |      |
| 審査研究科   | システム情報工学研究科  |        |      |
| 学位論文題目  | <b>Numerical Study of Gas Dynamics Inside of Pulse Tube Refrigerator</b><br>(パルス管冷凍機における熱流動現象の数値解析による研究) |        |      |
| 主査      | 筑波大学教授   | 工学博士   | 村上正秀 |
| 副査      | 筑波大学教授   | 工学博士   | 河合達雄 |
| 副査      | 筑波大学教授   | 工学博士   | 松内一雄 |
| 副査      | 筑波大学准教授  | 博士(工学) | 笠原次郎 |
| 副査      | 筑波大学准教授  | 工学博士   | 文字秀明 |

### 論文の内容の要旨

本論文は、スターリング冷凍機の簡素型として60年代に発明され研究が続けられてきたパルス管冷凍機について、数値解析により内部ガス流動を明らかにし、それを基に冷却メカニズムなどを説明している。ここで解析に用いられた方程式系は、非線形項を含む3次元粘性・圧縮性ナビエ-ストークス方程式系で、蓄熱体・パルス管を併せたパルス管冷凍機全体における熱流体挙動を直接的に解くことが成功裡になされた。解析結果は、産総研でなされた実験結果と比較され、温度分布の検証や二次的な定在流の存在を確認してシミュレーションの妥当性を確認した。そして、得られた結果を基に、まず振動流からの対称性の崩れの結果と捉えることの出来る冷凍作用の説明がなされ、そして従前からの定説であるSurface Heat Pumping Mechanismに対して批判的検討が加えられた。更に第2-3世代高性能型の実機内の起こっている複雑なガス熱力学的流動現象について解釈が試みられた。そこで取り上げられたのは、i) 従来からの微少振動を仮定しての線形理論と実機で起こる作動気体の非線形的振る舞いの差はどの様なものであるのか、ii) 実機で確認されている二次的な定在流の実相はどの様なものであり、その発生メカニズム、そしてその冷却作用への影響、iii) 管壁近傍の熱ないしは粘性境界層内の熱流動とその冷却効果への寄与、等である。結果として、汎用流体解析コードを用いてパルス管冷凍機の作動シミュレーションが可能であることが示され、さらにパルス管冷凍機の冷凍原理の詳細を明らかにしてパルス管冷凍機の更なる性能向上について指針を得ることに成功している。

### 審査の結果の要旨

本研究では、数値解析によりパルス管冷凍機の内部ガス流動を明らかにし、それを基に冷却メカニズムなどを説明し、多くの新たな知見を付け加えることに成功していると言える。特に二次的な定在流の発生メカニズムを明らかにし、更にその冷却性能への影響を明らかにした点は高く評価できる。得られた結果が直接的に対応する実験結果(産総研でなされた)とも良好に比較されている点は結果の信憑性を高めている。

ただ、計算に用いられた物理モデルは実用機に比べればやや単純で、この方面への改良は今後更に必要である。

結論的には、本論文は、工学的に高く評価できる。併せて、今後本研究の成果を基礎とした研究あるいは実機の改良がさらに進むことも期待したい。

よって、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。