

## 論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨の公表

学位規則第 8 条に基づき、論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨を公表する。

○氏名	奈村 守晃 (なむら もりあき)
○学位の種類	博士 (工学)
○授与番号	甲 第 930 号
○授与年月日	2014 年 3 月 31 日
○学位授与の要件	本学学位規程第 18 条第 1 項 学位規則第 4 条第 1 項
○学位論文の題名	<b>Aero-thermodynamic Consideration of Nonrotating Components for Single-Crystal Silicon Microscale Turbine Engine</b> (単結晶シリコン製マイクロスケールタービンエンジン用非回転要素の空気熱力学に関する考察)
○審査委員	(主査) 鳥山 寿之 (立命館大学理工学部教授) 小西 聡 (立命館大学理工学部教授) 大上 芳文 (立命館大学理工学部教授)

### <論文の内容の要旨>

本論文は、単結晶シリコン製のマイクロスケール超音速ノズルとカン型燃焼器の設計、試作および空気熱力学性能の設計指針に関して述べている。マイクロスケール超音速ノズルとカン型燃焼器は、将来マイクロスケールガスタービンエンジンの非回転部の空気力学要素に使用することを想定して研究した。マイクロスケールの空気力学設計に関して連続体流れあるいは希薄流れのいずれかの仮定が適切であるかを定める超音速ノズルの作動範囲を、Knudsen 数と関連する物理パラメータの関数として表現した。また、非断熱流れの空気力学性能への影響は壁面熱伝達と Nusselt 数に基づいて考察した。工学的観点から、Knudsen 数と流れの非断熱作動に基づく定量的な評価法は、連続体内部流れの仮定が成立する範囲において、任意の寸法と形状を有するマイクロスケールノズルの実用的な空気力学設計指針を与えることを示した。さらに、航空用ガスタービンエンジンで採用されている燃焼速度、攪拌燃焼器モデル、燃焼負荷パラメータに基づく空気熱力学的設計手法をマイクロスケール燃焼器の設計に応用することを試みた。これらの設計手法は燃焼器の寸法、入口静温、入口静圧、質量流量に対する燃焼効率の相関を考慮しており、実用的な燃焼器設計に有益である。マイクロスケール燃焼器の空気熱力学設計に対して合理的かつ物理的な背景を与え、統一的かつ実用的な設計指針を確立するために、マイクロスケール燃焼器の安定燃焼作動範囲を決定する幾何学寸法、形態、空気力学パラメータ間の相関関係につ

いて詳細に調査した。

#### <論文審査の結果の要旨>

論文審査の結果、本論文は以下の項目に関して工学的に有益な知見を与えている。

[1] マイクロスケール超音速ノズルの作動流体の力学的挙動を支配する運動量方程式と非断熱流れの影響は、ノズルスロート寸法の等価水力直径を基準とする Knudsen 数と Nusselt 数の相関関係から見積もることができる。

[2] Knudsen 数( $Kn \approx 0.01$  以下)と Nusselt 数( $Nu \approx 3.7$  以上)が連続体流れの範囲に存在するマイクロスケール超音速ノズルの空気力学設計において、Prandtl-Meyer 関数と境界層排除厚さ補正による空力流路形状の決定と、壁面熱伝達による非断熱流れの熱損失解析が重要である。

[3] 予混合方式のマイクロスケール燃焼器の空気熱力学設計では、燃焼速度モデルが有効であり、燃焼効率と燃焼負荷パラメータに相関関数が存在する。

[4] 燃焼効率と燃焼負荷パラメータの相関関数から、マイクロスケール燃焼器の入口熱力学的状態量と幾何学寸法を指定することにより燃焼効率が推定できることを示した。予混合方式燃焼器の空気熱力学設計において攪拌燃焼器モデルを適用すると、断熱火炎温度を見積もるためにあらかじめ燃焼効率を仮定しなければならない技術的課題があったが、これにより攪拌燃焼器モデルの技術的課題を克服した。

[5] 予混合方式のマイクロスケール燃焼器の実験で得られた燃焼効率(70%)と燃焼温度(1350K)の実測値は、マイクロスケールガスタービンエンジンのブレイトンサイクルが成立できる技術水準であることを示した。

[6] 最後に、提案する空気熱力学性能の設計指針は、申請者のみならず他の研究機関により実施されたマイクロスケールのノズルや燃焼器に関する実験結果に対して合理的かつ物理的な解釈を提供できることを示し、提案する手法の一般性を示唆した。

本論文の審査に関して、2013年10月25日(金)13時00分~14時00分イーストウイング4階機械システム系演習室において公聴会を開催し、学位申請者による論文要旨の説明の後、審査委員は学位申請者奈村守晃に対する口頭試問を行った。各審査委員および公聴会参加者より、要素性能とガスタービンエンジン全体性能の関係などの質問がなされたが、いずれの質問に対しても学位申請者の回答は適切なものであった。よって、以上の論文審査と公聴会での口頭試問結果を踏まえ、本論文は博士の学位に値する論文であると判断した。

#### <試験または学力確認の結果の要旨>

本論文の主査は、学位申請者と本学大学院理工学研究科総合理工学専攻博士課程後期課程在学期間中に、研究指導を通じ、日常的に研究討論を行ってきた。また、本論文提出後、主査および副査はそれぞれの立場から論文の内容について評価を行った。

学位申請者は、本学学位規程第 18 条第 1 項該当者であり、論文内容および公聴会での質疑応答を通して、学位申請者が十分な学識を有し、博士学位に相応しい学力を有していると確認した。

以上の諸点を総合し、学位申請者に対し、本学学位規程第 18 条第 1 項に基づいて、「博士（工学 立命館大学）」の学位を授与することが適当であると判断する。