



| | |
|--------------|---|
| Title | 中小型ガスタービンの高効率化と実用化に関する研究 |
| Author(s) | 杉本, 隆雄 |
| Citation | 大阪大学, 2008, 博士論文 |
| Version Type | |
| URL | https://hdl.handle.net/11094/49528 |
| rights | |
| Note | 著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。 |

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

| | |
|---------------|--|
| 氏 名 | すぎもと たかお 杉 本 隆 雄 |
| 博士の専攻分野の名称 | 博 士（工 学） |
| 学 位 記 番 号 | 第 2 2 5 3 6 号 |
| 学 位 授 与 年 月 日 | 平 成 20 年 9 月 25 日 |
| 学 位 授 与 の 要 件 | 学位規則第4条第2項該当 |
| 学 位 論 文 名 | 中小型ガスタービンの高効率化と実用化に関する研究 |
| 論 文 審 査 委 員 | （主査） 教 授 武石賢一郎 （副査） 教 授 片岡 勲 教 授 梶島 岳夫 教 授 赤松 史光 准教授 小宮山正治 |

論 文 内 容 の 要 旨

＜要 旨＞

本論文は以下の全8章で構成している。

第1章では、ガスタービンの高効率化について、研究の意義と中小型ガスタービンの現状、熱サイクルとして、単純サイクル、再生サイクル、蒸気注入サイクルのそれぞれについて概括した。

第2章では、これらのサイクルに共用できるサイクル計算プログラムを新たに開発した。次に、それを使用して熱サイクルの各パラメータ（要素の断熱効率、圧力比、タービン入口温度等）が熱効率に及ぼす影響の感度解析を行い、何れも熱効率に重大な影響を及ぼすことを明らかにした。

第3章では、遠心圧縮機についての高圧化の課題について述べた。次に遠心圧縮機試験機の実験を通じて高圧化と高効率化を研究し、インペラの翼形状の影響、ディフューザの静圧回復率の向上策について述べた。さらにインペラとディフューザの安定度という観点でサージング特性を評価し、サージマージンの拡大による作動点での断熱効率の向上が可能であることを示した。

軸流圧縮機に関しては、遷音速圧縮機用のMCA（多重円弧）翼型の創成を行い、実験およびRANSコードによる解析評価で高速化を実現した。また3次元RANSコードを使用した多段解析を行い、各段の空気力学的マッチングと、翼型を3次的に最適化して断熱効率向上を図った事例を述べた。

第4章では、遷音速タービン翼型の創生とRANS解析と翼列実験による検証を行い、実用ガスタービンを高速・高圧化した事例を述べた。またタービン入口温度の高温化について、燃焼器系を改善して温度分布を平準化した事例、小型の対流冷却タービン翼について2次元解析によるメタル温度評価の限界を論じた。次に新開発した熱流体・固体熱伝導の同時解析が可能な3次元RANSコード（CHTflow）を活用してタービン翼のフィルム冷却構造の最適化を行い、光学的方法によるメタル温度測定結果と対比して効果を確認している。更に、高性能な新フィルム冷却方式（DJFC：Double Jet Film Cooling）を提案している。

第5章では、環状排気ディフューザの高性能化について、流れ解析に使用する三次元RANSコードの検証を行った後、入口の半径方向の速度分布、通路の子午面傾斜角、ストラットの存在などが性能に及ぼす影響について評価し、その結果を実機ガスタービンの改良に適用して静圧回復率を向上した事例について述べている。

第6章では、再生サイクルについて、熱交換器の温度効率がガスタービンの熱効率に及ぼす影響、熱交換器の寸法が温度効率と圧力損失に及ぼす影響などについて評価し、2500kW級船舶用ガスタービンへの適用事例について、熱交換器へ流入するガス流速分布の均一化、通路表面汚れが性能に及ぼす影響、起動停止に伴う非定常熱応力と空気漏れなど、実用化における諸課題について検討し、実測データに基づいた熱効率の評価を行った。

第7章では、蒸気注入サイクルにおける圧縮機とタービンの流量マッチングについて、圧縮機の変静翼による空気流量の制御によって課題を解決した事例を述べた。また、排熱ボイラーで発生する蒸気の全量を注入するための空気／蒸気冷却両用のタービン静翼の開発、蒸気注入が空力性能へ及ぼす影響、冷却翼表面の熱伝達率の変化による翼メタル温度の上昇、燃焼器の排気ガス・エミッションへの影響などを検討し、実用化における課題解決をはかった。

第8章では本研究の成果を総括した。この研究開発の成果は、筆者が担当した20kW級から18,000kW級までの中小型ガスタービンの高効率化技術として具体的に適用されているものである。（以上）

論文審査の結果の要旨

本研究は、翼高さに対する翼端隙間の割合が大きいという寸法的制約を有する中小型ガスタービンに関して、システムの解析と要素技術の革新により熱効率の飛躍的な向上を達成したものである。本論文では、全体効率に占める各構成要素の性能改善の感度解析を実施し、性能改善効果の大きな圧縮機の新設計手法、高負荷遷音速タービン翼型の選定および新型高性能フィルム冷却手法の提案、排気ディフューザの設計手法の構築、0～100%排ガス利用発生蒸気のタービンへの投入法の開発による発電と熱利用を任意割合で実施する運転を可能としたものである。これらの技術を中小型ガスタービンに適用することによって38%を越える熱効率を達成したものである。本論文の主な新しい着眼点と結論は以下の通りである。

- (1) 遠心圧縮機において、ディフューザの静圧回復率を向上させるために三次元的な広がり通路を持つチャンネル型ディフューザを開発した。またベーンの入口角度分布を流れの角度分布に合わせた Scallop 型ディフューザを開発して、低比速度の遠心圧縮機の効率を大幅に向上させた。流量係数－絶対流れ角度線図による遠心圧縮機の運転範囲の評価手法を構築し、インペラとディフューザの失速と閉塞が圧縮機の作動範囲におよぼす関係を明らかにした。軸流圧縮機を高速化する場合の課題である遷音速領域での翼列損失の増加に対して、翼前縁付近での急激な曲率の変化を小さくした MCA (Multiple Circular Arc) 翼の有効性を明らかにした。これにより段あたり 1.28 の圧力比を実現する多段軸流圧縮機の開発が可能になった。
- (2) 内部に複雑な冷却通路を設置することが困難な小型翼に対して、壁面噴流を交差させる DJFC (Double Jet Film Cooling) フィルム冷却法を新規に開発し、それをタービン翼実機に採用すると共に、高温高速回転状態でのタービン翼のメタル温度をパイロメータで測定し、フィルム冷却翼の冷却性能を検証し、DJFC フィルム冷却手法の有効性を明らかにした。
- (3) 圧縮機に変静翼を採用し蒸気注入時のタービン流量を制御する方法の採用と、排ガス利用発生蒸気を NOx 低減用として燃焼用空気に混入、燃焼室（第一段静翼前）に注入、さらに冷却媒体として第二段静翼に注入し、発電と熱利用の割合に応じて投入箇所を順次変更することにより 0～100%の蒸気をタービンに投入する手法の開発に成功

した。

以上のように、本論文で提案している遠心圧縮機の新しいディフューザの設計手法、流量係数－絶対流れ角度線図による遠心圧縮機の運転範囲の評価手法、DJFC フィルム冷却構造、圧縮機の変静翼を利用した制御方法と新しい蒸気注入方法の採用は、中小型ガスタービンの高性能化を達成させ、このクラスにおける往復動式発電システムに匹敵する性能を示し、また発電と熱利用の併給が可能なことから世界的な需要を喚起したもので、中小型ガスタービンの発展に寄与することが大である。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。