

遷音速遠心圧縮機羽根車の主翼と短翼から発生する漏れ流れが内部流動に及ぼす影響

金子, 雅直 / KANEKO, Masanao

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

115

(発行年 / Year)

2017-03-24

(学位授与番号 / Degree Number)

32675甲第398号

(学位授与年月日 / Date of Granted)

2017-03-24

(学位名 / Degree Name)

博士(工学)

(学位授与機関 / Degree Grantor)

法政大学 (Hosei University)

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00013953>

博士学位論文
論文内容の要旨および審査結果の要旨

氏名	金子 雅直
学位の種類	博士（工学）
学位記番号	第 398 号
学位授与の日付	2017 年 3 月 24 日
学位授与の要件	法政大学学位規則第 5 条第 1 項第 1 号該当者（甲）
論文審査委員	主査 教授 辻田 星歩 副査 教授 川上 忠重 副査 教授 林 茂 副査 教授 御法川 学

遷音速遠心圧縮機羽根車の主翼と短翼から発生する流れが内部流動に及ぼす影響

1. 論文内容の要旨

環境問題が深刻化する中で、ガスタービンや過給機の構成要素の遠心圧縮機の広作動範囲での高効率・高圧力比化への要求が強まっている。高圧力比化は羽根車周速の上昇を伴うため、その内部の相対流れは遷音速状態に至る。また、遷音速遠心圧縮機に用いられるオープン羽根においては、回転する翼先端と静止している Shroud ケーシング壁面間に間隙が存在し、そこを通過する流れが比較的大きな損失を生成する。さらに、チョーク流量の拡大のためにコード長の異なる主翼と短翼の二種類の翼で構成されている。本研究は、数値解析的手法においてのみ設定可能な主翼と短翼の各翼端間隙の有無を解析条件として、広作動範囲に亘って遷音速遠心圧縮機内の流れの数値解析を行い、それらの結果を比較検討することにより、主翼と短翼の個々の翼端流れが内部流れの挙動と羽根車性能に及ぼす影響を詳細に調査している。

本論文は、全 6 章により構成されている。

第 1 章では研究目的とそれに関わる社会情勢を含む研究背景、関連する研究の動向を説明している。特に環境負荷低減のために産業用ガスタービンや過給機を構成する遷音速遠心圧縮機の空力性能の向上が要求されており、その向上には羽根車を構成する主翼と短翼の各翼端間隙の存在が流動現象に及ぼす影響を解明する必要があることを述べている。

第 2 章では本研究の解析対象となる遷音速遠心圧縮機の仕様を示し、また供試圧縮機として、形状データと実験データが共に公開されているものを選定した旨を説明している。

第 3 章では本研究で用いた汎用 CFD(Computational Fluid Dynamics)コードの数値解析法について述べている。主に、計算のアルゴリズム、対流項の差分スキーム、および乱流解析手法として用いた乱流モデルの選定理由とその特徴を説明している。

第 4 章では計算精度の検証内容とその結果について説明しており、本研究で用いた数値解析的手法により得られた計算結果を用いて、翼端間隙の存在が圧縮機内部の流動現象と羽根車性能に及ぼす影響を調査することが妥当であることを示している。

第 5 章では主翼と短翼の各翼端間隙の存在が圧縮機内の流れ場と羽根車性能に及ぼす影響を解明する目的で実施した計算内容, 計算結果および考察を全 4 節構成で説明している。

5.1 節では主翼と短翼の翼端間隙の影響を明確に区別して解明するには, 各翼端間隙の有無をパラメータとした 4 条件の流れ場を比較する必要があることを述べている。

5.2 と 5.3 節では翼端間隙の設定に関する解析パラメータと, 作動条件によって異なる流量に関する計算条件, および境界条件の種類とその設定内容について述べている。

5.4 節では遷音速遠心圧縮機内の流れを 3 つの作動点において, 翼端間隙有無 4 条件に対して数値解析を行った結果と考察を, 全 4 項構成で説明している。

5.4.1 項では設計点における計算結果から, 以下のことを明らかにしている。

主翼の翼端間隙は漏れ渦の発生とその主翼負圧面上の衝撃波との干渉により損失を生成する。また, その渦のブロックエッジ効果が短翼への入射角を増加させることにより, 短翼前縁翼端漏れ渦と主翼圧力面側に漏れ渦を発生させ, それらに起因する損失生成が羽根車効率を低下させる。一方, 短翼の翼端間隙は, 翼負荷による間隙内への吸い込み効果に起因する短翼への入射角の低減と短翼前縁翼端漏れ渦のブロックエッジ効果により, 主翼圧力面側の漏れ渦を弱め, 効率低下を抑制する。また翼端間隙を無くすと衝撃波が **Shroud** 壁面と翼負圧面とのコーナーにはく離を生じさせ, 損失増加により効率を低下させる。

5.4.2 項ではチョーク近傍の作動点の結果を設計点と比較し, 以下のことを解明している。

流量の増加に伴う主翼への入射角の減少は主翼前縁翼端漏れ渦の形成とその衝撃波との干渉による損失生成を設計点と比べて低減する。一方, 主翼前縁翼端漏れ渦の放出角度が設計点と比較して羽根車軸方向へ偏向し, 短翼圧力面側の流路のみを塞ぐようにブロックエッジが形成されることにより, 短翼負圧面上の流れの増速率が増加し, 主翼圧力面側の翼端漏れ渦とそれによる損失生成が生じる。さらに, その増速は短翼の前縁下流側で翼端漏れ渦を誘起し, それが衝撃波と干渉し崩壊することにより, 損失を増加させる。その結果, 主翼の翼端間隙が羽根車効率を低下させる程度は設計点と比較して増大する。一方, 短翼の翼端間隙は効率低下を抑制する効果を有するが, その程度は設計点と比較して, 短翼負圧面上の増速率の低減効果を有する短翼前縁翼端漏れ渦が抑制されることにより低減する。

5.4.3 項では失速点近傍の作動点の計算結果を設計点と比較し, 以下を明らかにしている。

流量の減少に伴う主翼への入射角の増加は, 主翼前縁翼端漏れ渦の形成とその衝撃波との干渉による損失生成を設計点と比べて増加させる。主翼前縁翼端漏れ渦のブロックエッジ効果が短翼への入射角を増加させる程度は設計点と比較して増大し, その結果, 短翼前縁翼端漏れ渦の増強と短翼先端近傍での前縁はく離を誘起することにより, 損失を増加させる。また短翼への入射角の増加は, 主翼圧力面側に翼端漏れ渦とそれに伴う損失生成を誘起する。以上の現象は主翼の翼端間隙が羽根車効率を低下させる程度を設計点と比較して増大させる。一方, 短翼の翼端間隙は, 設計点の場合と同様な効率低下抑制効果を有する。

5.4.4 項では以上の 3 つの作動点の結果を総合的に比較し, 得られた知見を述べている。

主翼の翼端間隙が羽根車効率を低下させる主な原因は, 主翼前縁翼端漏れ渦の形成とそ

の衝撃波との干渉，および同渦のブロック効果による短翼前縁翼端漏れ渦と主翼圧力面側の翼端漏れ渦の形成にある．また，流量の増加により短翼の前縁下流側で生じた翼端漏れ渦の衝撃波との強い干渉による崩壊が，一方，流量の低下により主翼前縁翼端漏れ渦とその衝撃波との干渉の増強と短翼負圧面側での前縁はく離の発生が，それぞれ損失生成を強め，効率の低下量を増大させる．短翼の翼端間隙は間隙吸込み効果による短翼への入射角の低減と短翼前縁翼端漏れ渦のブロック効果により，主翼圧力面側の漏れ渦を弱め，効率低下を抑制するが，流量の増加は後者の効果の低減により効率低下の抑制効果を低下させる．したがって主翼の翼端間隙高さを衝撃波に起因するコーナーはく離が生じない範囲で，また短翼の翼端間隙高さを間隙吸込み効果を確保できる範囲でそれぞれ極力小さく設定することにより，広い流量範囲において羽根車効率を向上させることができる．

第6章では結論として本研究により得られた結果が総括されている．

2. 審査結果の要旨

本論文は環境負荷低減のために高効率化が要求されるガスタービンや過給機の主要構成要素である，遠心圧縮機の空気力学的性能の向上に関する新たな知見の獲得を目的としている．特に，性能低下の主要因とされている翼端間隙の存在とそれに起因する流れの挙動に着目し，その損失生成への影響を主翼と短翼で構成される遷音速遠心圧縮機を対象に明らかにしている．また，翼端間隙の影響を特定するにはその有無による比較が不可欠であるが，それを可能にする数値解析的手法により，計算精度の検証と共に解明を行っている．審査の結果，以下の点において工学上の新規性と有効性を確認した．

1. 基準の設計流量において，主翼前縁から生じる翼端漏れ渦は，そのブロック効果により短翼への入射角を **Shroud** 付近で増加させる．その結果，短翼前縁翼端漏れ渦と主翼圧力面側に翼端漏れ渦が発生し，それに伴う損失生成が羽根車効率を低下させる．一方，短翼の翼端間隙は，翼負荷による間隙吸込み効果と短翼前縁翼端漏れ渦のブロック効果により，主翼圧力面側に生じる翼端漏れ渦を弱め，それに伴う損失生成低減により羽根車効率の低下が抑制される．また，主翼の翼端間隙が無くなると負圧面上の衝撃波が **Shroud** 壁面とのコーナーにはく離を生じ，比較的大きな損失を生むことが明らかにされている．

2. 流量の増加による主翼への入射角の減少に伴う前縁付近の負荷の低下は，主翼前縁翼端漏れ渦の放出角度を羽根車軸方向に偏向することにより，その短翼へのブロック効果の範囲を短翼の圧力面側流路のみに縮小する．その結果，短翼前縁翼端漏れ渦の形成が抑制され，さらに短翼負圧面上の流れの増速率が増加する．この増加は主翼圧力面側の翼端漏れ渦の増強，および短翼の前縁下流側での翼端漏れ渦と衝撃波の形成とそれらの渦崩壊を伴う干渉を引き起こし，これらの現象に起因する損失増加が設計流量より羽根車効率を低下させる．また，短翼の翼端間隙が主翼圧力面側の翼端漏れ渦を低減する効果は，短翼前縁翼端漏れ渦の抑制により低下することが明らかにされている．

3. 流量の低下による主翼への入射角の増加に伴う前縁付近の負荷の上昇は、主翼前縁翼端漏れ渦の増強と放出角度の周方向への偏向により、その短翼へのブロッキング効果を強める。その結果、短翼前縁翼端漏れ渦が増強すると共に短翼先端付近に前縁はく離が生じることにより、羽根車効率が設計点より低下する。また、短翼の間隙吸込み効果は、短翼への入射角の低減と共に主翼圧力面側の翼端漏れ渦を弱め、さらに前縁はく離領域を縮小することにより、羽根車効率の低下を抑制することを解明している。

以上、本論文では遷音速遠心圧縮機の主翼と短翼の各翼端間隙から生じる漏れ渦が、損失生成および羽根車効率に及ぼす影響を広い流量範囲に亘って詳細に解明し、さらに得られた知見から設計上の考慮点を示すなど、工学に資するところが大きい。よって、本審査小委員会は全会一致をもって提出論文が博士(工学)の学位に値するとの結論に達した。

(報告様式Ⅲ)