

令和元年6月13日現在

機関番号：82645

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2018

課題番号：16K14165

研究課題名(和文) ジェットエンジンにおけるサイクル解析とマルチフィジックスCFDの統合解析手法

研究課題名(英文) A numerical method coupling with cycle analysis and multi-physics CFD in jet engines

研究代表者

鈴木 正也 (Suzuki, Masaya)

国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構・航空技術部門・研究開発員

研究者番号：40548161

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的はジェットエンジンにおいて問題となるエロージョンや着氷などの現象について、エンジン要素レベルで発生する問題がエンジンシステム全体に与える影響を調査するための数値解析手法を開発することであった。平成28年度から平成29年度は主に解析プログラムの開発を中心に計画を実施した。平成30年度は得られた解析プログラムを用いた解析の実施フェーズとして研究を行った。本研究により、マルチフィジックス現象がエンジン全体に与える影響を調査することが可能になった。一方、当初想定よりも開発した解析プログラムの計算負荷が高いことが研究実施によって明らかになった。今後の研究では抽出された課題の解決を図る。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で開発される統合解析手法は、要素レベル解析よりも高精度となり、エンジン全体性能の変化を予測できる上、設計計算にも適用可能である。従って、過度な安全係数を取ることなくエンジン設計が可能となり、国際競争力のある経済的なエンジン実現に役立つ。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was to develop a numerical method to investigate the influence of multi-physics phenomena such as erosion and icing occurring at the jet engine component on the entire jet engine system.

From FY2016 to FY2017, research activity focused on the development of analysis programs. Numerical simulations coupled with cycle analysis and Multi-physics CFD using the developed analysis was performed in FY2018.

The numerical method was successfully developed. Although it became clear from the research that the computational load of the developed coupling method is higher than initially assumed, in future research, solve the highlighted issues will be solved.

研究分野：流体工学

キーワード：数値シミュレーション 連成解析 ジェットエンジン 熱サイクル マルチフィジックス 混相流 エロージョン 着氷

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

- (1) ジェットエンジンの開発・運用・メンテナンスといった様々な状況において、液滴や固体粒子を含む混相流に起因する様々なマルチフィジックス現象が問題となっている。ファンや圧縮機では着氷（過冷却液滴の衝突による氷形成）・エロージョン（液滴／固体粒子の衝突による壁面損傷）が、タービンではエロージョンや粒子付着（比較的低温の壁面に衝突する溶融粒子の付着）などが発生し、エンジンの性能や寿命を低下させ、時として事故に発展する。
- (2) 申請者らはこれらのマルチフィジックス現象を実験・数値解析の両面から研究してきた。実機条件の再現や計測は難しいため、実験は簡易形状による基礎的な現象理解を目的として行い、実形状は数値解析により予測する方針を取ってきた。現時点で、周期条件を課した半段・単段の要素レベルでは予測可能となっており、既に設計開発に役立てられている。しかし、エンジンシステム全体に対する影響は実機試験をするまで分からないのが現状である。

2. 研究の目的

- (1) 本研究では、要素レベルに対するマルチフィジックス解析とエンジン全体に対するサイクル解析をカップリングした新たな統合解析手法を構築し、要素で発生する不具合がエンジンシステム全体に及ぼす影響を調査する。
- (2) 本研究により、これまでの限られた実機試験では、ほとんど未解明であったマルチフィジックス現象に対するエンジン応答が明らかとなる。

3. 研究の方法

- (1) 解析プログラムの開発：不具合要素に用いるマルチフィジックス解析およびエンジン全体のサイクル解析には、本研究担当者らのこれまでの成果を活用する。
- (2) 想定エンジンの不具合発生前の性能計算：マルチフィジックス現象を解析する前に、想定するエンジンシステムに対する性能計算を実施する。
- (3) ファンの着氷発生時のエンジン応答解析：開発したプログラムを用いてファンの着氷解析を行う。
- (4) タービンのエロージョン発生時のエンジン応答解析：開発したプログラムを用いてタービンのエロージョン解析を行う。

4. 研究成果

- (1) 本研究では、要素レベルに対するマルチフィジックス解析とエンジン全体に対するサイクル解析をカップリングした新たな統合解析手法を構築し、要素で発生する不具合がエンジンシステム全体に及ぼす影響を調査した。
- (2) 計算負荷の高いマルチフィジックス解析は注目する要素のみに適用した。得られる要素性能をサイクル解析に受け渡し、システム全体には計算負荷の低いサイクル解析を適用した。サイクル計算により得られる不具合要素の上流・下流の状態を、境界条件として要素解析にフィードバックすることで連成計算を行うことができる。
- (3) 図1はタービン静翼のエロージョン解析の結果を示している。タービン上流から流入した固体粒子が翼面に衝突し、翼の前縁および正圧面のミッドコードから後縁にかけて著しい損傷が確認された。特に後縁付近で損傷が激しいのは、一度翼面に衝突した粒子が再び下流の翼面に衝突するためである。これはタービン翼では流れの転向が大きいことに起因しており、圧縮機翼列では起こりづらいタービンに特徴的な損傷パターンである。この結果、エロージョン前後の渦構造の比較から分かるように、損傷個所でスパン方向に軸を持つ渦が発生している。

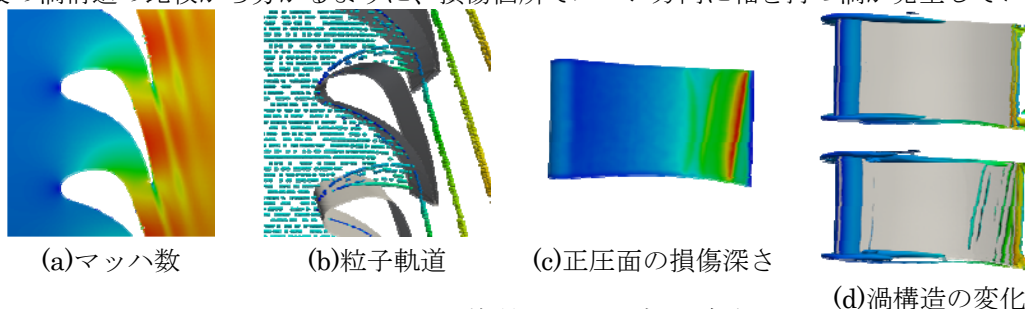


図1 タービン静翼のエロージョン解析

- (4) ファン動翼の着氷解析の結果を図2に示す。解析対象としたファン動翼の表面温度はハブ側30%スパン程度まで0°Cを下回る領域があり、この付近に氷の成長が確認された。これは動翼先端に近いほど、翼の回転による周方向速度が大きくなり、空力的に加熱されるため、チップ付近では着氷しづらいのに対し、ハブ側では周方向速度が低く、低温になるためである。特に15%スパン以下では氷の堆積が顕著である。また、15%スパンでは翼の正圧面と負圧面の両面に氷が堆積する結果として、前縁で流れが剥離し、性能低下につながりやすいものと考えられる。

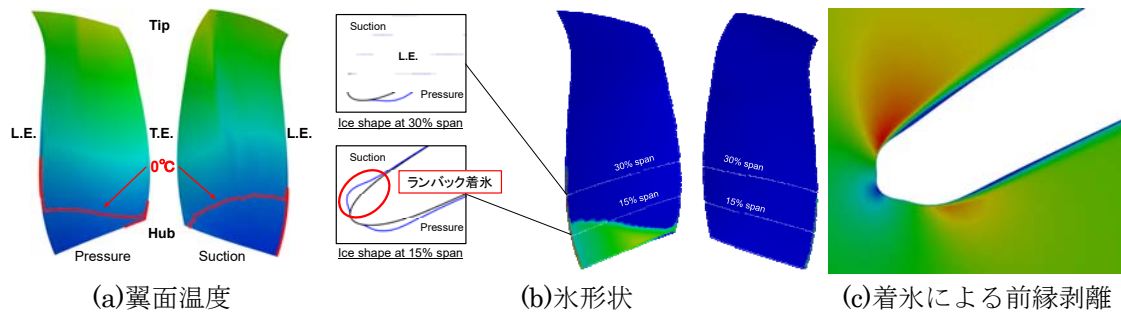


図1 ファン動翼の着氷解析

(5) 要素レベルに対するマルチフィジックス解析とエンジン全体に対するサイクル解析をカップリングした新たな統合解析手法を適用した着氷解析の結果を図3に示す。着氷は比較的短い時間スケール(数分オーダー)で生じる現象であるため、エンジンの制御状態の影響を考慮する必要がある。通常、エンジンは空燃比を一定に制御するものと思われることから空燃比一定と、一般的な試験・解析で行われる回転数一定の2種類の条件でサイクル解析を行った。エンジン制御との関係は未解明であり、本統合解析手法の導入により、新たな知見が得られると期待される。図は上記のファンを備えたエンジンに対して、着氷によるエンジン性能の変化を予測するため、空燃比一定と低圧軸回転数一定の2通りのケースを比較している。それぞれの解析には大きな差があり、本統合解析手法の有効性が示唆された。

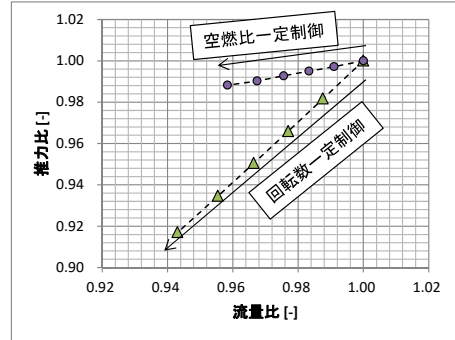


図3 着氷による性能変化の計算

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計0件)

[学会発表] (計17件)

- ① 荒井直己、福留功二、山本誠、鈴木正也、UPACS を用いた高压タービン初段静翼のリーン形状と壊食量の相関調査、日本機械学会関東学生会第58回学生員卒業研究発表講演会講演論文集、1416 (2019-3)、pp. 1-5、査読無
- ② 八木智哉、福留功二、山本誠、水野拓哉、賀澤順一、鈴木正也、UPACS を用いたスweep動翼の防水効果に関する数値的調査、日本機械学会関東学生会第58回学生員卒業研究発表講演会講演論文集、1406 (2019-3)、pp. 1-5、査読無
- ③ 水取賢太、福留功二、山本誠、鈴木正也、UPACS を用いた高压タービン初段静翼におけるデポジション現象の数値解析、日本機械学会関東学生会第58回学生員卒業研究発表講演会講演論文集、1402 (2019-3)、pp. 1-5、査読無
- ④ 八木智哉、福留功二、山本誠、水野拓哉、賀澤順一、鈴木正也、航空機エンジンのファン動翼におけるスweepとその防水効果に関する数値的調査、第34回生研TSFDシンポジウム講演論文集、(2019-3)、査読無
- ⑤ Wada, T., Fukudome, K., Mamori, H., Yamamoto, M., Suzuki, M., Mizuno, T. and Kazawa, J., Effect of Icing Conditions on Anti-Icing Method for Fan Rotor Blade, Proceedings of the 29th International Symposium on Transport Phenomena, ISTP-29, Reviewed, Paper No. 109, (2018-11), pp. 1-5, 査読有
- ⑥ 和田拓也、守裕也、福留功二、山本誠、水野拓哉、賀澤順一、鈴木正也、航空機における防水ファン動翼に対する大気中水分含有量の影響、第46回日本ガスタービン学会定期講演会講演論文集、C-23 (2018-10)、pp. 1-5、査読無
- ⑦ 上野学、守裕也、福留功二、山本誠、鈴木正也、UPACS を用いたタービン静翼における延性・脆性材料のサンドエロージョン挙動の数値解析、日本流体力学会年会2018講演論文集、284、(2018-9)、pp. 1-4、査読無
- ⑧ Ueno, M., Mamori, H., Fukudome, K., Yamamoto, M., and Suzuki, M., Sand Erosion Behavior of CMC and Ni-based Superalloy in Turbine Stator, Proceedings of Asian Congress on Gas Turbines 2018, ACGT 2018-TS33, (2018-8), pp. 1-6、査読無
- ⑨ Wada, T., Mamori, H., Fukudome, K., Yamamoto, M., Mizuno, T., Kazawa, J. and Suzuki, M., A Feasibility Study on Anti-Icing Method for Fan Rotor Blade Using UPACS, Proceedings of Asian Congress on Gas Turbines 2018, ACGT 2018-TS30, (2018-8), pp. 1-5, 査読無
- ⑩ 鈴木正也、賀澤順一、水野拓哉、耐特殊気象エンジン技術の研究開発状況、日本航空宇宙学会第49期年会講演会講演集、JSASS-2018-1006、(2018-4)、pp. 1-6、査読無

- ⑪ 上野学、守裕也、山本誠、鈴木正也、UPACS を用いた高圧タービン初段静翼におけるサ
ンドエロージョン現象の数値シミュレーション、日本機械学会関東学生会第 57 回学生員
卒業研究発表講演会講演論文集、202 (2018-3)、pp. 1-5、査読無
- ⑫ 和田拓也、守裕也、山本誠、水野拓哉、賀澤順一、鈴木正也、UPACS を用いたファン動
翼防氷技術のフィジビリティ調査、日本機械学会関東学生会第 57 回学生員卒業研究発
表講演会講演論文集、208 (2018-3)、pp. 1-4、査読無
- ⑬ 鈴木正也、航空エンジンにおけるマルチフィジックス・シミュレーションの展開、第 7 回
計算力学シンポジウム、日本学術会議、東京、(2017-12)、招待講演
- ⑭ 鈴木正也、山根敬、高温高速固気二相流の数値シミュレーション、第 45 回日本ガスター
ビン学会定期講演会講演論文集、C-16 (2017-10)、pp. 271-275、査読無
- ⑮ 鈴木正也、畠谷尊明、守裕也、福島直哉、山本誠、サンドエロージョン予測に対する境界
適合格子に適した損傷形状表現と混相流の取り扱いに関する検討、日本流体力学会年会
2017 講演論文集、014、(2017-8)、pp. 1-6、査読無
- ⑯ Suzuki, M., Hataya, H., Mamori, H., Fukushima, N. and Yamamoto, M., Multi-Physics
Simulation of Particulate Erosion Phenomena Using One-Way and Two-Way
Couplings, Proceedings of the 13th International Symposium on Experimental
Computational Aerothermodynamics of Internal Flows, ISAIF13-S-0123, (2017-5), pp.
1-8, 査読無
- ⑰ 波多野楓華、水野拓哉、鈴木正也、賀澤順一、鳥山温美、野崎理、冷凍環境における液滴
噴霧による着氷現象に関する基礎的研究、日本機械学会 2016 年度年次大会講演論文集、
G0500706 (2016-9)、pp. 1-5、査読無

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

<https://researchmap.jp/suzuki.masaya>

6. 研究組織

(1)研究分担者

該当なし

(2)研究協力者

該当なし

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。