

プログラム名：タフ・ロボティクス・チャレンジ

PM名：田所 諭

プロジェクト名：ロボットコンポーネント

委 託 研 究 開 発

実 施 状 況 報 告 書 (成 果)

平 成 2 7 年 度

研究開発課題名：

壁付近でのマルチロータ機の飛行挙動の CFD 解析による検討

研究開発機関名：

国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構

研究開発責任者

田辺 安忠

I 当該年度における計画と成果

1. 当該年度の担当研究開発課題の目標と計画

課題1) ロータのピッチ角制御

試作される可変ピッチロータのブレード設計案と性能予測結果を提示する。

課題2) ダクテッド・ロータ化

試作される既存マルチロータ機に取り付けるダクト設計案の空力性能を予測する。

課題3) 壁付近でのマルチロータ機の挙動解析

JAXA が保有する回転翼機用の CFD 解析コード<rFlow3D>を機能拡張し、上方と側方に壁条件を設定できるようにし、参照マルチロータ機の解析例を示し、解析能力を確認する。

2. 当該年度の担当研究開発課題の進捗状況と成果

2-1 進捗状況

課題1) 可変ピッチロータのブレードを設計し、試作したブレードの性能を予測した。

課題2) ダクトの設計案について空力性能を予測した。

課題3) CFD 解析コード<rFlow3D>を機能拡張し、上方と側方に壁条件を設定して、

2-2 成果

課題1) 可変ピッチロータのブレードの設計と性能予測

図1に同じプロジェクト内で試作した可変ピッチロータを搭載したマルチコプタ機である。そのブレードの形状と設計回転条件を図2に示す。図3にピッチ角変化に対する推力と必要トルク係数の変化を示しているが、ピッチ角が約15度越えると、ロータの推力上昇緩やかになり、必要トルクが急激に増えることが分かる。また、図4にロータの性能指標として、FM (Figure of Merit)を示したが、ピッチ角が10°付近が最もロータ性能が高い。この当りのピッチ角でマルチコプタを運用するのが最も効率が良い。



図1 可変ピッチのマルチコプタ試作機

ロータ諸元	
ロータ直径 d	0.330 m
ロータ半径 R	0.165 m
コード表 (c_{100} , c_{20})	0.0461m, 0.0290m
ブレード平面形	Tapered
ブレード取り付け	無
ブレード翼型	NACA0009
ロータ個数	6
ブレード枚数 (1ロータ当たり)	2
翼端マッハ数 M_{tip}	0.29412 (100 m/s)
コード長基準のRe数	1.99×10^6
ロータ間の間隔 l	0.063 m (約0.35R)
中心からロータ中心までの距離	0.393 m



図 ブレード形状

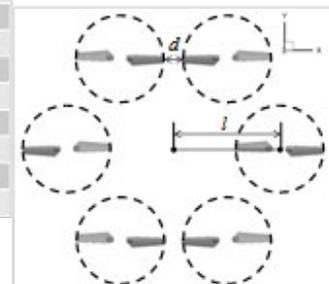


図2 ロータブレードの形状と設計回転条件

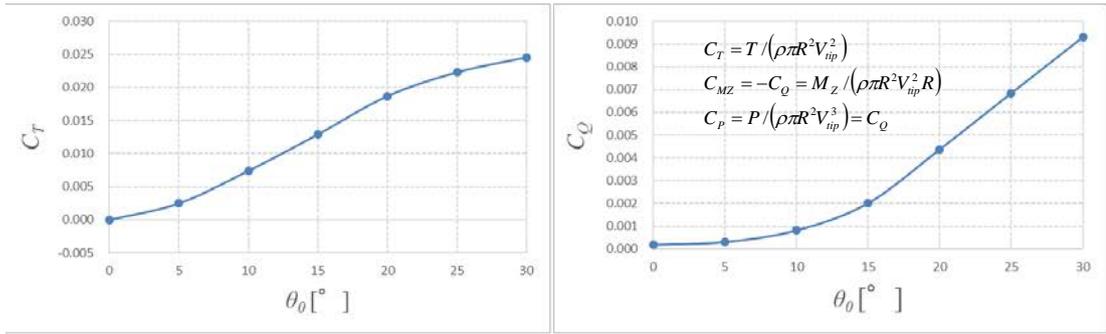


図3 ピッチ角と推力係数・トルク係数の関係

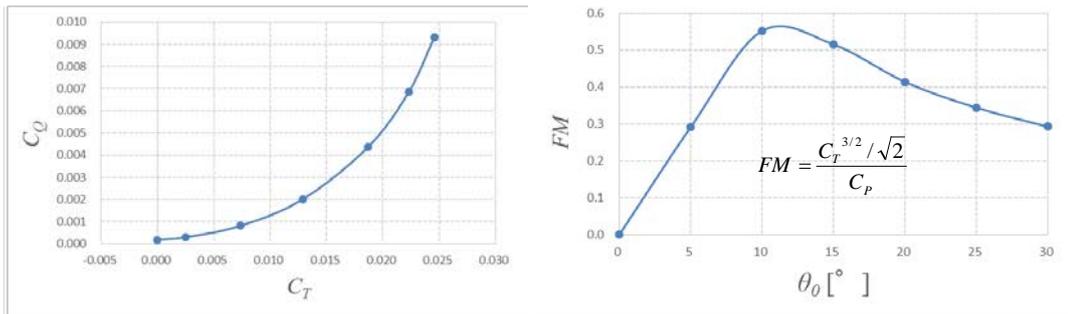


図4 可変ピッチロータの性能の予測結果

課題2) ダクテッド・ロータの CFD 解析能力の拡張と設計初案の性能予測試験計算

図5にロータの周辺に置いた簡易的なダクトのモデルを示す。このモデルに対して、図6に示すような円筒形の内部背景格子を設置し、図7に示す流れ場が得られ、性能評価が可能になった。図8にロータとダクトの発生揚力の寄与分の比較、図9にダクテッド・ロータの性能予測の一例を示す。

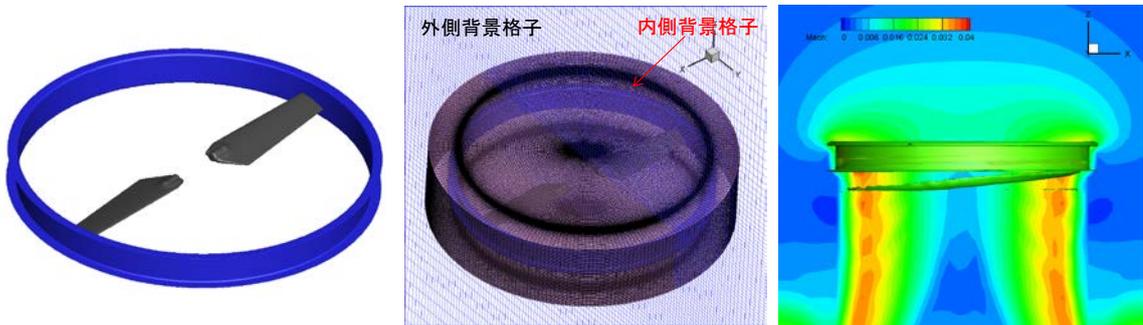


図5 簡易ダクテッド・ロータモデル

図6 計算格子

図7 ダクテッド・ロータ流れ場の様子

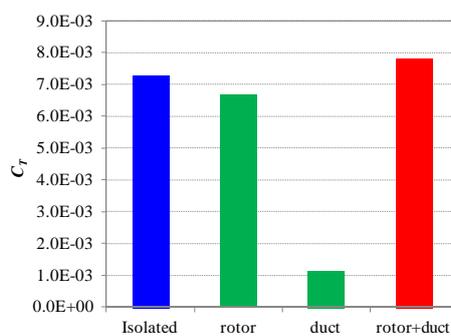


図8 ロータとダクトの揚力寄与分比較

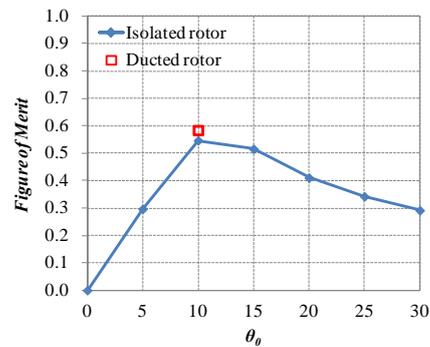


図9 ダクテッド・ロータの性能予測例

課題 3) 上方、側方に壁がある場合の CFD 解析能力の拡張と可変ピッチロータの性能変化の予測。

図 10 に上方あるいは側方の壁がある場合のロータとの位置関係を示す。単独のロータ（ピッチ角 10 度に固定）が上方の壁との距離によって生じる性能変化を図 11 に示す。また、図 12 に側方に壁がある場合の推力、トルク、ローリング・モーメントとピッチング・モーメントの変化を示す。

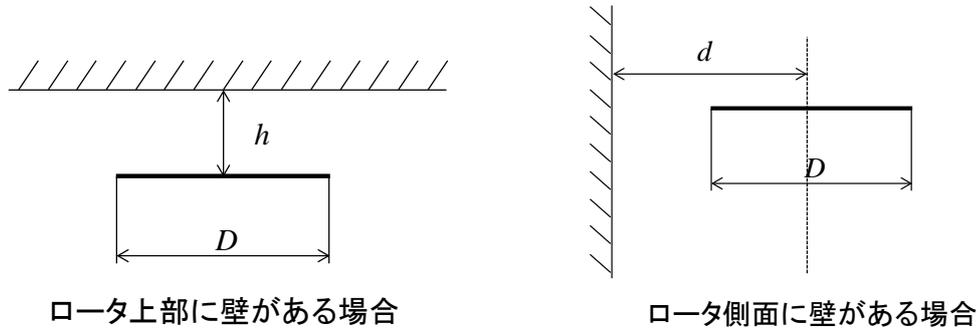


図 10 上方あるいは側方に壁がある場合のロータとの位置関係

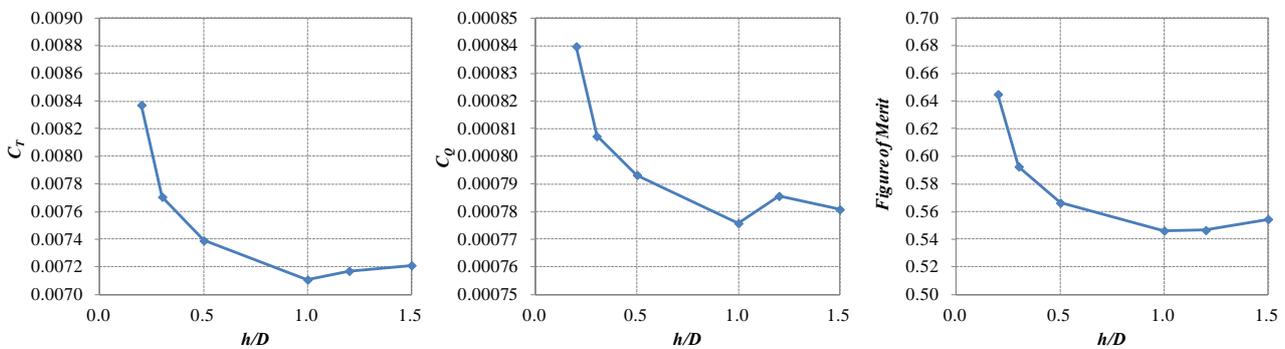


図 11 上方の壁の距離によるロータ性能の変化

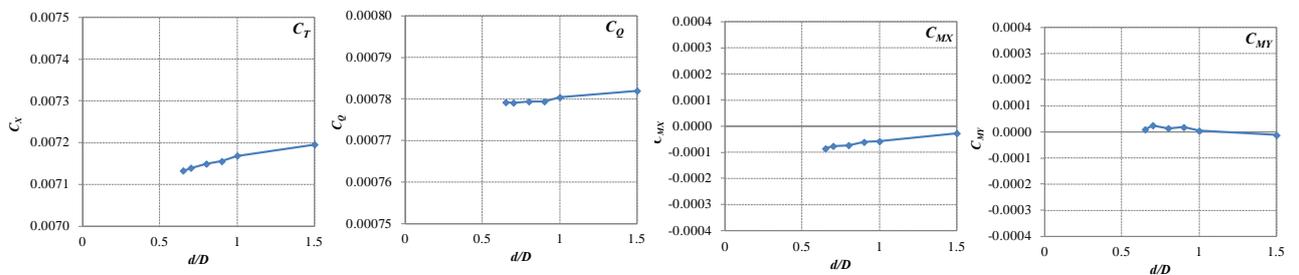


図 12 側方に壁がある場合のロータ性能の変化

2-3 新たな課題など

特に課題 2 のダクテッド・ロータの解析については、ダクト内面とロータ先端との隙間がある程度狭まった時の解析については、在来の直線ベースの直交格子では格子の配分が困難で、非常に CFD 計算の効率が悪かった。そこで内部背景格子として、円筒形の格子を配置できるように JAXA 保有の回転翼用の CFD 解析ソフトウェア<rFlow3D>の機能拡張を行った。また、内部背景格子のソルバーとして、高次時間精度の陰解法を導入した。今後この効率のよいソルバーを用いて、ダクテッド・ロータの最適設計を行っていきたい。

3. アウトリーチ活動報告

特に無し。