

高速回転翼機技術の研究開発

航空技術部門 航空システム研究ユニット

田辺 安忠、小曳 昇、杉浦 正彦

ヘリコプタに代表される垂直離着陸(VTOL)航空機は狭いところへの着陸や空中停止できる特性を生かして、国民生活に密着した救難救急、消防防災など、幅広く利用されています。しかしながら、在来形のヘリコプタの最大飛行速度は通常の固定翼飛行機と比較して著しく低く、運用範囲の制限となってきました。チルトロータ機であるオスプレイの配備に見られるように、世界的にも次世代の垂直離着陸機の研究開発が本格化しています。現在進めている複合型ヘリコプタ実現に必須である高速回転翼技術に関する研究をご紹介します。

研究開発の概要

複合型ヘリコプタヘリコプタ開発の歴史

McDonnell Aircraft Corp. XV-1 (米国)
開発: 1951-
主翼とプロペラを追加した複合式ヘリコプタ、176kt

Fairley Rotodyne (英国)
開発: 1953-1962年
チップジェット、主翼にプロペラを追加した複合式ヘリコプタ、166kt

Lockheed AH-56 Cheyenne (米国)
開発: 1966-1972年
在来ヘリのテールロータを残し、主翼とプロペラを追加した複合式ヘリコプタ、215kt

近年開発された高速回転翼機

Bell-Boeing V-22 Osprey (米国)
開発: 1982-1997年; 製造: 1997年-
回転翼の角度を変更することによる垂直/水平飛行を可能としたティルトロータ方式、275kt

Sikorsky X-2 (米国)
開発: 2008-2010年
在来ヘリのテールロータにプロペラを追加した複合式ヘリコプタ、250kt

EuroCopter (現Airbus Helicopters) X3 (欧州)
開発: 2010-2013年
在来ヘリのテールロータを無くし、主翼の両端にプロペラを追加した複合式ヘリコプタ、256kt

現在開発中の高速回転翼機

Sikorsky S-97 Raider (米国)
X-2の実用化版。
Vne 240kt, Cruise 220kt
飛行試験中

Airbus Helicopters Racer (欧州)
Cruise 217kt
初飛行を2020年目標

JAXAが提案する複合式ヘリコプタ

構成: シングル・メインロータ、主翼の両端に電動プロペラを装備しアンチトルク装置として動作させる。高速時の推進は尾部に取り付けた推進プロペラを用いる。
目標最大速度: 270kt (500km/hr) (在来ヘリコプタの約2倍の飛行速度を達成する技術開発)
想定ミッション①: 高速ドクターヘリ、15分以内で100km半径の地域をカバーする航空救急を達成。
想定ミッション②: 高速防災ヘリ、大規模災害時、全国どこへでも2時間以内に到達して救助活動を開始。
想定ミッション③: 高速海難救助ヘリ、日本のEEZ範囲内のどこへでも2時間以内に到達。

ドクターヘリのカバー範囲

在来ヘリ

カバー率: 約60% (離島除く)

高速ヘリ

ヘリの高速化(2倍)

カバー率: 約90% (離島除く)

【注意】
・在来ヘリの速度を250km/hと仮定
・在来の拠点病院を利用
・カバー率は離島を除く本土のみで計算
・山岳等の障害は考慮せず、カバー範囲を円形で理想化

現在(2014年1月時点)日本国内には43のドクターヘリを運航する拠点病院が設置されているが、出動命令後15分以内に到達できる範囲のカバー率は離島を除いてもまだ60%程度である。高速ヘリの導入により、既存の拠点病院でも、約90%のカバー率に向上させることができる。

拠点病院の設置とドクターヘリ運航体制のコストを考慮すれば、高速ドクターヘリの導入はユニットコストの視点から非常に効率的である。

JAXAが提案する複合式ヘリコプタの概念設計案

海外の機体の課題

- 過大なエンジンの搭載など、現状では速度記録の樹立を目的とした試験機
- X2は高速性とアンチトルクを生み出す二重反転ロータが複雑かつ大きな空力抵抗となる
- X3は巨大な推進プロペラが乗客の近傍で回転している危険性、さらにホバリング効率の低下も問題

JAXA提案のコンセプト

上記の欠点を克服するコンセプトの提案

- 高速前進飛行時に揚力を分担する**低抵抗固定翼**
- 高速前進飛行に適したメインロータ(**ハイミューロータ**)
- アンチトルクを生み出すとともに、電動化によって安全性を高めた主翼先端部の**電動サイドプロペラ**
- 高速前進飛行を可能とする胴体尾部の高効率**ブッシュャー・プロペラ**
- 空力抵抗を低減する洗練された胴体とロータ・ハブ形状
- 与圧可能なキャンビンとドクターヘリのミッションに最適な客室配置

高速ヘリコプタを実現するために克服すべき技術課題

- 主翼の追加
- ロータハブ部の抵抗軽減
- 高速飛行時推進用プロペラ
- 電動アンチトルクシステム
- 回転翼機/固定翼機多重モード制御方式
- 低空力抵抗胴体形状
- 高速飛行に最適なロータ・ブレード設計

(1) 高速前進飛行(高アドバンス比)に適した先進ブレードの最適設計技術
(2) 空力抵抗を低減する洗練された胴体とロータ・ハブ形状
(3) 高速前進飛行時の揚力を分担する主翼と胴体尾部の推進用プロペラ
(4) 前進飛行時の補助推力及びアンチトルクを生み出す主翼先端部の電動プロペラ
(5) 空中停止及び低速飛行時の回転翼機/高速飛行時の固定翼機の多重モード制御これらの技術課題に対し、空力問題については、最近のCFD解析技術を用いて評価する予定である。システム構築や飛行制御などの課題については、スケールダウンモデルによる風洞試験や飛行試験で検証する計画である。

JAXAが実施すべき技術課題の絞り込み

- 高速コンパウンドヘリコプタの実現には産業界との連携が不可欠であるが、JAXAが得意とする技術分野及び**メーカーから特に期待されている技術分野**であることを基準に、JAXAが実施すべき技術課題の絞り込みを行った。
- 以下の技術課題について重点的に研究を行う。
【システム技術】
① 各種ミッションに応じた概念設計案の提案
② 各種設計ツール(諸元策定、トリアン安定解析、最適化、CFD解析ツールなど)の構築と精度検証
- 【要素技術】
① ロータと固定翼との空力干渉の軽減及び胴体とハブの低空力抵抗形状の設計
② 高速飛行に最適なロータ・ブレードの設計(ハイミューロータ)
③ 飛行速度に応じた多重モード制御方式(操舵技術などを含む)
④ 高速推進技術
⑤ 電動化アンチトルクシステム

研究開発スケジュール

課題	年度	H30	H31	H32	H33	H34
システムの成立性			スケールモデル機体による機体コンセプトの成立性と飛行性能確認			
機体の空力低減	ロータと翼の空力干渉低減		風洞試験とCFD解析による空力干渉の効果の把握と低減技術			
	胴体の空力抵抗低減		搭載物要求を満たす設計とCFD解析による空力抵抗低減			
	ロータハブのフェアリング		フェアリングの設計とCFD解析による空力抵抗低減			
最適ハイミューロータ		ハイミューロータ最適設計	模型ロータによる試験検証			

各課題の進捗

システムの成立性: スケールモデルでの飛行試験

第1次概念模型

第2次概念模型

Max speed 120 kts

Max mu greater than 0.8

第2次概念模型による飛行軌跡と飛行データ

機体の空力特性

CFD解析技術

回転翼機用統合解析ツールの構成
CFD/CSD連成解析: rFlow3D
ブレード構造解析: rMode
ロータ空力騒音計算: rNoise

風洞試験技術

第2次概念模型による風洞試験

複雑な胴体形状は非構造格子で捉える(JANUS)

ホバリング時のロータのダウンウォッシュと主翼との干渉

高速前進時のロータと主翼との干渉(ロータの前進側と後退側では大差)

JAXAが提案する複合式ヘリコプタの計算例

最適ハイミューロータ

ロータの前進率と流れ場の関係

ロータの前進率と流れ場の関係

μ=0.4, μ=0.6, μ=0.8, μ=0.9

最適ハイミューロータ概念(特許出願済)

参照機体(UH-60A)のロータ・ブレード

ホバー性能比較

高速前進性能比較