

航空宇宙技術研究所における多目的高速回転翼試験装置の整備

○白井正孝, 末永尚史, 齊藤 茂, 馬場滋夫, 野中 修 (航空宇宙技術研究所)
足立直人, 加藤英彦, 原田光洋 (三菱重工業株式会社)

On the Multi-Purpose Rotary Wing Test-Rig in NAL

○Masataka Shirai, Hisashi Suenaga, Shigeru Saito, Shigeo Baba, Osamu Nonaka(NAL)
Naoto Adachi, Hidehiko Kato, Mitsuhiro Harada(MHI)

概要

航空宇宙技術研究所の大型低速風洞では、老朽化が著しい据置式周波数変換装置を、平成6年度に移動可能な装置に更新した。さらに試験効率の向上を図ることも考慮した。平成7年度より11年度にかけ、この周波数変換装置を使用する回転翼機の空力性能および騒音特性の計測を目的とした多目的高速回転翼試験装置の整備が完了した。以後平成11年には基準ブレードを用いた装置の習熟運転を行い、平成12年度には三菱重工業(株)との共同研究において、高速回転での衝撃騒音に関する試験を実施した。

本報告では、多目的高速回転翼試験装置の概要、さらにこれまでに実施した試験についての概要を報告する。

1 はじめに

航空宇宙技術研究では、大型低速風洞においてプロペラの研究を推進してきた。そのための試験装置として周波数変換装置を整備してきた。この装置は、プロペラの特性を計測するためのものであり、近年においてはATP(Advanced Turbo Prop)プロペラの空力性能試験に使用され、8枚のブレードを持つSR(Single Rotation)型ATPプロペラの試験を行った経緯がある。しかし、近年の計測手法の進歩と駆動装置のコンパクト化にともない、装置の老朽化が叫ばれてきた。平成5年度の補正予算において、ヘリコプタの研究にも利用できるように、本装置の全面的改修が行われ、多目的の高速回転翼装置として更新されることとなった。これを受けて本装置は、基本的な空力性能及び騒音特性のデータベースを構築するための本格的な空力性能試験及び騒音計測試験に使用できるものとなった。本装置は、平成6年に納入され、以後平成8年度より特別研究「回転翼機の機外騒音発生機構解明に関する研究」の中で、6分力天秤、ハブ部、迎角変換機構、フェアリング及び基準ブレード等の製作を行い、平成11年度には基準形態のロータを持つ高速回転翼試験装置としての完成を見た。以後、平成11年度には習熟運転、平成12年度には高速衝撃騒音(High Speed Impulsive Noise : HSI Noise)試験及びブレード/渦干渉騒音(Blade-Vortex Interaction Noise : BVI Noise)試験を行った。

2 試験装置の概要

本周波数変換装置(ロータ試験装置)(以下「ロータ試験装置」)は、航空宇宙技術研究所の大型低速風洞用

に製作されたヘリコプタ・ロータの空力特性や騒音特性等を試験するための装置である。さらに、騒音で問題となる翼端部の圧縮性についても検討するために、翼端部の速度を実際のヘリコプタと同等の速度が得られる高速回転の試験も可能である。図1にこれまでに整備してきた装置の機器名を示し、図2にロータ試験装置概要を示す。本ロータ試験装置は、実際のヘリコプタを模擬したブレードの操縦機構及び駆動機構を有している。

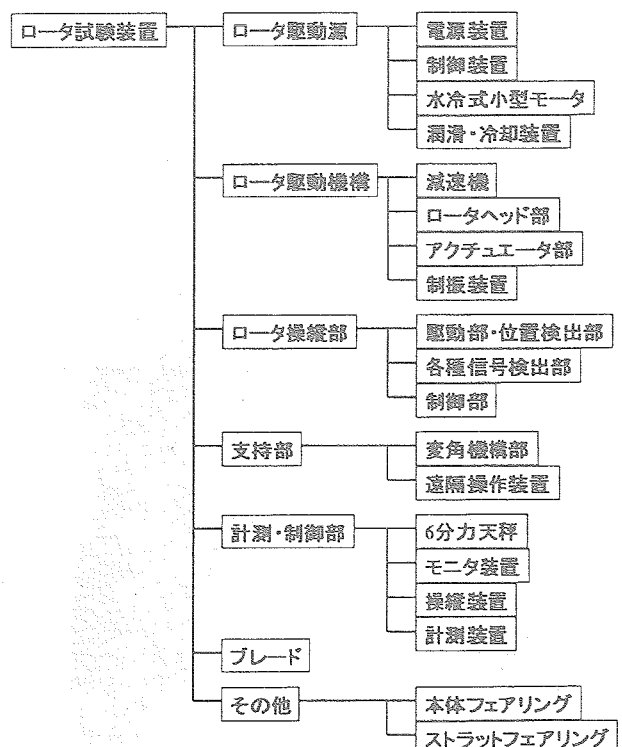


図1 ロータ試験装置の構成

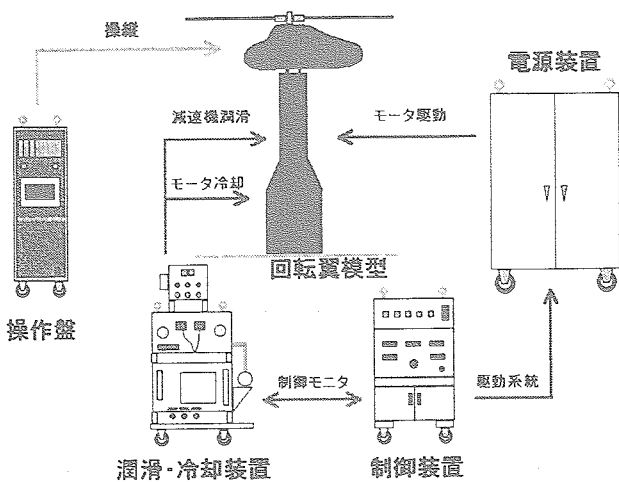


図2 ロータ試験装置概要

ロータ試験装置は、駆動源、ロータ駆動機構、ロータ操縦部、支持部及び計測・制御部で構成されている。本試験装置はロータを最大 2600rpm で駆動することができ、回転数、モータ温度、電圧、電流及び故障表示をモニタすることができる。以下に各装置の主要諸元等を記述する。

2. 1 ロータ駆動源

ロータ駆動源は、電源装置、モータ、制御装置及び潤滑・冷却装置で構成され、ロータを駆動させるための装置である。

2. 1. 1 電源装置（移動式）

本装置は、AC200/220V, 3 相 50/60Hz の入力をインバータユニットに通電される、このインバータユニットにより水冷式小型モータの必要な電圧、周波数に変換して給電する。図 3 に電源装置の写真を、表 1 に主要諸元を示す。

表 1 電源装置主要諸元

外形寸法	2000(H), 1500(W), 1000(D)
重量	800kg
入力電源	AC200/220V, 50/60Hz, 60kVA
操作法	制御装置より手動操作

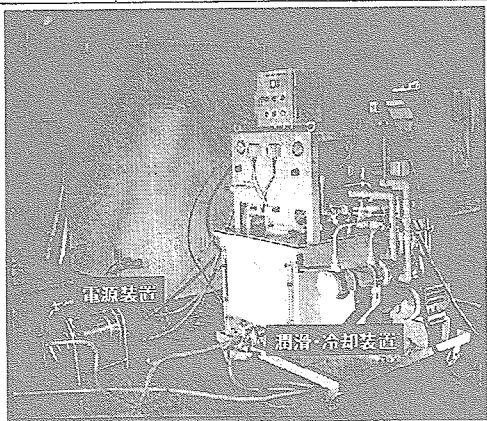


図3 電源装置の写真

2. 1. 2 水冷式小型モータ

本小型モータは、三相かご型誘導電動機で、冷却方式を水冷としたモータであり、回転数検出のためのパルスピックアップを装備し、モータ内部のステータ温度、ベアリング温度を検出するためのセンサを内蔵している。表 2 に水冷式モータの諸元を示す。

表 2 水冷式小型モータ諸元

モータ特性	諸元
型 式	水冷式三相かご型誘導電動機
入 力	三相可変電圧, 可変周波数電源
電圧/周波数	1.2
定格出力	約 27.5kW(約 36.9HP)
定格 G 電流	49.4A(NOM.)
定格周波数	420Hz
定格回転数	11500rpm(NOM.)
極 数	4
定格トルク	2.33kgf・m
時間定格	30 分連続, 1 時間休止
冷却水	3600cc/min(圧力, 20mH ₂ O)
巻線温度	許容ステータ温度 180℃
冷却水温度	0℃~30℃
始 動	36V, 30Hz 付近にて始動
外形寸法	365mm, φ120mm

2. 1. 3 制御装置

本装置は鋼板製、移動可能なキャスターが付いた制御装置で、内部にはパワーサプライ、信号変換器及び制御リレー等を配置している。また、パネル面には、操作スイッチ、表示器及びポテンシオメータ等が配列された機構になっている。

図 4 には装置の写真を、表 3 には制御装置の諸元を示す。

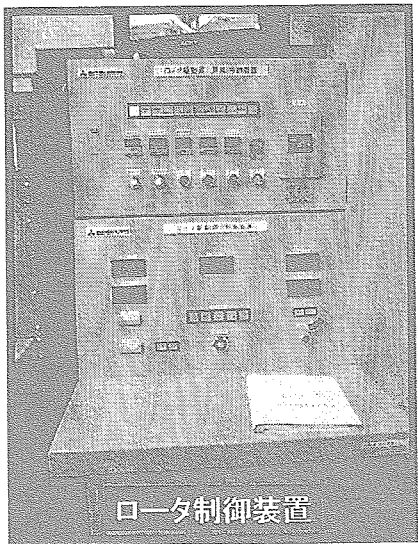


図4 制御装置

表3 制御装置主要諸元

外形寸法	1180(H), 800(W), 1150(D)
重量	200kg
信号出力	回転数 0 から 12000rpm/5DC 負荷抵抗 2.5k Ω 以上
操作法	盤面よりの手動操作による電源装置の遠隔操作

2. 1. 4 潤滑・冷却装置

本装置は、ロータ試験装置の運用において、最も重要な装置である。夏季、冬季の風洞測定部での温度差は、30℃以上に昇り、ある一定の量の水と潤滑油の入る移動可能な一体型の冷却用のタンクを備え、その上面等を利用してポンプ類と熱交換器及び機側操作盤を配置した構造になっている。また計測室内に周波数変換装置の操作盤と一体にした操作盤(図4)を配置し、故障等の異常を監視する構造とした。監視を行う主な対象は、潤滑油油面低下、潤滑油タンク温度上昇、潤滑油の排油温度上昇、傘歯車排油温度上昇、潤滑油フィルタ異常、冷却水水面低下、冷却水タンク温度上昇及び外部停止等の項目である。図3に潤滑・冷却装置の写真を示す。

2. 2 ロータ駆動機構

ロータ駆動機構は、減速機、駆動軸、ロータヘッド部、アクチュエータ部、スワッシュプレート及び制振装置より構成されており、モータと連結し、駆動入力伝達する。

2. 2. 1 減速機・駆動軸

入出力軸は互いに直交していて、入力モータとなりスプラインで結合されている。出力は駆動軸でロータヘッド取り付け部となる。また、駆動軸は動力を伝えと共に計測データを伝送するためのスリップリングが取り付け可能である。仕様を表4に示す。

表4 減速機性能仕様

接続モータ	定格出力	27.5kW(37HP)
	定格回転数	11500rpm
	最大回転数	12000rpm
出力軸	回転数	2600rpm
	回転方向	上から見て左回り

2. 2. 2 ロータヘッド・ハブ部

ブレードを駆動軸に結合するハブは大きな遠心力に耐え、ピッチ方向の回転を得るためにベアリング(スラストアンギュラ玉軸受)を使用している。ベアリングの寿命は、回転数とブレードのピッチ角変化により大きく変化するため使用時間には注意を要する。図5、6にロータヘッド部の概略図及び写真を示す。

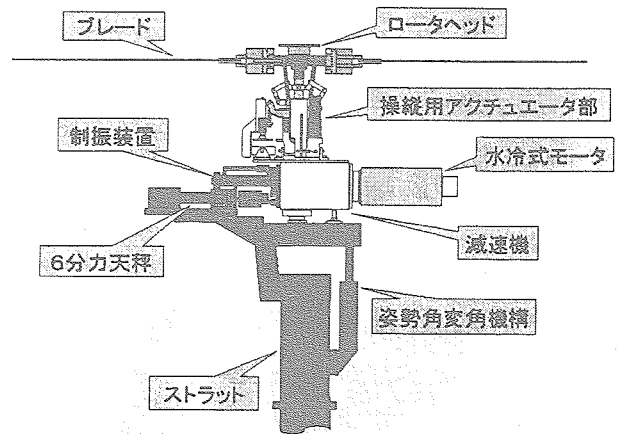


図5 ロータヘッド部近傍

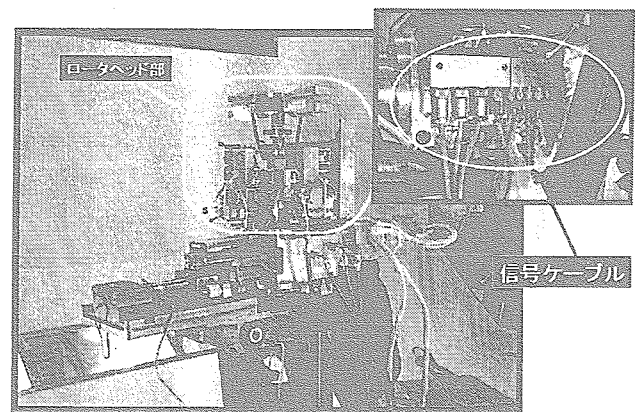


図6 ロータヘッド部の写真

2. 2. 3 操縦用アクチュエータ駆動部

3個のアクチュエータをDCサーボモータにより駆動し、コレクティブピッチ角及びサイクリックピッチ角の変更を行う。DCサーボモータは、PWM方式のデジタル制御で駆動する。また位置検出は、3個のアクチュエータに取り付けられたポテンショメータにより行なわれる。

2. 2. 4 制振装置

本装置は、ジンバル機構とバネ系及びダンパ系で構成されている。ロータ支持系の固有振動数と空気力による加振が一致しないように設計されている。バネ系は、ピッチバネとロールバネに分かれ、各々の方向に振動数を変更する能力を有する。ピッチバネとロールバネの両端はテーパピンによる結合となっている。またダンパはバネ系と連動し、主ロータ支持系の固有振動と空気力による加振振動の減衰特性が一致しないように設計されている。

2. 3 ロータ操縦部

ロータ操縦部は、ヘリコプタと同様にブレードのピッチ角を変角して、ロータをトリム状態に制御するための装置である。

2. 3. 1 簡易操作盤

図7に示すのは、ブレードのピッチ角の変角操作を行う操作盤であり、2個のジョイスティックを操作してロータをコントロールすることができる。操作は計測室と風洞側で行うことができるが、同時には行うことが出来ない。



図7 簡易操作盤

2. 4 支持部

支持部は、模型の姿勢角を変える変角機構部とそれを遠隔操縦する装置からなっている。

2. 5 計測・制御部

計測・制御部は、6分力天秤、それを利用したモニタ装置、操縦装置及び計測装置からなっている。ブレードは、基準ブレードとしてNACA0012翼型を用い、スパンを1.0m、コード長を0.065mとしたものを2枚作製した。またダミーブレードとして同じ翼型を用い、スパンを0.5mとしたものを2枚製作した。図8にブレード模型を示す。

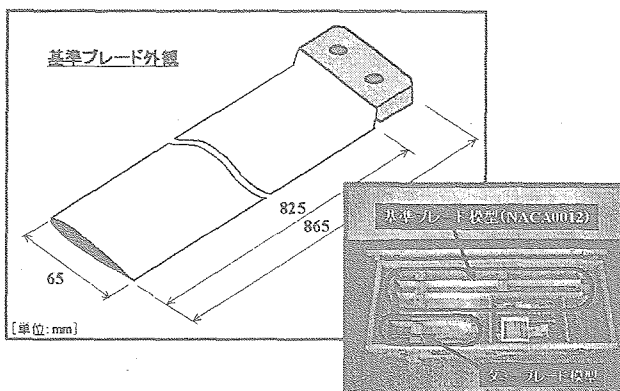


図8 ブレード模型

2. 5. 1 6分力天秤

図9に6分力天秤を示すが、他にもう1台ダミー天秤も製作した。

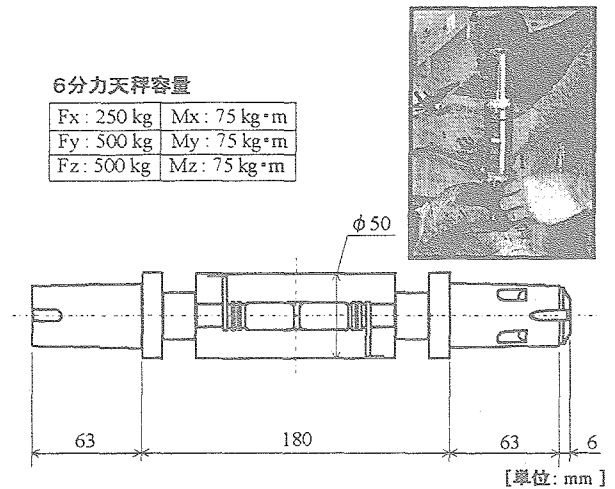


図9 6分力天秤

2. 5. 2 制御部

ブレード・ピッチ角の変更制御をパネルコンピュータにて行い、この部分には以下の機能がある。

- (1)DC サーボモータのコントローラに対し、駆動するための各種コマンドを転送。インターフェイスにはGP-IBを採用。
- (2)ポテンショメータ信号、及びロータ回転数信号のA/D変換。
- (3)簡易操作盤、パネルスイッチ、モータ・コントローラからの信号の入力及びランプ、ブザー、モータ・コントローラへの信号の出力。
- (4)ブレード・ピッチ角、ロータ回転数、電圧データ、計算値をCRT画面に表示。
- (5)ブレード・ピッチ角の計算、ピッチ角変角範囲設定及びモータの駆動条件設定に必要な各種パラメータをCRT画面より入力。
- (6)ブレード・ピッチ角を常にモニタし、制御範囲を超えた場合、直ちにモータの駆動を停止し、同時にランプ及びブザーで警告を表示。

2. 6 その他

その他本体のフェアリング、及びストラットフェアリングを製作した。

3 試験実施例

現在、ロータ試験装置全体としての作動及び機能確認がほぼ終了し、基礎的な風洞試験実施への移行段階に入っている。ここでは、平成12年度に行われた試験の一例を示す。

3. 1 風洞試験概要

ヘリコプタのメインロータを発生源とする空力騒音

として、機体が着陸する際に翼端渦とブレードが干渉することによって発生する BVI 騒音や高速前進飛行の際、前進側のブレード上に生ずる衝撃波に起因して発生する HSI 騒音等、一度発生すると他の騒音に比べ卓越した騒音がある。

本風洞試験では、三菱重工業(株)との共同研究において、上記 BVI 及び HSI 騒音の計測を行った。

BVI 騒音試験では、前方に設置した渦発生装置により翼端渦を発生させ、回転するブレードとの干渉時(パラレル BVI を想定)の騒音を計測する。図 10 に試験概要を示す。

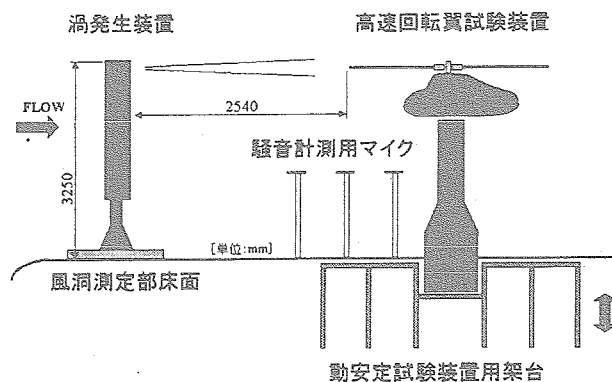


図 10 BVI 試験概略

HSI 騒音試験は、高速回転翼装置の回転数を上限近くまで上昇させ(翼端マッハ数が約 0.9 まで)衝撃波が発生した時の騒音計測を行うものである。また、HSI 騒音試験では、側壁の反射音を防ぐため測定部に足場を設置し吸音材を取り付けている。図 11 に設置作業を示す。

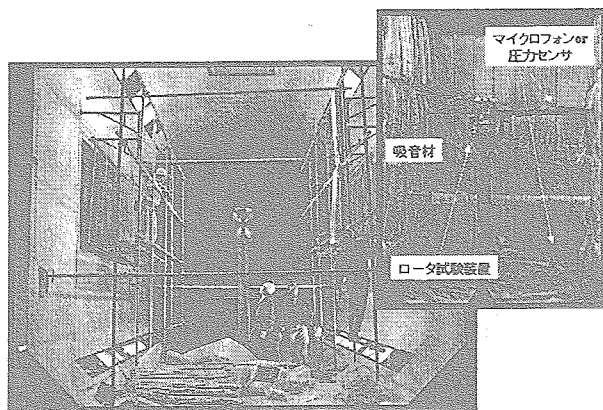


図 11 HSI 試験吸音材設置状況

3. 2 試験装置

- (1) 高速回転翼試験装置
- (2) 渦発生装置
- (3) 後流トラバース装置、7 孔プローブ、スキャニバルブ等
- (4) 騒音計測用機材及び計測用機材

3. 3 試験結果の一例

3. 3. 1 BVI 騒音試験

図 12 は一様流流速 U_∞ が 15m/s , 渦発生翼迎角 α が 10deg, ロータ回転数が 716rpm での渦とブレードの干渉時の騒音波形である。

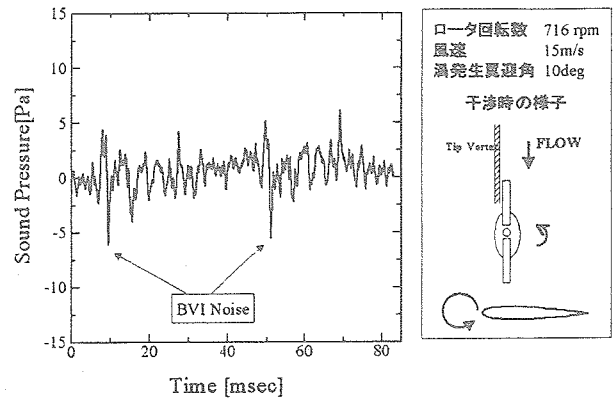


図 12 BVI 騒音試験結果の一例

3. 3. 2 HSI 騒音試験

図 13 はロータ回転数が約 2400rpm, ロータ半径が 1.2m, 翼端マッハ数が 0.898 での騒音波形である。

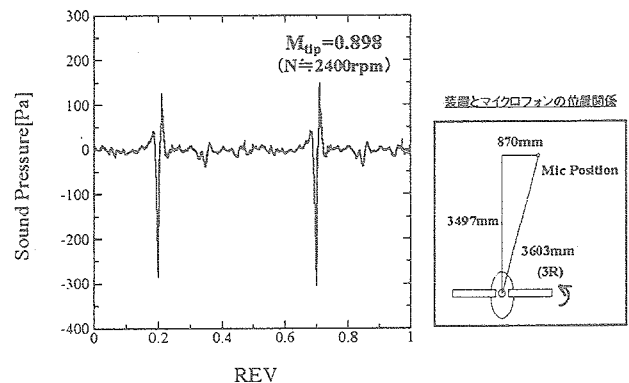


図 13 HSI 騒音試験結果の一例

3. 3. 3 試験結果の意義

これらの試験結果はそれぞれの騒音の特徴を捉えており、共に CFD 検証用のデータとして、また今後行う風洞試験において騒音低減効果を検証するにあたり有意義なものである。

4 まとめ

これまでに多目的高速回転翼試験装置の整備を進めてきた。現段階では基本的な風洞試験は可能であるが、さらに機能及びメンテナンス性の向上、安全面でのサポート等を考慮した整備が必要である。

今後は順次整備を行いつつ、風洞試験を行っていく予定である。