

2次元翼模型加振装置の開発*

菊池 孝男^{*1}

Design and Development of an Oscillating System for 2-D Wing Models*

Takao KIKUCHI^{*1}

ABSTRACT

To investigate the unsteady flow characteristics of the oscillating 2D wing, we developed an innovative mechanism to drive 2D wing models. The major design concepts of the system are; 1) quasi-harmonic pitching oscillation up to frequency of 8 Hz via 3 electric motors controlled by the personal computer, and 2) the mean-angles of attack, the amplitude and the frequencies can be changed automatically. The system is used for the flow visualization in a low wind tunnel to view the unsteady flow patterns around an oscillating 2D wing model.

Keywords: Oscillating Wing, Unsteady Aerodynamics, Oscillating system

概 要

低速風洞で振動翼まわりの非定常流れ現象を調べる為に斬新なデザインを行った2次元翼模型加振装置を開発した。本装置の特徴は、3台のモータをパソコンで制御することにより最大8Hzの疑似正弦波加振ができるとともに、翼模型の平均迎角、振動振幅、振動数を自動的に変更可能にしている点にある。

1. はじめに

非定常空気力に関する風洞試験では2次元翼模型を周期加振し、その翼まわりの非定常空気力の測定、あるいは気流の可視化などを行う場合がある。これらの実験では、風速と翼模型の平均迎角、振動振幅、振動数等のパラメータ変更をするので実験時間が長くなるのでパラメータの変更を自動化して作業効率を上げることは重要である。これまで周期加振する方法として良く使用されて来たのがクランク・レバ・機構¹⁾であるが自動化は難しい機構である。最近1台のダイレクト・ドライブ・モータを使用して三角波加振する方法でパラメータ変更を自動化している例がある²⁾。本報告の新しく開発した「2次元翼模型加振装置」は3台のモータをパソコンで制御することにより疑似正弦波加振が出来るとともに、翼模型の平均迎角、振動振幅、振動数を自動的に変更できる斬新なデザインで製作した装置

である。

2. 2次元翼模型加振装置

2.1 2次元翼模型加振装置の概要

本2次元翼模型加振装置(以降本加振装置と称する。)は低速風洞で振動翼まわりの非定常流れを煙を使って可視化するために製作され、翼模型取付け用側壁、駆動系、パソコンによる制御システムより構成されている。

使用する風洞は当所の「小型低乱校正風洞³⁾」を想定している。(図2.1参照)本風洞は風速範囲が1~65m/sで測定部の大きさが「550mm幅×650mm高さ×1,500mm長さ」の回流形(ゲッチンゲン形)である。測定部は固定壁で、4本の角柱梁に上下壁および側壁をビスで固定する構造になっている。本加振装置は測定部の側壁の一部を外し、代わりに側壁と一体に成形して装着する。

加振する翼模型は、翼型⁴⁾「NASA-GA(W)-1」翼

* 平成11年2月22日受付 (received 22 February 1999)

*1 構造研究部 (Structures Division)

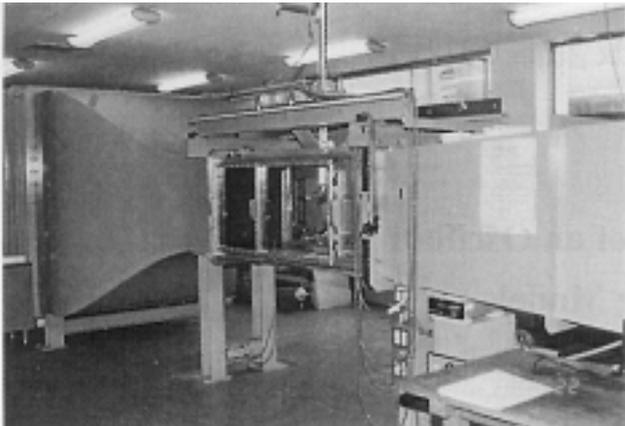


図 2.1 NAL の小型低乱校正風洞の測定部

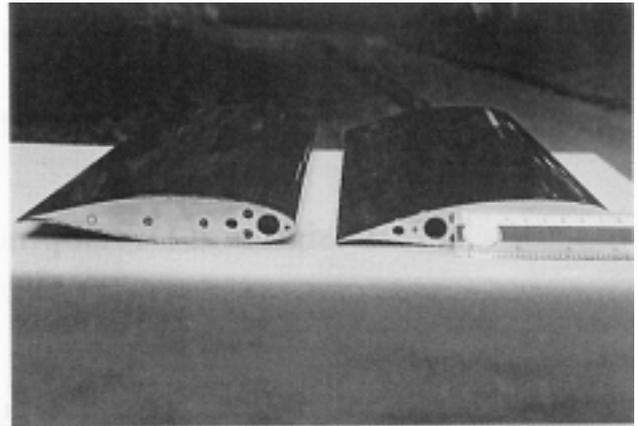


図 2.2 翼型「NASA-GA(W)-1」2次元翼模型

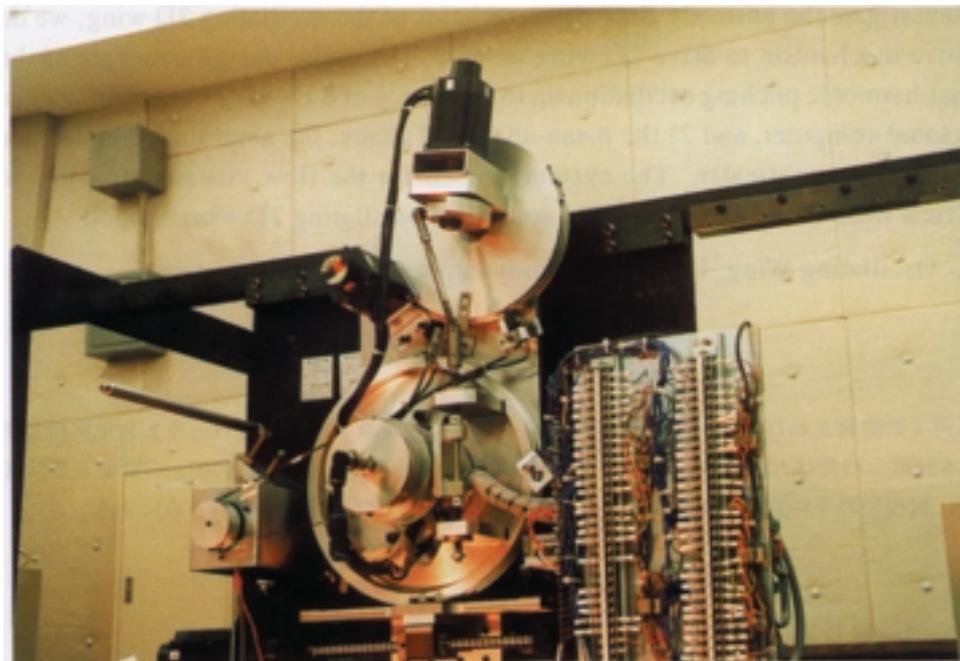


図 2.3 2次元翼模型加振装置の駆動部の概観

弦 150mm、翼幅 550mm、重量 1.26kg の 2 次元翼である(図 2.2 参照)。翼模型の回転軸の構造は、着脱を容易にする為に観測窓側にベアリングの穴に差し込む 7 mm の回転軸を取り付け、駆動装置側には 12 mm の嵌合穴を設け、駆動系から中空軸を差し込む様になっている。また、トルク伝達するのに駆動装置側に回転中心から 20 mm のところに 5 mm 嵌合穴を設け、駆動装置の回転軸からピンを差し込み結合できる様にしている。負荷条件として、風速 15 m/s おいて、振動数 8Hz、振幅 $\pm 10^\circ$ で加振可能としている。

本加振装置の駆動系の概観を図 2.3 に、加振機構のスケッチを図 2.4 に示す。図に示すように駆動系は 3 台のモータ、回転斜板、コネクティングロッド、スライドロッド、ステンレス・スチール・ベルト伝動装置、

ボールスクリュウ、スライドプレートから成っている。翼模型の平均迎角、振動振幅、振動数の変更はパソコンからの指令により自動的に変更される。

2.2 翼模型取付用側壁

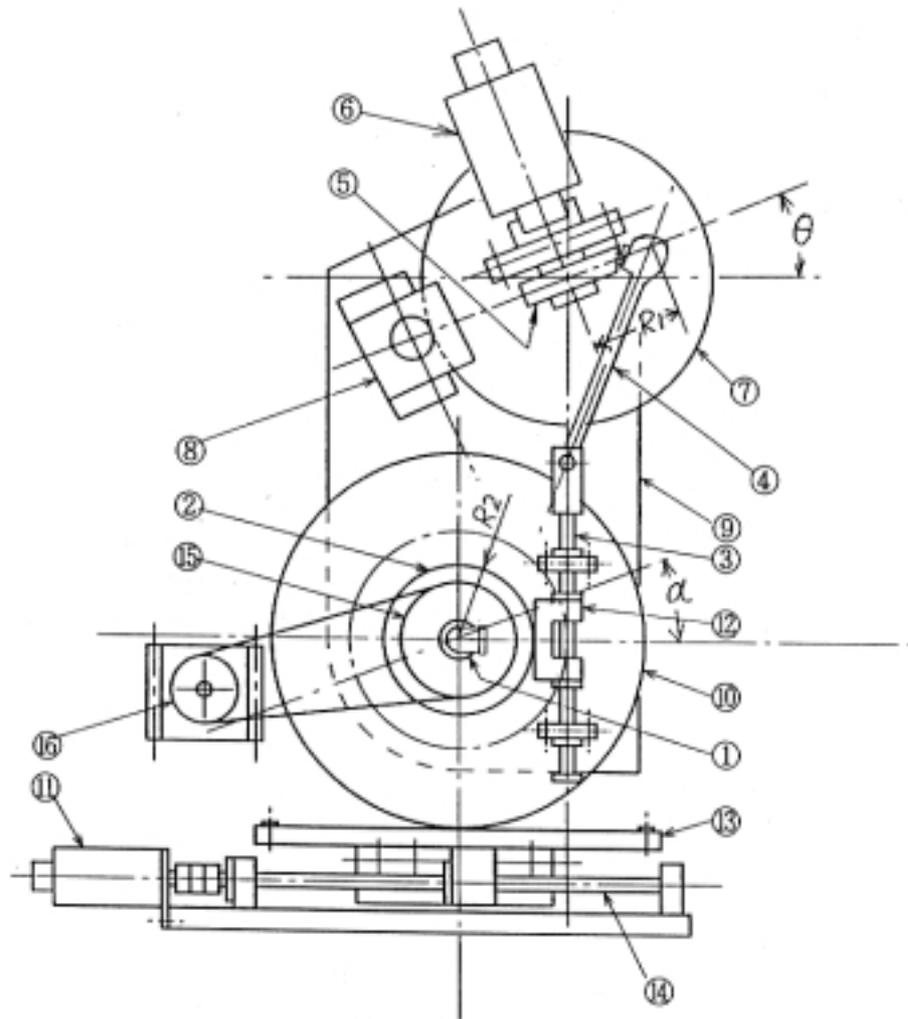
翼模型取付用側壁の寸法は約縦 566 mm × 横 595 mm で観測窓側は厚さ 10 mm の透明アクリル板を使用し、翼模型の回転軸が貫通する部分には翼厚を越えない外径 16 mm のボール・ベアリングを入れている。駆動装置側の側壁は厚さ 15 mm のジュラルミン製とし、駆動装置と一体に製作している。

2.3 駆動系の加振機構

加振機構を図 2.4(a)と図 2.4(b)に基づき説明する。

翼模型を疑似正弦波加振(最大8 Hz)するために、モータの回転軸は回転斜板の回転面の回転中心に垂直に結合し、コネクティングロッドの上端は回転斜板の端面に揺動運動が可能なベアリングにより結合し、コネクティングロッドの下端はスライドロッドの上端の溝に差し込んでピン結合している。モータと回転斜板が載っているプーリの回転中心はスライドロッドの軸方向の延長線上にある。この時、回転斜板の回転面が水平面に対

して傾いている時に、モータが回転するとコネクティングロッドは上下運動、公転運動および揺動運動を行い、スライドロッドは回転運動と直線運動を行う。スライドロッドから連結金具によって抽出した直線運動はスチールベルトを介してプーリの回転軸回りの揺動運動に変換される。翼模型はプーリの回転軸(中空軸)と直結しているためプーリと同じ揺動運動を行う。この揺動運動は回転斜板の一回転を一周期とする疑似正弦波軌跡を返



- | | |
|--------------|------------|
| ① 中空軸 | ⑨ 回転ベース |
| ② プーリ | ⑩ プーリ |
| ③ スライドロッド | ⑪ モータ |
| ④ コネクティングロッド | ⑫ 連結金具 |
| ⑤ 回転斜板 | ⑬ スライドプレート |
| ⑥ モータ | ⑭ ボールスクリュウ |
| ⑦ プーリ | ⑮ 中空軸にプーリ |
| ⑧ モータ | ⑯ プーリ |

図 2.4(a) 加振機構のスケッチ

く。加振振幅(A)($0^\circ \sim \pm 10^\circ$)は回転斜板の回転面が水平面に対する傾き角(θ)と屯達機構の減速比(一般に常数)によって決まるので、モータと回転斜板をプーリ上に載せて、モータの回転軸とプーリの回転軸が直交する位置に回転斜板の中心が来る様にするるとプーリの回転角は回転斜板の傾き角(θ)と等しくなる。モータはプーリを任意の角度に回転して加振振幅(A)を決める。

平均迎角(α_m)($0^\circ \sim \pm 45^\circ$)を変更するために、モータの回転運動はボ-ルスクリュウによってリニヤガイド上を滑るスライドプレート の直線運動に変換され、次いで、スチ-ルベルトを介してプーリの回転運動に変換されている。前記プーリと回転ベ-スは、回転中心を同じにして結合し、その回転中心位置に孔を明け、中空軸の軸受け-スの外筒にはめ込み、ベアリングを介して連結している。この仕組みによりプーリと回転ベ-スは、中空軸と同じ回転中心でスム-ズに回転出来るようになる。前記プーリはスライドロッドの軸受けを、前記回転ベ-スはプーリとモータをそれぞれ搭載し、モータとモータの回転をロックすることによってスラ

イドロッドの動きを拘束している。さらに、連結金具はスライドロッドによりスライドロッドの軸方向の動きを拘束されている。この状態で、モータを回転してプーリを回転させると、連結金具はプーリとスチ-ルベルトで連結しているの、プーリの同心円上を回転しながらプーリに回転を伝達する。これによりプーリの回転軸(中空軸)に結合している翼模型の平均迎角(α_m)を変更できる。

翼模型迎角の検出を可能にするために、翼模型の回転軸に直結している中空軸にプーリを直結し、センサ-の回転軸に直結しているプーリとスチ-ルベルトで連結している。

実験の際には、モータは初期設定によりその位置をキ-プし、モータは決められた速度で定速回転する。モータ、、には回転速度と回転角度を制御出来るパルスモータ、サ-ボモータ等が使用できる。今回はパルスモータを使用している。

モータ、、の制御には市販のドライバ-とパソコン側にモータ・コントロール、A/D、D/A およびカウンタ

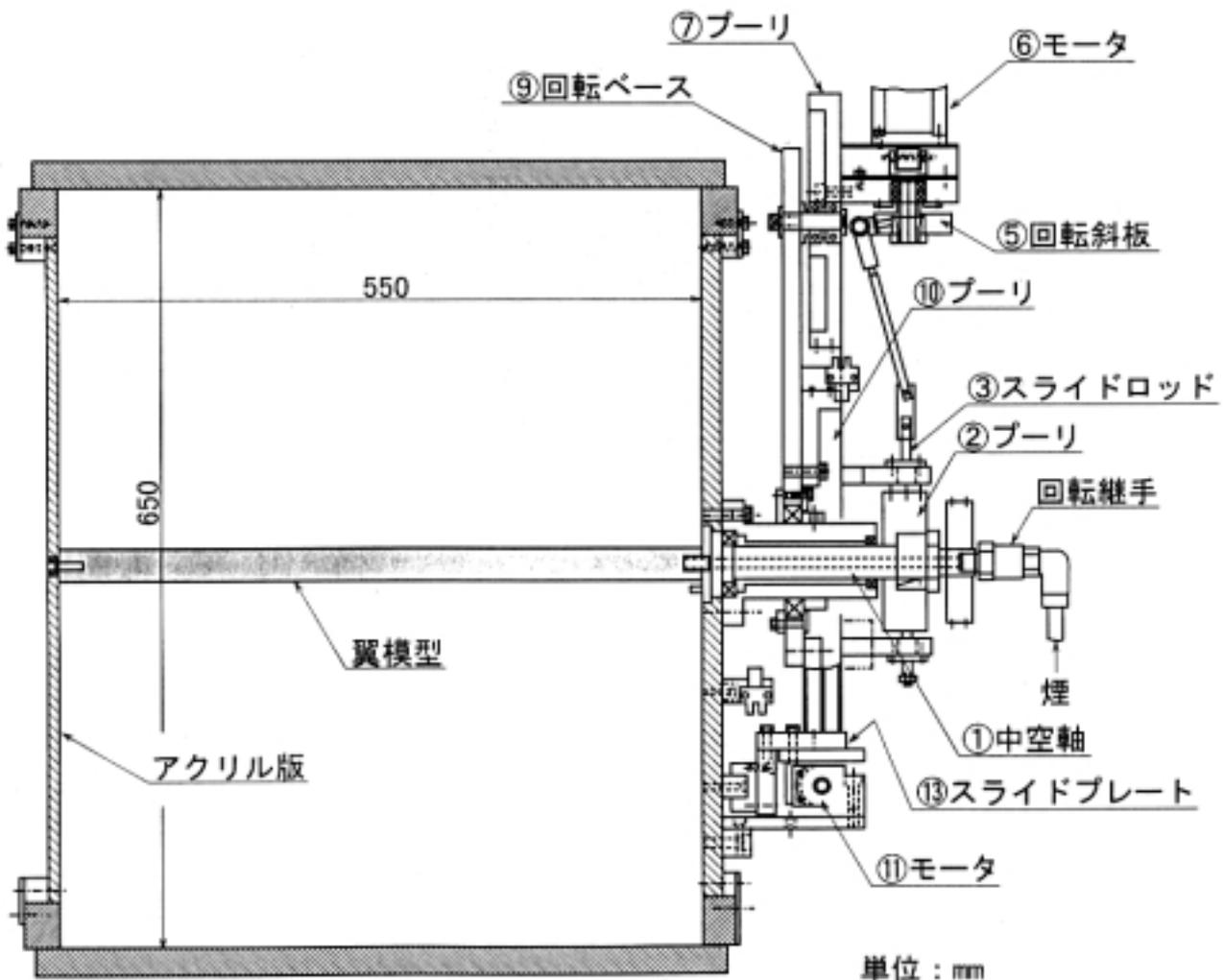


図 2.4(b) 後ろより見た測定部断面

- の各々のボ - ドを差込、ソフト(例えば、Microsoft Windows 95 Borland Delphi Desktop Ver. 2.0)を使用してボ - ドを制御するプログラムを作成する。この時、操作し易くする為にマウスとキ - ボ - ドを使用してパラメ - タの変更、モ - タのスタ - ト、ストップ等ができる様に画面を作成すれば良い。

この加振装置で加振される振動翼模型の迎角は次の近似式により表すことができる。

$$\alpha = \alpha_m + A \sin \omega t$$

$$A = \frac{R_1}{R_2} \sin \theta$$

- ここで
- t : 時間
 - α : 迎角
 - α_m : 平均迎角
 - A : 加振振幅
 - ω : 回転振動数 (radians/sec)
 - θ : 回転斜板 の傾き角

R₁ : 回転斜板 の回転半径

R₂ : プ - リ の回転半径

である。

2.4 駆動系の主要部の詳細

(1) ベルト伝動機構とモ - タ

図 2.5、図 2.6 に加振装置駆動部組立図を示す。

駆動系にはスチ - ルベルトを用いたベルト伝動機構を使用している。スチ - ルベルトは張力調整を容易にする為に右巻き、左巻き用に各々一本ずつ使用し、右巻き、左巻き用の2本の溝が付いたベルトプ - リの原車、従車の各々に、たすき掛けに 180° 回転分だけ巻き付けた後に端を二本のビスで固定する方式を基本にしている。このような方式で使用するベルト伝動機構の特徴には「機構を小型に纏められる」、「ベルトの伸縮が小さい」、「ベルトの滑りが無い」、「ベルトの張力の調整が容易」、が挙げられる。また、駆動系のモ - タには3個の同じ仕様の原点センサ - 付き5相パルスモ - タ(オリエンタルモ - タ(株)製 UPK596AS)を使用している。パルスモ - タはDCモ - タと比較して小型で保

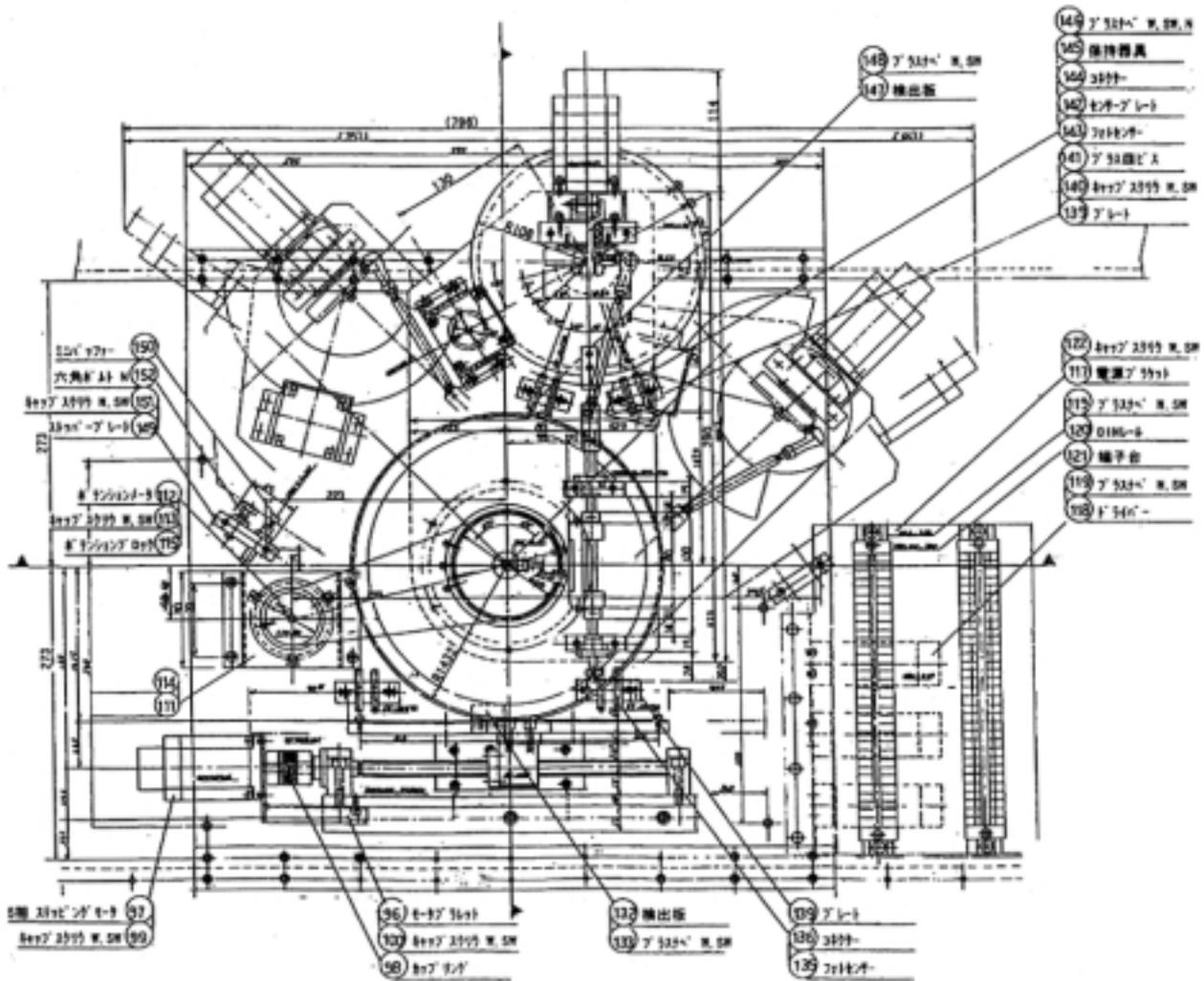


図 2.5 加振装置駆動部組立図(正面図)

持力が強く、制御が簡単という特徴がある。一方、欠点として低速時に高周波の振動が課題である。表 1 にパルスモータの主な仕様を示す。

(2) 平均迎角 α_m 用駆動系

平均迎角 α_m を設定する為に加振振幅 A、回転振動数の駆動系を載せた回転ベ-スを翼模型の回転軸まわりに回

転させる駆動系である。モ-タには原点センサー付き 5 相パルスモータを使用し、出力はボ-ルスクリューで駆動するリニアガイドとベルトプ-リをスチ-ルベルトで連結した特殊なベルト伝動機構で減速され、最大負荷トルクは 23.5N・m である。スチ-ルベルトは厚さ 0.15mm、幅 10mm のステンレス製を採用し、両端は各々リニアガイドと従車のベルトプ-リにビス二本で固定している。設定

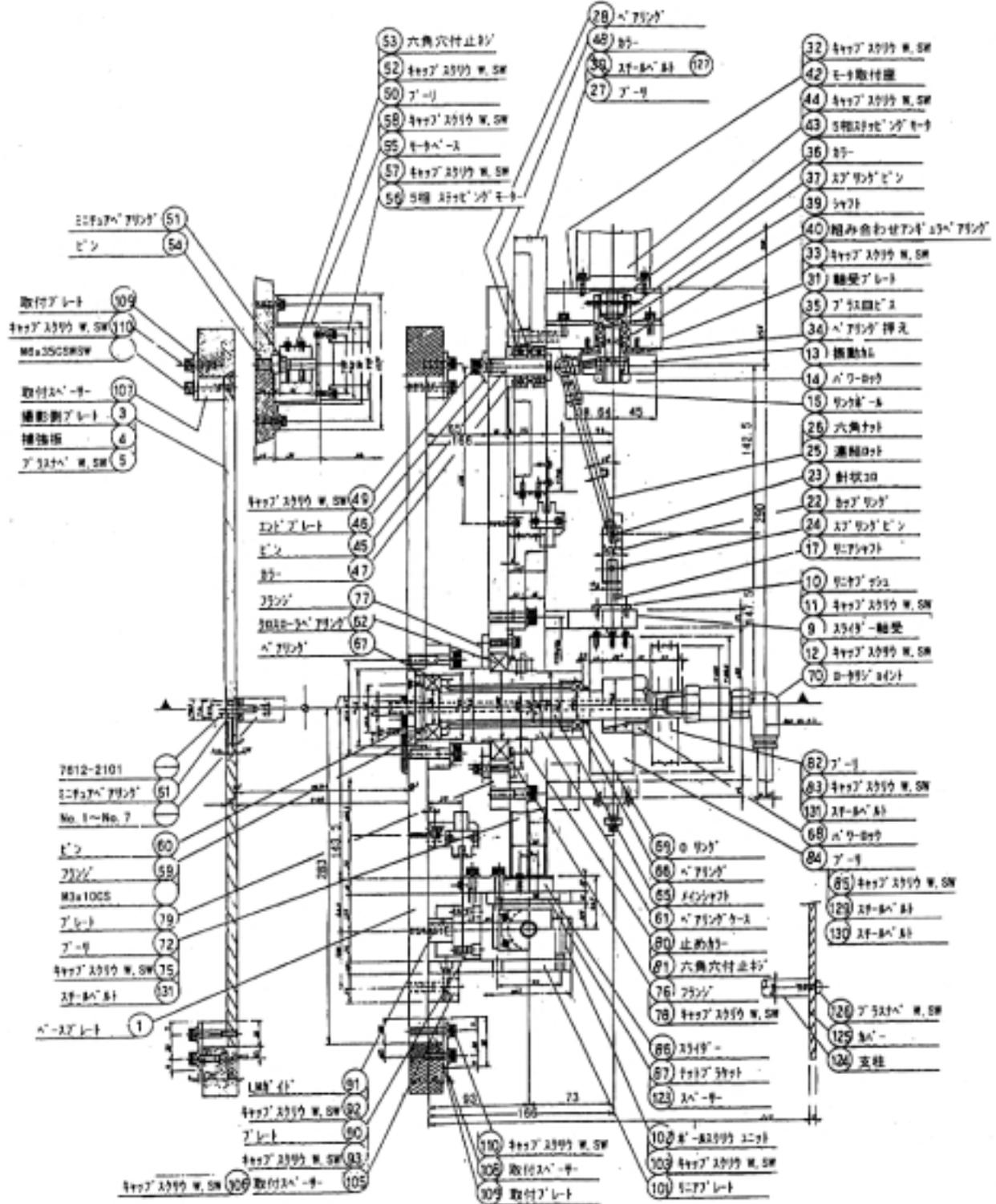


図 2.6 加振装置駆動部組立図(側面図)

表 1 原点センサ - 付き 5 相パルスモータとドライバ - の主な仕様

モータ部	
品名	UPK596AS
モータ単体品名	PK596AUS
励磁最大静止トルク [N・m]	2.05
基本ステップ角	0.72°
定格電流 [A / 相]	1.4
ローター慣性モーメント [kg・m ²]	1411 × 10 ⁻⁷
質量 [kg]	1.8
静止角度誤差	± 3 分
絶縁階級	B 級 (130℃)
温度上昇	定格電流で 5 相励磁、静止状態のとき 80℃以下
使用温度範囲	- 10℃ ~ + 50℃
適用ドライバ品	UDK5114N
●励磁最大静止トルクは専用ドライバ (UDK5114N) にて定格電流、5 相励磁の時。●静止角度誤差：フルステップ、無負荷時の値。(負荷の大きさにより変化する。)	
センサ部	
電源入力	DC24V ± 10% 30mA 以下
出力形式	トランジスタ出力 (オープンコレクタ)
分解能	DC 24 V ± 10% 20mA 以下
動作温度	1 パルス・・・モータ軸 1 回転当たり - 10℃ ~ + 80℃
ドライバ部	
品名	UDK5114N
駆動方式	定電流チョップ駆動方式
騒動容量	1.4A / 相以下
励磁方式	フルステップ：0.72/step (4 相励磁) ハーフステップ：0.36/step (4 - 5 相励磁)
入力形式	フォトカプラ入力、入力抵抗 220Ω 入力電流 20mA 以下、信号電圧 H：+4 ~ +5 L：0 ~ +0.5V
出力形式	フォトカプラ、オープンコレクタ出力 外部使用条件 DC24V 以下、10mA 以下
機能	自動カレントダウン、自動ホールドオフ、由己検査、パルス入力 方式切替、ステップ角切替、オーバーヒート出力論理切替
表示 (LED)	電源入力、CW パルス入力、CCW パルス入力、出力電流オフ入力、 励磁タイミング出力、オーバーヒート出力
冷却方式	自然空冷方式
電源入力	単相 100V ± 15% 50 / 60Hz 4.8A 以下または 単相 115V ± 15% 50 / 60Hz 4.8A 以下
質量	0.9kg
使用温度範囲	0℃ ~ + 50℃

位置精度は大きい負荷トルク、伸縮が小さく滑りの無いスチールベルトを使用したベルト伝動機構とガタの小さいボールスクリュウにより高い精度で維持される。回転ベスと回転軸の結合にはラジアル荷重、モーメント、スラスト荷重の複合荷重に対する剛性の高い(株)JHKのクロスロラベアリングを使用している。過回転防止の為に、リニアガイドの両端部にリミットスイッチとしてホトセンサを2個使用し、回転ベスの両側には±55°回転した位

置にミニチュアダンプ - 付きのストッパ - を設けている。このストッパ - は伝動機構の調整時に電源を切った際に、フリーになった回転ベスを支持する役目もある。

(3) 加振振幅 A 設定用駆動系

加振振幅 A を設定する為に回転振動数 用モータの載ったベルトプ - リを回転して回転斜板の角度 を変化させる駆動系である。モータは原点センサー付き 5 相パルスモ

タを使用し、出力はスチールベルトを使用したベルト伝動機構によって減速して最大負荷トルクは $23.5\text{N}\cdot\text{m}$ である。スチールベルトは平均迎角 α_m 用駆動系と同じものを使用し、両端は各々原車、従車に 180° 巻き付けてからビス二本で固定している。設定位置精度は大きい負荷トルクと伸縮が小さく滑りの無いスチールベルトを使用したベルト伝動機構により高い精度で維持される。過回転防止の為に従車側のベルトプーリにリミットスイッチとしてホトセンサを 2 個使用している。

(4) 回転振動数 用駆動系

翼模型を疑似正弦波加振するためにモータの回転運動を回転斜板とコネクティングロッドでスライドロッドの上下運動に変換する。次いで、再びベルト伝動機構で回転運動に変換して翼模型を回転軸回りに揺動運動させる駆動系である。モータは原点センサー付き 5 相パルスモータを使用し、出力は回転斜板とスチールベルト伝動機構によって減速され最大負荷トルクは $11.8\text{N}\cdot\text{m}$ である。モータの回転軸にはラジアル荷重以外に大きいモーメントが作用するので 8mm の回転軸を $12\text{mm} \sim 30\text{mm}$ 程度に太くし、回転斜板の手前に 2 個のベアリングを使用した剛性の高い軸受で支持している。さらに、回転斜板と回転軸の結合には(株)椿本チェーン製のパワロックを使用して強固に結合している。回転斜板の形は負荷変動による速度変動を小さくする為にフライホイールの役目もしており、約 80% の変動エネルギーを吸収するように成形している。コネクティングロッドの上端部は揺動運動ができるように回転斜板との結合に(株)THK 製のリンクボウルを使用し、下端部はスライドロッドの上端部の溝に差し込みピン結合しているので、コネクティングロッドは上下運動、公転運動と揺動運動が可能である。回転運動と上下運動をするスライドロッドは両端をメタル軸受で支持され連結金具(凹形金具)のメタル軸受を貫通している。連結金具の両端のスライドロッドに固定されているリングが連結金具をスライドロッドの中間位置に固定しているので連結金具はスライドロッドから上下運動のみ取り出すことができ、取り出した上下運動をスチールベルト(幅 8mm 、厚さ 0.15mm)を使用したベルト伝動機構で翼模型回転用ベルトプーリに伝達する。ベルトプーリと翼模型回転軸との結合には(株)椿本チェーン製のパワロックを使用して強固に結合している。

(5) 迎角 センサー

翼模型の迎角の測定は、翼模型側を原車、ポテンシオメータ側を従車とするスチールベルト(幅 8mm 、厚さ 0.15mm)を使用したベルト伝動機構によって翼模型の迎角をポテンシオメータに伝達し、アナログ値として取

り出す為に安定化電源を使用して正確なアナログ値を出力する。

2.5 パソコンによる制御システム

(1) パソコンによる制御の概要

パソコンとパルスモータ及びセンサーはインターフェース回路を介して接続し、ソフトによって制御する。

(a) モータ制御

基本的にパルスモータは 1 個ずつ各々独立して回転させ、複数個同時に回転させることはない。これは、機構的にも安全であり、運転者からも各動作を確認しやすい。

各パラメータの設定は操作画面から行い値が不適当であれば入力できない。また、設定されたパラメータは必要に応じて確認することができる。

(b) 動作

各動作とも原点位置に移動することから開始する。原点位置に移動出来ない時は何らかのトラブルであるから以後の動作を行うことはできない。また、何らかの原因により正規の動作範囲外に移動した場合はその方向への移動は停止する。この場合、不用意にモータの電流を切るとかえって危険なので動作司令パルスを停止する。正規の状態であれば $0.1 \sim 8\text{Hz}$ の範囲で翼模型を加振する。

(c) トリガ - 信号

パラメータセット画面の中で、スチール写真を撮影するのに必要なトリガ - 信号を出力するタイミングを設定する。

(d) データファイル

ポテンシオメータの出力電圧をサンプリング・アンド・ホールドした上で A/D 変換を行い、データファイルに保管する。サンプリングの周期は画面上で設定することが出来るが、その値はパルスモータの駆動パルスを分周したものである。なお、データは市販のソフトの Microsoft Excel で処理する。使用したパソコン、ソフトと拡張ボードを表 2 に示す。また、使用したエプソンのパソコンの外観を図 2.7 に示す。

(2) モニタ - 画面による制御方法

Microsoft Windows 95 対応 Borland Delphi Desktop Ver. 2.0 ソフトを使用して 6 枚の操作画面を作成した。(図 2.8 に画面の 1 部を示す)操作方法は極めて簡単で、キーボードで数値を入力してからボタンをマウスでクリックすることにより加振装置を動かすことができる。以下に操作画面の説明を行う。図 2.8 では $\alpha =$ 、 $A = \alpha$ 、 $\alpha_m =$ としている。

(a) メイン画面

この画面と後ろに隠れているモータ 1, 2, 3, A/D, TRIG の各々の画面で、前もって設定したパラメータの値に基づ

表 2 使用したパソコン、ソフトと拡張ボ - ド

パソコン	エプソン Endeavor ATX-7001	
ソフト	① Microsoft Windows 95 Borland Delphi Desktop Ver.2.0 ② Microsoft Excel	
パソコンに挿入した 制御用の拡張ボード		
① SMC - 3 (PC)	(株) コンテック	(パルスモータコントロール用)
② PCI9112	日本データシステム (株)	(A / D、D / A、Do、Counter 用)
③ トリガ基板	(株) 中原設計事務所	(A / D トリガ、カメラトリガ用)

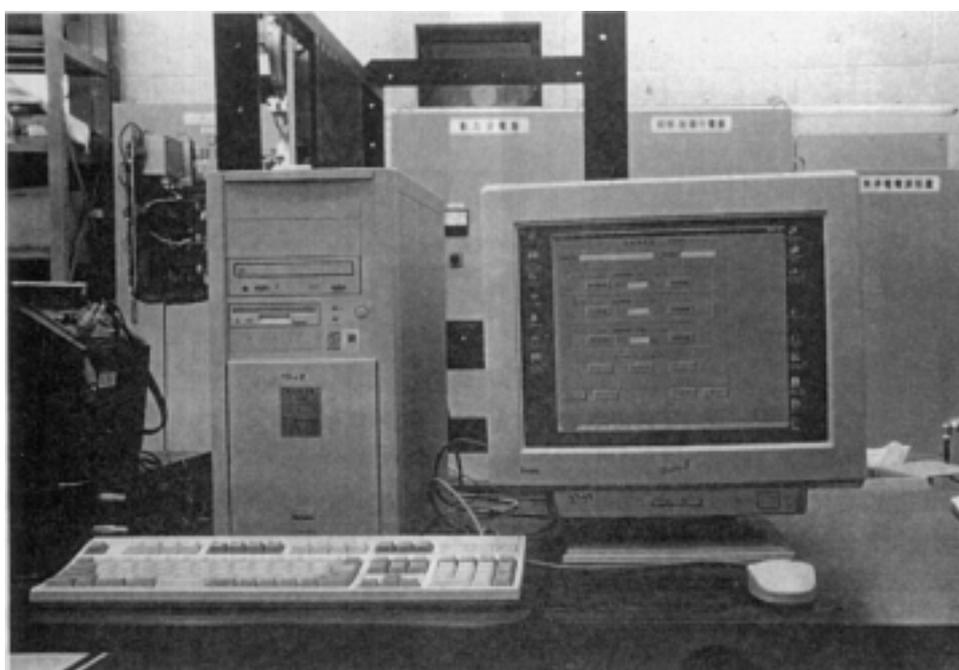


図 2.7 駆動系を制御するパソコンの概観

きモ - タの操作を行う。

このページの設定値は実験中またはモ - タ動作中には変更できないようになっている。また、実験中には手動でモ - タの操作はできない。

経過時間

スタートボタンが押されてからの経過時間を 1 秒単位で表示する。

実験名称

実験名称を全角 20 文字以内で入力する。このデータは A/D データファイルに使用する。

実験番号

実験番号を全角 20 文字以内で入力する。このデータは A/D データファイルに使用する。

A/D ボタン

A/D サンプルングを開始したい時に操作を行う。A/D サンプルングを途中で中止する場合は「Q」キーを押す。

SAVE ボタン

A/D サンプルングデータを保存する場合に操作を行う。

TRIG ボタン

カメラトリガを発生させたい場合に操作を行う。外部の押しボタン SW を操作しても同じタイミングでトリガを発生させる事ができる。

モ - タ (.)

原点移動ボタン

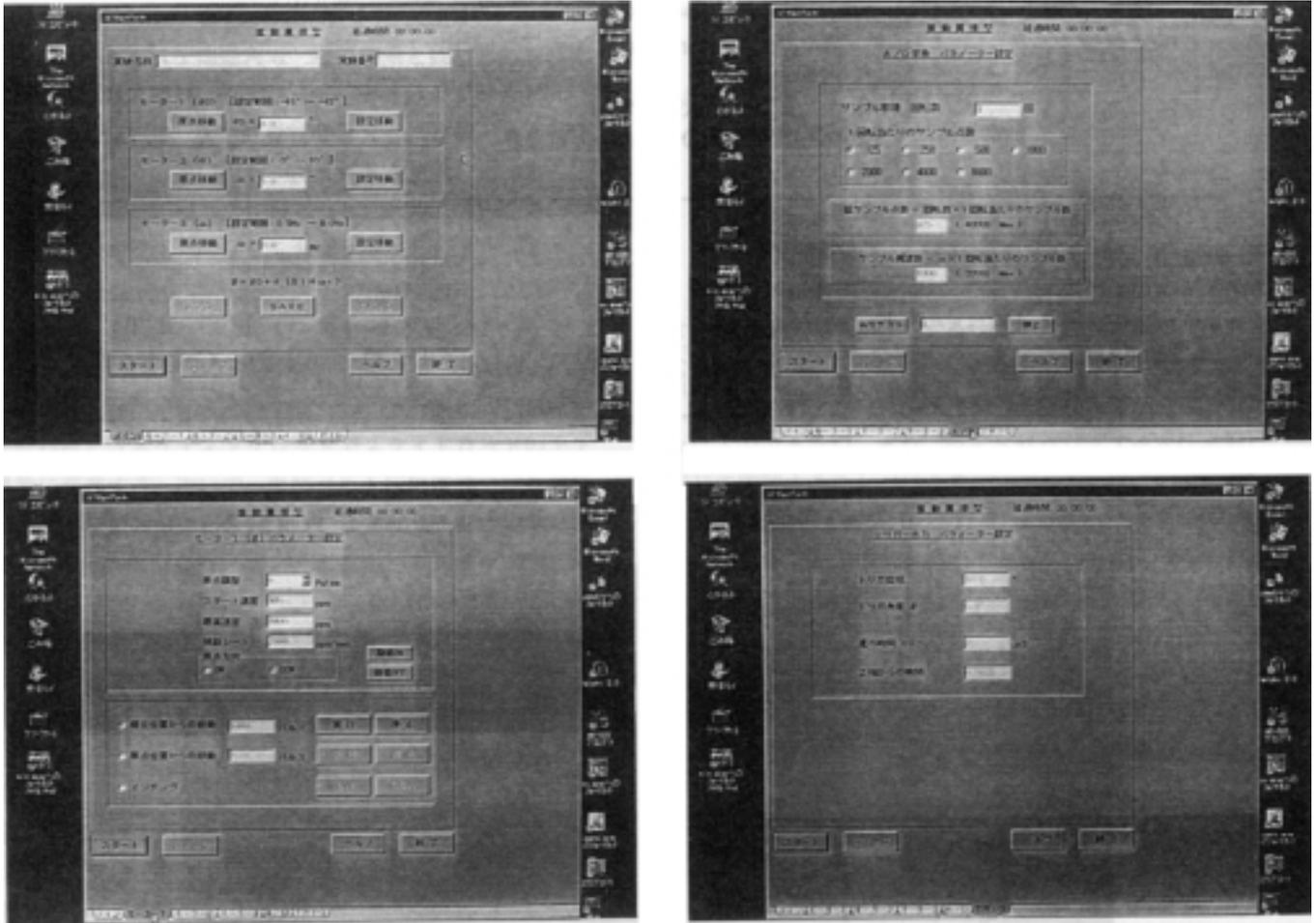


図 2.8 駆動系を制御するための操作画面

CCW減速停止センサーがONになり最初のZ相(モータ原点)を検出するまで移動する。原点位置は -45.0° を示している。

設定値

-45.0° から $+45.0^\circ$ まで 0.1° 単位で設定角度を入力する。

設定移動ボタン

設定角度まで移動する。

モータ 2 ()

原点移動ボタン

Z相(モータ原点)を検出するまで移動を行い、原点位置は 0° である。

設定値

$0^\circ \sim \pm 10.0^\circ$ まで 0.1° 単位で設定角度を入力する。

例) 5° と設定すると平均迎角 θ を中心に $\pm 5^\circ$ の振幅となる。

設定移動ボタン

設定位置まで移動を行う。

モータ 3 ()

原点移動ボタン

Z相(モータ原点)を検出するまで移動し、原点位置は 0° である。

設定値

$0.1\text{Hz} \sim 8.0\text{Hz}$ まで 0.1Hz 単位で振動周波数を入力する。設定値はモータ 3 のスタート速度以上を設定する。スタート速度以下を入力するとエラーが表示される。スタート速度はモータ 3 のページで設定変更が可能である。

(b) モータ 1 画面

モータ 1, 2, 3 画面は同じ様式の画面であるのでこの画面でモータのパラメータ設定について説明する。

このページの設定値は実験中またはモータ動作中には変更できないようになっている。また、実験中には手動でモータの操作はできない。

スタート速度

モータ 1 () の加減速動作時の初速を指定する。スタート速度は最高速度以下に設定する。最高速度より大きな速度を設定するとエラーになる。また、モータ負荷の影響でスタート速度で起動できない場合には、設定を下げる。(設定範囲 $100\text{pps} \sim 8000\text{pps}$)

最高速度

加減速動作時の最高速度を設定する。スタート速度以上に設定する。最高速度はモータ負荷との関係から適切に設定する必要がある。

傾斜レート

加減速動作時の加速または減速レートを設定する。停止時の振動などを考慮して適切な設定を行なう。設定値が大きいほど急加速となる。

原点方向

原点移動を行う時の原点サーチ方向を指定する。モータ1の原点方向のデフォルトはCCWである。

励磁 OFF

モータの励磁を OFF にする。モータを手動で回転させたい場合などに使用する。モータを回転させる操作を実行した場合は自動的に励磁 ON に戻る。

励磁 ON

モータの励磁を ON にする。励磁 OFF 操作後モータの位置を固定したい場合に使用する。

動作モード(表示なし)

モータの動作確認または設定位置の確認などの目的でメインページの設定を変更せずにモータを移動させたい時にモータの動作モードをラジオボタンで選択する。

-1 現在位置からの移動

現在位置を 0 として CW 方向へ移動させたい場合は+(プラス:省略可能) CCW 方向へ移動させたい場合は-(マイナス)のパルス数を入力する。この動作は加減速動作で、減速停止センサ-または限界センサ-が ON すると停止する。実行ボタンで移動開始、停止ボタンで停止を行う。

-2 原点位置からの移動

原点位置を 0 として CCW 方向は-(マイナス) CW 方向は+(プラス:省略可能)のパルス数で指定する。実行ボタンで移動開始、停止ボタンで停止を行う。

-3 インチング

CW、CCW のボタンをクリック DOWN している間、指定方向へ低速で移動する。この時の速度はスタート速度、最高速度に関係なく、またメインの原点移動が実行されていなくてもこのモードは実行可能である。減速停止センサ-または限界センサ-が ON になると停止する。

(c) A/D 画面

この画面ではポテンシオメータの出力を A/D 変換して振動翼の動きをモニタ上で観測するためのサンプル数、サンプル周波数等を設定する。このページの設定値は実験中またはモータ動作中には変更できない。

A/D サンプル取得回転数

A/D サンプルを取得する回転数(1回転はモータの

1回転)を指定する。サンプル開始はモータの Z 相(モータ原点)が起点となる。

1 回転当たりのサンプル点数

モータが 1 回転する間に何点のデータサンプルするかを選択する。モータ1回転に必要なパルス数は1000パルス有り、たとえば 125 を選択すると 8 パルスに 1 回のサンプルとなる。逆に 8000 を選択すると 1 パルスの間に 8 回サンプルを取得する設定になる。

設定条件

A/D サンプルには以下の 2 項目について上限を設定し、どちらか 1 方でも上限を超える場合はその設定を受け付けない。

-1 総サンプル数(サンプル回転数×1回転のサンプル数)

メモリーに格納できるサンプル点数は最大 40000 点で、(1 回転のサンプル数 8000 の場合、サンプル取得回転数 5 回転)設定値を変更すると計算結果が表示される。また設定が上限を超えた場合はエラーが表示される。

-2 サンプル周波数(周波数×1回転のサンプル数)

A/D の最大サンプリング周波数を 32KHz としている。例えば = 8Hz で 1 回転のサンプル数が 8000 とした場合、サンプル周波数が 64KHz となり、32KHz を超えるため設定できない。設定を変更すると計算結果が表示される。上限を超えた設定をした場合はエラーが表示される。

テスト A/D ボタン

モータが動作していない状態でこのボタンを操作すると、現在の A/D 値を参照することができる。約 100ms 間隔(10Hz)でサンプリングして表示を行う。終了するには停止ボタンの操作を行う。

停止ボタン

テスト A/D を終了する。テスト A/D のサンプルデータは保存できない。

(d) TRIG 画面

スチル写真を撮るためのトリガ-信号のパラメータを設定する。また、このページの設定値は実験中またはモータ動作中には変更できない。

トリガ位相

カメラ用トリガを発生させるモータの角度を指定する。0° ~ 360° の範囲で設定可能である。

トリガ角度

トリガ位相で指定した角度から、トリガ発生時の翼の角度を表示する。入力できない。

遅れ時間

トリガ発生からカメラ動作までの遅れ時間を 0 ~ 9999 μs の範囲で指定可能である。

Z 相からの時間

遅れ時間を含めた モ - タの Z 相からトリガ発生までの時間を表示する。

3. 使用例

パソコンによる翼模型の平均迎角、加振振幅、振動数の変更は2分ぐらいで完了する。操作画面でのパラメータ設定は前もってモ - タ1～3の画面でモ - タの駆動パターンを調整することによりメイン画面での設定変更だけで済むため実験の効率化が可能になった。

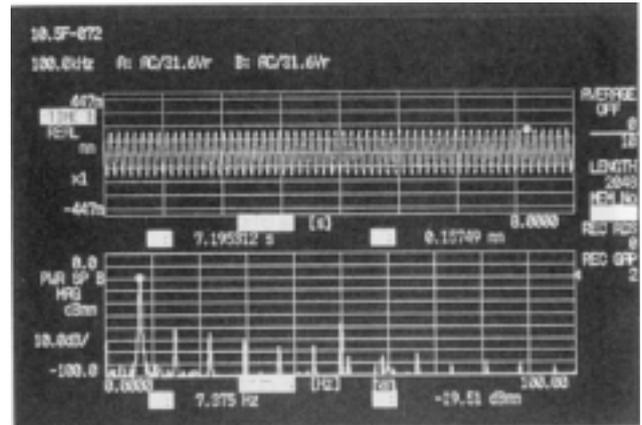
図 3.1 は風速 9m/s、平均迎角 16°、加振振幅 5°、設定加振振動数 7.3Hz で翼模型を加振しているときの迎角を検出しているポテンシオメータの出力を FFT アナライザで処理し、時間履歴とパワー・スペクトルを得たものである。設定加振振動数 7.3Hz に対して翼模型は 7.375Hz で振動している。また、パワー・スペクトルの形も頂部で一つの線に重なり合う急峻な形をしているので設定に対してかなり良い応答をしていることが判る。パワー・スペクトルにおいて加振振動数よりも高い振動数位置のスペクトルは疑似正弦波加振であることと翼の振動波形にパルスモ - タの高周波駆動パルスの振動が乗っていることにより生じている加振波形の高調波ひずみによるものとポテンシオメータの出力信号に乗っている 50Hz の電源ノイズである。

高周波振動は 1Hz 以下の加振時に顕著であった。高周波振動が問題になる場合はパルスモ - タを DC サ - ポモ - タあるいは AC サ - ポモ - タに交換して改善を計る必要がある。電源ノイズはフィルタを使用することで除去できる。

4. あとがき

以上、開発した斬新なデザインの 2 次元翼加振装置の構成と機能について述べた。実際に使用した結果は以下の通りであった。

- (1) 2 次元翼模型を疑似正弦波加振出来る。
- (2) パソコンの操作画面からの指令で翼模型の平均迎角、加振振幅、振動数を自動的に短時間に変更可能である。
- (3) 駆動系にパルスモ - タ使用したので翼の振動波形にパルスモ - タの高周波駆動パルスの影響があった。高周波振動が問題になる場合はパルスモ - タを DC サ - ポモ - タあるいは AC サ - ポモ - タに交換して改善を計る必要がある。



風速	9 m/sec
平均迎角	16°
加振振幅	±5°
設定加振周波数	7.3 Hz

図 3.1 通風中に加振した時の翼模型の振動波形とパワー・スペクトル

おわりに、本 2 次元翼模型加振装置の基本設計から据え付け調整までを担当していただいた国際技術開発株式会社の上野康男氏、機械設計と据え付け調整を担当された(有)藤巻設計事務所の藤巻恵一氏、モ - タのパソコン制御を担当された株式会社中原設計事務所の田原容氏、翼模型の製作を担当された(有)みずほ製作所の黒澤秀章氏、実験を手伝ってくれたアルバイトの山田真一君の皆さんに御協力頂いた。この場を借りて、厚く感謝の意を表します。又、構造研究部の中道二郎室長には本 2 次元翼模型加振装置の開発する機会を頂いた。

参考文献

- 1) Lawrence W. Carr, Kenneth W. McAlister, and William J. McCroskey; Analysis of the Development of Dynamic Stall Based on Oscillating Airfoil Experiments. NASA TN D-8382, (1977).
- 2) 石黒満津夫、野中亮二、荒川正夫、真保雄一；二次元翼模型を用いたダイナミック・リフト風洞試験。第 23 回流体力学講演会，(1991)pp. 145-148.
- 3) 空力性能部大型低速風洞制御研究室；小型低乱校正風洞完成。航技研ニュー・ス，No. 352，(1988/8).
- 4) Robert J. McGhee and William D. Beasley; Low-Speed Aerodynamic Characteristics of a 17-Percent-Thick Airfoil Section Designed for General Aviation Applications. NASA TN D-7428, (1973).