

図10 6分力天秤の制御フロー

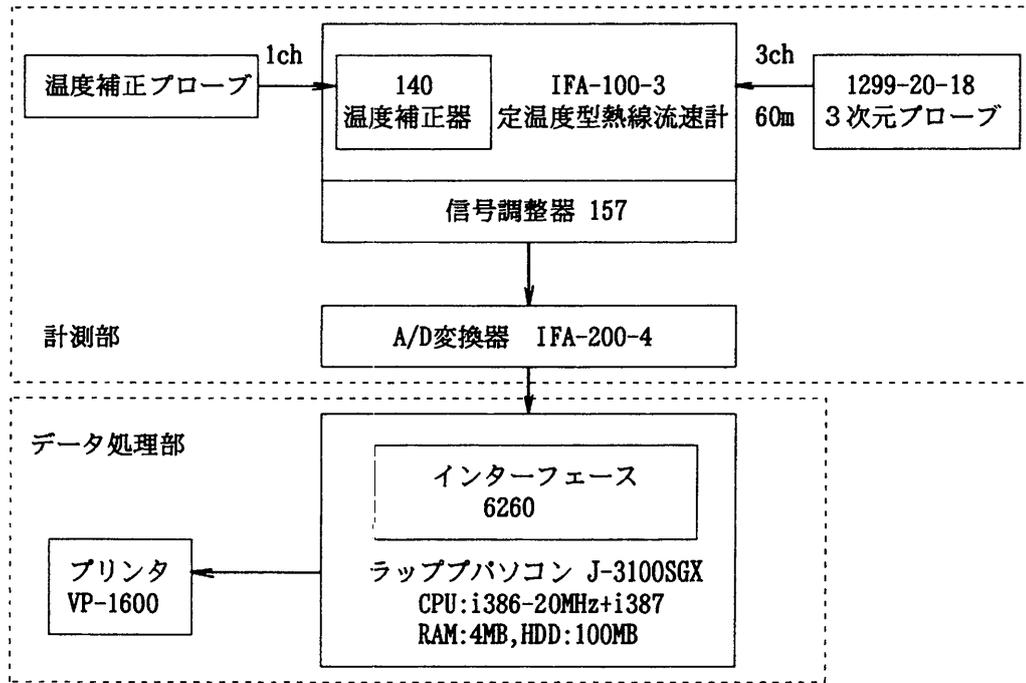


図11 3次元熱線流速計システムのフロー

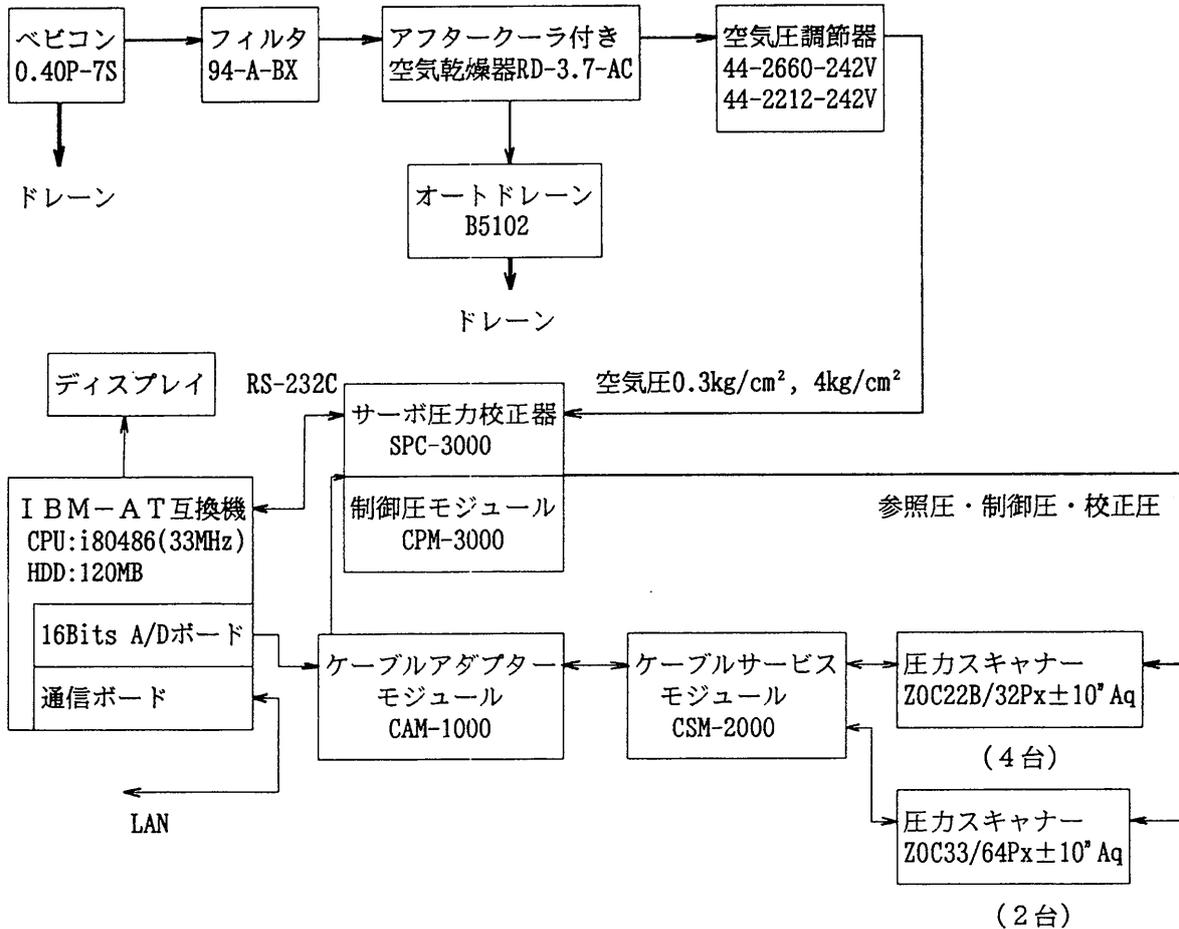


図12 電子式多点圧力計測システムのフロー

供給している。一方、減圧した空気圧4kg/cm<sup>2</sup>から分岐した制御圧を制御圧モジュールに供給し、ここで校正制御圧およびPx制御圧を作り、それぞれを圧力スキャナーの校正制御圧ポートおよびPx制御圧ポートに供給している。

本システムの各圧力ポート(チャンネル)をスキャンする速度は12,000チャンネル/sである。圧力スキャナーの各チャンネルはそれぞれ半導体式圧力センサーを持っている。圧力レンジ10インチ水柱で32チャンネルの圧力スキャナーZOC22Bが4台、64チャンネルのZOC33が2台あり、現在計256点の圧力計測を行える。

これらの圧力スキャナーはコンパクトであるので、模型本体の中に組込んで使用できる。ただし、半導体式圧力センサーは小型で、動的応答性は良いが、反面温度依存性が大きいので、気流温度変化の大きい時には頻りに校正を行

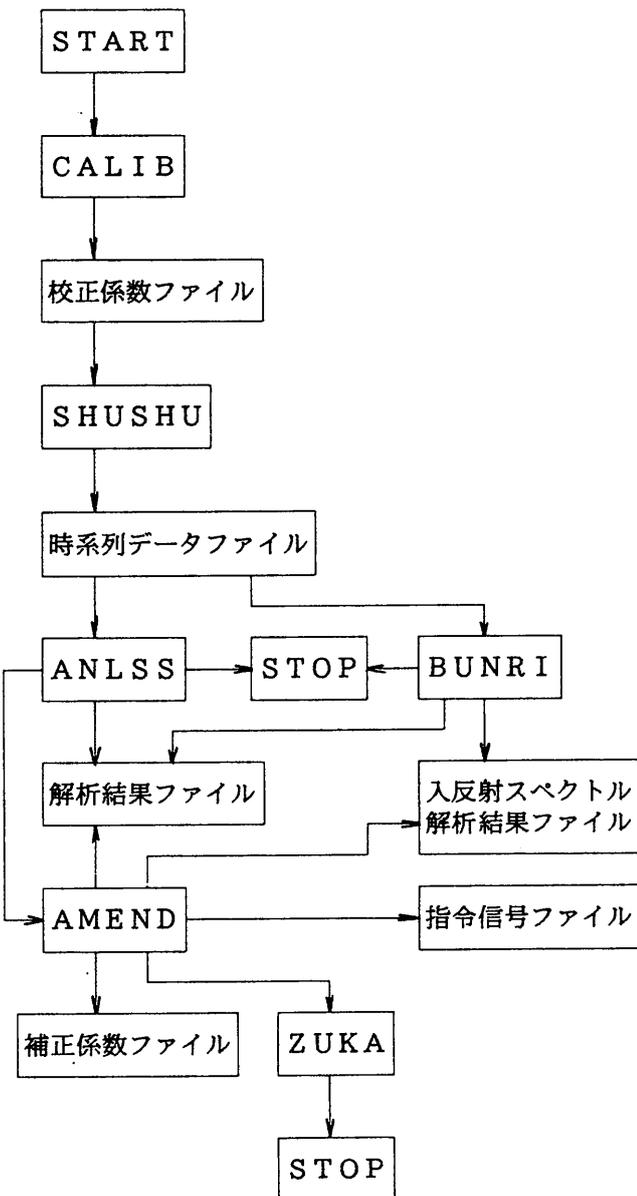


図13 波データ収集及び波形解析のフロー

うか、温度補正回路を持った特別の圧力センサーを用いる必要がある<sup>11)</sup>。

図12に電子式多点圧力計測システムのフローを示す。

#### 4.5.6 波データ収集及び波形解析システム

波データ収集及び波形解析プログラムは次のCALIB、SHUSHU、ANLSS、BUNRI、ZUKA、AMENDから構成されている。本プログラムは計測・制御用パソコン(NEC PC9821As)にインストールされている。

- ・波高計校正プログラムCALIB：A/D変換器の各チャンネルの校正係数を設定する。
- ・波データ収集プログラムSHUSHU：A/D変換器からのアナログデータの収集を行い、ファイルに格納する。
- ・計測波データ一般解析プログラムANLSS：SHUSHUによって作成されたデータファイルについて、統計解析、パワー・スペクトル解析を行う。
- ・計測波入反射波解析プログラムBUNRI：SHUSHUによって作成されたゼロアップ・クロス法による水位変化の時系列データファイルについて、統計解析、パワー・スペクトル解析、入反射波スペクトル解析を行う。
- ・図化プログラムZUKA：ANLSS、BUNRIによって作成されたデータ・ファイルについて表示・印字を行う。
- ・スペクトル比較修正プログラムAMEND：不規則波の造波において造波結果を期待スペクトルに合うように補正係数ファイルを修正する。

波形データの収集にはメインメニューよりCALIBを選択し、係数をマニュアル入力またはオンライン入力する。次に、SHUSHUでチャンネル数及び計測データ点数を設定し、データを収録する。更に、波形解析にはANLSSまたはBUNRIプログラムで解析結果ファイルを作成し、ZUKAで図化する。ただし、AMENDは期待スペクトルを達成するために修正が必要なときのみ用いる。

図13に波データ収集及び波形解析のフローを示す。

波形解析処理プログラムANLSS、BUNRIにより波高計校正曲線、スペクトル解析として水位への変換、平均値補正、高速フーリエ変換、オート・パワー・スペクトル、モーメント、有義波高、有義周期、入射スペクトル、反射スペクトル、統計解析として最大波高、最大周期、平均波高、平均周期、有義波高、有義周期などを求められる。

#### 4.5.7 その他の計測器

以上の計測機器のほか、風洞実験に必要な計器類として、フォルタン気圧計(気象庁検定付き)、電動式アスマン通風乾湿計(気象庁検定付き)、デジタル温度計、JIS型ピトー管(3mm<sup>φ</sup>×380mm長および9mm<sup>φ</sup>×500mm長、各1本)、アローヘッド型5孔ピトー管(特注品、3mm<sup>φ</sup>×400mm長)、アスカニア型マノメータ(理化精機製、0~200mmAq、精度0.01mm)、アネモマスター風速計(日本カノマックス製、model 6141、風速0.05~50m/s)、普通騒音計(リオン製、NA-20型、検定付き)などを備えている。

流れの可視化装置としてスモークワイヤ発生装置(菅原研究所製)、風速90m/sまで使えるNPL型スモークブロー

ブを持つスモーク発生装置(英国Nutem Limited製)を備えている。

実験中の模型の状態はテレビカメラで常時監視し、計測・準備室にあるテレビでモニターし、ビデオに録画できる。この監視装置は6倍電動ズームレンズを取付けたカラーテレビカメラとリモコンユニットが、移動可能なカメラ取付台(写真29)にセットされており、これらとモニターテレビ、ビデオレコーダーで構成されている。

熱線データなどのモニタリング用として、デジタルストレージオシロスコープ(日立電子製、型式:VC-6145、4現象、100MHz)、波形解析結果などの図形処理にペンプロッタ(グラフテック製、MP5000)を備えている。

風速は計測洞入口に取付けたJIS型標準ピトー管に差圧式デジタルマノメータ(コスモ計器製、レンジ:0~200mm Aq、精度0.3mmAq)を接続し、デジタル温度計で測った気流温度で密度補正を行い、風速値を計測・制御用パソコン(NEC PC9821As)を経由して制御パソコン(NEC PC9821Ae)上に表示させている。さらに、風速や温度、波形データなどは計測・制御用パソコンに収録される。このために制御パソコンと計測・制御用パソコンとはRS232Cで接続されている。

図14にパソコン制御のフローを示す。

#### 4.6 天井走行クレーン

一般に、大型風洞の開放型と閉鎖型計測洞の切換えには床面に敷いたレール上に設置した台車に、ベルマウスや可動計測洞をそれぞれ載せ、手動または自走で台車を動かして交換できるように計画されている。しかし、本風水洞は床面に水槽が設置されているので、可動計測洞などの交換にレール方式が使用出来ない。それ故、本施設では開放型、閉鎖型風洞や風水洞との切換え作業などを行うために、実験棟内にホイスト式天井走行クレーン(日本ホイスト製)を



写真29 監視カメラ

設置している。

本クレーンは吊上げ荷重一杯の重量をもつ可動計測洞を安全に脱着できるように、巻上げ速度は5.1m/minの高速、0.6m/minの微速、横行・走行速度は5.5m/minの高速、0.6m/minの微速と各速度を2段階に変えられる方式で、吊上げ荷重2.8tの電気ホイスト式である。クレーン操作には一般に用いられているコード操作式を取止めて、操作性の良い無線操作式を用いている。クレーンの揚程は約6.2m、走行はスパン方向8.6m、長手方向22.45mである。

#### 4.7 電気設備

電源は三鷹第2船舶試験水槽(400水槽)の変電室から分岐した大陸棚再現水槽用屋外キュービクル(3<sup>φ</sup>-3.3kV)より受電し、そこから電力ケーブルを三鷹第1船舶試験水槽(80m角水槽)西側、南側を迂回して変動風水洞まで埋設電線管の中を通して引いている。

電気室の中には400V動力盤(変圧器3<sup>φ</sup>-200kVA-3.3kV/420V)、200V動力盤(変圧器3<sup>φ</sup>-50kVA-3.3kV/210V)、100V/200V配電盤(変圧器1<sup>φ</sup>-10kVA-3.3kV/210V/105V)があり、将来の容量不足に対しては各盤に増設スペースを持たせている。

力率改善及び高調波対策用として400V動力盤には5次用(50kVA)、7次用(30kVA)、11次用(30kVA)の進相容量を持つ力率改善用コンデンサ及び高調波フィルタを、200V動力盤には15kVAの進相容量を持つ力率改善用コンデンサを入れている。

図15に実験棟内電源のフローを示す。

#### 4.8 LAN

所内LANは計算センターのメインフレームが日本電気製ACOS-S910+SAPからHP製に更新された際に、既設のLANに対してまだLANが引かれていなかった実験棟に対して、LANの増設が予算的に可能となった。変動風水洞のLANはこのLAN増設工事に間に合い、計算センターとの間をLANで結ぶ事が出来た。

本施設内のパソコンはLANで計算センターの主電算機(米国HP製、HP9000-735 4台で構成)や部内のEWS(HP9000-735CRX)などと結ばれ、多量のデータ処理や高度な解析を行える。

### 5. 基本性能試験結果

基本性能試験は風洞部、水路部に分けて、それぞれ単独で行った。

#### 5.1 風洞部性能試験

風洞部の性能試験は閉鎖型計測洞を基本とし、供試体、トラバース装置のない状態で行った。また、性能試験は一樣流と非定常流で行った結果を示す。

##### 5.1.1 一樣流

###### (1) 風速範囲

平均風速は計測洞入口から3m下流断面(この断面を基準計測断面と呼ぶ)の中心にJIS型標準ピトー管を取付け、差圧式デジタルマノメータで測定した差圧から求めた。送風

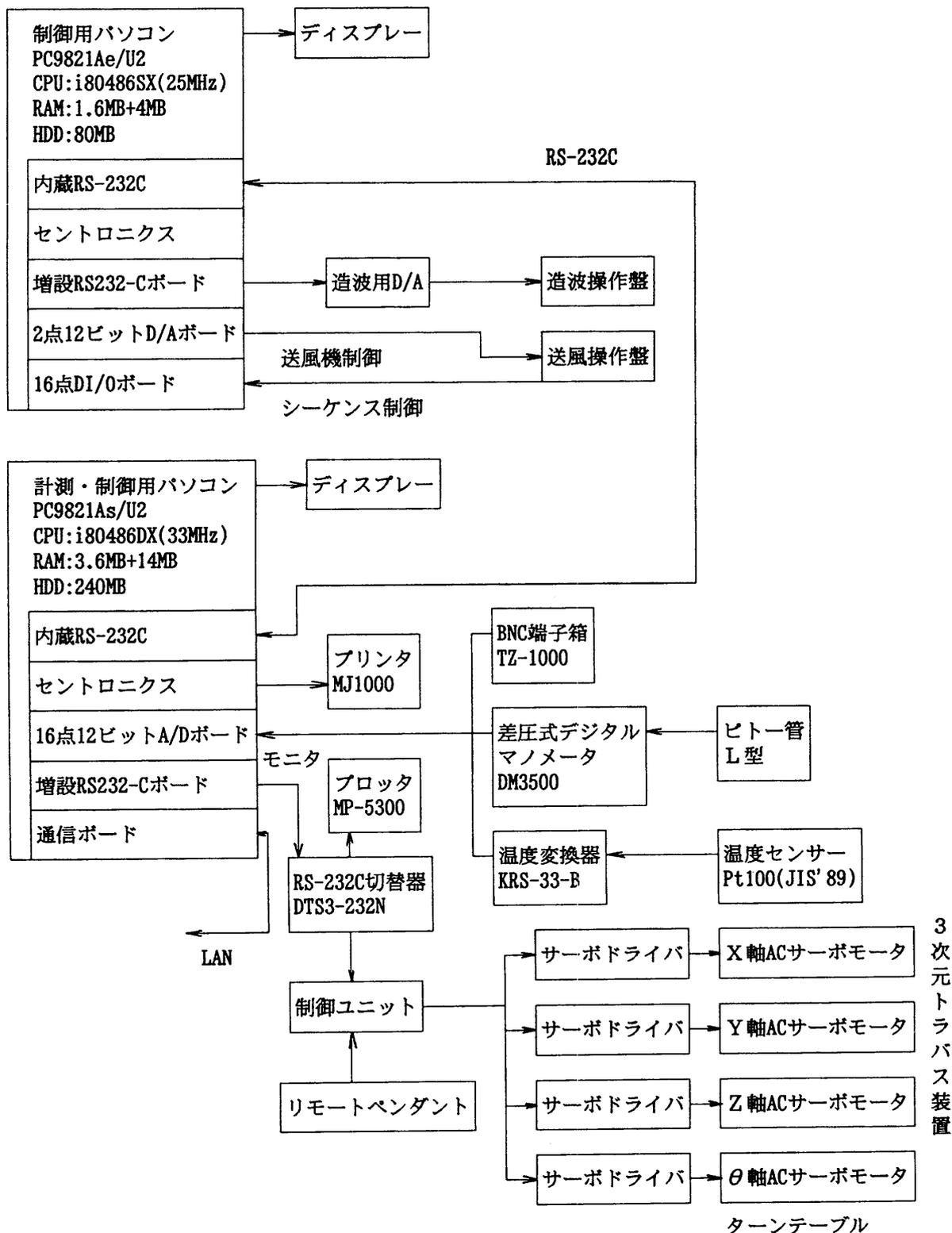


図14 パソコン制御のフロー

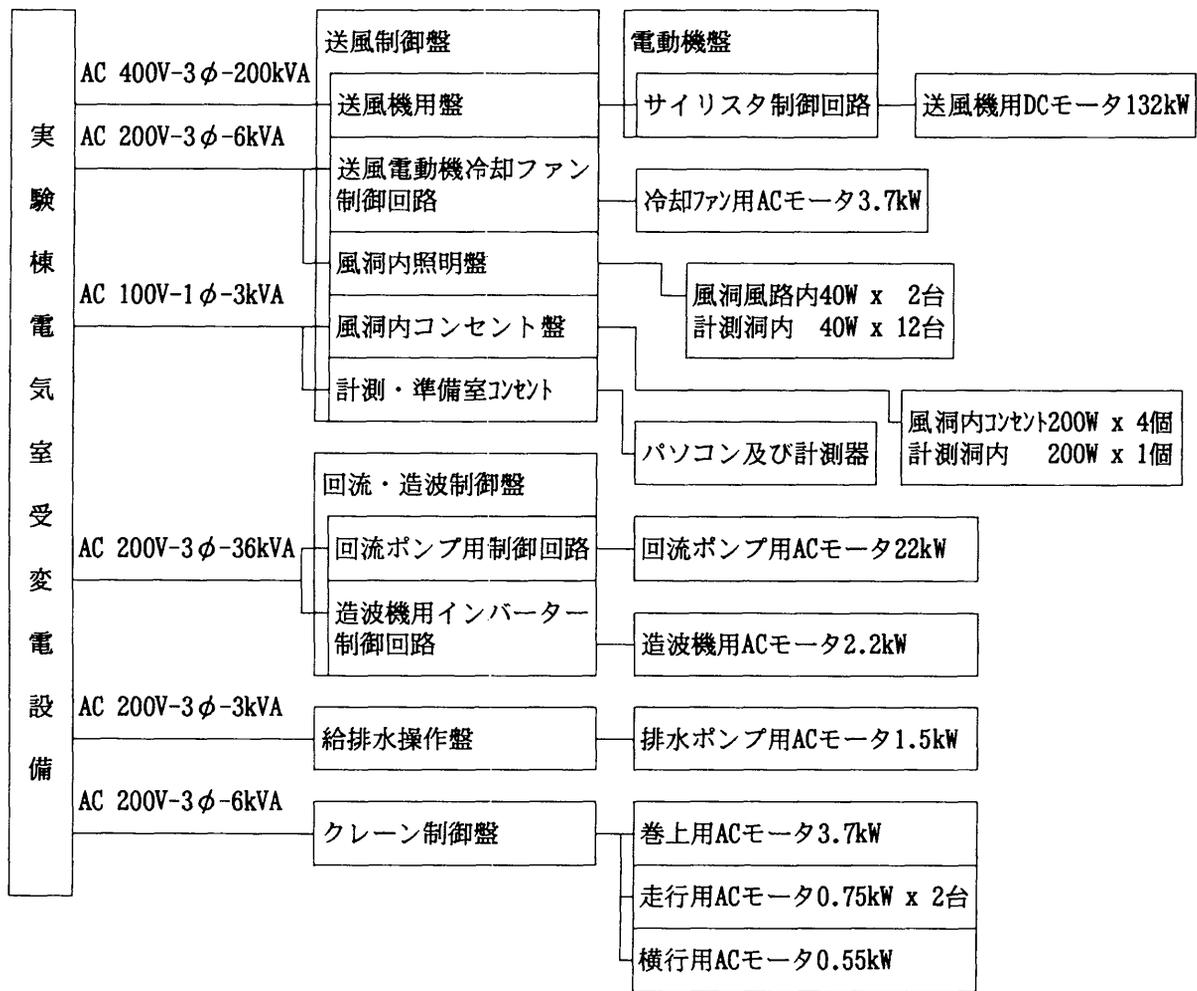


図15 実験棟内電源のフロー

機回転数は50rpm毎に最大回転数約400rpmまで変えて風速の計測を行い、風速と送風機回転数の関係を調べた。

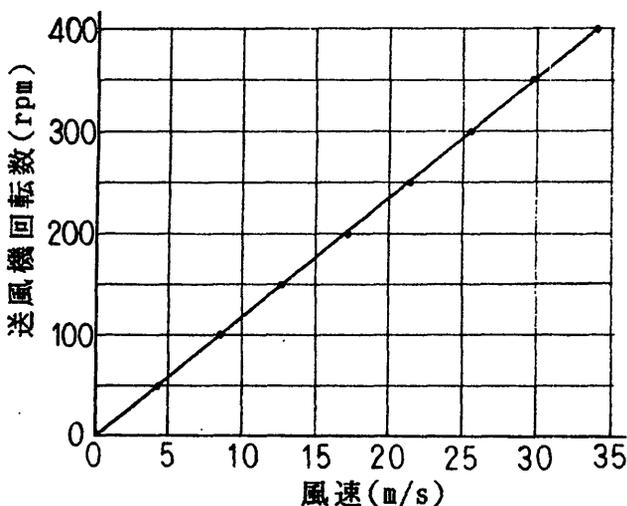


図16 風速と送風機回転数

図16に風速と送風機回転数の関係を示す。

風速と回転数の関係は図に示したようにリニアな関係にある。回転数が398rpmの時に、最大風速は33.9m/sである。ただし、最大風速の計画値は30m/sである。

(2) 回転数変動及び風速変動

回転数変動は平均風速20m/s(この風速を基準風速と呼ぶ)の時に、安定した回転数に達した時点から15s毎に5分間計測を行った。計測の結果、回転数変動は0.1rpm以下である。また、風速変動は0.1m/s以下である。

(3) 静圧勾配

静圧勾配を求めるために基準風速の時、基準計測断面の中心及びその上流、下流の各0.75m離れた風軸上の3点で静圧の計測を行った。

静圧勾配は次式から計算できる。

$$\text{静圧勾配} = (P_s - P_{s0}) / (1/2 \rho u^2) \times 100 (\%)$$

ここで、 $P_s$ は測定静圧、 $P_{s0}$ は基準静圧、 $1/2 \rho u^2$ は基準動圧である。

図17に静圧勾配を示す。

静圧勾配の計測値は下流側で最大値+0.66% (mあたりに

直すと+0.44%/m)である。ただし、静圧勾配の計画値は基準計測断面の中心から上流及び下流へ0.75m離れた風軸上で±0.75%(±0.5%/m)以下である。

(4) 風速分布

基準風速の時、基準計測断面の高さ方向には天井より風洞床までの2,000mmを50mm、50mm、100mm、8×

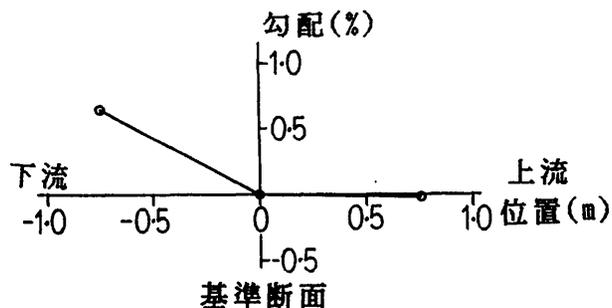


図17 静圧勾配

200mmピッチ、100mm、50mm、50mmの13点に分割し、幅方向には両側壁間の3,012mmを78mm、78mm、150mm、8×300mmピッチ、150mm、78mm、78mmの13点に分割したメッシュ点の計169点に対して、熱線風速計(日本カノマックス製、型式：IHW-100)を用いて風速の計測を行った。図18に基準風速20m/sに対する偏差(%)で表示した風速分布を示す。

図化にはNECのEWS4800シリーズに搭載されたソフト・マイクロリサーチャーを用いている。(7)に示す有効断面内での風速偏差は最大+0.56%である。ただし、風速偏差の計画値は±1.0%以下である。

(5) 乱れ強さ

乱れ強さは(4)の熱線流速計で計測した風速の乱れから直ちに求まる。

図19に乱れ強さをRMS(%)値で表示した結果を示す。

(7)に示す有効断面内での乱れ強さは最大0.34%である。ただし、乱れ強さの計画値は0.5%以下である。

(6) 気流偏向角

気流偏向角は基準風速の時、基準計測断面の中心にアローヘッド型5孔ピトー管を取付て計測した。その結果、気流は高さ方向には0.1°の吹き下ろしであり、かつ水平方向には計測室側に0.8°偏向している。ただし、気流偏向角の計画値は5°以下である。

(7) 有効断面積率

(4)の風速分布測定データから算出した有効断面は高さ方向に壁から87.5mm、幅方向に壁から97.5mmづつ離れた内側に来る長方形から四隅をカットした断面形状である。また、有効断面積率は84.9%であり、かろうじて計画値をクリアできている。ただし、有効断面積率の計画値は84%以上である。

(8) 気流温度上昇

気流温度上昇試験は平均風速15m/sで送風機を起動した後、2時間の連続運転を行い、計測洞内における気流温度を熱電対で計測し、ペンレコーダに記録した。気流温度はペンレコーダのチャート紙から読みとった。当日は、曇天であったので、計測中に外気温の変化はほとんど無かった。

図20に気流温度上昇を示す。

気流温度上昇は約1°C/hである。ただし、気流温度上昇の計画は5°C/h以下である。

(9) 風洞内圧損

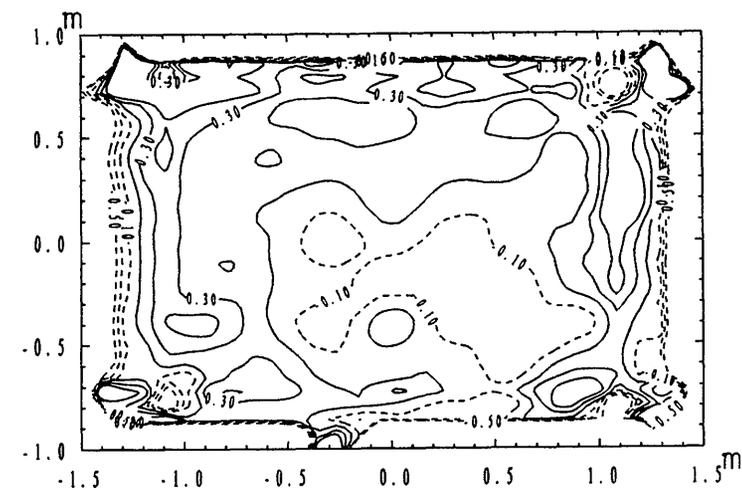


図18 風速分布

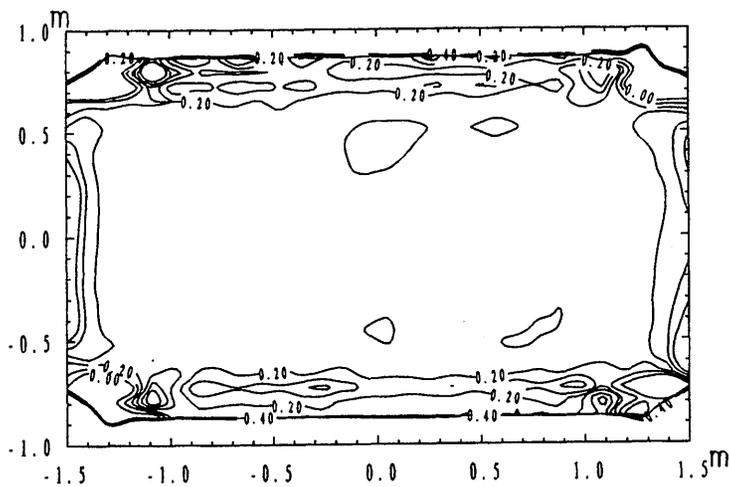


図19 乱れ強さ分布

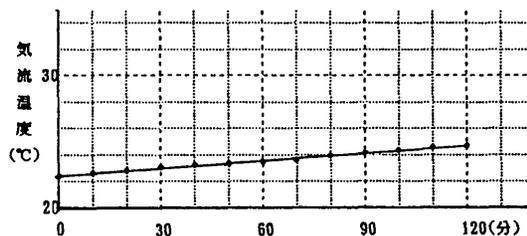


図20 気流温度上昇

風洞内圧損を求めるために平均風速30m/sの時、風洞内に静圧管を挿入して各部の静圧を計測した。風洞各部の圧損は隣接する静圧計測位置間の静圧差より求めた。

図21に風洞内の静圧計測位置と表11に各部の圧損値を示す。

全圧損の測定値は31.5mm Aqである。ただし、全圧損の計画値は40mm Aqである。この結果は風洞内圧損の見積りがほぼ妥当であることを示す。

(10) 気柱振動

開放型計測部を持つ風洞の場合には風速範囲によりしば

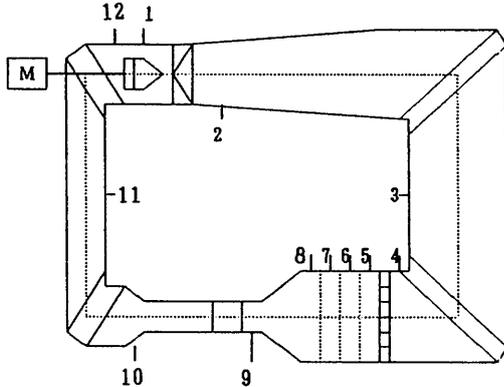


図21 風洞内静圧計測位置

表11 測定位置と風洞内圧損

計測点	圧力損失値 ΔP(mm Aq)
①-②	3.09
②-③	3.96
③-④	0.48
④-⑤	0.05
⑤-⑥	1.27
⑥-⑦	3.19
⑦-⑧	1.65
⑧-⑨	0.55
⑨-⑩	3.60
⑩-⑪	7.50
⑪-⑫	6.11
計	31.45

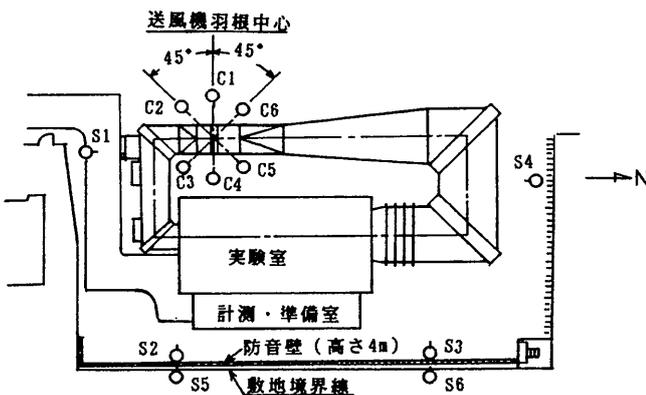


図22 騒音計測位置

しば気柱振動が発生する。このために、計測洞を開放型にして最低風速1m/sから最大風速32m/sまで、送風機回転数を上げて風速範囲の全域において気柱振動が発生しない事を確認した。

5.1.2 騒音計測

閉鎖型計測洞の時かつ、平均風速25m/sの時に送風機まわりの騒音及び敷地境界における騒音を計測した。送風機まわりの騒音は送風機試験法JIS B 8346に基づいて、騒音レベルの計測を行った。騒音計測にはリオン製普通騒音計NA-20型(検定付き)を用いた。

図22に送風機外周りと敷地境界上の騒音レベル計測位置を、表12にそれらの騒音レベルを示す。

送風機回りの騒音レベルの測定値は76dB (A)である。ただし、送風機回りの騒音レベルの計画値は100dB (A)以下である。

本施設は敷地境界に隣接して東大三鷹寮があるが、現在それを取り壊して三鷹国際学生会館が建設中である。また、本施設が建設された場所は第2種住居専用地域であるために騒音規制が割合厳しい環境にある。

これらの事を考慮して敷地境界に防音壁を設置し、かつ低騒音型送風機(泉送風機株)を採用したので、表12に示したように敷地境界における騒音規制値をクリア出来ている。

5.1.3 非定常流

ここでは非定常流の代表として台形波、三角波、正弦波変動風を発生させた。基準計測断面の中心にリニア出力をもつアネモマスター風速計(日本カノマックス製 model 6141)を挿入して風速を計測した。次に、平均風速13m/s、振幅±50%の時、周期20s、25s、40s、50sの正弦変動風を発生させた。

制御パソコンのCRT上に表示した回転数制御命令、目標風速、計測した風速波形結果をプリンタに出力したものの内、図23-aには周期25sの場合を示す。上図は予測式から発生させた風速を、下図はこの風速に対して3回の修正を施して発生させた正弦変動風の風速結果を示す。中図は予

表12 測定位置と騒音レベル

測定位置	騒音レベル dB(A)	
	距離	測定値
C1	1m	76
C2	1m	代表値
C3	1m	51dB
C4	1m	(S2点) 74
C5	1m	73
C6	1m	75
S1	—	56
S2	—	57
S3	—	51
S4	—	56
S5	—	51
S6	—	—

測式から発生させた風速波形を修正するために誤差解析(誤差平均、自乗平均、最大誤差を示す)した結果を示す。同じ平均風速、振幅の正弦変動風で、周期20s、40s、50sの場合をそれぞれ図23-b、c、dに示す。

平均風速20m/s、振幅±50%の正弦変動風で、周期25sの場合を図23-eに示す。この正弦変動風は高風速域で本送風機系の能力を超えており、風速波形が変形して目標風速波形を出せないことを示している。

平均風速7m/s、振幅±50%の正弦変動風で、周期50sの場合を図23-fに、5m/s、25sの場合を図23-gに、3m/s、25sの場合を図23-hに示す。

総合すると、平均風速5m/s以上、15m/s以下ではきれいな正弦変動風を発生できる。しかし、3m/sの時は正弦変動風発生に対する送風機制御の限界に達しているようであり、きれいな正弦変動風を発生できない。特に、低風速域では回転数指令に鋭敏であり、回転数制御の精度問題も

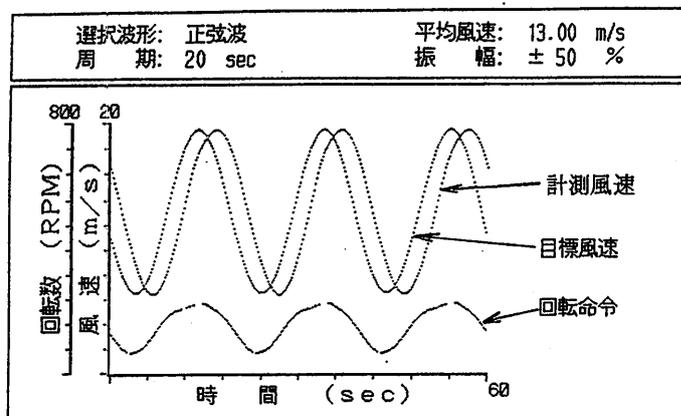
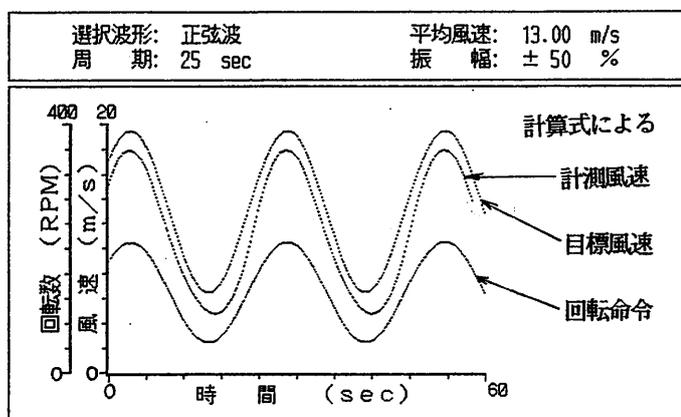


図23-b 発生させた正弦変動風の例(13m/s, 20s)

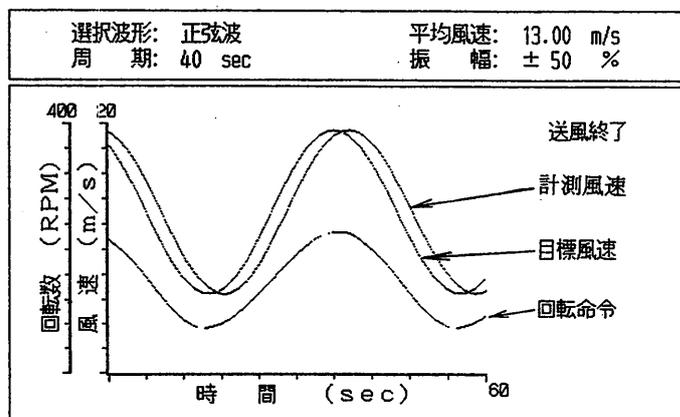
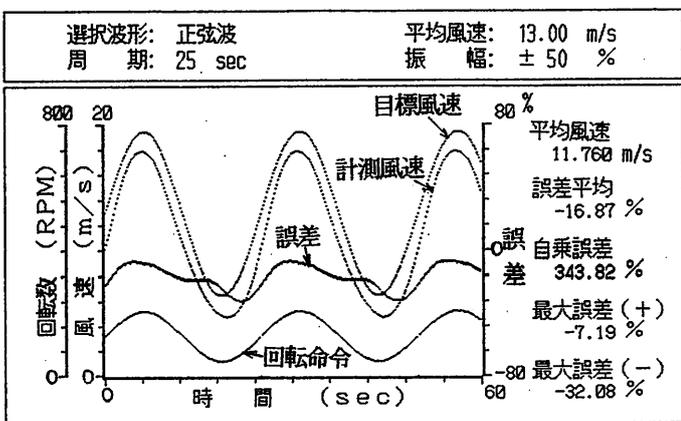


図23-c 発生させた正弦変動風の例(13m/s, 40s)

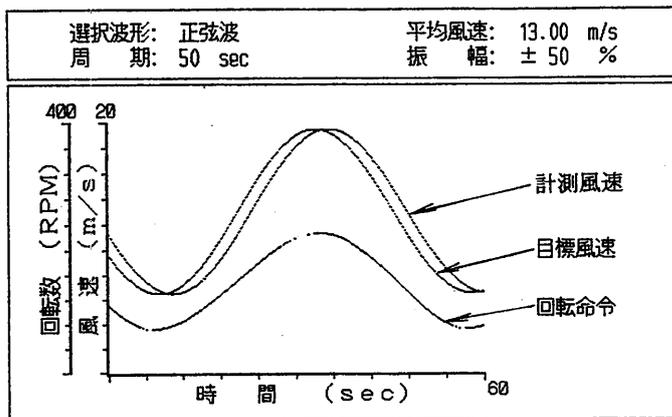
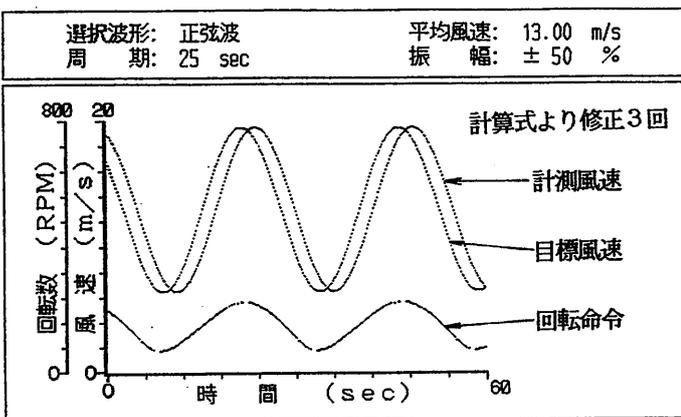


図23-a 発生させた正弦変動風の例(13m/s, 25s)

図23-d 発生させた正弦変動風の例(13m/s, 50s)

あってかなり難しい。

平均風速13m/s、振幅±50%の時、周期30s、50sの三角波変動風を発生させた場合をそれぞれ図23-i、jに、平均風速、振幅が同じで周期30s、50sの台形波変動風を図23-k、lに示す。図23-iの上図は計測した風速、下図は誤差解析した図を示す。これらの結果は風速が急激に変化する角部では本送風機系の慣性モーメントが大きいので回転数制御が

追従できず、風速が鈍り少し丸味を帯びているが、ほぼ満足できる三角波変動風及び台形波変動風を発生できることを示している。

平均風速13m/s、振幅±50%の変動風の時に、周期19sより短い周期では風速の急変する角部で送風機・電動機系のカップリングに異常音が発生するので、それらの変動風を発生させることは適当でないと考え、安全上から周期25s

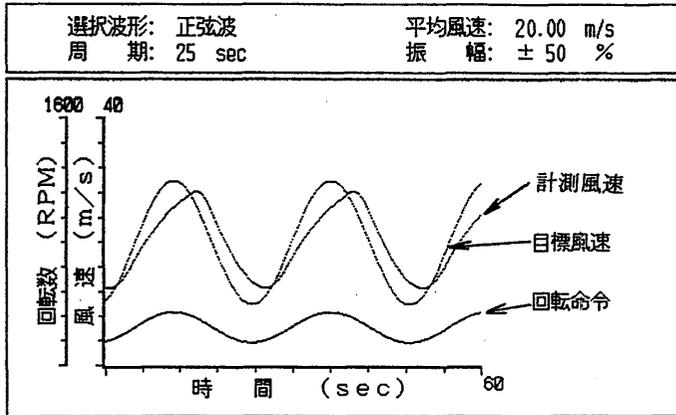


図23-e 発生させた正弦変動風の例 (20m/s, 25s)

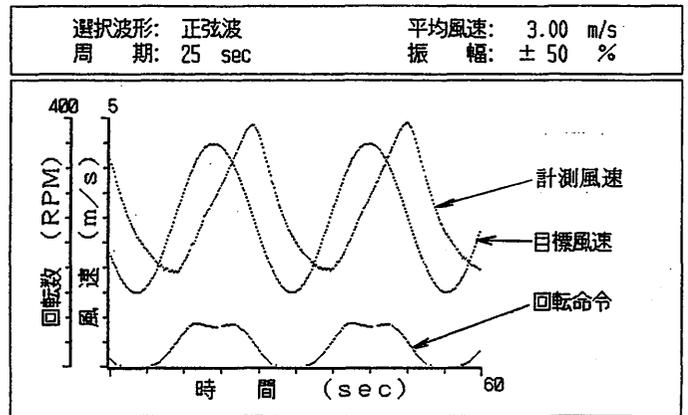


図23-h 発生させた正弦変動風の例 (3m/s, 25s)

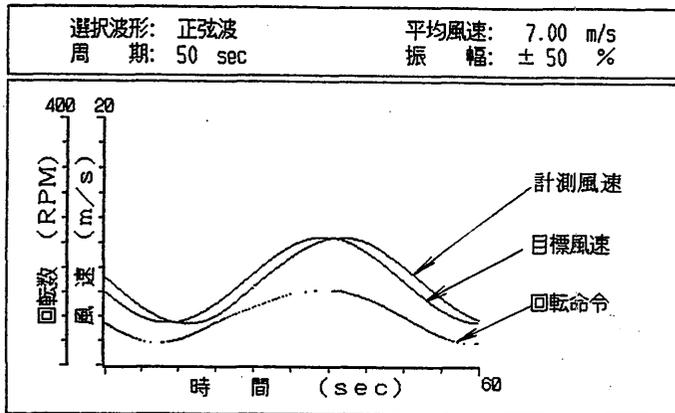


図23-f 発生させた正弦変動風の例 (7m/s, 50s)

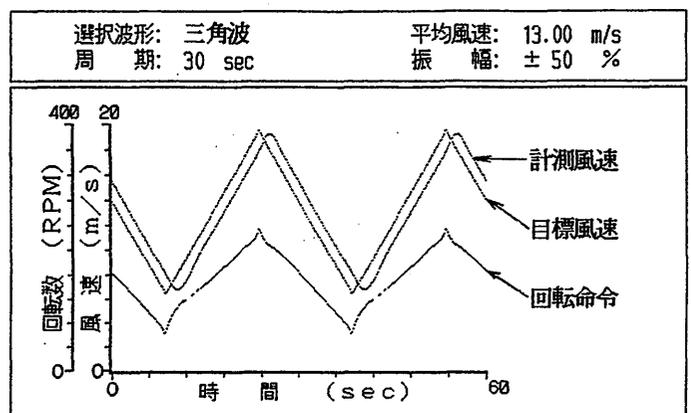


図23-g 発生させた正弦変動風の例 (5m/s, 25s)

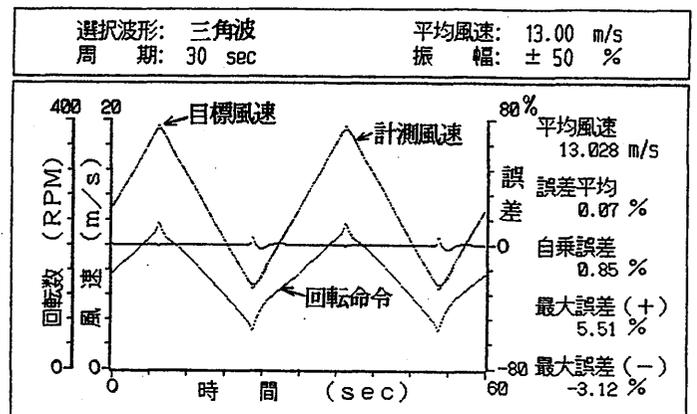


図23-i 発生させた三角波変動風の例 (13m/s, 30s)