

航技研突風風洞制御システムの改修

藤枝郭俊、藤田敏美、岩崎昭人（航空宇宙技術研究所）

Revitalization of the Control System for Gust Wind Tunnel in NAL

Hirotooshi Fujieda, Toshimi Fujita, Akihito Iwasaki (National Aerospace Laboratory)

概 要

航技研の突風風洞は昭和47年3月の完成以来、大型プロジェクトに関する開発研究から、その他基礎研究まで多くの風洞試験に利用されてきたが、老朽化が激しく、試験需要に十分応えられなくなってきた。そのため、平成10年度補正予算により風洞制御システムの改修を実施した。本報告は、その改修の概要について述べる。

1. はじめに

航技研突風風洞¹⁾は1972年3月に完成し、突風気流の発生できる国内外で唯一の風洞として、航空機が突風気流中に遭遇した場合の航空機の飛行運動、航空機に加わる加重及びその軽減対策などの研究に利用されてきた。また、本風洞は突風風洞としてではなく、一般的な乱れの小さい低速風洞としても使用することが可能である。本風洞の測定部寸法は、断面2m×2m(正方形)、長さ4mで、風洞規模が手頃な使い易い低速風洞として、プロジェクト開発研究から基礎研究まで様々な風洞試験に利用されてきた。しかし、その老朽化が激しく、特に風洞制御システムの電気設備関係は劣化が著しく、故障が頻発し、風洞試験予定を十分にこなせなくなってきた。その様な状況の下、平成10年度補正予算により本改修費用を獲得し、本風洞の制御システムの改修を実施することとなった。本報告では、主な改修点である制御システムと送風機軸受の改修の概要について述べる。

2. 改修の背景

本風洞は上述したように設置以来27年余を経過し、老朽化とシステムの陳腐化であるが、その背景を列挙すると次の通りである。
(1) 設備の老朽化、特に制御システムの劣化が激しく、不具合個所の増加、故障の頻発により風洞試験日程が十分消化できなくなってきたこと。

(2) 電動機及びその制御システム等の修理部品、代替え品が既に生産中止により入手不可能となり、修理期間の長期化とその経費が非常に嵩むこと。

(3) 風洞の制御が手動制御であり、設定風速の設定が熟練者でないと難しいこと。

(4) 風洞仕様性能を十分維持できないこと。

最近、当研究所も数年後に独立法人化されることがほぼ決まっている。その場合、本風洞が当研究所の共用設備の一つとして、風洞利用者に対するサービスの点から、上記2.による風洞の稼働停止期間の長期化は許されない。また、風洞運転、制御及び試験計測技術者の確保が難しくなってきたことから、風洞関係の従事者の一部が外部委託された場合、上記3の問題は解決しておかねばならない問題である。上記4.の風洞仕様性能の低下は、本風洞の利用範囲が狭くなるとともに、安全上の見地からも改修が必要となった。

3. 改修の主眼

2.で述べた背景から改修の主眼を以下の点においた。

- (1) 老朽化した諸設備の活性化
- (2) 風洞性能、機能の改善
- (3) 風洞制御性とその安全性の改善

4. 改修内容と改修の範囲

改修の内容は改修の主眼を基に検討し、そのために必要な改修すべき内容とその範囲を

決定した。この決定においては、言うまでもなく本改修が突風風洞の全面的な改修ではなく、制御システムを主体としたものであることと、改修予算上の制限がある。特に風洞性能の改善の一つとして、風洞試験風速の増大、即ち連続運転が可能な風洞風速を出来るだけ大きくすることを考えた。今回の改修では風洞胴体を改修することは予算的にも不可能であり、故に、風洞風路は既存のままで風速の増大を図る必要がある。このためには送風機回転数の増大は避けられない。そこで、先ず現状の送風機の強度上の制限値について予備検討を行った。下記は現状送風機の構造上問題となる諸値に関する風速 60m/s 時の値と構造上の制限風洞風速値の検討結果²⁾である。

○ 現状送風機の構造上の検討結果

(風速60 m/s 時の値と風洞風速の制限値)

①風量	240 m ³ /s
②有効全圧	75 mmAq
③回転数	475 rpm
④電動機出力	250 kw
⑤動翼部にかかる応力 $\sigma_s = 142\text{kgf/cm}^2$ 材質AC3A-F許容応力 $\sigma_{s\text{max}} = 280\text{kgf/cm}^2$ $\sigma_{s\text{max}}$ 時の風洞風速換算値 84 m/s	
⑦翼端周速度: $u_t = 88\text{ m/s}$ 許容周速度 $u_{t\text{max}} = 110(\text{max})\text{ m/s}$ $u_{t\text{max}}$ 時の風洞風速換算値 75 m/s	
⑧軸流速度: $V_a = 29\text{ m/s}$ 許容軸流速度 $V_{a\text{max}} = 35\text{ m/s}$ $V_{a\text{max}}$ 時の風洞風速換算値 71 m/s	

注：許容応力 $\sigma_{s\text{max}}$ 、許容周速度 $u_{t\text{max}}$ 及び許容軸流速度 $V_{a\text{max}}$ は、現状の送風機で許容できる値を示すもので、風洞風速換算値は、それらの値を風洞風速に換算したときの値、即ち現状の送風機構造で使用可能な風洞風速の最大値を示す値(制限値)である。

上記検討の結果、軸流速度の制限値が連続運転が可能な最大風速であることがわかる。現在の風洞性能仕様である風速値（連続運転可能な風速： $V \leq 50\text{ m/s}$ 最大風速： $V_{\text{max}} = 67\text{m/s}$ ）は、妥当な値であることがわかった。また、送風機の新規製作は予算的にも難しいことが判明した。この他、風洞風路が現

状のままで新規に製作した送風機の回転数増大を基本とする更新は、現状の良好な風洞気流特性に悪影響が出ることも懸念される。そこで、現状の送風機のままで、連続運転が可能な風洞風速を増大させることにした。検討の結果、軸受を現在のグリス潤滑方式から油浴潤滑方式とすることで、大幅な改修を行わずに最大風速を 60m/s まで増加させることが可能であることがわかった³⁾。この風速 60m/s は構造的な余裕を考慮すると適切な値と判断した。

これらの予備検討を参考に実施した改修内容とその範囲を以下に示す。

○ 改修内容

- (1) 送風機駆動用電動機を含む電気設備の更新又は改修
- (2) 連続運転が可能な最大風速の増加
- (3) 風洞制御システムのデジタル化及び制御の自動化

○ 改修の範囲

改修内容を実現するために実施した範囲を図 1 に示す。これらの改修部分を大別して記述すると以下となる。

(1.1) 一様流発生装置関係

- ・送風機駆動用電動機更新
- ・同上用制御装置更新
- ・電動機と送風機の軸受更新

(1.2) 突風発生装置関係

- ・突風発生用駆動翼列機構作動のための電気油圧アクチュエータ部センサー改修
- ・同上用油圧源更新

(1.3) 動力、電力配電盤関係

前述したように、この報告では一様流発生装置関係(1.1)の改修報告が主体であるので、その他の改修(1.2)(1.3)については報告を省略する。

5. 一様流発生装置関係ハードウェア

送風機駆動用電動機、制御装置及び軸受関係のハードウェアの概要を表 1 に示す。また、送風機をデジタル制御システムにより、風洞オペレータが自動制御又は手動制御等により操作を行う中央制御装置部のハードウェア概要を表 2 に示す。

6. 送風機制御システム

図2に送風機の制御システム構成図を示す。同図から解るように、本制御システムの基本は送風機駆動用電動機の回転数制御を行うものであり、指令値として回転数の値を入力し、その回転数を一定に保持するように制御するものである。

6. 1 制御システムの機能の概要

図2の制御システム構成図中に示す操作監視用計算機(表2参照)は、大別して試験画面とメーカ用メンテナンス画面がある。試験画面は、試験実行中必要に応じて随時切り換えられる画面であり、メーカ用メンテナンス画面は通常の運用時には用いられず、試験運転調整及び定期点検時等に用いられる画面である。又、副操作盤の監視用計算機には試験画面のみ使用する。これらの画面構成を図3-1に示す。画面は系統監視、運転操作、手動操作、警報ログ及びリアルタイムトレンドがある。各画面での主な機能を以下に記す。

(1) 試験画面の機能

①系統監視：図3-2(a)

- ・送風機回転数、圧力値(静圧、動圧)、風速、軸受温度、気流温度の表示、
- ・モータ冷却ファン動作状況、リミットスイッチ状態の表示
- ・選択カート種類(固定壁カート、突風カート、解放壁)の表示
- ・電流、電圧、周波数及びインバータ、コンバータの状態表示
- ・現在の制御方式(制御モード)及び設定値の表示
- ・各盤電源状態の表示

②運転操作：図3-2(b)

- ・制御方式(自動、手動)、制御モード(回転数制御、風速制御、動圧制御)の選択及び目標値の設定
- ・カート種類(固定壁カート、突風カート、解放壁)の選択
- ・送風機の起動/停止

③警報ログ：図3-2(c)左

- ・警報履歴一覧画面、警報復旧の状況確認

④手動操作：図3-2(d)

- ・回転数制御における回転数設定値の入力

- ・回転数制御：一定回転数から決められた回転数値だけ増減する制御

- ・設定回転数と現在の回転数を(バー・グラフ)で表示

(2) メーカ用メンテナンス画面

⑤リアルタイムトレンド：図3-2(e)

- ・運転データ(送風機回転数、風速及び動圧の各目標値と現在値)トレンド画面、各種制御パラメータ調整用

以上の他、ポップアップ画面に関する機能の概要を図3-3に示す。

6. 2 主な機能の詳細

(1) 操作権

回転数指令値を入力する操作場所は機側操作(電気室、図1参照)と中央操作装置(主操作盤、副操作盤)に大別される。送風機制御装置の電源関係は電気室内にある。しかし、機側操作での運転操作は保守点検、修理や異常があった場合等以外には行わないので、これらのスイッチ類は、通常中央制御装置の主操作盤上でON-OFFが出来るようになっている。ただし、機側操作盤の「LOCAL」と「REMOTE」のスイッチは、操作権を選択するスイッチで、「LOCAL」は機側装置側に、「REMOTE」は中央制御装置側に操作権を移すもので、このスイッチが「REMOTE」になっていない限り、中央制御装置側で送風機制御はできない。故に、本スイッチは通常は必ず「REMOTE」にしておく必要がある。

中央制御装置側には操作場所が、主操作盤と副操作盤の2ヶ所ある。この操作権の選択は、いづれからでも操作権を移しかえる事が出来る(但し、送風機が停止中において)。

2) 制御方式

手動制御方式と自動制御方式がある。手動方式とは回転数制御を行う方式である。前述したように本制御システムは回転数を一定にする制御方式であるので、風洞内で負荷が増減(例えば、試験模型の迎角の変化)により、回転数が減増した場合、回転数を一定に保持するよう自動的に制御される。

「機側操作盤」では、特に制御方式の選択はなく、指令値として回転数を入力し、一定の回転数に設定する回転数制御のみである。

「中央制御装置操作盤(主操作盤、副操作盤)」では、手動制御方式か自動制御方式か、いづれかを選択できるとともに、手動制御と自動制御の切り替えは途中からでも自由に切り替えることができる。

この手動制御方式では、目標とする回転数値を入力し、その回転数にする機能と、現在作動している回転数から、一定の回転数分だけ増速、又は減速させる機能がある。増減速させる回転数値は 12 種類(0.3rpm 増と減、0.7rpm 増と減、3.5rpm 増と減、7.0rpm 増と減 35rpm 増と減、70rpm 増と減)あり、操作盤の各テンキーに対応している。故に、テンキーを 1 回押す毎に、そのテンキーに対応して決められた回転数値だけ現在の回転数から増速、又は減速する。この操作は繰り返し行うことができる。

自動制御方式には 3 つの制御モードを選択することができる。即ち、回転数制御モード、風速制御モード及び動圧制御モードである。

この中、「回転数制御モード」は、手動制御と基本的に同じで、設定回転数値を入力すると、その回転数で一定に運転する機能を有する。

「風速制御モード」と「動圧制御モード」は、指令値としてテンキーから目標風速値、または目標動圧値を入力することにより、その目標風速、又は目標動圧を一定に保持するように送風機の回転数を制御する方法である。図 4、図 5 は各制御モード方法を示したものである。

この 2 つの制御モードは、いづれの場合も、風速と送風機回転数、又は動圧と送風機回転数の関係を利用し、それを基に送風機回転数を制御するものである。しかし、これらの関係は風洞測定部の条件により異なる。測定部の条件には、(1)測定部の種類(固定壁カート、解放型及び突風カート)、(2)模型の種類、その模型の姿勢角等及び(3)風洞内の気流温度、静圧等がある。

そこで、図 4、5 に示すように模型の無い状態で、測定部の種類毎に予め試験をして両者の関係を求めておき、それを基に回転数を計算し、その回転数を初期入力値として与える。以後、一定時間後、動圧値、気流温度、

静圧等を計測し、風速値を求め、その値と送風機回転数から試験状態での両者の関係を求め、それを基に目標回転数を計算し、新たな送風機回転数指令値入力とする。この動作を一定の時間(回転数整定後)毎に繰り返すことにより送風機制御を行う。

また、各制御モードで目標値に達すれば、その回転数で固定するロック機能も有する。このロック機能は、操作盤上の制御ロックボタンを 1 回押す毎に同機能の作動と解除を交互に行う。このロック機能を利用すると、データ計測中の送風機回転数を一定に保持できる、即ち計測中の気流条件を一定に保持できるので有効である。

尚、風洞制御パラメータの設定値に関する諸値を下記に示す。

○風洞制御パラメータ諸値に関する設定値

①送風機駆動用電動機の加減速時間の設定値

- ・加減速時間共: $0 \leftrightarrow \text{TOP}$ 120 sec

②設定値に対する整定条件

- ・回転数制御時: 偏差が $\pm 1\text{rpm}$ 以内を
連続 3 秒以上維持
- ・風速制御時 : 偏差が $\pm 0.1\text{m/s}$ 以内を
連続 3 秒以上維持
- ・動圧制御時 : 偏差が $\pm 10\text{Pa}$ 以内を
連続 3 秒以上維持

③風洞制御時の風速及び動圧のサンプリング周期

- ・何れの制御時も、設定値を変更し電動機回転数が変動した後、インバータ内回路にて回転数アンサーバック信号が設定回転数に到達してから 20 秒毎に風速及び動圧アンサー信号をサンプリングする。

7. 改修後軸受特性

軸受は送風機側と電動機側にあるが、温度上昇が大きいのは送風機側である。図 6 は改修前後の送風機軸受部の温度特性を示す。同図に見られるように、改修前は送風機運転時間に対し温度上昇が早く、かつ軸受温度上昇限度が 55°C (通常の設定は温度余裕みて 52°C と設定されている)と改修後の油浴式軸受の上昇限度 80°C に比べかなり低い。本確認試

験は実施時期が冬期のため外気温 8°C と低いので、風速 50m/s で1時間以上運転可能であるが、夏場の外気温度が 30° 近くなると、連続運転時間は非常に短く(30分程度)なることがわかる。今回の改修により、風速 60m/s で季節に関わらず常に長時間の連続運転が可能となった。

8. むすび

本改修によって、改善された点をまとめると次の通りである。

1) 風洞制御をデジタル制御による自動制御方式と手動制御方式の選択及び自動制御から手動制御への切り替えも自由に行えるようになった。更に、自動制御方式では、三つの制御モード(風速制御モード、動圧制御モード及び回転数制御モード)の中から選択可能となった。このことにより、風洞制御性が大幅に改善され、風洞試験で要求される試験条件の設定が精度良く、かつ容易に行えるようになった。

2) 送風機側及び電動機側の軸受が従来のグリス潤滑方式から油浴潤滑方式に改修し、連続運転が可能な最大風速を 60m/s に増大させた。

3) 老朽化した電気設備の更新と上記1)2)の改善により、風洞故障が無くなったこと、風洞試験範囲が広がったこと、風洞運転が容易になったことにより、風洞試験の安全性と試験効率が改善された。

最後に、本改修工事实施に当たり、本工事の請負会社である三菱重工業株式会社の神戸造船所、名古屋航空宇宙システム製作所、電動機関係では安川電機株式会社、突風発生用制御装置関係では共和電業株式会社の各担当者に感謝の意を表したい。そして、本改修実現のために尽力された本研究所内外の関係者の方々に御礼を申し上げる。

参考文献

1) 廣末健一、北村清美、村上義隆、進藤重美「航空宇宙技術研究所突風風洞の計画と整備試験」：航空宇宙技術研究所報告、TR-335, 1973年9月

2) MHI 技術検討資料：打ち合わせ資料、

添付資料2、RTF-139、1998年

3) MHI 技術検討資料、送風機軸受の温度上昇検討書、RTS-8240, 1998年

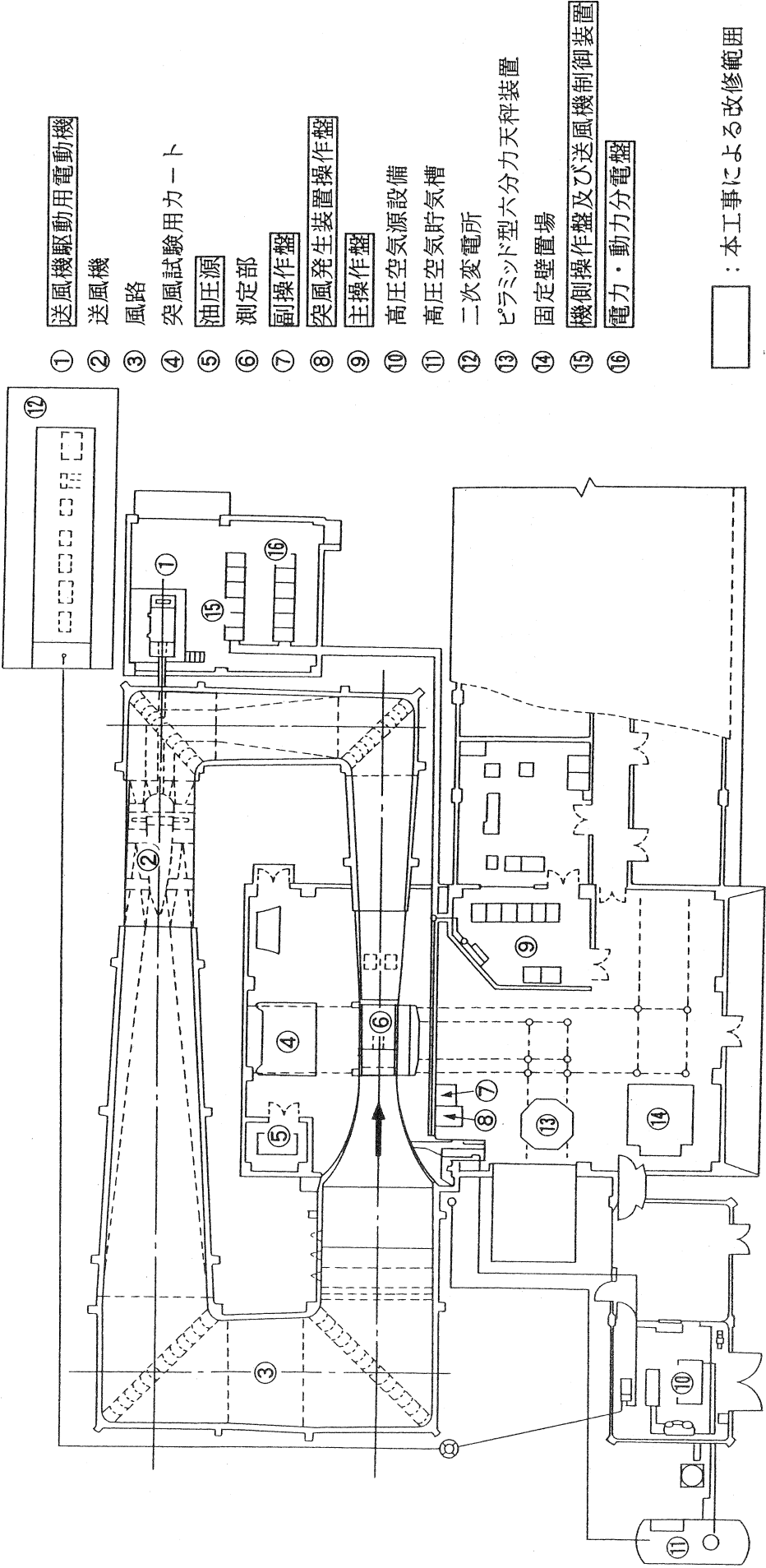


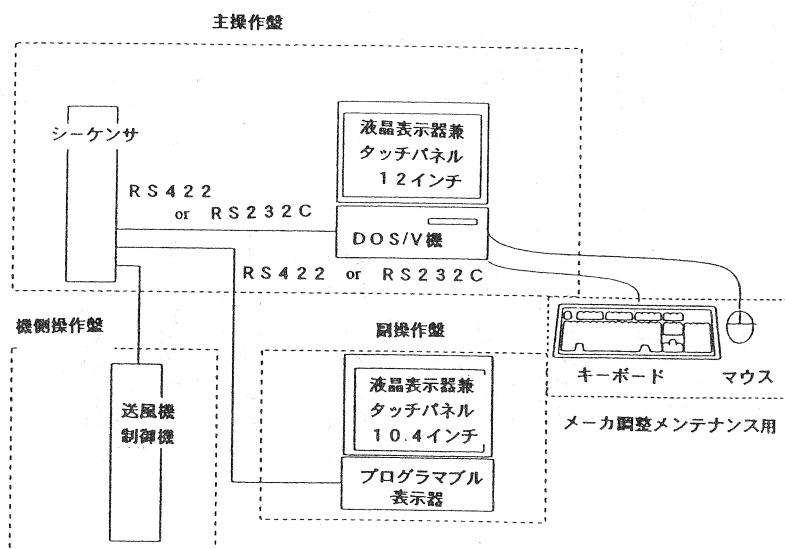
図1 突風風洞全体図

表1 送風機制御部及び軸受ハードウェア概要

機器名称	数量	項 目	仕 様
送風機駆動用 電動機	1式	形 式 定 格 出 力 最大回転数 付 属 品	閉他力通風型電動機 (三相籠型誘導電動機) AC 440 V、250 Kw 475 rpm 回転数検出器(PLG)
油浴式軸受 (送風機側)	1式	構 造 潤 滑 方 式 使用回転数	一体型ブラッパロック 油浴潤滑式 5 ~ 475 rpm
油浴式軸受 (電動機側)	1式	構 造 潤 滑 方 式 使用回転数	一体型ブラッパロック 油浴潤滑式 5 ~ 475 rpm
送風機制御装置 (電源引込補助盤 ACリファレンス盤 コンバータ盤 インバータ盤 PLG・PLC制御盤)	1式	電 源 電 圧 制 御 方 式 回転数制御範囲 回転数制御精度	440 V、50 Hz ベクトルインバータ方式 5 ~ 475 rpm 0.1% FS 以内

表2 中央制御装置部ハードウェア概要

装置名	主操作盤	副操作盤
計算機本体	機 種: PC/AT互換機 CPU: Pentium166MHz相当 RAM: 64MB相当 HD : 1GB以上 OS : WindowsNT 付属品: マウス、キーボード 3.5" FDD	機 種: プログラマブル表示器 メモリ: 1MB(フラッシュROM) 増設メモリ: 4MB
液晶表示器	TFT液晶 12インチ SVGA対応(800X600ピクセル) タッチパネル機能付き	TFT液晶 10.4インチ VGA対応(640X480ピクセル) タッチパネル機能付き
通信機器	最高速度 19200bps RS422 or RS232C接続	RS422orRS232C接続



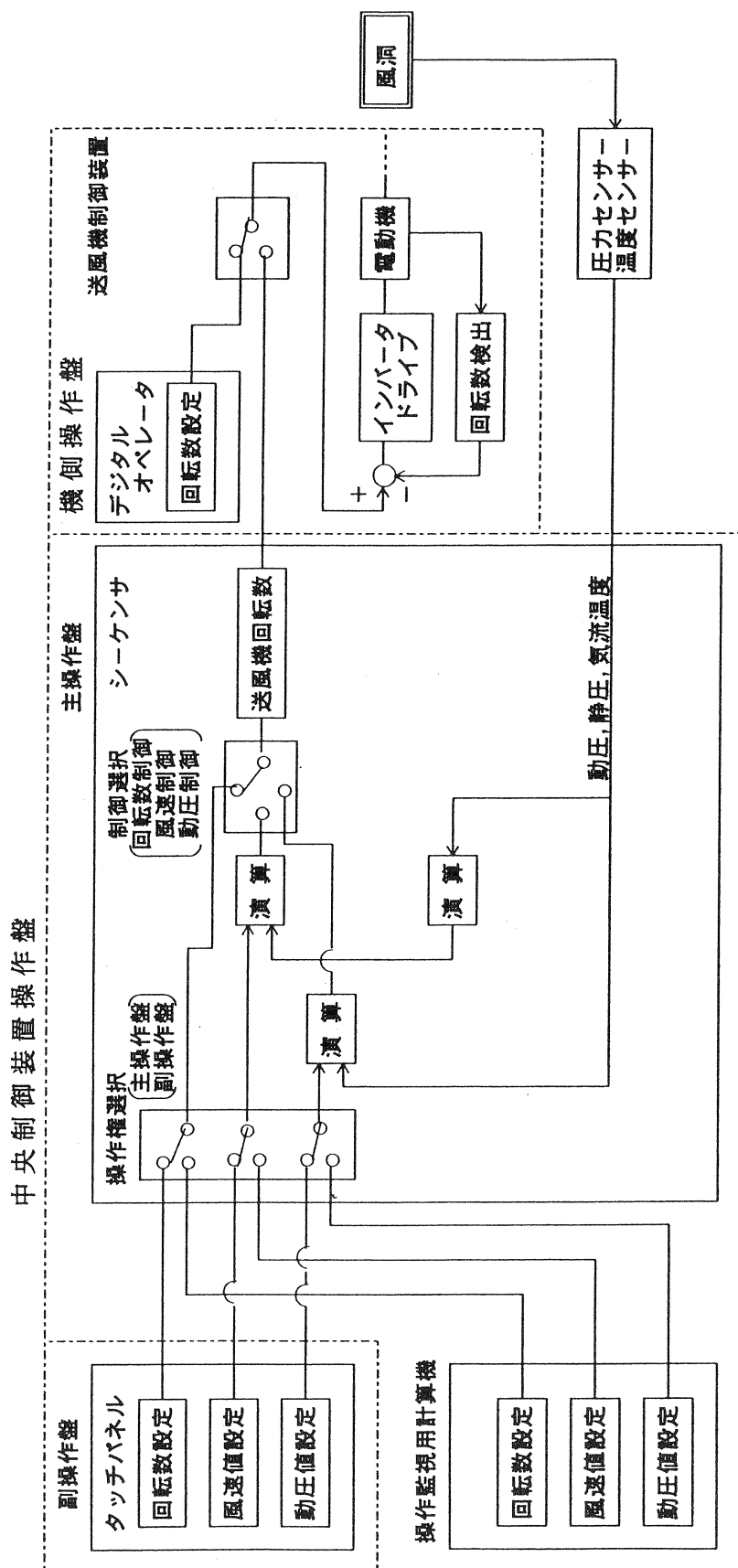


図 2 制御システム構成図

注1：①、②、③、④の画面の機能は主／副操作盤にあるが、⑤の画面の機能はメーカーのメンテナンス用で、主操作盤のみにある。

注2：矢印は画面の切り替わる順序を示す。

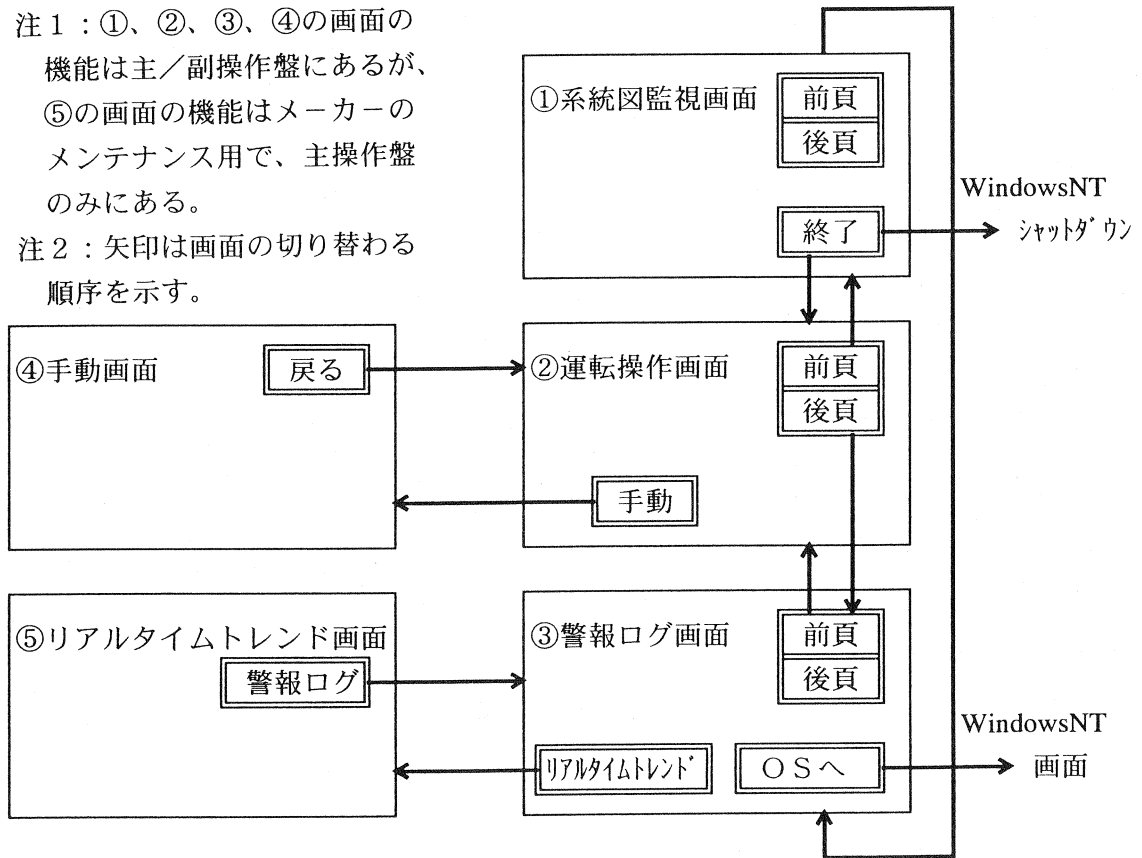
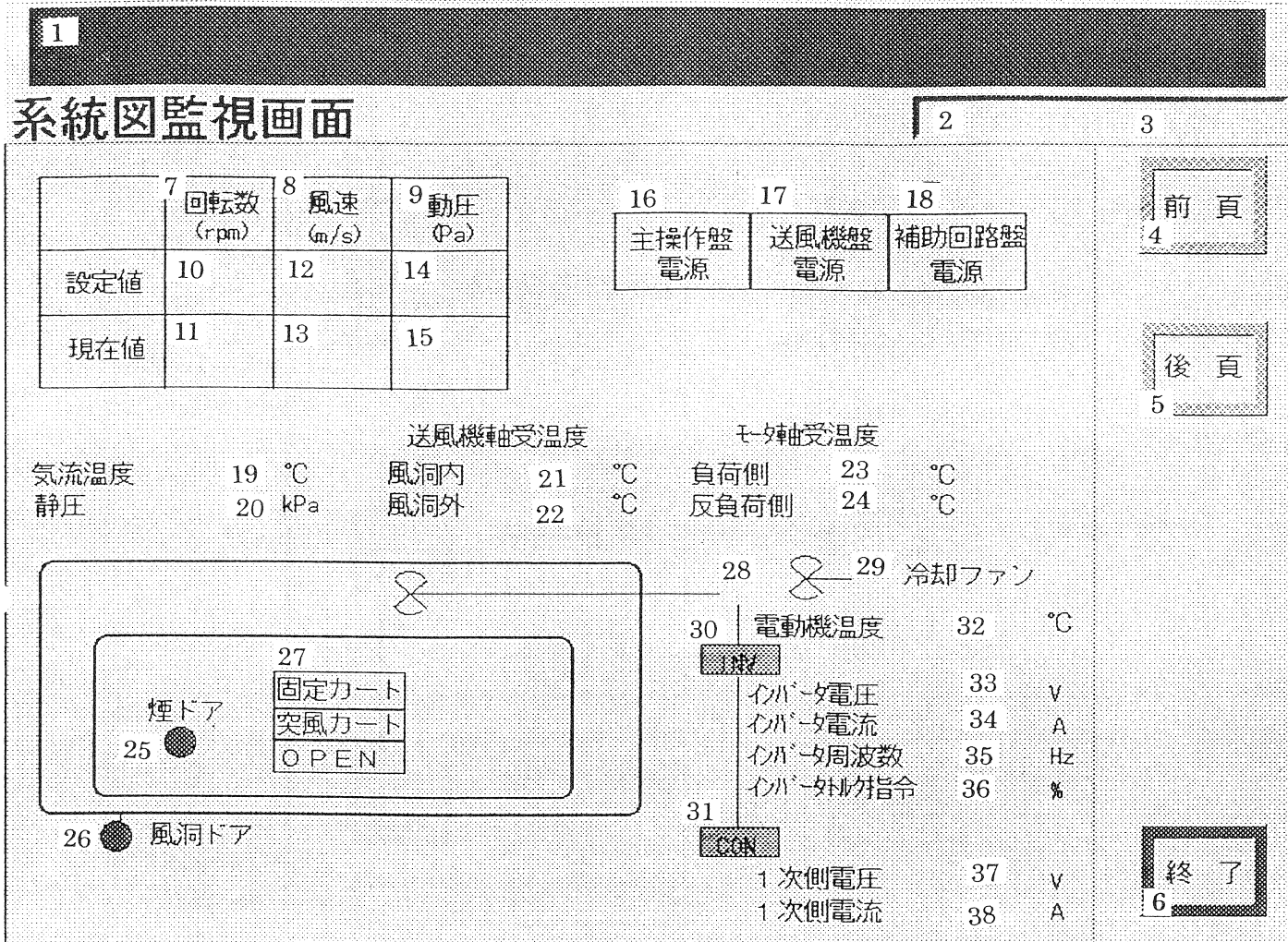


図3-1 画面構成



系統監視画面の動作説明

No	動 作	No	動 作
1	現在発生中の警報メッセージを5秒毎に表示	21	送風機軸受温度(風洞内)の表示
2	現在の年月日を表示	22	送風機軸受温度(風洞外)の表示
3	現在時刻の表示	23	モータ軸受温度(負荷側)の表示
4	警報ログ画面に切り替え	24	モータ軸受温度(反負荷側)の表示
5	運転操作画面に切り替え	25	煙ドアのLS状態を表示、ドア閉：緑、ドア開：赤
6	OSのシャットダウン	26	風洞ドアのLS状態を表示。全ドア閉：緑、一つでも開：赤
7	制御方式として、回転数制御選択時に点灯	27	運転操作画面で現在選択されているカート種を点灯表示
8	制御方式として、風速制御選択時に点灯	28	送風機用電動機の状態を表示する。 起動時：赤、停止時：緑、故障時：紫
9	制御方式として、動圧制御選択時に点灯	29	電動機冷却用ファンの状態を表示する。 起動時：赤、停止時：緑、故障時：紫
10	回転数制御時の設定値の表示	30	インバータの状態を表示。起動時：赤、停止時：緑、故障時：紫
11	回転数の現在値の表示	31	インバータの状態を表示。起動時：赤、停止時：緑、故障時：紫
12	風速制御時の設定値の表示	32	電動機温度の表示
13	風速の現在値の表示	33	インバータ電圧の表示
14	動圧制御時の設定値の表示	34	インバータ電流の表示
15	動圧の現在値の表示	35	インバータ周波数の表示
16	主操作盤の電源確立時に点灯	36	インバータトルク指令の表示
17	機側送風機制御装置の電源確立時に点灯	37	電源引込補助盤の1次電圧の表示
18	補助回路盤の電源確立時に点灯	38	電源引込補助盤の1次電流の表示
19	現在の気流温度の表示(計測装置のデータ)		
20	現在の静圧の表示(計測装置データ)		

注：21～24、32～38の表示値左横に設けたボックスは温度上昇等の設定値を越えるとボックスの赤色表示を行います。

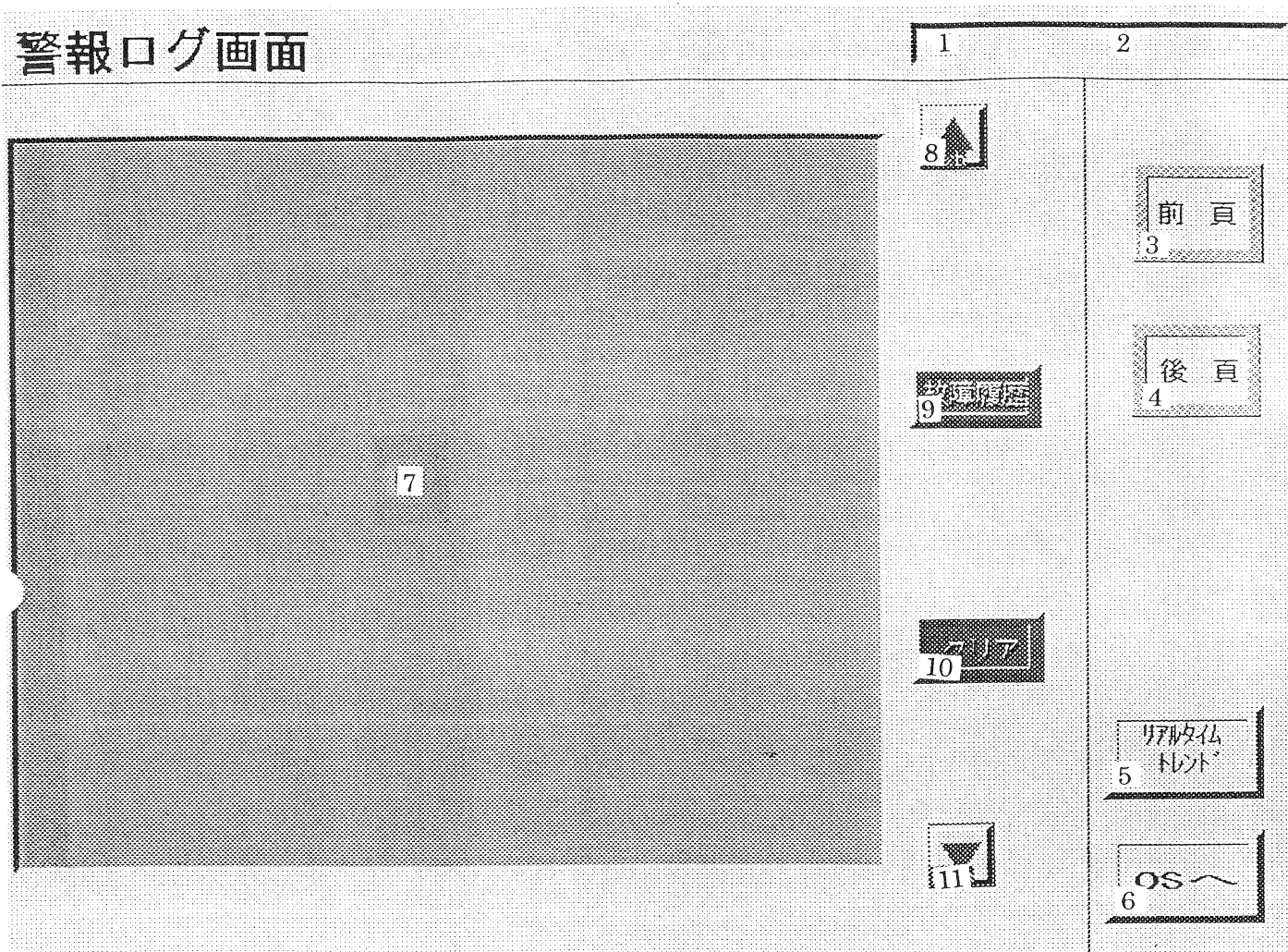
図3-2(a) 系統監視画面

1						2	3
カート選択	10 送風機操作	回転数制御	風速制御	動圧制御	送風機制御		前 頁 4
6 固定カート	11 起 動	14 回転数制御	18 風速制御	21 動圧制御	24 制御開始		
7 突風カート	12 操作可	15 rpm	19 m/s	22 Pa	25 回転数一致		
8 OPEN	13 止	16 rpm	20 m/s	23 Pa	26 制御ロック		後 頁 5
ピット係数 9		17 手 動					

運転操作画面の動作説明

No	動 作	No	動 作
1	現在発生中の警報メッセージを5秒毎に表示	16	回転数の現在値の表示
2	現在の年月日を表示	17	手動操作画面に切り替え
3	現在時刻の表示	18	制御方式として、風速制御を選択
4	系統監視画面に切り替え	19	風速制御の設定値を表示。タッチすることで10キがポップアップし、風速設定値の入力が可能。但し、24スイッチを押す迄は実際の制御目標値にはならない。
5	警報ログ画面に切り替え	20	風速の現在値の表示
6	自動制御時の制御定数を固定カート用制御定数に設定	21	制御方式として、動圧制御を選択
7	自動制御時の制御定数を突風カート用制御定数に設定	22	動圧制御の設定値を表示。タッチすることで10キがポップアップし、動圧設定値の入力が可能。但し、24スイッチを押す迄は実際の制御目標値にはならない。
8	自動制御時の制御定数を開放カート用制御定数に設定	23	動圧の現在値の表示
9	現在設定されているピット係数を表示。タッチすることにより、10キがポップアップしピット係数の入力が可能	24	スイッチを押すことにより設定値に基づき制御を開始。制御動作中は点灯し、整定後点滅する。
10	11,13スイッチを押す前に必ず押すキ(誤操作防止用)	25	設定値と現在値の誤差が小さく、かつ回転数指令と回転数現在値との誤差が小さい場合の点灯
11	10,12が点灯状態で押すことにより、電動機起動	26	現在の回転数指令値でロックする。
12	電動機起動条件の成立時に点灯 タッチすることで起動条件詳細を表示		
13	10が点灯状態で押すことにより、電動機停止		
14	制御方式として、回転数制御を選択		
15	回転数制御の設定値を表示。タッチすることで10キがポップアップし、回転数設定値の入力が可能。但し、24スイッチを押す迄は実際の制御目標値にはならない。		

図3-2(b) 運転操作画面

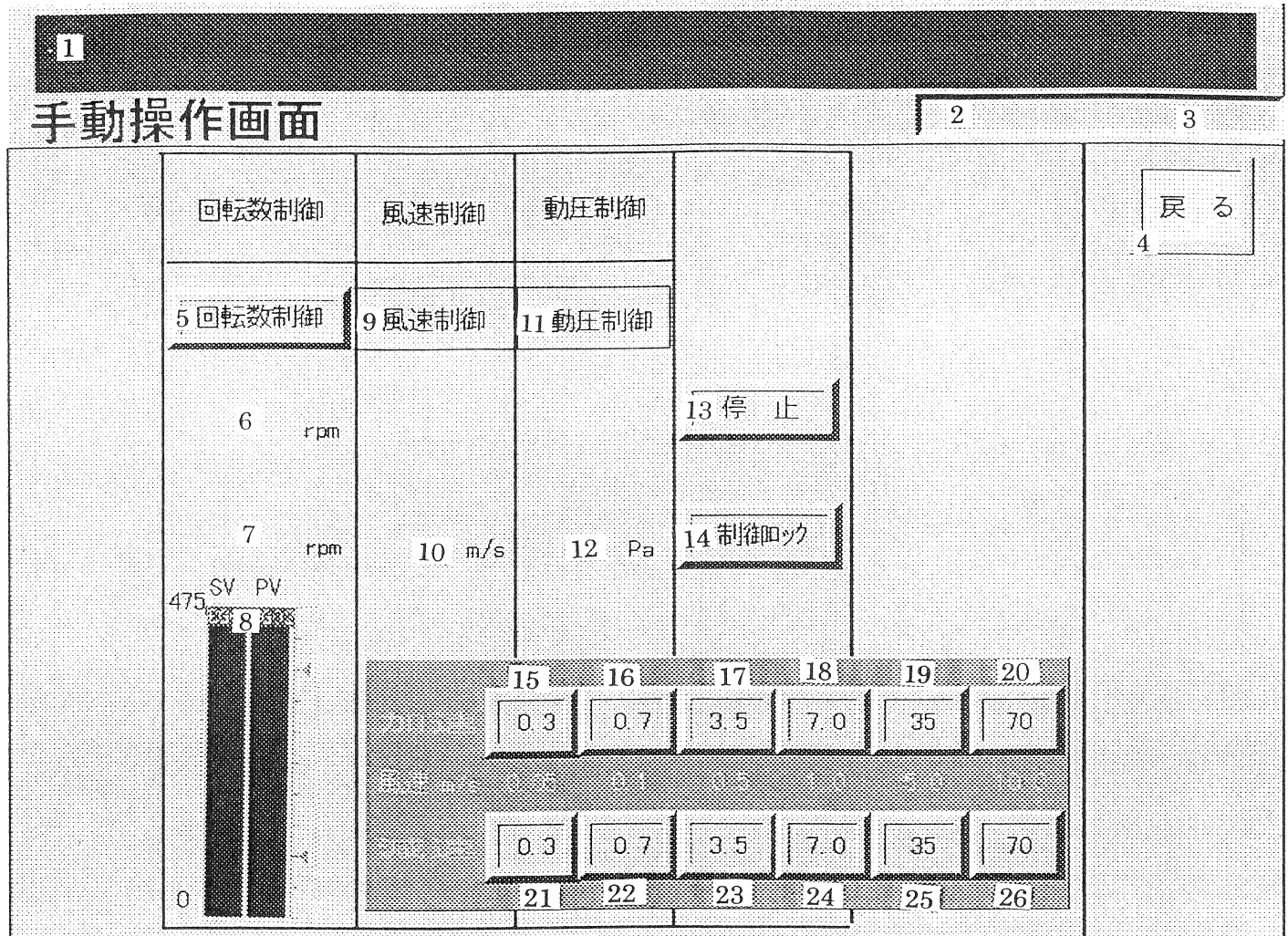


警報ログ画面の動作説明

No	動 作
1	現在の年月日を表示
2	現在の時刻を表示
3	運転操作画面に切り替え
4	系統監視画面に切り替え
5	リアルタイムトレンド画面に切り替え
6	OS (WindowsNT) に抜ける。 通常操作では OS に抜ける必要なし。 OS から再びこの画面に戻るには、OS 画面右下の PD と書かれたスイッチを押すか、FCR.exe を起動すること
7	警報一覧表エリア
8	警報一覧表エリアに表示しきれない場合にスクロールする
9	警報一覧表エリアに警報を表示させるスイッチ 主操作盤起動後、一度押すと確認作業できる。
10	警報一覧表エリア上で発報、復帰したメッセージを消去し、現在発生している警報のみ表示させるスイッチ
11	警報一覧表エリアに表示しきれない場合にスクロールする。

注 上記は主操作盤で、副操作盤 6 スwitch (OS へ) が無く、ブザー-停止、警報リセット、ランプテストスイッチを配置している。その機能は主操作盤面上のスイッチと同じである。

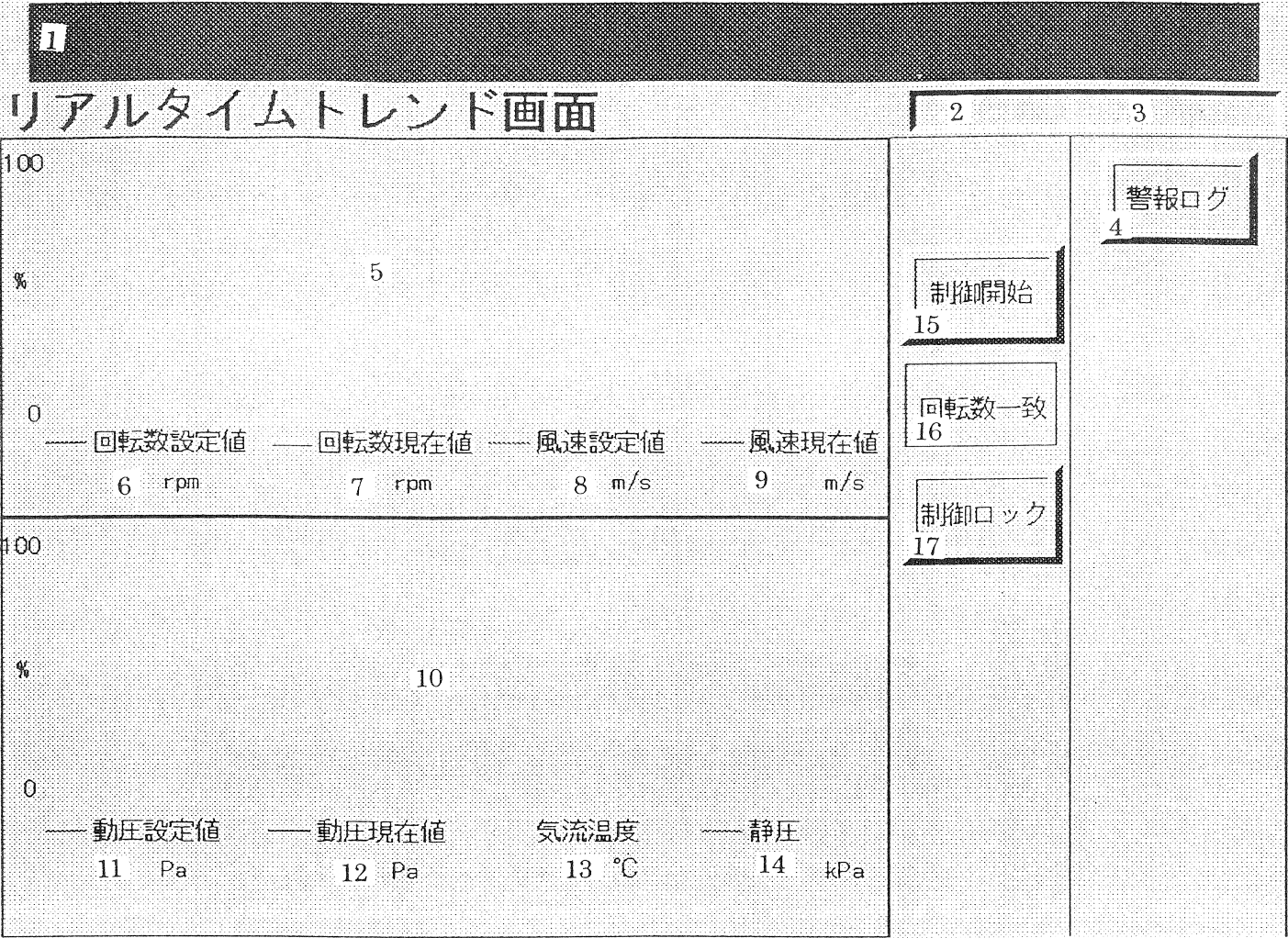
図3-2(c) 警報ログ画面



手動操作画面の動作説明

No	動作	No	動作
1	現在発生中の警報メッセージを5秒毎に表示	12	動圧の現在値の表示
2	現在の年月日を表示	13	電動機の停止
3	現在時刻の表示	14	現在の回転数指令値でロック
4	運転操作画面に切り替え	15	回転数設定値を0.3rpm増加し,回転数制御を行う。
5	制御方式として、回転数制御を選択	16	回転数設定値を0.7rpm増加し,回転数制御を行う。
6	回転数制御の設定値を表示。タッチすることで10キがホップアップし、回転数設定値の入力が可能。但し、24スイッチを押す迄は実際の制御目標値にはならない。	17	回転数設定値を3.5rpm増加し,回転数制御を行う。
7	回転数の現在値を表示	18	回転数設定値を7.0rpm増加し,回転数制御を行う。
8	回転数の設定値と現在値をバーグラフで表示 左側SVが設定値、右側PVが現在値	19	回転数設定値を35rpm増加し,回転数制御を行う。
9	選択されている制御方式が風速制御時に点灯。 タッチしても風速制御を選択することは出来ない。	20	回転数設定値を70rpm増加し,回転数制御を行う。
10	風速の現在値を表示	21	回転数設定値を0.3rpm減少し,回転数制御を行う。
11	選択されている制御方式が動圧制御時に点灯 タッチしても風速制御を選択することは出来ない。	22	回転数設定値を0.7rpm減少し,回転数制御を行う。
		23	回転数設定値を3.5rpm減少し,回転数制御を行う。
		24	回転数設定値を7.0rpm減少し,回転数制御を行う。
		25	回転数設定値を35rpm減少し,回転数制御を行う。
		26	回転数設定値を70rpm減少し,回転数制御を行う。

図3-2(d) 手動操作画面



リアルタイムトレンド画面の動作説明

No	動 作
1	現在発生中の警報メッセージを5秒毎に表示
2	現在の年月日を表示
3	現在の時刻を表示
4	警報ログ画面に切り替え
5	トレンドグラフ表示エリア
6	回転数制御の設定値を表示
7	回転数の現在値を表示
8	風速制御の設定値を表示
9	風速の現在値を表示
10	トレンドグラフ表示エリア
11	動圧制御の設定値の表示
12	動圧の現在値の表示
13	気流温度の現在値の表示
14	静圧の現在値の表示
15	入力された設定値に基づいて制御を開始。 制御動作中は点灯し、整定後点滅する。
16	設定値と現在値の誤差が小さく、かつ回転数指令と 回転数現在値との誤差が小さい場合の点灯
17	現在の回転数指令値でロックする。

注 トレンドグラフの縦軸は下記の通り
回転数の現在値と設定値：0～475 rpm
動圧の現在値と設定値：0～100 torr
風速の現在値と設定値：0～65 m/s
静圧：0～1000 torr、気流温度：0～100 °C

図3-2(e) リアルタイムトレンド

○ポップアップ画面の動作説明

ポップアップ画面は2種類あり、一つは運転操作画面の起動条件表示ウインドウであり、もう一つは数値入力用10キーである。

運転操作画面上の起動条件表示ウインドウの動作説明

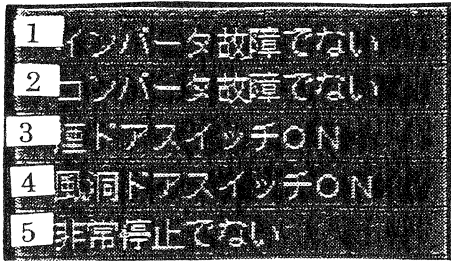
No	動作
1	インバータ故障信号が無い場合に点灯
2	コンバータ故障信号が無い場合に点灯
3	煙ドアが閉の場合に点灯
4	風洞ドアが全て閉の場合に点灯
5	非常停止信号が発生していない場合に点灯

注 ポップアップした起動条件表示ウインドウはウインドウ自体にタッチすることで消去される。
副操作盤タッチパネルでは、ポップアップした起動条件表示ウインドウを消去するにはウインドウ左上隅を押すこと。

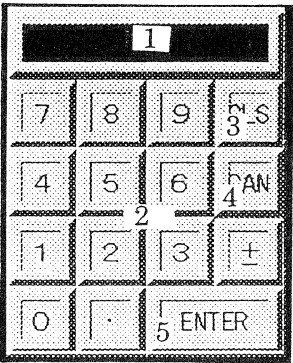
数値入力用10キーの動作説明

No	動作
1	入力された値を表示
2	値を入力
3	値をクリア
4	10キーを消去
5	入力された値を設定値とし、10キーを消去

注 ポップアップした起動条件表示ウインドウはウインドウ自体にタッチすることで消去される。
副操作盤タッチパネルでは、数値入力前に一度ENTをタッチし数値入力、再度ENTをタッチする。
ポップアップした10キーを消去するには10キー左上隅を押すこと。



起動条件表示ウインドウ



数値入力用10キー

図3-3 ポップアップ画面

「動圧制御モード」

動圧値と電動機回転数の関係（下式（a））を用いて、動圧値を電動機回転数に置き換えて動圧を自動的に制御する方法である。

動圧値 q と送風機回転数 n の関係

$$n = \sqrt{I \times q} \quad \dots \dots \dots (a)$$

$$\text{又は } I = (n)^2 / q$$

但し、 I は風路の損失、温度、大気圧により定まる定数で下式による。

$$I = (2 \text{ g Nm}^2 \times A^2) / (\gamma \text{ Qm}^2)$$

Nm : 最大風速時の送風機回転数 (r p m)

A : 吹口断面積

γ : 空気の比重 (kg/m^3)

Qm : 最大風量 (m^3/s)

「設定手順」

①目標動圧値 q_s より、(a)式の関係を用い、送風機回転数初期値 (n') を求め、電動機制御系に初期信号として与える。

但し、(a)式の I は各測定カート(固定壁カート、突風カート及び解放壁)毎に模型無し状態で予め試験により求めておいた値 I' (下図参照)を用いる。

②回転数 n' で運転し、一定の時間後、動圧、他を測定し、動圧測定値 q とその時の回転数 n' から、(a)式の関係により、試験時模型あり状態の I (下図参照)を得る。

その I と目標値 q_s から、 n (下図参照)を計算し、新しい回転数指令値とする。

③その後、②を繰り返す。

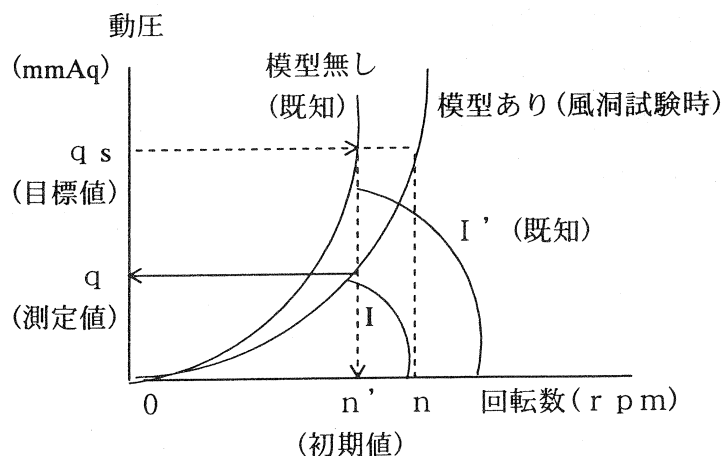


図4 動圧制御モードの制御方法

「風速制御モード」

目標風速値をキーボードから入力し、その風速と電動機回転数との比例係数を利用し、目標風速を得る電動機回転数を算出し、その値を電動機の回転数制御系に信号として与え、風速を自動的に設定する方式である（図2参照）。

「設定手順」

- ①目標風速値 V_s より、電動機回転数を下式(c)から算出し、その値を電動機回転数初期値として制御系に指令値として与える。

$$n' = V_s / k' \quad \dots\dots\dots (c)$$

風速設定目標値 V_s

電動機初期指令値 n'

風速値と電動機回転数の比例係数： k' （既知）

但し、 k' は予め、各測定部カート（固定壁カート、突風カート及び解放壁）毎に、模型の無い状態で、風洞運転試験を行い求めた値。

- ②回転数 n' で運転し、一定の時間後、動圧と気流温度を測定し、下式(d)より風速測定値 V を求め、その時の回転数 n' とにより、(c) 式の関係を利用し、新しい風速値と回転数の比例係数 k を求める（この値が実際の試験時の模型ありの状態での比例係数である）。

この k と目標風速値から新しく電動機回転数 n を求め、この値を指令値とする。

$$V = \alpha \times \sqrt{2g \times q / \gamma} \quad \dots\dots\dots (d)$$

但し、 V ：風速測定値（m/s）

g ：重力加速度（9.8 m/s²）

q ：動圧測定値（mmAq）

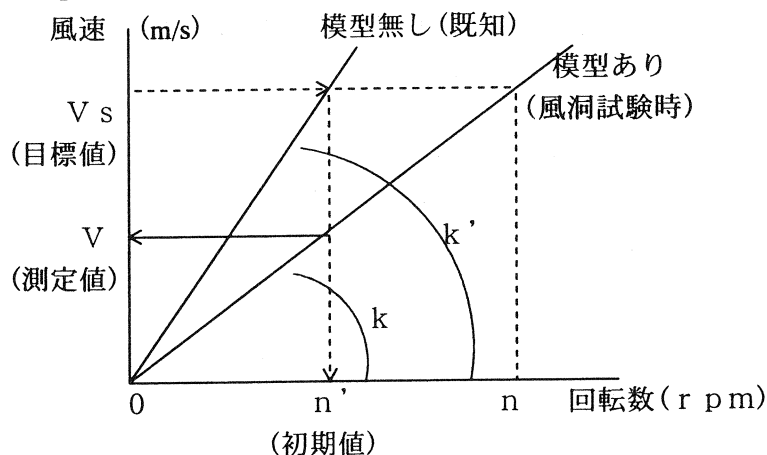
α ：ピトー管速度係数

T ：気流温度（°C）

P ：静圧測定値（mmHg）

γ ：空気比重（kg/m³）

$$\gamma = 1.293 \times [273.16 / (273.16 + T)] \times (P / 760.0)$$



- ③その後、②を繰り返す。

図5 風速制御モードの制御方法

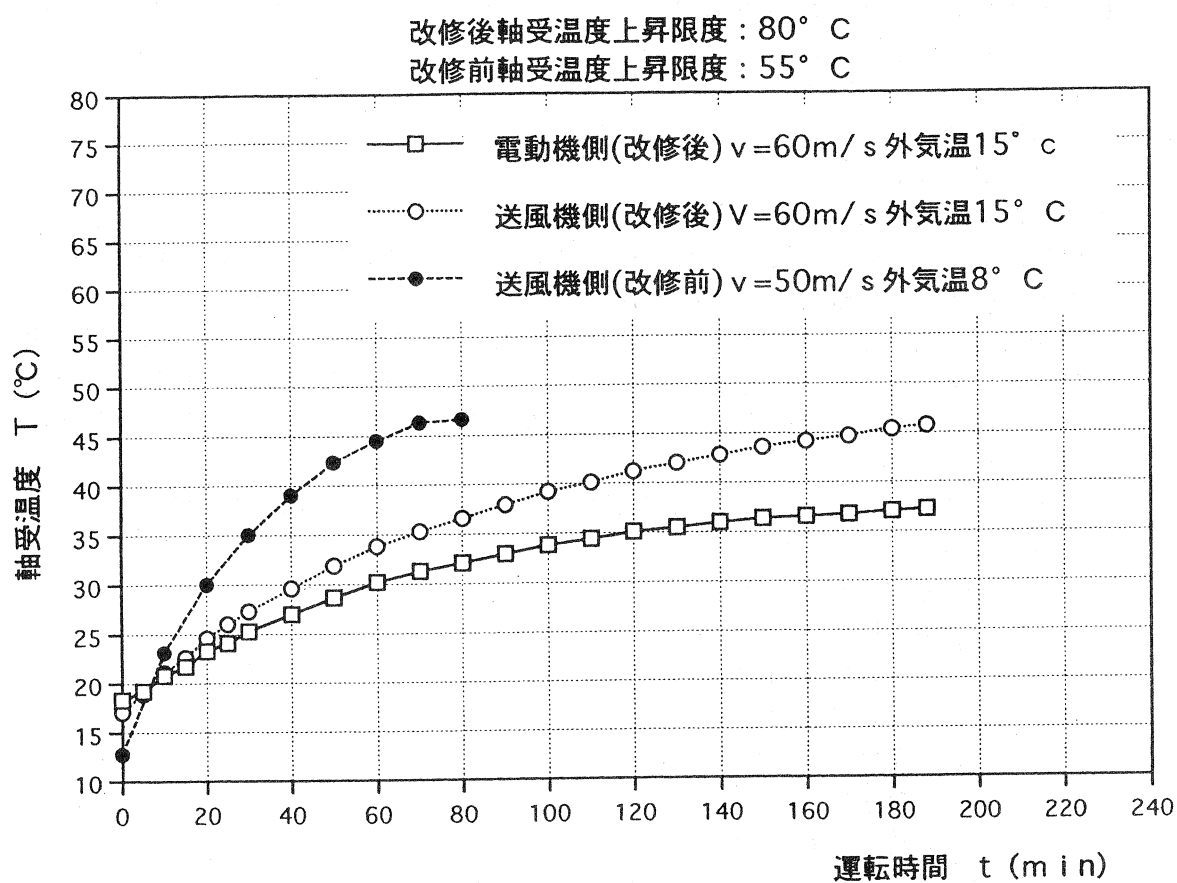


図6 軸受温度特性の改修前後の比較