

風洞設備更新における技術課題と工事*

小松行夫*¹ 鈴木正光*¹
唐沢敏夫*¹ 末永尚史*¹

Technical Problems and Solutions in Replacement of Wind Tunnel Facilities*

Yukio KOMATSU*¹, Masamitsu SUZUKI*¹,
Toshio KARASAWA*¹ and Hisashi SUENAGA*¹

ABSTRACT

Seven devices related to the NAL wind tunnel facilities were replaced in succession from 1985 to 1995. This paper describes some considerations on the function of each device, the technical problems that occurred, and precautions to be taken in the replacement of wind tunnel facilities.

Keywords : Wind tunnel, Device, Facilities

概要

1985年の計画から始まった大規模な風洞用設備(遷音速風洞および吹出式風洞に供する設備)の更新は、1995年に終了した。

風洞用設備の計画時および更新工事時に既設設備との適合性および設備運用の観点から、調査、検討を行った技術課題や留意事項、ならびに更新工事における解決の実際について報告する。

1. まえがき

空力性能部の遷音速風洞制御研究室は、1986年8月(計画は1985年から開始された)から始まった風洞用設備の更新工事に関わる業務に携わって来た。

風洞用設備は、工業用に用いられる各種の機器で構成されるが、風洞試験に供されるということから、運用面において風洞試験の内容に十分に対応できることが要求される。したがって、設備の更新を行うにあたっては、将来どのような風洞試験がどのような頻度で行われるのかを予測し、更新計画を立てることが必要である。

多くの場合、工業用機器はそのまま風洞用設備に流用することも可能ではあるが、計画立案時に、機器メーカーの技術者と協議すると、予算、機器の設置場所、既設設備との適合性、メーカーの技術開発状況により、要求仕様の実現が困難な場合が生じる。また、設備更新工

事は遷音速風洞の試験スケジュールを最大限にこなしながら行う必要があるため、風洞設備の更新工事後の試運転の時間が十分確保できず、直ぐに風洞試験に供されることが要求される。そのため、設備更新工事の完了後、機器の調整が不完全のままに、とりあえずの風洞試験に短期間稼働しなければならない事態も発生する。

このような条件下で風洞用設備の更新計画を立案し、機器の仕様を決定し、更新工事を行って、更新機器を風洞試験の運用に供するには、更新すべき機器および更新前の機器が風洞用設備の全体において、どのような機能を果たしていたか、運用面で留意する事項は何であるか等、細部に亘る検討が必要となる。この報告は、機械を電動機で駆動する動的な風洞用設備に対し、それぞれの機器が果たす機能・性能および設備運用面から機器の更新にあたって、留意すべき点について調査・検討を行った内容を記すとともに、更新工事におけるそれらの技術課題の解決の実際について述べるものである。

* 平成9年2月18日受付 (received 18 February)

*¹ 空力性能部

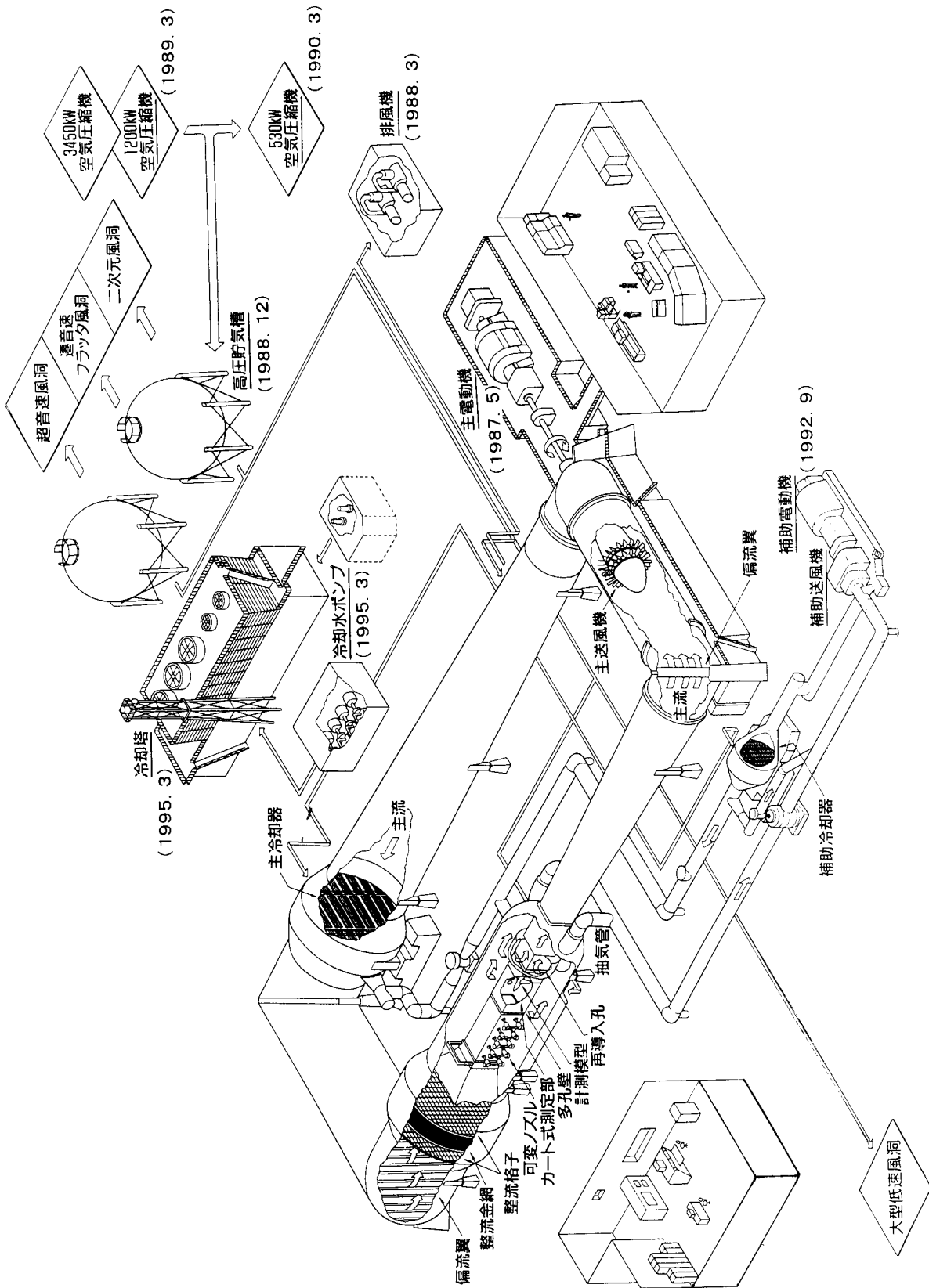


図1 超音速風洞用設備配置図

2. 遷音速風洞用設備の概要

遷音速風洞用設備の主なものを図1に示す。本設備のうち、設備名称下部にアンダーラインを施したものは更新された設備で、括弧内に設備が竣工した年月が記載されている。

風洞用設備は、新旧の設備が混在しているが、それを構成する設備は下記のように分類することができる。

乾燥空気製造設備(3基)

3450kW 空気圧縮機、1200kW 空気圧縮機、530kW 空気圧縮機

乾燥空気貯蔵設備(2基)

第3 高圧貯気槽・第4 高圧貯気槽

遷音速風洞用排風機設備

375kW 排風機

遷音速風洞用主送風機設備

22500kW 主送風機

遷音速風洞用補助送風機設備

8000kW 補助送風機

冷却水設備

冷却塔および冷却水ポンプ群

遷音速風洞は風洞胴体が気密構造となっており、作動流体に乾燥空気が用いられている。この乾燥空気を供給する設備(530kW 空気圧縮機を除く)とは、図1の中に示した他の吹出し式風洞との共用設備である。また、の設備は、～(を除く)までの設備と連続式小型超音速風洞に冷却水を供給する設備である。

3. 設備更新計画時に調査・検討した技術課題と留意点

3.1 風洞用設備に対する調査・検討内容

風洞用設備の更新計画の立案に際して、計画立案担当者は、設備の使用目的、稼働状態、運転方法等の技術的課題を理解し、設備の更新に反映させることが必要である。

空気圧縮機のように工業用に広く一般的に使用されているものは、風洞用設備という特殊な使用方法を考慮する必要が少ないが、工業用に広く一般的に使用されていない遷音速風洞特有な設備の中には、過去の稼働状態を調査しただけで、それが果たしている機能や性能および更新にあたって留意しなければならない技術的事項が理解できないものがある。これらについては勿論、旧設備を新設した当時の計画書を調査することは常識的に行われたが、戦後初めて日本で建設された大型風洞設備であり、風洞設備そのものの運用技術が研究の対象であって、運用に入って技術的課題を解決して行くという思想で設計・製作されたものと推察される。そのため、設計時に個々の機器の機能・性能が明確にされず、ましてや全体

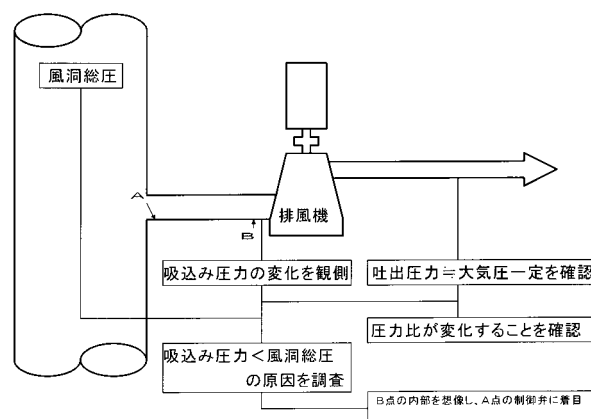


図2 旧排風機機能考察図

の風洞設備における機器の機能が十分理解されないままに建設されたため、過去の資料をひもといても、不十分な知識しか得ることができなかった。

このような範疇に入る設備には排風機設備があった。筆者は図2に示す考え方で本設備の機能、風洞設備において果たす役割、設備に要求される性能等、旧設備の稼働状態の実態について調査・分析を行い、本設備の機能と必要な性能および更新時に留意すべき技術事項について理解した。調査・検討の結果、排風機の風洞設備における位置付けと機能・運用条件について次のことが判明した。

排風機は、1段で空気を圧縮する圧縮機である。

吸込み圧力が大気圧以上から大気圧以下まで大きく変化しても、吐出圧力は常にほぼ大気圧で運用される。

定常運転状態の遷音速風洞においては、風洞総圧と排風機吸込み圧力に大きな差があるので、吸込み配管のどこかで流れを絞る機能を有していると考えられる。

これらにより圧力比を大きく変化させることが可能な吐出圧力一定の圧縮機で、吸込み圧力をオリフィス等(による)で制限している可能性が考えられた。しかし、排風機の更新において、このような機能を持たせるために吸込み側の直径700mmの配管(比較的大口径の配管を用い、空気の流速を低く抑えて圧力損失の減少を狙ったと思われる。)に、オリフィス等の流路面積を絞る装置を挿入することは不可能で、更新工事ではオリフィスの適用を行わなかった。(後の旧設備撤去の際、風洞試験で使用されたオイルフロー用重油等と塵が付着して、その開口率が小さくなった異物除去用網が、吸込み配管内に発見され、これがオリフィス挿入と同じ役割を果たしていることがわかった。)

また、の吸込み圧力が大気圧以上になる場合を考慮

しているならば、膨脹機でも圧縮機でも支障の無い機械として設計されている筈であるが、調査の結果、旧設備の仕様書にそのような記述は無かった。なお、この事がきっかけとなって、大気圧以上の吸込み圧力においても、排風機の運転に支障が無いようにする考慮が必要であることを認識した。さらに、遷音速風洞胴体付近にある風洞総圧制御用ダイヤフラム弁は、その弁の口径が吸込み流量を制限するように選択されたものであることが分かった。

遷音速風洞の主冷却器に関係した旧冷却水設備の水圧装置も設置の理由が解り難いものの一つであった。主冷却器が内蔵されている胴体の外部には、これらの入口側枝管に接続されている環状集合配管と、出口側枝管に接続されている環状集合配管が各々設置されており、後者には冷却塔へ通じる配管が接続されている。水圧装置は、この配管の途中に設置されているもので、その機能が理解できなかった。そこで、図3に示すような図を作成して、中の冷却水の様子を考察したうえで次のことを理解した。

主冷却器用環状配管上部の水頭がかなり高いため、冷却水ポンプ停止後に内部が負圧にならないように、水圧装置が設置されていること。

環状集合配管上部の冷却水レベルは、水圧装置下部の冷却水レベルより下でなければならないこと。

以上のように旧設備の調査・検討で得られた各装置の機能と必要性は、設備の更新において反映されることとなった。

3.2 機械の形式

風洞用設備に用いられている機械は、冷却水ポンプを除き、流体の空気を圧縮する機能を持つものが殆どである。したがって、新旧風洞用設備に採用されている空気用機械の形式は、軸流送風機、軸流圧縮機、往復圧縮機、

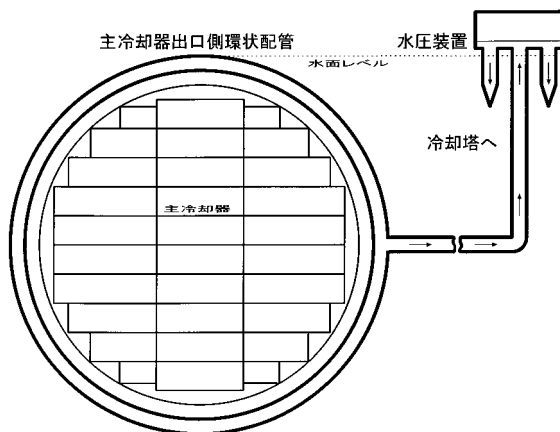


図3 旧水圧装置機能考察図

スクリュウ圧縮機、遠心圧縮機のうち、風洞設備の機能として最適と思われるものが採用されている。なお、唯一の水用機械であるポンプは、吸込み特性と設置条件を考慮した場合には形式選択の余地が無く、両吸込み型渦巻きポンプおよび水中ポンプが採用されている。

設備更新において、機械の形式を決定する際、既設設備との整合性、風洞の運用状態を考慮して次の事項に留意する必要がある。

旧設備の基礎およびピットを流用することが可能であること。

機械に付帯する機器が、旧設備の設置場所に全て無理なく収容できること。

新機械と旧機械を比較した場合の所要動力および回転数の相違に留意すること。

一般のプラント等で十分な実績がある機器を採用すること。

と は設備更新の費用と設備のメンテナンスに影響を与え、 は後述する機械駆動電動機の形式と容量および変電所側の受電設備容量に影響し、 とも関係する。また、 は設備を稼働させた時の信頼性と故障時の対応時間に関係する。

3.3 機械の吐出量

ここで言う機械の吐出量(流量)とは、3.2項で述べた空気用機械または冷却水ポンプの吐出量である。風洞運転側からの空気や冷却水の要求量は、試験内容によって変化するため、送風機の回転数変化、調節弁使用等の方法でその吐出量を可変できることが必要である。その際、応答性・メンテナンス・コスト等を含めて検討する必要がある。

通常設備更新においては、旧設備の機械吐出量と同等にするのが殆どであるが、今回の更新工事においては、風洞の運用との整合性を見直すことにより、新設備の機械吐出量を減少させることも可能であった。この場合、次の事項に留意する必要がある。

将来行われる風洞試験に支障が生じないこと。

旧設備の据付け用基礎等の流用が可能なこと。

については、5年先を見通すことも困難なため、過去に行われた風洞試験の中から条件の厳しいものを選び出し、余裕を持たせた容量にするのが妥当である。については、新設備の機械形式が旧設備と同じ場合は、機械吐出量を減少させると、機械の寸法にも影響するため、機械下部のベースプレートに工夫が必要になる。

更新を予定しない設備を含め、設備別に形式、吐出量等をまとめ、表1¹⁾²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾⁷⁾⁸⁾(冷却水ポンプおよび冷却ファンについては、代表的なものを示した。)に示すが、設備を設置した時代の特徴が現れている。また、参

表1 新旧風洞用設備の機械形式と主要諸元

設 備 名 称	旧 設 備	新 設 備	
3450kW 空気圧縮機	機械形式	9段遠心圧縮機	
	吐出圧力	1961kPa (脱湿塔出口)	
	公称吐出量	19150m ³ /h	
	回 転 数	増速にて13740rpm (3、4段)	
	備 考	設備は未更新	
1200kW 空気圧縮機	機械形式	3段スクリュウ圧縮機ドライタイプ	2段スクリュウ圧縮機ウエットタイプ
	吐出圧力	2059kPa	2161kPa
	公称吐出量	6300m ³ /h	7000m ³ /h
	回 転 数	増速にて9400rpm (3段)	増速にて2790rpm (2段)
	備 考		スライド弁による容量制御機構付
530kW 空気圧縮機	機械形式	3段往復圧縮機	2段往復圧縮機
	吐出圧力	1961kPa	4805kPa
	公称吐出量	6000m ³ /h	3kg/s以上
	回 転 数	直結にて300rpm	直結にて490rpm
	備 考		高圧貯気槽の空気の昇圧用
375kW 排 風 機	機械形式	1段スクリュウ圧縮機ドライタイプ	1段スクリュウ圧縮機ドライタイプ
	吐出圧力	103kPa	103kPa
	公称吐出量	5000m ³ /h、15000m ³ /h	10000m ³ /h
	回 転 数	直結にて2950rpmおよび2975rpm	直結にて2950rpm/1475rpm(可変)
	備 考	異なる容量の機械2台で構成	同容量の機械2台で構成
主送風機	機械形式	2段静翼可変ピッチ軸流送風機	
	最高圧力比	1.22	
	公称流量	850kg/s	
	回 転 数	直結にて70~710rpm	
	備 考	設備は未更新(電動機は更新済)	
補助送風機	機械形式	10段軸流送風機	11段静翼可変ピッチ軸流送風機
	公称圧力比	3.5	3.5
	公称流量	84kg/s	34.8kg/s
	回 転 数	増速にて3005rpm	増速にて4487rpm
	備 考		
冷却水 ポンプ	機械形式	両吸込み型単段渦巻きポンプ	両吸込み型単段渦巻きポンプ
	吐出圧力	431kPa	431kPa
	公称吐出量	1060m ³ /h	1060m ³ /h
	回 転 数	1500rpm	1480rpm
	備 考		ミニマム吐出量270m ³ /h
冷却塔 ファン	機械形式	1段軸流送風機	1段軸流送風機(動翼半固定)
	プレート材質	鉄	FRP
	回 転 数	減速により370rpm	減速により263rpm
	備 考	送風機軸は地面に対して垂直	送風機軸は地面に対して垂直

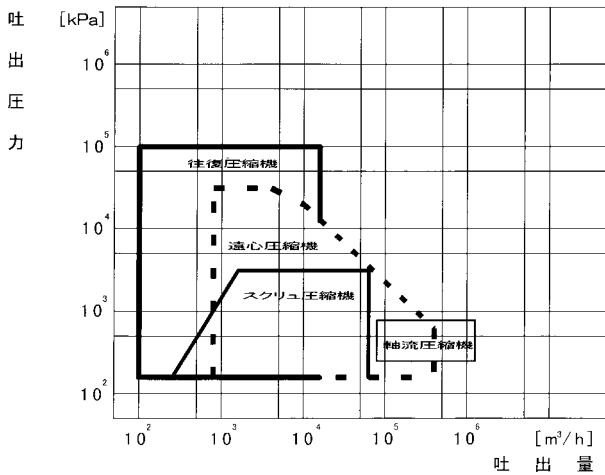


図4 空気用機械の形式別適用範囲

考までに、大手圧縮機メーカーのカタログに記載されている吸込み量(標準大気圧力に換算した吐出量と等しい)と吐出圧力で定まる空気用機械のおおよその適用範囲を図4に示す。なお、この図に示す範囲は、それぞれの圧縮機の製作可能限界を示すものではない。

3.4 機械駆動電動機の形式と電圧

新旧風洞用設備の機械駆動電動機の形式は、籠型三相誘導電動機、巻線型三相誘導電動機、三相同期電動機、直流電動機、サイリスタモータである。

機械駆動電動機の形式は3.2項と密接な関係があり、その選択にあたっては、制限を受けることが多いが、次の事項に留意する必要がある。

- 電動機の始動特性と駆動機械の負荷特性の整合性
- 電動機回転数と駆動機械回転数
- 電動機付帯電気機器の規模

については、機械起動時のトルク特性の吟味が必要で、最悪の場合は起動不能となる。 については、電動機形式が自動的に決定されることもあるので、直結で機械を駆動するか増速機(減速機)を介して駆動するかの違いにより、信頼性、メンテナンス、設備更新の費用に影響する。 については、設備のメンテナンスおよび設備更新の費用さらには3.2項の に影響する。

表2¹⁾²⁾³⁾⁵⁾⁶⁾⁷⁾⁸⁾は、表1と同様な方法で新旧設備に使用されている駆動電動機の特徴等をまとめたものである。この表が示していることは、主に機械側の要求する回転数と始動方式で電動機の形式が決定されていることである。また、実際の設備更新において、変電所側からの受電電圧を変更することは、通常行われないので、電圧を変更しないのが一般的である。

図5には大手電動機メーカーが作成した電圧別電動機の最適出力範囲を示す。各帯状の範囲で塗り潰された部

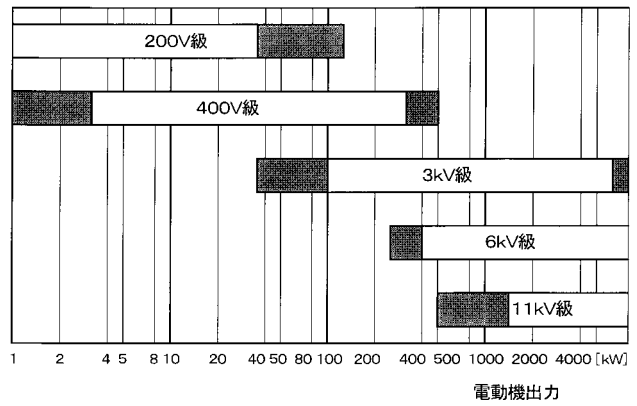


図5 電動機の電圧別の最適出力範囲

分は、非経済的なことを承知で製作可能な範囲を示し、白い部分は経済的に推奨される範囲を示している。

供給電圧が変更されることとなった例としては、主送風機駆動電動機の更新があげられる。この場合、広範囲で精密な回転数制御と大出力が要求されることから、変電所側遮断器と電動機間に変圧器およびサイリスタ変換器を設置して、サイリスタモータにする必要が生じ、その回路内部の都合により電圧が変更されている。また、同上の理由により、電動機付帯機器が複雑で多くなることが避けられず、これら機器の設置場所は十分検討のうえ決定されている。

3.5 機械駆動電動機の定格

運音速風洞および吹出し式風洞の稼働は、昼休みを挟んだ午前の時間帯と午後の時間帯に分かれている。したがって、風洞用設備の運転も朝に起動して昼前に停止、昼過ぎに起動して夕方停止というパターンが基本的な運用になっているため、風洞用設備の多くは、1日に最低2回以上の起動停止を考慮しなければならない。また、運音速風洞では近年、特殊な風洞試験が実施されることが多くなっており、前述の時間内に短い試験を行い、その都度風洞の起動、停止が繰り返される例もあり、これらの風試に対する考慮が必要である。

このことは、一般プラント設備のように長期間停止することなく稼働し続けている設備に比べ、風洞の機械駆動電動機の定格仕様決定には十分な配慮が必要であることを示している。

電動機は、電力を機械出力に変換する機械であるため、運転することにより、鉄損や銅損等が関与する熱が発生して機械各部の温度が上昇する。この熱は通常、電動機表面から放散(特殊な場合を除き、電動機の表面にはフィンが設けられているものが多く、軸直結または他の

表2 新旧風洞用設備の電動機形式と主要諸元

設備名称	旧設備	新設備
3450kW 空気圧縮機	電動機形式	両軸巻線形三相誘導電動機
	始動方式	二次抵抗起動法
	出力/極数	3450kW/4P
	公称電圧	3300V
	絶縁種別	F種
1200kW 空気圧縮機	電動機形式	両軸巻線形三相誘導電動機
	始動方式	二次抵抗起動法
	出力/極数	1200kW/2P
	公称電圧	3300V
	絶縁種別	B種
530kW 空気圧縮機	電動機形式	片軸起動巻線付三相同期電動機
	始動方式	起動巻線による自己起動法
	出力/極数	900kW/20P
	公称電圧	3300V
	絶縁種別	B種
375kW 排風機	電動機形式	両軸籠形三相誘導電動機
	始動方式	全電圧起動(直入起動)
	出力/極数	200kW、550kW/2P
	公称電圧	3300V
	絶縁種別	200kW A種 550kW B種
主送風機	電動機形式	両軸籠形三相誘導電動機
	始動方式	ターニング後に自己起動
	出力/極数	4500kW/10P+18000kW/8P
	公称電圧	1500V(DC)、11000V(AC)
	絶縁種別	4500kW B種 18000kW B種
補助送風機	電動機形式	両軸巻線形三相誘導電動機
	始動方式	二次抵抗起動法
	出力/極数	12000kW/6P
	公称電圧	11000V
	絶縁種別	B種
冷却水 ポンプ	電動機形式	片軸籠形三相誘導電動機
	始動方式	全電圧起動(直入起動)
	出力/極数	190kW/6P
	公称電圧	3300V
	絶縁種別	B種
冷却塔 ファン	電動機形式	屋外用片軸籠形三相誘導電動機
	始動方式	全電圧起動(直入起動)
	出力/極数	50kW/6P
	公称電圧	400V
	絶縁種別	B種

電動機駆動によるファンが発生する空気流で冷却される。)されるが、発生熱量と周囲温度によって決まる放散熱量のバランスするところまで温度上昇することとなる。

電動機の運転において、最も厳しい状態は機械を起動または加速することによって、大電流が流れて電動機内部の温度が異常に上昇することである。電動機内部の温度が異常に上昇した場合、銅製のコイルを絶縁している材料が変質して絶縁破壊を起こす恐れがあるため、予め負荷である機械側の負荷特性および稼働状況を把握して、コイルの絶縁種別および電動機の定格を定める必要がある。

絶縁種別は絶縁材料で決まる電動機内部の許容温度を定めたもので、表 3 に示す規定 (JEC による) がある。A 種、E 種、B 種、F 種、H 種の 5 種類のうち、E 種、B 種、F 種が標準で、稼働状況が苛酷な場合に F 種、H 種の絶縁が採用されている。また、絶縁材料には概ね図 6⁹⁾ に示す耐熱平均寿命がある。

表 2 に示すとおり、新設備の電動機には F 種の絶縁が施され、ある程度の苛酷な運転に対応できるように耐久性が向上している。しかし、絶縁種別が如何に高温仕様であっても、運転パターンで決定される定格を無視することはできない。特に、電動機を全電圧起動するような場合には、こちらの方の留意を怠ると、設備が思ったように稼働できなくなる恐れがある。したがって、運転パターンを決定するにあたっては、可能な範囲内で厳しい場合を想定する必要がある。また、電動機で駆動する負荷側の電動機軸に換算した GD^{2 10)} (図 7 参照) が大きい場合は、電動機の許容出力に影響を及ぼすので、計画時に 3.2 ~ 3.3 項の検討が重要である。

全電圧起動する設備の実例として、図 8 に排風機の電動機および圧縮機の GD² を想定した運転パターンと検討結果を示す。

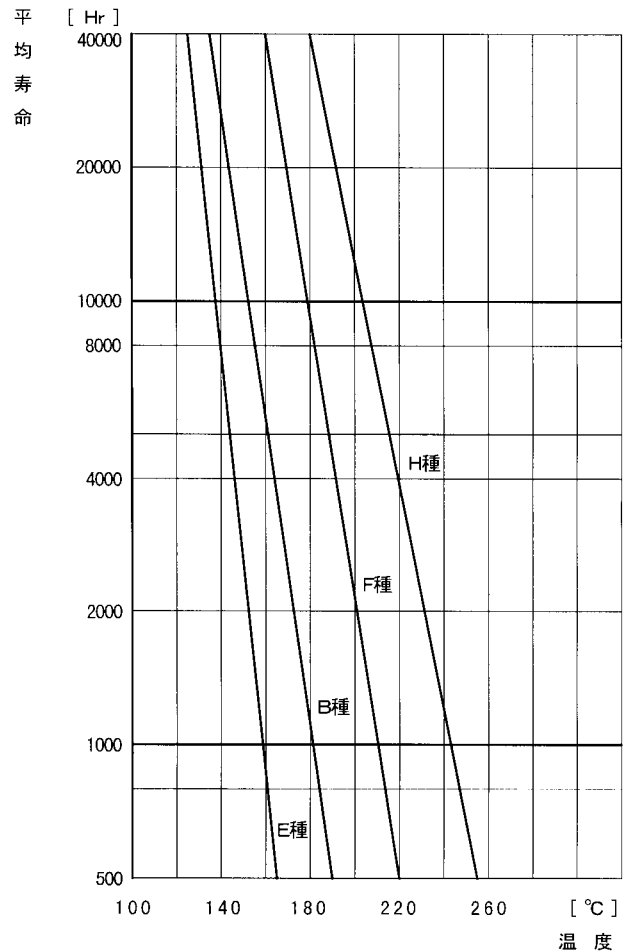


図 6 絶縁種別ごとの絶縁材料の温度と平均寿命の関係

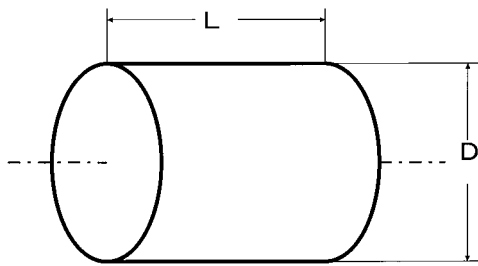
3.6 マンマシンインターフェース

機械を制御する場合、人が制御装置に指令を与え、かつ監視装置によって機械の情報を得ながら行うマンマシンインターフェースは、設備の使い勝手を左右する重要な装置で、さまざまな形態を経て発達してきた。

表 3 空冷式誘導機の絶縁種別ごとの許容温度と温度上昇限度

	A種			E種			B種			F種			H種		
最高許容温度	105			120			130			155			180		
温度測定法	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
交流機固定子巻線	—	60	60	—	75	75	—	80	80	—	100	100	—	125	125
絶縁された回転子巻線	—	60	—	—	75	—	—	80	—	—	100	—	—	125	—
整流子およびスリップリング	60	—	—	75	—	—	80	—	—	90	—	—	100	—	—

温度測定法の a : 温度計法、 b : 抵抗法、 c : 埋込み温度計法をそれぞれ表す。



$$GD^2 = 1/2 W \cdot D^2 = \pi / 8 \rho \cdot L \cdot D^4 \text{ (kg} \cdot \text{m}^2 \text{)}$$

ここに W:重量(kg), D:外径(m), L:全長(m), ρ:比重(kg/m³)

図7 GD²の算出方法

これまでの設備更新におけるマンマシンインターフェースの計画は、メーカー側が主導権を持って遂行されたものが殆どである。しかし、これは設備運用の容易性・安全性の鍵を握るものであるため、今回の設備更新にあたっては、運用側の意向を反映したものになるよう慎重に計画が進められた。

マンマシンインターフェースの計画にあたっては、次の事項に留意することが必要である。

航技研の持っている風洞の運転用ノウハウが実現できること。

操作を行う場合、該当する機器の操作部を速やかに探し出して、的確かつ容易に操作できること。
旧設備に対して行われていたような設備監視が違和感無く行えること。

停電時においても必要最小限の操作が行えること。
操作の容易性とは、操作経験に関係無く、人の意思の的確かつ速やかに制御装置に伝えることであるから、制御対象の機器と押しボタンまたはハンドルが1対1に対応しており、その場所が容易に見え発見できるものが良いと言える。

3.7 制御装置

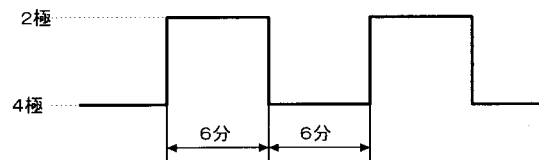
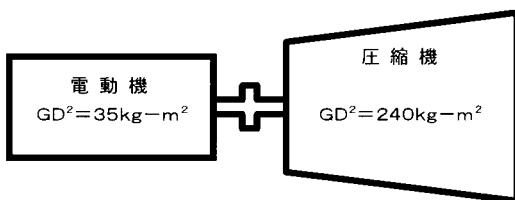
制御装置は、リレー、タイマー、電磁接触器、遮断器、シーケンサ、プログラマブルコントローラー、各種センサー等で構成されており、設備の中核を成すものである。上記のうち、シーケンサ(専用言語によりロジック回路を組むことが可能)は、近年、省スペース、省力化を狙って、その普及が著しい。

制御装置には、設備を安全かつ速やかに稼働させる責務があるので、設備更新にあたっては次の事項に留意することが必要である。

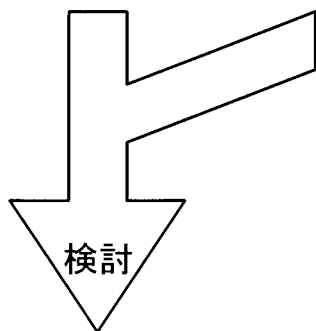
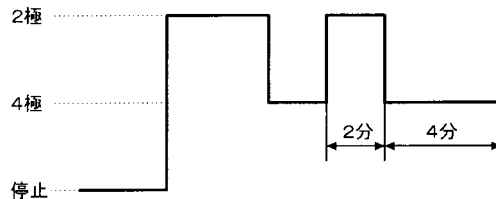
信頼性が非常に高いこと。

制御装置に異常が生じた場合に、フェールセーフの動作が行われるシステム構成であること。

排風機のGD²内訳



周囲温度50°Cにて定常運転中に上記パターンで20回まで、または同条件で起動後に下記パターンで3回まで電動機極数の切換えを行う



800kW級のフレームを採用した375kWの電動機

図8 新排風機駆動電動機の運転パターンとGD²による検討

他の設備との信号授受において、特別な変換器を必要としないこと。

制御に使用されるアナログ信号からデジタル信号への変換、またはこの逆の変換時に生じる誤差が小さいこと。

特別の場合を除き、実績のある市販品であること。

表 4 には、設備ごとに異なる 4 種類のマンマシンインターフェースと制御装置の組合せの概要が示されている。最上部の 3450kW 圧縮機が旧設備で、その下から古い順に更新設備が掲げられている。興味深いことに、3450kW 圧縮機のマンマシンインターフェースと最も新しい冷却水設備のそれとは、該当機器に指令を与える部分に、ハンドルとタッチパネルの違いはあるものの、人間の指が直接触れるという動作において共通している。このような方式は、操作性および制御性に優れている形態であることを暗示している。

3.8 メンテナンス

設備に必要な不可欠なものが、機器類のメンテナンスである。特に設備更新では、限られたスペース内に機器を設置するため、メンテナンス用のスペースが確保しにくい場合が多かった。また、ある機器をメンテナンススペースに移動する際、他の機器と干渉することも生じていた。

設備用機器を設置するにあたり、次の事項を留意することが必要である。

設備の中で最も重い機器を設置する際、他の機器と干渉しない配置にすること。

機械を分解した場合の最低所要スペースを把握、確認しておくこと。

メンテナンス用クレーンがある場合は、その揚程から吊り上げワイヤーの長さを差し引いた高さ以内に設備機器の最大寸法を留めること。

3.9 塗装色

設備機器の塗装色の決定においては、塗装面積の違い等により旧設備を参考にできないため、塗装色を決定するのが困難である。しかも、それにより、まわりの雰囲気等を左右する重要なものであるため、工場やオフィス等の色彩を参考に決定すべきである。なお、塗装色の指定については、色見本の中から希望色を選択して、マンセル色記号で指示を行った。

塗装色を決定する際には、次の事項に留意することが必要である。

塗装面積と隣の色によって印象が異なるため、全体の調和を考慮すること。

手摺等の安全に関わるものについては、なるべく一

部を目立つようにすること。

屋外の塗装については、耐候性を考慮すること。

実例としては、冷却水設備の冷却塔ファン駆動用電動機の塗装色(図9)と冷却塔西面の塗装色(図10)がある。前者は電動機が夏場の太陽光によって、温度上昇を引き起こさないように考慮して決定したもので、後者は設備の固いイメージを払拭させるために決定したものである。

なお、塗装する代わりにメッキする方法があり、屋外電源盤および屋内変圧器を囲むフェンスに、塗装の必要が無い亜鉛漬けしたものを採用した例もある。

3.10 トラブルの要因

旧設備と新設備が同類の機器で更新される場合は、新設備に関するさまざまなことを想像するのは、容易なことであるが、機械形式、機械回転数、機器の設置場所等が変更されると、思わぬトラブルの要因になることがある。

したがって、想像力を働かせてトラブルを未然に回避することも重要である。トラブルの主なものは、次の事項に関するものである。

設備の機器が発生する騒音

設備の機器が発生する振動

設備の機器が発生する熱

設備に電力を供給している電線が発生する電磁気

設備の機器のフィルターの目詰まり

4 設備の設計・製作・試験作業の監督・管理

4.1 設計・製作・試験関係の提出書類

更新工事を請負ったメーカー側では、設定された設備計画に基づいた更新工事仕様書を基に、機器の設計・製作・試験が開始される。この時期には、設計に関わる書類が航技研に提出され、設備更新担当者はそれらを検討・承認して、次に進んだ。設計・製作・試験に関係した提出書類を表5に示す。

4.2 工場立会い試験検査

設備機器は工場で作られた直後、規定の運転試験や寸法検査等が行われる。この時に航技研の担当者が立会うか否かは、4.1項の試験検査計画書の記載による。工場における試験運転は、設備の機器の大きさと工場の試験設備の都合によって、実際に航技研で稼働する状態を完全に模擬することが不可能な場合もある。このような場合には疑問に思った点を試験後の会議で協議して、機器へのメーカー側の対応が遅れないようにした。

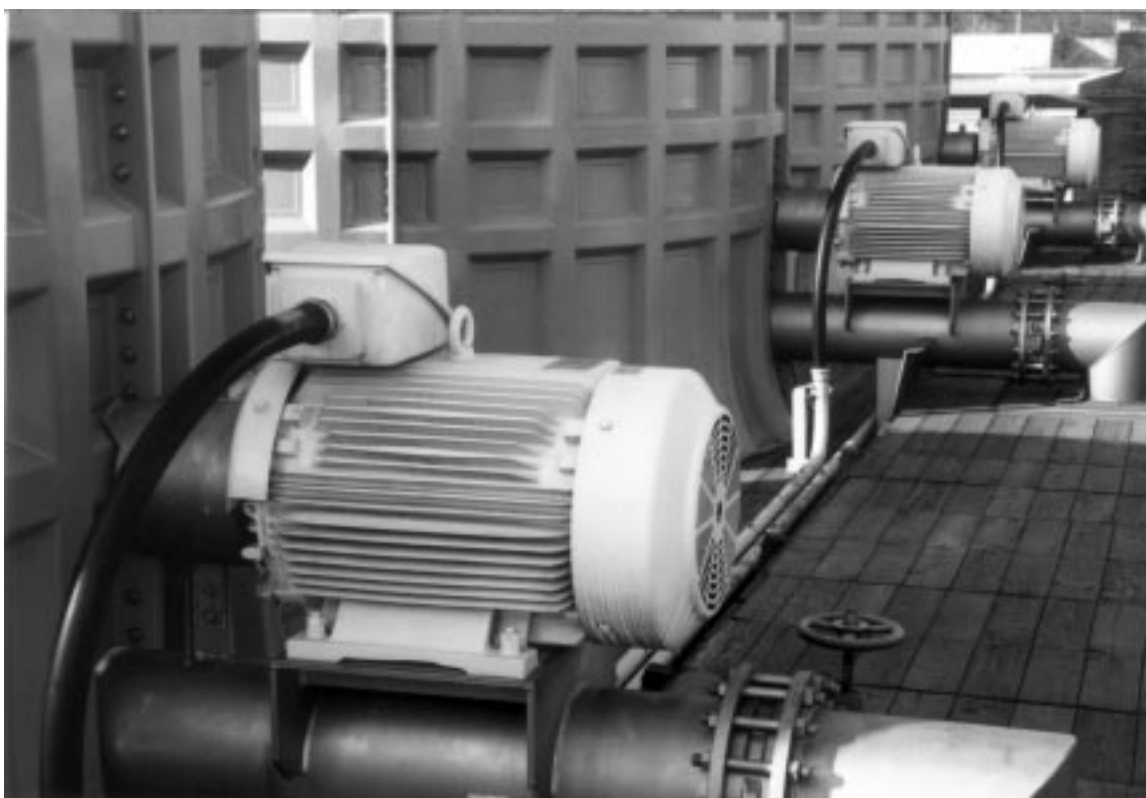


図9 白色に塗装した冷却塔ファン駆動用電動機



図10 青紫色の6段階グラデーション塗装を施した冷却塔西面

表4 新旧風洞用設備の代表的なマンマシンインターフェースと制御装置の概要

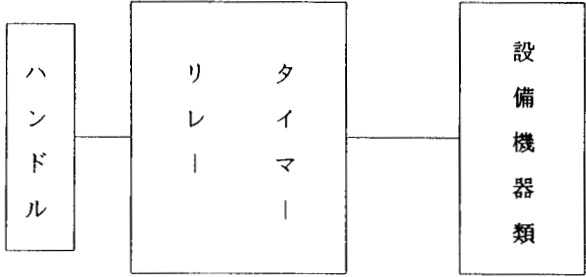
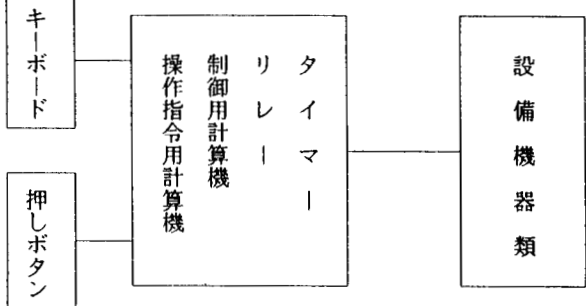
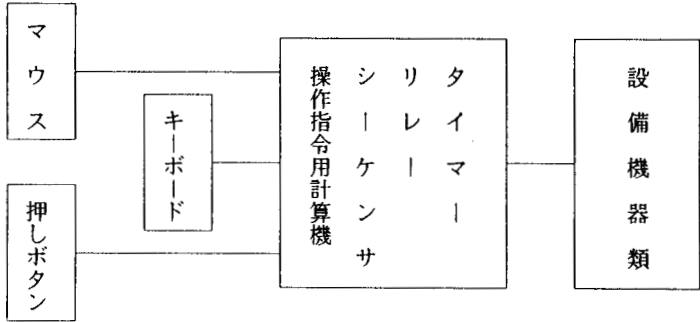
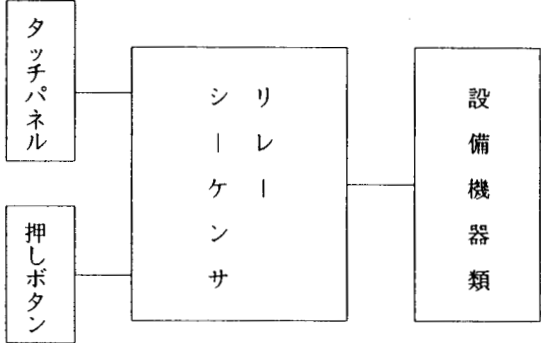
	マンマシンインターフェースと制御装置の概要	監視装置
3450kW圧縮機設備		グラフィック パネル I T V
主送風機設備		C R T グラフィック パネル
補助送風機設備		C R T
冷却水設備		液晶表示器 グラフィック パネル I T V

表5 設計・製作・試験関係の提出書類

提出書類名称	提出者	内容例
設計計算書	メーカー設計者	軸危険振動数解析計算書 軸系振り振動数解析計算書 部材等強度計算書 ストレーナー圧力損失計算書 調節弁設計計算書
試験・検査計画書	メーカー設計者	部品検査要領書 圧縮機試験要領書 電動機試験要領書
試験・検査成績書	メーカー設計者	配管類ミルシート 圧縮機試験検査成績書 電動機試験検査成績書 高圧配電盤試験検査成績書 油ポンプ試験検査成績書
承認図書	メーカー設計者	設計基準書 設備全体配置図 単線結線図 配管図 塗装仕様書
承認図書リスト	メーカー設計者	上記各図書類の提出予定日を記載したリスト

表6 設備更新工事工程表

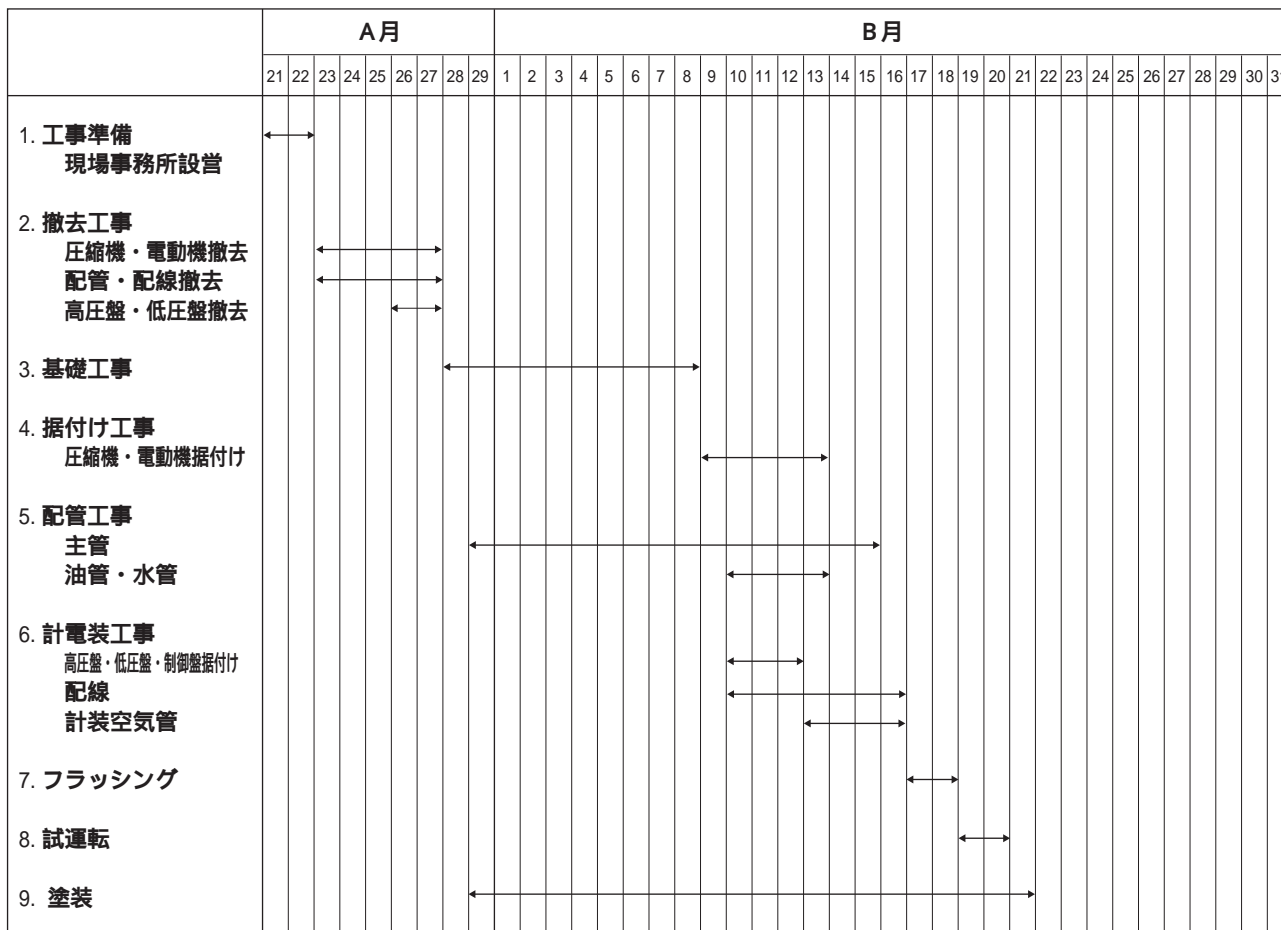


表7 関係部署への提出書類

提出書類名称	提出者	提出先	内容例	備考
危険物取扱所 変更許可申請書	航技研担当者	管理部安全施設課	全体配置図 電気設備図 油槽組立図 現地施工法	新旧図が必要
撤去品リスト	航技研担当者	管理部安全施設課 管財係(備品) 管理部会計課 用度係(国財)	設備機器の寸法・ 重量記載の表	潤滑油も含む
臨時火気使用 承認申請書	航技研担当者	管理部安全施設課	工事範囲図	
工所用仮設物 設置等申請書	航技研担当者	管理部安全施設課	事務所の平面図 電力使用計画表	
第二種圧力容器 新設申請書	航技研担当者	管理部安全施設課	全体配置図 強度計算書 合格証明書	
クレーン設備設置届 (3トン未満)	航技研担当者	管理部安全施設課	全体配置図 クレーン組立図 検査成績書	

5. 設備更新工事の監督・管理

5.1 更新工事に関係する提出書類

設備更新工事は表6に示すような工程表に則って進められた。この工程表はメーカー側が航技研に提出する重要な書類の1つであるが、航技研の設備更新担当者も必要な書類を関係部署に提出する必要があった。設備更新担当者が関係部署に提出した書類を表7に示す。

5.2 工事準備

主な工事準備作業は、現場事務所の設営、事務用機器の搬入、電気、水道、電話の引込みである。現場事務所については、現場工事の内容により作業員の人数が変化するため、工事期間中の最高人数を予想して計画する必要がある。航技研が貸与できる部屋の収容人数より少ない場合には、その部屋を利用し、多い場合には所定の場所にプレハブ家屋を設営した。

工事を行う前には、現場監督者との打合せ会議が開かれた。この時に決定された主な事項は次のとおりである。

作業可能時間と日曜・祭日の作業

危険物等の設置および立入り禁止区域と喫煙場所

水源および仮設電源供給場所

また、現場監督者が提出する重要書類として主に次の

ものがある。

作業員名簿(生年月日・住所・電話番号等記載)

安全衛生対策要領書(工事責任者・連絡系統記載)

工事就労申請書(守衛所に提出される)

5.3 撤去工事

機器の撤去にあたる前には、それらの機器がいつでも安全に撤去できるように、工事範囲で定められた境界部分において供給空気、供給冷却水、供給電源等の縁を切っておかなければならない。これらの作業は、冷却水、空気等の配管フランジ部への盲板取付け、ディスコンの遮断または変電所内電源供給遮断器の遮断等であり、関係部署への連絡が必要となった。

撤去される機器は、鉄や銅を材料としているものが多く、予め作成された撤去品リスト(表7参照)に則り、廃品業者に売却された。メーカー側の撤去と廃品業者の搬出が同時に行われることは希で、撤去機器の保管場所を確保しておく必要があった。

5.4 基礎工事

基礎工事においては、コンクリートのはつり作業、コンクリート打込み作業を含む土木工事が行われるため、周囲の雰囲気が悪化する。したがって、換気を十分に

行って周囲への影響を最小限にすることと、工事に無関係な機器の保護が必要である。また、はつり作業では騒音と振動が発生し、航技研職員や地域住民に影響を及ぼすことがある。したがって、5.2 項の打合せ時に対策を練って対処した。

基礎コンクリート打込みの前の大規模な土木工事においては、鉄筋の配筋検査立会いおよびコンクリート強度試験立会いが行われた。事例としては、冷却水設備の冷却塔のコンクリート製水槽に関する土木工事において、上記立会いが行われた。図 11 に鉄筋の配筋検査の様子、図 12 に打込みコンクリートのスランプ測定およびテストピース採取の様子、図 13 にスランプの説明、図 14 にコンクリート圧縮強度試験の様子を示す。

コンクリート打込みについては小規模の場合、通称猫車をすることもあがるが、大規模な場合は、コンクリートミキサー車とコンクリート圧送車がペアになって、型枠内にコンクリートを送るのが普通である。型枠内には鉄筋やパイプがあるため、人海戦術で型枠を叩いて隙間ができないようにするが、鉄筋が非常に多い場合は、この作業が長くなる。

コンクリートの凝結開始時には、化学反応によって、熱が発生するが、これを放っておくと、熱膨脹でヒビ割れが生じるため、コンクリート表面に散水した後に簞等で覆って、養生が行われる。これらの期間中、航技研担当者は作業に立会って、的確な工事が進行するように努めた。

5.5 据付け工事

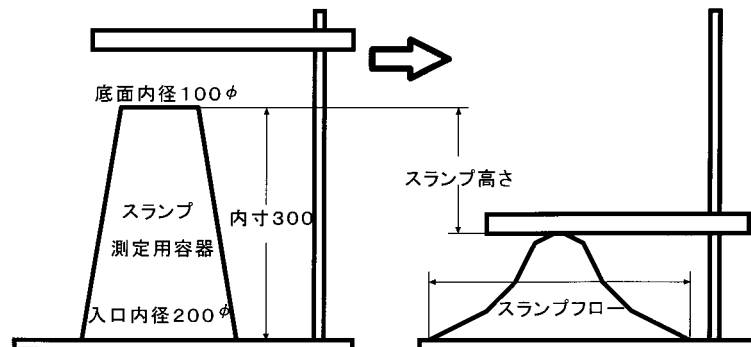
据付け工事においては、最初に設備の主要機械（圧縮機、ポンプ等）と駆動する電動機を据付けるのが普通で



図 11 鉄筋の配筋検査立会い



図 12 コンクリートのスランプ測定およびテストピース採取



コンクリートをスランプ測定用容器に隙間無く入れてスランプ測定用鉄板上に伏せる。

スランプ測定用容器を速やかに上方へ取り除き、スランプ高さおよびスランプフロー（互いに直交する直径の平均値）を測定。

図 13 スランプ測定方法



図14 コンクリート圧縮強度試験



図15 カップリングのセンタリング立会い

ある。

一般に主要機械や駆動電動機は重量物が多く、トレーラーや大型トラックで搬入され、大型クレーンまたは建屋の天井クレーンで吊り下ろされる。したがって、搬入経路によっては、道路下の埋設物を調査して、その上部を鉄板等で補強する必要がある。また、道路を封鎖して搬入作業を行うことも多いため、事前に構内道路通行止め手続きの書類を提出して、航技研職員に告知した。

多くの場合、主要機器の機械と駆動電動機の間にあるカップリングのセンタリングは、据付け工事の時に行われる。この時にはセンタリング(図15)の確認のため、航技研担当者が立会った。

5.6 配管工事

配管には内部の流体により、空気配管、冷却水配管、潤滑油(油圧)配管があり、それぞれの配管は溶接した後、扱い易い長さになるようにフランジ部で分割して、規定(高圧ガス取締法および圧力容器構造規格等による)の耐圧試験や気密試験を行っている。

耐圧試験(図16)には通常、水が用いられており、常用圧力の1.5倍の圧力を加えて、規定の時間保持して異常の無いことを確認する。また、気密試験(図17)の場合は、空気または窒素を充填して常用圧力以上まで加圧し、全ての溶接部に石鹸水をかけて泡の発生の有無を確認する。したがって、溶接部が多い場合は人海戦術となる。航技研担当者は、これらの作業の監督および全ての溶接部の異常の有無の確認を行った。

5.7 計電装工事

計電装工事では、最初に高圧盤、低圧盤、制御盤等の据付けを行う。特に制御盤は、グラフィックパネル等が表面にあってデリケートなため、細心な注意を払って扱う必要がある。

その次の配線工事では、ラック取付け、電線管敷設の後に、リールに巻かれた電線を所定の長さに切断してラックや電線管に通し、圧着端子取付けおよび接続が行われた。なお、ほぼ同時期に試験用高圧電源を使用して、敷設後の電力用電線(制御用電線を除く)に高電圧を印加する絶縁耐圧試験(図18)を行った。

計電装工事には、計装用空気等に関する配管工事も含まれており、細い銅管が圧力検出器やダイヤフラム駆動制御弁等に接続された。

5.8 フラッシング

フラッシングは、機器や配管内部の異物(ゴミ・金属等)を外部に排出させるための作業で、機器や配管のフランジ部に細かいステンレス製の漉し網を挿入し、潤滑油や冷却水を循環させて行う作業である。

フラッシングは航技研担当者立会いのもとで、一定時間経過後に、漉し網を取外して異物の排出状態を確認するため、数回連続して行われた。

5.9 塗装工事

一般の機器は、工場で仕上塗装された後に搬入された。配管や支持部材の場合は、素材を現場で加工する場合もあって、他の工事と干渉しないように、断続的に塗装が行われた。

また、工事がスケジュール的に厳しい場合は、後述する試運転以降も行った。小さい面積の塗装不具合箇所の修正をタッチアップと呼んでおり、据付け時のワイヤーロープの接触等で塗装が剥がれることが多いため、日常的に行われた。

5.10 試運転

機器の殆どのは、三相交流電動機で駆動されるため、最初は負荷(圧縮機やポンプ等)をカップリングで



図 16 配管の耐圧試験立会い

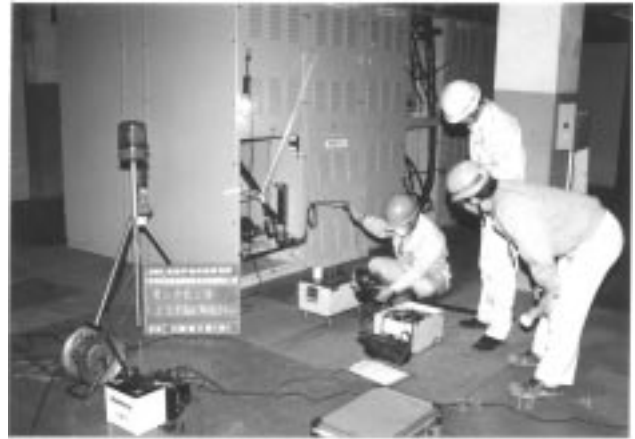


図 18 電力用電線の絶縁耐圧試験立会い

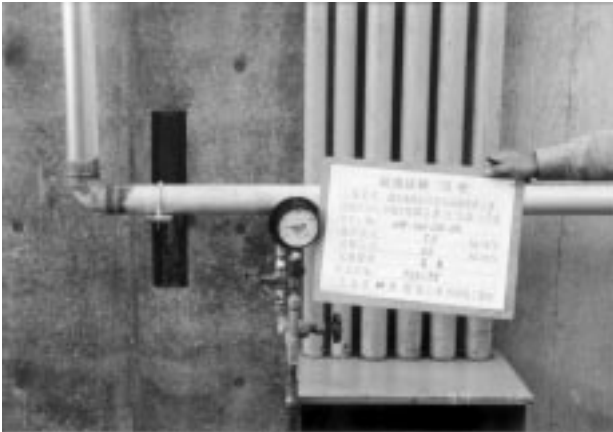


図 17 配管の気密試験立会い

切離した状態で運転して、回転方向の確認試験が行われた。次にカップリングを接続して負荷を駆動する運転に入るが、負荷を調節できる場合は、軽負荷から次第に重負荷に移行させて行く方法を採用した。また、冷却水設備のような場合には、他の風洞用設備を稼働させた状態で試運転を行う必要があるため、予め大電力の使用予定を関係部署に連絡しておく必要があった。

なお、設備の試運転と同時に軸受の温度と振動、電動機の温度、潤滑油の流量や温度、冷却水の流量や温度等が、メーカーの人員によって計測記録された。これらのデータは後日、現地試験報告書に記載のうえ提出された。

試運転時には、制御機器の動作の不具合や他の設備との信号授受における異常が発見されることもあり、必要に応じて制御装置の設定定数の変更等の対策も行われた。航技研担当者は更新工事仕様書に則り、更新設備が各風洞試験に問題なく供せられることを確認した後、試運転を終了した。

6. まとめ

約9年間の間に7つの大規模な風洞用設備更新工事が

行われ、最初の更新工事の経験が次の更新工事に活かされるという好循環の環境のなかで設備更新が進められた。

風洞用設備更新後に、確認されたことを以下にまとめる。

限られた設置場所、電力、予算という制約のなかで、旧設備と同等以上の新設備とすることができ、設備更新に関するノウハウを蓄積することができた。

土木工学、機械工学、電子工学等の成果を生かし、風洞設備の運用経験を反映した広い視野に立って風洞用設備を改善することができた。

風洞用設備更新において、機械形式、電動機定格、マンマシンインターフェースが全体システムの仕様を決定するうえで、大きなウェイトを占めていることが理解された。

今後の課題としては、次のことをあげることができる。

更新後約10年が経過した主送風機駆動用電動機設備の一部の機器の陳腐化。

メーカー側の機器の製造中止または仕様変更がもたらす修理および交換の困難さ。

年月の経過に伴うメーカー側技術者（航技研選音速風洞用設備設計者）の減少。

風洞用各設備の維持費の捻出。

新しい風洞試験に対する対応。

7. 謝辞

風洞用設備更新工事の期間中、管理部動力課の皆様には、設備用信号線の調査、変電所の変圧器関係のインピーダンスマップ作成、電力供給電線の敷設時にお世話になった。また、設備用信号の授受に関する調査およびその敷設、設備の試運転時には、空力性能部選音速風洞計測研究室の室員の皆様にもお世話になった。ここに改めて感謝の意を表する。

8. 参考文献

- 1) 兼重寛九郎, 他: 航空宇宙技術研究所 2 m × 2 m 遷音速風洞の計画と構造, 航技研報告TR-25, 1996年3月
- 2) 唐沢敏夫, 他: 2 m × 2 m 遷音速風洞用補助送風機設備の更新, 航技研報告TM-698, 1996年8月
- 3) 小松行夫, 他: 航技研 2 m × 2 m 遷音速風洞用排風機設備の更新, 航技研報告TM-702, 1996年10月
- 4) 三菱重工業株式会社神戸造船所: 航空技術研究所 納遷音速風洞装置用 22500kW 主送風機取扱説明書, 1960年12月
- 5) 株式会社神戸製鋼所: 二次元風洞設備用空気圧縮機取扱説明書, 1980年7月
- 6) 石川島播磨重工業株式会社: 遷音速風洞用乾燥空気圧縮機製作仕様書, 1989年5月
- 7) 東洋熱工業株式会社: 遷音速風洞冷却水設備取扱説明書(旧冷却水設備用図書),
- 8) 川崎重工業株式会社: 遷音速風洞冷却水設備更新工事完成図書〔機器図(1/2),(2/2)〕, 1995年3月
- 9) 三菱電機株式会社: 三菱誘導電動機 技術資料 基礎編・応用編・インバータ駆動編・据付保守編, 1987年3月
- 10) 阪上三郎: 電動力応用, 電気書院, 1982年6月

航空宇宙技術研究所資料

TECHNICAL MEMORANDUM OF NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

TM-713

風洞設備更新における技術課題と工事

小松行夫・鈴木正光
唐沢敏夫・末永尚史

1997年6月

航空宇宙技術研究所
NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

航空宇宙技術研究所資料713号

平成9年6月発行

発行所 科学技術庁航空宇宙技術研究所
東京都調布市深大寺東町7-44-1
電話(0422)47-5911 〒182
印刷所 株式会社実業公報社
東京都千代田区九段北1-7-8

© 禁無断複写転載

本書(誌)からの複写、転載を希望される場合は、企画室
調査普及係にご連絡ください。