

風洞用乾燥空気製造設備の更新について*

唐澤敏夫*¹ 末永尚史*¹

Replacement of Air-compressor System for NAL Wind Tunnels*

Toshio KARASAWA *¹ and Hisashi SUENAGA *¹

ABSTRACT

Work on refurbishing the NAL 2m x 2m transonic wind tunnel was started in 1985 and completed in 1994. The pressurized dry air used at the various NAL wind tunnels is manufactured by air-compressor systems. Due to deterioration, one of them was replaced by a new oil flooded screw compressor system, as well as other equipment in 1989. This paper describes why the oil flooded screw compressor system was adopted in the design, and outlines the constructions and performance of the new system in detail.

Key words : air compressor system, wind tunnel equipment

概 要

航空宇宙技術研究所では、昭和60年から平成6年にかけて、遷音速風洞の特別改修が行われた。

平成元年には、各風洞を運用する上で必要な高圧乾燥空気を製造する乾燥空気製造設備の内、老朽化の著しい既設1,200kW スクリュ圧縮機設備を撤去して、新しい設備に更新された。乾燥空気製造設備の圧縮機には油冷式スクリュ圧縮機（容量制御機構付）が採用されたことにより、設備運用の簡素化と、既設設備ではできなかった供給空気量を需要量に応じて最大製造能力の25～100%の範囲で無段階に調整でき、かつ、消費電力も50～100%に抑えることに成功した。

1. まえがき

航空宇宙技術研究所には、2m x 2m 遷音速風洞¹⁾をはじめ、超音速風洞、二次元風洞、フラッタ風洞等各種吹出式風洞やこれらの試験設備が必要とする高圧乾燥空気（最高圧力2MPaG、絶対湿度 6.5×10^{-6} kg / Nm³）を製造するための乾燥空気製造設備が設置されている。²⁾³⁾⁴⁾図1.1は更新後の乾燥空気製造設備と関連する高圧貯気槽設備、各種の風洞および実験装置の関係を示したものである。

既設乾燥空気製造設備は、昭和34年に2m x 2m 遷音速風洞の設備として、900kW 圧縮機（以後1号機と称す）乾燥空気製造設備（往復式圧縮機：製造能力6,000Nm³ / h）が設置された。その後、吹出式風洞の設置計画に伴い、昭和36年に1,200kW 圧縮機（以後2号機と称す）乾燥空

気製造設備（スクリュ圧縮機：製造能力6,000Nm³ / h）が設置され、昭和52年には3,450kW 圧縮機（以後3号機と称す）乾燥空気製造設備（ターボ圧縮機：製造能力18,000Nm³ / h）が順次設置され三つの設備で構成されていた。

設備の運用は、所内の総使用電力量の制限等から、三つの設備を同時に運転することはできなかったため、各設備の製造能力に基づき次のように運用されていた。通常の吹出式風洞や試験設備が必要とする高圧乾燥空気の使用量は、3号機設備の製造能力で対応できることが多かったため3号機設備のみの運転とした。機会は少なかったが、吹出式風洞の通風がなく、2m x 2m 遷音速風洞運用時の内部圧力制御および送風機系の軸封シール等に供給するだけの場合には、比較的長時間に亘り高圧乾燥空気が消費されるものの使用量が少ないので、1号機設備または2号機設備の一設備が運転されていた。

しかし、昭和50年代後半には設備の老朽化が進み、1,200kW 圧縮機は、ロータシールの劣化等により圧縮行

* 平成9年7月14日受付（received 14 July 1997）

*¹ 空力性能部（Aircraft Aerodynamics Division）

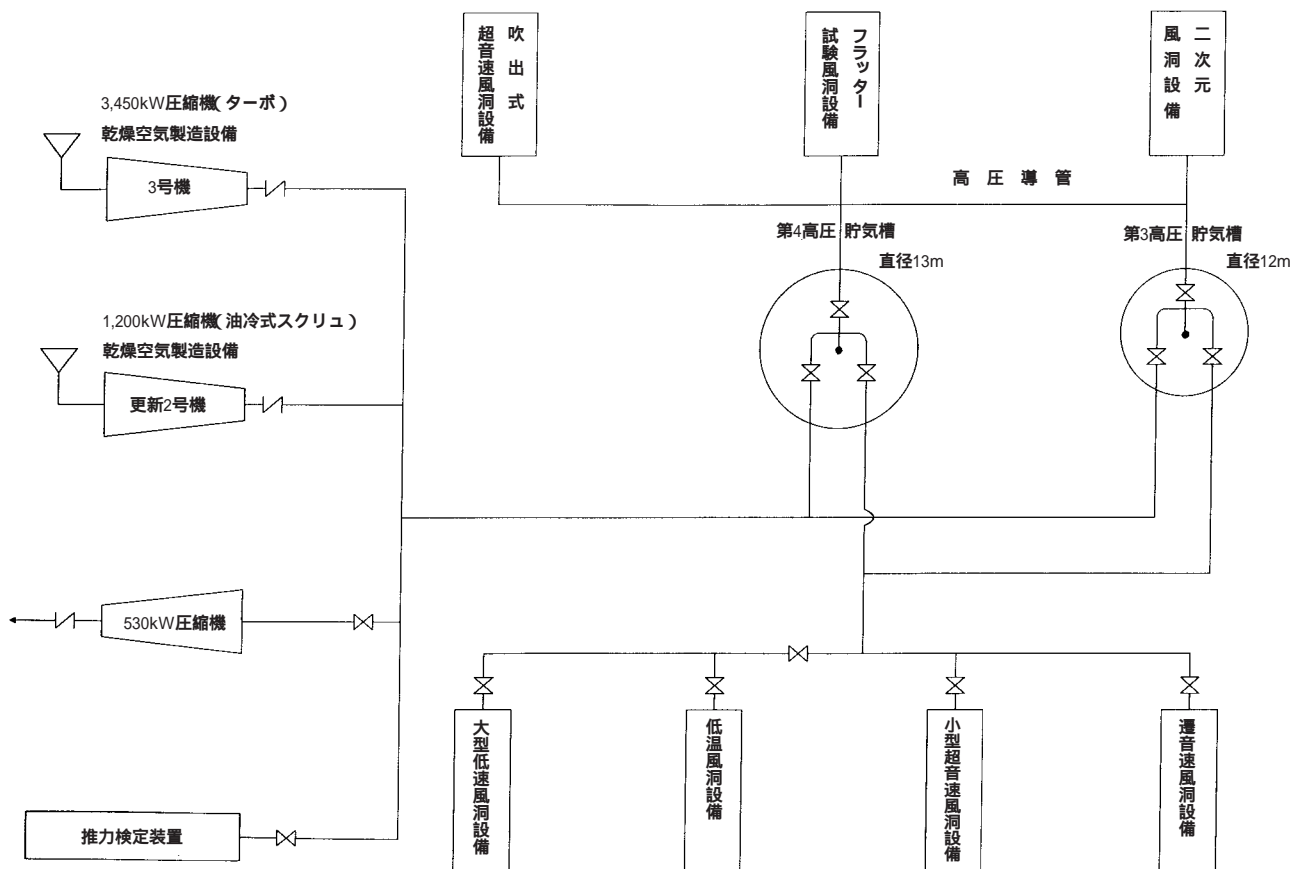


図 1.1 乾燥空気製造設備に関連する設備

程での空気洩れが大きく、所要の吐出圧力を確保できなくなり使用不可能な状態となった。また、900kW 圧縮機においては、シリンダーに付属する吸入吐出弁を始めとし、弁類の故障が続出する状態であった。さらに、乾燥空気を製造する脱湿装置の機能劣化が著しく、両設備とも所要の高圧乾燥空気が製造できない状態となった。

このような状況下では、従来のように空気消費量に応じ最適な容量の設備で対処することは不可能となり、常に大容量の3号機設備を運転せざるを得なかった。このため、電力の効率的な使用が不可能となっていたばかりでなく、圧縮機の運転が不可能となった場合には、すべての風洞設備の運転が不可能となる事態を招いていた。そのため、乾燥空気使用設備とその効率的な運用に適した能力を有する設備として1号機設備、2号機設備の更新が望まれていた。

このような背景をうけて、遷音速風洞特別改修計画の一環として、⁵⁾ 昭和63年度、平成元年度に予算措置がなされ、二つの設備の更新が単年度ごとに行われた。しかし、通常の乾燥空気の使用量は、3号機設備の製造能力で対応できていたこともあり、乾燥空気製造設備としての更新は一つの設備とすることとした。更新設備としては、

機能回復の不可能となっている2号機設備を撤去して、その据付け面積を流用して新しい設備が設置された。その結果、1号機設備は次年度に、貯気槽の乾燥空気を昇圧するブースタ設備(530kW 圧縮機設備)に更新されることとなった。

この2号機設備の更新にあたっては、単に老朽化した設備の更新に留まらず乾燥空気使用設備の効率的な運用も考慮した。高圧乾燥空気を使用する量が比較的少量ではあるが長時間に亘って消費する試験設備に対して、効率的な空気の供給が可能となるよう、製造能力の調整ができるように容量調節機構を設けること。さらに、3号機設備の補助的な設備として運用される事を考慮して、稼働機会が少なくなり休止期間が長くなっても保守維持が容易に行えることなどの機能を保有することが要求された。

これらの要求に対し最も適した圧縮機の形式、能力および設備構成を決定する技術検討作業が必要であった。本報告では更新された設備の概要、設備更新にあたって行った技術検討の概要および更新された設備の機能、性能について述べる。

2. 圧縮機の形式と仕様の決定

2.1 更新設備に要求される条件

設備の更新を実行するにあたり、高圧乾燥空気を使用する所内の設備の最適な運用を考慮した設備とするために要求される条件は下記の通りである。

(1) 運転・保守の負担低減

- (a) 設備の運転操作場所を遠音速風洞制御室から行う遠隔操作を基本とし、遠隔操作に必要な自動保護装置を充実させること。
- (b) 主機を運転する前後の補機類の処置が容易にでき、設備の起動・停止が単純な操作で行えること。
- (c) 運転中の監視が容易にできること。
- (d) 長期に亘って休止している状態からでも特別な処置を必要としないで運転の再開が容易にできる構造を有する設備であること。

(2) 容量調節機能の付加

- (a) 航技研が研究開発したSTOL実験機「飛鳥」の動力付風洞試験には、ジェットエンジンを模擬するためにTPS (Turbine Powered Simulator)⁶⁾ が用いられたが、それに供給される高圧乾燥空気の製造には高圧空気製造設備が使用された。風洞試験において一定の推力が保たれるようTPSを駆動させるには、貯気槽圧力の変動が少ないことが要求された。このような試験が行われる場合には、他の風洞等空気使用設備の運転によって貯気槽圧力の変動を押さえる必要が生じる。変化する乾燥空気の消費量に見合った量を供給できるよう、容量調節機構を備えること。
- (b) 設備の最大製造能力を下回る量の高圧乾燥空気を供給できれば良い場合に、空気製造能力を抑えることにより、使用電力量を減らすことができること。

2.2 圧縮機形式の選定

供給される電力と設備運転に必要な冷却水は既設設備から供給されるため電力容量と冷却水供給量は設備更新後も変わらないことから、新圧縮機の空気供給量は既設圧縮機の場合と同等になると考えられる。この条件から決まる空気供給量と圧力に適した圧縮機の形式には、往復型、スクリュ型⁷⁾の両形式があり、更新設備の選定対象⁷⁾とした。

当所の乾燥空気製造設備としての要求を満足する形式を選定するための比較検討を行った。

(1) スクリュ型圧縮機の給油方式の検討

スクリュ型圧縮機には、内部潤滑の方式により、無給油式と油冷式の二つがある。既設の2号機は無給油

式3段スクリュ圧縮機であった。無給油式スクリュ圧縮機は内部潤滑がないので、圧縮空気やドレンに対しての油分分離の処置をする必要がないことや、振動が少なく小型軽量になるため、設備据付けのための基礎工事が簡単であるという特徴から2号機に採用された。

しかし、当研究所の風洞等、空気使用設備が要求する最高圧力(2MPaG)を得るには、既設無給油式スクリュ圧縮機では、ロータを高速(最終段で約10,000rpm)で回転させることと同時に、ロータ間およびロータとケーシング間の隙間を極めて小さくする必要があった。この影響で、圧縮行程における発熱のために製造される圧縮空気が高温になる。熱変形や吐出圧が高いために部品に弾性変形が生じないようにし、ロータがケーシングに接触しないようにし、しかも空気漏れが生じないように設備を維持運用するには、高い技術に基づく定期的な開放点検によって、隙間調整を行う等の保守作業が必要であった。このような、保守管理に大きな負担がかかる型式の設備は、設備更新に要求される条件を満たさないことから、無給油式スクリュ圧縮機は、本更新圧縮機の形式選定から除外した。

一方、油冷式スクリュ圧縮機は比較的新しく開発されたもので、取扱ガス中に多量の油を直接噴射注入することによって、油膜による圧縮室の密封作用により、圧縮ガスの内部漏れは最小におさえられ、かつ、単段で高圧力比を得ることができるので、無給油式に比較し10分の1程度の低周速においても高効率を維持できる。したがってロータ回転の低速化(本更新設備として予想される最終段回転数約3,000rpm)による低騒音、低振動を達成するとともに、圧縮ガスの温度も低く保たれるために、部品の熱変形は小さく、ロータの接触等に対する安全性が高いことを特徴としている。これらの特徴は、更新設備において保守整備面で優れていることから、本設備の更新にあたっては、油冷式スクリュ圧縮機を形式選定の対象設備とした。

(2) 圧縮機の形式の決定

往復式圧縮機と油冷式スクリュ圧縮機のどちらの形式が更新圧縮機に適しているかを判断するために、比較した重要な項目と概要を表2.1に示す。

往復型圧縮機は、構造が簡単で機械として信頼性が高く、高い吐出圧が要求される場合に適している。また、回転数が低いので停止後の処置が簡単である。さらに、容量調節機構において最近の技術が適用され、無段階の容量調節が可能となっている。しかし、摺動部が多く作動弁機構を有するため、これらに関する故障に対する対策が必要となる。さらに短所として、変動荷重を完全に取り除くことができないことから、振動対策として設備の据付けのための基礎を頑丈かつ

表 2.1 圧縮機形式による特徴

形式 項目	往復型	油令式スクリュ型
容量調節	<ul style="list-style-type: none"> 0, 30~100% ステップレスアンローダ方式(新しい技術) 制御レスポンスが早い 	<ul style="list-style-type: none"> 0, 25~100% スライド弁方式 制御レスポンスが早い
長期運休時の処置	<ul style="list-style-type: none"> 発錆防止のため週1回程度の運転(ターニング)が必要 	<ul style="list-style-type: none"> 特になし
回転数	<ul style="list-style-type: none"> 約400rpm 	<ul style="list-style-type: none"> 最終段で約3,000rpm
停止後の処理	<ul style="list-style-type: none"> 停止後補機類をすぐに停止することができる 	<ul style="list-style-type: none"> 停止後補機類をすぐに停止することができる
基礎杭打	<ul style="list-style-type: none"> 必要あり 	<ul style="list-style-type: none"> 必要なし
特徴	<ul style="list-style-type: none"> 機械としての信頼性が実証されている 小容量、高圧吐出に適する 	<ul style="list-style-type: none"> 機械の温度として90 以下に保たれる 起動、停止が簡単 振動、騒音が少ない
問題点	<ul style="list-style-type: none"> 杭打の必要がある 摺動部が多い 	<ul style="list-style-type: none"> 付帯設備が大きい 油の分離性能が要求される

大規模にしなければならない。基礎工事に杭打作業を必要とするので、長期の工期を必要とする。

一方、油冷式スクリュ圧縮機は常に油で冷却されているために、機械の温度が90 以下に保たれることから熱変形が極めて小さい。また、振動対策や騒音に対する防音処置が容易であるなどの特長があり、容量調節においても、確立されたスライド弁方式が採用されている。しかし、吐出ガス中に含まれる多量の油を分離するための油回収機構等を必要とするため、本体に比べて大きな付帯設備を必要とする。

スクリュ型は基礎工事については何等問題ないことや、弁機構や摺動部が少ないことから部品点数も少なく故障が発生しにくく信頼性が高いこと、油により潤滑されているので発錆に対する対策も必要ないので保守整備面で優れている。これらの際立った特長を重視して、更新設備の圧縮機の形式に油冷式スクリュ圧縮機を選定した。

2.3 仕様

設計条件および仕様を表2.2に示す。要求仕様の詳細は以下の通りである。

- (1) 圧縮機は、容量制御機構を有し圧縮過程にある空気に油を直接噴射注入する油冷式スクリュ圧縮機とすること。
- (2) 製造される高圧乾燥空気中の油分は、5ppm 以下とすること。
- (3) 圧縮機より送られる空気を受入れて絶対湿度 $6.5 \times 10^{-6} \text{ kg/Nm}^3$ ($6.5 \times 10^{-6} \text{ H}_2\text{O/air (kg)}$ 、露点 - 60 atm) の高圧乾燥空気を連続して製造できる能力を有

表 2.2 設計条件及び仕様

取扱ガス 容量 圧縮方式 吸込圧力 吸込温度 吐出圧力 吐出温度		空気 標準状態について $7,000 \text{ Nm}^3/\text{h}$ (Dry Base) 2段圧縮 101.3kPa (大気) 30 (相対湿度80%) 2,161.4kPa 40
冷却水	種類	循環水
	供給圧力 供給温度 温度上昇 水量	200kPaG 35 7 150m ³ /h
脱湿設備	絶対湿度 圧力 空気容量 方式	$6.5 \times 10^{-6} \text{ Kg/Nm}^3$ 2,000kPaG $7,000 \text{ Nm}^3/\text{h}$ 個体吸着剤充填加熱再生式
	吐出空気含有油分	5ppm以下
ドレン中の残留油分		5ppm以下

する脱湿設備を設けること。

- (4) 脱湿設備は、吸着剤充填の脱湿筒を2筒持ち、圧縮機の運転に連動して2筒の切換えを行い交互に脱湿、再生を行うことができること。
- (5) ドレンに含まれる残留油分を5ppm以下に浄化する性能を有するドレン処理装置を設けること。
- (6) 設備全体の運転方法は、1人操作方式をとり、起動の1動作により全ての機器が安全に起動され運転状態に入るものとし、また、停止の1動作により全ての機器が休止状態に復帰するものとする。

3. 更新された設備の概要

3.1 機器構成

本設備の系統図を図3.1に示す。本設備は2段式圧縮機方式を採用し、電動機の両端に各段の圧縮機が接続され駆動される。大気から吸込まれる空気と潤滑油の流れは次のようになっている。

吸入ガス濾過器を通して塵埃を除去された空気は、吸入消音器を通して、圧縮機吸込ポートより1段圧縮機に吸込まれ、吐出圧力まで昇圧される。この時、圧縮機軸封部、増速ギヤ、軸受等に供給された潤滑油と直接ロータ室に注入された潤滑油(内部油)は、ロータ室内部で空気と混合して圧縮機より吐出される。

この多量に油を含んだ空気は1段油回収器に入り、大部分の油は衝突効果や流速低下等によって油回収器にて空気から分離される。ある程度の油を分離した空気は1段油分離器に入り残留している油を分離する。1段油分離器内には、グラスウールのデミスターが取り付けられて

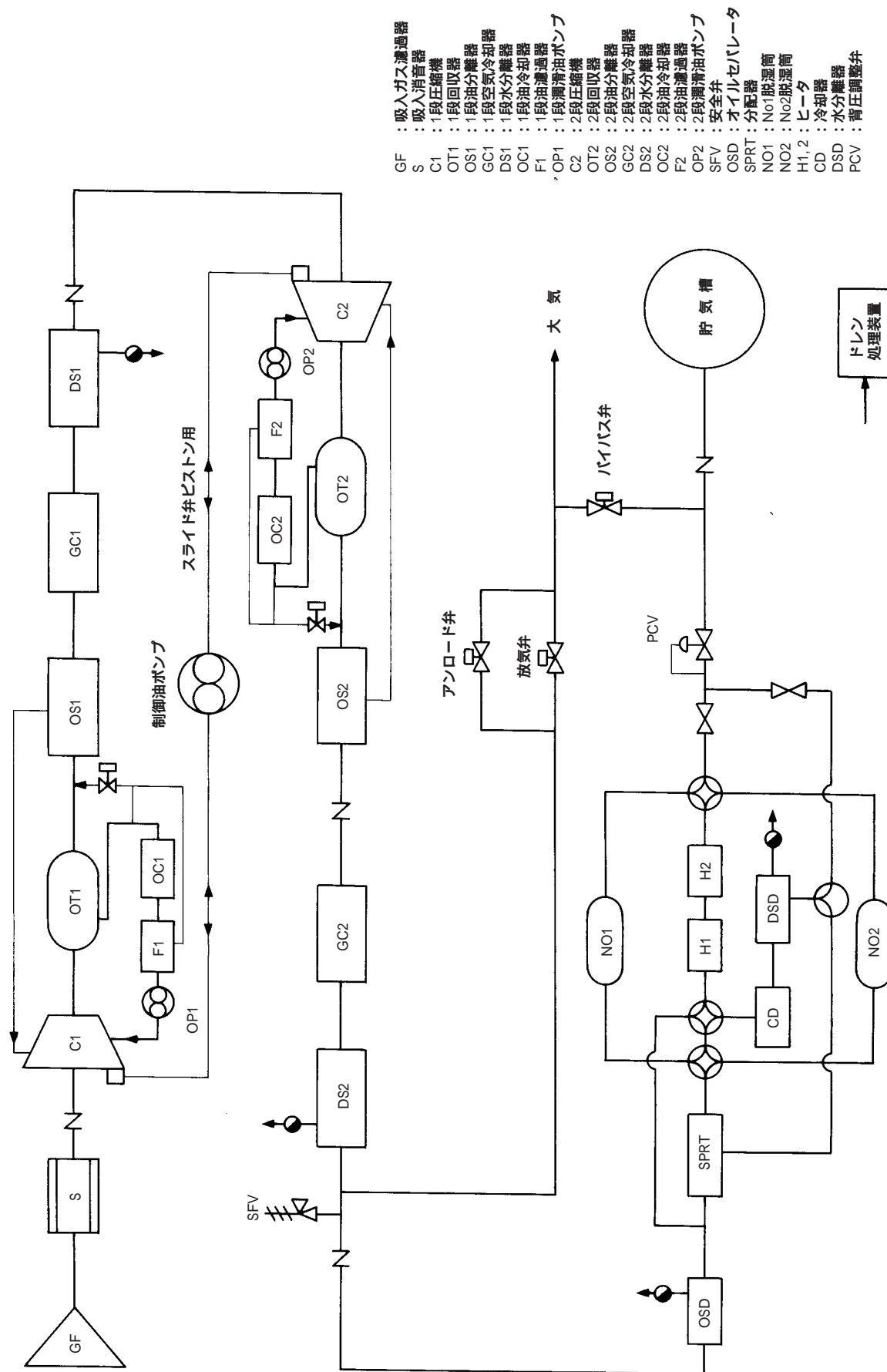


図 3.1 設備概略系統図

おり、油を含んだ空気が外側から内側へ通過するとき、油の微粒子はグラス繊維の作用によって集合成長し、空気中から分離されデミスター内部および外部に溜まる。

1 段油分離器より除去された油は、圧縮機低圧部に通ずる配管により連続的に吸引され、吐出側に飛散しないようになっている。油分離器を出た空気は、空気冷却器を通過して冷却される。冷却時に凝縮した水分は、サイクロン式水分離器によって除去される。

油回収器によって分離された潤滑油は、油冷却器、油濾過器、油ポンプを通過して圧縮機に供給される。この際、圧縮機出口においては、ドレンの析出を防ぐため給油温度が一定に保たれている。

1 段圧縮機で約 0.4MPaG まで圧縮された空気は、2 段圧縮機で 2.1MPaG まで圧縮される。2 段圧縮機側も 1 段圧縮機と同様の機器構成となっている。2 段側より見た圧縮機設備の外観写真を図 3.2 に示す。

2 段圧縮機を出た空気は、セラミックエレメントを内蔵したオイルセパレータにより油分をさらに除去されて、脱湿装置に導かれる。脱湿装置は、吸着剤を充填した脱湿筒を 2 筒備え、4 方弁、3 方弁、2 方弁の各弁を行程に合わせて自動的に切換えを行うことによって吸着、再生を交互に行い、連続して空気を乾燥させる。

脱湿装置を出た乾燥空気は背圧調整弁で一定の圧力に保たれて高圧貯気槽に導びかれ貯えられる。なお、油の混入したドレン水はドレン処理装置により油分を分離し排出される。

3.2 主要機器の仕様と機能

主要構成機器の仕様は以下の通りである。

3.2.1 圧縮機本体

(1) 要目

(a) 形式	容量制御機構付 油注入スクリュ型 2 段式圧縮機
--------	--------------------------------



図 3.2 油冷式スクリュ圧縮機

(b) 取扱流体	空気
(c) 設計仕様	
吸込条件	
圧力	101.3kPa
温度	30
吐出条件	
圧力	2,161.4kPa
温度	1 段 75 2 段 80
(d) 回転数	1 段 1,936rpm 2 段 2,790rpm
(e) 軸動力	1,194kW
(f) 駆動方式	カップリング直結
(g) 容量調整方式	スライド弁式 無段階 100 ~ 25%
(h) 潤滑油充填量	2,378 ℓ

(2) 構造

油冷式スクリュ圧縮機の典型的な概略構造を表した圧縮機単体組立図を図 3.3 に示す。圧縮機は大きく分けてケーシング、雄ロータ、雌ロータ、入力軸、軸受、メカニカルシール、スライド弁より構成されている。動力は電動機からカップリングを介して入力軸に伝達される。なお、本設備の増速装置は、入力軸と雄ロータの間に設けられている。1 段側はケーシングの中に組込まれている型式であり、2 段側はケーシングの外に単独に設ける型式を採用して、電動機の回転数をそれぞれ増速している。雌ロータは雄ロータとの歯形の噛み合いにより、直接駆動されるため同期歯車は不要となり、単純な構造となっている。

ロータ間に閉じ込められた圧縮過程にある空気は、油注入穴から注入される油により冷却、密封がおこなわれるため、広範な圧力条件と高効率の運転が可能である。さらにこの注入された油によってロータ間の潤滑がおこなわれるため、前述のロータ歯形の噛み合いによる直接駆動が可能となっている。

ケーシングの下部には、吐出容量を無段階に調節することができる容量調節弁（スライド弁）機構が設けられている。圧縮機は、ロータの一端から歯形の構内に空気を吸入し、歯の噛み合いによって空気を他端の吐出口に送り、その間に体積を減少させ吐出圧力まで圧縮する。

以下に図 3.4 に示す符号を併記して、構造上で特徴のある構成部品について述べる。

(a) ケーシング

ケーシングは、鋳鉄製でロータ室、吸込側蓋、吐出側蓋等に分割されている。吸入口は上部、吐出口は下部にあり、ロータ歯形間で密封された空気圧力が吐出圧力に達した時に圧縮空気を吐出するように設

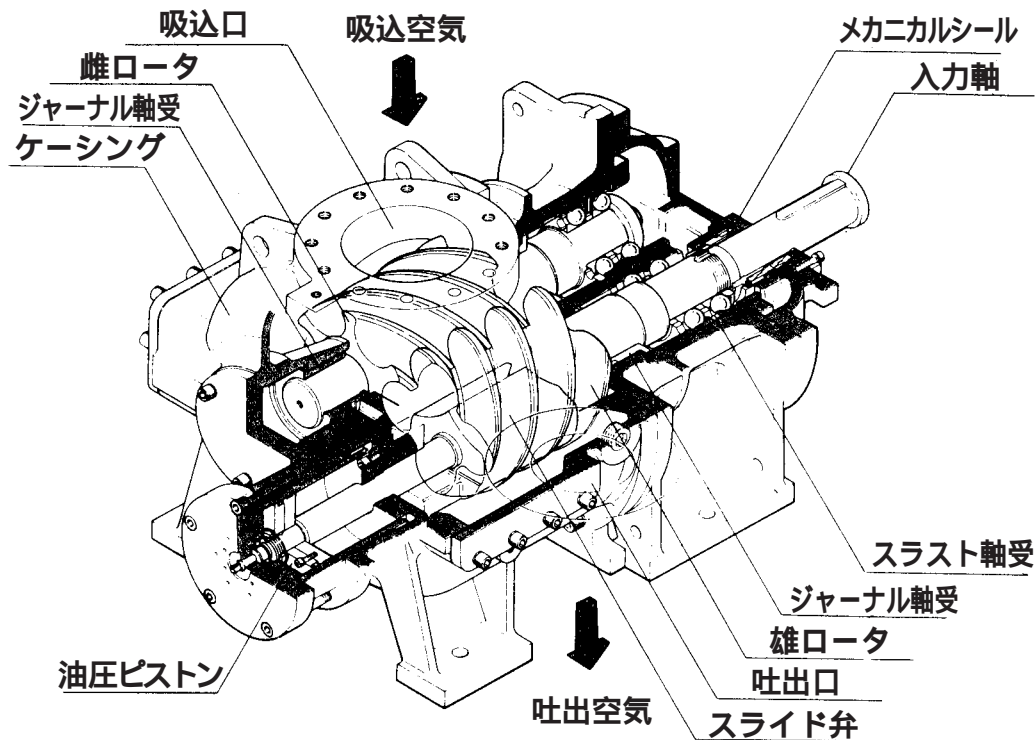


図 3.3 圧縮機単体組立図

計されている。ケーシングには、ロータの噛み合い部分に合理的に油が注入されるように数個の油注入穴が設けられている。圧縮機が油注入式のため、圧縮中の温度上昇が小さいので強制冷却の必要が無く、冷却水配管を設ける必要がないことでケーシング周りが単純な構造となっている。

(b) ロータ

歯形部分は鍛鋼製で歯形は入念かつ精密な加工が施されている。加工後十分な動的な釣合調節を行い高速回転において振動が生じないようにされている。雄ロータは4枚、雌ロータは6枚のねじれた歯（非対称歯形）を有し、動力は雄ロータに伝えられ、歯形の噛み合いにより雌ロータは雄ロータに従属して回転させられるが、独特の歯形形状のため雌ロータにはほとんど圧縮によるトルクが発生しない。

(c) 軸受

軸受はロータとケーシングおよびロータ相互の間わずかの隙間を保ち、圧縮により生じる反力をささえている。主軸受には鍛鋼製でプッシュにホワイトメタルを裏張りしたジャーナル軸受を採用している。吸入吐出の圧力差により生ずる推力は、スラスト軸受（アンギュラコンタクト玉軸受）で受ける。

雄ロータ軸にバランスピストンがあり、ロータに

発生した推力に対して反対方向に向かう推力を油圧により発生させスラスト軸受にかかる負荷が軽減されている。

(d) 軸封装置

ロータ軸がケーシングを貫通する部分には、メカニカルシールが使用されており、空気の漏洩を防止している。メカニカルシールの一次シールは、軸と共に回転するカーボン製のワッシャーと、それに接触して静止している鋳鉄製のシートで構成されている。二次シールは合成ゴム製のOリングが使用されている。メカニカルシールには、軸受潤滑油の一部が冷却用として使用され、熱歪の防止と合成ゴムの劣化を防いでいる。

(e) 容量調節機構

本機構は容量調節を目的としたもので、スクリュウ圧縮機独特の構造を有している。本機構はケーシングロータ室の一部を切り欠いて、軸方向に移動可能なスライド弁とケーシングに固定された部分（固定部）により構成され、さらにこのスライド弁を軸方向に駆動し所定の位置に固定するための油圧式弁駆動機構により構成されている。

以下にスライド弁による容量調節機能を示す図 3.5 も併用してスライド弁駆動機構と容量調節の原理につ

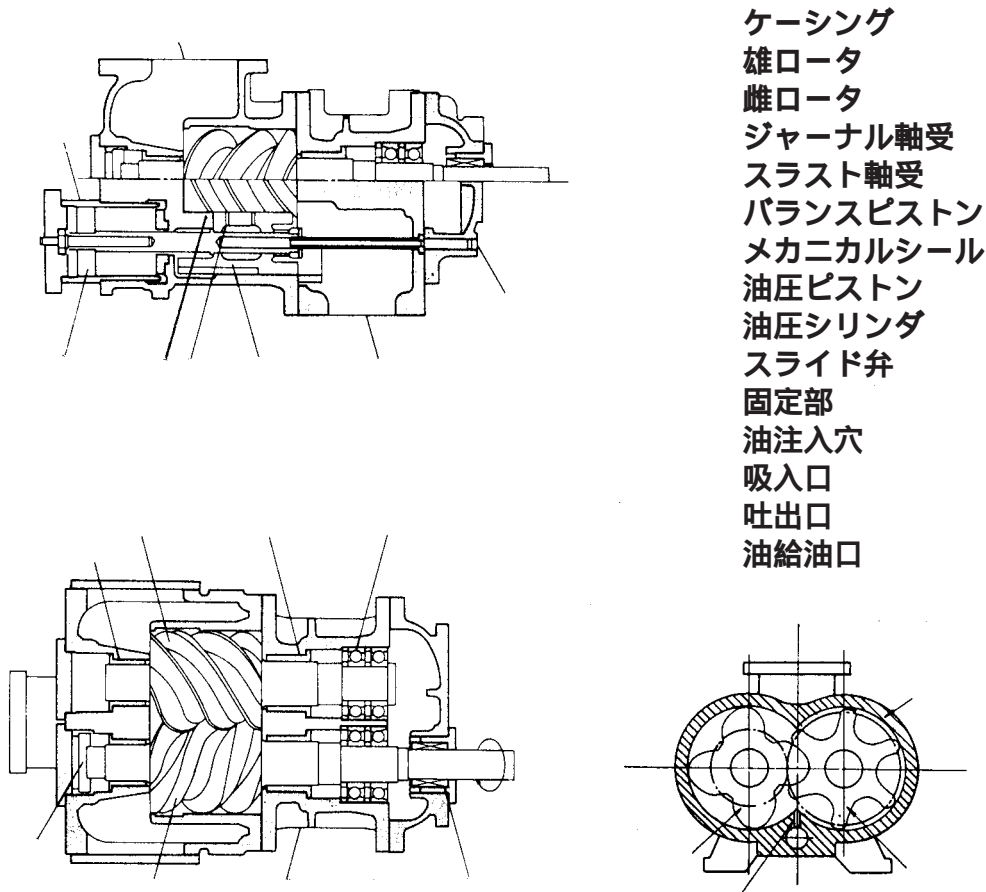


図 3.4 圧縮機概略断面図

いてやや詳しく述べることにする。

スライド弁の開閉動作は、圧縮機に取り付けられた油圧式弁駆動機構によって行われる。油圧ピストンの作動方向の切換えは電気式の4方向3位置切換弁(4方切換弁)により、油圧回路を切換えることによつて行われ、スライド弁が軸方向に開閉される。

なお、油圧ピストンの先には、高精度非接触センサが取り付けられておりスライド弁の位置を常に検出して、調節系のフィードバック制御を行つて、容量設定器から出る開度設定値信号に応じた、正確な開閉動作と位置の保持が可能となっている。

スライド弁を吐出側に動かすことにより、固定部とスライド弁の間に隙間ができ、この隙間は吸込側に開放されているので、ロータの噛み合い点がスライド弁に達した後から圧縮行程が始まることになる。圧縮機吐出容量を調節するには、この隙間の大きさを変えることで行える。すなわち、図3.5(B)ではスライド弁が少し開いた位置にあり、ロータに吸込まれた空気は固定部とスライド弁の隙間から一部漏れだし、ロータ噛み合い点がスライド弁の吸込端面にきたところから圧縮行程が開始されることになる。ただし、こ

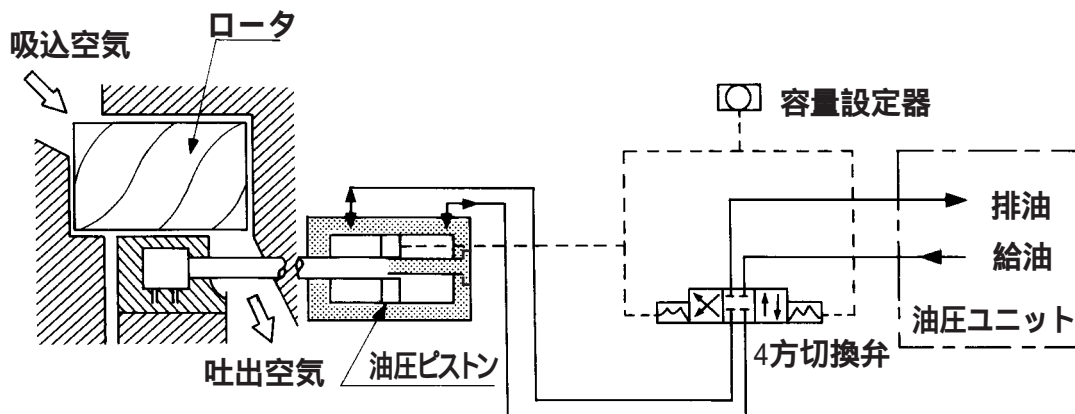
の場合にはスライド弁開度が小さいため、ここを通過して漏洩する空気量が制限されるので、容量はわずかの減少となる。さらにスライド弁が大きく開いた位置にある図3.5(C)ではロータ噛み合い点がスライド弁の吸込端面にくるまで吸込空気はスライド弁と固定弁の間を通過して吸込み側へ戻るため、ロータに吸込まれた大部分の空気の圧縮は全く行われず、結果として、ロータが本来持っている行程体積が減少させられたことになり容量も大幅に減少することになる。また、スライド弁が吐出側へ移動し行程体積が減少するにつれて、吐出ポートの大きさも小さくなるので、内部圧縮比も常に適正な値に維持されている。

このように、スライド弁の開閉によって、ロータの有効長さを調節することで、行程体積が変化して約25%から100%までの容量調節を無段階で行うことができる。

3.2.2 駆動用電動機

駆動用電動機は、1段圧縮機と2段圧縮機の間中に位置して、両端を連結して両圧縮機を駆動する構造となっている。

スライド弁方式の系統



容量調節の原理

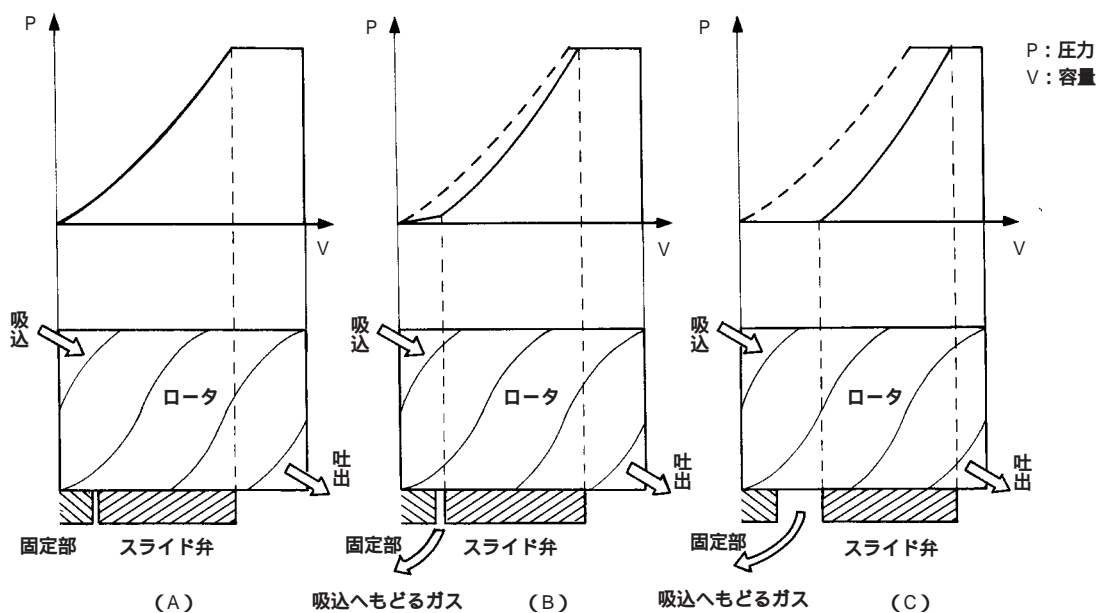


図 3.5 スライド弁による容量調節機能

(1) 要目

(a) 形式

3相誘導電動機
 籠形ロータ
 全閉外扇パイプ冷却形(消音器付)
 コロガリ軸受式

(b) 定格

極数 4極
 出力 1,200kW
 回転数 1,490rpm
 電圧 3,300V
 周波数 50Hz

絶縁 F種

(c) 起動方式 コンドルファ起動

(d) 起動電流 200%以下

3.2.3 電源設備

電源設備は、高圧引込盤、圧縮機起動盤、300kVA補機変圧器盤、コントロールセンタで構成され、圧縮機機側に設置されている。受電設備より3,300Vの電力の供給を受けて、本設備に必要な全ての電力を賄う。補機類の電源は、高圧引込盤より分岐した電源を300kVA補機変圧

器で400Vに降圧したのち、コントロールセンタを介して供給される。

3.2.4 脱湿設備

脱湿設備は、オイルセパレータと脱湿装置で構成されている。圧縮機からオイルセパレータの一次濾過室に流れ込んだ圧縮空気は、セラミックエレメントの外側から内側に向かって流れ、空気中の不純物がエレメントの表面で捕捉、分離される。油分、水分のミスト類は、多孔質なセラミックエレメントを通過する際に、凝縮作用、造粒作用を受け、導管により二次濾過室に流入する。

造粒されたミスト類は、この二次濾過室のパッフルプレートにて、衝突および遠心作用によって滴下、分離される。ミスト分離された圧縮空気は、出口側導管によって脱湿装置に供給され、ドレンはフィルタ下部より自動ドレントラップを介して排出される。この行程により、圧縮空気中の油分が5ppm以下まで除去される。

2基の脱湿筒から構成される脱湿装置は、圧縮機の運転と連動して駆動されるとともに、各筒を繋ぐ切換弁の自動切換えによって、吸着行程により1筒が所要の乾燥空気を製造している間に、吸湿力の低下した他筒の吸着剤を再生する。2筒の脱湿筒を交互に切換えて吸着行程と再生行程を繰り返し使用することによって、圧縮機から送られる圧力2.1MPaG、風量7,000Nm³/hの空気が絶対湿度 6.5×10^{-6} kg/Nm³の乾燥度を有する空気に連続製造される。

吸着剤として、各筒に800kgの合成ゼオライトが充填されているので、1筒で20,000Nm³(約3時間)分の脱湿を行う能力がある。比較的高温でもかなりの吸着能力を持つ合成ゼオライトを吸着剤として使用しているため、従来の吸着剤のように、脱湿筒に入る前に、空気の温度を低温にするために必要となった冷凍機等の付帯設備を必要としない。

このような脱湿装置の運用のために基本となる運転モードとして「標準」運転モード、再生だけの「再生」運転モード、脱湿だけの「吸着」運転モードの3種類の運転モードの選択が可能である。

ここでは、「標準」運転モードの脱湿装置内の空気の流れを図3.6を用いて説明する。

「標準」運転モードでは、それぞれの脱湿筒の脱湿と再生が同時に進行する。圧縮機からの空気が、分配器手前で2方向に分けられる。分配器とは、吸着ラインと再生ラインの空気量を調整する弁で、オンロード時は再生ラインへ約1,260Nm³/h分岐し、アンロード時は圧縮機的全吐出量約1,050Nm³/hが流れるように空気量調整用の比例弁である。No.1筒の吸着ラインによる吸着行程を経た空気は、分配器を通り脱湿筒にて20,000Nm³の規定量

まで脱湿される。

一方、No.2の再生ラインの再生行程を経た空気は、電気ヒータの加熱により、約250℃まで加熱調整される。加熱された空気は、脱湿筒の下から上に流れ、吸着剤に吸着された水分を分離しクーラー、ドレンセパレータにより除湿される。加熱時間は約2時間弱としているが、再生筒出口温度が150℃に達すると加熱が打ち切られ、電気ヒータの電源が切れるとともに、DV-3弁が切換わることによって、分配された常温の空気が脱湿筒の上から下に流れる。高温になっている吸着剤を、吸着能力が発揮できる温度まで下げるために1時間の冷却行程が行われる。

通常、再生行程が先に終了するので、吸着行程の終了に従って、DV-1、DV-2、DV-3、DV-5、の切換えが連動して行われるので、乾燥空気を連続して製造することができる。なお、DV-1、DV-2、DV-3は、4方弁、DV-5は、3方弁、DV-4、DV-6は、2方弁である。

また、脱湿装置下流に、背圧調整弁を設けて、装置内の圧力が2MkPaGに調節されている。

(1) 要目

(a) 形式	2筒全自動切換方式 吸着：固体吸着剤式 再生：加熱再生式
(b) 絶対湿度	6.5×10^{-6} kg / Nm ³
(c) 圧力	2,063.3kPa
(d) 吸着剤	合成ゼオライト 800kg × 2筒
(e) 再生ヒータ	シーズヒータ式60kW × 2台
(f) 分配器	重錘式
(g) オイルセパレータ	縦置円筒型

3.2.5 ドレン処理装置

本装置は、ドレン水に混入した油分を除去する装置である。圧縮機、脱湿設備から排出されたドレン水は、まずドレン分離槽に集められ、浮上油および比較的大きな分散油が吸着除去される。次に、ドレン水は、ドレン分離槽からベーンポンプによりドレン処理装置に導かれ、12本の独立した槽内のフィルタエレメントを通すことによって、油分は5ppm以下まで除去される。排出された水は清水確認槽を通るので、ここで油分の除去状況を目視監視することができる。

ドレン分離槽内の前処理用吸油材、ドレン処理装置のフィルタエレメントの寿命を管理することによって、油分処理能力を維持することができる。

3.2.6 計装空気用圧縮機

乾燥空気製造設備の計装空気は、通常、圧縮機が起動

標準モード No.1筒 吸着 : No.2筒 再生

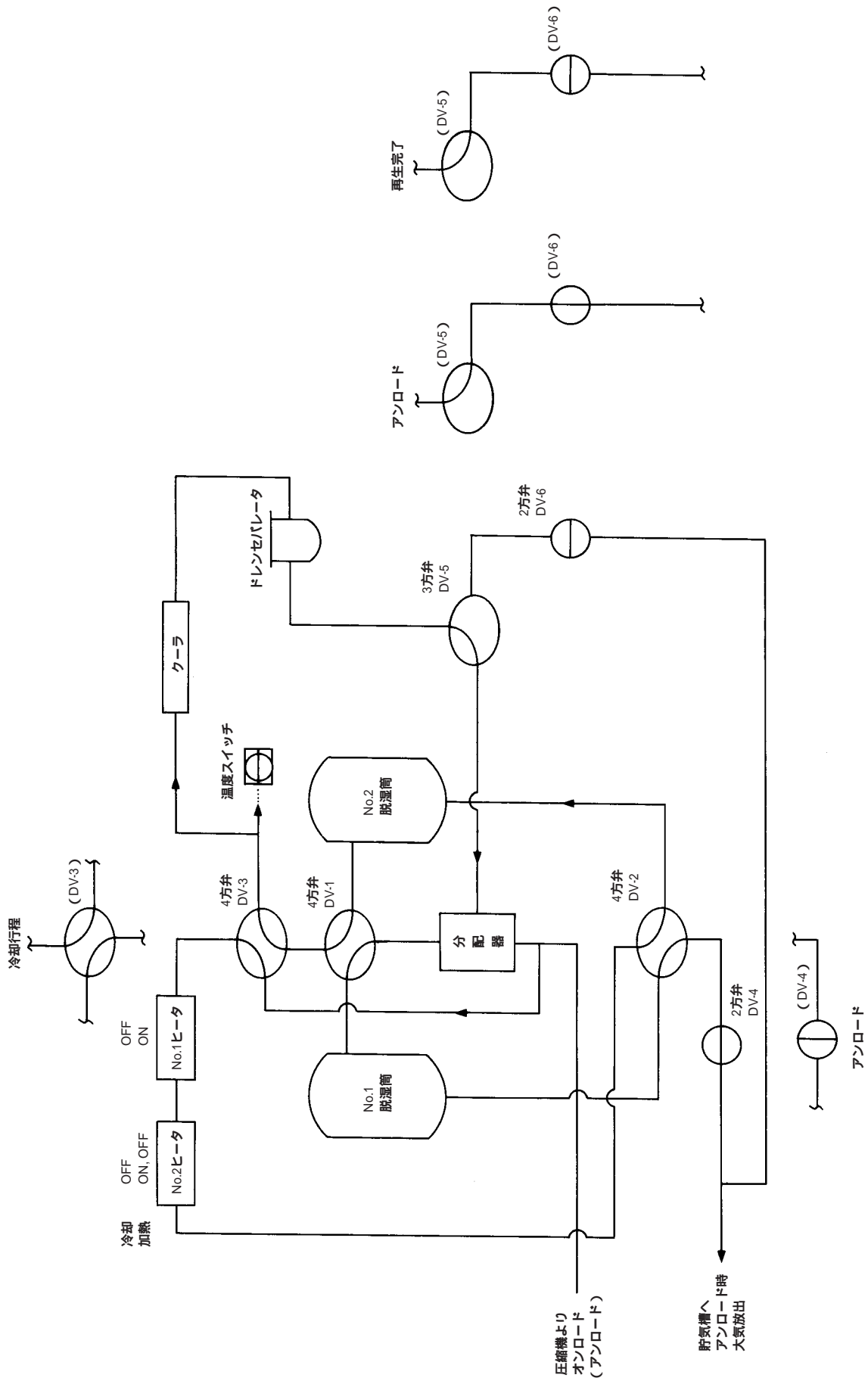


図 3.6 脱湿装置内の空気の流れ

完了するまでは高圧貯気槽設備の空気を減圧して使用される。そのため、貯気槽の開放点検等で貯気槽の空気が無くなった時には、空気作動で運動する各機器を手動にて操作することで、圧縮機の運転を再開しなければならなかった。これを解決するために、計装用の圧縮機を設けた。これにより、このような事態が発生した場合、運転前に計装空気用圧縮機を起動して、計装空気を確保しておけば、本設備の運転は通常通り、起動スイッチの操作だけで行うことができるようになった。

(1) 要目

(a) 形式	小型往復動型
(b) 吸込圧力	大気圧
(c) 吐出圧力	700kPaG
(e) 定各出力	1.5kW
(f) ドライヤ	
形式	冷却式
露点	- 17
消費電力	200W

4. 設備運転

本設備の運転監視は、汎用シーケンサによるデジタルシーケンス制御方式を採用している。誤動作による事故を防ぎ、安全性を確保するために、シーケンス上で種々のインタロックが設けられている。

中央操作監視盤の写真を図4.1に示す。設備の運転操作場所は、制御室内中央操作監視盤(「中央」)と現場操作監視盤(「現場」)の2ヶ所である。それぞれの場所で、各機器を単独操作するモード(「単独」)と起動スイッチの操作に連動して、シーケンス制御で行程を進めるモード(「連動」)があるので、4通りの運転方法を選択することができる。

通常は「中央」・「連動」モードが選択され、冷却水ポンプ操作と高圧貯気槽充填弁の操作が行われていれば、1回のスイッチ操作でワンタッチ起動・停止を行うことができる。図4.2に運転フローチャートを示す。設備運転中の送圧時は、貯気槽圧力を検出し、上限・下限値の設定に連動して圧縮機のロード、アンロードが自動的に行われ、容易に完全自動運転が行える運転システムとなっている。

5. 更新設備の性能

本設備設置後に性能試験を行い、以下に述べる本装置の機能・性能を確認した。

- (1) 高圧乾燥空気の製造能力は、7,000m³/hであった。この最大製造能力の25～100%の範囲で、製造量を無段階に調節できることを確認した。この時の電動機が必要とする電力は、約600～1,200kWであった。



図4.1 中央操作監視盤

- (2) 脱湿設備の吸着筒を通った高圧乾燥空気は、酸化アルミニウムプローブを、脱出設備最終吐出配管に設置して露点温度を測定することで、絶対湿度 $6.5 \times 10^{-6} \text{kg} / \text{Nm}^3$ の乾燥度を達成していることを確認した。なお、露点計の出力は、中央操作監視盤に表示されており常時監視することができる。
- (3) 本設備で製造される高圧乾燥空気中に含まれている油分は、オイルセパレータの下流配管から空気の一部を取り出し、設置したオイルインジケータに流すことで、インジケータ部分の変色の速度計測により求められた油分結果から5ppm以下であることを確認した。
- (4) ドレン水に含まれる残留油分は、ドレン処理装置で処理されたドレン水をサンプル採取して、所外の試験機関での分析試験の結果から5ppm以下であることを確認した。
- (5) 機側から1m離れた所での騒音測定の結果は、100dB(A)以下であった。

6. まとめ

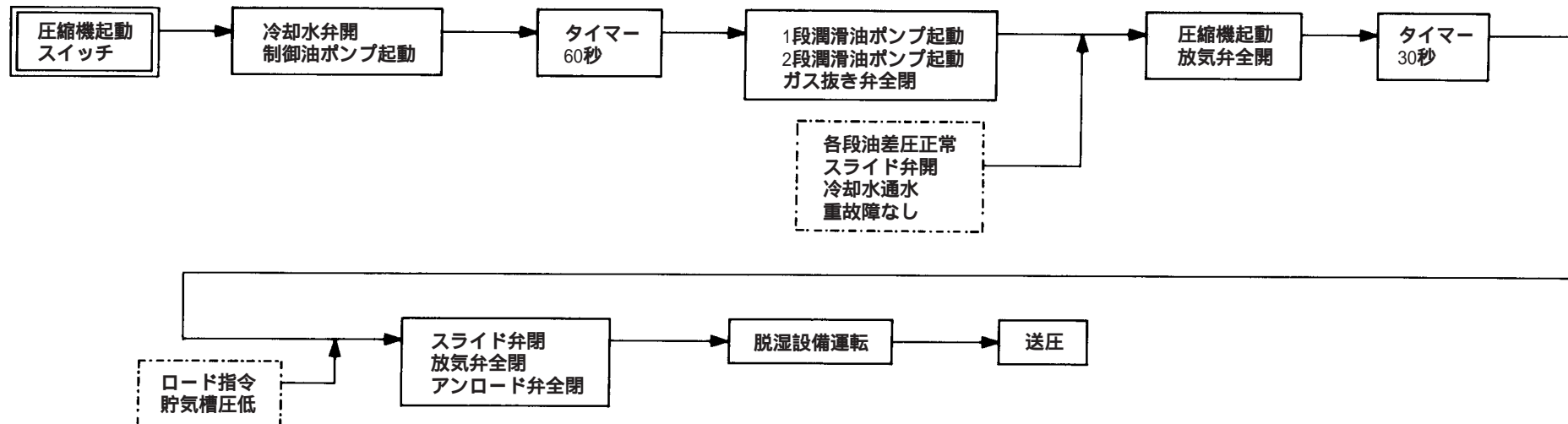
乾燥空気製造設備の更新にあたり、設備の機能向上を図るために、油冷式スクリュウ圧縮機を導入した。これにより、要求機能・性能を満たすとともに、効率的、省エネルギー的かつ保守整備の容易な安全性の高い高圧乾燥空気の製造設備を実現することができた。

本設備の整備により得られた機能向上の概要および運用面、経済性の特徴は以下の通りである。

(1) 運転操作の容易さ

ワンタッチ動作の完全自動運転が可能になったとともに、主電動機停止後1分で設備全体の運転が完了させることができるようになり、運点操作の容易な設備とすることができた。

1) 起動フローチャート



2) 停止フローチャート

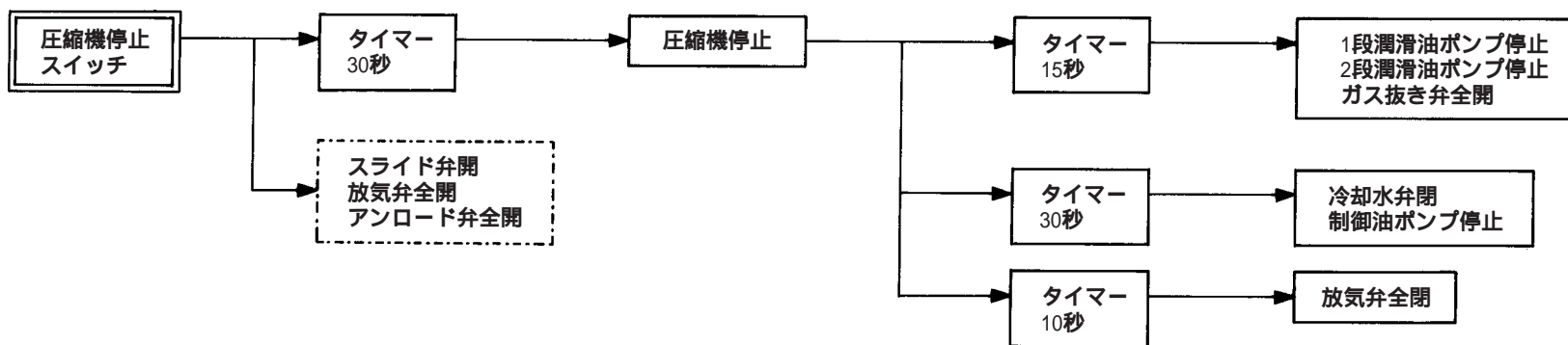


図 4.2 運転のフローチャート

(2) 保守整備の容易さ

油入りの圧縮機のため、長期運休時の発錆防止等の処置の必要が無く、機械的摺動部が少ないことから定期点検等の周期を長くすることができるなど設備の保守、整備、維持管理が容易な設備とすることができた。

(3) 高圧乾燥空気の効率的な供給と経済性の高い運用

本設備を 3,450kW 圧縮機設備と組合わせて運転、または単機運転を行うことにより、供給効率が高くかつ経済性の高い設備にすることができた。

(4) 電力消費量の削減

アンロード弁の設置により、脱湿筒の再生が完了していれば、脱湿設備に圧縮空気を流す必要はなくなり、圧縮機の吐出圧力を約 1MPaG まで下げることによって、200kW 前後の省エネルギー化を図ることができた。

(5) 廃油対策

油冷式スクリュ型圧縮機の採用により、ドレン水から分離した油分を吸着したフィルタエレメントの寿命を管理する必要が生じたとともに、汚れたエレメント類を処分する対策が必要となった。しかし、エレメントの寿命は、5～10年と予想され維持管理上は問題にならない。

謝 辞

本設備は、当研究所の高圧ガス取締法の適用を受けることになった。本設備の更新工事にあたっては工事請負業者である株式会社神戸製鋼所に特段の努力を頂いた。また、完成直後の平成元年4月に第二種压力容器の法規上の適用を受けることになり、これらに伴う各種届出、事務手続き等に関して管理部安全施設課の方々および遷

音速風洞制御研究室鈴木室長の御協力を頂いた。遷音速風洞計測研究室戸田室長(当時制御研究室室長)には、本工事を通じて終始御指導を頂いた。ここに関係各位に厚く感謝の意を表する。

7. 参考文献

- 1) 航空技術研究所；航空技術研究所2m × 2m 遷音速風洞の計画と構造、航空技術研究所報告 TR-25、1962年3月
- 2) 鈴木誠三、萱場重男、野口正芳、小松行夫、鈴木正光、萩原秀徳；吹出式風洞用高圧貯気槽設備の低温装置の特性測定と第3高圧貯気槽の増設、航空宇宙技術研究所報告 TR-639、1980年11月
- 3) 空気力学第2部；航技研二次元遷音速風洞の構造と特性、航空宇宙技術研究所報告 TR-647、1980年11月
- 4) 馬場滋夫、末永尚史、鈴木正光、戸田亘洋；航技研高圧貯気槽設備の更新について(第4高圧貯気槽設備の計画と構成)、航空宇宙技術研究所資料 TM-634、1991年3月
- 5) 鈴木弘一、細江信幸、中村正剛、小池陽、飯島由美、小国保男、河本巖、海老原正夫；航技研遷音速風洞の測定胴設備改修の概要について、航空宇宙技術研究所資料 TM-674、1995年1月
- 6) 小池陽、浅井圭介、細江信幸、唐澤敏夫、末永尚史、三堀進、鈴木弘一；遷音速におけるTPS特性試験、航空宇宙技術研究所報告 TR-968、1988年3月
- 7) 大木尚隆、川口準；空気機械、1986年 pp.64-168、明現社

航空宇宙技術研究所資料

TECHNICAL MEMORANDUM OF NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

TM-717

風洞用乾燥空気製造設備の更新について

唐澤敏夫・末永尚史

1997年9月

航空宇宙技術研究所

NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

航空宇宙技術研究所資料717号

平成9年9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。