

省エネルギークリーンエアシステム

—新形オイルフリースクリュー圧縮機の応用—

Energy Saving Type Clean Air System

—Application of New Type Oil Free Screw Compressor—

産業のあらゆる分野で利用されている空気圧縮機に対して、近年、省エネルギーでしかも油の混じらない清浄な空気への要求が高まっている。これは、エネルギーコストの高騰による運転費の増大、圧縮空気中の油分によるプロセス機器のトラブルなどを解消するため、及び油の混じらない空気の用途が多くなっているためである。

これらの要求に応じるため、効率の向上を図った新形オイルフリースクリュー圧縮機を主体とし、負荷変動に対し効率の良い自動運転制御を行なうマイクロコンピュータ制御盤と圧縮機の廃熱を利用した省エネルギードライヤとを組み合わせ、省エネルギークリーンエアシステムが開発された。ここでは、このシステムの概要と特長及び応用例について述べる。

刑部一郎* *Ichirô Gyôbu*
 沖田純二* *Junji Okita*
 田村守男* *Morio Tamura*
 大泉純一** *Jun'ichi Ôizumi*

1 緒言

動力用、計装用、各種プラント用など、あらゆる産業に使用されている空気圧縮機は、近年、人件費その他経費の高騰による保守点検費の増大や、振動、騒音、油漏れなどに対する環境規制が厳しくなるに伴い、1万m³/h以下の中小容量機では、往復動形から保守点検の周期が長く、振動、騒音も小さい回転形へ、油潤滑式から無給油式へ移行している。中小容量機の無給油式回転形圧縮機の代表的なものとして、オイルフリースクリュー圧縮機がある。オイルフリースクリュー圧縮機は、その機構から(1)小形・軽量である。(2)振動、騒音が小さい。(3)保守点検が容易で、しかもその周期が長い。などの特長に加え、油の混じらない清浄な空気が得られることから、近年、その需要は急速に伸びている。

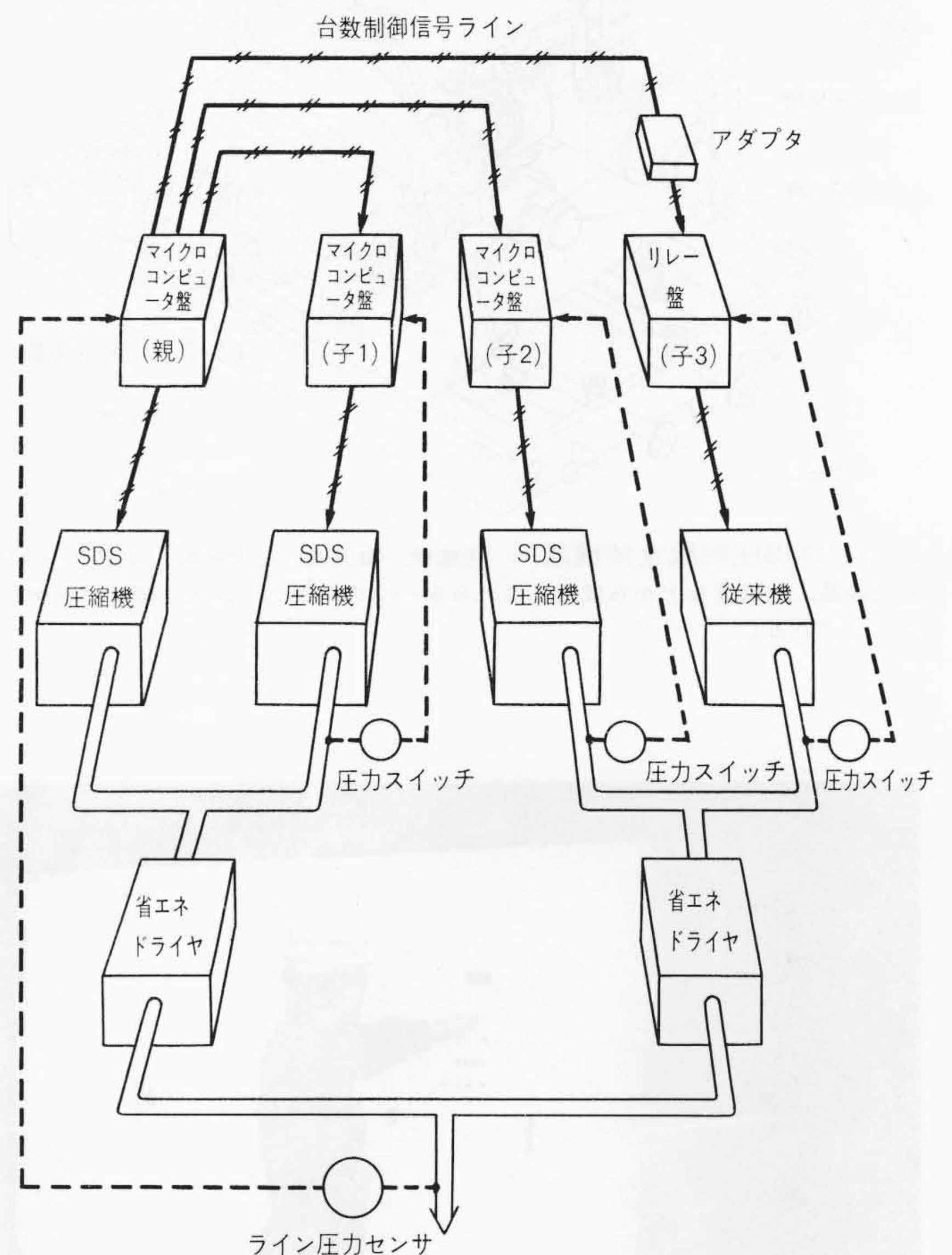
一方、近年のエネルギーコストの高騰から、省エネルギーの要求が高まっているが、空気圧縮機でも効率の向上を図るなど、種々の省エネルギー化に対する努力がなされている。しかし、工場の設備として考えた場合には、圧縮機だけによる省エネルギーにとどまらず、付属機器をも含めたエアシステムとしての省エネルギーを図る必要がある。

このような動向に対して、全負荷及び部分負荷での効率向上を図った新形オイルフリースクリュー圧縮機(以下、SDS圧縮機と称する。)の開発と合わせ、最近、発達の著しいマイクロコンピュータを採用し、圧縮機の効率的な運転制御を目的としたマイクロコンピュータ制御盤と、圧縮機の廃熱を利用した脱湿機(以下、省エネドライヤと称する。)とを組み合わせ、省エネルギークリーンエアシステムを完成した。以下、このシステムの概要、特長及びその応用例について述べる。

2 システムの概要と特長

2.1 全体構成

省エネルギークリーンエアシステムは、図1に示すようにSDS圧縮機、マイクロコンピュータ制御盤、省エネドライヤによって構成されている。マイクロコンピュータ制御盤は、台数制御機能やスケジュール運転機能を備えており、複数台



注：SDS圧縮機(新形オイルフリースクリュー圧縮機)

省エネドライヤ(圧縮機の廃熱を利用した脱湿機)

図1 省エネルギークリーンエアシステムの構成 SDS圧縮機、マイクロコンピュータ制御盤及びドライヤで構成される。台数制御は親マイクロコンピュータで子マイクロコンピュータ盤(最大3台まで)を制御する。また従来機のリレー盤は、アダプタを取り付けることによって台数制御が可能である。

* 日立製作所土浦工場

** 日立製作所機械研究所

のSDS圧縮機を運転制御し、省エネルギーを図っている。なお、マイクロコンピュータ制御盤は、親マイクロコンピュータ盤と子マイクロコンピュータ盤の2種類があり、台数制御機能は親マイクロコンピュータ盤だけもっている。子マイクロコンピュータ盤は、親マイクロコンピュータ盤からの信号によって制御され、従来のリレー盤はアダプタを介して制御される。また、省エネドライヤは、SDS圧縮機の吐出し高温配管から高温空気を取り出し、この高温空気によって吸着剤の再生加熱を行ない、大幅な省エネルギーを図っている。

2.2 SDS圧縮機

SDS圧縮機は、図2に示すように、圧縮機本体、増速機、主電動機、エアクーラ、吸入フィルタ、給油装置、制御盤などを一つの共通ベース上に設置し、図3に示すように、全体を防音カバーで覆った完全パッケージとなっている。

図4にSDS圧縮機の適用容量範囲を示す。

SDS圧縮機は多くの特長を備えているが、ここでは省エネ

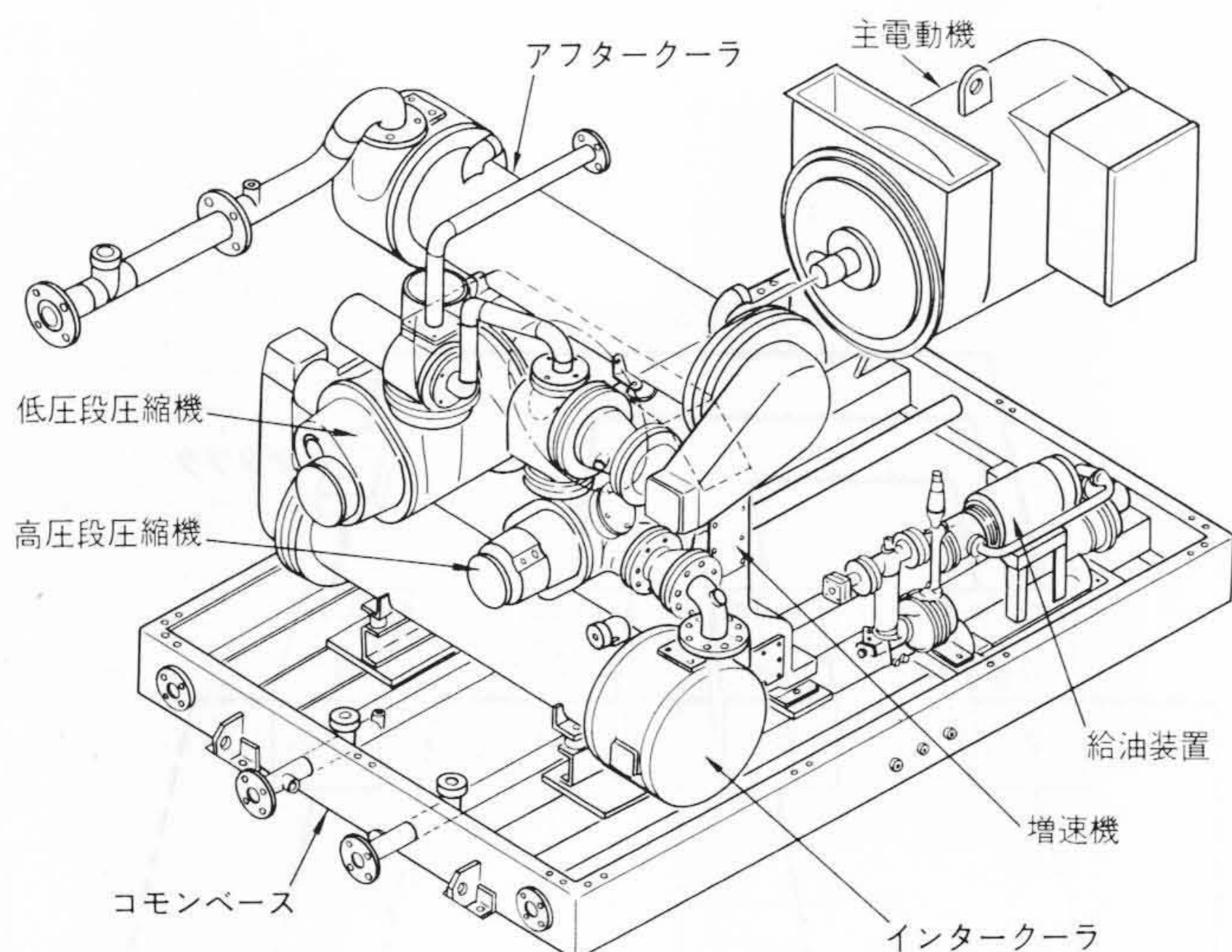


図2 SDS圧縮機全体構成 圧縮機、増速機、主電動機、エアクーラ、給油装置、制御盤などから成り、これらを一つの共通ベース上に載せパッケージ化している。

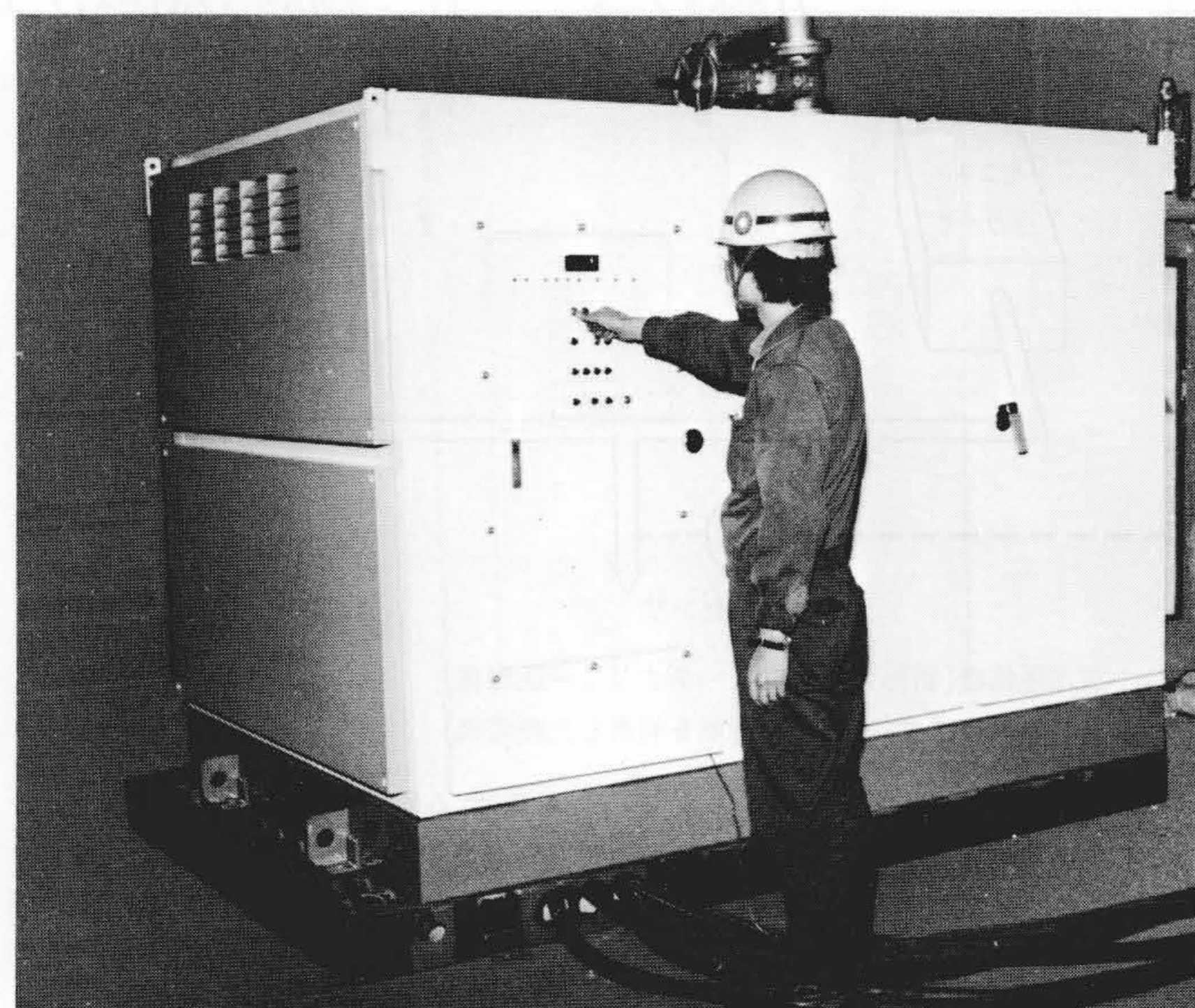


図3 SDS圧縮機全体外観図 各機器を一つの共通ベース上に載せ、全体を防音カバーで覆った完全パッケージタイプである。

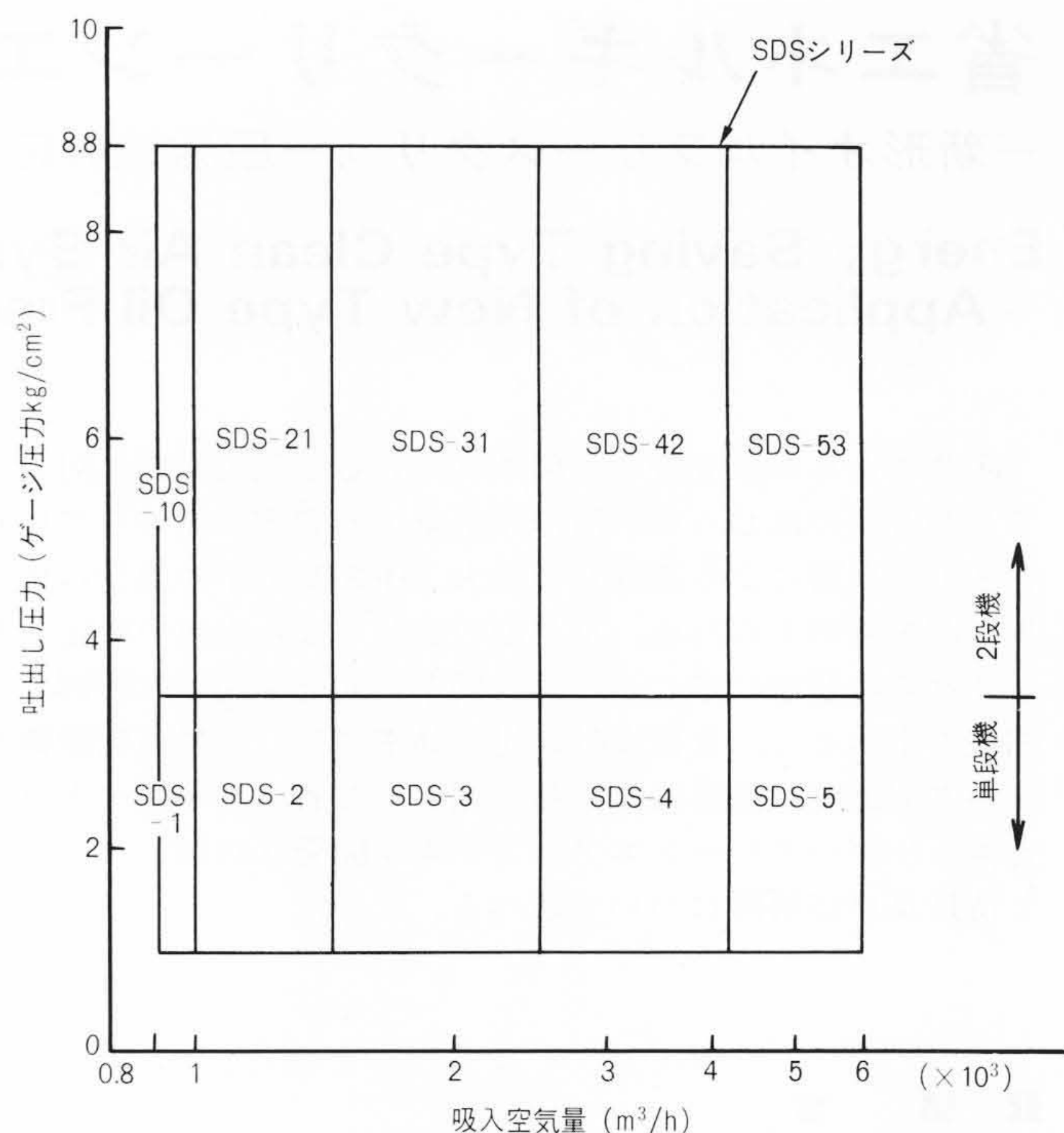


図4 SDS圧縮機の適用容量範囲 吸入空気量は925～6,000m³/h、吐出し圧力はゲージ圧1.0～8.8kg/cm²まで適用できる。

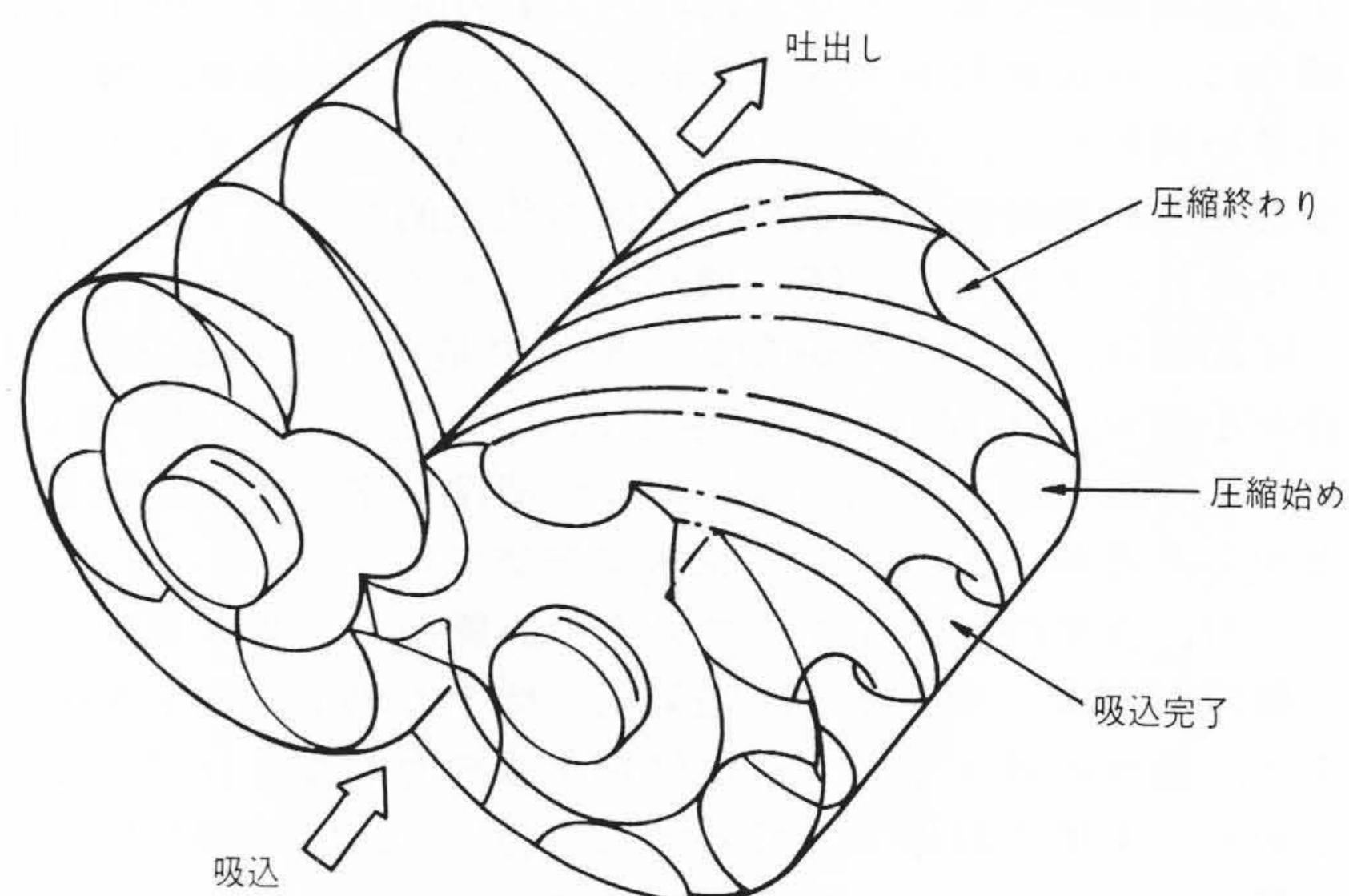


図5 圧縮過程図 圧縮室は一对のかみ合ったロータ歯溝と、それを覆うケーシングによって形成される空間を利用している。

ルギーに関係する動力の低減に焦点を絞って述べる。

スクリー圧縮機の圧縮室は、図5に示すように一对のかみ合ったロータの歯溝と、それを覆うケーシングによって形成される空間を利用している。このため、ロータ同士及びロータ、ケーシング間の隙間からの漏れが大きく性能に影響する。したがって、ロータの加工精度向上は、性能向上の有効な手段である。SDS圧縮機では、日立製作所の歯車加工技術を生かし、従来の総形カッタによるロータ加工法からホブによる加工法に改良し、ロータの加工精度を向上させた。これにより、ロータ間の隙間が小さくでき、全負荷時の効率を1～2%向上させた。

オイルフリースクリー圧縮機は、一般に、使用空気量の変化に対し、吸入弁と放風弁によるON-OFF(2ステップ)制御で容量調整している。これは、ONすなわち全負荷時は、図6で、吸入弁を全開、放風弁を全閉とし、圧縮空気はライン

側に流し、OFFすなわち無負荷時は、吸入弁を閉じ(微開)、放風弁を全開とし、圧縮空気は大気へ放出する制御方式である。この制御方式で、無負荷時の動力を低減するには、吸入弁の開口面積を小さくすればよい。しかし、このとき吸入圧力が下がり、圧力比が大きくなるため、吐出し空気温度が高くなり、ロータが熱膨張によって接触する危険がある。SDS圧縮機では、ロータ温度を実測し、図7に示すように、各運転状態での吐出し空気温度とロータ温度との関係を解明した。この結果、無負荷時のロータ温度が、全負荷時と同じとなる際の吸入弁の開口面積を求めることが可能となった。これ

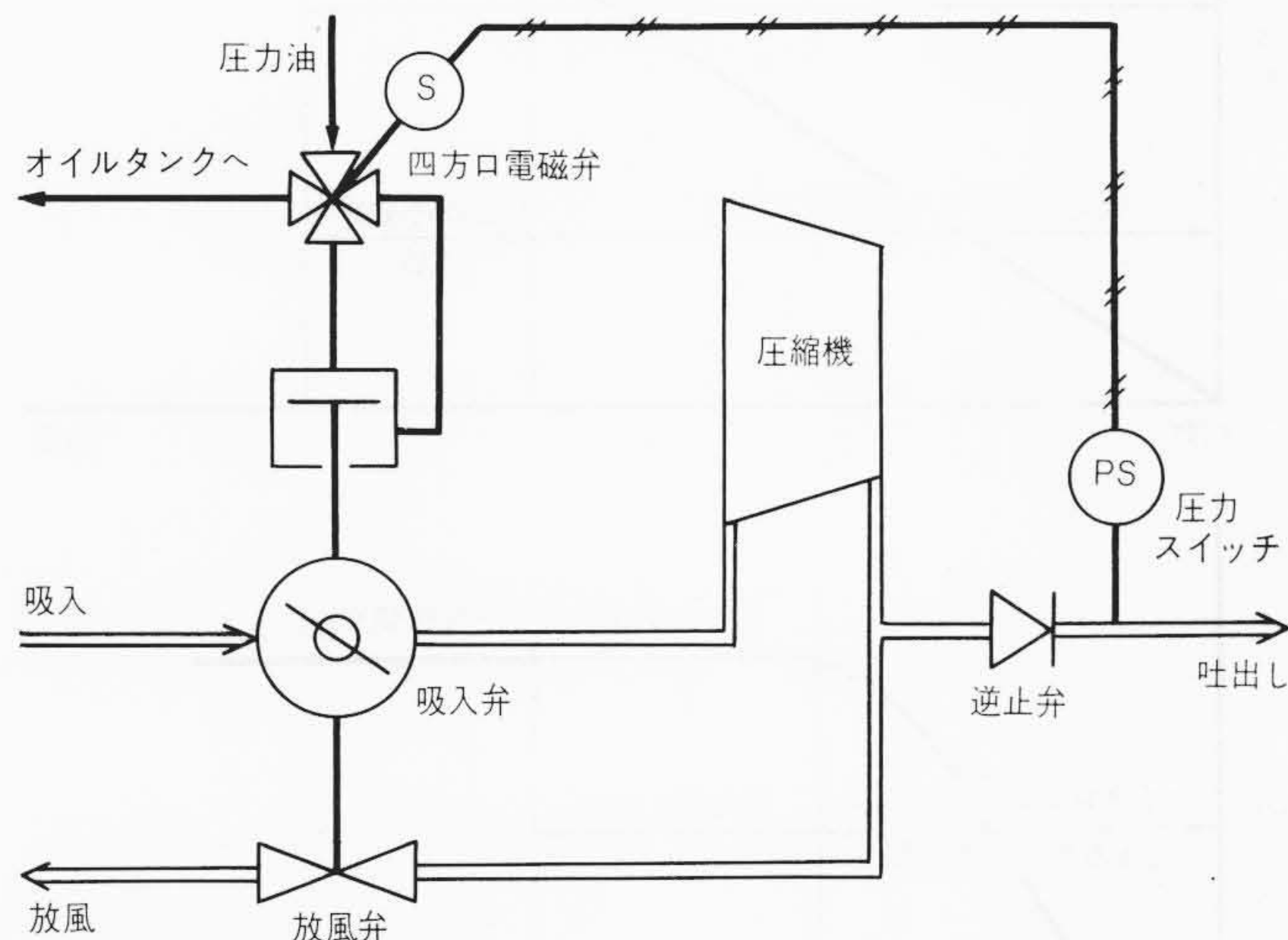


図6 ON-OFF制御の系統図 使用風量が少なくなると吐出し圧力が高くなるので、これを圧力スイッチで検出し四方口電磁弁が切り換えられ、吸入弁閉(微開)、放風弁全開となり無負荷(アンロード)運転となる。使用風量が多くなると、この逆動作で全負荷(オンロード)運転となる。

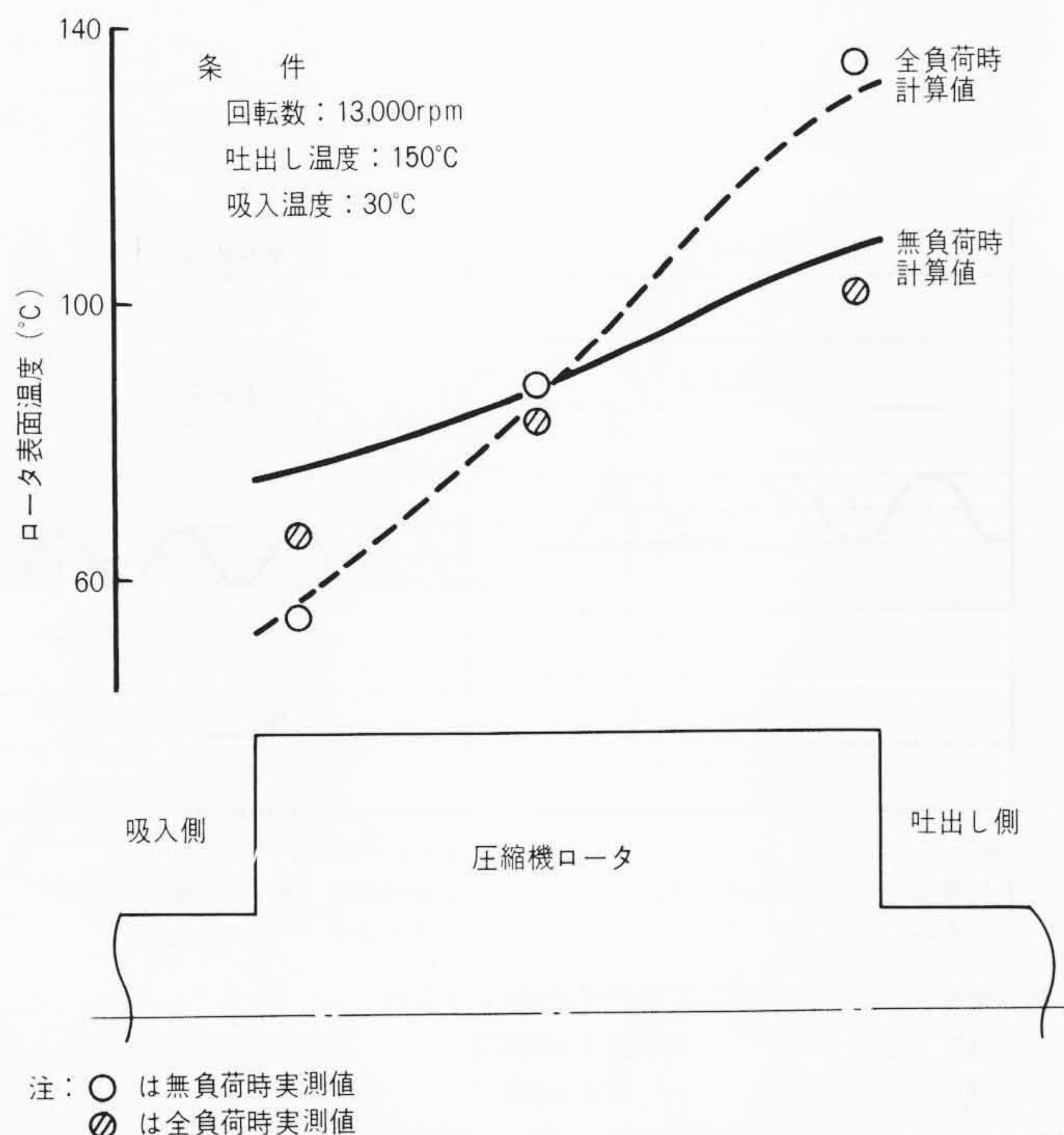


図7 圧縮機ロータ表面温度 空気温度条件が同じであれば、無負荷時のロータ表面温度は全負荷時よりもかなり低い。実測値と計算値はほぼ一致している。

により、吸入弁の開口面積を小さくとり、無負荷時の動力を3%(電動機入力比)低減した。

2.3 マイクロコンピュータ制御盤

マイクロコンピュータ制御盤は、SDS圧縮機の専用制御盤として開発したもので、時々刻々変化する空気の必要量に合わせて、圧縮機をいかに効率よく運転制御するかを目的に設計されたものである。

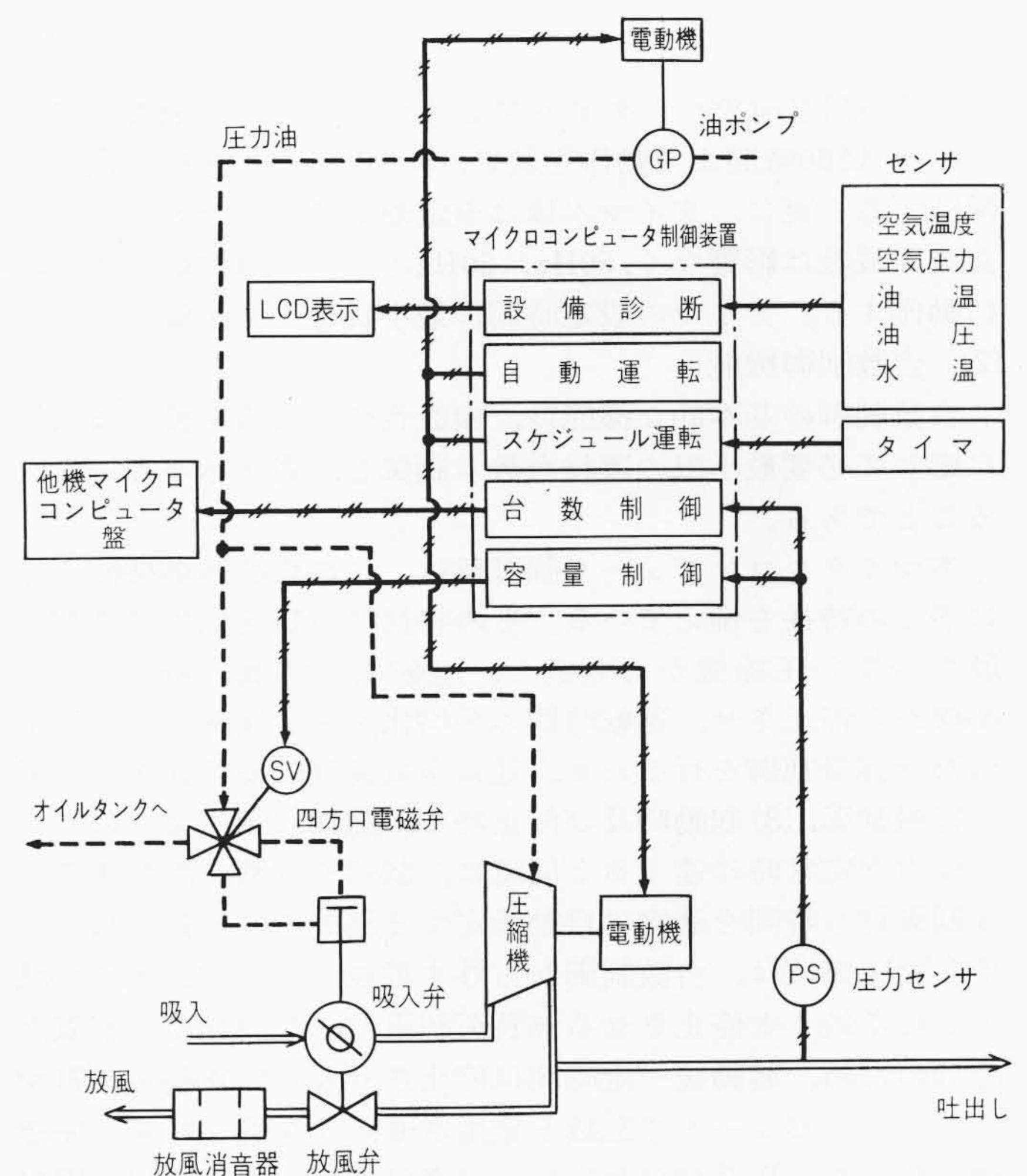
制御システムの概要を図8に示す。本制御システムは、大別して圧縮機の自動発停を行ったり、各部の圧力や温度をセンサによって検出し、現在値や故障項目をデジタル表示する運転及び設備診断機能、タイマで圧縮機の自動発停を行なうスケジュール運転機能、並びに空気の使用量に応じて自動的に最適な運転台数及びアンロード機を決めて、吐出し圧力を一定に保つ台数制御機能という三つの機能をもっている。

本制御盤のハードウェアは、図9に示すように論理演算、制御、記憶をつかさどるCPU(中央処理装置)部、CPUと他機器との入出力をつかさどるインタフェース部、制御盤面操作、表示器具の取り付けコンソールパネル、その他の外部機器の4大部分から構成されている。CPU部はAI、DI、DO(同図下略語説明参照)のI/O関係も内蔵して1ボード化し、またインタフェース部も、センサ回路、入出力回路をモジュール化、標準化して1ボード化している。

ここでマイクロコンピュータ制御盤の三つの機能のうち、主な二つの機能について述べる。

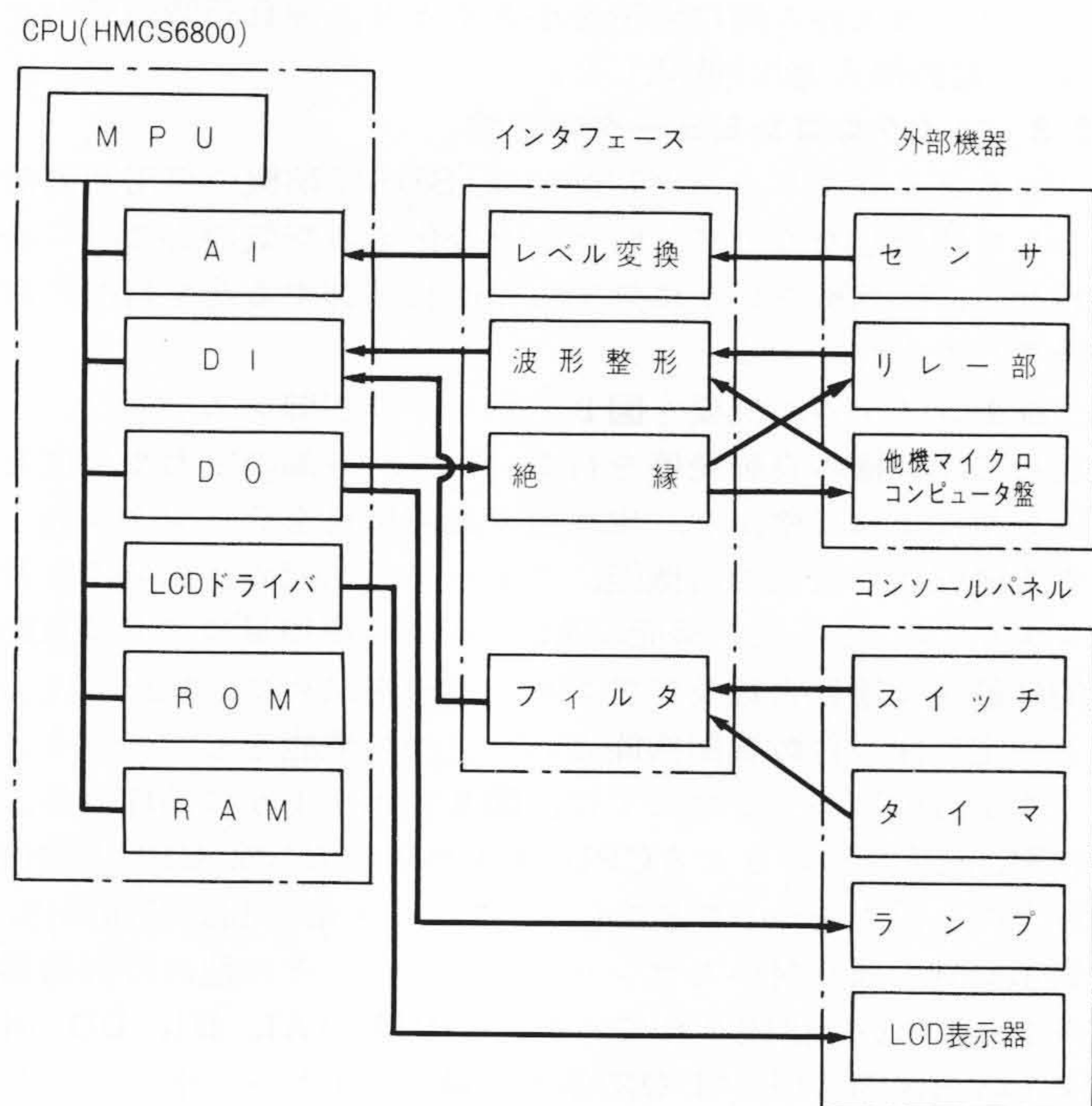
(1) スケジュール運転機能

24時間タイマの採用によって圧縮機の自動発停ができるため、早朝の運転開始や深夜の停止には非常に便利である。ま



注: 略語説明 LCD(液晶表示)

図8 マイクロコンピュータ制御盤の制御システム マイクロコンピュータ制御盤は、運転及び設備診断機能、スケジュール運転機能並びに台数制御機能の3大機能をもっている。



注：略語説明

CPU(中央処理装置) MPU(演算及び制御部)
AI(アナログ入力) DI(デジタル入力)
DO(デジタル出力) ROM(Read Only Memory)
RAM(Random Access Memory)

図9 マイコンコンピュータ制御盤ハードウェア構成図 CPU部、インタフェース部、コンソールパネル及び外部機器の4大部分から構成されている。CPU部、インタフェース部は1ボード化している。プログラム容量は5,500ステップである。

た、Ni-Cd電池でバックアップしているため、電源なしでもタイマは200時間まで動作を続け、スケジュール運転の機能を保持する。更に、タイマ本体は直流駆動であるため、電源の交流周波数は影響なく、50Hz、60Hzどちらの周波数でも正常に動作する。タイマの設定時間は最小15分まで可能である。

(2) 台数制御機能

台数制御の基本的な機能は、複数台の圧縮機を使用空気量に応じて必要最小限の運転台数に制御し、省エネルギーを図ることである。

本マイクロコンピュータ制御盤は、この台数制御機能の中に多くの特長を備えている。その特長は、(1)運転累積時間の最も少ない圧縮機から起動し、運転累積時間の最も多い圧縮機から停止させ、運転時間の平均化を図る運転方式、(2)1台だけ容量制御を行なわせ、他は全負荷運転か停止とする単機容量制御、(3)起動時及び停止時で、図10に示すようにライン圧力が定常時に達すると同時に、制御や診断を開始するよう制御待ち時間を適宜に自動設定する制御方式、(4)重故障の生じた圧縮機は、台数制御から外す飛越し運転、(5)無負荷状態が長く続くと停止させる無負荷制限、(6)起動頻度の制限と冷却のため、起動後一定時間は停止させない停止制限、(7)マイクロコンピュータで乱数を発生させ、先発機が特定の圧縮機に偏らない先発機自動選択、(8)高精度センサを採用し図11に示すように、各圧力設定値間の間隔を小さくすることによって平均運転圧力を低減する方式、(9)図12に示すように、全負荷/無負荷の周期に応じて、無負荷運転開始の圧力設定値を自動調整する容量制御幅自動調整方式などである。これらに

よって、大幅な動力の低減と信頼性の向上を図っている。

2.4 省エネドライヤ

本ドライヤは、吸着式ドライヤであり、図13に示すように、吸着剤が充填された脱湿筒と、加熱再生に使用した高温空気を冷却し、ドレーンを分離する冷却器、加熱再生に利用した

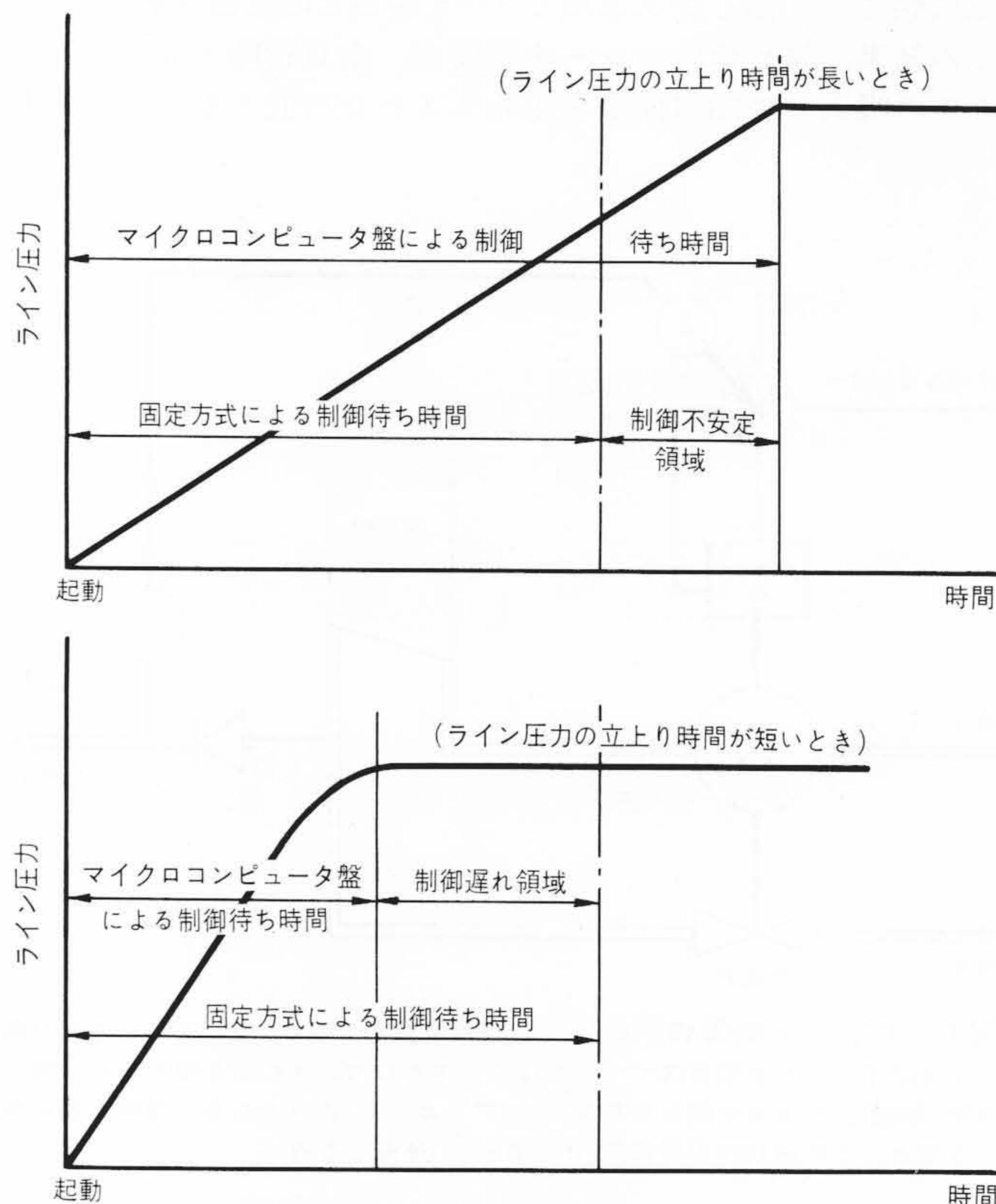
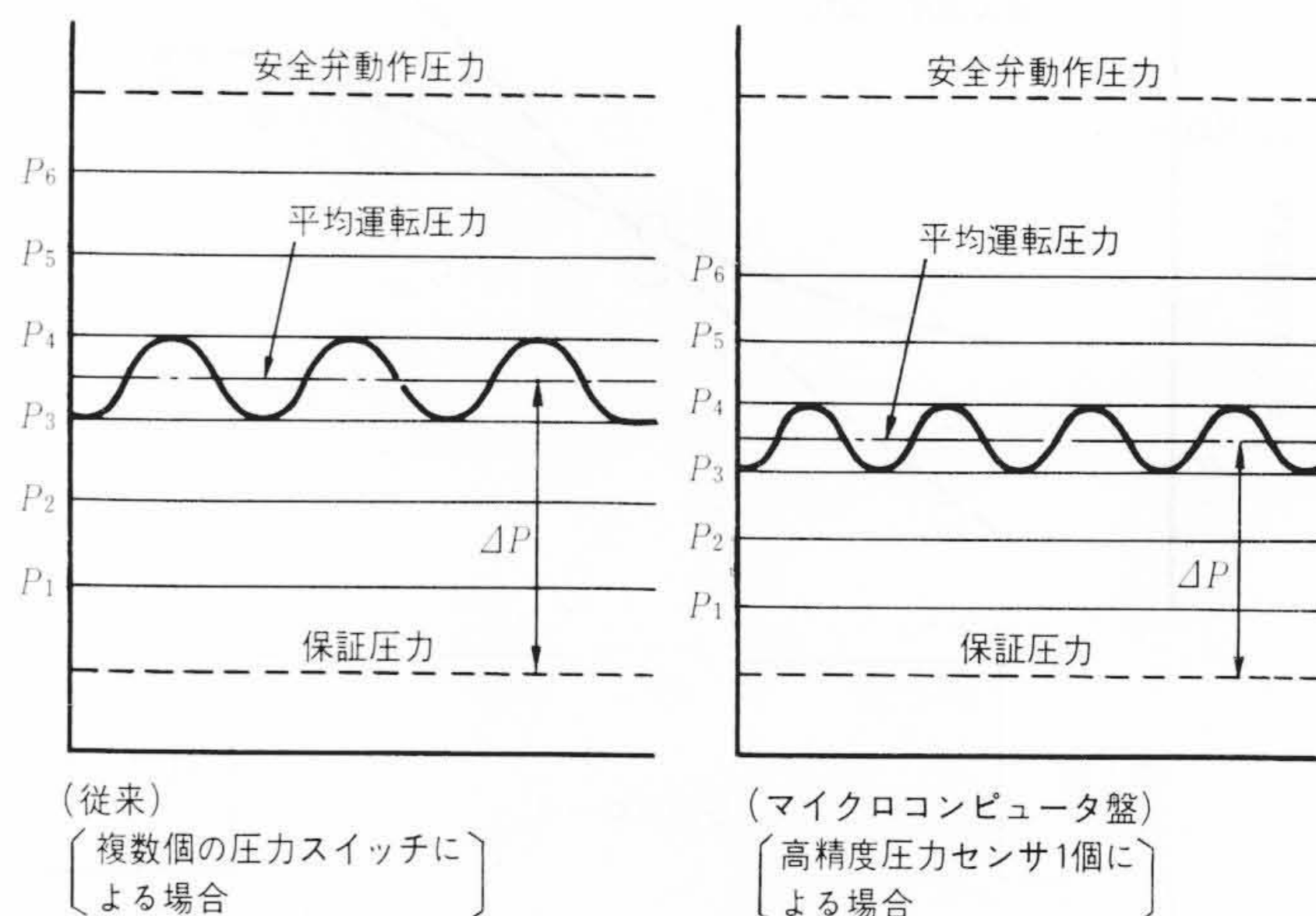


図10 制御待ち時間の自動設定による制御動作の安定化 固定式であった制御待ち時間を自動設定方式とし、実際の必要制御待ち時間に対する制御遅れ領域や制御不安定領域が生じないようにした。



P₆:緊急アンロード圧力 P₃:通常オンロード圧力
P₅:通常停止圧力 P₂:通常起動圧力
P₄:通常アンロード圧力 P₁:緊急起動圧力

図11 高精度センサによる平均運転圧力の低減 高精度センサによって各設定圧力の幅を小さくすることが可能であり、保証圧力と平均運転圧力との差を小さくできる。すなわち、平均運転圧力を下げることができる。これによって、動力費と消費空気量の低減が図れる。

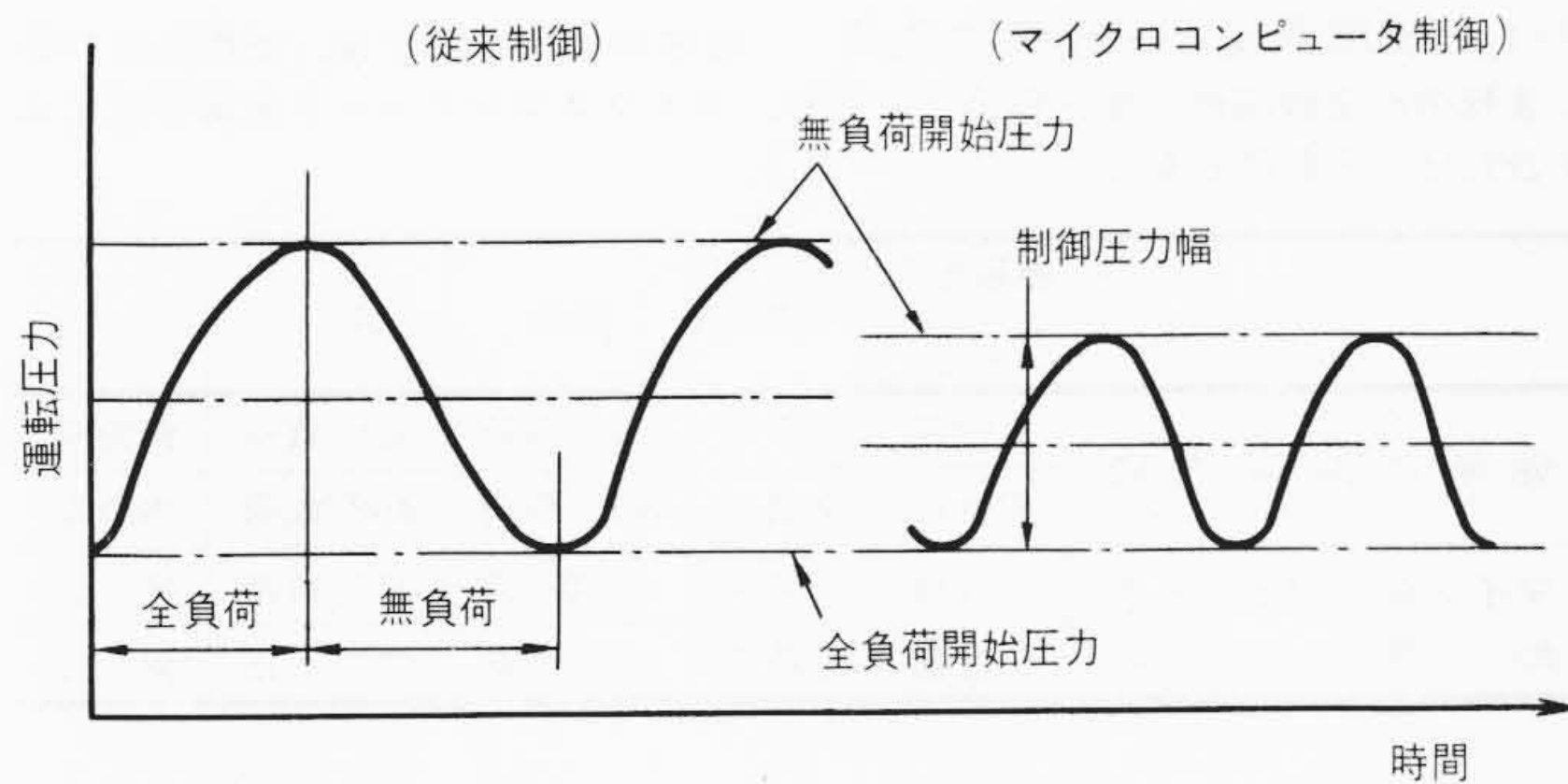


図12 容量制御幅の自動調整による平均運転圧力の低減 容量制御の周期によって制御圧力幅が自動調整される。周期が大きいときは圧力幅が小さくなり、平均運転圧力が下がる。これによって、動力費と消費空気量を低減できる。

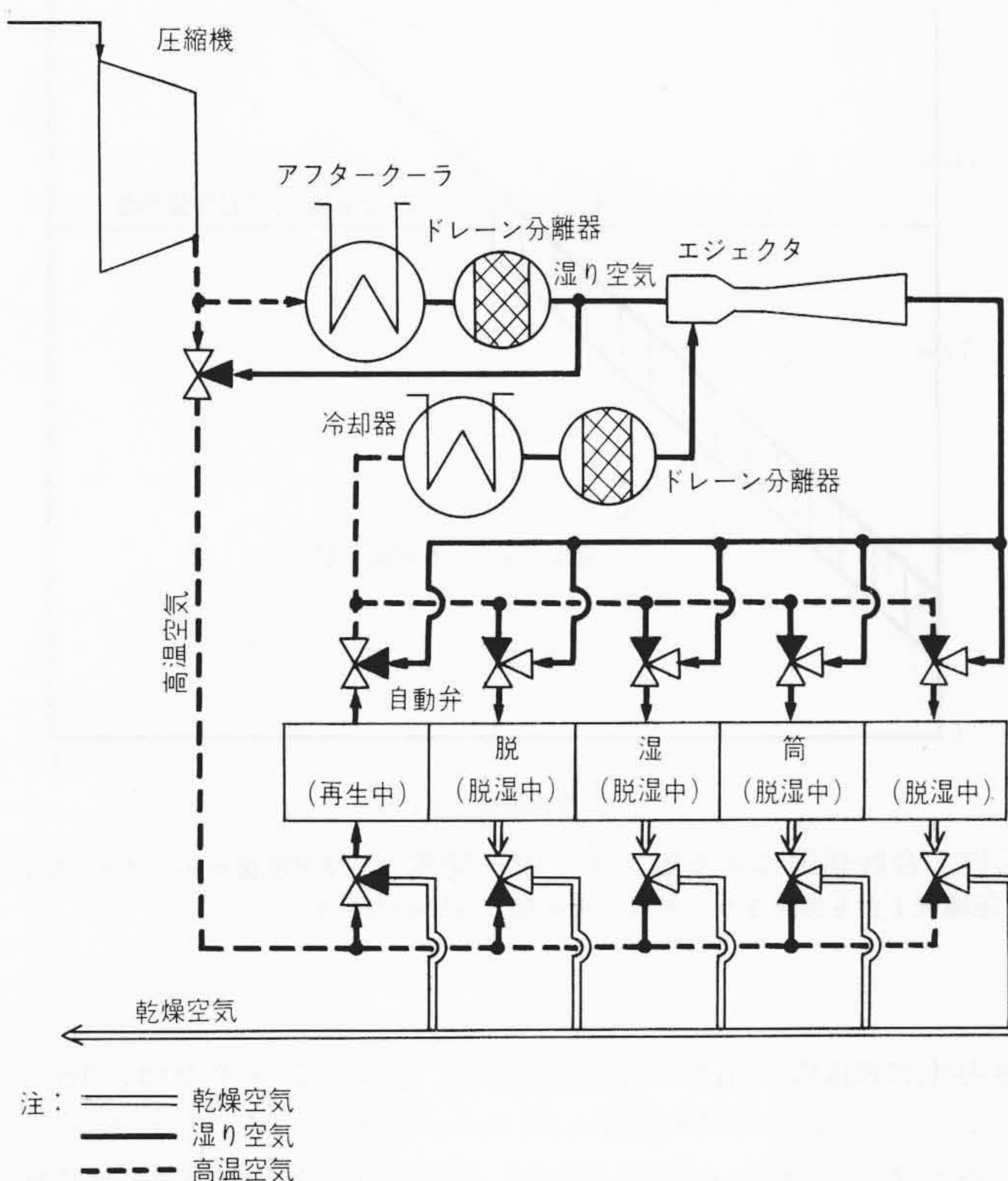


図13 省エネドライヤ系統図 5層の脱湿筒、冷却器、エジェクタ、自動弁などから構成している。吸着剤の加熱再生には圧縮機の廃熱を利用し、動力を全く不要としている。

空気を100%回収するためのエジェクタ、脱湿と再生の切換えを行なう自動弁などによって構成されている。

脱湿筒は5層式となっており、4層が脱湿作用、1層が加熱再生作用を行なっている。この5層を一定周期で切り換え乾燥空気を連続的に供給している。

また、吸着剤の再生には電熱や蒸気などを全く使用せず、空気を圧縮することによって発生する圧縮熱を利用して再生に使用した空気は、エジェクタによって装置入口側に100%回収している。したがって、空気の損失は全くなく、また、吸着剤再生の動力も全く不要となった最も新しいタイプの省エネルギー形ドライヤである。

3 省エネルギークリーンエアシステムの応用

本システムを、以下の適用条件に応用した場合の省エネルギー効果は、図14に示すように1年間で2,000万円である。その詳細について以下に述べる。

3.1 適用条件

(1) システム構成

- (a) SDS圧縮機：300kW(全負荷入力) 2台
- (b) マイクロコンピュータ制御盤：親機1台、子機1台
- (c) 省エネドライヤ：1台

(2) 運転条件

- (a) 平均空気使用量：16h/日90%、6h/日45%、2h/日0%(100%は600kW相当空気使用量)
- (b) 運転時間：330日/年(8,000h/年)
- (c) 電力料金：20円/kWh

3.2 省エネルギー効果

(1) SDS圧縮機による省エネルギー効果

全負荷時での性能向上と、無負荷時での動力低減によって、図15に示す省エネルギー効果があり、年間200万円の節約ができる。

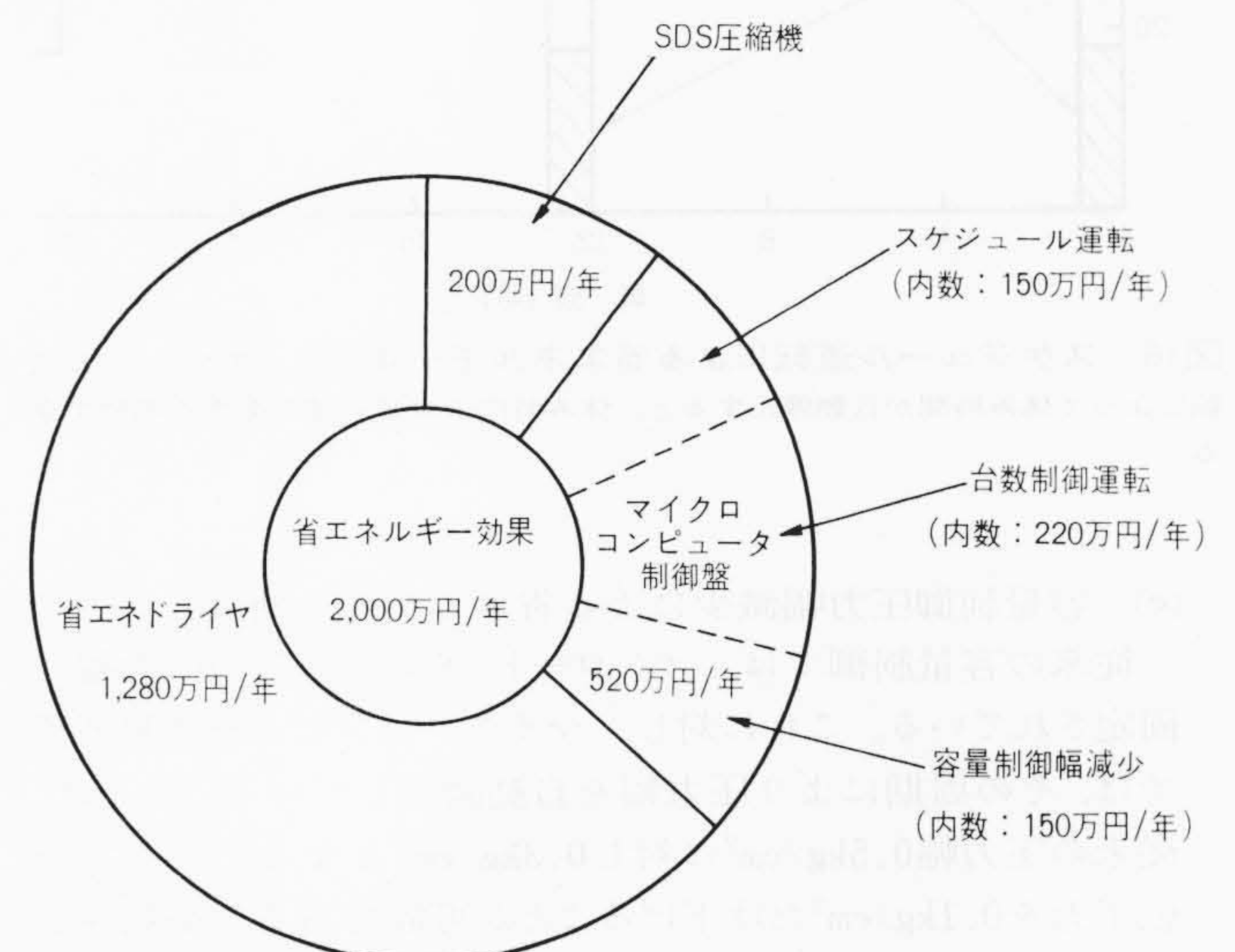
(2) マイクロコンピュータ制御盤による省エネルギー効果

(a) スケジュール運転による省エネルギー効果

一般に工場動力源に圧縮機を使用する場合、休み時間は空気をほとんど使用しない。スケジュール運転によって、休み時間には無負荷運転せず、停止することが可能である。これにより、図16に示すような省エネルギー効果があり、年間150万円の節約ができる。

(b) 台数制御運転による省エネルギー効果

本運転条件では、1日のうち6時間は2台の圧縮機で45%運転されるが、台数制御運転では表1に示すように2台のうち1台は停止し、他の1台は90%容量で運転される。したがって、図17に示すように1台分の無負荷動力を削減でき、年間220万円の電力費を節約できる。



注：圧縮機300kW 2台 平均空気使用量 70%
運転時間 8,000h/年 電力料金 20円/kWh

図14 省エネルギー効果(応用例) 300kWクラスの圧縮機2台に本システムを応用した場合、SDS圧縮機の効率向上、マイクロコンピュータ制御盤による効率的な運転制御、省エネドライヤの圧縮機廃熱利用によって2,000万円/年の省エネルギー効果がある。

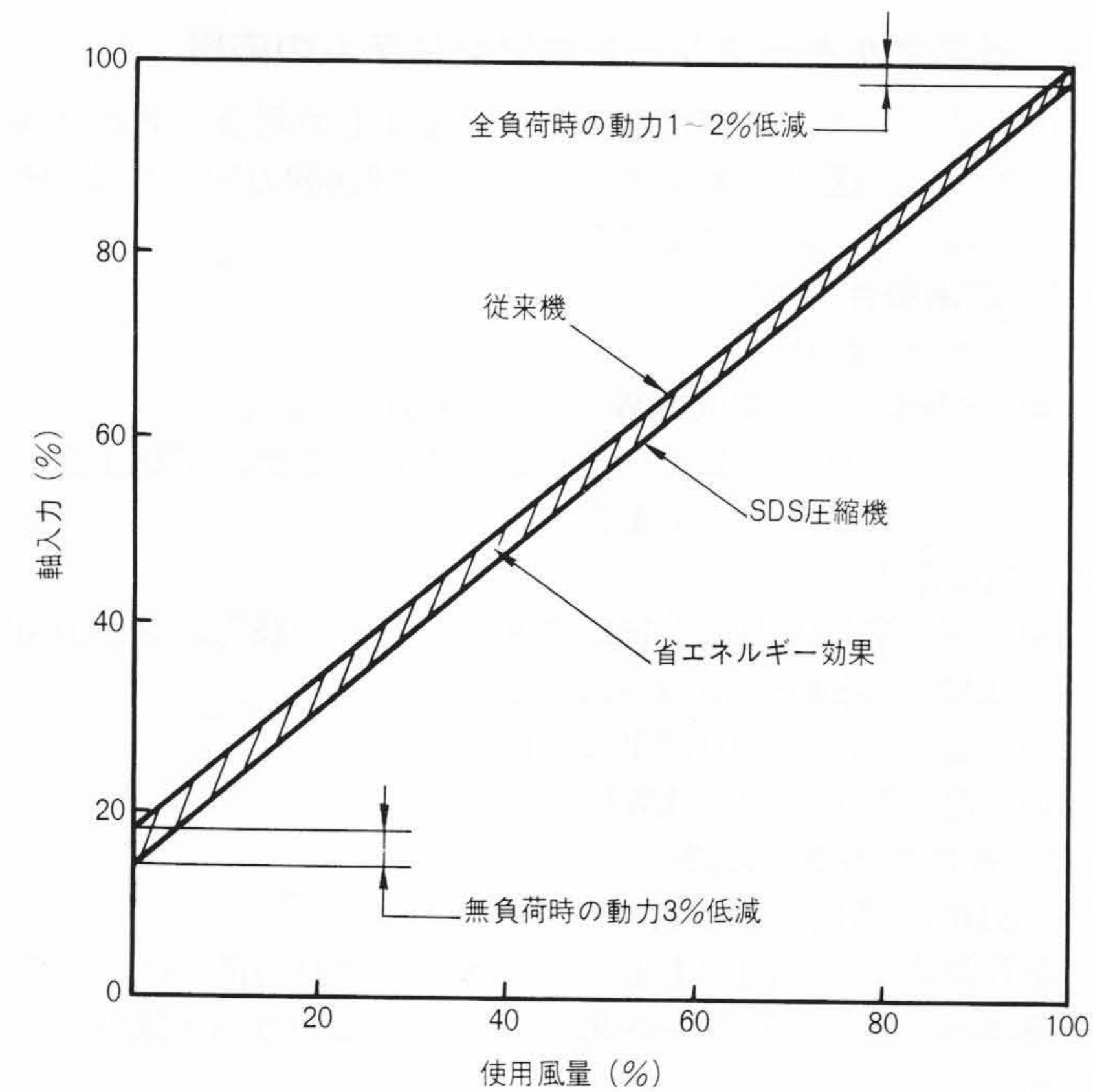


図15 SDS圧縮機の省エネルギー効果 全負荷時の動力低減と無負荷時の動力低減によって、動力費を節約できる。

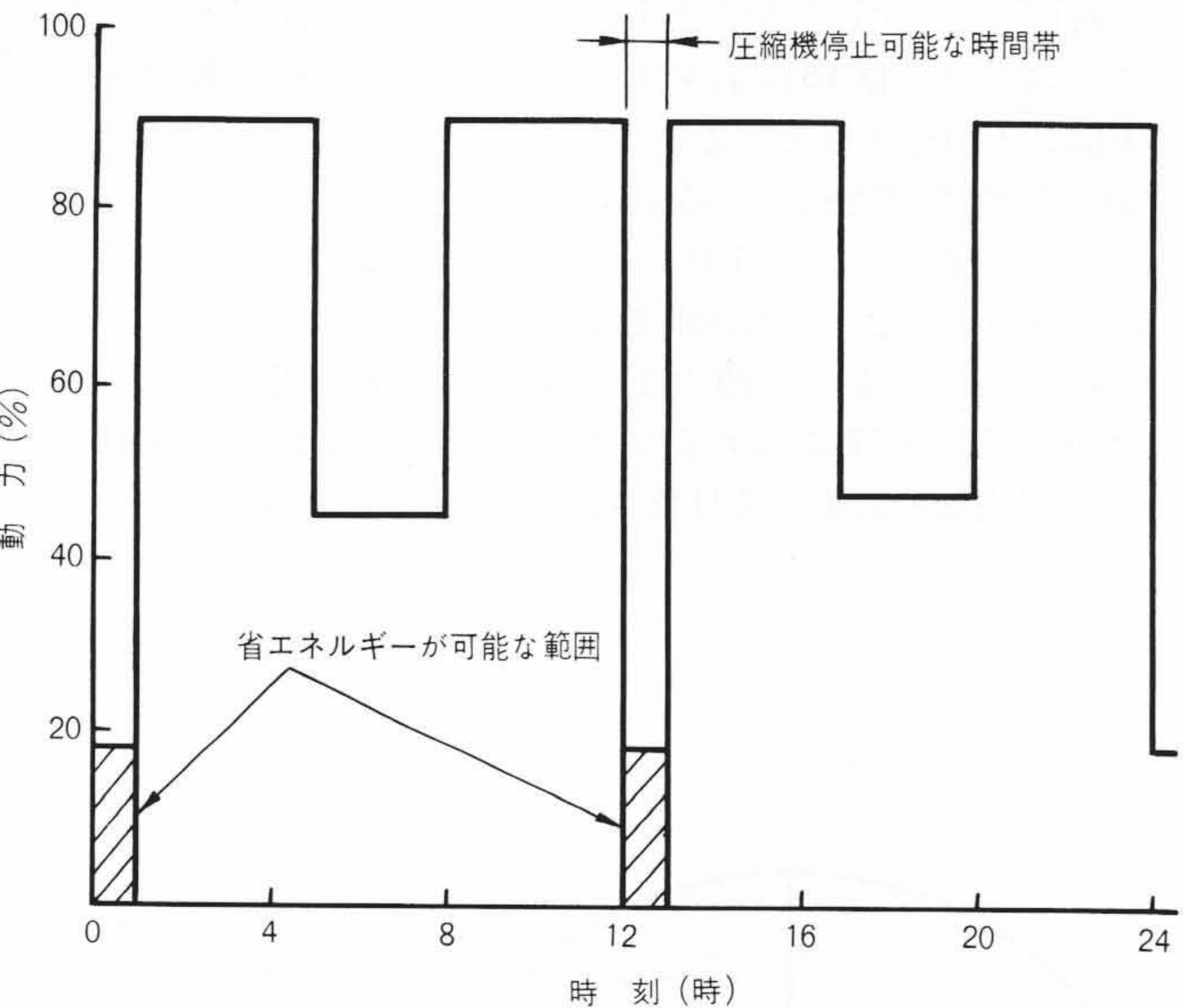


図16 スケジュール運転による省エネルギー効果 スケジュール運転によって休み時間が自動停止すると、休み時間の無負荷運転動力を節約できる。

- (c) 容量制御圧力幅減少による省エネルギー効果
- 従来の容量制御では、オンロード/アンロードの圧力幅が固定されている。これに対し、マイクロコンピュータ制御盤では、その周期により圧力幅を自動調整している。例えば、従来の圧力幅 $0.5\text{kg}/\text{cm}^2$ に対し $0.3\text{kg}/\text{cm}^2$ となると、平均運転圧力を $0.1\text{kg}/\text{cm}^2$ だけ下げることが可能である。平均運転圧力を下げると、軸動力を低減できるとともに、雑空気など一般に圧縮空気は減圧せずに使用されるため、消費空気量を減少させることができる。これによって年間150万円を節約できる。
- (3) 省エネドライヤによる省エネルギー効果
- 300kWクラスの圧縮機2台用のドライヤでは、吸着剤の加

表1 使用風量と圧縮機の負荷 従来の制御方式では、使用風量に応じ運転機が全機同時に部分負荷となるが、マイクロコンピュータ制御方式では1台だけ部分負荷となる。

使用風量		100%	90%	45%	0%
従来の制御方式	1台目	全負荷	90%負荷	45%負荷	無負荷
	2台目	全負荷	90%負荷	45%負荷	無負荷
マイクロコンピュータ制御方式	1台目	全負荷	全負荷	90%負荷	停止
	2台目	全負荷	80%負荷	停止	停止

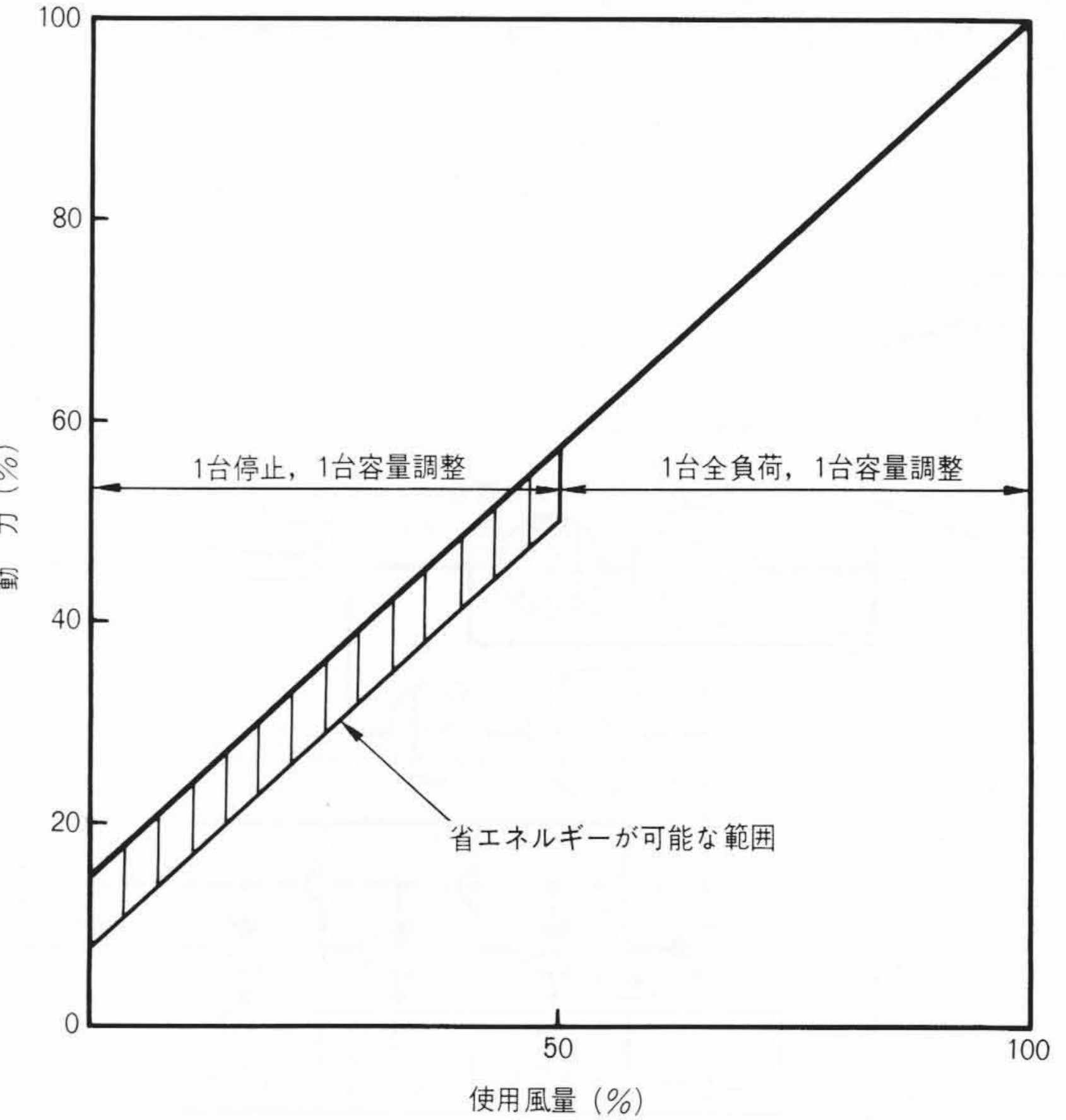


図17 台数制御による省エネルギー効果 使用風量が50%以下となると圧縮機1台を停止させ、無負荷時の動力を節約できる。

熱再生に80kWの電熱が必要である。通常、ドライヤは、使用風量に関係なく常時80kWの動力を消費している。したがって、本省エネドライヤを使用すれば、年間1,280万円の節約が可能である。

4 結 言

新形オイルフリースクリュー圧縮機、マイクロコンピュータ制御盤、省エネドライヤを用いた省エネクリーンエアシステムの概要及び特長と省エネルギー効果について述べた。300kWクラスの圧縮機2台について、本システムを応用した場合、従来のシステムと比べ年間2,000万円の節約が可能である。また、ここでは述べなかったが、SDS圧縮機は実機の軸受の荷重や軌道面状態を実測し、また、EHL(弾性流体)理論による解析を行ない、圧縮機本体軸受の寿命を3万5,000時間に延長し、保守点検費の低減を図っている。

参考文献

- 1) 刑部, 外: マイクロコンピュータ内蔵オイルフリースクリュー圧縮機の運転制御, マイコン内蔵/オイレスコンプレッサの開発と運転制御技術の問題点, p.I-1~I-19 (昭和58-2)
- 2) 刑部, 外: スクリュー圧縮機と省エネルギー, 第1回エネルギー管理者研修テキスト, p.55~71 (昭57-11)