

# 圧縮空気工学

基本原理、ヒント、および推奨事項



Kompressor 5

KAESER

FSD 571



# 目次

## 基本

第1章	圧縮空気生産の基本.....	4
第2章	効率的な圧縮空気処理.....	6
第3章	乾燥圧縮空気が必要な理由.....	8
第4章	凝縮水: 正しいドレン.....	10
第5章	凝縮水: 安全かつ経済的な処理.....	12
第6章	効率的なコンプレッサー制御.....	14
第7章	実際の需要を満たすことが可能な最適なコンプレッサー性能.....	18
第8章	熱回収による省エネ.....	20
第9章	新しい圧縮空気分配網の設計および設置.....	22
第10章	既存の空気分配網の最適化.....	24
第11章	圧縮空気需要分析(ADA)- 現状判断.....	26
第12章	最も効率的なコンセプトの判断.....	30
第13章	コンプレッサーステーションの効率的な冷却.....	32
第14章	長期信頼性とコスト最適化の実現.....	34

## 実用的なヒント

ヒント1	最適化された圧力による節約.....	40
ヒント2	エア-接続口での正しい圧力.....	42
ヒント3	効率的な圧縮空気分配.....	44
ヒント4	圧縮空気ステーションの配管.....	46
ヒント5	コンプレッサーの正しい設置.....	48
ヒント6	圧縮空気ステーションの換気(吸気側).....	49
ヒント7	圧縮空気ステーションの換気(排気側).....	50

## 付録

付録1	計算図表 - 配管径の判断.....	50
付録2	Energy Saving System(省エネシステム)サービスに関するアンケートの例.....	52

# 序文



Dipl.-Wirtsch.-Ing.  
Thomas Kaeser



Dipl.-Wirtsch.-Ing.  
Tina-Maria Vlantoussi-Kaeser

### はじめに

2,000年以上前、ギリシアの有名な哲学者であるソクラテスは、次のように述べています。「唯一の善は知識であり、唯一の悪は無知であることである。」

変化より永久的なものはないと思われるため、西洋文明の創始者の一人によるこれらの古代格言は現代社会に当てはまります。技術の進化と経済の国際化によって拡大し続けている変化の範囲とスピードにより、新しい答えと戦略が求められています。

現在では、挑戦は、将来さらに大きな成功を収めるためのチャンスとみなすべきで、それらすべてを受け入れて利用すべきです。ネットワーク化が進んだ複雑な社会は、知識を将来の最も貴重な資源に変えます。この製品の急激な増加のため、教育および継続的なトレーニングに積極的に取り組んでいる会社のみが真の報いを得ます。

例えば、圧縮空気工学の世界では、強力なコンプレッサーを組み立てて、設置して、正しく運転する方法を知っているだけでは不十分で、このようなことはしばらくありませんでした。

圧縮空気がエネルギー担体としてもたらすものを最大限活用するには、圧縮空気システム全体を考慮する必要があります。また、システム内で発生する数多くの相互作用と影響の詳細、およびそれがどのように稼働環境に統合されるかの詳細について理解している必要があります。

ケーザー・コンプレッサーは、お客様のトレーニングに積極的に取り組んでいて、さまざまな方法でこれを行っています。例えば、広範な実務経験を有する認定技術者が毎年世界中を飛び回り、会議、イベント、およびセミナーで効率的な圧縮空気の生産と使用方法に関する講演を行っています。この他に、さまざまな媒体で数多くの技術刊行物も発行しています。

この小冊子には、当社の専門家の広範な知識が要約されています。圧縮空気技術分野に関する詳細かつわかりやすい内容に続けて、システムオペレーターおよび圧縮空気ユーザー向けの一連の実用的なヒントについて説明します。また全体を通して共通のテーマとして、さまざまなケースおよびさまざまな方法で圧縮空気システムを変更できることを示します。圧縮空気システムをわずかに変更するだけでも、この重要なエネルギー担体の効率と可用性を大幅かつ体感できるレベルで向上できます。

第1章

# 圧縮空気生産の基本

圧縮空気にも一般的なことが当てはまり、些細なことが良い影響や悪い影響をもたらします。物事を詳しく調べたときに最初とは違うことがよくあります。圧縮空気は、不適切な条件では高価な手段となりますが、適切な環境では非常に経済的な手段となります。第1章では、圧縮空気工学で使用されている用語と、それらとともに理解しておくべき事柄について説明します。

## 1. 圧縮空気吐出空気量 (FAD)

コンプレッサの吐出空気量 (FADともいいます) は、特定の時間にエアーマイン (配管網) に強制的に送り込まれる空気の膨張時の量です。この量を測定する正しい方法は、次の規格に定められています: DIN1945, Part1, Annex F および ISO 1217, Annex C。測定プロセスは、図1に示している方法で実行します。まずコンプレッサパッケージの空気入口で温度、大気圧、および湿度を測定する必要があります。次に、コンプレッサから吐出される圧縮空気の最大使用圧力、温度、および量を測定します。最後に、コンプレッサの出口で測定した量  $V_2$  を、次に示す方程式を使用して入口の条件に当てはめます (公式を参照)。

結果の値がコンプレッサパッケージの吐出空気量 (FAD) です。この値とエアーマイン吐出空気量 (ブロック吐出空気量) を混同しないでください。

$$V_1 = \frac{V_2 \times P_2 \times T_1}{[P_1 - (P_D \times F_{rel})] \times T_2}$$



図1: 吐出空気量の測定 (ISO 1217, Appendix C (DIN 1945, Appendix F))

注意: DIN1945およびISO1217では、エアーマイン吐出空気量のみが規定されています。

## 2. モーターシャフトの出力

モーターシャフトの出力は、モーターが出力シャフトに機械的に伝達する力です。モーターシャフトの出力の最適値は、最高の電気エネルギー効率を得られ、モーターが過負荷になることなく  $\cos\phi$  の力率に到達する点です。この値は、モーターの定格出力範囲内に収まります。定格出力は、モーターの銘板に示されています。注意: モーターシャフトの出力がモーター定格出力と大幅に異なる場合、コンプレッサは非効率になったり摩耗が増大するようになります。

## 3. 電力消費量

電力消費量は、シャフトに規定の機械的負荷 (モーターシャフトの出力) がかった状態で駆動モーターが主電源から取り出す電力です。電力消費量は、ベアリング、ファンなどによるモーターの電気的および機械的損失分だけモーターシャフトの出力よりも大きくなります。理想的な電力消費量  $P$  は、次の公式を使用して計算します。

$$P = U_n \times I_n \times \sqrt{3} \times \cos \phi_n$$

$U_n$ 、 $I_n$ 、および  $\cos \phi_n$  は、モーターの銘板に示されています。

## 4. 比電力

コンプレッサの比出力 (図2) は、消費電力と特定の使用圧力で吐出される圧縮空気の関係を示します。電力消費量は、駆動モーター、ファン、オイルポンプ、補助ヒーターなど、コンプレッサ内のすべての電装品が消費する電力の合計です。

経済的評価のために比出力が必要な場合は、コンプレッサパッケージ全体と最大使用圧力を対象とする必要があります。その後、最大圧力での総電力消費量を、最大圧力での FAD で除算します。

$$P_{spec.} = \frac{\text{電力消費量}}{\text{吐出量}}$$

## 5. IE - 省エネモーター用の新しい公式

三相非同期電動機のエネルギー要件を削減するための米国の取り組みの結果、1997年に Energy Policy Act (EPACT: エネルギー政策法) が施行されました。その後しばらくしてから、欧州でも効率分類システムが導入されました。電動機の国際的な IEC 規格は、2010年に発効されました。分類と法的要件により、プレミアムクラスの電動機のエネルギー効率が大幅に向上しました。高効率モーターは、次のような多大なメリットをもたらします。

### a) 低い運転温度

発熱および摩擦によって生じる内部効率損失は、小型モーターで20%、160kW以上のモーターで4~5%です。IE3/IE4モーターは大幅に少ない発熱量で動作し、その結果損失が大幅に少なくなっています (図3)。

Fクラス絶縁の従来のモーターは、約80Kで動作し、温度余裕度は20Kであるのに対して、同じ運転条件でIEモーターは約65Kで動作し、温度余裕度は40Kに増えます。

### b) 長寿命

運転温度が低いことは、モーター、モーターのベアリングおよび端子に対する熱応

力が少ないことを意味します。この結果、モーターの有効寿命が大幅に伸びます。

### c) 少ない電力消費量で6%多い圧縮空気を生産

熱損失が少ないことにより、効率が向上します。このようにコンプレッサと高効率モーターの正確なマッチングにより、ケーザー社は吐出空気量6%増加、比出力5%向上を実現することができました。これにより、パフォーマンスが向上し、コンプレッサの運転時間が短くなり、1立方メートルの圧縮空気を吐出するのに必要な電力消費量が少なくなります。



図2: スクリューコンプレッサの基本的なレイアウト。比出力の判断

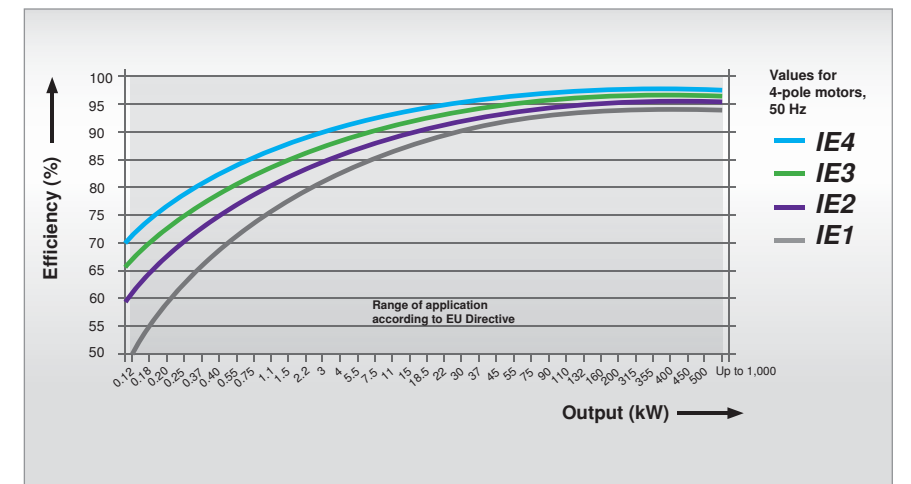


図3: IEC規格-電動機の新しい効率分類EUでは、2015年1月1日からIE3モーターの使用が義務づけられました。その後、さらに上位のモーター効率クラスIE4が制定されました。

第2章

# 効率的な圧縮空気処理

どのコンプレッサーシステムがオイルフリー圧縮空気を生産する最も効率的な方法を提供するのでしょうか？各メーカーの主張はさておき、最高品質のオイルフリー圧縮空気は、ドライ式およびオイル循環式のどちらのコンプレッサーからも得ることができます。このため、空気システムを選択する際に考慮すべき決定要因は、効率でなければなりません。

### 1. 「オイルフリー圧縮空気」とは？

ISO8573-1によれば、圧縮空気のオイル含有量(オイル蒸気)が0.01mg/m<sup>3</sup>未満の場合に、オイルフリーと表示することができます。これは通常の大気に含まれるオイル含有量の約1/400の量です。この量は、非常に微量であるため、ほとんど測定できません。コンプレッサーの吸入エアの質に関してはどうでしょうか？

もちろん、これは周囲条件に大きく依存します。通常の汚染された区域でさえも、産業および自動車の排出ガスによって生じた空気中の炭化水素は4~14mg/m<sup>3</sup>です。潤滑剤、冷媒および処理剤としてオイルが使用される産業地域では、鉱物油含有量は10mg/m<sup>3</sup>よりも大幅に多くなります。炭化水素、亜硫酸ガス、すす、金属、粉塵などの不純物も存在します。

### 2. エアを処理する理由

タイプにかかわらず、あらゆるコンプレッサーが汚染された空気を取り込んで、

圧縮によって汚染物質を濃縮します。そして、それを除去するための対策を講じなかった場合は、汚染物質が圧縮空気系統内に流れます。

### a) 「オイルフリー」コンプレッサー

このことは特に「ドライ式」または「オイルフリー」コンプレッサーと呼ばれるコンプレッサーに当てはまります。前述した汚染物質により、3ミクロンのダストフィルターしか装備していないコンプレッサーでオイルフリー圧縮空気を生産するのは不可能です。「オイルフリー」コンプレッサーは、これらのダストフィルター以外の処理コンポーネントは装備していません。

b) 液冷コンプレッサー、油冷コンプレッサー  
液冷ロータリーコンプレッサー内の冷却液(オイル)によって、活性物質が中和され、固体粒子が部分的に空気から洗い落とされます。

### 3. 処理なしの規格外の圧縮空気品質

得られた圧縮空気の純度が高いにもかかわらず、この場合も同じことが当てはまります。圧縮空気の処理なしでは良好な品質を得られません。「ドライ」または油冷圧縮のみの場合、通常の吸入条件下および空気汚染レベルでは、ISO8573-1に規定されているオイルフリー圧縮空気品質を得ることはできません。圧縮空気の生産効率は、圧力および吐出レベル、必要なコンプレッサータイプに依存します。十分な乾燥は、用途に合わせたすべての圧縮空気処理の基礎を成します。通常、省エネタイプの冷凍式ドライヤーを使用する方法が最も効率的な方法です(9ページの第3章も参照)。

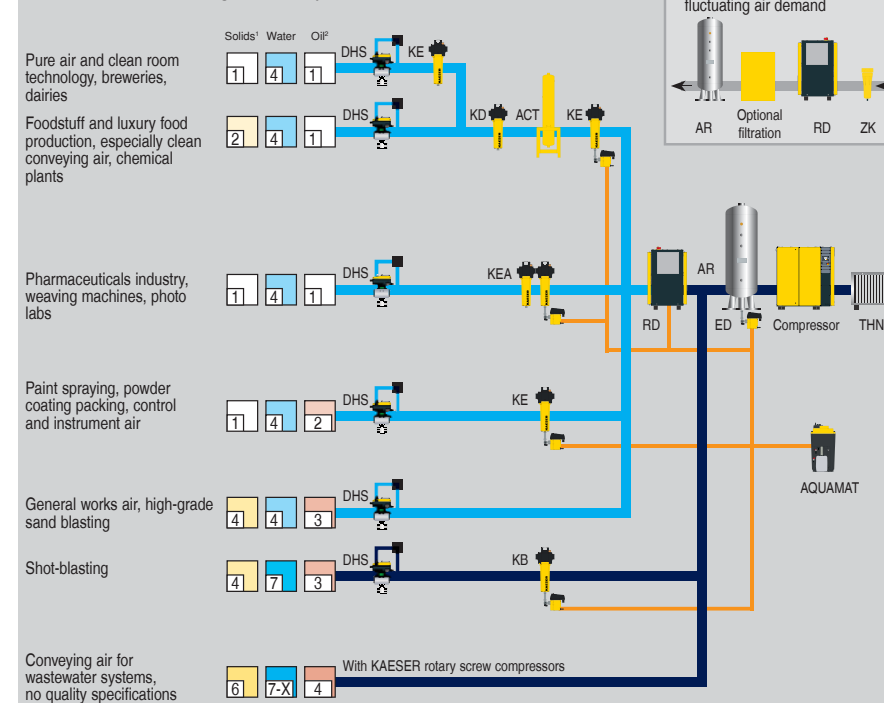
### 4. KAESER Pure Air System (ピュアエアシステム)による処理

最新の液冷/油冷スクリーコンプレッサーは、「ドライ式」または「オイルフリー」コンプレッサーモデルよりも約10%効率的です。液冷/油冷スクリーコンプレッサーおよびドライ式コンプレッサー用のケーザー社が開発した Pure Air System を使用することで、さらにコストを最大30%削減できます。このシステムによって得られる圧縮空気の残留オイル含有量は0.003mg/m<sup>3</sup>未満で、これはISO規格で規定されている残留オイル含有量に関する Quality Class 1の制限を大幅に下回ります。システムには、要求される空気品質を得るのに必要なすべての処理コンポーネントが含まれています。用途によっては、各種フィルターの組み合わせとともに冷凍式または吸着式ドライヤーを使用します(9ページの第3章を参照)。乾燥空気から粒子フリー/オイルフリー空気や無菌空気に至る空気品質を、ISO規格に規定されている品質クラスに従って確実にかつ費用対効果の高い方法で得ることができます(図1)。

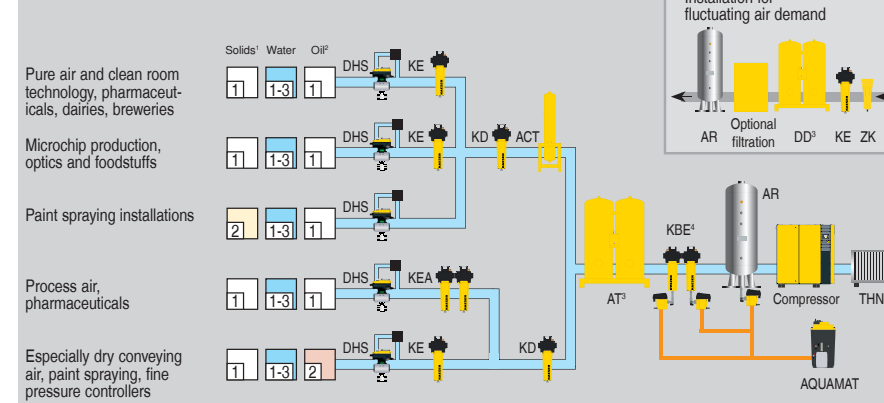
## Choose the required grade of treatment according to your field of application:

Examples: Selection of treatment classes to ISO 8573-1 (2010)

### Air treatment with refrigeration dryer



### Compressed air treatment with desiccant dryer



<sup>1)</sup> Achievable particle class with expert-implemented pipework and commissioning.  
<sup>2)</sup> Achievable total oil content with use of recommended compressor oils and unloaded intake air.  
<sup>3)</sup> High temperature filters and possibly an aftercooler are required downstream from heat-regenerated desiccant dryers.  
<sup>4)</sup> The use of an 'Extra Combination' (a filter combination comprising a KB and downstream KE filter) is recommended for critical applications requiring exceptionally high compressed air purity (e.g. in the electronics and optics sectors).

	Explanation
ACT	Activated carbon adsorber
AQUAMAT	AQUAMAT
DD	Desiccant dryer
DHS	Air-main charging system
AR	Air receiver
ED	ECO-DRAIN
KA	Activated carbon filter, adsorption
KB	Coalescence filter, Basic
KBE	Extra Combination
KD	Particulate filter, dust
KE	Coalescence filter, Extra
KEA	Carbon Combination
RD	Refrigeration dryer
THNF	Bag filter
ZK	Centrifugal separator

Compressed air quality classes to ISO 8573-1(2010):

Solid particles / dust			
Class	Max. particle count per m <sup>3</sup> * of a particle size d in [µm]		
	0.1 ≤ d ≤ 0.5	0.5 ≤ d ≤ 1.0	1.0 ≤ d ≤ 5.0
0	Please consult KAESER regarding specific requirements		
1	≤ 20,000	≤ 400	≤ 10
2	≤ 400,000	≤ 6,000	≤ 100
3	Not defined	≤ 90,000	≤ 1,000
4	Not defined	Not defined	≤ 10,000
5	Not defined	Not defined	≤ 100,000
Particle concentration C <sub>p</sub> in mg/m <sup>3</sup> *			
6	0 < C <sub>p</sub> ≤ 5		
7	5 < C <sub>p</sub> ≤ 10		
X	C <sub>p</sub> > 10		

Water	
Class	Pressure dew point, in °C
0	Please consult KAESER regarding specific requirements
1	≤ -70 °C
2	≤ -40 °C
3	≤ -20 °C
4	≤ +3 °C
5	≤ +7 °C
6	≤ +10 °C
Concentration of liquid water C <sub>w</sub> in g/m <sup>3</sup> *	
7	C <sub>w</sub> ≤ 0.5
8	0.5 < C <sub>w</sub> ≤ 5
9	5 < C <sub>w</sub> ≤ 10
X	C <sub>w</sub> > 10

Oil	
Class	Total oil concentration (fluid, aerosol + gaseous) mg/m <sup>3</sup> *
0	Please consult KAESER regarding specific requirements
1	≤ 0.01
2	≤ 0.1
3	≤ 1.0
4	≤ 5.0
X	> 5.0

\* ) With reference conditions 20 °C, 1 bar(a), 0%

図1: 上図のような空気処理チャートは、ケーザー社スクリーコンプレッサーのすべての小冊子に掲載されています。あらゆる用途向けの処理機器の正しい組み合わせを一目で簡単に判断できます。

第3章

# 乾燥圧縮空気が必要な理由

問題は空気自体にあります。大気温度が下がると(コンプレッサーで圧縮された後にはこのようになります)、水蒸気が凝縮水として沈降します。基準状態(周囲温度+20°C、相対湿度70%、1bar<sub>abs</sub>)の場合、吐出量が5m<sup>3</sup>/分のコンプレッサーでは、8時間のシフトあたり約30リットルの凝縮水が生成されます。損傷を防止したり、コストのかかる生産ダウンタイムを回避するためには、空気システムからこの凝縮水を取り除く必要があります。このため、費用対効果が高く環境にやさしい圧縮空気乾燥処理は、用途に合わせた圧縮空気処理の重要な要素です。

### 1. 実例

液冷/油冷スクリーコンプレッサーが20°C、大気圧、相対湿度60%の環境で1分間に10m<sup>3</sup>の空気を取り込む場合、空気には約100gの水蒸気が含まれます。この空気を1:10の圧縮比で絶対圧力10barに圧縮した場合、これを1使用立方メートルといいます。圧縮後の80°Cの温度で、空気は1立方メートルあたり290gの水を吸収することができます。約100gしか含まれていないため、空気は相対湿度約35%で非常に乾燥していて凝縮水は発生しません。その後空気は、コンプレッサーのアフタークーラーで80°Cから約30°Cに冷却されます。

この温度で、1立方メートルの空気は約30gの水を吸収できます。この結果、約70g/分を超える水が発生し、それが液化されて分離されます。これは、8時間の作業シフトで約35リットルの凝縮水が蓄積することを意味します。下流に冷

凍式ドライヤーを使用した場合、各シフトでさらに6リットルが分離されます。空気はこれらのドライヤーでまず、+3°Cまで冷却され、その後周囲温度に戻されます。これにより水蒸気飽差は約20%になり、より乾燥した高品質な圧縮空気を得られます(図1)。

### 2. 湿気の原因

大気中には、多少にかかわらず常に特定の量の水が含まれています。実際の水分量は、空気の温度に依存します。例えば、水蒸気飽和度100%で温度が+25°Cの空気には、1立方メートルあたり約23gの水が含まれます。

### 3. 凝縮水の蓄積

空気の体積が小さくなるとともに空気の温度が低くなると凝縮水が発生します。このため、空気が水を吸収する能力が低下します。コンプレッサーのエアークールおよびアフタークーラーでこれとまったく同じことが起こります。

### 4. 重要な用語 - 簡潔な説明

#### a) 絶対湿度

絶対湿度は、空気の水含有量でg/m<sup>3</sup>で表します。

#### b) 相対湿度(H<sub>rel</sub>)

相対湿度は、可能な限り高い絶対湿度(飽和点(100% H<sub>rel</sub>))に対する現在の絶対湿度の比率です。この値は、温度によって変わります。暖かい空気のほうが冷たい空気よりも多くの水蒸気を含むことができます。

#### c) 大気下露点

大気下露点は、大気圧(周囲条件)で空気が100%飽和(H<sub>rel</sub>)に到達する温度です。

#### d) 圧力下露点

圧力下露点(PDP)は、圧縮空気が絶対圧力で飽和点(100% H<sub>rel</sub>)に到達する温度です。前述の例で、圧力10bar(a)、圧力下露点+3°Cの空気の1使用立方メートルあたり絶対湿度は6gになります。この立方メートルの圧力を10bar(a)から大気圧に下げて膨張させた場合、体積は10倍になります。水蒸気の成分は6gで変化しませんが、10倍の体積全体にわたって分散されます。つまり、空気の立方メートルあたりに含まれる水蒸気は0.6gになり、これは-24°Cの大気露点に相当します。

### 5. 高効率で環境にやさしい圧縮空気乾燥方法は、冷凍式ドライヤーと吸着式ドライヤーのどちらか?

冷媒に関する新しい環境法によって、経済的または環境的に、吸着式ドライヤーが冷凍式ドライヤーの代替機能を提供しないという事実は変わりません。冷凍ドライヤーは、コンプレッサーが圧縮空気を生産するのに必要な電力のわずか3%しか消費しません。それに対して吸着式ドライヤーは、10~25%以上消費します。この理由により、可能な限り冷凍式ドライヤーを使用する必要があります。

吸着式ドライヤーは、-20、-40、または-70°Cの圧力下露点で非常に乾燥した空気品質が必要な場合のみ有効です。

(図2)。1日を通して、圧縮空気システムに求められる圧縮空気の需要は大きく変動します。温度が大きく変動することにより、1年を通して同じことが起こります。このため、圧縮空気ドライヤーは可能性のある最も不利な運転条件を処理できるように設計する必要があります。例えば、圧力が最低で圧縮空気消費量が最大の場合、または周囲空気と圧縮空気の入口温度が最大の場合などです。これまでのドライヤーの連続運転によってこれに対処し、これにより大量のエネルギーが浪費されていました(特に部分負荷運転時)。それに対して、効率的なオン/オフ制御を備えた最新の冷凍式ドライヤーは、一貫した空気品質を提供し、変化する運転条件に応じてエネルギー使用量を適合させることができます(図3)。したがって、これらは平均年間エネルギー消費量を50%以上削減できます。氷点下で圧力下露点に到達するには、エネルギー効率の高い技術を使用することが特に重要です。このレベルの性能を実現する必要がある吸着式ドライヤーではエネルギー需要が非常に高くなります。

乾燥工程	圧力下露点°C	標準的な比出力要件 kW/m <sup>3</sup> /分**)
冷凍式ドライヤー	+3	0.1
ハイブリテック	+3 / -40 *	0.2 0.3
加熱式吸着式ドライヤー	-40	0.5 - 0.6
ヒートレス吸着式ドライヤー	-20 -70	1.4 - 1.6

図2: 必要な圧力下露点に応じて異なる乾燥工程を使用可能

HYBRITECシステムのように費用対効果が高くエネルギー効率の高いプロセスを使用することで、エネルギー消費量を大幅に削減できるようになりました。このシステムは、冷凍式ドライヤーと吸着式ドライヤーの両方で構成されています。冷凍式ドライヤーは、効率的かつ費用対効果が高い状態で、まず流入圧縮空気を

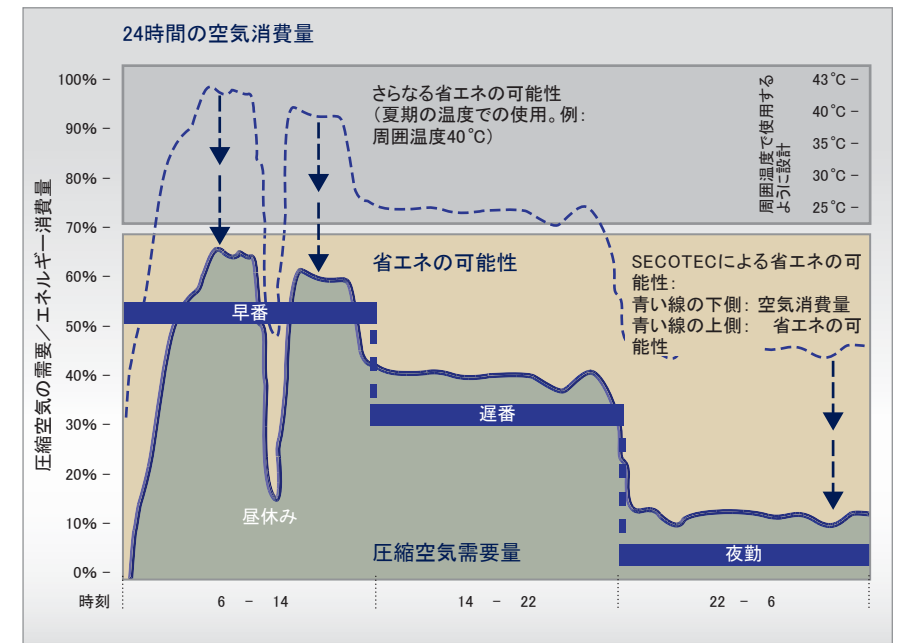


図3: オン/オフ制御付き冷凍式ドライヤーでの省エネの可能性

+3°Cの圧力下露点にします。冷凍式ドライヤーは、効率的かつ費用対効果が高い状態で、まず流入圧縮空気を+3°Cの圧力下露点にします。あらかじめ乾燥された空気が吸着式ドライヤーに取り込まれ、大幅に少ないエネルギーでさらに空気を-40°Cの圧力下露点まで乾燥させます。



図1: 圧縮空気の生産、貯蔵、および処理により凝縮水が発生(10m<sup>3</sup>/分、10bar<sub>abs</sub>、8時間、60% H<sub>rel</sub>、20°Cに基づいた値)

## 第4章

## 凝縮水：正しいドレン

凝縮水は、圧縮空気の生産で必ず生じる副産物です。平均的な条件下で、FADが5m<sup>3</sup>/分の30kWコンプレッサーがどのようにシフトあたり約20リットルの凝縮水を生成することを前述しました。システムの故障や腐食を防止したり、コストのかかる生産ダウンタイムを回避するためには、空気システムからこの液体を取り除く必要があります。この章では、凝縮水を正しく排出し、同時に大幅なコスト削減を実現する方法について説明します。

## 1. 凝縮水排出

さまざまな汚染物質で汚染された凝縮水は、あらゆる空気システムの特定の箇所で回収します(図1)。このため、信頼性の高い凝縮水排出装置が不可欠で、排出を行わないと空気品質、運転信頼性、および圧縮空気システムの効率に重大な影響がでます。

## a) 凝縮水回収および排出箇所

まず、空気システムの機械式装置が凝縮水を排出し、回収します。コンプレッサーに効果的なアフタークーラーが取り付けられている場合、凝縮水の70~80%がこれらの箇所で回収されます。

## 遠心分離器:

これは遠心力によって空気から凝縮水を分離する機械式の分離器です(図2)。最高の性能を実現するためには、各コンプレッサーに独自の専用遠心分離器を装備する必要があります。

## インタークーラー:

インタークーラーを装備した二段圧縮コンプレッサーでは、凝縮水はインタークーラーの分離器でも回収されます。

## エアレシーバー:

エアレシーバーは、貯蔵またはバッファタンクとして機能することに加え、重力によって空気から凝縮水を分離します(図1)。エアレシーバーが十分なサイズ(コンプレッサーのFAD(m<sup>3</sup>/分)/3=エアレシーバーのサイズ(m<sup>3</sup>))である場合、遠心分離器と同じように効果的です。

遠心分離器とは異なり、エアレシーバーは圧縮空気システムの主配管内で使用できます。ただしレシーバータンク下部



図1: あらゆる圧縮空気システムの特定の箇所に蓄積される凝縮水

から圧縮空気を入れ、上部から出す必要があります。さらに、熱放散表面積が大きいことにより、エアレシーバーは空気をさらに冷却し、凝縮水の分離が促進されます。

## 空気配管内のウォータートラップ:

凝縮水が所定以外の場所を流れないようにするためにも、入口および出口が上または横からの接続になるように空気配管を設計する必要があります。

下向きの凝縮水出口(ウォータートラップといえます)により主空気配管から凝縮水を取り除くことができます。適切な設計と2~3m/秒の気流により、空気システムの水気のある箇所に設けられたウォータートラップ(図3)はエアレシーバーと同じように効果的に凝縮水を分離します(図1)。

## b) 圧縮空気ドライヤー

圧縮空気の乾燥工程には、これまでに説明したもの以外にも回収および排出箇所があります。

## 冷凍式ドライヤー:

圧縮空気を冷却することによる乾燥効果により、冷凍式ドライヤーでさらに凝縮水が分離されます。

## 吸着式ドライヤー:

空気配管の高い冷却効果により、凝縮水は吸着式ドライヤーの入口にあるプレフィ

ルターで回収できます。吸着式ドライヤー自体では、ドライヤー内の分圧状態により、水は蒸気としてのみ存在します。

## c) 局所分離器

集中乾燥システムが存在しない場合は、空気消費機器のすぐ上流に取り付けられた局所分離器に大量の凝縮水が集められます。ただし、これらのシステムは、非常に頻りにメンテナンスする必要があります。

## 2. 排出システム

現在は、次の3つのシステムが主に使用されます。



図2: 凝縮水排出装置を備えた遠心分離器

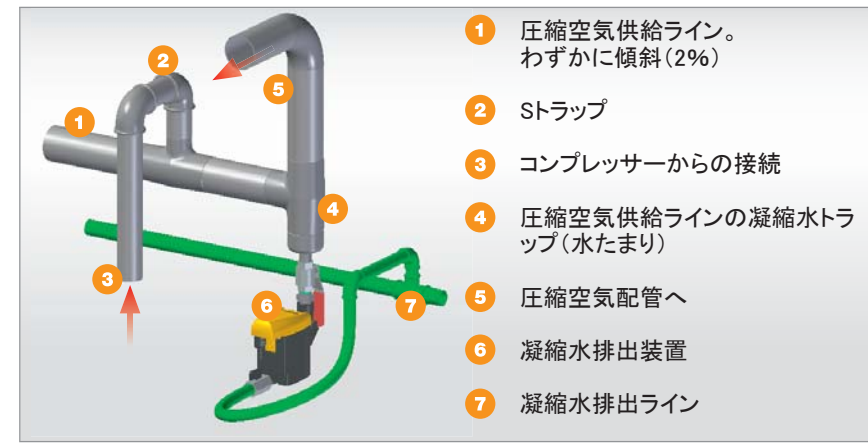


図3: 圧縮空気システムの水気のある箇所に設けられたウォータートラップと凝縮水装置

## a) フロートドレン

フロートドレンは、最も古いドレンシステムの1つで、手動ドレンの代わりとして採用されたものです。これらはどちらも、非効率的で非常に信頼性の低いものです。ただし、フロート原理を使用した凝縮水排出装置(図4)は、圧縮空気中の汚れや汚染物質によって非常に故障しやすいことがわかっています。

## b) 電磁弁

時間制御式のソレノイドバルブは、フロートドレンよりも信頼性は高いですが、目詰まりや汚染を定期的に点検する必要があります。バルブ開閉タイミングが正しく調整されていないと、空気の損失が生じ、エネルギー消費量が増えることがあります。

## c) 液面検知制御機能を備えた凝縮水排出装置

現在では、インテリジェントな液面検知制御を備えたドレンが主に使用されています(図5)。非常に故障しやすいフロートが電子センサーで置き換えられているというメリットがあります。これにより、汚れによる故障や、フロートドレンの機械的摩耗を排除できます。また、自動制御のバルブ開閉タイミングにより、(フロートバルブで発生する)空気の損失を防止できます。その他のメリットとして、自動自己監視および集中制御システムに信号を送信できることが挙げられます。

- 1 圧縮空気供給ライン。わずかに傾斜(2%)
- 2 ストラップ
- 3 コンプレッサーからの接続
- 4 圧縮空気供給ラインの凝縮水トラップ(水たまり)
- 5 圧縮空気配管へ
- 6 凝縮水排出装置
- 7 凝縮水排出ライン

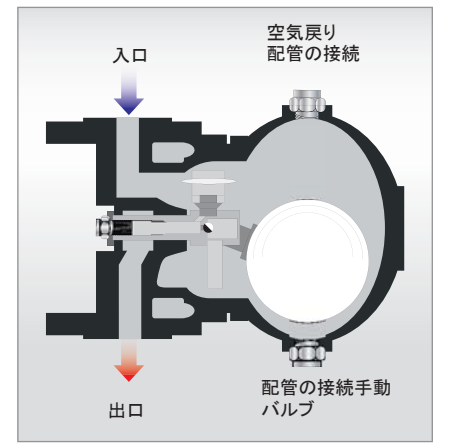


図4: 圧縮空気の凝縮水排出用のフロートドレン



図5: 液面検知制御機能を備えた凝縮水排出装置(ECO-DRAIN)

## 第5章

## 凝縮水：安全かつ経済的な処理

「凝縮水」という用語は、凝縮された水蒸気のみを意味するものと誤解されることがあるため注意してください。あらゆるコンプレッサーが大型の掃除機と同じように機能します。つまり、周囲から汚染された空気を取り込んで、未処理の圧縮空気内の濃縮された状態でそれを凝縮水に送ります。

## 1. 凝縮水を処理する理由

凝縮水を下水に流して処分すると重い処分を受けることになります。これは、圧縮空気の生産時に蓄積される濃縮物は、非常に有害な混合物であるためです。固体粒子に加え、凝縮水には、炭化水素、亜硫酸ガス、銅、鉛、鉄、および増え続けている環境汚染によって生じたその他の物質が含まれています。ドイツでは、凝縮水の処分に関する規制は Water Management Act (水管理法) で定められています。この法律では、「一般的に認識されているエンジニアリング規制」に従って汚染水は処理しなければならないことを規定しています。これは「オイルフリー」コンプレッサーから排出される凝縮水を含む、あらゆる種類の凝縮水に適用されます。あらゆる汚染物質およびpH値の法定限度が定められています。これらは州政府および関係しているエンジニアリング分野によって異なります。例えば、炭化水素の最大許容値は20mg/lで、処分可能な凝縮水のpH値の上限は6~9です。

## 2. 凝縮水の組成(図1)

## a) 分散液

凝縮水の組成は大幅に異なります。一般的に、分散液は、ケーザー社の「Sigma Fluid S570」などの合成クーラントを使用している液冷スクリーコンプレッサーで発生します。この凝縮水のpH値は6~9で、中性pHであるとみなすことができます。この凝縮水の場合、大気から取り込まれた汚染物質がオイルの浮遊層で捕捉され、水から簡単に分離できます。

## b) エマルジョン

エマルジョンは乳濁液であり、数日間経過しても分離しません。この組成は、従来のオイルとともに使用するレシプロコンプレッサー、スクリーコンプレッサーおよびスライディングベーンコンプレッサーで発

生じます。汚染物質もオイルによって捕捉されます。

非常に安定した混合物であるため、オイル、水、および粉塵や重金属などの汚染物質は重力で分離できません。オイルにエステル化合物が含まれている場合、凝縮水は活性化されている可能性があり、中和する必要があります。そのような凝縮水は、エマルジョン分離ユニットでのみ処理することができます。

## 3. 専門会社による処分

凝縮水を回収して、専門会社に処分を依頼することもできます。ただし、これらのコストは、通常、€40~€150/m³です。蓄積される凝縮水が量考えた場合、処理したほうが経済的です。この方法の場合、環境規制に従って処分する必要がある残留物は、元の体積のわずか約0.25%であるというメリットがあります。

## 4. 処理プロセス

## a) 分散液の場合

このタイプの凝縮水の処理には、2つの初期分離チャンバーと1つの活性炭フィルターチャンバーで構成される3チャンバー分離器を使用します(図2)。実際の分離プロセスは重力下で行われます。分離チャンバー内の液体の表面に浮遊しているオイル層がすくい取られてコンテナに入れられ、廃油として処分されます。

その後、残りの水が2段階でろ過され、廃水として処分できる状態になります。このプロセスにより、専門会社に凝縮水の処分を依頼した場合のコストの最大95%を節約できます。

これらの分離器を設置して、最大105m³/分のコンプレッサー吐出空気量に対応できます。必要に応じて、複数の分離器を並列接続することができます。

## b) エマルジョンの場合

一般的に、2種類の分離器を使用して安定したエマルジョンを処理します。膜分離システムは、クロスフロープロセスを使用した限外ろ過の原理で動作します。このプロセスでは、あらかじめろ過された凝縮水が膜の上を流れます。凝縮水の一部が膜に浸透し、廃水として処分可能な水となって分離器から排出されます。もう一つは、粉末分離剤を使用するタイプです。オイルの粒子を包み込んで、容易にろ過可能なマクロ凝集粒子を形成します。規定の孔径のフィルターがこれらの凝集粒子を確実に保留します。排出される水は、廃水として処分できます。



図1: すべてのコンプレッサーが大気と一緒に水蒸気と汚染物質を取り込みます。このため、蓄積する圧縮空気凝縮水(図1.1)からオイルやその他の汚染物質(図1.2)を取り除く必要があります。その後、純水(図1.3)として排出することができます。



図2: 重力の原理を使用した圧縮空気技術用凝縮水分離システム(機能図)

第6章

# 効率的なコンプレッサー制御

変動する圧縮空気需要に圧縮空気吐出量を正確に合わせることで、エネルギー消費量が多く、コストがかかる部分負荷運転を実質的に排除できます。適切なコンプレッサーコントローラーは、最適なエネルギー効率を実現するのに重要な役割を果たします。

50%未満の負荷で運転しているコンプレッサーは、大量のエネルギー浪費に関して対処する必要があります。コンプレッサーは運転時間のみを示し、負荷運転時間を示さないため、多くのユーザーがこのことさえも認識していません。完全に調和された制御システムを使用することで、負荷率を90%以上に増やし、電力消費量を20%以上節約することができます。

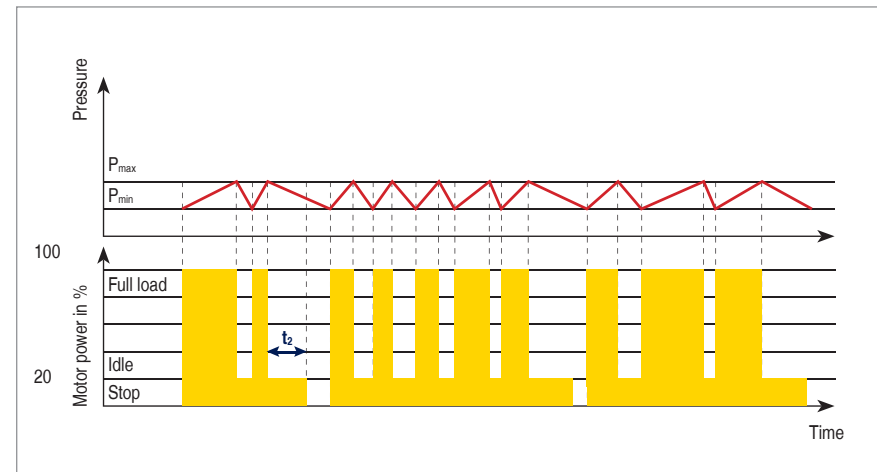


図1: 固定アイドル期間の全負荷-始動/停止制御、デュアルコントロール

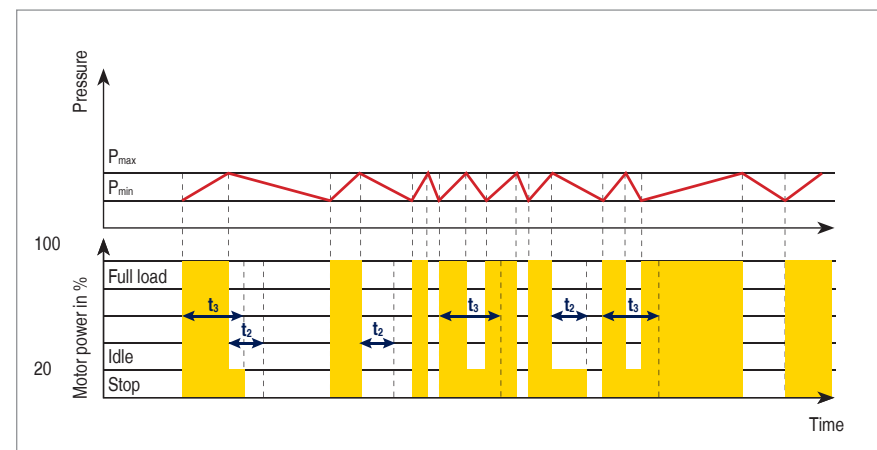


図2: 最適なモードを自動的に選択する全負荷-アイドル-始動/停止制御、クワドロコントロール

## 1. 内部制御

### a) 全負荷/アイドル制御

ほとんどのコンプレッサーには三相非同期電動機が取り付けられています。ただし、これらのモーターの許容始動周波数は、モーターのサイズが大きくなるに従って低くなります。これは、実際の空気需要を満たすために低い切り替え差圧でコンプレッサーをカットインおよびカットアウトする始動周波数とは一致しません。これらの切り替えサイクルは、コンプレッサーシステムの加圧領域のみを無負荷にします。それに対して、駆動モーターは始動周波数を超えないように一定時間運転し続ける必要があります(図1)。この無負荷期間にモーターを運転するのに必要な電

力を損失とみなす必要があります。無負荷運転に切り替えたコンプレッサーの電力消費量は、全負荷駆動力時の20%です。

最適な運転モードの自動選択機能を備えたクワドロコントロール(図2)、駆動モーターの温度に依存したアイドル機能を備えたダイナミックコントロール(図3)、可変計算アイドル期間機能を備えたパリオコントロール(図4)など、コンピュータで最適化された最新の制御システムは、コストのかかるアイドル期間を最小限に抑え、最高のモーター保護を実現します。

吸入側のスロットリングを使用するプロポーションアルコントローラーはお勧めしません。これは、コンプレッサーは最大容量の50%を吐出するのに、100%の自由空気吐出量を提供するのに必要な90%のエネルギーを必要とするためです。

### b) 可変周波数駆動

周波数変換器によって速度制御されたコンプレッサーの効率は、制御範囲全体にわたって一貫していません(図5)。例えば、90kWモーターの場合、30~100%の制御範囲で効率は94%から86%に低下します。さらにこれに周波数変換器とコンプレッサーの非線形出力特性の損失が加わります。FC制御のコンプレッサーは、40~70%の制御範囲で運転する必要があります。この範囲で最高の性能を得られます。

これらのコンポーネントは100%負荷用に設計する必要があります。ある用途で可変速コンプレッサーを不適切に使用した場合は、ユーザーが気付かないうちに大量のエネルギーが消費されます。これは、最高の効率および省エネ運転を実現するのに可変周波数駆動が万能策ではないことを意味しています。

## 2. 空気需要の分類

一般的に、コンプレッサーは機能に従って、ベース負荷、中負荷、ピーク負荷、またはスタンバイユニットに分類できます。

### a) ベース負荷空気需要

ベース負荷空気需要は、生産施設で絶えず必要とされる空気量です。

### b) ピーク負荷空気需要

それに対して、ピーク負荷は、特定のピーク負荷時の空気需要の量です。各種消費機器の需要は異なるため量は変わります。この幅広い負荷需要を可能な限り最適な方法で満たすためには、コンプレッサーは個別の制御システムを装備する必要があります。マスターコントローラーで故障が発生した場合に、これらのスレーブコントローラーはコンプレッサーの運転を維持し、圧縮空気の供給を維持できる必要があります。

## 3. マスター制御

Web ベースのソフトウェアを装備した最新のマスターコントローラーは、圧縮空気ステーション内でコンプレッサーの運転を調整して最適なエネルギー効率を実現できるだけでなく、性能データを収集して圧縮空気の供給効率を文書化できます。

### a) システム分割

分割とは、等しいまたは異なる能力および制御方法のコンプレッサーを生産施設の空気需要のベース負荷およびピーク負荷に従って分割することです(図6)。

### b) マスターコントローラーのタスク

コンプレッサーの運転の調整は、手間がかかる複雑なタスクです。最新のマスターコントローラーは、異なるタイプおよびサイズのコンプレッサーを同時に有効および無効にできるだけではなく、メンテナンス目的でシステムを監視したり、装置の運転時間のバランスをとったり、整備コストを最小限に抑えて最高の信頼性を実現できるようにアラームを記録できる必要があります。

### c) 適切な等級分け

マスターコントローラーが最高の効率で運転するためには、圧縮空気ステーション内のコンプレッサーを完全に等級分けする必要があります。

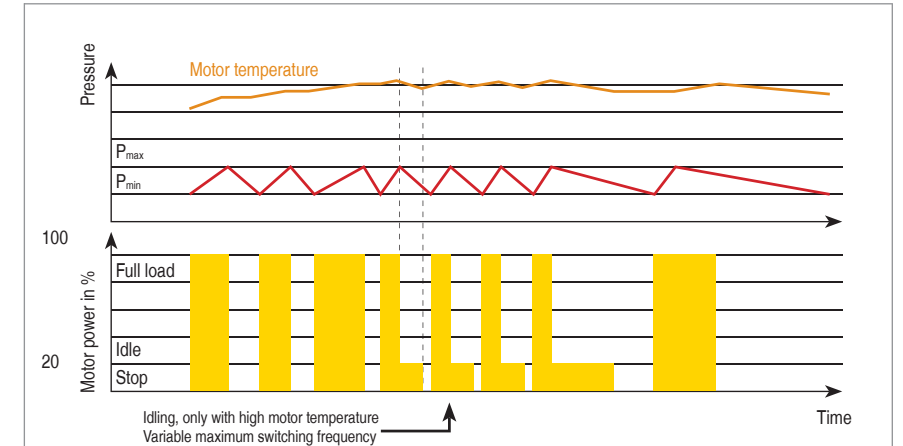


図3: 駆動モーターの温度に依存したアイドル機能を備えたダイナミックコントロール(デュアルコントロールベース)

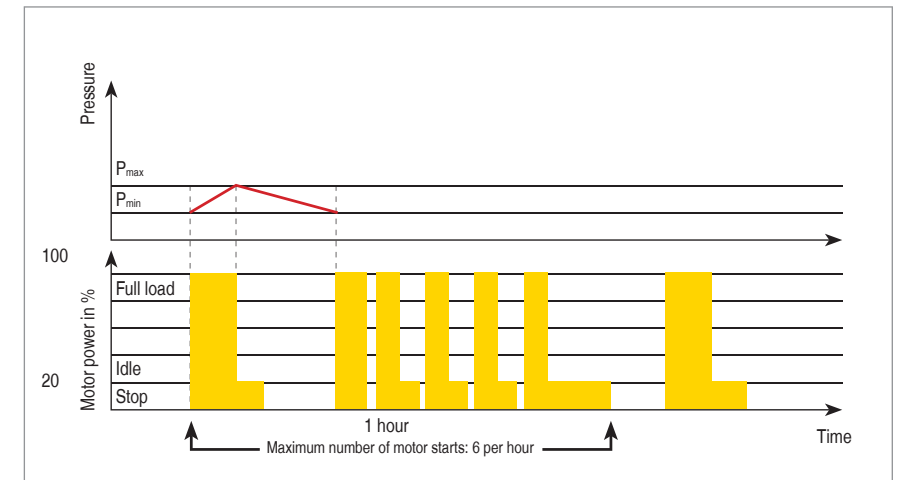


図4: 可変計算アイドル期間機能を備えたパリオコントロール

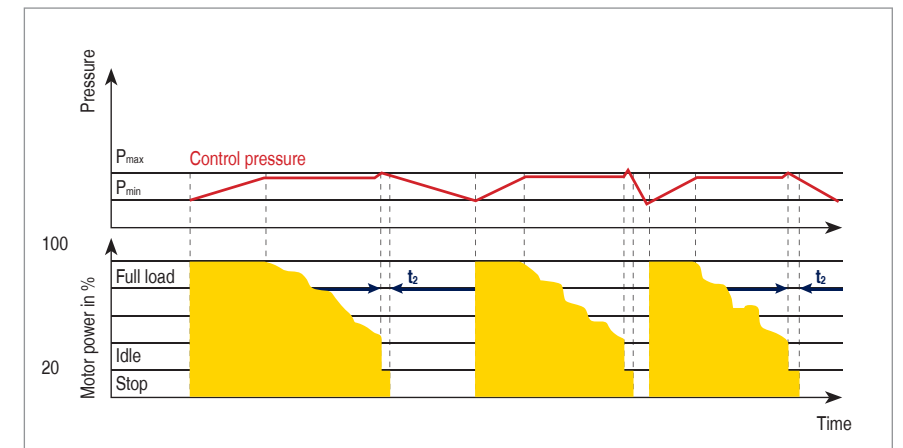


図5: モーター回転数による連続吐出制御(周波数変換)



第6章

# 効率的なコンプレッサー制御

ピーク負荷装置の空気量の合計は、カットインされる次のベース負荷装置の空気量よりも多くなければなりません。可変周波数駆動のピーク負荷装置を使用する場合、制御範囲はカットインされる次のコンプレッサーの量よりも大きくなければなりません。そうでないと、圧縮空気の供給効率を保証できなくなります。

提供します。このシステムは大量のデータを長距離にわたってすばやく転送することができます。イーサネットと最新の通信技術を組み合わせることで、標準的なコンピュータおよび監視システムに接続することもできます。これは、マスターコントローラーを圧縮空気設備自体に設置する必要がないことを意味します(図7)。

d) 安全なデータ転送

マスターコントローラーの完璧な機能および効率を実現するもう一つの重要な要件は、安全でセキュリティ保護されたデータ転送です。

各コンプレッサー間およびコンプレッサーとマスターコントローラー間でメッセージが転送可能であることを確認する必要があります。また、接続ケーブルの導通断などの故障を直ちに認識できるように信号経路を監視する必要があります。

通常の転送方法は次のとおりです。

1. 無電圧接続端子
2. アナログ信号4~20mA
3. 電子インタフェース。例: RS 232、RS 485、Profibus DP またはイーサネット。Profibus は、最先端のデータ転送技術を

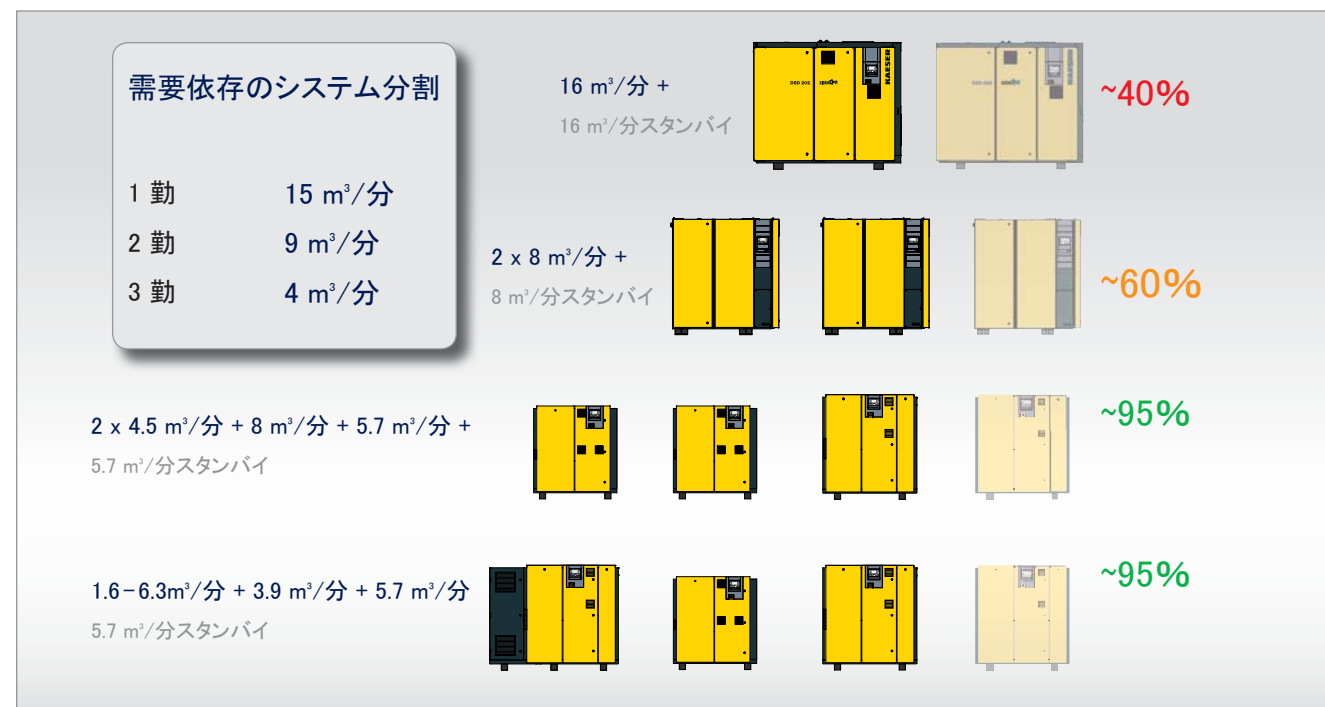


図6: さまざまなサイズのコンプレッサーを使った需要依存の負荷分散



図7: 広範なマスターコントローラー接続性。圧縮空気ステーションのエネルギー効率の高い運転を大幅に強化



第7章

# 実際の需要を満たすことが可能な最適なコンプレッサー性能

一般的に圧縮空気システムは、同じまたは異なるサイズの複数のコンプレッサーで構成されています。システムの効率的な運転には効果的な制御が不可欠であるため、個別の装置の運転を調整するためのマスターコントローラーが必要になります。圧縮空気の生産は、実際の圧縮空気需要に正確に合わせられ、常に最高の効率が保証されます。

調整および制御技術では、一般的にコンプレッサーコントローラーと呼ばれるシステムは、調整システムとみなされます。これらは4つのグループに大別されています。

### 1. カスケード制御

コンプレッサーのグループを制御する従来の方法はカスケード制御です。システムの需要を満たすようにコンプレッサーの容量を増減させる上限/下限圧力設定値が各コンプレッサーに割り当てられます。調整するコンプレッサーが複数ある場合、この方法はカスケード(または段階的)制御システムになります。空気需要が低い場合、1つのコンプレッサーのみがカットインされて圧力が上昇し、このコンプレッサーのプリセットされた最小圧力値( $p_{min}$ )と最大圧力値( $p_{max}$ )間の上部範囲で変動します。空気需要が高くなって圧力が低下すると、この需要を満たすためにいくつかの

コンプレッサーがカットインします(図1、列1)。

この結果、比較的大きく好ましくない全体圧力変動になり、最大値が公称使用圧力を大幅に上回り、漏れの危険性とその後のエネルギー損失が増大します。それに対して、消費量が多く、圧力が公称使用圧力を大幅に下回った場合、システムの予備圧力が低下します。従来の隔膜式圧力スイッチ、接触圧力計、または電子式圧力センサーのどれを測定センサーとして使用しているかにより、コンプレッサーが特定の圧力範囲に個別に割り当てられて制御システムの圧力分散は非常に大きくなります。使用しているコンプレッサーの数が多いほど、全体圧力範囲が大きくなります。結果として効果のない調整になり、前述した高い圧力、漏れ、エネルギー損失になります。このため、3台以上のコンプレッサーで使用する場合は、カスケード調整システムを他の調整方法で置き換える必要があります。

### 2. 圧力帯コントロール

カスケード調整システムとは異なり、圧力帯コントロール(図1、列2)は、1つの定義済みの圧力範囲内で複数のコンプレッサーを調整できます。これにより、圧縮空気

ステーションの圧力調整範囲を比較的狭く保つことができます。

#### a) 簡易版の圧力帯コントロール

簡易版の圧力帯コントロールは、異なるサイズのコンプレッサーの動作を調整できません。このため、絶えず変動している需要条件に適応する必要がある圧縮空気網のピーク負荷の需要要件を満たすことができません。この方法は、圧力降下および圧力上昇の期間に基づいて、適切なコンプレッサーを制御し、圧縮空気のピーク負荷需要に対応できるように用意されたシステムによって置き換えられました。ただし、この調整アプローチでは、圧力帯の分散が比較的大きくなります(図2)。さらに、カスケード制御と同じように、コンプレッサーと圧縮空気網の反応は考慮されず、結果として可能性のある最小圧力下露点に達しません。このため、最小要求圧力と調整システムの最小切り替え圧力間の安全距離を維持する必要があります。

#### b) 設定圧力主体の圧力帯コントロール

設定圧力主体の圧力帯コントロールは、飛躍的な進歩をもたらしました(図1、列3)。この方法は、特定の設定圧力を維持して、圧縮空気需要に応じて異なるサイズのコンプレッサーを制御できます。このタイプの調整システムの主なメリットは、圧縮空気システムの平均運転圧力を大幅に低下させることができ、この結果エネルギーとコストを大幅に削減できることです。

### 3. 需要圧力制御

需要圧力制御(図1、列4)は、現在最も有望な調整方法です。このタイプのシステムでは、最小および最大圧力は指定せず、圧力センサーの測定点が下回っていない、可能な限り低い使用圧力を指定します(図3)。この調整方法は、圧力上昇、始動時間、反応およびアイドリング期間によって生じるすべての損失と、個別のユニットの速度制御を考慮して、切り替えおよびコンプレッサーの選択に関する最適な性能を判断します。個別の反応時間を認識できることにより、システムは許容

可能な最小需要圧力を下回っていないことを保証できます(図4)。

SIGMA AIR MANAGER 2 (SAM 2) マスターコントローラーに含まれている適応 3-D<sup>advanced</sup> 制御のこの新しいタイプのシステムにより、設定圧力主体の圧力帯コントロールよりもエネルギー消費量を削減できます。さらに、プリセットされた圧力レベルを下回る可能性が排除され、オペレータは非常に簡単に需要圧力を調整することができます。

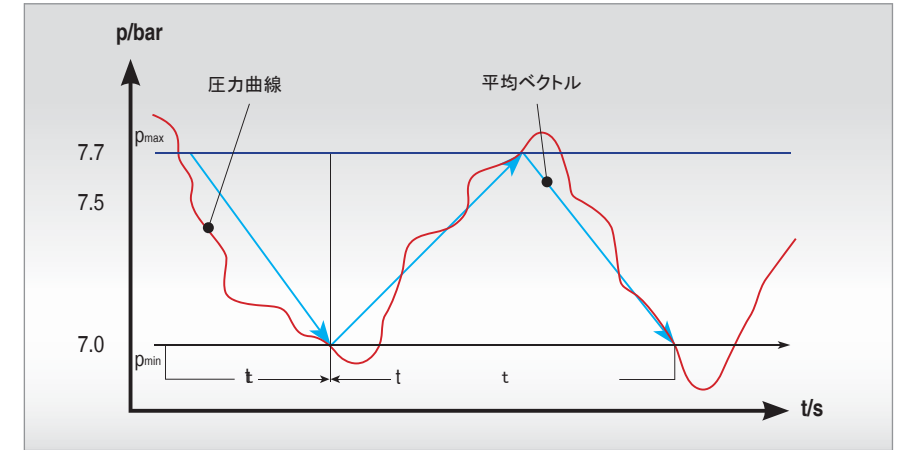


図2: 制御に関連するすべての損失を考慮して最適な圧力が設定される

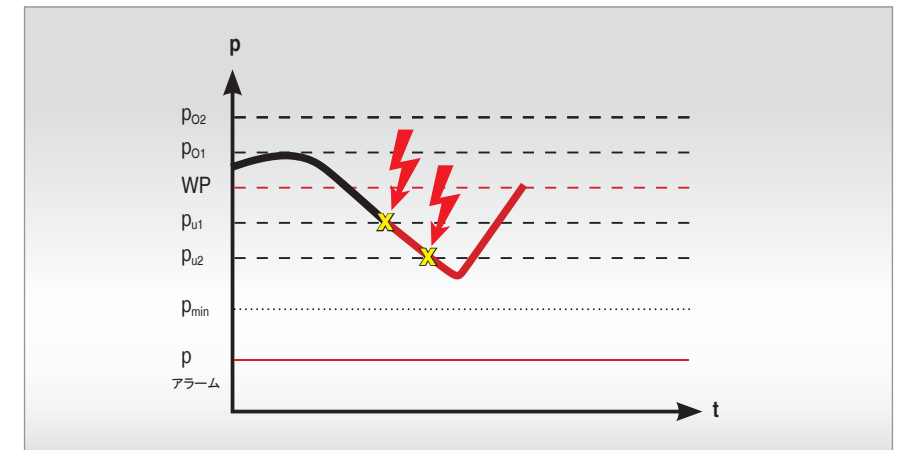


図3: 需要圧力制御では下限および上限圧力は入力不要

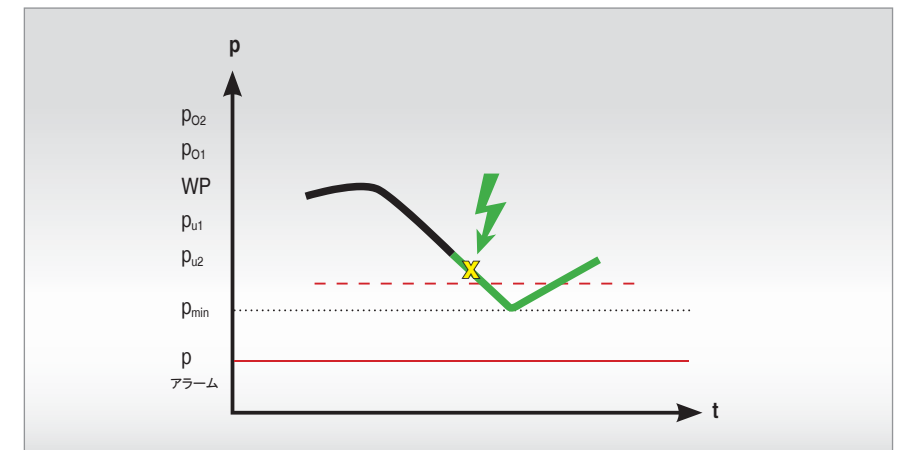


図4: システムはプリセットされた最小需要圧力を下回るのを防止

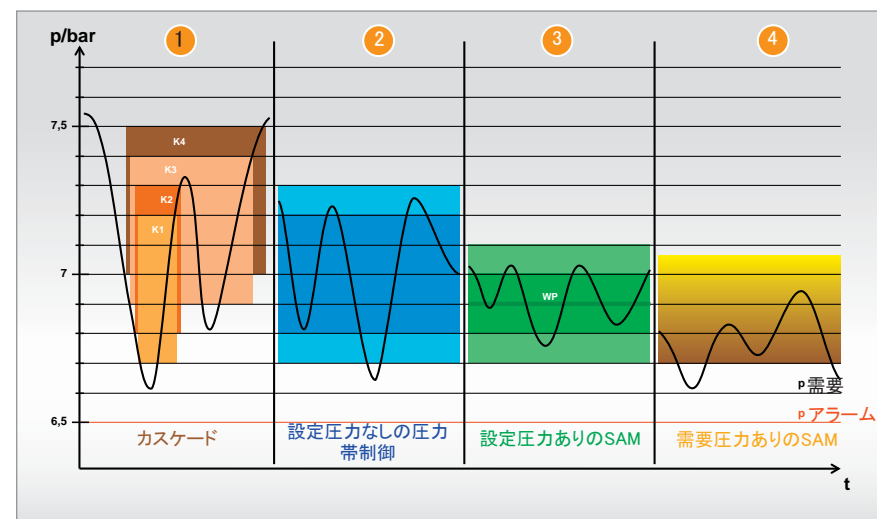
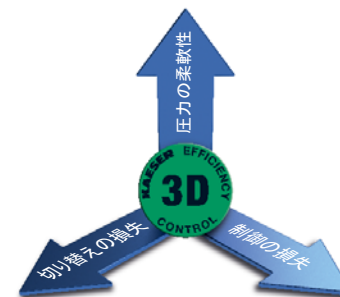


図1: 各種マスター圧力制御システム



第8章

# 熱回収による省エネ

上昇し続けるエネルギー価格を考えた場合、エネルギーの効率的な使用は環境に重要なだけでなく、経済的にも必須のこととなりつつあります。スクリーコンプレッサーシステムでの熱回収など、コンプレッサーメーカーはこのことに関してさまざまなソリューションを提供できます。

## 1. コンプレッサーは本質的に熱を生成する

驚くべきことに、コンプレッサーに供給される電気エネルギーの100%が熱に変わります。圧縮作用は、コンプレッサー内の空気に潜在エネルギーを与えます(図1)。このエネルギーは、圧縮空気が膨張して周囲から熱を奪うことで、使用箇所から放出されます。

## 2. 熱回収の選択肢

圧縮空気供給システムの効率を向上させることを考えている圧縮空気ユーザーは、各種熱回収オプションから選択できます。

### a) 空気加熱

液冷/油冷スクリーコンプレッサーで生成された熱を最も簡単かつ直接的に回収する方法は、コンプレッサーシステムの温められた冷却エアを使用する方法です。この熱風をダクトで送って、倉庫や作業場の暖房に使用できます。また、高温エアは、乾燥、ヒートカーテン、燃焼用空気の予熱など、その他の用途にも使用できます。また、高温エアは、乾燥、ヒートカーテン、燃焼用空気の予熱など、その他の用途にも使用できます。熱風が必要な場合は、手動または自動フラップ、またはルーバーにより大気へ放出します。ルーバーはサーモスタットで調整して、設定した一定温度に保つことができます。暖房では、スクリーコンプレッサーの電気エネルギー消費量の96%を回収できます。また、7.5kWコンプレッサーのような小規模なシステムでも、一般的な家庭を温めるのに十分な熱エネルギーを簡単に生成できます。

### b) 温水

エアエンド冷却オイル回路に取り付けられている熱交換器によって、さまざまな目的用の温水を空冷式または水冷式ス

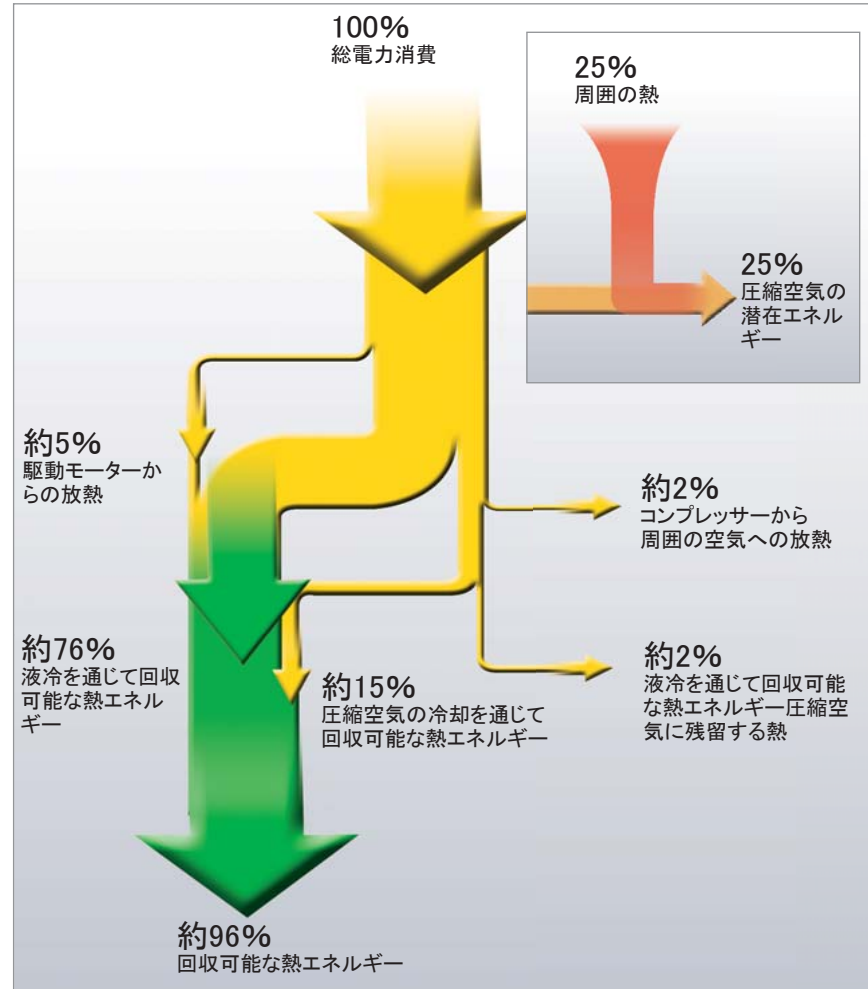


図1: 熱流れ図

クリューコンプレッサーパッケージから回収できます。暖房、洗濯やシャワー、生産や清掃業など、どの目的で水を使用するかによってプレートまたはフェイルセーフ熱交換器を使用します。これらの熱交換器では最大70°Cの水温を得ることができます。経験則では、7.5kW以上の容量のコンプレッサーパッケージの場合、これらの熱回収システムに必要なコストは2年以内に回収できます。これはもちろん正しく計画したかどうかによって決まります。

## 3. 信頼性に関する考慮事項

通常、コンプレッサーの1次冷却システムは、冷却用および熱回収システムとして

図3: 熱回収システムへのコンプレッサーの正しい接続



使用してはいけません。これは、熱回収システムが故障するとコンプレッサーの冷却が停止し、圧縮空気を生産できなくなる可能性があるためです。最も安全な方法は、熱回収専用の特別な熱交換器をコンプレッサーステーションに設置する方法です。これにより、故障発生時もコンプレッサーの運転と信頼性は保たれます。熱回収システムの液体/水熱交換器によって放熱されない場合、コンプレッサーは1次空冷/水冷システムに戻って運転し続けることができます(図2および3)。

## 4. 最大96%の使用可能なエネルギー

熱として回収可能なエネルギーの比率としては、約76%がコンプレッサーの冷却オイル、約15%が圧縮空気自体で、最大5%が駆動モーターの熱損失を通じて失われます。完全密閉型の液冷/油冷スクリーコンプレッサーパッケージでは、適切な冷却装置を使用した場合は、電動機から失われる熱も熱エネルギーとして回収できます。これにより熱として利用可能な入力エネルギーの合計比率は96%という驚異的な値になります。残りのエネルギーのうち2%はコンプレッサーパッケージから放射され、2%は圧縮空気に残留します(図1)。

## 5. 結論

圧縮によって発生した熱を有用な目的のために回収することは、圧縮空気生産の経済性を向上させ、同時に環境的メリットを得られる賢い方法で、これに伴う労力は比較的少なく済みます。環境、熱の用途、回収方法によっては、投資をすばやく回収することができます(図4)。



図3: 熱回収プロセス

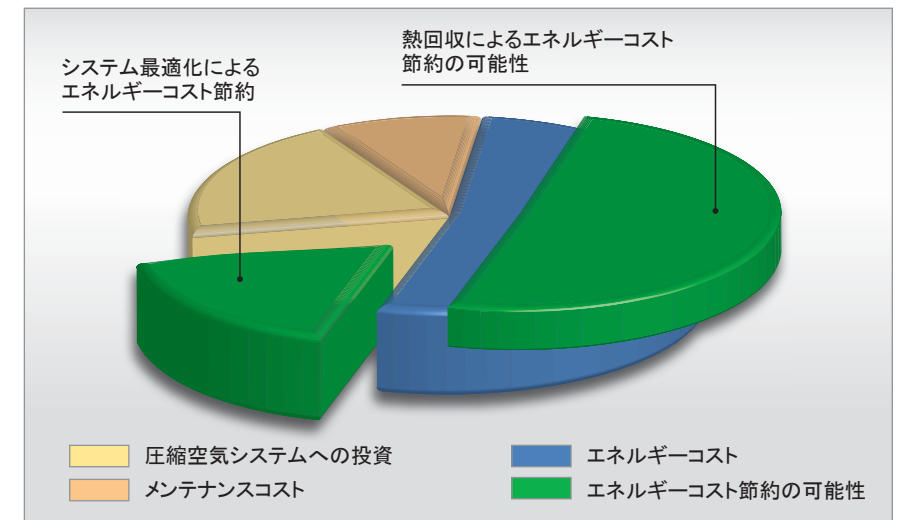


図4: 熱回収による大幅なエネルギーコスト節約の可能性

# 新しい圧縮空気分配網の設計および設置

圧縮空気の生産コンポーネント、処理コンポーネント、および分配コンポーネントが互いに完全に調和している場合、圧縮空気は効率的なエネルギー源となります。また、適切なシステム設計および空気分配網の適切なサイズ選定および設置も重要です。

## 1. 圧縮空気の経済的な生産

エネルギー、冷媒、メンテナンス、装置の減価償却を考慮した場合、1立方メートルあたりの空気生産コストは0.5～2.5セント（ユーロ）で、これはコンプレッサーのサイズ、利用率、状態、モデルによって異なります。多くの生産施設が、圧縮空気の非常に効率的な生産を重視しています。液冷/油冷スクルーコンプレッサーが一般的になった主な理由の1つとして、その他のタイプのコンプレッサーと比べて圧縮空気の生産コストを20%削減できることが挙げられます。

## 2. エアーメインでの空気処理の影響

用途固有の圧縮空気処理についてはあまり考慮されていません。空気を正しく処理した場合のみ、空気消費機器および関連する配管のメンテナンスコストを削減できるため、これは残念なことです。湿気を含む乾燥していない圧縮空気が送られる配管では、耐腐食性配管を使用することが重要です。不適切な配管が処理システムによって得られた圧縮空気の品質を低下させないことを確認する必要があります。

## a) メンテナンス要件を軽減する

### 冷凍式ドライヤー

冷凍式ドライヤーは、全用途の80%を満たすのに十分な空気品質を提供します。冷凍式ドライヤーでは、通常、空気網のインラインフィルターの圧力損失を排除でき、これらの圧力損失を補うのにコンプレッサーが使用するエネルギーのわずか3%程度のエネルギーしか消費しません。また、空気消費機器および配管のメンテナンスおよび修理コストを大幅に削減でき、冷凍式ドライヤーの平均コストの10倍のコストを簡単に削減できます。

b) 省スペースのコンビネーションシステム  
小規模または局所的な用途の場合は、スクルーコンプレッサー、冷凍式ドライヤー、エアーレシーバーで構成された省スペースの圧縮空気パッケージを使用することもできます（図1）。

## 3. 空気分配網の設計と設置

新しい圧縮空気設備を設計する際に考慮すべき重要な要素の1つとして、集中システムまたは分散システムのどちらとして設計するかがあります。集中システムは、通常、小規模の環境に適しています。これは、高い設置コスト、十分に断熱されていない外部配管の冬期凍結、長い配管によって発生する多大な圧力降下など、大規模なシステムで発生する数多くの問題が発生しないためです。

## a) 配管網のサイズの適切な選定

必ず計算式を使用して、空気分配配管のサイズを適切に選定する必要があります。この計算は、コンプレッサーと空気消費機器（冷凍ドライヤーなどの標準的な空気処理を含む）間の最大圧力降下が1bar以下でなければならないという規則に基づいています。次の個別の圧力損失を考慮する必要があります（図2）。



図1: オールインワンの AIRCENTER 圧縮空気パッケージ、省スペース型の圧縮空気生産、処理、貯蔵システム

① エアーメイン	0.03bar
② 分配配管	0.03bar
③ 接続配管	0.04bar
④ ドライヤー	0.20bar
⑤ ドライヤーフィルター/レギュレーター/ルブリケーターユニットとホース	0.50bar
合計最大	0.80bar

この方法で項目分けすることで、個別の配管箇所での圧力降下を計算する重要性が明らかになります。成形コンポーネントおよびシャットオフユニットも考慮する必要があります。配管の実際の配管長を判断する必要があるため、ストレート配管の長さを計算式や表に入力するだけでは不十分です。しかしながら、通常、システム計画の初期段階では、すべての成形コンポーネントおよびシャットオフユニットの計算に使用する値は不明確です。このため、ストレート配管の長さに1.6を乗算して配管長を計算します。配管径は、経験則による公式（図3）または設計ダイヤグラム（54ページの付録1）から簡単に判断できます。

設計図は、KAESER Toolbox (www.kaeser.com/Online\_Services/Toolbox) を使用して作成することもできます。

## b) 省エネ配管の設置

省エネ効果を高めるには、可能な限り配管レイアウトを直線的かつダイレクトにする必要があります。例えば、障害物を回り込むような配管を、障害物の横を通るように配置し直すことで配管の曲げをなくすことができます。鋭利な90°のコーナーでは高い圧力降下が生じるため、曲げ半径の大きいエルボに置き換える必要があります。一般的に使用されている水用のシャットオフ弁ではなく、完全貫通流径のボール弁またはバタフライ弁を使用する必要があります。

水気のある配管箇所（最新の空気システムの場合はコンプレッサー室のみ）では、主配管との配管接続は上または少なくとも横から行う必要があります。主配管には2/1000の傾斜を付ける必要があります。この配管の最も低い位置に凝縮水排出装置を取り付けられるようにしておく必

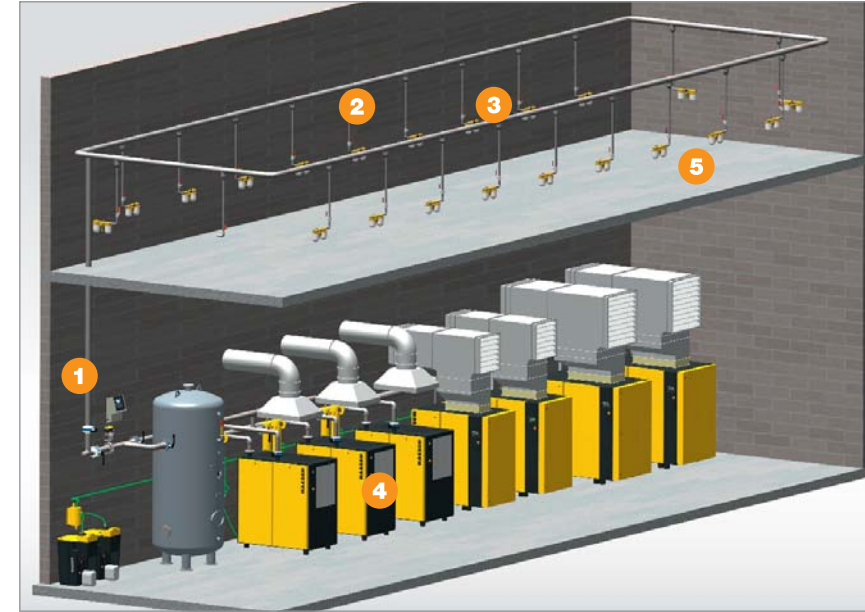


図2: 圧縮空気分配システムのメインコンポーネント: エアーメイン(1)、分配配管(2)、接続配管(3)、ドライヤー(4)、FRLユニット/ホース(5)

近似式:

$$d_i = \sqrt[5]{\frac{1.6 \times 10^3 \times V^{1.85} \times L}{\Delta p \times p_s}}$$

$d_i$  = 配管内径 (m)  
 $p_s$  = システム絶対圧力 (Pa)  
 $L$  = 公称長さ (m)  
 $V$  = 流量 (m<sup>3</sup>/秒)  
 $\Delta p$  = 圧力損失 (Pa)

図3: 配管径を求めるための近似式

要があります。乾燥している箇所では、配管は水平に設置でき、分岐配管を下向きに直接接続できます。

## c) 配管の材質

材質の特性に関して特定の推奨事項はありません。ただし、コンプレッサーで発生する高い熱負荷により、必ず金属製の配管を使用する必要があります。材料費と設置費を合算した場合、亜鉛めっき鋼、銅、およびプラスチック製のどの配管のコストもほぼ同じであるため、材料単体の価格では判断することはできません。ス

テンレススチール管は約20%高価です。しかしながら最近では、効率的な処理方法により価格が安くなりました。ほとんどのメーカーがそれぞれの配管材の最適な条件を示す表を提供しています。材質を判断する前にそれらの表を参照して、将来通常運転時にエアーメインにかかる負荷を考慮し、それに従って配管の仕様を作成することをお勧めします。これが効率的なエアーメインシステムを実現する唯一の方法です。

## d) 重要 - 適切な接合

配管は、溶接、接着剤、または接着剤とねじで接合する必要があります。それらを分離するのが困難な場合も、接合部が機械的に安定した漏れのない状態になるように正しく接合することが特に重要です。

# 既存の空気分配網の最適化

貴重なエネルギーが使用されずに漏れ出すような古い空気分配システムや十分にメンテナンスされていない空気分配システムにより、莫大なコストが絶え間なく浪費されています。これらの欠陥を解消するには、十分に検討する必要があり、膨大な労力がかかります。ここでは、圧縮空気分配システムを正しく改修および改装するためのヒントについて説明します。

## 1. 基本要件:

乾燥した圧縮空気 新しいエアーマインを計画する場合は、将来問題となる間違いを回避できます。既存の圧縮空気エアーマインの場合、簡単に改装できないこともあり、分配網に送られる空気に湿気が含まれている場合は無駄な作業となります。作業を開始する前に、発生源で空気を乾燥させる必要があります。

## 2. 空気分配網で過度な

圧力降下が発生する場合十分な処理システムを設置した後もエアーマインの圧力降下が過度な場合、配管内の堆積物が原因であると考えられます。圧縮空気で運ばれた汚染物質が管壁に堆積し、有効径が小さくなり、空気流路が狭くなります。

### a) 交換するまたは吹き飛ばす

堆積物が強固に付着している場合、配管を交換する以外に方法はありません。堆積物によって配管の内径がわずかに狭くなっている場合は、吹き飛ばすことができます。この場合、それらを使用する前に完全に乾かす必要があります。

### b) 補助配管の設置

引込配管の有効径を増やす優れた方法として、2本目の配管を平行に接続する方法があります。元の環状主配管の内径が狭くなった場合は、補助環状配管を設置することもできます(図1)。適切にサイズ選定した場合、補助引込配管または二重環状配管は圧力降下の問題を解消するだけでなく、分配網の信頼性も向上します。環状主配管の流量を向上させるもう一つの方法は、交差接続

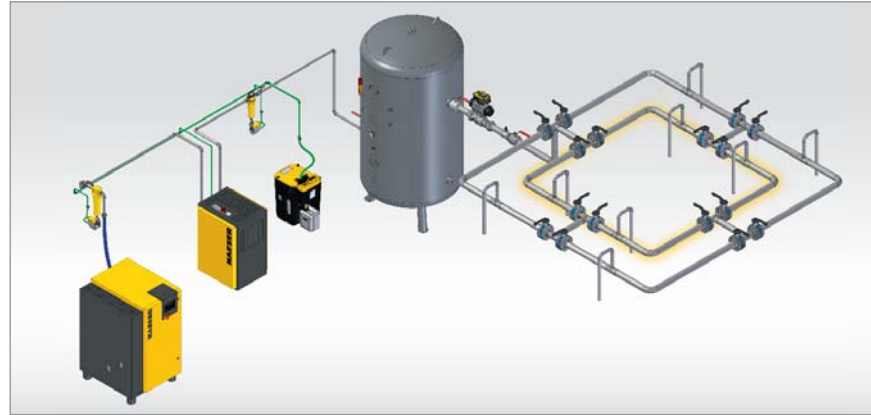


図1: 補助環状主配管の設置による圧縮空気分配配管の改装

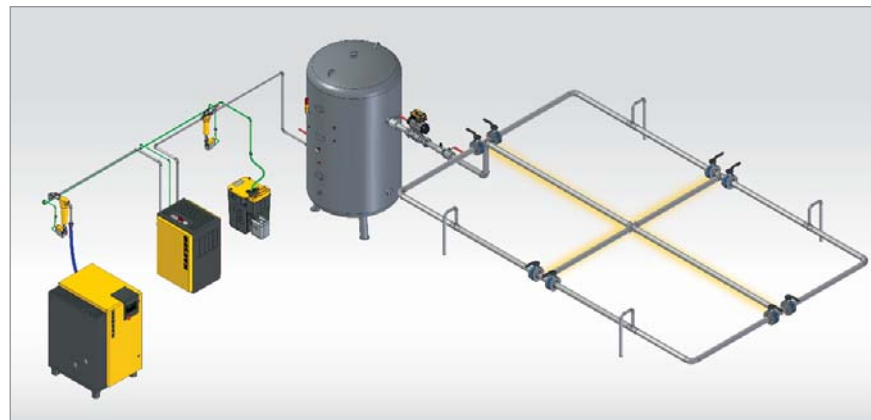


図2: 交差接続配管を使用した分配配管容量の拡張

配管を使用してシステムを拡張する方法です(図2)。

## 3. 漏れの特定と修正

あらゆる改装プロジェクトの主な目的は、主配管網の空気の漏れを可能な限り止めることでなければなりません。

### a) 総漏れ損の判断

配管網で個別の漏れを探し始める前に、全体的な空気漏れ損の程度を判断する必要があります。これはコンプレッサーを使用して比較的簡単に実行できます。すべての消費機器を接続したままにしてオフにし、特定の期間にわたってコンプレッサーのカットイン時間を測定します(図3)。次に、結果を使用して、次の公式で漏れを判断します。各値の意味は次のとおりです。

$$VL = \text{漏れ量 (m}^3/\text{分)}$$

$$VC = \text{コンプレッサー流量 (m}^3/\text{分)}$$

$$\sum t_x = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5$$

$$T = \text{時間(分) 合計時間(分)}$$

$$VL = \frac{VC \times \sum t_x}{T}$$

### b) 空気消費機器での漏れの測定

分散された圧縮空気消費機器での漏れ損失を判断するには、すべてのエアーツール、機器、および装置をまず接続して、すべての漏れの総量を測定します(図4)。次に、すべての空気消費機器の上流のシ

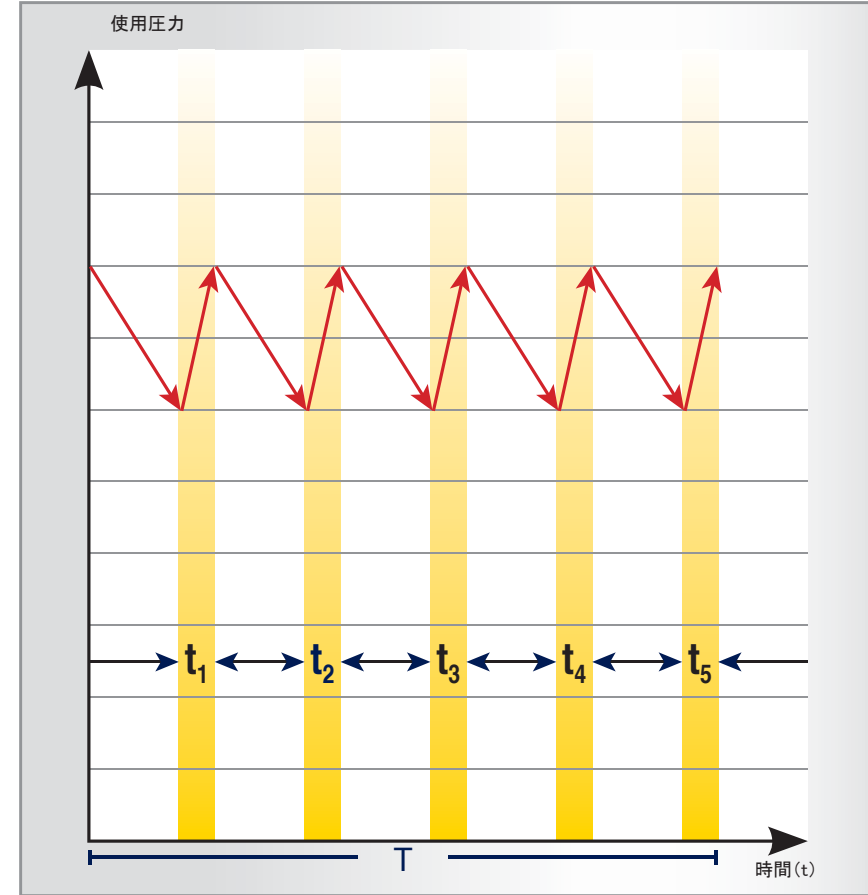


図3: すべての消費機器をオフにした状態でのコンプレッサーのカットイン時間の測定による総漏れ量の判断

ャットオフ弁を閉じて、再度測定を行って空気分配網の漏れを判断します(図5)。合計漏れ量と配管網の漏れの差が、空気消費機器およびそれらの継手で発生した漏れです。

## 4. 最も漏れが発生する場所

経験則から、エアーマインの漏れの70%が配管網の末端から数メートルのところ、つまり空気取出口またはその付近で発生します。これらの漏れの位置は、通常、あわ立った石けん水または特殊スプレーを使用して特定できます。大量の漏れが発生するのはメインの配管であり、当初湿っていた配管網の古いヘムシールが湿気帯びた空気によって湿ったままになり、配管網に乾燥した空気が送られてそれが乾くと漏れが発生します。メインの空気配管分配網の漏れは、超音波機器を使用

して検出できます。最後の漏れを見つけたら、配管を取り外します。配管の有効径が必要な流量に十分な場合は、古いエアーマインは有効な空気分配システムになります。

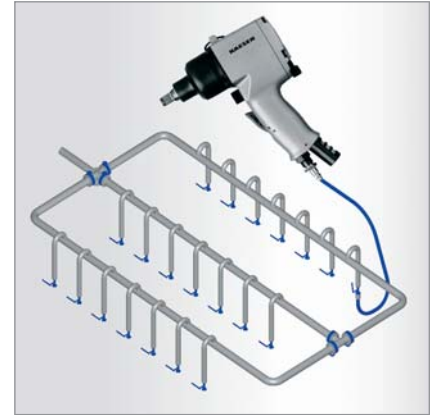


図4: 圧縮空気消費機器 + 空気分配網の漏れ測定

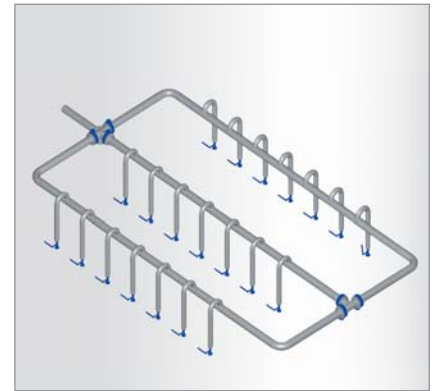


図5: 空気分配網の漏れ率

第11章

# 圧縮空気需要分析(ADA) – 現状判断

最新の圧縮空気設備は、通常、非常に複雑なシステムです。システムの計画、拡張、および改装のすべての段階での見解を正しく考慮した場合のみ、システムはピーク性能で稼動することができます。ケーザー社は、これらのプロセスをサポートする包括的なサービスツールを開発しました。圧縮空気コンポーネント、カスタマーコンサルテーション、圧縮空気工学の情報技術の進歩に関するアドバイスなど、身近な要素が組み合わされています。

圧縮空気は、一般の方が考えているよりも多くの用途で使用されています。圧縮空気を効率的に使用する前提条件は、信頼性の高い生産と空気の処理です。空気システムは、特定の量および求められる品質で、費用対効果の高い方法で空気を提供する必要があります。

## 1. コンサルテーションは効率に影響を与える

空気システムは、対象用途に適している場合のみ高い費用対効果を得ることができます。つまり、コンプレッサー、空気処理機器、および配管を適切に選択し、サイズ選定し、制御する必要があります。さらに、十分な換気が行われ、蓄積する凝縮水を処理する方法が存在してい

る必要があります。また、可能な場合は、コンプレッサーによって発生した排熱を回収する方法が存在している必要があります。「KAESER Energy Saving System」(KESS)では、これらのすべての要素に加え、空気需要の分析、計画(図1)(図1)、実装、高度なトレーニング、カスタマーサービスなどをカバーしています。

決定要因はコンサルテーションの質と適切な技術のラインアップです。これは、圧縮空気システムでコストを節約するための最も可能性のある要素は、初期の購入価格ではなく、効率的な電力消費量と最小限のメンテナンス要件であるためです。

## 2. 空気需要分析

圧縮空気に関するユーザーの現在の要件と将来の要件の詳細な調査は、あらゆる KESS 分析の基礎を成します。ケーザー社が開発したこのコンピュータ支援プロセスのことを ADA (Air Demand Analysis: 空気需要分析)といい、用途の特定の環境を考慮する必要があります。

### a) 新しい空気供給システムの設計

新しい圧縮空気供給システムを計画する場合は、将来オペレーターになる方に設計に関する特別なアンケートを行います

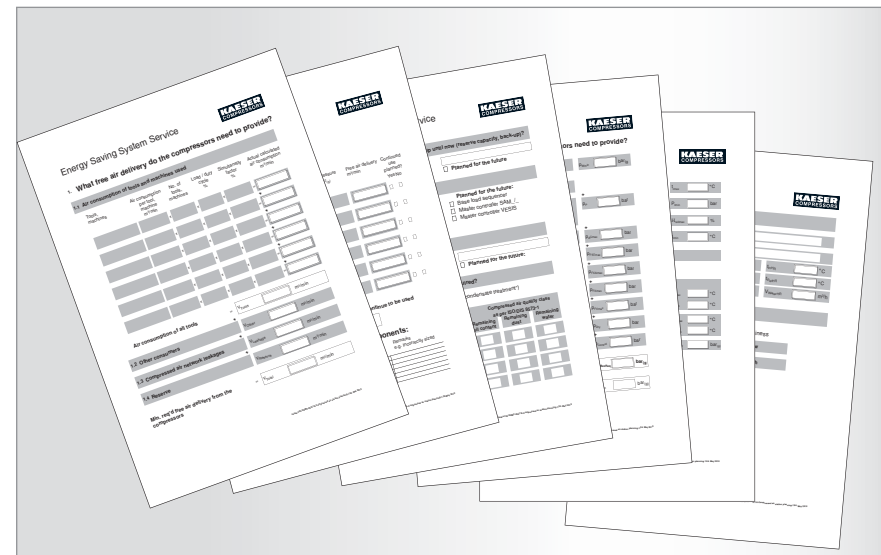


図2: 新規および既存のシステムに関する情報を収集するための圧縮空気ステーションに関するアンケート(付録(56ページ以降)も参照)

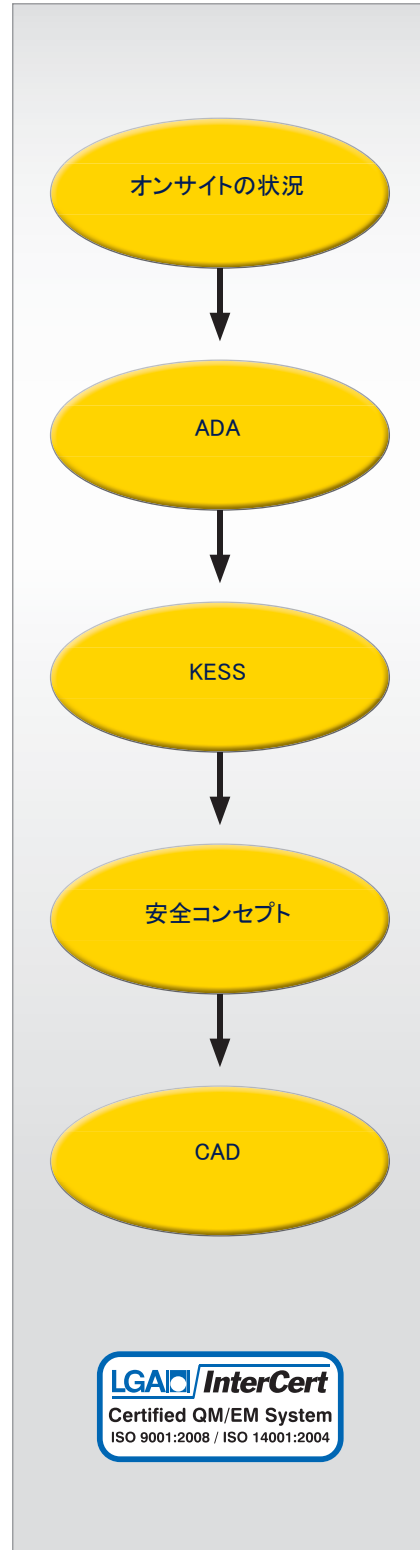


図1: ケーザー・コンプレッサーの圧縮空気分析システム

(図2)。ケーザー社のコンサルタントは、提供された情報を解釈して、その特定の圧縮空気用途のニーズを満たすのに必要なシステム機器を判断します。アンケートでは、効率的で環境にやさしい圧縮空気供給システムを形成するあらゆる要素をカバーしています。

### b) 拡張と改装

新規プロジェクトとは異なり、既存のシステムが含まれる拡張または改装プロジェクトでは、通常、用途に合わせた新しい設計ソリューションの十分な基準点を提供します。ケーザー社は、測定機器とデータ記録器を提供し、これによってさまざまな場所および時間での空気需要を正確に判断します。最大値、最小値、および平均値を判断することが特に重要です(29ページの図8)。

### c) 既存の空気システムの効率のテスト

コンピュータ支援の分析方法を使用して、既存の空気システムの効率を時々チェックし、コンプレッサーに正しく負荷がかかっているか、制御システムが正しくプログラミングされているか、漏れ率が許容範囲内に収まっているかどうかを確認することをお勧めします。コンプレッサーを新しい機器で置き換えた場合は、ADA も使用する必要があります。これにより、非効率なデューティーサイクル(部分負荷範囲)につながる容量選定ミスを防ぐことができ、適切な主制御システムの選定が行えるようになります。

### d) 運転条件の変化

空気システムの稼動条件が変化する場合は、専門家に相談する価値があります。新しい環境に適合するように空気処理方法に簡単な変更を加えたり圧力を整合させることで、大幅なコスト削減を実現できます。

## 3. オペレータの情報

### a) レイアウトプラン

生産施設のレイアウトプランを一般オリエンテーションで示します(図3)。ここには、圧縮空気ステーションのエアーマイン、接続配管および供給配管の接続口が示されている必要があります。また、配管の

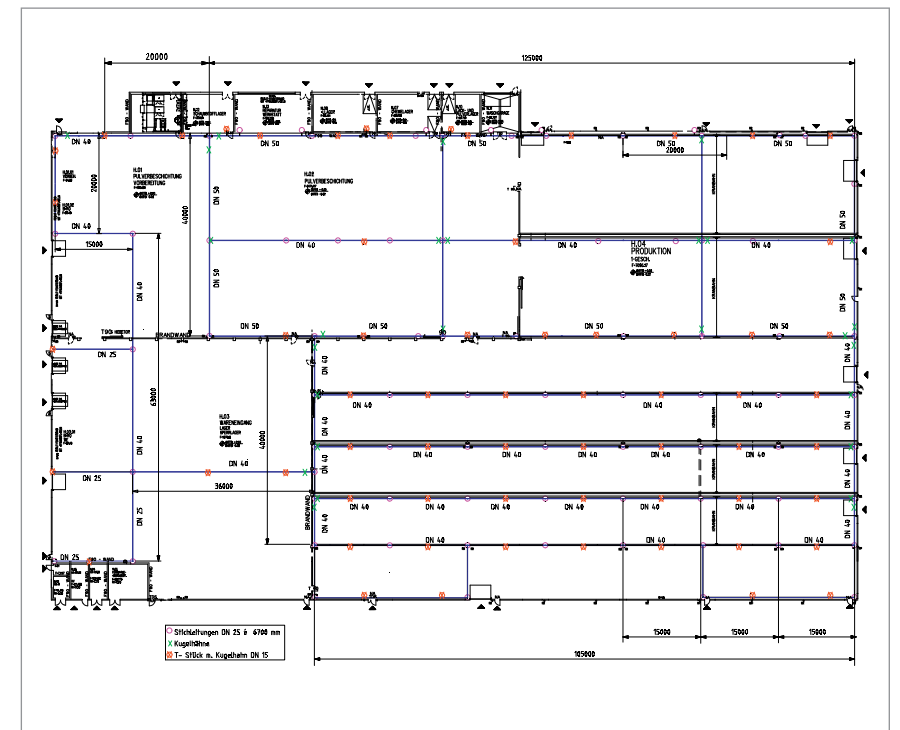


図3: 圧縮空気分配網のレイアウト

径および材質の詳細、メインエア取出口、特別な圧力のエア取出口、および数量も示されている必要があります。

### b) 圧縮空気の使用

圧縮空気は非常に多用途な媒体であるため、ユーザーが特定の空気用途に関する詳細情報を提供することが不可欠です。提供する情報には、空気を制御用空気として使用するのか、表面処理、回転ツール、清掃用に使用するのか、または処理空気として使用するのかが含まれている必要があります。

### c) 設置されているコンプレッサー

コンプレッサーのモデルとタイプに加え、使用圧力、自由空気吐出量、電力消費量、冷却システムのタイプ、熱回収装置の有無などの技術データも示す必要があります。

### d) 圧縮空気処理

空気処理を考慮する場合、集中的または局所的のどちらで空気を処理するかと、求められる品質クラスを知ることが重要

です。コンポーネントの技術仕様をリストアップし、流れ図に必要な概要を示します(28ページの図4)。

### e) コンプレッサーの制御と監視

圧縮空気システムの効率は、個々のコンプレッサーの特性とそれらが互いに連携する方法の影響を大きく受けるため、使用する制御および監視システムに関する詳細情報も含める必要があります。

## 4. ユーザーと専門家間の打ち合わせ

上記の情報を用意されたら、圧縮空気の専門家が関連ドキュメントを精査し、その後空気の供給に関するあらゆる問題の詳細について打ち合わせる必要があります。そのような問題として、圧力が低くまたは変動する、空気の品質の低い、コンプレッサーの使用率が低い、冷却に関する問題などが含まれます。

## 5. 点検

最も問題を明らかにする段階は、圧縮空気システムの点検です。点検は常に最も重要なゾーンから開始する必要があります

# 圧縮空気需要分析(ADA)-現状判断

まず、圧力降下が最も大きいまたは空気品質が低いと思われる場所から開始します。経験則から、これらの問題は圧縮空気の最終取出口で発生します。

### a) 接続ホース、圧力レギュレーター、水分離器

空気消費機器のホース接続部は、非常に漏れが発生しやすい部分です。これらは徹底的にチェックする必要があります。圧力レギュレーターを取り付けている場合は、負荷状態でそれらの圧力設定(入口および出口の圧力)をチェックする必要があります(図6)。

圧力レギュレーターの上流に取り付けた水分離器では、液体の蓄積と汚染物質の堆積をチェックする必要があります。下向きのドレン配管についても同じことが該当します(図7)。

### b) シャットオフ弁

主配管からの引き込み距離が長い分配配管およびそれらの継手は、システムの効率に多大な影響を与えます。シャットオフ弁および類似機器も重要な役割を果たします。これらは、十分なサイズの完全貫通流径のボール弁またはバタフライ弁でなければなりません。非効率な給水栓やアングル弁であってはけません。

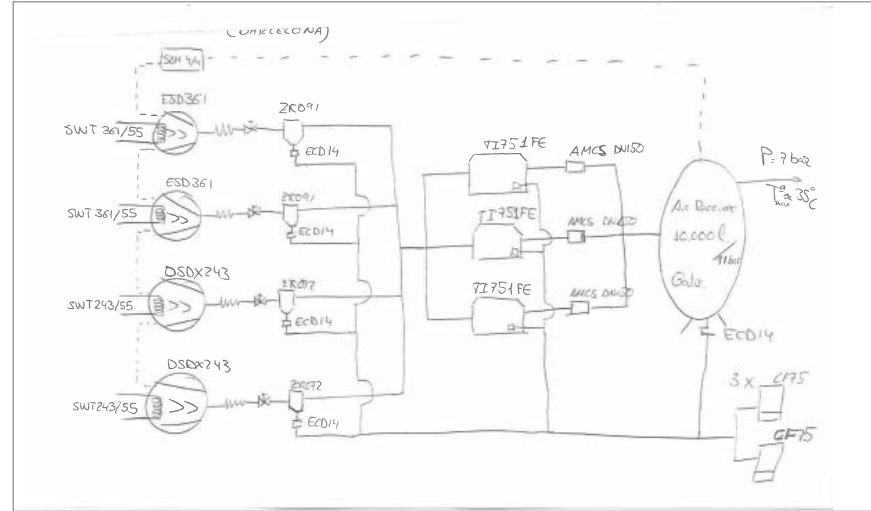


図4: 圧縮空気ステーションの手書きの配管/装置図

### c) 主環状配管

最も重要な点は、狭まっている部分など、圧力降下の原因を見つけることです。

### d) 圧縮空気処理システム

ここでの最も重要な点検規準は、実際の圧力下露点(乾燥度)と各コンポーネント間の圧力降下です。用途によっては、詳細な品質チェックが必要なこともあります。

### e) 圧縮空気ステーション

圧縮空気ステーション自体に問題があることもあります。特に、コンプレッサー、

換気装置、冷却装置、配管を点検する必要があります。さらに、コンプレッサーの累積圧力変動、エアレシーバーのサイズ、コンプレッサーの制御が行われる圧力測定箇所の位置をチェックする必要があります。

### f) ADA 測定箇所の決定

点検の完了後、専門家とユーザーは測定値を取得する箇所を決定します。少なくとも空気処理システムの上流と下流、および圧縮空気分配網の出口で測定を行う必要があります。



図6: 圧力レギュレーター付きのメンテナンスユニット



図7: 圧縮空気分岐配管で水分をチェック

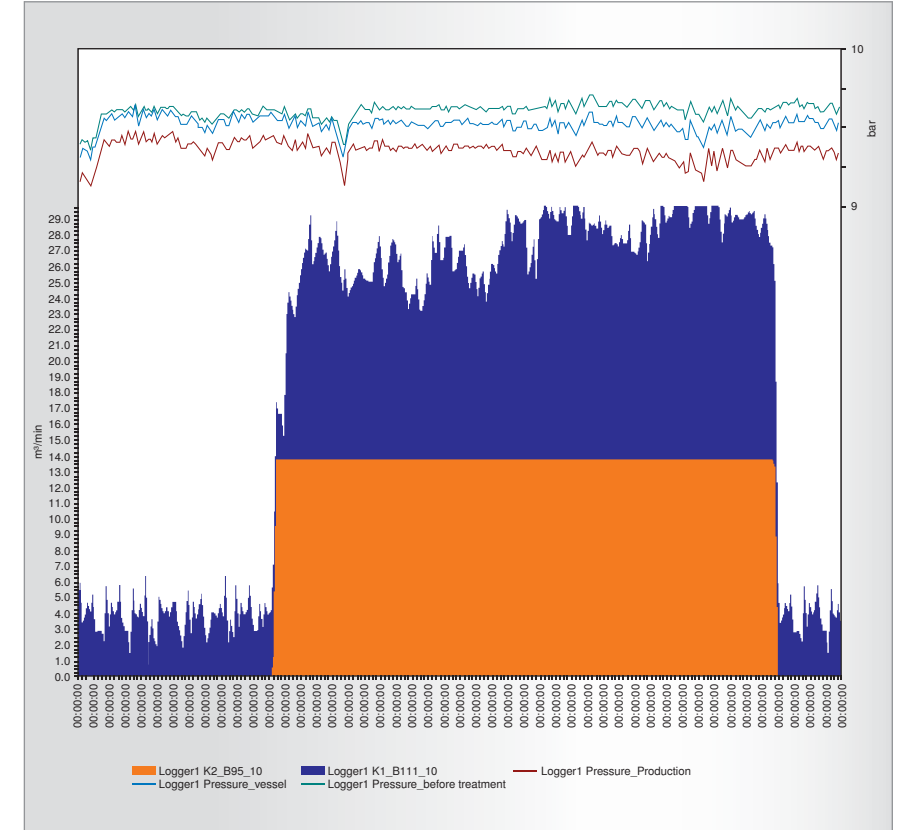


図8: ある施設での ADA で測定した圧力および圧縮空気消費の組成

## 6. 圧力と空気消費量の測定(ADA)

圧力および空気消費量の測定時には、最先端のデータ記録技術を使用して、少なくとも10日間にわたって圧縮空気システムの運転を監視します。データ記録器は、該当するすべての情報を収集して、それをPCに転送します。PCはこのデータを使用して、空気需要プロファイルを作成します。グラフは、圧力降下、圧力および消費の変動、無負荷プロファイル、コンプレッサー負荷およびアイドル期間、それぞれの空気消費量に対する個々のコンプレッサーの稼働状況の関係を示します。全体像を把握するには、この測定プロセスで漏れについても判断する必要があります。この方法については第10章(24ページ以降)で説明して、週末などの非稼働時にわたってエアメインの特定のセクションを選択的に閉じる必要があります。

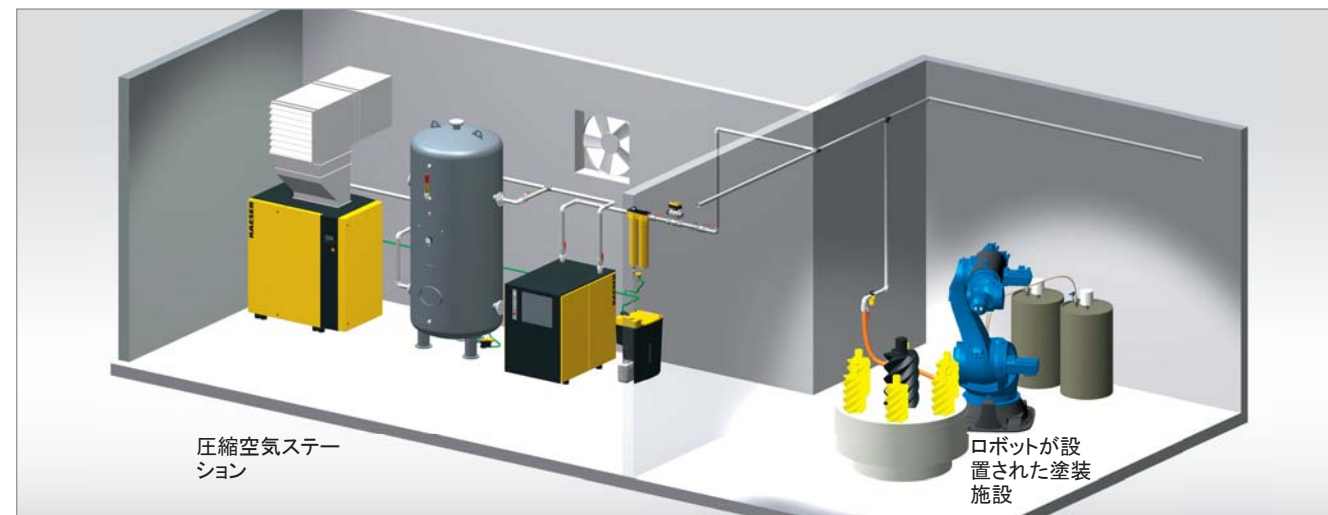


図5: パース図: 圧縮空気システムの点検

# 最も効率的なコンセプトの判断

綿密な圧縮空気システム最適化計画により、欧州での産業用圧縮空気の平均的なコストの30%以上を削減できます。これらのコストの約70~90%は、エネルギー料金によるものです。これまでにないエネルギー価格の高騰を考えた場合、各自の業務に最も効率的な圧縮空気コンセプトを判断して実装することがこれまで以上に重要になっています。

KAESER Energy Saving System (KESS) の最適化計算機能を使用することで、対象用途向けの各種システムソリューションを比較して、最も効率的なソリューションを特定できます。新規システムの場合は、回答済みの設計アンケートがこの計算の基礎となります。既存の空気システムの場合は、空気需要分析(ADA)によって得られた日次特性プロファイルが計算の基礎となります(29ページの図8)。

## 1. コンピュータ支援の分析

既存の空気供給システムを最適化するには、それに関するすべての技術データと、考えられる新しい代替データをKESSソフトウェアに入力します。その後KESSは、最適なシステム設計を特定して、削減可能なコストを計算します。さらに、規定の空気需要での瞬間的な電力消費量(すべての損失を含む)も計算されます。また、稼働期間全体にわたる空気システムの比電カプロファイルを正確に作成することもできます(図1)。これは、部分負荷運転での弱点を事前に検出して処置できることを意味します。総合的な結果として、削減可能なコストと償却期間が明確に示されます。

## 2. 威力を発揮する混在環境

ほとんどの場合、正確に連携がとられた異なる容量のコンプレッサー構成が最高のソリューションであることが実証されています。混在環境は、通常、大容量のベース負荷コンプレッサーとスタンバイコンプレッサー、および小型のピーク負荷装置で構成されています。マスターコントローラーのタスクは、可能な限りバランスのとれた比電力要件を実現することです。このためには、わずかに0.2 barの圧力帯の範囲内で稼

動している最大16台のコンプレッサーからベース負荷装置とピーク負荷装置の最も適切な組み合わせを自動的に選択する必要があります。ケーザー社の SIGMA AIR MANAGER などのインテリジェントな主制御システムは、

これらのニーズを満たし、非常に精巧なシステム制御を可能にします。また、このシステムは集中制御システムに接続できるとともに、他のコンプレッサーや凝縮水排出装置、ドライヤーなどの追加コンポーネントに接続できます。

## 3. 構造の最適化

新規設計する空気供給システムまたは改装する空気供給システムは、設置場所の空間を最適に使用する必要があります。ケーザー社が使用しているような最新の

設計システムは、これに関して価値があるサポートを提供します。これらのシステムは、床配置図と配管/装置図だけでなく、コンピュータで生成された高度な3Dプランとアニメーションも設計プロセスで使用します。これは、コンプレッサー室の過密状態にもかかわらず効率的な空冷のメリットを得ることができることを意味します。空冷システムでは、水冷システムで通常必要となるコストの30~40%を削減できます(図2a~2c)。

## 4. 運転の最適化と制御

長期間にわたる圧縮空気システムの効率を保証するためには、有効な制御システムを使って最適なコスト/使用率と完全な透過性を実現することが不可欠です。これに関してケーザー社の統合型PCベースの Sigma Control は高い評価を得

ていて、5つの事前プログラミング済み制御モードを備えていて、データを収集してそれをデータネットワークに転送することができます。主制御レベルでは、SIGMA AIR MANAGER (18ページを参照)という産業用コンピュータが使用されています。これは、空気供給システムの適切な制御および監視に加え、関連するすべてのデータを収集して、それをコンピュータネットワーク(イーサネット)に渡します。これは、インターネットまたは Sigma Control Centre 集中制御ソフトウェア経由で実行できます。Sigma Air Control 仮想化システムとともに使用することで、このPCにインストールされたソフトウェアは、すべてのコンプレッサーとそれらの主要な運転データのリストを表示できます。ここでは、システムが正しく機能しているかどうか、メンテナンスまたはアラームメッセージがアクティブになっているかどうか、システムの圧力がどの程度高いかを一目で確認できます。

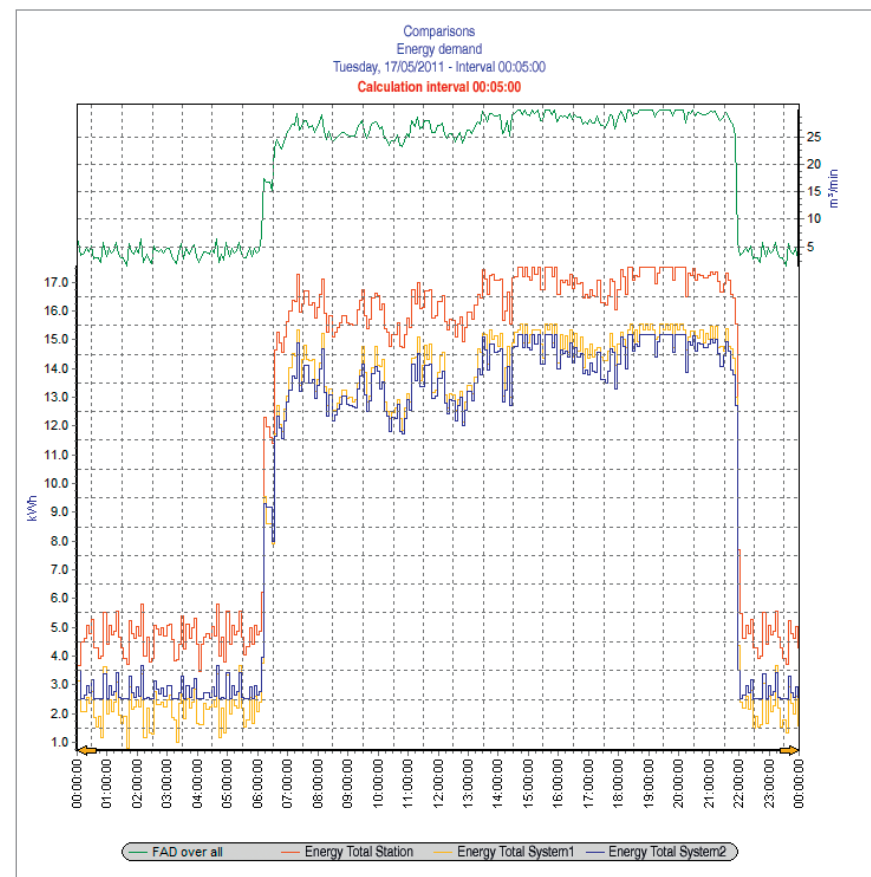


図1: 1日間の特定の空気需要に対する既存の空気供給システムと新しい代替システムの電力消費量の比較

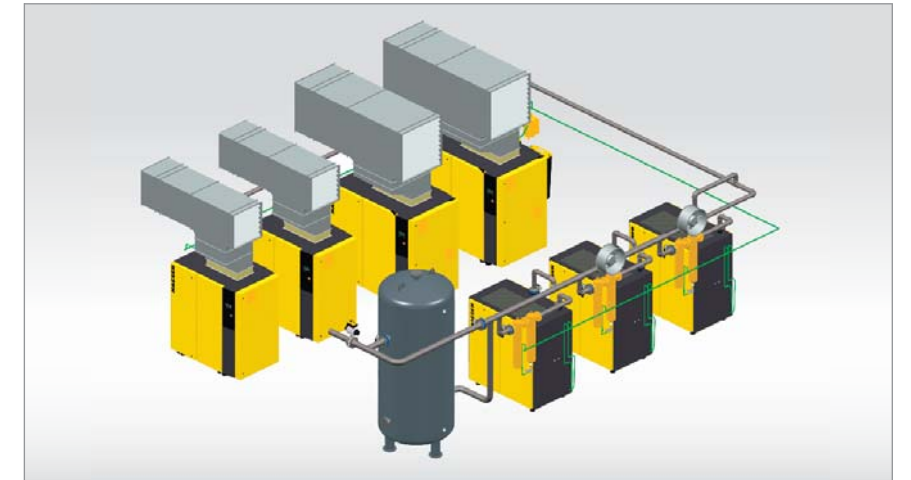


図2a: CAD で最適化された圧縮空気ステーションの 3D プラン

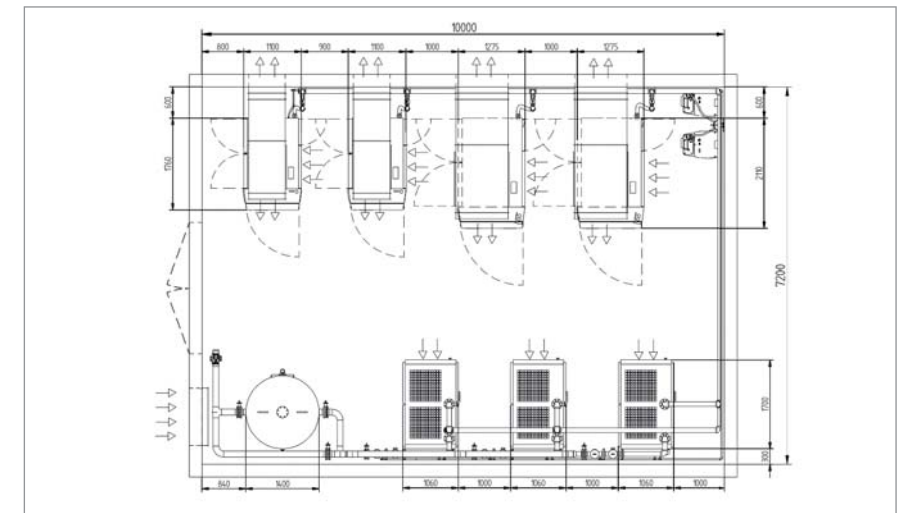


図2b: 圧縮空気ステーションのレイアウト図

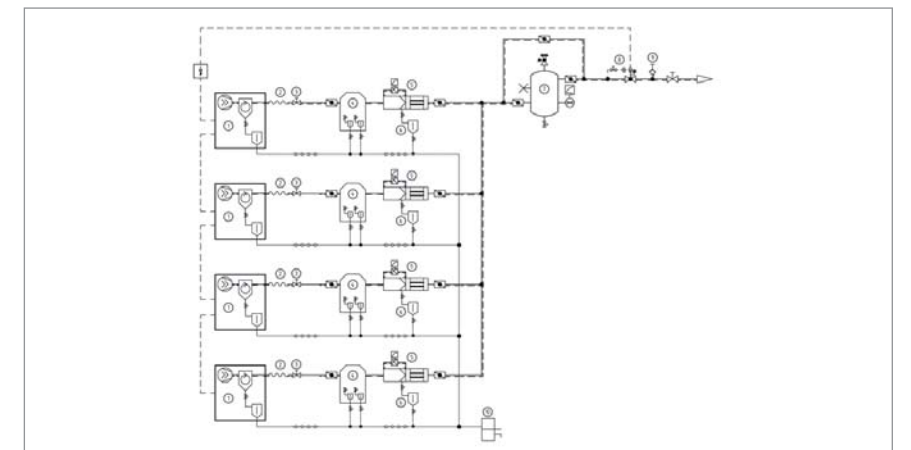


図2c: 圧縮空気ステーションの配管/装置図



## 第13章

## コンプレッサーステーションの効率的な冷却

コンプレッサーは消費した電力の100%を熱に変換します。比較的小型の18.5kWコンプレッサーでも、一般的な家庭を温めるのに十分な熱エネルギーを簡単に生成します。圧縮空気システムの信頼性の高い運転を実現するためには効率的な冷却が不可欠であるのはこのためです。

コンプレッサーによって生成される排熱は、完璧な再利用可能エネルギー源です。適切な熱回収システムを使用することで、消費電力の96%を熱として回収でき、これを有効活用すれば圧縮空気生産コストを大幅に削減できます(第8章20ページ以降を参照)。ただし、熱を回収する場合も、コンプレッサーは効果的な冷却システムを必要とします。空冷システムのコストは、水冷システムよりも最大30%低く抑えることができます。空冷システムが優先的に採用されるのはこのためです。

## 1. コンプレッサーの環境

## 1.1 清潔で低温な場所が最適な環境

安全衛生規制の主な要件の1つとして、コンプレッサーは適度なアクセス性と十分な冷却を確保できるように設置する必要があります。コンプレッサーの設置に関する規制では、空冷および油冷コンプレッサーの運転時の周囲温度が+40°C以下でなければならないと定められています。

また、規制では、コンプレッサーの入口部分で危険物質が放出されてはならないことも定められています。これらの規制は、最小要件のみを規定しています。目的としては、事故の危険性を可能な限り低く抑えることです。最小限のメンテナンス要件で効率的にコンプレッサーを運転させるためには、さらに多くの要件を満たす必要があります。

## 1.2 コンプレッサー室は格納エリアではない

コンプレッサー室は格納エリアではなく、粉塵およびその他の汚染物質が排除された状態に保つ必要があります。圧縮空気との関係ないその他の機器が存在してはいけません。床は非易碎



排気システムと冷凍式ドライヤー用の追加のサーモスタット制御換気システムを備えた圧縮空気ステーションの例

性でなければなりません。集中ろ過装置を使用しない限り、いかなる状況下でも粉塵の多い環境やその他の汚染された環境からコンプレッサー室に空気を引き込んではいけません。通常の運転条件下でも、適切なフィルターを使用して吸入エアと冷却エアを浄化する必要があります。

## 1.3 適切かつ一定の温度

温度は、コンプレッサーの信頼性およびメンテナンス要件に多大な影響をおよぼします。入口エアと冷却エアの温度は、低すぎても(+3°C未満)高すぎても(+40°C超)いけません。計画および設置段階でこのことを考慮する必要があります。例えば、夏期にビルの南面または西面の壁に日光が当たると、室温が大幅に上昇します。温帯気候地帯でさえも室温が+40°C以上に達することがあります。冷却および入口エアの吸入口を直射日光が当たる場所ではなく日陰に設置しなければならないのはこのためです。吸入口のサイズは、設置されているコンプレッサーの容量と使用している換気方法に関係します。

## 2. コンプレッサー室の換気

空冷式または水冷式コンプレッサーのどちらを使用している場合も、コンプレッサー室の換気が十分でなければなりません。いかなる場合も、コンプレッサーパッケージ内のエアエンドおよび電動機から放射された熱をコンプレッサー室から排出する必要があります。これはコンプレッサーの駆動電力の約10%に相当します。

## 3. 各種換気方法

## 3.1 自然換気

コンプレッサーのファンによって冷却エアがコンプレッサー室に取り込まれ、コンプレッサーの上を通過するときに温められて上昇し、天井付近の排気口を通じてコンプレッサー室の外に排出されます(図1)。このタイプの換気は、排気口に太陽光が当たったり風圧が加わると問題が発生するため、特別な場合およびコンプレッサーの出力が5.5kW未満の場合にのみ推奨されます。

## 3.2 強制換気

この方法は、強制対流の冷却エアを使用します。冬期にコンプレッサー室の温度が+3°C未満にならないように換気はサーモスタット制御されます。低温はコンプレ

ッサー、凝縮水排出装置、および空気処理装置の性能を低下させます。強制換気では、コンプレッサー室はわずかに負圧になるためコンプレッサー室への温風の逆流を防止するサーモスタット制御が必要です。強制換気には次の2つの方法があります。

## 3.2.1 外部排気ファンを使用した換気

コンプレッサー室の排気口に設置されたサーモスタット制御付きのファンが熱風を排出します(図2)。このタイプの換気の重要な要件は、冷却エア吸入口が十分なサイズであることです(図の右下を参照)。これが小さすぎると、負圧が高くなり、過度な気流速により騒音が大きくなります。また、圧縮空気ステーションの冷却が損なわれることがあります。換気は、コンプレッサーからの排熱によって生じる室温上昇が、入口温度よりも7K高い温度までに制限されるように設計する必要があります。このようにしないと、熱が蓄積して、コンプレッサーが故障します。

## 3.2.2 ダクトによる換気

最新の密閉型スクルーコンプレッサーには、排気ダクトを使用したほぼ理想的な換気方法が採用されています。コンプレッサーファンが適切なサイズの吸入口から冷却エアを取り込み、コンプレッサー室の外に通じているダクトに放出します(図3)。この方法の主なメリットは、冷却エアの温度が周囲温度よりも約20K高い温度まで大幅に上昇しても問題とならないことです。これにより、必要な冷却エアの量を削減できます。一般的に、パッケージタイプのコンプレッサーに取り付けられている冷却ファンは、ダクトを通じて冷却エアを室外に放出するのに十分な残留推力を備えています。これは、外部排気ファンを使用した換気とは異なり追加エネルギーが不要であることを意味します。ただし、このことはファンの排気推力が、使用するダクトに十分な場合のみ該当します。理想的には、排気ダクトにサーモスタット制御のフラップを取り付けて、冬期にコンプレッサー室に温風が送られて適切な運転温度を保てるようにします(図4)。コンプレッサー室に空冷式ドライヤーも設置する場合は、コンプレッサーとドライヤ

ーが互いの換気 airflow を障害しないようにする必要があります。温度が+25°Cを超える場合は、冷凍式ドライヤーのダクト内でサーモスタット制御の補助ファンを使って冷却エアの流量を増やすことをお勧めします。

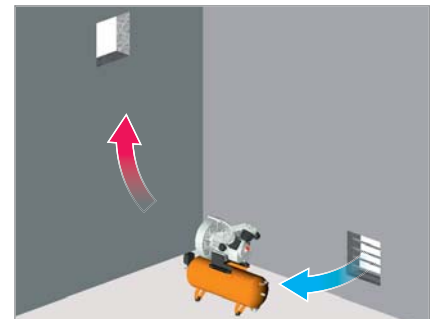


図1: 最大5.5kWのコンプレッサー用の自然換気

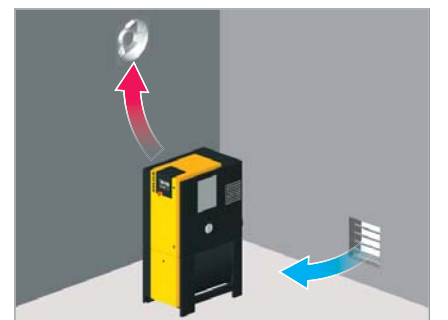


図2: 5.5 ~ 11 kW のコンプレッサー用の排気ファンを使用した強制換気

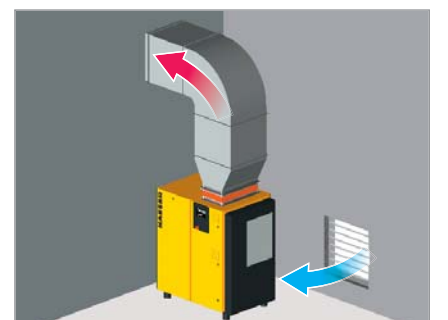


図3: 11kW超の装置用の排気ダクトを使用した強制換気

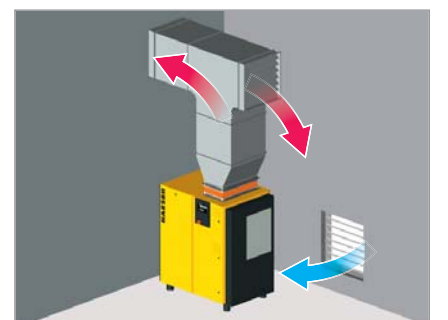


図4: 冬期には、サーモスタット制御のフラップによりコンプレッサー室に温風が送られる

# 長期信頼性とコスト最適化の実現

22～33ページでは、設置および既存の圧縮空気網の改修時に考慮すべきことと、効率的な圧縮空気システムを計画および設計する方法について取り上げました。エネルギーおよびコスト意識の高い計画および実装を行うには、考慮すべき事柄がまだ多くあります。圧縮空気システムの効率的な運転は、費用対効果の高い圧縮空気生産を長期間にわたって実現します。

最高の圧縮空気効率を実現することで、空気システムの信頼性が向上し、圧縮空気のコストおよび電力消費量を大幅に削減することができます。優れた効率による可能性は、少なく見積もっても膨大なものです。EUの「SAVE II」調査によれば、実現可能な潜在的な節約として、EUに設置されているコンプレッサーが2000年に消費した電力は800億kWhであり、このエネルギーの少なくとも30%が節約可能であることが判明しています(図1)。

### 1. 最適な効率の定義

圧縮空気システムの効率は、コスト構造に反映されます。実現可能な最適なシステムは、企業およびその生産状況に関係するためそれぞれ異なります。重要な要素は、コンプレッサーの動作寿命、使用圧力、およびその他の商業的要素です。例に示している最適な空冷コンプレッサーシステムは、動作寿命5年、電力コスト8

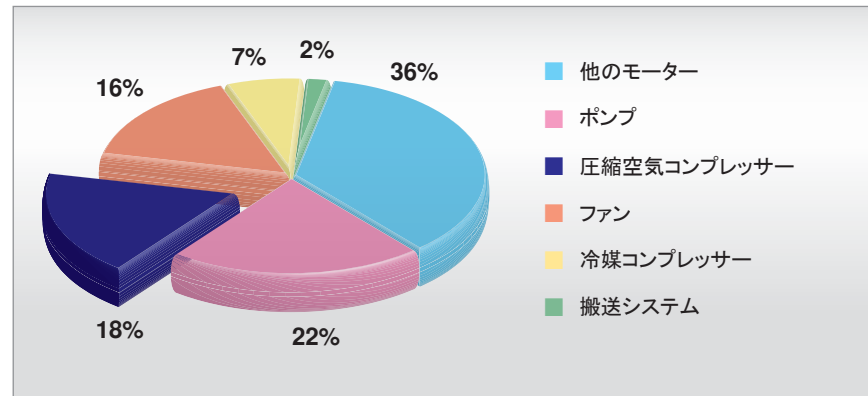


図1: EUでの産業用電動駆動装置が消費するエネルギーに対する圧縮空気コンプレッサーのエネルギー消費量(出典: SAVE II(2000年))

セント/kWh、利率6%、使用圧力7barで、ISO 8573-1 準拠(残留オイル含有量はクラス1、残留粉塵含有量はクラス1、残留水分含有量はクラス4)の空気品質です。例では、最適な条件下でも電力消費量は総圧縮空気コストの大半(約70%)を占めています(図2)。コーブルク大学が2003年に実施した調査(35ページ、図3)は、ドイツで使用されている圧縮空気ステーションの非効率性を示しています。

### 2. 高効率の維持

長期間にわたって圧縮空気システムの効率を高く保つためには、次のことを考慮する必要があります。

#### 2.1 オンデマンドメンテナンス

SIGMA CONTROLなどの先進の内蔵コンプレッサーコントローラー、およびPCベースのSIGMA AIR MANAGER 2などの圧縮空気管理システムは、圧縮空気ステーションを構成するコンポーネントの詳細な保守時期情報を提供します。これにより、予防メンテナンスおよびオンデマンドの保守作業が可能になります。この結果、メンテナンスコストを削減でき、効率および信頼性が向上します。

#### 2.2 空気消費機器の適合

高い使用圧力が必要な、予算によって決められた生産機器を使用するなど、正しくない場所で圧縮空気を生産したり消費した場合、節約はそれほど簡単ではありません。例えば、標準的な6barを超える圧力を生成するためのコストは、低い圧力で動作する効率的な機器との差額分をすぐに超えます。新規の空気消費機器の仕様を検討する場合、必要な空気圧力は電力と同じくらい重要です。電力と圧縮空気供給の両方をカバーしている生産機器を購入するようにガイドラインが記載されているのはこのためです。

#### 2.3 新しい生産関連の要件

##### 2.3.1 圧縮空気の消費量

a) 生産工程の変化  
ほとんどの製造施設で、圧縮空気需要はシフトごとに異なります。このことを考慮しないと、生産工程の変化によって、あるシ

フトではコンプレッサーが容量を大幅に下回る状態で稼働し、別のシフトでは予備容量を使用して需要に対応できなくなります。このため、あらゆる変化に対応できるように空気供給を設計する必要があります。

#### b) 生産の拡張

この場合、コンプレッサーの容量だけではなく、配管および空気処理機器も増大した需要を満たすように変更する必要があります。既存のコンプレッサーシステムの空気消費量を正確に測定して文書化し、必要な容量を生産できるように空気供給システムを経済的に変更または拡張するのに十分な詳細情報を収集することをお勧めします。

#### 2.3.2 空気供給の信頼性

圧縮空気ステーションにスタンバイコンプレッサーを設置して、メインのコンプレッサーの整備または交換時に対応したり、時々発生する需要ピークに対応できるようにすることは一般的です。このような予備容量は、空気処理機器の予備容量と一致している必要があります。空気消費量が増えた場合、スタンバイコンプレッサーはカットインしますが、追加の空気処理容量の不足により、圧縮空気の品質が低下します。このため、各スタンバイコンプレッサー用の処理ユニット(ドライヤー/フィルタ)を装備する必要があります。

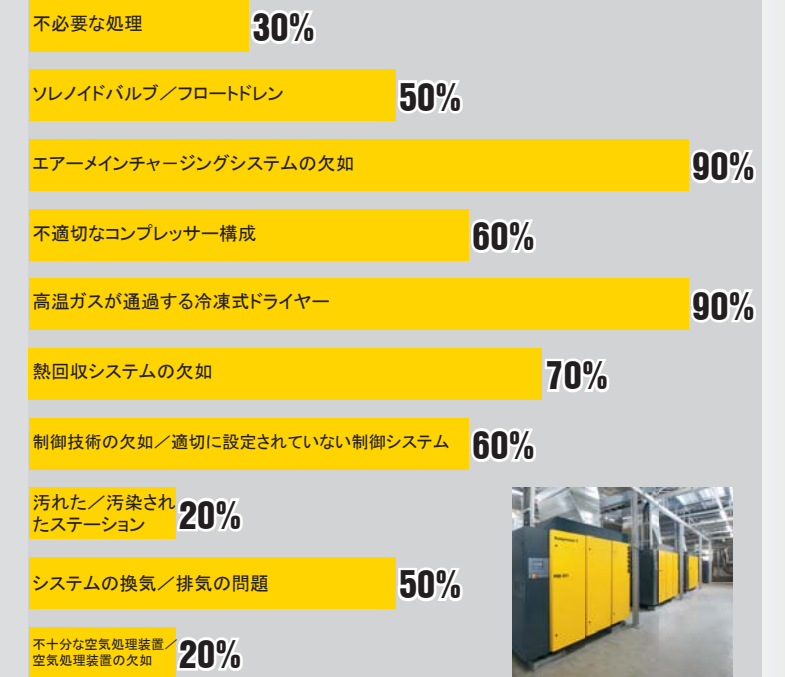
#### 2.3.3 空気品質の変化

空気品質を向上する必要がある場合は、空気品質が低いのが全生産エリアであるか、特定の1つのエリアのみであるかによって手順は異なります。前者の場合は、集中的な圧縮空気供給装置を変更するだけでは不十分です。低品質の空気を送り出している配管を清掃または交換する必要があります。後者の場合は、必要な品質の空気を供給可能な局所的な空気処理機器を使用することをお勧めします。局所的な処理装置を通過する気流を制限する必要があります。これにより、装置の上限を超えて需要が増大した場合も空気品質が低下することがなくなります。

## 非効率性

圧縮空気ステーションおよび生産エリア

### 圧縮空気ステーション



### 生産

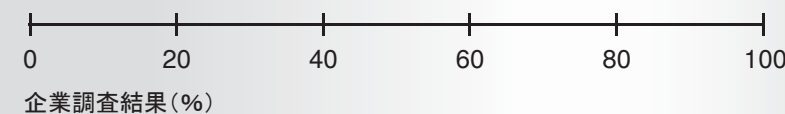
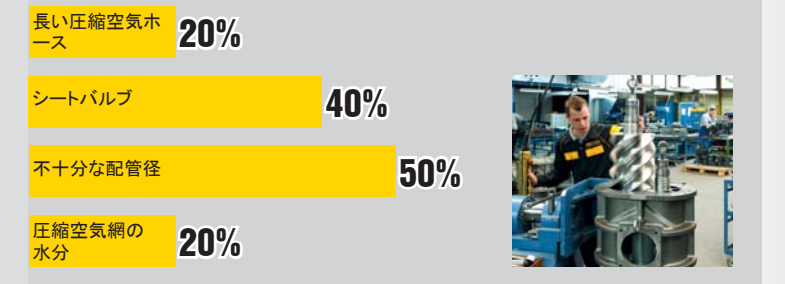


図3: 元の調査結果については、「Drucklufteffizient」キャンペーンでケーザー・コンプレッサーが実施した圧縮空気監査の結果分析を参照してください。執筆者: Anja Seitz, コーブルク大学、専門分野: 機械工学(2003)

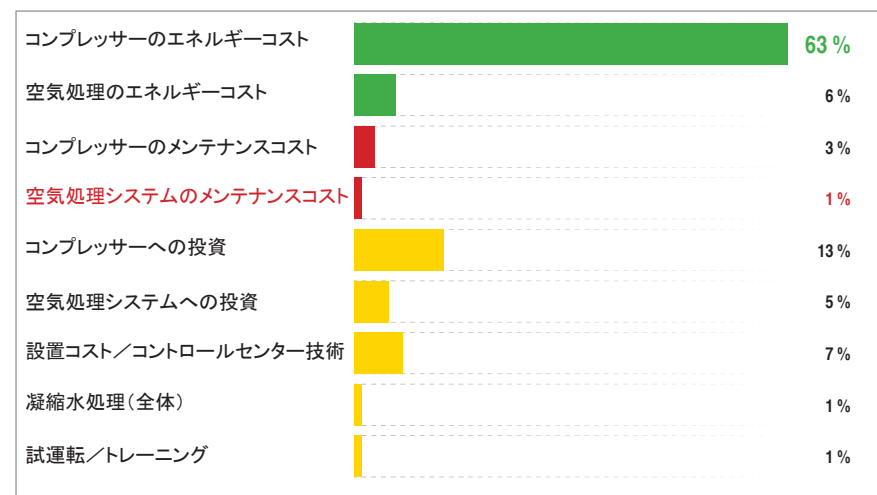


図2: 最適化された圧縮空気システムのコスト構造

第14章

# 長期信頼性とコスト最適化の実現

## 2.4 漏れの監視

漏れはあらゆる圧縮空気分配網で発生し、結果として大量のエネルギーが失われます。主な原因は、ツール、ホース接続、機械コンポーネントの摩耗です(図4)。そのような問題を監視して、それらが発生したときに直ちに対処する必要があるのはこのためです。SIGMA AIR MANAGER などの最新の制御および監視システムを使用して、定期的に全体的な漏れを測定することをお勧めします。漏れの増大が記録された場合は、漏れの原因を特定して排除する必要があります。



図4: 超音波を使用して漏れ位置の特定

## 3. コスト管理による高い効率

計画段階の分析で収集した情報は、将来のシステム運転でも使用できます。システムを設置して運転を開始した後は、特別な分析を行ってデータを収集する必要はありません。これらのタスクは、SIGMA AIR MANAGER などの先進のマスターコントローラーが実行します。これは、圧縮空気の包括的な監視および圧縮空気システムの効率的なコスト管理の基礎となります(図5a~5e)。より多くのユーザーが、空気のコスト構造を把握し、節約の可能性を模索し、空気供給機器の購入価格よりもエネルギー効率を優先することで、30%という潜在的な省エネの実現に近づきます。これは経済的なメリットだけでなく、環境にもメリットをもたらします。

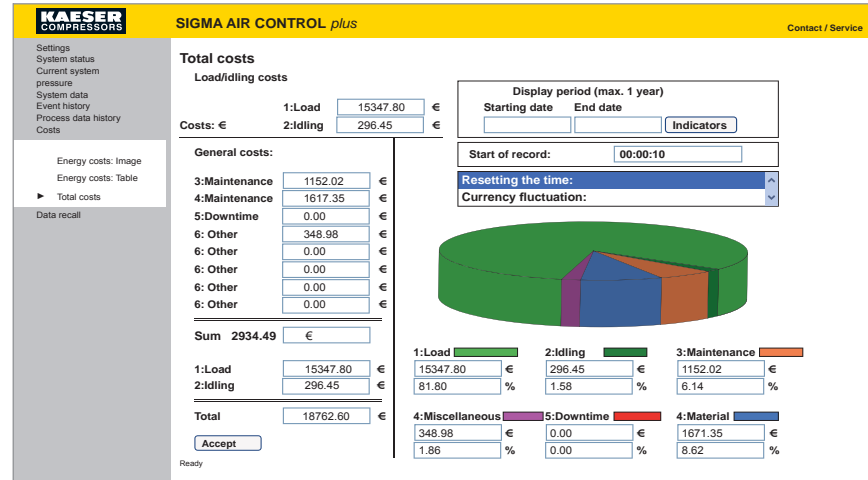


図5a: 管理システム: 圧縮空気のコスト分析(Web ベース)

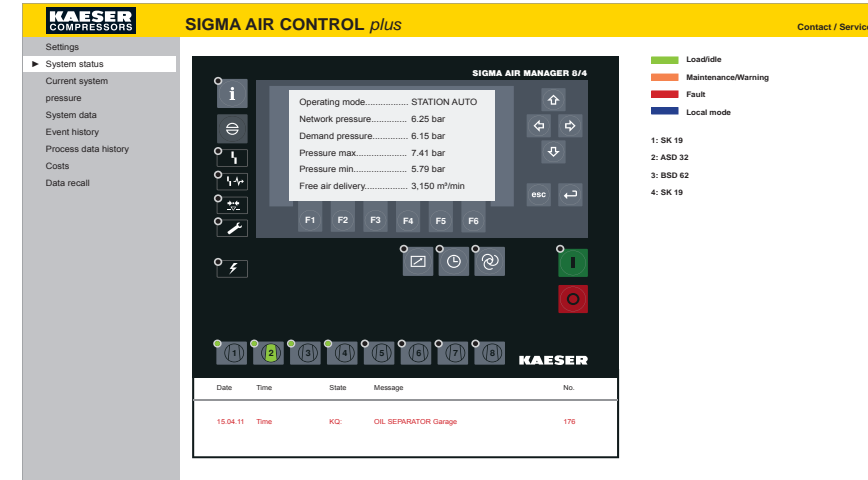


図5c: 概要: 制御および管理システム

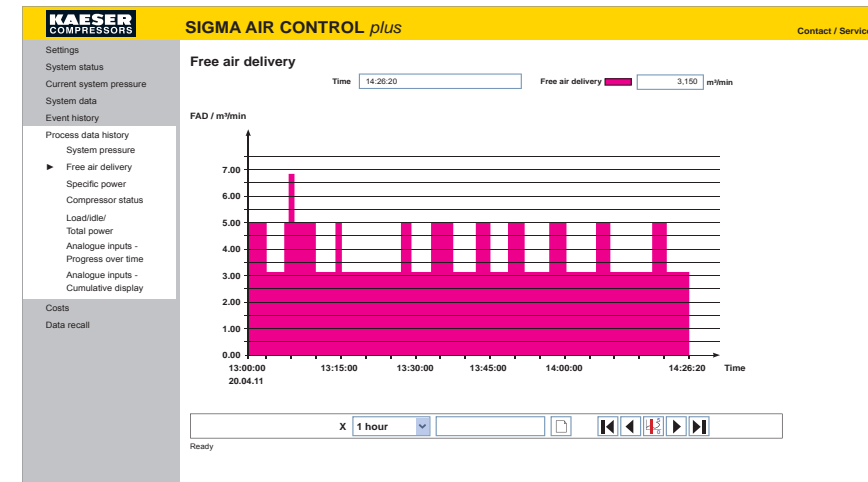


図5d: 圧縮空気消費量

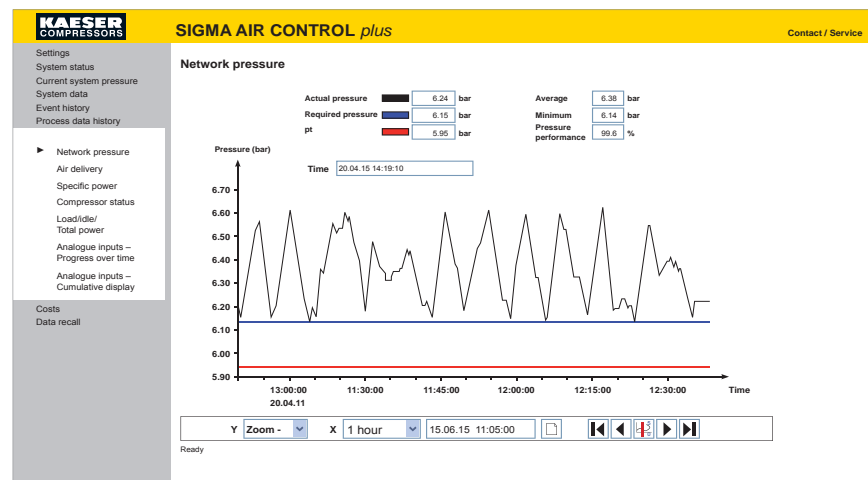


図5b: 圧力曲線

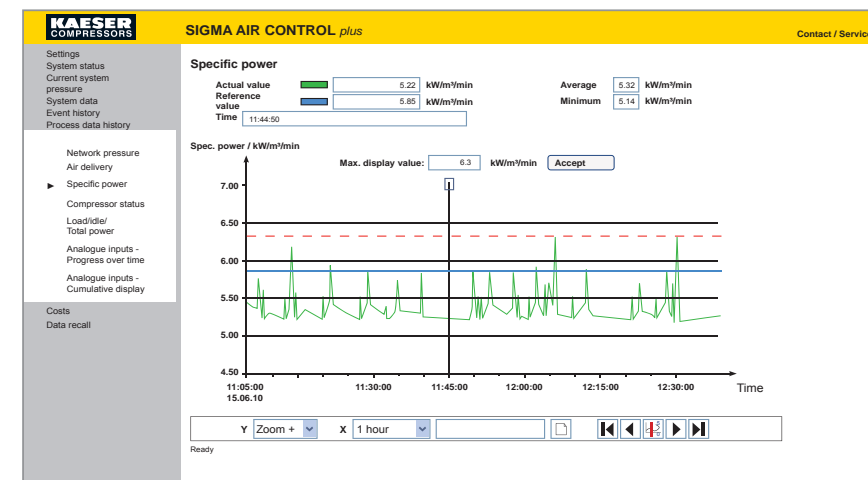


図5e: 比電力要件

# 実用的なヒント

---

ヒント1-7

40-51

ヒント1

# 最適化された圧力による節約

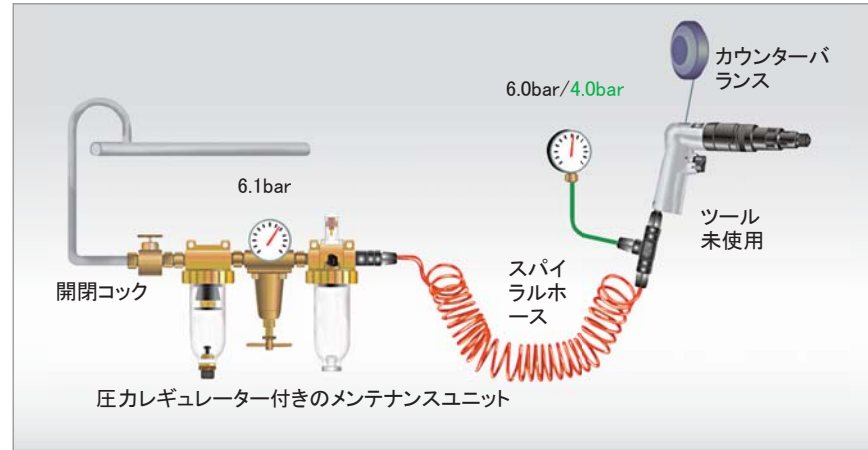
圧縮空気システムの効率を左右するのは正しい使用圧力だけではありません。小さな処置でも大きな効果を得られます。

多くの場合、圧縮空気ツールへの接続は次のようになっています。未使用時のメンテナンスユニットでの圧力は6.1bar、ツールでの圧力は6.0barです。ただし、この圧力は空気使用時の圧力とは異なります。ツールでの圧力低下-対処方法作業ツールでの圧力測定値は、大幅な圧力低下を示します。次の例で圧力低下は2barで、ツールは潜在的な性能のわずか54%しか提供しません。

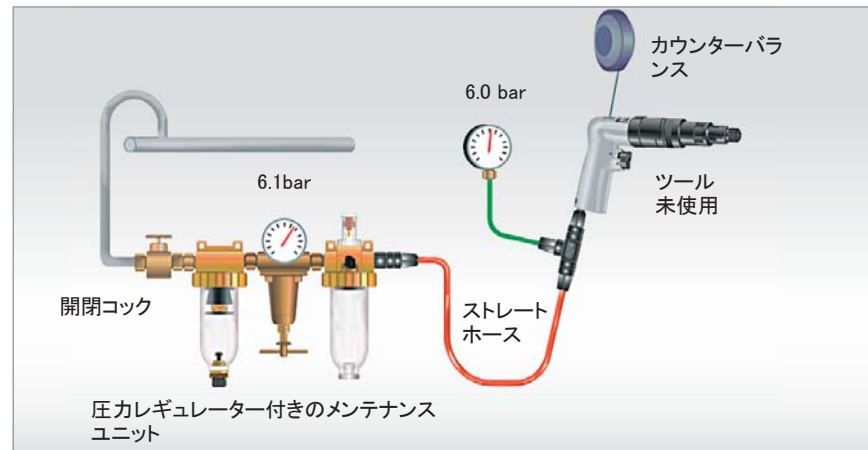
この問題は簡単に解決できます。

- a) 不十分な接続径： 流路の大きいクイックカップリングを使用します。
- b) 適切に調整されていない圧力レギュレーター： 開度を大きくします。
- c) システム圧力が低すぎる： エアメインの圧力を高くするか、大きな径の配管を設置します。
- d) スパイラルホースが小さすぎる： 大きなスパイラルホースを使用する。可能であればストレートホースを使用する。
- e) 分散化された水分離器での圧力低下： 圧縮空気を集中乾燥させる(分離器が不要になる)。

これらの簡単な処置により、最適なツール圧力(この場合は6bar)および100%の性能に戻すことができます。適切な調整によるエネルギーの節約。圧力レギュレーターは、通常考えられているよりも圧縮空気の使用効率に大きな影響を与えます。この例では、圧縮空気システムは8~10barで動作しています。取出口で7.5barおよび9.5barの圧力は、圧力レギュレーターによって6barに減圧されます。エネルギーを節約するために、システム圧力を6.8~7barに減圧します。これにより、圧縮空気網の取出口では6.1barの圧力を得られますが、ツールで

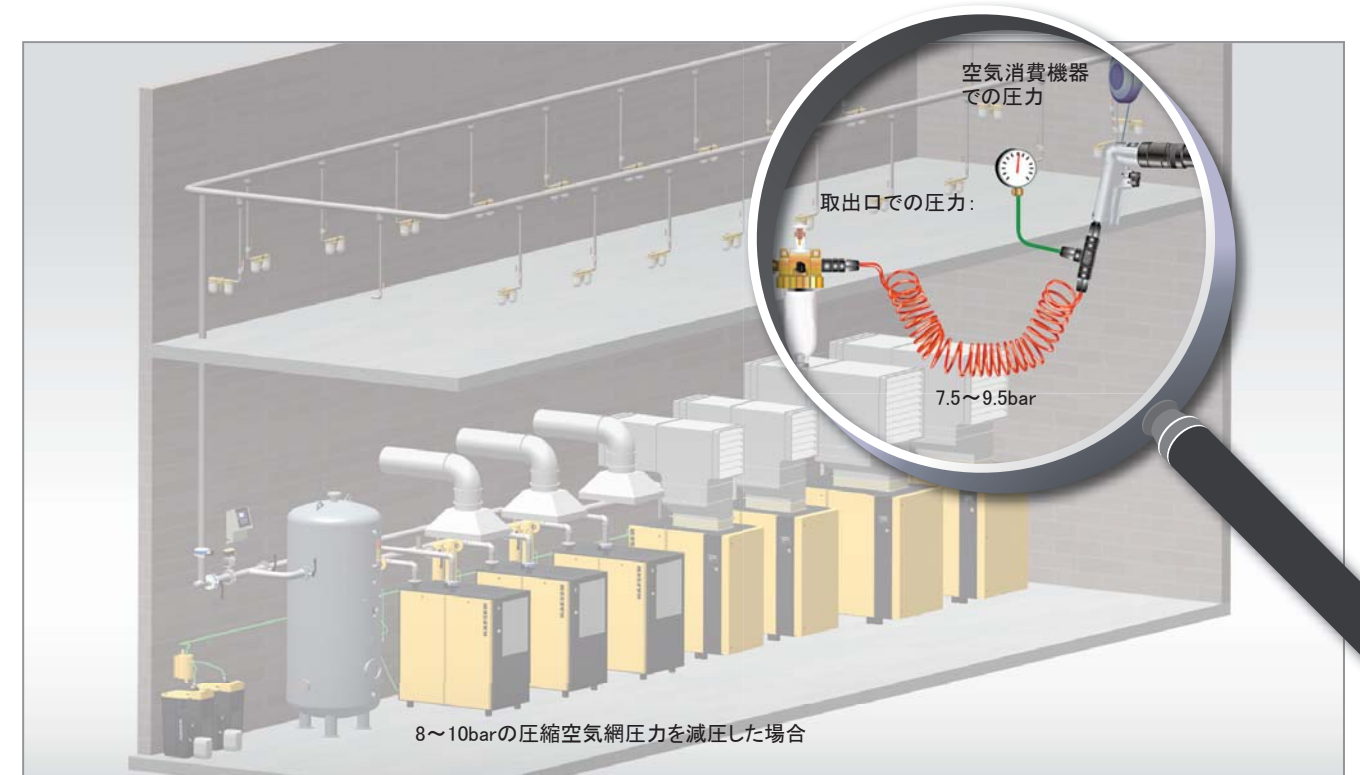


説明: スパイラルホースを使用した工具接続 - 圧縮空気消費量ゼロでの圧力6.0bar  
ツール使用時4.0bar = ツール使用時の圧力低下2 bar。100%の能力のわずか54%

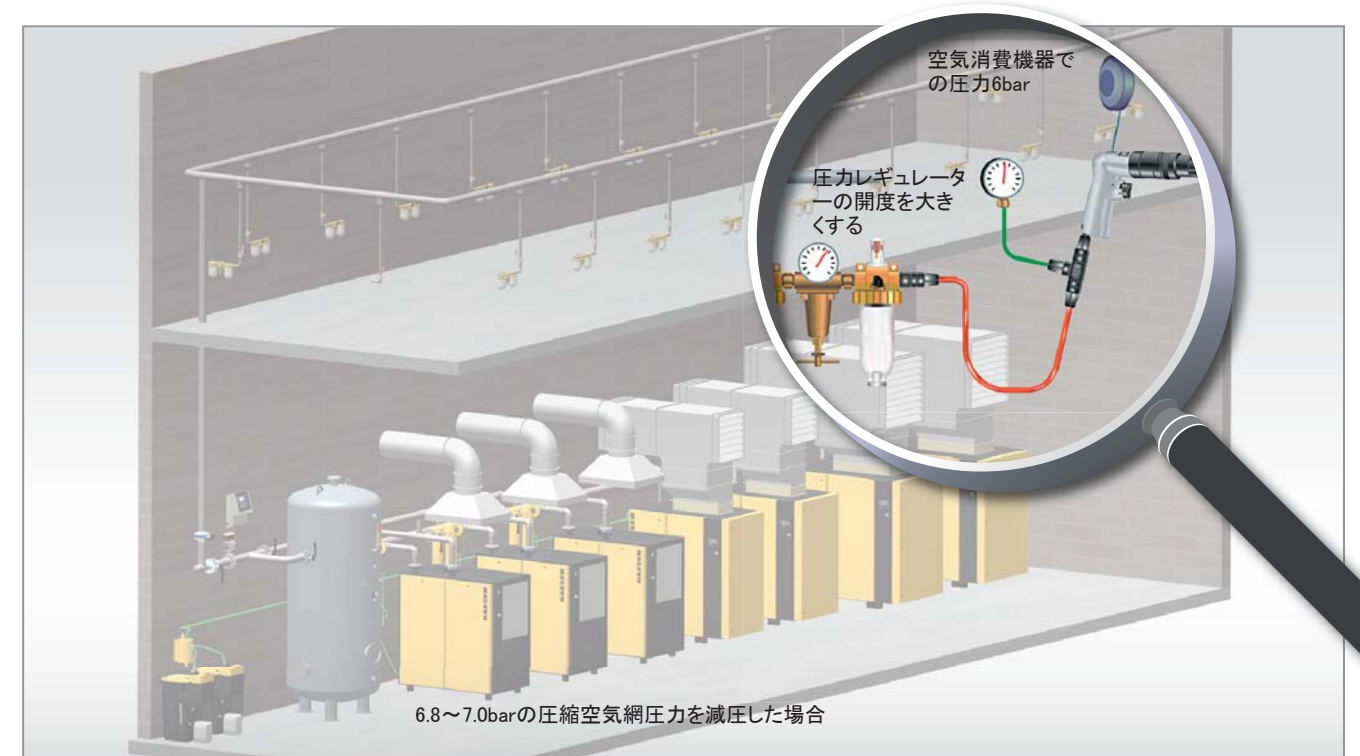


水分離器とスパイラルホースによりエネルギーの無駄が発生。圧縮空気を集中乾燥させ、ストレートホースを使用する

は4barしか得られません。この構成では、作業に時間がかかり、不十分なツール圧力により作業が正しく行われず、コンプレッサーが必要以上に長い時間稼働するなどの結果を招きます。これに対して、システム圧力を下げるだけでなく、ストレートホースを使用し、余分な水分離器を取り外し、空気消費機器の圧力レギュレーターの開度を大きくすることで、簡単かつデメリットなしで目的通りの節約を実現することができます。



8~10barの圧縮空気網圧力を減圧した場合  
純然たるエネルギーの無駄。必要以上に高い圧縮と空気消費機器での減圧



6.8~7.0barの圧縮空気網圧力を減圧した場合  
...代わりに、システムの圧力を下げて、圧力レギュレーターの開度を大きくする

## ヒント2

## エア—接続口での正しい圧力

コンプレッサーステーションの圧力は適切であるが、空気消費機器での圧力が低すぎる原因として、次のことが考えられます。

この場合は、通常、ホース、クイックカップリング、および圧力レギュレーターが妨げとなっています。しかしながら、システムの取出口の圧力が低すぎる場合があります。例えば、当初ツールは6.8~7barの圧力を使用可能であったが、5barしか使用できないことがあります。

この場合、オペレータがステーションの圧力を1bar上昇させてすばやく対処することがあります。これは問題となります。圧力を1bar上昇させるたびにコンプレッサーステーションのエネルギー消費量は6%上昇し、漏れ率も急激に増加します。このため、原因を特定して、適切な解決策を実施することをお勧めします。

**配管網を問題の原因としてみなす**

コンプレッサーのすぐ下流の圧力が適切で、下流の処理コンポーネントによって異常かつ大幅な圧力降下が発生していない場合は、確実に配管網で問題が発生しています。これは、主配管、分配配管、接続配管の3つのセクションに分類されています(図1)。最適化された圧縮空気シ

テムでは、効率的観点から次の圧力降下は合理的です。

主配管(1):	0.03bar
分配配管(2):	0.03bar
接続配管(3):	0.04bar
その他:	
ドライヤー(4):	0.2bar
メンテナンスユニット/ホース(5)	0.5bar
合計:	0.8bar

**ボトルネックの排除**

厳密に点検した結果、主配管と分配配管は正しい管径であるが、接続配管が細すぎる事が明らかになることがあります。接続配管径は、DN25(1インチ)以上でなければなりません。ケーザー・コンプレッサーでは断面を正確に判断するための便利なオンラインツールを提供しています:

[www.kaeser.com/Online\\_Services/Toolbox/Pressure\\_drop/](http://www.kaeser.com/Online_Services/Toolbox/Pressure_drop/)

また、特別な計算図表も使用できます。54ページ以降の付録1を参照してください。

**正しく接続する**

湿気による運転停止および損傷を防ぐためにも、分配配管と接続配管の接続部分にはストラップを使用するとともに最適な

流量を得られるようにする必要があります(図2)。下向きの配管は、配管内の凝縮水の発生を100%の確度で排除できる場合のみ使用してください(図3)。コンプレッサーで吐出される圧縮空気と圧縮空気ツールの間の最大圧力降下が1barの最適な接続については、40ページを参照してください。

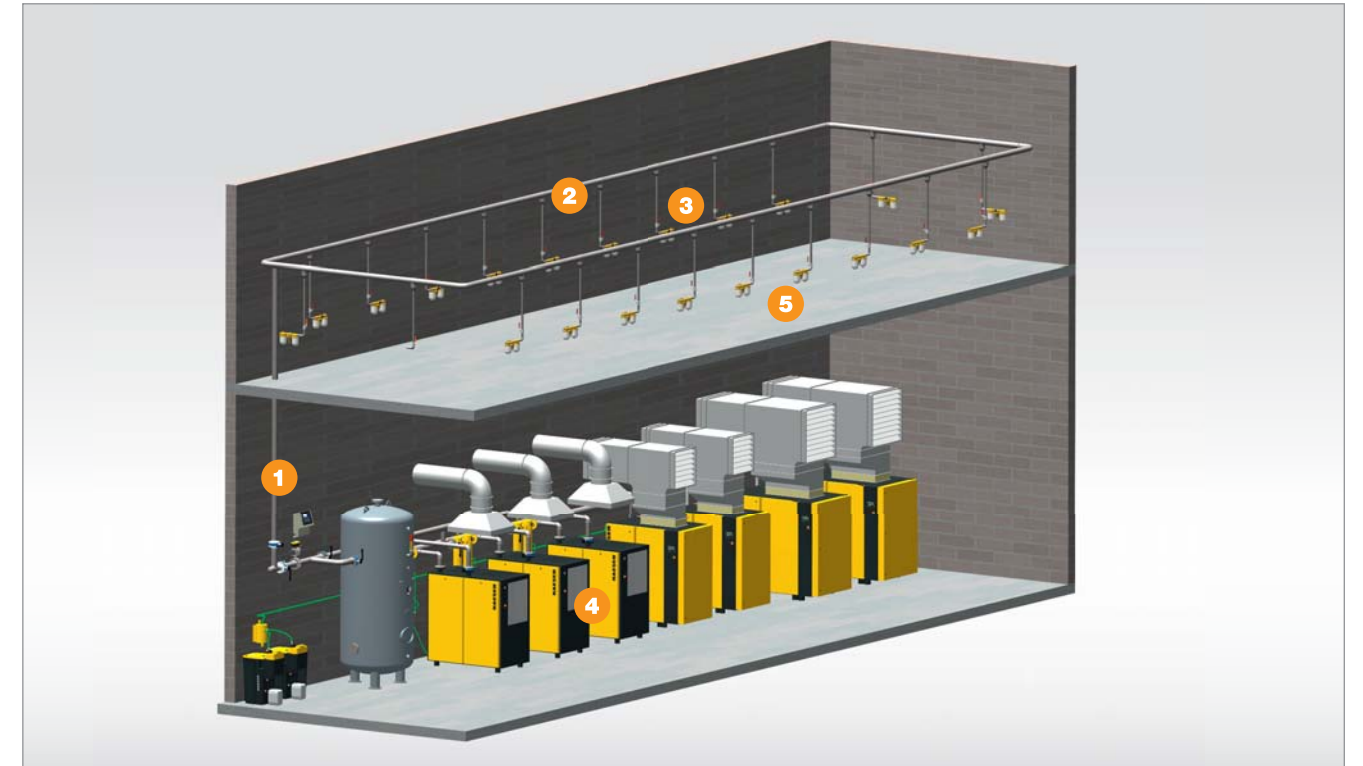


図1: 圧縮空気分配システムのマインコンポーネント: エア—メイン(1)、分配配管(2)、接続配管(3)、ドライヤー(4)、メンテナンスユニット/ホース(5)

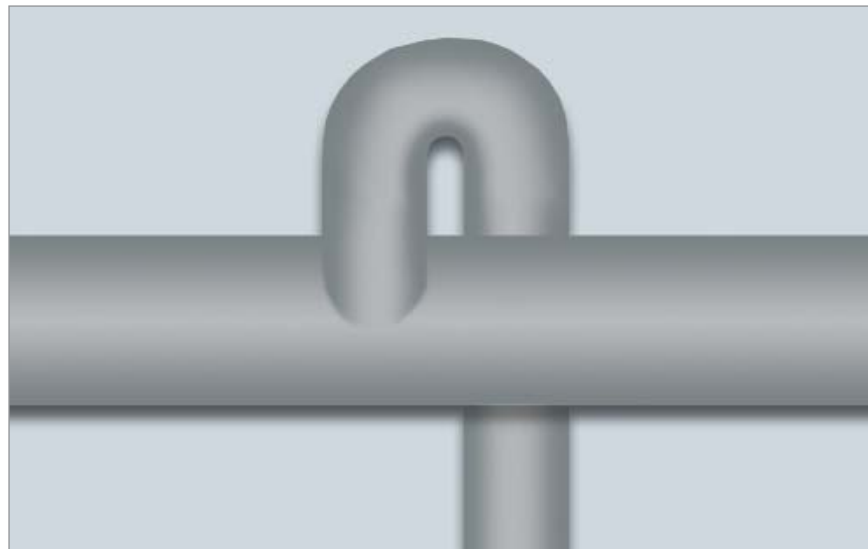


図2: ストラップ

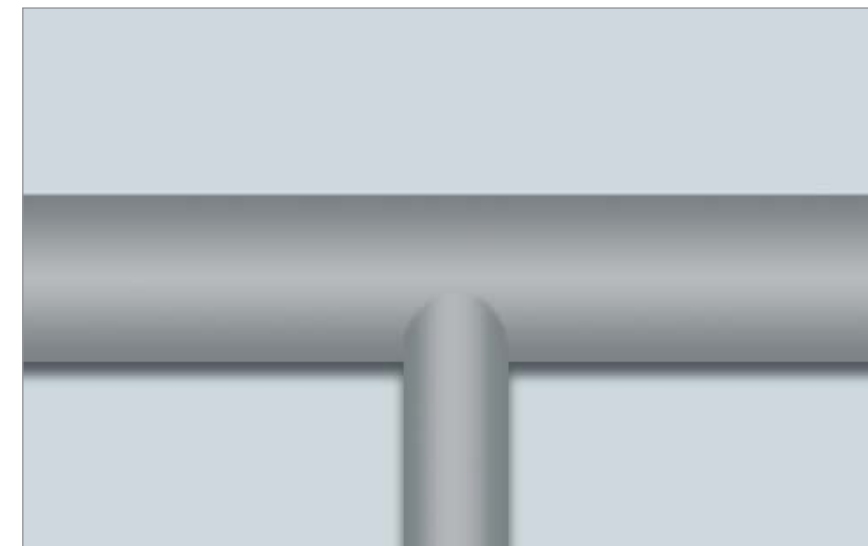


図3: 下向き配管

## ヒント3

## 効率的な圧縮空気分配

コンプレッサーシステムから使用箇所に圧縮空気を分配する方法として、分岐配管環状主配管、分配網の3つの方法があります。どのシステムが最も適しているかは、それぞれの会社によって異なります。圧縮空気を効率的な使用を考える場合は、空気の生産時の省エネのみではなく、最も効率的な空気分配方法も検討する必要があります。ここではそれについて説明します。

## 分岐配管

個々の空気消費機器を接続する各種流出口のある分岐配管の設置は比較的簡単です(図1)。分岐配管では配管長を比較的短くすることができますが、システム全体の圧縮空気需要を満たすことが可能な十分な容量でなければなりません。これは、環状主配管や分配網配管に比べて配管径を大幅に大きくする必要があります。圧縮空気を供給する主配管からの距離が長くなるため、空気消費機器の接続配管径も大きくする必要があります。また、このソリューションではシステムの個別のセクションを閉じて、システムの拡張を行ったり、清掃作業を行うことはできません。このため、小規模ビジネスでは分岐配管が最適です。

## 環状主配管

環状主配管(図2)は分岐配管システムよりも複雑ですが、多大なメリットがあります。同じ圧縮空気需要の消費機器を使用する場合、接続配管長と容量を半分に削減できます。この結果、小径の配管を使用することができ、容量は同じに保たれます。接続配管は非常に短く、DN 25 よりも大きい配管が必要になることはほとんどありません。十分な数のシャットオフユニットも環状主配管に含める必要があります。これにより、清掃およびシステム拡張目的で配管の特定のセクションを停止して、他の空気設備を通常どおり稼働させることができます。

## 分配網

分配網は、大規模な施設のある会社に最適です。設計は環状主配管によく似ていますが、縦方向および交差する接続配管により真の配管網が実現されています

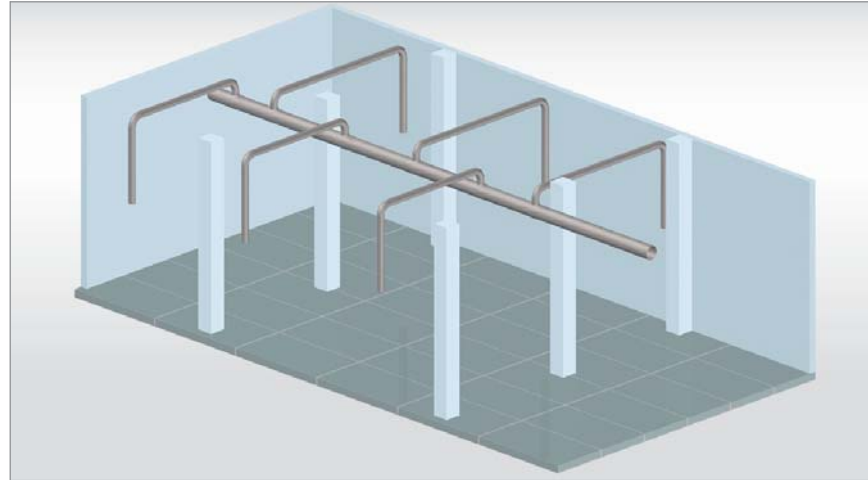


図1: 圧縮空気分岐配管

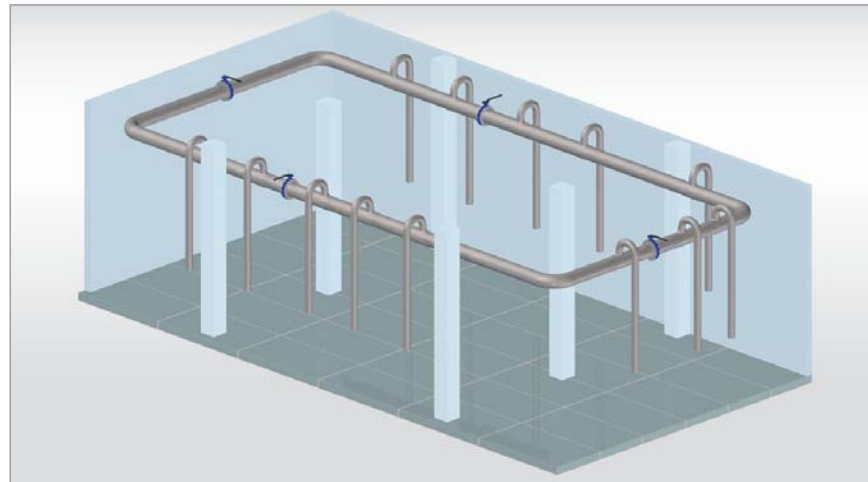


図2: 圧縮空気環状主配管

(図3)。設置するのが最も複雑なシステムですが、それがもたらすメリットは多岐にわたります。配管網の構造は、極端に大きい配管径を使用することなく大きな生産工場に信頼性およびエネルギー効率の高い圧縮空気供給を提供することができます。システム配管径は、小規模のビジネスで使用されている環状主配管と同じようなサイズにすることができます。また、必要に応じて個別セクションを閉じることができるというメリットもあります。

## エアーメインの設計

圧縮空気システムのエアーメインの機能は、さまざまな稼働施設(ビル)の個別の

空気分配配管を圧縮空気設備(生成側)に接続することです。

エアーメインの寸法および容量は、圧縮空気システム内のコンプレッサーの総空気吐出量によって表されます。圧力降下が0.03barを超えないように注意する必要があります。

## 1台のコンプレッサーパッケージによる空気の供給

1台の圧縮空気パッケージが複数の稼働施設(生産工場など)に空気を供給する場合、供給配管、つまり個別のエリア用のエアーメインがそのエリアで必要とさ

れる最大量の圧縮空気を搬送できる必要があります。この場合も、圧力降下は0.03bar以下でなければなりません。圧縮空気ステーション内のコレクターで束ねられた配管は、必要に応じて作業エリア全体を簡単に遮断できるというメリットを提供します。また、流量測定機器を追加することで、個別のエリアの空気消費量を簡単に判断できます(図4)。

## 複数のコンプレッサーパッケージによるエアー供給

複数のコンプレッサーパッケージが大規模なエアーメインシステムの圧縮空気を供給する場合、配管は、各生産エリアの最も大きいコンプレッサーパッケージの最大空気容量を搬送可能な十分な容量でなければなりません。この場合も、個別のパッケージ間の圧力降下は0.03bar以下でなければならず、この値を超える場合は、複雑で高価な調整システムを設置しなければなりません(図5)。

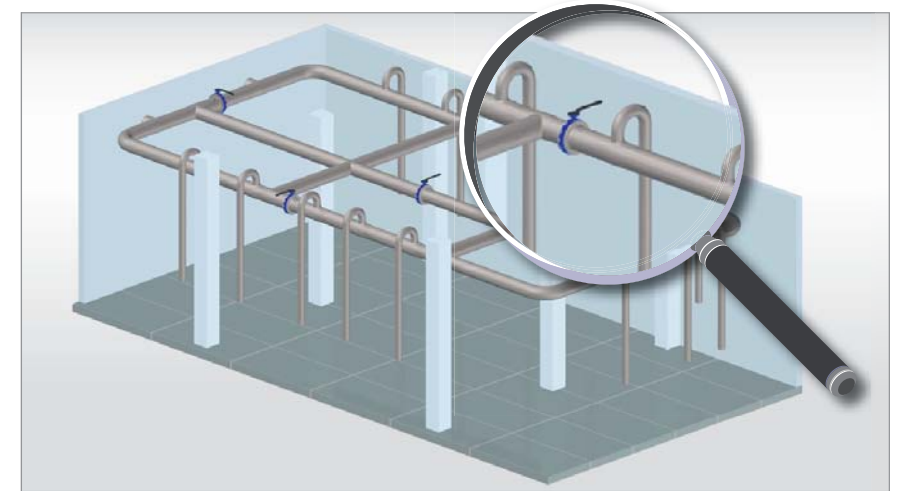


図3: 配管グリッドのある圧縮空気分配網

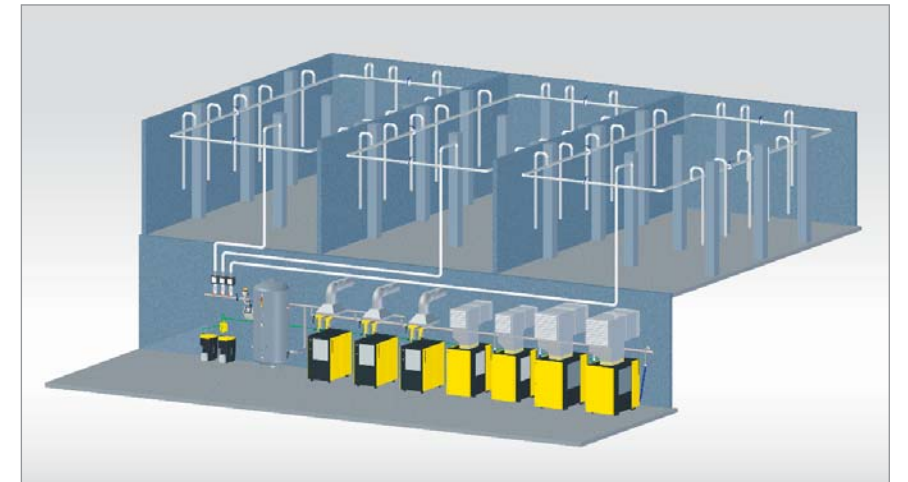


図4: 1つの集中型圧縮空気ステーションによる複数の生産エリアへの圧縮空気の供給

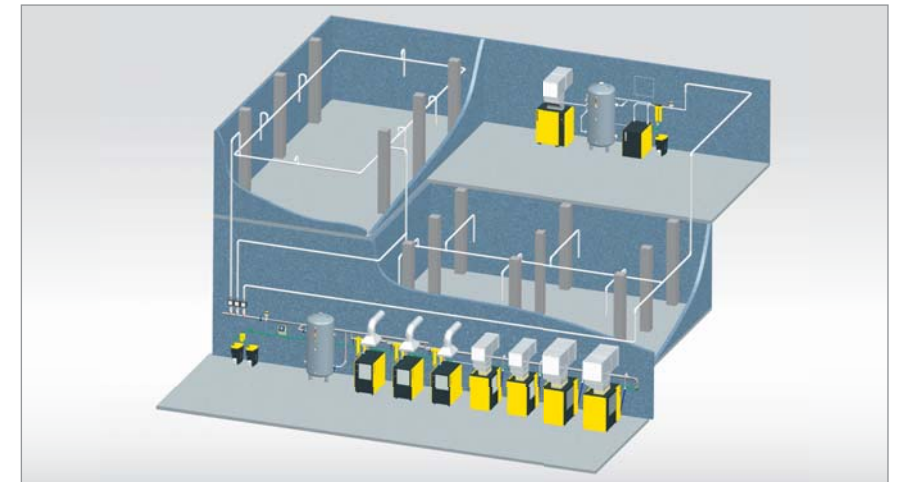


図5: 2つの圧縮空気ステーションと集中型調整システムによる複数の生産エリアへの圧縮空気の供給

## ヒント4

## 圧縮空気ステーションの配管

配管網は、会社の施設内で圧縮空気を分配するだけでなく、コンプレッサーと圧縮空気設備の他のコンポーネントをシステムに接続します。最高の効率と信頼性を実現するためには、システムの設置時にいくつかの重要な要素を考慮する必要があります。

配管は、通常、最大流量時に配管によって発生する圧力降下が0.01bar未満になるように敷設する必要があります。また、さまざまな熱負荷に対応可能な金属製の配管を使用することをお勧めします。

## 圧縮空気分配配管の接続

コンプレッサーステーションから空気分配網に配管を接続する最適な方法は、コレクターを使用する方法です。コレクターは、すべての分配配管の集中的な供給停止箇所として機能し(図1.1)、必要に応じて特定の稼働エリアの圧縮空気供給を停止することができます。

## 湿潤空気領域への設置

凝縮水コレクターは、可能な限り「湿潤空気領域」(コンプレッサーの下流で空気ドライヤーの上流にある配管セクション)に設置しないようにする必要があります。ここに設置する場合は、凝縮水コレクターに向かって配管を傾斜させ、専用の凝縮水排出装置で排出する必要があります(図2)。

## コンポーネントの正しい接続

コンプレッサーステーションの個々のコンポーネント(コンプレッサー、ドライヤーなど)は、空気配管に上から接続する必要があります。配管径が DN 100 以上の場合は、横から接続することもできます(図3a/b)。

## コンプレッサーの接続

振動が伝達されないように、フレキシブルホースを使用してコンプレッサーを空気分配網に接続します。ホース接続は、配管径が DN 100 未満の場合に適しています(図4)。ホースと配管の最初の曲げの間に防振ファスナーを取り付けて、配管に力が伝達されないようにします(図4.1)。配管径が DN 100 以上の場合、ホースの代わりにアキシシャルコンペンセーターを

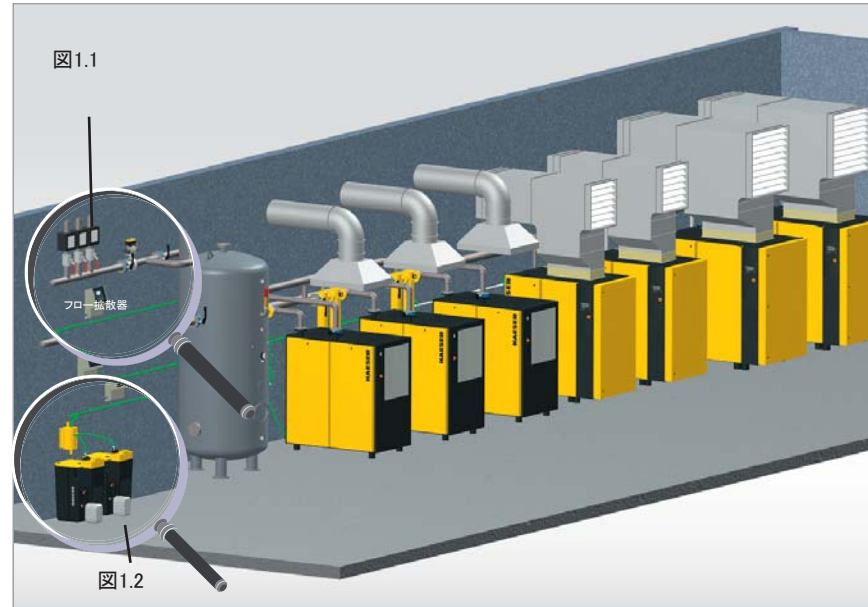


図1: コレクター配管を備えた圧縮空気ステーション

使用して(図3b)、コンプレッサーと配管システム間の防振接続を実装する必要があります。

## 凝縮水の正しい排出

信頼性の高い凝縮水除去システムは、圧縮空気システムの最高の性能と可用性を実現するのに不可欠です。特に圧縮空気配管の設置に関して、犯しやすいミスがいくつかあります。今日の先進のドレン技術にかかわらず、これらの凝縮水処理システムを接続するのに使用する接続配管が正しく設置されないことがあります。これらの問題は、次の簡単なヒントに従うことで簡単に回避できます。

## 凝縮水排出装置を遮断する

凝縮水排出装置は、メンテナンス作業を実行する必要がある場合に圧縮空気システムから簡単に取り外せるようにボール弁によって遮断できなければなりません(図2.1)。

## 正しい接続サイズ

不要な背圧を防止できるように、エアーマインコレクターのサイズは $\frac{1}{2}$ インチ接続以上でなければなりません。

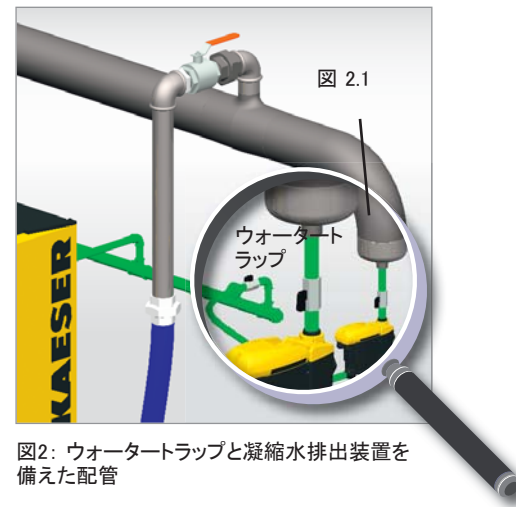


図2: ウォータートラップと凝縮水排出装置を備えた配管

## 上からの接続

ドレン箇所が互いに影響を及ぼさないように、エアーマインコレクターは凝縮水配管に上から接続する必要があります(図3a(1))。

## 傾斜付きの圧力がかかっていない配管

凝縮水コレクターは、必ず傾斜している部分に取り付ける必要があります。圧力がかかってはいけません。異なる圧力レベルで稼働しているさまざまなシステムコンポー

ネント(遠心分離器、エアレーパー、冷凍式ドライヤー、エアフィルターなど)からの凝縮水は、必ずこのようなシステムに放出する必要があります。これが不可能な場合は、凝縮水処理機器(アクアマット)の各種接続箇所を使用する必要があります。

## 複数の処理ユニット

大量の凝縮水により複数の処理ユニットを使用する必要がある場合は、メインの凝縮水配管を流れ分配器経由で接続する必要があります(図1.2)。

## 15bar超のシステム圧力

圧力が15bar超のシステムでは、凝縮水を処理ユニットに排出する前に個別の高圧リリーフチャンバーを使用する必要があります。

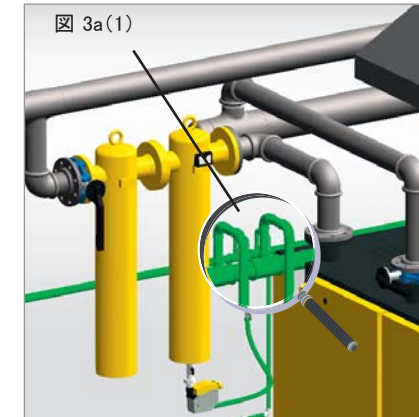


図3a: 冷凍式ドライヤーと凝縮水排出装置の接続(上から)



図3b: アキシシャルコンペンセーターを使用したコンプレッサーの防振接続

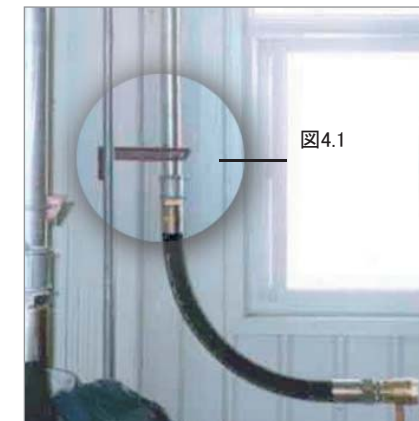


図4: ホースを使用したコンプレッサーの防振接続



ヒント5

## コンプレッサの正しい設置

圧縮空気システムの設置場所および周囲環境は、圧縮空気の生産効率と信頼性に大きな影響を与えます。覚えておく価値のある3つのルールは以下のとおりです。

### 1. 圧縮空気設備を清潔に保つ

図1に示しているような状態になっていないとしても、多くの圧縮空気システムは汚れた状態になっています。清潔な状態を保つ上で特に重要なことは、機器が粉塵に曝されないようにすることです。注意を



図1: メンテナンスを怠った圧縮空気ステーション

怠ると、コンプレッサの吸気フィルターがすぐに目詰まりし、メンテナンスの必要性が増すだけでなく、性能が低下し、空気の冷却効率が低下します。また、その後の問題として、過熱によってコストのかかるダウンタイムが発生したり、ドライヤーの出力が低下して凝縮水が蓄積するようになります。これにより空気消費機器が損傷したり、製品品質が低下する可能性があります。粉塵がない場所に設置して粉塵に曝されないようにすることができない場合は、バッグフィルターを使用して吸入エアを浄化する必要があります(図2a、2b)。

### 2. 適度な温度を保つ

圧縮空気システムは、氷点下の環境に設置してはいけません。空気消費機器に到達する前に湿気のある圧縮空気が生産されて搬送されるようになります。霜が発生する場合は、配管のない凝縮水が凍結し、運転が中断するようになります。圧縮空気システムで使用されているオイルおよびベアリング潤滑油の潤滑性能は、+5°C以下で大幅に低下します。このことによってもシステムが故障します。夏期は、コンプレッサの運転に使用され



図2a: バッグエアフィルター(吸気側)

る電気エネルギーの100%が熱に変換されます。可能な限り、コンプレッサ室の温度が外気温を超えないようにすることが重要です。そうしないと、モーターと電気コンポーネントが過熱し、再冷却が不十分なことによってドライヤーが過負荷になることがあります。この場合も、凝縮水が蓄積し、空気消費機器の性能が低下します。最悪の場合、不十分な換気によって熱が蓄積され、すべてのコンプレッサ/ドライヤー機器が停止し、圧縮空気供給システムが完全に停止します。これらのすべての問題は、コンプレッサ室の温度を適度な温度に保つことで回避できます。サーモスタット制御の換気によってコンプレッサステーションの熱平衡を自動的に制御する冷却システムを使用することで、1年中適度な温度に保つことができます(図3)。

### 3. メンテナンスが容易なステーション

最新のコンプレッサおよび処理コンポーネントは、以前の機器と比べて大幅にメンテナンスが少なく手済みですが、メン



図3: サーモスタット制御のエアダクトを備えた圧縮空気ステーション



図2b: バッグエアフィルター(コンプレッサ側)

テナンスフリーではありません。このため、保守が必要な部分に簡単かつ確実にアクセスできるようにシステムを設置する必要があります。これらの3つのことを確実に守ることで、圧縮空気システムで最高の信頼性と性能を得られます。

ヒント6

## 圧縮空気ステーションの換気(吸気側)

コンプレッサシステムの適切な換気は、圧縮空気の可用性を向上させるだけでなく、メンテナンスコストを最小限に抑えるのにも役立ちます。適切な換気を実現する方法は次のとおりです。

### 1. 正しい位置に換気口を設置する

換気口の位置は、コンプレッサシステムの効率的な換気に非常に重要です。最高のシステム信頼性を実現するには、外から取り込む空気が可能な限り天候の影響を受けないようにする必要があります。このため、設置場所の外壁の下半分の直射日光の当たらない場所に耐候性の換気口を設置することをお勧めします。

### 2. 粉塵および汚染物質からシステムを保護する

コンプレッサシステムは、可能な限り粉塵や汚染物質に曝されないようにする必要があります。これには、活性物質(可燃性物質)と燃焼機関からの排出ガスが含まれます。特に、トラックや重機がコンプレッサシステムの空気取り込みゾーンに入らないようにする必要があります。大量の粉塵や汚染物質がかかるのを回避できない場合は、必ず適切な保護策を講じる必要があります。中程度の量の粉塵や汚染物質は、冷却エアフィルターを使用して軽減できます。大量な場合は、「粉塵トラップ」を使用できます。

### 3. 換気口のサイズと装備を正しく選定する

換気口のサイズは、設置する空冷コンプレッサの出力によって決まります。経験則から、換気口の「開放径」は、コンプレッサの定格出力1kWあたり0.02~0.03m<sup>2</sup>でなければなりません。冷却エア一量130~230m<sup>3</sup>/時に相当します。「開放径」という用語に注意してください。耐候性スクリーン、ルーバー、および「粉塵環境」フィルターは、換気口の径を大幅に小さくなります。選択した換気システムの性質によっては、30~60%直径が小さくなります。このため、流量が最適化された換気システムを使用することをお勧めします。どのような場合も、保護装置および制御装置による直径の減少を補正する必要があります。

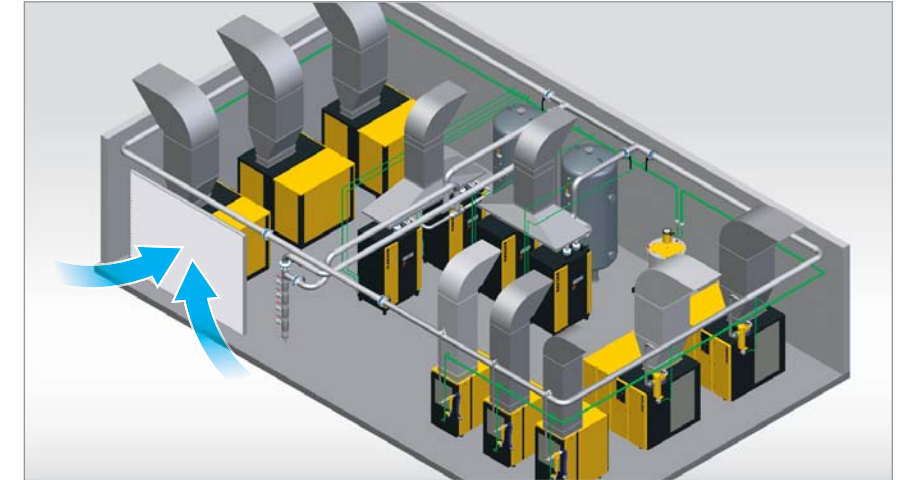


図2: 供給空気システムを装備した圧縮空気ステーション

換気システムは、通常、鳥類侵入防止スクリーン、耐候性スクリーン、(電動式)流量調整フラップ、換気フィルターで構成されています(図1)。。複数のコンプレッサで構成された圧縮空気システムの場合は、サーモスタット制御の換気システムを設置したり、個々のユニットの位置と出力に応じて換気口を分けることをおすすめします(図2)。

### 4. 水冷コンプレッサの場合も換気する

水冷コンプレッサは、通常、熱を放出する空冷モーターで駆動されるため、この場合も十分な換気が必要です。水冷コン

プレッサの出力の約20%が熱に変換され、冷却エアから取り除く必要があります。このため、適切な寸法の換気口を設置する必要があります。

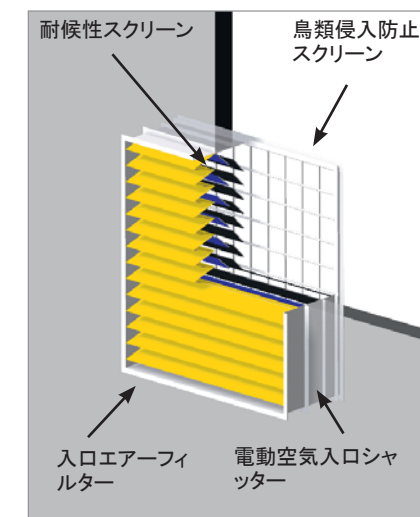


図1: 供給空気システム(設計)

ヒント7

## 圧縮空気ステーションの換気（排気側）

圧縮空気の可用性を維持し、メンテナンスコストを最小限に抑えるには、圧縮空気ステーションに適切な排気装置を設置する必要があります。周囲温度が+5°C未満になった場合は、再循環空気を使用して、コンプレッサー室を圧縮空気システムの運転に適した温度に保つ必要があります。

### 1. 排気の管理

排気の管理排気ダクトは、コンプレッサー設置場所で重要な役割を果たします。これらは、温められた冷却エア、モーターからの排熱、コンプレッサーによって放射された熱を取り除きます（図1）。最新の装置では、各種熱源からの排熱は1つの空気放出口から放出されます（図1の円内）。これはキャンバスダクトジョイントを使って排出ダクトにフレキシブルに接続する必要があります（図2）。周囲温度が+10°C超の場合は、排熱によって温められた空気をコンプレッサー室から完全に取り除きます。旧式のコンプレッサーには独立した空気放出口が設けられていることがあり、この場合は個別のダクトを設置しなければなりません。

### 2. 集合ダクトの設置

個別の排気ダクトを設置できない場合は、集合排気ダクトを設置する必要があります（図3）。コンプレッサーに適切に接



図2: キャンバスダクトジョイントによるコンプレッサーの換気接続

続するには、チェックルーバーが必要です。閉じている場合、特定のコンプレッサーが運転していない場合に暖気がステーションに逆流するのを防止します。モーター駆動式のルーバーフラップは、圧力損

失を軽減し、「モーター作動」信号で作動できます。パッフルを設置して、集合排気ダクトの圧力損失を最小限に抑える必要があります。

### 3. 再循環空気を使用して、コンプレッサー室の温度を維持します。

温度が+5°C未満になるエリアには、空気再循環フラップを設置する必要があります。これらは+10°C以下になったら作動する必要があり、温度に応じて開度が変わります（図1）。コンプレッサーシステムを完全に停止することがある場合は、コンプレッサー室の温度が+5°C以上に保たれるように補助暖房システムを使用する必要があります。

### 4. 冷凍式ドライヤーの換気

冷凍式ドライヤーは、消費する電気エネルギーの約4倍の熱エネルギーを生成します。このため、サーモスタット制御ファン付きの独自の排気システムを装備する必要があります（図1と図3）。コンプレッサー装置に複数の冷凍式ドライヤーが含まれている場合は、ファンは+20°Cから作動するペース制御システムを備えている必要があります。この排気システムは連続運転しないため、ドライヤーに直接ダクトを設置する必要はありません。

### 5. 排気システムを正しく設計および管理する

すべての排気システムは、それらが引き起こす圧力損失が、システム内の最も小さい装置による残留推力よりも小さくなるように設計する必要があります（メーカーの仕様に注意してください）。そのようにしないと、このユニットからの排気がコンプレッサー室に逆流します。残留推力が不十分な場合は、追加のファンが必要です。ルーバーは、コンプレッサー室のサーモスタットとコンプレッサーによって自動制御される必要があります。主制御システム（SIGMA AIR MANAGER など）で監視することもお勧めします。これにより、ルーバーの問題をすばやく特定したり、集中制御システムにアラームメッセージ転送できるようになります。

### 6. 特殊なケース-水冷

水冷コンプレッサーは入力電力の20%を熱として放射するため、これらのシステムでも十分な換気が必要です。

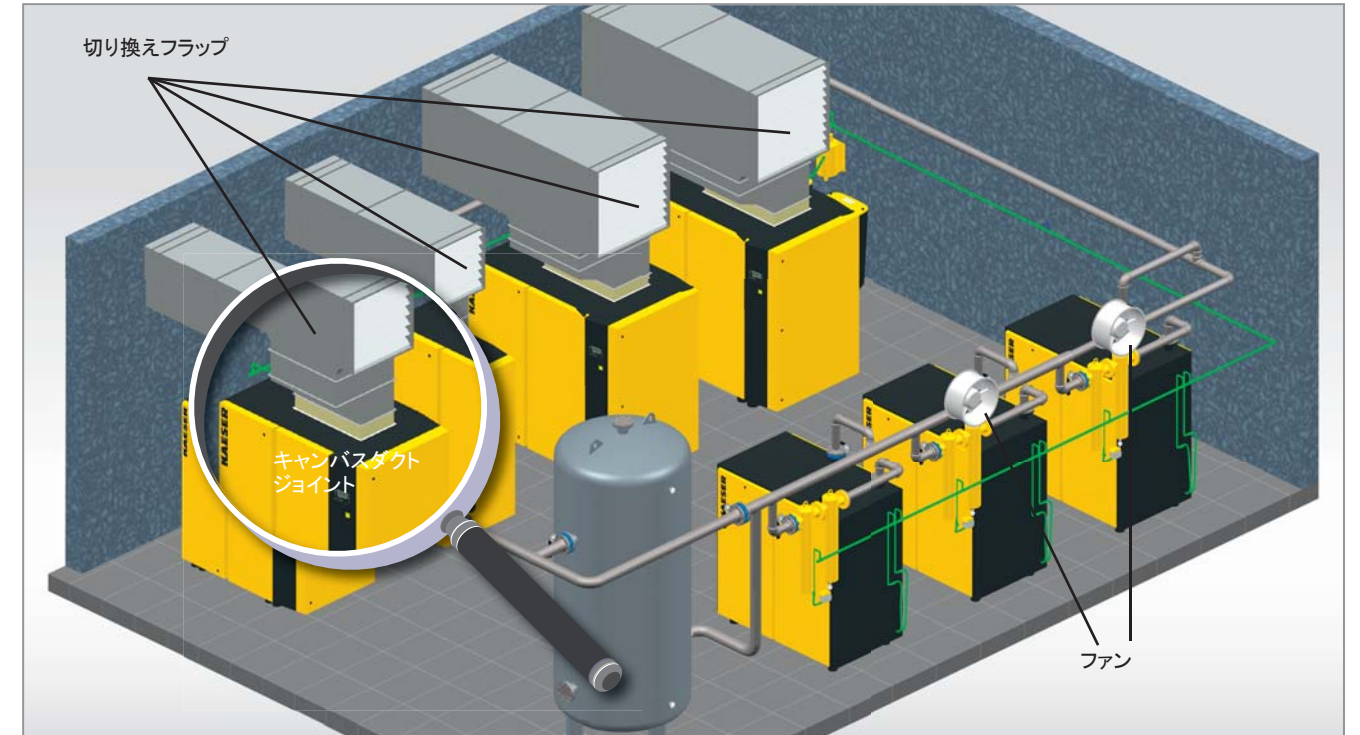


図1: 各コンプレッサー用の個別のダクトを備えた排気システム

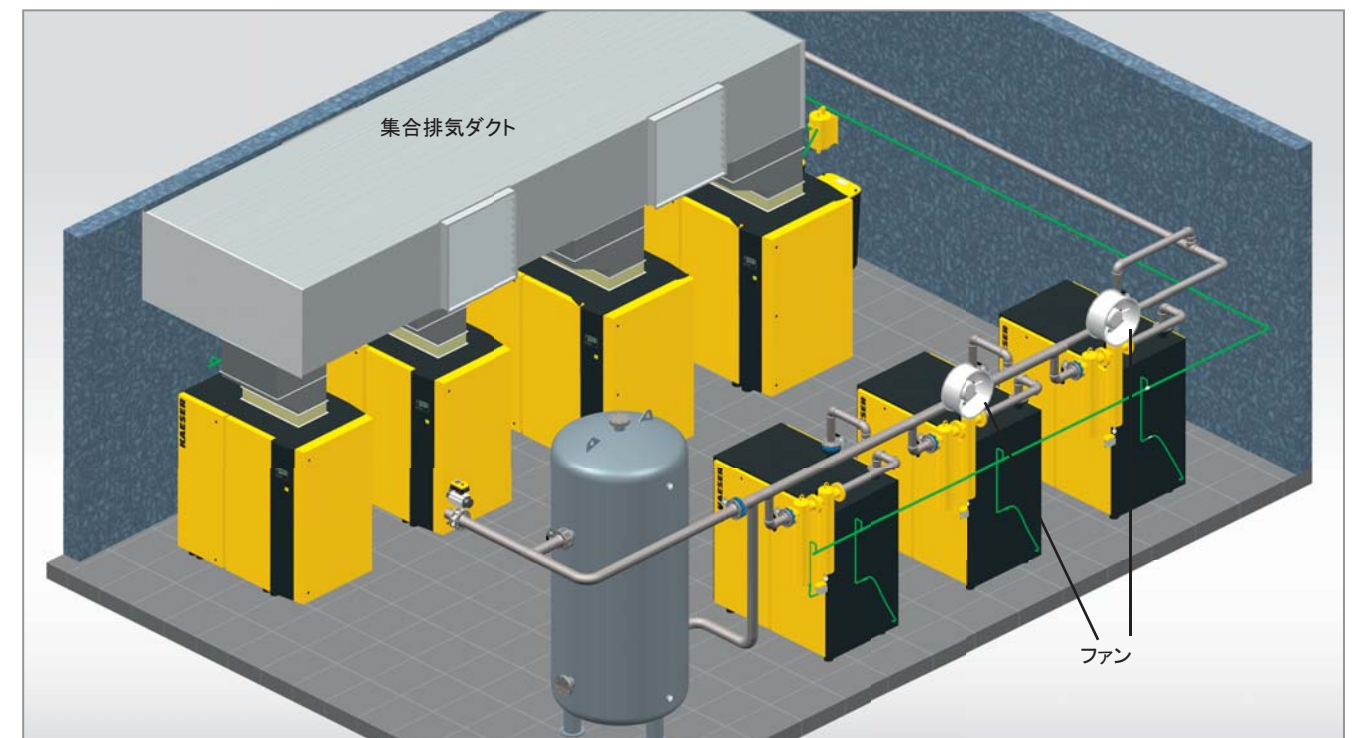


図3: すべてのコンプレッサー用の集合排気ダクトを備えた排気システム

# 付録

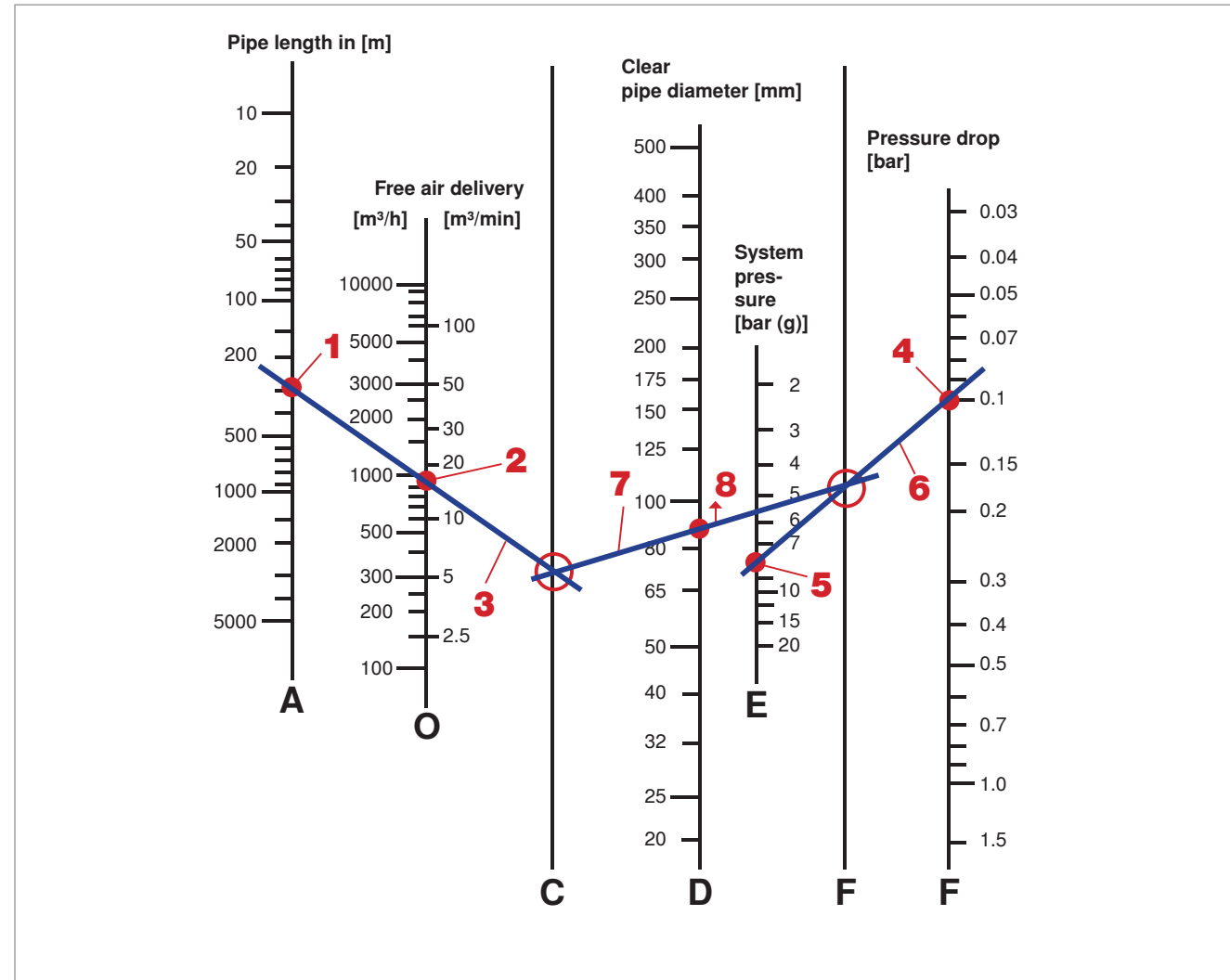
---

付録1-2

54-57

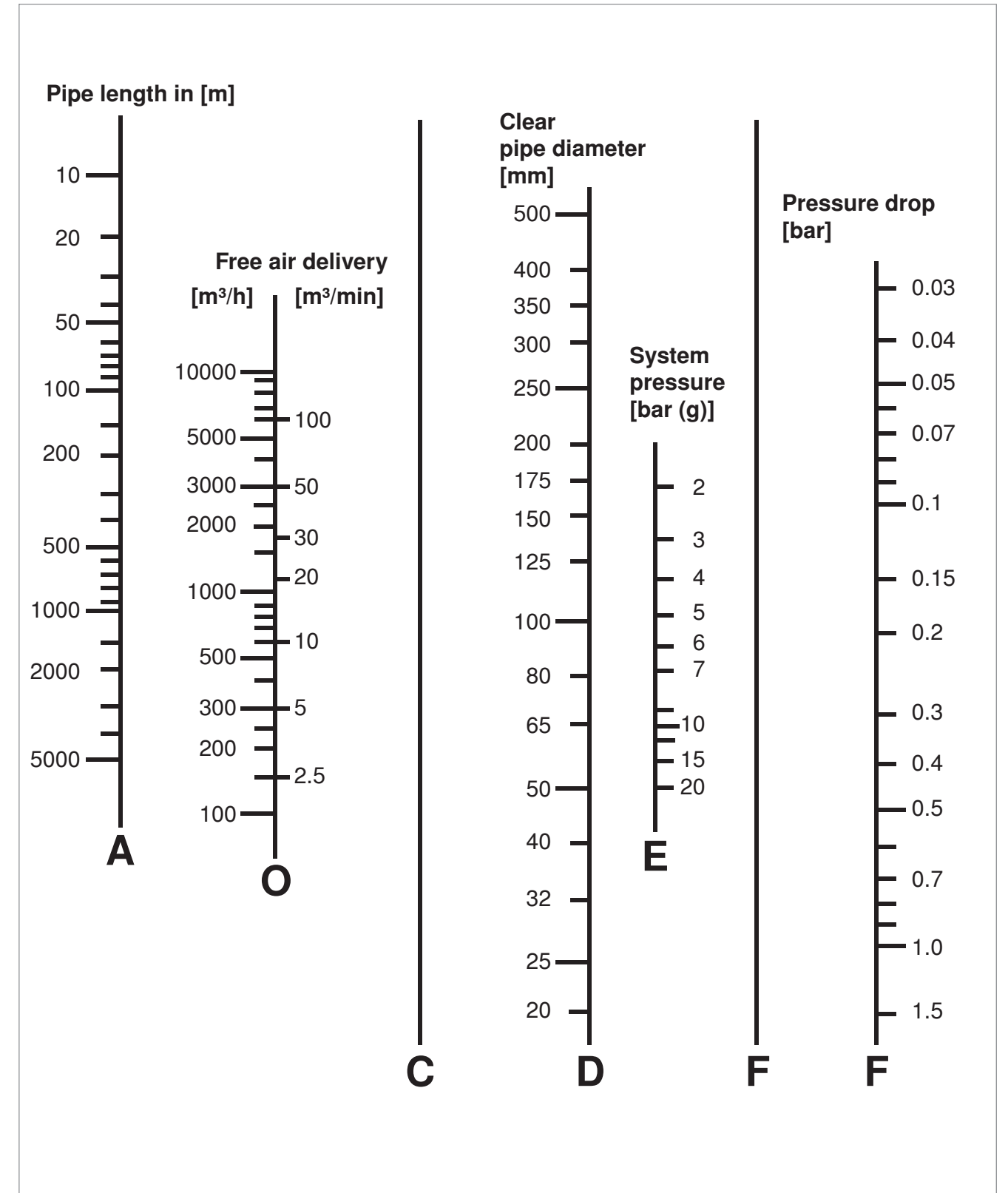
付録1

# 必要な配管内径を判断するための計算図表



圧縮空気配管の必要な配管内径は、この計算図表を使用して計算できます。配管長をA軸、吐出量をB軸にマークします。2つの点を直線で結び、C軸まで延長して交差させます。最小システム圧力をE軸、目的の最大圧力損失をG軸にマークします。2つの点を直線で結び、F軸まで

延長して交差させます。C軸およびF軸上の交点を直線で結ぶことで、D軸との交点に必要な配管径が示されます。



# Energy Saving System (省エネシステム) サービスに関するアンケートの例

## 省エネシステムサービス



1. コンプレッサーの吐出空気量はどのくらいですか。

### 1.1 使用するツールと機械の空気消費量

ツール、 機械	空気消費量 ツール、 機械あたり m³/分	数量	ロード/デュー ティーサイ クル %	同時 率 %	実際に計算した 空気消費量 m³/分
	x	x	x	x	=
	x	x	x	x	=
	x	x	x	x	=
	x	x	x	x	=
	x	x	x	x	=
	x	x	x	x	=

全ツールの空気消費量 =  $V_{\text{ツール}}$   m³/分

1.2 その他の最終消費者  $V_{\text{その他}}$   m³/分

1.3 圧縮空気ラインの漏れ量  $V_{\text{漏れ}}$   m³/分

1.4 スタンバイ  $V_{\text{スタンバイ}}$   m³/分

コンプレッサーからの最小要求吐出空気量 =  $V_{\text{合計}}$   m³/分

## 省エネシステムサービス



2. すでにコンプレッサーを利用していますか。

- なし
- あり

オペレータの 指定	製造業者	モデル	圧力 bar <sub>(g)</sub>	圧縮空気吐出空 気量 (FAD) m³/分	今後も 使用する 予定ですか。 ありなし
				<input type="text"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
				<input type="text"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
				<input type="text"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
				<input type="text"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
				<input type="text"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
				<input type="text"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

今後も使用する予定の既存のコンプレッサーの総吐出空気量

=  $V_{\text{既存}}$   m³/分

既存の圧縮空気処理コンポーネント :

型/モデル (ドライヤー、フ ィルター、ドレインなど)	仕様 m³/分	bar(g)	備考 サイズが不適當など



**CSD 105**

**SIGMA** 

IE3

KAESER  
Sigma Control 1

STOP

# 世界中に広がる当社のネットワーク

ケーザー・コンプレッサー社は、世界最大の圧縮空気システムプロバイダーおよびコンプレッサーメーカーとして、支店、子会社、および100か国を超える認定提携会社の総合ネットワークにより世界中にそのプレゼンスを広げています。

革新的な製品とサービスを用いて、ケーザー・コンプレッサー社の経験豊富なコンサルタントおよびエンジニアがお客様と緊密な連携を保ちつつ、性能および圧縮空気効率の限界を超え続ける進歩的なシステムコンセプトを展開し、お客様の競争力を強化する手助けを行います。また、この業界屈指のシステムプロバイダーが数十年間にわたって構築してきた知識と専門性は、ケーザーグループの世界規模のコンピューターネットワークによりすべてのお客様にご利用いただけます。

これらのメリットは、ケーザー社の世界的なサービス組織と連動して、すべての製品が常にその最高性能を発揮し最大のアベイラビリティを提供することを保証します。



ケーザー・コンプレッサー株式会社

電話番号 03-3452-7571 ファックス番号 03-3452-7588

108-0022 東京都港区海岸 3-31-1

E mail: info.japan@kaeser.com