

コンプレッサ設備の設備構成・運用面の省エネ手法

Energy-Saving Methods for Compressor Equipment Configuration and Operation

SMC 株式会社
SMC Corporation

樋口 巖宏
Itsuhiro Higuchi

キーワード： 電力(Compressor power)、低圧化(Low pressure)、
配管デザイン(Piping design)、配管サイズ(Pipe size)、局所増圧(Local pressure boost)

1. はじめに

空気圧システムはあらゆる生産工場で使用されており、ファクトリーオートメーション (FA) における重要なシステムのひとつとなっている。

空気圧システムのエネルギー媒体となる圧縮空気はコンプレッサ(空気圧縮機)により作り出されているため、その大元のエネルギー源は電力である。

生産工場における電力消費のうち、コンプレッサによる電力消費割合は約 20%¹⁾(図 1)とみており、業種業界により差はあるものの、おおむね 15~30% となると考えている。

空気圧システムは、そのエネルギー媒体を圧縮空気としており、安全性が高く、取り扱いも比較的簡易であることから生産設備に不可欠である。しかし、厳密な管理がされていないことから効率化の余地が大きく、適切な管理・最適化により大きな省エネにつながる可能性があり、CO₂排出量・コストの削減に直結する。しかし、空気圧システムを使用するユーザは、その具体的な方策についての情報を持ち合わせておらず、その多くを省エネコンサルティングに頼っている状況である。

ここでは、空気圧制御システムの総合メーカーである SMC 株式会社 (以下、SMC とする) が提唱する「4BAR factory」の取組みについて紹介する。

この取組みは、従来の空気圧システムにおける省エネルギー手法をさらに積極的に進めていく活動であり、コンプレッサ電力を大きく削減できる。単に企業の PR 活動ではなく、日本産業界の省エネに貢献するものと考えられるため、ここに紹介する。

参考) コンプレッサ電力のモデルケース

以下にコンプレッサの電力消費量の規模感を把握するために、下記のモデルケースを表 1 に示す。

想定稼働時間	2,500時間 (10時間/日、250日/年)
コンプレッササイズ×台数	22kW機×5台
コンプレッササイズ構成 (稼働率)	定速機：3台 (100%)・1台 (50%) インバーター機：1台 (80%)
年間消費電力 [kWh]	236,500
年間電力料金 [千円] (19円/kWh)	4,494
年間CO ₂ 排出量 [t-CO ₂] (0.408kg-CO ₂ /kWh) ※	96.5

※R5年度 環境省・経産省発表：東京電力エネルギーパートナー(株)

表 1 モデルケースの年間指標

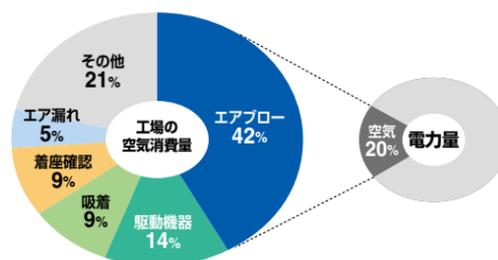


図 1 コンプレッサ電力の割合

2. 「4BAR factory」とは

「4BAR factory」は、SMC が提唱する理想的な工場運営を象徴するコーポレートコピーであり、目指すべき最適解の一つと捉えられる。

これらは SMC が提案するサステナブル工場の実現手法であり、工場全体のライン圧力を 0.4 MPa (4 bar) へ低圧化することを目標に、空気圧システムの可視化と低圧化・省エア方策を組み合わせ、コンプレッサ電力の継続的削減を図るものである。0.4MPa はコンプレッサが実質設定可能な最低設定圧力であり、非常に挑戦的な設定であるが、この構想は決して実現不可能なものではない。実際に SMC 工場ではライン圧力：0.4MPa の実現を目標に掲げており、着実にその取組みを進めている。

一方で、0.4MPa という圧力を全てのユーザに一律で推奨、あるいは強制することは適切ではないと考える。しかしながら、必要に応じてそれを実現に役立つ「知見」や「製品」が見出されており、ユーザの省エア化を支援できる状況となっている。

3. 空気圧システムの可視化

4BAR factory を実現する上で空気圧システムの圧縮空気の流量と圧力の可視化は重要で、目に見えない空気がどのように消費されているかを把握する必要がある。また、コンプレッサから吐出される圧縮空気は常に一定の割合で消費されることが無く、工場内に張り巡らされた空気配管を通して各生産ライン・設備に供給・消費されている。

このような環境において、何らかの省エネ＝省エア方策を実施したときに、大元にあるコンプレッサの電力変化ではその効果を把握することができない。そこで実際の圧縮空気の流量や圧力の変化を確認することで、その効果を把握することが可能となる。

またこれらの流量、圧力の把握には流量センサーと圧力センサーを使用する。(図 2)

- ・圧縮空気使用状況の現状把握
- ・省エネ施策を行った際の効果測定
- ・継続的な圧縮空気の適正利用のための管理・監視

主に上記理由で可視化を行うが、特に新築施工における配管口渡しのように、コンプレッサから装置側供給口のメイン配管の施工においては、コンプレッサから吐出された圧力がロス(配管圧力損失)無く供給口まで提供することが要求され、それらの状況把握も必要となる。よって上述の流量センサーによる圧縮空気の消費状況と圧力センサーによる圧損状況の確認は非常に重要となる。

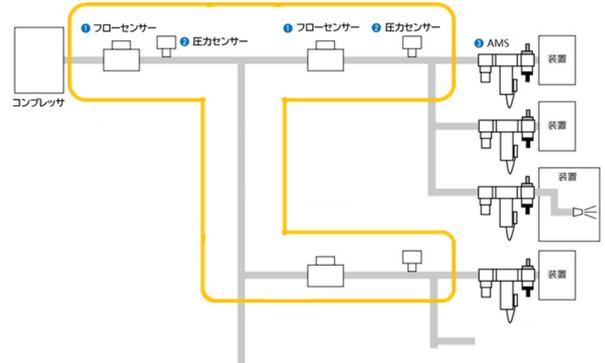


図 2 メイン配管系とセンサーの配置

4. 空気圧システムの省エネ施策

主要な省エネ施策は以下の 3 点を挙げることができる。

- ①コンプレッサの最適化(インバーター化、台数制御等)
- ②空気圧システムの最適化(末端設備側でのエア消費量削減)
- ③コンプレッサ吐出圧の低圧化(装置設定圧力・工場配管の見直し含む)

図 3 にそのイメージを示す。ここで、縦軸をコンプレッサの設定圧力、横軸を圧縮空気の消費流量として、そこに囲われた面積がコンプレッサの消費電力に相当する。

本来であれば①～③につきそれぞれの詳細説明を行う

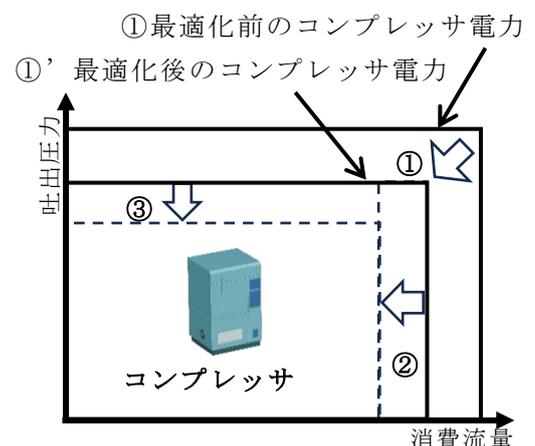


図 3 コンプレッサの動力イメージ

ところであるが、今回は当講演に関連する内容に絞って解説する。

5. 省エネの具体的手法

5.1 供給側配管の配管径とレイアウト

効率的な配管レイアウトを検討する場合、その工場における設備仕様・設置場所などの確認が必要となる。設備装置を設置する範囲の中では共通項として以下の内容について注意が必要である。

- ・ループ配管を基本とし、必要な場所への配管を追加する
- ・圧縮空気の流速を抑え、適当なサイズの配管径とする

ループ配管は基本中の基本であり、突当りが出来るような配管の場合、コンプレッサから一番遠いところでの圧力損失が大きくなる。(図4)

また、配管径も一番外側のループ配管部の太さを確保することで全体的に圧力の供給に余裕を持たせることが出来る。

配管サイズは1サイズ上げることで圧力損失は約1/4以下になる傾向がある。(図5)しかしながら実際にはインシヤルコストを優先し口径を1サイズ上げる方策が採用に至らない場合が多いため、コンプレッサの圧力を下げられず、結果としてランニングコストがかかる運用をしていることが多い。

これらのレイアウトや径の選定は専門的な計算も必要であることから、過去の経験から得られた実績によるサイズの採用や、安全を見すぎて大口径が採用されるなど、適正な選定が出来なかったと考えられる。

そこでここでは計算の一例として SMC が無償提供している省エネプログラムの『空気配管網』ソフトでの結果を紹介する。

図6及び図7にその活用事例を示す。

配管のデザインと配管の径と長さを個々に指定して、コンプレッサの設置場所と圧縮空気の供給先・必要流量を指定するだけで、どの程度の圧力損失が発生するかシミュレーションが可能となっていて比較的簡単に使用できることから、一度試すことを推奨する。

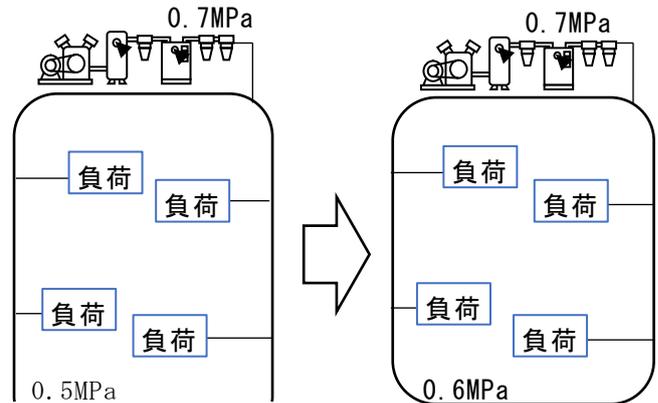


図4 ループ配管による圧力損失の低減

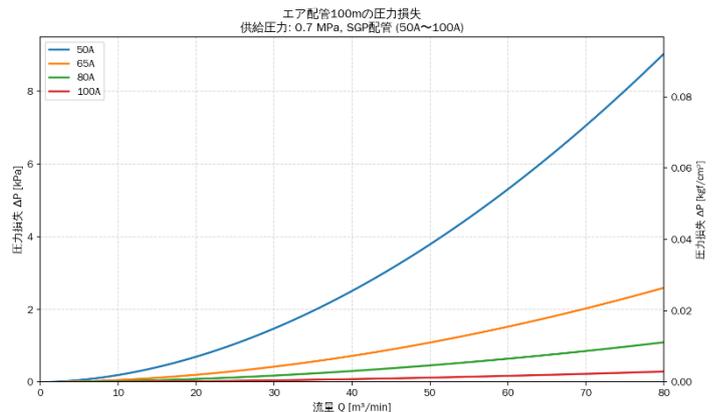


図5 配管径による圧力損失

★ループ配管を組むことで、圧力損失は大きく改善される

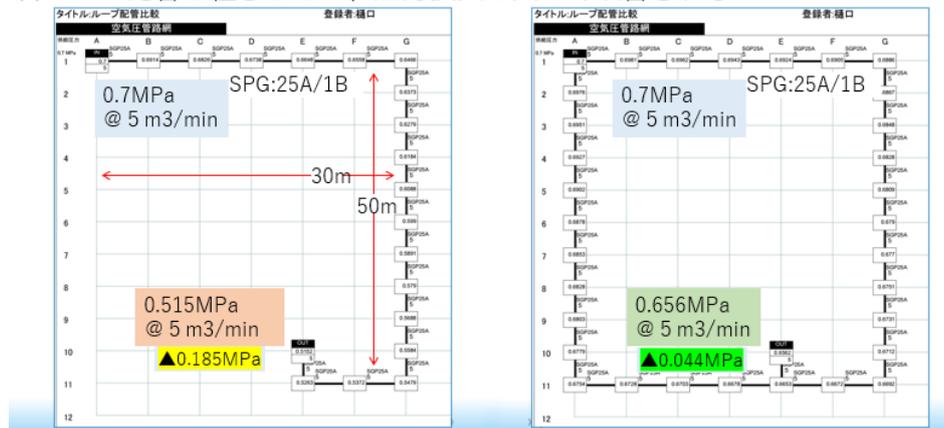


図6 ソフト活用・ループ配管

★配管サイズを1つ上げると、圧力損失は大きく改善される



図7 ソフト活用・配管径事例

5.2 局所増圧の活用²⁾

上述のように配管効率を適正化しコンプレッサ圧力をロス無く供給できたとしても、どうしても高い圧力が必要な設備が出てくるケースが時々ある。コンプレッサの設定圧力は、これら装置で設定された一番高い圧力に従った設定を余儀なくされる。例えば100台ある装置のうち99台は0.4MPaに設定できて、残り1台が0.5MPaの装置があればコンプレッサはこの1台のために高い圧力の設定が必要となる。(おおむね装置設定圧の1.18倍～+0.1MPa)

このような装置の中に部分的に高い圧が必要な場合は、増圧弁(ブースターレギュレータ)により装置供給圧力の低圧化が可能となる。

例えば、上述のように0.5MPaが必要な装置には、その圧縮空気供給口に増圧弁を設置することで増圧弁への供給圧力は0.4MPaとし、装置供給圧力は0.6MPaとすることが出来る。これにより装置設定圧力は全て0.4MPaとなり、ライン圧力を下げる事が可能となる。(図8及び図9)

ただし、この増圧弁の使用方法には注意が必要となる。

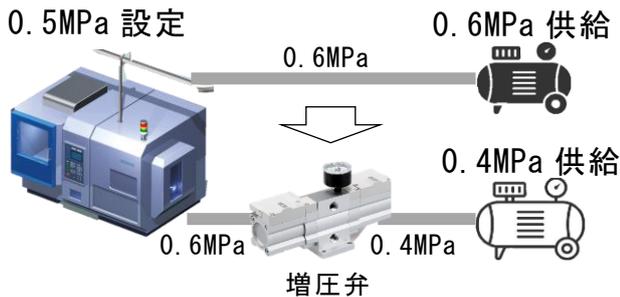


図8 増圧弁を使った低圧化

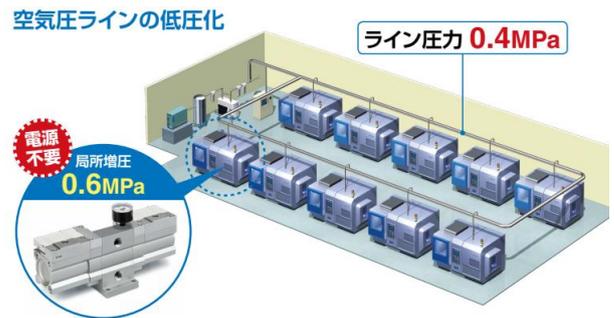


図9 ライン圧力の低圧化イメージ

増圧弁そのものが動作するための圧縮空気の消費があり、増圧弁の数が増えるとその分消費流量が増えてしまうためである。よってあくまで「局所」での使用であり、その上限は一つの目安としてコンプレッサ吐出流量の10%程度までとなる。

5.3 コンプレッサ設定圧力の低圧化

以上のように配管の効率化を行い、局所増圧などを活用して装置供給圧力を下げる事ができた後に、次にコンプレッサ設定圧力の低圧化を行う。

コンプレッサの圧力はその設定を0.1MPa下げるだけで、装置側の消費流量に関係なく消費電力が6

～11%の削減になる。仮に 0.7MPa を 0.4MPa に低圧化した場合約 28%の削減³⁾になる。(図 10)

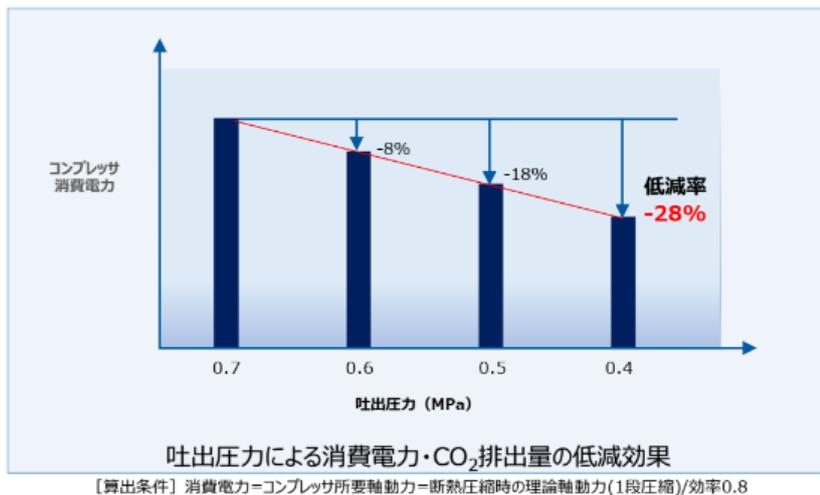


図 10 コンプレッサの低圧設定時の電力削減量

5.4 コンプレッサの設置について

空気圧システムの省エネ活動を通してコンプレッサの設置について意見を求められる機会がある。SMC はコンプレッサの製造はしておらず専門ではないが、過去にコンプレッサメーカーの技術担当や設置業者などの交流をしてきた知見において紹介する。

コンプレッサを複数台使用する場合、現在ではインバーター機を交えた台数制御による空気消費量に応じた電力消費になるよう運用するのが一般的となっている。(前述 2. 空気圧システムの省エネ手法における①コンプレッサの最適化(インバーター化、台数制御等))

以下にモデルとしてコンプレッサ 4 台を設置するものとして検討する。

5.4.1 コンプレッサの配置：集中設置(図 11)

4 台のコンプレッサを一カ所に集中した設置は、そこから遠い位置にある設備機器への圧縮空気の供給は圧損が大きくなる懸念がある。しかし、前述のように適正な配管レイアウトとサイズを選定することで比較的遠い場所でも安定した圧力供給できることが可能であり、制御もインバーター機を交えた台数制御がやり易くなる。

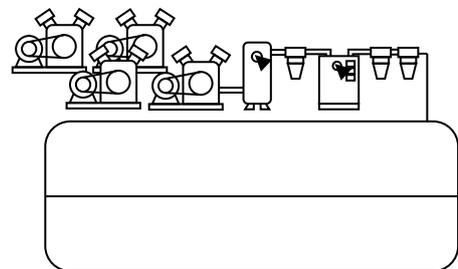


図 11 コンプレッサの集中配置例

5.4.2 コンプレッサの配置：分散設置(図 12)

分散配置は、集中配置の際に一番遠方で圧力損失が発生してしまうケースに検討が必要と考えられる。これは配管長さで km 単位の先に圧縮空気の供給が必要な場合などが考えられる。配管径のサイズを確保することで集中設置でも対応可能ではあるが、配管設置のインシヤルコストが大きすぎる場合は、2 台×2 か所の設置も有効と考えられる。その場合は 4 台ともインバーター機を使い、それぞれの場所において輪番で台数制御をすることとなる。

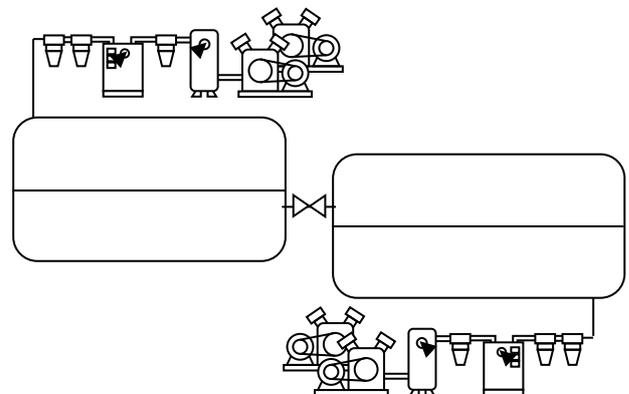


図 12 コンプレッサの分散配置例

5.4.3 コンプレッササイズの選定

コンプレッサのサイズ選定においては、機器導入におけるインシヤルコストもさることながら機器負担やメンテナンス、故障時のバックアップなど機器運用方法についても考慮が必要である。

例えば 100kW クラスのコンプレッサの選定検討において、インバーター仕様の 100kW 機 1 台の場合

や 22kW 機 5 台というような組合せも考えられる。

ここでは省エネを考慮した選定として、複数台設置を推奨する。(図 13)

22kW 機×5 台で選定の場合、3 台を定速機、2 台をインバーター機とする。消費空気量のうちベースとなる分の供給を定速機で行い、それを超えた分をインバーター機で対応し、それぞれ輪番での運用とする。それにより各機への負担が分散され、メンテナンスも工場稼働の低い時期などを見て 1 機ずつ進めることも可能であり、全停止しての対応は不要となる。また故障時のリスクも分散され、バックアップ機も 22kW 機 1 台あれば良く、コスト的にもメリットが見いだすことが可能となる。

なお、消費電力は 100kW 機とほぼ同等であることから、複数台設置の導入は有効な方策と位置付けられる。

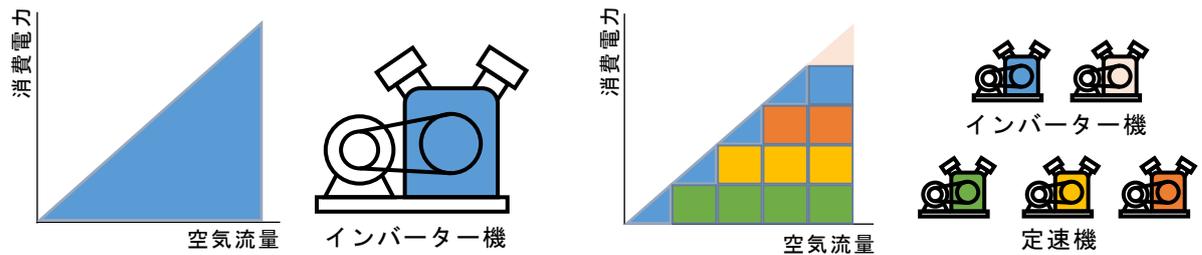


図 13 100kW×1 台と 22kW 機×5 台の比較イメージ

6. まとめ

SMC の提唱する「4BAR factory」は、可視化・低圧化・省エネを組み合わせることでコンプレッサ電力を削減し、工場の省エネルギー・CO₂削減に貢献する取組みである。

従来の低圧化は、装置側へのアプローチが無い状況での消極的な施策であり、ユーザが削減できる割合も小さいものであったと考えられる。しかし「4BAR factory」における取組みは積極的な低圧化であり、コンプレッサ電力のミニマム化が実現可能となる。工場の中で 15~30%を占める電力の約 30%の削減が実現できれば、電力全体で約 4.5~9%の削減も可能となる。

電力削減の取組みは比較的簡単な照明や空調に比べ、コンプレッサは後回しにされる傾向があるが、ここで紹介の内容を参考にいただければ幸いです。

参考文献

- 1) SMC 株式会社:工場の省エネ提案 P-20-14、表紙、2021
- 2) SMC 株式会社:サステナブルな工場へのご提案 P-22-39、p. 5、2022
- 3) SMC 株式会社:『4bar Factory』/環境負荷低減のご提案 T25-001-3、表面、2025