



空気・水・土をきれいにする技術 特集

## 利益を生む省エネ

**Energy Conservation for Greater Profitability**

岡田 哲郎 Tetsuro Okada

● AM 製造部生産 3 課

Even when it has not been our main business, energy conservation is a subject we have concentrated efforts on numerous times in the past. But, certainly those efforts of the past never had the sense of urgency we approached this subject with today. They may in fact have been rather haphazard efforts aimed at little more than self-satisfaction. We concluded that improving energy conservation is a subject that we must undertake with efforts that employ the technical expertise in the areas of analysis and research that we have developed in our TPM (Total Productive Maintenance) activities. In short, we decided to undertake TPM-based energy conservation activities.

We began by reviewing our approach to energy conservation. Even effective measures are meaningless if we can't get the people in the workplaces to employ them. So we undertook activities based on the concept of "rational energy conservation." In our machining and processing factories, air compressors account for 30% of the electricity consumption. Through research and improvement of the "air blow" devices that account for roughly 70% of this consumption and employing highly precise control of the operation of the compressors that supply the compressed air, we were able to cut electricity consumption roughly in half. In this treatise, we introduce the results of energy conservation for the factory compressed air facilities in operation since 1996.

### 1 はじめに

省エネは主業務ではなくても、過去から何回も取組んで来ている課題である。しかし、これ迄の活動は、今日のように危機感を持ち、取り組んでくださるだろうか？その場凌ぎで自己満足の活動になっていたのかも知れない。私達は TPM (Total Productive Maintenance) で培った技術的見方や分析、解析の方法を活動に取入れ、改善を進める事が必要だと考えた。つまり TPM をベースとした省エネ活動を展開する事にしたのである。

まず省エネの考え方について検討をした。効果があっても現場に受け入れられない改善では全く無駄になる為、『理論に基づく省エネ』をコンセプトに決め活動を行ってきた。加工工場の電力の中でエアコンプレッサは全体の約 30%を占めている。その中の約 70%を占めるエアブローを研究・対策し、更に供給側であるコンプレッサ運転を細かく制御することで使用電力を約半分に減らすことができた。ここでは 1996 年から行ってきた工場エアの省エネについて紹介する。

## 2 袋井工場の概要

ヤマハ発動機(株)袋井工場には、KD、AM生産3課、AM技術、スカイの4部門が混在しているが、圧縮エアのほぼ100%は、AM生産3課が使用している(図1)。

圧縮エアを供給するコンプレッサの機種は、300kW(60m<sup>3</sup>/min)1台、100kW(20m<sup>3</sup>/min)2台で、1996年当時、年間電力使用量は約120万kW、CO<sub>2</sub>排出量は炭素換算で48t、年間電力料金は2,400万円だった。

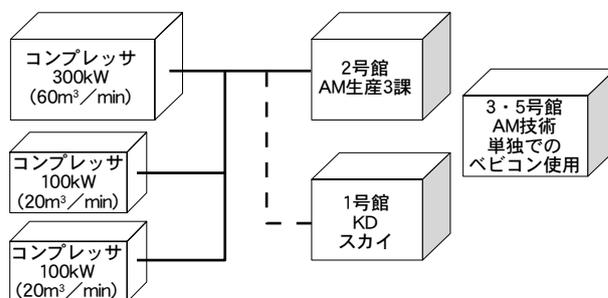


図1 袋井工場の概要

## 3 圧縮エアの使用先

加工工場における圧縮エアの使用の約70%は、加工物を洗浄した後に水を切るというエアブローである(図2)。

エアシリンダなどは使用目的に応じた確立した設計基準があるのだが、エアブローは一連の確立された設計基準がなかったため、結果オーライの仕様になっているのが現状である。

品質問題が起きるとむやみに吹きつけ時間を増やし、更に吹き出し口を増やしたり、圧力を上げたりと場当たりの対策が多く、ブロー時の音が大きくなれば満足し、今度は騒音が問題になれば静音ノズル等を付けてしまい、結果品質低下につながるという悪しき流れになっていた(図3)。

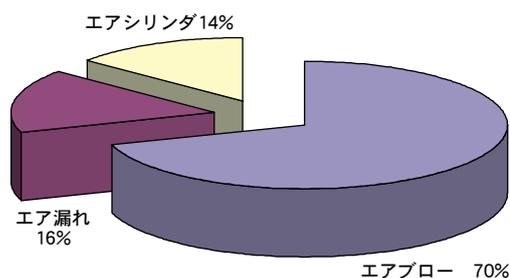


図2 加工工場用途別空気使用量例

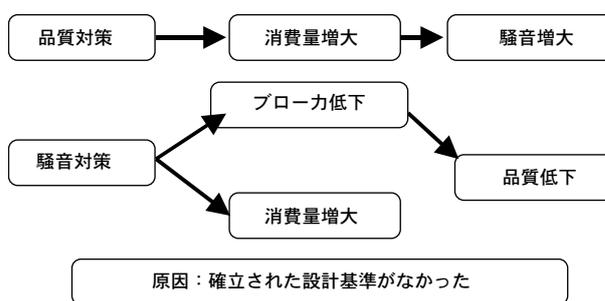


図3 今までのエアブロー対策

## 4 エアブローの分析

エアブローについての調査結果を紹介する

エアブローの対象である水の重さは  $1\text{g}/\text{cm}^3$  で、それが水溶性クーラントになったとしても  $1\text{g} + \alpha$  程度でしかない。その水を飛ばすのに必要な力は  $30\text{g}/\text{cm}^3$  とされている。風速換算すると約  $30\text{m}/\text{sec}$ 、圧力で言うと  $0.002\text{MPa}$  である。

つまり対象物にかかる圧力は  $0.002\text{MPa}$  あればよいということである。台風の時に  $30\text{m}$  も風速があればその威力の凄さは、実感できると思う。

図4はエアブローの流速を調べたグラフで、これを見るとエアブローの流速は音速を超えない。音速付近まで行くとサチュレートしてしまう。これを臨界速度という。この図での臨界速度付近の圧力は  $0.189\text{MPa}$  である。

図5は  $0.2\text{MPa}$  をかけた  $\phi 2$  ノズルから出たエアをサーモグラフィで撮影したものであるが、黒い部分が臨界速度を示している。

吹き出しの角度はほぼ  $14^\circ$  で高速流を保てる領域は、臨界速度領域外でもノズル径の  $50$  倍程度であるといわれている。

図6は距離減衰をノズル径別に調べたもので、空気という非常に軽い物質の性質上、距離減衰が激しいこともわかる。

以上を纏めると図7のようになる

- (1) ノズルから出た圧縮エアは  $14^\circ$  の広がりを持って噴出される。
- (2) 有効な運動エネルギーを得られる範囲はノズル径  $d$  の  $50$  倍程度の距離までで、それ以降は減衰が激しい。
- (3) 圧縮エアの流速は音速を超えない。そのときの圧力は  $0.189\text{MPa}$  である。

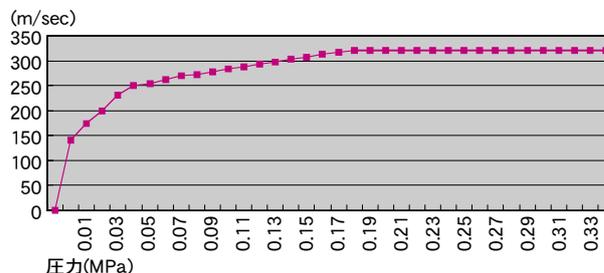


図4 圧縮エアの臨界速度

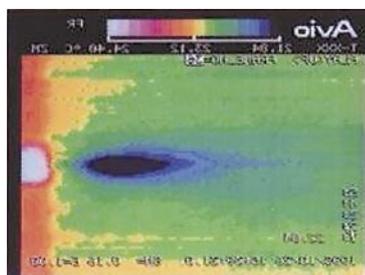


図5 ノズルから出たエア

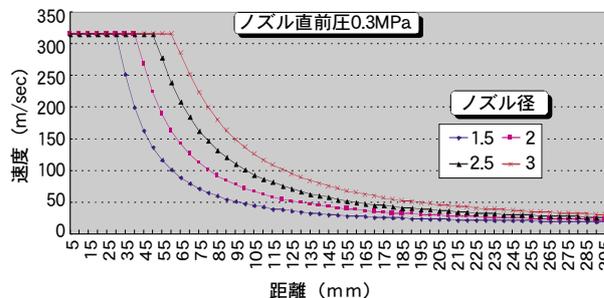


図6 中心速度の減衰

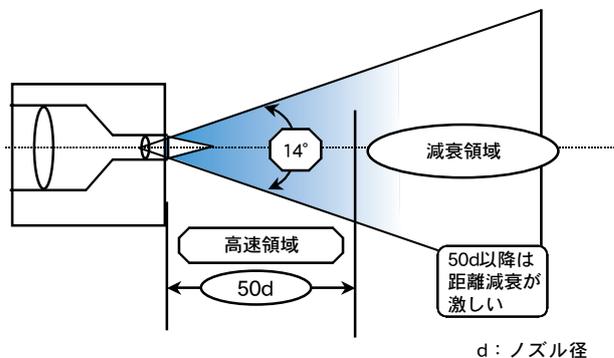


図7 ノズルから出た圧縮エア

## 5 圧力損失について

配管内を通る流体には圧力損失は避けられない問題で、圧縮エアも同様である。衝突エネルギーを利用するエアブローは、ノズルより上流側の配管にも充分考慮する必要がある。

不適切な配管にすると配管内で圧力が減衰してしまい、エネルギーのほとんどが無駄になってしまう。車を洗うときにホースの先端を絞って勢いを出すことも同じである（図9）。

エアの回路は末広がりより戻すばみがよいということがわかったが、そういう目で現場の設備のエアブロー回路を見てみると、ほとんどの設備は先端での絞りが無くパイプ状の吹き出し口になっていた。エアの流速を上げて圧力損失を防ぐ為にも、先端を絞ることが重要である（図10）。

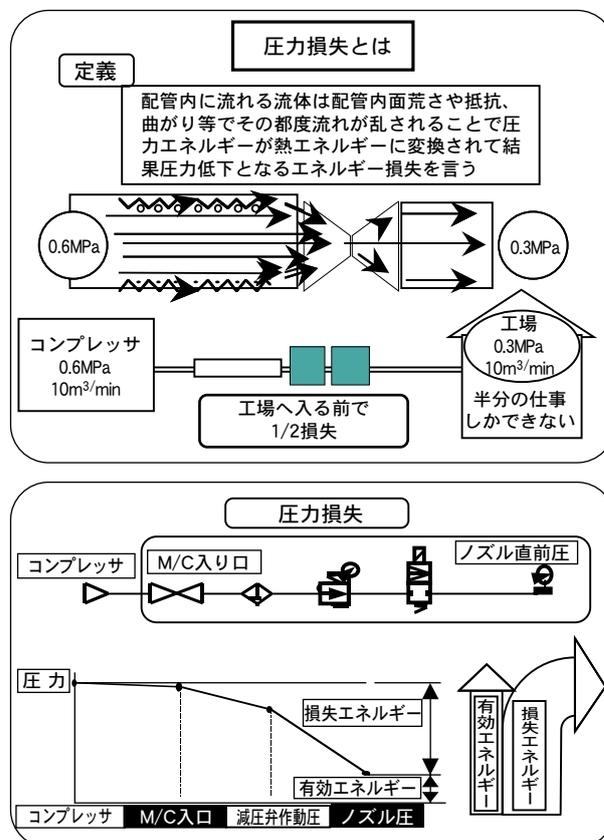


図8 圧力損失

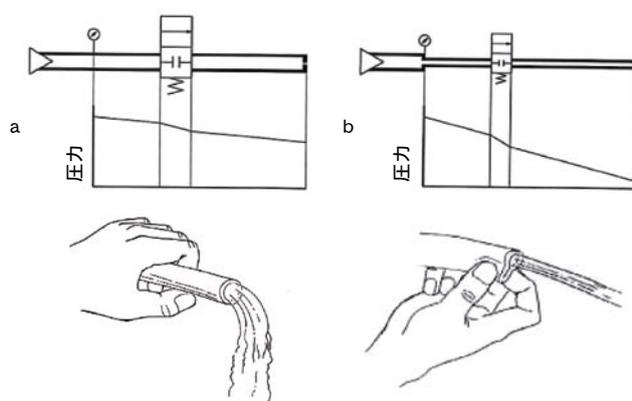


図9 出口を絞る

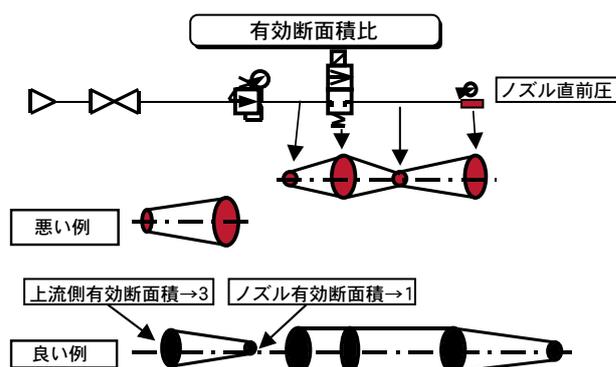


図10 エア回路の悪い例と良い例

ブロー時間についてもむやみやたらに吹けばよいものではなく、エアブローは瞬間的な動的エネルギーを活用するので、平面ならば5秒以下で充分水を飛ばすことができる（図11）。

これらのことからエアブローにおける4つのキーワードを設定し、これらを元に設備の改善を実施した。

- (1) 絞り 出口でギュッと
- (2) 圧力 臨界速度
- (3) 時間 衝突エネルギー
- (4) 距離 高速領域

評価方法として下に示す流量計算式を使い改善前後の評価を行うようにした。金額換算は、エア1m<sup>3</sup>当たり3円とした。

$$Q=0.111 \times S \times (P + 0.1033) \times T$$

Q: エア流量 (m<sup>3</sup>)

S: ノズル断面積 (mm<sup>2</sup>)

P: レギュレータ圧力 (MPa)

T: 時間 (min)

例えば、φ2mmノズルでレギュレータ圧0.2MPaの場合、1分間のエア流量は、

$$Q=0.111 \times 3.14 \times (0.2+0.1033) \times 1=0.106$$

となる。また、これを金額換算すると0.318円となる。

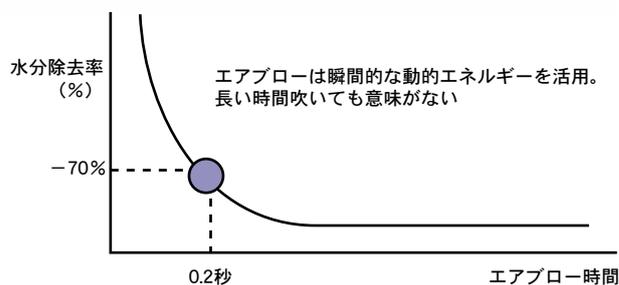


図11 エアブロー時間と水分除去率

## 6 改善事例と結果

図12に改善事例を示す。この設備は洗浄とブローノズルを共用している設備で、一見シンプルで良さそうな気がするが4mmパイプが24個ついている。又レギュレータも無く圧損を起こして0.5MPaの圧力、ブロー時間は80秒である。先の流量計算で計算すると1台当たり27m<sup>3</sup>も使用している。これを改造し専用ブロー回路を設け、φ2mmノズルを取り付け、レギュレータを設置し0.3MPaに圧力調整し、ブロー時間についてはワークの窪み等を考慮し50秒に設定した。

結果改善後の流量は、1m<sup>3</sup>になった金額換算すると台当たり約78円の削減になる。

圧力損失が無くなった分水切り品質も向上した。

年間効果は、電力使用量11万kW、CO<sub>2</sub>排出量（炭素換算）4t、電力料230万円の削減となった。

このような改善を袋井工場2号館にある洗浄機全16台（当時）を約8ヶ月かけて実施した。机上ではこれでコンプレッサ電力が激減すると思われたが、肝心のコンプレッサ電力は思った程下らない。我々のやって来た事は無駄だったのか？なぜだろう？諦めず、再度冷静に検討してみると「改善した程には供給量が削減されていない」事に気付いた。

超音波エア流量計で供給量と部署毎の消費最大値等を調べた。すると、最大でも30m<sup>3</sup>/minあればよい消費側に対し、2倍の60m<sup>3</sup>/minで供給を行っていた事が判明した。完全な過剰供給である。

そこで上流側（供給側）のコンプレッサの制御を考えるとした。

コンプレッサの運転制御を見直してみると、やはり安全に安全を重ねたような大雑把な設定で無駄な運転方法のようだった。早速各コンプレッサの運転分担の詳細検討を実施した。

検討項目は、能力と制御圧、電力と運転時間、運転のパターン等である。完全な過剰供給であるそれらを徹底的に見直して、次のような改善案を設定し実施した。

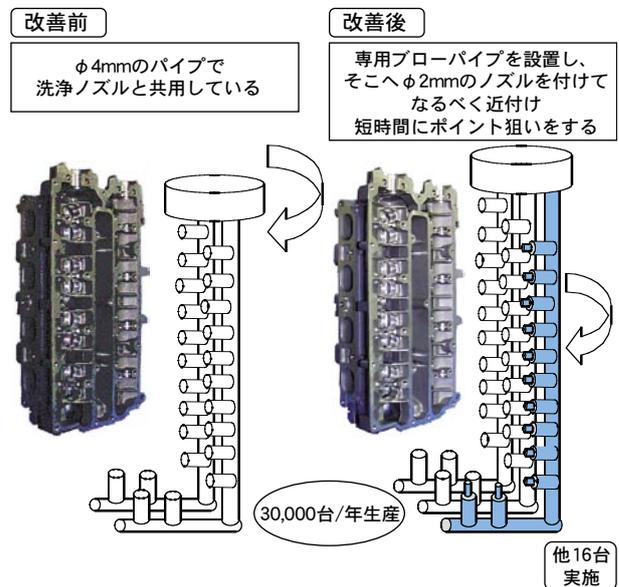


図12 改善事例

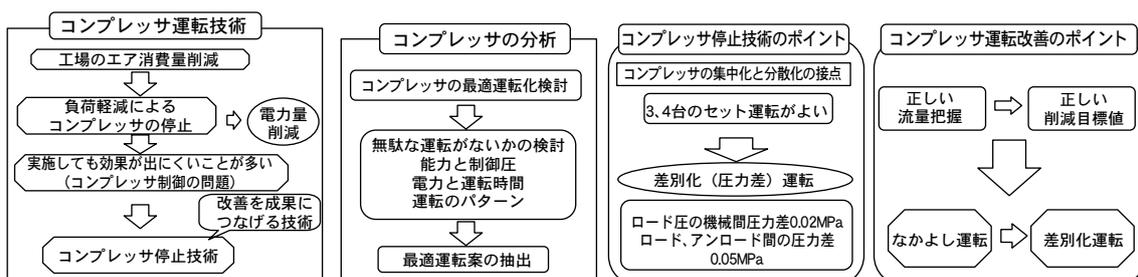


図13 圧縮機運転改善

各コンプレッサを役割分担させるように、それぞれまちまちだった各コンプレッサの圧力設定をベース機 100kW、サブ機 100kW、非常用機 300kW と設定をし直した。それに伴い細かく圧力設定ができるように、デジタル圧力スイッチを設置した。

これにより常時運転しているメイン機をフルロードで常に最大能力で運転させ、それでも足りないようならば、サブ機で運転させるようにした。非常時等でどうしても圧力が不足の場合のみ、非常機を運転させるシステムに変更した（図 14）。

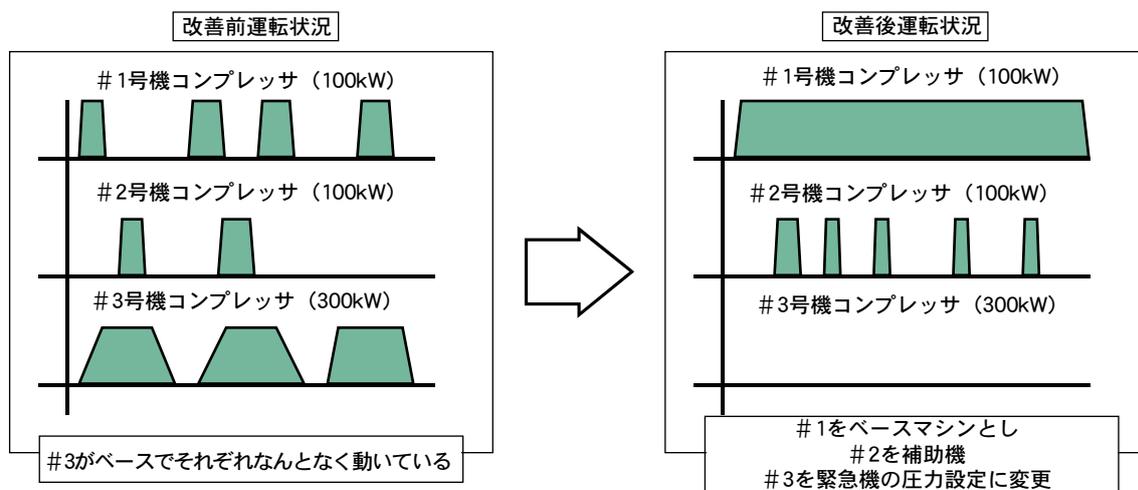


図 14

大雑把な設定の「仲良し運転」を個々に細かく役割設定した「差別化運転」に変更したのである。これにより、いままでほぼメインで運転していた 300kW がほとんど動かなくなった。電力実績を見ても当初の思惑通りコンプレッサ電力が下がってきた。

図 15 は 1996 年から 1999 年 5 月迄のコンプレッサの総電力料金と生産量である。1998 年度の実績は増加しているにもかかわらず電力料金は抑えられていることがわかる。改善を重ねることでピーク時、電力使用量 120 万 kW、CO<sub>2</sub> 排出量（炭素換算）46t、電力料 2,400 万円が、電力使用量 60 万 kW、CO<sub>2</sub> 排出量（炭素換算）23t、電力料 1,200 万円に半減した（図 15）。1999 年以降もエア漏れの撲滅や新規導入設備への改善やラインエア供給口にシャットバルブを設け非稼働時の無駄を防ぐなどの対策を着実に実行している。



図 15 コンプレッサ電力料金と生産量（ヘッドシリンダのみ）の推移

## 7 おわりに

工場エアでのエアブローを電気式のプロワーに極力置き換え、コンプレッサの負荷を減らしていきラインのエア漏れを徹底的に撲滅し、ベビコンプレッサのみでラインを稼働することが私の夢である。

工場エアのみならず流体に関する省エネは消費側だけでなく、供給側まで溯るという広い視野での改善が重要だと思う。今回の活動で省エネに特効薬は無く、地道な調査や分析を実施し、無駄を徹底的に省くという事柄の大切さと、局所から大局へと柔軟な思考での改善が必要だという事がわかってきた。

エアの省エネ活動について大まかな紹介をしたが、紹介しきれなかった部分もまだあるので、興味のある方は袋井工場お立ち寄りの際には是非御覧いただきたい。この記事を参考に、他工場も展開して欲しいと思う。省エネはやり方で儲かるものだと思う。

最後に一休禅師の<道>を記して本稿を終わる。

この道を往けば、どうなるものか。危ぶむなかれ。危ぶめば道は無し。踏み出せば、その一步が道となり、その一步が道となる。迷わず往けよ。往けば、分かる。

### ■著者



岡田 哲郎