

## 調査・研究報告書の要約

書名	平成20年度空気圧エネルギー評価の標準化と省エネルギー化への応用に関する調査研究報告書				
発行機関名	社団法人 日本機械工業連合会・社団法人 日本フルードパワー工業会				
発行年月	平成21年3月	頁数	104頁	判型	A4

## [目次]

序 (会長 金井 務)

はしがき (会長 小澤 忠彦)

事業運営組織

調査研究の概要

1. 事業の背景と目的

2. 事業の内容

第1章 空気圧パワーの計測と解析・評価

1.1 生産現場における空気圧パワーの計測

1.2 空気圧シリンダの APM による評価 空気圧シリンダの APM による評価

第2章 工業会規格の審議・作成

2.1 目的と必要性

2.2 工業会規格 空気圧-空気圧エネルギーの表示方法

2.3 利用方法

第3章 省エネルギーに関するアンケート調査

3.1 アンケート調査票

3.2 調査結果

第4章 文献・資料収集

4.1 中国タイヤ工場の省エネ改善事例

4.2 エアブローシステムの簡易設計計算法

おわりに

## [要 約]

1997年京都会議以来、“改正省エネ法”の施行や環境税の導入などの背景下で、全国範囲で省エネルギー活動が活発に行われてきており、様々な分野で各々の省エネルギー技術が検討されつつある。また、環境問題への対応を強く指摘したアル・ゴア元副大統領に2008年のノーベル平和賞が贈られ、今後ますます省エネと環境問題に焦点が当てられると思われる。特にこのような背景の下で、ファクトリーオートメーションで多くのエネルギーを消費している空気圧システムは、省エネルギー化を迫られている。

当工業会では、社団法人日本機械工業連合会より委託を受け、平成19年5月より、2年計画で「空気圧エネルギー評価の標準化と省エネルギー化への応用に関する調査研究」を実施した。普遍的・統合的な空気圧省エネルギー評価手段を確立し、空気圧パワーの測定方法の確立及び計算方法を団体規格として制定することにより、効率の良い機器・システムが優先的に選定され、競合による省エネ活動が促進されるための指針を空気圧機器・システムの製造・供給業者及び使用者に提示することを目的として調査研究事業を行った。

空気圧システム内のエネルギーは、外界からの熱移動の状況により表現法が統一されていないことから、空気圧システムの省エネルギー対策の比較可能な評価を困難にしており、これは競合による省エネルギー化促進の大きなネックとなっている。省エネルギー法の「エネルギー使用の合理化に関する判断の基準」では、空気圧システム内の空気圧エネルギー量は、系の熱平衡状態における有効エネルギー、すなわちエクセルギーを基準とするのが、望ましいとしその導入を推奨している。2年目となる20年度では、19年度に開発・製作したエクセルギーを計測する「空気圧パワーメータ」を用いていくつかにフィールドテストを実施し、「空気圧パワーメータ」使用の妥当性や効果について検証している。

## 第1章 空気圧パワーの計測と解析・評価

### 1.1 生産現場における空気圧パワーの計測

#### (1) 実施計画

本項では、実際の製造現場における空気圧設備を対象とし、現状の空気圧エネルギーの排出量、使用効率などを計測することを目的とする。また、得られた計測結果から、省エネルギーレベル改善となるような手法を検討し、可能であればその結果を反映させ、現状との比較を行う。試験対象として、まず複数の空気圧機器が使用されている製造装置の空気圧パワーの計測、結果の考察を行う。次いで製造現場での空気消費のうち大きな割合を占めているエアブローに着目し、使用条件を変更して、消費流量、空気圧パワーの計測を行う。

## (2) フィールドテスト結果 1

### 小型電磁弁組立装置製造装置における空気圧パワーの計測

#### ① 試験概要

本試験では、空気圧メータを用いて各装置供給側の圧力、流量、エアパワーの瞬時値を計測する。条件として供給圧力を数種類変更して、装置 1 サイクルあたりの消費エネルギーを計測する。

#### ② 試験結果

- ・ 装置への供給圧力を下げると装置全体の消費エネルギーは減少し、逆に上げると消費エネルギーは増加する。
- ・ シリンダなど供給圧力で直接駆動している空気圧機器は、供給圧力を直接調整することにより、空気の消費エネルギーを容易にコントロールすることが可能である。
- ・ ブローなど機器直前に、レギュレータで 1 段圧力を下げて使用している場合は元圧の変更だけでは消費エネルギーは変化しなかった。これらの消費エネルギーを減らすためには、最下流のレギュレータを調整する必要がある。
- ・ 圧縮空気のもつエネルギーを空気圧メータを用いて計測することを可能とし、圧縮機のエネルギー管理に有効であることを確認した。

## (3) フィールドテスト結果 2

### エアブローの消費エネルギー計測

#### ① 試験概要

本試験では、製造現場における主要空気圧消費源であるエアブローを対象とし、圧力、配管系統の違いにおける空気圧エネルギーの排出量を計測することを目的とする。試験では、空気圧メータを用いてエアブローの圧力、流量、エアパワーの瞬時値を計測する。条件として供給圧力及び配管長さを数種類変更する。

#### ② 試験結果

- ・ 供給圧力を下げると流量、エアパワー共に大きく下がることがわかる。よって必要流量に十分な余裕がある場合は、圧力を下げるにより容易に消費エネルギーを下げるができると言える。
- ・ 同じ供給圧力をノズルに与えていてもノズルまでの配管が長いと末端でのエアパワーが低下していることがわかる。これはチューブによる圧力損失が原因であり、配管を長くする必要がある場合は、チューブ内径を大きくするなどしてできるだけ損失を少なくしたほうが良いことがこの結果からわかる。

## 1.2 空気圧シリンダの APM による評価 空気圧シリンダの APM による評価

## 空気圧シリンダの空気圧メータによる評価

(1) 空気圧シリンダは手軽に使える駆動機器としてF Aなどに幅広く利用されている。電動モータと比べ、搬送に多い往復直線運動が容易に得られるとともに、速度制御弁を調節するだけで安定した速度制御をメータアウト回路で簡単にできることが大きな特徴である。現在空気圧シリンダは、工業分野において PTP (Point To Point) 搬送の代表的な存在となっている。この数十年、空気圧技術が発展してきたのは空気圧シリンダの普及によるといっても過言ではないだろう。しかし、従来からエネルギーを計測する手段が欠けていたため、シリンダの消費エネルギーを計測・評価する報告はほとんど見られないようである。そこで、本報告では、空気圧メータを用いてメータイン回路とメータアウト回路の消費エネルギーを実験によって測定し比較を行う。

### (2)速度制御回路

空気圧シリンダの速度制御にはニードル構造の可変絞り弁とチェック弁の機能を併せもった速度制御弁が一般に使われる。こうした駆動回路は速度制御弁を用いて排気流量か給気流量を調整することによってメータアウト回路とメータイン回路に大別できる。

メータイン回路では給気流量を調整してシリンダ速度を制御する方式であり、排気流量を調整するメータアウト回路と比べ同じ供給圧力で同じ負荷を駆動する場合にメータインの方は機器が小型化でき、消費空気量が少ないなどの利点を有する。しかしながら、駆動回路はメータイン回路よりもメータアウト回路のほうが主流となっている。各空気圧機器メーカーは「特別な場合を除いてメータアウト回路を使用する」と推薦している。この大きな理由は速度制御の容易性と安定性にあると考えられる。その容易性とは、速度が速度制御弁の開度に比例する性質をもつため速度の設定が容易にできるからであり、安定性とは、収束速度が負荷によらず負荷変動があっても速度が常に所定の速度に収束するからである。また、メータイン回路と比べメータアウト回路は次の二つのメリットもある。まずは作動初期に背圧があるため始動加速度が小さくメータイン回路のような飛び出しがない。次は作動中に排気側の圧力が一定の値に保たれるため終端部にあるクッションの能力を十分に引き出せる。

### (3) 消費エネルギーの評価実験

シリンダは縦置きとなりピストンの先端に負荷を取り付ける。シリンダの排気側に直径の 0.4[mm]オリフィスがあり、給気側は直接に減圧弁に接続される。C と b 値はそれぞれ約 0.04[dm<sup>3</sup>/(s・bar)]と 0.5 である。また、供給側に瞬時流量と瞬時エアパワーを計測可能な空気圧メータ (APM) を用いて消費エネルギーを測定する。実験開始の前では、ピストンが下の位置にあり、給気室が大気圧力、排気室が供給圧力の状態にある。その後、電

磁弁を開き実験を開始する。減圧弁を調節することによって供給圧を変えて実験を行った。使用した負荷は 5kg と 16kg となる。シリンダ(MBF 40-200、 SMC Co. Ltd)は内径 φ40[mm]、ストローク 200[mm]のものである。

## 第2章 工業会規格の審議・作成

### 2.1 目的と必要性

空気圧システム業界内外での普及の基礎とするため、エクセルギーによるエネルギー評価方法の定義及び計算方法などの基本部分を、本調査研の内容を反映させた上で（社）フルードパワー工業会規格 JFPS 2018:2008 空気圧－空気圧エネルギーの表示方法として制定した。

### 2.2 工業会規格 空気圧－空気圧エネルギーの表示方法

#### (1) 適用範囲

この規格は、一般産業用空気圧システムを流れる空気圧エネルギー測定方法及び計算方法について規定する。特に、この規格は、空気圧の省エネルギー活動における評価に利用することを意図している。

#### (2) 空気圧エネルギーの表示

空気圧システムを通過する流体エネルギーの表示は等温空気動力で表す。なお、空気圧システムに空気圧縮機が含まれる場合には、この部分の流体エネルギーのみ断熱空気動力で表す。

#### (3) 等温空気動力の計算式

空気圧システム内のある位置における等温空気動力の計算は、次による。

$$P_i = p Q \log_e(p / p_o) = p_o Q_o \{\log_e(p / p_o)\} (T / T_o)$$

ここに、  $P_i$  : 等温空気動力 (kW)

$Q$  : 体積空気流量 (L/s)

$p$  : 空気の圧力 (MPa,abs)

$T$  : 空気の絶対温度 (K)

$Q_o$  : 標準参考空気 (20°C,100 kPa,abs, 相対湿度 65 %)の状態に換算した体積空気流量(L/s,ANR)

$p_o$  : 標準参考空気の絶対圧力 (=0.1 MPa)

$T_o$  : 標準参考空気の絶対温度 (=293 K)

#### (4) 等温空気動力による効率計算式

空気圧システムのエネルギー変換効率の計算は、次による。

$$\eta = E / (P_{i1} - P_{i2})$$

ここに、 $\eta$  : 空気圧アクチュエータの効率

$E$  : 空気圧アクチュエータ出力 (kW)

$$P_{i1} = p_0 Q_{o1} \{\log_e(p_1 / p_0)\} (T_1 / T_0)$$

$$P_{i2} = p_0 Q_{o2} \{\log_e(p_2 / p_0)\} (T_2 / T_0)$$

ここに、添え字<sub>1</sub> : 入口

添え字<sub>2</sub> : 出口

## 2.3 利用方法

本規格の利用方法としては以下に示す参考に供す。

- (1) 圧縮機吐出口値／圧縮機軸動力 (定常値)
- (2) 圧縮機吐出配管入口値－出口値 (定常値)
- (3) 温度変化・漏れのない配管入口値－出口値 (定常値)
- (4) 漏れのない機器の入口値－出口値 (定常値)
- (5) アクチュエータ仕事／駆動電磁弁の入口値 (1 サイクル積算値)
- (6) アクチュエータ駆動電磁弁の出口値 (1 サイクル積算値)
- (7) アクチュエータ 1 サイクル仕事／{(5)－(6)}
- (8) エアブローの機械的仕事／エアブローノズル入口値 (定常値)
- (9) エアブローノズル出口の運動エネルギー／エアブローノズル入口値 (定常値)

## 第3章 省エネルギーに関するアンケート調査

### 3.1 アンケート調査票

#### (1) 一般製造業向け調査票

平成 20 年度のアンケート調査では、

- A. 現状の空気圧設備の省エネルギー化の動向
- B. 省エネルギー化の基本指針である昨年改正された省エネルギー法の判断基準に定められた項目についての空気圧設備の対応状況
- C. 業種によっては最も多く空気を消費する要素となっている事例も多く、また、きわめて多様な形態で利用されることから、情報が不十分で、多くの場合現場での効果を見ながらのその調整・管理が行われているエアブロー (空気の噴流による作業) の省エネルギー

について、前回より、詳細にかつわかりやすく質問し、この方面の問題点をさらに明確にすることを目論んだ。

## (2) 歯車加工業種向け調査票

(社)日本歯車工業会の協力を得て、特に空気の使用比率の高い加工機の例として歯車機械(ホブ盤)を対象にアンケートを行った。また、ワークの冷却用途におけるエアブローとクーラントの省エネ・省資源に関する差異についてもアンケートを実施した。

### 3.2 調査結果

アンケートの各項目に対する調査結果は表・グラフにより表示し個々の項目ごとの分析を加えた。

#### 3.2.1 一般製造業向け調査結果

##### A. 現状の空気圧設備の省エネルギー化の動向

- ・ 現在の省エネルギー化活動のベースとしては、省エネルギー法、ISO 14001(環境 ISO)、CO<sub>2</sub> 排出削減、コスト低減など、現在対応が要求されている省エネルギー化のための規格・法規及びコスト低減などの推進指標については、ほぼ均等に配慮されている。
- ・ 現在の省エネルギー評価基準としては、圧縮機駆動電動機の消費電力(31.3%)、圧縮機の空気吐出量(23.7%)、空気漏れ(23.7%)、個々の空気圧システムの空気消費量(21.4%)の順の回答となった。
- ・ 現状の空気圧縮設備の電力消費率は、事業所(工場)の全電力消費の平均16.2%(回答平均)で、平成6年度のアンケート調査での回答の中心は15~20%と大きな変動は見られない。
- ・ 圧縮空気の用途ごとの消費順位は、クランプ・搬送などのアクチュエータ(作動機器)(40%)、エアブロー(大気中での空気噴流による仕事)(33%)、真空エジェクタ(真空発生装置)(10%)で、平成6年度のアンケートでのアクチュエータ53%、エアブロー28%、漏れ・雑消費11.5%と比べ、最近いわれているエアブロー消費増加傾向と一致する結果となった。
- ・ これからの省エネルギー化推進にもっとも関係すると思われる機器として、空気圧縮機、ブローノズル/ブローシステム、配管/継手(漏れ、圧損)を挙げ、これらで回答数の84%を占めた。
- ・ これからの空気圧機器/システム選定に当たって重要と思われる指標として、エネルギー変換効率(省エネルギー)とコスト(設備、ランニング)が等しく計71%を占め、次いで、CO<sub>2</sub>排出量、リスクアセスメント(機械安全)が挙げられた。

##### B. 省エネルギー法の指針に対する対応

回答記入事業所の85%がエネルギー管理指定工場で、本アンケート結果は、おもにそのような事業者における状況を示している。

- 空気圧設備全体又は圧縮機の管理標準の中で省エネ管理を行うとする回答が合わせて70%、省エネ管理規定なしが19%、空気圧システム独自に省エネ管理する回答が11%となった。空気圧システム独自に省エネ管理されている事例は少ない。
- 事業所ごとにエネルギー消費年平均1%以上の低減目標に対して、空気圧設備の本年度予測は、達成可31%、不可11%に対し、空気圧設備だけでは評価できないとするものが57%で過半を占め、事業所全体の目標達成の方が重要視されている。
- 複数の空気圧縮機の稼働台数の調整及び負荷の適正配分については、大半が稼働率及び稼働圧縮機配分自動制御システムを設備している。
- 負荷に応じた運転制御を行うことができるようにするためのインバータ回転数制御装置は、少なくとも主要な圧縮機の一部設置されており、他を台数制御とする方式が過半を占めている。

このように、空気源（圧縮機）関連では省エネルギー法の指針にそって設備が更新されているが、空気を消費する空気圧システムでは、使用法によるアクチュエータ効率、漏れ及びブロー空気消費に対して十分な対策がなされていない、特にブロー空気消費については理解度が低く今後の問題を残している。

#### C. 最もエネルギーを消費しているエアブローへの対応

- 物理的には加工面上の液体、固体粉除去のような噴流による機械的仕事の利用が最多で、次いで真空エジェクタのような噴流による他流体・粉体の吸引仕事が多く、用途としては機械清掃などのダスターが最多で、他の用途については多様に分散している。
- エアブローのノズル径の平均=3.56 mm、圧力の平均=0.419 MPaであるが、両者の分布には相関性は見られず、恐らく現場でブロー効果を見ながら設置・調整が行われているため、このような結果になったものと思われる
- エアブローの噴出距離は20 mm～500 mmが78%を占める。平均ノズル径3.56 mmの5.6～140倍に相当し、噴流のコアの近傍から、成長拡大（流速が減り、流量が増大）する範囲まで幅広い流れの状態で使用されていることを示している。

#### 3.2.2 歯車加工業種向け調査結果

ブローの時間的稼働率はポブ盤・研削盤では75%に達し、一般加工機の25%に対しかなり長時間空気を使用している。この分野では潤滑と冷却をエアブロー又はクーラントで行っているが、両者が互いに100%代替することは困難であるのでコスト面

も含め今後その分岐点を明らかにする必要がある。

さらに両者の中間のセミドライエアブローでは、潤滑を微量の切削油、冷却を空気で分担することになるが、状況が複雑になるため今後より高度の分析などが要求されるものと推定される。

#### 第4章 文献・資料収集

本調査研究委員会で報告された空気圧の省エネルギーに係わる研究には次のようなものがある。

##### 4.1 中国タイヤ工場の省エネ改善事例

- (1) 中国では自動車の急速普及及び自動車産業規模の急速拡大にしたがって、タイヤの生産規模も拡大しつつあり、2008年度では全国生産量が5億本を超えた。この数年間、工場の新設が相次ぎ、圧縮空気の消費量が急に伸びていた。しかしながら、膨大な消費量の中に、不適な圧力供給、大きな漏れなど無駄が大きい。

2006年度以来、中国全土では省エネ活動が行われ、タイヤ企業の省エネ意識も高まっており、タイヤ工場を対象にする省エネ活動が報告された。ここでは、北京航空航天大学 SMC 省エネセンターが実施した空気圧省エネ事例を記し、タイヤ工場の省エネ効果が示された。

- (2) 改善策

改善は以下のような四つのステップで行われた。

- a) 省エネ診断：空気圧源から末端設備まで、空気の製造・調質・輸送・消費におけるあらゆる箇所において、調査を行いその合理性を検討する；
- b) 対策検討：供給圧力が低下させられるか、空気流量が削減できるか、使用時間が短縮できるかをめぐって、省エネ対策を検討する；
- c) 対策実施：流量削減、低圧化、圧縮機運転モード最適化の順番で、制定された改善策を順次を実施する；
- d) 日常管理：改善後、フィルタ差圧、漏れ箇所などの点検、圧縮機消費電力量データの定期分析などの日常管理を徹する。

タイヤ工場での改善策は主に次のようなものである。

- a) 従来の一本の供給管路を高圧ライン(0.80MPa、45%流量)と低圧ライン(0.63MPa、55%流量)に分け、管路改造を実施する。エアパワー理論により、圧縮機の消費電力が約6%削減できる。漏れの減少を考えれば、約10%の改善率となる。
- b) 漏れは全体空気消費量の30%前後にあり、リークスキャンナー、リークテスターな

どの有力なツールを活用することにより、効率よく漏れ箇所を見つけて解決する。漏れ対策により少なくとも3割の漏れを止めることが可能である。

- c) 水切りのエアブローを 0.8MPa 圧縮空気から 0.03MPa ブローに切り替え、約 4% の改善率となる。

インバータ制御を導入し、台数制御などにより運転モードを最適化する。この対策の改善率は 5% を超えている。

これらの省エネ改善により、タイヤ生産の所要圧縮機消費電力の原単位は 24% 削減することができ、年間消費電力代に換算すると、およそ 1500 万円を節約した。

#### 4.2 エアブローシステムの簡易設計計算法

(1) 目的 空気の圧縮性を考慮して精度を高め、かつ簡易なブロー流量計算

(2) 簡易設計計算のための仮定

- ・ 回路に付属するバルブの流量特性は、バルブ前後の圧力変動があまり大きくないと仮定して、バルブの有効断面積を配管相当長さに変換し、バルブを配管入口の一部として取り込む。
- ・ ノズルの付いた配管部の流れの運動エネルギーは、エンタルピーの数%であるので、配管流れの膨脹加速による温度変化は無視し等温定常流れとする。この仮定により、管内のレイノズル数=一定、すなわち管摩擦係数=一定としての取扱いを可とする。
- ・ ノズルはチョーク流れで、単純絞りの音速流れの状態にあるものとする。

以上の計算条件設定により、配管を含む回路中で空気が膨脹するエアブローシステムを、設計時点でより明確に把握し、過剰な圧力供給を阻止するための設計方法を可能とした。

2年目となる本調査研究は、19年度に開発、試作したエクセルギーを計測する空気圧パワーメータを用いて、いくつかのフィールドテストを実施し、空気圧パワーメータ使用の妥当性や効果について検討した。また空気圧システム業界内外での普及の基礎とするため、エクセルギーによるエネルギー評価方法の定義及び計算方法などの基本部分を、工業会規格 JFPS 2018:2008 「空気圧－空気圧エネルギーの表示方法」として制定した。



この事業は、競輪の補助金を受けて実施したものです。

<http://ringring-keirin.jp/>

