

## ..... 第2章 .....

# 空気圧の世界

1.	まえがき(空気圧の歴史).....	38
2.	空気圧と自動化.....	38
3.	空気圧機器、システムの特徴.....	39
4.	空気圧システム.....	40
5.	空気圧システムの構成要素.....	40
5.1	空気圧縮機.....	40
5.2	エアドライヤ.....	42
5.3	空気圧フィルタ.....	44
5.4	ルブリケータ.....	46
5.5	空気(圧力・流量・方向)制御弁.....	46
5.5.1	圧力制御弁.....	47
5.5.2	流量制御弁.....	49
5.5.3	方向制御弁.....	50
5.6	空気圧シリンダ.....	52
5.7	その他の空気圧アクチュエータ.....	55
5.8	緩衝器.....	57
5.9	消音器.....	57
5.10	継手・チューブ.....	58
5.11	真空機器.....	59
6.	最近の空気圧要素機器の動向.....	61
6.1	高密度化・小型化.....	61
6.2	多機能化・高精度化・複合化.....	61
6.3	省配線システム.....	61
6.4	環境対応.....	61
7.	研究が進む空気圧の用途.....	62
7.1	非接触搬送.....	62
7.2	空気圧人工筋の応用.....	62
7.3	ラジアルスリット型減圧機構.....	62
7.4	介護用パワーアシストスーツ.....	62

## 1. まえがき (空気圧の歴史)

人類は、太古から空気を上手に生活の中に利用してきましたが、空気に圧力があることを知ったのは、紀元前数百年の大昔のことです。

空気圧を利用した機械として、数学者ヘロンの発明した鍛冶屋などで使う「ふいご」が最初のものでされています。

圧縮空気及び圧縮機械が工・鉱業に利用されるようになったのは、空気の特質の一つである防爆性を利用した鉱山用のさく岩機、空気圧ドリル、空気ハンマ等からと考えられています。

ジェームズ・ワットが蒸気機関を発明したのが18世紀中頃で、これによって産業革命が起こり、蒸気機関車も発明されました。またこれに用いる停止装置として、エアブレーキがサムエル・C・リスタらによって1848年に発明され、これが大いに発達したのは、1869年ウェスチングハウス社が実用としてのエアブレーキを開発してからです。

日本では、鉄道車両全般にエアブレーキが装着されたのが1927年頃であるといわれています。また自動開閉ドアが採用されたのは1927年からで、その時すでに空気圧電磁弁、シリンダ等が本格的に使用されていました。

このようにして始まった空気圧の利用は、比較的近年になってから一般の産業へ浸透し、それまで人が手を掛けてきた“苦労”の多くは、アクチュエータの動きに置き換えられました。さらに人の手・指のような繊細な運動を必要とする各種の仕事も、空気圧を器用に使い分け利用することによって自動化されることが多くなり、省力化のみならず高品質生産のための自動化へと発展しつつあります。

## 2. 空気圧と自動化

自動化システムの制御には、空気圧の他、油圧、

電気及び機械制御等の方式がありますが、この中で空気圧制御は操作性、耐環境性、経済性及び安全性に優れていると位置付けられ、産業界の発展とともに高度に普及してきました。現在では空気圧システムに使用する機器、技術も進歩し、自動化すなわちオートメーションの一翼を応分に担っています。

石油、鉄鋼、化学等の生産プロセスの自動化に始まった空気圧制御システムは、自動車、電気、機械及び食品等のよりメカニカルな分野に移行し、さらに精密なエレクトロニクス産業に代表される先端産業においても必要不可欠なものとして利用されています。また製造業のみならず医療、アミューズメント等の人間生活に関するごく身近な分野にまでも役立っています。

さらに、空気圧システムは産業界の技術革新にも対応し、各種センサーの組み込みによる知覚化、コンピュータ制御による多機能化及び新素材の採用による小型化、高性能化を図った機器及びシステムの開発により、未来を拓く空気圧機器と制御技術を次々生みだしています。特にメカトロニクスという言葉に代表されるような、電子制御との複合化が著しく、空気圧機器のハイテクノロジー化が益々進む時代を迎えています。

加えて、広い意味での自動化、FA：ファクトリーオートメーション及びCIM：コンピュータ統合生産では、原材料の搬入から加工、組立、搬送並びに検査及び工場全体の管理マネジメントまで対象として拡大しますが、空気圧システムはこれらの多くの工程でも利用されると同時に、シリアル伝送等の通信機能インターフェイスとの対応により、工場内での連携にまで可能性を広げています。

このようにオートメーションを代表する空気圧機器、技術はあらゆる産業分野で使用され、原材料産業では、選別装置、搬送装置に、加工産業では搬送、加工、組立、検査及び包装等すべての機械装置へ、第三次産業においては郵送物仕分け、洗車、遊戯施設等に使用され、優れた効果を発揮し活躍しています。

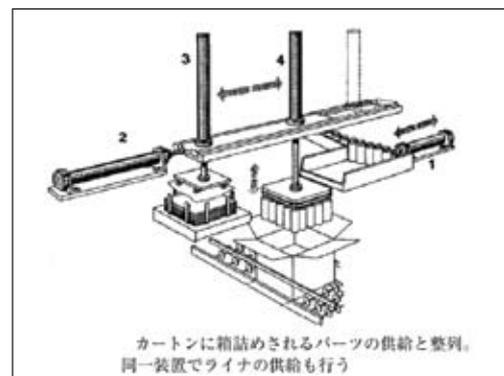
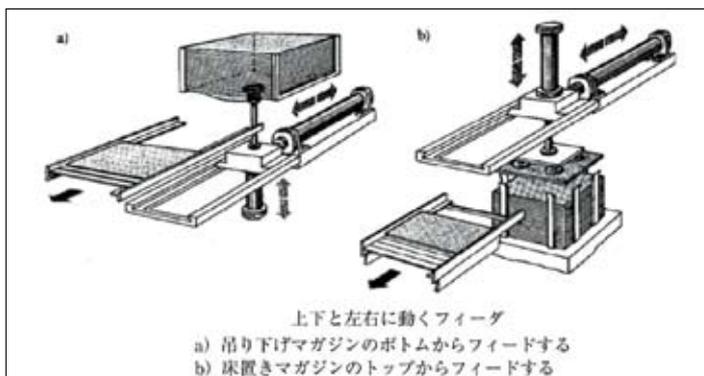
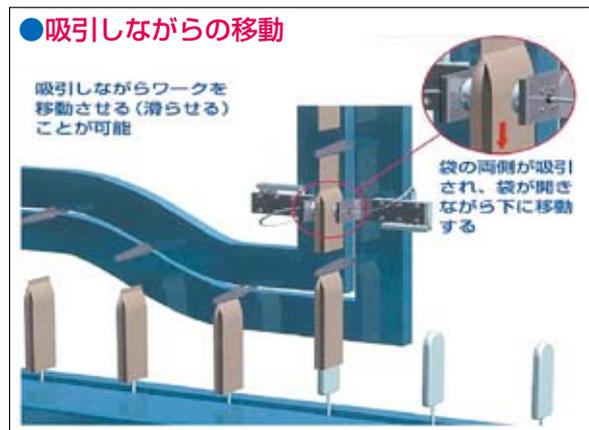
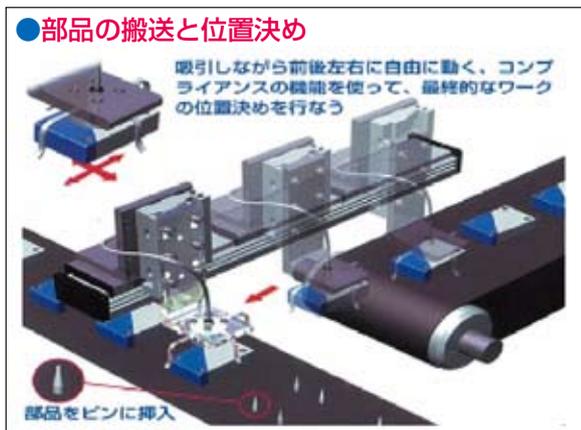
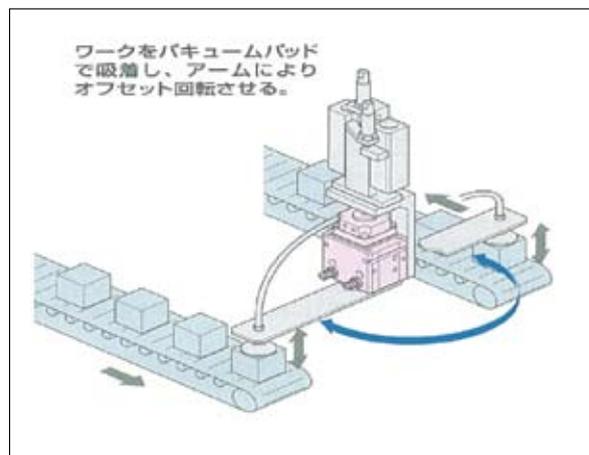
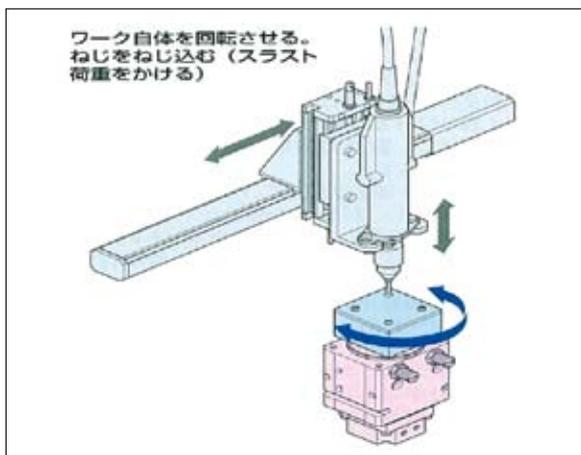
### 3. 空気圧機器、システムの特徴

空気圧を利用した空気圧機器、システムには次のような特徴があります。

- (1) 人間の仕事能力（力、速度、運動形態）に近い仕事に適する。
- (2) 出力の割に軽量であり、機器自体が激しく動き回るような場合でも使用できる。

- (3) 簡単な弁で出力、速度が任意に調節でき、調整が安全、簡便であり、かつ安価に自動化が達成できる。
- (4) 1箇所の圧縮機で集中して圧縮し、多数のアクチュエータに空気を分配できるので、複雑に密集して設置できる。
- (5) 圧力を抜くだけで、安全に機器、配管の脱着等の保守ができる。

#### 空気圧機器の動作例



## 4. 空気圧システム

空気圧機器は電気の変圧器、リレー及びモータ等と同様に機能・機械要素化されたものであり、これらを系統的に組合せたものが空気圧システムである。

また空気圧システムを構成する要素には下記のようなものがあり、これらを自在に組合せることにより、多様な用途に対して適切な自動化を達成することができます。

なお図1には、ごく一般的な空気圧システムを示します。

- (1) 空気圧縮機
- (2) エアドライヤ
- (3) 空気圧フィルタ
- (4) 圧力制御弁（減圧弁、リリーフ弁、安全弁）
- (5) ルブリケータ
- (6) 方向制御弁（切換弁、逆止め弁、シャトル弁）
- (7) 流量制御弁（速度制御弁、絞り弁、急速排気弁）
- (8) 空気圧シリンダ
- (9) その他アクチュエータ（揺動形アクチュエータ、エアハンド）
- (10) 緩衝器

- (11) 消音器
- (12) 配管及び継手

## 5. 空気圧システムの構成要素

### 5.1 空気圧縮機

空気圧を作り出し、圧縮空気発生源となる装置を空気圧縮機またはエアコンプレッサといいます。空気圧縮機は空気圧システムの最初に位置し、電気エネルギーを空気の圧力エネルギーに変換する機器ですが、空気圧 0.1MPa 以上を発生させるものであり、その発生容量により小形・中形・大形に分類されます（表1参照）。また吐出圧力によって低圧・中圧・高圧とも分類されます。

一般的には、0.1～1MPaを発生させるものが多く、また、圧縮機はその機構（圧縮原理）から図2に示すように分類されますが、容積形往復式はレシプロ式に、容積形回転式はスクリュ式に代表され、表2などにより小形でスクロール式、中形～大形で、騒音・燃費・信頼性・メンテナンス性

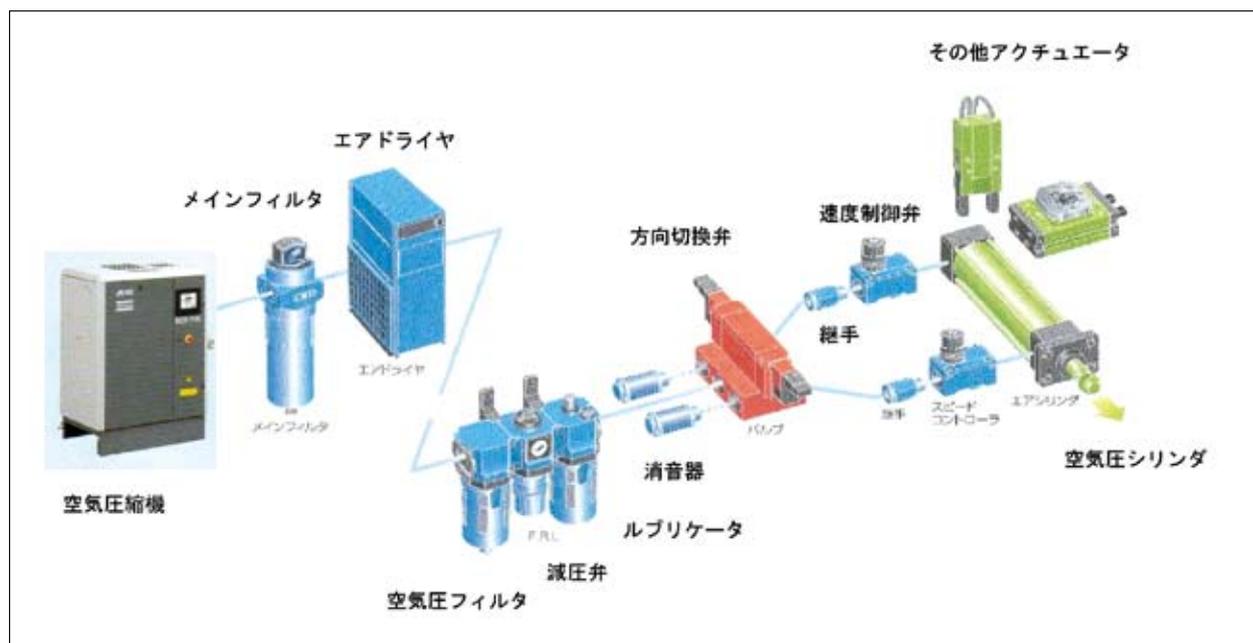


図1 一般的な空気圧システム

などの面から、スクリュ式が多く使用されています。

空気圧縮機により作り出された圧縮空気は、エア機器まで搬送されます。しかし、圧縮空気中には、システム外部からの湿気や粉塵、機器の据付及び修理時に発生するシール材の破片や溶接スケール、

システム内部の水分や潤滑油・錆など様々な汚染物質が含まれています。このような汚染物質は、エア機器本来の性能を妨げるばかりか故障や寿命低下を招くため、除去する必要があります。

表 1 空気圧縮機の発生容量

小形	空冷式で出力は、0.2kW (1/4HP) ~ 7.5kW (10HP)
中形	空冷・水冷式に分かれ、出力は 7.5kW (10HP) ~ 75kW (100HP)
大形	水冷式が中心となり、出力は 75kW (100HP) 以上

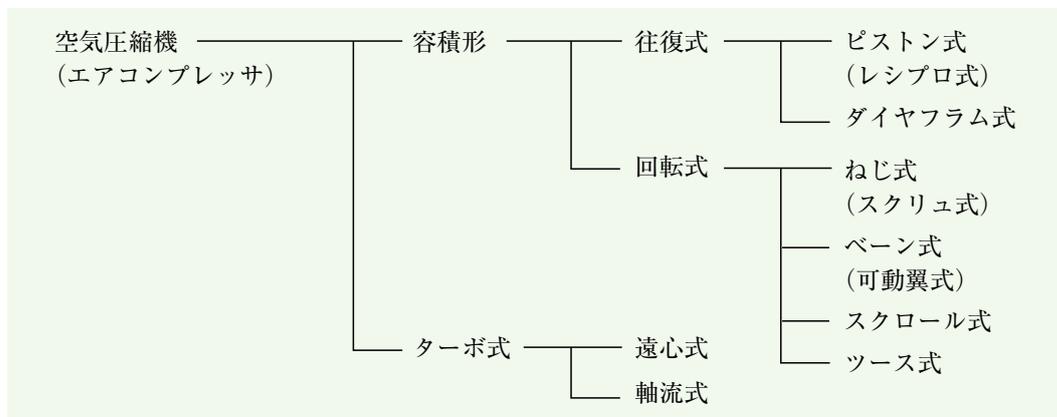


図 2 空気圧縮機の種類

表 2 圧縮方式と特長

圧縮方式	形状	メカニズム	特長
レシプロ		シリンダ内部を往復するピストンの作用で、圧縮室の空間容積を変化させることにより圧縮。	本体吐出にバルブが必要で、構造自体トルク変動が大きく低速回転のため音・振動が大きい。但し最も安価。
スクリュ		オス・メス一対二本のスクリュローターのネジ溝にできる容積変化で圧縮。	工場エアとして最も普及している給油式コンプレッサの機構で、音・振動も小さく中形クラスで最も効率も高い。
スクロール		インボリュート曲線で構成されたラップを180°ずらした状態でかみ合わせ、両ラップに仕切られた空間の容積変化により圧縮。	バルブが不要で最もトルク変動が少なく、音・振動が飛びぬけて小さい。また小形クラスで最も効率が高い。
ダブルツース		オス・メスのローターが互いに非接触で回転し、両ローターとハウジング間に閉じ込められた空間の容積変化により圧縮。	オイルフリー専用本体で、2段圧縮を採用し高い効率と耐久性を実現。

## 5.2 エアドライヤ

エアドライヤとは、圧縮空気中に含まれる水分を除去して乾燥空気を得るための機器です。水分の除去方法により、冷凍式・乾燥剤式・高分子分離膜式などがあります。

### ① 冷凍式エアドライヤ

冷凍式エアドライヤは、圧縮空気を冷凍機によって強制的に冷却し、圧縮空気中に含まれる水蒸気を水滴に置き換えて除去し乾燥させ二次側へ送る装置です。運転費用が安価であり、小型から大型まで様々な分野で使用されています。

#### ● 空気回路

暖かい湿った圧縮空気は、空気平衡器<sup>Ⓐ</sup>（予冷器）において、冷却室<sup>Ⓑ</sup>（エバポレータ）で冷却された圧縮空気によって予冷されます。予冷された圧縮空気は、冷却室<sup>Ⓑ</sup>（エバポレータ）へ導かれ、冷たいフロンガスの気化熱により、加圧露点 $10^{\circ}\text{C}$ （最低 $3^{\circ}\text{C}$ ）まで冷却されます。冷却された圧縮空気中の水蒸気は凝縮し、水滴（ドレン）となって溜まり、ドレン排出器<sup>Ⓒ</sup>によって外部に自動排出されます。冷却室<sup>Ⓑ</sup>で冷やされた圧縮空気は、再び空気平衡器<sup>Ⓐ</sup>（再熱器）に入り、空気入口からの暖かい圧縮空気によって再加熱され、暖かい乾燥空気となって空気出口より二次側へ出ていきます。

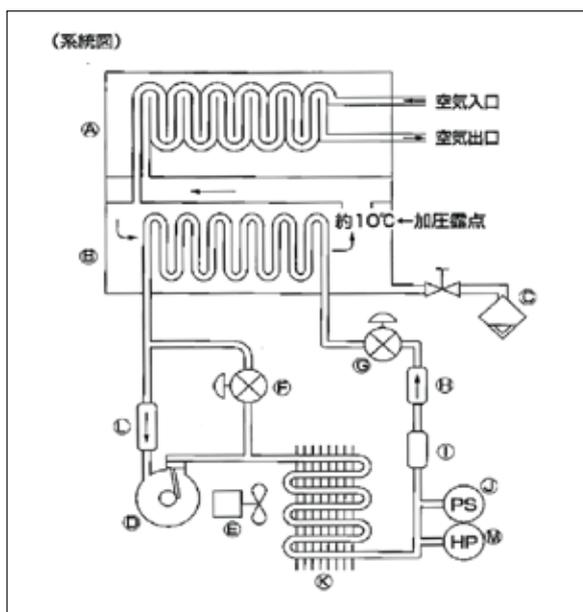


図3 冷凍式エアドライヤの回路



図4 冷凍式エアドライヤ外観

#### ● 冷媒回路

冷凍用圧縮機<sup>Ⓓ</sup>より吐出された高温・高圧のフロンガスは、凝縮器<sup>Ⓚ</sup>へ導かれ、凝縮器冷却ファン<sup>Ⓛ</sup>により周囲温度にて冷却され凝縮し暖かい高圧の液となります。暖かい高圧のフロン液は、フィルタ<sup>Ⓜ</sup>へ導かれ冷媒中のゴミを捕獲し自動膨張弁（又はキャピラリチューブ）<sup>Ⓝ</sup>にて、絞り膨張され所定の低圧・低温の液となって冷却室<sup>Ⓑ</sup>へ導かれます。冷却室へ入った低圧・低温の液は、暖かく湿った圧縮空気と熱交換することにより蒸発し、ガスとなって冷凍用圧縮機へ吸込まれます。容量調整弁<sup>Ⓕ</sup>（ホットガスバイパス弁）は、冷却室における熱負荷が少なくなった時に、冷媒ガスをバイパスし、冷凍用圧縮機の入口（又は冷却器入口）へ戻します。これにより、冷却室へ流れ込む冷媒量が抑えられ、過冷却による凍結を防止します。冷凍圧縮機の吸入圧力が設定圧力以下に下がると自動的に容量調整弁<sup>Ⓕ</sup>（ホットガスバイパス弁）が開き、高温・高圧のガスをバイパスし、負荷のない状態でも冷凍圧縮機を連続運転することができるようになっています。ファンコントロールスイッチ<sup>Ⓛ</sup>は、凝縮器冷却ファンの運転を制御し、凝縮圧力を一定範囲に保つためのものです。

### ② 乾燥剤式エアドライヤ

モレキュラシーブス・活性アルミナなどの吸着剤を用いて、空気圧に含まれる水蒸気を吸着する

もので、大気圧露点が $-30 \sim -72^{\circ}\text{C}$ までの低露点が得られます。これらの乾燥剤式エアドライヤの用途は、半導体の生産ライン・化学薬品の搬送用エア・計装用エアなどに使用されます。

乾燥剤式は、吸着剤の再生方法の違いで加熱により再生をする加熱再生方式と、吸着式エアドライヤから発生した乾燥空気の一部を用いて、湿った吸着剤を再生する非加熱再生方式（ヒートレスドライヤ）に分けられます。

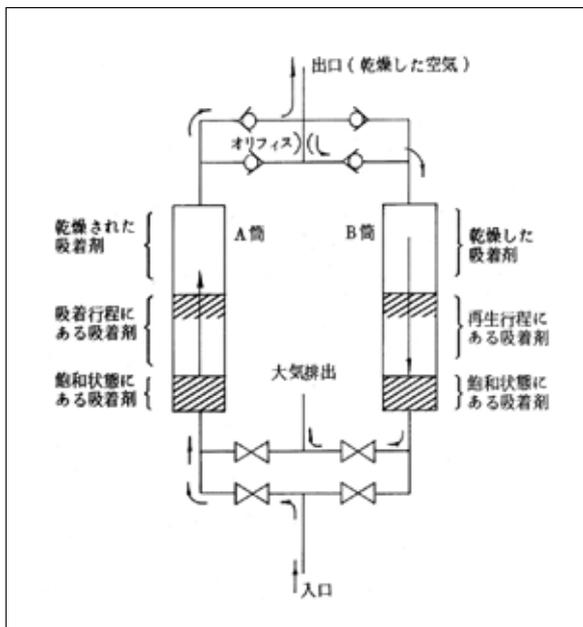


図5 乾燥剤式エアドライヤの回路

#### ●動作説明

このドライヤは、吸着剤がその周囲空気の水蒸気濃度と常に平衡状態になろうとする性質を利用したものです。二つの筒を持ち、乾燥した吸着剤が湿った空気中の水分を吸着する吸着工程と、乾燥空気によって湿った吸着剤が水分を放出する再生工程を交互に繰り返し、装置に入ってきた湿った空気を常に乾燥した空気として装置出口から供給します。入口から入ってきた湿った空気はA筒に入り乾燥した吸着剤により水分が除去され、乾燥空気となって出口から出ていきます。A筒から出た乾燥空気の一部は、オリフィスを通して大気圧に減圧されB筒へ入り湿った吸着剤から水分を取り除き大気へ排出されます。減圧下で吸着剤を再生する理由は、加圧下で乾燥させた空気を大気

圧下に減圧すると超乾燥空気で非常に低い相対湿度になり、再生がよりよく行なわれるためです。一定時間（2～5分）後、空気の流れは逆になり、B筒で吸着、A筒で再生をします。この動作を繰り返し行います。



図6 乾燥剤式エアドライヤ外観

#### ③膜式エアドライヤ

水蒸気を透過しやすく、空気（酸素と窒素）は透過し難いという性質の分離膜（高分子材料）を使用したエアドライヤで、大気圧露点が $-15 \sim -60^{\circ}\text{C}$ までの低露点を得られます。高分子膜式エアドライヤは、駆動部がないため信頼性が高く、電源不要のためノイズの発生がありません。また軽量・コンパクトといった特長があり、精密加工・医療機器・計装用など様々な分野で使用されています。

#### ●動作原理

湿った圧縮空気を高分子膜中空糸内部へ供給すると水蒸気が中空糸の外側へ選択的に浸透・透過し、水分の取り除かれた乾燥空気となって出てきます。

乾燥空気の一部を中空糸の外側にパージすることによって、透過してきた水蒸気は大気中に排出され、連続的に透過除湿が行われます。

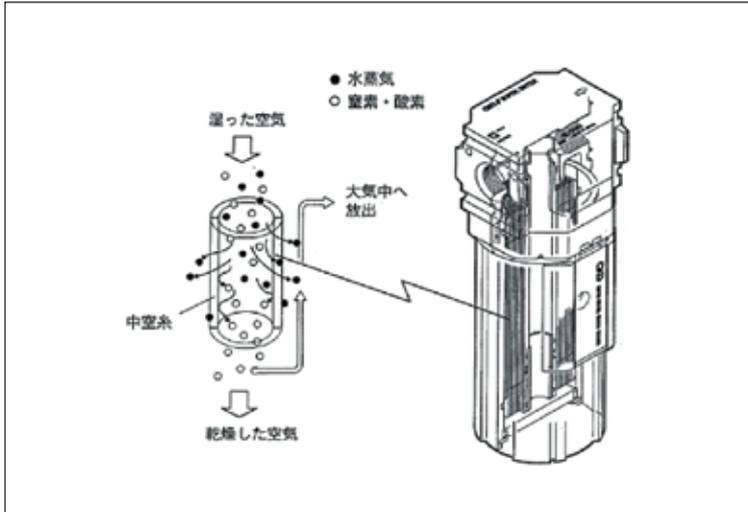


図7 高分子膜式エアドライヤの原理



図8 高分子膜式エアドライヤ外観

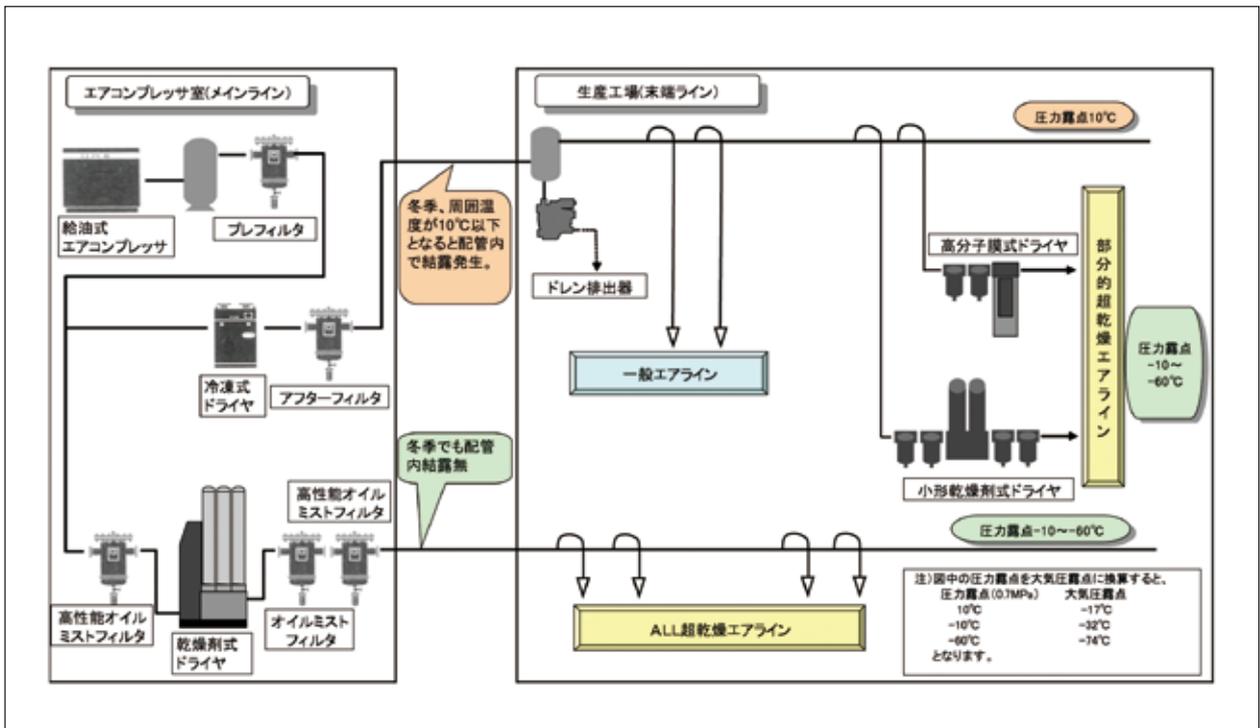


図9 ドライヤの使分け

### 5.3 空気圧フィルタ

#### ①空気圧フィルタ

空気圧フィルタは、空気圧配管内のドレン、ゴミなどを取り除く機器です。空気圧フィルタに入ってきた空気はまず、内蔵しているルーバーディフレクタで旋回運動をし、大きいゴミ、ドレン等をサイクロン効果で分離します。分離できないゴミ

は、更にフィルタエレメントでろ過され、きれいな空気にします (図10)。

空気圧フィルタで分離されたドレンなどは、ボウルの底に溜まります。溜まったドレンは取り付けられた排出器によって排出されます。排出は主に、手で排出器のコックを開けてドレンを排出する手動排出式、ドレンが一定量溜まるとボウル内蔵の自動排出弁が働きドレンを排出する自動排出

式、空気圧を間欠的に消費したときの圧力変化を利用して排出弁を断続的に開閉する差圧排出式の3種類があります。

一般的な空気圧フィルタの選択条件は次のことを考慮し、選択します。

- i) 圧力損失の少ないもの
- ii) ろ過面積の大きいもの
- iii) 水分分離の大きいもの
- iv) エレメントの交換ができるもの

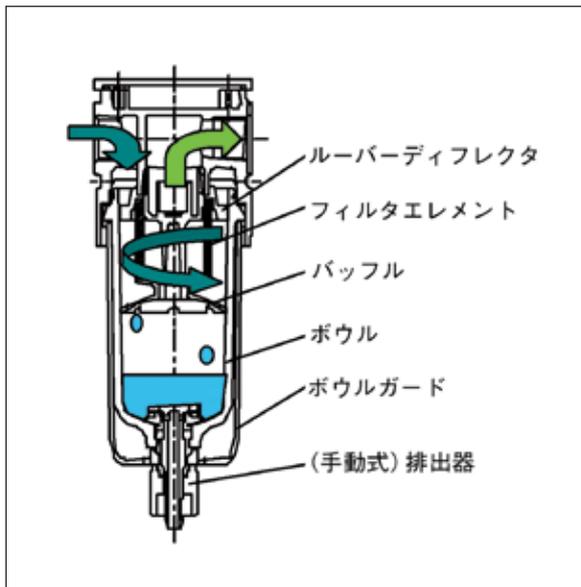


図10 空気圧フィルタの構造

## ② オイルミストフィルタ

オイルミストフィルタは、油分を専用に除去するフィルタエレメント（マントル）を内蔵したものです。タールや油分などのオイルフォグやカーボンは標準のフィルタ（ろ過度 $5\mu\text{m}$ ）での除去は難しいためです。オイルミストフィルタに入った空気がマイクロファイバ層を通過すると、空気中に含まれる $0.01\sim 1.0\mu\text{m}$ の油分粒子（エアロゾル）がマイクロファイバ層に衝突、捕集、凝縮され、油滴化します。さらにプラスチックフォームによって油滴が大型化され、自重によってボウル内に落下します（図11、図12）。

使用用途として、油分の付着を嫌う精密な機器・装置の前や、脱臭フィルタの前に設置されます。

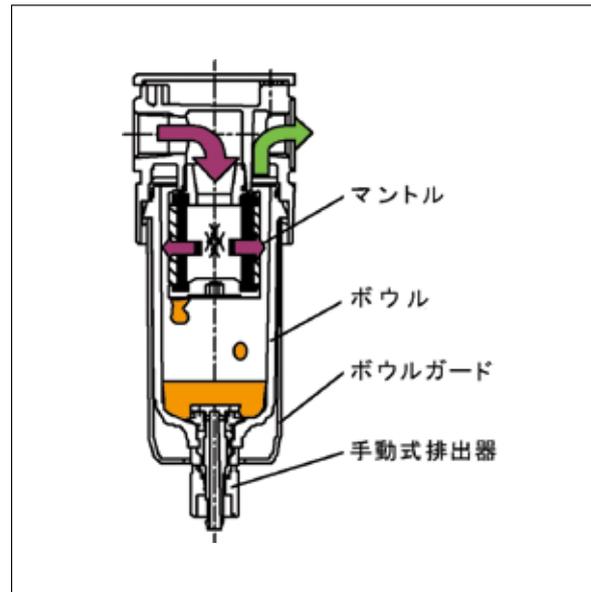


図11 オイルミストフィルタの構造

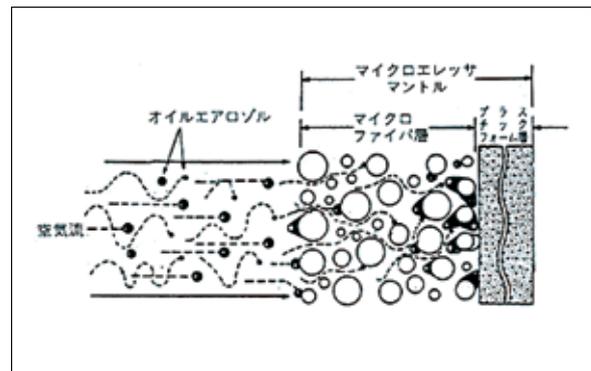


図12 マントルの構造

## ③ 膜式フィルタ

半導体やフラットパネルディスプレイの製造環境であるクリーンルームにも、フィルタが使用されています。静電気除去器へのエア供給、ワークの浮上搬送用のエア供給がその例です（図13）。クリーンルームに使用される機器では、 $0.1\mu\text{m}$ 程度の微小な異物が嫌われるため、平幕式や中空糸膜のエレメントが使用されています。これらの製品は、一般的に禁油仕様のものが使用されます。

中空糸膜とは、直径 $3\text{mm}$ 以下のチューブ上の膜で、膜壁に無数の微小穴を有する多孔質構造です。このため、流体に含まれている微小な異物はここを通過することで除去されます。実際には、この中空糸膜を何本も束ねた中空糸膜の束をフィルタエレメントに使用することで大

きな膜面積を有し、より多くの流量を流すことができます（図14）。



●静電気除去器へのエア供給



●ワークの浮上搬送用のエア供給



図13 中空糸膜フィルタとその用途

## 5.4 ルブリケータ

空気圧シリンダやバルブなどの作動を円滑に、また耐久性を良くするために潤滑用の油を霧状にして空気の流れに自動的に送り込む、空気圧機器への自動給油機器です（図15）。ただし、あらかじめ機器内にグリースを封入し給油を不要にしたものや潤滑剤なしで使用可能な機器もあり、中には給油を併用してもよいものといけないものがあるので、使用には注意が必要です。

ルブリケータには主に、固定オリフィスにより発生した噴霧を供給する固定オリフィス形ルブリケータ、空気流量が変化しても潤滑油を安定的に供給できるようにした可変オリフィス形ルブリケータ、より微粒子の潤滑油を供給できるように

した油霧粒子選別ルブリケータの3種類があります。参考までに可変オリフィス形ルブリケータの、構造図を図15に示します。

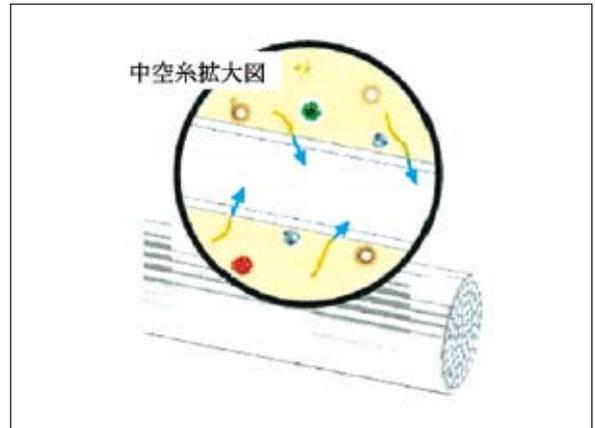


図14 中空糸膜

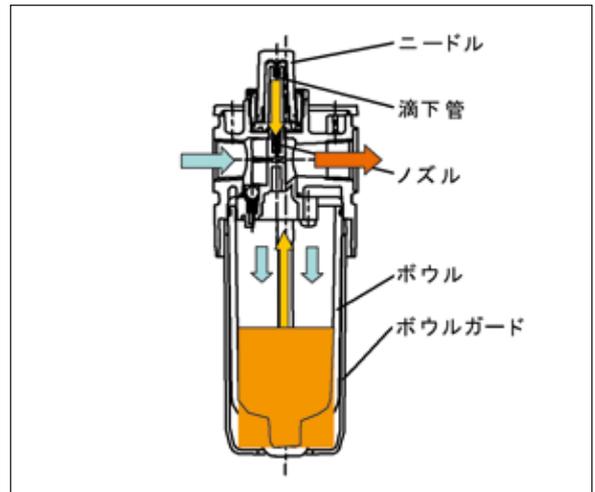


図15 ルブリケータの構造

## 5.5 空気(圧力・流量・方向)制御弁

図16に一般的な空気圧回路を示します。

電気回路などで、電圧  $V$  と電流  $I$  との積  $W = VI$  を電力と称し、 $W$  (ワット) などと表示して、電気パワー (エネルギー) の指標としますが、同じようなことが空気圧回路にもあてはまります。すなわち、

空気圧分野		電気分野
圧力 $P$	≡	電圧 $V$
流量 $Q$	≡	電流 $I$

なるアナロジーを考えると、空気圧回路のパワー (エネルギー) は  $W = PQ \ln \frac{P}{P_a}$  (電気分野では

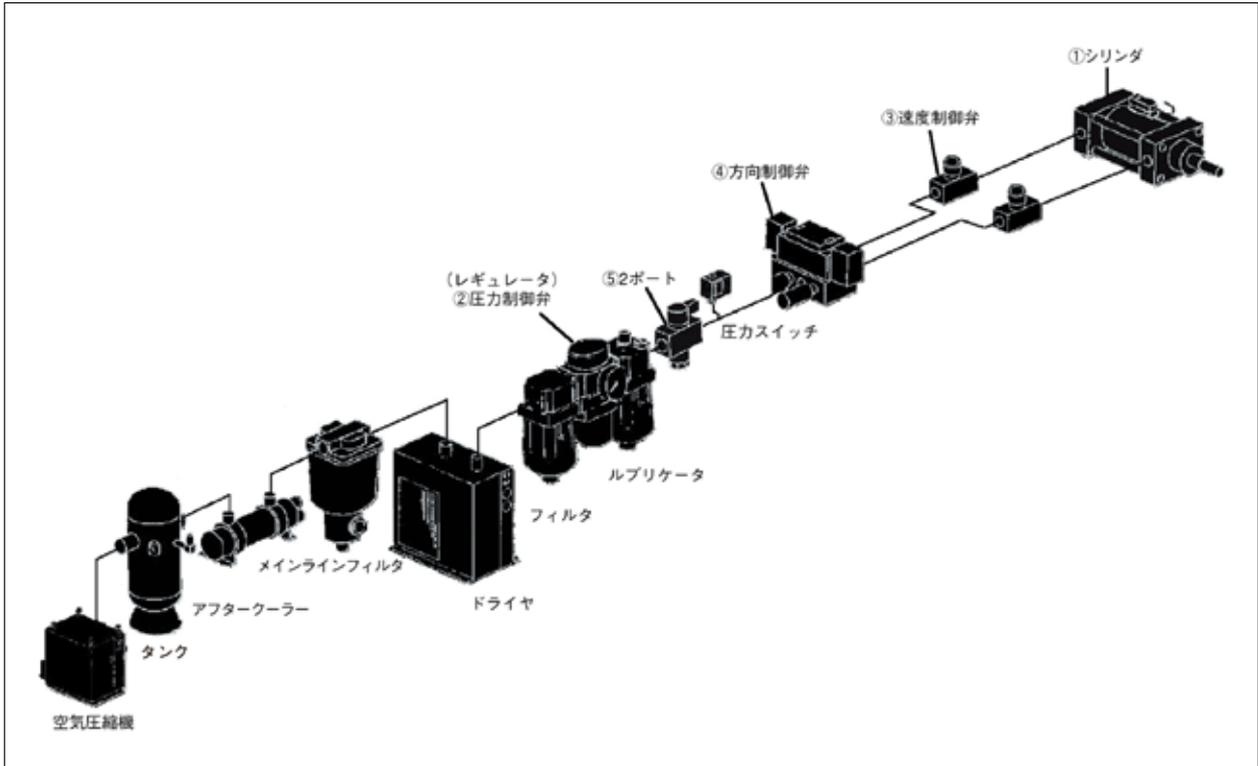


図16 空気圧回路例

W=VI) ということになります。一般の空気圧回路の目的は「仕事をする」ということです。

図16で仕事をするのは、①のシリンダですが、そこに至るまでに圧縮機内の高温多湿・多塵の空気が、種々の機器を経て、室温のドライで清浄な空気に生まれ変わっています。

本章で扱う機器は①シリンダの前に位置する②圧力制御弁（レギュレータ）③速度制御弁（スピードコントローラ又はスピコン）④方向制御弁などです。文字通り、②圧力制御弁で圧力Pを、③速度制御弁で流量Qを、それぞれ決定します。さらに④方向制御弁により供給空気の方向切換が行われ、①複動シリンダの駆動が可能となります。

このように本章で説明する機器類は、駆動機器に与えるエネルギー量（仕事量）を決定する役割を果たします。また⑤2ポート弁は、回路の空気を止めたり流したりする機能を持ち、ON-OFF弁とか遮断弁と呼ばれている2個のポートをもつ弁で、方向制御弁の一種と考えられています。

### 5.5.1 圧力制御弁

図16②圧力制御弁の直前には、「室温の乾いた清浄な空気」が充填されています。しかし、①シリンダに空気を供給するには、圧力が高すぎる場合が多いので、②圧力制御弁で適正な空気圧（用途によって異なりますが、通常の空気圧回路では、0.4～0.5MPaが一般的とされています。）を実現します。

図17に一般的な直動形減圧弁（リリーフ機構付）の断面図を示します。ダイヤフラム下室（二次側）の圧力と弁体下室（一次側）の圧力、弁ばね、調節ばねの力の均合いによりシステムとリリーフ弁シート間及び弁体部の圧力バランスがとれるまで、空気の移動が起こり、二次側の圧力が一定に保たれます。

この減圧弁内の自動圧力調節機構を図18の作動原理図にて詳しく説明します。

(a)は①ハンドルを左いっぱいに戻し、②調節ばねをフリーにした状態で、減圧弁の一次側に空気が充填された状態を示しています。次に(b)に

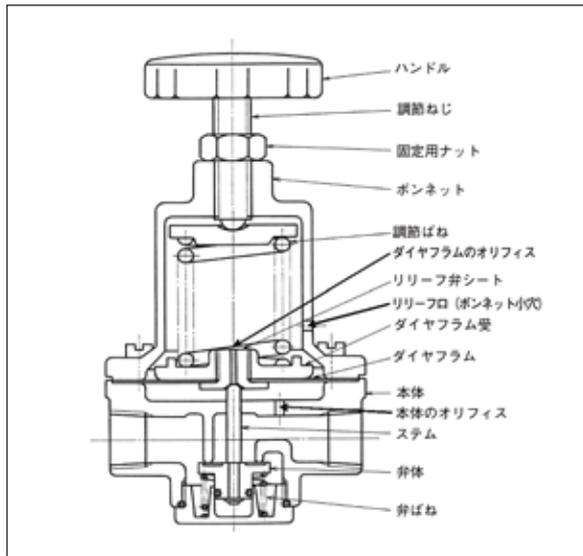


図17 直動形減圧弁（リリーフ機能付き）

示すように①ハンドルを右に回し、②調節ばねを圧縮します。すると、②調節ばね力を受けた④ダイヤフラムは下向きに変形し⑤ステムを介して⑥弁体を押し下げようとします。この力が、③弁ばね力と一次側空気力との和より大きくなると⑥弁体が下方に移動し、一次側の空気が二次側に流入します。

二次側に充填した空気により、④ダイヤフラムの下面に力が働き、やがて (d) のように⑥弁体は閉じます。この (d) の平衡状態をもって減圧弁の調節が完了し、シリンダを駆動する準備が整ったことができます。次にシリンダなどの駆動機器が運転中に空気エネルギーを使用して、減圧弁の二次側の圧力が低下した場合には、減圧弁は

(b) のような状態になり、一次側より二次側へ空気が流れ込み、最終的に (d) のようになり再び平衡状態になります。また逆に、何らかの原因で減圧弁の平衡状態 (d) から二次側の圧力が上昇した場合には、(c) の状態になり、④ダイヤフラムのオリフィスから、(d) の平衡状態に戻るまで、二次側の空気が⑦ボンネット内にリリーフし、更に⑧ボンネットの小穴から大気へ放出します。このように減圧弁には、圧力設定前の状態 (a)、圧力設定後の平衡状態 (d) があり、更に、設定値を下回った場合あるいは上回った場合には、空気圧力とばね力の均合い状態を保つように自動制御され、二次側圧力が一定になるようにしています。以上を踏まえると減圧弁は、二次側（しいては、駆動機器）に一定の圧力を供給することを目的とした自動制御機器として、捉えることができます。ただし、厳密に言うと減圧弁の二次側の圧力調整は、流量を流さない状態で行われるため、実際の設定圧は目標値よりも若干小さな値となります。また、一次側の圧力が変動すると二次側の圧力もそれに伴わずかに変動する特性をもっています。

これまで、圧力制御弁のうちもっとも基本的で、広く普及している直動形減圧弁（リリーフ機構付）についてその作動原理を中心に見てきましたが、この他に、より精度を高めたパイロット形減圧弁（精密式）、安全弁（機器や管などの破壊を防止するために、回路が何らかの原因で最高圧力以上になると排気する機能を有する弁）及びリリーフ弁（空気圧回路内の圧力を設定値に保持するために、

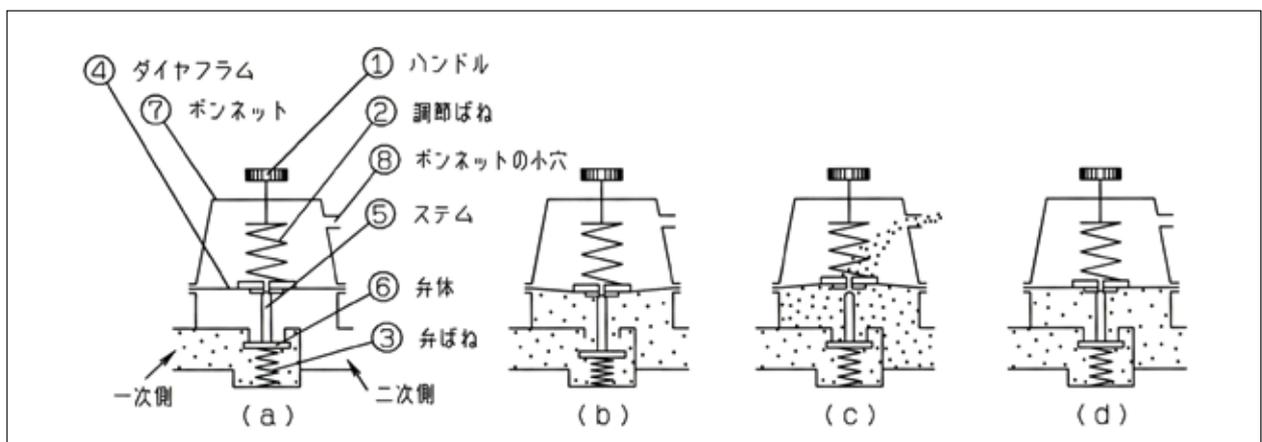


図18 直動形減圧弁の作動原理

空気を排気する機能を有する弁) などがあります。更に、電気入力信号（一般には電圧または電流）に比例した圧力を得る比例制御弁や、ライン圧以上の圧力が必要になった場合に使用する増圧弁も圧力制御弁の一種ということもできます。

総じて、圧力制御弁は、駆動機器に伝達する空気圧エネルギー PQ のうちの P すなわち圧力を決定する機器であるという認識を持つことが重要です。

### 5.5.2 流量制御弁

管路両端の圧力差が等しい場合、管路径（管路の有効断面積）の大きい方が、流量も多いことが知られていますが、この原理を利用して、管路の一部分を絞ることにより、流量を制御することができます。たとえば図 19 に示す可変絞り弁を管路の途中に設置して、絞り調節ねじにより、絞り弁の有効断面積を変化させ流量を制御します。

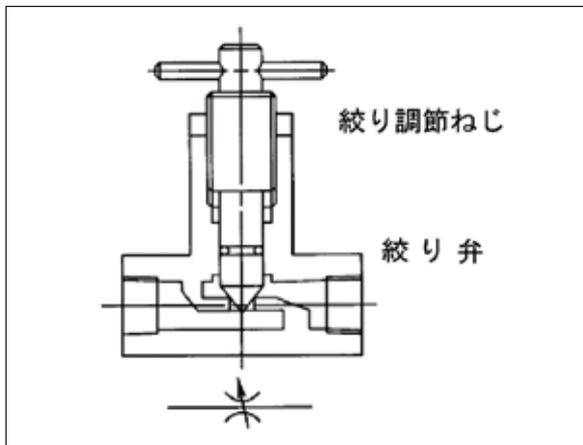


図 19 可変絞り弁

次に、この絞り弁を図 20 に示すように、シリンダ駆動回路に組み込み、複動シリンダを駆動させます。この場合、絞り弁 A、B のいずれか一方を調節しても、シリンダの往路、復路双方の速度が変化してしまい、シリンダの速度調節が困難になります。

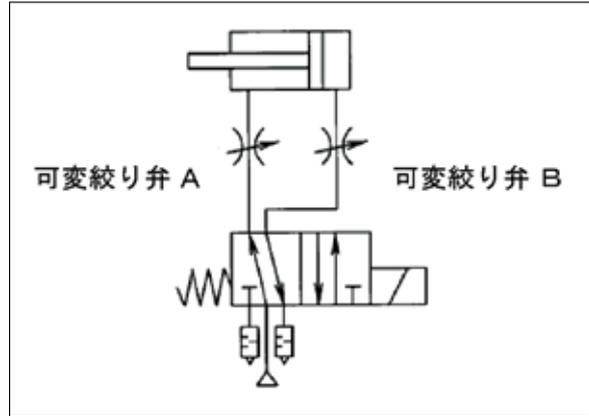


図 20 可変絞り弁を用いた回路例

この不具合を解決したのが、図 21 に示す絞り弁と逆止弁（一方だけに流体の流れを許し、反対方向には流れを阻止するバルブ）とを合成した速度制御弁（スピードコントローラ 通称スピコン）です。

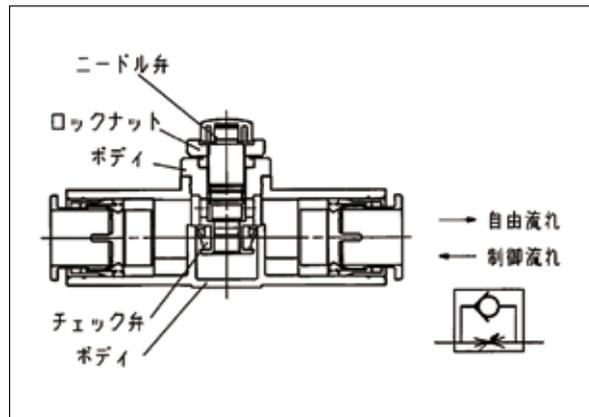


図 21 スピードコントローラ

実際のシリンダ駆動では、図 22 に示すように (a) メータアウト回路並びに (b) メータイン回路が構成されます。

メータアウト回路では、シリンダからの排気空気量を調節します。一方メータイン回路では、シリンダへの流入空気量を調節します。メータアウト回路では流入側が絞られることなく、シリンダに十分な空気量が供給され、かつ排気側流量の調節が可能のため、シリンダ内部で比較的高い圧力が確保でき、負荷変動などの外乱の影響を受けにくいいため、比較的安定した速度が得られます。一

方メータイン回路の場合には、流入側の空気が絞られ、かつ排気側は自由流れて、素早く大気圧になるため、徐々に増加する流入側ピストン力がシリンダ静摩擦力を上回ると動き出し、それにより流入側のシリンダ室内容積が増加し、流入側ピストン力がシリンダの動摩擦力を下回ると停止するという動作を繰り返します。これをスティックスリップ動作と呼んでいます。このようにメータイン回路の場合には、制御上の不安定動作があるため、一般的にはメータアウト回路を使用しますが、用途によってはメータイン回路が使用される場合もあります。

上述の速度制御弁が流量制御弁の代表的なものですが、この他、方向切換弁（後述）の排気口に接続して、空気圧シリンダの速度制御を行う排気絞り弁や、シリンダ速度を速くする目的で使用する急速排気弁などがあります。また、電気入力信号（一般的には、電圧または電流）に比例した流量が得られる比例制御弁も広義の意味では、流量制御弁と考えられます。

前述の圧力制御弁が回路の圧力  $P$  を決定したのに対して、流量制御弁（速度制御弁）は流量  $Q$  を定め、これにより、駆動機器に加えられるエネルギー  $PQ$  が確定しました。

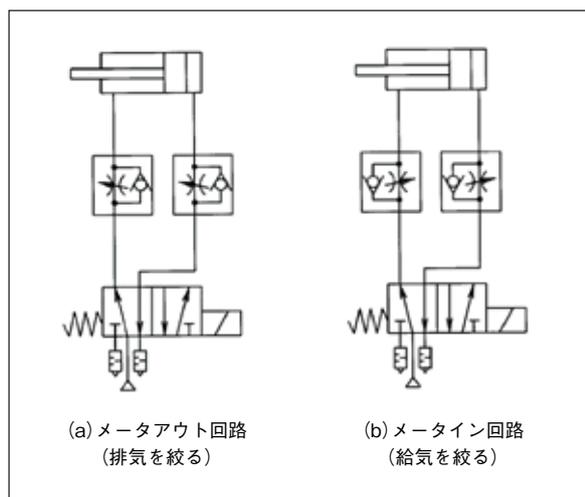


図 22 速度制御弁を用いた回路例

### 5.5.3 方向制御弁

減圧弁による圧力制御及び速度制御弁による流量制御により作動空気の有するエネルギー量が決定しました。このエネルギーをシリンダ両室に分配（充填・排気）する働きを担うのが方向制御弁です。その種類は単に空気を止めたり流したりする 2 ポート弁、空気を供給したり排気したりすることができる 3 ポート弁、更にこれらを組み合わせて、多方向の切換機能をもたせ複動シリンダ駆動用として一般的に広く使われている 4・5 ポート弁などがあります。ここでは、電磁弁としての 2 ポート弁及び 5 ポート弁を例にとって説明します。

#### ① 2 ポート弁

図 23 に 2 ポート弁の例を示します。作動原理について簡単に説明します。コイルに電流を流すと、鉄心が電磁石となりばね力に打ち勝ち移動することにより、鉄心下部の弁が開きます。コイルに電流を流すのをやめると、ばねの力により鉄心が初期位置に復帰し、弁は閉じた状態になります。

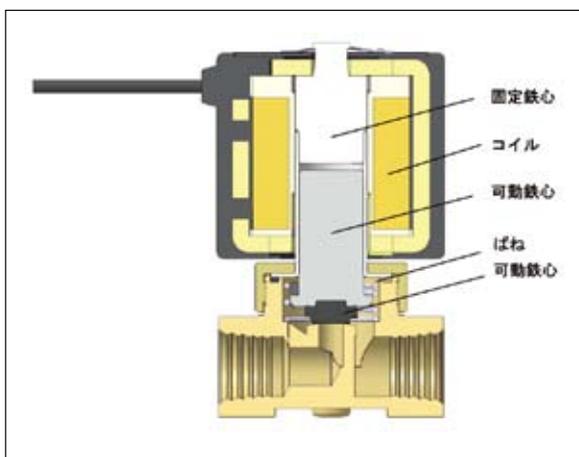


図 23 2 ポート弁構造

#### ② 5 ポート弁

図 24 に、複動シリンダ用操作用として最も多く使用されている 5 ポート弁（直動形の動作図）の例を示します。圧力供給口  $P$ 、ポート  $A$  及び  $B$ 、更に排気口  $R_A$  及び  $R_B$  の 5 つのポートをもつため、5 ポート弁と呼ばれています。作動原理はコイル

及び鉄心が電磁石の働きをする点では、2ポート弁と同じですが、鉄心一体形スプールが移動することでまず、コイルに電流が流れていない状態（非通電時）では、圧力口PとポートB並びにポートAと排気口R<sub>A</sub>がそれぞれ連通しているため、ポートBには空気が供給され、ポートAの空気は排気されます。次にコイルに電流を流す（通電時）と、コイル-鉄心系で電磁石が構成され、鉄心は右方向へ動きます。すると、スプール・スリーブ間の穴位置がずれ、今度は、圧力口PとポートA並びにポートBと排気口R<sub>B</sub>がそれぞれ連通するため、ポートA及びBに複動シリンダが接続されていると、電磁弁（5ポート弁）のON（通電）-OFF（非通電）を繰り返すことにより、シリンダの往復動

作が可能となります。弁のON（通電）-OFF（非通電）を繰り返すことにより、シリンダの往復動作が可能となります。4ポート弁の場合には、排気口R<sub>A</sub>及び排気口R<sub>B</sub>が共通となります。なお、説明の便宜上、A,Bなどの文字を用いましたが、現在のJISでは1,2...などで各ポートを表します。

その他、図25に示すように、電磁石でスプールを動かす代わりに、圧力口Pに接続されているパイロット通路端の小型3ポート電磁弁を使用して、スプール端に空気圧力をかけることによりスプールを移動させるパイロット方式があります。一般的に、パイロット形は、直動形に比べて、大流量を流すことができます。

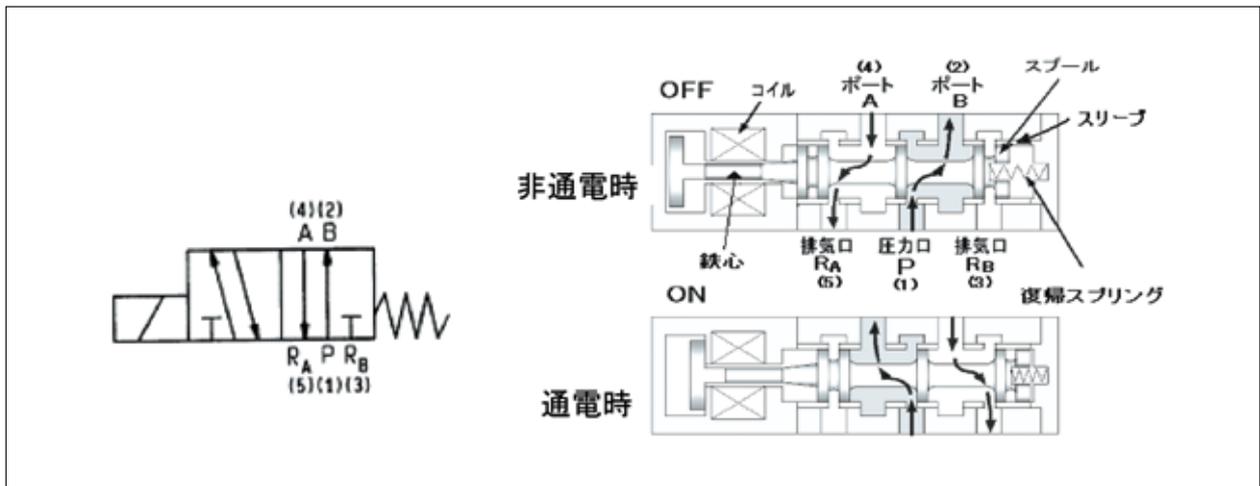


図24 5ポート弁（直動形の動作図）

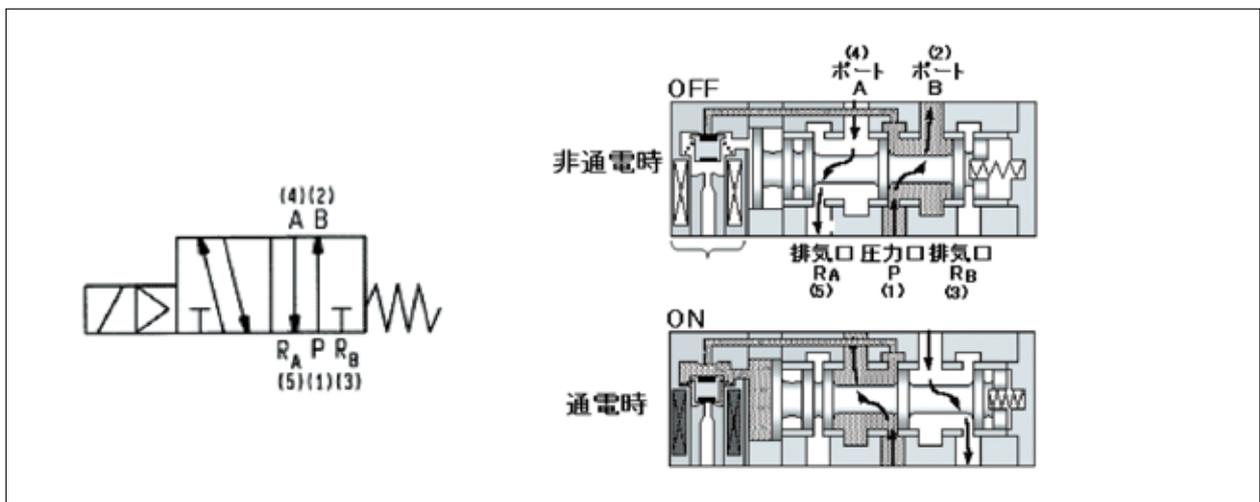


図25 5ポート弁（パイロット形の動作図）

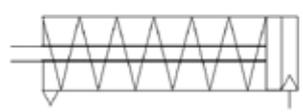
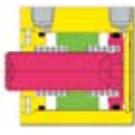
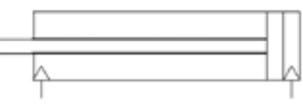
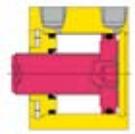
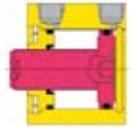
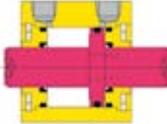
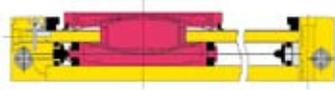
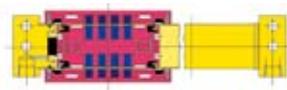
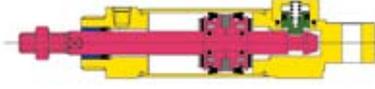
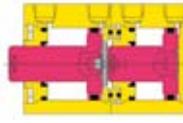
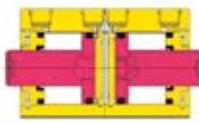
## 5.6 空気圧シリンダ

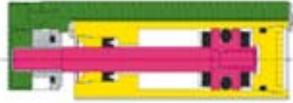
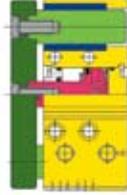
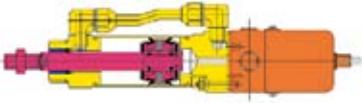
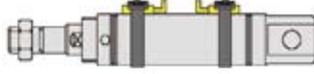
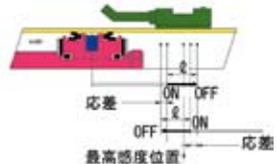
空気圧を利用して仕事をする、つまり動力を得る場合に、最も多く利用されるのが空気圧シリンダです。

空気圧を直線運動の力に変換して仕事をするものを空気圧シリンダと呼んでいます。

空気圧シリンダには多種多様な使い方があり、それぞれの用途に応じ、種類も多くあります。したがって、その使用方法も異なり、上手に使うためには正しい設置方法、機器や空気圧回路の組み方、制御の方法などの選定が重要なポイントになります。

### ●主な空気圧シリンダの分類

分類	説明	外観・構造	
単動形	ピストンの片側のみ圧力を供給する		
複動形	ピストンの両側に圧力を供給する		
片ロッド形	ピストンの片側にロッドがある		
両ロッド形	ピストンの両側にロッドがある		
ロッドレス形 (ピストンロッドがなく占有スペースが小さい)	スライダとピストンが機械的に連結されているスリット式		
	スライダとピストンを磁力により保持するマグネット式		
落下防止機構付	供給エアがなくても機械的に停止保持できる		
多位置形	複数のシリンダを連結し多点の停止位置を得る		
デュアルロッド形	シリンダを背中合わせに連結し独立動作を得る		

分類	説明	外観・構造	
ガイド付シリンダ (精度・剛性の向上と省スペース化を両立する)	スライダタイプ (リニアガイドとシリンダを組合わせたもの)		
	ガイドロッドタイプ (専用のガイドロッドを設けたもの)		
バルブ付シリンダ	電磁弁とシリンダを一体化した省配管タイプ		
センサスイッチ付シリンダ	ピストンに内蔵のマグネットによりシリンダの位置検出を行う		

### ● 空気圧シリンダの構造

空気圧シリンダの多くは、シリンダチューブ、ピストン、ピストンロッド、ヘッドカバー、ロッド

ドカバーから構成されています。一般的なシリンダの構造を示します。

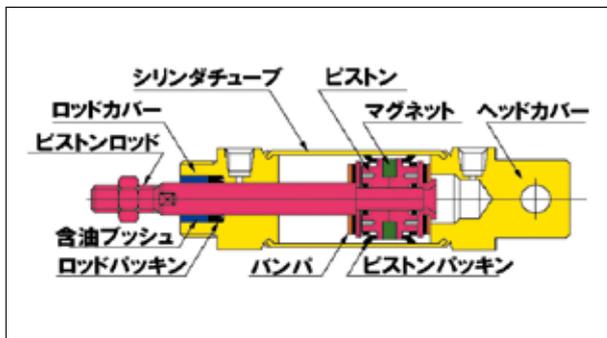


図 26 小形シリンダ

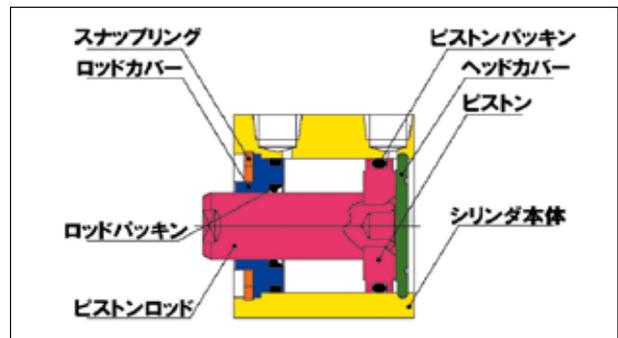


図 27 薄形シリンダ

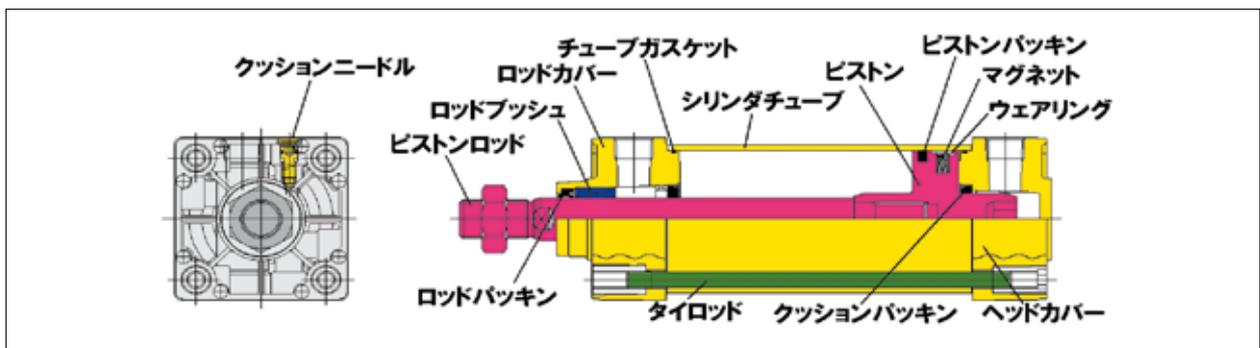
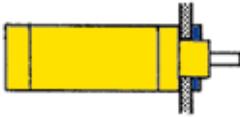
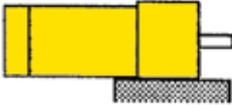
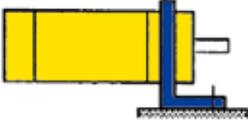
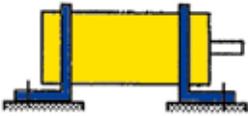
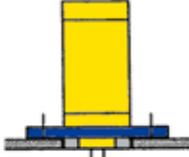
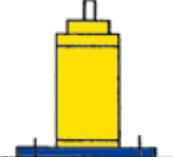
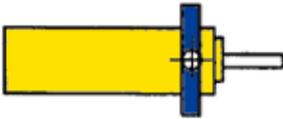


図 28 中・大形シリンダ

## ●一般的なシリンダの取付け形式

取付け形式	方式	構造	備考
基本形（ノーズ形） ダイレクトマウント	ダイレクトマウント ねじ込み式		本体のマウントねじを利用して装置に直接取り付ける方式
	取付け穴式		シリンダ本体の取付け穴を利用して直接装置に固定する 取付け金具が不要
フート形	片フート形		小型シリンダで軽負荷の場合などに用いられる
	両フート形		最も一般的で簡単な取付方法 主に軽負荷用
フランジ形	ロッド側フランジ		シリンダが上向きまたは下向きのときに固定するもので、 強力な取付けができる 負荷の運動方向を一致させる必要がある
	ヘッド側フランジ		
ピボット形	アイ形		負荷が平面内で揺動運動する場合に使用する 負荷の揺動方向とシリンダの動きを一致させ横荷重をかけないこと
	クレビス形		
トラニオン形	ロッド側トラニオン		負荷が平面内で揺動運動する場合に使用する 負荷の揺動方向とシリンダの動きを一致させ横荷重をかけないこと
	中間トラニオン		
	ヘッド側トラニオン		

## 5.7 その他の空気圧アクチュエータ

空気圧シリンダを含む「空気圧のエネルギーを機械的な力及び運動に変換する機器」を総称して、空気圧駆動機器（アクチュエータ）と呼んでいます。空気圧シリンダのほかに、回転運動で動作角度を制限して往復揺動運動に変換する揺動形のアクチュエータや、把持機能をもつアクチュエータがあります。

### ①揺動形アクチュエータ

ロータリアクチュエータまたはトルクアクチュエータとも呼ばれる揺動形アクチュエータは、コンベアの移載部、ロボット本体や手首の旋回、ダンパの開閉、ボールバルブの開閉などに幅広く用いられています。



図29 シングルベーン

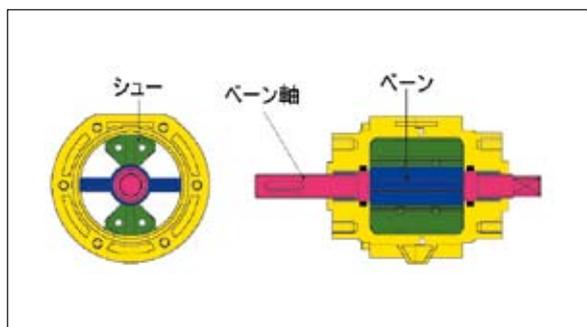


図30 ダブルベーン

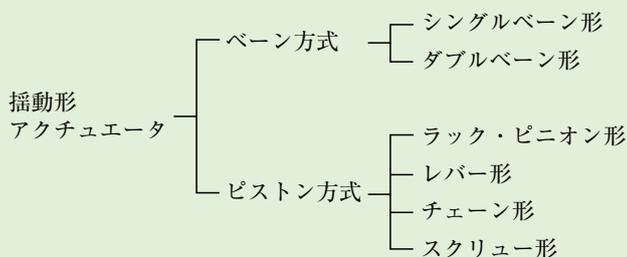


図31 揺動形アクチュエータの種類

### ○ベーン方式揺動形アクチュエータ

ケーシング内に固定されているシュウと揺動するベーンをもち、空気圧を左右のポートから交互に入れると、揺動ベーンが往復回転運動します。揺動角度はシングルベーンで280°以下、ダブルベーンで100°以下が一般的です。

以下のような特長があります。

- 出力軸の回転角度がベーンで制限されているアクチュエータ。
- シングルベーンは揺動角度が大きくとれる。
- ダブルベーンは揺動角度が小さく、出力はシングルに比べて2倍になる。

### ○ラック・ピニオン形揺動形アクチュエータ

ピストンに連結されたラックの直線運動をピニオンの回転運動に変え、出力軸やテーブルを回転させます。構造的には360°以上の角度の揺動運動も可能です。

以下のような特徴があります。

- 出力軸の回転運動の角度が、シリンダピストンで制限されているアクチュエータ。
- ラック・ピニオン方式でシングルとダブルタイプの2種類がある。シリンダピストンのストローク端にはストローク調節（揺動角度調節）や揺動端での衝撃を弱めるクッション機構も設置できる。

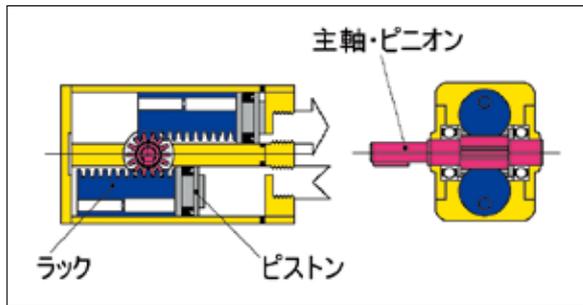


図 32 シングルピストン (押側のみ使用)

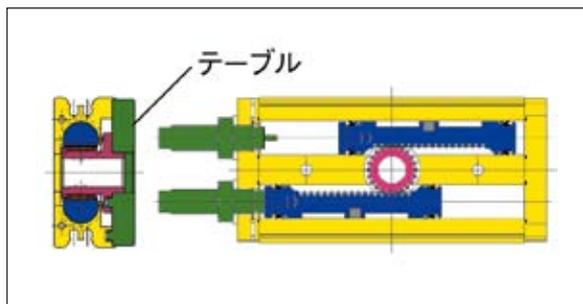


図 33 ダブルピストン

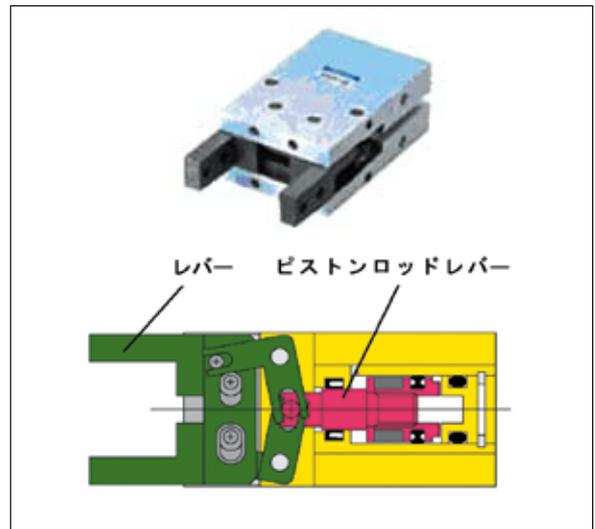


図 35 パラレルタイプ複動形



図 36 その他のパラレルタイプ

## ②エアハンド

シリンダと組合せて、ワークのチャッキングやハンドリングを行うもので、チャッキングやハンドリング専用のアクチュエータといえます。

ハンドの開閉のしかたによってスイングタイプとパラレルタイプがあり、単動形と複動形もあるほか、多くの種類があります。

外観と構造を示します。

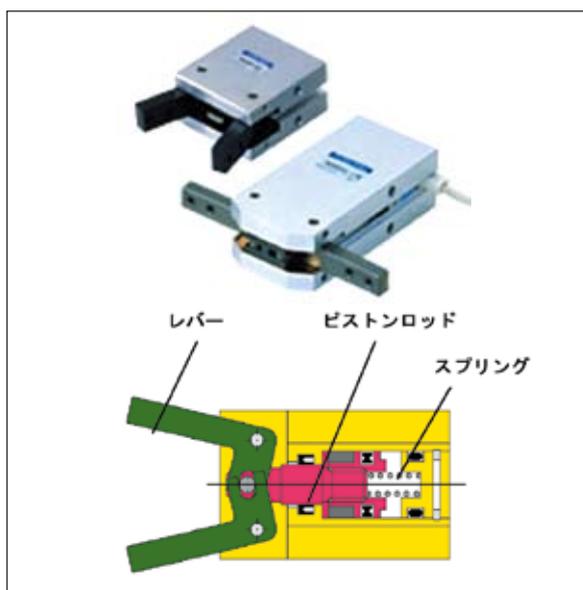


図 34 スイングタイプ常時開単動形

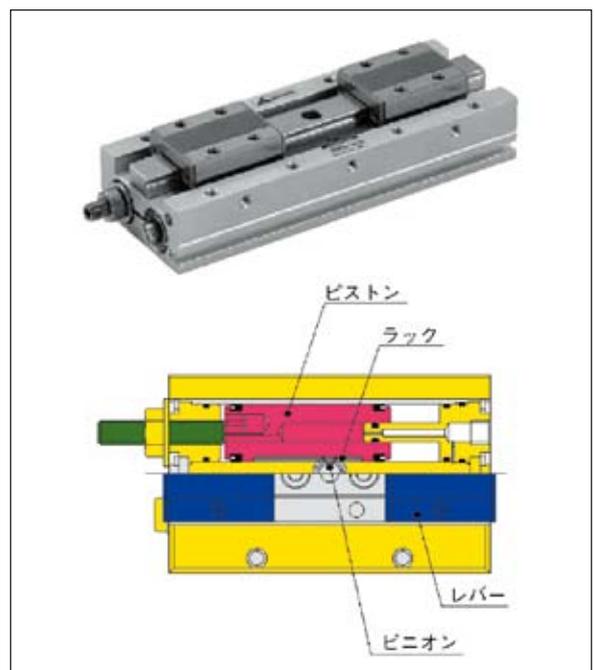


図 37 フラットタイプエアハンド

## 5.8 緩衝器

一般にショックアブソーバといい、速度をもって移動する物体を、滑らかに停止させる機器です。シリンダなどによって移動する物体の運動方向と逆向きの抗力（ショックアブソーバ内のオイルが狭い流路を通るときの抵抗により発生する力）を作用させながらストロークすることにより、衝撃力を低減し、衝突物の運動エネルギーを熱エネルギーに変換する機器で、油圧によるものが多く用いられます。

オリフィスの方式により、一定オリフィス形とストローク依存オリフィス形に分類することができます。

ストローク依存オリフィス形は、ストロークの変位によりオリフィス面積が変化し、発生する抗力が変化することで、一定オリフィス形に比べ良好な緩衝効率（衝撃吸収特性）を得られます。

以下のように分類できます。

### 一定オリフィス形

- 単孔オリフィスタイプ
- 円環オリフィスタイプ

### ストローク依存オリフィス形

- 多孔オリフィスタイプ（図 38）
- リニアオリフィスタイプ（図 39）

多孔オリフィスタイプは、内筒にある複数の小さな穴を、ピストンが進むことによりひとつずつふさぐため、ストロークするに従い抗力が高まり、衝撃を吸収します。

リニアオリフィスタイプは、ストローク変位により、抗力が直線的に増加し、衝撃をスムーズに吸収します。

以下に外観と構造を示します。

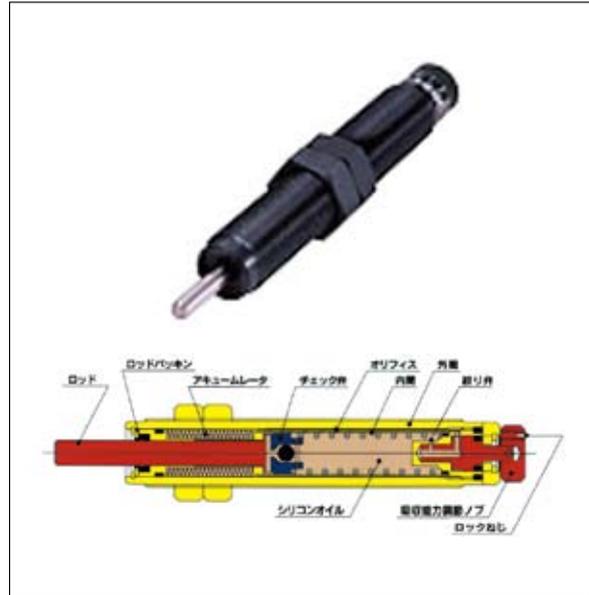


図 38 多孔オリフィスタイプ



図 39 リニアオリフィスタイプ

## 5.9 消音器

空気圧機器は、使用した空気を大気に開放できるところに大きな特長があります。しかし、圧縮した空気をバルブなどから排気するときには排気音を伴います。高速でシリンダを動作させるときなど、更に排気音が大きくなります。

これらの欠点を補うための機器が消音器です。消音器は、マフラまたはサイレンサとも呼ばれ、バルブの排気ポートなどに取り付けて、エレメントの抵抗によって排気音を低減させる役割をします。

その消音効果は、排気流量と消音器サイズとの関係で大きく変わります。一般的には約 20db 程度以上と考えてよいでしょう。



図 40 樹脂製



図 41 金属製

## 5.10 継手・チューブ

空気圧システムの配管の材料には、金属管（パイプ）と非金属管（チューブ、ホース）があり、鋼管、銅管などの金属管は工場内配管や屋外配管に用いられ、チューブやゴムホースなどの非金属管は装置内での配管に多く用いられます。

### ①継手

空気圧機器の配管は、ねじ込み式が一般的で、管用テーパねじ、または平行ねじを加工して継手をねじ込みます。ねじ部には、空気漏れを防ぐためにシールテープやシール液、またはガスケットが使用されます。

装置内では、ワンタッチでチューブの着脱ができるクイック継手が多く使用されています。

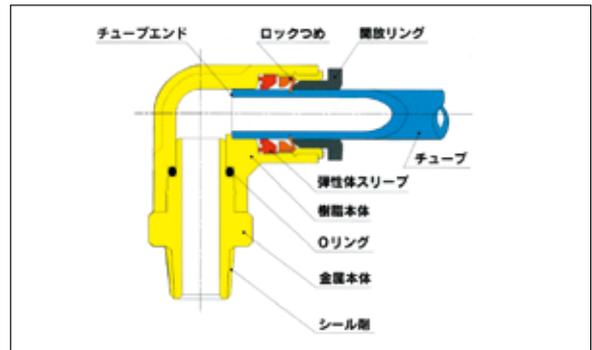


図 42 継手構造



図 43 継手バリエーション

### ②チューブ

チューブには、ウレタンチューブとナイロンチューブ（ポリイミド管）があり、柔軟性があり、色分けできるなどの点から、ウレタンチューブが多く使用されています。

チューブの呼びは外径で示されます。寸法は「外形×内径」で表します。



図 44 ウレタンチューブ

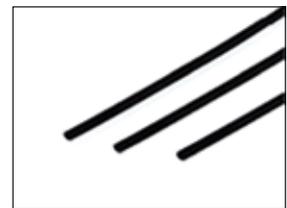


図 45 ナイロンチューブ

表 3 チューブの呼びとサイズ

チューブの呼び	ウレタンチューブ	ナイロンチューブ
4	4 × 2.5	4 × 2.5
6	6 × 4	6 × 4
8	8 × 5	8 × 6
10	10 × 6.5	10 × 7.5
12	12 × 8	12 × 9

### ○クイック継手のチューブの着脱

チューブをチューブストップに当たるまで差し込むとチューブが接続されます。チューブを軽く引いて接続状態を確認します。チューブの離脱は、空気圧が印加されていないことを確認し、チューブを一度チューブストップに当たるまで押し込み、その状態で開放リングを平行に押し込みながらチューブを引き抜きます。

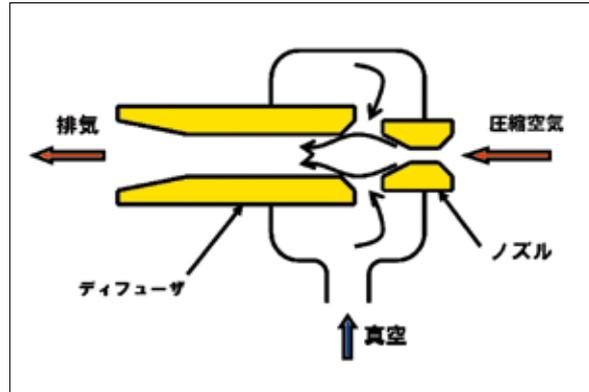


図46 作動原理図

## 5.11 真空機器

真空とは、大気圧より低い圧力状態のことをいいます。一般に100Pa（abs）程度の低真空領域は比較的簡単な方法で得られるため、産業用として利用しやすく、特にワークを吸着把持して固定、搬送するなどという場面では、真空機器が幅広く用いられています。

### ①真空発生機器

#### ○真空ポンプ

真空の発生源としては、コンプレッサと同様のレシプロ方式やベーン方式などのポンプを利用したものが一般に使用されます。これらは、真空到達度と排気流量に応じて、各種の大きさのものがああります。

#### ○エジェクタ（図46）

作動原理図で示しますが、圧縮空気をノズルから、ディフューザの間に設けられたすきまによって、空気をディフューザ側に吸い込んで負圧を発生させる真空発生装置を、エジェクタといいます。エジェクタは空気の粘性を利用して真空を発生させているといえます。

電磁弁の内蔵されたものや単体のもの、スイッチやフィルタなどを内蔵したものもあります。

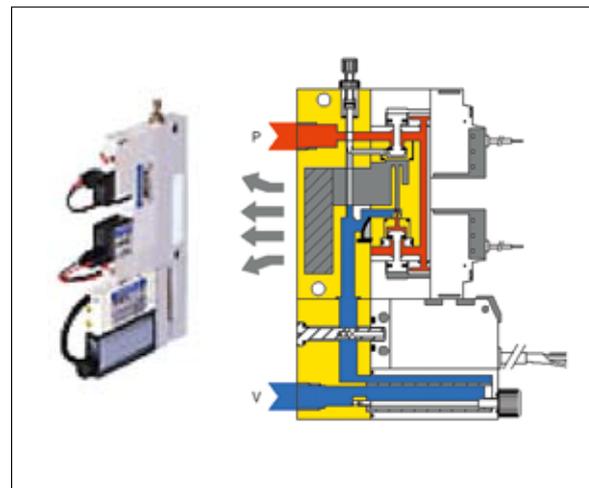


図47 エジェクタ

### ②真空弁

真空弁もエアバルブの一種です。一般的なエアバルブは圧縮空気（正圧）を使いますが、真空弁は真空圧（負圧）を使う点が異なります。

真空弁の選定に必要な条件も、エアバルブと同じような注意が必要です。ただし、圧力が低いので流量に大きく影響されます。

真空弁は主に3ポート弁が使用されます。1（P）ポートに真空ポンプまたはエジェクタの真空源を接続し、2（A）ポートにパッド（吸盤）やノズルを接続します。3（R）ポートは大気開放です。

真空弁OFF時には3（R）ポートより大気を送り込みワークを離脱させ、ON時にワークを吸着するといった使い方をします。3（R）ポートより正圧を送り込むことによりワークを強制的に離脱させることもできます。

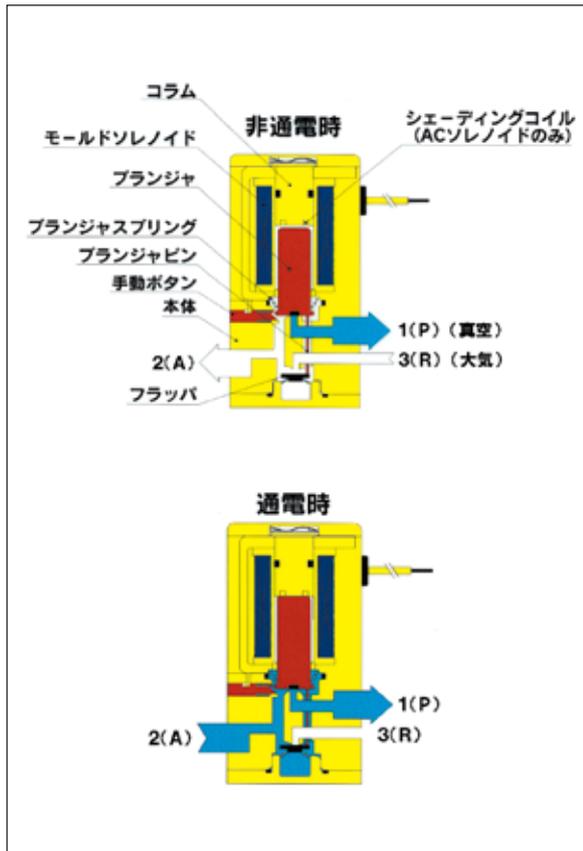


図 48 構造図

### ③バキュームパッド

パッドを利用してワークを吸着させる方法は、他の方法に比べワーク把持の構造が簡単で、コスト的にもメリットがあります。



図 49 各種のバキュームパッド

### ④アクセサリ

#### ○真空フィルタ

パッドとバルブの間にフィルタを設けます。吸引された空気は、ほこりやゴミも一緒に吸込むため、真空弁がゴミかみ等による漏れや作動不良を起こさないために必要です。

#### ○圧力（真空）スイッチ（流量スイッチ）

パッドがワークを吸着し、十分な真空度になったことを検知して次の動作を行うための信号を出力します。パッドとワークとの間の漏れが多いとき、またはワークが微小なときは、真空流量の変化を検出する流量センサスイッチを用いることもあります。

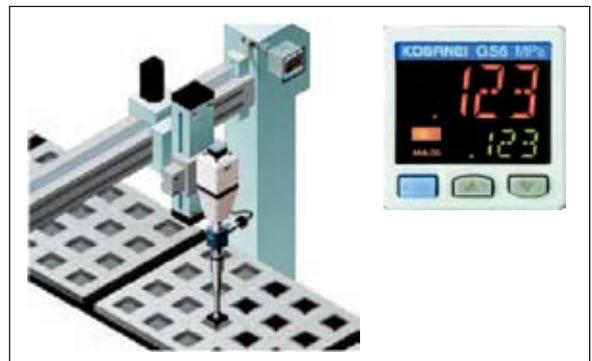


図 50 圧力スイッチ使用例



図 51 流量センサスイッチ

#### ○真空計

一般の圧縮空気用とは異なり、反時計回りの指示となります。アナログやデジタルのタイプがあります。

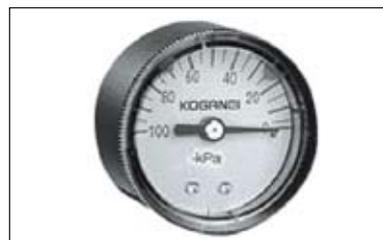


図 52 真空計

## 6. 最近の空気圧要素機器の動向

### 6.1 高密度化・小型化

最近の機械、装置は小型・省スペースのコンパクトデザインが要求されています。したがって空気圧要素機器も小型化、軽量化が要求され、更に高密度実装も求められるようになりました。これらの要望に応じ、空気圧要素機器も超小型化され、半導体製造装置、組立ロボット、その他機械、装置でコンパクトデザイン化、経済性向上等に大きな効果をあげています。

### 6.2 多機能化・高精度化・複合化

空気圧要素機器の複合化、ハイブリット化はスペースセービング効果のみでなく、性能向上、メンテナンスフリー、その他の要望から各種の製品が開発されています。

空気圧要素機器において最も多く使用されているアクチュエータは、直線往復運動を行うシリンダ、揺動運動を行うロータリーアクチュエータの2つがあげられます。

このシリンダ及びロータリーアクチュエータは単独としてもセンサスイッチ付、ショックアブソーバ付、ブレーキ付、ロック付等々、多機能化が進んでいます。またガイド付シリンダ、各種ベアリング軸受付ロータリーアクチュエータ等々により高精度化が進んでいます。

現在ではこのような直線往復運動のみ、揺動運動のみでは目的が達成できない場合が多くなってきているため、それらの機能の複合化も進んでいます。

### 6.3 省配線システム

電磁弁を多数マニホールドに搭載して使用する場合、高密度実装は行われています。反面、各種機器間の信号・動力伝達用配線が複雑化し、その結果、配線材料、配線工数、メンテナンスのコスト増大、配線スペースの増大、誤配線による各種損失等が問題となります。このような問題を解決するために各種の省配線システムの対応が進んでいます。

### 6.4 環境対応

空気圧機器も地球温暖化防止に向けてCO<sub>2</sub>削減効果が求められるようになり、エネルギー効率を上げることが求められています。このため電磁弁の省電力化やアクチュエータの高効率化等への取り組みが重要になってきています。

また、環境負荷物質に対するRoHS指令やREACHなどの環境規制に対しても対応を進めています。

## 7. 研究が進む空気圧の用途

空気圧の特徴を生かした用途の研究が大学の研究室等にて行われています。ここではその一部を紹介します。

### 7.1 非接触搬送

半導体ウェハやCD・DVDなど表面を接触させたくないワーク、紙やフィルムなどの柔らかいワークやせんべいなどの表面が一定でないワークを空気圧の特性を利用した非接触にて搬送する機器（ボルテックス・カップ）の研究。

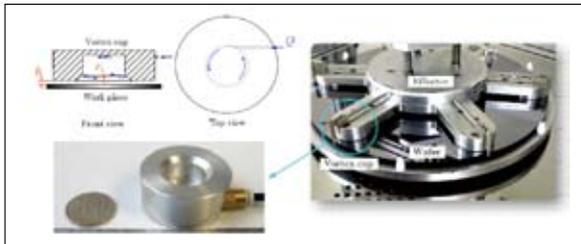


図 53 非接触搬送

### 7.2 空気圧人工筋の応用

人が立ち入ることができない危険な環境で空気圧ゴム人工筋を用いた建設用機械などの遠隔操作用空気圧ロボットアームの機構と制御方法に関する研究。

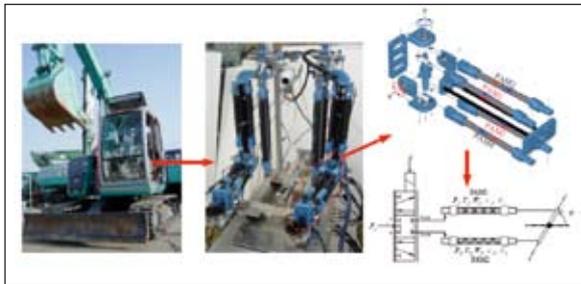


図 54 空気圧人工筋

### 7.3 ラジアルスリット型減圧機構

空気圧機器の使用において空気を排気するとき消音器を使用しないと大きな排気音がします。排気音の原因となる衝撃波をラジアルスリット型減圧機構にて発生させない様にする研究。

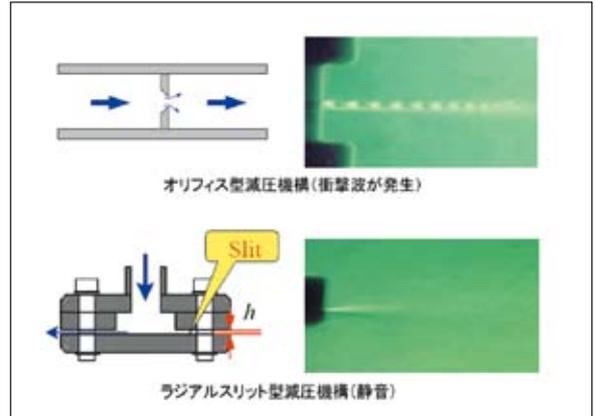


図 55 減圧機構

### 7.4 介護用パワーアシストスーツ

寝たきりの患者さんを抱き上げたりするとき介護者の力をサポートすることを目的としての開発です。「パワーアシストスーツ」を着用すると寝たきり人の60キロの体重が30キロの感覚で持ち上げることができます。

この力を生み出す部分に空気圧を利用したアクチュエータを用いた研究。

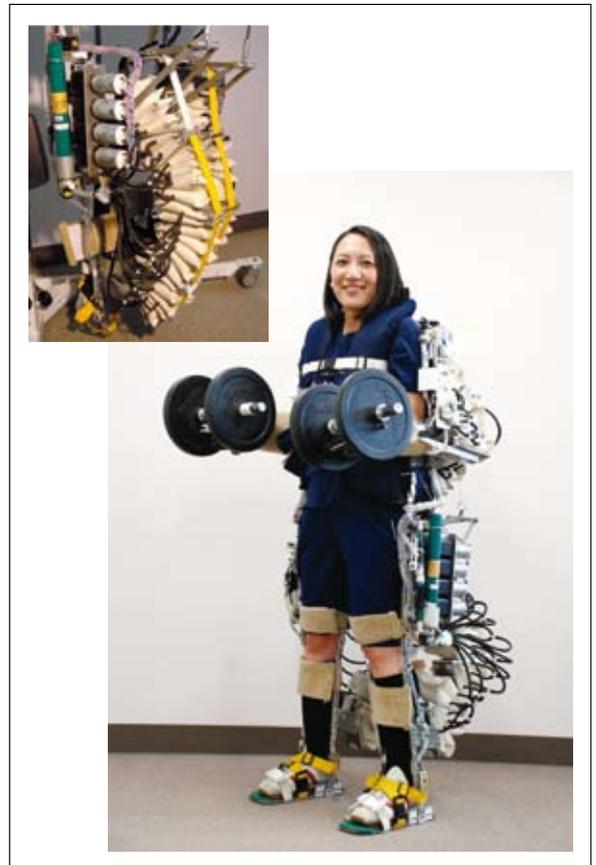


図 56 パワーアシストスーツ