

～今、あした、人と環境との融和～

# フルードパワーの世界

油圧・空気圧・水圧による駆動と制御とその応用

追補版



## Hydraulics

油で機械を動かす—油圧



## Pneumatics

空気で機械を動かす—空気圧



## Water Hydraulics

水で機械を動かす—水圧 (ADS)



一般社団法人 日本フルードパワー工業会

<http://www.jfpa.biz/>

## 追補版の発行にあたって

冊子「フルードパワーの世界」は、フルードパワーが“ものづくり”及び“産業の基礎基盤”となるものであること、また、その素晴らしさを認識していただくとともに、大いに関心を持っていただくことを目的として2009年に発行いたしました。以来、全国の工業高等学校、工業高等専門学校、先生方、学生の皆さん、日本フルードパワーシステム学会所属の大学の研究室などに10,000部を超える部数を配布し、好評を得ています。

読者の方々からは、いろいろなお意見をいただきましたが、好評の大きな要因の一つとして、適用事例があって分かりやすいというのがありました。これを受けまして、適用事例を充実させることを意図して追補版を考えました。発行から5年がたちましたので、特に空気圧及び水圧の適用事例を中心に、新しい応用をふまえた適用事例を追加するとともに、より理解を深めていただくために油圧については技術的な解説も追加しています。

この追補版は、本編発行以降の新しい動きを取り入れて、本編を補うために作成されました。本編と併せて追補版を活用していただき、フルードパワーの世界をより一層ご理解いただければ幸いです。

(一社)日本フルードパワー工業会  
「フルードパワーの世界 追補版」作成委員会

## はじめに

欧米などで、フルードパワーといいますと油圧及び空気圧技術となりますが、日本では、これらに水圧技術が加わります。なぜなら、日本における水圧技術の発展が、近年目覚ましいものがあるために追加されました。

水圧の統計はまだありませんので、日本の市場における油圧、空気圧を使用領域で比較しますと、図1のようになっています。油圧は土木建設機械、産業車両、農業機械などの車両用が約50%を占めていますが、空気圧は一般産業の自動化・省力化の分野で広く使用され市場が多岐にわたっています。

油圧、空気圧及び水圧の基本構成を図に表しますと図2のようになります。構成は基本的に変わりがないことが分かります。それでは、どのようにすみ分けがなされているかといいますと、パワーの違いがひとつあります。主に、油圧は、中・高パワーの領域に用いられ、空気圧は、比較的lowパワーの領域に用いられています。油圧は、車両に搭載して動き回って力仕事をするのを得意としています。空気圧の場合、工場には一般に空気圧源が設備されていて、安価で使いやすいという利点があります。水圧は、低パワーから中圧パワーまでとパワー領域は広いのですが、油圧と空気圧の領域に参入するというよりも、普通の水を利用するという利点を生かして新しい領域を開拓してきています。

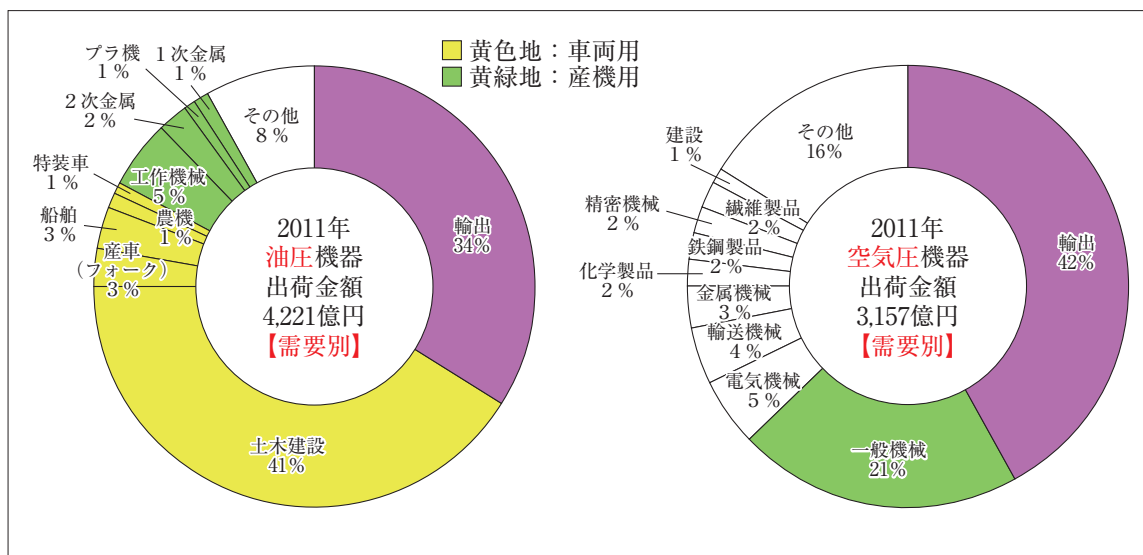


図1 油圧・空気圧の市場

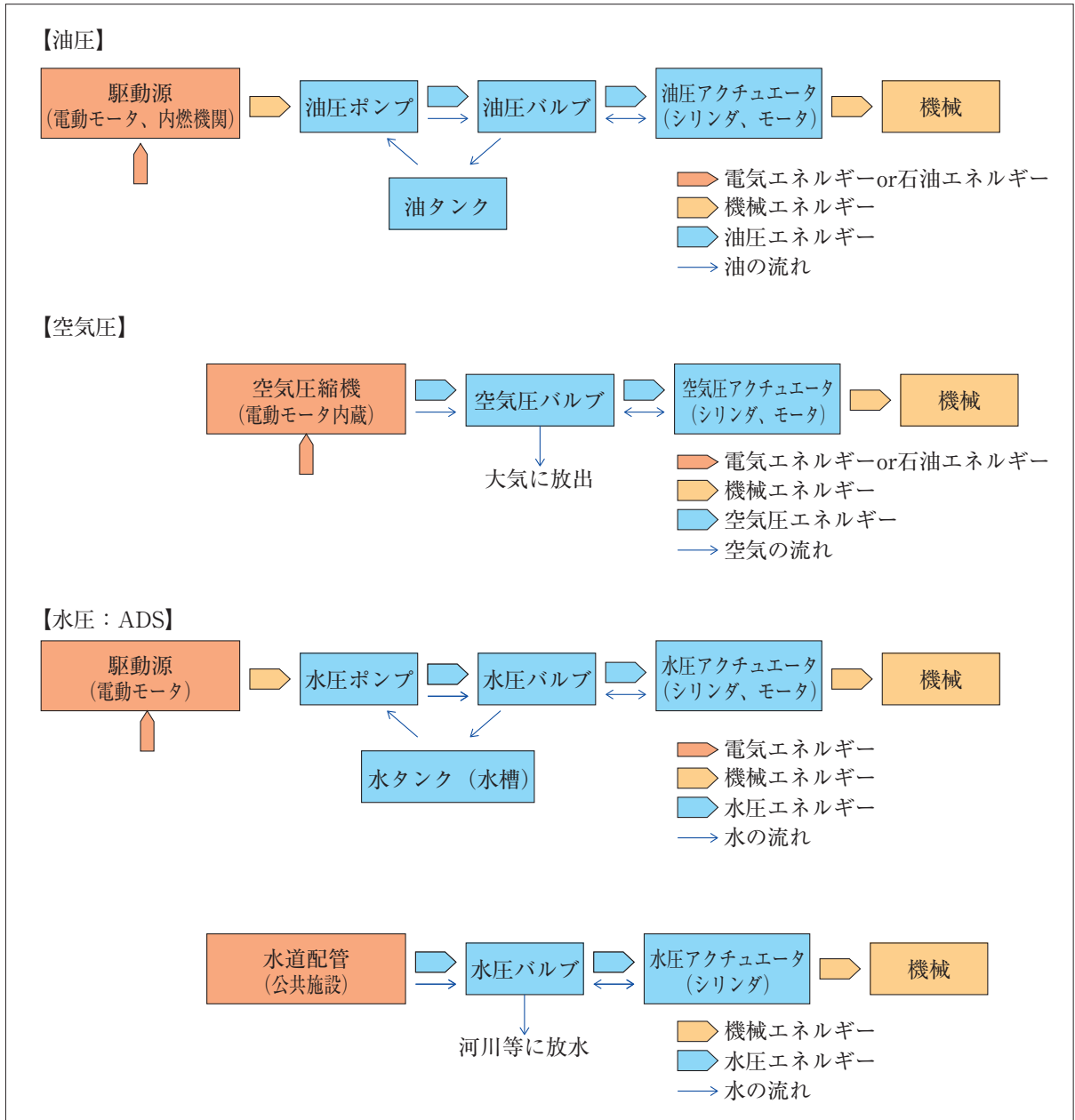


図2 基本構成図

追補版発行にあたって..... 1

はじめに..... 2

## 第1章 油圧の世界 5

- 1. はじめての油圧 ..... 6
- 2. トンネル掘削用自由断面掘削機の油圧 ..... 11
- 3. ゴミ収集車の油圧 ..... 14
- 4. マグネシウム成形機の油圧 ..... 17

## 第2章 空気圧の世界 19

- 1. 空気圧システムの基本的動作 ..... 20
- 2. 大形ガラス基板搬送の空気圧 ..... 23
- 3. 鉄道車両の空気圧 ..... 26
- 4. 火力発電の空気圧 ..... 28

## 第3章 水圧の世界 31

- 1. ADS の未来イメージ ..... 32
- 2. ADS の応用分野を眺めてみよう  
 ーADS 市場マップ ..... 33
- 3. ADS は具体的にどこに使われる  
 ーADS 応用事例 ..... 34
- 4. ADS 要素技術の要（かなめ）  
 ーシール技術..... 42
- 5. さらなる情報・知識の習得に向けて ..... 43

## ..... 第2章 .....

### 空気圧の世界

1. 空気圧システムの基本的動作 ..... 20
2. 大形ガラス基板搬送の空気圧 ..... 23
3. 鉄道車両の空気圧 ..... 26
4. 火力発電の空気圧 ..... 28

# 1. 空気圧システムの基本的動作

## 1.1 はじめに

空気圧システムの基本的な動作には、図1に示すような「ピック」、「トラバース」、「プレイス」があります。それぞれは、次のような動作を行います。

ピック：ワークを持ち上げる。

トラバース：ワークを移動する。

プレイス：ワークを所定の場所へ置く。

(ワークを回転させることもできる。)

この一連の動作は空気圧駆動ではよく用いられ、これを行う装置は「ピック & プレイスユニット」などと呼ばれています。

## 1.2 ピック動作

ピック動作では、ワークを持ち上げる必要があり、ワークを把持するエアグリッパ(図2)や真空パッド(図3)が用いられます。

エアグリッパは、ツメの開閉によりワークをつかみます。真空パッドは、エジェクタや真空ポンプなどの利用によりワークの真空吸着を行います。

## 1.3 トラバース動作

ピック動作により持ち上げられたワークは、トラバース動作に移ります。

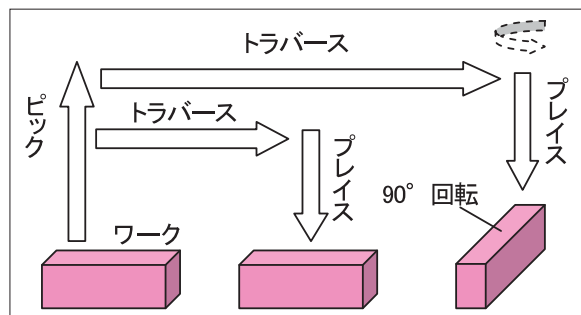


図1 空気圧システムの基本動作

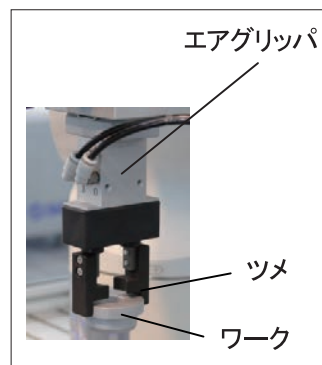


図2 エアグリッパによる把持

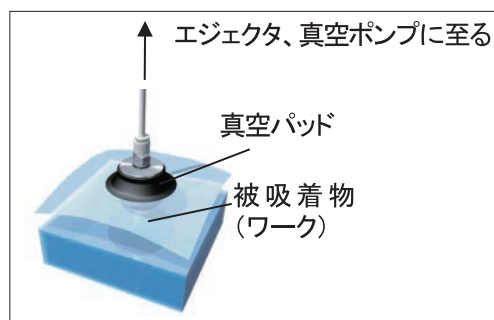


図3 真空パッドによる吸着

トラバース動作には、ロッドレスシリンダ(図4)やスライドテーブル(図5)などがよく使用されます。

テーブルに取り付けられた空気圧機器がテーブルの移動に伴い、所定の位置に移動します。

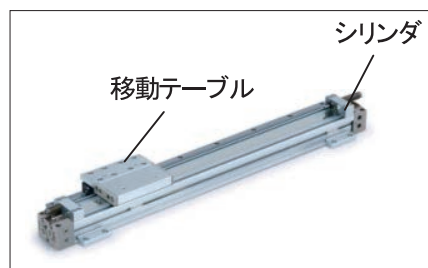


図4 ロッドレスシリンダ

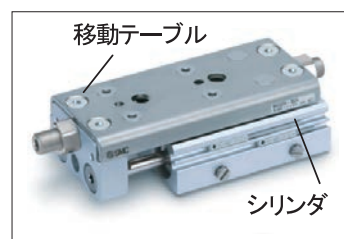


図5 スライドテーブル

## 1.4 プレイス動作

図6はロータリアクチュエータを使用してワークを回転させた様子を示しています。

ロータリアクチュエータ（図7）により接続されたエアグリッパが回転します。これにより、エアグリッパのツメが把持しているワークを回転させることができます。

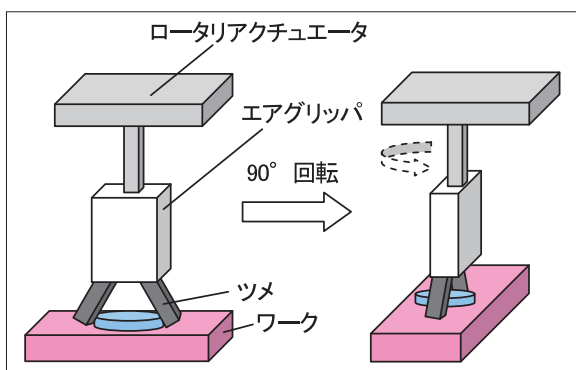


図6 ロータリアクチュエータによる90°回転

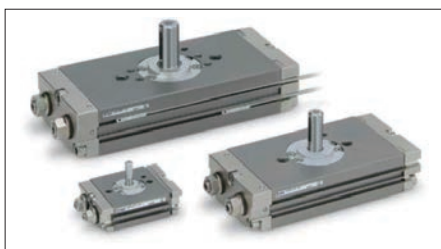


図7 ロータリアクチュエータ

## 1.5 実際の装置

図8はピック & プレイスユニットの一例です。上下動シリンダ先端にロータリアクチュエータが接続され、さらに水平に延びたアームに至ります。アームの先端にはエアグリッパを装着し、ワークの把持を行います。

ロータリアクチュエータ及びアームを電動にして、システム化した製品を図9に示します。指にあたる部分は空気圧駆動のグリッパです。このように、電動及び空気圧駆動を複合的に用いた製品は、「ロボット」として着目されつつあります。

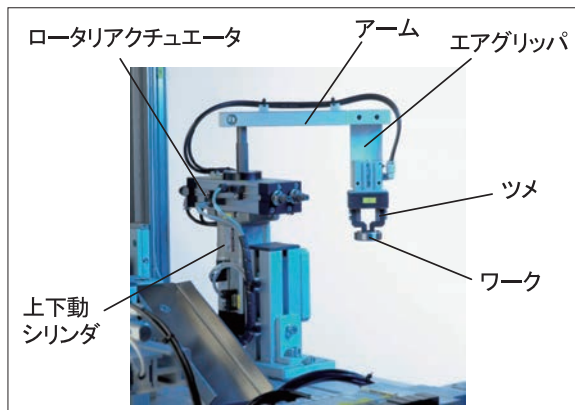


図8 ピック & プレイスユニット (例1)

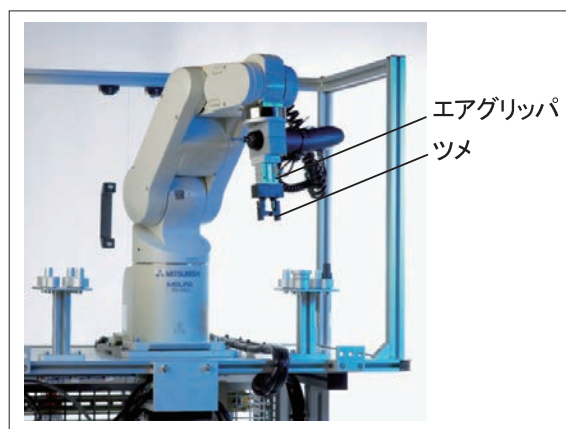


図9 ピック & プレイスユニット (例2)

## 1.6 おわりに

ワークをつかむ、吸い付ける、その後移動させ、回転させるなどの動作は、空気圧システムの基本動作であり、種々の産業分野において欠かせない動作でもあります。空気圧機器は、これらの動作を比較的簡単に行うことができ、生産設備やFA（ファクトリーオートメーション）をはじめとするあらゆる設備に使用され（図10、図11参照）、今日の産業の礎の一端を担っています。さらに、ロボットや医療介護など比較的新しい分野を含め、あらゆるところで空気圧機器が利用されていることは見逃せません。





図 10 生産ライン

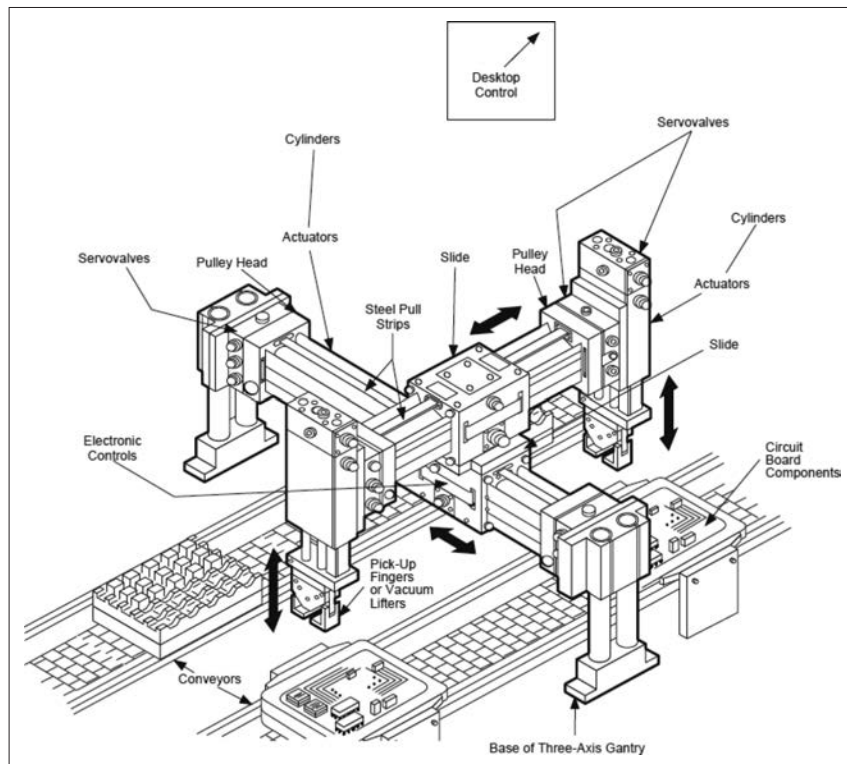


図 11 電子部品挿入装置

(Illustration is taken from Your Guide to the Electronic Control of Fluid Power and used with permission from the National Fluid Power Association.)

## 2. 大形ガラス基板搬送の空気圧

### 2.1 はじめに

液晶テレビの画面は、1枚の大きなガラス基板から作られています。薄く割れ易い大形ガラス基板を安定して搬送するために、空気圧による浮上搬送が使用されています。ガラス基板の浮上搬送方法は、製造工程により異なっており、ここではアライメント（位置決め）工程、搬送工程、プロセス工程に使用される、それぞれの浮上方法と使用される浮上プレートについて説明をします（図1）。

液晶パネル用ガラス基板は0.7mmの厚さしかなく、人間の手による取扱いは困難です。またガラス基板を製造する工程においては、ガラスに傷を付けない、パーティクル（微少な粒子）の発生を軽減するなどの要求があり“接触させない”搬

送手段として空気圧浮上が使用されています。

### 2.2 浮上搬送の特長

空気圧浮上とは、ガラス基板と浮上面の隙間に空気が溜まり、ガラス基板が浮上する現象を表し、ガラスの自重と空間内の空気の圧力分布をバランスさせて浮上させる技術です。大形化したガラス基板を安定して浮上させるためには、浮上空間を層流状態に近づけることが望ましく、この点から多孔質材料が使用されています。多孔質材料を使うメリットとしては、“空気消費量が少ない”“空気が拡散して広い面積から空気が出る”、“目詰りにくい”、“空気の流速は遅く安定した浮上ができる”ことなどが挙げられます。

浮上したガラス基板と浮上プレートとの隙間を浮上量と呼び、約 $10\mu\text{m}$ ~ $300\mu\text{m}$ が多くみられます（図2）。

浮上量 $10\mu\text{m}$ を安定して得るためには、精密な空気の流量制御だけでなく浮上プレートの平面度

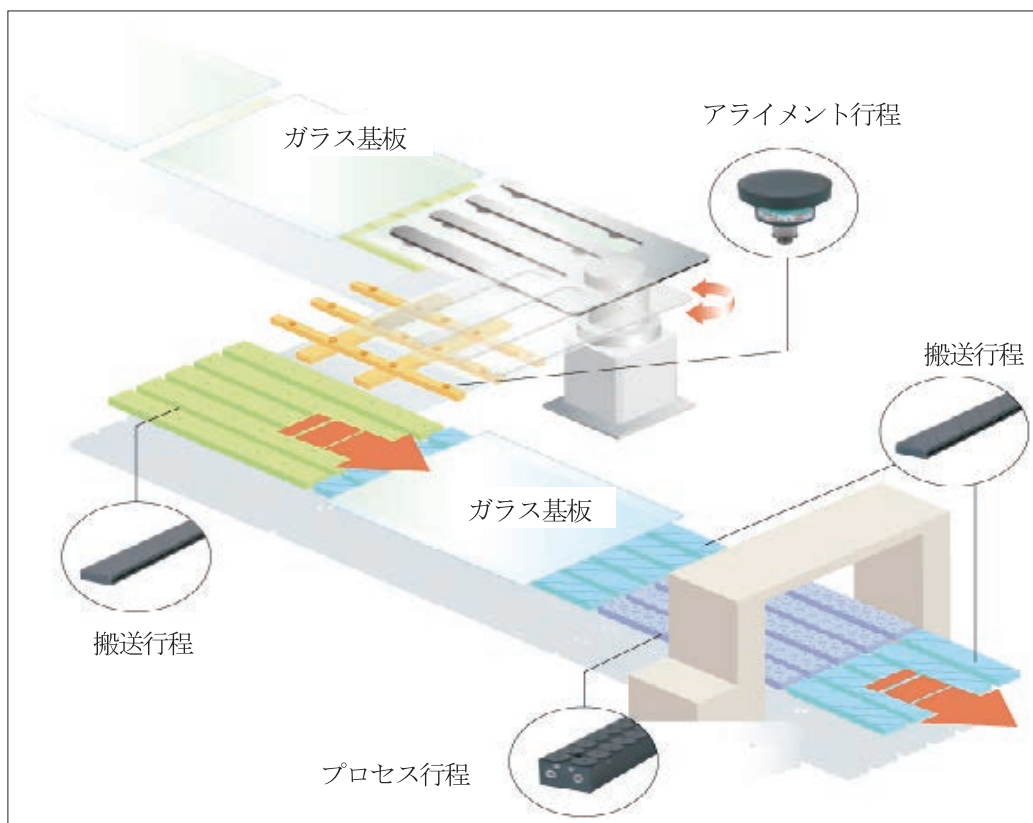


図1 ガラス基板の搬送工程

も必要なので、その表面には精密加工が行われています。浮上量が大きい場合には、少ない空気消費量で大きなガラス基板を安定して浮上させるための浮上面形状が作られています。

### 2.3 浮上搬送工程

浮上プレートは、生産ラインの各工程の要求にあわせた種類が用意されています。アライメント工程に使用されるタイプを図3に示します。この工程では約10 $\mu\text{m}$ の浮上量で精密な位置決め搬送が行われるため、浮上面がガラス基板のうねりに追従して揺動します。また浮上面はガラスに傷を

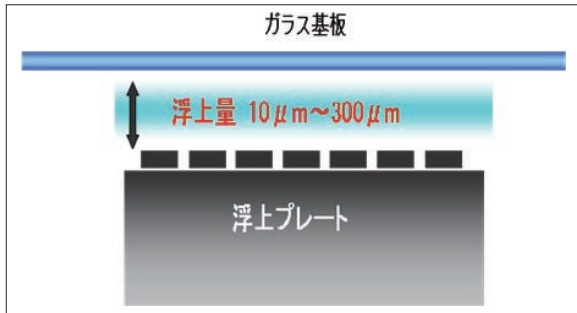


図2 ガラス基板の浮上量

付けない多孔質樹脂でできていて、真空引きすることでガラスの吸着保持も可能です。

主に搬送工程に使用されるタイプを図4に示します。浮上面全体から空気を放出し広い面積を安定浮上させます。この工程では250 $\mu\text{m}$ 以上の浮上量でガラス基板が搬送され、少ない空気消費量とともに搬送時に発生する静電気を逃がすことのできる材料（帯電防止材）が使われます。

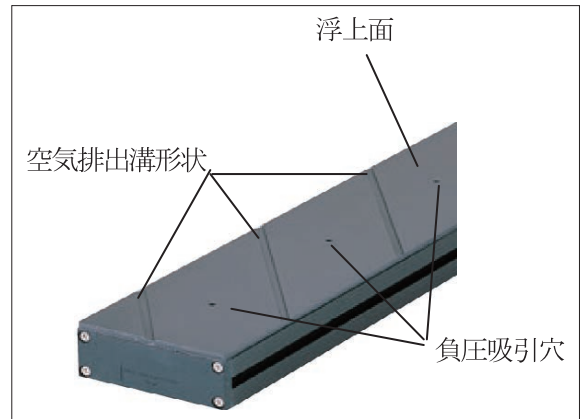


図4 搬送工程用の浮上プレート

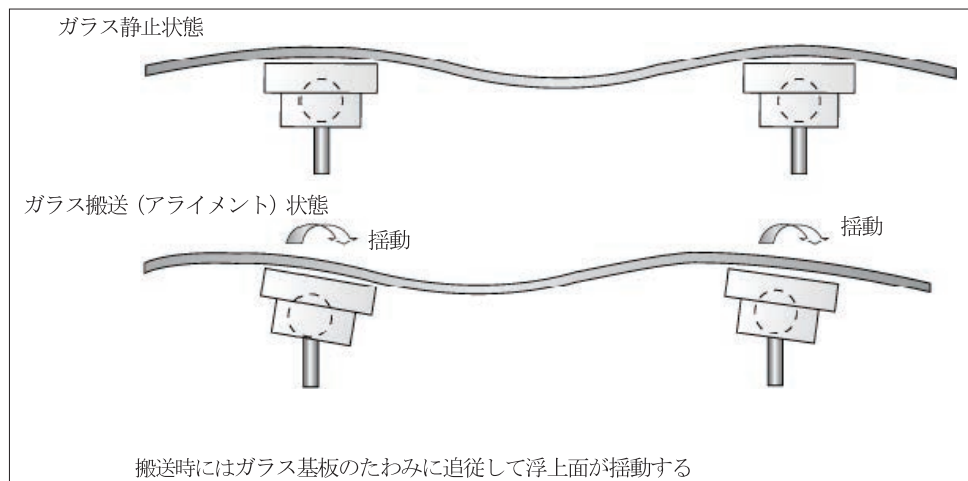


図3 アライメント工程の浮上搬送

プロセス工程では、少ない浮上量（約  $30\mu\text{m}$ ）と浮上したガラス基板の平面精度が必要とされます。浮上面は高精度に仕上げ加工され、表面溝レイアウトにより空気の抜けをよくし、ガラスがドーム状に膨らむことを防ぎます。このタイプはガラスを浮かせる正圧と、浮上面にガラスを押し付ける負圧を同時に使うことで、高精度な浮上平面度を得ています（図5）。

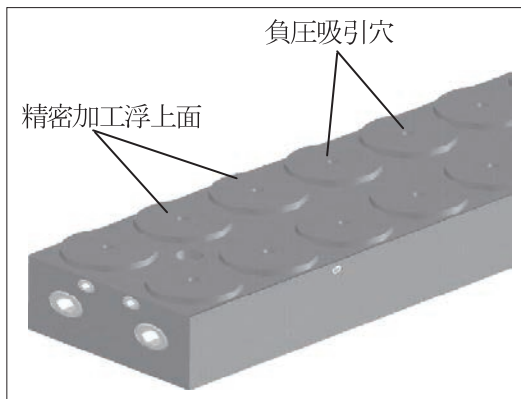


図5 プロセス工程用の浮上プレート

## 2.4 おわりに

空気圧による浮上搬送により、ガラス基板にダメージを与えることなく、安定して高速に搬送することが可能になりました。工程に必要な浮上量の制御やガラス基板の平面精度を得るために、空気圧の制御に加えて、特殊材料や精密加工技術などが組み合わせられています。このような浮上搬送技術は、大形ガラス基板だけでなく、薄く傷付き易い太陽光パネルなどの製造分野にも使用されており、今後も幅広く用途の拡大が見込まれます。

また浮上プレートは、負圧を使うことにより、広い面積を均一に吸引することが可能となるため、薄いシート材料を吸着させて搬送する工程にも使用されています。いずれの使い方も空気圧の特徴を生かした使用方法といえます。

### 3. 鉄道車両の空気圧

#### 3.1 はじめに

空気圧駆動は鉄道車両でも多くの用途で使用されています。JRや私鉄で使用されている例としては次のものがあります。

- (1) ブレーキの駆動
- (2) 乗降用ドアや防音カバーなどの開閉
- (3) 車両の高さや傾斜の調整
- (4) 東北新幹線車両と秋田新幹線車両の連結装置
- (5) 警笛
- (6) パンタグラフやワイパーの駆動
- (7) トイレの洗浄
- (8) リクライニングシートの調節

比較的新しく日本の環境に合わせた特徴的な用途として、秋田新幹線車両で使用されているステップ装置があります。ここではこのステップ装置を紹介します。

#### 3.2 ステップ装置の役割

秋田新幹線「こまち」は、東京駅と盛岡駅の間では、3.1の4項に挙げた連結装置で東北新幹線車両に連結されて走行します（図1）。

東京駅から盛岡駅までは新幹線線路上を走行しますが、盛岡駅から秋田駅の間は東北新幹線車両

とは切り離され、在来線線路上を走行することになります。

一般的な新幹線車両は、在来線車両と比較すると車両の幅が広く、新幹線駅のプラットホームも幅広の新幹線車両に合わせて作られています。

一方、秋田新幹線車両は、盛岡駅－秋田駅間では在来線の駅やトンネルなどの設備を使って走行するため、在来線車両と同じ幅で製作されています。従って、在来線区間の駅ではプラットホームと車両の間に隙間はありません（図2）。



図2 在来線区間駅で停車状況

しかし、新幹線の広い車両幅に合わせた新幹線駅で停車した時は、秋田新幹線車両とプラットホームの間に隙間ができてしまいます。乗客が安全に乗車降車できるように、ドアの下部の車体側に開閉するステップ（踏み板）が装備されています（図3）。



図1 連結された秋田・東北両新幹線車両



図3 新幹線駅で開いたステップ装置

新幹線線路上を走行するときは、ステップ部分が空気により発生する騒音を防止し、空気抵抗を低減するために閉じた状態となります。また、在来線線路上を走行するときは、在来線の設備に当たらないように同じく閉じた状態となります。

### 3.3 ステップ装置の概要

新幹線駅で開いたステップ装置を下方から撮影した画像が図4です。リンク機構の一部のみですが、駆動部分が見えています。ステップ装置は空気圧シリンダに特殊なリンク機構を組み合わせて駆動されています。

ステップ装置が開いた位置にあるときには、リンク機構の特性によりステップに過大な荷重が作用してもシリンダが押し戻されることはありません。また、寒冷地を走る車両であるため、冬季の氷雪などによってステップ装置の作動が妨げられないようにリンク構造などに独特な工夫がされています。

空気圧シリンダは扉の内側の床下部分に収納されています。機器の占める容積に対して、比較的大きな直線出力を得ることができる空気圧駆動の特性が生かされた実用例です。



図4 ステップ装置の下部

### 3.4 おわりに

このステップ装置は、新幹線駅に停車するとき以外は、閉じた状態です。車両の左右のステップは同時に開閉するので、隣の線路に入線する車両のステップ装置がよく観察できる駅もあります。空気圧は、「3.1 はじめに」の例に挙げましたように鉄道車両のいろいろな所に利用されています。新幹線に限らず鉄道を利用された時には、安全に十分注意した上で、ぜひ観察してください。

## 4. 火力発電の空気圧

### 4.1 はじめに

火力発電は石油や石炭、天然ガスを燃焼させて得た熱エネルギーを利用する発電方式で、大きく分けてボイラーによる発電方式とガスタービンによる発電方式がありますが、ボイラーによる発電方式には数多くの空気圧機器が使用されているため、ここではボイラーによる発電方式の説明をします。

### 4.2 ボイラーによる発電方式の概要

ボイラーを使用した火力発電所には、ボイラー、蒸気タービン、発電機が備わっており、発電に至るまでの流れは次のとおりです。(図1参照)

- ① ボイラー内で燃料（石油、石炭、天然ガス）を燃焼させて、得られた熱エネルギーを利用して水を沸騰させ水蒸気を発生させる。
- ② 発生した水蒸気により蒸気タービンを回転させる。
- ③ 蒸気タービンが回転することにより、蒸気タービンに接続された発電機が回転し電気を発生する。

### 4.3 ボイラーによる発電方式における空気圧の役割

ボイラーによる発電方式では、空気圧は主にボイラーに燃料を供給し、ボイラー内で燃料を燃焼させる時に使用されます。ここでは、石油系燃料の場合の回路を図2に示し、石油系燃料における発電の説明を行います。

(1) ボイラーに燃料を供給する（図3、4参照）

- ① ボイラーに燃料を供給する配管にはボール弁が取り付けられており、その弁の開閉動作によりボイラーへの燃料の供給、停止が行われます。その弁の操作には空気圧が利用されます。
- ② 図2に示されるさまざまな名称の弁にはボール弁が使用されています。これらのボール弁には空気圧シリンダや空気圧ロータリアクチュエータが搭載されており、全て空気圧電磁弁の操作により開閉動作を行っています。

(2) ボイラー内で燃料を燃焼する（図3、5参照）

- ① ボイラー内で燃料を燃焼させますが、その燃料を噴出させて点火する装置をバーナーガンと呼びます。
- ② 点火の際にはバーナーガンをボイラー内部に挿入しますが、その動作はバーナーガン抜き差しシリンダで行い、空気圧電磁弁の操作により点火時にはバーナーガンを挿入し、消化時にはバーナーガンを引き抜きます。

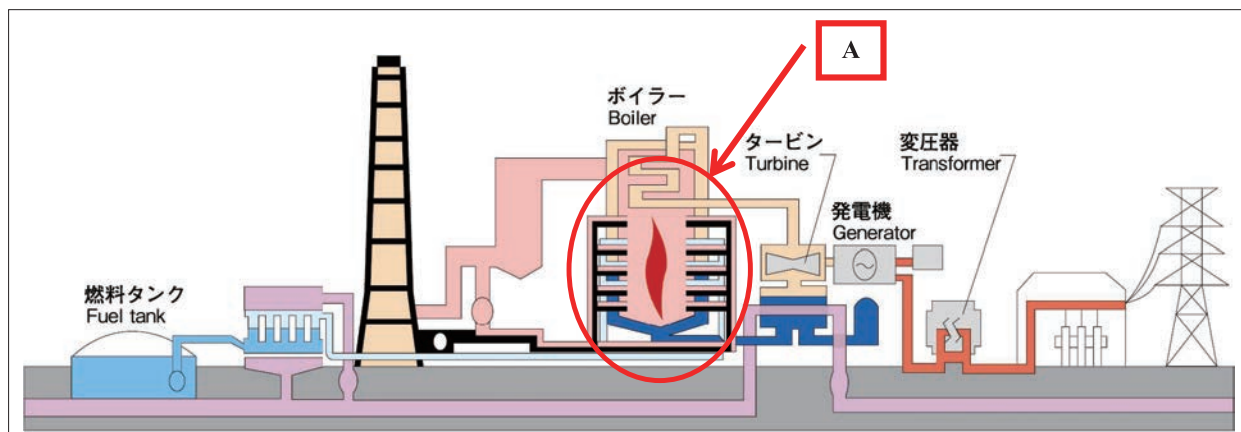


図1 火力発電所の概略図

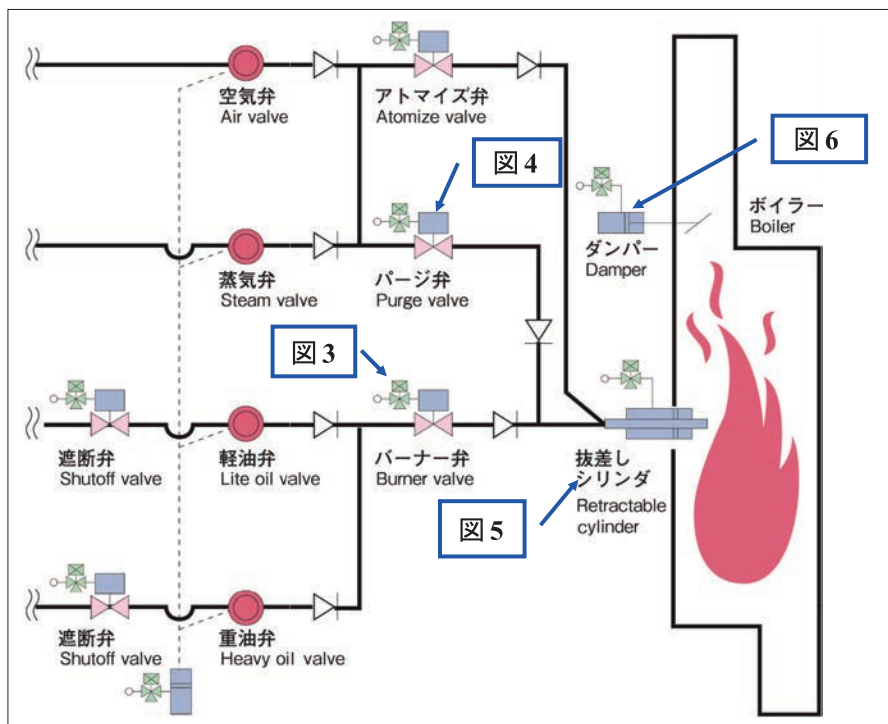


図2 火力発電用ボイラーにおける空気圧機器の使用例 (図1 A部詳細)



図3 電磁弁

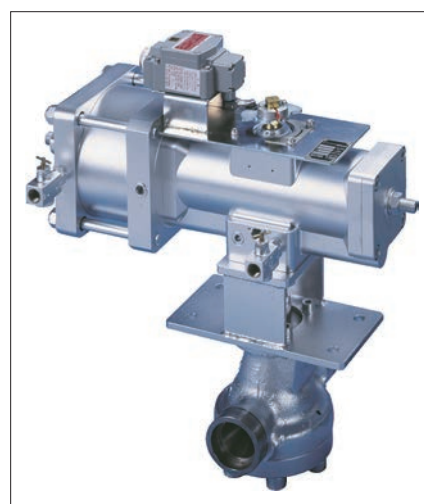


図4 ボール弁

(3) ボイラー内に空気を供給する (図6 参照)

- ① ボイラー内で燃料が燃焼するためには、空気が必要になります。その空気を供給するために、ボイラーにはダンパーが設置されています。
- ② ダンパーの操作はポジション付空気圧シリンダで行います。
- ③ ポジショナとは空気圧シリンダの位置を調整するための機器で、空気圧シリンダ操作

空気の供給口と、空気圧シリンダ位置調整用の信号用空気の供給口を供えています。

- ④ ポジショナで空気圧シリンダの位置調整を行うことによりダンパーの開度を調整し、ボイラー内の燃焼に適した空気の供給量を調整することができます。





図5 バーナーガン抜差しシリンダ

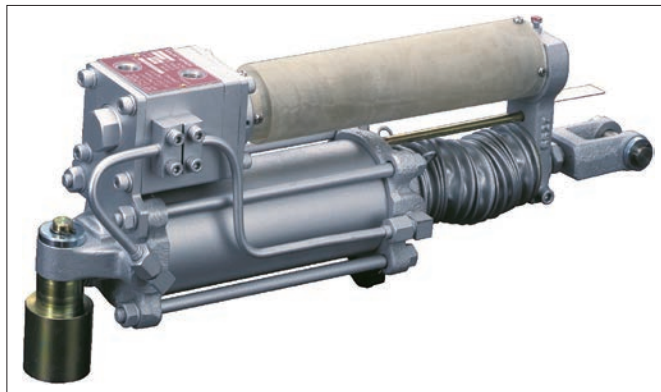


図6 ダンパー操作用ポジションナ付空気圧シリンダ

#### 4.4 おわりに

空気圧は火力発電分野以外にも、原子力発電やLNG基地、又は化学プラント等の大規模な工場設備に数多く利用されており、その用途や役割も多岐に渡ります。この度は火力発電を例に挙げて概略の空気圧利用の紹介をしましたが、少しでも空気圧の活用と重要性を理解していただければ幸いです。