

# アクチュエーターとシステム2

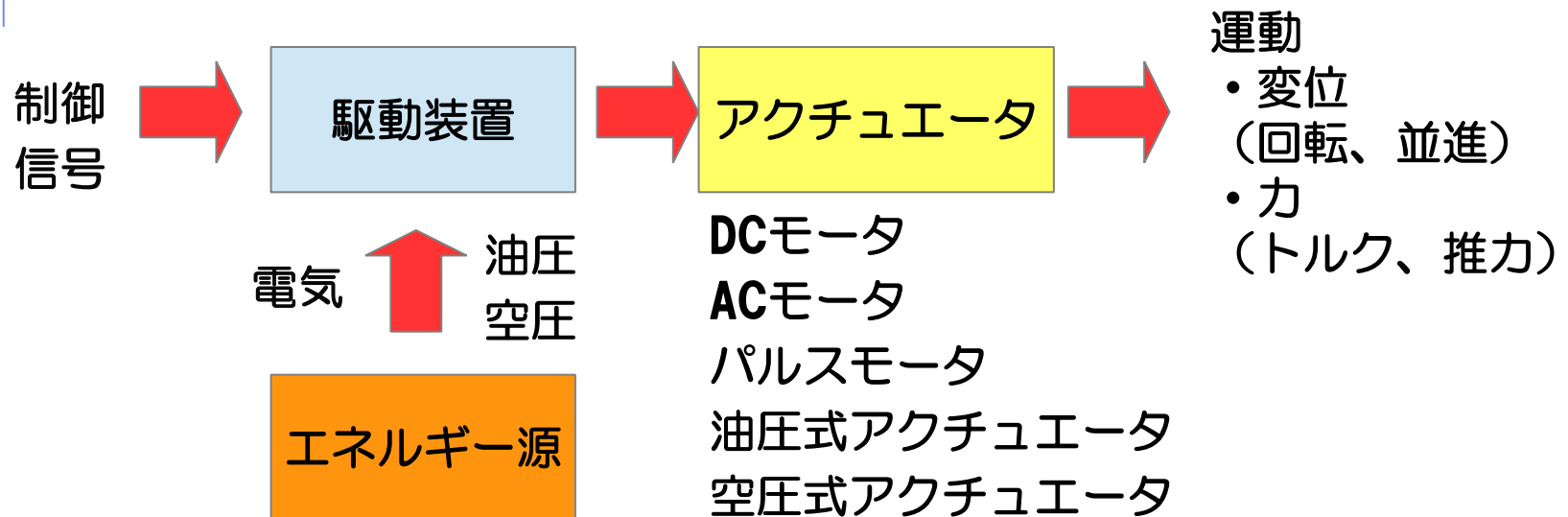
下条誠\*

\*電気通信大学

# アクチュエータとは？

英】 actuator

もともとは、「動作させるもの」という意味  
入力されたエネルギーを物理的な運動へと変換  
一般的には、電気エネルギーを運動に変換する装置



# モータ以外のアクチュエータ

✓ 油圧アクチュエータ

✓ 空圧アクチュエータ

✓ 圧電アクチュエータ

✓ 静電アクチュエータ

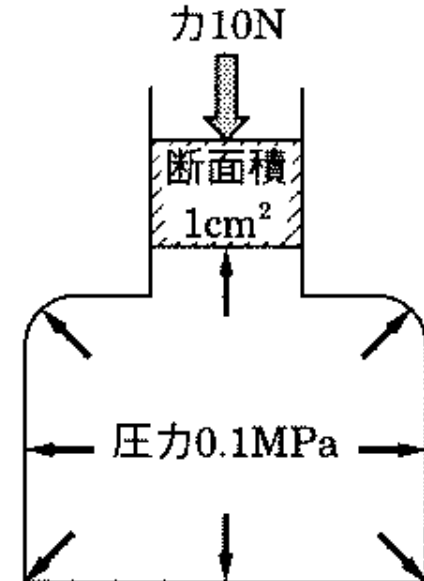
...etc

# 油圧アクチュエータとは

閉ざされた空間に油を封じ込めて、その圧力を離れた場所に伝え、その力をコントロールして機械的な仕事をさせる機器

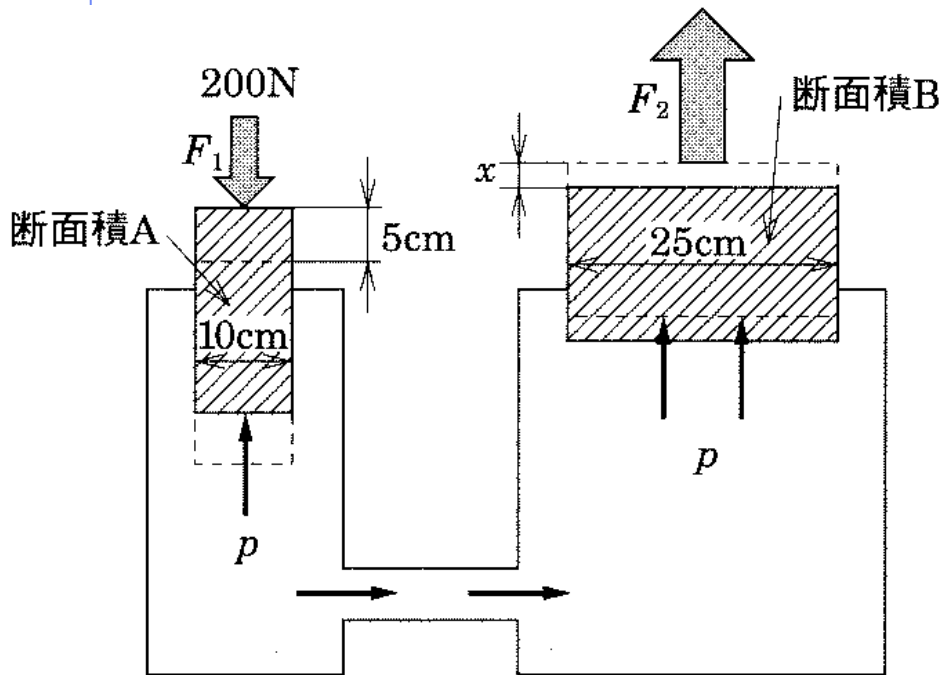
## 原理：パスカルの原理

密閉容器内の流体の一部に圧力を加えると、その圧力は流体のすべての部分に一様に伝わり、容器のいずれの面にも垂直に作用



# 油圧アクチュエータの例題

図は、左右で異なる径のシリンダ(円筒)を接続し、油で満たして、円柱形のピストンで蓋をしたものである。次の問題に答えよ。



・左のピストンに力 $F_1$ を加えた時の右のピストンに生じる力 $F_2$ は？

圧力一定ゆえ 
$$p = \frac{F_1}{A} = \frac{F_2}{B}$$

よって 
$$F_2 = F_1 \frac{B}{A} = F_1 \frac{\pi D_R^2/4}{\pi D_L^2/4} = 1250 [N]$$

・左ピストンを5cm押し込んだときの右ピストンの浮き上がり量 $x$ は？

容器内の流体の体積に変化はないので

$$x = \frac{A l}{B} = \frac{\pi D_L^2/4}{\pi D_R^2/4} l = 0.8 [cm]$$

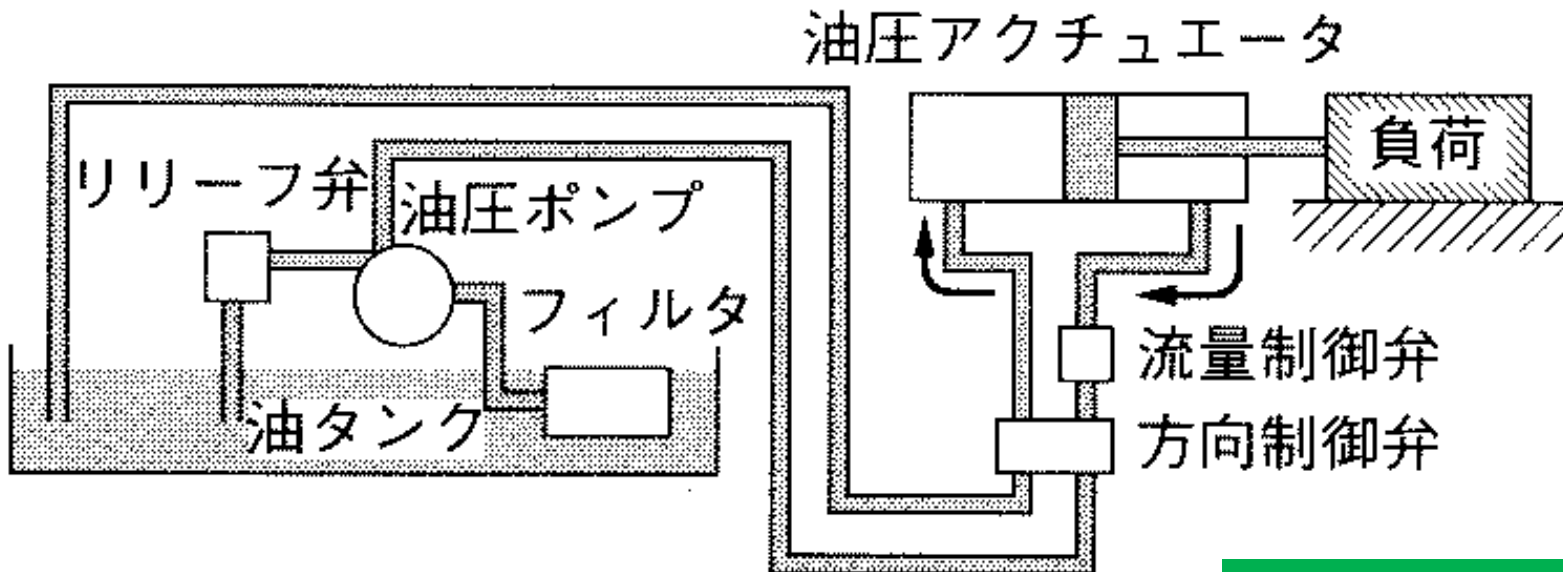
# 油圧装置の構成

**油圧源:**油タンク、油圧ポンプ、モータ、エンジン

**制御弁:**圧力制御弁、方向制御弁、流量制御弁

**油圧アクチュエータ:**油圧シリンダ、油圧モータ

**付属機器:**配管類、計器、冷却器など



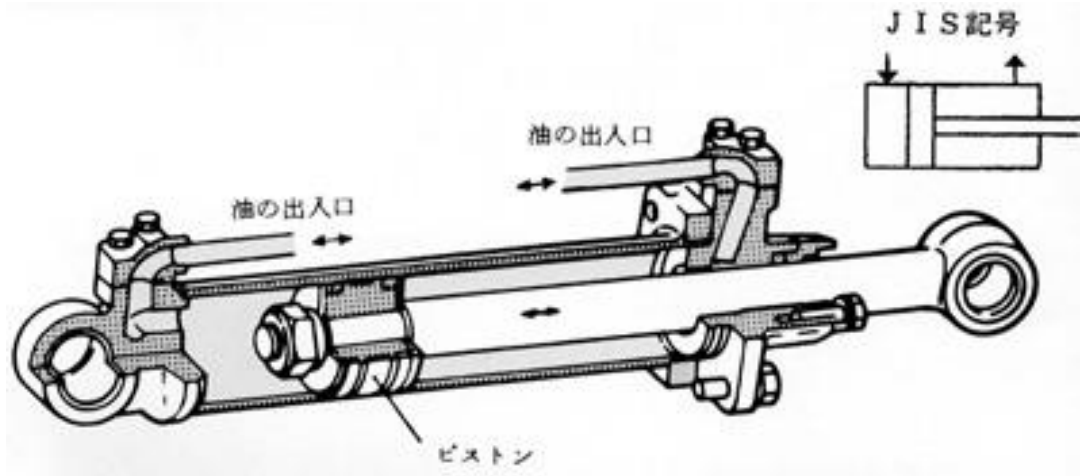
ビデオ 油圧系統

# 油圧シリンダ

油圧エネルギーを直線運動に変換する機器

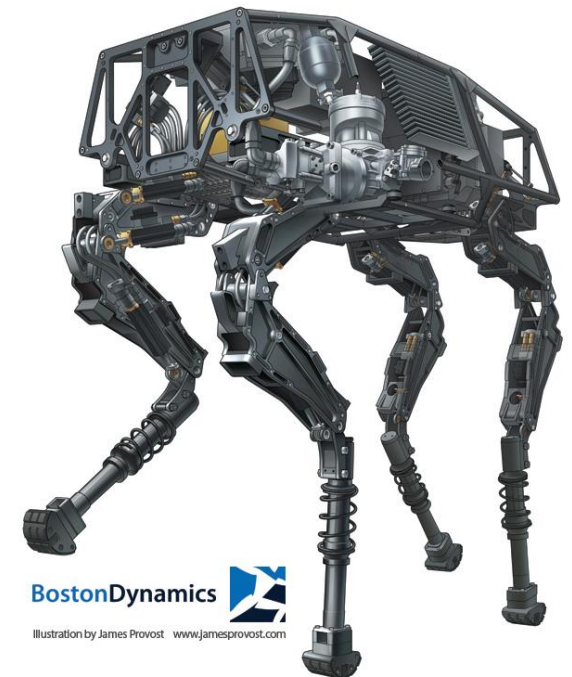
本体シリンダ内を摺動するピストンとピストンロッドから構成

1. Aポートから油圧が供給されると、ピストンが押され、排出側の室の油はBポートを通じて排出される
2. 反対側のポートから油を供給すると、同様にピストンが移動し後退する。



# 油圧アクチュエータの適用例

建設機械(ショベルカー、ブルドーザ)、工作機械、成形機械、ロボット、産業用車両、アミューズメントパーク、フライトシミュレータ、農業機械



油圧 産業機械 2MPa~35MPa 70MPa



# 油圧アクチュエータの特徴

## ■長所

- ✓ 離れたところにあるものに大きな力を伝達可能
- ✓ 油を使用しているため、潤滑性や防錆に優れている
- ✓ 流量制御で速度制御容易
- ✓ 油の方向制御で運動の方向変換が容易
- ✓ 圧力制御により力を無段階に制御することができる

## ■短所

- ✓ 燃える
- ✓ シール材のゴムが経年劣化→漏れる
- ✓ 油を送る配管が必要
- ✓ ポンプをまわさないといけない(電気、ガソリン使用)

# 油でなく水ではどうか？

## ■水圧：水のほうがコストも低く、地球にやさしいのでは？

- ✓ 管がさびる。
- ✓ 粘度が低いので液漏れ
- ✓ 温度の影響を受けやすい(上空( $-50^{\circ}\text{C}$ )凍ってしまう)

• ロンドンタワーブリッジ 当初は蒸気機関と水圧

• エッフェル塔のエレベータ (当初水圧)



ただし、食品工場などで油圧の代わりとして、見直されつつある例もある

# 空気圧アクチュエータ

空気圧エネルギー(圧縮空気)を用いて運動をさせ、運転機械的な仕事をさせる機器

特徴:

長所

- ✓ 清潔で安全なエネルギー
- ✓ 構造が簡単で小型、安価
- ✓ 使用環境を選ばない
- ✓ 保守、点検が簡単

短所

- ✓ 正確な速度制御や位置制御がむずかしく、
- ✓ 負荷変動の影響を受けやすい

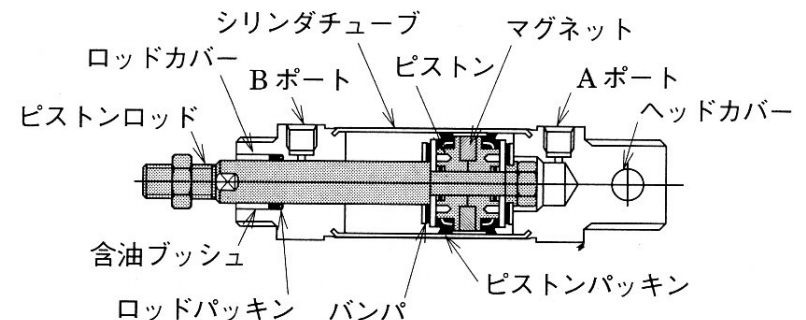
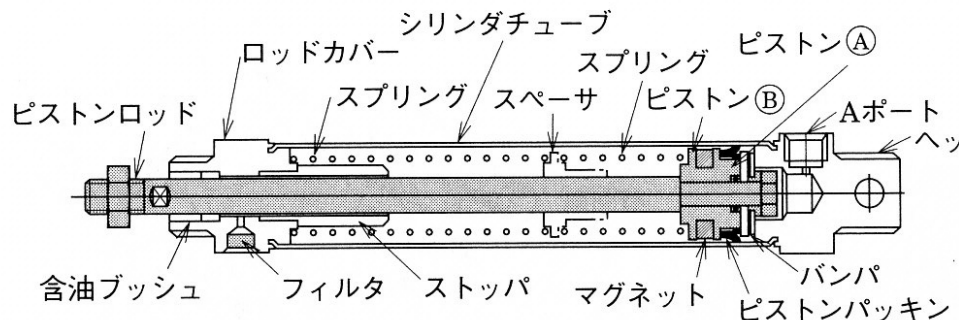
# エアシリンダ

空気圧によって直進動作をするアクチュエータ

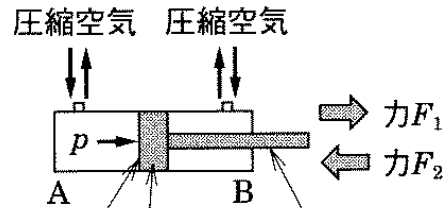


本体シリンダ内を摺動するピストンとピストンロッドから構成  
作動原理

1. Aポートから圧縮空気が供給されると、ピストンが押され前進し、ピストンロッドに推力が発生する
2. ピストンの戻りは内蔵されたスプリングの力によって後退



# エアシリンダの例題



ピストンの断面積    ピストン    ピストンロッド

直径 $D=20\text{mm}$ 、ピストンロッド径 $d=8\text{mm}$ のシリンダに、 $0.5\text{MPa}$ の圧縮空気を作用させたときのシリンダの前進時、後退時の理論出力 $F[\text{N}]$ は？

$$\text{Pa} = \text{N}/\text{m}^2$$

$$\text{MPa} = \text{N}/\text{mm}^2$$

シリンダA側、B側の断面積はそれぞれ

$$A = \frac{\pi}{4} \times D^2 \quad B = \frac{\pi}{4} \times (D^2 - d^2)$$

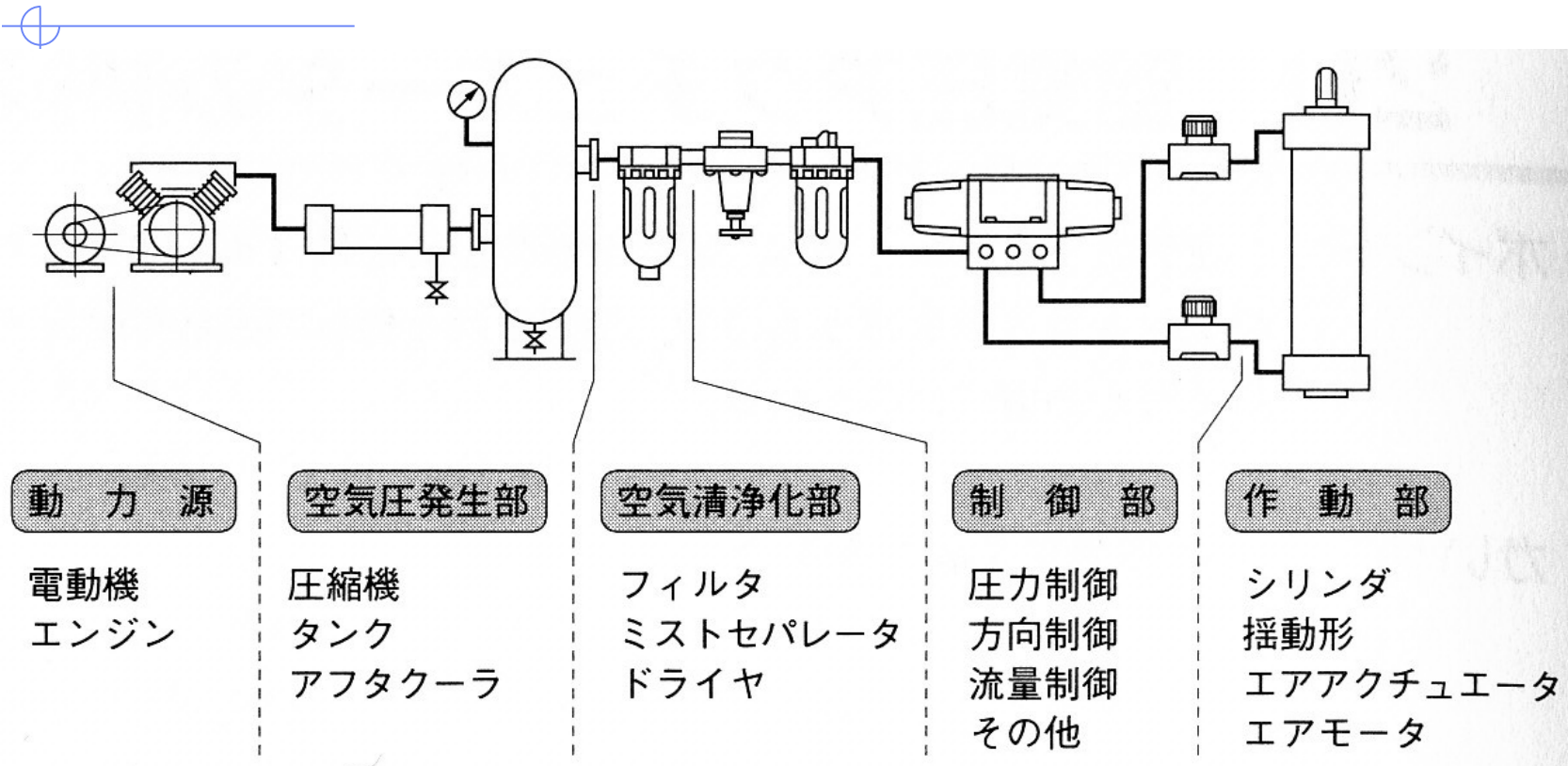
前進時(押し側)

$$F_1 = p \times A = 0.5 \times \frac{\pi}{4} \times 20^2 = 157[\text{N}]$$

後退時(引き出し側)

$$F_2 = p \times B = 0.5 \times \frac{\pi}{4} \times (20^2 - 8^2) = 132[\text{N}]$$

# 空気圧装置の構成



**コンプレッサ**

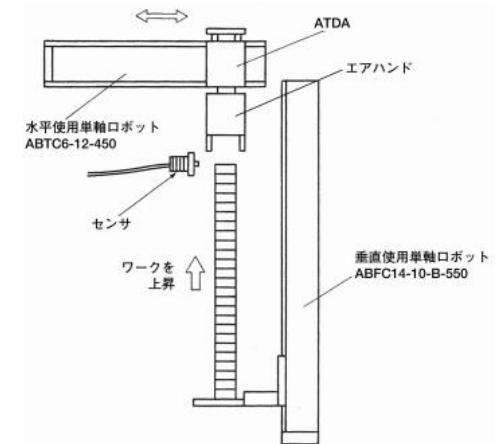
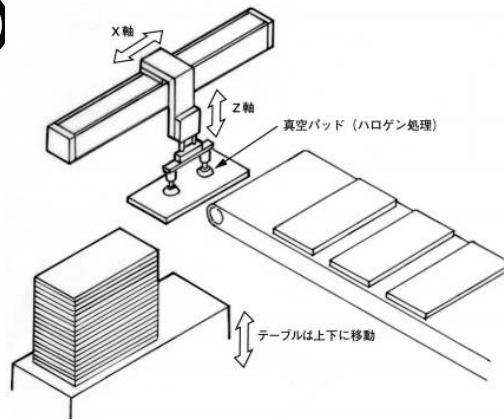
**圧縮空気の状態  
を適正に調整**

**電磁弁など**

**ビデオ 空圧系統**

# 空気圧アクチュエータの用途

- ✓ 産業用機械、車両、自動車
- ✓ 真空吸着パッド
- ✓ 自動カーテン(工場)
- ✓ 電車のドアの開閉



電子工業、精密機械工業、医薬品、食品製造などの清浄度の高い環境を要求される分野で、クリーンルーム内などで使用

# ゴム人工筋アクチュエータ

空気圧人工筋肉 (Pneumatic artificial muscles:PAMs)

McKibben(マッキベン)型人工筋肉

伸縮性に富むゴムチューブの外周を伸びの少ない繊維で編んだスリーブで被覆し、両端を金具で固定。

端部から圧縮空気を供給すると、半径方向に膨張すると共に、長手方向に収縮する

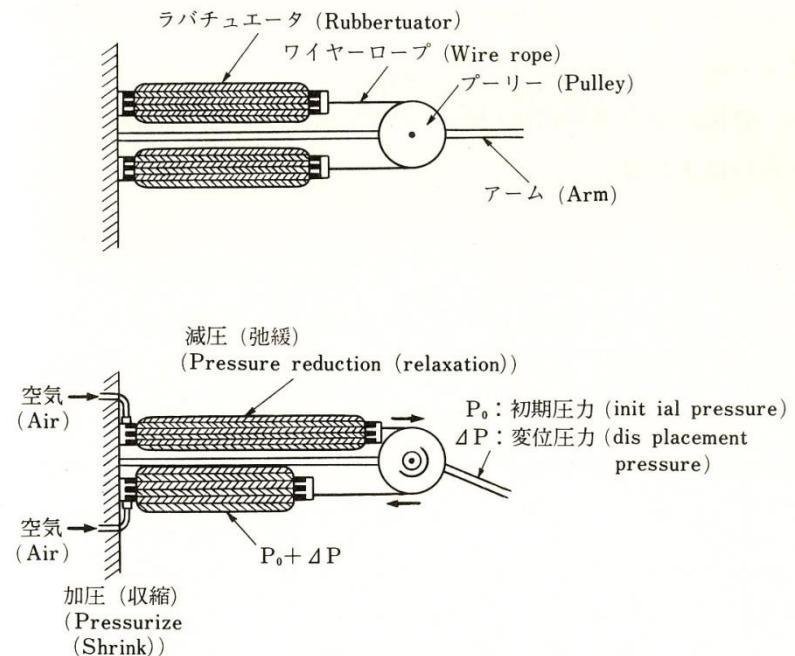
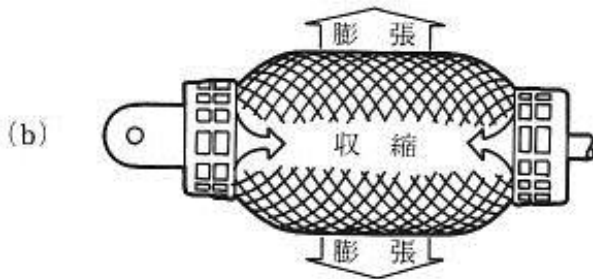
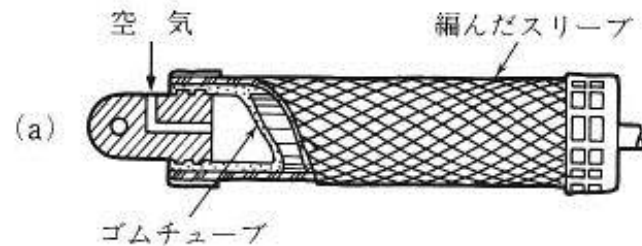


図1.22 ラバチュエータの原理 (The principle of rubber actuator)



## ゴム人工筋アクチュエータの特徴、用途

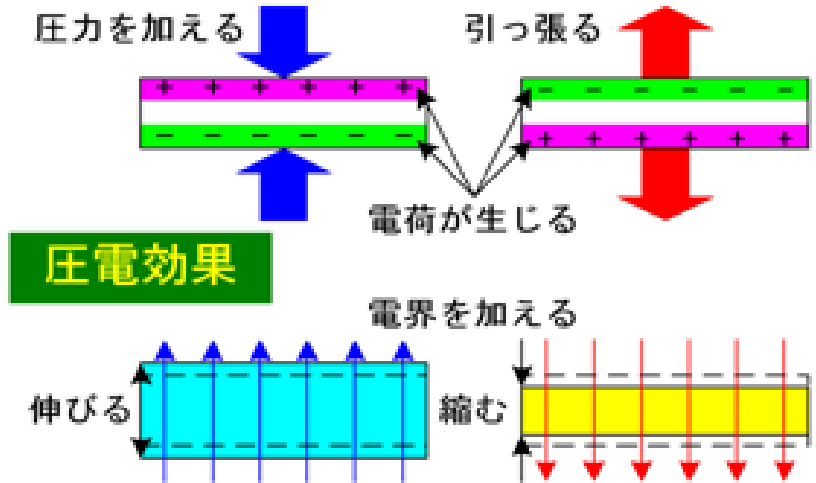
**特徴:**構造が簡単で軽量、高出力。耐環境性に優れる  
特性が非線形、ヒステリシスが比較的大きいなどの問題

**用途:**ゴム人工筋を応用したロボットアームは、非常に軽量になると共に、コンプライアンスの制御が容易であり、ソフトなハンドリングに適している。産業用のみならず、アミューズメントや福祉用ロボットへの適用が期待される

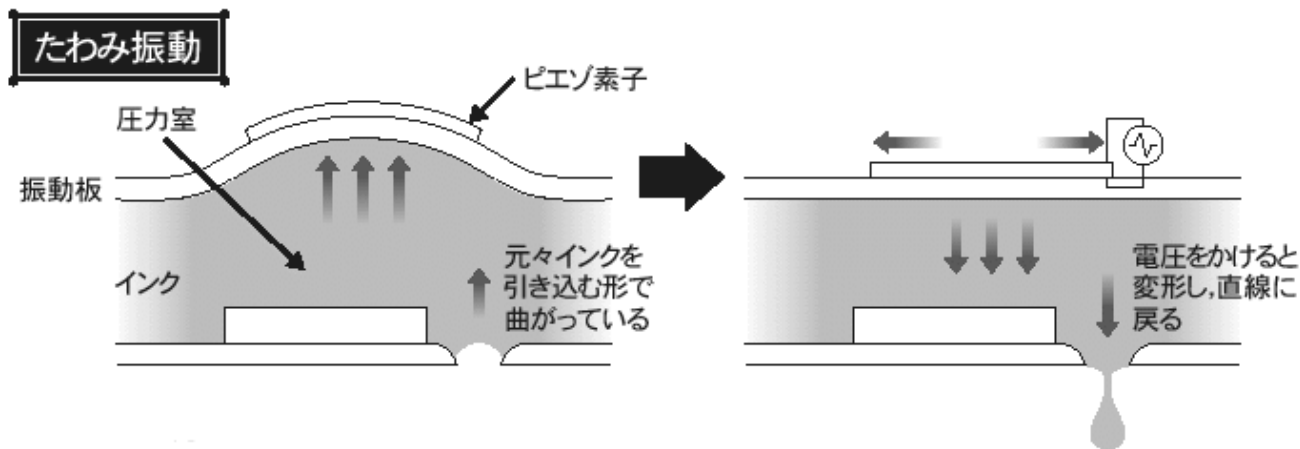


# 圧電アクチュエータ

高電圧をかけると伸縮する素子(圧電セラミックス)を利用したアクチュエータ



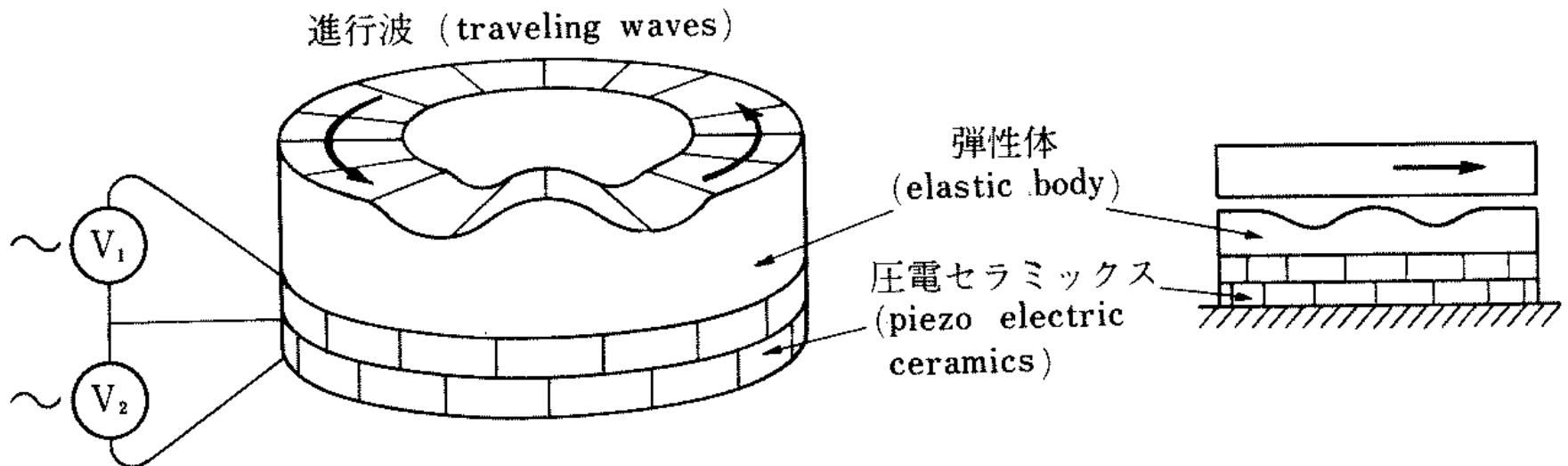
インクジェットプリンタのノズルなどに使われている



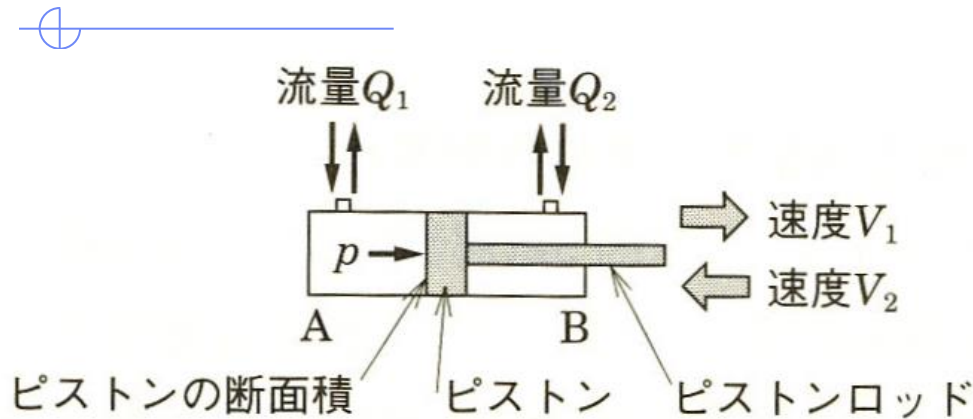
# 超音波モータ

圧電素子に周期的に電圧を加えて振動を発生し、  
ステータにうねりを発生させ、  
ロータをそのうねりに乗せて進行させる

カメラのオートフォーカスなどに用いられる



# 油圧シリンダの例題



油の流量 $Q_1, Q_2$ がそれぞれ  
 $1000\text{cm}^3/\text{s}$ のとき、ロッドの出る速  
 さおよび、引き込む速さは？ただし、  
 シリンダの内径:40mm、ロッドの  
 径:16mm

シリンダの速度 = 流入油量 / シリンダの断面積

➤ ロッドの出る速さは

$$V_1 = \frac{Q_1}{A} = \frac{Q_1}{\frac{\pi \times D^2}{4}} = 79.6 [\text{cm/s}]$$

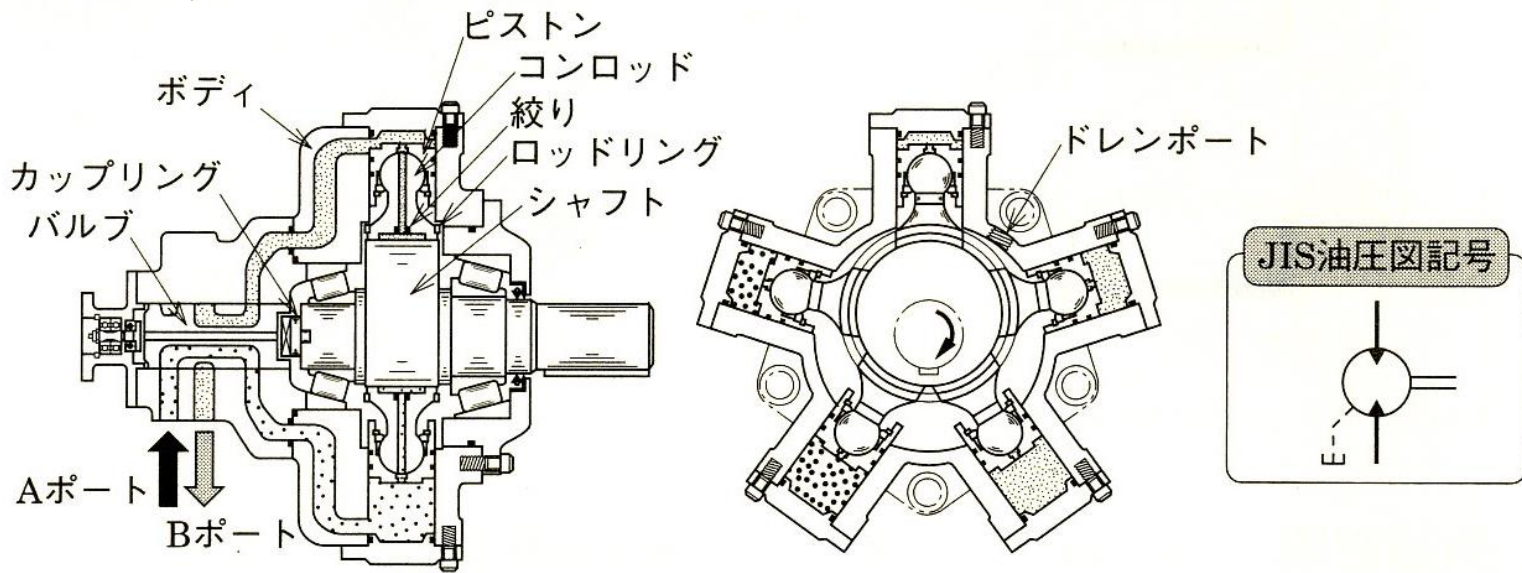
➤ ロッドの引き込む速さは

$$V_2 = \frac{Q_2}{B} = \frac{4 Q_2}{\pi \times (D^2 - d^2)} = 94.8 [\text{cm/s}]$$

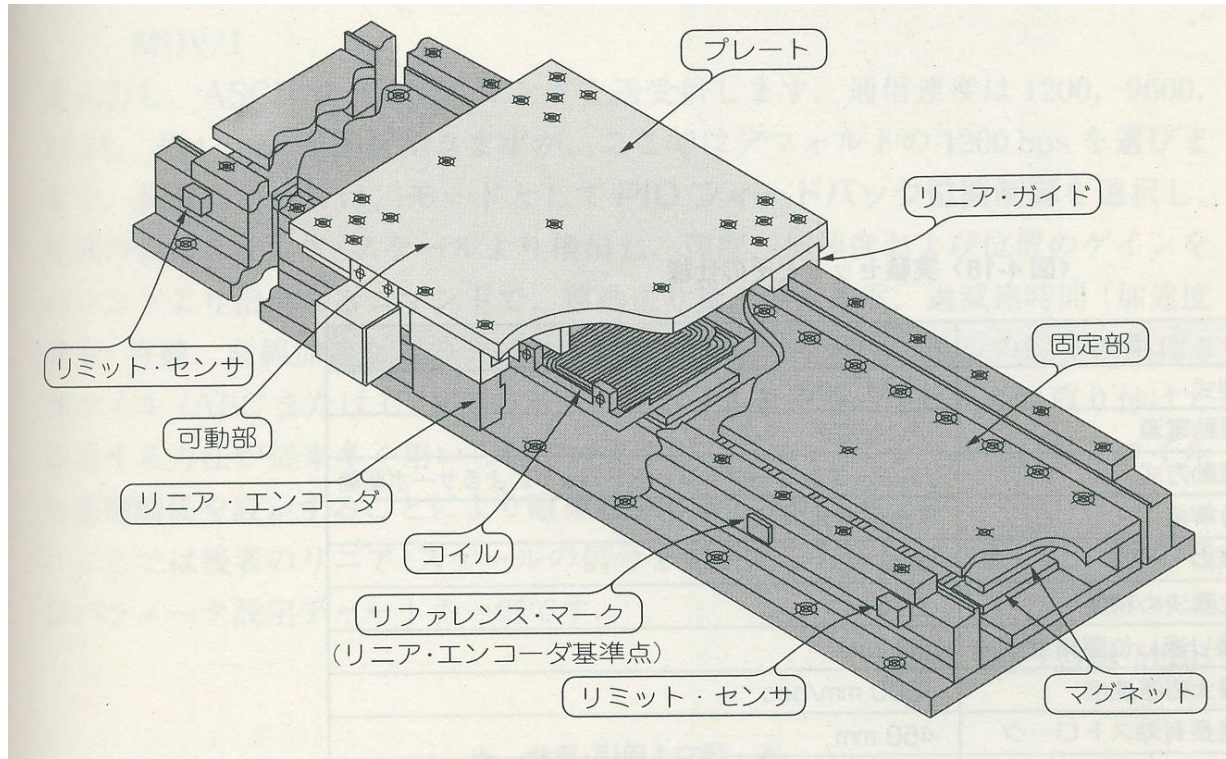
# 油圧モータ

油圧エネルギーを圧力、流量を機械的エネルギーのトルク、回転に変換する

1. Aポートより送り込まれた油は各シリンダへ順次供給される
2. 油の供給を受けたピストン部はクランクを押し回転力を得る
3. 反対側のBポートは排出口となる

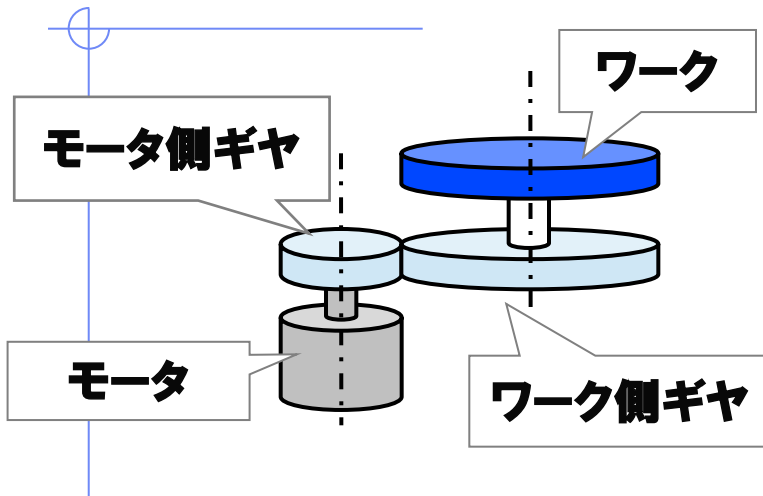


# リニアモータ



おわり

# モータ選定例 減速機構 その1



円柱形状のワーク

$$m_W = 1 [kg]$$

$$r_W = 0.1 [m]$$

を、水平面上で回転運動させる時に必要な  
モータトルクは？

ギヤ比

$$Z_M : Z_W = 1 : 2$$

$$m_{MG} = 0.1 [kg] \quad r_{MG} = 0.05 [m]$$

ワーク側

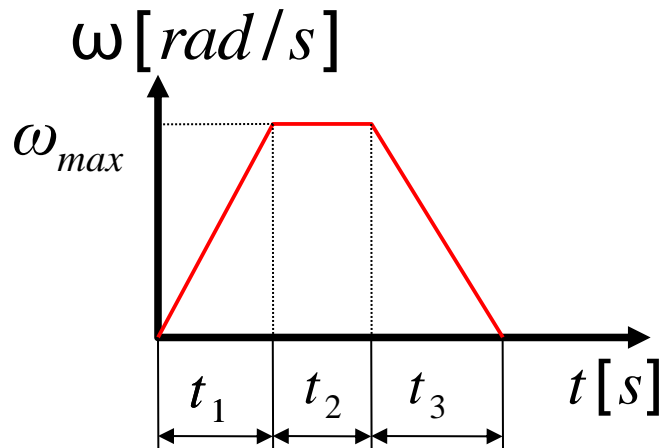
$$m_{WG} = 0.4 [kg] \quad r_{WG} = 0.1 [m]$$

回転角度

$$\theta_M = \pi [rad] \quad (\theta_W = \frac{\pi}{2} [rad])$$

駆動時間

$$t_1 = t_3 = 0.3 [s], t_2 = 0.1 [s]$$





# モータ選定例 減速機構 その2

## 負荷トルクの基本式

T: モータトルク [N・m]

J: 慣性モーメントの合計 [kgf・m<sup>2</sup>]

ω: 回転角速度 [rad/s]

T<sub>L</sub>: 摩擦負荷トルク

今回、摩擦負荷トルクは省略

$$T = J \left( \frac{d\omega}{dt} \right) + T_L$$

$$T = J \left( \frac{d\omega}{dt} \right)$$

慣性モーメントの合計

$$J = J'_W + J'_{WG} + J_{MG}$$

負荷トルク

$$T = J \frac{d\omega}{dt} = (J'_W + J'_{WG} + J_{MG}) \frac{d\omega}{dt}$$

減速機構では、対象とする軸での慣性モーメントに減速比の2乗を掛けたものが、モータ軸での等価慣性モーメント

$$T = \left( J_W \left( \frac{Z_M}{Z_W} \right)^2 + J_{WG} \left( \frac{Z_M}{Z_W} \right)^2 + J_{MG} \right) \frac{d\omega}{dt}$$

## モータ選定例 減速機構 その3

ここで、質量 $M$ 、半径 $R$ の円盤の慣性モーメントは  $J_c = \sum m_i r_i^2 = \frac{1}{2} MR^2$

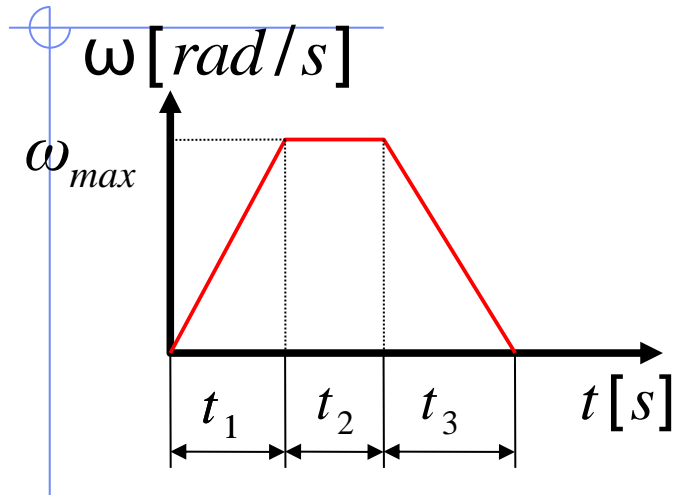
$$\begin{aligned}
 T &= \left( J_W \left( \frac{Z_M}{Z_W} \right)^2 + J_{WG} \left( \frac{Z_M}{Z_W} \right)^2 + J_{MG} \right) \frac{d\omega}{dt} \\
 &= \left( \frac{1}{2} m_W r_W^2 \left( \frac{Z_M}{Z_W} \right)^2 + \frac{1}{2} m_{WG} r_{WG}^2 \left( \frac{Z_M}{Z_W} \right)^2 + \frac{1}{2} m_{MG} r_{MG}^2 \right) \frac{d\omega}{dt}
 \end{aligned}$$

残るは  $\frac{d\omega}{dt}$  の扱い

負荷トルクの最大値を選定基準

$\frac{d\omega}{dt}_{max}$  を求めて  $T_{max}$  を算出

# モータ選定例 減速機構 その4



$$\frac{d\omega}{dt}$$

は、加速時、減速時が最大値

t1の間に  $\omega = 0 \rightarrow \omega_{max} [rad/s]$

つまり 
$$\frac{d\omega}{dt}_{max} = \frac{\omega_{max}}{t_1} [rad/s^2]$$

一方、回転角度

$$\theta_M = \int_{t=0}^{t_1+t_2+t_3} \omega dt = \omega_{max} (t_1 + t_2)$$

よって

$$\frac{d\omega}{dt}_{max} = \frac{\theta_M}{t_1(t_1 + t_2)} [rad/s^2]$$

よって負荷トルクの最大値は

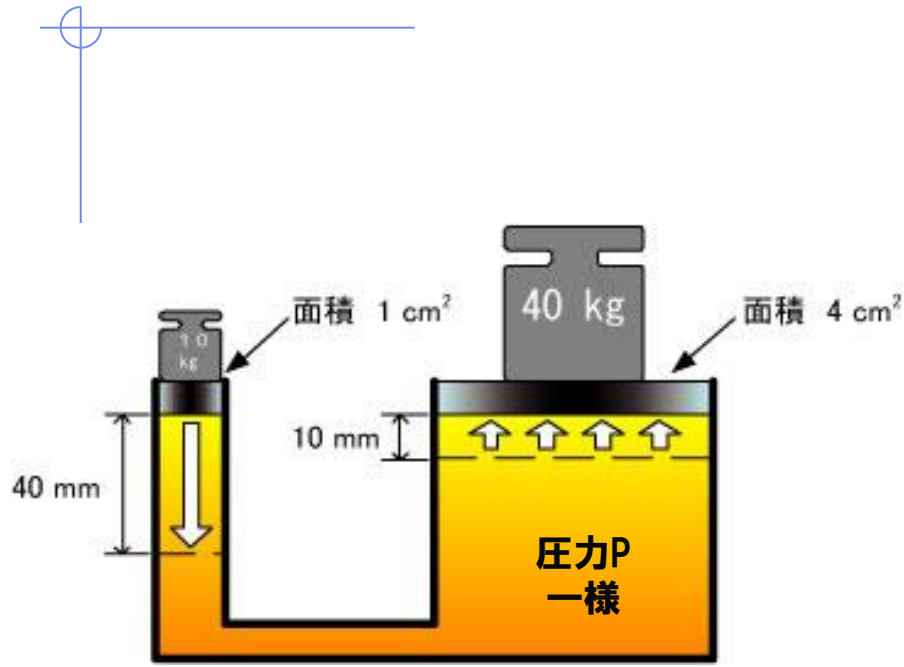
$$T_{max} = \left( \frac{1}{2} m_W r_W^2 \left( \frac{Z_M}{Z_W} \right)^2 + \frac{1}{2} m_{WG} r_{WG}^2 \left( \frac{Z_M}{Z_W} \right)^2 + \frac{1}{2} m_{MG} r_{MG}^2 \right) \frac{\theta_M}{t_1(t_1 + t_2)}$$

## モータ選定例 減速機構 その5

$$\begin{aligned} T_{max} &= \left( \frac{1}{2} m_W r_W^2 \left( \frac{Z_M}{Z_W} \right)^2 + \frac{1}{2} m_{WG} r_{WG}^2 \left( \frac{Z_M}{Z_W} \right)^2 + \frac{1}{2} m_{MG} r_{MG}^2 \right) \times \frac{\theta_M}{t_1(t_1+t_2)} \\ &= \left( \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 0.1^2 \left( \frac{1}{2} \right)^2 + \frac{1}{2} \cdot 0.4 \cdot 0.1^2 \left( \frac{1}{2} \right)^2 + \frac{1}{2} \cdot 0.1 \cdot 0.05^2 \right) \times \frac{\pi}{0.3 \cdot (0.3+0.1)} \\ &= 0.049 [N \cdot m] \end{aligned}$$

なお、

$$\omega_{max} = \frac{\theta_M}{t_1+t_2} = \frac{\pi}{0.3+0.1} = 7.85 [\text{rad} / \text{s}] \quad 75 [\text{rpm}]$$



断面積A:  
 $1 \text{ cm}^2$

断面積B:  
 $4 \text{ cm}^2$

