

# オートメーション工学

渡部 透

教科書「オートメーション工学」

コロナ社ロボティクスシリーズ 第11巻

# 1章 はじめに

# 1. 1 歴史

- Automation
  - 蒸気エンジン、電気モータ、工作機械
  - 部品互換性
  - 流れ作業、分業、大量生産
  - トランスファーマシン

# Flexible Automation

- 制御理論、メカトロニクス
- 半導体、計算機、デジタル制御、ネットワーク
- ロボット、数値制御工作機械
- 多品種少量生産
- グローバル生産、リードタイム縮小

# 1. 2 本授業で学ぶこと

- 工場で使われる自動化システム
- 構成法
- オートメーション用機械・電気部品
- 加工・組立機械
- オートメーション用制御方式
- ロボット応用
- フレキシブル生産システム
- LAN, ネットワーク
- 生産管理ソフトウェア

# 1. 3 今後の展開

- 人間との競合
- 人間の救済
- 人間ではできないハイテク製品の製造
- 経済発展の役割、ピラミッド
- 資源の浪費、リサイクル
- 人類のサバイバルのために

# 2章 生産システムの種類

# 2章 生産システムの種類

- 2. 1 開発、設計、部品加工、製品組立
- 2. 2 機械式オートメーション
  - トランスファーライン
- 2. 3 フレキシブル・オートメーション
  - フローショップ
- 2. 4 フレキシブル・オートメーション
  - ジョブショップ
- 2. 5セル生産方式
- 2. 6 近未来の生産方式



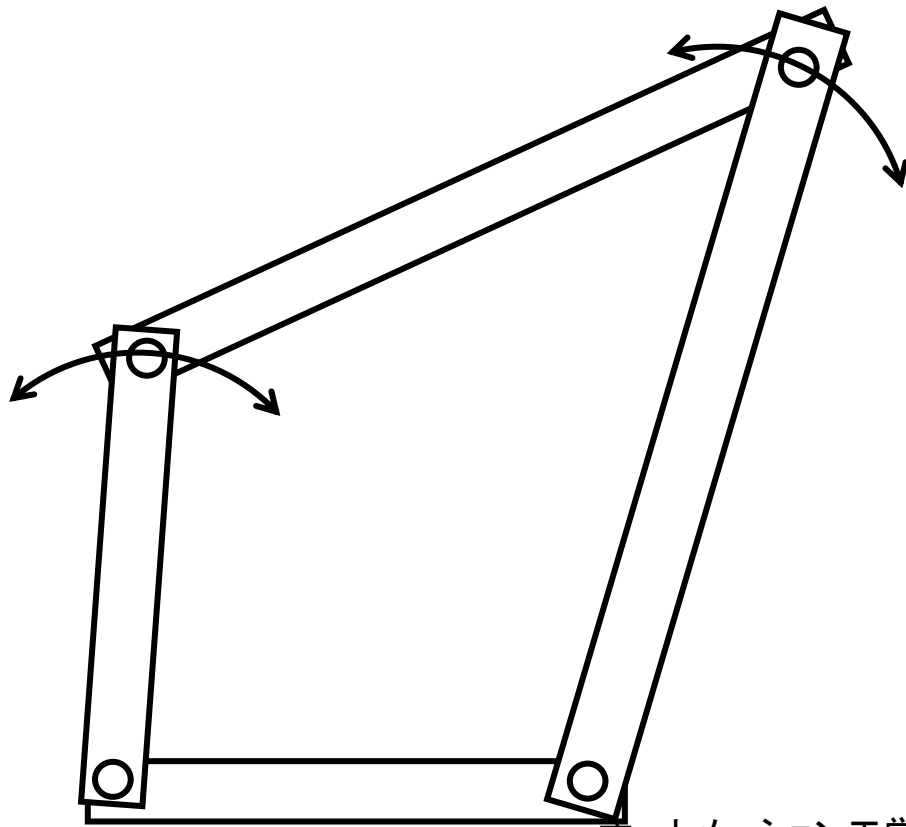
# 章末問題

- 大量生産、多品種少量生産方式の要求に対するオートメーションシステムの変遷について述べよ。

# 3章 オートメーションシステムで 使われる機械要素

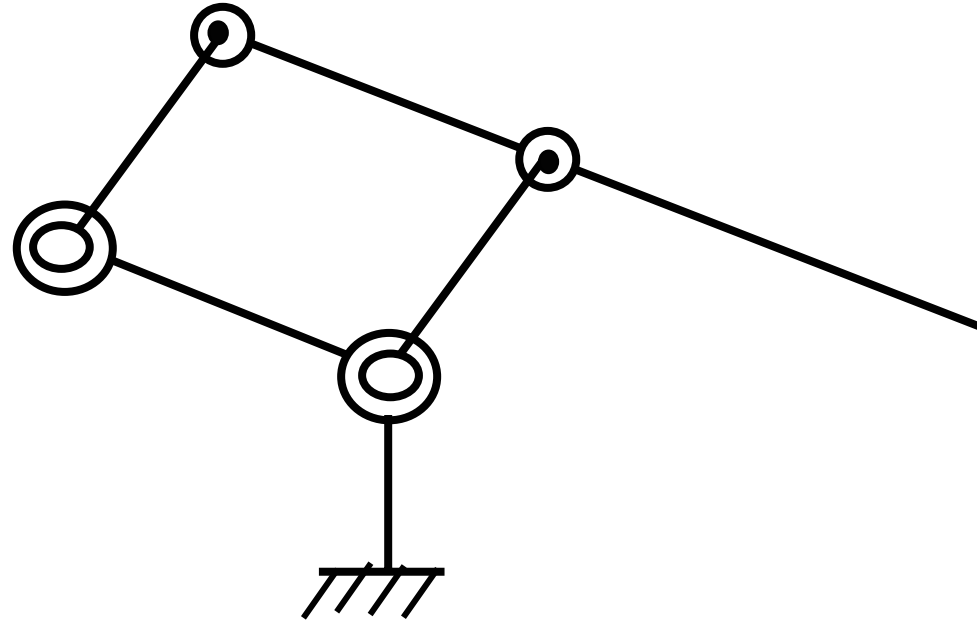
- **機械要素**
- **組み合わせ機構**

## 3. 1 リンク機構



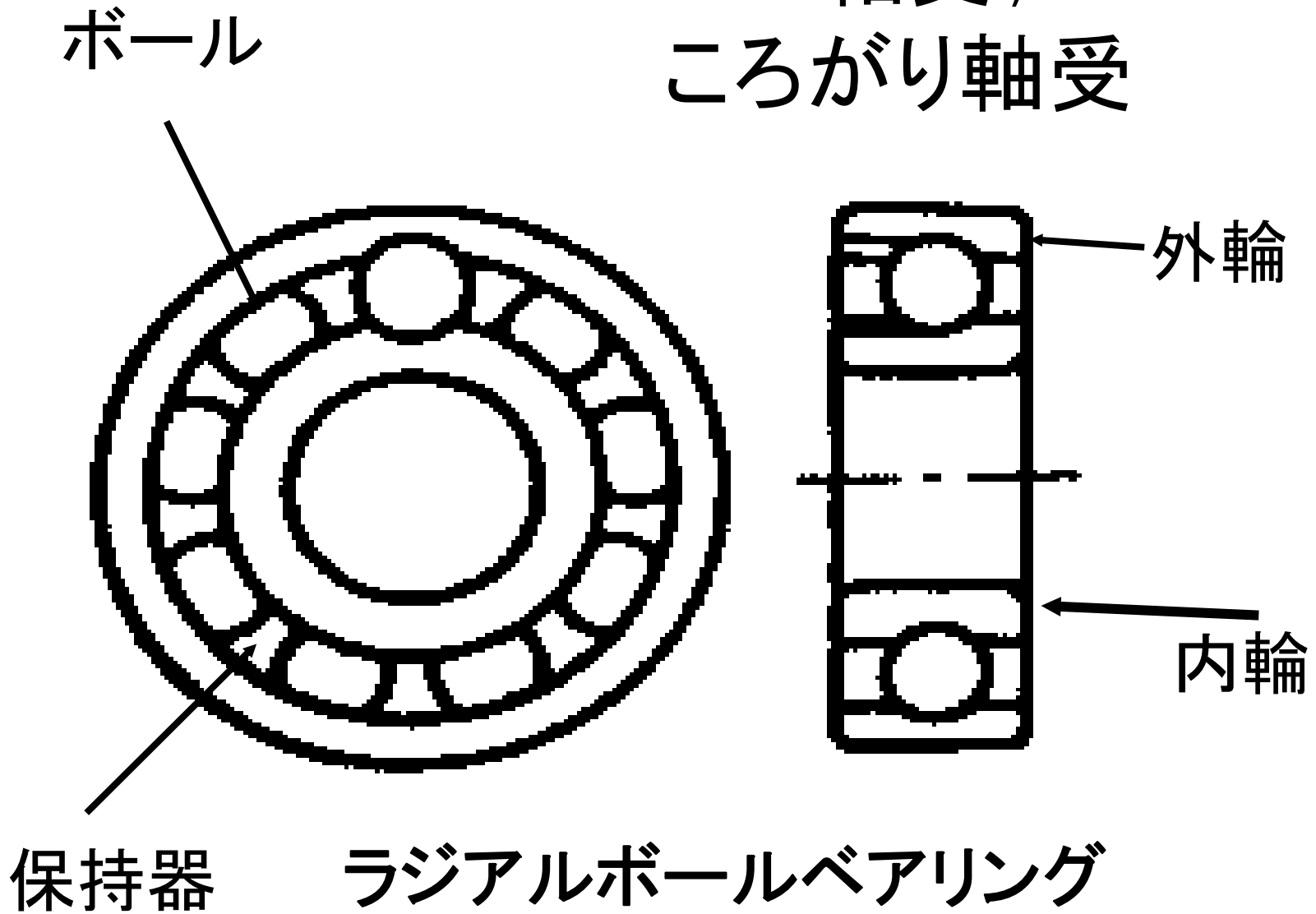
鋼体の棒（リンク）  
をピンで結合した  
リンク装置により  
運動を伝達する。

# ロボットのクローズドチェーンメカニズムの例

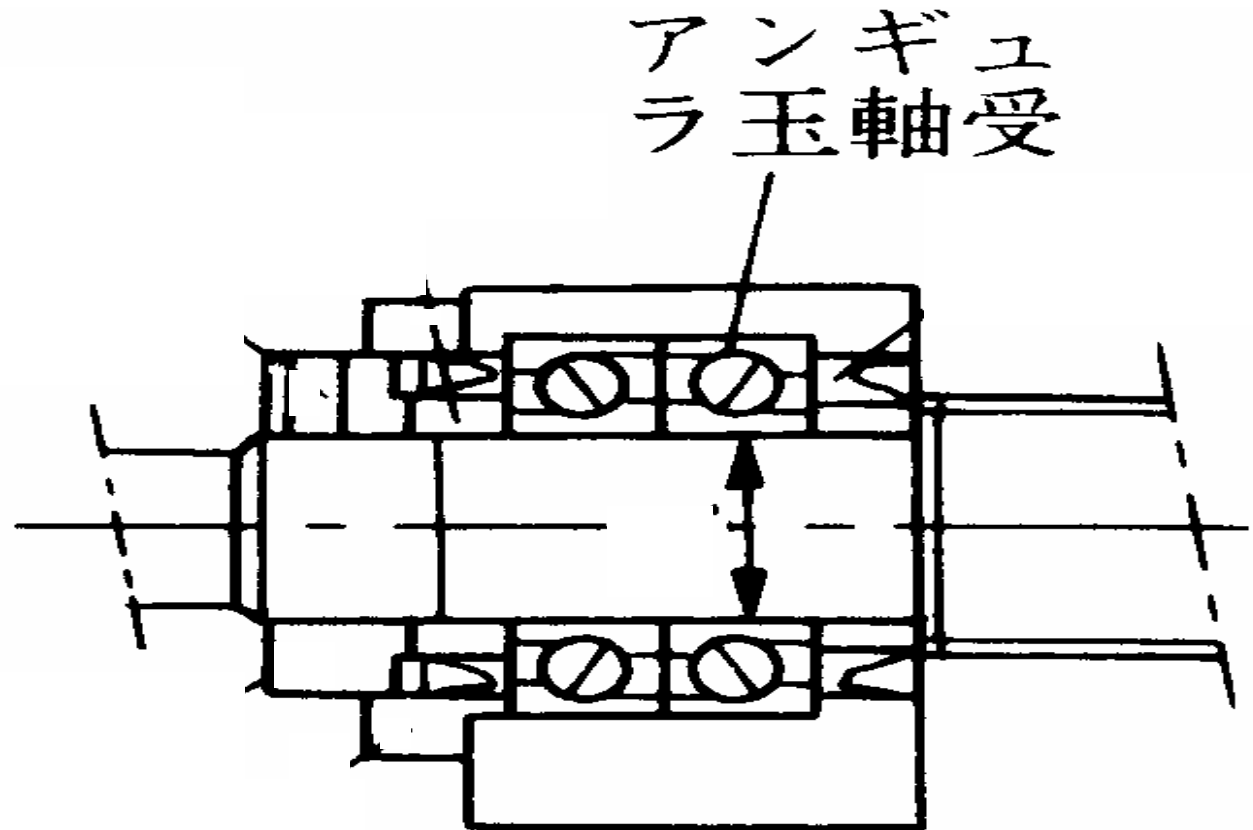


平行リンクメカニズム

### 3.2 軸受; ころがり軸受

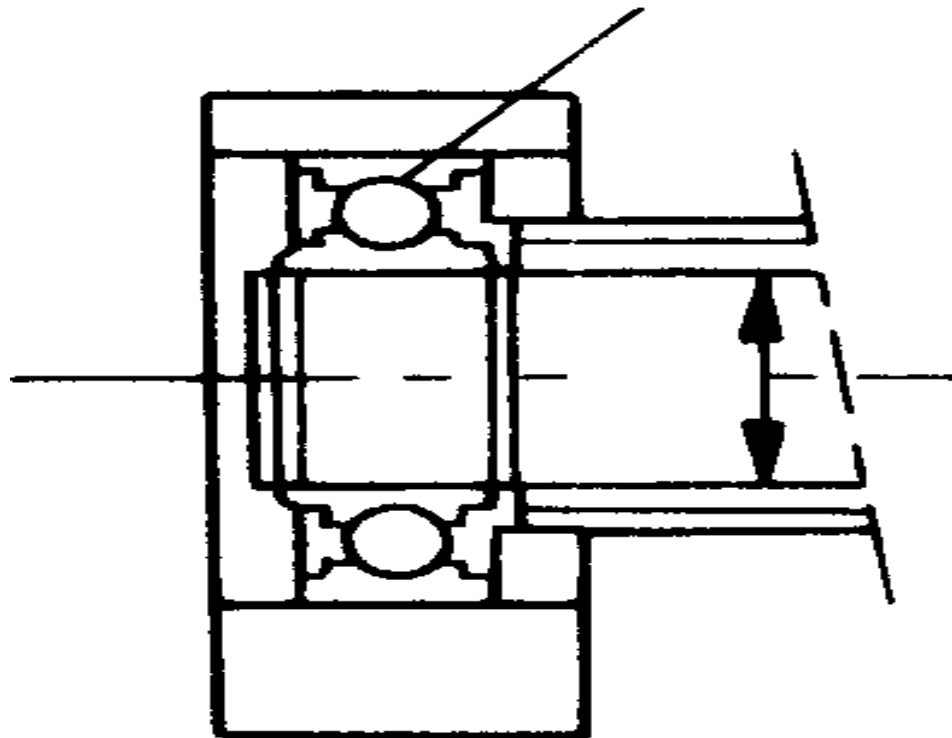


# アンギュラ玉軸受け

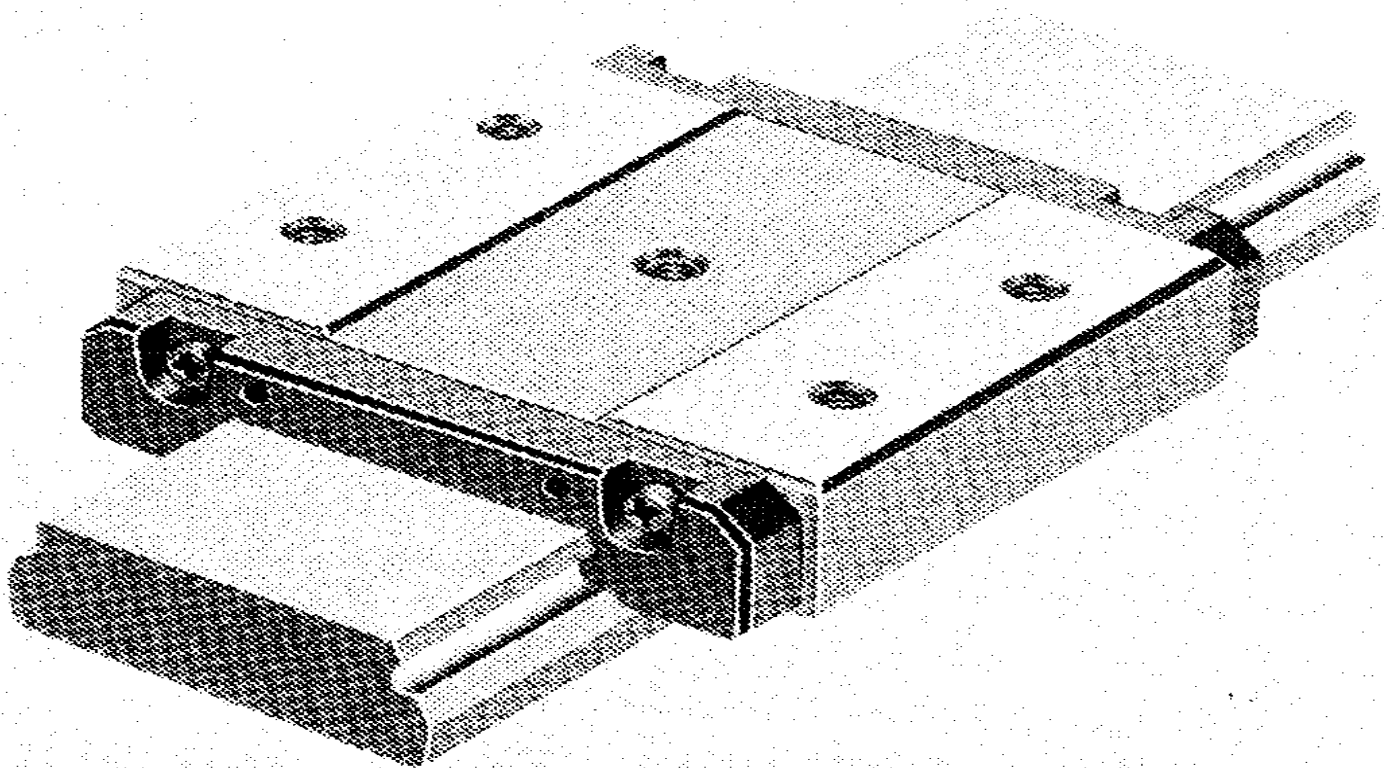


# 深溝玉軸受け

## 深みぞ玉軸受



# リニアスライド玉軸受け





# 軸受の種類

- ころがり軸受
  - ボールベアリング
  - ローラベアリング
  - テーパーローラベアリング
- すべり軸受
  - 液体軸受
  - 空気軸受
  - 磁気軸受
- ---

# 軸受の種類

- ジャーナル軸受
- スラスト軸受

# 3.3 歯車

回転の伝達

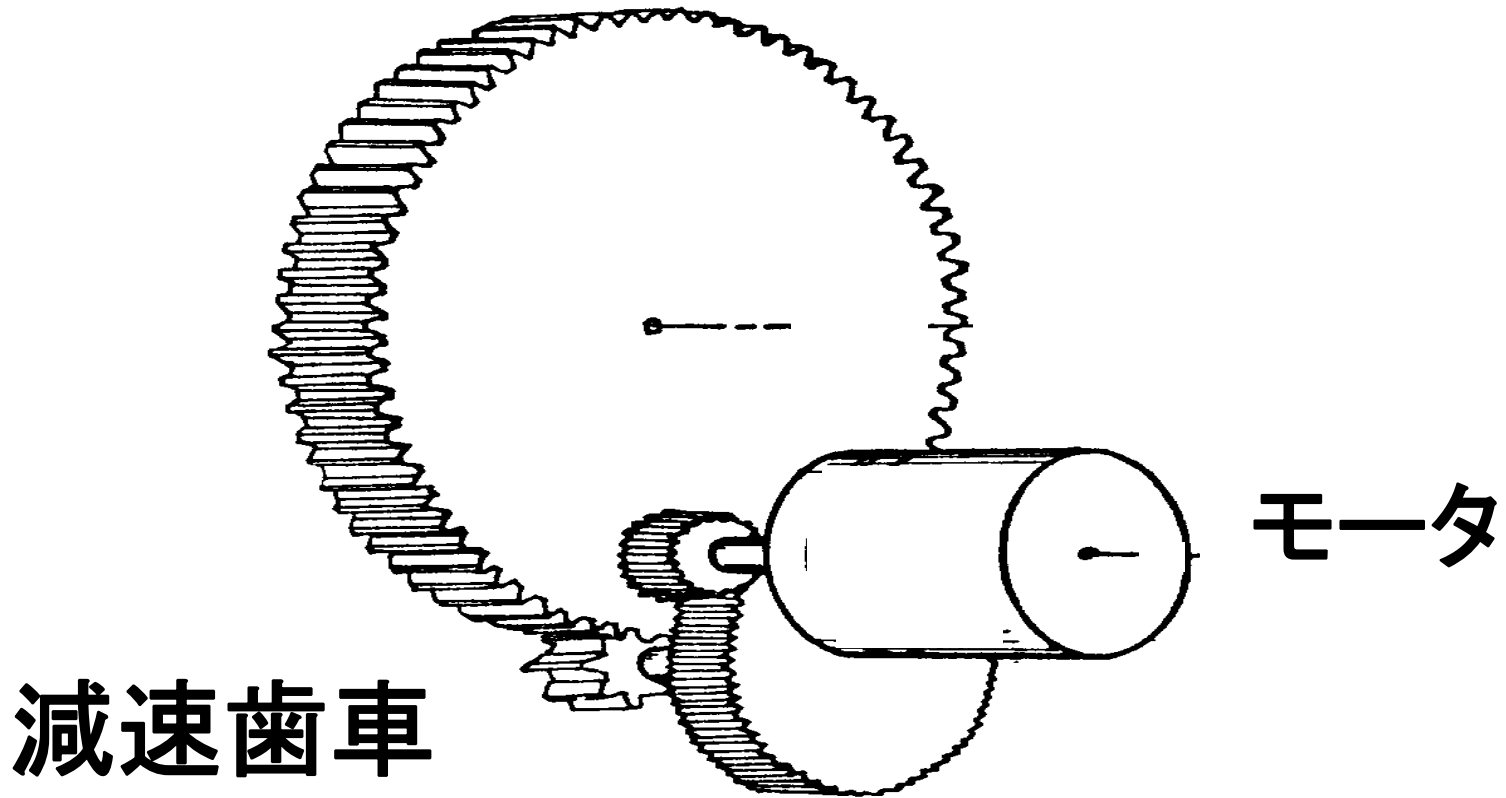
最適歯車比

歯数比大 → トルク大 → 加速度大

→ 減速大 → 速度小

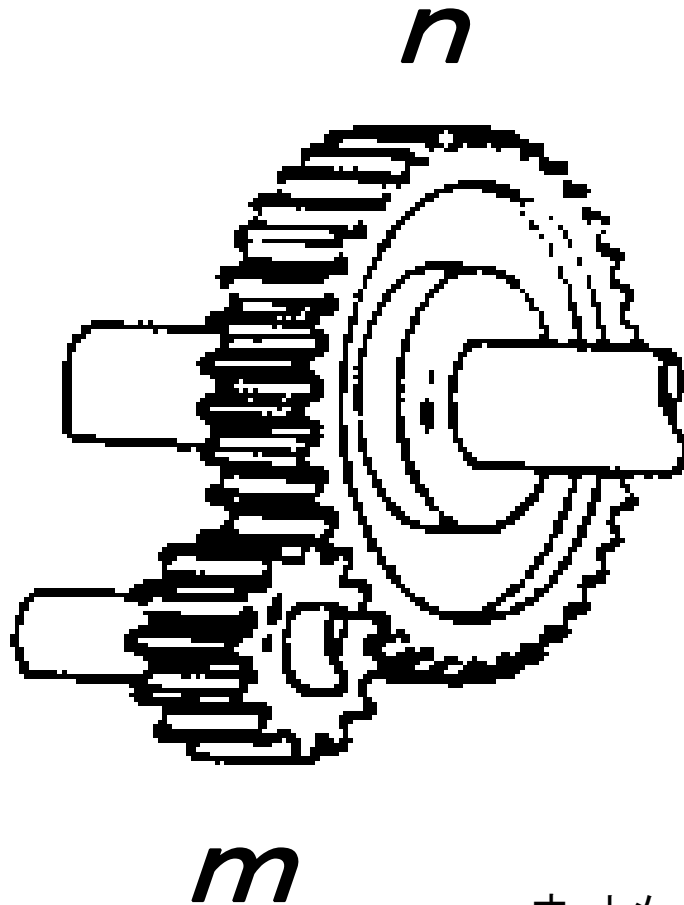
摩擦、ガタの防止 → ダイレクトドライブ

# 機械要素： 平歯車



# 機械要素; 平歯車

$m$ 、 $n$ ; 歯数



ねじ数;  $m : n$

回転数比;  $m / n$

トルク比;  $n / m$  倍

モジュール

モータは高速回転で効率大、  
機械系は低速動作。歯車比  
によって、エネルギー伝達効  
率、角加速度を最大にする  
最適な歯車比

# 最適歯車比

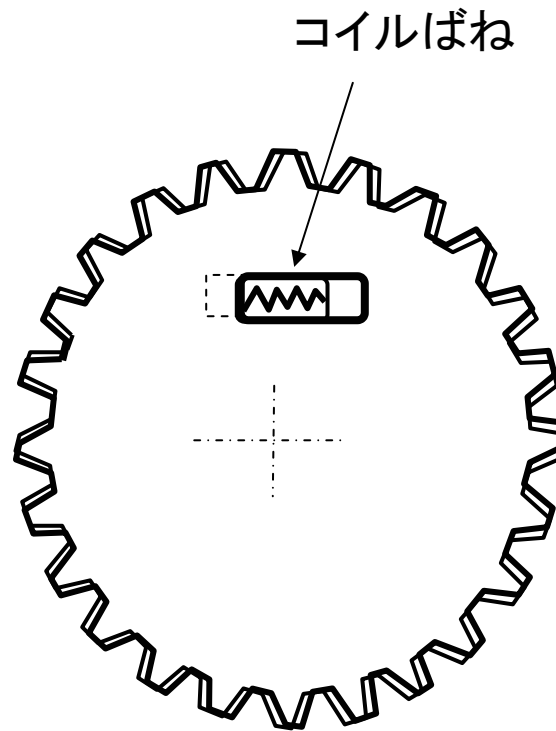
例えば、モータ軸回りおよび負荷軸回慣性モーメントをそれぞれ $I_1$ 、 $I_2$  とする。

# 歯車比最適化

角加速度を最大にする歯車比

$$Gr = \sqrt{I_2 / I_1}$$

# バックラッシュ除去歯車

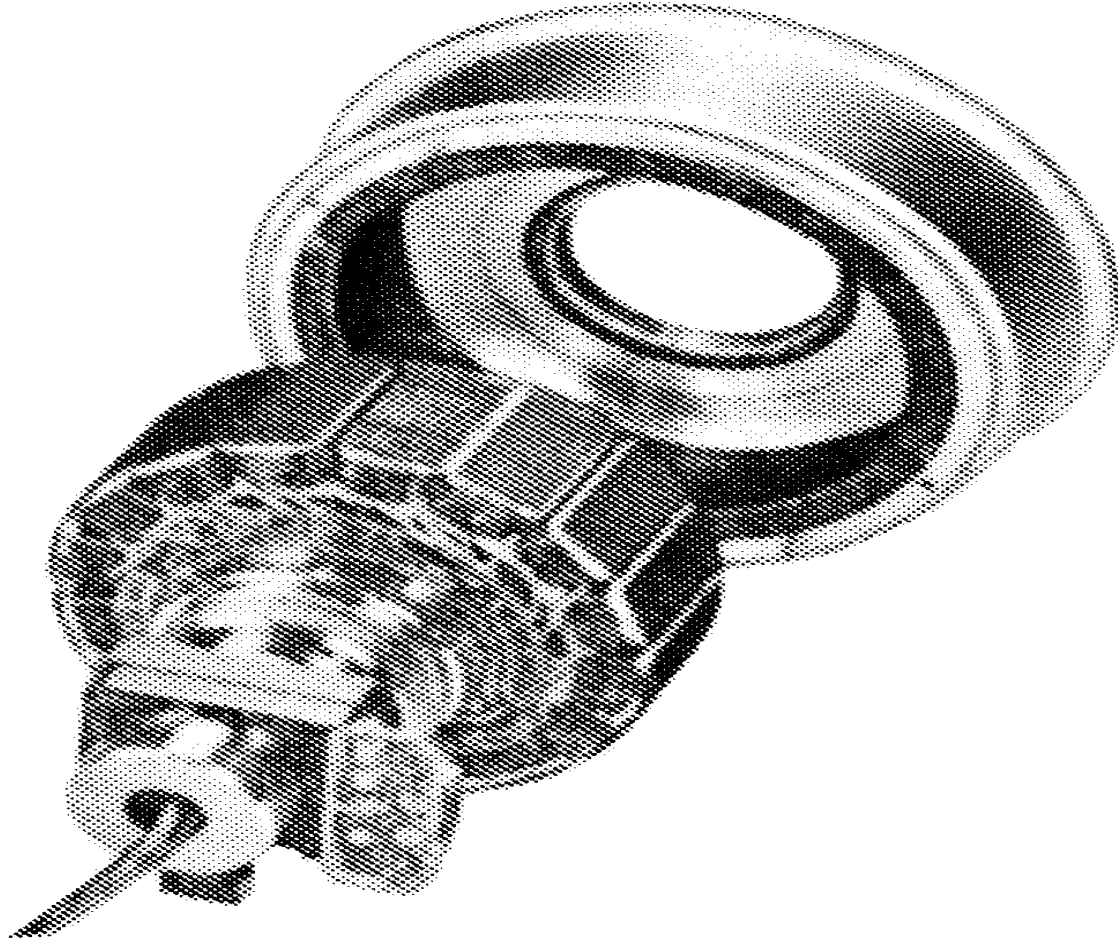




# ハーモニックドライブ歯車

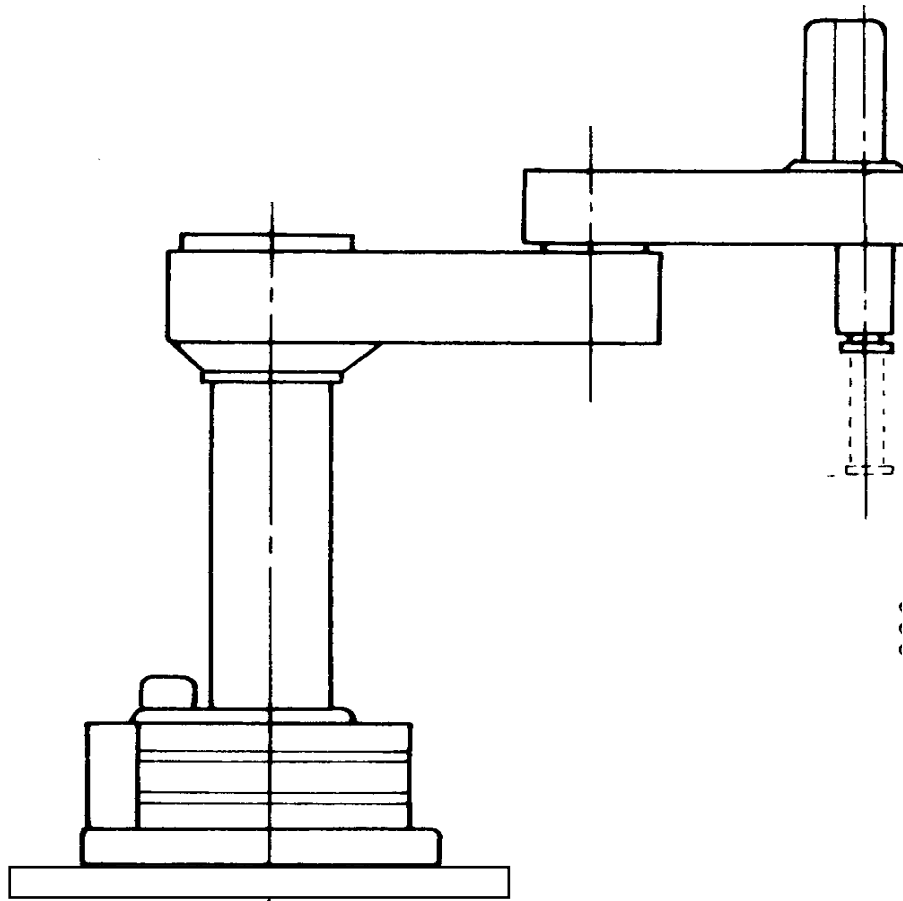
- 小型で大変換が得られる
- ウェーブジェネレータが1回転する間に、フレクスプラインが反対方向に回転する
- 予め、歯数が2枚減らされているので、これに応じて減速する。

# ダイレクトドライブ用モータ



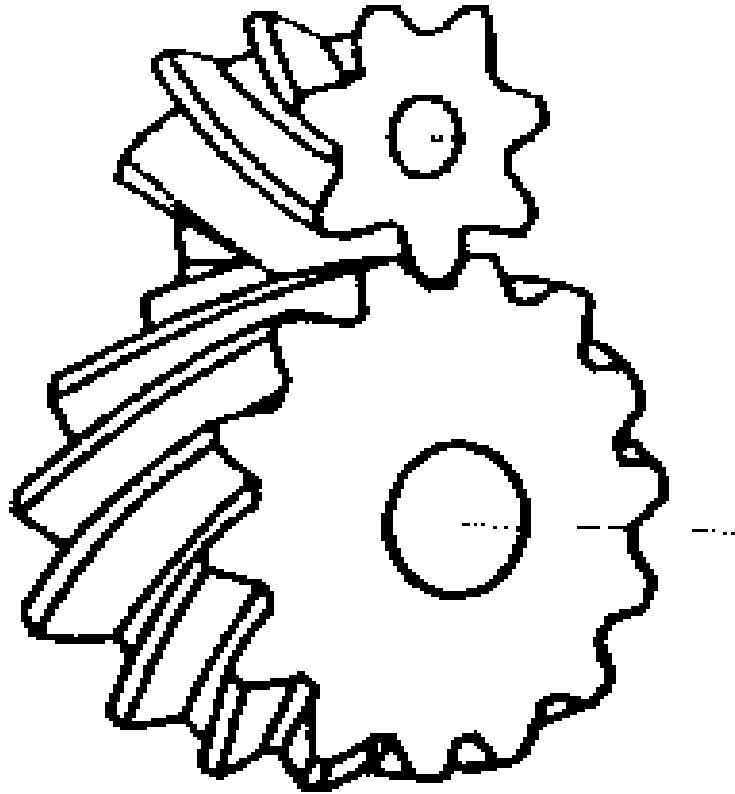
直径を大きくして発生トルクを大きくする

# アデプトワン ADEPT 1



世界初の商用  
ダイレクト  
ドライブ  
ロボット

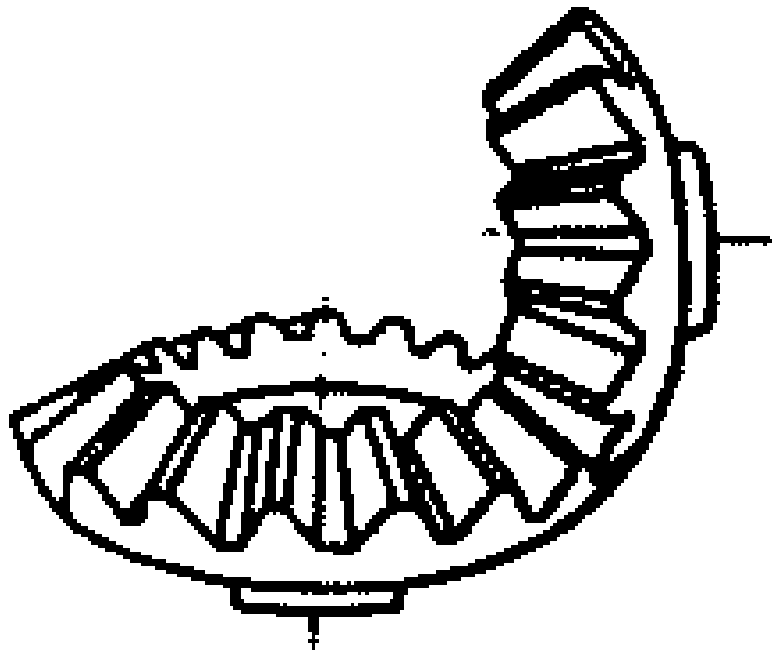
# はすば歯車



回転の滑らかな  
伝達

# すぐばかさ歯車

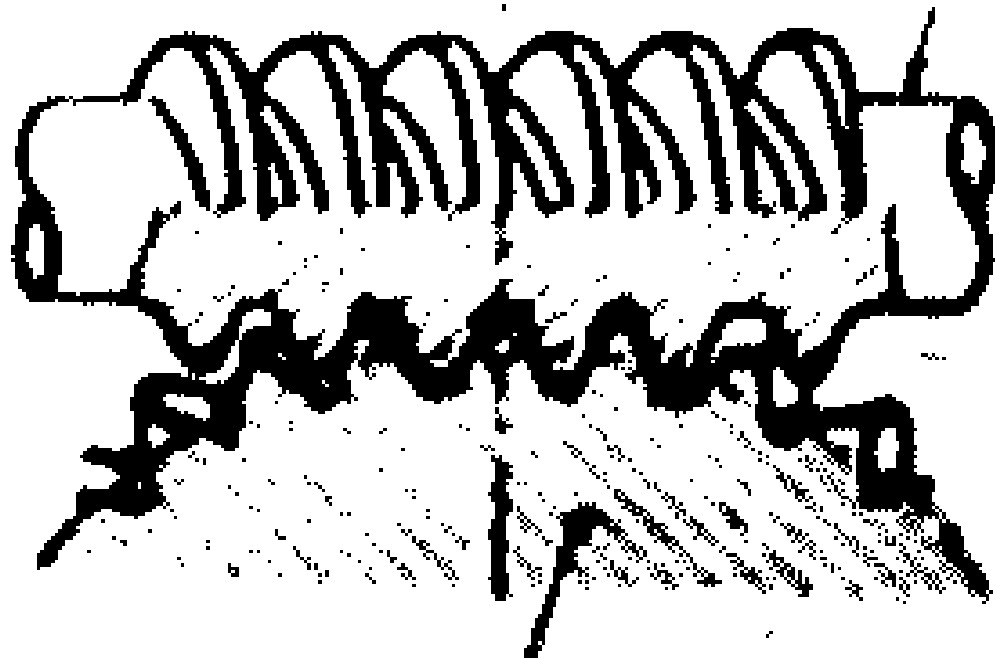
回転を直角方向  
回転に変換



# 円筒ウォームギア

回転比 100対1位までとれる

円筒ウォーム



回転軸90度  
変更

円筒ウォームホイール

## 3. 4 機械要素；ねじ



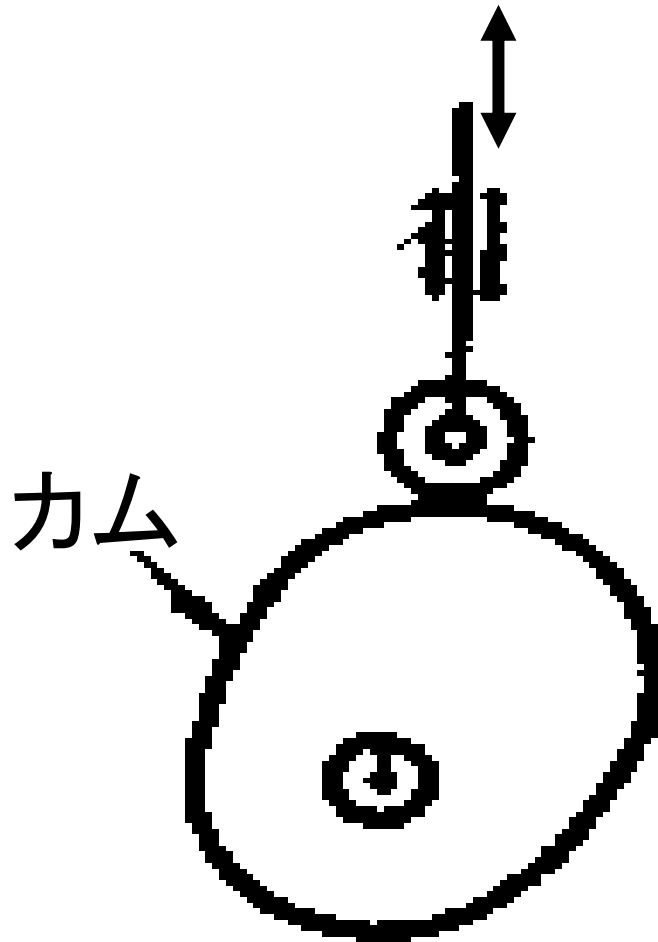
回転運動のから直線運動へ変換  
ピッチ； ネジ山の間隔

## 3.4 ボールねじ

- メカトロニクス部品としてよく使われる。

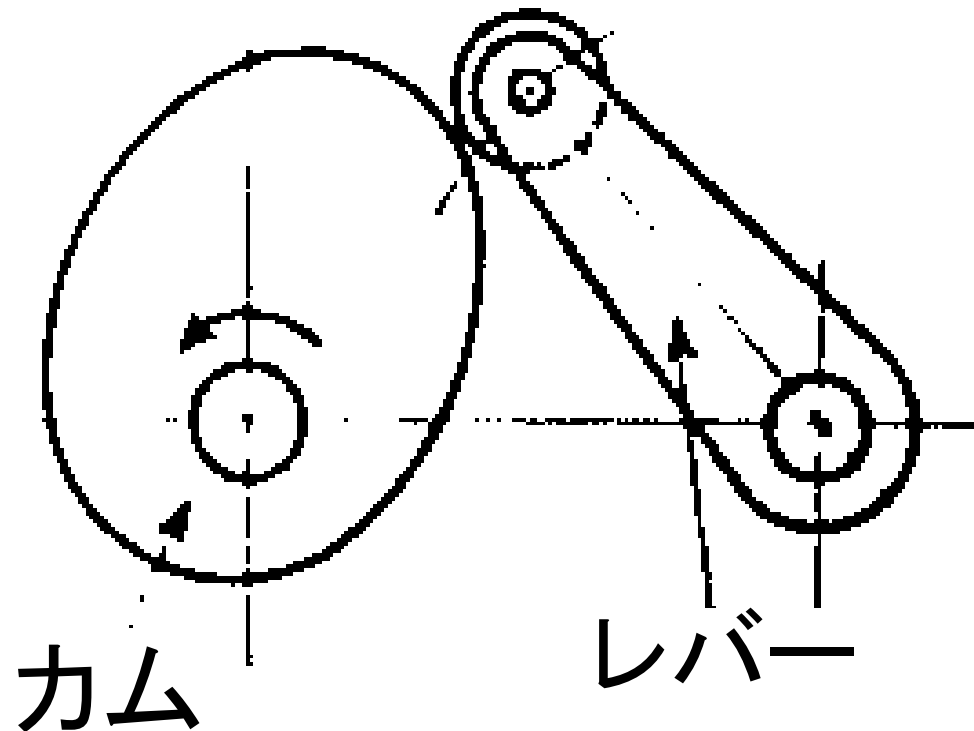


## 3.5 カム機構

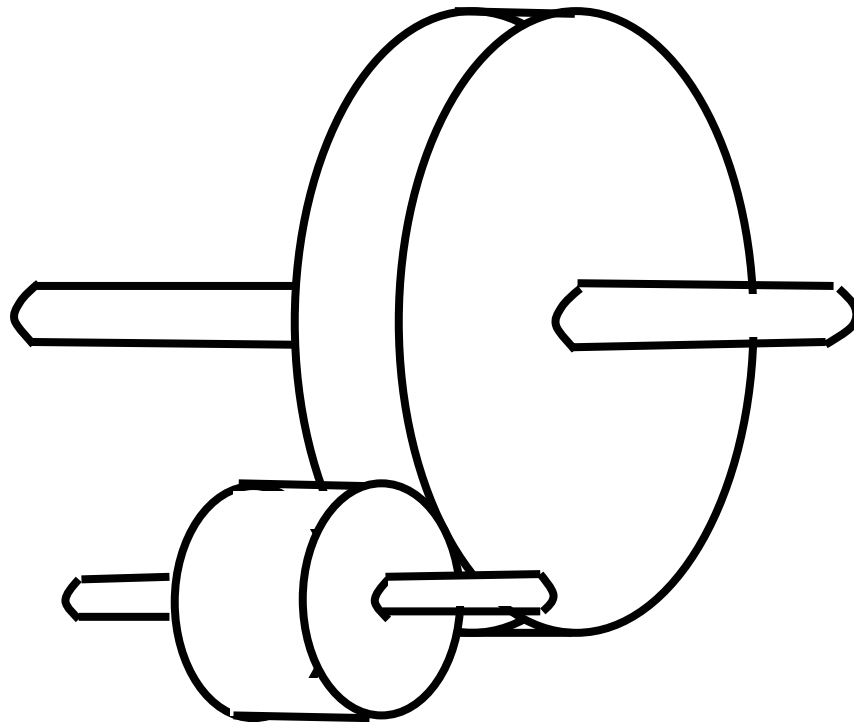


回転するカムの外周または溝に沿って従動節を案内して複雑な直線運動を発生する。

# 機械要素；従動節としてのカム



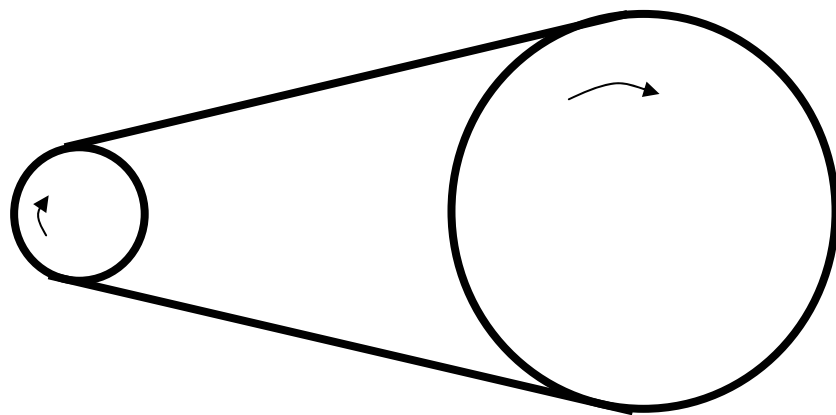
# 機械要素； 摩擦車



回転の伝達

# その他の機械要素

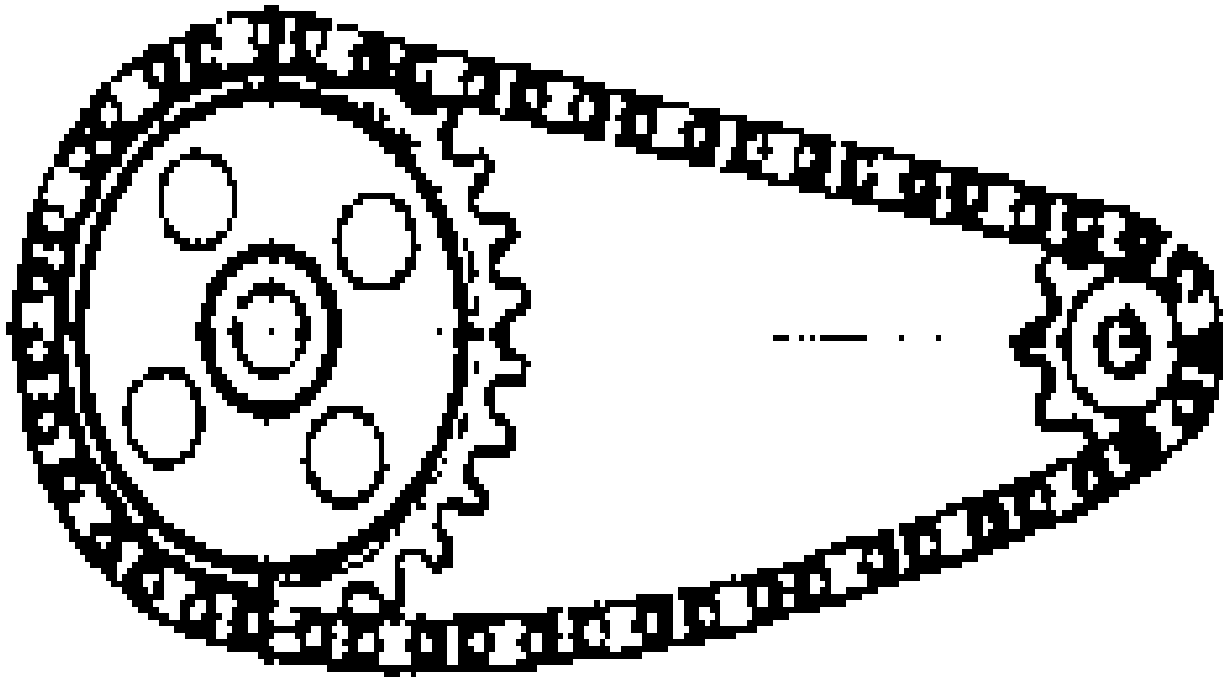
# ベルトとプーリ



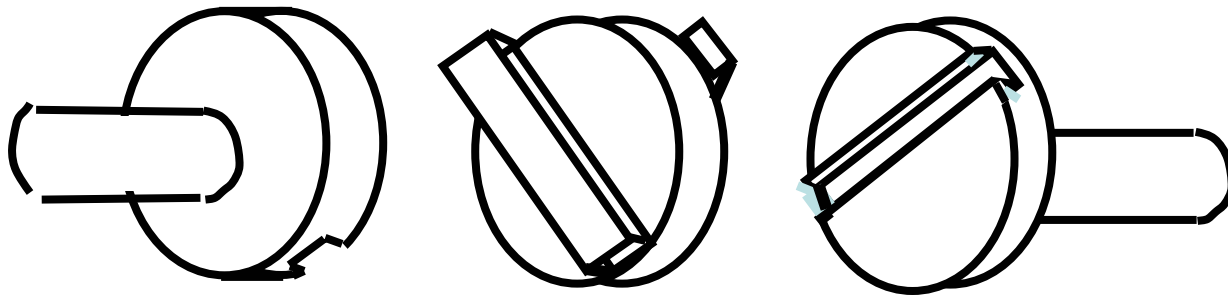
回転の伝達

# チェーンとスプロケット

## 回転の伝達

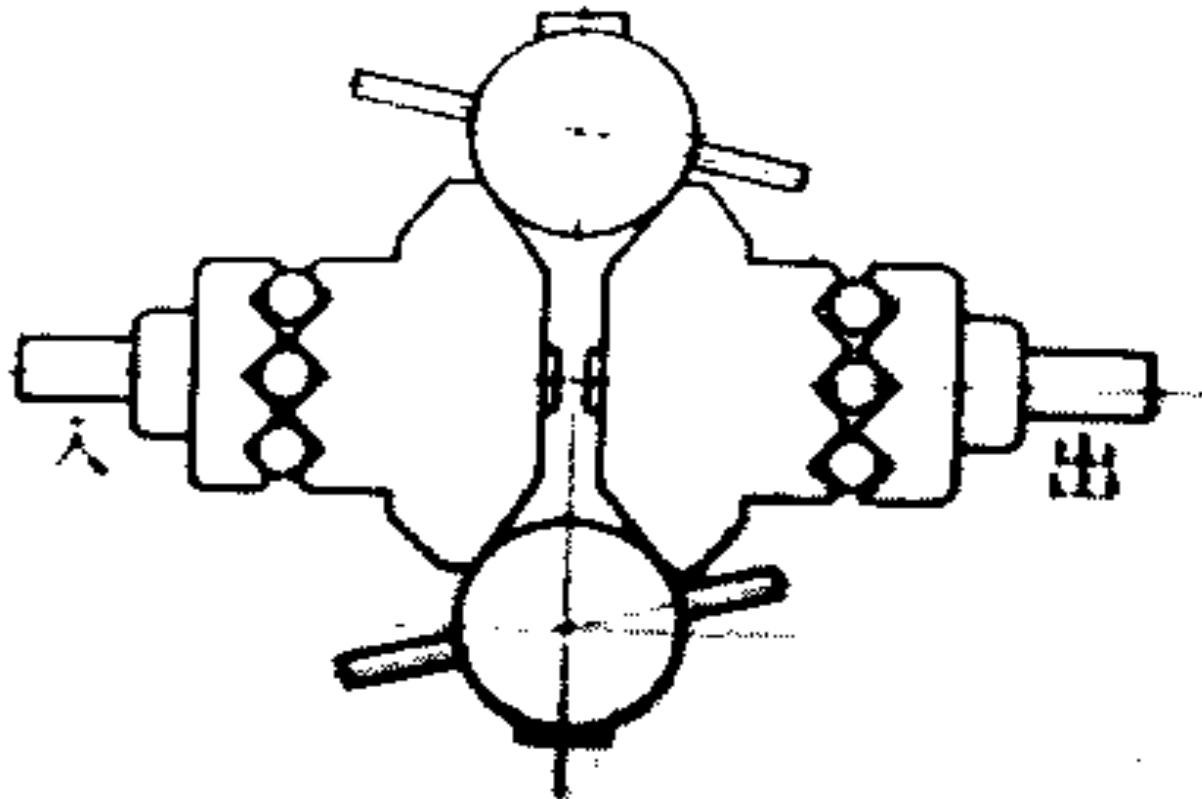


# 平行軸継手



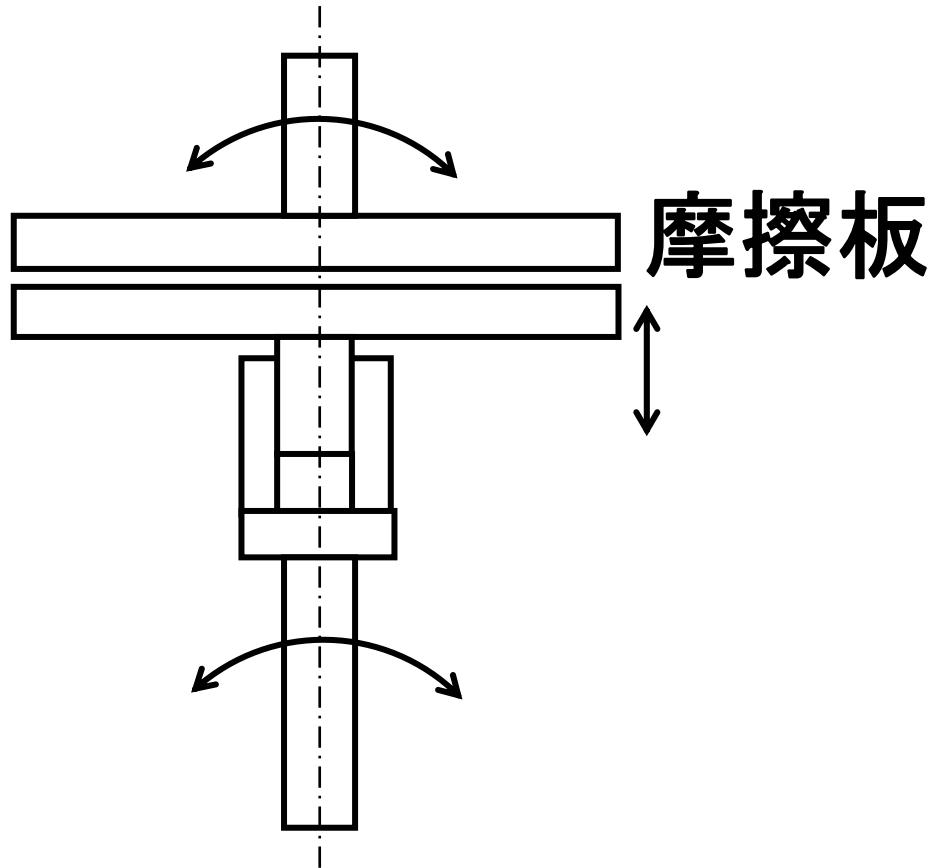
回転の伝達  
軸中心線の設置誤差の吸収

# ボールを用いた 無段変速機



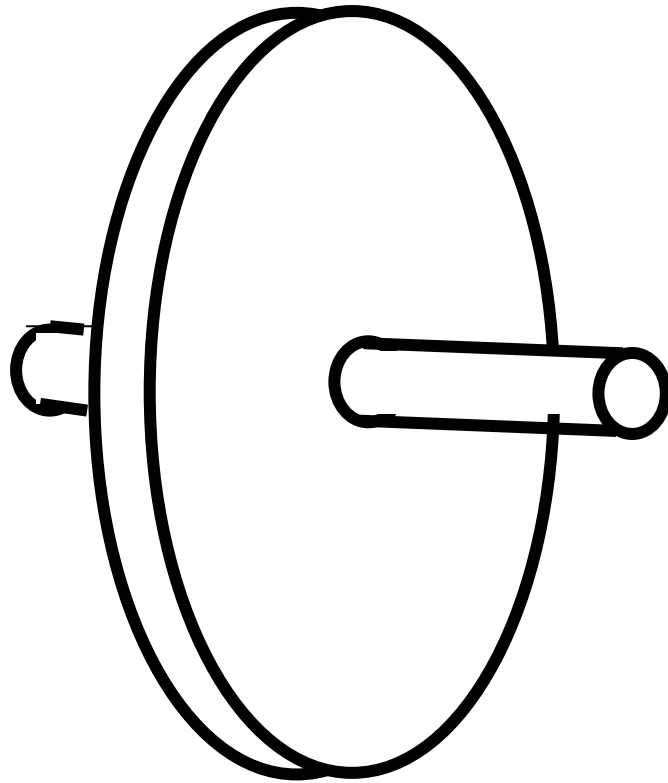


# 機械要素： クラッチ



回転軸の運動を  
必要に応じて断  
続する。

# フライホイール

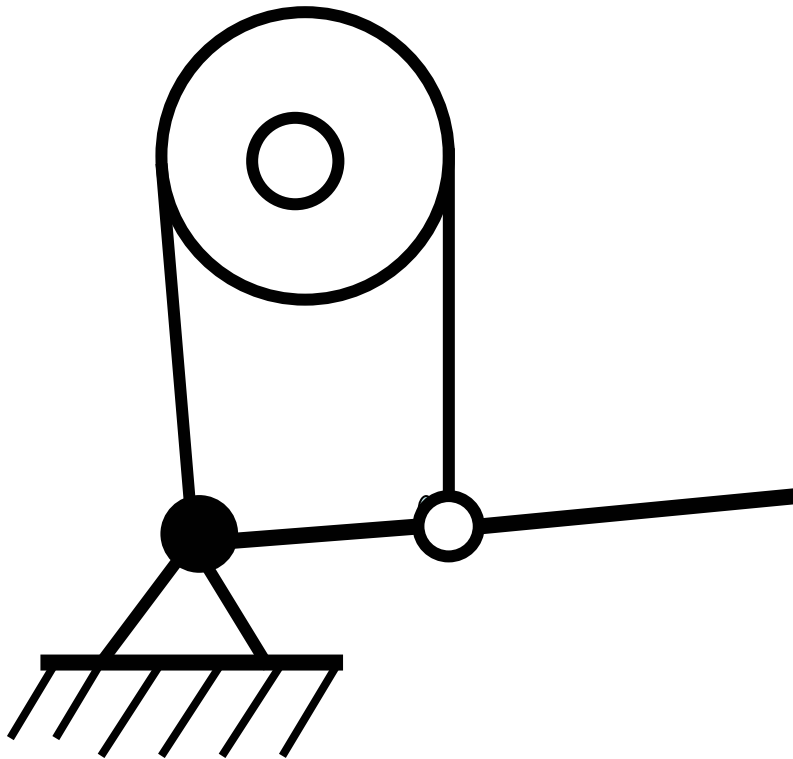


大きな慣性モーメントを与え、回転速度変動を抑える。

エネルギーを回転運動として蓄え、機械的電池として使う。

電気自動車、電気会社でのエネルギー貯蔵

# ブレーキ



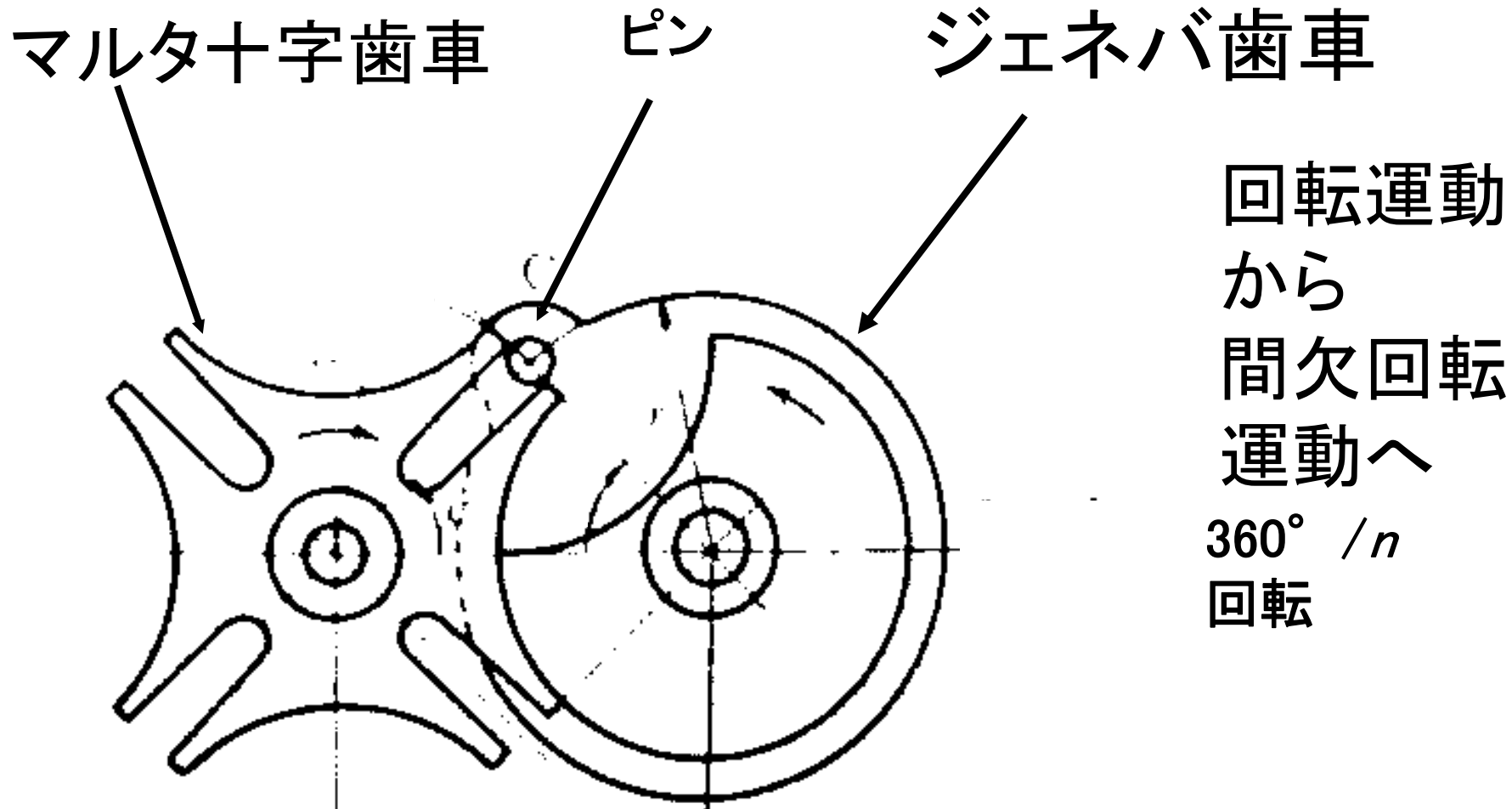
運動物体の速度を  
固体摩擦、電磁力  
などにより減少さ  
せ、速度を低め、  
運動エネルギーを吸  
収して熱エネルギー  
に変換する。

# ラック

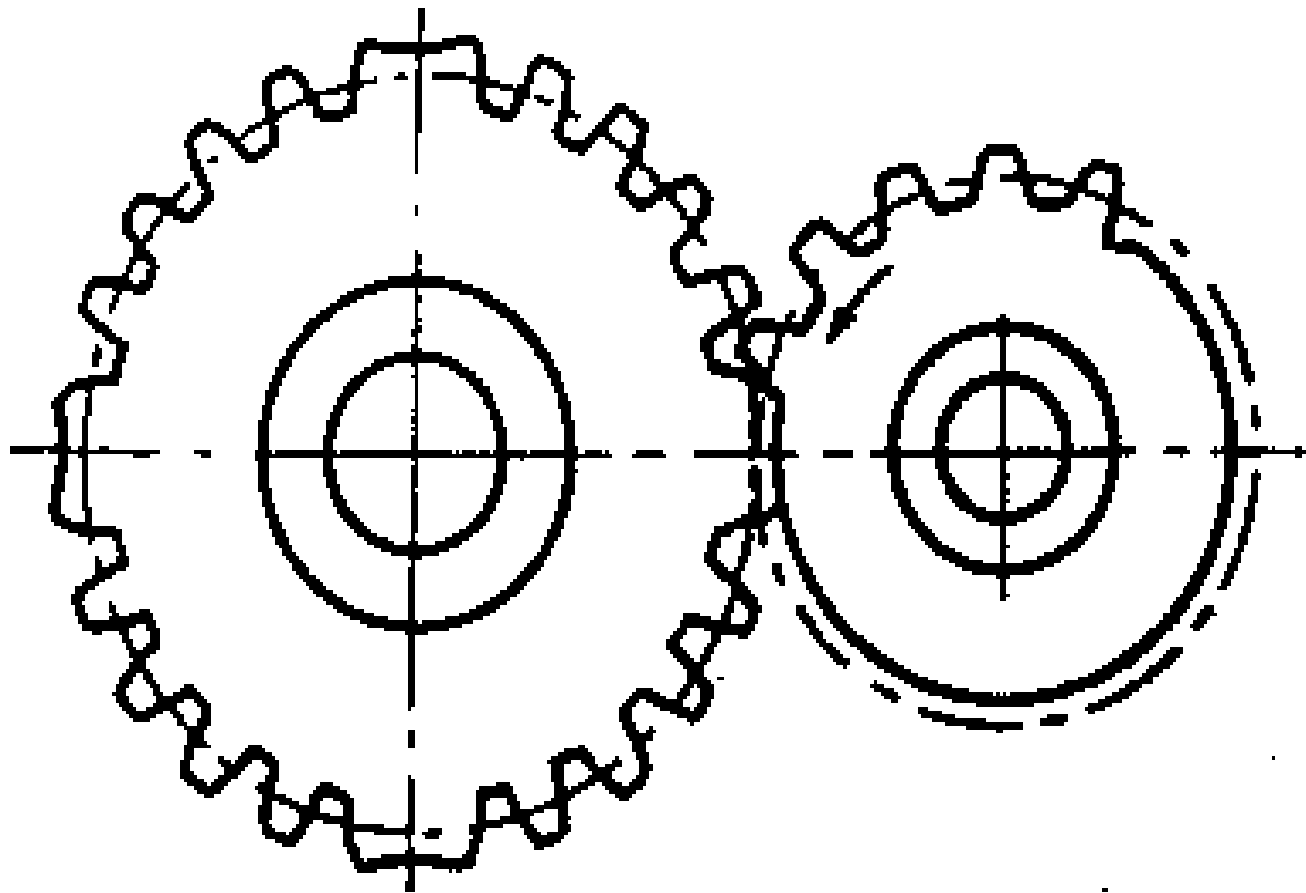


回転運動と  
直線運動の変換

# 機械要素; 外接ゼネバ機構

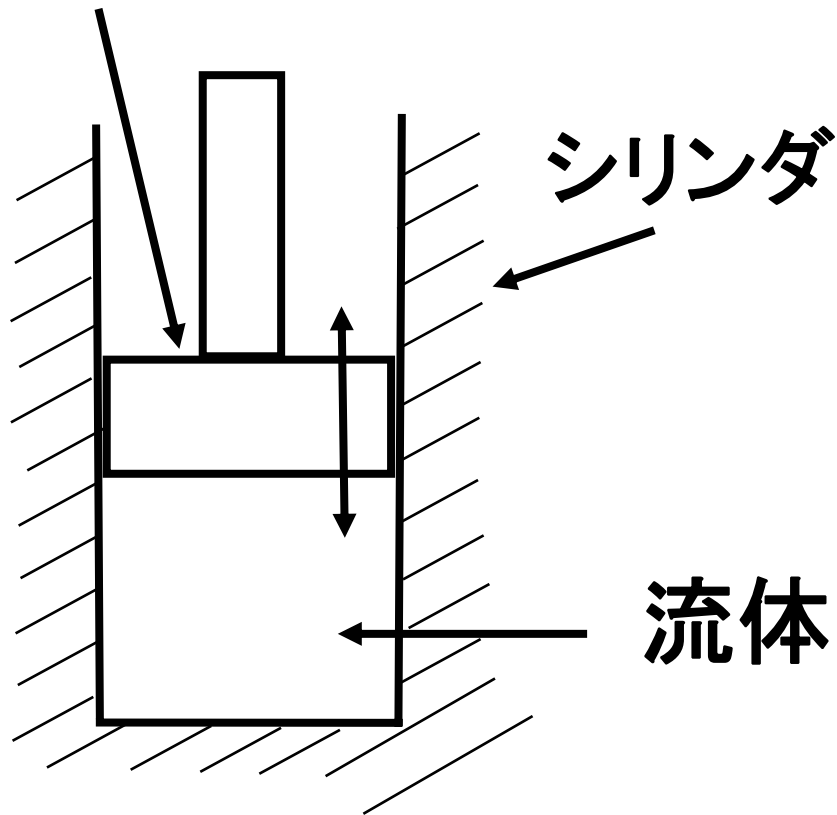


# 間欠歯車



# ピストンとシリンダ

ピストン

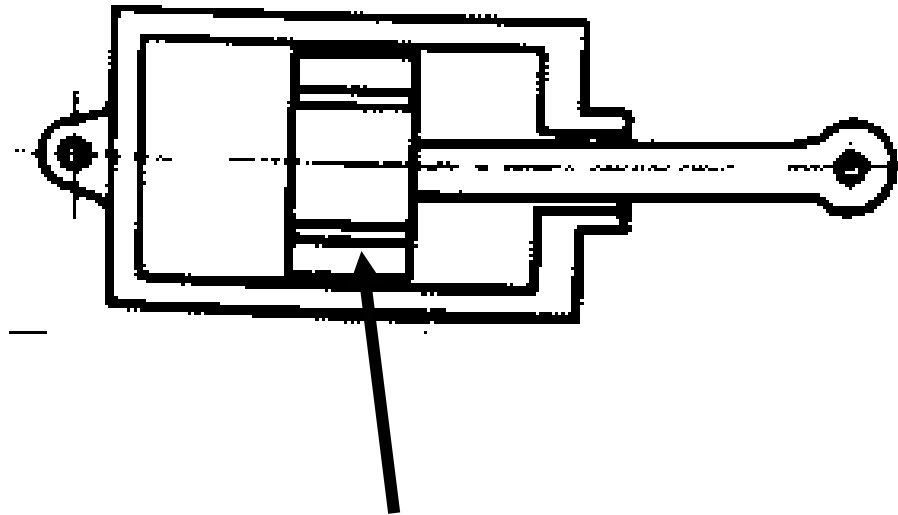


シリンダ

流体

流体の圧力により  
ピストンを押して  
直線運動を発生

# ダッシュポット

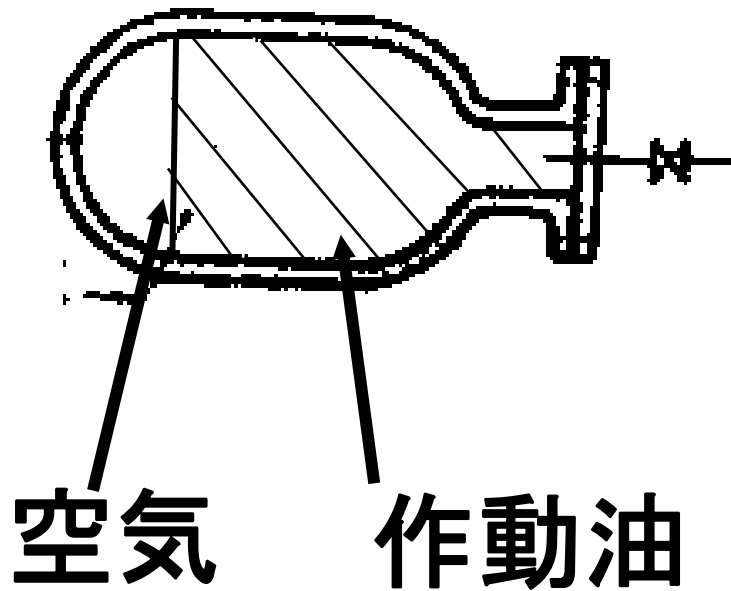


細い穴

流体の粘性抵抗により運動物体の速度を減少させる。

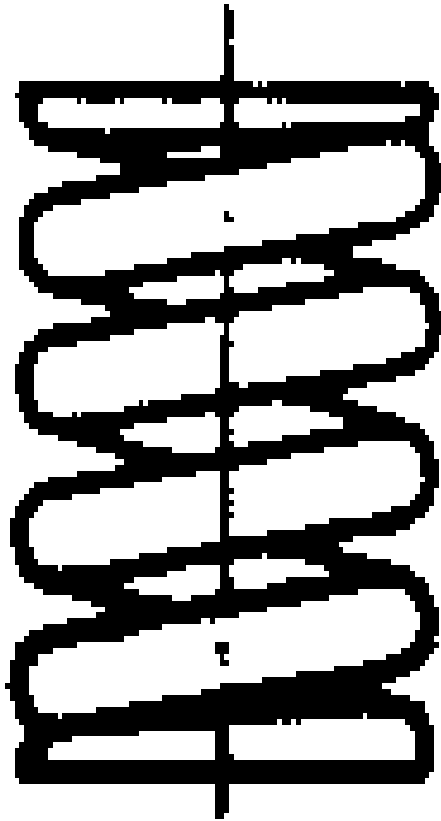


# アキュムレータ



流体圧力を保存、  
油圧源の圧力を一定に保つ。

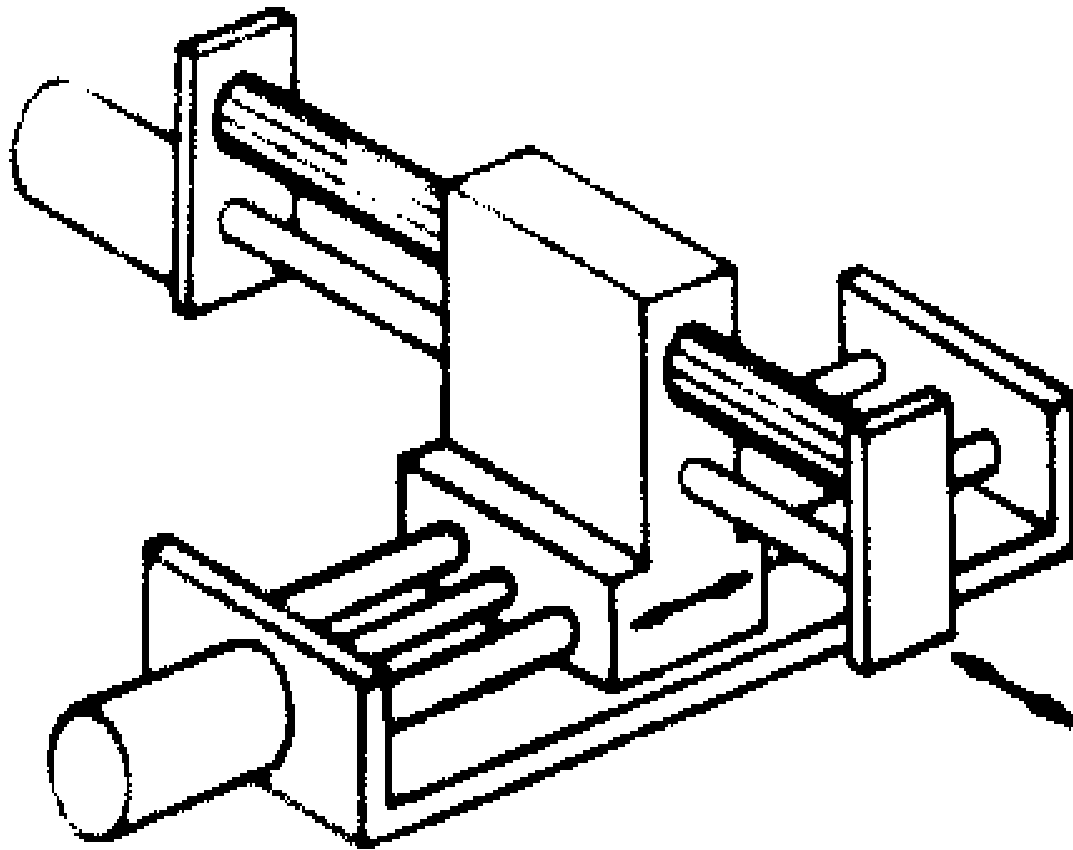
# ばね



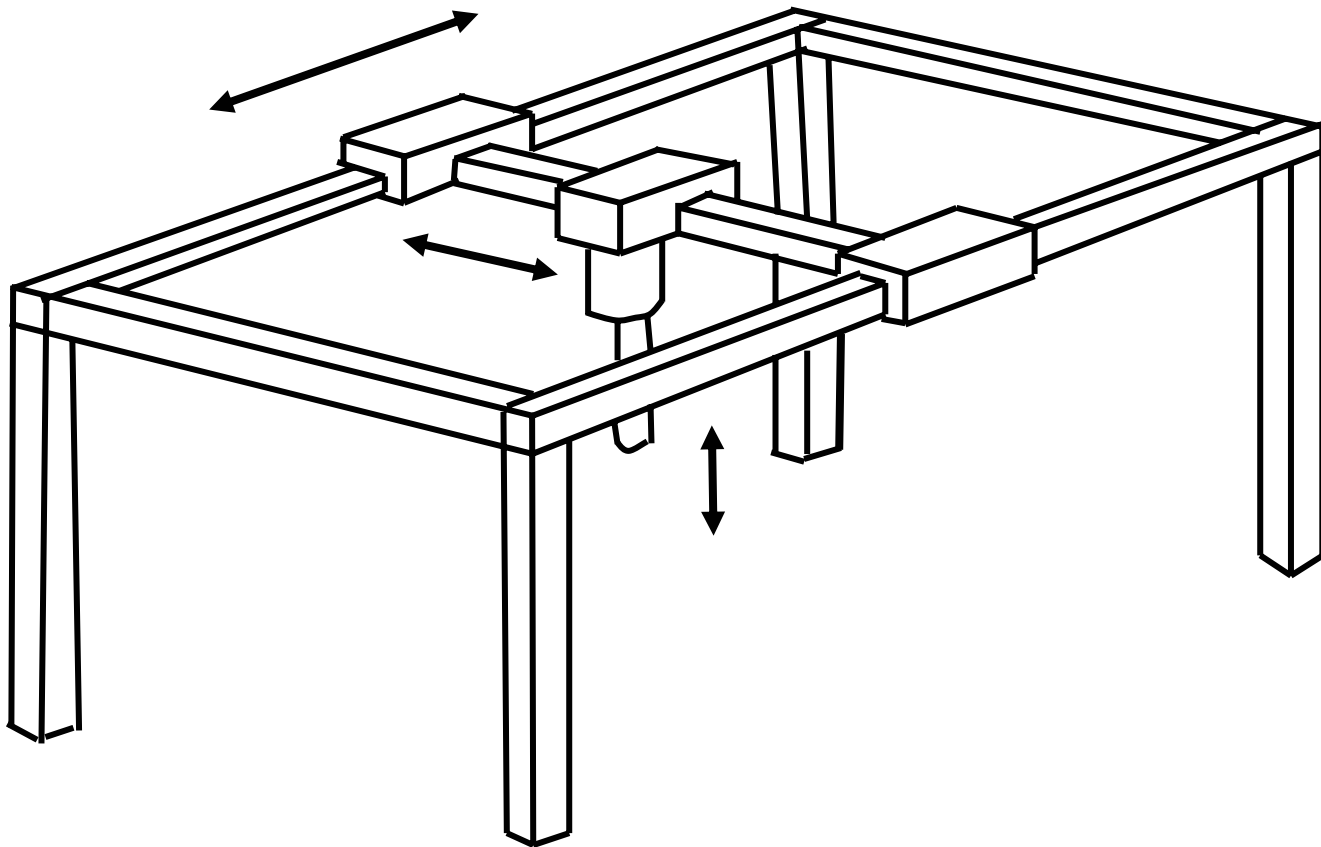
機械的エネルギーを  
弾性エネルギーとして  
蓄積。  
衝撃を和らげる。

# 組み合わせ機構

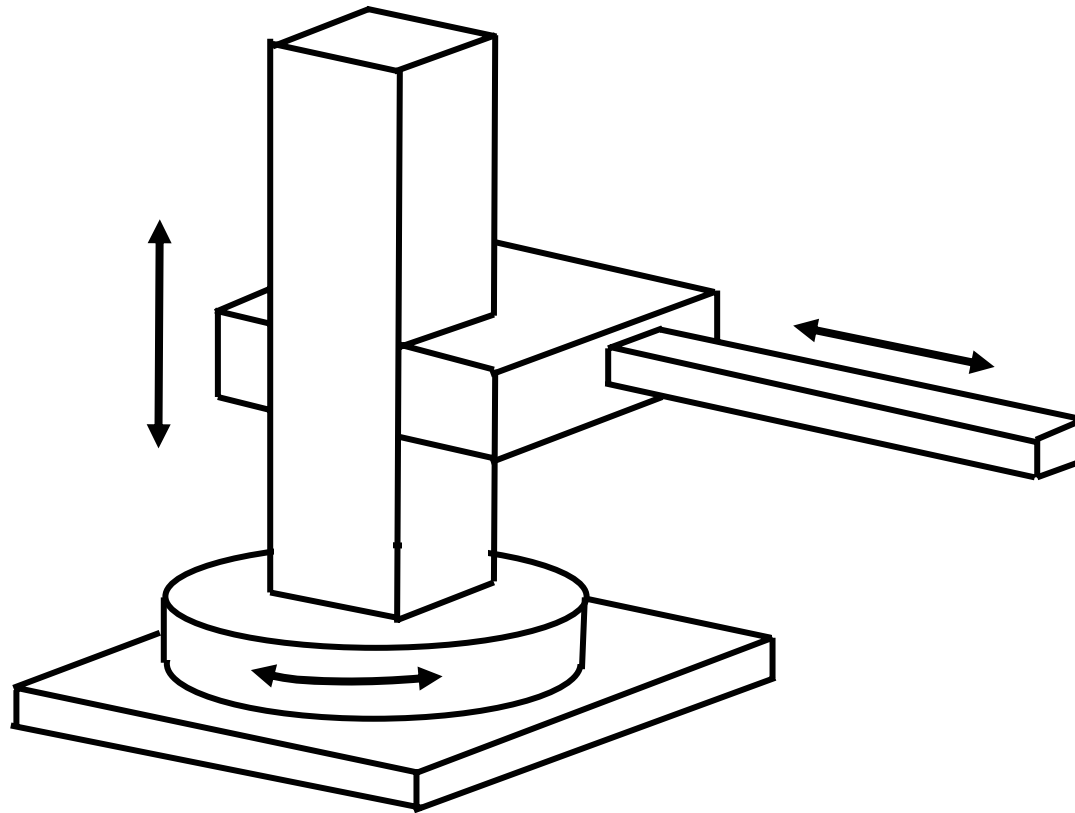
# XYテーブル機構



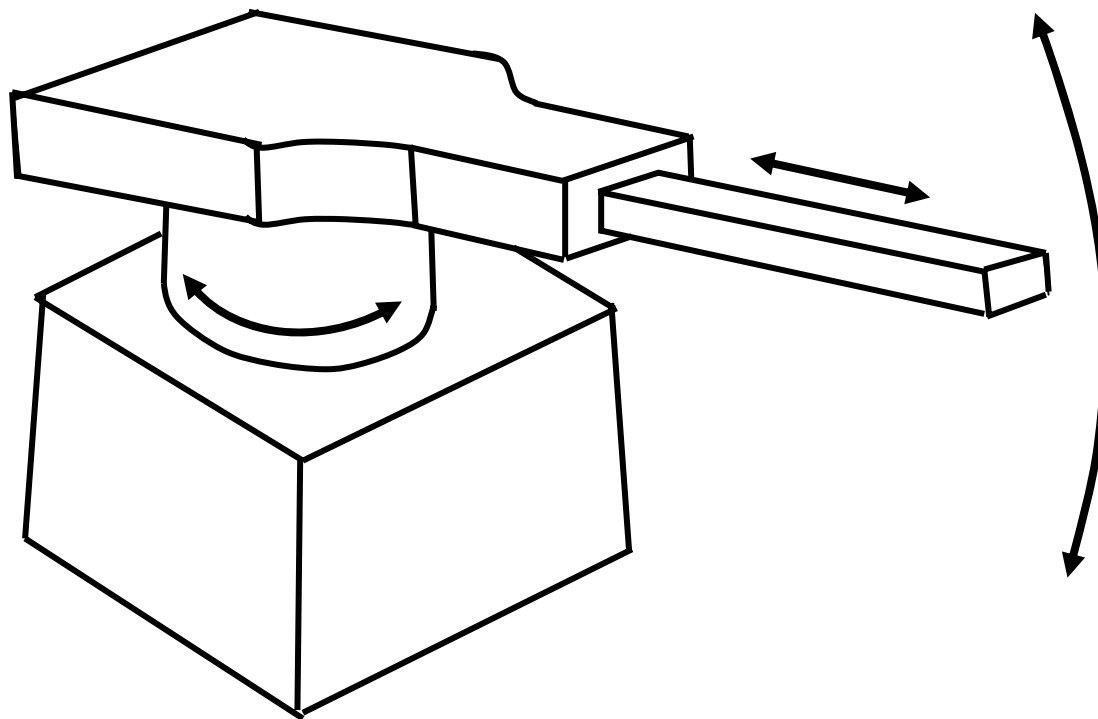
# 直交座標系組み合わせ機構



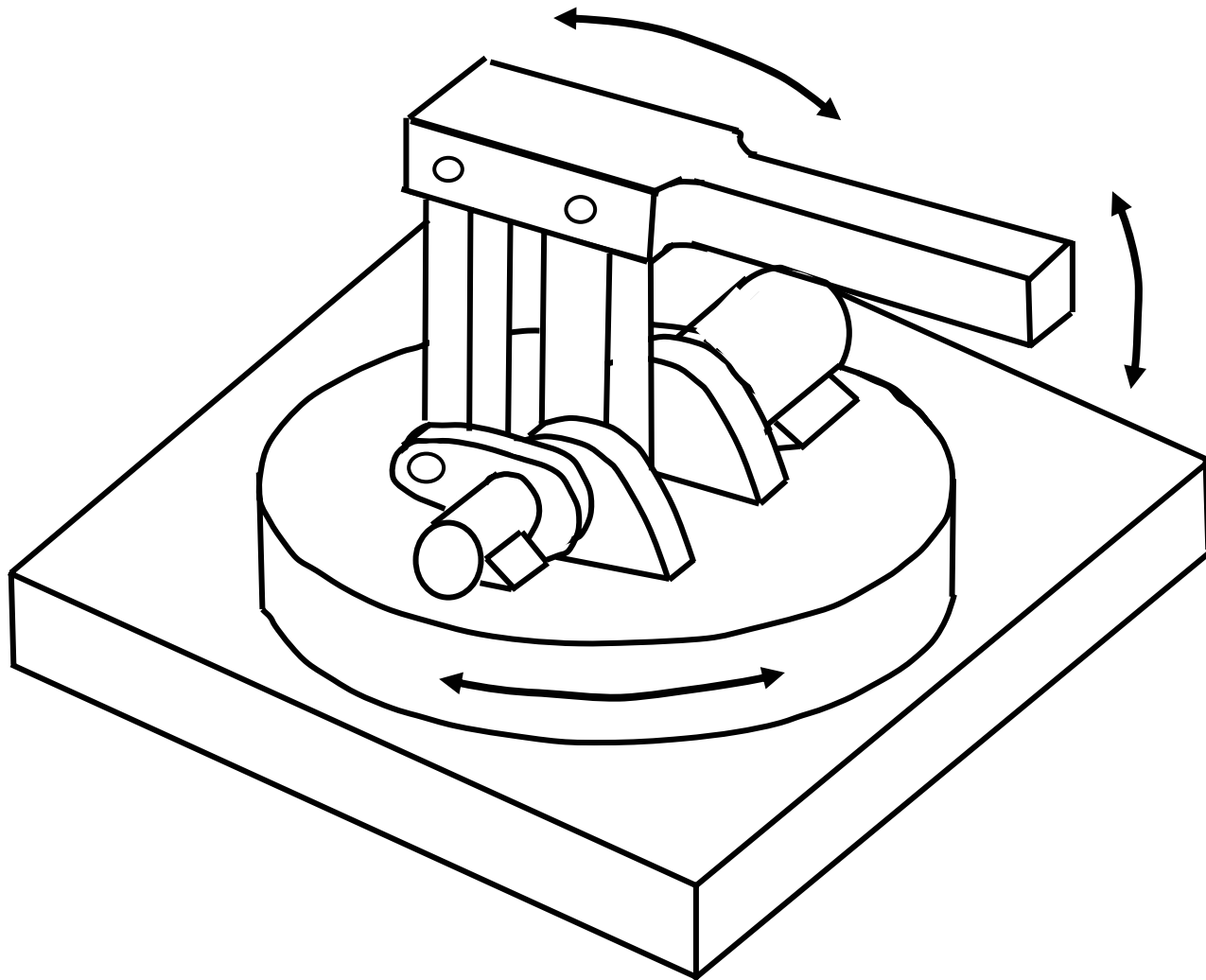
# 円筒座標形組み合わせ機構



# 極座標系組み合わせ機構



# 多関節形組合せ運動機構





# 3章 章末問題

- 歯車は、どのような役割を持つか。
- ロボットでは、高減速の歯車がよく使われる。種類を挙げよ。
- ダイレクトドライブについて説明せよ。
- オートメーション機器で回転を直線運動に高精度で変えるのによく使われる摩擦の少ない要素はなにか。

# 4章 メカトロニクス技術

# 4. 1 メカトロニクス的发展

- 電子制御サーボ機構
  - アクチュエータの発達
  - パワー半導体素子の発達
  - マイクロプロセッサの発達
    - デジタル技術の発展
  - センサの発達

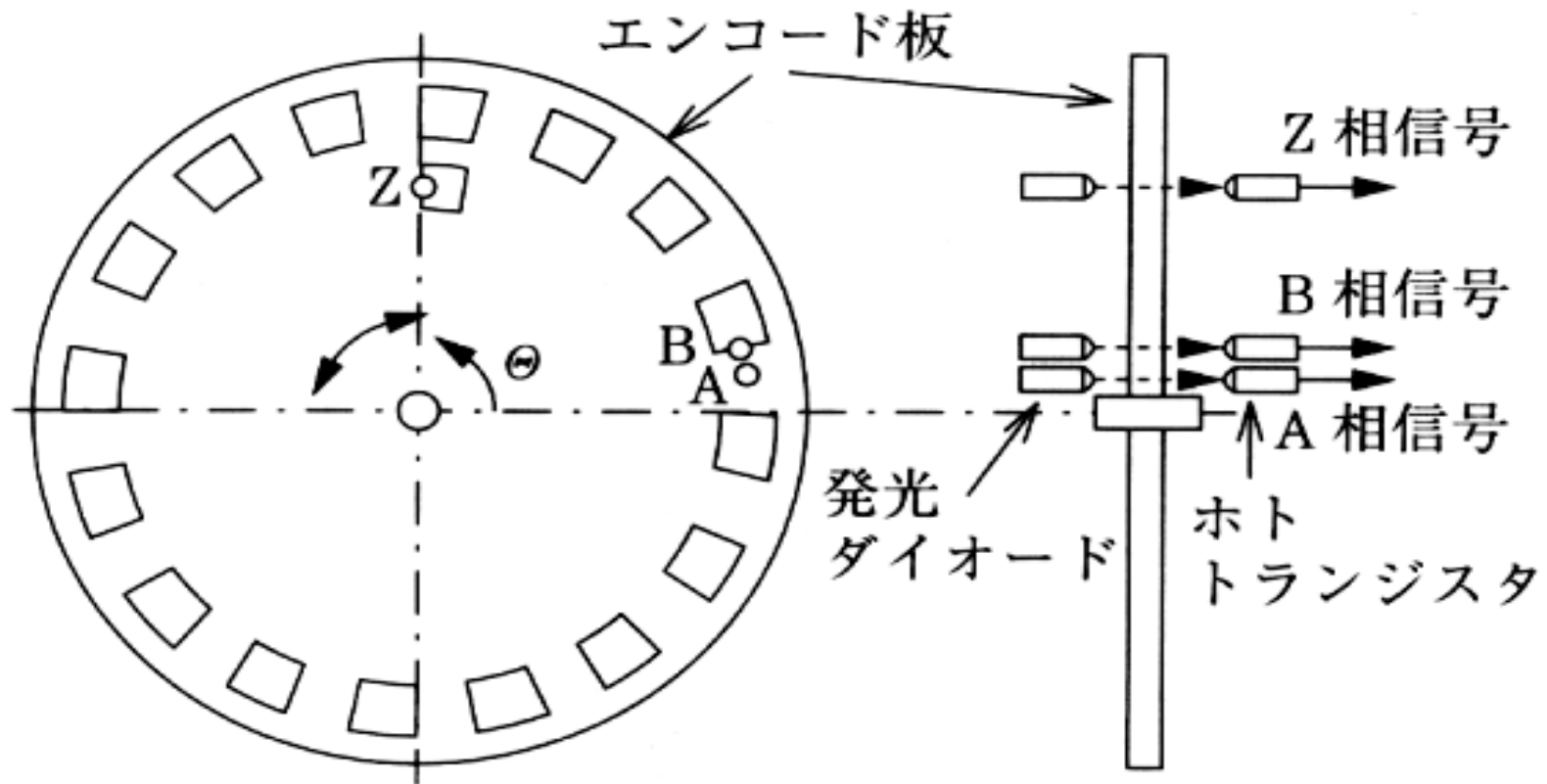
## 4. 2 アクチュエータ

- 4. 2. 1 直流モータ
- 4. 2. 2 交流モータ
  - 同期モータ
  - 誘導モータ
- 4. 2. 3 D. D. モータ
- 4. 2. 4 電気パルスモータ
- 4. 2. 5 電気油圧パルスモータ
  - 電気油圧4方向サーボ弁

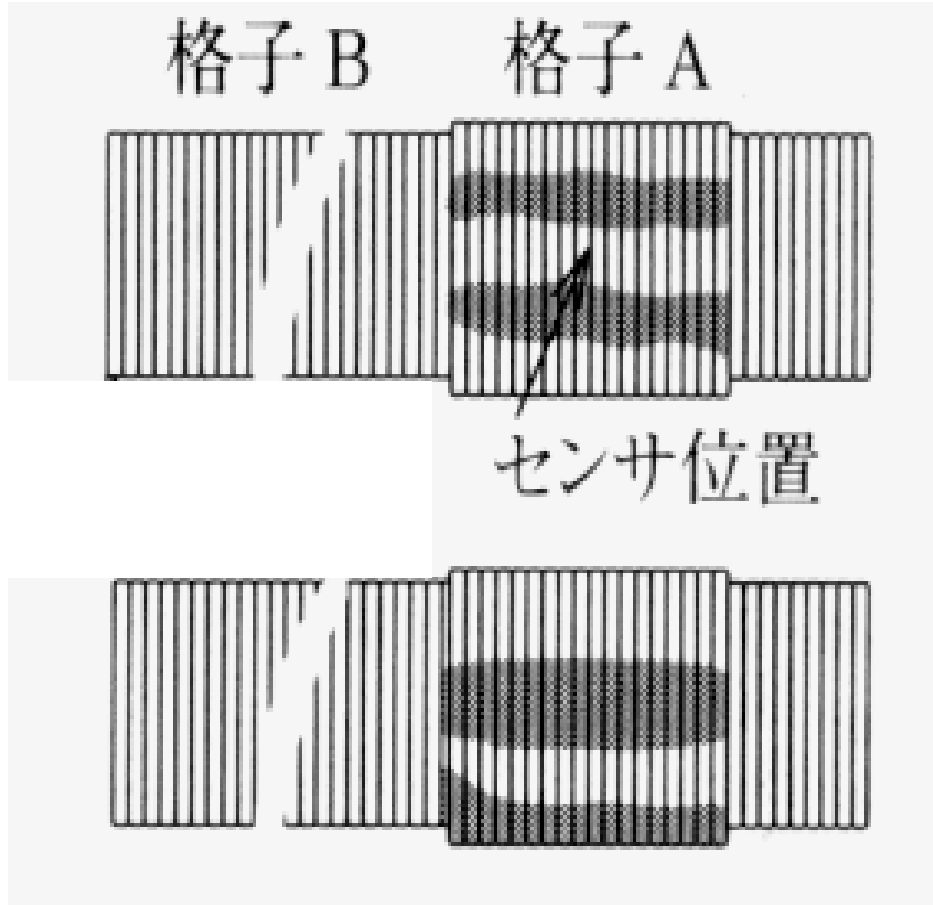
# 4. 3 センサ

- 4. 3. 1 インクリメンタルエンコーダ
  - A, B, Z相信号
  - 4逡倍回路
  - モアレ縞
- 4. 3. 2 アブソリュートエンコーダ
  - 循環交番2進符号 gray code
- タコジェネレータ
- ホール素子
- 交流センサ

# パルスエンコーダ



# モアレ縞



僅かに斜めの角度を持った光格子と光格子を重ね、生じる縞模様の濃淡を読取る。

縞の黒白を直接読まず、平均化した値を読取るので、ごみ、欠け、などの影響を受けにくい。

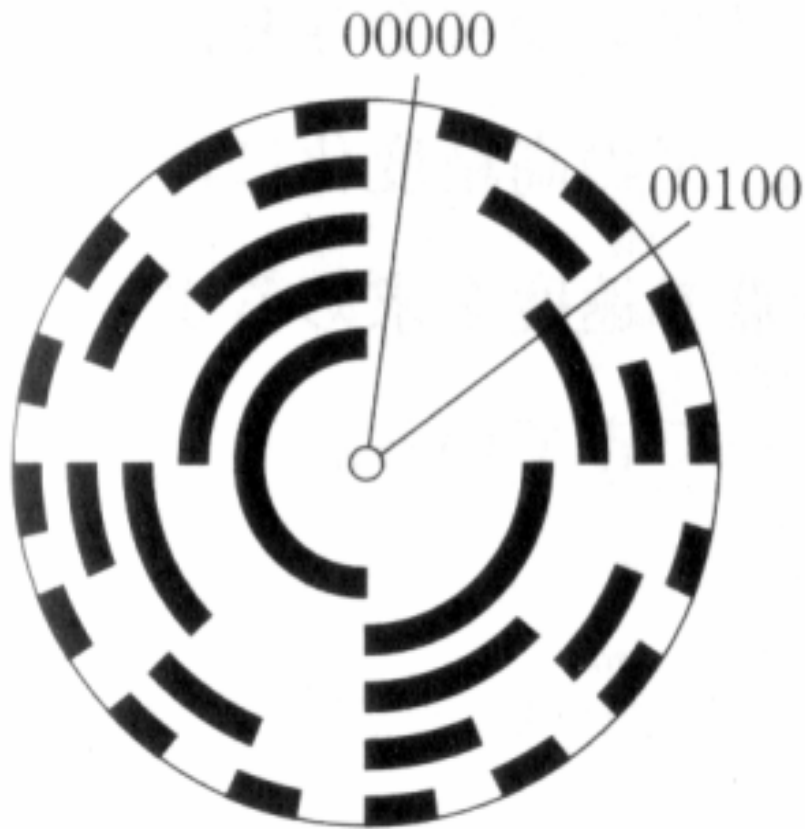
縞の間隔が大きくなるので、読取りやすくなる。

# アブソリュートエンコーダ

- 回転角度、移動距離の絶対値が分かる
- 停電した後でも再駆動可能
- 複数の縞模様を持つ
- 高価
- 1990年代より普及



# 普通2進コード板



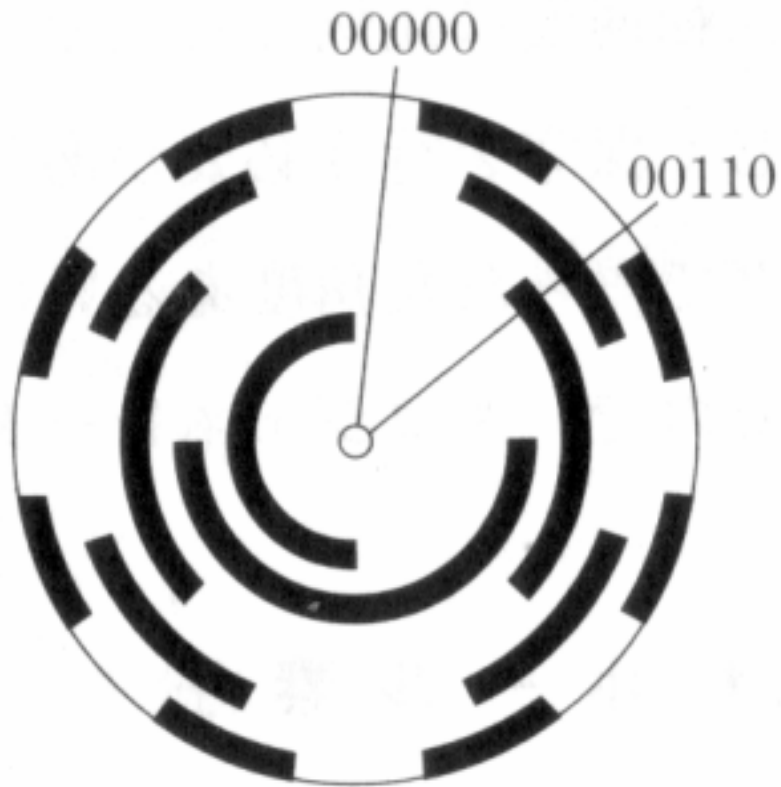
絶対値方式エンコーダ

Absolute Encoder

0から-1へ変化する際、全てのビットが変化

電氣的誤りが生じやすい

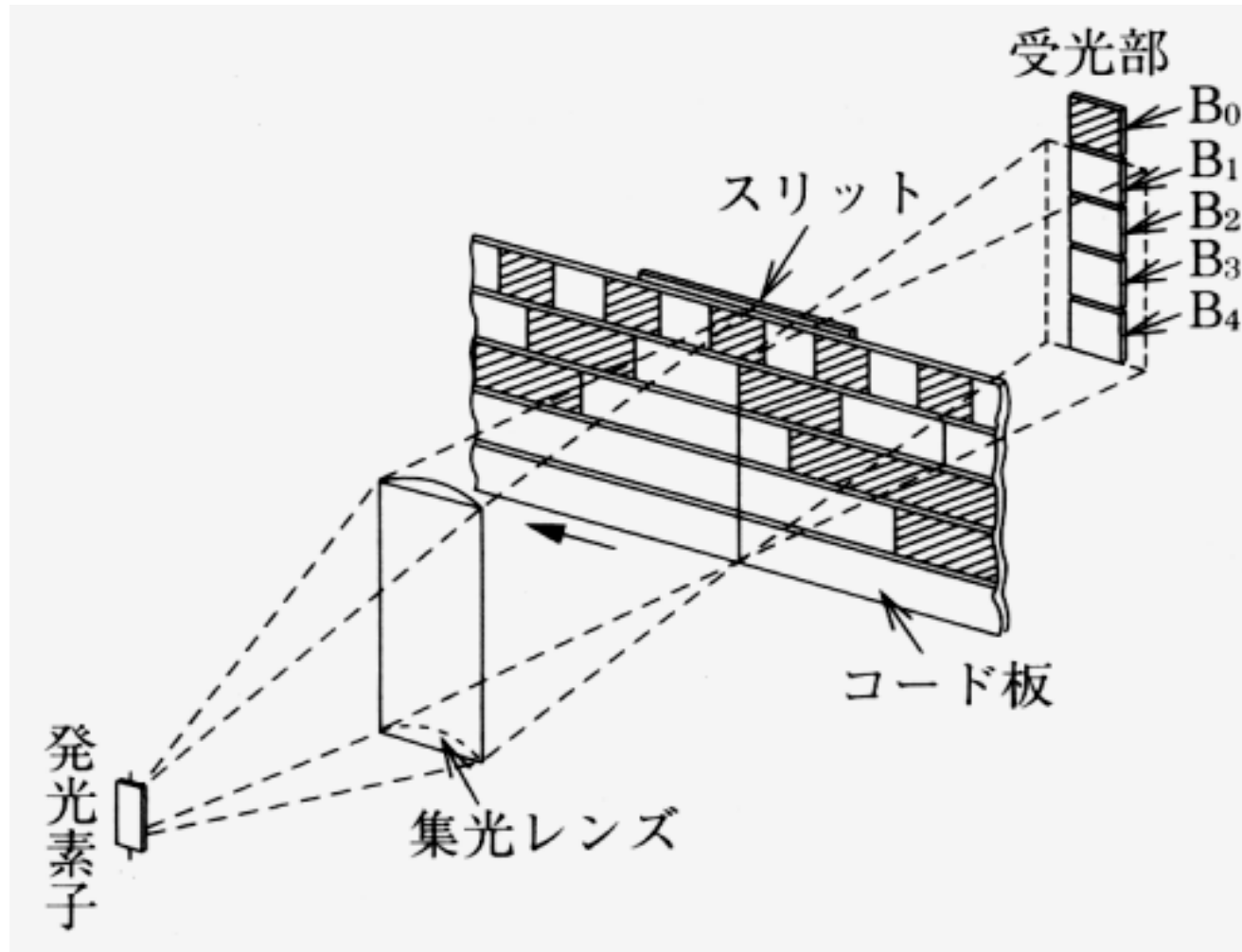
# 循環交番2進符号



Gray-code

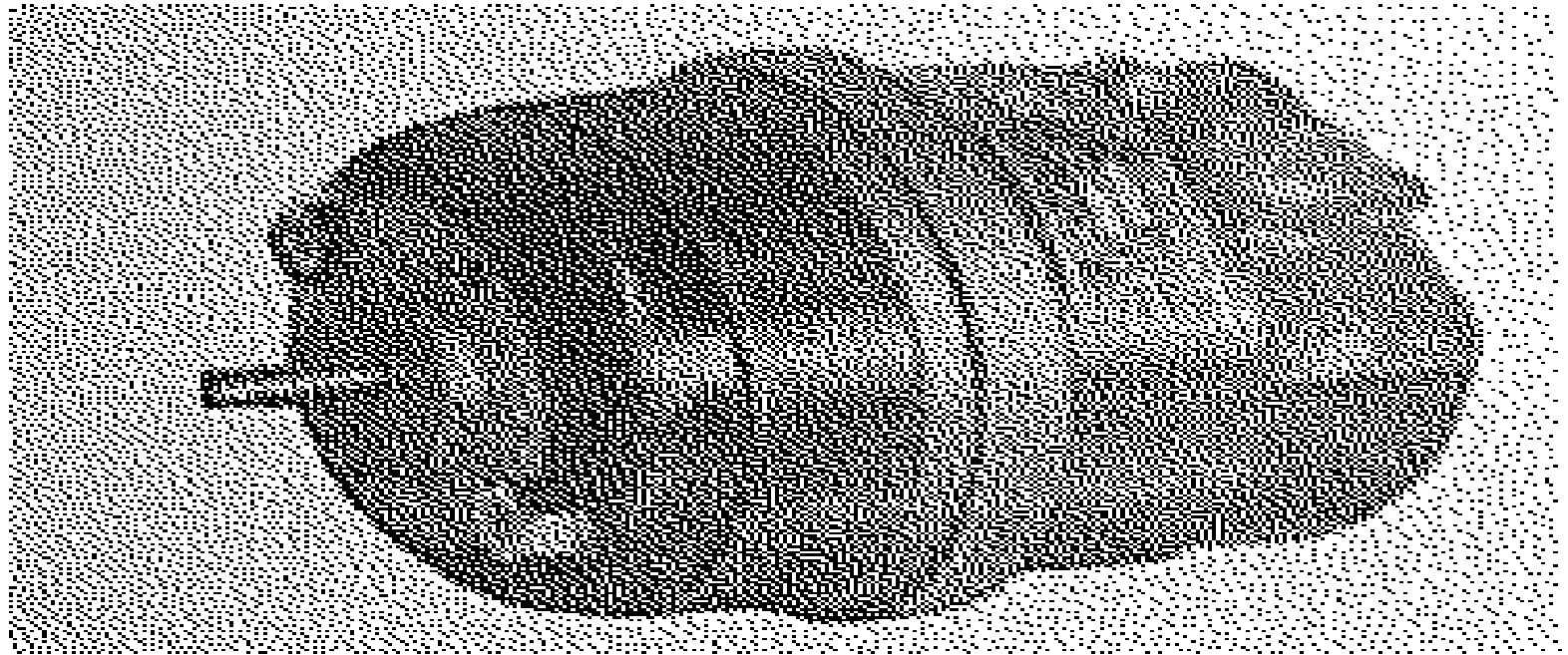
白から黒へ変化するのは、1ヶ所のみ  
電氣的誤り生じにくい

# リニアグレイコードシステム



## 4. 3. 3 タコジェネレータ

自転車の発電機と同じ構造. 軸回転速度に比例した直流電圧を発生する. 現在、精度が向上したエンコーダのデジタルパルスから速度を計算する方式が増え、次第に使われなくなっている.



# 4. 4 ドライバ回路

- 4. 4. 1 直流パワーアンプ
  - オペレーショナルアンプ回路
- 4. 4. 2 デジタルパワー素子
  - サイリスタ
  - パワートランジスタ
  - IGBT, IPM

## 4.4.3 IGBTによる直流モータ制御

- フライホイールダイオード
- フォトカプラ

## 4.4.4 インバータによる交流モータ制御

- コンバータ
- インバータ
- PWM

# 4.5 マイクロプロセッサ利用 デジタルサーボ機構

- 4.5.1 ソフトウェアサーボ機構
  - サンプル値制御系
  - I-PD制御系
  - 2自由度制御系



## 4.5.2 マイクロプロセッサとデジタル サーボ機構の進歩

- 第1世代デジタルサーボ機構
- 第2世代デジタルサーボ機構
- 第3世代デジタルサーボ機構
- 第4世代デジタルサーボ機構

# 4.6 プログラム制御

- 4.6.1 オンオフ制御
- 4.6.2 自己保持機能と自働機械
  - インターロック機能

# 章末問題

- サーボ機構の歴史的変遷について、その特徴とともに述べよ。

# 5章 工作機械

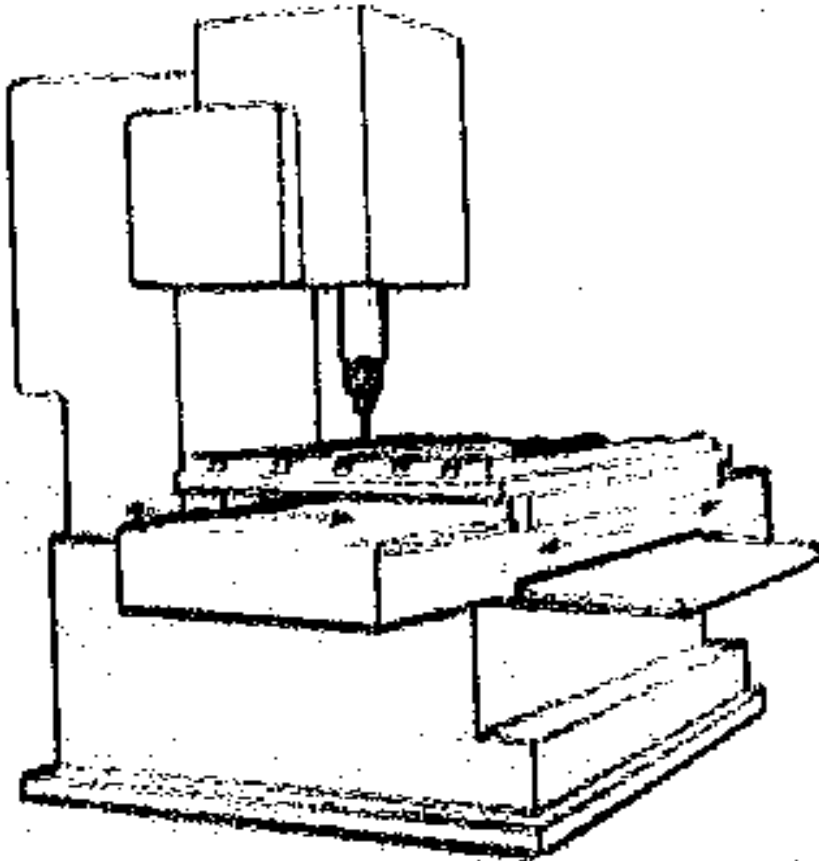
# 5. 1 機械加工の種類

- 旋削加工
- フライス加工
- ドリル加工
- 研削加工

# 工作機械(Machine Tools)

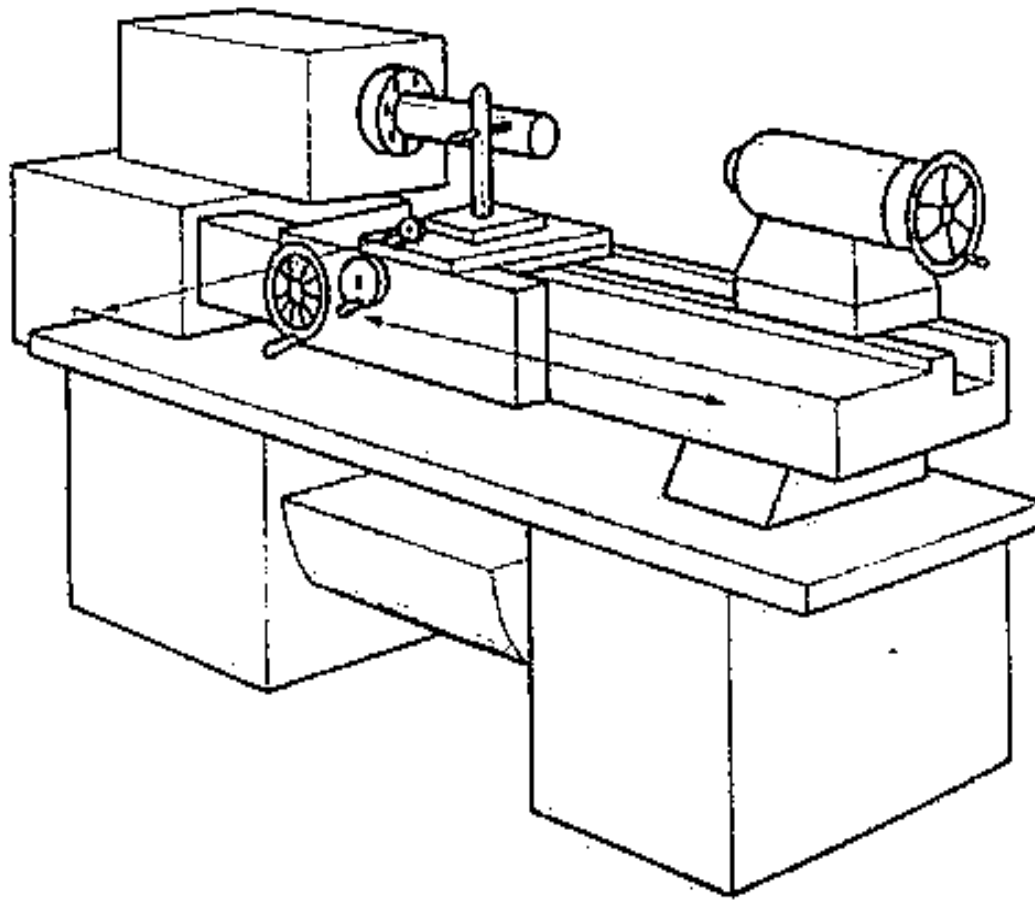
- 旋盤
- フライス盤
- ボール盤
- 形削り盤
- 研削盤

# ボール盤 (Drilling Machine)



- 穴開け
- 2次元位置制御のみ必要
- 経路制御不要

# 旋盤(Lathe)



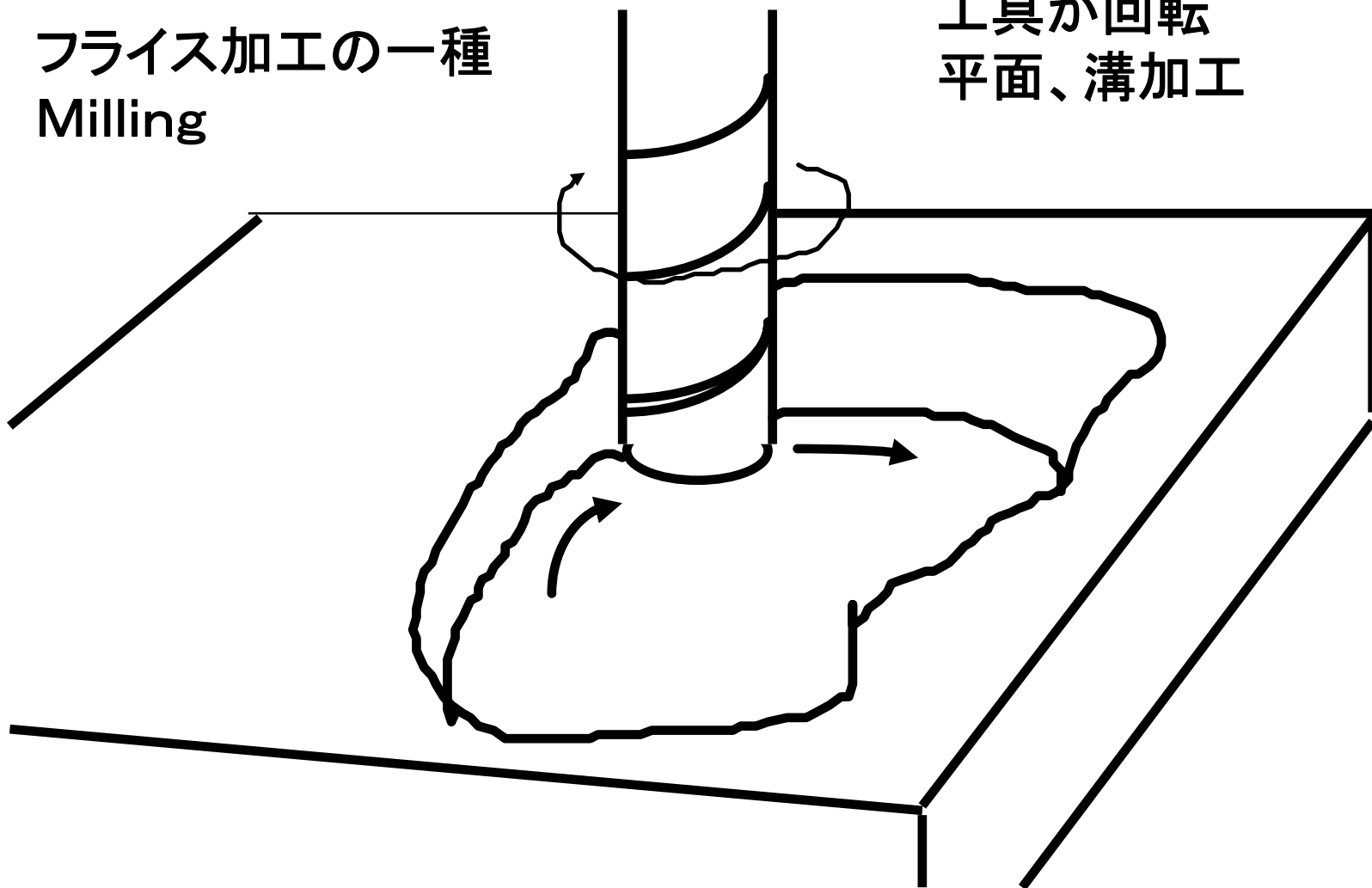
- Turning Machine
- 円筒形状の加工
- 工具: バイト、セラミックチップ



# エンドミル加工

フライス加工の一種  
Milling

工具が回転  
平面、溝加工



# 操作量

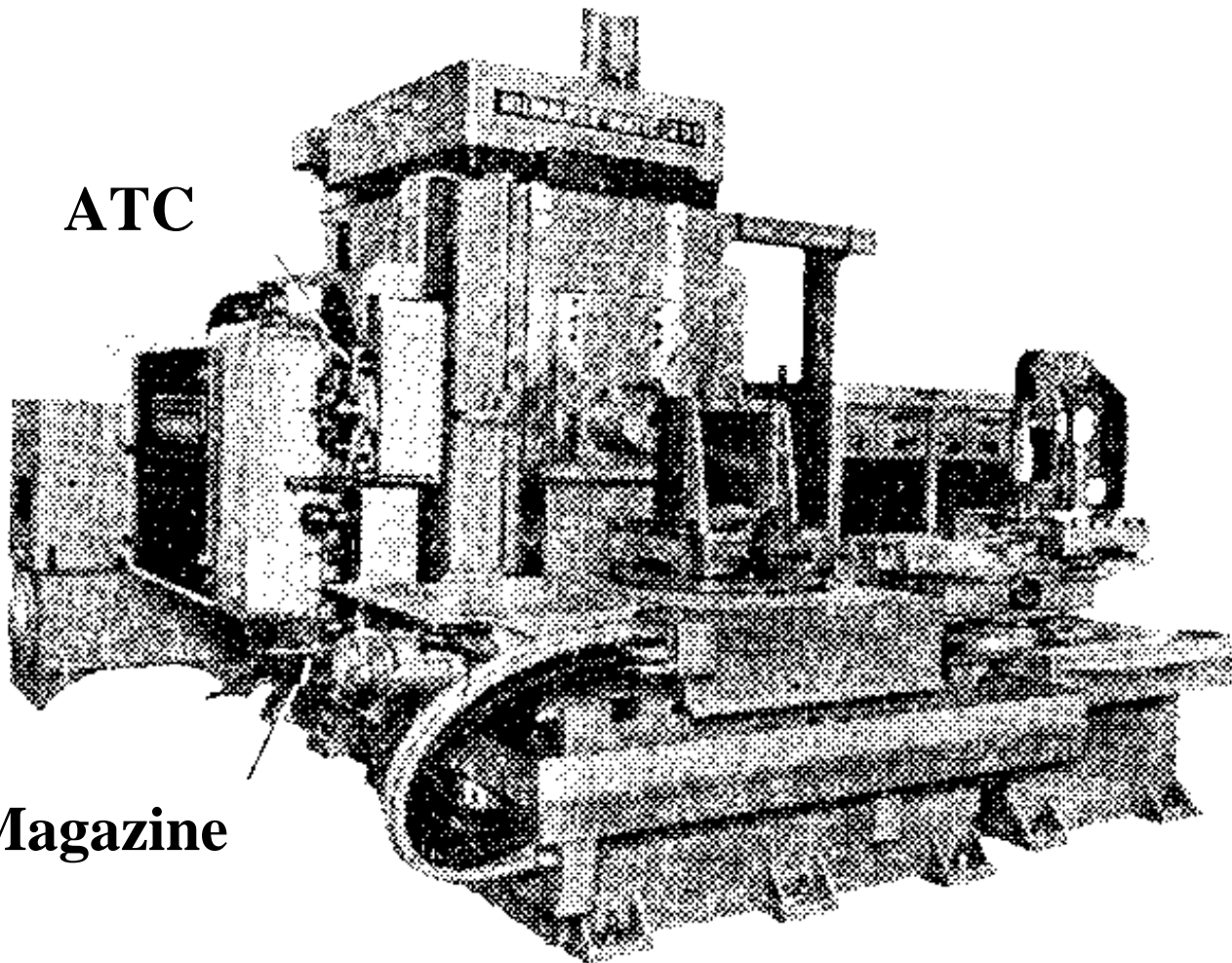
- 送り速度 feedrate
- 主軸回転数 spindle rotational speed
- 送り feed
- 切り込み深さ depth of cut
- 切削速度 cutting speed

# 5. 2工作機械の自動化

- 5. 2. 1 汎用工作機械
- 5. 2. 2 倣い制御工作機械
- 5. 2. 3 数値制御工作機械
- 5. 2. 3 5軸数値制御工作機械 教科書参照
- 5. 2. 4 マシニングセンタ 教科書参照  
– ATC

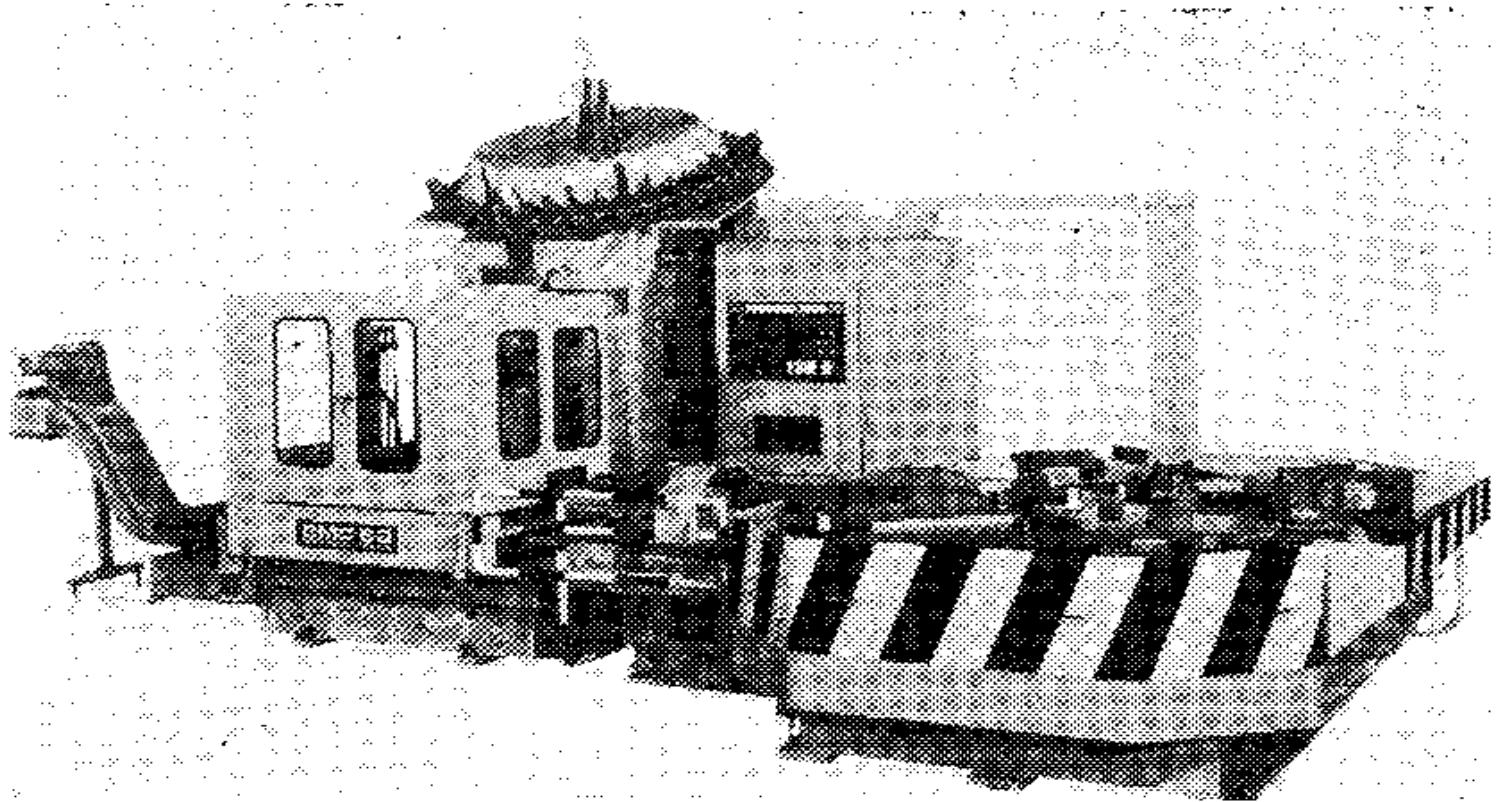
# マシニングセンタの例

ATC



Tool Magazine

# マシニングセンタの例



# 倣い制御の問題点

- アナログセンサ、アナログサーボ機構を用いるため、高精度が出ない.
- 1／1000程度.
- 数値制御の出現とともに、次第に使われなくなった.
- 1940年前半から1970年代まで. 特殊な分野では1980年代後半まで使われた.
- ---

# 5章 章末問題

- 主な切削加工の種類とそれを行う工作機械を挙げよ。
- マシニングセンタおよびATCについて、その機能を詳しく説明せよ。

# 6章 数値制御



# 6. 1 数値制御の特色

- Numerical Control
- デジタル数値で、工作機械の動きを制御
- 高精度の加工が可能
- 機械の動作を自由に変更可能
  - フレキシブルオートメーションに向く
- 上位のネットワークとの結合が容易

## 6. 2 数値制御装置の構造

- デジタル数値を使って、サーボ機構の目標位置を指示する.
- 数値を表現する桁数を増やすことにより、高精度の指示が簡単に行える.
- マクロ指令言語から瞬時瞬時の目標位置の計算を行う.
- デジタルサーボ機構により、高精度の制御が可能---

# 数値制御の対象

- 工作機械
- ロボット
  - バーチャルシミュレーションと結合して、急速に普及の様相

# 6.3 数値制御の切削制御方式

- 6.3.1 位置制御
- 6.3.2 2・1／2直線切削制御
- 6.3.3 輪郭制御

# パートプログラミングの例

- N3, G2, X+42, Y+32, Z31, B33, F3, S3, T2, M2
  - N3; 3桁シーケンス番号
  - G2; 準備機能
  - X+42; x軸移動量
  - Y+32; y軸移動量
  - Z31; z軸移動量
  - B33; B軸回り回転
  - F3; 送り速度
  -

## 6.4 デジタルサーボ方式

- オープンループ制御
- セミクローズドフィードバック制御
- 完全クローズドフィードバック制御

# 6.5 経路制御

- ソフトサーボ機構
- ハードサーボ機構

# 6. 6 直線補間、円弧補間

- 6.6.1 MIT方式
- 6.6.2 DDA方式
- 6.6.3 代数演算方式
- 6.6.4 ソフトウェア補間

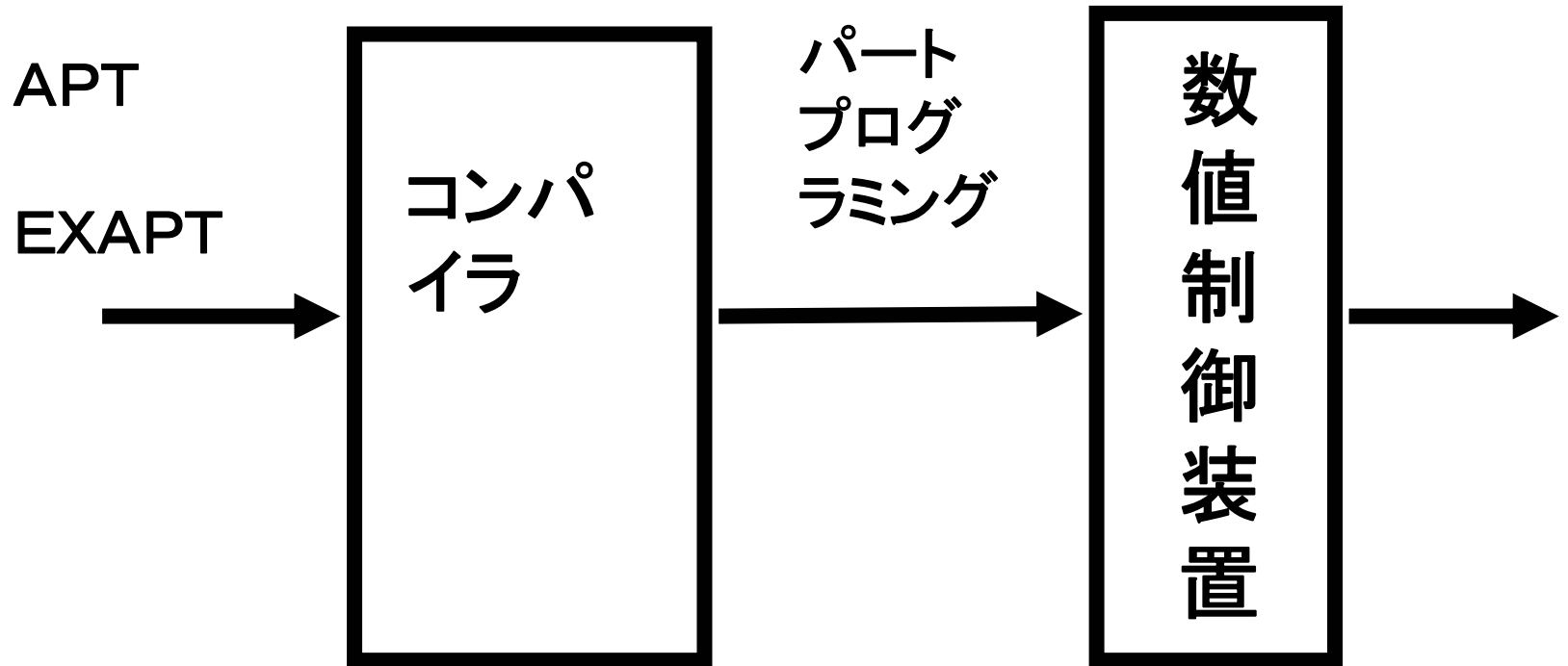


# 6.7 自動プログラミング

- 6.7.1 パートプログラミング
- 6.7.2 NCコードシステム
- 6.7.3 APT
  - 幾何形状形状定義
  - 工具経路の定義
- 6.7.4 EXAPT
  - 自動計画

# 数値制御装置のソフトウェア体系

高級言語



## 6. 8 コンピュータによる数値制御

- CNC
- DNC

# 6.9 インテリジエント制御

- 6.9.1 最適化適応制御: ACO
- 6.9.2 拘束型適応制御: ACC
- 6.9.3 精度適応制御: GAC

# 章末問題

- 数値制御を構成する各機能を説明せよ。
- 直線補間、円弧補間はなぜ必要か？
- CNC, DNCの違いについて述べよ。
- パートプログラミング、APT, EXAPTについて説明せよ。
- APT制御面について説明せよ。
- インテリジェント加工について、ACO, ACC, GACと呼ばれる方法について説明せよ。

# 7章 産業用ロボット

# 7. 1 危険な環境下で人間に代わって働く産業用ロボット

- 産業用ロボットは以下のような危険から人間を解放
  - 危険で健康に悪い環境
  - 長時間労働
  - 怪我、やけどをしやすい労働
  - 悪性ガスを生じる作業
  - 放射線を浴びる作業
  - 腰に負荷のかかる重い荷物を持つ作業
  - 単調な繰り返し作業

# 7.2 産業用ロボットの制御方式

- 7.2.1 シーケンス制御
- 7.2.2 インタロック
- 7.2.3 ティーチングプレイバック
- 7.2.4 数値制御
- 7.2.5 センサフィードバック、  
ビジュアルフィードバック



# 7.3 産業用ロボットの作業分類

- 部品直接製造作業
- 部品生産専用機械との協調作業
- 搬送・配列作業
- 結合・組立作業

## 7.4 部品直接製造の例

- 鋳造
- 鍛造
- 塗装、接着剤塗布

# 7.5 部品生産専用機械との協調作業 の例

- プレス
- ダイカスト
- 射出成型
- 切削・研削加工

## 7.6 搬送・配列作業の例

- パレタイジング
- ビンピッキング
- ピックアンドプレイス
- ガラス搬送

# 7.7 結合・組立作業の例

- スポット溶接
- アーク溶接
- 部品挿入

# 7.8 ロボット組立作業支援装置

- 製造供給
- 整列供給
  - パレット式
  - マガジン式
  - テープ式
  - フープ式
- ランダム供給
  - 非振動フィーダ
  - ボウル型フィーダ
- ビジョンとロボットの組合せ方式

# 章末問題

- インタロック、デッドロックについて説明せよ。
- ティーチングプレイバックと数値制御の違いについて述べよ。
- ウイービングについて説明せよ。
- 配列供給をサポートする方式について説明せよ。
- ランダム供給を処理する機械について説明せよ。

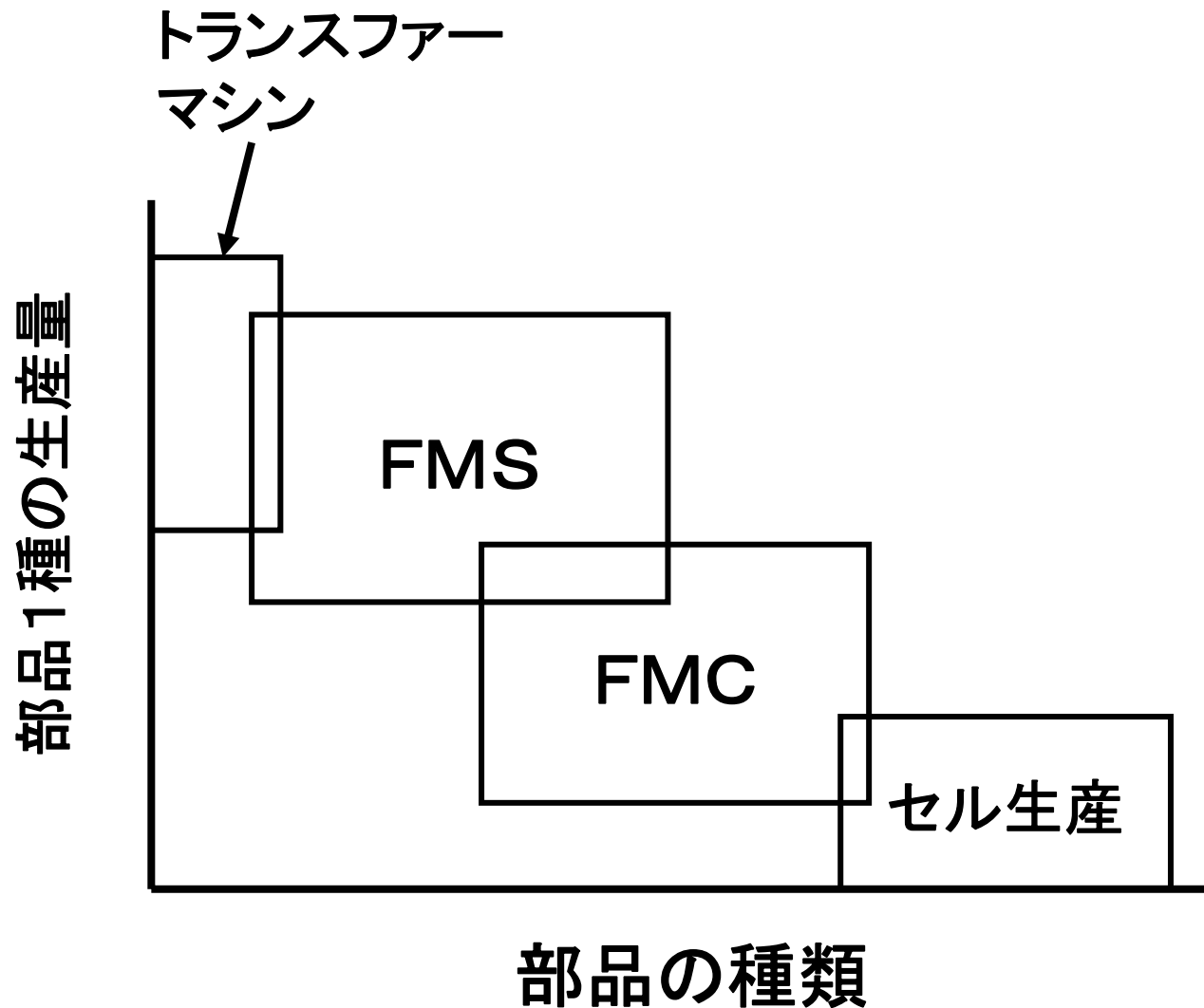
# 8章 フレキシブル生産システム



# 8. 1 FMS

- マシニングセンタ
- AGVまたはコンベア
- 自動倉庫
- 統合計算機管理システム

# Effective Area of FMS



## 8.2 FMC

マシニングセンタ1台と、ロボット1－2台の組み合わせ程度のシステムを1台のコンピュータあるいは数値制御装置で管理するシステム

- FMSは、比較的大きな工場となり、初期投資が大きいため、容易には導入できない。
- FMCは、小型で、初期投資が少なく、容易に構成できる。
- FMCから始めて、次第に拡張していく場合もある。

# 問題1

- ATCについて説明せよ。
- マシニングセンタについて説明せよ。

# 問題2

- FMSの構成と特長について説明せよ。

# 第9章 工場用LANとネットワーク

# インターネット

- 1970年頃、米国防省により開発された融通性に富むシステム
- 1970年代後半から米国の大学も加わって、機能の付加
- レーガン元米大統領や後続の米大統領によって、民間に開放され、これを利用
- した多くのビジネスが開発

# 9. 1 LAN通信線

- 9.1.1 光ファイバ
- 9.1.2 同軸ケーブル
- 9.1.3 ツイストペア線
- 9.1.4 無線LAN
  - RFタグ
  - ユビキタス



## 9. 2 情報のパケット化と通信時の 衝突回避

- CSMA／CD方式
- Token Ring方式

## 9.3 LANの方式

- 9.3.1 クライアント・サーバ方式
- 9.3.2 ピアーツーピア方式

# 9.4 LANの protocols

- 9.4.1 TCP/IP
- 9.4.2 OSI
- 9.4.3 MAP/TOP
- 9.4.4 CANとデバイスネット

# LAN間接続

- リピータ
- ブリッジ
- ルータ

# 章末問題

- 情報のパケット化について説明し、どのようなメリットがあるか述べよ。

# 10章 工場管理システム

# 10.1 トヨタ生産システム

- 10.1.1 カンバンシステム
- 10.1.2 アンドン
- 10.1.3 自働機械
- 10.1.4 U字形生産システム
- 10.1.5 在庫レス生産システム

# 10.2 CIM

- 時間基準システム
- MRP
- BOM
- 在庫データベース



# 工場管理システム

- 10. 3 製番管理方式
- 10. 4 POP
- 10. 5 APSとMES
- 10. 6 CAD／CAM
- 10. 7 コンカレントエンジニアリング
- 10. 8 CALS
- 10. 9 グループウェア

# 工場管理システム

- 10. 10 PDM
- 10. 11 ERP
- 10. 12 RP&M

# 章末問題

- トヨタ生産方式とCIMを対比して、在庫についての考え方の違いを述べよ。