

# ロボット技術動向

2012年11月9日  
加沼 安喜良

# Summary

- ロボット機能は階層化とモジュール化により互換性のある部品を提供する専門メーカーの進出が加速できる環境が整ってきた。
- ロボットの応用は従来の工場や産業用からホームロボットなどが今後大幅に伸びる。
- 日本はこれまで産業用を中心にロボットの製造・稼動数とも世界1であった。
- 今後は少子高齢化・産業の海外流出への対応策としてロボットの活用が期待される。
- ロボットの安定化制御にはPID制御だけでなく状態制御を活用することができる。

# 目次

- [1] ロボットの基盤技術整備
- [2] 生活支援ロボットの開発動向
- [3] ロボットプラットフォーム
- [4] ロボットが日本を救う
- [5] 倒立振り子(二輪)ロボット制御

# [1]ロボットの基盤技術整備

1. 整いつつあるロボット基盤技術
2. ロボットのイメージ
3. ロボットのシステム設計手順
4. オープンロボットコントローラを核としたシステム構築
5. 基盤要素技術
6. 基盤要素技術を用いたシステム例

# ロボット普及の現状

- 自動車組み立てライン、溶接・塗装用ロボット
- 電子回路部品実装ロボット
- 原子力発電所保守点検ロボット
- 2足歩行ヒューマノイドロボット
- 犬形アミューズメントロボット
- etc
- 背景の要素技術としては・・・(次ページ)

# ロボット要素技術

- 1980年代から大学や国で研究開発
  - 作業計画
  - マニピュレーション  
(アームによる物体ハンドリング)
  - 移動機構・自律移動
  - マシンビジョン(画像処理)
  - 音声認識
  - etc

# モジュール化とロボットシステム構築例

- 脳（胴体）、左右のアーム、視覚、聴覚、移動台車のモジュール化
- モジュールを必要に応じてシステム化してロボットを組み上げる
- 短期間で安価に作れる
- モジュール間のハードウェア、ソフトウェアのインタフェースを標準化→各社のモジュールの組合せが可能

# モジュール化とロボットシステム構築例

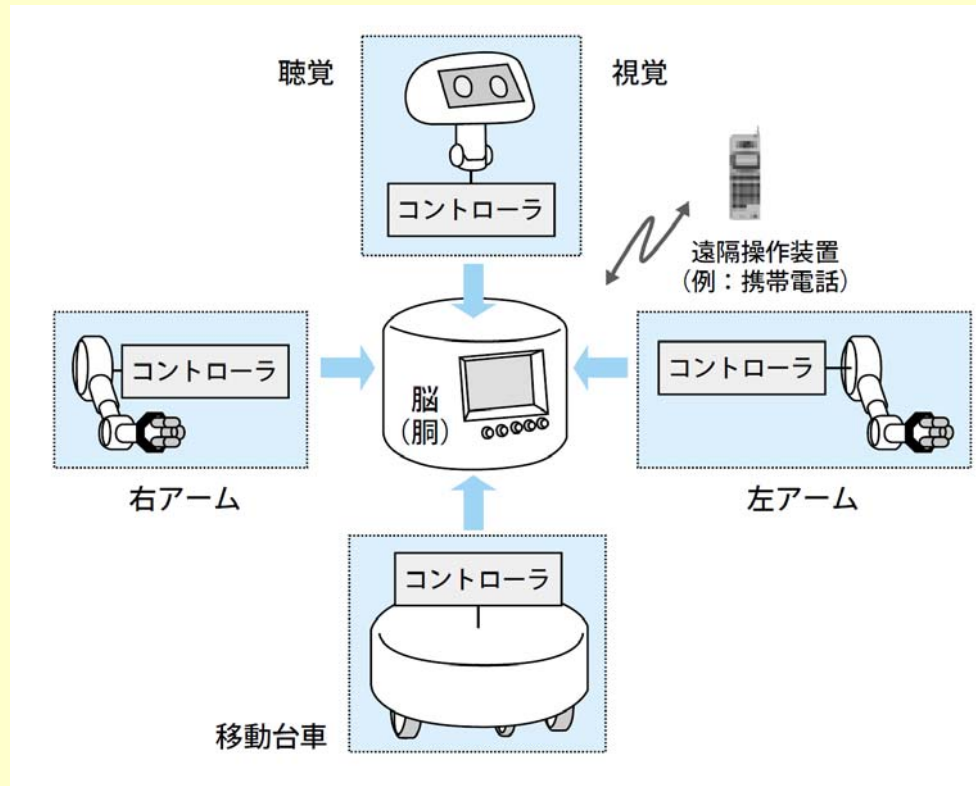


図1-1 モジュール化とロボットシステム構築例  
各モジュールを組み合わせてロボットが構築できる。



## 2. ロボットのイメージ

- ロボットとは「人に役立つ、作業をする機械」
- ロボットの分類:
  - (1) 作業する機械としてのロボット・・・  
産業用ロボットなど(自動組立ラインでの  
塗装・溶接ロボット、自動改札機など)
  - (2) 遠隔操作ロボット・・・  
原子力プラント、宇宙、災害現場などで  
の3K(きつい、危険、汚い)作業を対象
  - (3) ヒューマノイドロボット・・・  
本田技研工業(株)のASIMO、ソニー(株)の  
AIBO

# 3. ロボットのシステム設計手順

- ロボットの要素技術：
  - ・ハードウェア技術
  - ・コントローラとソフトウェアの技術
- 設計の2つの流れ：
  - ・トップダウン：  
作業の定義と機能仕様のまとめ
  - ・ビルドアップ：  
モジュール化された要素技術を組み合わせる

# ロボットシステムにおける基盤要素と設計手法

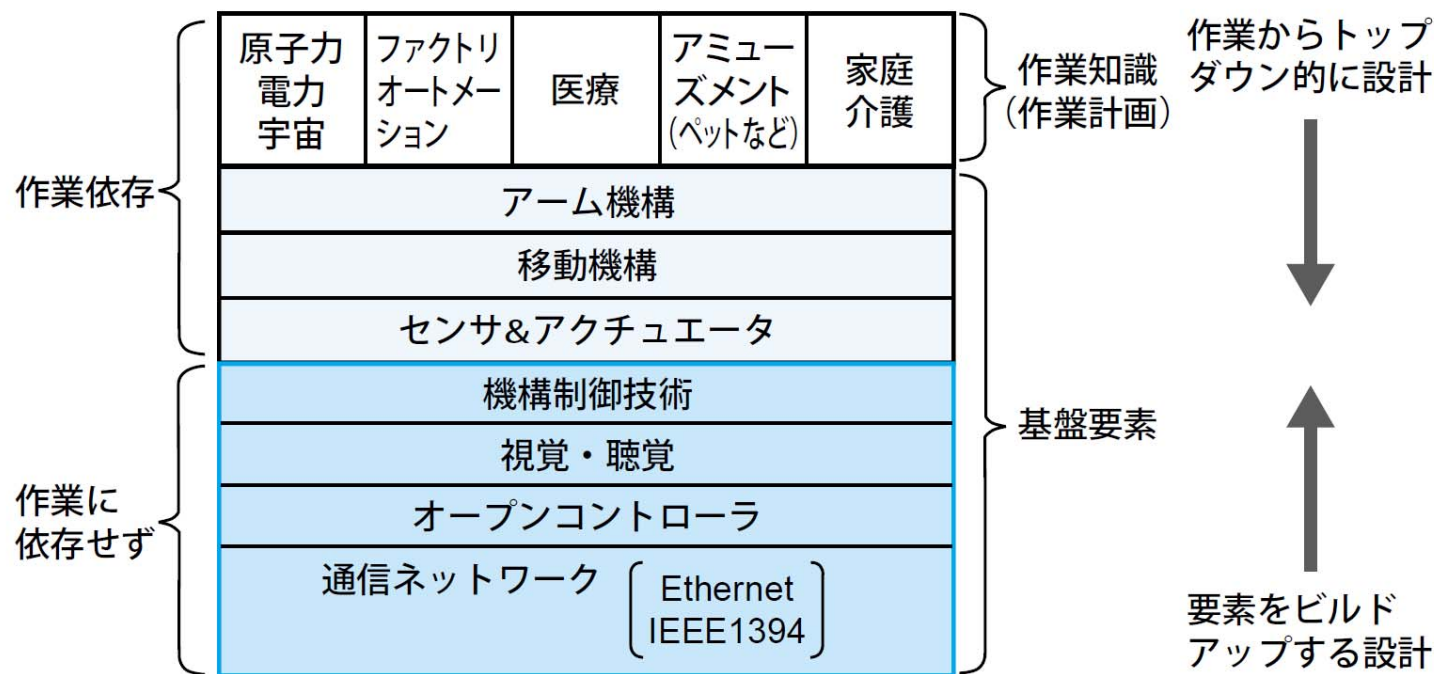


図1-2 ロボットシステムにおける基盤要素と設計手法。ロボットは作業で定義され、作業に依存する要素制御と、依存しない共通要素技術がある。

# 作業からトップダウン的に設計する手順

- ① ロボット作業（動作）の定性的表現：  
ロボットが動き回る環境とロボット本体のイメージ図を作成、絵コンテ（スケッチ）使用
- ② 動作の分解、定量的表現：
  - ・動作を、より基本的な動作、例えば、“作業対象物に接近する”、“つかむ”などに分解。
  - ・設定された座標系に対するアーム先端の位置・速度として、定量的に表現する。

# 作業からトップダウン的に設計する手順

## ③機構の概念設計:

上記の運動を行うためのアーム、移動台車の概念設計

## ④プログラム作成:

作業を行うための動作を指令

## ⑤確認・検証:

①～④をロボットシミュレータで確認・検証

## 機能要素をボトムアップ的に積み上げる設計手順

- 機能設計：  
まず、トップダウン的に作業、すなわち、要求機能からロボットシステムという形を作る。  
このあとで...
- システム構築：  
ボトムアップ的に組み上げる...  
パソコン(PC)ネットワークによるコントローラ  
＋視覚・聴覚の感覚機能  
＋アームや移動台車の機構

# 4. オープンコントローラを核にした ロボットシステム構築

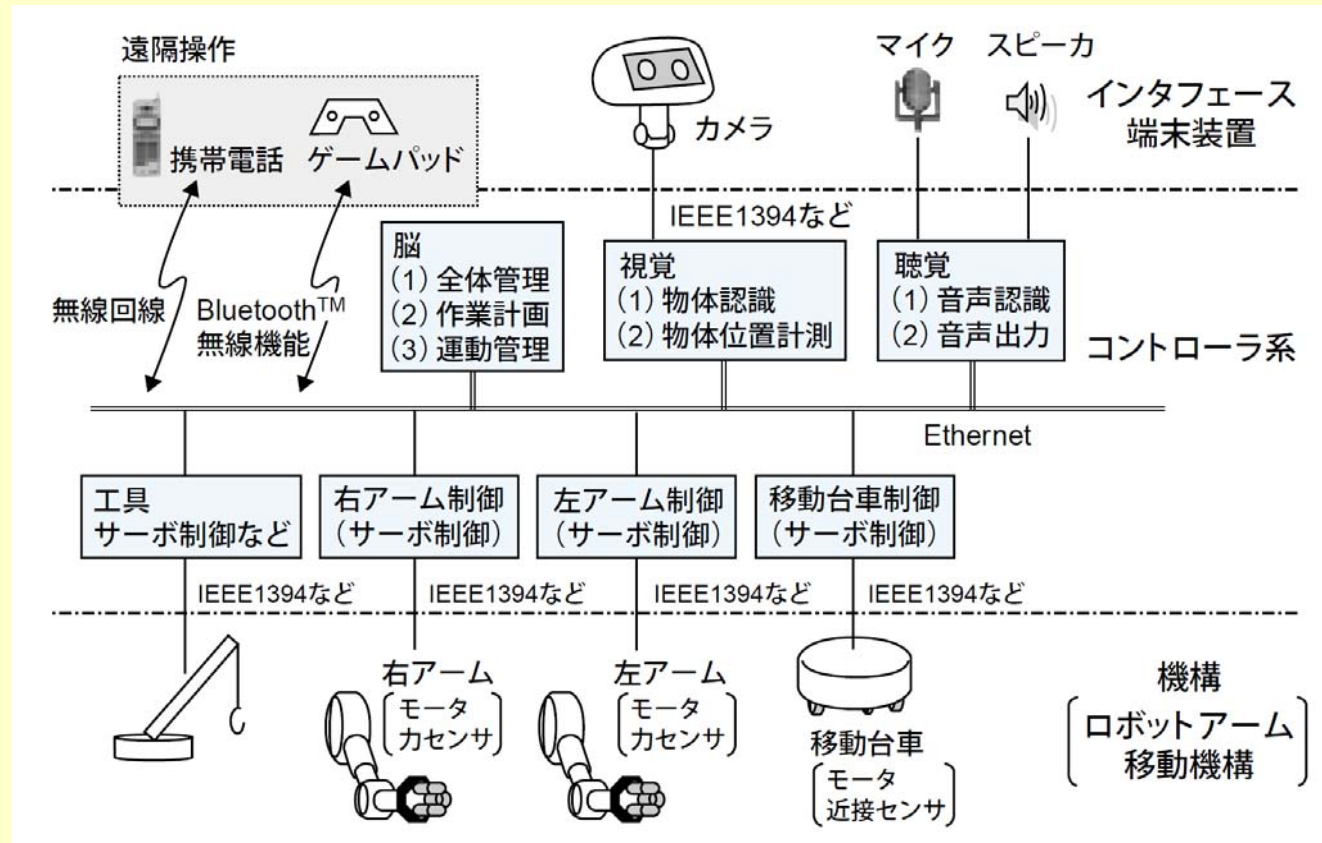


図1-3 インタフェースをオープン化し各モジュールを容易に接続し構成できる

# ロボットシステムの構成

- コントローラのオープン化：
  - ・機能単位のモジュールに分割・・・脳(全体管理、作業計画など)、視覚・聴覚、左右アーム、移動台車
  - ・**インタフェースを標準化**
    - ・・・ハードウェアとソフトウェア
  - ・モジュールを接続してシステムを構築
- インタフェースが統一されていると、いろいろなメーカーのロボットアームや移動台車を接続してシステムを構築できる。
- オープンコントローラ構想は工作機械のNC (Numerical Control) コントローラで具体化が先行



# PCネットワーク

- 図1－3の四角のブロックはPC104などCPUと汎用の周辺インタフェースを搭載したボードPC
- PCをEthernetで結んだPCネットワークはデファクトスタンダード
- 各PCはEthernetを介して、運動管理から視覚・聴覚へのデータ要求と、左右アームや移動台車への動作指令とのために、標準化されたロボット言語を使用

# PCネットワーク

- シリアル接続:  
PCと各端末装置やサーボアンプ/センサとはIEEE1394 (IEEE:米国電気電子技術者協会)などで接続
- アクチュエータ:  
ロボットの作業に応じて数を加減
- センサや操作用端末装置:  
自由に付加できる

# PCの機能（ソフトウェア）

- 脳
- 視覚
- 聴覚
- 左右のアームの制御
- 移動台車制御
- 遠隔操作

# 脳

- ロボットシステム全体の運動管理、ロボットの作業計画、作業計画で生成された左右アーム・移動台車・工具などの動作指令を出す運動管理、 などからなる。
- 作業計画が最も重要：動作プログラムをロボット言語でオフラインで作成、あるいは、作業レベルの指令を受けて自動生成。

# 視覚、聴覚

- 作業対象物の認識やその位置の計測
- ロボットが移動し、作業レベルの指令で自律的に動く場合は不可欠
- 人の顔を認識して、人に合わせた動作の選択ができる
- 人とのコミュニケーションで重要な音声認識や発話者などの音源方向の同定を行う。

# 左と右のアーム制御

- 脳の運動管理からの動作指令でロボットアームをサーボ制御。
- 物を持ったり、組み立てたり、作業に応じて位置制御、力制御、コンプライアンス制御を用いる。
- コンプライアンス制御：  
力制御の方法で、力と機械的インピーダンス（剛性＝バネ、粘性＝ダンパ、慣性＝質量）との関係から、力を加えた際の変位を力学的に予測して制御する手法

# 移動台車制御、遠隔操作

- 運動管理で指令された経路に沿い、障害物を回避しながら移動台車を動かす。
- 移動することでロボットの動作・制御範囲は飛躍的に広がる。
- 三次元ディスプレイを見ながらジョイスティック(操縦かん)で遠隔ロボットを操作
- 携帯電話やゲームパッドを遠隔端末として使用

# 動作例：在宅高齢者の遠隔介護

- 介護センター操作者：  
ロボットからの部屋の三次元映像を見ながら  
ジョイスティックを操作  
→位置・力の指示  
→ロボット言語形式(位置・速度)に変換  
→公衆回線経由  
→ロボットへ電送



# 動作例：在宅高齢者の遠隔介護

- ロボット：  
ロボットの視覚・聴覚→映像・音声→操作者；  
操作者の動作指令（目標値）  
→ロボット作業計画が受け取る  
→左右アーム制御、移動台車制御  
↓ ↓  
サーボ制御      サーボ制御

# 動作例：在宅高齢者の遠隔介護

- 高齢者：  
音声で要求「お茶を入れて」「杖を持ってきて」  
→ロボット：マイクで受信、音声認識  
→作業計画  
→ロボットの動作軌道（目標値）生成  
→動作指令（目標値）  
→アーム制御、移動制御  
↓ ↓  
サーボ制御    サーボ制御

# 5. 基盤要素技術

各要素技術のモジュール化が進行  
開発状況の例を紹介

- 作業計画
- アーム制御
- 視覚認識
- 音声認識

# 作業計画

- 作業毎に用意する。
- 構築例(3件):
  - ① 双腕ロボットでフランジ(flange:鰐(つば))にボルト挿入の作業。
    - データベース←作業環境、作業対象物
    - プログラム←作業知識
  - ② 鋼板の面取りを行う仕上げロボット
    - 鋼板エッジをカメラ画像から作成
      - 作業プログラムの自動生成
    - ツール、作業スキル→データベースに表現
  - ③ ロボットへの音声指示「赤いボールを取れ」
    - ロボットが理解、実行

# アーム制御

- グラインダ作業の力制御
- 7自由度アームによるボルト挿入や握手時のスティフネス制御(対象物との間のばねの強さを可変にして調節する制御)
- 多指ハンドでペンを用いて字を書くときのスティフネス制御
- 遠隔操作ロボットのバイラテラル制御  
(マスタ装置(動作指示を与える)からスレーブ装置(実際に作業する)へ指示する制御系と、これとは逆に作業に伴う反力などをスレーブからマスタへ伝達する制御系を並行して制御する方式)

# 視覚認識

- 顔認識:  
複数の顔パターンを使用  
→照明の変動や顔の方向変動に強い
- 作業対象物の認識・位置計測:
  - ・画像認識LSI(125MHzで4GOPS、VLIW)→**車**  
**の運転支援のための白線検出**高速処理
  - ・**ビーチボールを打つロボット**で、三次元位置をステレオ(**両眼立体**)視で計測し、ビジュアル・フィードバックして、ボールを拾ったり、連続的に打つ

# 音声認識

- 市販音声認識ソフトウェア(LaLaVoice<sub>TM</sub>)
  - 不特定話者対象
  - 雑音環境下で安定に語彙・文を認識可能
  - 雑音に強い

## 6. 基盤要素技術を用いたシステム例

- 遠隔協調作業ロボットシステム
- 原子力防災ロボットシステム
- 教示レス仕上げロボット
- ペットロボット



# 遠隔協調作業ロボットシステム

- 公衆電話回線ISDN(総合ディジタル通信サービス)を介した遠隔操作システム
- つくばと川崎のマスタームから川崎にあるそれぞれのスレーブアームを遠隔操作し、協調作業が可能

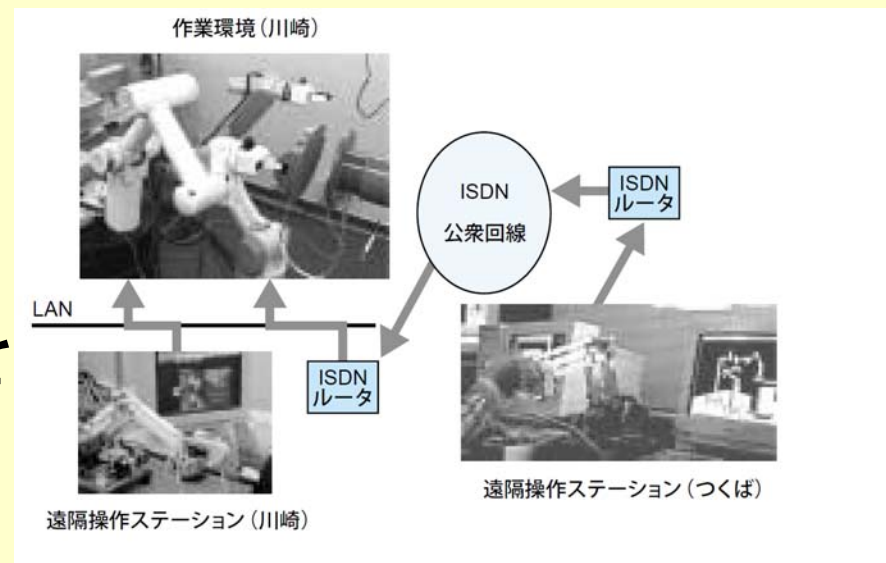


図1-4 遠隔協調作業ロボットシステム

# 原子力防災ロボットシステム

- 原子力施設の事故時の作業監視を支援
- 親ロボット(階段など不整地走行可能)＋子ロボット(親ロボットに搭載可能)＋各種センサおよび駆動機構＋制御盤
- Ethernet(有線か無線)で制御



図1－5 原子力防災支援ロボット

# 教示レス仕上げロボット、ペットロボット

- 教示レス仕上げロボット：  
PCコントローラを使用。  
作業計画・力制御などの技術。  
作業プログラムを自動生成して  
鋼板のエッジ仕上げ作業。
- ペットロボット：  
感情モデルを用いて  
なでたり、たたいたり  
すると喜んだり、怒っ  
たりして感情を表現



図1-6 ペットロボット

## [2]生活支援ロボットの開発動向

1. ロボット技術の発展
2. ホームロボットへの期待
3. ホームロボットの分類と展開
4. ホームロボットを支える要素技術
5. コントローラのオープン化

# 1. ロボット技術の発展

- 従来：特殊環境・工場内環境が中心  
最近：家庭向けロボットの開発活発化
- 要素技術進展  
→メカトロニクスにロボット技術搭載
- ロボット技術のオープン化：  
要素技術のモジュール化  
インタフェースの共通化  
通信プロトコルの共通化  
新しいビジネス・モデルへの期待

# ロボット技術の発展

- 人と共存する分野への応用が進展：  
特に生活支援分野でのホームロボット
  - ・作業提供・・・クリーナーロボット
  - ・知能化や情報提供・・・
    - エンターテインメントロボット
    - コミュニケーションロボット
    - パートナーロボット
    - 留守番ロボット
- 少子高齢化、情報ネットワーク化、  
セキュリティなど社会不安要素解消向け

# 生活支援ロボットの分類

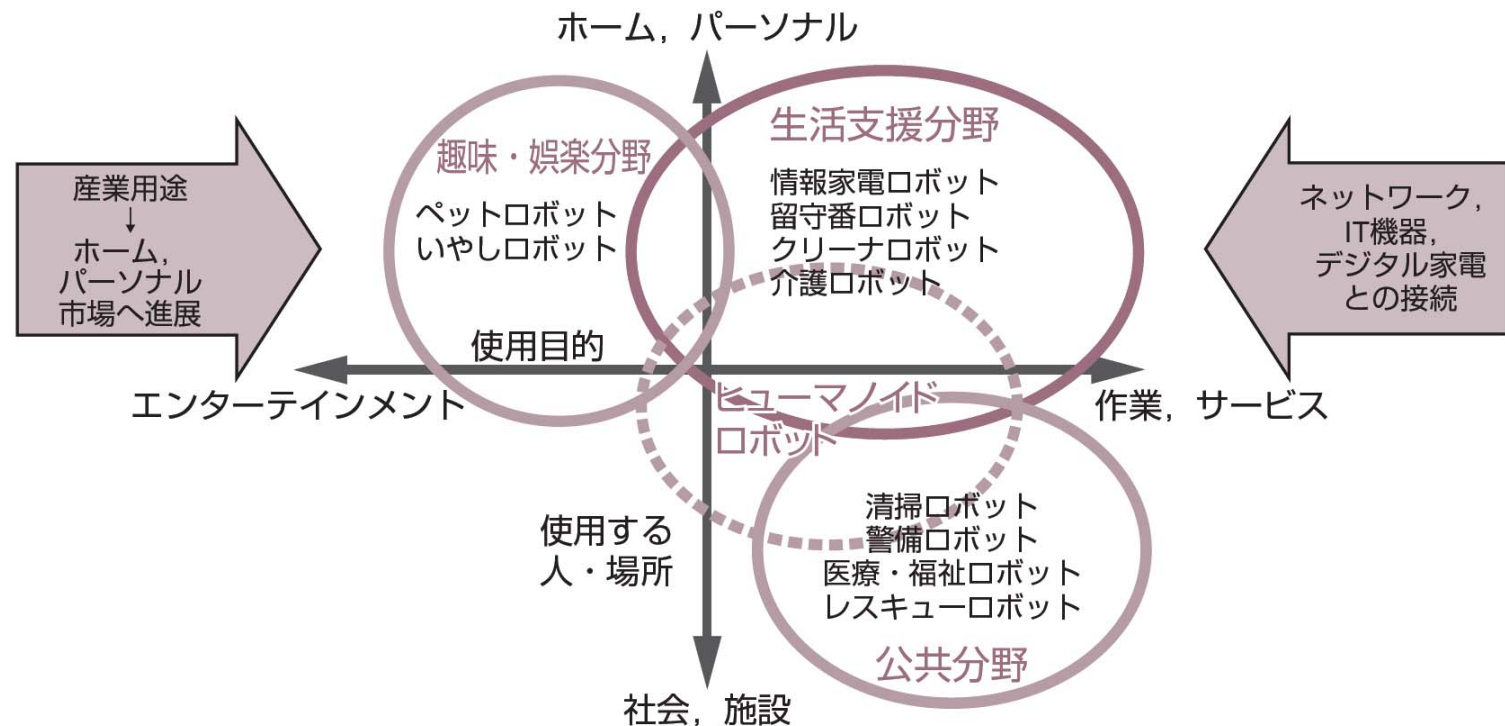


図2-1 生活支援ロボットの分類(製造業分野以外)

## 2. ホームロボットへの期待

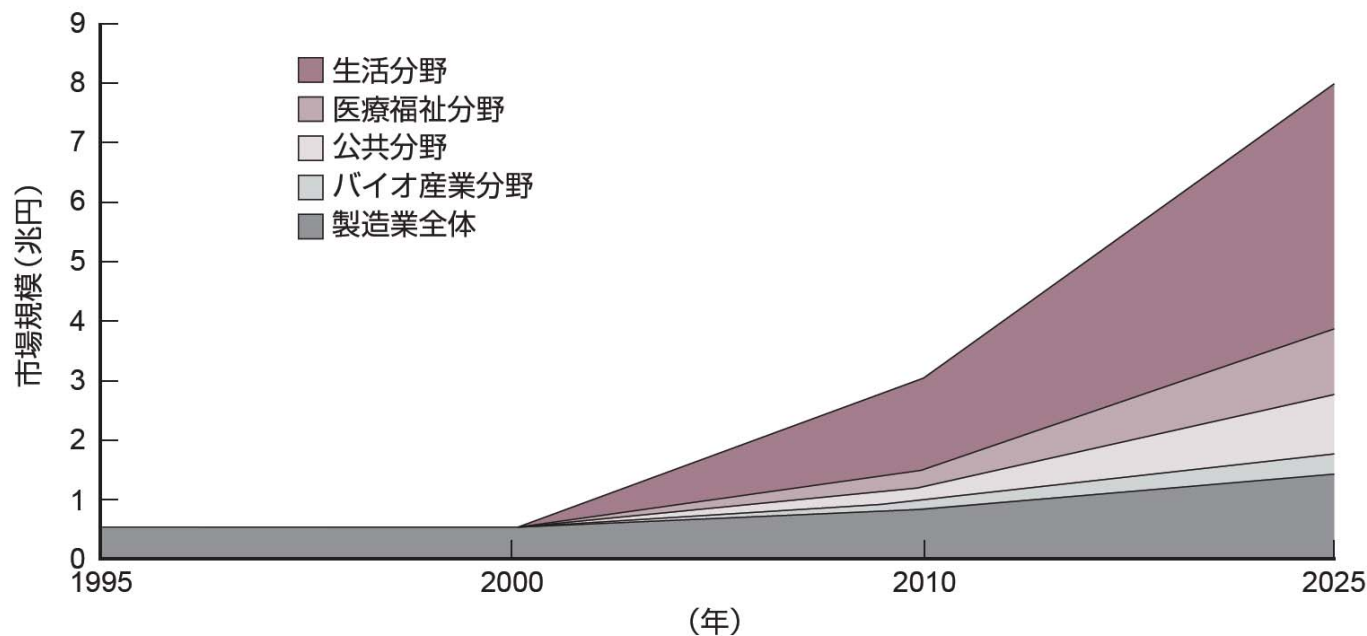
- パートナーロボットの希望購入価格：  
癒し系・・・10万円（回答者の91％）未満  
留守番・警備系・・・20万円未満（86％）  
介護系・・・30万円未満（81％）  
家事手伝い・・・30万円未満（87％）  
（日本経済新聞社の調査）
- →ユーザの意識＝「ロボットは家電」



# ホームロボットへの期待

- ロボットに期待する役割：  
留守番・警備・・・66%  
掃除・家事手伝い・・・63%
- ロボットに期待する機能：  
力仕事・・・61%  
家電制御・・・57%  
賢さ・・・50%
- 「実用的であれば高価格でも購入を検討する消費者が多い」という調査結果もある。

# ロボットの市場規模予測



出典：(社)日本ロボット工業会「21世紀におけるロボット社会創造のための技術戦略調査報告書」2001年<sup>(5)</sup>

図2-2 ロボットの市場規模予測：生活分野の伸びが大きい

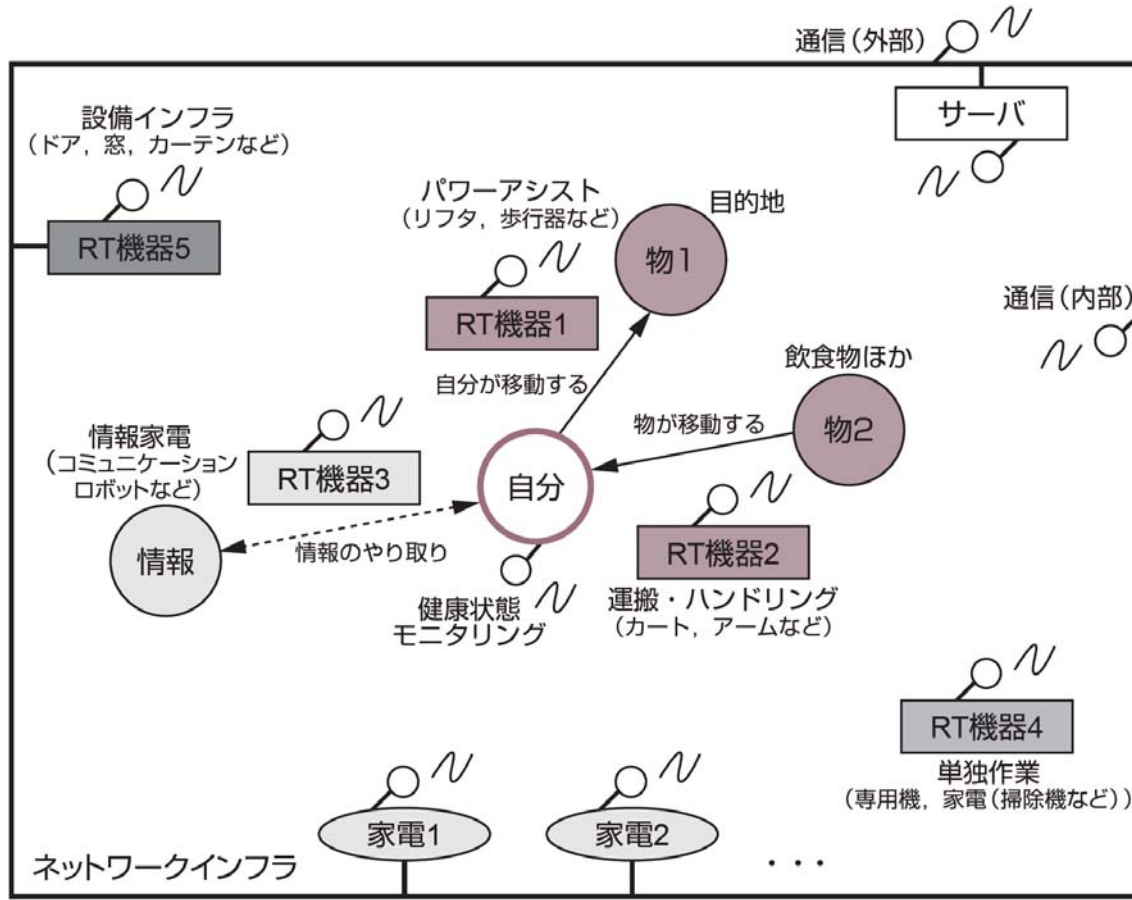
# ロボットの市場規模予測

- 現在：産業用・・・5000億円程度
- 予測：  
2010年・・・3兆円（生活分野1.5兆円）  
2025年・・・8兆円（生活分野4兆円）
- ネットワーク関連市場との融合でさらに伸びるという予測もある。

# 生活支援ロボットの分類

- 生活支援ロボット・・・家庭、オフィス、公共施設
  - (1) RT機器1: 人が移動するのに必要、  
リフト、歩行器
  - (2) RT機器2: 物が移動するのに必要、  
アーム、カート
  - (3) RT機器3: 情報で支援する、情報家電的、  
コミュニケーション機器
  - (4) RT機器4: 単独作業を行う  
クリーナーロボット
  - (5) RT機器5: RT機器1－4を支援、インフラ的、  
ドア、窓、カーテンなど

# 生活支援ロボットの分類



出展: (社)日本ロボット工業会「ロボットの新規分野開拓のためのオープン化システムに関する調査研究報告書」

# 生活支援ロボットの分類

- RT機器はネットワーク接続される  
→複数機器の連携・協調  
(例) RTドア、RT窓・・・人・機器の移動に合わせて開閉
- サーバを介して外部と接続
- RT機器1－5の中間的な機器も可能  
(例) コミュニケーション機器＋アーム  
→RT機器2とRT機器3にまたがる機器

### 3. ホームロボットの分類と展開

- RT機器1、RT機器2:  
人との直接インタラクションを伴う  
すぐには実現困難
- RT機器3、RT機器4:  
人との直接インタラクションを伴わない  
ロボット家電  
クリーナーロボットなど実用化進行中
- RT機器5:  
ITホームやバリアフリー住宅で一部開発進行

# ホームロボットの実用化展開例

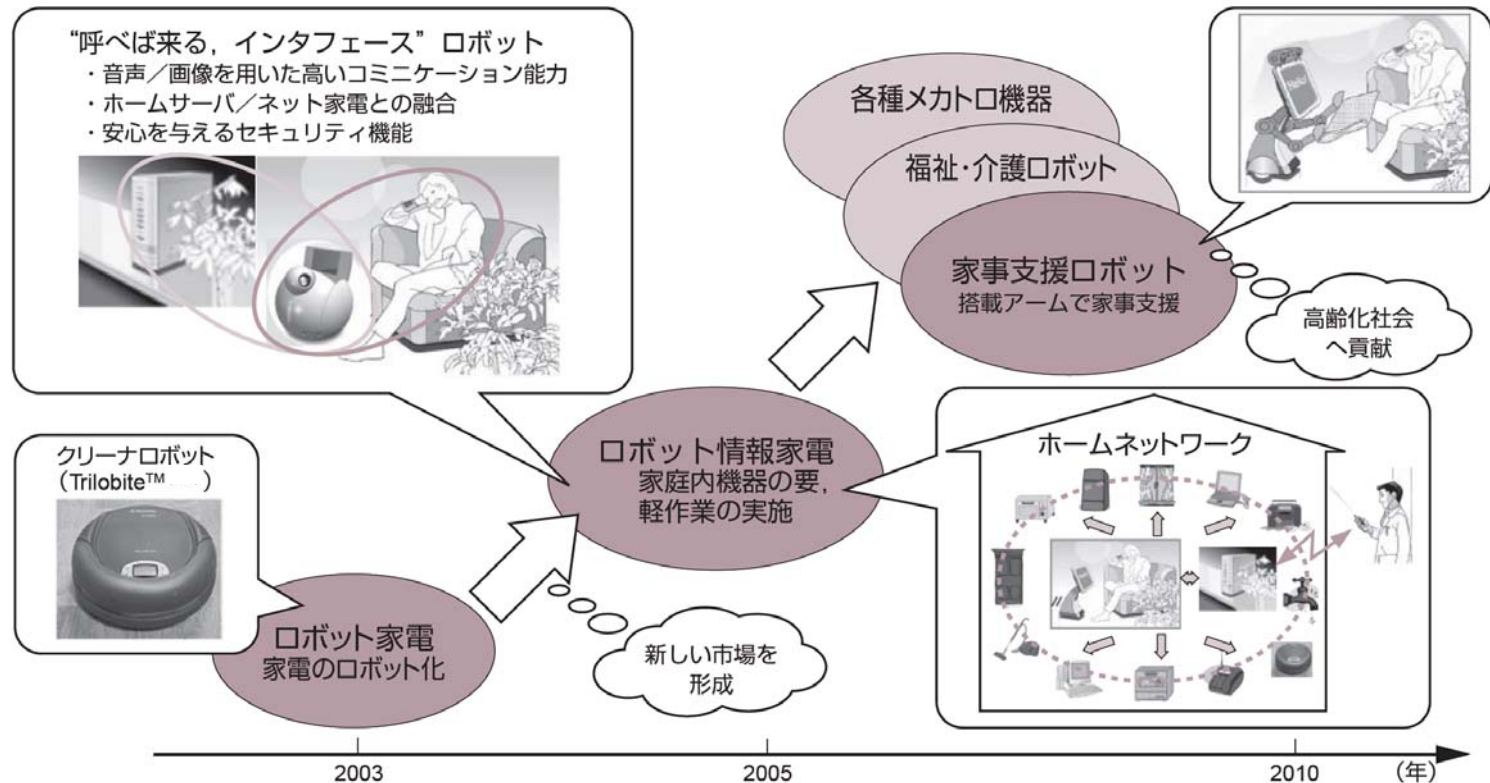


図2-3 ホームロボットの実用化展開例：三ステップで。



## 4. ホームロボットを支える要素技術

- ホームロボットに期待されている機能：
  - ・コミュニケーション機能
  - ・情報家電機能
  - ・セキュリティ機能
- 機能を実現するのに必要な技術：
  - (例) 画像・音声処理
    - 顔認識、音源分離、音声認識、音声合成、それを支える高性能CPU
  - ・・・各種先端要素技術の集合体

# ホームロボットの機能イメージ



巡回監視



情報・家電サービス



いろんなサービスお任せ

遠隔操作



看護チェック

図2-4  
ホームロボットの機能イメージ：  
情報・家電サービス、巡回監視、遠隔操作など

# ロボット情報家電ApriAlpha

- ロボット情報家電  
(ApriAlpha= Advanced Personal Robotic Interface Type a)
  - カメラ、マイク、スピー  
カ搭載の移動ロボット
  - 人と機械のインタフェ  
ース
  - 目的:  
機能、要素技術の検証
  - 東芝で開発中



図2-5 ApriAlpha  
(双眼タイプロボット)

# ロボット情報家電ApriAlphaのシステム構成

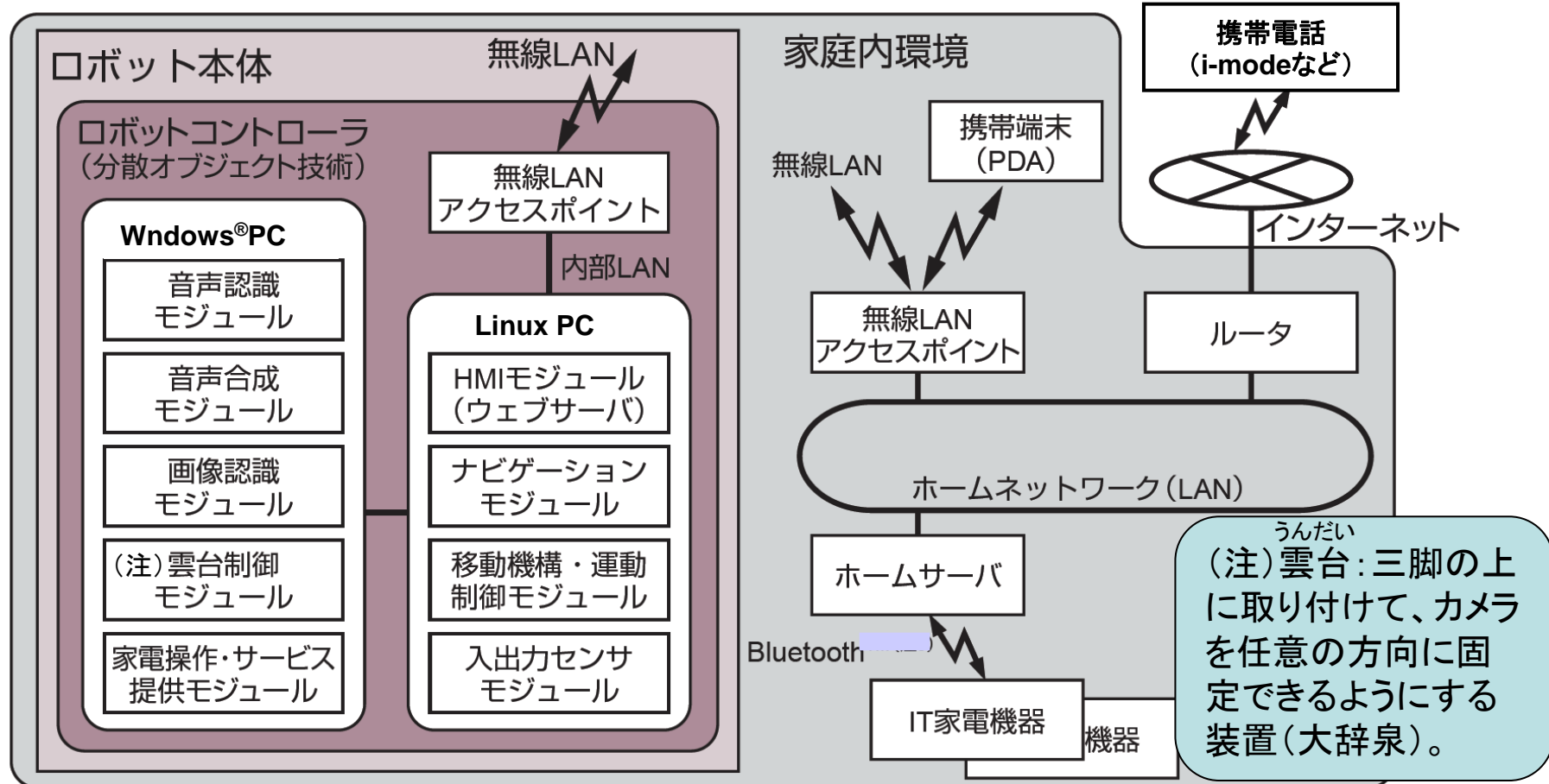


図2-6 ApriAlphaのシステム構成(各種の情報処理モジュール、運動制御モジュールからなる)

# コミュニケーション機能： 画像、音声、運動制御の融合技術

- パーソナルユースのロボットの基本動作：  
“呼べば来る動作”・・・  
ロボットが呼ばれる→  
音源推定：音の方向にカメラを向ける→  
画像の中から人の顔を探す→  
顔認識→  
距離推定→  
移動

# 情報家電機能： ネットワーク技術、インタフェース技術

- ApriAlphaの機能：
  - ・音声指示で・・・  
メールの読み上げ、音楽の再生、巡回
  - ・音声で回答・・・  
冷蔵庫の開閉回数、登録した食材情報、  
エージェント技術により好きなジャンルの  
ニュースの読み上げ、
  - ・家電機器との通信・・・  
冷蔵庫はBluetooth使用・ホームサーバ経由。  
TV、エアコン、レンジは共通プロトコルUPnP  
(Universal Plug & Play)を利用

# セキュリティ機能：

## 通信・ナビゲーション技術、センシング技術

- 巡回機能：  
指定された場所へ行き、  
搭載カメラで撮影した画像を外出中のユーザに送る。  
MPEG4 (Moving Picture Experts Group-  
phase 4) などの画像圧縮技術で動画も可能
- ウェブサーバ機能：  
ホームネットワークに接続されたPDAや  
インターネットに接続された携帯電話のウェブブラウ  
ザからアクセス  
→ ロボットの遠隔操作、搭載カメラの画像を確認

# セキュリティ機能： 通信・ナビゲーション技術、センシング技術

- 異常音検出：  
ガラスの割れる音などで、携帯電話へ通知
- 携帯電話からの制御：  
カメラのアングル、ズームやロボットの走行制御
- ホームセキュリティサービスとの併用
- 移動のため地図の自動生成が課題になっている：  
SLAM (Simultaneous Localization And Mapping)・・・  
計測と地図自動生成を同時に行う手法で  
世界中で研究されている。



# 5. コントローラのオープン化

- モジュール化・インタフェース共通化：  
ロボットの構成要素である音声処理、画像処理、通信などの  
個々の技術が対象
- 例：ORCA  
(オープン・ロボット・コントローラ・アーキテクチャ、東芝)
- 多分野の技術の転用可能化：  
カーナビの音声処理技術  
セキュリティ管理の顔認識技術  
Windows 系の認識・コミュニケーション技術  
Linux リアルタイム処理系のナビゲーション・運動制御技術
- 分散オブジェクト技術：  
各モジュールを統合  
CPUの違いやネットワークを意識しないプログラミング可能

# オープンロボットコントローラアーキテクチャ (ORCA)

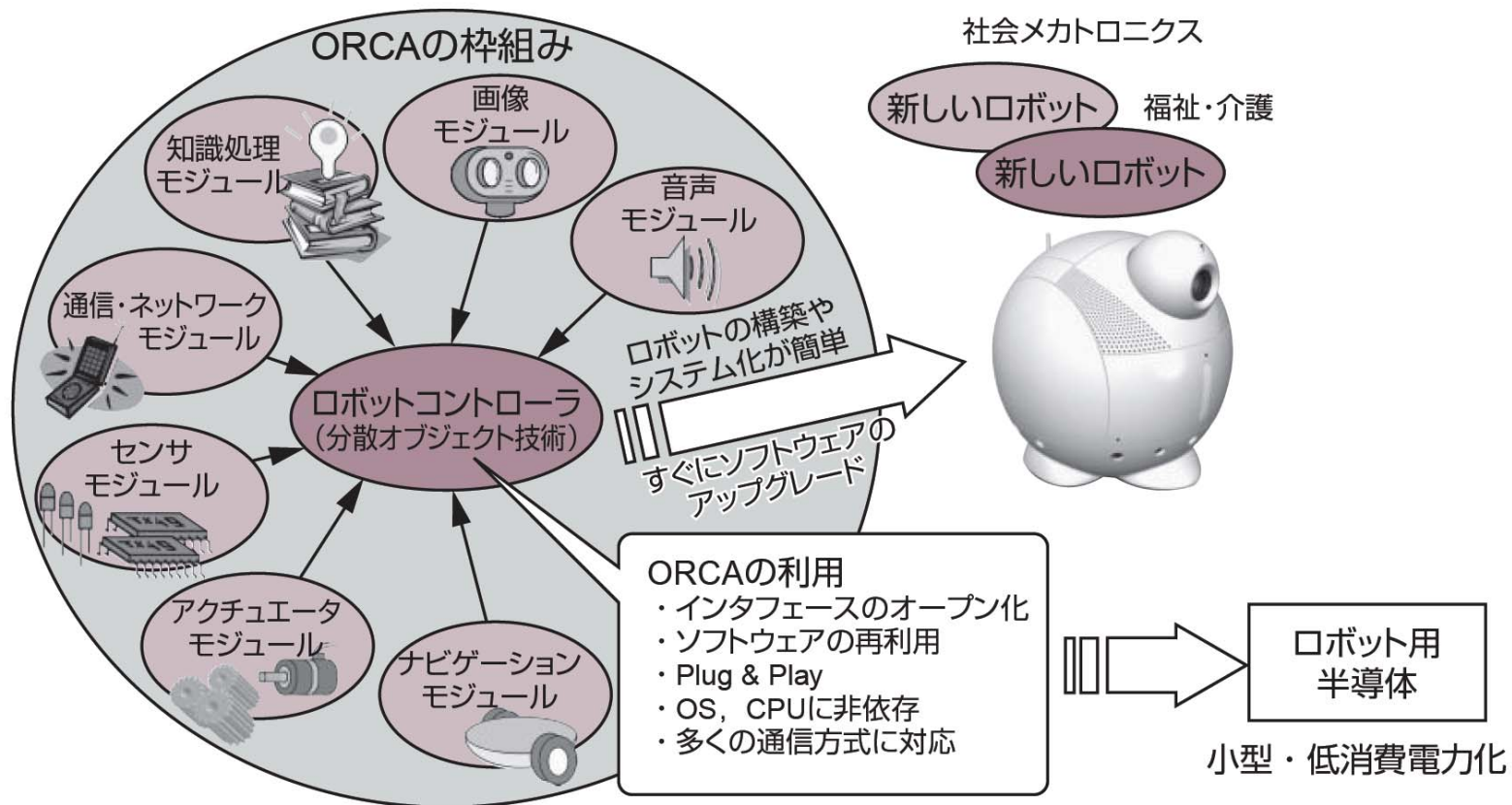


図2-7 オープンロボットコントローラアーキテクチャ(ORCA)

# オープン化による新しいロボット産業構造

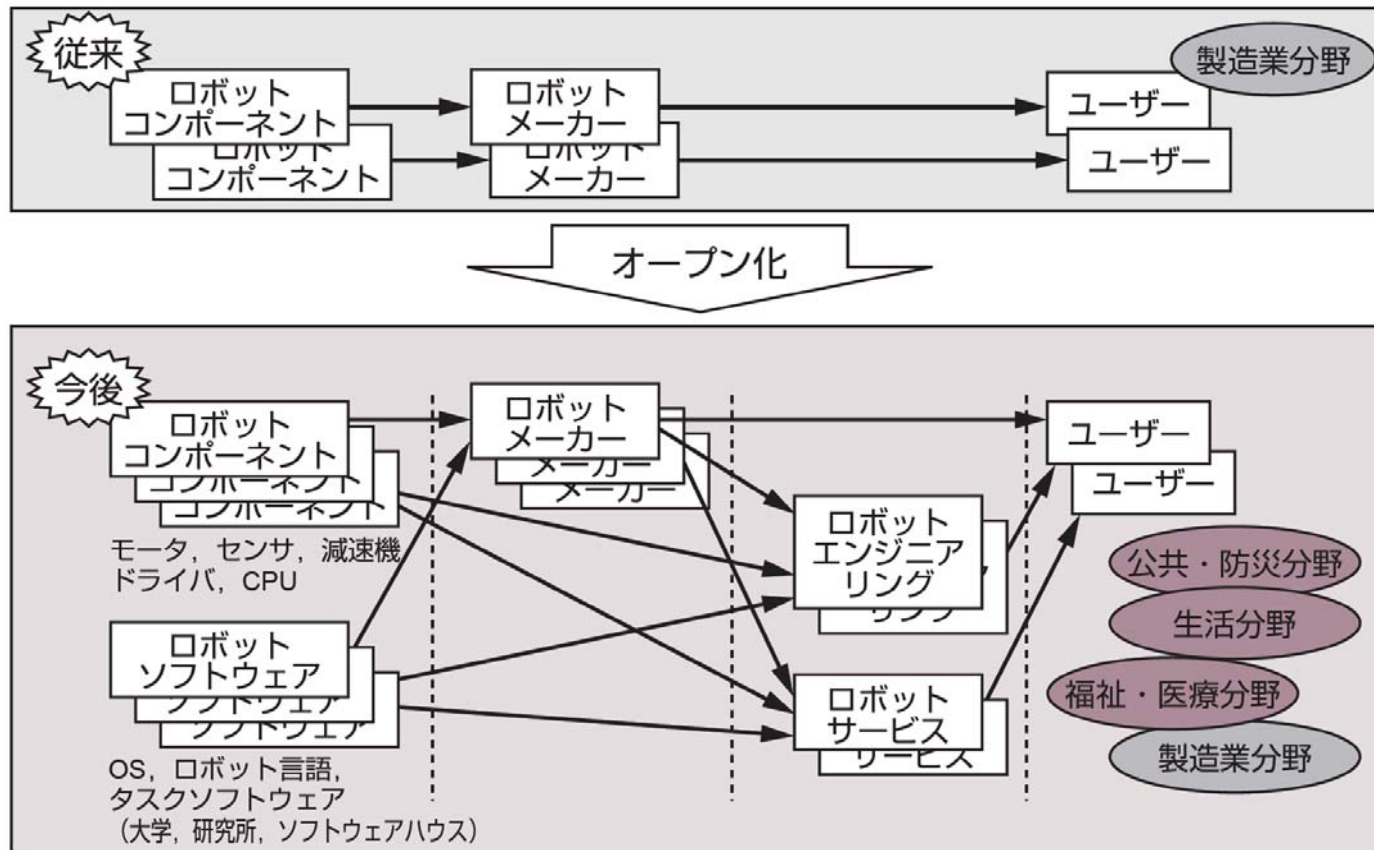


図2-8 オープン化による新しいロボット産業構図：新規参入機会と応用が広がる

# オープン化への取り組み

- RTミドルウェアプロジェクト:  
NEDO(新エネルギー・産業技術総合開発機構、  
経済産業省所管の独立行政法人)
- ORiN:  
(社)日本ロボット工業会
- ネットワークロボット:  
総務省

## [3] ロボットプラットフォーム

### “オープンロボットコントローラーアーキテクチャ” (ORCA)

1. はじめに
2. ORCAの概要
3. RT参照モデル
4. ORCAアーキテクチャ
5. ORCA運動制御ボード

# 1. はじめに

- ロボットは工場、宇宙、原子力発電所などでは利用されてきたが、環境を整えられない一般家庭では利用できていない。
- 環境に応じて動くロボットを作るには非常に広範な技術が必要。
- 必要な技術をコンポーネントとして誰でも利用できる枠組みが必要。
- このため、RT階層化のRT参照モデルとORCAアーキテクチャが提案されている。

## 2. ORCAの概要

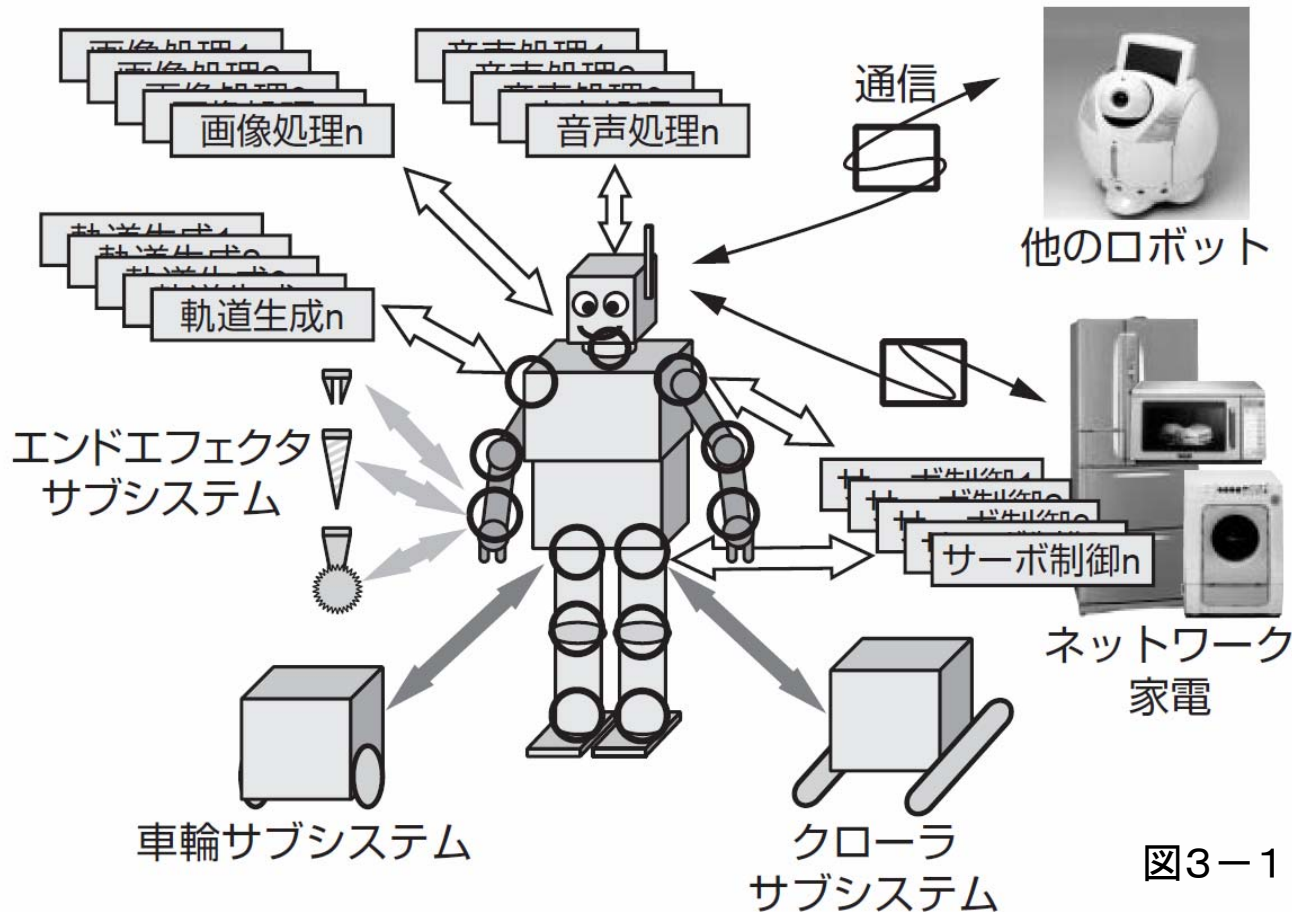
- RT参照モデル：  
ORCAではロボット技術をRT参照モデルの形に階層化し、このモデルに従って運動制御ソフトウェアを構成する。
- サブシステム：  
RT参照モデルで構成される1単位をサブシステムと呼ぶ。アームや移動台車がサブシステムでこれらが集まってシステムを構成する。

# ORCAの概要

- 既存の規格や標準で使えるものは使う。
- UPnPに対応：  
**UPnP(Universal Plug & Play)**はネットワークに接続した機器間で自動的に相互認識できる技術で他のUPnP機器と連携することができる。
- サブシステムを簡単に交換可能に：  
エンドエフェクタ(ロボット・ハンド)、車輪、クローラなど
- ソフトウェアを差し替え可能に：  
画像処理、音声処理、軌道生成、サーボ制御など



# ORCAの概要



他のロボットや情報家電との通信(図で□):UPnPで通信

サブシステム間の通信(図で○):  
脚、腕、ハンド間はUPnP通信が目標

図3-1 ORCAの概要

# 3. RT参照モデル

階 層	名 称	概 要
第6層	タスク制御層 (TC層)	ロボットに行わせる作業を指定し、この作業の実行の MC 層のロボットの動きへの変換を規定
第5層	モーション制御層 (MC層)	作業座標系(ワールド, ベース, 手先, ワークなど)でのロボットの動きの軸での動きへの変換を規定
第4層	軸制御層 (JC層)	軸(関節角)での動きのアクチュエータの動きへの変換を規定
第3層	アクチュエータ 制御層(AC層)	ロボットを動かす各アクチュエータの動きに対する物理量への変換を規定
第2層	I/Oリンク層 (IO層)	ロボットのハードウェアへの入出力とロボット動作の物理量(トルクや角度など)の変換を規定
第1層	物理層 (PH層)	ロボットとコントローラをつなぐ I/O 機器を規定

表3-1 RT参照モデル

# RT参照モデル

- 縦のオープン化:  
上下の層間のインタフェースを定義することにより層間の通信が可能となる。
- 横のオープン化:  
同じ階層内でソフトウェアとハードウェアの部品が交換可能となる。  
→異なるロボットの部品利用可能。

# RT参照モデル

- 第1層 物理(PH)層:
  - ・I/O用ハードウェアからパワーインタフェースを介してアクチュエータまでを定義
  - ・ロボットのメカニズムとコントローラをつなぐ
- I/O機器への入出力を規定
  - ・アクチュエータに応じて位置、速度、電流などを対応するI/Oに対して指令
  - ・例: D/A(Digital to Analog)変換器に対して速度指令をデジタルで出力。
  - ・例: アクチュエータの位置情報をI/O機器を介して上位層であるI/Oリンク層へ入力

# RT参照モデル

- 第2層 I/Oリンク(IO)層:
  - ・ロボットのメカニズムやコントローラのハードウェアの入出力とロボット動作の物理量(トルクや角度など)の変換を規定
  - ・PH層でセンシングしたデータを物理量に変換
  - ・アクチュエータ制御層で計算した物理量をI/O機器に出力するデータに変換

# RT参照モデル

- 第3層 アクチュエータ制御(AC)層：
  - ・ロボットを動かす各アクチュエータの動きを実現する物理量を生成
  - ・下位層であるIO層から得たフィードバックデータと上位層である軸制御層からの指令値を用いてアクチュエータを制御

# RT参照モデル

- 第4層 軸制御(JC)層:
  - ・ 関節角座標での動きをアクチュエータの動きに変換
  - ・ 関節角座標でのフィードバックをする場合にはAC層からのデータを利用
- 第5層 モーション制御(MC)層:
  - ・ 作業座標系でのロボットの動きを軸(関節)の動きに変換
  - ・ 作業座標でのフィードバックをする場合にはJC層からのデータを利用

# RT参照モデル

- 第6層 タスク制御(TC)層：
  - ・ロボットに行わせる作業を指定し、この作業をMC層でのロボットの動きの列に変換する。タスクレベルのロボット言語による記述、あるいはユーザ自身のMC層とJC層のロボットの動きを記述したロボット言語列など。



# RT参照モデル

- “Get a glass of beer.”→TC層→  
“Move to Point A”→MC層→  
“Rotate joints to  $x_1 \sim x_n$  degrees.”  
( $n$ は自由度数)→JC層→  
アクチュエータ命令列 “Rotate actuators  
to  $f_1(x_1) \sim f_m(x_m)$  degrees.” ( $m$ はアクチュエータ  
数、 $f$ は軸移動量をアクチュエータ  
移動量に変換する関数)→AC層→  
サーボ周期で “Rotate actuators with torque  $t_1 \sim t_m$ .” (トルク指令ドライバの場合)→IO層→  
“Output D/A values  $d_1 \sim d_m$ .”→PH層・・・実行

# RT参照モデル

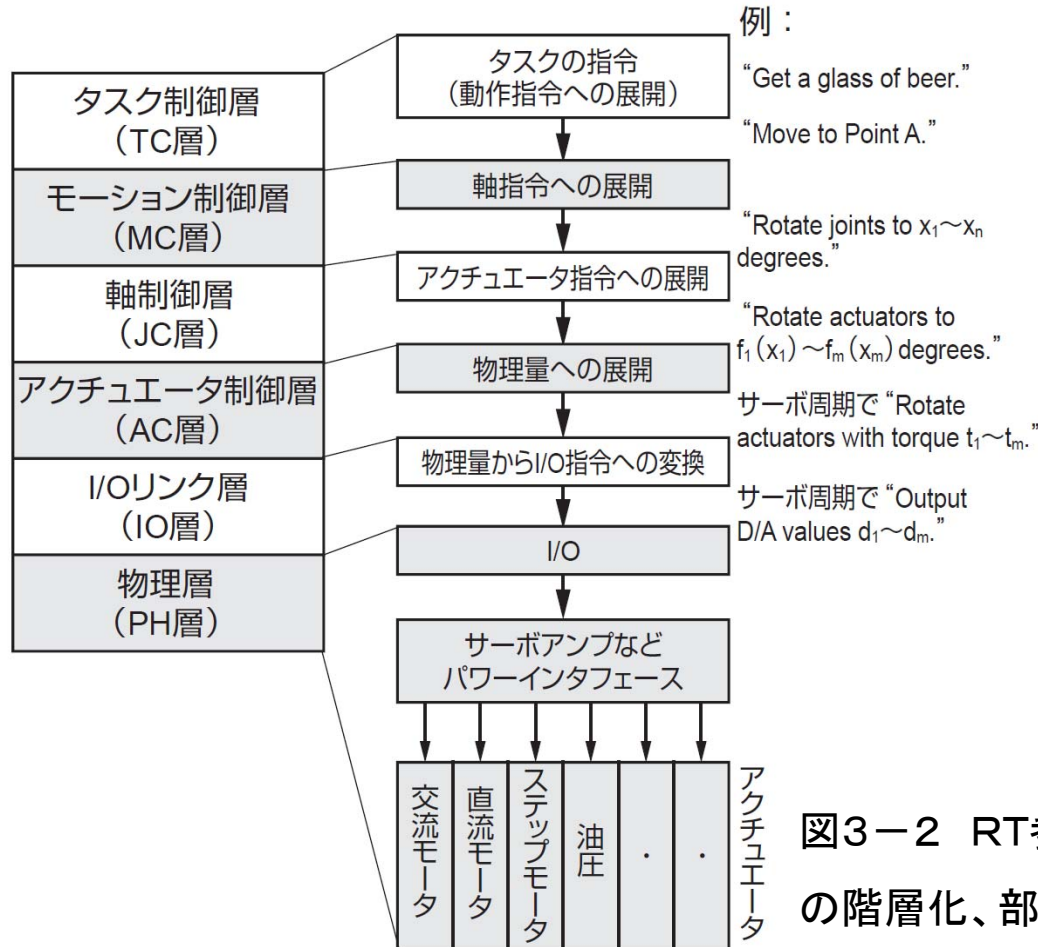


図3-2 RT参照モデル:運動制御技術の階層化、部品化、オープン化

# RT参照モデルの利点

- 各層を個別に設計・実装することができる
- 特定の層の入れ替え、部品化が可能
- ロボットへの要求機能を体系的に分類して、オブジェクト指向技術に沿って設計できる
- ロボット間、ロボット部品間の相互運用性向上
- 機能の追加・変更が容易
- 保守性が良く再利用に適したソフトウェア部品を作ることができる

# 4. ORCAアーキテクチャ

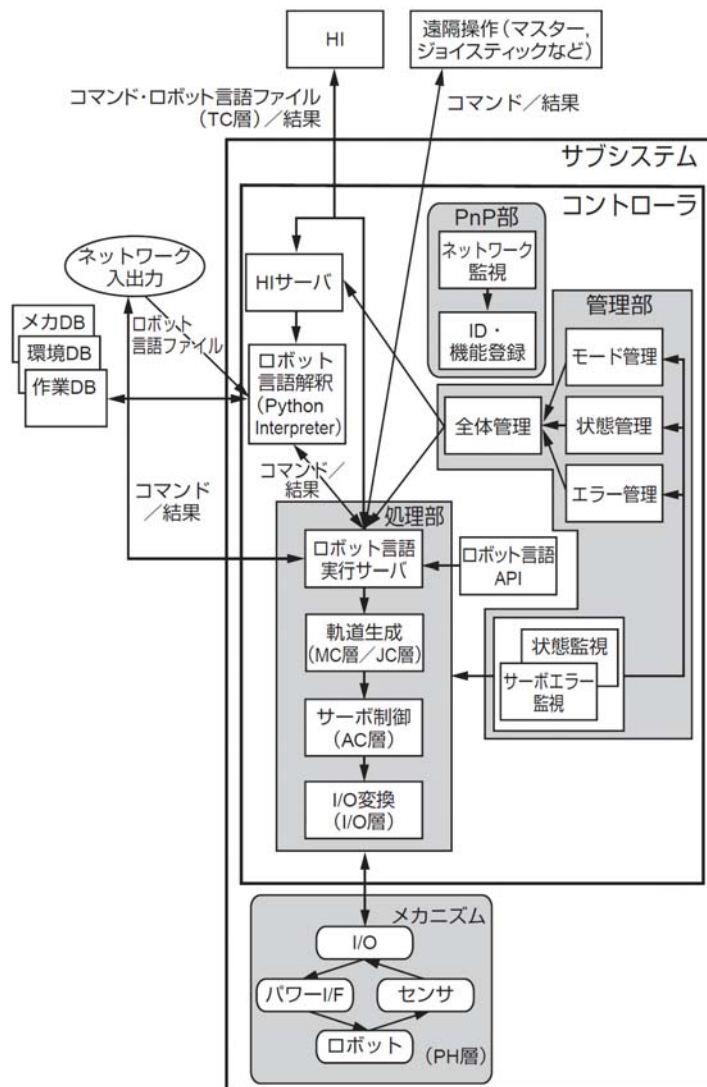


図3-3 ORCAアーキテクチャ:  
1つのサブシステムに対するもの。  
処理部、管理部、PnP部、更に  
必須ではないがHIサーバ部とロ  
ボット言語解釈部からなる。

# ORCAアーキテクチャ

- 1つのサブシステムが基本単位
- 外部との接続:  
ヒューマンインタフェース(HI)部、遠隔操作  
機器、ネットワーク入出力、データベース(DB)
- RT参照モデルとの関係:  
TC層: ロボット言語ファイルの発行、  
MC層/JC層: 軌道生成、AC層: サーボ制御  
IO層: I/O変換、  
PH層: I/O、パワーI/F(InterFace)、ロボット、  
センサ

図3-3

# ORCAアーキテクチャ

- サブシステム:
    - 処理部
    - 管理部
    - PnP部
    - (HIサーバ部)
    - (ロボット言語解釈部)
  - 処理部:
    - ロボット言語実行サーバ
    - 軌道生成部
    - サーボ制御部
- } 必須ではない

# ロボット言語実行サーバ

- ロボットコマンドを受け付ける
- ロボット言語API(Application Programming Interface)を利用して対応する軌道生成部(MC層/JC層)を呼び出す
- 分散オブジェクト技術(ネットワーク上に分散するソフトウェアを簡単に利用する技術)の1種であるHORB(\*)を用いて、ネットワーク上どこからでもORCAインタフェースを介してロボット言語を実行できる
- (\*)HORB(Hirano Object Request Broker)  
通産省電子総合研究所の平野聡氏によって開発された、分散オブジェクト技術(異なるマシン間でオブジェクト同士がメッセージをやりとりするための技術)の一つ(IT用語辞典)。世界初Javaベースの分散オブジェクト技術。

# 軌道生成部・サーボ制御部

- 軌道生成部:  
コマンドに対して軌道(例:直線軌道命令に対する直線軌道用パラメータ)を生成し、サーボ制御部(AC層)に送る
- サーボ制御部:  
軌道に基づいてフィードバック制御
- I/O変換部(I/O層):
  - ・実際のロボットで使うデータに変換
  - ・ロボット(PH層)側のI/O部に出力
- メカニズム:
  - ・I/O→パワーインタフェース→ロボットを駆動
  - ・ロボット動作→センサー→I/O→I/O変換部へフィードバック



# 管理部・PnP部

- 管理部:
  - ・処理部の状態やエラーを監視
  - ・モード管理、状態管理、エラー管理へ送る
  - ・全体管理部でサブシステムのモード(ロボットの場合:自動実行、遠隔操作など)、状態、エラーを管理し、実行許可や禁止を行う
- PnP部:
  - ・自身もしくは新たなORCA対応サブシステムがネットワークにつながるのを監視
  - ・自身がつながったのを検出した場合はID (Identification) や提供できる機能を通知

# HIサーバ部・ロボット言語解釈部

- HIサーバ部:
  - ・HIをウェブサービスのように外部に提供
  - ・HIからの入力をロボット言語解釈部やロボット言語実行サーバに伝える
- ロボット言語解釈部:
  - ・HIからのロボット言語ファイル(ロボット言語でスクリプトを記述したファイル、TC層に相当)を解釈してロボット言語実行サーバに伝える

# HI

- ネットワークでORCAサブシステムに接続
- ORCAのHIサーバ機能をブラウザから利用
- HI用クライアントソフトウェアでサブシステムへ人間の要求を伝える
- ロボット言語ファイルかロボット言語の1命令を送信・・・HIサーバー→ロボット言語解釈部→ロボット言語実行サーバ
- 実行結果を受け取る

# 5. ORCA運動制御ボード仕様

項 目	仕 様
CPU	TX4937-300 MHz
外部IF	LAN, USB2.0 2ch, IEEE1394 2ch, SIO
入出力	AD 12ビット 16ch, DA 13ビット 12ch エンコーダ入力 12ch, DIO セレクタブル 48ch
超音波センサ	信号送受信回路 8ch
モータ制御	PWM, パルス列 12ch
その他	SO-DIMM ソケット, コンパクトPCMCIA ソケット
大きさ	146.05 × 126.0 mm

AD : アナログ／デジタル変換器  
 DA : デジタル／アナログ変換器  
 SIO : シリアル入出力  
 DIO : デジタル入出力  
 SO-DIMM : Small Outline-Dual In-line Memory Module  
 PCMCIA : PC Memory Card International Association

表3-2 ORCA運動  
制御ボード仕様

# ORCA運動制御ボード

- 分散オブジェクト技術として産業技術総合研究所で開発されたHORBを利用
- 通信機能を持った多軸運動制御ボード
- TX4927:MIPS系32ビットRISC・・・  
FPU(浮動小数点演算ユニット)、PCI  
(Peripheral Component Interconnect)バス  
I/F内蔵
- 通信I/F・・・Ethernet、USB(Universal Serial Bus)2.0,IEEE1394

# ORCA運動制御ボード

- モータ制御：
  - 電圧指令型モータドライバ12チャンネル
  - PWM(Pulse Width Modulation) 指令型ドライバ12チャンネル
  - 合計24個のモータに対応可能
- 超音波センサ信号送受信回路8チャンネル
- MontaVista Linux

# ORCA運動制御ボード

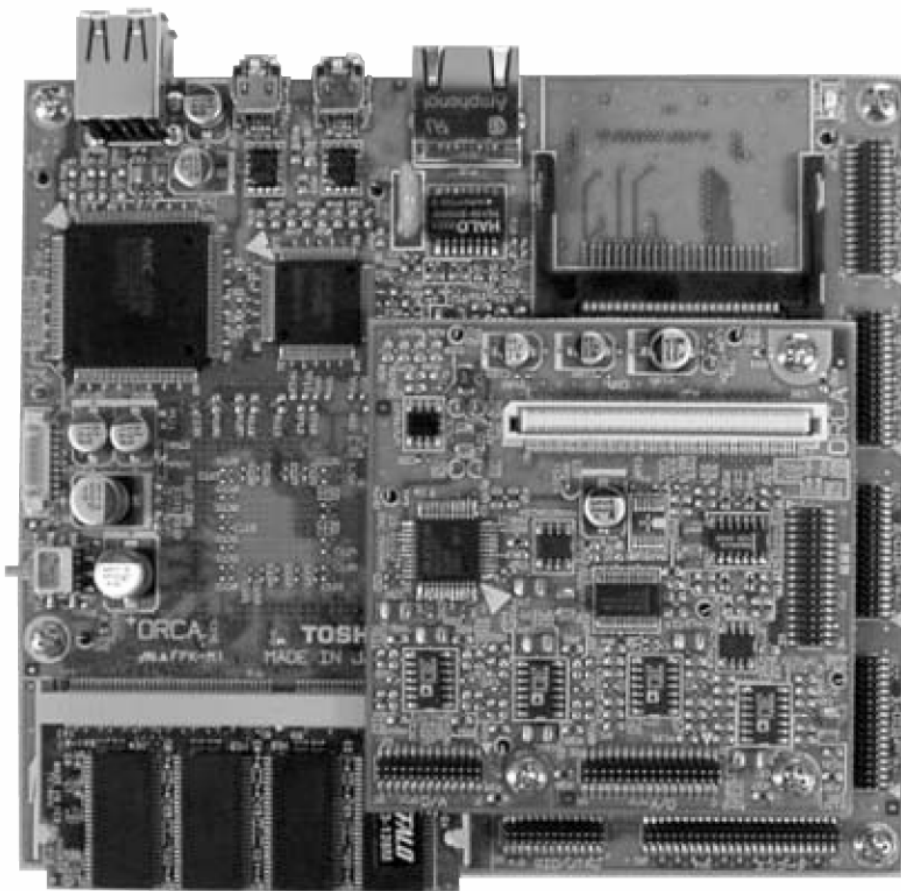


図3-4 ORCA運動制御ボード：  
ソフトウェア、ハードウェアのコンポー  
ネント化の支援を目指している。

# [4] ロボットが日本を救う

1. 少子高齢化
2. 製造業の空洞化
3. 日本のロボット産業



# 1. 少子高齢化

- ① 日本の総人口は2006年がピーク（1億2770万人）で以後減少する。
- ② 出生数は1973年（209万人）をピークに減少を続けている。
- ③ 老年人口は増え続け、2004年の19.5%から2050年には35.7%になる。
- ④ 生産年齢人口（15～64歳）は1995年（8720万人）をピークに減少し2004年で全人口の66.7%、2050年には53.6%になる。

# 少子高齢化

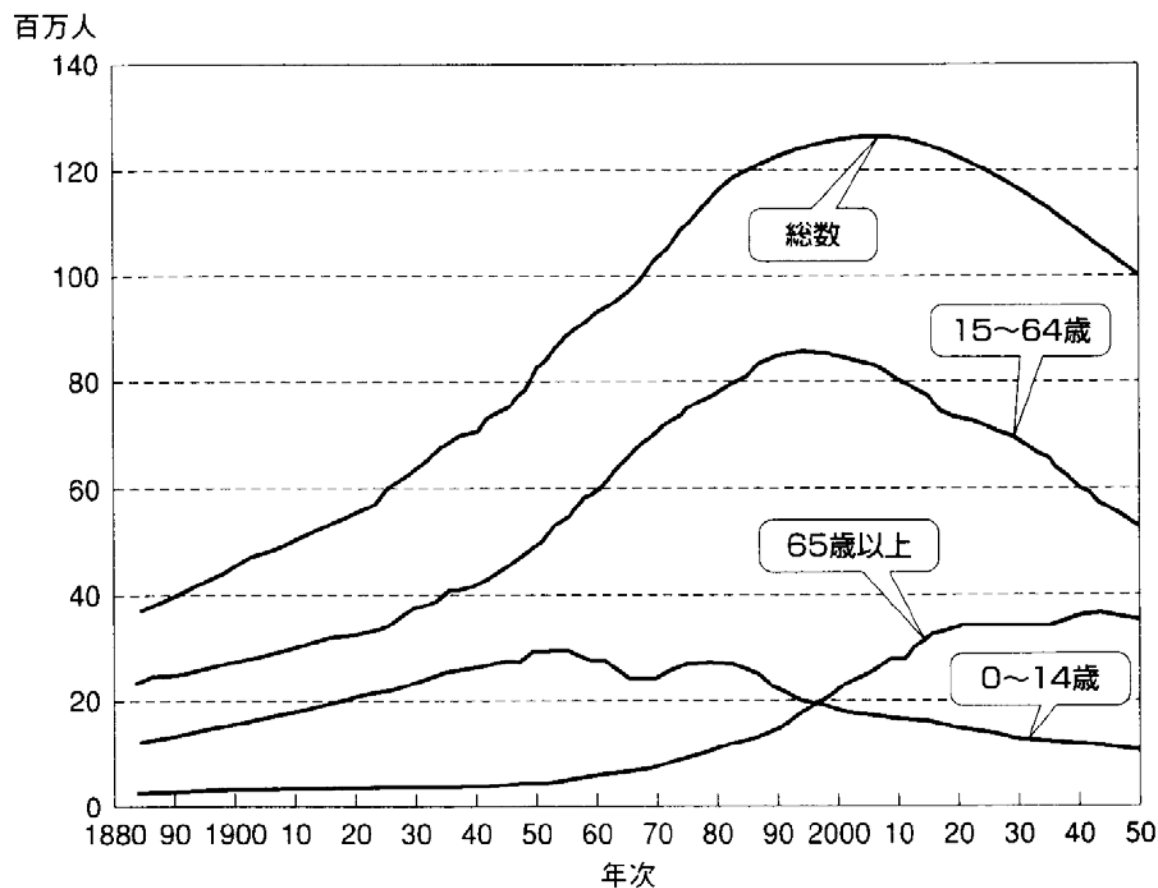


図4-1 人口3区分別人口：1884～2050年

出所：総務省統計局『国税調査報告』及び国立社会保障・人口問題研究所『日本の将来推計人口』（2002年1月推計）による。国立社会保障・人口問題研究所編集『人口の動向 日本と世界 人口統計資料集 2005』掲載分より

## 2. 製造業の空洞化

- ① 製造業の海外生産比率は1990年前後の6%から2000年には13.4%に達している。
- ② 進出先は以前は欧米が多かったが最近是中国、アセアン(東南アジア諸国連合)が増えている。生産コスト低下が中心。
- ③ 国内が空洞化し、生産現場とのすりあわせを強みとしてきた製品開発力低下のマイナス要因。

# 製造業の空洞化

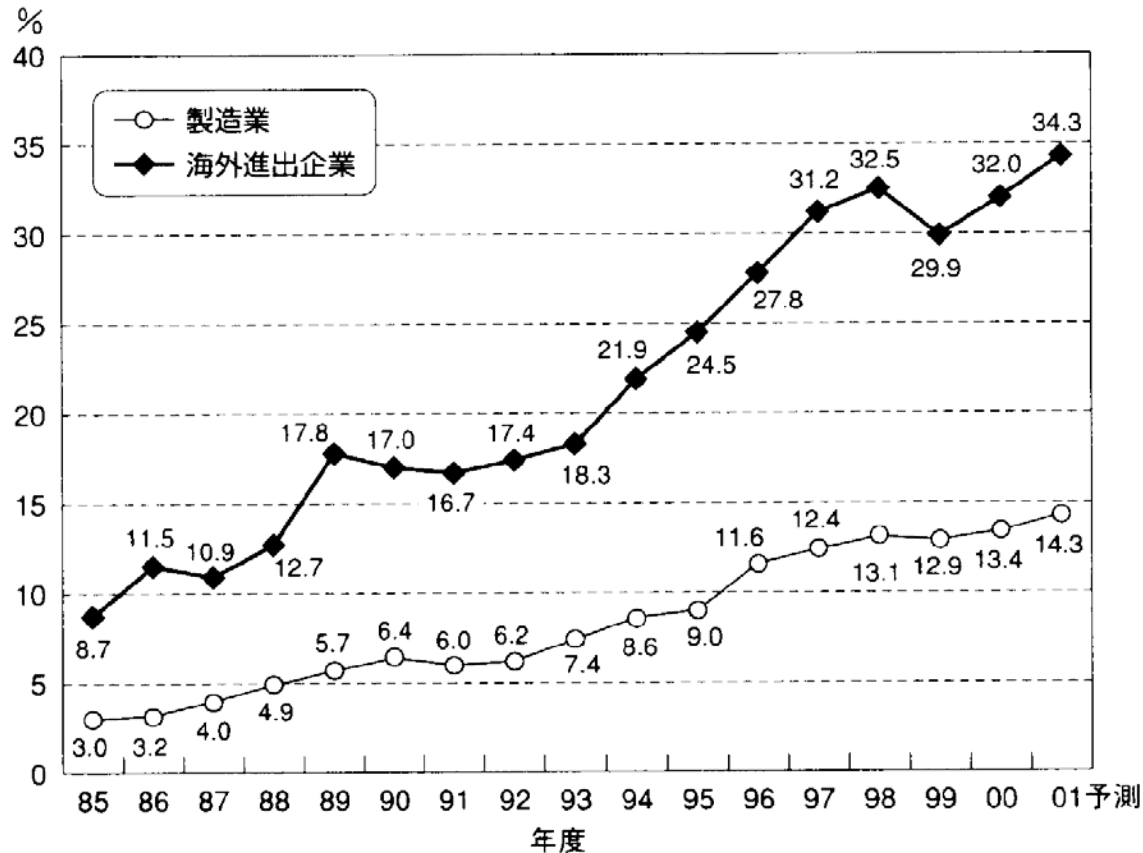


図4-2 わが国の海外生産比率の推移

出所：国内法人の売上高については法人企業統計（財務省）による。経済産業省『平成13年海外事業活動基本調査結果概要』より

# 3. 日本のロボット産業

1. 1962年米国でジョゼフ・F・エンゲルバーガ博士が創業したユニメーション社が「ユニメート」、次いでAMF社が「バーサラン」という商品名で産業用ロボットを発表。
2. 1967年エンゲルバーガ博士が来日して産業用ロボットのセミナー開催。以後、日本で産業用ロボットブーム起きる。
3. 日本の貢献：
  - ・従来は油圧・空気圧→電気駆動
  - ・マイコン制御
  - ・多関節型ロボット
4. 日本は世界一のロボット生産国、使用国：  
世界の約70%(7万台)を生産、約43.5%(35万台)が稼動。

# 日本の産業用ロボット稼働台数

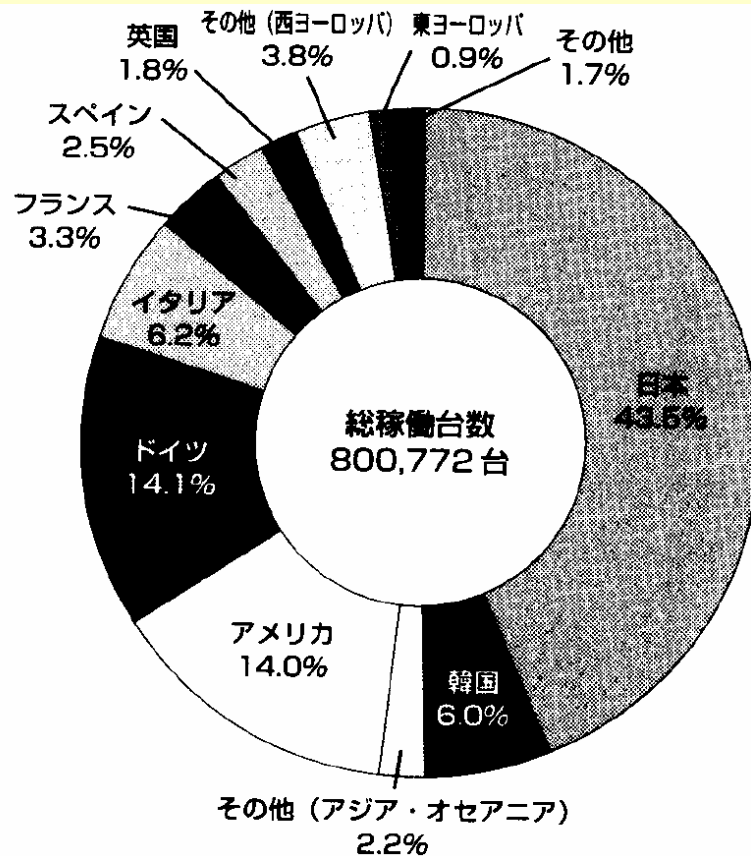


図4-3 世界の産業用ロボット稼働台数

出所：日本ロボット工業会の2003年のデータをもとに作成

# ヒューマノイド実用化ロードマップ

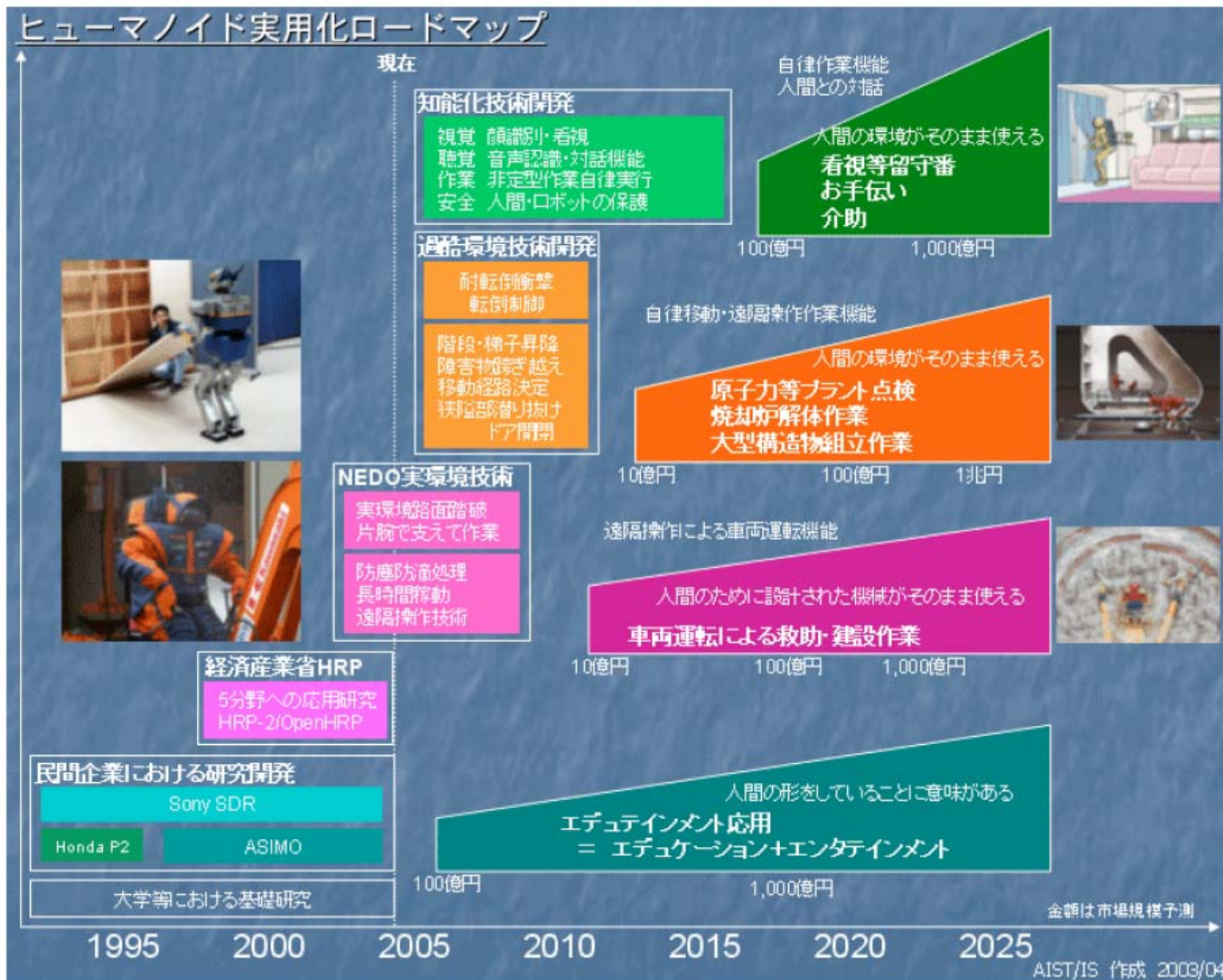


図4-4  
ヒューマノイド  
(人間型ロボット)  
実用化ロードマップ

(独立行政法人  
産業技術総合研究所)



# 家庭用ロボット共同市場開拓例

テムザック(北九州市)、ビジネスデザイン研究所(名古屋市)などロボット関連のベンチャー企業四社が十八日、家庭用ロボットの販促組織を設立したと発表。写真。マーケティングや開発を共同で推進する。まず秋に各地の百貨店と組んで四社の製品の販促活動をする計画。ソフトウェアの共通化や技術の相互利用にも取り組む。

新組織の名称は「次世代ロボット市場創造連盟」。

ほかに加わったのはゼット・エム・ピー(東京・目黒)、

## 「家庭用ロボどうぞ」

VB 4社が販促組織

ソフト共通化・技術相互利用も

ウィストン(大阪市)。

各社ともサービスロボットを手がけており、テムザックは家庭用の留守番ロボット、ゼット・エム・ピーは家庭用の音楽ロボットを商用



開拓できる」と述べた。

家庭用ロボットはコストと需要の折り合いがつかず、ソニーが撤退したほか、三菱重工も販売を中止するなど産業用ロボットに比べて普及が進んでいない。

会見したテムザックの高本陽一社長は「四社が集まれば販促を効率化でき、市場

・「次世代ロボット市場創造連盟」  
日経産業新聞2008年6月19日

・ロボット関連ベンチャー企業4社

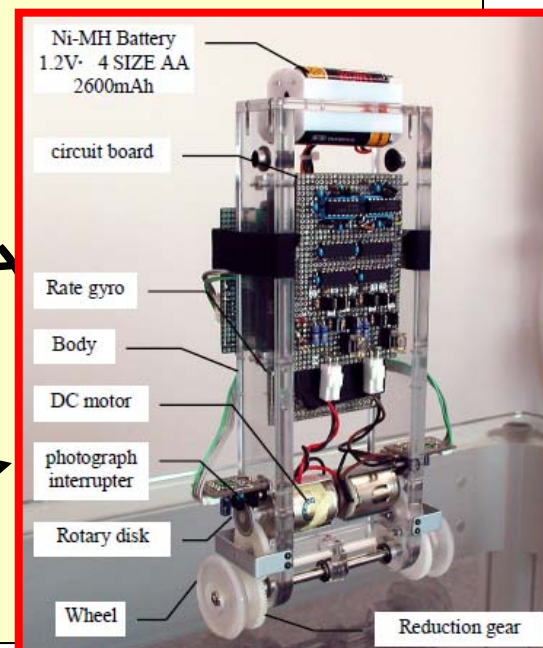
- ①テムザック(北九州市)  
・・・家庭用留守番ロボット
- ②ビジネスデザイン研究所  
(名古屋市)
- ③ゼット・エム・ピー(東京・目黒)  
・・・家庭用音楽ロボット
- ④ウィストン(大阪市)



# [5] 倒立振り子(二輪)ロボット制御

1. ラグランジュの運動方程式
2. 倒立二輪ロボットの運動方程式
3. 倒立二輪ロボットの状態方程式
4. 倒立二輪ロボットの安定化制御
5. 倒立二輪ロボットの制御システム

ゼットエムピー社 倒立二輪ロボット  
(参考文献6)



# 1. ラグランジュの運動方程式

自由度が $3n$ の質点系の直角座標 $(x_i, y_i, z_i)$  ( $i=1,2,\dots,n$ )に対して  
 $h$ 個の拘束条件 $f_v(x_1, y_1, z_1, x_2, y_2, z_2, \dots, z_n, t) = 0$  ( $v=1,2,\dots,h$ )を設けると  
一般化された座標 $q_j$  ( $j=1,2,\dots,N; N=3n-h$ )を次のように定義。

$$x_i = x_i(q_1, q_2, \dots, q_N)$$

$$y_i = y_i(q_1, q_2, \dots, q_N)$$

$$z_i = z_i(q_1, q_2, \dots, q_N)$$

$L$ : 質点系のラグランジュ関数 (ラグランジアン)

$K$ : 質点系の運動エネルギー

$U$ : 質点系のポテンシャルエネルギー

$$L = K - U$$

元来のラグランジュの方程式

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial K}{\partial \dot{q}_j} - \frac{\partial K}{\partial q_j} - Q_j = 0 \quad (j=1,2,\dots,N)$$

で一般化された力  $Q_j$ は

$$Q_j = -\frac{\partial U}{\partial q_j} (\text{保存力}) + Q'_j (\text{非保存力}) + (\text{それ以外の力})$$

であって、保存力は  $\dot{q}_j$  の関数ではないことに注意して  
左辺に移動すれば  $L$ を用いたラグランジュの方程式になる。

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_j} - \frac{\partial L}{\partial q_j} = Q'_j \quad (j=1,2,\dots,N) \dots \text{ラグランジュの方程式}$$

但し、一般化された力  $Q_j$ は

$$Q_j = -\frac{\partial U}{\partial q_j} + Q'_j$$

と書ける。ここで、 $-\partial U / \partial q_j$ は保存力であり、 $Q'_j$ は非保存力である。

# 1. ラグランジュの運動方程式

$Q'_j$ として粘性抵抗を仮定し、粘性係数を $c_i$ として次式で定義される散逸関数 $\psi$ を導入すると、

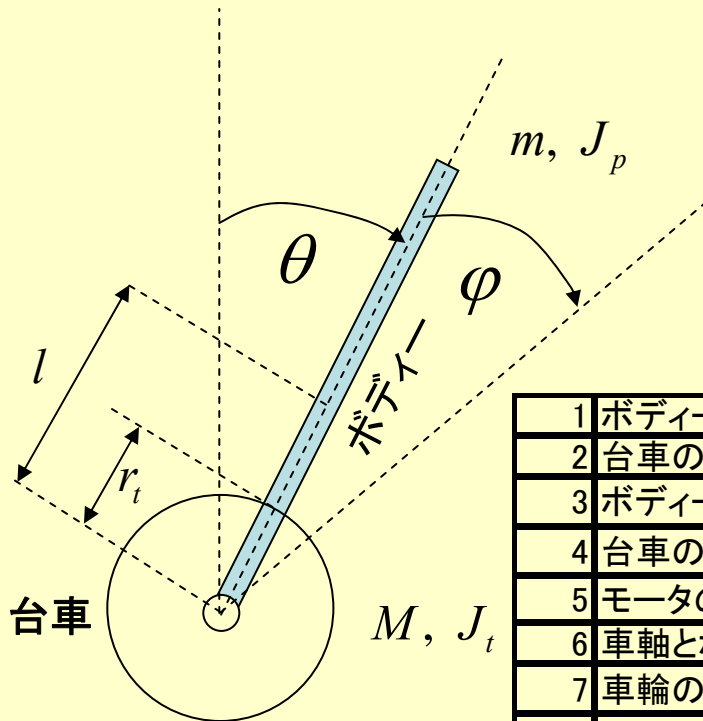
$$\psi = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N c_i \cdot v_i^2 \quad (\text{但し、} v_i^2 = \vec{v}_i \cdot \vec{v}_i)$$

$$Q'_j = - \frac{\partial \psi}{\partial \dot{q}_j}$$

このときラグランジュの方程式は

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_j} - \frac{\partial L}{\partial q_j} + \frac{\partial \psi}{\partial \dot{q}_j} = 0 \quad (j=1, 2, \dots, N)$$

## 2.倒立二輪ロボットの運動方程式



$\theta$ : 鉛直方向とボディーのなす角度

$\phi$ : ボディーに対する車輪の回転角

一般に質点系の慣性モーメント  $= \sum_i m_i \cdot r_i^2$

( $m_i$ : 質点の質量、 $r_i$ : 質点の回転軸との距離)

1	ボディーの質量	$m$	[kg]	0.686
2	台車の質量(タイヤ、ドライブシャフト、ギア)	$M$	[kg]	0.0605
3	ボディーの慣性モーメント	$J_p$	[kg・m <sup>2</sup> ]	3.16E-03
4	台車の慣性モーメント	$J_t$	[kg・m <sup>2</sup> ]	5.35E-06
5	モータの電機子の慣性モーメント	$J_m$	[kg・m <sup>2</sup> ]	1.30E-07
6	車軸とボディーの重心との距離	$l$	[m]	0.148
7	車輪の半径	$r_t$	[m]	0.02
8	車軸の摩擦	$c$	[kg・m <sup>2</sup> /s]	1.00E-04
9	モータのトルク定数	$K_t$	[N・m/A]	2.79E-03
10	ギアの減速比	$i$	[-]	30

# 2.倒立二輪ロボットの運動方程式

倒立二輪ロボットの運動エネルギー：

タイヤの回転軸の中心  $(x_c, y_c)$  は

$$x_c = r_i(\theta + \varphi)$$

$$y_c = 0$$

倒立二輪ロボットのボディ(振子)の重心  $(x_p, y_p)$  は

$$x_p = x_c + l \sin \theta$$

$$y_p = y_c + l \cos \theta$$

振子の並進方向の運動エネルギー  $K_{p1}$  は

$$K_{p1} = \frac{1}{2} m (\dot{x}_p^2 + \dot{y}_p^2)$$

振子の回転方向の運動エネルギー  $K_{p2}$  は

$$K_{p2} = \frac{1}{2} J_p \dot{\theta}^2$$

台車の並進方向の運動エネルギー  $K_{c1}$  は

$$K_{c1} = \frac{1}{2} M (\dot{x}_c^2 + \dot{y}_c^2)$$

タイヤの回転方向の運動エネルギー  $K_{c2}$  は

$$K_{c2} = \frac{1}{2} J_i (\dot{\phi} + \dot{\theta})^2$$

モータのロータ (電機子) の回転エネルギー  $K_{c3}$  は

$$K_{c3} = \frac{1}{2} J_m (\dot{\phi} + \dot{\theta})^2$$

系全体の運動エネルギー  $K$  は

$$K = K_{p1} + K_{p2} + K_{c1} + K_{c2} + K_{c3}$$

ロボットの位置エネルギー  $U$  は

$$U = mgy_p + Mgy_c$$

散逸エネルギー  $F$  として、ギアの摩擦を考え、散逸項はタイヤのボディからの回転角度  $\varphi$  の時間微分に比例すると仮定し、

$$F = \frac{1}{2} c \dot{\varphi}^2$$

これらをラグランジュの運動方程式

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial L}{\partial q_i} + \frac{\partial F}{\partial \dot{q}_i} = \tau_i$$

に代入する。ただし、

一般化座標を  $q_1 = \varphi$ ,  $q_2 = \theta$

$\tau_i$  を  $q_i$  方向の一般化力

とすると倒立二輪ロボットの運動方程式が得られる。

但し、 $L$  はラグランジュ関数で  $L = K - U$

## 2.倒立二輪ロボットの運動方程式

$$\begin{aligned} & \left\{ (M+m)r_t^2 + mlr_t \cos \theta + J_t + iJ_m \right\} \ddot{\theta} \\ & - mlr_t \sin \theta \cdot \dot{\theta}^2 \end{aligned} \quad (1)$$

$$+ \left\{ (M+m)r_t^2 + J_t + i^2 J_m \right\} \ddot{\phi} + c\dot{\phi} = au$$

$$\begin{aligned} & \left\{ (M+m)r_t^2 + 2mlr_t \cos \theta + ml^2 + J_p + J_t + J_m \right\} \ddot{\theta} \\ & - mlr_t \sin \theta \cdot \dot{\theta}^2 - mgl \sin \theta \\ & + \left\{ (M+m)r_t^2 + mlr_t \cos \theta + J_t + iJ_m \right\} \ddot{\phi} = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

$u$ : モータの電流目標値 [A]

$a$ :  $u$  からタイヤ軸のトルクまでのゲイン [Nm/A]

$$a = \eta i K_t$$

$$\dot{x} = \frac{d}{dt} x, \quad \ddot{x} = \frac{d^2}{dt^2} x$$

$\eta$  は駆動系の  
トルク効率

# 運動方程式の線形化

倒立二輪ロボットが直立姿勢を保つように安定化した場合には、 $\theta$ は0の近傍の値を取ると仮定することができる。

$$\sin \theta \approx \theta, \cos \theta \approx 1, \dot{\theta} : \text{微小}, \dot{\theta}^2 \approx 0$$

これらを用いて運動方程式(1),(2)を線形化すると、

$$\begin{aligned} & \left\{ (M+m)r_t^2 + mlr_t + J_t + iJ_m \right\} \ddot{\theta} \\ & + \left\{ (M+m)r_t^2 + J_t + i^2 J_m \right\} \ddot{\phi} + c\dot{\phi} = au \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} & \left\{ (M+m)r_t^2 + 2mlr_t + ml^2 + J_p + J_t + J_m \right\} \ddot{\theta} \\ & - mgl\theta \end{aligned} \quad (4)$$

$$+ \left\{ (M+m)r_t^2 + mlr_t + J_t + iJ_m \right\} \ddot{\phi} = 0$$

# 3. 倒立二輪ロボットの状態方程式

現代制御理論を適用するために状態方程式を導く。

$$\alpha \begin{bmatrix} \ddot{\theta} \\ \ddot{\phi} \end{bmatrix} + \beta \begin{bmatrix} \dot{\theta} \\ \dot{\phi} \end{bmatrix} + \gamma \begin{bmatrix} \theta \\ \phi \end{bmatrix} = \delta u$$

$$\alpha = \begin{bmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} \end{bmatrix}$$

$$\alpha_{11} = (M + m)r_t^2 + mlr_t + J_t + iJ_m$$

$$\alpha_{12} = (M + m)r_t^2 + J_t + i^2 J_m$$

$$\alpha_{21} = (M + m)r_t^2 + 2mlr_t + ml^2 + J_p + J_t + J_m$$

$$\alpha_{22} = (M + m)r_t^2 + mlr_t + J_t + iJ_m$$

$$\beta = \begin{bmatrix} 0 & c \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\gamma = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ -mgl & 0 \end{bmatrix}$$

$$\delta = \begin{bmatrix} a \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \theta \\ \varphi \\ \dot{\theta} \\ \dot{\phi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0_{2 \times 2} & I_{2 \times 2} \\ -\alpha^{-1}\gamma & -\alpha^{-1}\beta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta \\ \varphi \\ \dot{\theta} \\ \dot{\phi} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0_{2 \times 1} \\ \alpha^{-1}\delta \end{bmatrix} u$$

これは次のような形に書ける。

$$\dot{x} = Ax + Bu$$

ただし、

$$x = \begin{bmatrix} \theta \\ \varphi \\ \dot{\theta} \\ \dot{\phi} \end{bmatrix}, A = \begin{bmatrix} 0_{2 \times 2} & I_{2 \times 2} \\ -\alpha^{-1}\gamma & -\alpha^{-1}\beta \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0_{2 \times 1} \\ \alpha^{-1}\delta \end{bmatrix}$$



# 3.倒立二輪ロボットの安定化制御

- システム行列 $A$ の固有値から倒立二輪ロボットは不安定。
  - システム $(A, B)$ は可制御であることが確認できる。
- 4つの状態変数のすべてが測定できれば状態フィードバックで安定化（倒立）が可能。

最適制御理論による安定化を考える：

最適制御理論：重み行列として非負定な対称行列 $Q = Q^T \geq 0$ と

正定対称行列 $R = R^T > 0$ に対して評価関数

$$J = \int_0^\infty \{x(t)^T Q x(t) + u(t)^T R u(t)\} dt$$

を最小化する入力 $u(t)$ を求める問題。

その入力は

$$u(t) = -Kx(t)$$

$$K = R^{-1} B^T P$$

ただし、 $P$ は次のリッカチ（Riccati）代数方程式の解として一意に決まる正定対称行列

$$(P = P^T > 0)$$

$$PA + A^T P - PBR^{-1} B^T P + Q = 0$$

全ての固有値  
が非負

全ての固有値  
が正

電流目標値

実際には、重み行列をチューニングパラメータとして

$$Q = \text{diag}\{1, 1, 1, 1\}$$

… $\varphi$ の安定化が重要な場合は

$$Q = \text{diag}\{1, 20, 1, 10\}$$

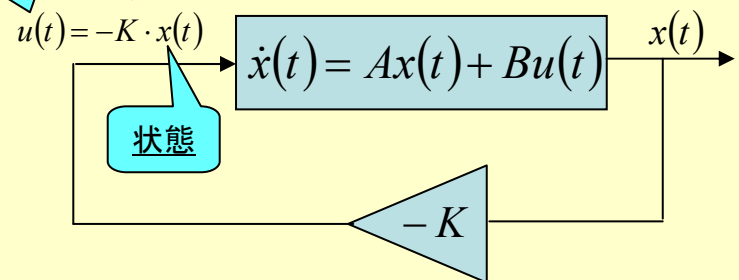
などの重み付けを用いる。

$$R = 500$$

$$\eta = 0.75$$

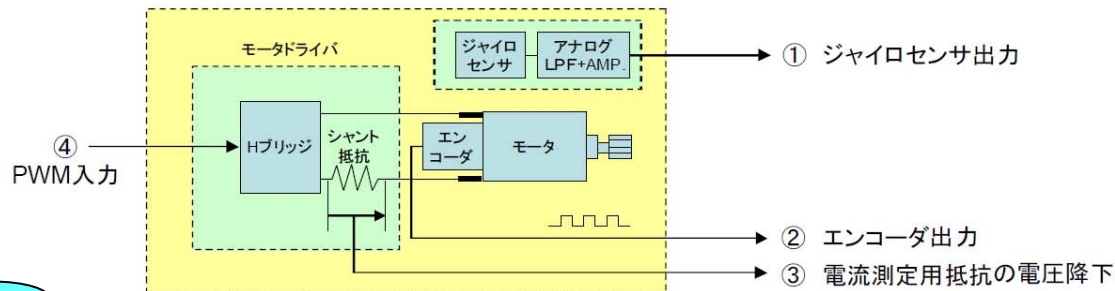
として、MATLABのlqr2コマンドを用いて計算すると

$$K = [-11.7400 \quad -0.0447 \quad -1.4994 \quad -0.0638]$$

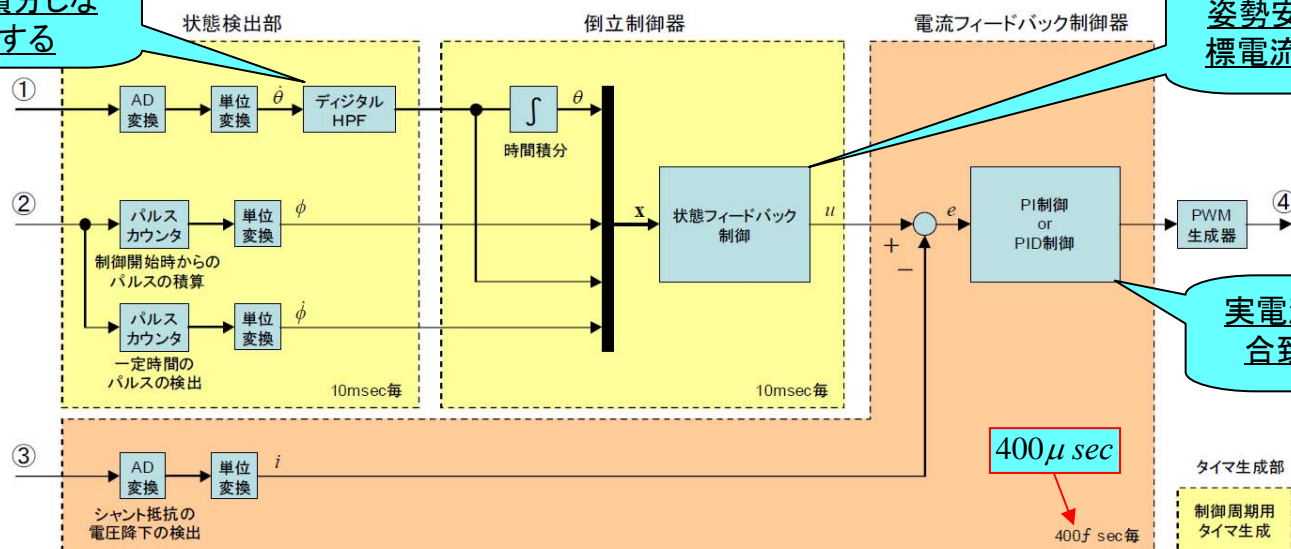


車輪付き倒立振子の安定化

# 4. 倒立二輪ロボットの制御システム



DC成分を積分しないようにする

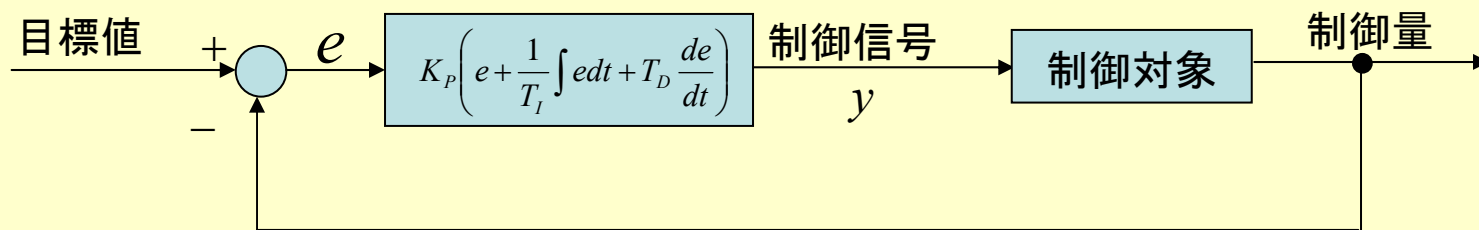


姿勢安定化のための目標電流値の制御(計算)

実電流値を目標電流値に合致させるための制御

(出典: ZMP社)

# PID制御(古典制御)



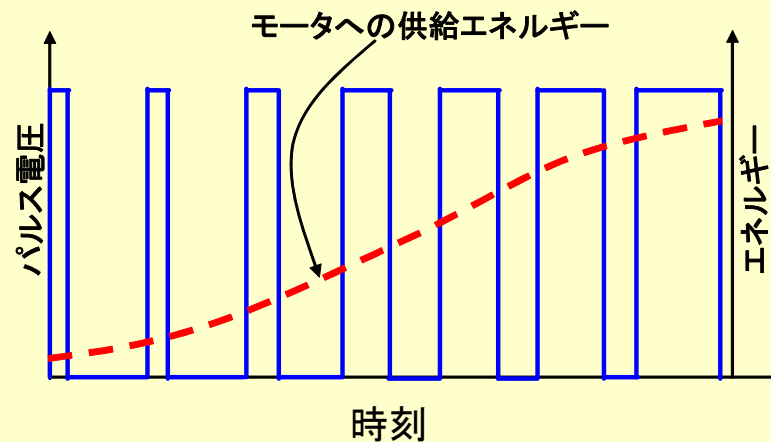
$$y = K_P \left( e + \frac{1}{T_I} \int e dt + T_D \frac{de}{dt} \right)$$

$y$ : 制御信号、 $e$ : 偏差、

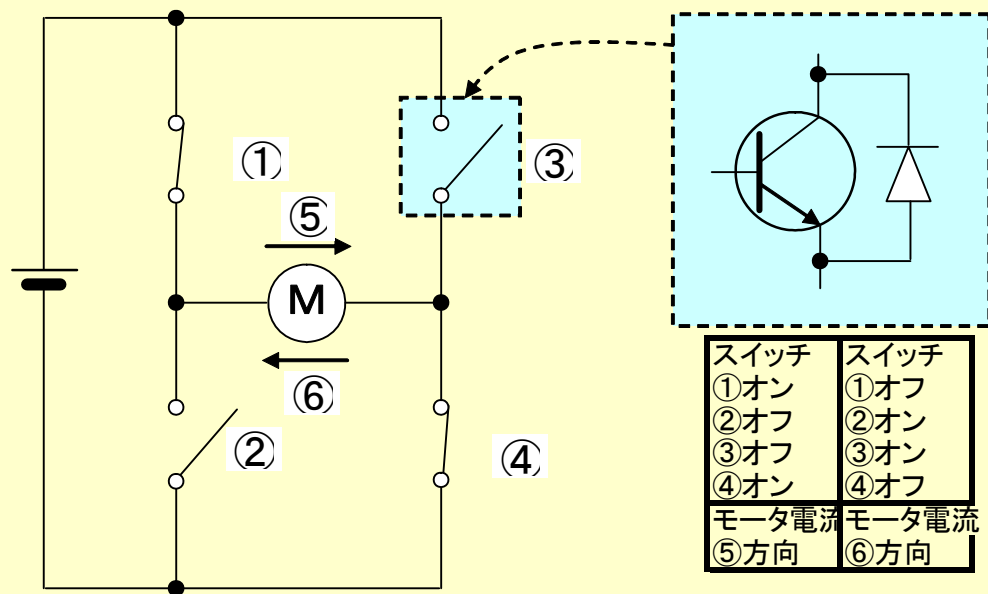
$K_P$ : 比例ゲイン、 $T_I$ : 積分時間、 $T_D$ : 微分時間

# PWM制御

- PWM (Pulse Width Modulation)
- 周期一定で入力信号(DC)の大きさに従ってパルス幅のデューティ・サイクル(Hレベルのパルス幅の周期に対する比)を変えることによりモータを制御する方法。



# Hブリッジ



# コリオリの力

コリオリの力：

静止座標系での運動方程式を

$$m\ddot{\mathbf{r}} = \mathbf{F} \quad (1)$$

とし、 $z$ 軸= $z'$ 軸を中心として角速度 $\omega$ で回転する座標系を $(x', y', z')$ とすると運動方程式(1)は、この回転座標系では

$$m\ddot{x}' = X' + 2m\omega\dot{y}' + m\omega^2 x'$$

$$m\ddot{y}' = Y' - 2m\omega\dot{x}' + m\omega^2 y'$$

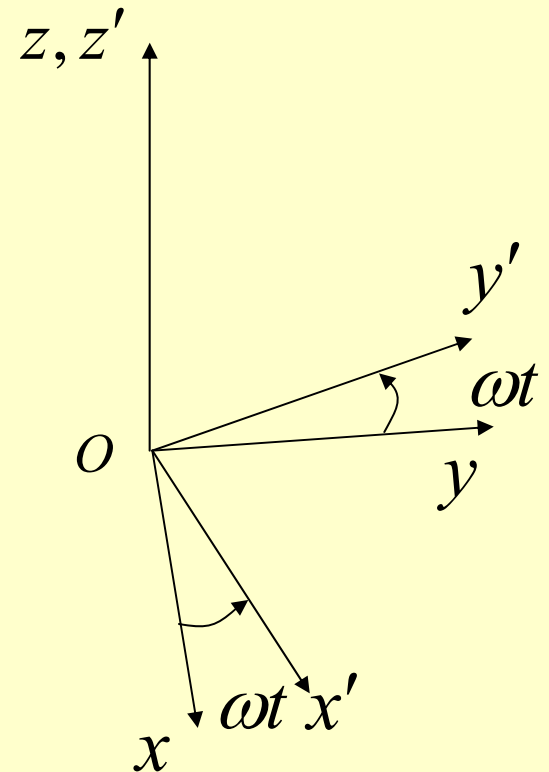
となる。このとき、

$(2m\omega\dot{y}', -2m\omega\dot{x}')$ で与えられる力をコリオリ(Coriolis)の力、

$(m\omega^2 x', m\omega^2 y')$ で与えられる力を遠心力と呼ぶ。

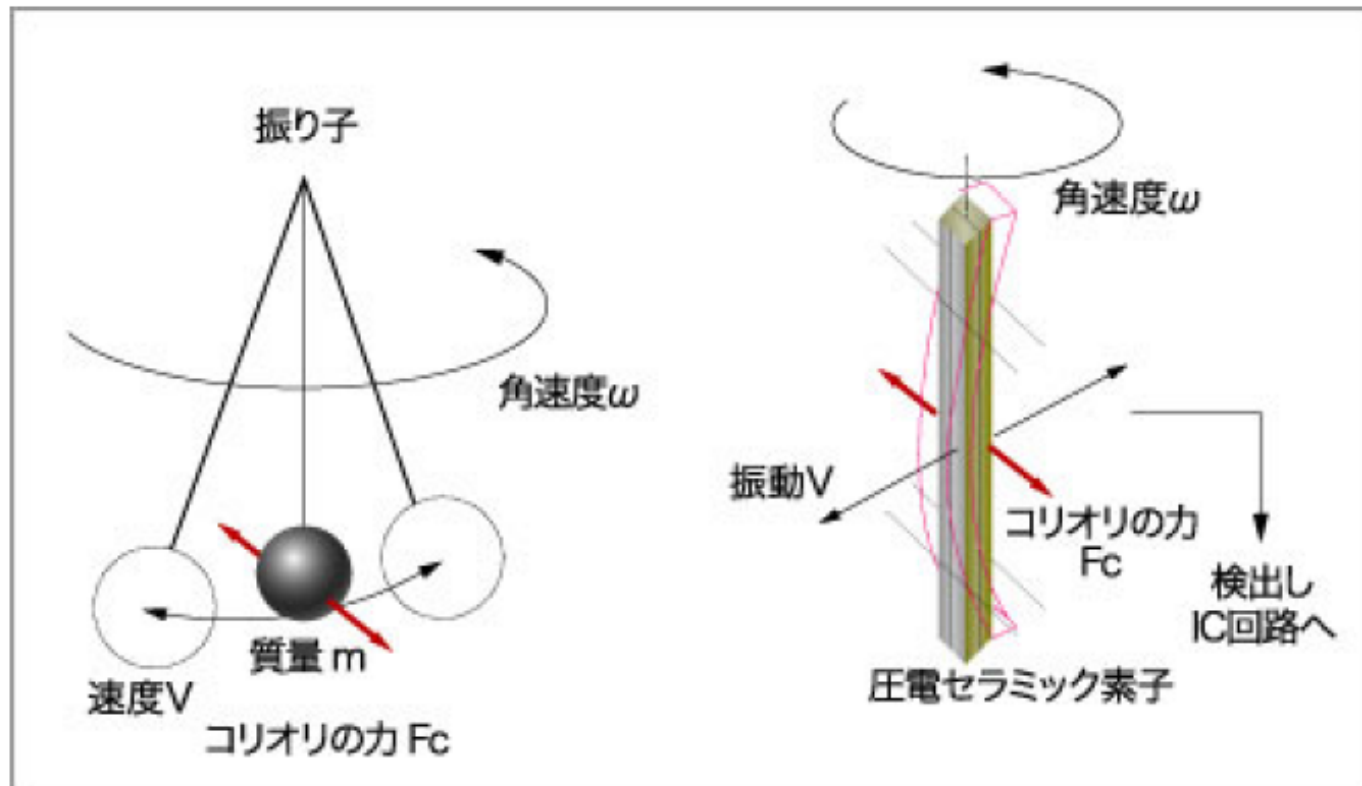
ここで $\mathbf{v}' = (\dot{x}', \dot{y}', \dot{z}')$ ,  $\boldsymbol{\omega} = (0, 0, \omega)$ と定義すると、

コリオリ力は $2m(\mathbf{v}' \times \boldsymbol{\omega})$ となる。



# ジャイロセンサ

圧電振動ジャイロ(ジャイロスター) | 製品紹介 | 株式会社 富山村田製作所



# 商標

- Trilobite : Electrolux 社の登録商標
- Windows : 米国Microsoft Corporation の米国及びその他の国における登録商標
- i-mode : (株)エヌ・ティ・ティ・ドコモの商標又は登録商標
- Bluetooth は, Bluetooth SIG, Inc. の商標。
- UPnP : UPnP Implementers Corporation の商標又は証明マーク。
- Java : 米国Sun Microsystems, Inc. の米国及びその他の国における登録商標又は商標。
- MIPS : MIPS Technologies, Inc. の登録商標。
- VxWorks : Wind River Systems, Inc. の登録商標又は商標
- MontaVista : MontaVista Software, Inc. の商標。
- Linux : Linus Torvalds 氏の登録商標



# 参考文献

1. 辰野 恭市、松日楽 信人. ロボットの基盤技術整備— 今後容易となるロボットシステム構築. 東芝レビュー. 56, 9, 2001,p.2－6
2. 松日楽 信人、小川 秀樹. 先端技術をリードするホームロボットの開発動向. 東芝レビュー. 59, 9, 2004, p.2－ 8.
3. 尾崎 文夫、橋本 英昭. ロボットプラットフォーム“オープンロボットコントローラアーキテクチャ”. 東芝レビュー. 59, 9, 2004, p.20－ 24.
4. 中山 眞. ロボットが日本を救う. 東洋経済新報社. 2006.
5. 産業技術研究所ホームページ  
[http://www.aist.go.jp/aist\\_j/press\\_release/pr2004/pr20040415/pr20040415.html](http://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2004/pr20040415/pr20040415.html)
6. 株式会社ゼットエムピー、「倒立二輪ロボット(モータ1軸)の安定化と走行制御」—倒立二輪ロボットe-nuvo WHEEL ver.1.0の開発—、p.1-9, <http://www.zmp.co.jp/e-nuvo/jp/wheel.html>
7. 田中皓一、「工科のための力学」、数理工学社、2006.

# 理解度テスト

(1)ロボットの分類に関する記述で最適な用語を選びなさい。

現在作られているロボットは、  
自動組立ラインでの塗装・溶接ロボットなどの(a)ロボット、  
原子力プラントなどの(b)ロボット、  
人や動物の形をした(c)ロボット、  
などに分類できる。

- ① (a)遠隔操作、(b)ヒューマノイド、(c)産業用
- ② (a)ヒューマノイド、(b)産業用、(c)遠隔操作
- ③ (a)産業用、(b)遠隔操作、(c)ヒューマノイド
- ④ (a)ヒューマノイド、(b)遠隔操作、(c)産業用

(2)オープンコントローラによるロボットシステム構築に関して最適な記述を選びなさい。

ロボットの機能を脳(全体管理、作業計画など)、視覚・聴覚、左右アーム、移動台車などの(a)に分割し、(b)を標準化することによりコントローラが(c)され、いろいろなメーカーの(a)を接続してシステムを構築できる。

- ① (a)インタフェース、(b)モジュール、(c)オープン化
- ② (a)オープン化、(b)モジュール、(c)インタフェース
- ③ (a)モジュール、(b)オープン化、(c)インタフェース
- ④ (a)モジュール、(b)インタフェース、(c)オープン化

(3)ロボット技術の進展に関して最適な記述を選びなさい。

ロボットは従来、(a)や工場環境で使用されてきたが、近年、(b)向けロボットの開発が活発化しており、特にクリーナー・ロボットや留守番ロボットなどの(c)分野などの人と共存する分野での応用が進展している。

- ① (a)家庭、(b)極限環境下、(c)生活支援
- ② (a)極限環境下、(b)家庭、(c)生活支援
- ③ (a)生活支援、(b)極限環境下、(c)家庭
- ④ (a)家庭、(b)生活支援、(c)極限環境下

(4)ロボットの市場予測に関して最適な記述を選びなさい。

ロボットは2000年時点で約(a)円の市場規模があり、その殆どは(b)用であるが、2025年には約8兆円に成長し、その約50%が(c)分野であると予測されている。

- ① (a)5000億、(b)製造業、(c)生活
- ② (a)2兆、(b)医療福祉、(c)製造業
- ③ (a)3兆、(b)公共、(c)製造業
- ④ (a)4兆、(b)生活、(c)公共

(5)RT参照モデルに関して最適な記述を選びなさい。

ロボットに行わせる作業を指定するのは(a)層、作業座標系でのロボットの動きを軸での動きに変換するのは(b)層、軸での動きをアクチュエータの動きに変換するのが(c)層である。

- ① (a)モーション制御(MC)、(b)軸制御(JC)、(c)タスク制御(TC)
- ② (a)モーション制御(MC)、(b)タスク制御(TC)、(c)軸制御(JC)
- ③ (a)軸制御(JC)、(b)タスク制御(TC)、(c)モーション制御(MC)
- ④ (a)タスク制御(TC)、(b)モーション制御(MC)、(c)軸制御(JC)

## (6)RT参照モデルに関して最適な記述を選びなさい。

ロボットを動かすアクチュエータの動きを物理量へ変換するのが規定するのが(a)層、物理量からI/O指令に変換するのが(b)層、ロボットとコントローラをつなぐI/Oを規定するのが(c)層である。

- ① (a) I/Oリンク(IO) 、(b)アクチュエータ制御(AC) 、(c)物理(PH)
- ② (a)アクチュエータ制御(AC) 、(b) I/Oリンク(IO) 、(c)物理(PH)
- ③ (a)物理(PH) 、(b)アクチュエータ制御(AC) 、(c) I/Oリンク(IO)
- ④ (a) I/Oリンク(IO) 、(b)物理(PH) 、(c)アクチュエータ制御(AC)



## (7)RT参照モデルに関して最適な記述を選びなさい。

“Get a glass of beer.”という指令から”Move to Point A.”に変換するのが(a)層、”Rotate actuators to  $f1(x1) \sim fm(xm)$ .”という指令を出すのが(b)層、サーボ周期で”Rotate actuators with torque  $t1 \sim tm$ .”という指令を受けるのが(c)層である。

- ① (a)モーション制御、(b)軸制御、(c)アクチュエータ制御
- ② (a)軸制御、(b)アクチュエータ制御、(c)物理
- ③ (a)タスク制御、(b)軸制御、(c) I/Oリンク
- ④ (a)モーション制御、(b)アクチュエータ制御、(c)物理

(8)日本の少子高齢化に関して最適な記述を選びなさい。

日本の出生数は(a)年をピーク、また総人口は(b)年をピークに減少し、生産年齢人口も(c)年をピークに減少し、2050年には全人口の約(d)%に低下する見込みである。

- ① (a)1995、(b)2006、(c)1973、(d)66.7
- ② (a)1973、(b)2006、(c)1995、(d)53.6
- ③ (a)2006、(b)1973、(c)1995、(d) 53.6
- ④ (a)1973、(b)1995、(c)2006、(d)66.7

(9)日本の製造業の空洞化に関して最適な記述を選びなさい。

日本の製造業の海外生産比率は1990年前後の(a)%から2000年には(b)%に達しており、最近では進出先は(c)が増えている。

- ① (a)6、(b)13.4、(c)中国やアセアン
- ② (a)17、(b)32、(c)米国
- ③ (a)17、(b)32、(c)中国やアセアン
- ④ (a)6、(b)13.4、(c)米国

(10)日本のロボット産業に関して最適な記述を選びなさい。

産業用ロボットは(a)年に米国ユニメーション社から最初の製品が発表された。日本はその後、油圧・空気圧の電気駆動化、マイコン制御、(b)、などの技術的な貢献をしてきたが、現在日本は世界で第(c)位のロボット生産国である。  
ている。

- ① (a)1962、(b)ヒューマノイド・ロボット、(c)3
- ② (a)1967、(b)ヒューマノイド・ロボット、(c)1
- ③ (a)1967、(b)多関節型ロボット、(c)3
- ④ (a)1962、(b)多関節型ロボット、(c)1

(11)ロボットの制御技術に関して最適な記述を選びなさい。

ロボットの動作制御に関しては古典制御とも呼ばれる(a)制御が広く用いられるが、現代制御とも呼ばれる(b)制御も使用される。特に(a)制御の目標値を決めるために(c)制御を用いることにより、安定性を確保する上で有効性が確認されている。

- ① (a)状態、(b)PID、(c)状態
- ② (a)状態、(b)PID、(c)PID
- ③ (a)PID、(b)状態、(c)状態
- ④ (a)PID、(b)状態、(c)PID

(12)状態制御技術に関して最適な記述を選びなさい。

状態制御では(a)方程式を線形化して、1次の連立方程式に変形し、これを(b)方程式とする。最適制御理論により、この状態方程式の係数行列を含む(c)方程式の解を求めることにより、最適フィードバック係数を決定する。

- ① (a)状態、(b)ラグランジュ、(c)リッカチ
- ② (a)ラグランジュ、(b)状態、(c)リッカチ
- ③ (a)リッカチ、(b)状態、(c)ラグランジュ
- ④ (a)状態、(b)リッカチ、(c)ラグランジュ

(13)ロボット制御システムのセンサとアクチュエータに関して最適な記述を選びなさい。

ボディの角速度とモータの回転角は、それぞれ(a)と(b)などで検出する。  
また、モータの制御には(c)に流すモータ電流を(d)で制御する。

- ① (a)ジャイロセンサ、(b)ロータリー・エンコーダ、  
(c)Hブリッジ、(d)PWM
- ② (a)ロータリー・エンコーダ、(b)ジャイロセンサ、  
(c)PWM、(d)Hブリッジ
- ③ (a)Hブリッジ、(b)ロータリー・エンコーダ、  
(c)ジャイロセンサ、(d)PWM
- ④ (a)ロータリー・エンコーダ、(b)Hブリッジ、  
(c)PWM、(d)ジャイロセンサ