

東京大学大学院 情報理工学系研究科
平成23年度 夏学期 大学院講義

創造情報学特論I (4860-1014 創造情報学専攻)
エージェントシステム(4850-1010 知能機械情報学専攻)
IRT通論(4891-1001 博士後期課程IRTプログラム)

東京大学大学院
情報理工学系研究科 創造情報学専攻
稲葉雅幸

Department of Creative Informatics

<http://www.jsk.t.u-tokyo.ac.jp/>

講義内容: ロボットソフトウェアのシステム

RTM-ROS-Robotics

1. イントロ – 講義予定、ロボット知能化プロジェクト
2. ロボットソフトウェアの相互運用
3. RTミドルウェア: RTM
4. Robot オペレーティングシステム: ROS
5. プランニングシステム: OpenRAVE
6. ソフトウェアツール: ドキュメント、テスト検証
7. 応用事例: 双腕マニピュレーション HIRONX
8. 応用事例: 移動マニピュレーション M-HIRONX
9. 応用事例: ヒューマノイド HRP4
10. ロボットソフトウェアの発展的構成論

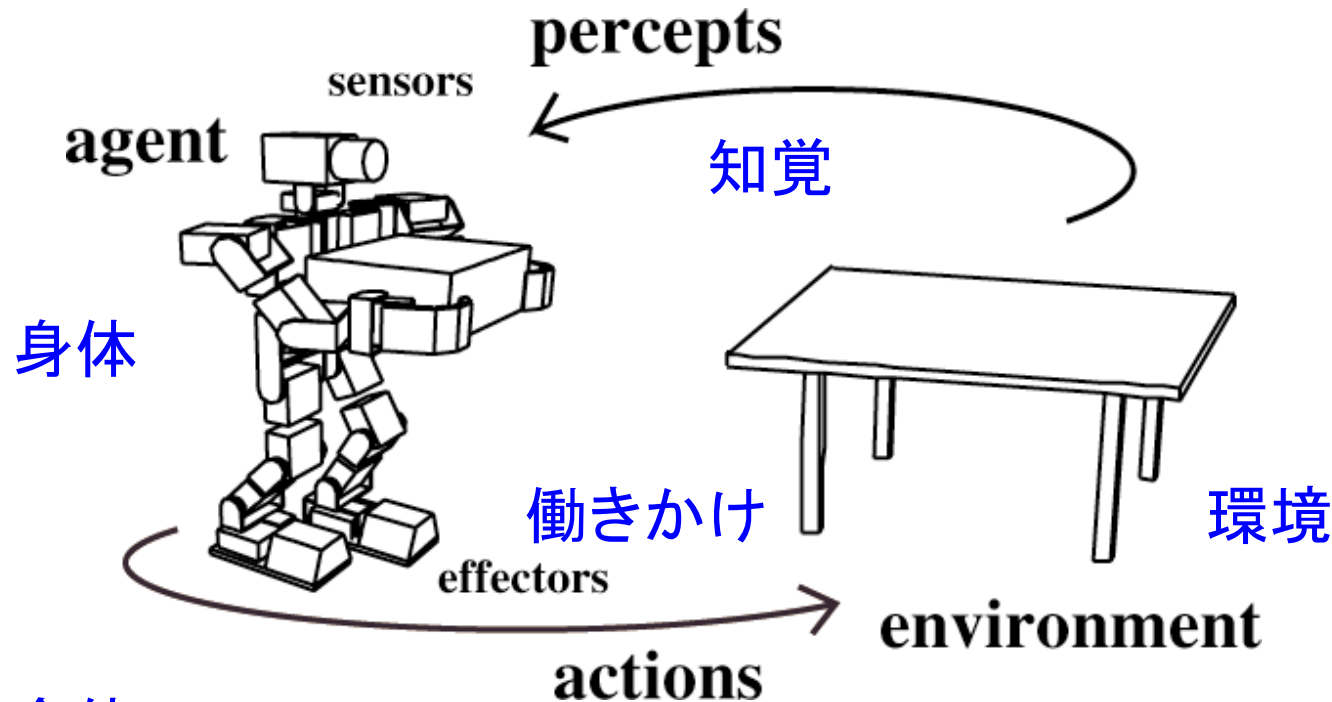
2011夏学期 水曜日13:00-14:30 工学部2号館231号室、秋葉原拠点大会議室

Ustream: <http://ustre.am/xKBj>

Homepage: <http://code.google.com/p/rtm-ros-robotics/>

実世界 エージェントシステム

環境に応じて行動を実行できるロボット



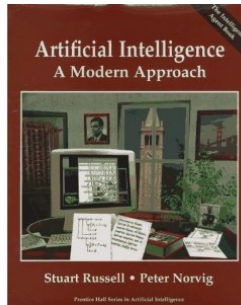
システム全体

- 1) 各種身体ハードウェア
- 2) ソフトウェアの統合システム
- 3) 継承発展可能なアーキテクチャ
- 4) 開発支援・共有継承・運用環境

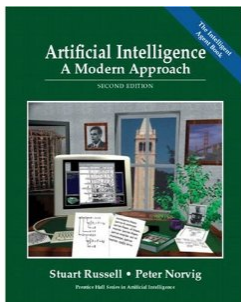
課題

- 1) 行動目的の多様性
- 2) 異なる身体での再利用性
- 3) 異なる環境での実現性

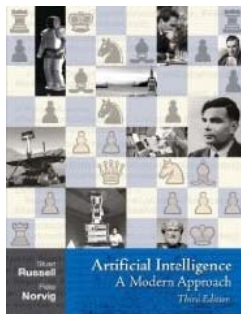
AIMA: Artificial Intelligence - A Modern Approach エージェントアプローチ 人工知能



1995



2002



2010

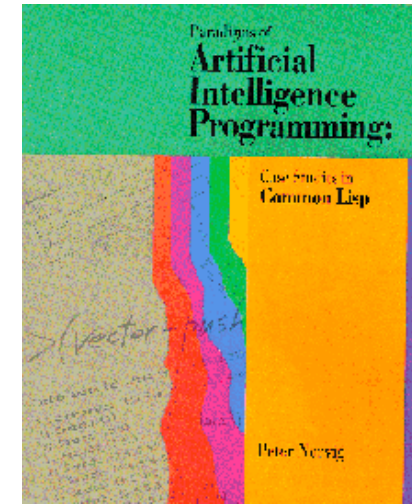
1. AI (1-2)
2. Problem Solving(3-6)
3. Knowledge and Reasoning(7-12)
4. Uncertain Knowledge and Reasoning(13-17)
5. Learning(18-21)
6. Communicating, Perceiving and Acting(22-25)
Natural Language, Perception, Robotics
7. Conclusions(26-27)
8. Appendix (A, B)

Predator, DARPA Urban Challenge Robotic Car BOSS,
Sojourner, Roomba, Helpmate, Kiva System, PR2,
Raibert's one legged robot, P3, ASIMO, Nao, Big Dog, Genghis,
da Vinci Surgical System

(表紙画像: www.amazon.com)

エージェントシステム 教科書・プログラミング参考書

- 教科書・参考書
- AIMA、PAIP
- AIMA: Artificial Intelligence – A Modern Approach,
by S. Russel and P. Norvig
1995,2002, 2010(3rd Ed.)
 - 100カ国1200大学で利用されている
 - 講義スライド: <http://www.cs.berkeley.edu/~russell/slides/>
 - プログラム: <http://aima.cs.berkeley.edu/code.html>
 - Java, C++, lisp, Prolog, Python
 - 翻訳 - 古川康一監訳、共立出版
エージェントアプローチ人工知能
1997(第1版),2008(第2版)
- PAIP: Paradigms of Artificial Intelligence Programming
– Case Studies in Common Lisp,
by P. Norvig, 1992.
 - 翻訳(杉本宣男)「実用Common Lisp – AI プログラミングの
ケーススタディ」、翔泳社、2010.



PAIP 1992



翻訳 2010

(表紙画像: www.amazon.com/co.jp)

PAIP: 目次

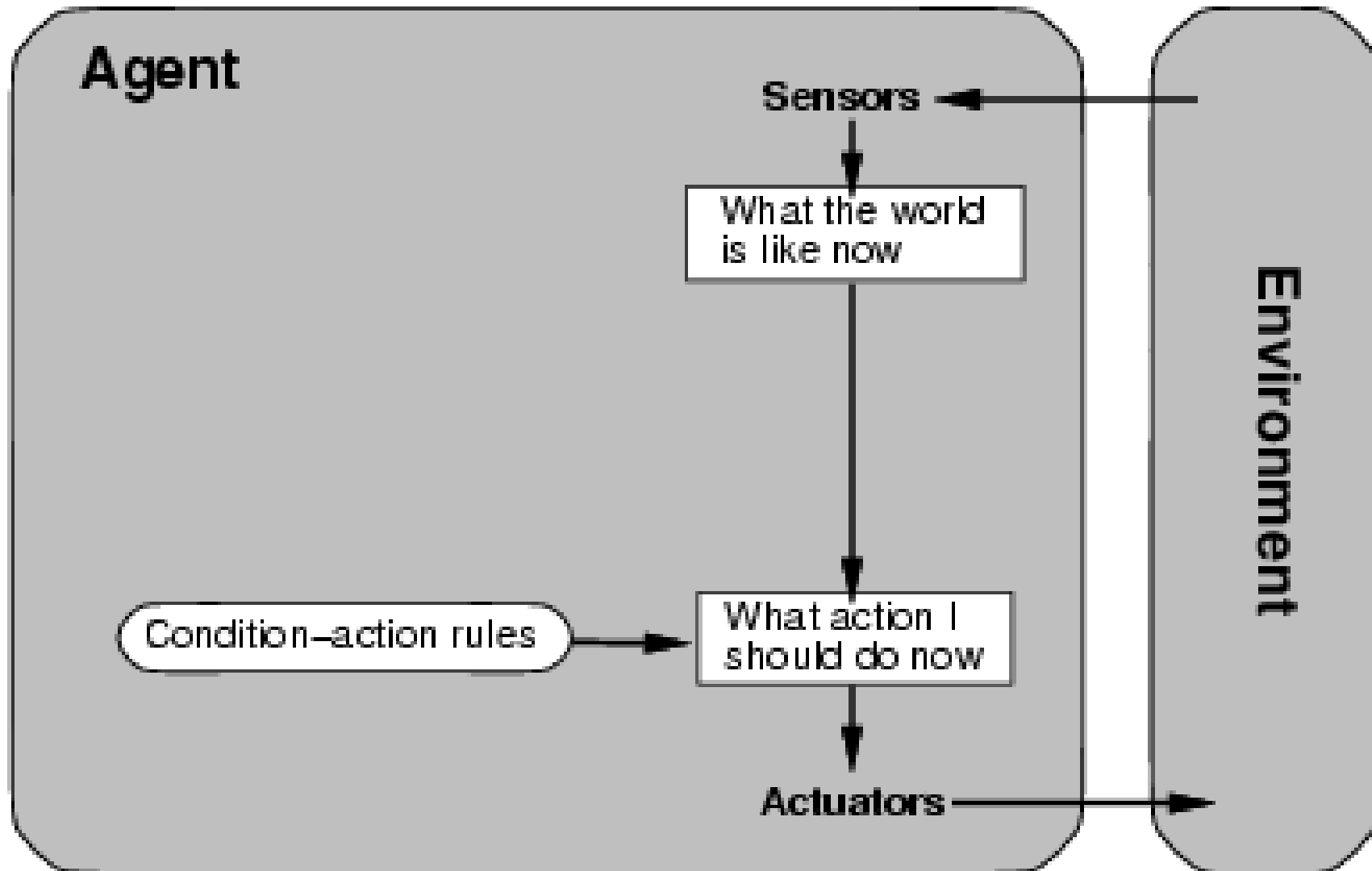
1. Lisp イントロ
2. 簡単Lispプログラム
3. Lispでのプログラミング
4. GPS: 一般問題解決器
5. ELIZA: 機械との対話
6. ソフトウェアツール構築
7. STUDENT: 代数方程式求解
8. 数式処理: 簡略化
9. 効率化の方法
10. 低レベルの効率化手法
11. 論理型プログラミング
12. 論理型プログラミングのコンパイラ
13. オブジェクト指向
14. 知識表現と推論
15. 数式の標準形式
16. エキスパートシステム
17. Scheme: Lisp処理系
18. Lispのコンパイラ
19. ANSI Common Lisp
20. トラブルシューティング
プログラムコード

<http://norvig.com/paip/README.html>

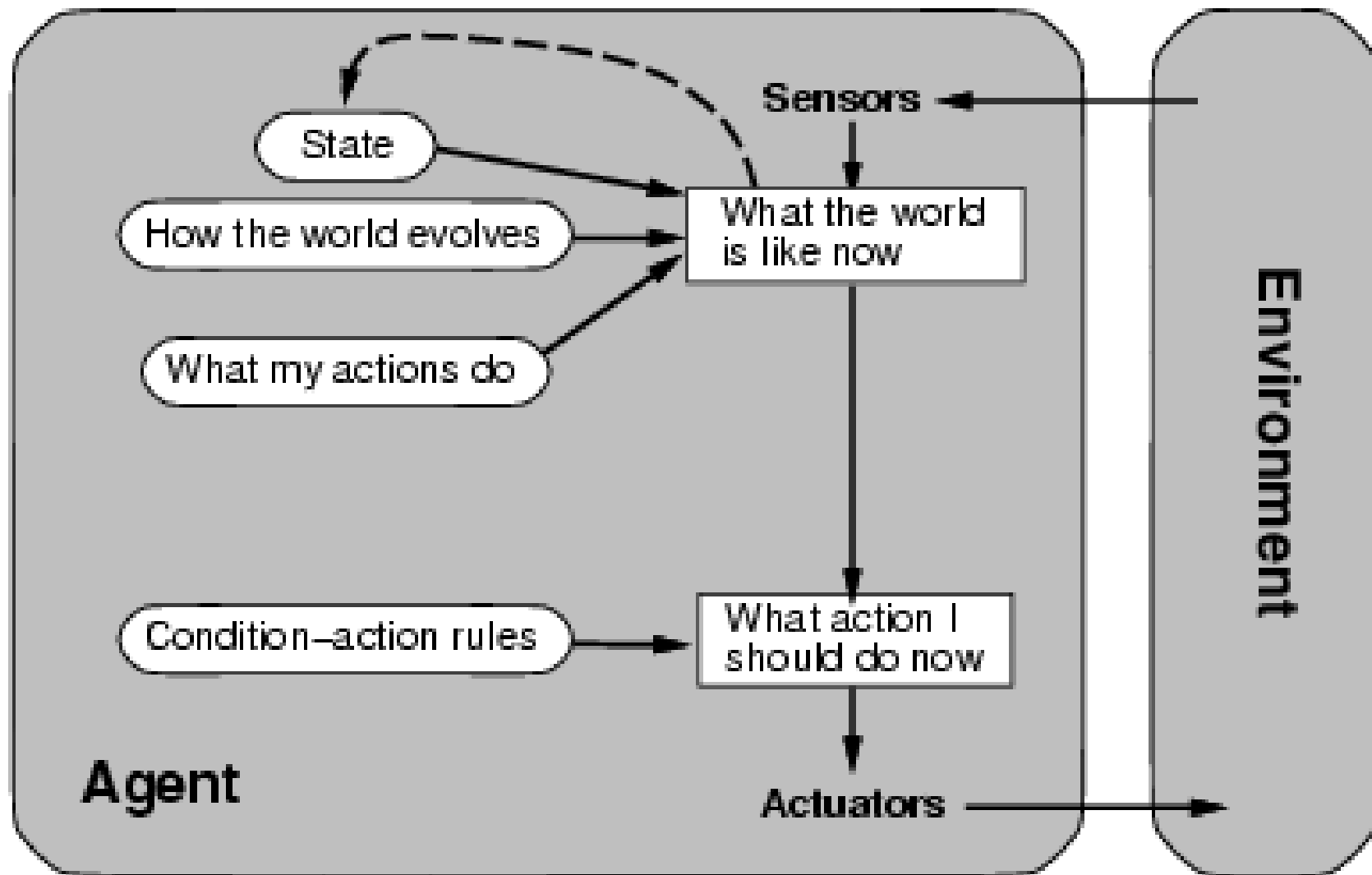
Agent types in AIMA

- レベルの違う基本型
 - Simple reflex agents
 - Model-based reflex agents
 - Goal-based agents
 - Utility-based agents
- 通信・学習する型
 - Learning agents

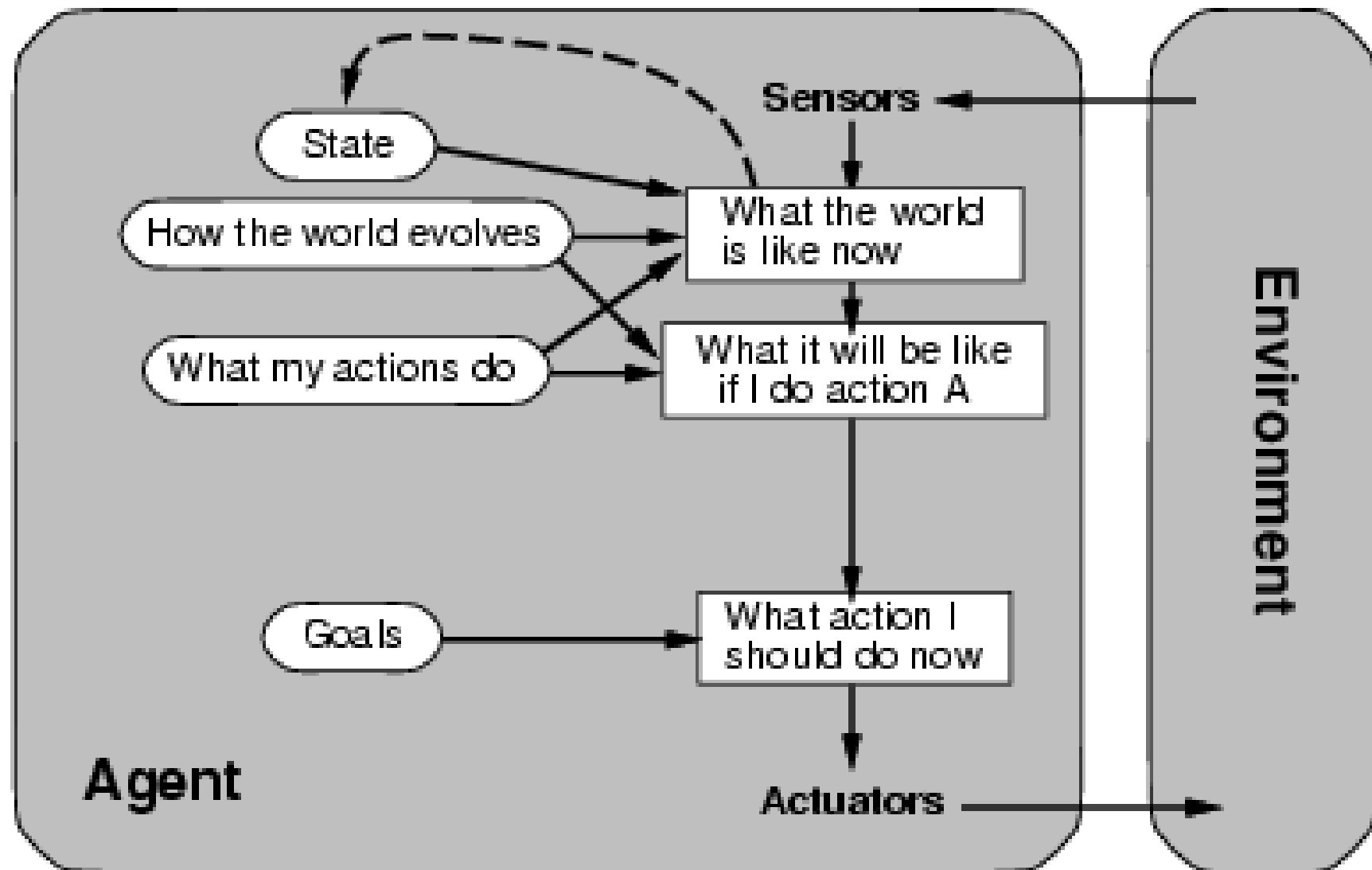
Simple reflex agents



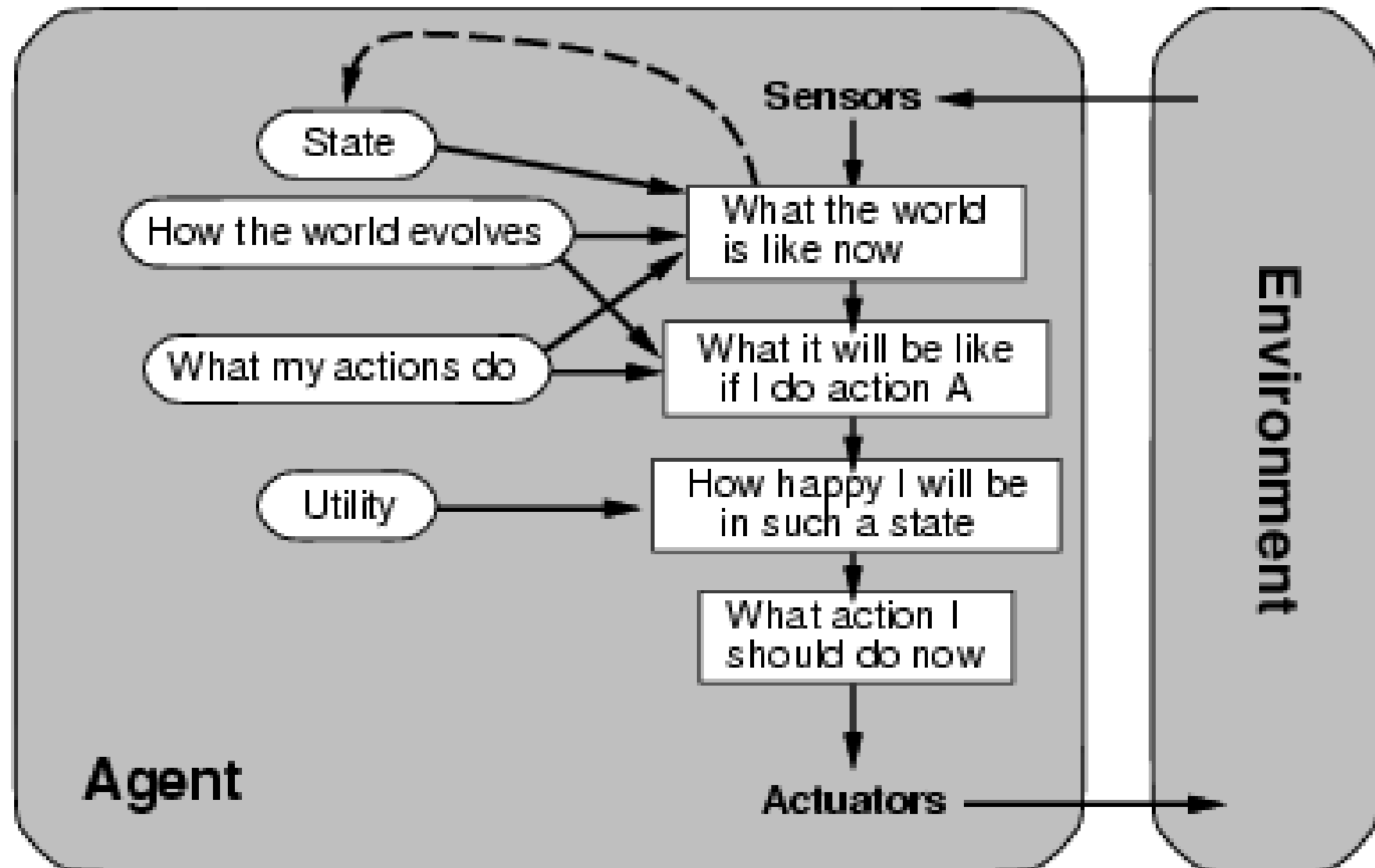
Model-based reflex agents



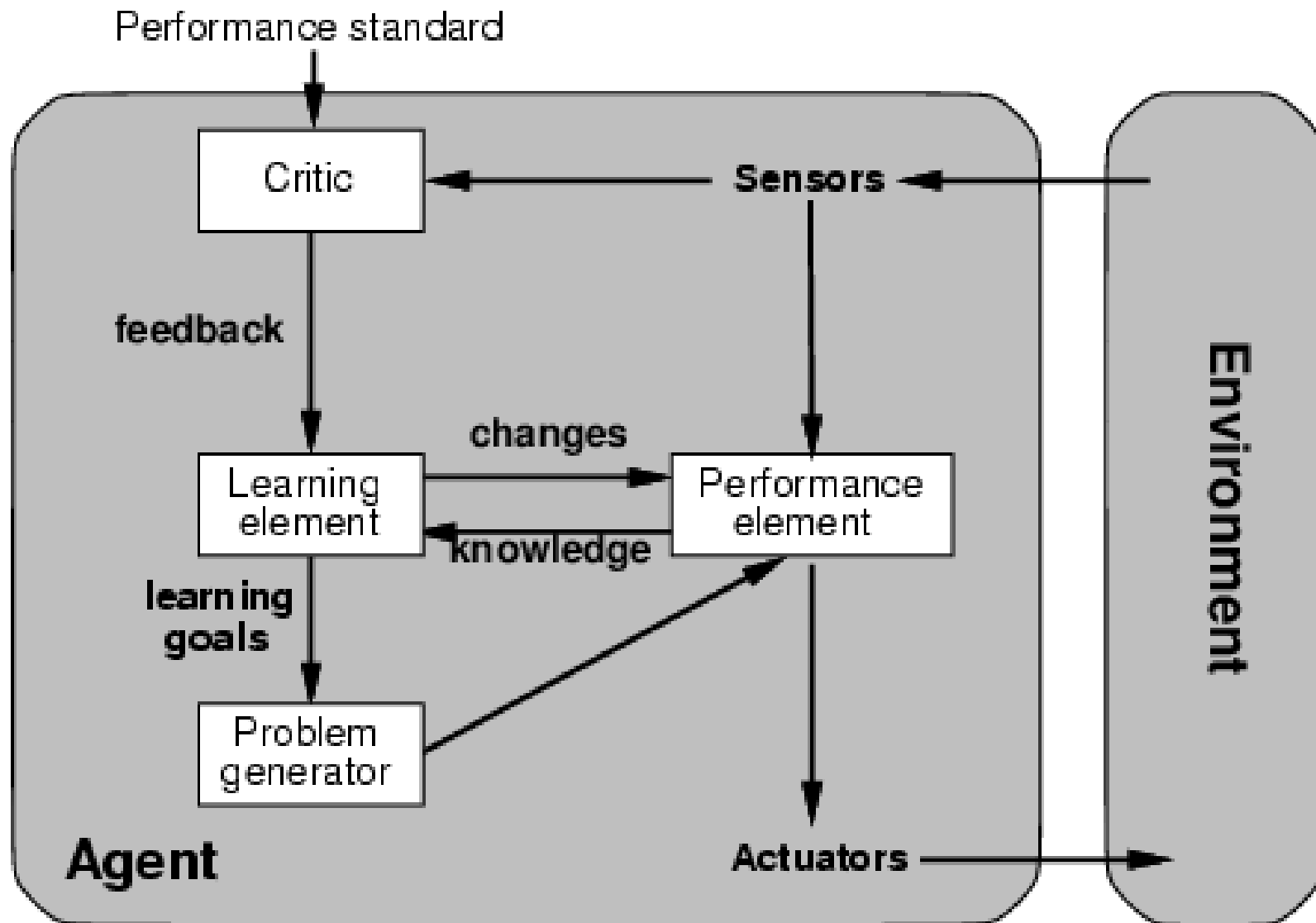
Goal-based agents

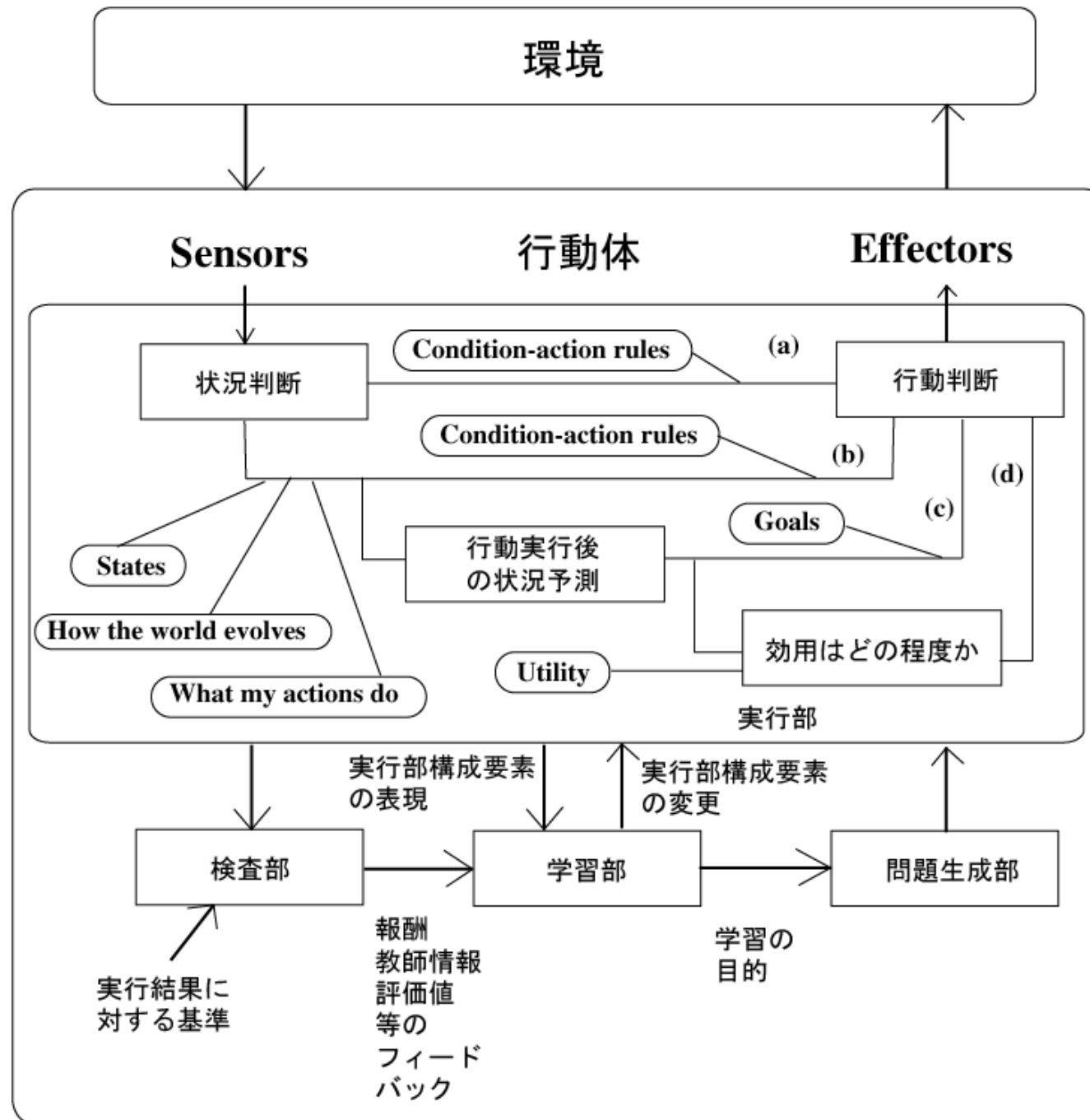


Utility-based agents



Learning agents





AIMA エージェント の構造 統合図

- (a) 単純反射
- (b) 記憶をもつ反射
- (c) ゴール主導
- (d) 効用主導

下部: 対話し学習型

ロボット 実世界エージェント ソフトウェア実現システムの構成論

1. ロボット言語

- 作業記述: ML, VAL, AL, AL/L, RAPT, ...
 - 関節-手先-対象座標系-対象物間関係-環境状況レベル
 - 目標主導、計画主導型
- 行動記述: BL, L, ...
 - 移動行動、階層構成、サブサンプション、並列処理反射型
 - 行動主導、センサ主導型
- 汎用計算機言語: C, C++, Java, Python, Lisp,
 - センサ・モータインタフェース、ロボット機能ライブラリ

2. ロボットミドルウェア: BeNet, RTMiddleware、

- ソフトのライブラリ、再利用性、部品化、RTコンポーネント、オブジェクト間通信、標準化

3. ロボットオペレーティングシステム: ROS, Orocos

- 開発支援環境、並列処理支援、ビルドツール、センサ可視化、センサデータログ、通信管理、OSライブラリ

人工の手の計算機制御

1969 東京大学 井上博允



6軸アーム、1軸ハンド

4KW コンピュータ
機械語のマクロ命令

IPL (初期プログラムローダ)
15ビット触覚



クランク回し



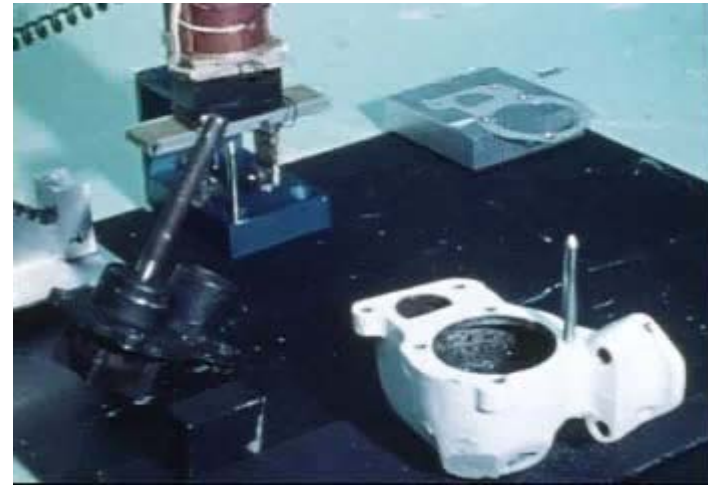
手探し、ペグ操作

AL ロボット言語システムハンドアイシステム 1973

R. Paul, R. Bolles ポンプ組み立て, SAIL1973



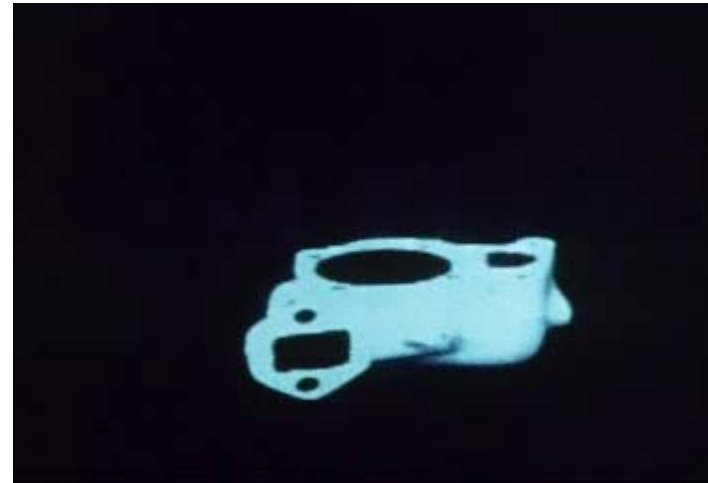
電動ドライバ工具の利用



組み合わせのための治具利用

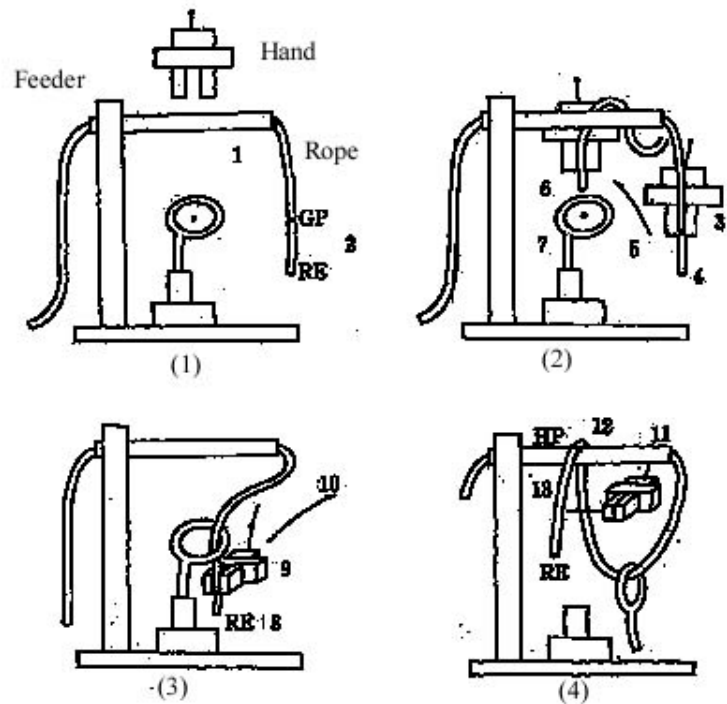


マルチ焦点距離・アイリス制御

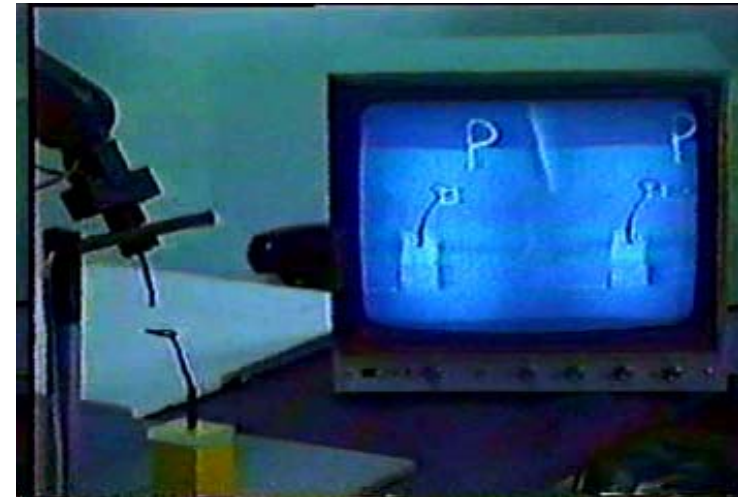


ポンプ 位置姿勢認識

紐のハンドリング 1983 稲葉



輪を通して結ぶ



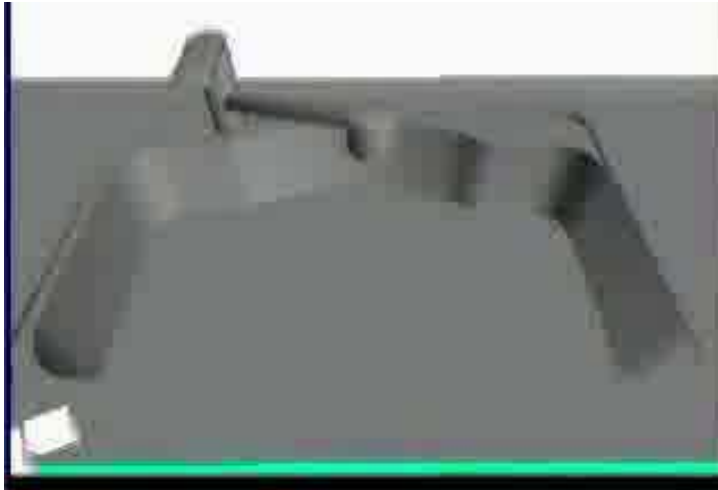
紐の先端を輪の中へ誘導する



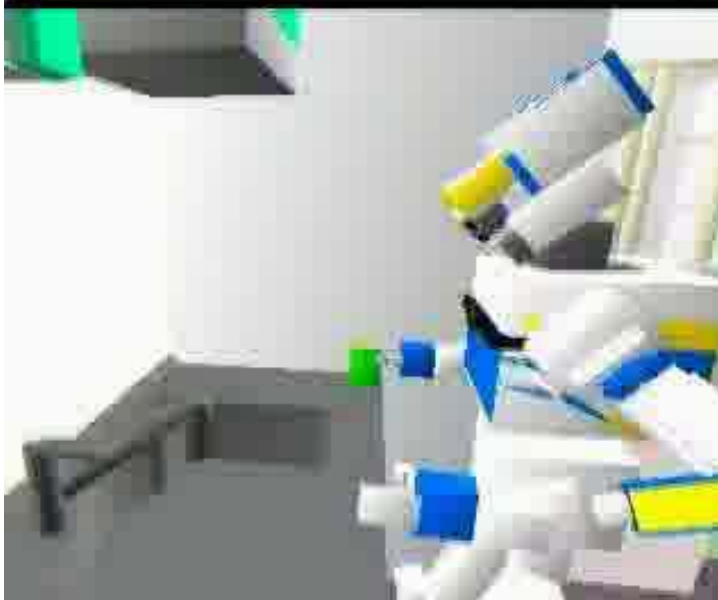
紐を放してループを作り、結ぶ

食器洗い、水操作 1995 岡田

モデル空間での視野



実視野への認識モデル投影



自己身体の想定状態



実際の行動状態

行動実現研究 東大 JSK

19



H6 & H7 Humanoid
1999 S. Kagami,
K.Nishiwaki



Musculoskeletal 2000-
I. Mizuuchi Y. Nakanishi



Assistive Humanoid
2002 K. Okada



OSS, RTM, ROS
OpenRave
2010R. Diankov
All members



IRT Home Assistance
2006-
K. Yamazaki
R.Hanai

IRT

PR2

HRP2 Integration

Musculoskeletal Humanoid

Sensor Suit

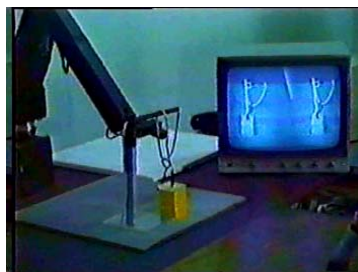
Sensor Flesh

Remote-Brained Robotics: about 60 robots

HARP: Humanoid Autonomous Robot Project H1-H7

Vision-Based Robotics: Manipulation, Interaction, Navigation

COSMOS: Lisp-based Robot System Integration Environment



COSMOS:
CognitiveSensor Motor
Operation Studies
1981 T. Ogasawara
T. Matsui, H. Mizoguchi
M.Inaba, H. Inoue



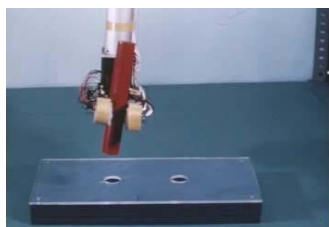
Sensor flesh robots
2006- T. Yoshikai



Interactive Systems
2004 T. Inamura



**Remote-Brained
Robotics 1993-**
M. Inaba



Bilateral
1969 H. Inoue

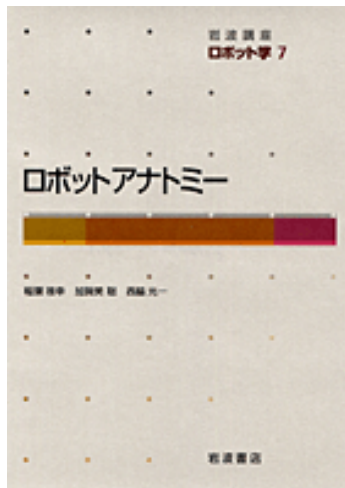
1980

1990

2000

2010

岩波講座 ロボット学 2004-2006



1. ロボット学創成 2004. 9
井上, 金出, 安西, 瀬名
2. ロボットモーション 2004. 11
内山、中村
3. ロボットビジョン 金出
4. ロボットインテリジェンス
浅田, 國吉 2006. 3
5. ロボットインフォマティクス
安西、他、廣瀬 2006. 11
6. ロボットフロンティア 2005. 5
下山、他
7. ロボット・アナトミー
稲葉, 加賀美, 西脇 2005. 2

大学から企業へ - 産学連携研究への展開

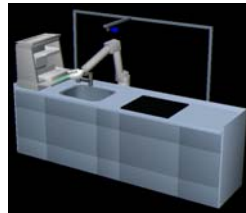
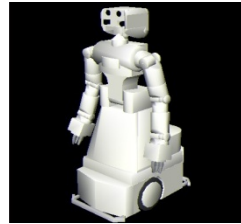
- 2006-2009: 先端融合プログラム
「少子高齢社会と人を支えるIRT基盤の創出」
- 東京大学IRT研究機構
 - 2008年発足東大総長室機構
 - $IRT = IT + RT$
- 基礎から企業と課題を設定し連携
 - 業界から1社ずつ
 - 自動車、電機、情報、印刷、医療、、、
 - トヨタ、パナソニック、富士通、凸版、オリンパス、
 - 2008年秋 中間成果プレスリリース
- 社会科学分野との連携 — コンテンツ研究会

大学院博士課程講義: IRTスペシャリストプログラム

講義: IRT通論、IRTコンテンツ、IRTシステム、IRTネットワーク論、IRT制御

生活支援 IRTホームアシスタンス 2008

- 掃除片付け支援ロボット
- キッチンアシスタントロボット
- 思い出し支援ロボット



1) 掃除片付け支援ロボット (東大・トヨタ)



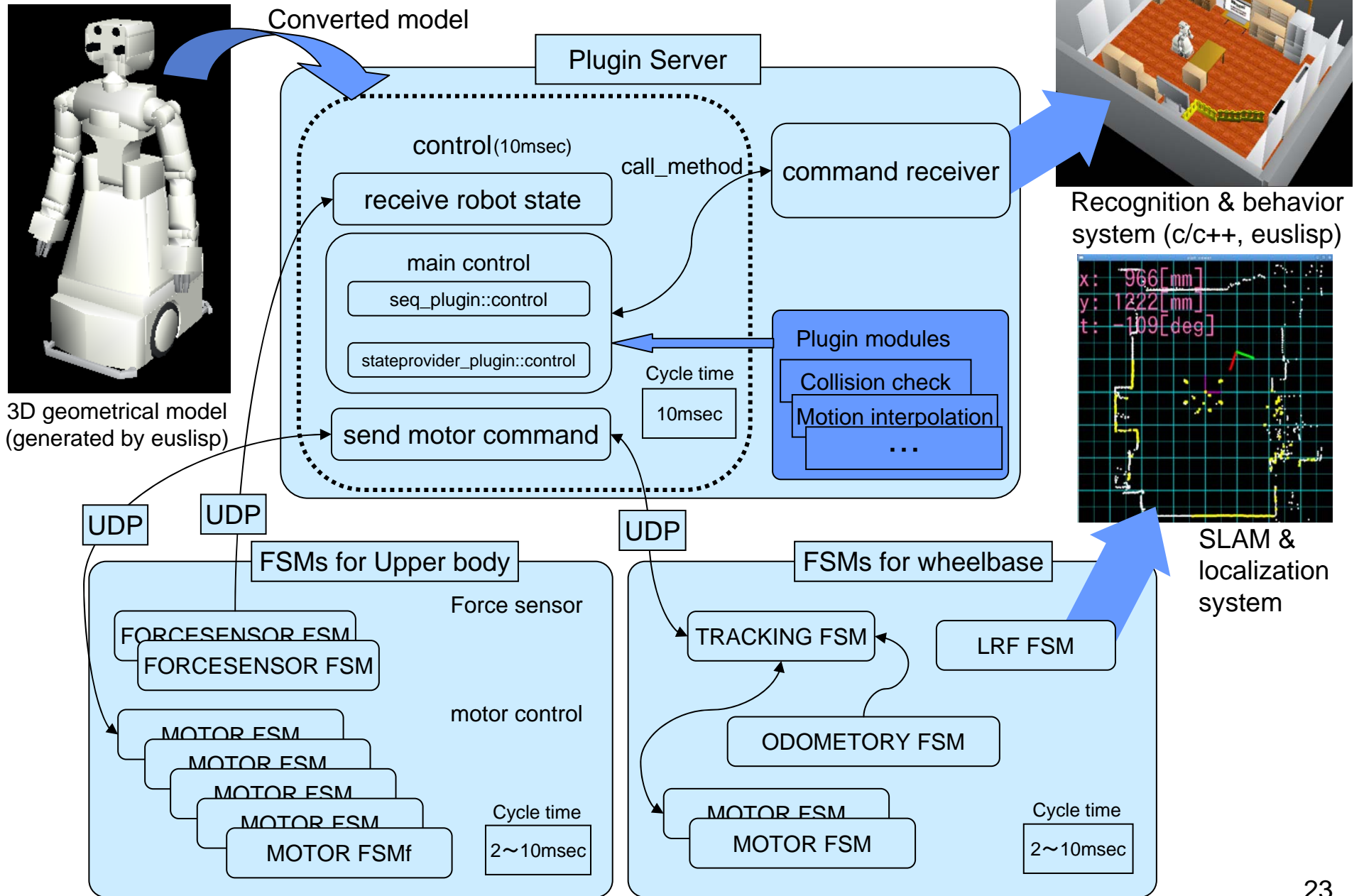
2) キッチンアシスタントロボット (東大・パナソニック)



3) 思い出し支援ロボット (東大・富士通)

1) 2008.10.24 NHK, 2) 2008.12.17 TV朝日, 3) 2008.12.3 NHK

AR システムアーキテクチャ 2008



手探り食器片付けタスク 2008

- 手の近接、触覚、力センサの多種類のセンサに基づいて手を誘導する。
- 食器の配置に応じて手さぐりの手順シーケンスを決定
- 食器を順につまみあげて、しっかりと把持できる位置へ手先の感覚で手を誘導する

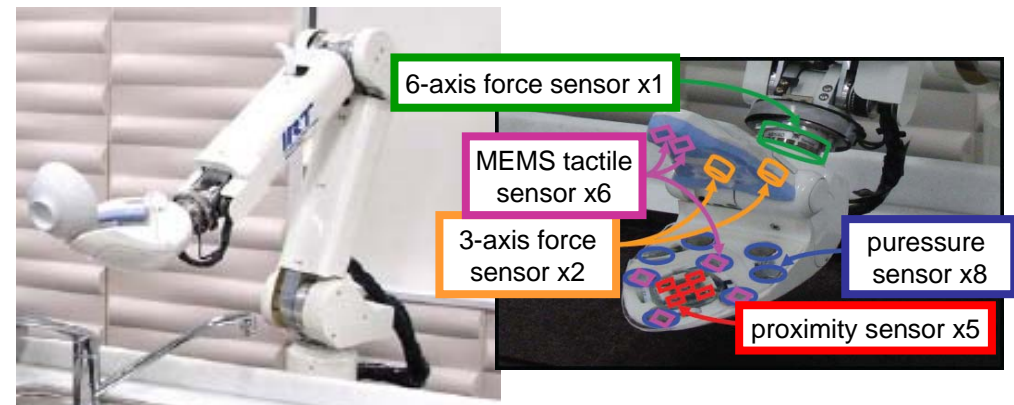
構成法

- センサモニタ部と上位を分離
- 手探り・タスクのフェーズごとにモニタ処理の利用を切り替えてゆく

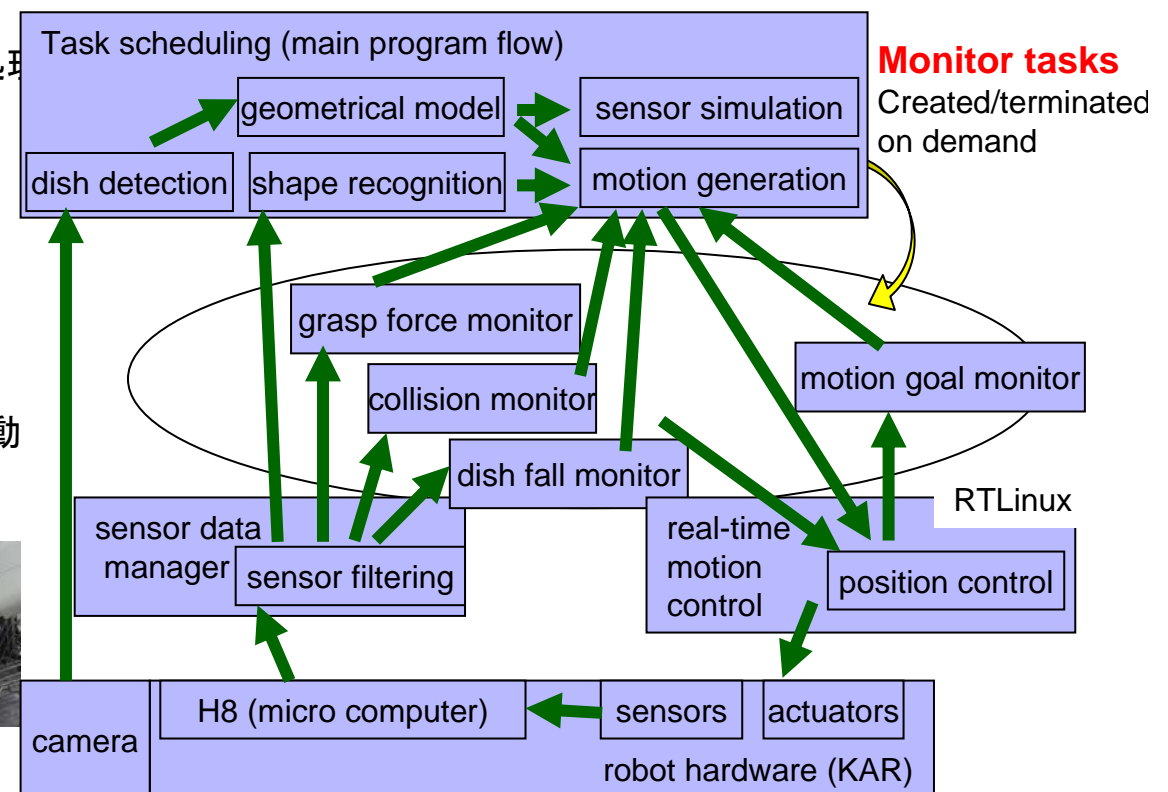
センサモニタリング・スレッド

- 現在の片付け処理状態の確認
- 異常がないかのチェック
- 並列にセンサ処理を行う

- 三次元モデル環境でも実機プログラムが可動



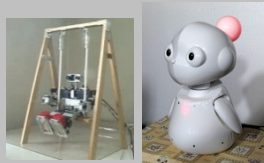
片手たぐりよせ操作 2010 藤本



ロボット行動実現研究システム環境 JSK

25

実身体



卓上対話型



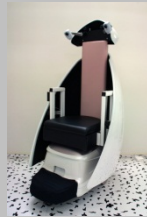
家具拡張型



車輪双腕型



腱駆動型



搭乗型



ヒューマノイド型

認識判断行動生成系

対話制御 行動予測
感覚制御 物体認識
空間推論 移動プランナ
行動推論 動作プランナ
行動監視 動作制御

記憶系

環境・身体モデル
目的行動モデル
判断結果獲得データ

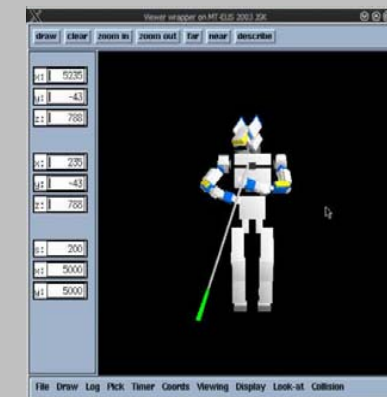
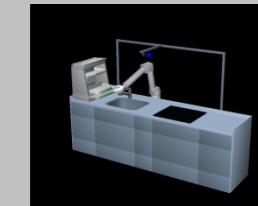
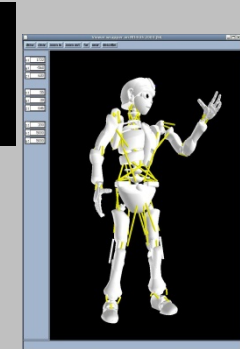
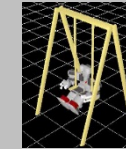


行動環境記憶表現

自律反応身体制御系

身体状態監視
実時間処理層
感覚系 動作系

仮想身体



身体構造感覚動作系表現

ロボットモデルコンパイラ -- RATS 2008-

26

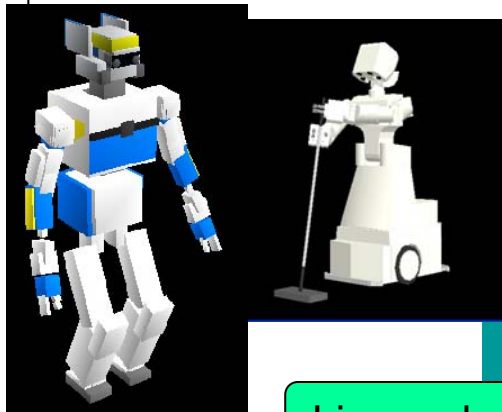
ーハードウェア依存部のライブラリコードの自動生成

EusLisp world (interactive)

C/C++ world

(realtime / high resource awareness)

- Rich in modeling functions
- Procedurally constructed 3D models

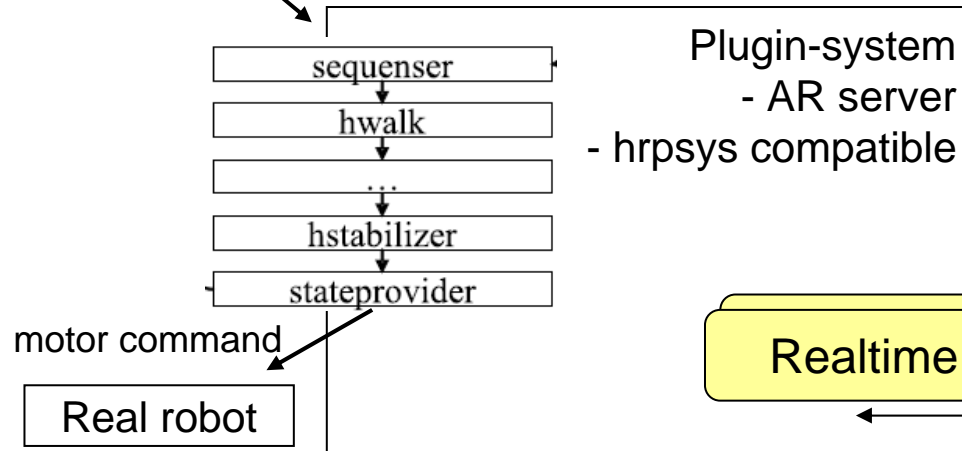
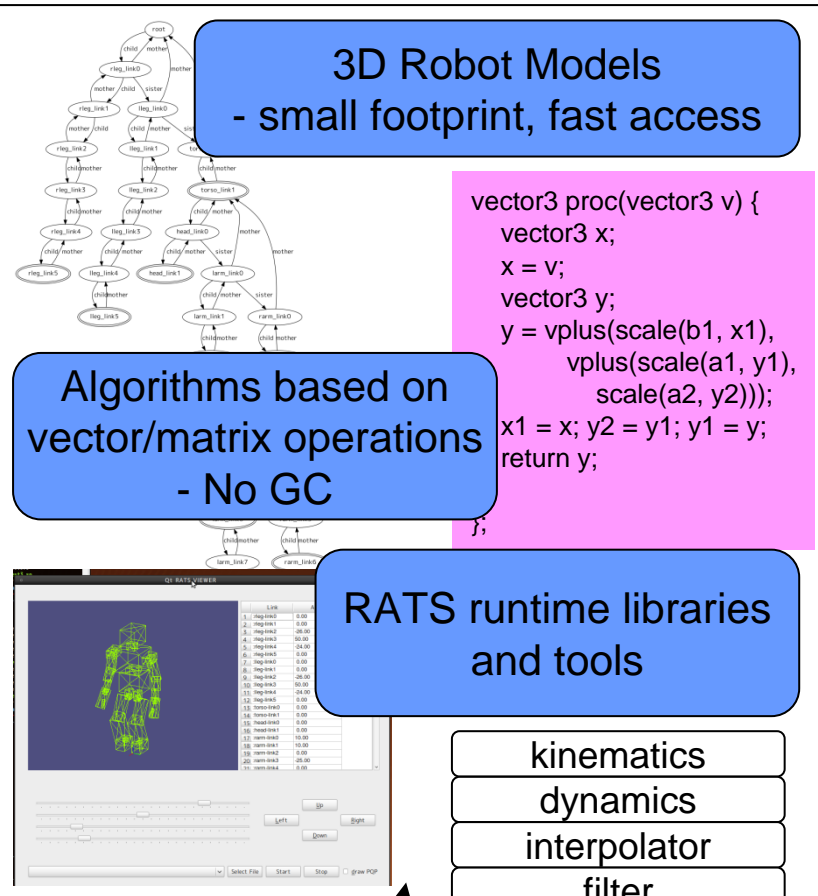


```
(:proc (v)  
  (let (y x)  
    (setq x v)  
    (setq y (v+ (scale b1 x1)  
                (v+ (scale a1 y1) (scale a2 y2))))  
    (setq x1 x y2 y1 y1 y)  
    y)))
```

Lisp code (small subset)

dump structures
in memory

translator



Realtime plugins

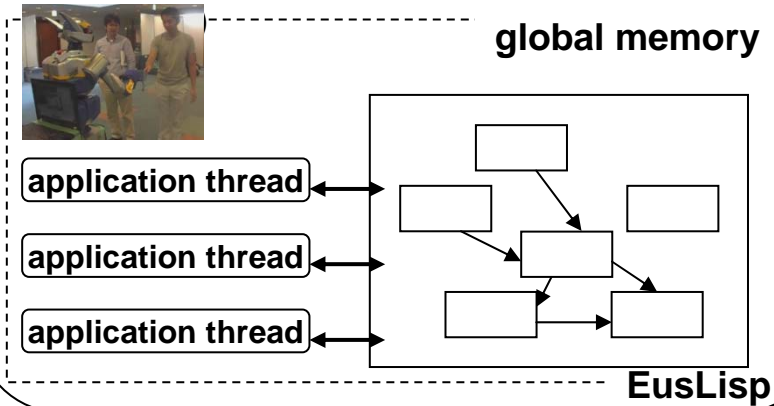
Applications using 3D Models

26

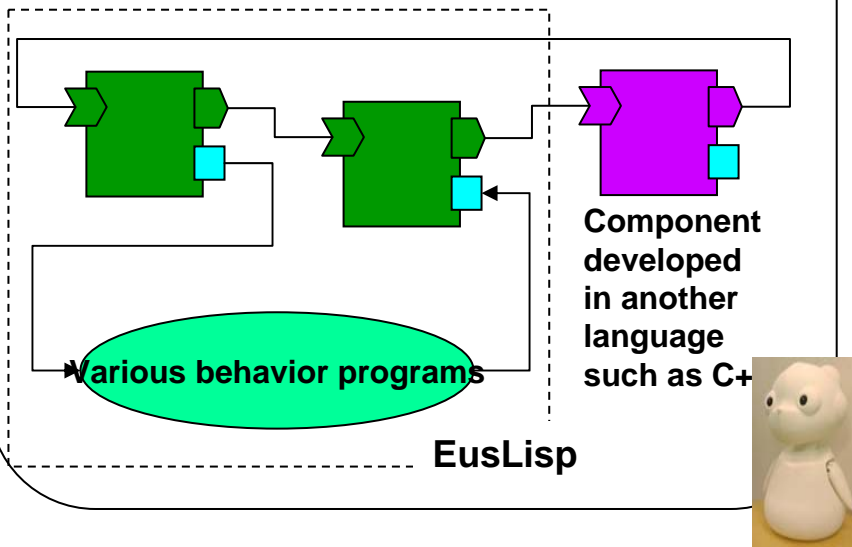
システム実現の構成形式

タスク記述言語 と 実時間処理システムの統合

(a) Implementation using threads and global memory (IRT- HPR2)

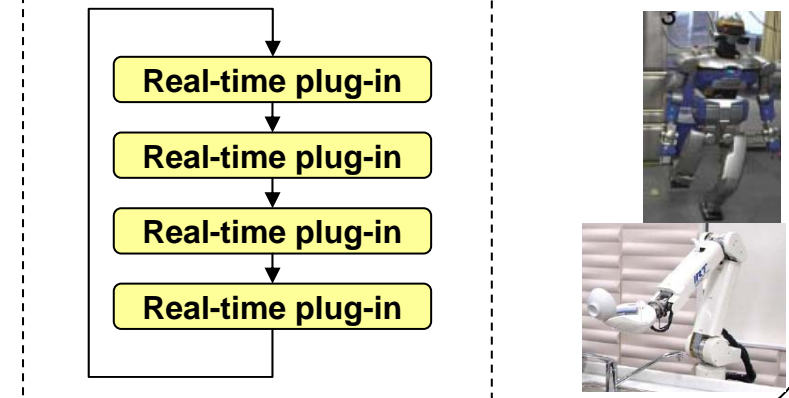


(b) EusLisp as runtime to execute RT-component written in Lisp (IRT-mamoru)

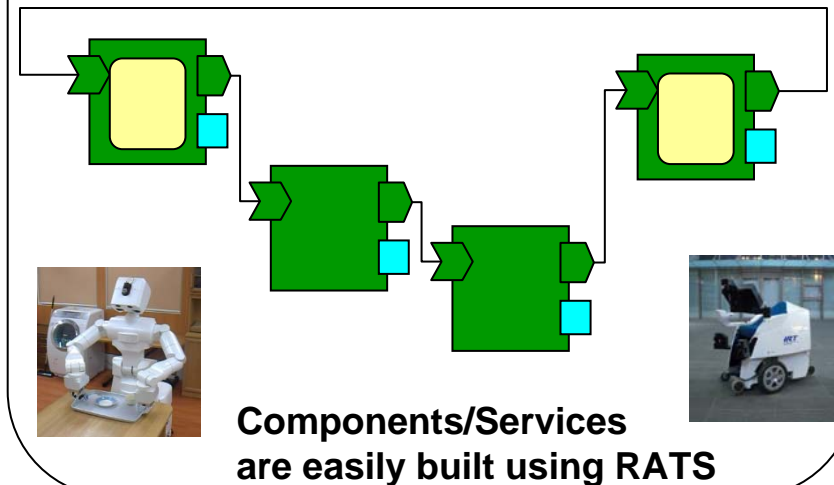


モデルコンパイル -> 組み込み

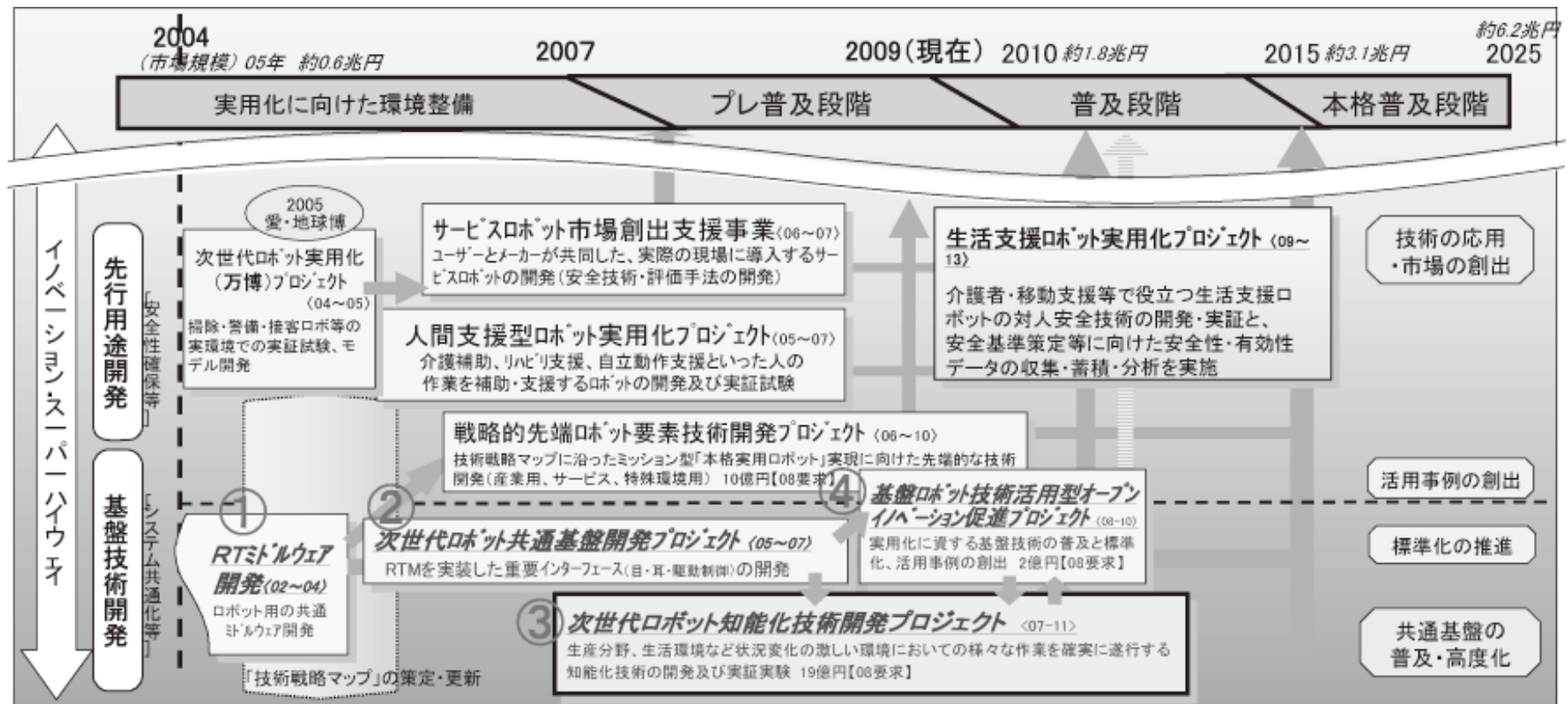
(a) Single loop plug-in architecture (HPR2, IRT-KAR)



(b) Distributed middleware (IRT-AR, IRT-PMR)



日本のロボットプロジェクト 経済産業省 技術戦略マップ 2009



NEDO ロボット基盤技術開発プロジェクト群と ロボット知能化プロジェクトのミッション

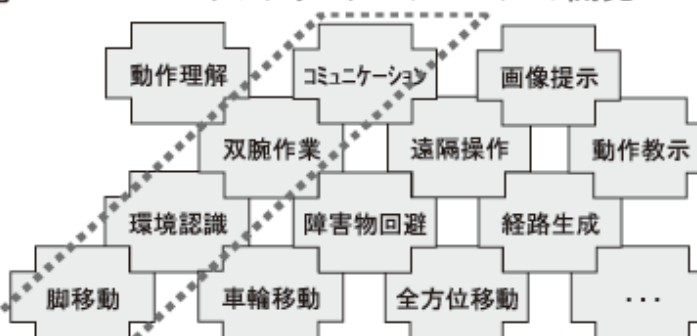
【ロボット知能化PJのミッション】

- モジュール化に基づいたロボット構成法において、
- ・RTミドルウェアにより接続可能なソフトウェア機能部品を開発すること
 - ・再利用性のある部品(知能モジュール)とすること
 - ・ソフトウェアプラットフォーム(開発環境)を整備すること

② 共通基盤PJ(2005-07) 画像モジュール等3種の開発



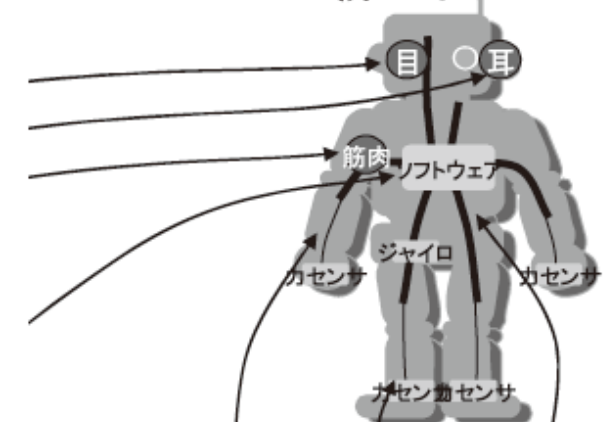
③ ロボット知能化PJ (07-11) ソフトウェアモジュールの開発



① RTミドルウェア

RTミドルウェアPJ (2002-04)

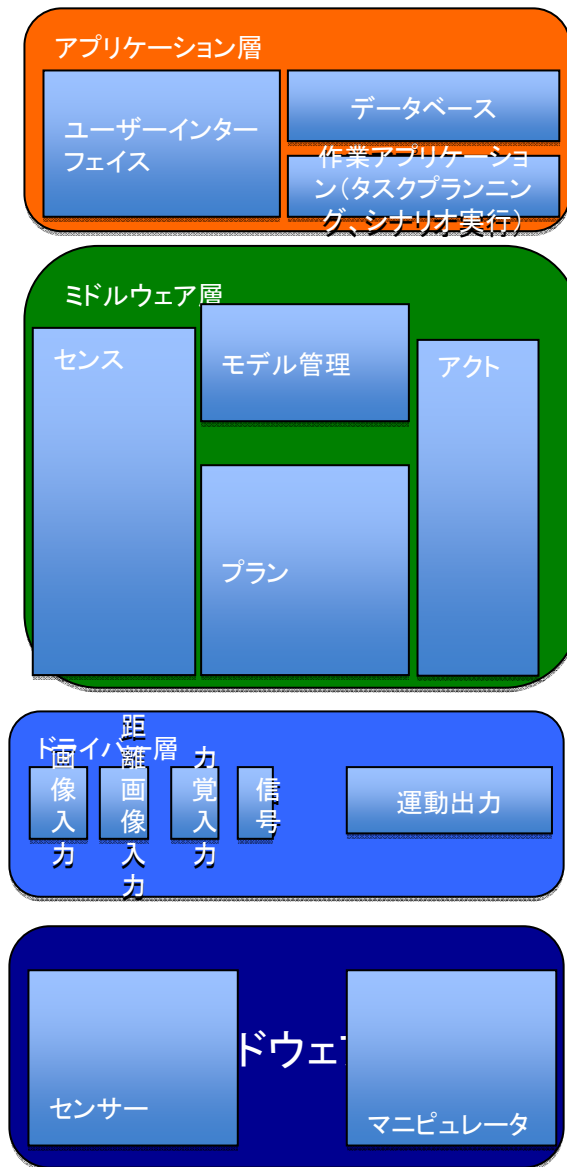
新ロボット



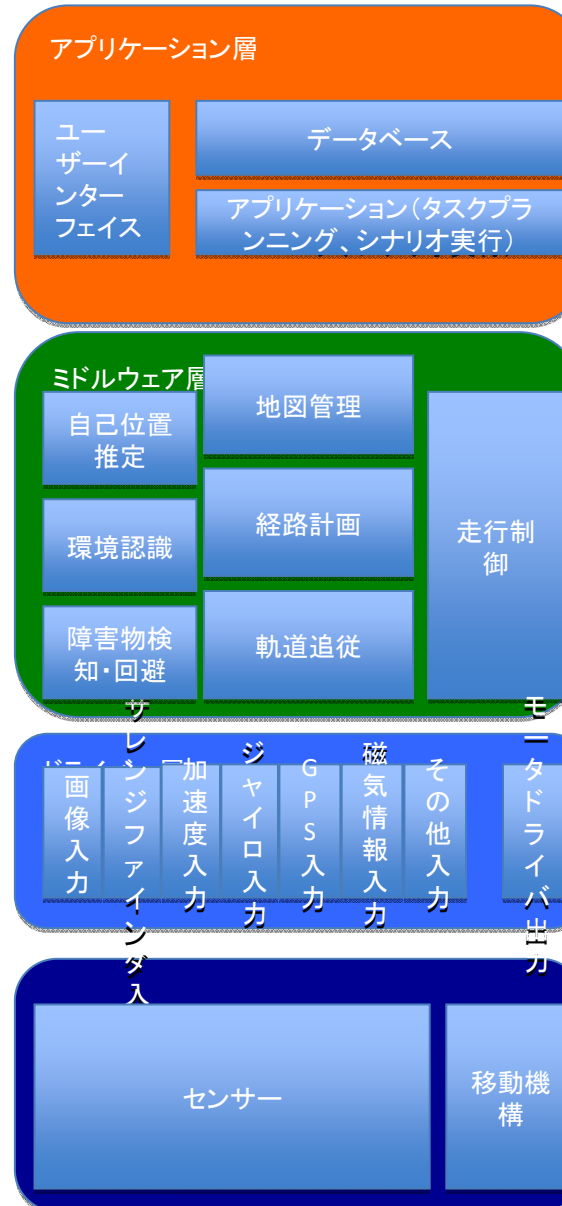
④ オープンイノベPJ (08-10)



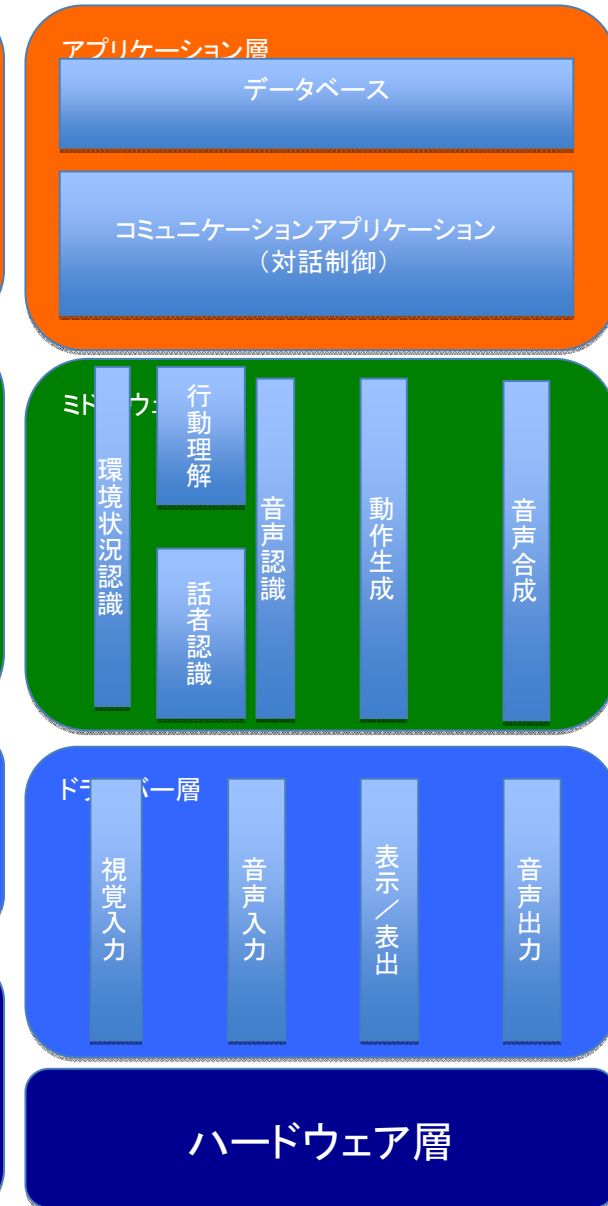
作業知能



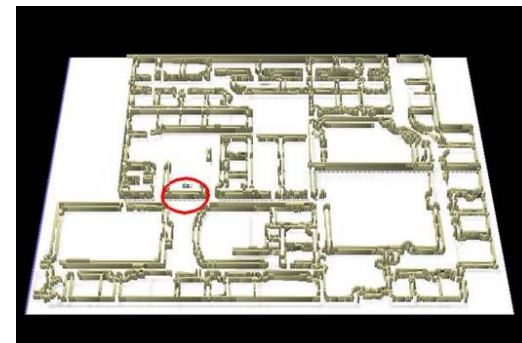
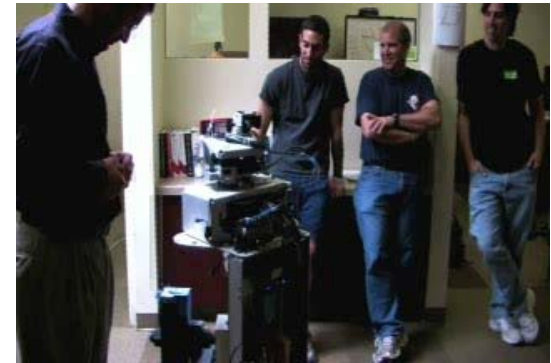
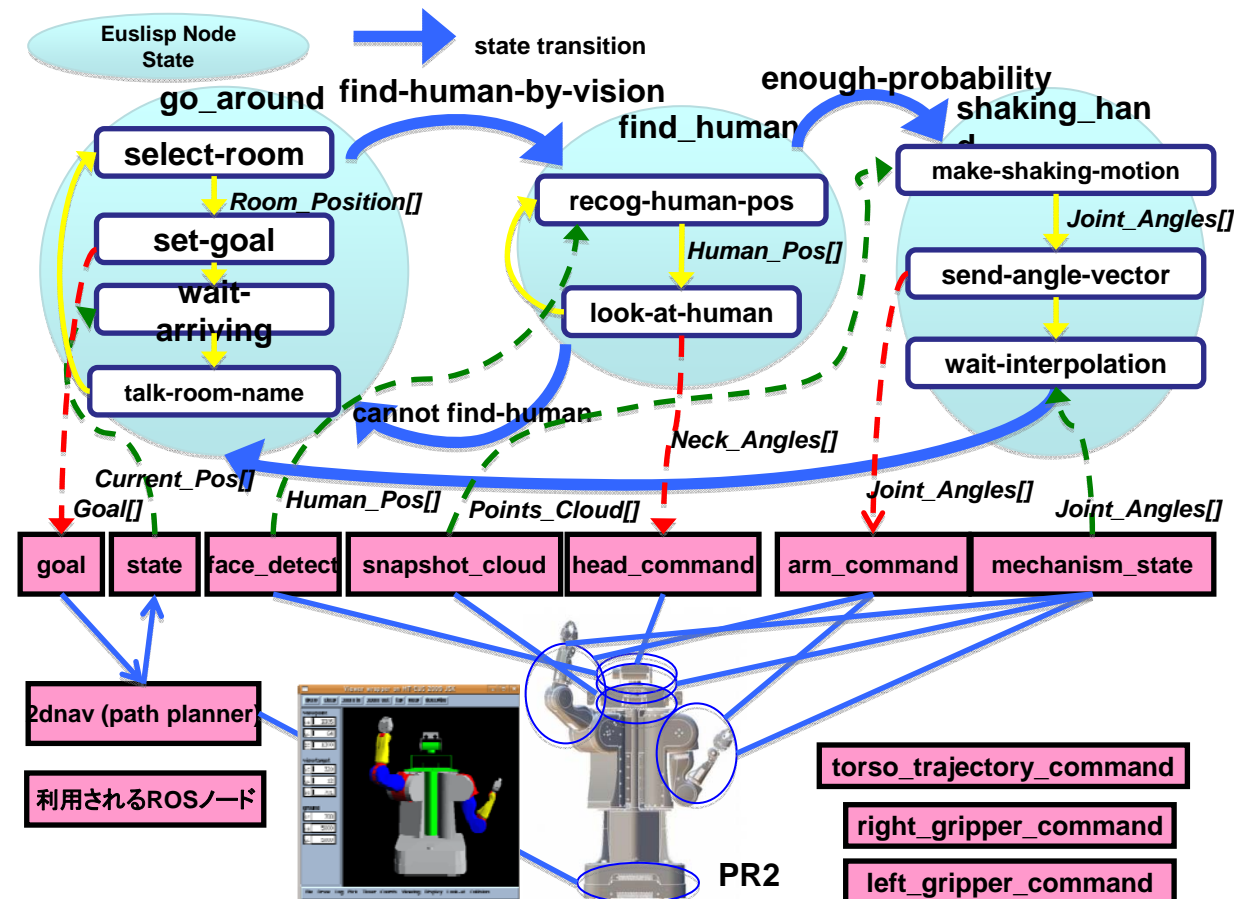
移動知能



コミュニケーション知能



オープンソースロボットソフトウェアの流れ



Willow Garage, Inc.,
 68 Willow Road
 Menlo Park, CA 94025
 T 650-475-2700
 F 650-475-2828

info@WillowGarage.com



At Willow Garage

2009.3.15-20

PR2 Beta プログラム 2010.2(CFP) 2010.5

PR2 Beta Program:
Call for Proposals

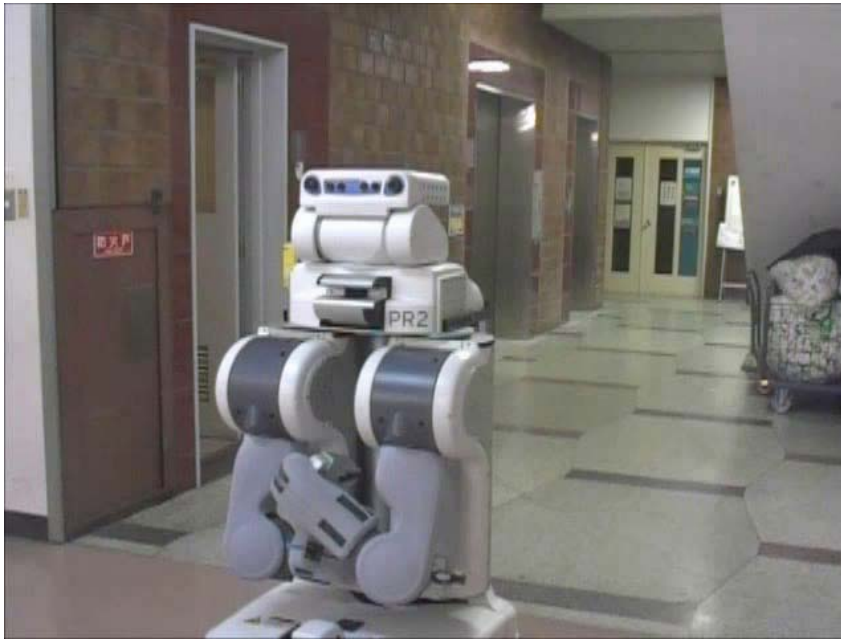


1. フライブルグ大学-片付け
2. ボッシュ-部品とShared Autonomy
3. ジョージア工科大学-高齢者支援
4. カソリックルーベン大学—
Orocos,Blender
5. MIT-HRI環境
6. スタンフォード大—ドア開け物探し運搬
7. ミュンヘン工科大学—認知抽象化マシン
8. UCバークレイ校—タオル操作たたみ
9. ペンシルベニア大学—家事ロボット
10. USC南カリフォルニア大学-学習・
11. JSK東大-日常生活支援プランナ



http://www.youtube.com/watch?v=ljm_AwaWMh8&feature=player_embedded#at=17

移動マニピュレーション 2010



エレベータを使って、1階から6階の部屋へ行き、電子レンジでお弁当を温めて、1階へ戻ってくる。

1階のフロアでお弁当を受け取る



エレベータボタン認識操作



食器棚の扉開け動作



引き出しを開ける動作教示

本講義 ソフトウェア実習

1. ロボットタスク記述言語

- 汎用計算機言語 Euslisp: OSS 2010
- jskeus(Euslisp+JSKlib), Python, C++, C

2. ロボットミドルウェア: OpenRTM

- ハードウェアモジュール、バイナリモジュール、オープンモジュール
- Windows, Linux上で

3. ロボットオペレーティングシステム: ROS

- オープンソフトウェア
- Ubuntu上のソース、バイナリ

4/20 第1回 イン트로ダクション

1. イントロー 講義予定、ロボット知能化プロジェクト
 - 1) 講義の位置付け・背景 稲葉雅幸 教授
 - 2) RTM チュートリアル 吉海智晃 特任講師
 - 3) ROS チュートリアル 岡田 慧 準教授
2. ロボットソフトウェアの相互運用 吉海、岡田
3. RTミドルウェア: RTM 吉海、矢口
4. Robot オペレーティングシステム: ROS 岡田
5. プランニングシステム: OpenRAVE 魯仙(R. Diankov)
6. ソフトウェアツール: ドキュメント、テスト検証 魯仙
7. 応用事例: 双腕マニピュレーション HIRONX 花井
8. 応用事例: 移動マニピュレーション M-HIRONX 松本(産総研)
9. 応用事例: ヒューマノイド HRP4 金広(産総研)
10. ロボットソフトウェアの発展的構成法 稲葉