

Mobile Robotics 移動ロボット: Technologies for the robots, which can move around the environment by itself 自分自身が環境内を動き回るロボットの技術

IRH 2015:
International Robotics Forum for High School Students
DECEMBER 04, 2015

Prof. Shin'ichi YUTA
Shibaura Institute of Technology

Introduction of Speaker

Shin'ichi YUTA, IEEE & RSJ Fellow

Professor, SIT Research Laboratories,
Shibaura Institute of Technology



- 1975 Dr. Engineering in EE, Keio University
- 1978-2012 University of Tsukuba
 - 1992- Professor
 - 2004-2006 Vice-President for Research and Industrial Cooperation,
 - 2006-2010 Director, Industrial Liaison Center
- 2012-present Professor (Adjunct), Shibaura Institute of Technology
- Currently:
 - Advisor, Tsukuba City
 - Invited Researcher, National Public Works Research Institute
 - NEDO Project Leader (Infrastructure Robot PJ.)
 - President, Next Generation Unmanned Construction Research Institute
 - Director Board, Fuji Soft Inc.

Research Field:

- Mobile Robotics, Autonomous Navigation,
- Field Robotics, Experimental Robotics,
- Robot Technology for Maintenance and Disaster Response

講師紹介: 油 田 信 一 (ゆた しんいち)

1975年 慶應義塾大学大学院工学研究科(電気工学)修了、工学博士
1975年 東京農工大学 電子工学科 助手
1978年 筑波大学 電子・情報工学系 講師
1992年 同 教授
1999年 同 機能工学系 教授
2004年 同 理事・副学長 (研究、産学官連携、社会貢献担当)
2006年 同 システム情報工学研究科教授
(2006-2010年)産学リエゾン共同研究センター長
2012年 芝浦工業大学 電気工学科 教授(特任)
2012年～ 土木研究所招聘研究員、つくば市顧問
2014年～ (株)富士ソフト取締役(社外)、次世代無人化施工技術研究組合理事長、
NEDO嘱託(インフラ維持PL)
2015年 芝浦工業大学 SIT総合研究所 特任教授



専門はロボット工学。

30年にわたって研究用自律移動ロボットプラットフォーム「山彦」の開発と、
自律移動ロボット技術や、ロボット技術の応用の研究を進めてきた。

IEEE Fellow (2000, Robotics & Automation Society)

日本ロボット学会フェロー(2004)

2009年 日本機械学会賞(技術)

2009年 IROS Harashima Award (IEEE)

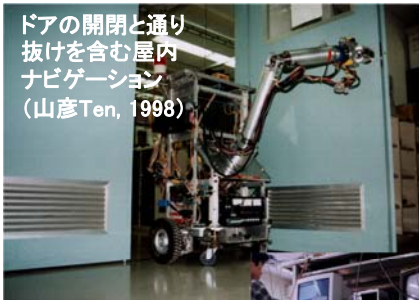
Topics of my talk 今日の話題

Dec. 4th, 2015

- Introduction 導入
- What is robot? What is robotics?
- Properties of Mobile Robot
- Autonomous Navigation
- Tsukuba Challenge

Autonomous Navigation in Real World 実世界の自律的なナビゲーション

ドアの開閉と通り
抜けを含む屋内
ナビゲーション
(山彦Ten, 1998)



GPSと視覚を用いた
キャンパス内の
ナビゲーション
(山彦 YM 2000)



研究室と工学系棟廊下における協調
ナビゲーション

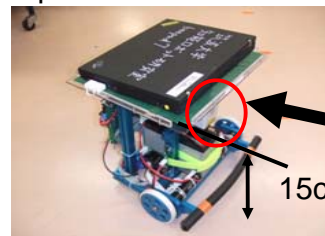
Examples of the robot motion By Yamabico robot platforms:

Autonomous Indoor Navigation

自律ロボット山彦によるロボット動作の例: 屋内の自律ナビゲーション

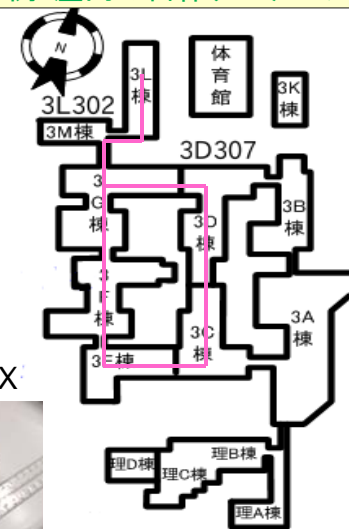


SpeeGo2007



URG-04LX

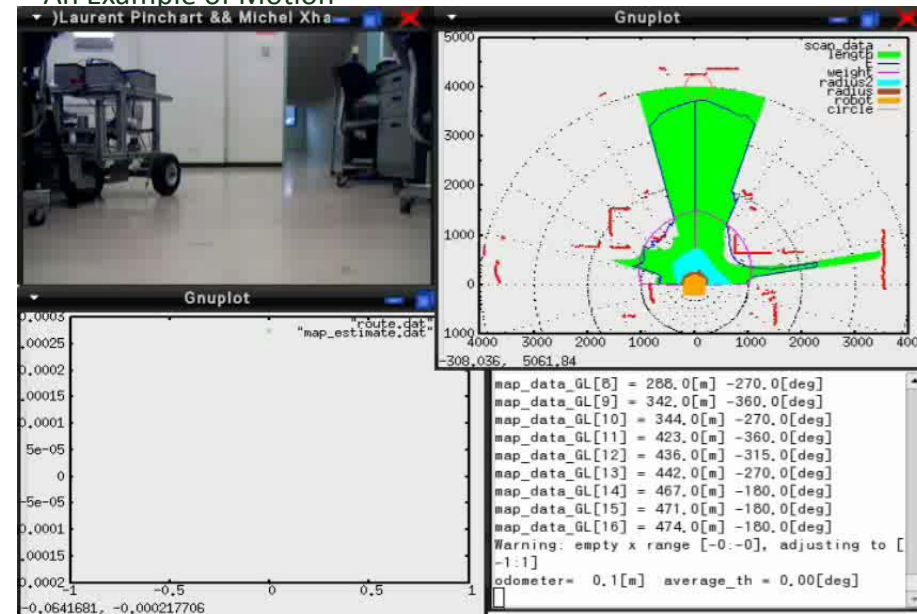
15cm



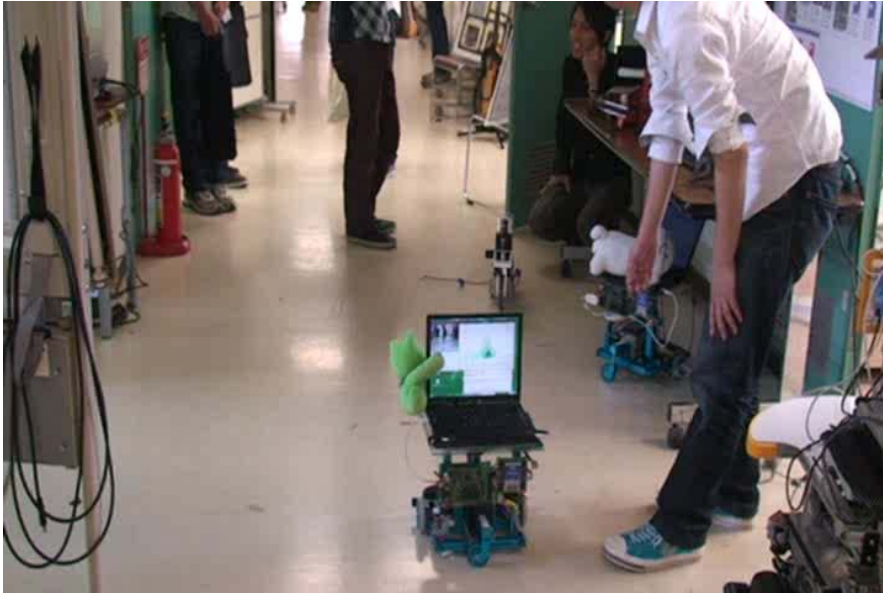
An Example of Motion



An Example of Motion



An Example of Motion



Topics of my talk 今日の話題 Dec. 4th, 2015

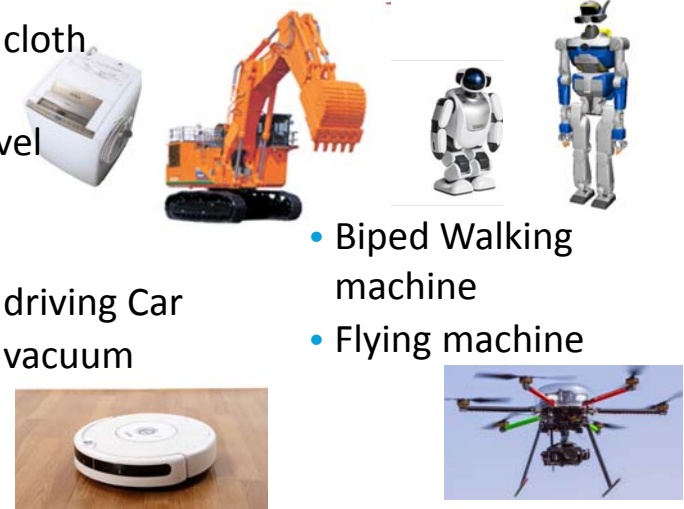
- Introduction
- **What is robot? What is robotics?**
ロボットは何か、ロボット技術とは？
- Properties of Mobile Robot
- Autonomous Navigation
- Remote Control of Working Machine

What is robot? ロボットとは何か What is robotics / robot technology? ロボット学・ロボット技術とは？

- Machine with sophisticated mechanism and control
洗練されたメカニズムと制御法
- Machine system which performs **useful task** in the **real world**
実世界で意味ある仕事をする機械
- **Referenced with human and animals**
人間や動物を参考に
- Machine which can be felt friendly
親しみを持てる機械

What kind of Machines are called Robot? どのような機械ならロボットと呼べるか

- Automatic cloth washer
- Power shovel
- TV game
- Automatic driving Car
- Automatic vacuum Cleaner
- Biped Walking machine
- Flying machine



Industrial Robots 産業用ロボット



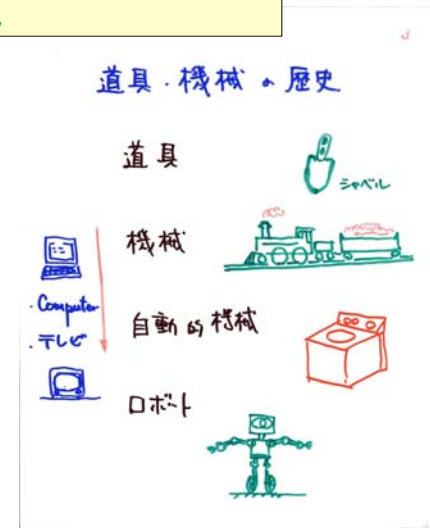
©東芝機械



©三菱重工産業機器株式会社

History of Tools and Machine 道具と機械の歴史

- Tools (passive)
道具: 受動的
- Machine (powered)
機械: 外部を発生
- Automatic Machine
自動機械
- Robot ?



Use Machines 機械を使うこと

- Do things which usual people can do
人が出来ることをする
(as an alternative of people)
- Do things which people cannot do
人に出来ないことをする
(as the machine, as an alternative of witch)
 - Move with high speed 高速動作
 - Move the heavy material 重いものを持つ
 - Execute precision task 精密な動き
 - Work without tiredness 疲れを知らない
 - Repeat same things 飽きずに繰り返す

Robot as Useful Machine 便利な機械としてのロボット

- Relief for Human 人を楽にする
 - Execute Tasks Human Does 人に出来ること
- Act as machine 機械として働く
 - Execute Tasks Human Cannot Do 人に出来ないこと

Expectation for the Robots ロボットへの期待

- Substitute What Human Can Do 人の代替
 - As Replacement of Human
- Act What Human Can Not Do 機械としての働き
 - As a Machine
- Expected Role for Robots: ロボットに期待される役割
 - ◆ Reduce the Load of Human and Reduce Personnel Costs 人の負荷の軽減
 - ◆ Make the Work Precise and Accurate, or Large-Scale and Heavy Weight 人より良い性能
 - ◆ Expand The Working Environment to Dangerous Site 人がいけないところでの働き

Things people can do 人に出来ること

- Use Hands 手を使う
 - Make something, assemble
- Use Legs 足を使う
 - Go to somewhere どこかへ行く
 - Bring something ものを運ぶ
- Use Brain 頭を使う
 - Watch, Listen, Think, Remember 見る、聞く、考える、覚える
 - Use Tools 道具を使う

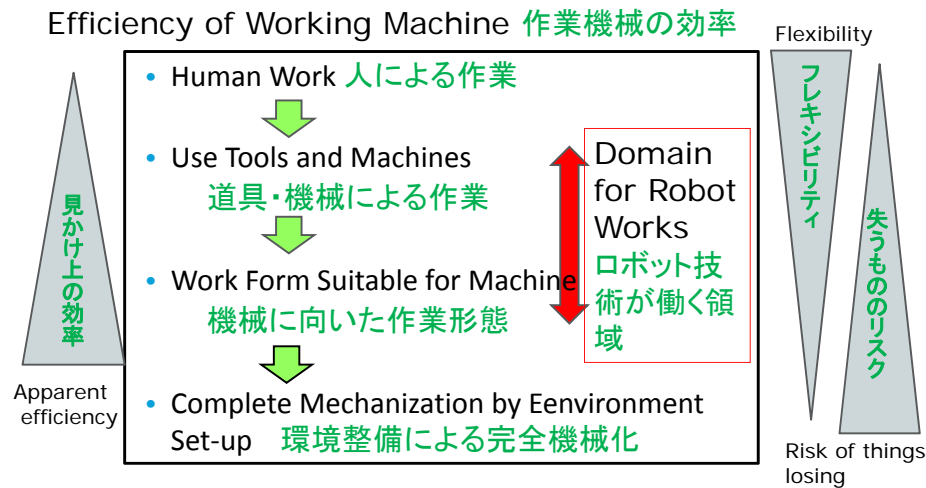
Things that (old) witch did 魔法使いに出来ること

- Talk to distant people 遠くの人と話す
- See from far away 遠くを見る
- Bring Heavy Materials 重いものを持つ
- Run thousand miles a day 1日に1000Km走る
- Fly in the sky
- Light dark street 暗いところを照らす
- Build big house in short time 短時間で家を建てる
- Enter into micro world マイクロの世界へ行く
- Go to space 宇宙に行く

Functions Robot Technology Pursue ロボット技術が追求する機能

- ✕ Functions of Witch = Results of 20 century technology 魔法使いの能力 = 20世紀型価値観の成果
 - Fly in the sky 空を飛ぶ
 - Light dark place くらいところを明るく照らす
 - Bring heavy materials 重いものを運ぶ
 - See distant place / Talk with distant people 遠くの状況を見る / 遠くの人と話す
- Functions of People 人の能力 = ロボットが追求する機能
 - Walk to somewhere 歩いてどこかへ行く
 - Make something by hand 器用に手を動かして何かを作る
 - Recognize and Judge by seeing ものを見て判断する
 - Understand other people 人の気持ちが分かる

Domain of Robot Technologies as working machines
 ロボット技術が働く領域 (例:作業の機械化の中で)



Tasks robot is requested to perform
 ロボットに期待される仕事

- Meaningful task 意味ある仕事
- Task which people usually does
- Task expected to be done by people 人がやっている仕事
- Task people does not like to do 人がやりたくない仕事

Tasks people can do but not easy by the robots
 人に出来てロボットに難しいこと

- Complicated task 複雑な仕事
- Sensible work, to meet the situation 微妙な仕事、状況にあった仕事
- **Correspond to people** 人への対応
- **Service to human** 人へのサービス

Robot Technology ロボットの技術

1: Object Handling, Manipulation
 もの(対象物)の操作

➡ < Manipulator, Arm >

Object Recognition, Skillful Motion



2: Mobility, Move itself
 自分自身の移動

➡ < Mobile Robot >

Environment Recognition, Path Planning

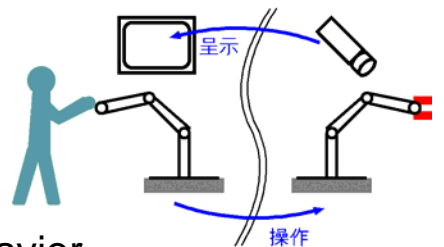


Robot Technology for Work Task ロボットに仕事をさせる技術

1: Tele-operation

遠隔操作

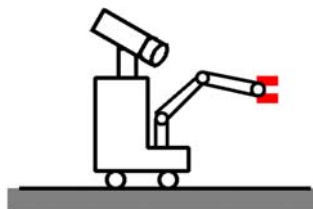
Human-machine
Interface



2: Autonomous Behavior

自律動作

Autonomy, Self-contained,
Adaptive Action



How Robots Work?

ロボットはどのように仕事をするか

- by Remote control 遠隔操作
- by Teaching – Playback 教示・再生
- by Program プログラム
- Autonomously 自律的に

Intelligence of the Robot ロボットの知能

- Intelligence of Human/Animal / life

人間や生物の知能:

Objective (Intelligence can be a goal)

それ自体が目的となりうる(生き延びるため)

- Intelligence of Robot ロボットの知能

Intelligence to perform the task or work : a means for
task

作業を達成するための手段

Intelligent Robot 知能ロボット

- Realize a **complex task** in the **complicated environment**

複雑な環境で複雑な仕事を行う

- Ability to deal real world
- Performance to complete given task

- Realize the task with **simple instruction**

仕事を簡単に指示できる

- Good human interface
- Versatility and multipurpose (from user's view point)

Elemental Technology for Robots — for cognition and control

ロボットの要素技術 — 制御とセンシング

- Actuator アクチュエータ
 - High Precision, Small size, Low power
- Control 制御
 - Control of multi degree of freedom, Learning in motion
- Sensor センサ
- Recognition of Environment and Situation
環境と状況の認識
 - Real time
- Embedded Controller 組み込みコンピュータ

- Modularization of Element Functions
各機能のモジュール化

Elemental Technology for Robots — for Human Interface

ロボットの基礎技術:ヒューマンインタフェース

- Operation Interface 操作インタフェース
 - Understand of Operator's Intention
 - Present of Situation to Operator

- Compatibility with Operator / User 人との共存
 - Physically, Mentally
- Provide Amenity and Satisfaction to Human
人へのサービス/満足の提供

Elemental Technology for Robots — for System Design

ロボットの要素技術:システムのデザインとシステム構築

- Mechanism , Material メカニズム、材料
- Power and Energy パワーとエネルギー供給
- System Integration システム構築
- System design for task and environment
作業と環境に応じたシステムデザイン
- Safety・Reliability, Robustness
安全性、信頼性

Social Problems for Use of Robots


ロボットを使い、活かすための社会的な要素

- Social Acceptance 社会の受け入れ
 - Expectation and Agreement by Society
 - Usefulness, Safety, Dependability
 - Regulation
- Economy 経済性
 - Market
- Infrastructure in Society 社会インフラとしての設備

Useful Tasks by Robots ロボットにさせる仕事

- Work Task 作業
 - Support / Help Human's Work
Remote Task (Space, Deep Sea), Hazard Work,
Micro Operation, Enhancement Operator's Skill
 - Autonomous Execution of Tasks
- Service Task 人へのサービス
 - Support / Help Human's Life
 - Provide an Amenity

Environment of Robots with Advancement of Robot Technology ロボットが働く環境の拡がり

- 
- Industrial Robot 産業用ロボット
in Factory — Support Production Line
 - Field Robot フィールドロボット
Construction, Agriculture
— Support Production Activity
 - Service Robot サービスロボット
Home, Human's Life Environment
— Support Daily Life

Topics of my talk 今日の話題

Dec. 4th, 2015

- Introduction
- What is robot? What is robotics?
- Property of Mobile Robot 移動ロボットの特性
- Autonomous Navigation
- Tsukuba Challenge

Expected Tasks for Mobile Robots

Expected Tasks:

- Playmate -Cleaning
- Living support
- Security Guard
- Route guide
- Luggage transportation
- Delivery
- Material handling
- Grass mowing - Harvest
- Public works
- Maintenance -Mining
- Probing

Amenity Task:

for People in daily life

Service Tasks:

for Senior person, Handicapped or Healthy person

Management Task:

for People, Animals, Materials

Field Tasks

Release from hazardous work,
Jobs without entrance at place

移動ロボットに期待される作業と対象

作業内容:

- 遊び相手
- 生活支援
- 道案内
- 配送
- 草刈り
- 土木工事
- メンテナンス
- 採掘作業
- 掃除
- 警備
- 荷物運搬
- 搬送
- 収穫
- 探査

・アメニティタスク

→ 一般生活者

・サービスタスク

→ 高齢者・障害者・健常者

・管理タスク

→ 人間・動物

・フィールドタスク

→ 苦渋作業からの解放

→ 人間のいけないところ

Tasks and Environment for Mobile Robot

Environment

Home
Indoor
City area
Street
Farmland
Construction site
Mine
Waste-land
Ocean
Space

Expected Tasks:

-Playmate -Cleaning
-Living support
-Security Guard
-Route guide
-Luggage transportation
-Delivery
-Material handling
-Grass mowing -Harvest
-Public works
-Maintenance -Mining
-Probing

移動ロボットに期待される作業と環境

環境:

- 家庭内
- 屋内
- 市街地
- 道路
- 農地
- 建設現場
- 荒地・鉱山
- 深海
- 宇宙

作業内容:

- 遊び相手
- 生活支援
- 道案内
- 配送
- 草刈り
- 土木工事
- メンテナンス
- 採掘作業
- 掃除
- 警備
- 荷物運搬
- 搬送
- 収穫
- 探査

Size of Working Space of the Robots

移動ロボットの特征: 行動・作業空間の大きさ

- Manipulator: マニピュレータ
same size with the robot
ほぼロボット自身の大きさ
- Mobile Robot: 移動ロボット
much wider than robot size
自分自身の大きさの数百～数千倍

Huge Size of Working Space

Difficulty on Realizing
Real Useful Mobile Robots

- various and complex environment
- difficult to keep tidy and clean
- difficult to have accurate model
- dynamically changing
- shortage of sensing and perception power

→ difficult to know real environment

働く移動ロボットの実現の難しさ

作業空間の大きさ

- 環境の多様さと複雑さ
- 環境整備の難しさ
- 正確なモデル作成が不可能
- 時々刻々の変化

人間と比較したセンサ能力の不足

環境を知ることの難しさ

Robot's work environment ロボットの稼働環境
Real World 実世界

- Physical conditions 物理的条件
 - Inertia
 - Friction
- Social condition 社会的条件
 - Human custom
 - Social system

Key Issues for Real World Problem 実世界問題のキーポイント

- Real World is not simple
- Understand Mission/Task
問題の理解
- Understanding environment
環境の理解

Examples of Mobile Robot Mechanisms and their Motion

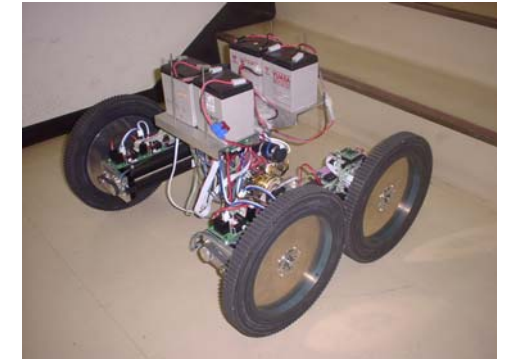
移動ロボットのメカニズムとその制御 — 例

- Climbs up/down stairs
- Mono wheel robot – Balancing control
- Wall climbing by magnet wheels
- Mobile manipulator opens/closes doors and passes through them
- Traverse rough terrain
- Climb up/down steep and rough slope at mountain

Climb up/down Stairs

信頼性の高い階段昇降のためのメカニズム

- Novel Mechanism with Wheels and Rotating Arms
- No-Slippage Control of Wheels
 - For Robust Motion and Accurate Positioning
- Distributed Architecture of the Controller



Autonomous Navigation to another Floor – 階段昇降を含む自律ナビゲーション実験



Mono Wheel Robot 一輪車ロボット



Ichiro demo

Wall Climbing Robot with Magnet
Wheels for Bridge Inspection
磁石車輪による移動体



Crawler and Sub-Crawlers for high
Mobility
高い走破性を持つサブクローラつき
のクローラ車両



Mobility Experiments at Mt.Asama
浅間山の急斜面における走行実験



Track-walker

Topics of my talk 今日の話題

Dec. 4th, 2015

- Introduction
- What is robot? What is robotics?
- Properties of Mobile Robot
- **Autonomous Navigation**
自律ナビゲーション・自動運転
- Tsukuba Challenge

Navigation in Real Environment 実環境内のナビゲーション

- Move to given destination
目的地まで行く
 - Basic function for autonomous robot
- Using the Map / No Map
地図がある場合／ない場合
 - Map: Concrete environment Model
 - Function to make map

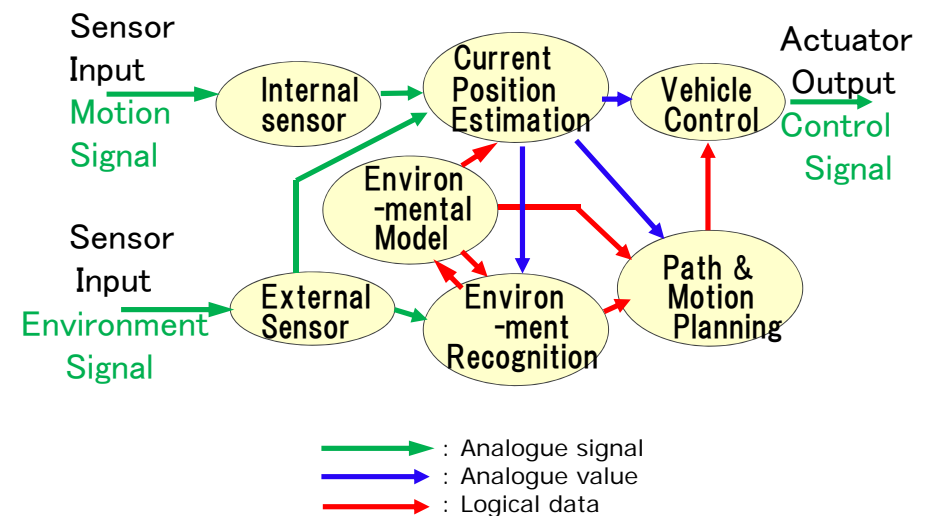
Realization of Navigation Task ナビゲーションタスクの実現

- Pre-given 事前情報
 - environment map 環境地図 : logical information 論理的情報
 - + Sensor data センサデータ : analogue signal アナログ信号
- Real Time 実時間(オンライン)
 - Path planning 経路計画 : logical information 論理的情報
 - + Motion control 動作制御 : analogue signal アナログ信号

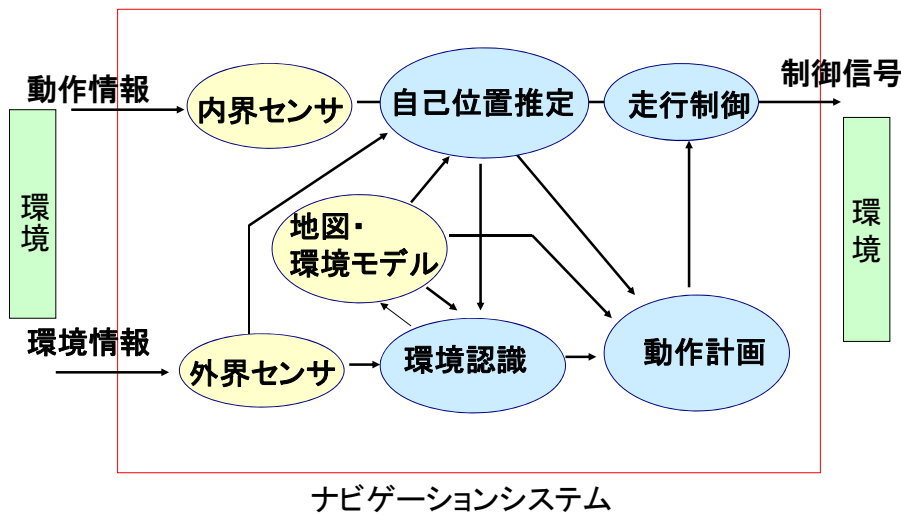
Strategy for Autonomous Navigation 自律ナビゲーションの戦略

- Use of **Global Coordinate Frame** for Planning and Control
動作計画と制御には世界座標系を利用
- Collaborative Use of **Sensor and Pre-given Map** Information for
 - Environment understanding
 - Position estimation
 環境認識と自己位置推定には事前地図とセンサを組み合わせる
- Divide the Problem to 問題を2ステップに分ける
 - Off-line Planning Stage
 - On-line & Real Time Control Stage

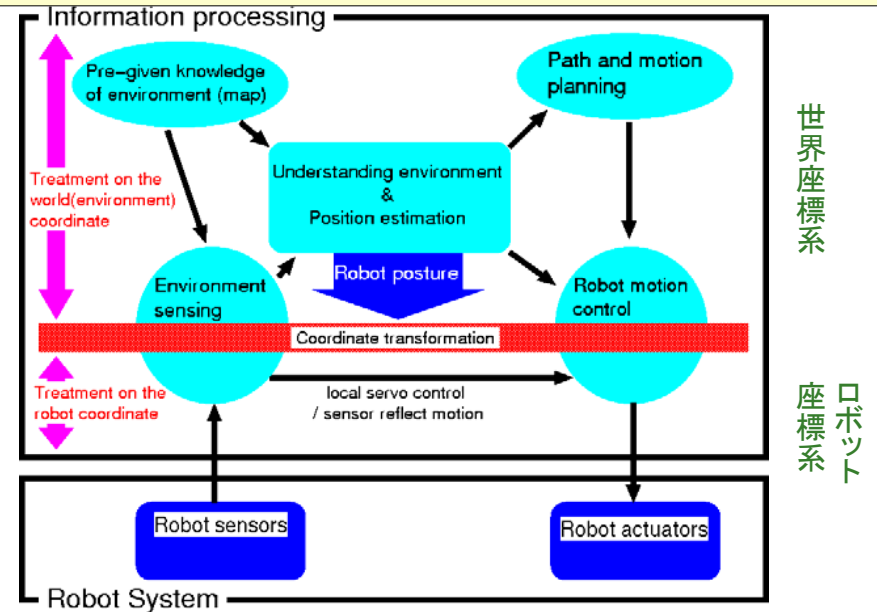
Real Time Signal Flow Architecture for Autonomous Navigation



実時間自律ナビゲーションシステムの信号構造



Coordinate frames for navigation ナビゲーションのための座標系



Positioning 自己位置推定

- Global Positioning
グローバルポジショニング
 - Without initial position information
- Position tracking
自己位置追跡
 - Based on motion measurement

Position Tracking in World Frame 世界座標系における自己位置追跡

- Accumulation of robot motion signal
ロボットの動きの情報の累積
 - Continuous use of internal sensor and/or scan matching
 - Estimate robot position and error covariance
自己位置のみでなくその誤差も推定(確率的自己位置推定)
- Discrete and asynchronous use of external sensor
時々(間歇的に)外界センサと地図の照合を行う
 - Fuse with dead-reckoning by MLE (extended Kalman Filtering)

Navigation to another Room:
Mobile manipulator opens/closes doors
and passes through them
自律移動モバイルマニピュレータによる
ドアの通り抜け



Autonomous Navigation with Door
Opening/Closing (Yamabico-ten, 1998)

KEI-Door Opening

Example of Position Based Robot Navigation: 自己位置推定に
基づく自律ナビゲーションの例
An Automatic Returning Push Cart - Using the Teaching-Playback
Navigation 自律帰還機能を持つ台車



Topics of my talk 今日の話題

Dec. 4th, 2015

- Introduction
- What is robot? What is robotics?
- Properties of Mobile Robot
- Autonomous Navigation
- Tsukuba Challenge つくばチャレンジ

Tsukuba Challenge つくばチャレンジ

-- Open Experiments on Autonomous
Navigation of Mobile Robots in Tsukuba City
市街地における移動ロボットの自律ナビ
ゲーションの共同実験



- Purpose 目的:
 - Realize **Reliable Autonomous Navigation**
Functions 信頼性の高い自律移動機能の実現
 - Stimulation in the **Real World Robot Technology**
実世界ロボット技術の推進
 - Getting a **Proper Understanding by Usual People**
on the "State of the Arts" in Robot Technology
市民のロボット技術の現状への理解

Mission for Robots ロボットが達成すべき行動



- ★ **Autonomous** run of 1km+ on the usual pedestrian street and city park **1km+の自律走行**
Find people with defined clothes **特定の服装の人を探す**
- ★ **Environment** should be **as they are** (no artificial change)
= **Real World** あるがままの環境
 - No special treatment for the surface of the street
 - No postpone at any weather (even at rain)
 - There may be pedestrians or bicycles

Tsukuba Challenge つくばチャレンジ

<http://www.ntf.or.jp/challenge/>

- Real World Robot Challenge **実世界のチャレンジ**
 - Not a “Competition” **競技ではない** → No Order
 - Define a Common Mission **共通課題を設定**
and Share the Place of Real World Experiment
共同実験
 - Disclose Technical Information and Share Experiences **経験の共有が目的**
- **No Prize!** 賞金や賞はなし

Tsukuba Challenge – Purpose: つくばチャレンジの目的

Compatibility with Society **社会との共存**

For the Robots Work with the People Living in the Same Environment, **Robot Should**

- **Never Harm People**
- **Never Give a Feeling of Frightened or Discomfort**
- **Never Give a Damage on Any Object in Environment**
- **Not Disturb People nor be Obstructive for the Working Object in Environment**

Tsukuba Challenge – Purpose つくばチャレンジの目的

Technology for Autonomous Robot
自律ロボット技術

For Autonomy, **Robot Should**

- **Have all Functions as Energy Source or Information Processing in the Body,**
ie. **Self-Contained** **自律性と自立性**
- **Be Prepared all Necessary Hardware, Software and Environment Information to Complete the Mission** **必要なことは事前に準備する**

Tsukuba Challenge – Condition for robots' Environment つくばチャレンジ:環境に関する条件

- **Environment** should be, **as they are** No special treatment for the surface of the street
 - No postponed even in case of rain
 - There may be pedestrians and bicycles**ロボットのためには整備しないあるがままの自然条件**
- Environment depends on the **Weather**
 - **Surface Condition of the Roads Depends on the Weather of the Previous Days,**
 - **Water pool or Fallen Leaves May Remain on the Road**
- Environment may also Depend on Social Conditions
- Any Objects Originally Existing in the Environment May be Used as a Guide for Navigation, But not Artificial Change can be Made or added on the Environment.

Requirement for the Robot For Safety and Compatibility with Society 安全のためのロボットへの制約条件

- Robot size less than 75cm (W), 120cm (L),150cm(H)
- Robot weight less than 100kg
- Maximum speed 4km/h
- Emergency stop switch
- Accompanying operator for emergency when the robot moves by power
- Robot should be Designed in accordance with environmental and ecological attention

Technologies for Completing the Task タスク達成のための技術

- Wide Range of Possibilities / Strategy
- Total Design / Element Selection
 - **Imagination to the Possible Situation**
 - **Interface with People**
- Test and Design / Development Cycle
- **All Participants tried Necessary Developments Independently.**
参加者は各自で工夫している

Technologies (Hardware) ハードウェア技術

- Vehicle Mechanism **メカニズム**
 - **Wheel / Track**
 - **Suspension**
 - **PWS / Steering**
- Battery / Power Management **電源**
- Motors / Drivers **モータ、駆動回路**
- Sensors **センサ**
 - **Odometry**
 - **IMS / Gyro / Accelometer**
 - **GPS**
 - **Vision Camera / Lidar (Sokuiki Sensor)**
 - Single / Multiple / Scanning
 - **Magnetic**
 - **Ultrasound / Audio**

Technologies (Control) 制御技術

- Control Strategy 制御の方針
 - Detail Position Estimation / Road Following
 - Teaching Playback / Motion Design
- Map 地図の作成法
 - Measured / Self-made
 - Google / Provided by Local Government
- Positioning 自己位置推定
 - GPS
 - Land Marks
 - Selection
- Rotot Motion Control 動作制御
 - Collision Avoidance / Safety

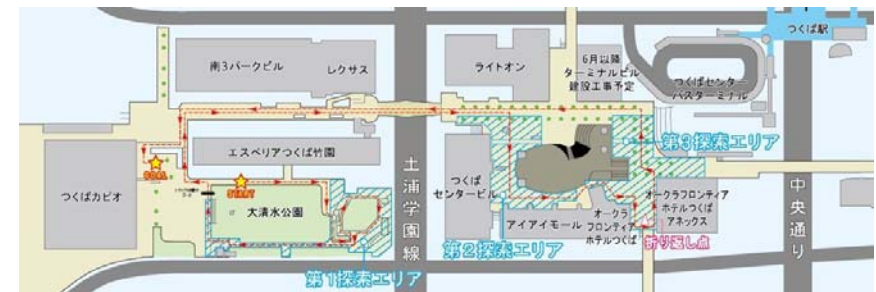
Technologies (Developing Environment) 開発環境

- Hardware / Software ハードウェアとソフトウェアの開発体制とツール
 - Monitoring / Record
 - Online / Offline
 - Wired / Wireless
 - Simulation
 - Sensing / Decision / Motion
 - Tools
- Operator Interface 操作インタフェース

Robots Achieved the Assigned Mission in 2011 つくばチャレンジ2011課題達成のロボットたち



Course Assigned as the Mission in 2014 and Search Area つくばチャレンジ2014の課題コースと探索エリア



Length of course: 1.43km

Number of people to be found at each Area
各々の探索エリアの探索対象の人数

- Area1: 1
- Area2: 2
- Area3: 2



Robots Achieved the Assigned Mission in 2014
2014課題達成ロボットたち



筑波大学知能ロボット研究室
Robolin.jp (Rossey)



防衛大学校 滝田研究室
(Smart Dump 8)



群馬大学ミツバチーム (MG14)



尾崎研究室 (宇都宮大学) (sara)

Course Assigned as the Mission in 2015 and Search Area
つくばチャレンジ2015の課題コースと探索エリア



Course Length: 1.54km
Target People to be fund: 4

Scenery of Tsukuba Challenge 2015



Scenery of Tsukuba Challenge 2015



Thank you for your attention

ご静聴ありがとうございました



Autonomous Navigation with Door
Opening/Closing (Yamabico-ten, 1998)

Scenery in Tsukuba Challenge



Email: yuta@ieee.org