

解説

大学学部向けロボット教材開発とその活用実践

Development and Evaluation of the Robotics Educational Material for Engineering Training in the Undergraduate School

水 川 真* 安 藤 吉 伸* 春 日 智 恵* *芝浦工業大学工学部電気工学科

Makoto Mizukawa*, Yoshinobu Ando* and Chie Kasuga*

*Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Shibaura Institute of Technology

1. は じ め に

ものづくり基盤技術は、国民経済のあらゆる領域にわたり、その発展に寄与するとともに国民生活の向上に貢献してきた。しかし、近時、就業構造の変化、経済の多様かつ構造的な変化による影響を受けてその衰退が懸念されるとともに、若年者を中心としたものづくり離れ、さらには熟練技能者の高齢化等によりものづくり基盤技術の継承が困難になっている。このような背景の中、ものづくり基盤技術振興基本法（平成 11 年法律第 2 号）第 9 条の規定に基づき、ものづくり基盤技術基本計画が当時の大蔵省をはじめとする各省により定められた [1]。その中で「学校教育におけるものづくり教育の充実」が掲げられ、それに伴い多くの教育機関からその成果が報告されている [2]～[19]。

芝浦工業大学では、小学生から大学生にいたる広い層を対象に、それぞれのレベルに応じて各種教材およびそれらを活用するためのプログラムを実践する中から開発してきた。この一連の活動に対して、2003 年度にはロボット教材を用いた創造性教育の総合的取り組みとしてグッドデザイン賞（新領域部門）を受賞している。プログラムの種類は以下の 4 種類である。

- (1) 小中学生向けロボットセミナー
- (2) 高校生向けライントレースロボット講座
- (3) 大学 1 年次製作実験
- (4) 大学 3 年次ゼミナール

以下、本稿では (3) における教材開発と活用実績につき、その概要を紹介したい。

2. 大学 1 年次製作実験

2.1 概要

電気工学科 1 年の創成科目「製作実験」において、1999 年度より自律移動ロボットの製作をテーマとして行ってきた。「製作実験」では、ものづくりを通してその楽しさや難

しさを体験させること、また実際にロボットの製作を行っていく過程において発生する諸問題への解決の道筋を模索させ、それまでの知識偏重の受勉強の習慣を断ち切り、工学として実体験を重視してものと理屈の距離感の短縮をはかり、学生個人における工学へのモチベーションの発現を目的としている。

本実験では題材に、ライントレースロボットを取り上げている。ライントレースロボットは、床に描かれたラインをロボットのセンサで読み取り、マイクロプロセッサにより機体のずれを補正しながらモータを制御する。動作が単純で目標が明解であること、ロボットの構成要素をすべて含みつつシンプルな構成を有するため、工学部 1 年生のように工学の実践経験のほとんどない初心者の学習に適した対象である。

この製作実験では、ライントレースロボットを 1 人 1 台設計し製作する。

本実験は、「ハードウェア製作」、「ソフトウェア開発」、「トレース競技会」という大きな流れで構成されている。ハードウェア製作の際に各自でロボットのデザインやレイアウトを考え、必要な電気素子・部品を挙げてそれらを各自で購入・調達を行い、ロボットを完成させていくという方法を行っている。この過程において、光反射型センサ、モータ駆動回路、そしてマイクロコンピュータシステムを開発する。これらの開発を通じて工学的基礎知識、プログラミングスキル、そしてシステムインテグレーションの技術を受講生に習得させる。また最終回の「競技会」という目標設定により、本講義に対する学生の取り組む意欲を高められる。最終的に各自がロボット製作を通じて、ものづくりの楽しさや難しさ、また完成したときの喜びを感じてもらうことがねらいである。

2.2 レベル設定

製作実験において使用する教材に必要な要素は、問題解決の道筋を模索させることである。この問題の難易度に応じて、フェーズを体験、理解、応用の 3 段階に分けて考える（図 1）。

「体験」…教育目的をものづくりの楽しさ、難しさを体験させることとする。初級レベル。

原稿受付 2005 年 11 月 25 日

キーワード: Robot, Engineering Education Materials, Line-tracing robot, Curriculum

*〒 108-8548 港区芝浦 3-9-14

*Minato-ku, Tokyo

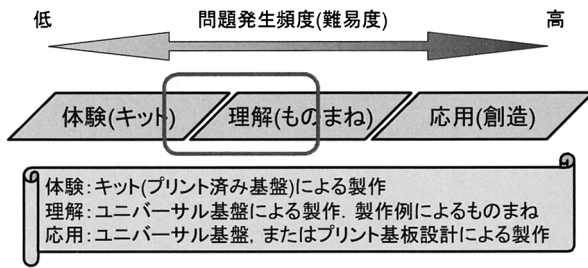


図1 教材の難易度設定

「理解」…目的を「体験」に加えて、ロボット動作原理、構成要素とその働きを理解することとする。中級レベル。

「応用」…目的を「体験」や「理解」で得た知識や経験を元に、自己実現として自分自身の技術を高めることとする。そのため、ものづくりプロセスを一通り体験し、ロボット製作のための基礎知識を習得した段階で開始するのが望ましい。上級レベル。

大学1年次の学生は、一般にカリキュラム構成上、教養科目の学習が多く、専門科目の履修は十分ではない。さらに、専門実験よりも理学系の実験を履修することが多い。すなわち、分野にかかわる素子、部品、装置を専門知識さらにはスキルを持って扱う経験は少ないのが現状である。この点を考慮した場合、体験学習のような完全プリント基板を用いての学習の場合、トラブルが発生しにくいいため問題解決能力を得ることが難しい。また、各自で回路の設計を行わせることも難しいため、与えられた回路をベースにユニバーサル基板を用いて手配線してもらうことが望ましいと考えられる。これらの点から、大学初年度のレベルとして、工学体験と主体的に工夫する余地を残しつつまねることによる理解レベルの中間に教材難易度を設定してキットを開発した。

2.3 教材

教材はハードウェア、教本および運用プログラムから構成される。

2.3.1 ハードウェア

図2に標準的なライントレースロボット完成機体の写真を、表1に仕様例、図3に回路例を示す。教材ロボット開発には受講者にとって①分かりやすい、②作りやすいことに、また、実施側から見て③教えやすい、④部品が少ない、⑤短時間に製作できるものにするに留意した。さらに、容易に入手できる部品を極力使用することとした。この講義ではマイコンによるメカトロニクス制御を主眼としているため、メカ部は市販のモータつきギヤボックスキットを用い、極力単純な車輪移動機構を用いている。

2002年度においては、CPU部、センサ部、駆動部をモジュール化したうえで、電気工学科学生としてより深く電子部品を使いこなせるように、ユニバーサル基板を用いて

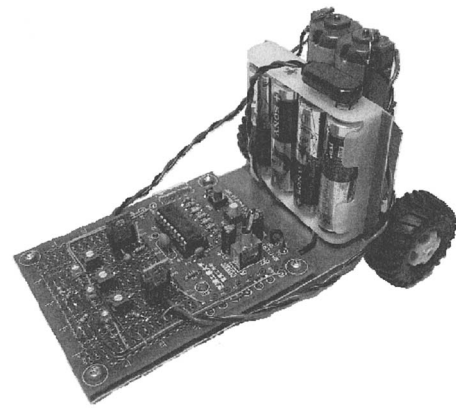


図2 ライントレースロボット完成機体例

表1 ロボット仕様例

部品	型番(規格)
マイクロコンピュータ	PIC16F84A-20/P (Microchip社)
電源	単Ⅲ 4本
クロック	20MHz
駆動方式 (例)	独立二輪駆動
センサ	LED-フォトリランジスタによる反射型フォトカプラ
モータ (例)	F-130 (タミヤ)
ギヤボックス (例)	ツインモータギヤボックス (タミヤ) 減速比201:1
機体 (例)	100w×80H×120L(mm)

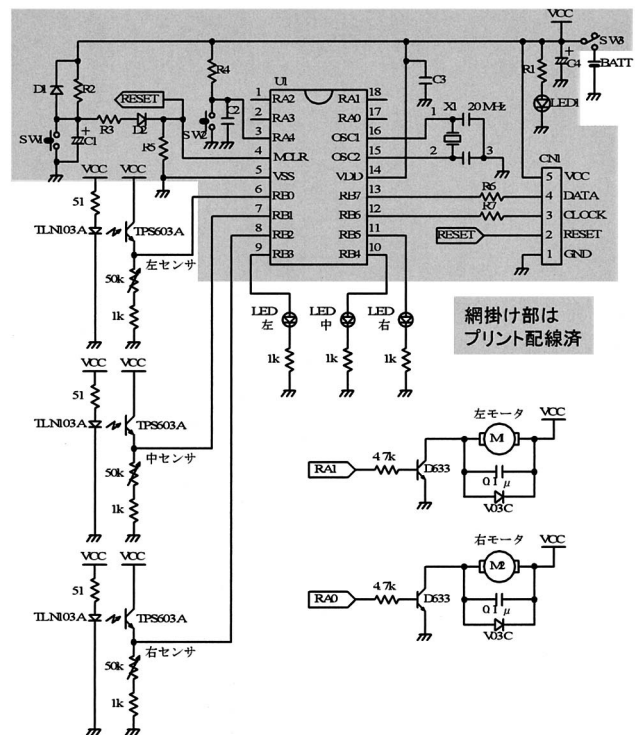


図3 回路例

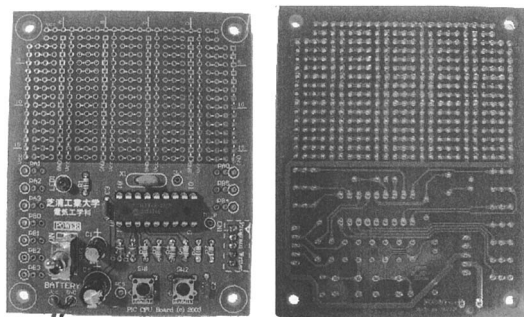


図4 PIC CPU Board の概観 (左:表面, 右:裏面)

手配線として部品の選択の自由度を与えてロボットを製作したところ、半田付け経験、部品知識、実装経験が少ないため、ハードウェアの製作およびデバッグに掛かる時間が多く、ソフトウェア開発に取り組む時間が少なくなる学生が多発した。本講義の趣旨であるソフト・ハードの問題解決通じ、システムインテグレーションを一通り体験することを重視し、2003年度以降はハードウェア製作において特に重要なCPU部分の回路をプリント基板にしたPIC CPU Board (図4)を開発して使用した。これにより、一部は体験学習の要素を含むが、それ以外の部分ではユニバーサル基板に各自がオリジナルな回路を設計し、選定した部品を配置して手配線を行うことになる。この教材の採用により、独自性を損なうことなくハードウェア製作の時間が短縮され、ソフトウェア開発の時間を多くすることができた。その結果として、受講生の約9割の学生がロボットを走行させることができた。

2.3.2 教本

まったくの初心者でも原理を理解しつつものづくりを理解できるように、製作に用いる教本はハードウェア製作とマイクロプロセッサの基礎、プログラミングの構成とし約200ページにわたり懇切丁寧に記述している[20]。この中で、ものづくりにおいて基本的な工具の使い方から、部品の概要、初心者の犯しやすい誤り、キットの製作手順までを多数の図で示し、懇切丁寧に解説することにより分かりやすいものとした。さらに2005年度からは、まねることによる応用展開を可能とするため、約250ページのPIC CPU Boardを用いた製作例を収録したテキストを追加作成し利用している。いずれも、講義で使用するプレゼンテーションとプログラムソースを収録したCD-ROMを添付し、自習を可能としている。

ソフトウェアに関しては、プロセッサの動作を詳細に理解し、厳密なロジックを体験することにより、将来のロボット開発に必要な組込系ソフトにも対応できるように、アセンブラによりプログラムすることとしている。ただし、初心者が対象であることに留意して、すべての命令とプロセッサの機能を利用することはせず、PIC35命令のうち19種

表2 実施カリキュラム

項目	週	内容
もの造り基礎	1	ガイダンス：製作実験の目的、製作方法（部品入手法、工具使用法、半田付け方法）、ロボットとは、ライントレースロボットの構造を理解する。
	2	マイコン入門1：PICマイコンについて理解する、台車、電子回路の設計する
マイコン基礎	3	マイコン入門2：前回提出した部品リストのチェック、部品購入時の注意
	4	秋葉原部品購入実習
ハード作成	5	CPU基板のハンダ付けを習得する、LED点灯回路を製作する
	6	センサ回路、ドライブ回路を製作する
	7	台車の組立：製作仕上げ、回路チェックする
	8	モータに直接電池を接続して走行テスト
プログラム作成	9	プログラム開発1：LED点滅プログラム、スタートスイッチを用いたプログラムする
	10	プログラム開発2：ロボット走行プログラム（センサなし）、直線2コース[m]を5回走らせてデータをとる
	11	プログラム開発3：センサ入力プログラム、曲率半径の違う円弧に沿って走行するプログラムを製作する
	12	プログラム開発4：センサを用いてラインをトレースするプログラムを開発する
	13	プログラム開発5：競技会に向けたプログラムを開発する
システム総合	14	競技会：各自のハード・ソフトを評価する
	15	最終レポート作成：製作プロセスと結果を自己点検評価する

に限定、割込は使用しないなど極力シンプルにしている。あわせてC言語による同じアルゴリズムのコーディング例を併記して、通常のプログラム開発への導入を図っている。加えて、ロボットは実機に実装して初めてソフトウェアのデバッグが可能となるため、プログラム開発環境の入手方法、環境構築、シミュレーション方法、アセンブル、マイコンへのプログラムダウンロードまで、ステップを踏んで解説している。

以上により、必要な情報はすべて教本に記述されており、初心者が戸惑うことがないように配慮している。

2.3.3 運用プログラム

本製作実験は1年次後期に担当し、毎週3コマ(4.5時間)、15回で完結するカリキュラムとしている(表2)。選択科目ではあるが、この数年の選択率は、1年生在籍者数の90%後半と高い支持を受けている。2005年度は約110名の選択者に対して、教員2名、TA6名体制で対応している。毎週の実験に当たっては、前回実施時の問題点抽出と、次回への対応のため毎週準備と確認のための定例打ち合わ

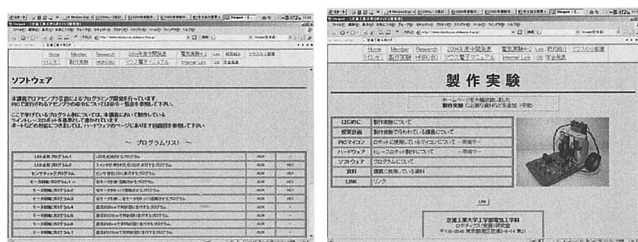


図5 Webの活用



(a) ハード製作

(b) ソフト開発

図6 製作実験の様子

せを持ち、進行状況に合わせた運用を可能としている。

さらに、毎週の達成状況を確認するため製作報告書を、ネットワーク上の講義用共用ディレクトリ（シェアフォルダ）に期限を定めて、アップロードするとともに、フォーマット類、補足資料等をダウンロードして、運用の効率化とフォローアップを容易としている。あわせて、Web上にソフトウェア開発の講義内容の解説や資料をおき利便性を高めている（図5）。

また、今後様々な場面で必要となる際に、重要な実際の部品を入手するきっかけを与えるために、秋葉原において各自が選択した部品購入の学外実習を実施している。

2.4 実施結果

図6に製作実験の様子を示す。

2004年度の最終会の競技会には選択者103人中94台が参加し、最も簡単なコースで87台完走でき完走率は約93%とかなりの完走率であった。

また、実験終了時にSD法によるアンケートを実施し、実施結果を検証した。その結果、ライントレースロボット開発を通じ、約半数の学生に問題に対応できるという自覚を持たせることができた。そして、ほぼすべての受講生にもものづくりの楽しさと難しさを体感させることができ、その上で約7割の学生に今後もロボット開発をしていきたいという意識を持たせることができた。また、PIC CPU Boardを用いたことにより約86%が半田付けの練習になったと答えている。さらに、本実験公式ホームページにおいては約83%が活用したと答えていた。アンケート集計結果の一例を図7に示す。

さらに、本講義の前後でのハードウェアおよびソフトウェアに関して、それぞれの習熟度（知識およびスキルの向上）

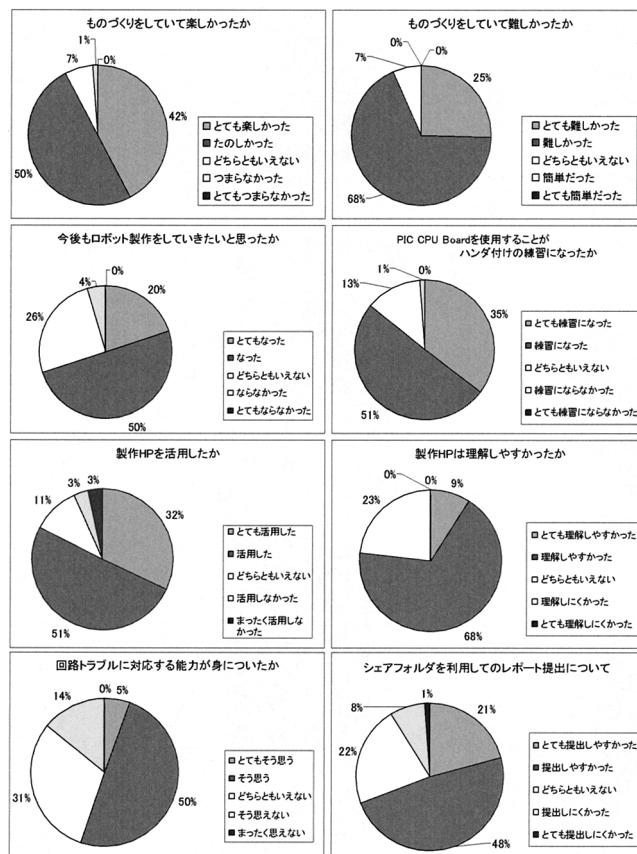


図7 アンケート結果

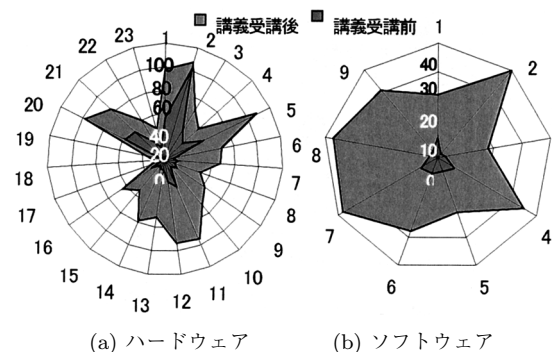


図8 習熟度アンケート結果（円周：アンケート項目番号，半径：人数）

に関しても、アンケートにより調査した。アンケート項目を表3に、結果を図8に示す。

以上のアンケート結果より、製作実験の目的は多くの項目で高いレベルで達成されていると判断できる。さらに、今後年次があがるにつれ必要とされるハードウェアおよびソフトウェアのスキル、知識も、本実験を通じて高まったと考えられるが、ハードウェア項番17「電子部品のデータシートから必要なデータを読み取れる」、18「自分でデータシートを探すことが出来る」、19「回路設計（部品選定など）を行うことが出来る」、23「工作材料を目的に応じて選

表 3 習熟度アンケート項目

項目	質問内容
ハードウェア	1 電子工作をしたことがある
	2 半田付けをしたことがある
	3 ワイヤーストリップが出来る
	4 テスターを使える
	5 半田ごてを持っている
	6 マイコンに関する書籍を読んだことがある
	7 回路図を読むことが出来る
	8 回路図を書くことが出来る
	9 トランジスタの働きがわかる
	10 センサ（赤外線）の仕組みがわかる
	11 LEDの極性がわかる
	12 ダイオードの極性がわかる
	13 電解コンデンサの極性がわかる
	14 抵抗のカラーコードが読める
	15 セラミックコンデンサの容量が読める
	16 ICの向きがわかる
	17 電子部品のデータシートから必要なデータを読み取れる
	18 自分でデータシートを探すことが出来る
	19 回路設計（部品選定など）を行うことが出来る
	20 ねじの種類(皿ねじ, なべねじ)がわかる
	21 ドリルを使える
	22 機械加工ができる
	23 工作材料を目的に応じて選べる
ソフトウェア	1 電子工作をしたことがある
	2 半田付けをしたことがある
	3 ワイヤーストリップが出来る
	4 テスターを使える
	5 半田ごてを持っている
	6 マイコンに関する書籍を読んだことがある
	7 回路図を読むことが出来る
	8 回路図を書くことが出来る
	9 トランジスタの働きがわかる

べる」などは、本講義の設定を超えるさらに上級レベルの能力である。

3. 結 論

大学1年生というまったくの初心者を対象として、ものづくりを介した工学への導入教育のための教材開発と運用につき述べた。このロボットを自ら設計して完成させるというプロセスを通じて、メカトロシステムを自ら作ることが可能となった。これは、その後の卒業研究遂行にも大いに活用でき、本講義の教育効果が極めて高いことが分かる。教材開発に当たっては大学院生、学部4年生各位の献身的な協力を得た。世代を継承して下級生の指導をすることにより、より課題に対する理解が深まり、かつ伝統が継承されることも大きなメリットであった。

なお、本教材開発の経験を活かして、ライントレースロボット専用の基板も起こし、必要部品をすべてパッケージ化

したキットも開発を完了しており、これは夏休みのオープンキャンパス等で3日間のコースとして、内外の中高校生向けライントレースロボット講座に使用するとともに、他の教育組織でも活用いただいている。

参 考 文 献

- [1] ものづくり基盤技術振興基本法, 官報号外, 第190号(平成12年9月12日(火)), 2000.
- [2] 小川, 櫻井, 安藤, 水川, 春日: “デバッグを考慮に入れたメカトロニクス教材としてのライントレースロボットの開発”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'01 講演論文集, 2A1-A6, 2001.
- [3] 小川, 兼子, 松原, 安藤, 水川, 春日: “芝浦工業大学電気工学科「製作実験」における自律移動ロボットの製作”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'02 講演論文集, 1A1-K11, 2002.
- [4] 稲垣, 岡村: “東京理科大学における試作多関節型ロボットとメカトロニクス実験”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'00 講演論文集, 1A1-81-127, 2000.
- [5] 丸松, 中島, 萩原: “レゴ・マインドストームを用いたメカトロニクス体験学習の検討—機構と動きに着目した学習—”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'01 講演論文集, 2A1-A2, 2001.
- [6] 堤, 渋谷, 岩本, 壺井: “龍谷エクステンションセンターにおける高校・中学生を対象とした知能ロボット入門講座”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'01 講演論文集, 2P1-A1, 2001.
- [7] 岩本, 水谷, 中村: “子供用ロボット教材の開発”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'98 講演論文集, 1B114-3, 1998.
- [8] 日下, 岩本: “学校教育におけるロボットの活用”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'98 講演論文集, 2P1-A3, 2001.
- [9] 川谷, 佐藤, 渡辺: “メカトロ教育用ロボット P-ROBO について”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'99 講演論文集, 2P1-A9, 1999.
- [10] 石井, 近藤, 川谷, 渡辺: “トレースロボットからマイクロマウスへ”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'99 講演論文集, 1P2-80-101, 1999.
- [11] 春日: “ロボット相撲を利用したメカトロニクス教育の効果”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'99 講演論文集, 1P2-80-099, 1999.
- [12] 熊谷, 大泉, 服部, 近藤, 岡: “ロボットコンテスト (ROBOTEC コンテスト) による創造的教育の試み”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'99 講演論文集, 1P2-80-098, 1999.
- [13] 阿見: “ロボット競技の教育効果”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'98 講演論文集, 1C113, 1998.
- [14] 阿見: “実習教材としてのライントレースロボット”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'00 講演論文集, 1A1-81-125, 2000.
- [15] 中里: “マイクロメカニズムを通じてのメカトロニクス教育—相撲マイクロメカニズムの製作—”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'01 講演論文集, 2P1-A1, 2001.
- [16] 佐野, 梶, 高橋, 百瀬, 木村: “ロボフェスタ 2001 年に向けてのロボット製作と技術者教育への応用”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'01 講演論文集, 2P1-A5, 2001.
- [17] 植村, 吉満, 山下, 原田, 上野: “ロボコンにおける学生の取り組みと評価”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'00 講演論文集, 2P2-83-117, 2000.
- [18] 山本: “ロボコンと技術教育”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'00 講演論文集, 2P2-83-118, 2000.
- [19] 河上, 藤本, 広瀬: “スカベンジャーロボット競技: ロボットグランプリにおける参加型競技の意義と構成”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'00 講演論文集, 2P2-83-111, 2000.
- [20] 水川真, 春日智恵, 安藤吉伸: ライントレースロボット入門. オーム社, 2003.

**水川 真 (Makoto Mizukawa)**

1975 年早稲田大学大学院修士課程修了，同年日本電信電話公社 (NTT) 入社。物理エージェントを用いた人間支援システム，ロボット作業システム，RT ミドルウェアの研究，標準化に従事。2000 年より芝浦工業大学工学部電気工学科教授。工学博士。計測自動制御学会，日本機械学会，バイオメカニズム学会，IEEE RAS 会員。

(日本ロボット学会正会員)

**安藤吉伸 (Yoshinobu Ando)**

1999 年筑波大学大学院電子情報工学専攻博士課程修了，博士 (工学)。現在芝浦工業大学電気工学科助教授，自律移動ロボットのセンサシステム，ナビゲーションの研究，ロボット製作を通じた工学教育に従事。IEEE，日本機械学会，電気学会会員。

(日本ロボット学会正会員)

**春日智恵 (Chie Kasuga)**

1964 年芝浦工業大学電気工学科卒業。芝浦工業大学電気工学科助手，講師，助教授，教授を経て，2000 年より名誉教授。博士 (工学)。主に，小型移動ロボットの最適制御などの研究を行い，現在，メカトロニクス教育教材などの開発を行っている。日本機械学会，電気学会会員，(NPO) 子どもモノづくり教育支援事業団専務理事。

(日本ロボット学会正会員)