メカトロニクス設計教育のための教材と教育プログラムの開発

入 部 正 継*・白 旗 晃規廣*・喜 多 洋 允*
佐々重 陽 祐*・太 才 遼 一*

A Learning Tool and Program Development for Mechatronics Design Education

Masatsugu IRIBE*, Akihiro SHIRAHATA*, Hiromasa KITA*,
Yousuke SASASHIGE* and Ryoichi DASAI*

In this paper we propose a new type educational program for Mechatronics design which contributes to develop the physical sense and problem solving ability of the students who study Mechatronics design. For this program we provide a new handicraft kit of 4-wheeled car which is composed of inexpensive and commonplace parts, and the performance of the assembled 4-wheeled car is sensitive to its assembly arrangement. And then we implemented this program with the handicraft kit to the university freshmen, and verified its effectiveness, and report the results of the program.

Key Words: mechatronics education, physical sense development, problem solving ability

1. 緒 言

ものづくり教育や創造教育への関心が高まることにより、メカトロニクス教育に関して多くの体験学習や課題学習のための教育プログラムが提案、実施されている^{1)~3)}。

これらの多くは、準備された組立キットを学生に提供し、製作後にマイクロコンピュータのプログラムを設計し動作制御を行なうという実習方式を採用しており、この実施によって、センサやアクチュエータなどの機能デバイス単体の動作理解と、それらを組み合わせることによって複雑な機能を実現するという「創造性」と「システムインテグレーション」の概念を体験することができるようになっている。これはメカトロニクス教育において重要な要素である^{4)~5)}。

一方でこれらの教育プログラムの多くは、製作するハードウェアの『物理的な挙動を体験して理解する』という部分に焦点を当てているものが少ないように見受けられる。たとえば「機構の一部の寸法を変更することで所望する動的な性能が変化する」などの、実空間での設計パラメータの変更が物理現象に与える影響を体験し、それらの相関を試行錯誤することにより理解することも重要であり、この考え方を取り込んだ教育プログラムを従来型の体験学習プログラムと並行して実施することによって、学習内容に対してさらなる理解を

深めることが可能であると考えられる⁶⁾。

また、メカトロニクス技術がかかわる JABEE での工学分野(融合複合, 新領域)における分野別要件によれば、「基礎工学, 専門工学の知識・能力」の取得と並んで「実験計画・遂行能力」, 「データ解析・考察・説明能力」, 「課題探求と解決能力」, 「問題点を理解し対応する能力」などがあげられている⁷⁾。この「計測した結果を解析し, それをもとに思考して原理を想定し, 問題対策方法を立案・実施し, 実際に対応する」という『問題解決プロセスの実施能力』はメカトロニクス領域だけでなく, 一般的に技術者として実務に就いた場合, 特に重要なスキルとなる。たとえば著者の民間企業での業務経験を振り返ると, 研究, 開発, 設計, 製造のどの業務領域においても, 若い技術者の教育には座学による原理理解と並行して, 設計や製造の対象となる試作品の各種パラメータ測定を実施させていた。それは実測定を行なうことで若い技術者の原理理解が知識と感覚の双方から深まることとなり, トラブル発生時にも, 原因を特定して対策方法を速やかに立案可能とするスキルを育てることが可能となるからである。

これらの背景をふまえて, 本稿では『物理的な現象に関する理解』と『問題解決プロセスの実施能力の習得』という2つを目的とした体験学習プログラムと, そのプログラムのための教材として開発した四輪移動体組立キットと実習環境を紹介する。そして, その学習プログラムを大学1年次の学生へ適用したときの実施結果とその教育効果について報告する。

* 大阪電気通信大学大学院工学研究科 寝屋川市初町 18-8

* Graduate School of Engineering, Osaka Electro-Communication University, 18-8 Hatsu-cho, Neyagawa
(Received April 30, 2010)
(Revised December 22, 2010)

2. 教材の開発

本章では『物理的な現象に関する理解』と『問題解決プロセスの実施能力の習得』が可能な教材として開発したモータ駆動式の四輪移動体組立キットと、その実習環境について述べる。

2.1 四輪移動体キットの概要

前章で述べた『物理的な現象に関する理解』のためには、教育プログラムを受講する学生自身が行なう設計に関する試行錯誤によって物理現象の変化を実際に体験する必要がある。したがって使用する教材に求められることは、設計パラメータの変動が評価すべき性能に与える影響が大きいことである。これを仕様とし、教材としての四輪移動体キットを開発した。その組立後の外観を Fig. 1 に示す。

本教材の開発にあたって考慮した点は以下の4点である。

- (1) 部品を取り付ける位置の変更が性能に大きく影響する
- (2) 組立の正確さが性能に大きく影響する
- (3) 破損部品の補修を考慮して汎用品で構成する
- (4) 安価なコストで実現可能とする

本教材に使用した構成部品の一覧を Table 1 に示す。

2.2 四輪移動体の力学的な特性

本節では、開発した四輪移動体の力学的特性に理論的な根

拠を与え、その妥当性を明らかにする。

Fig. 2 に、開発した四輪移動体の走行中の力学モデルを示す。四輪移動体は左右対称かつ操舵角が零の状態で行走するという仮定の上で取扱うものとし、車体の幾何学中心を原点、前輪および後輪の路面に対する駆動力を K_F, K_R [N]、ホイールベースを l_{WB} [m]、幾何学的な中心から全体の重心までの距離を l_{GC} [m]、重心と前輪軸までの距離を l_F [m]、重心と後輪軸までの距離を l_R [m] とする。

このようにパラメータを定義したとき、四輪移動体の車体の安定性を表わすステアリング特性は(1)式で表わされるスタティックマージン(Static Margin, 以下 SM)で表わすことができる⁸⁾。この SM 値が正の場合はアンダーステア特性(US 特性)、零の場合はニュートラルステア特性(NS 特性)、負の場合はオーバーステア特性(OS 特性)となり、この順で走行中の外乱に対する直進性能が悪化することを示している。なお、(1)式は車輪の路面に対する駆動力で定義されるものであり、駆動輪の位置によるものではないことに注意する。

$$SM = \frac{l_F}{l_{WB}} + \frac{K_R}{K_F + K_R} \tag{1}$$

この四輪移動体が直進走行を行なう場合、OS 特性では床面の凸凹などに起因する車体の横軸方向(Fig. 2 中の y 軸方向)に作用する力が発生すると車体が回転しやすくなるため挙動が不安定となるが、US 特性では車体が回転しづらく直

Fig. 1 The typical assembled 4-wheeled car

Fig. 2 Dynamical model of the 4-wheeled car

Table 1 Components of the developed 4-wheeled car kit

Component name	Parts name	Model number	Fab.	Remarks
Chassis	Universal plate	70157	Tamiya Inc.	W=47mm, t= 3mm, L=133, 160 mm (2 types are provided)
Gear box	Single gear box (4-speed)	70167	Tamiya Inc.	4 gear ratios can be selected, 12.7/ 38.2/114.7/344.2 : 1
DC Motor 1	DC magnet motor	FA-130	Mabuchi-motor Co.	For straight running experiment
DC Motor 2	Rev-tuned motor	15133	Tamiya Inc.	For course running experiment
Tire set	Truck tire set	70101	Tamiya Inc.	Customized ; $\phi = 3$ mm, L = 90mm.
Battery case (with a switch)	R6/AA/UM3 Battery Box w./Switch	70151	Tamiya Inc.	With a bi-directional switch
Rechargeable battery	Rechargeable Ni-MH Battery	HR-3UTG	Sanyo Electric Co.	Working voltage is 2.4V. (1.2V/cell x 2 cell)

進方向への慣性が大きくなるために挙動が安定することになる。

それに対して四輪移動体が旋回を伴う走行を行なう場合、OS特性では車体が回転しやすいため旋回時でも回頭しやすく滑らかに走行できるが、US特性では車体が回転しづらいために滑らかな走行が困難となる。このようにステアリング特性を調整することで四輪移動体の走行時の特性を決定することができる。

ところで開発した四輪移動体では、加減速時に生じる駆動力 K_F , K_R の方向は同じ方向になることより、(1)式の右辺第2項は常に正の値をとる。したがって、この四輪移動体のステアリング特性は(1)式の右辺第1項の値を調整することにより可能となる。これはすなわち車体のホイールベースと重心位置を変化させることにより走行時の特性の調整が可能であることを示している。

つぎに四輪移動体の駆動輪タイヤの路面に対するグリップ力について述べる。グリップ力は、タイヤと路面間のすべりの発生度合いを示す「すべり比」と「駆動力係数」で表現され、以下の式で定義される。

$$\text{すべり比} = \frac{V - \omega R}{\omega R} \quad (2)$$

$$\text{駆動力係数} = \frac{\text{タイヤと路面間の摩擦力}}{\text{接地荷重}} \quad (3)$$

ただし、 V :車速(m/s), ω :タイヤの回転角速度(rad/s), R :タイヤの有効半径である。ここでタイヤと路面間の摩擦力が最大になるのは「すべり比」が0.1~0.3の値をとるときであり、タイヤの加速時の駆動力は「駆動力係数」の値の大小に比例する⁹⁾。したがって、タイヤのグリップ力と加速時の駆動力を大きくするためには「すべり比」の値の調整と「駆動力係数」を大きくする必要がある。

しかしながら、「すべり比」はタイヤの回転角速度と車体移動速度とで決定されるため、ここでの四輪移動体キットのように一定の電源電圧と特定のDCモータを使用する場合では速度の制御ができないため調整は困難である。一方で「駆動力係数」は路面摩擦力と接地荷重の比で決定されるが、この四輪移動体キットでは質量配分の調整により駆動輪の接地荷重を調整することが可能である。したがって、この四輪移動体キットでは駆動輪タイヤの路面に対するグリップ力を質量配分の調整、すなわち重心の位置を調整することにより「駆動力係数」を調整し、加速時のタイヤの路面に対するグリップ力を制御することができる。このように、開発した四輪移動体キットには走行特性を調整可能な「設計の幅」が存在するため、設計最適解を得るために試行錯誤することが可能であることがわかる。

2.3 実験による力学的特性の検証

本節では2.2節で述べた四輪移動体の力学的な特性が実機にて成り立つかどうか、実験によりその妥当性を検証する。

(1) 直進走行時の力学的特性の検証

ステアリング特性の変化が直進安定性にどのように影響す

るかを実験により検証する。ここではFig.3に示す幅0.56m, 長さ7.8mの測定コースを用意し、そのコース幅から外れることなく、どれだけ距離を進むことができるかを測定して評価する。

測定は、四輪移動体を長さ160mmのシャーシを使用して後輪駆動方式となるよう組み立てた後、ホイールベースと重心位置の2つのパラメータを変化させ、そのパラメータの組合せごとに10回ずつ走行実験を行ない、その直進距離を記録する。その測定結果をFig.4に示す。

この測定結果を確認すると、ホイールベースを大きく設定したときには直進距離が大きく、かつ重心位置の変化に対して直進距離のばらつきは小さくなる。逆にホイールベースを小さく設定したときには重心位置の変化に対して直進距離のばらつきが大きくなる。このことがわかる。

これは(1)式の右辺第1項の値を操作してSM値を調整することでステアリング特性を決定し、直進安定性を制御できることを示している。したがって、この四輪移動体キットには組み立てる条件によって直進安定性を所望の特性に設計できる「設計の幅」が確かに存在することが確認できる。

(2) 旋回を伴う走行時の力学的特性の検証

ステアリング特性の変化およびタイヤと路面とのグリップ力が走行性能にどのように影響するかを実験により検証する。ここでは、Fig.5に示す幅200mm, 高さ70mmの壁に挟まれた全長約51mのコースを用意し、そのコース走行時の周回時間を測定して評価する。

測定は四輪移動体を長さ133mmのシャーシを使用し後輪

Fig. 3 Straight running experiment

Fig. 4 Results of the straight running experiment

駆動方式となるよう組み立てた後、ホイールベースと重心位置の2つのパラメータを変化させ、そのパラメータの組合せごとに30回ずつ走行実験を行なう。その走行時の周回時間の平均値をグラフ化したものを Fig. 6 に示す。

この測定結果を確認すると、ホイールベースを大きく設定したときには重心位置の変化に対して周回時間の平均値は大きくなるが、その変動は小さくなる。一方でホイールベースを小さく設定したときには周回時間の平均値は小さくなるが、その重心位置の変化に対して周回時間の変動が大きくなることがわかる。これは(1)式の右辺第1項の値を操作することでステアリング特性を調整し、走行特性を制御できることを示している。

また、周回時間の増減には駆動輪タイヤと路面間のグリップ力も重要な役割を果たしている。走行時の駆動輪タイヤと路面間のグリップ力はタイヤに加わる荷重に比例して大きくなる摩擦力に依存するが、重心位置と駆動輪の間の距離を小さくすることで駆動輪タイヤに加わる荷重を大きくし、タイヤと路面の間のグリップ力を大きくすることができる。これは(3)式の右辺分子の値を大きくすることに相当するため、駆動力係数を大きくする操作となる。

たとえば Fig. 6 中のホイールベースの値 $l_{WB}=70\text{ mm}$ 時の性能が特によくなっているが、これはステアリング特性が OS 特性に近くなり旋回性が向上するだけでなく、重心位置と駆

動輪の間の距離が物理的に小さくなるために(3)式右辺の分子項の値が大きくなることで駆動力係数が大きくなり、コース内の傾斜角 30 度の登坂部分を登る際に駆動輪タイヤが空転する頻度が減ることで周回時間が減少している。ただし、重心位置と駆動輪との距離が小さすぎると重心位置が相対的に車体後方に移動するため、走行時に前輪側が浮き始め、いわゆるウィリー走行となって安定した走行ができず、それが原因で周回時間が増加する。そのため、ホイールベースの値 l_{WB} が 70 mm 時の周回時間は(1)式の右辺第1項の値と(3)式の右辺分子項の値の変動に対して急激に変化することとなる。

これらの結果より、この四輪移動体キットには組み立てる条件によって走行時の走行特性とタイヤと路面の間のグリップ力を所望の特性に設計できる「設計の幅」が存在することが確認できる。したがって(1)と(2)の測定結果より、開発した余輪移動体キットには設計条件と評価すべき性能との間に強い相関をもつことが確認でき、それは「設計の幅」となるため、試行錯誤を伴う設計の実習に対して適した教材となることがわかる。

3. 学習プログラムへの適用

本章では開発した四輪移動体組立キットを使用した学習プログラムとその成果について述べる。

本学習プログラムは大学1年次の13名と11名の2クラスに実施した。その実習時間は1回90分の講義を7回とし、最初の3回で基本的な組立方法の習得と同時に2.3節(1)で説明した直進走行特性の評価を行なう。そして残りの4回で2.3節(2)にて説明した旋回走行特性の評価を行ない、測定結果とそれをもとに行なった設計のプロセスをレポートにまとめる。これらの詳細を Table 2 に示す。

なお運営上の配慮として、アドバイザーの学部4年生を2名配置し工具の使用方法や信頼性の高い組立方法などの助言を与えると同時に、事故などがないように安全性に配慮しつつ実施した。

3.1 直進走行特性の評価

直進走行特性の評価では、2.3節(1)で行なった直進走行特性の評価と同様に幅0.9m、長さ9.5mのコースを用意し、そのコースを外れることなく直進した距離を記録しつ

Fig. 5 Test course for 4-wheeled car kit experiments

Fig. 6 Results of the test course running experiments

Table 2 Learning program

Number of Lecture	Programs of the practice work	Work reports
1st week	Guidance of the program and manufactural instruction of the learning tool	none
2nd to 3rd week	Assembly and measurement of straight running model	measurement record
4th to 7th week	Assembly and measurement of test course running model	measurement record
After the program	Make an analysis of the recorded data and write the total report	turn in the total report

つ、直進性能を向上させるにはどうしたらよいかを試行錯誤で検討するように指導した。なお指導時には設計の創造性を阻害しないように「直進性よく走行速度が速くなることを目的とする」という条件以外には拘束条件を与えないようにする。

Fig. 7 に実習での製作例を示すが、このように実習を行なう学生は提示された拘束条件の中で自身の嗜好を製作物に反映させることを試みたり、他の学生の真似をせずに目的を達成しようと努力するなどの、学生なりの独自性を出そうとしているようすがうかがえる。

また本学習プログラムを履修した学生が行なった試行錯誤によって直進走行特性がどのように推移したか、その測定結

Fig. 7 Examples of assembled 4-wheeled cars for straight running

(a) Achieved distances

(b) Achieved running speed

Fig. 8 Results of straight running experiments

果を抜粋した結果を Fig. 8 に示す。この結果より、試行回数を重ねるごとに直進到達距離が大きくなり、移動速度も大きくなるようすが確認できる。このように実習を通して設計パラメータを調整しつつ、各自なりの設計最適解を求めているようすがうかがえる。

なお、移動速度が試行回数とともに大きくなっていく理由としては、直進性能が改善されていく過程で最短距離を走るようになったこと、設計パラメータとして用意された4種類の減速比のうち最も小さい減速比を選ぶようになっていったことがあげられる。

3.2 旋回を伴う走行特性の評価

旋回を伴う走行特性の評価では、2.3節(2)で行なった走行特性の評価と同じコースを利用し、走行時間を短縮するにはどうしたらよいかを試行錯誤で検討するように指導する。指導時には3.1節と同じく設計の創造性を阻害しないように「走行時間を短縮することを目的とする」という条件以外には拘束条件を与えないようにする。

Fig. 9 に製作例を示すが、一見して Fig. 7 に比較して多様さが欠けているように思える。しかし、それは実験コースの形状のために長さが133 mmのシャーシの使用が必須であることと、壁面に車体をこすりながら走行するために摩擦軽減用ローラを車体の前後左右に装着する必要があるためである。しかしながら、それらの拘束の中でホイールベースの大小やバッテリー位置の設定、ローラ位置の調整など、この学習プログラムでも学生は提示された拘束条件の中で独自性を出そうとしているようすがわかる。

一方、Fig. 9 を観察すると各機体の形状にはそれぞれ差があるが、すべての機体で駆動輪とバッテリー位置が近くなるように組み立てられていることがわかる。これは駆動輪と重心位置の間の距離が小さくなるように設定した結果であり、これにより走行コース内の傾斜角30度の坂を登る際に駆動輪タイヤの空転を防止する意図が読み取れる。

このように本教育プログラムを受講した学生が行なった試行錯誤の結果、走行時間がどのように推移したか、その測定結果を抜粋した結果を Fig. 10 に示す。この結果が示すよう

Fig. 9 Examples of assembled 4-wheeled cars for test course running

Fig. 10 Results of the test course running experiments

Table 3 Picked out design terms from reports of the students

Job categories	Actual operation
Accurate assemble	Adjusting parallelisms and positions of the front and the rear tires
	Adjusting the position of the tires to prevent to conflict with the other parts
	Tighten up the screws rigidly
	Bind up the conducting wires to the motor terminals rigidly
Driving force adjustment	Changing the gear box position to control the tractional force Comparing the front-wheel drive to rear-wheel drive
Centrobaric position adjustment	Changing the battery box position; move to the front side, rear side, center of the car. Changing the battery box aspect; length wise or crosswise direction
Wheelbase adjustment	Change the distance between the front and the rear tires, wide or narrow, by adjusting the position of the tires.

に、試行回数を重ねるごとに周回時間が小さくなる傾向が確認できる。これは前節の結果と同じく、実習を通して設計パラメータを調整しつつ各自が設計最適解を求めているようすがうかがえる。

3.3 提案する学習プログラムの効果

本学習プログラムは、緒言で述べたように、履修学生が四輪移動体の組立における試行錯誤とその動作測定を通じて走行特性を支配する設計パラメータの変動と車体の走行特性の相関を理解し、その相関を設計作業へ応用することで設定目標を達成するという、課題学習型の体験学習プログラムである。これは教材の四輪移動体の力学的な特性を体験することによって理解することであり、同時に発見的な手法での問題解決を体験することになる。

ここで、履修学生がどのような発見的な問題解決を試みたかを本学習プログラム実施後に提出されたレポートから抽出し、まとめたものを Table 3 に示す。この結果より、履修学生は 2 章で述べた四輪移動体の力学特性を左右するパラメータを操作しようと試行錯誤していることが確認できる。

Fig. 11 One example of the problem solving process of students which is picked out from the reports

また、履修学生が問題解決に向けて行なった試行錯誤のプロセスの例を同じく提出されたレポートから抜粋したものを Fig. 11 に示す。

この Table 3 および 3.1 節と 3.2 節の結果より、履修学生らは確かに試行錯誤による問題解決プロセスを経験していることが確認できる。また Fig. 11 に示すレポートの内容を確認すると、履修学生が実習の結果より何らかの法則を見つけ出し、それを基に設計を実施していることが確認できる。これらの結果は本学習プログラムの学習効果を裏付けている。

このように、本稿で提案している教材と学習プログラムを適用することで、当初の目的である『物理的な現象に関する理解』と『問題解決プロセスの実施能力の習得』という 2 つの項目を達成していると考えられる。

また、本学習プログラムの長所としてあげられることに、実習中の学生の目的達成度が数値的に判断できることがある。ものづくり教育において、機能実現に主眼を置いた創造性を追求する体験学習の場合では実習結果の評価が難しいが、本稿で提案する手法では組立時の創造性を損なうことなく、履修者の誰もが納得できる数値的な評価基準を用いて評価が可能となる。これは体験学習プログラムの実施時には非常に大きな利点となる。

4. 結 言

本稿では、『物理的な現象に関する理解』と『問題解決プロセスの実施能力の習得』という 2 つを達成することを目的とした体験学習プログラムと、その教材として開発した四輪移動体組立キットと実習環境を紹介し、それを大学 1 年次の

学生へ実施したときの教育効果について述べた。この結果より、将来に技術者として活躍するであろう工学系学生に重要な「物理的な感覚」を養うことと、「どのように問題を解決するか」という思考と実行の方法を訓練できたと考えられる。

また、開発した四輪移動体は老若男女問わずに興味を引くことが多く、本体験学習プログラムを学齢期児童に対して実施してみたところ大学生と同様に教育効果を確認することができた¹⁰⁾。このように、本稿で提案する教材と体験学習プログラムを実施することで、近年よく指摘される学生の「物理的な体験の機会喪失」や「考える力の育成」を少しでも補うことに貢献できればと考えている¹¹⁾。

なお、最後に今後の課題として「体験や試行錯誤により理解した法則」と「座学講義の内容」をいかに結びつけるかという問題が残る。本稿で述べた教育プログラムでは学生の「物理的な感覚」を養うことと、体験的に得られた知識を活用して「問題解決」を行なうことを目的としているため、(1)式で説明される四輪移動体の走行特性を故意に学生に伝えず、学生が得る物理的な体験と測定結果の判断をもとに設計と改善を行なうように指導している。

しかしながら、座学講義との教育的な相乗効果を考える場合、本稿で述べた「物理的な感覚」と、座学講義によって学ぶ「工学・物理学の知識」との間のひも付けを積極的に行なう教育プログラムの導入が必要である。すなわち、本稿ではあえて取り扱わなかった「座学で得られる知識との相関を理解して現象理解へと結びつける」ということをどのように促すことができるかが、つぎの段階での技術者教育の鍵となるであろう。

参考文献

- 1) 入間, 金田, 蟬: 段階的なプログラミング学習が可能な自律型ロボットキットの開発, 第8回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会予稿集, **1D3-2**, 広島 (2007)
- 2) 江口, 久保田, 小玉, 高木, 田淵, 九十九里, 三浦, 南山, 黒川, 安藤, 水川, 春日: ライントレースロボットを題材としたメカトロニクス教育の実施と評価—2007年度創成科目における実施報告—, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2008 予稿集, **2A1-116**, 長野 (2008)
- 3) 遠藤, 山田, 青木: 任意節数連結可能な教育用ヘビ型ロボットの開発, 第27回日本ロボット学会学術講演会予稿集, **2J1-06**, 横浜 (2009)
- 4) 日本学術会議自動制御研究連絡委員会: 自動制御研究連絡委員会報告—メカトロニクス教育と研究への提言—, 412/454 (1997)
- 5) 人工物設計・生産研究連絡委員会メカトロニクス専門委員会: 人工物設計・生産研究連絡委員会メカトロニクス専門委員会報告—メカトロニクス教育・研究に関する提言—, 95/117 (2000)
- 6) 入部, 田中: 総合的な体験実習によるメカトロニクス教育プログラム, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2009, **1A2-**

B08, 福岡 (2009)

- 7) 井上, 本多, 佐野: JABEE で目指す計測制御教育とは, 計測と制御, **46-9**, 709/712 (2007)
- 8) 安部正人: 自動車の運動と制御—車両運動力学の理論形成と応用—, 72/76, 東京電機大学出版局 (2008)
- 9) 茄子川, 宮下, 汐川: 自動車の走行性能と試験法, 63/65, 東京電機大学出版局 (2008)
- 10) 入部, 白旗, 喜多, 佐々重, 太才: 4輪移動体設計によるメカトロニクス設計教育プログラム—初等教育への適用事例報告—, 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会予稿集, **1K3-3**, 東京 (2009)
- 11) 平成8年版環境白書, 環境省 (1996)

[著者紹介]

入部 正 継 (正会員)

1993年大阪府立大学大学院工学研究科修了。同年ソニー(株)入社。2007年大阪電気通信大学講師, 現在に至る。受動的動歩行, 人間追従型移動ロボット, ロボティクス・メカトロニクス教育の研究に従事。博士(工学)。

白 旗 晃規廣

2009年大阪電気通信大学工学部電子機械工学科卒業。同年同大学院工学研究科制御機械工学専攻入学。受動的動歩行, ロボティクス・メカトロニクス教育の研究に従事。

喜 多 洋 允

2009年大阪電気通信大学工学部電子機械工学科卒業。同年同大学院工学研究科制御機械工学専攻入学。マニピュレータ制御, ロボティクス・メカトロニクス教育の研究に従事。

佐々重 陽 祐

2010年大阪電気通信大学工学部電子機械工学科卒業。同年同大学院工学研究科制御機械工学専攻入学。受動的動歩行, ロボティクス・メカトロニクス教育の研究に従事。

太 才 遼 一

2010年大阪電気通信大学工学部電子機械工学科卒業。同年同大学院工学研究科制御機械工学専攻入学。倒立振り子型搬送カート開発, ロボティクス・メカトロニクス教育の研究に従事。