T2R2 東京工業大学リサーチリポジトリ
Tokyo Tech Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	大道芸ロボットコンテストによる創造性教育と卒業生アンケートによる評価
Title	Creativity Education through Street Performance Robot Contest and a Questionnaire Survey for Alumni
著者(和文)	遠藤玄, 福島E.文彦, 桑原裕之, 広瀬茂男
Authors	Gen Endo, Edwardo F. Fukushima, Hiroyuki Kuwahara, Shigeo Hirose
出典 / Citation	日本ロボット学会誌, Vol. 31, No. 2, pp. 198-205
Citation(English)	Journal of Robotics Society of Japan, Vol. 31, No. 2, pp. 198-205
発行日 / Pub. date	2013, 3
権利情報 / Copyright	本著作物の著作権は日本ロボット学会に帰属します。 Copyright (c) 2013 The Robotics Society of Japan.

Powered by T2R2 (Tokyo Institute Research Repository)

学術・技術論文

大道芸ロボットコンテストによる創造性教育と卒業生アンケートによる評価

遠藤 玄[*1] 福島E.文彦[*1] 桑原裕之[*2] 広瀬茂男[*1]

Creativity Education through Street Performance Robot Contest and a Questionnaire Survey for Alumni

Gen Endo[*1], Edwardo F. Fukushima[*1], Hiroyuki Kuwahara[*2] *and* Shigeo Hirose[*1]

This paper introduces the outline of a creativity education course "machine creation" that has been conducted at the Department of Mechano-Aerospace Engineering, Tokyo Institute of Technology, for 21 years. The course is designed to provide students with extensive opportunities to work with real objects to bridge classroom lectures and hands-on experiences. The students work as a team within a time limitation under budget to create a "street performance robot" which can entertain audience. We assume that students can efficiently learn about a process of product development through this course from planning of the robot to the final presentation of the robot. To evaluate this assumption, we carried out questionnaire survey for the current students and alumni who are currently working as engineers in the real world. The results suggest that this course can provide a valuable experience for students and many alumni agree with our educational methodology.

Key Words: Creativity Education, Machine Creation, Street Performance Robot Contest, Questionnaire Survey

1. はじめに

工学における「ものづくり教育」「創造性育成」の重要性は近年多くの大学において認識されるようになってきたが，筆者らの所属する東京工業大学機械宇宙学科では 1990 年より創造性育成のためのカリキュラム整備や，実習や製作に重点を置いた教育を実践してきた．特に筆者らが提案・実施している「機械創造」と呼ぶ講義では，人を楽しませるロボットを製作せよ，という課題に対し，4～5 人 1 組のグループでおよそ 4ヵ月間で 1 台のロボットを製作し，最終的に「大道芸ロボットコンテスト」として観客の前でプレゼンテーションを行っている（**Fig. 1**）．本講義はどのようなロボットを作るのかという企画の段階から，機械加工，製作，制御，コンテストでのプレゼンテーションに至るまで，実社会のエンジニアが体験するであろう一連の開発過程すべてを，包括的かつ短期間で体験することを意図している．本コンテストは，(1) 課題が極めて曖昧であるため学生が創造性を発揮できる幅が広い，(2) 観客にアピールする競技会であるため見飽きることがない，(3) 同じ枠組みで継続的に開催できるなど，既存の対戦型コンテストにはない利点がある．実際，

Fig. 1 Street performance robot spinning a top (1994)

本講義は主な規定を変更することなく 21 年にわたり継続的に実施されており，現在の受講学生にとっても好評を得ている（導入の背景やカリキュラム，機械創造実施の詳細については文献を参照されたい [1]～[4]）．

ところでロボットを題材とする工学教育プログラムは様々に提案・実施されているが，その教育効果を客観的に論じることは難しい．文献をみると多くの場合，受講した学生に対しアンケート調査を行うか [5]～[9]，あるいは卒業時の就職先を調べることによってどのような影響を与えているのかを論じている [10] [11]．しかしながら，受講した直後（あるいは長くて 1～2 年以内）の学生の調査だけでは本当に有効な教育であるか，判断することは難しいと筆者らは考える．なぜなら講義を通じて有用な知識

原稿受付 2012 年 3 月 5 日
[*1]東京工業大学
[*2]サスティナブル ロボティクス
[*1]Tokyo Institute of Technology
[*2]Sustainable Robotics
■ 本論文は有用性で評価されました．

を得たり，体験をしたと思っていても，それが一過性のもので短期記憶として忘れ去られてしまうかもしれないからである．そもそも一夜漬けで試験の成績を上げるスキルを我々は望んでいないはずである．工学教育本来の目的は，講義を通じて学生が得た知識・体験を学生自身が知恵として昇華し，それを継続的に活かせるようになることであろう．

そこで本論文では過去に機械創造を受講し，現在は社会の第一線で実務を行っている卒業生を対象にアンケート調査を行い，本講義を振り返ってみたとき工学教育として真に役に立っているのか，また現在どのような感想を抱いているのかを追跡調査する．また同時に現在の受講生にもアンケート調査を行い，その結果と比較することで例年継続的に実施している講義運営の改善の効果を検証する．本論文は今まで筆者らが実施してきた機械創造について，教授する側の良かれと思う一方的な考えの提示だけではなく，実社会のエンジニアから改めて評価を与えることで教育手法や講義運営を検証することを目的とするものである．

本論文は次のように構成される．第 2 章では 2011 年度に実施された機械創造および大道芸ロボットコンテストの概要について述べ，前年度からの改善点と 2011 年度のコンテストについて述べる．続く第 3 章では現役生ならびに卒業生に対して行ったアンケート調査について，それぞれの結果について述べ比較しつつ考察する．第 4 章では自由記述欄に記された代表的な回答について考察し，第 5 章でまとめと今後の課題を述べる．

2. 機 械 創 造

2.1 講義のねらい

価値観が多様に変化し技術も急速に進展する現代の技術者に求められている資質は，従来にないまったく新しい製品やサービスを企画し創造し実現する力であろう．また多くのステークホルダーで構成されるプロジェクトを遂行するためのコミュニケーション能力や関係調整能力は現代の技術者にますます求められている．

一方で現代の学生はたとえ機械工学を志す者であっても，実際の機械に触れたり，モノづくりを経験したりすることが乏しい．たとえ座学の知識として諸問題の解法が頭の中にあったとしても，現実の物理世界と乖離した机上の知識になりがちであり，このような状態では実世界の問題を解決することは難しいと思われる．そこで筆者らの所属する東京工業大学機械宇宙学科では「学生に機械そのものをできる限り触れさせる」という最も基本的，一見原始的な実習による工学教育を導入している．実際の物理現象を自ら観測したり，可能であれば手で触れるなどして自らの実体験として肌感覚で現象を実感することが現実世界の諸問題を扱う工学教育には非常に重要であると考えているからである．

このような背景から「機械創造」では，曖昧な課題に対しモノに触りながら短期間で企画，設計，製作，プレゼンテーションを行い実社会の開発プロセスを疑似体験することを目的としている．限られた製作費・時間の中で，何を作るかといった企画段階のアイディアから，設計・加工・組立を行い，実際に動作するロボットを製作する過程を通じて，座学と実学の橋渡しをするとともに，その過程で創造性を涵養する．また少人数のグループで製作することで人間関係を含めたコミュニケーション能力の向上を図る．さらに完成した作品を観客に対してプレゼンテーションすることで，成果を分かりやすく伝えることの大切さを理解してもらう．

実社会の技術者から見たとき，このような教育・講義意図が妥当であるのか，また講義を通じて実際に効果があるのかは，次章のアンケート調査によって検証される．

2.2 講義概要

「機械創造」は機械宇宙学科 3 年後期の必修科目（3 単位，3 コマ／週）であり，第 14 週に開催される大道芸ロボットコンテストで発表することを目標に設計製作を行う．学生に提示する課題は基本的に「人を楽しませるロボット（大道芸ロボット）を製作する」のみとし，どのような演技内容にするかは完全に学生の発想に任せている．本講義は 4〜5 人を 1 班として製作を行う．班分けは，講義開始前に学生に事前アンケートを取り，どのようなロボットを製作したいか，また班の中でどのような役割（プロジェクトマネージャ・機構・電気・プログラム担当など）を希望するか等を調査し，これに他講義の成績を加味して教員が行っている（班分けについては後程議論する）．2011 年度は受講者 49 名，12 班の構成で講義を行った．

製作を行う統合創造工房にはボール盤・旋盤・フライス盤などの工作機械が準備されており，事前の講習と技術職員による指導を受けることで学生各自が加工を行う．また工房には構造材料・機構部品・電子部品・アクチュエータなどが価格表示とともに準備されており，各班 2 万円の予算内で製作することになっている．必要部品は別途秋葉原などで各自が購入できるが，予算超過分は各自が負担することとしている（なお，電源装置，モータドライバ回路，エアシリンダ，電磁弁，エアーコンプレッサなどの高額な機器は貸与することとし予算には含まれない）．

製作の進捗を確認するため，およそ 3 週ごとに審査会を設け，教員の前で各班 5 分程度のプレゼンテーションを実施している．そして審査会後には A4 4 ページの進捗報告のレポートを課題として提出させている．講義第 14 週目には学科の教員や本学科の 2 年生を観客として大道芸ロボットコンテストを開催する．各班 3 分以内でプレゼンテーション・演技を行い，観客が面白いと思ったロボットに対し投票を行い順位を決める．学生の成績は各審査会，大道芸ロボットコンテストでの採点とレポート内容をもとに班ごとの基礎点を算出し，さらに各個人の講義に取り組む姿勢や遅刻欠席を加味して総合的に評価を行っている（運営の詳細については文献 [4] を参照されたい）．

2.3 2011 年度の新しい取り組み

講義の運営方法や標準的に使用する部品・制御回路については毎年見直しを行い改善している．2011 年度では主に以下の 4 点を改善した．

(1) 制御用マイコンの再選定した．
(2) モータドライバを新規製作した．
(3) レポートごとに工程表作成を課題とした．
(4) 事前アンケートで創造性に関する質問項目を追加した．

制御用マイコンは低価格で入手でき，インターネット上に豊富な情報とサンプルコードがある STBee Mini（ストロベリー・

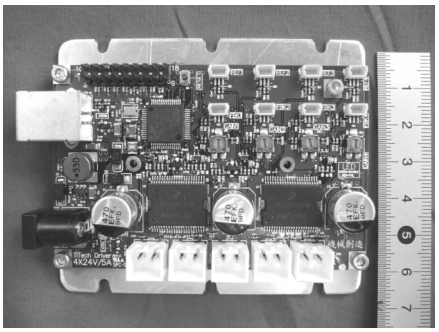


Fig. 2 Newly developed motor driver, TITech Driver 4X24V/5A

Table 1 Specifications of TITech Driver 4X24V/5A

Size L × W × H [mm]	54 × 85 × 15
Voltage (DC jack input) [V]	DC 5.0-24
Max Cont. Current [A]	± 5.0 - ± 8.0
Operation Mode	Velocity (Voltage) Control
	Position Control
	Solenoid Control

リナックス社）を採用した．本マイコンは ARM 社製 STM32 Cortex-M3 をコアとし 72 [MHz] のクロックで動作し，開発環境も無償で公開されている．プログラムは PC と USB ケーブルで直接接続することでダウンロードが可能である．

次にモータドライバ回路を新規開発した（**Fig. 2**）．諸元を **Table 1** に示す．近年，学生たちの作品は多自由度化する傾向があるため，1 枚のドライバ回路で四つのブラシ付き DC モータを駆動できるようにした．誤配線や過酷な動作にも耐えられるようにパワー出力部には短絡・過電流・過熱保護機能を内蔵した H ブリッジ IC（Freescale 社：MC33932）を 2 個使用した．通常，正逆転する DC サーボモータの駆動には PWM 制御が行われるが，多自由度の制御を行おうとする場合マイコン側の PWM 出力チャンネル数が十分でなかったり，プログラム開発が煩雑になる可能性がある．そこで本講義では従来からモータドライバにフィードバック用ポテンショメータを接続し，アナログ指令電圧を入力することでモータドライバ単体でローカルに位置・速度制御が可能なように設計してきた．このようにすると学生たちは複雑なプログラム・配線をすることなく，簡便にサーボ系を構成することができ，製作の進行速度を向上しその上デバッグも容易になる利点がある．新規開発したモータドライバもこの設計思想を踏襲し，位置あるいは速度の指令値をアナログ電圧（0〜+3.3 [V]）で入力することとした．また RC 平滑化回路もモータドライバ上に搭載しているためマイコンからの PWM 信号を直接接続し，アナログ指令値として入力することもできる．

なお本モータドライバには前述のマイコンと同種のマイコン（Cortex-M3 コア，ST Micro Electronics 社：STM32F103）を採用し，アナログ入力は実際にはマイコンの A/D 変換器で読み取り，ソフトウェアサーボによって位置制御系を構成している．そして H ブリッジの PWM 制御もマイコンで直接行っている．よってファームウェアを変更することにより ON-OFF 制御で十分なソレノイドを本モータドライバ 1 枚で 8 個駆動することもできる．将来的にはモータドライバ上のマイコンと USB 通信することでモード切替や指令値入力ができるようにも改良する予定である．さらに運動制御用のマイコンと，モータドライバ基板上のマイコンのソフトウェア開発環境は同じであるので，学生が直接モータドライバ基板のファームウェアを書き換えて全体の開発を行うことも可能であり，より高度な運動制御が望めるハードウェア構成である．

Fig. 3 Bicycle simulator “Excite Bicycle” by group 9 (2011)

講義運営の工夫としては，審査会ごとに工程表（スケジュール）を作成する課題を追加した．これは毎回の製作を漫然と行うのではなく，今何を成すべきか，これからどのような作業が発生するのかを常に考えながら，期限までに間に合わせるよう製作を進めることを意図したものである．多くの学生はものづくりの体験が少ないため，作業時間の見積もりは正確にできない．よって当初立てたスケジュール通りには作業は進行できないが，審査会ごとに再作成することで，自分たちの作業進度とやるべきことの時間見積もりの感覚を養うことこそが重要であると考え，本課題を導入した．工程表の具体例として，工期が半年にわたる一軒家を建築する際に建設会社が作成した工程表を講義開始時に学生たちに提示し，可能な限り作業を具体的に記述し見積もるよう指導した．

また本講義の効果を創造性育成の観点から検討するため，班分け時の事前アンケートに「自分自身で今までに創造性が発揮できたと思われることがありましたか？」という問いを加え，同じ内容を講義終了時のアンケートで再び問うことで，講義の効果を差分として表せるようにした．

2.4 大道芸ロボットコンテスト

2011 年度に製作された大道芸ロボットはおおよそ以下の四つに分類されるものであった．

- いわゆる大道芸（切り絵，影絵）
- 楽器を演奏する（ギター，リコーダ，ドラム）
- 操縦・対戦ゲーム（シューティングゲーム，リズムゲーム）
- 特定の機能実現（飛ぶ，目標物を追いかける，変形する）

一例として **Fig. 3** に優勝した 9 班の作品「Excite Bicycle」を示す．これは自転車型のシミュレータで操縦者がペダルを漕ぎハンドルを切ると，それに従って三輪型の自転車が前進操舵する．トンネルや橋などのある所定のコースを時間内に走破できるかどうかを競うゲーム性の高い作品である．操縦者のペダルの回転速度は反射型フォトインタラプタを用いた自作の光学

式エンコーダで計測し，その値はXBeeを介して自転車ロボットのマイコンに送られ駆動車輪を回転させている．自転車ロボット上にはカメラも装備され，その映像をプロジェクタで投影することで臨場感ある操作が可能であった．

近年の特長としては，ビデオカメラやプロジェクタ，音声入出力を用いてPCと連携した情報処理や総合的な演出が行えるようになった点である．OpenCVを用いたビジュアルフィードバック，Microsoft社の音声認識／合成APIであるSpeech SDKを用いた作品もあり，現在の技術環境に合わせて学生たちが独自に工夫していることが分かる．このように演出までも含めて学生が自由に発想し，技術的にも新たな課題に挑戦できる幅があるところが，本コンテストの著しい特長でもある．

3. アンケートによる評価

本章では機械創造を受講した2011年度の学生（以下現役学生）および，1994年度に受講し現在は社会人として実務を行う卒業生（以下卒業生）に対して行ったアンケート調査について報告する．

提案する教育の持続性やその効果を検証するためには，本来なら卒業直後，三年後，五年後，十年後といったそれぞれの学年に対しアンケート調査を実施し議論することが望ましいが，多くの卒業生に連絡を取り有効なアンケート結果を回収することは多大な時間と労力を必要とする．そこで本講義の卒業生による評価の第一歩として，筆頭著者と同期で調査に協力を得やすい1994年度の卒業生に対してアンケートを実施した．また筆頭著者自身も1994年度当時は学生として受講していたことから，どのような講義運営であったか学生の立場として記憶しているため，現在の運営と比較し議論することが可能である．

現役学生と卒業生，それぞれに対する質問事項とその結果について述べた後，現役学生と卒業生の同じ質問に対する回答を比較しながら結果を考察する．

3.1 現役学生アンケート

2011年度に本講義を受講した49名に対しアンケート調査を行い，48名から回答を得た．ここでは特に2011年度に新たに導入した工程表に対する考察と，創造性育成に関する調査結果を述べる．

3.1.1 工程表の効果

中間のレポート提出の際，毎回工程表を見直し再作成したことについて，プロジェクト進行のために役に立ったかどうかを調査した．結果を**Fig. 4**上段に示す．役に立ったとする回答と，役に立たなかったとする回答はほぼ半数であり，本結果からは工程表作成が効果的であったかどうかは判断できなかった．

しかしながら，2011年度の製作進行はおおむね非常に順調であり，各審査会ごとに設定している製作進度目標（主要機構ができているか，アクチュエータがマイコン制御により駆動できるか，等）にほぼ沿った進行が実現できた．例年これらの製作進度目標はあくまで目標であって，ほとんどの班が達成できないことを考えると，工程表導入に一定の効果があったのではないかと考えている．実社会での開発には必要不可欠な作業であることから，今後も継続して行い，その効果を検証する予定である．

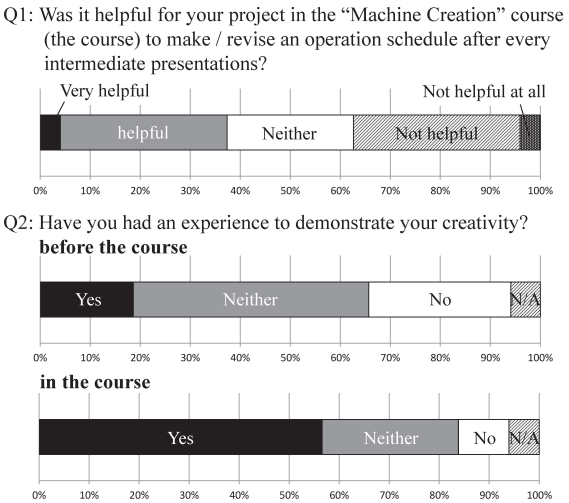


Fig. 4 Questionnaire for current students

3.1.2 創造性の育成

2011年度では講義開始以前に実施する班分けのための事前アンケート中に，自分自身で今までに創造性が発揮できたと思われることがあったか？　という質問を設けた．また同じ質問を講義終了後の事後アンケートでも問うことで機械創造の講義を通して創造性を発揮する体験があったかどうかを明らかにすることができる．

Fig. 4中下段に，事前・事後アンケートの結果をそれぞれ示す．事前アンケートでは創造性が発揮できたことがあると回答した割合は19%であるのに対し，事後アンケートではその割合は56%に大幅に増加していることが分かる．また機械創造の中で体験した具体例を聞いたところ，全25件の回答のうち，企画段階のアイディアに関するものが9件，機構構造の具体的設計が8件であったが，そのほかにも電気回路やプログラミング，問題に直面した際の解決策の提案など，多種多様な具体例が挙げられらた．このことから本講義が多様な側面で創造性発揮の機会を創出していることが推測される．

3.2 卒業生アンケート

1994年度に機械創造を受講した48名に対し，連絡先の把握できた36名に対してアンケート票を送付し，24名から回答を得た．回収率は67%（受講者全体から見ると50%）であった．

3.2.1 卒業生の属性

実社会での職種や職位により本講義の捉え方も異なることが予想されることから，まず始めに調査対象である卒業生について，その属性を得る調査項目を設定した．卒業生の職種としては製造業／非製造業の割合はほぼ半数ずつであったが，非製造業の中でもほとんどが電力や運輸などエンジニアとして勤務している．役職としては1〜2名の部下を持つ係長／主任クラスが最も多く全体の7割を占めており，職務は管理業務よりも研究開発の技術業務が多いとの回答は8割であった．年齢は38〜39歳である．以上から卒業生回答者は，エンジニアとして技術的実務を担う実戦力として活躍する世代であると考えられる．

3.2.2 機械創造の評価

機械創造の講義の意義や運営方針について評価するために設

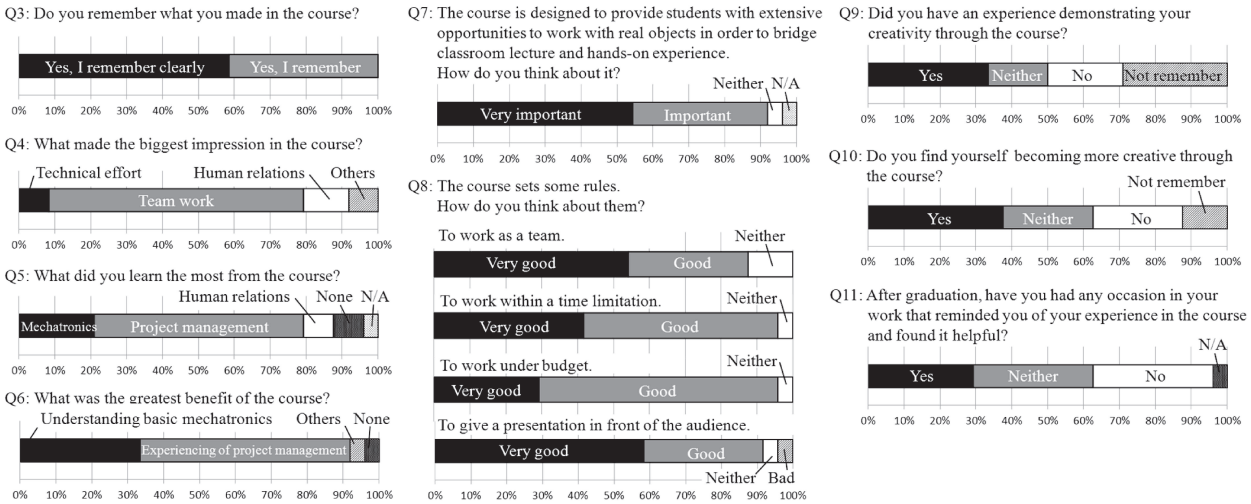


Fig. 5 Questionnaire survey about "Robot Creation" for alumni

定した質問項目に対する卒業生アンケートの結果を **Fig. 5** 左中列に示す．まずそもそも 17 年前に受講した本講義でどんなロボットを製作したかを覚えているか訊ねたところ，はっきりと覚えている 58%，覚えている 32%となった†．

次に本講義を通じて Q4: 最も印象に残っていることは何か，Q5: 一番学んだことは何か，Q6: 最大のメリットは何か，という三つの側面から質問をした．その結果，すべての質問を通じて，チームで共同作業を行いプロジェクトを実行したことが一番多かった．本講義受講以前にプロジェクト経験があると答えた割合はおよそ 1 割であったことから，ほとんどが初めてのプロジェクト型共同作業であったため，印象にも残り学びも大きかったと推測される．このことから，グループで共同でプロジェクトを達成する本講義の意義が支持されているものと考えらえる．

続いて，機械創造では座学と実学を結びつけるようできるだけ実際のモノに触れる機会を増やそうとしていることについて，どのように思うか聞いたところ，このような取り組みは大変必要（54%），必要（38%）となった．このことから，座学のみではなく実世界のモノに触れることを通した教育の重要性が支持されているものと考えられる．

さらに，機械創造の運営の中で導入している以下のルールについて意見を聞いた．グループで製作すること，時間的制約があること，コストの制約があること，観客の前でプレゼンテーションすること，の四つである．その結果，いずれも大変肯定的な回答となり，このような枠組みは妥当であると考えられる．

以上から，筆者らが従来主張してきたものづくり教育の重要性とその方法論が実社会のエンジニアからも高く評価されていることが裏付けられた．

3.2.3 創造性の育成

Fig. 5 右列に創造性育成に関する調査結果を示す．質問の項目は，Q9:「機械創造」の講義の中で自分自身が創造性を発揮できたと思ったことがあるか，Q10:「機械創造」を通じて自分が少しでも創造的になり得たと感じるか，Q11: 本講義の経験を仕事上で思い出した，あるいは役に立った場面があったか，である．結果はおおよそ 3 割の卒業生が創造性を発揮し，仕事上でも思い出したこと，役に立ったことがあるとの回答であった．Fig. 4 下段の現役学生に対するアンケートではおよそ 6 割が創造性を発揮できたと回答していることから，それに比して半分ほどになっている．この 3 割を大きいと見るか小さいと見るかは判断の分かれるところであるが，本講義が 17 年前に受講されており時間の経過とともに体験が忘れられてゆくことを考えれば，十分に創造性育成の教育効果を持続していると考えられる．実際，創造性を発揮できた，役に立ったと回答した卒業生の中には，単なる講義としての一経験だけに留まらず，技術者としての進路選択や現在の業務上のプロジェクト運営の礎としている，など非常に強い影響を与えていることがアンケートの自由回答から得られている．このことは次章でさらに考察する．

3.3 現役学生と卒業生の全般的感想の比較

本講義は 2.3 節に示したように講義運営や使用する機器の見直しを毎年行っている．よって 1994 年度に受講した卒業生と 2011 年度の現在の学生では，毎年同じ課題で製作していたとしても，講義の運営方法などは年々改善されている．本節では改善の効果を実際に確かめるため，講義全体に対する印象について現在の学生，卒業生双方に対し同じ質問をして比較することを考える．

1994 年度と 2011 年度の運営方法の最も大きな違いは，班分けの方法と講義時間外の学内での製作時間である．1994 年度では班分けは出席番号順に機械的に割り振っていたのに対し，2011 年度では事前アンケートを行い各学生の希望を聞いた上で，成績を加味して教員の判断で班分けを行っている．また 1994 年度では製作は講義時間では到底終わらず大幅に超過しており，コンテスト直前には自主製作時間として毎日終電近くまで大学工作室で作業を行い，場合によっては工作室で連日徹夜をすることも普通であった．

このように深夜にまで作業することは学生にとっては良い思

† 講義のことを覚えていない卒業生はアンケートを返送しないことが考えられるため，この結果を全体の結果として単純に外挿することはできないが，少なくとも回答した卒業生の記憶にあることが分かる．

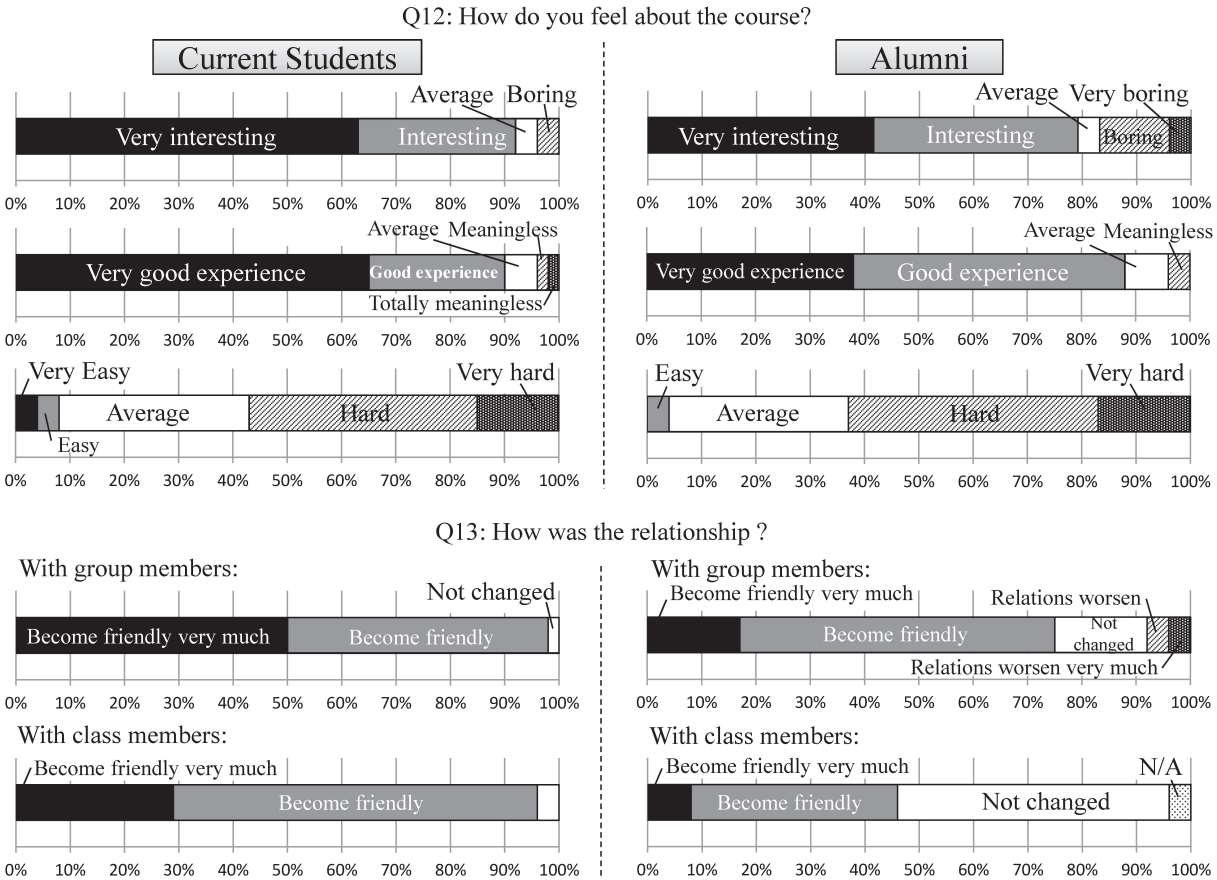


Fig. 6 Comparison between current students and alumni about a general impression of "Robot Creation"

い出になるかもしれないが，一方講義を運営する教員の負担や学生の安全を考えると必ずしも適切ではない．したがって近年は製作の効率化を図ることで可能な限り通常の講義時間内で機械加工作業が終わるよう工夫している．具体的には製作の作業内容を工作機械を用いる危険度の高い作業と，構想設計・回路製作・プログラミングなど安全な作業に切り分け，前者については講義時間内で教員・技術職員・TA の管理の下で作業を行うこととし，学生に対しては「講義時間内は工作機械を使わねばできない作業に集中すること」と明示的な指示を与えている．一方で後者の安全な作業は，安全監督が不要であることから講義時間外でも各班・各自作業を進めることが可能である．特に電源・モータドライバ・マイコンなどの一部機器の持ち帰りを許可することで冬休みなどの長期休暇中に各自が自宅で回路作成・プログラミング作業を継続できるよう工夫している．このような工夫により近年はコンテスト前日でも工房で徹夜するような事態はなくなっており，教員や TA の負担も実際かなり軽減されている．

Fig. 6 に機械創造講義の全般の感想と，講義を通じて学生間の関係性がどのように変わったのかを聞いた結果を示す．左列は現役学生，右列は卒業生である．全般的な感想 Q12 は，本講義が楽しかったかどうか，良い経験だったかどうか，楽か大変か，という三つの側面から質問した．全般的な回答の傾向として現役学生・卒業生ともほぼ同様で，楽しかった，良い経験となったとの回答は 8 割以上となっている．また楽か大変か，という質問では双方とも 6 割以上が大変であったと答えている．このことから，製作には多くの苦労があり決して楽ではなかったが，それを上回る楽しさや充実感，有用な経験を多くの学生が得ているものと考えられる．

ところで卒業生の回答には，つまらなかった，とてもつまらなかったと回答した割合が 17%であるのに対し現役学生では 4%となっている．つまらなかったと回答した卒業生の自由回答を見ると，班員同士の人間関係が悪化して作業するモチベーションが低下したという回答がほとんどであった．このことは Q13 の本講義を通して班員あるいは学科の仲間との人間関係がどのようになったかを聞いた結果にも表れており，現役学生ではネガティブな回答はないのに対し，卒業生では 8%が関係が悪化したと答えている．現役学生に不満が少ないのは班分けの際，学生の希望を聞き，学生の成績も加味しつつ班ごとに技術力・モチベーションに差が出ないように教員が注意深く行っていることの成果であると推測され，現在の運営方法が優れていることが示唆されている．

また本講義について自分の最大限の努力の何%を費やしたか，講義としての満足度が何%であるかを聞いたところ，いずれも中央値で 80%との回答であり，現役学生・卒業生で明確な差は見られなかった．最後に本講義が必修でなかったら後輩に受講を薦めるかを聞いたところ，薦めるとの回答が現役学生では 94%，

卒業生では100%となり，極めて高い評価であることが分かった．このことから多くの学生が本講義に真剣に向き合い，高い満足感を得ていることが分かった．また現役学生・卒業生ともほとんど差が見られないことから講義運営を効率化しても十分講義の質を保てていることが示唆された．

4. 卒業生の機械創造に対する感想（自由記述）

卒業生に対するアンケートの最後に自由記述欄を設け，もっとも印象に残った出来事・体験，本講義について感想や改善点およびアドバイスを記述してもらった．本章では特徴的な回答を紹介し考察する．

まずポジティブな体験・感想は次のようなものである．

- メンバーの強みが異なる中で，どのようにチームと役割を作るか，いろいろ悩んだ経験が，今の仕事で部を率いる際でも役に立っている．
- プロジェクト管理やプレゼン能力の向上を促す上で大変有意義な講義だと思います．可能であれば，いわゆる「もの作り」以外の仕事でも当該講義が役に立つことを伝えてもらえると嬉しいです．
- ハードとソフトが融合しないと機械はうまく動かないこと．そして良いものを作るためには人を頼り，人と助けあうことが欠かせないこと．当時学んだこの二つのことはエンジニアとしての私の仕事のベースになっています．
- 結局いくらいいものを作ってもお金が高すぎては意味がない，いくら技術的にすごくても楽しくなければ意味がない，いくらいいもの作っても人に伝えられなければ分かってもらえない，と今の生活にも共通する部分は多分にあることを学生時代に楽しくできたのは良い経験だった．この体験が楽しかったから，メーカーへ入って研究所で一つのことを研究し続けるよりも，おいしい技術をあちこちから集めて人をよろこばせるもの作りができるユーザ側の企業に入りたいと思った．

上記を見ると本講義が単なる一過性の楽しい体験だけに留まらず，リーダーとしてプロジェクトを運営する際の姿勢であったり，エンジニアとしてのベースとなる貴重な体験を提供していたことが分かる．一方で，ネガティブな体験・感想は以下のようなものである．

- 班員との相性が悪かったようで，最悪の体験だったと記憶しています．（中略）そのせいか，いまだにメカトロは苦手です．
- 自分にメカ・エレキの知識・スキルがなく，手も動かせず，議論を進めることもできず，何もできないことを痛感しました．
- 自分は受講した時点で非常に未熟で講義から何かを得たり楽しんだりすることは残念ながらできませんでした．提案としてはできるだけ技術的なサポートをしてあげたら良いのかと思います．（中略）私は，すべて自分たちだけで考え出すという経験をすることが大事なんだ，とは思いません．大学は教育機関ですから，芽を出させ，育てることを積極的に行うべきと思います．

上記の感想から班員との人間関係が上手くいかないと，苦手意識として強く残ってしまうことがあることが分かる．また班ごとの技術力が偏ってしまったことにより，どのように進めて良いか分からない学生がいたことが分かる．これは班分けを現在のように工夫したり，教員側がより注意深く進行を見守り，適切なアドバイスをすることでこのようなネガティブな体験を減らすことができるのではないかと考えている．実際現役学生に対し，班分けや教員のサポートについてアンケートを取ってみたところ，不満・不足と回答した学生は5%以下となっており十分改善されていると思われる．

5. ま と め

本論文では東京工業大学機械宇宙学科が実施している講義「機械創造」の概要について紹介し，2011年度の新しい試みと実施の様子について報告した．また本講義の意義や教育効果について，現在実社会でエンジニアとして活躍する卒業生に対してアンケート調査を行った．その結果，講義の意義や運営方法について多くの卒業生から賛同を得られていることが明らかになった．また現役学生と卒業生の結果比較を行うことで講義運営が改善されていることが示唆された．

卒業生アンケートの自由記述では，エンジニアとしての基礎になったり，現在も機械創造で得た経験を活かしているとの回答が得られ，本講義が単なる一講義に留まらずその後の仕事観に影響を与えるほど重要な経験になる場合があることが明らかになった．講義を運営する筆者らにとって，ロボットを用いた教育活動を推進する大きな励みとなる結果であった．

今後の課題として様々な卒業年度の学生に対し同様のアンケート調査を行い，本講義の教育効果がどのように持続していくのか，また実社会エンジニアとしての成長にどのように寄与しているのか，明らかにしていきたいと考えている．さらに調査の結果を踏まえ，講義運営を継続的に改善していきたいと考えている．実際，卒業生アンケートの自由回答の中には，教員・TAのより積極的な関与を求める意見や，プレゼンテーションなど得意な学生がすべて行うのではなく全員が経験するように指導すべきなど，講義運営の具体的改善につながる非常に有益な意見が多く得られた．これらを有効に取り入れることで今後もロボットを通じた創造性育成教育の普及・推進に貢献していきたいと考えている．

謝 辞 本論文で紹介した講義は本学本学科教員の多大なる援助の下に実施されている．実際の運営に際しては統合創造工房技術職員の山本武志氏，元職員の神保勝久氏，本学設計工作技術センター技術職員の鈴木秀昭氏，小出孝道氏，西川勝氏，吉井昌一氏に協力いただいた．また元非常勤講師の阿見誠氏，森島昭男現中京大准教授に感謝致します．そして元東京工業大学機械宇宙学科で講義運営に携わっておられた現千葉工業大学の米田完教授，青木岳史准教授，現青山学院大学の河上篤史助教，現三菱電機田中崇裕氏に深く感謝の意を表します．最後に本論文執筆にあたり貴重なお時間を割いてアンケートにご回答いただいた96年本学旧機械物理工学科卒業生の皆様に深く感謝致します．

参 考 文 献

[1] 広瀬茂男：“実習・実感・創造教育の試み”，日本機械学会誌，vol.94, no.875, pp.874–879, 1991.

[2] 広瀬茂男：“東京工業大学における創造性教育”，日本ロボット学会誌，vol.16, no.4, pp.447–451, 1998.

[3] S. Hirose: “Creative Education at Tokyo Institute of Technology,” International Journal of Engineering Education, vol.17, no.6, pp.512–517, 2001.

[4] G. Endo, T. Aoki, H. Suzuki, E.F. Fukushima and S. Hirose: “Street Performance Robot Contest as Practice in Creativity Education,” Journal of Robotics and Mechatronics, vol.23, no.5, pp.768–777, 2011.

[5] T. Morishita: “Creating Attraction for Technical Education Material and its Educational Benefit (Development of Robotic Education Material Characterized by 3D CAD/CAM and Compact Stereo Vision),” Journal of Robotics and Mechatronics, vol.23, no.5, pp.665–675, 2011.

[6] M. Iribe and H. Tanaka: “An Integrated Hands-on Training Program for Education on Mechatronics,” Journal of Robotics and Mechatronics, vol.23, no.5, pp.701–708, 2011.

[7] S. Morijiri, Y. Ando, T. Yoshimi and M. Mizukawa: “Improvement of Introductory Engineering Education of Mechatronics Based on Outcomes Evaluation by Defining Rubric—Continuous PDCA Cycle Achievement with Reducing Teaching Assistants’ Work Load—,” Journal of Robotics and Mechatronics, vol.23, no.5, pp.778–788, 2011.

[8] Y. Hayashibara, S. Nakajima, K. Tomiyama and K. Yoneda: “Hands-on Education of Robotics Department for Four Years of College,” Journal of Robotics and Mechatronics, vol.23, no.5, pp.789–798, 2011.

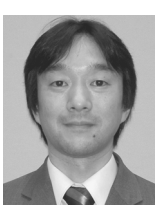
[9] K. Toda, Y. Okumura, K. Tomiyama and T. Furuta: “Hands-on Robotics Instruction Program for Beginners,” Journal of Robotics and Mechatronics, vol.23, no.5, pp.799–810, 2011.

[10] K. Demura, T. Sakamoto, Y. Asano and M. Matsuishi: “Enhancing Student Engineering, Personal, and Interpersonal Skills Through Yumekobo Projects,” Journal of Robotics and Mechatronics, vol.23, no.5, pp.811–821, 2011.

[11] M. Kumagai: “Educating Robot Development in a University Laboratory from First Year—A Trial of a Robotics Club Under Observation at a Laboratory—,” Journal of Robotics and Mechatronics, vol.23, no.5, pp.822–829, 2011.

遠藤　玄（Gen Endo）

2000 年東京工業大学機械物理工学専攻博士課程修了．2000 年ソニー（株）入社．2002 年〜2006 年（株）ATR 脳情報研究所客員研究員．2007 年東京工業大学理工学研究科特任助教を経て，2008 年同大学機械宇宙システム専攻助教．追従型福祉車両，ヘビ型移動ロボット，脚車輪型移動ロボット，軽作業用マニピュレータの研究開発に従事．第 16 回日本ロボット学会論文賞（2002），計測自動制御学会論文賞（2012）受賞．博士（工学）．（日本ロボット学会正会員）



桑原裕之（Hiroyuki Kuwahara）

1996 年東京工業大学制御工学専攻修士課程修了．同博士課程に在籍後，2002 年〜2007 年 NPO 国際レスキューシステム研究機構研究員．主に移動ロボットの機構，制御システムに取り組む．2008 年サスティナブルロボティクスを設立し，研究機関向けロボットの開発と販売に従事．2008 年より東京工業大学非常勤講師．（日本ロボット学会正会員）

福島 E. 文彦（Edwardo F. Fukushima）

1993 年東京工業大学機械物理工学専攻修士課程卒業．1994 年 8 月から東京工業大学工学部助手，2001 年 8〜12 月スタンフォード大学客員研究員．2004 年 8〜9 月チューリッヒ大学客員研究員．2004 年東京工業大学准教授，現在に至る．博士（工学）．移動ロボットの機構，センサ，駆動系，制御系の研究に従事．（日本ロボット学会正会員）

広瀬茂男（Shigeo Hirose）

1976 年東京工業大学制御工学専攻博士課程修了（工学博士）．同大学助手，助教授を経て 1992 年東京工業大学機械物理工学科（2000 年以降機械宇宙システム専攻）教授．2011 年同大学卓越教授．ロボット創造学の研究に従事．第 1 回 Pioneer in Robotics and Automation Award（IEEE 1999），第 1 回 Award of Merit（IFToMM 2004），紫綬褒章（2006），Engelberger 賞（2009）など受賞．日本機械学会，IEEE 各フェロー．日本学術会議連携会員．（日本ロボット学会正会員）