

# ロボット教育の論文化と査読基準

○琴坂信哉(埼玉大学)

## 1. はじめに

ロボットを使った教育は、人間の持つ動きや認知のメカニズムに強く訴えかけることから、学習者に強い印象を与えることができる[1][2]。また、ロボットを支える技術が、コンピュータやモータ制御技術、センシング技術といった様々な技術の集合であること、ロボットの出力である“動き”がだれにでも理解しやすいことから小中学生を対象とした理科教育から高度技術を学ぶ企業技術者まで広く活用可能な教育手法である。しかしながら、ロボットコンテストやロボット工作教室に代表されるようなロボット教育は、「遊び」ではないのか、いったい何が教育されているのかわからない、単なる体験に終わっていないかといった批判を浴びてきた。特に、ロボットコンテストを体験してきた工学部学生に対しては、技術的な問題に対して場当たりの解決手段をとる、根本的な解決を模索しないといった性向があるといった指摘もある。

これらの指摘は、ひとつにはロボット教育が体系化されておらず、何をどうすれば何が教えられるのかを明確にしてこなかったところに問題の原因があると考えている。また、各地で開催されているロボット工作教室の多くは、個々の教育者の個別の努力と経験の積み重ねによって行われている。個々の教育者の方々の努力には、並々ならぬものがあるが、同時に外部との情報交流を行うこと無く進められている場合、教材等の情報交流が無いため非効率であったり、教育手法としての改善が進まないといった問題点を抱えている。

本稿では、その一解決手段として工学系雑誌においてロボット教育論文を実現することを提案する。そして、その査読基準に関する考察について述べる。

なお、本稿は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構「次世代ロボット知能化技術に関する研究開発の総合的展開」（以降、NEDO 特別講座（教育）[3]と呼ぶ）、及び日本ロボット学会「ロボット教育」研究専門委員会の活動の一部として行われた成果である。

## 2. 工学系雑誌におけるロボット教育論文

現在、日本国内には、ロボット教育を含む教育手法等の課題を取り扱う学協会として、日本教育工学会、日本工学教育協会、日本産業技術教育学会等がある。これらの学協会では、様々な教育手法や教案、教材についての議論が行われている。また、教育手

法や教育効果のより学術的側面は、日本認知心理学会等で発表が行われている。これらの学協会の参加者は、前者は、主に小中高校や大学の教育学部に所属の教員である。また、後者は、学習科学や認知科学の側面から人間の学習過程の研究を行っている研究者である。これらの人々の多くは、教育や教育手法の専門家ではあるが、ロボット技術者ではないためロボット教育の技術的側面に対する認識は薄い。逆に、ロボット技術者、研究者は、これらの学協会に対する認知度は低く、教育手法等の議論に触れることは少ないと考えられる。そのため、相互の情報交流は進まず、ロボット技術が需要となるようなロボット教育の体系化や教育手法としての改善が進まないという問題点がある。

そこで、ロボット教育実施者の情報交流を進め、ロボット教育の体系化、教育手法の継続的なブラッシュアップを進めるために、工学系雑誌においてロボット教育論文を実現することを提案する。

工学系雑誌において、ロボット教育論文を実現することのメリットの一つは、ロボット教育に関わる工学系技術者、研究者、工学系教育者の間でロボット教育に関する情報交流が行われることにある。また、工学系技術者、研究者による Peer review によるロボット教育手法のブラッシュアップも期待できる。質の良い教育手法が、広く公開、共有されると同時に、学外で行われることが多いため教育の業績として評価されることの少ないロボット教育活動に対して、具体的な評価を与えることもできる。情報交換、共有のためには、文書化や学会講演が重要であるが、それに対する動機付けを与えることもできる。

なお、ここで、本稿が取り上げるロボット教育論文は、単にロボットを使った教育というよりは、ロボット技術を活用することが本質的であり不可欠である教育手法、教材開発等を取りあげる教育論文を対象として考える。ロボットを活用することで、従来の手法よりも改善が期待される教育手法や、新しい教育効果が期待できるようなロボット教材開発等が対象となる。もちろん、「単にロボットを使っただけ」の教育手法も拒むものではないが、工学系雑誌で取り上げる論文として、よりロボットが本質的である論文を中心に取り上げていきたいと考えている。

## 3. ロボット教育論文の構成

従来の工学系論文と比較したときに、ロボット教育論文の構成に大きな違いはないと考えている。し

かし、論文を構成する各要素の重み付けや見方、立場がかなり異なるため、工学系研究者、研究者がロボット教育論文を執筆するときには、視点の転換が必要になる。おおざっぱな比較ではあるが、工学系論文と教育系論文の比較結果を表1に示す。様々な論文の形態が考えられるため、あくまで一例としてご参考にして頂きたい。

工学系論文と教育系論文で、もっとも大きく視点が異なるのが、手法を考える部分と考察に対する姿勢、重み付けである。工学系では、良い結果が出るであろう手法を考案するために多くの時間を割く、一方、教育系ではまず実験ありきで、その結果をどのように解釈したら良いかを考察することに多くの時間を割く。工学系では、実験方法そのものの説明はあっても、なぜそのような実験計画にしたのかまでの議論に踏み込むことは少ない。また、実験結果の考察に多くの文字数が割かれることも少ない。手法の考案の段階で十分に検討した結果、良い結果が出るのが、ある意味、当たり前であるためである。教育系では、全く逆の形になる。実験計画の建て方や考察に十分な文字数を割かない論文は、注目を集めることはない。ここに研究のアプローチに大きな違いがある。教育系では、結果をどう解釈するかに多くの時間を割く、さらに、教育系の学習実験の場合、絶対的な評価結果をえら得ることは稀である。そのため、相対的な評価を行わざるを得ない。その結果、いわゆるコントロール、初期の水準がどこにあったのかを明確に示すことが求められる点が大きく異なる。工学系では、どのような機械でも用意することが可能であるのに対して、教育系では、いま目の前にいる学習者を対象としなければならないからである。

一方、過去の論文との差別化、問題意識がどこにあるのかを説明する必要があるのは、両者とも同じである。ただし、教育系では、どのような学習者を対象として、どのような学習が必要／実施されたと考えているのかを説明することが必要である点に注意が必要である。工学系の場合、対象はざっくりと「ロボット」と示されることが多いが、教育系の場合明確に示すことが重要である。どのような学習状態にある学習者を対象とするのか、学習環境や、教育手順を再現可能なように示す必要がある。

#### 4. ロボット教育論文の査読の問題点

工学系雑誌において論文として成立するためには、有用性、新規性、信頼性などの査読基準をクリアする必要がある。通常、有用性、信頼性は、定量的な実験により検証することが求められる。また、新規性は、過去の研究との具体的な差異を説明することが求められる。

表1 工学系論文と教育系論文の構成の比較

	工学系論文	教育系論文
研究背景	教育に比べると比較的歴史が浅い。また、工学系論文では、過去の研究との差別化を定量的な表現で行える場合が多い	教育の歴史は長く、かつ対象が人間であることから手法自身の曖昧さ、結果の曖昧さがつきまとうため、背景説明(過去の研究との差別化を含む)は慎重かつ十分にを行う必要がある。
目的	どのような問題意識(例えば、能力が不足なところ等)をもって、どのような研究目的で、研究を行うのかを示す必要がある。	どのような問題意識(例えば、学習が足りないところ等)をもって、どのような教育目的で教育を行うのかを示す必要がある。
提案手法	どのような条件のもとで、どのような機械を対象として、どのような方法、手段、装置を用いて、どのような手順で行うのかを明確に示す必要がある。また、 <b>良い結果が十分得られるような手法を開発する必要がある。</b>	どのような状態の学習者を対象として、何を教育しようとしているのかを明確にした上で、どのような方法、手段、教材等を用いて、どのような手順で行うのかを示す必要がある。
実験対象	どのような条件の機械でも用意することが可能。すなわち、実験条件のコントロールが用意である。	実験対象は、あくまで人間であるので、いま目の前にいる学習者を実験対象とせざるを得ない。そのため、 <b>初期状態がどのような状態であったかを示すことが必要になる。</b>
効果の検証実験	あらかじめ、良い実験結果が得られるような、提案手法の開発、実験計画が行われる。そのため、実験結果の不明瞭さは少ない場合が多い。	実験対象が、人間であることから明確な実験結果を得ることは、非常に困難である。通常、複数人を対象とした実験を行い、統計的な有意差を求める程度のことしかできない。
考察	実験結果が明瞭なため、単に実験のまとめ程度の考察になることが多い。明確な考察の章がない論文もある。	明確な結果を得ることができないため、考えられる可能性をすべて網羅した考察が必要となる。実験結果から、求める結論が、 <b>どの程度尤もらしいのかを示すために、可能な限りの努力を注ぎ込む必要がある。</b>
結論	数字がすべてを表すので、実験計画さえきちんとしてきていけば、明確な結論が示されることも多い。	「示唆する」程度にとどまる。完全にシロクrofつけることは、ほとんど不可能。

ここで、ロボット教育論文で新しい教育手法の提案を行う場合を考えてみる。これまでの工学系雑誌の基準で考えるのであれば、その有用性の評価には教育効果の定量的な評価が必要になる。しかし、長い心理学研究の歴史を見ればわかるように、人間の学習過程のモデル化、定量化は、甚だ困難である。そのため、教育効果の評価は、主観的になりやすい。もちろん、心理学分野では、学習実験の評価方法が数多く提案されている。代表的かつ最も信頼性の高い方法は、対照実験を行う方法である[4][5]。例えば、教育現場に当てはめてみると、ある内容の教育をロボットを用いて行う学生群とロボットを使わないで同等の教育を行う学生群を用意し、事前と事後で成績等を評価すればよい。しかし、この方法では、大学等の教育機関の正規の授業の中で行うには、学生に不公平が生じる可能性があるため倫理的に問題がある。また、異なる教育者が、教育論文に記載された内容を再現しようとしても、全く同じ状態の学生を用意することはできないため、論文と全く同じ教育結果を再現することも困難であろう。そのため、工学系雑誌が、従来要求してきたような精度の高い検証実験を行うことが困難であると同時に、従来と同様の定量的な新規性、信頼性の提示、評価が困難であることを示している。

さらに、実際にロボット教育を行っている方々であれば、納得して頂けると思うが、ロボット教育を行う際に、学生がどのような事柄を学ぶかどうかを限定して教育を行うことは稀である。学習目標は、オープンエンデットにしておき、学生がそれぞれの学習レベル、学習動機に応じて多様な学習を行える

ような機会を用意することが多い。その場合、同じ教育手順を実施したからといって、同じ教育効果が得られるとは限らない。同様に、論文の新規性も評価が困難になる。教育手法は、工学技術のように一つ一つの手法を積み上げて深化していかせることが困難であるからである。また、先にも述べたが学習者の初期状態を厳密に記述することも困難である。そのため、過去の教育手法との違いを厳密に表現することが困難という状況がある。

以上のことから、ロボット教育論文は、従来の工学系雑誌と同様の新規性、有用性の基準で査読を行うことが困難であることがわかる。

## 5. 工学系雑誌におけるロボット教育論文の査

### 読基準の提案

以上の議論をふまえ、工学系雑誌においてロボット教育論文を実現するために、まず、論文が包含すべき内容の例を示し、査読基準の原案を提案する。なお、本章の内容は、NEDO 特別講座（教育）および日本ロボット学会「ロボット教育」研究専門委員会での議論の成果である。

**新規性の担保：**方法として体系化がなされているか、教育対象や問題意識、教育の意義が明確に述べられているか。

**妥当性の担保：**納得できるデータ、および結果が示されているか。特に、結果の解釈の様々な可能性について十分な考察が行われているか。

**価値の評価：**授業設計や社会的に見て役立つ知見、方法等が得られているか。汎用性、応用性について注意が払われているか。

以上を前提に査読基準として、以下の内容をまとめた。

#### 実施型論文：

主に、ロボット教育の実践的内容を主として記述する論文で、下記の三つの内容が含まれている論文とする。ロボット設計製作演習授業、ロボットコンテスト、ロボット工作教室等の提案、実施例等の論文を想定している。

**問い（仮説を含む）：**学習者の学習内容と対象とした学習者、及びその学習計画

**データ：**対象とした学習内容や手法（教育手順、想定した学習モデル等）

**答え：**実施した結果と得られた知見。社会へどのように還元できるのかの考察

#### 提案型論文：

主に、学習手法や学習モデル、教育効果の評価手法の提案等を主として記述する論文とする。これまで提案されてきた教育モデルの評価、比較や教育効果の評価指標等の提案に関する論文を想定している。

**提案：**学習者の学習内容や問題点の指摘をベースに、提案手法の内容等

**データ：**上記の論点に対する提案内容を支持、補強する事実、根拠

**答え：**提案内容の社会的、教育的意義の考察

ロボット教育論文の査読は、上記の内容が十分に含まれているか、その無いようにロボット教育として十分なもってもらしさがあるかどうか、ロボット教育分野や社会に役立つかもしれない内容が含まれているかどうかといった基準で判断する。データは、定量的な評価だけではなく、定性的、主観的評価（アンケートやインタビュー結果）も考慮する。

以上の査読基準を用いて、工学系雑誌でロボット教育論文を実現していきたいと考えている。

## 6. おわりに

以上、簡単ではあるが NEDO 特別講座（教育）で行ってきたロボット教育論文の実現に関する活動の一端を紹介させて頂いた。幸いなことに、幸いなことに、日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門の英文誌である *Journal of Robotics Mechatronics* にて、ロボット教育論文特集号を企画して頂き、著者は、そのゲストエディタとして、上記の査読基準を採用した特集号を実現させて頂くことができた。（本特集号は、2011年10月20日 JRM Vol.23, No.5 にて発行予定である）引き続き、ロボット教育論文の継続的実現に向けて活動を行っていきたいと考えている。

この活動を通じて痛感したのが、非常に多くのロボット研究者の方々が、同時にロボット教育を熱心に行っている点である。しかも、それぞれの方々が、いわゆる「一家言」を持っており、それに応じた教育手法なり教材なりの開発を行っている。一方、そういった努力や見識は、公開されることは稀で、お互いにどのようなことを行っているのかが伝わっていない。非常に興味深いと感じると同時に、情報共有、教育手法の共有によって、効率化、手法のブラッシュアップの仕組みの確立の必要性を痛切に感じた。

将来への課題ではあるが、是非、この活動をホビ一分野へも展開したいと考えている。世間では、ロ

ロボットホビー分野の活動が盛んではあるが、研究活動や技術者の教育につながっていない。ロボコンマガジンや個人の Web ページを見ると、ホビイストの人たちも単に動かすだけの状態から、高度なロボット技術の領域にまで手を伸ばししつ々ある。このようにより深い技術的な側面に興味を持ったときに、どのようにしたら良いのか。単に大学に入って下さいというのでも構わないが、橋渡しが必要であると考えている。もとより自主性を持った活動的な学生が多いことから、自分で学習するための道筋を用意するだけでも良いかもしれないこの活動が、継続できることを期待している。

### 謝 辞

本報告で述べた活動は、独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構「次世代ロボット知能化技術に関する研究開発の総合的展開」の支援を受けて実施されたものである。また、日本ロボット学会「ロボット教育」研究専門委員会の多数の皆様、議論にご参加頂きました。本報告は、その議論の成果であることも申し添えておきます。議論に参加頂きました皆様に感謝申し上げます。

### 参 考 文 献

- [1] Akiko Arita, Kazuo Hiraki, Takayuki Kanda, Hiroshi Ishiguro: "Can we talk to robots? Ten-month-old infants expected interactive humanoid robots to be talked by persons", *Cognition* Vol. 95, pp. B49-B57, 2005.
- [2] 田中文英, 小嶋秀樹, 板倉昭二, 開 一夫: “子どものためのロボティクス-教育・療育支援における新しい方向性の提案-”, *日本ロボット学会誌*, Vol. 28, No. 4, pp. 455-461, 2010.
- [3] 琴坂信哉, 佐藤知正: “次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト:NEDO 特別講座-ロボットによる人材育成活動-”, 第 28 回日本ロボット学会学術講演会講演論文集, 2010.
- [4] S. M. ロス他: “教育工学をはじめよう”, 北大路書房, pp.120-126, 2004.
- [5] 堤 宇一編著: “はじめての教育効果測定”, 日科技連, 2010.