

競技ロボット製作授業による教育効果

佐藤 清忠^{*1}
藤原 康宣^{*1}
(一関工業高等専門学校)
向山 宙^{*2}
(Hawaii HIS)

Education Effects on Practice of Game Robot Development

Kiyotada Sato
Yasunori Fujiwara
(Ichinoseki National College of Technology)
Hiroshi Mukoyama
(Hawaii HIS)

This paper shows education effects on practice of game robot development of mechanical engineering department of Ichinoseki national college of technology. In order to analyze the education effects, we suppose two design models that are hierarchical multilevel system model and Holon system model. The hierarchical multilevel system provides a basic development management skill. The Holon system model provides a system structure with two dimensional axis, span and depth. On the assumption the design models, education effects of game robot development practice are learning of management skills that concern with depth axis knowledge, such as design requirement and performance feedback.

KEYWORDS: game robot development, hierarchical multilevel system model, education effects

1. はじめに

一関高専機械工学科 3 学年で平成 10 年から取り組んでいる歩行型競技ロボット製作授業を振り返り、授業運用の特徴と創造性育成及び技術者としての自覚に関する教育効果をまとめる。授業には特別な設備は設けず供与部品も最小限であった。詳細な製作指導は行わず、きちんと動くという結果評価だけを目標に、自主努力する運用形態にした。

この学生のロボット開発プロセスを、多階層システムにおけるストレータ・モデルまたホロン・システムで考えた場合、設計階層の軸である Depth と設計規模の軸である Span の 2 つの座標

軸による要素の集合で表すことができる。このモデルにより本授業を分析すると、学生はロボット開発により Depth 軸の要素に関する知識と管理スキルの強化を行っていると考えられる。すなわち設計目的を創出し、その実現のための機能要素の製作と結果の分析に関する知識の獲得が重点的に行われていると考えられる。

この知識は個別に助言することもあるが、学生は本授業を通じて発見的に習得している。授業アンケートによると、この方式による授業の意義を認める回答が多い。本論文ではこれまでの授業内容の概要と製作事例を紹介し、階層システムの見地により教育効果の形式的な分析を行う¹⁾。

^{*1} 機械工学科 satok@ichinoseki.ac.jp

^{*2} 前一関工業高等専門学校機械工学科教員

2. 取り組みの経緯と運用方法

学生の創造性育成と中だるみ解消を目的に、以下のロボット製作授業を実施してきた。

- ①平成 10 年：ゴム動力によるロボット相撲²⁾
- ②平成 11 年：モータ動力によるロボット相撲³⁾
- ③平成 12 年：歩行型機構によるロボット相撲⁴⁾
- ④平成 13 年：歩行型・攻撃機構ロボット相撲⁵⁾
- ⑤平成 14 年：跳躍ロボットによる競技⁶⁾
- ⑥平成 15 年：歩行型・攻撃機構ロボット相撲
- ⑦平成 16 年：歩行型・攻撃機構ロボット相撲
- ⑧平成 17 年：歩行型・攻撃機構ロボット相撲

本授業の運用方法は次の通りである。

- 1) 設計製図授業としてロボットの構成部品を手作りし完成図面の提出を行うこと。
- 2) 製作は 2～3 名程度のグループにより行う。
- 3) 競技規則と評価方法の説明を行った後は、特にこまかい製作指導をしない。
- 4) グループへの手渡し部品は DC モータ、ギヤボックス、電池ケース及び電線である。
- 5) 製作のためにボール盤 2 台、またカッター、金ノコ等工具がグループ数だけある。
- 6) 製作場所は、製図室または教室を使う。
- 7) 中間報告をさせて途中までの開発の評価を行う。
- 8) 競技会の勝敗により成績評価を行う。

授業時間は半年間、週 3 時間である。開発管理に関する指導を行うことにより、競技会まで全員、自力で完成させてくる。このとき学生は、クラス内の他機種戦略や特徴を調べ、当初着想した構造に改良を加えている。

3. 製作事例

図 1 は、第 2 章③の授業で製作されたものである³⁾。ひとは優勝機種 A、もうひとは準優勝作品 B である。優勝機 A は小型軽量にできており、相撲競技の観点では不利な設計である。しかし多くの機種が B のように重量型の構造となっており、方向切り替えが迅速にできず、ロボットの側面方向に弱点があることを見抜き、その側面にすばやく回り込む機構の改良を重ね優勝を決めた。機種 B は歩行型ロボットとして機構は万全で部品等の信頼性等完成度も高かった。機構学の知識を応用しスムーズに動くリンク機構は見事なものであった。しかし戦略上の見通しが甘かった。

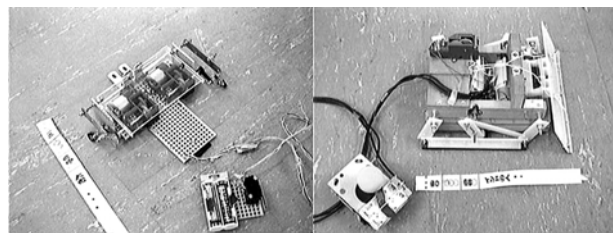


図 1 平成 12 年度の製作事例 A (左), B (右)

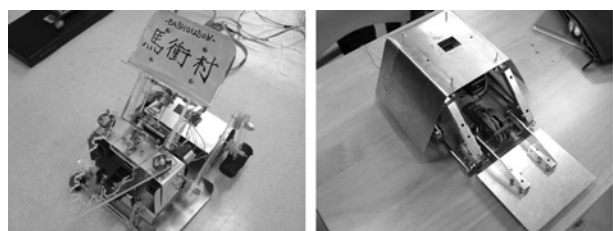


図 2 平成 15 年度の製作事例 C (左), D (右)

図 2 は第 2 章⑥での開発した事例である。攻撃機構を備えた型の優勝機 C と準優勝機 D である。これらは 2 人の操作により競技を行うものであった。D のどっしりした構造はどこからも攻め入る隙がない。しかし D は駆動力が弱く、最後は駆動力の信頼性設計の違いで勝敗を分けた。

4. アンケート結果の例

本授業に対するアンケート調査は毎年実施している。回答結果は概ね同様の内容となる^{5), 6)}。図 3 には平成 14 年度の調査結果例を示す。

機械工学専攻の学生とはいえ、図 3(a)に示すように、ほとんどモノ作りの体験がない。このため同図(b)のように事前指導で計画的に作業をすすめたとはいえ、時間的な制限により思い通りの成果を得ていないことが同図(c)で伺える。完成の後にもさらに改良をしたいとの意見が、同図(d)のように多い。この改善への熱意は学校公開や市民向け講座で発揮することになった。この授業体験により学生は設計スキルや工学技術の重要性を同図(e)(f)のように再認識している。そして全般として、同図(g)(h)に示すように面白い授業であったとの評価が行われている。

授業における作業内容は、当初に構想した案の改良作業が大部分である。学生は半年間にわたり改善作業を継続することにより、授業に対する満足感を得、さらに改善活動したいとの高いモチベーションを得ていることがわかる。

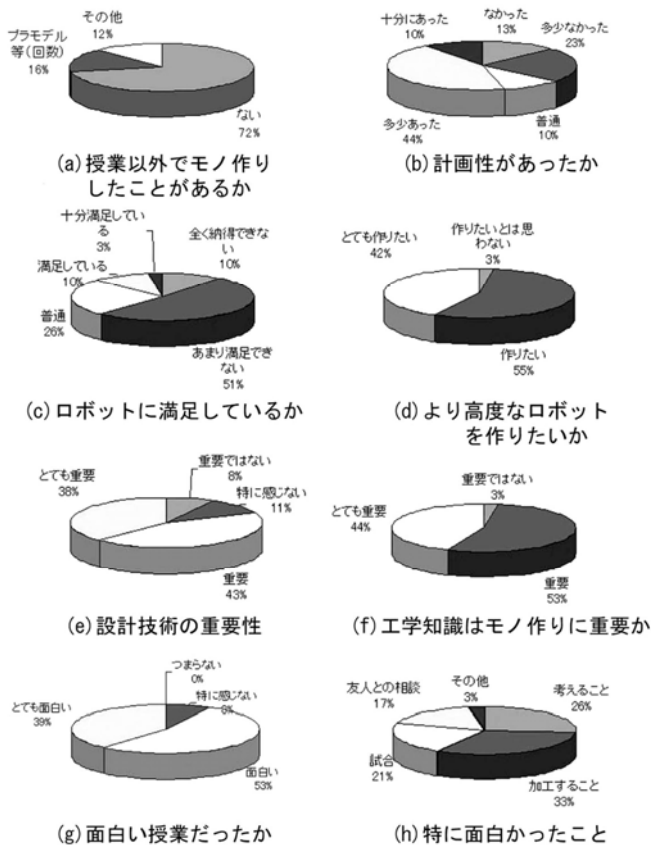


図3 本授業に対するアンケート結果例

5. 本授業における設計活動の形式

本授業のように、競技規則等の制約条件で構想を練り改良活動を重ね、最終的にシステムを完成させていく設計活動をどう考えるべきであろうか。この分析のために設計作業のモデルを提案する。モデルは M. D. Mesarovic ら提案のストレータ・モデル (Hierarchical multilevel system) ⁷⁾ 及び A. Koestler のホロン・システム (Holarchies) ⁸⁾ の双方の考え方を融合した形式を使う。

文献 7) で提案されたストレータ (階層)・モデルは図 4 に示すように、縦に配列されたサブシステムにより構成される。本競技ロボット設計授業は図 4 の上位階層の規則等の制約を含んだ「干渉」と呼ぶ設計要望に対する下位階層の機構要素部品の組織化活動、および上位方向での成果の点検 (パフォーマンス・フィードバック) が期待されている。本授業の構想作業や改良実験は、図 4 の各階層におけるサブシステムの干渉とパフォーマンス・フィードバックの繰り返しにより説明できると考えられる。人工的なシステム構成概念である図 4 のモデルでは文献によると上位階層と下位階

層に関して次の性質がある。

- 1) 上位のシステム要素の優先度が高く、下位システム要素に対し干渉する権利を持つ。
- 2) 上位のシステム要素は下位サブシステムの実行結果のフィードバックにより修正を受ける。
- 3) それぞれの違った抽象レベルから、システム行動に関するモデルを記述していく。
- 4) 各レベルに対して、システムの行動の記述に適した特徴と、変数、法則と原理がある。
- 5) どのストレータを選択するかは、観察者の知識や、注目するシステム動作により決まる。
- 6) ストレータにおいて各レベルのシステム動作を記述する文脈は、一般に相互に関係はない。
- 7) そのシステムを特徴付けるために用いられている原理や法則は、他のストレータで用いられている原理から導き出すことはできない。
- 8) ある与えられたストレータ上でシステムが適切に機能するためにはその下位にあるすべてのストレータが正しく機能していなければならない。
- 9) 各ストレータは、用語、概念、原理についてそれ自身の集合を持っている。
- 10) 上位と比較し下位ストレータがより基本的ということはない。
- 11) 下位要素は、正確かつ詳細に考察ができる。上位要素は、より広い記述、より長い時間間隔における変化を見出すことになる。

以上に加えて、より上位の階層は、システム全体の行動のより大きい部分やより広い見方に関心を持つ。より上位のユニットの改良等意思決定の周期は、下位ユニットのそれよりも長い。より上位の記述と問題は、より多くの不確定性を持ち、定量的定式化はより困難である。

一方、文献 8) は、図 4 と同様の要素 Holon の入れ子構造により生物システムを分析したもので

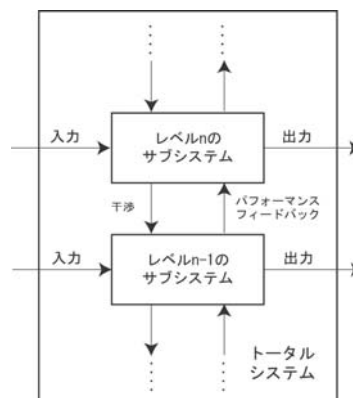


図4 ストレータ・モデル

あり、人工的なシステム製作とそぐわない面もある。この中から本設計授業の分析を行う目的のために次の2つの性質を導入する。

12) ヤヌス効果。各ホロンには、自己調節的な開放系であり、全体としての自律性と部分としての依存性の両方をあわせ示す。本授業における部品要素もみなこの性質を持つものであり「バランスの良い設計」とは、各要素が完璧にヤヌス効果を発揮していると言い換えることができる。

13) 解剖可能性。複雑なシステムは、要素の階層構造として記述できる。このとき、階層構造を作り上げているレベルの層数を Depth と呼び、特定の各レベルのホロンの個数を Span と呼ぶ。

なお以上の2つのモデルによるシステム設計論は数多く論じられている。筆者らは暗黙知等の考え方も含め、新たなシステムの開発手法や設計教育に役立ててきた^{9) 10)}。

6. 本授業における設計活動の形式

以上、文献 7), 8) で提案されたモデルと性質を、本授業の設計活動の分析に利用する。以下、本授業を特徴付ける構想作業及び改良作業に対する筆者らの認識と作業の形式を紹介する。

6-1. 設計作業の形式と創出活動

図5には本授業における設計作業の形式を示す。横軸 Span は部品規模の多少を表し、縦軸 Depth はストレータ方向の考察の深さを示す。図の D_0, D_1 は、図4で干渉と呼ばれた機能目標となる内容である。図中の E_i は、上位ストレータの機能目標に対する構成要素であり、要素間の横線はその規模を示す。縦の2重線はサブシステムのつながりを示し、図4の干渉とパフォーマンス・フィードバ

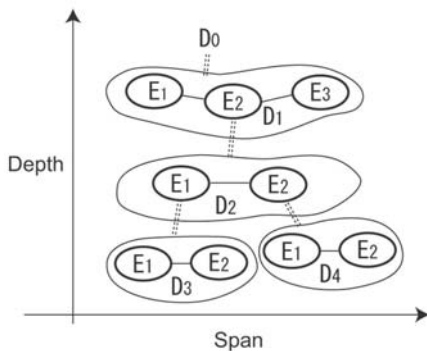


図5 設計作業の形式

クの上下矢印を単純にしたものである。Depth 軸上位ストレータの要素はすべて設計要望を意味し、下位ストレータでその実現のための組織化(創出)基づいて行う。その後、パフォーマンス・フィードバックにより、論理的機能的な要望に一致したものが否か判定する。これは全要素で行われているが、図5では説明のために、1つあるいは2つの要素のつながりだけを示している。

図5の D_0 はロボット製作目標である。この目標に従いロボット本体のおおざっぱな機能集合 D_1 を考案する。この D_1 の内容は競合機種が登場により当初の構想を変更することになり、勝利するまで改良が続けられる。図1, 図2の作品は、こうした考察を重ねた事例であると言える。

学生は当初、 D_0 の目標を満足するために具体的なロボットの形状や機能の集合 D_1 を創出し、その機能要素として E_1, E_2, E_3 の製作計画を立案する。 D_1 の E_1, E_2, E_3 は、例えば足回りの概要設計、モータやギアなどの部品選定である。 D_1 の構想段階ではそれらの部品を配置したポンチ絵が描かれる。第2章の7)で示した中間発表では、このポンチ絵が提出される。

図5の D_2, D_3, D_4 は D_1 の機能目標を達成するためのサブ目標と各目標に対する構成要素である。例えば D_2 はリンク機構の構造図となり、その構成部品 E_1, E_2 が考案される。部品 E_1, E_2 は例えばアクリル材料の加工としてさらに下位ストレータ D_3 で考察され適切な素材や形状 E_1, E_2 が選択される。一方、軸受けの部品はストレータ D_4 でネジや附属部品の E_1, E_2 が考察される。ただし第5章の性質11)で示すように、 D_3, D_4 など比較的下位のストレータ要素は比較的短時間に変更や改良が行われるのに対し、上位のストレータ D_1, D_2 などは、やや固定されたものとなる。以上の傾向が、比較的長時間にわたる改良作業で獲得する知識内容を決めるものとなる。

さて、こうしたサブシステムの考案や製作作業では、工学知識の多少が問われる。しかし性質10)に記したように、下位ストレータがより重要ということはない。授業では下位ストレータ知識に関する授業指導が多いが、この関係のため、学業成績と競技結果や、学業成績とロボットの完成度は直接関係ないように思われる。また性質9)で示すように、各ストレータにはそれぞれ独特な表現形式や構成原理がある。これらのほとんどは通常の授業で教わるものではない。たとえば D_0 の目標に

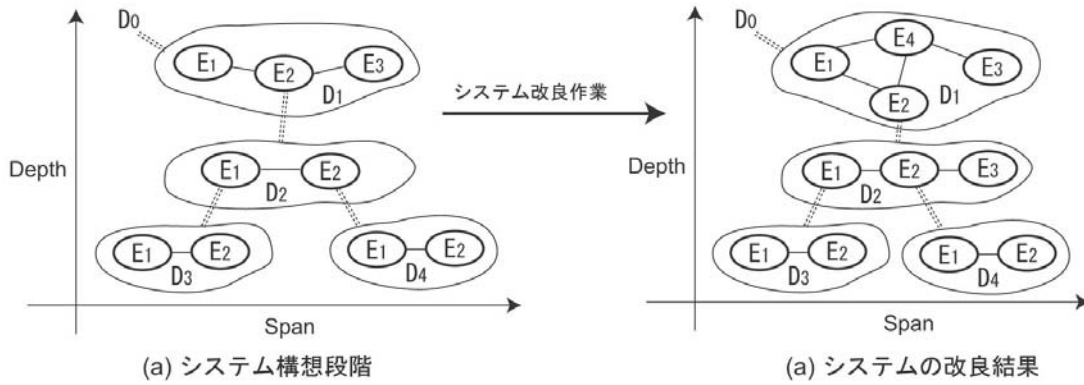


図 6 改良作業の形式

対する「競技ロボット学」などは存在しない。このため図 5 のような設計のための形式を、発見的に会得する必要がある。

6-2. 改良作業の形式

図 5 で紹介した当初の構想は、教室内の競争相手の戦略 D_1 に対抗して何度も変更が行われる。長時間にわたるこの改良作業は、後述するように教育効果に大いに寄与する行為である。その作業の形式は図 6 のようにまとめることができる。すなわち D_0 の目標である要望により、戦略変更により D_1 内に新たな要素 E_4 等の追加や削除を行う。それによって D_1 内の E_2 要素の変更が必要になり、それ以下の D_2, D_3, D_4 の要素が全部更新される。更新結果は、パフォーマンス・フィードバックにより検証され何度も作業を繰り返すことになる。

こうした改良作業は、図 5 の設計形式を自然に発見し体得させるものである。この設計形式を知ることにより管理スキルが身につく、問題点や作業目標が明確になりグループ内の意思疎通が円滑になる。そして時間さえかければ完璧なロボット完成にまで導くことができるとの確信を与える。

7. 教育効果の考察

図 6 の改良作業を Span と Depth の範囲で観察すると、概ね図 7 の軌跡で示す活動を行っているように見える。すなわち、初期の構成案である Design1 の Span はそれほど変化せず、Depth 方向の改良により洗練された要素部品を選択し、信頼性の高い機構の採用により完成品 Design2 を得るに至っている。すなわち、入れ子構造状につなが

った下位階層の要素の創出と、そのパフォーマンス・フィードバックにより、より D_0 目標に近い解、Design2 を得ているものと言い換えることができる。この作業で学生は Depth 軸の知識や管理のスキルを発揮し、上位階層の要望 D_n に対して下位要素 E_i の不断の創出による問題解決行動を行っている。

以上のことを第 5 章で示した階層システムの性質により教育効果を考察すると、次のようになる。

まず手探りで開発していた作業を、上位と下位のストレータ階層に分離して考察できるようになった。

次に学生は 13) の解剖可能性に気づき、1) の上位と下位の干渉の原理、2), 8) また 10) の部品相互のフィードバックによるストレータ間の目標の手直しを体得する。これらの知識は、図 3(e) (f) のアンケート結果を見ると、工学技術知識というよりは管理行動に関したものである。この体得の後、完成度が飛躍的に高まる。

以上の改良作業の結果、完成目標としたロボットの構造は、構想当初のものに比較して見た感じ

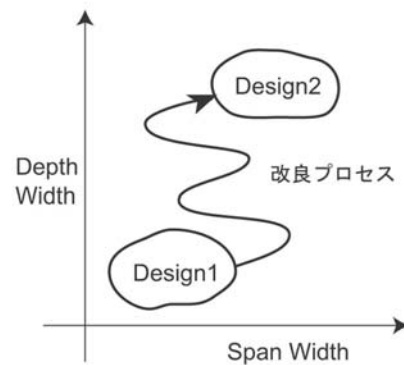


図 7 改良作業による教育効果

では変化しない。しかし入れ子関係でつながった下位のストレータ要素は全部きちんと認識され、パフォーマンス・フィードバックの原理によりシステムはきちんと目的の動作するものとなる。つまり教育効果として、Depth 方向の管理知識とその実践能力が高まったとすることができる。

本格的なものづくりがまったく初めての学生のアンケートによると「すごく楽しかった。こんな授業は生まれて一度も経験したことがなかったので新鮮に感じた。もう少し授業時間が欲しい」との感想が毎年のように寄せられている。この感想の意味は、この授業でシステム設計の形式が体得でき、テーマさえあればこのスタイルで、どんなものでも解決できるスキルが身についた、という実感の表明ではないだろうか。ロボット作りを通じてシステムの設計形式の発見を促し、少ない知識でも創造的な実践ができる可能性とそれを確信させる授業は、技術者の自覚を促す目的に大きな効果があったと考える。

8. おわりに

8年間にわたる一関高専でのロボット設計授業を紹介し、本授業で学生が何を学び取り、どのようなスキルが育成されていたか、形式的な構造を提案し、考察を試みた。本授業ではストレータ・モデルおよびホロン・システムで考えた場合、上下のストレータそれぞれにおいて、干渉による要素創出活動とパフォーマンス・フィードバック活動が実施されていると考え、その概要を述べた。

技術者の自覚を促す教育的な側面としては、改良作業を通じて、完成への粘り強い活動が行われていることが確認されている。その改良活動では、システムのDepth軸に関する要素間の関係を知り、干渉とパフォーマンス・フィードバックの調停に関する管理スキルを習得していると考えられる。以上の一連の活動により、学生はモノづくりに対する見通しや自信を得、技術者としてのモチベーションを高めていると推測している。学生の満足度は高く、中だるみ解消につながり、校内教員また一般市民に対する公開演示の評判も良かった。このことが、8年間、同じ授業スタイルで継続できた理由であると思われる。

最後に本授業の実施にあたり、歴代校長また本校機械工学科教職員、機械学会東北支部、また本校実習工場職員の方々の多大なご支援がありまし

た。深く感謝いたします。

参考・引用文献

- 1) 藤原康宣, 佐藤清忠, 競技ロボット製作授業による教育効果, 平成 18 年度高専教育教員研究集会, pp. 83-84, (2006)
- 2) 佐藤清忠, 向山宙, 千葉周一, 佐藤民雄, 千葉誠, 小岩俊彦, ゴム動力相撲ロボット製作に見る創造性, 平成 11 年度工学・工業教育研究講演会, (1999)
- 3) 佐藤清忠, 向山宙, 千葉周一, 佐藤民雄, 千葉誠, 小岩俊彦, 一関工業高等専門学校機械工学科 3 年生における創造性育成教育の取り組み(2 年目を迎えたロボットコンテスト), 平成 12 年度工学・工業教育研究講演会 66, (2000)
- 4) 佐藤清忠, 向山宙, 一関高専機械工学科における創造性育成教育, 平成 13 年度工学・工業教育研究講演会 91, (2001)
- 5) 藤原康宣, 佐藤清忠, 一関高専機械工学科における創造性育成教育, 平成 14 年度工学・工業教育研究講演会, 114, p. 363, (2002)
- 6) 藤原康宣, 佐藤清忠, 一関高専機械工学科での創造性育成教育—跳躍ロボットの設計製図授業における教育効果—, 平成 15 年度工学・工業教育研究講演会 145, (2003)
- 7) M. D. Mesarovic, D. Macko, Y. Takahara, Theory of Hierarchical Multilevel Systems, 研野和人監訳, 階層システム論, 共立出版, (1974)
- 8) A・ケストラー, 日高・長野訳, 機械の中の幽霊, ペリかん社, (1984)
- 9) 佐藤清忠, ハードとソフトのトレードオフとは, トランジスタ技術, p. 315-327, CQ 出版(1986)
- 10) 佐藤清忠, 岩田純蔵, システム構造を基礎にした電子技術教育の方法, 電気関係学会東北支部大会 1B14, pp. 44, (1989)