

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 5月31日現在

機関番号：11201

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22530942

研究課題名（和文） 創造的問題解決を通してシステム思考の育成を図る総合的ロボット制御学習の開発

研究課題名（英文） Development of Comprehensive Learning for Robot Control Aimed at Fostering Systems Thinking Through Creative Problem Solving

研究代表者

宮川 洋一（MIYAGAWA YOICHI）

岩手大学・教育学部・准教授

研究者番号：70552610

研究成果の概要（和文）：

本研究では、「情報システムが人間と共生，協働する社会」において必要となるコンピテンシー（能力）「システム思考」について，その構成概念と構造とを明らかにした上で，ロボットとプログラミングとを融合させた情報システムに関する教材（ロボット制御教材）の開発，学習フレームの開発（題材開発），教育実践・評価を行うことを通して，学習者のシステム思考を形成しうる学習指導の構築をした。

研究成果の概要（英文）：

The aim of the present study is to elucidate the concept and structure of the systems thinking competency required for societies where information systems coexist and collaborate with humans in order to develop teaching materials for information systems where robots are fused with programs (robot control), to develop learning frameworks (themes), to practice and evaluate education, and to establish an educational guide that enables learners to acquire systems thinking.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
2012年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：社会科学

科研費の分科・細目：教育学・教科教育学

キーワード：問題解決，情報システム，計測・制御学習，技術教育，情報教育

1. 研究開始当初の背景

2007年10月，首都圏のJR等で発生した自動改札機のみ作動しなくなるトラブルでは，通勤通学客260万人に影響を与えた。この原因は，条件分岐処理における数行のプログラムのミス（バグ）であった（日本信号プレスリリース，2007.10.15）。このように，情報システムが人間と共生，協働している社会においては，技術の潜在的な可能性，現時点

での限界や危険性等について，幅広く市民の社会常識（コンセンサス）を形成しておく必要がある。そのためには，技術の性質を理解させた上で，その潜在的な可能性，現時点での限界や危険性について熟考させるとともに，実践的・体験的な活動を通して，論理的思考力や創造性を育み，これらをもとに技術を適切に評価できる能力（＝技術リテラシー）を形成する教育・啓蒙活動が重要である。この

ことは、「キー・コンピテンシー（主要能力）」を提言している OECD DeSeCo プロジェクトにおいても、「技術を相互作用的に用いる能力」として取り上げられている。技術を相互作用的に用いることは、人が単に使用する道具のスキルを身につけるだけでなく、技術の性質を理解してその道具に眠る可能性を、人が自分たちの状況や目標に関連づけていくことによりなし得ると指摘する(ドミニク・S・ライチェン他、キー・コンピテンシー、2006)。

自動改札機をはじめとする情報システム技術は、IT とものづくり双方の技術が必要であり、基本的な物理学をはじめ、電子工学、情報工学、ソフトウェア工学、メカトロニクス等幅広い分野から成り立っている。このような、情報システムに対する技術リテラシーを形成するためには、IT とものづくりを統合させた見方・考え方にに基づき、論理的思考力や創造性を発揮できる創造的問題解決の学習を構築していく必要がある。研究代表者は、この中核となるコンピテンシー（能力）の概念を「システム思考」と捉え、そのための学習を、市民の社会常識(コンセンサス)を形成する観点から、中学校を中心とした義務教育段階から取り上げていく必要があると考えている。その上で、これまでの研究成果を踏まえ、情報システムと人間とが、共生、協働する社会における市民のコンセンサスを形成していくという立場から、新しい教育フレームを考える場合、システム思考の形成を重視した教育に関する研究が必要であるという考えに至った。

2. 研究の目的

本研究では、「情報システムが人間と共生、協働する社会」において必要となるコンピテンシー（能力）「システム思考」について、その構成概念と構造とを明らかにした上で、ロボットとプログラミングとを融合させた情報システムに関する教材（ロボット制御教材）の開発、学習フレームの開発（題材開発）、教育実践・評価を行うことを通して、学習者のシステム思考を形成しうる学習指導の構築を目的とする。

3. 研究の方法

(1) システム思考の構成概念とその構造

① 概念地図法を用いた計測・制御システムに対する中学生の既有概念の類型化

中学校技術・家庭科技術分野「プログラムによる計測・制御」の学習（以下、計測・制御学習）に対する生徒のレディネスを把握するために、計測・制御システムに関する既有概念の実態を調査した。まず、中学生に形成させたい計測・制御システムに関する概念モデルを作成し、技術科教育及び制御工学の専

門家計 5 人によって妥当性を確認した。その後、大学工学部生と中学生を対象に概念地図法による調査を行った。

② 題材タイプの違いによる生徒の反応の差異

K 県内の中学校 4 校の 3 年生、計 352 名(男子 178 名、女子 174 名)を対象に、学校ごとに、走行ゲーム課題型・生活課題型のいずれかを割り振り、題材（9 時間扱い）の実践及び調査を行った。実践終了後、生徒の反応を把握するために、調査票を用いた調査を実施した。調査項目は、情意面の差異を比較検討するために、「①学習の楽しさ」、「②学習の難しさ」、「③学習の有用感」の 3 項目を設定した。次に、技術的な見方・考え方の差異を比較検討するために、「④学習による技術的な見方・考え方の変化」、「⑤学習による能力形成感」の 2 項目を設定した。分析では、①～③の 4 件法による回答を順次 4～1 点に得点化し、全体の単純集計と題材×性別の 2 元配置分散分析を行った。また、④と⑤に対する自由記述による回答から、テキストマイニング用ソフトウェアを用いてキーワードを抽出した。このキーワードをもとに、生徒の回答を分類するためのカテゴリを作成した。その上で、カテゴリに該当する自由記述を述べた生徒の人数（該当人数）について、題材のタイプ×性別のクロス集計を行った。

(2) システム思考を形成する開発題材（学習内容、開発教材、展開、指導方法）の評価
具体的には、現行の学習指導要領の内容をミニマムとして捉え、システム思考の形成という観点から、ロボット制御教材の開発と学習のフレームワーク（教材を用いた一連の学習のまとめり：題材）の開発を行った上で、創造的問題解決学習の授業実践と評価を行う。

4. 研究成果

(1) システム思考の構成概念とその構造

① 概念地図法を用いた計測・制御システムに対する中学生の既有概念の類型化

計測・制御学習に対する中学生のレディネスとして、計測・制御システムに関する既有概念の実態を、概念地図法を用いて把握した。その結果、本調査の条件の範囲内で以下の知見が得られた。

- 1) 計測・制御システムに関する概念地図を大学工学部生と中学生で比較した。その結果、中学生の既有概念は、入力系についてはある程度の概念が保持されているのに対し、インタフェースに関連する要素や出力系においては概念の形成率が芳しくないことが示された。
- 2) 中学生の描画した概念地図を分類したところ、概念モデルに近似のリンクができて

いる「概念保持群」(36.2%)、ノード同士をリンクさせることが全くできていない「概念未保持群」(15.8%)、計測・制御の全体像は捉えられているが、部分的にリンクの誤りを有している「概念誤保持群」(48.0%)に類型化された。

- 3) 「概念誤保持群」はさらに、出力系に誤りを有している「タイプⅠ誤保持群」(9.2%)、入力系と出力系に誤りを有している「タイプⅡ誤保持群」(27.6%)、入力系・処理系・出力系のそれぞれに誤りを有している「タイプⅢ誤保持群」(11.2%)に類型化された。これらの知見から、生徒がこれまでに計測・制御に関して見聞きしたり触れたりした経験から、計測・制御システムについての既有概念が形成されている状況が把握できた。

②題材タイプの違いによる生徒の反応の差異

本研究の実践条件下で得られた知見を以下に整理する。

- 1) 情意面の比較では、走行ゲーム課題型に比べて生活課題型の方が学習を楽しく感じやすい傾向が明らかとなった。また、学習の難しさでは男女間に傾向の違いがあり、生活課題型に対しては男子の方が女子よりも難しさを感じにくい傾向が明らかとなった。
- 2) 技術的な見方・考え方の比較では、走行ゲーム課題型に比べて生活課題型の方が、学習後に身近な機器や製品を自分なりに計測・制御システムとして捉えやすい傾向が示された。
- 3) 能力形成感の比較では、走行ゲーム課題型に比べて生活課題型の方が、より問題解決能力の形成感が促されやすい傾向が示された。

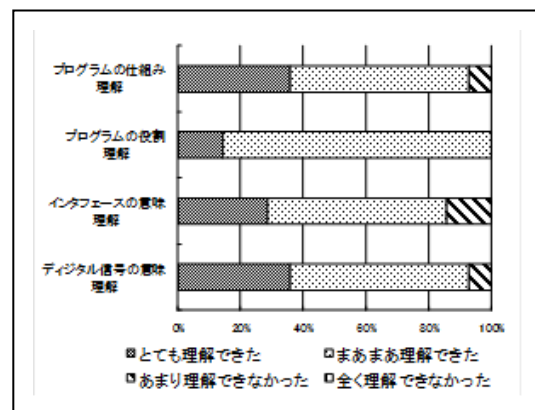
これらの結果から、本授業実践と調査方法によれば、走行ゲーム課題型の題材よりも、生活課題型の題材の方が、情意面、技術的な見方・考え方の深まり、能力形成感のいずれの観点においても効果的であり、計測・制御学習の目標を達成するために生活課題の文脈を持つ題材設定がより重要であることが明らかとなった。一方で、両者には有意差が見られないカテゴリもあり、走行ゲーム課題型の題材が生活課題型に比べ著しく劣るものではないことも明らかとなった。そのため、「模型自動車を素早く確実に完走する」という走行ゲーム課題の文脈は、現実の社会や生活から乖離しているが、技術的な見方・考え方や能力形成感の観点から、社会や生活における有用性を知るために一定の効果があったことも推察できる。そのため、走行ゲーム課題型は、課題が単純でゲーム性があるため、興味・関心が高めやすく、「センサからの入力に応じてモータの動きを制御する」という

情報処理の流れについて考えやすいため、導入題材に適していると考えられる。

(2)システム思考を形成する開発題材

- ①中学校技術科におけるUSB-I/Oを用いた「プログラムによる計測・制御」の学習指導過程の構成

USB-I/Oを用いた「プログラムによる計測・制御」の学習指導過程の構成を行い、実践した。その効果を見るために、授業の後に、①「コンピュータによる制御の仕組みの理解」について4項目、②「実践に対する意識」について4項目、③「教材に対する評価」について2項目の質問紙による調査を行った。①については「～について理解できましたか」という問いに対して、「とても理解できた」、「まあまあ理解できた」、「余り理解できなかった」、「全く理解できなかった」の4件法で、②については、「～と思う」という設問文に対して、「とてもそう思う」、「少しそう思う」、「あまりそう思わない」、「全くそう思わない」の4件法で、③については、「～は扱いやすかったか」という問いに対して、「とても扱いやすかった」、「まあまあ扱いやすかった」、「あまり扱いやすくなかった」、「全く扱いやすくなかった」の4件法で回答を得た。その結果、「コンピュータによる制御の仕組み理解」については4項目全てにおいて、「とても理解できた」、「まあまあ理解できた」を合わせると80%を超え、「全く理解できなかった」と回答した生徒はいなかった。特に「プログラムの役割について理解できたか」の問いでは、全員が「とても理解できた」、「まあまあ理解できた」と回答した(下図)。



「実践に対する意識」については、4項目全てにおいて「とてもそう思う」、「まあまあそう思う」を合わせると80%を超え、「全くそう思わない」と回答した生徒はいなかった。特に「ロボットとコンピュータ制御への興味・関心がわいた」、「自ら進んで学習に取り組めた」の問いでは、全員が「とてもそう思う」、「まあまあそう思う」と回答した。「教材に対する評価」

では、ハードウェア、ソフトウェア共に、「とても扱いやすかった」、「まあまあ扱いやすかった」を合わせると、90%を超えた。

以上のことから、本研究で構成した学習指導過程、コンピュータによる計測・制御についての理解を促し、計測・制御の仕組みに対する興味・関心、学習が生活へ役立つことへの期待感、また、今後の学習への意欲に対して、一定の高まりがみられたと考えられる。また、生徒の自由記述による感想では「プログラムの学習は1と0の組み合わせで模型が動いたのでおどろいた。そして、そのプログラムを作るのがたのしかった。」や「パソコンの設定やインタフェースなどということがよく分かりました。2進数の信号という言葉の意味もよく分かりました。コンピュータによる制御も楽しくできました。」など、制御信号の変換やインタフェースの役割などについて、感覚的に理解されていることがうかがえた。与えられたコマンドを使うのではなく、「0」、「1」の信号から動きを確かめて、コマンドを作るという学習指導過程がこのような感覚的理解を助けたのではないかと考えられる。また、システム思考を形成する一助となる実践となった。

②情報処理の手順を工夫する力を高める指導の在り方

技術・家庭科技術分野では、情報に関する技術の学習において、目的や条件に応じた目指すプログラムを作成していく生徒の姿を目指している。この姿を具現するためには、情報処理の手順を工夫する力を高める、確かな学びの積み重ねが必要であると考えられる。

「プログラムを改良しよう」(平成22年10月・2年生)において、I生は「一分でクリアできる確率が50%くらいの難易度」のゲームにするために、プログラムの反復に着目し、ペアで意見交換したり、出来上がったプログラムを見合って評価したりすることにより、自分が目指すゲームを作成することができた。

このような生徒の姿から、一つの処理に着目して意見交換したり、作ったものを見合って評価したりすることは、目指すプログラムを改良していくことに有効である可能性が見えてきた。一方で、命令文の入力が適切であるかについて、一人一人が評価していくのに時間がかかり、プログラムの全体の構造を考えながら作成するまでには至らない生徒の姿があった。このことから、命令文をその都度評価し合いながら、命令と命令との関連を明らかにし、全体の構造を検討する学習展開の必要性が明らかとなった。

そこで、目指す動きを作り出すことのできるロボット・プログラムを、フローチャートを

用いて制作する学習を構想する。そこでは、一人一人の目指す動きをイメージ・シートにまとめ、同じような動きを考えたグループの中でペアを組み、それぞれのペアが目指す動きを決め出し、イメージ・シートとフローチャート・シートを合わせた「フローチャートボード」を作成する。その後、試作したプログラムをペアで持ち寄り、処理と処理のつなぎ方についてグループの友と意見交換しながら「フローチャートボード」を操作して修正する活動を位置付ける。

このような学習活動により、情報処理の手順を工夫する力を高め、全体を見通しながら、修正を繰り返して目指すプログラムを作成する姿が具現できると考え、研究を推進した。

その結果、第5時、I生とH生は、使用目的と使用条件を定め、ペアの構想をまとめた。そして、それぞれの考えを合わせて、ペアのイメージ・シートにロボットの具体的な動きをまとめた。続いて、第6時にはフローチャート・シートに、アイデア発見カードを参考にして、具体的な動きを一つずつの命令にして、付箋に書いて貼り付け、矢印でつないでいった。これを基にパソコンで入力したプログラムをロボットに転送して、その動きを観察した。ここで、自分たちの思うようにロボットが動かない問題がある生徒がいたことを受けて、教師は、現在の問題点を発表するように促し、問題点を解決するために、これまで生徒が書きためてきた「アイデア発見カード」を取り上げて、茶運びロボットの基本の動きのフローチャートを黒板にまとめた(R生のアイデア発見カード、基本の動きのまとめ)。その後、I生とH生は、自分たちの作ったフローチャート・シートやアイデア発見カードを見返しながらかん検討した後で、授業の振り返りをワークシートにまとめた。

【考察】I生とH生は、ロボットが思うように動かず、どうしてこのようになるのか疑問をもった。I生とH生は、他の友のアイデア発見カードのまとめから、フローチャート・シート11の部分のつなぎ方に着目するようになった。そして、I生はR生のアイデア発見カードのセンサのいいえの場合のつなぎ方が自分たちのものとは違っていることから、フローチャート・シート12の反復先へのつなぎ方の部分に問題があることに気付いていった。さらにI生は、友の考えをまとめた板書から、ロボットの動きを作り出すためには他にも様々なつなぎ方があることに気づき、友の作成したフローチャートを参考にして、問題を解決していきたいと願うようになった。

これらの結果は、システム思考を形成する一助となる実践となったものと思われる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計4件)

- ①萩嶺直孝, 島田和典, 森山潤, 概念地図法を用いた計測・制御システムに対する中学生の既有概念の類型化, 日本産業技術教育学会誌, 査読有り, 53(4), 2011 年 263-271

〔学会発表〕(計6件)

- ① 宮川洋一, 萩嶺直孝, 森山潤, 技術科「プログラムによる計測・制御」の学習における生徒の反応(II), 日本産業技術教育学会, 2011年8月28日, 宇都宮大学(栃木県)
- ② Y.Miyagawa, K.Shimada, Y.Ichihara, N.Hagimine, T.Uenosono, H.Nakahara, & J. Moriyama, Learning Activities for Forming Concept of Technological Systems in Technology Teacher Education Program, The 73rd Annual ITEEA Conference, CTTE Poster Session, 26th March, 2011, Minneapolis, US

6. 研究組織

(1) 研究代表者

宮川 洋一 (MIYAGAWA YOICHI)
岩手大学・教育学部・准教授
研究者番号: 70552610

(2) 研究分担者

森山 潤 (MORIYAMA JUN)
兵庫大学大学院・教授
研究者番号: 40303482

研究分担者

市原 靖士 (ICHIHARA YASUSHI)
大分大学・教育福祉科学部・准教授
研究者番号: 20572837

研究分担者

島田 和典 (SHIMADA KAZUNORI)
大分大学・教育福祉科学部・准教授
研究者番号: 50465861