

ロボット教材を活用したSTEM教育の実践

小林 道夫

1. はじめに

21世紀は、新しい知識や情報、技術が、政治や経済、文化といった領域での活動の基盤となる、「知識基盤社会」と言われている。知識基盤社会とは、あらゆる情報や知識を生み出し、編集し、共有しながら活用することによって動いていく社会を指している(文部科学省 2008)。またここ数年、「21世紀型スキル」が世界的な注目を集めている(清水 2011)。「21世紀型スキル」とは、現在世界規模で経済革新が進む中、新しい時代を担う子どもたちにこれから身に付けていくべき「必要な能力」を定義付けるものである。事実高度情報社会が確立され、仕事の内容や職種も常に変化しており、今後どのような種類の仕事生まれるのか、そしてどのような能力が必要とされるのかを予測することが困難な状況である。「21世紀型スキル」は2003年に米国教育省で検討が始まり、批判的思考力と問題解決能力、コミュニケーションとコラボレーションの能力、自立的に学習する力、ICT(情報通信技術)を確実に扱うことのできる能力、創造性などにまとめられている。これらは、数学や科学、言語などの知識を身につけるとともに、より深い理解と批判的思考や問題解決能力、コミュニケーション力といったスキルが兼ね備わっていなければならないと定義している。

近年、インターネットの普及により知識基盤社会が確立され、グローバル化が進む中で、米国や韓国をはじめ世界各国では、理数教育に対

する力の入れようは大変な勢いがある。例えば米国においては、政府と民間が資金と人材を投入しながらSTEM教育を推進している。STEMとは、S(Science)、T(Technology)、E(Engineering)、M(Mathematics)の4つを表しており、科学、技術、工学、数学といった理系教育を総称している。2009年11月にオバマ米大統領が、米国のSTEM教育の強化を国家的優先課題とし、「Educate to Innovate」キャンペーンを発表した。米政府が43億ドルの連邦助成金を投入するほか、ビル・ゲイツ財団、カーネギー財団、米Intelなどの民間部門が総額2億ドルを超える資金を提供するといった力の入れようである。また、国力を担保する人材の育成を国策と位置付けた韓国では、2000年に英才教育振興法を制定し、小学生から高校生までを対象にした国家レベルの英才教育を実施しており、特に数学・科学分野に力を入れた科学英才学校が人気を博している(富岡ら 2011)。

本稿では、新学習指導要領における理数教育の強化に焦点を当て、STEM教育の取組みとしてロボット教材を活用した実践を行い、分析した結果を提示する。

2. 研究の背景

2.1 新学習指導要領での理数教育

2011年度より小学校において新学習指導要領の実施が始まった。2012年度より中学校と高等学校の理科・数学、2013年度より高等学校で実

施が始まる。今回の学習指導要領の改訂には、言語活動の充実と理数教育の充実という2本の柱がある。言語活動の充実とは、国語教育に限らず、各教科において思考力、判断力、表現力等を育成する観点から、基礎的な知識や技能の活用を図る学習活動を重点的に行うことを示す。例えば、仮説構築や調査・観察、実験結果の検証をするときに子ども同士で議論をさせたり、その結果をレポートにまとめ発表するといった活動が重視される。

理数教育の充実とは、科学的な体験を通して、問題発見、問題解決力の育成、ならびに原理や法則の理解を深めるというものである。今回の改訂のポイントとして次の3点にまとめることができる(工藤 2008)。

(1) 授業時間数の増加

理数教育の充実に向けた具体的な方策として、柱の一つとなるのが授業時数の増加である。中学3年間で、基礎的・基本的な知識・技能に関する繰り返し学習の時間を確保するため、数学70時間、理科95時間増加している。数学では、数量や図形に関する知識・技能の活用、理科では、観察・実験などの時間を十分に確保し、両教科で「わかる喜び」「学ぶ意義」を実感させて、興味・関心や学習意欲を高めることが求められている。

(2) 系統立てた学習内容

学習内容の系統性、小学校・中学校・高校での学習の円滑な接続が重視されている。例えば、理科では、「エネルギー」「粒子」「生命」「地球」という四つの概念を柱とし、小学校から高校までの内容が構造化された。理数教科では、学習の円滑な接続を図る観点から、必要な指導内容について充実を図る必要性が示されている。

(3) 学びの環境の整備

これらの教育を実践するためには、教育条件の整備が重要となる。具体的には、教職員定数の改善および理科教育の設備の整備である。加えて、繰り返し学習や自ら発展的な学習に取り組むことを促す教科書の充実や、思考力・判断

力・表現力等を問うような工夫を行うことが求められている。

2.2 経済協力開発機構(OECD)のPISA調査

2006年に15歳児(日本では高校1年生)を対象に実施した経済協力開発機構(OECD)のPISA調査では、「大人になったら科学の研究や事業に関する仕事がしたい」と回答した生徒の割合は、OECD参加国平均の27%に対し、日本は17%であった。その他の設問からも、科学への興味・関心や楽しさを感じる生徒の割合が比較的低いことが明らかになった。続く2009年に実施されたPISA調査の結果においては、読解力、科学的リテラシーは上位グループにあること、数学的リテラシーはOECD平均より高得点グループに位置していることが示された。このうち、読解力については、前回と比べて平均得点が大幅に上昇するなど改善傾向が見られた。これらは、生徒本人はもとより、家庭、各学校、地方公共団体が一体となって学力向上に取り組んだ成果の表れだと考えられる。その一方で、各リテラシーともに、世界トップレベルの国々と比べると依然として成績下位層の生徒の割合が多いことが示された。また、読解力については、必要な情報を見つけ出し取り出すことは得意であるものの、情報相互の関係性を理解して解釈したり、自らの知識や経験と結び付けたりすることが苦手であることが指摘された(文部科学省 2011)。

また、2010年度全国学力・学習状況調査の結果において、例えば、資料や情報に基づいて自分の考えや感想を明確に記述すること、日常的な事象について、筋道を立てて考え、数学的に表現することなど、思考力・判断力・表現力等といった「活用」に関する記述式問題を中心に課題が見られた。さらに、知識に関する問題においても引き続き課題が見られるなど、知識を活用する力を育成することと合わせ、基礎的・基本的な知識・技能も定着させることが重要と

なっている。

2.3 STEM教育

我が国では、2002年より科学技術振興機構（JST）が中心となってサイエンスハイスクール（SSH）やサイエンスパートナーシップ（SPP）などのプロジェクトを展開しており、授業や課外活動で実験や体験ができるように助成金を配分するなどの支援を行っている。しかしSTEM教育という言葉はまだ馴染みがなく、そもそも日本の教育には大学で機会工学や宇宙工学など様々な工学分野を学ぶ学部学科は存在するが、小学校から高校の教育課程には工学（Engineering）分野は存在しない。教科でみ

ると理科においても、観察や実験から法則性を見いだすというものがほとんどで応用という工学的な視点が見当たらない。中学技術・家庭科では、ものづくりを通して基礎的な知識や技術の修得を目指すに留まっている。これらのことから、生活や社会での利用という工学的な要素を学校教育にとり入れることによって、理科や数学、技術・家庭科、情報科で身につけた基礎知識を活用することの楽しさや生活に結びついた技術力の活用が理解できる。そして、理系科目に対する興味関心を持ってくれるだけでなく将来の進路や職業選択に結びつくものと思われる。

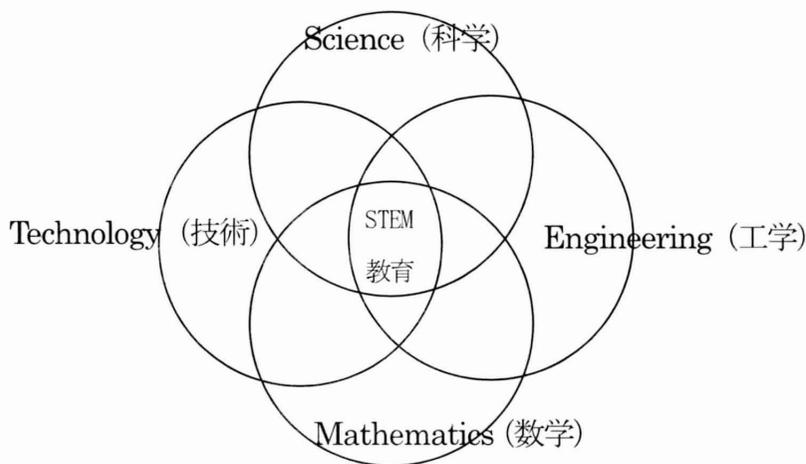


図1. STEM教育の概念図

2.4 ロボット教材の活用

米国や韓国に限らず、世界中で理数教育の強化が進む中、我が国でも工学的な要素を取り入れたSTEM教育の授業展開として、ロボット教材を活用した教育実践が実施されている。命令通りにロボットを操ることで、子どもたちに感動を与えると同時に、科学技術リテラシーが向上し、将来的にもロボット関連の技術発展に寄与できるものと思われる。具体的には、小中学校において「好奇心・興味」を持たせ、高等

学校において「必要感・信念」を持たせるように指導し、大学において「人材の育成・確保」が実現できる一貫した教育カリキュラムについて検討することが望まれる（ロボット教育研究専門委員会2011）。

そこでロボット教材として、教育用レゴ教材で、模型やロボットを作りながら、動く仕組みやエネルギー変換、そしてセンサーの働きやプログラムについて学習する実践を提案する。子どもたちの多くは、幼い頃にブロックのおもちゃ

で遊んだ経験がある。色も大きさも異なるブロックを組み合わせることによって、車や動物など子どもがイメージしたものを次々に作り出すことができる。子どもたちにとってレゴはブロックのおもちゃというイメージが強く、レゴを使った授業となると皆一斉に目が輝く。レゴ社の教育部門であるレゴエデュケーションは「子どもたちの自発的な学びは遊びから生まれる」という理念のもと様々な教材を開発し、理科・科学・テクノロジーの楽しさを体験的に学ぶツールとして世界で活用されている実績がある。以下に3つのロボット教材を紹介する。

(1) レゴ サイエンス&テクノロジーセット

レゴブロックのような大きさの異なるブロックだけでなく、歯車や車輪、磁石、モーターなどたくさんのパーツがセットになっており、歯車・滑車・てこの原理などを楽しみながら風車や4足歩行模型など自由に組み立てることができる。20種類以上の組立マニュアルが付属して

おり、2人1組で組み立て最後に合体して完成するように設計されている。この教材を使えば、先生が中心となって授業を進めるのではなく、子どもたちが話し合いながら模型を組立て、部品を交換する等工夫を凝らしながら仕上げることができる。組立てた風車や釣り竿を使って、遊んだり実験を行う事によって風・力学・測定・エネルギーなどの学習項目を取り入れた学びがある。

対象は小学生だけでなく、中学生、高校生でも十分に活用できるセットとなっており、40人学級の場合、2人に1セット使うとして20セット+教師用を用意すれば授業が実施できる。理科室や技術室等の特別教室にセットを準備しておけば良いので、学校で20セット購入すれば全学年で使えるSTEM教材として導入できる。組立用のマニュアルとは別に、授業を実施するための指導書として学習指導案や解説書、生徒用ワークシートなどプリントアウトしてすぐに使える教材がCD-ROMで供給される。



図2. サイエンス&テクノロジーセットと教材

(2) レゴマインドストームNXT

レゴマインドストームは、米国MIT (マサチューセッツ工科大学) がコンピュータ・サイエンス、ソフトウェア学習の教材として1960年代より研究を重ね開発されたロボット教材である。モータや電池で動くだけでなく、内臓されたコンピュータがロボットの動きを記憶し、光

や音、超音波などを感知しながら自律的に動くロボットを作ることができる。情報入力として光センサ、サウンドセンサ、タッチセンサ、超音波センサがあり、周りの状況を判断してロボットを走行させることができる。子どもたちは自分で組み立てながら、科学、技術と情報、工学を楽しく体験的に学習できる。

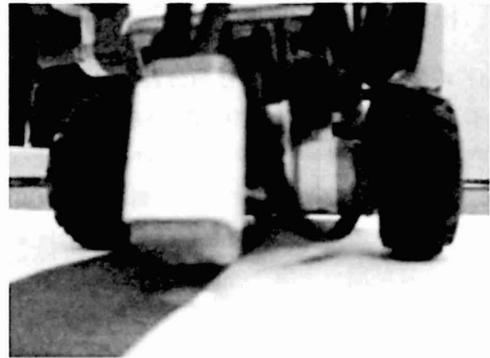
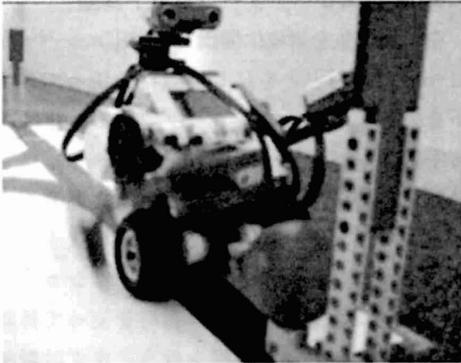


図3. センサを組み込んだライトレーサロボット

(3) レゴ宇宙エレベーター実験キット

ものづくりや理数系の授業に興味を持たせるには、学ぶ内容が実際にどのように社会で活用され、また基礎となっているか子どもたちに理解させることが重要である。その上で、将来に向けたキャリア形成のための現実性のある具体的取り組みを想起させ、エンジニアやサイエンティストなどが持つべき「将来に向けての展望や夢」をイメージするために、ロボットと未来技術である宇宙エレベーターを活用する。この実践では、まず、宇宙に対する興味や関心を持たせ、宇宙エレベーターロボットの開発を通して構造やセンサーの働き、プログラムの重要性を学び、そして、問題解決のプロセスが子ども

たちに見えるところに特徴がある。宇宙開発の現状と課題についての講義を行い、その上で解決策等を討議する。そして実習ではレゴ教材を使って宇宙エレベーターロボットを製作し、昇降実験を行う。

宇宙エレベーター実験キットは、レゴ サイエンス&テクノロジーセットをベースに、大型モーターや赤外線リモコンを加えた機材がセットとなっている。モーターにギヤを取り付けて回転数やトルクを調節しながら車輪でベルトを挟みながら昇降するロボットを製作する。リモコンを使って、モーターの回転を変えて昇降と停止ができる。

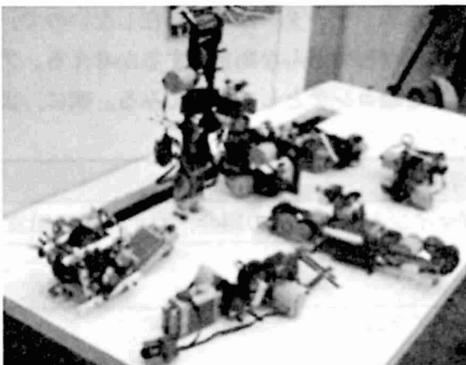


図4. レゴで製作した宇宙エレベーターロボット

3. 授業実践

(1) 中学技術・家庭科 技術分野の実践例

- ・単元 プログラミングの計測と制御
- ・内容 レゴ教材マインドストームNXTを使って、センサーロボットの製作とプログラムの作成、競技会を行う。50分授業4時間で実施。
- ・ねらい プログラムによる計測・制御では、計測・制御のためのプログラムの作成を通して、コンピュータを用いた計測・制御の基本的なしくみを知り、簡単なプログラムの作成ができるようにするとともに、情報処理の手順を工夫する能力を育成することをねらいとする。

(2) 高校情報科 情報Bの実践例

- ・単元 コンピュータによる情報の表現と処理
コンピュータによる処理手順の工夫
- ・内容 レゴ教材マインドストームNXTを使って、センサーロボットの製作とプログラムの作成、ロボット競技会を行い、製作したロボットとプログラムを発表する。50分授業6時間で実施。
- ・ねらい ロボットを制御するためにプログラムを作成し、コンピュータの処理手順を知る。P D C Aサイクル (Plan→Do→Check→Act) を用いて問題発見力と問題解決力を養う。

・指導計画

回数	内容
1	社会で活躍するロボットと開発の歴史、レゴマインドストームの紹介、ロボットの組立
2	プログラムの作成、アルゴリズムの表現 プログラムの転送と保存、ロボット試走
3	タッチセンサーと超音波センサーを使ったプログラム ロボットの試走と工夫
4	競技会コースとルールの説明 走行コースの構想とプログラムの作成
5	ロボットの試走、ロボット競技会1
6	ロボット競技会2、単元のまとめ

(3) 宇宙エレベーターロボット講座

中・高校生を対象に開講し、宇宙エレベーターについて学ぶとともにレゴ教材を使ってロボットを製作するワークショップである。講師として宇宙エレベーター研究者を招き、まずは宇宙に対する興味や関心を持たせ、まだ開発途上の宇宙エレベーターについて構造や解決すべき問題について学ぶ。そのあとにワークショップ形式でチームを編成し、レゴ教材を使って昇降ロボットを製作し昇降実験を行う。まずは教室の天井から床まで幅3cmのベルトをかけ、天井手前に取り付けたバンパーまで昇り、降下する宇宙エレベーターロボットを製作する。何度か試走して成功すれば、体育館の天井からのチャレンジや、グラウンドで気球を打ち上げて50m上空まで距離を伸ばして行くと、子どもたちの宇宙への夢が広がって行く。この実践の特徴は問題解決のプロセスが生徒自身で確認できるところにある。

なおこの講座を受講した中・高校生は、学校祭で自分たちが講師となって小学生の子どもたちに昇降ロボットの製作と昇降実験を行う。講座で学んだことが自分のものにできたかどうか、講師役として子どもたちに講座を実施することによって確認できる。講座は以下の手順で進める。

<STEP1> 宇宙エレベーターロボットの構想

宇宙エレベーターはまだ存在しないので、どのような形でどんな動きをするか考える。アイデアを絵コンテとして描いてみる。次に、より

具体化するために、レゴブロックでどのような形になるか作ってみる。



図5. 協力しながらアイデアをまとめる

<STEP2> 宇宙エレベーターの製作

- ① アイデアがまとまったら、ブロックを組みながら製作に入る。まずは、モーターを回転させてベルトを咬みながら昇る仕組みを考える。そしてバンパーに接触すると降下する仕組みを考える。
- ② タイヤの組み合わせや大きさ、そしてベルトの挟み方を変えながら作ってみる。モーター2個とNXTを搭載すると考えていたものよ

り重量があることに気付く。また、前後左右のバランスを考えて設計しないと、ベルトを大きく揺らしながら昇る事になる。

- ③ タッチセンサーを搭載し組立が完了すると、試走する。ベルトの挟み方や咬む強さを変更すると、摩擦力の大きさが変わり、昇るスピードも変わってくるのがわかる。また、降下するときも摩擦力やモーターの回転スピードを調節しないと、落下して壊れてしまう。



図6. バランスを考えながら製作・試走

〈STEP3〉プログラムの作成

タッチセンサーが反応して降下するしくみを考え、プログラムを作成する。マインドストーム専用の付属プログラムを使用し、上昇する速度と降下する速度の調整、タッチセンサーが働かなかった場合の処理などを考える。

〈STEP4〉プレゼンテーション

製作した宇宙エレベーターロボットの設計の考え方や作品を発表する。構造や試走の様子をできるだけわかりやすく伝える。この段階で未解決な問題点やこれまでに解決してきた点について説明する。



図7. プレゼンテーションの様子

〈STEP5〉50m上空まで昇降実験

グラウンドで50m上空まで気球を打ち上げ、製作したロボットの昇降実験を行う。教室で天井からロープを垂らすとは条件が異なり、ロープで引っ張りながら気球を打ち上げると大きな張力が働く。張力が強くなればベルトと車輪と

の挟み方も変更する必要があるため、構造の見直しを迫られる。また、風が強いと気球が大きく揺れたりベルトが回転しねじれるため、このような悪条件下でも無事自律昇降するには、重心を安定させるなどの工夫が必要となる。



図8. 上空50mにチャレンジ

4. 結果と考察

中学技術・家庭科ならびに高校情報科での授業実践後、2クラスでアンケート調査を実施した。アンケートは、REAS（リアルタイム評価支援システム）<http://reas2.code.ouj.ac.jp/>を使って2011年12月12日に実施した。調査は、授業内容の理解や職業観に与えた影響など14項目にわたった。有効回答数は66名であった。

この調査から、コンピュータやインターネットを活用した授業の期待の大きさが伺えるが、今回の実践のようにロボットやプログラムなどのものづくりになると、興味を示さなくなる生徒が増えてくる事がわかる。職業観の質問では、ロボットやコンピュータプログラム関係の仕事に対する興味が極端に低い事がわかった。この結果は先に述べたOECDのPISA調査とほぼ一致する。

また、この単元に対する授業満足についての設問では、不満と回答した生徒が10名（男子7名、女子3名）であった。これらの生徒にインタビュー調査を行った結果、「プログラムがうまく組めなかった」、「練習ではうまくいったこ

ともあったのに、走行テストに失敗した」という走行テストの失敗が主な要因であった。満足と回答した生徒にインタビュー調査を行ったところ、「ロボットを作って動かすのが楽しい」、「プログラムが組めて思った通りの動きができたことがうれしかった」という成功や新たな学びに対するものが主なものであった。

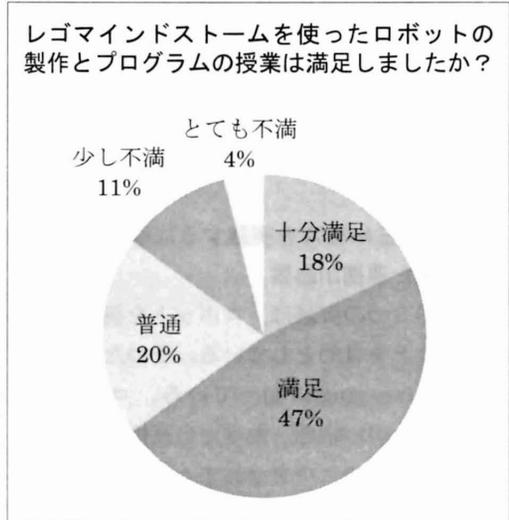


図9. 授業満足度調査の結果

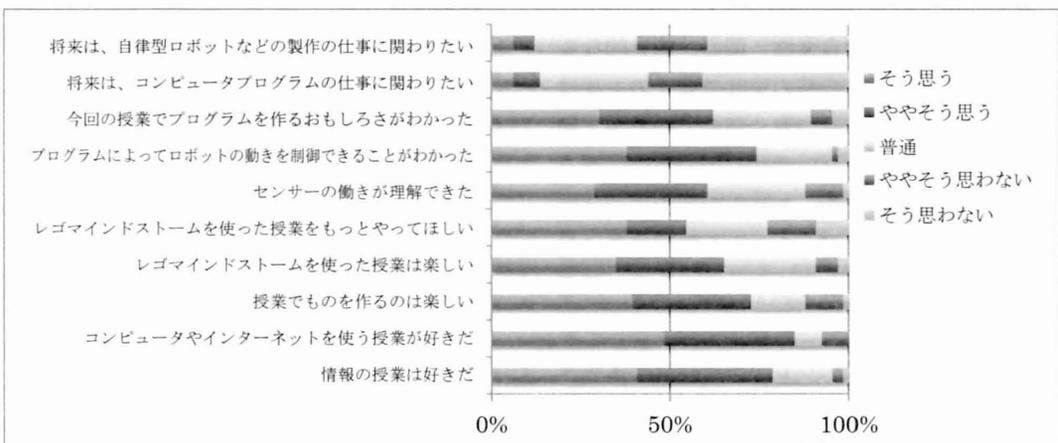


図10. アンケート調査の結果

5. まとめと課題

本研究では、中学生高校生を対象にロボット教材を活用したSTEM教育の教育実践を提示し分析することを目的とした。教育実践と調査結果から次の3点にまとめることができた。

(1) ロボット教材の活用は科学技術やものづくりへの動機づけになる

この実践から子どもたちはセンサーの原理や自律走行のしくみを理解するまでには至っていないが、ロボットを作ってプログラム通りに動作させることに興味を示してくれた。このことは科学技術やものづくりへの動機づけになっている。

(2) STEM教育を実践するには、教科の枠を超えた連携が必要

今回の3つの実践は、ロボットを製作し動作させることを目的としている。そのためSTEMのEngineeringに偏っている。ロボットを教材としながら物理、数学との連携を模索し、授業のロールモデルを検討する必要がある。

(3) 問題発見、問題解決学習の取組みが重要

問題解決学習とは、教師が系統立てて設計した授業ではなく、生徒自身が仮説を立ててそれを実証するために試行錯誤を繰り返し、そのプロセスの中に学習の目的がある(デューイ 1957)。そのためには生徒の自発性、関心、能動的な姿勢が必要とされる。今回の実践で多くの生徒はロボット教材を楽しんで取り組んでいるが、積極的な取組みができない生徒や問題解決に至る前に諦める生徒もいる。これらの要因までは明らかになっていないが、もともと学習課題に対して興味を持っていないと考えられる。ただ、問題解決学習の経験がないためにどうしてよいかわからないのではないかと予想される。よって教科や学校行事など多様な場面で問題解決学習に取り組む必要があるのではないかと。

理数教育の強化は我が国の重要な課題となっている。今後も教育実践を繰り返しながらSTEM教育のあり方について模索して行きたい。

参考文献

- 工藤文三(2008)新学習指導要領が示すこれからの理数教育. VIEW21 2008年秋号. ベネッセ教育研究開発センター
- 富岡慎一・丸山穂高・杉島理一郎・西野偉彦(2011)理数英才教育の日韓比較 報告書. 公益財団法人松下政経塾 教育研究会
- 清水 康敬(2011)21世紀型スキルと教育の情報化. 視聴覚教育 65(1), 30-35, 2011-01. 日本視聴覚教育協会
- 総合マイナビニュース(2010)「21世紀型スキル」とは何か?
http://news.mynavi.jp/articles/2010/04/30/21st_century_skills_intel/index.html
- デューイ(1957), Jphn Dewey(原作), 宮原誠一(翻訳)学校と社会. 岩波文庫
- The Partnership for 21st Century Skills(2011)
<http://www.p21.org/>
- 文部科学省(2008)新学習指導要領
http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/index.htm
- 文部科学省(2011)平成23年版科学技術白書 第2節 社会と科学技術との新しい関係構築に向けて.
http://www.mext.go.jp/b_menu/hakusho/html/hpaa201101/detail/1311137.htm
- ロボット教育研究専門委員会(2011)ロボット教育研究専門委員会(Robot Education)報告書