

令和 5 年 6 月 21 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K02766

研究課題名(和文)小学生から大人まで活用可能な技術リテラシーSTEM教育教材「オリジナルてんびん」

研究課題名(英文) Fabrication of Original Balance as a STEM Teaching Material applicable from Elementary School Students to Lifelong Education

研究代表者

鈴木 裕之 (Suzuki, Hiroyuki, Y.)

広島大学・人間社会科学研究科(教)・准教授

研究者番号：90284158

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：ものづくりコンピテンシーを育むSTEM教育教材として、機構が簡単で構造の応用が利き、また製品の出来具合を定量的に評価できる「てんびん」に着目した。小学生から生涯教育まで応用可能な教材を複数開発した。

主な成果としては、i)長ねじを用いて自由設計で片てんびんをつくる、小・中学生向けの「Active Learning てんびん」、ii)プレ・ファブ部品組み合わせて自由な設計・組み立てをする中学校技術科向けの「オリジナルばねばかり」、iii)可視光フォトインタラプターを用いた電子読取装置の段階的構想設計、iv)教員免許状更新講習向けの「ペーパーてんびんプロジェクト」などを開発することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

個々の事象や理論を個別に学ぶ「コンテンツ教育」から、それらを縦横に組み合わせ社会の課題を解決する「コンピテンシー教育」への飛躍が求められている。その一つとして、本研究ではものづくりを「要」としたSTEM教育教材を開発した。

研究のポイントは、製品の評価に秤量精度を一貫して用いたことである。ものづくりのゴールに定量的かつ客観的な評価基準があることは非常に重要であった。評価の要が強固となることで、教材の難易度や構成の自由度が広がった。それぞれの授業/セミナーの要請に合わせて、てんびん/ばねばかりの要素を部分的にスピニングアウトし、さまざまな形態のSTEM教育が可能なが示された。

研究成果の概要(英文)：As STEM educational materials for fostering manufacturing competency, we focused on the "balance" since it has a simple mechanism, which can be modified to various structures, and it can be evaluated quantitatively the quality of the product. We have developed several educational materials applicable from elementary school students to lifelong education. The main achievements include: i) "Active Learning Balance" for elementary and junior high school students, which allows them to freely design by using long screws; ii) "Original Spring Scale" for junior high school technology classes, which allows students to freely design by combining pre-fabricated parts; iii) "Electronic Reading Device for Spring Scale" using visible light photo-interrupters applying a step-by-step conceptual design, and iv) a "paper balance project" for teacher's license renewal courses.

研究分野：技術教育

キーワード：ものづくり STEM てんびん 定量的評価 段階的構想設計

1. 研究開始当初の背景

21世紀に入り、我々を取り巻く科学・技術は急速に高度化・変革を遂げている。これに呼応して、政府の諮問による「第5期科学技術基本計画(平成28~令和2年度)」では、「自ら大きな変化を起こし、大変革時代を先導していくため、非連続なイノベーションを生み出す研究開発を強化し<中略>「超スマート社会」を世界に先駆けて実現するための一連の取組を更に深化させつつ「Society 5.0」として強力に推進する」と謳っている。また平成30年度の科学技術白書では、国連において採択されたSGDs(Sustainable Development Goals ; 持続可能な開発目標)をベースとした科学技術イノベーションの創出が基本目標として掲げられている。

科学技術イノベーション先端的研究がある一方で、それらの先端的研究の下支えとなっているのが国民の理系的素養であることも忘れてはなるまい。例えば、日本産業技術教育学会の提言として「技術教育は、生産の理解および実践につながり、民主主義国家の主権者として関係する決定への関与を可能とする能力、すなわち技術的素養(技術リテラシー)の形成に意義がある」とある。中学校学習指導要領(平成29年度告示)解説技術・家庭編においても、生活や社会の中から問題を見出し、「技術の仕組みや役割、進展等を、科学的に理解」し、さらにこの知見を活用して「技術に関わる問題を解決しながら技術を工夫し創造」することで「生活や社会を広く見つめなおす」力を育むことを基本方針とされている。加えて、来年度(令和2年度)からは小学校のプログラミング教育必修化や、高等学校「情報科」におけるプログラミング教育の高度化と大学入試受験科目化が控えている。

以上、科学技術的革新に対応しながらイノベーションを生み出し、社会の豊かさを堅持するためには、あらゆる世代の国民が高い次元で科学・技術的素養を身に付けていくことが必要不可欠である。にもかかわらず、日本では「理系離れ」が叫ばれ、科学・技術立国としての将来が危ぶまれている。その要因として、例えば名越は「受験戦争等によって、理科本来の目的のひとつである理論的にじっくりと追及する態度が軽視され、暗記化の傾向を強めたため」と指摘している。技術科教育にたずさわる身として、この現状を何とか打破したいというのが、本研究提案のベースとなっている。

2. 研究の目的

技術科における「理論的にじっくりと追及する態度」の涵養は「ものづくり」を通して行われる。しかしながら、今日の科学技術の高度化は「技術の複雑化」をもたらしており、必ずしも現代的なものづくりが優れた教育効果を引き出すとは限らない。この現状を打破するために、私は改めて技術科におけるものづくりの骨格を再構築することを考えた。その結果、実社会で行われている技術的(工業的)ものづくりの骨格を俯瞰したところ、ほとんどの製品が「機構(機械・構造)」「電気(電子回路)」「情報処理(コンピューテーション)」の3要素を組み合わせで成立していることを見出した。

個々の要素を必要以上に高度化させず、上記の3様子をバランスよく含んだ課題を設定することが、技術の本質を涵養する教材の基礎骨格を構成する。なお、上記の3要素を成立させるベースとして科学的素養が必要であり、さらに科学的な知識を読み解く基礎として数学的素養が必要となる。すなわちこの主張は、米国により提唱され、さらに近年はアジア各国を含め世界的に広がりつつあるSTEM教育の1バリエーションと捉えることもできる。言いかえると、「技術的ものづくりをSTEMの各要素の統合の場とした技術主導型STEM教育」である。

ものづくりに通底するインフラストラクチャには、もう一つのベクトルが存在する。それは「製品の企画」から「仕様設計」「詳細設計」「製作」「デザインレビュー(評価)」の一連の流れ、ものづくりのPDCAサイクルである。この一連の流れを通して、様々な分野の知識・知見を一つの製品に統合する行為こそが、技術としてのものづくりの根幹であるとも私は考えており、今回開発する技術的教材においても、ものづくりのPDCAサイクルが貫徹できるようなものになりたい。従来の教材に散見される「作りっぱなし」に終わらず、出来具合を客観的かつ定量的に検証できる教材でなければならない。

3. 研究の方法

上述のパラダイムに立脚し、いくつかの教材を提案・開発してきた結果、技術的な難易度がそれほど高くなく、一方で設計に対する自由度が大きな「片てんびんの製作」教材が、我々の考えを実現するのに最適であることが見出された。てんびんは、支点を中心に左右のモーメントのつり合いを取る機器の総称である。機構が簡単なため自由な発想で設計可能である一方、精密加工によりかなりの測定精度が実現出来るなど、教材としてフレキシビリティのある発展性が期待できる。

その一方で、つくり上げられたてんびんの評価には、秤量の精度が一貫して使えることが、非常に重要な意味があることが、一連の研究を通して明確化された。後述の通り、実際に授業やセミナーに投入した「てんびん／ばねばかり」の素材、形態、難易度などは大きく異なっているにもかかわらず、全体として「STEM型てんびん教材」として括ることができたのは、製品の評価に一貫して定量的な秤量精度を用いたからであった。

研究の初年度は、当初の計画通り、「機械、電気、情報」の3要素を含ませる目的で、バネの伸びで秤量するダイナミックバランスがたのばねばかりに、透過型のフォト・インタラプタを用いた、変位読み取り回路の製作を行った。ベースとなる教材の製作方針としては、**i)** 極力ブラックボックスとなる要素を排除する、**ii)** 出来るだけ簡単な設計仕様の製品（アッセイ）の製作から始め、少しずつ設計仕様を高めていく「段階的高速設計」を使うこととした。これにより、**i)** フォト・インタラプタには、赤外光を用いた既製品ではなく赤色LEDとフォト・トランジスタを組み合わせて自作する、**ii)** 変位の検出はアブソリュート型のグラデーション板を用いたが、このグラデーション板もエクセルを援用し自作した、**iii)** フォト・インタラプタのみの設計仕様から始め、0点調整、オペアンプによる増幅回路付き・・・、と段階的に読み取り部アッセイの設計仕様を上げるとともに、各設計仕様の基板も残しておいて、順次入れ替えて実演できるようにした、といった工夫をした。

ただし、上記のベース教材の全要素を含んだ授業／セミナーを行うことは難しかったため、次年度以降は、このベース教材から必要な部分を順次スピンアウトする形で、種々の授業／セミナーに対応した教材を提供することとなった。

次年度以降は、それぞれの授業／セミナーの実情に合わせて、種々のSTEM型てんびん教材を提供した。ただし、その要として「製品の出来具合を、秤量の精度で定量的客観的に行うこと」および、「ものづくりとして適度な自由度と複雑性を含ませること」の2方針を貫いている。

実践授業の成果の詳細は次項に譲るが、全体として有効であったのが、「段階的構想設計」として様々な難易度の試作品を準備しておくことである。授業内容をスピンアウトする上においても、また実践授業において、あるレベルまでの予備知識を付与する上においても非常に役立った。この考え方は、重さのほかり以外の測定器系の教材開発にも有効であり、実際に中学校技術科における「ノギスづくり」の実践などにも応用することができた。

4. 研究成果

ものづくりコンピテンシーを育むSTEM教育教材として、機構が簡単で構造の応用が利き、また製品の出来具合を定量的に評価できる「てんびん」に着目した。小学生から生涯教育まで応用可能な教材を複数開発した。主な成果を紹介する。

i) 広島大学ジュニアドクター、ファーストステージセミナー「Active Learningによるてんびんづくり」： 広島大学において令和元年度から5年間の企画として始められたジュニアドクター育成塾（JST次世代人材育成事業、小学校5年生から中学生向け）において、1日のセミナーとして企画したものである。てんびんの土台や皿といった部分はあらかじめ加工しておき、心臓部であるさおの部分の長ねじとナットを組み合わせ、自由な寸法で設計・組み立てさせるものである。以上、加工の手間と難易度を下げることで1日でも製品を設計・組み立てさせることができる。

「10, 20, 30, 40, 50gの分銅を一つだけ用い、80gを秤量する」というルールを掲げることで、自動的に「片てんびん」となる。当初の予想では、小学校高学年には難しすぎるという懸念があったが、グループ活動とすることや、設計の流れを段階的に検討させることで、全てのグループが正しい設計に到達することができた。秤量精度としては、誤差10mg程度のもので、簡単に製作することができていた。

ii) 中学校技術科の「材料と加工の技術」向けの「オリジナルばねばかり」： 中学校2年生向けに開発したものである。一般的なばねばかりだと「上固定部 - ばね - 皿」となり腰高で不安定となる。そこで、プーリーを使い全体の高さを抑えることとした。ここまでの流れは「段階的構想設計」において試作した製品を例示しながら説明し、プーリーありきの部分から、自由度のある設計・組み立てをさせることとした。本体の組み立て方としては、立て板にt4のベニヤ板、横はM6の長ねじをナットで固定する方法を取った。複数サイズのベニヤ板（複数の穴付き）と長ねじ・ナット、皿（複数の穴付き）および皿組み立て用のアルミ針金、ばね代わりにゴムを配布し、後は自由に製品形状や皿と読み取り目盛りの配置を設計・組み立てさせた。これらの「プレ・ファブ部品」は、加工時間の短縮のために適宜準備したものであるが、全員が同じ形の製品をつくり上げるキットではない点に工夫を持たせてある。なお、製品組み立て後の目盛りは、標準分銅を使い手書きで書き込ませた。一人1個の製作である。

生徒は、設計・組み立てをとおして、転倒に対する安定性や皿の干渉の有無、使い勝手の良さや目盛りの読みやすさなどを体感的に理解しながら製品を組み立てることができた。製品の評価は単一重さの秤量精度ではなく、複数の重さを秤量させ、グラフを書いて全体としての測定誤

差や誤差の傾向について評価させることができた。

なお、本教材は次年度に再利用しながら、初年度に開発しておいた電子的読取装置を追加する予定であったが、授業を担当していた教員の移動により実現化しなかった。

iii) 可視光フォト・インタラプタを用いた電子読取装置の段階的構想設計：これは、初年度の研究において行った成果である。単にこの程度の装置(アッセイ)を開発するだけであれば、研究と言えるほどの深みがないと言えるが、この開発において「段階的構想設計」の考え方を適用することで、教材として十分なバリエーションと深みが与えられることが確認できたという点で意味があった。ただし、本教材の実践投入ができなかった点は反省に値する。

iv) 教員免許状更新講習向けの「ペーパーてんびんプロジェクト」：小・中学生向けの長ねじを用いたてんびんとは異なり、模型用ペーパーを用いた型てんびんの設計・加工を行わせたものである。受講教員は、工業科の専門性の高い教員から、中学校技術科のほか理科や数学、さらに特別支援学校からの参加などバリエーションが大きかったことから、教材として持ち帰った場合の導入のしやすさや、難易度調整のしやすさに着目してペーパーてんびんとした。

この場合にも、受講者のレベルに合わせてどこまでヒントを与えるかが重要で、複数の試作品を何度も見せることが重要であった。理科や数学の先生にとっては、理論と現実の違い、特に自重の問題や構造強度の問題について具体的に考えるきっかけになったと思われる。

v) 中学校技術科における「ノギスの製作」教材：研究の進展に合わせて、定量的な評価基準を持つ測定器系の題材であれば、長さ以外の度量衡に対しても同様のSTEM型教材が構築できることが明らかとなってきたため、長さの測定に着目してノギスの製作の授業実践への投入も行った。前述のばねばかりの製作と同様に、プレカットしたベニヤ板(レーザーカット)を中心に、目盛りの付け方や、ジョウ(顎部)のスライド機構について自由に工夫させた。機構の構想設計まではグループ活動としたところ、グループごとに異なった製品設計が提案された。そこで、各グループに合ったベニヤ板を提供し、最終的な加工・組み立ては個々人に行わせた。特に、製品精度を決めるジョウの端面加工を、やすりにより丁寧に加工させた。製品の設計仕様としては通常の1/10mm級ではなく1mmとしたため、全員が十分な精度のあるノギスを完成させることができた。

以上、全体的な研究を通して明らかになったこととして、研究の当初では「機械・電気・情報」の3要素を全て含むSTEM型ものづくり教材を構想していたが、実際にはその一部をスピニアウトして授業/セミナーを構成するのがやっとということが分かった。また同時に、これらの教材はリテラシーレベルよりはやや高度な次元にあり、教材の位置づけを再考した。その結果、本教材は、従来型の個々の事象や理論を個別に学ぶ「コンテンツ教育」から一段階飛躍したところにある、個々の知識や経験を縦横に組み合わせ社会の課題を解決する「コンピテンシー教育」として位置付けるべきだとの考えに至った。

また、全体を通しての研究のポイントとして、必ずしも「機械・電気・情報」の3要素を含ませなくても、製品の設計・組み立てに自由度を含ませれば十分にSTEMの各要素を含む教材となることが分かった。さらに重要であったのが、前述の通り、製品の評価に関しては「秤量の精度」を一貫して用いたことであつた。評価の要が強固となることで、教材の難易度や構成の自由度が広がったともいえる。客観的な定量評価という要をもとにすることで、それぞれの授業/セミナーの要請に合わせて、てんびん/ばねばかりの要素を部分的にスピニアウトし、さまざまな形態のSTEM教材として展開可能なことが示された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 鈴木裕之, 中村匠貴	4. 巻 11
2. 論文標題 段階的構想設計を取り入れたSTEM型教材としてのばねばかり - 電気的な秤量値読取機構の段階的構想設計 -	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 テクノロジー教育	6. 最初と最後の頁 1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kazuo Kawada, Keita Murai, Yuta Susawa, Hiroyuki Y. Suzuki	4. 巻 none
2. 論文標題 Junior High School Rescue Robot Challenge for Fostering Problem-Solving Skills	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The 2023 International Conference on Artificial Life and Robotics (ICAROB2023), Feb. 9 to 12, on line, Oita, Japan	6. 最初と最後の頁 555-559
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hiroyuki Y. Suzuki, Kazuo Kawada, Masayasu Nagamatsu	4. 巻 none
2. 論文標題 Making High Precision Single Balance in Active Learning Seminar for Hiroshima Univ. Monozukuri Junior Doctor Special Educational Program	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The 2023 International Conference on Artificial Life and Robotics (ICAROB2023), Feb. 9 to 12, on line, Oita, Japan	6. 最初と最後の頁 564-568
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hiroyuki Y. Suzuki, Masayasu Nagamatsu, Kazuo Kawada	4. 巻 none
2. 論文標題 Capstone Class of "Mechatronics Innovation Project" as STEM Educational Curriculum for Teacher Training Course	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The 2023 International Conference on Artificial Life and Robotics (ICAROB2023), Feb. 9 to 12, on line, Oita, Japan	6. 最初と最後の頁 569-572
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 中村匠貴, 鈴木裕之
2. 発表標題 段階的構想設計を取り入れたSTEM型教材としてのばねばかりーブレファブ型加工教材を活用した「材料と加工の技術」における授業実践ー
3. 学会等名 日本産業技術教育学会 第37回四国支部大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 志村光基, 鈴木裕之
2. 発表標題 身近な部品を用いて製作するマイクロメーター型距離測定教材
3. 学会等名 日本産業技術教育学会 第37回四国支部大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中村匠貴, 鈴木裕之
2. 発表標題 段階的構想設計を取り入れたSTEM型教材としてのばねばかり
3. 学会等名 第49回日本産業技術教育学会中国支部大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 志村光基, 鈴木裕之
2. 発表標題 測距器具を題材としたSTEM型教材の開発 - 中学校技術科向けのスピンアウト教材としてのノギス型教材の授業実践 -
3. 学会等名 日本産業技術教育学会第65回全国大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 手塚悠, 鈴木裕之
2. 発表標題 測距器具を題材としたSTEM型教材の開発 - 中学校技術科向けのスピニアウト教材としてのノギス型教材の授業実践 - 人力を十分に活用した発電機の制作と評価 - 手回し式から足踏み式への改良 -
3. 学会等名 日本産業技術教育学会第65回全国大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 川田和男, 鈴木裕之, 田中秀幸, 長松正康
2. 発表標題 技術・情報系教員養成課程における総合実習としてのSTEM型ものづくり教育「メカトロ創造実習」
3. 学会等名 日本産業技術教育学会第65回全国大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 川田和男, 鈴木裕之, 田中秀幸, 長松正康
2. 発表標題 メカとソフトの両者を自作するSTEM 型ロボット 製作授業「メカトロ創造実習」
3. 学会等名 2022年 電気学会 電子・情報・システム部門大会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	長松 正康 (Nagamatsu Masayasu) (00218025)	広島大学・人間社会科学研究所(教)・教授 (15401)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	川田 和男 (Kawada Kazuo) (10300633)	広島大学・人間社会科学研究科(教)・教授 (15401)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関