SURE 静岡大学学術リポジトリ
Shizuoka University REpository

軸周りに回転する模型を用いた小学校理科ものづくり教材の開発

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2016-06-10 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 松永, 泰弘, 森島, 里菜 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.14945/00009528

軸周りに回転する模型を用いた小学校理科ものづくり教材の開発

Development of the Fully Swinging Toy on a Horizontal Bar
Used as a Teaching Material for Science in Elementary School

松　永　泰　弘*・森　島　里　菜**
Yasuhiro MATSUNAGA・Rina MORISHIMA

（平成27年10月1日受理）

This paper deals with the development of the fully swinging toy, on a horizontal bar as a teaching material for science in elementary school. The toy performs a rotary motion (full swing) in the axis circumference of the horizontal bar. The toy has plural axes, and performs intricate rotary motion by the axis out of the center of gravity. We suggest this toy as a manufacturing teaching material for the study of pendulum motion. In the manufacturing classes, children make the teaching materials and think about the mechanism and principle of its movement along with their various emotions.
Key words：Fully swinging toy, Teaching material, Energy, Buildung approach theory, Showers-of-emotion theory

1．緒言

小学校学習指導要領理科[1)]では、「生活科との関連を考慮し，ものづくりなどの科学的な体験や身近な自然を対象とした自然体験の充実を図るようにする」とあり、教科の目標で実感を伴った理解を重視していることに伴い，各学年の「A物質・エネルギー」に関する目標に，ものづくりを位置付けている。小学校学習指導要領図画工作[2)]では、「生活や社会とのかかわり，ものをつくる楽しさなどの観点から，手や体全体の感覚を働かせて材料や用具などを活用してつくったり，身の回りの形や色，環境などから感じ取ったことを伝え合ったりする」とある。また、「第3期、第4期科学技術基本計画」[3)、4)]では、ものづくりを担う子どもたちを継続的、体系的に育成していくために、幼い頃からものづくりの面白さに馴染み、創造的な教育を行い、子ども自らが 知的好奇心や探究心を持って、科学技術に親しみ、目的意識を持ちながらものづくり、観察、実験、体験学習を行うことにより、ものづくりの能力、科学的に調べる能力、科学的なものの見方や考え方、科学技術の基本原理を体得できるようにすることが強調されている。

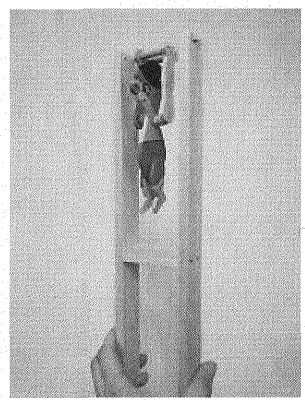
そこで本研究では、「エネルギーの変換と保存」の内容、身の回りの物理現象「力の働き」に着目し、自ら製作し創意工夫することのできる教材として「軸周りに回転する模型を用いた小学校理科ものづくり教材の開発」を行う。大車輪をおこなうおもちゃは世界中で伝統的なお

* 技術教育系列
** 総合科学専攻

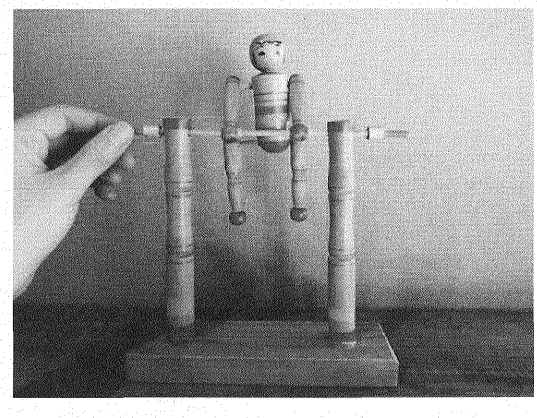
もちゃとして楽しまれており、糸の張力による回転力で回転するおもちゃ（図1（a））と鉄棒を回転させて大車輪を行うおもちゃ（図1（b））の2種類が代表的なものである。また、回転軸は腕の先端と付け根、脚の付け根の3つの回転軸を有し、鉄棒の大車輪の動きを再現するものである。

本研究では、小学校理科ものづくり教材として簡略化と動きの意外性を追求し、2つの回転軸を設け、重心位置を回転軸からずらすことにより、腕と胴体が一体となった回転運動から腕の振子運動と胴体の回転運動に変化し、複雑な回転運動を行う模型を製作・開発した。質点の回転運動、振子運動の発展的ものづくり教材として提示するが、本教材で学習する内容は中学校理科・高校物理で扱う高度な内容であり、授業内で子どもたちが正確な認識に至るとは限らない。しかし、Buildung Approach Theory[5)-7)]で提起されている、子どもが自らの感覚や思考を通して外界を理解し深化させていく理論に照らせば、小学生の学習段階での理解を促し、成長とともにそれまでの認識を深化させ、新たな認識に到達することになる。また、複数の回転軸を設け、重心位置を回転軸からずらすことによる複雑な回転運動が、子どもたちに驚きの感情と新奇なものに対する好奇心を引き起こすことを想定する。波多野・稲垣（1973）[8)]の「知的好奇心」、Hidi & Renninger（2006）[9)]の「興味発達の4段階モデル」、Ryan & Deci（2002）[10)]の「外発的動機づけから内発的動機づけに変容する諸段階」、松永・河村（2015）[11), 12)]の「Showers-of-Emotion Theory」に基づき、適度な新奇さを有し、子どもたちの働きかけに対し、期待を裏切ることなく応答変化する動くおもちゃとして取り上げる。子どもたちが回転模型を製作し、遊びながら動きを探究し、知的好奇心を引き起こす授業を経験する中で、自ら問題を見つけ楽しむように成長することを目的とする。

研究では、材料や道具、製作方法を工夫し、子どもが簡単にものづくりを体験することができ、玩具から理科の学習内容を追求することができる教材を目指す。異なる形状の模型を製作し、回転体にかかる力の関係を明らかにし、単純な回転運動を測定し、理論値と比較・検討を行う。回転模型の動きや形状の違いによる回転運動の変化を実験で明らかにし、基礎的なデータを提示する。



(a) 糸の張力で回転するおもちゃ（トルコ製）



(b)　鉄棒を回転させるおもちゃ（日本製）

図1　伝統的な大車輪おもちゃ

2．回転模型の製作

著者らは小学校理科ものづくり教材として形状記憶合金エンジン[13)]、受動歩行模型[13)]、ひも

を上る模型[12]、ひもを移動する模型[12]、曲げ木[12]、中学校技術の振子学習教材として木製機械式時計[14),15)]を開発してきた。本研究では、振子学習のための小学校理科ものづくり教材として、軸周りに回転する模型を製作・開発する。振子は重力場に直交する水平軸周りの回転運動の一部である。高校理科の学習内容である回転運動と振子運動を含み、遊びながら学ぶ小学校理科ものづくり教材として提示する。

おもちゃとしての魅力を引き出すために外見は動物の愛くるしさを目指し、回転軸はものづくりの簡略化から腕の先端と付け根の2つの回転軸とする。模型の構成は角材を用いた2本の腕と胴体を基本の形状とする。

胴体の取り付け位置を検討するため、また、小学校理科教員への提示用資料として、腕や胴体単体での回転運動における力の作用、運動方程式、エネルギー保存式を表1に示す。回転軸と胴体の重心が一致する場合（表1（c））、初期角速度ω_0で回転し続ける回転運動となる。運動方程式において回転角θの関数となる力が作用する、回転軸と重心位置が一致しない表1（d）もしくは（e）の胴体を採用する。運動方程式において回転角θの関数となる力が作用する最も単純な質点の模型（表1（a））の運動を図2に示す。最下点（角度θ=0°）で初期角速度ω_0を与え、回転動画をコマ送り画像に分解し、JW-CADで角度を測定し、角速度を解析した。角速度は変化し、最上点で速度が遅くなる様子がわかる。480fpsの動画のコマ送り画像で解析し、理論値に近い値をえた。

模型を製作する上で、軸を取り付けるために胴体にあける穴はボール盤を用いるため、小学校理科教材として事前にあけておく必要がある。子どもたちが試行錯誤する要素を取り入れるために、足を自由な位置で取り付けることで重心位置を移動させることが可能な、表1（e）の模型を採用する。製作・開発した2軸を有する回転模型と部品材料を図3、表2に示す。模型は、腕の先端と付け根の２つの回転軸を有し、土台・枠を持って揺らすことで大車輪運動を行う。子どもたちが足の取り付け位置を工夫し、絵を描いて色を塗って、完成したおもちゃで遊び、運動エネルギー、位置エネルギー、てこの原理、回転運動など力学的な学習内容について考える、動く木のおもちゃものづくり教材である。土台と枠はげんのうを用いて釘と接着剤で固定し、また、胴体と足は接着剤のみで固定する。腕と胴体の回転軸は胴体の重心を通るように設計されているが、胴体に足を接着することにより、腕と胴体の回転軸が足付き胴体の重心位置から離れ、模型の複雑な回転運動を引き起こす。ものづくりと道具使用の経験を増やすため、もしくはものづくりの難易度を上げるために、のこぎりを用いた木材の切断、ボール盤を用いた穴あけ作業を加えることが可能である。

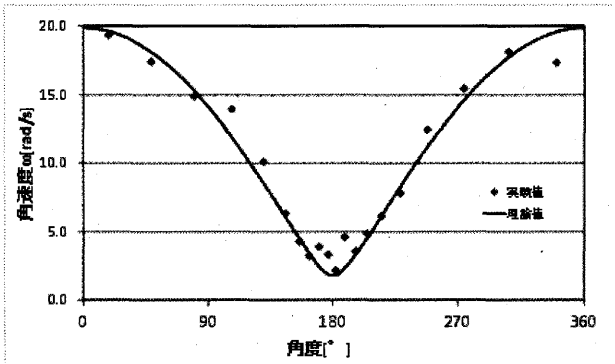
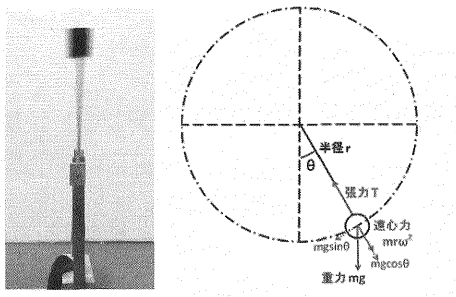


図2　質点回転模型の角速度の時間変化

表1　質点・腕・胴体単体の回転運動

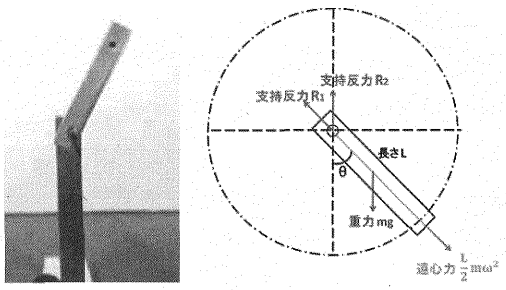
(a) 質点の回転運動

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} = -\frac{g}{r}\sin\theta \ ,$$
$$\frac{1}{2}I\omega^2 + mgr(1-\cos\theta) = \frac{1}{2}I\omega_0^2 \ ,$$
$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - 2\frac{g}{r}(1-\cos\theta)} \ , \text{where } I = mr^2$$



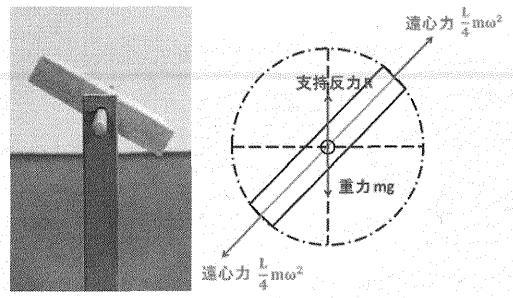
(b) 腕の回転運動

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} = -\frac{3g}{2L}\sin\theta \ ,$$
$$\frac{1}{2}I\omega^2 + mg\frac{L}{2}(1-\cos\theta) = \frac{1}{2}I\omega_0^2 \ ,$$
$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - 3\frac{g}{L}(1-\cos\theta)} \ , \text{where } I = \frac{1}{3}mL^2$$



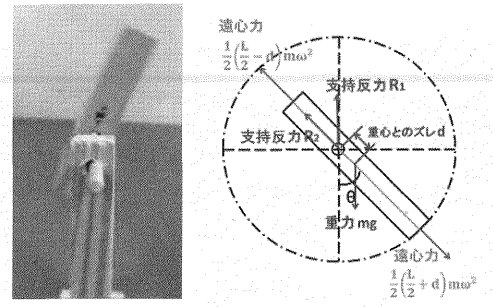
(c) 軸と重心位置が一致する胴体の回転運動

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} = 0 \ , \ \omega = \omega_0$$



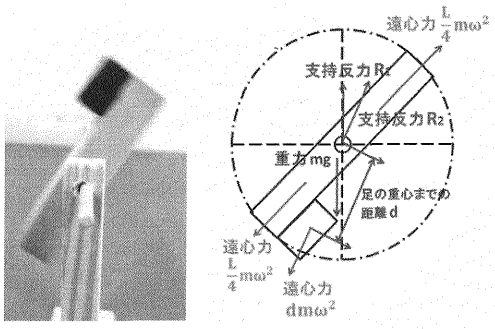
(d) 軸の位置をずらした胴体の回転運動

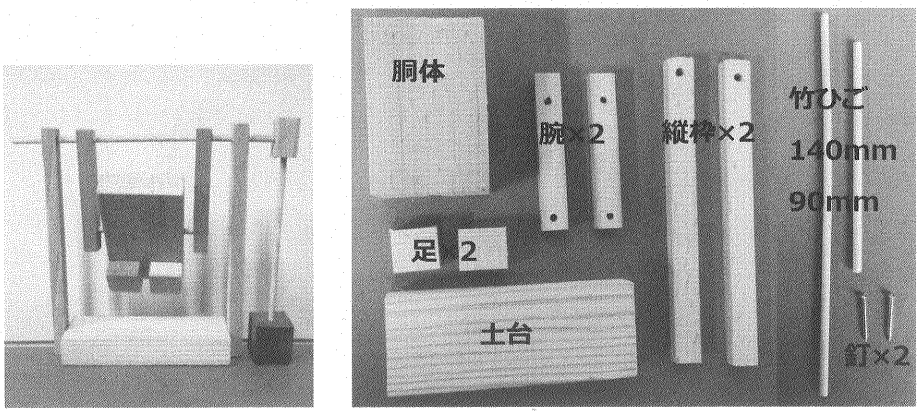
$$\frac{d^2\theta}{dt^2} = -\frac{gd}{L^2/12+d^2}\sin\theta \ ,$$
$$\frac{1}{2}I\omega^2 + mgd(1-\cos\theta) = \frac{1}{2}I\omega_0^2 \ ,$$
$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - 2\frac{gd}{L^2/12+d^2}(1-\cos\theta)} \ ,$$
$$\text{where } I = \frac{1}{12}mL^2 + md^2$$



(e) 足付き胴体の回転運動

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} = -\frac{m_L gd}{I}\sin\theta \ ,$$
$$\frac{1}{2}I\omega^2 + m_L gd(1-\cos\theta) = \frac{1}{2}I\omega_0^2 \ ,$$
$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 + 2\frac{m_L gd}{I}(1-\cos\theta)} \ ,$$
$$\text{where } I = \frac{1}{12}m_B L^2 + m_L d^2$$





(a) 回転模型　　(b) 部品材料

図3　2軸を有する回転模型と部品材料

表2　回転模型の部品材料

部品	材料	部品	材料
土台	木材 15×35×90、1個	脚	木材 7×10×120、2個
枠	木材 7×10×120、2個	軸（鉄棒）	竹ひごφ3×140、1本
胴体	木材 15×40×90、1個	軸（胴体）	竹ひごφ3×90、1本
腕	木材 7×10×120、2個	釘	2本

図4は、胴体の大きさや腕の長さが異なる２体の模型を同じ土台・枠に取り付けることで、回転運動の違いを比較することができる模型である。図5は、伝統的なおもちゃ（図1（b））と同様に2つの回転軸に加え、胴体と脚に回転軸を増やし、回転軸を３つにした模型である。体操選手が鉄棒で大車輪を行っている場合を想定して、動きを観察することが可能である。

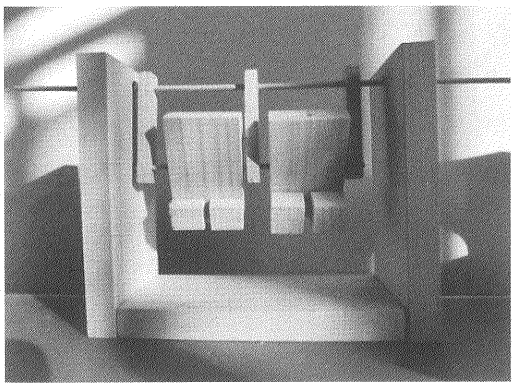


図4　胴体の大きさや腕の長さが異なる模型による運動比較教材

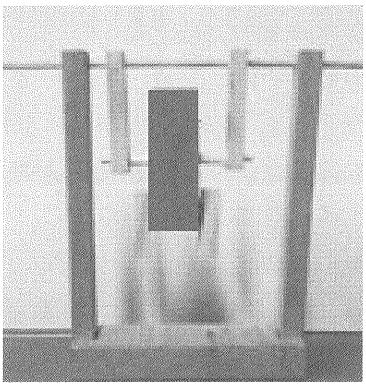


図5　3つの回転軸を有する回転模型

3．回転模型の運動解析

図3（a）の回転模型にある値以上の初期回転速度を与えることで、大車輪の回転運動を引き起こす。その後の運動を動画のコマ送り画像で提示する。鉄棒と腕の回転軸と腕と胴体の回転軸をそれぞれ腕回りの回転軸、胴体回りの回転軸と定義する（図6）。

回転運動を480 fpsの動画で撮影し、その時のコマ送り画像を図7に示す。図7（a）では初速

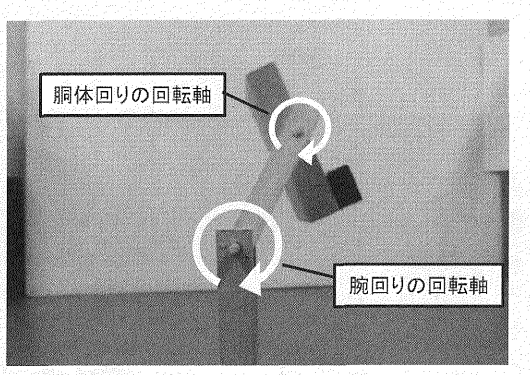


図6　回転模型の回転軸

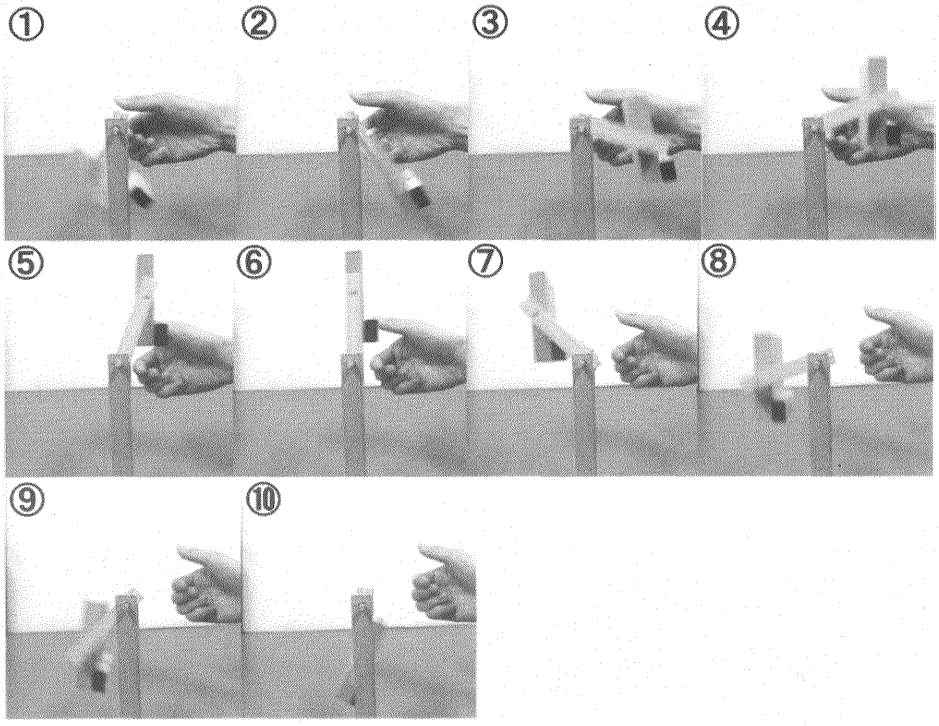
度を与える段階で胴体の回転が起こらず、その後も胴体の姿勢はほとんど変化がなく腕のみが回転し大車輪をしている様子がわかる。図7（b）では、摩擦によるエネルギー損失で大車輪の運動から腕の振子運動に変化し、胴体は回転運動を開始する。図では、胴体は前回りしているが、逆回転する現象も起きる。徐々に摩擦の影響で揺れは小さくなり、胴体も振子運動に変化し、最終的に停止する。

模型の回転運動をコマ送り画像の解析から明らかにする。コマ送り画像をJW-CADに取り込み、腕と胴体の角度θを測定し、角速度ωを算出する。角速度ωの時間変化を図8に示す。角速度の符号の変化時に、回転の向きが変化する。

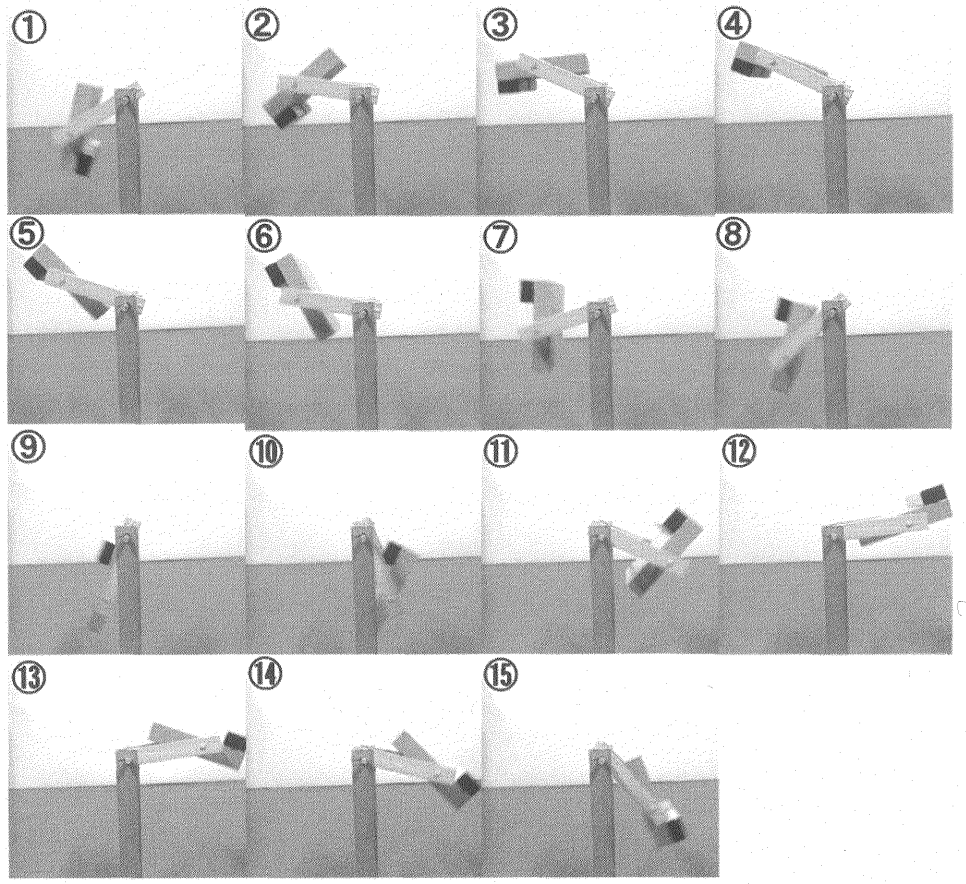
腕の運動は、時間t=0～0.6sにおいて、腕のみが回転し大車輪の運動を示し、0.6s以降は振子運動を繰り返し、摩擦によって徐々に角速度のピーク値が小さくなっていく。角速度が0となるとき、振子の回転方向が変わるポイントとなる。また、波の頂点では、腕が最下点を通過する速度の速い瞬間である。

胴体の運動は、t=0.1～0.2，1.0～1.2sにおいて、角速度が0に近づく範囲では胴体周りの回転軸に対して回転はほとんどなく、一定の姿勢を保ちながら腕の回転とともにとともに動いている。t=0.4～0.9，1.3～1.5sにおいては角速度にあまり変化がなく、同時に腕の回転方向は変化し、振子運動を行いながら、胴体は胴体周りの回転軸に対して一定方向の回転を繰り返している。1.3s以降では、角速度が波上に変化しつつも符号の変化がないため、胴体は常に一定方向に回転しつつ、胴体周りの回転軸と胴体の重心位置のずれにより、角速度は波上に変化するといえる。徐々に摩擦の影響で角速度は0に近づき、停止する。

足を取り付けた模型と足を取り付けていない模型の回転運動を比較するために、足のない模型の回転運動のコマ送り画像を図9に示す。足のない模型は、胴体の重心位置と胴体周りの回転軸にずれがないため、腕の回転方向にしか胴体は回転しない。また、スピードがある時には回転せずに腕に対して垂直か平行で回転しており、スピードが落ちると胴体が回転運動を始める。これは遠心力の影響によると考えられる。回転軸が重心位置を通る模型の円周方向速度と遠心力を図10に表す。遠心力は回転軸から遠いほど大きくはたらく。向きは回転方向と垂直にはたらく。速度もまた回転軸から遠いほど速くなる。向きは回転方向に平行にはたらく。胴体が腕に対して平行（a）、または垂直（b）になっている場合左右対称に遠心力が働くため、バランスが保たれている。しかし傾いている場合（c）、生じる遠心力にも偏りが生じ、速度の向きも崩れる。そのため、安定せずに胴体が回転する。



(a)　大車輪中の回転運動



(b)　腕の振子運動と胴体の回転運動

図7　模型の回転運動

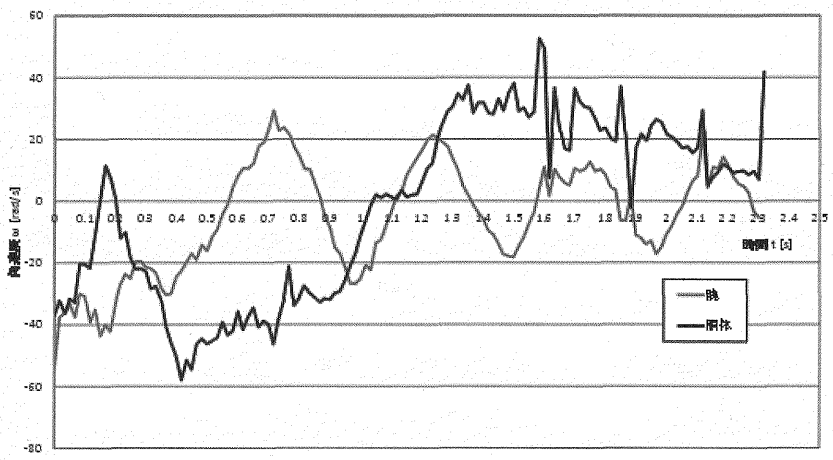


図8　角速度ωの時間変化

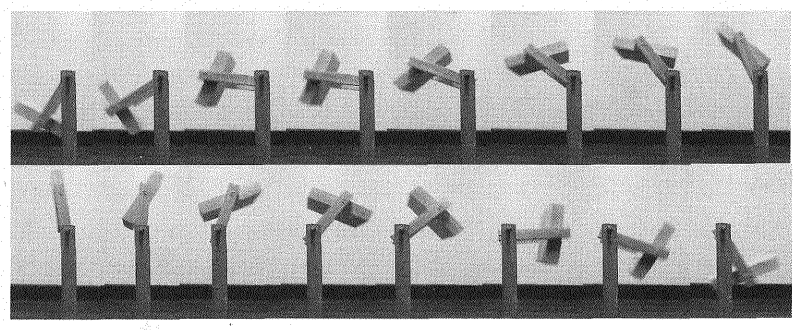
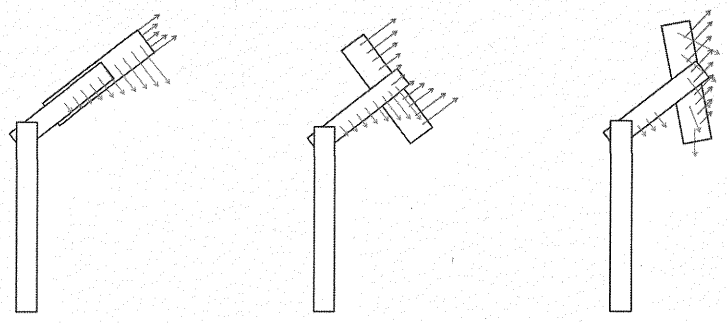


図9　回転軸が重心位置を通る模型の回転運動



(a) 胴体が腕に対して平行　　(b) 胴体が腕に対して垂直　　(c) 胴体が傾いている

図10　回転軸が重心位置を通る模型の円周方向速度と遠心力

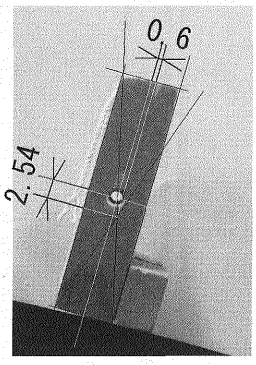


図11　回転模型の重心位置と回転軸のずれ

足を取り付けた模型に比べ、重心位置と回転軸が一致する模型の回転運動の変化が乏しい。子どもたちに驚きの感情と新奇なものに対する好奇心を引き起こすためには、回転軸を重心位置からずらす必要がある。また、2つの模型の比較を行うなど衝撃実験[8]として提示が可能である。製作した模型の回転軸と重心位置のずれを図11に示す。胴体に足を取り付けたことにより、胴体の前面側に0.6mm、下方に2.5mm移動したことがわかる。

4．ものづくりイベントにおける模型製作の実践

富士市伝法まちづくりセンターで行われた「富士サイエンスプロジェクト in Fuji」において回転模型製作のブースを設け、実践を行った。イベントのチラシを図12に示す。

4-1　実践概要

日　　時：2013年11月10日（日）　10:00～15:00
場　　所：富士市伝法まちづくりセンター
主　　催：新富士ロータリークラブ　サイエンスプロジェクト実行委員会
後　　援：富士市教育委員会
対象年齢：小学校低学年から高学年
人　　数：約100人

図12「富士サイエンスプロジェクト in Fuji」のチラシ

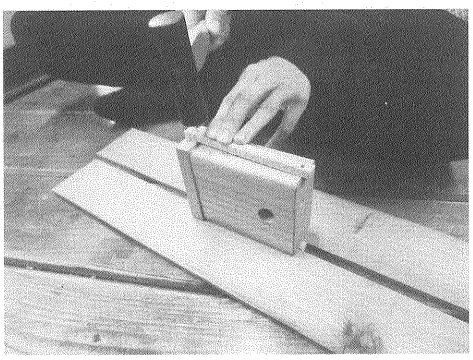


図13　げんのう使用時の固定用治具

4-2　回転模型の製作手順

実践用の製作模型として、図3の回転模型と材料を用いた。竹ひごが２本、木材の部品８個、くぎ２本で製作する。あらかじめ、設定した寸法通りに切り、穴をあけたものを用意した。使用する道具は、げんのう、治具、ボンド、カラーペンである。子どもたちは、組み立て、縦枠と土台をつなぐ釘打ちをする。その後、色を塗ったり顔を書いたりして、自分だけの回転模型を製作する。教育学部の学生が補助としてはいる。釘打ち時の固定用治具と使用の様子を図13に示す。また、学生用に作成した作り方マニュアルを図14に示す。

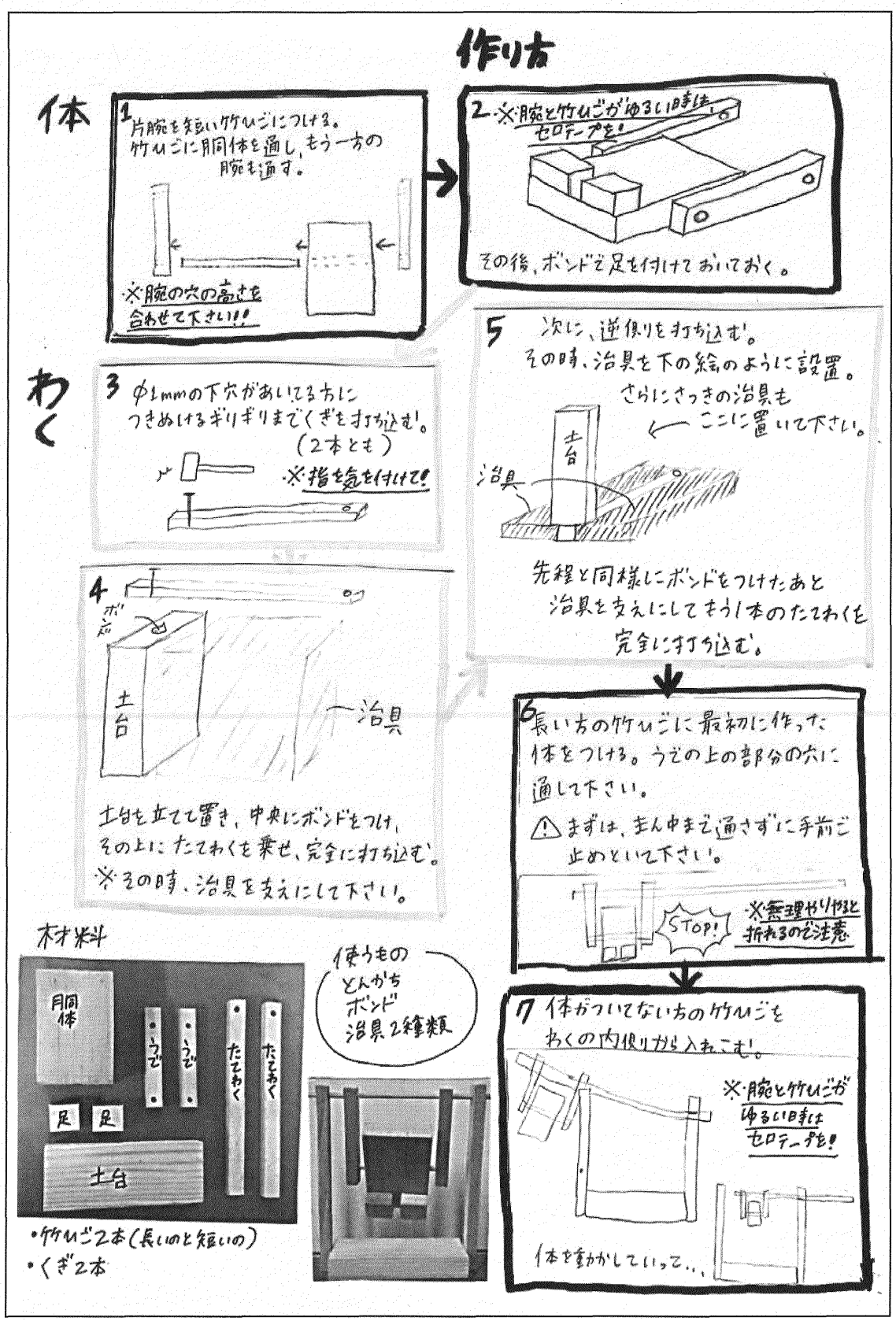


図14　指導する学生のための作り方マニュアル

【製作手順】

1　胴体に短い竹ひごで腕を取り付ける。足はボンドで胴体の下方の好きな位置に取り付ける。

2　土台と枠はげんのうを用いて釘と接着剤で固定する。一方の枠を釘で土台に取り付ける際には、胴体と同じ大きさの治具を用いる。また、もう一方の枠を取り付ける際には、すでに取り付けた枠が隙間に入るように、隙間用の治具を用い、さらに胴体と同じ大きさの治具を用いて、釘で固定する（図13, 14）。

3　模型と土台を長い竹ひごで固定する。

4　絵を描き、色を塗って、完成。

4-3　実践結果

参加した富士サイエンスプロジェクトではアンケートをとることができないため、子どもたちやその保護者の実践中の様子、話の内容から、教材としての特徴を明らかにする。また、実践の様子を図15、子どもたちが製作した回転模型を図16に示す。

子どもたちは19のブースがある中で好きなところに行って、ものづくりや理科の実験を体験する。動く木のおもちゃのものづくりは、我々の研究室が出店している本教材「軸周りに回転する模型」と「鼻で立つおもちゃ」の2つのブースだけである。本教材では、げんのうを使用した釘打ちを体験し、「鼻で立つおもちゃ」ではのこぎり挽きを体験する。

＜子どもたちの様子＞

・3年生以上の子どもたちは、げんのうを用いた釘打ちに悪戦苦闘しながらも、学生の補助を借りず自分のちからで楽しそうに製作を行っていた。

・釘を打ちやすいよう、下穴と治具を用意することにより、小学校低学年の子どもでも補助があればげんのうを使うことができ、自己肯定感を高める活動になっていることがうかがえた。

・それぞれおもちゃに顔を書いたり色を塗ったり工夫することに熱中し、自分のちからでつくった自分だけのおもちゃを完成させていた。

・子どもたちが何回も何回も繰り返し、遊んでいる姿が見られた。おもちゃの動きが新奇さを有し、子どもたちの働きかけに対し、期待を裏切ることなく応答変化する動くおもちゃとして提供できたと思われる。

・保護者からも子どもと同じように「おもしろい」という感想を聞くことができた。ほとんどの保護者に子どもと一緒におもちゃで遊ぶ姿が見られた。大人がおもしろいと思うおもちゃになっており、小学校理科の授業で製作したおもちゃを家族で一緒になって遊ぶ姿が想像できる。家庭における学習の再構築、自己肯定感・内発的動機付けの深化につながりうる教材である。

・子どもたちから「足があるからゆらゆらする」「振子みたくなっている」という声を聞くことができた。胴体の動きと腕以下の模型全体の動きをわけて考えている子どももいた。

実践が五月雨式のものづくりで100名程度の子どもたちが参加したため、回転運動の仕組みを探究する動機付けの仕掛けをつくることができなかった。そのため、多くの子どもに遊びに熱中する姿が見られたが、回転運動が複雑なため、仕組みの探求は難しい印象をえた。改善するために、ものづくり教室に掲示しておくポスター（図17）を作成した。スローモーション動

画のコマ送りを見ることで、視覚的に動きを認識できる。

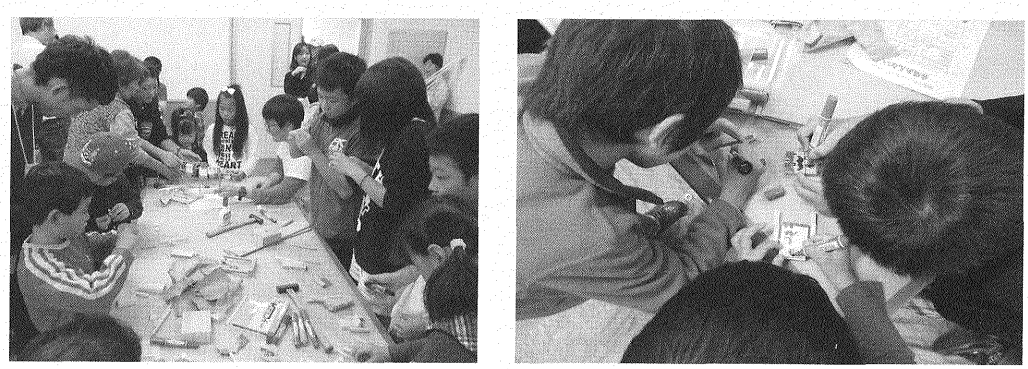


図15　実践の様子

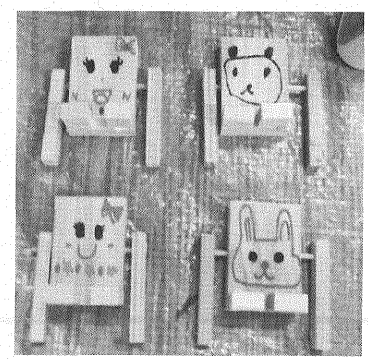


図16　子どもたちの製作模型

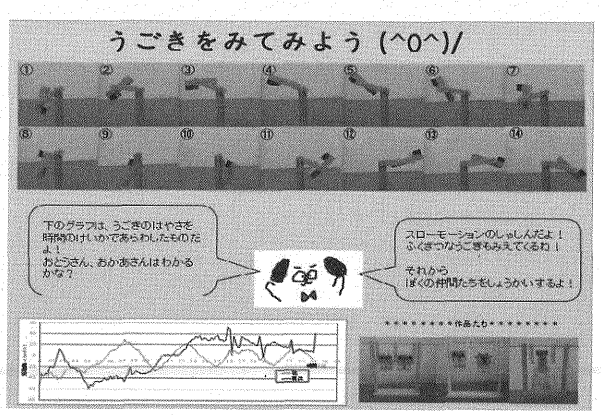


図17　動きの探究のために作成したポスター

4-4　授業展開

実践から明らかになった、「下穴と治具を用意することにより、小学校低学年の子どもでもげんのうを使うことができ、自己肯定感を高める活動になっていた。」「おもちゃの動きが新奇さを有し、子どもたちの働きかけに対し、期待を裏切ることなく応答変化する動くおもちゃとして提供できたと思われる。」「ほとんどの保護者に子どもと一緒におもちゃで遊ぶ姿が見られた。大人がおもしろいと思うおもちゃになっており、小学校理科の授業で製作したおもちゃを家族で一緒になって遊ぶ姿が想像できる。家庭における学習の再構築、自己肯定感・内発的動機付けの深化につながりうる教材である。」などの結論をもとに、小学校理科のものづくり教材として提示するにあたって、考案した授業形式のものづくりを以下に示す。ここでは、小学校理科教員それぞれの個性と教育力により、独自の授業展開を作り上げることが可能であり、詳細の記述は省略する。

【導入】スローモーション映像

製作する回転模型の動画をスローモーションで見ることで、回転模型の動きのおもしろさ、複雑な回転運動に気づく。

（ねらい：製作・遊び・学びにおける探究活動への内発的動機付けにつなげる。）

【提示】模型の提示

足のない模型と足のついた模型の両方を提示する。動きはどう違うのか、何が原因で違った動きをするのかを観察する。

「より回転させやすい模型にするにはどうすればいいか」という問題を提起する。

（ねらい：製作・遊び・学びにおける探究活動への内発的動機付けにつなげる。）

【製作】回転模型の製作

製作にあたって、回転が可能ならば足の付け方は自由とする。【導入】と【提示】により、足の役割を理解して製作することができる。

（ねらい：役割の理解の上での製作となり、設計学習の導入につなげる。）

【遊び・まとめ】

製作した模型で遊びながら、足の付け方の違いによる動きの変化を観察する。二体を同時に回転させることのできる枠を使って足の付け方による違いを比較する（図4）。

（ねらい：学んだことを発表しまとめることで、家庭に持ち帰ったときに、動きを説明する内容につなげる。）

【宿題】家族と遊ぶ

家庭に持ち帰って、家族や友だちと遊び、説明し、感想を聞いてくる。

（ねらい：学習内容の再構築、自己肯定感・内発的動機付けの深化につなげる。）

5．結言

本研究では、伝統的な3軸の回転軸を持つ大車輪のおもちゃを小学校理科ものづくり教材として簡略化し、２つの回転軸を有し、重心位置を回転軸からずらすことによる複雑な回転運動を行う回転模型教材を製作・開発し、動作解析、実践により、以下の結論をえた。

・質点、腕、胴体の回転運動解析および実験から、簡略化と複雑な回転運動を両立した回転模型教材を提示した。簡略化と複雑な回転運動の両立により、単純なおもちゃの動きの意外性が強調され、新奇性を高める教材となった。
・実践により、「下穴と治具を用意することにより、小学校低学年の子どもでもげんのうを使うことができ、自己肯定感を高める活動になっていた。」「おもちゃの動きが新奇さを有し、子どもたちの働きかけに対し、期待を裏切ることなく応答変化する動くおもちゃとして提供できたと思われる。」「ほとんどの保護者に子どもと一緒におもちゃで遊ぶ姿が見られた。大人がおもしろいと思うおもちゃになっており、小学校理科の授業で製作したおもちゃを家族で一緒になって遊ぶ姿が想像できる。家庭における学習の再構築、自己肯定感・内発的動機付けの深化につながりうる教材である。」など、本教材の特徴を明らかにした。
・ものづくりと道具使用の経験を増やすため、またはものづくりの難易度を上げるために、のこぎりを用いた木材の切断、ボール盤を用いた穴あけ作業を加えることが可能である。
・スローモーション映像、胴体の大きさ・腕の長さの異なる模型、足のある模型とない模型などを提示し、比較する時間を設け、動作の探究、学習内容の再構築、自己肯定感・内発的動機付けの深化につなげる授業展開を提示した。
・ものづくり教室における子どもたちの原理探究への改良点を提示した。

本研究は，平成27年度科学研究費補助金（課題番号：15K00972）の援助による。

参考文献

1) 文部科学省：小学校学習指導要領 理科（2008）
2) 文部科学省：小学校学習指導要領 図画工作（2008）
3) 文部科学省：第3期科学技術基本計画（2006）
4) 文部科学省：第4期科学技術基本計画（2011）
5) 山中さやか：保育における子どもの「学び」に関する検討：シェーファー（Schafer, G. E.）の自己形成論としてのBildung観に着目して，保育学研究，第51巻第2号，pp. 154-162（2013）
6) 山岸耕平：ICSにおける"knowledge-building"アプローチと総合学習，神戸親和女子大学研究論叢 34, A69-A92（2001）
7) 松永泰弘，前田耕典：みらい創造科教材としての紙製4足受動歩行模型の開発，静岡大学教育学部研究報告，人文・社会・自然科学篇，第65号，pp.165-179（2015）
8) 波多野誼余夫，稲垣佳世子：知的好奇心、中央公論新社（1973）
9) S. Hidi, K. A. Renninger：The Four-Phase Model of Interest Development, EDUCATIONAL PSYCHOLOGIST, 41（2）, 111–127（2006）
10) E. L. Deci & R. M. Ryan：Handbook of Self-Determination Research, University of Rochester Press（2002）
11) 松永泰弘：Showers-of-Emotion Theoryに基づく動くおもちゃものづくり授業－授業と家庭の連携による内発的動機づけの深化－，日本産業技術教育学会第57回全国大会（熊本）機械分科会講演要旨集，p.4（2014）
12) 松永泰弘，河村翔太：Showers-of-Emotion Theoryに基づくものづくり教材を用いた小学生工作教室，静岡大学教育学部研究報告，教科教育学篇，第46号，pp.119-132（2015）
13) 松永泰弘，芹澤沙希，堀井千裕：小学校理科におけるものづくり教材の授業実践，静岡大学教育学部研究報告，教科教育学篇，第42巻，pp.161-174（2011）
14) 松永泰弘，柴田祥吾，今山延洋：教材用木製機械式振子時計の改良，日本産業技術教育学会誌，第53巻，第1号，pp.17-23（2011）
15) 松永泰弘，竹内太一，大脇一宏：中学校技術・家庭科における機械式振子時計製作の授業実践，静岡大学教育学部研究報告，教科教育学篇，第43号，pp.161-170（2012）