

科学・技術・芸術を融合したSTEAM教育における設計教材としてのオートマタの開発

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2016-06-06 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 松永, 泰弘, 浜辺, 萌香, 原田, 和明 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.14945/00009436

科学・技術・芸術を融合した STEAM 教育における 設計教材としてのオートマタの開発

松永泰弘* 浜辺萌香** 原田和明***

Development of Automata as Teaching Materials for Design on STEAM Combined Science, Technology and Art

Yasuhiro Matsunaga Moeka Hamabe Kazuaki Harada

要旨

21 世紀の技術教育では、創造性育成の視点から見た技術教育の在り方として、創造性を発揮するために科学、技術、芸術の連携・協同が求められている。そこで本研究では、設計・巧緻性と芸術的内容を重視したオートマタ教材の開発を行う。さらに、中学校技術の教員養成系大学学生を対象としたオートマタ制作の授業実践を行い、授業後レポートの自由記述からオートマタ制作授業の教育的効果について探る。

キーワード： オートマタ 設計 STEAM

1. 緒言

中学校学習指導要領解説技術・家庭科編¹⁾には、動力伝達の機構として、摩擦を利用して動力を伝える機構や歯車などのかみ合いを利用して動力伝える機構、カム機構などの目的とする動きに変換して動力を伝える機構について知ることができるようにすることが考えられるとある。

日本産業技術教育学会「21 世紀の技術教育（改訂）」²⁾では、創造性育成の視点から見た技術教育の在り方として、創造性を発揮するためには科学、技術、芸術の連携・協同（協働）が欠かせないと書かれている。また、学習活動の展開として、創造の動機、設計・計画、製作・制作・育成、成果の評価の4過程を欠落させることなくたどらせることが必要とあり、設計・計画の過程で育成が期待される主な能力・態度として、「解決策を生み出す創造力、計画力、修正力等」「技術的な課題解決に関する合理的な意思決定力等」が挙げられている。

一方、国際的には、科学教育、技術教育、工学教育、数学教育を総合した STEAM 教育を推進する動きが加速している³⁾。アメリカでは STEAM 教育に美術教育を融合させ、STEAM 教育^{4),5)}として進化してきている。

そこで著者ら⁶⁾は、動作伝達機構を理解・活用することができ、動力源に人力・重力・風力・磁力・弾性力など様々なエネルギー源を選択できるオートマタに着目し、オートマタ教材の開発を行っている。

本研究では、STEM と Art を融合させた STEAM 教材として、からくりや舞台上の人形、設計・巧緻性と芸術的内容を重視した魅せる制作教材を開発する。オートマタの制作において、機構を理解し、設計・計画を行い、制作する中で試行錯誤を繰り返し修正していくことで課題を解決できる教材として開発する。

2. オートマタ

オートマタ（からくり人形）は、言葉の原義としては「自動機械」のことであり、「生命あるモノの動きを真似る生命の無いモノ」と定義されている。18~19 世紀にかけてヨーロッパでつくられた機械仕掛けの人形で、当時は時計の技術を応用した精密な金属部品によって動作しており、動力源としてはゼンマイが主に用いられた（図 1）。日本では「茶運び人形」などがからくり人形の代表としてあげられる（図 2）。

現在のオートマタは、ほぼすべての部品を木材で製作しており、内部の機構の動作を鑑賞できることまでを含め 1 つの作品として楽しまれている（図 3）。

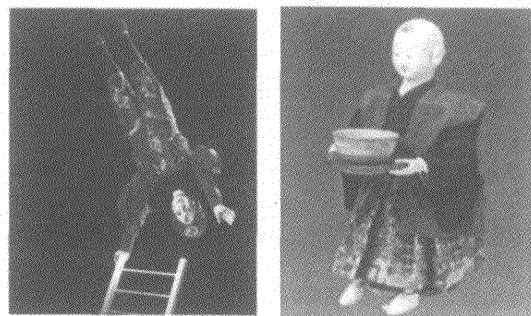


図 1 西洋のオートマタ⁷⁾ 図 2 茶運び人形⁸⁾

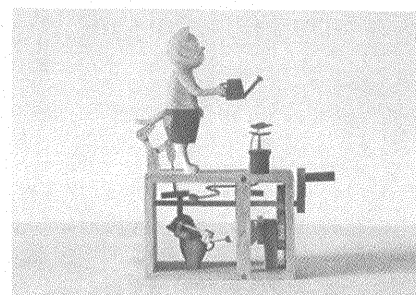


図 3 シャワー（原田）⁹⁾

* 静岡大学教育学部技術教育講座 ** 静岡大学教育学研究科技術教育専修 *** 二象舎

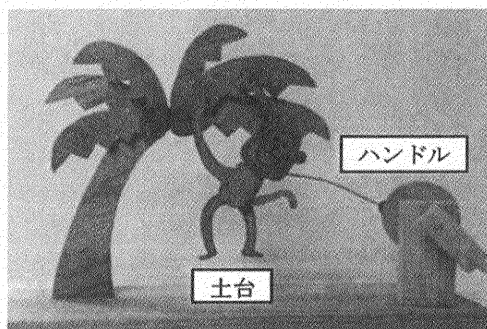
3. オートマタ教材の開発

3-1 設計教材としてのオートマタ

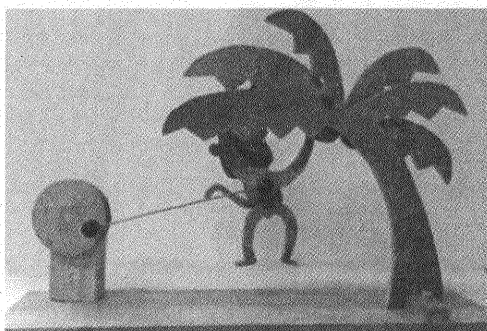
中学校学習指導要領解説技術・家庭編¹⁾では、「B. エネルギー変換に関する技術」において「製作品に必要な機能と構造を選択し、設計ができること」とある。オートマタ制作における設計とは、動く仕組みを理解した上で、歯車、カム、リンクなど機械要素の取り付け位置や長さなどを変えながら、デッサン・設計（デザイン）した動きを実現させていく過程を踏むことと定義することができる。そのため、事前に子どもたちが動く仕組みや機構を理解し、実現させたい動きに合わせて選択できる学びが必要となる。そこで、オートマタ制作導入時に仕組みを理解するための教材を提示することで、機構を用いてどのような動きができるのか、この仕組みが何に活かせるのかを考え、自分のオートマタを設計していくことを可能とする。

3-2 リンク機構

リンク（細長い棒）を組み合わせた、互いに回転対偶（または一部がすべり対偶）する機構をリンク機構といい、その各々の棒をリンクという。リンク機構には、剛性の高い棒を用いるので、引張力にも圧縮力にも抵抗を持ち、どちらの力も伝えることが可能である。また摩擦部分が少なくて動力の損失が少なく、軽快な運動を伝え、かつ製作も容易である。図4に示す教材は、針金、画紙、釘を用いてリンク機構を考えるオートマタ教材である。生徒自身が舞台上のデザインや動きを



(a) 正面側

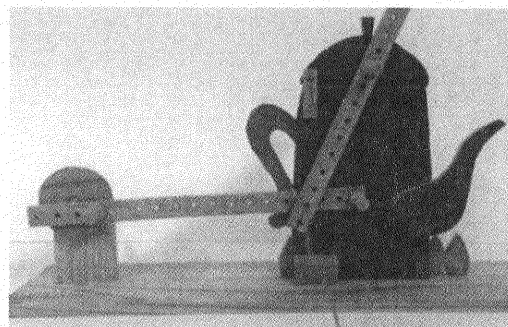


(b) 裏側

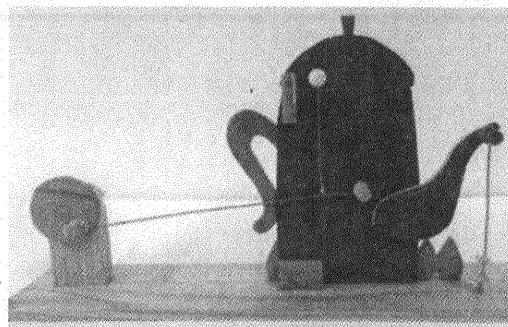
図4 土台・ハンドル部を共通部品としたリンク機構を用いたオートマタ

考え、糸鋸盤を用いて模型を製作し、針金の長さや画紙を刺す位置、釘を通す穴の大きさ、舞台上の部品の組み合わせ方などを試行錯誤することで、模型が目通りスムーズに動くリンク機構を設計する。土台、ハンドル部は共通部品としてあらかじめ用意しておくことで、生徒がこれらを製作する時間を省き、模型や機構の設計・制作に集中できる時間を確保した。

また、模型の動きを考える際に使用する補助具の製作を行った（図5）。10mmごとに穴が開いているため、画紙を刺す穴を変えることで模型が動くよう調整することが可能であり、補助具を用いることでスムーズに動くための針金の適切な長さや画紙を刺す位置を確定してから針金を切断するため、失敗が少ない。



(a) 補助具を用いた長さや位置の検討



(b) 完成した機構

図5 補助具を用いた動きの調節

3-3 てこ・クランク機構を用いたオートマタ

てこ・クランク機構は、最短リンクの隣のリンクを固定してできる機構で、最短リンクが回転し、これに向かい合うリンクが揺動運動を行う。制作した模型では、図6に示すように、Aが固定リンク、Bがクランク、Cが接続棒、Dがてことなる。生徒は、自分の想定通りに模型を動かすために画紙を刺す位置や針金の長さを試行錯誤する。そして完成した作品を動かす中で、模型の動きから、リンクの長さが $A+C > B+D$, $A+D > B+C$, $C+D > A+B$ (ただし、 $B < A$, C , D) の関係にあることや、模型の揺れ角を死点の位置から考え（図7）、てこ・クランク機構の構造と動きを学ぶ。また、教員にとっては、てこ・クランク、接続棒の瞬間中心、角速度比などの深い内容の理解が必要である。

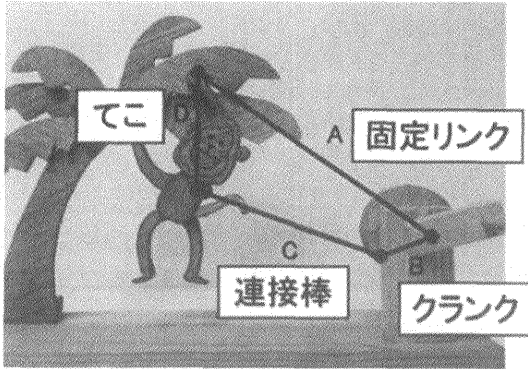
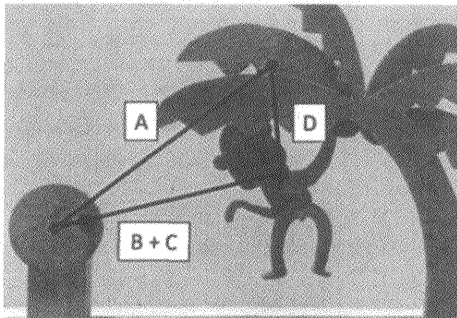
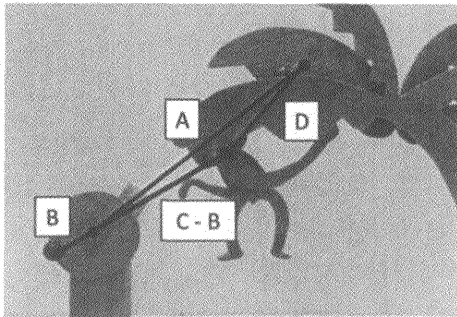


図6 てこ・クランク機構のリンクの名称



(a) 模型が最も右側に揺れたとき



(b) 模型が最も左側に揺れたとき

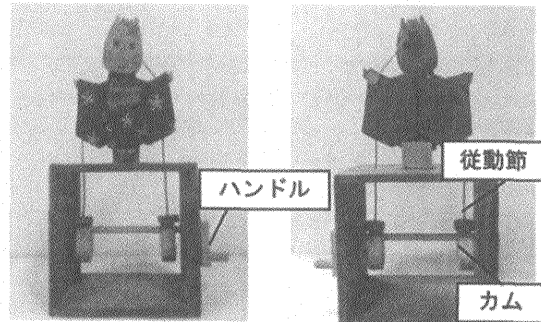
図7 てこ・クランク機構における死点

3-4 カム機構を用いたオートマタ

共通部分である土台には、100円ショップで購入した木箱を使用した。これにより、教材の準備を簡易化するとともに、生徒が土台を製作する時間が省かれるため、模型や機構の設計・制作に集中できる時間を確保した。特殊な輪郭を持った原動節を回転、揺動または往復運動させることにより、これに接している従動節に周期的な所要の運動をさせるものをカム機構という。カムは構造が簡単であり、容易に所要の複雑な運動が得られるので、内燃機関の弁機構や旋盤のならい装置、自動機器などに広く用いられている。カムには、板カム、円筒カム、円錐カム、斜め板カム、直動カムなど様々な種類があり、従動節の所要の動きに応じて多種多様に設計される。

図8に示す教材では、円板カムを用いて模型の動きを考える。平面形状の従動節の真下にカムを置くこと

でハンドルの回転に合わせて模型が上下に動き、従動節の中心より片側にずらしてカムを置くことで上下に動きながら回転する動きを表現することが可能である。また、円板カムは、市販の丸棒を軸に垂直に切断することで容易に準備することが可能である。さらに、円板カムの偏心量を変えたり、円板の一部を切り取り平面に加工しストッパーをつけることで様々な回転を表現することができ、生徒の思い通りに設計しやすい機構である。糸のこ盤を用いて模型を制作し、針金、画鋸、釘を用いて模型の動きを設計する。針金は機械を使わずにニッパーで切断が可能のため、模型がスムーズに動く丁度良い長さに調節しやすい。



(a) 正面側 (b) 裏側

図8 カム機構を用いたオートマタ

図9に半径 r の円板カムと刃形状の従動節を用いたカム機構の幾何学的座標を示す。円板カムと基礎円の中心を O 、 O' 、偏心量を e とする。従動節の変位量 δ は、点 P の y 座標から基礎円の半径 $r-e$ を引いた値で求まり

$$\begin{aligned} \delta &= -e \cos \theta + e \sqrt{\left(\frac{r}{e}\right)^2 - \sin^2 \theta} - (r - e) \\ &= e \left(1 - \cos \theta + \sqrt{\left(\frac{r}{e}\right)^2 - \sin^2 \theta} - \frac{r}{e} \right) \quad (1) \end{aligned}$$

となる。

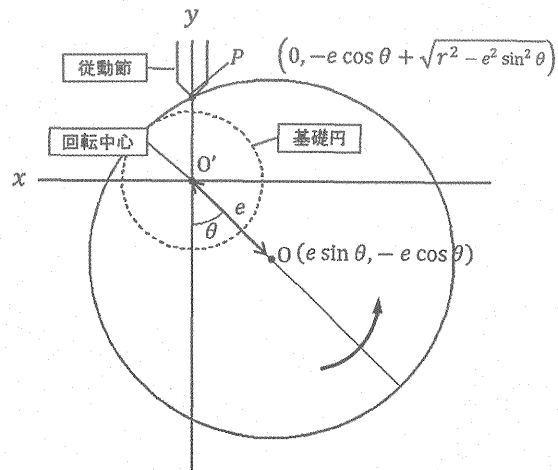


図9 円板カムと刃形状の従動節を用いたカム機構

また、平板形状の従動節を用いた場合の幾何学的座標を図 10 に示す。カムと従動節の接点 P は、カムの中心の真上となり、変位量 δ は

$$\begin{aligned} \delta &= r - e \cos \theta - (r - e) \\ &= e(1 - \cos \theta) \end{aligned} \quad (2)$$

となる。

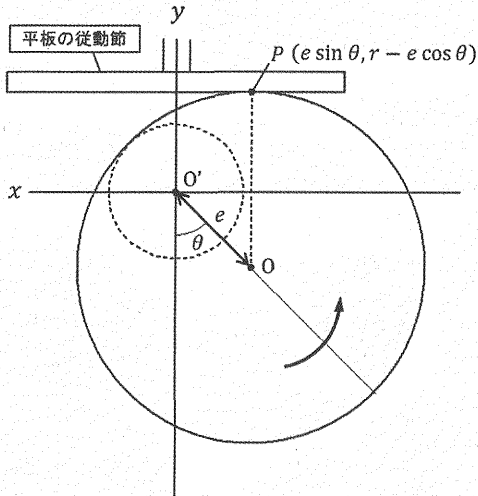


図 10 円板カムと平面形状の従動節によるカム機構

刃形状と平面形状の従動節の無次元変位量 δ/e の回転角 θ に対する変化を図 11 に示す。式(1)で与えられる刃形状の場合、無次元変位量は円板の半径と偏心量の比 r/e の関数となるため、 $r/e=2, 3$ に対して図に示す。従動節の最大変位量 δ_{max} は、刃形状と平面形状ともに、偏心量 e の値の 2 倍となる。また、図 9, 10 から明らかなように、平面形状の従動節は刃形状より常に大きな変位量となる。さらに、刃形状の従動節において、 r/e の値が小さいほど無次元変位量は常に大きな値となる。変位量 δ の変化を示した方が感覚的には理解しやすい。生徒は自分の思った通りに模型を動かすために、カムの半径や軸を通す位置(回転中心)を設計する。完成した作品を動かしながら、模型の動きからカム機構の動く仕組みを学ぶ。

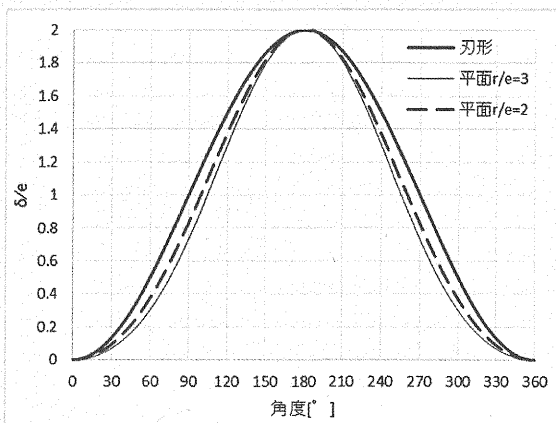
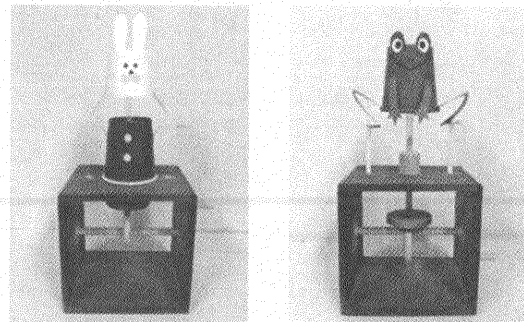


図 11 従動節の無次元変位量 δ/e

3-5 小学生対象オートマタ教材

カム機構を用いた上下の動作の中で、模型をどのように動かすのか考え試行錯誤する。小学校学習指導要領解説図画工作編⁷⁾によると、小学校 1, 2 学年において使用する用具として、はさみ、のり、簡単な小刀類(カッターナイフなど)が挙げられている。そこで、小学校低学年でも教材として扱えるよう、模型には紙コップ、画用紙を用いて制作する。また、軸や土台と模型を固定するものとして、木材や針金ではなくストローを使用した。ストローは、小学校低学年であってもはさみを使って簡単に切断することが可能である。これにより、ストローの長さを変更することで、模型の動きを試行錯誤できる教材とした。共通部品である土台には市販の木箱(100円ショップで購入)を使用し、円板カムは、市販の丸棒を軸に垂直に切断することで容易に準備することが可能である。教師が事前に用意しておくことで、児童が模型や機構の設計・制作に集中できる時間を確保する。



(a) 首を持ち上げるウサギ (b) ジャンプするカエル
図 12 小学校対象オートマタ教材

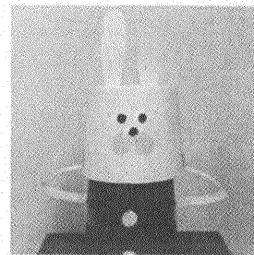


図 13 カムコップ 2 つと画用紙を用いた模型

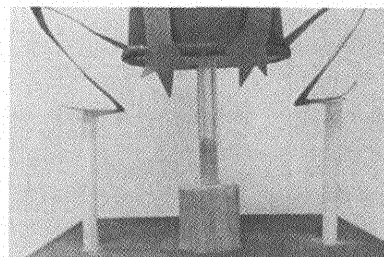


図 14 ストローを用いて製作

4. 提示用教材

各機構の動きや仕組みを理解するための提示用教材を製作した。オートマタ制作導入時提示することで、機構を用いてどのような動きができるのか、この仕組みが何に活かせるか考え、自分のオートマタを設計していく。

4-1 リンク機構

軸の位置を変えてストッパーや接合部を変化させることで、リンクの動きがどのように変化するか確認する。リンクの長さが動きにどのような影響を与えるのか理解することが可能である。

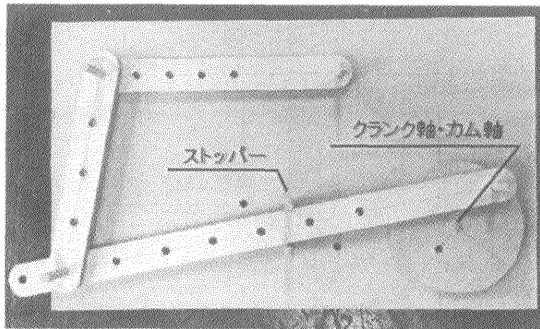
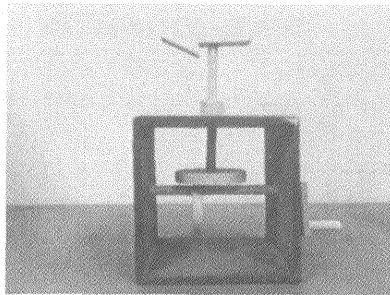


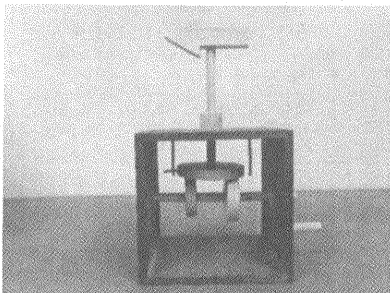
図 15 リンク・カムの動きを測定するための実験教具

4-2 カム機構

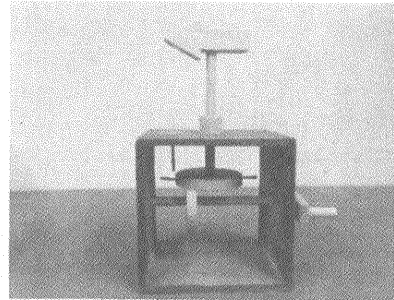
カム形状により異なる動きをする模型を提示する。円板カムを基本形とし、偏心量を変えたり、円板の一部を平面に加工し従動節の動きを制御するストッパーをつけることで、上下の動きだけでなく、様々な動きを表現できることを理解する。さらに、機構部分を隠しておくことで、そのからくり（仕組み・機構）を想像し、仮説を立て検証できる授業展開を構想する。



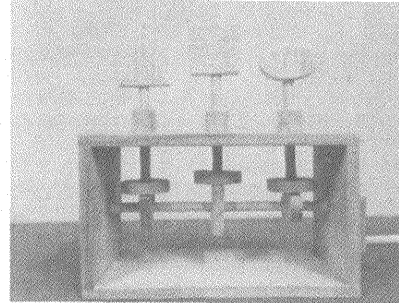
(a) 一回転する模型



(b) 左右交互に半回転する模型



(c) 一方向に180°ずつ回転する模型



(d) △□○の形のカムを用いた模型

図 16 円板カムを用いた提示用教材

5. オートマタ制作の授業実践

平成 26 年度集中講義「機械工作実習」において、オートマタ作家（二象舎：原田和明）を授業者とし、静岡大学教育学部技術教育専修および総合科学専攻 2,3 年生 17 名を対象にオートマタ制作の授業実践を行った。受講生は 1 年次に講義「機械工学」において機構学の内容を学習し、実習で作品として制作する。

授業の様子とアンケート結果、授業後レポートから、その成果やオートマタ教材による教育的効果の分析を行う。授業の流れを表 1 に示す。

表 1 授業の流れ

展開	内容
導入	オートマタ制作の動画や、カムを用いた場合に可能な動作を示す模型を提示し、興味・関心を持たせる。
製作	① アイディアスケッチ ② 実寸で描く ③ 部品のカット、穴あけ ④ 箱・仕組みの組立 ⑤ 模型の仕組みを仮組みして動作確認 ⑥ 模型のつくり込み、色塗り ⑦ 動作の最終確認
発表	自分の作品と他の人の作品を比較しながら、実際に考えたものが動く面白さや達成感を実感し、作品を評価する。

【授業の概要】

対象：静岡大学教育学部 2,3 年生

技術教育専修 13 名

総合科学専攻 4名
 授業者：二象舎 原田和明
 期間：平成26年9月1日～9月4日
 時間：8時間×3日+3時間×1日
 計27時間

5-1 授業後アンケート

オートマタ制作後、受講した学生に対して8つの項目についてアンケートを実施した。アンケート内容を表2に示す。設問1,3,8ではオートマタ制作の感想、設問2では自己肯定感、設問4ではレジリエンス、設問5,6ではオートマタ制作に対する興味・関心、設問7ではオートマタ制作に対する知識・理解に関連する調査内容とした。アンケート結果を図17に示す。なお、設問1～6の回答方法は、「とてもそう思う、そう思う、あまりそう思わない、まったくそう思わない」の4件法とした。

授業に対して受講者全員が「とても楽しかった、楽しかった」と回答しており、すべての設問に対して8割以上の学生から肯定的な回答を得た。しかし、自己肯定感に関連する設問2に対しては、「とてもそう思う」と回答した学生が2割と、他の設問と比較すると少ない。この結果より、「ほかの人に認めてもらえる」

表2 アンケート内容

アンケート内容
設問1 この集中講義の内容は楽しかった。
設問2 自分の作品を他人に見てもらいたい。
設問3 作品を自分で考えて工夫することが楽しい。
設問4 製作における困難を乗り越えることができた。
設問5 他の機構についても学びたい。
設問6 今後も自分でオートマタをつくりたい。
設問7 製作してわかったことや注意点。
設問8 講義を受けての感想

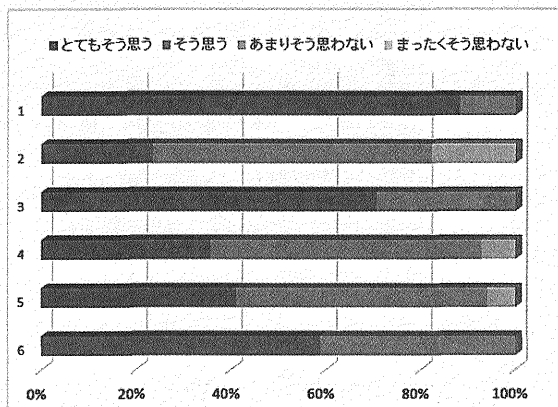


図17 4件法(設問1～6)のアンケート結果

「自分の作品に自信がある」と自己肯定感を高めることができる授業展開への改善が必要である。

5-2 アンケート・振り返りレポート自由記述の分析

アンケート設問7,8の自由記述と、授業後振り返りレポートにおける自由記述の分析から、オートマタ教材の効果と可能性を探る。分析方法は、自由記述を何度も読み返すことで文章中に頻出している語句や類似語を1つのカテゴリーとしてまとめ、「テキストコード」に設定し、そのテキストコードを含む回答や文章を抜き出しどのような文脈で使用されているか分析する、内容分析を用いた。想定される感情に関して正のテキストコードと負のテキストコードの分類を表3に示す。

表3に示す正の感情と負の感情に関連する記述の分析結果を表4,5に示す。

表3 感情に関連するテキストコード

正・負	テキストコード
正のテキストコード	楽しい、おもしろい、嬉しい、感動、達成感、満足感、できた、動いた、学びたい、つくりたい、わかった
負のテキストコード	難しい、困難、できなかった、つまらない、失敗した

表4 正の感情に関連する内容分析

テキストコード	例文	回数
楽しい おもしろい	①製作・ものづくり オートマタ製作を通してものづくりの楽しさが改めてわかりました。大変なこともありましたが、自分のオリジナルができました。	9
	②考えること・問題解決 はじめはただ回すというだけで何を表現できるか不安でしたが、つくり始めるとどうしていいかというのがたくさん出てきてとても楽しく作業ができました。	6
	③機構・仕組み カムの動きを四角にすることで手が細かく動いて面白い動きになりました。	4
	④作品を見る人にとって 馬のカムを四角形にして暴れている馬を表現しようと考えて、馬の手と足を自由にブラブラさせて、少しでも楽しく工夫できるようにしました。	1
嬉しい 感動 達成感 満足感	①思い通りに動いたとき 製作する中でも考え直して、動きはシンプルなものになりましたが実際にハンドルを回して上手いったときは嬉しかったです。	4
	②作品が完成したとき 時間があつという間に過ぎていって想像通りにはできませんでしたが、満足のいく作品ができたので良かったです	2

表5 負の感情に関連する内容分析

テキストコード	例文	回数
大変 難しい	①作業・製作過程 最初はとも面白そうだなと思ってやっていたが、いろいろなところでつまずいたりして大変だった。	7
	②機構・仕組み もちつきをするうさぎの腕の力の向きが斜め方向に対してオートマタは上下の動きしかできずそれを達成することも大変でした。	6
	③思い通りに動かすこと 構想の段階でいろいろ考えても実際にできる動きとそうでない動きがあって、製作していく中でもまた考え直したりと大変ではあったけど、モノとして形に残せるものができて達成感があり、とても楽しかったです。	7
	④道具を使うこと 機械の使い方がなかなか難しく、危ないものが多いので注意しなければならないとわかった。	4

表4より、多くの学生の自由記述に「楽しい、おもしろい」という言葉が多用され、「製作すること・ものづくり」、「考えること、問題解決すること」、「オートマタの機構や仕組み」、「作品を見る人にとって」と、大きく分けて4種類の文脈で使用されていることがわかる。また、「思い通りに動いたとき」、「作品が完成したとき」に「嬉しい、感動、達成感、満足感」という言葉が使われており、学生たちがオートマタ制作を多くの点で肯定的に評価していることがわかる。

表5に示されるように、表4の正の感情に関連するテキストコードとともに「大変、難しい」という言葉も多く使われている。学生にとって、「作業・製作過程」、「機構・仕組み」、「思い通りに動かすこと」、「道具を使うこと」と、大きく分けて4種類の文脈で「大変、難しい」と感じていたことがわかる。これは、オートマタや機構について事前に詳しく学習する機会がなく、どのように動くのかもあまりわからない状態で製作に入ったためと考えられる。しかし、記述には「大変ではあったけど、達成感もあり楽しかった」という文章が多く見られ、「大変」「難しい」というテキストコードと一緒に「面白い」「楽しい」「達成感」等のテキストコードが出現している。これより、オートマタを制作していく中で、様々な点において「大変、難しい」といった困難や課題、問題点にぶつかるが、それを試行錯誤して、工夫、改良し、問題解決していくことで、楽しさやおもしろさ、達成感を味わうことを経験しているといえる。

また、自由記述には創作意欲や他者との関わりに関する記述が頻出していた。創作意欲・他者との関わりに関連する記述の分析結果を表6に示す。授業の中では、作業中は自由にまわりの学生と意見を出し合った

り、発表会で他の学生の作品を見たりと、他者と関わる行動が多く見られた。その結果、他の学生の作品に関する記述など、「他者の作品と自分の作品を比較」する記述として表現された。また、今回の授業の導入で、「完成した作品を展示し、子どもたちに遊んでもらう」ことを目的として提示したため、「他者を意識して製作」に示したように、作品を動かす子どもたちを意識して模型のデザインや仕組みを工夫している記述も見られた。このことから、制作の中で他者と関わることで、「この人のこの動きも取り入れてみたい」、「他者を楽しませるためにもっとこうしたい」といった、ものづくり意欲への向上につながったと考える。

表6 創作意欲・他者との関わりに関連する内容分析

テキストコード	例文	回数
もっとつくてみたい 仕上げたい 勉強したい やってみたい (創作意欲)	①作品をもっと良くしたい カムの形や構造を変えてもう少し様々な動きを表現できる模型を設計したい 背面の壁の後ろでロッドを上下させ、針金が見えない形で仕上げたい。	6
	②他の作品もつくりたい やっているうちにもう少し勉強したいかも、違う動きもやってみたいと思うようになりました。	3
みんな 子どもたち (他者との 関わり)	①他者と自分の作品の比較 つくってみてみんなの作品を見ることで、様々な動きをつくれることがわかったので、もっとつくてみたいと思いました。	2
	②他者を意識して製作 回転運動を取り入れることができたので、違う顔をつくり子どもたちに見てもらおうにかわいい顔をかきました。	7

さらに、自由記述には芸術に関連する言葉が頻出した。芸術に関連する記述の分析結果を表7に示す。自分の作品のイメージに合わせ、表現の仕方や色を工夫

表7 芸術に関連する内容分析

テキストコード	例文	回数
色彩・色 表現 演出 デザイン (芸術)	①色彩 1番こたわったポイントは色彩の部分です。子どもたちがすぐに目にとまるようにたくさん色をつけ派手なものにしました。	5
	②表現・演出 波は手前の波より大きくして、船が海の中を進んでいる感じを表現した。ダンベルが動くことで腕が同時に動くのだが、あたかも腕がダンベルを持ち上げているように演出することができた。	15
	③デザイン モグラが土の中から出たり隠れたりするようなデザインも工夫した。軸受けを置く場所がなくなったので、軸受け全体を土にすることでより立体的な作品にすることができた。	2

している様子がわかる。また、「技術の面だけでなく、芸術の面も学ぶことができ、良い経験となった」という記述もあった。これより、オートマタ制作は「芸術」を融合したものづくりであり、表現の探究につながる教材となりうる。

また、設計 Design に関する言葉も頻出した。設計 Design に関連する記述の分析結果を表 8 に示す。製作する中で、「動かない、思っていた動きができない」等の問題が発生し、何度も試行錯誤してその問題を解決している様子がわかる。さらに、「構想の段階で考えていた中で実際にできる動きとそうでない動きがあって、思ったように動かすことが難しいと感じました。製作する中でも考え直して、動きはシンプルなものになりましたが実際にハンドルを回してうまく回った時は嬉しかったです。」とあるように、問題解決できたことによって「嬉しい」「楽しい」「達成感」といったテキストコードが多く出現している。オートマタ制作では、制作する中で「問題解決能力」や「解決策を生み出す創造力・計画力・修正力」を育成することができ、それにより「楽しさ、面白さ、達成感」を得られる教材である。

表 8 設計に関連する内容分析

テキストコード	例文	回数
問題 作り直す 変える 見立て (設計する力)	顔が回転してしまうという問題が発生してしまったため、ストッパーをもうけ顔が回転しないようにした。	17
	カムを何度も作り直したり腕のピン止めをする位置、角度をたくさん変えたりしました。	
	当初は頭と尾は固定して、手足のみの動きでオートマタを作ろうと考えていましたが、つくっていく段階でもっと多くの動きが欲しいと思い、動かせるものはすべて動かすように工夫しました。	
	頭の位置のカムの形が異なるのは頭の上下動を演出するのが非常に難しかったからです。そこで壁を利用してカムの受けを別のものにしたことでやっと動かせました。	
	最初なかなか足を動かす機構が安定せず、右足と左足が干渉しあってうまく動かなかったり引っかかり止まってしまうという問題が発生した。しかし、そこで補助の棒をつけることで右と左で互いに独立した動きをすることを可能にすることができた。	
半回転する矢印の模型を見てこれをピアニストの腕に見立てたら面白いのではないかと思い製作しました。		

一方、記述の中には「時間が足りなかった」「技術が足りなかった」などといった言葉も多く使われていることがわかった。授業の改善に関連する記述の分析結果を表 9 に示す。「大変、難しい」については前述

したように、オートマタの機構について事前に詳しく学習する機会がなく、どのように動くのか十分にわからない状態で製作に入ったためと考える。オートマタ教材は中学生対象の教材として開発しているが、大学生にとっても「時間が足りない」「技術がない」と感じることがわかる。中学校技術の授業では、オートマタの制作に入る前に、全体で同じ課題の補助教材を製作し、オートマタ制作で使用する道具の使い方や機構の基本的な概念を理解した上で、オリジナルのオートマタ制作に入るといったスモールステップを踏む必要がある。

表 9 授業の改善に関連する内容分析

テキストコード	例文	回数
時間が足りない	色彩の点では単純に時間が足りず非常に簡単なものになってしまいました。全体的に作業が遅く、時間が足りなくなりましたのでもう少し改善したいです。	13
技術がない	糸鋸を使うのも久しぶりでボール盤を使うのも初めてだったのでかなり作業が難航してしまい、色塗りや造形がすごく難しくなりましたのは残念なので、もうちょっと時間と技術があったらよかったですと思っています。	2

5-3 作品に対する考察

今回完成した作品の中には、「暴れ馬とカウボーイ」「いないいないばあ」「継続は力なり」「海の大冒険」など、作品名にも工夫が見られた。アイデアスケッチ(図 18)で構想したものを実際に形にすることの難しさを実感することで、より自分の思いや感情が入った作品になったと考える。また、解決しなければならない問題に対して試行錯誤を繰り返すことで、仕組みや機構に新奇的な工夫がなされた作品が完成した(図 19-21)。学生は、講義「機械工学」において機構学の内容を学習し、機械工作実習で作品として製作した。講義では、平面カムや立体カムといったカムの種類、カムと従動節の速度比、圧力角などの理論を学び、それを実物に応用して仕上げていった。図 19 は、多種類のカム、揺動カムと図 16(a), (b)のカムを用い、親亀の頭、手・足、尻尾が動き、その上で子亀が動く仕組みとなっている。動きを考え、その動きを実現するために、適切なカムの種類の選択、揺動カムによるリフト量の増幅などが組み込まれた作品に仕上がっている。図 20 はドラマーの動きを再現している。ドラマーの動きとドラムを打つペダル、シンバルの動きがすべて連動しなければならない。それを 2 本のカムシャフトの連動で実現した作品である。図 21 は機構的にはシンプルな仕掛けになっているが、子どもたちに遊んでもらうことを意識して、丁寧な動物の仕上げを行い、アクリル絵の具を用い色彩豊かな作品となっ

ている。今回の講義は4日間という短い期間であったが、事前に複雑な動きをするカム機構を製作するなど、スモールステップを踏む授業過程や、各自で取り組むことができる作業時間を確保できれば、また、歯車、摩擦車、チェーン、ベルト車、リンクなどの機械要素を製作するなどの時間を設ければ、さらに創造力豊かな作品につながると考える。

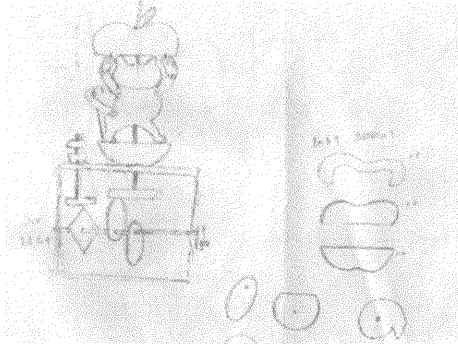


図 18 アイディアスケッチ

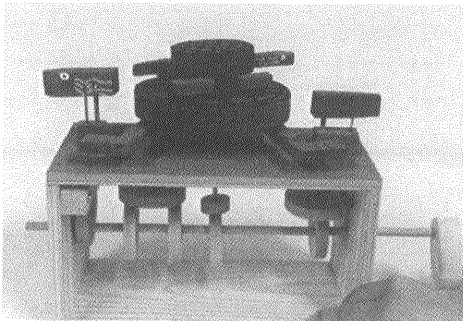


図 19 多種類のカムを用いた作品「メメゴロウと弟子」

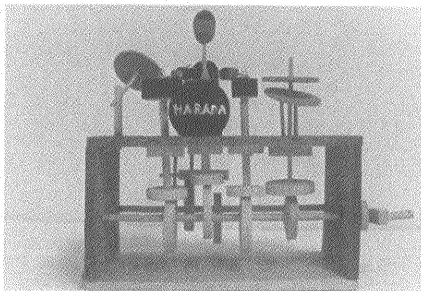


図 20 輪ゴムで2軸を連動させた作品「ドラマー」

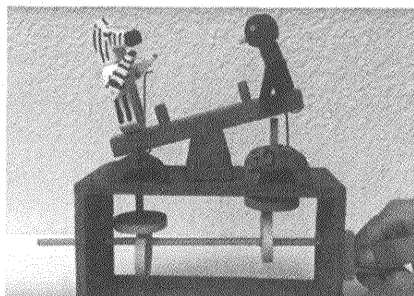


図 21 子どもを意識した色彩豊かな作品「シーソー」

6. 結言

本研究では、設計教育のためのエネルギー変換教材として、オートマタ教材の開発を行った。模型の動き、デザイン、からくりを考え、木材を使って製作することで科学・技術・芸術を融合した STEAM 教育の設計教材とした。

共通部分をあらかじめ用意（市販の木箱を購入、丸棒を軸に垂直に切断した円板カムを製作）することで、教材の簡易化が可能となり、生徒が共通部分をつくる時間を省き、模型の制作や機構の設計に重点を置くことができる教材とした。

リンク機構とカム機構に関する実験用もしくは提示用教材を製作した。これらの教材を用い、様々な動きを表現できることを理解する。さらに、機構部分を隠しておくことで、そのからくり（仕組み・機構）を想像し、仮説を立て検証できる授業展開を構想する。

静岡大学教育学部 2, 3 年生に対してオートマタ制作の実践授業を行い、授業の様子、アンケート結果、授業後レポートから、その成果や教育的効果の分析を行った。オートマタ制作への興味・関心、自己肯定感、レジリエンスに関する設問に対し、4 件法の回答で、すべての項目で 8 割以上の肯定的な意見を得た。

自由記述について、テキストコードを用いた内容分析を行った。正の感情のテキストコードと負の感情のテキストコードの分類を仮定し、内容分析を行うことで、オートマタを制作していく中で、様々な点において「大変、難しい」といった困難や課題、問題点にぶつかるが、それを試行錯誤して、工夫、改良し、問題解決していくことで、楽しさやおもしろさ、達成感を味わうことを経験していることが明らかとなった。

創作意欲・他者との関わり・設計・芸術に関連する言葉が頻出しており、文脈の中で内容分析を行った。作品を動かす子どもたちを意識して模型のデザインや仕組みを工夫し、創作意欲を高めている記述、他者の作品と比較し、動き・機構・巧緻性・芸術性を適切に評価する記述として現れた。

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：中学校学習指導要領解説 技術・家庭科編(2008)
- 2) 日本産業技術教育学会：「21 世紀の技術教育（改訂）」
<http://www.jste.jp/main/data/21te-n.pdf>
(2016 年 1 月確認)
- 3) 丸山恭司ほか：「STEM 教育の展開可能性に関する研究」, 広島大学大学院教育学研究科共同研究プロジェクト報告書 13 巻 (2015)

- 4) 2016 STEM to STEAM
<http://stemtosteam.org/> (2016年1月確認)
- 5) STE@M Education
<http://steamedu.com/> (2016年1月確認)
- 6) 松永泰弘, 中田康太郎: 「中学校技術・家庭科におけるオートマタ教材の開発」, 静岡大学教育学部研究報告(教科教育学篇)第44号(2013)
- 7) 野栄オートマタ美術館
<http://www.automata.co.jp/index.html>
(2016年1月確認)
- 8) からくりや <http://karakuriya.com/index.htm>
(2016年1月確認)
- 9) 原田和明: 二象舎
<http://nizo.jp/> (2016年1月確認)
- 10) 文部科学省: 小学校学習指導要領解説 図画工作編 (2008)