

思考の多様性を引き出す動力変換教材の開発

中尾尊洋

鳥取大学附属中学校 技術・家庭科 技術分野

E-mail : nakaot@fuzoku.tottori-u.ac.jp

Takahiro NAKAO (Tottori University Junior High School) : Development of teaching material of power transmission that induces variety of thinking.

要旨 — 中学校技術教育における既存の動力変換教材は、プラスチック製のものが多く、選択できるギヤの種類も限られている。これらの教材は、簡単にギヤを組み合わせることができ、短時間での製作には適している。しかし、自由度という点で限界があり、多様なギヤの組み合わせをもつ製作品にはつながりにくい。そこで、本研究では、学習者にダンボールを用いてギヤ自体を製作させ、ギヤの組み合わせに自由度を持たせた実践を行った。その結果、それぞれの学習者の思考に多様性が生まれ、個性的な製作品の表出を促した。

キーワード — 問題解決, 動力変換教材, 思考, 技術教育

Abstract — Most of the existing teaching materials for the power transmission are made of plastic and the range of gears that can be selected is limited. For those materials, gears are easy to be combined and hence useful for the assembling in the short time. However, a problem for those materials are that flexibility of the combinations of gears is low and thus variety of the items made tends to be limited. In this study, a lesson, where students can select various gears by making gears with cardboard by themselves, was practiced to enhance flexibility of the combination of gears. It was found that this practice was effective in inducing flexibility of students' thinking and facilitated production of a variety of distinct works.

Key words — Solving problems, Teaching material of power transmission, Thinking, Technical education

1. はじめに

1.1. 動力変換教材の現状

中学校技術・家庭科技術分野（以下、技術分野）の内容「エネルギー変換に関する技術」の教材では、電気エネルギーを扱うものや、動力伝達エネルギーを扱うものがある（文部科学省 2008）。このうち、電気エネルギーを扱う教材は、教材会社等のカタログを見ても、多様な製作品があり、選択の幅が広い。しかし、動力伝達エネルギーを扱う教材は、数種類のギヤの組み合わせを選択して製作する走行型教材や数種類のギヤの組み合わせを比較的自由に組み合わせられるブロック型教材があるものの、教材の多様さは限定的で、選択の幅は狭い。

走行型教材は、ギヤボックス等によりモーターの動力をタイヤに伝達し、走行させる。この教材では、ギヤによる動力伝達が視覚的に理解でき

る。しかし、ギヤボックスの加工が学習者自身では困難なため、走行速度やトルクを意図させるような工夫が制限される。

ブロック型教材に関しては、ブロックによってギヤボックスを製作することが可能となる。走行型教材に比べて、組み合わせの自由度が担保され、また、組み立ても簡単で、製作に関する技能に高度さを必要としない。このため、製作技能の高低に関わらず、工夫を引き出すことが可能である。学習者の思考を形にしやすい点で、走行型教材に比べると、学習者の工夫を反映しやすいものと考えられる。しかし、ブロックであるがゆえに、ギヤ自体の種類はある程度のパターンに限定され、学習者の思考の多様性に応えられる幅は制限される。

このように既存の教材は、組み立てやすさを担保している代わりに、ギヤ等は規格化せざる

を得ず、学習者の思考の多様性に十分応えられるとはいえない。当然、技術分野で目指す「工夫し創造する力」は、ある程度の制約の中で、工夫する力を引き出すことが重要であると考えられており、既存の走行型教材やブロック型教材においても、目指すべき力を育むことは十分可能である。本研究は、そのような力を旨とする最適な教材を開発する視点ではなく、あくまでも学習者の拡散的思考にどこまで応えられる教材であるかを検証した。したがって、学習者が自らギヤ比を設定して製作できること、多少の時間がかかっても学習者の技能で製作可能であることを重視した。

1.2. 新たな動力変換教材の方向性

学習者が自らギヤ比等を設定するためには、ギヤ等の機械部品を製作する必要がある。しかし、中学生がプラスチックや金属を加工して、ギヤ等の機械部品を製作することは困難である。そこで、容易に製作が可能となる材料として紙を用いることとした。紙は、切断や加工が容易であり、接合も木工用接着剤を用いることで強度も確保できる。

紙の欠点としては、厚みがないことと、紙自体の強度が弱いことである。しかし、ダンボールを用いることでギヤ等の動力伝達部品を製作できると考えた。ダンボールの厚さは3mmと5mmの規格があり、部品製作に十分な厚みがある。また、片面ダンボールの波状の部分を用いることで、簡単にギヤの製作が可能となる。

以上の点から、走行型教材やブロック型教材のような既成の教材にはない、自ら考えたギヤの比率を製作できる新しい教材の開発が可能となった。この教材は、すでに規格化されたギヤを選択するのではない。ある程度、ギヤの比率を考えた上で必要となる歯の枚数のギヤを製作するものである。ギヤを組み合わせるパターンは無制限に考えることができ、細かくスピードやトルクの調整が可能となるため、学習者の思考の広がりにも十分応えられると考えた。

2. 動力変換教材について

2.1. 2つの教材

2.1.1. ペーパークラフトギヤボックス

本研究の実践では、ダンボールを用いた動力変換教材の開発を主軸においてはいるが、それだけでは、製作できるギヤの形状上、ギヤ比による回転速度やトルクの違いについて扱うことで終わってしまう。ギヤの種類によっては回転軸を変えられることができたり、離れた距離に回転軸をとることができたりすることも学習する必要がある。

そこで、事前学習として、ペーパークラフト作家の坂氏に協力をいただき、ペーパークラフトによる動力変換教材を用いることとした(坂 2007)。この教材では、回転軸の異なる変換やギヤ比によるスピード、トルクの違いについて、学習者に感覚をつかませることを目的とした。

2.1.2. ダンボールギヤカー

ギヤによる動力伝達は、実際にはギヤ比とトルクの関係が単純ではない。製品化されるようなギヤは、スムーズに動力伝達させるために、ギヤ同士の摩擦や軸の摩擦などを減らすために膨大な労力を費やす。摩擦との戦いである。そこで、実際のギヤ開発を体験させられるような、摩擦と格闘せざるを得ない動力伝達教材を開発し、ダンボールカーと名付けた(図1)。

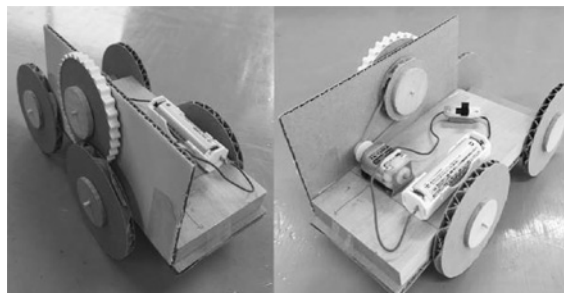


図1. ダンボールカー

この動力伝達教材は、ダンボールで製作する。紙という材質であるため、摩擦が強く、しかも耐久性が低い。強いトルクをかけすぎてもダメだし、弱すぎても摩擦による伝達ロスで走らない。

動力は電池駆動のモーターで、プーリーを取り付け、ベルトとして輪ゴムを使用した。基本的な動力の仕組みは、プーリーの動力を同軸につけたギヤを通してタイヤに伝達させる。生徒が製

作するのは、伝達先のプーリーとギヤ、車体である。駆動力の元になる電池やモーター部分は、教師が製作して共通部品とし、パワーユニットと名付けた(図2)。動力伝達の中心となる受けプーリーとギヤは一枚のダンボール板に取り付けさせ(ギヤプレートと名付けた)、パワーユニットに差し込めるようにした。車体はギヤプレートのギヤと噛み合わせて走行できるように製作させた。

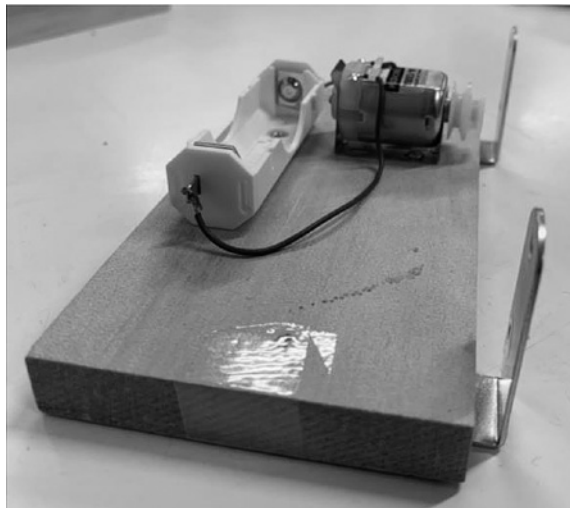


図 2. パワーユニット

ギヤは片面ダンボールをダンボールの厚みである5mmの幅に切断し、円形に切り取ったダンボールの側面に貼り付けた。軸は爪楊枝を用い、ダンボールと軸とを安定させるために、木材の丸棒を2mm程度の薄さに切断し、中心に穴を開けたものを取り付けた(図3)。

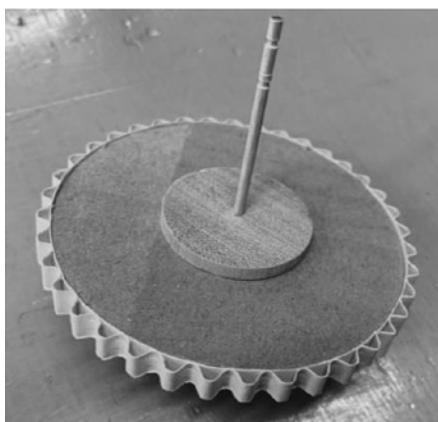


図 3. ギヤ

こうすることで、ギヤ比を自由に設定でき、スピードやトルクの細かい設定が可能になる。ダンボールなので、木工用ボンド等で接着すれば多段ギヤも製作可能となる。既成の教材よりも幅広く思考の多様性に応えることができると考えた。

ダンボールカーは以上のギヤプレート、パワーユニット、車体の3パーツで構成され、生徒にはギヤプレートと車体を製作させた。

3. 授業実践

3.1. ペーパークラフトギヤボックス

3.1.1. 製作の様子

このギヤボックスの製作では、A4サイズの厚紙に印刷した型からカッターナイフやハサミで必要なパーツを切り取らせ、木工用ボンドで接着させた。製作時間は2時間程度を想定していたが、予想よりも大幅に時間がかかり、3時間を要した。それでも完成できない生徒もおり、最終的に4時間かけてほぼ全員が完成させた。紙工作は切断等の加工が容易で短時間でできるという予想をしていたが、反する結果となった。カッターナイフやハサミを使う経験が日常の中で減少していると考えられる。精度に関しては、個のばらつきが見られた。作業速度や製作品の精度に関して、データを採取していなかったため、授業者の感覚的なイメージにはなるが、作業速度と精度との相関は感じられなかった。早く製作できていても高い精度で作成できている生徒もいたし、製作が遅くても精度が悪い生徒もいた。

3.1.2. 速度伝達比を考えさせる授業の様子

授業では完成した作品を用いて、速度伝達比や動作軸の変換方法について体感させた。生徒の気づきを中心に展開するように授業づくりを行った(表1)。

表 1. 授業の内容

導入	1. ギヤのしくみを学習する認識を持たせる。
展開	2. ギヤを回してみ、気づいたことをお互いに話し合う。
	3. 気づいたことについて、その理由(理屈)を考える。
	4. ギヤ比が異なる場合に何が違うのか考える。 ※速度伝達比やトルク等について気づかせる。
	5. ギヤが活用される場面について考える。
まとめ	6. 学習の内容をまとめて話す。

生徒は実際に完成したギヤボックスを回転させて、原動車と従動車との回転速度の違いに、すぐに気づくことができた。その理由も歯車の枚数の差によるものであることが、すぐに理解できていたようだった。実際、従動車を早く回すための方法を問うと、すぐに具体的な歯車の枚数変更場所を探り出すことができた。

しかし、トルクについての気づきはなかなか得られなかった。教師が力の変化に着目するように促しても、気づくことが困難な様子であった。そこで、坂氏に協力いただいた、ギヤ比の異なるペーパークラフトギヤボックスを生徒に渡し、手で従動車に若干の負荷をかけつつ原動車を回させた。すると、回しやすさがギヤ比によって異なることに気づくことができた。また、ギヤ比の異なるペーパークラフトギヤボックスは教師が作成しておいたが、生徒たち自身のもものと比較すると、その回転がスムーズであることに驚いていた。その理由についても探らせたところ、軸の安定性により、ギヤの噛み合わせに差ができることに気がつき、歯車の噛み合わせの重要性にも着目させることができた。

3.2. ダンボールギヤカー

3.2.1. ルールの設定

ダンボールギヤカーの製作に入る前に、製作したものでタイムレースを実施することを伝えた。

表 2. コンテストルールと車体のレギュレーション

項目	内容
コンテストのルール	<ul style="list-style-type: none"> ・ 規定のコースをいかに速く走るかを競う。 ・ スタートポジションからゴールポジションまでの時間を計測するタイムレースとする。 ・ コースアウト、トラブル等でゴールにたどり着けない場合、3 回まで再計測可能とする。 ・ 再計測までの間に、メンテナンス程度の修理をしてもよいものとする。 ・ レース本番までに、コース上でプラクティス（試験走行）を行ってもよい。 ・ プラクティスでは計測を行わない。
車体のレギュレーション	<ul style="list-style-type: none"> ・ 車体は、シャーシ（車体）、パワーユニット、ギヤプレートで構成する。 ・ パワーユニットに、手を加えてはならない。 ・ シャーシサイズは長さ 200 ミリ以内、幅 130 ミリ以内とする。 ・ タイヤサイズは直径 50 ～ 70 ミリとする。 ・ ギヤプレートのサイズは高さ 100 ミリ以内、長さ 150 ミリ以内とする。 ・ ギヤプレートはパワーユニットに取り付けられた金属スリットにはめる。 ・ タイヤへの駆動はギヤで伝達させる。

そのレースにおけるルール、およびギヤカーのレギュレーションについて説明した（表 2）。

3.2.2. 製作の様子

製作は、2 人でひとつのギヤカーを製作することとし、車体とギヤボックスとを手分けして作成してもよいし、全体的に 2 人で協力して製作してもよいことを伝えた。製作では、切断にハサミ、カッターナイフ、円切りカッターを使用し、接着には木工用ボンドを使用した。円切りカッターは、初めて扱う生徒が多かったため、使用方法を説明して扱わせた。

製作が始まると、いきなりダンボールを切断し始める生徒もいれば、紙等にお互いの工夫を書き出し、製作の方向性を相談する生徒の姿も見られた（図 4）。



図 4. お互いの発想を相談する姿

製作時間中、生徒は非常に集中しており、手を休めることなく製作する姿が見られた。製作に関して、教師がその場で指示することはないため、生徒から質問があった場合にその返答をしたり、机間巡視をしながら道具の使い方について助言したりした。

ギヤの製作に入ると、片面ダンボールの山と、切り取った円形ダンボールの側面の円周とが一致せず、製作に苦戦する姿が多く見られたため、5mm 幅の厚手上質紙をダンボール側面に巻きつけさせ、円周を調節させた。

ある程度ギヤが完成すると、ギヤプレートにギヤを取り付け、パワーユニットに接続する生徒の姿が多く見られた。その時点でスムーズに回転させられないチームには、失敗の原因を考え

せるように助言した。

車体とギヤプレートを完成させ、組み上げると、まず電池を入れて動作を確認する姿が見られた。空中で勢いよく回転する様子を眺めながら、喜んでいたが、いざ地面に置くと走らないことが多く、首をかしげるチームがほとんどであった。このため、走らない状態の時にどのような問題が起きているのかを観察させた。そして、理由を考えさせ、場合によっては作り直すよう助言した。

3.2.3. 生徒の工夫

最初の製作段階で、タイヤの内側にセロハンテープを貼り付けるなど、摩擦対策を行うチームもあり、ギヤをスムーズに回転させるための方法について、前提となる知識を有している生徒もいた。また、軸をしっかり固定しておかなければ、ギヤがずれて空転してしまうことも多かったため、ギヤプレートに密着させるように製作していたが、今度は摩擦が生じることになり、その対策として、径の小さいダンボールを挟み込むなどの工夫も見られた。

タイヤ自体に工夫を盛り込んだものも多く、中には、ギヤ自体をタイヤにすることで径を大きくし、トルクを稼ごうとする工夫も見られた。

多段ギヤにしてトルクを稼ぐ方法への気づきを期待したが、多段ギヤについての事前学習をしていなかったためか、採用する生徒はいなかった。

3.2.4. レースの様子

レースは、全長約 3m、幅約 0.4m で、前半 1.5m は平地、後半 1m は登板 (5% 程度) の直線コースで行った。タイムレースとし、製作要素以外のなんらかの問題により計測できない可能性を考慮し、ゴールしないときは 3 回まで計測してもよいものとした。

実際にコース上を走らせると、平地では勢いよく走るものの、坂道の途中で停止してしまう場合が多かった。坂道による負荷が生徒の予想を大きく上回っていたと考えられる。なぜ、坂道で止まってしまったのかを考えるように促したが、トルク不足に思考が及ぶ生徒は少なかった。そのため、坂道を登る力が足りないのではないかと助言をすると、速度伝達比を再検討してトルクを

増やす必要があることに気づく生徒が多かった。

このため、レースを 1 回に限定せず、何度でも挑戦できるようにしたところ、修正を加えて再挑戦し、ゴールすることができるチームが増加した。

4. 考察

4.1. 教材の効果について

4.1.1. ペーパークラフトギヤボックス

ペーパークラフトギヤボックスは、動作軸を変えることと、速度伝達比による回転数を変える手段を学習することに適した教材であったと考える。原動車を自分で回転させるために、ゆっくりとした回転数で従動車の動きを観察できるし、歯車の枚数が大きく、少ないために、視覚的に確認しやすいことがその理由である。実際、生徒は完成したペーパークラフトギヤボックスの内部を覗きながら回転させていたり、速度を変えながら回転させていたりした。また、軸をしっかり固定させていないと歯車の噛み合わせに不具合が生まれ、回転を伝えられないことも生徒自身の観察で気づくことができた。歯車の噛み合わせの調節や軸の固定の重要性についてもおさえられる教材と考える。

ただし、速度伝達比によるトルクの違いについては、少し支援が必要となった。回転のスムーズさは、速度伝達比以外にも、工作精度に影響される。ペーパークラフトでは、同一の工作精度にすることは困難である。回転のスムーズさの違いが、速度伝達比によるものなのか、工作精度によるものなのか、判断がつかない。また、本実践では、手で少し負荷をかけることで速度伝達比によるトルクの違いを感じさせることをねらったが、これも、本来は同一の負荷がかけられるわけではないため、生徒の感覚的な判断に委ねられる。この点で、速度伝達比による回転速度、軸固定の調節、歯車噛み合わせについての理解を深めるためには適しているが、トルクについての理解を深めるためには、工作精度や試験状況の均一化を図る工夫が必要となることがわかった。

4.1.2. ダンボールカー

ダンボールカーは生徒の試行錯誤を引き出す教材として効果が認められたと考えている。ペー

でお互いの意見を出し合って、よりよい方法を吟味して製作しようとする姿や、製作したものを評価し、何度も作り直すような姿も散見された。紙という加工しやすい材料でギヤを製作することで、歯車の枚数に自由度が生まれ、多様なギヤの構成を引き出すことができたものとする。実際、完成した作品は、ギヤを多段（図5）にして不測の事態にそなえたり、4輪駆動（図6）にしたという、授業者の想定を超えた多様な作品が多くみられた。

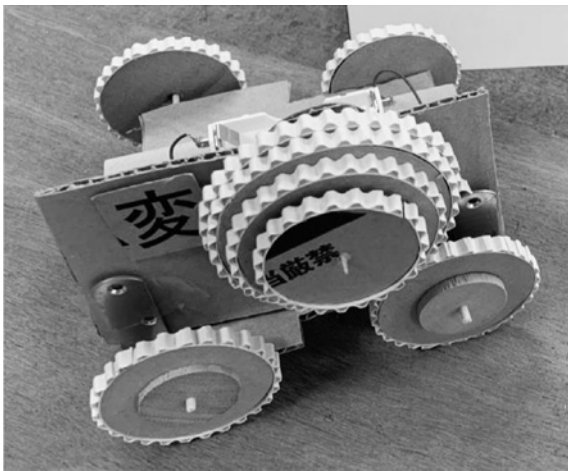


図5. 多段ギヤにした作品

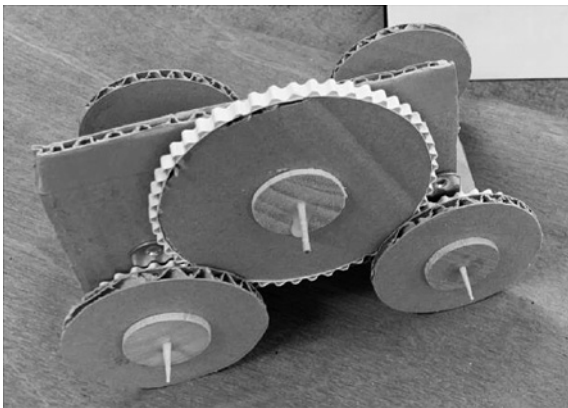


図6. 4輪駆動にした作品

これらの多様なギヤ構成が発想されつつも、生徒の製作中に聞かれた言葉には、「スピードを上げるには」とか、「坂道を登るには」といった声が多く聞かれており、なんのために工夫をするのかということが自覚できていた。

また、紙の表面はザラザラとしており、この摩擦による伝達ロスも無視できない。ギヤ同士やギヤプレートとギヤのクリアランスなども考慮させる

ことにつながり、複雑なギヤ周辺の理解を体感させることができた。授業の中では、このことに関して触れてはいなかったが、タイヤの内側にセロハンテープを貼り付けたチームにその理由を問うと、「すべりやすくしたら早く走ると思った」と述べた。摩擦による伝達ロスに気づいていると推察できる。

これらのことから、生徒たちはダンボールギヤカーを製作していく中で、目的とする状況に方向性を定め、速度伝達比を意識しながらギヤを製作できたものとする。

4.2. 試行錯誤を引き出す教材

授業では教師が多くを語らず、教材によって試行錯誤がどのように引き出されるかを観察した。その結果、生徒の作品に多様な指向性があることを確認できた。完成された作品に、多様性が生じていることは、生徒個々が主体的に試行錯誤し、自分なりの解決策を導き出したことを示している。製作において、目指す完成品が示されているのではなく、各自が思考する必要性を自覚したことのあらわれと考える。つまり、ダンボールカーは、生徒の試行錯誤を引き出すことのできる教材であることが確認された。

生徒の試行錯誤は製作当初から発揮されていたわけではない。当初は、何をどのように製作すべきかを思考できずに、手当たり次第にダンボールを切断する姿も見られた。しかし、ギヤを製作し、組み立てていくにつれ、ギヤ比やタイヤとの距離などに工夫が必要であることに気づき、チームで協力して意見を出し合い、よりよいと考える方向を導き出している姿が散見された。つまり、ダンボールカーそのものが強く試行錯誤を誘引しているというより、ダンボールカーの製作中の細かな部品製作やそれら部品を統合する必要性が生まれた際に、試行錯誤が誘引されていると考えられる。細かな試行錯誤を重ねていった結果として、製作物に多様性が生じたと推察する。

このような製作時における、生徒の試行錯誤の過程を図示した（図7）。

製作当初からある程度の方向性を持ち、試行錯誤しようとするチームもあれば、あまり考えず

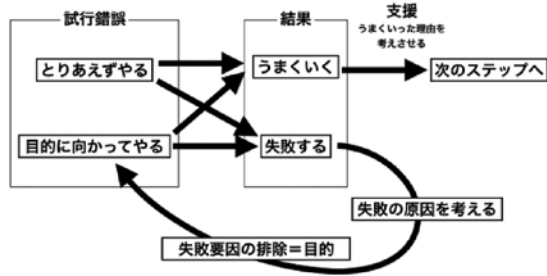


図 7. 試行錯誤の過程

にとりあえず作り出そうとするチームもある。部品を製作してみた結果、それがうまくいく場合もあるし、うまくいかない場合もある。うまくいく場合は問題ないのだが、うまくいかない場合はその原因を突き止めようとする。原因がわかれば対応を考え、うまくいくように目的を自ら設定する。結果的に、製作当初に試行錯誤の方向性があるとなかろうと、失敗を土台として目標設定が行われ、試行錯誤に方向性が生まれる。

とりあえず作り出してみたら、うまくいってしまう場合もある。このような場合、生徒が試行錯誤する場面が生まれにくい。そこで、このようなチームが見られた場合には、なぜうまくいったのかを考えさせるように支援した。このことによって、試行錯誤によって製作したわけではないが、成功要因を探ることになり、自分たちの製作にどのような科学的な裏付けが存在していたのかを認識するようになる。

このように、本教材では、試行錯誤に方向性を持たせ、主体的な思考を促すことができたと考える。教師の指示がなくとも、教材が試行錯誤に方向性を持たせることができたのである。

5. 今後の課題

試行錯誤に方向性を持たせるには、自分たちで問題解決できるという有能感を持つ必要がある。できそうにもないと感じてしまうと、解決への意欲は大幅に減退してしまうだろう。したがって、製作や工夫する難易度の適切性が重要であるといえる。本実践では、比較的意欲的に製作に向かう生徒が多かったものの、ギヤ製作時に円切りカッターでダンボールを切り抜くことが難しく、時間もかかった。ギヤを作り直す必要があると感じていても、製作に困難さを感じてしまったために、諦めてしまう生徒も存在した。生徒の技能を考慮して、製作可能な範囲の適切性はもう少し吟味が必要な部分であると感じている。現在の家庭生活や社会生活においては、様々な製品が自動化され、技能を必要とする場面が減少している。生徒の製作技能に関して、今後飛躍的に向上するとは考えにくいため、少ない授業時数では、技能向上させることよりも、学習者の技能の範疇で教材を開発することが重要であると考えられる。

謝辞

実践に使用したペーパークラフトギヤボックスのギヤ比変更、資料提供していただいた坂啓典氏に感謝する。

参考文献

- 文部科学省 . 2008. 中学校学習指導要領解説 技術・家庭編 . 文部科学省 .
- 坂啓典 . 2007. からくりの素 ペーパークラフトブック . 集文社 .