

エネルギー変換学習用動力伝達教材の開発[†]

高橋 脩太*・古平真一郎**・坂本 弘志**・石島 隆志**・金橋 寛明***・針谷 安男*

宇都宮大学教育学部*

宇都宮大学大学院教育学研究科**

宇都宮市立星が丘中学校***

本研究は、ロボット（二足歩行ロボット・ライントレースロボットなど）を製作する過程において、歯車装置やリンク機構などの機構的な部分を学習するための、動力伝達用教材を開発することを目的とする。まず、動力伝達用モータのトルク測定法を示すとともに、実際に教材に触れて学べる各種動力用部品の試作と学習資料を作成した。また、開発した教材を用いて、その教育方法や授業展開などの基礎資料を得るための授業実践を行い、本教材の学習効果を調査し、その結果を踏まえて授業案を提案した。

キーワード:教材開発, 動力伝達, トルク, エネルギー変換, 授業実践, 技術科教育

1. はじめに

現中学校学習指導要領の技術・家庭科の技術分野⁽¹⁾では「技術とものづくり」、「情報とコンピュータ」で構成されており、内容も以前の学習指導要領とは異なる主旨のもとに編成され、具体的な目標となっている。技術分野での目標は、文頭に「実践的・体験的な学習活動を通して」とあり、基礎的・基本的な知識と技術を身につけさせるためにそれらの活動を重視し、自ら課題を見だし解決を図る問題解決的な学習の充実を重視している。このように、中学校技術・家庭科の技術分野では科学技術や情報化の進展等を考慮した題材を通して、生徒の問題

解決能力を育成することが求められている。

この課題を解決するため、現在、問題解決型学習の題材としてロボットコンテストが非常に注目を集めている。ロボット製作学習においては、生徒が主体的・体験的な活動ができるとともに、創意・工夫する場面も多数存在することから、問題解決能力の育成・向上が期待できる。これらのことから、ロボットコンテストを題材とした授業の重要性が増している。

しかし、実際にロボットの部品から製作することになると、工具の使い方や加工に時間を要し、生徒が創意・工夫をしたり、製作品を手直ししたり、はじめから作り直しをしたりするところまでは到達しにくい状態である。また、現在の子どもたちは、機構的な部分が外装から内装へと移り変わっていることから、実際に歯車など身の回りにあるものの機構的な部分を見る機会が少なくなった。教育現場においても、教科書に機構的な部分の説明は記載されていて、それを見て学んでいるが、実際に手で触れ、体

[†] Naotaka TAKAHASHI*, Shinichiro KODAIRA**, Hiroshi SAKAMOTO**, Takashi ISHIJIMA**, Hiroaki KANAHASHI***, and Yasuo HARIGAYA* : Development of Teaching Material of Power Transmission for Energy Conversion Study

* Faculty of Education, Utsunomiya University

** Graduate School of Education, Utsunomiya University

*** Hoshigaoka Junior High School

験して学ぶことはできていない状況にある。また、機構的な部品である歯車やリンクなどの動力伝達用教材が少ないため、授業において、ロボットの機構的な部分にはあまり触れられていない現状にある。

一方、ロボットは様々な技術の集合体であり、ものづくり、エネルギー変換、情報技術、制御、プログラミングなどの多くの面から学習が可能である。このロボットに関する教材の開発およびその教材を使用した授業実践が「技術とものづくり」および「情報とコンピュータ」において行われており、その学習効果は高いと報告されている⁽²⁾。しかし、「技術とものづくり」としてのロボット製作を通して動力伝達に関する実践報告は少ない。

そこで、本研究では、ロボット（二足歩行ロボット・ライントレースロボットなど）を製作する過程において、歯車装置やリンク機構などの機構的な部分を学習するために、実際に手で触れ、動かして学習する動力伝達用教材を開発することを目的とする。まず、動力伝達用モータのトルク測定法を述べるとともに、実際に教材に触れて学べる各種動力用部品の試作と学習資料を作成する。さらに、開発した教材を用いて、動力伝達用教材としての教育方法や授業展開などの基礎資料を得るための授業実践を行い、本教材の学習効果を調査し、その結果を踏まえて授業案を提案する。

2. 動力伝達用教材

本研究で使用する教材は、大学や高等専門学校の工科系の学科において工学実験やものづくり教育の導入教材としても使用されているレゴマインドストームを利用する。本教材には、モータ、歯車、リンク機構として必要な部品、各種センサなども準備されている。そのため、歯車やリンクの動きが学習できるとともに自律型

ロボット教材への発展性が備わっている。

2.1 モータ

モータは、電気エネルギーを機械エネルギーに変換する装置で、電磁力によってトルク（回転力）を発生して回転するしくみになっている。また、モータの回転速度は、モータ端子の電圧と内部発電電圧のバランスで決まり、同一負荷であると端子電圧が高まると回転速度が増加⁽³⁾する構造となっている。

本教材で使用するモータは、歯車減速装置（ギア比＝原動軸歯数／従動軸歯数＝10/44×11/36＝5/72の内部歯車）付きモータである。モータの回転数と電流を測定する装置を製作し、端子電圧 9V のもと回転数と消費電流を測定した。無負荷で回転数 360rpm、消費電流は 15mA であり、負荷をかけ、消費電流 100mA のときの回転数は 244.5rpm となり、ほぼ仕様書通りの数値が得られた。

次に、動力源となるモータの特性を詳細に調べるため、天秤型トルク計⁽⁴⁾を用いて測定した。天秤型トルク計とは、図 1 に示すように、プーリーにかけた糸を天秤の両腕に掛け、プーリーを回転させたときの摩擦によって生じる天秤の傾きを、回転方向とは逆の皿に分銅を乗せ、天秤をつり合わせることでできた分銅の質量 m からトルクを算出することができる測定器である。負荷の調整は、分銅の重さを変えて、天秤型トルク計を上下に移動させ、天秤をつり合わせることで行い、各回転数でのトルクの測定ができる。

このトルク T は図 1 に示すように、モーメントの釣り合い条件から、式 (1) で算出される。

$$T = F_p r = F l \quad (\text{Nm}) \quad (1)$$

ここで F_p は張力, r はプーリーの半径, $F (= mg)$ は分銅の重さ, l は天秤のうでの長さを表す.

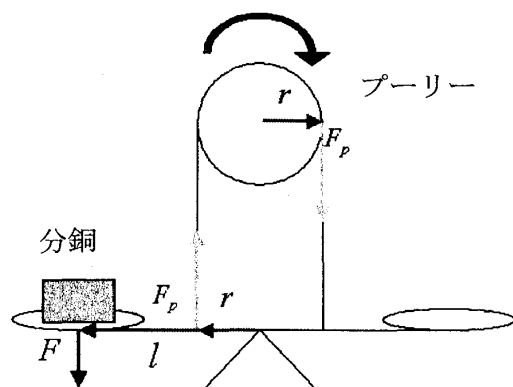


図1 天秤型トルク計

ここで用いたプーリーは有効半径 r 11mm であり, 天秤のうでに糸をかける位置を天秤の中心から 11mm に設定した. また, 使用した天秤のうでの長さ l は 60mm である. このトルク測定器を用いて, 教材用モータのトルク特性を測定した.

教材用モータは, 内部歯車が存在し, あらかじめ減速させているためトルクが非常に高い. そのため, トルク測定の際は端子電圧を 3V とした. 測定したギア比における回転数とトルク の関係を図 2 に示す. なお, 回転数は原動軸の値を示す. 各ギア比とも回転数が低下するのに伴い, 従動軸で得られるトルクはほぼ直線的に増加している. またギア比が低下するとその増加割合が大きくなることがわかる.

図 3 は原動軸回転数 87.5 rpm における各ギア比におけるトルクを示す. ギア比が低くなると高トルクが得られることがわかる. なお, ギア比とトルクの関係は理論値より低めであり, トルクを測定する際, 歯車の噛み方や摩擦などにより機械的損失が生じたと考えられる.

また, このモータのトルクー回転数の特性から, 軸出力の算出も行った. 軸出力は, 式 (1) で得た, トルク T と従動軸の回転数 N (rpm)

を用いて式 (2) から算出することができる.

$$L_s = \frac{2\pi}{60} \cdot N \cdot T \quad (\text{W}) \quad (2)$$

図 4 は端子電圧 1.5V, ギア比 1:1 で測定したトルクと回転数から算出した軸出力 L_s である. 本教材に使用したモータは回転数約 30 rpm で最大出力が得られる.

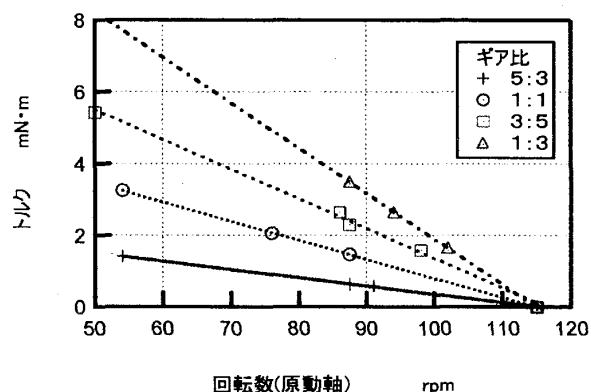


図2 各ギア比における回転数とトルクの関係

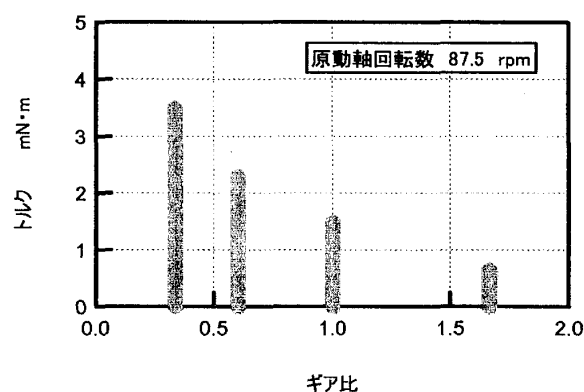


図3 回転数一定での各ギア比によるトルク

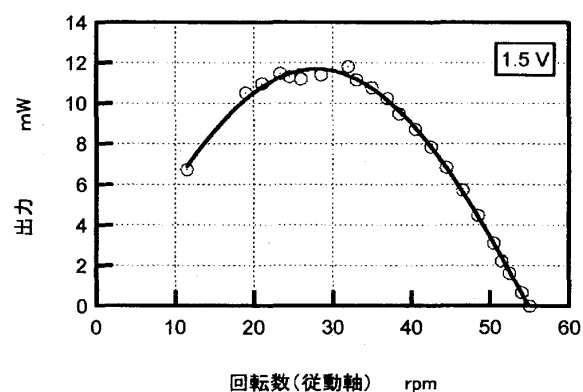


図4 回転数と軸出力の関係

2.2 教材用歯車

J I S規格では、歯車は「歯を順次噛み合わせることによって運動を他に伝え、または他から受け取るように設計された歯を設けた部品」と定義されている⁽⁵⁾。本教材には、図5に示すように歯数が8, 16, 24, 40の4種類の平歯車と、歯数が12, 24の2種類のかさ歯車、大・中・小のプーリーがある。そしてラックとウォームがあり、歯車装置の教材として扱える多くの部品がある。また、本教材で用いる歯車の材質はプラスチックである。この材料は、軽い、薬品に侵されにくい、さびない、騒音が少ない、自己潤滑性があり、無潤滑運転も可能、大量生産によるコストダウンが可能という特徴がある。

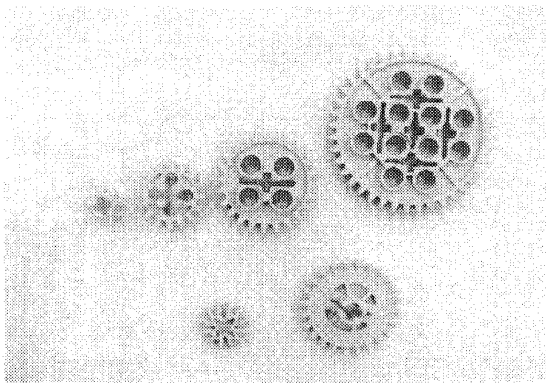


図5 教材用歯車

一方、プラスチック歯車を使用する際の注意点もある。プラスチックは熱伝導率が小さいので、温度が上昇しやすい。そこで相手の歯車を金属製にすれば、温度上昇を低く抑えることができる。また、プラスチックは金属に比べて、温度上昇や吸湿による寸法増加が大きい。そのため、これを見込んでバックラッシュ⁽⁶⁾（歯車を噛み合わせたときの歯面間の遊び、またはすきまのこと）を大きめにしておく必要がある。

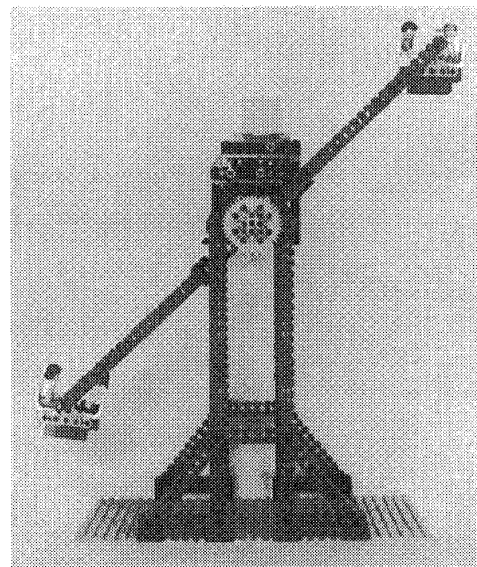
2.3 動力伝達用教材の試作

ここで、授業実践に用いるために試作した実際に手で触れ、動かして学習する動力伝達用教

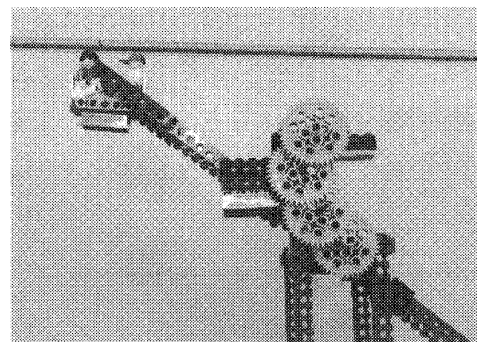
材を述べる。

2.3.1 観覧車の模型

図6に観覧車の模型⁽⁷⁾を示す。これは、動力伝達学習の導入用教材として作製した。歯車を使用することで、回転速度や回転方向が変化することを学ばせる目的としている。歯車を介さずに回転させると170rpmで回転する。本模型では、ギア比1:5の歯車を4セット組み込めることで、全ギア比は1:625となり、0.272rpm、つまり約3分40秒で1回転することを実感させる。



(a) 全景



(b) 減速装置部分

図6 観覧車の模型

2.3.2 歯車装置の模型

図7に歯車装置の模型を示す。実際に歯車に触れさせながら模型を作らせることで、歯車がこういったものであるのか体験的に学ばせるこ

とを目的とした教材である。歯車の模型として、平歯車、かさ歯車、プーリー、ウォーム歯車の模型を用意した。

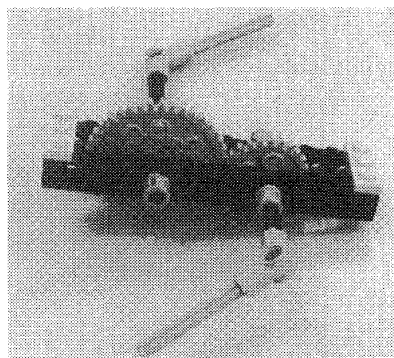
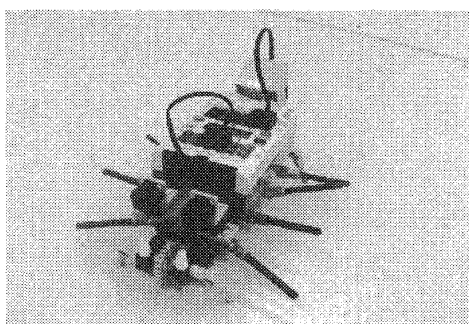


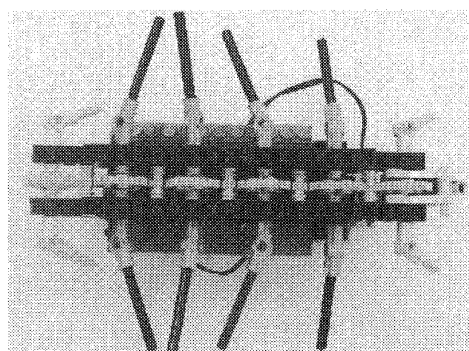
図7 歯車装置の模型（平歯車）

2.3.3 ムカデロボット

歯車の学習をさせた後、応用として平歯車とウォームギアを組み合わせるものを見せるため、図8に示すようなムカデロボット⁽⁸⁾を製作した。このムカデロボットはモータ1個をロボットの後ろに付け、ウォーム歯車を介して回転の向きを変えて、平歯車で足の動きをさせる軸8本に動力を伝達させる仕組みになっている。



(a) 全景



(b) 裏面

図8 ムカデロボット

2.3.4 リンク機構の模型

図9はてこリンク機構の模型を示す。実際に触り、動かしながらリンク機構を体験的に学習させるための教材である。2足歩行ロボットを学習する上で、このリンク機構は基本的かつ必要な動力伝達装置である。

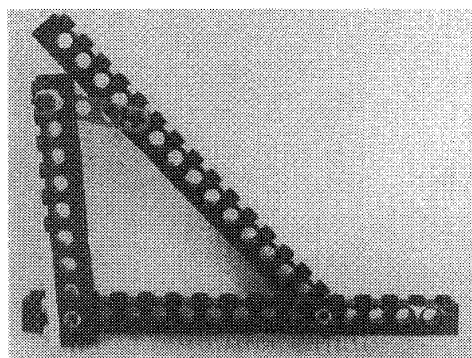


図9 リンク機構の模型

2.3.5 2足歩行ロボット

図10は2足歩行ロボット⁽⁹⁾を示す。これはリンク機構を使用して、実際に動いている状態を見せるロボットを製作した。さらに、このロボットには生徒の興味をひくために、プログラム制御を組み込み、頭の上に付いている光センサが光を感知すると立ち止まり、目が動いて表情が変化するように工夫した。

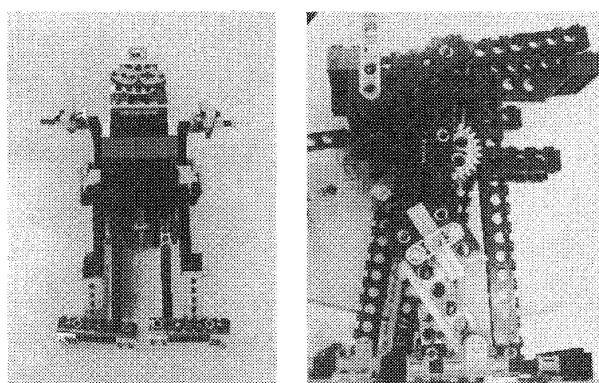
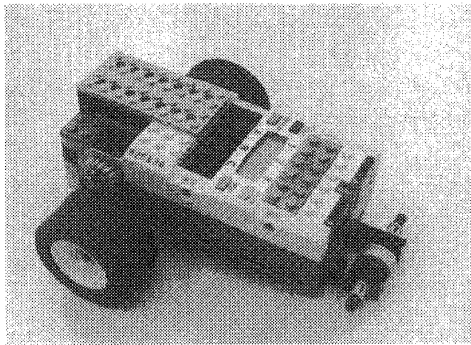


図10 2足歩行ロボット

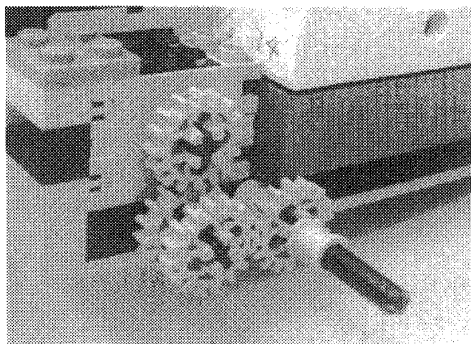
2.3.6 トルク計測用車

図11はトルク計測用の車であり、タイヤを取り外すだけで簡単に歯車を付け替えることができる構造である。この車はギア比を変えて、平

坦面や勾配のある面を走行させ、トルクが変化したときの車の動きを実際に体験する学習のために製作した。



(a) 全景



(b) 減速装置部分

図 11 トルク計測用の車

表 1 授業内容（1 単位時間）

展 開	教 材
歯車の役割について	観覧車の模型 (図 6)
歯車装置の仕組み及び 組み立て	歯車装置の模型 (図 7) ムカデロボット (図 8)
リンク機構の仕組み及 び組み立て 学習のまとめ	リンク機構の模型 (図 9)

3. 授業実践

3.1 授業実践 I

平成 18 年 7 月 14 日、15 日において宇都宮市立 H 中学校 3 年選択授業受講者 24 名と 11 名の 2 クラスを対象に、ロボット製作・プログラミング学習の年間授業計画 30 時間のうち、本教材を用いてロボット製作導入の歯車・リンク

機構について、各クラスに 1 単位時間の授業を行った。授業は歯車・リンク機構の役割について理解させることを目的として実施した。1 単位時間(50 分)の授業内容を表 1 に示す。

3.1.1 授業展開とその様子

まず、はじめに試作した観覧車の模型（図 6）を観察させた。はじめに回転速度を無視した観覧車を動かし、生徒の反応を見る。これを見た生徒は「これは観覧車じゃない」という反応を示した。そこで、「本物の観覧車に近づけるならどうすればよい」という発問をし、生徒からのアイデアを聞いた。生徒からの反応は、「モータの回転数を下げる」、「観覧車を重くして回転を遅くする」、「歯車をつける」などという意見があがった。

ここで、ギア比 1:625 を組み込んだ模型を見せ、回転数が低下することを確認させ、歯車の役割を理解させた。

次に、歯車装置の模型（図 7）の組み立て・観察をさせた。さらに、歯車装置を模型と学習カード(付録参照)にある写真を見せながら製作させた。生徒の大部分は学習カードにある写真では、組み立てが困難であったため、あらかじめ製作しておいた模型を見たり、触ったりして参考にして製作していた。製作の後、歯車の組合せによる回転数の変化を学習させるため、大きい歯車が何回転で小さい歯車が何回転するのか、回転数、歯車による回転方向の変化などの課題に取り組ませた。

歯車の学習が終わったところで、ムカデロボット（図 8）を観察させた。ムカデロボットは歯車を多数用いて、モータ 1 個の回転を 4 対の足全体に伝えているため、歯車の課題の応用として生徒に示した。生徒は歯車の課題に取り組み、歯車に対して理解ができたと思われ、ムカデロボットのしくみについて考えながら観察していた。

その後、リンク装置について様々なリンク機構（図 9）を示し、リンク機構がどういったものかを生徒に説明した。そして、モータの回転をロボットの足の動きに変換するのにクランク機構が利用されているということに生徒が気付くよう説明した。そのあと、各グループでリンク装置を製作し、動作の確認をさせた。

図 10 に示した 2 足歩行ロボットを授業の最後に示した。この 2 足歩行ロボットを生徒に見せて、授業で歯車装置、リンク機構を学習しながらこのロボットのようなものを製作するという最終目標を示した。

そして、最後に、自己評価など学習のまとめをした。

3.1.2 考察

この授業実践では、授業の中で生徒からの発言も多く、積極的に参加していた。また、学習カードの課題でも、実際に模型を動かして観察していたので、正解率も高く動力伝達に対する知識・理解の向上がうかがえる。そして、授業全体を通して、生徒が教材に触れて作業する時間が多かったため、生徒たちが自ら進んで授業を受ける姿勢が見ることができた。しかし、1 単位時間では学習内容が多く、時間内に全ての内容を終了させるのは困難であった。そのため、本授業実践の目的である実際に生徒に教材に触れさせて学習させることができるよう授業時間を十分に確保する必要がある。

3.2 授業実践Ⅱ

本授業実践Ⅱは、宇都宮大学教育学部技術教育専攻平成 18 年度技術学実験実習Ⅳにおいて、受講生 7 名を対象に、ロボットコンテスト用ロボット製作に入る前の導入の時間として、1 コマ 90 分で行った。

その授業展開は、表 1 に示す授業実践Ⅰと同様な展開である。授業実践Ⅱでは、学生が教材

に触れる時間が十分確保でき、また学習カードによる課題に対する正解率も高く授業実践Ⅰと同様に動力伝達に対する知識・理解の向上がうかがえた。

3.3 アンケート調査

授業実践Ⅰでの中学生、授業実践Ⅱでの大学生共に、授業の開始前、終了後に表 2 に示すアンケート調査を行った。なお、終了後のアンケート項目の表現は変更した。

表 2 アンケート項目

項 目	
1	ロボットに興味がありますか？
2	ロボットを製作してみたいと思いますか？
3	ロボットを製作する際に、見たり聞いたりするだけでなく、自分なりの工夫をしてみたいと思いますか？
4	制御がどのようなものか知っていますか？
5	身の回りにある機械がどのように制御されているかイメージできますか？
6	動力伝達とは何か知っていますか？
7	これから行う授業は楽しみですか？
8	これから学ぶことを、今後の生活や学習で活かしたいと思いますか？
9	普段、何気なく使っている身の回りにある機械がどのようなになっているか知っていますか？
10	普段、何気なく使っている身の回りにある機械がどのようなになっているか知らずに使うことに不安はありませんか？

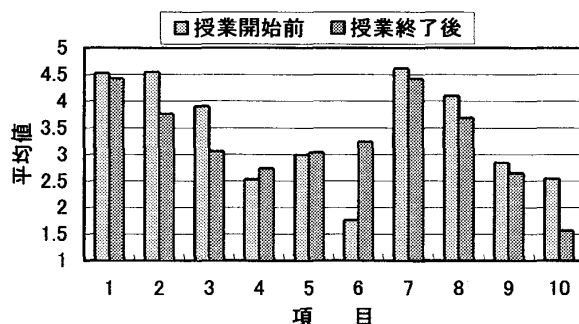


図 12 アンケート結果 (授業実践Ⅰ)

授業実践Ⅰにおいて中学生にとつたアンケート調査の回答を図 12 に示す。数値は 5 段階で示し、5 に近くなるにつれ肯定的意見を示す。

授業開始前のアンケートから、授業開始時にロボットに対して非常に高い関心(項目 1)を示していること、また、制御や機構(項目 4, 5, 6)に対しての理解は低いことがわかる。

項目 2 と 3 の「ロボット製作への意欲」、「ロボット製作における工夫」に対する質問では事後の方が下がり、有意差がみられる。これは、ロボット製作を終了したため、ロボット製作への意欲が減ったことや、生徒が思い描いていたロボットとの違い、ロボットを製作する際に自分の工夫を取り入れづらかったことなどが原因であると考えられる。また、項目 10 の「普段何気なく使っている身の回りにある機械がどのようなになっているかを知らずに使うことに不安はありませんか」という質問でも事後の方が下がり、有意差がみられる。しかし、この場合は不安があることで高い数値を示すことになる。よって、ロボットに関する今回の授業を行ったことで不安が解消されたと考えることができる。そして、質問項目 6 の「動力伝達への知識」に対する質問では、事前に比べ事後の値が大きく増加し、有意差がみられた。本実践は、動力伝達機構を教えることを目的としているので、この数値の推移は本実践の効果を表していると言える。

次に、授業実践Ⅱにおいて大学生に対してアンケート調査の回答を図 13 に示す。この図から、多くの質問項目に対して授業開始前に比べ、授業終了後の方が高い数値を示している。また、本授業実践を通して、ロボットに対する興味・関心の定着、制御・動力伝達に対する知識・理解の向上が見られる。

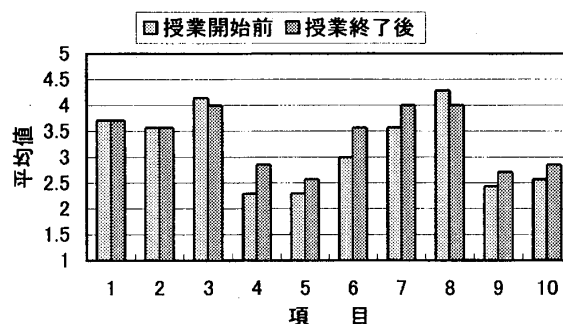


図 13 アンケート結果(授業実践Ⅱ)

以上のように、授業実践Ⅰ、Ⅱともに動力伝達に対する知識・理解が向上しており、本教材を用いた授業の効果が得られた。なお、より正確さを増すため、テストなどを行い動力伝達についての理解度調査を行う必要がある。

4. 動力伝達用授業案

ここでは、中学校技術・家庭科の技術分野における、“A 技術とものづくりの(5) エネルギーの変換を利用した製作品の設計・製作について”、及び“B 情報とコンピュータ(6) プログラムと計測・制御について”の選択項目において、自律型ロボット(二足歩行ロボット・ライントレースロボットなど)を製作する際の歯車・リンク機構の学習場面での授業案を提案する。

表 3 授業構成

動力伝達について	2 時間
ロボット製作	3 時間
簡単なプログラム	1 時間
プログラム転送・動作の制御	2 時間
センサを使ったプログラム	2 時間
競技会	5 時間
まとめ	1 時間

第 3 学年での技術・家庭の時数は 35 時数であり、選択授業では半期ごとに実施されるため、オリエンテーションなどの時間を考慮して、計 16 単位時間で授業を構成する。その授業の構成を表 3 に示す。

次に、本教材を用いてロボット製作をする際の導入の時間である、「動力伝達について」の授業案の展開を示す。

本時は、自律型ロボットを製作する際、動力伝達部に関する知識を学ばせるため、試作した動力伝達用教材を使用し、動力伝達部について実際に教材に触れさせ、体験的に学ばせる。時間は2単位時間に設定した。

まず、はじめに動力伝達に関する簡単なテストを行う。その後、観覧車の模型(図6)を示し、歯車を介さずに回転させる。そして、生徒に減速の方法を考えさせる。生徒の意見を一通り聞いたところで歯車を観覧車に取り付け、回転が減速した観覧車の模型を見せることで、歯車によって回転数が変化することを理解させる。

主動軸側を回転運動させることにより、従動軸側がそのまま回転するものと、他の運動(揺動運動、上下運動)をするものがあると説明し、回転運動するものには歯車やチェーン、揺動運動するものにはリンク、上下運動するものにはカムがあるとそれぞれ説明する。

次に、今回のロボットの動力伝達部において重要な役割になる、歯車やリンクの学習をすることを説明する。そして、学習カードを配付し、歯車装置の教材(図7)を生徒がいつでも触れることができるように並べ、歯車の模型を製作させる。学習カードには課題として8問準備し、生徒には1問程度の課題とし、グループで一人一人、異なる課題をさせるようにする。

そして、ムカデロボット(図8)を示し、歯車多数組み込むことによる動力伝達のしくみ、構造について説明し、理解させる。

その後、トルク計測用として製作した車(図11)を使用し、坂道を上らせる。ここでは、ギア比の異なる車2台を同時に走らせる。ギア比の違いにより車の登はん力の違いを理解させる。また、平坦な場所でも車を走らせ、ギア比の違

いによる速度の違いも理解させる。

次に、リンクの教材(図9)を示し、リンクの働きを考えさせる。グループごとに教材を配付し、教材のうでの長さなどを変化させながら課題に取り組み、動きを確認させる。また代表的なリンク機構については視覚的に提示して紹介する。

そして、2足歩行ロボット(図10)を生徒に見せて、歯車、リンクが使われていることを確認させ、この学習を通しての最終的な目標を示すことで生徒の興味・関心を向上させる。

最後に、動力伝達に関する簡単なテストを行い、授業を行ったことよっての動力伝達に関する知識・理解が向上したかを確認する。次時の「ロボット製作」につなげる。

5. まとめ

本研究は、歯車装置やリンク機構などの機構的な部分を理解させるために、動力伝達用教材を開発した。また、その教育方法や授業展開などの基礎資料を得るための授業実践を行い、その効果を調査した。その結果、以下のことが明らかになった。

- (1) 教材用モータのトルクの測定が可能となった。また、ギア比、回転数によるトルクの変化、軸出力を提示する技術的資料が作成でき、モータ、トルク、歯車の指導や授業において活用できる。
- (2) 実際に触れて学べる各種動力用教材を試作した。それを用いて授業実践を行い、歯車・リンク機構の学習に効果があった。特に、動力伝達に関する理解が向上し、またロボット製作における動力伝達機構部の設計・製作に工夫が見られた。
- (3) 本授業実践の結果をもとに、本教材やトルクに関する学習を含んだエネルギー変換学習における授業案を提案した。

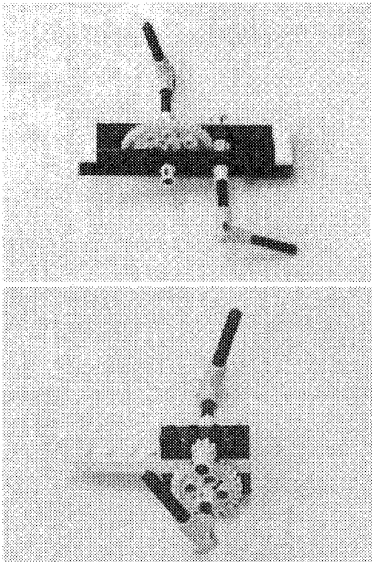
今後の課題として、提案した授業案を実践し、その効果を検証する必要がある。

参考文献

- (1) 文部省：中学校学習指導要領（平成10年12月）解説－技術・家庭科編－（1998）
- (2) 嶋田彰子，柴崎 寿，山菅和良，針谷安男：技術科教育における自律型ロボット教材を用いた授業実践，宇都宮大学教育学部教育実践総合センター紀要，第28号，pp.117-125，2005年4月
- (3) 見城尚志，佐渡友茂：イラスト・図解 小型モータのすべて，技術評論社（2001）
- (4) 戸田富士夫，齋藤秀則，中島克彰，大八木義教，針谷安男，鈴木道義：教育用スターリングエンジンの開発－簡易最大軸出力予測法－，日本産業技術教育学会誌，第45巻4号，pp.17-25，2004年2月。
- (5) JISC 日本工業標準調査会：http://www.jisc.go.jp/
- (6) Lab notes：http://www.labnotes.jp/
- (7) LEGO educational division：eLAB，9684
- (8) オーム社：Joe Nagata の LEGO MIND STORMS スーパークリーチャー，（1999）
- (9) オーム社：Joe Nagata の LEGO MIND STORMS ロボット入門，（2002）

付録 学習カード（抜粋）

※写真の通り，レゴを組み立てて，課題に挑戦しよう！

写 真	課 題	回転方向
名称く		
	<ul style="list-style-type: none"> ・小ギヤを 回転させると大ギヤは 回転する。 ・大ギヤを 回転させると小ギヤは 回転する。 	
	<ul style="list-style-type: none"> ・小ギヤを 回転させると大ギヤは 回転する。 ・大ギヤを 回転させると小ギヤは 回転する。 	