

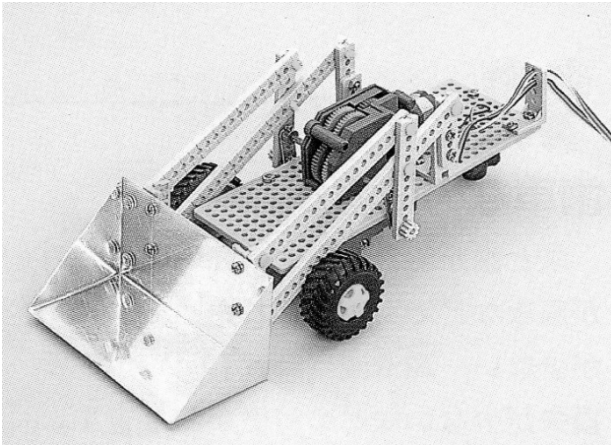


岐阜大学機関リポジトリ

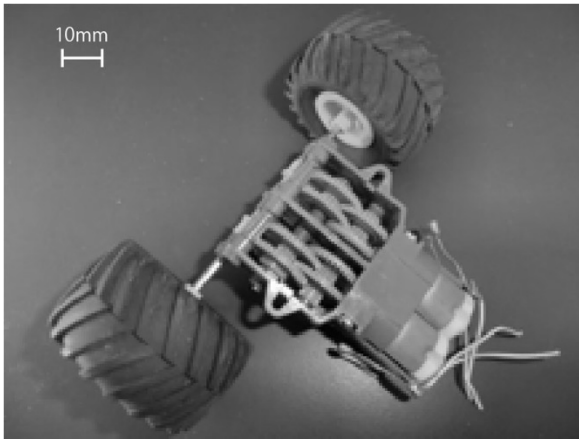
Gifu University Institutional Repository

エネルギー変換技術に関する教材開発

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2020-06-15 キーワード: 歯車, 教材開発, デジタルファブリケーション, エネルギー, 変換技術 作成者: 廣瀬, 泰弘, 福岡, 大輔, 常富, 真弘, 佐藤, 優太, 宮川, 景行 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12099/79301



(a) 教材の全体像



(b) 教材の動力伝達部

図1 教材の一例

2. 教材開発

2.1 教材の構想

開発する教材は、図2の構想図に示すように学習者自身で歯車の選択や、そのほかの動力伝達機構の選択を行う。それにより、歯車の動力伝達における速度伝達比やトルクを決定し、学習者が動力伝達の構成を組み合わせることができる。学習者自身が動力伝達の構成を組み試行する中で、歯車の動力伝達について学習できる教材を目指す。そこで、前述した課題点を踏まえ、歯車の動作の視認性を高めるため、教材には大きい歯車を使用する。また、学習者が体験的に学習を行えるように、歯車やそのほかの動力伝達機構を組み替えられることの2点に留意して、揭示用歯車教材、トルク体感歯車教材、速度伝達比体感歯車教材の3つの歯車の動力伝達に着目したエネルギー変換技術に関する教材の開発を行う。

開発する教材の歯車に関しては、各教材間で連結ができるように、歯車のモジュールを等しくする。さらに、導入のしやすさを考慮し、教材の材料費を可能な限り低コストで行うこととする。

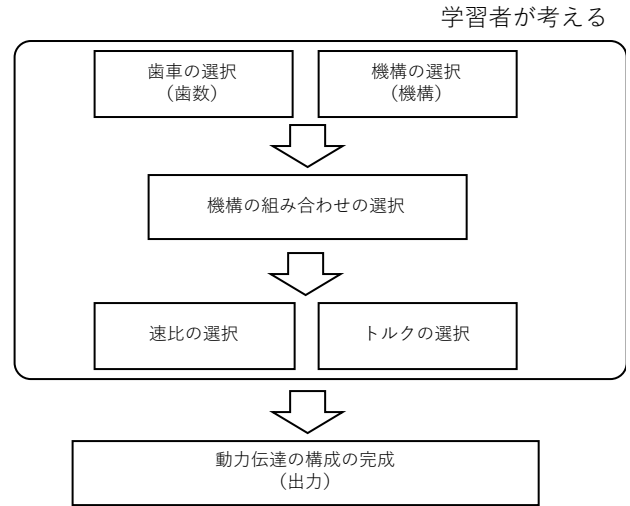


図2 思考・体感型歯車教材の構想図

2.2 インボリュート歯車の基礎理論

本教材では、図3に示すインボリュート歯車を設計し、製作する。

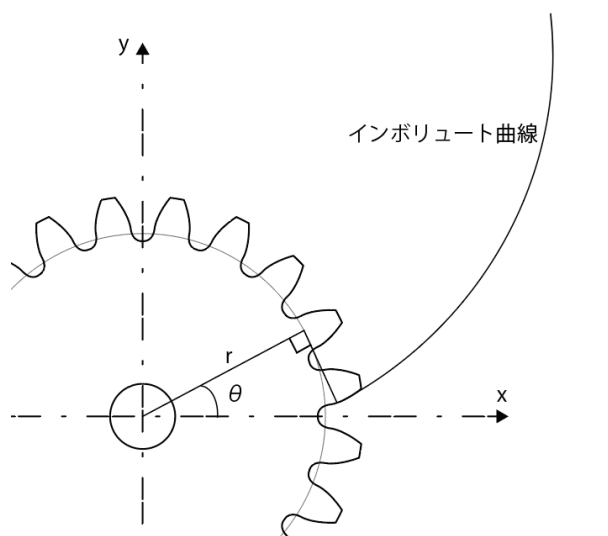
インボリュート歯車とは、インボリュート曲線の一部が用いられている歯車である。インボリュート曲線を用いることで2つの歯が接する点における接線が共通する。そのため、歯車の回転速度が一定になり、歯車間のエネルギー伝導が最適になる。論理的には滑りが無いとされている。この場合におけるインボリュート曲線とは、平面曲線・曲面状の一点を通り、その点の接線と垂直な直線が常に一定円に接するような平面曲線である。同図(a)の条件において次式で表される。

$$x = r(\cos\theta + \theta\sin\theta) \quad (2.1)$$

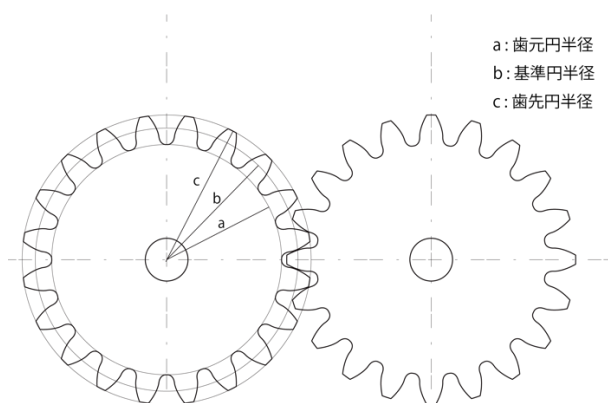
$$y = r(\sin\theta - \theta\cos\theta) \quad (2.2)$$

インボリュート歯車の歯の大きさを表すパラメータとしてモジュールがある。モジュールが一致する歯車同士がかみ合うことで、円滑な動力伝達ができる。同図(b)の条件でモジュール m 、歯数 z は、次式の関係がある。

$$m = \frac{2b}{z} \quad (2.3)$$



(a) 設計したインボリュート曲線



(b) 設計した歯車の例

図3 インボリュート歯車

2.3 開発方法

本研究では、教材の製作に、MDF (Medium Density Fiberboard) 及び、ホワイトボード素材の発泡スチロールを用いる。MDF は比較的安価で加工しやすく、木材のような反りをおこしにくい。そのため、インボリュート曲線という精密な構造を持つ歯車の製作に適している。また、歯車及び、そのほかの動力伝達機構の加工方法として、手作業による精密な製作は困難である。そこで、MDF は、CNC (Computer Numerical Control) フライス盤を用いて切削加工を行う。ホワイトボード素材の発泡スチロールは、レーザー加工機を用いて切断加工を行う。

CNC とはコンピュータ数値制御のことであり、工具の移動量や移動方向、移動速度などをコンピュータにより制御し、切削及び切断を行う。加工手順のプログラムは G-code と呼ばれるプログラミング言語を用いる。そのため、設計した CAD (Computer-aided Design) データを、CAM (Computer-aided Manufacturing) ソフトウェアを用いて G-code に変換し、CNC 機器に入力し加工する。

歯車の設計には、歯車計算ソフトウェア「GCSW (小原歯車工業製)」を利用する。歯車のモジュールと歯数を入力することで歯形を算出し、1 ピッチ分の歯形を dxf ファイル形式で出力する。

その後、出力した dxf ファイルから CAD ソフトウェアで CAD データを生成する。本研究では、「Illustrator CS6 (Adobe Systems 社製)」を使用する。

生成した CAD データを CAM ソフトウェアに読み込み、CNC 機器に入力するための G-code データに変換する。本研究では、CNC フライス盤で加工する場合「Cut2D (Vectric 社製)」を利用し、レーザー加工機で加工する場合「SmartDIYs Creator (Smart DIYs 社製)」を利用する。

最後に、生成した G-code データを CNC ソフトウェアに入力し、指定した原点から X, Y, Z 座標に加工ツールが移動し加工を行う。本研究では、CNC ソフトウェアとして「Mach3Mill (ArtSoft 社製)」を利用する。レーザー加工機で加工する場合、CAM/CNC ソフトウェアとして「SmartDIYs Creator」を利用する。

2.3.1 CNC フライス盤

本研究では、MDF の加工には CNC フライス盤である mini-CNC HAKU2042 (ORIGINALMIND 社製) を使用する。切削加工に用いたエンドミルは直径 1.6mm のトリマ・ルータービット (ライト精機株式会社製: Super TR-53) を使用する。mini-CNC HAKU2042 の外観を図 4 に、仕様を表 1 に示す。

2.3.2 レーザー加工機

本研究では、ホワイトボード素材の発泡スチロールの加工にはレーザー加工機である FABOOL Laser CO2 (SMART DIYs 社製) を使用する。FABOOL Laser CO2 の外観を図 5 に、仕様を表 2 に示す。

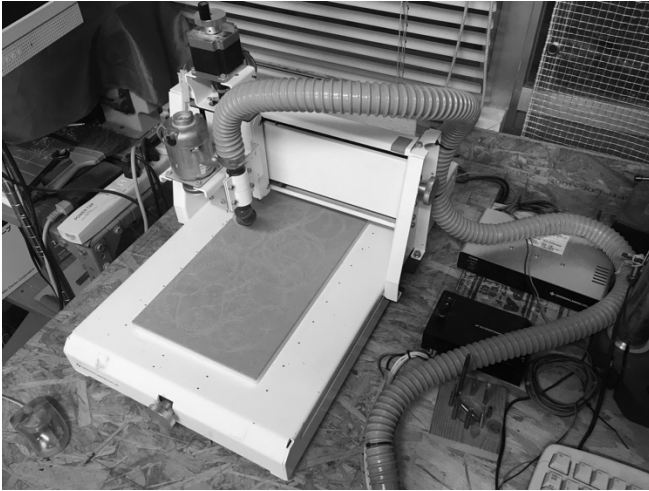


図 4 CNC フライス盤の外観 (mini-CNC HAKU2042)

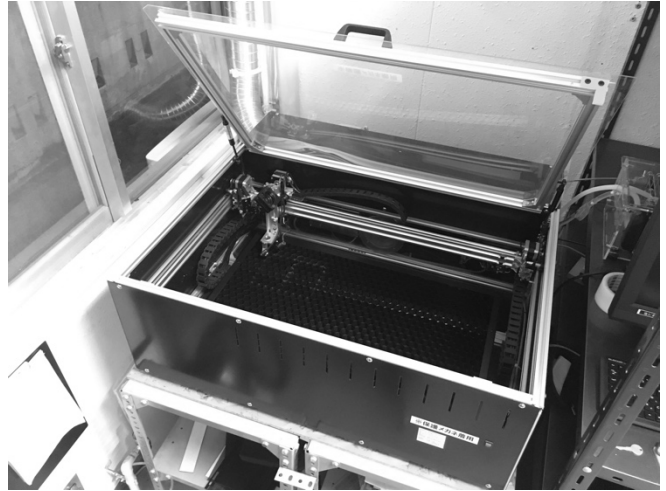


図 5 レーザー加工機の外観 (FABOOL Laser CO2)

表 1 CNC フライス盤の仕様 (mini-CNC HAKU2042)

項目	HAKU2042 の仕様
ストローク	X 軸 : 203.5mm Y 軸 : 425.0mm Z 軸 : 68.8mm
取り付け可能な材料の高さ	55mm
テーブルサイズ	200mm(W) 420mm(D)
加工可能な材料	アルミ, 樹脂, 木材
最大動作速度	1200mm/min
スピンドル回転数(無負荷時)	8000 回/分
スピンドルモーター	26W(DC モーター)
重量	25.2kg
電源	DC24V(AC100V アダプタ付)

表 2 レーザー加工機の仕様 (FABOOL Laser CO2)

項目	FABOOL Laser CO2 の仕様
加工エリア	600 x 400mm
レーザー方式	CO2 レーザー 30W
対応加工方式	ベクター加工, ラスター加工
対応ファイル	png, jpeg, jpg, bmp, gif, tiff, tif, svg, dxf
SmartDIYs Creator 動作条件	[Windows] OS:7, CUP:Core i3 2.4Ghz, RAM:4GB, HDD:1GB
電源	家庭用電源 AC100V
サイズ	910 x 820 x 380mm
使用時温度	20~30°C
重さ	約 50kg

2.4 掲示用歯車教材の概要

開発した教材は、平歯車ユニット及び、テコ・クランク機構ユニットから構成される。歯数の異なる平歯車ユニット及び、テコ・クランク機構ユニットを組み合わせて目的とする動力伝達を構成することができる。

各ユニットでは図 6 に示すように、各ユニットの背面に直径 20mm のフェライト磁石を埋め込んでおくことで、各ユニットを黒板上に吸着させ、平歯車の軸間距離を学習者が自由に調整することができる。

また、各ユニットに使用する歯車のモジュールを統一して設計することで、ユニット同士の連結により、ユニット間の動力伝達ができるように作成する。



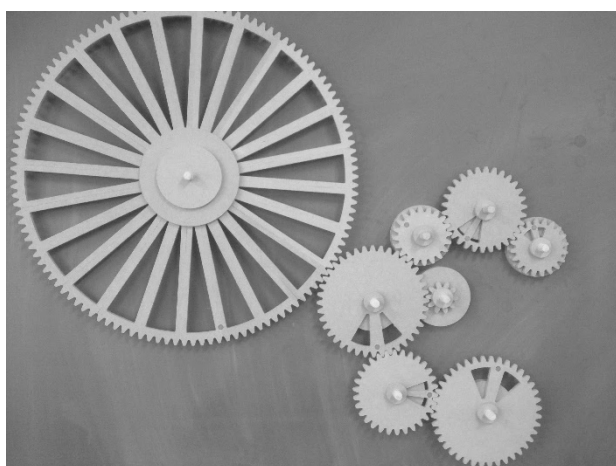
図 6 掲示用教材の裏面

2.4.1 平歯車ユニット

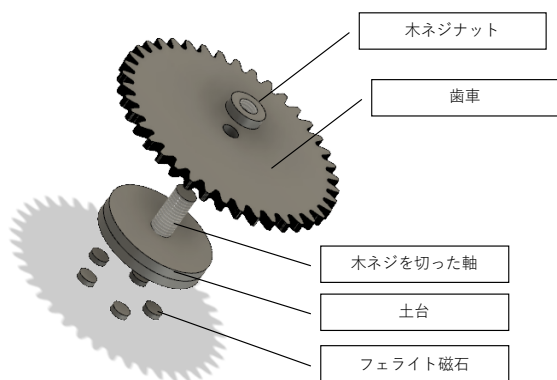
平歯車ユニットを図 7(a)に示す。歯車は MDF を用いてモジュール 4、歯数 10、20、30、40、120 の 5 種類を製作する。歯数 120 の歯車は基準円直径 480mm となり、CNC フライス盤の最大切削サイズを超えるため、歯車を 24 個のパーツに分割し、切削後に接着することで製作する。

平歯車ユニットの構造は図 7(b)に示すように、歯車を、土台に固定された雄ネジを切った木製軸に差し込み、雌ネジを切った木製ナットで挟み込むように固定する構造である。そのため、歯車の取り替えが容易に行え、学習者が動力伝達の構成を構築することが可能となる。

また、土台背面にフェライト磁石を埋め込み、接着剤で接合することにより、黒板上に掲示でき、歯車間の軸間距離を調整することもできる。



(a) 外観



(b) 構造

図 7 平歯車モジュール

2.4.2 テコ・クランク機構ユニット

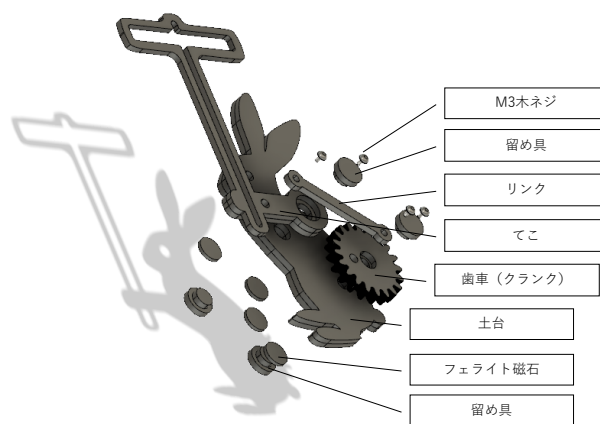
テコ・クランク機構ユニットを図 8(a)に示す。図 8(b)の構造図で示すように、テコ・クランク機構の各要素となる「テコ」「クランク」「リンク」を MDF で作成した留め具及び木ネジで固定することで可動部品とする。それにより歯車が「クランク」要素となり動力を受け回転運動し、リンク棒を通して動力を伝達する。腕部品が「テコ」要素となり、伝達された動力により、腕部品が土台との接合点を原点とした揺動運動を行う。

土台背面にフェライト磁石を埋め込み、接着剤で接合することにより、黒板上に掲示できる。

また、歯車をモジュール 4 で設計することで、平歯車ユニットと連動させて使用できる。



(a) 外観

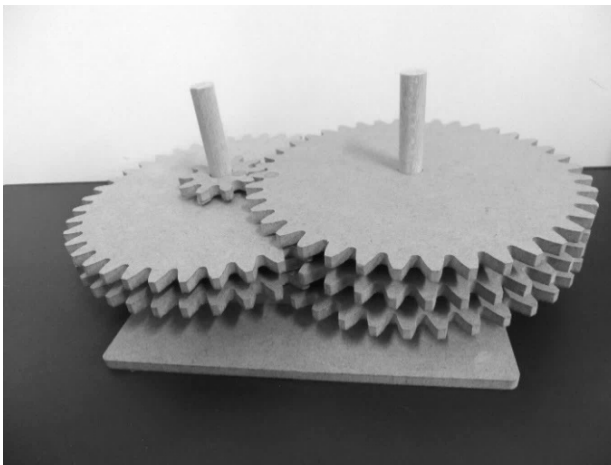


(b) 構造

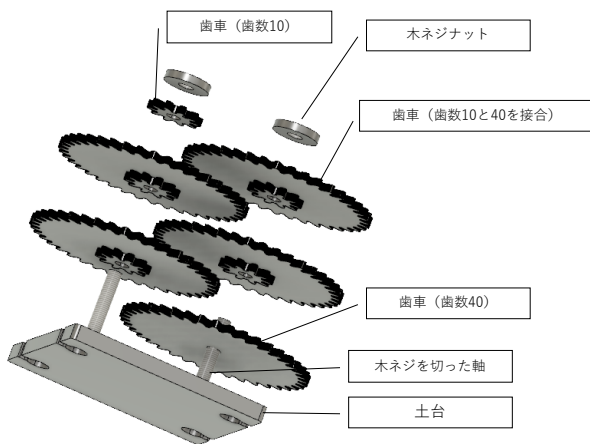
図 8 テコ・クランク機構モジュール

2.5 トルク体感歯車教材の概要

本教材では土台部品と歯車の 2 つのパーツで構成される。開発した教材を図 9(a)に示す。MDF ボードを用いて、モジュール 4、歯数 40、10 の 2 種類の歯車を製作する。構造は図 9(b)に示すように、歯数 40 と 10 の歯車を各 5 個ずつ製作し、2 段歯車を製作する。製作した 2 段歯車を小歯車が下になるように、2 軸へ交互に重ねていくことにより、各階層の速度伝達比及びトルクが変わり、実際に回すことにより、最上部の小歯車が最大速度で回転する様子が視認でき、最下部の大歯車が最大トルクになることが体感できる。各階層にある大歯車を指で回転させることにより、トルク及び速度伝達比を観察できる。最上部の大歯車を 1 回転させると、最上部にある小歯車は 4 回転する。さらに、最下部まで連結していき、最下部の大歯車を 1 回転させると、最上部の小歯車は 1024 回転する。



(a) 外観



(b) 構造

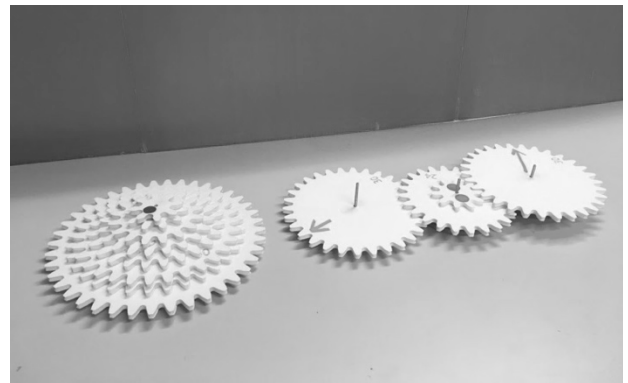
図 9 トルク体感歯車教材

2.6 速度伝達比体感歯車教材の概要

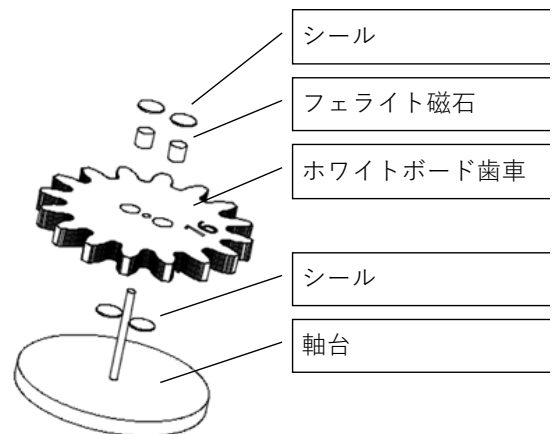
開発した教材を図 10(a)に示す。歯車のモジュール 4、歯数「40、32、30、24、20、16、10、8」の 8 種類用意することで、約 2 万通りの歯車の組み合わせを設計でき、「時計の設計」や、「最速の加速機的设计」など「速度伝達比」を変化させ、学習者が目的に応じた動力伝達の構成を設計・構築できる。構造は、図 10(b)に示すように、ホワイトボード素材の発泡スチロールで作成した歯車を軸台に取り付けて動力伝達の構成を構築する。

この時、各歯車の中心から 10mm の位置にフェライト磁石がシールで埋め込まれている。これにより、歯車同士が磁石の吸着力により接合され、時計の設計などにおいて容易に多段歯車を作成することができる。

また、歯車の製作には、ホワイトボード素材を使用することにより、学習者が歯車上に思考の過程や思考の支援となる記録を図 12 のように記入することができる。



(a) 外観



(b) 構造

図 10 速度伝達比体感歯車教材



図 11 思考過程の記録例

3. 実践授業による評価

岐阜県内中学校 3 校において中学校技術・家庭科（技術分野）において授業実践を実施した。授業内容に関しては、平成 29 年度告示学習指導要領（1）生活や社会を支えるエネルギー変換の技術での実施を想定した図 12 に示すカリキュラムモデルに順い、実施した。①では、運動エネルギーを利用するための機構や歯車の基本的な働きや仕組みを学習する。②では、掲示用歯車教材を用いて入力歯車を変えた場合の、テコ・クランク機構ユニットの動きを考える。③では、トルク体感歯車教材を用いて各階層の大歯車を回転させた時に要する力及び、最上部の小歯車の回転速度を観察し、歯車と速度伝達比、トルクの関係を実験的に考察する。④では、③で学習した内容を基に、速度伝達比体感歯車教材を用いて時計などの生活の中の動力伝達の構成を作成する。

貫く課題	知識・技能 (第1段階)	思考・判断・表現 (第2段階)	学びに向かう力・人間性 (第3段階)
生活の中の動力伝達システムを作る	第1題材 「生活や社会を支える（運動）エネルギー変換の技術」 (全3時間)		
	①動力伝達の原理・法則 (0.5時間)		
	②速度伝達比(速比)の原理・法則 (0.5時間) == 掲示用歯車教材での実習 == ・歯車・速比・てこクランク機構の学習 ・目的の速度で動くシステムの構築		
	③トルクの原理・原則。(1時間) == トルク体感歯車教材での実習 == ・歯車・速度伝達比の関係の考察 ・歯車・トルクの関係の考察 ・速比・トルクが使用される例の紹介		
④動力伝達の仕組みの製作。(1時間) == 速比体感歯車教材での動力伝達システムの製作 == ・減速機・加速器・時計の動力伝達の仕組みの設計 ・減速機・加速器・時計の動力伝達の仕組みの製作			

図 12 カリキュラムモデル

3.1 掲示用歯車教材の評価

岐阜県内公立中学校第 2 学年 40 名を対象に提案カリキュラムモデル①、②の内容に関して授業実践を実施した。授業では、掲示用歯車教材を 1 セット用いて授業を行った。授業終了時に、教材に対する授業者への聞き取り調査を実施し、内容分析を行った。

調査結果の中から抽出したものを表 3 に示す。授業者の回答において回答番号 2、3 に示すように、黑板上に歯車を掲示できることに対する好意的な意見が見られる。一方で、歯車の大きさに対する問題意識が回答で示された。

3.2 トルク体感歯車教材の評価

岐阜大学教育学部附属中学校第 3 学年 40 名を対象にカリキュラムモデル①、②、③の内容に関して授業実践を実施した。授業では、掲示用歯車教材を 1 セット、トルク体感歯車教材 10 個を用いて、3 人程度のグループ毎にトルク体感歯車教材を用いた実習を行い、授業を実施した。授業終了時に、「トルク体感歯車教材を使う学習を通して、歯車が生活の中でどのように活用されていると感じましたか？」という自由記述調査を実施し、内容分析を行った。

調査結果の中から抽出したものを表 4 に示す。学習者の回答において回答番号 2、6 に示すように、「力を大きくする」という学習内容であるトルクに関連した記述が多く見られる。また、回答番号 1、3 に示すように、「風力発電機」や「時計」などの歯車が活用される機器を明確に回答する記述が見られた。

3.3 速度伝達比体感歯車教材の評価

岐阜大学教育学部附属中学校第 3 学年 120 名を対象にカリキュラムモデル①、②、③、④の内容に関して授業実践を実施した。授業では、掲示用歯車教材を 1 セット、トルク体感歯車教材 10 個、速度伝達比体感歯車教材 10 個を用いて、3 人程度のグループに毎に各実習を行い、授業を実施した。授業終了時に、質問紙調査を実施し、分析を行った。質問項目は、「Q1:活動は有意義でしたか?」「Q2:速度伝達比体感教材で歯車を実際に組み合わせる活動で、速度伝達比について整理できましたか?」の 2 項目とした。

調査結果を図 13 に示す。どちらの質問項目に対しても中間値を上回る値を示した。また、Q2 の質問項目に対する好意的な回答は、75.8%あり、学習内容を整理できたと感じる生徒が多いことが分かる。

表 3 授業者への聞き取り調査の結果

No	回答内容
1	提示用歯車教材を用いて歯車の特徴である速度伝達比について学習を深めることができた
2	黒板に実物を貼り付けると生徒の反応が違う
3	板書をせずに、歯車を黒板で提示できるため、非常に楽だった
4	提示用歯車教材で比較することによって速度伝達比について指導することが容易だった
5	全体に見せるとしたら、少しサイズが小さいと感じた
6	小さい歯車だと指が入らず、少し回しにくいと感じた

表 4 自由記述調査の結果

No	記述内容
1	風力発電に使われていると分かった、今後も気にして生活したい。
2	力を大きくするから発電
3	時計などの精密機械
4	身近な例でいくと、時計や自動車のトランスミッションに使われています。歯車を使うことで、より効率的に力をつなげられるようなこともあると思います。力を最適な力で最適な力を出力する。
5	風力発電であんなにゆっくり羽が動いているのは大きい歯車を使っていることが分かりました。でも、大きい歯車を使うことで回転数が多くなり、より多く発電できることが分かりました。
6	歯車は小さな運動を大きな運動へと変えていけるので、とても効率がいい。さらに小さい歯車ができていたと聞いたことがあるので機械や家電など小型化が進んだり、発電効率が上がったりすると思う。
7	少しの力で大きな力を生み出す方法が分かり、風車の仕組みもよくわかった。

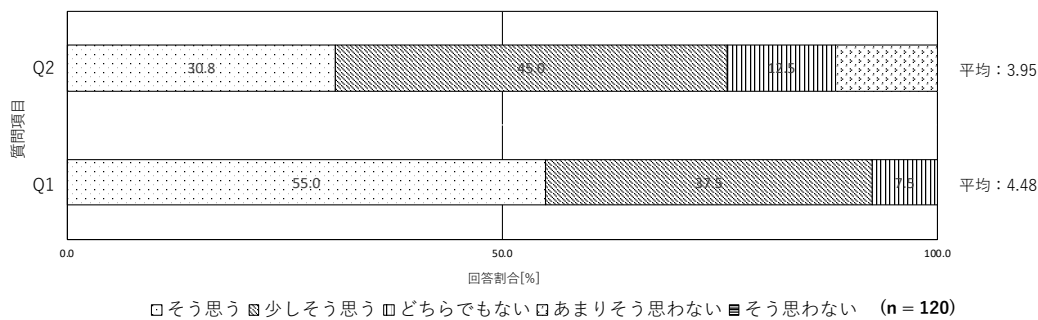


図 13 質問紙調査の結果

4. 考察

提示用歯車教材に関する、聞き取り調査結果では、授業者の黒板上での演示に関する好意的な反応が得られた。したがって、提案学習方法は、授業者の学習指導支援につながる可能性が示唆された。

トルク体感歯車教材に関する自由記述調査では、「力の大きさ」という表現の記述が多く見られた。この表現は、学習内容である歯車とトルクの関係を表したものだと思われる。したがって、トルク体感歯車教材により学習内容の理解が促進されたと考えられる。また、歯車の活用場所に関して具体的な場所を示し、「今後も気にして生活したい」という記述が見られたことから、生活の中にも目を向ける意識の芽生えたと考える。つまり、トルク体感歯車教材が学習意欲の向上へ有効的に影響を与えたと考えられる。

速度伝達比体感歯車教材に関する質問紙調査では、学習内容である速度伝達比に関して整理できたと感じる学習者の割合が高い傾向にあった。したがって、学習内容の理解を促進する可能性が示唆された。

5. おわりに

本研究では、学習者が歯車を組み替えながら体験的に歯車について学習できるエネルギー変換技術に関する教材として、提示用歯車教材、トルク体感歯車教材、速度伝達比体感歯車教材の開発を行なった。教材の教育的有効性を検証した結果、歯車を組み替え、動力伝達の構成を作成することで、学習者の学習意欲の向上及び、学習内容に対する理解の促進が示唆された。また、授業者の指導援助になる可能性が示された。

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，開隆堂，pp.40-47(2017)
- 2) 松永泰弘・柴田祥吾・今川延洋：教材用教材用木製機械式振り子時計の開発，静岡大学教育学部研究報告，第 41 号，pp.121-130(2010)
- 3) 木村一浩：3D プリンタを用いた歯車教材の開発，愛知教育大学研究報告. 芸術・保健体育・家政・技術科学・創作編，第 65 号，pp.53-55(2016)