

3D開発システムを利用した機構モデルの教材化に関する研究

橋本 崇史^{*1}・森岡 弘

A Study on Teaching Material of Mechanical Model Using a 3D Development System

HASHIMOTO Takafumi^{*1}, MORIOKA Hiroshi

(Received January 5, 2017)

キーワード：3DCAD、3D加工機、機構、エネルギー変換、無線通信制御、TWE - Lite DIP

はじめに

現代は、情報通信技術の急速な発展によって大量の情報が飛び交う情報化社会である。情報化社会によって私たちの生活は、多くの面が改善され、便利になった。多くの物事を通信端末1つでこなすことができるようになり、ますます利便性を求める社会になっている。

このような社会の潮流は、子どもたちにも影響を与えている。一昔前のように自らプラモデルやラジコンを作って楽しむというよりも、ゲームやスマートフォンなどの既存のものに頼った生活を送る子どもが増えているのが現状である。もちろん情報化社会によって多くの新しい技術が生まれ、私たちの生活がとても暮らしやすくなったことは言うまでもない。しかしながら、利便性を求める社会が子どもたちのものづくりの経験や技術的な機械の仕組みなどへの興味や関心を薄くしてしまっているのではないだろうか。

学校教育においても中学校技術・家庭科の授業時数は他の科目と比べると非常に少ない。その中でも技術分野の内容は「A材料と加工に関する技術」「Bエネルギー変換に関する技術」「C生物育成に関する技術」「D情報に関する技術」の4つに分かれている。それぞれの内容は、木材や機械、電気、農業など独立した学問によって構成されており、限られた授業時数内で多くの学びが要求されている。内容Bエネルギー変換に関する技術の内容は、機械と電気に分かれているが、技術分野全体でさえ授業時数が少ないにもかかわらず、全日本中学校技術・家庭科研究会のアンケート結果¹⁾で機械について取り扱われる授業時数が電気と比べて非常に短いことがわかっている。現状としてこのような実態であるため、機械に関する授業は短時間で効果的に行う必要がある。

そこで、筆者らは3D開発システムを利用した機構モデルの教材化に関する研究を行った。この機構モデルにはリンク機構や歯車、モータが用いられており、機械に関する要素がいくつか含まれている。機械に関する授業時数は少なく、時間的な余裕がない。そのため、より効率的な授業内容にしなければならない。上記のように1つの機構モデルに対していくつかの機械的な要素を組み合わせることで、限られた時間で多くの学びを得ることができるのではないかと考えている。また、機構モデルのモータの回転数を変化させるために無線通信制御を利用することで、技術分野の内容D情報に関する技術に結びつけることもでき、教材としての幅を広げることができる。機構モデルを教材化し、実際に学習者に機構モデルを見せたり、動かしたりさせることで、効率的に動力伝達の仕組みを理解させ、興味や関心を惹きつけることができるのではないかと考える。また、最終的に学校教育の中だけでなく、身の回りの製品の仕組みにも興味や関心をもたせることができるようにしたい。興味によって普段の生活で使用する機械への視点を変化させ、身の回りの技術を見直すきっかけにつながるであろう。

*1 山口大学教育学部附属教育実践総合センター研究紀要第43号 (2017. 3)

1. 機構

機械の運動にはさまざまな種類があり、その基本に直線運動や回転運動が挙げられる。直線運動には並進運動や往復運動がある。また、直線運動や回転運動のほかに揺動運動が機械の運動の代表として考えられる。以下に並進運動、回転運動、揺動運動について述べる。

並進運動は、パソコンやディスクレコーダのトレイのように、物体が角度を変化させることなく同じ姿勢を保持したまま直進運動を行う運動のことである。回転運動は、モータの回転軸や自動車の内燃機関やドア、自転車のタイヤなど機械の原動力ともなるもっとも一般的な運動である。そして、揺動運動は自動車のワイパーのように円弧運動の一定範囲を連続往復する運動である²⁾。

機構とは、部品と部品が組み合わさって伝達や変換などの目的に応じた役割をする機械の仕組みを指している。実際に機械を動作させるためには、使用する材料の種類や機械の形状など多くの要素について考えなければならないが、力の伝達や運動の変換などの機能について考えた際、その機能を果たす役割をする部品を節またはリンクといい、機構は節が組み合わさって成り立つものである。機構はさまざまな面で用いられており、自動車やロボット、工作機械などの複雑な動きは、これらの機構を組み合わせて作り出されている。

機械にはさまざまな動力伝達方法があり、回転運動を往復運動に変換するものや回転運動を揺動運動に変換するものがある。また、同じ種類の運動でも、その運動の形や速度を変えて伝達するものもある。動力伝達を行うためには、対偶（2つの部品の組み合わせ）といわれるものが必要である。対偶は、運動を行うために必要な形状を各節の結合部分に与え、節と節を組み合わせで一定の相対的な運動を行わせるものである。対偶は、機構のもととなる最小単位で、対偶の運動には、直進、並進、すべり、回転、ねじなどがあり、蝶番や軸受のような回転対偶や工作機械のリニアガイドのようなすべり対偶がある。

機構の中には、リンク機構というものがあり、4本のリンクから構成されるものを4節リンク機構という。この4節リンク機構は、4本のリンクすべてが回転対偶である。また、4節リンク機構のほかに、3節リンクや多節リンクといわれるものもある。

対偶によるつながりを連鎖といい、3節リンクは各リンクの運動が拘束された固定連鎖で、機構として働かせることができない。また、多節リンクは各リンクの運動を限定できないため不固定連鎖で、3節リンクのように固定された状態ではないものの、機構として決められた動きを行うことができず、正確な動作が求められる機械への実用はできない。これらのことから、3節リンクと多節リンクは機構の条件である限定された運動を満たすことができない。一方、4節リンクは、固定するリンクをどのリンクにするかによって様々な機構を得ることができる。また、リンクの対偶を変えることによって、さらに変形した機構を得ることもできる。4本のリンクのうち、回転するリンクをクランク（回転リンク）、揺動するリンクをてこまたはレバー（揺動リンク）、回転リンクと揺動リンクを接続する2つをコンロッドという。さらに、4つのリンクのうちどれか1つが4節リンクを固定するための固定リンクとして使用される。

機構には、機構に動力を与える原動節、機構の運動を外部へ出力する従動節、原動節と従動節の間で運動の伝達や変換を行う中間節、機構を固定する固定節が必要となる。4節リンクの4つのリンクは、各リンクが連動して運動の伝達や変換を行っている。そのため、4節リンクのみが機構としての条件を満たしており、4節リンク機構が成り立つ。最短リンクとそれに対向するリンクをつなぐ中間リンクの一方を固定リンクとした場合、最短リンクをクランク、対向リンクをてことするてこクランク機構ができる²⁾。図1にてこクランク機構を示す。

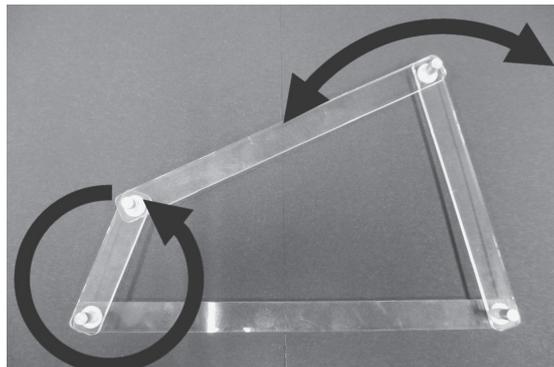


図1 てこクランク機構

2. 機構モデルの設計製作

2-1 設計

機構モデルの製作を行うにあたり、3DCADを使用して機構モデルの構想と部品の設計を行い、設計した部品と部品を組み合わせた。機構モデルの構想では可能な限りマイクロ化を図った。マイクロ化により、部品のコストダウンを見込め、コンパクトで持ち運びをしやすく、製作物にインパクトをもたせることができると考えた。マイクロ化を図る理由は、これまでの経験^{3) 4)}により設計製作の一連の過程においての技術力向上を確認してきたからである。

部品の材質にはアクリルと真ちゅうを使用するようにした。部品にアクリルを使用することで、内部の構造の可視化を図ることができ、動力伝達の仕組みがわかりやすくなると考えられる。また、部品にねじ切りを行い、部品と部品をねじ止めするような構造にした。ねじ止めを利用することで部品の取り外しが可能になり、コンパクトで部品一つ一つの構造を知ることにもできる。機構モデルを動作させるモータには、タミヤ社の「FA-130モータ」を使用し、ギアボックスには、同社の「ユニバーサルギアボックス」を使用した。このギアボックスは比較的小型でマイクロ化を図る上では有用と考え導入することにした。

設計には3DCADであるSolidWorks⁵⁾を使用した。SolidWorksは3DCADの代表的なソフトウェアの一つである。SolidWorksは初心者にも扱いやすい操作感で作業工程の見通しがよく、形状修正にも柔軟に対応できるようになっている。また、機械系の設計ソフトウェアとしてだけでなく、デザインソフトウェアとしても十分に対応することができ、美しいグラフィックを表現することができる。そして、シミュレーションや構造解析機能を備えており、動きのシミュレーションや干渉認識、応力計算なども行うことができる。SolidWorksを用いて設計作業を行うことで、製作物の完成イメージを描きやすくなる。また、「回転ツール等を用いることで、設計した製作物をあらゆる角度から見ることができ、設計での見落としを減らし、より効率的な製作を見込むことができる。設計は、歯車と歯車の中心間距離や部品を固定する穴の位置などに注意し、製作可能であるか十分に考慮しながら進めた。図2にSolidWorksを使用して設計を行った組立図を示す。⑯ギアボックスに関しては、設計時間を省くため外形寸法のみを把握し、簡略化した。表1に部品リストを示す。

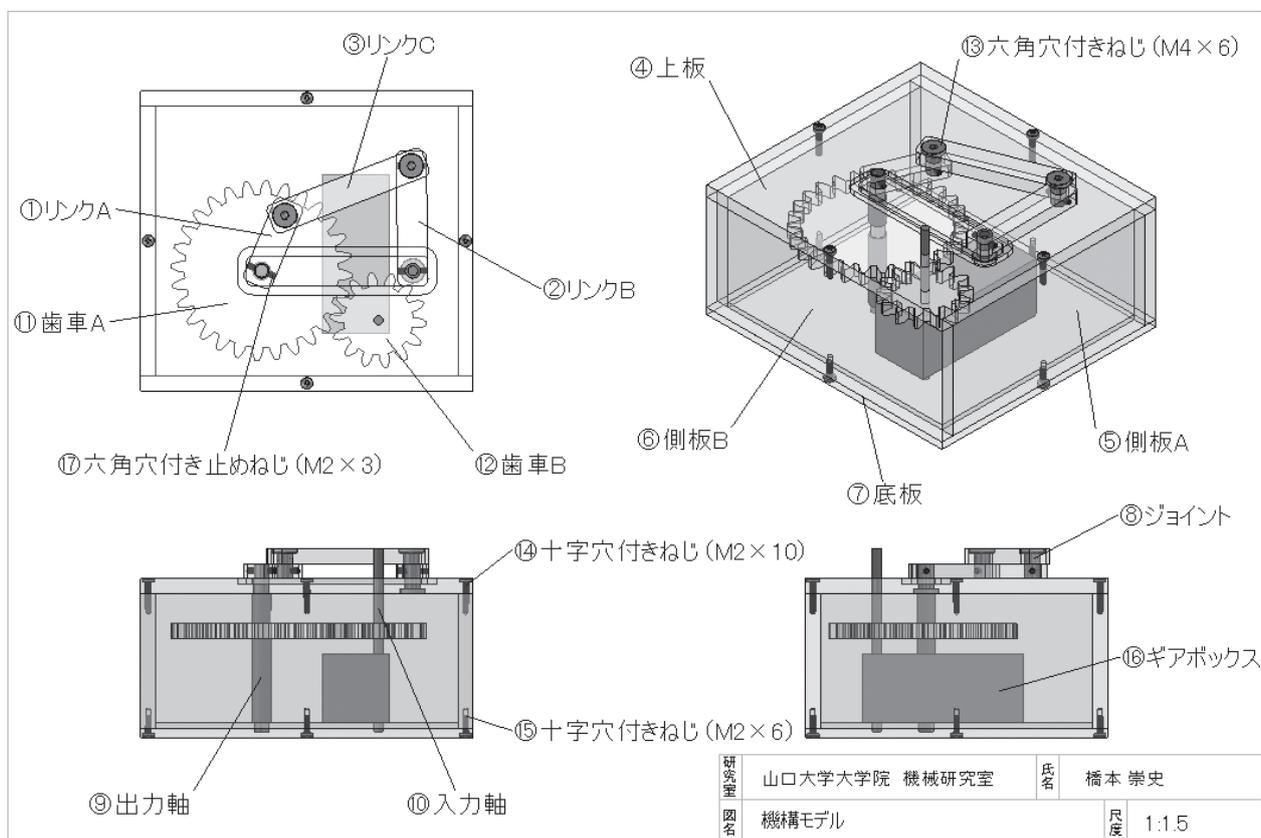


図2 機構モデル組立図

表1 機構モデル部品リスト

番号	部品名	規格・材料	個数	工程他
①	リンクA	アクリル	1	切削、穴あけ
②	リンクB	アクリル	1	切削、穴あけ
③	リンクC	アクリル	1	切削、穴あけ、座ぐり加工
④	上板	アクリル	1	切削、穴あけ
⑤	側板A	アクリル	2	切削、穴あけ、ねじ切り
⑥	側板B	アクリル	2	切削、穴あけ、ねじ切り
⑦	底板	アクリル	1	切削、穴あけ
⑧	ジョイント	真ちゅう φ5mm - φ3.4mm	3	切断、ねじ切り
⑨	出力軸	真ちゅう φ6mm - φ3mm	1	旋盤加工、穴広げ加工、切断、ねじ切り
⑩	入力軸	寸切 M3 ステンレス	1	切断
⑪	歯車A	アクリル M2 -T28	1	切削、穴あけ
⑫	歯車B	アクリル M2 -T14	1	切削、穴あけ
⑬	六角穴付きねじ	M4×6	3	既製品
⑭	十字穴付きねじ	M2×10	4	既製品
⑮	十字穴付きねじ	M2×6	4	既製品
⑯	ギアボックス	タミヤ 「ユニバーサルギアボックス」	1	既製品
⑰	六角穴付き止めねじ	M2×3	8	既製品
⑱	出力軸ジョイント部	寸切 M5 ステンレス	1	切断

2-2 製作

製作について、はじめに表1 ⑪歯車Aと⑫歯車Bの加工を行った。図3に歯車加工の様子を示す。

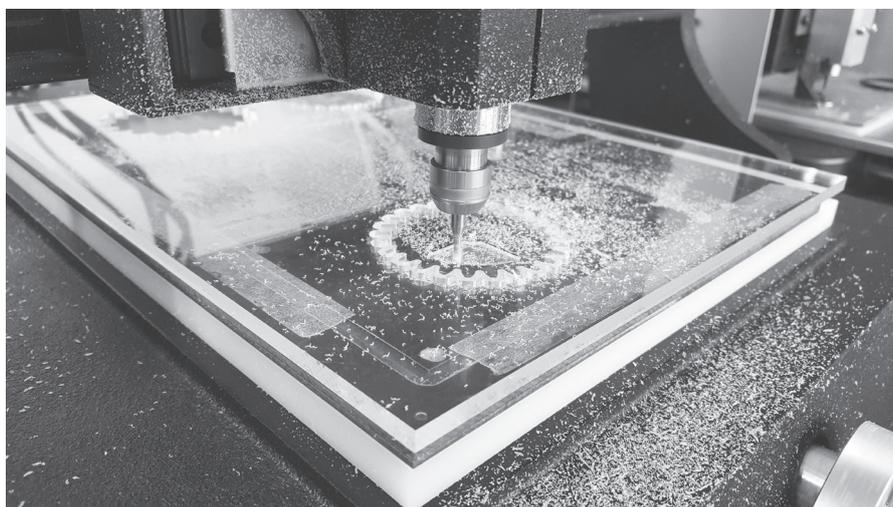


図3 歯車加工の様子

加工には、ORIGINALMIND社のRD300という3D加工機を使用した。RD300は、テーブルサイズが220mm×300mmで、取り付け可能な材料の高さは52mmである。3DCADで設計を行ったあと、CAMソフトウェアを使用してRD300での加工内容を設定し、加工内容を命令したNCプログラム（Gコード）といわれるものを生成する⁶⁾。生成されたNCプログラムをUSBCNCV3というRD300の制御用アプリケーションに取り込むことで、加工を行うことができる。切削工具には、エンドミルとドリルを使用し、加工物や加工方法に応じて外径やシャンク径を替えながら加工を行った。これらの3D開発システムを使用することで、はじめて加工が可能となる。

歯車の加工後に①リンクA、②リンクB、③リンクCを加工し、その後、④上板、⑤側板A、⑥側板B、

⑦底板の加工を行った。これらの加工に関しても歯車同様にRD300を使用した。この7種類の部品は、材料の無駄を省くために225mm×298mmの亚克力板（2枚）から多数個取りした。

亚克力ボックスは、④上板と⑦底板で⑤側板Aと⑥側板Bを挟むように上側と下側4箇所ずつ計8箇所をねじ止めするような構造である。④上板と⑦底板には、ねじの頭部がそれぞれの平面からはみ出すことがないように座ぐり加工を施した。また、⑤側板Aと⑥側板Bには、⑭十字穴付きねじ（M2×10）と⑮十字穴付きねじ（M2×6）を通すための下穴（φ1.6mm）を上下1箇所ずつ計2箇所それぞれあけた。

⑧ジョイントの元々の仕様は、φ5mm - φ3.4mmである。この真ちゅうパイプを万力に固定し、M4タップでねじ切りを行った。ねじ切りを行った理由は、⑧ジョイントに⑬六角穴付きねじ（M4×6）を通すことで、各リンクが外れることを防ぐためである。なお、⑧ジョイントは⑰六角穴付き止めねじ（M2×3）により固定されるようになっている。ねじ切りは先タップ → 中タップ → 上げタップの順番にし、必要に応じて潤滑油を差しながら行った。ねじ切り後、糸鋸を使用して9mm程度の長さに切断し、やすりで平面を整え、必要な長さ（8.5mm）に仕上げた。⑩入力軸（M3）は、⑫歯車Bの軸径に合わせてM3のものを用い、必要となる長さに切断した。⑨出力軸のSolidWorksでの設計図を図4に、歯車固定方法を図5に示す。

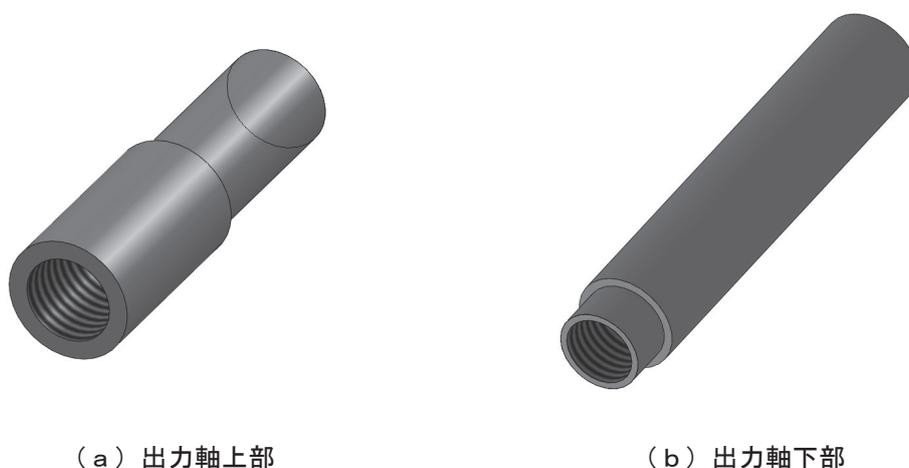


図4 出力軸設計図

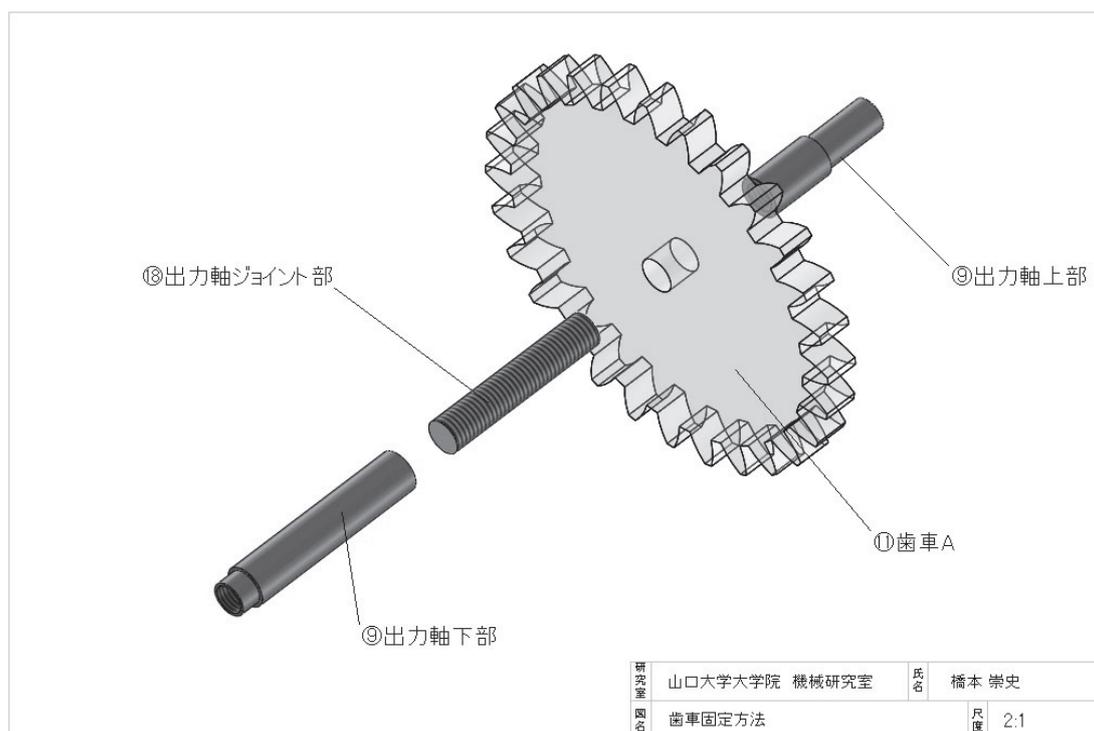


図5 歯車固定方法

図4にあるように⑨出力軸は上部と下部から成り立っている。図5に歯車固定方法を示しているが、この構造は、⑨出力軸の上下部どちらにもねじが切られており、⑬出力軸ジョイント部（M5）を介して⑪歯車Aを上下からねじ止めするような構造になっている。この構造にすることで⑫歯車Bの固定位置を保持することができ、モータを回転させたときに⑪歯車Aとかみ合わせることができる。⑨出力軸は旋盤を使用して加工を行った。図6に旋盤加工の様子を示す。

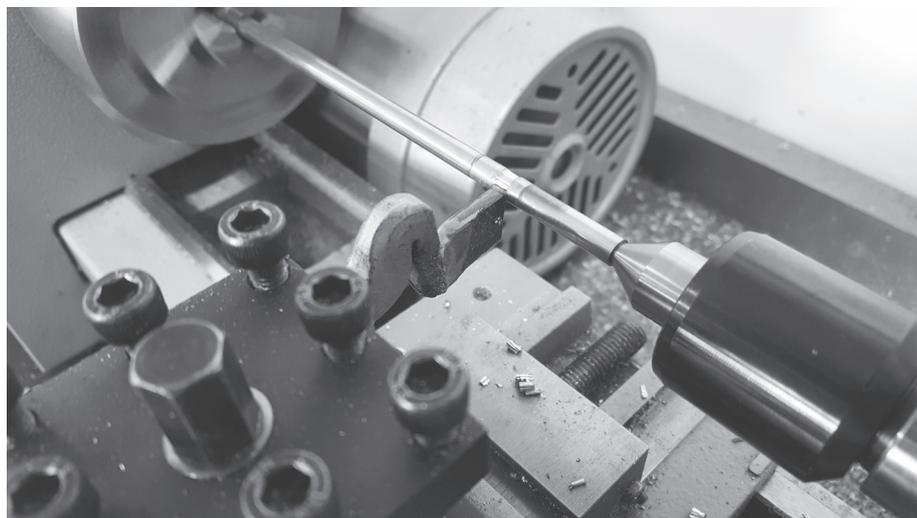


図6 旋盤加工の様子

⑨出力軸の元々の仕様は、 $\phi 6\text{mm} - \phi 3\text{mm}$ である。M5タップでねじ切りを行うためには、下穴が $\phi 4.2\text{mm}$ 必要である。そのため、はじめにドリル（ $\phi 4.2\text{mm}$ ）で穴を広げた。その後、出力軸上部の上から10mmの箇所と出力軸下部の下から3mmの箇所に段付き加工を施し、 $\phi 6\text{mm}$ を $\phi 5\text{mm}$ にした。段付き加工を行う理由は、組立の際に⑨出力軸の上部を①リンクAと④上板の穴（ $\phi 5\text{mm}$ ）に通し、下部を⑦底板の穴（ $\phi 5\text{mm}$ ）に通すためである。段付き加工を行い、突っ切りバイトで材料を切断したあと、⑨出力軸の各部にねじを切った。

製作した部品の組立後、動作確認を行った。この機構モデルは、まず、⑬ギアボックスのモータが回ることで、⑫歯車Bが回転し、⑫歯車Bの回転が⑪歯車Aに伝達される。その後、⑪歯車Aの回転と同時に⑨出力軸が回転し、同軸上の①リンクAに回転が伝達されることでリンク機構としての機能を果たすようになっている。⑫歯車Bはダブルナットにより固定され、⑪歯車Aは前述のように⑨出力軸と⑬出力軸ジョイント部により固定されている。

この機構モデルを例に挙げると、歯車を使用した動力伝達では、歯車がかみ合うことでリンク機構を動作させることができる。上記のことを達成するためには、歯車同士の間隔距離だけでなく、歯車を通す軸の固定方法や固定位置、リンクの固定方法など多くの要素を正確に設計し、加工、組立をする必要がある。一つ一つの作業に緻密さや忍耐強さが求められる。図7に製作した機構モデルを示す。

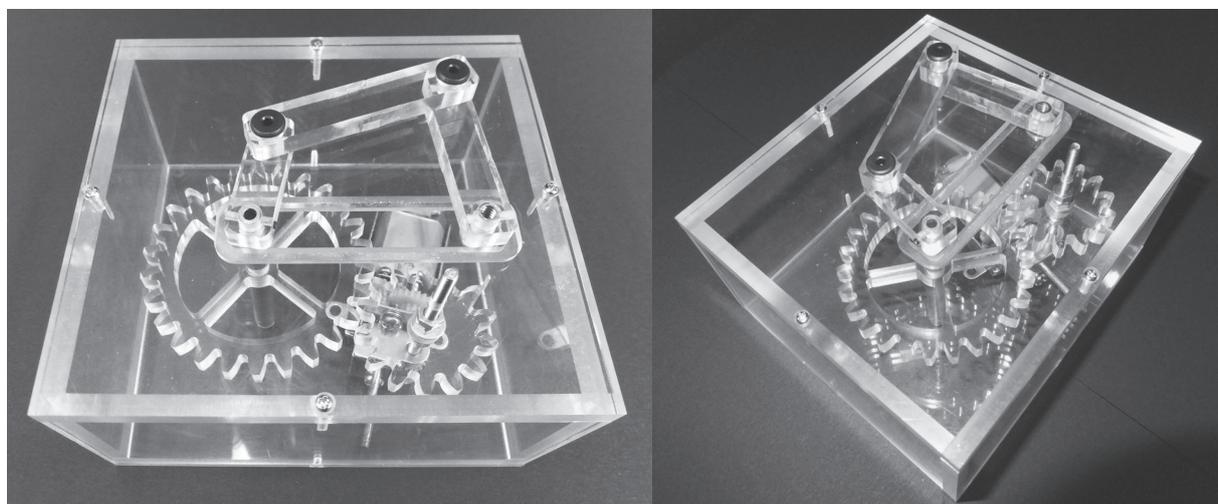


図7 機構モデル

3. 機構モデルの無線通信制御

本研究では、さまざまな機械要素を組み合わせた機構モデルを製作することで、中学校技術・家庭科の技術分野の内容Bエネルギー変換に関する技術についての学習を深めることができると考えている。中学校学習指導要領解説 技術・家庭編⁷⁾の内容Bエネルギー変換に関する技術の中に「(1) エネルギーの変換方法や力の伝達の仕組みを知ること。」の項目が設けられている。この項目を踏まえるために機構モデルを使用することは有効な方法であると思われる。

しかし、冒頭に述べたように中学校技術・家庭科の授業時数は非常に少なく、時間が限られている。上記の内容で機構について学習することは可能であるが、簡易的に電池をモータに接続して機構モデルを動作させるだけでは、限られた授業時数に対して、インパクトに欠ける内容である。そこで、技術分野の内容D情報に関する技術の内容と関連させるために機構モデルの無線通信制御を行うことにした。本章では、無線マイコンを使用した無線通信制御について概説する。

3-1 TWE - Lite DIP⁸⁾

機構モデルの無線通信制御には、モノワイヤレス株式会社の「TWE - Lite DIP」という無線マイコンを使用した。この無線マイコンは、サイズとしては非常にコンパクトであり、容易に無線通信を行うことができる。そのため、機構モデルの回転数を外部コントローラーから無線で制御することに適しており、教材としても扱いやすいと考えられる。図8にTWE - Lite DIP及び寸法を示す。

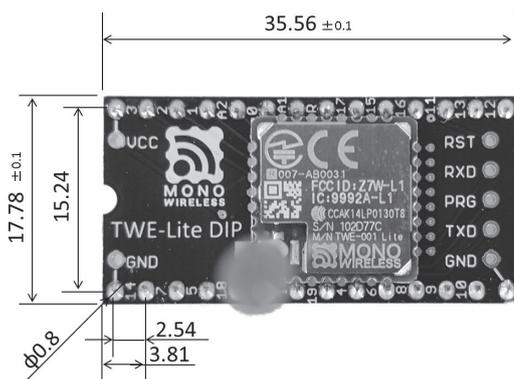


図8 TWE - Lite DIP

TWE - Lite DIPは「TWE - Lite」という無線機能を内蔵した1円玉大のマイコンを28ピン600milの拡張基板に搭載したものである。1milは1/1000inchにあたるため、600milは6inchとなり、ミリ換算すると15.24mmということになる。ピン配置はTWE - Liteと異なるが、それ以外はTWE - Liteと同様である。

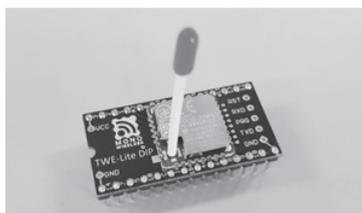
TWE - Lite DIPは、無線を使用した電子回路学習や実習など教育教材として活用可能なほか、短期間での試作が求められる企業での製品開発や無線を使用したサービスなどにも使用されている。32ビットマイコンが搭載されており、アナログ入力、PWM出力、デジタル入力、デジタル出力、シリアル入力、シリアル出力の入出力端子が備わっている。動作電圧については、2.3V~3.6Vの入力電圧である。3.6V以上の電圧が入力された場合やVCCとGNDの向きを逆に配線した場合にマイコンが発熱し、故障につながる可能性があるため注意が必要である。

3-2 無線通信制御

TWE - Lite DIPを使用した無線通信制御では、ボリューム（可変抵抗器）の使用によってモータの回転数を変化させることができたようにした。モータの回転数を変化させることで、歯車の回転数が変化し、リンク機構の回転数を変化させることができる。機構モデルの無線通信制御には、TWE - Lite DIPを2つ使い、一方を「親機」、もう一方を「子機」として無線通信を行うようにし、親機の「入力ピン」の状態が、子機の「出力ピン」に出力されるようにした。図9に親機から子機への通信方法を示す。



親機(コントローラ側)



子機(機構モデル側)

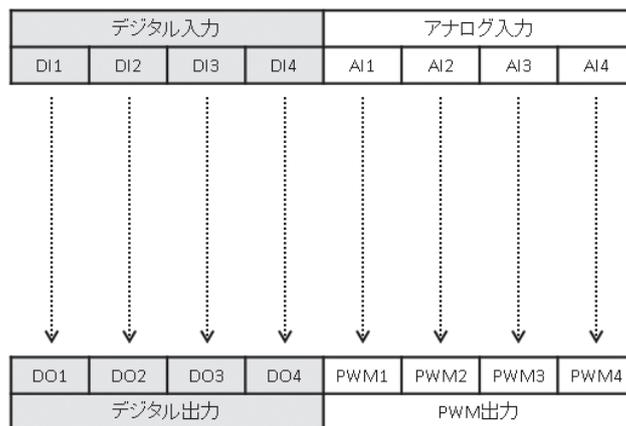


図9 親機から子機への通信方法

3-1に述べたようにTWE-Lite DIPはデジタル回路とアナログ回路の両方を作ることができるが、本研究では、機構モデルの回転数を変化させるためにアナログ回路を用いることにした。図9にあるように親機の「アナログ入力」は子機の「PWM出力」に対応しており、ボリューム（可変抵抗器）で変化させた電圧が親機のアナログ入力に入り、子機のPWM出力からパルス幅が出力されるようになっている。このPWM信号をモータドライバに印加することで、モータの速度を制御できる。PWM出力とは「Pulse Width Modulation」のことである。パルス波のオンとオフの状態を高速で繰り返し、パルス幅を変化させることで、変調を行う。表2に部品表、図10に回路図を示す。

表2 無線通信制御部品リスト

記号	品名	値・型式	個数
U1、U3	無線マイコン	TWE-Lite DIP	2
U2	モータドライバ	TA7291P	1
U4	3端子レギュレータ	TA48033S 3.3V 1A	1
C1	セラミックコンデンサ	0.001 μ F	1
C2	セラミックコンデンサ	0.33 μ F	1
C3	電解コンデンサ	33 μ F	1
R1	抵抗	500 Ω	1
R2	抵抗	5 k Ω	1
VR	可変抵抗器	10 k Ω	1
S1	スイッチ付電池ボックス	単3 \times 2	1
S2	スライドスイッチ	OS5212-004	1
M	モータ	FA-130	1

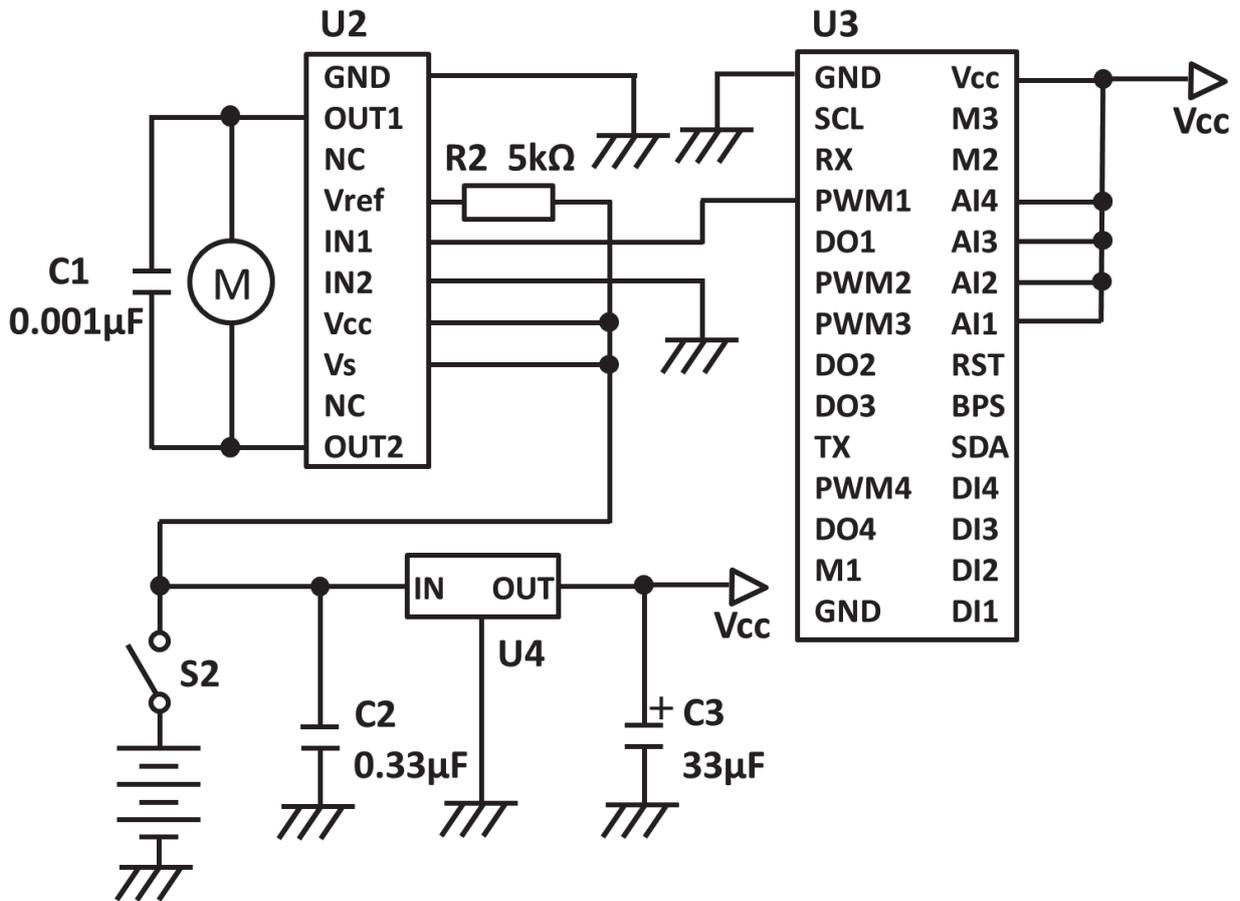
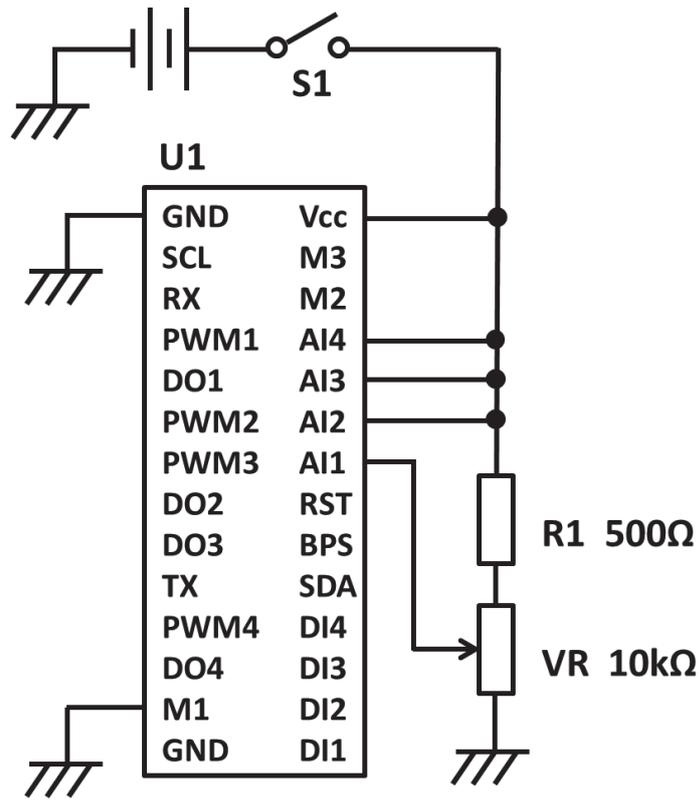


図10 回路図

機構モデルの無線通信制御ではモータを制御するためにモータドライバを使用した。図10の「AI1」にボリューム（可変抵抗器）で変化された電圧が入り、「PWM1」からパルス幅が出力される。出力されたパルス幅はモータドライバの「IN1」に入り、「OUT1」と「OUT2」をモータに接続することで、モータの回転を変化させることができる。

おわりに

本研究は、3D開発システムを利用した機構モデルの教材化に関する研究について検討したものである。この機構モデルは、できる限りのマイクロ化を図っており、3D加工機で加工可能なレベルまでリンクや歯車のサイズを小さくしている。構想設計から多くの加工シミュレーションを行っており、加工組立においては緻密さと忍耐強さが要求された。さらに製作した機構モデルを実際に動作させるには、歯車と歯車の正確な中心間距離や各部品の正確な固定などが要求され、少々難易度が高かった。

本研究では、アクリルを使用して機構モデルの製作を行った。加工組立後の機構モデルを見たところ、アクリルの透明性の高さにより部品一つ一つの仕様がわかるほど内部構造を正確に把握することができた。また、機構モデルを動作させた際も歯車と歯車のかみ合わせの様子や歯車の回転が同軸上のリンクに伝達される様子を確認することができた。これらのことから、この機構モデルは教材として扱いやすいのではないかと考えている。

この機構モデルの中には、リンク機構や歯車、モータなど機械を動かすために必要な機構が用いられている。中学校技術・家庭科に関する授業時数が限られている中、上記のようにいくつかの機構を組み合わせることで、短時間での幅広い学習を見込むことができる。機構モデルの教材化は、技術分野の内容Bエネルギー変換に関する技術の「(1) エネルギー変換方法や力の伝達の仕組みを知ること。」の項目において有効活用することができると考えている。

また、無線マイコンを使用して機構モデルの無線通信制御を行うことで、技術分野内容Bエネルギー変換に関する技術だけでなく、内容D情報に関する技術の内容を伴う学習を行うこともできる。機構モデルを模型として取り扱うだけでなく、実際に無線通信制御を行いながら動作させることで、学習者の機械の動作原理についてのイメージを増幅させることを期待できる。

機構モデルの無線通信制御については、継続して研究を進める。現段階では無線通信による機構モデルの動作確認はできている。しかし、親機も子機もブレッドボードを利用した配線がむき出しの状態となっており、体裁が整っていない。そのため、親機と子機それぞれに使用されている部品を納めるためのボックスの製作を行う。ボックスは、ブレッドボードやスイッチなどが納まるように設計し、材料にアルミとアクリルを用いて製作する予定である。

最後に本研究はJPSF科研費26381269の助成を受けたものである。記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 全日本中学校技術・家庭科研究会ホームページ, <http://ajgika.ne.jp/>
- 2) 小峰龍男：シミュレーションソフトで動かしてわかる機構学の「しくみ」と「基本」, 技術評論社, 2009.
- 3) 森岡 弘・岡村吉永・酒井 藍・松村悠子：小型ロボットを用いた技術科教員のためのスキルアップ教材の開発, 山口大学教育学部附属教育実践総合センター研究紀要, 33, pp.153-162, 2012.
- 4) 橋本崇史・尾川雄大・森岡 弘・白濱弘幸：小型ロボットを用いた緻密さと忍耐強さを養うマイクロメカニズム教材の開発, テクノロジー教育 第6巻, pp.1-7, 2016.
- 5) 門脇重道：SolidWorksによる3次元CAD 第2版, 実教出版, 2012.
- 6) 朝比奈奎一：絵ときCAD/CAM基礎のきそ, 日刊工業新聞社, 2007.
- 7) 文部科学省：中学校学習指導要領解説 技術・家庭編(平成20年9月), 2008.
- 8) 大澤文孝：TWE-Liteではじめるカンタン電子工作, 工学社, 2014.