

教材用木製機械式振り時計の開発

Development of the Wooden Mechanical Pendulum Clock as a Teaching Material

松 永 泰 弘・柴 田 祥 吾・今 山 延 洋

Yasuhiro MATSUNAGA, Shogo SHIBATA and Nobuhiro IMAYAMA

（平成21年10月6日受理）

Abstract

In recent years, the authors have developed a wooden mechanical pendulum clock as a teaching material for junior high school students in a technology education class and carried out the practical teaching. However, some students were not able to make complete workable clocks. Therefore, in this paper, we improved the pendulum clock so such that the most students can make it easily, and showed it as a teaching material for learning materials processing and energy conversion.

1. 緒言

平成24年から完全実施される新学習指導要領において¹⁾、中学校技術分野では、新たに「エネルギー変換に関する技術」の内容が必修化された。それに伴い、「エネルギー変換に関する技術」の内容の教材が求められている。また、中学校技術・家庭科の授業時間数の削減により、複数の領域に関する内容を学ぶことができる教材が求められている。

そこで、本研究では、教材用木製機械式振り時計の完成品の動作率を上げ、教材としての完成度を高めるために、「教材用木製機械式振り時計の開発」を行う。振り時計の機械部分であるムーブメントは、调速機、脱進機、輪列、動力の4つから構成され、このうち時を刻むのに必要な调速機、脱進機、動力の3区分を取り出し、教材用木製機械式振り時計を製作する。この時計は、「位置エネルギーを蓄え、動力源として使うことができる」、「金属加工するには難しい機械要素を木材加工で行うことにより中学校技術での製作を可能にした」、「製作をしながら機械要素、エネルギー伝達等の学習が同時にできる」、「学習した仕組みを製作にいかすことができる」、「授業者の意図により製作難易度を変えることができる」教材である。この教材をよりよいものにするために、完成品の動作率をあげる改良を行い、中学校技術科教員対象に実践し、考察・検討する。

2. 教材用機械式振り時計の基本構造と動作原理

2. 1 教材用機械式振り時計の基本構造

教材用木製機械式時計は、図1に示すように、5つの部品から構成されている。部品Aのアン

クル (Anchor) は、ガンギ車とよばれる特殊な歯車の部品Bと作用する。アンクルは、爪を2つ持ち、真 (シャフト) のまわりに揺動運動を行い、2つの爪が交互にガンギ車の歯をとめたりはずしたりする。ガンギ車とアンクルを含む機構を脱進機といい、アンクルが1往復振れると、ガンギ車が1ピッチだけ回転する。アンクルの真に部品Cの振子を取り付けられ、真とともに左右に揺れる。部品Dは、軸を支える骨組み (フレーム) である。また、アンクルの真にはおもりEの付いた紐が巻かれ、時計の運転に必要なエネルギーを補給する。

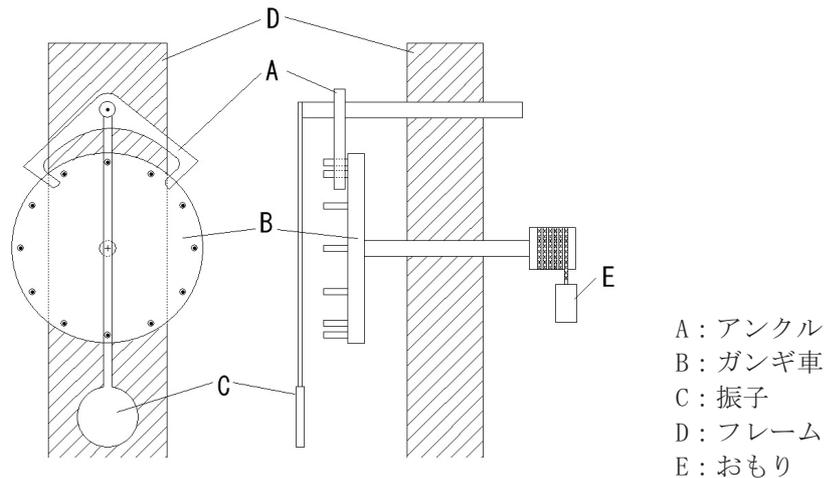


図1 教材用機械式振り時計の基本構造

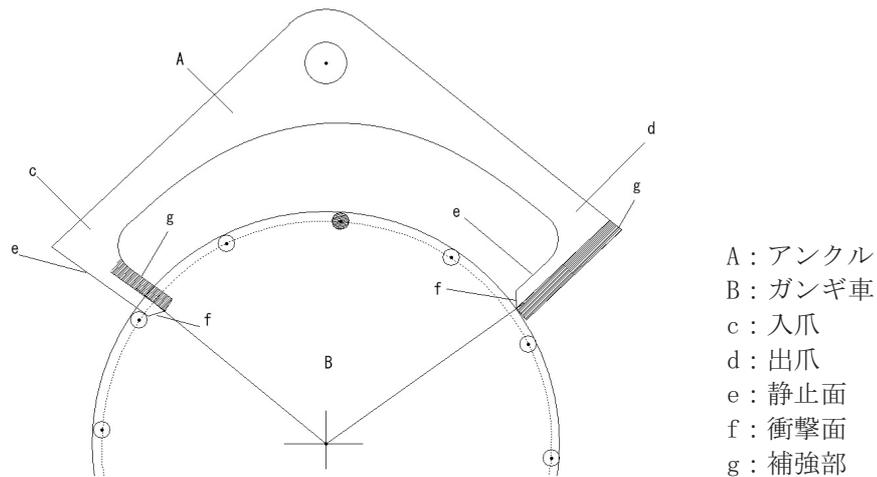


図2 脱進機の構造

2. 2 機械式振り時計の動作原理

機械式振り時計は、一定の条件下では振子の一振りに要する時間は振幅に関わらず常に一定となる振子の等時性を用い、摩擦や空気抵抗により振子の揺動運動が次第に減衰するのを防ぐために、脱進機により振子にエネルギーを補給しながら時を刻む。また、脱進機は、アンクルがガンギ車の回転速度を制御し、振子の振り数を自動的に数える役目がある。

脱進機の構造を図2に示す。このときガンギ車は時計回りに回転する。アンクルには振子が固定されており、ガンギ車には等間隔にピン (図は12本、 30° 間隔) が打ってある。

脱進機の動作は、6つの段階に分けられ、以下にその様子を示す。

- ① 振子が右に振れた状態を初めとすると、この時ガンギ車はほとんど回転せずに入爪の静止面とガンギ車のピンが滑り合い、アンクルのみが時計回りに動く。この状態を補助運動といい、アンクルはピンを通じて常にガンギ車から力を受け続ける（図3 (a)）。
 - ② 次に、アンクルとガンギ車のピンとの接点が衝撃面に移ると、ガンギ車は衝撃面を押し安クルに時計回りの力を与える（図3 (b)）。この状態を衝撃と言う。
 - ③ ガンギ車のピンが衝撃面を滑り終えると、ガンギ車はアンクルから開放されて空回りをはじめ。そして、アンクルの出爪の静止面にガンギ車のピンがぶつかる（落下）。この動作をドロップという。
 - ④ ドロップが終わると、ガンギ車のピンとアンクルの静止面は滑りながら、アンクルは振子の慣性力により引き続き時計回りに回転を続け、次第に遅くなりとまる。そして今度は反時計回りに振れ始める（補助運動）（図3 (c)）。
 - ⑤ アンクルとガンギ車のピンとの接点が衝撃面に差し掛かると、ガンギ車は衝撃面を押し安クルに反時計回りの力を与える（衝撃）（図3 (d)）。
 - ⑥ ガンギ車のピンが衝撃面を滑り終えると、ガンギ車はアンクルから開放されて空回りをはじめ。そして、アンクルの反対側の爪の静止面にガンギ車のピンが落下し、①の状態にもどる（ドロップ）。
- 以上の6つの動作で、1周期が終了し、これを繰り返す。

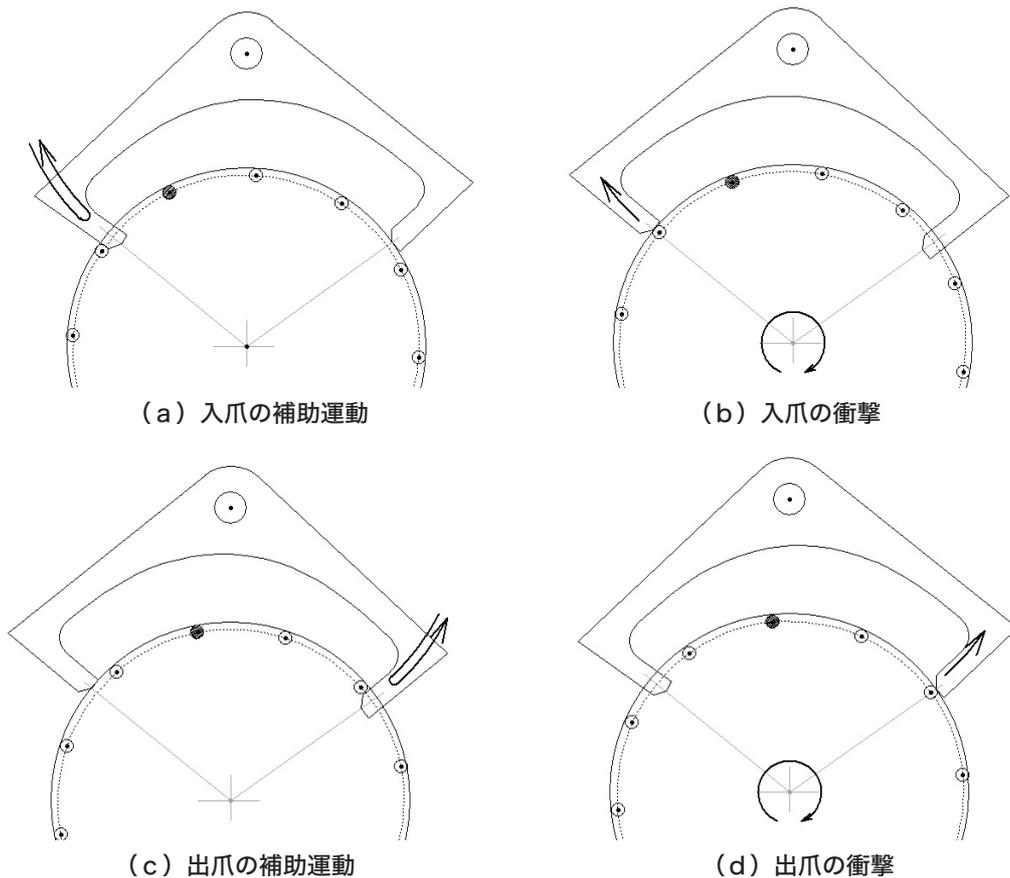


図3 脱進機の補助運動と衝撃

3. 教材用木製機械式振子時計の製作と改良

教材用木製機械式振子時計製作の問題点として、完成品の動作率の低さ、調整の困難さが挙げられる²⁾。製作における難易度を下げ、調整後に生徒の作品が動作するように、完成品の動作率をあげる改良を行う。

3. 1 使用材料および使用工具

使用材料、使用工具および工作機械を以下に示す。

[使用材料]

- ・ 2×4材：1000mm
- ・ スギ間伐材
- ・ パイン集成材
- ・ ブナ丸棒φ15：100mm
- ・ その他：麻紐、コースレッド、小ネジ、ギター弦用減摩剤、スプレー糊、セロハンテープ、端材
- ・ ヒノキ丸棒φ8：910mm
- ・ ステンレスパイプφ6
- ・ ローズウッド材
- ・ 500mlペットボトル

[使用工具および工作機械]

- ・ 両刃鋸
- ・ 差金
- ・ 錐
- ・ 玄翁
- ・ 紙やすり
- ・ パイプカッター
- ・ ばり取りリーマー
- ・ インパクトドライバー
- ・ ボール盤
- ・ 糸鋸盤

3. 2 製作手順

著者らが開発した木製機械式振子時計の製作手順を以下に述べる。(詳細は参考文献²⁾参照) 組み立て、調整以外は製作の順序不同である。

- ① ガンギ車の切り出し、組み立て
- ② 脱進機の切り出しと仕上げ
- ③ 脱進機の調整
- ④ フレーム製作
- ⑤ 振子の製作
- ⑥ 部品の組み立て
- ⑦ 全体の調整

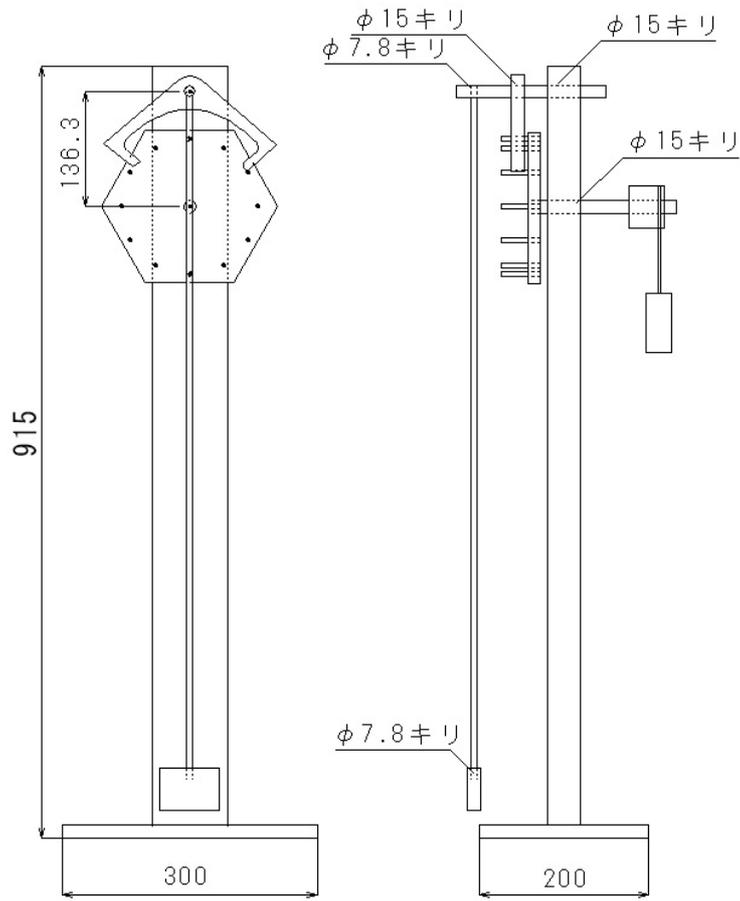
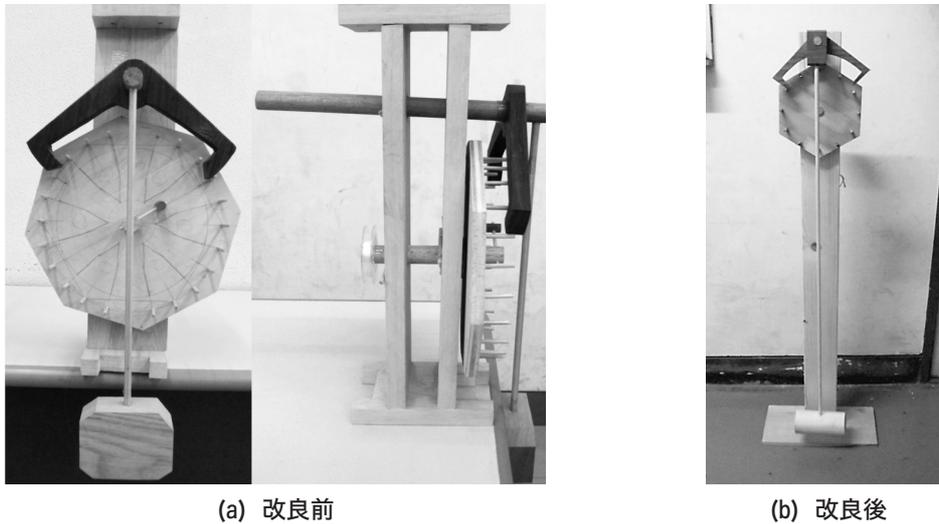


図4 改良型振り時計の組み立て図

3. 3 脱進機の改良

教材用木製機械式振り時計を、より短時間の製作で動作率の高いものにするために改良を行った(図5)。

製作の難易度を考慮して、ガンギ車はピンホイール脱進機、アンクルはグレアム静止型脱進機を参考にした³⁾。



(a) 改良前

(b) 改良後

図5 木製機械式振り時計の改良

(1) 静止と衝撃の分担

改良前の教材用木製機械式振り時計のアンクルは、ガンギ車の歯（ピン）がアンクルの衝撃面上に落下し、静止面と衝撃面が同一面となる退却型脱進機である。退却型脱進機は、脱進機の動作（図4）において、入爪と出爪の補助運動（図4(a)、(c)）が省かれ、振り運動を強制的に停止・運動させ、単振子の周期にあわせるのは困難である。

改良後のグレーム静止型脱進機は、静止面と衝撃面が異なる面で分担し、アンクルに力を与える際に無駄のない構造となっている。静止型脱進機は、入爪と出爪の補助運動（図4(a)、(c)）が行われ、単振子の周期に近い振り運動を行う。また、一つ一つの段階が分かれているため、脱進機の動作原理を容易に理解できる。機械式時計の脱進機では、特に精度が良いといわれている³⁾。

(2) 遊び

中学校技術での教材を想定しているため、製作の際には加工の誤差を考慮しなければならない。遊びが少ないと、製作の誤差により脱進機のかみ合いが発生し、途中で時計が停止する。時計の動作に致命的な加工の誤差が生ずると考えられる箇所は、ガンギ車の真とアンクルの真の軸間距離、ガンギ車のピンの間隔および打ち込み角度、アンクルの静止面および衝撃面の切削である。これらの想定される誤差を許容するため、ドロップ角と補強部に遊びを設ける必要がある。

(3) アンクルの爪とドロップ角

改良前の木製機械式振り時計のアンクルの設計は、グレーム静止型脱進機に因るものではなく、曖昧に作られていたためにうまく動作しないことがあった。それを解消するために、爪の厚みとドロップの大きさを考察し、設計に用いる。

図6の様に、半径 R のガンギ車におけるアンクルの爪の厚み角度 A 、ガンギ車の歯の角度 P 、ドロップ角 D 、歯と歯の間の中心角を T とする。

ここで、ガンギ車の歯1つ分の動作を、ガンギ車の回転を基準に考えると、入爪の衝撃時にアンクルの爪厚 A 、 $P/2$ 、入爪のドロップ角 D 、出爪の衝撃時に A 、 $P/2$ 、出爪のドロップ角 D だけ動き、ガンギ車の歯1つ分動く。したがって、 T は

$$T = A + \frac{P}{2} + D + A + \frac{P}{2} + D \quad (1)$$

となり、 A は

$$A = \frac{1}{2}(T - P) - D \quad (2)$$

で与えられる。上式(2)において、 A は正の値をとるので

$$D < \frac{1}{2}(T - P) \quad (3)$$

また、ドロップ角 D と遊び角 D_p （衝撃面の終端と歯の隙間角）の関係は

$$D = D_p + \frac{1}{2}P \quad (4)$$

となる。

今回、製作した振り時計には、 $T=30^\circ$ 、 $P=4.3^\circ$ 、 $D_p=7.2^\circ$ 、 $D=9.35^\circ$ 、 $A=3.5^\circ$ を用いた。

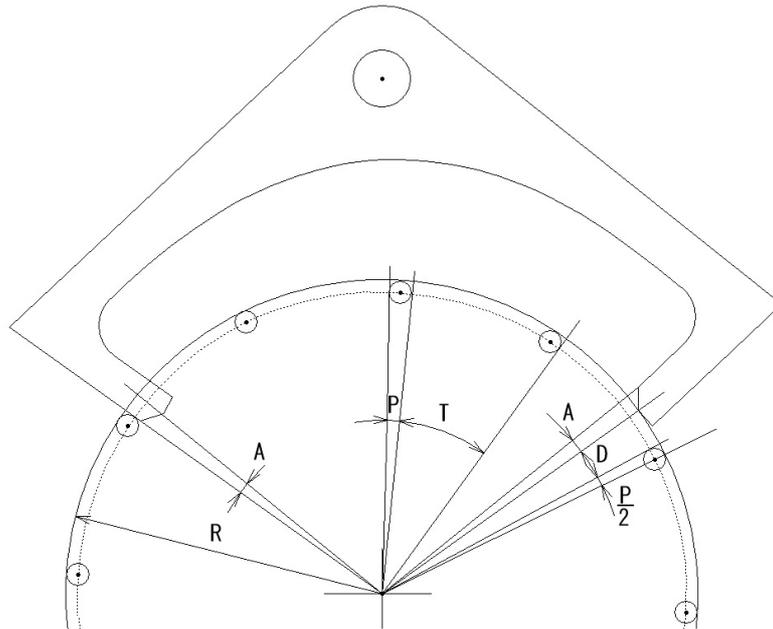


図6 ガンギ車のドロップ角と各中心角

(4) 直線化

グレアム静止型脱進機のアンクルの爪の静止面は、アンクル真の中心軸を中心とする円弧となる。しかし、生徒が糸鋸盤で正確な円弧を切り出すことは困難であるため、静止面を直線とした。

静止面の傾きは、静止角の最大の所でガンギ車の歯に対して直角になるように設定した。これは、脱進機が動作する最小の角度（リフト角）で最も効率をよくするためである。静止面を直線にしたため、糸鋸盤での切り出しが容易になるとともに、切り出し後、やすり等での仕上げ加工も容易になる。

(5) 補強

遊びを多く持つ設計にしたことにより、アンクルの爪の厚みが薄くなる。これは、木製のアンクルでは著しい強度の低下となり、製作中の破損の可能性が高くなる。そこで、アンクルの爪の静止面の反対側に、脱進の動作に干渉しない様に補強部を設けた。

図7の円R上に、衝撃面の端から補強部の角度Fを設けると、衝撃面の終端と歯の隙間角は D_p' となり、次式で与えられる。

$$D_p' = D_p - F \tag{5}$$

ここで、 D_p' は正の値をとるので、補強することのできる厚みFは

$$F < D - \frac{1}{2}P \tag{6}$$

となる。

今回、製作した振り時計には、 $D_p' = 3.5^\circ$ 、 $F=3.7$ を用いた。

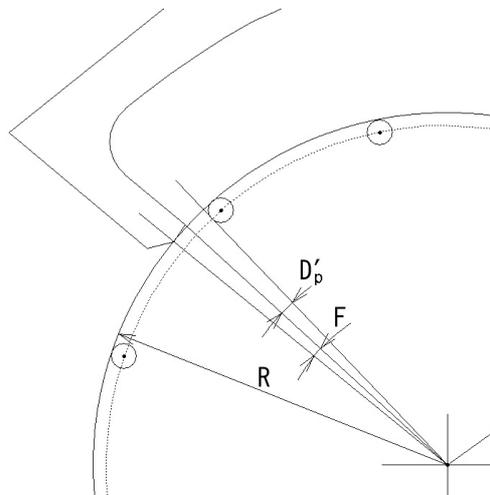


図7 アンクル補強部と中心角

(6) フレームの簡素化

改良前のフレームは、軸受け用の孔があいた2枚の板を、天板と底板ではさむものであった。従って、2枚の板の軸孔間隔が違ると、アンクル真の軸とガンギ車の真の軸が捻れ、脱進機が動作しない失敗があった。これを改善するために、フレームを改良する。

フレームの製作時間の削減と、軸受けの孔の捻れによる失敗、またコストの削減のために、フレームにはパイン系2×4材を用いた。2×4材は、安価で比較的長い材料が手に入るためおもり動力の落下距離を多くとることができる。また、厚みが38mmあり、孔を空けるだけで真を保持でき、ボール盤を使用することによって他の孔同士が捻れることがないからである。ただし、孔の円筒面の仕上がりが粗いと摩擦力による抵抗が大きくなってしまうため、孔空けに使用するビットは木工用の、よく目立てたものもしくは新品のものを使用してきれいに仕上げる。

4. 中学校技術科教諭を対象とした教材用木製機械式時計製作の実践

本教材を中学校技術における「材料と加工に関する技術」および「エネルギー変換に関する技術」の内容の教材として使用する可能性を探るために、中学校技術科教諭対象の理数系教員指導力向上研修事業にて教材用木製機械式振り時計の製作を行い、教員から教材としての可能性を調べるアンケートを取った。教員の作品やアンケートから、完成品の動作率、中学生に対する難易度などについて考察・検討する。

4.1 概要

理数系教員指導力向上研修事業にて、中学校技術科教諭11名を対象に実践を行った。

日時：2009年8月13日14時30分～16時（1.5時間）

場所：静岡県函南町立函南中学校技術室

時間の都合上部品はあらかじめ製作しておき、対象者は組み立てと調節を行った。なお、フレームに関しては箱型の改良前のフレームを用いた。



図8 製作の様子

4. 2 製作内容

- ・ アンクルと振子の接合
- ・ アンクル真の研磨
- ・ ガンギ車と糸巻きの接合
- ・ ガンギ車真の研磨
- ・ 組み立て
- ・ 静止面と衝撃面の研磨

4. 3 アンケート結果

教材用木製機械式振り時計に対する、教員の興味や関心、作業の困難さ、創意工夫、材料と加工の内容とエネルギー変換の内容の学習についてのアンケート調査結果を表1に示す。

肯定的な回答が多いのは「① 本教材を授業に取り入れてみたいか」「③ 本教材を基本に、教員が発展させた授業を行うことができそうか」「⑤ 材料と加工領域の学習を行うことが出来るか」「⑥ エネルギー変換領域の学習を行うことが出来るか」の項目であり、逆に否定的な回答が多かったのは「② 製作難易度はどうか」という項目であった。項目②についての否定的な記述をみると、「軸のあわせ方や調整は、子どもはかなりむずかしいと思う」や「穴あけの精度や滑らかさが要求されるので、そこがむずかしい」などの、軸受けの孔の滑らかさや精度といった加工技術に関する不安が最も多かった。また、項目⑥について、「位置エネルギーの変換で考えられる」や「位置エネルギー→運動エネルギー」など、動力の伝達、エネルギー変換の記述が目立った。

表1 アンケート結果

(単位：人)

項目	否定的 ← → 肯定的				
	0	1	4	5	1
① 本教材を授業に取り入れてみたいか	0	1	4	5	1
② 製作難易度はどうか	3	5	3	0	0
③ 本教材を基本に、教員が発展させた授業を行うことができそうか	0	2	3	6	0
④ 生徒が創意工夫する余地がありそうか	1	2	5	2	1
⑤ 材料と加工領域の学習を行うことが出来るか	0	1	2	7	0
⑥ エネルギー変換領域の学習を行うことが出来るか	0	3	1	7	0

4. 4 実践の考察

アンケートの結果と、製作の様子を参考に、実践に対して以下のような考察を行った。

- ・ 時間内に調節まで完了した参加者の時計は、全て稼動した。そのため本教材の完成品の動作率は大幅に改善されたといえる。
- ・ アンクルの静止面と衝撃面を分離したため、調整の際、補助運動と衝撃のどこを調整すれば、改善されるのかが明瞭となった。
- ・ アンケートの項目②で否定的な回答が多かったのは、今回用いたフレームに箱型のものを使用したために軸受けの孔に捻れが生じており、捻れの修正にかなりの時間を要していたためである。この問題は、改良型のフレームを用いることにより改善されるといえる。
- ・ 項目①、③の結果から、技術科教員の本教材に関する興味・関心は、高いものであるといえる。
- ・ エネルギー変換領域の学習ができると判断した教員は60%以上であり、力学的エネルギーにおける位置エネルギーと運動エネルギーの変化、摩擦により熱エネルギーへの変化など、エネルギー変換領域の教材としての利用も考えていることがわかる。

5. 結言

中学校技術分野において、「材料と加工に関する技術」と「エネルギー変換に関する技術」の内容の複合教材として木製機械式振り時計の改良を行った。また、中学校技術教員を対象に実践を行い、教材としての有効性を示した。

中学校技術での「材料と加工に関する技術」と「エネルギー変換に関する技術」の内容の複合教材として提示した。

脱進機を、ピンホイール脱進機とグレアム静止型脱進機を参考に静止面と衝撃面を分離したことにより、時計の動作原理が理解しやすくなり、製作段階での調整が簡単になった。

遊びを多く取り、加工の誤差を許容する設計としたため、生徒の加工の誤差による製作の失敗を軽減することが可能である。また、直線を多く用いた設計としたため、加工を容易にした。

アンクルの爪を補強したことで、強度が増したが、材料や、材料の木目方向などを検討することにより、より強度が高く、摩擦の少ないアンクルに改良することが可能である。

実践を通じて、製作が完了した参加者全員の時計が稼動したため、改良による完成品の動作率の向上が認められた。また、アンケートの結果から、本教材は「材料と加工に関する技術」と「エネルギー変換に関する技術」の内容の複合教材としての利用を考えていることがわかった。

最後に、本研究は科学研究費補助金（21500869）の助成を受けたものである。

参考文献

- 1) 文部科学省：中学校学習指導要領 解説 技術・家庭編（2008）
- 2) 川島崇、今山延洋：エネルギー教育教材としての機械式時計教材の開発、第25回日本産業技術教育学会東海支部大会講演論文集、pp. 42-45（2007）
- 3) 小林敏夫：基礎時計読本、株式会社グノモン社、pp. 98-107（1967）