

金属製機械式振子時計教材の開発

メタデータ	言語: ja 出版者: 静岡大学教育学部 公開日: 2013-04-16 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 松永, 泰弘, 三上, 拓磨 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10297/7199

金属製機械式振子時計教材の開発

技術教育講座 松永泰弘 三上拓磨

1. はじめに

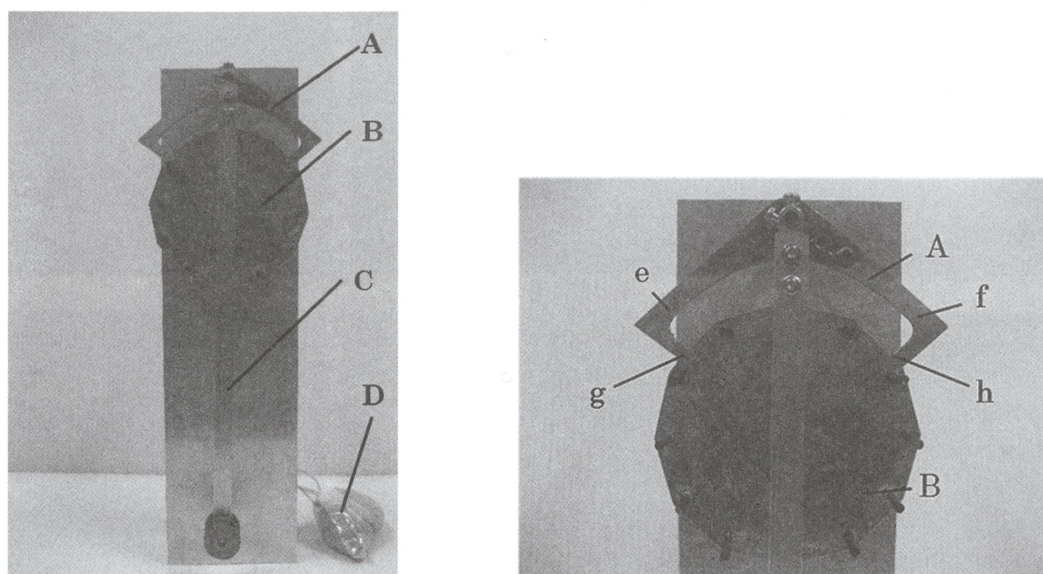
「中学校学習指導要領 技術・家庭科」¹⁾の技術分野では、必修が「A 技術とものづくり」と「B 情報とコンピュータ」の2領域から「A 材料と加工に関する技術」、「B エネルギー変換に関する技術」、「C 生物育成に関する技術」、「D 情報に関する技術」の新しい4領域に変更された。そのため、限られた時間の中で多くのことを学ぶことが求められている。

さらに、「第3期科学技術基本計画」²⁾において、ものづくりを担う人材を養成・確保するために、幼い頃からものづくりの面白さに馴染み、創造的な教育を行い、こども自らが知的好奇心や探究心を持って、科学技術に親しみ、目的意識を持ちながらものづくり、観察、実験、体験学習を行うことにより、ものづくりの能力、科学的に調べる能力、科学的なものの見方や考え方、科学技術の基本原則を体得できるようにすることが強調されている。

木製機械式振子時計教材は、技術教育にとどまらず、理科の振子の運動や運動の規則性、力学的エネルギーの分野まで、教科を越えて総合的に学ぶことができるエネルギー変換教材として開発されてきた。しかし、材料がすべて木材で構成されているため軸受部やアンクルとピンの摩擦が大きな影響を及ぼし、稼働しないなどの問題点があった。また、強度の面で大きさに制約を生じ、家庭に持ち帰っても大きすぎて置き場所がないなどの意見もあった。

本研究では、摺動部に金属を用いた機械式振子時計教材の開発を行う。材料を金属に置き換えることにより、摩擦の軽減と小型化を実現させる。また、生徒が振子の等時性の実験を行い、科学的データを共有し、自分の周期設定で時計を設計・製作する「材料と加工」「エネルギー変換」教材として授業計画とともに提示する。さらに、時計は少ない動力で稼働するため動力の有効利用が可能となり、オートマタを組み込んだ時計教材を開発し、教材としての発展性、とくに子どもたちの追求・試行錯誤の可能性を大きく広げた。

学生にとっては、これまで開発してきた教材を改良し、これを用いた自ら授業を行い、問題点を検討することで、教材開発能力、教育力、解析力の育成につながる。



A) アンクル B) ガンギ車 e) 入爪 f) 出爪
C) 振子(調速機) D) おもり(動力装置) g) 静止面 h) 衝撃面

図1 金属製機械式時計の基本構造

2. 機械式振り時計

2-1 金属製機械式振り時計の構造

時計は動力装置、伝達装置（輪列）、脱進機、调速機、指示装置、ゼンマイ巻および針回装置、付随装置の 7 つの要素から成っている。この教材は、時を刻むのに必要な、動力装置、脱進機と调速機の 3 要素を取り出したものである。時計はおもりの位置エネルギーを用い、振子で時を刻み、脱進小刻みにエネルギーを利用することで振子が揺れ続ける。

図 1 に金属製機械式振り時計の構造、また、表 1、2 に材料および工作機械・道具を示す。主な使用材料として、アンクルとガンギ車で構成される脱進機にはアルミ材を使用し、軸受部には真鍮パイプを使用している。使用工具ではガンギ車の真をネジ加工する際にネジ切りダイスを使用する。

表 1 材料

名称	用途	寸法[mm]	個数
コの字型アルミチャンネル	フレーム	T4 × 40 × 80 × 300	1
アルミ板	ガンギ車	T2 × 100 × 100	1
アルミ板	アンクル	T2 × 60 × 110	1
アルミ丸棒	アンクル真、ガンギ車真	φ 30 × 60	2
アルミ丸棒	ピン	φ 30 × 20	12
アルミフラットバー	振竿	T2 × 10 × 270	1
ヒノキ丸棒	糸巻き	φ 20 × 20	1
真鍮パイプ	糸巻き	6 × 1.5 × 20	1
真鍮パイプ	軸受	6 × 1.5 × 30	2
真鍮	振玉	φ 20 × 5	3
真鍮	錘	φ 20 × 5	3

表 2 工作機械・道具

バンドソー、ボール盤、ネジ切りダイス、ドライバー、ペンチ、瞬間接着剤
紙やすり、糸のこ、弓のこ、のり

2-2 製作工程

中学生に製作実習を行う場合、特に注意すべき点は作業工程「アンクルとガンギ車の切り出し」である。その中でもアンクルの衝撃面や静止面は図面通りに正しくけがき、丁寧に切り出し作業を行わなければならない。アンクルとピンとの接点やピンがアンクルを押しだす際に接する衝撃面、アンクルが往復運動をする際に滑る静止面の摩擦が大きいと稼働に影響を及ぼす。

製作工程を以下に示す。また、組み立てと調整以外は順不同で行う。

- ① アンクルとガンギ車は、厚さ 2mm のアルミ板を使用し、図面（図 2）通りにけがき針でけがいた後、ボール盤による穴あけ、糸のこ盤と弓のこで切り出し、金工やすりでやすりがけを行う。
- ② 振子は幅 10mm のアルミフラットバーを周期にあわせて長さを設定し、弓のこで切り出す。
- ③ フレームはコの字アルミチャンネルを使用し、弓のこで 300mm 切り出す。
- ④ アンクルとガンギ車の真に 3mm のみがき棒を使用し、弓のこで切り出す。
- ⑤ ピンに 3mm のみがき棒を使用し、弓のこで 2mm の長さに 12 個切り出す。
- ⑥ 軸受に真鍮パイプを使用し、旋盤による面取り加工を行うことで摩擦の低減をはかる。
- ⑦ 部品の組み立て。

- ⑧ 全体の調整。
- ⑨ 完成 (図1)

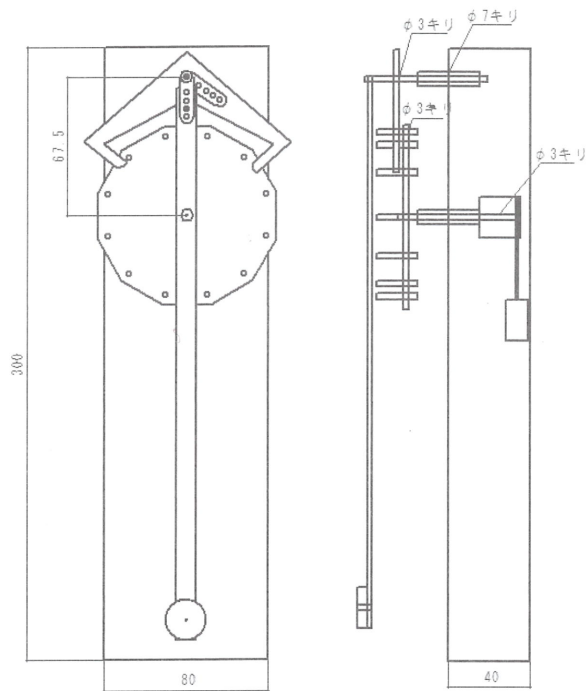
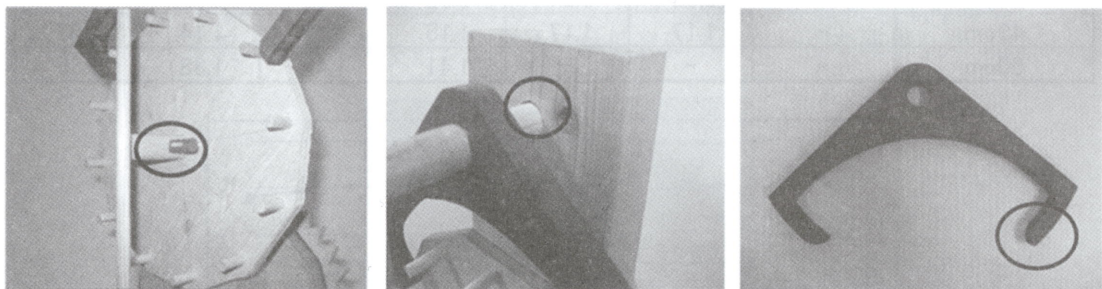


図2 機械式振り時計の組み立て図 (JW-CAD 図面)

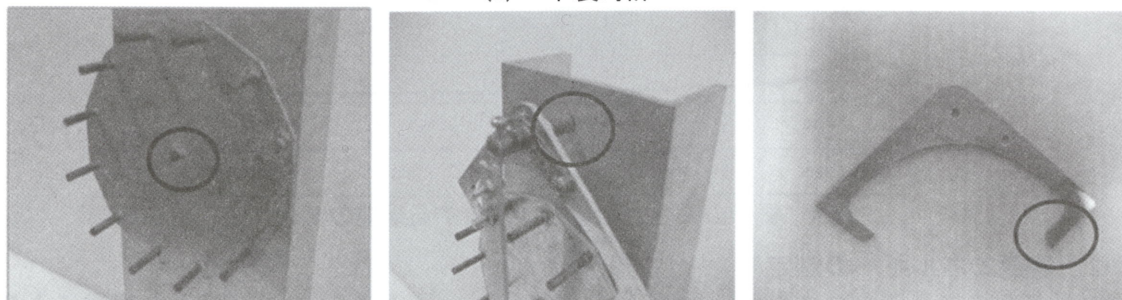
2-3 改良点

木製機械式振り時計の問題点として、材料間の摩擦と木材の強度による大きさの制約があげられていたが、金属を用いることによりこれらの問題を改善した。

改良点を以下に示す (図3)。



(a) 木製時計



(b) 金属製時計

図3 ガンギ車・アンクル軸受部・アンクルの比較

① ガンギ車およびアンクルの真と軸受の改良

真と軸受にみがき棒と真鍮パイプを用いた。ガンギ車の固定には、みがき棒をネジ切りし、ダブルナットで固定する。また、アンクルの固定には田宮模型のクランクアームを用い、脱進機構の微調節が可能な取り付けとした。木材と比較し、摺動部の摩擦を低減でき、真の径と軸受孔径の寸法差によるガタツキもなくなる。また、木材を組み合わせるよりも製作の簡略化が可能となる。

② アンクルの改良。

木材には繊維方向により強度に差があるため、板を厚くし、爪の部分に補強部を設ける必要があり、大きさに制限があった。金属を用いることで小型化が可能となった。今回製作した金属製時計は木製時計を 1/2 のスケールで設計した。

3. 稼働実験

製作した金属機械式振子時計に対して、振子玉の質量は 60g で固定し、動力部の錘 5g～100g、振子の長さ $L=25, 40, 60\text{cm}$ と変化させて周期を測定し、周期におよぼす振子の長さの影響を調べる。

3-1 周期の測定

振子の周期 T は

$$T_{th} = 2\pi\sqrt{L/g} \tag{1}$$

で与えられる。ここで、 L は振子の長さ、 g は重力加速度である。ただし、ここでは振子の軸にかかる摩擦抵抗、アンクルから与えられる力は考慮されていない。

測定結果および計算結果を表 3、図 4 に示す。設定した全ての振子長に対して、錘が 50g 以上で稼働した。周期は理論値よりも小さな値となったが、10%程度の誤差で設計できることがわかる。また、動力部のおもりが重くなるほど周期が短くなることがわかった。

設計した周期により正確に合わせるためには、振子長を調節できる機構が必要となる。

表 3 振子の長さ と 錘の質量 に対する 振子周期

単位 [s]

振子の長さ	錘の質量						$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$
	5g-15g	20g	25g	50g	75g	100g	
25cm	-	0.96	0.94	0.92	0.92	0.92	1.00
40cm	-	1.17	1.17	1.15	1.13	1.14	1.27
60cm	-	-	-	1.41	1.42	1.38	1.55

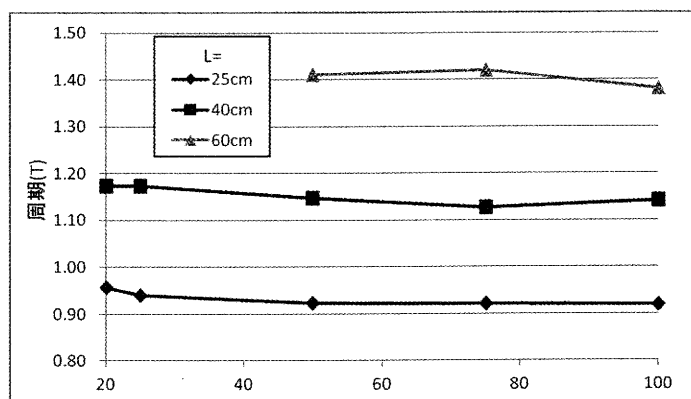


図 4 振子の長さ と 錘の質量 に対する 周期の変化

3-2 消費エネルギーの測定

一秒刻むのに必要なエネルギーを時計の消費エネルギー $E[\text{J/s}]$ として定義し、実験により求める。金属製機械式振子時計と木製機械式振子時計の振子の長さを $L=40\text{cm}$ とし、金属製

機械式振り時計の錘を 20g、木製機械式振り時計の錘を 50g とした。動力の錘は時計が正確に稼働する最小の錘を用いた。

消費エネルギー E は

$$E = \frac{mgh}{t} \quad (2)$$

で与えられる。ここで、 m は錘の質量、 h は錘の移動距離、 t は時間である。

測定結果を表 4 に示す。金属製機械式振り時計の消費エネルギーは、木製機械式振り時計の消費エネルギーの約 3 分の 1 倍ということがわかる。金属を用いることにより、エネルギー効率を上げ、教材自体の小型化を可能にすることが可能となる。

表 4 木製時計と金属製時計の消費エネルギー $E[J/s]$ の比較

振子の長さ	錘の質量	
	金属製時計	木製時計
	29.3g	50.0g
40cm	0.0115	0.0316

4. 免許更新における製作実践

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」内容の教材としての可能性を探るために、2011 年度秋季免許更新において小・中学校教員を対象に金属製機械式振り時計（改良型）の製作を行い、アンケート調査を行った。アンケート結果から、製作の難易度、発展性があるか、科学的追求ができるか、実際に授業で使える教材であるかなどについて考察・検討する。

【概要】

日時：11 月 5 日（土）午前 9 時～12 時

場所：静岡大学

対象：小・中学校教員 11 名

内容：金属製機械式振り時計（改良型）の製作、アンケート収集

製作した金属製機械式振り時計（改良型）は、中学校の設備や材料費を考慮して、フレームにはツーバイフォーを使用し、アンクルには低発砲スチロールを使用した（図 5）。

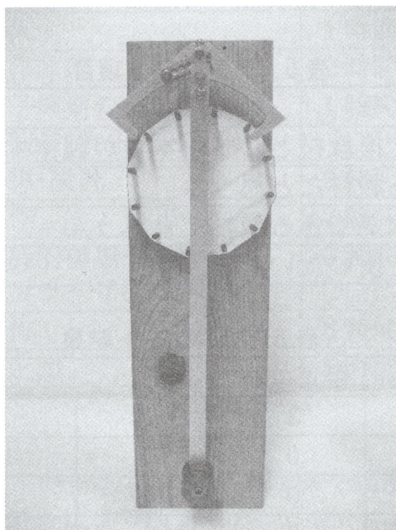


図 5 改良型金属製機械式振り時計

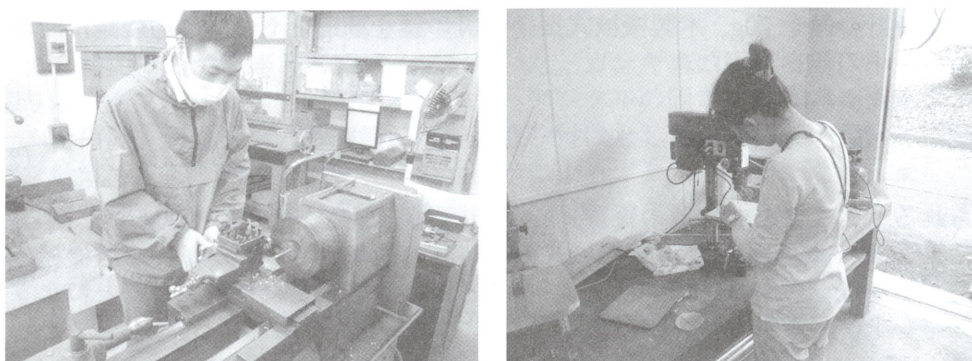


図6 実践の様子

【アンケート】

アンケートは、質問項目に対し「否定的」「やや否定的」「やや肯定的」「肯定的」の4択と、その理由の記述とした。質問項目を表5に、結果を表6に示す。

否定的な回答が多かったのは「① エネルギー変換教材として中学生が製作する場合の難易度」という項目であった。項目①についての記述をみると、「真鍮の扱いがむずかしそう」「技術が好き・得意な生徒はいいが、それ以外の生徒が作る部品が難しいか多いと感じるかもしれない」「設備のある環境なら可能だと思う」など、普段扱いなれていない金属材料に対しての不安や、一部の生徒・環境なら可能という記述があった。肯定的な回答が多かったのは「② 発展性があるか」「③ 科学的追求ができるか」の項目であった。項目「② 発展性があるか」の記述を見てみると「木材や金属など扱える素材の幅が広がっていく」「からくりを加えるなど、改良の余地がある」など、金属や木材など多くの材料と触れることで、その材料の性質や加工法について体験できることやカラクリを加えるなど時計教材の可能性を示す記述があげられた。また、項目「③ 科学的追求ができるか」の記述を見てみると「理科で習った『振子の等時性』を活かせる」「理科の実験だけではエネルギー変換の理解が身につけにくいのでとてもいいと思う」など、理科の内容を体験的に理解できる教材であることが明らかになった。

金属や木材など多くの材料と触れ、その材料の性質や加工法について体験的に学習することで「材料と加工に関する技術」内容を充実させることができたといえる。また、カラクリを加えることや振子の等時性を活かした設計をするなど、子どもたちの創意工夫や追求する場面が想像でき、時計教材の発展性・可能性が明らかになった。

表5 アンケート項目

項目
① エネルギー変換教材として中学生が製作する場合の難易度
② 発展性のある教材だと思うか
③ 科学的な追求ができる教材だと思うか
④ 実際に授業で使いたいと思うか

表6 アンケート結果 (単位：人)

質問項目	否定的←		→肯定的	
① 難易度	3	7	1	0
② 発展性	0	0	5	6
③ 科学的追求	0	0	4	7
④ 授業での使用	0	2	5	2

5. 発展的時計教材の追求と授業計画の提案

機械式振り時計にゼンマイやベルなどを取りつけ、より身近な時計に近づけていき、生徒が創意工夫できる教材を目指す。本研究では一例として、動力部分の回転運動を利用したオートマタを組み込んだものを製作し、創意工夫という点で発展性があることを明らかにした。

機械式振り時計の材料を木材から金属に置き換えることにより、摩擦の軽減と小型化を実現し、少ない動力で稼働するため動力の有効利用が可能となった。本教材にオートマタを組み込んだ時計を開発し、教材としての発展性、とくに子どもたちの追求・試行錯誤の可能性を大きく広げた（図7）。

オートマタを組み込んだ時計を提示することで、生徒自身が設計し、追求できる要素が大幅に広がったことを明らかにすることができた。生徒の工夫次第で「時を刻むだけ」ではない、時計教材の新しい側面を見い出すことができる。

オートマタを製作する際に用いる材料を金属や木材だけを使用するのではなく、粘土などを使用することにより、生徒の興味をさらに掻き立てることができ、創意工夫に繋がると考える。

中学技術の授業における、本教材の使用法や有意性を具体的にするために、授業計画を立てる。本授業計画は全25時間で構成することを提案する（表6）。

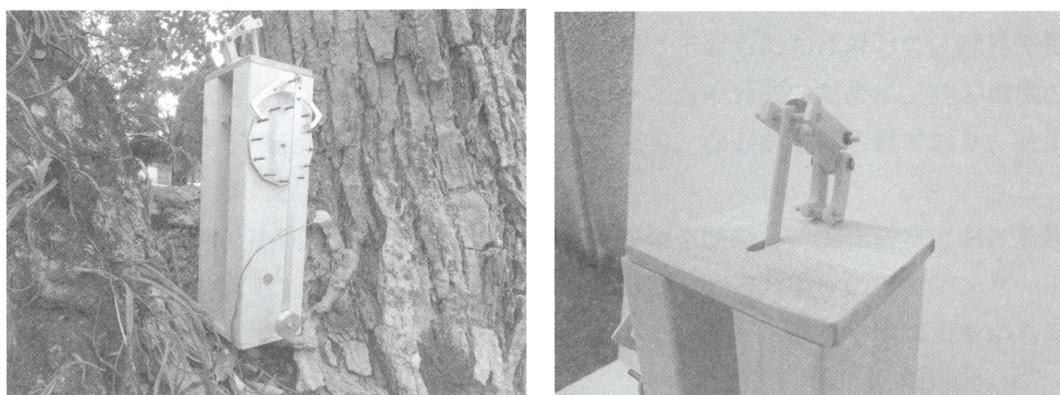


図7 オートマタを組み込んだ時計教材

表7 全25時間で構成される授業計画

導入	1時間
動作原理	2時間
振り周期の追求 (振り長・質量・振幅)	1時間
構想・設計	2時間
製作	7時間
発展的構想・設計 (カラクリを組み込む)	3時間
製作	8時間
まとめ	1時間

6. おわりに

本研究では、木製機械式振り時計教材における摩擦や強度による教材の大きさの制約などの問題点を、金属を用いることにより改善した。

振子の長さ、動力の錘の質量を変化させ、稼働条件および周期の変動を調べた。生徒が振子の等時性により周期を調べ、自分自身で時計を設計できると考える。

「振り子の等時性」や「位置エネルギー」など、理科の学習内容が含まれ、実験による追求から科学的データを求め、設計に活かせる教材であると考え。また、オートマタを組み込むことによって、生徒の追求・試行錯誤という点で、教材としての可能性を大きく広げることができた。

本研究の一部は平成23年度科学研究費補助金（課題番号：21500869）の援助による。

参考文献

- 1) 文部科学省：中学校学習指導要領 技術家庭
- 2) 文部科学省：中学校学習指導要領 理科
- 3) 大脇一宏、竹内太一、松永泰弘：中学校技術における木製機械式振り子時計教材の授業実践、第28回日本産業技術教育学会東海支部大会講演論文集、pp. 47-50 (2010)
- 4) 竹内太一、大脇一宏、松永泰弘：木製機械式振り子時計教材におけるエネルギー効率を考慮した最適稼働条件の検討、第28回日本産業技術教育学会東海支部大会講演論文集、pp. 51-54 (2010)