

公 益 財 団 法 人

# 下中記念財団

The Shimonaka Memorial Foundation

---

## 下中科学研究助成金取得者研究発表

---

研究発表一覧は下記からご覧いただけます。

<https://www.shimonaka.or.jp/3s-grant-contest/>

# 教材用受動歩行模型を用いた設計学習の教育方法

滋賀県立瀬田工業高等学校

山田 哲也

## 1. はじめに

技術・工業教育は、技術立国である我が国の基盤を支えることにつながり、それは将来の国力にも影響を及ぼすことであるとも言える。現在この技術教育を普通教育の1教科として扱っているのは、中学校の技術・家庭科の中の技術分野のみであるが、子どもの健全な発達や、生活に必要最低限な技術的素養を身につけるという視点、そして将来の国力という視点から、新しいものづくり教育を初等教育の中から探り、初等・中等教育へと一貫した流れの中に位置づけることは、重要であると考えられる。

工業教育は、中学校技術教育と全く異なる教育内容・教育方法を採用といっても過言ではない。中等教育後期における工業教育は高度経済成長期には、その社会を支える大量の中堅技術者・技能者を養成するという大きな社会的役割を担った。大量の中堅技術者・技能者を養成するには、このうち要素作業を実験・学習の基本的位置付けとした。こうして高等学校3年間という短期間の間に多くの技能や知識を習得させた。その教授法は要素作業に特化した知識・技術伝達の方法が効率的であった。現在も基本的にはそれを踏襲しているが、産業構造の変革に追いついていない危惧もある。産業社会からは創造力などの不足が指摘されるようになり、工業教育の課題は山積している。

## 2. 研究の目的

ものづくりを学ぶには、構想、設計、製

作、評価、発表といったデザイン・プロセスが大切である。現在のものづくりに関する教育は、自然科学の理論を学ぶことを目的としたり、ものづくりの楽しさや達成感を持たせるものが多いが、デザイン・プロセスそのものを学ばせようとする教材は少ない。特に構想から設計にいたる過程はものづくりの基本であり、初等教育から中等教育にわたり身につけるべき技術リテラシーであると考えられる。

現状の工業科では、高度経済成長期に多くの中堅技術者・技能者を養成する必要から、要素作業を中心とする教育プログラム、すなわち技能に関する訓練的教育が中心となってきた。

しかしながら、今日の産業社会が求めるニーズは多様化し、要素作業による知識や技能だけではなく、問題解決的な能力や創造力、あるいは思考力、判断力が求められるようになった<sup>1)</sup>。そうした中で、設計教育をものをつくる中で行い、構想から設計の能力を高める教材の必要性が技術教育・工業教育分野では求められている。デザイン（構想・設計）する能力をつける教材を用い、実際に教育実践した中で、その教育効果を示すことが本研究の目的である。

## 3. 教材用受動歩行模型

### 3.1 調整可能な歩行模型

既報<sup>2)</sup>で開発した2足歩行模型は、授業実践での使用を目的としたものである。小学校の児童でも製作が容易な反面、脚単体の重心位置・腕先端の質量・脚の円弧半

径を簡単に変更できる構造とはなっていない。そこで、脚単体の重心位置・腕先端の質量・脚の円弧半径の構造パラメータを容易に変更可能なものにした。また軸受けが紙の穴であったため歩行が不安定であったが、プラスチック製の軸受けに変更し、安定して歩行できるような模型を開発した。

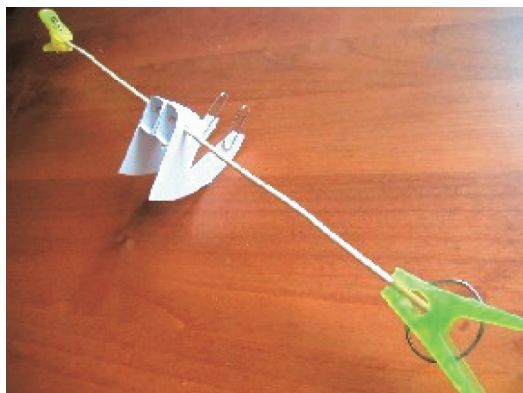


図1 模型完成イメージ

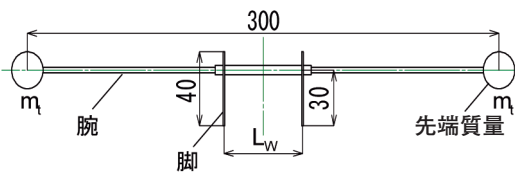


図2 正面図

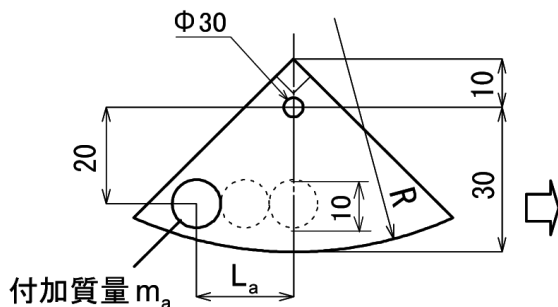


図3 脚の形状

図1に模型完成イメージを示す。また、図2に正面図、図3に側面から眺めた脚の

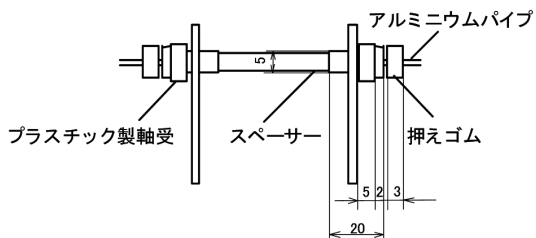


図4 脚部の詳細図

形状、図4に脚部の詳細図を示す。脚は腕のまわりを前後方向に自由に回転できる構造となっており、脚に付加質量(粘土)を取り付けることで脚単体の重心位置を容易に変更できる。腕にはアルミニウム製のパイプ(Φ3mm)を使用し、脚の材質としては厚紙を用いた。また、脚の回転を滑らかにするために、プラスチック製の軸受(外形Φ5mm、内径Φ3mm)を用いた。さらに、図4のスペーサー(材質はプラスチックパイプ)の長さを調整することで、脚の間隔を変更可能とした。腕先端には任意の重さの粘土を取り付けることで、腕先端の質量の大きさを調整可能にした。これらによって、模型全体の慣性モーメント、脚単体の重心位置および両脚の間隔が自由に変更できる模型となった。

### 3.2 構造パラメータ

歩行原理は既報<sup>2)</sup>で説明しているので、ここでは概要を述べる。模型を斜面に置いて片側の腕を押し下げて離すと、図5のように左右の脚が交互に上がるロッキング運動が起きる。これにより接地する脚(支持脚)が左右入れ替わる。浮いている脚(遊脚)は、図6のように支点(腕)まわりに回転(進行方向に)し、ロッキング運動に合わせて接地する。そのとき、支持脚の接地点より模型全体の重心位置が前方にあるため、全体が前へころがる。しかし、

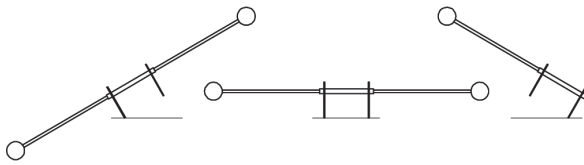


図5 ロッキング運動

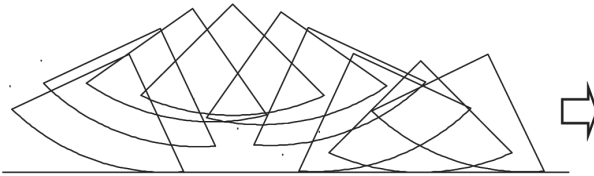


図6 片脚の動き

ロッキング運動により支持脚が入れ替わるので転倒しない。これらの運動が繰り返されることで歩行しながら斜面を下る。

本報告の提案では、児童・生徒に速く歩く模型、あるいはゆっくり歩く模型への調整方法を考えさせる。その過程を通じて重心位置と慣性モーメントの意味を考えさせる。今回扱っている条件は①腕の重さ、②脚部の重さと位置、③傾斜板の角度、④脚部形状と間隔の4つの条件である。しかしながら、教育用に用いるためには、模型の構造を変更する箇所が、生徒が容易に変更可能で、さらに重心位置や慣性モーメントに直接関係する必要がある。そこで、以下の2つの構造パラメータを取り上げた。

1) 脚の付加質量位置  $L_a$

脚の振り子運動に影響を及ぼす。

脚単体の重心位置と慣性モーメントが変化するが、特に遊脚となったときの脚の振れ幅（振れ角度）が大きく変化する。

2) 腕先端の質量  $m_t$

左右のロッキング運動に影響を及ぼす。全体質量、正面から見たときの模型全体の慣性モーメントが変化する。

慣性モーメントは剛体を構成する各微小部分の質量とその質量と回転中心からの距離の2乗との積を全体にわたって積分したものである。慣性モーメントだけを変更する構造パラメータとしては腕の長さが適しているが、ロッキング運動において腕を長くした場合、腕先端が斜面に接触する問題があり、採用しなかった。

歩行特性には①～④で示したとおり、上記以外に、脚底辺の円弧半径、両脚の間隔などの構造パラメータ、さらに斜面の傾斜角度、脚と斜面との摩擦係数など、構造パラメータ以外の要因も影響を及ぼす。本報では、脚の付加質量位置と腕先端の質量を変更したときに、歩行可能あるいは歩行の再現性のよい構造を決めるために、以下のパラメータの適正值を実験により検討し、他のパラメータは実験により教育に適切なものを利用することを旨とする。

3) 斜面の傾斜角度  $\theta$

脚の振り子運動、前後のころがり運動など、すべての運動に影響を及ぼす。

4) 脚底辺の円弧半径  $R$

前後のころがり運動に影響を及ぼす。脚の形状を変えることで調整可能である。

5) 両脚の間隔  $L_w$

左右のロッキング運動に影響を及ぼす。スペーサーの長さを変えることで調整可能である<sup>3)</sup>。

### 3.3 運動解析

2足歩行模型を正面から見た2次元の運動を示す。図7に示すように、2足歩行模型を胴体と仮定し、2次元で左右の振動運動を繰り返すものとして解析する。ただし、回転運動の支点となる脚が時間により左右に入れ替わることを考慮しなければなら

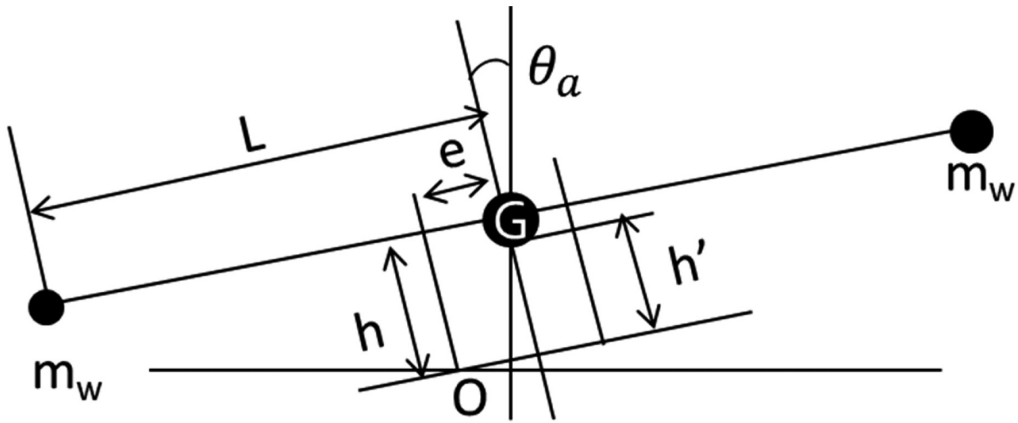


図7 2足歩行模型モデル

いため、初期角度から両脚が接地するまでの時間  $t$  を 1/4 周期として取り扱う。脚の入れ替わりによるエネルギーロスがないと仮定すると、周期は  $T_a = 4t$  で与えられる。角速度と慣性モーメントの関係を以下に示す。

$$\omega_a = \sqrt{\frac{Mgh'}{I_a}} \dots (1)$$

両脚が接地する時間  $t$  は

$$t = \frac{1}{\omega_a} \ln \left[ -\frac{e}{ch'} + \sqrt{\left(\frac{e}{ch'}\right)^2 - 1} \right] \dots (2)$$

したがって、周期  $T_a$  は式(1)と式(2)より

$$T_a = \frac{I_a}{Mgh'} \ln \left[ \frac{e}{e-h'\theta_0} - \sqrt{\left(\frac{e}{e-h'\theta_0}\right)^2 - 1} \right] \cdot (3)$$

となる。

腕先端の質量  $m_w$  の増加にともない、周期  $T_a$  は長くなり、ある値に収束することがわかる。これは、質量の増加により慣性モーメント  $I_a$  が増加し、周期が長くなるためである。本研究では (3) の式を用いる。腕先端のおもり  $m_w$  を大きくしたり、腕の長さ  $L$  を大きくしたりすると、周期  $T$  も大きくなり、比例することがわかる 4) 5)。

#### 4. 研究の方法

これまでの研究成果により、3章で示した受動歩行模型の設計仕様を与える教育方法を取り、授業実践を行った。授業実践は著者が高等学校を退任したため、高校生に近い大学生を対象として、質問紙により調査を行った。分析は自由記述の考察を対象に特徴的な記述を抽出し、質的に分析した。

#### 5. 授業実践

上越教育大学の学部1年生13名を対象に体験学習におけるものづくり体験で2足歩行模型を用いた授業実践を行った。90分×4コマの授業では、製作、試走・調整、各パラメータを変えて歩行実験を行った。第1回目の授業では、2足歩行模型の製作と、歩行原理の学習、調整を主な内容とし、第2回目の授業では製作した2足歩行模型を用いて、慣性モーメントと重心の位置が2足歩行模型に及ぼす影響について、観察や実験をしながら学習した。授業の始めと終わりにアンケートと記述式の感想を求め、学生の力学的知識等の変化を記録した。

4コマのカリキュラムをもとに授業を行った。以下に当日の学生の様子を示す。

はじめに、授業の概要と本日の活動の流れが記載されている資料を配布し、説明し

た。4コマのカリキュラムの流れは、大きく分けて「2足歩行模型の製作」と「実験」である。実験で良いデータを得るためには、良い2足歩行模型が必要である。良い2足歩行模型とは、指定した手順通りに製作し、丁寧に正確に作成したものである。2足歩行模型の製作で終わるのではなく、後で実験があることを伝えることによって、製作に対する意識を高く持つことができると考える。本日の活動の流れについては、まず2足歩行模型の概要について学び、実際に製作することや、製作した2足歩行模型を用いて、歩行原理について学び、次回実験に使うことができるように、まっすぐ歩行できるように調整することについて説明した。見通しをもって授業に取り組むことができた。

次に、今回の授業に興味・関心を持つことができるよう動画を見せた。「①重力だけで歩ける受動歩行ロボット」では、学生から「モーターを使わずに動くことができるなんてすごいなあ」と言った声が聞こえた。モーター等を使わずに動くロボットを初めて見た人が多く、最先端の技術について知ることができた。「②おもちゃの象さん」や「③とことこレース」では①に比べて簡単な部品から構成されており、受動歩行とはどういうものなのかイメージできた。配布資料だけではなく、動画を用いたことによって、受動歩行とはどのようなものなのかをわかりやすく知ることができたように思う。また、これから製作する2足歩行模型の動画を見せたことにより、具体的なイメージを持つことができた<sup>4)</sup>。

与える設計仕様は、次の通りである。「安定に歩くように、坂の角度や腕先端の錘の重さ、重心の位置、両脚の間の距離などのパラメータを調整する。」

## 6. 結果

授業の様子を観察したところ、学生の取り組み状況は極めて能動的で、自ら進んで様々なパラメータの変更を試し、実験を行っていた。パラメータは自由に変更できるように、錘としてクリップを用意したり、坂の角度の変更、模型形状の変更ができるように、はさみや代えの厚紙などを多く用意して、自由に使えるようにしてあったことも学生の自由な実験を促進した要因である。

作業にあたっては、特にグループ学習を意識したわけではなかったが、複数の学生で、様々な意見を出し合い、自然と協調的な学習空間が生まれた様子である。

結果的には、すべての学生が、与えた設計仕様を満たす模型を完成させた。この点においては、難度が高い製作であると言うことにはならず、高校生や大学生が設計・製作を行うのに適当な教材であったと評価できる。

学生の学びの様子を評価するために、授業後、学生には「実験の結果と考察」の自由記述を求めた。重心位置の調整や各パラメータの変更を通してわかったことを考察させた。特徴的なものを図8・9・10・11に示す。

図8では、自分の行った実験を簡潔に整理している。図9では、かなり深い分析をしている上、工夫した内容まで述べている。図10では、図示することによって、自分の分析を説明しようとする態度が読み取れる。図11では、簡潔に箇条書きでまとめた上、数値データを示そうとした痕跡も読み取れる。

すべての学生に共通していることは、自ら行った実験によって、複数のパラメータを発見し、それを設計に活かしていることである。このような物理的な動きのあるものづくりを行うとき、設計パラメータがとても重要になる。設計パラメータを認識さ

クリップを前にとめて重心を前にすれば歩幅が狭くなり  
 クリップを後にとめて重心を後ろにすれば歩幅が広がる  
 角度をつければつけるほど重心の位置も前にくるので  
 歩幅が狭くなる。 逆に角度を緩くすれば重心はそのまま  
 歩幅が広がる。 重心が前に行き過ぎると転ぶ。

図8 学生の考察1

重心が前クリップを前につけたら歩幅が小さくなり、重心が前クリップを後ろにつけたら、歩幅が大きくなった。板の角度を変える。角度が急なほど模型のスピードが速くなり、角度がゆるいほどスピードが遅くなり、模型は安定はするけど止まってしまうことがある。両足の間の距離に依っては、狭くすると歩幅が小さくなり、逆に間隔を広げると歩幅が大きくなる。つまり、模型が直って歩かなくなるといったことは、この間隔の距離を左右違う距離を調整すれば、通すのが行くことができる。歩幅が小さくすると前に倒れしめる危険性があり、小さいと止まる可能性がある。重りの重さを変えてみると重りが重い方に曲がっていった。傾きの角度が曲がってしまうので、クリップの付着量や場所を左右対称にしなくて通すのが難しくなる工夫した。

図9 学生の考察2

前につけると歩幅がせまくなる。(2個ずつ付けるとほぼ動かない)  
 後ろにつけると歩幅が広くなり、自分の場合は転ぶ。  
 両足の間隔をせまめる→一歩一歩がゆくなり、不安定となる。  
 両足の間隔を広げると、安定はするがうまく前に進まない。  
 板の傾きを急にする→歩幅が広くなり、程よく進むとせまくなる。  
 よって、前に進まない場合は、後ろにクリップ、両足の間隔をせまめる、板の傾きを急に  
 速く安定しない場合は、前にクリップ、両足の間隔を広げる、板の傾きを程よく

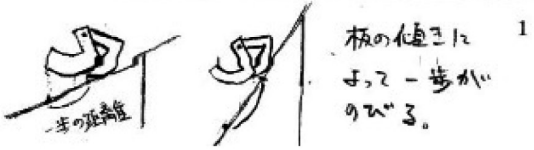


図10 学生の考察3

- ① 重心の位置 ① 前 歩幅が小さくたり速度が遅くなる ② 歩幅が大きくなり速度が速くなる
- ② 板の角度 ① 歩幅が大きくなる ② 歩幅が小さくなる
- ③ 両足間の距離 ① 不安定になる ② 安定するまで進む 63mm
- ④ 重りの質量 ① 歩幅が大きくなり進むことになる ② 歩幅が小さくなる
- 重心の位置が前、両足間の距離も大きくなって速度が遅く進むことになる。板の角度も大きくする=より安定して前に進むようになる
- ⑤ 板と接触位置がずれ、歩幅が小さくなるから

図11 学生の考察4

せるために、今回のように、設計仕様を与え、実験させることによって、必要なパラメータを浮かび上がらせ、製作に反映させることが容易に行えることがわかった。

今回の授業において、各パラメータの説明やヒントは与えていなかったにもかかわらず、設計仕様に近づけるための工夫を学習者が行う様子が見られたが、この作業は、少し複雑なモデルになると、学習者は挫折してしまう場合がある。制御されたアクチュエータを使用するロボットなどでは、複雑になりすぎ、的確にパラメータを抽出できないことも予想される。

このように設計力をつけることを目的とする場合、認識しやすいモデルにおいて、設計仕様を与え、設計・製作を行わせることが効果的であるとわかった。

## 7. まとめ

デザイン（構想・設計）する能力をつける教材を用い、実際に教育実践した中で、その教育効果を示すことを目的として、考察を行ったが、その中で、簡素なモデルによって設計仕様を与えることで学習者は、必要なパラメータを見つけ出し、設計に利用する場面が見られた。

通常、設計はある仕様に基づいて行われ

るものであるが、ややもすれば、出来合いの設計・製作を行わせてしまうことがある。学習者に自由に実験させる中で、設計に必要な要素を認識させることが重要である。

今回、設計についての能力を定量的に分析できなかったが、今後、設計に関わる能力の定量的な分析を行っていく必要があることを課題とする。

## 謝辞

教材開発および授業実践の場を提供していただきました上越教育大学・黎子椰（レイシヤ）教授に、この場を借りてお礼申し上げます。



## 【参考文献】

- (1) 山田哲也、正司和彦「モデリングとシミュレーションを導入した工業実験・実習の授業改善」(日本教育工学会論文誌28巻) pp. 37-40 2005年
- (2) 山田哲也、鞍谷文保「小・中学校におけるものづくり教材としての2足歩行模型に関する研究」(日本産業技術教育学会誌第48巻3号) pp. 207-213 2006年
- (3) 山田哲也、鞍谷文保、前田浩司「教材用2足歩行模型の構造パラメータを設定する教育方法」(日本産業技術教育学会誌第55巻1号) pp. 35-42 2013年
- (4) 山田仁美「初等教員養成課程における動力学学習教材の開発と授業実践」(上越教育大学修士課程教科・領域教育専攻修士論文) p. 15 pp. 69-70 2012年
- (5) Tetsua YAMADA, Li ZIYE, "Development of Kinetics Learning Materials for Teacher Education", Proceedings of the 11th International Conference on Technology Education (ICTE) in the Asia Pacific Region, (2015) pp.15-17



山田哲也先生  
(やまだ てつや)

## <略歴>

1962年3月生まれ  
兵庫教育大学大学院学校教育研究科修了  
南京都高等学校理科教諭  
滋賀県立高等学校理科・工業科教諭  
湊川短期大学人間生活学科准教授  
現在に至る

## <研究歴>

[最近の研究]

- ・ Educational Methods Using the Passive Walking Paper Robots for Teacher Education, Tetsuya YAMADA, Kimihito TAKENO, Yasuhiro MATSUNAGA International Journal of Innovations in Engineering and Technology (IJJET) Special Issue -ACEIAT & JTSTE 101-106 2015年7月
- ・ 紙製歩行模型を用いた小学校設計学習に関する研究, 山田哲也, 松永泰弘 教科開発学論集, Studies in subject development (3)131-138 2015年
- ・ Development of Design Education Method Using Passive Walking Paper Robots in Elementary School, Tetsuya YAMADA, Kousuke MAEDA, Yasuhiro MATSUNA

GA,International Journal of Innovations  
in Engineering and Technology(IJIET)

72-85 2014年

- Study on the Educational Cooperation  
Using Model Airplane Manufacture  
— The Program which Cancels the First  
Grader Problem in an Elementary Scho  
ol —, Mitsuyo OSHIMA,Tetsuya  
YAMADA 1st Asian Conference on  
Electrical Installation & Applied  
Technology,3rd Japan-Thailand  
Friendship International Workshop  
on Science,109-112 2014年

[これまでの研究]

教育環境の最適化に関する研究

初等・中等ものづくり教育の教育方法

体験的な学習の教育評価に関する研究

メディア教育の歴史と今日的課題に関する

研究、など

#### <勤務校>

(助成金取得時)

滋賀県立瀬田工業高等学校

〒520-2132 滋賀県大津市神領3-18-1

電話 077-545-2510

(現在)

湊川短期大学

〒669-1342 兵庫県三田市四ツ辻1430

電話 079-568-1858