

みらい創造科教材としての紙製4足受動歩行模型の開発

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2015-10-26 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 松永, 泰弘, 前田, 耕典 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.14945/00009202

みらい創造科教材としての紙製4足受動歩行模型の開発

Development of Four Legs Passive Walking Paper Toy
as a Teaching Material for Future Creation Classes in Elementary School

松永泰弘*・前田耕典**

Yasuhiro MATSUNAGA and Kousuke MAEDA

（平成26年10月2日受理）

This paper deals with the development of four legs passive walking paper toy as a teaching material for the new subject "future creation class" in combined elementary and junior high school. The passive walking toy is put on the slope and, by the first swing, keeps walking. It is the teaching material which students can learn about the center of gravity, moments, and potential energy. On the building approach theory, the students study about the principle of walking while they enjoy playing with friends by use of the toy. The experiments of its passive walking clarified the effects of the legs' length, the angle of the slope, the other parameters.

Key words : Passive walking toy, Teaching material, Potential energy, Building approach theory

1. 緒言

学習指導要領の改訂¹⁾により、小学校生活科では、中学年以降の理科の学習を視野に入れて、児童が自然の不思議さや面白さを実感するよう、遊びを工夫したり遊びに使うものを工夫して作るなどの学習活動を充実するとしている。小学校理科²⁾では、「生活科との関連を考慮し、ものづくりなどの科学的な体験や身近な自然を対象とした自然体験の充実を図るようにする」とあり、教科の目標で実感を伴った理解を重視していることに伴い、各学年の「A物質・エネルギー」に関する目標に、ものづくりを位置付けている。小学校図画工作³⁾では、「生活や社会とのかかわり、ものをつくる楽しさなどの観点から、手や体全体の感覚を働かせて材料や用具などを活用してつくったり、身の回りの形や色、環境などから感じ取ったことを伝え合ったりする」とある。また図画工作は、中学校技術・家庭科の技術分野に関連する教科であることに配慮することが明記された。

「第3期、第4期科学技術基本計画」^{4)、5)}では、ものづくりを担う子どもたちを継続的、体系的に育成していくために、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、子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。

このような背景のもと、平成24年度文部科学省指定研究開発学校において「持続可能な社会

* 技術教育講座

** 総合科学専攻

の構築を目指し、考え、行動する児童・生徒の育成—創造的なものづくり活動を通して—をテーマに掲げ、小中学校9年間を通した新教科「みらい創造科」⁶⁾が創設された。ここでは、ものづくり活動を通して、複眼的な観察力及び思考力を高めるとともに、緻密さを重視した技術的能力を習得し、持続可能な社会の構築に向けて行動する能力を育てる授業を実施している。また、教員養成系大学においても、初等教育教員養成課程にもものづくり教育選修などが新設されている。

そこで、本研究では、小学校における科学技術ものづくりの授業（みらい創造科、理科、図画工作）を想定し、これまでに開発してきた木製受動歩行模型（図1^{7)、8)}、2⁹⁾⁻¹²⁾を紙製の模型として開発（図3¹³⁾、日本産業技術教育学会 第8回技術教育創造の世界 発明・工的作品コンテスト 奨励賞受賞作品）し、小学生中学年および高学年における重心・モーメント・位置エネルギーなどの力学的な学習内容と科学的な探究を学ぶ教材として提案する。受動歩行で学習する内容は高度な内容であり、授業内で子どもたちが正しい認識に至るとは限らないが、Building Approach Theory^{14)、15)}で提起されている、子どもが自らの感覚や思考を通して外界を理解し深化させていくことの重要性に照らせば、小学生の学習段階での理解を促し、成長とともにそれまでの認識が否定され、新たな認識に到達することになる。

受動歩行模型は、動力・モーターを搭載せず重力と慣性力を利用し、斜面を歩行する模型である。斜面を最下端まで歩行する目標を達成するために、数種類の変数を用いて設計が可能な模型に改良した。また、小学校中学年での使用も考慮し、直線形状で設計し、加工の難易度を下げ、さらに、頭と尻尾を取り付けることにより、外見の改良を行った。

紙製の動く模型教材（摩擦の差でひもを登るおもちゃ、慣性の法則・弾性力を利用しひもを伝うおもちゃ）は、2013年の静岡市立駒形小学校^{16)、17)}、2012-13年の在日ブラジル人学校エスコラ・アレグリア・デ・サベール浜松での授業実践^{18)、19)}を通じて、動作原理を追求する子

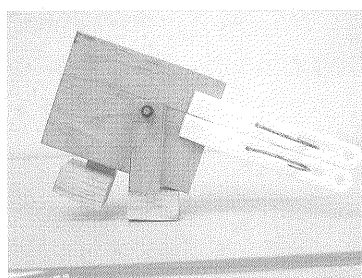
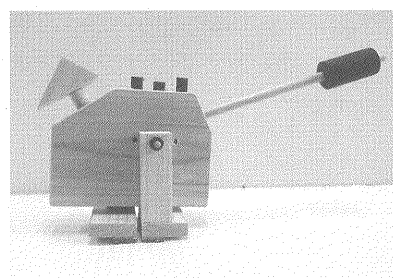
(a) 小刀を使用の模型⁷⁾(b) 小刀未使用の改良型模型⁸⁾

図1 2次元の歩行運動を行う前後揺動型受動歩行模型

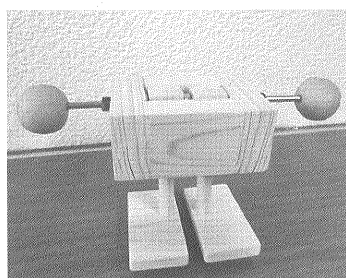
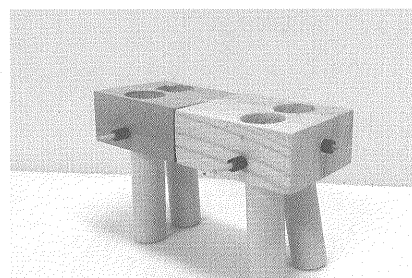
(a) 2足歩行模型^{9)、10)}(b) 4足歩行模型^{11)、12)}

図2 3次元受動歩行模型

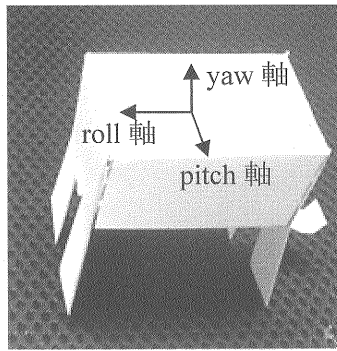


図3 紙製4足受動歩行模型¹³⁾

どもたちの試行錯誤を促し、材料・道具を用意する教員側のハードルを低くする効果があり、教員の積極的な関わりを促し、木製教材への導入教材としての役割が期待できることが明らかとなっている。本教材（図3）を木製教材（図1）への導入教材として開発した。

さらに、開発した紙製模型の歩行動作原理について考察・検討した。

2. 紙製4足受動歩行模型教材の開発

2-1 受動歩行

2足もしくは4足の物体（人、動物もしくは歩行模型）の歩行は、脚が遊脚と接地脚を交互に繰り返す、遊脚が移動方向に振り出され、重心が脚によって移動する運動であり、倒立振子の支点が一足跳びに移動する現象といえる。平地においては、支点が一足跳びに移動し、遊脚と接地脚を交互に繰り返す揺れの運動は、動力とアクチュエーターをもたない限り、減衰し停止する。

受動歩行模型は、模型を斜面に置くことにより、遊脚と接地脚を交互に繰り返す揺れの運動を遊脚の振り出しによる位置エネルギーの供給で持続する。したがって、遊脚の一步の振り出しによる位置エネルギーの供給が、消費エネルギーより大きい場合には歩行が不安定になり転倒する。また、消費エネルギーより小さい場合には揺れが減衰し、歩行が停止する。

歩行の消費エネルギーは、単位質量の物体（人、動物もしくは歩行模型）が単位距離を歩行するのに必要なエネルギーで定義でき、受動歩行模型に対しては、距離を水平面に投影した距離で定義できる。したがって、歩行時の消費エネルギー E は、斜面の角度 ϕ と重力加速度 g を用い

$$E = \frac{mgh}{m \cdot s} = g \tan \phi \quad (1)$$

となる。ここで、 m は歩行模型の質量、 h は斜面の高さ、 s は水平面の移動距離である。斜面の角度 $\phi = 8^\circ$ に対して、消費エネルギーは $E = 1.38 J / kg \cdot m$ となる。

木材の動摩擦係数 $\mu = 0.30$ を用いると、斜面を滑らせる、もしくは水平面を引きずるときの消費エネルギーは $E = g \mu = 2.94 J / kg \cdot m$ となる。

また、人間の平地歩行における消費エネルギーは²⁰⁾

$$E = \frac{4.19 \times 10^3}{60v} [0.03 + 0.0035 \cdot (\frac{36}{16.1} v)^2] \quad (2)$$

で与えられる。ここで、 v は歩行速度 [m/s] である。また、HONDAのASIMOの歩行は、人間の10倍強の消費エネルギーを必要とする。

消費エネルギーを比較することで、省エネルギーについて考える教材となりうる。

2-2 変形によって受動歩行を行う紙製模型

変形によって受動歩行を行う紙製模型は様々な形状で製作されており、その歩行は木製の模型と異なる。木製の受動歩行模型（図1、2）は、回転自由な軸で固定された脚が遊脚となったときに、遊脚に作用する重力、遊脚の重心と軸の位置関係によるモーメントで回転を生じ、一步を振り出す。それに対して、変形によって受動歩行を行う紙製模型は、接地時に荷重で変形した接地脚が、roll軸方向の揺れにより遊脚となった時点で荷重から解放され元の形状に戻り、次の接地時に一步を踏み出し、その幅が決定される。

2-3 紙製4足受動歩行模型教材

小学生中学年および高学年における重心・モーメント・位置エネルギーなどの力学的な学習内容と科学的な探究を学ぶ教材として、紙製4足受動歩行模型を開発する。紙製2足受動歩行模型（開発中、図4）を教材として用いる場合には、製作の困難さ、歩行させる条件の狭さから、学ぶ側に困難に立ち向かい折れない心（レジリエンス）、ものづくりの経験、巧緻性が必要とされる。そこで、本研究では、4足で体を支えることができる安定した模型を取り上げる。

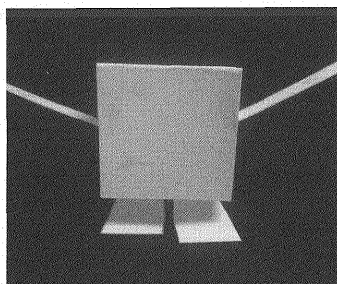


図4 紙製2足受動歩行模型¹³⁾

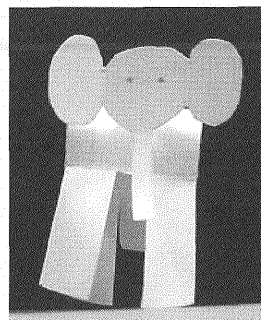


図5 頭を取り付けた模型

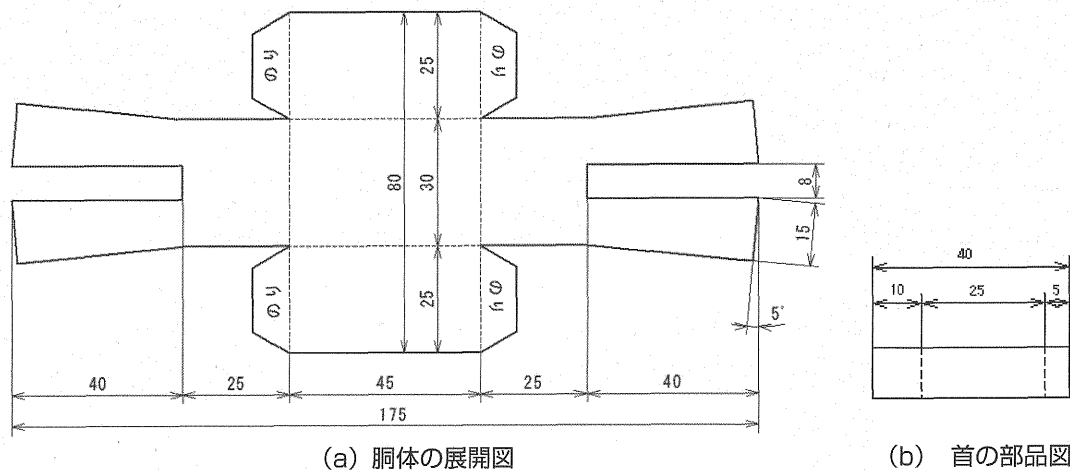


図6 展開図の設計図 (JW-CAD)

紙製の模型であるためハサミとりののみで製作でき、形状に関する変数を容易に変更が可能で、安価で中学年の発達段階に適した試行錯誤のものづくりを体験することができる。材料はケント紙 ($186.0\text{g}/\text{m}^2$) を用いた。

小学校中学年の子どもたちを対象とするため、直線形状で設計することで加工の難易度を下げ、また、脚部の固定と耐久性を考慮し、箱型の胴体と脚を一体化させ、さらに、頭と尻尾を取り付けることにより、子どもたちが歩行模型のデザインを考えられるよう改良を行った。頭を取り付けたゾウの歩行模型を図5に示す。

3. 受動歩行模型の運動解析

変形によって受動歩行を行う紙製模型は、接地時に荷重で変形した接地脚が、roll軸方向の揺れにより遊脚となった時点で荷重から解放され元の形状に戻り、次の接地時に一步を踏み出し、その幅が決定される。また、製作した4足模型は胴体と脚が一体になっており、上肢下肢のねじれは生じない。したがって、右側前脚と後脚は同時に接地脚もしくは遊脚となり、左側前脚と後脚も同様な動きをする。

また、pitch軸およびyaw軸周りの回転運動は、roll軸周りの回転運動に比べて小さく無視できるものとする。

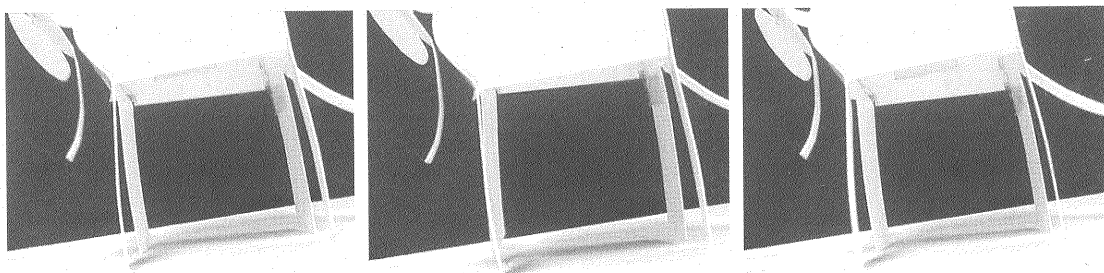
斜面の歩行実験により、前述の歩行原理を検証する。

3-1 歩行実験による動作原理の解析

斜面での歩行の動作原理を解析する。解析方法は、正面、側面から動画を撮影し、30fps（フレーム間が0.033s）の画像に分解し、JW-CADに画像を取り込み、たわみ角、脚の振り上がり高さなどを測定する。動画から画像への分解にはGRETECH Corp.の動画再生ソフト GOM Playerを使用した。

斜面側面から動画を撮影し、分解した画像を図7に示す。このとき斜面の角度 $\phi = 8^\circ$ 、足の角度 $\theta = 8^\circ$ 、足の長さ $l = 40\text{mm}$ の条件（図8参照）を用いた。図7より、受動歩行における動作は以下の通りとなる。

- (1) 体がroll軸周りに手前側に揺れて、手前の脚（左前脚）が接地する瞬間である。
- (2) (1)の状態から4フレーム目（0.13s後）の画像。体がroll軸周りにさらに手前に揺れ、奥の脚（右前脚）が遊脚となり、変形が元に戻り前に振り出され、手前の脚（左前脚）



(1) 接地する直前

(2) 接地脚となり自重により
たわんだ状態 (0.13s後)

(3) 遊脚となり変形が
戻った状態 (0.37s後)

図7 左前脚（紙面左側手前）の動き（歩行周期は0.5~0.53s）

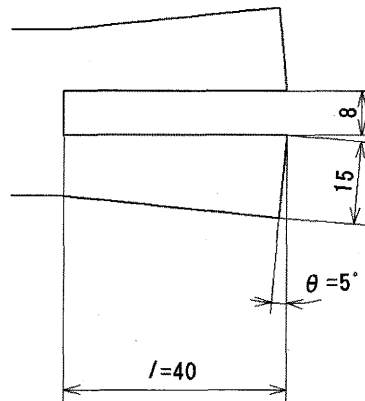


図8 脚の長さや脚の角度のパラメータ

は接地脚となり自重が加わり、たわみを生じる。

- (3) (1) の状態から11フレーム目 (0.37s後) の画像。体がroll軸周りに奥側に揺れ、奥の脚 (右前脚) が接地脚となり手前の脚 (左前脚) が遊脚となり、変形が元に戻り前に振り出される。

- (1) ~ (3) を繰り返して、斜面を歩行する。

画像から脚先端の斜面からの高さ h を測定し、時間変化を図9に示す。左右の脚が接地脚と遊脚を交互に繰り返して、roll軸方向の揺れにより安定して $h=3.5\text{mm}$ の高さまで振れていることがわかる。また、揺れの周期 $T=0.5\sim 0.53\text{s}$ となり、1s間にほぼ2回の揺れを生じる。

遊脚時と接地脚時の脚のたわみの画像を図10に示す。胴体と脚を一体で製作し、胴体を箱型にしたため、また接地脚の接地点では滑りを生じないため、脚のたわみ変形は一端固定・他端単純支持の長柱のたわみ変形の状態といえる。

また、画像の角度は脚と斜面とのなす角度であり、画像をJW-CADに取り込み、測定した。

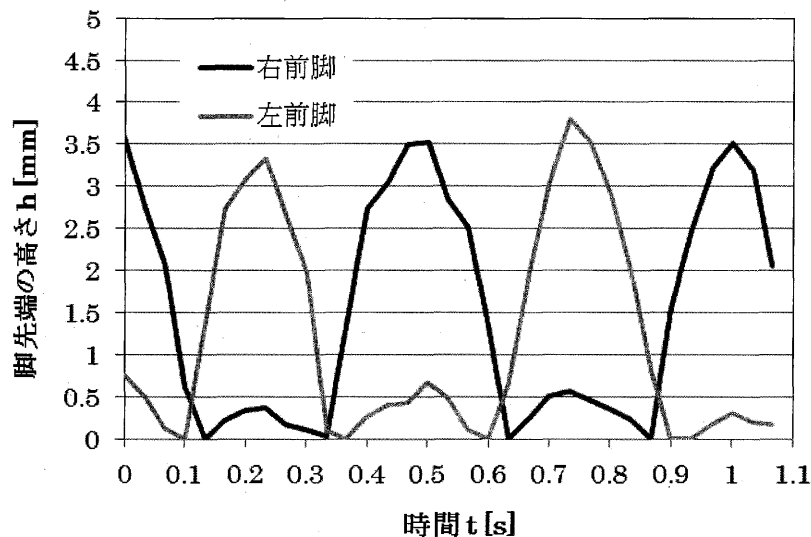


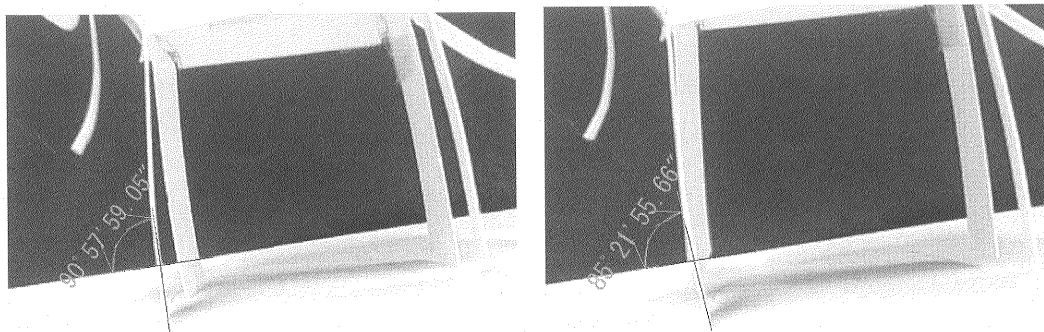
図9 遊脚および接地脚先端の斜面からの高さの時間変化

自重がかかり最もたわんだ状態を $t=0$ とし、その前後の脚と斜面とのなす角の時間変化を図11に示す。遊脚から接地脚さらに遊脚となる間の変化を、3回測定した。遊脚から接地脚に移行しながら角度が減少し、最小値を示し、そこから遊脚への移行で角度が増加する。これは、一端固定・他端単純支持の長柱に作用する荷重が増加しながら、たわみの増加とともに単純支持端のたわみ角が変化する現象ととらえることができる。

図7、図9、図10、図11より、体が揺れて遊脚から接地脚に移り、自重がかかることで接地脚がたわみ、接地点と重心の位置から、逆方向の揺れが生じ、反対側に揺れて接地脚が遊脚になる際にもとの形状に戻るように飛び出し、さらに逆揺れして、接地脚となることで、一歩進み、これを繰り返して歩行することがわかる。

3-2 接地脚のたわみ変形解析

前節の実験結果より、模型の脚の変形は、胴体側を固定端、滑りを起こさない接地脚先端を単純支持端とする一端固定・他端単純支持された細長い脚（図12）の変形として取り扱うことができる。細長い脚に元たわみを与えた状態で軸荷重 P を徐々に増加し、ある値 P_{cr} に近づけ



(a) 遊脚時

(b) 自重がかかったときの接地脚

図10 遊脚と接地脚の斜面となす角の変化

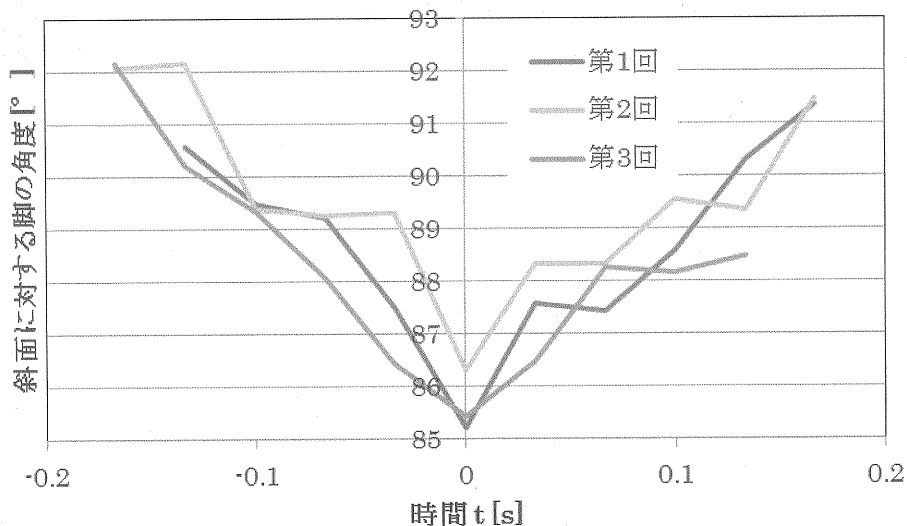
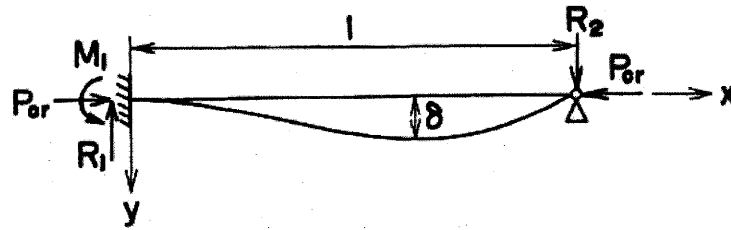


図11 脚と斜面のなす角の時間変化

図12 接地脚のたわみ変形²¹⁾

ていくと、軸荷重 P_{cr} が作用し、最大たわみ δ だけ変形した状態で力のつり合いが起こる。

このとき、支持端に支持反力 R_1 、 R_2 、支持モーメント M_1 を生じる。支持反力 R_2 は、接地脚の接地点における斜面との摩擦である。

変形を考慮して力のつり合いを考えると、脚の x 断面に生じる曲げモーメント M は

$$M = P_{cr}y - R_2(l - x) \quad (3)$$

で与えられる。ただし、力とモーメントのつり合いより、次式が成り立つ。

$$R_1 = R_2, \quad M_1 = R_2l \quad (4)$$

たわみの基礎方程式は

$$EI \frac{d^2y}{dx^2} + P_{cr}y = R_2(l - x) \quad (5)$$

ここで、 EI は脚の長手方向の曲げ剛性、 E は材質の縦弾性係数、 I は脚の長手方向の断面2次モーメントである。

上式(5)の一般解は

$$y = C_1 \sin qx + C_2 \cos qx + R_2(l - x) / P_{cr} \quad (6)$$

$$\frac{dy}{dx} = C_1 q \cos qx - C_2 q \sin qx - R_2 / P_{cr} \quad (7)$$

ここで、 C_1 、 C_2 は未定係数、 q は次式で与えられる。

$$q^2 = P_{cr} / EI \quad (8)$$

支持端での境界条件は

$$y_{x=0} = 0, \quad (dy/dx)_{x=0} = 0, \quad y_{x=l} = 0 \quad (9)$$

最大たわみの境界条件は

$$y_{\max} = y_{x=x^*} = \delta, \quad (dy/dx)_{x=x^*} = 0 \quad (10)$$

境界条件式(9)より

$$C_1 = R_2 / (P_{cr}q), \quad C_2 = -R_2l / P_{cr} \quad (11)$$

$$\tan ql = ql \quad (12)$$

方程式(12)の最小解は、脚の両端以外に節を生じない状態(図12)を表し、次式で与えられる。

$$ql = 4.4934 = 1.4303\pi \quad (13)$$

式(13)を式(8)に代入すると、軸荷重 P_{cr} は

$$P_{cr} = q^2 EI = 20.1906 EI / l^2 = 2.0457 \pi^2 EI / l^2 \quad (14)$$

境界条件式(10)₂より

$$\cos qx^* + ql \sin qx^* - 1 = 0 \quad (15)$$

上式 (14) の解は

$$qx^* = 2.7036, \quad x^* = 0.6017l \quad (16)$$

境界条件式 (10)₁より

$$R_2 = 0.71515P_{cr}\delta/l \quad (17)$$

したがって、支持反力 R_1 、 R_2 、支持モーメント M_1

$$R_1 = R_2 = 1.4630\pi^2 EI\delta/l^3, \quad M_1 = 1.4630\pi^2 EI\delta/l^2 \quad (18)$$

たわみ y

$$y = 0.7326\delta(\sin[4.493(1-x/l)] + 0.976(1-x/l)), \quad (19)$$

$$y_{\max} = y_{x=0.6017l} = \delta$$

曲げモーメント M

$$M = 21.4987\pi^2(EI\delta/l^2)\sin[4.4934(1-x/l)], \quad (20)$$

$$|M|_{\max} = |M|_{x=0.6504l} = 1.4987\pi^2 EI\delta/l^2$$

をえる。

軸荷重 P_{cr} は、式 (14) で与えられ、脚の曲げ剛性 EI に比例し脚の長さ l の2乗に反比例する。これは、模型の材料の紙の厚さの3乗に、また脚の幅に反比例し、脚の長さ l の2乗に比例して変形しやすくなることを表している。すなわち、材料の紙の厚さ、脚の長さ・幅をパラメータとして、歩行の一步の大きさを決定でき、歩行速度を調整することが可能となる。

模型の脚を長手方向に折り曲げ変形強度を増すと歩行しない、材料の紙の厚さを厚くすると歩行がゆっくなりになる、もしくは歩かないのは、脚の断面2次モーメントが増加し、変形が小さくなることで1歩当たりの供給エネルギーが減少するためである。

たわみ y は、式 (19) で与えられ、三角関数と1次式で表現される。最大たわみは脚の付け根から3/5の位置、すなわち脚の先端寄りで生じていることがわかる。実際には、一端固定・他端単純支持された細長い脚の条件は、厳密に満足されないので、仮定の下での理論解析による近似解といえる。

3-3 模型の重心解析

模型の歩行において、その重心の位置はroll軸周りの揺れに対する安定性を論じるうえで重要なパラメータである。ここでは、模型を正面から見たときの重心について検討する。

模型を正面から見た図を図13に示す。このとき、紙面に垂直な方向 z 軸がroll軸となる。模型全体の x 軸周りの面積モーメント S は

$$S = \int_A x dA = 358330\text{mm}^3 \quad (21)$$

展開図の面積 A は

$$A = \int_A dA = 7793\text{mm}^2 \quad (22)$$

したがって、重心の位置 y_G

$$y_G = S/A = 46\text{mm} \quad (23)$$

をえる。

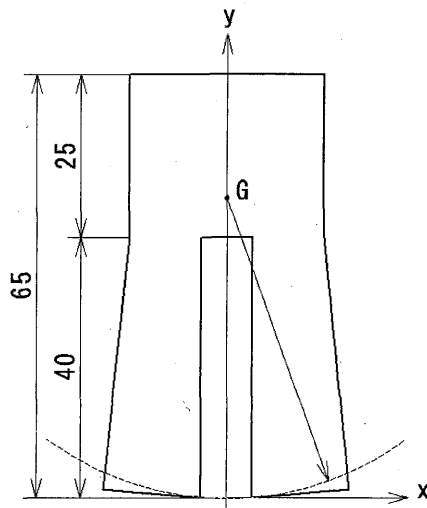


図13 模型の正面から見た重心Gの位置

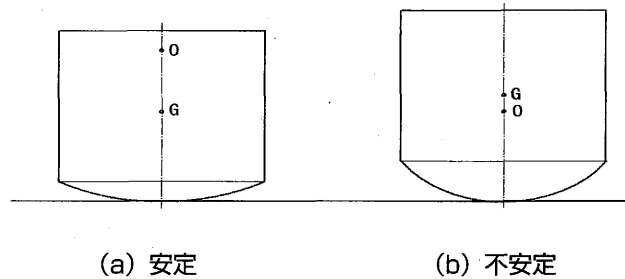


図14 重心Gと曲率中心Oの位置関係による安定性

揺れに対する安定性は、図14に示されるように、重心 G と曲率中心 O の位置関係により重心が曲率中心より低い位置にあるときに安定、高い位置にあるときに不安定となる。

歩行模型のroll軸周りの揺れでは、静止状態の位置関係のみで安定性を決定できないが、重心 G とそれを曲率中心とする円弧を図13に示したように、余裕をもった設計になっていることがわかる。

4. 最適な模型脚部形状

頭部を取り付けた模型を用いた授業実践を視野に入れて、頭部を取り付けた模型で脚の長さ l と角度 θ （図8）をパラメータとし、斜面の各角度 ϕ に対して歩行実験を行う。歩行実験に用いるパラメータを表1に示す。同一条件で3回の実験を行い、300mmの斜面を歩行した場合を調べ、実験結果を表2に示す。セルの色の濃いほど歩行速度が速いことを表す。

斜面の角度 ϕ が小さくなると、揺れは小さく、歩行速度は遅くなり、停止する。逆に、斜面の角度 ϕ が大きくなりすぎると揺れが大きくなり横に倒れる。

頭部を大きく重くすると、重心が高くなり、歩行可能な坂の角度 ϕ が緩やかになることがわかる。これは、重心が高くなることで揺れやすくなり、それまで歩行しなかった緩やかな斜面でも揺れを生じ、また、それまで歩行していた斜面でも揺れが大きくなり、横に倒れ歩行しない。

脚の角度 θ を大きくしすぎると、3-3節で明らかになったように、重心の位置と接点の位置関係から不安定になり、横に倒れる。 $\theta = 9^\circ$ ではほとんどの条件で歩行しない。

脚の長さ l を長くすると、重心が高くなり、歩行可能な坂の角度 ϕ が緩やかになることがわ

表1 歩行実験に用いるパラメータ

斜面の角度 ϕ	脚の長さ l	脚の角度 θ	円形頭部の大きさ	首の質量	体の質量
6~18°	20mm	5°	r=20mm, 0.27g	0.08g	1.75g ($l=40\text{mm}$)
	30mm	7°	r=25mm, 0.44g		
	40mm	9°			

表2 300mmの斜面における角度 ϕ と模型の形状(脚の角度 θ と長さ l)に対する歩行
(○:歩行した場合、×:歩行しない場合)

(a) 円形頭部の半径 $r=20\text{mm}$ 、質量 0.27g

斜面の角度 Φ [°]	$\theta=5^\circ$			$\theta=7^\circ$			$\theta=9^\circ$		
	$l=20\text{mm}$	$l=30\text{mm}$	$l=40\text{mm}$	$l=20\text{mm}$	$l=30\text{mm}$	$l=40\text{mm}$	$l=20\text{mm}$	$l=30\text{mm}$	$l=40\text{mm}$
8	×	×	×	×	×	×	×	×	×
9	×	○	×	×	○	×	×	×	○
10	×	○	○	×	○	○	×	×	×
11	×	○	○	×	○	○	×	×	×
12	○	○	○	×	○	○	×	○	×
13	○	○	×	×	○	×	×	×	×
14	○	○	×	×	○	×	×	×	×
15	○	×	×	×	○	×	×	×	×
16	○	×	×	×	×	×	○	×	×
17	○	×	×	×	×	×	×	×	×
18	×	×	×	×	×	×	×	×	×

(b) 円形頭部の半径 $r=25\text{mm}$ 、質量 0.44g

斜面の角度 Φ [°]	$\theta=5^\circ$			$\theta=7^\circ$			$\theta=9^\circ$		
	$l=20\text{mm}$	$l=30\text{mm}$	$l=40\text{mm}$	$l=20\text{mm}$	$l=30\text{mm}$	$l=40\text{mm}$	$l=20\text{mm}$	$l=30\text{mm}$	$l=40\text{mm}$
6	×	×	×	×	×	×	×	×	×
7	×	○	○	×	○	×	×	×	×
8	×	○	○	×	○	×	×	×	×
9	×	○	○	×	○	×	×	×	○
10	○	○	×	×	○	○	×	×	×
11	×	○	×	×	○	○	×	×	×
12	×	×	×	○	○	×	×	×	×
13	×	×	×	×	×	×	×	×	×
14	×	×	×	×	×	×	○	×	×
15-18	×	×	×	×	×	×	×	×	×

かる。これは、重心が高くなることで揺れやすくなり、それまで歩行しなかった緩やかな斜面でも揺れを生じるためである。また、脚の長さ l を長くすると、歩行速度が速くなる。これは、3-2節で明らかになったように、脚の長さ l はたわみ変形の大きさに影響し、歩幅に影響を与えるためである。脚の長さ l が大きくなると歩幅も大きくなる。

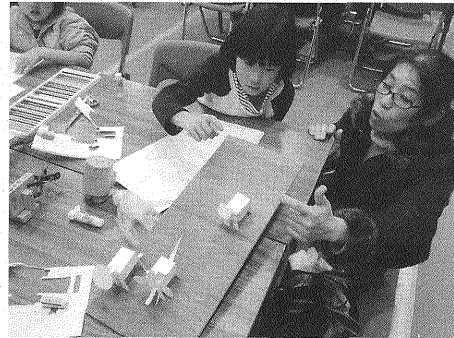
頭部を取り付けた歩行模型を教材として使用する場合、脚の角度 $\theta=5^\circ, 7^\circ$ 、脚の長さ $l=30\text{mm}, 40\text{mm}$ の模型を使用する。

5. 子どもたちの歩行模型ものづくりと遊び

ドリームサイエンスというイベントにおいて、開発した模型型紙を使用し、子どもたちが4足歩行模型を製作し、遊ぶ様子から教材としての可能性を検討する。主な目的は、参加者の反応、改善点の発見、模型の特徴を探る点にある。最後に参加者からアンケート(感想)をとる。

【イベントの概要】

イベント	ドリームサイエンス
日時	2012年12月1日(土)
場所	東海大学
対象	幼児、小中高校生、大人
その他	このイベントにはCASIO、HITACHIなど様々な企業が出展



(a) 会場の様子 (b) 参加者の様子

図15 ドリームサイエンスにおける紙製4足受動歩行模型のものづくり

低学年を対象とした紙のおもちゃということもあり、参加者は幼児や小学校低学年の子どもたちであり、中学生、高校生の参加は数人であった。

子どもたちの反応と感想を以下に示す。動きが「おもしろい」と感じ、歩く原理を探求する様子、またつくってみたいという意欲的な感想を得た。また、「自分で作ったのが動いた」という言葉には、電池もモーターも持たず、動かないと思っていたものが、動いたことへの喜びや達成感を感じた。

試験的な実践ではあるが、本教材の開発目的である、子どもたちが興味を示し、原理を探求する動くおもちゃ教材の開発がある程度、達成できたといえる。静岡市立駒形小学校¹⁶⁾、¹⁷⁾、在日ブラジル人学校エスコラ・アレグリア・デ・サベール浜松での授業実践¹⁸⁾、¹⁹⁾にも見られたように、材料・道具を用意するハードルが低く、動作原理を追求する子どもたちの試行錯誤を促す効果があるといえる。

親の意見に「童心にかえて楽しめた」とあるように、学校での子どもたちの学びとともに、家に持ち帰り、親・兄弟を巻き込んだ学習の可能性がうかがえる。親も楽しめ、家で作ることが可能な点は、子どもたちの学習への内発的動機づけの深化、自己肯定感につながりうる本教材の魅力であるといえる。

【子どもたちの反応】

- ・すごい！歩いた！
- ・なんで歩いているの？
- ・家にもってかえてつくる！
- ・足の形に秘密があるのかな
- ・つくりたい！
- ・揺れるのが大事なんだと思う

【アンケート結果】

(子どもの意見)

- ・動きが面白い ・どうやって坂を動くのか考えるのが面白い ・作るのが楽しい
- ・簡単にできてよかった ・色塗りが楽しかった ・自分で作ったのが動いた

(親の意見)

- ・童心にかえって楽しめた ・子どもたちが楽しそうだった
- ・子どもたちが自分で考えてチャレンジできてよかった
- ・自分で顔を作るところが個性が出て面白い

5. 結言

本研究では、動作原理を探究できる動くおもちゃとして受動歩行模型を取り上げ、小学校中学年の子どもたちが製作できるように紙製4足受動歩行模型を開発した。

紙製の模型とすることにより、材料・道具を用意するハードルが低くなり、動作原理を追求する子どもたちの試行錯誤を促す効果があがったといえる。また、学校での子どもたちの学びとともに、家に持ち帰り、親・兄弟を巻き込んだ学習の可能性がうかがえた。親も楽しめ、家で作ることが可能な点は、子どもたちの学習への内発的動機づけの深化、自己肯定感につながりうる本教材の魅力であるといえる。

開発した紙製模型の歩行原理は、木製の受動歩行模型と異なる。木製の歩行模型は、回転自由な軸で固定された脚が遊脚となったときに、遊脚に作用する重力、遊脚の重心と軸の位置関係によるモーメントで回転を生じ、一步を振り出す。それに対して、変形によって受動歩行を行う紙製模型は、接地時に荷重で変形した接地脚が、roll軸方向の揺れにより遊脚となった時点で荷重から解放され元の形状に戻り、次の接地時に一步を踏み出し、その幅が決定される。

上記の歩行原理を実験と解析から検証した。歩行に影響するパラメータとして、消費エネルギー、材質、脚の形状(厚さ、長さ、角度)、重心の位置などについて明らかにした。

また、限られた条件であるが、歩行実験から歩行可能なパラメータの範囲を提示し、パラメータの影響について考察した。

本論文は、静岡大学教育学部総合科学専攻2012年度のミニ卒業研究をもとに研究を進め作成されたものであり、平成26年度科学研究費補助金(課題番号:24501095)の援助による。

参考文献

- 1) 中央教育審議会:「幼稚園、小学校、中学校、高等学校及び特別支援学校の学習指導要領等の改善について(答申)」(2008)
- 2) 文部科学省:小学校学習指導要領 図画工作(2008)
- 3) 文部科学省:小学校学習指導要領 理科(2008)
- 4) 文部科学省:第3期科学技術基本計画(2006)
- 5) 文部科学省:第4期科学技術基本計画(2011)
- 6) みらい創造科-上三川町立本郷小学校
http://www.kaminokawa-tcg.ed.jp/schoolhp/hongoele/?page_id=19
 (2014年10月3日確認)
- 7) 松永泰弘, 中村玄輝:教材用2足前後型受動歩行模型の歩行に関する研究, 静岡大学教育学部研究報告, 人文・社会・自然科学篇, 第60巻, pp.225-235 (2010)

<http://ir.lib.shizuoka.ac.jp/bitstream/10297/5255/1/100906001.pdf>

(2014年10月3日確認)

- 8) 松永泰弘, 木戸太紀: 科学・技術・芸術を融合した受動歩行模型教材の開発, 日本産業技術教育学会第57回全国大会(熊本)機械分科会講演要旨集, p.3 (2014)
- 9) 松永泰弘, 池本沙紀: 平面な足裏に脚部丸棒を貫通させた二足受動歩行模型の開発, 第31回日本産業技術教育学会東海支部大会講演論文集, pp.121-124 (2013)
- 10) 松永泰弘, 池本沙紀, 松永倫: 平面足裏に脚部丸棒を貫通させた二足受動歩行模型の開発と運動解析, 日本産業技術教育学会第57回全国大会(熊本)講演要旨集, p.61 (2014)
- 11) 松永泰弘, 西村一朗, 渡邊凌: 上肢下肢をもつ4足受動歩行模型の開発, 日本産業技術教育学会第56回全国大会(山口)講演要旨集, p.132 (2013)
- 12) 松永泰弘, 西村一朗: 4足受動歩行模型における上肢下肢の運動に関する研究, 第31回日本産業技術教育学会東海支部大会講演論文集, pp.99-102 (2013)
- 13) 日本産業技術教育学会 第8回技術教育創造の世界(大学生版) 発明・工夫作品コンテスト 奨励賞「小学校図工における動く模型教材」(2013年12月応募, 2014年1月受賞)
http://www.educ.kumamoto-u.ac.jp/contest-u/2013/cat2/2_2_1387524671_27050.pdf
(2014年10月3日確認)
- 14) 山中さやか: 保育における子どもの「学び」に関する検討: シェーファー (Schafer, G. E.) の自己形成論としてのBildung観に着目して, 保育学研究, 第51巻第2号, pp. 154-162(2013)
- 15) 山岸耕平: ICSにおける"knowledge-building"アプローチと総合学習, 神戸親和女子大学研究論叢 34, A69-A92 (2001)
- 16) 松永泰弘, 松永倫: 小学校図工におけるものづくり授業の実践と定性的評価, 第31回日本産業技術教育学会東海支部大会講演論文集, pp.15-18 (2013)
- 17) 松永泰弘, 松永倫: 動く模型を用いた小学校図工におけるものづくり授業実践, 日本産業技術教育学会第57回全国大会(熊本)講演要旨集, p.17 (2014)
- 18) 松永泰弘, 土肥阿利佳, ヤマモト・ルシア・エミコ: 在日ブラジル人学校におけるものづくり授業支援, 日本産業技術教育学会第56回全国大会(山口)講演要旨集, p.84 (2013)
- 19) 松永泰弘, 土肥阿利佳, ヤマモト・ルシア・エミコ: 在日ブラジル人学校におけるものづくり授業支援とその評価, 第31回日本産業技術教育学会東海支部大会講演論文集, pp.19-22 (2013)
- 20) 中村隆一, 齋藤宏, 長崎浩: 『基礎運動学』、医歯薬出版、(2003)
- 21) 松永泰弘: 材料力学「長柱の座屈」に関する提言, 論文集「高専教育」, 第17号, pp.74-81 (1994)

付録

授業・ものづくり教室などの教育的な場面、研究において、本教材を使用する場合を考慮して、実物大の展開図を付録として図に示す。画用紙、ケント紙にコピーして使用する、もしくは引用する場合は静岡大学教育学部松永研究室で開発した教材であることに触れること。

