

## 産学連携による2足受動歩行玩具『トコロボ』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, 鬼木, 大, 河村, 翔太, 関野, 照夫, 間, 健太郎 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10297/7207">http://hdl.handle.net/10297/7207</a>

## 産学連携による2足受動歩行玩具『トコロボ』の開発

技術教育講座 松永泰弘 鬼木 大 河村翔太  
SEKINOKIGATA 関野照夫 Planet Planter 間 健太郎

### 1. はじめに

学習指導要領の改訂により、小学校生活科<sup>1)</sup>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ったりする学習活動を充実するとしている。

また近年、子どもたちが実際にものをつくるという経験が減少しているとの指摘もある。「ものづくり離れ」は、幼少期から身のまわりに完成されたモノが豊富にあることや便利な道具に囲まれることで、製品の仕組みや機構についての興味を失い、物事に対する創意工夫や好奇心が希薄になり、理論的な思考や手先を使った技術力が低下する。

しかし、自らが主体的に関わることのできる玩具を使って遊ぶことで、途中で発生する不具合を見つけ、試行錯誤を繰り返しながら修理したり改良したりする機会に出会うことができ、科学的探究心を醸成するとともに、ものづくりへの関心を高めることができる。

本研究では、人間の進化を大きく左右した2足歩行について、遊んで学べる受動歩行玩具『トコロボ』の開発を地域企業と協力して行う。

学生にとっては、地域企業と連携協力した商品開発を行うことにより、企業の要求や消費者のニーズを学び、商品開発力、教材開発力を身につけ、キャリア教育につながる。

### 2. 2足受動歩行玩具『トコロボ』

本研究で開発した受動歩行を用いた玩具『トコロボ』は、単純な構造でありながら動く楽しさを実感でき、振り子運動やてこの原理、位置エネルギーなどを感覚的に学ぶことができ、2足歩行について考える要素を含んでいる。また、歩行のために紙ヤスリを使い自ら試行錯誤して調整する作業が必要であることから、子どもたちの科学的探究心を醸成し、ものづくりへの関心を高めることができる。

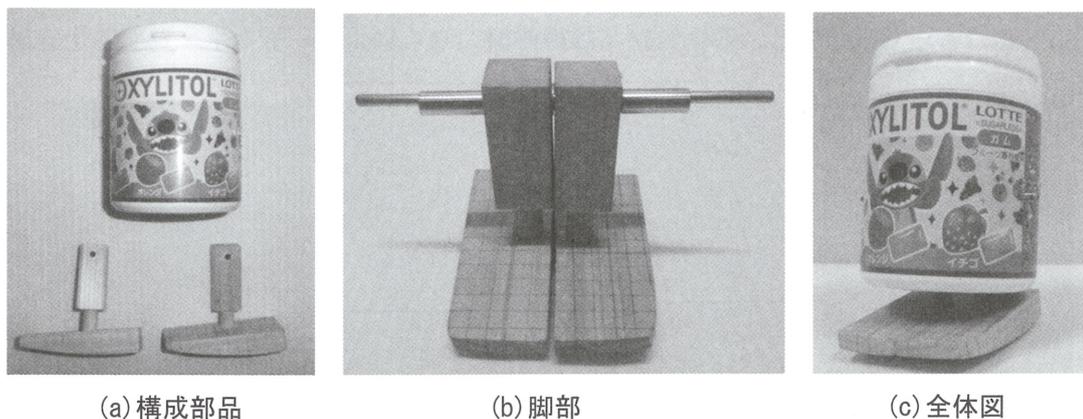


図1 『トコロボ』

脚部と足に木材、胴体に市販のボトルガムのプラスチック製ケースを用いることで、加工・調整を容易にした（図1）。

[材料] 胴体：ボトルガムのケース（今回使用したのはLOTTE製）

脚部（図2(a), (b)）：木材（ヒノキ） 足（図2(c)）：木材（ヒノキ）

その他：シャフト、スペーサ（2個）、ワッシャー（2個）

[工具・工作機械] カッターナイフ、ボール盤、小刀、紙ヤスリ

[製作手順]

- 1) ガムケースの底をカッターナイフで切り抜き、ボール盤で軸穴をあける（図3）。
- 2) 脚部と足を製作する。
- 3) 組立て
- 4) 足裏の微調整

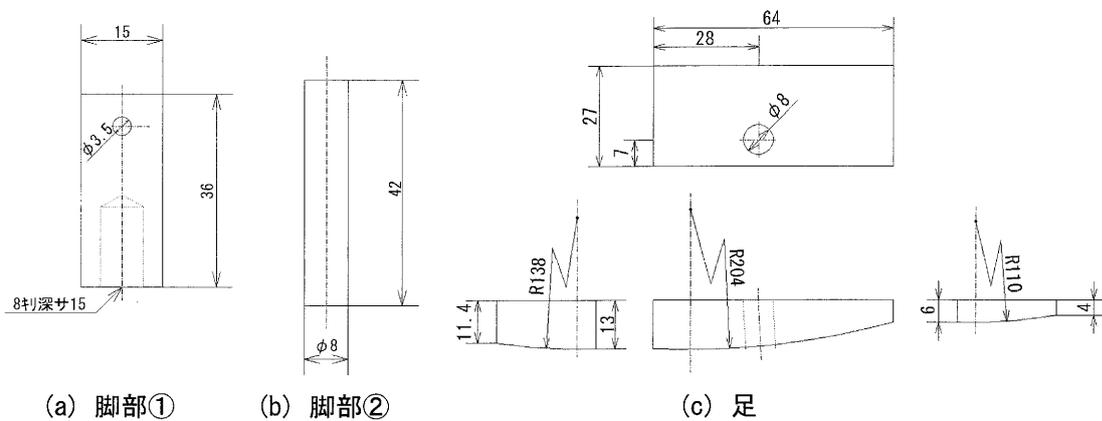


図2 トコロボ部品図

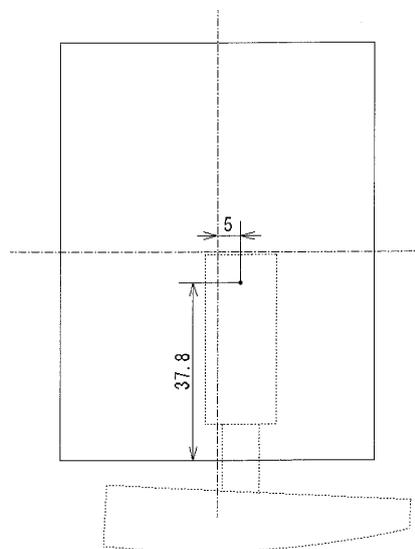


図3 胴体穴開け位置と脚足部取り付け

### 3. 『トコロボ』 開発会議

トコロボの開発にあたり、Planet Planter と関野木型製作所、小林製作所との共同で開発会議を2010年12月から2011年12月まで毎月1回開催した(図4)。

会議では主にトコロボを用いた歩行実験により得られた結果を、歩行の安定性を向上させるための参考資料として報告した。

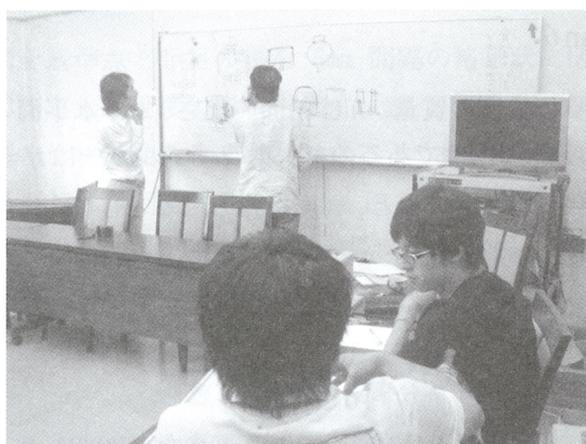


図4 開発会議の様子

#### 3-1 歩行原理の検討

トコロボは足の裏に緩やかな傾斜がつけられている(球面に近い)ため、坂道におくと重力によって前後、左右方向への揺れを生じる。脚足部は胴体と回転軸で固定されているため、脚足部の振り出し動作がなされ、これを左右交互に繰り返すことで坂道を歩行しながら下っていく。歩行動作は以下のとおりである。

- ① 胴体が傾くことで、反対側の脚が坂から離れ、浮いた脚(遊脚)が前に振り出される
- ② 全体の重心が前方に移動し、坂についている脚(接地脚)を使って前へ進む
- ③ 接地脚がつま先まで接地すると同時に遊脚だった脚のかかところが接地する
- ④ ①と反対側に胴体が傾き、①と左右逆の動作が行われる

①～④の動作を左右交互に繰り返す(図5)。斜面を歩行することで、重心の高さの変化に相当する位置エネルギーが供給され、揺動運動が減衰することなく繰り返される。

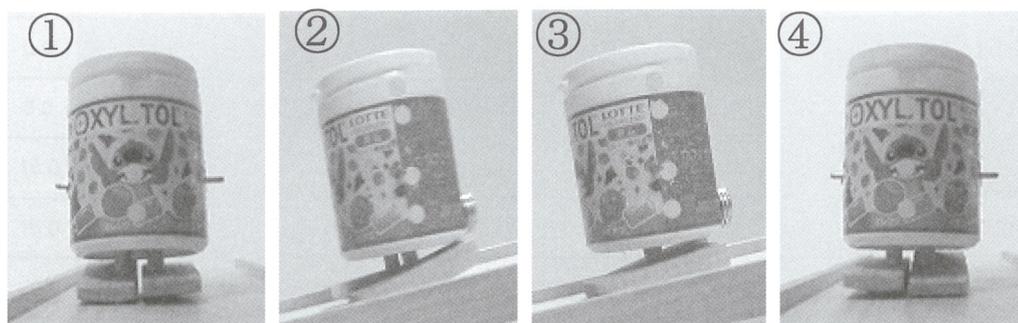


図5 歩行動作

### 3-2 歩行時の消費エネルギーの検討

歩行の消費エネルギーを、単位質量の物体（人もしくは歩行模型）が単位距離を歩行するのに必要なエネルギーで定義し、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する。したがって、歩行時の消費エネルギー $\eta$ は、斜面の角度 $\theta$ と重力加速度 $g$ を用い

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

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。本研究で用いた斜面の角度 $\theta = 8^\circ$ はであるので、消費エネルギーは $\eta = 1.38J/kg \cdot m$ 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消費エネルギーは $E = g\mu = 2.94J/kg \cdot m$ となる。また、人間の平地歩行における消費エネルギーは<sup>2)</sup>

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

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。

### 3-3 脚部回転軸取り付け位置の検討

ガムケースの重心（下面から67.8mm）の位置を基準にしてシャフトを通す穴の位置を円筒表面上5mm間隔で設定し、最も安定して歩行のできる穴の位置を決定する。実験の結果、歩行が可能な穴の位置は図6中の座標A(0, -30)とB(5, -30)であった。しかしシャフトがAの位置のときは歩行時に胴体が前方に傾き、そのまま止まる、もしくは倒れることもあった。以上のことからガムケースを用いたトコロボにおいてはB(5, -30)の位置、つまり重心から下方に30mm前方に5mmの位置に穴をあけることが適切である。

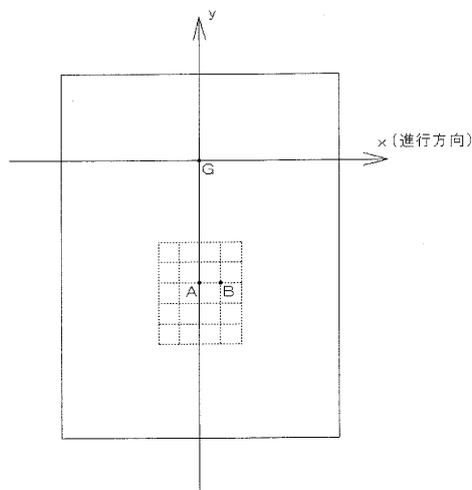


図6 ガムケースの断面における座標軸

### 3-4 足裏形状の検討

トコロボの足の裏は緩やかな傾斜がつけられており、これによって歩行時に前後左右への揺れを発生させている。また、これまでの実験で得られた条件を満たしていても、足の裏の形状の違いによって傾き方が大きく変わるため、足の裏の形状は歩行ができるかどうかを決める最も重要な要素である。したがって、歩行が可能な足をつくるために足裏の形状を測定した。

測定はかかとの内側を基準点とし足の裏を 5mm 間隔の格子状に区切り、各交点での板厚をマイクロメーターで測定し、足裏の形状を示す (表 1)。また、板厚を等高線で示すことにより視覚的に足の裏の形状を捉えることができるように図 6 に示した。

足部を脚部に接続する軸は、両足ともに (25, 5) にあり、左足は (10, 5) の位置で板厚が最大の 13.62mm、右足は (15, 5) の位置で板厚が最大の 13.22mm であり、そこからつま先・外側に向かって緩やかな傾斜がつけられている (図 7)。製作は手仕上げによるため、左右に違いがある。

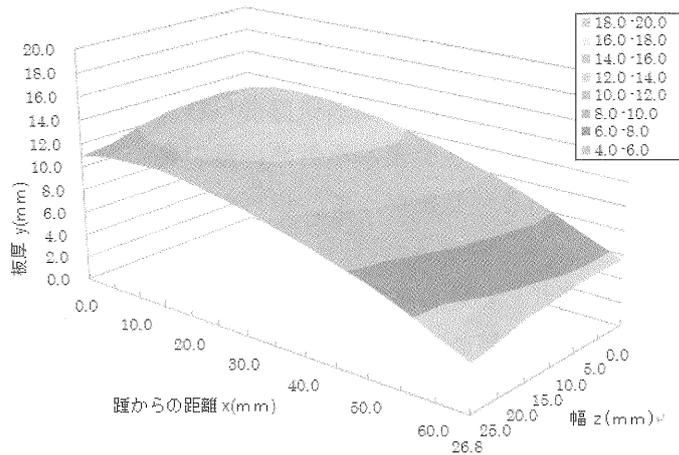
表 1 足部の板厚分布

(a) 左足

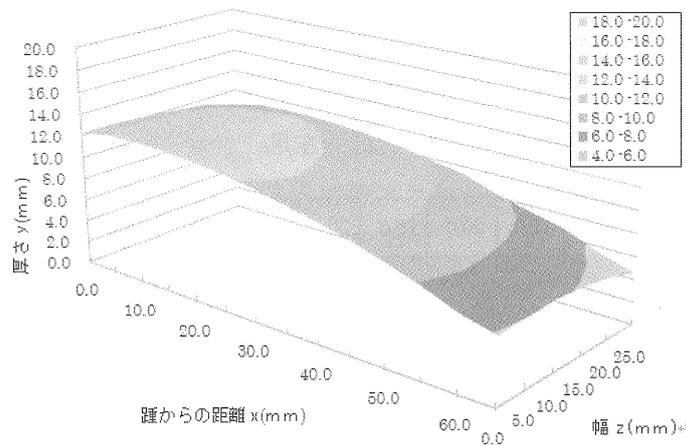
$\begin{matrix} x \\ z \end{matrix}$	0.0	5.0	10.0	15.0	20.0	25.0	30.0	35.0	40.0	45.0	50.0	55.0	60.0	64.2
26.8	10.93	11.45	11.57	11.66	11.85	10.94	10.41	9.71	9.05	8.23	7.47	6.40	5.15	4.00
25.0	11.24	11.74	11.87	12.05	11.72	11.22	10.74	10.07	9.35	8.60	7.65	6.50	5.25	4.41
20.0	12.04	12.60	12.73	12.72	12.43	12.05	11.35	10.79	10.07	9.07	8.13	7.09	5.95	5.04
15.0	12.58	12.99	13.26	13.19	12.82	12.38	11.85	11.17	10.40	9.51	8.51	7.48	6.27	5.23
10.0	12.73	13.45	13.53	13.40	13.15	12.83	12.20	11.60	10.81	9.88	8.77	7.74	6.53	5.55
5.0	12.86	13.55	13.62	13.55	13.25	12.93	12.30	11.65	10.92	10.10	9.01	7.97	6.76	5.63
0.0	12.57	13.17	13.32	13.25	12.95	12.63	12.00	11.44	10.64	9.87	8.94	7.81	6.66	5.55

(b) 右足

$\begin{matrix} x \\ z \end{matrix}$	0.0	5.0	10.0	15.0	20.0	25.0	30.0	35.0	40.0	45.0	50.0	55.0	60.0	64.2
0.0	12.27	12.73	12.84	12.76	12.53	12.20	11.79	11.13	10.51	9.75	8.86	7.83	6.64	5.88
5.0	12.25	12.95	13.10	13.22	13.17	12.80	12.21	11.58	10.97	10.26	9.37	8.23	7.12	6.00
10.0	12.05	12.76	12.94	12.96	12.80	12.51	12.00	11.50	10.88	10.14	9.23	8.13	7.00	6.14
15.0	11.77	12.41	12.65	12.68	12.42	12.07	11.71	11.24	10.58	9.68	8.89	7.85	6.73	5.88
20.0	11.42	11.88	12.07	12.22	11.96	11.71	11.17	10.67	10.08	9.17	8.33	7.37	6.35	5.37
25.0	10.58	11.16	11.25	11.22	11.08	10.79	10.40	9.82	9.33	8.27	7.50	6.78	5.56	4.56



(a) 左足



(b) 右足

図7 足裏形状

### 3-5 足裏接地部の検討

トコロボは、重力を利用して前後左右への揺れを繰り返し、坂道を歩行するが、歩行運動での足裏の使い方を明らかにするために、歩行時の足裏の接地部を測定する。

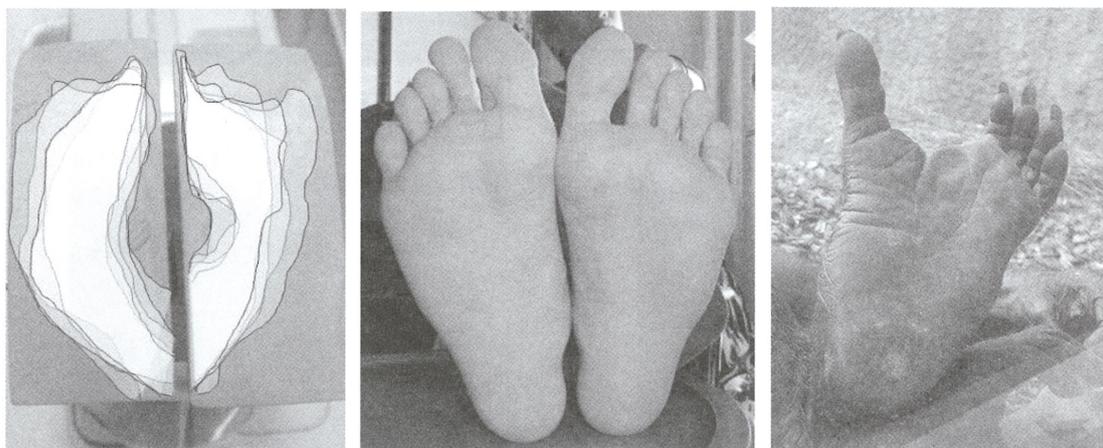
坂道に色のついた粉を薄く敷き、この上をトコロボが歩行することで、足裏が接地した部分のみに色がつくようにした。毎回足の裏についた粉をきれいにふき取りながら歩行を5回繰り返し、色のついた部分を比較した。実験に使用した粉は粉末絵の具（金のパール粉）である。

実験結果を、図8(a)に示す。5回の歩行の共通点として、つま先、かかとの外側、中央内側が使われていないことがわかる。足裏の接地点については歩行の条件や安定性の向上に直接的には関係がないが、これを明らかにすることで足裏の加工・調整の際に接地する部分を特に丁寧に仕上げなければならないことがわかり、作業の時間短縮、容易化ができると考えられる。また、接地しない部分は歩行に必要ながないので削るなどして足を自分の

好きな形状に加工することができると考えられる。

また、トコロボの足の裏には接地する部分に「土踏まず」が存在し（図8(a)）、人間の足裏の形状（図8(b)）とよく似ていることがわかる。一方、チンパンジーの後肢（図8(c)）は、木に捕まりやすいように親指が手の指のように大きく、角度も他の指と異なっており、「土踏まず」が存在しないことがわかる。人間の足で、他の動物にはみられない最大の特徴はアーチの形成で、内側アーチ、外側アーチ、前側アーチ（横アーチ）の3つのアーチがあり、この3つのアーチからなる足底弓蓋が「土踏まず」を形成する。

人間という生物の体の形状が物理現象から得られる結果と一致しているおもしろさや不思議さを示すことができたといえる。これは子どもたちにトコロボで遊びながら、人間の2足歩行を力学的に考えたり、人間の進化を考えるきっかけを与えるなど、理科への気付きを促すことのできる資料として示すことが可能である。



(a) 粉のついた範囲

(b) 人間の足裏

(c) チンパンジーの足裏<sup>3)</sup>

図8 トコロボと人間、チンパンジーの足裏の比較

#### 4. 商品開発

トコロボ開発会議での報告内容を参考にし、より玩具性の高いトコロボを製作し商品化するために、デザインの改良（図9）とともに、パッケージ（図10）や説明書（図11）などの付属品を作成した。

図9に示すように、脚足部はこれまでと同様に足部を脚部に差し込んで組み立てることに加え、腰部に脚部をシャフトで留めることで、腰の部品がスパーサのはたらきをするようになっている。脚足部と腰を組み立てたら胴体をかぶせて歩行ができる位置を見つけ、木工用ボンドで接着し、完成する。また、胴体後部にはランドセルをモチーフとした重りをつけて歩行させる。胴体は図9のような円筒形にくぼみをつけたもののほか、くぼみのない円筒形、たまご型の3種類のタイプを製作した。

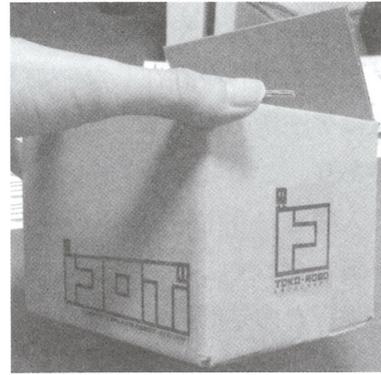
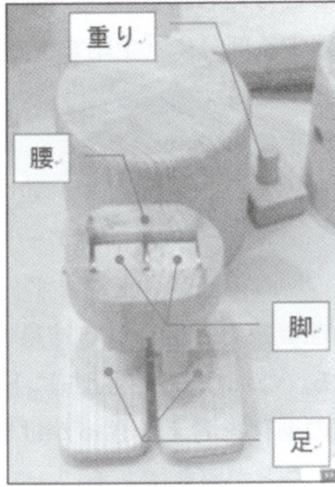
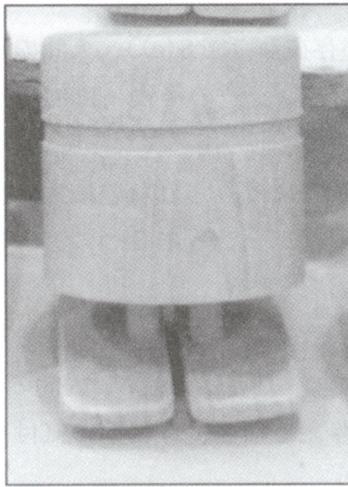


図9 製品版『トコロボ』とその構成部品

図10 ロゴ付きのパッケージ

**トコロボ** の組み立て方  
(組み立てモデルの場合)  
※木工用ボンドは別途にご用意ください。種類や固まり具合が異なりますので、お使いの通り様子が作れる時は、必ず大人が一級に手伝ってあげてください。

① 用意の外筒と真中にワッシャーをはさむ。 ② ①の用意を脚パーツにさし込み、脚を通す。

③ ②でできたパーツの真中にボディーを乗せる。※真中から外れるとまっすぐ歩かないよ。  
木工用ボンドを塗る場合は、ココ！  
※穴があいている力が弱中です!!

※トコロボはボンドで貼らなくても歩きます。  
ボディーを昇れないようにしたい場合は、ボンドで貼ってください。

④ トコロボの真中にある穴にランドセルをさしこんで、完成だ!!

**トコロボの歩かせ方**

- トコロボは木の板の上を歩かします。
- 木の板で坂道を作り、下り坂を歩かせてみましょう!
- 途中で止まってしまったら、真中をちょっとだけ、つついてみましょう。

★好きな色やデコをつけて、君だけのトコロボを歩かせよう!!

トコロボについてのお問い合わせは、メールでお問い合わせください。……  
プラネット・プランター 編集: はびま hazama@pls-pls.com

**トコロボ** トコロボは、カタカタと足を動かしながら歩いている。これを観察すると面白い。トコロボの足や足の裏の裏、歩道の角や手に触れられることで、まるで生物のように自然に「歩く」ことができるんだ。

**トコロボの歩き方を見てみよう**

トコロボは、足を動かすトコロコと足を歩く。その歩き方のポイントは「バランス」なんだ!

① おっと!!倒れないように、片足を前に出そう。

- ・トコロボが前進すると、胴体が揺さ。
- ・揺さ揺さの足がプルプルになる。
- ・プルプルの足が重みによって前に振り出される。

② 後ろの足で力強く地面をけるぞ!

- ・足が前に振り出されると、体の重心が前方に移動し、地面につけている足を使って、勢いよく!
- ・後ろに残した足のつま先が地面に着いて、前に歩出した足のかかとが地面に着く。

③ 体が左右に揺れてもバランスをとるんだ。

トコロボの体の揺れが左右に揺れ、もう片方の足が歩いてプルプルになり、前に振り出される。

①~③の動きをくりかえしながら前進を歩かんだ。

**トコロボの足の裏は、僕ら人間と同じだった!!**

トコロボが歩いている時のバランスを調べていたら、トコロボにも「つちあまみ」があることがわかったんだ!

人間の	トコロボの
右足のうら	右足のうら
左足のうら	左足のうら

トコロボの「見えにくい足の裏」  
一の面の白い面が、トコロボが歩くときに地面に長く接している「足の裏」です。長く接する「つちあまみ」に似た形をしているね。

(写真: 駒込大学教育実践部から送るトコロボの足の裏の写真を参照)

図11 製品版トコロボ説明書

## 5. クリスマスフェスタ2011での製品発表

クリスマスフェスタ2011にてトコロボを出展し、子どもたちに自由に遊んでもらう場を設け、子どもから大人までの反応を調べた。

[場所] ツインメッセ静岡

[日時] 2011年12月10・11日

子どもから大人まで「かわいい」「ほしい」「不思議」などといった声が聞かれ、トコロ

ボのデザイン性や物理現象を用いた機構が評価されていた。展示用にペイントや装飾のされたトコロボを多く展示しており、それを見た人からは「やってみたい」という声が聞かれたことや、子どもが自分でシールを貼るなどしてデザインを楽しんでいる姿から、子どもにも支持されるデザインを実現することができたと考えられる (図 12)。また、動作原理を聞くと、重力などといった言葉を使って自分なりに説明をする子どもも見られた。



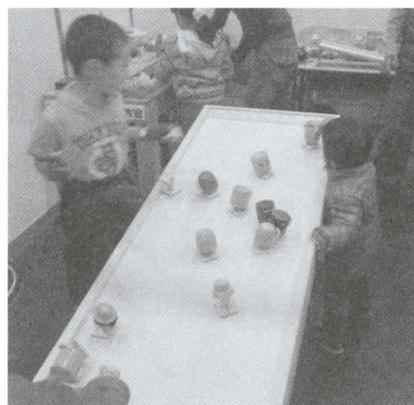
(a) 展示用 My トコロボ



(b) 展示用トコロボの一部



(c) トコロボポスター



(d) トコロボで遊ぶ子どもたち



(e) 歩行しないトコロボを心配そうに見つめる子ども



(f) トコロボ内部にモーターや電池を覗き込んで探す大人たち

図 12 クリスマスフェスタでの展示・披露

## 6. まとめ

本研究では、子どもたちが創意工夫でき、遊びながら科学的、理論的アプローチをする意識付けができる玩具、科学的探究心を醸成し、ものづくりへの関心を高める玩具として2足受動歩行玩具『トコロボ』を開発した。

クリスマスフェスタでは、『トコロボ』で遊びながら動く原理を考える子どもの姿や製作技術やデザイン性を評価する大人の意見があり、魅力的な玩具であることが実証された。

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：「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) 中村隆一・齋藤宏・長崎浩：『基礎運動学』、医歯薬出版、(2003)
- 3) Zoology 哺乳類おもしろザツ学  
<http://homepage2.nifty.com/zooyan/tokusei-honyuu.html>（参照：2012.3.1）

## 技術教育専攻4年 鬼木 大

いまだ解明されていない部分が多い受動歩行についての研究であったが、実験により『受動歩行模型のつちふまず』を発見するなどできたことに、自分自身の科学的探究心をくすぐられることが多かった。企業の考えを聞き、消費者のニーズを調査し、実際に『トコロボ』を販売するまでに至ることができ、本研究を通して大きな達成感と自信を得ることができた。来年度も研究室が関わるいくつかのプロジェクトが継続されるので、これからの研究室のメンバーも積極的にプロジェクトに関わり、様々な力を付けてもらいたい。