

【論文】

## 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

静岡大学教育学研究科後期3年博士課程 静岡大学教育学部

## 要約

ものづくりを学ぶには、構想、設計、製作、評価、発表といったものづくりの過程が大切である。しかしながら、初等教育では体系化された技術教育は行われていないためそのデザイン・プロセスを学ぶ場面は、ほとんどない。ものづくり基盤技術に関する能力を尊重するには、長期的な視点で初等教育から高等教育までの技術教育を考えて行く必要がある。

本研究では、初等教育のために開発した紙製4足受動歩行模型を使用して、ものづくりの過程のうち主に設計に主眼を置いた教育方法を提案し、授業実践した。その結果、児童にはものづくりを計画的に行う姿勢が見られ、計画設計能力、作業遂行能力の向上が見られた。また、児童は、この教育方法による授業に対して高い関心と意欲を示した。

**キーワード** ものづくり教育、技術リテラシー、初等教育、設計学習

## 1. 問題及び目的

昨今、若者たちの科学技術離れ、理数科離れ、ものづくり離れの流れは止まりそうになく、我が国の産業界にも大きな影響を及ぼそうとしている。技術教育は、産業教育の面からこの社会的問題に関連しているが、人として必須となる創造・工夫する能力、設計する能力の育成にも大きな役割を果たしている。すなわち、技術教育は、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、生活に必要な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。我が国は、平成8年度から第1～4次「科学技術基本計画」により長期的視野に立って体系的かつ一貫した科学技術政策を実行してきている。その計画では一貫して子どものときからものづくりの面白さに親しむ必要性を述べている。現在は平成23年度～27年度第4次「科学技術基本計画」を策定している。その中では以下のことが述べられている。第一に初等中等教育段階から理数科目への関心を高め、理数好きの子ども達の裾野を拡大する。第二に優れた素質を持つ児童生徒を発掘し、その才能を伸ばすため

の一貫した取組を推進することがうたわれている。また「ものづくり基盤技術基本法」のなかで、ものづくり基盤技術に関する能力を尊重する社会的気運が醸成されるよう、小学校、中学校等における技術に関する教育の充実をはじめとする学校教育及び社会教育におけるものづくり基盤技術に関する学習の振興について述べられている。

これまでは小学校における科学的な要素を取り入れたものづくりを行うことは難しかった。しかしながら、平成24年文部科学省研究開発学校において小中学校9年間を通した新教科「みらい創造科」が創設された。また学習指導要領において図画工作は、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。日本では、教師は近年、小学校においてもものづくりを中心とした授業を行うことができる環境が整いつつある。

このような状況の中、日本産業技術教育学会でも小学校と中学校での一貫した技術リテラシーの必要性が取り上げられ、学会誌においても小学生を対象とした研究報告がある。しかし、長期的な視点での技術リテラシーのためには、初等教育から大学へと繋がる内容が必要である。またものづくりを学ぶには、構想、設計、製作、評価、発表といったものづくりの過程が大切である。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、ものづくりの過程、すなわちデザイン・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、初等教育から身につけるべき技術リテラシーであると考えられる。

構想から設計にいたるプロセスは、工学的には、設計要求、概念設計、基本設計、詳細設計および生産設計が示されている<sup>1)</sup>。これらの過程は、初等教育においては、ものづくりの方法・手順を計画的に考えることに他ならない。岳野(2005)は、計画とは、行為を行う前に目標の達成を見通し、方法や手順及び必要な準備を考える過程であると定義している<sup>2)</sup>。本研究におけるものづくり学習における設計とは、製品に対する設計要求に向け、方法や手順を計画的に考え、実行する過程と定義する。

これまでの小学校では技術的素養を高めるための教育内容や教育方法は少なかった。特に小学校の技術教育に関する研究も少なく、そのなかでも鈴木(2004)が児童の作業分析を行い、短時間で完成度の高い作品を制作する児童は、要素作業に順次性があり集中して作業を行っていることを明らかにした<sup>3)</sup>。また、子どもの学びを軸として教材の開発を行うことが、小学校のものづくり教育の教材開発の基本であることを見出した<sup>4)</sup>。ところが、小学校で技術教育を行う場合の教材はまだまだ少なく、図画工作や理科等の中で目的を異にして行われている教材を目にする程度であった。そこで小学校でも行うことのできる技術教育の教材開発をねらいとし、2足歩行模型を研究してきた<sup>5), 6), 7)</sup>。

諸外国では初等教育から“Technology Education”を始めている国が多い。Kolodner, J.L., (2002)は、“Science”の中でも設計の必要性を挙げ、“Learning by Design”を提唱した<sup>8)</sup>。日本の教育システムでは、生活科、理科、図画工作、総合的な学習の時間等でものづくりが行われることが想定される。藤田ら(2014)は理科の中でものづくり活動を取り入れた研究で、ものづくりには、講義形式の授業では味わうことが難しい驚きや感動が得られること、実感を伴った理解ができること「できた」と言う有能感を自覚できることなど多くの意義があることを明らかにしている<sup>9)</sup>。しかしながら、小学校でものづくりの実践をするとき構想、設計、製作、評価、発表といったものづくりの過程はあまり意識されていない。設計教育を小学校からでも行え、計画的に作る能力をつける教材を開発し、その教育効果を示すことが本研究の目的である。

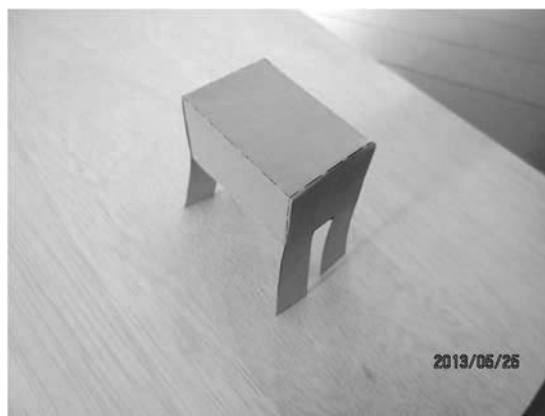


図1 紙製4足受動歩行模型

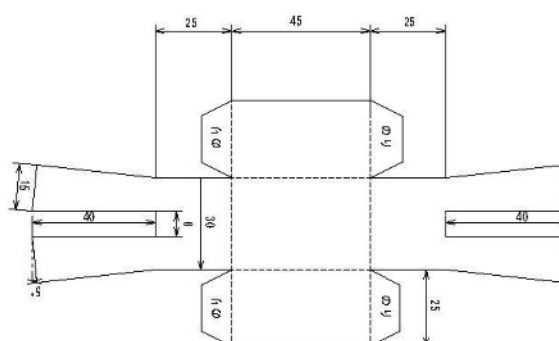


図2 紙製4足受動歩行模型の展開図

## 2. 紙製受動歩行模型

著者らは、小学生でも簡単に楽しく製作することができる紙製4足受動歩行模型を開発した。技術教育では手先の巧緻性の発達もその目標としているが、この教材では、巧緻性の教育よりも設計に力点を置いた教材と教育方法を開発している。小学校の各学年あるいは、材料・工具や工作機械がそろわない世界各国の“Elementary School”を対象に紙とはさみとのりがあればできる最も簡素な紙製4足受動歩行模型を提案した。またその運動特性も明らかにしている<sup>10)</sup>。この紙製4足受動歩行模型は、製作はもとより構想から設計にいたる過程を学ばせるための教材として開発するものである。開発した模型を図1に、その基本模型の型紙を図2に示す。子どもはなぜ動くのかという興味や愛らしくトコトコ歩く姿に関心を寄せる。開発した教材が、これまでの受動歩行模型教材と大きく異なる点は、ハサミとのりのみで製作できることである。これにより、小学校では難しい工作機械による材料の加工をすることなく、構想から設計にいたるものづくりの手順にのみ集中して、調整しながら作るものづくりの製作を体験することができる。

紙製4足受動歩行模型は、位置エネルギーの供給により左右の揺れを継続して歩行を行う。歩行の一步は、接地脚時に荷重で変形した脚が、遊脚時に荷重から解放され元の形状に戻ることににより、その幅が決定される。

脚の変形は、一端固定・他端単純支持された細長い脚(図3)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(座屈荷重)  $P_{cr}$  に近づけていくと、変形した状態で力のつりあいが起こった状態である。

すなわち、脚の長さ  $l$  が大きくなれば最大たわみ  $\delta$  が増し、歩行の一步が大きくなる。脚の長さだけで歩行速度を調整することができる。また、脚底の角度を調整することで左右振動の周期が変わるなど、歩行速度に関係する要素を見つけることができる。

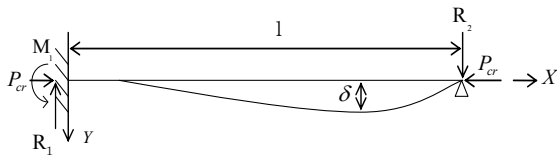


図3 接地脚の大たわみ

### 3. 授業実践

#### 3.1. 実施期間及び対象児童

設計学習を行うための紙製4足受動歩行模型を使用した授業実践を2014年6月に滋賀県内の公立小学校で6年生4クラスを対象に行った。合計152名の児童を対象とした。

#### 3.3. 授業の位置付け

教科は特定することなく特別活動の位置づけである。ものづくりを行いやすい環境を作るために小学校の理科教室で授業実践を行った。小学校におけるものづくりをどの場面においても、設計と言うキーワードをもとに行うための構成であり、そのための試行的授業実践と言える。授業は教職経験5年以上の各クラスの担任が行ったが、ティームティーチングのゲストティーチャーとして著者が参画した。

対象学年は、図画工作で感性に基づく造形的なものづくりを体験しているが、科学的かつものづくりの手順などを意識した学習は全く経験していない学年である。

授業の学習指導案を表1に示す。授業のめあては、エネルギーを利用して、動くロボットを作ることである。

#### 3.3. 授業の内容

導入として、ロボットはどのようなエネルギーを利用しているかについて話すとともに、実際に動くロボットを作ってみたいかと問い、児童の関心を引き出す。

製作の前に、人間の歩行やロボットの歩行を動画で示し、設計や製作を通して歩行原理を追求するための予備知識を与えた。動画は、ロボット製作の黎明期、静歩行をしていた時代のロボットの動画、現在の先端技術を用

表1 学習指導案

	学習活動・内容	教授活動・指導上の留意点等	形態	配時
	本時の事前アンケートの実施			
導入	自分が何を学ぶか学習のめあてはなにかを確認し、自己の学習について認識させる。エネルギーを利用したロボットづくり。		一斉	5
展開	1. 様々なロボット	日常生活で目にする様々なロボットの歩き方に注目させる。	PPT	5
	2. ものづくり環境の設定 (基本模型の製作)	はさみの使い方 模型の製作 模型の歩行・調整	一斉 個	10 20
	3. 設計仕様を与える (最も遅く歩く模型を作る)		グループ	10
	4. 討議	何が動きに関係したかを話し合わせる。 グループごとに結果を発表し、製作品に対する評価を行う。		
まとめ	ものづくりにおける最適化のためのアドバイス	ものづくりの楽しさ、大切さ つくる計画の大切さ ふりかえりシート記入 宿題(家族で遊ぼう)	個	10

いた動歩行をするロボットの動画、さらに受動歩行と呼ばれる一切アクチュエータなどの動力を使わないタイプのロボットを見せた。これにより、歩行のエネルギー源を、様々な角度から考えることを狙うものである。様々なロボットの解説の様子を図4に示す。

小学校では体系的な、技術教育は行われていない。そこで、はさみの使い方など、技能に関する注意をしながら、与えられた型紙に沿って紙製4足受動歩行模型の基本模型を製作する。児童が基本模型を製作の様子を図

4に示す。基本模型は、誰が作っても確実に動作するように設計されているが、脚の曲がり具合など各種の調整は必要である。児童は、調整しながら行うものづくりの大切さを知ることになる。ほとんどの児童は基本模型を製作することによって、他者のロボットと競争する場面が現れることになる。

児童が基本模型を製作する様子を図5に示す。

次の段階として、「最も遅く歩く模型を作ろう。」と言う設計仕様を与える。工学的には最適化設計を行う作業と言い換えることができる。「最も速く」ではなく「最も遅く」という課題にしているのは、著者らの実験の結果、遅い方がより安定した歩行となることの確認が取れているためである。



図4 様々なロボットの解説の様子



図5 児童が基本模型を製作する様子



図6 児童の実験の様子

型紙はあくまで目安とし、脚の長さや、形状を自由に考えて良いことにし、質量も可変できるようにクリップを用意した。また紙製4足受動歩行模型は坂による位置エネルギーを使うことになるが、坂の角度も変更できるように、板の下に敷く角度調整用の角材も複数用意した。児童の実験の様子を図6に示す。

この段階の学習形態はグループによる学習方法を取る。様々なアイデアや知見を児童がグループ内で共有できるように配慮した。何のパラメーターがどのように動きに関係したかをグループ内で話し合い、どうすれば設計仕様に近づくかについて意見をまとめる。まとめた意見をグループごとに発表する。

まとめでは、どのパラメーターが、どのように動きに関係するかについて解説するが、答えは一つではない。脚の長さによって一歩前に入る歩幅が異なることや脚底の角度によって、揺れる周期が異なることなどに言及し、「動力的なものづくりは適当に試行錯誤するのではなく、設計仕様の目標に向かい、試験結果に基づいた設計をすることが必要である。」とまとめた。

#### 4. 調査の手続き及び調査結果

##### 4.1. 調査の手続き

紙製4足受動歩行模型の評価の1つとして、どれだけの児童が、基本模型を安定して歩かせることができるかの調査を行った。「安定」とは用意した長さ1100mmの半分の長さを止まらずに歩くことを言う。

授業の事前・事後には表2に示す質問項目を設定した。「I. 計画設計能力」、「II. 作業遂行能力」の2因子<sup>11)</sup>について各4項目から構成される質問調査を4件法で実施した。

山本らが作成した質問項目を小学校教諭4名に児童が理解できるか否かについて確認した。さらに児童が理解しやすいように教諭らに修正してもらったものを、心理学研究者による確認を取り用いた。

また事後には、表4に示すように紙製4足受動歩行模型の製作の難易度や製作の意欲について、4件法で尋ねた。また授業や紙製4足受動歩行模型の感想を、自由記述で尋ねた。

表2 質問調査項目と結果

	調査項目	事前		事後		t値
		平均	S.D.	平均	S.D.	
I	学習の計画を上手に立てることができると思う	2.59	0.74	2.89	0.81	4.60**
	学習の計画を立てることは大事なことだと思う	3.61	0.59	3.77	0.45	3.23**
	学習の計画を立てたほうがうまくいくと思う	3.58	0.66	3.69	0.64	1.81†
	わからないことは自分で調べようとしている	2.88	0.84	3.01	0.79	2.08*
II	計画を立てると早く作りたと思う	3.31	0.85	3.61	0.62	4.43**
	実験には積極的に取り組んでいる	3.32	0.76	3.38	0.72	1.29
	道具を使うのは得意だ	2.96	0.95	2.96	0.87	-0.11
	ものを作ることはうまい方だと思う	2.58	0.97	2.72	0.91	2.19*

†p&lt;.10 \*p&lt;.05 \*\*p&lt;.01

表3 各因子調査結果

調査因子	事前		事後		t値
	平均	S.D.	平均	S.D.	
計画設計能力	3.17	0.5	3.34	0.5	4.80**
作業遂行能力	3.04	0.65	3.17	0.6	3.38**

\*\*p&lt;.01

表4 製作の難易度・製作の意欲の調査結果

調査項目	平均	S.D.
歩行ロボットの作り方がわかった	3.74	0.54
歩行ロボットは簡単に作る事ができた	3.51	0.75
歩行ロボットを使うと計画が立てやすかった	3.24	0.72
歩行ロボットをまた作ってみたいと思う	3.70	0.62
歩行ロボットを使った授業は楽しかった	3.88	0.39

4件法で得た回答は、A:「はい」を4点、B:「どちらかといえば、はい」を3点、C:「どちらかといえば、いいえ」を2点、D:「いいえ」を1点と点数化し統計処理を行った。

自由記述については、複数回答があるものを取り上げ考察した。

#### 4.2.調査結果

152名の児童全員が、基本模型を安定して歩かせることができた。これにより、紙製4足受動歩行模型が小学校6年生の教材として使用することができることがわかった。

当初、歩かせることができなかった児童も、周囲の児童や教師の助けにより、時間内には歩かせることができていた。また、討議の中では、長さや重さなど動きに関係するパラメーターを複数挙がってきた。

質問調査結果については、t検定の結果、「学習の計画を上手に立てることができると思う」、「学習の計画を立てることは大事なことだと思う」、「わからないことは自分で調べようとしている」の項目について事後に優位な向上が見られた。また、「学習の計画を立てたほうがうまくいくと思う」については事後に有意傾向が見られた。

「計画を立てると早く作りたと思う」、「ものを作ることはうまい方だと思う」の項目においても事後に有意な向上が見られた。「実験には積極的に取り組んでいる」、「道具を使うのは得意だ」の項目については優位な向上は見られなかった。

表3に示すとおり、計画設計能力と作業遂行能力において事後に有意な向上が見られた。

また、表4に示すとおり、製作の難易度・製作の意欲の調査結果については、すべての項目で3.2以上の高い値を示していた。

自由記述の中からは、「ロボットが簡単に作れることがわかった。」(図7)、「家でもう一度作りたい。」(図8)、「脚を短くするとゆっくり歩いた。」(図9)、「顔をつけるとかわいくなった。」(図10)「思い通りに作れた。」(図11)などが複数回答として現れた。

わたしは器用だと思っけり物をつくるのは好きです。でも、今回のロボットはすごく簡単に作れました。家に帰ったら、はやく動く方法も考えたいです。

図7 児童の自由記述1

ロボットは、おえらい人が物理白ワキミ...みていなかた思っていたけど紙で楽しくロボットができて楽しかった。今度家でも作ってみたいと思った。

図8 児童の自由記述2

歩行ロボットがゆ、くり動くには足をみじかくしたりするいいことが分かった。

図9 児童の自由記述3

顔をつけたらかわいくなって おもしろかった。と中々どうしても止まらなくて残念だった。

図10 児童の自由記述4

自分かっこいいのかが思っけりうりにつくることかたはた。

図11 児童の自由記述5

## 5. 考察

小学生にとって設計という言葉や概念は理解できないかもしれないが、ものづくりをするときに作業の手順があるということを認識することは重要である。計画的に製作することが、中学校「技術・家庭、技術分野」での設計や高等教育における工学的設計に繋がる。

今回、計画設計能力と作業遂行能力において事後に有意な向上が見られたことから、紙製4足歩行模型を使用した設計仕様を与える教育方法は、設計学習に有効に作用すると言える。児童は、最初に基本模型を製作しているが、その後、設計仕様に基づく製作に取りかかる。最初は試行錯誤であるが、2回、3回目と回数を重ねるごとに、設計の大切さを認識できたものと思われる。工学的設計も同じようなプロセスを踏むものであり、初等教育においても、設計の初歩に関する教育は可能であると言

うことがわかった。

紙製4足歩行模型は、全員が製作できたこと、児童が必要なパラメーターを見つけられたこと、各因子に優位な向上があることや「また作ってみたい」、「授業は楽しかった」と多くの回答があるように児童の高い関心を誘う、有効な教材であることが示された。また、自由記述において「家で作りたい。」という回答から、家庭をも巻き込む教育環境を作り出す可能性も示された。小学生の製作意欲を高めるために、ロボットに動物やロボットの顔をつけたりする装飾を取り入れる可能性も見出せた。「思い通りに作れた。」という回答からは、児童が、設計仕様に基づき、ロボットを制御できている様子が見え、工学における最適化設計に近づいていることがわかる。

この実践は、紙製4足歩行模型を使う授業で完結するものではなく、動きに関係するパラメーターを見つけ、設計する力をつけようとするものである。それゆえに、他の科学的ものづくりにおいても、同じ認識を持って製作に取り組むことができるものと考えている。将来的に他の場面においてもその検証を行うことが、必要であると考えられる。

## 6. 結言

初等教育におけるものづくりは、その有効性を誰もが認めることであろう。しかしながら、その教育方法は体系化されておらず、その効果も明らかにされてこなかった。

著者らは、初等教育のために開発した紙製4足受動歩行模型を使用して、ものづくりの過程のうち主に設計に主眼を置いた教育方法を提案し、授業実践した。その結果を以下のようにまとめる。

1. 紙製4足受動歩行模型は小学生(6年生)において、確実に製作することができる。
2. 児童にはものづくりを計画的に行う姿勢が見られ、計画設計能力、作業遂行能力の向上が見られた。
3. 児童は、この教育方法による授業に対して高い関心と意欲を示した。

以上、紙製4足受動歩行模型と設計仕様を与える教育方法について実践を行った結果、初等教育における設計教育のきっかけについて示すことができた。今後、他の題材についての転移についても検証していきたい。

## 謝辞

本研究を行うにあたり、研究の趣旨をご理解いただき、授業実践の場を提供していただいた滋賀県守山市立物部小学校、校長 園田和美先生、教諭 掘道雄先生はじめ関係の先生方、児童の皆さんにこの場を借りて、お礼申し上げます。

## 参考文献

- 1) 赤木新介, 藤田喜久雄 (1990), 設計エキスパートシステムの基礎と応用, コロナ社, pp. 3-6
- 2) 岳野公人 (2005), ものづくり学習の構想設計における生徒の思考過程, 風間書房, p. 73
- 3) 鈴木隆司 (2004), 小学校でのものづくりの授業における児童の作業分析, 日本産業技術教育学会誌, 第46巻1号, pp. 25-31
- 4) 鈴木隆司 (2013), 小学校におけるものづくり教育の教材開発, 千葉大学教育学部研究紀要, 第61巻, pp. 145-153
- 5) 山田哲也, 鞍谷文保 (2006), 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
- 6) 松永泰弘, 中村玄輝, 山田哲也, 鞍谷文保 (2007), 教材用2足やじろべえ型受動歩行模型の運動解析, 日本産業技術教育学会誌, 第49巻3号pp. 205-211
- 7) 山田哲也, 鞍谷文保, 前田浩司 (2013), 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
- 8) Kolodner J. L., (2002), " Learning by Design : Iterations of design challenges for better learning of science skills , " Cognitive Studies, 9(3), pp. 338-350
- 9) 藤田剛志, 日向彩子 (2014), ものづくり活動を取り入れた理科教材の開発に関する研究－実践的指導力の育成をめざした教員養成の試み－, 千葉大学人文社会科学研究所 no. 28, pp. 13-31
- 10) T. Yamada, K. Maeda, Y. Matsunaga, (2014), Development of Design Education Method Using Passive Walking Paper Robots in Elementary School, International Journal of Innovations in Engineering and Technology, JTL-AEME Special Issue, pp. 72-75
- 11) 山本利一, 大関拓也, 五百井俊宏 (2008), マインドマップを活用した生徒の思考整理を支援する指導過程の提案, 教育情報研究, 第24巻3号, pp. 23-29

【連絡先】 山田哲也 tetyamz@cii.shizuoka.ac.jp  
 松永泰弘 eiymatu@ipc.shizuoka.ac.jp

# A Study of Design Education Using Passive Walking Paper Robot in Elementary School

Tetsuya Yamada and Yasuhiro Matsunaga

*Graduate School of Education Cooperative Doctoral Course in Subject Development, Shizuoka University*

*Faculty of Education, Shizuoka University*

In order to study manufacture, the process of craftsmanship, such as a concept, a design, manufacture, evaluation, and an announcement, is important. However, at elementary school education, there is no scene of studying the design process since systematized technology education is not performed. In order to respect the capability about craftsmanship fundamental technology, it is necessary to consider the technology education from elementary school education to higher education, and to go on a long-term view. We used the passive walking paper robot developed for elementary school education in this study. We proposed the education method which mainly put the chief aim on the design among the processes of craftsmanship, and did lesson practice. As a result, the posture in which craftsmanship was intentionally performed to a child was seen, and improvement in planned design capability and work execution capability was found. Moreover, the child showed high concern and volition to the lesson by this education method.

## **Keywords**

technology education, technology literacy, elementary school education, design education