

## 転上体を題材とした説明の実験授業について

玉越靖司\*

転上体は、一見不思議な動作をする物体である。しかしそこにはモータなどの仕掛けがないので、物は高い所から低いところに移動するという、重力による説明の存在性を疑う余地はない。しかもその説明が易しすぎないことから、学生が説明の練習をする題材として好都合であると考えた。そこで、学生に転上体を見せ、その動作原理を考えて説明するレポートを課した。この実験授業を、学生のアンケート結果や説明レポートの結果の分析とともに報告する。

**Keywords** : 科学的説明, 図, キーワード, モデル化, 証明問題.

### 1. はじめに

技術者に限らず凡そ職業人は、お客様や同僚に対して自分の考えを論理的に説明する必要がある。学校における説明練習の題材としてすぐに思いつくのは、数学の証明問題であろう。しかし、学校教育の中で作られた問題では、問題そのものを説明するためのモデルが出題者によって作成され、式や図の形で解答者に与えられることが多い。説明の練習には、モデル化も学生自身が行うような題材が望ましい。

転上体(図1)は、算盤珠の形の車輪がV字に組み込まれたレールの坂道を登るといって、一見不思議な動作をする。しかしそこにはモータなどの仕掛けがないので、重力に基づく説明が可能であることは明らかである。この現象が起きる条件を検討すると、高校の数学Iで習う簡単な三角比で解けることがわかる。また、インターネット上に、モデル化を含む適当な説明は見当たらない。以上から、転上体は学生の説明練習の題材として好都合であると考え、転上体の動作原理を説明するレポートを課した。この実験授業について報告する。



図1 転上体

### 2. 転上体の実演

近畿能開大には、高校への出前授業などに使用するために製作した転上体がある[1]。2016年2月22日、それを電子情報技術科1年次生の前で実演した。実演に先立ち、これから見せる不思議な物の動作原理を考えて説明するレポートを作成するよう指示した。安易なインターネット検索を防ぐため、転上体という言葉は使わず「不思議な物」としたが、本稿では転上体と呼ぶ。実演の手順と結果は以下の通りであった。

- (2-1) レールの形状(V字)を言葉で表現して確認した。
- (2-2) 坂の途中に棒を置いて、手を放すとどうなるか想像させ、実験した(棒は坂の下方向に転がった)。
- (2-3) 車輪の形状(算盤珠)を言葉で表現して確認した。
- (2-4) 坂の途中に車輪を置いて、手を放すとどうなるか想像させ、実験した(車輪は坂の上方向に転がった)。
- (2-5) 再度実験するよう要求する学生がいたので、同じようにやってみせた(筆者が足を使ってテーブルを傾けていないことを確認する学生がいた)。
- (2-6) しばらく学生に自由に実験させた。
  - 各部の長さを測る学生がいた。
  - 棒と車輪を同時に放すと反対に動くことから、さきほどの実験結果を追確認する学生がいた。
  - レールを平行にするとこの現象が起こらなかったの、V字のレールが重要だと気付いた学生がいた。
  - 視点を変えることで、車輪とレールとの接点が変わり車輪の軸が下がることに気付いた学生がいた(図2)。
- (2-7) レポートではきちんと説明するよう指示したところ「証明のことでですか?」と言った学生がいた。
- (2-8) 転上体の動きを撮影した動画ファイルをサーバに置いて、学生が繰り返し見られるようにした。

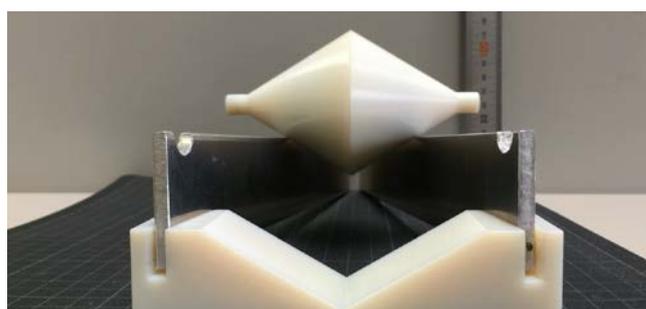


図2 点上体(正面)

### 3. アンケート

レポート提出期限の3月4日、実演やレポートについてのアンケートを実施した。図3にその結果を示す。

(3-1) 転上体の実験を見るのは面白い(70%)が、自分がレポートを書くのは面倒くさい(52%)。好奇心はあるが受身になっている実態が読み取れる。同様に、教員の説明は聞いてみたい(83%)など受身の要求は多いが、自

\* 電子情報技術科

# レポート課題アンケート

## アンケートの目的

前回授業で見せた「不思議な物」は「転上体」というものです。レポートでは「転上体」の動作原理について考えてもらいました。それが論理的思考の練習になったかどうかをみます。

## 転上体について

1. 以前どこかで転上体を見たことがありますか？(1つ選択)  
 → どこで？(テレビ) **26%** 見たことがある  
 白浜エネルギーランド **17%** 見たことがあるかもしれない  
 思い出せない **57%** 初めて見た
2. 転上体を見て面白かった点(無回答・複数回答可)  
**43%** 普段の授業と違う感じだったので面白い **35%** 意外な動きなので面白い  
**65%** 物が動くのが目に見えるので面白い **35%** 電気を使わないのが新鮮  
**0%** その他 → ( )
3. 転上体を見て詰まらなかった点(無回答・複数回答可)  
**9%** デジタル回路と関係ないので詰まらない **7%** 何が不思議なのかわからない  
**9%** 物が動くのには興味が無い **9%** ローテクな感じがして詰まらない  
**4%** その他 → (ネタばらししようになった人がいる)
4. 全体として、転上体を見てどう感じましたか？(1つ選択)  
**70%** 面白かった  
**0%** 詰まらなかった  
**30%** どちらでもない・何とも感じなかった

## レポートについて

5. 「説明」するためにしたことは何ですか？(無回答・複数回答可)  
**78%** インターネット調べた **0%** 本や雑誌で調べた  
**61%** 自分で考えた **17%** 人に教えてもらった  
**9%** 人と議論した **13%** 実験をして確かめた  
**0%** その他 → ( )
6. レポートで「説明」する相手として想定した人は誰ですか？(無回答・複数回答可)  
**9%** 小学生、中学生 **9%** 高校生、後輩  
**26%** 一般の大人(親、地元の人を含む) **13%** 技術者(同級生、先生を含む)  
**9%** その他 → (自分)  
**17%** くに対象はない **26%** 対象は考えていない

7. 「説明」するとき気に付けたことは何ですか？(無回答・複数回答可)  
**17%** 正しい用語を使って誤解がないようにする **26%** 平易な言葉を使う  
**4%** 場合分けなどして、できるだけ正確にする **35%** だいたい「感じ」がわかるようにする  
**4%** 論理的な飛躍がないようにする **17%** できるだけ短く説明する  
**4%** 説明になっているか、人に聞いてもらう **48%** 自分で納得する説明にする  
**0%** 断定(「である」など)を積み重ねて書く **9%** どうしても取れるよう曖昧に書く  
**43%** 丁寧に図を描く **13%** 誤字・脱字がないように書く  
**0%** その他 → ( )

8. 「説明」するのは難しかったですか？(1つ選択)

- 0%** 「転上体」の原理はわかったので、その通りに「説明」を書いた
- 61%** 「転上体」の原理はわかったが、どう書けば「説明」になるかわからないので困った
- 17%** 「転上体」の原理はわからないが「説明」は書けた
- 13%** 「転上体」の原理はわからないので「説明」できなかった
- 4%** その他 → (自分なりの原理に基づいて説明した)

9. 全体として、このレポート課題をどう感じましたか？(無回答・複数回答可)

- 26%** いっぱい考えた **13%** あまり考えなかった
- 52%** 面倒くさかった **4%** 面倒くさくはなかった
- 57%** 難しかった **4%** 難しくはなかった
- 48%** 疲れた **30%** 楽しかった
- 26%** 同じようなことをまたやってほしい **35%** もう嫌だ
- 13%** その他 → (物理が苦手です)

次回があるならもっと細かく書きたい、  
学期末でテストやPVがあり考ええる時間がなかった

## 説明について

10. 正しいかどうかは別にして、自分の「説明」に満足ですか？(1つ選択)  
**4%** 自分としては満足できる説明になった **26%** まあまあ満足できる説明になった  
**61%** あまり満足な説明になっていない **4%** まったく満足できる説明ではない  
**0%** その他 → ( )
11. 次の「説明」の中で、できそうなものはありますか？(無回答・複数回答可)  
**48%** 「三平方の定理」の説明 **4%** 「三平方の定理」の証明  
**48%** 「台形の面積の公式」の説明 **13%** 「台形の面積の公式」の証明  
**52%** 「オームの法則」の説明 **13%** 「オームの法則」の実証  
**48%** プログラムの説明 **13%** プログラムにバグがないことの説明  
**26%** モータという部品の説明 **17%** モータという部品の動作原理の説明  
**48%** 高校までの道順の説明 **61%** ゲームの操作方法の説明
12. 次回、玉越の「説明」を紹介します。長くなりますが興味ありますか？(複数回答可)  
**83%** 先生の「説明」を聞いてみたい **4%** もう少し考えたいので希望者だけ  
**13%** 難しい「説明」なら不要 **0%** 興味ない  
**13%** 自分の「説明」にコメントがほしい **0%** 自分の「説明」も紹介してほしい  
**39%** 学生の最優秀の「説明」を紹介してほしい **13%** 何人ができたか教えてほしい  
**0%** その他 → ( )

質問は以上です、ご協力ありがとうございました。

図 3 アンケートの結果

分の説明を紹介したい(0%)や、もう少し考えたい(4%)、といった能動的な要求は少ない。

(3-2) 物が動くのが目に見えるのは面白い(65%)が、自分の説明には満足していない(61%)。具体的な事象をモデル化して表現すること課題がある。

(3-3) 正しい用語(17%)より平易な言葉(26%)、正確さ(4%)よりだいたいの感じ(35%)を心掛けた者が多い。表面的なわかりやすさを重視する傾向がある。

(3-4) 断定的な書き方を心掛けた者はいなかった(0%)。論理的な説明に慣れていない者が多いことがわかる。

(3-5) オームの法則を説明できる(52%)と言うが、実証できる(13%)者は少ない。簡単な直流回路を作ることによってV=RIの実証は容易である一方、なぜそうなるのかという説明は容易でない筈である。学生の言う説明とは、V=RIという知識のことではないかと思える。

(3-6) まずはインターネットで調べる(78%)スタイルが定着している。インターネット上で転上体の説明を探すのは困難だが、その場合には他の者と議論して考えを練る(9%)より、独りで考えた(61%)者が多い。

#### 4. 説明レポート

4.1 要求レベル 説明の要求レベルを示唆するために、筆者が作成した説明例のうち p.1(図 10)だけを学生に配布しておいた。学生はその続きを書いても良いし、または無視して独自の説明を書いても良いとした。

4.2 提出期限 実演を見た学生 23 名のうち、18 名は提出期限の 3 月 4 日(金)にレポートを提出した。2 名は 7 日(月)に提出した。3 名は提出しなかった。

4.3 キーワード レポートには 5 個以内のキーワードを付与するよう指示しておいた。キーワード付与の本来の目的は、文書の検索性を高めることである。しかし学生にとっては、自身の説明の要点を再確認する有意義な機会になる。図 4 に学生が付与したキーワードの個数、表 1 にキーワードの出現度数を示す。「重心」や車輪の形状、レールの形状に関するキーワードが多かったことから、多くの学生は少なくとも定性的には転上体の動作原理を理解したと考えられる。

4.4 図 学生には、説明を記入するためのレポート用紙を配布しておいた。レポート用紙の上半分には、図を描く領域を設けた。図を描くためには、事象から必要な情報を抽出して単純化させるモデル化が必要である。説明練習のためには、学生自身が転上体をモデル化して図を描くことが期待される。筆者の説明例は 5

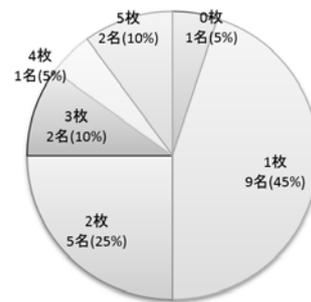


図 5 図の数

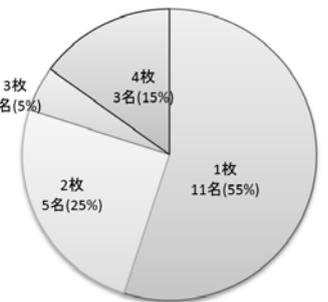


図 6 説明の枚数

枚(p.1 の図を除くと 4 枚)である。提出された説明レポートでは、自分で描いた図が 1 枚以下の者が 10 名(50%)いた(図 5)。転上体各部の素描を描き、それを図とした者もいた。また、上記素描を含む 7 名(35%)の図には、記号や補助線が全くなかった。モデル化に慣れていない学生が多いことがわかる。

4.5 説明の量 説明の質は量に比例するわけではない。しかし、込み入った内容を説明するためには、ある程度の量が必要になるのは自然である。筆者の説明例は 5 枚(p.1 を除くと 4 枚)である。うち 1 枚は蛇足であることを考慮しても、4 枚(p.1 を除くと 3 枚)である。提出された説明レポートでは、自分で書いた説明が 1 枚の者が 11 名(55%)いた(図 6)。アンケートでは、短い説明を心掛けた者は少ない(17%)ので、多くの学生にとってこれが精一杯の説明だと考えられる。

4.6 説明の方針 この実験授業の性質上、説明レポートの正しさより、その説明の方針に関心がある。実演で示したように、棒と車輪とでは転がる向きが違う。これが転上体の不思議さなので、転上体の説明とは転がる向きを差を生み出す条件を示すことにほかならない。実演によってすでに一部の学生が直観的に理解したように、この現象は車輪とレールの形状とその程度によって起こる。したがって、説明はそれらの形状を定量的に検討する必要がある。レポートを分類したところ、8 名(40%)は定量的に説明した(図 7)。うち 1 名は各部の長さを実測し、坂の下にある時の車輪の軸が、上にある時より高い位置にあることを示した。残りの 7 名は車輪やレールの形状のモデル化を試みた。うち 4 名は、この現象が起きる条件に言及した。上記 8 名は、説明の正しさは別として、定量的に説明しようとした方針は科学的だと言える。他の 12 名は定性的な説明に終始した。これは直観的理解を日本語の文章で表現したにすぎず、説明の方針として不十分である。

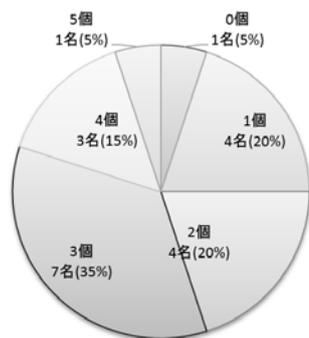


図 4 キーワードの個数

表 1 キーワードの度数

12	重心
8	円錐など車輪関係
7	幅などレール関係
6	傾きなど坂関係
5	重力
2	角度
2	力、力の向き
2	沈む
1	長さ
1	重量
1	線対称

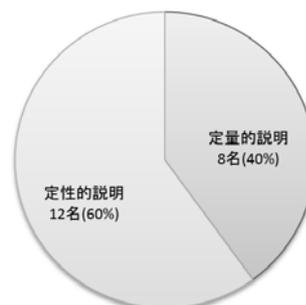


図 7 説明の方針

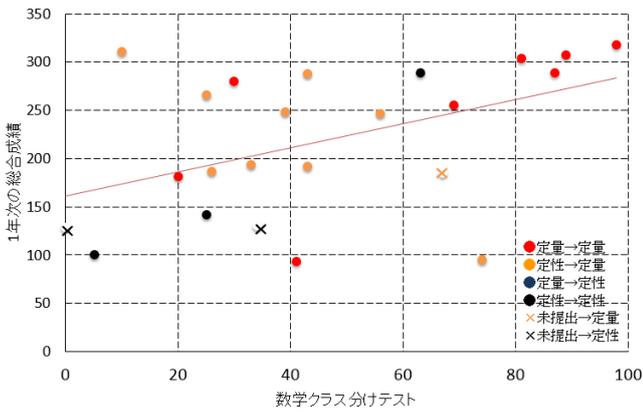


図8 学力と説明方針の関係

### 5. 学力との相関

現実世界を要領よく抽象化した略図を描き、その地図を使って目的地まで道案内するのは、まさに説明である。略図を描いて道案内できるか否かは、中学への進学時に小学生の能力を測る指標の一つだという[2]。しかし2004年度の高校入試では、いわゆるゆとり教育の影響により、地図を使って道順を説明できない中学生が半数近くいたという[3]。このことは、学力と説明能力との相関を示唆している。そこで、学生の学力と説明方針との関係を調べる(図8)。グラフにプロットした赤い点は転上体の原理を定量的に説明した者、橙および黒い点は定性的な説明に終始した者、×印は提出しなかった者である。グラフの横軸は、本校入学時に実施した数学クラス分けテストの結果である。これは

理系学生にとって不可欠な高校数学の習得状況を反映していると考えられる。縦軸は、電子情報技術科独自の方法でGPA(Grade Point Average)のように各授業科目の成績評価を点数化し積算した値であり、1年次の総合成績と言え。数学クラス分けテストが80点以上だった上位4名は、転上体を定量的に説明した。しかし一方では、数学のテストが20点、あるいは総合成績が93点といった下位層の学生の中にも定量的に説明した者がおり、必ずしも高校数学や入学後の成績と説明能力との相関があるとはいえない。次に、中学時の学力との相関を見るために、図8のグラフの縦軸を出身高校の入学偏差値[4]に置き換える(図9)。定量的に説明

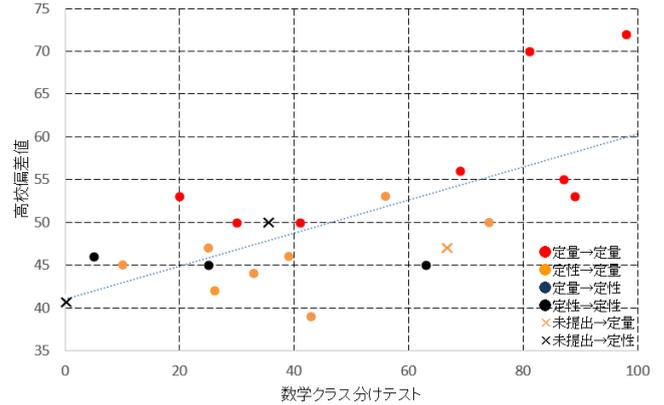


図9 高校偏差値と説明方針の関係

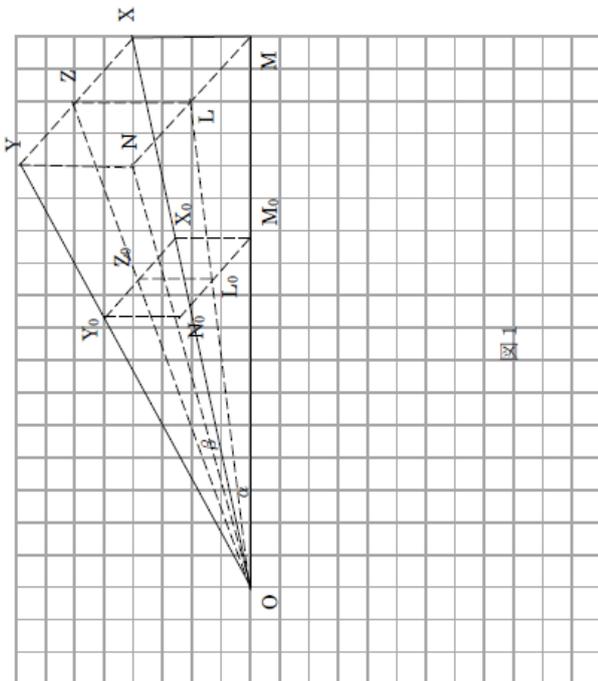


図10

■ 説明

「不思議な物」の土台を図11に表す。水平な二等辺三角形OMN(OM=ON)の頂点M、Nから
$\triangle OMN$ に垂直に $MX=NY$ となるようにX、Yを置く。OXとOYがこの「不思議な物」のレールである。
坂道の角度 $\angle XOM = \angle YON = \alpha$ とする。
次に、最初の扉や問題の車輪が通過するレールOX、OY上の地点 $X_0, Y_0$ を考える。 $X_0, Y_0 // XY$ であり、 $\triangle OXY$ と $\triangle OX_0, Y_0$ とは相似である。XYの中点をZとすると、 $X_0, Y_0$ の中点 $Z_0$ はOZ上にある。また
MNの中点Lを考えると、 $ZL = XM = YN$ となり、地面OMNからのZの高さはXやYの高さと等しい。同様
に、 $Z_0$ の高さは $X_0$ や $Y_0$ の高さと等しい。
(以下、次ページ以降に、必要な図を描きながら説明してください)

図10 説明例(p.1)

した8名全員が、偏差値50以上の高校出身であり、偏差値50以上の高校出身者11名のうち8名(73%)が定量的に説明した。この結果は、文献[3]が主張するように、中学数学における図形証明問題の学習量が説明能力に反映していると考えれば辻褃が合う。なお図9では、出身高校の記録がない他大学卒業の学生1名を省いた。

## 6. 説明スタイルの学習

**6.1 筆者による説明** 3月7日、筆者による説明例を学生に解説した。事前配布したp.1(図10)では、レールの形状をモデル化した。以下、本稿では詳細を省略するが、p.2では棒の動きを説明した。棒が坂の上にある時と下の時それぞれの高さを求めて、上の時の方が必ず重心が高い位置にあることを示した。p.3では、V字レールと車輪との接点と、その位置における車輪の重心の高さを求めた。p.4では、車輪が坂の下にある時の方が、上の時より重心が高い位置になる条件を求めた。その場合に車輪が坂の下から上に向かって転がるので、転上体を説明できたことになる。しかしp.4で示した条件では各部の角度を用いたので、直観的にはわかりにくい。そこで蛇足ではあるがp.5では各部の長さによる条件に書き直した。

**6.2 学生による再説明** 上記説明は一部の学生にとっては難解で退屈であったと思われる。記号を使って定義した変数を、三角比を含む式で関係付けるのである。使った数学は高校1年生レベルとはいえ、慣れていない学生にとっては呪文のように感じたことだろう。しかし、だからこそインターネットやテレビで見られるような、論理を省略した「わかりやすい説明」との差異を強く感じた筈である。

4月28日、学生に転上体の動作原理を再度説明するよう求めた。3月に配布した筆者の説明例を参照しないよう、今回は授業時間内での記述とした。提出した23名の回答を分析した結果、18名(78%)が定量的に説明した(図11)。3月に定量的に説明した8名(図8~9の赤い点)は、今回も全員が定量的に説明した。3月には定性的な説明に終始していた学生12名のうち9名(橙の点)と、3月には提出しなかった3名のうち1名(橙の×印)が、今回は定量的に説明した。彼らは説明例の解説を見て科学的説明のイメージをつかみ、それを模

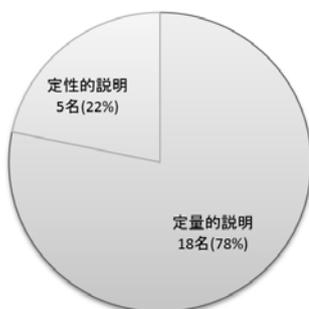


図11 説明の方針(4月)

倣ってきたと言える。橙の点や×印には、出身高校の偏差値や本校入学時の数学テストの得点が低い者も多い。このことから、中学時の学力や高校数学の習得度に関わらず、授業などによって説明のスタイルを模倣できることがわかる。

**6.3 説明練習の提案** 多くの企業では、社外向け社内向けを問わず、日常のほとんどの説明がプレゼンテーションソフトを用いて行われる。そこでは、文章ではなく図、数値ではなくグラフ、数式ではなく短い語句を使って、論理的な内容を直観的に示すことが求められる。このことが、多くの学生が表面的なプレゼンテーション技法を学ぶ動機になる。しかし技術者を目指す学生にとってまず必要なのは、事象を適切にモデル化して論理的に説明する能力であろう。そのためには、例えば改めて数学の証明問題に取り組むことで形式的な説明のスタイルを身に付けたり、専門科目の授業でも敢えて論理的な説明を求めることで模倣する、といった方法が考えられる。とくにモデル化の練習のためには、例えば道案内の略図を描いたり、UML(Unified Modeling Language)を使ってソフトウェアを図的に表現する、といった練習を提案したい。

## 7. おわりに

転上体を題材として、その動作原理を説明する実験授業を行い、学生のレポートとアンケートの結果を紹介した。また、論理的に説明する能力は中学時、とくに図形証明問題の学習によって培われることがうかがえる一方で、説明のスタイルは過去の学力に関わらず模倣可能であるという結果を得た。

本実験授業は1年次の「デジタル回路実習」および2年次の「組込みソフトウェアシステム設計技術」の授業時間それぞれ約30分を使って実施した。前者は仕様を2値論理でモデル化して電子回路を制作する実習科目である。後者はUMLなどを使って仕様をモデル化する方法を学ぶ科目である。技術の仕事では、日常的に対象をモデル化しそれを説明することが求められる。学生に対して、モデル化を行い論理的に説明する練習を課すことにより、技術者としての技量を伸ばさせる一助としたい。

## 文献

- [1] 牧野俊郎: 考える学生を育てるためのトリガー — 対話型教育の試み —, 近畿能開大ジャーナル, no.24, pp.86-93, 2016.
- [2] 陰山秀男, 小河勝: 学力低下を克服する本, pp.55-58, 文藝春秋, 2003.
- [3] 芳沢光雄: 数学的思考法, pp.22-25, 講談社現代新書, 2005.
- [4] <http://高校偏差値.net/>, Apr.22,2016.

(2016年05月30日提出)