

新学習指導要領を踏まえた技術科における「ものづくり」

—災害被災者の人命救助を目的とした問題解決的学習—

長松 正康 箕島 隆 嶋本 雅宏 市川 貴子
川田 和男 山本 透

1. はじめに

技術科の学習は、ものづくりの構想、設計から製作、評価の過程を通して行われる。予め設計図や組立図が与えられ、単に部品を結合する学習活動では、本来の目標を達成することは難しい。その一方で様々な技術を組み合わせて目標を達成するロボットなどの設計製作に取り組む学校が増え、成果を挙げている。中でも、災害被災者の人命救助を題材としたレスキューロボットの設計製作は、単に技術的知識やスキルの習得にとどまらず、人の命の大切さや技術のあり方まで考えることができる点で優れており昨年度から共同研究として取り組んでいる¹⁾。

学習活動の中心となるのは従来より自由度の大きい設計・製作であり、生徒にとって挑戦的な課題であるのと同様に、指導・支援にあたる教員側にとっても従来の授業とは少し質の異なった努力とチャレンジが要求される学習題材となっている。

本年度は、自由度の大きい設計課題に取り組む際の考え方について、設計論と問題解決の観点から整理し、実践と考察を行う。

2. 設計問題

(1) 多目的最適化

設計においては、必要とされる機能の他に、軽さ、丈夫さなど複数の評価基準について最適な値を得ることが求められる。

設計によって得られる「解」は、正答や誤答といった基準ではなく、前記の評価項目をどれだけ満足できるかを基準として判断²⁾される最適な解となる。例えば、身近な製品を購入する際には価格や機能ごとの性能をレーダーチャート等に表して比較検討を行う。

評価基準が複数あるため、それぞれの最適値を同時に達成する³⁾ことは難しく、あるところまで最適化

が進むと、トレードオフ⁴⁾が発生する。例えば、「丈夫さ」と「軽さ」は、ある程度まで両立できるが、無駄な部分をそぎ落として最適化を進めていき、ある点に達すると「あちらを立てればこちらが立たない」状態となる。これが最適な設計であり、この範囲内でさらに選択を行う。同一の製造者でも価格の条件によって複数の製品群（ラインナップ）が存在する。それぞれは最適解と言えるが利用者はその中でさらに選択を行うことを考えれば理解しやすい。

(2) ハイブリッド問題⁵⁾

設計は、モータやギヤの種類と個数、構造材やねじといった接合用部品の最適な組合せを求める問題と、それらの長さや配置などのパラメータの最適値を求める二つの問題からなっており、それらに関連性があるため、独立に決めることは難しい、ハイブリッドな問題と言える。

3. 設計における問題解決

このように、生徒が「より良いもの」を作ることを目指した時に直面する困難さは、設計問題そのものの性質から来る困難さ⁶⁾と言える。このような解を求めるための手順は確立されていないので、生徒は試行錯誤を含む様々な方略を用いて（それを学びながら）問題の解決にあたることとなる。

上記のような定式化の下で生徒の思考過程を考えた時、予測されるのは、解を探索すべき範囲の拡大である。とにかく動けばよいというレベルの解を得る場合でも位置関係やトルクの見積もりなど複数の制約条件に注意が必要であるが、「より良いもの」を目指す時、探索すべき範囲が広がり、先に進むことが困難な状況となり得る。そこにおいて求められる能力は、正解かどうかを判断する力ではなく、複数の設計案について

複数の評価基準に照らして判断し、より良い解を探索する力であると言える。このように考えると、新学習指導要領において導入された「技術の評価する力」は、ものづくりにおける設計の本質に根ざしたものである。

さらに、生徒が自ら設計製作した場合、意図した通りには動作しないことも多く、その症状の明確化や原因の特定、対処が必要となる。これも問題解決の一つのタイプ⁷⁾であり、その支援も重要となる。

本年度の実践においては、昨年度得られた事項の改善とともに、このような「思考範囲の拡大」、「不具合の特定、診断」等についても考察を行うこととした。

4. 実践

(1) 附属三原中学校

・今年度実施の概要

昨年度より中学校3年次から2年次に変更という移行期間もあり、さらに昨年度までの反省を踏まえ構想および製作時間を拡張し、標準である25時間計画でなく30時間を目標に進行した。その理由は昨年度までの反省であった「チャレンジ要素の強い機構をもったロボットができにくい」ということ「製作がかなり進んでから構想倒れになる」ということが挙げられる。授業中に適宜アドバイスや声かけを通して、自分たちの構想から設計・製作までを手助けしていたつもりであったがなかなか指導の成果を挙げる事は出来ていなかったために、今年度は、製作を始めてから「第2次」「第3次」構想時間の時間をとり現在までの進み具合や今後の構想などを面接法にて現在の状況や機構の設計などをフィードバックさせることに取り組んでみた。

・ロボットの設計製作

(1) 第2次構想時間（製作3時間目時）

本校のロボットの設計製作において、昨年度の反省でもある「製作がかなり進んでから構想倒れになる」ことを限られた時間内では出来るだけ避けたい。本校の生徒は構想を具現化しにくい班ほど難易度の高い構想をし、設計に至らないという傾向にある。ロボットの構想には、大抵生徒自身が自分の手を使いレスキューダミーをどのように動かすか考え、そこから直線運動、揺動運動を抽出し、最後に動力とする回転運動をどのように組み合わせていくかという試行プロセスを踏んでいくが、難易度の高い構想をする班の原因の一番は、まず自分たちがしたい運動を「直線運動」「揺動運動」に変換することが難しいという班がおおいことが第2次構想の面接にてわかった。(表1)

表1 第2次構想時における課題例

- ・自分たちのしたい「運動」を「直線」及び「揺動」に置き換えることが出来ない…35%
- ・直線及び揺動の運動をどのような部品を使って具体化すればいいのかわからない…15%
- ・直線や揺動の運動の動力である回転運動を組み合わせることが出来ない…8%

(2) 第2次構想時間を踏まえて

構想を具現化できていない班が多くみられたためキクチのギヤボックス及びラックフレームセットを利用し、直線運動のパーツとしてのラックとピニオンを使った直線運動標本、同じく同社のローギヤマルチユニットを利用した揺動運動見本など、使いやすい機構見本を提示しそれらを選択しながら再度構想を練らせた。またおおむねの班は直線運動や揺動運動が決まれば動力源の回転運動を組み合わせることが可能であることが多かった。(図1)

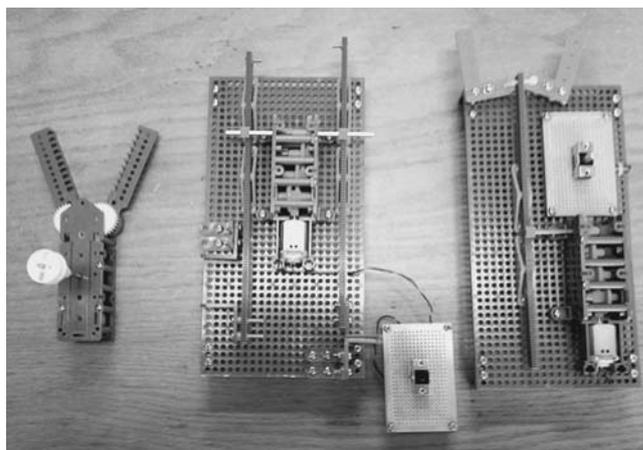


図1 直線運動標本および揺動運動標本例

(3) 第3次構想時間（製作10時間目程度時）

本校のもう一つの反省である「チャレンジ要素の強い機構をもったロボットができにくい」ということが挙げられる。ちょうど1月に開催される中学生レスキューロボットコンテストへ参加する代表の体験をフィードバックさせた。本校は開催時よりレスキューロボットコンテストに参加し、各校の代表のロボットを毎年、第1次構想時に見せ参考にさせるが、レスキューロボットコンテストのルール理解、機構やリンクの学習だけではなかなか過去の他校の参加したロボットの機構などを参考にし、それを基に自分たちの機構製作に応用することが難しい現状であった。しかし、ある程度第2次構想時間を踏まえ自分たちの構想が具体化してくると更なる工夫や機構を取り入れようとする雰囲気や土壌が出来てくるのであろうか、本校の代表

が見て経験した中学校レスキューロボットコンテストでの体験談やうまく行ったロボット、うまく行かなかったロボットについての会話が増えてきた。そのため当初は準備していなかった第3回目の構想時間を設けることにした。

そこでの面接における課題に挙げられた課題例を表2に示す。

表2 第3次構想時における課題例

- ・実際に動かしてみたら、うまくレスキューできないので調整したい…60%
- ・ある程度出来てきたのだが、操作が難しくてレスキューできない…35%
- ・最初は難しいのを作ると大変だと思っていたが、他の班とレスキュー方法が似ているので変えたい…15%
- ・直線と揺動運動の仕組みや組み方が分かってきたのでもう少し複雑なものにしたい…8%

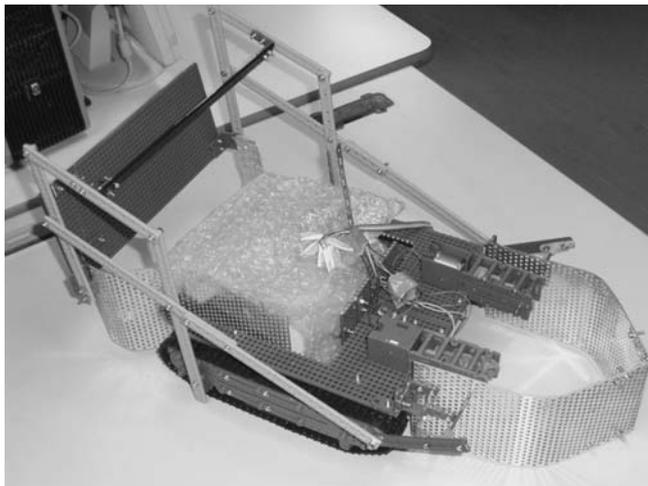


図2 中レス参加ロボットの作品例1

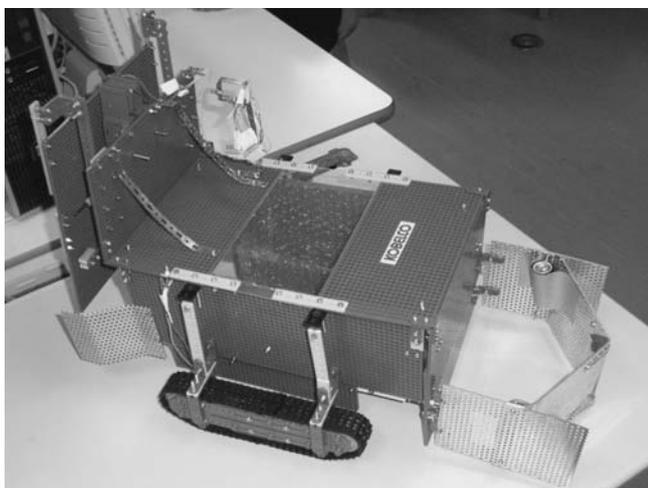


図3 中レス参加ロボットの作品例2

・成果と考察

本校において昨年度までの反省であった「チャレンジ要素の強い機構をもったロボットができていく」ということ「製作がかなり進んでから構想倒れになる」ということが挙げられていた。今年度は、あえてロボット製作では日常茶飯事であるトライ&エラーの連続のなかに、面接法であるがあえて第2次、第3次の構想時間を取ったことにより、出来るか出来ないかの検討を最初に行うのではなくとりあえず作り始めてうまく行かないといったことや、一度決めた構想から抜け出さず凝り固まってしまうがちなプロセスを表1や表2からも伺えるように少しは打破できる糸口を見つけることが出来たのではないかと考える。

本年度3月末までの完成までにはもう数時間は残されているが実際の生徒の作品の完成具合や面接時における生徒の発言の変化の様子から製作時に、机間巡視の際のアドバイスも当然重要であるが、あえて時間を取り教員と共に現在の課題についてフィードバックをしていく時間の大切さを感じることが出来た。

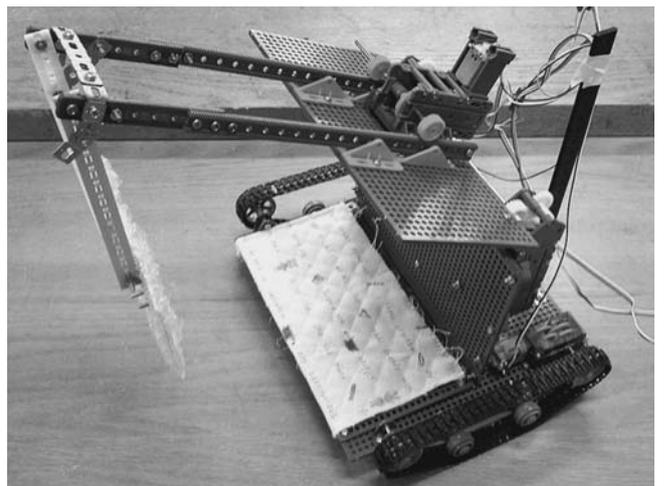


図4 第3次構想を踏まえたロボットの例

・課題

昨年度までの課題である「チャレンジ要素の強い機構をもったロボットができていく」ということ「製作がかなり進んでから構想倒れになる」という効率性だけでなく幅広い思考の拡張についての糸口は製作時の面接法によるフィードバックによって見受けるところが出来そうであるが本研究におけるレスキューロボット学習の当初の計画であった25時間という時間設定を大幅に超えてしまう状態になってしまった。また、もう一つの課題としては、何度も構想を練り直すためにきちんとした設計図が、おぼろげになってしまうことが多々見られた。効率よく設計が出来図が描けるようになると、製作時間における時間短縮が可能なのでは

ないかと考える。また、製作時や構想時に他校との交流があるともう少し試行に幅が出来るのではないかと考える。

(2) 附属福山中学校

- ・ 単元名 「レスキューロボットの製作」
- ・ 対 象 中学第二学年（男子60名，女子61名）
- ・ 単元計画（全35時間）
 1. 導入……………2時間
 - ・ 地震，レスキューロボットについて調べる
 - ・ 被災者を助ける方法を考える
 - ・ 競技ルールを知る
 2. 構想設計……………10時間
 - ・ ダミー人形の救助方法を考える
 - ・ 構想を考える
 - ・ 構想図を描く
 - ・ 機構を知る
 3. 製作……………16時間
 - ・ 危険を予知する
 - ・ ロボットの製作
 - ・ 問題とその解決方法
 4. プレゼンテーション……………4時間
 - ・ 効果的な情報伝達の方法を知る
 - ・ 著作権について知る
 - ・ プレゼンテーション資料の製作
 5. 競技……………2時間
 - ・ テストランを行う
 - ・ プレゼンテーション
 - ・ レスキュー活動（本番）
 6. まとめ……………1時間
 - ・ 自己評価
 - ・ 他者評価

・ 概要

昨年度は年度途中から本単元をスタートしたことから全25時間での実施となった。その結果，必要な製作時間の確保が難しく，製作以降の内容を十分に行うことができなかった。本年度は，年度当初から本単元を扱い，年間を通して実施することができた。

そこで本年度は，機構に関する学習で昨年度行ったギヤボックスの実験からエネルギーの有効利用について考えさせる内容を新たに加えた。また，問題とその解決方法に関する学習では，回路計の使用法や電気回路図の読み書きの内容を取り上げることにより，生徒が自ら問題を発見し，解決する力を養うことを目的とした。さらに，本単元のまとめでは主に製作における問題解決力に関する評価問題を作成し，本単元を通

して身についた力を点数化することで，どのような力が身につき，逆にどのような力が足りないのかを明確にしていく予定である。

・ 新たな授業展開とその具体

○エネルギーの有効利用を考える

昨年度実施したギヤボックスの実験では，ロボットの製作で使用するギヤボックスの軸に500mlの水入りペットボトルを綿糸で吊るし，4種類のギヤ比（5：1，20：1，50：1，200：1）において，それぞれの位の電流が流れるかを観察した。そこからギヤボックスの仕組みや特徴を知り，エネルギーの有効利用について考えさせた。しかし，それだけの実験では生徒は最も電流の値の小さかった200：1のギヤ比のみを選択する結果となり，エネルギーの有効利用について考えるというねらいを十分に達成することができなかった。

そこで本年度は，さらにエネルギーを消費するとはどういうことなのかということから話を進め，身近なものを例にあげ考えさせた。具体的には，家庭に設置してある電力量計や電力会社から毎月家庭に送られてくる「電気ご使用量のお知らせ」の紙を用いてWh（ワット・アワー）の単位を見つけさせ，消費電力量について学習した。そこから，消費電力量が使用したエネルギーの量を表すということを学習し，実験を行った（図5）。

本年度の実験では，消費電力量を求めさせるためにストップウォッチを使用してペットボトルが30cm持ち上がるまでの時間を測定させた。電源装置には，電圧，電流の値が表示されるものを使用した。



図5 エネルギーの有効利用について考える実験

○問題解決力の育成

本年度は，回路計の使用法と簡単な電気回路図の読み書きについて学習を行った。回路計の使用法では，電流や電圧，抵抗の測定方法だけではなく，導通試験や絶縁試験も行った。電気回路図の読み書きでは，実際に製作で使用するコントロールボックスのスイッチ回路や3路スイッチによる身近な電気回路の工夫に

ついて考えることで、電気回路図の読み書きの学習を進めた。

今回、回路計の使用法と電気回路図の学習を行った目的は、製作したロボットを実際に操縦した時に動作しないという問題に直面した時に自分たちで問題の原因を究明し、解決していけることにある。具体的には、動力源であるモータに電圧がかかっているのか、コントロールボックスからモータまでは導通しているのか等を点検して、問題を発見し解決していく。

・成果と考察

○構想と実際の違い

例年の傾向として、ダミー人形をハンドのようなものでつかんで救助するという構想を考える班が多い。構想の段階では実際に自分たちの手を使ってシミュレーションさせるため「つかむ」という動きは比較的簡単に行える。しかし実際に製作するとなるとどのように製作して良いのかわからず立ち止まる場面が多いのが現実である。

機構の学習ではリンク機構も扱うが、これを応用して手のような動きに結びつけるのは非常に難しい。図6、図7は、その製作例である。図6はリンクの長さなど考慮して製作しなければならず時間がかかるが、つかむ力は弱いので、どちらかと言えば最終的には爪でひっかける形になる。図4はギヤ装置を直接利用した製作例である。製作時間は短くてすむが、つかむ力が強く、無理をすると歯車が欠けてしまう。

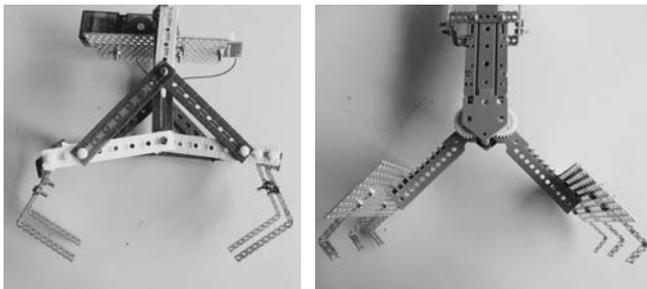


図6 リンク機構による例 図7 ギヤ装置による例

他にも「つかむ」機構はあるが、一見同じ動きをするように見えるものでもそれぞれ特徴があり、目的や用途に応じたものを選択させる必要があり、それを実際に形にしていこうためにはある程度教師側で用意したモデルが必要になると考える。

○思考範囲の拡散

レスキューロボットのルールでは、幅30cm×60cm、高さ50cm以内のサイズで製作することになっている。しかし製作を進めるうちに、このサイズが問題となる場面がある。このようなとき、どこか一カ所修正するこ

とで問題を解決できれば良いのだが、修正を行ったことで他に影響が出ることがある。その例を以下に示す。

図8の作品は幅を30cmで製作しているため、アームを上にした状態でスタートするのだが高さが50cmを超えていたためアームを短くしようとしたが、ダミー人形に届かなくなるという問題が発生した。4本の柱を切って全体を低くすることも考えられたが、2段ベッド式の機構のため高さ足りないという問題が発生した。

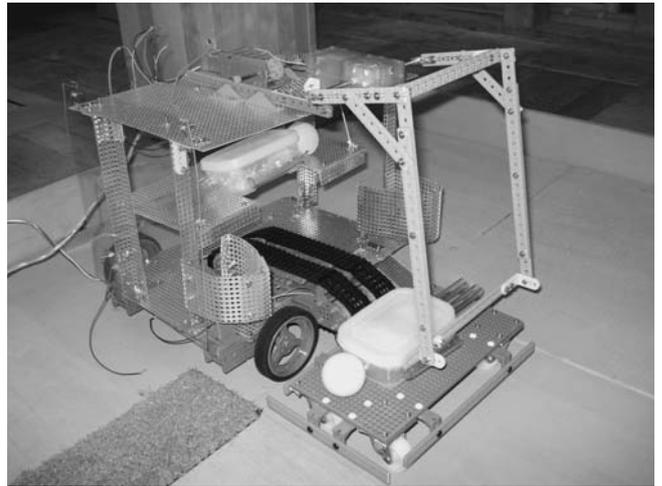


図8 思考範囲が拡散した作品例1

図9の作品は、当初クローラーを横に装着していたが幅が30cmを超えたためクローラーを土台の下に装着したが全体が高くなってしまったためダミー人形を抱え上げるためのアームの位置を下げる必要が出てきた。そのためアームを取り付けている板の位置を下れば良いのだが、土台と干渉してしまうという問題が発生した。

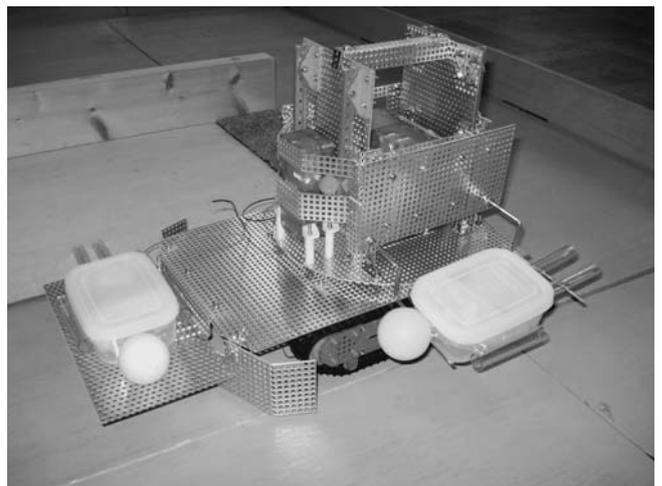


図9 思考範囲が拡散した作品例2

・課題

本研究に示すような問題点を生徒自身で解決するこ

とができるような指導を行っていくことや問題に直面したときに生徒の思考の助けとなるような効果的な教具等も開発する必要があると考える。

今後は製作したロボットの問題点を生徒がどのように解決していくかを観察すると共に評価問題を実施し本研究における生徒への効果を検証する予定である。

4. まとめ

今年度は、附属学校2校での実践が行われた。前章の報告に沿って考察とまとめを行う。

(a) 「難易度の高い構想をした結果設計に至らない」

これは、製作経験の乏しい生徒や意欲的に取り組もうとする生徒においてよく見られる。調査の結果、実現したい運動を「直線運動」「揺動運動」に変換することが難しいことが判明し、機構見本を用意している。

(b) 「製作がかなり進んでから構想倒れになる」

この点が実践上最も問題となりやすい点である。何らかの方法で探索範囲に限定をかける必要があるが、このようなつまづきを起こすのは意欲的な生徒に多い傾向が見られるので配慮が必要となる。最もシンプルな指導は、走行部など他の部分と関わりの少ない部分を先に完成させたのちに機能部を考えさせることが挙げられる。これにより、探索範囲が自然に限定され、かなり実現性の高い案に近づく。また生徒は、例え「台車」のレベルであっても、ものが実際に動き始めると大きな関心を示し、思考が活発になるように見受けられる。従って早い時期に部分的な動きの完成から取り組む指導は効果的と思われる。

生徒の意欲を損なうことなく挑戦を促すには、初期の段階で生徒自身でその実現可能性を試すことができるような最もシンプルなモデルでの実験を行うことにより実現可能性の高い基本設計に到達させたのち、配置や長さなどのパラメータ最適化に取り組ませることも有用と思われる。このようなつまづきは下記のようにいくつかの類型に分けられる。

- ・トルク不足
- ・動きの合成の困難さ
- ・荷重による予期しないたわみの発生
- ・平面を2点で支持することによる不安定さ
(ラックアンドピニオンによるスライド扉)
- ・位置の干渉による配置困難

従って、このような点について自らの手で確認を行えるような支援策が考えられる。これらにより必要以上に試行錯誤を繰り返し、時間不足になったり、製図

が不十分となったりする問題についても改善できる可能性がある。

このような「構想倒れ」を回避するため、事実上は製作例の模倣から取り組む場合も少なくないが、指導・支援法の更なる検討が必要と思われる。

(c) 依存性のある制約条件による思考範囲の拡大

問題の定式化の時点である程度予測されたように、3次元での位置関係の制約条件など、「どこか一カ所修正する」ことにより他の部分の再設計を迫られる場面が見られた。適切な教材等が必要と思われる。

(d) 附属福山における実践では、ギヤ比の違いによるエネルギー消費量の比較まで行っている。学校のカリキュラムによってはこのような実践も可能と思われる。

(e) トラブルシューティング型の問題解決

不具合を特定する手段として、モータ電圧の検査を取り上げている。この「システム」におけるエネルギーの流れは、「電池→コントローラ(スイッチ)→コード→モータ→ギヤ→リンク機構など→力の作用点」となっており、モータの電圧検査により、不具合が前半の電気系にあるのか、後半の機械系にあるのかの切り分けが可能となる。電圧検査が現実の問題解決の手段となっている点で、よい活動であると考えられる。

参考・引用文献

- 1) 長松正康, 箕島 隆, 嶋本雅宏, 林 祐太, 川田和男, 山本 透: 新学習指導要領を踏まえた技術科における『ものづくり教育』のためのカリキュラムの開発とその実践, 広島大学 学部・附属学校共同研究機構研究紀要, 第38号 (2010)
- 2) International Technology Education Association: Standards for Technological Literacy: Content for the Study of Technology (3rd ed.), pp.5-6 (2007)
- 3) Deb, K.: Multi-Objective Optimization using Evolutionary Algorithms, pp.13-46, Wiley (2001)
- 4) 黒岩 正: トレードオフ分析手法, 東芝レビュー, Vol.60 No.1 (2005)
- 5) 小林重信: 進化計算に基づく創発的設計論, 精密工学会誌, Vol.64, No.10, pp.1419-1422 (1998)
- 6) Newell, A., Simon, H.A.: Human Problem Solving, pp.59-78, Prentice-Hall(1972)
- 7) 国立教育政策研究所編: 生きるための知識と技能 2 OECD生徒の学習到達度調査/PISA2003年調査国際結果報告書, ぎょうせい, pp.206-207 (2004)