

小型ロボットを用いたものづくり学習に関する研究

ーロボットコンテスト参加型の実践的ものづくり教育ー

森岡 弘・吉永 和人*・谷川 雄一**・植野志都真***・久保田健次郎****

A Study on Object-making Study with a Small Robot
: Practical object-making education through participation in a robot-contest

MORIOKA Hiroshi, YOSHINAGA Kazuto*, TANIGAWA Yuichi**, UENO Shizuma***,
KUBOTA Kenjiro****

(Received December 7, 2009)

キーワード：ものづくり学習、新学習指導要領、マイクロメカニズム、エネルギー変換

はじめに

本研究では、小型ロボットを利用したものづくり学習に関する検討を行っている。具体的には、小型ロボットの設計製作から精密工学会主催の国際マイクロメカニズムコンテスト参加までの実践的ものづくり教育の報告である。これらの実践的なものづくりの体験は技術科教員を目指す学生にとって有用なものになる。

1. 小型ロボットを用いた教育システム

中学校学習指導要領¹⁾が平成20年3月に10年ぶりに改訂された。この改定された中学校学習指導要領（以下、「新学習指導要領」という。）は平成21年度から平成23年度までの移行措置の期間を経て平成24年度から全面的に実施されることになっている。

今回の改定では、図1に示したように、技術・家庭科における技術分野（以下、「技術科」という。）では、従来の「A技術とものづくり」と「B情報とコンピュータ」との2つ分れていた内容が「A材料と加工に関する技術」、「Bエネルギー変換に関する技術」、「C生物育成に関する技術」、「D情報に関する技術」の4つに分割され再構築されている。

最も大きな変更は、従来の内容A, Bにおいて選択として扱われていたそれぞれの項目(5), (6)の内容の多くが、新学習指導要領では必修項目に組み込まれたことである。

* 加古川市立平岡中学校 ** 下関市立川棚小学校 *** 山口県秋吉台少年自然の家
**** 山口大学大学院教育学研究科

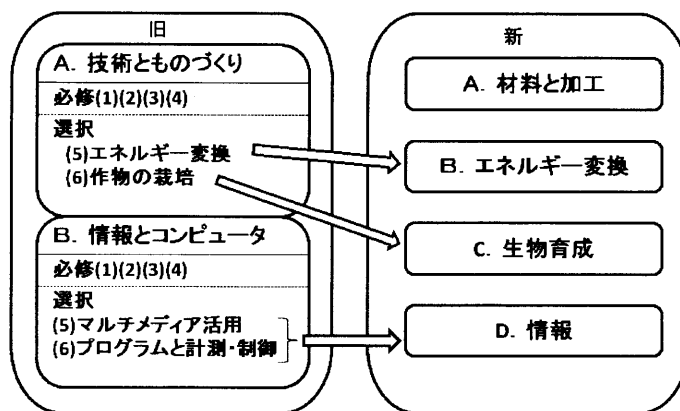


図1 学習指導要領の改訂

特に今回の改定で筆者らが注目しているのは、従来選択であった「Bエネルギー変換に関する技術」と「D情報に関する技術」における項目（3）：「プログラムによる計測と制御」が必修化されたことである。

現行の学習指導要領下における10年間においては、これら2つの指導項目を選択科目として指導し、さらにロボコン等と連携させた発展的な学習として展開した教員がいる一方で、全く扱ってこなかった教員も存在する。すなわち、新学習指導要領において必修化されたこの2つの指導項目に対する教員間の指導スキルがこの10年間で大きく開いてしまったのが現状である。

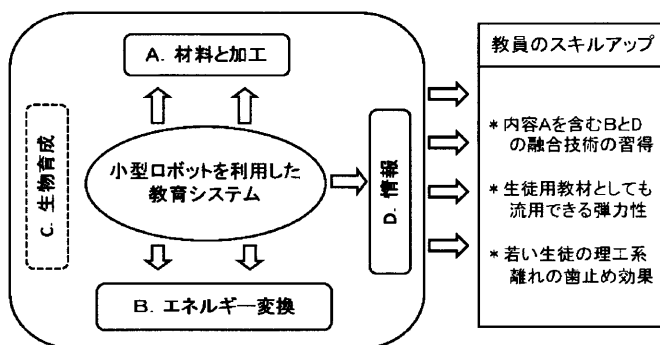


図2 提案する技術教育システム

上記のことを考慮して、新学習指導要領における内容A、B、Dが有機的に融合した教員のスキルアップのための技術教育システム（図2）の開発が望まれる。

本教育システムで中心的に利用するモデルは小型ロボットである。山口大学教育学部技術教育選修の機械研究室（以下、「機械研究室」という。）では図2の技術教育システムの着想に至るまでに、学生達のものづくりに関するスキルアップのために、ロボットコンテスト（国際マイクロメカニズムコンテスト）参加型の教育を推進してきた。本論文では、このロボットコンテスト参加型の実践的なものづくり教育について報告する。

2. ロボットコンテスト

日本におけるロボットコンテスト（以下、「ロボコン」という。）のはじまりはNHKロボットコンテストと言われている²⁾。その中でも最も古い「高専部門」は第1回大会が1988年に開催されており、本年度（2009年度大会）が第22回目となっている。ロボコンのそもそものはじまりは、MIT（マサチューセッツ工科大学）における2.70（ツーポイントセブンゼロ）という授業と言われている。その授業を取ると2.70単位が取得できることから命名されたようである。アメリカの公共放送が番組にしたところ好評だったため、NHKが日本に導入した。技術力が高く規模も全国で62校と適切であったため高専ではじまり、その後大学ロボコンへと広がった。

現在ではNHKのロボコンだけでなく、各種団体の主催するロボコンが全国至る所で開催されている。その役割はものづくりの根底を支えるという意味でも重要になりつつある。

2-1 技術教育とロボコン

1988年以降、高専ロボコンを代表するように、教育機関でのロボコンへの参加を目的とした取り組みが増えてきている。義務教育の中でも、特に中学校の技術科の選択授業や課外活動で発展的な学習としてロボットを製作し、ロボコンへ参加する中学校もある。平成12年度からは全国的な規模での中学ロボコン、「創造アイデアロボットコンテスト全国中学生大会」³⁾も開催されるようになった。この、ロボコンは、中学校技術・家庭科技術分野において生徒たちの創造性を伸ばし、知識・技能を高めることを目的として毎年開催されている。大会スローガンとして、「得点至上主義に走らず、発想や製作技術・努力を評価し合おう！」を掲げており、高専ロボコンなどと同様に教育的な趣旨を第1に考え開催されている。

このように中学校の技術科におけるロボコンの役割は大きくなりつつあったが、平成20年3月に告示された新学習指導要領下において、その状況が変化した。技術科の総時間数は同じでありながら、これまでの学習指導要領では選択であった分野が必修になったため、全体的に見て取り扱う学習内容が浅く広がっている。この影響により「エネルギー変換」に関する選択授業の位置づけで実施されていたロボコンの存続が危惧されている。

しかし一方においては、これまで選択であった「エネルギー変換」や「プログラムによる計測と制御」が必修化されたため、技術科を担当する教員全員がこれらの内容についての知識と経験が必要になったのも事実である。これらの分野は、範囲が広く、かつ技術進歩が著しい分野を含んでおり、全体を習得するためにはかなりの時間と経験が必要になる。

小型ロボットの設計製作には「エネルギー変換」や「プログラムによる計測と制御」についての技術が凝縮されていることから、技術科教員を目指す学生や現職の教員のための、スキルアップ教材として適していると思われる。

2-2 国際マイクロメカニズムコンテスト⁴⁾の概要

(社)精密機械工学会が主催するマイクロメカニズムイベントは1990年3月にはじまり、2009年3月に第20回目の大会が実施された。第14回マイクロメカニズムイベントよ

り、台湾、タイ等の海外からの参加があり、それが毎年続いているため、名称を「国際マイクロメカニズムコンテスト」（以下、「国際MMコンテスト」という。）とし、2009年3月、「第3回国際MMコンテスト」を迎えるに至っている。具体的な競技としては、以下の4部門がある。

- (1) 障害物走破マイクロメカニズム
- (2) 相撲マイクロメカニズム
- (3) 作業マイクロメカニズム
- (4) 自慢のマイクロメカニズム

(4) では、(1)～(3) に多い車輪形式のマシン以外のマシンを奨励する意味で、(a) 空中を飛ぶメカニズム、(b) 脚による歩行メカニズム、(c) 大きさが10mm×10mm×10mm以下で、上記3種目(1)～(3)のいずれかに出場可能なメカニズムの参加が強く求められている。

機械研究室では、卒業研究の一環として国際MMコンテストの「相撲マイクロメカニズム部門」または「自慢のマイクロメカニズム部門」へ参加する小型ロボットの設計製作を行っている。これらの2部門についての競技内容について説明する。

2-2-1 相撲マイクロメカニズム部門

直径200mm、厚さ10mmのプラスチック板の上に仕切り線をつけたケント紙を貼ったものを土俵とする。制限時間1分内で相手を土俵外に押し出す（落とす）か、ひっくり返す（横転させる）と勝ちとなる競技である。

有線の場合は、スタート時の手腕（ハンド・アーム）を含めた相撲ロボット本体の大きさは、最大の状態で15×15×20mmの直方体内に収まらなければならない、重量は20gf以下とする。また、無線の場合は、大きさが20×20×30mm以内で、重量は45gf以下とする。

2-2-2 自慢のマイクロメカニズム部門

自慢のマイクロメカニズム部門は、他の3部門とは異なり、競技として他者が製作したマイクロロボットと競うことはせず、ロボットの動作性能、アイデア、微小化度などの観点から審査を行うものである。他の部門と違い、マシンの大きさに制限はなく、客観的に見てマイクロメカニズムであることが必要である。壁を登るもの、小ささの極限を追求したもの、新しい原理を追求したもの、など、なんでも構わない。審査を受けたマシンは、アイデア、微小化度、驚き度、動作性能、ユーモア度、完成度、芸術性などで評価される。

2-2-3 事前審査

自慢部門以外の競技では大会1日目に事前審査と写真撮影が行われるが、自慢部門は2日目の開始前に写真撮影のみ行われる。

相撲部門は規定のサイズ・重量に違反がないか、はじめに審査がある。その後、機能審査として10円玉（重量5gf、直径23.5mm、厚さ1.5mm）をケント紙でできた箱（25mm×25mm×3mm）に入れ、これを押しながら、競技土俵上を20秒以内で30mm以上前進できるかどうかの審査がある。

事前審査については、平成19年度の相撲マイクロメカニズム部門（無線タイプ）およ

び、平成20年度の相撲マイクロメカニズム部門（有線タイプ）と自慢のマイクロメカニズム部門に出場した3台のロボットはいずれも通過することができた。

3. 設計と製作

機械研究室から参加した国際MMコンテストの競技部門は平成19年度が相撲マイクロメカニズム部門（無線タイプ）で、平成20年は相撲マイクロメカニズム（有線タイプ）および自慢のマイクロメカニズム部門である。それぞれについて、コンテストに参加するまでの設計・製作の過程を説明する。

3-1 相撲マイクロメカニズム部門

相撲マイクロメカニズム部門には無線部門と有線部門がある。2-2-1で示したように無線部門と有線部門ではロボットの規定サイズが異なる。両者の規定サイズの違いは無線部門では、コントローラとロボット間の配線ができないため、ロボット側にコントローラからの制御信号を受け取るための受信機と、ロボット用の電池を配置するスペースが必要になるためである。

平成19年度は無線タイプ、平成20年度は有線タイプの相撲ロボットをそれぞれ1台ずつ製作してコンテストに参加した。

3-1-1 無線によるコントロール方法（平成19年度）

相撲ロボットの無線コントロールとして赤外線を利用した、機械研究室では、これまでの研究でレゴマインドストームの赤外線コントローラを開発しており、無線化に関するノウハウを有している⁵⁾。このため、当初は送受信機とも研究室で設計製作する予定であった。しかし、受信機の小型化の壁が予想以上に高く、相撲ロボット用のコントローラの開発は中止せざるを得なかった。その対策としては、インドア・プレーン用で使用されている赤外線送受信機⁶⁾を流用することにした。

図3が製作した赤外線コントローラ（送信機）である。送信機の基板としてITXS4を使用した。赤外線発光ダイオードは3行×8列で合計24個付けている。受信機は基板IR303Fを使用した。基板サイズは12×11.5mmである。図4はこの受信機に2つのモータを接続させたところである。

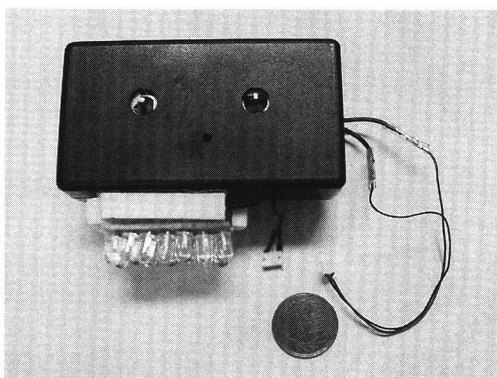


図3 赤外線コントローラ

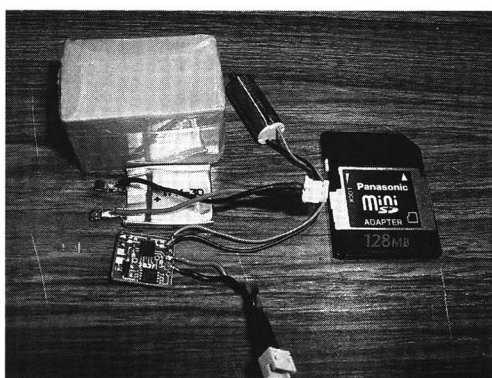


図4 受信機とモータ

3-1-2 ロボットの設計と製作（無線タイプ、平成19年度）

平成19年度は国際MMコンテストに初参加であり、参加部門も無線部門であったため、無線タイプのコントローラの製作に時間の多くをとられた。そのためロボット本体の設計製作に十分な時間をあてることができなかった。さらに小型のロボットを製作するノウハウがなく、設計製作に大変苦勞した。ロボット本体は金属片からの削り出しではなく、製作時の加工誤差がある程度許されるであろうと予測された板金加工による方法を取り入れた。

図5が板金加工用の製作図面である。金属は比較的加工しやすく、調整もしやすいアルミ板を使用した。この図のようにアルミ板を切り出し、穴をあけて折り込むことにより、ロボットのフレームを作っていく。しかし、板金加工では、材料の伸びを正確に予想することは困難で、通常のサイズのロボット製作では許される加工誤差が小型ロボットでは許容できない場合が多かった。このため目標のロボットを完成させるまで、多くのやり直しが必要であった。最終的にはロボット本体に無線基板とリチウムイオン電池を載せて規定のサイズに収めることができた。直観的なロボットサイズを把握するため図6に完成したロボットを手のひらにのせているところを示す。

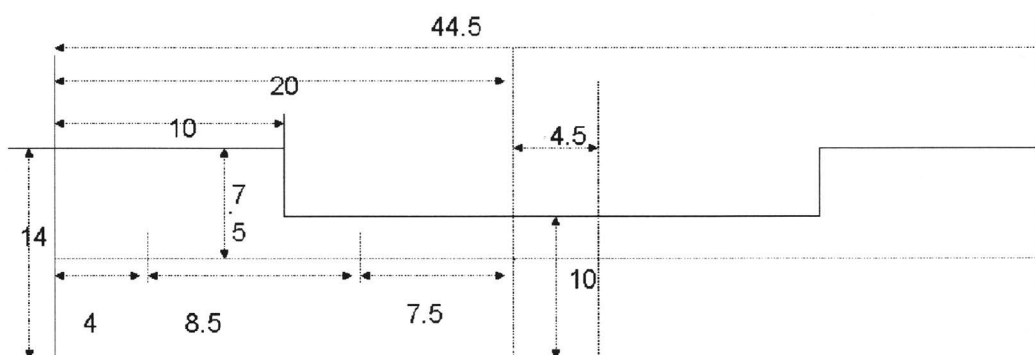


図5 板金加工用の製作図面

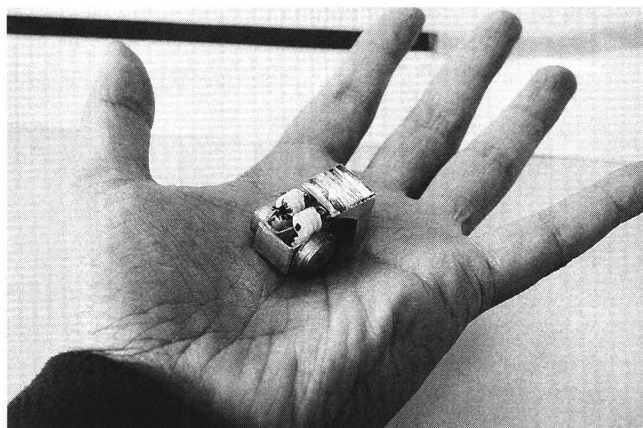


図6 完成した相撲ロボット（無線タイプ）

相撲ロボットは、重量については規定内でできるだけ重い方が有利であるが、アルミ板の板金加工による本体では当然重量を稼ぐことはできなかった。

また、小型のロボットの製作では加工誤差が大きく影響することがわかった。この経験を生かして、翌年の大会では設計に3D CAD⁷⁾を導入して、本体も可能な限り金属片からの削り出しによる製作を行うことにした。

3-1-3 ロボットの設計（有線タイプ、平成20年度）

有線タイプのロボットは規定のサイズが無線タイプよりさらに小さく15×15×20mmである。まずフリーの平面CADソフトである「Root Pro CAD」を使用して、2次元の設計図を作成した。その後、3D CADを使用して図7のようにロボットの全体図を設計した。

図7の左がロボットを斜めから見た図で、右が真下から見た図である。3D CADを利用すると、あらゆる角度からロボットを見ることができ、部品間の干渉などを事前に調べることができる。当然規定サイズに収まっているかどうかの確認も容易である。

この段階において、ロボットの製作時に図面通りの加工ができることを前提にすると、イメージ通りのロボットが製作できるかどうかの判断が可能になる。実際に製作した相撲ロボットは図8のようになった。3D CADで設計したイメージ通りに完成しているのがわかる。

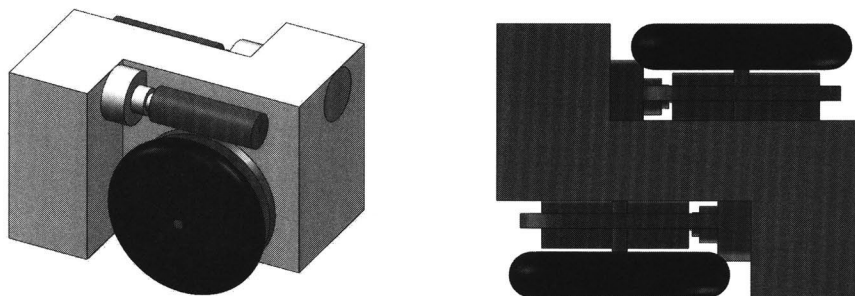


図7 3DCADによる相撲ロボット設計図

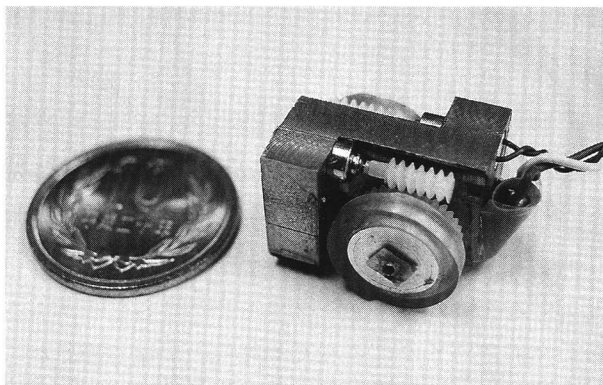


図8 完成した相撲ロボット（有線タイプ）

3-1-4 ロボット本体の製作（有線タイプ、平成20年度）

設計図が完成するとつぎは製作に入る、なるべく重量を稼ぐためロボット本体のボディは図9に示した真鍮の金属片からフライス盤を使用して所定のサイズ(13.5×15×20mm)に削り出していく。図10がそのときのようすである。フライス盤は横方向、縦方向に、それぞれ最高0.05mm精度で削り出しが可能である。

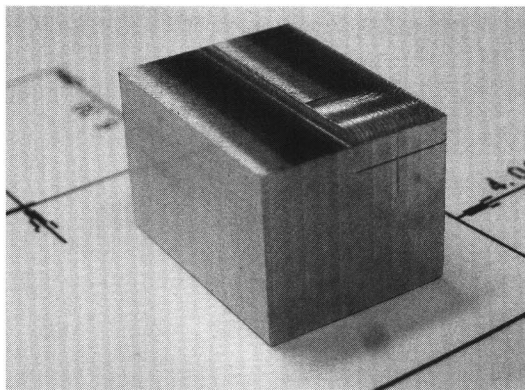


図9 真鍮片（ロボット本体）

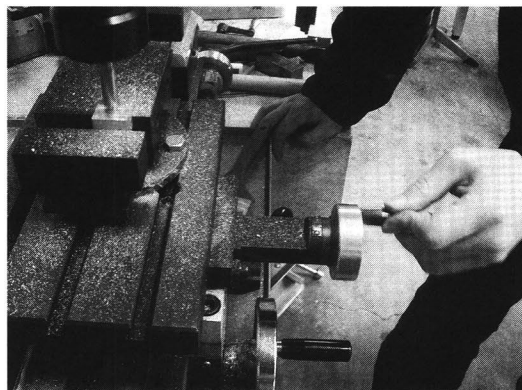


図10 フライス盤による加工

外形の削り出しが完了すると、モータの入る穴加工と、車輪の軸を通す穴加工をフライス盤で行う。このとき、軸が少しでもずれると図11のようになってしまい、ウォームとホイールがかみ合わなくなってしまう。図12は再度加工したものである。

前年度の板金加工よりも仕上りの精度は、はるかに良くなるが、加工する作業者に相当な加工技術と根気が必要である。

ロボット本体のボディの加工のつぎは、車輪の加工である。車輪の加工は旋盤を使用してアルミの丸棒を所定のサイズに削り出す。旋盤加工については、本報告では省略する。

設計図を書いて、工作機械を使用して、その通りに加工するという一連のものづくりの過程を実際に体験することが、今後教員を目指す学生にとって非常に重要な体験となる。

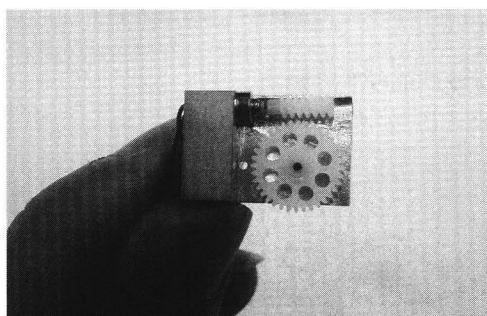


図11 加工誤差

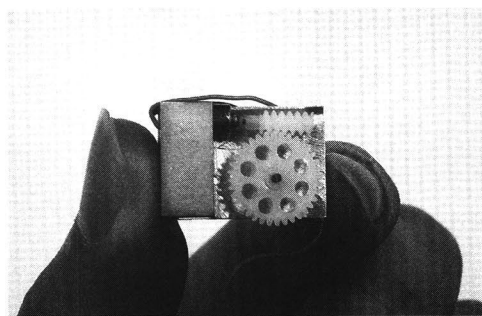


図12 再加工による改善

3-2 自慢のマイクロメカニズム部門

自慢のマイクロメカニズム部門は2-2-2で示したようにロボット同士が競い合うことはない。客観的に見てマイクロメカニズムであることが認められれば、アイデア、微小化度、驚き度、動作性能、ユーモア度、完成度、芸術性などで評価される。

平成20年度は1台の二輪走行型のマイクロメカニズムを設計製作して参加した。国際M

Mコンテストの自慢のマイクロメカニズム部門に出場するためには、実際に動き客観的に見てマイクロメカニズムであるという条件をクリアしなければならない。その点をふまえて、二輪走行できる大きさ30mm×30mm×30mm程度のマイクロロボットを製作することにした。

二輪走行型のロボットを製作するためには、本体のバランスをうまくとることが重要になる。そこで、本体のバランスをとるためにジャイロ効果というものに注目した。ジャイロ効果とは、物体がある軸に関して回転しているときに、その物体が一定の姿勢を保とうとする現象のことである。

はじめに製作したロボット（1号機）はギヤ比が小さいため車輪の駆動トルクが不足することから、車輪が接地したとき胴体を移動させるほどの駆動力を得ることはできなかった。また、重心位置が高くバランスが悪いこと、ジャイロの質量に対して他の部品の質量が相対的に大きく、ジャイロ効果が発揮できないという問題点があった。これらの問題点はマシンの小型化のみを追求してしまったためである。そこで、手のひらに乗るサイズを想定して40mm×30mm×20mm程度の2号機を製作することにした。

2号機の改良点はつぎの3点である。①ロボットの駆動機構をφ4mmのコアレスモータをウォーム（モジュール0.3、外径3mm、歯長6mm）に取り付け、ウォーム車（モジュール0.3、歯数36）に直結させた車輪を駆動する方式とした。②全長を伸ばしマシンの高さを低く抑えるようにした。③マシンの重さをジャイロ円盤と比べて軽量化しジャイロ効果を十分に発揮できるようにした。

自慢のMM部門の設計においても、3D CADを用いてロボットを設計し、製作可能であるかどうかの事前確認を行った。

図13は3D CADで設計したロボットを平面図に落としたものである。3D CADを使用して一度立体的なイメージを設計すると、そこから実際の加工時に必要な2次元の図面を容易に作成することができる。これらの設計図から、どの部品も干渉していないことがわかる。

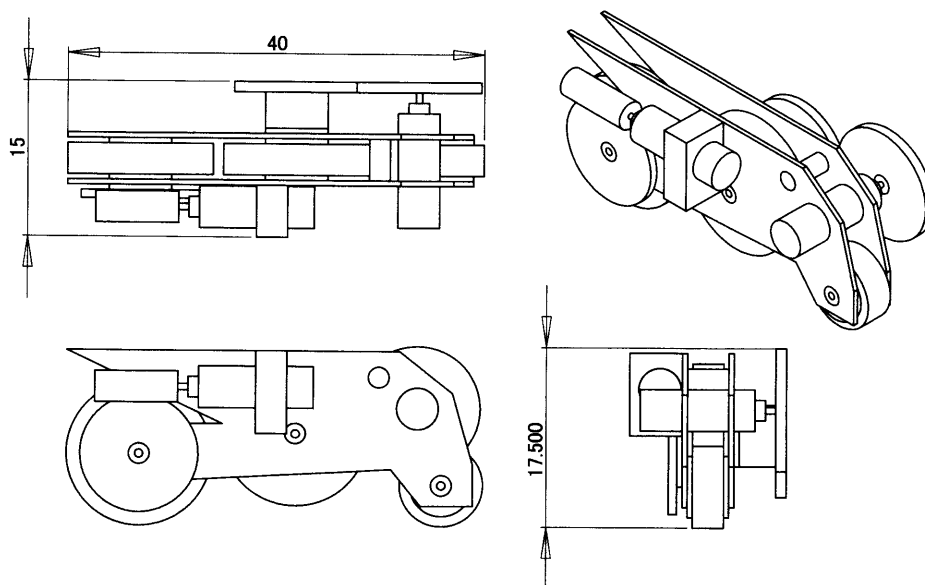


図13 3Dイメージから作成した平面図

図14はアルミ板から製作したロボットのフレームである。図15は完成したロボットである。このように設計図（図13）と完成したロボットがほぼ一致しており、設計段階でよく思考錯誤されているのがわかる。

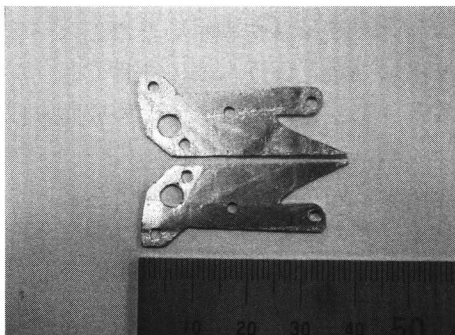


図14 ロボットのフレーム

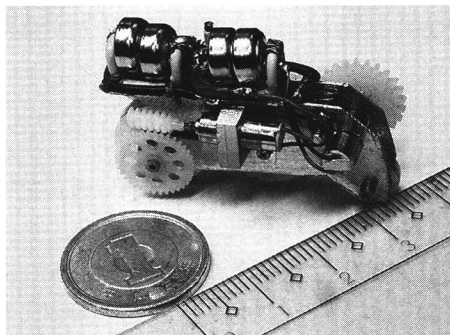


図15 完成したロボット

4. コンテスト

コンテストは平成19年度と平成20年度の2大会に参加した。紙面の都合上、平成21年の3月12日から13日にかけて中央大学理工学部キャンパスで開催された「第3回国際MMコンテスト」について報告する。

平成20年度の大会は、それまでの大会とは違い、大会1日目に相撲、作業、走破の各部門の予選が行われ、2日目に相撲、作業、走破の各部門の本選が行われた。

参加者控え室では、各チームや各個人がそれぞれ調整を行っており、とても混雑していた（図16）。また、競技会場は競技の内容がスクリーンに映し出され、会場の全員が競技を見ることができるよう工夫されていた（図17）。今年も日本国内だけでなく、中国や台湾など海外からも多くの参加者が見られた。台湾からは小学生や中学生の参加者集団もいた。台湾のものづくり教育の充実の一端を垣間見ることができた。

相撲マイクロメカニズム部門は、大会1日目に事前審査と写真撮影が行われ、自慢のマイクロメカニズム部門は、写真撮影のみ行われた。自慢部門は大会2日目のプログラムの最後にプレゼンテーション形式で実施された。エントリーした参加者が壇上で数分間ずつ事前に提出していた概略説明書をもとにそれぞれのマシンについての特徴などを発表した。

図18が参加した2台のロボットが事前審査を通過した後の写真である。図19は相撲部門の競技の写真である。惜しくも1回戦敗退であったが、事前審査も無事通過して、十分に競技できるマシンであった。また自慢のマイクロメカニズム部門に参加したマシンは審査の結果芸術賞を受賞することができた（図20）。



図16 控室のようす

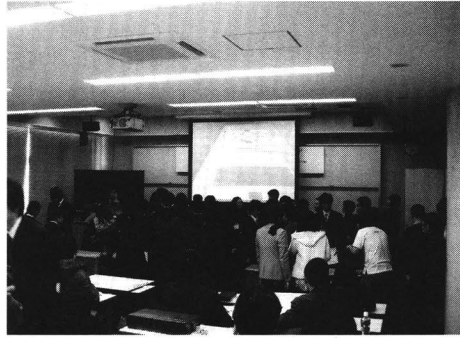


図17 競技会場のようす



図18 参加ロボットの事前審査と写真撮影

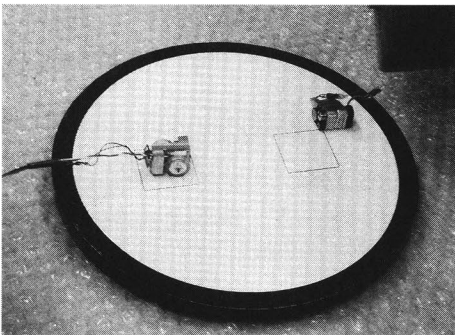


図19 相撲部門の予選

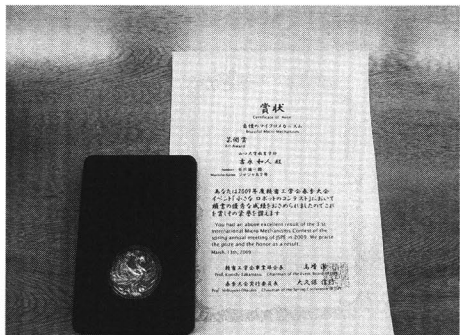


図20 自慢部門の結果

おわりに

平成19年度と平成20年度の2年間にわたり国際的なロボットコンテストである国際MMコンテストに参加した。参加者は大学の工学部、企業のエンジニアが多く、教育系の大学からの参加は山口大学教育学部のみであった。また、海外からの参加者も多く、良い技術交流となった。

参加した学生達は、卒業研究もすでに終わっている時期であったにもかかわらず、本コンテストが開催される3月中旬まで参加ロボットの設計・製作および調整に真剣に取り組んでいた。

本コンテストはロボットのサイズが小さく、例えばNHK大学ロボコンなどに比べて、予算的にも、また技術的にも幾分かハードルが低く、教育学部の学生にとっても参加しやすい大会であった。

このような実践的のものづくり教育を通して以下のようなことがわかった。

(1) ロボットコンテスト参加という目標をもつことにより、より良いロボットを設計しよう、製作しようという、ものづくりの意識をもつことができる。

(2) ロボットの規模が小さいため、1人が1台のロボットを最後まで責任をもって製作することになる。共同作業の利点を損なわれるが、1人のロボットに対する思い入れが強く、完成に至るまでモチベーションを持続しやすい。

(3) 小さなロボットを設計製作することにより、ものづくりに対するスキルを大幅にアップさせることができる。

(4) ロボットの構想から設計を経て、実際に製作し、最後に評価(コンテスト)される。これらの一連の過程を通して、ものづくりの一通りのプロセスを経験することができる。

最後に本研究の一部は平成20年度科学研究費補助金基盤研究(C)課題番号18500710の助成を受けたものである。記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 文部科学省：中学校学習指導要領解説 技術・家庭編(平成20年9月)，2008。
- 2) 小野 直路 他：「アイデア対決・ロボットコンテスト」座談会，ロボコンマガジン，No. 5，pp. 6-13，1998。
- 3) 創造アイデアロボットコンテスト全国中学生大会の公式ページ，<http://ajgika.ne.jp/~robo/>。
- 4) 精密工学会主催国際マイクロメカニズム コンテストホームページ，<http://www.cc.toin.ac.jp/sc/hayashi-lab/new/index.html>。
- 5) 森岡 弘，上村 梨紗，秋本 泰宏，森 慎之助，白濱 弘幸，岡 正人：マインドストームのための遠隔操作装置(リモコン)の開発とそれを用いたロボットコンテストの授業実践，日本産業技術教育学会誌，第48巻第2号，pp. 129-136，2006。
- 6) インドアエアープレーンのホームページ，<http://indoor-airplane-world.com/>。
- 7) 門脇 重道，高瀬 善康：SolidWorksによる3次元CAD，実教出版，2008。