

創造性を生かしたモノづくり実践教育 ＝飲料缶リサイクルマシンの製作＝

Hands-on Practice Education which Utilized the Creativity
＝ Production of the beverage can recycling machine ＝

(平成 16 年 9 月受理)

渡辺 昇* (WATANABE Noboru)
佐東 信司** (SATO Shinji)

Abstract

The creative hands-on education is the one of the aim of education in college of technology. In Fukushima national college of technology, the creative education has been instructed for third grade students in second semester since 2003. The theme of this creative education is “hands-on practice useful for the citizens of Iwaki”. This education is basis of “creative practice using daily necessities” for first grade students, “basic manufacturing practice of machine tools” for second grade students, “manufacturing practice by the regulation theme” for third grade students in first semester and located as the overall practice.

This paper is collected series of manufacturing of “the beverage can recycling machine” by ten students in the creative hands-on education. By the wealth of creativeness plan, especially, they had experienced the series of process, namely, from design to perfection and evaluation. The manufacturing time surpassed the estimate, however, the goal was achieved by the highly motivation of students. There was a rise in the presentation ability in the result presentation meeting which was opened to the public. Therefore, the synergistic effects were recognized through this hands-on education in the practice manufacturing.

1. はじめに

工業高等専門学校に求められるモノづくり教育では、創造性豊かで、個性的で、更なる高度な技術力である。近年、各高等専門学校の機械工学科の工作実習では画一的な基本作業を修得させるだけでなく、創造性（創作性）を取り入れた「モノづくり教育」へと移行してきている¹⁻²⁾。これは、創造力や応用力のみならず、協調性や責任感の育成に大きな効果が期待できるからである。また、これらの能力育成をより一層促進する目的で、設計製図との融合を図った例も報告されている³⁾。いずれの場合にしても、教育的効果を得るには学生の意欲を高めることが不可欠である。

本学の機械工学科では、2003年度の3年生「工作実習」後期において「創造性を生かしたモノづくり実践教育」として総括実習を開始した。副題を「市民に役立つモノづくり」とし、4つの製作課題に挑戦した。

本論文では、その中の「飲料缶リサイクルマシンの

製作」をとり挙げ、モノづくりのスタートである発創からの企画・製図・見積り・発注・加工・組み立て・完成・評価までの総合教育を行い、モノづくりに必要な知識を修得させることを目的とした事例を紹介するものである。

2. 創造性を生かしたモノづくり教育の特徴

機械工学科における創造性モノづくり実践教育は、最重要課題の1つである。1年生の創作実習、2年生および3年生前期の工作実習において、モノづくりの心構えや、工作の基礎となる各種機器の取り扱い方および安全教育等と、設計製図等を総合した幅広い教育を実施している。3年生後期では、これまで習得した基礎技術と知識を十分に活用し、学生の個性と技術力を最大に生かした高度なモノづくりを図るため「創造性を生かしたモノづくり実践教育」を導入し、「総括実習」と名付けた。

* 福島工業高等専門学校 技術室 (いわき市平上荒川字長尾 30)

** 福島工業高等専門学校 機械工学科 (いわき市平上荒川字長尾 30)

製作課題の概念は、①動くモノまたは動かすモノ、②これまで習得した技術力を十分に活用できるモノ、③市民に役立つモノづくり、の3項目とした。

特に、モノづくりに必要な発創から課題の完成・評価までの過程を体験させ、企業で重要視されている納期までの製作時間の予測と実働時間との差、チームワークと協調性、モノづくりの辛さや充実感等を一貫して教育することが可能となる。また、発創や作品の評価等を含め、プロジェクターを使用したプレゼンテーションを実施することで、わかりやすい図面作りやプレゼンテーション能力の向上も図られ、モノづくり教育との相乗効果を期待した企画である。

3. 総括実習の実施計画概念

3.1 製作時間の設定

工作実習の教育内容のスケジュールと鑑み、製作時間を3時間/週×11週で総時間33時間と設定した。特に、企画・立案等に多くの時間を必要とするため、7月上旬に総括実習についての説明会を行い、授業時間以外に課題設定の検討を十分にできるような計画とした。課題の作品名および簡単な設計図を7月末までには作成させ、より具体的な設計図の提出および調達品の検討等を夏休み後に行う。調達品の発注は10月中に終了し、11月上旬から製作を開始し、2月上旬に完成させることとした。実習の最終日に、完成品の披露および公開プレゼンテーションを実施する。

3.2 グループ編成と指導体制

1グループ10名程度で、4グループ編成とした。グループリーダーは企画から役割分担の総括等についてグループ全体を統率する役割を担う。また、指導体制は教員の指導・指示を受けながら、技術職員4名が各グループを担当し、学生の発創や諸問題についての討論相手となり、それらを解決するための的確で柔軟な対応ができるように配慮した。

3.3 「飲料缶リサイクルマシン」の決定

環境問題となっている飲料用空き缶のリサイクルマシンの開発が多方面で行われ、注目をあびている。空き缶の再資源化率は年々増加しスチール缶では80%以上、アルミ缶も70%以上に達している。アルミ缶は人力でも容易に圧縮変形することが可能であるが、スチール缶は高強度であるため圧縮変形が困難である。このため、アルミ缶とスチール缶を自動分別、回収、かつ全自動で容易に圧縮変形ができ、屋内や自動販売

機の横に置けるコンパクトな箱形の飲料缶リサイクルマシンも市民から要望されている内容であると考え、開発を試みた。

4. 課題の発創から評価までの過程

4.1 課題の発創と模型づくり

街や公園には必ずと言っても過言でないほど、飲料缶が放置されている。多くの市町村に於いてもクリーン作戦として市民によるゴミ拾いが行われており、本学でも環境整備として学校近隣を含む年2回の全学的ゴミ拾いを実施している。このような背景から「飲料缶リサイクルマシン」の課題を設定し、「福島高専・機械工学科の学生として他学科・他校生にはできないような独創的なモノづくり」に重点をおいて製作することとした。この製作の概念を下記項目とした。

- 1) 家庭内および自動販売機の横に置ける簡易型とする、
- 2) 缶を入口より連続投入可能とし、安全性を考慮し、圧縮部分には手が入らない構造とする、
- 3) 最大500ml缶まで圧縮可能とし、長手方向に圧縮し、形状をコンパクトにする、
- 4) アルミ缶とスチール缶に分別する。

以上の項目を基本に、作品模型を実物の1/10の大きさに製作した。その外観をFig.1に示す。模型によって構造を再認識し、グループ各自の仕事分担・部品の構成など、作業の効率化について吟味することができた。

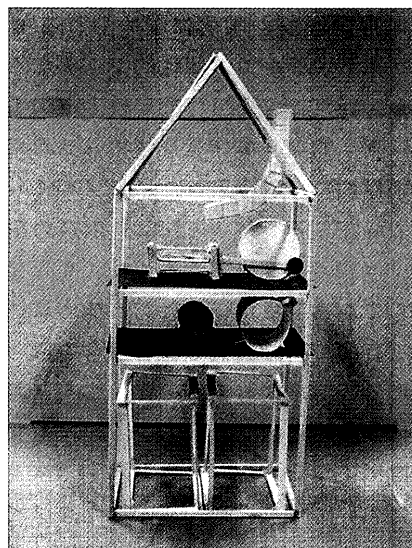


Fig.1 The model of the beverage can recycling machine.

4.2 缶の圧縮過程における設計値の検討

缶の圧縮過程に伴う各主要部分の機械的・電氣的な

設計数値（計算値）の検討を行った。

(1) 缶の圧縮力

缶に荷重 P (MPa) を負荷したときの値を圧縮力と定義する。 P は缶の材質と断面積によって(1)式で求められる。

$$P = \sigma \times A \quad \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 σ は缶の応力 (MPa)、 A は缶の断面積 (円周の長さ×缶の厚み) (mm^2) である。アルミ缶とスチール缶の応力を $\sigma_{Al}=150\text{MPa}$ 、 $\sigma_{Fe}=500\text{MPa}$ とし、缶の厚みが 0.2mm の場合の計算による圧縮力と圧縮試験による実験結果を Table 1 に示す。

計算値よりも実験値が、わずかに大きくなっているが缶がプレス加工によって成形されているため、加工硬化を起こしているなどの要因が考えられる。このため、設計上の最大圧縮力を 10kMPa と設定した。

Table 1 The comparison of the compression strength between theoretical value and experimental value.

	Capacity of the can (ml)	Theoretical value (MPa)	Experimental value (MPa)
Aluminum can	250	1645	1715
	500	1793	1813
Steel can	190	5194	5390
	280	6213	6615

(2) 圧縮速度

圧縮速度 V (m/s) は(2)式で得ることができる。

$$V = L/1000 t \quad \dots \dots \dots (2)$$

ここで、 L (mm) は圧縮ストロークで、飲料缶が挿入されても十分な長さが確保できる長さとして 180mm と設定した。また、圧縮時間を t (sec) とし、10 秒間で 1 工程が終了するように設定した。この時の圧縮速度は 0.036 m/s となる。

(3) 圧縮用電動モータの出力

圧縮変形の動力として電動モータを使用した。最大圧縮力 P を 10kMPa とした時のモータの出力 W (W) は(3)式で示される。

$$W = P \times V \quad \dots \dots \dots (3)$$

この結果、モータの出力は 360W となり、設計では 400W とした。

(4) 減速比

一般にモータの回転数は一定であるが、圧縮作業および選別作業ではそれぞれ圧縮速度・選別速度に最適な回転数を与える事となる。そのため、減速させて必要な出力回転数を得る事が必要である。その減速比 i は(4)式で得られる。

$$i = N_s / N_d \quad \dots \dots \dots (4)$$

ここで、 N_s はモータの回転数 (1500/min)、 N_d は出力回転数である。圧縮過程での N_d を 6/min、選別過程を 7.5/min と設定した時の i は、それぞれ 250、200 と得られた。

4.3 設計と部品の検討

模型を基に課題の概念、設計圧縮力、部品等を考慮しながら設計図を作成した。この時、本体の主要部を(1)本体フレーム部、(2)缶投入部、(3)缶の圧縮部、(4)缶種の選別部、(5)電装関係の 5 分割とし、各部を 2 名の学生が担当して設計を行った。以下に各部の設計内容を示す。

- (1) 本体フレーム部：本体の大きさは $(550^{\text{W}} \times 450^{\text{D}} \times 1420^{\text{H}} \text{mm})$ とし、上部を四角錐の形状とした。メインフレームは、鋼製 L 型アングル材 ($25^{\text{W}} \times 25^{\text{D}} \times 3.0^{\text{t}} \text{mm}$) を用い、電気溶接で作製した。また、本体に $\phi 65.0\text{mm}$ のキャスターを 4 個取り付け移動可能な構造とした。安全性と外観を考慮して全体を 1.5mm 厚さのアルミ板で覆い、缶の投入から圧縮過程を観察することができるように小窓を取り付けた構造とした。
- (2) 缶投入部：缶ジュース等で多く使用されている缶を標準とし、外径 65mm の大きさを基本に投入口の構造を決定した。また、コーヒー缶などの小型缶でも確実に圧縮部に挿着できるように設計した。
- (3) 缶の圧縮部：圧縮部の大きさは $150^{\text{W}} \times 120^{\text{H}} \times 220^{\text{D}} \text{mm}$ とし、圧縮力 10kMPa に十分に耐える材料として厚さ 10mm の鋼板を用いた。圧縮後の缶の厚さを 30mm 程度になるように設計した。圧縮機構は、本体を $\phi 10\text{mm}$ のシャフト 4 本で締結し、缶への押板が全面で均一に圧縮力が働くような構造とした。モータ部では、モータの回転数をウォームとウォームホイールの組み合わせによって減速比が 250 になるようにした。この時、モータによる回転運動はクランク機構の変換によって直線運動に変化する。
- (4) 缶種の選別部：アルミ缶とスチール缶を選別して回収箱に収納する。この機構は、缶圧縮後の落下部に永久磁石をローラ内部に取り付け、スチール缶のみを吸着させて所定の位置で脱着させるようにした。選別速度 0.039m/s とし、ウォームとウォームホイールの組み合わせによって減速比を 200 とした。
- (5) 電装関係：電源は交流 100V を用いた。部品は可能

な限り不要品や廃品活用を前提としており、モータ、リレー、マイクロスイッチ、タイマーなどを活用した。この装置は全自動運転を前提としているため、リレー、マイクロスイッチ等を組み込んだ回路とした。

4.4 製作予算の見積り

総括実習の総予算は30万円とし、1グループ約6万円の予算内で完成させることを目標とした。また、不要品や廃品も再利用するため、使用物品の購入も最少域にこころがけた。しかし、再利用品については作品のコンセプトに合致する物品が調達できないなど、規格品を使用することとなり当初予算の約20%超過となった。

4.5 製作過程

製作主要部を5分割し、それぞれの領域について下記に示す。

- (1) 本体フレーム部：完成させた本体の骨組みを Fig. 2 に示す。鋼製アングルの直角組み合わせ部の溶接はこれまでの基礎実習で習得した技術を生かし、ほぼ良い溶接結果を得ることができた。一方、上部にある四角錐の頂点部の機械加工精度が悪く、その状態での溶接を行ったため、溶接部に隙間が生じ、加工技術と溶接技術の未熟さから外観的に美しい溶接部を得ることができなかった。しかし、構造上の強度としては十分に満足できる状態である。
- (2) 缶投入部：缶投入部を Fig. 3 に示す。外部から缶投入状況が確認できるようにアクリル板を用い、それをアルミアングルで固定し、全長340mmに完成させた。缶の自重で圧縮部へすべり落ちるように缶投入口を斜度 25° で製作した。この結果、缶を投入後1秒以内で圧縮部へ挿入することが可能となった。
- (3) 缶の圧縮部：この領域は本装置の心臓部となり、機構学的にも加工精度が必要となる。このため、鋼板の切り出し、穴加工等はワイヤ放電加工機を用いて製作した。完成した外観を Fig. 4 に示す。特に、モータの回転運動からウォームとウォームホイールを用いて直線運動へと変換するため、材料の加工抵抗を受けない鏡面仕上げが要求される。幾度かの調整の結果、スムーズな直線運動が得られ、設計値であった一工程約10秒で缶を圧縮することが可能となった。
- (4) 缶種の選別部：完成した選別部の外観を Fig. 5 に

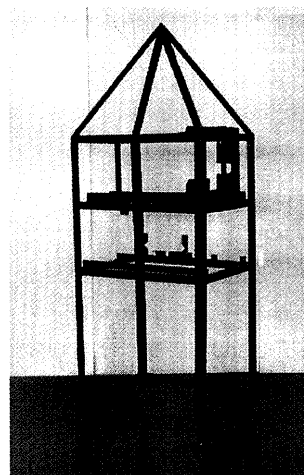


Fig. 2 Frame structure by the steel angle of the beverage can recycling machine.

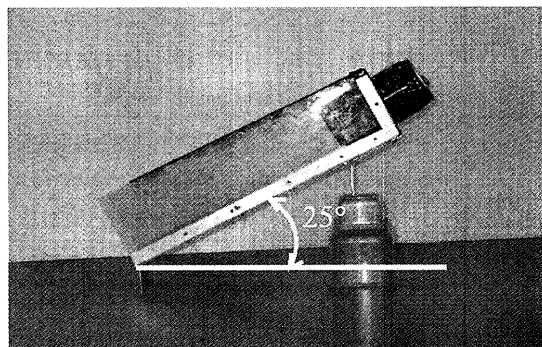


Fig. 3 Structure in the can charge division.

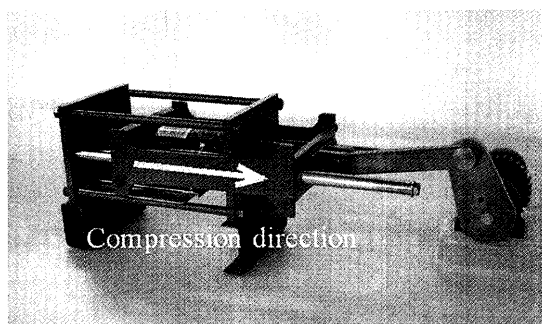


Fig. 4 The insertion of the can to the compression region.

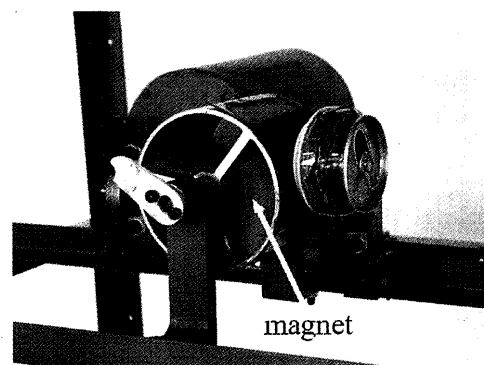


Fig. 5 Selection of the can by the magnet drum.

示す。圧縮缶が落下してくる領域に選別用ドラムを取り付けた。ドラムは $\phi 100 \times 100$ mmのアルミ材を軽量化するため回転用中心軸部と表面厚さ3mmを残すようワイヤ放電加工機で加工し、重量を300gにした。永久磁石をドラム内に挿入し、約 120° の範囲でスチール缶がドラム表面へ吸着できるようにした。缶の圧縮が終了後にドラム回転のマイクロスイッチがONとなる。ドラムの上部を 0° とすると、磁石部は上部方向に位置し、缶の落下を待ち受けて磁石に吸着する。また、 250° 回転したところで磁石から缶が離れ落下することになる。ドラムの中心を境に 90° 側へアルミ缶が、 250° 側へスチール缶が落下する。落下した缶はFig. 6に示す回収箱に入り、缶種を自動的に選別することを可能とした。

- (5) 電装関係：全自動で運転可能とした回路図をFig. 7に、配電盤をFig. 8に示す。缶を投入後、缶が圧縮部へ落下すると缶の重さでマイクロスイッチがONとなり運転が開始する。圧縮モータが作動し、缶の圧縮→缶種の選別→回収箱へと進行し、選別終了確認用マイクロスイッチの動作で運転停止となる。缶の投入から全行程は約20秒である。

上記の各部の構成によって構築したが、加工精度等による設計との誤差も生じたが、修正・調整・試運転の繰り返しではほぼ予想の作品に完成した。Fig. 9に完成した作品の外観を示す。

5. 成果の公開発表会

実習に先立ち、製作企画概念についての発表会を実施した。これはグループ全員の考えを統一し、共同作業であることを認識させるためである。

「飲料缶リサイクルマシーン」の成果発表会の雰囲気を見せたい。この発表会には、校長先生・学科長をはじめ報道関係者3名も加わり、盛大な発表会となった。はじめに、20分間のプレゼンテーションで企画との変更点、製作に苦慮した点、完成度など多岐にわたる事項について説明した。特に、図面や写真を多用し、明確でわかりやすい説明が行われ、プレゼンテーション能力の向上も顕著になったことは大変有意義であった。デモンストレーションでは自信に満ちた気持ちで、缶投入から缶種の分別までの一連の過程を披露した。圧縮後のアルミ缶、スチール缶はともに約25mmに圧縮変形され、企画内容に合致した成果が得られた。

学生達は、今回の「モノづくり」を通して成し遂げ

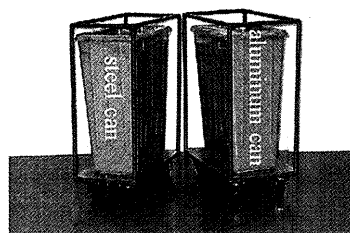


Fig. 6 Fractionation box of aluminum can and steel can.

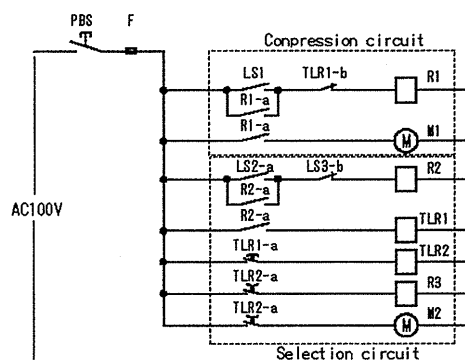


Fig. 7 Electric system circuit diagram of the full-automatic system.

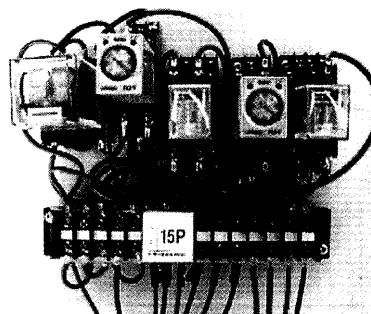
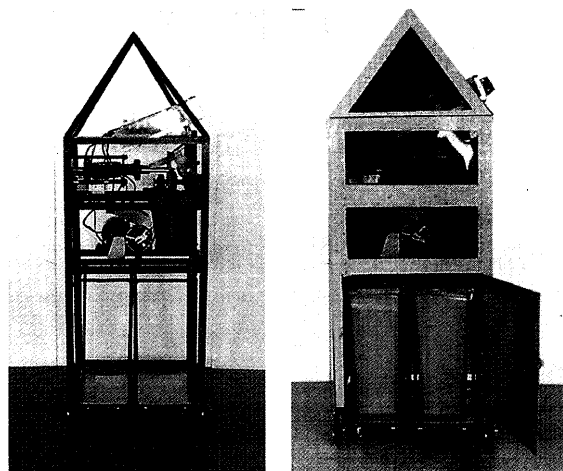


Fig. 8 Electricity switch board.



(a) No a safe cover. (b) Safe cover is fixed.

Fig. 9 The appearance of completed "the beverage can recycling machine".

た満足感や充実感、さらに自らの技術に誇りを持つことができ、生き生きとした発表会であった。

6. 総括実習の教育的効果

3年生前期までに習得した工作実習や座学で学んだ知識を生かし創造性に豊み、個性的で、かつ技術の高度化を図る目的で実施した「総括実習」は、学生の最大限の能力と技力を発揮させることができ、有意義な企画であったと考える。

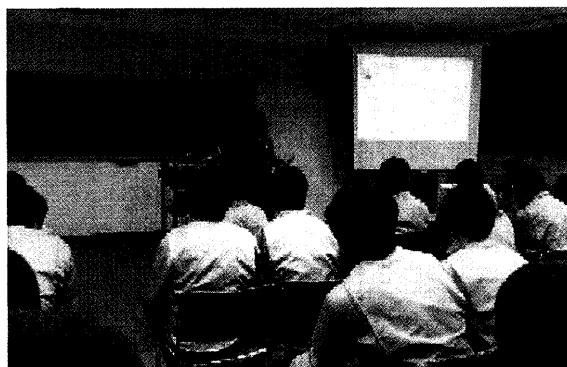
特に、総実習時間は33時間と少ない中で企画・設計製図・見積り・発注・加工・組み立て・完成までの綿密な計画表を作成し、その計画表に沿って積極的に作業を進めた。授業時間以外の作業時間は平均40時間程度であり、実習設定時間とほぼ同じくらい費やした。

製作中に発生する諸問題の解決をどのように対処するかが重要であり、学生同士の話し合いや担当教員はじめ担当技術職員の指導・助言を受けながら自ら問題を解決し作品を完成させたことは、モノづくり能力を十分に修得できた証と言えるだろう。

そのような中で学生が自己評価し、優れていると感じた内容を下記に列記する。

- 1) 缶投入から選別まで自動運転処理ができる、
 - 2) 機構が簡単でメンテナンスが容易にできる、
 - 3) 処理状態が外部から確認することが可能である、
 - 4) アルミ板で覆うことで安全な作品となった、
- また、十分には満足できなかった項目としては、
- a) 連続投入可能装置および安全面で缶以外の物が入った時に対処できる装置を時間内で製作できなかった、
 - b) 本体の溶接工程を考慮し、歪みを少なくする、
 - c) 缶の選別率が80%程度なので、確率を高める、
 - d) 缶を確実に圧縮できる状態に挿入する確率を高める、
 - e) 廃品や不要品を活用するため、製図が困難であった、
- などを挙げた。

実習を終えて学生は、「コンセプトを決め、設計から製作までグループのメンバーと一緒に一生懸命取り組んだことを通じてモノづくりの難しさ、楽しさ、作り終えた時の達成感を感じることができ、とても貴重な体験だったと思う。時間が少なく放課後にみんなで残って作業をしたので、授業の時間があればさらに良いモノが作れると思う。この飲料缶リサイクルマシンはやりがいのある課題なので、来年の学生にもこの課題に取り組んでもらい、より良い作品を製作しても



(a) Presentation of planning and result.



(b) Performance of the work.

Fig.10 Practical training result presentation.

らいたいと思う。」と結んでいる。

以上から、総括実習は総合的な知識・技術等を基に創造性（創作性）や応用性、協調性、責任感等の能力育成を一層促進できる「モノづくり教育」であると考えられる。また、発表会における質疑、応答を繰り返し行うことは「プレゼンテーション能力」の向上が期待でき、教育の相乗効果が得られたと考えている。何より学生がこの実習に、意欲的、積極的に取り組んでいたことが印象的である。

7. まとめ

高専教育の理念からも「モノづくり」は重要な課題であり、本年度からの5カ年間中期計画においても各科目で如何に充実した教育を行うかについて、模索している。特に、今後のモノづくりでは知識創造の時代に対応した感覚で、課題探求しながら諸問題を解決する能力が必要とされてくる。

機械工学科でも「創造性豊かなモノづくり教育」を数年前から検討し、昨年からはモノづくり実践教育を実施した。学生が自ら課題を設定し、企画から完成までの一貫したモノづくりを実践し、モノづくりへの技能と知識が向上し、教育的効果が最大限に得られた教育

であったと考えている。また、成果発表会を公開とし、報道機関を通じて県内に公表できたことは学生のモノづくり能力を把握してもらった好機であったと考えている。特に、保護者やいわき市民の方々には福島高専の教育方針を理解して頂いたと自負している。

各学科のモノづくり教育の参考にして頂けると幸いと考えている。今後も学生と一緒に楽しく・創造的で・個性豊かなモノづくりに邁進する所存である。

謝辞

本実習は、2003年度校長裁量経費の支援によって実現したものである。また、いわき市環境部環境課「リサイクルプラザクリンピーの家」からも支援を受け、

ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 藤澤正一郎、平岡延章、十河宏行、由良論：高松高専制御情報工学科におけるモノづくり教育と創造性育成教育、工学教育、Vol.51、18、(2003)
- 2) 戸谷順信、北川光也、宮下大輔：創造開発型技術者の育成を目指す創造工学実習の取り組み、高専教育、第27号、pp.447-452、(2004)
- 3) 村山和裕、鈴木誠逸、佐々木康夫、吉田光男、伊藤光博、大沢啓志、赤坂徹：設計製図と工作実習を融合させた総合実習の実践、高専教育、第27号、pp.323-328、(2004)