

大学における板金設計、製図教育教材の開発

東京工業大学 理工学研究科 機械物理工学専攻

教授 村上 碩哉、

(平成 17 年度 研究助成 AF-2005021)

キーワード：板金設計 板金加工、設計製図

1. 研究の背景と目的

機械分野の設計は大きく機能設計、構造設計、意匠設計、生産性設計に分けられる。大学における機械工学分野の設計製図教育は鋳造品、切削加工品や購入品を対象とし、モータ、ポンプなどの回転部品と軸受や直動部品などで構成される機械の機能設計が主な内容であり、それに構造設計が加わったものとなっている。一方、金属板材を素材とする板金製品は構造設計、意匠設計、生産性設計に幅広く関わり重要な位置を占めており、今後も機器の軽量化、高意匠化、省資源化、低コスト化を目的に、更なる普及拡大が要求されている。しかし、大学においては、板金構造製品の設計・製図教育はほとんどなされていない。機械工学を専門とする大学3年生においても、板金とは板を折ったり、曲げたりして、何かの形にすることであり、職人の手作業で、自動車の凹みを修理したりする打ち出し板金をイメージするくらいの知識しか持ち合わせていないのが実状である。このため、最近、各大学が推進している創造性教育(例えば東京工業大学では「独創機械設計プロジェクト」など)でも、機器を設計した後の加工において軽量化のために余材を切削で除去することがほとんどである。さらに、卒業後、企業に入社して設計を行う場合に、板金設計の知識が不足しており、板金加工品の高度利用はもとより、機器の軽量化による省エネルギーやコスト低減への配慮が不足がちである。

一方、大学においては、塑性加工、塑性力学の講義の中でせん断、曲げの説明はなされている。しかし量産が中心のプレス加工と、非量産が中心の板金加工との違いが説明されている教材がほとんどないために、今後、多品種、少量のスピード生産が重要となるが、そのために有利な板金構造体の設計、製造に関する教育がほとんど行われていないのが現状である。

以上のような背景に基づいて本研究は、大学の設計、製図教育において板金設計を導入することを目的とし、それに必要な以下の諸項目を検討した。

1) 大学での教育に適した教材を開発すること。本研究の「大学における板金設計、製図教育システム」は新しい取り組みである。従来の板金設計に関する教材は、対象が現場の実務者であり、また加工法など技能的な要素が主体の

構成になっている。そのために、そのまま大学の設計、製図教育に供することはできない。大学としての板金技術の教育は、ものづくり大学において行われている例がある(寄附講座)が、設計、製図教育ではなく板金加工が主になっている。このようなことから大学での板金設計製図に関する教育には有効な教材の開発は不可欠である。

2) 板金設計製図のための効率良い教育システムを構築すること。これにより、板金構造品の設計と加工の知識を与えるとともに、板金の高度利用による機器の設計の実習経験を与えることが可能となる。本システムの開発、活用が、大学における板金設計の教育のモデルになれば、板金設計を企業へ普及、拡大するとともに、板金製品の高度化の一助になると考えられる。

3) 板金設計製図、加工実習を通して、機能設計、構造設計のみでなく、生産設計の概念とその重要性を認識させること。従来の鋳造品や切削加工品を対象とする設計、製図は、費用と加工時間の関係で、通常は設計、製図のみであり、製作までを行っていないことが多い。そのために、設計、製図したものを学生自身が評価するに至っていない。板金製品ならば、比較的短時間に加工できるために、学生が設計、製図したものを実証加工することが可能であり、工学＝エンジニアリングの本質を体感するとともに、近年、企業で積極的に導入が図られているコンピュータによる設計、製図(CAD)から加工、生産(CAM)までの一連の作業工程について実習を通じて学ぶことができる。

2. 研究方法

大学における板金設計の教育を行うためのモデルを構築するために必要となる以下の項目について検討した。具体的には、平成 17 年度後期から計画し、平成 18 年度と平成 19 年度前期 2 年間に、東京工業大学工学部機械科学科 3 年生の設計製図の講義・実習「機械設計製図第 2」にて実施し、評価することにした。

1) 教育プログラムの設定：製図法の基本を学びながら、板金部品設計のポイントとなる展開図とその計算法を限られた時間内で効率よく理解させるためのプログラムの開発を行う。

表1 板金設計製図教育プログラム

講義	項目	内容
1回	オリエンテーション □ 板金部品と応用製品 □ 板金加工の基礎 □ 加工機械の見学	アマダにて講義と見学 □ 新テキスト「板金設計製図」を利用 □ アマダ展示会場にて、加工機械と加工製品を見学
2回	機構部設計・計算 □ 設計課題の説明 □ 設計仕様の決定 □ 設計計算	□ バックゲージ 機構部の設計 □ ストレッチ、ラック、ピニオン、シャフト □ 動力、プーリの計算書の提出
3回	モータの選定 □ 負荷トルクの計算 □ パワー（走行、加速）の計算	□ モータの選定書の提出
4回	板金部品の設計・製図 □ 設計製図法（製図上の決め事） □ 組立図の作成	□ カバーの設計 □ 寸法によってグループ分け □ カバーの立体図(鳥瞰図)、三面図(手書き)の提出
5回	板金展開 □ 板金加工の要素と展開 □ 展開図作成法 □ 課題演習 □ カバー展開図作成	□ 展開長計算書の提出 □ 打抜きと曲げ加工の荷重計算書提出 □ カバー展開図(CAD)の作成
6回	展開図作成 □ CAD製図	□ カバーの展開図 CAD 図面と DXF データの提出
7回	展開図の検証 □ CAD/CAM の実際 □ 展開図検証デモ	□ アマダ自動プログラム AP100 にて CAM データ作成のデモ □ 学生作成した展開図データを検証
8回	板金加工実習 (希望者)	アマダスクールにて、 □ レーザ、パンチ複合機での加工（見学） □ カバーのプレスプレーキ曲げ（加工実習） □ TIG、MIG 溶接（体験実習）

- 2) 板金設計の対象品の評価と選定：効率良く板金設計を理解し、身につけるための設計対象品の選定は重要である。板金構造体としては、①コンピュータなど電気機器筐体、②ATM 紙送り機構などのような精密板金ユニット、③エレベータ、車両などの輸送用機器構造体をもとに、学生が興味をもち、かつ教育上効果的なモデルを評価、選定する。
- 3) 設計計算の対象の評価と決定：設計製図教育では、設計計算も重要な課題である。製品の強度、剛性計算、展開長、ネスティング、曲げ加工順序、曲げ荷重など、機能、性能計算の課題の検討だけでなく、生産加工のための計算の課題の検討と評価、選択を行う。
- 4) 実習項目の評価と選定：従来の設計、製図の講義では通常は設計、製図のみで終わって、実際に講義中に加工まで実施する例はほとんどない。板金設計は、それを実習で製作することが可能である。そこで、効率よい設計教育と実習との連携法を検討する。また CAD から CAM までの一連の作業工程を理解させるための対象として板金設計、加工は最適であり、コンピュータを積極的に使用する方策を検討する。
- 5) 以上を大学における板金設計、製図教育用の教材として、編集する。

3. 研究内容

3.1 平成 18 年度の実施内容

- 1) 教育プログラムの設定：135 分×7 回の講義と実習で当

初の目的を達成するために、表 1 に示す教育プログラムを設定した。まず講義において、板金製品とは金属板素材を標準的な金型を用いたパンチプレスやレーザ加工機によって穴あけや所要形状に切断し、ついで、プレスプレーキにて曲げ加工した後に、溶接など接合され、組立てられた製品であることを理解させ、加工と密接に結びついた製品であることを説明する。そして、板金製品とその加工法を理解させるために加工機械の見学を行う(第 1 回)。次いで、設計対象の機構部の設計、部品の選定のために設計・計算を行うとともに機構部の寸法決定する(第 2 回、3 回)。その機構部を収容するためのカバーである板金部品の設計、製図(手書き鳥瞰図と三面図)を行う(第 4 回)。その板金部品を製作するために、曲げ加工時の塑性変形量、いわゆる展開長を考慮した加工前の部材(板材への展開図)の寸法計算を行う。合わせて、打抜きと曲げ加工の荷重計算も行

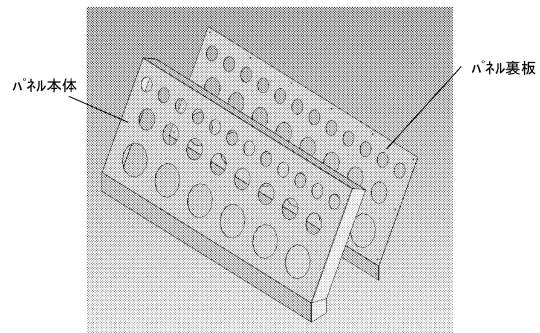
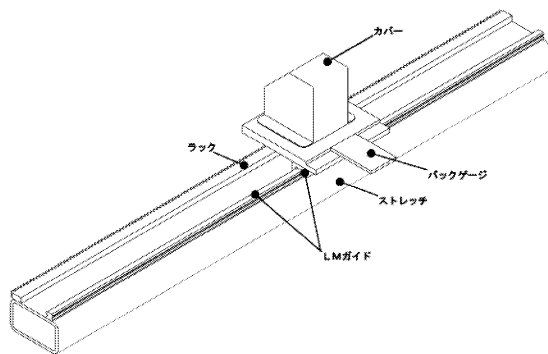
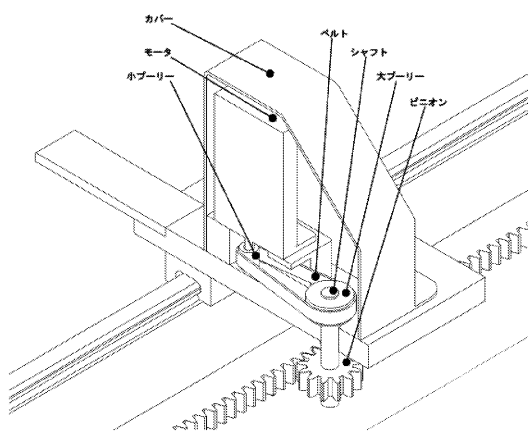


図 1 平成 18 年度 設計課題 パンチパネル

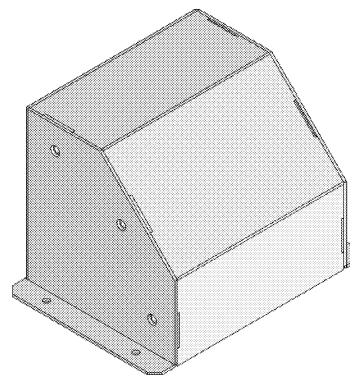


(a) 全体図

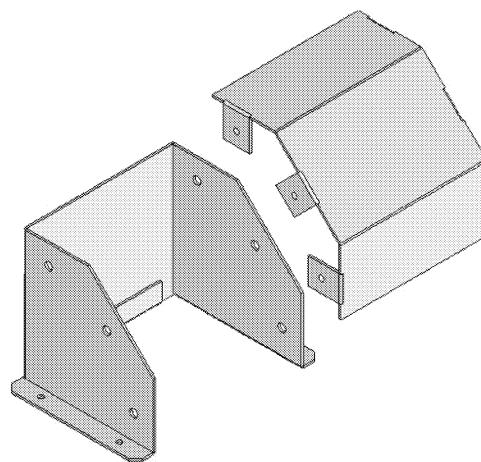


(b) バックゲージ詳細

図2 平成19年度設計課題
プレスブレーキ バックゲージユニット



(a) 全体図



(b) 分解図

図3 平成19年度設計課題 バックゲージカバー

い、適切な加工機械の選定をも行う(第5回)。加工前の部材の寸法計算に基づいて、板材の展開図をCADにて製図する(第6回)。板金加工用の自動プログラムにより、作成したCAD図面の評価を行う。展開図からのCAMデータの作成と加工のシミュレーションをして、CAD/CAM連携の重要性を理解させる(第7回)。最後に、希望者のみを対象として設計、製図した板金部品の曲げ加工の実習を行い、CAD/CAMを利用した設計、製図、加工の一連の板金製品の行程を理解させる(第8回)。

2) 板金設計の対象品の評価と選定：平成18年度は、パソコン筐体、ロボットの足などが設計対象の候補として上げられたが、設計製作実習の時間(180分×7回)では実習時間内に設計、製図することが困難なことがわかり、図1に示すようなパンチプレス金型移載用の棚板(パンチパネル)を課題として取り上げた。50名の受講者を10のグループに分け、グループごとにパンチの種類、個数を変えて棚板を設計させ、手書きにより組立図、CADソフトウェアにより展開図を描かせた。この設計対象物は幅が約1mあり、図面をA3サイズの手紙に収めるには、1/4の縮尺とせざるを得ず、板金設計で重要となる板材の厚さを図面上に表現することができないことが問題となった。その過程で現

在の機械工学系の多くの学生にとって興味のあるロボットなどを必ずしも設計、製図の対象として選定する必要がないことがわかった。

3.2 平成19年度の実施内容

19年度は東京工業大学工学部機械科学科の教育カリキュラムの変更に伴い、講義時間が225分×7回に延長された。図2に示すプレスブレーキのバックゲージユニット、すなわち機構部の設計(ラック・ピニオン、ベルト・プリー、モータの所要動力から機械要素の選定および剛性設計に基づくストレッチの断面形状の選定)と、その機構部のカバーを板金製品とした課題を選定した。これは単に板金製品のための設計だけでなく機構部の設計後の結果に基づいて板金製品が設計されることをも理解させることを期待したものである。なお前年度と同様に約50名の受講者を10のグループに分け、グループごとに機構部の仕様を変えて設計させた。

- ・ 機構部設計の対象としては、購入部品のモデル(サイズ

や動力)選定のための設計計算を主とすることにした。

- ・ 板金部品設計の対象としては、選定した機構部が収まる大きさのカバーとした。図3にその鳥瞰図を示す。そのカバーの加工にあたって、板金部品の基本要素である直角曲げ、鈍角曲げ、ヘミングの曲げ加工を行うようにし、さらに展開図における逃げを取り入れることとした。また、成形要素に関しては、ねじ穴とそのためバーリングが含まれるようにした。なお今後の課題として平成20年度では各曲げ加工した部分の剛性計算を取り入れることにより、さらに板金製品の形状だけでなく剛性をも考慮する必要性のあることを理解させることが必要であろう。

- ・ カバーの組立図の設計製図においては、まず JIS 規格に基づいた設計製図法を良く理解させることを主眼とし、まず手書きによる鳥瞰図に作成させ、完成したカバーのイメージを形成させた上で、組立図(3面図)を作成させた。
- ・ カバーの展開図の設計製図においては、CADによる製図を実習することとして、図4に示す2次元CAD図とDXFファイルを提出させることにした。DXFファイルの提出は図面の設計仕様との正誤点(外形寸法、穴の位置と寸法、また曲げの可否)を評価するためのものであり、また学生にCAD/CAMの一貫化を理解させることを目的としている。その評価はアマダ製のソフト AP100 を用いて、学生全員が提出した図面を自動検証した。その例を図5に示す。

3)設計計算の対象の決定：

①機構部の設計計算はストレッチの断面形状の選定(リニアガイド部の剛性)、ラック・ピニオン、シャフト、動力、プーリの各部品の選定、モータの選定(イナーシャ、負荷トルク、走行・加減速パワー、実行トルク)のための計算を行わせた。

②板金設計、製図で対象とするカバーにおいては、基本的には無負荷の製品であり、他の物品や人と当たったときに双方を保護するためのもので、負荷条件が難しく、これを計算するにしても有限要素法が必要となろう。このため講義時間内にカバーの剛性、強度の設計計算を行うことは困難であることから、今回は対象外とすることとした。

③展開長は板金設計で最も重要なものであり、外側寸法基準の展開長の計算方法について、曲げ、ヘミング、バーリングの要素と箱物の基本的な形状について演習を行い、理解を深めさせることとした。習得した展開長の計算方法によってカバーの展開図に必要な各寸法を計算させ、カバー展開図をCADにて作図させた。

④カバーの板材のパンチング加工と曲げ加工に関して加工荷重を求めさせ、必要な加工機械の選定を行わせ、設計が加工と密接に関連していることを理解させることとした。

4)実習項目の評価と選定に関しては、

- ・ 実習は大学の講義のない休日にアマダスクールにて希望者が参加することとした。時間の関係でパンチング、レーザー加工は見学のみとし、曲げ加工と溶接の実習を行った。具体的には、曲げ加工は学生の提出した設計図面から選択したモデルを用いてデータを作成し、展開部品をプレスブレーキのディスプレイに従って、順次曲げ加工していく方法により行った。溶接はTIGとMIGで突合せ溶接の基本作業を行うことにした。実習には52名の受講者中20名の学生が参加した(18年度は12名)。大部分の学生は問題なく良好な加工を行うことができ、曲げ加工においてバックゲージの突き当て不良や、曲げ加工中の端部の跳ね上がりに対して把持の追従遅れなどで一部組立が不可能な物もあった。設計から生産までの一連の行程を良く理解することができ学生にとっては良い経験であり、参加した学生からも好評であった。

5)板金設計製図教材の開発

- ・ 板金を大学の設計・製図教育に取り込むために必要となる教材を開発した。板金製品の設計には板金加工の知識が不可欠である。しかし、板金に関して、学生の知識がほとんどない点を考慮して、まず板金設計・加工の総論において、①機械製品・設備における板金加工品の重要性を各種の製品事例を通して示している。さらに試作や中小量生産品優れた加工法であることを、試作、非量産、量産における製品加工のプロセスを対比させることにより、理解させ

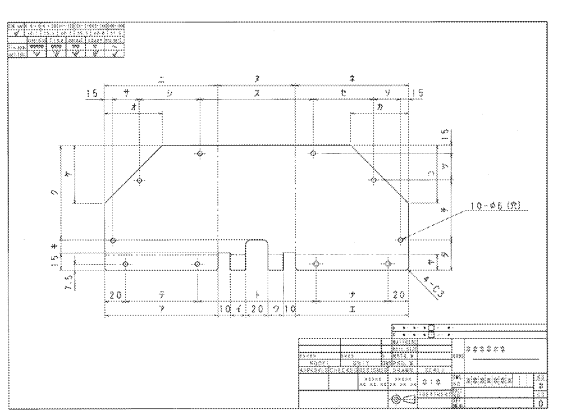


図4 バックゲージカバーの展開図の例

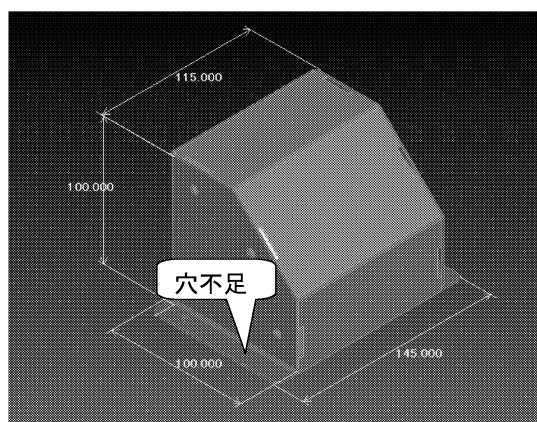


図5 CADデータの自動検証例

ている。②さらに板金設計における展開図の重要性とその設計のポイントを理解させている。

そして、板金設計・加工の各論において、以下の順序で詳述している。①板金加工プロセスと設備の構造と特徴：打抜き加工、レーザ切断、曲げ加工、接合法とそれらの設備を制御する NC を説明し、板金加工プロセスとその加工設備の概説を行っている。②板金製品の要素：各種の切断、曲げ、成形に関して、それぞれの基本的で重要な加工方法を示し、板金加工の可能性を理解させている。③板金製品の要素に対して板金加工設備をどのように活用して加工するかを詳述している。④総論で説明した板金設計における重要なプロセスである展開長を計算するための基本的な考え方、計算方法と各種の曲げの計算事例を通して具体的な計算方法をも説明するとともに演習問題を与えている。⑤板金製品の製図法では、分かりにくい板金の三面図の製図法、曲げ情報の記入法、また展開図の製図における記述方法(バリ方向、曲げの山谷など)を説明している。最後に、⑥板金製品における CAD/CAM の利用と効果を示し、板金製品の設計と加工が最新の高度なシステムで構成されて、さらなるシステムの発展性についても言及している。

4. 研究成果

板金製品設計製図の講義・実習を通して、大学における板金設計製図の講義・実習の方法を研究した。以下にその実施項目ごとの成果を示す。成果として学生からのアンケートを主にまとめると次のようになる。

1) 7回の設計、製図の講義と実習、さらに希望者の加工実習の合計 8 回の教育プログラムを作成し、実施した。その結果、設計計算書、設計、製図の図面ともに、ほぼ学生全員が大幅な遅れもなく、また時間外に長時間の負荷をかけることもなく提出した。後述するように、それぞれの課題に対する理解もほぼなされており、教育プログラムとして成功であったといえる。

2) 板金設計の対象品の評価と選定：板金部品の組立図を手書きとし、展開図を 2 次元の CAD 図にしたことに対して、それぞれの習熟度が大幅に向上したことを喜ぶ意見が大半を占めた。東京工業大学工学部機械科学科の設計製図では基本的な設計製図を理解させることを重要項目としていることから手書き主体の製図を採用しているが、学生には CAD をも実習したいという強い希望があることがわかり、そのバランスをとった形であったため高い評価を得た。設計対象品のサイズを図面上で板厚が明確に区別できる程度としたことにより、分かりやすく、また必要以上の製図作業時間の負荷をかけず、効率よい課題とすることができた。さらに、板金加工製品が機構部の設計と密接に関連していることを理解させ、板金加工設備の周辺機器を対象とすることで実際の機械設計の手順を理解させることが

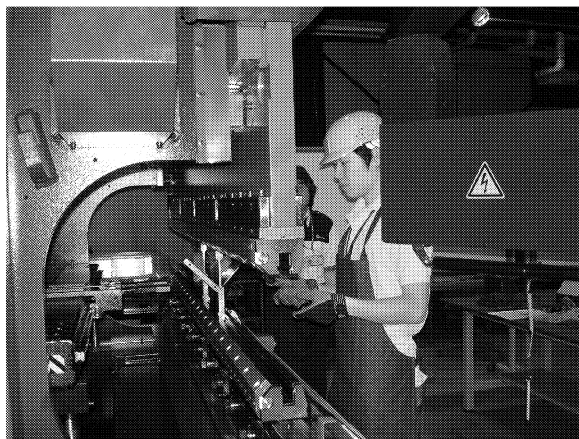


図 6 学生による曲げ加工実習



図 7 加工実習風景

できた。これは単に大学の教員だけでは実現することが困難であり、企業と共同で教育プログラムを作成し実施したことで学生理解がより深まったと考えられる。

3) 設計計算の対象の決定：展開長計算に関して、すべての学生が理解し、板金設計のポイントを理解させることができた。

4) 実習項目の評価と選定：各学生の設計作品の CAD データをアマダ製の自動プログラムを用いてパンチングと曲げのシミュレーションを行って評価した。学生にとっては CAD/CAM の実際の適用とその有用性を理解することができ貴重な体験となった。さらに、講義時間外の休日を利用して、アマダスクールにて希望者が曲げ加工と溶接の実習を行った。受講者 52 名中 20 名が参加し、実習の満足度は設計製図の満足度よりも高く、教育上も効果的であった(図 6、図 7)。

4) 板金設計製図教材の開発：板金設計・製図と加工の参考書として、70 ページに及ぶ教材を開発し、理解を深めさせることができた。

教育の成果を短期間で判定することは難しいが、受講し

た学生の意見を総括すると、板金設計、製図の教育は、学生にとって従来の機能設計主体の設計に比較して、楽しく興味を持てる内容であり、設計、製図について理解が深まったということであった。このことから板金を設計、製図の教育課題にしたことは成功であったといえる。

5. 結論

- 1) 板金設計技術の高度化による製品の軽量化、省資源化、低コスト化などを、さらに重要となる将来の産業の発展に主導的な立場となる学生に教育することを目的に、東京工業大学工学部機械科学科とアマダスクールが協力して、大学の設計製図の講義・実習への板金設計導入のための研究を行った。
- 2) 対象品としては、A3 サイズに三面図が記入でき、図面上に板厚が明確に表現できる形状のものが適当である。
- 3) 板金製品は、授業で設計した製品の加工までの実習が可能であり、特に CAD/CAM を利用した加工実習に対して学生の満足度が高い。
- 4) 鋼板、アルミ板など金属板の使用量は鋼塊、鋼棒や鋳造の使用量を大幅に上回るものであり、それを利用した製品の設計がいままで大学の授業に取り入れられていなかったのはむしろ不思議である。NC 制御による板金加工機の発達で板金製品の加工範囲を拡大させているが、大学の授業にそれが反映されていなかったのが現状であった。本研究は産業界のニーズに対応させて、大学における設計製図の授業の変革を目差したものであり、その第一歩にはなったものと考えている。
- 5) 企業の協力を得て共同で企画、実施したことで設計、製図のみならず加工までの生産活動を短期間で取得することが可能な効果的な教育プログラムを完成させることができたと言える。

6. 謝辞

本研究の推進にあたり、テキストの作成、加工の実習に、また非常勤講師として講義、学生の図面に対する自動プロ AP100 によるチェックなどにご協力頂いた職業訓練法人アマダスクールの丹羽嘉明様、奥井勝様、諸星貢様、㈱アマダの伊藤克英様、また加工機械などの見学、加工実習等にご協力いただいた㈱アマダの藤巻章二様、本間進様に厚く感謝いたします。

また、設計製図教育プログラムの開発、講義、実習に協力頂いた東京工業大学工学部機械科学科の担当教職員である足立忠晴様、井関日出男様、山田春信様、上野広様にも感謝します。

最後に、本研究は天田金属加工技術振興財団の援助を頂き実施されました。ここに感謝の意を表します。

7. 参考文献

特になし。