

塑性加工を主としたモノづくりデザイン学の構築

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 14 年度 研究助成 AF-2002011)

キーワード：モノづくりデザイン、塑性加工、品質革新

1. 研究の背景と目的

日本の産業の発展のためには、新しい製品ニーズと高度なモノづくり技術の組合せにより、高品質、高機能の製品を次々と生み出し、それを持続させる必要がある。しかしながら、塑性加工、射出成形、粉末成形といった、個々のモノづくり技術力の発展、充実に比べて、新技術を選び出し、設計に反映する状況は遅れている。

本研究の目的は、塑性加工を中心とした現存するモノづくり高いレベルの技術を設計者が容易に活用し、製品の品質、機能を革新するために、設計者、モノづくり技術者双方が効率良く利用できる手段を提供することにある。本報告は塑性加工学会誌、シンポジウム、文献、カタログ等における情報と、電気機器総合メーカーである日立製作所における事例の調査により、塑性加工を中心としたモノづくりプロセスによる品質、機能革新の事例調査と、その品質、機能向上を実現するための技術的な着眼点をまとめたものである。

従来の関連する研究としては、製品開発のための工学的手法を設計サイドから構築する試みが中沢らによりなされている¹⁾。また、軽量化のための設計の進め方、事例も刊行されている²⁾。その他、モノづくりプロセスを決定するために、設計図をもとにそのコストを自動評価する試みもある³⁾。

一方、塑性加工のサイドから生産設計への指針となるものもある^{4) 5)}。しかし、製品の品質、特性の向上を主目的にしてモノづくり、塑性加工の技術をまとめたものは見当たらない。なお、従来の加工に関する技術・研究は部品レベルの加工法と製品形状、生産性、精度、強度に関する研究などモノづくりに視点を置いた要素技術研究がほとんどである。

2. モノづくりのプロセス

図 1 にモノづくりの基本プロセスを示す⁶⁾。

新製品、改良製品には基本仕様がある。そのうち、設計仕様は売るための訴求点となる製品の機能、性能を決定づけるものである。また、機能や性能を発揮するための部品形状と材料、さらにそれらの組み合わせた機構、構造のイメージが含まれている。基本仕様にはその他、生産量、生産開始時期、終了時期、目標価格を与える生産仕様がある。機能設計、構造設計をもとに加工法を考えながら、材料、部品の形状や構造の変更、修正を行うのが生産設計である。

3. 提案する内容

1) 問題点

図 1 の基本プロセスにおける生産設計は、主として構造設計をもとにコスト低減を目的として塑性加工、射出成形のための形状修正、あるいは機械加工のための形状変更、組立性向上、材料変更など加工性、生産性を向上させるものである。そのため生産設計の効果はその部品

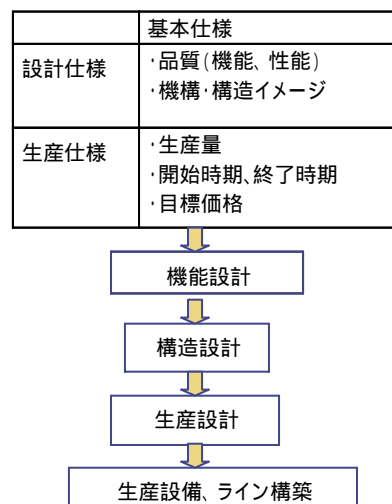


図1 モノづくりの基本プロセス

のコスト低減に留まっている。塑性加工等によって一体化し、材料を変え、また加工硬化による材料特性の変化を積極的に製品の品質、機能の革新に利用することは個々には行われているにしても系統的に行われているとは言えない。

自動車のように市場規模が大きく、設計者、生産技術者が多数研究開発に従事している製品を別にとすると、多くの製品には、進歩した加工技術が設計に十分に活用されていない。そのため、製品の優位性が長続きしないで、後続にすぐ追いつかれて、コストの競争になってしまう。

表 1 は電気機器メーカーにおける中堅の設計者、生産技術者に各自が担当する製品における設計者、生産技術者の数を聞いた結果である⁷⁾。たとえば、合計 60 製品のうち、51 人以上で設計する製品が 11 あったということである。設計者 20 名以下、生産技術者 10 名以下の小規模の製品が 70% を占めている。これらの製品では、多品種少量、製品の寿命が短期間、必要とされる技術の多様化、新製品開発に目が行き、企業が塑性加工技術の専門家を保持し、また長期間をかけて育成する余裕がなくなって来ている。

表 1 電気機器メーカーにおける設計者、生産技術者の数の例

規模	設計者数	製品数	生産技術者数	製品数
大	51 人以上	11	21 人以上	9
中	21 ~ 50 人	11	11 ~ 20 人	6
小	11 ~ 20 人	16	6 ~ 10 人	23
零細	0 ~ 10 人	22	0 ~ 5 人	21

最近は特に、以下によりその傾向が強まっている。

- ・設計開発と製造部門の別会社化、製品ライフサイクルの短縮によって、製品設計者が加工技術に精通する余裕がない。
- ・高度成長期前後の幅広い知識と経験をもった生産技術者がリタイアする年齢になった。一方、企業が個々の加工技術の専門家を長期間をかけて育成する余裕がなくなって来た。
- ・特に、塑性加工は生産性と品質でモノづくりの競争力の最上位に位置するが、材料、塑性理論、金型設計、加工、設備技術など、幅広い知識が要求されるため、技術が難しく、さらに金型等の初期投資が大きく、また生産の立上げに期間を要するために、モノづくりの技術者も塑性加工の採用に及び腰になり、多品種、中小量の時代にはリスクの少ない切削に頼りがちになる。
- ・加工法による品質、機能向上の効果を積極的に生かす意識、取組みが十分でない。

2) 課題、解決策

本研究は以上のような問題点を解決し、モノづくりのプロセスを品質の向上に積極的な活用を試みるものである。これをモノづくりによる製品設計の革新ととらえ、「モノづくりデザイン学」と呼ぶことにする。

図2は「モノづくりデザイン学」で提案するモノづくりのプロセスである。このプロセスとしては2種類ある。

まずは生産設計のプロセスにおいて提案・検討するコスト低減、スピードアップのための変更、例えば機械加工から塑性加工への変更、複数部品への一体化、材質の転換、薄肉化のなどの変更に対して、品質の変化に結びつけることである。

品質の項目は次節で紹介するように数多くあり、転換による効果は注意深く検討すれば見つけることは多いと思われる。

品質の向上に結びつけることが出来れば、生産設計が売上の向上に直接寄与できることになり、モノづくりサイドの成果が顕在化し、正当な評価を受けることが可能となる。以上は生産設計の過程から品質への寄与のフィードバックのプロセスである。これが第1のステップである。

しかし、望ましいプロセスは品質・機能設計の当初からモノづくりによる品質の差別化を考えることである。第1のステップでは製品の発売時期に間に合わないことがあるためである。主に設計者に対して、モノづくり技術による最上流での製品の品質、性能を革新するための目標と着眼点のヒントを提供することが真の狙いである。

4. 製品が売れる要素

表1に、製品が売れる要素を大きく3つに区分して示す。まず、第1区分の品質、機能を左右する因子として高効率、軽量化、快適性、意匠性など8項目をとりあげ、またそれらの具体的な内容について示している。ユーザーの多様なニーズに答えるために、これらの品質、機能の高度化は重要であるが、これらの重要度やその内容は時代によって変化するものである。世の中の動きに敏感でなければならない。

第2区分の生産力としては材料費、加工費、設備費などを抑制するコスト力と製品をタイミングよく開発し、短いリードタイムで供給するスピードも重要である。開発期間の短縮は製品の原価における間接コストを削減させ、製造リードタイムの短縮は売れ残りや、機会損失を低減することで製造原価を削減して、製品競争力を強化できる。なお、今回のモノづくりデザイン学ではこの要素は前提としており、検討の対象にはしていない。

一方、第3の区分は話題性やブランドといったイメージである。新製品開発における技術の新規性や先端性、また製品に対する継続性、信頼性などにより、持つことに誇りを感じる総合的なブランド力が売価や売れ行きを左右し、利益に直結する重要な要素である。

塑性加工の実用例は非常に多くあるが、効果としてコストの低減を上げるものがほとんどで、加工品の品質、機能の向上による効果を表現しているものは比較的少ない。例えば、1999年から2000年に塑性加工学会誌に掲載されたベンチマーク⁷⁾の100件に関して調査した結果を示す。上記の製品の品質、機能の区分に関わる効果を挙げたものは25件に留まり、塑性加工の特徴である品質、機能の向上が必ずしも十分主張されているとはいえない。

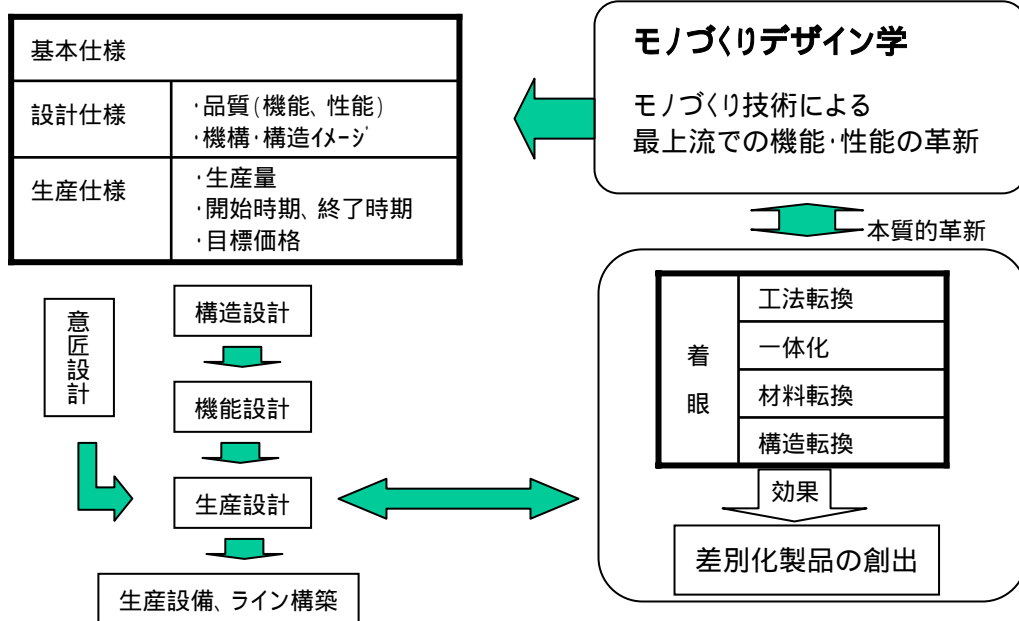


図2 モノづくりデザイン学で提案する基本プロセス

表2 製品が売れる要素

区分	No.	項目	内容
品質・機能	1	省エネ	省エネ、ハイパワー
	2	小形、軽量	運搬性、据付性、組込性
	3	快適性	静音、高輝度、清潔、健康
	4	意匠性	高級感、清潔感、信頼感
	5	信頼性	耐久性、堅牢性、長寿命
	6	操作性	簡単操作、メンテナンス性
	7	安全性	正常時、故障時、廃棄時
	8	環境調和性	生産時、使用時、廃棄時
生産力	9	コスト	材料費、加工費、設備費
	10	スピード	開発、製造
イメージ	11	話題性	新規性、先端性
	12	ブランド	総合力、継続性、信頼性

3. 着眼点

塑性加工などの新技術を開発、適用する場合には従来の方法から何らかの変革を行う必要がある。従来製品、部品からの変更点を生産技術的な着眼点で整理してみる。着眼点としては、工法転換（従来の製作方法とは異なった方法に変えるもの。例えば、鋳造や粉末成形法から塑性加工法に変えるもの、同じ塑性加工法でも鍛造から板成形に変えるものも含まれる）、工法改善（例えば、プレス製品でも形をつくりやすくして、工程数を大幅に短縮したものなど）、一体化成形（複数部品を一体化成形し部品点数を削減したもの）、材料転換（例えば、鋼からアルミニウムの転換したもの）、材質改善（普通鋼からハイテンに転換したもの）、設計構造の転換、高精度化等が考えられるが、ここではをの工法転換に含め、またをの材料転換に含めてまとめることにした。

4. 品質の効果と傾向分析

ここでは、以下の3種類の調査結果をまとめる⁸⁾。すなわち、塑性加工学会誌のベンチマーク100件中の品質・機能に関連する25件、日立製作所における品質・機能に関する開発事例30件、また塑性加工学会のシンポジウムなどの記事、日経メカニカルなどの解説記事、カタログなどから収集した事例24件の調査結果である。これを、表3に品質・機能に関する項目に分類し、また表4に技術着眼項目に関して分類した。

1) 塑性加工ベンチマーク

既述のように、100件中25件に品質に関する効果の記述があった。なお、25件の対象製品の内自動車に関連するものが24件であった。塑性加工における自動車の割合が高いことを裏付けているが、品質のうち小形・軽量化が16件と最多であり、その他では信頼性が6件、快適性が2件、意匠性が1件であった。一方、技術着眼点としては、工法転換・工法改善が10件と最多、ついで一体化8件、材料転換・材質改善が5件、高精度化が2件であった。品質効果項目と技術着点との関係を調べて見ると、小形・軽量化16件の内訳は工法転換・工法改善が6件、材料転換・材質改善と一体化がそれぞれ5件であった。

表3 品質の効果と事例件数

No.	品質項目	ベンチマーク (25件)	日立製作所 (30件)	文献・カタログ (24件)	合計
1	高効率	0	11	4	15
2	軽量・小形	16	13	15	44
3	快適性	2	3	2	7
4	意匠性	1	11	4	16
5	信頼性	6	9	8	23
6	操作性	0	2	0	2
7	安全性	0	1	3	4
8	環境調和性	0	8	2	10
	合計	25	58	38	125

表4 技術着眼項目と事例件数

No.	着眼項目	ベンチマーク (25件)	日立製作所 (30件)	文献・カタログ (24件)	合計
1	工法転換 工法改善	10	27	18	55
2	一体化	8	6	3	17
3	材料転換 材質改善	5	8	8	21
4	構造転換	0	12	3	15
5	高精度化	2	2	2	6
	合計	25	55	34	125

信頼性6件の内訳は工法転換・工法改善と一体化がそれぞれ3件であった。快適性の2件には高精度化が、また意匠性には工法転換・工法改善が寄与していた

2) 日立製作所の事例

事例30件の対象製品の内訳は電気機器27件、自動車機器3件である。1製品で複数の項目に効果が記述されている例があり、合計の効果件数は58件になっている。58件の内訳は小形・軽量化が13件と最多であるが、高効率・意匠性もそれぞれ11件と多く、さらに信頼性9件、環境調和性8件と幅広く要求されている。

一方、技術着眼に関しては、やはり30件の事例において55件と複数の着眼が記載されている。多面的な思考が行われていると見なすことができる。項目では工法転換・工法改善が27件と最多であり、構造転換12件、材料転換・材質改善が8件、一体化6件、高精度化2件と続いている。材料転換よりも設計的な手段で革新を図る傾向が見える。

3) 文献、カタログ情報

事例24件の対象製品の内訳は自動車13件、電気・情報機器7件、その他が4件である。1製品で複数の項目に効果が記述されている例があり、合計の効果件数は38

件になっている。小形、軽量化が15件と最多であり、次いで信頼性8件、高効率と意匠性がそれぞれ4件、安全性3件、快適性と環境調和性がそれぞれ2件となっている。

一方、技術着眼に関しては、やはり24件の事例において34件と複数の着眼が記載されている。項目では工法転換・工法改善が18件と最多であり、材料転換・材質改善が8件、一体化と構造転換がそれぞれ3件、高精度化2件と続いている。

以上の調査をまとめると、塑性加工の品質効果が得られているもの、易いもののベスト5は軽量小形化、信頼性向上、高効率化、意匠性、環境調和性である。一方、目標に対する技術的な着眼は工法転換、工法改善、材料転換、材質転換、一体化、構造転換である。それぞれ、一位の項目が二位の項目の2倍と非常に多くなっており、軽量小形化を狙って、工法の転換を図ることが取り組みやすい目標のように思われる。一方、高精度化は革新には結びつきにくいようである。

5. 事例

以下に塑性加工を中心としたモノづくり技術による製品革新に関して、特徴的な事例を示す。

1) ベンチマーキングにおける事例

・ABS用電磁弁(デンソー)⁸⁾: プレス深絞りによるマルテンサイト変態(強磁性化)と部分熱処理によるオーステナイト変態(非磁性化)によって1つの部品に「複合磁性体」をもたせ、電磁弁の小形化(外形 24 19)を可能にしている(図3)。

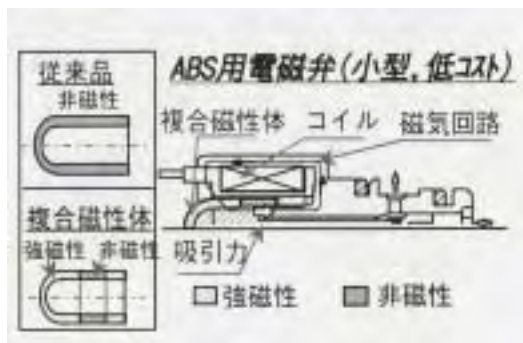


図3 ABS用電磁弁(デンソー)

1) 日立製作所の事例

洗濯機の洗濯槽を従来のプラスチックからステンレスに材料を転換した。これにより、洗濯槽の薄肉化による内容積の増加は相対的に小形化に寄与、また洗濯槽の強度向上は脱水回転速度増加による脱水率の向上は乾燥機高効率化、安全性の向上につながり、またプラスチックに比較して意匠性が向上し、さらに、プラスチック比率の低下は環境との調和性が増し、さらに、国内初のステンレス洗濯機であるという話題性を得るなど、など多くのメリットを得ている⁶⁾。なお、ステンレス化によりコストは大幅にアップしたが、内容積増などによる売価アップでそれを吸収している。

ポンプを鋳鉄からステンレスに材料転換することにより、小形化(全長1286mm 579mm)、赤水防止による快適性の効果を得ている⁹⁾。

変圧器のコアを板厚0.4mmの珪素鋼板から0.030mmアモルファスに転換することにより、全損失を45%に効率化、また13%の小形化で品質の革新があった¹⁰⁾。

2) 一般事例

学会誌、雑誌、カタログなどから収集した事例を示す。

油圧配管継手(エルボ: トキワ精機)¹¹⁾: 油圧シヨベ

プラスチック



ステンレス



項目	効果
高効率	
小型軽量	
快適性	
意匠性	
信頼性	
操作性	
安全性	
環境との調和	
話題性	

図4 洗濯槽のステンレス化

従来(鋳造)



新構造
(ステンス)



図5 ポンプのステンレス化



図6 一般産業向けアモルファス変圧器

ル、フォークリフト用のエルボは従来は丸棒を熱間型打ち鍛造後ドリル加工していたが、厚肉パイプの熱間曲げ加工法に工法転換した(図2)。品質的な効果として、管内圧力損失の20%低減、および、内面に切削ばりが生じないため、クリーン化による信頼度向上がある。

自動車エンジンのステンレス中空バルブ(野口製作所)¹²⁾: 従来は熱間鍛造していたバルブを冷間深絞りにより中空化した(図11)。効果として、従来の中実バルブよりも数10%軽量化して、限界回転数と燃焼効率の向上、および中空部に冷媒を封入可能になり、冷却効果により高温域での使用が可能になる。

連結コアモータ(三菱電機)¹³⁾: 打ち抜き型内で回転可能に連結された分割コアを製作する。それを用いて、コアを裏返した状態でコイルを巻線して、元に戻してモ



図7 厚肉パイプ曲げエルボ



(a) ボンネット内板 (b) ショックコーン

図10 衝撃吸収アルミボンネット



図8 ステルス中空バルブ

ータコアとしている(図9 9). 効果として、コアを外側で巻線することができるため、太い銅線を高密度に巻くことが可能になり銅損が50%低減、またコア端部のとくろがなくなるために小形化も可能になった。



(a) 裏返した連結コア (b) 連結コア

図9 連結コアモータ

アルミボンネット(マツダ)¹⁴⁾: 外板と内板で構成されるボンネットの内板にショックコーンと呼ばれる円錐状のくぼみを形成した板を用いたもの。従来の骨形状の内板に比べて、内板全体が撓んで均一な衝撃吸収が可能。効果として、衝撃吸収特性の向上により、エンジンとの空隙を90mmから60mmに減少して小形化したこと。スポーツカーとしての意匠性も向上。内板を0.9mmから0.7mmに、また外板を0.95mmから0.9mmに薄肉軽量化。

6. まとめ

- 1) 塑性加工による品質・機能革新を図り、技術の経営への貢献の拡大が必要であることを述べた。
- 2) 経営に貢献するために必要な製品が売れる要素を品質・機能、生産力、イメージの3つに区分した。そして、品質・機能を8つの項目に分けた。
- 3) 品質・機能を革新するための塑性加工の5つの着眼点をまとめた。
- 4) 以下、塑性加工の文献や、電気機メーカーの事例により、

品質・機能の革新の項目と着眼点をまとめた。

塑性加工の成果の現状はコスト低減が主であり、品質・機能への寄与を主張しているものは少ない。

塑性加工技術開発の品質・機能に関する成果としては軽量化が最も多い。次いで信頼性向上、意匠性向上、高効率化、環境との調和の順である。

自動車関連では特に軽量化が顕著であり、次いで信頼性。電機関連では軽量化、高効率化(省エネ)意匠性向上がほぼ等しく重要視されている。

技術的な着眼点では、工法転換・工法改善が最も多く、ついで材料転換・材質転換である。一体化も分野によらず効果的である。

電機関連では構造転換の事例も多く、塑性加工技術を設計に反映させることが重要であることを示している。

部品の場合は、現状では生産力に左右され、顧客に感動を与えるのは値段であることが多い。部品が組み合わされたユニット、モジュールなど、製品に近くなれば、設計構造の転換により、品質・機能で顧客に感動を与える機会が増大する。製品設計と連動し、顧客が求めるものを理解し、モノづくりのサイドから製品を革新するアイデアを提案することが、何よりも重要である。

6. 謝辞

本研究は天田金属加工機械技術振興財団の援助を頂いており、感謝の意を表します。また、調査に御協力いただいた日立製作所モノづくり技術事業部中村敬一シニアプロジェクトマネジャー、同社機械研究所田中伸司主任研究員に感謝します。

さらに、塑性加工学会誌をはじめ、本研究で調査し、引用させていただいたメーカーおよび文献の著者にも感謝いたします。

7. 参考文献

- 1) 中沢：開発設計工学、工業調査会(2001)
- 2) 尾田ら：軽量化設計、養賢堂(2002)
- 3) 大橋ら：機論(C編)66-647(2000-7)、315。
- 4) 宮川：塑性加工品の製品設計、日本規格協会(1978)
- 5) 落合：薄板構造物の加工、日刊工業新聞社(1998)
- 6) 村上：第53回塑加連講論(2002)359
- 7) 塑性と加工40巻459号(1999-4)329
- 8) 村上：第55回塑加連講論(2004)295
- 9) 村上：塑性と加工44巻506号(2003)207
- 10) (株)日立産機システムホームページ
- 11) トキワ精機(株)カタログ
- 12) (株)野口製作所ホームページ
- 13) 日経メカニカル554号(2000-11)40
- 14) 日経メカニカル584号(2004-5)25