

### 欧州の金属プレス金型産業と工作機械産業 (その1)金属プレス金型の特徴とプレス加工 技術の起源について : Dieタイプ金型の技術 変遷とアジア後発国での産業育成の視点より

BABA, Toshiyuki / 馬場, 敏幸

---

(出版者 / Publisher)

法政大学経済学部学会

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

経済志林 / The Hosei University Economic Review

(巻 / Volume)

75

(号 / Number)

3

(開始ページ / Start Page)

137

(終了ページ / End Page)

164

(発行年 / Year)

2007-12-25

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00003087>

# 欧州の金属プレス金型産業と工作機械産業 その1 : 金属プレス金型の特徴とプレス加工技術の起源について —Dieタイプ金型の技術変遷とアジア後発国での産業育成の視点より—

馬 場 敏 幸

## 1. はじめに

### 1.1. 問題意識と目的

### 1.2. アジアでの金型産業の発展：dieタイプ金型とmoldタイプ金型

## 2. 金属プレス加工・金型の概要

### 2.1. 金属プレス加工の定義

### 2.2. プレス加工の方式と基本的な加工

### 2.3. 製造現場で用いられているプレス加工の方式

### 2.4. プレス金型の設計の難しさ

### 2.5. プレス金型製作の難しさ

## 3. プレス加工技術の源流をさぐる

### 3.1. 金属を加工する技術の起源：金や銅への板金および鍛造技術とmoldの誕生

### 3.2. 型を押し付けて模様を転写する技術の起源：印章の技術

### 3.3. 圧力を伝える硬い工具の起源：鋼の製鉄技術

### 3.4. 型を圧力で押し付けて金属に模様を転写する技術の起源：金属硬貨製造の技術

### 3.5. 大きく持続的な圧力をかける技術の源流：圧搾機

### 3.6. 金型を用いたプレス技術の源流（圧搾技術と転写技術の融合）：印刷・硬貨製造

## 4. 考察

### 4.1. プレス加工技術の萌芽：各要素技術の誕生と「技術の組み合わせ」

### 4.2. 近代プレス加工技術の萌芽：「技術融合」と「技術転用」

- 4.3. ヨーロッパの金型認識（工具群）と日本およびアジア後発国の認識（金型セット）
5. おわりに

## 1. はじめに

### 1.1. 問題意識と目的

本稿の目的は、欧州の金属プレス金型産業と工作機械産業の現状、形成過程、技術変遷について考察を行うことである。その際、技術変遷とアジア後発国での産業育成の視点より考えてみたいと思っている。

筆者は後発国の金型産業の発展・育成の要因分析を行っているが、そもそも金型産業はどのように誕生し、進化したのかという問題意識を持っている。また金型産業および金型に関連する技術がどのように誕生し、進化・変遷してきたのか体系的にしたいと考えている。これは、技術が国を超えて移転する際にどのような要因で移転したのか、どのような要因が移転を妨げているのかという問題意識が根底にある。さらに、どの国でどのような技術変容があり、それが次の技術移転にどのような影響を与えたのかという流れを解明していきたいと考えている。

本稿ではこうした問題意識を背景として、dieタイプの金型（後述）の代表的存在である金属プレス金型に焦点を絞って論を進めたいと考えている。本稿は、本号掲載の「その1」と後日掲載の「その2」より構成される。「その1」では、まずプレス金型の特徴、誕生の背景などについてまとめてみたい。ただし、金型技術は古く、技術変遷は複雑である。本稿は、dieタイプの金型の系譜概観の第一歩に過ぎないとの位置づけを了承していただきたい。「その2」では、2006年末に実施したドイツ、フランス、スイスなどでのプレス加工及び金型メーカー、工作機械メーカーの訪問調

査も踏まえて、「その1」「その2」を総合した考察を行いたいと考えている。

## 1.2. アジアでの金型産業の発展：dieタイプ金型とmoldタイプ金型

金型は大量生産には必要不可欠なマザーツールである。金型はプラスチック、金属、ガラス、ゴムなど多種多様の素材の塑性加工に用いられる。同じ形の成形品を精密、迅速、大量、かつ低コストで成形する技術は、当面金型抜きでは考えられない。非常に身近な家電製品を作る場合でも数百の金型が用いられている。このように金型が大量生産に必要な一方で、金型産業は関連技術の移転と育成が困難な産業として知られてきた。工業化の著しいアジアでサポーターインダストリーの整備と育成が進む中、金型産業の育成はアジア各国で大幅に遅れてきた（馬場 2005）。

しかし、1990年代に入りそうした状況に変化が訪れている。金型には大別して、moldタイプの金型とdieタイプの金型がある<sup>1)</sup>（馬場 2007a）。Moldタイプの金型の代表がプラスチック成形用の金型であり、dieタイプの金型の代表が金属プレス加工用の金型である。近年特にプラ型をはじめとするmoldタイプの金型について、アジアで技術移転の進展と地場企業も交えた金型産業育成の成功が見られるようになってきた（馬場2005, 2006, 2007a など）。

一方でプレス金型などdieタイプの金型については、アジアで急速な発展は見られるもののmoldタイプの金型と比較すると、その技術移転と育成が遅れている。本稿でdieタイプの金型の代表であるプレス金型に焦点を絞って分析を進めようと考えているのは、こうした後発国での金型発展事情が背景にある。

---

1) 金型には様々な種類があり、その種類ごとにまた細分化される。したがって、こうした2分類は厳密には成立しない。しかし、日本の「金型」の英語訳は“die and mold”が用いられている。また、アジアへの金型技術移転と産業育成を念頭に置いた場合、dieタイプとmoldタイプに2分類を行ったほうが都合がよい。このため、あえてこの分類を用いている。なお本稿で、機能・形状からダイカスト金型をmoldタイプとしている点はご了承願いたい。

## 2. 金属プレス加工・金型の概要

なぜ、dieタイプの金型の技術移転が遅れているのだろうか。それはdieタイプ金型の代表である金属プレス金型について考えると、工業的後発国の人々にとって金型設計と加工の難易度が高いためである。

直感的な例では、mold金型の場合は加工面の形状からワーク（work 金型で組成加工される対象品・製品）が想像しやすい。例えば、それがプラスチック射出成形用金型であれ、アルミニウムダイカスト成形用金型であれ、同様である。一方で、dieタイプの金型では金型の加工面の形状からワークが全く想像できないことも多い。後発国の工業の第一歩として、「それらしいもの」をマネして製作することが第一歩であることも少なくない。そうした単純な点でもdieタイプの金型製作はハードルが高い。

また、類似既存技術の高度化により産業発展することも多い。工業的後発国でも、精度を問題としなければmold技術は存在することが多い。例えば、鋳物製品、プラスチック雑貨、靴底など、日用品がmold技術を用いて作られていることは多い。もちろん、die技術を用いても日用品は作られている。しかし、moldとの比較で、既存のdie技術と精度を必要とする現代工業製品製作のための金属プレス技術との差を縮めることは、過去のアジア諸国での金型産業発展の例から考えて難しそうである。

なぜ、金属プレス金型の製作と加工は難しいのであろうか。それは、ワークの素材である金属材料の特性と、多様なワーク加工法に多く起因している。そこで、ここでは周知の事実も多いものの、議論の前提として、金属プレス加工の種類、加工法、設計などについて以下に概観したい。

### 2.1. 金属プレス加工の定義

Dieタイプ金型の代表例は金属プレス金型である。ブリタニカ小項目辞典<sup>2)</sup>ではプレス加工は「金属および非金属材料の素材に、2個以上の対を

なす工具によって力を加えて所要の形状や寸法に切断あるいは成形すること。せん断加工，絞り加工，曲げ加工および鍛造加工に大別されるが，引張り成形，回転成形，ゴムおよび液圧成形，高エネルギー高速成形，エンボッシング，圧印加工なども含まれる。通常は工具として上型（ポンチ）と下型（ダイス）を用い，両者の間で加工する。切削加工に比べて材料のむだが多く，短時間で比較的精度のよい製品が得られるので，多量生産に適する。各種のプレスが使用されるが，せん断機（シャリングマシン），万能折り曲げ機，溝ロール，縁出し機，その他を加工目的に応じて用いる」と記述されている。この記述の工具が金型<sup>3)</sup>である。詳細は後述（4.3）するが，英国・米国で編纂されたブリタニカ百科辞典で，プレス金型を「工具」と記しているのは非常に興味深い。

日本大百科全書<sup>4)</sup>ではプレス加工は「プレスという機械を用いて行う塑性加工のこと。プレスには種々の形式および大きさのものがあるが，代表的機種では，上部に往復上下動するラムとよばれる機械部分があり，その下端に金型（上型）を取り付ける。下部のベッド上面には下型を取り付け，その上に金属またはその他の材料素材を置き，ラムの下降行程で素材に圧縮荷重をかけ，所定形状の製品につくるのである。プレス加工はまたスタンピングstampingともいわれ，剪断（せんだん），曲げ，深絞り，張出し，鍛造，押出し，圧印などの諸加工の総称である」と記される。日本で編纂された日本大百科全書では，明確に金型の用語を用いており，興味深い。

---

2) 本稿で引用した，ブリタニカ小項目辞典，ブリタニカ大項目辞典はブリタニカ・オンライン・ジャパンの検索によるものである。

3) 狭義には，dieタイプの金型の上型はパンチ（punch）であり，下型がダイ（die）である。しかし，プレス金型などの総称として，パンチとダイを含んだ金型一式をダイまたはダイセットと広義で用いることもある。本稿では，基本的に広義でダイを用い，dieタイプの金型と称している。なお，引用文の「ポンチ」は「パンチ」と同じである。

4) 本稿で引用した，日本大百科全書，デジタル大辞泉，ケンブリッジ英英辞典はジャパンレジャの検索によるものである。

## 2.2. プレス加工の方式と基本的な加工

表 2-1は代表的なプレス方式をまとめたものである。プレス機械の方式には、大別して、「機械 (mechanical) 方式」と「液圧 (hydraulic) 方式」がある。表の、クランク (crank) プレスおよびフリクション (friction) プレスが機械式に相当し、液圧プレスが液圧方式に相当する。

プレス機を用いての基本的加工は表 2-2に示したとおりである。実際には次項で示すとおり、多様な加工が行われる。特に近年では、速さ、ストローク、トルク、段取りなどを精密制御できるプレス機が登場し、加工の幅が広がっている。例えば、機構にリンクモーション (link motion) を用いたもの、動力にリニアモーター (linear motor) やサーボモーター (servo motor) を用いたもの、金型ホルダーを用いたタレットパンチプレス (turret punch press) などにより、従来プレスでは不可能であった加工も行われるようになってきている。

表 2-1 代表的なプレス方式

方式	内容
クランク プレス	最も一般的なプレスで、はずみ車の回転をクランク機構によって往復直線運動に変え、上型 (ラム部先端に取付ける) を上下させて作業する。クランク軸の両側にカム装置を設け、素材を押えるようにしたものをカム式複動プレス、クランク機構ではなく倍力装置としたものをトグル複動プレス、クランク軸の代りに偏心軸を用いるものをエキセンプレス、偏心歯車を使用するものをクランクレスプレスという。クランクプレスの一種であるプレスブレーキは、スチールやアルミニウムサッシ、シャッターなどの長尺物を折り曲げる場合に用いられ、成形、穴あけ、絞りなどの加工にも流用できる。
摩擦プレス (フリクション プレス)	ねじに取付けられているはずみ車を摩擦車によって回転させ、ねじ下端部の上型に往復直線運動を与えて作業する。はずみ車の全エネルギーを短時間で一度に放出して作業するので、打抜き加工には適するが、絞り加工には不向きである。
液圧プレス	高圧の水または油をシリンダに送り、ラム (大きなピストン) によって先端の上型を往復運動させて加工する。行程が容易に調節でき、加圧状態を任意に保持できる長所をもち、大型素材の絞りや曲げ加工などに使用される。

出所：ブリタニカ小項目辞典を基に作成

表 2-2 プレス加工で用いられる加工法

加工法	加工内容
剪断加工	大きな板材または長い棒や管からその一部を切り取る分離作業。
曲げ加工	プレス曲げでは、平らな板から所定の寸法に剪断したものを素材とし、これを曲げ型とよばれる一対の金型の間に挟んで、プレスで加圧して金型面になじむように曲げ、横断面形が、V、U、W、Lなどの形をした製品をつくる。
絞り加工	円板からコップ状の底付き円筒容器をつくる場合のように、所定の輪郭形状に剪断した平板素材を、ダイスおよびポンチとよばれるメス・オス一対の金型を用いて成形する加工。
張出し加工	深絞りとは似た加工で、平板素材から、つばのついた帽子のように平面から曲面が張り出した形の容器を成形する加工。この加工はメス型なし、オス型のみでも可能だが、製品曲面部の板厚は素材より薄くなり、ついには破断するので、深絞りほど深い容器の成形はできない。一般にはたとえば自動車のボディのような複雑な曲面形の成形加工は、深絞り成形と張出し成形が複合されたプレス加工。
圧印加工	貨幣やメダルのように板材の表面に凹凸の模様をつける加工。金型に刻み込んだ模様を素材に転写するプレス加工。一種の鍛造であり、通常、室温で行われる。

出所：日本大百科全書を基に作成

### 2.3. 製造現場で用いられているプレス加工の方式

金属プレス加工の方式もいくつか種類がある。代表的なものが、タンデム (tandem) 方式、トランスファー (transfer) 方式、順送 (progressive) 方式である。タンデム方式はプレス加工の基本的な形態である。タンデム方式では、プレス機械が一回上下することでワークの加工が完了する。

トランスファー方式は、タンデム方式をワークの加工順に横並びさせたイメージである。ワークは、ロボットアームなどの自動搬送装置で独立した次の加工機械に送られ、ワーク成形工程が進行する。タンデム方式と異なる点は、工程順に自動的に送りと加工が行われる点である。

順送金型は、トランスファー方式が一つの金型内に配置されたイメージである。長い金属シートが順次金型に送られ、金型内で必要に応じて数工程から数十工程が行われる。表2-3は、順送金型の中で行われる加工法につ



いて、金型関係者への聞き取り結果をまとめたものである。表以外にも、金型の中で、さらに溶接やレーザー加工などの工程を組み込む努力をしている企業もある。こうした様々な加工が一つの順送金型内に組み合わせられる。その結果、順送金型を用いた生産では、一枚の金属板が金型内で順次加工され、最終的には複雑な形状の部品になって切り離される。

一般的には順送金型がより難易度が高いと捉えられがちである。順送金型を用いると、様々な加工工程を経た複雑形状のワーク加工が、高速かつ高精度で出来るからである。工程分解の方法、工程配置などが難しいのも事実である。また、金型の歴史上、タンデム方式→トランスファー方式→順送方式の流れがあることも影響しているのかもしれない。しかし、タンデム方式、トランスファー方式も、それぞれ技術的に高度で奥深い。したがって、プレス加工方式だけの判断基準で単純に技術難易度を判断することは避けるべきと考える。

表 2-3 プレス加工の現場で用いられる加工法例

パンチング	穴あけの総称	ブランキング	打ち抜き
ピアシング	穴あけ	カットオフ	切り離し
ベンディング	曲げ加工	スキュー	ひねりを用いた加工
ドローイング	絞り加工	ホーミング	成形一括総称
シェイピング	削り加工	ブランキング	打ち抜き加工
コイニング	つぶし加工	バーリング	下穴を円筒状に加工
コーキング	かしめ加工	カーリング	円筒加工先端を丸折加工

出所：聞き取り調査より作成

## 2.4. プレス金型の設計の難しさ

多くのプレス金型メーカー、プレス成形メーカー、プレス機械メーカーなどへのインタビューで共通する点は、プレス金型は設計が難しいことである。日本国内、アジア、欧米を問わず、同様の意見を聞く。

表2-4には、金属プレス金型に求められる特性と設計時の留意点のうち、

ごく基本的な例が示されている。金属プレス加工は表 2-2や表 2-3に示したとおり、平面の金属材料を、変形、切り離す。加工の際には、金属そのものの性質や形状による硬度、韌性、弾性、延性、強度など、種々の特性を考慮して加工する必要がある。そうでないと、スプリングバックにより寸法が出なかったり、そり、ひずみ、割れ、しわ、かえり、だれ、などの欠陥が生じたりする。

このように、金属材料というワークの特性が金属プレス金型設計を難しくしている。また、ハイトテン材（高張力鋼板 ハイテンション・スチール high-tension steel）、チタン合金、マグネシウム合金、異種合金の張り合わせなど、難加工素材の登場や多用もその一因である。

ワークが流体の場合は、コンピュータハード・ソフトウェア技術の進歩により、CAE（computer aided engineering）によるシミュレーション解析精度が近年飛躍的に向上した。しかし、金属プレス加工で用いられるワークについては、現場での実用化に向けては課題が多いというのが、これまでの日本の金型企業からの聞き取り調査からの印象である。

表 2-4 金属プレス用金型に求められる特性と設計時の留意点の一例

方 式	内 容
プレス金型に求められる特性	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 耐久性（製品による耐磨耗性）</li> <li>✓ 強度（荷重）</li> <li>✓ 部品形状に応じた加工機能</li> <li>✓ 寸法精度</li> </ul>
金型設計時の基本的留意点例	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 曲げ加工を行う際、金型を想定角より鋭角に調整する必要がある。</li> <li>✓ 曲げ加工の際、角の内外でワーク板厚により寸法差が出ることも考慮に入れる必要がある。誤差が大きければ部品加工精度が落ち、小さければ亀裂が生じる。適正誤差は金属板の厚さ・材質・プレスの荷重により異なる。</li> <li>✓ 順送金型を用いた加工では金型内の工程が多いが、その順序配列の決定は難しい。配列は金型およびプレス加工コストに大きく影響する。</li> <li>✓ プレス機械、プレス技術などによっても金型設計は異なる。</li> </ul>

出所：日本金属プレス工業会HPを基に作成

## 2.5. プレス金型製作の難しさ

プレス金型は、製作難易度も高いとよく言われる。最も理解しやすいのが、ワーク素材が硬いことによる影響である。例えばパンチなどに超硬素材（cemented carbide タングステンとコバルトやニッケルなどを焼結した合金）や、チタンを主成分とする他のサーメット（cermet セラミックと金属を含む合金）素材など、高硬度素材を用いることも多い。また鋼の硬度を上げるために焼入れすることも多い。こうした高硬度素材は、固い上、もろくて靱性に欠けることもあり、加工難易度が高い。また、工業の後発国では熱処理産業が未発達なことも多く、焼入れ過程そのもので問題を抱えるケースも多い。

例えば、2007年6月に訪問した中国・上海の現地系大手自動車部品企業では、近年急速に金型の現地調達率を高めていた（馬場 2007b）。しかし、担当者によると、外資系金型企業からの輸入品と比較して、現地企業からの調達品は熱処理に問題があるとのことであった。その結果、金型の耐久性や加工精度が劣ったり、狂ったりするので困っているとの話であった。

## 3. プレス加工技術の源流をさぐる<sup>5)</sup>

次に、プレス金型技術の起源と近代工業としての誕生の経緯について考えてみたい。近代工業としての金属プレス金型は欧州で誕生したと言われている。その技術がやがて米国、日本に移転・発展した。そして現在の金型産業は、アジアでの技術移転・発展という大きな段階を迎えている。一般的に後発国が工業化を行う場合、先進国の技術体系を利用することが多い。それはガーシェンクロンらが指摘したとおり、そのほうが後発国にと

---

5) 歴史的事実の確認については、ジャパンナレッジおよびブリタニカ・オンライン・ジャパンでの検索内容に依拠している。また、古代の金属や加工に関する記述は、フォーブス『古代の技術史上巻』に多く依拠している。

って有利だからである。

現在の日本は世界的な金型産業の先進国である。現在の金型に関連する技術には、日本で付加されたものも多い。しかしもともと金型技術は明治以後に欧米より学んだ輸入技術が核となって発展した。

ここでは、技術の原点と発展の経緯について考えるための基礎として、欧州でプレス金型技術がどのような変遷をたどって誕生したのかについて考えてみたい。

### 3.1. 金属を加工する技術の起源：金や銅への板金および鍛造技術と moldの誕生

金属プレス加工は基本的に金属の薄板を加工する。この金属加工技術の芽生えは少なくとも新石器時代にはすでに見られる。金・銅など身近に十分にあり、光沢を放つ金属を角・木・石の道具で採掘することは少なくとも新石器時代には行われている。さらに金・銅ともその加工技術として、新石器時代に自然金属のまま冷間成形される技術が生まれ、次に青銅器時代に鑄造成形の技術が生まれ、やがて鉄器時代以降に型押し成形の技術が生まれた。

表2-2や表2-3で示したプレスで用いられる種々の金属加工のうち新石器時代にすでに見られるものも多い。金属加工のワーク素材は金や銅であった。当時、金や銅は金属であるとの認識ではなく、伸びるキラキラした石であるとの認識であった。金や銅は展延性がある上、自然に粉や塊で産出される。用いられた技術は、打ち伸ばし、切断、曲げ、穴あけ、鍛接、削り、研磨、エンボス加工、箔の貼り付けなど、多様である。また、加熱と鋳打ちによるアニール（anneal 焼きなまし）処理も金や銅の精錬技術誕生前に行われていたようである。

自然銅を用いた鋳打ち、曲げ、切断、研磨などの加工は、紀元前6000～5000年ごろにはシリア北部のハラフ文化（Halaf culture）で見られる。ただし自然銅は脆く、実用品としての加工はできなかったようである。やが

て、アニール加工が紀元前5000～4500年ごろ発見された。銅を熱して鍛打ちする形でのアニールにより、銅に延性を生じさせることが可能となった。このことにより、銅を自由な形に加工することが可能となった。すなわち鍛造技術と板金技術による金属加工の確立である。さらに冷間鍛造により銅の硬度を上げる技術も誕生した。このころの鍛には石が用いられ、板金や鍛造の下型には、木や石などが用いられたようである。この金属加工技術が転用され、後に鉄板の板金も行われるようになったことは確実と思われる。

さて、銅（融点1085℃）の熔融、鑄造は紀元前4000～3500年ごろから見られるが、確立技術として普及が始まったのは紀元前3000年ごろと思われる。自然に産出される銅鉱石は、不純物の影響で、より低い温度で熔融したようである。日本大百科全書には、「銅を溶解し、初期の銅器（扁斧（へんぺいふ）、刀子（とうす）、針、ピンなど）を鑄造する技術は、メソポタミアではウルク期、イランではシアルク第三期において初めて開発され、ことばの正しい意味での銅器時代はこのころに開始された。メソポタミアのウル第一王朝時代の王陵からは、青銅製の利器が発見されており、この地域では前3000年ごろに青銅器時代に入ったことが知られる。この斬新（ざんしん）な技術はさまざまな経路を通じてオリエントから諸方面へ伝播（でんぱ）し、各地の人々を青銅器時代に導入したのであった」とある。

金型の方の主役であるmoldの原型は、この紀元前4000～3000年ごろまで誕生の歴史をさかのぼることができる。ただし、このころのmoldには石、粘土などが用いられていた。鑄造の過程で出るバリなどは鍛打ちにより丁寧に取り除かれた。Moldは当初は単純な開放鑄型であったが、やがて、密閉鑄型、弁つき鑄型、蠟抜き法など高度な技法が生み出されていった。

このmoldによる金属鑄造技術に、すでにあったアニール、鍛造、板金加工、冷間鍛造などの技術が組み合わされることにより、様々な銅器や青銅器が生み出された。紀元前3400年ごろの古代エジプトの遺跡からは、刀や

槍などの武具、タガネなどの工具、さらには家庭用品の出土が見られる。また、紀元前2000年以前には、すでに冷間鍛造による銅の薄板も多用されていたようである。図3-1は青銅板を用い、型に鋤で打ち付けてつぼを成形したものである。銅板間はリベット止めによりつながっている。

図 3-1 青銅板を成形してつくられたギリシアのつぼ（紀元前1500-1300年ごろ）



出所：大英博物館  
(Mycenaean, about 1500-1300 BC Probably from the Peloponnese, Greece)

### 3.2. 型を押し付けて模様を転写する技術の起源：印章の技術

プレス加工は英語ではstampingが一般的である。スタンプ、すなわち「印」という言葉の意味から考えると、「型を押し付けることにより、ある同一の形状を作り上げる加工法」、という認識と推測される。

そもそも、ある素材を「型」として用い、別の素材に転写する発想は古くからある。この技術はおそらく自然発生的であり、その起源をたどるのは困難である。その技術が発展し、印章の技術に結びついたことは容易に推測できる。印章の技術自体も非常に歴史が古い。世界最古の文明といわ

れるメソポタミア (Mesopotamia), エジプト (Egypt), インダス (Indus) の各文明をはじめ, エーゲ文明 (Aegean civilization), 中国文明などでも, 精巧な印章がすでに見られる。

印章は, 日本大百科全書によると「金属や硬い鉱物の面に紋様や文字を彫りつけ, その印痕 (いんこん) を文書に押し付けて残し, 文書の信頼性を保証するもの。その使用がもっとも盛んだったのは中国であるが, その起源は古代オリエン特だったようである」とある。またブリタニカ小項目辞典では, 「印章使用の最古の記録は, メソポタミアでは前 5000年ごろ, 中国では前 13世紀, 日本では7世紀ごろにさかのぼる」とある。

最も古い印章の記録は新石器時代から青銅器時代への過渡期に見られる。例えばメソポタミア周辺では, 紀元前5000年にはすでに型を押し付けるという方法が見られる。これは, 石・貝殻などに絵や文字を刻み, これを型として織物など対象物に押印するものであった。

さらに紀元前3000年ごろのウルク期 (Uruk period) には古代シュメール人により, 円筒状の型の周辺に自然, 動植物, 人物, 物語などを彫りこむ方式 (円筒印章: cylinder seal) が用いられた。これは図 3-2に見られるように, 粘土板などの上で円筒を転がすことにより, 型の模様が転写できるものである。金型に携わる者には, 現代の順送金型を連想させる。円筒印章はその後, メソポタミア, アナトリア, エジプトなど, 広く用いられた。また, 古代中国, インダス文明などでの印の使用も, メソポタミアに影響を受けた可能性がある。

古代エジプト文明やエーゲ文明では紀元前3000年には印章が用いられた記録がある。型には象牙や石などが用いられていたようである。紀元前1600年ごろには水晶のような硬い素材にも, 極めて精緻な絵柄が刻まれるようになった。こうした精緻で芸術的な印はギリシア, ローマなどでも用いられるなど, 古代ヨーロッパで広く用いられた。

インドではインダス文明 (紀元前2300~1750年) で印章がすでに用いられていた。ステアタイト (steatite マグネシウム, シリコン, アルミニウ

図 3-2 大理石による円筒印章（紀元前3200-3000年ごろ）



出所：大英博物館

(From Mesopotamia Late Uruk / Early Jemdet Nasr period, about 3200-3000 BC)

ムの酸化物を含んだ滑石)にゾウなどの動物や人物を陽刻した印章が多数発見されている。中国でも古くから土に型を押す封泥(ふうでい feng-ni)が多く発見されている。殷(いん Yin: 諸説あるがほぼ紀元前16世紀～前11世紀)の時代には精巧な青銅祭器類が多数鑄造されており、銘文が刻まれた青銅器や、青銅の印章も見つかっている。

なお、日本では後漢の光武帝から57年(建武中元二年)に与えられたという金印(「漢委奴国王」の陰刻)が最も古い。しかし、実際に印が使われはじめたのは、奈良時代に隋・唐の印制を模倣した官印が用いられるようになってからのようである。

このように、型を押し付けることによりある同一の形状を作り上げる加工法は古くから存在し、技術が磨かれていった。この発想や技術進歩がやがて、3.4で後述するような金属に模様を転写する技術に転化されたことは容易に想像できる。



### 3.3. 圧力を伝える硬い工具の起源：鋼の製鉄技術

2.1で述べたように、プレス成形では2個以上の対をなす工具によって力を加えて所要の形状や寸法に切断あるいは成形する。したがって重要な技術的要素として圧力を伝える技術が必要となる。

そもそも圧力を加えての加工法は自然発生的であり、人類でなくとも行っている。3.1でみた金属加工では、鎚打ちで様々な加工が行われた。鎚の素材は当初は新石器時代には石が用いられ、青銅器時代には銅や青銅、やがて鉄器時代には鋼に替わって行った。金属の型押し成形は鉄器時代以降に見られると述べたが、重要な鋼工具としての鎚とdieの誕生は無縁ではないだろう。

これら鋼工具の誕生には、鋼を生み出す鉄の冶金技術が重要となる。鉄（融点1540°C）は融点が銅や青銅（融点約900°C）よりも高く製鉄が難しい一方で、鋼にすると硬度が高くなる。すなわち、鋼製の鎚とdieを用いると、容易に青銅や金を加工することができるからである。

自然に存在する鋼である隕鉄ではなく、人工鉄による加工品は紀元前三千年期にメソポタミアなどで発見されている。その後、鉄を鋼に変える技術は紀元前1400年ごろアルメニア（Armenia）山岳地方で生まれ、この製鉄法はヒッタイト（Hittites 前1800～前1200年ごろ）が滅亡まで独占した。ヒッタイトの滅亡とともに、製鉄技術はメソポタミア、エジプト、ギリシアなどに広まった。当初は、青銅よりも鋼は貴重品であり、武具や装飾品に用いられることが多かった。すでに紀元前8世紀ごろ、あるいはそれ以前にも工具としても一般的に用いられるようになったようである。このころの鋼製工具セットが、テーベ（Thebes）でアッシリア（Assyria）鉄兜とともに発見されている。これはアッシリア王アッシュールバニパル（Ashurbanipal）のエジプト遠征（前666年）の遺品といわれている。

### 3.4. 型を圧力で押し付けて金属に模様を転写する技術の起源：金属硬貨製造の技術

プレス金型は英語ではdieが用いられる。ケンブリッジ英英辞典では、dieは、“a shaped piece or mould (= hollow container) made of metal or other hard material, used to shape or put a pattern on metal or plastic” とある。すなわち、dieの言葉の意味は金属などを形作ったり、模様を刻んだりする工具である。より狭義にはプレス金型の下型のみをdieと称する場合もある。

Dieの歴史をたどると、古くからあるのが貨幣・メダルなどの浮き彫り模様の型、あるいは打刻（だこく）工具としてのdieである。打刻とは、「金属など硬いものに文字や数字を打ち記すこと」（デジタル大辞泉）である。

金、青銅、銀など金属を素材とする硬貨の製造は、歴史的に2つに大別できる。第一が中国や日本で長い間行われていた鑄造による方法、すなわち

図 3-3 鑄造により作られた東周の刀貨と鑄造に用いられたmold（紀元前350年ごろ）



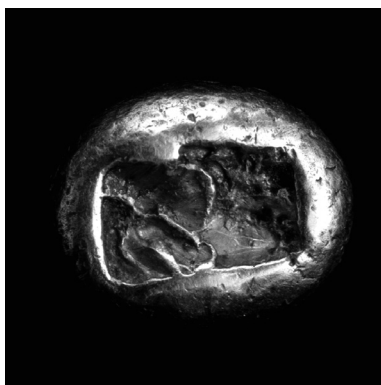
出所：大英博物館  
(From Qi state (Shandong province), north-eastern China Eastern Zhou dynasty, around 350 BC)

金属を溶かしてmold型に流し込む方法である。この鑄造による金属の加工は3.1で述べたとおり， moldタイプ金型の原点の一つである。3.2で述べたとおり， 中国では少なくとも殷代にはmoldによる精密加工が行われており， 周（しゅう Zhou：前 1050ごろ～256年）の時代には青銅製の布貨， 刀貨， 魚貨が用いられていた（図3-3）。

硬貨製造の第二が， ヨーロッパや中近東を中心に発達した固体金属に上下の型を用いて打刻を行う方法である。この方法では， リディア（Lydia）のエレクトロン貨が有名である。日本大百科全書では「史上初の貨幣（金銀合金製）が前7世紀に発明され，それがギリシアとペルシア帝国に採用された」と記されている。文献によっては鑄造により製造されたとの記述もあるが， 現在工業用語として用いられている「鑄造」で完成されたものではない。リディアコインの裏面には打刻跡があり， 最終的にはdieが用いられ鋤打ちで打刻されて完成されている（図3-4）。

その後， ギリシアやローマなどでもdieによる鋤打ちでの打刻硬貨製造（hand-striking）は広まった。金， 銀， あるいは銅や青銅などの硬貨素材は鑄造で作られ， 模様の転写はdieにより行われて完成するというものであっ

図 3-4 打刻でつくられたリディアの金貨（紀元前650-600年）



出所：大英博物館（Lydian, about 650-600 BC From western modern Turkey）

たようである。当初模様は片面のみであったが（図 3-4）、すぐに両面に模様が見られるようになった（図 3-5）。このdieを用いた鋤打ちによる打刻硬貨製造は、模様の精緻化は見られるものの、基本的に16世紀ごろまで続いたようである。

図 3-5 両面に模様の在るギリシアの打刻銀貨（紀元前500年ごろ）



出所：大英博物館（Greek, around 500 BC From Zancle (modern Messina), Sicily)

### 3.5. 大きく持続的な圧力をかける技術の源流：圧搾機<sup>6)</sup>

プレス加工の特徴の一つは高い圧力をかけることである。前項まででみた加工法は基本的に鋤打ちによるものである。そのため、力の大きさには限界があり、力がかかる持続時間は短い。これを克服した、3.6で後述するプレス技術の源流は「圧搾技術」と「転写技術」の技術融合によるものである。

圧搾技術は農業と密接に関係する形で古くから用いられてきた。圧搾機

6) 圧搾機に関する記述は、リプチンスキ『ねじとねじ回し』に多く依拠している。

(expeller) は、オリーブオイルや菜種油などの搾り出し、果汁飲料やワイン作りのための果実絞りなどのため、あるいは麻に光沢を与えるため、古代ギリシアや古代ローマで広く用いられた。

後述のグーテンベルクが用いた圧搾機と同様のねじ圧搾機の発明は、アレクサンドリアのヘロン (Heron of Alexandria) によると伝えられる。ヘロンは1世紀ごろのギリシアの数学者であり発明家である。日本では数学の「ヘロンの公式」でよく知られる。ヘロンは圧搾機のほか、ヘロンの蒸気タービン (サイフォン原理の自動扉)、自動聖水箱、ねじ切りタップ、ナット、無限ねじ、など彼以前の幾何学や力学の成果を実用向きに整理した。ヘロンの発明した圧搾機は、それまで使われていた梁を用いた圧搾機を改良し、ねじを用いている。ヘロンの圧搾機を用い、てこ棒に18kgの力をかけると、圧搾部分には4000kg以上の力をかけることができる画期的なものであった。

### 3.6. 金型を用いたプレス技術の源流 (圧搾技術と転写技術の融合) : 印刷・硬貨製造

それでは、近代工業としてのプレス金型技術はどのように誕生し、発展したのだろうか。様々な考え方があろうが、原型はルネッサンス期の三大発明の一つである活版印刷術を一つの転機と考えたい。活版印刷発明は、1445年ごろドイツ・マインツ (Mainz) の金銀細工師のグーテンベルク (Gutenberg) によってなされた。活字はそもそも11世紀に中国の畢昇 (ひっしょう) が粘土に焼いた活字を発明したのがはじまりである<sup>7)</sup>。しかし次の点により、グーテンベルクの活版印刷をプレス金型発祥として考えたい。すなわち、第一にグーテンベルクは個々の独立した鉛合金製の「金型」を用いたこと。第二に、彼はブドウ絞りの機械をもとにして、強い圧力を

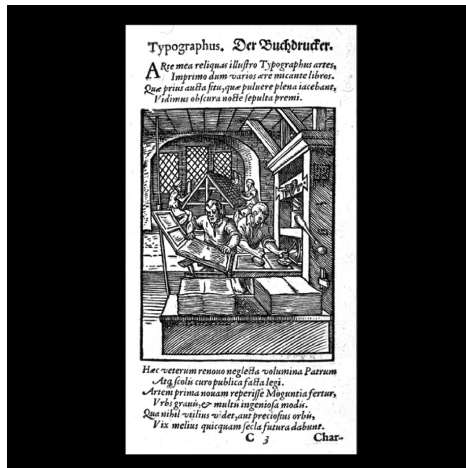
7) 日本大百科全書には、「活字ということに限れば、中国の畢昇(ひっしょう)が1040年代に膠泥(こうでい)活字をつくり、高麗(こうらい)では1230年ごろ銅活字をつくった記録がある。マルコ・ポーロがこのような進んだ東洋の事情を伝えたことに刺激され、グーテンベルクが活版術を集成したのであろうという説もある」とある。

加えて印刷する「プレス機械」を用いたこと。グーテンベルグの活版術は欧州に急速に広まり、近代工業としてのプレス金型は欧州で生まれたこと、などである。すなわち圧搾技術と転写技術の技術融合がグーテンベルクにより行われ、プレス技術と金型を用いたある種の加工が行われるようになった。

図3-6は16世紀ごろのドイツの印刷工房の版画であり、図右手にプレス印刷機が見える。図より見て取れるように、このころのプレスは動力に人力を用い、ねじの機構（screw press）により圧搾の効率を高めたようである。

このねじ機構によるプレス技術は金属加工にも、画期的かつ急激な変化をもたらした。3.4で述べたとおり、紀元前7世紀から紀元後16世紀までの長い間、硬貨は基本的に鎚打ちによる打刻でつくられた。17世紀ごろになるとねじ機構を用いた硬貨製造機械（screw-press machinery for striking coins）が用いられるようになった（図3-7）。図の硬貨の模様には、職人が

図 3-6 16世紀のドイツの印刷工房



出所：大英博物館

(Jost Amman, An illustration from 'The Book of Trades' Germany, dated AD 1568)

大きなスクリープレスを手力でまわして硬貨を製造する様子が見て取れる。また18世紀にかけては蒸気機関の技術も融合された硬貨製造機(steam-powered machinery for striking coins) も用いられるようになった。

図 3-7 ねじ機構を用いたスクリープレスによる硬貨製造 (18世紀)



出所：大英博物館 (Salzburg, Austria, AD 1766)

## 4. 考察

### 4.1. プレス加工技術の萌芽：各要素技術の誕生と「技術の組み合わせ」

「2. 金属プレス加工・金型の概要」でプレス加工の際に用いられる様々な金属加工法を述べ、その加工法の源流を「3. プレス加工技術の源流をさぐる」で検討した。その結果、プレス加工で用いられる技術の多くが古代、それも新石器時代には誕生していることが明らかとなった。

基本的金属加工技術（板金・鍛造・熱処理など）：基本的な金属加工技術は新石器時代にすでに誕生していた。紀元前5000年ごろには、打ち伸ばし、

切断、曲げ、穴あけ、鍛接、削り、研磨、エンボス加工、箔の貼り付けなどの技術が確立していたようである。また、同時期に加熱と鋤打ちによるアニール（anneal 焼きなまし）処理も行われていた。

鑄造技術：金属を熔融・精錬して鑄造する技術は紀元前3000年ごろ確立・普及した。当初は、銅、青銅、金などであった。紀元前1200年ごろ以降は鋼の精錬方法も普及していった。青銅や鋼の精錬技術の誕生はまた、硬い工具の誕生ももたらした。

転写技術：型を押し付けて模様を転写する技術も古く、紀元前5000年ごろには掘り込んだ石などを用いて精巧な模様を粘土などに技術が確立していた。さらに、青銅の鑄造技術の応用により、金属を用いた転写器具（印章）も紀元前1000年までには誕生した。

これら、基本的金属加工技術、鑄造技術、転写技術の3技術が組み合わさることにより、紀元前7世紀には打刻による金属硬貨製造技術が確立した。すなわち金型を用い、金属に模様を転写する加工を行う、金属プレス技術の中心技術が確立したと考えられる。

#### 4.2. 近代プレス加工技術の萌芽：「技術融合」と「技術転用」

金属硬貨製造は誕生以後長い間、鋤打ちによる打撃が用いられていた。しかし前述のとおり鋤打ちによる打撃では、力の大きさと持続力に限界があった。その点を大きく改善した契機が、ブドウの圧搾技術と転写技術の技術融合である。すなわち、グーテンベルクの活版印刷術の誕生である。この融合技術は16-17世紀には金属硬貨製造に転用されることになった。これにより、金属プレス加工の原型が誕生した。

やがて、蒸気機関など産業革命を契機とする動力技術も融合し、様々なプレス機構が開発され、近代金属プレス加工の基礎が築かれていったと考えられる。



#### 4.3. ヨーロッパの金型認識（工具群）と日本およびアジア後発国の認識（金型セット）

これまで見たように、ヨーロッパでは、ヨーロッパおよび近隣地域での既存技術の誕生、それら既存技術の組み合わせ、技術融合、技術転用などにより金属プレス加工技術および金型技術が生まれ、育まれていった。一方で、工業の後発国では金属プレス加工技術および金型技術は輸入技術として導入され、定着する。日本の場合も馬場〔2005〕で述べたとおり、近代工業としての金型使用は1871年に英国から金・銀貨製造用に金型が輸入されたことにはじまる。

欧米の金属プレス加工企業では、金型の認識が日本やアジア工業後発国とは異なる。誤解を生む表現ではあるが、金型を別個の特別なものとして認識していない印象を受ける。聞き取り調査で、彼らはdieセット、diceなどの表現を用いず、toolの語を好んで用いる。彼らにとってdieセットはプレス加工を行うための、プレスと一体不可分な工具の集合との認識である。プレス加工に重要な工具群（special tool）であり、秘伝を明かさないうえに内製も多い。プレス加工を行うために、工具群を自分で設計し、内製し、加工変更に応じて一部分だけを取替える。

一方で、工業の後発国では、プレス機械と金型は全く別個に認識されている。プレス機械を導入し、工具の集合体としての金型一式をセットすることで、ようやく生産が可能となる。こうしたことにより工具群の集合体である金型は、工業の後発国にとっては特別かつ重要な認識が持たれると考えられる。

## 5. おわりに

以上、本稿すなわち「その1」で、金属プレス加工の源流について概観した。本来は、工作機械の誕生と進歩、軍事技術の発展との関係、近代プ

レス機械の誕生と進歩，トランスファーによる加工や順送金型による加工の起源，近年の技術進歩の影響と新たな技術融合，製作方法の変化，設計方法の変化，ITの影響，その他検討しなければならない点はまだまだ多い。しかし，それらの点についてはまた別の機会に論じることでお許しいただければと思う。

執筆予定の「その2」では，本稿で概観したことを前提として，ヨーロッパで金型産業がいかに発展し，現在どのような状況にあるのかケーススタディより考えてみたいと思う。

謝辞：本研究は，法政大学比較経済研究所プロジェクト「BRICsの競争力と日本の国際戦略」，科学研究費補助金基盤研究（B）「中国・インドの企業競争力に関する国際比較分析」，2006年度法政大学特別研究助成金「ドイツの金型産業に関する調査研究」から助成をいただいた。記して感謝する。また，貴重な意見交換をさせていただいたトロント大学教授 相澤龍彦氏に感謝の意を表したい。著述内容の誤認などがあった場合はすべて筆者の責によるものである。

## 〈参考文献〉

- T.Baba [2007] “Development Model of the Die and Mold Industry in Asia: A Comparative Analysis of Japan and Republic of Korea” *Journal of International Economic studies* (2007), No.21, pp.125-144
- P.Ducasse [1948] (P.デュカセ [1952] 加茂訳『技術の歴史』白水社)
- R.J.Forbes [1964, 1971, 1972] *Studies in Ancient Technology* (R.J.フォーブス [2003] 平田ら訳『古代の技術史 上巻』朝倉書店)
- W.Rybczynski [2000] *One Good Turn* (W.リプチンスキ [2003] 春日井訳『ねじとねじ回し』早川書房)
- 荒井ら編 [1981]『産業革命の技術』有斐閣
- 金田重喜編 [2000]『新版・現代工業経済論』創風社
- 加茂儀一郎編 [1956]『技術の歴史』毎日新聞社
- 学研 [2007]『発明・発見』学習研究社
- ジャパンナレッジ <http://na.jkn21.com/>
- 高松英次 [1982]『金型製作の基礎知識』技術評論社
- 大英博物館 <http://www.britishmuseum.org/>
- 中川徹 [1993]『文明史上における科学技術の歩み』青山社
- 日本銀行金融研究所 貨幣博物館 <http://www.imes.boj.or.jp/cm/htmls/index.htm>
- 日本金属プレス工業会 <http://www.nikkin.or.jp/>
- 馬場敏幸 [2007a]「後発国の金型産業発展段階測定基準設定とインド地場金型産業発展段階測定の試み その1：インドの外資系自動車産業の金型調達事例より」*経済志林* 第74巻4号 pp.1-29
- 馬場敏幸 [2007b]「中国・地場金型産業の発展段階に関する一考察：07年上海調査の結果を中心に」*国際開発学会 第18回全国大会報告論文集*
- 馬場敏幸 [2006a]「アジアの金型産業：技術移転と発展モデルからの考察」*塑性性と加工* (日本塑性加工学会誌) 第47巻 第546号 (2006-7) pp.28-34
- 馬場敏幸 [2006b]「中国大連地区における金型産業の現状と今後の発展可能性について：金型産業振興にかける行政、企業、教育機関の現状と「韓国型金型発展モデル」によるキャッチアップ型金型産業発展の可能性について」*経済志林* 第73巻 第4号 pp127-161
- 馬場敏幸 [2005]『アジアの裾野産業：調達構造と発展段階の定量化および技術移転の観点より』白桃書房
- ブルタニカ・オンライン・ジャパン <http://japan.eb.com/>

## The Metal Stamping and Machine Tool Industry in the EU, Part I :

The characteristics of dies and origins of metal stamping-related technologies

Toshiyuki BABA

The aim of this paper is to examine the technological origins of and changes in the metal stamping industry, and to consider the implications of its origins and changes for Asian industrial development.

In this paper, the author describes metal stamping-related technologies, and considers their technological origins. It is found out that many of the technologies used in metal stamping, were born in antiquity. Then, stamping-related technologies developed through repeated technological innovation. Those innovations were achieved by technological combination, technological replacement, and technological fusion.

The core technology of metal stamping was established in the 7th century BC, through a technological combination of the technologies for fundamental metal processing, casting and transcription. During the Renaissance, Gutenberg typography was developed through a technological fusion of the screw press and stamp. Modern metal stamping technology might be born from this typography technology, which was used for minting beginning in the 17th century. Later, power technology including water and steam power, was incorporated.

As mentioned above, metal stamping technology in Europe was gradually established through various technological innovations. The keys were “technological combination,” “technological replacement” and “technological fusion.” On the other hand, in developing countries such as Japan in the past, metal stamping technology including die technology was imported as a whole unit. The difference in the perception of the “die” may be due to this difference in its technological establishment. In Europe, the

die is perceived as an aggregation of tools. In the developing countries, on the other hand, it is perceived as a whole unit, akin to a black box used to process metals in various ways.