

# 素形材

2019  
NOVEMBER  
Vol.60 No.11

11

## 特集 素形材産業の平成30年間を振り返る

素形材産業

鋳鉄鑄物

ダイカスト

鍛造

金属プレス

粉末冶金

金型

付加製造（積層造形）

### 政策TREND

型管理の適正化に係る政策の紹介

### シリーズ「鑄鋼の生産技術」第3回

第3章 低合金鋼鑄鋼の材質特性

### TOPICS

「特別講義」第17回 日本はどうなるのか 素形材産業はどうなるのか  
—存在感を示す製造業の底力

2019中国（上海）ダイカスト工場 視察報告

# 4. 鍛造

中部大学 石川 孝司

## はじめに

鍛造技術は、自動車等の大量生産には必須の成形プロセスであり、自動車産業とともに発展してきた。鋳造、溶接、プレス成形等の他の素形材技術や機械加工と競合しながら技術の向上が図られた。表1に鍛造技術の変遷を簡単にキーワードで整理した。1970年代～80年代は、高度経済成長と高品質化への対応が進められた時代で、自動車メーカーは、これまで機械加工によって生産していた部品を大量生産に有利な鍛造品に置き換えていくため、設備の近代化、加工精度の向上を急いだ。この頃、アルミ鍛造による自動車部品の生産も本格的に行われるようになった。80年代に入ると多種少

量生産と公害対策のために、鍛造品の高精度・高機能化・軽量化等への対応を進めていった。その後の平成の時代（1990年代以降）になると、ニーズの多様化・高度化とグローバル化に対応すべく、鍛造業界も自動車メーカーの世界同時生産に対応するため、海外でも日本と同等の鍛造品を生産するための柔軟な設備、小型少量生産設備が求められるようになった。ここでは鍛造技術に関して平成30年間の進化を解説するが、鍛造黎明期からの技術の変遷については、本誌 vol. 60, No. 2 および No. 3 に小坂田教授による特別講義があるので参照したい。

表1 鍛造技術の変遷

年代	1950	1955	1960	1965	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	
	昭和								平成							
自動車	トラック中心の少量生産時代		中量生産時代 乗用車へ中心移行		大量生産、基幹産業としての役割			環境問題・多種少量生産 国際化・コスト競争力の強化								
技術課題	基礎技術の確立		量産技術の確立		設備の近代化・加工精度の向上		高精度・高機能化・軽量化への対応		グローバル化・新機軸への対応とスピードアップ ネットシェイプ、スリム、コンパクト、				高付加価値化 ネットプロパティ 見える化・知能化			
冷鍛	冷間鍛造機導入 (ヘッド、マイプレス)		1,000ton冷間トランスファープレス		超硬金型		閉塞鍛造		長軸物の高精度スプライン成形 (高精度油圧リンクプレス)				ワンショット成形			
			歯形鍛造加工法の開発		大型部品の冷間鍛造化		アルミニウム冷間鍛造		ファインブランキング		TD, PVD処理		ブラズマCVD処理		DCL膜	
			大型部品の冷間鍛造化		アルミニウム冷間鍛造		ファインブランキング		TD, PVD処理		ブラズマCVD処理		DCL膜		一液潤滑剤	
温熱鍛	フリーハンマー・ドロップハンマーによる鍛造		コンロッドの自動鍛造		熱間閉塞鍛造の開発		非調質鋼		ステアリングナックルの自動鍛造		3Dシミュレーション		加工熱処理		制御鍛造	
	アブセッタによるワンヒート鍛造		型鍛造プレス		アブセッタの増強		自動アブセッタ導入		温間曲形鍛造		熱間クロスロール鍛造		等速ジョイントの高精度温間鍛造技術の開発		クイックダイチエンジ	
	粉皮炉		高周波加熱(MG)		高周波加熱機の効率化(サイリスタ)		高周波加熱機(MG)		高周波加熱機の効率化(サイリスタ)		白色潤滑剤		50,000ton鍛造プレス			

## 1. 平成元年頃の技術の状況

1980年頃から大量生産に対応すべく機械加工から冷間精密鍛造への転換が進められ、温間鍛造、閉塞鍛造などの新しい鍛造方法が世界に先駆けて開発・利用されるようになった。これらはオイルショック後に世界的に増えた小型車用の等速ジョイント部品の生産などで用いられている。経済情勢に対応するための低コスト化や環境に配慮した生産方式への変化もこの時代の特徴である。鍛造後の熱処理が不要となる非調質鋼の使用が増加した。

非調質鋼は、微量のVやTiなどを添加して、冷却中にVCやTiCなどを析出させることでピン止め効果と析出強化による強度アップを図り、鍛造のままで所

定の強度を保証する材料で、鍛造後の熱処理を省略でき、工程短縮、エネルギー、コスト低減が狙える魅力的な材料である。CO<sub>2</sub>削減にもつながる材料であり、コンロッド、クランクシャフトなど、熱間鍛造部品への適用が進められた。鍛造金型には工具鋼のほかに熱間鍛造では高速度鋼が、冷間鍛造では超硬合金が使用されている。この時代の生産技術のキーワードは、ネットシェイプ成形、高精度成形、グローバルな低コスト生産である。また、この時期、金型材料・表面処理の進展では、超微粒子超硬合金の開発やPVDの改良、被膜種類の増加があげられる。

## 2. 平成30年間で発展した技術

日本では各種の歯車鍛造方法が開発されるなど、精密鍛造法については日本の開発が世界に先行していると言える。ベルギーの閉塞鍛造はすでに多くの実績があり、金型駆動法など可能性のある新しい加工法も日本から提案されている。

燃費向上のために部品の軽量化は重要なテーマであり、軽合金の使用、高強度化による部品のスリム化、中空化などの方法がとられている。図1は、鍛造工程を工夫することで中空化されたエンジンバルブで、中実バルブと比較して15%の軽量化を実現している。



図1 傘中空エンジンバルブ (三菱重工製)

鍛造でもIT技術の進歩はめざましいものがあり、特に大手企業ではCAEによりトライアル回数を大きく減少している。CAD/CAM/CAEのほかエキスパートシステム、知能化設備などITの高度利用は、今後のキーテクノロジーであると言える。

鍛造用材料としては鋼材の他にアルミニウム製品が増加している。航空機にはTi合金、Ni基合金も使用されており、非鉄金属の鍛造品は付加価値が高く重要になっている。また、Mgは最軽量実用材料として鍛造でも注目されている。航空機用のNi基超合金やTi合金の大型部品の鍛造を国内で可能にすべく産官が連携して倉敷市にJ-FORGEが創設された。最新鋭の5万トン油圧プレス(図2)を開発設置して実製品の製造が始まっている。

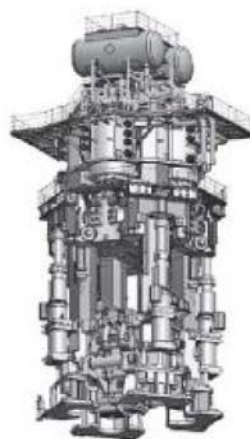


図2 5万トン油圧プレス (J-FORGE)

### 3. 平成30年間で新たに誕生した技術

90年代以降工法の開発はさらに進み、分流鍛造、板鍛造、背圧形状制御といった技術が開発された。

#### 3.1 ヘリカルギアの量産

従来の型鍛造では、型内への材料の完全充填は不可能であるが、「捨て軸の原理」と「逃がし穴の原理」をうまく使った分流鍛造法<sup>1)</sup>により荷重増加を抑制した状態で平歯車やヘリカルギアなどの鍛造を可能にした。図3はヘリカルギアに対しての実用化の1例である。まず、リング素材をマンドレルで拘束し、インサートパンチとアウターパンチで同時据込みを開始する。このとき、インサートパンチは背圧制御で成形する。このままでは面圧が増加するだけで刃先まで材料が充填されないので、インサートパンチの背圧をゼロとして見かけ上の材料逃がし部をつくり分流成形により充填を完了する。

#### 3.2 アルミハイマウントナックルの一個流し鍛造工程

図4はアルミハイマウントナックルの鍛造事例で、丸棒素材をロール鍛造により荒地を成形し、2工程の



図4 アルミニウム合金製ハイマウントナックル  
(トヨタ自動車株)

鍛造とバリ抜きで仕上げている。このプロセスではプレス、熱処理がも新たに開発し、後工程の機械加工工程と直結して同じ工場内に配置させ、コンパクトな工場とすることでグローバル化に対応している。タクトタイムは40秒と従来の鍛造からするとかなり遅く、機械加工のスピードに合わせたプロセスとなっており、鍛造の弱点であるバッチ処理を解消できる革新的なラインとなっている（一個流し）。鋼に比べてコスト高となる材料費分を部品製造一貫工程の中でいかに圧縮させるかがキーとなる。

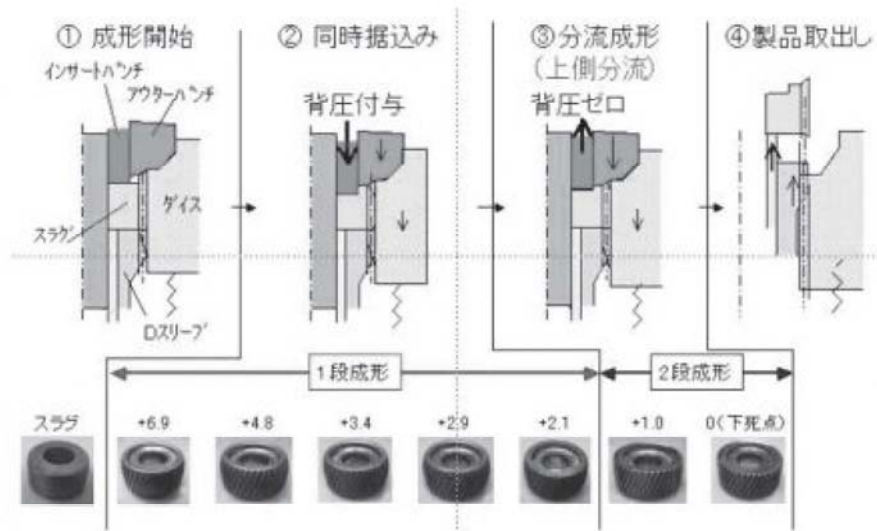


図3 ヘリカルギア鍛造工程図 (アイシン AW株)

### 3.3 軟質鋼の開発

冷間鍛造にしても温・熱間鍛造にしても、金型寿命の向上は、コスト削減、品質保証の点から重要な課題である。それには高精度な予測技術の開発、インラインでの各種パラメータの可視化技術の開発など取り組むべき課題は多い。金型の負荷を減らすことが寿命向上につながるため、材料面からのアプローチも必要である。図5<sup>2)</sup>は軟質鋼の変形抵抗を示したものである。鍛造時の変形抵抗は低いが、鍛造後の熱処理により従来鋼と同等の強度にできる材料で、金型の負荷低減に有効である。

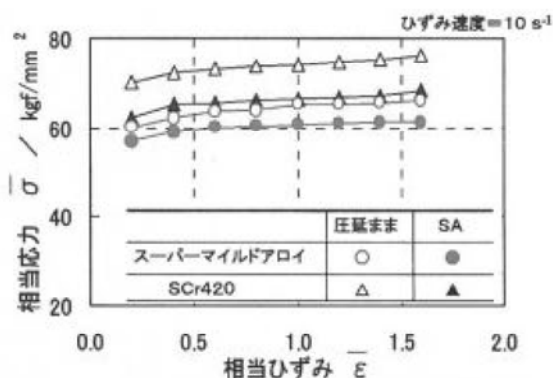


図5 軟質鋼の変形抵抗

### 3.4 板鍛造

板材を素材とした冷間精密鍛造も注目されている。これは板鍛造と呼ばれ、ファインプランキング、シェーピングなどのプロセスと組み合わせることで板厚を積極的に厚くしたり（増肉）、薄くしたり（減肉）するもので、適用部品も増加している。図6は板鍛造製品例で、板厚10mmの板素材から図のような製品を順送加工により数工程で成形している。

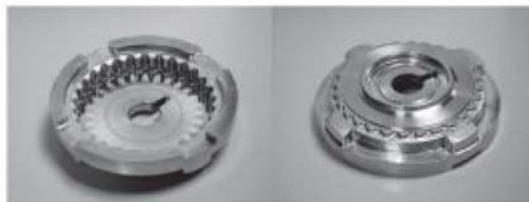


図6 板鍛造製品（新サイベックコーポレーション）

### 3.5 加工熱処理

熱間、温間の高温の鍛造と加工熱処理の組合せで材質改善、加工力の低減が期待される。加工熱処理を適用して結晶粒の微細化、高強度化をねらったプロセス研究が進められた。FIR (as Forged Isothermal Refining: 鍛造恒温微析出処理)法<sup>3)</sup>は、非調質鋼を用い機械加工性と低ひずみ性のすぐれた細粒フェライト+パーライト組織で機械的性質向上のため、鍛造熱の利用と均熱処理を利用してフェライト中に炭窒化物を析出させる新熱処理法で、引張強さ850MPa以上、降伏比0.75～0.85と、焼入れ焼戻しに比して同等の特性を得ることが出来た。

### 3.6 新しい潤滑剤

冷間鍛造の潤滑には、塗布、乾燥だけで表面に潤滑皮膜を形成し、処理工程の簡素化、廃棄物の削減を可能にすることで、環境面、コスト面において優れた環境対応型鍛造用潤滑剤（一液性潤滑剤）が開発され利用が増加している。今後は環境にやさしい潤滑剤や潤滑技術さらにはミスト潤滑、ドライ潤滑技術の開発が期待される。熱間鍛造では、環境問題としての潤滑剤の開発も重要であり、黒鉛系の潤滑剤から白色系潤滑剤への転換が進められ、さらには冷却水としての水潤滑のみの鍛造も期待される。そのためには金型材料やその表面処理の開発も平行して進める必要がある。

## 4. 令和に期待される技術

### 4.1 サーボプレスの利用拡大

サーボプレスが日本で開発されたが、鍛造への応用例は多いとはいえない。ラムの自由な動きは新しい加工法に通じているので、サーボプレスを用いた新加工法開発の可能性は大きい<sup>4),5)</sup>。また、サーボプレスはスライドモーションを自由に設定できると同時に外部装置との同期が容易である。アームロボットとの同期逐次鍛造を試みた例を図7<sup>6)</sup>に示す。逐次鍛造は、高価な金型を省略できるとともに従来の手法では不可能な成形を可能とするフレキシブルな加工技術である。

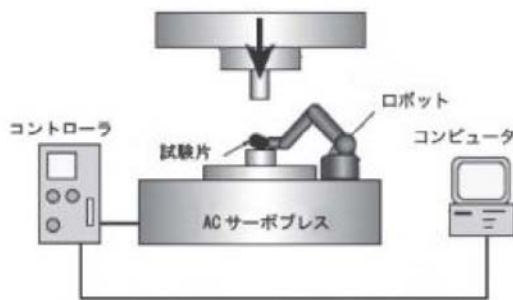


図7 ロボット同期逐次鍛造

### 4.2 ネットプロパティ鍛造

熱間、温間鍛造の分野で加工熱処理を適用して結晶粒の微細化、高強度化をねらったプロセス研究が進められている。析出強化、結晶粒微細強化を最大限に活用して、必要となるに必要な特性を鍛造時に造り込もうとするものである。図8<sup>7)</sup>に対象部品の一例を示す。

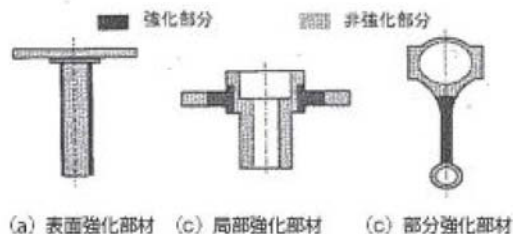


図8 機能傾斜部品

すが、コンロッドのように棒部はできるだけ強度を上げ、両端部は鍛造後の機械加工が必要なため軟質部に造り込むものであり、適用拡大に期待がかかる。製品の形状と同時に材質を自在に造り込むネットシェイプ+ネットプロパティ技術が注目されている。ここでもサーボプレスの適用が考えられる。

### 4.3 異材固相接合

適材適所に材料を配置して接合することで軽量化は容易に実現できるため、接合技術の開発は重要である。図9<sup>8)</sup>はアルミニウム合金と高張力鋼のポンチ押し込みによる鍛造スポット接合を紹介したもので、塑性変形による表面積拡大と高い面圧により容易に固相接合が可能である。



図9 スポット鍛造接合法

### 4.4 医療分野への展開

現在、インプラントは、約9割が欧米からの輸入品であるため、欧米人とは骨格的に異なる日本人にとって適合しているとはいえない形状がそのまま使用されている。また輸入品であるため価格も非常に高価である。日本国内において加工しようという動きはあるが、生体適合性が高いチタンは、非常に加工がしにくい材料であるため現在は切削加工で作られており、材料歩留まり向上・コスト削減の観点から鍛造加工方法の確立が急務となっている。特に取組み実績やデータがほとんどないチタンの冷間鍛造技術を医療分野においても適応すべく、早期の取組みが望まれている。図10<sup>9)</sup>はサポイン事業で実施されたインプラントの冷間鍛造品である。今後この分野で冷間鍛造への期待は大きい。



図10 インプラントの冷間鍛造（株式会社ショーテクノ）

#### 4.5 IoT, AI の利用

様々な種類の部品が加熱や鍛造を繰り返すなど、製品ごとに工程の内容が異なる場合、製品一つ一つを個体管理し、その製造プロセス管理を行うのは、至難の業である。金型寿命の予測や良品条件の設定・監視等、各種センシング技術やIoT技術の導入により可能になっていくものと考えられる。

### おわりに

日本の鍛造技術が今後も世界の先頭を走り続けるためには、低コストで高精度、高品質な鍛造品を製造可能にする新しい技術を開発しつづけること以外にないように思う。そのためには、技術開発と同時に人材育成が重要であり、広い範囲の知識を集約して、企業、大学、研究機関、国が協力した活動が必要である。

#### 参考文献

- 1) 近藤一義：第27回鍛造実務講座テキスト，(2000)，1-8.
- 2) 戸田正弘：鍛造分科会鍛造材料研究班集會資料，(2003)
- 3) 西郡榮：プレス技術，44-1 (2006)，122-126.
- 4) 石川孝司，石黒太浩：塑性と加工，55-645 (2014)，902-906
- 5) Osakada, K. et al.: CIRP Annals, 60-2 (2011)，651-672.
- 6) 助田拓也，湯川伸樹，石川孝司，ほか：第56回塑性加工連合講演会 (2005)，267-268
- 7) 五十川幸宏：NEDO 鉄鋼材料の革新的高強度・高機能化基盤研究開発プロジェクト第1回シンポジウム講演予稿集，(2009)，123-124.
- 8) 三輪田結理，阿部英嗣，石川孝司，ほか：第64回塑性加工連合講演会 (2013)，37-38
- 9) 中小企業庁：<http://www.chusho.meti.go.jp/keiei/sapoin/senryaku/download/2lhosei.pdf>