塑性加工を用いた軽量化技術の調査研究

宮口　孝司[*]　相田　収平[**]　本田　崇[**]　白川　正登[***]　坂井　修[*]　宮口　弘明[*]　片山　聡[****]

A Research on Weight Reduction Using Plastic Working

MIYAGUCHI Takashi[*], AIDA Shuhei[**], HONDA Takashi[**], SHIRAKAWA Masato[***],
SAKAI Osamu[*], MIYAGUCHI Hiroaki[*] and KATAYAMA Satoshi[****]

1. 緒　　言

新潟県には，金属製品や生産用機械関連で金属の塑性加工や機械加工などを行う多くの企業が集積している。しかし，新興国の追い上げや継続的な円高により，電子部品・デバイスや輸送用機械などを中心に海外流出が続いており，グローバルな競争に打ち勝つ技術の導入が不可欠になっている。工業製品にはその製品の本来必要とされる機能以外に，可搬性の向上やエネルギー消費量の削減のために軽量化が要求されることが多い。図 1 に軽量化の要求が強い製品群の例を示す。介護福祉関連機器や携帯端末，タブレット端末など重量に比較して単価の高い製品では，アルミニウムやマグネシウムなどの軽量合金やプラスチックなどの軽量材料を多用する。航空機では，消費する燃料が膨大であるため，軽量化に比較的大きなコストをかけても総合的にみればコストを削減することが可能になるため，高価な素材や工法を取り入れることが可能であり，アルミニウム合金や CFRP などを多用している。

自動車は，車体重量の増加に伴い燃料消費が多くなるため，車体重量の低減は大きな課題である。しかし，電気自動車（EV）や近年急速に販売が伸びているハイブリッド自動車（HV）では，電池やその他部品の重量の割合が大きく，従来の自動車に比べむしろ重くなる傾向にある。

*　県央技術支援センター
**　研究開発センター
***　企画管理室
****　中越技術支援センター

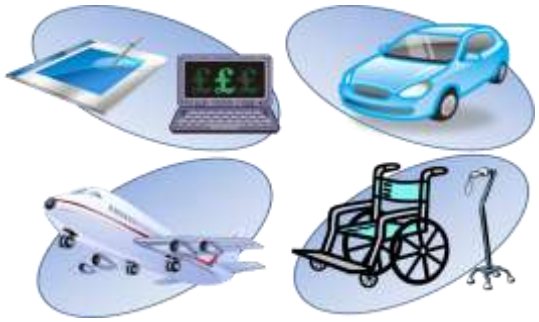

図 1　軽量化の要求が強い製品群の例

自動車は軽量化と安全性の確保を両立させるため，鉄系の低合金鋼である高張力鋼板（ハイテン材）が積極的に採用され始めている。この素材は，マグネシウム合金に匹敵する比強度を持ちながら，比較的低価格で入手できることから，自動車産業以外でも注目されている。

また，複数の部品を一体化することで，軽量化することのできる冷間鍛造の一種である板鍛造が注目されている。板鍛造は，鋼板を順送りプレス加工またはトランスファープレス加工によって冷間鍛造する技術であり，軽量化のみならず切削加工や粉末成形など他工法からの置き換えも可能であり，大幅なコストダウンを実現できる可能性がある。

本調査研究では，県内の金属製品製造業者が現有のプレス製造ノウハウを適用して，ハイテン材や板鍛造などの加工プロセスを獲得するために必要な課題などについて調査を行った。

2. 活動概要

主な活動内容は，県内外技術動向調査，セミ

ナー開催，課題抽出，要素技術に関する実現可能性研究および研究テーマ提案である。

セミナーは，ハイテン材や板鍛造に関する技術動向調査と県内関連企業への普及啓蒙活動の一環として開催した。

2.1　市場・技術動向調査結果

ハイテン材に関する技術課題としては，塑性変形領域が非常に狭いことに起因する成形性の低さ，スプリングバック，高硬度と金型との面圧上昇に起因する激しい型損耗などが挙げられる。これらの課題に対しては，成形工程の分割，成形品の形状変更，変形量を見込んだ金型の設計，熱間加工，硬質膜による金型表面処理などで対応している。また，工程の設計や成形性の低下に対する解決手段の一つとして成形シミュレーションが有効である。

成形法に関しては，国内では冷間加工を中心に開発が進んでいるが，欧米では引張強さ 1GPa を超すハイテン材の成形を実現するため，ホットスタンプと呼ばれる熱間加工が主流である。ホットスタンプに関しては今後の技術動向と導入動向を注視する必要がある。

ハイテン材の市場動向に関しては，引張強さ 980MPa 以上のハイテン材が自動車を中心に採用されつつあり，さらに高強度ハイテン材の開発が進んでいる。

板鍛造は，軽量化とともに他工法からの転換で，自動化やリードタイムの大幅な短縮などが図れることから，自動車産業では必須の技術になると考えられている。板鍛造に関する技術課題としては，工程設計に多くの知見やノウハウが必要であるうえ，プレス装置には高い剛性と加工精度を必要とすることである。板鍛造は加工部位を限定したり，１回の加工量を小さくすることで金型や機械にかかる負担を低減させ，材料を順次送ることによって加工を行うことから，工程が多くなり複雑になる。成形時の変形量や力を推測するため，ハイテン材と同様にシミュレーションの果たす役割は大きい。

2.2　県内の動向調査結果

県内企業では，ハイテン材用の金型の製造や雪止め金具，建設用資材への適用が見られるものの，本格的な普及は進んでいない。

地域としての共通の課題は，ハイテン材の入手が困難なことがあげられる。ハイテン材は，高強度であるにも関わらず低価格であり，金属材料としては理想的であるので，使用を検討している例は多い。しかし，材料メーカーは大口の発注者との契約から独占的に販売を行っており入手が困難である。このため，中小企業が当該材料の使用を検討することができず，参入をあきらめる例が散見された。

スプリングバックの大きさや成形性の低さをカバーするためには，シミュレーションが不可欠である。最新のソフトウェアと解析手法を活用することで，試作の費用や期間を大幅に削減することができるものの，県内の中小企業でソフトウェアを導入し，運用する人材を確保・育成することは，時間と費用の負担が大きい。

板鍛造に関しては，軽量化に有効な手段であるうえ，その生産性の高さゆえ，導入に前向きな企業は多いが，実際に技術導入に成功した企業は極めて少ない。県内での成功例としては，歯車類を成形する金型の開発であった。板鍛造導入に関しては，緒についた段階であり，課題が系統的に整理されていない。県内のプレス関連企業が板鍛造分野へ参入する際の大きな課題としては，板鍛造はプレス加工に比べて金型にかかる力がけた違いに大きくなり，金型を損傷するリスクが高くなることである。課題の解決には冷間鍛造の基礎的な知識の習得が必要になる。また，板鍛造においても，シミュレーションが重要な役割を担うが，ハイテン材の場合と同様にソフトウェアの導入と運用に係る人材の確保が課題である。

県内企業においては，板鍛造による部品製造の打診が散見されはじめた段階であるが，当該技術に関する知見の不足から，適用可能性の判断すらできないのが現状である。当該技術は機

密性が高く，一部の基礎的なデータ以外に情報がほとんど入ってこない。大学などでも共同研究企業との研究内容を発表することが少ないため，ターゲットとする部品に対しては基礎的な知見とシミュレーションを駆使して個別に対応するほかにない。逆に，他企業からの参入が非常に難しいことから，価格を含めた競争力は長期に渡って維持されやすいといえる。

2.3　セミナーの開催

図 2 に塑性加工技術セミナーの様子を示す。本調査研究では，にいがた産業創造機構の先進的金型研究会および日本塑性加工学会新潟ブロックと連携して，塑性加工技術セミナーを 3 回開催した。セミナーは，県内企業からのべ 181 人の参加者を得た。当該分野への期待の大きさを如実に示している。各回の概要を以下に示す。

○第 1 回塑性加工セミナー
日時：平成 24 年 7 月 2 日（月）
場所：燕三条地場産業振興センター
参加者：72 人
【概要】
①「板鍛造の要素技術と成形事例」
テクノオフィス凛　中野　隆志　氏

板鍛造は高精度で複雑形状の成形が可能な技術であり，プレス部品の付加価値を高め，グローバル競争に打ち勝つプレス成形部品の提供を可能にした技術である。板鍛造は高度な総合技術との視点から，鍛造工法，金型，表面処理，プレス機械などの要素技術と成形事例について紹介した。

技術者の知見や創造力が基本となるソフトウェア技術として，塑性変形の基本を理解する塑性理論，製品の用途と塑性加工を意識して寸法精度や形状を検討する製品設計，素材から部品にいたるまでの成形法や潤滑，熱処理，後加工などを検討する工程設計，金型の強度，構造や精度などを検討する金型設計がある。さらに，主に外部技術を活用するハードウェア技術として，製品の強度や特性と成形時の変形抵抗・変形能に関連する被加工材，生産能力や素材の搬送装置，金型交換装置などを含む生産システムとしての鍛圧機械，熱処理や表面処理を含めた金型の製作技術，焼付きや摩耗による金型寿命や製品の表面粗さに影響する潤滑技術がある。板鍛造を実行するためには，これらの統合的な検討が必要である。板鍛造は高精度・複雑形状の成形を行うため，従来のプレス機械よりも精度・剛性に高い性能が求められる。

図 2　塑性加工技術セミナーの様子

②「板鍛造高精度化への我社の取り組み」
（株）サイベックコーポレーション
代表取締役　　平林　巧造　氏

板鍛造に早くから取り組み，CFP（Cold Forging Progressive）工法と呼ばれる独自の板鍛造技術で，従来にない高精度なプレス成形を実現してきた。CFP 工法は冷間の鍛造順送プレスであり，高精度と低コストを実現する工法である。金型には，マイクロメートルオーダーの精度と高い加工力に耐えうる高剛性が必要になる。同工法を適用した製品例として，最厚部 3.0mm，最薄部 0.8mm の部品を紹介した。また，環境対応車への取り組みとして，モーターの減速機に使われるサイクロイドギアや燃料電池車のセパレーターなどがある。動的精度やコーティング膜の高度化も並行して行っている。

○第 2 回塑性加工セミナー
日時：平成 24 年 9 月 7 日（金）
場所：三条商工会議所

参加者：53 人

【概要】

①「次世代構造用鋼（超高強度低合金 TRIP 鋼）の材料特性と応用分野」

信州大学工学部　教授　杉本　公一　氏

次世代の 1.5～2.0GPa 級構造用鋼として期待されている，ハイテン材の一種「超高強度低合金 TRIP 鋼」の微細組織，成形性，機械的性質（強靭性，疲労強度，遅れ破壊強度）などの特徴と，いくつかの応用例について紹介した。杉本氏が開発した低合金 TRIP 鋼の特徴を他の高強度鋼と比較して述べた。TRIP 鋼は，フェライト相などの母相に残留オーステナイトを意図的に残して，加工歪によってオーステナイトをマルテンサイト化して硬化させる。実用化には，製鋼会社の協力が必要である。

②「超高強度鋼部材のプレス成形」

豊橋技術科学大学工学部

教授　森　謙一郎　氏

ハイテン材の冷間プレス成形，超ハイテン材のホットプレスなど自動車部材への適用について紹介した。ハイテン材の比強度はマグネシウム合金並みである。さらに，流通量が多く，低価格であるため，広く使用されている。ハイテン材を冷間で加工する場合のスプリングバックは，ビード形状や，リストライクなどで対応する。伸びフランジ曲げの割れの対策には部分逐次接触ダイが有効。引張強さ 980MPa 以上のハイテン材では，ホットプレスが不可欠である。実験室レベルでは通電加熱で比較的簡単に試作が可能である。

○第 3 回塑性加工セミナー

日時：平成 24 年 11 月 21 日（水）

場所：燕三条地場産業振興センター

参加者：46 人

【概要】

①「サーボプレスと板成形技術への適用」

コマツ産機株式会社　熊谷　久男　氏

AC サーボモーターによりスライドモーションを自在にコントロールできるサーボプレス機が注目されており，スライドモーションコントロールによる生産性向上や加工品質の向上事例について紹介した。プレス成形に最適なスライドモーション制御とサーボダイクッションによるクッション圧力制御を合わせ，品質向上と生産性の向上，さらには省エネルギー，低騒音化を実現する加工技術について紹介した。

②「鍛造加工シミュレーションの概要と解析システム「AFDEX」のご紹介」

株式会社 JSOL　浜田　知己　氏

鍛造加工シミュレーションをデモンストレーションをまじえて紹介した。材料の流動や割れ・巻き込みなどの不具合解析が可能である。解析専門家でなくとも，設計者が CAD 同様の設計ツールとして CAE を自由に使いこなせるよう作られた解析システムである。

2.4　実現可能性研究の実施

板鍛造を県内企業に普及させるため，実現可能性研究では軽量化関連部品を板鍛造によって成形する際の技術課題について検討した。板鍛造を実現するための加工方案をシミュレーションによって検討し，実現可能性の高い工程設計を行ったうえで，金型の設計，部品の成形実験を行い，板鍛造によって製造できる可能性が高いことを示した。この結果を受けて，来年度以降の共同研究課題として提案し，採択された。

3.　結　　言

塑性加工を用いた軽量化技術に関して，セミナー開催，県内外の先進的企業等に対する聞き取り調査などを実施することによって以下の結論および成果を得た。

(1) ハイテン材は，入手が困難で参入の障壁は高いものの，比強度がマグネシウム合金並みに高い上，合金成分が少ないため低価格であり，軽量化と低コストを両立する強力な手段である。

(2) ハイテン材成形時の代表的な課題として，

成形性の低下，スプリングバック等に起因する形状不良，金型の耐久性があげられる。ハイテン材の高強度化が進み，積極的な採用がみられる引張強さ 980MPa 以上のハイテン材では，これらの課題がより一層顕著に現れ，重要課題となっている。

(3) プレス関連企業の板鍛造技術分野への参入意欲は強いものの，同分野への参入を希望する企業の多くは，冷間鍛造に関する知見やシミュレーションの経験が不足しており，参入の障壁となっている。

(4) 軽量化部品の板鍛造によるシミュレーション実験と実証実験による実現可能性研究を実施することで，有効な加工方案を見出し，共同研究の採択につなげた。