研究論文

高度塑性加工技術による車両用シートフレーム部品の開発

相田　収平*　山崎　栄一*　紫竹　耕司**　杉井　伸吾*　白川　正登*　石川　淳*　片山　聡*

Development of high-performance lightweight seat frame parts for automobile

AIDA Shuhei*, YAMAZAKI Eiichi*, SHICHIKU Koji**, SUGII Shingo*,
SHIRAKAWA Masato*, ISHIKAWA Atsushi* and KATAYAMA Satoshi*

抄　　録

環境負荷低減への要求から自動車等の輸送機器の大幅な燃費低減は必達であり，これを解決する手段として，軽量化への取り組みが重要である。本研究では，経済産業省から委託を受けた「地域新生コンソーシアム研究開発事業」において，輸送機器軽量化のための高性能軽量金属部材の実用化を図るため，マグネシウム合金に対する温間対向圧力成形技術，および温間逐次成形技術の開発を行った。これらの加工技術を車両用軽量シートフレーム部品へ適用することにより，高い意匠性を持った軽量センターテーブルを開発した。さらにミニバン用シートフレームの開発も行い，マグネシウム合金展伸材の強度・機能部品への展開を図る道筋をつけた。

1. 緒　　言

現在，環境負荷低減への要求から自動車等の輸送機器の大幅な燃費低減は必達であり，これを解決する有効な手段として，軽量化への取り組みが重要である。このため自動車用部材への，高張力鋼板やアルミニウム合金の利用が進みつつあるが，さらなる軽量化を目指してマグネシウム合金の適用も始まっている。

一方，新潟県では，マグネシウム合金の加工技術開発にいち早く取り組み，その製品化技術を既に有している。今回，新潟県の産学官が持つ技術シーズ [1)]をもとにこれらを摺り合わせ，さらに融合させることにより，輸送機器の軽量化，高機能化を推進するための高性能軽量金属部材（マグネシウム合金製シートフレーム等）の実用化を目的として研究開発を行った。

開発製品の目標スペックは以下のとおり。

・ 従来の鉄製品に対して 20%以上の軽量化をしたシートフレームの開発

・ 従来の鉄製品に対して 50%以上の軽量化と高い意匠性を持ったセンターテーブルの開発

これらを実現するためには，効率的な試作技術による開発コストの低減，高精度複雑形状成形技術による生産工程の効率化が重要である。そこで，本研究では，以下に掲げる新しい加工技術を開発し，マグネシウム合金製シートフレーム部品の開発を進めた。

(1) 温間対向圧力成形技術の開発

対向圧力成形法はパンチに対向する圧力を加えることで素材の局部伸びを抑制し，成形限界の向上や従来法では不可能な複雑形状品の成形を可能にする方法であり，従来のプレス成形法に比べて工程の短縮と金型の簡易化が可能となる。しかし，マグネシウム合金の場合には成形温度が高く，油や水といった液体を利用することは困難であるため，小径粒体を圧力媒体とした対向圧力成形の実用技術開発を行うとともに，この成形技術を活用した車両用センターテーブルの開発を行う。

(2) 温間逐次成形技術の開発

金型を使わない板金成形法である逐次張り出し

* 研究開発センター
** 企画管理室

成形法は試作コスト，時間の大幅な短縮を可能とする技術である。本研究では，マグネシウム合金等の部材創製をターゲットとし，200℃～300℃の温度域で高効率な加工を可能とする温間逐次成形技術を開発する。また，この成形技術を車両用センターテーブルの試作に適用し，効率的な開発手法を確立する。

2. 温間対向圧力成形技術の開発

2.1 温間対向圧力成形試験

本試験ではマグネシウム合金の絞り加工を対象とし，材料に対向圧力を加える媒体としてフッ素ゴムを用い，通常の温間成形と温間対向圧力成形の成形限界を比較した。対向圧力成形法の模式図を図 1 に示す。

2.1.1 試験方法

絞り形状は円筒深絞りとし，その成形限界を限界絞り比で評価した。絞り比とは，成形するパンチの直径に対する素材円板の直径の比であり，破断せずに成形可能な最大の絞り比が限界絞り比である。

成形に用いた板材は AZ31B，板厚 0.5mm であり，対向圧力を加える圧力媒体はφ6mm の球形状フッ素ゴム，硬さ A70 を使用した。

金型構造は図 2 に示すように対向圧力付加のために，金型下部中央に背圧ピストンを設け，パンチの変位に伴ってプレスのダイクッション力を制御して背圧ピストンを上下させ，対向圧力を与えられる構造としている。パンチ径はφ40mm，パンチ肩半径 8mm，ダイス肩半径は 2mm である。

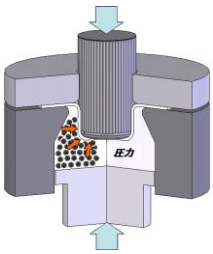


図 1 対向圧力成形模式図

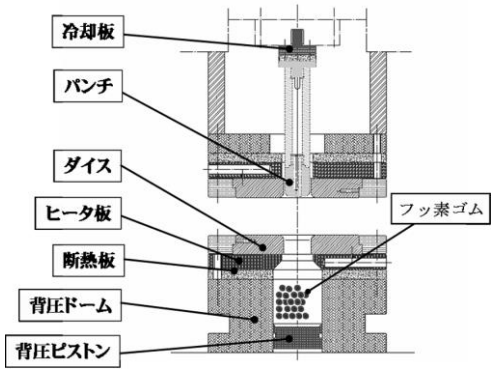


図 2 温間対向圧力成形の金型構造

パンチ，ダイス，板押さえはヒータにより加熱し，温度制御している。また，潤滑には材料上下面に PTFE シート（厚さ 0.05mm）を用いた。

限界絞り比を求めるにあたり，対向圧力付加時には背圧ドーム内にフッ素ゴムを充填して試験を行い，通常の温間成形試験ではフッ素ゴムと背圧ピストンを除いた状態で試験を行った。主な成形条件を表 1 に示す。

表 1 成形限界比較試験条件

成形法	通常温間成形	温間対向圧力成形
ダイス温度（℃）	200	
板押さえ温度（℃）	200	
パンチ温度（℃）	60	
板押さえ荷重（kN）	20	
対向圧荷重（kN）	―	100
対向圧付加領域（絞り深さmm ）	－	10以上
絞り速度（mm/sec）	2 ～ 1	

2.1.2 試験結果

試験を行った結果，通常温間成形では限界絞り比が 3.3 であったものが，対向圧力を付与することにより 3.8 に向上した。このことから，ゴム粒体を圧力媒体とした温間での対向圧力成形により，通常の温間成形に比べて深絞り成形の成形限界が向上することが確認できた。成形品の写真を図 3 に示す。

左：温間対向圧力成形　限界絞り比　3.8
右：通常温間成形　　限界絞り比　3.3

図 3 成形品

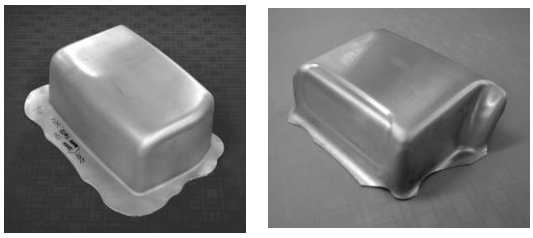
2.2　センターテーブル部品への適用

自動車の左右座席間に取り付けられるセンターテーブルの樹脂部品形状をマグネシウム合金で製作，置換して意匠性の向上を図るもので，図 4 に示すフロント部およびリア部の部品をマグネシウム合金板材の絞り加工によって成形を行った（図 5）。しかし，総型のダイスを用いない絞り加工では複雑形状の成形や側壁部の形状精度の向上は一般に難しいため，絞り成形における形状精度を向上させるため，絞り加工後に温間での対向圧力付与による形状矯正加工を行い，その効果を確認した。

形状矯正加工は，絞り加工とは別工程で，金型に製品をセットした後に，製品表面にゴム粒体を介して圧力を付加することで行った。フロント部およびリア部の矯正加工条件を表 2 に示す。

絞り加工後と矯正加工後の成形品の幅中央部外形形状を三次元測定機により測定した結果を，差

図 4 対象としたセンターテーブル部品

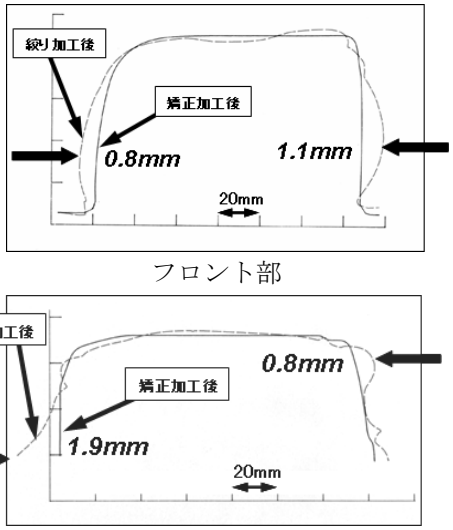


フロント部　　リア部

図 5 センターテーブル絞り加工部品

表 2 矯正加工条件

成形条件	フロント部	リア部
ダイス温度　(℃)	210	225
板押さえ温度　(℃)	210	225
パンチ温度　(℃)	250	250
矯正圧力　(MPa)	20	19
矯正圧力保持時間　(sec)	5	5



フロント部

リア部

図 6 矯正加工による形状の変化

を拡大して図 6 に示す。フロント部，リア部ともに形状矯正加工で，1mm 前後の矯正効果が現れている。製品の外観においても，絞り加工品に比べ矯正加工品では，稜線をシャープにすることができた。

3. 温間逐次成形技術の開発

逐次成形技術は，NC フライス盤を使用し，その主軸に取り付けた成形工具を数値制御により動

かすことで，テーブル上に設置した金属板を所望の形状に張出し成形させる塑性加工法である[2)]。成形に金型を必要としないことから，金属製品の試作段階においてコスト低減や時間の大幅な短縮が可能である。

この技術をマグネシウム合金に適用する場合，成形温度が 200℃～300℃と高いため，これに対応した逐次成形システムを構築する必要がある。そこで，板への通電加熱によるジュール熱を利用した効率的な加熱方法の成形システムを開発した。

3.1　温間逐次成形試験装置

通電加熱を利用した素材板の加熱機能を付与した温間逐次成形試験装置を作製した。図 7 に外観写真を示す。NC フライス盤のテーブル上に設置した電源トランス（単相，容量 27kVA，1 次 200V／2 次 3V）からシャントワイヤ，銅電極を介して，同一テーブル上にある成形ジグに固定した素材板に通電させながら逐次成形を行う。

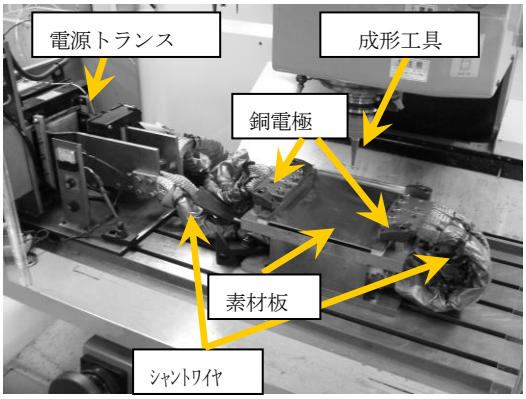
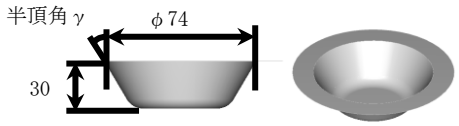


図 7 温間逐次成形装置の外観

3.2　温間逐次成形試験

温間逐次成形装置を用いて，マグネシウム合金板 AZ31B の成形条件を検討するため，図 8 に示す形状について，成形温度と半頂角γをパラメータとした成形試験を行った。なお，成形温度はトランスから供給する電流値を調整することにより設定した。

成形試験結果を表 3 に示す。表中の○×は各成形温度における半頂角γの円錐台形状の成形可否を表し，γの値が小さいほど成形限界が向上する。試験結果から，①成形温度 200℃以上で成形が可能となる，②高温になるにしたがって成形限界が向上する，③半頂角γ＝26 deg が成形限界であることをそれぞれ明らかとした。



試験材料	AZ31B、板厚2mm
成形工具	超硬合金　先端φ10ボール
潤滑剤	二硫化モリブデン乾性被膜

図 8 温間逐次成形試験条件

表 3 成形試験結果

成形温度　℃

半頂角γ deg	175	200	225	250	275	300
40	×	○				
39						
38						
37		○				
36						
35	×	○	成形可能範囲			
34						
33		○				
32		○				
31		○				
30		×	○	○		
29			○	○		
28			○	○	○	○
27			×	○	×	○
26				×		○
25						×

○　：成形可能　　×　：成形不可能

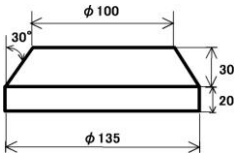
3.3　マンドレル材料の検討

逐次成形において，自由曲面などを有する複雑形状品の成形では，マンドレルと呼ばれる形状型が必要となる[2)]。室温での成形加工においては，マンドレル材料として樹脂など，切削加工が容易で安価な材料が選択できる。しかし成形温度が 200℃以上となる温間逐次成形においては，耐熱性を有するマンドレル材料の検討が必要である。

そこで，200℃以上の耐熱性を有し，かつ形状創製が容易な材料とし，アルミニウム合金，石膏，耐熱セメントの 3 種を選定し，最適なマンドレル材料を検討した。

マンドレル形状および試験条件を図 9 に示す。円錐台形状のマンドレルにより成形試験を行った。アルミニウム合金製マンドレルについては，マンドレルにカートリッジヒータを組み込み，板温度とマンドレル温度を変化させて試験を行った。

試験の結果を表 4 に示す。アルミニウム合金はマンドレルを 200℃以上に加熱することで成形可能，耐熱セメント，石膏の各マンドレルについては，マンドレルを加熱することなく成形が可能であり，成形素材であるマグネシウム合金板に供給する通電エネルギと，マンドレルである耐熱セメントと石膏への抜熱のバランスが取れれば有効な材質である。これらの結果から総合的に考えた場合，アルミニウム合金製マンドレルにカートリッジヒータを組み込んだものが，製作の容易さや熱バランスに対しての寛容性などから有利である。さらに，成形時の熱膨張を考慮した場合，マグネシウム合金とアルミニウム合金の熱膨張係数がほぼ同一と見なせることから，板材とマンドレルの熱膨張量を補正した成形用 NC データの作成が容易であるという利点があり，マンドレル材料としてはアルミニウム合金が最適であると判断した。



試験材料	AZ31B、板厚3mm
成形工具	超硬合金　先端φ10ボール
潤滑剤	二硫化モリブデン乾性被膜

図 9 マンドレル材料検討試験の概要

表 4 マンドレル材料検討試験結果

試験 No.	マンドレル材質	成形時 マンドレル温度 (℃)	成形時 マグネシウム合金板 温度(℃)	成形可否
1	アルミニウム合金	室温	230	×
2	アルミニウム合金	100	240	×
3	アルミニウム合金	150	240	×
4	アルミニウム合金	200	230	○
5	アルミニウム合金	250	230	○
6	アルミニウム合金	300	60	×
7	アルミニウム合金	300	150	○
8	アルミニウム合金	300	230	○
9	耐熱セメント	室温	250	○
10	石膏	室温	250	○

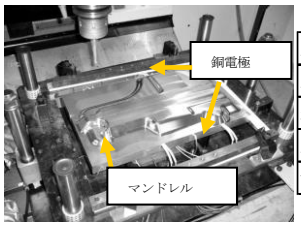
○：成形可能　　×：成形不可能

3.4　センターテーブル部品への適用

温間逐次成形技術について，試作成形への適用を試みた。自動車用内装部品であるセンターテーブルフレームのマグネシウム合金による製作において，ベースプレートを温間逐次成形により試作した。

ベースプレートの試作成形の概要を図 10 に示す。アルミニウム合金製のマンドレルを使用して温間逐次成形を行った。600×500×3mm のマグネシウム合金板 AZ31B について，張出し成形を行い，その後，レーザにてトリミングした。

この部品を従来の製作方法であるプレス成形により試作を行った場合，金型費で約 150 万円，試作品完成まで約 4 週間程度要する。一方，温間逐次成形による試作では製作費 10 万円程度，試作品完成まで 2 週間程度であり，非常に効率的な試作が実現できた。



成形材料	AZ31B、600×500×3mm
成形工具	HZ合金、先端φ16　R5
潤滑剤	二硫化モリブデン乾性被膜
成形板温度	250℃
マンドレル	A1合金製、300℃

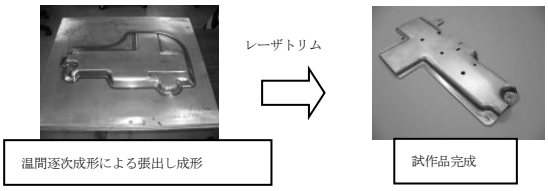


図 10 センターテーブル部品への適用

4.　地域新生コンソーシアム研究開発事業

本研究は，平成 17 年度～18 年度の 2 年にわたり，経済産業省からの委託研究「地域新生コンソーシアム研究開発事業」（管理法人：（財）にいがた産業創造機構）の中で行った。この事業では，マグネシウム合金の板やパイプといった展伸材によって，車両向けの高性能軽量金属部材の実用化を目的として，軽量シートフレーム，および軽量センターテーブルの試作

を行った。

4.1　マグネシウム合金製軽量シートフレーム

図 11 に，開発したミニバン用軽量シートフレームを示す。自動車用のシートフレームとしては初めて，マグネシウム合金の展伸材を用いている。また，製作だけにとどまらず，強度，耐久性，振動特性などの評価試験を行うことにより，軽量化が車両に与える効果，展伸材を適用することの利点，さらには実用化を進めていく上での検討課題等を明らかにした。

開発したシートフレームは，従来の鉄製品に対してほぼ同等の強度を有しながら，約 25%の軽量化を達成している。また，軽量化によってフレームの周波数特性が変化し，この結果，車両走行時の乗り心地の向上が期待できることがわかった。また検討課題は，溶接部分や継手部分の強度と信頼性を向上させることである。

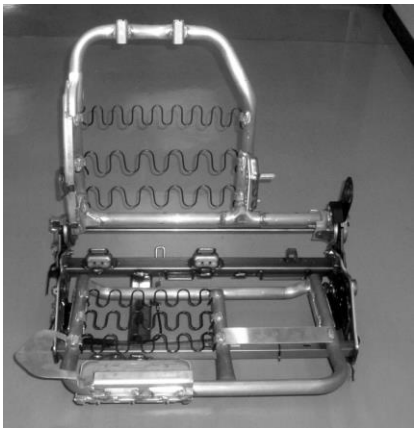


図 11 マグネシウム合金製シートフレーム

4.2　マグネシウム合金製軽量センターテーブル

図 12 には，開発したミニバン用センターテーブルを示す。従来の鉄製フレームに対して，約 53％の軽量化を達成している（鉄製重量 4.5kg に対して，2.1kg）。また，カップホルダ部など従来の樹脂製部品に対して，マグネシウム合金板材を使用した。そして，新たに開発した対向圧力による板成形技術に県内企業による

図 12 マグネシウム合金製センターテーブル

表面研磨技術，および陽極酸化処理技術（マグシャイン）[3]を適用することで，金属が持つ質感と光沢を生かした意匠性に優れた製品を開発することができた。

5.　結　　言

(1) 温間成形が必要なマグネシウム合金に対し，フッ素ゴムを圧力媒体に用いて対向圧力成形を試み，成形限界が大幅に向上する「温間対向圧力成形技術」を開発した。（限界絞り比 3.3→3.8）　また，センターテーブル部品への適用を通じて，高精度成形の可能性を明らかにした。

(2) 逐次成形技術をマグネシウム合金に適用するべく，素材板に通電加熱させるとともに耐熱マンドレルを用いる「温間逐次成形技術」を開発した。この技術をセンターテーブルのフレーム部品の試作に適用した場合では，従来の製作工程に対して時間比で約 1/2，コスト比で約 1/10 と大きな効果が得られた。

(3) 自動車用としては初めて，マグネシウム合金展伸材によるシートフレームを開発した。また，強度，耐久性，振動特性などの評価試験を行い，従来品と同等の強度を確認するとともに，軽量化による振動特性の改善効果を確認した。

(4) マグネシウム合金の特性を生かし，従来品に比べて，重量が 1/2 と軽量で，かつ樹脂製品に比べて，金属の質感と光沢を生かした意匠

性の高い車両用のセンターテーブルを開発した。

なお，本研究の成果については下記の名称で 2 件の特許を出願済みである。

【発明の名称】

マグネシウム合金薄板の塑性加工方法

【出願番号】

特願 2006-311364，および特願 2006-311365

参考文献

1) 相田収平，田辺寛，須貝裕之，高野格，大貫秀樹，小林勝“AZ31 マグネシウム合金板の深絞り成形性”，軽金属，50，9，2000，p456-461.
2) 田中興一，坂井修，相田収平，宮口弘明“逐次張出し成形機と成形法に関する研究”，工業技術研究報告書，No.32，2003， p22-24.
3) 渡邉健次郎，杉井伸吾，田辺寛，折笠仁志，片山聡，小林泰則“マグネシウム合金による複雑形状部品の鍛造・プレス加工技術の確立と用途開発（第 3 報）”，工業技術研究報告書，No.34，2005， p3-10.