研究論文

温間対向圧力プレス成形技術の開発

白川　正登*　杉井　伸吾*　田村　信*　本田　崇*

Development of Warm Press Forming Technologies with Counter Pressure

SHIRAKAWA Masato*,　SUGII Shingo*,　TAMURA Makoto*　and　HONDA Takashi*

抄　　録

温間成形によりプレス成形性が向上するマグネシウム合金板のプレス成形に対して，フッ素ゴム粒体を対向圧力媒体として用いた温間対向圧力成形の適用を試みた。その結果，円筒深絞り成形における成形限界および成形精度の向上に効果があることがわかった。また，圧力媒体として用いるゴム粒体の性能について評価を行い，柔らかいゴムを用い，ゴム表面に潤滑を施すことにより，圧力分布状態の均一化が可能となった。

1. 緒　　言

軽量化，リサイクル性の観点から注目されているマグネシウム合金は，およそ 200℃以上の温間加工により大幅に成形性が向上する [1]。一方，複雑な形状のプレス成形を高効率に行う成形法として，ゴムや液体を用いてパンチに対向する圧力を加えてプレス成形を行う対向圧力成形法があり，金型コストの低減や成形限界の向上などの効果が報告されている [2),3)]。マグネシウム合金やアルミニウム合金といった温間成形によりプレス成形性が向上する材料に対して，温間で対向圧力成形法を適用することにより，さらなる成形性の向上や複雑形状の成形が期待されている [4),5)]。温間での対向圧力媒体として，油等の液体を用いることも可能であるが，油煙や高温の油の取り扱いといった作業性の改善や安全対策などの課題を抱えている。

本研究では，マグネシウム合金圧延板の円筒深絞り成形において，対向圧力を加える媒体にフッ素ゴム粒体を採用し，通常の温間成形と温間での対向圧力成形との成形限界および成形品の精度を比較した。また，ゴム粒体の硬さ，形状，大きさ，潤滑条件を変えて，対向圧力の分布状態について評価を行った。

2. 温間対向圧力成形法

本研究で提案する温間対向圧力成形法は，図 1 の模式図に示すように，温度制御されたダイスとしわ抑えによりフランジ部を加熱されたブランクに対し，パンチに対抗する圧力を付加しながら加工を行う成形法である。温間成形と対

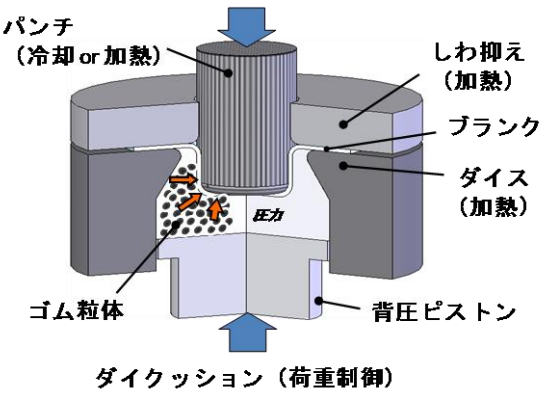


図 1　温間対向圧力成形模式図

*　研究開発センター

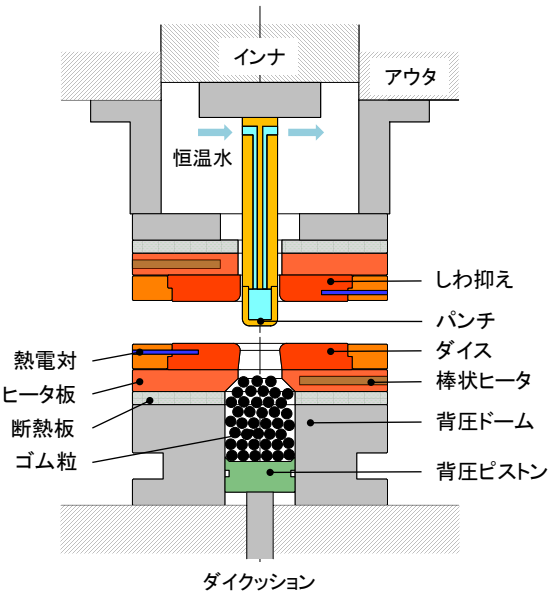


図 2　温間対向圧力深絞り成形用金型

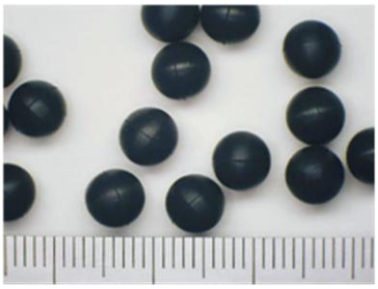


図 3　圧力媒体（ゴム粒体）外観

向圧力成形の複合化を図り，さらなる成形性の向上と通常のプレス成形では成形困難な複雑形状の成形を目的としている。

3. 温間対向圧力円筒深絞り成形

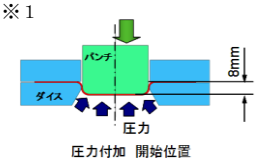
3.1　実験方法

成形には，複動型油圧プレス（アミノ製 インナ能力 1274kN，アウタ能力 686kN，ダイクッション能力 490kN）を用いた。装置および金型構造の概要を図 2 に示す。対向圧力付加のため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ション力を制御することによりピストンを上下し，圧力媒体であるゴム粒体を介してパンチに対向する圧力を加

表 1　金型および成形条件

金型形状・寸法	パンチ	φ40mm　肩半径 3.8mm
	ダイス	φ42.1mm　肩半径 3mm
金型材質	SKD11　硬質クロムメッキ	
成形温度（℃） （ダイス，しわ抑え温度）	200，225，250	
パンチ温度（℃）	45	
しわ抑え荷重（kN）	25 ～ 80 （しわの発生状況により設定）	
絞り速度（mm/sec）	4	
潤滑	ブランク上下面 PTFE シート（0.05mm）	
対向圧力付加領域　※1	絞り深さ　8mm 以上	
対向圧力（MPa）　※2	0（付加しない），4.4，10.0，19.0	
成形性評価	限界絞り比（LDR）	

※1



※2

$$\text{対向圧力} = \frac{\text{付加荷重（N）（ダイクッション荷重）}}{\text{背圧ピストン断面積（mm}^2\text{）}}$$

えられる構造とした。また，ダイス，しわ抑えは，表面近傍に熱電対を取り付け，ヒータ板に組み込まれた棒状ヒータにより加熱し温度制御を行った。パンチは，温度調節された水で循環冷却できる構造とした。

対向圧力を加える圧力媒体には，約 250℃までの耐熱性があるフッ素ゴム（硬さ A70）を選定し，金型ドーム内への均一な充填を図るため球形φ6mm の粒体とした。フッ素ゴム表面はジメチルシリコーンオイル（信越シリコーン製 KF-968-100CS）により潤滑した。図 3 に使用したゴムの外観を示す。

成形に用いた金型および成形条件を表 1 に示す。対向圧力付加時は背圧ドーム内にフッ素ゴムを充填して成形を行い，通常の温間成形はフッ素ゴムと背圧ピストンを除いた状態で行った。絞り比を 0.1 ずつ変化させ，各条件での限界絞り比（LDR）を求めた。対向圧力成形は，パンチがブランクに接触した後 8mm 成形が進んだところでパンチ動作を停止し，対向圧力を付加して所定の圧力に達した時点から再び成形を進める工程とした。

3.2　供試材

供試材には，市販の板厚 0.8mm，AZ31B マグネシウム合金を用いた。表 2 に化学組成を，図 4 に金属組織観察写真を示す。硬さは，63HV であった。また，供試材の特性を調べるため，板材の圧延方向に JIS Z 2201 による 13B 号試験片（平行部　12.5mm × 長さ　60mm　標点距離 50mm）を採取し，室温から 250℃の温度範囲で引張試験を行った。試験には，精密万能試験機（島津製作所製　AG-250KNI）を用い，試験速度 5mm/min とした。供試材圧延方向の引張特性を図 5 に示す。引張強さは室温で 290MPa であるが，試験温度の上昇とともに低下し，200℃では 91MPa と 1/3 以下に，250℃では 62MPa と 1/4 以下に低下する。一方，破断伸びについては室温で 30%程度であるが，225℃までは温度の上昇とともに増加する傾向を示し，100%を超える伸びが得られるようになるが，250℃ではやや低下する。

表 2　供試材の化学組成

（ 化学成分 ／ mass% ）

Al	Zn	Mn	Fe	Si	Cu	Ni	Ca	Mg
2.87	0.95	0.38	0.003	0.014	0.001	<0.001	<0.001	bal.

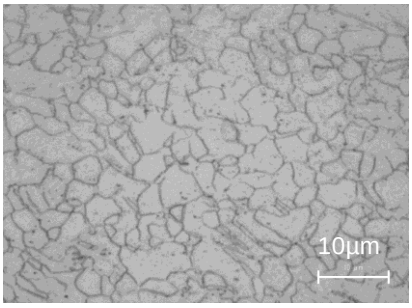


図 4　供試材の金属組織

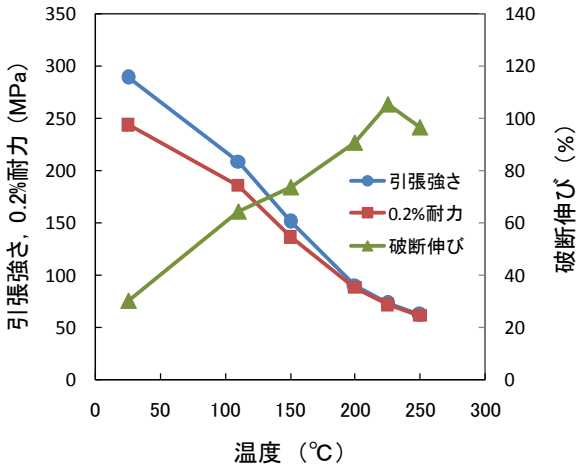


図 5　供試材の引張特性

3.3　実験結果および考察

3.3.1　対向圧力と限界絞り比

対向圧力を付加しない場合および 4.4，10，19MPa の各対向圧力を付加した場合での LDR を図 6 に示す。成形温度は 225℃とした。通常の温間成形において 3.4 であった LDR は，本実験で付加した対向圧力の値が大きいほど向上し，対向圧力 19MPa で LDR 3.9 と最も高い成形限界を示した。対向圧力が高いほど素材がパンチに押し付けられることによって生じる摩擦支持力が増大し，この摩擦支持力が成形力の一部を負うことで，素材への負担を軽減し破断が抑制されたものと考える。また，対向圧力により素材がパンチに押し付けられることで，素材のパンチによる冷却が促進される。その結果，成形中のパンチ肩部および側壁部の強度が高くなり，破断の抑制に寄与している可能性がある。

2.4.2　成形温度と限界絞り比

通常の温間成形と対向圧力 19MPa とした温間対向圧力成形において，ダイス温度を 200，225，250℃とした各条件における LDR を図 7

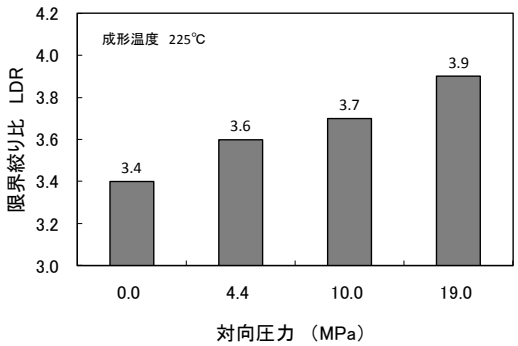


図 6　対向圧力と限界絞り比

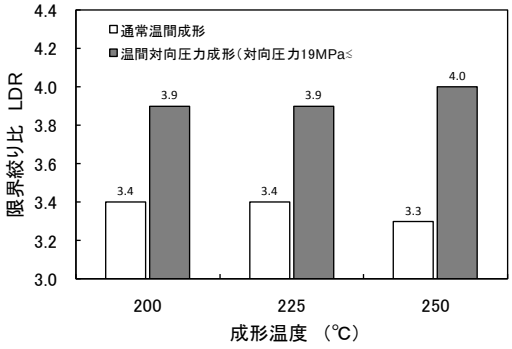


図 7　成形温度と対向圧力の効果

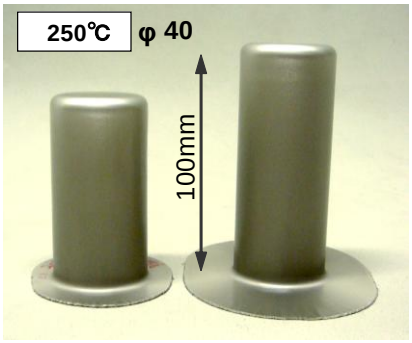


図 8　成形品外観

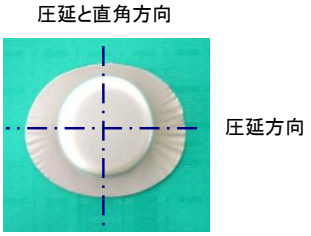


図 9　成形品（0MPa）外観および測定断面

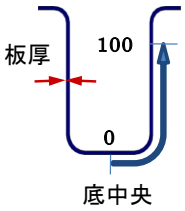


図 10　測定位置

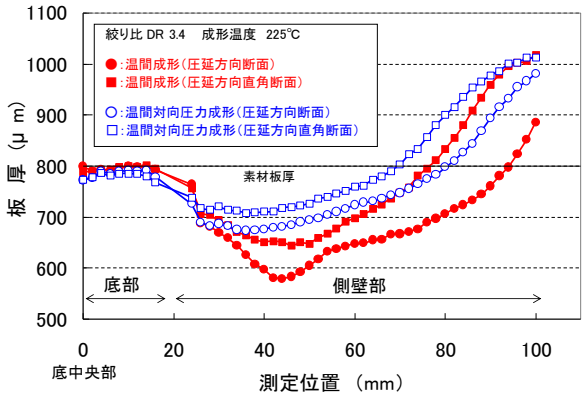


図 11　板厚分布の対向圧力有無成形品比較

に示す。いずれの温度においても，対向圧力を付加した場合に通常の温間成形と比較して LDR で 0.5 ポイント以上高い成形限界が得られた。特に，250℃の条件では，通常の温間成形では 3.3 であった LDR が，温間対向圧力成形においては 4.0 となり，0.7 ポイント高い結果が得られている。図 8 に，その外観写真を示す。いずれの温度においても摩擦支持力が有効に働いている効果と考える。

3.3.3　板厚分布

対向圧力（19MPa）を付加する場合と付加しない場合のそれぞれについて，同一成形温度 225℃，同一絞り比 3.4 の円筒深絞り成形を行い，成形品断面の板厚分布を比較した。マグネシウム合金圧延板の強度等機械的特性は，一般的に圧延集合組織に起因する異方性があると言われているため，板厚の測定は，素材の圧延方向および圧延方向と直角な方向のそれぞれの断面について行った。図 9 に通常の温間成形による成形品の外観と測定断面を示す。測定は，サンプルを測定断面にて切断し，万能投影機（ニコン製 V-16E）を用いて行った。図 10 に測定位置の説明図を，図 11 に板厚分布の測定結果を示す。図中横軸の測定位置の値は，成形品底部中央から測定位置までの経路長である。対向圧力の有無にかかわらず，成形品底部の板厚は素材板厚とほぼ等しい値である。また，パンチ肩部に近い側壁において，成形に伴う引張変形による板厚減少が認められるが，対向圧力成形法では通常の温間成形に比べ，この板厚減少が抑えられ，板厚の均一化が図られている。対向圧力による摩擦支持効果により引張による伸びが抑制された結果と考える。

4. ゴム媒体の違いによる対向圧力分布の評価

4.1 実験方法

圧力媒体として用いるゴム粒体の表面の潤滑，形状，硬さ，大きさを変え，これらの違いによる対向圧力の分布状態について比較評価を行った。ゴム粒体表面の潤滑効果の比較には，潤滑剤としてジメチルシリコーンオイルを用いた。実験に用いたゴム粒体の種類を表 3 に示す。

圧力分布状態を評価するために製作した圧力分布測定装置の概要および圧力測定位置を図12に，その構造および試験状況の外観を図13に示す。この圧力分布測定装置は，成形状態を想定し，80×80mm断面のドームと加圧のためのピストンおよびドーム底面中央にパンチ（成形品）を模して配置された一辺40mmの立方体のブロックにより構成されている。また，各測定位置には，圧力測定用の受圧ピンを設け，その軸方向ひずみ量から圧力を算出した。

付加相当圧力（付加荷重／ドーム断面積）は30MPaとし，その時の付加荷重192kNに達するまでピストンにより加圧し，各測定位置の圧力の分布状態を比較した。使用するゴム粒体の容積は，いずれの条件でも一定（2.47×10^5 mm^3）とした。加圧には精密万能試験機（島津製作所製AG-250KNI）を用い，加圧速度は，ピストン押圧面がパンチ上面から25mmの距離に達するまでは50mm/min，それ以降は5mm/minとした。

4.2 実験結果および考察

図 14 に圧力媒体の違いによる圧力分布状態の比較結果を示す。図中の各プロットは，圧力の分布状態として比較しやすいように破線で結んで表示した。φ6-70 のゴムを用いて，その表面への潤滑の有無による圧力分布の比較を行った結果を図 14-(a)に示す。ゴム粒体表面が無潤滑の場合には，付加した圧力が 30MPa 相当であるのに対して，パンチ上面（以下上面と表す）では 50MPa 程度と高い圧力となり，パンチ側面（以下側面と表す）および底面では 18MPa となっているが，潤滑を行うことにより，上面が 40MPa 程度に低下，側面や底面では 22～23MPa 程度に上昇し，圧力の均一化が図られている。これは，潤滑によりゴム粒体表面の摩擦力が低下し流動性が増すことでドーム内の底部側へのゴム粒の移動が促進され，均一な充填が図られたためと考える。また，粒形状の変形を伴ったゴムの空隙への侵入も容易となり，より均一な充填に効果があったと考える。そこで，ゴム粒体の形状，硬さ，大きさの違いが及ぼす影響ついては，ゴム粒体表面を潤滑した条件で行った。

φ6-70 と□6-70 のゴムを用いてゴム媒体の形状の違いによる圧力分布を比較した結果を図 14-(b)に示す。立方体形状と比較し球形状の方が粒体の流動性が向上し圧力の均一化が図られることを期待したが，本実験の範囲では，ゴム形

表 3　圧力媒体として用いたゴム粒体

記　　号	φ6-70	□6-70	□6-50	□3-50
材　　質	フッ素ゴム（　FKM　）			
形状・寸法	φ6mm 球体	6mm 立方体	6mm 立方体	3mm 立方体
硬さ(JIS A)	70	70	50	50

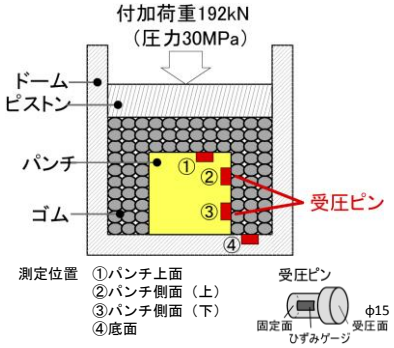
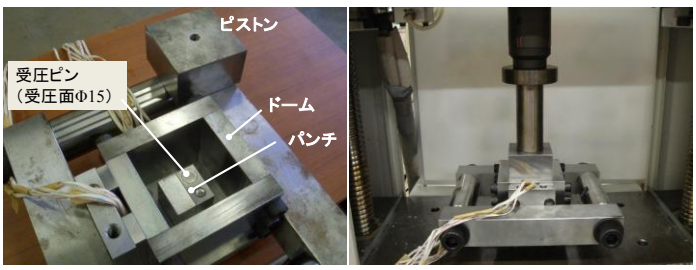


図 12　圧力分布測定装置概要図



(a) 測定装置構造　　(b) 加圧状況

図 13　測定装置外観

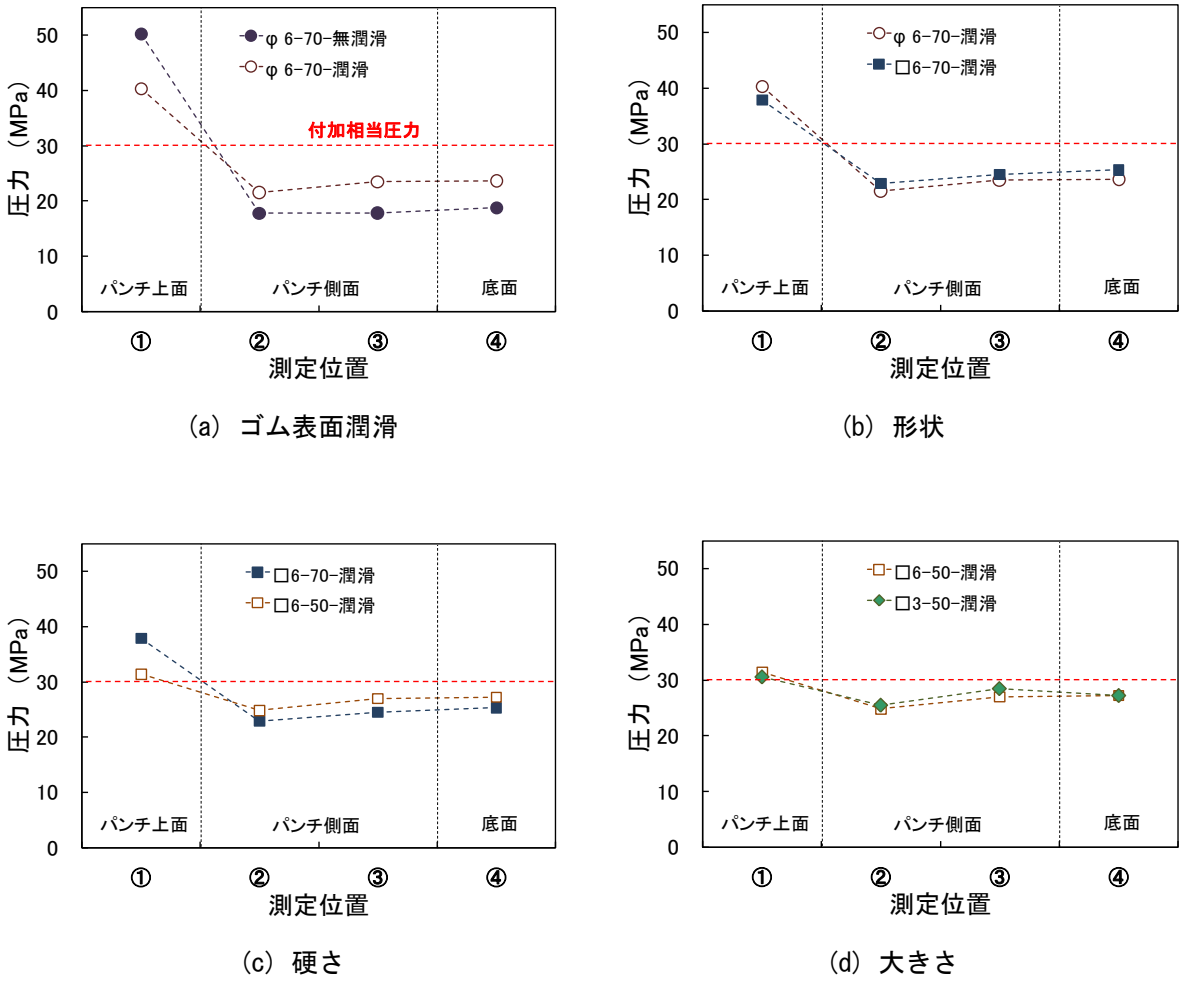


図 14 圧力媒体の表面潤滑，形状，硬さ，大きさが対向圧力分布状態に及ぼす影響

状の違いが圧力分布に及ぼす影響は確認されなかった。これは，ゴムの場合にはその柔軟性からゴム粒が押しつぶされて変形しながらゴム粒体の隙間およびコーナー部等の空隙を埋めていくために，粒形状が充填の均一化に大きく影響しなかったためと考える。

□6-70 と□6-50 のゴムを用いてゴム媒体の硬さの違いによる圧力分布を比較した結果を図 14-(c)に示す。硬さ A 70 の場合には，付加した圧力（30MPa 相当）に対して，上面が 38MPa 程度と高い圧力となり，側面および底面では 23～25MPa 程度となっている。しかし，硬さ A 50 のゴムを用いることで，上面が 31MPa 程度に低下，側面や底面は 25～27MPa 程度に上昇し，圧力の均一化を図ることができた。ゴムが柔らかいことが粒の変形を容易にし，均一な充填に寄与しているものと考える。

□6-50 と□3-50 のゴムを用いてゴム媒体の大きさの違いによる圧力分布を比較した結果を図 14-(d)に示す。本実験の範囲では，大きさの違いが圧力分布に及ぼす影響は確認されなかった。しかし，比較的単純な形状である角筒をモデル形状として評価を行ったが，形状が複雑化し微細部へのゴムの侵入が必要な場合，あるいはドームとパンチのクリアランスが小さくなった場合等には，ゴム媒体のサイズが小さい方が，圧力の均一化に有利であると考えられる。その実際の効果の確認については，今後の課題とする。

本実験の範囲で最も均一な圧力分布状態が得られたのは，□3-50 および□6-50 のゴム媒体を用いてその表面を潤滑した条件であり，各測定位置で，付加圧力 30MPa 相当に対し，圧力差 5MPa 以内の圧力分布が得られた。

5. 異形断面形状深絞り成形品の試作

温間対向圧力深絞り成形技術を利用し，対角 40mm の八角形断面ねじれ形状成形品の試作を行った。ねじれ角度は 90°/50mm ，パンチ肩半径は4mmである。素材は板厚0.8mmのAZ31Bマグネシウム合金（3.2 節参照）を用いた。主な成形条件を表4に，成形品の外観を図15に示す。対向圧力成形技術を温間成形に適用することにより，通常のプレス加工では成形不可能な異形品の成形が可能となった。

表 4　試作品の成形条件

ブランク径	φ120mm
絞り深さ	68mm
成形温度	225℃
パンチ温度	80℃
対向圧力	19MPa
圧力媒体	フッ素ゴム　φ6mm球形　硬さ A 70

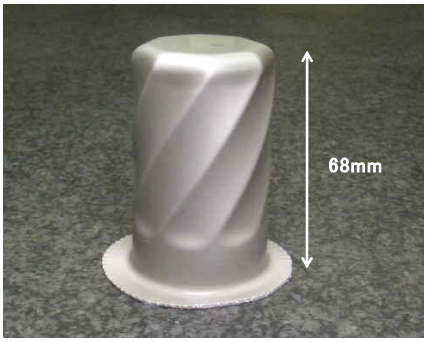


図 15　八角形断面ねじれ形状成形品

6. 結　　言

(1) 本実験の範囲では，対向圧力が高いほど成形限界は向上し，成形温度 200 から 250℃のいずれの温度条件においても，19MPa の対向圧力付加により限界絞り比で 0.5 ポイント以上向上する。

(2) 対向圧力付加により成形品の板厚減少を抑えることができ，板厚分布の均一化を図ることができる。

(3) ゴム媒体を用いた対向圧力成形において均一な圧力分布状態を得るためには，ゴム表面の潤滑が有効であり，ゴムが柔らかい方が均一な圧力分布が得られる。また，ゴム粒体の形状は圧力分布状態に大きく影響しない。

なお，本研究は，平成 19 年度都市エリア産学官連携促進事業（発展型）長岡エリア「マグネシウム合金の次世代製品開発」の中で実施したものである。

参考文献

1) 相田収平ほか，“AZ31 マグネシウム合金板の深絞り成形性”，軽金属，50，9，2000，p.456-461.

2) 中村和彦ほか，“対向液圧深絞り法の破断抑制機構”，塑性と加工，25，284，1984，p.831-838.

3) 福田正成ほか，“ゴムを用いたプレス成形”，塑性と加工，20，222，1979，p.566-573.

4) 中村和彦，“1050 アルミニウム板の温間対向液圧深絞り特性”，軽金属，47，6，1997，p.323-328.

5) 網野廣之，“対向液圧成形の応用技術”，プレス技術，39，9，2001，p.28-33.