

NACHI
**TECHNICAL
REPORT**
Materials

Vol. **13**B3
June/2007

マテリアル事業

精密成形

■ 新商品・適用事例紹介

軽量高成形性圧延薄板

「マグネシウム合金薄板」

Rolled Sheet with High Formability
"Magnesium Alloy Sheet"

〈キーワード〉 マグネシウム・圧延・薄板・成形性・深絞り・筐体
プレス・Mg・張出し性

マテリアル事業部／技術開発部

吉本 隆志 Takashi Yoshimoto

松永 卓 Takashi Matsunaga

和田 敏秋 Toshiaki Wada



要 旨

マグネシウム合金は、構造部材用に使用される金属中でもっとも軽量であり、強度、電磁シールド性、振動吸収性、切削加工性、耐くぼみ性、寸法安定性、放熱性など高い機能を有している。また、リサイクル性が高く地球環境保護の面でも優れていることから、高強度、軽量を要する分野において、鉄やプラスチックなどに替わる材料として、注目が集まっている。

NACHIのマテリアル事業は、切削工具などに使用されるハイスの薄板材では国内トップシェアを有している。この技術を活かして、2001年にマグネシウム合金の薄板圧延技術の確立に着手し、広幅シート材の商品化をすすめてきた。

マグネシウム薄板の適用製品として、モバイル機器の筐体や自動車部材を中心に広範な展開が期待される。

Abstract

Magnesium Alloy is the lightest metal that is used as the structural material. It has enough strength and capabilities of shielding from an electromagnetic wave, absorbing vibration, being cut, resisting depression, stabilizing dimensions and releasing heat. In addition, as it is highly recyclable and friendly to the environment, the material has been drawing attention as a replacement for iron or plastics in the field where highly strong and light materials are required.

NACHI Material Division has a top share in Japan in the HSS sheets that are used as cutting tools. In 2001 using this technology, Nachi started to develop the Magnesium Alloy Sheet Rolling Technology and has been working to supply the wide sheet of this alloy. The magnesium sheet is expected to be used widely in many areas, especially as an external shell of a mobile device and automotive part materials.

1. マグネシウム合金の薄板コイルが製造可能に

マグネシウム合金は、金属の中で比重が最も小さく最軽量であると同時に強度も大きく、リサイクル性、^{※1}電磁シールド性、美観などの特長を有していることから、近年、プラスチック代替や省燃費などの観点からノートパソコン筐体を始めとするモバイル機器筐体やミッションケースなどの自動車部材への採用が拡大してきている。

一方、これらの部材は、鋳造法（ダイカスト、射出成形）でつくられた鋳物であり、欠陥補修、磨きなどの後加工を要することと、厚み0.6mm以下の薄肉部材の成形が困難であるといった問題点があった。

このため薄肉化が可能で後加工を要しない方法として、圧延薄板をプレス成形する方式の開発・実用化が求められていた。しかしながらマグネシウム（以下Mgと記す）は、結晶構造においてアルミニウム（以下Alと記す）や鉄（以下Feと記す）のような^{※2}立方晶金属と異なり、^{※3}六方晶金属であるため常温での^{※4}塑性加工が困難であり、^{※5}温間圧延技術、温間プレス技術の開発が必要であった。

NACHIでは、鋸刃用の高速度鋼薄板、とくに広幅薄板について70%を超えるシェアと差別化技術シーズを有しており、今回、このシーズを発展させて温間圧延技術を開発し、Mg合金圧延薄板の製造プロセスを確立した。

シート	コイル
	
1.0厚 × 600幅	0.5厚 × 350幅

図1 薄板製品外観

2. Mg合金薄板の特徴

表1から分かるように、Mg合金の比重は、銅板の1/4.5、Alの2/3で、比強度は最も高い。また、プラスチックに比べ軽くて強く、発生した電波を外部に漏洩しないこと、さらには環境にやさしいことなどが特徴である。

以上のように、Mg合金はモバイル機器の筐体材料として最も好適な位置づけにある。

その他の特性を、長短含めて表2に一括して示す。

軽量金属であって減衰能(振動吸収能)が良いという特殊な機能を有し、振動機器のカバーやマフラーなどに向いている。また、衝突に対してAlやFeよりもくぼみにくいため自動車部材に適する。さらに、金属光沢、触感の点で高級感があり、ファッション性という観点から用いられることもある。

短所としては、湿潤環境下でFeよりも錆び易く、耐食性が悪いため、一般的には防食表面処理および塗装を必要とする。塑性加工性については、前記したように、温間加工での対応となる。

表1 各種薄板材料の特性比較

	比重 (20℃)	引張強度 (MPa)	比強度	ヤング率 (GPa)	比剛性	硬さ (HB)	熱伝導度 (W/mK)	電磁シールド性 (db)	線膨張係数 ($\times 10^{-6}$)
Mg合金薄板(AZ31)	1.78	225	143	45	25.3	56	77	92	26.8
Al合金薄板(A5052)	2.68	195	73	69	25.7	47	137	92	23.8
冷延鋼板(SPCC)	7.86	360	46	20.6	26.2	100	79	95	12.0
ポリマ-アロイ(PC/ABS)	1.3	60	46	5.6	4.3	HR(120)	0.31	—	70

比強度:引張強さ/比重 電磁シールド性:板厚0.8mm

表2 Mg合金薄板の長所と短所

評価	項目	内容
◎	軽量性	比重が実用金属中最小 Alの2/3、Feの1/4
◎	比強度	実用金属中最大 プラスチックの3.5倍
◎	耐くぼみ性	物体の衝突で生じるくぼみが、Al・Feより小→薄くて強い
◎	切削性	切削動力は軟鋼の1/6、Alの1/2
◎	減衰能	軽量かつ高減衰能をもつ唯一の金属
◎	美感・触感	プラスチックより肌触り良で高級感あり
◎	人体無害性	人体に無害 健康上必要元素
○	引張強度	Al合金と同等 プラスチックの4倍
○	電磁シールド性	携帯電話、ノートパソコンなどから出る電磁波シールド性大(プラスチックはCu・Niメッキ必要)
○	熱伝導性	Alの70%で良導体、プラスチックの数百倍
○	寸法安定性	100℃までは長時間保持で変形なし
○	溶接性	容易に可(MIG・TIG・摩擦)
△	耐食性	Feより良も酸に弱くイオン化傾向実用金属中最大
×	塑性加工性	Alと異なり室温で塑性加工困難

3. Mg合金部材のプレス成形の進展

Mg合金部材の成形方式は、表3に示すように鋳造法と塑性加工法があり、あわせて4種類の方式がある。この中で、現在主流となっているのはダイカスト法であるが、これに対して、生産性が良く、薄肉化が可能なプレス法が開発され、一部で実用化が開始されている。これら4種類の製法についての特徴比較を、表4に示す。前記したように、ダイカスト法は、複雑形状品の成形が可能だが、生産性、外観品質が悪い。一方、プレス法は、ボス部やリブの多い複雑形状品は不可だが生産性、外観品質、強度面で優れている。

また、被成形性でみると、ダイカスト法はAlの多いAZ91(Al 9%含有)、プレス法はAlの少ないAZ31(Al 3%含有)が用いられる。ダイカスト法では、鋳造時の湯流れを良くするためにAlを多く含む必要があるためAZ91が使用される。逆に、プレス成形性という点では、Alが多いと成形が困難であるため、プレス法では、Alの少ないAZ31(Al 3%含有)が用いられる。

AZ91はAZ31に比べて、耐食性は良いが、鋳物であるため、強度的には劣る。いずれにしても、防食処理を要するので、AZ31の方が有利といえる。最近はこの中間のAZ61(Al 6%含有)の塑性加工を研究する動きもある。以上のことから今後、プレス法が進展すると考えられる。

表3 Mg合金部材の成形

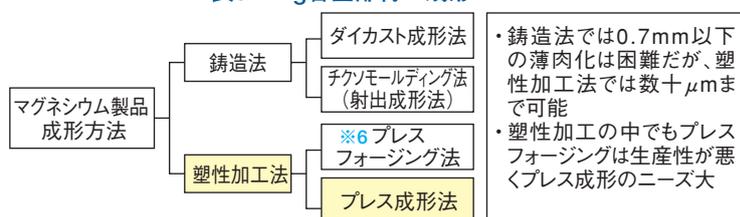


表4 Mg合金部材の成形

成形法	使用材料	成形温度	成形サイクル	コメント
ダイカスト	AZ91	650℃～	20～30s	表面の研磨やパテ埋めが必要で、バリも多く、後加工に手間がかかる。
チクソモールド成形	AZ91	550～600℃	30～45s	リブやボスの多い形状に向く。表面の研磨やパテ埋めが必要で、バリも出て、後加工も必要。
プレスフォージング	AZ31	～400℃	30～45s	表面品質に優れ表面の研磨やパテ埋めが不要。ある程度の高さのボス成形可。生産性が悪い。
プレス	AZ31	200～300℃	～10s	表面品質や後加工の少なさで有利。生産性良。ボス成形に難。板材が高い。

AZ91は鋳造用合金、AZ31は展伸材

4. Mg合金圧延薄板の材料特性とプレス成形性

1) 製造プロセス

圧延薄板の製造工程を、模式的に、図2に示す。押出法にて製造したコイル母材(三協立山アルミ(株))を圧延することにより薄板化する方式である。この方式のメリットは casting・熱間圧延方式と異なり、比較的薄い母材(数mm)を1回の押出で得ることができるため、全工程としてコスト的に有利な点である。開発のポイントは押出による寸法変動と圧延条件とのマッチングを図るなどである。

2) 薄板と製造寸法

薄板製品の外観を図3に、また、製造可能寸法を表5に示す。厚み0.8mm以下の板材については、コイルまたは小切りシート材の両方にて対応可能である。

3) 板材の材種

化学成分は表6に示すように、基本的にはASTM規格のAZ31を標準品としているが、ロット規模によっては、Al含有量2~6%の範囲で特殊品対応も可能である。(例:AZ21、AZ61)

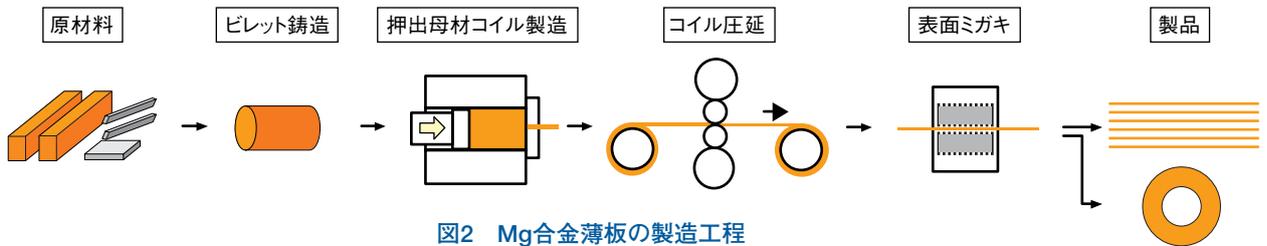


図2 Mg合金薄板の製造工程

表5 マグネシウム(Mg)薄板の製品寸法

	標準寸法 (mm)		
	厚み	幅	長さ
マグネシウム薄板 (材種:AZ31)	0.8~3.0	最大600	最大2000
	0.2~0.8	最大350	コイル または小切りシート

表6 Mg合金の化学成分

材種 記号	化学成分 (wt%)									
	Al	Zn	Mn	Fe	Si	Cu	Ni	Ca	その他 合計	Mg
AZ31	2.3 ~3.5	0.7 ~1.3	0.2 以上	0.005 以下	0.05 以下	0.05 以下	0.005 以下	0.04 以下	0.3 以下	残

ASTM規格:AZ31 (JIS規格:MP1相当)

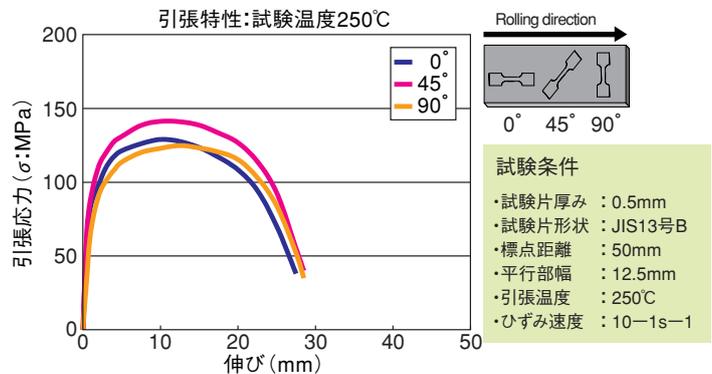


図4 Mg合金薄板の温間引張り試験結果

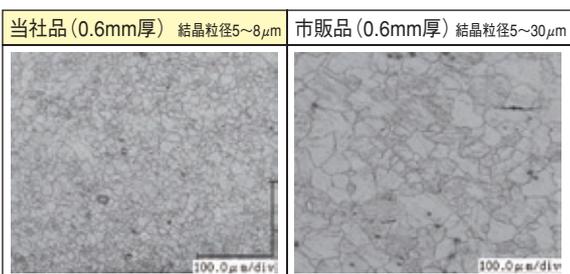


図3 Mg合金薄板のミクロ

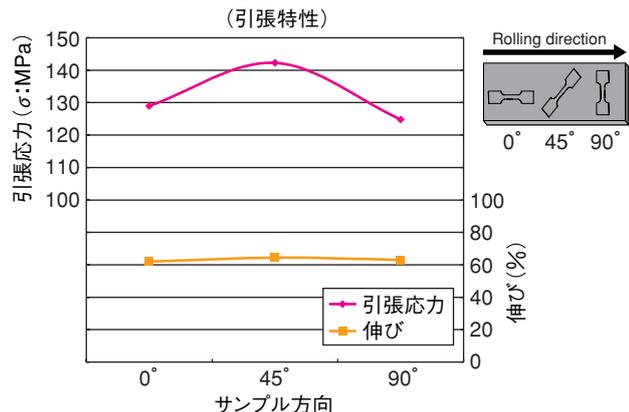


図5 Mg合金薄板の引張り特性の異方性

表7 プレス成形性に関する指標

項目	名称	計算式	深絞り性との相関	張出性との相関
n値	加工硬化指数	応力-ひずみ曲線を $\sigma = F\epsilon^n$ で近似	高→良 (粒内滑り)	高→良
r値	ランクフォード値 / 伸び異方性 / 塑性ひずみ比	$r = \epsilon_w / \epsilon_t$ $r = 0.5 \sim 2.5$	高→良	高→良
m値	ひずみ速度感受性指数	応力-ひずみ曲線を $\sigma = A\epsilon^n \dot{\epsilon}^m$ で近似	高→良 (粒内滑り)	
エリクセン値	張り出し性	R10パンチ 張出し試験 図4		
LDR	限界絞り比 (Limiting Drawing Ratio)	D/dp 深絞り試験 図5		

4) 薄板の材料特性とプレス成形性

(1) 材料特性

板厚1mmの薄板を温間(250℃)で引張試験した結果を、図4および図5に示す。図4は、応力-伸び曲線であり、図5は、その結果を圧延方向別にまとめたものである。また供試板材のマイクロ組織写真を、図3に示す。図4、図5から分かるように、圧延方向による異方性は少なく、伸びについては、60%以上を示し、成形性に優れていることを窺わせる。これは、図3のマイクロ組織写真から分かるように、平均結晶粒子径が10μm以下で、市販板材に比べて均一微細となっている点が、変形を容易にしているためと考えられる。

(2) プレス成形性

プレス成形性の評価指標を一括して、表7に示す。この中で、n値、r値、m値についてはデータ紹介を略し、結論だけを述べる。n値およびr値は、平均結晶粒子径が10μm以下においては、微細になっても大きな変化は認められない。これに対し、m値は平均結晶粒子径が微細になるにつれて直線的に増加し、とくに平均結晶粒子径4μmにおいては、0.2以上となる。以上より、平均結晶粒子径10μm以下の本薄板においては、伸びの増大要因として粒界すべりが大きく寄与していると考えられる。

次に、厚み0.5mmの薄板を深絞り試験に供し、限界絞り比(LDR)を求めた結果を図6に、絞り試験品の写真を図7に示す。深絞り試験は、パンチ径φ40mmの金型を用い、成形温度を175~250℃まで変化させて行なった。成形温度200~250℃で、LDR 3.0~3.2が得られ、比較的低温で深絞り性が良好であることが分かる。また角筒形状に深絞りした試験品を、図8に示す。

また、エリクセン試験結果を、図6および図9に示す。エリクセン値は、先端径φ20mmの鋼製の半球を拘束した板に押し付けた場合の押し込み可能深さを示すものである。深絞りと同様に、試験温度200~250℃で、エリクセン値10~11を示しており、良好な張出し性を有していることが分かる。

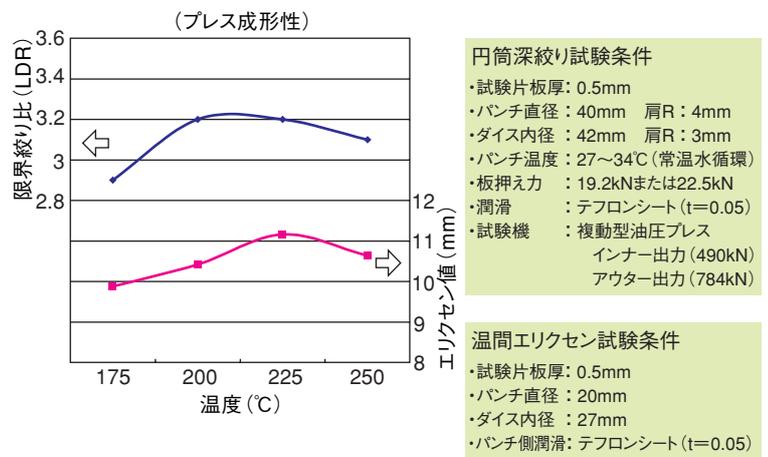


図6 Mg合金薄板の成形温度と限界絞り比

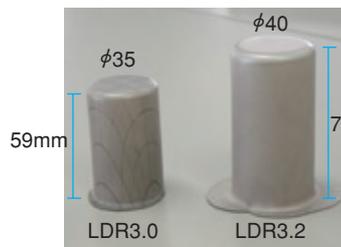


図7 Mg合金薄板の限界深絞り試験品



図8 Mg合金薄板の角筒深絞り試験品



図9 Mg合金薄板のエリクセン試験品

(3) 薄板特性のまとめ

機械的性質とプレス成形性の特性をまとめた結果を、表8に示す。

表8 薄板特性の総括表 板厚:1mm

材種	測定温度	硬さ (HV)	耐力 (MPa)	引張強さ (MPa)	伸び (%)	エリクセン値
AZ31	室温	60.2	221	267	18	3
	200℃	—	145	180	55	10
	250℃	—	95	140	60	11

5. Mg合金の用途

1) 用途分野と市場動向

Mg合金が鋳造品またはプレス成形品として構造部材に使用されている概略の状況を用途分類の形で表9に示す。この中でプレス成形品の採用動向について述べる。

(電子情報・光学系部品)

2005年に一部のメーカーでノートパソコンおよびデジタルカメラなどモバイル機器の筐体へのMg合金の採用が開始され、業界としてプレス品の採用機運が高まってきている。適用板材寸法は、幅350mm以下の小型部材が主であり、板厚は、形状を維持できる最小厚みとして、0.5~0.6mmが一般的である。

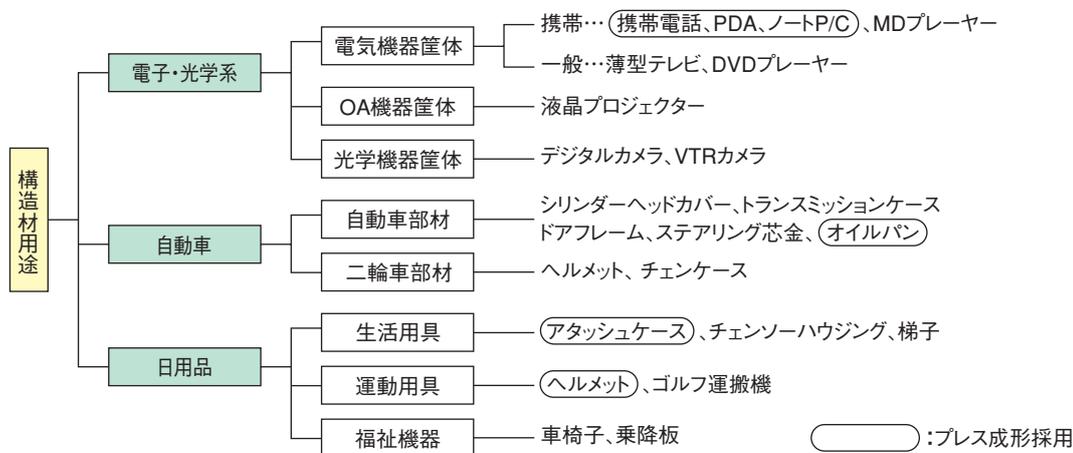
(自動車系部品)

シートフレーム、オイルパン、エンジンカバーといったものについて一部の公的機関とプレス業者において試作研究が行なわれている。この分野は研究段階であり、中期的取り組みの状況にある。適用板材としては、幅350mm以上の中・大型部材が主で、板厚も0.8~1.5mm程度となっている。

(日用品系部品)

アタッシュケースや車椅子部材など軽量化が求められるものにMg合金が実用化されている。ヘルメットへの適用も検討され試作段階まできている。この分野の需要量は限定的であり、試作対応がやりやすい。適用板材は、幅350~600mmの中型部材が主で、板厚は0.8~1.0mmが多い。

表9 Mg合金の構造部材としての用途分類



(Mg合金薄板プレス成形の特長と用途)

- ① 厚み0.5mm以下の極薄肉構造部材(アルミ、プラスチック、紙代替部材)
 - ② 自動車関連の大型部材(ボンネット、ドアパネルなど)
 - ③ 機能部材(スピーカー、マフラー、カード保護ケースなど)
- などへの適用と、環境対応材料としてさらなる展開が期待される。

2) 代表的用途の具体例

(1) ノートパソコンの筐体

軽量化を競う状況にあり、上蓋を中心にダイカスト法によりMg化が進展している。こうした中で、一部メーカーがプレス品を本格採用したことで、プレス品指向が高まっている。プレス化に際しては、ヒンジ部、ボス部に対し成形容易な設計が施される。板厚は、0.5~0.6mmが用いられる。

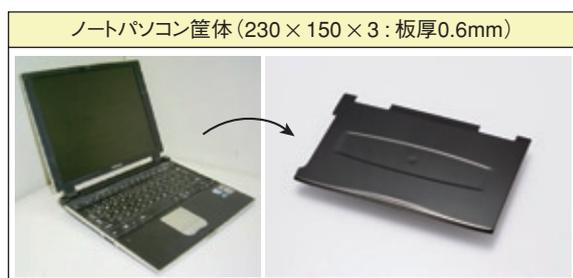


図10 ノートパソコン筐体への適用

(2) 携帯電話の筐体

ダイカスト法により、Mg化が50%以上に達しているが、プレス法の採用はすすんでいない。小型部材のため、ダイカスト法でも薄肉化が可能で、コスト的にも有利なためと思われる。



図11 携帯電話筐体への適用

(3) エンジンカバー

高級車、スポーツ車への適用ということで試作研究が行なわれている。ファッション性の視点もある。広幅シートが用いられる。



図12 エンジンカバーへの適用

(4) オイルパン

自動車のMg部材のプレス成形化という観点からすれば、比較的取り組みやすい部材といえる。深絞り性よりも張出し性が問題となる形状である。



図13 オイルパンへの適用

(5) アタッシュケース

2004年に、軽量化とファッション性の観点で、プレス法により商品化された。板材は、幅600mm、厚み1.0mmの広幅シートが用いられる。



図14 アタッシュケースへの適用

(6) ICカードの電磁シールド保護ケース

紙のような軽さと金属としての強さ、さらには良好な電磁シールド性を併せ持つ点を活用して、ICカードを悪質なスキミングから保護することを目的に考案・商品化された、持ち運びに便利なカード収納ケースである。ICカードにジャストフィットするクリップ形状となっており、財布に挿入した形で使用できる。

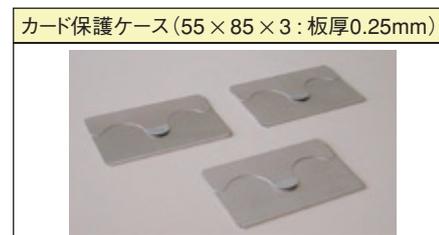


図15 カード保護ケースへの適用

(7) 二輪車マフラー外筒

軽量かつ、高減衰能を持つ唯一の金属という特長を活かして、消音効果と軽量化を狙ってマフラーの外筒として適用が検討されている。



図16 二輪車マフラーへの適用

(8) ヘルメット

プラスチックに比べて強度が大きく、耐くぼみ性が高いことからヘルメットとして用いられることも考えられている。



図17 ヘルメットへの適用

6. 適用分野拡大と付加価値の向上

マグネシウム合金の本格的な事業化を目指し、NACHIと三協立山アルミは、協同で幅広薄板コイルの開発に取り組み、今般、国内最大幅となる薄板コイルの商品化に成功した。これにより、マグネシウム部材成形の主流であったダイカスト製法から、より高品位な薄板プレス製法への切り替えが可能になる。

今後、マグネシウム合金の適用分野拡大と付加価値の向上をねらいに、溶接や表面処理技術の協同開発をすすめ、押出加工品、広幅薄板コイル、プ

レス成形部材(完成品)を軸として、電機・電子、IT分野をはじめ自動車や産業機械分野において、マグネシウム合金の適用分野を拡大する。

三協立山アルミは、アルミ建材分野で培った連続鋳造、押出技術を活かして、マグネシウム押出加工品の製造、販売を強化し、NACHIは、自動車・自動車部品業界で培ってきた精密成形技術を活かして、マグネシウム合金の薄板シートやコイルの供給だけでなく、プレス成形部材、完成品の提供をすすめていく。

用語解説

※1 電磁シールド性

電子機器の普及に伴い、電磁ノイズによる機械の誤動作が問題となっている。電磁シールド性は電磁波の透過を抑える効果の指標である。一般に金属には電磁シールド性があるが、樹脂にはシールド効果が無いので、金属メッキなどの処理が必要となる。

※2 立方晶金属

金属の結晶構造は主として体心立方晶、面心立方晶、稠密六方晶の3つに分類される。また、金属は3次元的に周期的な配列をした原子の集団(単位構造)からなり、これを結晶構造という。立方晶金属は、その単位構造の軸の長さが $a=b=c$ であり、それぞれの軸の角度が $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$ である立方体の形をなす金属の分類である。立方晶系には体心立方格子(bcc)、面心立方格子(fcc)の格子系がある。具体的にはAl(アルミニウム)、Fe(鉄)、Cr(クロム)、Au(金)、Ag(銀)などがある。

※3 六方晶金属

六方晶金属は、その単位構造の軸の長さが $a=b \neq c$ であり、それぞれの軸の角度が $\alpha=\beta=90^\circ$ 、 $\gamma=120^\circ$ である菱形を底面とする角柱をなす金属の分類である。Zn(亜鉛)、Zr(ジルコニウム)、Mg(マグネシウム)、Co(コバルト)、Ti(チタン)などがある。

※4 温間圧延技術

材料を比較的低温(200~300℃)に加熱制御して圧延する技術。

※5 温間プレス技術

材料や金型を比較的低温(200~300℃)に加熱してプレス成形する技術。

※6 プレスフォーミング法

曲げ、絞り、鍛造を同時に熱間で行なう成形加工法で、ボスやリブも同時に加工できる1mm以下の薄肉品量産技術。

(出典:日立金属のHP:<http://www.hitachi-metals.co.jp/>)