

Mg 鋳物の技術および市場動向

武林慶樹・小池 進

アルミ・銅事業本部・大安工場

Technical and Market Trends of Mg Casting

Yoshiki Takebayashi・Susumu Koike

Magnesium alloys have good specific strength, specific stiffness, machinability and damping capacities. Recent alloy developments have resulted in increased corrosion resistance, elongation and heat resistance. The use of magnesium alloy castings is especially increasing in the area of die-casting parts for automobile as casting technologies steadily are developed. This paper introduces these materials trends, casting technologies and the current markets.

まえがき = マグネシウムの比重は、鉄の 1/4, アルミニウムの 2/3 と実用金属中でもっとも小さく、環境問題およびエネルギー資源問題からくる軽量化に対してはその要求に応えられる材料としてみますます注目されている。材料価格は鉄, アルミニウム, マグネシウムで比較するとおよそ 1:3:6 となりマグネシウムは高価であるが、部品の統合・一体化による加工・組立の削減といった製造上の特性も活かして用途拡大が図られている。近年、とくに北米の自動車産業においては軽量化指向によりマグネシウムダイカストの需要が急激に増大しており、欧州もこれに追従する状況にある。ここでは、マグネシウムの特性、鋳造技術、市場動向について概要を紹介する。

1. マグネシウムの特性

1.1 物理的特性

純マグネシウムの物理的性質を、アルミニウム、鉄と比較して第 1 表に示す。代表的な金属材料の比強度（引張り強さ/比重）を第 1 図に、また梁構造における剛性（たわみ量）を等価に製品設計した場合にどれだけ軽量化できるかを示す指標として $E^{1/2}/\rho$ （ E : ヤング率, ρ : 比重）を第 2 図に示す。梁のたわみ量は荷重, 梁長さが一定であれば $E \cdot I$ （ I : 断面 2 次モーメント）に反比例し、同一断面形状で比較した場合 $I \propto W^2/\rho^2$ （ W : 重量）となるため、たわみ量を同一に設計した場合は $W \propto E^{1/2}/\rho$ の関係がえられる。これにより剛性設計を基本とした場合、マグネシウムは実用金属中でもっとも軽量化できることがわかる。

第 1 表 マグネシウムの物理的性質（アルミニウムと鉄の比較）

Table 1 Physical properties of Magnesium

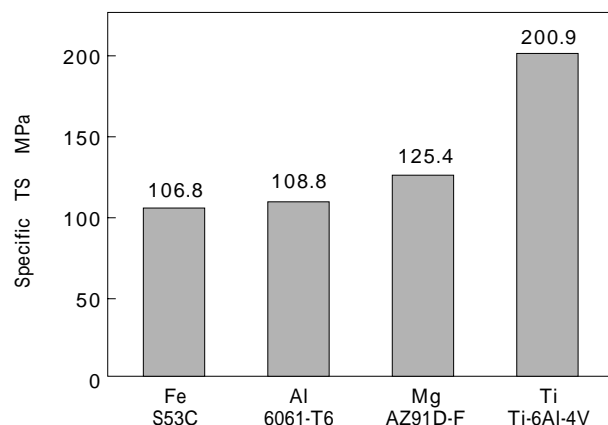
	Unit	Mg	Al	Fe
Density	g/cm ³	1.74	2.70	7.87
Melting Point		650	660	1 539
Latent Heat of Fusion	cal/g	89	95	65
Specific Heat	cal/g (20)	0.25	0.215	0.11
Crystal Structure		HCP	ECC	BCC
Young's Modulus	kg/mm ²	4 500	7 000	20 000
Linear Thermal Exponention	10 ⁻⁶ / (20 200)	27.0	24.0	12.3
Thermal Conductivity	cal/cm·sec·	0.38	0.53	0.18
Standard Electrode Potential	Volt	-2.37	-1.66	-0.44

1.2 切削性

マグネシウム合金は、切削に要する動力が軟鋼の約 1/5, アルミニウムの約 1/2 と他の金属に比較していちじるしく小さく、被削性は良好であり高速かつ重切削が可能である¹⁾。なお、マグネシウムは活性な金属であり切削時の火災予防として適切な対策が必要であるが、近年安全な水溶性切削剤も開発されている。

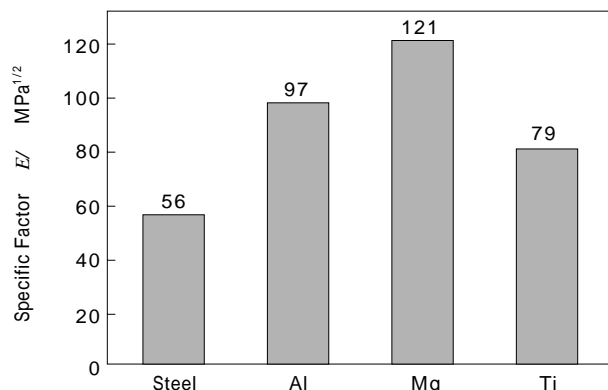
1.3 振動減衰特性

第 3 図に他の金属と比較してマグネシウム合金の振動減衰能を示す。純マグネシウムに近い MI 合金, KIA 合金は減衰能は高いが鋳造性に問題があり、実用的には



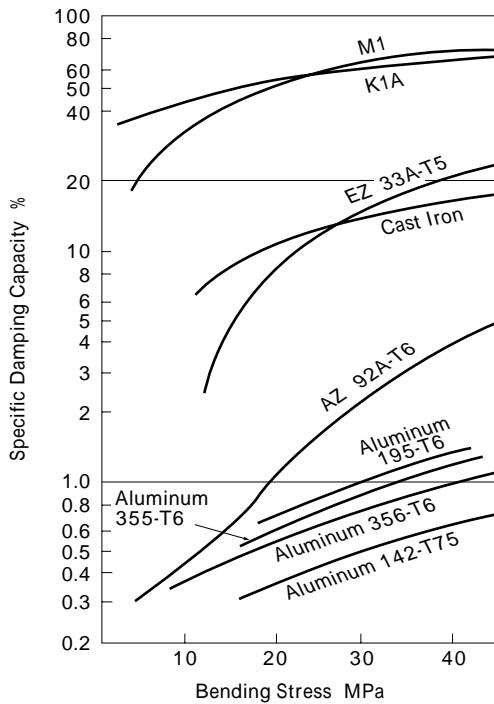
第 1 図 各種合金の比強度

Fig. 1 Specific tensile strength of various materials



第 2 図 各種合金の軽量化指標

Fig. 2 Stiffness factor of various materials



第3図 砂型鋳物の振動減衰能の比較
Fig. 3 Comparison of damping capacity of various sand casting alloys

強度の点からも EZ33A 合金がもちられる。砂型鋳物で振動試験装置用ベースやヘリコプター部品などに適用されている。

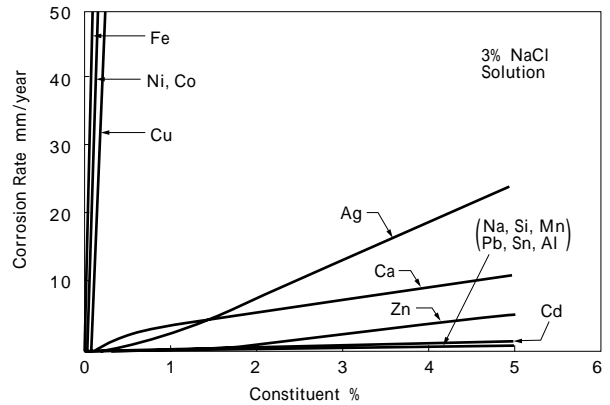
2. 鋳造用マグネシウム合金の動向

鋳造用合金としては Mg-Al (Zn) 系, Mg-Zr-(RE) 系合金が代表的であり, 化学組成を第2表に示す。

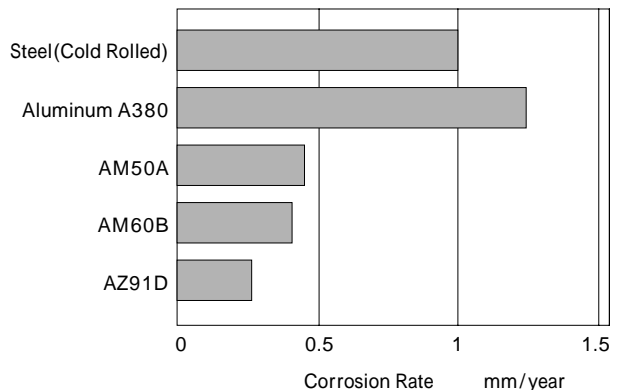
2.1 高耐食性合金

マグネシウムは一般的に塩素イオン 酸性 塩類の存在する雰囲気では腐食し易いが, 大部分のアルカリおよび有機化合物に対しては耐食性は優れている。耐食性を劣化させる原因としてはマグネシウム合金中の不純物があれば, 不適切な溶解工程によるフラックス成分(塩素)の混入や Fe, Ni, Cu などの不純物は化合物による局部電池作用により腐食をいちじるしく促進させる。塩水中のマグネシウムの腐食に及ぼす合金元素の影響を第4図に示す²⁾。Fe については 0.0014% 以下にすれば腐食はいちじるしく抑えられるとされており, また Mn は Al-Fe 化合物と化合してその陰極性を低減し耐食性を改善する効果がある。したがって, Mg-Al 系合金では不純物量のみならず Fe/Mn 比の管理も重要となる。

近年, 精錬技術の進歩によりこれら不純物元素を低減した高純度 Mg 合金として AZ91D や AM60B などが実用されており, 耐食性は鋼やアルミニウム合金と同等以



第4図 マグネシウムの腐食に及ぼす合金元素の影響
Fig. 4 Corrosion rate of magnesium binary alloys determined by alternate immersion



第5図 塩水噴霧試験における腐食速度 (ASTM B-17 100h)
Fig. 5 Corrosion rate by salt spray corrosion test (ASTM B-17 100h)

上のレベルにある。第5図にこれらダイカスト材の塩水噴霧試験における腐食速度を比較材とともに示す³⁾。

2.2 耐熱合金

従来, 砂型鋳物用耐熱合金としては ZE41A, QE22A が主流であるが, さらに耐熱性を向上させた WE 合金 (WE43: Mg-4Y-2Nd) が開発され, ヘリコプター用ギヤケースや F1 レース用エンジン部品などに採用されている。ダイカスト用の耐熱合金としては 4%Al と 2%RE を添加した AE42 が開発されており, 鋳造性は AS41 よりわずかに劣るが, 第6図に示すように AZ91D と比較していちじるしく高温クリープ特性が向上している⁴⁾。

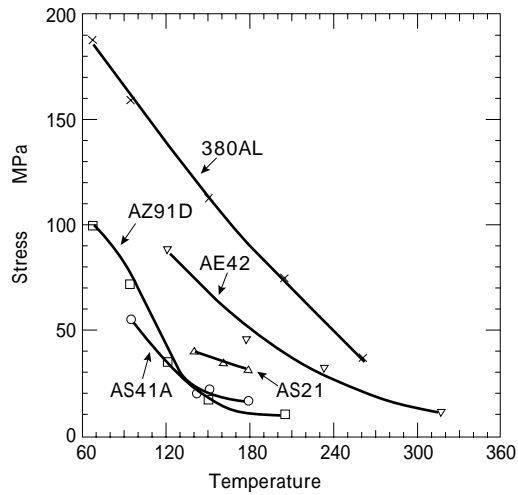
2.3 高延性合金

Mg - Al 系合金においては Al 添加量の減少とともに伸び, 衝撃値は向上するが, その反面融点の上昇, 凝固温度範囲の減少により鋳造時の溶湯流動性はいちじるしく悪化する。したがって, 高延性合金としてはダイカスト用に AM60, AM50 があり, 衝撃吸収性の要求されるインストルメントパネル, ステアリングホイール, シートフレイ

第2表 鋳造用マグネシウム合金の化学組成

Table 2 Chemical composition of magnesium casting alloys

ASTM	JIS Spec.	Chemical Composition mass %										
		Al	Zn	Mn	RE	Zr	Si	Cu	Ni	Fe	Ag	
AZ91D	MD1D	8.3 9.7	0.35 1.0	0.15			0.10	0.030	0.002	0.005		
AM60B	MD2B	5.5 6.5	0.22	0.25			0.10	0.010	0.002	0.005		
AS41A	MD3A	3.5 5.0	0.12	0.20 0.5			0.50 0.15	0.06	0.03			
AZ63A	MC1	5.3 6.7	2.5 3.5	0.15 0.35			0.30	0.25	0.01			
AZ91C	MC2A	8.1 9.3	0.40 1.0	0.13 0.35			0.30	0.10	0.01			
AZ91E	MC2B	8.1 9.3	0.40 1.0	0.17 0.35			0.20	0.015	0.001	0.005		
AM100A	MC5	9.3 10.7	0.3	0.10 0.35			0.30	0.10	0.01			
ZK51A	MC6		3.6 5.5			0.5 1.0		0.10	0.01			
EZ33A	MC8		2.0 3.1		2.5 4.0	0.5 1.0		0.10	0.01			
QE22A	MC9				1.8 2.5	0.4 1.0		0.10	0.01		2.0 3.0	
ZE41A	MC10		3.5 5.0	0.15	0.75 1.75	0.4 1.0		0.10	0.01			



第6図 ダイカスト用耐熱合金の0.1%クリープ応力(100h)
Fig. 6 Stress for 0.1% creep in 100h of die-casting alloys

ムなどに使用されている。第3表にこれらの機械的特性を示す³⁾。

3. 鑄造技術動向

3.1 溶解・溶湯処理

ダイカストの場合は、溶湯が金型により急速冷却されて結晶粒が微細になるため微細化処理はおこなわないが、砂型・金型鑄物においては結晶微細化処理をおこなう。Mg-AK(Zn)系合金に対する結晶微細化方法は、従来は加熱処理(900 に加熱保持後急冷)がおこなわれていたが、鋼製ルツボからのFe不純物が増加する問題があり現在は炭素を含む気体(CH₄など)や固体(CaC₂など)を添加する方法が主におこなわれている。

またAZ91DやAM60Bなどの高純度合金は耐食性に悪影響を及ぼす塩素分の混入を避けるため、フラックスレス溶解が主流となっている。

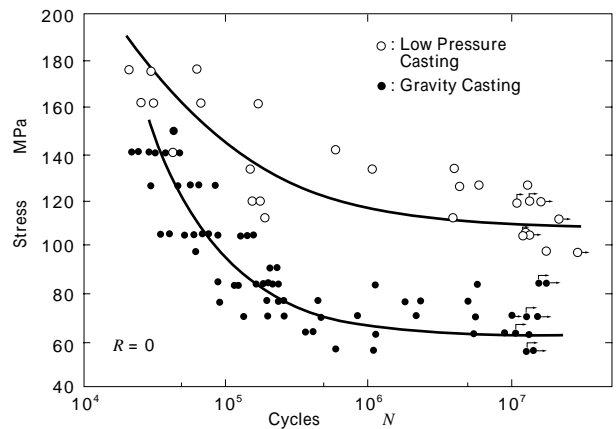
3.2 砂型・金型鑄造法

鑄造方法として重力鑄造法と低圧鑄造法があるが、前者は酸化物を混入しやすい欠点がある。これは溶湯が湯口系を落下するときに酸化物が発生しやすく、湯口底に酸化物除去用のフィルターを使用するが完全な除去は難しいためである。いっぽう低圧鑄造では、溶湯は下から上に押し上げて注湯し湯道や製品形状に応じてコンピュータにより鑄込み速度を制御するため、酸化物欠陥の少ない高品質な鑄物がえられる。第7図に低圧鑄造法によるヘリコプタ用ミッションケースから採取した試験片の疲れ強さを示す⁵⁾。重力鑄造品と比較して疲れ強さは1.7倍向上している。

また低圧鑄造において酸化物を低減させる方法が開発されている⁶⁾。この方法の特徴は溶解炉、保持炉、鑄造機を加熱した給湯パイプで連結し、湯面レベルをつねに金型湯口部直下に保持することにより鑄造時の給湯距離を短縮し、溶湯の上昇/下降にともなう酸化物の発生を抑えるとともに保持炉への移湯が自動的におこなわれる。この方法でAM60合金製自動車用ホイールが生産されている。薄肉砂型鑄物の鑄造法としては減圧鑄造法が開発されている⁷⁾。この方法は砂型をチャンバで密閉し内

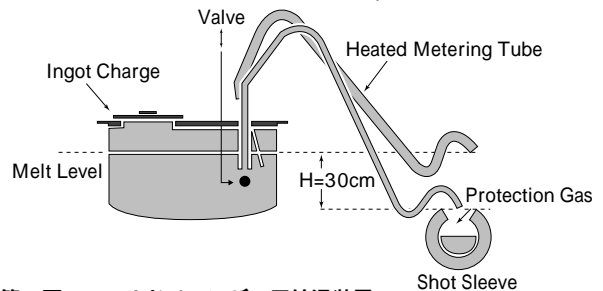
第3表 マグネシウム合金ダイカスト材の代表的な機械的性質(別取試験片)
Table 3 Typical mechanical properties of Mg alloy die castings (Separately cast bars)

Property	Unit	AZ91	AM20	AM50	AM60
Yield Strength	MPa	160	90	125	130
Tensile Strength	MPa	250	210	230	240
Elongation	%	7	20	15	13
Brinell Hardness	HB	70	45	60	65
Impact Strength	J	1.5	5.2	3.3	3
Fatigue Strength	MPa	50~70			



第7図 QE22A合金製トランスミッションケース鑄物から採取した試験片の疲れ強度

Fig. 7 Fatigue strength of test piece cut from helicopter transmission case of QE22A alloy



第8図 コールドチャンバー用給湯装置

Fig. 8 Molten metal metering equipment for cold chamber

部の減圧速度を制御することにより鑄造するもので、肉厚2~4mmの高品質な鑄物がえられている。

3.3 ダイカスト法

ダイカスト法は生産性、寸法精度、薄肉・複雑形状化、鑄肌の面粗度に優れる特徴があり、鑄造機としてはコールドチャンバ型とホットチャンバ型がある。

3.3.1 コールドチャンバ法

鑄造圧力は40~80MPaと高く大物製品の鑄造に適しており、自動車用インストルメントパネルに対しては型締力3000tの大型機が使用されている。製品の薄肉化に対応して、射出機構部の高速化(8m/s)・高容量化、射出速度モニタと閉ループ制御による安定化などが開発されている⁸⁾。鑄造機への給湯方法は種々開発されており、第8図に示すサイホン方式は構造が単純で安価な方法である。さらに給湯量精度を改善したガス加圧ポンプ方式や電磁ポンプ方式も開発されている。

3.3.2 ホットチャンバ法

鑄造圧力は40MPa以下と低いが、保持炉から直接溶湯が射出されるため湯廻り性が良好であり、コールドチャンバ法よりも薄肉化・生産性において優れている。設備的には射出の高速化、湯口部の誘導加熱制御化、射出ピストンの寿命向上などが図られており⁹⁾、型締め力として

は最大 700t の鋳造機が製造されている。ステアリングホイール、キーロックハウジングなどの小物製品に多く使用されている。

3.4 チクソモーディング法¹⁰⁾

本法はマグネシウム合金を機械加工によりチップ化した原料を使用し、第 9 図に示すようにプラスチックの射出成形技術を応用した工法である。シリンダ内でチップを加熱しスクリューによりせん断力を与えて半熔融状態で射出するもので、射出力は 80 ~ 120 MPa、射出速度は 1.5 ~ 3m/s とコールドチャンバ並の機能を有している。溶解炉が不要であり、30% 以下のかかなり低い固相率でも鋳造ができる点が特徴である。品質的にはホットチャンバ法と比較して引け巣を低減する効果があり、肉厚 0.7mm のミニディスクや携帯パソコンのケースが量産されている。すでに 850t 機までシリーズ化されており、1 600t 機の開発も進められている。

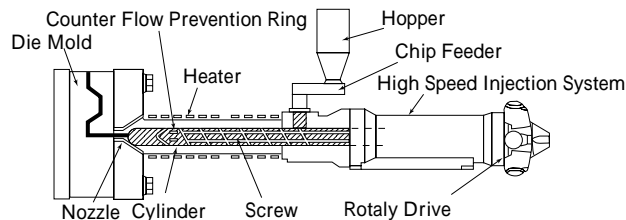
4. 自動車分野における市場動向

第 10 図に世界の地域別のダイカスト用地金の需要予測を示す。北米ではここ数年、年率 18% の伸びを示し、今後も 8% 程度の伸びが見込まれている。欧州においても 1997 年以降では約 30% の伸びが予想されている。主な製品としてはステアリングコラム、ステアリングホイール、トランスファケース、シリンダヘッドカバー、ブレーキペダルブラケット、シートフレーム、インストルメントパネルがあり、北米では 1995 年モデルで新たに 31 部品が採用された。とくに衝撃吸収性に優れた AM 系合金をもちいたステアリング部品、シート部品などが増加しており、AM 系の使用重量比率は約 40% に達している。

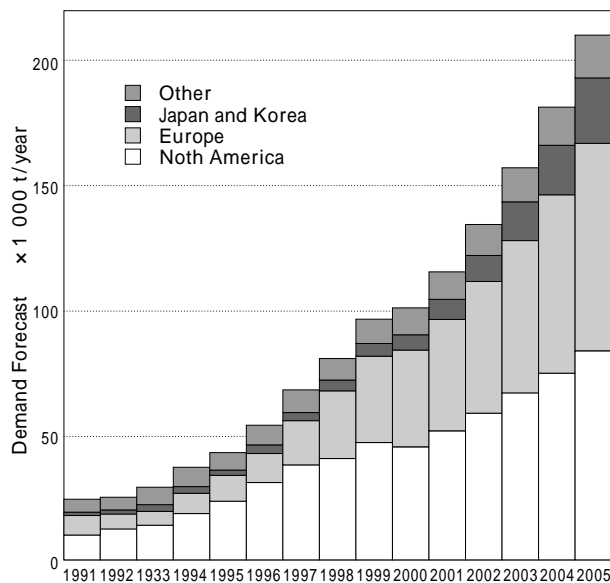
また、インストルメントパネルは一体化鋳造することにより軽量化、部品点数の削減、組み立てコストの低減および安全性の確保が図られたといわれている。写真 1 に GM 社が採用したインストルメントパネルを示す。本製品は AM60B 合金で 3 000t のコールドチャンバ機で生産されている。

いっぽう国内のダイカスト生産は自動車以外の分野も含め 1996 年 2 100t と前年比で 50% 増加しており、自動車のステアリングホイール、キーロックハウジングなどの小物部品が中心であるが、これらの採用が増大した影響と思われる。また、シリンダヘッドカバーなどの比較的大物製品はほとんどが輸入されている。自動車向け市場は、ダイカスト需要の約 70% としても、北米市場と比較すると 1/10 以下の規模でありまだまだ小さい。今後はシートフレームなどの新たな大物製品の採用により、市場は徐々に拡大していくものと予想される。

むすび= 海外では種々の自動車部品にマグネシウムダイカストを採用しており、今後さらに増加傾向にある。国内においても環境問題、資源問題から軽量化材料としてのマグネシウムへの期待は高まっており、今後の採用拡大に向けて材料価格、製造コストを如何に低減するかが重



第 9 図 チクソモーディング用射出成形機の構造
Fig. 9 Injection system of thixomolding process



第 10 図 自動車用マグネシウムダイカスト需要予測
(資料: ハイドロマグネシウム社)

Fig. 10 Demand forecast of magnesium die casting for automobiles (Source: Hydro Magnesium Analysis)



写真 1 Chevrolet Astro 用インストルメントパネル
(板厚 3.5mm, 全長 1 550mm)

Photo.1 Instrument pannel for Chevrolet Astro

要である。またインストルメントパネルなどの大型製品に対しては車体構造の大幅な変更が必要であり、当社としてもプロトタイプの評価技術確立とともに鋳造サイドからの設計支援もおこなっていきたい。

参考文献

- 1) 軽金属協会: マグネシウム製品設計 (1988), p.57.
- 2) Metals Handbook, 9 版, Vol.2, p.597.
- 3) Hydro Magnesium Data Sheet.
- 4) J. S. Waltrip: Proc. IMA Conference (1990), p.124.
- 5) 広瀬喜興ほか: R&D 神戸製鋼技報, Vol.36, No.4 (1986), p.85.
- 6) H. Westengen: Proc. IBF Conference (1989).
- 7) J. F. King: Proc. IMA Conference.
- 8) J. Berkmortel et al: Proc. IMA Conference (1991), p.1.
- 9) R. Fink: Proc. IMA Conference (1993), p.8.
- 10) 斎藤研ほか: 日本マグネシウム協会 1996, マグネシウムマニュアル, p.87.