

マグネシウム合金の成形加工プロセスに関する調査報告

金森 陽一*, 河合 真*

Survey Report on Forming Process of Magnesium Alloys

by Yoichi KANAMORI and Makoto KAWAI

〔要旨〕

最近，実用金属材料の中で最も軽量であるマグネシウムは，環境問題に対する意識の高まりにより大きな注目を集めている．本稿では，マグネシウム合金の特徴，ダイカスト法をはじめとしたマグネシウム合金の主な成形加工プロセスの現状と課題そしてマグネシウム合金のこれからの研究課題について調査した結果を報告する．

1. はじめに^{1)~5)}

マグネシウムは，実用合金の中で最も軽量であることに加え，電磁シールド性，放熱特性，比強度，比剛性，美観触感性に優れていることから，プラスチックの代替材として AV 機器やノートパソコンなどの電子機器の筐体などへの利用が急増している．表 1-1 にマグネシウム合金を採用した電子機器の例を示す．また，自動車の分野においても軽量化による燃費向上を目的に，鉄やアルミニウム部品からマグネシウム部品への転換が進んでいる．さらに，最近では延性の大きなマ

グネシウム合金をエアバックなどの安全関係の部品へ採用しようという動きも増えてきている．表 1-2 にマグネシウム合金の自動車部品への応用例を示す．

マグネシウム合金は塑性加工が困難であるため，鋳造法，特に大量生産の場合ダイカストにより製造されている．本稿では，マグネシウム合金の特徴，マグネシウム合金のダイカスト法を始めとした主な成形加工プロセスの現状と課題，そしてマグネシウム合金のこれからの課題について述べる．

| 年 | 製品 | 機種数 | |
|-------|-----------|------|--|
| ～1996 | ノートパソコン | 1機種 | |
| | MD | 1機種 | |
| | ビデオカメラ | 1機種 | |
| | ノートパソコン | 7機種 | |
| 1997年 | MD | 1機種 | |
| | ビデオカメラ | 2機種 | |
| 1998年 | ノートパソコン | 10機種 | |
| | MD | 1機種 | |
| | ビデオカメラ | 11機種 | |
| | 携帯電話 | 1機種 | |
| | 液晶プロジェクター | 3機種 | |
| | TV | 1機種 | |

表 1-2 マグネシウム合金の自動車部品への応用例

| Mg-Al-Mn系合金の部品例 | 大型部品例 |
|-----------------|----------------|
| ・ステアリングホイール芯金 | ニーボルスター・リテーナー |
| ・ステアリングコラム・サポー | ・インストルメント・パネル |
| トブラケット | ・シートアSEMBラー |
| ・ニーボルスター・リテーナー | ・クロスビーム・ダッシュボー |
| ・インストルメント・パネル | ドサポート |
| ・ベンチシート支柱 | ・カブリオ・ルーフシステム |
| ・シートアSEMBラー | ・サンルーフ・プレート |

2. Mg合金の種類とその性質^{1)~7)}

2.1 種類

マグネシウムは合金元素の添加によって機械的特性，鋳造性，耐食性などの改善や向上を図っている．表 2-1 に主要添加元素と添加効果を示す．

*金属センター研究グループ

マグネシウム合金はわかりやすさから ASTM の合金名が一般に使用されている。ASTM による分類では、マグネシウム合金を 5 文字で表現する。例えば、AZ91D であれば 1 文字目の A と 2 文字目の Z は主要添加元素の Al, Zn を示し、3 文字目と 4 文字目の数字はそれぞれ主要添加元素の重量パーセントを示している。また 5 文字目は開発された順番を示しており、D は 4 番目に開発されたことを示す。その他の含有元素の記号は Q : 銀, M : マンガン, S : シリコン, H : トリウム, K : ジルコニウム, E : 希土類元素, W : イットリウム, C : 銅となっている。

マグネシウム合金は成形法によって異なる合金が使用されている。以下に成形法別にマグネシウム合金を解説する。

表 2-1 主要添加元素と添加効果

| 添加元素 | 添加効果 |
|------|--|
| Al | 固溶体硬化および析出硬化により強度の改善、ただし、Al の量の増加により伸びおよび衝撃値は低下する。铸造性、耐食性の改善 |
| Mn | 耐食性の改善 |
| Zn | 铸造性、強度の改善 |
| Ag | 耐熱強度の改善 |
| Si | クリープ強度の改善 |
| Th | Zr との共存にて結晶粒の微細化による機械的性質の改善 |
| Zr | 結晶粒微細化 |
| RE | 機械的性質の改善 |
| Y | Zr との共存にて結晶粒の微細化により機械的性質の改善 |

2. 1. 1 ダイカスト用合金

ダイカスト用合金は成分によって分類すると Mg-Al-Zn (AZ 系), Mg-Al-Mn (AM 系), Mg-Al-Si (AS 系), Mg-Al-希土類 (AE 系) の 4 種類に分けられる。AZ 系は機械的特性、铸造性、耐食性が優れた最も多く使用されるマグネシウム合金である。AM 系は延性、衝撃特性を向上させた合金である。車の衝突時にエネルギーの吸収を必要とする部分などに使用される。この系の使用量は年々増えてきている。なお、後述するチクソモルディング法でもダイカスト合金を使用している。

2. 1. 2 铸造用合金

铸造用合金では、AZ 系、AM 系は安価であるためにその利用量も多い。Zr が入っている Mg-Zn-Zr (ZK 系), Mg-Zn-Zr-RE (ZE 系) などは Zr により結晶粒が微細化されており機械的特性に優れている。また、WE 系合金は 250 ~ 300 °C の高温で使用可能で、耐食性にも優れている。その他、常温強度と耐熱強度を兼ね備えた QE 系合金などもある。

2. 1. 3 展伸用合金

展伸用合金には、AZ 系の他に ZK 系、ZE 系、M1A 系と高温での機械的特性を良好にするためトリウムを添加した HK 系、HZ 系などがある。ZM21 は安価で、高速度押出成形が可能である。また、ZK60 は強度に優れているが高価である。

2. 2 安全性とその対策

一般的に熔融あるいは微粉末状態の金属を扱う場合は危険が伴う。特にマグネシウムにおいては、他の金属材料に比べ反応性が高いので注意が必要である。ここでは、マグネシウム合金において注意が必要と思われる酸素含有物質との反応、水との反応、粉じんの 3 点について述べる。表 2-2 にマグネシウムと酸素含有物質との代表的な反応を示す。

表 2-2 Mg と酸素含有物質との代表的な反応

| | |
|---------|---|
| 酸化反応 | $Mg + 1/2O_2 = MgO - 143.7 \text{ kcal/mol}$ MgO |
| 水との反応 | $Mg + H_2O = MgO + H_2 - 75 \text{ kcal/mol}$ MgO $Mg + 2H_2O = Mg(OH)_2 + H_2 - 82 \text{ kcal/mol}$ Mg |
| テルミット反応 | $4Mg + Fe_3O_4 = 4MgO + 3Fe - 77 \text{ kcal/mol}$ MgO $Mg + FeO = MgO + Fe - 80.5 \text{ kcal/mol}$ MgO |
| シリカとの反応 | $2Mg + SiO_2 = 2MgO + Si - 69.8 \text{ kcal/mol}$ SiO ₂ |

2. 2. 1 酸素含有物質との反応

熔融マグネシウムは酸素含有物質と反応し熱を発生する。その際、水素ガスの発生を伴う。従って、熔融マグネシウムと酸素含有物質との接触を避けなければならない。溶解では、マグネシウムは空気とも反応するため、必ず防燃ガス等により防燃対策を十分にする必要がある。

2.2.2 水との反応

燃焼しているマグネシウム合金に水が接触すると激的な爆発反応を生じる。少量の燃焼でも、水に触れると燃焼が激しく広がるので、注意が必要である。

2.2.3 粉じん

グラインダー、パフ研磨で発生する微粉末状のマグネシウムは、反応性が高く粉じん爆発の危険があるため、集塵対策は十分に行う必要がある。一般に、発火を防止するためには湿式集じん機が使用される。しかし、Mg 粉じんは水と反応しては水素ガスを発生し、集じん機内に水素ガスが貯まる恐れがある。従って、集じん機内のガスの排気を十分にすることが必要である。

3. 成形加工プロセスの現状と課題

3.1 ダイカスト法 ^{1), 8) - 12)}

現在、日本におけるマグネシウム合金の大部分がダイカスト法により生産されている。ダイカスト法による主な製品には、自動車部品（ホイールやステアリングホイールの芯、シートフレーム、エンジンブロック、トランスミッションケース、クランクケースなど）、コンピュータ、携帯電話、各種ハウジング、カバー類、ブラケット、チェーンソー、スポーツ用品、ハンドル工具などがある。

マグネシウム合金のダイカスト法はコールドチャンバーとホットチャンバーに大別される。コールドチャンバーは、ダイカスト機に隣接して設置された溶湯保持炉から、給湯装置によって射出スリーブ内に溶湯を注入しダイカストする方法である。これに対しホットチャンバーは、装置内に溶解炉を持ち、射出シリンダーの圧力により押し出された溶湯を金型内に充填する方法である。図 3-1 にコールドチャンバー機、図 3-2 にホットチャンバー機の概略図を示す。現在、日本においてはホットチャンバーが主流であり、肉薄で小型の部品を大量生産している。これに対し、コールドチャンバーは大型の製品が生産可能である。

一般に、マグネシウムに限らず、ダイカスト品は各種鋳造法の中でも高い強度を示す。これはダイカスト法の工法からくる高圧下の急速急冷($10^2 \sim 10^3$ /sec)の結果、結晶粒が細くなることによる。表 3-2 に代表的なダイカスト用マグネシウム合金の機械的性質を示す⁵⁾。ダイカスト法における課題としては、さらなる薄肉化、6 フッ化硫黄 (SF_6) ガスに変わる新し

い防燃ガスあるいは防燃方法の開発がある。現在、0.8mm 程度の肉厚の部品が製造可能であるが、1mm 以下になると品質的に問題となる。今後は 0.8mm 以下の薄肉化と品質向上が求められる。防燃ガスとしては六フッ化硫黄 (SF_6) が主流である。しかし、 SF_6 ガスは地球温暖化の問題から今後使用禁止になる可能性がある。このため代替ガスの開発や難燃化対策が必要不可欠である。

表3-2 代表的なダイカスト用Mg合金の機械的性質

| | 引張強さ MPa | 02%耐力 MPa | 伸び % | 硬さ HB | 衝撃値 J |
|-------|-------------|--------------|---------|----------|----------|
| AZ91D | 240 | 160 | 3 | 70 | 6 |
| AM60B | 225 | 130 | 8 | 65 | 17 |
| AM50A | 210 | 125 | 10 | 60 | 18 |
| AM20 | 190 | 90 | 12 | 45 | 18 |
| AS41B | 215 | 140 | 6 | 60 | 4 |
| AS21 | 175 | 110 | 9 | 55 | 5 |
| AE42 | 230 | 145 | 10 | 60 | 5 |

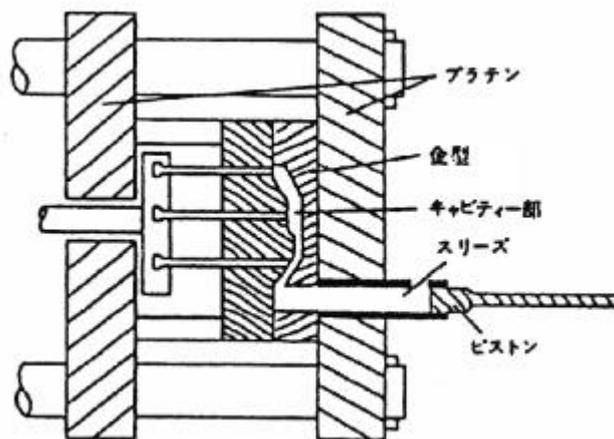


図 3-1 コールドチャンバー機の概略図

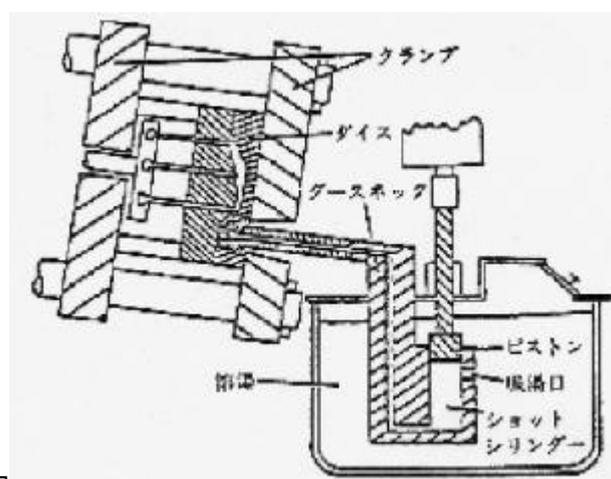


図 3-2 ホットチャンバー機の概略図

3.2 鋳造法 (ダイカストは除く) ^{13) - 16)}

ダイカスト法に比べると生産量は少ないが、複雑な

形状や肉厚変動の大きな付加価値のあるマグネシウム鋳物が製造できるので、航空機部品やレース用部品などの製造を行っている。

3.2.1 溶解

マグネシウム合金は、反応性が高いため熔融状態になると空気と反応し燃焼する。従って、溶解中は空気との接触をさげなければならない。そのためマグネシウム合金の溶解では、 SF_6 ガスなどの不活性ガスにより溶湯表面を保護する。

るつぼは、マグネシウム溶湯への鉄の溶解度が 700 で 0.005%から 0.02%と小さいことから、鋳鋼製またはボイラー用圧延鋼板や Ni を含まないステンレス鋼の溶接構造のものを使用する。黒鉛るつぼはフラックスがしみこんで割れやすく、また、鋳鉄製のるつぼは巣などの欠陥が多いことや、高温クリープが小さく寿命が短いことなどの理由により使用してはならない。

3.2.2 結晶粒の微細化

マグネシウム合金では砂型鋳造のように冷却速度が遅い場合、結晶粒が粗大化する。結晶粒の粗大化は機械的性質を低下させるだけでなく、耐食性も低下させる。このため、結晶粒の微細化処理が行われる。現在行われている処理には、過熱処理、炭素添加法、Zr 添加がある。

(1) 過熱処理法

過熱処理法は溶湯を 850 ~ 900 で 10 ~ 15 分保持後鋳込み温度まで急冷後、鋳造する方法である。過熱処理法で得られる平均粒径は 50 μm 程度である。この方法の微細化機構は、マグネシウム合金と同一の結晶構造を持つ Al-Mn、Al-Mn-Fe 化合物などに基づく異質核生成説が有力である。

(2) 炭素添加法

炭素を含む気体または固体などをマグネシウム合金溶湯に添加することにより、結晶粒を 50 μm 程度に微細化する方法である。現在、一般的に用いられている微細化材はヘキサクロロエタン (CCl_6) である。微細化機構は Al_4C_3 による異質核生成説が支持されている。

(3) Zr 添加法

Zr の異質核による結晶粒微細化である。Zr は Al と反応して化合物を形成するため、Al を含まないマグネシウム合金が対象となる。Zr で微細化すると粒径が丸く、比較的大きさのそろった結晶粒が得られる。Zr 添加法で得られる平均粒径は 30 μm 程度である。

3.2.3 鋳物砂及び鋳型

マグネシウム合金用の鋳物砂には天然砂または合成砂が用いられる。マグネシウム合金は比重が軽いので通気度の悪い砂を使用すると鋳型内に生じたガスの圧力のために鋳物欠陥を生じやすい。また、鋳込みの際に溶湯が酸化しやすく、特に鋳型より発生する水蒸気が溶湯と反応して酸化物を生じやすいので、砂は水分を少なくし、通気度を良くし、防燃材を混ぜることによって酸化を防止する。

3.2.4 鋳造方案

マグネシウム合金鋳物の品質は湯口系と押し湯系の鋳造方案が大きな影響を持っている。湯口系は鋳物へのドロスの混入、押し湯系は引け欠陥の発生に影響する。湯口系では、湯口での溶湯の乱れを抑制することによりドロスの生成を防ぎ、万が一発生しても鋳型内に流入する前に分離することが重要である。押し湯系では、マグネシウムの溶湯は凝固範囲が広く、熱容量が小さく、また比重が小さいため押し湯効果が小さいので、十分注意する必要がある。

3.3 チクソモーディング法^{(17)~(20)}

チクソモーディング法はマグネシウム合金における射出成形法である。この方法は、ダウ・ケミカル社、バツテル研究所の共同研究により開発された成形方法である。日本では、日本製鋼所がダウケミカル社より技術導入をして成形機および製品製造を行っている。図 3-3 にチクソモーディング装置の概略図を示す。マグネシウム合金のチップをシリンダー内で半熔融状態まで加熱し、スクリュウで攪拌してスラリー状としてノズルから射出成形するものである。この成形法では SF_6 ガスのような防燃ガスが不必要なため、地球環境に優しいプロセスである。

チクソモーディング法で成形された製品の材質は、未熔融の相の割合、すなわち固相率に依存する。固相率は成形温度により決まるため、チクソモーディング法では、製品の品質を向上させるため成形温度の管理が重要となる。

チクソモーディングにより実用化されている製品のほとんどが家電製品である。特にダイカストでは得られない 0.6mm ~ 0.8mm の肉厚の製品の製造が可能である。

この方法の現在課題としてはコストが高いことがあ

げられる．原材料ではインゴットをチップ状に加工するため 1kg あたり 100 円程度の加工費が必要となる．装置の費用を含めた製造コスト低減が求められている．

3.4 その他

3.4.1 展伸材の加工²¹⁾²²⁾

マグネシウム合金は hcp 構造であるため，アルミニウムに比べ圧延や押し出し加工をするのは非常に困難である．経済的な問題から，1988 年以降，展伸材の国内での製造はほとんど行われていない．現在では海外からの製品輸入によって国内需要を賄っている．圧延材の製品としては，厚板では航空機などの素材，金型用，門礼などの食刻板があり，薄板では印刷用板，海水電池や大気観測用ゾンドの電極版などがある．押し出し材の加工例としては，旅行鞆のフレーム，ハードディスクのリーダーアーム，放熱用ヒートシンク，テニスラケット，洋弓ハンドル，塗料発射ガン，荷物運搬用の手押し車などがある．

3.4.2 切削加工^{23) - 25)}

マグネシウム合金の被削性は良好である．また，熱伝導率も良いので工具寿命も長い．従って，マグネシウム合金の切削加工は比較的容易である．しかしながら，切削くずは発火の危険が高いため，その取り扱いには十分注意する必要がある．

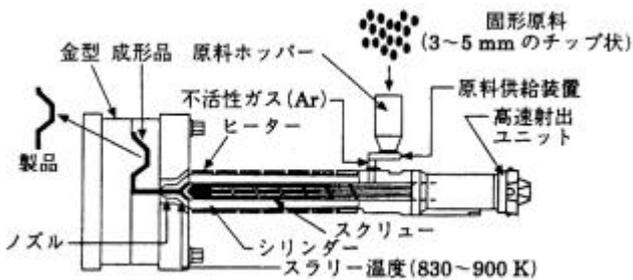


図 3-3 チクソモールディング装置の概略図

4 研究開発課題

4.1 各種成形法における研究課題

4.1.1 ダイカスト法の研究課題

コールドチャンバーダイカストにおける自動給湯装置の開発

コールドチャンバーダイカストでは，正確な量の溶湯をショットスリーブ内に迅速に供給することが求められる．マグネシウムダイカストにおけるコスト低減

の一つはショット数をいかに稼ぐかである．したがって製品に適した臨界ショット数を満たす正確な定量移送ができる自動給湯装置が必要となる．

4.1.2 チクソモールディング法を含めた半溶融加工の研究課題

半溶融加工の実用化^{26) - 28)}

半溶融加工法とは，加熱して固液共存状態にしたものを，加圧して鋳型に鋳造する方法である．マグネシウム合金においては，酸化や燃焼の問題が顕著に低減できる利点がある．チクソモールディング法は半溶融加工の実用例の一つである．半溶融加工の実用化において問題となるのは，コスト高のほか高固相率（低温）での品質低下が挙げられる．高固相率での成形では，防燃や引け巣などの不良低減には効果があるが，湯流れが悪くなり湯流れ不良が多く発生する．

4.1.3 鋳造法の研究課題

安全かつ環境負荷の少ない結晶粒微細化処理法の開発

現在行われている処理には，炭素添加，過熱処理，Zr 添加がある．炭素添加は作業環境の悪化，過熱処理は安全性，Zr 添加は Al が含まれているマグネシウム合金では微細化しないなどの問題がある．以上のことから，Al を含有するマグネシウム合金についての新しい処理法の開発を行う必要がある．現在，金属センターでは安全かつ環境に優しい微細化処理法として Ti 添加や凝固中の振動付加による微細化処理についての研究を行っている．

4.2 SF₆ガスに変わる防燃方法の開発

ダイカストや鋳造法では，防燃用として SF₆ ガスが用いられている．SF₆ ガスは無色無臭で，そのままでは人体に無害と言われている．しかし，最近 SF₆ ガスには CO₂ の約 25,000 倍の地球温暖化効果があることが指摘され，近い将来その使用が禁止される可能性もある．このため，マグネシウム合金の SF₆ ガスに変わる防燃方法の開発は必要不可欠である．SF₆ ガス使用禁止後の防燃方法として以下のような研究課題が期待されている．

燃えにくいマグネシウム合金の開発：Ca 添加によるマグネシウム合金の難燃化²⁹⁾

SO₂ガスの再利用：SO₂ガスはSF₆ガス以前に防燃ガスとして使用されていた．SO₂ガスは人体に有害であるので，人体に無害な保護雰囲気装置の開発が求められている．

防燃を必要としない成形プロセスの開発：超塑性，
圧延，押出し，半熔融加工など

4.3 リサイクルに関する研究課題

4.3.1 リサイクル性の評価

現在，マグネシウム合金のリサイクルでは，清浄な製品については，ほぼリサイクル可能となっている³⁰⁾．しかし，他金属などの不純物，合金元素の分離，表面処理皮膜，切削くず処理の面から見ると問題も多い．現在使用されているマグネシウム合金のリサイクル性について十分調査し，今後増えることが予想されるマグネシウム合金のリサイクル方法について検討する必要がある．

4.3.2 他金属などの不純物(水，油，砂を含む)

マグネシウム合金において不純物元素の混入は，耐食性を低下させる．従って，他金属の混入をできるだけ少なくするとともに，その不純物が及ぼす影響を正確に把握する必要がある．また，水や油や砂などは，安全面などからリサイクル時に前処理が必要となるので，できるだけこれらの付着を避けなければならない．

4.3.3 合金元素

現在，使用又は開発されているマグネシウム合金は，機能重視でリサイクル性に関しての検討はあまりされていないのが現状である．特に添加元素の量も増える傾向にある．今後，マグネシウム合金のスクラップの増加が予想されるため，リサイクル性を重視した材料の使用が重要である．現在使用しているマグネシウム合金の添加元素の分離，あるいは再利用性について評価する必要がある．

4.3.4 リサイクルしやすい表面処理

マグネシウム合金では耐食性と美観の向上を目的に表面処理が行われる．現在行われている表面処理は90%がノンクロム系の化成処理である³¹⁾．この処理方法は，製造時の環境負荷が少ない．しかし，表面処理材のリサイクルにおいては，表面皮膜のはく離処理が必要となる．リサイクルしやすい表面皮膜の開発は今後の重要な課題である．

4.3.5 切り屑のリサイクル

切り屑はマグネシウム合金のリサイクルを考える際，最も困難なものの一つである．その理由として，

切り屑の取扱いの難しさが挙げられる．マグネシウム合金の切り屑は発火や爆発の危険があり，形状によっては危険物にも指定されている．

マグネシウム合金の切り屑は，水分や他金属の混入がなければ，基本的にはリサイクル可能である．しかしながら，他の金属に比べ，切り屑の有効利用は遅れているのが現状である．

これは，切り屑をそのまま再溶解すると燃焼しやすいためである．現在のところ，半熔融状態での投入やブリケット化などが検討されている³²⁾．

一方，清浄でない切り屑は現在のところ安全面を考慮してリサイクルされずに化学処理後に廃棄されている．今後は，切削加工時における水分や他金属の混入を防止し，リサイクル困難な切り屑の排出低減を図るとともに，リサイクル方法についても検討する必要がある．

4.4 機能性マグネシウム合金の開発

これまでに紹介した特性以外にもマグネシウム合金には耐くぼみ性，振動吸収性，耐アルカリ性，水素吸蔵性など優れた特性が多くある．これらの特性を活かした新しい軽量機能材料の開発は，今後のマグネシウム合金の発展に必要不可欠である．

5.まとめ

省エネや地球保全が叫ばれる中，マグネシウム合金はその軽さから注目を集めている．しかし，マグネシウムは新素材ではなく，長い歴史を持つ材料である．これまでマグネシウムは，成形しにくい，燃えやすい，腐食しやすい，コストが高いという印象から，同じ軽金属材料であるアルミニウムに比べ，その利用量が極端に少なかった．この4つのマグネシウムに対するマイナスイメージのうち3つは成形法に関することである．本稿では，マグネシウム合金の成形法に注目し，その現状及び課題についてまとめた．今後これらの課題が解決し，また，他の材料にないマグネシウム特有の性質をさらにアピールしていけば，マグネシウムの需要はより拡大すると考えられる．

参考文献

- 1) 鎌土，小島：日本金属学会会報．38(1999) 285～297
- 2) 渡辺：(社)機械技術協会．機械技術協会講演会テキスト．P1～10
- 3) 日経メカニカル：522(1998)46～53

- 4)伊藤：軽金属学会 .第 56 回シンポジウムテキスト .
P1 ~ 8
- 5)河本：日本マグネシウム協会 . マグネシウムマニ
ュアル 97 . P1 ~ 19
- 6)日本マグネシウム協会：マグネシウムの取扱いと安
全手引き
- 7)日本マグネシウム協会：マグネシウム取扱い安全講
習会テキスト
- 8)野坂：(社)機械技術協会 . 機械技術協会講演会テ
キスト . P25 ~ 34
- 9)佐藤：素形材 38(1997)13 ~ 24
- 10)官治：日本マグネシウム協会 . マグネシウムマニ
ュアル 97 . P35 ~ 49
- 11)諸住：マグネシウム読本
- 12)鷹城：軽金属 42(1992) 687 ~ 698
- 13)小池：JACT NEWS 1996 . 15472
- 14)斉藤：現場技術者のためのマグネシウム技術入門
- 15)木南：日本マグネシウム協会 . マグネシウムマニ
ュアル 97 . P21 ~ 33
- 16)佐藤：鑄造工学 . 68(1996)1084 ~ 1093
- 17)斉藤：日本金属学会会報 . 38(1999) 321 ~ 324
- 18)木村：日本マグネシウム協会 . マグネシウムマニ
ュアル 97 . P83 ~ 94
- 19)附田，斉藤：鑄物 . 67(1995)963 ~ 942
- 20)附田，武谷，斉藤：軽金属 47(1997) 298 ~ 305
- 21)清水：(社)機械技術協会 . 機械技術協会講演会テ
キスト . P58 ~ 66
- 22)日本機械工業連合会，軽金属協会：平成 7 年度 .
マグネシウム展伸材の製造技術の高度化に関する
調査報告書
- 23)加藤：日本マグネシウム協会 . マグネシウムマニ
ュアル 97 . P95 ~ 141
- 24)嵯峨：軽金属 42(1992) 699 ~ 706
- 25)Robert S.Busk.：マグネシウム製品設計 . P53 ~ 71
- 26)素形材センター：半溶融凝固法によるマグネシウ
ム合金鑄造品の製造技術(1) ~ (3)
- 27)三輪：日本金属学会会報 . 37(1998)89 ~ 92
- 28)鎌土，小島：日本金属学会会報 . 33(1994)1149 ~
1158
- 29)秋山：鑄物 69(1997) 227 ~ 233
- 30)永井：(社)機械技術協会 . 機械技術協会講演会テ
キスト . P43 ~ 49
- 31)秋本：軽金属学会 .第 56 回シンポジウムテキスト .
P27 ~ 35
- 32)永井：軽金属学会 .第 51 回シンポジウムテキスト .
P64