# マグネシウム溶解における
# SF6ガス使用削減対策について

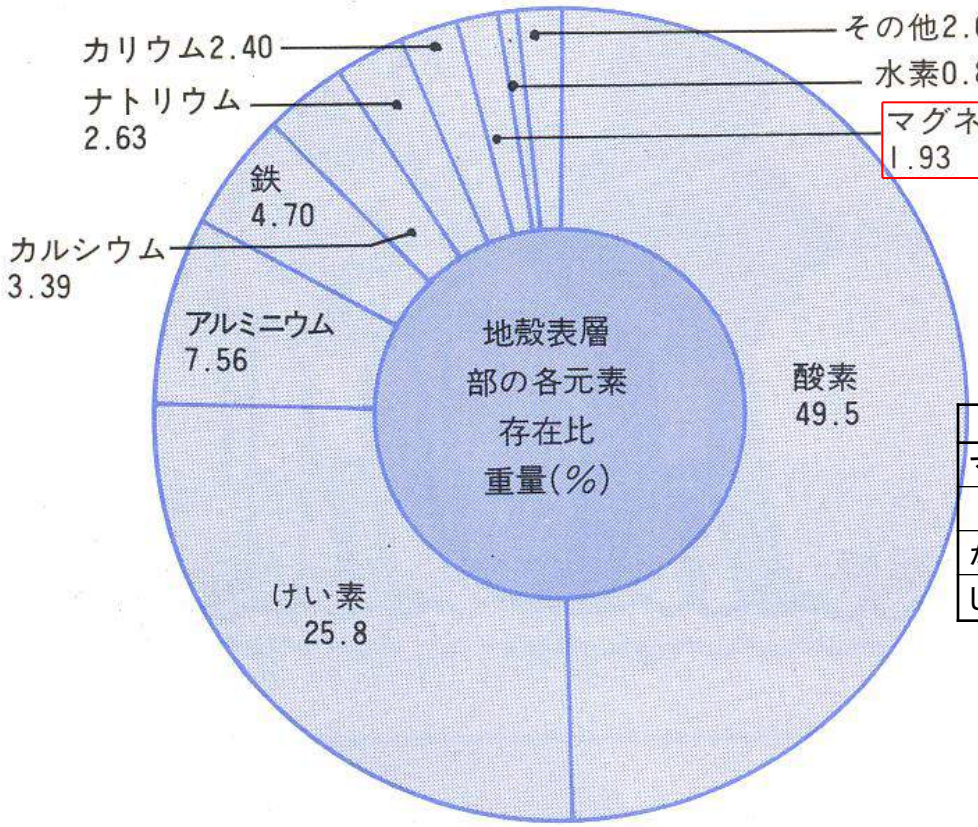
平成22年7月29日

一般社団法人日本マグネシウム協会
（JMA）

# 目次

- マグネシウムとはーマグネシウムの特長
- なぜマグネシウム？
- マグネシウムの使用状況
- SF6ガスの使用と削減の取組
- 海外の状況
- SF6ガス削減の課題と対策

# 地殻構成図（クラーク数＊）



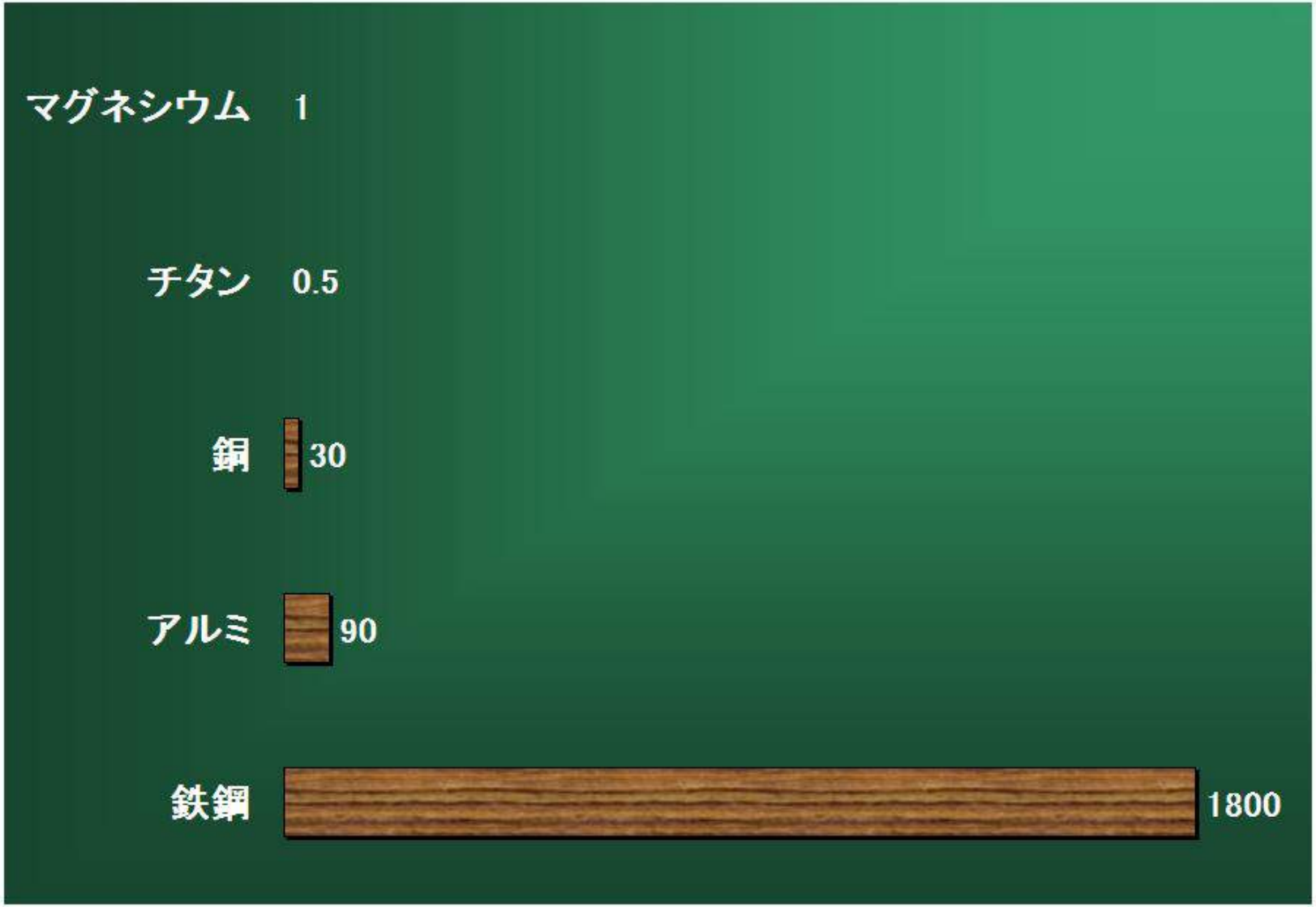

## マグネシウム含有鉱物

| 名　称 | 組　成 | Mg　% |
|---|---|---|
| マグネサイト | $MgCO_3$ | 28 |
| ドロマイト | $MgCO_3CaCO_3$ | 13 |
| かんらん（橄欖）岩 | $(MgFe)SiO_4$ | 28 |
| じゃもん（蛇紋）岩 | $3MgO-2SiO_2-2H_2O$ | 26 |

＊地球の表面から16kmまでの岩石圏，海洋，大気圏を含め，地球表層部の各元素の存在度を重量百分率で示した数値

海水中に1,820兆トン含有（海水成分の0.13%）

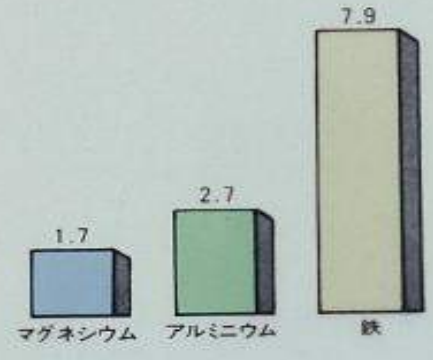
# 日本における金属材料需要量比較



# マグネシウムの特性

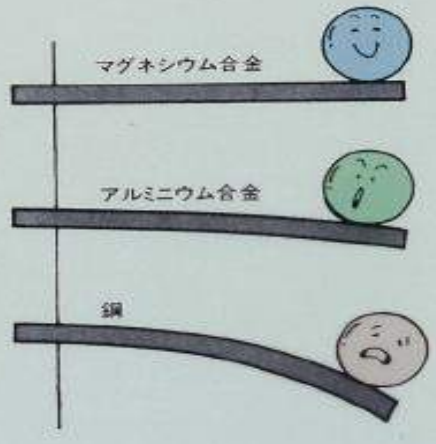
## 実用金属中もっとも軽量です

マグネシウムの比重は1.7。これは、アルミニウムの3分の2、鉄の4分の1で、実用金属中もっとも軽量です。そのため、運搬や取扱いが容易。また、高速回転や繰返し運動する機械部品として使用すれば、少ない力ですむので、とても経済的です。



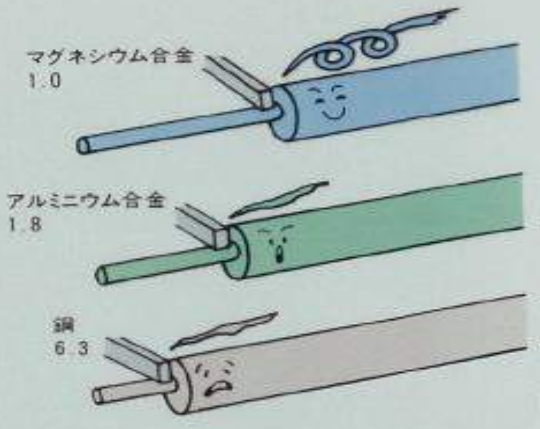

## すぐれた強度、耐力

マグネシウム合金は、鋼やアルミニウム合金に比べて、同一重量当りの強さや耐力にすぐれています。たとえば、鋼と比べると、約15倍というすぐれた強さを発揮します。



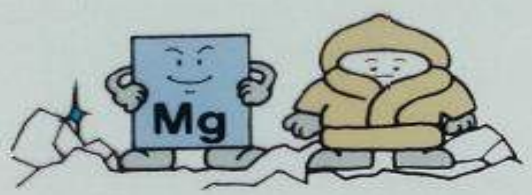

## すぐれた切削加工性

マグネシウム合金は、切削加工が容易なので工具類が長もちし、動力比が少なくてすみます。また、高速切削ができるので、作業時間を短縮することができ、美しい仕上面が得られます。したがって加工時間、加工費、工具費などが大幅に削減できます。



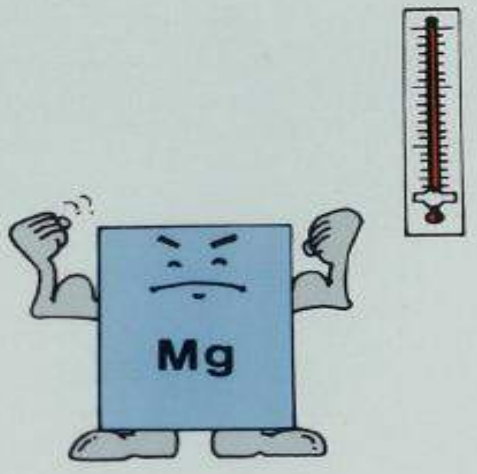

## すぐれた低温特性

マグネシウム合金は、低温下においても、引張強さ、耐力などの機械的性質が減少しません。



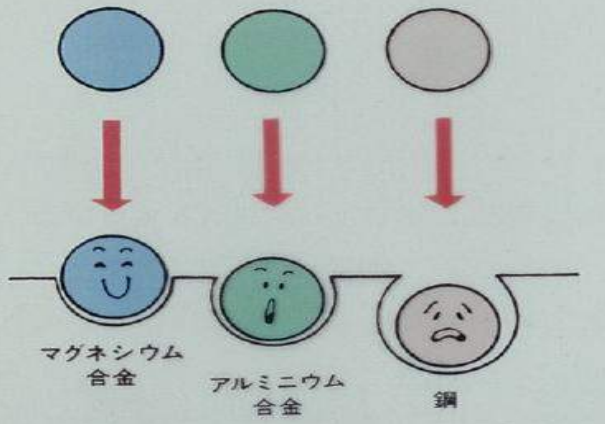

## すぐれた耐クリープ性

高温で一定荷重を長時間にわたってかけても変形しないことを耐クリープ性があるといいます。特に希土類の元素を添加したマグネシウム合金は、この耐クリープ性にすぐれています。



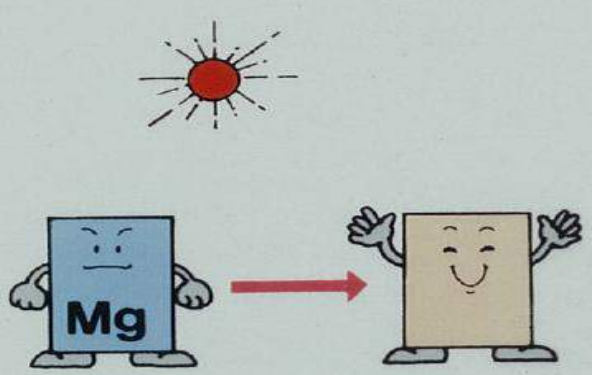
## すぐれた耐くぼみ性

マグネシウム合金は、変形に対する抵抗力が高いので、衝撃による「くぼみ」が生じにくく、耐くぼみ性にすぐれています。




## すぐれた耐蝕性

純度の高いマグネシウムは、大気中における表面の安定性が鉄よりすぐれています。
表面処理していない裸のマグネシウムの表面には、水酸化マグネシウム、炭酸マグネシウムからなる薄い灰色の膜が生成されます。

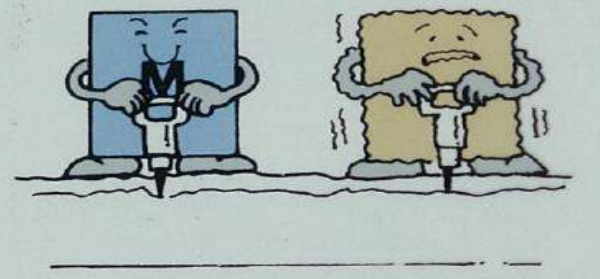



## 少ない寸法変化

マグネシウム合金は、時間が経過しても、ほとんど寸法変化が生じません。温度変化による寸法安定度も、他の金属に比べて高いので厳しい使用条件下でも耐えることができます。

## すぐれた振動吸収性

材料に衝撃が加わった場合、その衝撃や振動を吸収する能力が高ければ高いほど、変形や破壊を防ぐことができます。マグネシウム合金は、この振動吸収性が高いので、繰り返し運動、断続運動する部分に使用すると、それらの振動を吸収し、機械装置の寿命を長くすることができます。
さらに、マグネシウム合金を部品として使用した場合には、騒音を減少することもできます。



# はじめに

**なぜマグネシウム？**

**構造用金属材料中で最も軽量**

- エネルギー問題
- 環境問題

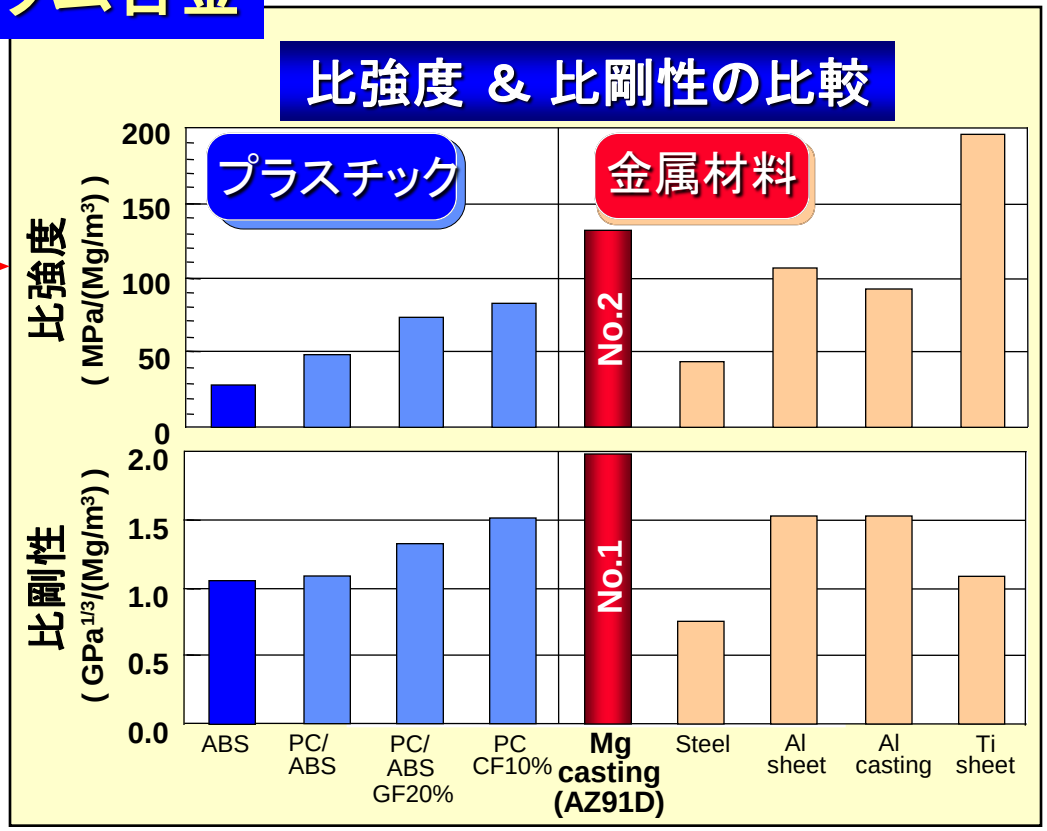
- 燃費改善のための輸送機器の軽量化
- 各種スクラップのリサイクル技術の構築

**注目**

## マグネシウム合金

**特徴:**

- 密度：1.74Mg/m$^3$
  2/3 of Al, 1/4 of Fe
- **高比強度**
  **& 高比剛性**
- 高減衰能
- 高熱伝導率
- 良好な寸法安定性
- 高い電磁波シールド性
- 良好な機械加工性
- 豊富な資源
  地殻中：1.93mass%
  海水　：0.13mass%
  （1,820兆トン）

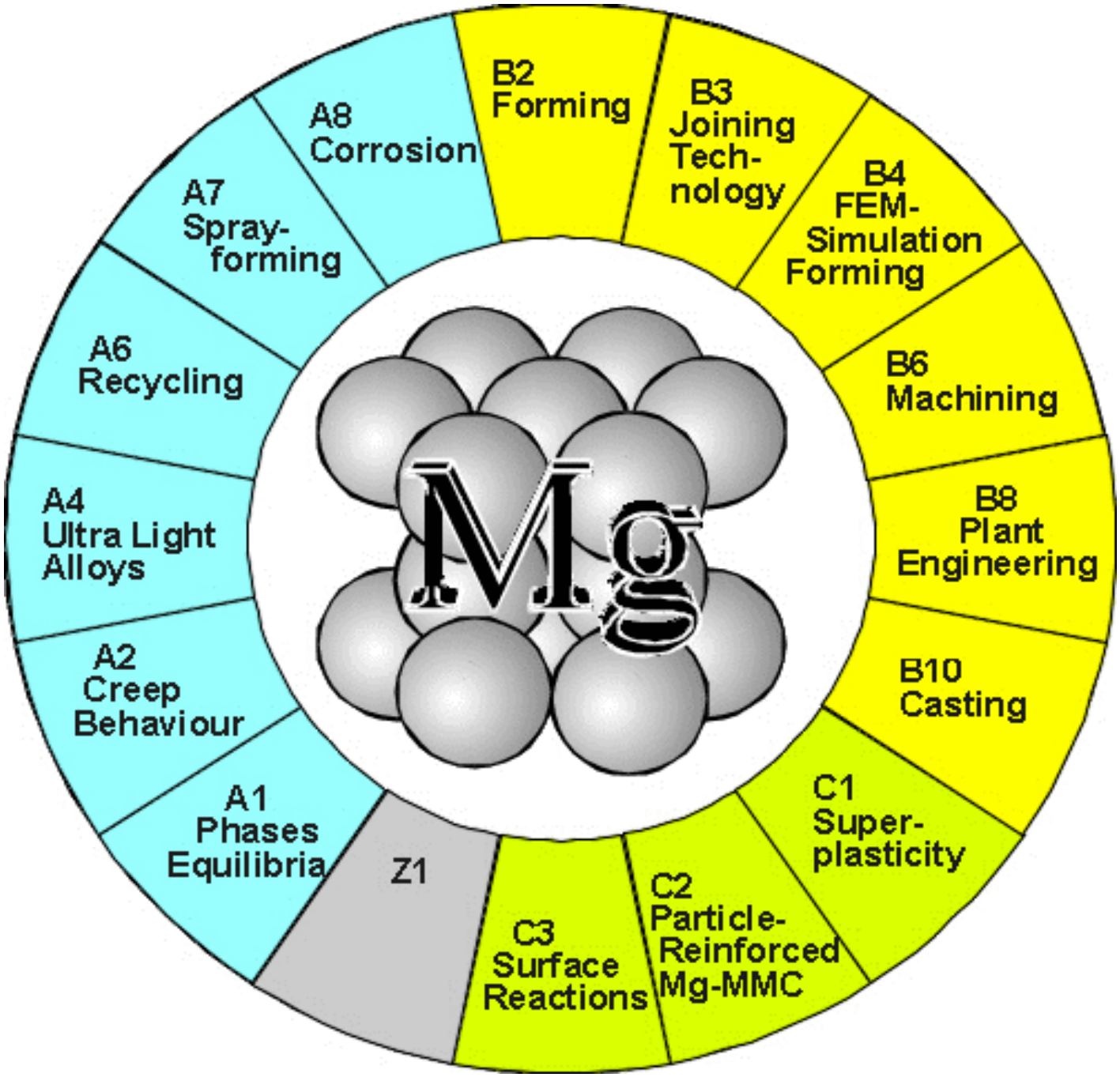


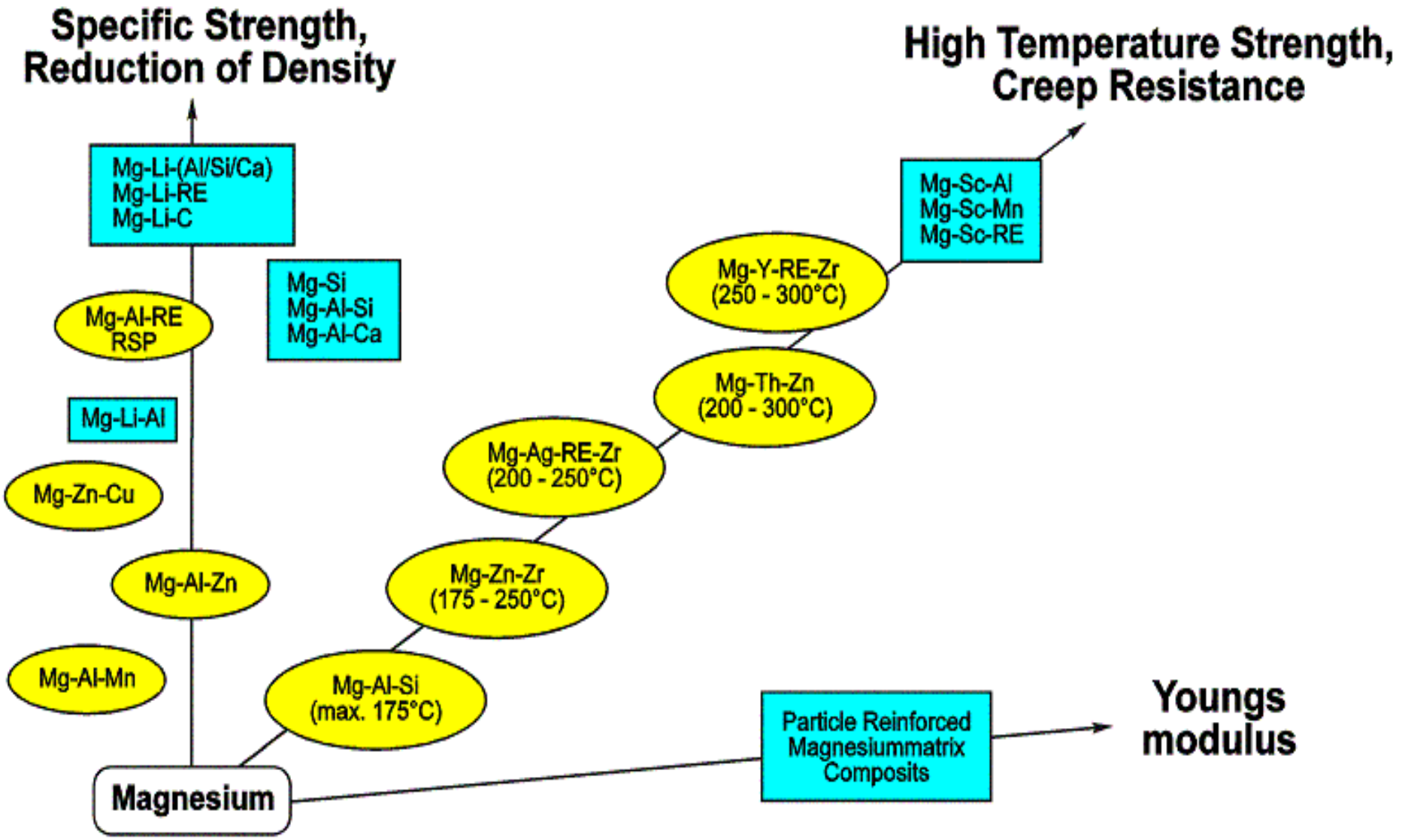
# 欧州の自動車への環境規制

- 1．CO2排出規制
- 1995年には185g$CO_2$／km排出-7.6ℓ/100kmに相当
- 2002年には165g$CO_2$／km排出-6.5ℓ/100km
- 2008年から140g$CO_2$／km（EC及びACEAの承認）－5.7 ℓ/100km
- 次のステップとして、
- 120g／km－2012年から適用か？
- 100g／km（更に、強化？）

- 2．リサイクル規制
- 2006年より自動車重量の85%をリサイクル（ECとACEAの間で承認）
- 2015年までに次のステップとして95%をリサイクル

1995年からのドイツにおけるマグネシウム研究






# Potential of new Magnesium Alloys

SFB 390

# 北米における自動車軽量化のためのマグネシウム応用開発ビジョン(2004年発表)

USAMP
UNITED STATES AUTOMOTIVE MATERIALS PARTNERSHIP
A consortium of the United States Council for Automotive Research

**MAGNESIUM VISION 2020:**
**A NORTH AMERICAN**
**AUTOMOTIVE STRATEGIC VISION FOR MAGNESIUM**

Expanding Potential Automotive Applications

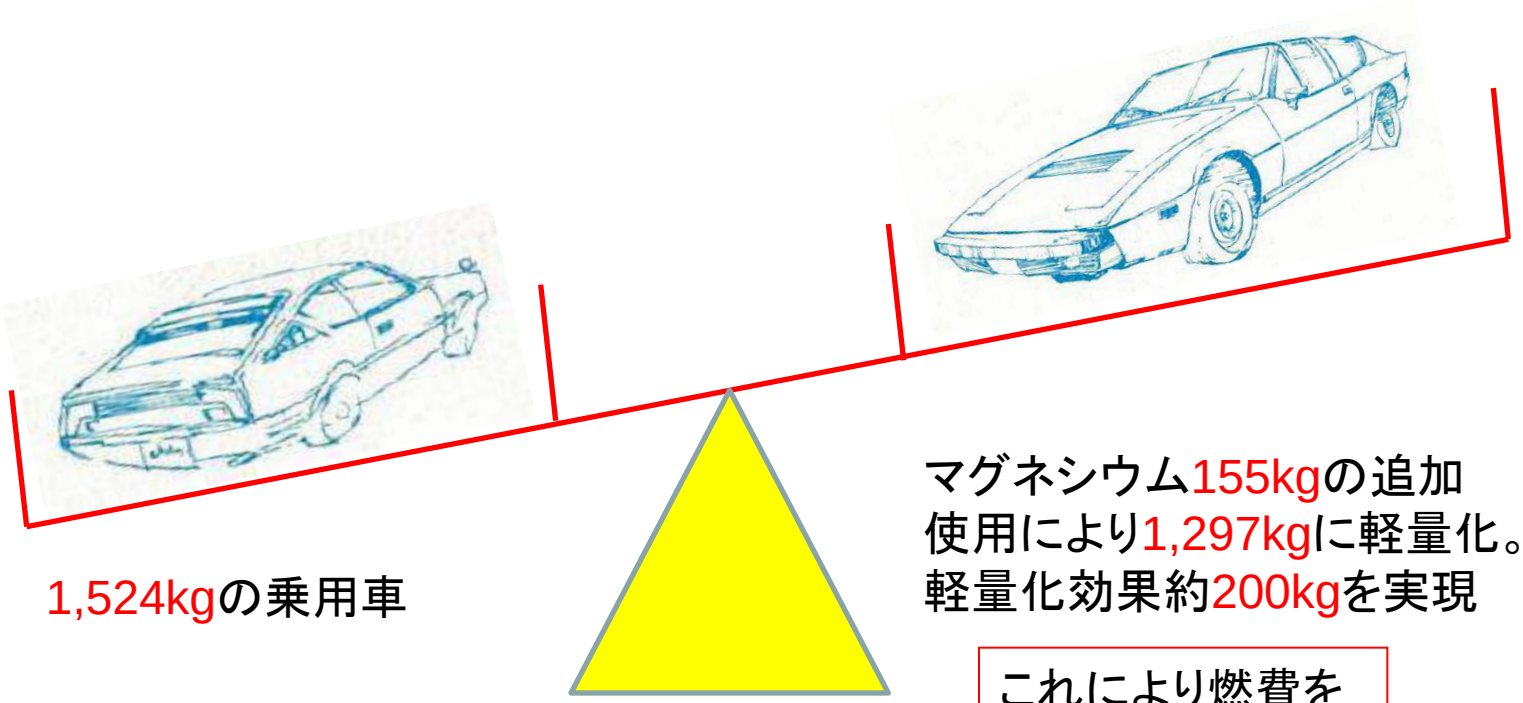
マグネシウムに関する北米の自動車戦略ビジョン”は、自動車の研究に関する合衆国評議会(USCAR)のオフィスにおいて2004年11月7日に開催した合衆国自動車用材料共同事業 (USAMP)の自動車用金属部会(AMD)の会議において採択されて発表された。北米における自動車関係者61名が参加し、合衆国の自動車メーカーがマグネシウム使用に関して世界規模で行われる共同研究の効果を検討した。

# 米国2020年ビジョンによる材料代替効果

| 材　　料 | 軽量化後の材料構成 | | 材　料　代　替 | | | | 重量節減合計 (kg) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 重量 (kg) | 構成比 (%) | 現在の重量(kg) | 軽量化後重量(kg) | 軽量化 (kg) | Mg重量 (kg) | |
| 鉄鋼＋鋳鉄 | 686 | 52.9 | 973 | 686 | −287 | 114 | −173 |
| アルミニウム | 59 | 4.5 | 129 | 59 | −67 | 41 | −26 |
| 樹脂/複合材料 | 116 | 8.9 | 116 | 116 | 0 | | 0 |
| その他 | 172 | 13.3 | 192 | 172 | −20 | | −20 |
| ゴムとガラス | 105 | 8.1 | 113 | 105 | −8 | | −8 |
| | | | | | −382 | 155 | −227 |
| マグネシウム | 159 | 12.3 | 4 | 159 | | | |
| 合　　計 | 1,297 | 100 | 1,524 | 1,297 | | | |

出典：MAGNESIUM VISION 2020: A NORTH AMERICA AUTOMOTIVE STRATEGIC VISION FOR NAGNESIUM

# 自動車へのマグネシウム材料の適用による軽量化効果の実例



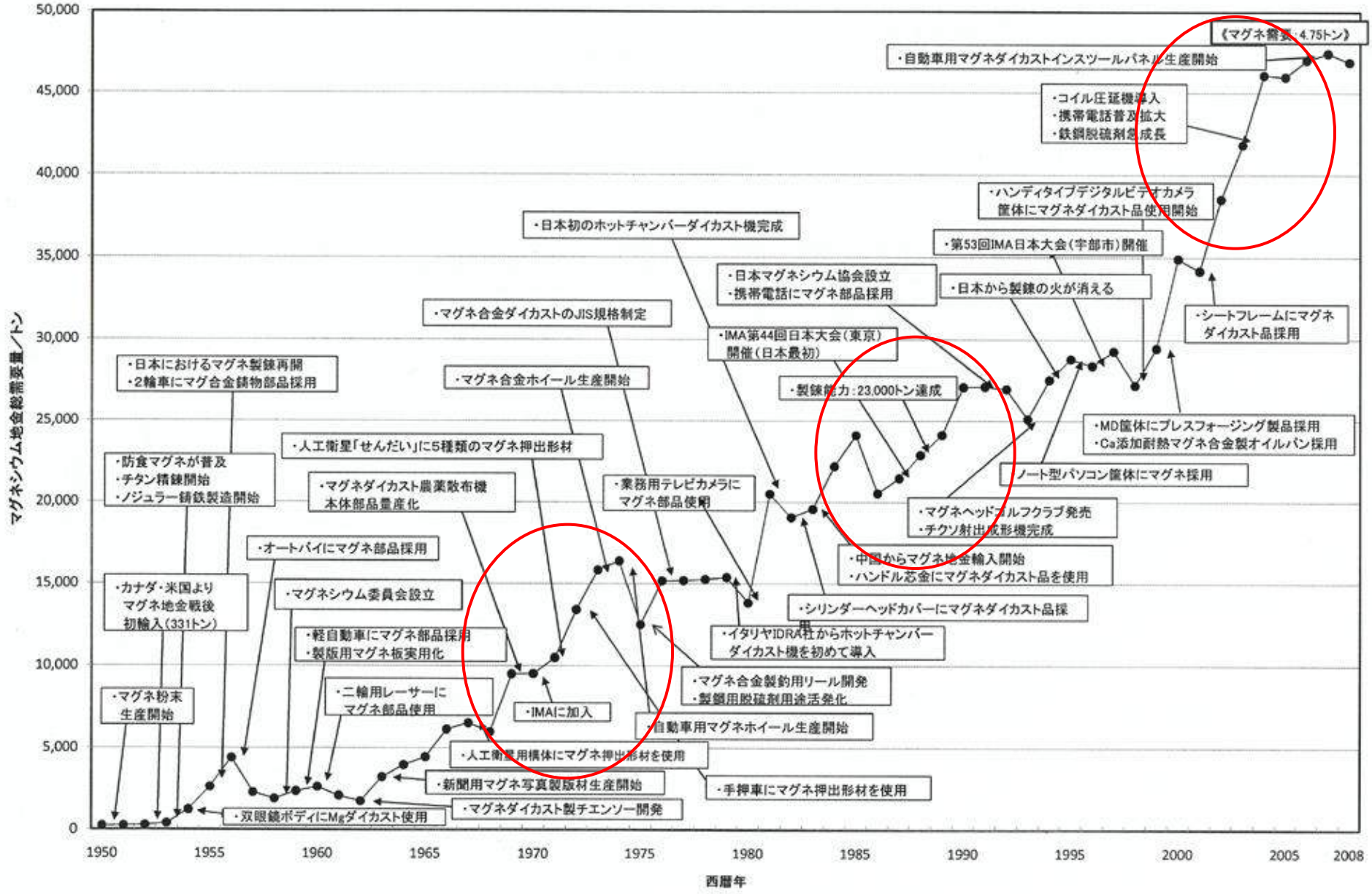
1,524kgの乗用車

マグネシウム155kgの追加使用により1,297kgに軽量化。
軽量化効果約200kgを実現

これにより燃費を2km/lの改善

車体重量100kgの軽量化で燃費約1km/lの改善

# 日本のマグネシウム需要推移

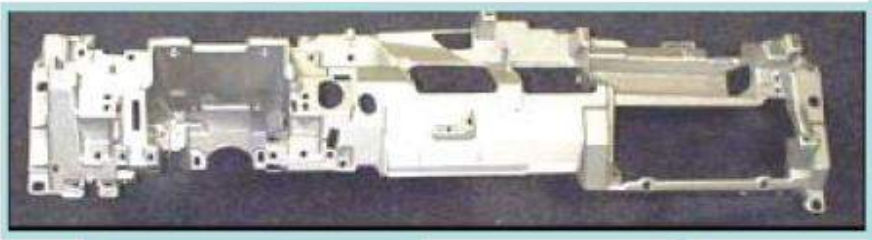


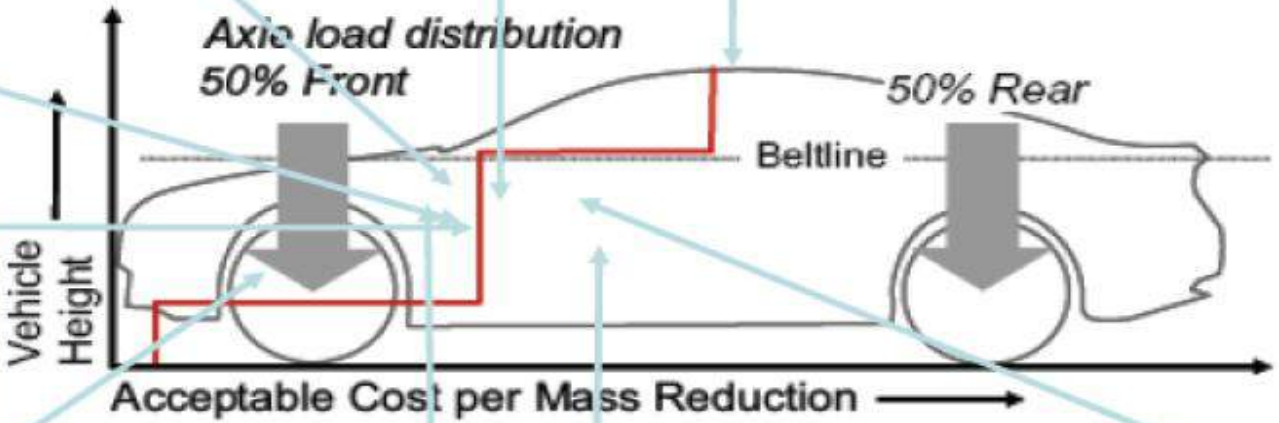
# 日本のマグネシウム需要推移

（単位:トン）

| | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010(予測) | 対前年比 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ダイカスト | 9,633 | 9,930 | 9,640 | 7,684 | 5,493 | 6,400 | 116.5% |
| 鋳物 | 80 | 95 | 109 | 92 | 120 | 100 | 83.3% |
| マグネ射出成形 | 1,565 | 1,261 | 1,030 | 587 | 328 | 350 | 106.7% |
| その他合金 | 1,051 | 1,091 | 1,116 | 905 | 342 | 700 | 204.7% |
| 構造材小計 | 12,329 | 12,377 | 11,895 | 9,268 | 6,283 | 7,550 | 120.2% |
| アルミ合金添加 | 18,312 | 18,694 | 20,237 | 20,124 | 17,552 | 19,500 | 111.1% |
| 鉄鋼脱硫 | 9,922 | 9,041 | 9,048 | 7,859 | 4,075 | 6,000 | 147.2% |
| ノジュラー鋳鉄 | 1,534 | 2,548 | 2,526 | 2,352 | 2,238 | 2,500 | 111.7% |
| ﾁﾀﾝ製錬 | 420 | 525 | 584 | 724 | 600 | 300 | 50.0% |
| 添加材小計 | 30,188 | 30,808 | 32,395 | 31,059 | 24,465 | 28,300 | 115.7% |
| 粉末・その他 | 3,066 | 2,823 | 2,286 | 1,795 | 1,241 | 1,200 | 96.7% |
| 内需小計 | 45,583 | 46,008 | 46,576 | 42,122 | 31,989 | 37,050 | 115.8% |
| 輸出 | 395 | 1,011 | 859 | 891 | 567 | 700 | 123.5% |
| 総需要 | 45,978 | 47,019 | 47,435 | 43,013 | 32,556 | 37,750 | 116.0% |

# 自動車用マグネシウム部品の使用例





出典：GKSS

# 携帯電子機器マグネシウム部品の使用例

ノートパソコン筐体

デジタルカメラ筐体

携帯電話筐体

LEDランプ放熱体

# 何故マグネシウムにSF6ガスが必要か

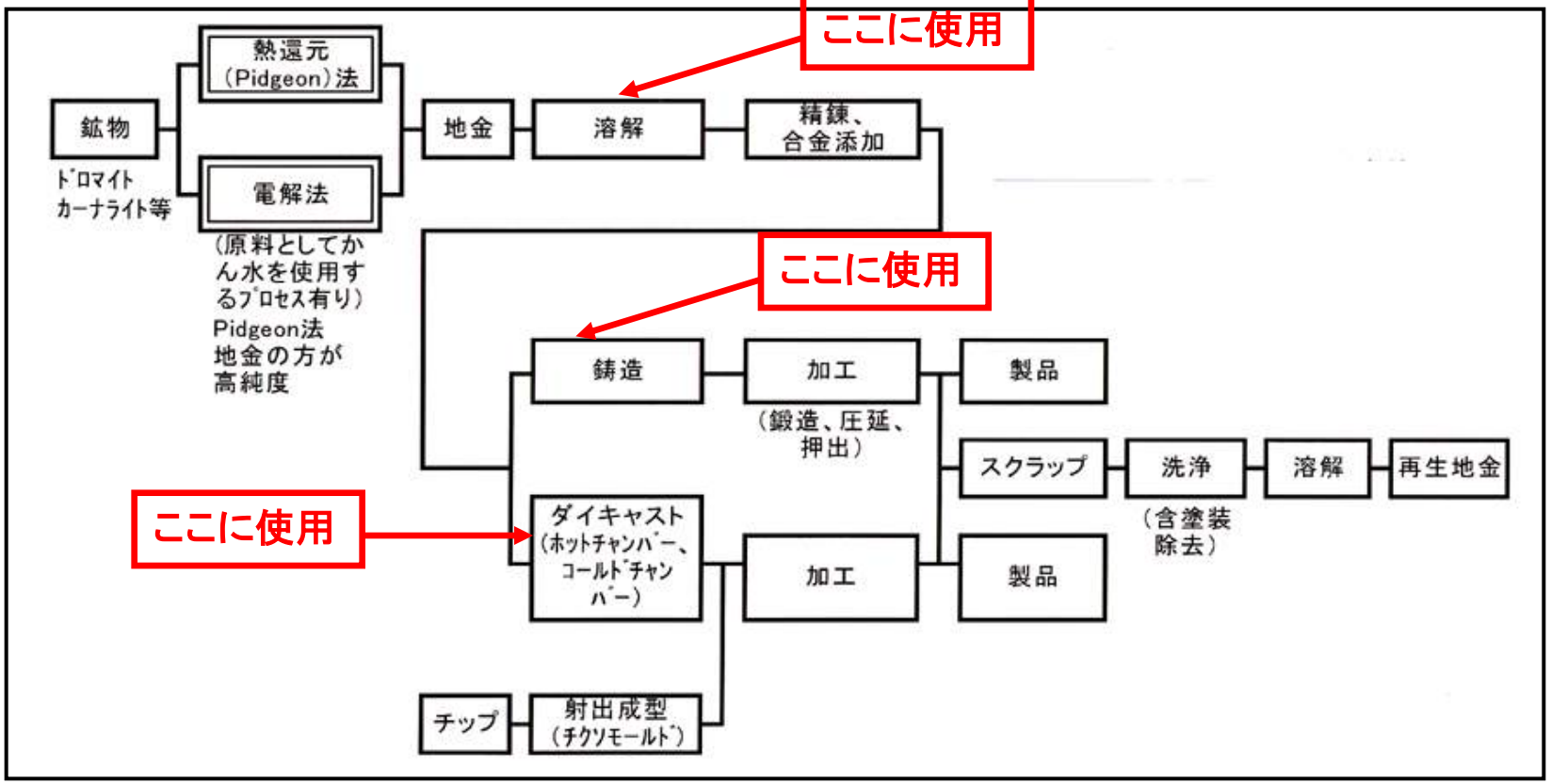
溶湯保護されていない溶融マグネシウム 溶湯表面近傍で著しく燃焼している

溶湯保護されている溶融マグネシウム 溶湯表面近傍では燃焼が認められない

出典：U.S，EPA他，マグネシウム溶湯保護用$SF_6$代替ガス，P1，2006.

# マグネシウム溶解におけるSF6ガス使用例

溶融マグネシウム（溶湯）は，空気に触れると酸化する，すなわち，発火,燃焼する。したがって，溶解工程で溶湯表面と空気とを遮断するための保護ガスが必要である。古くは硫黄などのフラックスで表面を覆い，空気との直接接触を防いでいた。今日では，塩類のフラックスや濃厚な亜硫酸ガス（$SO_2$）用いていた。1970年頃より操業現場や作業者に害を及ぼさない六フッ化イオウ（$SF_6$）ガスを低濃度に空気で希釈したものや，$AF_6$ガスと空気と二酸化炭素を混合させたガスを使用している$SF_6$ガスはマグネシウム溶湯表面のMgSO4のフィルムを形成し，過度の酸化を防ぐ。このためにSF6ガスはマグネシウム溶解時に必要である。



# 自主行動実施前までのSF6ガス使用量推移

| | 95 | 96 | 97 | 98 | 99 | 00 | 01 | 02 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| SF6排出量(t) | 5 | 6 | 8 | 17 | 27 | 43 | 48 | 47 |
| マグネシウム溶解量(t) | 1,840 | 2,681 | 3,656 | 6,447 | 9,138 | 14,230 | 14,562 | 17,525 |
| 単位使用量(t／t) | 0.0027 | 0.0022 | 0.0022 | 0.0026 | 0.0030 | 0.0030 | 0.0033 | 0.0027 |

(出典:一般社団法人日本マグネシウム協会自主統計による)

# SF6ガス使用削減への取組

＜2003年　第1次自主行動計画の取組＞

① **2010年までに2001年の単位使用量（1トン当たり溶解量に対するSF6ガス使用量）を基準として削減を図る。**

②不燃マグネシウム合金の実用化（マグネシウム中へCa添加）
③使用設備からの漏洩防止対策（密閉性の強化、設備の改善）
④SF6ガス使用の最適化（低濃度化、流量管理、湿度管理等）

＜ 2007年　第2次自主行動計画の取組＞

① **2010年末までに、1事業所当たり年間500kg以上のSF6ガスの排出を中止する。これにより、現在のSF6ガス排出量の約75%の削減を図る 。**

②2004年よりSF6フリー高機能発現組織制御プロジェクトを実施
③2007年にNEDO事業として代替ガスの実用化研究を実施
④2008年よりNEDO事業として代替フロン抑制設備導入助成事業を実施

# 難燃性マグネシウムの研究開発

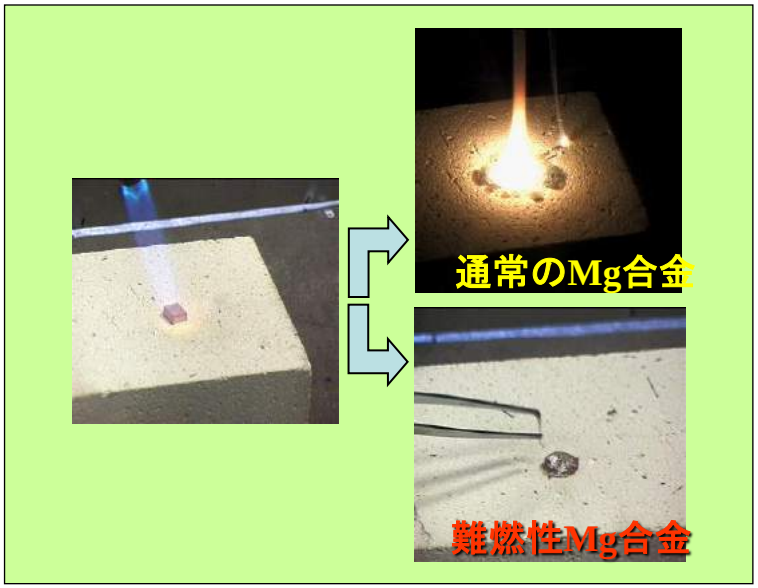



図　通常のMg合金と
難燃性Mg合金の
燃焼試験

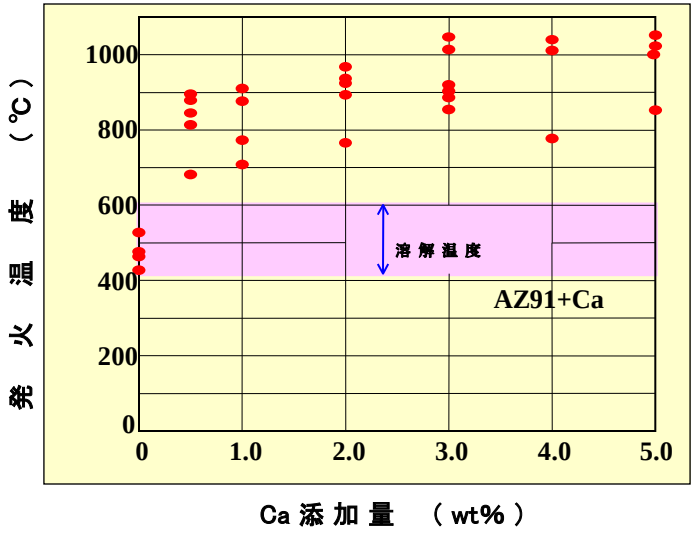



図2　Ca 添加量と発火温度の関係

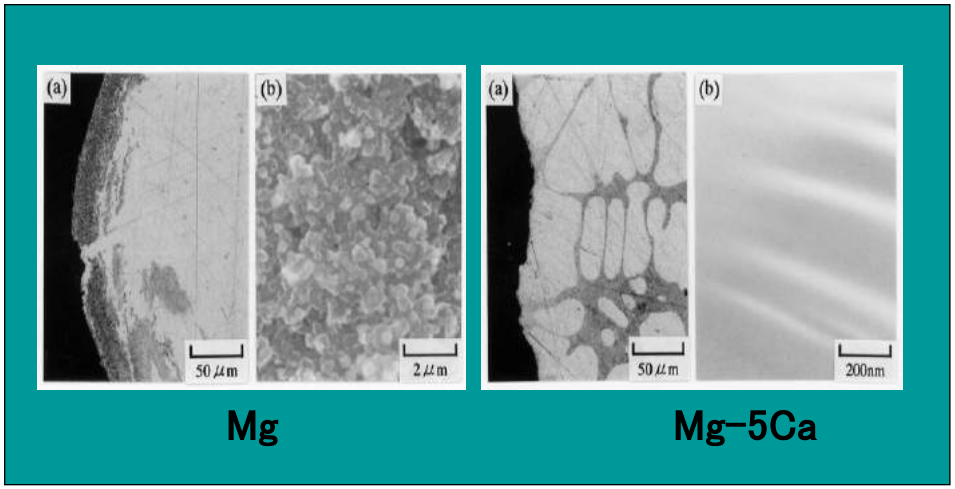



図3　Mg および Mg–5Caの表面酸化物組織

# $SF_6$代替ガス

## マグネシウム用保護ガスの種類と特性

| | Protection Gas | Chemical Formula | Life Time (year) | GWP (100) | M.P. (℃) | B.P. (℃) | Protect Perform -ance | Memo 短期間暴露限界値(STEL) 許容濃度，時間加算平均値 (TWA-TLV) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ベンチマークガス | $CO_2$ | $CO_2$ | 100～150年 | 1 | | | | |
| ベンチマークガス | ※$SO_2$ | $SO_2$(Health) | 2～3日 | ‥ | | | | *STEL(<5 ppm) *TWA-TLV(<2 ppm) |
| ベンチマークガス | ※$SF_6$ | $SF_6$ | 3,200年 | 23,900 | -51 | -64 | Best | *STEL(<1,250 ppm) *TWA-TLV(<1,000 ppm) |
| 新しい代替ガス候補例 | ※HFC-134a (AM cover) | $CH_2FCF_3$ | 14年 | 1,300 | -26.8 | -10.1 | | *TWA-TLV(<1,000 ppm) License |
| 新しい代替ガス候補例 | ※FK (3M) (Novec™ 612) | $C_3F_7COC_2F_5$ | 0.014 (5.1日) | ～1 | | | | |
| 新しい代替ガス候補例 | ※FK+$CO_2$ (TNSC) (MG Shield™) | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | | |
| 新しい代替ガス候補例 | ※OF-1234ze (ZEM-SCREEN) | $CF_3CH=CHF$ | - | <10 (10～20) | - | -16 | | By-product(*) |
| 新しい代替ガス候補例 | HFC-254pc | $CHF_2CF_2OHCH_3$ | 14年 | 330 | - | 37.2 | | |
| 新しい代替ガス候補例 | HFC-245fa(*) | $CF_3CH_2CHF_2$ | - | 950 | - | 15.3 | | Forming agent |
| 新しい代替ガス候補例 | ※Tri-Fluor Iodide methane ( Tose F tech) | $CF_3I$ | 0.005 (1.8日) | 1.2 | - | -22.5 | | |

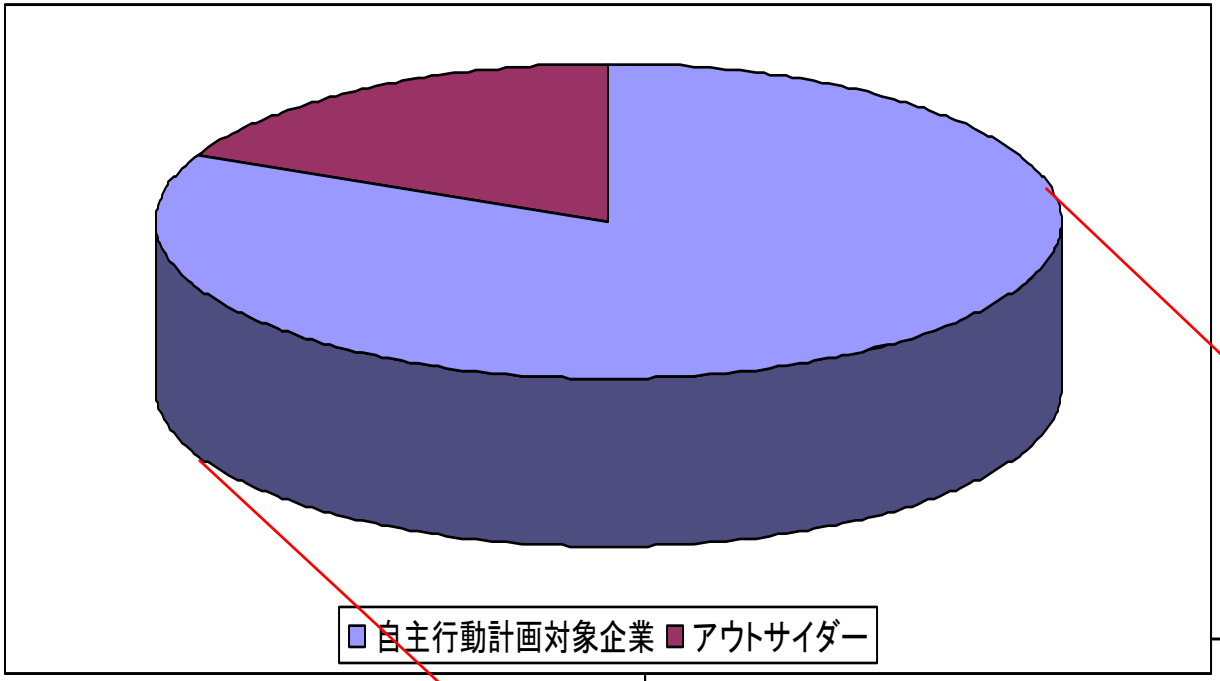
# 自主行動実施後のSF6ガス使用量推移

| | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| SF6排出量(t) | 42.4 | 41.0 | 41.8 | 41.0 | 41.7 | 27.3 | 8.7 |
| マグネシウム溶解量(t) | 18,753 | 21,143 | 26,287 | 27,270 | 25,073 | 20,853 | 12,745* |
| 単位使用量(t／t) | 0.0022 | 0.0019 | 0.0016 | 0.0015 | 0.0017 | 0.0013 | 0.0007 |

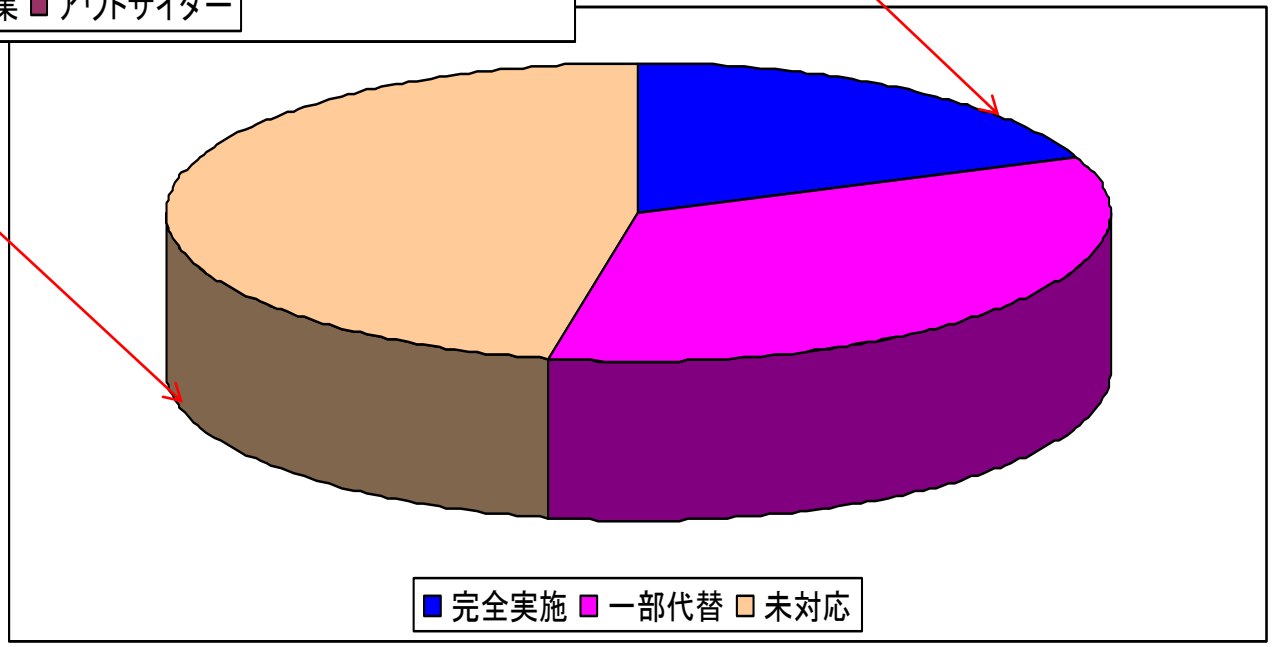
＊代替ガスによる溶解量:5,843t,全体の46%

(出典:一般社団法人日本マグネシウム協会自主統計による)

# SF6代替ガスの対応状況

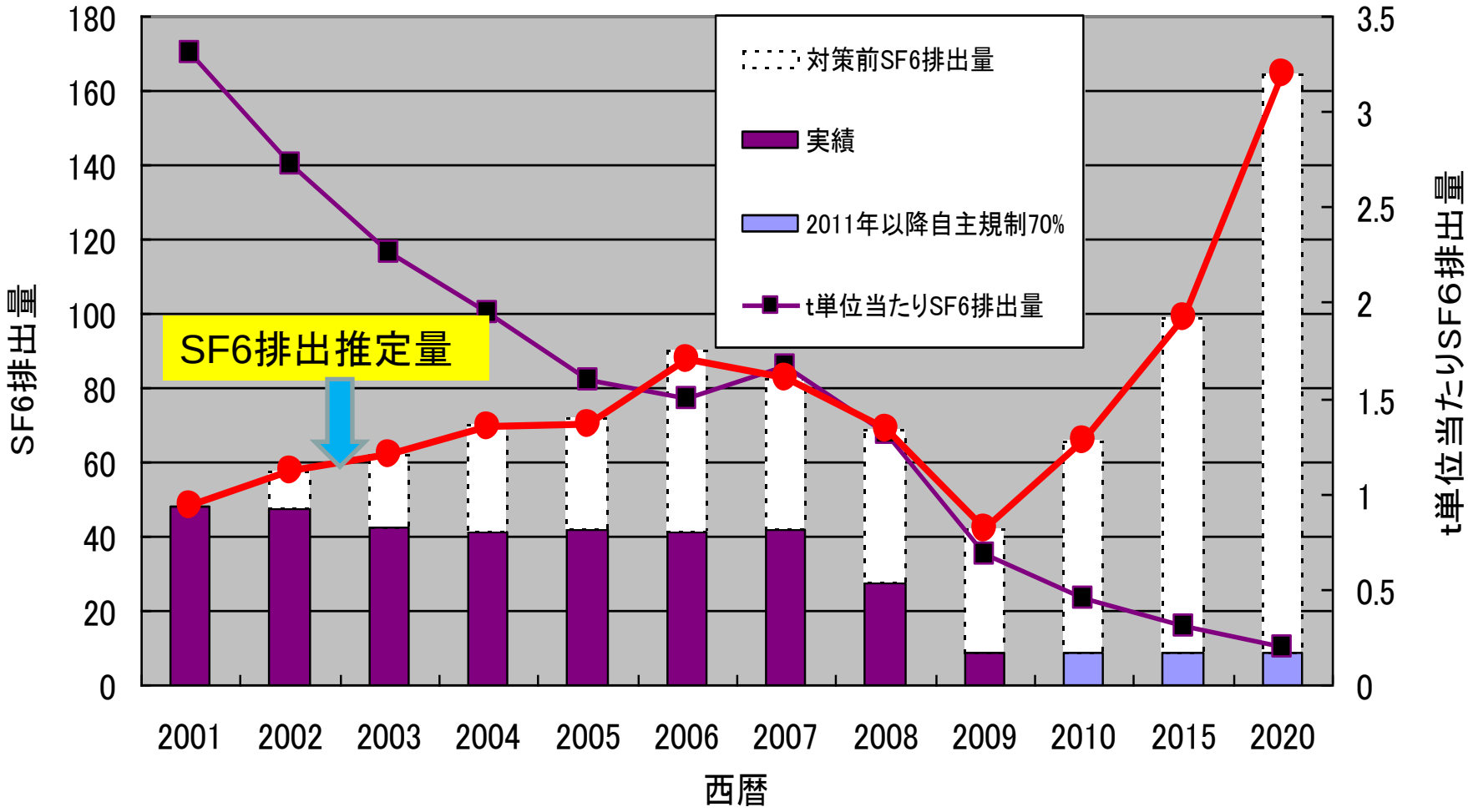



対象企業：全体で39社
アウトサイダー：7社
完全代替：6社
一部代替：11社



# マグネシウム溶解量とCO2換算排出量

代替ガスの導入促進により2020年で200万トン程度削減が可能



# SF6ガス排出規制の動向

・EC圏内での$SF_6$ガス使用の監督

| | | |
|---|---|---|
| SF6 | マグネダイカスト | 効力：公報発刊(06.june/14)<br>一年後 |
| SF6 | SF6ガス使用量850 kg超のマグネダイカスト工場<br>（見直し：4年後） | $SF_6$使用禁止：<br>- 2008年1月1日- |

・ より一層の強化案については困難を表明

・米国EPAとのパートナーシップ

- 米国環境局（EPA）と米国マグネシウム産業界との自発的約束
- 2001年Mg事業16社が締結(Mgダイカスターの参加企業は米国内の80%以上に相当)
- 「2010年12月31日までに$SF_6$排ガスを排除するという協力目標を達成する」という声明にサイン - 国際マグネシウム協会（IMA)サポート保証

・ 2011年よりSF6ガス排出量の報告を義務化

・日本の状況

- マグネシウム業界の自主行動計画目標の強化見直しを実施：
  「2010年末までに1事業所当たり 年500kg 以上の$SF_6$ガスの排出を中止する」
- 自主行動計画に伴う新規設備投資に対する支援事業等の施策の継続、支援措置の要望

# SF6排出削減のための課題と対策

① SF6代替ガスの導入に伴うコストの増加（初期投資、ランニング）負担を軽減するための制度の創設
② 対象となる企業に中小企業が多く、代替ガスの導入に向けたきめ細かい支援
③ 温暖化対策を進める先行企業への評価制度の創設
④ 代替ガスの充分な安全性や防燃性の確認を行うための研究開発
⑤ 安定した生産性を確保するため、継続したプロセス研究評価の創設
⑥ より一層のSF6代替ガス導入を図るため、設備導入助成の継続運営
⑦ 難燃マグネシウム合金普及のための研究開発