

# マグネシウム溶解炉用代替防燃ガスの開発

深津 隆明\*

## 抄 録

ジヤトコではマグネシウム溶解炉用防燃ガスとして、六フッ化硫黄 ( $\text{SF}_6$ ) を使用している。 $\text{SF}_6$ は地球温暖化効果が非常に高い物質であり、カーボンニュートラル目標達成に向けて代替ガスへの置き換えが求められている。本稿では、代替となる防燃ガスの採用に向けて、予備実験で評価した内容を報告する。

## 1. まえがき

地球環境問題などから自動車の燃費改善は必須となっており、トランスミッションにおいては効率向上だけでなく、軽量化が求められる。ジヤトコにおける従来のトランスミッションのケース部品はアルミ合金を採用していたが、2019年に量産開始したFR車用新9速オートマチックトランスミッション (Fig. 1) においては、ミッションケースにマグネシウム合金を採用し、約4kgの軽量化を実現した。

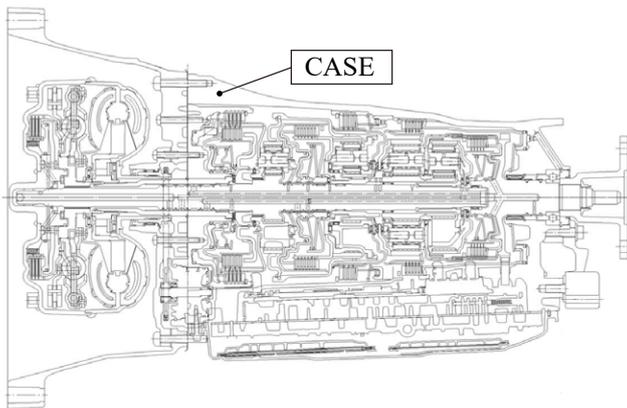


Fig. 1 9-speed automatic transmission for RWD vehicles

新9速トランスミッションケースの生産開始に伴い、マグネシウム専用ダイカストラインを新設した。ダイカストラインはマグネシウムインゴット投入装置、溶解炉、ダイカストマシン、トリムプレスという工程で構成されており、本稿で述べる防燃ガスはマグネシウム溶解炉で使用している。

マグネシウムは400℃以上で自然発火する性質を持つため、600℃以上の溶湯においては、防燃ガスを用いて燃焼を防止する必要がある。現在、防燃ガスとして採用しているのは $\text{SF}_6$ である。 $\text{SF}_6$ は地球温暖化対策推進法の対象に指定されており、地球温暖化係数が $\text{CO}_2$ の約23,000倍と温暖化への影響が強い物質である。ジヤトコのマグネシウム鋳造ラインは国内最大級の生産重量を持つこともあり、 $\text{SF}_6$ はジヤトコの温暖化ガス排出量の8%に相当する (Fig. 2)。2028年度での温暖化ガス46%削減 (2013年度比) に向けて、 $\text{SF}_6$ の代替ガスの開発が必要となった。

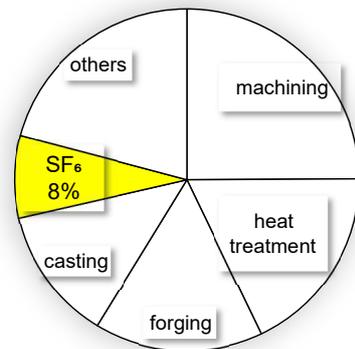


Fig. 2 Ratio of  $\text{CO}_2$  emission

\*素形材工場

## 2. 代替ガスの選定

SF<sub>6</sub>代替ガスについては、Table 1に示す5種類が候補となる<sup>(1)</sup>。ガスの選定については、GWP（地球温暖化係数）、LC50（半数致死濃度）、PFAS（有機フッ素化合物）規制の3項目を評価した。

まず①SO<sub>2</sub>については、空气中に微量存在しただけでも、人体への健康影響が懸念される（LC50の数値が低いためリスクが大きい）。また日本国内では、①に対し厳しい環境基準値が設けられており、採用は困難である。一方、②～④については、PFAS規制に該当する見通しであり、将来的にユーザーの使用やメーカーの製造が禁止される見通しである。PFAS規制の影響により、ガスの製造中止を発表された事例があることから、②～④の採用は見送り、⑤ヨウ化トリフルオロメタン（CF<sub>3</sub>I）をSF<sub>6</sub>の代替ガスとして選定した。CF<sub>3</sub>IのGWPは0.4倍であるため、SF<sub>6</sub>の23,000倍から大幅に改善できる。一方、CF<sub>3</sub>Iはマグネシウム防燃ガスとしての採用実績が無いため、予備実験の必要があった。

Table 1 Alternative gases

Alternative gases	GWP	LC50 (ppm)	PFAS Regulation Applicable	Practical Use for magnesium
① SO <sub>2</sub>	0	2,520	No	Yes
② C <sub>3</sub> F <sub>6</sub> O	1	>100,000	Yes	Yes
③ HFC134	1,300	350,000	Yes	Yes
④ OHFC-1234ze	30	>100,000	Yes	Yes
⑤ CF <sub>3</sub> I	0.4	>100,000	No	No

## 3. 実験内容

### 3.1 評価方法

防燃ガスの性能については、防燃性だけでなく、炉内での化学反応による有毒ガスの発生、鑄造品質への影響などを評価する必要があるが、本稿においては、防燃性を中心に述べる。防燃性評価においては、燃焼するか否かの二値で評価されることが多いが、より定量的に評価する方法を検討した。マグネシウムの燃焼は $2\text{Mg} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{MgO}$ という反応になることから、燃焼度合い（防燃性）は酸化マグ

ネシウムの発生量で評価できると考えた。よって、Fig. 3のように溶湯表面を20分割し、各々のマス目の酸化マグネシウムの有無を判定し、溶湯表面における酸化マグネシウムの割合を酸化マグネシウム発生率として評価した。



Fig. 3 Inflammability evaluation

### 3.2 実験条件

予備実験は茨城県産業技術イノベーションセンター様保有の50kg溶解炉で実施した。（Fig. 4）



Fig. 4 Melting furnace for experiment

防燃ガスはキャリアガス (N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>など) によって溶解表面へ供給される。マグネシウム溶湯がCF<sub>3</sub>Iと反応すると、溶湯表面にフッ化マグネシウム (MgF<sub>2</sub>) が生成される (Fig. 5)。MgF<sub>2</sub>による皮膜が出来ることで、酸素と溶湯の接触を防止し燃焼を抑制できる。また、防燃ガスは炉内の高温にさらされることで熱分解し、性能が低下する。

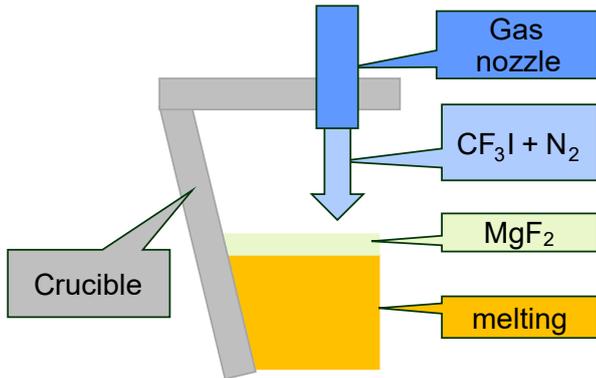


Fig. 5 Flame retardant film MgF<sub>2</sub>

以上のことから、防燃皮膜の生成には、防燃ガスの量 (濃度)、キャリアガス、溶湯温度が影響すると考えられる。<sup>(2),(3)</sup> これらの因子の影響度を調査するため、各々3水準の調査を実施した。

実験に際し、ガス、溶湯温度などの所定の実験条件を設定した後、溶湯表面の酸化マグネシウムを除去し、2分間静置し、溶湯表面上の酸化マグネシウム発生率を観察し、防燃性を評価した。

代替ガス実験条件

- ① 溶解炉：50kg溶解炉
- ② マグネシウム合金材質：AS31
- ③ 防燃ガス：CF<sub>3</sub>I
- ④ 防燃ガス濃度：250, 500, 1,000ppm
- ⑤ キャリアガス：N<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>+CO<sub>2</sub>混合, CO<sub>2</sub>
- ⑥ 溶湯温度：base-20℃, base (実機温度), base+20℃
- ⑦ 炉蓋：開放
- ⑧ 実験時間：2分

4. 実験結果

実機での生産条件 (SF<sub>6</sub>) で実験した結果、酸化マグネシウムの発生率は40%となった。これがCF<sub>3</sub>I採用の目標値となる。

次にCF<sub>3</sub>Iの試験結果を述べる。一つ目に防燃ガス濃度ごとの防燃性評価を行った。溶湯温度は実機と同じ温度 (base)、キャリアガスをN<sub>2</sub>で固定し、CF<sub>3</sub>I濃度を250ppm, 500ppm, 1,000ppmの3条件で実験した結果をFig. 6に示す。濃度が濃いほど防燃性が向上し、500ppmのCF<sub>3</sub>I濃度であれば、SF<sub>6</sub>とほぼ同等の防燃性が得られることが分かった。

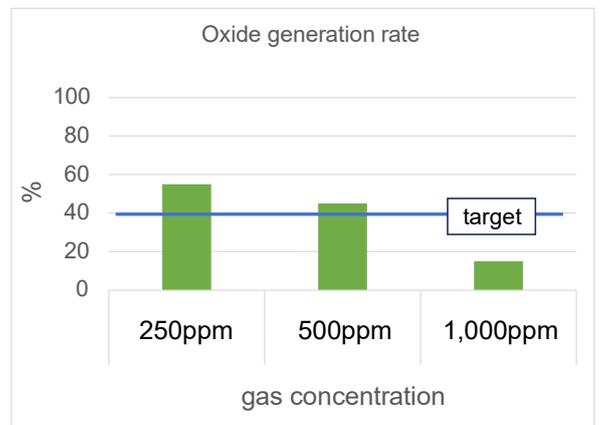


Fig. 6 Inflammability evaluation of gas concentration

次にキャリアガスごとの防燃性の評価を行った。CF<sub>3</sub>I濃度を500ppm、溶湯温度は実機と同じ温度 (base)、キャリアガスの種類をN<sub>2</sub>のみ、N<sub>2</sub>とCO<sub>2</sub>の混合ガス、CO<sub>2</sub>のみの3条件で実験した結果をFig. 7に示す。

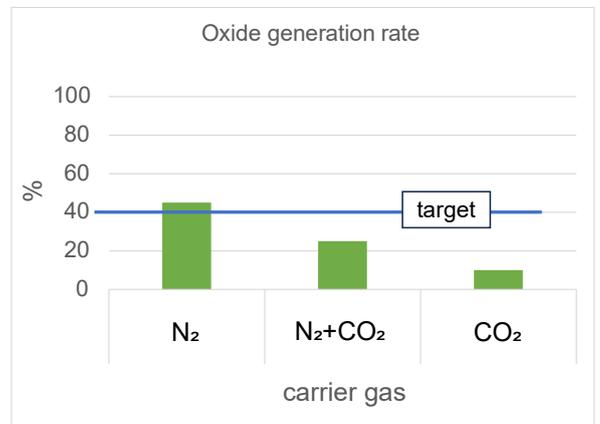


Fig. 7 Inflammability evaluation of carrier gases

CO<sub>2</sub>のみの条件が高い防燃性を得られる結果となった。ただし、CO<sub>2</sub>のみの条件の場合、有毒ガスHF（フッ化水素）の発生が見られ、炉内の金属を腐食させる傾向が見られた。したがって、N<sub>2</sub>とCO<sub>2</sub>の混合ガス条件を採用することとした。

次に溶湯温度ごとの防燃性評価を行った。防燃ガス濃度を500ppm、キャリアガスをN<sub>2</sub>+CO<sub>2</sub>混合で固定し、溶湯温度をbase-20℃、base、base+20℃の3条件で実験した結果をFig. 8に示す。溶湯温度が高いと防燃性が低下し、溶湯温度が低いと防燃性が向上する結果となった。

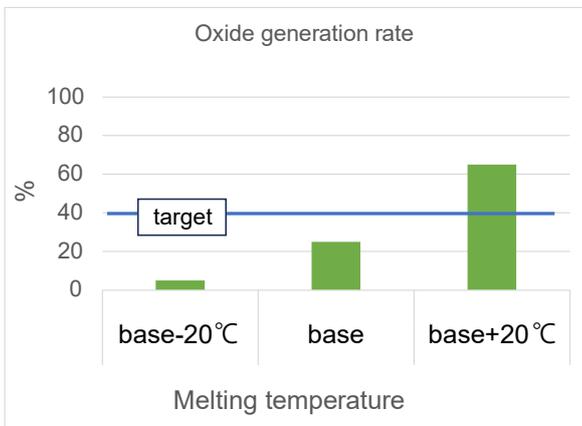


Fig. 8 Inflammability evaluation of melting temperature

## 5. 考察

実験結果より、下記のように考察する。

CF<sub>3</sub>I濃度については、濃度が高いと防燃性が向上する傾向となった。これは溶湯表面に十分な量のCF<sub>3</sub>Iが供給され、防燃皮膜を生成しやすくなったためと考えられる。

キャリアガスについては、CO<sub>2</sub>量が多いと防燃性が高くなる傾向となった。N<sub>2</sub>よりCO<sub>2</sub>の比重が大きいため、CF<sub>3</sub>Iが熱分解する前に溶湯表面に到達させやすく、防燃皮膜が生成しやすくなったと考えられる。ただし、CO<sub>2</sub>のみの条件では、HFが発生し炉内の金属部に腐食が認められた。

そのため、CO<sub>2</sub>の混合量については、HFが発生しない量に抑える必要がある。なお、N<sub>2</sub>とCO<sub>2</sub>の混合ガスを所定の比率とすることで、HFが環境基準値以下となることを確認した。

溶湯温度については、高温になると防燃性が低下する傾向となった。これは溶湯表面にCF<sub>3</sub>Iが到達する前に熱分解されてしまい、防燃皮膜の生成が不十分となったためと考えられる。鑄造品質を改善するために溶湯温度を高温にする場合があるが、火災防止の観点から、溶湯温度が所定の温度以上に設定できないようにするなどの対策が必要である。

## 6. まとめ

今回の実験結果により、SF<sub>6</sub>以上の防燃性を得られる条件を見出すことが出来たため、CF<sub>3</sub>Iを実機で採用可能と判断した。CF<sub>3</sub>Iの採用によって、ジャトコから発生する温暖化ガスのうち、8%の温暖化ガスが削減でき、地球温暖化対策に貢献できる見込みである。また、マグネシウム溶解炉用防燃ガスへのCF<sub>3</sub>I採用は日本初の取組となり、PFAS規制にも対応可能となる。

## 7. 参考文献

- (1) 大陽日酸（株）：新マグネシウム合金溶湯用カバーガス エムジーシールド, 大陽日酸技報No.23 (2004年), P1
- (2) (株) TOSEI：マグネシウム合金製造プロセス適用可能性に関する調査研究, 省エネルギーフロン代替物質合成技術開発, (平成19年5月), P2-P7
- (3) (株) アーレスティ：マグネシウム合金製造プロセス適用可能性調査等, 省エネルギーフロン代替物質合成技術開発, (平成19年3月)

■ 著者 ■



深津 隆明