

水酸化マグネシウムの市場調査（第1報）

峯尾隼人, 加留部智彦, 正岡功士

Magnesium Hydroxide Market Research (I)

Hayato MINEO, Tomohiko KARUBE and Koji MASAOKA

要 旨

製塩苦汁から水酸化マグネシウムを製造する場合のターゲットを明らかにすることを目的として、市販水酸化マグネシウムの種類、用途、取引量、取引価格などについて調査した。水酸化マグネシウムは原料別に、海水由来、マグネサイト鉱石由来、ブルーサイト鉱石由来に大別され、用途は排煙脱硫・排水処理、難燃剤、医薬に大別される。このうち、医薬および難燃剤用途は取引価格が高く、世界中で需要の拡大が見込まれる。製塩苦汁由来の水酸化マグネシウムはアルカリ剤との反応により得られ、純度が高く、製造コストが高くなる。また、日本のイオン交換膜法製塩で得られる苦汁全量から水酸化マグネシウムを製造する場合、国内需要だけでは供給過多になると試算される。これらのことから、製塩苦汁から水酸化マグネシウムを製造する場合のターゲットは海外向けの医薬および難燃剤用途であると考えた。

1. 緒 言

製塩苦汁には海水由来のマグネシウムイオンが濃縮されており、現状は安価な粗製塩化マグネシウム溶液などとして販売されている。著者らは、製塩苦汁に含まれるマグネシウムを水酸化マグネシウムとして回収して活用すること目的に、市販水酸化マグネシウムの種類、用途、取引量、取引価格などについて調査し、ターゲットと課題を明らかにした。

2. 水酸化マグネシウム製品の種類²⁾

水酸化マグネシウム製品は原料別に海水由来、マグネサイト鉱石由来、ブルーサイト鉱石由来に大別できる。なお、国内産の水酸化マグネシウムの大半は、海水を原料として製造されている。

2.1 海水を原料とした製品^{1,2)}

海水を原料とした製品の製造工程を Fig. 1 に例示する。最初に精製槽において海水に少量の水酸化カルシウムスラリーが添加される。このとき、少量の水酸化マグネシウムとともに硫酸カルシウム、炭酸カルシウムなどの不純物が析出する。上澄み液は反応槽に送られ、再びアルカリ剤が

添加されることで、水酸化マグネシウムが得られる。ここで、アルカリ剤には水酸化カルシウム、アンモニア水などが用いられる。得られた水酸化マグネシウムスラリーはろ過器で脱水され、水で洗浄される。再度脱水したケーキは乾燥機で乾燥され、粉碎機で粉碎されて製品となる。なお、水酸化マグネシウムスラリーの一部は1次粒子を大きくするため、種結晶として反応槽に戻される。

海水由来の製品は他と比較して純度は高いが、アルカリ剤が必要となるため製造費が高くなる。また、添加するアルカリ剤の種類は製品純度や製造コストに影響を与える。水酸化カルシウムを用いた場合、他と比較して安価であるため海水由来の製品の中では製造費は低くなる。また、残母液となる塩化カルシウム水溶液には排水規制がないこともメリットといえる。一方、不純物として難溶性塩である硫酸カルシウムが生成することが純度低下の要因となる。

アンモニア水を用いた場合、水酸化カルシウムとの価格差に加えて貯蔵などを含めた設備費が増加するため、製造費は割高となる。アンモニアを使用する場合は難溶性塩が析出しなため、水酸化カルシウムを用いる場合よりも純度の高い製品が得られる。

その他、水酸化ナトリウムを用いる場合があるが、水酸

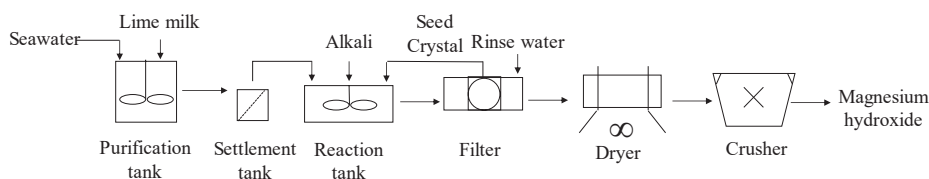


Fig. 1 Manufacturing process using seawater

化カルシウムと比較してコスト高となることから現在はまだあまり使用されていない。

2.2 マグネサイト鉱石を原料とした製品^{2,3)}

マグネサイト鉱石（主成分：炭酸マグネシウム）を原料とした製品の製造工程を Fig. 2 に例示する。まず、マグネサイト鉱石（主成分：炭酸マグネシウム）を600-900℃で焼成して得られる酸化マグネシウム（軽焼マグネシウム）を粉砕機で粉砕し、磁選機により鉄などの不純物を除去する。その後、酸化マグネシウムを水和槽に入れて80-90℃の水と反応させて水酸化マグネシウムを析出させる。生成した水酸化マグネシウムスラリーは沈降槽に送られ、2.1項と同様に脱水、洗浄、乾燥、粉砕されて製品となる。

マグネサイト鉱石から製造する製品は海水から製造する場合よりも製造費は低いが、未反応の酸化マグネシウムが残存（10%程度）するため純度は低い。また、酸化マグネシウムを得る焼成操作が製造効率や製品品質に影響を与える。焼成温度が低いと酸化マグネシウムへの転化率が低下して最終製品に混入する炭酸マグネシウムは増加する。一方、焼成温度が高いと酸化マグネシウム粒子同士の焼結により表面積が小さくなり、水和槽での反応速度は低下する。

2.3 ブルーサイト鉱石を原料とした製品^{2,4,5)}

ブルーサイト鉱石（主成分：水酸化マグネシウム）を原料とした製品の製造工程を Fig. 3 に例示する。ブルーサイト鉱石は破砕機で破砕され、作業員によりタルク、マグネサイト、ドロマイトなどの混入物が除去される。その後、粉砕機で粉砕され、所要の粒径に篩で篩い分けられて製品となる。

ブルーサイト鉱石から製造される製品は製造費が低い。ただし、一部の高純度品を除き、上述の混入物が除去できずに製品純度が低くなる傾向がある。また、ブルーサイト鉱石にはクリソタイルと呼ばれるアスベストが混在する可能性があるが、これは水酸化マグネシウムの原料として使用してはならない。ただし、450-700℃で加熱すれば无害化できるため、700-900℃で焼成して軽焼マグネシウムとすることで、2.2項で示した製造工程に使用することが可

能である。

3. 水酸化マグネシウムの用途¹⁾

水酸化マグネシウムの用途はアルカリ剤としての排煙脱硫や排水処理用途、熱分解時の熱容量が大きいことを利用した難燃剤用途、制酸剤および下剤としての医薬用途に大別される。

3.1 排煙脱硫用途^{1,6)}

化石燃料の燃焼ガスに含まれる亜硫酸ガスの除去において、中小規模（排煙ガス 5-40万 Nm³/h 程度）の施設では、脱硫プロセスの吸収剤に水酸化マグネシウムスラリーが用いられることが多い。水酸化マグネシウムスラリーを用いた場合、炭酸カルシウムスラリーや水酸化カルシウムスラリーと比較して原料費は高くなるが、スケーリングの発生が少ないため運用が簡便である。なお、副産される硫酸マグネシウム水溶液は海への放流が可能である。排煙脱硫用途では純度など、品質への要求は低い。

3.2 排水処理用途¹⁾

工場からの酸性排水の中和剤としてスラリー状、あるいは粉末状の水酸化マグネシウムが用いられる。水酸化マグネシウムはアルカリ度が高いため、水酸化ナトリウムや水酸化カルシウムなどと比較して使用する薬剤量は少なくなる。一方、溶解度が低い（1.2 mg/100 ml）ため、反応速度が低く、処理施設は大型化する傾向がある。なお、排水処理で用いられる場合は排煙脱硫の場合と同様に品質への要求は低い。

3.3 難燃剤用途^{1,7-9)}

水酸化マグネシウムは350℃付近で吸熱分解することから、難燃剤としてプラスチック樹脂や建材などに添加される。分解副生成物は水であることから、ハロゲン系、リン系などの難燃剤の場合と比較して安全性が高く、環境負荷は低い。また、水酸化マグネシウムは同じ金属水酸化物系の難燃剤として用いられる水酸化アルミニウムと比較して分解温度が高く、添加された材料の加工温度範囲は広い。ただし、金属水酸化物系の難燃剤は難燃効果が低いため、

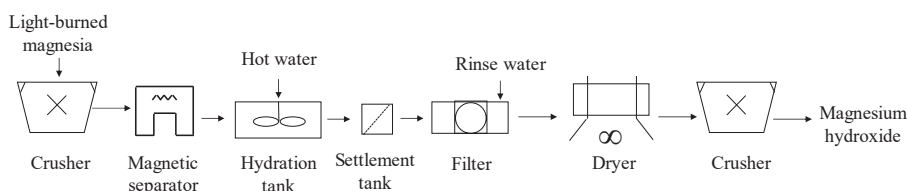


Fig. 2 Manufacturing process using light-burned magnesia as a raw material

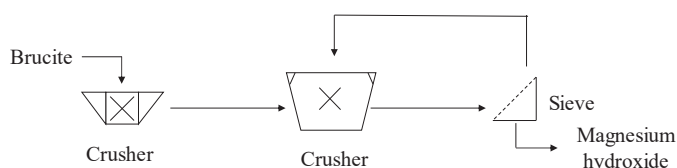


Fig. 3 Manufacturing process using brucite as a raw material

ハロゲン系，リン系の5-10倍程度の添加量が必要となる。難燃剤は被添加材料に均一に分散させることで，強度，難燃性が高まるため，難燃剤として用いられる水酸化マグネシウムは粒子径を小さくしたり（1～10 μm），粒子表面を疎水化処理して分散性を高めている製品が多い。ただし，一般的には水酸化マグネシウムの分散性が高まると被添加材料の加工性が低下するため，求められる粒径は，被添加材料の材質や用途に応じて異なる。その他，粒子のアスペクト比を高めることにより機械的強度を高めているとされる製品も存在する。難燃剤製品の組成に統一した規格はないが，著者らが市販品を分析した結果，純度は98.6～99.8%であり，排水処理および排煙脱硫用途よりも高かった。

3.4 医薬用途^{1,10,11)}

医薬用途の水酸化マグネシウムは粉末，錠剤，スラリー状態で服用される。水酸化マグネシウムは胃酸を中和する効果があり，制酸剤として用いられる。また，反応生成物である塩化マグネシウムは腸内の重炭酸ナトリウムと反応して炭酸マグネシウム，重炭酸マグネシウムに変化する。これらは可溶性，難吸収性であるため腸内の浸透圧が上昇し，水量が増加して下剤作用を示すとされている。なお，医薬用途の水酸化マグネシウムの分析方法や基準は日本薬局方外医薬品規格（局外規）により規定されている。

4. 水酸化マグネシウムの取引価格¹⁾

水酸化マグネシウムの取引価格を Table 1 にまとめる（109円/ドルとして換算）。取引価格は地域差が小さく，用途ごとの格差が顕著である。医薬用途および難燃剤用途の取引価格は排煙脱硫用途および排水処理用途の約3倍である。

5. 水酸化マグネシウムの需要^{1,12)}

2016年の世界の水酸化マグネシウム取引量は94万トンであった。今後は年4.6%の割合で増加すると予測されており，2026年には148万トンになると推算されている。中でも中国をはじめとしたアジア（日本を除く）の増加率は年6.1%とされ，2016～2026年の間に35万tから63万tに増加すると見込まれている。主な成長要因として，排水量の増加，難燃剤のノンハロゲン化，医薬品の生産量増，パルプ・製紙産業や化学工業をはじめとする産業の成長が挙げられている。一方，抑制要因として，経済成長の鈍化と難燃剤用途としては高価であることが挙げられている。生産能力は2014年において約100万tと推算されており，さらなる生産能力の向上が求められる。

2016年における取引量ベースの用途別内訳を Fig. 4 に示す。排煙脱硫・排水処理が最も多く62.4%（59万トン）を占めており，以下，難燃剤用途10.1%（9.5万トン），医薬用途8.8%（8.3万トン）であった。なお，2026年において

Table 1 Price of magnesium hydroxide

	Yen/kg			
	Flue gas desulphurisation ・ Wastewater treatment	Pharmaceuticals	Flame retardants	Others
North America	57-60	131-153	147-164	56-60
Latin America	50-55	109-132	131-150	50-56
Western Europe	49-56	120-142	136-158	48-55
Eastern Europe	50-56	107-135	142-161	50-57
Asia (Excluding Japan)	38-45	114-136	129-146	38-45
Japan	39-44	114-142	125-148	38-46
Middle East・Africa	47-55	120-147	131-153	36-53

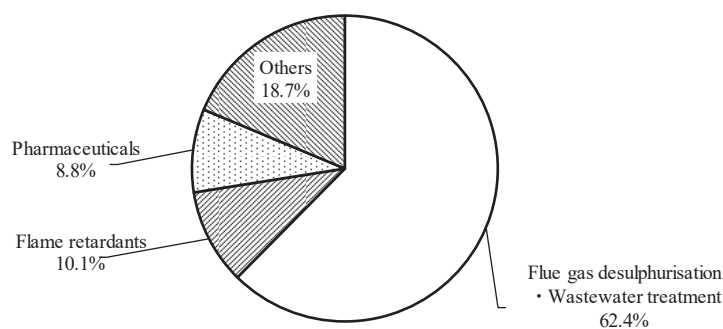


Fig. 4 Breakdown of magnesium hydroxide transaction volume by use (World 2016)

もこの比率は大きく変化しないと推算されている。

一方、日本の2016年における水酸化マグネシウム取引量は5.2万トンであった。今後の増加率の予測は年2.9%であり、2026年には6.9万トンに達すると推算されている。2016年の取引量ベースの用途別内訳を **Fig. 5** に示す。排煙脱硫・排水処理用途は61.7% (3.2万トン) を占めており、難燃剤用途15.3% (0.79万トン)、医薬用途6.7% (0.35万トン) であった。この比率は世界の用途別内訳と比較すると難燃剤用途がやや高いものの同様の傾向を示している。な

お、2026年の推算値においても世界の用途別内訳と同様にこの比率は大きく変化していない。

Figs. 6, 7 に世界の主要輸出入国とその輸出入量を示す。日本は米国、中国、オーストリアに次ぐ4位の輸出国 (1.3万トン) であると同時に韓国に次ぐ2位の輸入国 (1.4万トン) となっている。

貿易統計として公表されている日本の輸出入量、および金額の推移を **Figs. 8, 9** に示す。2001年以降、輸出货量、金額ともに増加傾向であった。輸出货量および金額は今後も増

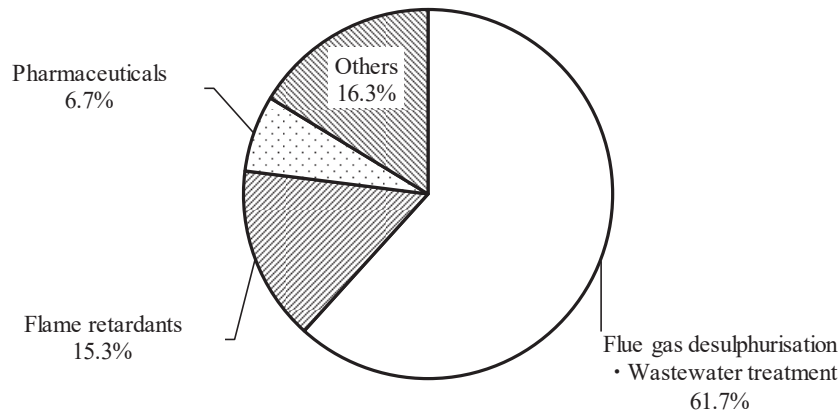


Fig. 5 Breakdown of magnesium hydroxide transaction volume by use (Japan 2016)

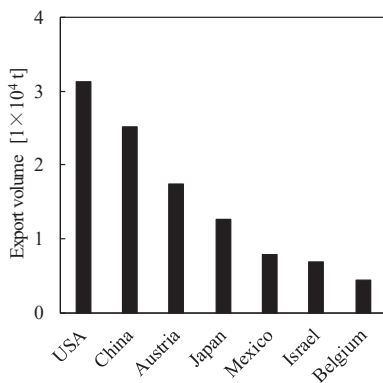


Fig. 6 Export volume by major country

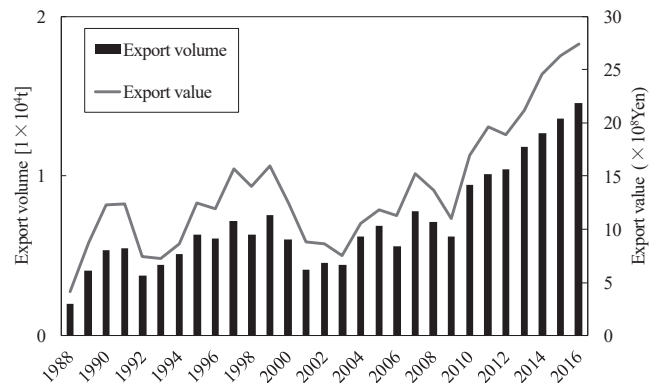


Fig. 8 Export volume and export value of magnesium hydroxide

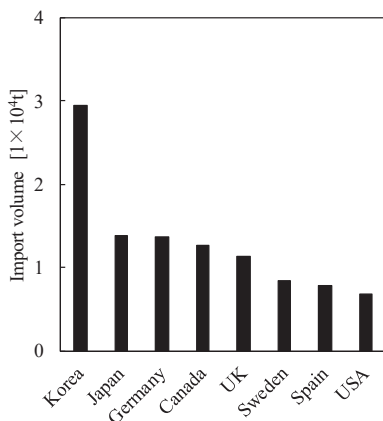


Fig. 7 Import volume by major country

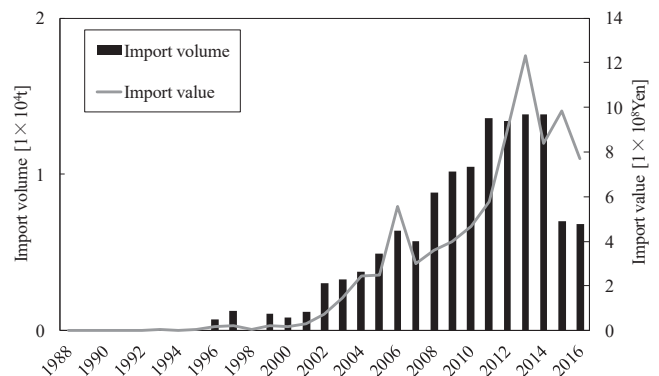


Fig. 9 Import volume and import value of magnesium hydroxide

加する可能性が高いと考えられる。また、輸出量、金額から算出した2016年の平均輸出価格は188円/kgであった。

Table 1と比較すると、輸出品は多くが医薬あるいは難燃剤用途であると考えられる。一方、輸入量および金額は2014年以降半減している。輸入量、金額から算出した2016年の平均輸入価格は113円/kgであり、輸出品よりも低かった。Table 1と比較するとこの値は安価な排煙脱硫・排水処理用途と高価な医薬・難燃剤用途との中間であり、輸入品は輸出品と比較して多用途であると考えられる。

6. 製塩苦汁から製造する水酸化マグネシウムのターゲットと検討課題

水酸化マグネシウムは難溶性塩であるため、イオン交換膜製塩の苦汁から製造する場合の生産能力は、苦汁の排出速度とマグネシウム濃度から以下のように推算できる。

$$P = W_B C_{Mg} M_{Mg(OH)_2} / M_{Mg} \quad (1)$$

P ：水酸化マグネシウムの生産能力 (t/y), W_B ：苦汁の排出速度 (t/y), C_{Mg} ：マグネシウム濃度 (t/t), $M_{Mg(OH)_2}$ ：水酸化マグネシウム分子量, M_{Mg} ：マグネシウム原子量

(1) 式より、2018年度の日本のイオン交換膜法製塩の総苦汁排出量とマグネシウム濃度から、製塩苦汁から水酸化マグネシウムを製造する場合の最大生産能力は約2.4万トン/年と見積もられた。この値は国内の取引量5.2~6.9万トン/年（ただし、既に苦汁から製造されている量も含む）の35~46%に相当し、安易な大量生産は国内の需給バランスを崩す懸念がある。しかし、輸出を前提に考えれば、需要は大きく拡大していくことから市場開拓の余地が期待できる。特に世界1位の輸入国である韓国や大幅な需要の増加が見込まれる中国など、アジアへの輸出は現実的な目標となり得る。そのためには世界的に需要拡大が期待できる排水処理用途、難燃剤用途、医薬用途がターゲットになると考える。ただし、5項で述べた通り、現在輸出されている製品の平均価格は高いことから、日本製の排水処理用製品は国際競争力が低いと考える。また、製塩苦汁にアルカリ剤を添加して製造する水酸化マグネシウムは2項で述べた海水由来の製品と同様に製造費が高く、純度が高くなる特徴を有すると考えられる。この点からもターゲットは医薬用途、難燃剤用途が妥当であると考えられる。

以上より、苦汁を原料に水酸化マグネシウムを製造する場合のターゲットは医薬および難燃剤用途とし、まずは比較的小規模なプロセスを考案する必要があると考える。そのためには、苦汁から生産する水酸化マグネシウムの品質（組成、粒径、形状など）を再検証し、より高品位、あるい

は付加価値を有する製品（高純度、高分散性など）を製造する技術の開発がまず必要である。

7. 結 言

製塩苦汁から水酸化マグネシウムを製造する場合のターゲットと課題を明らかにすることを目的として、市販水酸化マグネシウムの種類、用途、取引量、取引価格などについて調査した。その結果、苦汁を原料に製造する場合のターゲットは医薬用途および難燃剤用途とし、まずは比較的小規模なプロセスを考案する必要があると考えた。そのためには苦汁から生産する水酸化マグネシウムの品質（組成、粒径、形状など）を再検証するとともに、より高品位（高純度、高分散性など）な製品の製造技術について検討することが必要である。

Reference

- 1) Magnesium Hydroxide Market – Global Industry Analysis and Opportunity Assessment 2016-2026, Future Market Insights (2017)
- 2) BSI 生物科学研究所, 「肥料製造学」水酸化マグネシウム, ([http://www.bsikagaku.jp/f-industry/Mg\(OH\)2-industry.pdf](http://www.bsikagaku.jp/f-industry/Mg(OH)2-industry.pdf)) (accessed 2020.2.19)
- 3) M. Haneda, K. Kato and S. Sakai, Evaluation of Physico-Chemical Properties of Magnesium Oxide, *Annual Report of the Advanced Ceramics Research Center Nagoya Institute of Technology*, **5**, 44-51 (2016) (Japanese)
- 4) JOGMEC Website, 鉱物資源マテリアルフロー2018 マグネシウム (Mg), (http://mric.jogmec.go.jp/wp-content/uploads/2019/03/material_flow2018_Mg.pdf) (accessed 2020.2.19)
- 5) 株式会社ファイマテック HP, 鉱物別：水酸化マグネシウム, (<http://www.fmt.co.jp/minerals/mgoh2.html>) (accessed 2020.2.19)
- 6) H. Michiki and H. Miyakawa, Developments of a new Flue Gas De-sulfurization Process, *技術革新と社会変革*, **1**, 33-40 (2008) (japanese)
- 7) Y. Miyachii, 新しい天然水酸化マグネシウム難燃剤の開発, *Journal of Materials Life Society*, **16**, 82-85 (2004)
- 8) H. Nishizawa, Flame Retardant Agents, *Journal of the Society of Rubber Science and Technology, Japan*, **52**, 621-629 (1979) (japanese)
- 9) H. Nishizawa, 難燃剤, 難燃化技術の最近の動向, *Journal of the Society of Rubber Science and Technology, Japan*, **75**, 322-326 (2002)
- 10) Goodman and Gilman's the pharmacological basis of therapeutics (7th edition) (1989)
- 11) Japanese Pharmacopoeia Non-Pharmaceutical Standards 2002, Pharmaceutical and Medical Device Regulatory Science Society of Japan (2002) (Japanese)
- 12) Trade Statistics of Japan Website, “普通貿易統計, 品別国別表”, (<http://www.customs.go.jp/toukei/info/index.htm>) (accessed 2017.11.10)