海水からの高品位マグネシウム回収技術の開発

# 加留部智彦, 鴨志田智之, 邑上泰平, 渕脇哲司, 長谷川正巳

Development of Technology for Recovering High-Quality Magnesium from Seawater

# 1. 緒言

マグネシウム(以下, Mg)は実用の構造用金属材料の中 では最も軽量で,比強度,比剛性が高いことから,自動車部 品やポータブル機器,携帯電話やノートPC等に使用されて いる.国内需要量と平均の輸入価格を乗じた値で Mg 需要を 評価するとおよそ123億円であると報告されている.特に, 今後の需要の伸びが期待されているものとしてダイカスト製 の自動車向け部品がある.これは,昨今の地球環境問題や省 エネルギーに対する関心,ニーズの高まりを背景に,自動車 の CO<sub>2</sub> 排出量削減や燃費向上等が求められているためであ る.車体の軽量化を目的としてボディーやエンジンブロック, パワートレイン部品等の材料として Mg を使用することが増 えており,自動車産業における Mg の重要性は今後も増して いくと考えられる<sup>1)</sup>.

また,我が国において Mg は添加剤としての用途が多いが, そのなかでもアルミニウム合金への添加用として Mg の国内 需要の約5割が使用されており,5000系(Al-Mg 系:船舶, 缶エンド等),6000系(Al-Mg-Si 系:建材,車両等)およ び7000系(Al-Zn-Mg 系:航空機等)のアルミニウム合金に Mg が使用されている.軽量金属であるアルミ合金について も、今後,航空機や自動車部品等への需要が増加することが 想定される<sup>2</sup>.

しかし、日本では純 Mg や Mg 合金地金の製造は行われ ていないため、これらは全て輸入に依存している。年によっ て輸入量全体の変動はあるが、純 Mg, Mg 合金地金ともに、 中国からの輸入量が継続的に最も多く、2013 年の総輸入量に 対する中国からの輸入量の割合は純 Mg で 98%、Mg 合金地 金で 91% を占めている。このように、中国の生産量の寡占度、 対日輸出量の寡占度はともに高いことから、我が国において Mg は中国への依存度が極めて高い金属資源であるといえる。

本報告では、我が国が抱える Mgの供給リスクに対応す るために、イオン交換膜法製塩技術をコア技術として海水 中に溶存する Mgを効率的に分離・回収する手法を検討す るとともに、回収した Mgから、高純度な酸化 Mg(以下, MgO)を製造する方法について検討した。

なお,本報告は,「平成 27 年度希少金属鉱物資源開発推 進基盤整備事業/海水からの高品位 Mg 回収技術」(独立行 政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構から住友重機械工業 株式会社への委託事業)の成果の一部であり,当研究所と住 友重機械工業株式会社との研究成果をまとめたものである.

# 2. 本法の考え方

イオン交換膜法製塩工場では、イオン交換膜電気透析(以下, ED)装置で海水を濃縮し、濃縮した海水(以下, EDかん水)を加熱蒸発晶析(以下, TC)装置より塩を晶析させて生産している。

ここで, Fig. 1 に ED 法について模式的に示す. ED 法で は陽イオン交換基を有する陽イオン交換膜, 陰イオン交換基 を有する陰イオン交換膜が交互に積層されるとともに, 両者 で仕切られた多数の室がある. それぞれの室に塩類溶液を 流しながら電気透析槽の両端にある電極間に電圧を印加する と,溶液中のイオンがキャリアとなって移動しようとするが, 室を仕切っているイオン交換膜は自身が有する交換基の対イ オンは透過させるが, 非対イオンは透過させないために, 塩 類が濃縮される室(濃縮室)と塩類が希釈される室(脱塩室) が交互に並ぶことになる. イオン交換膜法製塩では, 脱塩室 に海水を供給することで, ED かん水を濃縮室から採取して, 製塩に使用する.



現行のイオン交換膜法製塩では、海水から NaCl を回収す ることが目的であるため、陽イオン交換膜には、1 価陽イオ ンである Na イオンを透過しやすい2 価イオン難透過性処理 膜(以下,処理膜と称す)を使用している.処理膜は1 価陽 イオンを透過させやすい性質を有するが、2 価陽イオンは透 過させにくいため、海水からかん水中に回収される Mg イオ ンや Ca イオンはごくわずかである.本検討では海水から多 くの Mg を回収することが目的の一つであるため、陽イオン 交換膜として、2 価陽イオンを透過させやすい2 価イオン難 透過性無処理膜(以下,無処理膜)を使用した.

次に, Fig. 2 にイオン交換膜法製塩工場における TC 装置 を模式的に示す.製塩工場では, TC 装置には真空式多重効 用缶を用い, 自家発電設備からの背圧蒸気を TC 装置の熱源 に用いている.本法においても ED かん水を同様に TC 装置 で濃縮し, この過程で濃縮された溶液から Mg を水酸化 Mg (以下, Mg(OH)<sub>2</sub>) として回収し, 回収した Mg(OH)<sub>2</sub> は焼 成して MgO とした.

本報告では、無処理膜を使用した際に、ED 装置操作条件 が、かん水の溶液組成および Mg の単位透過量当たりの電力 (Mg の電力原単位) に与える影響について検討するととも に、TC 装置における塩類の濃縮、析出挙動の変化および 2 価イオン濃度の上昇に伴い上昇する沸点の影響について検討 した.



Fig. 2 イオン交換膜法製塩工場における TC 装置

### 3. 試験方法

### 3.1 ED 装置操作条件の検討

### 3.1.1 ED 装置および操作方法

Fig. 3に, ED装置図を示す. 試験には, 有効膜面積が0.3dm<sup>2</sup> (横 50mm, 縦 60mm)の陽・陰イオン交換膜 15 対を組み込 んだ電気透析槽(AGCエンジニアリング(株)製)を有す る ED装置を使用した. イオン交換膜には, 2 価陽イオンを 高効率で回収する目的で陽イオン交換膜は無処理膜, 陰イオ ン交換膜は硫酸イオン難透過性処理膜の組み合わせを, また 比較のための陽イオン交換膜は処理膜, 陰イオン交換膜は硫 酸イオン難透過性処理膜の組み合わせを使用した.

試験は以下のように行った.まず,海水を脱塩液タンクに入れ,その温度は温度コントローラーにより所定温度に保持 するとともに,初期のpHが4になるようにHClを添加して 調整した.電気透析槽の脱塩室,濃縮室にも同様に調整した 海水を入れた.

次に,電流密度が所定の値となるように,ED装置の電極 間に電圧を印加した.試験中,電気透析槽の脱塩室にはポン プを使用して脱塩室下部から脱塩液タンク内の脱塩液を膜面 速度5cm/sで供給し,脱塩室上部から溢流した脱塩液は脱 塩液タンクに戻るように,脱塩液を脱塩室-脱塩液タンク間 で循環させた.電圧を印加することにより,濃縮室には脱塩 室からイオンおよび同伴する水が透過してくるため,かん水 量が増加し濃縮室上部から溢流してくるが,液組成が定常に 達するまでは溢流したかん水は脱塩液タンクに戻した.定常 状態に達した後に,脱塩液およびかん水をサンプリングして, 組成の分析を行った.また,脱塩室および濃縮室の1対当り にかかる電圧(セル電圧)およびEDかん水の生成量の測定 を随時行った.

#### **3.1.2** 電流密度の影響検討

電流密度を 2, 3, 4A/dm<sup>2</sup>と変えた際の,かん水の溶液 組成へ与える影響について検討した.電流密度以外の操作条 件について,透析温度は 25℃とした.また,かん水のサンプ リング量は少量にして,脱塩率の変化を少なくした.なお, 脱塩率は以下の式によって算出した.



Fig. 3 ED 装置図 (有効膜面積 0.3dm<sup>2</sup>)

脱塩率 [%] = (海水の全塩分濃度 [g/kg] – 脱塩液の全塩分濃 度 [g/kg]) ÷ 海水の全塩分濃度 [g/kg] × 100

### **3.1.3 透析温度の影響検討**

透析温度を15,25,35℃と変えた際の,かん水の溶液組 成へ与える影響について検討した.透析温度以外の操作条件 について,電流密度は3A/dm<sup>2</sup>とした.また,かん水のサン プリング量は少量にして,脱塩率の変化を少なくした.

#### **3.1.4 脱塩率の影響検討**

脱塩率を 1.6 ~ 39.8% の範囲で変化させて,かん水の溶液 組成へ与える影響について検討した.脱塩率以外の操作条件 について,電流密度は 3A/dm<sup>2</sup>とし,透析温度は 25℃とした.

#### 3.1.5 Mg の電力原単位の算出

ED 装置での2価イオン高効率濃縮における最適操作条件 を見出すため,前記までの実験結果をもとに下式により Mg の電力原単位を算出した. Mgの電力原単位 [kWh/kg]

= 電気透析に要した全電力 [kW] × 電気透析における Mg
の電流効率÷ ED における時間当たりの Mg の透過量
[kg/h]

### 3.2 ED かん水からの Mg 回収方法の検討 3.2.1 ED かん水の蒸発濃縮試験

ED かん水生成には、有効膜面積が 5.1dm<sup>2</sup> (横 130mm, 縦 390mm)の陽・陰イオン交換膜 50 対を組み込んだ電気透 析槽 (AGC エンジニアリング(株)製)を有する ED 装置(Fig. 4)を使用した.陽イオン交換膜には無処理膜,陰イオン交 換膜には硫酸イオン難透過性処理膜を用い,3.1項で得られ た最適条件下で運転を行った.

ED 装置は脱塩液槽と ED 装置間を循環させている海水が 所定液温に到達後,電流密度を所定の値となるように,ED 装置の電極間に電圧を印加した.試験中,ポンプを使用して 脱塩液槽内の液を系外へと排出しつつ,排出した液量と同量 のろ過海水を脱塩液槽へと供給することで脱塩率を制御し た.また,かん水タンクと濃縮室は運転によって得られたか



Fig. 4 ED 装置図 (有効膜面積 5.1dm<sup>2</sup>)

ん水を所定量循環させ、運転によりタンクから溢流したかん 水をサンプルとして全量回収し, TC 試験に供した.

Fig. 5 に TC 試験装置を示す. ポリカーボネート製の容器 に ED かん水 100L を採取し, 撹拌機により撹拌させ, ヒーター を用いて液温 90℃に加熱して水分を蒸発させた. 試験は液 量が 7L 程度となるまで容器を変えながら実施した. サンプ リングは母液を対象に適宜実施し, 組成を分析した.

### 3.2.2 沸点上昇の測定

3.2.1 項の結果をもとに, ED かん水の 90℃における濃縮 過程の溶液 6 水準を選択し,各溶液と同じ組成となるモデル



Fig.5 TC 試験装置

溶液を NaCl, KCl, MgCl<sub>2</sub>・6H<sub>2</sub>O, CaCl<sub>2</sub>の各試薬(和光純 薬工業(株)製特級)を用いて調製した.各モデル溶液につ いて,真空ポンプとエバポレータを使用して,90℃で沸騰す る蒸気圧を測定し,以下の計算により沸点上昇を求めた.

沸点上昇[℃]=モデル溶液の沸点[90℃]-モデル溶液が 90℃で沸騰する蒸気圧における純水の沸点 [℃]

### 3.2.3 Mg の分離・回収試験

Fig. 6 に Mg(OH)₂生成試験装置の模式図を示す. 試験は 25℃の原料液および NaOH40% 溶液を 40℃で反応させて Mg (OH)₂を生成する方法で行った. まず, 3.2.2 項で調製したモ デル溶液を 25℃に冷却し,保持することで得られる上澄み液 を原料液として用い,各原料液と NaOH40% 溶液を連続的に 撹拌下にある反応槽に供給することで,Mg(OH)₂を生成さ せた. なお,これらの供給によって反応槽内の液量が変動し ないように,反応槽内のスラリーは定量ポンプにより連続的 に系外へと排出した.原料液の液温は 25℃,反応槽内の液 温は 40℃,反応槽内の液量は 0.5L に維持するとともに,pH スタット装置を用いて NaOH40% 溶液を添加することにより, 反応槽内の pH を 9.5 に制御した.また,CO₂の溶存による 炭酸カルシウムの生成防止のため,反応槽,各溶液の気相部



Fig. 6 Mg(OH)<sub>2</sub> 生成試験装置

へはアルゴンガスを常時導入した.なお,本試験ではスラリーの排出量が反応槽内液量の4倍量(2L)に達して以降を定常状態と見なし,これ以降に排出されたスラリーを回収した.

次に、回収したスラリーを対象に遠心分離法による Mg  $(OH)_2$ 粒子の洗浄を実施した.まず、所定量のスラリーを遠 心瓶に計り取り、2000G で5分間の遠心分離を実施し、スラ リー中の Mg $(OH)_2$ 粒子を沈殿させた.次に上澄み液を排出 し、そこに純水約 200ml を入れ、Mg $(OH)_2$ 粒子を純水に分 散させ、撹拌した後、2000G で5分間の遠心分離を実施し、 スラリー中の Mg $(OH)_2$ 粒子を沈殿させた.本試験では、こ の洗浄操作を計 10 回繰り返した. さらに,洗浄後の Mg(OH)<sub>2</sub> 粒子は乾燥機によって 160℃ で 2 時間乾燥後,乳鉢と乳棒を用いて粉砕した後,電子炉内 によって 400℃で 3 時間焼成した.焼成により得られた MgO は分析し,差引法により純度を算出した.

### 4. 試験結果

### 4.1 ED 装置操作条件の検討

透析温度が 25℃,脱塩率がほぼ一定(1.6~2.9%)で電 流密度を変化させた場合の ED かん水の組成を Table 1 に, ED かん水中の陽イオンの濃度と電流密度の関係を Fig. 7 に

	$[A/dm^2]$						[g/kg]	[%]
陽イオン交換膜	電流密度	Na	K	Ca	Mg	Cl	合計	純塩率
2価イオン難透過性 処理膜(処理膜)	2	63.7	3.5	0.1	0.2	101.0	168.5	95.6
	3	72.2	4.0	0.1	0.2	115.0	191.4	95.3
	4	77.8	4.2	0.1	0.2	124.0	206.4	95.4
2価イオン難透過性 無処理膜(無処理膜)	2	49.1	3.8	4.3	7.1	107.0	171.4	72.4
	3	55.4	4.3	4.6	8.0	120.0	192.2	72.8
	4	60.2	4.5	4.6	8.4	129.0	206.7	73.6

Table 1 ED かん水組成(透析温度:25℃,脱塩率:1.6~2.9%)



Fig. 7 電流密度と ED かん水中の陽イオン濃度との関係(透析温度:25℃,脱塩率: 1.6~2.9%)

示す.処理膜を用いた場合には、電流密度によらずかん水 中の Ca 濃度は 0.1g/kg, Mg 濃度は 0.2g/kg と一定であっ た.無処理膜を用いた場合は、電流密度が上昇すると Mg 濃 度は増加した.無処理膜を用いた場合には、処理膜を用いた 場合と比較して、Ca 濃度および Mg 濃度は約 40 倍であり、 Na 濃度は 23% 程度低く、K 濃度はわずかに高かった.また、 Na 濃度および K 濃度は処理膜、無処理膜のいずれを用いた 場合でも電流密度が上昇すると増加した.

電流密度 3A/dm<sup>2</sup>, 脱塩率がほぼ一定(1.1 ~ 3.3%)の条件で透析温度を変化させた場合のかん水組成を Table 2 に, かん水中の陽イオンの濃度と透析温度の関係を Fig. 8 に示 す.処理膜を用いた場合,かん水中の Ca 濃度は 0.1g/kg, Mg 濃度は 0.2g/kg と透析温度によらず一定値であった. 無 処理膜を用いた場合には,透析温度が上昇すると Ca 濃度お

Table 2 ED かん水組成(電流密度:3A/dm<sup>2</sup>,脱塩率:1.1~3.3%)

	[°C]						[g/kg]	[%]
陽イオン交換膜	透析温度	Na	Κ	Ca	Mg	C1	合計	純塩率
2価イオン難透過性 処理膜(処理膜)	15	78.8	4.6	0.1	0.2	126.0	209.7	95.1
	25	72.2	4.0	0.1	0.2	115.0	191.4	95.3
	35	65.8	3.7	0.1	0.2	105.0	174.8	95.1
2価イオン難透過性 無処理膜(無処理膜)	15	61.4	4.7	4.6	8.0	130.0	208.8	74.4
	25	55.4	4.3	4.6	8.0	120.0	192.2	72.8
	35	50.1	3.7	4.4	7.6	110.0	175.8	72.0



Fig. 8 透析温度と ED かん水中の陽イオン濃度との関係(電流密度:3A/dm<sup>2</sup>, 脱塩率:1.1~3.3%)

よび Mg 濃度がわずかに低下する傾向があった.また,Na,K 濃度は処理膜,無処理膜のいずれを用いた場合でも透析温度が上昇すると低下した.無処理膜を用いた場合には,Na 濃度は処理膜を用いた場合と比較して 22% ~ 24% 低かった.

電流密度 3A/dm<sup>2</sup>, 透析温度 25℃の条件で脱塩率を 1.6 ~ 39.8% の範囲で変化させた場合のかん水組成を Table 3 に,

ED かん水中の陽イオンの濃度と脱塩率の関係を Fig. 9 に示 す.処理膜を用いた場合,脱塩率が上昇すると ED かん水中 の Ca 濃度, Mg 濃度は上昇したのに対し,無処理膜を用い た場合には,脱塩率が上昇すると Ca 濃度は低下し, Mg 濃 度は上昇した.また, Na 濃度,K 濃度は処理膜,無処理膜 のいずれを用いた場合でも脱塩率が上昇すると低下した.

Table 3	ED かん水組成	(電流密度: 3A/dm <sup>2</sup> ,	透析温度:25℃)
---------	----------	-----------------------------	-----------

	[%]						[g/kg]	[%]
陽イオン交換膜	脱塩率	Na	Κ	Ca	Mg	Cl	合計	純塩率
	4.8	71.5	3.9	0.1	0.2	114.0	189.7	95.3
2価イオン難透過性 処理膜(処理膜)	10.9	70.9	3.8	0.1	0.2	113.0	188.0	95.4
	17.1	69.2	3.3	0.1	0.2	110.0	182.9	95.7
	23.3	70.6	3.1	0.2	0.2	112.0	186.1	96.0
	30.1	70.5	3.0	0.2	0.3	112.0	186.0	95.9
	36.8	69.9	2.7	0.2	0.4	111.0	184.2	95.9
2価イオン難透過性 無処理膜(無処理膜)	5.4	56.2	4.1	4.5	8.0	121.0	193.7	73.4
	11.5	56.1	3.8	4.1	8.0	120.0	192.0	73.9
	18.2	55.3	3.5	3.8	8.4	119.0	190.0	73.6
	25.1	55.7	3.1	3.5	8.5	119.0	189.8	74.2
	32.4	54.9	3.0	3.1	8.5	117.0	186.5	74.4
	39.8	55.5	2.7	2.8	8.6	117.0	186.5	75.0



Fig. 9 脱塩率と ED かん水中の陽イオン濃度との関係(電流密度:3A/dm<sup>2</sup>,透析温度:25℃)

次に,前記試験結果を基に,各操作条件下でのMgの電力原単位を算出した結果をFig. 10~12に示す.Mgの電力 原単位は電流密度が低下すると,または透析温度が上昇する と低下したが,脱塩率の影響はほとんど無かった.



Fig.10 電流密度と Mg 電力原単位との関係



以上の検討結果より,EDで2価陽イオンを高効率に濃縮 するには低電流密度,高透析温度での運転が望ましく,以降 の検討では個々に検討した範囲で最も電力原単位が低くなっ た,電流密度2A/dm<sup>2</sup>,透析温度35℃の組み合わせを用いた. なお,脱塩率については,変化させると取水量等にも影響し てくるため,現状の製塩工程と同程度である20%とすること とした.

#### 4.2 ED かん水からの Mg 回収方法の検討

Table 4 に ED 試験に使用した海水と試験で得られたかん 水の組成を示す. なお、Table 4 には陽イオン交換膜に処理 膜を用い、製塩工程における標準条件(透析温度 25℃、電 流密度 3A/dm<sup>2</sup>、脱塩率 20%)による運転により得られたか ん水組成も併せて示した.検討した方法による ED かん水中 の Mg 濃度は 7.6g/kg と、製塩工程における標準条件で生成 した ED かん水の Mg 濃度の 0.2g/kg に比べ、38 倍と非常に 高い値を示した. これから、本方法は海水中の Mg を高濃度 で効率的に回収する方法として有効であると考えられた.

						[g/kg]	[%]
	Na	Κ	Ca	Mg	Cl	合計	純塩率
海水	10.6	0.4	0.4	1.3	19.1	31.7	78
本法のEDかん水	49.3	3.1	3.7	7.6	107.5	171.2	73
現状の製塩工程の EDかん水	72.2	4.0	0.1	0.2	115.0	191.4	95

Table 4 ED 試験に使用した海水と生成したかん水の組成

本方法による ED かん水を 90℃で蒸発濃縮した際の各陽 イオンの濃縮挙動を Fig. 13 に示す. Na は濃縮倍数で約 1.7 倍以降に析出を開始した. また K は濃縮倍数で約 8.1 倍以降 に析出を開始した. イオン交換膜法製塩において, 母液から NaCl を採取できるのは K が析出開始するまでであるので, 濃縮倍数で 8.1 倍が濃縮限界であり, Mg 回収の対象溶液と してはこの濃縮度以下のかん水, 母液, 苦汁が対象となるも のと考えられた. そこで, Mg 回収の対象溶液として ED かん水と, これを濃縮限界まで蒸発濃縮した苦汁, 更に濃縮過程で Mg 濃度が概ね等間隔となるような中間組成のもの 4 点の計 6 水準 (Table 5)を選定し, Mg 回収の試験を行った. なお, Table 5 にはモデル溶液を用いて測定した各溶液の沸点上昇 ( $\Delta$ t)の値も付記した. ED かん水で 3.4℃であった. 沸点上昇は苦汁では Mg の濃縮に伴い 19.6℃まで上昇した.



Fig. 13 蒸発濃縮試験結果(液温:90℃) (濃縮倍数[-] = TC 母液の Ca 濃度 [g/kg] ÷ ED かん水の Ca 濃度 [g/kg])

						[g/kg]	
	Na	K	Ca	Mg	C1	合計	⊿t
EDかん水	49.3	3.1	3.7	7.6	107.5	171.2	3.4
母液1	78.2	6.0	7.7	14.5	182.0	288.4	9.3
母液2	56.3	9.6	12.1	24.0	187.0	289.0	9.7
母液3	39.0	13.5	16.2	32.9	197.0	298.6	11.1
母液4	22.4	19.3	21.4	43.9	218.0	325.0	14.8
苦汁	9.5	23.2	27.5	54.4	243.0	357.6	19.6

Table 5 Mg 回収の対象溶液の組成および沸点上昇

Table 5 の組成をもとに 90℃で調製したモデル溶液 を 25℃に冷却した原料液の組成を Table 6 に示す.また, Table 6 の原料液から製造した Mg(OH)<sub>2</sub> について,原料液 からの Mg 回収率(洗浄前および洗浄後)および,焼成して 得られた MgO の組成および純度を Table 7 に示す. MgO の純度はいずれの原料液から製造した場合でも 99.9% であ り, 原料液組成による差は認められなかった.また, Mgの 回収率はどの原料液を使用した場合も,洗浄前では98%以 上,洗浄後では70%程度であった.原料液によって生成し た MgO に大きな差が無かったことから, Table 5 で示した 沸点の上昇を考慮すると,本法を製塩工程に適用した時の適 切な Mg 回収ポイントは ED かん水と考えられた.

I able 0 原杆板(250 床牙板。アモアル俗板)。	ole 6 原料液	6 原料液 (25℃保持後のモラ	デル溶液	)の組成
-------------------------------	-----------	------------------	------	------

						[g/kg]
	Na	K	Ca	Mg	Cl	合計
EDかん水	47.6	3.0	3.5	7.3	106.0	167.4
母液1	66.4	6.0	7.9	14.7	109.0	204.0
母液2	47.4	9.5	12.1	24.2	177.0	270.2
母液3	30.6	13.5	15.8	32.9	185.0	277.8
母液4	17.6	22.2	20.4	43.9	209.0	313.1
苦汁	6.7	15.3	27.7	52.1	226.0	327.8

Table 7 製造した MgO の組成,純度および原料液からの Mg 回収率

	[%]	[%]			[%]	[%]
	原料液から	のMg回収率				
原料_製品	(洗浄前)	(洗浄後)	Na	K	Са	MgO純度
EDかん水_MgO	98.3		0.010	0.012	0.092	99.9
母液1_MgO	99.1		0.008	0.010	0.060	99.9
母液2_MgO	99.5	約70	0.012	0.016	0.111	99.9
母液3_MgO	99.5		0.005	0.007	0.120	99.9
母液4_MgO	99.7		0.005	0.007	0.099	99.9
苦汁_MgO	99.7		0.004	0.002	0.088	99.9

# 5. 結言

イオン交換膜法製塩技術をコア技術として海水中に溶存 する Mg を効率的に分離・回収する手法を検討するとともに, 回収した Mg から, 高純度な MgO を製造する方法について

### 検討した.

まず, ED 装置において, 無処理膜を使用することで, Mg を高効率で回収可能な ED 装置操作条件について検討を 行い,検討範囲において最も電力原単位の低くなる条件(電 流密度 2A/dm<sup>2</sup>,透析温度 35℃)を明らかにした. その条件

r°O 1

における ED かん水中の Mg 濃度は,現状の製塩工程の ED かん水と比較して約 38 倍であった.

次に, 無処理膜を使用した ED かん水の濃縮結果を基に Mg の分離・回収試験を行った. その結果, Mg 濃度の異な るいずれの原料液を使用しても, 生成した Mg(OH)<sub>2</sub> への Mg の回収率は約 70% であり, MgO の純度は 99.9% 以上で あった. Mg の回収率は, Mg(OH)<sub>2</sub> の洗浄方法によって影 響を受けると考えられる.洗浄方法の検討による回収率の向 上は今後の課題である.

原料液によって生成した MgO に大きな差が無かったこと から、沸点の上昇を考慮すると、本法を製塩工程に適用した 時の適切な Mg 回収ポイントは ED かん水と考えられた.

今後,本法の妥当性を検証するとともに, Mg 回収コスト を明らかにする.

# 引用文献

経済産業省資源エネルギー庁ウェブサイト, "資源確保戦略第15回パッケージ型インフラ海外展開関係大臣会合報告資料(平成24年6月27日)", (http://www.enecho.meti.go.jp/category

/resources\_and\_fuel/strategy/pdf/shinenseisaku2.pdf)

 経済産業省ウェブサイト、"マグネシウム産業戦略"、 (http://www.meti.go.jp/policy/nonferrous\_metal/ strategy/magnesium01.pdf)

(英文タイトルは(公財)塩事業センターで新規に作成しました.)