

# 空気電極を用いた電解による海水のアルカリ化

櫻井 周伶\*, 豊角 浩之\*, 瑞慶覧 章朝\*<sup>1</sup>, 澤井 淳\*, 糸川 和芳\*\*, 金子 貴之\*\*

(2020年4月10日受付; 2020年6月29日受理)

## Alkalizing Seawater by Electrolysis Using Air Electrode.

Shurei SAKURAI\*, Hiroyuki TOYOZUMI\*, Akinori ZUKERAN\*<sup>1</sup>,

Jun SAWAI\*, Kazuyuki ITOKAWA\*\* and Takayuki KANEKO\*\*

(Received April 10, 2020; Accepted June 29, 2020)

In order to improve the alkalinity of scrubber seawater for removing SOx in the exhaust gas from ships, the effect on energy efficiency of an electrolyzer using Mg and air electrodes (Mg-Air) was investigated. Simulated seawater (2 L) was electrolyzed and its pH and alkalinity were measured. The energy efficiency of alkali component generation was calculated from the pH and alkalinity. Furthermore, the results were in comparison to apparatuses using carbon electrodes (C-C) or Mg and carbon electrodes (Mg-C) in previous studies. As a result, the energy efficiency in the Mg-Air was the highest due to high alkalinity and low voltage at the same current.

### 1. はじめに

船舶のディーゼル機関の排ガス中には硫黄酸化物(SOx)が含まれている。このため、国際海事機関では低硫黄燃料油を用いるか、排ガス浄化装置を船舶に搭載するよう定めている。

船舶排ガス浄化装置として海水を洗浄水としてSOxを吸収させる海水スクラバが実用化されている。しかし、SOxを吸収した洗浄水は、アルカリ度が低下するため、そのままでは再利用できない。そこで、筆者らは電解による海水のアルカリ化を目指し、その基礎現象、Mg電極<sup>1)</sup>及び2室電解の効果<sup>2)</sup>について検討してきた。

本研究では、アルカリ生成効率向上を目的とし、Mg電極と空気電極を用いた電解に着目し検討したので報告する。

### 2. 原理

陽極をMg、陰極を空気とした場合の反応を(1)と(2)式に示す。陰極で生成されるOH<sup>-</sup>が海水のアルカリ化に寄与する。



キーワード: 空気電極, マグネシウム, 電解, 海水, SOx, スクラバ, アルカリ度

\* 神奈川工科大学

(〒243-0292 神奈川県厚木市下荻野 1030)

Kanagawa Institute of Technology, 1030 Shimoogino, Atsugi, Kanagawa 243-0292, Japan

\*\* 富士電機株式会社

(〒191-8502 東京都日野市富士町 1)

Fuji Electric Co., Ltd, 1 Fujimachi, Hino, Tokyo 191-8502, Japan

<sup>1</sup> zukeran-akinori@ele.kanagawa-it.ac.jp

ここで、E<sup>o</sup> vs SHEは標準電極に対する電位であり、その差ΔE<sup>o</sup>は2.76 Vとなる。

このことは、起電力が電極間に発生することを意味する。すなわち、低電力で電解を起こすことができる。また、陰極側でOH<sup>-</sup>を消費するH<sup>+</sup>やHClが生成されないため効率向上が期待できる<sup>1)</sup>。

### 3. 実験方法

実験システムを図1に示す。装置は電解槽(200×100×135 mm)と空気電極で構成されている。電解槽の一面は30 cm<sup>2</sup>に切り抜いてありそこに空気電極を設置した。空気電極は両者が確実に接触するよう活性炭シート(日本バルカー工業 7940EDLC, 70×70×0.5 mm, 吸着用活性炭フィルター)で銅メッシュ(PC20-323, 200×300×0.3 mm, 電極面積30 cm<sup>2</sup>)を挟んだ構造とした。電解槽に模擬海水<sup>2)</sup>を2 L入れた後、水溶液との接触面積が30 cm<sup>2</sup>となるようMg電極(ニラコ MG-272643,

300 mm, φ9.5 mm, 純度99.9%, 100×50×0.5 mm)を挿入した。なお、空気電極とMg電極の間隔は50 mmとした。空気電極の銅メッシュを接地し、Mg電極に直流0~+6 Vを印加することで電解処理した。なお、スターラーにより海水を攪拌しながら電圧は印加した。導電率と水温の初期値

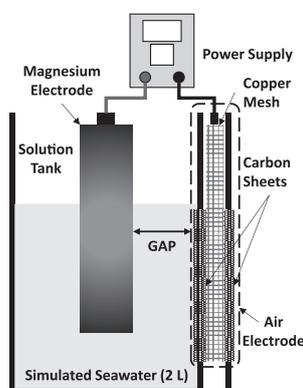


図1 実験装置の概要  
Fig.1 Schematic diagram of experimental equipment.

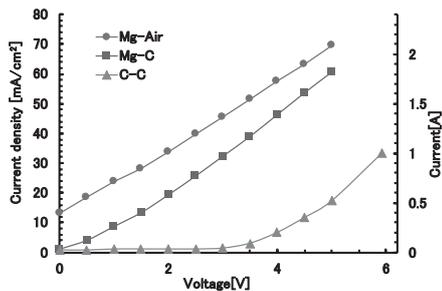


図2 電圧電流特性  
Fig.2 Current as a function of applied voltage.

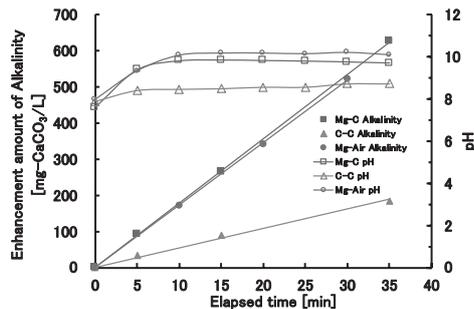


図3 アルカリ度及び pH と電解時間の関係  
Fig.3 Relationship between alkalinity, pH and elapsed time.

表1 各電極構成におけるアルカリ生成効率

Table 1 Alkali generation efficiency.

Configuration	Alkali generation efficiency [mg/kJ]
C-C	23
Mg-C	229
Mg-Air	245

は、約 60 mS/cm, 20°Cであり、いずれも実験中ほとんど変化はなかった。電圧の印加時間は 35 min とし、定期的に pH, アルカリ度<sup>2)</sup>を計測し、アルカリ生成効率 [mg/kJ]<sup>2)</sup>を算出した。また、電流値は電源装置の表示値から計測した。本方式の効果を検討するため、ガラス製ビーカー (φ135×203 mm) に模擬海水を 2 L 入れ、陽極を Mg またはカーボン (ニラコ C-072673, 300 mm, φ10 mm, 等方性黒鉛材), 陰極にカーボンを用いた電解も行った。図1とできるだけ条件をそろえるため、このときの陽極と陰極の間隔は 50 mm, 模擬海水との接触面積は 30 cm<sup>2</sup>とした<sup>2)</sup>。

#### 4. 結果及び検討

電圧電流特性を図2に示す。図中には陽極を Mg, 陰極をカーボンとした場合 (Mg-C 電極)<sup>1)</sup>と両極ともカーボンとした場合 (C-C 電極)<sup>1)</sup>の結果も示してある。C-C 電極では約 3 V から電流が流れ始めている。これに比べ、Mg-C 電極では電流の立ち上がり電圧が低くなっている。これは、Mg-C 電極においても起電力 (1.53 V) が発生するためである。空気電極 (Mg-Air) では、さらに起電力 (2.76 V) が大きいので、印加電圧 0 V の時点で電流が流れている。この電流値の大きさは、装置の内部抵抗に依存すると考えられる。一般に空気電極は電流密度が高くなると酸素の拡散が律速となり電流が飽和するが、本実験では外部電源で電圧を加えているため、陰極側で次の反応が進み、電圧に対して電流値は増加し続けている。



同一電圧で見ると、Mg-Air 電極の電流値が最も大きい。アルカリ物質の生成量は電流値に依存するため、同一電流で電圧値を下げることでできる Mg-Air 電極がアルカリ生成効率の観点から有効であると期待できる。

模擬海水の pH, アルカリ度と電解時間の関係を図3に示す。図中には C-C 電極と Mg-C 電極の実験結果も示してある。電流密度は 33.3 mA/cm<sup>2</sup>一定とした。pH は、いずれの場合も時間の経過に対し上昇している。各電極

の特性を比較すると、C-C 電極が最も低い。これは、陰極側でアルカリ成分である OH<sup>-</sup> が生成されるが、陽極側で発生する Cl<sub>2</sub> が H<sub>2</sub>O と不均化して酸性の HCl や HClO を生成し、OH<sup>-</sup> を消費するためである。一方、Mg-C 電極と Mg-Air 電極の pH が高いのは、陽極側の反応が Mg<sup>2+</sup> の生成であり OH<sup>-</sup> を消費する Cl<sub>2</sub> を発生しないためである<sup>2)</sup>。Mg-C 電極と Mg-Air 電極を比べると、どちらも pH10 付近で飽和し、同様の傾向である。

アルカリ度をみると、いずれも電解時間とともに上昇している。同一時間でみると、上述と同じ理由で C-C 電極が最も低い。Mg-C と Mg-Air 電極を比べるとほぼ同等のアルカリ度が得られている。これは、電流値が等しいためである。

これらの結果からアルカリ生成効率を算出した。その結果を表1に示す。C-C 電極が 23 mg/kJ, Mg-C 電極が 229 mg/kJ, そして Mg-Air 電極が 245 mg/kJ であった。同一電流でアルカリ生成量も多く、最も電圧値が低い Mg-Air 電極のアルカリ生成効率が最も高くなった。

なお、海中には CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> が存在するため、電解を行うと MgCO<sub>3</sub> が空気電極の表面に析出する<sup>1)</sup>。これによりアルカリ生成効率が低下することがわかっており、この対策は今後の課題である。

#### 5. まとめ

電解による海水のアルカリ化に関して、Mg-Air 電極の効果を先行研究の方式と比較し検討した。その結果、同一電流でアルカリ度が高く、電圧値が低い Mg-Air 電極が最もアルカリ生成効率が高いことが示された。

#### 参考文献

- 乾 貴誌, 浅川大輔, 豊角浩之, 瑞慶覧章朝, 澤井 淳, 當山広幸, 中田栄寿, 江原由泰: 海水のアルカリ化に対するマグネシウム電極を用いた電解工程の省電力化. 日本マリンエンジニアリング学会誌, **50** [1] (2015) 113-118
- 乾 貴誌, 豊角浩之, 浅川大輔, 瑞慶覧章朝, 澤井 淳, 當山広幸, 江原由泰: 海水のアルカリ化に対する2室電解処理法によるエネルギー効率向上. 日本マリンエンジニアリング学会誌, **51** [4] (2016) 520-525