

# 金属空気電池の実用化に関する研究

## Study on the practical implementation of a Metal Air Cell

佐藤義久\*

Yoshihisa Sato

### Summary

The purpose of this research is clarifying of the characteristics of metal air cell and contributing to its practical implementation. In recent years, lithium ion battery is being used as a power supply not only for mobile electronic devices, such as cellular phones and personal computers, but also for cars. However, the resources of lithium are limited and thus, the global spread of lithium batteries has its limitations. It is aluminum, magnesium, and zinc that can be used in metal air cell, and the resources of those are more extensive. We paid our attention to the aluminum which is easy to put in practical use because chemically it is most inert among these three. The basic characteristics of aluminum battery were clarified in the experiment and are described in this report.

**キーワード** : 再生可能エネルギー, 資源量, 金属空気電池, アルミニウム電池  
**Keywords** : Renewable Energy, Resources, Metal air cell, Aluminum battery

### 1. 緒言

化石燃料の大量消費による地球環境問題の深刻化, 天然資源の枯渇問題を同時に解決する方策の一つとして, 再生可能エネルギーの実用化が喫緊の課題であることに疑の余地は無いが, 再生可能エネルギーによる発電は, いずれも従来型の電力システムを前提としている. 一方, 近年, リチウムイオン電池や水素燃料電池等の分散電源が注目を集めている. 特にリチウムイオン電池は携帯電話, パソコン等のモバイル機器から自動車に至るあらゆる分野で使われ始めており, 高性能なリチウムイオン電池さえあれば, 全て事足りるかのような雰囲気があるが, リチウムイオン電池には大きな欠点がある. リチウムは賦存量が極めて少ない希少金属であり, 石炭, 石油, 天然ガスのようなエネルギー媒体にはなり得ない. 現在, 世界中で多くの種類の電池が開発中であり, リチウムイオン(Li)電池に注目が集まっている. Liはイオン化傾向が高く, 高性能な電池が作れるが, Liの確認埋蔵量は僅か1100万トンと少なく, かつ偏在性が高いため本格的な電力貯蔵媒体にはなり得ない. 我々は十分な賦存量があるマグネシウム, アルミニウム, 亜鉛に着目し, 金属空気電池の実用化開発に取り組んでいる. 電解液に水を使える

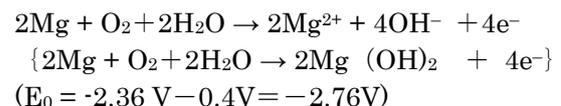
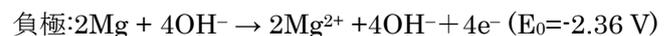
金属元素の中では, マグネシウム(Mg)およびアルミニウム(Al)がイオン化傾向が強く, 優秀な電池となる可能性を持っている. Mg および Al の資源量は豊富で Li の 1300 倍ほどあり, 更に Mg は海水中に無尽蔵(1800兆トン)に存在する. また, Al はリサイクル方法も既に確立されている.

本研究の目的は, 金属空気電池の燃料に Mg, Al を用いた Mg 電池, Al 電池の基本特性を実験的に把握し, 実用化に貢献することである.

### 2. 金属空気電池の放電反応式

#### 2.1 Mg 電池の放電反応式

Mg と空気の反応式を以下に示す.



#### 2.2 Al 電池の放電反応式

Al と空気の反応式を以下に示す.

\* 大同大学工学部電気電子工学科 教授  
 (〒457-8530 名古屋市南区滝春町 10-3)  
 e-mail:satoy@daido-it.ac.jp

陰極： $3/4 O_2 + 3/2 H_2O + 3e^- \rightarrow 3OH^-$  ( $E_0 = 0.4 V$ )

陽極： $Al + 3OH^- \rightarrow Al(OH)_3 + 3e^-$  ( $E_0 = -2.31 V$ )

全体： $4Al + 3O_2 + 6H_2O \rightarrow 4Al(OH)_3 + 2.71 V$

( $E_0 = -2.31 V - 0.4V = -2.71V$ )

理論的にはマグネシウム，アルミニウムいずれでも電解液に水（実際は食塩水）を用いて 2.7V の電圧を得ることができる。

### 3. 金属空気電池の基本構造

金属空気電池の基本構造を図 1 に示す。

金属空気電池は 5 層になっており，各層の役割は以下のようになっている。下から 1 層目はヒートシンク兼電極となっており，空気取り入れ口を設けた銅板を正極として用いる。2 層目はカーボン電極材である。O<sub>2</sub> を取り込み，水(H<sub>2</sub>O)と e<sup>-</sup>から効率よく OH<sup>-</sup>をつくる機能を有し，物としては活性炭を塗り固めたものである。3 層目は電解液である NaCl aq である。強アルカリ性電解液を用いれば性能が上がることは明らかであるが，実用化の為，敢えて強アルカリ性電解液は用いず，安全な食塩水を用いることとした。4 層目はセパレータである。セパレータは OH<sup>-</sup>は透過させるが Mg<sup>2+</sup> Al<sup>3+</sup>は通さない，更に NaCl も透過させない構図になっている。5 層目は燃料であり，負極となる Mg もしくは Al の薄板を用いる。

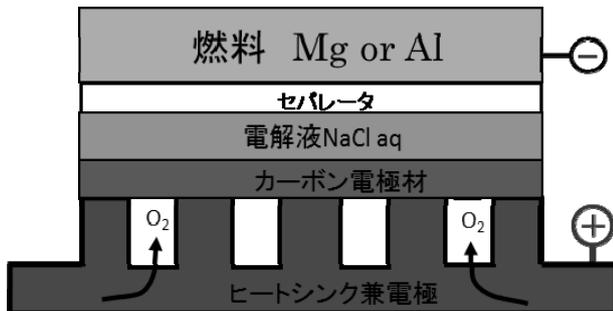


図 1 金属空気電池の基本構造

### 4. 研究目的，実験方法，装置

本研究の目的は，金属空気電池の燃料に Mg，Al を用いた Mg 電池，Al 電池を実用化するため，金属空気電池の特性を把握することである。イオン化傾向がアルミニウムより高いマグネシウムを用いた Mg 電池をベンチマークとして実用化開発を推進することとした。

Mg 電池の特性を把握する為の金属空気電池(Mg 電池)の構造を図 2 に示す。

実験回路図および実際の実験装置を図 3，4 に示す。金属空気電池に負荷抵抗を接続し，電流，電圧を計測

する。燃料，セパレータ，電解液，カーボン電極を押さえる為におもりを使用する。またこのおもりにサーミスタを取り付け反応時の温度を測定する。電解液には 10%wt 食塩水をフェルトに染み込ませた物，あるいはゼラチンで固めた物を使用する。実験時間（測定時間）は Mg 電池の場合は反応が終了するまで，Al 電池の場合は電流電圧最大値の半分以下になるまでとする。

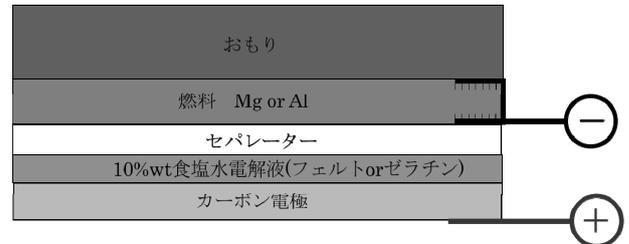


図 2 実験用金属空気電池

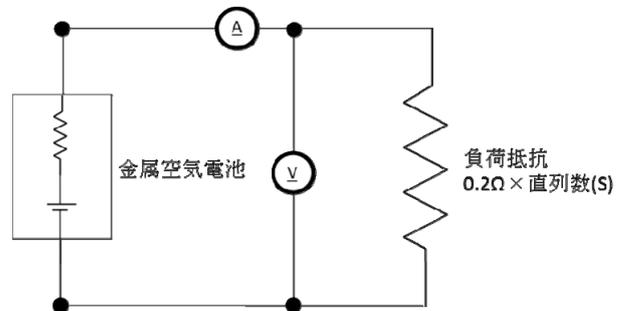


図 3 実験回路

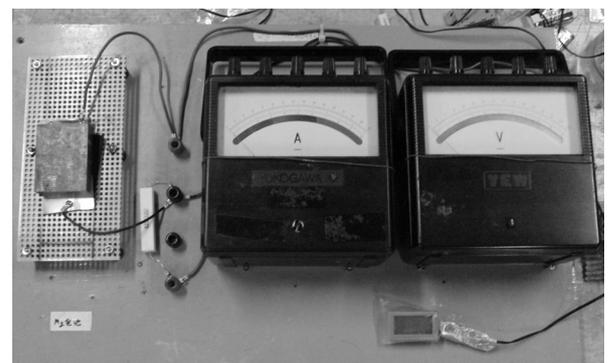


図 4 実験装置

### 5. 実験条件の決定

#### 5.1 概要

Mg 電池の実験をする際の実験条件を決定する。まず，おもりの重さ，電解液の固体化方法を実験より決定する。

#### 5.2 おもりの重さ決定実験

電池をおさえるための最適なおもりの重さを決定す

る。一回の実験中に 250g, 500g, 750g のおもりをのせかえ電流, 電圧の変化を測定する。変化の大きさによっておもりの影響があることを確認する。

実験結果を図 5 に示す。

おもりをのせ変えても電流, 電圧に変化は見られなかった。これは, おもりをのせ変えても Mg の接触している面積は変わらないからと思われる。

以降の実験では 500g のおもりを使い, 接触圧力を一定に保ち, 実験条件を同一とする。

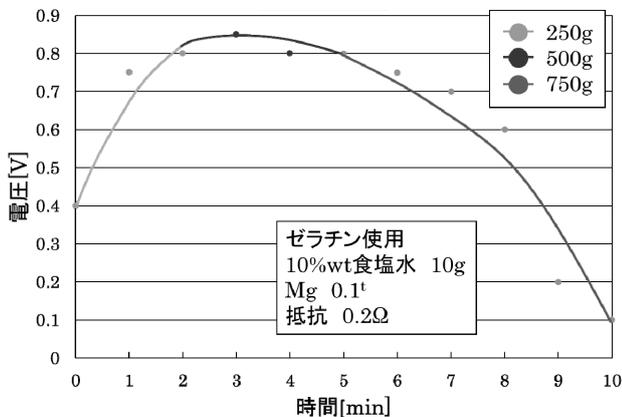
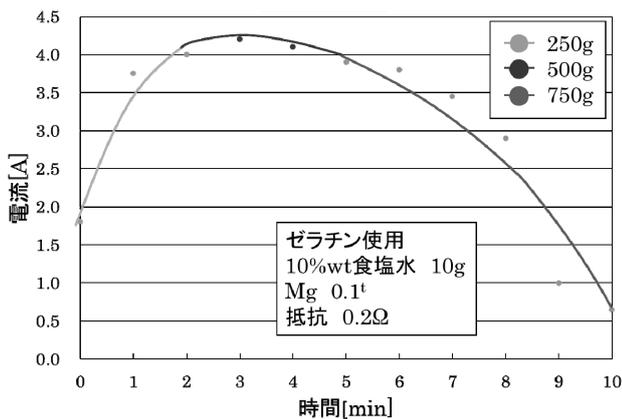


図 5 おもり実験結果

### 5.3 電解液実験

電解液である食塩水をフェルトに染み込ませた場合 (以下フェルト+水) と食塩水をゼラチンで固めた場合 (以下ゼラチン) の実験結果を比較し, 電流, 電圧の傾向を比較し, 漏水の可能性の低いゼラチンが水と同等の性能を有するか否か確認する。

実験結果を図 6 に示す。

ゼラチンの場合, フェルト+水に比べて安定した出力電流, 電圧が得られた。しかし, ゼラチンを使った場合, Mg 電池の発生する熱によって図 7 に示すように

溶け出してしまい実用化するには工夫が必要である。

以降の実験では, 使いやすさ, 実用化の視点よりフェルト+水により実験を行う。

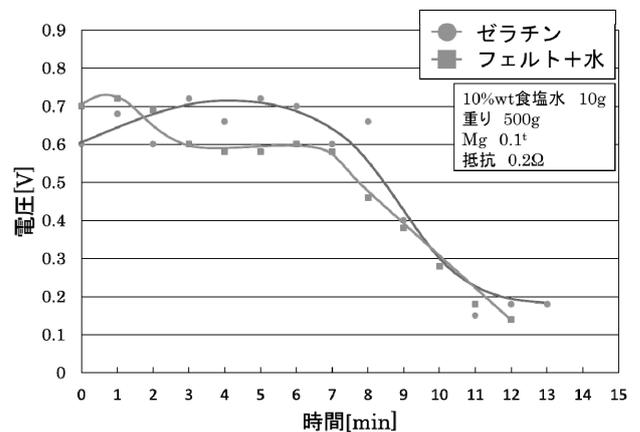
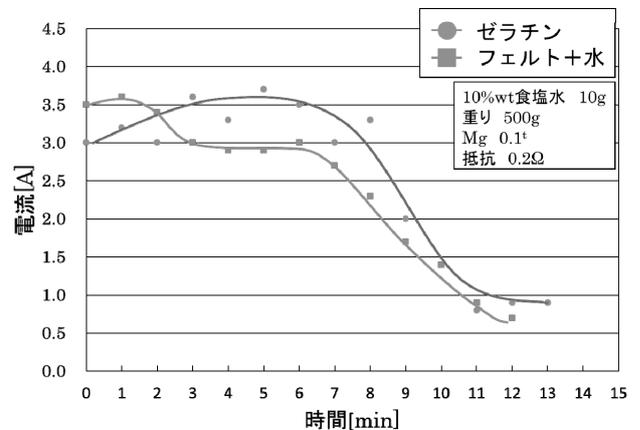


図 6 電解液実験結果

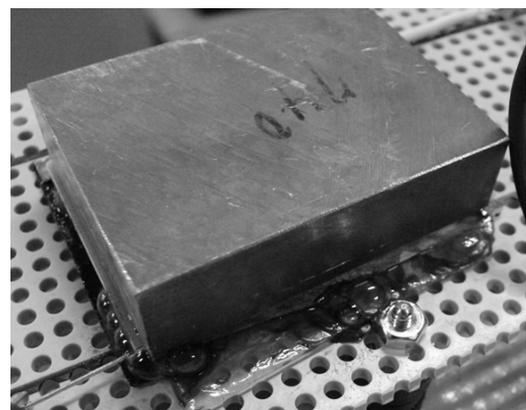


図 7 ゼラチンが溶け出した様子

## 6. Mg 電池実験

### 6.1 ベンチマーク実験

以上決定した実験条件を用いて Mg 電池の電流、電圧特性を把握し、金属空気電池開発のベンチマークとする。5cm×6cm の大きさの Mg を用いた Mg 電池の電流、電圧特性を確認できた。実験結果を図 8 に示す。

最大電流：3.3A 最大電圧：0.65V

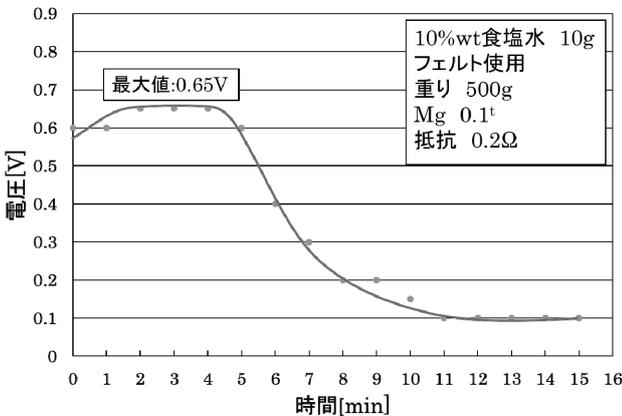
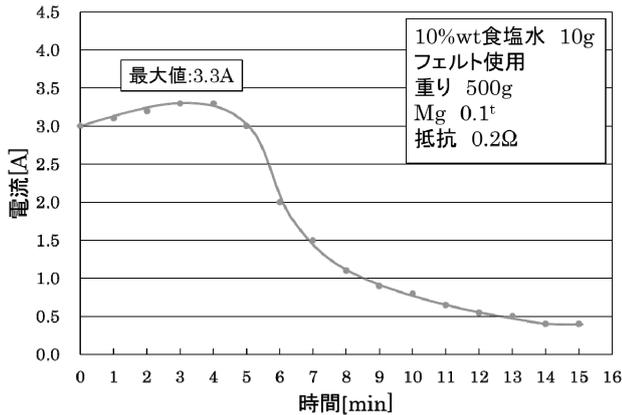


図 8 Mg 電池ベンチマーク実験結果

### 6.2 直列実験

図 9 に示すように Mg 電池を 2S, 5S と直列に接続し、電圧がそれぞれ 2 倍、5 倍と増加して行くか否かを確認する。抵抗は 1S で 0.2Ω, 2S で 0.4Ω, 5S で 1Ω を使用した。電池を直列する際に空気を取り込むための金網を挟み込んだ。

実験結果を図 10, 表 1 に示す。

実験結果より、2S, 5S にすると電圧が約 2 倍、5 倍と比例して増加していることが確認できた。

1S と 2S では実験時間が 12 分に対し、5S は 8 分と

短くなっているが、5S の場合、実験途中で積み重ねていた電池が少し崩れてしまったことが原因ではないかと考えている。今後は、積み上げ方法を工夫し、より直列数の多い直列接続実験を行う予定である。

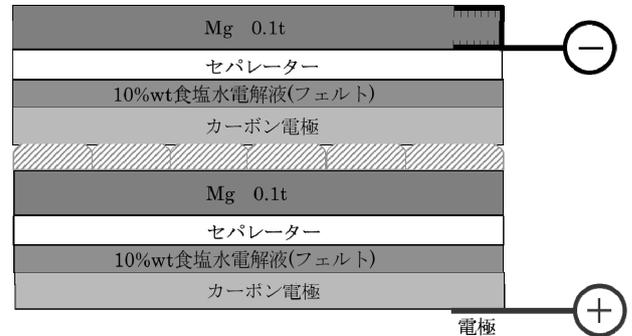


図 9 Mg 電池直列図(2S 時)

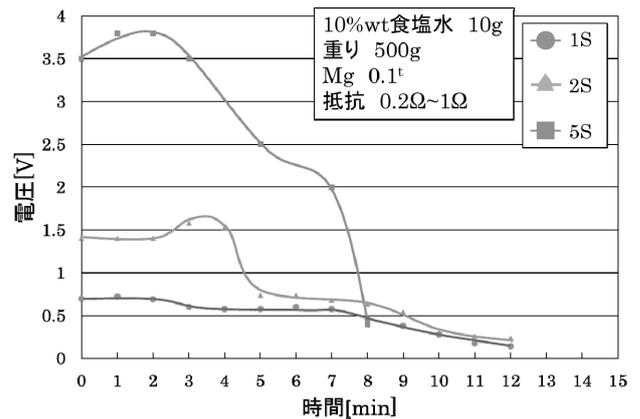


図 10 直列実験結果

表 1 直列数ごとの電圧比較

| 直列数 | 最大電圧  | 1S 時との比較 |
|-----|-------|----------|
| 1S  | 0.72V |          |
| 2S  | 1.58V | 2.2 倍    |
| 5S  | 3.80V | 5.3 倍    |

### 6.3 Mg 電池のまとめ

以上の実験により Mg 電池の基本特性を把握することができた。

Mg 電池の欠点として、反応が激しく反応時間が短く、安定感がなく、かつ発熱が多いことが分かった。

## 7. Al 電池実験

### 7.1 試験的 Al 電池実験

前述の実験より Mg 電池は反応が上げ激し過ぎ、反応時間が短く、かつ安定感がないという欠点がある。そこでイオン化傾向の近い Al を燃料とし実験を試みた。実験条件は Mg 電池と同じとし、電流、電圧の基本特性を確認する。

実験結果を図 11 に示す。

Al 電池の電流、電圧の特性を確認できた。電流、電圧は Mg 電池よりも小さくなっていたが、ピーク時の出力は反応が穏やかな分長くなり 40 分ほど持続した。

最大電流：1.5A      最大電圧：0.3V

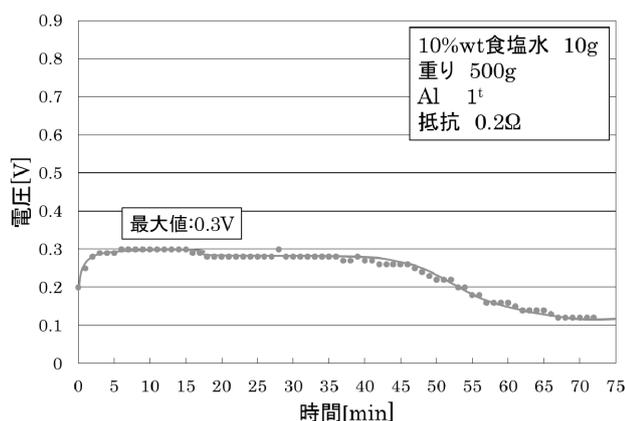
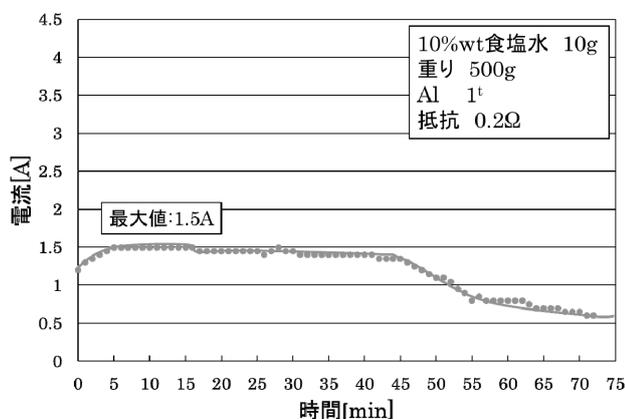


図 11 試験的 Al 電池実験結果

### 7.2 Mg 電池との比較

Mg 電池と Al 電池の特性比較を表 2 に示す。Al 電池は Mg 電池に比べ電流、電圧は 1/2 になった。しかし、ピーク維持時間を比較すると Mg 電池の 13 倍となっている。出力電力は 1/4 になってしまっている。

るが、反応時間あたりで積分すると Al 電池のほうが電力量は 3 倍以上大きくなる。また、電流電圧変動が小さく安定感があり発熱も少ない。

Mg 電池は反応後表面がボロボロになってしまっていたが、Al 電池は 1 時間以上反応させても表面があまり減らない。(図 12)

以上の実験結果より、実用化には Al 電池のほうが優れているといえる。

表 2 Mg 電池と Al 電池の特性比較

| 電池の種類   | Mg 電池 | Al 電池 |
|---------|-------|-------|
| 最大電流    | 3.3A  | 1.5A  |
| 最大電圧    | 0.65V | 0.3V  |
| ピーク維持時間 | 3 分   | 40 分  |

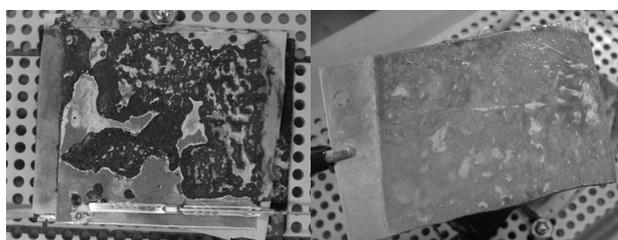


図 12 反応後の Mg 燃料板(左)と Al 燃料板(右)

## 8. まとめ

本研究で得られた主な成果を以下にまとめて示す。

- (1)金属空気電池実験の条件を決定できた。
- (2) Mg 電池の基本特性を把握できた。
- (3) Mg 電池を直列にすると出力電圧は直列数に応じて増加(倍数倍)することを確認できた。
- (4)Al 電池の基本特性を把握できた。
- (5)実用化には、反応が穏やかな Al 電池のほうが Mg 電池よりも優れていることが分かった。

以上のとおり、金属空気電池の基本特性を把握することができ、金属空気電池の実用化開発に多少なりとも貢献することができた。

## 9. 今後の予定

本研究により、実用化という観点からは、Mg 電池よりも Al 電池の方がより実用化に適していることが分かった。今後は Al 電池の出力向上に関する研究開発を推進し、Al 電池の早期実用化を図る予定である。

## 文 献

- (1) 矢部孝, マグネシウム文明論, PHP 新書(2010)
- (2) 鎌田浩毅, 資源がわかればエネルギー問題が見える, PHP 新書(2012)
- (3) 桜井弘, 元素 111 の知識, BLUE BACKS(2009)