

平成21年10月13日現在

研究種目：基盤研究(G)
 研究期間：2006-2008
 課題番号：18560762
 研究課題名（和文） 固体高分子電解膜を水電解・乾燥に応用した空気再生装置の研究
 研究課題名（英文） Study of Air Re-vitalization apply PEM for water electrolysis and dryer
 研究代表者
 桜井 誠人 (Sakurai Masato)
 独立行政法人宇宙航空研究開発機構 研究開発本部 未踏技術研究センター 主任研究員
 研究者番号：80344258

研究成果の概要：

宇宙船内で呼吸用の酸素を発生させるために水の電気分解を用いることが検討されている。しかしながら、水電解によって得られた酸素と水素は飽和蒸気圧の湿度を含むことが予想されそのままではキャビン内にも導入する事が出来ず何らかの除湿操作が必要となる。そこで固体高分子電解質膜を利用した乾燥機を用いる事を発案した。この装置は空気中の水分を電気分解し除湿する物である。本技術は一般的に凝縮水の排水設備が不要な乾燥機の技術として汎用されることが予想される。

水分を選択的に透過させメタンガスを透過させにくいナフィオン膜の特性把握と、二酸化炭素還元のリバチエ反応で生成したメタンガスと高温水蒸気を膜構造体に導き、水蒸気のみを選択的に透過させ、水電解装置に水蒸気の状態で導く事を目指す。主成分であるメタンガス・水蒸気および未反応成分である水素ガス・二酸化炭素の混合成分から水蒸気のみを選択的に透過させる事が可能であるか検討した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
18年度	1,500,000	0	1,500,000
19年度	1,000,000	300,000	1,300,000
20年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	600,000	4,100,000

研究分野：工学、

科研費の分科・細目：総合工学・航空宇宙工学

キーワード：宇宙利用、有人宇宙、ナノテク、水電解、空気再生、二酸化炭素

1. 研究開始当初の背景

2004年1月に発表された米国の新宇宙政策である月面基地建設および有人火星探査に呼応して、今後我が国においても先端的生命維持システムを中心とする ECLSS (Environmental Control and Life Support System; 環境制御生命維持システム)研究が、具体的なミッション・プロジェクトとして進

展すると考えられる。宇宙ステーションや月・火星基地のようなリソース供給に限界がある宇宙拠点において、物質を再利用する技術を構築するために、当研究グループでは、まず部分的な循環生命維持システムの研究を行っており、特に空気再生に注力している。空気再生のプロセスは以下の3段階である、①二酸化炭素分離濃縮：宇宙船内の0.4%ほ

どの二酸化炭素を吸着させ、加熱減圧させる事により脱着させ 90%程度に二酸化炭素を濃縮する。

- ② サバチエ反応：濃縮した二酸化炭素と水素を混合し、ルテニウム触媒と共に 350℃程度に加熱するとメタンと水を発生する(サバチエ反応; $\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 \rightarrow (350^\circ\text{Cルテニウム触媒}) \rightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$)。
- ③ 水電解：生成した水を電気分解し酸素を生成する($2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2$)。

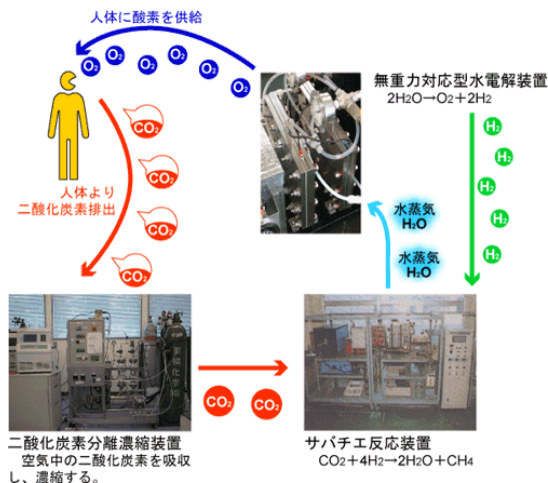


図1 空気再生概念図

このような呼吸用酸素の再生プロセスを構築する際、微小重力場において水電解を行うと電極から発生した水素及び酸素ガスは浮力が働かないため、電極からの離脱上昇が無く、電極の周りにガスが蓄積し反応がストップする。そこで、我々は微小重力対応型の水電解装置を既に発明している。また、サバチエ反応装置についても既に試作を終え基礎データを取得している。

2. 研究の目的

ゼオライトを用いた二酸化炭素吸着、サバチエ反応、水電解は個々において既に一般的に研究されてきた物であるが空気再生システムとして一つのシステムとして組み上げた例はない、以下の項目を課題とする。

- 高分子電解質膜を用いた乾燥機の試作を行う。空気中の水分を酸素と水素に電解する事により乾燥機として使い、水電解で得られた酸素の水分を除去する事ができるか。
- 膜による気液分離およびガス選択性透過特性を利用したサバチエ反応と水電解の結合を目指すべく、水分を選択的に透過させメタンガスを透過させにくいナフィオン膜の特性把握と水電解装置にサバチエ反応生成ガスを直接導く事を目指す。
- 濡れ性・界面張力を用いた凝縮水のハンドリングを目指すべく、微小重力場において

凝縮水を収集できるように濡れ性勾配をつくり凝縮水が自発的に所定の場所に集まる等の検討を行う。親水性材料としては光触媒の超親水性などを利用し、撥水性に関しては HIREC などの超撥水コーティングに関して検討を行う。

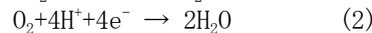
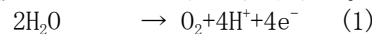
3. 研究の方法

(1) 二酸化炭素分離濃縮装置に関する研究

水電解、サバチエ反応装置については技術・装置の蓄積があるので、空気中の二酸化炭素を効率良く濃縮するための技術開発試作を行う。二酸化炭素は空気中には窒素・酸素・アルゴンに次いで4番目に多く含まれているが、約0.035%と低濃度なために吸着剤を用いた TSA 方式(温度スィング方式)によって90%以上程度の濃度まで濃縮する。

(2) 固体高分子電解質膜を用いた乾燥装置の試作

図2に示す固体高分子電解質膜を利用した乾燥機を試作する事を検討する。この装置は空気中の水分を電気分解し除湿する機能がある。すなわち、図2に示すように陽極側では外部電力により水が電気分解され式(1)の反応が起こり湿度が低下する。



その際に発生するプロトン(H^+)は固体電解質膜を通り、電子(e^-)は外部回路を通過して陰極に達し、式(2)の反応により酸素を消費して水を発生するのでこの水は室内に戻し除湿された分を補填する用にする。

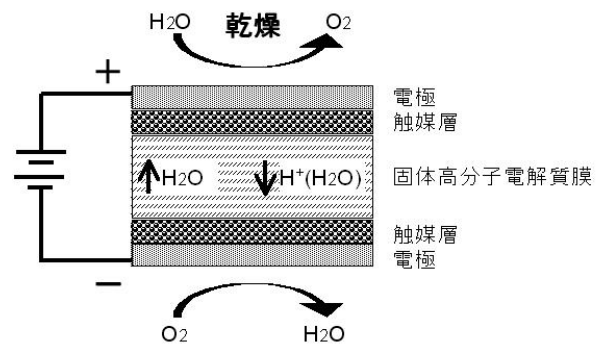


図2 固体高分子電解質膜を利用した乾燥機

(3) 二膜式水電解セルで生成したガスの除湿

微小重力場でも気液分離が可能になるようなシステムの開発を目指し二膜式の高分子電解セルを試作した。本装置では液体である水を用いる代わりに水蒸気により水分を電極に供給するため、電極の周囲に発生ガスがたまる事が無い。水蒸気から酸素および水素

ガスを生成し液体状態の水と混在する事が無いので、気液分離装置を装備する必要が無い、などの特徴があるが、電解により生成したガスは基本的に高い湿度を持つため高分子膜を用いた電解装置による乾燥を試行した。

(4) 濡れ性・界面張力を用いた凝縮水のハンドリングに関する基礎研究

濡れ性・界面張力を用いた凝縮水のハンドリングを目指すべく、微小重力場において凝縮水を収集できるように濡れ性勾配をつくり凝縮水が自発的に所定の場所に集まる等の検討を行う。親水性材料としては光触媒の超親水性などを利用し、撥水性に関しては HIREC などの超撥水コーティングに関して検討を行う。

4. 研究成果

(1) 二酸化炭素分離濃縮装置に関する研究

ゼオライトによる二酸化炭素の吸着を行った。吸着塔の内部にゼオライトを充填し、ここに乾燥雰囲気を送風した。入り口の二酸化炭素濃度は、既存の赤外線式二酸化炭素濃度測定器(島津 GCT-7000)で測定する。出口の二酸化炭素濃度も同様の測定器で測定する。当初、出口の二酸化炭素濃度は吸着によってほぼ 0 であったが、吸着が進むにつれて出口の二酸化炭素濃度が上昇し、最終的には入り口濃度まで上昇した。ゼオライトは 5A が最も単位重量当たりの二酸化炭素吸収量が高い事が示唆された。

二酸化炭素の吸着・脱着性能に関するデータを取得した後、吸着塔を二式製作し、交互に吸着・脱着を繰り返すことにより連続的に二酸化炭素を分離濃縮できる装置を設計した。すなわち一方のゼオライトの充填された吸着塔に導かれ、飽和するまで吸着を続ける。吸着が飽和したところでセレクトバルブを替える事によって、雰囲気の流れを止め、吸着塔を加熱・真空引きすることにより脱着する。この時もう一方の吸着塔には雰囲気を送風させることにより吸着状態となっている。この様に二塔を吸着と脱着の状態に交互に運転することで連続的に二酸化炭素を分離濃縮することが可能である事を示した。

(2) 固体高分子電解質膜を用いた乾燥装置の試作

電解質に固体高分子膜(イオン交換膜)を用い、その両面に触媒電極を担持させ、更にもその両側を多孔質の電極で挟み、一方を陽極、他方を陰極とし、陰極側の固体高分子膜に水蒸気を接触させて吸水させ、その水分を電気分解させて陽極側から酸素、陰極側から水素を取出す電解セルを試作した。

・仕様

- ① 電解質: Pt 触媒付固体高分子膜(ナフィオン膜に Pt めっき)
- ② 陽極: チタンメッシュ電極(Pt めっき処理)
- ③ 陰極: チタンメッシュ電極(Pt めっき処理)
- ④ 筐体: ステンレス(SUS304)
- ⑤ 最大電解圧力: 0.3MPa
- ⑥ 電極面積: 約 194×94 mm
- ⑦ 外形寸法: 約 240×150×28 mm

(3) 二膜式水電解セルで生成したガスの除湿

- ・A セル: 2 膜式電解セル。上の膜が膜単体で電極はついていない。下の膜は上側が陰極、下側が陽極。
- ・B セル: 1 膜式電解セル。膜の上側が陰極、下側が陽極。
- ・A セルには上からチュービングポンプで水を供給、循環させて膜表面に気泡が溜まらないようにする。
- ・A セル H₂ 取出口側からの管には弁 α 、 β がついており任意に開け閉めできる。

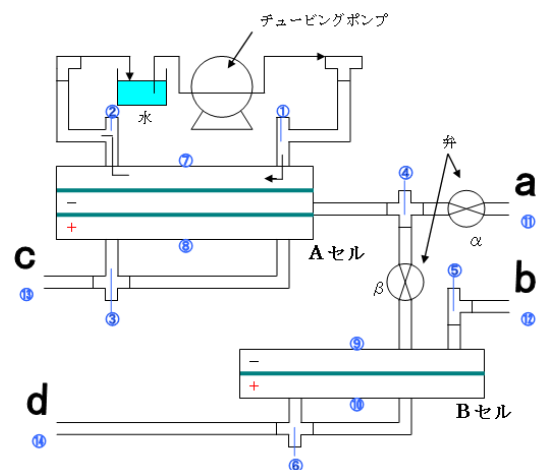


図 3 水電解装置および乾燥機

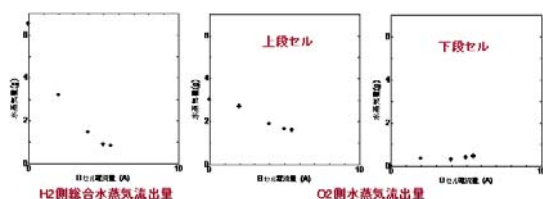


図 4 乾燥実験結果

水電解セルは、恒温槽の中に水平方向に設置した。水平設置した理由は、電解セル内で液滴となった水が導入用のパイプに戻って行くのでセル内が水蒸気のみで満たされるようにするためである。本水電解装置は、発生酸素を二段目の水電解セルに導入し水電解を利用して湿った生成酸素を乾燥させるようにしている。湿った気体が陽極に触れると

水電解されて水は酸素になる、水素イオンは固体高分子電解質を透過して陰極側に移動し酸素と反応して水となる。図4左側はH₂側の水蒸気流入量と電流量を示している。図4の中央および右側はO₂側の水蒸気量と電流の関係が上段セルと下段セルそれぞれについて示してある。下段セルの水蒸気量が少ないことから水電解を応用した乾燥機が有用であることがわかった。

・ナフィオン膜のガス透過特性

通常型の水電解セルでは2個のセルで一日に600Lの酸素を発生させる事が可能であるが、微小重力対応型では1/3程度の酸素発生量であった。微小重力対応型水電解セルの最大の電流密度は60[mA/cm²]程度であった。これは、一番目の膜を通過した水蒸気が二番目の電解膜に到達するまで拡散律速になるためであると考えられる。そこで、ナフィオン膜を水が透過する量を把握するために図5に示す実験を行った。試験管に水をいれナフィオン膜で封入した。試験管の膜を上方向にしたものと、膜を下方向にしたものそれぞれを用意して一日間放置した。図5のグラフにおいて処理ありとしたのは、ナフィオン膜を硫酸で煮沸することにより水の透過をより良好にしたものであるが、処理済と未処理の膜であまり際立った差異は見られなかった。それぞれを温度を変えて放置してナフィオン膜を透過する水の時間当たりの透過量を重量の差異を計測することにより求めた。膜を下向きに放置したものは膜と水が直接接触しているので、膜を上向きに放置したものよりも透過量が大きかった。温度上昇とともに、水の透過量は大きくなることわかった。ナフィオン膜は試験管内部に凸の形になっていた。これは水のみがナフィオン膜を透過して、試験管内部が陰圧になるためと考えられる。図6に臨界電流に及ぼす第一膜と第二膜の距離の影響を示す。第一膜と第二膜の距離は0.5mm, 1mm, 2mmの3種類である。第一膜から第二膜へ水蒸気は拡散で移動するため、ナフィオン膜の距離が大きくなると水分の供給が不足し、臨界電解電流が小さくなる事が図6よりわかった。

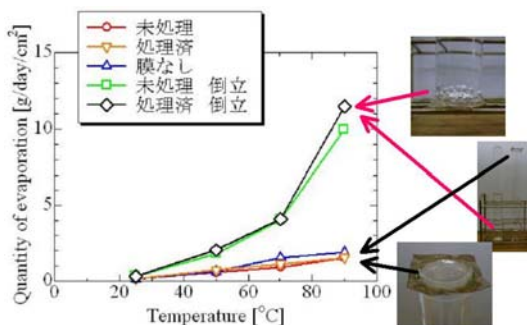


図5 ナフィオン膜水分透過量

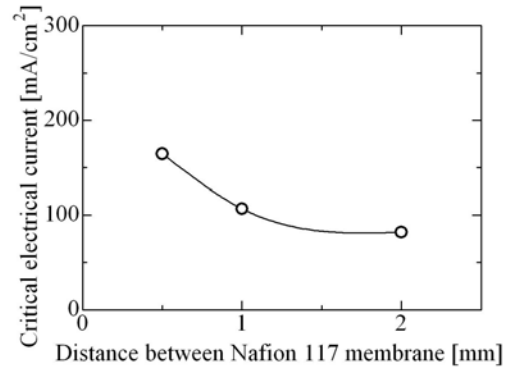


図6 臨界電流密度

(4) 濡れ性・界面張力を用いた凝縮水のハンドリングに関する基礎研究
濡れ性分布を形成するため、超撥水性コーティングをマスキングによりパターン塗布し、濡れ性の差による流路形成を実現した。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計9件)

- ① Masato Sakurai “Air revitalization System aim to Establish Circulated Life Support System” Proc. ISTS2008, June, 2008, Hamamatsu, 査読無, 2008-k-65(2008)1-5
- ② Masato Sakurai, Mitsuo Oguchi, Shoichi Yoshihara, Mitsuru Ohnishi “Air Re-Vitalization System Development for Closed Ecological System” Proc. 37th COSPAR, July 13-20, 2008, Montreal Canada, 査読無, F41-0012-08(2008)1-4
- ③ 桜井誠人、小口美津夫、中山奈緒子、大西充、宇宿功史郎、戸田勲「空気再生システムの研究」第52回宇宙科学技術連合講演会講演集CD, 2008年11月5日~11月7日淡路市、査読無、3I01(2008)2227-2232
- ④ Masato Sakurai, Shoichi Yoshihara, Mitsuru Ohnishi “Water Electrolysis Cell that are Free Liquid-Gas Separation System for Microgravity Conditions in order to Establish Circulated Life Support System” Proc. ISPS2007 査読有(2007)
- ⑤ Masato Sakurai, Naoya Ohishi, Akira Hirata “Oscillatory Thermocapillary Convection in a Liquid Bridge Part 1 -1g Experiments-” Journal of Crystal Growth, 308, 査読有(2007)352-359
- ⑥ Masato Sakurai, Naoya Ohishi, Akira Hirata “Oscillatory Thermocapillary Convection in a Liquid Bridge Part 2

-Dropshaft Experiment- “Journal of Crystal Growth, 308、査読有 (2007)360-365

⑦ Masato Sakurai, Mitsuo Oguchi, Shoichi Yoshihara, Mitsuru Ohnishi “Air Re-Vitalization System Development for Lunar Base Habitation” Proc IAC 査読無 (2007)

⑧ Yoshikazu MIYAZAWA, Masato SAKURAI “The Status of Micro / Nano-Technology for Aerospace Application in Japan” Proc. CANEUS 2006, S09 Unmanned space needs 査読無 (2006)1-5

⑨ Masato Sakurai, Mitsuo Oguchi, Takeshi Hoshino, Shoichi Yoshihara, Katsunori Ohmori, Mitsuru Ohnishi “Study of Air Re-vitalization System including Water Electrolysis for Microgravity” Proc. Closed Life Support Systems Dev. for Human Survival under Extreme Conditions 査読無 (2006)15

[学会発表] (計4件)

① 桜井 誠人 「月面拠点を目指した閉鎖系における空気再生システムの研究」日本地球惑星科学連合2008年大会、H20. 5. 30、幕張

② 桜井誠人、小口美津夫、中山奈緒子、吉原正一、宇宿功史郎、戸田勸 「月面有人探査を目指した微小重力科学の応用(空気再生)」JASMAC23、(2008) 11. 25. 京都

③ Masato Sakurai, Micro - Nano technologies related to Life Support Systems, MEWS21, つくば10月(2008)

④ 桜井誠人, 小口美津夫, 吉原正一, 中山奈緒子, 宇宿功史郎, 戸田勸 「宇宙船内における二酸化炭素還元による空気の再生」化学工学会(2008)横浜国立大学

[図書] (計1件)

桜井誠人 「宇宙船内における空気再生」クリーンテクノロジー、査読無、第18巻、第11号(2008)55-59

[産業財産権]

○出願状況 (計 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況 (計1件)

名称：界面を有する二流体に発生する界面張力差対流による流体駆動方法

発明者：桜井誠人、吉原正一、大西 充

権利者：山之内秀一郎

種類：

番号：3992106

取得年月日：2007年8月3日

国内外の別：国内

[その他]

ホームページ等

<http://www.ard.jaxa.jp/res/adtrg/innovativetech/e01.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

桜井 誠人 (Sakurai Masato)

独立行政法人宇宙航空研究開発機構・

研究開発本部・未踏技術研究センター・

主任研究員

研究者番号：80344258

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：