

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月22日現在

機関番号：56301

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009年度～2011年度

課題番号：21540516

研究課題名（和文） 水／セラミック電極の応用技術の開発

研究課題名（英文） Development of Application of Discharge with Water-Ceramic Electrode

研究代表者

出口 幹雄 (DEGUCHI MIKIO)

新居浜工業高等専門学校・電子制御工学科・教授

研究者番号：20280472

研究成果の概要（和文）：

VAWP(Vertical Aqua-Wall Plasma)の電極として用いることができる下向きに放電可能な水／セラミック電極の構造を考案し VAWP 放電を確認した。また、セラミックが熔融する超高温状態を簡単に得られる特徴を活かし、これをセラミック材料を含む溶接技術や、アスベスト等の難熔融有害物質の熔融無害化処理技術に応用することができることを実験により明らかにした。

研究成果の概要（英文）：

New structure of water-ceramic electrode which can be used in VAWP(Vertical Aqua-Wall Plasma) reactor has been developed. The most remarkable feature of the discharge with the water-ceramic electrode is that ceramic materials are easily melted. It has been experimentally ensured that this feature can be applied to the welding of ceramic materials and to the melting process of hazardous heat-proof materials.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2010年度	600,000	180,000	780,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：プラズマ科学・プラズマ科学

キーワード：放電、プラズマ加工、環境技術

1. 研究開始当初の背景

PFC に代表される地球温暖化ガスやフロンガス等を大気圧プラズマを用いて効率良く分解することのできる VAWP(Vertical Aqua-Wall Plasma)と名付けた構造の放電装置を開発してきた。この装置では放電電極材料に白金を用いており、これが実用化に際してコスト面で制約をもたらしていた。これを解決するため、水とセラミックを組み合わせた新しい放電電極を考案した。この水／セラミック電極には、水を蓄える構造物が必要で、

オリジナルの構造では必然的に上に向かっての放電しかできないが、VAWP の電極として用いるためには、下向きの放電ができなければならない、ここに解決すべき課題があった。

2. 研究の目的

VAWP の電極として用いることの可能な、下方に向かって放電ができる水／セラミック電極の構造を追究し、VAWP 放電への適用性を実証するとともに、水／セラミック電極の最大の特徴である、放電によってセラミッ

ク材料の一部が溶融するほどの超高温状態を簡単に実現できる特性を、種々の応用技術への発展的展開の可能性を、実験を通じて探索することを目的としている。

3. 研究の方法

下方に向かっての放電を可能にするために、クラスタ状あるいはポーラス状のセラミック材料を用いて水を蓄える構造の電極を試作し、放電実験を行う。

また、セラミックが局部的に溶融する超高温状態が得られることを利用し、セラミックを含む材料の接合技術、難溶融物質の溶融処理技術、等への応用を実験により試みるとともに、応用に当たって適切な指針を得るために、セラミックが灼熱溶融する放電の基本的なメカニズムに関する事柄について、放電の基礎実験により知見を得る。

4. 研究成果

(1) VAWP 放電電極への応用

水/セラミック電極を構成するためには、放電電流を供給するための金属電極に水を接触させ、なおかつ、この周りに水を蓄えて金属電極を放電空間に露出させない構造が必要である。水を蓄える部分より下側に放電空間を置くことができるようにするため、図1に示すように、金属電極の周りを粒径 5mm 程度の多数のセラミック粒子（アルミナ）で取り囲んだ構造の電極を試作した。水は金属電極内部から滲み出して、セラミック粒子の間隙に浸透する。電極全体の外観はボール状になる。水はこのボール表面に達して金属電極と放電空間との間の電気伝導が行われる。図1右側の写真は、この電極の VAWP 放電への適用を実際試みた例で、白金電極と同等の電流（1A 程度）で放電している状態を示している。本構造により、水/セラミック電極によって下方への放電が可能であり、これを VAWP 放電に適用できることが分かった。

図1の構造の電極の小型化を図るため、セラミック粒の集合体をポーラスセラミック材料に置き換えることを試みた。図2は、ポーラスセラミック（アルミナ）の鞘で金属電極を覆った構造の電極を示している。左側は電極の外観、右側は放電の様子を示す。この構造の場合、図のように、放電が可能であることは分かったが、放電の終端する部分のセラミックが一部溶融するため、セラミックの形状が変化して部分的にポーラス性が失われてしまい、電極の耐久性の面で問題点が明らかになった。

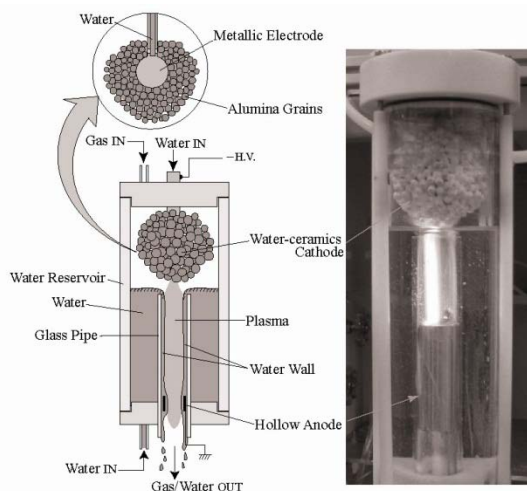


図1. セラミック粒子集合体で構成した水/セラミック電極による VAWP 放電の例

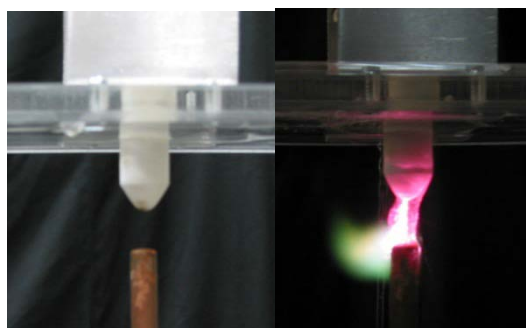


図2. ポーラスセラミックを用いて構成した水/セラミック電極による放電の例

(2) 他の用途への応用

① セラミック同士の溶接技術への応用

水/セラミック電極による放電では、セラミック材料が局部的に溶融することを利用して、セラミック材料同士をスポット的に溶接することを試みた。図3は、5mmφのアルミナパイプの突合せ溶接を試みた結果である。突合せ部分が溶融し2本が結合している。

② 難溶融物質の溶融処理への応用

種々の耐熱材料について水/セラミック電極の原理による溶融を試みた。例として、耐火煉瓦の溶融を試みた結果を図4に示す。オリジナルの水/セラミック電極の構造におけるセラミック棒の部分耐火煉瓦に置き換えた形で放電した。図4の左側が実験装置の断面構造である。右側は放電後の煉瓦の表面の様子を示している。中程の横線が放電時の水面の位置を表している。おおよそ水面から1cmの位置の表面が溶融している様子が分かる。種々の材料について同様の実験を試みたが、いずれの場合も水面から約1~2cmの位置が溶融することが分かった。この結果から、材料の溶融箇所と水面との距離は水

面からの水蒸気の発生と、水による冷却作用が関係して決まり、水蒸気発生が溶融メカニズムに重要な働きをしていることが窺える。

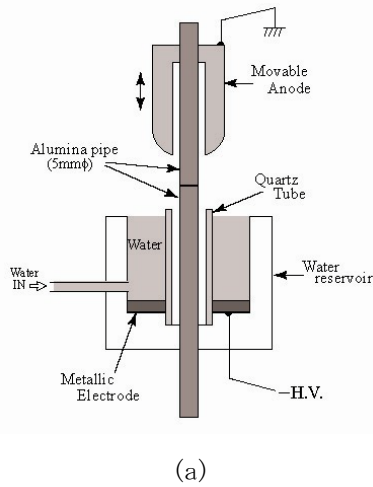


図3. セラミックパイプの突合せ溶接の例
(a)装置の断面構造 (b)突合せ溶接したアルミナパイプ (5mmφ) 上は大きさの比較のための10円玉

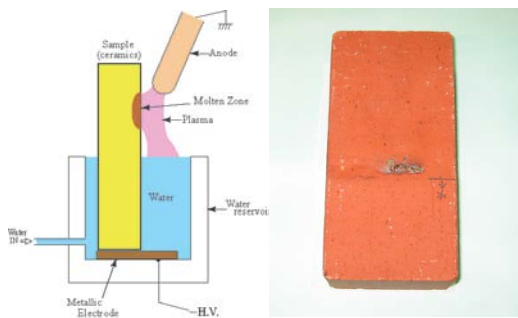


図4. 耐火煉瓦の溶融の例 (1)

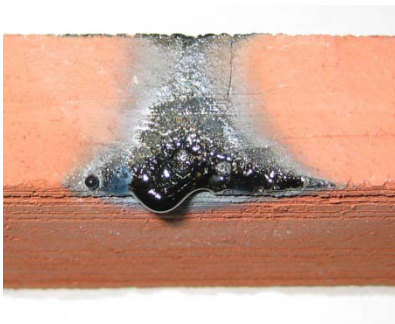


図5. 耐火煉瓦の溶融の例 (2)

また、煉瓦を水に接触させず、水面上に水面から離して保持した場合は、水による直接的な冷却作用が働かないため、溶融が激しくなる。図5は、こうして溶融した耐火煉瓦の様子を示している。溶融した部分がしずくのようにになってガラス状に固化していることが分かる。

耐熱性がある難溶融の有害物質の代表的なものとしてアスベストを挙げることができる。従来、建築物の解体時等に発生するアスベストを含有する建材等の溶融による完全無害化処理には、大規模な加熱溶融設備が必要とされ、そのために解体により発生した瓦礫等を集積・運搬・蓄積することが必要であって、その際にアスベストの飛散の危険性があり、その防止対策を厳重に施さなければならなかった。この点、水/セラミック電極による放電の原理によれば、高々数 kW の電力で、しかも大気中で放電を起こすだけで、融点が 2000°C を超える物質を溶融することができる。必要なものは水と電気エネルギーのみであり、装置も極めて簡単で小型で済むという利点がある。

そこで、水/セラミック電極の放電の原理を利用して、アスベスト含有建材等をその場で溶融することのできる技術の開発に取り組むことにした。ただし、実際のアスベストを含む試料を取り扱うには、安全性の面、法的な面から種々の制約があるため、アスベストと同等の耐熱性能を有するロックウールを代替試料として用いて実験を行うことにした。

図6に、このために考案した放電装置の構造を示す。左右対称の2つの電極は、それぞれ2重管構造をしており、内管を通して先端からオーバーフローした水が外管と内管の間を通して排出され循環する。金属電極は内管の内壁に設けられており、ここに電圧を印加することによって、先端の両水面の間で放電が起きる。この部分に被溶融物を接近させると、水面からの水蒸気によって被処理物表面が濡れ、水/セラミック電極の原理によって被処理物が溶融する。図7は、この装置を用いて放電によって板状のロックウール試料を溶融している様子を示している。放電電流は 1A である。放電後のロックウール試料の表面の状態を図8に示す。ロックウールの表面が溶融して減容し、窪みができている。窪みの表面には、融けてガラス状の塊になった部分が確認される。

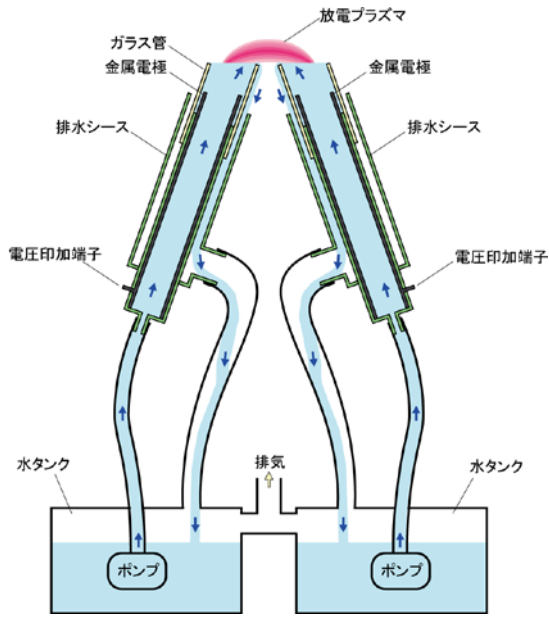


図6. アスベスト含有建材等のその場溶融のための放電装置

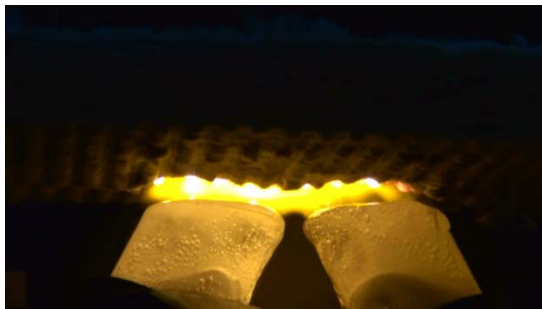


図7. 図6の装置によるロックウールの溶融



図8. 放電後のロックウールの状態

図9は、放電による溶融処理前の試料の表面と処理によってガラス状の塊になった部分の表面を、それぞれ顕微鏡で観察した画像である。処理前には針状の結晶構造が確認されるが、処理後にはこの構造が全く消失しており、溶融によって結晶構造が破壊されていることが分かる。同等の効果はアスベストに

対しても期待でき、この処理によってアスベスト含有材料を無害化することができる。

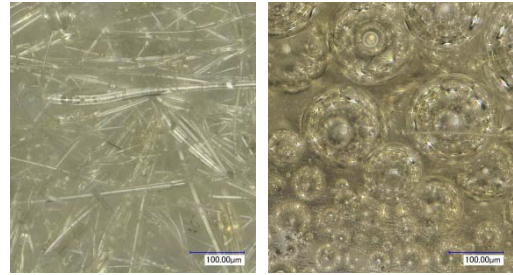


図9. 処理前(左) 処理後(右)のロックウールの表面の顕微鏡観察画像

また、被処理物と放電装置の相対位置を変化させることにより、放電によって溶融する部分を順次移動させ、一点に留まらず被処理物の一定の面積にわたって溶融処理を行うこともできる。図10は、試料を約1mm/sの速度で移動させることにより、溶融部を走査した後のロックウールの表面の状態を示している。

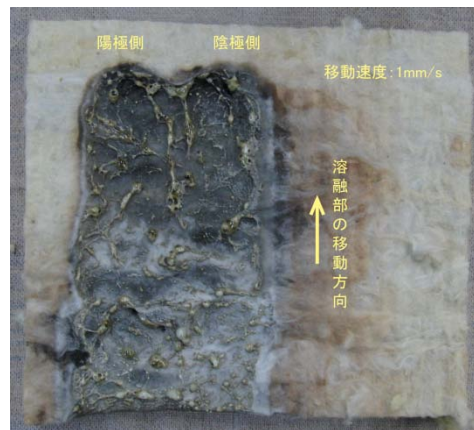


図10. 溶融部を走査した後の状態

(3) 放電のメカニズムの探求

水/セラミック電極の応用を図るにあたって、放電によってセラミックが加熱し溶融に至る根本的なメカニズムについて、知見を蓄積することは、効果的な応用を考える上でその足元を固める意味で重要である。そこで、放電の基礎特性である電流-電圧特性について調べた。

図11、図12は、それぞれ水側が陽極の場合と陰極の場合の電流-電圧特性を示している。水面と対向電極(水面から5cm上)の間にセラミック(アルミナ丸棒)を挿入して、水/セラミック電極が構成される。セラミックが無い場合とセラミックを挿入する位置(水面からの距離)を変えて、それぞれ電流と電圧の関係を測定した。比較のため、対向

電極を水面に接触させて測った値（水の抵抗分を表す）も合わせてプロットしている。

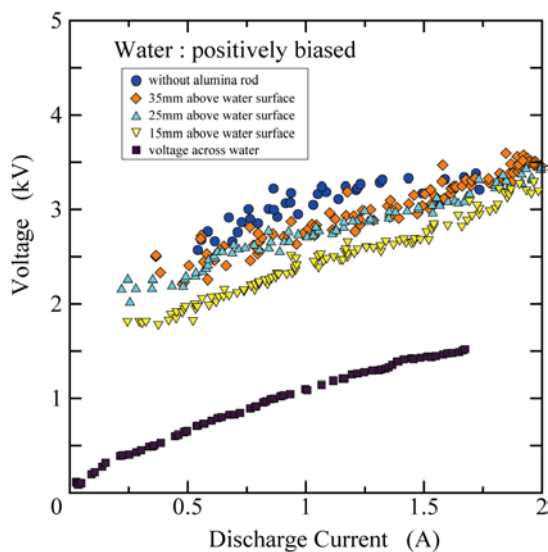


図 11. 電流-電圧特性（水側陽極の場合）

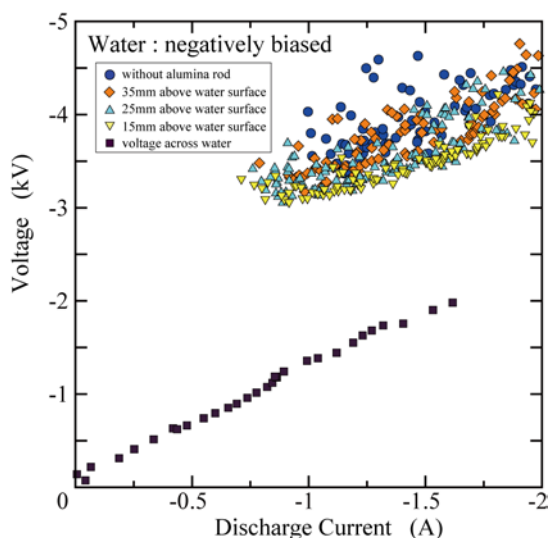


図 12. 電流-電圧特性（水側陰極の場合）

図 11、図 12 の結果から、セラミックの無い場合に比べて、セラミックを挿入すると放電電圧が低下することが分かる。この電圧低下量は、セラミックが水面に近い程大きいことが分かる。また、セラミックが無い場合に比べて、セラミックがある場合の方が、より低電流まで放電が維持されている。

また、セラミックの挿入からこれが熔融する状態に至るまでの様子を、電圧・電流の時間推移とともに記録して観察した結果、放電電圧の低下は、セラミックの熔融がある程度進み、輻射が強くなった段階で明瞭になることが分かった。

これらのことから、セラミックの一部が灼熱熔融することで、これが水面を介しての電気伝導を促進させる効果があり、これには熔融セラミックから水面へ強い輻射が寄与していることが考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計 3 件）

(1) "Candle-like Discharge from Water-Ceramic Electrode"

Mikio Deguchi

IEEE Transactions on Plasma Science
Volume 39, Issue 11, p.2638 - p.2639、
査読有

DOI: 10.1109/TPS.2011.2160361

(2) "Current-Voltage Characteristics of Discharge with Water-Ceramic Electrode"

Mikio Deguchi and Toru Niki

Jpn. J. Appl. Phys. 50 (2011) 060211、
査読有

DOI:10.1143/JJAP.50.060211

(3) "Local Melting of High-Melting-Point Materials by Discharge with Water-Ceramic Electrode"

Mikio Deguchi and Toru Niki

Japanese Journal of Applied Physics 49
(2010) 040211、査読有

DOI: 10.1143/JJAP.49.040211

〔学会発表〕（計 1 件）

"Discharge Characteristics of the Water-Ceramic Electrode"

Mikio DEGUCHI and Toru NIKI

Proceedings of International Workshop on Plasmas with Liquids 2010

(March 22-24, Hotel Okudogo, Matsuyama, Ehime, Japan),

pp. 87 - pp. 88

6. 研究組織

(1) 研究代表者

出口 幹雄 (DEGUCHI MIKIO)

新居浜工業高等専門学校・電子制御工学科・
教授

研究者番号：20280472