

タングステン線を用いた水中プラズマ放電電極の評価

黒澤和芳^{*1}、水野金儀^{*1}、綿野哲寛^{*1}

Effect of Plasma-discharge in Water on Tungsten Wire Electrode

Kazuyoshi KUROSAWA^{*1}, Kaneyoshi MIZUNO^{*1} and Tetsuhiro WATANO^{*1}

Industrial Technology Division, AITEC^{*1}

水の循環利用を目的として水中プラズマ放電による殺菌を試みた。電解質溶液を含む水槽中にプラズマを発生させて、大腸菌などに対する殺菌の効果を確認した。さらに、タングステン(W)電極の放電による損傷を調べた。その結果、比較的短時間の放電で電極先端部の割れなどの損傷が観察され、またパルス幅を2 μ sから4 μ sにすると電極が激しく消耗することが明らかになった。

1. はじめに

我々が利用することができる水は、地球上に存在する水の100万分の1ほどしかなく、水資源が豊富と言われている日本においても恒久的な水不足が懸念されている。わが国においては、近年、自然災害が多発しており、大地震や台風などによる災害時に生活水をいかに確保するかは極めて重要な課題となっている。水の浄化による循環利用は、水の絶対量の不足を補う一つの有効な方法と考えられている¹⁾。

飲料用などの水の浄化方法としては、塩素など薬剤による殺菌がよく用いられているが、環境に悪影響を及ぼす恐れがある。一方、海水の淡水化等に用いられる中空糸型逆浸透膜は、エネルギー消費が少ない上に高い処理能力があり既にいくつかの実績がある。しかし、中空糸膜は目詰まり等のため再生が困難であり、ランニングコストがかかるなどの欠点がある。一方、水中プラズマ放電を利用した浄化が最近注目されている¹⁾。この方法では、消耗品としては電力の他に電極のみであり、電極の消耗が抑えられれば低コストで高効率、また環境にも配慮した水浄化が可能となる。

本研究では、タングステン電極とする水中プラズマ放電による殺菌作用を調べ、さらに電極の消耗状態を評価するためタングステンの損傷の有無を観察し、放電条件との関係を調べた。なお、水中プラズマ放電実験および殺菌効果の確認実験は名古屋大学が行い、電極の表面観察その他を産業技術研究所が実施した。

2. 実験方法

2.1 水中プラズマ放電装置

実験に用いた電極は、直径1mmのタングステン(W)線である。W線の極先端部を残してアルミナ管で覆い、電極間距離が1mmとなるように対向させた。装置の概略図を図1に、また実験に用いた水槽を図2に示す。

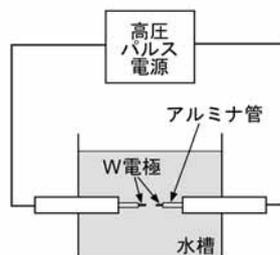


図1 水中プラズマ放電装置の概略図

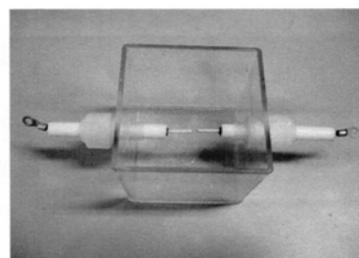


図2 実験に用いた水槽

2.2 放電条件の設定

水中プラズマ放電の条件を表に示す。パルス幅が4 μ sの場合には放電時間が720sを超えると、水温の急激な上昇とそれに伴う沸騰が起こり、それ以上放電を続行することができなかった。

^{*1}工業技術部 加工技術室

表 水中プラズマ放電条件

電圧 (kV)	2
電流 (A)	7
パルス幅 (μs)	2、4
パルス周期 (kHz)	15
電解質	Na_2SO_4

2.3 水中プラズマ放電の殺菌効果

バクテリアの代表である大腸菌とグラム陽性菌の代表として黄色ブドウ球菌に対する水中プラズマ放電の効果を調べた。超純水 150ml に硫酸ナトリウム (Na_2SO_4) を 2.5mmol/l の割合で添加して、導電率 $550 \mu\text{S}/\text{cm}$ の電解質溶液を実験水として調整した。この実験水に培地から採取した菌を一定量加え、図 2 の水槽に満たした。時間を変えてプラズマ処理した後、実験水の一部を採取して一晩培養して菌の生存数を調べた。

3. 実験結果および考察

3.1 殺菌効果

図 3 に、大腸菌および黄色ブドウ球菌への水中プラズマ放電の殺菌効果を示す。放電時間による実験水中の菌の相対数の変化として示した。図から明らかのように、電解質溶液中の菌の数は放電時間とともに急激に減少し、放電開始後 30s でほとんど死滅した。また、大腸菌と黄色ブドウ球菌の両方に対して同程度の殺菌効果を示していることから、他の多くの菌に対しても殺菌作用を示すことが期待できる。一方、塩化カリウム (KCl) や塩化ナトリウム (NaCl) などの電解質を用いても同様の殺菌効果が認められた²⁾。

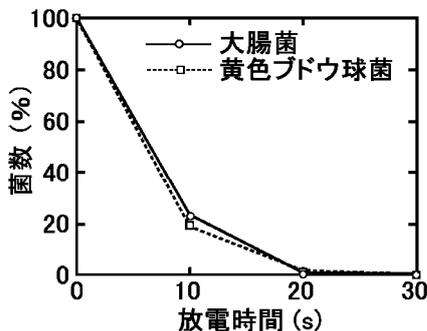


図 3 水中プラズマ放電時間による菌数の変化

3.2 放電後の W 電極

図 4 は、パルス幅 $2 \mu\text{s}$ 、放電時間 1800s 後の電極先端部の SEM 像である。図 4 (a) の全体像から明らかのように、電極の先端部が縦に割れている。このような割れは、放電開始後約 30s で発生し、放電が

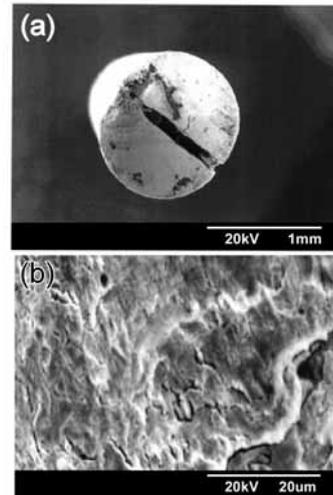


図 4 パルス幅 $2 \mu\text{s}$ 、放電時間 1800s 後の電極先端部の SEM 像
(a)全体像、(b)拡大像

長引くと共に割れが拡大した。一方、図 4 (b) の先端部拡大像には微小亀裂が多数観察される。これらの亀裂は、W の線引き加工時に導入された脆弱な結晶粒界によるものと推測される。パルス幅 $4 \mu\text{s}$ の場合、電極表面の一部は半熔融状態になっており、短時間の間に高温に加熱されたことを示している。

電極表面をエネルギー分散型 X 線分光法 (EDS) によって分析した結果、使用前の電極からは W のみが検出されたが、放電後は微量の Na、S、Cl なども検出された。電解質として添加した Na_2SO_4 が分解して吸着したものと考えられる。

4. 結び

水中プラズマ放電による大腸菌などへの影響を調べ、強力な殺菌効果が確認された。一方、比較的短時間の放電により W 電極は損傷を受け、先端部の割れなどが発生することが明らかになった。この割れは、線引き加工等により導入された脆弱な結晶粒界が関与していると推測された。しかし、損傷の原因など未知の部分が多く、今後電極の材質や形状なども含めて検討する必要がある。

謝辞

本研究は、名古屋大学エコトピア科学研究所との共同研究として行われた。ここに記して謝意を表する。

文献

- 1) 佐藤正之：応用物理，69(3)，301 (2000)
- 2) 斎藤永宏ら：名古屋大学エコトピア科学研究所研究成果報告書，1 (2006)