

集菌技術に関する研究

～ 複合滅菌装置の開発～

栗原英紀* 近藤康人**

Study on collection of microbe

- Development of composite sterilization device -

KURIHARA Hideki* , KONDO Yasuhito**

抄録

処理水中への微生物の混入を確実に防止するため、炭素繊維の微生物親和性に加え、炭素繊維電極の静電気力により微生物を迅速に集める方法を考案し、検討した。炭素繊維アノードには大腸菌、黄色ブドウ球菌、酵母、芽胞が吸着した。この集菌は微生物のゼータ電位に相関があり、電流値を上げることにより、除菌効果を上げることができた。また、水道水によっては含有するシリカの影響により炭素繊維電極の性能が低下したが、電解(カソード処理)により効率的に再生できることが明らかとなった。

キーワード：炭素繊維，微生物，ゼータ電位，電氣的吸着，シリカ

1. はじめに

近年、大腸菌 O-157、クリプトスポリジウム、サルモネラ菌等各種の微生物汚染による被害が報道され、それに伴う消費者の意識が高まっている。そのため、浄水、食品、医療に関連する企業では、衛生管理ミスは死活問題となり、微生物汚染対策や各種衛生管理に対して細心の注意が必要となっている。しかし、既存の次亜塩素酸等の薬剤添加による方法で味の低下や臭いの問題があり、精度の高い滅菌を行うには濃度の維持管理が重要となり、制御が容易でなかった。そこで、滅菌力を電氣的に制御できる電気化学的滅菌方法が提案されている^{1,2,3)}。この方法は電極と微生物の電子授受、電極から発生する活性物質等により滅菌を行

うものであり、薬剤を添加する必要がない。そのため滅菌力は電極近傍で高い。したがって、効果的な滅菌を行うには、電極表面に微生物を迅速に集めることが重要となる。

微生物との親和性が高い材料として炭素繊維がある^{4,5)}。微生物の固体表面への吸着メカニズムについては種々の研究がなされており、炭素繊維の表面構造が微生物を吸着しやすいと報告されている^{6,7,8,9,10)}。さらに炭素繊維は導電性で電極としても利用することができる^{11,12,13)}。しかし、前記炭素繊維の微生物親和性による吸着には数時間以上要し、水処理装置としては実用的でない。一方、微生物は凝集を防ぐため、ほとんどのものが負に帯電しており^{14,15,16)}、アノード側に電気泳動すると考えられる。そこで、炭素繊維の微生物親和性に加え、炭素繊維電極の静電気力により微生物を迅速に集める方法を考案し、さらに、

* 環境技術部

** 三洋電機株式会社技術開発本部 工務局技術開発 BU

この方法を組み込んだ滅菌装置の開発を行った。

2. 実験方法

2.1 菌捕集試験

菌捕集試験は以下のような捕集システムで行った(図1)。すなわち、円板状(直径30mm、厚さ10mm)に加工したフェルト状炭素繊維(レーヨン系2500 焼成品、日本カーボン、以下「CF」)0.75g をアノードとし、メッシュ状白金-イリジウム被覆チタン電極をカソードとして円柱状セル(ガラス製、内径32 mm、長さ150 mm)内に設置し、*Bacillus subtilis* の芽胞(栄研器材、以下「芽胞」)を懸濁した処理液を 200 ml/min の流量速度で循環させ、必要に応じて直流安定化電源(KIKUSUI PAN 160-0.4A)により1 mA 定電流(以下「集菌電流」)を印加した。所定時間通電した後、処理液を5ml 採取し、標準寒天培地(日本製薬)に混釈して、35℃で48時間培養後、増殖したコロニー数を計測した。なお処理液は、模擬水道水(季節、地域により変動がある水道水成分を一定となるように実験室で合成したもの、導電率: 140 μ S) 1 L をオートクレーブで滅菌した後、菌を懸濁し、初期菌数を 10^5 CFU/mL に調整した。供試菌は *Escherichia coli* (NBRC 3972、以下「大腸菌」)、*Staphylococcus aureus* (NBRC 12732、以下「黄色ブドウ球菌」)、*Saccharomyces cerevisiae* (NBRC 2018、以下「酵母」)、*Bacillus subtilis* spore (栄研器材、以下「芽胞」)を用いた。

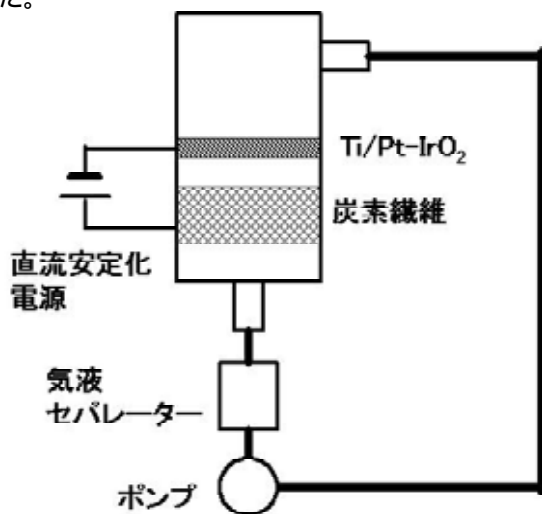


図1 捕集試験装置図

2.2 ゼータ電位

各微生物及び CF のゼータ電位を各種溶液中で測定した。CF をカッター式破砕機で破砕して粒子状にしたものを用いた。ゼータ電位の測定は顕微鏡電気泳動装置(マイクロテックニチオン社製 ZEECOM)によって行った。

3. 結果及び考察

3.1 捕集試験

大腸菌、黄色ブドウ球菌、酵母及び芽胞の除菌と集菌電流の関係を図2に、集菌した様子を図3に示す。

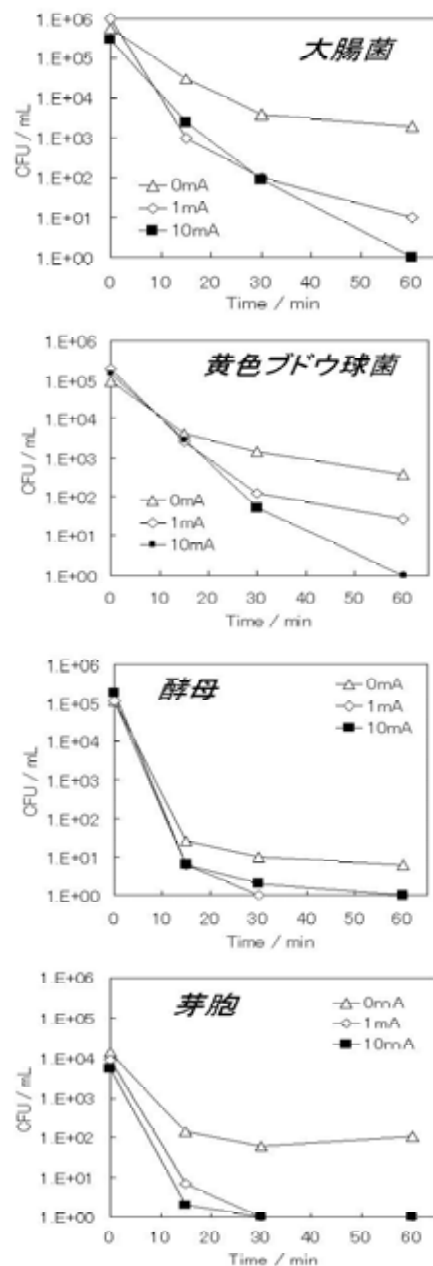


図2 大腸菌、黄色ブドウ球菌、酵母及び芽胞の除菌と集菌電流の関係

大腸菌、黄色ブドウ球菌及び芽胞は集菌電流の大きさにほぼ比例して集菌でき、10mA では100% 除菌可能であった。酵母は集菌電流に影響せず、集菌可能であった。

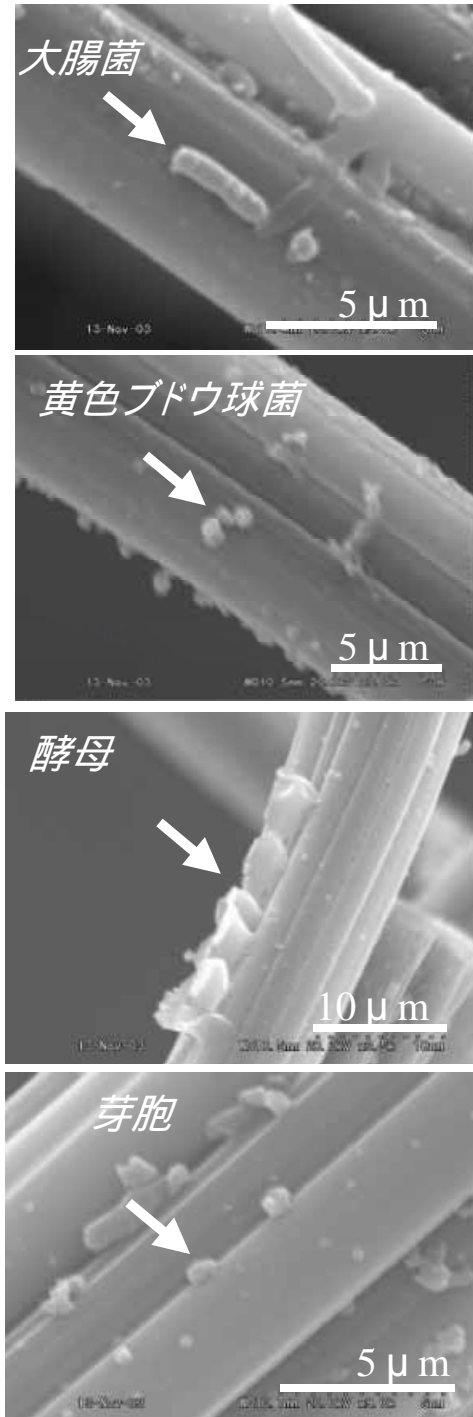


図3 集菌のSEM写真

3.2 ゼータ電位

模擬水道水中における各菌のゼータ電位はそれぞれ酵母：-6mV、黄色ブドウ球菌：-11mV、大腸菌-13mV、芽胞：-19mV であった。各菌のゼー

タ電位と完全に除菌できる集菌電流との関係を図4に示す。酵母以外の菌には相関があると考えられる。つまり、ゼータ電位の絶対値が大きいものは、低い集菌電流により集菌できるが、小さいものは、集菌電流を上げるにより集菌しやすくなる。

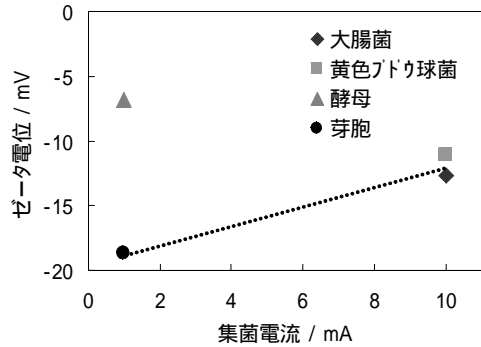


図4 集菌電流とゼータ電位との関係

3.3 CF電極の劣化と再生

長期間捕集試験を行うと、使用する水によってはCFの菌捕集性能が低下する場合があった。その原因を調べるため、菌捕集性能が低下したCFを蛍光X線で分析した。その結果を図5に示す。この結果から珪素が付着していることが分かる。水中では珪素はシリカとして存在するため、以下シリカがCFに与える影響を調べた。

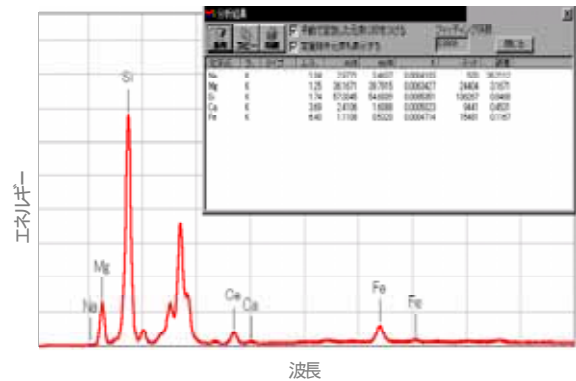


図5 菌捕集性能が低下したCFの蛍光X線スペクトル

シリカ溶液(Si: 100ppm)に24時間浸漬したCFのゼータ電位を図6に示す。CFのゼータ電位は著しく負の方向に変化した。これはCFへのシリカの吸着によるものと考えられる。したがって、ゼータ電位が負である菌と静電的に反発するため集菌が阻害されたと推測される。

そこで、菌捕集性能が低下した CF を再生する方法を検討した。再生は、極性を切替、CF をカソードとして定電流(1.0A)を所定時間印加すること(以下「カソード処理」)により行った。シリカ溶液(Si: 100ppm)に浸漬した CF 及びこれをカソード処理したものについて菌捕集試験の結果を図7に示す。

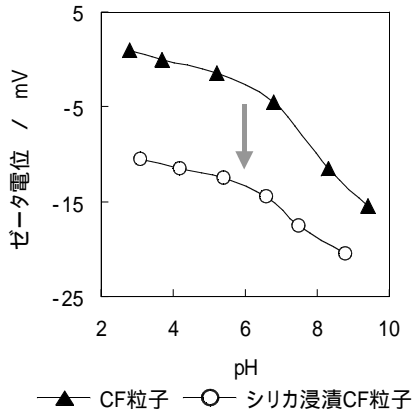


図6 CFのゼータ電位に与えるシリカの影響

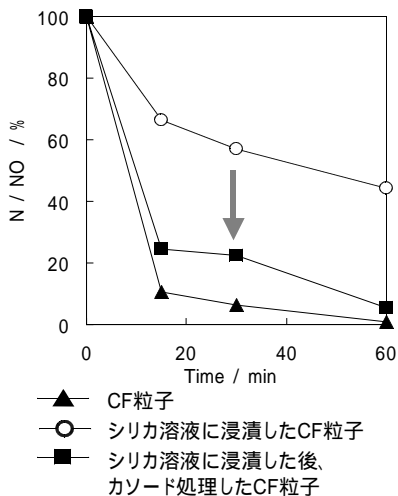


図7 捕集試験に及ぼすカソード処理の影響
(供試菌: 芽胞、電流: 1mA)

カソード処理により、CF の菌捕集性能は著しく増大した。これは、カソード処理により CF の吸着したシリカが溶解、脱離したためである。すなわち、CF 電極近傍では水素が発生し、溶液が局部的に強アルカリ性となる。シリカはアルカリ性になると溶解度が上がり、かつ水素発生による機械的衝撃により吸着したシリカが溶解、脱離したと考えられる。

4. まとめ

処理水中への微生物の混入を確実に防止するため、炭素繊維の微生物親和性に加え、炭素繊維電極の静電気力により微生物を迅速に集める方法を考案し、検討したところ、以下のような結果が得られた。

- (1) 水中の各菌(大腸菌・黄色ブドウ球菌・芽胞)の炭素繊維電極により除菌可能であった。除菌に必要な電解電流はゼータ電位の大きさと相関があった。
- (2) 水道水によっては、含有するシリカの影響により炭素繊維電極の性能が低下したが、電解(カソード処理)により効率的に再生できることが明らかとなった。

参考文献

- 1) 三洋電機(株): 水処理装置, 特開2001-2323643
- 2) Tadashi Matunaga: Electrochemical sterilization of bacteria adsorbed on granular activated carbon, FEMS Microbiology Letters, 93(1992)255
- 3) Toshiaki Nakajima: Electrochemical Classification of Gram-Negative and Gram-Positive Bacteria, A. and E. Microbiology, 50,2(1985) 238
- 4) 小島昭: 炭素繊維集合体の形態と微生物固着量との関係, 繊維学会誌, 56, 8(2000)338
- 5) 小島昭: 炭素繊維の生物親和性を活用した新しい水環境保全技術, 材料科学, 35, 6(1999) 287
- 6) 磯部賢治: 微生物の生存戦略, 表面科学, 22, 10(2001)652
- 7) 筏義人: 生態代替材料の表面・界面における諸問題, 表面科学, 20, 9(1999)584
- 8) S. Tsuneda: Kinetic Model for Dynamic Response of Three-Phase Fluidized Bed Biofilm Reactor for Wastewater Treatment, Biochemical Engineering Journal, 10, 1(2002)33
- 9) 森崎久雄: 表面と微生物の関わり, 表面科学, 22, 10, (2001)638
- 10) 西澤節: ゼータ電位と吸着, 表面, 38, 8

(2001)41

- 1 1) Hang Shi : Active Carbons Double Layer
Capacitance , *Electrochimica Acta* , 41 , 10(1996)
1633
- 1 2) 根岸明 : サイクリックポルタンメトリーに
よる樹脂の炭素化過程の観察 , *炭素* , 186(1999)
13
- 1 3) Akihiko Yoshida : Effect of Concentration of
Surface Acidic Functional Groups of Electric
Double-Layer Properties of Activated Carbon
Fibers , *Carbon* , 28 , 5(1990)611
- 1 4) Darren A. Lytle : A systematic comparison of
the electrokinetic properties of environmentally
important microorganisms in water , *Colloids and
Surfaces B* , 24(2002)91
- 1 5) Barbara A. Jucker : Interaction in Bacterial
Adhesion , *Environmental Science and Technology* ,
32 , 19(1998)2909
- 1 6) J.M.Meinders : Deposition Efficiency
Reversibility of Bacterial Adhesion under Flow , *J.
Colloid Interface Sci.* , 176(1995)329
- 1 7) 近藤康人、井関正博、高岡大造、滝沢貴久
男、防菌防黴 , 112(2003)19