

大気圧非平衡プラズマ流による滅菌システムの開発

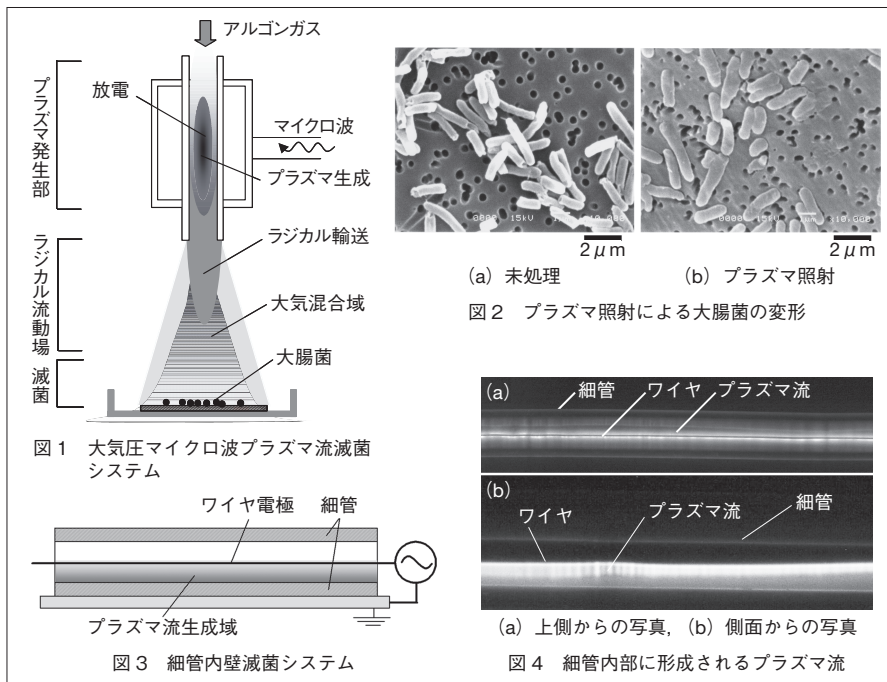


図2 プラズマ照射による大腸菌の変形

図4 細管内部に形成されるプラズマ流

1. はじめに

大気圧非平衡プラズマ流は、低温にもかかわらず化学反応性などの機能性を有するため、排ガス処理、揮発性有機化合物 (VOC) 排出削減、脱臭、各種材料プロセスの乾式化、水素製造や医療応用など幅広い分野で応用が進められている。プラズマの発生方法としては、誘電体バリア放電 (DBD)、コロナ放電、高周波放電、マイクロ波放電などの利用が用途に応じて提案されている。医療分野では、放電部下流域の室温に近いプラズマを用いた生体や低耐熱材料の殺菌やプラズマ医療、医療器具の滅菌などの研究が進められている。特に、インフルエンザなどによる感染リスク低減のため、従来の化学薬品を用いた殺菌法に代わる、安全・簡便に行える病原微生物の滅菌法への応用が期待されている。また、低侵襲性医療で用いられているカテーテルの滅菌は、現在酸化エチレンガス滅菌が利用されているが、このガスは有毒なため、代替滅菌法の開発が進められている。すでに 100Pa 以下の減圧下におけるプラズマ滅菌装置が実用化されているが、大気圧環境で安全、簡便、低コストな滅菌システムは実用化されていない。本稿では、大気圧でプラ

ズマを生成しその流れを利用した滅菌システムの原理と応用について紹介する。

2. プラズマ滅菌の原理

図1に大気圧マイクロ波放電を用いた滅菌システムの概要を示す⁽¹⁾。放電部で生成した化学種をノズルから大気中に噴出させ大腸菌に照射する。図2は、大腸菌の形状がプラズマ照射により変化している様子である⁽²⁾。この大腸菌の高さを解析すると、プラズマ照射によりおおむね半分程度になることから、大腸菌の形状を保持するための細胞壁が損傷を受けていると考えられる。さらに、細胞液に含まれるカリウムの漏出濃度が、プラズマ照射により増大することから、細胞膜にも損傷を与えていることが明らかにされている⁽²⁾。このような細菌に損傷を与える機構には、紫外線 (UV) による DNA 損傷や活性酸素などのラジカルによる細胞の化学エッチングなどが知られている。特に、ラジカル輸送による損傷作用は、プラズマ特有の機能性である。ラジカル流動域の物理現象の解明は実用化に向けて重要な課題である。

3. カテーテル滅菌装置への応用

医療分野において、カテーテルや人工血管などの細管を利用する治療法が

幅広く利用されている。これらの細管は使用前に滅菌する必要があるが、内部の滅菌が困難であるため、現在では酸化エチレンガスによる滅菌が一般的に用いられている。しかし、このガスは発ガン性を有しアメリカでは排出規制がかけられていることや滅菌に長時間かかることから、安全性の確保や低コスト化が期待されている。

誘電体バリア放電 (DBD) は、大気圧空気を用いて容易に非平衡プラズマ流を発生させることができ、従来の熱化学的手法では生成が困難な高反応性ラジカルを低温で生成することが可能である。また、電極間に適切な誘電体を導入することにより、適宜放電を制御することができる。そこで、図3に示すように、ワイヤ電極を細管内部に挿入し、DBDにより細管内部にプラズマ流を発生させた。この時、図4に示すようにプラズマ流はワイヤと接地電極間において管軸方向に均一に形成される。本システムでは、管壁温度が 70℃未滿と低温にもかかわらず、5分間で滅菌を達成している⁽³⁾。酸化エチレンガスによる方法では、この滅菌には脱臭も含め1週間を要していた。これは、処理時間の大幅な短縮を実現したといえる。

4. おわりに

大気圧非平衡プラズマ流は、低温でも機能性を有するラジカルにより複雑流動場を形成しており、その反応過程を特定したり、ラジカルの生成輸送を制御したりすることができれば、生体や低耐熱性材料の表面処理への応用が飛躍的に発展する可能性を秘めている。

(原稿受付 2007年2月14日)

[佐藤岳彦 東北大学]

●文献

- (1) Sato, T. (ほか), Sterilization Efficacy of a Coaxial Microwave Plasma Flow at Atmospheric Pressure, *IEEE Transactions on Industry Applications*, 42-2 (2006), 399-404.
- (2) Sato, T. (ほか), Sterilization Mechanism for Escherichia Coli by Plasma Flow at Atmospheric Pressure, *Applied Physics Letters*, 89-7 (2006), 073902.
- (3) Sato, T. (ほか), Sterilization, Efficacy in a Tube by a Nonthermal Plasma Flow at Atmospheric Pressure, *Proc. of the ESA/IEEE-IAS/IEJ/SFE Joint Conf. on Electrostatics 2006*, 1 (2006-6), 347-355.