

補助事業番号 2025M-454

補助事業名 2025年度 金属表面液性制御による抗菌性発現に関する研究 補助事業

補助事業者名 東京科学大学 物質理工学院材料系 助教 小鯖匠

## 1 研究の概要

本研究では、工業用純アルミニウム(AA1050)の抗菌性発現作用を明らかにすることを目的とした。まず材料組織解析の結果、AA1050にはFeを含む金属間化合物粒子が存在しており、金属表面に水溶液が存在する場合、これらが酸素還元反応の反応サイトとなると予想される。抗菌性試験では、大腸菌および黄色ブドウ球菌に対して高い抗菌性を示し、試験後にはAlを含む酸化物もしくは水酸化物の腐食生成物が堆積していた。さらに、培地のpHおよびAlイオン濃度を変化させ、各微生物種の最小発育阻止濃度を算出した実験から、強アルカリ環境もしくは $Al^{3+}$ が一定濃度含まれる培地中で菌の増殖が抑制されることが明らかとなった。電気化学解析では、AA1050表面での酸素還元に伴い水酸化物イオンが生成し、表面近傍がアルカリ化する可能性が示唆された。以上の結果より、AA1050の抗菌性は、金属間化合物表面での酸素還元に伴うアルカリ化と、その時母相から溶出するAlイオンの複合作用によって発現するのではないかと推察された。

## 2 研究の目的と背景

新型コロナウイルスによる世界的なパンデミック以降、抗菌性や抗ウイルス性といった公衆衛生に関する金属表面物性の発現とその高機能化に関する研究がより盛んに行われている。金属材料におけるこれら物性の発現機構には、例えば、金属材料から溶出した銀イオンや銅イオン、腐食生成物としての亜鉛酸化物などの金属溶解化学種による効果や材料表面のナノピラー形成のような表面粗さに基づく効果が報告されている。また、金属表面におけるアルカリ化も抗菌性・抗ウイルス性の発現に寄与することが想起される。ところで、金属固相と有機体を含む液相で構成される固液界面では金属腐食が生じると予想される。金属腐食現象は酸化反応であるアノード反応と還元反応であるカソード反応が電子授受により成立して生じる複合電極反応であり、例えばFeの溶解反応と水滴中の溶存酸素の還元反応が電子授受によって成立し、酸素還元によって生じる水酸化物イオンによるアルカリ化でFeを主成分とする酸化物や水酸化物が生成していく。このときアノード反応が金属材料の活性溶解ではなく、高耐食性の不働態皮膜の生成であり、かつその対反応としての酸素還元のようなカソード反応が生じてくれば、pHに基づくカソード反応由来の抗菌材料が作れるのではないかと考えられる。

そこで、今回はAl合金、特にFeを微量に含む工業用純アルミニウムの抗菌性を検討した。アルミニウム合金の場合、アルミニウム母相とともにマイクロメートルスケールの金属間化合物相が表面に分散している。この合金は広い中性pH領域において、表面が高い耐食性を有する不働態皮膜によって保護されるが、カソード反応サイトとしては金属間化合物相表面で酸素還元が優先して生じるため、見た目上は大きな表面変化がなくとも、表面のアルカリ化が進行し続けると予想される。そのため、アルミニウム合金の抗菌性を検討するためには、金属間化合物相が表面に存

在している状態での抗菌試験が必要であるが、従来研究ではデスマット処理のような表面金属間化合物相の脱離や脱合金化による不活性化を行った材料での抗菌試験がほとんどであるため、表面のアルカリ化による影響を十分には解析できていなかった。

そこで本研究では、培地中における工業用純アルミニウム（AA1050）の抗菌性をフィルム密着法により評価するとともに、その抗菌作用発現の要因を最小発育阻止濃度の観点から考察した。

### 3 研究内容

本研究では、試験片として工業用純アルミニウム（AA1050）と高純度アルミニウム（純度99.99mass%）を用いた。SEM/EDS解析から、AA1050表面に粒径2から10 μm程度のFeを多く含む金属間化合物粒子が析出していることを確認した。一方、高純度アルミニウム表面では金属間化合物粒子は観察されなかった。

抗菌性試験では、JIS Z 2801:2012に基づくフィルム密着法を用い、黄色ブドウ球菌および大腸菌を対象に評価した。比較材であるアクリル板表面で作用させた培養液を寒天培地に播種した結果、初期値よりも菌数が増加した。それに対して、AA1050表面では24時間後に生菌数が検出下限以下となり、高い抗菌性を示した。また試験後のAA1050表面は茶色に変色し、GD-OES解析からAlに富む酸化物

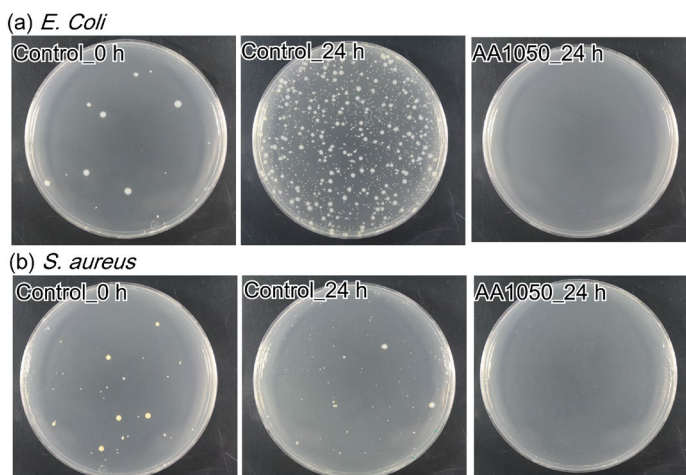


図1. AA1050表面を用いた抗菌試験の結果；  
(a) 大腸菌，(b) 黄色ブドウ球菌

や水酸化物層が形成された。その厚さは自然酸化皮膜の約50倍の厚さであり、抗菌性試験時のフィルム直下で生成した腐食生成物であると推測される。一方、高純度アルミニウムでも大腸菌に対して抗菌性を示したが、黄色ブドウ球菌では若干のコロニー形成が確認された。最小発育阻止濃度の測定では、培地のpHおよびAl<sup>3+</sup>濃度を変化させて抗菌性試験に使用した菌株の発育抑制に及ぼす定量化を図った。その結果、大腸菌はpH12、黄色ブドウ球菌はpH13で増殖が阻害された。またAl<sup>3+</sup>濃度については、大腸菌は10 μg/mL、黄色ブドウ球菌は0.078 μg/mLで発育が抑制され、特に黄色ブドウ球菌がAlイオンに敏感である結果が得られた。

以上より、AA1050の抗菌性は、Fe含有金属間化合物による局所的な酸素還元反応、それに伴う表面pHの上昇、および溶出したAlイオンの複合的作用によって発現していることが示唆された。しかし、その詳細な発現機構は未だ未解明である。

### 4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

本事業は金属構造材料の1種であるアルミニウム合金表面で生じる金属腐食プロセスと金属組

織との関連から、抗菌作用の発現について検証したものである。本研究成果から、金属間化合物相が表面に存在する場合、抗菌作用の発現に影響を及ぼしうる現象論的結果を得ることが出来たが、その詳細な発現メカニズムは未だ未解明である。今後はその機序解明を図るとともに、抗菌性や除汚性などの有機成分由来の金属表面での物理的・化学的な寄与を理解可能な指導原理を明らかにすることで、建築材料として意匠性に優れた金属構造部材の開発につながることを期待される。

#### 5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

本補助事業では、工業用純アルミニウム表面の液性変化（pHのアルカリ化）に着目し、抗菌性に及ぼすアルカリ化の影響を解析することにあつた。だが実際には研究の結果から、工業用純アルミニウム表面で生じるアルカリ化に加えて、腐食発生プロセスにおいて溶出するAlイオン種も抗菌作用に影響するのではないかという知見を得ることが出来た。今後は微生物種におけるpH及び金属イオン種の抗菌作用の定量化を図りたいと考えている。

#### 6 本研究にかかわる知財・発表論文等

該当なし（投稿論文執筆中）

#### 7 補助事業に係る成果物

(1)補助事業により作成したもの

該当なし

(2)(1)以外で当事業において作成したもの

該当なし

#### 8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 東京科学大学 物質理工学院材料系(トウキョウカガクダイガク  
ブッシツリコウガクインザイリョウケイ)

住 所： 〒152-8552(半角)  
東京都目黒区大岡山2-12-1 S8-2

担 当 者 助教 小鯖匠(コサバ タクミ)

担 当 部 署： 東京科学大学 物質理工学院材料系(トウキョウカガクダイガク  
ブッシツリコウガクインザイリョウケイ)

E - m a i l: kosaba.t.abc4@m.isct.ac.jp

U R L: <http://www.elechemcorr.mtl.titech.ac.jp/members.html>