

【 論 文 】

廃棄物溶融スラグの水防腐剤としての機能評価

中村 竜太*・貴嶋 紗久*・清山 史朗*・徳楽 清孝**

【要旨】本研究では、近年の廃棄物溶融炉の増加に伴い排出量が増大しつつある廃棄物溶融スラグ（以下スラグと略記）の新規活用法を検討した。はじめに、スラグの微生物増殖に与える影響を調査した。大腸菌に対しては、振盪培養条件下でのスラグの添加は増殖に有意な影響を与えなかったが、静置培養条件下においては約80%の増殖抑制効果が観察された。同様に、魚飼育水槽由来の水生微生物に対しても静置培養条件下で増殖が約80%が抑制された。以上の結果より、スラグは、水槽や花瓶のような、水が大きく攪拌されない静置条件下において、水防腐剤として活用できる可能性が期待された。次に、実際に熱帯魚飼育水および切り花生け水の防腐剤として活用できるか検討した。その結果、ネオンテトラ飼育水槽にスラグを投入することにより水槽内での藻の発生が3ヶ月以上抑制された。また、キク切り花生け水に対しては1ヶ月以上の防腐効果が見られ、さらに1.7倍の花持ち延長効果が観察された。また、スラグの投入がネオンテトラの生存率や、今回調査した7品種の切り花の花持ちに悪影響を与えなかったことから、スラグが水槽や花瓶等の防腐剤として有効活用できることが示唆された。

キーワード：廃棄物溶融スラグ、水槽、花瓶、水生微生物、防腐剤

1. はじめに

近年、わが国では産業廃棄物約4億 ton、一般廃棄物約4,800万 ton が排出され、このうち、中間処理による減量およびリサイクルされるものを除き、最終埋立処分されているものは約2,200万 ton である¹⁾。最終処分場の建設も難しく、この廃棄物を適正に、かつ早急に処理することはわれわれに課せられた大きな課題である。これに対処する方法の一つとして、廃棄物あるいはその焼却灰を千数百℃の高温で溶融する方法がとられている。溶融スラグとは、この溶融処理過程における溶融物を冷却固化したものであり、ガラス質で化学的に安定した構造をとっている。溶融スラグ製造の主な目的は、焼却灰に含まれる重金属の溶出防止、ダイオキシン等の有害物質の無害化、および埋立処分量の低減である。近年の溶

融化施設の増加に伴い溶融スラグ排出量も増加しており、現在その大部分がアスファルト舗装材やコンクリート製品、インターロッキングブロックなど骨材として再利用されているが²⁾、このような建築用資材以外の活用についてはほとんど実施されていない。

鉄鋼生産の副産物である鉄鋼スラグは、酸化カルシウムを多く含み、ヘドロの堆積した海底の環境浄化に効果を有することが知られている³⁾。成松らは鉄鋼スラグで形成された魚礁にクロダイなどの魚類が寄り付き、附着生物の着生が観察されたことを報告している⁴⁾。また、伊藤らは鉄鋼スラグ中のSiO₂ (β型) が海水中のリンおよびイオウを吸着し、海水浄化機能を有すると結論付けている^{5,6)}。さらに、Nakamuraらは鉄鋼スラグ中の鉄およびリンの溶出が、プランクトンの増殖に効果のあることを指摘している⁷⁾。

以上のように、鉄鋼スラグの生物に与える影響についての情報は蓄積されつつあり、有効活用に向けた取り組みも行われはじめている。それに対し、廃棄物溶融スラグに関しては、生物に対する影響を活用した再利用法についての研究はほとんど行われていない。本研究では、廃棄物溶融スラグの建築用資材以外の新たな再利用法を模索するため、特に微生物の増殖に与える影響に焦点をおいて機能評価し、その結果を元に廃棄物溶融スラグの

原稿受付 2011. 5. 12 原稿受理 2011. 11. 8

* 都城工業高等専門学校物質工学科

** 室蘭工業大学大学院工学研究科 応用理化学系専攻
(元 都城工業高等専門学校物質工学科)

連絡先：〒050-8585 北海道室蘭市水元町27番1号

室蘭工業大学大学院工学研究科 応用理化学系専攻 徳楽 清孝

E-mail : tokuraku@mmm.muroran-it.ac.jp

新規活用法を提案する。

2. 実験方法

2.1 供試スラグ

本実験で用いたスラグは、九州北清(株)より提供して頂いたもので、医療廃棄物や産業廃棄物をキルン式溶融炉で溶融処理した水砕溶融スラグ（以下、スラグ）である。スラグは実験前にふるいによって目開き 3.00 mm 以下の、かつ 1.00 mm 以上のものを選別し、洗浄後、乾燥および滅菌するため、乾燥器中で 180℃において 2 時間加熱処理した。対照実験として用いたガラスは市販のガラス瓶容器を砕き、スラグと同様にふるいにかけて加熱処理したものを用いた。スラグの粒子密度は、水を 100 mL 入れた 200 mL メスシリンダーにスラグを 50 g 投入し、水の増加量と投入したスラグの重量を元に決定した。

2.2 スラグの化学的特性の分析

スラグ組成は蛍光 X 線分析法により測定した。スラグを洗浄後、完全に乾燥させるために乾燥機中で 180℃において 2 日間静置した。試料粉碎器に入れ、振動ミル (TI-100, (株)シー・エム・ティー) によりスラグが粉末状になるまで粉碎した。ブリケットマシン (MP-35-02, (株)島津製作所) を用いて粉末状のスラグを丸いプレート状に成型し、蛍光 X 線分析装置 (XRF-1700, (株)島津製作所) にてスラグ組成を測定した。

スラグ溶出液の pH 変化については、以下の方法で測定した。平底試験管 (胴径 25 mm, 全長 150 mm) にスラグ (最終濃度 100 g/L) またはガラス (最終濃度 100 g/L) を入れ、蒸留水を 50 mL 添加した。それぞれ同条件のサンプルを 3 本ずつ作成し、20℃にて 2 週間静置後の水溶液の pH を測定した。

スラグの溶出成分分析のための試験液は JIS K 0058-1 に準拠して作成した。それぞれの分析項目に対する分析方法については表 1 中に示した (3.1 参照)。

2.3 振盪培養条件下での大腸菌増殖に及ぼすスラグの影響

1 L ビーカーにトリプトン 5 g, 酵母エキス 2.5 g, NaCl 5 g を入れ、蒸留水 500 mL を添加して攪拌した。これを 121℃で 20 分間オートクレーブ滅菌し、放冷したものを原液 LB 培地として用いた。試験管 (胴径 18 mm, 全長 180 mm) にスラグおよび LB 培地 5 mL を入れ、前培養した大腸菌 (XL-2 Blue 株) を 200 μ L 加え、37℃の振盪培養器で培養した。一定時間ごとに培養

器から試験管を取り出し、溶液を攪拌後、直ちに分光光度計 (Photometer ANA-7A, 東京光電(株)) にて濁度 (OD610) を測定した。なお、この実験ではスラグ濃度 0, 20, 40, 80, 160 g/L の条件で培養時間 8 時間までの継時測定と、スラグ濃度 0, 60, 120, 240, 480 g/L で培養時間 24 時間後の測定を行った。それぞれのサンプルについて、同条件のものを 3 本ずつ用意し、濁度の平均値と標準偏差を求めた。

2.4 静置培養条件下での大腸菌および水槽由来微生物の増殖に及ぼすスラグの影響

平底試験管 (胴径 25 mm, 全長 150 mm) にスラグ (最終濃度 400 g/L) またはガラス (最終濃度 400 g/L) を入れ、原液 LB 培地を 20 mL 添加した。これとは別に、平底試験管にスラグ (最終濃度 140 または 280 g/L) またはガラス (最終濃度 140 g/L) を入れ、10 倍希釈した LB 培地を 20 mL 添加した。これに前培養した大腸菌 (XL-2 Blue) を 200 μ L 加え、温度 37℃の培養器内で静置培養した。一定時間ごとに培養器から試験管を取り出し、溶液を攪拌後、直ちに濁度 (OD610) を測定した。水槽由来微生物の増殖については、平底試験管にスラグ (最終濃度 130 g/L) またはガラス (最終濃度 130 g/L) を加えた後、蒸留水で 2,000 倍希釈したハイポネックス (株)ハイポネックスジャパン) 溶液 20 mL と熱帯魚を飼育している水槽から採取した水を 1 mL 加えた。試験管は一定時間ごとに取り出し、溶液を攪拌後、直ちに濁度 (OD610) を測定した。振盪培養実験と同様に、それぞれ 3 サンプルずつ用意し、濁度測定を行った。

2.5 スラグの熱帯魚飼育水防腐剤としての利用

水槽 (縦 180 mm, 横 310 mm, 高さ 250 mm) にスラグまたは市販の砂利を 1 kg 投入し、水深 18 cm となるよう水を添加した。これを室内灯下 (照射時間 8 時間) に置き、実験対象とした。各水槽中で熱帯魚 10 匹 (ネオンテトラ) を飼育し、飼育水の変化を追跡した。なお、実験期間は 12 週とし、飼育に伴い病気等で熱帯魚の数が減少した場合には、その都度熱帯魚を追加し、常に 10 匹となるようにした。

2.6 スラグの花瓶生け水防腐剤としての利用

花瓶に繁殖しやすい微生物を含む濁り水を用意するため、6 種類の切り花 (サンデリアーナ, カーネーション, トルコキキョウ, ユリ, オオギク, リンドウ) を挿した花瓶を用意し、屋外にて 20 日間放置した。平底試験管 (胴径 25 mm, 全長 150 mm) にスラグ (最終濃度 80 g/

L) またはガラス（最終濃度 80 g/L）を入れ、水道水 50 mL、上述の濁り水 1 mL を加え、キク切花を 1 本挿した。同条件のサンプルを 3 本ずつ用意し、室温が約 20℃ に保たれた実験室にて数日間観察した。観察にあたっては、水の濁りや花卉や葉の枯れ具合を観察した。また、実験期間中、試験管中の生け水の量が 50 mL とするように水道水を追加した。

2.7 スラグが切り花の花持ちへ及ぼす影響

平底試験管（胴径 25 mm、全長 150 mm）に水道水 50 mL とスラグをそれぞれ濃度が 0, 40, 80, 160 g/L とするように入れ、キク切り花を 1 本ずつ挿した。同条件のものをそれぞれのスラグ濃度に対して 3 本ずつ用意し、実験室にて数日間観察した。また、キクのほかに 9 種類の切り花（バラ、カーネーション、ガーベラ、キンギョソウ、ヒマワリ、トルコキキョウ、ユリ、カスミソウ、アルストロメリア）についても同様に実験を行った。観察にあたっては、それぞれの切り花についてベントネックおよび花卉の枯れが観察された時点を寿命とし、花持ち日数とした。また、実験期間中、実験室の温度は 20℃ を保ち、試験管中の水の量は 50 mL を維持した。

3. 結果および考察

3.1 スラグの化学的特性

本実験で用いたふるい分けしたスラグの平均粒径は 2.94 ± 0.84 mm ($n=20$)、平均粒子密度 2.29 ± 0.06 g/cm³ ($n=3$) であった。蛍光 X 線分析による組成分析の結果、本スラグは SiO₂、CaO、Al₂O₃ を主成分としており、これらの合計は約 80% であった（表 2）。これは、キルン式溶融炉によって処理された一般廃棄物溶融スラグとほぼ同程度であり⁸⁾、主成分に関しては本実験に用いた産廃溶融スラグと一般廃棄物溶融スラグに大差はみられなかった。主要成分以外の特徴としては、本実験で用いたスラグには Fe₂O₃ が 10% 以上と、一般廃棄物溶融スラグに対して約 3 倍量多く含まれていた⁸⁾。また、V₂O₅、SrO、ZrO₂、WO₃、Co₂O₃ など、一般廃棄物溶融スラグには殆ど含まれない金属化合物を、微量ではあるが含有していた。スラグからの化学物質の溶出量試験を JIS K 0058-1 に従って行ったところ、すべての化学物質について土壌汚染に係る環境基準値以下の値であった（表 2）。また、スラグ（最終濃度 100 g/L）を投入後 2 週間静置した溶出液の pH は 7.06 ± 0.2 であり、対照実験で用いたガラス（最終濃度 100 g/L）の 6.98 ± 0.1 と有意な差はみられなかった。

表 1 スラグからの化学物質の溶出量試験^{注1)}

分析項目	結果 [mg/L]	基準値 [mg/L] ^{注2)}	分析方法
アルキル水銀化合物	不検出	不検出	昭和 46 年環告第 59 号付表 2GC 法
水銀またはその化合物	0.0005 未満	0.0005 以下	昭和 46 年環告第 59 号付表 1 原子吸光法
カドミウムまたはその化合物	0.001 未満	0.01 以下	JIS K 0102 55.2 電気加熱原子吸光法
鉛またはその化合物	0.005 未満	0.01 以下	JIS K 0102 55.2 電気加熱原子吸光法
有機リン化合物	不検出	不検出	昭和 46 年環告第 59 号付表 2GC 法
六価クロム化合物	0.005 未満	0.05 以下	JIS K 0102 65.2.4 ICP 発光分析法
ヒ素またはその化合物	0.002	0.01 以下	JIS K 0102 61.2 水素化物発生原子吸光度法
シアン化合物	不検出	不検出	JIS K 0102 38.2 ビリジンピラゾロン吸光度法
ポリ塩化ビフェニル	不検出	不検出	昭和 46 年環告第 59 号付表 3GC 法
トリクロロエチレン	0.003 未満	0.03 以下	JIS K 0125 5.2 ヘッドスペース GC-MS 法
テトラクロロエチレン	0.001 未満	0.01 以下	JIS K 0125 5.2 ヘッドスペース GC-MS 法
ジクロロメタン	0.002 未満	0.02 以下	JIS K 0125 5.2 ヘッドスペース GC-MS 法
四塩化炭素	0.0002 未満	0.002 以下	JIS K 0125 5.2 ヘッドスペース GC-MS 法
1,2-ジクロロエタン	0.0004 未満	0.004 以下	JIS K 0125 5.2 ヘッドスペース GC-MS 法
1,1-ジクロロエチレン	0.002 未満	0.02 以下	JIS K 0125 5.2 ヘッドスペース GC-MS 法
シス-1,2-ジクロロエチレン	0.004 未満	0.04 以下	JIS K 0125 5.2 ヘッドスペース GC-MS 法
1,1,1-トリクロロエタン	0.1 未満	1 以下	JIS K 0125 5.2 ヘッドスペース GC-MS 法
1,1,2-トリクロロエタン	0.0006 未満	0.006 以下	JIS K 0125 5.2 ヘッドスペース GC-MS 法
1,3-ジクロロプロペン	0.0002 未満	0.002 以下	JIS K 0125 5.2 ヘッドスペース GC-MS 法
チウラム	0.0006 未満	0.006 以下	昭和 46 年環告第 59 号付表 4 溶媒抽出 HPLC 法
シマジン	0.0003 未満	0.003 以下	昭和 46 年環告第 59 号付表 5 溶媒抽出 GC 法
チオベンカルブ	0.002 未満	0.02 以下	昭和 46 年環告第 59 号付表 5 溶媒抽出 GC 法
ベンゼン	0.001 未満	0.01 以下	JIS K 0125 5.2 ヘッドスペース GC-MS 法
セレンおよびその化合物	0.001 未満	0.01 以下	JIS K 0102 67.2 水素化物発生原子吸光度法
フッ素	0.8 未満	0.8 以下	JIS K 0102 34.1 ランタン-アリザリンコンプレキソン吸光度法
ホウ素	0.1 未満	1 以下	JIS K 0102 47.3 ICP 発光分光分析法

注 1) 試験液作成方法は JIS K 0058-1（スラグ類の化学物質試験方法—第 1 部：溶出量試験方法）に準拠する。溶出容器は 1 L ポリエチレン製容器を使用した

注 2) 土壌汚染に係る環境基準（平成 3 年環境庁告示 46 号）

表2 スラグ成分組成

成分	%	成分	%
SiO ₂	53.25	ZnO	0.41
CaO	13.18	Cl	0.37
Al ₂ O ₃	12.26	V ₂ O ₅	0.37
Fe ₂ O ₃	10.52	SrO	0.28
MgO	2.30	ZrO ₂	0.27
Na ₂ O	1.75	WO ₃	0.20
TiO ₂	1.60	CO ₂ O ₃	0.17
K ₂ O	1.21	NiO	0.16
P ₂ O ₅	0.83	その他	0.13
SO ₃	0.74	合計	100.00

3.2 微生物の増殖に及ぼすスラグの影響

微生物の増殖に廃棄物溶融スラグが影響するかどうか検証するため、最初に大腸菌の増殖に与えるスラグの影響を検討した(図1)。大腸菌は好気性条件下でよく増殖するため、まずは一般的な大腸菌培養用の培地であるLB培地を用い、振盪培養条件下での増殖に与える影響を検討した。スラグ濃度が0から160 g/Lの範囲におけるOD値の変化を継時的に測定したところ、スラグ濃度と大腸菌の増殖速度の間に有意な差はみられなかった。さらに最大480 g/Lまでスラグの添加量を増やし、24時間培養したが、スラグ濃度と大腸菌の増殖に有意な差はみられなかった。8時間後のOD値と24時間後のOD値は同程度であることから、今回の振盪培養条件下では大腸菌の増殖は約8時間で飽和に達することがわかった。このことより、スラグは大腸菌の増殖開始から、対数増殖期、平衡期に至るまでの増殖過程を通して影響しないことが明らかになった。

次に、大腸菌の増殖に与える影響をLB培地中、静置培養条件下において調査した(図2)。大腸菌は静置することで沈降しスラグ表面上に降り積もるため、この実

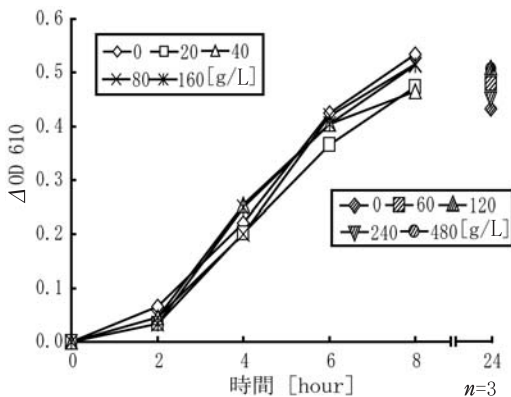
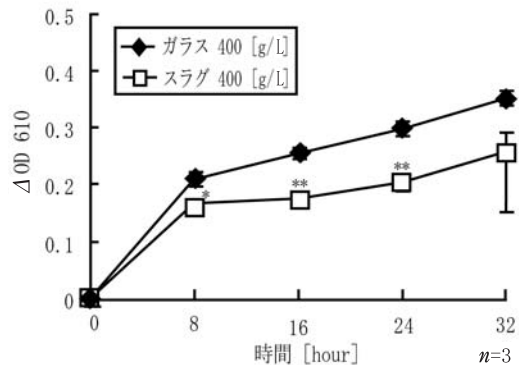


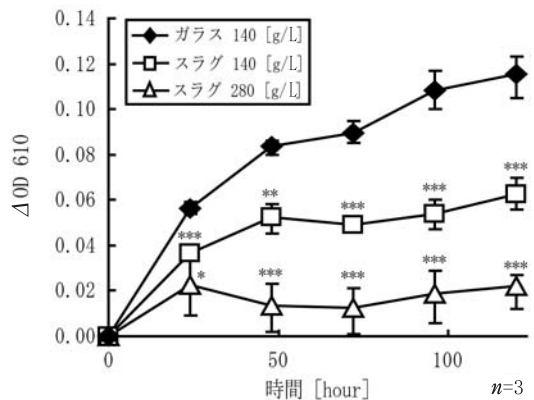
図1 振盪培養条件下での大腸菌増殖に対するスラグ濃度の影響

験ではスラグ表面上での大腸菌の増殖速度を評価することができる。対照実験として、スラグと同じ粒径に揃えたガラス粒を用いた。菌体量は、測定直前に試験管を攪拌し培地中に菌体を拡散させた後、OD値を測定することで定量化した。実験の結果、スラグ量が400 g/L程度の高濃度で含まれる場合に、約30%程度の増殖抑制効果が観察された(図2(a))。しかしながら、大腸菌が完全に沈降するまでには2~3時間程度を要するため、この実験手法(OD値を測定するため8時間ごとに試験管を攪拌)では沈降する間に増殖した大腸菌量がOD値に含まれてしまい、スラグ表面上での増殖阻害効果が過小評価してしまう可能性が考えられた。そこで、培地を10倍に希釈することで増殖速度を速くし、さらに測定間隔を24時間ごとにするすることで、沈降の間の大腸菌の増殖の影響を小さくするよう試みた(図2(b))。その結果、140 g/Lの低いスラグ濃度でも約50%の増殖抑制効果が観察できた。さらにスラグ濃度を2倍に増やした280 g/Lでは、約80%の増殖抑制効果が得られた。振

(a) 原液LB培地



(b) 希釈LB培地

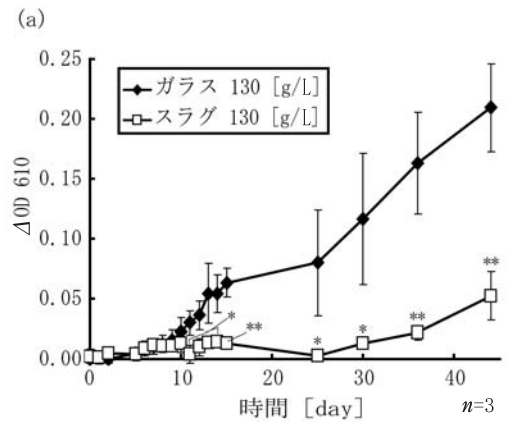


*は $0.01 < P < 0.05$, **は $0.001 < P < 0.01$, ***は $P < 0.001$ を表す

図2 静置培養条件下での大腸菌増殖に対するスラグ濃度の影響

盪培養（図1）で観察されなかった増殖抑制効果が静置培養（図2）で観察されたことは、スラグから大腸菌の増殖を阻害するような毒性物質が溶出しているのではなく、スラグ表面に大腸菌が接触している場合にのみ増殖抑制効果が表れることを示唆している。実際に、溶出試験においてスラグから溶出してくる化学物質の量は環境基準値以下であり（表2）、また溶出液のpHが対照実験のガラスと同じ中性であったこともこのことを支持している。接触による抗菌に関しては、種々の金属を用いてフィルム密着法（JIS Z 2801）により大腸菌に対する抗菌試験を行った研究により、Co, Ni, Cu, Zr, Mo, Pb, Znについて、かならずしも水溶液中への抗菌物質の（たとえば金属イオン）溶出がなくとも、金属と大腸菌の接触という物理的作用によって、抗菌効果が発現する可能性があることが示唆されている⁹⁾。金属による抗菌性発現の機構については、金属表面の金属イオンの作用によりラジカルが副産物として生成され、これらの強い酸化作用により有機物質の分解が促進され、それによって微生物細胞が破壊、分解されることが考えられる^{10,11)}。また、実験に用いたスラグにも含まれているTiO₂に関しては、その光触媒作用によって生成した活性酸素種（・OH, O²⁻など）が微生物細胞を分解することが知られている¹²⁾。TiO₂の光触媒効果による抗菌作用は、蛍光灯下などの微弱な紫外線下においても示されるという報告もあり¹³⁾、今回の実験条件下でもTiO₂の光触媒効果による抗菌作用が機能している可能性は十分に考えられる。以上のことから、本実験において観察されたスラグの大腸菌増殖抑制効果は、スラグに含有されるCo, Ni, Zr, Zn等の金属への大腸菌の接触やTiO₂による光触媒効果によるものかもしれない。

静置培養条件下でスラグが大腸菌増殖抑制に効果を持つことが明らかになったことから、スラグが水槽や花瓶の水防腐剤として使用できる可能性が期待された。そこで、スラグが大腸菌以外の微生物の増殖も抑制できるか検討するため、魚飼育水槽中に棲息する微生物群に対する増殖抑制効果が大腸菌の場合（図2）と同様に、静置培養によって定量的に評価した。魚飼育槽には魚の糞やえさの食べ残しによる窒素源、リン酸源、カリウム源が含まれており、水槽微生物はこれらを摂取し栄養源とすることで増殖する。そこで、この条件を模すために、2,000倍希釈したハイポネックス存在下での水槽由来微生物の増殖抑制効果を調べた（図3）。その結果、大腸菌の場合と同様、水槽由来微生物の増殖についてもスラグが80%以上の抑制効果を示すことが明らかになった（図3(a)）。培養14日後の写真を比較すると、スラグ等を含まないサンプルと、対照実験としてガラスを添加し



*は0.01<P<0.05, **は0.001<P<0.01を表す

図3 静置培養条件下での水槽由来微生物の増殖曲線 (a) と14日後の様子 (b)

たサンプルでは底に緑色の微生物の増殖が確認できたが、スラグを含むサンプルに関しては、そのような微生物を確認することができなかった（図3(b)）。以上の結果より、スラグは大腸菌だけではなく、魚飼育水槽に棲息する微生物に対しても、その表面上で増殖を抑制する効果があることが明らかになった。

3.3 スラグの熱帯魚飼育水槽防腐剤としての利用

スラグが水槽や花瓶などの静置条件下において水防腐剤として使用できる可能性が示唆されたことから、実際に熱帯魚飼育水槽の水防腐剤として効果が見られるか検討した。今回の実験では、観賞魚として人気の高いネオンテトラの飼育水腐敗に対する効果を調べた（図4）。同重量の廃棄物スラグと市販の水槽用砂利を水槽に敷き詰め、ネオンテトラが常に10匹となるような条件で水槽の様子を観察した。その結果、市販の砂利では飼育1週目でフィルターが褐色になり、7週目には水槽の砂利の上に緑色の藻が発生した。12週目頃には砂利表面上だけでなく水槽壁面も藻で覆われ、ネオンテトラが死亡することが多くなった。一方、スラグを敷き詰めた場合は、7週目経過後にようやくフィルターの着色が確認されたが、12週目後もスラグ表面上や水槽壁面の藻発生は観察されなかった。このことから、スラグを敷き詰めた場合、少なくとも3ヶ月程度は飼育水の交換や水槽の

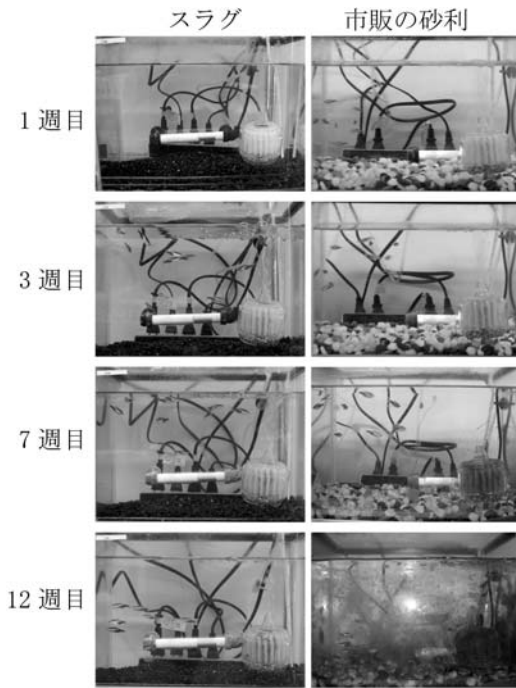


図4 熱帯魚飼育水槽の継時変化

清掃が不要であることが示された。また、使用後のスラグを洗浄、乾燥後、再利用した場合もほぼ同程度の水防汚効果が見られたことから（結果は省略）、スラグの再利用が可能であることも明らかになった。

3.4 スラグの花瓶生け水防汚剤としての利用

次に廃棄物スラグが切り花の生け水防汚剤として利用できるかどうか検証した。花瓶に発生しやすい微生物に対する効果を定量的に比較するため、事前に屋外で20日間放置することで腐敗させた花瓶の生け水を用意し、それを2%含む生け水にキク切り花を一輪挿しにして経過を観察した（図5）。その結果、スラグを加えなかった試験管については、栽培から6日目に葉が、20日に花卉が枯れた（表3）。また、9日目から水の濁りが観察されはじめ、22日目には赤褐色の濁りがはっきりと観察された（図5(b)）。一方、スラグを添加した試験管については、少なくとも1ヶ月以上生け水の濁りは観察されず（図5(b)）、28日目になって葉が、34日目に花卉が枯れた（表3）。切り花の花持ち日数の長さは、生け水の清潔さに大きく依存しており、導管内で細菌が増殖すると、花の水あげが悪化し、花持ち日数は短縮される¹⁴⁾。このことから、切り花の生け水中にスラグを沈めることで、生け水中の微生物の増殖が抑制され、その結果として花持ち日数が延長されたと考えられる。以上の

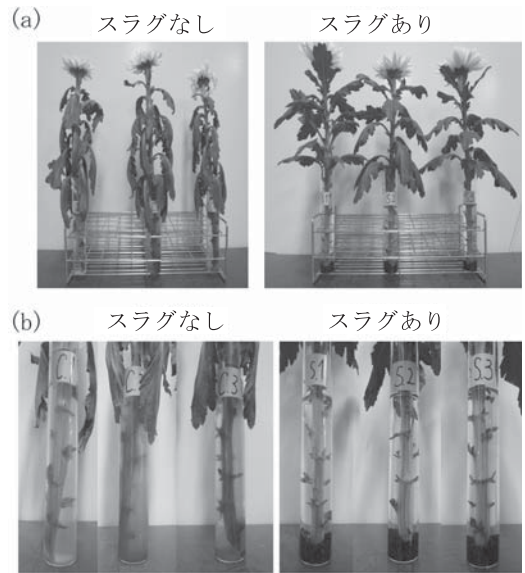


図5 22日目のキク切り花の全体の様子 (a) と生け水の様子 (b)

表3 キクの葉および花卉の枯れまでの日数

スラグ	葉		花卉
	(単位: 日数)		
あり	28.0±3.00	34.0±4.50	
なし	6.00±3.00	20.0±7.00	

n=3

結果より、スラグは生け水の防汚剤としての効果があり、またそれによって切り花の花持ちを延長できることが確認された。

しかしながら、以上の実験により切り花の水防汚効果と、それによる花の延命効果は証明できたが、スラグが切り花に何らかの悪影響を与える可能性については否定できない。たとえば、上の実験（図5）だけではスラグによる悪影響により切り花の花持ちが短くなったとしても、それ以上に水腐敗による花持ちの短縮が大きかった場合、それを検出することは不可能であるからである。スラグは微生物の増殖を有意に抑制したことから（図2、図3、スラグおよびガラスサンプル間の有意差を参照）、切り花にも何らかの悪影響を与えてしまう可能性は充分に考えられる。これは実用化に向けて事前に検討しておくべき重要な事項でもある。つまり、もしスラグが切り花に悪影響を及ぼすことが事実であった場合、花瓶が病院などの比較的清潔な条件下におかれた時は逆にスラグによって花持ちが短くなってしまいう可能性も考えられるからである。この危惧を払拭するために、生け水が清潔な条件下で、切り花の花持ちに与えるスラグの効果につ

表4 10種類の切花の各スラグ濃度における花持ち日数 (単位: 日数)

スラグ濃度 [g/L]	バラ	カーネーション	キク	ガーベラ
0	5.0±0.0	23.7±1.0	31.0±3.0	18.3±3.5
40	5.0±1.0	20.3±4.0	31.0±2.0	17.3±3.0
80	4.7±0.5	24.3±1.0	27.7±1.0	18.3±1.5
160	4.7±0.5	24.0±1.5	28.7±2.5	16.3±5.0

スラグ濃度 [g/L]	キンギョソウ	ヒマワリ	トルコキキョウ	ユリ・カスミソウ・アルストロメリア
0	10.3±3.5	9.3±0.5	20.0±4.5	
40	11.7±2.5	9.7±1.0	19.0±6.0	測定不能
80	11.3±1.0	10.3±2.0	22.3±6.5	
160	10.3±1.5	9.0±0.0	29.7±7.5	

n=3

いて検討した(表4)。その結果、バラ、カーネーション、キク、ガーベラ、キンギョソウ、ヒマワリ、トルコキキョウにおいて、多少の誤差はあるものの、生け水が清潔な場合にスラグによって花持ちが影響されることはなかった。ユリ、カスミソウ、アルストロメリアに関しては、花同士の接触による花卉の脱落等の理由により、正確に花持ち日数を計測できなかったが、スラグが花持ちを短くしたというような傾向は観察されなかった。以上の結果より、水が腐敗しないような条件ではスラグは花持ちにほとんど影響しないことが明らかになり、図5による花持ちの延長は水腐敗防止効果によるものであることが証明された。

4. おわりに

本研究より、以下のことが明らかになった。

- ・廃棄物溶融スラグは静置培養条件下において大腸菌や水槽由来微生物の増殖を有意に抑制した。
- ・廃棄物溶融スラグは魚飼育水槽や切り花生け水の水防腐剤として有効に機能した。

今回の結果のみからスラグによる水防腐効果のメカニズムについて結論づけることは困難であるが、スラグ表面に接した微生物に対してのみ増殖抑制効果が見られたことから、スラグに含まれる金属化合物が微生物表面に直接作用し、その結果増殖が抑制されたのではないかと推測している。また、今回用いたスラグは廃棄物溶融スラグであるため、廃棄物の種類によってスラグ組成にばらつきが生じ、それによって水防腐効果が影響される可能性がある。水防腐メカニズムの解明とスラグロット間のばらつきによる水防腐効果への影響に関しては、実用化に際し重要な情報であるため、今後さらなる調査が必要である。

[謝辞]

本研究を行うにあたり、廃棄物溶融スラグおよび

研究資金を提供して頂いた九州北清俣に深く感謝致します。

参考文献

- 1) 環境省：環境統計集，3章(2011)
- 2) 北辻政文：ごみ溶融スラグの建設材料としての利用，資源処理技術学会誌，第49巻，第4号，pp.167-174(2002)
- 3) 沼田哲始，宮田康人，藪田和哉，高橋達人，豊田恵聖，佐藤義夫：鉄鋼スラグによる沿岸環境改善技術，NKK技報，第177号(2002)
- 4) 成松陽明，宿谷 巖：転炉スラグの漁業への利用，製鉄研究，第302号，pp.13534-13538(1980)
- 5) 伊藤一明，西嶋 渉，正藤英司，岡田光正：鉄鋼スラグ散布による沿岸海域でのリン除去の基礎的研究，水環境学会誌，第19巻，第6号，pp.501-507(1996)
- 6) 伊藤一明，西嶋 渉，正藤英司，岡田光正：鉄鋼スラグ散布による沿岸海域底泥からの硫化物抑制とアンモニア性窒素の溶出の検討，水環境学会誌，第20巻，第10号，pp.670-673(1997)
- 7) Y. Nakamura, A. Taniguchi, S. Okada and M. Tokuda: Positive Growth of Phytoplankton under Conditions Enriched with Steel-making Slag Solution, ISIJ International, Vol. 38, No. 4, pp. 390-398(1998)
- 8) 長野伸泰，高橋 徹，富田恵一，若杉郷臣，工藤和彦，表 良一：一般廃棄物溶融スラグの化学性状に関する研究，北海道立工業試験場報告，No. 306, pp. 47-53(2007)
- 9) 宮野泰征，小山訓裕，K.R. スリクマリー，佐藤嘉洋，菊池靖志：各種純金属の抗菌性評価，鉄と銅，第93巻，第1号，pp. 57-65(2007)
- 10) 特許庁：技術分野分野別特許マップ，化学24(2001)
- 11) M. Kumada, R. Akada, S. Kobuchi, T. Matsuo, Y. Todoroki and K. Naotori: Clean Anti-Bacterial Surface of Copper, J. JCBRA, Vol. 40, pp. 122-127(2001)
- 12) 橋本和仁，藤嶋 昭：光触媒の全て，工業調査会(2003)
- 13) 砂田香矢乃：微弱光下での酸化チタン光触媒効果，会報光触媒3，pp. 144-145(2000)
- 14) 市村一雄：切花の鮮度保持，筑波書房(2000)

Functional Assessment of Waste Molten Slag as a Water Preservative

Ryuta Nakamura*, Saku Kijima*, Shiro Kiyoyama* and Kiyotaka Tokuraku**

* Chemical Science and Engineering, Miyakonojo National College of Technology

** Department/Division of Applied Science, Muroran Institute of Technology
(Formerly Chemical Science and Engineering, Miyakonojo National College of Technology)

† Correspondence should be addressed to Kiyotaka Tokuraku :
Department/Division of Applied Science, Muroran Institute of Technology
(27-1 Mizumoto, Muroran, Hokkaido 050-8585 Japan)

Abstract

Production volumes for waste molten slag have seen an increase along with the increased use of waste melting furnaces. To seek novel applications for this slag, we first examined its influences on microbial growth. For *Escherichia coli*, the addition of slag inhibited growth by approximately 80% under static culture conditions, however under shake culture conditions there was no significant effect. Similarly, the growth of aquatic microbes from fish aquariums was also inhibited by about 80% with the addition of slag under static culture conditions. Results show that the slag could possibly be utilized as a preservative for tropical fish aquariums and in vases for cut flowers, which like static culture conditions. We then set out to assess whether the slag could actually be used in this manner : when slag was added to aquariums with neon tetras, the occurrence of algae was not observed over a period of three months. In addition, an antiseptic effect was witnessed when slag was added to vase water holding cut chrysanthemum flowers, and it was possible to extend the freshness of the flowers up to 1.7 times longer than those in the control vases. As the addition of slag did not show any negative effects on the survival rate of the neon tetra fish or the seven different varieties of cut flowers in the vases, we have concluded that waste molten slag could be made available for use as a preservative in aquariums and flower vases.

Keywords : waste molten slag, aquarium, vase, aquatic microbe, preservative