



アラカルト

鉄鋼スラグ新機能フォーラム 2022年度現場視察・意見交換会

—農業分野における都市ごみ溶融スラグの利用—

2022 Site Visit and Opinion Exchange Meeting of New Functions of
Iron- and Steel-making Slags Forum

- Utilization of Municipal Solid Waste Melting Slag in Agricultural Sector -

フォーラム座長
東京大学 大学院工学系研究科
准教授 松浦宏行
Hiroyuki Matsuura

鈴鹿工業高等専門学校
生物応用化学科
教授 平井信充
Nobumitsu Hirai

日本工業大学
基幹工学部
教授 内田祐一
Yuichi Uchida

サステナブルシステム工学部会の「鉄鋼スラグ新機能フォーラム」では、鉄鋼スラグの新機能を活用した新たな利活用方法の検討と有効利用の促進を目的に、関連する機関と積極的な交流を行っている。この度、コロナ禍以降初めてとなるフィールド活動として、フォーラムメンバー10名で2022年11月30日に溶融スラグの農業分野での利用を積極的に展開している静岡県の静岡市西ヶ谷清掃工場ならびに静岡大学を訪問し、現場視察および情報交換・討議を行った。

参加者（敬称略）：

松浦宏行（フォーラム座長、東京大学）、井上亮・植田滋（東北大学）、森田一樹（東京大学）、内田祐一（日本工業大学）、平井信充（鈴鹿工業高等専門学校）、高橋利幸（都城工業高等専門学校）、加藤文隆（日本製鉄）、澤山宗義（神戸製鋼所）、稲垣開生（産業振興）

1 静岡市西ヶ谷清掃工場訪問

静岡市は人口68万人（2022年11月現在）を擁し、西ヶ谷と新沼上の2つの清掃工場を有している。今回訪問した西ヶ谷清掃工場（図1）は静岡駅から車で40分ほどの立地にあり、平成22年の竣工である。同工場の特徴は、ごみの処理方式としてシャフト炉式ガス化溶融方式（250 t/日×2炉）を採用し、高温（1700～1800℃）でガス化・溶融処理を行い、ごみの熱分解ガスをエネルギー源として回収するとともに、スラグ・メタルを資源化していることにある。同工場の建設に際し、ストーカー炉とガス化溶融炉が比較され、減容化効果が大き

いことからガス化溶融炉を導入したそうである。最初に工場全体の説明を受けた後、山本工場長の案内で場内を見学させていただいた。

処理対象として、市内から回収もしくは持込されたごみと、新沼上清掃工場で発生した焼却灰や、災害廃棄物等を重量比で10～20%相当受け入れている。ガス化溶融炉は層高10 mの充填層型で、ごみはクレーンで炉頂部に運ばれて装入される。頂部からはコークスや石灰石等の副資材も供給される。装入物は炉内を降下しながら乾燥帯→熱分解ガス化帯→燃焼帯を経て、炉床部の溶融帯（1700～1800℃）で溶融される。

溶融メタルとスラグは、約1時間おきに炉床部をドリルで穿孔して排出される。その出湯状況を見学したが、さながら高炉の出鉄のミニチュア版ともいえるべきものであった。出湯した溶融物は水碎し整粒された後、スラグとメタルに磁選分離される。装入原料に対してスラグが12～13%、メタルが2%程度（原料が一般ごみであればスラグ7%、メタル1%程度）発生し、メタルは重錘材や製鉄原料に、スラグは建設資材や後述する肥料用途に利用されている。得られたスラグは高温還元雰囲気を経ているため重金属分が少なく、天然砂と同等の品質を有している。原料自体の成分変動が大きいため、炉況を見ながら石灰石投入量によって塩基度調整（%CaO/%SiO₂=1程度）をしているとのことであった。

熱分解ガス化により発生したガスは、別の燃焼室で850℃以上の高温で燃焼され、燃焼熱がボイラー回収されるとともに、ダイオキシン類が分解される。ボイラー回収された蒸気を用いて発電を行い、14000世帯分の電力が得られている。



図1 静岡市西ヶ谷清掃工場訪問 (Online version in color.)

一部の蒸気は隣接する運動公園内の屋内プールに供給される。燃烧後の排ガスから集塵された飛灰のみが唯一、同工場から最終処分に回されている。飛灰処理に関して、見学後の質疑時に、鉄鋼スラグとの混合により重金属類の溶出が抑制され安定化されるとの研究例がメンバーから紹介された。

見学後に、熔融スラグの肥料化について、日鉄エンジニアリングの住氏より詳細な説明をいただいた。国内において一般廃棄物熔融スラグは年間約80万トン産出され、うち約70万トンが有効利用されているが、今後も安定にスラグの有効利用を継続するための新規用途としてスラグ肥料が開発された。同スラグは前掲のような塩基度1程度の組成に由来して、稲系植物の収量や食味向上に効果のある可溶性けい酸と、酸性化した耕地を中和するアルカリ分を多く含み、高炉スラグベースのけい酸質肥料と同様の効果を有している。平成24年から4年間にわたって静岡市、静岡大学、日鉄エンジニアリング社の産官学連携による水稻生育評価試験が行われ、平成28年の仮登録を経て、令和3年に一般廃棄物熔融スラグとして国内で初めて肥料登録された。現在、JA静岡経済連から「SKケイカル」の商品名で販売され、水稻以外にマコモダケ、サトウキビ、わさびへの適用も進められている。このスラグ肥料は、地元で発生する一般ごみを原料とし、それを農業利用することで、いわば「地産地消」の製品であり、流通コストも抑えられているとのことであった。

見学を通じ、自治体のごみを定常的に処理するという使命を全うしつつ、焼却残渣であるスラグの有効利用を進めるという有意義な取り組みに尽力している姿勢が印象に残った。スラグ肥料の本登録に至るまでに、10年近い期間をかけて十分な検討と実績が積み重ねられたことに敬意を払うとともに、スラグが地域循環共生圏に貢献する形で利用されている点

が、鉄鋼スラグの用途展開のヒントになるものと感じられた。

2 静岡大学訪問

西ヶ谷清掃工場を見学後、40分ほどかけて自動車で移動し、静岡大学静岡キャンパスへ移動した。静岡大学では、まず、静岡大学農学部植物機能生理学研究室准教授 一家崇志先生から、「都市ごみ熔融スラグの未来」というタイトルで、一家先生の御研究をご説明頂いた。まず、ケイ酸質肥料が植物に与える一般的な効果、例えば、食味値の向上、病害抵抗性の改善、生育に与える具体的な影響等についてご説明頂いた。次に、水田土壌中の有効ケイ酸量低下が全国的に拡大しているという背景を受けて、2013年から再開墾した農学部水田において水稻（コシヒカリ）について試験を行い、対象区と比較してケイカルや都市ゴミ熔融スラグを施肥することにより、穂数が増加すると共に収量が2~3割増加することについて説明頂いた。その結果、最終的に熔融スラグが肥料登録され、SKケイカルとしてJA静岡経済連より販売されている件をご紹介頂いた。続いて、他の農産物、具体的には、マコモダケ、サトウキビなどのイネ科植物、ワサビ、キヌア等について、熔融スラグ施肥の効能についての試験結果をご説明頂いた。特に、スーパーフードとして知られるキヌアについては、製鋼スラグが種や根の重量増、キヌアの成長（伸長、高さ等）に有効であったという説明があり、他の農産物と異なる傾向が見られたことは個人的に興味深かった。

一家先生のご講演に引き続き、茶栽培におけるスラグ施肥の研究について、一家研究室大学院修士課程2年生の山崎惟吹さんから、学部4年時からの3年間の研究内容について説明があった。茶栽培では多量の窒素肥料が施肥されている

が、施肥後、肥料に含まれるアンモニウム系窒素が硝酸系窒素に変換されてしまい、土壌の酸性化がおこる。茶は好酸性植物であるが、特にpHが3を下回ると育成阻害が生じることであった。そこで、鉄鋼スラグ（ケイカル、ミネカル）や溶融スラグ（SKケイカル）をアルカリ資材として施肥することにより、茶園土壌の改善、茶樹の生育や品質への影響について調査された。その結果、ケイカル、SKケイカル投与による茶樹の生育や品質は問題なく、混合比によって改善す

る可能性があること、ミネカルは少量で強いpH矯正効果を発揮するため混合比は慎重に検討すべきこと、スラグは従来肥料である苦土石灰と比較しても優劣なくアルカリ資材として有効であること、スラグによりpH矯正は菌叢に影響を与えるが、菌叢の多様性は担保されていること等をご紹介頂いた（図2）。

最後に、キャンパス内にあるマコモダケの試験圃場を見学させて頂いた（図3）。一家先生のご講演では、マコモダケは



図2 静岡大学訪問（Online version in color.）

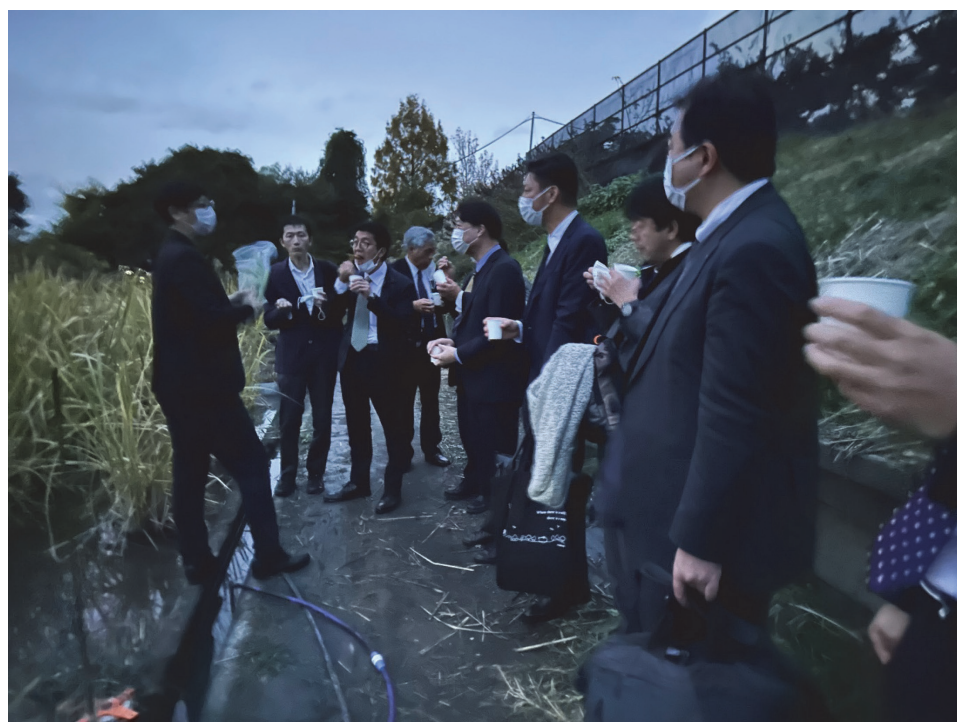


図3 静岡大学試験圃場視察：左に映る植物がマコモダケで、研究室の方が調理下さったマコモダケの天ぷらを試食しながら説明を伺った（Online version in color.）

単位面積あたりの収益がイネの5倍とのことであった。実物を拝見すると施肥の違いによる生育状況の違いがより顕著に感じられた。また、ご好意で、研究室の学生さんに調理頂いたマコモダケの天ぷらを試食する機会を頂けた。初めて食したが、砂糖とは異なる、植物特有の甘さが非常に強く、極めて美味であった。

3 訪問を終えて

これまで多種多様な分野との積極的な交流を推進してきた当フォーラムにとっては、2020年初頭からのコロナ禍にあって活動を模索し続けてきた期間であったが、今回、ポストコロナ・ウィズコロナを見据えた活動のキックオフとすることができた。殊更、この3年間で学術やビジネスの場におけるオンラインコミュニケーション技術が飛躍的に進歩したと感じる一方、今回の訪問を経て、現地に出向いて対面で交流することの価値や重要性を再認識した次第である。

都市ごみ溶融スラグという用語からは全く異なるモノが想

像されるが、その溶融処理技術や溶融スラグの物理的・化学的性状は鉄鋼製錬およびそこから副生する鉄鋼スラグに類するものであり、鉄鋼スラグ同様に溶融スラグの農業分野での活用が期待されていることを初めて知ることができた。意見交換を経て安定した品質と生産量を誇る鉄鋼スラグの存在や効能がまだ十分に認知されていない分野があることを再確認するとともに、今後も当フォーラムを主軸とした積極的な情報発信や新規分野開拓の必要性を痛感した。

最後になりましたが、今回の現場視察・意見交換会の企画にあたりまして、静岡市西ヶ谷清掃工場工場長の山本武則様をはじめとする静岡市環境局の皆様、静岡大学理事・副学長の森田明雄先生、植物機能生理学研究室の一家崇志先生をはじめとする研究室の皆様には大変お世話になりました。また、日鉄エンジニアリング株式会社の住健太郎様、関勇治様には本訪問の企画段階から調整に御尽力・御協力を賜りました。ここに篤く御礼申し上げます。

(2023年3月1日受付)