

CO₂を固定化した木質バイオマス燃焼灰(BECCS灰)の資源化技術の開発

繁泉 恒河 久保田 洋
高地 春菜 正木 祥太

概 要

筆者らは、木質バイオマス発電由来のCO₂を燃焼灰に固定し、その燃焼灰を緑化資材へリサイクルすることで緑地にCO₂を貯留するBECCS(Bio-Energy with Carbon Capture and Storage)技術の開発を行っている。本報では木質バイオマス燃焼灰のうち、緑化用途に適した材料と混練することで透水性の向上が見込まれる主灰を対象として、①炭酸化処理が主灰の溶出特性に与える影響とCO₂吸収量および②主原料として浄水発生土等を混練して作製した緑化資材の物理性、環境安全性、植物の生育への影響について検討した。BECCS灰(炭酸化した燃焼灰)の溶出試験において、炭酸化処理により、pHの低下とPb、Cr(VI)、Fの低減が見られた一方で、As、Bは溶出増加の傾向が見られた。燃焼灰のCO₂吸収量は、5~24 g-CO₂/kgDW-ashであり、一般廃棄物由来の焼却主灰の既往の報告と同程度であった。BECCS灰に浄水発生土等を混練して作製した緑化資材は、土壤環境基準を満足しており、かつ、pH、EC、飽和透水係数および有効水分について、人工土壌の性能の目安となる数値に適合していた。加えて、植害試験の結果から、コマツナの発芽および生育への影響は小さく、BECCS灰は炭素貯留が可能な緑化資材の材料として利用可能であることが示された。

Development of technology for recycling woody biomass ash that fixes CO₂ (BECCS-ASH®)

Abstract

The authors are developing BECCS (Bio-Energy with Carbon Capture and Storage) technology that stores CO₂ in green areas by fixing CO₂ derived from woody biomass power generation in woody biomass ash and recycling the ash as greening materials. This report focuses on the bottom ash of woody biomass ash, and we examined the effect of carbonation on the elution characteristics of the bottom ash, the amount of CO₂ absorption, the physical properties of greening materials prepared by kneading purified water-generated soil as secondary materials, environmental safety, and effects on plant growth.

In the elution test of carbonated woody biomass ash, the carbonation treatment showed a decrease in pH and a decrease in Pb, Cr(VI), and F, while an increase in elution of As and B was observed. The amount of CO₂ absorbed by BECCS-ASH was 5-24 g-CO₂/kgDW-ash, which was similar to previous reports of MSW bottom ash. The greening material satisfied soil environmental standards, and pH, EC, saturated hydraulic conductivity, and available moisture also met the criteria for the performance of artificial soil. In addition, the results of the plant damage test suggested that the effect on the germination and growth of Komatsuna (*Brassica campestris*) was small, and that BECCS-ASH could be used as a greening material capable of carbon storage.

キーワード: 木質バイオマス燃焼灰、BECCS、
炭酸化、緑化資材

§1. はじめに

1.1 背景

近年、固定価格買取制度(FIT)の後押しもあり、木質バイオマス発電施設数および発電容量は急激に増加している。発電部門における木質バイオマス燃焼灰(以下、燃焼灰とする)の発生量は、2023年で最大81万t/年と推定され¹⁾、FIT認定施設が全て稼働すると発電容量は約2.8倍に達し²⁾、それに伴って燃焼灰も増加することから、将来的には200万t/年を超すと考えられ、燃焼灰の取り扱いが課題となる。

また、脱炭素社会の実現に向け、様々なCO₂排出削減のための技術が検討されており、そのひとつとして、炭酸塩化による焼却残渣や廃コンクリート等の廃棄物へのCO₂の固定が挙げられている(以下、炭酸化とする)。対象とする廃棄物の中に燃焼灰があり、将来的な排出量の増大を背景に、CO₂固定化のポテンシャルが高い廃棄物として評価されている³⁾。

木質バイオマス発電はカーボンニュートラルと考えられていることから、発電由来のCO₂を燃焼灰に固定し、再生資材やコンクリートなどの材料に有効利用することで社会にCO₂を貯留することができれば、BECCS(Bio-Energy with Carbon Capture and Storage)技術としてカーボンネガティブに貢献可能であると考えられる。

そこで、本研究では、炭酸化した燃焼灰(BECCS灰)のリサイクルを目的として、その溶出特性、CO₂固定量および、緑化資材とするための主原料として浄水発生土をBECCS灰に混練したときの物理性、環境安全性として重金属類の溶出濃度、植物の生育への影響について検討した。なお、本報では、燃焼灰のうち、浄水発生土への混練により透水性の向上が見込まれる主灰を対象とした。

§2. 実験材料および方法

2.1 供試材料

間伐材等の未利用材、製材端材等を燃料とする木質バイオマス発電施設(ストーカ炉)において、2020年に2回に分けて、主灰を採取し供試主灰とした(以降、1回目に採取したものを主灰A、2回目を主灰Bとする)。また、緑化資材とするためにBECCS灰に混練する主原料として浄水発生土(脱水形式はフィルタープレスおよび重力式)を用いた。

2.2 試験方法

2.2.1 炭酸化試験

(1) カラム試験

本試験はBECCS灰の溶出特性を調査するために行っ

た。試験は25℃の恒温室内に設置した円筒型の塩化ビニル製カラム(内径φ104×高さ400mm)を用いて実施した。焼却灰の炭酸化に際して最適な含水率は、10~20%と報告されている⁴⁾ことから、供試主灰の含水率が15%となるよう加水した後に、乾重換算で350gをカラムへ充填した。炭酸化処理には100%CO₂ガスを使用し、バルブ付き面積式流量計を取り付けた配管をカラム下部に接続し流量を調整して供給した。これまでの試験⁵⁾を参考にして、炭酸化を十分に行えるCO₂供給量として800g-CO₂/kgDW-ashを設定した。未処理および炭酸化処理後の主灰Aに対して環境庁告示第13号溶出試験方法(以下、JLT13法)により検液を得た。また、未処理および炭酸化処理後の主灰Aを、全炭素量を測定する試料とした。

(2) ベンチスケール試験

本試験は、上述のカラム試験に対してスケールアップした設定で、充填した主灰の炭酸化に充分量と考えられるCO₂供給量を供給し、カラム試験で得られた結果の検証と、次項で述べる緑化資材化試験に供するBECCS灰の作製を目的として行った。

このベンチスケール試験では、主灰Bを対象とした。主灰へのCO₂供給には、均等にガスを通気するための下部空間を設けた二重床構造の塩化ビニル製の試験槽(120×75×高さ40cm)を用いた。カラム試験と同様に、主灰Bの初期含水率が15%となるよう加水し、乾重換算で123kgを試験槽へ充填した。試験槽の下部空間に接続した配管にバルブ付き面積式流量計を取り付けて100%CO₂ガスの流量を調整した状態で炭酸化処理を行った。CO₂供給量は、カラム試験より、炭酸化を充分に行える量として100g-CO₂/kgDW-ashを設定した。未処理および炭酸化処理後の試料はJLT13法で溶出を行い、検液を得た。

2.2.2 緑化資材化試験

本試験では、上述のベンチスケール試験で得られたBECCS灰(主灰B由来)を緑化資材とするにあたり、浄水発生土および少量のpH調整材を混練することとした。混練には遊星型混練機を使用し、表1に示した処理区ごとの浄水発生土と主灰の混練割合(体積比)を設定した。

表1 浄水発生土と主灰の混練割合

処理区	混練比率	
	浄水発生土	主灰
緑化資材①	5	4
緑化資材②	5	6
緑化資材③	5	8

緑化資材の物理性の評価として、飽和透水係数および有効水分を測定した。また、環境安全性の評価として、土壌の汚染に係る環境基準を評価する際に用いられる環境庁告示第46号溶出試験(以下、JLT46法)により検液を得た。

2.2.3 植害試験

本試験は作製した緑化資材の植物の生育への影響を評価するために、肥料取締法施行規則により実施が定められた試験方法⁶⁾に準拠して植害試験を行った。表2に試験区を示す。対照区として、客土に用いられる真砂土、植害試験に一般的に用いられる黒ボク土および緑地に用いられる人工土壌の比較対象として市販土壌2種(以下、市販土壌AおよびBとする)を用いた。試験はノウバウエルポットに水分調整した土壌500 mlを充填し、コマツナを20粒/potの密度で播種して、室温20-25℃、光条件18,000-20,000 lx、湿度50-65%の環境にて、21日間栽培した。各試験区のポットの反復は3とした。施肥は土壌500 ml当たり窒素、リン酸、カリウムを25 mg添加した。

2.3 分析・測定方法

供試主灰の含水率、熱灼減量は環整95号別紙2に準拠した。化学組成は波長分散型蛍光X線分析装置で測定した。

JLT13法およびJLT46法の溶出試験の検液については、pHおよび電気伝導率(EC)は電極法、Pb、As、Se、B、Cdは

表2 植害試験処理区

処理区	使用材料
対照区①	真砂土
対照区②	黒ボク土
対照区③	市販土壌 A
対照区④	市販土壌 B
処理区①	緑化資材①

表3 供試主灰の含水率、熱灼減量および化学組成

灰種	含水率 %	熱灼減量 %	Na wt%	Mg wt%	Al wt%	Si wt%	P wt%	S wt%	Cl wt%	K wt%	Ca wt%	Fe wt%
主灰 A	1.8	0.43	0.23	0.56	1.1	7.1	0.14	0.22	0.034	1.3	14	0.79
主灰 B	1.9	0.076	0.15	0.80	2.1	13	0.25	0.54	0.030	1.8	11	1.0

表4 カラム試験での未処理および炭酸化処理後のpHと、JLT13法における重金属類の検液中濃度

灰種	処理	pH	Pb mg/L	Cr(VI) mg/L	F mg/L	As mg/L	B mg/L	Se mg/L	Hg mg/L	Cd mg/L	CN mg/L
主灰 A	未処理	12.2	<0.001	0.05	0.23	<0.001	<0.1	<0.001	<0.00005	<0.001	N.D.
	炭酸化	10.3	<0.001	<0.02	<0.08	0.006	0.1	<0.001	<0.00005	<0.001	N.D.

ICP質量分析法、Cr(VI)はジフェニルカルバジド吸光度法、F、CNは流れ分析法、Hgは還元気化原子分光光度法で分析した。未処理および炭酸化処理した主灰の全炭素量(TC)は燃焼酸化方式で測定した。

緑化資材のpHおよびECは、土壤環境分析法に準拠して検液を作成し電極法で測定した。また、飽和透水係数は土壤環境分析法の定水位法、pF1.5-3.8の体積含水率は土壤標準分析・測定法の加圧板法-遠心法-乾燥法で測定した。

植害試験では、播種7日目に発芽率を、21日目に草丈を測定し、平均値を算出した。

§3. BECCS灰の溶出特性

3.1 供試主灰諸元

未処理の主灰の含水率、熱灼減量および化学組成を表3に示す。

含水率について、2つの主灰で大きな差はなく、乾灰の状態であった。一方で、熱灼減量は、主灰Aの方が主灰Bの5.7倍の値であったが、この差は1%未満と小さく、試験結果に影響を与える値ではなかったと思われる。化学組成は、Al、Si、PおよびSは主灰Bの方が2倍程度高い傾向にあり、燃料の変動が影響したと思われる。

3.2 炭酸化処理した主灰の溶出特性

表4に、カラム試験における未処理および炭酸化処理後のpHと、JLT13法における重金属類の検液中濃度を示す。

未処理と炭酸化処理後を比較すると、pHとCr(VI)、Fの溶出濃度は炭酸化処理による低下が見られた。pHおよびPbの溶出濃度の低減は一般廃棄物由来の焼却灰でも報告されており⁷⁾、pHについては本試験でも同様の現象が確認された。Pbは未処理で定量下限値未満であったことから、炭酸化による溶出の変動は検出できなかった。

Cr(VI)は、炭酸化により溶出が増加することが知られてい

表5 ベンチスケール試験での未処理および炭酸化処理後のpHと、JLT13法における重金属類の検液中濃度

灰種	処理	pH	Pb mg/L	Cr(VI) mg/L	F mg/L	As mg/L	B mg/L	Se mg/L	Hg mg/L	Cd mg/L	CN mg/L
主灰B	未処理	12.2	0.002	0.03	<0.001	<0.001	<0.1	<0.08	<0.00005	<0.001	N.D.
	炭酸化	11.4	<0.001	<0.02	0.006	<0.001	0.2	<0.08	<0.00005	<0.001	N.D.

る⁷⁾が、本試験では炭酸化処理後に溶出濃度が低減した。Umら⁸⁾は30%CO₂ガスに一般廃棄物由来の焼却主灰を240分間接触させた試験において、試験開始後15分間は溶出濃度が増加したものの、試験開始30分後には溶出濃度が低減したと報告している。さらに、炭酸化による溶出濃度の低減のメカニズムとして、pH低減に伴う不溶性のCr化合物の形成および非晶性のアルミニウム化合物によるCr(VI)の吸着を挙げている。本試験では、100%CO₂ガスを24時間通気したことから、溶出濃度が低減するのに十分なCO₂供給量となり、Cr(VI)の溶出が低減する段階まで反応が進んだものと推測された。また、表4より炭酸化処理後にpHが低下したこと(表4)、およびAlを含有していたこと(表3)が、Cr(VI)の溶出濃度の低減に影響を与えた可能性を裏付けていると考えられた。

一方で、As、Bは炭酸化による溶出の増加が確認された。Bは、様々な廃棄物において、pHの低下に応じて溶出濃度が上昇することが報告されている⁹⁾ことから、本試験においても炭酸化に伴うpH低下に起因するものと考えられた。

FおよびAsにおける炭酸化処理による溶出挙動の変化に関する報告は少なく、現象の再現性の確認やメカニズムの解明が今後の課題である。

未処理、炭酸化処理後ともに、Se、HgおよびCdは定量下限値未満であり、CNは検出下限値未満であった。

表5に、ベンチスケール試験における各燃焼灰の未処理および炭酸化処理後のpHと、JLT13法における重金属類の検液中濃度を示す。

未処理と炭酸化処理後を比較すると、pH、PbおよびCr(VI)は値が低減した。一方で、Bは溶出濃度が増加した。これらの傾向は、カラム試験における結果と一致したことから、処理量が100kg以上のベンチスケール試験での炭酸化処理が重金属の溶出に及ぼす影響の再現性が得られた。

3.3 CO₂吸収量

図1に主灰Aおよび主灰Bの未処理と炭酸化処理後の全炭素量を示す。処理後の全炭素量の増加は、CO₂通気時の炭酸塩の形成によるものと考えられた。そこで、炭酸化後の主灰におけるTCの増加が全量CO₂の吸収によるものと仮定し、処理前後のTCの差分をCO₂量に変換し、燃焼灰の乾燥重量で除して、主灰のCO₂吸収量を算出した。

算出されたCO₂吸収量は、主灰Aで24 g-CO₂/kgDW-ash、

主灰Bで5g-CO₂/kgDW-ashであった。これらの値は、一般廃棄物由来の焼却灰について炭酸化を検討した本幡ら⁴⁾の報告における吸収量の範囲内であった。主灰BのCO₂吸収量が主灰Aの1/5程度だった原因として、主灰Aの処理時間は24時間であったが、主灰Bでは3時間と比較的短時間であったことから、CO₂吸収量には炭酸化の反応時間が影響した可能性が考えられた。また、炉形式の異なる燃焼灰を用いて炭酸化を行った既報¹⁰⁾において、CO₂吸収量は燃焼灰中のCa含有量よりもJLT13法におけるCa溶出濃度と強い正の相関があることが示されている。これは、Caの溶出濃度が高いほど、液相中に溶解したCO₂と反応するCaが多くなるためと推測されている。Caの溶出濃度は燃焼灰中のCaの存在形態に因ると考えられ、Caの存在形態には燃料の種類、炉形式および燃焼の運転条件などが影響を与えると思われる。燃焼灰によるCO₂の吸収について、CO₂は炭酸塩の形態で固定されると考えられることから、炭酸カルシウムの形成に必要な燃焼灰からのCaイオンの供給に影響する上記の条件は、CO₂吸収量にも影響を及ぼすと推察される。今後、燃焼灰のCO₂吸収量について、施設ごとのばらつきや燃焼灰の季節変動を把握する上で、Caの溶出濃度もあわせて測定することが重要であると考えられる。

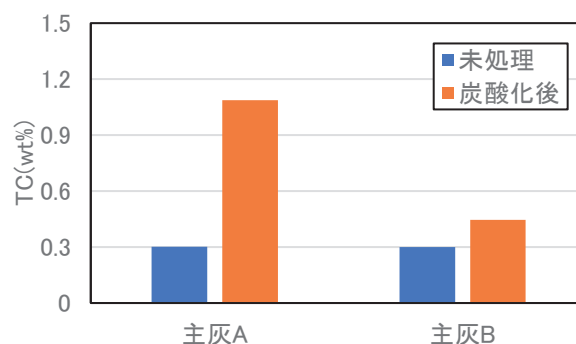


図1 主灰Aにおける未処理および炭酸化後の全炭素量

§4. BECCS灰を用いた緑化資材

4.1 混練処理

写真1に炭酸化処理後の主灰B、写真2に浄水発生土、写真3に緑化資材①の混練後の状況を示す。炭酸化処理後の主灰Bと浄水発生土等の混練には、混練効率に優れる遊星型混練機を使用したため、写真3にみられるように均一な状態の緑化資材の作製が可能であった。



写真1 炭酸化処理後の主灰B



写真2 浄水発生土



写真3 緑化資材①(浄水発生土:主灰=5:4)

4.2 資材の物理性

表6に各資材の飽和透水係数および有効水分を示す。

飽和透水係数が低い場合には土壤中に水が滞留し根腐れ等の湿害を引き起こす。一方で、土壌は植物の生育に必要な水分を保持していることが必要であり、本試験ではpF1.5-3.8における有効水分で評価した。

飽和透水係数について、全ての処理区で10⁻⁴ m/s以上を示した。人工土壌の性能の目安¹¹⁾の10⁻⁵ m/s以上であることから、本試験で作製した緑化資材は良好な透水性を示すことが明らかになった。また、処理区間の差はほとんど見られなかった。この要因として、本試験では飽和透水係数の測定方法における試料の充填をヒルガード法に基づいて行ったことから、JIS A 1210に規定されるランマーを用いた締固めよりも締固めエネルギーが小さく、より主灰による透水性の改善効果が表れにくかったためと推察された。有効水分は、飽和透水係数と同様に主灰の混練比率による差は小さ

表7 緑化資材①(浄水発生土:主灰=5:4)のpH、ECおよびJLT46法における重金属類の検出液中濃度
(上段:測定値、下段:目標値¹¹⁾¹²⁾および土壤環境基準)

pH	EC S/m	Pb mg/L	Cr(VI) mg/L	As mg/L	Se mg/L	B mg/L	F mg/L	Hg mg/L	Cd mg/L	CN mg/L
7.0	0.079	<0.001	<0.02	0.001	<0.001	<0.1	0.47	<0.00005	<0.001	N. D.
5.0-7.5	<0.1	<0.01	<0.05	<0.01	<0.01	<1	<0.8	<0.0005	<0.003	N. D.

表6 各資材の飽和透水係数および有効水分

処理区	飽和 透水係数 m/s	有効水分 (pF1.5-3.8) L/m ³
緑化資材①	6.3 × 10 ⁻⁴	190
緑化資材②	6.5 × 10 ⁻⁴	230
緑化資材③	5.8 × 10 ⁻⁴	190
性能の目安 ¹¹⁾	≥10 ⁻⁵	100-200 (標準)

く、200 L/m³前後の値を示した。pF1.5-3.8における有効水分は、100-200 L/m³で標準、それ以上が大とされており¹¹⁾、本試験で測定された値は標準と大の境界値に重なるものであることから、標準以上の保水性を持つと考えられた。

4.3 資材の化学性

表7に緑化資材①(浄水発生土:主灰=5:4)のpH、ECおよびJLT46法における重金属類の検出液中濃度を示す。pHおよびECは植物の生育の適応性や塩類濃度障害の判定に用いられる。また、JLT46法は土壤環境基準の溶出試験法であり、建設資材をはじめ再生資材や廃棄物を用いた二次製品の有効利用時に適用される。

本試験で作製した緑化資材のpHは7.0と、人工土壌の性能の目安¹¹⁾である5.0~7.5の範囲内にあった。ECは0.1 S/m以下であり、植栽基盤としての基準¹²⁾を満たしていた。重金属類は、AsおよびFが検出されたが、土壤環境基準を下回っていた。

4.4 植害試験

表8に植害試験における播種7日目の発芽率および播種21日目の草丈を、写真4に播種21日目の生育状況を示す。

発芽率は最も低い黒ボク土(対照区②)で90.0%、最も高い市販土壌B(対照区④)で98.3%と、全ての処理区で90%以上であった。作製した緑化資材①(処理区①)は93.3%と、対照区我真砂土、黒ボク土および市販土壌と同程度の発芽率を示した。

播種21日目の草丈は、真砂土(対照区①)が1.2 cm/株と最も低く、黒ボク土(対照区②)は4.6 cm/株で最も高かった。緑化資材①(処理区①)は3.8 cm/株と、2.9-3.3 cm/株であった市販土壌AおよびB(対照区③、④)を上回り、また

表8 植害試験における播種7日目の発芽率および播種21日目の草丈(n=3)

処理区	使用材料	発芽率(%)			草丈(cm/株)		
		平均値	±	標準偏差	平均値	±	標準偏差
対照区①	真砂土	95.0	±	5.0	1.2	±	0.06
対照区②	黒ボク土	90.0	±	0.0	4.6	±	0.06
対照区③	市販土壌 A	96.7	±	2.9	2.9	±	0.26
対照区④	市販土壌 B	98.3	±	2.9	3.3	±	1.12
処理区①	緑化資材①	93.3	±	2.9	3.8	±	0.29



対照区① 対照区② 対照区③



対照区④ 処理区①

写真4 播種21日目の生育状況

黒ボク土に対して20%減にとどまった。以上より、本試験で用いた混練比率(浄水発生土:主灰=5:4)により作製した緑化資材において、コマツナの生育阻害は見られず、黒ボク土および市販土壌と同程度の生育が可能であることが示された。

§5. まとめ

本報告において、以下のことが明らかとなった。

- 炭酸化処理した主灰の溶出試験において、pHの低下、Pb、Cr(VI)、Fの低減が見られた一方で、As、Bは処理後の方が未処理よりも溶出濃度が高く、炭酸化による溶出増加の傾向が見られた。
- CO₂固定量は、5~24 g-CO₂/kgDW-ashであり、一般廃棄物由来の焼却主灰における既往の値と同程度であった。
- 炭酸化処理した主灰に浄水発生土等を混練して作製した資材は、JLT46法における重金属類の溶出濃度は土壤環境基準を満足しており、かつ、pH、EC、飽和透水係数および有効水分について、人工土壌の性能の目安となる数値に適合していた。
- 植害試験の結果から、作製した緑化資材におけるコマツナの発芽および生育は、黒ボク土、市販土壌と同程度であることが示された。

以上のことから、BECCS灰は炭素貯留が可能な緑化資材の材料として利用可能であることが示された。

謝辞 本試験の実施にあたり、レイ・ソーラデザイン株式会社 大森僚次様に多大なるご協力を頂いた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 池美乃里、大下和徹、高岡昌輝: 国内のFIT認定木質バイオマス発電施設における燃焼灰発生量推計、廃棄物資源循環学会論文誌、Vol.31、pp.169-178 (2020)
- 2) 経済産業省資源エネルギー庁: 固定価格買取制度情報公表用ウェブサイト 再生可能エネルギー事業計画認定情報 (2020)、<https://www.fit-portal.go.jp/PublicInfoSummary> (閲覧日2022年8月25日)
- 3) NEDO: 次世代火力発電等技術開発次世代火力発電技術推進事業 CO₂ 排出削減のための要素技術検討 <https://www.nedo.go.jp/content/100905704.pdf> (閲覧日2022年5月31日)
- 4) 本幡照文、李政準、張瑞娜、崎田省吾、島岡隆行: 焼却灰有効利用のための炭酸化による重金属の不溶化に関する基礎的研究、環境工学研究論文集、Vol.41、pp.459-467 (2004)
- 5) 繁泉恒河、久保田洋、高地春菜、佐藤研一、藤川拓朗、永山陽裕、倉倉宏史、藤田大吾: 清掃工場の排ガス・回収 CO₂を用いて促進炭酸化処理を施した焼却主灰の溶出および力学特性、廃棄物資源循環学会論文誌、Vol.31、pp.116-130 (2020)
- 6) 農林水産省: 植物に対する害に関する栽培試験の方法、昭和59年4月18日付け59農蚕第1943号農林水産省農蚕園芸局長通知 (1984)
- 7) 久保田洋、繁泉恒河、高地春菜: 散水・炭酸化処理による焼却主灰溶出挙動への影響、フジタ技術研究報告、Vol.57、pp.65-70 (2021)
- 8) Namil Um, Seong-Young Nam, Ji-Whan Ahn, Effect of accelerated carbonation on the leaching behavior of Cr in MSWI BA and carbonation kinetics, Material Transactions, Vol.54, No.8, pp.1510-1516, 2013
- 9) 吉永淳、松脇崇晃、長谷川陽一、柳沢幸雄、貴田晶子、松江秀明、米沢仲四郎: 廃棄物中ホウ素の存在形態と溶出性、環境化学、Vol.12、No.2、pp.333-342 (2002)
- 10) 繁泉恒河、久保田洋、高地春奈: 炭酸化処理を施した木質バイオマス燃焼灰の重金属溶出挙動およびCO₂固定量、第32回廃棄物資源循環学会研究発表会、pp.187-188 (2021)
- 11) 財団法人都市緑化技術開発機構: 屋上・壁面緑化技術のてびき (1999)
- 12) 一般財団法人日本緑化センター: 植栽基盤整備技術マニュアル (2013)

ひとこと

本技術が脱炭素社会の実現に貢献可能なものとなるよう、技術の開発と普及を進めてまいります。



繁泉 恒河