

令和 3 年 6 月 19 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01567

研究課題名（和文）アパタイト処理石炭灰による土壌水分保持能増加のメカニズム解明とフィールド実験検証

研究課題名（英文）Effect of apatite-treated coal fly ash amendment on soil water retention capacity and its field test

研究代表者

高橋 史武（Takahashi, Fumitake）

東京工業大学・環境・社会理工学院・准教授

研究者番号：00414376

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,200,000円

研究成果の概要（和文）：石炭資源が豊富である地域は石炭火力発電が主電源であることが多く、大量に排出される石炭灰のリサイクルが大きな環境問題となっています。また、それらの地域は乾燥地域でもあり砂漠化に伴う土壌劣化も大きな問題です。そこで石炭灰を土壌水分保持材としてリサイクルすれば、2つの環境問題に対してその解決に貢献できます。水分保持能を蒸発乾燥に対する時間抵抗性として評価した場合、水分保持能を支配する要因は極めて複雑であり、時間経過に伴って変化することを見出しました。今後はフィールド実験での検証が求められます。

研究成果の学術的意義や社会的意義

石炭灰のリサイクルは大きな環境問題であり、土壌水分保持材としての活用は乾燥地域での土壌劣化問題に対して有望です。本研究では水分保持能を、蒸発に伴う水分減少に対する時間抵抗性として評価したところ、未処理の石炭灰は水分保持能を減少させるが、アパタイト処理などを組み合わせることで水分保持能を増加させることを見出しました。ただし、土壌水分の蒸発を遅らせる要因は時間経過とともに変化し、複雑なメカニズムであることも見出しました。石炭灰を土壌添加するアイデアは古くからありますが、乾燥地域では土壌水分の減少を促進する恐れがあり、適切な石炭灰処理や慎重な応用が求められます。

研究成果の概要（英文）：Coal fly ash management is one of big environmental problems in rich coal resource areas. In addition, these areas are usually under arid/semi-arid climate and thus soil moisture conditioner to remediate soil productivity is strongly demanded. This research aimed to recycle coal fly ash as a soil moisture conditioner. This research used a new approach to measure soil moisture retention in order to simulate soil moisture loss driven by evaporation using simple experiments. Therefore, soil moisture retention measured in this study was evaporation mitigation capacity (EMC), not water holding capacity. This study found that specific surface area, capillary pore-size volume, pF of soil moisture gave no direct impact on EMC. On the other hand, analysis results proposed time-dependency of major controlling factors of EMC. The validation of EMC approach by field-scale tests are recommended.

研究分野：環境工学

キーワード：石炭灰 リサイクル 乾燥地 水分保持能 アパタイト処理

## 1. 研究開始当初の背景

大陸内陸部を中心に多くの乾燥・半乾燥地域では、2つの深刻な環境問題に直面している。石炭資源が豊富ゆえに、石炭火力発電から大量に排出される石炭灰の利用先がない。また、土壤の乾燥化・砂漠化が深刻化しつつあり、土壤の水分保持材に切実な需要がある。そこで、石炭灰の無害化処理と同時に水分保持機能(=現地需要に即した付加価値)を与えれば、石炭灰リサイクルと砂漠化防止を同時に実現できると考えた。

土壤の水分保持能は自由水を重力もしくは減圧条件下で脱水もしくは蒸発除去し、残留した水分量でもって測定している。この水ポテンシャルベースの測定法では、石炭灰添加によって土壤の水分保持能が増加するとの研究例が多い。しかし実際の乾燥地にて、石炭灰が土壤水分保持材に活用されているケースは皆無である。乾燥地での土壤水分の損失経路は「植物による吸水」と「常圧条件下での蒸発」のみであり、植物による吸水と蒸発による損失は競合関係にある。よって、植物が“実際に利用可能な水”とは残留水の水ポテンシャルで決定されるのではなく、蒸発によって徐々に減少していく土壤水分量とその保持時間の積算値で表現した方が良い。この考えをもとに新たな手法で水分保持能を測定したところ、石炭灰添加によって土壤の水分保持能は有意に減少した。一方、先行研究より、石炭灰をアパタイト処理することで以下の効果が得られることを見出した。1) 未処理の石炭灰を添加すると高温条件ほど水分保持能が大きく減少するが、アパタイト処理した石炭灰の場合、土壤の水分保持能が高温条件下ほど増加する。2) アパタイト処理の P/Ca 比によって、効果は大きく異なる。3) 水分保持能は土壤粒径や表面積といった物理的要因は、強く関与しない(ただし団粒構造の影響も小さいかどうかはまだ未解明)。4) 親水性ポリマーや他の有機物をアパタイト複合層にグラフト化させても、水分保持能の増加にあまり寄与しない(減少させるケースの方が多い)。ただし、アパタイト処理が蒸発乾燥ベースでの水分保持能を増加させる要因は未だ不明である。

## 2. 研究の目的

本研究では水分保持機能が増加するメカニズムを明らかにし、中央アジアにてフィールド実験にて処理石炭灰の土壤添加による効果を検証することを目的とした。

## 3. 研究の方法

### 3.1 蒸発乾燥ベースでの水分保持機能の評価

日本の石炭火力発電所から採取した石炭灰 (FA) を本研究では用いた。また、土壤は真砂土、赤玉土、珪砂、川砂を対象とした。土壤粒子の粒径の影響を調べるため、各土壤資料は  $75\ \mu\text{m}$  以下、 $75\text{--}150\ \mu\text{m}$ 、 $150\text{--}250\ \mu\text{m}$ 、 $250\text{--}500\ \mu\text{m}$ 、 $500\text{--}710\ \mu\text{m}$ 、 $710\ \mu\text{m}\text{--}1.0\text{mm}$ 、 $1.0\text{--}2.0\text{mm}$ 、 $2.0\text{mm}$  以上にふるい分けしたものを実験に供した。土壤試料に対し、未処理の石炭灰、アパタイト処理した石炭灰、ないし後述するポリマー処理を施した石炭灰を 10wt%、20wt%、30wt% 添加し、蒸発乾燥ベースでの水分保持能 (Water retention capacity: WRC) を測定した。

アパタイト処理では、200g の石炭灰を 0.19mol/L リン酸溶液と飽和  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  溶液の混合液と混ぜ、アパタイトを表面に形成させた。なお、リン酸溶液と飽和  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  溶液の混合比を変化させ、P/Ca 比率が 3.0~16.0 となるように調整した。石炭灰を混合液に 24 時間浸漬させた後、 $105^\circ\text{C}$  にて乾燥させた。乾燥後に粉碎し、水分保持性能実験に供した。

水分保持性能測定では、試料 (石炭灰や石炭灰を添加した土壤/砂) を 17.5 g ごとにシャーレに入れ、蒸留水 7.5 g を加えて初期含水率を 30 wt% に調整した。試料を室温 (約  $20^\circ\text{C}$ ) 及び  $40^\circ\text{C}$  にて乾燥させ、1 時間ごとに重量変化を測定した。初期水分量を 100% として、乾燥時間ごとの保持水分量を相対化し、水分保持曲線の面積値を水分保持性能と定義した (単位は hr)。

### 3.2 石炭灰のポリマー処理

研究成果の項にて後述するが、水分保持能を支配する要因の一つとして有機物含有量が見出された。先行研究では親水性ポリマーやキトサンなどの有機物をアパタイト複合層にグラフト化させても水分保持能に顕著な影響を与えておらず、先行研究の結果と矛盾が生じた。そこで親水性ポリマーの影響を再検討するため、先行研究と同様にキトサン、アルギン酸、グアニジンおよび新規対象としてポリエチレングリコール (分子量は 20000 および 400)、ポリアクリル酸、およびポリビニルアルコールを用いて石炭灰にポリマー処理を施した。石炭灰に対する重量比で 5wt% のポリマーを添加し、よく混合した後に 24 時間養生させ、さらに  $105^\circ\text{C}$  で 24 時間乾燥させ、粉碎処理を施した。またセルロースについても同様に行い、その効果を検証した。

### 3.3 石炭灰添加による土壤水分保持能向上のフィールド実験

中国・ホフホト市近郊にて石炭灰添加による土壤水分保持能の向上効果をフィールドレベルで検証することを予定していた (シリングル職業学院との共同研究)。現地視察を行い、試験区画の選定や土壤水分の測定プロトコルの確認などフィールド実験の準備を進めていた。しかし

2020 年初頭からの COVID-19 アウトブレイクの影響により、フィールド実験の遂行が困難となり、研究期間内では社会的状況に大きな改善は無かったことから、フィールド実験を断念せざるを得なかった。

#### 4. 研究成果

##### 4.1 蒸発乾燥ベースでの水分保持機能に影響を与える要因

蒸発乾燥ベースでの水分保持能に影響を与える要因として、先行研究では土壌粒子表面の疎水性は影響が小さく、有機物含有量の影響が大きいことを見出している。本研究ではアパタイト処理後の石炭灰の粒径分布、毛管水体積、保有水分の pF 値、土壌粒子の比表面積に着目した (図 1A)。アパタイト処理での P/Ca 比によって石炭灰粒子の凝集効果が異なり、結果として粒径分布に違いを生じさせて土壌の空隙分布を変化させることを予想していたが、粒径分布に大きな違いは現れなかった (図 1B)。石炭灰を添加した土壌試料の毛管水体積は石炭灰添加によって増加および減少する明確な差が現れたが (図 1C)、水分保持能の増減とは良い相関を得なかった。保有水分の pF 値はアパタイト処理での P/Ca 比によって明確に異なる変化を示したが (図 1D)、この変化においても水分保持能の増減とは良い相関を得なかった。先行研究では有機物含有量が水分保持能に影響を及ぼすことが確認されたが、本研究ではアパタイト処理した石炭灰が水分保持能に与える影響を系統的に調査したところ、ポリマー処理によって石炭灰の水分保持能は増加するが、土壌添加

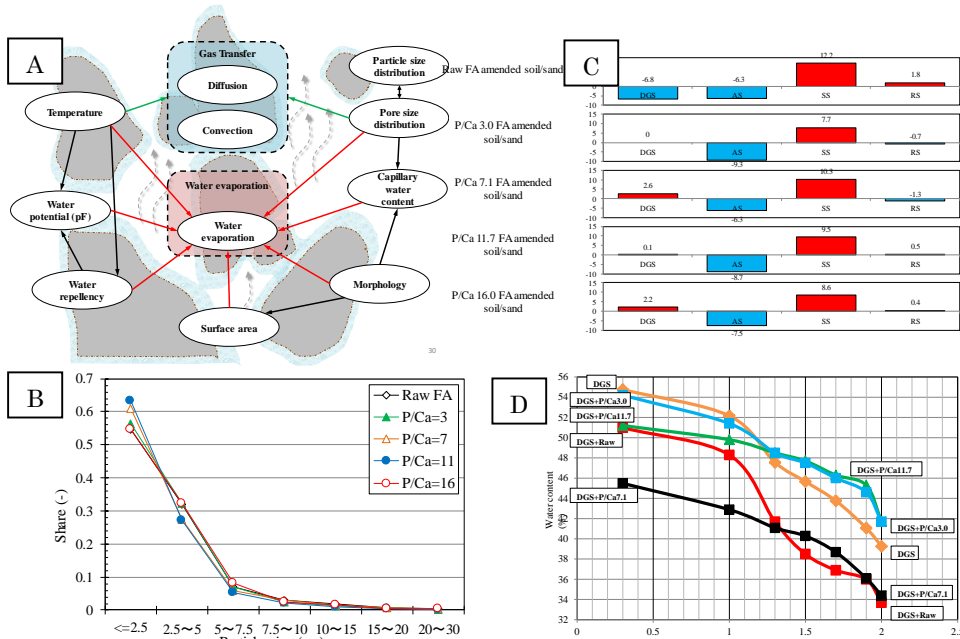


図 1: A) 蒸発乾燥ベースでの水分保持能への影響を考慮した要因、B) アパタイト処理済みの石炭灰の粒径分布、C) 毛管水体積、D) 保有水分の pF 値

的ではなく、増加させるとおおよそ減少のケースがあった。そこで実験したところ、ポリマー処理によって石炭灰の水分保持能は増加するが、土壌添加

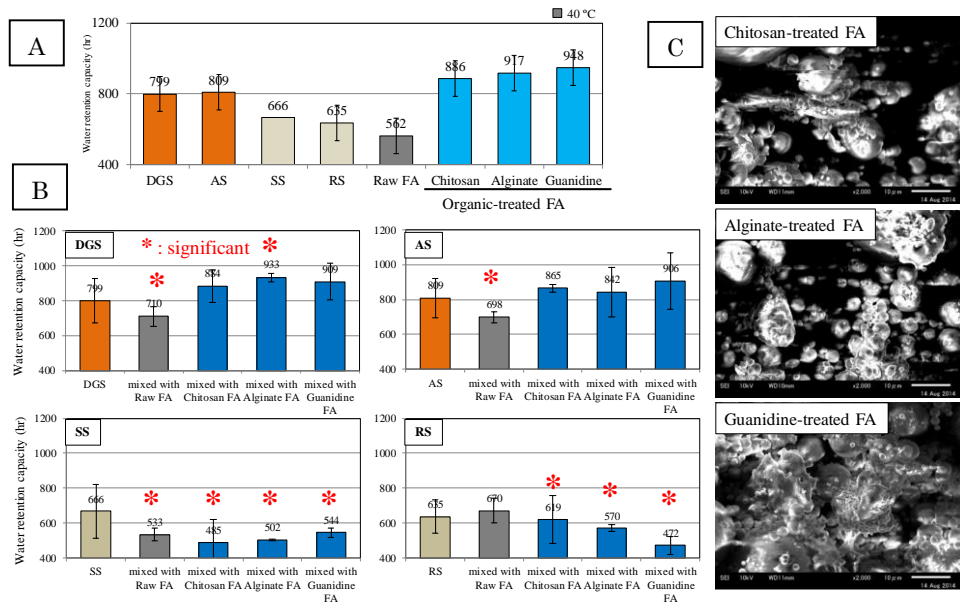


図 2: A) ポリマー処理した石炭灰の水分保持能 (先行研究の追試)、B) ポリマー処理石炭灰を添加したときの土壌水分保持能、C) ポリマー処理石炭灰の SEM 画像

した場合にはアルギン酸処理の石炭灰を真砂土に添加する場合は水分保持能を有意に増加させ、砂試料ではキトサン、アルギン酸、グアニジンすべてで水分保持能を有意に減少させた(図2B)。石炭灰粒子の凝集状況を検討するためSEM観察を行ったが、顕著な違いは見出されなかった。また、比表面積についても顕著な違いはなかった。次にポリマー処理にアパタイト処理を組み合わせると、水分保持能に与える影響がポリマー処理単独の場合と明確に異なった。石炭灰そのものの水分保持能は減少し(図3A)、一方で土壌試料に添加した場合、真砂土や赤玉土では水分保持能を有意に減少させる反面、川砂やケイ砂では有意に増加させた(図3B)。そしてSEM観察より石炭灰粒子はポリマー処理やアパタイト処理単独の場合より凝集傾向にあることが見出された。ポリマーの分子量は大きいほど水分保持能を増加させる傾向にあるが、分子量が40000を超えた場合には明確に減少する結果を示した。カルシウム添加によって水分保持能が減少する傾向があるため、FT-IR分析によって表面官能基を分析したところ、アパタイトや石炭灰由来のカルシウムと反応せずに残存している水酸基やカルボキシル基を確認した。これらの表面官能基が水分保持能に直接的に関与していることは考えづらいが、カルシウム添加による水分保持能の減少はこれらが間接的に関与していることを示唆している。次に土壌間隙の空間分布が水分保持能に与える影響を分析するため、土壌の粒径分布を調整して、それぞれの粒径区間ごとに石炭灰添加後の水分保持能を比較した。粒径によって水分保持能は複雑に変化しており、粒径に対して一定の傾向は示さなかった(図6)。ただし各粒径区分では土壌中有機物含有量が異なることから、有機物含有量と水分保持能変化量を比較すると良い相関を見出した。これは先行研究での成果と一致するもの

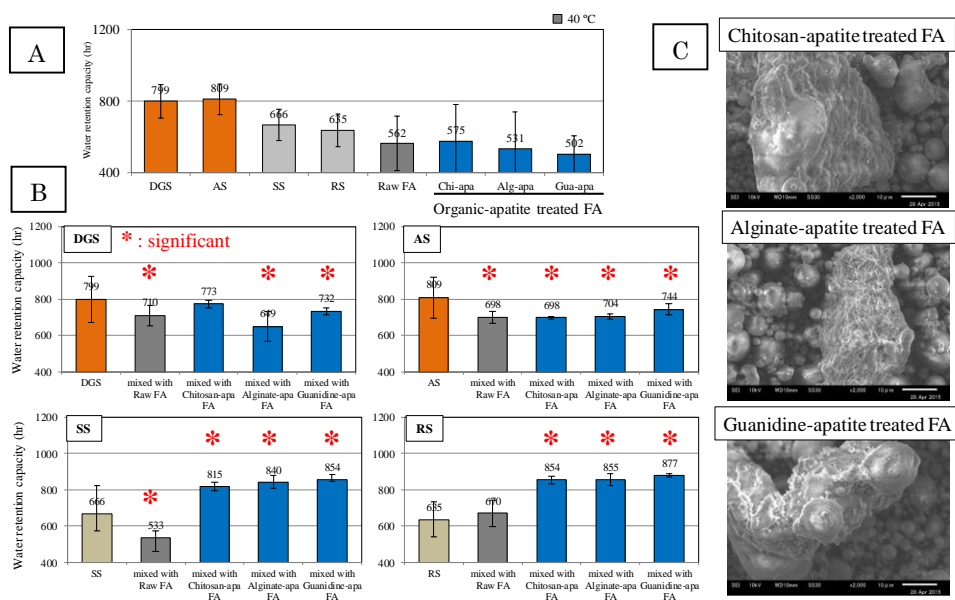


図3: A) ポリマーアパタイト処理した石炭灰の水分保持能、B) ポリマーアパタイト処理石炭灰を添加したときの土壌水分保持能、C) ポリマーアパタイト処理石炭灰のSEM画像

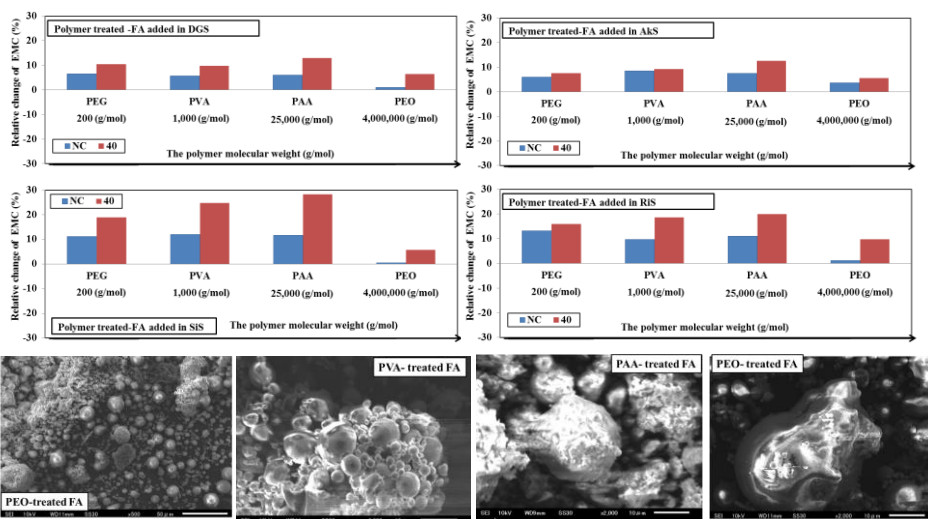


図4: ポリマー処理(ポリエチレングリコール、ポリアクリル酸、ポリビニルアルコール)した石炭灰を添加した土壌試料の水分保持能変化およびSEM画像

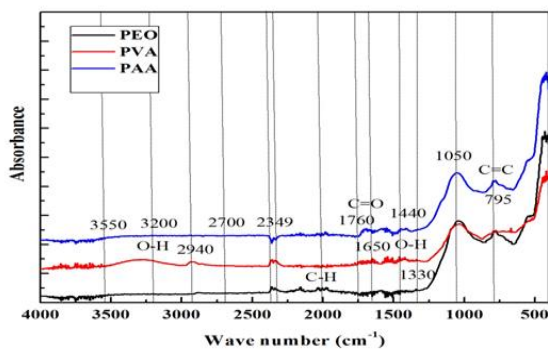


図5: ポリマー処理した石炭灰のFT-IRスペクトル

である。以上より研究結果をまとめると、石炭灰（が凝集した凝集体）の粒径分布や土壌粒子の粒径分布は、土壌空隙の空間分布を関与しているが、これらは蒸発乾燥ベースの水分保持能に顕著な影響を与えない。毛管水体積も水分保持能に対して良い相関を示さず、上述の結果を支持している。また、比表面積と水分保持能

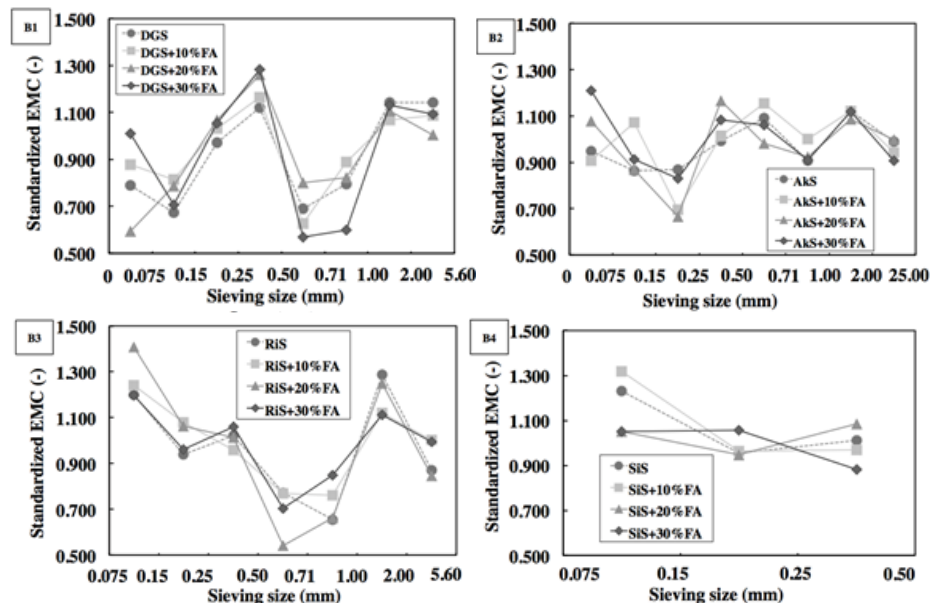


図 6：土壌の粒径区分別における石炭灰添加後の水分保持能変化

と良い相関を示さない。一方、有機物含有量は水分保持能の変化量と良い相関を示すが、親水性ポリマーで石炭灰を処理した場合、水分保持能への影響は特定の傾向を示さず、不均一である。表面官能基が間接的に関与していることを示唆する結果は得られており、アパタイト処理の P/Ca 比が水分保持能に与える影響に関与している可能性が考慮されるが、そのメカニズムについては今後の検討を要する。なお、アパタイト処理での P/Ca 比によって保有水分の pH 値は明確に異なる変化を示すが、この変化と水分保持能の増減との間で良い相関を見出されなかった。ただし、水分保持能そのものでなく、水分保持能の変化量に対してこれらの要因が影響を与えている可能性を考慮し、重回帰分析によって各要因の影響度合いを検討した。毛管水体積は有意な影響を与えていないが、表面親水性や比表面積、有機物含有量は有意な影響を示した（5%有意水準であり、全データの約 67%を説明可能であった）。水分保持能の変化量に与える影響をメカニズムベースで説明することは困難であり今後の検討を要するが、これは蒸発乾燥に伴って土壌水分が減少する際に支配的となる要因が時間変化することを示唆している。

## 4.2 石炭灰添加による土壌水分保持能向上のフィールド実験

3.3 にて述べた通り、新型コロナ禍によってフィールド実験が不可能となり、研究成果をあげることが適わなかった。蒸発乾燥ベースでの水分保持能は支配的となる要因が時間変化することが研究成果より示唆されており、メカニズムベースでの科学的な説明は困難であるが、簡易な方法でフィールドレベルでの土壌水分の変化（減少）を予測できる可能性がある。コロナ禍収束後の検討が求められる。また、フィールド実験の計画を進めていた際、石炭灰の土壌添加後に何かしらの問題が発生したときにリカバリーが困難であることが懸念点として提案された。粒子状の石炭灰をそのまま用いるのではなく、多孔性構造を有したジオポリマーブロックに加工してから土壌添加することが考えられる。この場合、篩分けによって容易に土壌から回収可能であり、水分保持能の変化量に影響を与える要因として見出された表面親水性や比表面積、有機物含有量を最適にコントロールできる可能性がある。フィールド実験後の実展開を考慮した場合、多孔性ジオポリマーブロックによる土壌水分保持能の向上を狙う方法がより望ましいと考えられる。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 7件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Reza Khoshbouy, Fumitake Takahashi, Kunio Yoshikawa	4. 巻 175
2. 論文標題 Preparation of high surface area sludge-based activated hydrochar via hydrothermal carbonization and application in the removal of basic dye	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Environmental Research	6. 最初と最後の頁 457-467
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.envres.2019.04.002	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Hiroki Kitamura, Astryd Viandila Dahlan, Yu Tian, Takayuki Shimaoka, Takashi Yamamoto, Fumitake Takahashi	4. 巻 21
2. 論文標題 Intra- and inter-particle heterogeneity of municipal solid waste incineration fly ash particles	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Material Cycles and Waste Management	6. 最初と最後の頁 925-941
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10163-019-00853-1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Astryd Viandila Dahlan, Hiroki Kitamura, Yu Tian, Hirofumi Sakanakura, Takayuki Shimaoka, Takashi Yamamoto, Fumitake Takahashi	4. 巻 22
2. 論文標題 Heterogeneities of fly ash particles generated from a fluidized bed combustor of municipal solid waste incineration	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Material Cycles and Waste Management	6. 最初と最後の頁 836-850
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10163-020-00973-z	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Mengzhu Song, Shenglei Lin, Fumitake Takahashi	4. 巻 156
2. 論文標題 Coal fly ash amendment to mitigate soil water evaporation in arid/semi-arid area: An approach using simple drying focusing on sieving size and temperature	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Resources, Conservation & Recycling	6. 最初と最後の頁 104726
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.resconrec.2020.104726	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Hiroki Kitamura, Astryd Viandila Dahlan, Yu Tian, Takayuki Shimaoka, Takashi Yamamoto, Fumitake Takahashi	4. 巻 25
2. 論文標題 Impact of secondary generated minerals on toxic element immobilization for air pollution control fly ash of a municipal solid waste incinerator	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Environmental Science and Pollution Research	6. 最初と最後の頁 20700-20712
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11356-018-1959-5	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Shenglei Lin, Mengzhu Song, Hidetoshi Kuramochi, Fumitake Takahashi	4. 巻 28
2. 論文標題 The impacts of raw and apatite-synthesized coal fly ash amendment on water retention capacity focusing on fly ash treatment, water repellency and surface area	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Arid Land Studies	6. 最初と最後の頁 119-122
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14976/jals.28.S_119	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Shenglei Lin, Mengzhu Song, Hidetoshi Kuramochi, Fumitake Takahashi	4. 巻 28
2. 論文標題 The impacts of raw, apatite-synthesized and organic-treated coal fly ash amendment on soil/sand water retention capacity	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Arid Land Studies	6. 最初と最後の頁 197-215
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14976/jals.28.3_197	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計20件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 16件)

1. 発表者名 Reza Khoshbouy, Rico Lejiu, Fumitake Takahashi, Kunio Yoshikawa
2. 発表標題 Cd adsorption from aqueous solution by modified hydrochar: Effect of in-situ modification using HTC with acid and alkaline additive
3. 学会等名 2nd International Symposium on Hydrothermal Carbonization "HTC2019" (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Patcharanat Kaewmee, Mengzhu Song, Giun Jo, Fumitake Takahashi
2. 発表標題 Physical performances of a potassium-based geopolymer derived from coal fly ash
3. 学会等名 23rd Korea-Japan Joint International Session, Korea Society of Waste Management (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Giun Jo, Mengzhu Song, Patcharanat Kaewmee, Astryd Viandila Dahlan, Fumitake Takahashi
2. 発表標題 Surface and thermal properties of geocasted municipal solid waste incineration fly ash composites
3. 学会等名 23rd Korea-Japan Joint International Session, Korea Society of Waste Management (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Giun Jo, Patcharanat Kaewmee, Astryd Viandila Dahlan, Mengzhu Song, Fumitake Takahashi
2. 発表標題 Municipal solid waste incineration fly ash utilization as heat carrier for fluidized bed incinerators
3. 学会等名 10th China-Japan joint conference on material recycling and waste management (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Mengzhu Song, Patcharanat Kaewmee, Giun Jo, Fumitake Takahashi
2. 発表標題 Modification of coal fly ash with polymer on biodegradable porous composites synthesis.
3. 学会等名 10th China-Japan joint conference on material recycling and waste management (国際学会)
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 Patcharanat Kaewmee, Mengzhu Song, Giun Jo, Fumitake Takahashi
2. 発表標題 Synthesis of potassium coal fly ash-based porous geopolymer: Effect of soluble silicate content on its mechanical strength
3. 学会等名 2019 Japan-China-Korea joint symposium on Energy and Environment (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Mengzhu Song, Patcharanat Kaewmee, Giun Jo, Fumitake Takahashi
2. 発表標題 Geofabrication of coal fly ash using polymer for biodegradable porous composites synthesis
3. 学会等名 2019 Japan-China-Korea joint symposium on Energy and Environment (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Giun Jo, Patcharanat Kaewmee, Hiroki Kitamura, Fumitake Takahashi
2. 発表標題 Municipal solid waste incineration fly ash utilization as heat carrier for fluidized bed incinerators: Thermal stability and catalytic effect on combustion of organic compounds
3. 学会等名 2019 Japan-China-Korea joint symposium on Energy and Environment (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Jo Giun, Kaewmee Patcharanat, Dahlan Astryd Viandila, 高橋史武
2. 発表標題 ジオポリマー処理した一般廃棄物焼却飛灰の重金属不溶化および熱安定性
3. 学会等名 第30回廃棄物資源循環学会研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Patcharanat Kaewmee, Mengzhu Song, Giun Jo, Fumitake Takahashi
2. 発表標題 Effect of silicate content on the mechanical strength of potassium-based geopolymer adsorbent derived from coal fly ash
3. 学会等名 第30回廃棄物資源循環学会研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Patcharanat Kaewmee, Reza Khoshbouy, Mengzhu Song, Giun Jo, Fumitake Takahashi
2. 発表標題 Fly ash-based porous geopolymer: Synthesis and study on methylene blue removal
3. 学会等名 22nd Korea-Japan Joint International Session, Korea Society of Waste Management (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Mengzhu Song, Shenglei Lin, Fumitake Takahashi
2. 発表標題 Effect of polymer-treated fly ash amendment on water retention capacity of soils and sands
3. 学会等名 22nd Korea-Japan Joint International Session, Korea Society of Waste Management (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Mengzhu Song, Patcharanat Kaewmee, Giun Jo, Fumitake Takahashi
2. 発表標題 Effect of polymer modification of coal fly ash on the mechanical, morphological properties of polymer-fly ash porous composites
3. 学会等名 9th China-Japan Joint Conference on material recycling and waste management (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Mengzhu Song, Patcharanat Kaewmee, Giun Jo, Fumitake Takahashi
2. 発表標題 Effect of polymer modification of coal fly ash on the mechanical, morphological properties of polymer-fly ash porous composites
3. 学会等名 9th China-Japan Joint Conference on material recycling and waste management (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Patcharanat Kaewmee, Mengzhu Song, Giun Jo, Fumitake Takahashi
2. 発表標題 Preparation and characterization of fly ash-based porous geopolymer
3. 学会等名 2018 Korea-China-Japan Joint Symposium on Solid wastes to Energy and Material application (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Patcharanat Kaewmee, Mengzhu Song, Giun Jo, Fumitake Takahashi
2. 発表標題 Facile synthesis of fly ash-based porous geopolymer and methylene blue adsorption efficiency
3. 学会等名 10th Asia-Pacific Landfill Symposium "APLAS TOKYO 2018" (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Mengzhu Song, Patcharanat Kaewmee, Jo Giun, Fumitake Takahashi
2. 発表標題 Modification of coal fly ash on biodegradable porous composites synthesis
3. 学会等名 10th Asia-Pacific Landfill Symposium "APLAS TOKYO 2018" (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Patcharanat Kaewmee, Mengzhu Song, Giun Jo, Fumitake Takahashi
2. 発表標題 Adsorption of methylene blue using low-cost geopolymeric adsorbent derived from fly ash
3. 学会等名 4th Symposium of the Asian Regional Branch of International Waste Working Group "iwwg-ARB2019" (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Song Mengzhu, Kaewmee Patcharanat, Takahashi Fumitake
2. 発表標題 Mechanism analysis of modification of coal fly ash on high strength biodegradable porous composites synthesis
3. 学会等名 第29回廃棄物資源循環学会研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kaewmee Patcharanat, Song Mengzhu, Jo Giun, Takahashi Fumitake
2. 発表標題 Calcination treatment effects on fly ash-based porous geopolymer
3. 学会等名 第29回廃棄物資源循環学会研究発表会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	高岡 昌輝 (Takaoka Masaki)  (80252485)	京都大学・工学研究科・教授   (14301)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------