

令和 4 年 6 月 18 日現在

機関番号：33101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K12407

研究課題名(和文) Si-Ca複合化リン循環媒体材料の開発およびリン循環システムの構築に関する研究

研究課題名(英文) Study on development of Si-Ca composite material for phosphorus resource recycling and construction of its system

研究代表者

川田 邦明(Kuniaki, Kawata)

新潟薬科大学・応用生命科学部・教授

研究者番号：50367413

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題では、もみ殻およびカキ殻を原料としたバイオマス由来のSi-Ca複合化炭素化物を開発しつつ、これを利用した水田における実証試験からリン資源節約に向けたリン循環システムの開発を目的としている。炭素化物作製条件の最適化を行うことで、表面上においてSi-Ca複合化を達成し、既存のCa担持炭素化物に比べて約2倍のリン吸着容量を持つ炭素化物を開発できた。さらに、リン吸着能の評価から水稻栽培において50%のリン鉱石輸入量削減効果と29%のリン肥料施肥量削減効果が期待されることが推算された。しかし、水田実証試験ではCa担持炭素化物の施用によるリン流出量の抑制効果は確認されず、さらなる検討を要する。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、廃棄物であるもみ殻とカキ殻を組み合わせて高機能性炭素化物として利用することで、これまで想定されていなかった農用地におけるリン資源の循環を可能にするところに最大の特色がある。リン除去・回収後の使用済み材料を代替肥料として農用地に還元することにより、現在のリン鉱石資源の輸入量や肥料の施肥量の大幅な削減と節約に貢献できる。水稻栽培では水稻の生育過程で必須のケイ素を補うためにもみ殻をそのままかあるいは燻炭として散布することで系内での循環がされており、ケイ素と合わせてリンも同時に循環を可能にする本手法は国内におけるリン資源の自給を考える場合に重要な技術となる。

研究成果の概要(英文)：In this research, we have developed a biomass-derived Si-Ca composite materials using rice husks and oyster shells as raw materials and have developed a phosphorus circulation system for saving phosphorus resources from a demonstration in a paddy field. By optimizing the biochar preparation conditions, Si-Ca complexing was achieved on the surface, and a biochar with a phosphorus adsorption capacity about twice that of the conventional Ca-loaded biochar could be developed. Furthermore, from the evaluation of phosphorus adsorption capacity, it was estimated that 50% of phosphorus ore import reduction effect and 29% of phosphorus fertilizer reduction effect are expected in paddy rice cultivation. However, in the paddy field demonstration, the effect of suppressing the phosphorus outflow by applying the Ca-loaded biochar was not confirmed, and further studies are required.

研究分野：環境材料・リサイクル

キーワード：Si-Ca複合化 リン循環 炭素化物 吸着 Ca担持 実証試験 水田

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、リン鉱石資源は世界規模で枯渇の危機にある。リンは人をはじめとする全ての生物にとって必須の元素である。即ち、リンは代替が効かない資源である以上、循環利用を徹底すべきである。水稻栽培における水田からの排水は公共用水域等のリン負荷における主要な非点源汚染源の一つであるが、排出制御が難しいことから水田を初めとする農耕地に適用可能なリン回収技術は未だ確立されていない。このような観点から農用地を対象としたリン循環技術の確立は資源確保と水質保全の双方の面から重要な課題である。

水中に溶存するリンを除去・回収する方法の一例として、カルシウムを複合化した炭素化物の利用がある¹⁾。これまでの知見から、カルシウムは 400°C 焼成では木質の炭素化に伴って発生する CO₂ との反応により CaCO₃ を形成するが、もみ殻質量の約 20% を占めるケイ素の共存下では 170~250°C で Ca(OH)₂ よりもリン酸の吸着に優れるケイ酸カルシウム水和物^{2,3)} が形成されることが分かっている。現状の材料上で Si と Ca の共存を確認しており、リン吸着に有効な Si-Ca 形態が形成した可能性があるが、炭素化物上において報告例がなく、製造法を含め未解明であるためリン循環材料の開発に向けて複合化手法を明らかにする必要がある。

2. 研究の目的

本研究課題では、もみ殻およびカキ殻を原料としたバイオマス由来の Si-Ca 複合化炭素化物を利用した水中のリン回収に最適な Si-Ca 化学形態の複合化手法を開発すると同時に、リン回収後の炭素化物からのリン脱離に及ぼす環境因子の影響を評価し、Si-Ca 複合化炭素化物を利用した水田におけるリン循環の実証から新規のマテリアルフローを構築することで、リン資源節約に向けたリン循環システムの開発を目指す。

3. 研究の方法

本申請研究ではもみ殻とカキ殻を組み合わせることで Si と Ca を炭素化物上に複合化することでリン循環媒体材料を開発し、水田原位置におけるリン資源循環システムを開発する。具体的には、炭素化物上における Si-Ca 複合化手法の開発、実水田における Ca 担持炭素化物施用によるリン流出抑制の効果と水稻栽培への影響、について3カ年に亘って検討及び評価した。

<炭素化物上における Si-Ca 複合化手法の開発>

ここでは Ca 担持炭素化物の開発に向けて、この作製条件として Ca の添加量、炭化前における高温高压処理の有無、および炭化温度が Ca 担持炭素化物の特性やそのリン吸着能に及ぼす影響について評価しつつ、リン吸着に最適な作製方法を検討した。もみ殻に 75 μm 未満に篩った Ca 源を湿混合し、炭素化した。添加する Ca 源はもみ殻中の Si に対して物質質量比として Ca/Si = 0.6~5.2 となる様に加えた。炭素化前には必要に応じて、120 で水蒸気下 (ST) もしくはオートクレーブを用いた高压水蒸気下 (HPST) に 6 h 静置する処理を行った。炭素化条件 (温度、時間) は 400 で 3 h、700 で 1 h、及び 1000 で 1 h とした。得られた炭素化物の名称は「炭素化温度」-「Ca 源の化学形態」-「Ca の添加量」-「前処理条件」とし、例えば「1000_ケ」-「Ca(OH)₂ 添加」-「もみ殻中 Si:Ca=2.6_ケ」-「高压水蒸気処理」の場合は 1000C-Ca-2.6-HPST とした。得られた炭素化物 0.1 g に pH 7.0 に調整した 10 mg-P/L リン酸水溶液 150 mL を加えて 24 h 振とうによる回分吸着試験を行い、固液分離後に液のリン酸濃度をモリブデン青吸光度法に基づいて測定し、リン吸着量を算出した。

<実水田における Ca 担持炭素化物施用によるリン流出抑制の効果と水稻栽培への影響>

本研究において開発した Ca 担持炭素化物のここまでの知見を踏まえて、実水田への施用による実証試験からリン流出抑制の効果と水稻栽培への影響について評価した。実証試験は新潟県五泉市に位置する水稻農家から水田の一部を借り、対象水田 (図1) として実施した。対象水田内に畔を作ることで試験区画を設置し、それぞれの区画に 2 本の給排水管を設置し、土壌間隙水を採水するための採水管を設置した。水稻栽培は従来の農法に従い、周辺の水田と同様に行った。肥料は水稻用 JA 県下統一肥料である越後の輝き有機 50 を使用し、田植えの際に同時に散布した。施肥量は JA 全農にいがたの営農指導における 10a あたり 30 kg を基準として、本実証試験における Ca 担持炭素化物の施用による施肥節減を考慮した散布量として、あらかじめ模擬水田カラム試験であるライシメータ試験で見出した水とカキ殻 (HOC) を用いた炭素化物である 400C-HOC-0.6 の肥料節減効果 42% を適用し、施肥量は営農指導における施肥量に基づく 1 区画

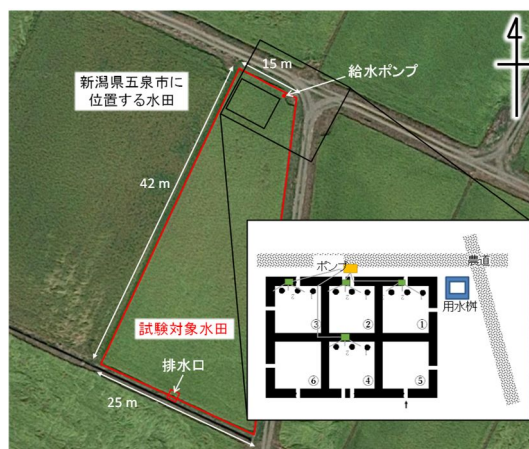


図1 対象水田

あたりの施肥量 252 g に 0.58 を乗じた 146.2 g とした。この条件下で、水稻栽培を行い、水稻の生育および収量への影響を評価した。水稻の苗は 1 株あたり 3~4 本程度を株間が 30 cm になるように栽植した。栽培期間中の用水管理（灌水、中干し等）および農薬散布等のイベントは試験区を設置した実水田の従来農法に準じて行った。

Ca 担持炭素化物の施用による水稻への影響を評価するため、水稻栽培期間中に生育状況を調査し、収穫後に収穫物の収量を調査し、評価した。生育評価については草丈、茎数、葉色、分けつ、稈長、および穂長を対象として、測定した。生育評価は 1 週間に 1 回の頻度で採水と同じ日に、各区画において区画内の周囲 8 か所にて測定を行った。

収量評価については全重、もみ重、精玄米重、千粒重、および登熟歩合を対象として、計測した。収穫物は根が付いている状態での根付き試料と根が付いていない根無し試料として採取した。根付き試料は試験区画ごとに中央とその四方から 1 株ずつの計 5 株をスコップで土壌ごと採取し、後に水稻の地際で切断し、根を除くことで、収穫物の地上部（茎、葉、及び穂）全体とした。収穫物地上部を風乾後に全重計測用の試料とし、質量測定して全重を得た。根無し試料は試験区画ごとに全ての株を従来の刈り取り方法により収穫し、千歯こきを用いて脱穀後に風乾し、収量評価用のもみとした。

水田の田面水および間隙水は 1 週間に 2 回の頻度で採取した。間隙水の採取については、炭素化物を施用した試験区画 1 ~ 4 に間隙水の採取のために、先端にポラスカップを取り付けた塩ビパイプで作製した採水管を設置し、採水管内に溜まった間隙水を 1 日に 2 回の頻度でエアポンプによる吸引によってガラス製のフラスコ内を引圧にすることで吸引採取した。また、試験区画への供給水である水田用水は給水ポンプのある用水桝から直接採水した。雨水は試験区画を設置した実水田の近傍に、土埃の影響を防ぐため地上から 1.2 m の高さに容器を設置し、溜まり水を採水した。採取した田面水、間隙水、用水、および雨水はガラス繊維濾紙 ($< 1 \mu\text{m}$) でろ過した。ろ液中のリン酸態リンおよび全リンの濃度をモリブデン青吸光度法で測定し、水田外への流出量を導出することで Ca 担持炭素化物の施用によるリンの流出抑制効果を評価した。

リン流出抑制効果の評価に際して、田面水および間隙水中のリン濃度は試験区画ごとの実測値を使用し、雨水および用水中のリン濃度は各測定値の平均値を使用した。降雨について、一日の降水量、 R_A (mm/d)、が 5 mm/d 未満の場合は水量に影響しないものとし、5 mm/d 以上の場合は降水量の 80% を有効雨量、 R_E (mm/d)、として式(2)、(3)に基づいて算出した⁴⁾。

$$R_A < 5 \text{ mm/d の場合、} \quad R_E = 0 \quad (2)$$

$$R_A \geq 5 \text{ mm/d の場合、} \quad R_E = 0.8 R_A \quad (3)$$

ここで、 R_A は一日あたりの降水量 (mm/d) である。

試験区画を設置した実水田の水位、 L (mm)、を測定し、前日の水位実測値から当日の実測値の差、 ΔL (mm/d) を算出した。水田における田面水の表面排水量および用水導入力、 W (L/d)、は式(4)に基づいて算出した。

$$W = (\Delta L + R_E - P_V - P_H - V)A \quad (4)$$

ここで、 P_V は鉛直浸透水量 3.27 mm/d⁵⁾、 P_H は水平浸透水量 5.45 mm/d⁵⁾、 V は蒸発散量 9.82 mm/d⁵⁾、および A は区画面積 (m²) である。但し、 $0 < W$ の場合は表面排水が生じ、 $W < 0$ の場合は用水供給があったこととする。リンの表面排水量は、田面水の表面排水量にリン濃度を乗じて算出した。リンの水平浸透量および鉛直浸透量は、水平浸透水量および鉛直浸透水量に間隙水中のリン濃度を乗じて算出した。

4. 研究成果

炭素化物のリン吸着量に及ぼす Ca 含有量の影響について、リン吸着量は Ca 含有量 220 mg/g (Ca/Si = 5.2) で最大の $15.0 \pm 0.2 \text{ mg-P/g}$ を得たが、151 mg/g (Ca/Si = 2.6) までの Ca 含有量と有意な相関関係 ($r = 0.9961, p < 0.05$) が認められた。リン吸着において炭素化物作製時の Ca/Si は 2.6 が最適であることが明らかとなった。リン吸着量に及ぼす炭素化前の高圧水蒸気処理の影響について、上記の Ca 含有量 96 mg/g (Ca/Si = 1.3) に基づいて評価を行った。炭化前処理として ST 処理した炭素化物 400C-Ca-1.3-ST のリン吸着量は $11.0 \pm 0.1 \text{ mg-P/g}$ であり、未処理の 400C-Ca-1.3 ($7.6 \pm 0.6 \text{ mg-P/g}$) よりも約 1.5 倍高く、処理の有無の間には有意差 ($p < 0.05$) があった。さらに、HPST 処理した 400C-Ca-1.3-HPST のリン吸着量は $14.0 \pm 0.5 \text{ mg-P/g}$ と最も高く、400C-Ca-1.3-ST との間において有意差 ($p < 0.05$) があった。炭化前処理を行った炭素化物の Ca 含有量は 96 mg/g ~ 126 mg/g であった。Ca 含有量に対するリン吸着量の比は前処理ありで 0.21 及び前処理なしで 0.08 であり、前処理なしと比較して同程度の Ca 含有量であっても前処理を行うことによってリン吸着能が約 2.6 倍に増加することが確認された。したがって、ST 処理及び HPST 処理は炭素化物表面上の Ca 化学形態を変化させている可能性が示唆された。400C-Ca-1.3 及び 400C-Ca-1.3-HPST における FE-SEM 画像、EDX マッピング、及び EDX スペクトルを確認したところ、いずれの 200 倍における SEM 画像からも炭素化物表面上に Ca が広く分散している様子が確認された。400C-Ca-1.3 の SEM 画像から針状の結晶が確認され、これに対して EDX による元素マッピングから白色の結晶部分に Ca 元素が分布し、その他の部分に Si 元素が主に分布したことに加え、スペクトルから Ca、C、及び O が強く検出されたことから、400C-

Ca-1.3 における Ca 形態は CaCO_3 であることが推定された。400C-Ca-1.3-HPST においては 400C-Ca-1.3 と異なる結晶構造が確認され、HPST 処理による Ca 形態の変化が覗えた。また、元素マッピングから Ca 元素と Si 元素が同様の分布を示し、スペクトルからも同程度の Ca と Si が検出されたことから Ca と Si が複合した化学形態に変化した可能性が示唆された。リン吸着量に及ぼす炭素化物の炭化温度の影響について、リン吸着量は 1000C-Ca-1.3 で最大の $13.0 \pm 0.3 \text{ mg-P/g}$ を得た。炭化温度を上げることによって炭素化物の比表面積が増加することが考えられるが、Ca を添加していない炭素化物ではリン吸着量の増加が見られず、比表面積との関係が見られなかった。一方で、Ca を添加した炭素化物ではリン吸着量の増加が見られ、炭化温度の増加に伴って炭素化物表面上に発達した細孔内に Ca が分散し、リン吸着に有効な面積を向上させた可能性が考えられた。

上記までで見出した各作製条件項目の最適値を組み合わせることで、1000C-Ca-2.6-HPST 作製し、そのリン吸着能を 400C-Ca-1.3 と比較した。吸着等温実験は 1 ~ 300 mg-P/L リン酸水溶液を用い、回分吸着試験と同様の方法で 24 h 後の平衡リン濃度及びリン吸着量を求め、吸着等温式にカーブフィッティングさせることで係数を算出した。Freundlich 吸着等温線においては、作製条件を最適化した 1000C-Ca-2.6-HPST は条件検討のベースとなった 400C-Ca-1.3 と比較して全ての濃度域、特に低濃度域においてリン吸着能を向上したことが分かった。また、炭素化物作製方法の検討から作製条件の最適化を行うことによって、既存の Ca 担持炭素化物に比べて約 2 倍のリン吸着容量を持つ炭素化物の開発を達成した。1000C-Ca-2.6-HPST の XRD パターンを図 2 に示す。1000C-HPST は Ca の有無の影響を確認するために作製した。1000C-Ca-2.6-HPST において CaO や $\text{Ca}(\text{CO}_3)$ のピークが確認された中、 CaSiO_3 や $\text{Ca}_2(\text{SiO}_4)$ のシャープなピークが確認された。炭素化物上において、Ca と Si の複合化を達成し、形成した複合物によってリン吸着能が向上したことが示唆された。上記までの検討を踏まえて、Ca 担持炭素化物を適用した場合のリン資源の使用量削減効果について推算を試みた。水稲栽培によって年間に発生したもみ殻を全て Ca 担持炭素化物に変換し、水系への水田排水中の平衡リン濃度を 0.04 mg-P/L と仮定した場合の、およびリン鉱石輸入量削減効果、 W_r (%), を以下の式(7)(8)により算出した。

$$W_\sigma = \frac{Q_P W_A W_m}{W_B} \quad (7)$$

$$W_r = \frac{W_\sigma}{W_i} \cdot 100 \quad (8)$$

ここで、 W は回収可能なリン量 (t-P/y)、 Q_P は平衡リン濃度 0.04 mg-P/L 時のリン吸着量 (t-P/t)、 W_A は炭素化後の炭素化物質量 (g)、 W_B は炭素化前のもみ殻質量 (g)、 W_m はもみ殻の未利用量 $1,654,470 \text{ t/y}$ (2015 年)⁶⁾、 W_i はリン鉱石の輸入量 約 $26,102 \text{ t-P/y}$ (2017 年)⁷⁾ である。1000C-Ca-2.6-HPST の W は 13057.1 t-P/y であった。また、Ca 担持炭素化物を水稲栽培に適用した場合におけるリン鉱石輸入量削減効果について、1000C-Ca-2.6-HPST で 50% であった。さらに、上記の結果に基づいて W_d 、リン肥料施肥量削減効果 (%), を以下の式(9)(10)により算出した。

$$W = \frac{W_\sigma}{S} \quad (9)$$

$$W_d = \frac{W}{W_F} \cdot 100 \quad (10)$$

ここで、 W は水田 1 ha ($10,000 \text{ m}^2$) あたりで回収可能なリン量 ($\text{kg-P/ha} \cdot \text{y}$)、 S は水稲の作付面積 $1,575,000 \text{ ha}$ (2020)⁸⁾、 W_F はリン施肥量 $29 \text{ kg-P/ha} \cdot \text{y}$ (2015 年)⁹⁾ である。1000C-Ca-2.6-HPST の W は $8.29 \text{ kg-P/ha} \cdot \text{y}$ と試算され、これらの数値に基づいて、最終的な評価項目であるリン肥料施肥量削減効果を試算したところ、1000C-Ca-2.6-HPST で 29% 削減でき得ることが示された。

本研究において開発した Ca 担持炭素化物のここまでの知見を踏まえて、実水田への施用による実証試験からリン流出抑制の効果と水稲栽培への影響について評価した。水稲栽培期間中における気象については、夏季に降雨が集中し、試験区画内の水温について 7 月に低下が見られたが、7 月の最低気温は水稲が冷害を受ける障害型冷害気温である 17°C より高かったため、冷害による生育への影響は生じていないと考えられる。水稲の生育評価において、草丈では本研究における全ての試験区画において、7 月末まで成長する傾向が見られ、特に 7 月前半において草丈の成長が顕著であった。これは、新潟県の生育調査における平均値および指標値と同様の傾向であった。茎数ではコントロール系列を含む複数の系列で茎数の増加が 7 月前半に一時的に止まったが、7 月後半から再び増加し、概ね 8 月末に最大となり、以降減少した。しかし、新潟県の生育調査における茎数の平均値と比較すると、本研究における水稲の茎数の増加時期がずれていた。茎数の増加への制限はリンが不足することによって生じる⁵⁾。この理由として本研究では施肥量を 42% 削減しているため、7 月に水稲の急速な成長によって一時的にリンが不

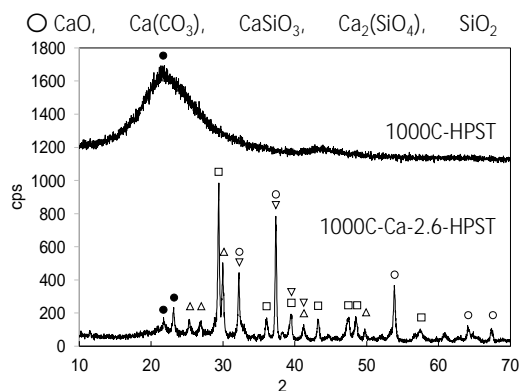


図 2 1000C および 1000C-Ca-2.6-HPST の XRD パターン

足した可能性が考えられる。葉色では7月に一時的な増加が見られ、リンが不足することによって葉色が濃くなるために生じたことが考えられる。分けつにおいても茎数と同様の傾向が見られた。稈長では系列間における違いはほぼ見られなかった。

水稻栽培における収穫物の収量および各評価項目の計測値を表1に示す。全重は各試験区画から5株を収穫して1株ずつ測定したため、個体差が大きく、13~24%の変動係数があった。収量についての評価は以降、全重以外の項目で行う。評価項目の全体的な収量としては400Cが最も高かった。400Cは区画面積が8.4 m²と400C-HOC-0.6のそれ(9.7 m²)より狭く、栽植密度が9.6 株/m²と400C-HOC-0.6(10.3 株/m²)より低くなってしまったため、他の系列と比べて株間での肥料吸収の競争が起こりにくかった可能性が考えられる。籾収量は各試験区画で収穫した全ての株から脱穀したもみの量であり、400Cで最も高い733 kg/10aであり、400C-HOC-0.6では616 kg/10aであった。コントロール系列の精玄米重は約478 kg/10aと農林水産省の収量統計による令和3年産米の精玄米重全国平均値である535 kg/10a¹⁰⁾と比較して低く、また新潟県の目標値である540 kg/10a¹¹⁾を下回っていた。これは、本実証試験においては試験区画への施肥量を削減した水稻栽培を行ったことから、収量が低下したためと考えられる。400C-HOC-0.6の精玄米重は約504 kg/10aであり、全国平均値と比較してやや低いもののコントロール系列と比較すると収量が増加していた。上記までの検討において、400C-HOC-0.6はリン吸着能を有することは分かっているが、もみ殻とカキ殻の年間発生量を考慮した本試験の炭素化合物作製条件においては、リン肥料の節減効果が薄い可能性が考えられる。

灌漑期における全リンの積算流出負荷の経時変化について、いずれの系列においても流出負荷は主として田面水の表面流出を經由して生じており、全流出量に占める表面流出の割合は95.3~99.1%であった。いずれの系列においても表面流出は7月以降に生じている。これは試験期間中に確認された有効雨量の80%が7月以降に生じており、6月までは表面排水がほとんど生じなかったことに起因する。今回の検討においては試験区画を実水田内に設置した関係上、降雨による水位上昇に伴う排水以外の、自然漏水などの排水を考慮できなかったため、実際の水田よりも極端に降雨に依存する結果となったと考えられる。各系列の灌漑期における単位面積当たりの全リンの流出および負荷量を比較したところ、400C-HOC-0.6においては、リン流出量の削減は確認されなかった。400C-HOC-0.6は吸着試験及びライシメータ試験においてリン吸着能及びリン流出抑制効果を有することはわかっていたため、この原因は現時点では明らかではなく、今後さらなる検討を要する。

参考文献

- 1) 渡邊, 川田, 浅田ら, 炭素, 254, 169, (2012)
- 2) Hu et al., J. Soc. Inorg. Mater. Japan, 13, 32 (2006)
- 3) Guan et al., Ceram. Int., 39, 1385 (2013)
- 4) 堀川ら, 灌漑システムの用水管理と有効雨量, 農工研技報, 204, 175-183, (2006)
- 5) 松島ら, 水稻の生育, 養賢堂, (1962)
- 6) 環境省, 平成28年度循環利用量調査改善検討会(第3回), (2016), <https://www.env.go.jp/recycle/report/h29-10/04-2.pdf> (2022年1月25日閲覧)
- 7) 石油天然ガス・金属鉱物資源機構, 鉱物資源マテリアルフロー2018 改訂版, (2019), https://mric.jogmec.go.jp/wp-content/uploads/2019/03/material_flow2018_revised.pdf (2022年1月25日閲覧)
- 8) 農林水産省, 面積調査, (2020), <https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumotu/menseki/index.html>
- 9) 治多伸介ら, 水環境学会誌, 38, 81-91 (2015)
- 10) 農林水産省, 「令和3年産水稻の10a当たり平年収量」について, <https://www.maff.go.jp/j/press/tokei/seiryu/210323.html> (2022年1月25日閲覧)
- 11) 新潟県農林水産部, 令和3年産の生産目標, <https://www.pref.niigata.lg.jp/uploaded/attachment/264906.pdf> (2022年1月25日閲覧)

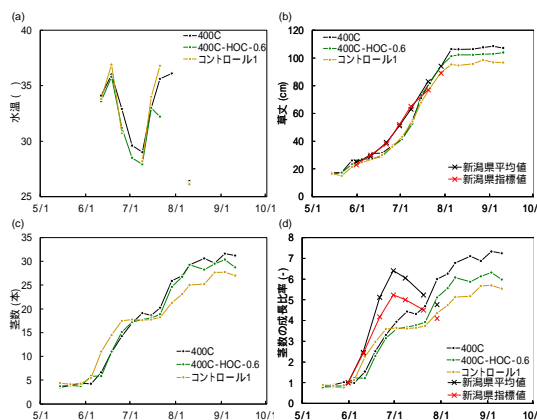


図3 400C及び400C-HOC-0.6における水稻生育状況の経日変化の一例、(a)水温、(b)草丈、(c)茎数、(d)茎数の成長比率

表1 水稻栽培における収穫物の収量及び各評価項目の計測値

試験区画	全重	籾収量	籾重
	(kg/10a)	(kg/10a)	(kg/10a)
400C	1153.2 ± 242.1	733.3 ± 3.6	642.3 ± 8.2
400C-HOC-0.6	1329.0 ± 175.3	616.2 ± 0.4	535.3 ± 0.8
コントロール1	822.9 ± 108.5	580.5 ± 4.8	508.1 ± 16.6
試験区外水田	1146.1 ± 189.4	566.2 ± 0.7	499.5 ± 7.0

試験区画	精玄米重	千粒重	登熟歩合
	(kg/10a)	(g)	(%)
400C	606.5 ± 4.3	20.9 ± 0.0	82.2 ± 0.7
400C-HOC-0.6	504.3 ± 10.1	20.5 ± 0.1	86.7 ± 2.5
コントロール1	477.7 ± 2.0	21.1 ± 0.1	85.8 ± 2.9
試験区外水田	463.9 ± 14.9	21.0 ± 0.0	82.6 ± 2.7
全国平均 ²³⁾	535		
新潟県目標値 ²⁴⁾	540	21.0	90

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 0件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Ohno Masaki, Kobayashi Yuki, Sohma Risa, Suzuki Mayumi, Kose Tomohiro, Asada Takashi, Kawata Kuniaki	4. 巻 20
2. 論文標題 Examination and Evaluation of Oyster Shell Utilization with Rice Husk Biochar for Phosphorus Adsorption	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Water and Environment Technology	6. 最初と最後の頁 71～83
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2965/jwet.21-154	査読の有無 無
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 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件／うち国際学会 0件）

1. 発表者名 荒実咲、浅田隆志、大野正貴、小瀬知洋、川田邦明
2. 発表標題 卵殻カルシウム担持もみ殻炭素化物の水中リン吸着性能
3. 学会等名 第55回日本水環境学会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 平澤宏二郎、浅田隆志、大野正貴、小瀬知洋、川田邦明
2. 発表標題 Ca担持バイオ炭の作製条件が水中リン吸着性能に与える影響
3. 学会等名 第55回日本水環境学会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 武田啓仁、田代和希、小林由季、相馬莉佐、鈴木まゆみ、大野正貴、小瀬知洋、浅田隆志、川田邦明
2. 発表標題 籾殻を循環利用したCa担持炭素化物のリン吸着能の検討
3. 学会等名 第33回日本分析化学会関東支部新潟地区部会研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 武田啓仁、大野正貴、小瀬知洋、浅田隆志、川田邦明
2. 発表標題 カルシウム担持炭素化物の炭化条件と前処理がリン吸着能に及ぼす影響
3. 学会等名 第54回日本水環境学会年会
4. 発表年 2020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	大野 正貴 (Ohno Masaki) (40781216)	新潟薬科大学・応用生命科学部・博士研究員 (33101)	
研究分担者	小瀬 知洋 (Kose Tomohiro) (60379823)	新潟薬科大学・応用生命科学部・准教授 (33101)	
研究分担者	浅田 隆志 (Asada Takashi) (60434453)	福島大学・共生システム理工学類・教授 (11601)	

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
---------	---------