

畜産経営におけるリン吸着資材を活用した 高度汚水処理システムの開発

島崎百伽，深川 聡，西山 倫¹⁾

キーワード：ALC，ALC粉末肥料，畜産汚水，吸着資材，リン吸着

Development of an Advanced Wastewater Treatment System Utilizing Phosphorus-Adsorbing
Materials in Livestock Management

Momoka SHIMASAKI, Satoru FUKAGAWA, Hitoshi NISHIYAMA

目 次

1. 緒言
2. 材料および方法
 - 1) リン吸着資材の能力評価
 - 2) 資材の実用性評価
3. 結果および考察
 - 1) 各資材のリン吸着能力と吸着持続性
 - 2) ALC肥料のリン吸着効果と肥料成分変化
4. 摘要
5. 引用文献

Summary

¹⁾現長崎県島原振興局

1. 緒言

長崎県の畜産業は2023年農業産出額のうち約4割にあたる基幹品目であり、肉用牛・養豚・鶏卵・ブロイラー・生乳の順に占める（長崎県農林部畜産課，2025）。特に県央および島原地域は当県の養豚農家戸数と飼養頭数の8割以上にあたり、県内屈指の養豚地帯である（長崎県農林部畜産課，2024）。

肥育豚1頭1日当たりの汚水量は飼養条件や季節によって異なるが、ふん尿分離式豚舎における生活污水量は12～17L/頭/日、全リンは2.4～2.9g/頭/日が発生しているとされ（一般財団法人畜産環境整備機構，2022），そのほとんどが污水处理施設にて浄化処理されたのち、公共用水に排水されている。

長崎県は多くの半島と離島からなる日本本土の最西端に位置し、大村湾や諫早湾干拓調整池といった閉鎖性が高い水域を有する（長崎県，2019 a, b）。水の出入りが少ない閉鎖性水域において、窒素またはリンの増加に伴う海洋植物プランクトンの著しい増殖は富栄養化と水質悪化を招き、水質回復には時間がかかる（農林水産省b）。

富栄養化原因物質であるリンは畜産排水にも含まれており、水質汚濁防止法に基づいて排水基準（16mg/L）が規定されている（環境省）。畜産業はこの排水基準の達成が著しく困難な業種の一つであり、経過措置として暫定基準（22mg/L）が設けられている（農林水産省a）。しかし、今後

排水基準値への移行に向けて暫定基準値の引き下げが見込まれ、当県のような閉鎖性水域へ排水する事業者には上乘せ排水基準が設けられるなど、畜産排水の高度処理が求められている。また、近年の肥料価格高騰などの影響を受け、国内でのリン資源の回収と活用が求められている。

排水からのリン回収技術として、下水・返流水等からの回収、下水汚泥・脱水汚泥からの回収、下水汚泥焼却灰からの回収などが挙げられる（加藤ら，2007）。農畜産分野においては、下水・返流水等からの回収として晶析法および吸着法が用いられている。晶析法においては、近年では固液分離後の汚水からリン酸マグネシウムとして回収資源化するリン酸マグネシウムアンモニウム法（Magnesium Ammonium Phosphate法：以下、MAP法）が実施されており、回収されたMAPには、く溶性リン酸29.0%等を含む緩効性肥料としての効果がある（白毛，2005）。畜産分野においても、脱水濾過液を利用したMAP法（脇屋ら，2010）や塩ビ管を用いた簡易型MAP回収装置（川村ら，2011）が開発・実証されつつある。しかしながら、新たな施設整備や繊細な管理を必要とするため広く普及に至っていない。

そこで、高額な施設整備を伴わない簡易で低コストな吸着法を用いて畜舎排水中からのリン除去・回収技術を開発したので、その概要を報告する。

2. 材料および方法

1) リン吸着資材の能力評価

試験1. 処理水質評価

リン吸着能力を有すると考えられる資材を複数選定し、それらの処理水質を比較した。

資材は、コバルト系リン吸着資材（長崎県窯業技術センター開発：以下、Co系資材）、赤玉土、カキガラ、ボラ土、ゼオライト、軽量気泡コンクリート（以下、ALC）資材の6種類とし、模擬排水としてリン酸二水素ナトリウム25mg/L水溶液を用いた。模擬排水0.8Lに重量比10%の各資材をネットに入れて浸漬し、スターラーで24時間攪拌したのち採水してサンプルとした（写真1）。



写真1 試験の様子

サンプルはバナドモリブデン酸比色法により全リン濃度を測定して吸着率を算出した。また、目視で濁りがない状態を良好、濁りがある状態を不良の二段階で濁度を判定した。試験は1回行った。

試験2. リン吸着能の持続性評価

試験1でリン吸着能力が高く、濁度も良好な排水が得られたCo系資材およびALC資材を用いて、吸着能力の持続性を比較した。

試験1と同様に模擬排水0.8Lに容積比10%の各資材をネットに入れて浸漬し、常温（20℃）環境下で17日間、低温（4℃）環境下で6日間、スターラーで攪拌した。サンプルの採水と模擬排水の交換を24時間ごとに試験終了時までに行い、サンプルは簡易反射式光度計（関東化学株式会社製RQflex plus10）にてリン酸濃度を測定して吸着率を算出した。試験は2反復行い、平均値を算出した。

2) 資材の実用性評価

試験3. ALCのリン吸着能力と除去評価

試験1および2の結果、ALC資材が選抜された（表1）。ALCはケイ酸カルシウムを主成分とした建築資材であり、建物の外壁等に広く利用されている。ALC資材は洗浄によって除去能力を維持できると報告されている（鈴木ら，2009）が、5分程度の洗浄では不十分とされ（田中ら，2009），リンを吸着したALC資材は産業廃棄物として処分する必要がある。一方、トバモライトを主組成とした可溶性ケイ酸を15～25%含むケイ酸質肥料として、ALC肥料が商品化されている。

そこで、ALC建材を小型乗用車で直径1～5cmに破碎したALC資材（写真2）と一般販売されているALC肥料（写真3）のリン吸着能力の違いによる排水のリン除去効果を比較した。



写真2 ALC資材



写真3 ALC肥料

長崎県農林技術開発センター畜産研究部門の回分式汚水処理施設で浄化処理された排水200Lとリン酸二水素ナトリウム25mg/L水溶液2Lを混合してリン濃度を高めた合成排水を用いた。15Lバケツ（投入槽）と45Lポリバケツ（反応槽）をチューブで接続して試験装置とした（写真4）。各資材7kgと合成排水を反応槽に入れ、24時間浸漬した。その後、投入槽に合成排水を10L/日ずつ加水し、反応槽の排水を採水してサンプルとした。サンプルは試験開始3日、7日、10日、15日、23日、31日後に採水し、簡易反射式光度計によってリン酸濃度を測定してリン除去率を算出した。試験は3反復行い、平均値を算出した。



写真4 試験装置

上段が投入槽、下段が反応槽

試験4. 豚舎廃水における浸漬前後の水質とALC肥料成分の評価

長崎県農林技術開発センター畜産研究部門内養豚施設の配管から常時排出される固液分離されていない生汚水（以下、豚舎廃水）を用いた。

試験装置（写真5）のフローは以下のとおりである。豚舎廃水を100Lポリタンク（以下、処理槽）に投入し、エアポンプの稼働によって曝気および沈殿処理した後の上澄みを処理水とした。処理水はALC肥料20kgが入った120Lポリバケツ（以下、反応槽）に排水され100Lまで貯留された。ALCと接触後の処理水を高度処理水とし、反応槽からオーバーフローした高度処理水を100Lポリタンク（以下、排水槽）に貯留した。試験は、25Lの廃水を処理槽に投入して20時間曝気と4時間停止（沈殿）を一度行ったのちに開始した。試験期間中、豚舎廃水は投入槽に毎日25L/日投入され、毎日20時間曝気と4時間沈殿を行った。サンプルとして豚舎廃水、処理水および高度処理水を試験開始4日、5日、10日後に採水してリン除去率および生物化学的酸素要求量（以下、BOD₅）、浮遊物質（以下、SS）、透視度、pH、全窒素量を調査した。リン除去率は、簡易反射式光度計によってリン酸濃度を測定して算出した。BOD₅は圧力センサー方

式 (HACH社製BOD Trak), SSは携帯用多項目迅速水質分析計 (HACH社製DR/2400), 透視度は透視度計 (アズワン社製ST-30), pHはガラス電極法 (METTER TOLEDO社製SevenEasy S20), 全窒素量はケルダール法 (FOSSジャパン株式会社製Kjeltec™8400) によって分析した。さらに, 浸漬前および浸漬10日後にALC肥料を採取して乾燥・粉碎し, 窒素全量, 炭素全量, リン酸全量, カリ全量, 銅全量, 亜鉛全量を測定した。窒素全量および炭素全量は燃焼法 (N. C-ANAALYZER: 株式会社住化分析センター製SUMIGRAPH®NC-TRINITY), リン酸全量はバナドモリブデン酸アンモニウム吸光光度法 (株式会社島津製作所製紫外可視分光光度計UVmini-1240), カリ, 銅および亜鉛全量はフレイム原子吸光法 (株式会社島津

製作所製原子吸光分光光度計AA-7000F) によって分析した。試験は1回行い, サンプルを3つずつ採取して平均値を算出した。



写真5 試験装置

左から処理槽, 反応槽, 排水槽

3. 結果および考察

1) 各資材のリン吸着能力と吸着持続性

試験1におけるリン吸着率および濁度の結果を表1に示す。リン吸着率は, Co系資材, 赤玉土およびALC資材で100%であった。濁度は, Co系資材, ポラ土およびALC資材が良好であった。リン吸着率と濁度の結果から, Co系資材とALC資材をリン吸着資材として選抜し, 試験2に供試した。

試験2における常温あるいは低温下でのCo系資材とALC資材のリン吸着率を図1に示す。常温下では7日後まで同等の吸着率であったが, 9日後からCo系資材の吸着率が急激に低下した。低温下では1日後からCo系資材の吸着率はALC資材を下回り, 試験終了時まで同様の結果だった。以上のことから, ALC資材をリン吸着資材として選抜した。

Co系資材は, 市販の活性アルミナ (セラミックス多孔体) を酸化コバルト (II) 飽和水溶液に浸漬したのち乾燥させ, 500°Cで熱処理したものである。高松・阿部 (2006) は, リン酸二水素カリウム5mg/L水溶液におけるCo系資材のリン除去率は5日後まで80%以上を示したと報告している。本試験では常温下のCo系資材は5日後には吸着率80%を下回っており, これは用いた排水のリン濃度が25mg/Lと高かったために吸着能力

が早く限界に達したと考えられる。

赤玉土は火山灰起源の土壤で, 主に栃木県鹿沼市から産出する粘土質の赤土を粒状乾燥してふるいにかけてものが用いられており, 鉄やアルミニウムの含有量が高い特徴を有する。リン酸イオンは, アルミニウムイオンや鉄イオンに配位した水分子や水酸化物イオンを置換して, 直接アルミニウムイオンや鉄イオンに配位するように結合する。赤玉土は土壤浸透法による水質浄化に多く用いられている。土壤浸透法は自然の浄化能力を利用した水処理技術の一つであり, 土壤表面に汚水を散布し, 汚水が土壤に浸透する過程で浮遊物質, 有機物, リンなどの汚濁物質を分解・除去する方法 (菅原ら, 2009) である。浅岡・青野 (2006) は, PO₄濃度0.248mg/Lの河川水と赤玉土を室温25°C下で15分接触させた時のリン酸除去率が98%以上であったと報告しており, 和田ら (2014) は, 水と赤玉土の接触時間が長いほど除去率は向上し, 一定の接触時間に達すると除去率の向上が鈍化することを報告している。本試験においても赤玉土は吸着率100%であり, 高いリン吸着能力を有することを確認した。しかし, 本試験において攪拌時間が24時間と長時間であったこと, ろ過技術として広く用いられていることから, 赤玉土は浸漬・

攪拌（バッチ法）での長期利用には不向きであったと考えられる。

カキガラは水産業における産業廃棄物の一つであり、昔から土壌改良や飼料として用いられている。坂本ら（1998）は、粒子径1mm未満の未焼成カキガラでリン吸着率が高く、700℃で焼成すると600℃以下で焼成したカキガラよりも高いリン吸着率を示すことを報告している。佐々木ら（1999）は、破碎せず原形のままカキガラを用いたところ、カキガラの表面積が大きい（250～300m²/m³）ために物理的な浮遊物質除去が行われ、殻の表面およびその周囲に生物膜が発達して浄化機能が高まっていくこと、実際の施設の供用においては2週間ほどの予備循環を行って生物膜の発生を促す必要があると報告している。また、佐藤ら（2017）は未焼成よりも800℃で焼成処理したカキガラにおいてリン吸着率が大幅に向上したことを報告している。本試験では24時間という短期間かつ既に粉碎された市販商品（未焼成）を用いたため、十分な生物膜が形成されず、カキガラ表面への汚濁物質の吸着もされなかったと考えられる。またカキガラの主成分である炭酸カルシウムが攪拌による空気中の二酸化炭素と反応して白濁し、良好な濁度が得られなかったと考えられる。よって、本試験に用いた市販の未焼成のカキガラは短期間でリン吸着資材として不向きであったが、焼成することでリン吸着能が向上する可能性がある。

ボラとは地方古来の俗称で、霧島火山群や桜島火山から噴出した降下軽石をいう。黄褐色～白色の径数cm以下の粗鬆な堆積物であり、肥料持ちが悪い（岩松ら、1989）。新田（1986）はボラ土の固くて多孔質である特徴を活かして、畑地から排除されたボラを用いた毛管浸潤トレンチ法による生活雑排水処理を実施したところ、全リン濃度は90%以上除去されたと報告している。また、リンは活性汚泥に取り込まれることで知られており、岡田ら（2005）は余剰汚泥処理

においてボラ土が汚泥を回収できることを報告している。本試験において、ボラ土はリン吸着において能力を発揮できなかったものの、良質な濁度を得られたことから、ボラ土は有機物の吸着能力は高いが、赤玉土と同様に浸漬・攪拌（バッチ法）での利用に不向きであったと考えられる。

ゼオライトは三次元的な結晶構造のアルミノケイ酸塩でイオン交換能を有しており、日本ではゼオライトを含む凝灰岩が広く産出する（西村、1973）。しかし、ゼオライトは陽イオン交換能を有し、陰イオンであるPO₄³⁻は本質的に吸着を示さない。そこで後藤ら（1994）は、ゼオライト中にCa²⁺を多く含むモルデンフツ石、内田ら（2006）はゼオライト質凝灰岩やセメントスラリーをコーティングした凝灰岩、藤井ら（2020）はゼオライト（Ze）とハイドロタルサイト（HT）との混合体積比（Ze/HT）が6/4の濾材を用いることで、リンの吸着を確認・報告している。よって、本試験におけるゼオライトはそのまま用いたために陰イオンであるリン酸イオンをほとんど吸着できなかったと考えられ、セメントなどCa材を混合するなど、陰イオン交換能を付与することでゼオライトのリン吸着能を向上できる可能性がある。

ALCは粉碎したけい石と生石灰にセメントと水を混合してスラリー状とし、アルミニウムを加えて発泡・凝固させる。ALCの発泡体は20%の固体部と80%の空隙部で構成され（井染、1993）、ALCのコンクリートとしての軽量化に寄与しており、建築資材として広く用いられている。鈴木ら（2008）は、低温下（最低水温7.6℃）でのALCリン除去能力が低下したことを報告しているが、本試験では低温による明確なリン除去能力低下は確認できなかった。これは本試験に用いた排水中にはBODが含まれていなかったことが考えられ、BODの有無がリン除去能力に影響を与えた可能性が考えられた。よってALCをリン吸着資材として利用するためには、BODが含まれる豚舎廃水での検証が必要と考えられた。

表1 リン吸着率および評価

資材名	吸着率 (%)	評価	
		吸着能力 ^z	濁度 ^y
Co系資材	100.0	○	○
赤玉土	100.0	○	×
カキガラ	18.3	×	×
ボラ土	34.1	×	○
ゼオライト	19.5	×	×
ALC資材	100.0	○	○

^z 吸着能力 (○：良好, ×：不良)

^y 濁度 (○：良好, ×：不良)

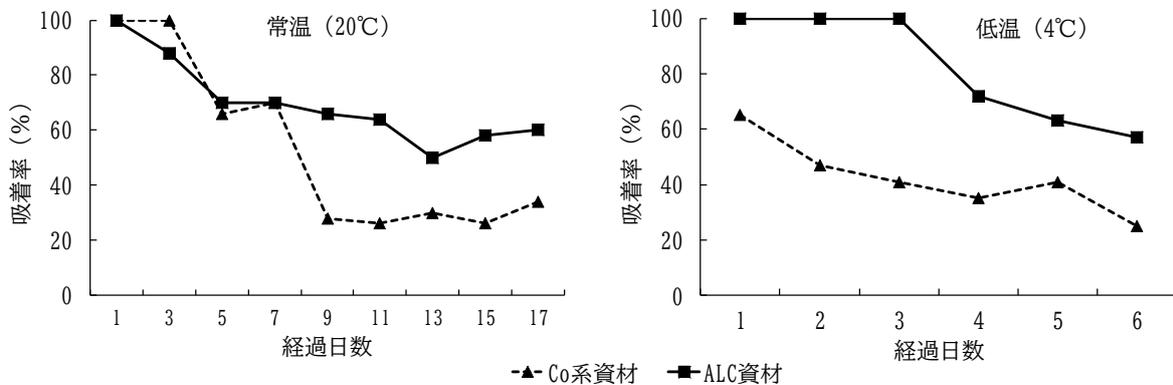


図1 室温または低温下におけるCo系資材およびALC資材のリン吸着率推移

2) ALC肥料のリン吸着効果と肥料成分変化

試験3の合成排水におけるALC資材とALC肥料のリン除去率を図2に示す。ALC肥料はALC資材と概ね同等の除去率であり、ALC肥料はリン吸着資材としてALC資材を代替できる可能性が示された。次に試験4のBODが多く含まれる豚舎廃水におけるALC肥料のリン除去率を図3に示す。リン除去率は概ね30%以上で推移し、5日後が最大であった。また、豚舎廃水、処理水および高度処理水の水質は表2のとおりである。BOD₅は処理水および高度処理水で低く、SSは高度処理水で最も低かった。pHは処理水と高度処理水で高くなり、全窒素は高度処理水で最も低くなった。使用前後におけるALC肥料の肥料成分値を表3に示す。浸漬後のALC肥料において、銅全量以外のすべての項目で含有量が増加した。

鈴木ら(2008, 2009)の試験では、1.7~1.8か月の試験期間においてALC資材によるリン除去率は36~60%で推移したが、本試験では5日をピークに吸着率が低下した。これは、処理水のBODおよびpHが高か

ったことから、曝気・沈殿槽における処理が不十分であったと考えられる。また、豚舎廃水を原料に1日だけ曝気と沈殿を行ったものを供試したため、曝気・沈殿槽内に活性汚泥が十分に醸成されていなかったことも考えられる。よって、供試する際は活性汚泥の醸成を確認する必要がある。また、豚舎廃水に固形状の有機物が多く存在していたことも考えられ、豚舎廃水は一度別の容器に入れて静置して上澄みを投入するなど、固液分離による有機物除去が必要である。

浸漬前後でALC中に含まれる銅が増加しなかったことから、ALCは銅を吸着しないと思われ、その原因は不明である。また、窒素および炭素は、ALCへのSSや固形有機物の吸着によって増加したと考えられる。

藤崎ら(2008)は、黒土とALCを混合してペレニアルライグラスを植栽したところ、ALCの混合割合よりもALCの粒径によって発芽率の差は見られること、黒土のみで植栽するよりもペレニアルライグラ

スの生育が不良であったことを報告したが、ALCの多孔質で締め固まりにくい利点を活かして植栽基盤としての活用を期待している。中野ら（2014）は、多段型人工湿地のろ床表層0.05mに粒径約10mmのALCを敷き詰めてイネ科多年生植物のヨシを植栽したところ、無植栽区よりもリン除去能力が高く、植物の吸収によるリンの保持は濾材への負荷を低減し、リン吸着作用の延命につながることを報告している。以上のことから、畜産排水に浸漬したALC肥料は資源循環型農業の推進に役立つことが期待される。

ALC粉末肥料は、公定規格（農林水産省、2025）に基づいて普通肥料（ケイ酸質肥料）として登録されている。肥料の品質の確保等に関する法律（独立行政法人農林水産消費安全技術センター、2023）において、肥料とは植物の影響に供することまたは植物栽培に資するため土壤に化学的変化をもたらすこ

とを目的として土地に施されるものおよび植物の栄養に供することを目的として植物に施されるものと定められている。すなわち、ALC肥料を圃場へ還元することは「肥料利用」に、ALC肥料を用いて豚舎廃水等からリンを吸着することは「肥料生産」と考えられる。今後肥料利用を拡大する上で、豚舎廃水のリンを吸着したALC肥料は同法に基づき肥料登録を行う必要があるが、現時点では該当する公定規格がないため、自家消費による利用にとどまっている。しかし、2023年に下水汚泥資源の有効活用のため「菌体リン酸肥料」が公定規格として新設されるなど、リン回収技術の開発と副産物の肥料利用がさらに活発化することが予想される。今後も同法および公定規格が改正される可能性は高く、今後の農畜産業においてさらなるリン資源の回収・活用が期待される。

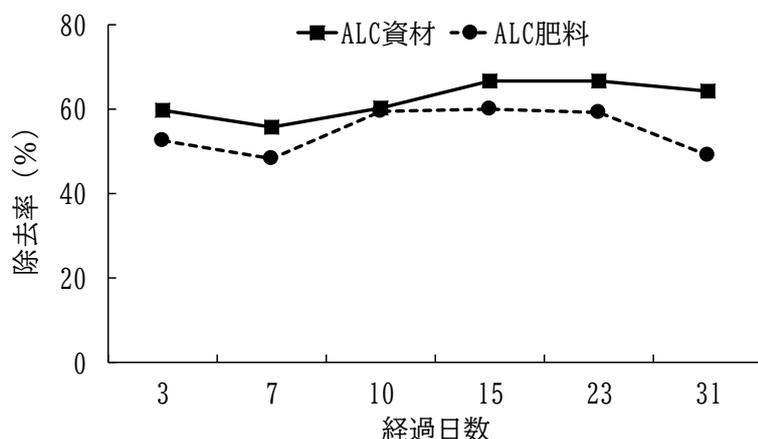


図2 合成排水における ALC 資材および ALC 肥料のリン除去率推移

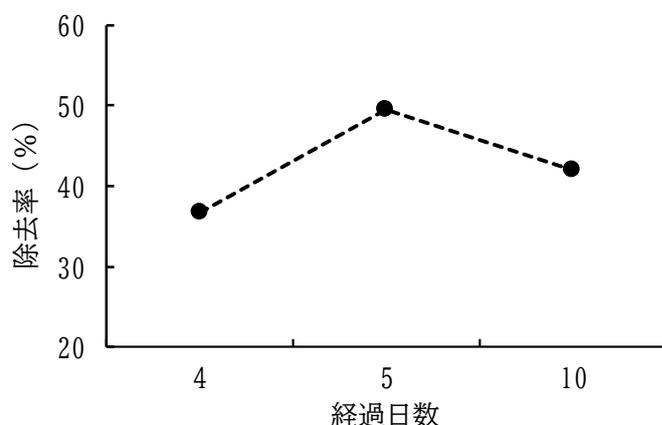


図3 豚舎廃水における ALC 肥料のリン除去率推移

表2 4日後における豚舎廃水、処理水、高度処理水の水質

	BOD ₅ (mg/L)	SS (mg/L)	透視度 (cm)	pH	全窒素 (mg/L)
豚舎廃水	3280	1170	1.25	8.25	1468
処理水	2707	1364	1.25	8.48	1457
高度処理水	2707	746	1.50	8.46	1143

表3 浸漬前後におけるALC肥料中の肥料成分含量(%)

	窒素全量	炭素全量	リン酸全量	カリウム全量	銅全量	亜鉛全量
浸漬前	0.004	0.32	0.05	0.14	0.006	0.13
浸漬後	0.099	1.29	0.07	0.32	0.006	0.18
t検定	**	**	**	**	ns	**

^z **は1%水準で有意差あり (t検定, ns:有意差なし)

4. 摘要

畜産排水に含まれるリン濃度を低減するため、リン吸着資材を選定してリン吸着・除去能力を調査した。その結果、以下のことが明らかとなった。
1)ALC資材は環境温度変化に耐え、比較的長いリン吸着能力を有した。
2)軽量気泡コンクリート粉末肥料として市販化

されているALC肥料は、ALC資材と概ね同等のリン除去能力を有した。
3)豚舎廃水に浸漬したALC肥料は、リン以外の肥料成分も吸着し、新たな肥料として活用が見込まれた。

5. 引用文献

- 浅岡 聡・青野 求. 2006. 赤玉土および各種無機系吸着材混合赤玉土による海水の脱塩. 日本土壤肥料学雑誌. 77(1): 33-39
- 独立行政法人農林水産消費安全技術センター. 2023. 肥料の品質の確保等に関する法律. http://www.famic.go.jp/ffis/fert/hourei/sub1_torihou.htm
- 藤井友吾・塩見治久・塩野剛司. 2020. ゼオライト-ハイドロタルサイト複合硬化体の鉛およびリン除去特性. 日本材料学会. 69(7): 516-521
- 藤崎健一郎・多田美波・藤木絵里子・高木篤史・勝野武彦. 2008. 屋上における芝生およびセダム類植栽基盤材としての軽量発泡コンクリート(ALC)廃材の利用可能性. 日本緑化工学会誌. 34(1): 299-302
- 後藤義昭・松本泰治・磯 文夫. 1994. 天然ゼオライトのリン酸イオン吸着. 粘土科学. 34(2): 102-107
- 一般財団法人畜産環境整備機構. 2022. 家畜汚水処理施設設計・維持管理マニュアル
- 井染靖夫. 1993. 軽量気泡コンクリート その製法・機能・用途. 油化学. 42(10): 130-137
- 岩松 暉・福重安雄・郡山 榮. 1989. シラスの応用地質学的諸問題. 地学雑誌. 98(4): 1-22
- 加藤文隆・高岡昌輝・大下和徹・武田信生. 2007. 下水処理システムからのリン回収技術の現状と展望. 土木学会論文集G. 63(4): 413-424
- 川村英輔・田邊 眞・竹本 稔・上山紀代美・鈴木一好. 2011. 塩ビ管を用いた簡易型MAP回収装置によるふん尿分離豚舎汚水中のリン回収技術の検討. 日本養豚学会誌. 48(1): 10-19
- 中野和典・中村和徳・武田文彦. 2014. 軽量気泡

- コンクリートを利用した多段型人工湿地のリン除去性能の4年間の推移. 土木学会論文集G(環境). 70(7)Ⅲ_267-Ⅲ_275
- 長崎県. 2019a. 第4期大村湾環境保全・活性化行動計画. <https://www.pref.nagasaki.jp/bunrui/kurashi-kankyo/kankyochozen-ondankataisaku/omura/4ki-keikaku/>
- 長崎県. 2019b. 第3期諫早湾干拓調整池水辺環境の保存と創造のための行動計画. <https://www.pref.nagasaki.jp/bunrui/kurashi-kankyo/kankyochozen-ondankataisaku/isahaya/isahaya-keikaku/>
- 長崎県農林部畜産課. 2024. 令和6年4月1日現在長崎県家畜・家さん飼養頭羽数等調べ. <https://www.pref.nagasaki.jp/bunrui/shigoto-sangyo/nogyo/link-chikusan/toukei-link-chikusan/>
- 長崎県農林部畜産課. 2025. ながさきの畜産2025. <https://www.pref.nagasaki.jp/object/koho-object/kennohakkobutsu/511575.html>
- 西村陽一. 1973. 天然ゼオライトの特性と利用. 粘土科学. 13(1)23-34
- 農林水産省a. 畜産経営に関する排水基準について. https://www.maff.go.jp/j/chikusan/kankyo/taisaku/t_info/02_haisui/index.html
- 農林水産省b. 農業用ダム環境影響評価参考図書(案)～富栄養化編～. https://www.maff.go.jp/j/nousin/noukan/eikyuu_hyouka/damu_suisitu.html
- 農林水産省. 2005. 肥料の品質の確保等に関する法律に基づき普通肥料の公定規格を定める等の件. https://www.maff.go.jp/j/syouan/nouan/kome/k_hiryu/toroku.html
- 岡田直子・松葉賢次・恒吉雅治. 2005. 簡易低コスト余剰汚泥処理システムの開発. 宮崎県畜産試験場試験研究報告. 18: 100-105
- 坂本文秀・本多邦隆・香月幸一郎・阿部久雄. 1998. カキ殻を用いた水質浄化材のリン吸着能試験. 長崎県衛生公害研究所報. 44: 24-27
- 佐々木長市・江成敬二郎・小関 恭・伊藤豊彰・中山正与. 1999. 産業廃棄物としてのカキ殻を用いた水質浄化試験. 農業土木学会論文集. 200: 69-77
- 佐藤健志・大友絵尋・二瓶泰雄・小倉久子. 2017. 河川技術論文集. 23: 215-220
- 新田弘子. 1986. 農村集落における生活雑排水の処理事例. 日本農村生活研究. 301: 37-41
- 白毛宏和. 2005. MAP法によるリン回収資源化システム. 環境バイオテクノロジー学会誌. 4(2): 109-115
- 菅原正孝・藤川陽子・濱崎竜英・新井剛典. 2009. 土壌浸透法の技術的発展. 大阪産業大学人間環境論集9: 243-260
- 鈴木睦美・山田正幸・高橋朋子. 2008. ALC濾材利用による家畜尿汚水浄化処理施設の高度処理装置の開発. 群馬県畜産試験場研究報告. 15: 84-90
- 鈴木睦美・山本哲久・高橋朋子. 2009. ALC濾材利用による家畜尿汚水浄化処理施設の高度処理装置の開発(2). 群馬県畜産試験場研究報告. 16: 123-130
- 高松宏之・阿部久雄. 2006. 水環境におけるリン固定と回収プロセスに関する研究. 長崎県窯業技術センター研究報告(平成18年度). 54: 6-11
- 田中康男・手島信貴・篠崎秀明・谷田貝敦・横山浩・荻野暁史. 2009. 硫黄・炭酸カルシウム含有粒状資材と軽量発泡コンクリート粒状資材を使用した2段式処理による豚舎廃水の脱窒・リン低減. 日本水処理生物学会誌. 45(4): 165-175
- 内田一徳・川本陽介・中村祥子・西田一浩. 2006. ゼオライト質凝灰岩を用いた水質浄化濾材の窒素・リン酸除去法に関する基礎的研究. 農業土木学会論文集. 243(74-3): 277-284
- 和田桂子・岸本直之・宗宮 功・佐藤寿彦・津野洋. 2014. 土壌浸透処理による赤玉土のリン除去性能および吸着特性の長期カラム実証評価. 水環境学会誌. 37(2): 55-62
- 脇屋裕一郎・石田 稔・内田敏博・吉田祥知子・関戸正信・河原弘文・下平秀丸・川村英輔・鈴木一好. 2010. ふん尿汚水を凝集添加および機械分離した脱水濾過液を利用したMAP法によるリン除去・回収技術. 日本養豚学会誌. 47(4): 187-197環境省. 一般排水基準. <https://www.env.go.jp/water/impure/haisui.html>

Summary

To reduce phosphorus concentrations in livestock wastewater, phosphorus adsorbent materials were selected and their phosphorus adsorption and removal capacities were investigated. As a result, follows became clear.

- 1) ALC exhibited resistance to environmental temperature changes and possessed relatively long-lasting phosphorus adsorption capacity.
- 2) The ALC fertilizer marketed as ALC powdered fertilizer possessed phosphorus removal capacity generally equivalent to that of ALC materials.
- 3) ALC fertilizer immersed in pig barn wastewater adsorbed fertilizer components other than phosphorus and showed potential for utilization as a new fertilizer.