

「持続可能な水利用を実現する革新的な技術とシステム」
平成 21 年度採択研究代表者

藤原 拓

国立大学法人高知大学教育研究部自然科学系農学部門・教授

気候変動を考慮した農業地域の面的水管理・
カスケード型資源循環システムの構築

§ 1. 研究実施の概要

本研究では、(1)資源創出と N_2O 排出抑制を同時に実現する面的植物浄化・水再生システムの構築、(2)農業地域に適した分散型水・資源再生システムの開発、(3)農業地域における水・バイオマス資源のカスケード型循環利用システムの構築、(4)面的水管理・カスケード型資源循環システムの統合評価を行った。平成 21 年度の研究成果は以下のとおりである。

- (1)地下水硝酸性窒素汚染の抑制、温室効果ガス(N_2O)排出の抑制およびバイオマス資源の獲得を同時に実現するクリーニング作物栽培条件を検討し、適切な栽培時 pF を提示した。また、クリーニング作物および水生植物に適した糖化方法ならびにリン抽出方法を提示した。さらに、硝酸性窒素汚染の進んだフィールドでの実態調査を実施した。
- (2)人や家畜の糞尿を衛生的に循環利用するため、し・尿・雑排水に対する処理技術を開発した。糞便処理のためのコンポストトイレにおいて水分の蒸発速度式を構築することにより、コンポストトイレの設計を可能とした。尿中のリン酸に対してホタテ貝殻を加え、リン酸カルシウムの形で晶析させるとともに、生成物を分散させずに回収する手法を開発した。膜分離型活性汚泥処理装置による雑排水処理を簡略化する手法を明らかにした。製紙スラッジを活用した水資源再生システムの構築に向けて、イオン液体を用いて製紙スラッジからの有機・無機成分の分離回収を実現した。
- (3)家畜糞は、窒素、リンおよびカリウムを豊富に含む一方で、リンと化合物を形成しやすい鉄、アルミニウム含量は下水汚泥と比較すると少ないことを示した。柑橘果皮からリモネンを抽出する過程で排出される柑橘精油未利用成分を含有する高分子膜を紙表面上で直接合成することにより、高機能紙の調製を行った。高分子膜によって柑橘未利用成分の徐放性が向上し、長期的な効果の発現が可能であった。大部分が廃棄されている柚子皮ペーストをブリ

用飼料に利用することでブリの血合い肉の褐変を防止でき、冬期の試験において柚子皮ペー
ーストの飼料への添加は成長を阻害しなかった。

- (4) 資源循環システムの評価に必要な基盤情報である廃棄物、農作物等のデータを収集・整
理し、データベース化を行った。また、地理的な窒素の動態や資源の需給バランスを評価
するモデルの開発を進め、プロトタイプを作成した。

§ 2. 研究実施体制

(1) 「高知大学」グループ

① 研究分担グループ長： 藤原 拓（高知大学、教授）

② 研究項目：

【G1】資源創出と N₂O 排出抑制を同時に実現する面的植物浄化・水再生システムの
構築

ポット栽培試験および実フィールド栽培試験によるクリーニング作物の栽培条件の検
討

【G2】農業地域に適した分散型水・資源再生システムの開発

・市販光触媒による人尿・家畜尿中の医薬品の分解特性およびその影響因子の検討
・イオン液体を用いた製紙スラッジ中に含まれる酸化チタンおよびパルプ成分分離技
術の確立

【G3】農業地域における水・バイオマス資源のカスケード型循環利用システムの構築

・廃棄物バイオマスからの有用成分利用の検討
・廃棄物バイオマスの養殖魚飼料における至適添加濃度と有効性についての検討
・畜産系廃棄物からの資源回収システムの構築

【G4】面的水管理・カスケード型資源循環システムの統合評価

・「面的植物浄化・水再生システム」総合評価
・モデル地域の土地利用の把握
・窒素の発生量・処理量の定量化

(2) 「北海道大学」グループ

① 研究分担グループ長： 伊藤 竜生（北海道大学、助教）

② 研究項目：

【G2】農業地域に適した分散型水・資源再生システムの開発
(糞便処理)

・コンポスト化過程における水分蒸発速度を考慮したコンポスト型トイレの設計
(尿処理)

- ・ヒドロキシアパタイト(HAP)の晶析による尿中リンの回収
- ・晶析法を用いた尿中尿素の回収
(雑排水処理)
- ・雑排水の小型 MBR 処理装置の設計
- ・雑排水の傾斜土層処理装置の設計

(3)「国立環境研究所」グループ

- ① 研究分担グループ長： 山田 正人 ((独)国立環境研究所、主任研究員)
- ② 研究項目：
【G4】面的水管理・カスケード型資源循環システムの統合評価
統計情報等を用いた地域マテリアルフローの把握

(4)「岡山大学」グループ

- ① 研究分担グループ長： 前田 守弘 (岡山大学、准教授)
- ② 研究項目：
【G1】面的植物浄化・水再生システムの構築
畑圃場における窒素収支の解明

(5)「北見工業大学」グループ

- ① 研究分担グループ長： 永禮 英明 (北見工業大学、准教授)
- ② 研究項目：
【G1】面的植物浄化・水再生システムの構築
セルロース系バイオマス糖化・発酵過程における窒素・リン回収技術の確立

(6)「京都大学」グループ

- ① 研究分担グループ長： 高岡 昌輝 (京都大学、准教授)
- ② 研究項目：
【G3】農業地域における水・バイオマス資源のカスケード型循環利用システムの構築
・牛糞、牛尿、豚糞、豚尿、鶏糞の組成および物性値の検査
・以上により、畜産廃棄物の組成を明らかにし、肥料、リン資源、燃料の 3 つの面から見た場合の評価

(7)「鳥取大学」グループ

- ① 研究分担グループ長： 赤尾 聡史 (鳥取大学、助教)
- ② 研究項目：
【G1】面的植物浄化・水再生システムの構築
セルロース系バイオマスからの L-乳酸発酵プロセス開発

【G4】面的水管理・カスケード型資源循環システムの統合評価

分散型水・資源再生システムの評価

(8)「埼玉県環境科学国際センター」グループ

- ① 研究分担グループ長：長谷 隆仁（埼玉県環境科学国際センター、専門研究員）
- ② 研究項目：

【G4】面的水管理・カスケード型資源循環システムの統合評価

本研究で構築するカスケード型資源循環システムを、その質的・面的分布を考慮しつつ、統合評価を行う

§ 3. 研究実施内容

【G1】資源創出と N₂O 排出抑制を同時に実現する面的植物浄化・水再生システムの構築

農業地域における、地下水硝酸性窒素汚染の抑制、温室効果ガス(N₂O)排出の抑制およびバイオマス資源の獲得を同時に実現するクリーニング作物の栽培条件を検討した。本年度は、クリーニング作物栽培時の pF の影響をポット栽培試験により検討した結果、本研究の条件下では 1.5±0.2 の条件が最適と判断された。

得られたクリーニング作物や水生植物等のセルロース系バイオマスから L-乳酸、窒素・リン等の資源を回収する資源化プロセスの開発を行った。異なる前処理方法を用いてクリーニング作物(トウモロコシ、ソルガム)と水生植物(ヒシ、ホテイアオイ)の糖化率(酵素糖化)を比較した結果、クリーニング作物にはアルカリ系の前処理が、水生植物には酸処理が適していた。糖化したバイオマスをもとに非滅菌高温 L-乳酸発酵を実施した。前処理後のバイオマスに対して、クリーニング作物では 0.4 以上の変換率(g/g)で L-乳酸を得た。一方、水生植物では、糖化率そのものが低いこともあり 0.2 程度の変換率となった。

L-乳酸発酵過程におけるリン・窒素回収方法検討に関し、トウモロコシからのリン抽出方法を検討し、水または 1%水酸化ナトリウムに 24 時間浸漬するだけでトウモロコシ中リンのほとんどを抽出できることが示された。また、L-乳酸発酵におけるリン収支を把握し、トウモロコシ中リンのほとんどが前処理廃液、洗浄廃液に移行していることが明らかとなった。この結果、発酵操作に入る前処理段階にてリンを抽出することが適切と考えられた。

畜産を主体とした農業が営まれている岡山県笠岡湾干拓地において、畑土壌および排水路を調査した。周辺圃場への窒素投入量多い水路で全窒素濃度が高まる傾向にあり、硝酸イオンの安定同位体比(δ¹⁵N、δ¹⁸O)から、水路の窒素は有機物由来であり、流出過程あるいは水路内で脱窒が生じた可能性が高いこと等が明らかになった。

【G2】農業地域に適した分散型水・資源再生システムの開発

人や家畜の糞尿を廃棄物ではなくリン・窒素・土壌改良有機源と捉え、これらを衛生的に循

環利用するため、し・尿・雑排水に対する処理技術を開発した。

糞便処理のためのコンポストトイレにおいて、温度、湿度、流入空気量を変えてコンポスト表層からの水分蒸発量を実測し、水分の蒸発速度式を構築した。この式を用いることで、所定の形状、温湿度における水分蒸発量を予測し、コンポストトイレの設計が可能となった。

尿に含まれるリン酸に対してカルシウム源としてホタテ貝殻を加え、リン酸カルシウムの形で晶析させた。ホタテ貝殻を籠の中に固定して尿と混ぜることで、生成物を分散させずに回収できた。

雑排水は膜分離型活性汚泥処理装置を用いて処理し、排水流入形態と膜のファウリングとの関係を調査した。排水を間欠的およびポンプと平衡槽を用いて連続的に流入させた場合で処理性能を比較したところ、COD 除去率、ファウリングに関して大きな差はなく、排水流入を間欠的にすることで処理設備を簡略化できることが明らかとなった。また、傾斜土層による雑排水の処理では、平均粒子径 10mm と 4mm の土を用意した。その結果、大きな粒子では有機物、SS が除去されるが、大腸菌、ファージは除去されなかった。また、小粒子では大腸菌、ファージも除去されたが、土層が詰まり、処理水量が極端に小さくなることが確認された。そして、大粒子の層の後に小粒子の層で処理をすることより、土層が詰まるまでの期間を長くすることができることを確認した。

廃棄物（製紙スラッジ）を活用した水資源再生システムの構築に向けて、製紙スラッジからの有機・無機成分の分離回収と、市販光触媒による家畜尿中の医薬品処理について検討した。イオン液体を用いて製紙スラッジ中のパルプ成分のみを溶出させることで、有機成分と無機成分の分離に成功した。また、酸化チタンを用いて医薬品の分解試験を行い、分解速度や光触媒活性に影響する尿中成分について明らかにした。

【G3】農業地域における水・バイオマス資源のカスケード型循環利用システムの構築

家畜から排出されるし尿から資源を回収し有効利用することを目的として、本年度は各家畜（乳牛、肉牛、豚、鶏）から排出される糞の分析を主として行った。その結果、窒素、リンおよびカリウムを豊富に含む一方で、リンと化合物を形成しやすい鉄、アルミニウム含量は、下水汚泥と比較して少ないことが分かった。家畜糞の燃料源としての価値は、乾燥ベースでは鶏糞を除き、下水汚泥と同等か少し低い程度であり、固形燃料化等の適用可能性が示唆された。また、し尿に含まれる成分は畜種や育成ステージ等によって差違があることが明らかとなり、最適な資源循環利用を行うためには成分変化を把握する必要があることが分かった。

柑橘果皮からリモネンを抽出する過程で排出される柑橘精油未利用成分には、リナロール、 α -テルピネオール、カルベオール、カルボン、ペリラルデヒド、バレセンの 6 成分が確認された。この柑橘精油未利用成分含有高分子膜を紙表面上で直接合成することにより、高機能紙の調製を行った結果、10 %エチレンジアミン水溶液および重合時間 10 分が最適重合時間であった。さらに、本研究で調製したシートは、紙表面上に直接合成した高分子膜によって徐放性が向上し、長期的な効果の発現が可能であった。

柚子果皮にはビタミン類などの抗酸化成分が残留していると考えられる。これを養殖魚の飼料に添加することで、生産される養殖魚(ブリ)の肉質を改善し、鮮度を長持ちさせることができるか検討した。飼料重量 1450g(湿重)に 50g(湿重)の柚子皮ペーストを添加することで、冬期においてブリの成長を損なうことなく血合い肉の褐変を抑制できることが明らかとなった。

【G4】「面的水管理・カスケード型資源循環システムの統合評価」

高知県において動植物性残渣等の有機性廃棄物の地理的フローを把握するため、発生源・処理源、発生・処理における物質収支、処理技術情報をリレーショナルデータベース化した。また、農林業統計等の統計資料と農業集落等の地図データとを組み合わせ、高知県における農作物生産量や家畜頭数といった地理情報の整備を行なうとともに、施肥量等の窒素動態を把握する基礎情報を入手した。高知県の農林水産業に関わる窒素動態を表現する上で使用する窒素動態モデルには、国内で利用実績の高い SOILN-jpn を空間的に拡張するため、シェルスクリプトによる自動化を行なった。カスケード型循環利用システムにおける温室効果ガス排出量や水質汚濁負荷量等を評価するモデルについて、プロトタイプとして、既存の循環利用技術であるコンポスト化について、設定した地域間で家畜糞等の資源分布等と堆肥の需要分布をバランスさせ、資源利用を最大化する手法を検討した。