HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Development of a system for nutrients recovery from hydrolyzed urine by forward osmosis concentration [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	Nikiema, Benedicte Carolle Wind-Yam
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第12909号
Issue Date	2017-09-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/67465
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Nikiema_Benedicte_Carolle_Wind-Yam_review.pdf, 審査の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称　博士 (工学)　氏名　Nikiema Benedicte Carolle Wind-Yam

審査担当者　主　査　特任教授　船水 尚行
副　査　特任教授　高橋 正宏
副　査　教　授　五十嵐 敏文
副　査　助　教　伊藤 竜生

学位論文題名

Development of a system for nutrients recovery from hydrolyzed urine by forward osmosis concentration
(正浸透法による加水分解尿からの栄養塩回収システムの開発)

し尿処理を単なる処理から資源回収型へ転換することが求められている. し尿には栄養塩 (窒素, リン, カリウム等) が含まれており, 将来の地球上の人口増加に対応する農業生産のためにはこれらの栄養塩の回収が重要とされている. 一方, 現用の下水処理の仕組み (し尿とその他の雑排水を混合したものを処理する) の中で栄養塩を回収利用することは大変な困難を伴うことになる. このような課題に対し, 排水を発生源において分離し, かつ処理・資源回収する排水分離分散型排水処理法が一つの解決策を与える. 本研究は, 排水分離分散型排水処理法のうち, 分離した尿を対象としている.

本研究では, 都市域で発生する尿を液肥として農村域で使用する際の課題の一つである尿の輸送コストに注目している. 輸送コスト低減においては, その体積を減少させる, すなわち, 濃縮操作を行うことが一つの解決策となる. 本研究では, 濃縮操作の一つである正浸透法に注目し, 正浸透による尿濃縮装置設計で必要となる, 膜透過フラックスの推算のための数学モデルを構築している. 特に膜透過フラックスに関連する溶質の濃度分極, 溶質の膜を通しての拡散等の現象を詳細な実験により観察し, その現象を数学モデル構築に反映させている. そして, 正浸透法により尿を 5 倍程度濃縮可能なことを確認した上で, 装置設計に必要な膜面積,Draw 溶液の必要量と浸透圧の関係を求める方法を新たに提案している. 本論文は以下の 5 章より成る.

1 章では, 本研究の背景 (し尿からの栄養塩回収の現状, ならびに正浸透法に関する既往の研究) を整理している. 特に, 回収尿の利用の現状と課題に関する研究のレビューから, 都市域で回収された尿の利用方法の確立の必要性を強調し, かつ, 正浸透法を用いた尿濃縮装置を設計する際の解決すべき課題を抽出し, 本研究の目的を導出している.

2 章では実際の尿と報告されている尿組成をもとに合成した人工尿を用いた正浸透による尿の濃縮実験結果について報告している. 得られた主要な結果は (1) 尿を 2 から 5 倍程度濃縮することが正浸透法により可能である. その際に用いる Draw 溶液の濃度は食塩水で 3-5mol/L 程度である; (2) 正浸透過程において, 尿中のアンモニアや無機炭酸が浸透膜を通過する;(3) 尿中成分,Draw 溶液中成分の膜近傍における濃度分極により, 水の膜透過フラックスは大きな影響をうける;(4) 濃縮途中の尿や Draw 溶液は理想溶液として扱うことが不可能であり, これらの浸透圧はそれぞれの成分の活量係数を推算することにより計算可能である.

3 章では, 尿中の多成分の溶質ならびに Draw 溶液中溶質の浸透膜を通しての拡散を表現する多

成分系の拡散方程式と活量係数を用いた浸透圧の推算を組み合わせた数学モデルを構築し, 膜近傍での溶質の濃度分極を求めた上で水の膜透過フラックスを推算する新たなモデルを導出している. そして, このモデルのシミュレーション結果と実験結果との比較により, モデルの妥当性を検討している.　3 章で得られた主要な成果は次のようである:(1) 今回開発したシミュレーションモデルは尿の体積減少過程ならびに溶質濃度の経時変化を再現することができる;　(2) 尿中のアンモニアは尿濃縮の初期には尿体積の減少に伴い濃度が増加するものの, 正浸透を継続すると, 尿中のアンモニアの拡散により, 尿が濃縮されたにもかかわらず, 濃縮後のアンモニア濃度が濃縮前のアンモニア濃度より低下することが実験で確認された. 今回のモデルもこの現象を再現した.

4 章では, 構築したシミュレーションモデルを用いた計算により,1L の尿を体積を 1/5 に濃縮するために必要な装置条件を求めている. すなわち, 拡散で失われるアンモニアの回収率を最大化し, 所定の時間に尿を濃縮するための条件として, 膜面積 56cm^2,Draw 溶液の初期浸透圧 32.6MPa,Draw 溶液量 1L を得ている. また, この条件での栄養塩の回収率として, 窒素回収率 78.6%. カリウム回収率 97.8%, リン回収率 99.6% と推算している.

5 章は結論に相当する章であり, 各章で得られた結果の整理と提言をまとめている.

これを要するに, 著者は排水分離分散型排水処理において, 分離回収した尿を正浸透法により濃縮する操作について, 浸透圧, 溶質の濃度分極と膜を通しての拡散, 水の膜透過フラックスについて詳細な実験的検討, ならびに現象を記述するモデル構築を行い, 正浸透法による尿濃縮装置の設計の基礎を構築した. これらの成果は排水処理工学に対して貢献するところ大なるものがある. よって, 著者は, 北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格あるものと認める.