



# HOKKAIDO UNIVERSITY

|                     |                                                                                                                                                                     |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Title               | Design of the process for the production of nitrogen slow release fertilizer from human urine<br>[an abstract of dissertation and a summary of dissertation review] |
| Author(s)           | Kabore, John Steve Wendkouni                                                                                                                                        |
| Degree Grantor      | 北海道大学                                                                                                                                                               |
| Degree Name         | 博士(工学)                                                                                                                                                              |
| Dissertation Number | 甲第12466号                                                                                                                                                            |
| Issue Date          | 2016-09-26                                                                                                                                                          |
| Doc URL             | <a href="https://hdl.handle.net/2115/63418">https://hdl.handle.net/2115/63418</a>                                                                                   |
| Rights(URL)         | <a href="https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/">https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/</a>                                           |
| Type                | doctoral thesis                                                                                                                                                     |
| File Information    | Wendkouni_John_Steve_Kabore_review.pdf, 審査の要旨                                                                                                                       |



## 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    Wendkouni John Steve Kabore

審査担当者    主   査   教   授    船水 尚行  
                  副   査   教   授    高橋 正宏  
                  副   査   教   授    増田 隆夫    (総合化学院)

## 学位論文題名

Design of the process for the production of nitrogen slow release fertilizer from human urine  
(人尿からの緩効性窒素肥料製造プロセスの開発)

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) の中で窒素を回収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, 尿中の窒素成分を緩効性肥料として知られているウレアホルムとして回収する方法に注目し, その反応プロセスを表現する反応モデルの構築を行っている。また, 最終生成物の物理・化学特性と反応条件の関係を詳細に検討し, 最終的に窒素回収率を向上させ, かつ, 有用な緩効性肥料を得るための回収方法を新たに提案している。本論文は以下の 6 章より成る。

1 章では, 本研究の背景 (現状の窒素の緩効性肥料製造法, し尿からの栄養塩回収の現状) 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, 緩効性窒素肥料製造に関して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 章では主要な反応条件である尿素とホルムアルデヒドの比 (F/U 比) に注目し, その窒素回収率, ならびに反応過程における中間生成物との関係を実験的に検討している。その結果, (1) 高 F/U 比の条件で窒素回収率が低下する, (2) 質量分析により, 液系には 11 種類の中間生成物が存在する, (3) これらの中間生成物のうち, 一部はそのまま液系に存在し, 窒素回収率の低下を招く, (4) 重合反応により成長していく分子は 350Da 以上 (重合度で 3 程度) で不溶化する。

3 章では, 2 章で得られた知見をもとに, 緩効性窒素肥料製造の反応モデルを提案している。反応モデルでは, 現象の記述に最小限必要な要素として, 尿素とウレアホルムの反応生成物である monomer, dimer, ならびに沈殿生成物として trimer, ならびに, 重合反応が進行しない副生成物の 4 種類をとりあげ, 反応系を構築している。また, 詳細な生成物の経時変化測定実験とあわせて, その反応速度係数も定めることに成功している。この反応モデルを用いたシミュレーションにより, F/U 比と窒素回収率の関係, ならびに, 異なる F/U 比における各要素成分の挙動の説明が可能であることを, 詳細な実験結果と計算結果の比較により検証している。加えて, 最大窒素回収率を得る F/U 比も求めている。

4 章では, 最終生成物の特性が反応条件 (F/U 比) によって異なることを, 結晶構造解析, 熱分析,

窒素溶出試験により明らかにし、反応条件である F/U 比とこれらの特性の関係を実験的に検討している。その結果、反応条件 F/U 比を小さい条件で製造すると、(1) 結晶度が高く、(2) 分解エンタルピーが大きく、(3) 酸性条件下で窒素放出が容易に生じる産物を得ることができることを明らかにしている。

5 章では、副生成物の抑制を目的に、回分反応過程における、ホルムアルデヒドや尿の逐次投入の効果を反応モデルによるシミュレーションと実験により検討している。シミュレーションにより、(1) 窒素回収率を最適化するためには必要な尿素とホルムアルデヒドを初期にすべて混合するより何回かに分けて逐次投入すると良い、(2) 尿濃縮により窒素回収率を向上できる、ことが示されている。また、実験によりこのシミュレーション結果の妥当性が検証されている。

6 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、分離回収した尿から緩効性窒素肥料を製造するための反応について詳細な実験的検討、ならびに反応モデル構築を行い、最適な反応条件設定法を提案している。これらの業績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。