

# 審査の結果の要旨

氏名 ティア ヘン イ

リンは枯渇資源であり、また鉱石としての分布に偏りが大きいため、戦略的資源と考えられ、リン鉱石の供給を輸入に頼る日本では、排水からのリン回収技術が期待されている。一方で、排水からのリン回収はコストが高いとみなされているため、その普及は道半ばである。しかし、リン鉱石のコストに関しては、リン鉱石採掘による環境影響や、一部の途上国におけるリン鉱石の不適切な採掘が、地域の労働・社会環境に与える負の影響が十分考慮されていないため、リン鉱石のコストが低く抑えられ、相対的にリン回収技術のコストが高いとみなされている可能性がある。そこで本論文は、日本で利用されているリン肥料を、輸入リン鉱石や輸入リン肥料でまかなうケースと、下水からの回収リンでまかなうケースを設定し、それぞれの環境影響をライフサイクルアセスメント (LCA)、社会影響を Social LCA (SLCA) により評価することを目的とした。これにより、単純なコスト計算だけでなく、環境影響と社会影響をふまえた技術選択の議論を可能とすることを目指した。

本論文は 8 章から成る。序論である第 1 章では、世界的なリン資源に関する状況、日本のリン肥料の状況、それらに付随して生じる環境汚染や労働者の労働環境への影響など、研究の背景を整理して、リン肥料に関するライフサイクルベースでの環境影響・社会影響評価が必要であることを示し、本論文の目的と構成を示している。

第 2 章では、LCA と SLCA、さらにはそれらを統合した試みとして近年注目されつつある Life Cycle Sustainability Analysis (LCSA) について文献レビューを行い、本論文における LCA と SLCA の定義や、それらの統合の枠組みを提示している。

第 3 章が研究対象であり、本論文が対象とするリン肥料について、日本国内のリンのマテリアルフローや、Fused phosphate (SSP) や Fused phosphate (FP) といったリン肥料の種類、Magnesium ammonium phosphate (MAP)、Hydroxyapatite (HAP) といったリン回収の技術をふまえて、整理している。

第 4 章が方法である。環境影響評価手法として温暖化ガス排出の LCA と富栄養化ポテンシャルの LCA 算出方法をまとめている。社会影響評価では、様々な社会活動がもつリスクをデータベース化した Social Hotspot Database (SHDB) を利用して、それぞれのケースに関連する活動のリスクを抽出した。それぞれのケースにおけるリンのフローをふまえて、各活動の重み付けを計算し、その重み付けをリスクインパクトに乗じて集計することで、それぞれのケースにかかわるリスク指標を計算する。

第 5 章が、環境影響評価の結果である。リン鉱石の採掘や輸送、下水からのリン回収、リン肥料の生産に関わる温暖化ガス排出と、富栄養化ポテンシャルを LCA により評価し

た。このような計算は、海外で数例報告されているものの、日本のプラントではまだ報告がない。加えて、下水処理施設にリン回収施設を取り付けることで、もともと設置されていたリンを除去する（除去して最終処分場へ捨てる）施設が不要になる効果を加味した LCA (Consequential LCA) を提案し、MAP により回収したリン使用に関わる環境影響が、リン鉱石使用に関わる影響並に低くなることを示している。

第 6 章が、社会影響評価の結果である。中国やモロッコでの鉱山労働に問題があることが SHDB で示されているため、リン鉱石利用による社会影響は、回収リン利用による社会影響よりも大きくなることが示された。一方で、日本国内のリン肥料の現状の使用量に比して、下水から回収できるリンの量には限りがあるため、これを勘案すると、社会影響の低減ポテンシャルは限定的なものにとどまるとの知見も得ている。

第 7 章が全体的な考察であり、環境影響と社会影響をふまえた技術選択の可能性について論じている。併せて、社会影響に関しては SHDB のデータの精度についても論じており、データベースの拡充の必要性も指摘している。

第 8 章は結論で、本研究を総括している。

なお、本論文 5 章は、小貫元治、6 章も小貫元治との共同研究であり、5 章は共同著者として投稿済み、第 6 章も共同著者として、すでに発表済みである。いずれも論文提出者が主体となって分析および検証を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

以上、本論文は、リン肥料生産と使用に関わる環境影響と社会影響を包括的に評価する枠組みを提案するもので有り、新規性ならびに総合的視点を有している。このことにより、サステイナビリティ学の発展に大きく寄与するものである。

したがって、博士（サステイナビリティ学）の学位を授与できると認める。

以上 1986 字