



# Environmental Impact Evaluations for Treatment Technologies of Palm Oil Mill Effluent Using LCA and Multi-Criteria Decision Support System

著者	Nasution Ansori Muhammad
発行年	2018
その他のタイトル	LCAと多基準決定支援システムを用いたパームオイル搾油排水処理技術の環境インパクト評価
学位授与大学	筑波大学 (University of Tsukuba)
学位授与年度	2018
報告番号	12102甲第8824号
URL	<a href="http://hdl.handle.net/2241/00153933">http://hdl.handle.net/2241/00153933</a>

氏名	Muhammad Ansori Nasution		
学位の種類	博士（生物資源工学）		
学位記番号	博 甲 第 8824 号		
学位授与年月日	平成 30年 9月 25日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
審査研究科	生命環境科学研究科		
学位論文題目	Environmental Impact Evaluations for Treatment Technologies of Palm Oil Mill Effluent Using LCA and Multi-Criteria Decision Support System (LCAと多基準決定支援システムを用いたパームオイル搾油排水処理技術の環境インパクト評価)		
主査	筑波大学准教授	博士（農学）	野口 良造
副査	筑波大学准教授	博士（農学）	トファエル アハメド
副査	筑波大学助教	博士（農学）	源川 拓磨
副査	筑波大学教授	工学博士	中嶋 光敏

## 論 文 の 要 旨

パームオイル搾油排水（POME: Palm Oil Mill Effluent）は、パーム搾油工場から排出される液体廃棄物であり、パーム搾油工場に隣接するオープンラグーン（OL: Open Lagoon）で水質浄化処理されるのが一般的である。しかしながら、OLでのPOME処理では、OLから最終的に排出される廃液や廃棄物、環境へのガス放出などの環境負荷が大きく、OLから他の代替技術への移行が望まれている。また、インドネシアにおける持続可能なパーム油生産を行うための政府による認証制度（ISPO: Indonesian Sustainable Palm Oil）では、OLによるPOME処理を、2020年までに他の代替技術に変更させる規制を義務付けている。本論文は、OLによるPOME処理技術に対して、インドネシア北スマトラ島での今後の環境負荷の少ない代替技術を、ライフサイクルアセスメント（LCA: Life Cycle Assessment）とマルチ基準決定分析（MCDA: Multi-Criteria Decision Analysis）を通じて明らかにすることを目的としたものである。なお、提案されたLCAは、SimaPro®をLCA分析ツールとしてISO1404に準拠したLCA標準評価にもとづいて計算と分析が行われた。また、MCDAは、アンケートデータにもとづくAHP（Analytic Hierarchy Process）とANP（Analytic Network Process）によるモデル構築と、ExpertChoice®とSuper Decision Software®を用いた計算と分析が行われた。

著者は、第一章において、本論文の研究背景と研究目的の詳細を述べ、つづく第二章では、OL単独でのPOME処理から、OLとの組み合わせ技術（COLT: Combination of Open Lagoon Technology）への技術へ今後変更導入が行われるとして、堆肥生産を主とする「COLT堆肥化」、バイオガス生産を主とする「COLTバイオガス化」、浮遊物質（SS: Suspended Solid）の電気での凝固を主とする「COLT電気凝固」、および微細藻類を活用した水質浄化を行う「COLT微細藻類」を本論文で取扱う代替案とした。

著者は第三章において、AHPモデル構築のために、「利益、機会、リスク、費用」を選出し、下位の評価基準として、「収益、温室効果ガス（GHG: Global Heating Gas）の削減、雇用、企業の社会的責任、共同処理化、環境リスク、マーケティングリスク、技術の信頼性、投資コスト、運用コスト」とした。代替案は第二章で検討したものをを用いた。AHPモデルによる計算と分析の結果、COLT堆肥化、COLTバイオガス化、COLT電気凝固、およびCOLT微細藻類の代替案は全て商業レベルの技術であった。また、COLT堆肥化は代替案の中で

も優先度 63.6%を示す優れた技術であり、さらに、利益、機会、およびリスクに利点を持つことが判明した。さらに、感度分析の実施より、COLT バイオガス化が COLT 堆肥化よりも優れた代替案となるためには、費用に対して加重 95.4%以上が必要となることを明らかにした。

著者は第四章において、第二章で検討した代替案の環境影響評価を行うために LCA を実施した。LCA を行うにあたって、システム境界を設定するとともに、パームオイル果房 (FFB: Fresh Fruit Bunch) の重量 1 t を機能単位とした。環境影響評価は、地球温暖化係数 (GWP: Global Warming Potential)、酸性化ポテンシャル (AP: Acidification Potential)、富栄養化ポテンシャル (EP: Eutrophication Potential)、ヒト毒性ポテンシャル (HTP: Human Toxicity Potential)、エネルギー消費量 (EC: Energy Consumption)、および正味エネルギー比 (NER: Net Energy Ratio) から行った。その結果、COLT バイオガス化は、GWP に関して、他の代替案よりも環境負荷が少ないことを示した。また、COLT バイオガス化は、GWP について約 357.18 kg の CO<sub>2</sub>-eq 削減を達成するとともに、排水処理に膜技術を用いることから、EC は代替案の技術の中で最も小さい値を示し、NER についても良好な結果を示した。

著者は第五章において、第二章で検討した代替案の評価と比較のために、LCA の GWP、AP、EP および HTP の結果をもとに AHP と ANP による MCDA を行う LCA-MCDA シーケンス法を提案した。その結果、堆肥化と統合された COLT バイオガス化の技術は、GWP が 96.2%減少し、EP と HTP の影響は小さい結果を示した。環境影響評価の結果を AHP で解析すると、COLT バイオガス化は POME 処理のための堆肥化と統合されたことから、優先度は加重 43.8%であった。AHP の結果を検証するために行われた ANP による計算と分析結果から、AHP と ANP の代替案の加重と順位に関して、代替案との間に有意差がないことが示された。

以上を総括すると、本論文を通じて、様々な POME 処理技術を十分に比較検討できる手法が提示されるとともに、POME 処理に関与する意思決定者が、持続可能なパーム油生産を行うために、より環境負荷の少ない適切な技術導入を行うことができる可能性と汎用性が示された。

## 審 査 の 要 旨

本論文は、パームオイル生産国の環境問題や社会的背景から、OL による POME 処理に代わる代替技術導入のための意思決定支援問題において、インドネシア北スマトラ島での具体的な代替技術に対する LCA を行い、AHP と ANP を用いて MCDA による代替案選択を行ったものである。さらに、LCA と MCDA を組み合わせた評価手法を提案するとともに、堆肥化と統合された COLT バイオガス化は、GWP に関して他の代替案の技術よりも環境負荷が少ないことを明らかにするとともに、POME 処理技術に関する意思決定支援問題に大きく貢献することが明らかとなった。以上から、本論文は、高い学術的価値を有し、博士論文としてふさわしい内容であると判断される。

平成 30 年 7 月 9 日、学位論文審査委員会において、審査委員全員出席のもとに論文の審査及び最終試験を行い、本論文について著者に説明を求め、関連事項について質疑応答を行った。その結果、審査委員全員によって合格と判定された。

よって、著者は博士 (生物資源工学) の学位を受けるのに十分な資格を有するものとして認める。