



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Study of Heat Balance and Aeration Strategies in the Solar Greenhouse Biodrying System
Author(s)	Katitep, Ngamket
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第16855号
Issue Date	2026-03-25
DOI	https://doi.org/10.14943/doctoral.k16855
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/99700
Type	doctoral thesis
File Information	Katitep_Ngamket_review.pdf, 審査の要旨 https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/



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	Katitep Ngamket
審査担当者	主 査 教 授	石井 一英	
	副 査 教 授	東條 安匡	
	副 査 教 授	森 太郎	

学位論文題名

Study of Heat Balance and Aeration Strategies in the Solar Greenhouse Biodrying System
(温室内バイオドライイングシステムにおける熱収支とエアレーション方法に関する研究)

東南アジアなどの都市固形廃棄物 (MSW) は含水率が高いため、破碎・分離及び焼却の効率が低下する。MSW の含水率を低減するためのバイオドライイングは、エアレーション (送気) と微生物代謝熱の両方を利用して水分除去する技術であり、水分除去後、破碎・分離行程を経て廃棄物固形燃料 (RDF) が製造される。温室内バイオドライイングシステムは、特に日射量の多い発展途上国において、MSW の水分除去のための実用的な選択肢となり得る。しかし、この温室内バイオドライイングシステムにおいては、様々な環境や操作条件下での効果を検討した研究はわずかであることから、熱収支解析に基づく水分除去機構を定量化する必要がある。そこで本研究では、温室内バイオドライイングシステムの熱収支モデルを構築し、様々な外部環境条件及び送気パターン下での MSW の水分除去実験を踏まえ、バイオドライイングプロセスの効果を包括的に比較することを目的とした。本研究の背景と目的は第 1 章で要約し、第 2 章では文献レビューをまとめている。

第 3 章では、温室内の MSW 層と空気 (ヘッドスペース) の温度予測のために、従来よりも高い精度を有する熱収支モデルを、タイでのパイロット規模の実測値に基づき提案している。熱収支解析の結果、MSW 層へのエネルギー入力には微生物代謝熱 (66%) が主であり、次いで送気 (27%)、日射 (7%) となった。エネルギー利用は、大部分は水分蒸発潜熱であり 59% を占めた。次に温室内と屋外でのバイオドライイングの比較シミュレーションの結果、温室内では、MSW 層への太陽光放射による入力が増加し日中での水分蒸発が促進され、7 日以内に RDF 生産に必要な含水率 (30% 未満) に到達した。風による対流と廃棄物表面からの放射熱による熱損失に加えて降雨の影響も最小限にできることから、温室内バイオドライイングシステムの有効性が示された。

第 4 章では、送気流量 (4~15 L/分または $0.45\sim1.7\text{ m}^3/\text{kgMSW}/\text{日}$) での正圧・負圧送気及び自然通気の 3 パターンがバイオドライイングに及ぼす影響が評価された。その結果、MSW 下部からの正圧送気は熱を MSW 上層に移動させ、MSW 上部からの負圧送気は

MSW 層内全体に均等に熱を移動させ、そして自然通気は MSW 中間層に熱を閉じ込める傾向にあった。各送気パターンでの物質質量変化は、特に 8 L/分 ($0.9 \text{ m}^3/\text{kgMSW}/\text{日}$) での正圧送気の場合、有機物の損失を最小限に抑えながら水分除去が可能であった。一方、負圧送気と自然通気の場合、有機物分解が大きく、さらに浸出水も発生した。浸出水の発生量は、負圧送気 (8 L/分) と自然通気の場合でそれぞれ MSW1 kg 当たり 16 mL と 35~70 mL であった。この浸出水の発生は、実運用を考慮すると正圧送気を採用する利点となり得る。さらに、外部環境条件である日射量と周囲温度が高い期間に実施された夏期の実験の方が、冬季よりも 1.75~3.65 倍高い水分除去率を示した。

第 5 章では、バイオドライイングの効率に外部環境や送気パターン等の条件が与える影響を包括的に評価した。まず、従来指標のバイオドライイング指数 (BI、水分損失量を有機固形物損失量で除した比) を用いた。結果として、 $0.9 \text{ m}^3/\text{kgMSW}/\text{日}$ の正圧送気の場合、BI が 8~12 と大きく有機固形物の分解を抑えながら効果的に水分が除去されたことを意味した。しかしながら、従来の BI は水分と有機固形物間の質量減少の単純な比を示しているだけで、微生物代謝熱により水分を蒸発させるというバイオドライイングの本来の機能を表現しているとは言えない。そこで、有機物分解による代謝熱と水分蒸発潜熱を考慮したエネルギーベースのバイオドライイング指数 (BI_{EB}) を提案した。その結果、 BI_{EB} は本実験の外部環境や送気パターンが異なる実験全体で有意な変動を示した。特に $0.9 \text{ m}^3/\text{kgMSW}/\text{日}$ の正圧送気の場合の BI_{EB} は最高値 1.57(冬季と夏季を通じて 1.0~1.57) であった。一方、負圧送気及び自然通気では、それぞれ 0.05 と 0.03 であった。熱収支解析により、負圧送気では微生物分解代謝熱が大きかったにも関わらず、蒸発に効果的に使用されていなかったことを示した。

第 6 章では結論について述べている。

これを要するに、本研究では、含水率が高い廃棄物の処理オプションとしてのバイオドライイング-廃棄物固形燃料化に対して、温室内バイオドライイングシステムの工学的有効性が示された。特に廃棄物からの水分除去過程を表す熱収支モデル及び送気など操作条件の最適化に資する新指標を提案した点は、環境工学特に廃棄物管理工学の発展に寄与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。