

審査の結果の要旨

1. 論文提出者氏名 ボンコッゲサクルナタコーン Bongochgetsakul Nattakorn

本論文は、好気性微生物を利用して有機系廃棄物を分解するコンポスト(堆肥化)技術に関する研究である。論文の前半部においては、堆肥内における熱・水・酸素の移動・平衡モデルと、好気性微生物分解モデルを組み合わせることで、任意の形状、寸法を有する発酵槽内部の廃棄物分解反応を追跡可能な数値解析システムの構築を行っている。後半部では、反応槽と重力式かくはん装置を組み合わせた新しいコンポスト発酵装置を提案している。具体的に得られた成果については、以下に列挙される。

第3章では、好気性微生物によるコンポスト発酵プロセスを追跡する3次元有限要素法プログラムの全体概要を説明している。熱エネルギー、水分移動、および酸素移動と好気性微生物反応モデルを連成させることで、任意の形状、寸法、温度・湿度・通気に対する環境条件のもと、反応過程をシミュレーションするシステムである。解析自由度となる熱エネルギー、含水量、ならびに酸素濃度については、各々系内におけるエネルギー・質量保存則を支配方程式として解くことで、時空間での値が求められる。本システムは、セメント系材料を対象に開発された熱力学連成解析システムがベースとなっており、解析アルゴリズムは全くの同一である。

第4章では、熱エネルギー移動、水分移動・平衡、および酸素移動・平衡に関するモデルの提案を行っている。土壌中での熱エネルギー移動モデルおよび水分移動・平衡モデルを提案し、実験結果との比較・検証を通じて、種々の境界条件下での温度ならびに水分分布が良好に予測されることを示している。また酸素に対するモデルとして、溶存・気相酸素の平衡関係を Henry 則によって記述し、多孔体中の拡散移動現象を定式化することによって、含水量が変動した際の酸素透過量を妥当に予測している。しかしながら、コンポスト発酵の際にしばしば用いられる強制通気に対しては、気体の移流を考慮していないため本モデルの対象外であり、今後の検討が必要である。

第5章では、好気性微生物分解反応モデルの提案を行っている。本モデルでは、系内の温度、酸素、含水量、反応基質、ならびに阻害物質の関数として微生物の増殖・死滅を表現するものである。限定された範囲ではあるが、温度、含水量、ならびに酸素を変化させた実験結果に基づきパラメータを設定している。モデルの一般化および高度化のためには更なる実験検証が必要であるものの、任意の廃棄物組成、温度、含水量、ならびに酸素供給量における反応を予測する数値モデルのプロトタイプを開発することに成功した。

第6章では、実際の発酵プロセスにおいて実施されるかくはん・切替しについて、数値解析システムで取り扱う手法を提案している。コンポスト発酵の途上では、酸素供給、反応阻害物質の消失等を目的として、適切な時期にかくはん・切返しを実施することが重要になる。有限要素法ベースの数値解析で

これらを再現するために、かくはん・切返しの前後で物質・エネルギーの保存がなされたとの仮定の上で、要素内における分布が消失(物質・エネルギーが均質化される)との手法を提案した。実際のかくはん・切返し途上に失われる熱エネルギーや水分などの取り扱いについては、今後検討する必要があるものの、数値解析によりこの種のプロセスを表現したことに大きな新規性があると判断される。

第7章では、反応層と重力式かくはん装置を組み合わせた新しい原理を有するコンポスト発酵装置を提案している。本装置は、発酵槽と重力式混練装置の二つの要素が直列的に配置される構造を有し、これら二種類の要素が複数個連結されることで全体システムが構成される。重力式混練装置は、自重による自由落下の最中に、複数種の構成物質が分割・合流を繰り返すことにより、均一な練混ぜ状態を達成する装置である。反応槽内に静置された生ゴミと堆肥の混練物は、一定期間の後に、反応槽下部の可動式開閉部から放出され、重力式混練装置を通過し、下段に設置される反応槽に投入される。重力式混練装置を通じて落下する際に、混練物中に酸素が供給され、反応阻害物質の消失や未反応物質と堆肥の混練による均一化が実現される。反応層に据え付けられている開閉部を操作し、自然落下するだけで、停滞するコンポスト化反応を再度活性化させることが可能となるシステムである。従って、ゴミと堆肥の混練物が順次落下していくにつれ、反応が進行するという単純な原理であり、従来技術と比較して、より安価なコスト、少ないエネルギー消費、さらに簡単なメンテナンスでのコンポスト化が原理上可能になる。パイロットプロジェクトとしてタイ・タマサート大学ランパーンキャンパスに設置した実験施設では、限定された条件下に留まっはいるものの、本システムの有効性に対する実証がなされている。

以上のように、本研究ではコンポスト発酵過程を追跡する新しい数値解析手法の開発と、実工業規模に展開可能な新しい原理を有するコンポスト発酵装置の提案を行っている。以上から、工学的な貢献は大きいと認識され、本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。