

氏名（本籍）	Jingwen LU （ China ）		
学位の種類	博 士 （ 生物工学 ）		
学位記番号	博 甲 第 7117 号		
学位授与年月日	平成26年 7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	Characteristics of Anaerobic Fermentation by Rotational and Fixed Media Reactors (回転・固定媒体を用いた反応槽による嫌気性発酵の特性)		
主査	筑波大学教授	博士（農学）	北村 豊
副査	筑波大学教授	博士（農学）	張 振亜
副査	筑波大学准教授	博士（生物工学）	楊 英男
副査	筑波大学准教授	博士（農学）	野口 良造

論 文 の 要 旨

食品加工工場から排出される廃棄物は、そのままでは自然環境を汚染する危害要因になるとされているが、有機物を豊富に含むことから再資源化の価値を有している。特に廃棄物・廃水中の窒素分は、硝化脱窒処理により回収利用されることなくガスの形態で放出されており、その有効利用が求められている。本研究が着目した嫌気性発酵法は、食品廃棄物の資源化とバイオマスエネルギーの生産を同時に達成するプロセスとしての普及が期待されている。

良好な嫌気性発酵のための最も重要な要因として、基質の分解特性の解明が必要とされている。嫌気性発酵の対象となる基質は、主に固体（湿潤）と液体の廃棄物であり、固体性の食品加工廃棄物については、難分解性有機物が加水分解の律速段階になることが、また液体性の食品加工廃棄物については、炭素窒素比（C/N比）の低いものがアンモニアを蓄積させることが、それぞれ嫌気性発酵の進行を著しく阻害する原因として指摘されている。したがって、食品加工からの固体廃棄物および液体廃棄物それぞれの良好な嫌気性発酵のための発酵槽の開発およびプロセスの確立が求められている。本研究は反応器内部に回転する、または固定された媒体を有する発酵槽をそれぞれ新たに構築し、固体性廃棄物の効率的な嫌気性処理のための同時前処理・酸生成プロセスおよび高窒素・低C/N比の液体性廃棄物のアルカリ無添加窒素回収プロセスを理論的かつ実験的に検証することにより、食品加工廃棄物の再資源化技術確立のための工学的基礎資料を得ようとするものである。

固体食品加工廃棄物については、回転ドラム発酵システムにメタン生成浸出水や安山岩斑岩（WRS）粉末を還流・添加した同時前処理・酸生成プロセスを適用し、固体食品廃棄物の嫌気性発酵の性能を向上させることに成功した。その連続操作では、メタン生成浸出水の還流が加水分解速度と揮発性固形物（VS）の分解を大幅に増加させ、より高い浸出液還流率（基質に対するメタン浸出液の重量比で1:2）で、VS分解率と加水分解速

度定数が、より低い還流比率1:1に比べてそれぞれ2.1及び1.4倍増加することを示した。より高い浸出液還流率での処理において、生化学的反応を促進したWRS 10%（固形分基質に対するWRSの重量比）添加を採用した結果、加水分解速度定数及びVS分解率は、それぞれ54.7%及び63.9%まで上昇し、WRSの添加は有機酸の生成とそのバイオガスへの転換をも促進すること等も明らかにした。

液体食品加工廃棄物について、微生物が作るバイオアンモニアの生成システムは、嫌気性発酵法により実現できるが、媒体を固定した固定床型発酵槽におけるアンモニア/アンモニウム生成の動力的解析に焦点を当てている研究は多くない。そこで、アンモニア及びアンモニウム生産特性をモノモデルによってシミュレートした結果、最適な操作条件としての水理的滞留時間（HRT）0.9 dと基質濃度1002mg-N/Lを得るとともに、微生物ウォッシュアウトが0.6 dのHRTで起こることを予測することができた。これらの結果は、高窒素廃棄物の高負荷運転が、ここで開発された嫌気性固定床型発酵槽によって達成され得ることを示唆した。

嫌気性発酵からのアンモニアすなわち窒素の回収は、三つの要因、すなわち反応液中のアンモニウム濃度、pHおよび温度に主に依存していることがよく知られており、特にpH調整は嫌気性反応液中のアンモニアを除去するために広く使用される。pHは通常、石灰又はNaOHによって調整されるが、コストの問題に加え、過剰に高い陽イオン濃度状態を作り、結果としてメタン生成を妨げ有機物分解とメタン生成の反応バランスを破壊する問題もある。そこでテープヒーター、熱電対および温度調節器で構成される部分加熱モジュールを搭載したアルカリ無添加嫌気発酵槽を開発し、バイオアンモニアの生産と回収の促進を実現した。また単一のまたは二重の部分加熱モジュールを試作し、単一部分加熱が部分加熱モジュールなしのコントロール区を上回ることを明らかにするとともに、単一部分加熱モジュールの一方式で得られたアンモニアの最高揮発速度と総炭素除去率は、それぞれ対照と比較して5.0倍、57.9%上昇させることに成功した。

審 査 の 要 旨

年1900万トン余り排出される食品廃棄物の3割ほどは、堆肥化により資源化されているものの、残りは焼却や埋め立て等により廃棄されるのみである。食料資源の有効利用が世界的に求められる中、著者は嫌気性微生物群による有機物の分解・ガス化プロセスに着目し、食品廃棄物の組成に適した発酵槽によるプロセス特性の解析を行った。すなわち固形状の廃棄物には、物理的粉碎能力の高い回転式媒体を封入した嫌気性発酵槽を、また窒素分を多く含む液状の廃棄物には、生物膜の形成に優れた固定式媒体を封入した嫌気性発酵槽をそれぞれ新たに構築し、固形物分解、有機酸・アンモニア生成特性などを実験的かつ反応速度論的に解析した。得られた工学的知見は、回転・固体式媒体および部分加熱法の導入がプロセス特性の向上において有効であり、これによる嫌気性発酵が食品産業における廃棄物の再資源化に適用できることを科学的に示すものである。よって本論文は生命産業科学の発展に資する優れた学位論文であるといえる。

平成26年5月29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。