

氏名(本籍)	あお やま ま ゆみ 青山真弓(兵庫県)			
学位の種類	博士(学術)			
学位記番号	博甲第6286号			
学位授与年月日	平成24年5月31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	廃棄物処理の副産物有効利用による環境負荷削減に関する研究：メタン発酵過程よりアンモニアを回収し冷媒に利用した場合			
主査	筑波大学教授	学術博士	水 鉤 揚四郎	
副査	筑波大学教授	農学博士	杉 浦 則 夫	
副査	筑波大学教授	博士(農学)	張 振 亜	
副査	筑波大学教授	Ph.D.(地域科学)	徳 永 澄 憲	

論文の内容の要旨

本研究は、畜産廃棄物由来のアンモニア (NH₃) に着目し、畜産廃棄物処理過程におけるアンモニアの回収および回収したアンモニアを冷媒として活用する事により、温室効果能が高く、またオゾン層破壊力も大きな亜酸化窒素 (N₂O) の排出を抑制すると共に、代替フロン冷媒の漏洩によって促進される地球温暖化の問題を解決する仕組みを検討しコストと環境負荷について総合的に評価したものである。冷凍空調機の環境負荷は、冷媒生産時の温室効果ガス (GHG) 排出量 (二酸化炭素 (CO₂) 換算値)、冷媒の大气への漏洩による GHG 排出量、機器の電力消費にともなう GHG 排出量等を合算して算出する手法である Life Cycle Climate Performance を用いて評価した。また、日本で現在用いられている豚糞尿の処理方法として、強制発酵、堆積発酵、浄化、貯留、メタン発酵等の処理方法を検討し、これらと比較して環境負荷が少なく、かつコストもそれほど高くない新たな処理方法を提案した。

本論文は、全6章で構成される。第1章は、研究の背景、解決すべき問題点、目的、研究の意義、手法および本論文の構成についてまとめている。第2章は、畜産廃棄物の上記処理方法とそれに伴って発生する温室効果ガスについて述べている。この10年間の推移により浄化処理が増えたため豚の尿の浄化処理過程で発生する N₂O は、豚の糞尿処理における他の全ての処理方法によって発生する全 N₂O 排出量の70%を占めていることを明らかにした。現在行われている豚の尿の浄化処理を、メタン発酵処理し、その硝化脱離液よりアンモニアを回収する方法に転換するだけで、日本全体の豚の N₂O 排出量の64%を削減できる事を明らかにした。コストについてもメタン発電の余剰電力を売電した場合、メタン発酵処理とアンモニア (NH₃) 回収の複合プラント (以下、メタン発酵-NH₃) が、他の処理方法よりも安価で経済的であることが判明した。第3章では、N₂O の生成メカニズムと N₂O によるオゾン層破壊を引き起こすメカニズムについて説明している。N₂O の発生源となるアンモニアを元から取り除くことで N₂O の発生を抑制し、オゾン層破壊と温暖化の軽減に大きく貢献できることを論じている。第4章は、畜産廃棄物から回収されるアンモニアの冷媒利用について総合評価を行なった。メタン発酵-NH₃、アンモニア製造プラント、代替フロン製造プラントのそれぞれから製造される冷媒について、製造コスト、直接 GHG (冷媒の漏洩を含む) 排出量を算出した。結果、アンモニア冷媒は、代替フロン (HFC) 冷媒に比べて GHG 排出量が 1/2400 以下と圧倒的に少なく、冷媒価

格は 1/4 程度であることを明らかにした。また、実際の冷凍機と空調ヒートポンプを事例として、直接 GHG 排出量、間接 GHG 排出量、ランニングコストおよび CO₂ クレジットを算入した生涯総コストについて、それぞれ比較した。その結果、アンモニア冷凍機は、HFC 冷凍機と比べて、機械設備費は 25% 程度高いが、ランニングコストが 1 割安いと数年で収支がとれる。生涯（耐用年数 20 年）総経費で、アンモニア冷凍機は HFC 冷凍機よりも安くなり、それは HFC 冷凍機総経費の約 7 割に相当する事が分かった。さらにアンモニア冷凍機の LCCP（生涯総 GHG（CO₂ 換算）排出量）は、HFC（R404a）冷凍機の半分以下であることを明らかにした。そして、空調ヒートポンプについては、生涯（耐用年数 20 年）総経費で、アンモニア冷媒空調ヒートポンプの方が安くなり、その削減分は機械初期投資の約 2 割に相当する。第 5 章は冷凍空調機の温暖化因子に関する総合評価指標に関してまとめている。第 6 章は、本論文の結論と今後の課題についてまとめた。畜産廃棄物からメタン発酵を通してアンモニアを 1 トン回収することによって 15 トンの CO₂ 換算 GHG 量が削減される。それは、CO₂ 排出権にして 3 万円相当（CO₂ 排出権 1t あたり 2000 円の場合）を生み出す。その内訳は、畜産廃棄物処理過程からの N₂O の発生抑制分と、大気に放出されたアンモニアの大気沈降によってもたらされる N₂O の削減分と、アンモニア工場でのアンモニア製造量削減による CO₂ 抑制分と、メタン発電による CO₂ 抑制分である。アンモニアの回収に CO₂ 排出権 3 万円を割り当てる促進政策等によって、アンモニア冷媒への転換をもっと積極的に推し進めることが提唱されている。日本全体で 2008 年の 1 年間に業務用冷凍空調機器からの HFC 漏洩によって排出される GHG は CO₂ 換算すると 825 万トンである。この冷媒 HFC を自然冷媒で温暖化係数ゼロのアンモニアに置き換えることができれば、その分 CO₂ 排出量が抑えられる。それは京都議定書に定められた日本の削減目標 6% の 11% に相当する事が明らかとなった。

審査の結果の要旨

本論文は、メタン発酵後の消化脱離液から副産物として回収したアンモニアを冷凍空調機の冷媒に活用する静脈産業モデルを提案し、アンモニア冷媒が代替フロン冷媒に取って替わることで、代替フロンの漏洩による地球温暖化促進問題の解決に貢献し得ることを明らかにしており、時宜を得た大変有意義な研究である。冷媒製造時も含めた生涯に渡る冷媒漏洩による直接 GHG 排出量と電力消費の間接 GHG 排出量を総合的に評価する LCCP（Life Cycle Climate Performance）手法を適用してアンモニア回収とその冷媒利用の促進がもたらす環境改善効果を総合的に評価したものであり、LCCP 手法の適用は適切であり、各種パラメータの設定と評価範囲の設定も緻密で適切である。また、この研究は、物質収支に基づいてアンモニアを回収することは回収しなかった場合のアンモニアの硝化・脱窒過程で発生する N₂O および NO_x の削減にもつながり、オゾン層破壊、温暖化、大気・水環境問題の解決を考える上で非常に有益な示唆を与える研究として学術的に高く評価できる。

また、廃棄物処理過程で発生する循環型社会建設のための法律制度、枠組みの諸課題に新たな実務的な知見を与えるばかりでなく、今後の日本における廃棄物処理政策を考える上で示唆に富む研究であり、独創的な研究として高く評価する。

平成 24 年 4 月 10 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（学術）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。