

平成 24 年度

# 博士學位論文

内容の要旨および

審査結果の要旨

第 1 4 号

(平成 25 年 3 月授与)

北九州市立大学大学院

国際環境工学研究科

## 目 次

学位の種類	学位番号	氏 名	頁
博士(工学)	甲第 62 号	寶 応瑛	1
博士(工学)	甲第 63 号	谷 祖松	5
博士(工学)	乙第 8 号	岡田 明彦	8
博士(工学)	乙第 9 号	水井 雅彦	11

フリガナ 氏名（本籍）	ドウ インイン 寶 応瑛（中国）
学位の種類	博士（工学）
学位番号	甲第62号
学位授与年月日	平成25年3月23日
学位授与の要件	学位規則 第4条 第1項 該当
学位論文題目	食品廃棄物を対象とした再資源化システムの評価に関する研究
論文審査委員	主 査 松本 亨 （北九州市立大学国際環境工学部教授 博士（工学）） 審査委員 乙間 末廣 （北九州市立大学国際環境工学部教授 工学博士） 審査委員 二渡 了 （北九州市立大学国際環境工学部教授 博士（工学）） 審査委員 宮下 弘 （北九州市立大学国際環境工学部教授 博士（工学））

## 論文内容の要旨

食品リサイクル法が 2001 年に施行されて以降、食品産業から発生する食品廃棄物の再生利用率は徐々に向上し、2010 年時点で 82% である。一方で、食品廃棄物全体の 57% を占める家庭から排出される食品廃棄物は、ほとんどが焼却されているのが現状である。家庭系食品廃棄物の再資源化を促進するためには、再資源化システムを構成する要素技術の開発・改善、社会システムの制度設計とともに、それらの環境面の評価情報が必要といえる。

本研究では、主に都市部の食品廃棄物を中心に、集合住宅や飲食店を対象とした食品廃棄物の再資源化システム導入の評価や、その都市域全体への拡大推計について、ライフサイクルアセスメント (LCA) を用いて現状の焼却処理と比較することで、環境負荷削減効果を評価した。これにより、再資源化システム導入の可能性を検討した。

本論文は、上記にかかる研究成果を取りまとめたものであり、全 7 章で構成される。

第 1 章では、研究の背景及び目的を述べた。

第 2 章では、食品廃棄物の再資源化及び食品包装容器の再資源化の LCA に関する既往研究のレビューを行い、考察した。

第 3 章では、集合住宅に生ごみ処理機を設置して生ごみを分別・再資源化することを想定し、社会実験で得られた実データをもとに、生ごみを含む家庭系一般廃棄物処理システムの焼却処理との比較分析を通じて、生ごみ分別・再資源化の環境負荷削減効果を評価した。さらに、都市域の集合住宅全体への普及を想定したケースについても評価し、その可能性を検討した。なお、食品廃棄物の分別により食品廃棄物以外の焼却処理の環境負荷が変化することから、一般廃棄物処理全体をシステム境界に含め、廃棄物発電の有無や発電効率の違いについても評価した。

第 4 章では、3 章で評価した再資源利用システムについて、北九州市の集合住宅の実データから 1 棟あたり世帯数を 7 世帯、31 世帯、45 世帯の 3 ケースに分け、生ごみ処理機を導入した場合の LCA の感度分析を行った。10 種類の生ごみ処理機を対象とし、それぞれの仕様をもとに環境負荷削減効果を評価することで、機器の稼働効率と処理効率が評価結果に与える影響を分析した。

第 5 章では、3 章で評価した再資源利用システムを、集合住宅に限らず全世界帯に設定した場合について、都市の人口規模別にライフサイクル CO<sub>2</sub> によって評価した。

第 6 章では、生ごみ処理機と油化処理機を用いて、生ごみ、廃食用油、廃プラを分別・再資源化することを想定し、北九州市の 8 軒の飲食店を対象とした

社会実験と、そのシステムを都市全体の飲食店に普及させた場合の、生ごみ、廃食用油、廃プラの分別・再資源化システムの LCA を実施した。

第 7 章では、本研究で得られた知見を総括するとともに、残された課題などについて述べた。

## 論文審査の結果の要旨

食品リサイクル法の2001年施行後、食品産業から発生する食品廃棄物の再生利用率は徐々に向上しているが、食品廃棄物全体の57%を占める家庭から排出される食品廃棄物は、ほとんどが焼却されているのが現状である。家庭系食品廃棄物の再資源化を促進するためには、再資源化システムを構成する要素技術の開発・改善、社会システムの制度設計とともに、それらの環境面の評価情報が必要である。本研究は、主に都市部の食品廃棄物を中心に、集合住宅や外食産業を対象とした食品廃棄物の再資源化システム導入の評価や、その都市域全体への拡大推計について、ライフサイクルアセスメント（LCA）を用いて現状の焼却処理と比較することで、環境負荷削減効果を評価した。

本論文は、全7章で構成される。第1章では、本論文の目的及び枠組みについて述べている。第2章では、食品廃棄物及び食品包装材の再資源化のLCAに関する既往研究のレビューを行い、実際の社会実験をもとにした評価研究が限定的であることを指摘している。第3章では、集合住宅に生ごみ処理機を設置した生ごみ分別・再資源化の社会実験をベースに、その結果と従来型の家庭系一般廃棄物の焼却処理との比較分析を通じて、再資源化システムの環境負荷削減効果を評価している。さらに、都市域の集合住宅全体を想定した拡大推計についても実施している。第4章では、集合住宅を1棟あたり世帯数で分類した上で、生ごみ処理機の処理効率と稼働効率が評価結果に与える影響について感度分析を実施している。その結果、稼働効率が評価結果に与える影響が大きいことを明らかにしている。第5章では、様々な都市規模を想定して、家庭の生ごみの分別・再資源化の導入効果について、従来型のシステムと比較分析している。第6章では、外食産業から排出された生ごみの堆肥化と、廃食用油・廃プラの油化を想定し、この再資源化システムの環境負荷削減効果を評価し、都市全域への拡大推計も実施している。第7章は、本研究の総括である。

以上要するに、本論文は都市の家庭や外食産業から発生する食品廃棄物を対象として、その再資源化システムを導入した場合の環境負荷削減効果をLCAにより評価し、従来型システムより優位となる条件等について明らかにしたものである。本研究の分析結果は、廃棄物の再資源化システムの評価手法及びそこから得られた含意の新規性・有用性において高く評価され、環境システム工学上寄与するところが多い。

よって本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。

フリガナ 氏名（本籍）	ヨク ソ ショウ 谷 祖松（中国）
学位の種類	博士（工学）
学位番号	甲第63号
学位授与年月日	平成25年3月23日
学位授与の要件	学位規則 第4条 第1項 該当
学位論文題目	バイオメカニズム応用ロボットに関する研究
論文審査委員	主 査 山本 郁夫 （北九州市立大学国際環境工学部教授 博士（工学）） 審査委員 松本 紘美 （北九州市立大学国際環境工学部教授 工学博士） 審査委員 吉山 定見 （北九州市立大学国際環境工学部教授 博士（工学）） 審査委員 野上 敦嗣 （北九州市立大学国際環境工学部教授 工学博士）

## 論文内容の要旨

バイオメカニズムとは人間を含む生物の形態・運動・情報および機能との関係を、工学や医学・生物学などのさまざまな方法論で解析し、その応用を図る学問分野である。近年バイオメカニズムを開発し様々な分野に活かそうとする動きが活発である。本研究ではバイオメカニズムに基づくシステムを開発し、魚ロボットの基礎研究を通して、医療分野での柔軟把持可能な医療用ロボットの研究を行う。

本研究は、バイオメカニズムに基づき弾性振動翼システムを開発した。バイオメカニズム応用の水中型ロボットの開発については、魚ロボットの開発において柔軟な振動フィンを持ち静かに泳ぐことができるタイ型ロボットと、二枚の弾性体の位相差によって柔らかく、滑らかに強い推進力を発生させることができるマンタ型ロボットと、尾ビレと胸ビレの機構を備え、高い操縦性を実現できるシノノメサカタザメ型ロボットの開発の基礎研究を行い、得られた知見に基づき医療用ロボットの開発を行った。

外科手術用鉗子ロボットの開発では把持部に弾性振動翼システムを応用した腸鉗子の役目を果たす医療用ロボットハンドが、臓器を柔軟に掴んでいるかの検証を行うため、プッシュプルゲージによる荷重測定と ANSYS による解析を行った。従来鉗子と新型鉗子について、把持圧力と把持力を測定した。新型鉗子は従来鉗子に比べ把持圧力を約 60%低減できることが明らかとなった(平均値: 従来鉗子 32.2N, 新型鉗子 12.9N)。新型鉗子は把持部中央で 7mm の間隙があっても荷重がほとんど変化していなく把持力を一定に維持でき、外科手術として用いることができる。人間の小腸と特性が似ている豚の小腸を用いて、新型鉗子で把持実験を行った。解析は実験と非常に近いデータを得られた。研究の結果、把持する臓器の形状に応じて、把持部が変形することによって臓器等の対象物を均一に柔らかかな力で固定可能な新型鉗子を開発することができた。

更に新たな介助ロボットを提案し設計を行った。介助される側(自立・身体動作の支援)と介助する側(介護の負担軽減, 人手不足の解消)の問題の解決に役に立つことが期待される。

本研究を通じて、バイオメカニズム応用の弾性振動翼システムは医療分野と海洋分野を中心に様々な分野へ応用可能であると分かった。

## 論文審査の結果の要旨

バイオメカニズムとは人間を含む生物の形態・運動・情報および機能との関係を、工学や医学・生物学などのさまざまな方法論で解析し、その応用を図る学問分野である。近年バイオメカニズムを開発し様々な分野に活かそうとする動きが活発である。本研究ではバイオメカニズムに基づくシステムを開発し、魚ロボットの基礎研究を通して、医療分野での柔軟把持可能な医療用ロボットの研究を行う。

本研究は、バイオメカニズムに基づき弾性振動翼システムを開発した。バイオメカニズム応用の水中型ロボットの開発については、尾ビレと胸ビレの機構を備え、高い操縦性を実現できるシノノメサカタザメ型ロボットの開発の基礎研究を行い、得られた知見に基づき医療用ロボットの開発を行った。

医療用ロボットである外科手術用鉗子ロボットの開発では把持部に弾性振動翼システムを応用した腸鉗子の役目を果たす医療用ロボットハンドが、臓器を柔軟に掴んでいるかの検証を行うため、プッシュプルゲージによる荷重測定とANSYSによる解析を行った。従来鉗子と新型鉗子について、把持圧力と把持力を測定した。新型鉗子は従来鉗子に比べ把持圧力を約60%低減できることが明らかとなった(平均値：従来鉗子 32.2N, 新型鉗子 12.9N)。新型鉗子は把持部中央で7mmの間隙があっても荷重がほとんど変化していなく把持力を一定に維持でき、外科手術として用いることができる。人間の小腸と特性が似ている豚の小腸を用いて、新型鉗子で把持実験を行った。解析は実験と非常に近いデータを得られた。研究の結果、把持する臓器の形状に応じて、把持部が変形することによって臓器等の対象物を均一に柔らかな力で固定可能な新型鉗子を開発することができた。

また、新たな介助ロボットを提案し設計を行った。介助される側(自立・身体動作の支援)と介助する側(介護の負担軽減, 人手不足の解消)の問題の解決に役に立つことが期待される。

本研究を通じて、バイオメカニズム応用の弾性振動翼システムは医療分野と海洋分野を中心に様々な分野へ応用可能であるとわかった。さらに、本人が筆頭著者として発表した国際学術誌論文・査読付国際会議論文の数も学位取得基準を満たしており、予備審査会および博士論文公聴会においても、機械システム工学など、様々な分野からの質問に対して的確に返答が出来た。よって本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。

フリガナ 氏名（本籍）	オカダ アキヒコ 岡田 明彦（石川）
学位の種類	博士（工学）
学位番号	乙 第8号
学位授与年月日	平成25年3月23日
学位授与の要件	学位規則 第4条 第1項 該当
学位論文題目	NMR法を用いた生体高分子と合成高分子の精密構造解析
論文審査委員	主 査 櫻井 和朗 （北九州市立大学国際環境工学部教授 理学博士） 審査委員 朝見 賢二 （北九州市立大学国際環境工学部教授 工学博士） 審査委員 秋葉 勇 （北九州市立大学国際環境工学部教授 博士（工学）） 審査委員 高巢 幸二 （北九州市立大学国際環境工学部准教授 工学博士）

## 論文内容の要旨

未知の有機化合物の化学構造や立体構造の解析に有効な核磁気共鳴 (NMR) 法を、高分子の精密構造解析 (末端などマイナー成分の構造解析や、溶液中での立体構造解析) に適用するための方法論の確立と応用をおこなった。研究内容は、①高分子のNMRスペクトルの中で注目するマイナーなピークの強調方法の確立、② $^{13}\text{C}$ 標識化合物の導入と標識体の解析に適したNMR測定方法の開発、③高分子量体に見られるNMRピークの幅広化の抑制、④Transferred核オーバーハウザー効果 (TrNOE) を距離情報として用いた、ペプチドの脂質二重膜結合状態における立体構造解析方法の確立である。

本研究で確立した手法を応用し、①2種類の新規天然有機化合物 (Eucamalol, Calyculin E and F) の立体構造を含めた構造決定をおこなった。②非相溶系ポリマーアロイである、PPE-PAアロイの界面に存在するPPEとPAの共重合体の構造を初めて解析した。PPE-PAアロイは相容化剤として無水マレイン酸 (MAH) を用い、ポリフェニレンエーテル (PPE) をポリアミド (PA) の中にミクロン単位で分散させたポリマーアロイである。本研究ではPPEの末端にMAHが結合した構造、さらにPPEとPAがMAHを介して結合した構造、ともにポリマーに対し 0.1%オーダーしか含まれていない構造を解析した。③TROSY法を用いた $^{13}\text{C}$ 非標識フルオレンの高分解能測定を初めておこなった。600 ~ 900 MHzの磁場において種々の分子量を持つフルオレンのTROSY測定をおこない、TROSYで観測されるNMRピークの線幅は分子量にほとんど依存しないことを明らかにした。④2種類の生理活性ペプチド (Mastoparan-X, Melittin) の脂質二重膜結合状態における立体構造をTrNOEにより初めて解析した。両者とも脂質二重膜に結合した状態で $\alpha$ ヘリックスをとるが、Melittinの場合は結晶中の構造とは異なる構造をとることがわかった。

本研究により、NMRの高い構造解析能力を高分子の精密な構造解析に適用可能となり、よりいっそう高機能・高活性の高分子の研究・開発が進展すると期待される。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、未知の有機化合物の化学構造や立体構造の解析に有効な核磁気共鳴（NMR）法を、生体高分子や合成高分子の精密構造解析、特に末端などマイナー成分の構造解析や、溶液中での立体構造解析に適用するための方法論の確立と応用をまとめたものである。NMRの微小なシグナルを取り出す方法やプログラムを自ら考案し、それを実際の系に応用している。

具体的には、環境に優しい農薬の候補物質として、2種類の新規天然有機化合物である Eucamalol, Calyculin の E 型と F 型の立体構造を含めた構造決定をおこなった。また、NMR がさらに困難な高分子系に適用して、非相溶系ポリマーアロイである PPE-PA アロイの界面に存在する PPE と PA の共重合体の構造を初めて解析した。また、TROSY 法を用いた  $^{13}\text{C}$  非標識フルオレンの高分解能測定を世界で初めておこなった。この技術を応用して、有機太陽電池や液晶に代わる表示素子として開発が進んでいる高分子フルオレンに関して、シグナルの強度が分子量に依存しない方法を考案した。さらに、2種類の生理活性ペプチド Mastoparan-X と Melittin に関して、脂質二重膜結合状態における立体構造を TrNOE と呼ばれる手法により初めて解析した。両者とも脂質二重膜に結合した状態で  $\alpha$  ヘリックスをとるが、Melittin の場合は結晶中の構造とは異なる構造をとることが世界で初めて解明した。

本研究により、NMR の高い構造解析能力を高分子の精密な構造解析に適用可能となり、よりいっそう高機能・高活性の高分子の研究・開発が進展すると期待される。よって本論文の著者は博士（工学）の学位を受ける資格があると認めらる。

フリガナ 氏名（本籍）	ミズイ マサヒコ 水井 雅彦（福岡）
学位の種類	博士（工学）
学位番号	乙 第9号
学位授与年月日	平成25年3月23日
学位授与の要件	学位規則 第4条 第1項 該当
学位論文題目	小型マルチロータ無人航空機開発に関する研究
論文審査委員	主 査 山本 郁夫 （北九州市立大学国際環境工学部教授 博士（工学）） 審査委員 清田 高德 （北九州市立大学国際環境工学部教授 博士（工学）） 審査委員 宮里 義昭 （北九州市立大学国際環境工学部教授 博士（工学）） 審査委員 河野 智謙 （北九州市立大学国際環境工学部准教授 博士（農学））

## 論文内容の要旨

人間の視覚を拡張することで実現する利便性は多く存在する。例えば、無人航空機 (UAV) に HD カメラや各種センサを搭載し、巨大なアーチ橋や高圧送電線の確認したい箇所へ自由に近づくことができれば、足場を組まずに簡易的な機器点検を迅速に行うことができる。マルチロータ UAV の機体には、プロペラやモータ等で構成されるロータ部が複数搭載される。このロータ部を制御し空中での移動や静止を実現する。空中撮影した画像情報を基に点検を行えば、作業速度向上と点検費用の低減が望める。

本研究では、全幅 1m・重量 1kg 程度の小型マルチロータ UAV を構築する。三次元 CAD で設計した部品データの出力手段として、ラピッドプロトタイピングに着目した。積層型樹脂造形機(3D プリンタ)は、金型を使わず部品造形を行う。アクリルや木材の薄板による骨格やフレーム切出しのため、低出力レーザ加工機を開発した。これらの加工機は、数値制御による工具送りの応用により低コストで実現した。また部品表面の自動研磨を行う超音波振動を援用した自動研磨装置を開発した。

マルチロータ UAV は飛行状態を計測する各種センサを搭載し、飛行安定化を実現する。ロータで発生する振動はセンサに影響を与える。この振動の主原因であるプロペラブレード毎の重量差である。ロータから本体へ伝達する振動現象をレイリー法によりモデル化し、設計条件の変更による固有振動数の調整にて振動対策を行った。これにより各種センサの計測精度向上と、突発的な機体横転の対策を確認した。

本研究で開発したラピッドプロトタイピング手法は、設計アイデアを迅速に部品化する。レイリー法による振動モデル化は、設計時における飛行安定化の基盤技術として有用であることを確認した。

## 論文審査の結果の要旨

人間の視覚を拡張することで実現する利便性は多くある。例えば、無人航空機 (UAV) にカメラや各種センサを搭載し、巨大なアーチ橋や高圧送電線の任意の箇所に近づくことができれば、足場を組まずに簡易的な機器点検を迅速に行うことができる。マルチロータ型 UAV は推力を発生するプロペラやモータ等で構成されるロータ部を機体に複数搭載し、空中での移動や静止を実現する。自由に視点を変更して撮影した画像情報を基に予備点検が行えれば、作業速度向上と点検費用の低減が望める。

本研究では、全幅 1m・重量 1kg 程度の小型マルチロータ無人航空機を構築する。この実現に三次元 CAD で設計した部品データの出力先として、ラピッドプロトタイピング手段が必要となる。そこで積層型樹脂造形機を構築し、金型を用いない樹脂部品製造を可能とした。安価で軽量の樹脂部品をジャストインタイム生産する。小型無人航空機の骨格やフレーム製作のため、アクリルやベニヤ板を高精度で切断する低出力レーザー加工機を開発した。これは積層型樹脂造形部品形機の工具送り制御を応用することで、低コストでの開発を実現した。また製作した部品表面の自動研磨を想定し、遊離砥粒へ超音波振動を援用した自動研磨装置を開発した。3 軸直交ロボットによる工具送り、6 軸力覚センサによる工具押付け力の制御が可能となる。

本研究で開発した小型無人航空機は、飛行状態を計測する各種センサによる飛行安定化を実装する。更なる飛行安定化のため、ロータ系の振動によるセンサの影響を調査した。ロータ系振動の主な原因としてプロペラ翼ごとの重量バランスに着目し、梁から本体へ伝達する振動現象のモデル化を行った。このモデルにより梁の設計条件を変更することで固有振動数を任意に設定し、振動対策を行った。これにより UAV 運用での、各種センサ計測精度向上を実現した。本研究で開発した視点拡張のための手段を展開し、陸・海・空・宇宙などのフィールドにて知りたい情報を得るための手段を実現できる。

本人が本研究関係で発表した学術誌論文・査読付国際論文の数も学位取得基準を満たしており、さらに、予備審査会および博士論文公聴会において、機械工学、システム工学、電気工学、情報工学など、様々な分野からの質問に対して的確に返答できた。

よって本論文の著者は博士 (工学) の学位を受ける資格があるものと認める。

博士学位論文 内容の要旨および審査結果の要旨  
第14号（平成25年3月授与）

発行日 平成25年5月  
編集・発行 北九州市立大学 学務第二課  
〒808-0135  
北九州市若松区ひびきの1-1  
TEL 093-695-3330