

文部科学省 私立大学戦略的研究基盤形成支援事業
「環境保全と健全生活のための先端バイオテクノロジーの統合的研究」

平成 24 年度研究成果報告・概要版

1. 私立大学戦略的研究基盤形成支援事業「環境保全と健全生活のための先端バイオテクノロジーの統合的研究」の目的

本研究プロジェクトで取り組む研究分野は、人間個人および人間社会の福祉のために必須とされる環境保全および人体機能障害を補償するための生物・生体工学の融合学術領域分野である。本プロジェクトでは、これまで個別になされてきたこれらの学術研究をインテグレートし、さらに最先端レベルの研究成果として集成することによって、多様な環境問題を解決する科学技術である「環境保全バイオテクノロジー」と、健全生活の基盤技術となる「生体センシングテクノロジー」および「人体機能コンペンセーションテクノロジー」の学術研究基盤を確立することを目的としている。

2. 私立大学戦略的研究基盤形成支援事業「環境保全と健全生活のための先端バイオテクノロジーの統合的研究」の研究実施の概要

2. 1 本研究の全研究期間を通しての実施概要

本研究事業では、人類の生存基盤である地球環境と実際に人間生活が営まれている地域環境を健全に保全するために必要な技術の開発と、人間の福祉の増進に不可欠な健全生活を保障する人体の機能的障害を克服するための技術の開発に取り組んでいる。本研究プロジェクト全体として対象としている研究分野は、人間個人および人間社会の福祉のために必須とされる環境保全および人体機能障害を補償するための生物・生体工学の融合学術領域分野である。本プロジェクトでは、これまで個別になされてきたこれらの学術研究をインテグレートし、さらに最先端レベルの研究成果として集成することによって、多様な環境問題を解決する科学技術である「環境保全バイオテクノロジー」と、健全生活の基盤技術となる「生体センシングテクノロジー」および「人体機能コンペンセーションテクノロジー」の学術研究基盤を確立する研究事業を展開している。

社会の発展に貢献する特色のある高度学術研究拠点を創成することを目的として、本研究事業の初年度においては、既存施設においてプロジェクト研究を実施することにより、「環境保全バイオテクノロジー」「生体センシングテクノロジー」および「人体機能コンペンセーションテクノロジー」の新規研究課題に着手した。また、本研究プロジェクトの目標とする学術研究基盤を構築するための拠点となる研究施設として、「バイオテクノロジー・リサーチ・コモン」棟を初年度において建設した。2年度以降は、研究基盤の形成に必要な研究設備等の整備を行うとともに、環境汚染および環境リスクの生物機能を活用したセンシング技術の開発と環境保全のためのバイオテクノロジーの開発、人体信号の計測センサ技術の開発、人体の力学的動作機構の解析とヒトの感覚・感

性機能の解明による工学的補償技術の開発、等の研究を行ってきた。特に、清浄環境の維持に必用な新規バイオ浄化技術を確立する研究、生体組織の電気的および機構的特性を解明する研究、健全生活に必要な人体機能障害の電子機械的補償システムを開発する研究を実施してきている。研究プロジェクトの最終年度である平成 25 年度においては、人間の生活環境の質的保証と人間の健全生活に必要なバイオテクノロジーの科学技術知情報をさらに集積するとともに、研究成果の取りまとめと公表によって自己点検し、本プロジェクトによる科学技術研究基盤形成の達成度を評価する。本研究プロジェクトで取り上げた生物・生体工学の融合学術領域分野の今後の展開に必要な課題の整理を行うことにしている。

2. 2 平成 24 年度における研究の実施概要

これまでに整備された研究施設および研究設備を駆使して下記に示す 3 つの研究課題に取り組み、地球的環境問題の生物機能を活用した防止技術および環境汚染の生物による浄化技術の開発、人間が発する電気的微弱シグナルの検出および感覚・感性機能の工学的解明、人間動作の特性解析と動作機能の機械的補償等に関する研究を行った。それらの研究の成果として、地球温暖化防止と清浄環境の維持に必要な新規バイオ浄化技術の研究、生体組織の電気的および機構的特性を解明する研究、健全生活に必要な人体機能障害の機械的補償システムおよびそのための材料を開発する各研究において、新しい研究成果を得ることができた。それらの詳細については、「5. 各研究課題ごとの研究成果の概要」を参照いただきたい。

平成 24 年度に実施した研究の概要を以下に示す。

<環境保全バイオテクノロジーの研究>

本研究課題では、平成 24 年度において以下の 4 つのテーマの研究を実施した。

- i) 重金属および有機塩素化合物による環境汚染の生物による浄化技術の開発に関する研究
- ii) 温室効果ガスである亜酸化窒素の発生量を削減することに寄与する硝化脱窒に関与する有用微生物および有用遺伝子の単離・解析と、それらの有用微生物の活用技術の確立に関する研究
- iii) 汚染環境の浄化を目的として環境中に放出した特定の細菌のモニタリングと、他の生物による捕食の回避方法の確立に関する研究
- iv) 東日本大震災における津波汚染環境の生物による浄化技術の開発に関する研究

<生体センシングテクノロジーの研究>

本研究課題では、平成 24 年度において以下の 2 つのテーマの研究を実施した。

- i) 人体組織が発生する微弱電磁信号等のセンシング技術とそれに必要なセンサ素子の開発に関する研究
- ii) 中枢神経系の作動状態のセンシングおよび行動生理量とヒトの感性活動との関連解明に関する研究

＜人体機能コンペンセーションテクノロジーの研究＞

本研究課題では、平成 24 年度においては以下の 3 つのテーマの研究を実施した。

- i) 動的物体操作に対する手部運動制御の解析に関する研究
- ii) 道具を使用可能な生活補助ロボット実現に向けた知覚システムの構築に関する研究
- iii) 生態補填材料としてのナノ粒子の環境・健康影響等に関する研究

なお、平成 24 年度においては、国外研究協力者 2 名及び国内研究協力者 2 名を招聘して関連研究に関する講演と、研究分担者による各研究課題ごとの本プロジェクトにおける研究成果を発表してもらうために、「公開シンポジウム」を開催した。この公開シンポジウムには本学のみならず本学外からも多くの参加者があり、本研究事業の成果およびその社会への情報公開を行うことができた。

上記に加えて、平成 24 年度においても平成 22 年度および平成 23 年度に引き続き学内における「第 3 回研究事業研究発表会」を開催し、この研究事業に関係している研究分担者、特別研究員、学生の間で情報交換を行うとともに、研究事業関係者以外にも研究発表会の開催を通知し本研究事業に関心を持つ本学関係者にも研究成果を公開した。また、平成 22 年度および平成 23 年度に引き続き、仙台圏の中学生・高校生を対象とする「第 3 回公開講習会（バイオ広場実験セミナー）」を開催し、青少年を対象とする実験を通して科学技術としての「バイオテクノロジー」のおもしろさを知ってもらうための機会を提供した。

3. 研究課題ごとの研究成果の概要

3. 1 環境保全バイオテクノロジーの成果概要

環境保全バイオテクノロジーの研究課題においては、大きく分けて 4 つのテーマの研究をおこなった。

(1) 重金属および有機塩素化合物による環境汚染の生物による浄化技術の開発

重金属および有機塩素化合物による環境汚染のバイオ浄化技術の開発に関する研究では、汚染物質分解菌の遺伝子構造および転写制御機構の解析、分解菌を利用した浄化システムの構築、植物を利用した汚染土壌浄化の実証試験をおこなった。PCB 分解菌 *Rhodococcus jostii* RHA1 にカテコール分解遺伝子を導入することで、ビフェニルを分解する際に生産され、転写抑制の原因となるカテコールが速やかに分解され、分解遺伝子群の転写抑制が解除されることを明らかにした。また、ヒ素高度耐性菌 *Rhodococcus erythropolis* IAM1399 のもつ 2 種類のヒ素耐性遺伝子群が、共に本菌のヒ素耐性能に関与していることを明らかにした。水銀耐性菌に関しては、耐性菌を固定化したビーズを作製する際の最適条件を検討した。

(2) 温室効果ガスである亜酸化窒素の発生量を削減することに寄与する硝化脱窒に関与する有用微生物および有用遺伝子の単離・解析と、それらの有用微生物の活用技術の確立

温室効果ガス発生削減の研究に関しては、これまで酸素存在下においても脱窒活性を失わない菌株である TR2 株の解析をおこなってきたが、本菌は污水处理システムへの導入の際の脆弱性が懸念されたため、リアクター中の活性汚泥を分離源として、TR2 株と同様の性質をもつ脱窒細菌 20 株と、酸素存在下における脱窒能力が未知である脱窒細菌 3 株を単離した。これらの単離脱窒細菌のほとんどは *Ochrobactrum* 属の脱窒細菌と近縁であった。コンポスト製造過程における N_2O の発生抑制については、定量 PCR を用いた実験から、 N_2O 還元酵素タンパク質をコードする *nosZ* 遺伝子の存在量（コピー数）は堆肥表面部の方が堆肥内部より大きいということが明らかになり、堆肥表面部は堆肥内部よりも N_2O 還元能を有する *nosZ* 保有細菌の数が多いということが明らかとなった。また、複数の *nosZ* 増幅用プライマーを用いた PCR 解析の結果より、コンポスト中の *nosZ* 遺伝子、およびそれらを持つ脱窒細菌の種が多様であることが知られたとともに、用いるプライマーの種類がクローニング解析結果に大きく影響することが明らかになった。

(3) 汚染環境の浄化を目的として環境中に放出した特定の細菌のモニタリングと、他の生物による捕食の回避方法の確立に関する研究

特定細菌を環境中に放出した際の挙動についての解析では、本年度はまず、環境中に生息する細菌捕食性の原生動物を、河川水を中心に解析した。その結果、被食者として用いた細菌種や原生動物の供給源として用いた環境サンプルによらず、多くのケースで *Chrysophyceae* に分類される鞭毛中が捕食者として出現した。このことから、本系統の原生動物が自然界の捕食者として主要な役割を担っていることが示唆された。また、環境中に放出した細菌をモニタリングするため、トリクロロエチレン分解菌 *Cupriavidus* sp. TW2 株に GFP 遺伝子を導入し、蛍光顕微鏡下での観察を可能にした。さらに、細菌に捕食回避能を与えると考えられるバイオラセイン合成遺伝子群を *Chromobacterium violaceum* JCM1249 株から大腸菌を用いてクローニングした。

(4) 東日本大震災における津波汚染環境の生物による浄化技術の開発に関する研究

津波汚染地域のヒ素汚染浄化のために、モエジマシダを用いたファイトエキストラクションを適用することとし、5 月から 11 月にかけて実証試験をおこない、その有効性を確認した。今回の試験によって、根茎へのヒ素の蓄積という、モエジマシダのヒ素蓄積機構に関して新たな知見が明らかとなった。また、根圏に存在する亜硫酸酸化細菌群のモエジマシダによるヒ素取り込みへの関与の可能性が示唆された。

3. 2 生体センシングテクノロジーの成果概要

本研究課題では生体センシングテクノロジーの関連技術として、磁界を媒体とする生体用センシング技術の開発、生体情報センシングに基づく中枢神経系における感覚情報処理機能の解明を実施した。それらの研究成果の概要は以下の通りである。

(1) 人体組織が発生する微弱電磁信号等のセンシング技術とそれに必要なセンサ素子の開発に関する研究

薄膜磁界センサを開発し、健常者心磁界を9点～16点で計測した。SQUIDによる先行研究と比較して合理的な結果が得られた。また磁歪振動型の細長磁気マーカおよび高速サンプリングADコンバータとFPGAボードを組み合わせた高速磁気モーションキャプチャシステムを開発し、人体模型を用いて生体内挿入チューブ位置を検出した。

(2) 中枢神経系の作動状態のセンシングおよび行動生理量とヒトの感性活動との関連解明に関する研究

視覚要因に関わる大脳の感覚情報処理について検討し、空間周波数等の物理パラメータが、認知活動に伴う自発脳波の変動に影響を与えていることが示唆された。また聴覚要因に関わる感覚情報処理について、変調音が言語性課題遂行に伴う文字の情報処理過程に関わる大脳神経活動に差違を与えることが示唆された。

3. 3 人体機能コンペンセーションテクノロジーの成果概要

本研究課題では、生体信号の計測や知覚行動の観察を通して人の運動機能や学習機能等を解析し、その成果を基に人体機能の健常化や知的な支援活動を行う工学的技術の確立を目指す研究をおこなった。また、それら人体機能補償や日常活動支援機器の構成材料として期待されるナノ材料について、人体の健康への影響等について検討をおこなった。本年度は、上記のテーマに関連した研究を行い、以下のような成果を得た。

(1) 動的物体操作に対する手部運動制御の解析

動的な物体操作時における手指皮膚表面の柔軟特性の影響を考察するためにボール投げ運動における手指上でのボール運動の解析を行った。手部上でのボールの転がり運動モデルを構築し、接触部からの影響項を推定した。その結果、ボール後方の接触部から転がりを促進する作用が確認された。また、各指リンクの起伏形状と関係すると思われる促進作用の増減も確認された。これらの結果から、柔軟被覆を予定する義手システムによる物体操作において、その柔軟性による面接触の影響を考慮した制御則の必要性が示唆された。

(2) 道具を使用可能な生活補助ロボット実現に向けた知覚システムの構築

提案したロボットの知覚モデルの汎用性と実用性に関する評価を行なった。まず、探索行動の学習モデルの汎用性を検証するため、複数の未知物体の識別特性についてのシミュレーション実験を行なった。その結果、形状の類似性を反映した特徴量の識別分布が得られることを確認した。次に、学習によって得た探索行動アルゴリズムを小型移動ロボットに実装し、その行動の確認を行なった。異なる形状を有する物体を提示し、その探索行動を確認したところ、シミュレーションによる探索行動と同様の行動が確認された。この結果から、実環境下でも有効な探索行動の獲得が可能な方法であることが確認された。

（３）ナノ粒子の環境・健康影響等に関する研究

カーボン薄膜から Ni ナノ粒子を成長させる実験を行い、成長過程においてカーボン材料の構造に変化が生じることを確認した。また、Au や Pd などの他の金属との実験的比較から、カーボン材料の構造変化は、ナノ粒子の固相反応によるものであることを明らかにした。さらに、Pt, Pd, Co, Au, Al などの金属ナノ粒子は酸化ケイ素と組み合わせることで、ホイスカーと呼ばれる細長い形態の成長を生じることを実験により確認した。このことは、粉塵等の金属ナノ粒子が回路上の絶縁材料に付着し、ショートを引き起こす危険性や健康影響を引き起こす可能性を示している。