

## 審査の結果の要旨

氏名 照月 大悟

本研究は、遺伝子工学的に昆虫嗅覚受容体を発現した Sf21 昆虫培養細胞、すなわち「センサ細胞」の匂い応答を FET によって電氣的に検出するインターフェースの設計と応答検出、そしてウルトラファインバブルを用いた難水溶性有機化合物の溶解技術の確立を行うことで、これまでに構築されていなかった高機能バイオハイブリッド匂いセンサシステムを提案したものである。本論文は全 7 章で構成されている。

第 1 章は「序論」であり、本研究の背景、目的、論文の構成が述べられている。

第 2 章は「センサ細胞の応答原理と蛍光計測」であり、匂い検出素子となる、昆虫嗅覚受容体を発現した昆虫培養細胞、すなわち「センサ細胞」の応答原理と特徴、そして蛍光計測方法について述べられている。

第 3 章は「電気信号による匂い応答検出デバイスの開発」であり、センサ細胞の匂い応答を電氣的に検出可能な FET デバイス開発と測定系の構築について記載されている。既存の汎用バイオセンシングシステムである BioCMOS テスターは、センサ細胞の匂い応答検出に適切ではなく、センサ細胞の応答検出を目的とした FET デバイス設計の必要性とその設計指針、そして実際に設計した伸長ゲート型 FET デバイスについて記載されている。また、蛍光計測による伸長ゲート電極上に接着したセンサ細胞の活性評価を行っている。

第 4 章は「電気信号による匂い応答検出」であり、第 3 章で設計した FET デバイスを用いた、センサ細胞の匂い応答の電気信号による検出結果について記載されている。本章では、センサ細胞の匂い応答を FET デバイスによって電気信号として初めて検出し、その結果は過去の蛍光計測の選択性と一致したことが述べられている。また、ノイズを低減する測定系への改良により、電気計測は蛍光計測を超える感度を得られることが示唆されている。従来問題とされてきた、FET の電極が非選択的に匂い物質に応答する問題についても、改善方法の提案と考察がなされている。本章で確立した匂いセンサは OSFET (Odor-Sensitive Field Effect Transistor) として提案され、特許出願がなされている。

第5章は「細胞-デバイス界面の観察と分析」であり、センサ細胞とデバイス界面の観察・分析結果について論じられている。センサ細胞-デバイス界面の断面試料作成と画像分析により、昆虫嗅覚受容体を発現した Sf21 細胞は、先行研究で報告された他種の細胞より明確に短い距離で接着していたことが述べられている。この結果より、昆虫嗅覚受容体を発現した Sf21 細胞は他種の細胞で報告されている focal adhesion とは異なるメカニズムで電極上に接着していることが考察されている。また、応答検出モデルの構築を行い、センサ細胞と FET デバイスはキャパシティブカップリングによって結合し、イオン感応膜を備えた ISFET でなくとも応答が検出可能であることが示唆されている。

第6章は「気中の匂い物質の高効率な溶解技術の開発」であり、ウルトラファインバブルを用いた気中の難水溶性有機化合物の溶解技術の構築について述べられている。超音波ノズルから噴霧したウルトラファインバブルを含有する液体ミストによって、難水溶性の匂い物質である 1-octen-3-ol を、短時間で高濃度に蒸留水中に溶解可能であることを示している。

第7章は「結論」であり、本研究のまとめと貢献について記載されている。

本研究は、匂いセンサ開発における諸問題の中でも極めて重要な位置を占める、多様な匂いターゲットを高感度かつ選択的に検出可能な匂いセンサの開発と、気中の匂い物質の溶解技術の2点を課題として取り組んだ。1点目については、伸長ゲート型 FET で構成される電気信号検出インターフェースを構築して応答検出に成功し、匂いセンサの感度・選択性・安定性を検証した。2点目については、ウルトラファインバブルを含有する液体ミストを噴霧することで揮発した難水溶性有機化合物を高効率に溶解可能であることを確認し、手法の有効性を実証した。本研究は、工学、生物学、化学を含む、生体材料を利用したバイオハイブリッド型匂いセンサの研究に貢献している。また、学術的観点のみならず、疾病に関わる匂い物質やセキュリティ分野における危険物質の検出、食品や飲料水に含まれるカビ臭の検出など、幅広い産業分野への応用が期待される。本研究は、昆虫の持つ機能を引き出して工学技術と融合することで、高機能バイオハイブリッド匂いセンサシステムの構築に貢献した、真に学際的な研究であると判断される。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。