

研究課題別中間評価結果

1. 研究課題名: 超分散マイクロアクティブセンシング

2. 研究代表者: 橋本 浩一 (東北大学 大学院情報科学研究科 教授)

3. 研究概要:

本研究の目的は、多数の微生物を情報処理機構と結合することで微生物の運動の制御、体内センサの利用を可能にし、柔軟かつ多様なセンシング機能を提供する大規模分散アクティブセンシングシステムを実現することである。

従来のMEMS技術では、システムの状態をセンシングすることが困難でありフィードバック制御がうまく機能しない。一方、微生物は細胞内にセンサやアクチュエータを内蔵する非常に優れたマイクロマシンであるため、何らかの方法で多数の微生物の運動を制御し、微生物の体内センサの状態を観測することが出来れば、あらゆる場所にセンサを配置することが出来、環境に働きかけながら計測することでセンサ能力の不足を補うことが可能になる。

超分散マイクロアクティブセンシングシステムを実現するためには、機械工学、制御工学、光学、分子生物学、物理学の方法を総合的に用いることが必要である。SORST における研究では、さきがけ研究で得られた知見をもとに、ゾウリムシをモデル生物として、刺激に対する挙動解析・モデリング等を実施し、将来につながる大きな成果を上げている。以下それらの要点をまとめる。

3-1 微生物内部の反応の数理モデル

a. 微生物の運動の制御

ゾウリムシに機械刺激を与えるためシリコンオイルで囲まれたメチルセルローズ内にゾウリムシをトラップした。このときの体内の Ca^{2+} イオン濃度を可視化することにより、機械刺激に対する反応の可視化を行った。

b. 運動する微生物のトラッキング

運動するゾウリムシ1匹の形状を継続的に観測するのみならず、蛍光観察も同時に行える顕微鏡システムを開発した。そのシステムと蛍光試薬 Indol を用いて、運動するゾウリムシの細胞内 Ca^{2+} イオンを継続的に蛍光観察することに成功し、この細胞内 Ca^{2+} イオンの蛍光強度変化から機械刺激時刻を推定(センサ)することが出来た。ここで開発したトラッキング機能付き蛍光顕微鏡システムは、動く細胞の扱いにくさというライブセルイメージング分野における普遍的な問題を解決した初めての手法である。

3-2 微生物群の協調制御

相互作用を考慮したゾウリムシ群の運動モデルを構築した。このモデルを用いて、電位勾配中のゾウリムシ群の移動に関する集団平均座標の時間変化を求め、生物学実験の再現に成功した。

3-3 3次元トラッキングのための高速可変焦点レンズの開発

高速応答を実現する駆動原理と、実用的な収差量の可変屈折面である液体界面とを組み合わせることで、容量可変型可変焦点レンズを開発した。これを用い、微生物に光を当てた際に出来る干渉パターンを計測することで、自動焦点合わせが出来る画像処理アルゴリズムを開発した。

4. 中間評価結果

4-1. 研究の進捗状況と今後の見込み

刺激と反応の計測に必要な機器や解析方法を開発し、改良を重ねることで生物の体内センサの利用に関して着実な成果を得ている。電位のかかった状態で細胞内の状態変化を直接観測することに成功する等、大変興味深い成果が上げられている。

今後この成果を展開することで、動物や人間の各種刺激に対する生体反応が細胞内反応レベルで高速に計測可能となり、様々な分野への多大な貢献が期待される。

4-2. 研究成果の現状と今後の見込み

ビジュアルサーボ技術を基盤としたロックオン蛍光観察システムの構築等、微生物の体内センサを利用したセンシング機能を実現する超分散アクティブセンシングシステムの構築に向けて、独創的な成果を生み出した。また、微生物のアクチュエーションを組み合わせることによって、ゾウリムシの群れとしての反応モデルを提案する等、良い成果を上げている。

従来、蛍光顕微鏡による運動性を持った微生物の捕捉は困難であると考えられていたが、本技術の応用により更なる発展が期待される。

4-3. 総合的評価

ビジュアルサーボを基礎とした「ロックオン蛍光観察システム」は、生物分野における細胞運動の観測に関して、従来技術では可視化が困難であった対象も扱うことが可能である等、独創的で科学的・技術的インパクトを持つ成果である。

今後は補足技術の2次元から3次元への拡大に注力し、独創的かつ有効なシステムの完成が望まれる。そして、次期研究フェーズとしてこの成果を生物分野に提供し、生物研究者との協働による多様・広範な生物研究への実用展開が望まれる。