

4. 水中無線技術の研究開発と応用事例 ～「魚の健康診断」

ものづくり技術支援グループ

○村田政隆

東京海洋大学大学院 海洋科学技術研究科

青木絢裳, 呉海雲, 遠藤英明

1. はじめに

水中の無線技術はなかなか進捗しづらい研究開発分野だが、陸上利用での無線技術の快適性・利便性を考えれば、今後発展する可能性を秘めている。今回、バイオセンサによる魚のリアルタイムモニタリングの研究事例を交え、水中無線にかかわる取り組みについて紹介する。

北海道立工業技術センターでは、RFID や無線 LAN 等の陸上無線技術が盛んに開発利用されている一方で、水中では電磁波通信が不適當という概念が強かったことを背景に、水中環境での電磁波通信について実用性検証を行った。そして、図 1 に示すように簡便な微弱無線通信の試作機等の実験結果等をまとめ、平成 19 年度の研究成果発表会にて報告した。当時、水槽実験での水中物体の運動計測への応用等について試作検証等を行っていた中、平成 20 年 8 月、北海道新聞にバイオセンサと水中無線通信を利用した「泳ぐ魚の健康診断」という東京海洋大学の研究成果が掲載され、この記事が契機となり、現在、東京海洋大学との研究連携に至っている。

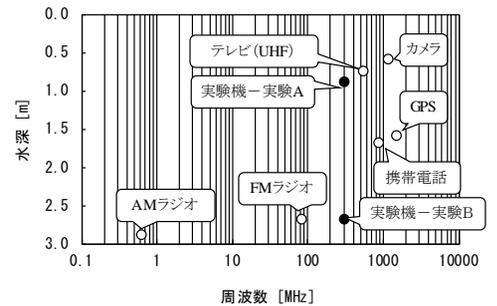


図 1 プール実験結果 (平成 19 年度成果: 再掲)

2. 魚の健康診断

2.1 バイオセンサ

世界的に食糧問題が懸念される中、水産業においては、養殖業の発展が注目されている。また、近年では畜産福祉の概念も生じ、養殖業では水温・給餌量等の飼育環境情報だけではなく、魚体内の生理学的状態に関する情報もますます重要になる。

魚はストレスを感じると血糖値が上がるため、グルコース(ブドウ糖)測定によって、魚のストレス応答の把握が可能であり、採血によって調べることもできる。バイオセンサは図 2 に示すように、主に電極と酵素で構成され、まず、酵素がグルコースを分解して過酸化水素水を生成する。そして、過酸化水素水と電極との電気化学反応によって生じた電子の移動を電流値として測定することで、採血操作をせずにグルコース濃度の変化をリアルタイムで測定することができる。なお、バイオセンサでは、電子の放出・吸収(酸化・還元反応)を行いやすくするため、電極にバイオセンサの酸化還元反応に適した電圧(電位差)を印加しておく必要がある。バイオセンサ及び採血法(従来法)による測定例を図 3 に示す。

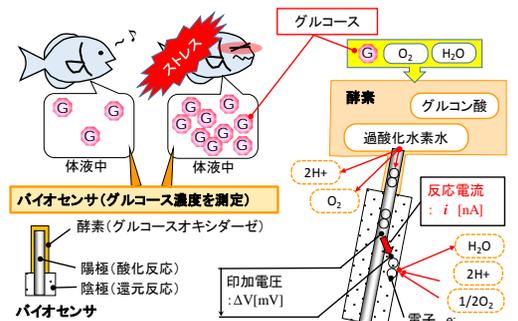


図 2 バイオセンサの基本イメージ

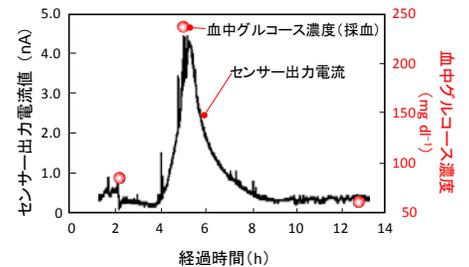


図 3 バイオセンサでのリアルタイム測定例 (海洋大)

2.2 淡水魚用送信機

バイオセンサの出力電流の測定値をパソコンで記録するための電波型の送信機を図 4 に示す構成にて試作した。バイオセンサで測定した nA オーダーの電流値を mV オーダーの電圧に変換し、A/D コンバータで電圧測定するシステムとした。電波の周波数帯には、淡水中での減衰やアンテナサイズ等を考慮した上で、入手性が良いシリアルデータ入出力タイプの 315MHz 帯のモジュ

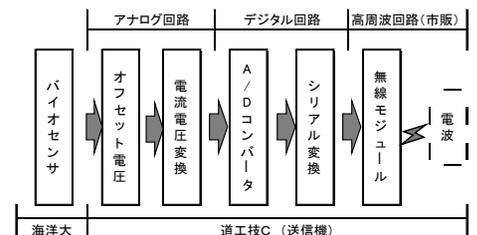


図 4 送信機ブロック図

ールを利用した。試供魚のティラピアに対し、魚類眼球外膜間質液 (EISF) へバイオセンサ装着した状態を図 5 に示す。

2.3 市販機器との相違点 (メディエータ型センサの研究)

試作した送信機により、バイオセンサに印加する電圧や電流電圧変換の変換率や測定間隔もオリジナル設定が可能となり、用途に応じた測定系構築の自由度が高められるようになった。環境依存性の高い魚体内の溶存酸素量(O_2)が変化すると、従来のバイオセンサが利用している酸化酵素の特性に影響を与え、測定値が変化する可能性があった。そこで、酵素-電極間の電子の移動を仲介する媒体(メディエータ)を用いて印加電圧を 350mV に下げることにより、溶存酸素濃度に影響され難いセンサを考案した。しかしながら、これまでの送信機の印加電圧は 650mV 固定のため、センサ構造を見直した印加電圧の異なるバイオセンサを開発してもワイヤレス化は困難であった。一方、今回開発した送信機は印加電圧の自由度が大きくなったため、メディエータタイプのバイオセンサにおいても、そのワイヤレス化を実現することができた。実験の結果、図 6 に示すように、メディエータ型バイオセンサの出力は、EISF 中のグルコース濃度と高い相関性が認められる結果を得た。

さらに、特定小電力無線型中継器の使用をも可能とする、図 7 に示すシステムとすることで、従来は水槽近傍でしかモニタリングできなかった環境を、100m 程度離れた場所での遠隔モニタリングも可能にした。

2.4 海水魚用送信機 (可視光通信化)

電波は海水での減衰が著しく、電波型送信機では海水魚に適用できない。そこで、電波よりも海水での減衰率が低い可視光によりワイヤレス化を図った。送信機には順方向電圧が低く低消費電力化に適した赤色 LED を用いた。また、受光部は、一般的な光電素子のフォトダイオードよりも感度が高いフォトマルが内蔵された浜松ホトニクス社製の光センサ(PMT)を用い、光学系に複合放物面型集光器(CPC)を用いるなど S/N 比向上を図った図 8 に示す構成とした。現在、図 9 に示す送受信機により、適用性検証を実施している。

3. おわりに

北海道立工業技術センターでは、今後も水中無線通信の要素技術について継続的に研究開発を進めていく予定である。一方、東京海洋大学では、グルコース測定だけではなく、コレステロールや乳酸等が測定可能なバイオセンサの開発、免疫磁性ビーズを利用した魚病原菌の検出や、魚の産卵時期を予測可能とするセンサシステムなど、魚類の健康診断にかかわる様々な研究開発を進めている。今後も東京海洋大学と水中無線通信等の技術連携を深め、新たな知見・成果を追及していきたいと考えており、連携により得られた成果をフィードバックしながら、水中無線通信技術の水中機器利用等、新たな研究開発分野への利活用を検討する予定である。

<参考文献>

- ・ M. Takase, M. Murata, K. Hibi, R. Huifeng, H. Endo :Development of mediator-type biosensor to wirelessly monitor whole cholesterol concentration in fish, Fish Physiol. Biochem. 40, 385-394 (2014)
- ・ M. Takase, E. Takahashi, M. Murata, H. Ohnuki, K. Hibi, H. Ren, H. Endo : Development of a biocompatible glucose biosensor for wireless and real time blood glucose monitoring of fish, Int. J. Environ. Anal. Chem. 93 125-139 (2013) 他

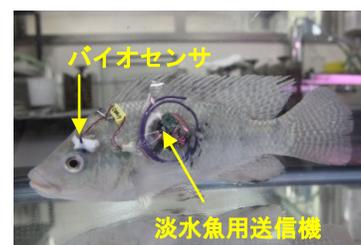


図 5 バイオセンサと淡水魚用送信機

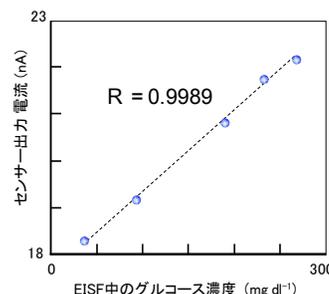


図 6 メディエータ型センサでの測定例 : 概略 (海洋大)



図 7 システム構成例

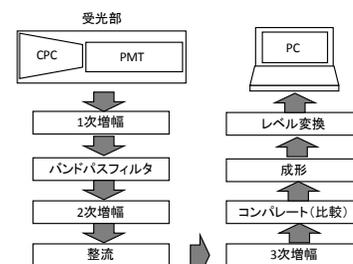


図 8 受光部の構成



図 9 海水魚用 送・受信機