

(様式2)

学位論文の概要及び要旨

氏名 影山 智明 印

題目 電解式水質モニタリング用センサ及びセンサネットワークに関する研究

学位論文の概要及び要旨

自然環境中での水質の常時オンライン測定をマルチポイントで行うことは、水質異常の把握とその対処への迅速化に繋がり、環境保護のための有用な手段となる。しかし、現在のセンサシステムは高価であったり、頻繁なメンテナンスを要したりするため、自然環境中での多地点常時測定には適していない。本研究では、イオン感応性電界効果トランジスタ (ISFET: Ion Sensitive FET) と Pt 電極を搭載したセンサチップを作製し、複数の水質測定項目のセンシングを試みた。本手法は、ISFETと電極のみという単純な構成によって複数の測定項目を同時に測定することができるため、複数のセンサをクラスタリングして実装する現在のセンサシステムと比較して、非常に安価になると考えられる。さらに、電解液などといった劣化しやすい材料を用いないため、長期間測定を行うことが可能である。この特長は、メンテナンスを頻繁に行うことが現実的でないセンサネットワークシステムに供するセンサとして有用である。このセンサは、測定環境中において Pt 電極で電気分解を行うことによって水素を発生させ、電極に吸蔵させる。また、自然環境中に含まれる電解質が電気分解されることによって、電極周辺の pH が制御される。その結果、この電極を擬似的な水素参照電極として利用することができた。この疑似参照電極と ISFET を組み合わせて測定に用いることで、Ag/AgCl 参照電極参照電極を用いたときと同じ傾向を示した。このことより、外部の参照電極を用いず、ワンチップのセンサによって pH 測定を行うことができることを示された。また、疑似参照電極の表面電位が元の Pt 電極の表面電位に戻るまでの時間と周囲の液体流速に相関があることが分かった。この相関を利用することで、専用素子を追加で必要としない、ソフトウェアで実装可能な新規流速センサが実現された。さらに、電気分解中の I-V 特性の測定によって電気伝導度を測定することができ、電極用いたサイクリックボルタメトリーを行うことで、より多くの情報を得ることのできる可能性がある。これらの結果により、このセンサデバイスを利用することによって、マルチポイント測定に適した、低コストなセンサシステムが構築できることが可能となることが示された。

センサに関する研究と並行し、センサノードの構成に関する検討を行った。現在のセンサデバイスの多くはデジタルインターフェイスを有するが、物理層よりも上のプロトコルについて統一性がないのが現状である。IoT の普及によって TCP/IP を前提とする仕様や、IO-Link などといったフィールドネットワークを構成する仕様は増えているが、センサチップレベルでの仕様としては複雑、冗長な部分がある。今後、多量かつ多種類のセンサが利用されていく時代になっていくことが予想され、センサ自体の通信仕様の統一は、それらの開発と利用をより簡便に行う手段として有用である。そこで、

本研究ではセンサのインターフェイス，識別仕様および上位プロトコルへの透過的運用に関する検討を行った。また，それらの機能を有するセンサノードを作製し，実際の湖沼環境での測定実験を行った。この物理的な構成は一般的に普及しているセンサと同等であり，既存の回路および物理インターフェイスを利用できる。我々はデータリンク層の仕様を作成し，その仕様に対応したセンサモジュールとセンサノードを作製した。これによって，センサモジュールの更新および変更が容易にできることが期待できる。また，センサモジュールに固有IDを定め，そのIDを利用してセンサの仕様を取得できる仕組みを考案，構築した。作製したセンサノードについては，プログラミングにおいて共通したライブラリを利用することができたため，センサの計測システムへのインテグレーションが簡素化された。

また，今後の移動通信システムは第5世代(5G)に移行していき，IoTにおける基幹技術となることが考えられている。5Gで利用される周波数帯にはミリ波帯が含まれており，この周波数帯に適した素子の開発が必要となっている。RF-MEMSスイッチは，ミリ波帯での高アイソレーション・低挿入損失のスイッチングが実現できることから注目されているが，機械接点の寿命が問題となっている。本研究では，接点にAuとカーボンナノチューブのコンポジット体を用いたRF-MEMSスイッチを作製した。このRF-MEMSスイッチは，Auのみの場合と比較して約3倍の寿命を得ることができた。