

流路内に設置した光ファイバ屈折率センサによる 透析液濃度変化のリアルタイム測定

1200024 位頭 信哉 (光計測工学研究室)

(指導教員 田上 周路 准教授)

1. はじめに

人工透析は、糖尿病や高血圧、加齢などで慢性の腎不全となることで、血液の濾過が充分に行えない患者に対して、老廃物や余分な水分を体外に排出することができなくなった腎臓の代わりに人工的に行う治療のことである。人工透析患者は国内に約33万人以上いるとされており、世界規模で見ると日本は人口100万人あたりの透析患者数で上位に位置している[1]。少子高齢化が進む日本の現状から今後も患者数の増加が予想される。

透析装置においても透析液濃度や温度の高精度な調整が重要となっている。現在、濃度測定に用いている電極式センサにはいくつかの問題点がある。それらの問題を解決するために光ファイバセンサの利用が期待されている。

2. センサの原理

本研究で用いるマルチモード干渉(MMI)構造(図1)の光ファイバセンサは、コアを持たないマルチモードファイバ(MMF)を入出力側の2つのシングルモードファイバ(SMF)で挟み込んだ構造で、入力側SMFからMMFに光が入力されると光が回折し、複数のモードとなって外部との境界面で全反射しながら通過し、出力側SMFに結合した光が入って干渉スペクトルが得られる。

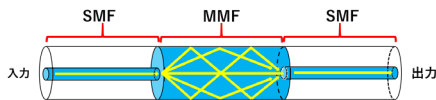


図1 MMI構造

MMFの外側に外部物質がある場合、その屈折率に応じて光がその物質中に浸透しながら全反射し伝搬するため、出力されるスペクトルがシフトする。浸透する光のことをエバネッセント光という[2]。この効果を利用して試液の濃度測定を行う。

3. 実験内容

本研究では、流路に流したエタノール水溶液や透析液(A液)の濃度変化を出力される信号の強度変化から観測する。そのために用いるMMI構造の光ファイバセンサのセンサ部であるMMFの長さに関する実験を行い、得たい波長を観測できるセンサの長さ調整を行えるようにする。

また、作製したセンサを流路に導入するための固定治具を作製する。最後に流速によるノイズを調べることで今まで用いられている電極式センサの代わりになることが期待できることを調べる。

図2には、試液をセンサに接触させて濃度を測定するための流路内固定治具を示す。



図2 センサを流路に導入するための機構

4. 実験結果

図3には、作製したセンサを流路内に導入して透析液を流した状態(100 mL/min)で濃度変化(1.24~0.44%で1%ずつ薄める)させた時のそれぞれの出力強度分布の平均値をプロットしたものを示す。図4には、流路に精製水を流す時、その流速を100, 0 mL/minで流した時のそれぞれの出力強度の結果と図5には、100, 90, 80, 0 mL/minの出力強度のデー

タをフーリエ解析したものを示す。

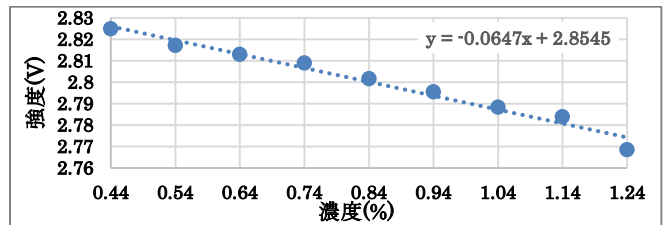


図3 透析液の濃度変化による強度変化

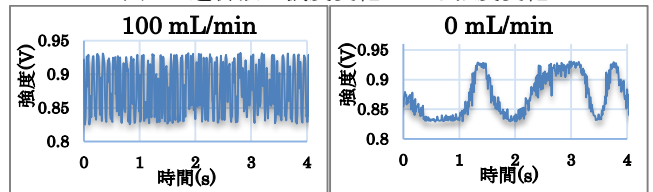


図4 流速(100, 0 mL/min)における出力強度分布

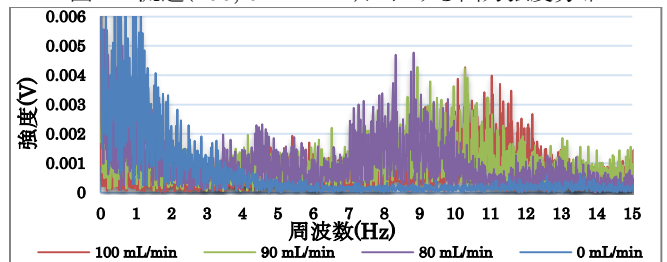


図5 フーリエ解析結果(0, 80, 90, 100 mL/min)

図3より、濃度に対して出力強度が線形性に変化しており、平均値で近似直線を取ると、傾きが-0.0647となった。このセンサの感度は、濃度が0.1%変化すると出力強度は0.00647Vの変化が得られる感度を持っている。

また、図4より、出力強度の振幅は流速の違いによって変化は見られず、どの流速においても $V_{pp} \approx 0.1V$ となっていることが読み取れる。図5の、6~13Hzの周波数範囲より、流速の変化によって周波数が変化していることが読み取れる。これより、作製したセンサ固定治具がしっかりとセンサを挟ませることなく張った状態を継続させることができていると考えられ、流速の振動はセンサで読み取れた事より、作製したセンサにはこれらの特性を持っていると推測される。

5. まとめ

MMI構造の光ファイバセンサを作製する上で、見たい波長が出力されるのに適したセンサ部の長さに関する実験を行い、試液の濃度変化による出力強度の変化をセンサでリアルタイムに流しながら観測することができたことより、現在使われている電極式センサの代わりに透析装置への実装が期待できる。また、今回は実験装置上、試液の流速100 mL/minまでしか測定できなかったが、実際の人工透析機器は100~1200 mL/minの流速で行うため、今後は流速を上げた時でも同様の結果が得られるのか、どのくらい流速によるノイズがセンサに乗るのかなどを調べていく。

参考文献

- [1] 新田孝作 他:「わが国の慢性透析療法の現況」一般社団法人 日本透析医学会 統計調査委員会 2018年
- [2] Carlos A. J. Gouveia, Jose M. Baptista and Pedro A.S. Jorge, "Current Developments in Optical Fiber Technology", Intech Open, pp.345-374, 2013