補助事業番号　2018M-146
補助事業名　　平成30年度 透析液濃度モニタリングのための光ファイバ屈折率センサに関する研究 補助事業
補助事業者名　田上周路

1 研究の概要

人工透析患者は国内で30万人，世界では253万人（推定）とされており，今後増加の一途たどるものと予想されている．人工透析において，透析液の濃度管理は非常に重要であり，浄化性能を左右するのみならず，浸透圧やイオン濃度が適切でないと血球の破壊や血中水分の漏出といった問題が生じる．このため，人工透析装置の内部では透析液の濃度管理が行われており，濃度計測には電気化学的方法を利用した電気伝導度の測定で行っている．この方法は，透析液が流れる経路の中に電極を挿入し，電位を与えて電極間に流れる電流から伝導度を測定している．この電極を用いた方法では，透析膜を介しているとはいえ，患者と接続されている電解質に電流を流しているため，感電や金属電極の腐食による金属類の混入といった問題を抱えている．中でも腐食の影響は大きく，耐腐食性に優れた金属を電極として用いても，数年の使用で出力信号の変動が生じるため電極部分の交換が必要となる．現在の人工透析装置では適当な代替手段がないことから，この電極による測定が使用され続けており，市場に流通している装置は100%この方法を採用している．このため，人工透析患者に対するリスクは顕在化したままであり，安全・安心な医療の妨げとなっている．

本研究ではこの問題を解決する手段として，光通信用として広く使用されている光ファイバを用い，透析液の屈折率変化を透過光強度変化として測定することで透析液濃度を測定できる装置を開発する．本研究で用いる光ファイバ式センサは，光ファイバ内の光の干渉を利用することで超高感度に屈折率を測定できる．センサ部は石英ガラスのため耐腐食性や耐薬品性に優れ，直径も髪の毛と同等の125 μmと極細であり,細径流路への設置も容易である．また，センサ部だけでなく信号の伝達にも光ファイバを用いるため，遠隔でも信号減衰が少なく電磁ノイズに影響されない．さらに，センサ部となる光ファイバはコネクタ等を用いて交換が可能であるため，不具合が生じた場合,従来よりも低コストでの交換が可能である．この光ファイバ式センサを既存センサと置き換えることで，精度と，安全性に優れたモニタリングシステムの構築が可能となり，透析液のリアルタイムな濃度管理に活用できるようにする．これにより，人工透析患者に対するリスクは低減され，安全・安心のみならず，医師や技師の負担軽減，患者のQOLの向上にも寄与することができる．

2 研究の目的と背景

人工透析患者は国内で30万人，世界では253万人（推定）とされており，今後増加の一途たどるものと予想されている．人工透析において，透析液の濃度管理は非常に重要であり，浄化性能を左右するのみならず，浸透圧やイオン濃度が適切でないと血球の破壊や血中水分の

漏出といった問題が生じる．このため，人工透析装置の内部では透析液の濃度管理が行われており，濃度計測には電気化学的方法を利用した電気伝導度の測定で行っている．この方法は，透析液が流れる経路の中に電極を挿入し，電位を与えて電極間に流れる電流から伝導度を測定している．この電極を用いた方法では，透析膜を介しているとはいえ，患者と接続されている電解質に電流を流しているため，感電や金属電極の腐食による金属類の混入といった問題を抱えている．中でも腐食の影響は大きく，耐腐食性に優れた金属を電極として用いても，数年の使用で出力信号の変動が生じるため電極部分の交換が必要となる．現在の人工透析装置では適当な代替手段がないことから，この電極による測定が使用され続けており，市場に流通している装置は100%この方法を採用している．このため，人工透析患者に対するリスクは顕在化したままであり，安全・安心な医療の妨げとなっている．

本研究ではこの問題を解決する手段として，光通信用として広く使用されている光ファイバを用い，透析液の屈折率変化を透過光強度変化として測定することで透析液濃度を測定できる装置を開発する．

光ファイバ式による透析濃度測定装置の開発，及び人工透析装置への組み込みによる高精度な濃度モニタリング装置の製品化を目指したセンサの高感度化・ノイズ低減に取り組む．その結果，既存センサと同等以上の感度を有しながら安全性に優れたセンサによる透析患者のリスク低減を目的とする．

3 研究内容

（1）透析液濃度モニタリングのための光ファイバ屈折率センサに関する研究（http://www.sceng.kochi-tech.ac.jp/taue/kouhou.pdf）

2018年4月より，センサ出力のノイズ対策として，ノイズ源の検証とサンプリング周波数の最適化を実施した．ノイズ源の検証に関しては，周波数解析を実施した結果，センサの持つ固有振動数での振動よりも，特定の周波数でのノイズとは考えにくく，ディテクタ由来の電気的ノイズであると判断した．対策には低ノイズのディテクタを用いる方法が最も効果的ではあるが，製品化における価格を考慮し，現状のディテクタを用いてサンプリング周波数を見直すことで，ノイズ対策を実施した．

また，8月より流路へ装着するアダプタの試作を行い，ガラス管への穴あけ加工等を行うことで流路内へのセンサの固定に関して検討を行った．（図1参照）流路へのセンサの固定方法に関しては，実際に液を流した状態で発生するノイズを評価する必要があるため，ガラス菅の曲げや穴あけといった加工手順と設計自由度の確認を行った．用いるガラス管は透析装置内のシリコーンチューブの内径に合わせたものを用いた．作製したガラス管を用いて流路内測定を実施し，ポンプの駆動ノイズの検出およ

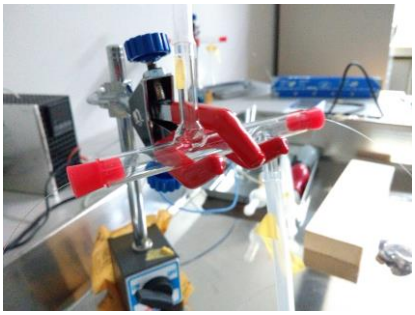

図 1．作製したガラス管流路

び流路内のエアバブル混入によるノイズを確認した.

2019年より透析装置への装着試験に向けた測定を実施しており，実際の透析液を流路内に流しながら濃度変化の検出を実施している．現在，実験室所有の液体ポンプでは0.5%の濃度変化が明確に検出できており，透析装置の脈動ポンプでの測定とノイズ検出へ向けた準備（測定用光源、ディテクタの小型化と可搬化）に取り組んでいる.

4 本研究が実社会にどう活かされるか―展望

本研究では，光通信用として広く使用されている光ファイバを用いて，透析液の屈折率変化を透過光強度変化として測定することで透析液濃度を測定できることを実証した．用いた光ファイバ式センサは，光ファイバ内の光の干渉を利用することで超高感度に屈折率を測定できる．センサ部は石英ガラスのため耐腐食性や耐薬品性に優れ，直径も髪の毛と同等の125 μmと極細であり,細径流路への設置も容易である．また，センサ部だけでなく信号の伝達にも光ファイバを用いるため，遠隔でも信号減衰が少なく電磁ノイズに影響されない．さらに，センサ部となる光ファイバはコネクタ等を用いて交換が可能であるため，不具合が生じた場合,従来よりも低コストでの交換が可能である．この光ファイバ式センサを既存センサと置き換えることで，精度と，安全性に優れたモニタリングシステムの構築が可能となり，透析液のリアルタイムな濃度管理に活用できるようになる．これにより，人工透析患者に対するリスクは低減され，安全・安心のみならず，医師や技師の負担軽減，患者のQOLの向上にも寄与することができる.

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

補助事業者が学位取得後に着任した広島大学にて学んだ光ファイバセンサを，より応用・製品化に近い状況で行う研究となる．光ファイバの扱いや流路設計，ガラス管の加工といった，これまで修得してきた技術やノウハウを結集させて取り組む内容であり，今後の研究の方向性においても中心の位置づけとなる.

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

なし

7 補助事業に係る成果物

（1）補助事業により作成したもの

なし

（2）（1）以外で当事業において作成したもの

なし

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名：　高知工科大学システム工学群（コウチコウカダイガクシステムコウガクグン）
住　　所：　〒782-8502
　　高知県香美市土佐山田町宮ノ口185
担 当 者：　准教授　田上周路（タウエシュウジ）
担当部署：　電子・光システム工学教室（デンシ・ヒカリシステムコウガクキョウシツ）
Ｅ－ｍａｉｌ：　taue.shuji@kochi-tech.ac.jp
ＵＲＬ：　http://www.sceng.kochi-tech.ac.jp/taue/