

タイトル：ヒートパイプを用いた、透析液廃熱利用への取組み

大阪ハイテクノロジー専門学校 臨床工学技士科

山本英里奈，沖尚弥，久貝佳珠巳，當山吉宗

## 要旨

透析治療とは腎不全患者などに実施する治療法である。透析治療を実施する際、1回の治療に付き約120Lの多量の透析用水および加温を必要とする。加温電力の削減案として本研究では熱移動効率の高いヒートパイプを用いた。廃熱を供給液側へ移動させるシステムの構造および熱移動効率の評価を行った。原理としての熱移動は確認できたが、流量制御などに対する改善は必要である。

## 1. はじめに

### 1.1. 研究背景と目的

血液浄化療法とは腎不全患者へ行う治療であり、腎機能を代行し血液内の不要物質・水分の除去および血液に不足している成分の補給を同時に行う療法である。血液浄化療法の概念図を図1に示し、一回の透析治療を行う場合120リットルの水を必要とする。このとき治療液は人の体温に合わせて、透析監視装置で加温している(図1)。治療した後は廃液として捨てられている。本研究では加温に用いるエネルギーの削減のために、廃液の熱に着目した。廃液の熱を再利用して予め供給液を温めておくことで透析監視装置にかかるエネルギーを節約できる。その手段の一つとして、本研究では熱伝導効率の非常に高いヒートパイプを用いた。廃液の熱を供給液へ移動させるシステムの構造および評価を行った。

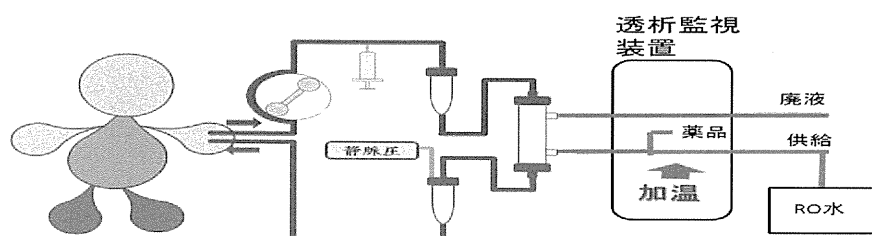


図1.血液浄化療法の原理図

### 1.2. ヒートパイプについて

ヒートパイプとは、気化熱・凝縮熱を利用することで金属の100倍以上の熱移動効率を持つ中空型のパイプである。中空内は低圧環境であり、中空内の差動液が、比較的低い温度においても気化・凝縮ができるようになっている。差動液は重力などにより循環できる状態になっており、高温部にて差動液が気化(吸熱)、低温部にて凝縮(発熱)するこ

とで、高効率の熱移動効率を持つ。本研究では、株式会社土山産業様より提供いただいた、ヒートパイプ（図2）を用いて実験・評価を行なっている。

本研究では透析液の供給液（低温側）および、廃液側（高温側）が、それぞれコの字型の水平部分に触れ熱移動を行なう。効率を上げるため、6本のヒートパイプを用いている（図2）。

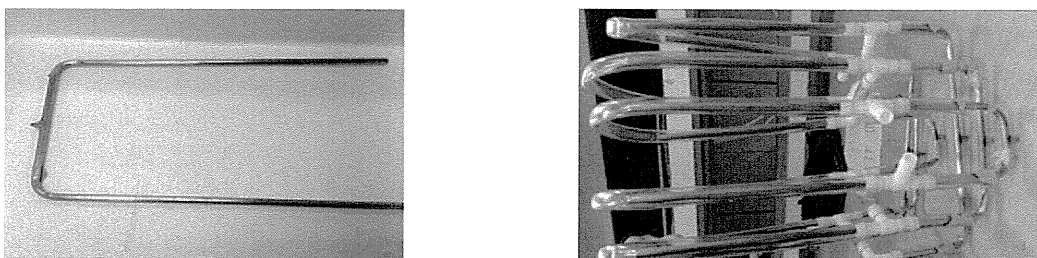


図2. ヒートパイプ写真（左）、本研究で用いた熱移動回路の基本形状（右）

## 2. 原理と実験方法

### 2.1. 原理

本研究の原理図を、図3に示す。熱電導効率の非常に高いヒートパイプを用いて、廃液の熱を供給液へ移動させるシステムの構築および評価を行なう。土山産業株式会社様からの試算により約4度程度の熱交換を目標としている。

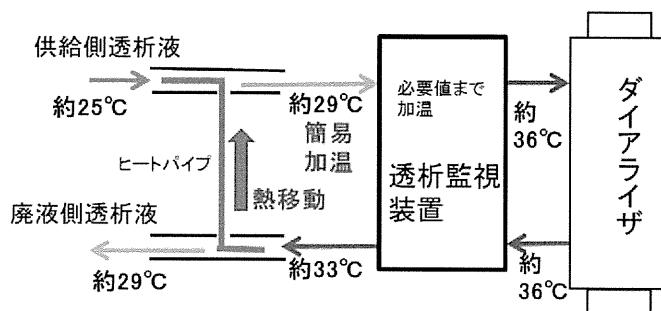


図3. 加温の流れ（原理図）

### 2.1. 実験方法

廃液側透析液の代理として、Na 140mEq/l に調整した食塩水を用いた。供給液は室温（25度）程度の水道水を用いている。また、廃液側は恒温槽を用いて温度調整（36度程度）としている。

供給液・廃液・室温などは、本研究自作の温度計（マイコン Arduino およびサーミスタを用いた多点同時測定）を用いている（測定誤差は、標準温度計と比較し誤差 0.1 度以内であることを確認している。流量調整は供給液側は、体外循環要ローラーポンプを用い、廃液側は、透析機（NIKISO）による透析液流量調整機能を用いた。流量は 500ml/分として設定している。また、外乱による温度の影響を防ぐため、ヒートパイプ本体は、発泡スチ

ロールやエアクッション、発泡ウレタンスポンジなどで覆い周囲環境からの断熱を行なっている。

### 3. 結果と考察

実験結果を図4に示す。透析液廃液側の入口温度（33度）に対し、出口温度は約30度と、約3℃温度下降している事がわかる。透析供給側に関しては、入口温度約24度から、出口温度約28と、約4度の温度上昇が見られており、廃液側の熱が供給液側に移動していることが確認できた。

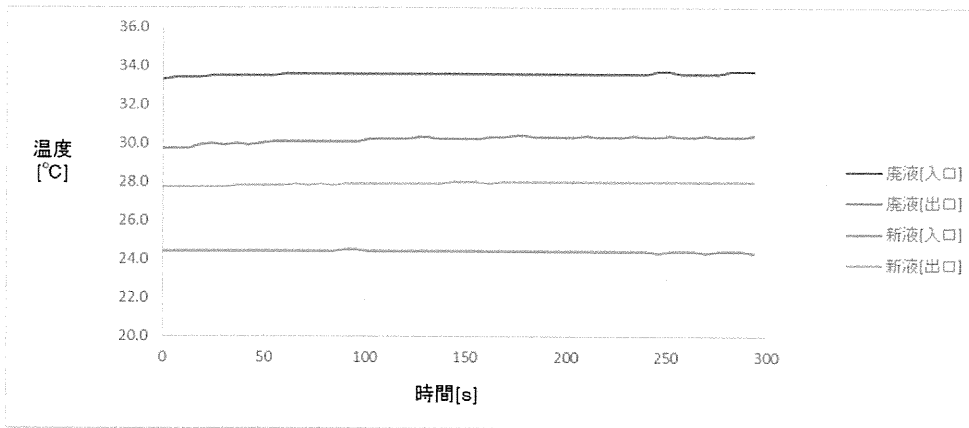


図4. 透析液 供給側（新液）、廃液側の温度変化

実験は、流量設定後、5分後からの温度変化を表している。

流量が同じであれば、供給側の温度上昇量と、廃液の温度下降量は同じでなければいけないが、今回、供給側の温度上昇量が大きかった。水道水と食塩水の比熱の差もしくは、供給側の流量が廃液側に比べ小さかった可能性が考えられる。

また、ヒートパイプの断熱などを行なう以前の予備実験では、流量の変化によって、熱移動量が異なり、流量が小さいほど、ヒートパイプとの触れる時間が長く熱移動量が増加することがわかり流量依存があることも示唆された（表1、2）。

今回、流量を高くすると今回の実験では水圧上昇による水漏れなどが発生したため流量確保に関しては設計上の改善が必要と思われる。

表1. 廃液側測定結果

廃液側 (33℃)							
100ml/min		500ml/min		100ml/min		500ml/min	
入口	出口	入口	出口	入口	出口	入口	出口
33.8	26.5	32.8	30.6	33.8	28.5	33.7	31.5
7.3℃		2.2℃		5.3℃		2.2℃	

表 2.供給側測定結果

供給側温度							
11℃				25℃			
100ml/min		500ml/min		100ml/min		500ml/min	
入口	出口	入口	出口	入口	出口	入口	出口
12.6	17.9	11.5	15.2	24.8	25.5	25.0	26.9
5.3℃		3.7℃		0.7℃		1.9℃	

熱エネルギーの移動量は下記の計算で現すことができる。ΔTc は廃液側と供給側の温度差を示しているので供給側と廃液側の温度を測定する必要がある。よってΔTc が高ければ高いほど移動熱量は大きくなる。

$$Q_r = C_p \times \rho \times V_c \times \Delta T_c$$

Q<sub>r</sub> : 移動熱量, V<sub>c</sub> : 供給する透析液流量, C<sub>p</sub>:水の比熱 (4183J/kg・K),

ρ : 水の密度 (1000kg/m<sup>3</sup>), ΔT<sub>c</sub> : 廃液側と供給側の温度差 (℃)

今回の 500ml/分の計算では, 4℃の温度上昇量として, 一人の患者様あたりの節電量は約 0.14kWh の電力量に相当する。多人数用透析の配管に活用することで大幅なエネルギーの削減が期待できると思われる。

#### 4. まとめ

熱移動効率の高いヒートパイプを利用し, 透析液の廃熱を利用し供給側の加温・温度制御を行なうシステムを提案し評価を行なった。結果として熱移動の確認はできているが, 流量確保に関しては改善の必要性があることが示唆された。また供給液の温度上昇だけでなく, 廃液の温度低下も観測されたことから, 単純な加温システムだけでなく冷却機構にも使える可能性があり, 活用手法によっては応用性の幅の広がりが見込まれている。今後さらなる実験と改善を行う事で, 十分な実用性が生まれると期待できる。

#### 謝辞

ヒートパイプを提供して頂いた土山産業株式会社様をはじめ, アドバイス指導頂いた, 西神戸医療センター 加藤 博史様, 神戸市立医療センター中央病院 吉田 哲也様, 兵庫県立淡路医療センター 橋本 圭司様 に感謝します。

#### 参考文献

- [1] 竹澤信吾 編集, 臨床工学講座生体機能代行装置学 血液浄化療法装置 歯科薬出版
- [2] 原康夫 編集, 物理学基礎 (学術図書出版社)

指導教員 山本 益士