

厚生科学研究研究補助金

高度先端医療研究事業

中長期使用のための小型・高効率補助人工心臓システムの開発と製品化

平成 13 年度 総括・分担研究報告書

主任研究者 妙中 義之

平成 14 年 (2002) 年 4 月

## 目次

### I. 総括研究報告

中長期使用のための小型・高効率補助人工心臓システムの開発と製品化  
妙中義之

### II. 分担研究報告

1. 慢性動物実験による体内埋込型ポンプの総合的評価  
妙中義之
2. 遠心ポンプの解剖学的適合性の評価  
巽 英介
3. 体内埋め込み用薄型ポンプの性能評価  
築谷朋典
4. 軸受け方式の検討  
小西義昭
5. アクチュエータの改良  
増澤 徹
6. 電力伝送・貯蔵法の最適化  
村井剛次

### III. 研究成果の刊行に関する一覧表

### IV. 研究成果の刊行物・別刷

## 中長期使用のための小型・高性能補助人工心臓システムの開発と製品化 — 平成13年度研究事業の総括 —

主任研究者 妙中義之 国立循環器病センター研究所人工臓器部長

体内に埋め込んで中長期連続使用可能にする小型で高性能な補助人工心臓システムの確立・製品化を目指し、体内埋め込みに適した薄型構造を持つ超小型遠心血液ポンプの改良設計と試作を行い、慢性動物実験を含む総合的評価を行った。その結果、ポンプに関しては体内埋め込み慢性動物実験において2ヶ月を超える連続運転を実現した。体内埋め込み回路の小型化も達成し、システムとしての完成度を向上させたことにより、製品化のために必要な性能を十分に有していることが明らかとなった。

### 研究組織

妙中義之	国立循環器病センター研究所
巽英介	国立循環器病センター研究所
築谷朋典	国立循環器病センター研究所
増澤 徹	茨城大学工学部
小西義昭	日機装株式会社
村井剛次	日機装株式会社

### 1. 研究目的

本研究の目的は、小型で体内に埋め込んで数ヶ月から一年連続使用可能な補助人工心臓システムを開発し、製品化することである。

### 2. 研究方法

遠心性血液ポンプを用いた埋込型左心補助人工心臓システムの完成を目指し、体内埋め込み用に薄型構造を有する血液ポンプ部の改良を行い、性能試験、血液適合性ならびにシステムの総合的評価を行った。解剖学的適合性を評価し、血液適合性の評価ならびに耐久性の評価として覚醒状態下での慢性動物実験を実施した。また、薄型構造をもつポンプに関しては数種の軸受け方式を考案し、性能試験により比較した。電力伝送・貯蔵法に関しては、電池密度の最適化と同時に電池と電力伝送回路の一体化パッケージの開発を行いシステム全体の小型化の実現を狙った。

### 3. 研究結果

インペラ底部における血栓形成を防止するため、流入口を二分割しインペラの両面から流入させることで血栓好発部位を除去したポンプの設計を行った。本ポンプは、モータを構成するコイルの間隙に流路を配置するという他に類を見ない一体化構造をとっているため、ポンプの軸方向の寸法はわずか41mmであり、体内埋め込みに適した形状であると考えられた。ポンプの水力学的性

能、およびポンプによる溶血量は補助心臓として十分は範囲の値であり、実用的であると考えられた。慢性動物実験として当施設で用いている成ヤギに対する解剖学的適合性の検討では、ポンプ寸法については問題なく皮下に収納可能であると判断された。この両吸込型遠心ポンプを用いて、慢性動物実験を合計二例実施した。成ヤギを用いて左室心尖部脱血、下行大動脈送血の左心バイパスモデルを作成し、ポンプ流量は3~7 L/minの範囲で維持することが可能であった。ポンプを皮下に埋め込んだ例では、流量の確保、脈圧の減少については第一例と同様であり、術後2ヶ月経過し実験継続中である。消費電力は平均6W程度であり、ポンプからの発熱は許容範囲であると考えられた。実験終了後、ポンプ接触組織の組織学的検索を行い、ポンプ表面材料の評価を行なう予定である。体内電池システムに関しては、生体内用として開発されたりチウムイオン二次電池と、体外結合型経皮電力伝送システム(ECTETS)の体内回路と、電池の充電制御回路とを、一つのチタン製ケースに収めた、動物生体内埋込可能な電源パックを試作した。容積は220mLであり、質量は400gであった。システム全体の電力伝送効率は満充電時に最高で75%であった。また、二次電池の充電完了に要した時間は235minであり、最高温度上昇は充電開始後60minで5.4[°C]に達することが確認された。

### 4. 研究発表

#### 1. 論文発表

- 1) Tsukiya T, Taenaka Y, Tatsumi E, Takano H: Performance of a Newly Developed Implantable Centrifugal Blood Pump. ASAIO Journal 47: 559-562, 2001.
- 2) Tsukiya T, Taenaka Y, Tatsumi E, Takano H, Sawairi T, Konishi Y, Masuzawa T, Okada Y:

## 中長期使用のための小型・高効率補助人工心臓システムの開発と製品化

### — 慢性動物実験による体内埋込型ポンプの総合的評価 —

分担研究者

妙中義之

国立循環器病センター研究所人工臓器部

前年度に新たに設計・開発を行なった，体内埋込用に薄型化を実現した遠心血液ポンプの抗血栓性，信頼性，解剖学的適合性を評価するために，体内埋込を含む慢性動物実験を行なった．ポンプの体内への収納は十分可能であり，術後 57 日経過し現在も継続中である．

#### 1. 研究目的

本研究の目的は，抗血栓性の向上ならびに体内埋込のための解剖学的適合性向上のために開発した両吸い込み型遠心血液ポンプの補助人工心臓としての性能を慢性動物実験にて総合的に評価することである．

#### 2. 研究方法

抗血栓性の向上のために，本ポンプが備えている構造上の特徴は，①血流が鬱滞しがちなポンプ底部を完全に排除するために，流入口を二分割してインペラの表裏から対象に導く構造であること，②東洋紡社と共同開発中のヘパリンコーティングをポンプ内部の血液接触面に施工していることである．

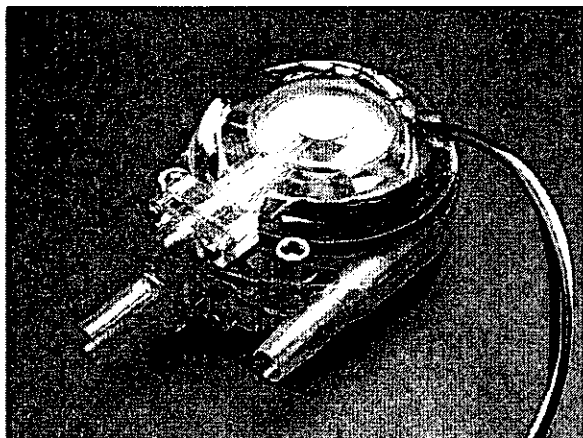


図1 両吸込み型遠心ポンプ

この両吸込型ポンプの抗血栓性評価ならびにシステムの信頼性の評価のために，成ヤギを用いた慢性動物実験を2例実施した．そのうち1例はポンプを体外に設置したが，1例はポンプを皮下に埋め込み，解剖学的適合性の評価も同時に行なった．

#### 3. 研究結果

両吸込型ポンプはその構造上，流入口と流出口が同一平面上に配置されることになり，体外，体内

ともに設置が容易であり，従来のように流入・流出が直角になるポンプよりも有利であると考えられた．慢性動物実験は，左室心尖部脱血，下行大動脈送血の左心バイパスモデルを作成することで行なった．

図2 体内埋込慢性動物実験



ポンプ流量は3～7 L/minの範囲で維持することが可能であった．回転数が十分に維持され，良好な脱血が実現している場合には大動脈圧における脈圧の顕著な減少が観察された．第一例目は術後31日目に，血漿遊離ヘモグロビン濃度の顕著な上昇を認めたため，実験中止となった．ポンプ内部にはインペラを両面から支持するための支柱の一本の周囲に摺動部における発熱に起因すると考えられる血栓の形成が認められた．ポンプを皮下に埋め込んだ他の一例では，流量の確保，脈圧の減少については第一例と同様であり，術後57日経過し実験継続中である．消費電力は平均6W程度であり，ポンプの発熱は許容範囲であると考えられた．実験終了後，ポンプ接触組織の組織学的検索を行い，ポンプ表面材料の評価を行なう予定である．

#### 4. 結論

体内埋込慢性実験において遠心ポンプの総合的評価をおこなった．2ヶ月を超え継続中の生存例を得ることが可能であった．

## 中長期使用のための小型・高効率補助人工心臓システムの開発と製品化

### — 遠心ポンプの解剖学的適合性の評価 —

分担研究者

巽 英介

国立循環器病センター研究所人工臓器部

体内埋め込みに適した形状として、流路を二分割してインペラの両面から導く構造にして軸長 41mm という薄型化を実現した両吸い込み型遠心血液ポンプについて、成ヤギをもちいて解剖学的適合性の検討を行なった。ポンプは皮下に収納可能であったが、ポンプの流入・流出口の平面性と相対角度を調節する必要があると考えられた。

#### 1. 研究目的

本研究の目的は、体内に埋め込んで使用する遠心型補助人工心臓について、解剖学的適合性を考慮したポンプ形状の改良を行い、成ヤギを用いた動物実験にてその適合性を評価することにある。

#### 2. 研究方法

補助人工心臓として腹壁に沿って設置する補助人工心臓に対しては、利用可能なポケット形状、脱血管および送血管の配置から、①寸法は直径よりも軸方向に小さな薄型構造が有利である、②流入口ならびに流出口は同一平面上に配置されているほうがよい、という構造が求められる。本研究事業で開発を行った両吸込型遠心ポンプは、他分担研究者に報告されるように、モータを構成するコイルの間隙に流路を配置するという他に例を見ない試みによってポンプ全体の薄型化に成功し、軸長 41mm を実現した。また、流入口を 2 つに分割してインペラに導いているため、流入・流出口が同一平面上に配置されている。このポンプに対して、成ヤギを用いて解剖学的適合性を検討し、ポンプを皮下に配置して左心バイパスモデルを作成し、覚醒下に管理する慢性実験を実施した。

#### 3. 研究結果

成ヤギを用いて解剖学的適合性を検討した結果、ポンプ寸法については問題なく皮下に収納可能であると判断されたが、脱血管および送血管の配置には空間的余裕が少なく、ポンプの脱血・送血口の取り付け角度について、最適角度を設定し製作する必要があると考えられた。

体重 60kg の成ヤギー頭を用いて行った慢性動物実験では、左心尖部脱血、下行大動脈送血による左心バイパスモデルを作成し、遠心ポンプは皮下に収納した。実験に使用したポンプは脱血口と送血口は平行であり、設計段階で適切な角度を持た

せることにより手術手技的に改善することが可能であると考えられた。なお、電力伝送用のケーブルは皮膚を直接貫通させた。ポンプ流量は 3～7L/min で維持することが可能であった。術後 57 日経過現在、実験継続中である。ポンプの電力消費量は約 6W であり、発熱に関しても許容範囲内であると考えられた。体内におけるポンプ接触面の組織学的な検索については、実験終了後に行い、発熱の影響、使用材料の影響を検討する予定である。

#### 4. 考察

解剖学的適合性を考慮して設計された両吸込型遠心血液ポンプに対して、慢性動物実験において体内埋込下の左心バイパス術を行い、血液ポンプの評価を行った。薄型化に成功したポンプは皮下に収納可能であり、体内埋込型補助人工心臓の実用化への目処が立った。

## 中長期使用のための小型・高効率補助人工心臓システムの開発と製品化

### — 体内埋め込み用薄型ポンプの性能評価 —

分担研究者

築谷朋典

国立循環器病センター研究所 人工臓器部

体内埋込時の解剖学的適合性を考慮して、昨年度モータ、ならびに軸受け部分の新設計を行った血液ポンプの性能評価を行った。両吸込型ポンプは、水力学的性能、溶血量ともに補助人工心臓として十分なものであり、実用にむけて慢性実験での評価が可能であると判断された。また、バランス型ポンプについては、水力学的性能は十分であったが、溶血量が多く、支持方式にいつもの工夫が必要であると考えられた。

#### 1. 研究目的

本研究の目的は、体内埋込時の解剖学的適合性を考慮して開発された2種類の薄型構造を持つ遠心性補助人工心臓について、その水力学的性能ならびにポンプによる溶血量を評価することである。

#### 2. 研究方法

昨年度は、モータ部分について新設計を行い、以下の二種類の薄型構造をもつポンプを試作した。

##### (1) 両吸込型遠心血液ポンプ

羽根車底部の血流の鬱滞による血栓形成を防止するために流入流路を二つに分割し、底部を除去した構造のポンプ。モータを構成するコイル・鉄心の間隙を利用して流出流路を配置したため、軸長41mmを実現した。

##### (2) バランス型遠心血液ポンプ

軸受けでの接触部分を小さくするために軸受けを一点でのみ支持する構造をもつ、低速回転時でもインペラ姿勢が安定しやすい特長を持っている。

以上のポンプに対し、慢性動物実験を実施する前段階として、水力学的性能試験、ならびに成ヤギ新鮮血を用いた溶血試験を実施し、補助人工心臓としての基本性能を評価した。

#### 3. 研究結果

##### (1) 両吸込型遠心血液ポンプ

両吸込型ポンプは流入口を対称に2箇所持つため、流入路の最適な口径を決定することはきわめて重要であった。流入口のそれぞれを口径3mmとしたところ、流入部分における圧力損失が大きく、5L/min, 100mmHgを実現するのに3000rpmを必要とした。そこで、流入口径を5mmへと拡大することで、2400rpmにて同じ条件を実現可能であり、従

来のポンプと同程度の水力性能を実現することに成功した。また、成ヤギの新鮮血を用いて流量5L/min, 発生圧力100mmHgの条件下で溶血試験を行った。ポンプによる溶血量は、溶血指数(NIH)に換算して0.005と十分低値であり、ポンプによる血球破壊の観点からも実用的であると考えられた。

##### (2) バランス型遠心血液ポンプ

一点支持によりインペラを支持する方式のポンプについては、軸受と永久磁石とステータコア磁極部が常に一直線上になるように配置しており、姿勢制御には有利であると考えられた。ポンプ性能は従来のモデルとほぼ同様であり、十分であると判断されたが、溶血に関しては溶血指数が0.08と高値を示した。このため、軸受部分の接触面積、永久磁石の磁力低減などの対策を必要とした。

#### 4. 考察

体内埋め込みの補助人工心臓は、腹壁に沿って設置することになる場合が多く、かつ流入管と流出管は同一平面状に存在するほうが望ましい。両吸込型遠心ポンプはこの要求を満たしており、埋め込みに適したモデルと考えられた。またポンプ性能、血球破壊量ともに補助心臓としての基本性能は満たしていると判断された。一点支持の軸受け方式のポンプは水力性能は十分であったが、溶血量が多く、インペラ位置制御に関してさらなる向上が必要と判断された。

## 中長期使用のための小型・高効率補助人工心臓システムの開発と製品化

### — 軸受け方式の検討 —

分担研究者 小西義昭 日機装株式会社 開発センター 企画開発部

長期運転する体内埋込用血液ポンプを開発するために、成ヤギを用いた慢性実験を行ない、試作した NCVC 3 型、NCVC 4 型、NCVC 5 型の血液ポンプの特性結果から、血栓の出来難い補助人工心臓としての構造を検討した。

#### 1. 研究目的

本研究の目的は、慢性動物実験による長期間の連続運転においても血栓形成のない遠心ポンプの実現のために、慢性動物実験により得られた結果を参考にポンプ形状の改良を行なうことにある。なおポンプの基本構造としては、複雑な制御を必要せず、外乱に強い単純な構造とするために、ピボット軸受支持のダイレクトドライブ構造とする。

#### 2. 研究方法

試作した各々構造の異なるピボット軸受けを持つ NCVC 3 型、4 型について、溶血試験を実施した後、慢性動物実験を行なった。この結果に基づき、血液の局部滞留、摺動による発熱という血栓が最も起きやすいピボット軸受け部分の改良を進める。さらに補助人工心臓における生体の心臓における脈動を模擬した往復動ポンプを含めた試験装置を試作し、遠心ポンプと同時直列に運転することで、体内埋込運転状態におけるポンプの特性を確認する。

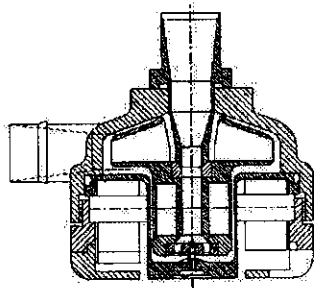


図1 NCVC3型構造

#### 3. 研究結果

##### (1) 軸受（ピボット）と圧の影響

NCVC 3 型血液ポンプにて電磁気力および流体力により発生する常にピボット側に押付ける力を変えた試作機により動物実験を行った結果、この押付け力が強すぎると、発熱により血栓が発生する。

##### (2) 脈動発生装置による運転

心尖脱血の補助人工心臓の動物実験では心臓の

力が強く、ピボットは脈拍毎に軸受から離れて運転された。この結果、最も血栓が発生し易いピボット押付け部分において、血栓が見られなかった。すなわち、脈拍毎にピボットは軸受から離れるために血栓が成長する前に離脱してしまうことによる。動物心臓を模擬した脈動発生装置を試作し、運転状態を確認した。

##### (3) 両吸込構造(NCVC4型)

ピボットが軸受に押付け力をかけずに、ピボットが軸方向に正逆いずれの方向にもわずか動くことを可能な構造とした。

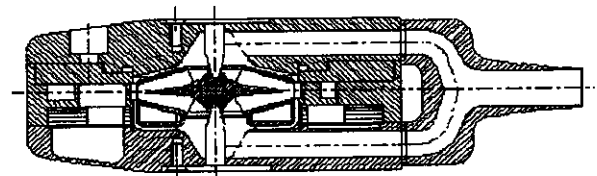


図2 両吸込型遠心ポンプ構造

#### 4. 考察

軸方向に遊隙を持つピボット軸受けは血栓防止に効果が考えられる。

## 中長期使用のための小型・高効率補助人工心臓システムの開発と製品化

### — アクチュエータの改良 —

分担研究者

増澤 徹

茨城大学工学部 機械工学科

体内埋込用血液ポンプを腹腔内に埋め込みやすい扁平な構造にするためにモータ部分の内部にポンプの流路を設けた一体構造とした。このために鉄心部を含めて専用の設計とした。

#### 1. 研究目的

本研究の目的は、ポンプ全体を極力薄くするためにポンプ流路を二次元的に配するだけでなくアクチュエータ部分を扁平化する設計試作を行なう。

#### 2. 研究方法

ポンプのインペラ背部は流れが遅く構造上血栓が発生しやすい部分である。この部分での流速の低下を防ぐためにNCVC4型は両吸込み型とした。

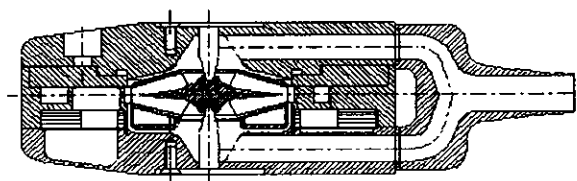


図1 両吸込型遠心ポンプ構造

遠心ポンプは基本的には吸込流れと吐出流れが同一平面状には無く、立体構造にならざるを得ない。さらにアクチュエータとしてのモータを加えるとさらに厚みが増すこととなる。このために厚みの増加をおさえるためのポンプ、モータの同時一体化設計を行う。従来のようにモータのステータの内側または外側にポンプを設ける構造では、ポンプ全体の厚みを薄くすることは出来ない。したがってステータのコイルの隙間にポンプ流路を構成することとした。

図2に示すように、ステータコアを非回転対象の3対の塊にすることでポンプディフューザが通る間隙を確保した。

#### 3. 研究結果

ロータの永久磁石と対抗するステータコアの歯の部分は回転対象に配しているがヨークとの接続部分は対象にならないために、運転時の振動が発生の可能性がある。試作機運転結果では顕著な振動は見られなかった。

NCVC5型では円錐台上の永久磁石との間隙を一定にするためにモータコアの歯の部分に傾斜差をつけて積層した。このために永久磁石の磁力を強くする必要がなくなり、通常のモータ特性が得られた。

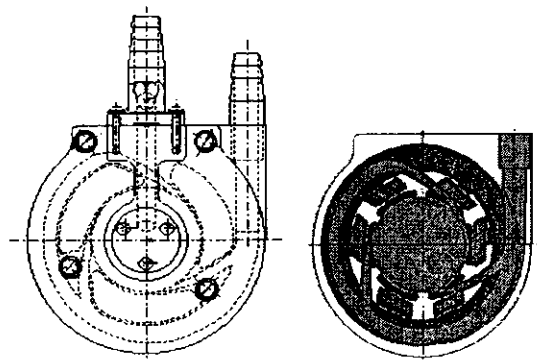


図2 非対称コアのモータと流路

#### 4. 考察

非回転対象モータを組込んだポンプ試作機は通常に運転可能であった。また傾斜積層モータコアのモータを組込んだポンプ試作機も通常に運転できた。

これらのことより専用モータを設計することで、補助人工心臓としての制約を軽減することが可能になった。



中長期使用のための小型・高性能補助人工心臓システムの開発と製品化  
－ 電力伝送・貯蔵法の最適化 －

分担研究者 村井剛次 日機装株式会社 静岡製作所 R&D センター

従来の電源パックでの 0.46C 充電では素子の発熱による温度上昇が大きかったため、放熱構造を工夫し、0.24C 充電へと変更して試験を行った。その結果、温度上昇を 5.4[°C]まで低下でき、生体内の血流等による冷却効果を考慮すると、十分に許容範囲内であることが確認できた。

### 1. 研究目的

本研究の目的は、体内埋込型定常流人工心臓(NCVC)駆動用の、動物生体内埋込可能な電力伝送および貯蔵システムを具体化することである。

### 2. 研究方法

生体内用として開発されたリチウムイオン二次電池と、体外結合型経皮電力伝送システム(ECTETS)の体内回路と、電池の充電制御回路とを、一つのチタン製ケースに収めた、動物生体内埋込可能な電源パックを試作した。従来の 0.46C 充電、(充電電流 630mA)では素子の発熱による電源パック表面の温度上昇が約 13[°C]と非常に大きかったため、放熱構造を工夫し、0.24C 充電(充電電流 350mA)へと変更して試験を行った。試験は、電源パックに ECTETS の体外回路と電子負荷を接続し、NCVC の模擬負荷への電力供給と完全放電状態にある二次電池の充電を行った。なお、電子負荷への出力電力は、平均 13W(拍出流量 10L/min 相当)とした。

### 3. 研究結果

試作した電源パック内部の写真を図 1 に示す。容積は 220mL であり、質量は 400g であった。0.24C 充電を行った際の充電電圧および充電電流特性を図 2 に示す。また、室温中(27[°C])で測定した場合の温度特性(最高温度上昇時)を図 3 に示す。なお、測定にはサーモグラフィを使用した。

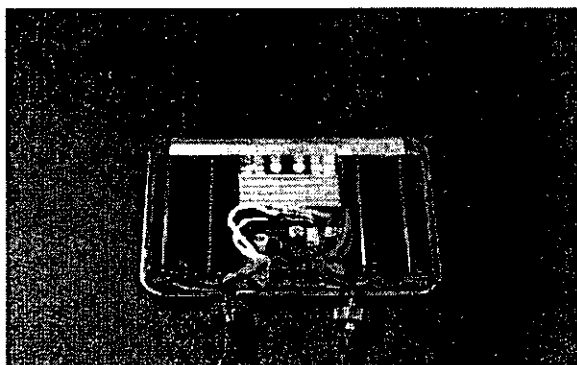


図 1 電源パック内部の写真

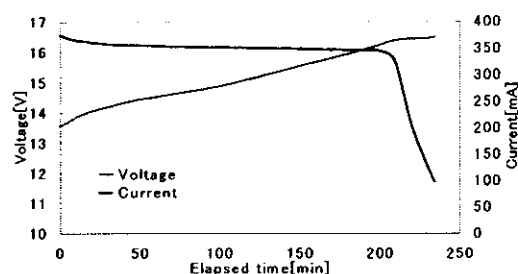


図 2 0.25C 充電を行った際の充電電圧および充電電流特性

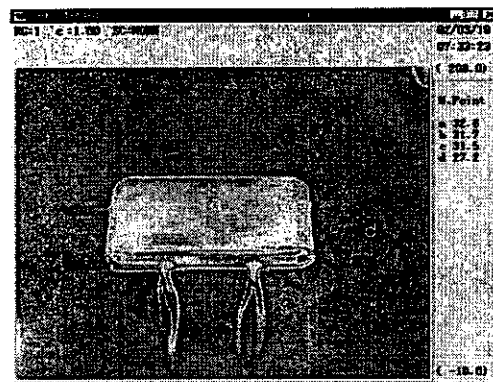


図 3 室温中での電池パック表面温度特性

システム全体の電力伝送効率は満充電時に最高で 75% であった。また、二次電池の充電完了に要した時間は 235min であった。さらに、最高温度上昇は充電開始後 60min で 5.4[°C]に達することが確認された。

### 4. 結論

従来の 0.46C 充電から、0.24C 充電へと変更することにより充電完了に要する時間は 180min から 235min へと長くなったが、素子の発熱による電池パック表面温度上昇を 5.4[°C]まで低下させることができた。この温度上昇は生体内の血流等による冷却効果を考慮すると、十分に許容範囲内であることが確認できた。また、システム全体の電力伝送効率は平均 72%以上と高い効率を得ることができた。

この電源パックを動物生体内に埋め込み NCVC を駆動するための電力伝送が十分可能であると考えられる。

Development of an Implantable Centrifugal Blood Pump. *Journal of Congestive Heart Failure and Circulatory Support*, Vol.1, No.4, 305-308, 2001

- 3) Tsukiya T, Taenaka Y, Nishinaka T, Oshikawa M, Ohnishi H, Tatsumi E, Takano H, Konishi Y, Ito K, Shimada M: Application of Indirect Flow Rate Measurement Using Motor Driving Signals to a Centrifugal Blood Pump with an Integrated Motor. *Artificial Organs*, Vol.25, No.9, 692-696, 2001.
  - 4) Tsukiya T, Taenaka Y, Tatsumi E, Takano H: Visualization of Flow Structure in the Centrifugal Blood Pump Impeller. *Journal of Artificial Organs* (in press), 2002.
  - 5) Tsukiya T, Taenaka Y, Tatsumi E, Takano H, Improvement of Washout Flow in a Centrifugal Blood Pump by a Semi-open Impeller. *ASAIO Journal* (in press), 2002.
  - 6) Tsukiya T, Taenaka Y, Tatsumi E, Takano H: Visualization Study of the Transient Flow in The Centrifugal Blood Pump Impeller, *ASAIO Journal*(in press), 2002.
  - 7) Tsukiya T, Taenaka Y, Tatsumi E, Takano H: Improvement of Washout Flow to Achieve Better Antithrombogenicity of a Centrifugal Blood Pump, *Proceedings of the 2001 Bioengineering Conference*, 477-478, 2001.
2. 学会発表
- 1) Tsukiya T, Taenaka Y, Tatsumi E, Takano H: Visualization Study of the Transient Flow in The Centrifugal Blood Pump Impeller. 47th Annual Conference of American Society for Artificial Internal Organs, 2001, New York.
  - 2) Tsukiya T, Taenaka Y, Tatsumi E, Takano H: Improvement of Washout Flow to Achieve Better Antithrombogenicity of a Centrifugal Blood Pump, 2001 Bioengineering Conference, 2001, Snowbird.
  - 3) Tsukiya T, Taenaka Y, Nishinaka T, Ohnishi H, Oshikawa M, Fukuda T, Tatsumi E, Takano H: Design Progress of LVAD System Consisting of an Ultracompact Centrifugal Blood Pump, 9th Congress of International Society for Rotary Blood Pumps, 2001, Seattle.
  - 4) Tsukiya T, Taenaka Y, Tatsumi E, Takano H:

Visualization Study of the Instantaneous Flow and Washout Condition in the Centrifugal Blood Pump Impeller. 9th Congress of International Society for Rotary Blood Pump, 2001, Seattle.

- 5) Tsukiya T, Taenaka Y, Nishinaka T, Ohnishi H, Oshikawa M, Fukuda T, Tatsumi E, Takano H, Konishi Y, Ito K, Shimada M: In Vitro and in Vivo Study of the Ventricular Assist System Using an Ultracompact Centrifugal Blood Pump. The 13th World Congress of International Society for Artificial Organs, 2001, Osaka.
- 6) 築谷朋典, 本間章彦, 西中知博, 武輪能明, 片桐伸将, 角田幸秀, 李桓成, 向井将一, 上所邦広, 佐藤浩一, 大西裕幸, 押川満雄, 塩谷恭子, 福田敏秀, 巽英介, 妙中義之, 高野久輝: 人工臓器開発における工学的基礎検討の有用性. 第29回人工心臓と補助循環懇話会, 2001, 別府.
- 7) 築谷朋典, 李桓成, 本間章彦, 妙中義之, 巽英介, 高野久輝: 高速度ビデオカメラを用いた遠心ポンプ内流れの可視化. 第40回日本エム・イー学会大会, 2001, 名古屋.
- 8) 築谷朋典, 妙中義之, 巽英介, 高野久輝: 超小型遠心ポンプのインペラ内相対速度分布の計測. 第29回可視化情報シンポジウム, 2001, 東京.
- 9) 築谷朋典, 妙中義之, 巽英介, 高野久輝, 小西義昭, 村井剛次: 遠心ポンプを用いた体内埋込型補助人工心臓システムの開発. 第13回バイオエンジニアリング講演会, 2001, 仙台.
- 10) 築谷朋典, 妙中義之, 巽英介, 西中知博, 大西裕幸, 押川満雄, 高野久輝: 設計・計測制御方法から見た定常流ポンプ開発の側面. 第9回定常流ポンプ研究会, 2001, 東京.
- 11) 糺屋睦, 伊藤和之, 深堀真也, 小西義昭, 巽英介, 西中知博, 片桐伸将, 築谷朋典, 武輪能明, 妙中義之, 高野久輝: 体内埋込を考慮したバランス型遠心血液ポンプ (NCVC5) の開発. 第39回人工臓器学会大会, 2001, 大阪.

## 5. 結論

体内埋込可能な補助人工心臓システムの各構成部分に関する改良と評価が慢性動物実験においてもなされ、製品化に至る性能を有していることが明らかとなった。

研究成果の刊行に関する一覧表

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
Tsukiya T Taenaka Y Tatsumi E Takano H	Performance of a Newly Developed Implantable Centrifugal Blood Pump	ASAIO Journal	Vol.47	559-562	2001
Tsukiya T Taenaka Y Tatsumi E Takano H Sawairi T Konishi Y Masuzawa T	Development of an Implantable Centrifugal Blood Pump. Journal of Congestive Heart Failure and Circulatory Support	Journal of Congestive Heart Failure and Circulatory Support	Vol.1 No.4	305-308	2001
Tsukiya T Taenaka Y Nishinaka T, Oshikawa M Ohnishi H Tatsumi E Takano H Konishi Y Ito K Shimada M	Application of Indirect Flow Rate Measurement Using Motor Driving Signals to a Centrifugal Blood Pump with an Integrated Motor	Artificial Organs	Vol.25 No.9	692-696	2001
築谷朋典, 妙中義之, 巽英介, 高野久輝, 小西義昭, 村井剛次	遠心ポンプを用いた体内埋込型補助人工心臓システムの開発	第13回バイオエンジニアリング講演会講演論文集	Vol.35-00	136-137	2001
利根川恵一, 越地耕次, 村井剛次, 巽英介, 妙中義之, 高野久輝	完全埋込型人工心臓用体外結合用経皮エネルギー伝送システムーファントムを用いた誘導電流の測定ー	第17回ライフサポート学会大会予稿集		96	2001
井出暁彦, 越地耕二, 村井剛次, 巽英介, 妙中義之, 高野久輝	完全埋込型定常流補助人工心臓用経皮エネルギー電送システム	第17回ライフサポート学会大会予稿集		124	2001

20010658

以降は雑誌/図書等に掲載された論文となりますのでP.11「研究成果の刊行に関する一覧」をご参照ください。