

令和 6 年 6 月 14 日現在

機関番号：32657

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K08630

研究課題名（和文）体内植込機器の筐体温度上昇抑制技術の開発

研究課題名（英文）Development of technology to suppress temperature rise in the case of implantable devices

研究代表者

本間 章彦（Homma, Akihiko）

東京電機大学・理工学部・教授

研究者番号：20287428

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,700,000円

研究成果の概要（和文）：体内埋め込み機器を想定した、金属筐体内に電気機器を模擬した発熱体と、隙間の空間に潜熱蓄熱材を封入し、潜熱蓄熱材による蓄熱（吸熱）効果の影響について検討を行った。封入した潜熱蓄熱材の容量の増加に伴い、筐体表面温度上昇の抑制、一定の温度に到達するまでの時間の延長効果が見られた。封入した潜熱蓄熱材の蓄熱（吸熱）効果を最大限に利用するためには、筐体内の潜熱蓄熱材へ均等に熱を伝える必要があることが確認された。熱を潜熱蓄熱材へ均等に伝えるために、潜熱蓄熱材を封入した球状のカプセルを用いる方法や、潜熱蓄熱材を染み込ませたスポンジ状の銅発泡体を用いる方法の有効性が確認された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

生体情報のセンシングや生体機能の補助代替など、体内植込機器の使用機会と重要性はますます増加しているが、筐体温度の上昇は周辺組織のタンパク質の不可逆的熱変性を引き起こすおそれがある。温度上昇を抑制する方法には、抑熱、断熱、放熱、冷却などが考えられるが、蓄熱（吸熱）、定温維持という特性を持つ潜熱蓄熱材の効果的な使用方法に関する知見は、新たな筐体温度上昇抑制手段を提供することにつながる。また、温度上昇が、体内植込機器内の電子機器へ与えるダメージや、周辺組織へ与える悪影響などを回避し、体内植込機器を安全に人体へ適用する新たな手段を提供することが期待される。

研究成果の概要（英文）：The heat storage (heat absorption) effect of the latent heat storage material was investigated. A metal case was prepared to simulate an implantable device, and a heating element simulating an electrical device was placed inside with latent heat storage material sealed in the gaps. As the volume of the enclosed latent heat storage material increased, the increase in the surface temperature of the casing was suppressed, and the time required to reach a certain temperature was extended. It was confirmed that in order to maximize the heat storage effect of the enclosed latent heat storage material, it is necessary to transfer heat evenly to the latent heat storage material inside the housing. In order to transfer heat evenly to the latent heat storage material, the effectiveness of methods such as using spherical capsules containing latent heat storage material and using sponge-like copper foam containing latent heat storage material was confirmed.

研究分野：医用生体工学

キーワード：潜熱蓄熱材 体内埋込機器 筐体温度上昇抑制

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

生体情報のセンシングや生体機能の補助代替など、体内植込機器の使用と重要性はますます増加していくものと考えられる。「体内植込機器の筐体温度上昇」は周辺組織のタンパク質の不可逆的熱変性を引き起こすおそれがある。「体内植込機器を人体へ安全に適用」するためには、「体内植込機器の筐体温度上昇の抑制」は解決すべき重要な課題である。

血液ポンプを動かすモータやドライバ素子、コントローラーやバッテリーを体内に植え込む人工心臓システムでは、従来研究において以下のような取り組みが行われてきた。

抑熱：電子機器の低消費電力化、高効率化を図り、発熱自体を抑制する。

断熱：発熱部である電子回路や機器と筐体の間を断熱し、熱を筐体内部に閉じ込める。

放熱：筐体の表面積を大きくし、周辺組織（筋、脂肪組織）へ放熱する。

放熱：血管近傍など血流による放熱が期待できる部分に放熱をする。

冷却：ペルチェ素子やヒートパイプなどを用いて、発熱部の熱を移動させ放熱する。

しかしながら、低消費電力化や高効率化には限界があり、熱を筐体内部に閉じ込めた場合は電子機器がダメージを受けるおそれがある。放熱を目的とした筐体表面積の増加は植込機器の小型化の障害となる。またヒートパイプやペルチェ素子は吸熱側から放熱側への熱移動を行うだけで、放熱に関する問題は根本的に解決されていない。

これまでに、電子機器の消費電力を制御技術により平均化し、極端な発熱を避けることで「抑熱」する、電子機器へのダメージ対策として熱に強い素子を用いた上で「断熱」する、血液が流れる血液ポンプと発熱源のモータ部を隣接させて「放熱」する方法などが、現実的な対応策として取られてきた。しかしながらこれらの方法だけでは、組織の不可逆的熱変性を回避するためには不十分である。

2. 研究の目的

本研究では「潜熱蓄熱材 (PCM)」の相変化時における「吸熱・放熱」作用を利用した「体内植込機器の筐体温度上昇抑制技術の開発」を目的とする。

潜熱 (吸熱) 効果のある潜熱蓄熱材 (PCM) を用い、適切に調節された相変化 (融解、凝固) 温度における「吸熱・放熱」作用が「体内植込機器の筐体温度上昇の抑制」の有効な手段に成り得るのかどうか実際の検証を行った。

3. 研究の方法

体内植込機器を想定した筐体内に、電子機器を模擬した発熱体 (ヒータ) を封入し、生体組織を模擬したファントム内に留置した。ファントムには、対流による熱移動が無い、筋、脂肪組織の模擬を目的とした寒天を使用し、寒天の温度は体温を想定した 37 度で維持した。発熱体の温度変化に伴い、PCM が充填されている筐体内と筐体表面、筐体周辺部の温度計測を行った。実験装置の概要を図 1 に示す。

筐体を模擬した金属容器の大きさを変えた場合、容器内に PCM を充填した場合としない場合、PCM の充填容量を変化させた場合などについて比較検討を行った。

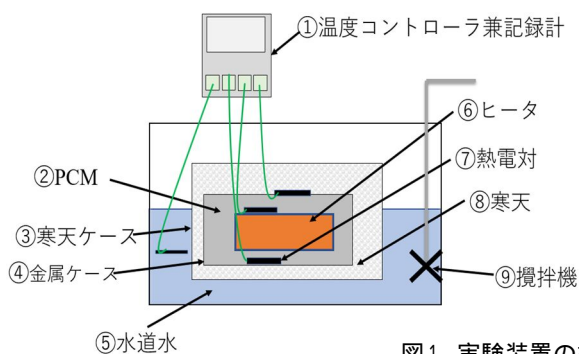
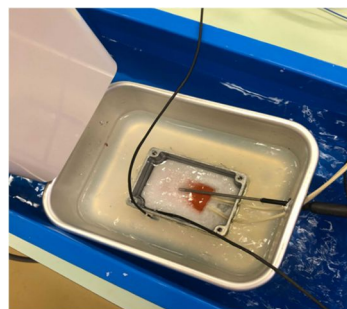


図1 実験装置の概要



4. 研究成果

PCM 充填量の違いによる温度変化の一例を図 2 に示す。この例では体内埋込機器の筐体を想定した金属容器として、容量 239.3[mL]、大きさ 100.0×95.7×25.0[mm]の容器を使用している。PCM の充填量は 0[mL] (充填率 0[%])、30[mL] (充填率 12.5[%])、60[mL] (充填率 25.1[%]) の 3 条件とした。また融点は 37 の PCM を使用している。ヒータの温度は 60 に設定し、金属容器の周りを覆う寒天の温度は 37 とした。ヒータに通電開始後、外装表面温度の上昇が確認された。今回の例では、PCM の充填量が 0[mL] の場合、通電 30 分後には 40.5 までの上昇を認めた。また今回、PCM の充填量が 30[mL] と 60[mL] の場合、通電 30 分後にはそれぞれ、35.7、35.8 まで上昇し、両者に大きな差は見られなかった。また、充填している PCM が固体から液体に相変

化している間は、温度は約 37 に維持され、全て液体に相変化した後は再び温度の上昇が確認された。この他の条件における実験でも、PCM 充填量の増加に伴い、温度上昇が抑制される傾向が確認された。

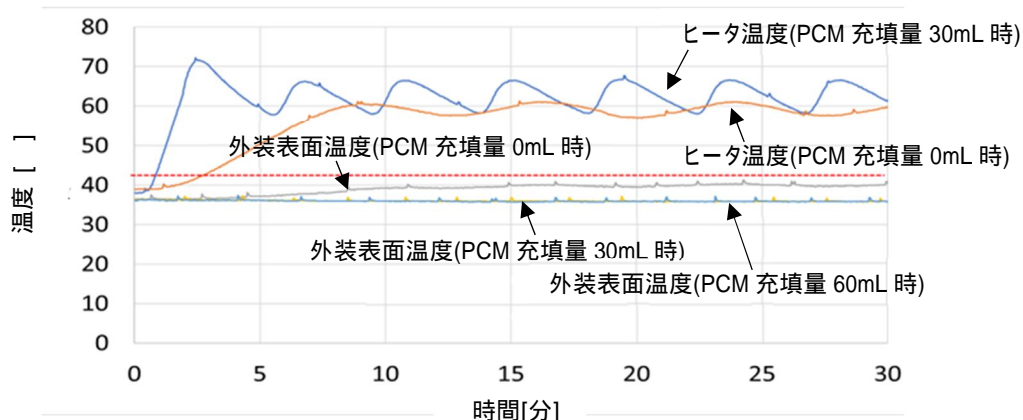


図2 PCM 充填量の違いによる温度変化例

上記以外に、筐体外装表面温度の上昇や下降、局所的な温度変化も確認された。これは、金属容器内に充填された PCM の局所的な融解が原因と考えられた (図3)。局所的に融解した部分は熱を伝達する通り道として機能し、PCM が充填されていない空気が充填されている部分は断熱として機能したことが原因と考えられた。また計測上の問題点として、センサの取付位置による影響も考えられた。

これらの結果により、充填された PCM の潜熱 (吸熱) 効果を最大限に利用するためには、金属容器内に充填された PCM へ均等に熱を伝えることが重要であると考えられた。容器内の PCM へ均等に熱を伝える方法として、PCM を充填した樹脂製などの球形カプセルを使用する方法 (図4) が考えられる。球形カプセル同士が接触する部分で熱を伝えるため、熱の伝わる方向を分散させる効果が期待されるが、球形寸法の最適化、球形カプセル内への PCM 充填量および空気量に関する検討が課題として残される。また、熱伝導率の高い銅の発泡体に PCM を染み込ませたもの (図5) を使用することによって、PCM を単体で使用するよりも、容器内の PCM へ均等に熱を伝える効果が期待される。ただし、熱を伝える銅発泡体の形状 (穴の数、連通構造など) の最適化に関する検討が同様に課題として残される。



図3 PCM の局所的融解



図4 球形カプセル使用例



図5 銅発泡体使用例

今回、PCM の充填が筐体外装表面温度の上昇抑制に一定の効果があることが分かった。ただし、この効果を最大限に利用するためには容器内に充填された PCM に熱を均等に伝える方法の確立が必要と考えられた。また、PCM の潜熱 (吸熱) 効果の利用は、一時的かつ極端な発熱を吸収でき、組織の不可逆的熱変性を回避するには有効と考えられる。しかしながら、相変化により吸熱できる熱量には限界があることから、吸熱可能な熱量を超える継続的な発熱への対応は難しいと考えられる。PCM を再利用する次のサイクルにつなげるためには、発熱量が少ない時に PCM を冷却し、潜熱 (吸熱) 能力を回復させる放熱に関する検討が必要と考えられた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 柴田龍一、本間章彦、塚原彰彦
2. 発表標題 PCMの体内埋め込み機器への応用
3. 学会等名 LIFE2023、第38回ライフサポート学会大会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	塚原 彰彦 (Tsukahara Akihiko) (40806030)	東京電機大学・理工学部・准教授 (32657)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------