

審査の結果の要旨

氏名 村上 遥

本研究は人工心臓への非接触電力伝送技術である経皮エネルギー電力伝送 (TETS) において大きな課題の一つであった、体内外コイルの相対位置のずれが伝送効率低下を引き起こすという問題に対して、フレキシブル基板を用いて作製したコイルであるフレキシブルコイルと命名したコイルを用いることにより課題の解決を試みたものであり、下記の結果を得ている。

1. 従来、固く変形不可能で 1 cm 以上厚みのあった TETS 用コイルを、フレキシブル基板を用いて作製することにより、1 枚 1 mm 以下の薄く湾曲可能なコイルとすることができた。従来コイルは上述の特性により埋め込み箇所が限られ、固定も難しいためにコイルの相対位置がずれることにより伝送効率が低下するという重大な課題があった。これに対し、TETS 用コイルが薄く湾曲可能となることで、位置ずれしづらい側胸部などの空間が狭い箇所への埋め込みを可能とし、位置ずれの問題の解決方法となった。
2. フレキシブルコイルは薄く導線部位の断面積が従来コイルよりも小さいため、伝送時の抵抗成分となる ESR が大きくなり伝送性能が劣りやすいという問題があった。本論文において従来コイルと同等程度の外径、同巻数で作製した片面フレキシブルコイル (コイル V1) の ESR は 11.3 Ω であり従来コイルの 37 倍以上であったが、コイルデザインの工夫により直列指向両面モデルのコイル V6 を 5 枚直列にしたモデル (以下、5 枚直列コイル V6) において、ESR を従来コイルと同等の 0.567 Ω とすることができた。
3. 従来コイルよりもインダクタンスの小さいフレキシブルコイルの性能を補うため、電力伝送分野において新しい技術である共鳴共振現象を利用することとし、伝送実験により共鳴時・非共鳴時の出力電力を比較することでその効果を検証した。疑似両面コイル V2-3 を用いて 25 V を入

力したところ、コイル間距離が 2 mm および 4 mm における共鳴時の出力電力はそれぞれ 20.34 W、18.23 W なり、非共鳴時よりも 3.22 W、3.86 W 大きくすることができ、共鳴共振の有用性が示された。

4. In vitro 実験において、一次コイル、二次コイルを密接させた際の 5 枚直列コイル V6 では平面方向 40 mm においてコイルの鎖交部分が小さくなるため、30 mm のずれと比較して出力電力が半分以下となった。このため、5 枚直列コイル V6 の位置ずれ許容範囲は平面方向 30 mm 程度までだと考えられた。
5. In vitro 実験において、標準体型の人に埋め込む際に想定される以上の曲率である曲率半径 60 mm、コイル間距離 4 mm における伝送において DC-DC 伝送効率は 0.67 となり、一次コイル、二次コイルともに湾曲のない場合の 0.75 と比べやや効率が落ちた。伝送は十分可能な範囲であり、湾曲による伝送性能への大きな影響はないと判断した。
6. 本論文において提案した 5 枚直列コイル V6 をシリコンパッキングしたものをを用い、ヤギでの in vivo 伝送実験を行った結果、30 V 入力時に最大出力電力 15.7 W、最大伝送効率 0.88 を得られた。また、POD24 日目の平均出力電力は 10.3 W、平均伝送効率は 0.72 となった。5 枚直列コイル V6 においては ESR を下げるため、インダクタンスを犠牲として従来コイルの 5 分の 1 程度となったが、伝送実験の結果として従来コイルと同等程度の伝送を行うことができた。また、5 枚直列 V6 の 100 kHz における Q は 18.60 となり、従来コイルの 10 分の 1 以下であるが十分な伝送を行えたことから、伝送周波数のずれに強いという利点も生み出すことができた。
7. In vivo 実験後の周辺組織の目視および組織学的検索双方において、一次コイルの正常位置においては一次コイル下皮膚に熱傷・炎症などは見られなかった。また、二次コイルは周辺組織に沿って湾曲した形で埋め込まれており、完全にカプセル化されていた。このことから、フレキシブルコイルは周辺組織への影響が少なく、生体に優しいコイルだと考えられた。

以上、本論文は TETS においてフレキシブル基板で作製したコイル、フレキシブルコイルを用いることで「位置ずれ」という従来課題の解決手法を

提案した。フレキシブルコイルの作製と改良を繰り返し、*in vitro* およびヤギを用いた *in vivo* 伝送実験において、従来コイルを用いた TETS と同程度の伝送性能を示した。従来 TETS では位置ずれ問題に対し、効率低下を補償するという方向で研究がなされて来た。本論文では位置ずれ自体を起こさないという新たな視点により研究を行い、位置ずれ問題解決以上の上述の利点を持つ TETS を作製することができ、TETS の新たな可能性を示して当該分野への重要な貢献をなすと見込まれるため、学位の授与に値するものと考えられる。