

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 27 日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25630102

研究課題名(和文) LCブースターを用いた埋込機器用体内留置電源ステーションシステムの開発

研究課題名(英文) Development of power supply system for implant medical device in the body using LC-booster technique

研究代表者

松木 英敏 (MATSUKI, Hidetoshi)

東北大学・医工学研究科・教授

研究者番号：70134020

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、体内埋込医療機器のための安定な体内電源構築である。数W～数十Wレベルにおける医療機器の電源は、この電源システムが備えられた空間に居るだけで常時安定した電力供給が為される事となる。まず電力伝送におけるブースターコイルの特性確定と負荷適用範囲の確認を行い送受電間コイルに最大の冗長性を持たせた場合の負荷インピーダンス調整について目処を立てた。また、効率の良い給電と負荷端電圧安定化の両立については直列共振状態とLCブースター方式が重負荷領域で効率最大であり、並列共振型は軽負荷でピークを迎えることが確認できた。これにより安定した体内留置電源の基礎を確認する事ができた。

研究成果の概要(英文)：This research is stable contactless power supply building in the body for medical equipment. Contactless power supply is a technology that enables the supply of electric power without a power cable or other such direct physical connection between a power source and an electric device. For any full-scale diffusion of the technology, it will be necessary to clear a variety of design and usage hurdles. This thesis examines the various issues presented by electromagnetic induction-type contactless power transmission systems, placing a special emphasis on magnetic field spatial distribution and coil/circuit design pertaining to "enhancements to electric power transmission characteristics under low coupling", "development of coil design techniques for impedance-matching circuitry", and bringing together these and related topics, "resolution of practical application issues". It was possible to confirm the basis of a stable power supply in the body based on the above mentioned background.

研究分野：生体電磁工学

キーワード：非接触電力伝送 ワイヤレス 低結合 体内デバイス 埋込機器

1. 研究開始当初の背景

近年、DBS (脳深部刺激装置) や、完全埋込型人工心臓、飲み込み可能な胃内視鏡カプセルに代表される体内埋込医療機器が臨床応用され身近な存在になっている。機器自体の完成度は高いものの、これに追従できない問題として、機器を駆動させるためのエネルギー源が挙げられる。体内埋込機器のエネルギー源は電気エネルギーであり、既に実用化されている心臓ペースメーカーでは、消費電力が極端に少なく一次電池の搭載で十分であるが、除細動器や、更に高機能な機器を想定した場合、充電不可能な一次電池のみでは容量不足が懸念され、電池交換のための再手術を余儀なくされる。結果的に駆動電源の構成が原因となり、埋込機器自体の全体サイズにも影響を与え、円滑な臨床応用への適用を妨げている事例が多々ある。本研究では我々が新たに提案する LC ブースター方式により、新しい電力供給システムを開発する。筆者らは長年、電磁誘導方式によるエネルギー供給についての検討を行って来た経緯があり十分に内容を熟知している。既に、LC ブースター方式を用いた電力伝送に成功しており、十分体内埋込デバイスにも適用可能であることから、埋込機器に頼らざるを得ない患者に一刻も早く朗報をもたらしたいと考えている。なお 2006 年米国 MIT のグループが、共鳴方式を利用した新しい電力伝送方式を提案し、追実験が多くの機関で行われた。この発表後、米国インテル社でのデモが実演される等、数年で急激に注目される技術となった。国内においても、電磁誘導技術では動きの遅かった家電メーカー等が水面下ながらも一斉に開発を始め、試作品の発表に至っている動きもある。一方、国内、国外に於いて明確に本原理を説明したものはなく、そのどれもが一般家電機器を対象にしており、公共の福祉、産業という面では不足である。本方式は送受電コイル間の電磁結合が低い場合でも kHz オーダーで数十 W の電力が伝送できる技術であり、体内埋込機器には最適となり、この新しい電源システムが実現されればこれら機器を使用せざるを得ない患者にとっては大変な朗報となる。また、この方式は電気自動車へのシステムにも適用する事が可能であり、我々のエネルギー伝送の概念を変える可能性を持っている。本方式によって埋込機器実用化のネックとなっていた電源問題が解決されると考えられる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、近年増え続けている体内埋込医療機器のための安定な体内電源構築である。機器を埋め込んだ患者は、機器の駆動電源やその稼働時間を全く意識する事無く日常生活を送る事が可能となる。言わば革新的な埋込医療機器の形態を実現する体内電源システムの構築である。完全埋込型人工心臓や、完全埋込型除細動器、DBS (脳深部刺激装置) に代表される数 W から数十 W レベルにおける医療機器の電源は、この新電源システムが備えられた空間に居るだけで常時安定した電力供給が為される事となり、本研究の最終目標は、全く新しい概念の電源システムの実現である。なお、下記の内容を中心に研究を進める。始めに LC ブースター方式による体内への電力供給確認を行い、続いて体内埋込可能な送受電コイルの小型化、体の動きを考慮した体内電源ステーションの構築を行う。

3. 研究の方法

LC ブースター方式による基本原理に関して、筆者らは既に予備実験済みであり、試作においても LC ブースター方式での電力伝送について成功している。本研究機期間に於いては、まず基本原理に関して、ブースターコイルの必要個数と最適コイル仕様を算出し、負荷に合わせた仕様決定を行う。続いて、体内埋込デバイスを対象としていることから、生体組織を媒介とした場合の電力供給に対する影響について検討を行う。また、本方式の特徴である、コイル間結合が低い場合においてもエネルギー供給が可能な点を最大限に生かす為に、送電側電源より離れた地点での電力受電を目標とし、病室や、寝室等の居住空間至る所でも所望の電力が得られる様なシステム構成について検討を加える。初年度は以下の手法をとった LC ブースター方式を用いた電力伝送におけるブースターコイルの特性確定と負荷適用範囲確認について、LC ブースター方式の基本原則は電磁誘導則に従うものの、ブースターコイルの仕様に柔軟性がある。まずここで、送電側と受電側ブースターコイルの結合係数を 0.1 程度に設定して、送受電間コイルに最大の冗長性を持たせた場合の負荷インピーダンス調整について目処を立てる。これにより対象となる負荷が決定した場合の本方式が対応可能な電力範囲が確定できる。生体組織を媒介としたブースター条件の確立と電氣的伝送パラメー

タの抽出について、LC ブースター伝送の原理実験は既に確認済みであるので、伝送を対象とする体内コイルが水分や血液、体組織を含んだ生体組織に含まれていることから、ファントム組織を用いて、その影響を検討する。具体的には、体内側である受電側ブースター部分の伝送を確認し、送受電コイル間による伝送効率測定からその影響を見る。また、体内留置電源ステーションからの送電とブースターコイルでの受電確認について、一対一の構成に於いて、体内に留置した電源ステーションよりブースターコイルでの受電を確認する。電源ステーションは基本留置位置である鎖骨下と右下腹部を想定し、これより心臓までの伝送距離においてその伝送特性を測定する。この構成で安定した 10W レベルの電力伝送が行える事を確認した。次年度については、一対一での基本構成であったシステムを発展させ、体内留置電源ステーションに対して複数のブースターコイルを対応させ本システムが臨床で使用される状況を想定して検討を進めた。複数ブースターコイルを配置した場合の磁束分布特性と受電電力特性の算出について、体内に複数のブースターコイルを配置した場合の受電特性について検討する。まずは、体外側送電システムと体内留置電源ステーションとの安定動作を確認し、その後受電ブースターコイルを最大 5 つまで設定してその受電動作を確認する。このブースター数である 5 つは、上肢、下肢、更に一つの臓器デバイスを想定している。特にブースターコイル同士が近傍に配置された場合には、自身の結合も発生することからその相対距離をパラメーターにして確認する。特に本システムは低結合状態での動作が基本となることから、精密な測定を行う。その後、受電側、体内電源、受電ブースターの磁束分布確認を行い、相対距離との整合性を確認する。この検討後に受電電力の負荷特性実験を行う。体内外コイルの相対的位置ずれと LC ブースター成立条件の検討については、以下の想定に立った。本検討で得られる最大の効果は、埋込医療機器を装着した患者が、居室や寝室等の空間的に限られた場所にいる場合は、その場所に滞在する限りは LC ブースター伝送により常に電力が供給され、電源の心配をする事無く生活できる事が最大の目的である。つまり体内側ブースターコイルとの結合とは別途、空間に於ける送受電特性も確認する必要がある。コイル間距離を変化させた

場合の LC ブースター条件を維持するためのパラメーターと、伝送効率について検討する。コイル間距離を変化させても、周波数や電圧等の可変可能なパラメータの組み合わせを考慮し、LC ブースター条件が成り立つコイル間最大距離を導きだし、伝送距離の最大値を得る。また、送受電伝送デバイス小型化及び体内留置電源ステーションの電源容量算出については、各種デバイスの動作条件が確認できた所で、送受電コイルを含めた伝送デバイスの小型化に移る。コイル仕様を小型化する事は生体にとって必要不可欠であり、伝送条件を崩さずにコイル外形パラメーターの変換を試みる。また、体内留置電源容量の最適値についても検討を行う。当然ながら、電力伝送においては伝送ロスが発生する事から、体内ブースターコイルの個数が変化した場合でも電源容量が切迫しない様に計算を行う。しかしながら上述のコイルデバイスの小型化と同様に、電源容量と外形サイズはトレードオフの関係にあることから、対象とする体内埋込機器の消費電力及び大凡の電力幅を想定して、まずは標準的な値を参考に算出を進める。最後に必要電力確保の確認において、最終的に小型化された各種デバイスに於いて、伝送電力 20W を目標に最大の伝送距離を定量的に得てまとめる。なお、埋込医療機器としては、電氣的に等価な負荷を用いる事とし、一連の検討を終えた。以上の手法を基本とした。

4. 研究成果

初年度は、ブースターコイルの必要個数と最適コイル仕様を算出し負荷に合わせた仕様決定を行う目的で研究を進めた。体内埋込デバイスを対象としている事から、生体組織を媒介とした場合の電力供給に対する影響について検討を行い、本方式の特徴である、コイル間結合が低い場合においてもエネルギー供給が可能な点を最大限に生かす為に、送電側電源より離れた地点での電力受電を目標とし、病室や、寝室等の居住空間至る所でも所望の電力が得られる様なシステム構成について検討を加えた。体内留置型電源システムについては、当初予定通り検討をはじめ、体内での各種動作について模擬生体を用いて検討を行った。LC ブースター方式を用いた電力伝送におけるブースターコイルの特性確定と負荷適用範囲確認を行い、LC ブースター方式の基本原則は電磁誘導則に従うものの、ブースター

コイルの仕様に柔軟性がある事から，送電側と受電側ブースターコイルの結合係数を0.1~0.5の範囲に設定して，送受電間コイルに最大の冗長性を持たせた場合の負荷インピーダンス調整について目処を立てた．この結果としては予定通り，対象となる負荷が決定した場合の本方式が対応可能な電力範囲を絞り込む事ができた．生体組織を媒介としたブースター条件の確立と電気的伝送パラメータの抽出については，ファントム組織を用いてその影響を検討し，体内側である受電側ブースター部分の伝送と，送受電コイル間による伝送効率測定からその影響を検討した．体内留置電源ステーションからの送電とブースターコイルでの受電確認も行き，送受電一対一の構成に於いて，体内に留置した電源ステーションよりブースターコイルでの受電を確認する事ができた．以上を以て5W~10Wレベルの電力伝送が行える事を初年度の検討として確認する事ができた．次年度については，効率の良い給電と負荷端電圧の安定化を両立する方法について検討を行った．直列共振状態とLCブースター方式が重負荷領域で効率最大であり，並列共振型は軽負荷でピークを迎えることが確認できた．留置電源設計の際は，消費電力が大きい重負荷時に効率が高くなるよう調整されるため，効率の観点からは本方式が有利であるといえる．これにより，直列共振同様の効率特性を保ちながら負荷端電圧変動が抑えられる安定した体内留置電源の基礎を確認する事ができた．

5．主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 0件)

〔学会発表〕(計 2件)

太田佑貴，有賀暢幸，宮原敏，佐藤文博，松木英敏，高効率化と出力電圧安定化を両立した非接触給電装置に関する検討力インピーダンスに関する検討，日本磁気学会学術講演会2014年09月02日，慶應義塾大学(神奈川県横浜市)

有賀暢幸，田倉哲也，佐藤文博，佐藤忠邦，松木英敏，LC-Boosterを利用した非接触電力伝送システムにおける入力インピー

ダンスに関する検討，平成25年電気学会全国大会，2014年03月18日，愛媛大学(愛媛県松山市)

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計 0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6．研究組織

(1)研究代表者

松木 英敏 (MATSUKI, Hidetoshi)
東北大学・大学院医工学研究科・教授
研究者番号：70134020

(2)研究分担者

田倉 哲也 (TAKURA, Tetsuya)
東北工業大学・工学部・講師
研究者番号：00551912

(3)研究分担者

佐藤 文博 (SATO, Fumihiro)
東北大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号：60323060