

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 9 日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2010～2011

課題番号：22656066

研究課題名（和文）共鳴方式を用いた体内埋込医療機器用ユビキタス電源システムの構築

研究課題名（英文）Construction of Ubiquitous Power Station System for Implanted Electrical Medical Device Using method of Resonance.

## 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

研究成果の概要（和文）：電源で駆動する体内埋込医療機器に体外から電力を供給する方式について検討を行った。共鳴方式と呼ばれる手法について検討を行い、コイル形状、電力伝送特性、周波数依存性等種々のパラメータについて考察を行い、体内への電力伝送方式として構築を目指した。新たなコイル形状を提案し、体内ユビキタス電源システムの構築が可能である事がわかったが、共鳴方式も電磁誘導方式の一部に含まれる事、生体への最適な使用周波数帯を更に検討する必要がある事も確認できた。

研究成果の概要（英文）：We study examining the contactless power transmission with resonance method for a implanted electrical medical device. We advance the formulation of suitable contactless power transmission system from outside body to inside body. We make a proposal for new coil shape which prove to be useful in Construction of Ubiquitous Power Station System. We confirm the method of resonance is included the electromagnetic induction method and also require is considered a suitable frequency range for human body as contactless power transmission.

## 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,200,000	0	2,200,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,100,000	270,000	3,370,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電力工学・電力変換・電気機器

キーワード：非接触，電力伝送，電磁誘導，埋込医療機器，ユビキタス

## 1. 研究開始当初の背景

近年、完全埋込型人工心臓や、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。

本研究では新たに提案された共鳴方式により、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事もあり、両方式のメリット、デメリットを十分に把握している。既に、共鳴方式における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事から、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。

## 2. 研究の目的

本研究最大の目的は、新しい原理である共鳴方式を用いた、体内埋込医療機器への電力伝送である。これにより、機器を埋め込んだ患者は、機器の駆動電源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ユビキタス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、この新しい電源システムが備えられた居室や寝室等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、本研究においては、全く新しい概念の電源システム実現が最終目的となる。なお本研究期間内では以下の3項目を焦点に、解明を進める。初めに、共鳴方式による体外コイルから体内埋込機器への電力供給確認を行い、次に体内埋込可能な送受電コイルの小型化に目処を立て、その後体の動きを考慮した、二種類のエネルギー伝送システムの検討を行う予定である。体内機器を埋め込んだ患者が、例えば病室、居室、寝室等、ある一定区域内で自由に動き回る事が可能な広域でのエネルギー伝送を考える。これは、共鳴方式を利用する上で最大のメリットと考える。なお過年度ではあるが、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。しかしながら、国内、国外に於いて明確に本原理を説明したものはなく、どれもが一般家電機器が対象であり、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、MHz オ

ーダの周波数で数十 W の電力が伝送できる技術で体内埋込機器には最適であり、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、この新しい試みは国内、国外において類をみないものである。

## 3. 研究の方法

共鳴方式による基本原理に関して、筆者らは既に解明済みであり、試作においても共鳴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、MHz オーダの使用周波数帯域の変更、高周波電子デバイスを用いた共鳴システムの小型化について検討を行う。続いて、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、送電側電源より数 m 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。一つめは、共鳴方式を用いた電力伝送における、生体組織を媒介とした電力伝送の確立と電氣的伝送パラメータの抽出を行う。共鳴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事から、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、既定周波数である 10MHz オーダ近傍での伝送を確認し、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。続いて、共鳴条件を満たす共振条件の最適化と共振容量の電子デバイス適用による安定化を行う。本方式に於いて電力伝送が可能になるのは共鳴条件を満たした場合であるが、伝送媒体が生体組織となる事から、共鳴を発生させる共振条件についての最適化を行う。共振条件は、送受電コイルインピーダンス、インダクタンス、共振容量を基本に解析を行う。特に共振容量については、MHz 帯域での浮遊容量を用いる考えを改めて、安定したコンデンサによる容量の維持に努め、生体組織の伝送媒体が変化した場合でも安定電力供給できる事を確認する。そして、体内埋込機器側整流後の必要電力確保についても検討を行う。

共鳴方式で、生体内に対し安定した 10W レベルの電力伝送が行える事を確認する。

また、体内外コイルの大きな相対的位置ずれ状態における、安定電力供給可能な条件の抽出も行う。具体的には、以下2つの条件について検討を行う。体内コイルと体外コイルの相対的位置ずれが 1m 以内である場合についてまず検討を行う。体内に機器を埋め込んだ患者の行動範囲について定量的な規定はないが、就寝時の寝返りや、身体近辺の簡単な動作を行う事として、まずは一意に 1m として検討を行う。原理実験では 1m での相対的距離においても電力伝送可能な事から、これと比較する。特に、コイル間伝送効率、また一次側、二次側電圧変動、周波数を基準とした共振条件の変化について確認する。なお重要な点は、二次側埋込機器に安定した電力を伝送する事であるため、二次側電圧安定化デバイスを考慮しながら検討を進める。併せて、体内外コイルの相対的位置ずれの最大距離抽出も重要であると考えられる。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共鳴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。そこでまず始めに、送受電コイル間の距離と、伝送電力の依存性について確認を行う。コイル間距離を変化させた場合の共鳴条件の維持と、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、共鳴条件が成り立つコイル間最大距離を導きだし、伝送距離の限界を探る。続いて伝送デバイス小型化を検討する。身体の近傍、ならびに伝送限界（最大）距離を得たところで、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、インダクタンスならびに共振条件を発生させる浮遊容量を変化させる事であるため、はじめからコンデンサ等の定量的なデバイスを可能な限り使用して伝送パラメータの混乱を避けつつ検討を続ける。この際、伝送限界距離を得る事はもちろんであるが、送受電コイル間の指向性についても検討を行う。また将来的に、同一空間内に複数の電力伝送ユニットがある場合も想定される事から、二組の同時伝送についても検討を行う。この際の共振周波数は、同周波数、異周波数について各々検討し、共鳴条件の成立について影響がないか確認を行う。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、コイル間位置ずれ 1m、また、限界

（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、以上を以て一連の検討を終える。

#### 4. 研究成果

まず初年度は以下の仕様でコイルを作成し検討を行った。送信側のコイルは直径 600 mm、約 5turn のヘリカルコイルとし、このコイルに電力を投入するために、直径 500 mm のフープコイルを用いた。受信側も同様の構成であり。送信側のフープコイルに電力を投入し、受信側のフープコイルから電力を取り出す事とした。また受信側の負荷として電球を利用し、コイル間のギャップをコイルの直径で規格化して効率を計算した。なお最終的な実験では周波数約 10MHz、ギャップ 1m において 100 W 以上の電力伝送を確認した。なお、この実験は全てシールドルーム中で行った。磁界共鳴型の方式を用いた非接触電力伝送の実験を行ったが、一次側と二次側のコイル間ギャップが小さい場合の効率は 70% 程度であり、コイル間ギャップがコイル直径と同じ場合の効率は 55% 程度であった。コイル間ギャップが小さいときに最大効率とならなかった原因は、フープコイルから一次側のコイルにエネルギーを投入する段階の効率が最大でも 90% 前後であり、受信側にも同一の構成があることが主因であると考えられる。また、コイル直径の 3 倍以上のギャップで電力伝送ができなかった理由としては、コイルの Q の値が低下したためであると考えられる。続いて次年度は、完全埋込型人工心臓や完全埋込型除細動器に代表される数 W から数十 W レベルにおける医療機器電源としての最適な構成について検討を行った。人工臓器をはじめ給電対象となる機器の多くが、電源として定電圧源を要求するため、受電側の負荷変動があっても出力電圧が安定していることが求められる。特に医療機器に於いては安定動作が一般家電機器より高い精度で求められる。そこで受電回路のインピーダンスマッチング方式を変え、負荷電圧変動の安定化について検討を行った。対象モデルとして、4 つのマッチング回路を設計し、それぞれを直列共振、並列共振、直並列共振、並直列共振とした。本検討ではコピキタス利用を目指し、1 次コイル、2 次コイル間の結合を低結合条件とした。また、この条件で 1 次コイルを定電流駆動する事により、2 次コイルの開放電圧が一定となり受電回路単独での評価を可能とした。概ね直列共振は幅広い負荷に対して変動を小さくでき、また、

並列共振は最大電圧を大きく設計できる事がわかった。直並列・並直列共振は両者の中間的な性質をもつ詳細な結果を得る事ができた。負荷電圧変動とインピーダンスマッチング方式の関係について検討を行い、方式により最大電圧と負荷電圧の安定度を選択して設計できることがわかった。受電デバイスに印加する電圧とその安定度から適切なマッチング方式を選択することが重要であり、本期間終了後も引き続きこの結果を用いて、体内埋込機器に適した電力伝送の構築を行う予定である。

#### 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 3 件)

1. 太田佑貴, 佐藤文博, 松木英敏, 他, 電磁誘導型非接触電力伝送における負荷電圧変動の安定化, 平成 24 年電気学会全国大会講演論文集, 査読無, 2012, p. 163
2. 太田佑貴, 佐藤文博, 松木英敏, 他, 電磁誘導型非接触電力伝送における複数個同時給電に関する検討, 平成 23 年度電気関係学会東北支部連合大会講演論文集, 査読無, 2011, p. 70
3. 吉藤寿高, 佐藤文博, 松木英敏, 他, 磁界共鳴型非接触電力伝送におけるアンテナ間ギャップと効率に関する基本的な検討, 平成 22 年度電気関係学会東北支部連合大会講演論文集, 査読無, 2010, p. 314

[学会発表] (計 3 件)

1. 太田佑貴, 佐藤文博, 松木英敏, 他, 電磁誘導型非接触電力伝送における負荷電圧変動の安定化, 平成 24 年電気学会全国大会, 平成 24 年 3 月 23 日, 広島工業大学
2. 太田佑貴, 佐藤文博, 松木英敏, 他, 電磁誘導型非接触電力伝送における複数個同時給電に関する検討, 平成 23 年度電気関係学会東北支部連合大会, 平

成 23 年 8 月 26 日, 東北学院大学

3. 吉藤寿高, 佐藤文博, 松木英敏, 他, 磁界共鳴型非接触電力伝送におけるアンテナ間ギャップと効率に関する基本的な検討, 平成 22 年度電気関係学会東北支部連合大会, 平成 22 年 8 月 27 日, 八戸工業大学

#### 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

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

##### (3) 連携研究者

( )

研究者番号 :