

## 体内埋込み機器用簡易情報伝送の基礎検討

## Basic investigation of simple information transmission for implantable devices

○ 金子慎太郎(東京理科大学) 山本隆彦(東京理科大学) 越地耕二(東京理科大学)

Shintaro Kaneko, Tokyo University of Science  
Takahiko Yamamoto, Tokyo University of Science  
Kohji Koshiji, Tokyo University of Science

**Abstract:** Transcutaneous energy transmission (TET) is the most promising non-invasive method for supplying driving energy to an implantable device. Studies have been conducted on a transcutaneous energy and information transmission system that can simultaneously transmit energy and information using a single transcutaneous transformer. In this paper, we report the information transmission characteristics from the inside to the outside of the human body using the transcutaneous transformer with the misalignment between external and internal coils.

**Key Words:** Implantable Devices, Transcutaneous Energy and Information Transmission, Misalignment,

## 1. はじめに

人工心臓や大脳皮質冷却装置などの体内埋込み型機器を実用化する上での問題はいくつかあり、一例として駆動用エネルギー供給や機器制御のための通信が挙げられる。経皮エネルギー伝送システム(Transcutaneous Energy Transmission System: TETS)は体外と体内におかれた二つのコイル間の電磁誘導作用により、皮膚を介して非侵襲的にエネルギーを送ることができるものの、機器制御のための通信用デバイスが別に必要となる。しかしながら、体表に装着する素子が増加するため、患者のQOL(Quality of Life)を低下させる。このため、経皮的伝送装置を実用化するにあたっては、単一の装置を体表面に装着するのみで駆動用エネルギーの供給と情報伝送が行えることが望ましい。この方法としてPLC(Power Line Communication)のための装置を用いることも可能であるが、装置の複雑となり大型となる。体内に埋込まれる機器は可能な限り小型であることが望ましいため、本研究ではエネルギー伝送用トランスフォーマを用いたシンプルな構成によるエネルギーと情報の伝送を目的とし、特に体内から体外へ情報伝送を行った際のコイルの位置ずれによる情報伝送への影響について評価を行った。

## 2. 情報伝送の原理

Fig.1に情報伝送の回路を示す。本システムでは、TETSの一部である経皮トランスフォーマを用いる。体外においては正弦波を入力する。体内において生成される情報信号は体内のFETのゲートに入力され、情報信号に基づきドレインソース間が実効的に開放、短絡され、体内コイルには情報信号波形がASK(Amplitude Shift Keying)変調された形の電流が流れる。これに伴い、体外コイルには情報伝送波形が重畳した電流が流れるため、コンパレータにより波形整形し、復調することで情報信号波形を復元する。本方式の特徴は、体内回路に独立した変調回路を必要としないことにある。このため、体内回路をシンプルかつ小型なものとすることができ、体内回路における消費電力を低く抑えることができる。ここで、体内から体外への情報伝送を行っている際には、体外からのエネルギー供給を停止することとなる。体内回路において情報伝送に必要な電力や、この間の体内機器駆動に必要な電力は、体内に設置した二次電池により供給することを想定している。

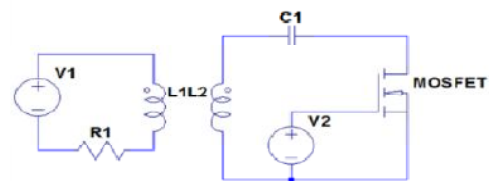


Fig.1 Circuit of information transmission from inside to outside of the body

皮膚の厚みを考慮し、体外コイルと体内コイルの間に5mmの間隙を設けた。二つのコイルに軸ずれがない状態で体内から体外への情報伝送を試みた。体外側において入力した正弦波は、体内埋込み型人工心臓システムにおける情報伝送速度<sup>(1)</sup>を参考に9,600 bpsを想定し、周波数76.8 kHz、振幅4Vとした。

本稿で用いた体外コイルL<sub>1</sub>、体内コイルL<sub>2</sub>の概要をTable 1に示す。巻線には表皮効果の影響を考慮して0.05 mmφ、120本束のリッツ線を用いた。体外コイルに流れる電流を検出するため、10.02Ωの抵抗を体外コイルL<sub>1</sub>に直列に接続した。また、体内側においては、情報信号を模擬した周波数1 kHz、振幅5Vの矩形波をFET(Toshiba, 2SK2508, Tokyo, Japan)のゲートに入力した。

## 3. 結果

Fig.2-4にFETゲート入力電圧波形、体内コイル電流波形、体外コイル電流波形をそれぞれ示す。FET入力電圧波形の変化にともない、体内コイルに流れる電流が変化し、体外コイルに流れる電流が変化していることがわかる。この体外コイルに流れる電流の変化をコンパレータにより波形整形し、復調を行うことで体内において入力した情報信号を復調することが可能である。これにより体内から体外への情報伝送が可能であることを確認した。

Table 1 Prototype Coils

	L1	L2
Inductance [ $\mu\text{H}$ ]	22.38	21.37
Resistance [ $\Omega$ ]	0.506	0.555
Inner diameter [mm]	20	20
Outer diameter [mm]	60	60
Number of Turns	23	23

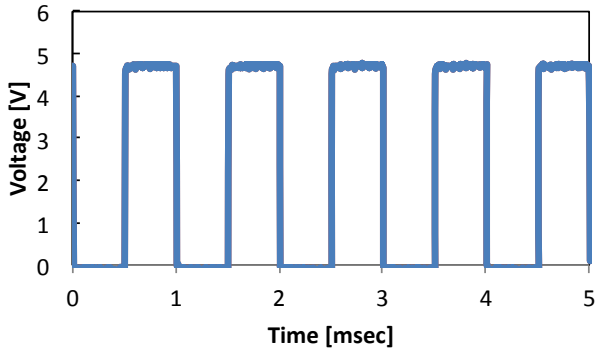


Fig.2 Waveform of Information data

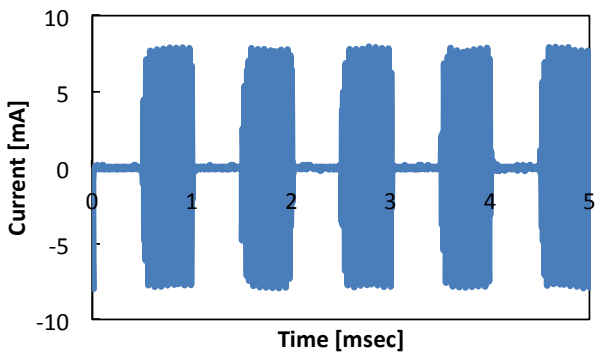


Fig.3 Current flow in the internal coil

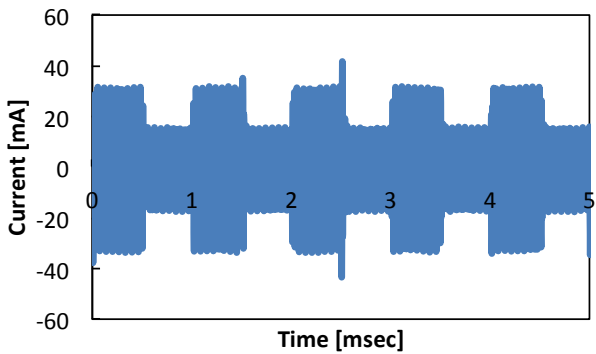


Fig.4 Current flow in the external coil

次に体内コイルと体外コイルの軸に位置ずれが生じた際の情報伝送について評価した。本稿において提案する情報伝送方式は、体内のFETのON/OFFにともない生じる体外コイル電流振幅の変化を利用している。このため、電流振幅の変化が小さくなると情報伝送が困難となる。ここでは、体内外コイルに軸ずれが生じた際の体外コイル電流振幅の変化について評価を行った。結果をFig.5に示す。ここでは、軸ずれが生じていない状態における電流振幅の変化により規格化した。

位置ずれが10 mmを超えたとき、体外コイルに流れる電流振幅の変化は減少していることがわかる。これは、コイルに位置ずれが生じることによりコイル間の結合度が低下したことが原因である。このことを確認するため、位置ずれ発生時の体内外コイルの結合度を測定した。結果をFig.6に示す。位置ずれが0 mmのときの結合度が0.55と最大であったのに対し、位置ずれに応じて結合度が低下し、15mmにおいて0.14となった。

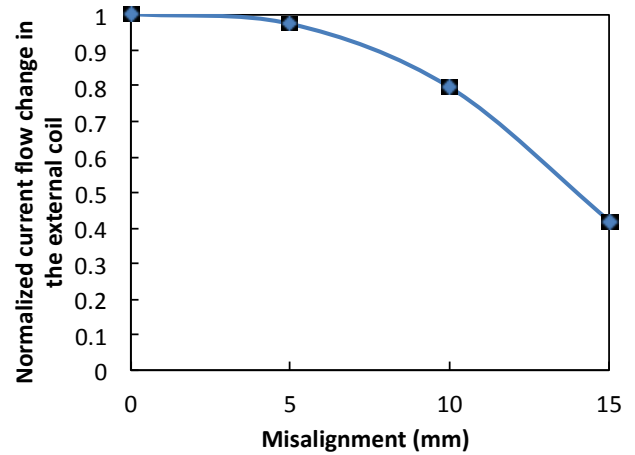


Fig.5 Relationship between current flow in the external coil and misalignment

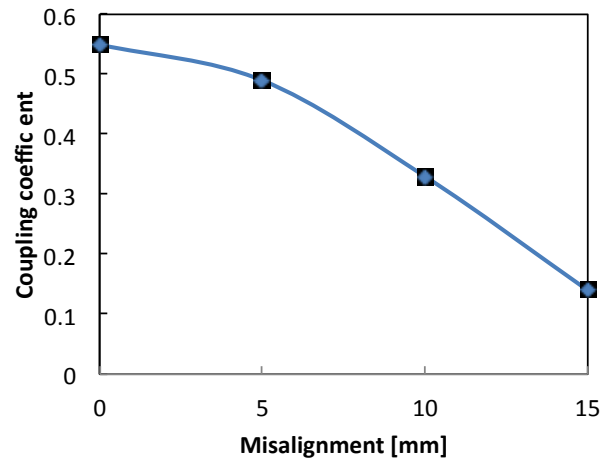


Fig.6 Characteristics between coupling coefficient and misalignment

以上より、コイル間に位置ずれが生じた際の本方式による情報伝送特性改善には、FETのON/OFFにより生じる体外コイル電流の変化を増加させるため、コイル間結合度を改善することが有用であると考えられる。

#### 4. まとめ

本稿では、エネルギーと情報の伝送を1組の経皮トランスフォーマで行うことを目指し、エネルギー伝送用経皮トランスフォーマを用いて体内から体外へ情報伝送を行う方法について検討を行なった。その結果、情報伝送が可能であることを確認でき、コイルの位置ずれと結合係数、体外コイルの電流変化の関係を明らかにした。今後は、消費電力の評価と低減、符号誤り率について検討を行う予定である。

#### 文献

- (1) 山本隆彦, 越地耕二: 体内埋込型人工心臓用経皮光情報伝送システム — 偏光板を用いた光のクロストークの低減 —, 電学論 C, Vol.132, No. 7, pp.1202-1203, 2012