

修士学位論文要約（平成29年3月）

非接触給電システム用高温超電導コイルの
交流損失と電力伝送特性に関する研究

井上 良太

指導教員：津田 理

Study on AC Loss and Electric Power Transmission Characteristics in Wireless
Power Transmission System Using High Temperature Superconducting Coil

Ryota INOUE

Supervisor: Makoto TSUDA

Improvement of transmission efficiency is an important issue in a large-capacity Wireless Power Transmission (WPT) system using copper coils for automobiles and electric railways. We have investigated the application of high-temperature superconducting (HTS) coil to a high-power WPT system operating in the frequency region of 10 kHz. We measured the transport current losses of GdBCO tapes and the total AC losses of GdBCO coils in the kHz frequency band. When the current load factor was high, the AC losses per cycle were constant regardless of the frequency. This is because the hysteresis loss was larger than the eddy current loss regardless of the frequency. We investigated the electric power transmission in an HTS WPT system and a Cu WPT system. Although the quality factor of the HTS coil gradually decreased with the frequency and the operating current, the transmission efficiency of the HTS WPT system was higher than that of the Cu WPT system. We believe that the HTS coil is suitable for a large-capacity and high-efficiency WPT system in the frequency region below 10 kHz.

1. はじめに

近年、ユビキタス社会実現へ向け、小容量から大容量にいたるまで非接触給電システムが注目されている。特に大容量の非接触給電は、蓄電池を備えた電気自動車や電気鉄道など大型機器への適用が期待されており、さまざまな研究が進められている。しかし、銅の送受信コイルを用いた場合、内部抵抗による損失が顕著となり、伝送効率の低下に繋がる。そこで本研究では、高温超電導コイル (HTS コイル) を用いた非接触給電を想定し、kHz帯におけるHTS線材およびコイルの交流損失を明らかにした上で、HTSコイルを用いた非接触給電の基本特性の検討を行った。

2. kHz帯におけるHTSコイルの交流損失特性

安定化層を有するGdBCO線材を用いてコイルを作製し、コイルにおける交流損失およびQ値を評価した。実験に使用したコイルは、上側5ターン、下側5ターン(計10ターン)のダブルパンチキコイルである。また、HTSコイルとの比較のため、リッツ線を用いた銅コイルも作製した。各コイルの諸元を表1に示す。HTSコイルにおける交流損失の周波数依存性を評価した。実験結果を図1に示す。図1より、HTSコイルの交流損失は、周波数が大きくなるにつれて損失が増加している。これは、通電電流が小さいことか

ら、周波数が大きくなるにつれて、超電導層のヒステリシス損に比べ、安定化層の渦電流損の割合が大きくなったためと考えられる。

HTSコイルおよびCuコイルのQ値を図2に示す。図2より、HTSコイルのQ値は、低周波領域では、周波数に対する変化は少ないものの、周波数が高くなるにつれて低下する傾向を示している。これらの傾向は、図1の交流損失の逆数と同様である。なお、銅コイルでは、周波数が大きくなるにつれてQ値は増加している。これは、周波数が大きくなるにつれて、リアクタンス成分が支配的になるためと考えられる。

表1 コイルの諸元

Wire	GdBCO	Copper (Litz wire)
Superconducting layer thickness [μm]	2.7	-
Copper stabilizer thickness [μm]	75.0	-
strand diameter[mm]	-	0.3
Number of filaments	-	45
Tape thickness [mm]	0.16	-
Tape width [mm]	5.0	-
Coil Radius [mm]	45	45
Coil Height [mm]	10	10
Number of Turns	10	11
Self-inductance [μH]	19.7	18.9

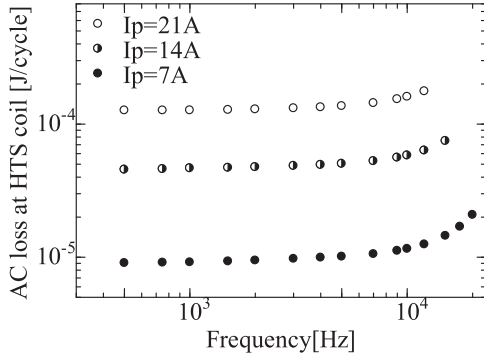


図1 HTS コイルにおける交流損失の周波数依存性

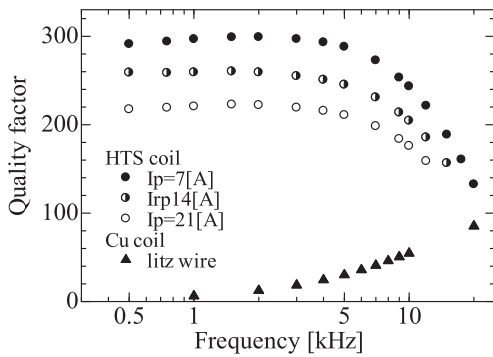


図2 HTS コイルおよびCu コイルにおける Q 値の周波数依存性

3. HTS コイルを用いた非接触給電

1次側および2次側 HTS コイル (HTS-HTS), 1次側および2次側銅コイル (Cu-Cu) で構成される2種類のモデルシステムを作製し, 電力伝送効率と受電電力の負荷依存性を比較した。また, 非接触給電の実験回路を図3に示す。また, 実験条件を表2に示す。ここで, 両システムのコイル間距離は2cmとし, 電源電圧は0.5Vとした。なお, HTS コイルと銅コイルの動作温度は, それぞれ77Kおよび300Kである。

図4に実験結果および解析結果を図4に示す。図4より, Cu-Cuでは, 負荷が大きくなるにつれて受電電力は増加するものの, 伝送効率は, 効率最大となる負荷以上になると大きく低下していることがわかる。一方, HTS-HTSでは, 受電電力は, 負荷が大きくなるにつれて増加し, Cu-Cuの場合よりも大きな電力を送ることができる。また, 伝送効率は, Cu-Cuの場合よりも高く, 負荷の大きさによる効率の変化が小さいことがわかる。

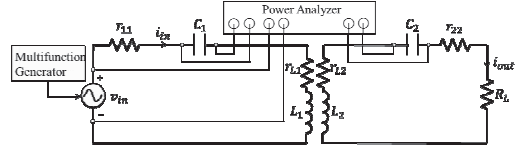


図3 電力伝送効率および受電電力測定回路

表2 非接触給電システムの実験条件

	HTS-HTS	Cu-Cu
Coil inductance L_1, L_2 [μH]	19.7, 19.7	18.9, 18.9
Capacitance C_1, C_2 [μF]	11.1, 11.1	11.1, 11.1
Mutual inductance M [μH]	4.5	5.0
Coupling coefficient K	0.23	0.27
Optimal load R_{L_o} [$\text{m}\Omega$]	320	350
Wiring resistance r_{11}, r_{22} [$\text{m}\Omega$]	4.3, 4.9	4.3, 4.9
Input voltage v_{in} [V]	0.5	0.5

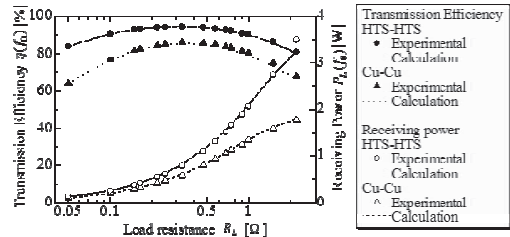


図4 非接触給電における電力伝送効率および受電電力の負荷依存性

4. まとめ

本研究では, 1kHz以上の周波数領域におけるHTS線材やHTSコイルの交流損失特性について検討した。本検討で得られた結果を以下に示す。

①HTSコイルのkHz帯における交流損失は, 安定化層の渦電流損および超電導層のヒステリシス損に依存し, 安定化層の無い線材においては, 超電導層のヒステリシス損が支配的となるため, 1サイクルあたりの交流損失は, 周波数の大きさに関わらず一定となる。

②HTSコイルを用いた非接触給電システムは, 銅コイルを用いる場合よりも, 低周波での高効率かつ大電力伝送に適している。

以上の結果より, 安定化層の薄いHTS線材を採用することにより, kHz帯の低周波領域において高効率な非接触給電が可能であることがわかった。また, 低い周波数で動作させることが, HTSコイルを適用するメリットになることがわかった。

文献

1) H. Yamaguchi, *et al.*: “A study of Primary Coil Interoperable with Heterogeneous Coil to Charge Contactless Electric Vehicles,” the Magnetics Society of Japan, vol. 38(2-1), pp. 33–36 (2014)