

電界結合型非接触スリップリングの作製における 3D プリンタの適用

Research on applying 3D printers for production of electric field-coupled non-contact slip rings

○小林誠元¹, 高橋芳浩²

*Narimasa Kobayashi¹, Yoshihiro Takahashi²

Abstract: To achieve a compact and lightweight design for field coupling non-contact slip ring, we investigated the introduction of a 3D-printed structure. We found that the insulator plate coated with conductive spray could be used as capacitor electrode plate, and size reduction could be achieved by forming complex structures on the electrode plate surface.

1. 背景

風力発電機, レーダーアンテナ, ロボットアームなどの同軸回転体間の電力伝送には, 金属リングとブラシとの接触を利用したスリップリングが広く用いられている。しかし, 摺動に伴う摩擦による摩耗や破損や発生した摩耗粉による接触不良といった問題が存在し, 定期的な保守・交換が必要となるため非接触化が求められる。我々は, 回転部の内外導体間の空隙をコンデンサとして利用した, 電界結合型非接触電力伝送について検討してきた。Fig. 1 に非接触電力伝送システムの概念図と等価回路図を示す。安定した電力伝送には大きな容量が必要である。大小の円形極板を積層させた多層 Fin 型の同軸回転可能な容量を非接触スリップリングとすることにより, 伝送周波数 100kHz において伝送効率約 90%での高効率な電力伝送を確認している [1].

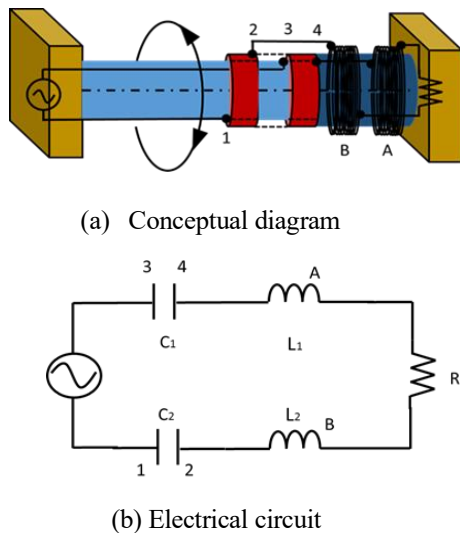


Figure 1. Field coupling non-contact power transmission system [1].

また, 伝送周波数の高周波数化による小型化の検討を進めている [2]. 本研究では, 更なる小型化を目的に, 3D プリンタを適用した絶縁材料製非接触スリップリングの適用可能性について検討した。

2. 実験方法

導電性塗料の性能評価のために, 3D プリンタでポリ乳酸 (Poly Lactic Acid: PLA) 製の Fig.2 のような円板を作製。表面にアクリル系・銀銅配合導電塗料スプレー (Polycalm PCS107AgCu, 公表値: 塗布厚 30 μ m でシート抵抗約 0.2 Ω / \square) を塗布し, 円板同士を 1.7mm で対向させ, インピーダンスを測定した。

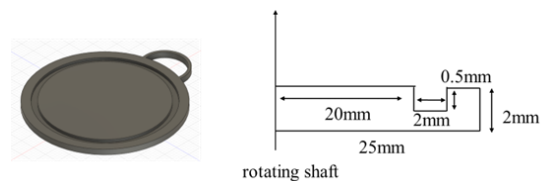


Figure 2. Electrode plate of capacitor to estimate electrical characteristics.

また, 表面が平坦な従来の構造に対し, 表面を凹凸構造とすることによる小型化について検討した。Fig. 3 に作製した大小の円板の構造を示す。各構造の外形/内径は各々 12/3 cm, 10/1 cm である。各円板表面全体において, 動径方向にピッチ 4mm で幅 1mm, 高さ 1mm のフィンを立てている。小円板の内側, 大円板の外側の構造体により極板間隔 (最短距離) を 1.5mm と固定化し, また半径方向に凹凸構造を設けることにより各円板同士の「すべり」をなくした。なお, 現時点では回転は考慮していない。本多層 Fin 型キャパシタンスを作製しインピーダンスを測定することにより, 従来構造と比較・検討した。

1: 日大理工・院(前)・電子, 2: 日大理工・教員・電子

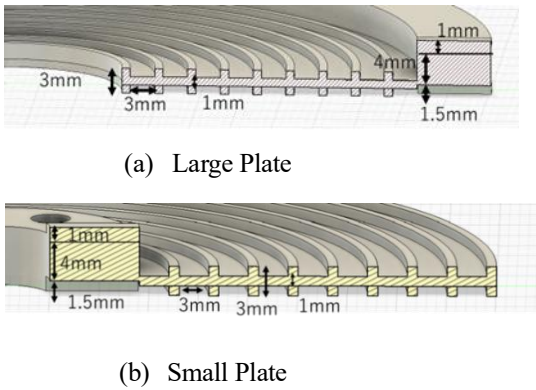


Figure 3. Cross section of electrode plate of multi-fin capacitor fabricated by 3D printer.

3. 結果及び考察

3.1. 導電性塗料の性能評価

Fig. 4 に、Fig. 2 に示した円板により作製した容量のインピーダンス（周波数特性）を示す。C = 9.9pF（計算値 9.71pF）、ESR（等価直列抵抗）= 10.4Ωを確認した。また、内部インダクタンスにより 66MHz で自己共振を起こすこともわかった。金属板に比べて ESR が大きいものの、導電性スプレーを塗布したプラスチック材料が容量の電極プレートとして適用可能であることが確認された。

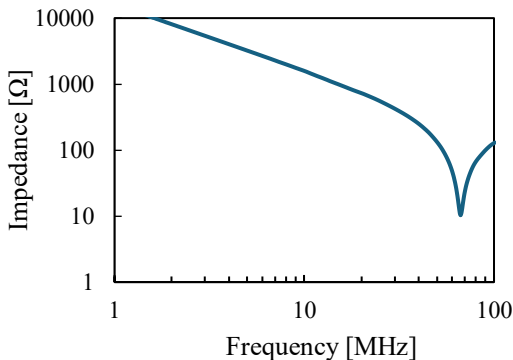


Figure 4. $|Z|$ of parallel plate capacitor fabricated by 3D printer.

3.2. 多層 Fin 型コンデンサの試作

Fig. 3 で示した大小の構造体により多層 Fin 型コンデンサを作製し、積層数（空隙数）に対する容量変化を評価した。Fig. 5 に結果を示す。容量は積層数に比例して増加し、1つの空隙により約 0.1nF の容量が生成可能であることを確認した。この容量値はほぼ予想どおりである

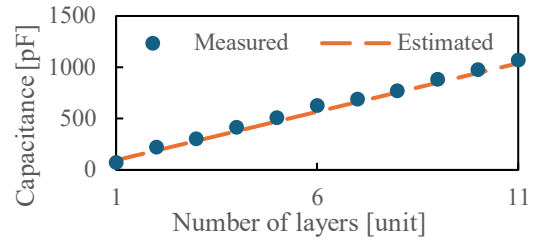


Figure 5. Capacitance of multi-layer type capacitor fabricated by 3D printer with changing layer number.

そこで、本構造の非接触電力伝送システムへの適用について検討した。回転による容量変動が±10%のとき、Fig. 1 (b) の直列共振回路の Q を 3 以下となるよう設計すると、伝送効率 90%以上が確保できる。伝送周波数 1MHz、負荷抵抗 50Ω のシステムを想定した場合、必要な容量は 1.06nF となる。すなわち本構造を用いると積層数 11、積層方向の構造長 3.7cm で実現可能であることがわかった。一方、これまでに試作を行ってきた、外形 12, 10cm、板厚 0.3mm の大小アルミ製電極を極板間隔 1.5mm で積層した場合、同容量を得るための構造長は 4.8cm であり、2割程度の小型化が可能であることがわかった。また本提案構造の ESR は約 4Ω と、アルミ電極を用いた構造の 5 倍程度となることがわかった。これは負荷抵抗の 8%に相当するため、高効率電力伝送のためには、ESR の低減が課題となる。

4. まとめ

非接触スリッピング作製における 3D プリンタの適用について検討した。その結果、絶縁性材料に導電性塗料を塗布することにより、金属極板として使用可能であることを確認した。また、表面構造の複雑化により、従来のアルミ板を用いた構造に比べて 2割程度の小型化が可能であることもわかった。ただし、電力伝送システムへの適用には、等価直列抵抗の抑制が必要であることも確認した。今後、直列抵抗減少とともに耐電力性などについても検討を行い、電力伝送システムの小型・軽量化を目指す

参考文献

- [1] 高橋芳浩 他：「電界結合型非接触スリッピングの設計及び試作」, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J105-B, No. 3, pp. 375-378, 2022.
- [2] 曾我優斗 他「電界結合型非接触スリッピングの安定化に向けた検討」, 日本大学理工学部学術講演会予稿集, M15, 2023.