

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 26 日現在

機関番号：52101

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19K03182

研究課題名（和文）センサー用微弱非接触給電装置を用いた電磁・静電誘導現象の教材開発と学習効果の検証

研究課題名（英文）Development of teaching materials on electromagnetic and electrostatic induction phenomena using a non-contact power supply device for sensors and verification of learning effects

研究代表者

長洲 正浩（Nagasu, Masahiro）

茨城工業高等専門学校・国際創造工学科・教授

研究者番号：20222177

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,700,000円

研究成果の概要（和文）：インバータで制御された配線から、機器の温度状況などを監視する装置の電力を非接触で取り出す研究を進めてきた。本方式には静電現象や電磁現象およびこれらを統合した方式があり、出力電圧300Vのインバータ装置において、数十mWの電力を取得できることを確認した。また、取得電力は静電誘導方式が電圧の2乗、電磁誘導方式が電圧変化率の2乗に比例することも明らかになった。

本研究は電静電現象や電磁現象を活用したものであることから、電気工学を学ぶ学生の学習の役に立ったと考えている。

研究成果の学術的意義や社会的意義

我々は、インバータで制御された電力機器から電力を取得する研究を進めている。具体的には、電気系の学生であれば必ず学ぶ静電現象および電磁現象を基本原理としたもので、インバータ装置の配線から非接触で電力を取得する方法の研究である。現在、多くの電力機器が電力消費を削減するためにインバータで制御されていることから、その応用範囲は広い。また、分かりやすい原理を利用していることから、電気系学生の学びの場の提供にも役立つと考えている。

研究成果の概要（英文）： We have been conducting research to extract electrical power from inverter-controlled wiring for equipment that monitors the temperature of equipment without contact. This method includes electrostatic phenomena, electromagnetic phenomena, and methods that integrate these phenomena. We confirmed that each method can generate several tens of mW of power using an inverter device with an output voltage of 300V. It was also revealed that the acquired power is proportional to the square of the voltage for the electrostatic induction method, and to the square of the voltage change rate for the electromagnetic induction method.

Since this research utilizes electrostatic and electromagnetic phenomena, we believe that it was useful for students studying electrical engineering.

研究分野：電気電子工学

キーワード：電磁誘導 静電誘導 非接触給電 伝送回路 インバータ制御

## 様式 C-19、F-19-1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

産業分野において IoT システムが普及し、産業機器の見える化が進んでいる。これは設備に取り付けたセンサーなどから温度や画像を始めとしたパラメータを収集することで、設備の状態を可視化し、故障個所の検出やメンテナンス、運転の最適化などを目的としたものである。見える化に伴い、多くの場所にセンサーが取り付けられることになるが、その電源の確保が課題となる。機器の中でも特に負荷装置は劣悪な環境下に置かれるだけでなく、負荷を制御する装置の電源とは別系統で準備する必要が出てくる。この解決手段として電池を使用することが行われているが、定期的な電池交換の手間とコストが発生する。したがって、見える化を実現するためにはセンサー用の電源確保が課題となる。

### 2. 研究の目的

現在の電気機器は、多くの機器がインバータで制御されている。インバータの出力電圧は急峻な立ち上がり、たち下がりを持つ方形波であることから、インバータと負荷装置を接続する配線は、伝送路として考える必要がある。そのため、線間やモータ内部の寄生容量を夜押して流れる高周波の漏洩電流や、インバータ端およびモーター端での電圧反射による、高周波の振動電圧が発生する。本研究は、この現象に着目したもので、高周波の電圧と電流から非接触で電力を取り出し、配線が困難な場所に設置されるセンサーの電源に活用することを目的としている。

配線からの電力取得方法には、静電誘導現象、および電磁誘導現象を利用する。高専の学生は2～3年生で電磁気学や電気回路、4年生で伝送回路を学習するが、学んだ現象について応用的に学ぶ機会が不足しがちである。そこで、この研究を推進することで、現象を深く学ぶ機会になると考え研究を開始した。

### 3. 研究の方法

#### (1) 実験装置

実験で使用するインバータ装置は3相出力で、線間電圧が300Vになるため、学生が使用するためには危険が伴う。そこで、図1に示すような、実験装置を制作した。インバータ装置は実験台の上部、モータとその負荷装置は台の下に設置して安全のためにアクリル板で覆った。実験結果は、インバータ配線の種類や長さにより変わることから、交換できるようにした。

インバータの出力は定格出力電圧が200V、キャリア周波数が14kHz、方形波電圧が300Vである。誘導電動機は定格電圧が200V、定格電流が2.2Aである。また、KIV電線には断面積が3.3mm<sup>2</sup>のものを使用した。

配線から非接触で電力を取得する方法には、静電誘導方式、電磁誘導方式、およびそれらを統合

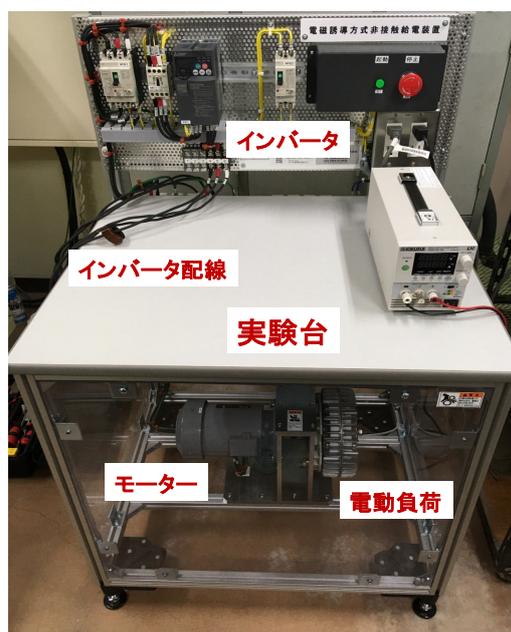


図1 実験装置

した方式がある。以下、各方式について説明する。

### (2) 静電誘導方式

全体の構成図を図2に示す。インバータと負荷装置（モータ）間の配線に金属を巻き付け、中心の金属との間にコンデンサ（以後、取得コンデンサと呼ぶ）を構成する。このときインバータ配線の絶縁被膜はコンデンサの絶縁体として機能する。

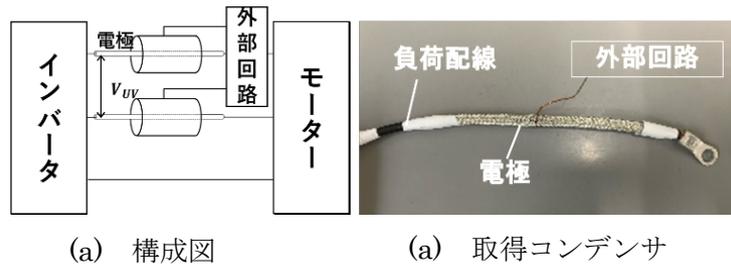


図2 静電誘導方式の構成図

配線間には方形波電圧 $V_{uv}$ が印加されることから取得コンデンサを通して、充放電電流が外部回路に流れる。外部回路には整流回路が接続され、直流電圧が得られる。また、取得コンデンサと整流回路の間に変圧器を挿入することで、電圧を低減し電流を増加させる電圧電流変換方式の検討も進めた。さらに、3本のインバータ配線に取得コンデンサを設置し、出力を加算する3相方式の検討も行った。

### (3) 電磁誘導方式

インバータの出力は急峻な電圧変化を伴う方形波電圧である。電圧の変化率は、電圧 300V の汎用インバータでも、数千  $V/\mu s$  程度になる。そのため、インバータ配線には、配線間やモーターなどの負荷内部の巻線間に存在する寄生の静電容量を通して高周波の電流が流れる。電磁誘導方式は、この高周波電流からコアで構成した変圧器で電力を取得する方式である。

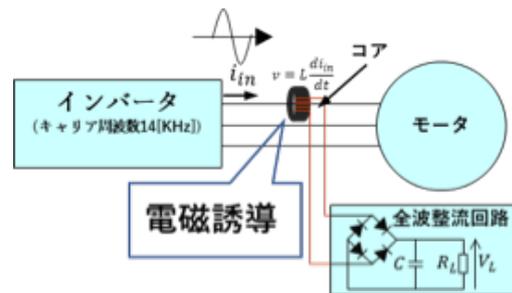


図3 電磁誘導方式の構成図

全体構成図を図3に示す。インバータ配線に、配線を巻いた磁性体のコアを通すことで、変圧器を構成する。インバータ配線が1次側コイル、コアに巻いたコイルが2次側コイルに相当する。インバータの出力電圧が変化すると、インバータ配線には高周波の電流が流れる。この電流により2次側に高周波の交流電圧が励起され、整流することで、直流電圧が得られる。また、静電方式と同様、3本のインバータ配線にコアを設置する3相方式の検討も行った。

## 4. 研究成果

### (1) 静電誘導方式

静電誘導方式に使用する取得コンデンサの容量は、インバータ配線に巻きつける金属の長さに比例することを実測により確認している。長さ 50cm (容量 180pF) で評価したインバータ配線の線間電圧 $V_{uv}$ と取得コンデンサを通して外部回路に流れる電流の関係を図4に示す。線間電圧の変化時に 200mA 程度の電流が外部回路に流れていることが確認できる。

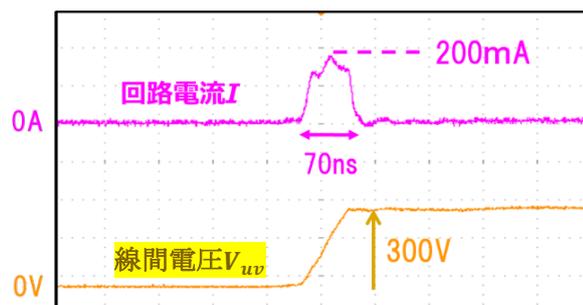


図4 線間電圧 $V_{uv}$ と外部回路の電流 I

静電誘導方式は、インバータ出力の線間電圧、取得コンデンサ、全波整流回路、および直流部のフィルターコンデンサが直列に接続され、フィルターコンデンサと負荷が並列に接続された構成になる。そのため、無負荷状態のときの出力電圧は、理想的には線間電圧まで上昇する。センサー類の電源としての利用を考えると、電圧は 5V～20V 程度であることが望ましいことから、2 つの取得コンデンサの出力を変圧器に接続して、高い電圧を抑制し電

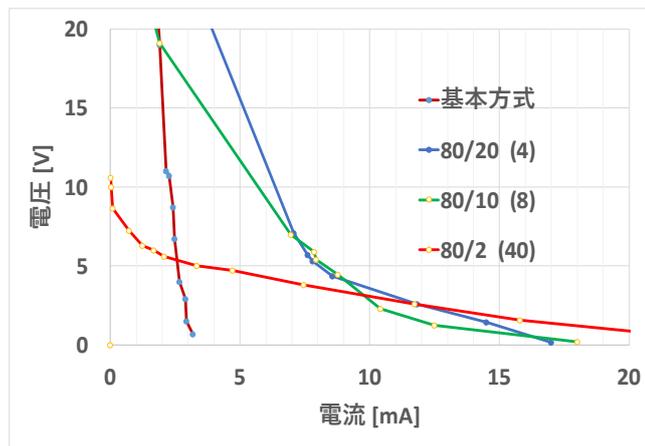


図5 静電誘導方式の出力特性

流を増加させる電圧電流変換方式の検討も行った。これらの結果を図5に示す。なお、横軸の電流値は、負荷抵抗の値を変えることで可変した。変圧器の1次側の巻数を80回に固定し、二次側の巻数を4, 10, 20として変圧比を変えて検証した。その結果、出力電圧5Vのときの電流は、変圧器を使用しない基本方式の2.5mAから、約3倍の8mAに向上することが確認できた。

### (2) 電磁誘導方式

インバータ出力の線間電圧 $V_{UV}$ の変化率は、モータを駆動する電流により変化する。図6は、モータを駆動する電流が1.1Aで、 $V_{UV}$ の正方向への電圧変化率が約 $4300v/\mu s$ 、負方向への変化率が約 $2600v/\mu s$ のときの結果である。なお、コアにはフライトを使用し、2次側の巻数は15回である。インバータ配線には最大値2.9Aの高周波電流 $i_1$ 、コアの2次側巻線には最大値0.16Aの高周波電流 $i_2$ が流れている。また、2次側の電圧の最大値は75V程度であることが確認できる。線間電圧 $V_{UV}$ は、負方向より正方向への電圧変化率が大きいことから、各部の電流と電圧は $V_{UV}$ の電圧変化率が大きくなるほど増加することが確認できる。

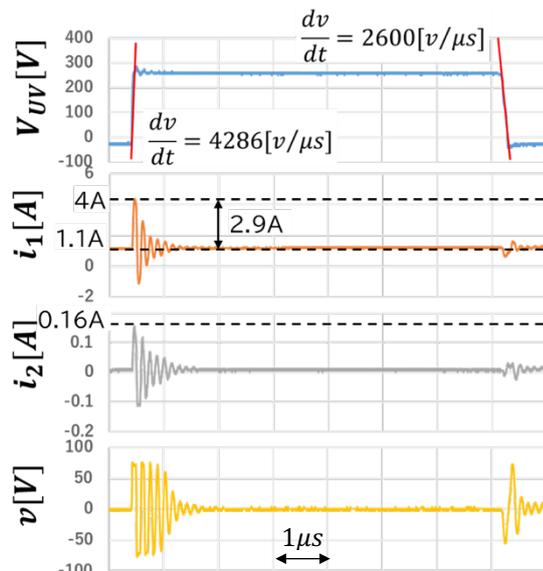


図6 線間電圧 $V_{UV}$ と高周波電流

コアの2次側の出力を全波整流して得られた、直流の出力電圧と電流の関係を図7に示す。コアの2次側の巻数を変えて測定した。出力電流は静電方式と同様に負荷抵抗を可変して測定した。2次側の巻数が15巻程度のときに最大の出力が得られた。

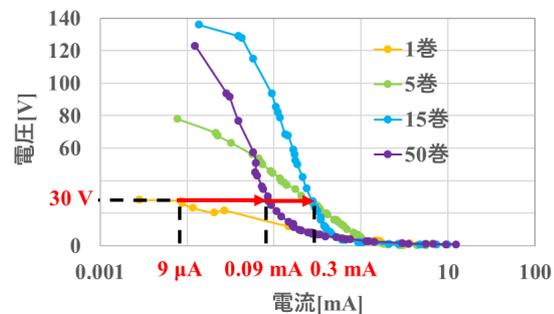


図7 静電誘導方式の出力特性

### (3) 統合方式

以上は、静電誘導方式と電磁誘導方式とも単相での結果である。静電誘導方式であれば、全相の配線に取得コンデンサを取り付けて、各相間から電力を取得することが可能である。また、電磁誘導方式であれば、全相の配線にコアを取り付けて電力を取得することが可能である。また、

静電誘導方式と電磁誘導方式の出力を加算した統合方式にすることも可能である。

以上のようにして構成した、3相方式、および統合方式の結果を図8に示す。図中に示す(静電誘導+電磁誘導)の結果は、静電誘導方式と電磁誘導方式のそれぞれの測定結果を加算したもので、統合方式構成の回路で実施した測定結果と極めてよく一致していることがわかる。統合方式に

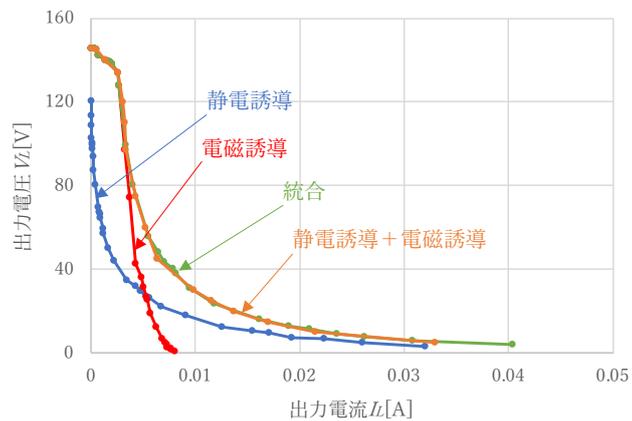


図8 統合方式の出力特性

することで、出力電圧 20V で約 15mA、10V で 28mA 程度の電流が得られている。

#### (4) インバータ出力電圧依存性

本研究は、インバータの出力電圧は方形波で、その電圧が急峻に変化することに着目したものである。したがって、出力電圧の大きさおよび電圧の変化率により、取得電力が変化すると考えられる。これらの関係について、シミュレーションによる検討を行うことにした。

シミュレーションの回路モデルを作成するために、インバータ配線の特異インピーダンスおよびモータの高周波特性を測定した。その結果を下にシミュレーションを実施した結果、1) 静電誘導方式の取得電力は、インバータ出力電圧の電圧変化率には依存せず、電圧の大きさの2乗に比例して増加する、2) 電磁誘導方式の取得電力は、電圧の大きさには依存せず、電圧変化率の2乗に比例して増加する、という相反の結果になることが明らかになった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 鈴木遼生, 長洲正浩, 吉田篤史, 河野恭彦, 菅野雄介
2. 発表標題 PWM制御されたインバータ配線からの非接触給電 ~ 電磁誘導方式 ~
3. 学会等名 2022年電気学会産業応用部門大会 2022年8月
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 皆川桜太, 長洲正浩, 吉田篤史, 河野恭彦, 菅野雄介
2. 発表標題 PWM制御されたインバータ配線からの非接触給電 ~ 静電誘導方式 ~
3. 学会等名 2022年電気学会産業応用部門大会 2022年8月
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 衛藤風馬, 長洲正浩, 吉田篤史, 河野恭彦
2. 発表標題 センサー用微弱非接触給電装置の基礎検討 - 電磁誘導方式 -
3. 学会等名 電気学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 寺門未結, 長洲正浩, 皆藤新一, 河野恭彦, 菅野雄介
2. 発表標題 静電誘導を用いたPWMインバータ線路からの非接触給電装置の開発(II)
3. 学会等名 2023年電気学会産業応用部門大会 2023年8月
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計2件

産業財産権の名称 電力供給装置及び電力供給方法	発明者 長洲正浩 河野恭彦	権利者 日立製作所
産業財産権の種類、番号 特許、出願番号P2022-033426	出願年 2022年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 電力供給装置および電力供給方法並びに当該電力供給装置を用いる鉄道車両用監視システム	発明者 河野恭彦 長洲正浩	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-142864	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	皆藤 新一  (Kaito Shinichi)  (70185700)	茨城工業高等専門学校・国際創造工学科・准教授    (52101)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------