

令和 3 年 6 月 15 日現在

機関番号：35302

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2020

課題番号：18K18126

研究課題名（和文）熱電用電力変換回路の定性的性質の解明と最大電力整合

研究課題名（英文）Fundamental Property of DC-DC Converter with TEM

研究代表者

麻原 寛之（Asahara, Hiroyuki）

岡山理科大学・工学部・准教授

研究者番号：50709615

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、排熱発電システムに用いられる電力変換回路の定性的性質を解明し、回路理論の発展および将来的な排熱発電システムの実用化に資する取り組みである。電源に熱電池を有するDC-DCコンバータは、電源と負荷をインピーダンスマッチングさせ、熱電池から最大電力を取り出す電力整合機能が求められる。研究実施期間内に、熱電池を有する昇圧型DC-DCコンバータの最適な回路パラメータの導出および最大電力点追従制御の実装による性能評価を行うことを主目的に取り組んだ。

研究成果の学術的意義や社会的意義

排熱から電気を発電する熱電池に関する研究は、古くから精力的に行われている。しかし、既存研究成果の多くは、熱電発電材料開発に関するものがほとんどである。一方、熱電池を有効利用するためには、負荷との電力整合のため、電力変換回路に接続する必要がある。したがって、熱電池を産業分野に普及させるためには、熱電池へ接続することに特化した（最適化設計された）電力変換回路を開発し、分野横断的に技術統合する必要があるといえる。本研究は、熱電池へ接続することに特化した電力変換回路の要素技術開発を通じて、得られた研究成果を回路理論の発展および産業分野へフィードバックする。

研究成果の概要（英文）：This research clarifies the qualitative properties of the power conversion circuit used in the waste heat power generation system, and to contribute to the development of circuit theory and the practical application. A DC-DC converter with thermo electric module (TEM) is required to have a power matching function that extracts the maximum power from TEM. During the research period, the main purpose was to derive the optimum circuit parameters of the DC-DC converter with TEM and to evaluate the performance by implementing maximum power point tracking control.

研究分野：ソフトコンピューティング

キーワード：熱電池 DC-DCコンバータ 分岐現象 安定性解析 最大電力点追従制御

### 1. 研究開始当初の背景

異なる金属または半導体材料を接合し、その接合部分に温度差を設けると電圧が発生する。このような、温度差から電力を得ることができる物理現象は、ゼーベック効果と呼ばれる。ゼーベック効果の応用例として熱電池があげられ、工場の排熱、自動車の排ガス、再注目されている太陽熱発電装置、お湯からでさえも、温度差さえ設ければ発電可能なクリーンエネルギー発電デバイスとして実用化へ向けた動きが加速している。

### 2. 研究の目的

出力が数ミリワットの熱電池は、微小電力で駆動する独立型のセンシング・無線通信システムへ、5V程度の駆動電圧を供給する用途で、既に産業応用化が進んでいる。しかし、このクラスの熱電池の出力電流は数ミリアンペア程度であり、駆動可能なシステムは消費電力が数十ミリワット程度のシステムに限定される。一方、出力電力が  $0.7\text{W}/\text{cm}^2$  以上の熱電池も実在し、中電力用途熱電池に分類される。このクラスの熱電池は産業応用化が進んでおらず、今後の技術開発および応用展開が期待されている。本研究では、中電力用途の熱電池を電源に有する電力変換回路の回路動作を解析し、工学的応用へつなげることを主目的としている。

### 3. 研究の方法

図1に熱電池を電源に有する電力変換回路を示す。本回路に対して、下記を行った。

- (1) 安定性解析手法の構築
- (2) 分岐現象の解析
- (3) 定性的性質の解明と工学的応用

(1)に関しては、モノドロミ行列をベースとする汎用的な安定性解析手法を提案した。(2)においては、ポアンカレ写像を定義し、本回路に生じる分岐現象を解析した。(3)では、本回路の安定動作パラメータ領域を解明し、回路実験による性能評価を実施した。

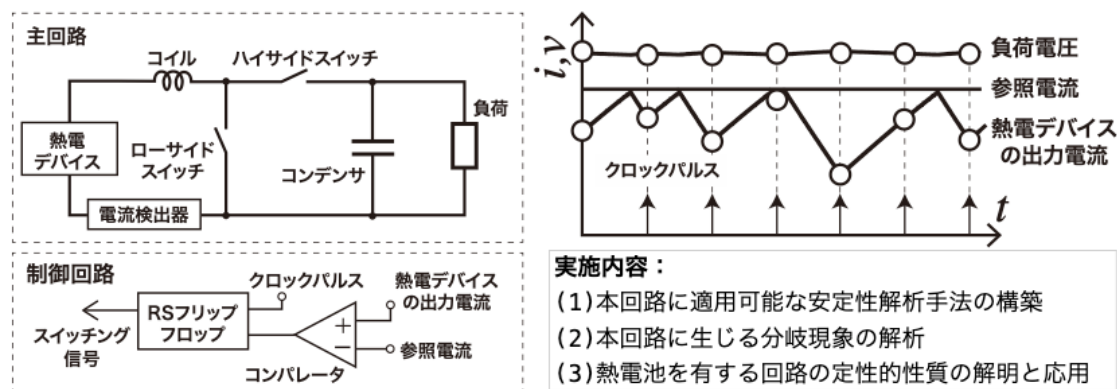


図1. 研究の方法の説明図

### 4. 研究成果

以下、「3. 研究の方法」に記載した実施項目(1)～(3)に沿って説明する。

#### (1) について：

本研究予算で新たに購入した熱試験装置を用い、KELK社製熱電池に280度の温度差を設けて出力特性を計測し、モデル化した。次に、熱電池を接続したDC-DCコンバータの回路方程式を導出した。最後に、スイッチング時の初期値依存性を考慮し、クロック周期間の解軌道の摂動の発達を計算することで、モノドロミ行列を定義した。また、モノドロミ行列に基づく回路動作の安定性判別式を導出した。

#### (2) について：

熱電池の出力電流や負荷電圧をクロック周期毎に離散化し、ポアンカレ写像を定義した。また、ポアンカレ写像をベースに、参照電流値またはスイッチング周波数を分岐パラメータとした1パラメータおよび2パラメータ分岐図を計算し、本回路の動的挙動を広いパラメータ空間から可視化可能な数学的枠組みの構築を完了した。

(3) について：

(1)にて提案した安定性解析手法を用いて広いパラメータ空間で回路動作の安定性を解析し、回路パラメータの最適化を行った。また、現有する回路設計ソフトおよび基板加工機を用いた図2に示す回路を実装した。本回路には、マイクロコンピュータを用いた最大電力点追従制御を実装した。熱電池出力特性模擬電源を用いた回路実験によって、電力利用率、電力変換効率が共に94%以上の良好な結果が得られた。



DC-DC converter



Microcomputer

図2. 実装回路

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 S. Uchino, Y. Maeda, T. Iida, H. Ohtagaki, T. Kousaka, H. Asahara	4. 巻 33
2. 論文標題 Bifurcation Analysis in an Interrupted Dynamical System with State Dependent Input	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Transactions of ISCIE	6. 最初と最後の頁 24-30
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.5687/iscie.33.24	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 H. Asahara, T. Kousaka	4. 巻 14
2. 論文標題 Stability Analysis of State-Time-Dependent Nonlinear Hybrid Dynamical Systems	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEJ TRANSACTIONS ON ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERING	6. 最初と最後の頁 283-288
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/tee.22807	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 0件／うち国際学会 6件）

1. 発表者名 K. Shinohara, T. Kousaka, H. Ohtagaki, H. Asahara
2. 発表標題 Study for MPPT Algorithm with Amplitude Optimization of Periodic Border to DC-DC Converter with Photovoltaic Module
3. 学会等名 Proc. of 2020 International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 S. Uchino, H. Asahara
2. 発表標題 Controlling an Unstable Periodic Waveform Using Evolution of Perturbation in Hybrid Dynamical Systems
3. 学会等名 Proc. of 2020 International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (国際学会)
4. 発表年 2020年

1 . 発表者名 S. Uchino, T. Kousaka, H. Ohtagaki, K. Shinohara, H. Asahara
2 . 発表標題 Behavior of Current-Controlled DC-DC Converter with TEM
3 . 学会等名 Proc. IEEE Workshop on Nonlinear Circuit Networks ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 S. Uchino, T. Yamamoto, F. Mohamad, K. Shinohara, T. Iida, T. Kousaka, H. Ohtagaki, H. Asahara
2 . 発表標題 Basic circuit design of high step-up ratio DC-DC converter
3 . 学会等名 Proc. of 16th International SoC Conference ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 内野翔太, 飯田努, 高坂拓司, 太田垣博一, 麻原寛之
2 . 発表標題 周期的に変動する閾値が熱電池を有するDC-DCコンバータに及ぼす安定化効果の検証
3 . 学会等名 2020年電子情報通信学会総合大会講演論文集
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 H. Asahara, N. Kasa, T. Kousaka, S. Uchino, T. Fujii, T. Iida
2 . 発表標題 Fail safe DC-DC converter with thermoelectric modules
3 . 学会等名 2019 International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Uchino, T. Iida, K. Kasa, T. Kousaka, H. Ohtagaki, K. Shinohara, H. Asahara
2. 発表標題 A Basic Circuit Design of Pile-up DC-DC Converters
3. 学会等名 2018 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 麻原寛之, 飯田努, 笠展幸, 太田垣博一, 内野翔太, 藤井貴志, 高坂拓司
2. 発表標題 熱電用電力変換回路のフォールトトレラント設計と回路動作検証
3. 学会等名 電子情報通信学会 非線形問題研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 内野翔太, 太田垣博一, 高坂拓司, 麻原寛之
2. 発表標題 状態依存型入力を受ける合成力学の動的挙動
3. 学会等名 電子情報通信学会 非線形問題研究会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------