

# 水栓設備によるエネルギーハーベスティング技術に関する研究（第2報）

西嶋 隆、田中 泰斗

## Energy-harvesting technology for water supply products (II)

Takashi Nishijima and Taito Tanaka

水栓バルブ製造業は岐阜県において最も特色のある地場産業の一つである。当県の平成 25 年における給排水用バルブ・コックの出荷額は国内 1 位の規模であり、国内の 34.5%を占めている。本研究は水栓バルブ業界において期待されている環境配慮型・高付加価値の製品開発を提案し、今後の当該製造業の発展に資することを目的とする。本年度はエネルギーハーベスティング技術を用いた、熱水吐出警告機能を有する混合栓を実現するために、混合栓で用いる熱電発電に適した回路構成を検討し試作・実験を行った。試作した回路は MPPC 機能を有する DC-DC コンバータを用い低い電圧で起動し、余剰電力を蓄電する機能と電力不足時に誤動作なく停止する機能を有する。試作回路の消費電力は約 9mW、効率は約 68%が得られた。

### 1. はじめに

平成 25 年の岐阜県における給排水用バルブ・コックの出荷額は 43,991 百万円であり、全国の 127,423 百万円の 34.5%を占め全国 1 位である<sup>1)</sup>。著者らによる当該業界の聞き取りによれば、今後の水栓関連の製品開発においては、環境配慮型・付加価値高い製品の提案が望まれている。しかしながら、高付加価値化に伴う生産コスト増や新しい部品の在庫を抱えるリスク等が新製品開発のハードルとなっているのが現状である。

本研究では、地場産業の発展に資することを目的とし、エネルギーハーベスティング技術（以下 EH 技術）を用いた環境配慮型・高付加価値な水栓製品を提案・試作を行い、新たな製品の一提案を行う。

EH 技術は身の回りにある小さなエネルギーを電気エネルギーに変換・利用する技術であり、近年では国内外で技術発展してきており、今後様々な応用が提案されると考えられる。本課題では熱水吐出警告機能を有する混合栓の提案を行うこととし<sup>2)</sup>、本年度は機能を実現するための発電回路の構成を検討し、回路の試作・実験を行った。

### 2. 熱水吐出警告機能付き混合栓

#### 2.1 概要

提案する機能は、混合栓内に流れる温水と水の温度差からペルチェ素子（以下 TEG）を用いて熱電発電を行い、吐出水の温度をセンサで感知し水温表示や LED 点灯で熱水吐出の注意喚起を行う機能である。熱水の吐水後も、余熱や蓄電したエネルギーを用いて、しばらくの間 LED を点滅点灯し注意喚起する。本機能の動作を記した模式図を図 1 に示す。

発電回路には、以下の 3 点について考慮した。1 点目は低電圧・高インピーダンスの TEG 電力源から、最大限のエネルギーを得るために MPPC 機能を有する DC-

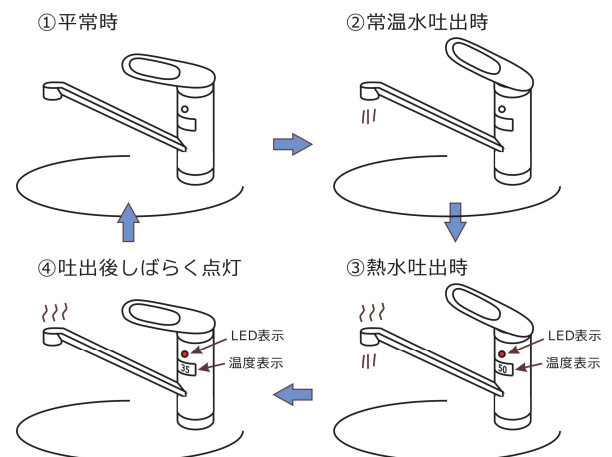


図 1 熱水吐出警告機能の動作の模式図

DC コンバータを採用する。太陽光パネル等の多くの自然エネルギーを扱う発電回路では、MPPC 動作点は電力源の出力状況に応じて制御され、常に最大限のエネルギーを引き出すようにすることが知られているが、ここでは MPPC 動作点を TEG の出力電圧が低い領域に設定することで、低出力時の動作可能な電圧範囲を広げることにより用いる。2 点目は発電電力が消費電力に対して余裕がある状態では、電気二重層コンデンサ（以下 EDLC）に蓄電し、発電電力が不足する状態では放電する機能を設ける。3 点目は発電による供給電力が少ない場合に、回路が誤動作することなく安定して停止し、再び電力が供給された場合に安定して起動するためのリセット回路を設けることを考慮した。

#### 2.2 回路構成

回路の構成図を図 2 に示す。使用した主な電子部品類を表 1 に示す。TEG の使用個数は、DC-DC コンバータ（以下 LTC3105）の入力電圧範囲（225mV～5V）に対

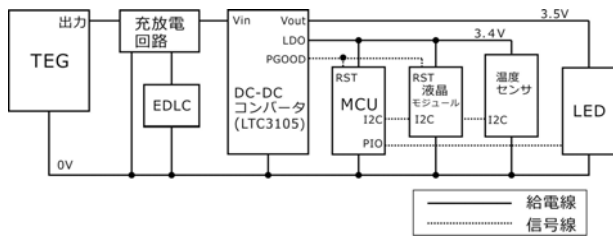


図2 回路構成図

表1 使用した主な電子部品

デバイス	型式	メーカー
ペルチェ素子 (TEG)	TEC1-12706	-
DC-DCコンバータ	LTC3105	LINEAR TECHNOLOGY
MCU	LPC810	NXP
液晶モジュール	AQM0802A	Xiamen Zettler Electronics
温度センサ	ADT7410	Analog Devices
LED	OSWT3166B	OptoSupply

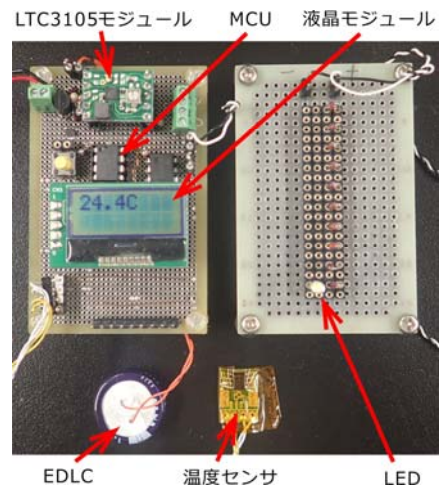


図4 試作回路の外観

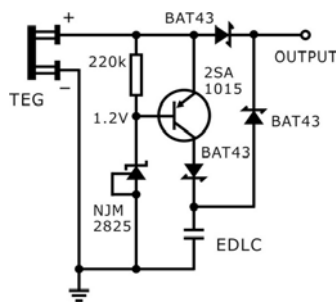


図3 簡易充放電回路

する TEG の出力電圧（後述図5）を考慮すると、1 個または 2 個を直列接続する構成が考えられ、本回路では 1 個の TEG を用いた。

LTC3105 の選定に際しては、外付けのインダクタやコンデンサ等を同一基板上に実装した LTC3105 モジュール（ストロベリーリナックス製）を用いた。

LTC3105 の出力は LDO と Vout の 2 系統あり、LDO は MPU 等の電源用、Vout は電流を必要とする負荷用に設計されている。本回路においても LDO は MPU 等の制御系の電源、Vout は LED の電源とし、それぞれの設定電圧を 3.4V、3.5V とした。

### 2. 2. 1 MPPC 機能

LTC3105 は MPPC 機能を有している。TEG を電力源に用いる場合は、MPPC 電圧は開放電圧の 1/2 の場合に最も多くのエネルギーを引き出すことができることが知られている。本回路の MPPC 電圧は TEG の出力が低い領域で機能させることとし、ここでは 0.47V に設定した。

### 2. 2. 2 充放電機能

充放電回路については文献<sup>3)</sup>を参考に、低消費電力の簡易充放電回路を試作し TEG と LTC3105 の間に配置した。回路図を図3に示す。本回路は低消費電力のシャ

ント型基準電圧 IC (NJM2825 新日本無線) を用い、トランジスタのベース電圧を 1.2V に保つ。したがって、TEG の出力電圧上昇に伴いベース-エミッタ間電圧が上昇し、エミッタ電圧が 1.8V 程度以上に達すると充電を開始する。一方、TEG の出力電圧が EDLC の充電電圧に対し約 0.4V (ショットキーバリアダイオードの順方向電圧) 以上低くなった場合に放電する。

### 2. 2. 3 リセット動作

LTC3105 には Vout が設定電圧を出力しているか判定する PGOOD 端子が用意されているため、PGOOD 端子を用いて MPU と液晶モジュールのリセット動作をさせた。これにより電力供給が不足した場合に、直ちに MPU はリセットされるため安定して回路が停止する。

## 3. 実験

本実験では最初に電力源として TEG 1 個を用いた場合における、回路が起動する温度差と充電回路が起動する温度差を確認した。また、MPPC 機能の有効性を確認するため、LTC3105 の MPPC 機能の有無による、回路が起動する温度差の違いを調べた。

次に、回路の効率と充電機能の有効性を確認する。実験は、充電した EDLC の放電により回路を動作させた場合の EDLC からの供給電力量と LDO 及び Vout の消費電力量を測定し、入出力の電力量の比から効率を求めることにより行い、消費電力量測定にはパワーアナライザ WT500 (YOKOGAWA) を用いた。実験に用いた試作回路を図4に示す。

実験には温度の異なる循環水が必要であるため、ここでは汎用の水冷 CPU クーラ 2 台を用い、それぞれ TEG の表裏面に密着させ温度差を与えた。また、CPU クーラの循環水は、温水と常温水を用いることで、混合栓に組み込んだ状態を模擬した。

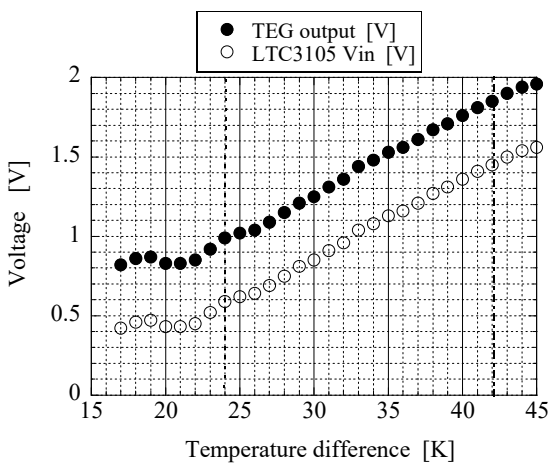


図5 温度差とTEGの出力電圧及びLTC3105の入力電圧の関係

### 3. 1 回路の起動と充電動作の確認、及びMPPC機能の有効性確認

温度差に対する、TEGの出力電圧とLTC3105の入力電圧を測定した結果を図5に示す。

TEGの出力端子とLTC3105の入力端子の間には、逆流防止用のダイオードが挿入されているため(図3)、LTC3105の入力電圧はTEGの出力電圧に対して順方向電圧(約0.4V)分低くなる。

図5に示すように温度差が大きくなると、LTC3105の入力電圧(LTC3105 Vin)はMPPC電圧(0.47V)の制御を外れて上昇した。これはTEGからの供給電力が負荷の消費電力より大きい状態であると考えられる。

温度差が24Kより低い領域では、LTC3105入力電圧がMPPC電圧付近に制御されているが、この領域では回路は駆動不可能であった。この温度差域ではTEGからの供給電力が負荷に対して不足している状態と考えられる。

温度差が24K以上(図中点線より右側)で装置は動作し、温度差が42K以上(図中一点鎖線より右側)でEDLCの充電が開始することを確認した。

MPPC機能の有効性を確認するため、LTC3105のMPPC機能を無効化し回路の起動を試みた。結果、温度差61Kに上昇すると回路は起動し、起動後は温度差34Kに降下するまで駆動可能であった。このことから、MPPC電圧を装置が駆動可能な最低限度の電圧に設定することによって、TEGの出力電圧が低い領域から起動可能になることを確認した。

### 3. 2 消費電力と効率

EDLCからの供給電力量とLDO及びVoutの消費電力量を測定し効率を求めた。本実験では、TEG出力源は用いず、予め外部電源で充電したEDLC(容量1F)の供給電力のみで回路を駆動した。

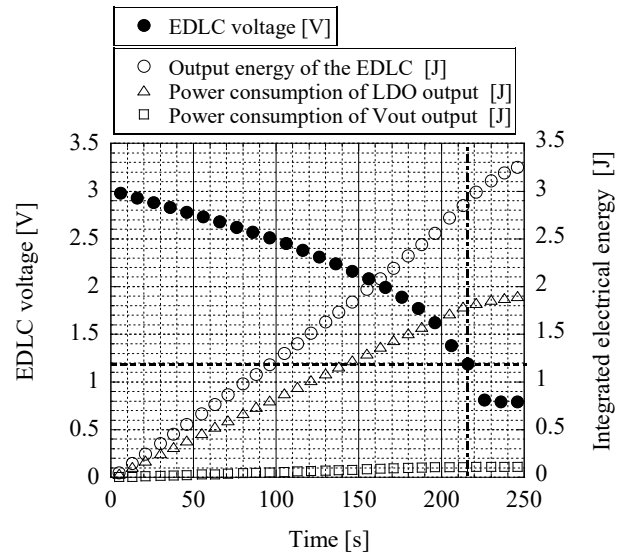


図6 EDLC放電時のEDLC端子電圧とEDLCの放電積算電力量及び、LDO・Vout出力の積算消費電力量

Vout出力の負荷は、LED1個とそれをスイッチするフォトモスリレー(AQV212)のみとし、LEDを点滅点灯させた。なお、本実験ではEDLCを3Vまで充電して実施した。

結果を図6に示す。同図横軸はEDLCの放電時間、左縦軸はEDLCの端子間電圧、右縦軸はEDLCからの供給電力積算値とLDO及びVoutの消費電力積算値を示す。

同図より放電開始後EDLCの電圧が約1.2Vに低下すると、LDOとVoutの積算消費電力値の傾きが小さくなるのがわかる。これは供給電力が不足し、PGOOD端子が機能しリセット動作したためであり、この時の駆動時間は215秒であった。

リセット動作後にLDOとVoutの積算消費電力値の上昇が完全に停止していない理由は、残存する電力によって回路が再起動し、起動後瞬時に電力不足でリセットがかかるといった動作が繰り返されるためと考えられる。このような状態において再び十分な電力が供給されると回路は誤動作することなく起動した。

効率は、積算電力値が時間とともに直線的に増加している範囲を参照し求めた。例えば、200秒までのEDLCからの供給電力量は約2.63J、LDOとVoutの消費電力量はそれぞれ約1.68J、0.11Jの計1.79Jとなる。電力にすると、EDLCからの供給電力は13.15mW(=2.63J/200s)、LDOとVoutの合計の消費電力は8.95mW(=1.79J/200s)となる。効率は出力と入力から約68%(=1.79J/2.63J)となる。

本実験では、EDLCの充電は外部電源を用いて3Vに充電したが、図4より1個のTEGの出力電圧は、混合栓内部の温度差(40K程度)の条件下では3Vまで上昇しない。したがって、充電機能を有効活用するためには、

TEG の出力電圧をより高くする必要がある。蓄電エネルギーは、充電電圧の2乗に比例するため、充電電圧の高電圧化は蓄電による回路の駆動時間の大幅な延長につながる。

具体的な方策としては、TEG を2個直列接続して出力電圧を現在の2倍程度引き上げる方法が有効と考えられる。但し、充放電回路にはEDLCの耐圧(5.5V)を超える場合の保護回路を追加する必要がある。

#### 4. まとめ

EH技術を用いた水栓バルブ製品として、熱水吐出警告機能を有する混合栓を提案し、温水と水の温度差を利用したTEG電力源を用いた回路を試作した。回路は以下の3点を考慮して試作した。

1点目は低電圧・高インピーダンスのTEG電力源から、最大限のエネルギーを得るためにMPPC機能を有するDC-DCコンバータを用い、低出力時における回路の動作可能な電圧範囲を広げた。

2点目は発電の余剰電力をEDLCに蓄電する機能を

設けた。

3点目は発電力が消費電力と拮抗するような領域において、回路が誤動作することなく、安定起動・安定停止する機能を設けた。

実験では、TEG1個を用いた電力源の場合、試作回路の動作可能な温度差範囲は24K以上、充電機能が動作する温度差の範囲は42K以上となった。本回路の消費電力は約9mW、効率は約68%が得られた。なお、充電機能を有効に動作させるためには、TEGの出力電圧の高電圧化が必要となる結果を得た。

今後は本結果をもとに、試作した発電回路を実際の混合栓に適用し本機能の実現可能性を評価する。

#### 【参考文献】

- 1) 平成25年工業統計表「品目編」データ,経済産業省
- 2) 西嶋ら,岐阜県工業技術研究所研究報告,第3号, pp16-19,2015
- 3) トランジスタ技術,第52巻,第2号,pp123-134,2015