

LP ガス使用時における廃棄エネルギーの回収システム

† 服部郁哉 † 鍋木崇史 ‡ 渡辺嘉二郎 † 栗原陽介

† 青山学院大学理工学部経営システム工学科

‡ 法政大学理工学部創生科学科

1. はじめに

1.1. エネルギーハーベスト

近年、身の回りで使われずに捨てられている振動、熱、光、流体の流れなどの微小エネルギーを拾い集め、電力に変換するマイクロ発電技術であるエネルギーハーベスト（環境発電）に注目が集まっている。この技術によって、無線センサネットワークなどで Bluetooth, ZigBee, UWB などを実装するデバイスにおける、電源部の無線化または、電池交換や充電などのメンテナンスの負担軽減に大いに役立つのではないかと期待されている[1]。

1.2. LP ガス

LP ガスとは、Liquefied Petroleum Gas の略称であり、プロパンやブタンを主成分とするガス体エネルギーである。平成 25 年度において、LP ガスは、日本の最終エネルギー消費の約 5% を占め、家庭における LP ガス需要量は、国内全体の需要量の 43% に当たり、LP ガス使用世帯数は、全国総世帯数の半数に当たる、約 2500 万世帯で LP ガスが使用されている。

1.2.1. LP ガスにおける廃棄エネルギー

家庭において、LP ガスをガスコンロなどの燃焼機器で使用する際、タンクから送られる高圧ガスを圧力調整器で減圧処理を行い、燃焼機器で使用している。この減圧調整時に、圧力差×流量に比例する圧力エネルギーが熱エネルギーとして散逸している。

1.2.2. LP ガスにおけるマイコンメータ

マイコンメータとは、ガスメータに小さなコンピュータが組み込まれているメータのことであり、ガスの使用量を計る目的の他に、危険性が高い可燃性ガスである LP ガスの異常状態を監視し、緊急時にはガスの流れを遮断するなどの保安機能の役割を果たしている。このマイコンメータの駆動必要とされる電流は、約 15 μ A 程度であり、3V, 4800mAh のリチウム電池で 10 年程度駆動している。しかし、保安機能の更なる高度化のために、多くの電子機器が使われるようになり、電池の負荷が増える傾向にあり、技術的に可能である様々な保安機能が制約を受けている。

以上のことから、圧力調整器で減圧する際に

廃棄するエネルギーを回収し、マイコンメータとは独立した電力源として使用することで、現在のマイコンメータの信頼性を損なうことなく、制限されていた保安機能を最大限に活用することができるようになる。よって、本研究では、廃棄エネルギーを利用した、エネルギー回収システムの開発を目的とする。

筆者らはこれまで、LP ガスタンク内の圧力をエアモータで受け、エアモータの軸に接続した発電機より電力として回収するシステムを提案してきた[2]。本論文では、防爆のため、モータと発電機の軸をマグネットカップリングにより分離する方法を提案する。また先行論文との電力回収率を比較する。

2. エネルギー回収機能

2.1. LP ガス使用時の圧力調整

ガスタンク内のガス圧力は、ガスの組成と温度が一定であるならば、残液量に関わらず一定となるが、実際には温度変化やプロパンとブタンの沸点の違い、残液量の減少に伴う組成の変化から、ゲージ圧 0.1MPa~0.7MPa 程度の範囲で変動する。圧力調整器内では、この変動する圧力を、ゲージ圧 2800 \pm 500Pa に調整する。

2.2. 減圧によるエネルギー損失

高圧ガスが、低圧ガスに状態変化する場合において、ガスがなす力学的仕事量は、ガスは理想気体、その量を n モルとし、温度 T 、圧力 P_h 、体積 V_h の高圧状態 $H_h (T, P_h, V_h)$ から、温度 T 、圧力 P_l 、体積 V_l の低圧状態 $H_l (T, P_l, V_l)$ へ等温変化した場合、気体がなす力学的仕事量 $E_{h \rightarrow l}$ は、理想気体の状態方程式 $P = nRT/V$ (R : 気体定数) より、

$$E_{h \rightarrow l} = nRT \ln \left(\frac{V_l}{V_h} \right) = nRT \ln \left(\frac{P_h}{P_l} \right) \quad (1)$$

となる。このとき低圧ガスの分子量を M 、温度 T における密度を ρ とし、流量 Q_l で流れているとすると、状態 $H_l (T, P_l, V_l)$ から状態 $H_h (T, P_h, V_h)$ へ変化した際の力学的仕事率 $W_{h \rightarrow l}$ は、

$$\begin{aligned} W_{h \rightarrow l} &= \frac{dE_{h \rightarrow l}}{dt} = \left(\frac{dn}{dt} \right) RT \ln \left(\frac{P_h}{P_l} \right) \\ &= \frac{Q_l \rho}{M} RT \ln \left(\frac{P_h}{P_l} \right) \quad (2) \end{aligned}$$

となり、減圧に伴い単位時間当たり $W_{h \rightarrow l}$ のエネルギーが棄てられていることになる。

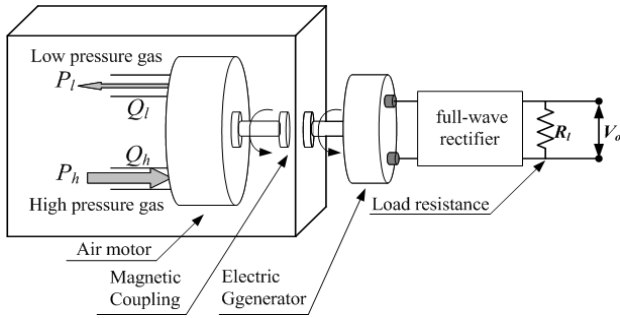


図1 回収システム

2.3. エネルギー回収機能

図1に回収システムにおいて廃棄されているエネルギーを、電力として回収するためのシステムを示す。ガスタンク内において、圧力 P_h の高圧ガスが高圧パイプを通じて、流量 Q_h でエアモータに流入し、そのエネルギーの一部を、エアモータの機械的回転エネルギーに変換し、圧力 P_l 、流量 Q_l で出力する。この時、発電機の回転軸が発生できるパワー W_a は先行論文より、

$$W_a = T_r \omega = C(P_h - P_l - R_r \omega) \omega \quad (3)$$

となる。このエアモータの回転軸を三相交流発電機の軸とマグネットカップリングし、電気エネルギーに変換する。エアモータと発電機は、完全に隔離された空間に設置され、発電機で発生する電気により、LPガスに引火しないようにする。マグネットカップリングによるエネルギー伝達効率を E とすると、発電機の軸が発生できるパワー W_g は、

$$W_g = E W_a \quad (4)$$

発電機の出力を全波整流して直流電圧に変換後、電力を回収する。ここでは計算上、負荷抵抗 R_l で消費される。このとき、回収できる電力 W_o は、

$$W_o = \frac{V_o^2}{R_l} \quad (5)$$

となる。以上より、圧力を P_h から P_l へ減圧した際のエネルギー回収率は、

$$\text{エネルギー回収率} = \frac{W_o}{W_{h \rightarrow l}} \times 100 [\%] \quad (6)$$

となる。

3. 実験手法

前述で提案したシステムにおいて、入力圧力と負荷抵抗の値を変化させたとき、出力電力 W_o 、エネルギー回収率、出力圧力 P_l 、出力流量 Q_l の変化について検討する。LPガスは可燃性ガスであるため、高圧ガス保安協会では、液化石油ガス法における関連法令例示基準第29節に基づき、気密実験を行う際には、不活性ガスである空気または窒素を用いる自主基準を設けている。本

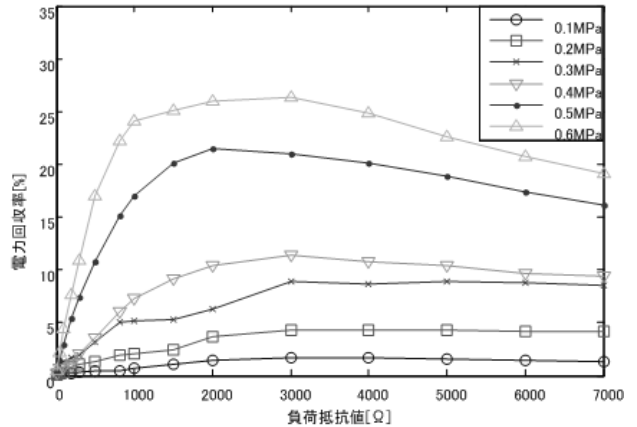


図2 負荷抵抗値と電力回収率の関係

論でも上記の基準に準拠し、実験においてはLPガスの代わりに圧縮空気を用いて提案方式による電力の回収率を検証する。

4. 結果

図2に負荷抵抗値と電力回収率の関係を示す。負荷抵抗値が上がるにつれて電力回収率も大きくなり、3000Ωで最大となり、1.72~26.32%であった。先行論文における電力回収率は最大で16.87%であり、大きく上回る回収率であった。

5. むすび

本論文では、LPガス使用時における廃棄エネルギーをマグネットカップリングで接続されたエアモータと発電機から電力として回収した。その結果、最大で26.32%のエネルギーを電力として回収することができた。

参考文献

[1]川原, 塚田, 浅見:放送通信用電波からのエネルギーハーベストに関する定量調査, 情報処理学会論文誌, 51-3, 824-834, 2010
 [2] 栗原, 見澤, 渡辺, 小林: LPガス用エネルギー回収型圧力調整器の開発, 計測自動制御学会論文集, 45-3, 178-182, 2009

Development of a Wasted Energy Recovery System during LP Gas Pressure Regulation

† Fumiya Hattori, Takashi Kaburagi,
 Yosuke Kurihara (Aoyama Gakuin University)
 ‡ Kajiro Watanabe (Hosei University)