

助成事業の名称

空圧機器に導入された IoT 環境を活用した電力貯蔵システムの提案(共同研究)

1 事業の目的

本事業の目的は、近年普及し始めた IoT (Internet of Things; モノのインターネット) を活用して、数多くの工場に設置されている圧縮空気タンクを蓄電池として利用する新たな電力貯蔵システムを提案することである。

2 実施内容

エネルギー貯蔵技術のひとつである圧縮空気エネルギー貯蔵 (Compressed Air Energy Storage: CAES) は、再生可能エネルギーなどが出力する余剰電力で圧縮機を駆動し圧縮した空気をタンクに蓄えることでエネルギーを貯蔵し、タンク内の高圧の空気で膨張機を駆動することによって発電を行う。空気という安価な媒体によってエネルギーを貯蔵するので、蓄電池に比べて大容量化に適している。本事業では、上記のエネルギー貯蔵を充電動作、膨張機による発電を放電動作と呼ぶ。CAES の構成要素のうち充電動作を行うための圧縮機と圧縮空気を貯蔵するタンクなどの空圧機器は、既存設備として数多くの工場に設置されている。これら既存の空圧機器に加えて放電動作を行うための放電動作部を設置すれば、各工場が電力貯蔵設備を有する状況を作り出せる。この状況を実現するためには、刻一刻と変化する電力の過不足の状況と各工場内の空圧機器の運転状況を把握して、充電動作と放電動作を選択する仕組みが必要である。また、ひとつの工場が有する空圧機器の規模には限りがあるが、多数の工場の空圧機器を連動させることができれば、あたかも大容量のエネルギー貯蔵設備として機能させることが可能となる。本研究では、上に述べた電力ならび空圧機器の状況を把握する手段として IoT 環境を活用することを想定している。本事業では、本研究の第一段階として、提案するシステムの構成要素である放電動作部分の特性を明らかにした。

2.1 実験装置概要

提案するシステムでは、充電動作部は既存の空圧機器を利用する。本事業では、市販のエアコンプレッサーを充電動作部として使用した。放電動作部の設計においては、工場に導入する際のコスト低減を図るために市販品をできるだけ採用し、本装置に専用の部品は最小限にするように留意した。また、専用部品は規格部品への若干の追加工で済むように設計した。膨張機は、定格圧力が 0.5 MPaG の 3 気筒ラジアルピストン形を採用した。発電機は低回転速度で高出力、高効率な永久磁石式の三相交流発電機を採用した。発電機から出力される交流電力は、三相ブリッジダイオードで整流して直流電力負荷装置で消費させた。

2.2 実験方法

膨張機入口での供給圧力が 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 MPaG となるように圧力制御弁で調節した。軸回転速度は、直流電力負荷装置での電流値を調整することで 100 rpm から 850 rpm の範囲 (50 rpm 刻み) で変化させて測定を行った。放電効率 η_d は以下の式(1)を用いて計算した。

$$\eta_d = \eta_{\text{gene}} \eta_{\text{exp}} \quad (1)$$

ここで、 η_{gene} は発電機効率、 η_{exp} は膨張機効率である。次に、発電機効率 η_{gene} と膨張機効率 η_{exp} を式(2), (3)を用いて計算した。

$$\eta_{\text{gene}} = P / L_s \quad (2)$$

$$\eta_{\text{exp}} = L_s / L_a \quad (3)$$

ここで、 P [W] は放電電力、 L_s [W] は軸仕事である。 L_a [W] は作動流体の最大仕事であり、断熱膨張過程を仮定して、式(4)を用いて計算した。

$$L_a = \frac{k}{k-1} \frac{\rho_N}{P_1/(RT)} Q P_1 \left\{ 1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{(k-1)/k} \right\} \quad (4)$$

ここで、 P_1 [MPa] は入口圧力、 P_2 [MPa] は出口圧力、 Q [m³/s] は入口流量、 T [K]、 R [J/(kg·K)]、 ρ_N [kg/m³]、 k はそれぞれ、室温、ガス定数、基準状態での空気の密度、比熱比である。

2.3 実験結果

式(1)、式(2)、式(3)、そして式(4)を用いて放電効率を計算した結果を図1に示す。横軸は回転速度であり、供給圧力ごとの結果をプロットしている。いずれの供給圧力でも、最大放電効率が得られる回転速度は600 rpm から700 rpm の間だった。供給圧力の違いに着目すると、低圧力であるほど放電効率が高かった。しかし、0.2 MPaG の圧力で動作させても、最大放電効率が17%と非常に低く、既製品の組み合わせで構成された現状の放電部の有効性は低いことが分かる。また、この実験装置では供給圧力の差による放電効率の違いがあまりなく、600 rpm の時で比較すると、0.2 MPaG と0.5 MPaG の間での差は5%程度であった。発電機効率(式(2))と膨張機効率(式(3)、式(4))を計算した結果を図2、3に示す。発電機効率は圧力による値の差が大きいが、600 rpm の時に約80%と高い値であった。一方、膨張機効率は圧力による値の差は小さいが、600 rpm の時に約20%と非常に低い値であった。このことから、提案する電力貯蔵システムを実現するには、膨張機効率の向上が必要であることが明らかになった。

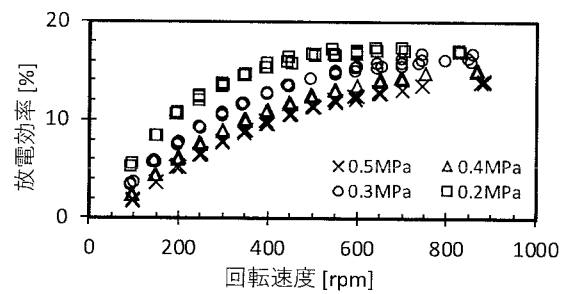


図1 放電効率

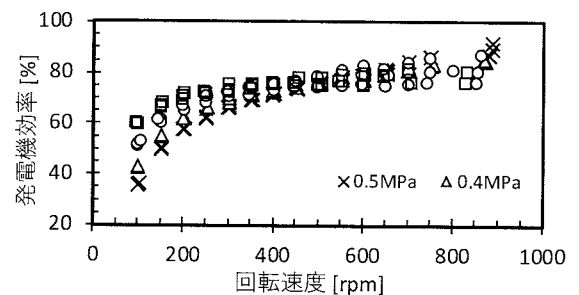


図2 発電機効率

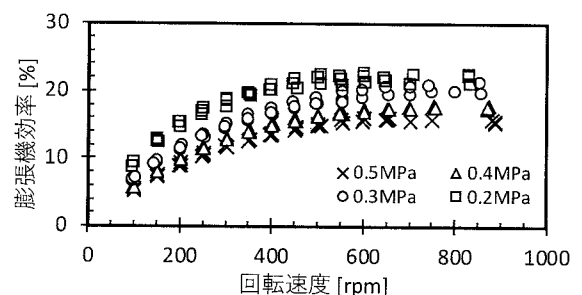


図3 膨張機効率

3 おわりに

本事業では、工場の既存空圧設備とIoT環境を利用する電力貯蔵システムを提案し、その構成要素である放電動作部分の特性を明らかにした。結果として、現状の放電効率は低く、特に膨張機効率を改善すべきであることが判明した。今後は、筆者が開発中の断熱膨張過程形膨張機を導入して放電効率の向上を目指す。また、IoT環境の通信品質が本システムの応答特性に及ぼす影響を調査する。