

電池システムを船内 AC 電源システムに利用した場合の 発電機の燃料消費量に与える影響

東京海洋大学 ©永山 紀周 米田 昇平 木船 弘康

1. はじめに

発電機が複数台並列運転している場合、一台あたりの負荷率は低下しやすく、効率が低下する。このため、電気推進船において、発電機の運転台数を制御することは燃費改善に必須である。しかし発電機定格の大きさによっては高負荷率運転を維持できるわけではない。そこで、本研究では、大容量バッテリーシステムを船内電源システムのエネルギーバッファとして利用し、発電機負荷率の向上、燃費改善効果がどの程度期待できるかシミュレーションにより解析を行った。

2. 電池システムの導入

電気推進船 A 丸の電源システムに電池システムを接続したと仮定して解析を行った (図 1)。長期航海を前提としているため、電池を陸電で充電する運用はしない。発電機負荷率が低いときは電池の充電動作により負荷率を高くする。一方、一定値以上負荷率が高くなる場合、電池を放電することで発電機の並列運転を阻止する。

電池システムはインバータ、チョッパ、バッテリーで構成される。インバータは 1200V/200A 定格 IGBT を採用したフルブリッジ回路であり、直流リンク部電圧 E は 690V とした。チョッパはハーフブリッジ回路とし、SOC や充放電電流の大きさによって変化する電池電圧に合わせてデューティを制御する。なお、これらの定格出力は主発電機に比べて十分に小さい補助電源であるため、短絡電流の供給余剰能力は持たせていない。

電池には表 1 に示す特性を持つと想定した。並列数を解析時のパラメータの 1 つとした。なお、電池全体の最高電圧は 987V、最低電圧は 705V である。

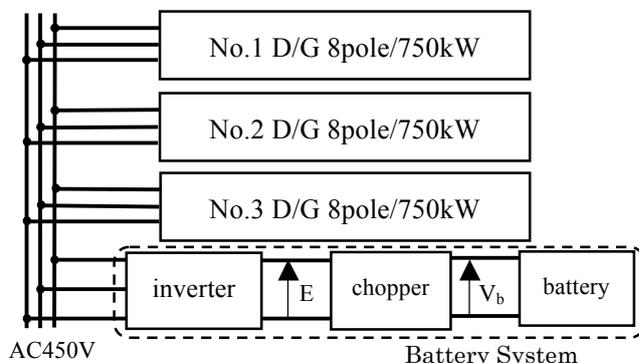


図 1 電池システムを導入した場合の電気システムの概略図

表 1 電池システムの計算条件

充電終止電圧 [V/cell]	4.2
公称電圧 [V/cell]	3.7
放電終止電圧 [V/cell]	3.0
C レート	2
電流容量 [Ah/cell]	10
内部インピーダンス [Ω /cell]	0.01
セルの直列数 [個]	235
電力変換器の定格出力 [kW]	100
電力変換器のスイッチング周波数 [kHz]	3.6

3. 燃料消費のシミュレーション方法

発電機の負荷率と燃料消費の関係は A 丸の主発電機特性をモデル化している。

インバータ及びチョッパは採用する IGBT の飽和特性ならびにスイッチング特性を加味した電力損失、インダクタでの損失等を考慮した電力変換効率を専用ソフトウェアで事前に計算した。その上で処理電圧、電流の大きさによって効率データをテーブル化した。リチウムイオン電池は SOC によって一意に決まる開放電圧の値を基準として充放電電流の大きさ

と内部インピーダンスによって端子間電圧が変化するものとして扱った。また内部インピーダンスリアクタンス成分は含まないと仮定して電池内部での電力損失を計算した。

図1の電源システムに対してA丸で実際に観測された電力負荷を与えて燃料消費のシミュレーションを行った。なお、電池システムの機能を無効にして燃料消費量を計算させたところ、実際の運行で消費した燃料油量との差が、0.5%程度であり、一定程度の妥当性があることを確認した。

2017年7月21日のA丸での発電機1台あたりの負荷率ならびに発電機運転台数をそれぞれ図2及び図3に示す。ほぼ一日中、発電機1台のみで運転しているが、7時頃と14時過ぎに3台並列運転がなされている。

シミュレーションでは、発電機1台あたりの負荷率が85%を超えると電池システムが放電を開始し、発電機が自動で追加運転されるのを防ぐ。電池システムでカバーできないほど負荷が増えた場合は原動機始動、回転数整定の後に自動同期投入される仕組みとした。一方、負荷率が75%を下回るときは電池システムを充電（負荷運転）し、負荷率を80%に近づけるように制御した。

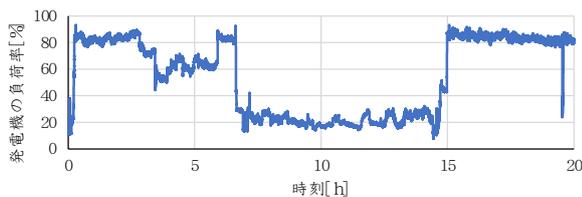


図2 2017年7月21日のA丸での発電機負荷率

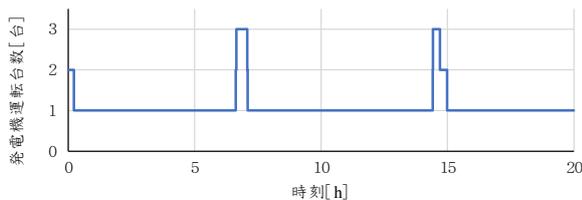


図3 2017年7月21日の神鷹丸での発電機運転台数

4. シミュレーション結果と考察

図4に実際のA丸での燃料消費量に対する、電池システムを用いたことによる燃料消費量の削減量を示す。バッテリーセルの並列数によらず、全体として燃料消費量が削減されている。また、並列数を増やすことで削減量が大きくなる傾向がみられる。

燃料消費量が削減できる要因として、発電機の並列運転時間を削減し、1台で高負荷運転をする時間を増やすことができた点が挙げられる。図5に電池システムを導入した際の発電機運転台数を示すが、図3と比べ並列運転台数が削減できていることがわかる。また、図6に実際の運用における発電機の並列運転時間に対して、電池システムの導入によって削減できた並列運転時間を示す。図4及び図6に着目すると、並列運転時間を削減するほど燃料消費量が削減できる傾向がみられる。

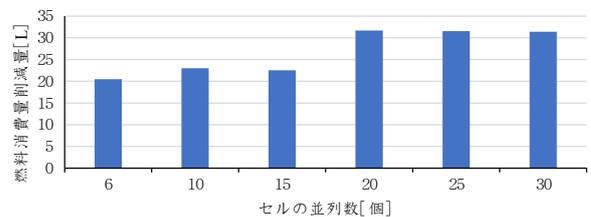


図4 電池システムの導入による燃料消費量の削減量

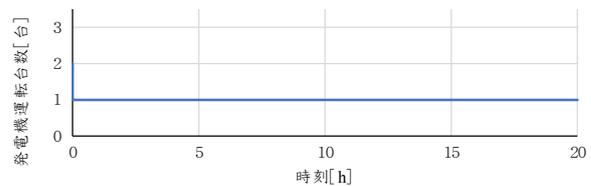


図5 電池システムを導入した際の発電機運転台数(並列数20)

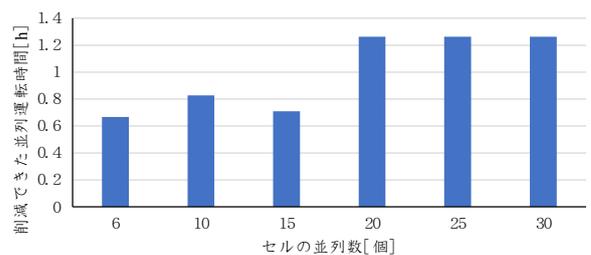


図6 電池システム導入により削減できた並列運転時間