

内航船の 50Hz 陸電導入の検討

東京海洋大学 ◎板津 麗香子 木船 弘康

1. 陸電の導入対象について

陸上電源の利用にはいくつかの技術的懸念事項と導入コストという課題(周波数変換器、キュービクルの保守)を生じる。これら課題を全体的に対処する方法として低圧受電をそのまま船内に導入することを机上検討した。対象は我が国の内航船舶の中では数の多い 499 総トンのばら積み貨物船とした。議論を具体的にするため、499 総トンの供試船 A で数ヶ月にわたり発電機出力電力、電流を計測した。表 1 に供試船 A の主要目を示す。

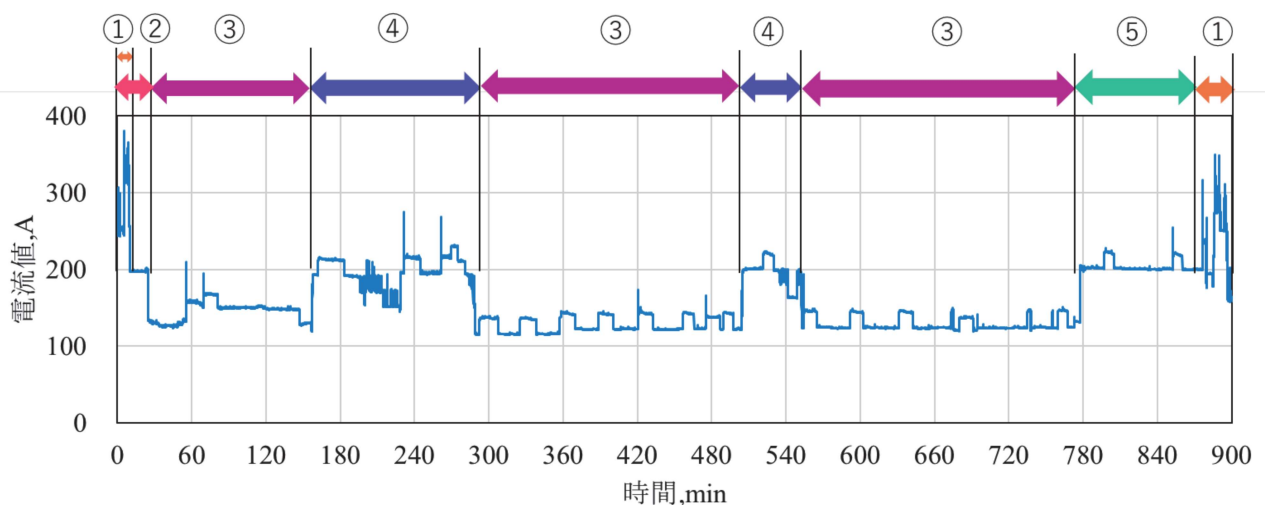
表 1 供試船 A の主要目

資格	JG 沿海
総トン数	499t
載貨重量トン数	1750t
垂線間長	68m
幅(型)	12.3m
深さ(上甲板、型)	7.33m
主機	1471kW×300rpm
主発電機関	160kW×1200rpm

2. 低圧受電を直接利用する利点・欠点

当該サイズの船舶の多くは船内に大電力を必要とするプラント設備がないため、停泊時の消費電力は大きくないと考えられる。このため、電力の受電には特別高圧、高圧大口、低圧と契約形態があるものの、低圧受電(100/200V、~50kW)でまかなえる可能性が高い。低圧受電では、港湾側にキュービクルの設置が不要であり、港湾側が負担すべき初期投資額を抑制できる。よってキュービクルの定期点検・電気主任技術者の専任も不要であり、港湾側のランニングコストを最小限に抑えることができる。船舶側にもドック時に受電することを目的として 200V/150A のブレーカーを備えていることが多く、これを利用すれば新規設備費用の発生を抑制できる。

技術的な課題としては船内発電機電圧の多くが 220V であり、システム全体がそれを前提として設計されているのに対し、陸電は 200V であることが挙げられる。もう一つは、周波数であり、東日本地域(50Hz)で受電する場合は電動機の回転数低下や変圧器の磁気飽和といった懸念が生じる。



① ハッチカバー開閉 ② 冷機 ③ 荷役中(バラストポンプ停止) ④ 荷役中(バラストポンプ運転) ⑤ 暖機

図 1 停泊中における発電機の出力電流値

3. 電流値の上限

低圧受電は 50kW までの電力を引き出せるが、船の総合力率はおよそ 0.8 前後であるため、力率補償していない限り 50kW の電力を受け取れない。そのため、低圧受電による陸電導入をする場合、留意すべきは電力ではなく電流の制限(150A)である。

図 1 に停泊中(220V/60Hz 条件)に実測された電流値の例を示す。図中①ではハッチカバーの誘導電動機が動いている。通常は 2 台同時に動作し、発電機出力電流値はピークで 350A 前後に達する。②ではジャケット冷却清水ポンプと LO ポンプにより主機の冷機を行っている。この日は着桟してから 3 時間後に荷役を開始した。④では、バラストポンプを 2 台作動させている。バラストポンプ使用時は電流値が 200A 程度になっている。③ではバラストポンプを停止している。⑤では主機の暖機を行っている。②、③、④どの区間でも時折電流値が 20A ほど増加しているときがあるが、これは間欠運転している空気圧縮機が動くためである。表 2 に③の区間で機関室内で動作する機器の一覧を示す。

これらは全て誘導電動機によって駆動されるため電源電圧や周波数の影響を受ける。

表 2 停泊中 (③の区間)に作動する誘導電動機が動かす機器

名称	定格電力
低温冷却清水ポンプ	11kW
冷却海水ポンプ	11kW
空気圧縮機	5.5kW
空調装置 圧縮機	5.5kW
ファン	1.5kW
空調用海水ポンプ	1.5kW
温水循環ポンプ	2.2kW
雑用清水ポンプ	0.4kW
清浄機用LO供給ポンプ	0.75kW
清浄機 モーター1	0.75kW
モーター2	1.5kW
ヒーター	8kW
通風機	3.7kW

4. 船内機器の能力低下(ポンプ)

電源電圧が 220V/60Hz から 200V/60Hz、200V/50Hz に変化すると、ポンプの能力も低下する。このためポンプ類が必要な機能を確認できるか確認が必要である。本船では高揚程が要求される雑用清水ポンプに着目した(図 2)。220V/60Hz および 200V/50Hz で動作させた時の揚程曲線は概略推定値である。本船の現場調査で実揚程がおおよそ 10m であったため、船橋では水圧は下がるものの、送水能力は確保できることがわかった。

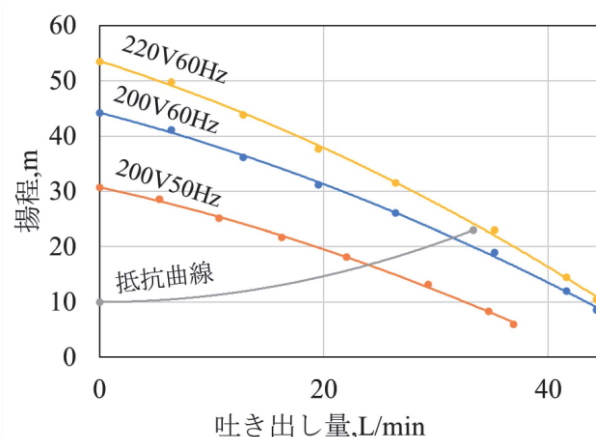


図 2 雑用清水ポンプの揚程曲線と抵抗曲線

5. 船内機器の性能低下(変圧器)

発電機電圧を 200V から 100V 系に降圧するため、変圧器が照明ならびに雑用電源用として設備されている。電源電圧が 220V から 200V へ低下すると、鉄心内の最大磁束も $\frac{10}{11}$ 倍に減少する。一方、周波数が 60Hz から 50Hz になると、最大磁束が $\frac{60}{50}$ 倍に増加する。このため、200V/50Hz で受電した場合、鉄心内の磁束は最大で 9%ほど設計時より増加し、磁気飽和のリスクが生じる。しかし、実際の変圧器の選定にあたっては十分な余裕を持った kVA の定格を選定するため、磁気飽和による電圧歪みや励磁電流の増大といった問題は発生しにくいと考えられる。

なお、船員室内にあると考えられる機器(テレビや冷蔵庫、電子レンジ等)は電圧が 10%低下しても (90V)支障なく動作することを確認した。

6. 低電圧受電の可否

上述の通り電圧や周波数の低下による機器側の動作に支障ないことがわかった。残る課題は電流の制限(150A)である。船内で電力を消費しているものを主要機器の誘導電動機と雑用電源に分けて考える。荷役中(陸電使用中)に動作している機関室内の主要機器は雑用清水ポンプ、空気圧縮機、空調装置、空調用海水ポンプ、温水循環ポンプ、清浄機用 LO ポンプ、清浄機、通風機である。これらのうち、雑用清水ポンプ、空気圧縮機は間欠運転しており、その他は連続運転している。なお、低温冷却清水ポンプと冷却海水ポンプは発電機の冷却のために動かしているので、陸電使用中は必要としない。これらが 200V/60Hz あるいは 200V/50Hz 条件で動作した時の誘導電動機の消費電流を推定する。220V/60Hz から 200V/60Hz に変化したときにすべりは変化しないと仮定する。誘導電動機のトルクは電圧の二乗に比例し、誘導電動機の出力はトルクと回転数の積に比例するため、電圧が 200V に低下すると電流値は低下する。一方、周波数が 50Hz に低下すると誘導電動機の回転数も低下する。電圧を V 、モーターの入力電力を P_{in} 、周波数を f 、モーター入力電流を I_{in} 、力率を $\cos \theta$ とし、電圧と周波数の条件を添え字として記述する。

200V/60Hz 時の誘導電動機の入力電力はおおよそ次式で与えられる。

$$P_{in200,60} = P_{in220,60} \times \left(\frac{V_{200,60}}{V_{220,60}}\right)^2$$

200V/60Hz から 200V/50Hz になった時回転数はおよそ 50/60 に低下するため、誘導電動機の入力電力は

$$P_{in200,50} = P_{in220,60} \times \left(\frac{V_{200,50}}{V_{220,60}}\right)^2 \times \frac{f_{200,50}}{f_{220,60}}$$

よって誘導電動機の入力電流は

200V/60Hz のとき、

$$I_{in200,60} = P_{in200,60} \div \sqrt{3} \div V_{200,60} \div \cos \theta_{200,60}$$

200V50Hz のとき

$$I_{in200,50} = P_{in200,50} \div \sqrt{3} \div V_{200,50} \div \cos \theta_{200,50}$$

照明用や雑用電源では周波数や電圧が低下すると電流値(I_{com})も相応に低下する可能性がある。しかし、全体の電力消費に対して占める割合は大きくないので電源電圧の違いによる変化は生じないと仮定する。なお、 I_{com} は停泊時の発電機出力電流から主要な電力消費機器の電流値を差し引いた値とした。また、家電機器の力率は 1 に近いものの、照明は低力率であるため本来であれば単純に足し引きできないが大勢に影響ないものとしてそのまま扱った。

よって、主要機器の誘導電動機の入力電流の合計を $I_{in,total}$ とおくと、

200V50Hz 時の発電機出力電流 $I_{200,50}$ は

$$I_{200,50} = I_{in,total,200,50} + I_{com}$$

200V60Hz 時の発電機出力電流 $I_{200,60}$ は

$$I_{200,60} = I_{in,total,200,60} + I_{com}$$

以上の計算により 200V/60Hz、200V/50Hz 条件で動作した際の電流値を図 3 に示す。図 3 は図 1 のうち③で示した荷役中の 590 分～670 分までの区間を拡大したものである。

図 3 より、200V/60Hz、200V/50Hz 時の停泊中の電流値は 150A を超えないことがわかる。この理由は電圧の低下により消費電力も低下することに加え、発電機を停止することで低温冷却清水ポンプと冷却海水ポンプも動作していないことが要因である。なお、図 1 および図 3 の例は冷房電力需要の大きい夏の例であるため、電力需要が低くなる他の季節でも荷役中は 150A を超えないと考えられる。以上より、499 総トンばら積み貨物船ではいずれの地域でも停泊荷役中であれば低圧陸電を、そのまま利用できることが示された。

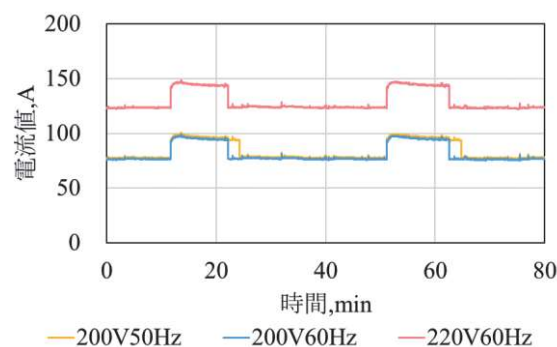


図 3 荷役中の船内負荷が消費する電流のトレンド