

## 陸上電源給電時のかごしま丸におけるインバータ装置を用いた省電力化

牧野文洋\*, 町口朋紀, 上野広輔, 牧野 豊, 福田隆二

### Electric power saving by using inverter device in Kagoshima-Maru when power supplied from the shore

Fumihiko Makino\*, Tomonori Machiguchi, Kosuke Ueno, Yutaka Makino, Ryuji Fukuda

**Keywords:** nverter, shore connection, electrical power saving, power consumption, cooling pump

#### Abstract

Kagoshima-Maru (66.92m, 935t), is one of the training ships of the Faculty of Fisheries, Kagoshima university. She is moored at her home port, Kagoshima Port, except for training voyages, typhoon evacuation, pier construction periods, and charter observation voyages. During the mooring period, she is supplied electric power from shore while her generator had stopped. We aimed for electrical power saving focusing attach inverters to low temperature cooling freshwater pump and cooling sea water pump. The moment power consumption of the low temperature cooling freshwater pump and cooling sea water pump are reduced by more than 75%, in comparison with before installation inverters. Furthermore, we succeed in reducing power consumption more than 50% in six months 2019 and 2021 that we compared.

#### 緒 言

鹿児島大学水産学部附属練習船かごしま丸（全長66.92m, 総トン数935トン）は、東シナ海、南西諸島周辺海域、瀬戸内海等の沿岸から北西太平洋の遠洋区域を実習海域として1週間から1カ月程度の中長期航海実習を年間約170日程度実施しており、実習航海に加え台風避泊、入渠工事、備船観測航海を除いた年間約160日間は定係港である鹿児島港谷山1区5号岸壁（Fig.1）に停泊している。定係港では発電機を停止し、給電線を陸上設備と接続、3相440Vの電源を陸上から船内に給電している（以下陸上電源）。停泊中は、照明器具、PC、冷蔵庫などの一般的な家電に加え、生活用給水ポンプやサニタリーポンプ、污水处理装置、温水ヒーター、空調装置等に電力が消費される。特に空調装置を冷房運転する際には、高温となった冷媒ガスを冷却するために低温冷却清水ポンプ（Low temperature cooling fresh water pump, 以下L.C.F.W.ポンプ）及び、冷却清水を冷却する為の冷却海水ポンプ（Cooling sea water pump, 以下

C.S.W.ポンプ）を各一台ずつ常時運転する必要がある。加えてこれらの冷却水配管は、他の機械類と共用であり、また、船内で必要とされる処理熱量のすべてを賄うことが出来るように容量が大きく作られている為、消費電力が大きい。したがって空調装置は節約の為に努めて停止するようにしているが、学生乗船期間や夏季は衛生面、居住環境を考慮し冷房運転を行っている。これまでに省電力化の為に照明装置のLED化、温水ヒーターへのタイマー設置等を行っているが、本研究では上記のような理由から空調装置の冷房運転に伴う冷却水ポンプに着目し省電力化を目指した。

#### 方法

冷却水系統図をFig.2に示す。C.S.W.ポンプにてシーチェストより汲み上げた海水を冷却海水として使用し、熱交換器（Central cooler）にて低温冷却清水を冷却、L.C.F.W.ポンプにて、航海中は空調装置、主発電機、推進電動機、甲板油圧機械、糧食用冷凍機、魚倉用冷凍

\* 鹿児島大学水産学部附属練習船かごしま丸（Training Ship Kagoshima-Mar, Faculty of Fisheries, Kagoshima University, 4-50-20 Shimoarata, Kagoshima 890-0056, Japan）  
makino@fish.kagoshima-u.ac.jp

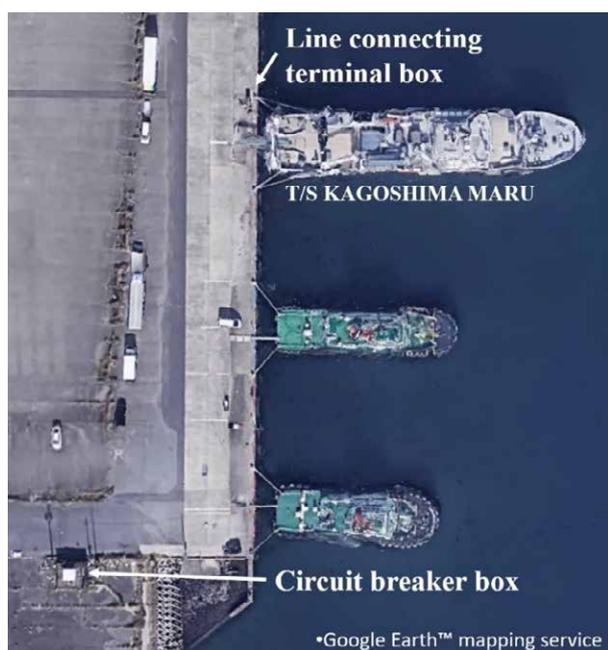


Fig. 1. A map showing the electrical connection facilities installed on the shore of the 5th Wharf in Taniyama 1st Ward.

機, CTD ウインチ等船内各所へ低温冷却清水を循環させている。しかし停泊中の陸上電源給電中において冷却する必要があるのは, 冷房運転されている空調装置と, 出港前食料積み込み時に起動する糧食用冷凍機のみである。L.C.F.W. ポンプと C.S.W. ポンプは各3台ずつ搭載されており, 航海中は運転機器数による処理熱量に応じて各1台もしくは各2台のポンプ運転で冷却水系統を賄っている。したがって停泊中冷房運転時の空調装置や糧食用冷凍冷蔵庫のみを冷却するには各1台のポンプでも流量が多く過剰性能である。これらのポンプは定格回転ポンプであり, モーター回転数の調節が出来ず空調機器起動中は常時運転されている。便宜上No.3 L.C.F.W. ポンプ及びNo.3 C.S.W. ポンプを陸上電源給電中専用とし, それぞれにインバータ装置を設置した。インバータ装置とは, 交流を直流に変換した後, 電圧や周波数を変えて交流を作り出す装置のことである<sup>1)</sup>。L.C.F.W. ポンプ, C.S.W. ポンプ及び設置したインバータ装置の仕様を Table 1 に示す。インバータ装置にて任意の負荷率を設定することで, ポンプの回転数を調整, 消費電力を抑えることを目指した。負荷率とは, 定格運転時(周波数60Hz, 電圧440V)の負荷を100%とし百分率で表示したものである<sup>2)</sup>。

インバータ装置は2020年4月に Fig.2 に示す箇所に設置し, 冷房運転を開始した2020年5月10日より, L.C.F.W. ポンプ負荷率50%, C.S.W. ポンプ負荷率50%で試験的に運用開始した。L.C.F.W. ポンプは同年6月

29日に45%, 同7月9日より40%への変更を経て, 同8月1日より35%にて, C.S.W. ポンプは同6月4日に30%への変更を経て, 同7月9日より25%で運転している。これ以降も負荷率をさらに減じるために試行錯誤を繰り返した。

Table 1. Specification of cooling pumps and inverters

	L.C.F.W.pump	C.S.W.pump
Type of pump	Centrifugal pump VMPH-150MT Daito pump kogyo Co.,Ltd	
Discharge quantity	140m <sup>3</sup> /h	
Total pump head	30m	25m
Type of motor	TIV-180M Taiyo electric Co.,Ltd	TIV-160L Taiyo electric Co.,Ltd
Rated voltage	440V	
Rated output	22kw	15kw
Rated rotation speed	1800rpm	
Type of inverter	Fuji electric Co.,Ltd FRN22F1S-4J	Fuji electric Co.,Ltd FRN15F1S-4J

L.C.F.W. : Low temperature cooling fresh water

C.S.W. : Cooling sea water

## 結 果

### 1. 各ポンプの消費電力削減について

L.C.F.W. ポンプ及び C.S.W. ポンプの負荷率と回転数, 消費電力, 周波数をそれぞれ Table 2, Table 3 に示す。これらはインバータ装置の運転状態モニタ機能にて測定した数値である。

L.C.F.W. ポンプの定格値は, 周波数60Hz, 回転数1800rpmであるが, 周波数60Hz, 回転数1775rpmで負荷率100%となった。これは機械損失等によるものと考えられる。No.1空調装置はポンプが設置されている機関室より一番遠い区画にある為, 冷却水入口圧力が0.045Mpa以下になると流量が減少し, 冷却効果が失われ装置全体に不具合が生じる可能性があるため, この圧力を保持する範囲で徐々に負荷率を減じ, 運用開始から約3ヶ月後の2020年8月1日以降は負荷率35%で運転

Table 2. Running status of L.C.F.W. pump on every load factor

Set load factor (%)	Frequency (Hz)	Rotation speed (rpm)	Power consumption (kw)
Rated value	60	1800	22
100	60	1775	20.71
50	44.4	1320	8.86
45	41.7	1240	7.5
40	39	1161	6.21
35	36	1072	5.08
30	33	983	4.01
25	29.7	886	3.1
20	25.8	770	2.15
15	22.15	662	1.5

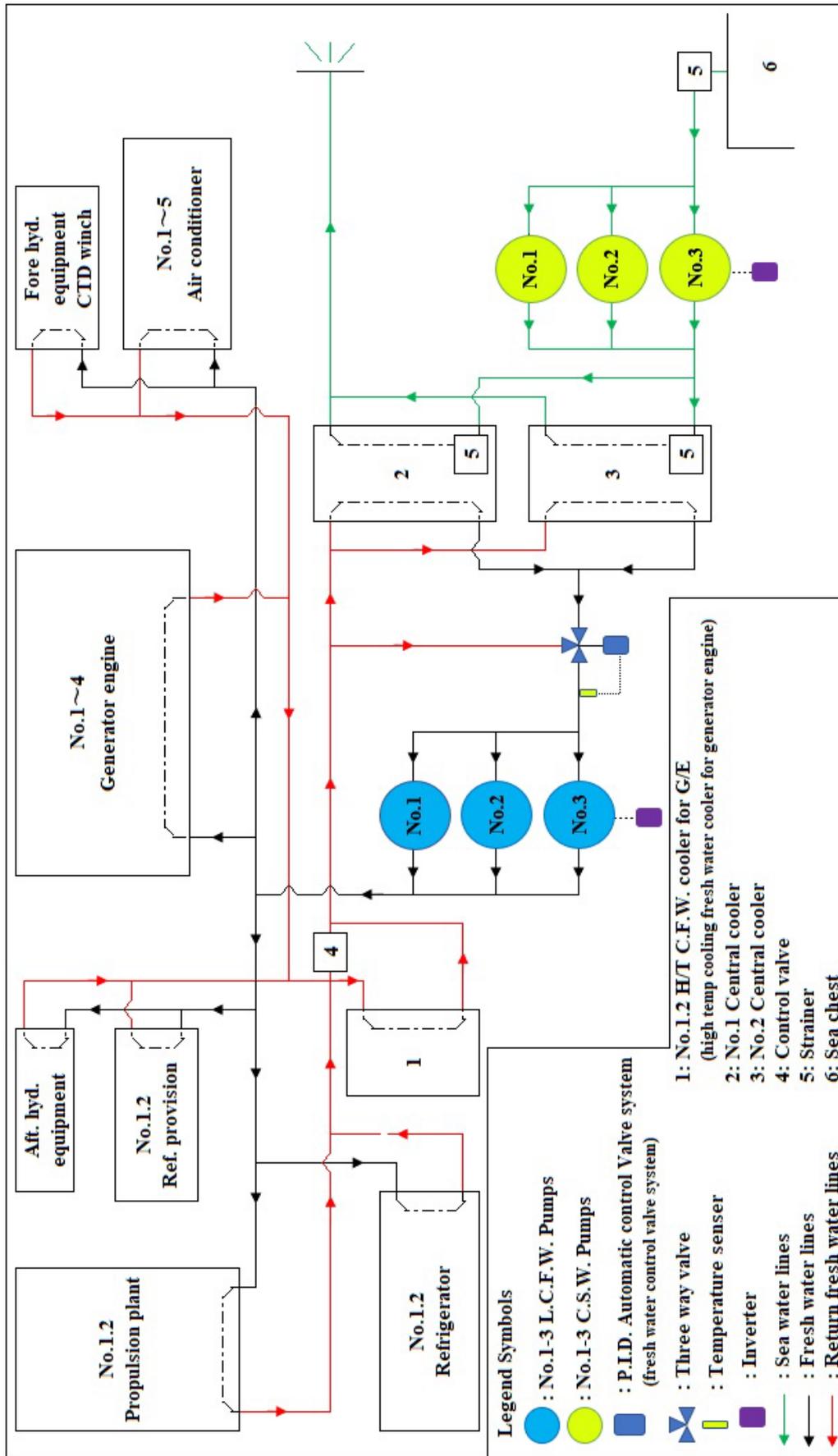


Fig. 2. Overview of cooling system diagram of Kagoshima-Maru.

Table 3. Running status of C.S.W. pump on every load factor

Set load factor (%)	Frequency (Hz)	Rotation speed (rpm)	Power consumption (kw)
Rated value	60	1800	15
100	49	1442	13.34
50	33.5	992	4.66
45	31.3	929	3.92
40	29.5	875	3.34
35	27.3	811	2.74
30	25	743	2.2
25	22.3	633	1.67
20	19.5	581	1.25
15	15.6	465	0.81

している。これにより消費電力は 20.71kw から 5.08kw まで減じることに成功し約 75.5% の削減となった。

C.S.W. ポンプについては、定格値周波数 60Hz、回転数 1800rpm であるが、機械損失等に加え、海水特有の海水取入口及び配管内への海洋生物付着による配管抵抗の増加、定係港内の海水汚染によるストレーナーの詰まり等が考えられ、これらの理由により周波数 49Hz、回転数 1442rpm にて負荷率 100% となった。徐々に負荷率を落とし、運用開始から約 2ヶ月後の 2020 年 7 月 9 日以降は負荷率 25% で運転をしている。低温冷却清水の設定温度は定係港内の海水温度を考慮し 28℃ に設定しており、低温冷却清水温 28℃ を保つためには、負荷率 25% 以上でのポンプ運転による冷却海水の流量が必要であった。これにより消費電力は 13.34kw から 1.67kw まで下げることに成功し約 87.5% の削減となった。

両ポンプともに負荷率をさらに減じる事も試行したが、安定した冷房運転には現在の設定値 (L.C.F.W. ポンプ 35%, C.S.W. ポンプ 25%) が、ほぼ下限値であることが分かった。

## 2. 冷房運転期間の電力削減について

2019 年、2021 年の冷房運転期間である 5 月から 10 月までの、冷却水ポンプの運転時間、設定負荷率と陸電消費電力、これらを比較する事よって得られた各ポンプの運転時間および消費電力の変化率を Table 4 に示す。2020 年に関してはコロナ禍で実習航海が中止や変更となり、停泊日数が増加していることに加え、負荷率を細かく変更している期間もあった為、インバータ装置試行運用期間として比較対象から除いた。また、冷却水ポンプの運転時間には L.C.F.W. ポンプ及び C.S.W. ポンプの両方を記載すべきであるが、同一もしくは数十分程度の差であり、前述の通り空調装置冷房運転中は両ポンプともに運転されるので、短い方を記載した。冷却水ポンプの運転時間はかごしま丸機関データ収集システム (JRSC (株) 製) より得られ、陸電消費電力は電力会社から

の請求書より抜粋した値である。

運転時間が 74% 増加した 8 月に消費電力は 38.7% 削減されている。また、期間合計の運転時間はほぼ同一であるのに対し、消費電力は期間合計で 51.7% 削減され、大幅な電力削減に成功したといえる。本稿では詳細に触れないが、同期間の電気料金合計額も消費電力とはほぼ同様の 51.5% 削減、金額にして約 125 万円の削減に成功し、インバータ設置に係る経費は約 3 か月足らずで回収できた。

## 考 察

本船の L.C.F.W. 及び C.S.W. ポンプは、ともに定格回転ポンプである。従来定格回転ポンプは、機器損失等により今回のように定格回転速度に届かない場合もあるが、任意で回転速度を変更することなく起動後定速運転されるものである。今回インバータ装置を用いて負荷率を設定し任意で回転速度を減じて運転したことにより、ポンプの機械的な不具合に加え、海水管系統に関しては流量が減少したことによる海洋付着生物の増加が懸念された。この為、定期的にポンプの解放検査を実施している。現時点ではどちらのポンプとも機械的な不具合等は見受けられていないが、今後も継続的な観察、開放検査が必要であると考え。海水管系統は管内及びストレーナーの海洋付着生物が増加し、インバータ装置設置前に比べこれらの整備間隔が短くなった。また、L.C.F.W. ポンプに比べ、C.S.W. ポンプの方がより負荷率を減じることが出来たのは、Fig.2 に示す通り、冷却清水は船内各所へ配管されており、熱交換器のみを通る冷却海水に比べ配管が長く、流量が多いことによるものと考えられる。

停泊中の消費電力は冷房運転期間の半年間で 50% 以上の削減を実現でき、満足な結果を得られた。冷房運転期間以外でも、冷却水ポンプの起動が必要な糧食用冷凍冷蔵庫運転時には少なからず削減できていると考えられる。さらなる陸電給電中の電力削減を目指すには、現在の設定負荷率 (35%, 25%) がほぼ下限であると考えられるので、他の方法を考える必要がある。今後はさらに温室効果ガス排出問題も踏まえ、航海中に使用する No.1,2 L.C.F.W. ポンプ、No.1,2 C.S.W. ポンプにインバータ装置を設置し、航海中の消費電力削減による消費燃料油削減を目標とし、引き続き調査研究を進め本学練習船の削減を目標とし、引き続き調査研究を進め本学練習船の安定した運航に寄与したい。

Table 4. Comparison of 2019 and 2021 while cooling pump was running

Year / Month	May	June	July	Aug.	Sept.	Oct.	Total
Mooring days	24	15	3	16	12	21	91
Running time of cooling pumps (hours:min.)	379:05	247:11	44:58	242:04	281:55	461:10	<b>1656:23</b>
Power consumption (kwh)	31,800	24,630	3,780	26,755	19,851	34,780	<b>141,596</b>
Mooring days	26	12	3	18	11	24	94
Running time of cooling pumps (hours:min.)	354:23	240:25	56:33	421:46	227:17	354:26	<b>1654:50</b>
Power consumption (kwh)	15,476	10,174	1,717	16,407	8,557	16,067	<b>68,398</b>
Set load factor L.C.F.W.pump / C.S.W.pump	35 / 25	35 / 25	35 / 25	35 / 25	35 / 25	35 / 25	
Rate of change of running time 2019/2021	-6.5%	-2.7%	25.8%	74.2%	-19.4%	-23.1%	<b>-0.1%</b>
Rate of change of power consumption 2019/2021	<b>-51.3%</b>	<b>-58.7%</b>	<b>-54.6%</b>	<b>-38.7%</b>	<b>-56.9%</b>	<b>-53.8%</b>	<b>-51.7%</b>

## 謝 辞

インバータ装置の新規購入に関しては、鹿児島大学水産学部前事務長鮎川秋徳様、同会計係船舶担当の坂野純子専門職員に多大なるご理解とご協力を頂いた。設置作業に関しては鹿児島大学水産学部附属練習船南星丸の松野下恵新一等機関士、ポンプの低速回転に伴う解放検査、海水配管・ストレーナーの整備作業ではかごしま丸機関部の皆様にご協力を頂いた。ここに厚く御礼申し上げます。また、乗船中日頃より節電にご協力頂いている、かごしま丸乗組員並びに鹿児島大学水産学部航海技術乗船実習生の皆様に心より感謝申し上げます。

## 引用文献

- 1) 富士電機株式会社ホームページ. ([https://www.fujielectric.co.jp/products/column/inverter/inverter\\_03.html](https://www.fujielectric.co.jp/products/column/inverter/inverter_03.html))
- 2) 富士電機株式会社 (2019.11). ファン・ポンプ用 (2乗低減トルク負荷用) インバータ FRENIC-Eco ユーザーズマニュアル. P.3-3.