

大島丸搭載機器の経年化対応と代船設計への適用

杉本 昌弘^{*1}

Measures taken on aged machinery on Oshima-maru, and their application to designs of the new training ship

SUGIMOTO Masahiro

Abstract

The college training ship Oshima-maru has been used for onboard training and maritime research since her launch in 1993. The approximately 30 years-old training ship has experienced increasing troubles of onboard machinery and equipment, some of which have exceeded their design life. Some of the aged machinery and equipment were replaced with new ones; others were periodically overhauled and checked to maintain their operational functions. This paper will illustrate how those aged machinery and equipment have affected the operation of the ship. Corrective measures taken to those aged machinery and equipment will be explained. Some lessons learnt from those measures for the designs of the new training ship will be examined.

Key words: *Training ship, aging effect, vibration isolator, central cooling system, stand-by sequencer*

1 まえがき

大島商船高専の校内練習船大島丸は、昭和33年12月に竣工した初代大島丸から数えて、現大島丸が3代目となる。3代目大島丸は平成5年12月に三菱重工業下関造船所にて竣工して以来、本年までの29年間にわたり航海実習、卒業研究および教員研究などに活用されてきた。

3代目大島丸は、就航後15年を経過した頃から搭載機器に耐用年数を超えるものが見られ、作動不良などの不具合が漸増し始めた。しかしながら、2代目大島丸が昭和43年の竣工以来25年間使用されたことから、直ちに代船建造が認められる可能性は少なく、耐用年数を超えた機器を計画的に順次更新することにより延命措置が取られることとなった。

本稿では、現大島丸の3つの設備を例にとり、経年化に対してとられた対策を紹介するとともに、

現在建造工事中の4代目大島丸の設計計画への適用について議論する。第2節では機関の防振支持装置について、第3節では冷却海水系統配管について、第4節では機関の暖機およびスタンバイ操作の自動化設備についてそれぞれ取り上げ、現大島丸における不具合状況およびその対応、並びにそれらの対応から得られた知見の活用について考察する。

2 機関防振ゴム

2.1 防振ゴムの経年劣化

ディーゼル機関の防振ゴムとは、機関運転時に発生する騒音、振動を軽減するために、機関台板と船体の間にゴム材を挿入して支持したものである。機関運転中に発生する船内の騒音には、空気を直接伝わる空気伝播音と船体構造物を介して伝わる個体伝播音があるが、船内騒音に対しては個体伝播音の影響が非常に大きいと言われている¹⁾。防振ゴムは機関

*1 大島丸

と船体の間にゴム製支持材を介することにより機関から船体に伝わる振動を減少させることにより、個体伝播音の軽減を図る装置である。図1に大島丸主機関の防振ゴムを示す。



図1 大島丸防振ゴム

防振ゴムは、長期間の使用に伴いクリープ現象によるひずみが増大するという特性がある。これにより主機全体が下方に沈み込むことになり、結果として主機関出力軸と、主機関に直結するクラッチ軸との間に軸芯のずれが生じることとなる。このずれが許容範囲を超えた場合は、軸継手の亀裂など船の航行不能につながる重大な機関損傷を引き起こす危険性がある。

このため、エンジンメーカーは防振ゴム高さに許容値を定め、ゴム高さが許容値に達する、または使用年数が10年を超える場合は防振ゴムを全数新替えることを推奨している。

2. 2 防振ゴムの新替え

現大島丸では、建造10年目の平成15年11月と、その14年後の平成30年2月に防振ゴムの新替え工事を行った。

2回目の防振ゴム新替え時期が1回目新替えから14年経過後となっているが、これは防振ゴム新替えに必要な予算と工事期間の確保が容易ではなかったためである。1回目の防振ゴム新替えから9年が経過した時点で、主機関出力軸とクラッチ軸との軸中心のずれは、許容値の100/100mmを大きく超える360/100mmに達し、防振ゴムの早期新替えが必要となっていた。しかしながら防振ゴム14個全数の新替えには、部品代約140万円および工事代約630万円の予算確保と2週間の工期の確保が必要であった。このため、比較的長期の工期と予算確保が可能な定期検査工事時期に合わせて防振ゴム新替え工事を実施することが適当との判断から、

平成29年度の定期検査工事（平成30年2月）の一環として防振ゴムを全数新替えることとした。

防振ゴムの新替え前後における振動および船内騒音の変化について定量的な解析は行っていないが、防振ゴム新替え工事後の最初の主機関試運転の際には、主機関始動時の初期振動および運転中騒音の大幅な改善が実感できた。

2. 3 代船における金属ばね防振

大島丸代船では主機関は搭載せず、主発電機セットを3セット搭載することになる。この場合、発電機関（ディーゼルエンジン）と発電機は共通台板に設置されるため、発電機関出力軸と発電機軸の中心線は搭載時に調整されれば基本的にその後の調整は不要となる。ただし、振動、騒音の軽減措置としての防振支持装置は必要となる。現大島丸の経験から、新造船では防振支持装置としてゴム防振ではなく金属ばね防振の方式を採用することとした。図2に大島丸代船に搭載されるものと同型の金属ばね防振装置を示す。



図2 金属ばね防振装置

金属ばね防振装置は、初期費用は防振ゴムより高いものの、時間変化に伴うクリープ現象が無いいため、定期的な高さ測定や約10年ごとの交換の必要がなく、メンテナンスフリーであることが最大の利点である。代船では金属ばね防振による安定した防振効果および保守整備費の軽減が期待される。

3 冷却海水系統配管

3. 1 海水冷却システムの不具合

船舶搭載機器の多くは、運転時に発生する熱を取り除くために冷却水による冷却を行っている。従来から冷却水として使用されてきたのは、船舶の周囲に無尽蔵に存在する海水である。現大島丸においてもこの海水冷却システムが採用され、機関室内のいたるところに海水管が設置されている。海水冷却シス

テムは効率的な冷却方法ではあるが、海水配管および熱交換器内における海水管の腐食破孔およびそれによる海水の船内侵入の危険性があり、そのリスクは船齢が増すにつれて高まる。海水管等の破孔による海水の漏洩量が多い場合には、海水ポンプを停止する必要があり、その場合の多くは主機関の停止を伴うため、船舶の運航に大きな影響を及ぼすことになる。このため、現船においても入渠工事の機会に合わせて、定期的に海水管の点検または計画的な交換を行ってきた。図3に内部点検により腐食の進行が見られた海水管を示す。



図3 内部腐食の進んだ海水管

また、現大島丸の冷却海水系統では、使用発電機により冷却海水の船外排出舷が一方舷のみとなっている。1号発電機運転時には冷却海水は右舷側に排水され、2号発電機運転時には冷却海水は左舷側に排水される。このため、寄港する港によっては、岸壁側の海水排出口が岸壁防舷材によって塞がれることがあり、岸壁と反対側の発電機のみが使用可能となる。この場合、スタンバイ状態であるべき発電機が実質は使用できない状態となり、冗長性確保の観点から問題となっている。

3. 2 代船における冷却海水系統

上記のような海水冷却システムの腐食トラブルを低減するために、現在は清水冷却を主体としたセントラル冷却システムが主流となっている。これは、各熱交換器での冷却を清水で行い、熱交換を終えて温度の上昇した清水をセントラルクーラーにて一括して海水で冷却する方式である。この方式では、冷却用海水はセントラルクーラーを冷却するのみであるので、従来の海水冷却システムに比べて、海水の流れる配管の数および長さが大幅に削減され、結果として海水漏洩のリスクおよび海水系統の保守整備費用を低減することができる。大島丸代船において

も、このセントラル冷却システムを採用することとしている。

また、現船における冷却海水船外排出舷の制約による不具合を解消するために、大島丸代船ではセントラル冷却海水の排出口を両舷に設けることとし、寄港する港の着岸舷に応じて、船外排出弁の開閉操作により排出口を切り替えられるシステムとした。これにより着岸舷にかかわらず、運転発電機およびスタンバイ発電機を選択することが可能となる。代船の冷却海水系統配管の概要を図4に示す。

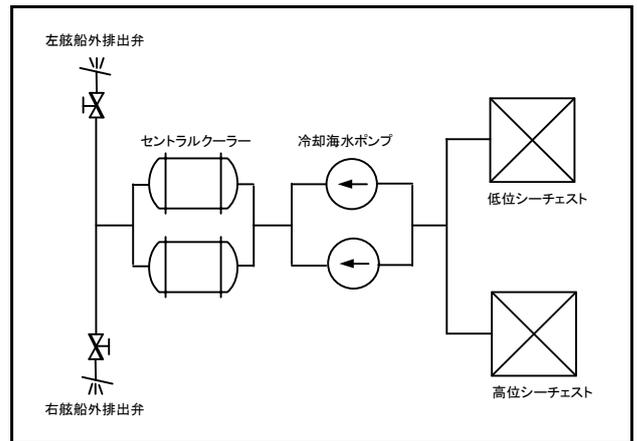


図4 大島丸代船の冷却海水系統

4 主機スタンバイシーケンサ

4. 1 旧スタンバイシーケンサの不具合

主機のスタンバイシーケンサは、主機の暖機、始動準備、始動操作などを、予め定められた順序で自動的に実施するための装置であり、平成初期の船員制度近代化を背景に、機関部出入港作業の省力化のため、多くの外航船舶に搭載されていた。

現大島丸の主機スタンバイシーケンサは、大島丸が建造された平成5年に搭載された装置であり、シーケンサからの指令信号によってポンプ類の発停、始動空気および暖機用の弁開閉などが自動で行われていた。図5に主機スタンバイシーケンサの暖機モードにおけるシーケンス表を示す²⁾。

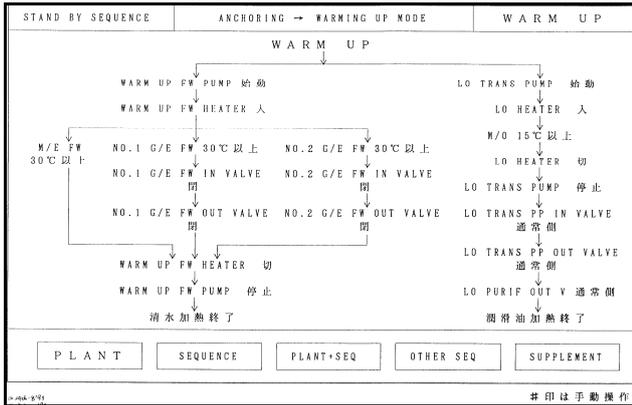


図5 旧スタンバイシーケンサ暖機モード

シーケンス表では、#印が付された作業が手動操作項目とされているが、暖機モードにおいては#印は見当たらず、すべてが自動操作であることが分かる。主機の暖機および始動準備作業の多くが自動化されたシステムは、大島丸建造当時の外航商船における自動化の流れを取り入れたものと推測される。

しかしながら、商船高専の校内練習船にて高度な機関自動化システムを採用することにより以下のような問題点が生じる。

① 実習生の手動操作機会の減少

スタンバイシーケンサにより自動化された主機始動準備操作は、機器の運転操作に習熟した機関部乗組員にとっては作業省力化の利点があるが、実習生に対して主機始動準備手順や機器運転操作を教育訓練する目的においては効果的とは言えない。実習生は、機関室内にて手動操作を行わず、各機器および弁類が自動で発停、開閉するのを確認するのみとなり、機器操作の反復により得られる理解度および技能の向上は限定的とならざるを得ない。

② 経年劣化によるシステムの誤作動

一般的に外航商船の船齢は10年から15年程度であり、搭載機器、装置が耐用年数を迎える時期とほぼ同時期と考えてよい。一方、商船高専の校内練習船は30年程度使用されるため、船齢の中間時期を超える頃から搭載機器、特に電気機器に不具合を生じることが多い。大島丸の主機スタンバイシーケンサにおいても、搭載から15年経過した頃から自動操作機器に誤作動が起こるようになり、そのたびに暖機、主機始動準備等の各モードをリセットしシーケンスを再始動させる必要が生じた。

4. 2 スタンバイシーケンサの更新

実習生の訓練効果の観点から、自動化された主機

スタンバイシーケンサは練習船には不向きであること、また主機スタンバイシーケンサ構成装置の経年劣化を考慮し、平成22年の入渠工事に併せて主機スタンバイシーケンサの更新が行われた。

新しいスタンバイシーケンサにおいては、シーケンサからポンプ、弁などへは指令信号を出さないこととし、機器の運転信号や弁開閉信号が入力されることによりシーケンスを進めるシステムとした。また、旧システムにて自動開閉されていた弁については、操作部分の電動モータまたは操作空気配管を取り外し、手動操作が可能な弁とした。図6に更新された主機スタンバイシーケンサの暖機モードにおけるシーケンス表を示す³⁾。

STAND-BY SEQUENCE		MODE TITLE		WARMING UP (CFW & LO)	
実行順序	シーケンスリスト表示項目 項目名 操作 (SEQUENCE)	操作 (OPERATION)	操作後動作 (AFTER OPERATION)	入力 (INPUT)	備考 (成立条件、3分表示)
(CFW SYSTEM)					
1	○ WARM UP VALVE OPEN	MANUAL	CLOSE → OPEN	CONFIRM	G/E WARM-UP VALVE表示をOPENに切替
2	# W/UP CFW PUMP START	MANUAL	STOP → RUN	SIGNAL	
3	# CFW EXP. TK HEATER ON	MANUAL	OFF → ON	SIGNAL	
4	○ M/E CFW OUT TEMP >40°C	CHECK	NO → >40°C	CONFIRM	
5	# CFW EXP. TK HEATER OFF	MANUAL	ON → OFF	SIGNAL	
6	# W/UP CFW PUMP STOP	MANUAL	RUN → STOP	SIGNAL	
7	○ WARM UP VALVE CLOSE	MANUAL	OPEN → CLOSE	CONFIRM	G/E WARM-UP VALVE表示をCLOSEに切替
(LO SYSTEM)					
1	# LO TRANS PUMP START	MANUAL	STOP → RUN	SIGNAL	
2	# LO PURIFIER HEATER ON	MANUAL	OFF → ON	SIGNAL	
3	○ LO HEATER OUT TEMP >40°C	CHECK	NO → >40°C	CONFIRM	
4	# S/B M/E LO PUMP START	MANUAL	STOP → RUN	SIGNAL	
5	○ M/E LO OUT TEMP >40°C	CHECK	NO → >40°C	CONFIRM	
6	# LO PURIFIER HEATER OFF	MANUAL	ON → OFF	SIGNAL	
7	# LO TRANS PUMP STOP	MANUAL	RUN → STOP	SIGNAL	
8	# S/B M/E LO PUMP STOP	MANUAL	RUN → STOP	SIGNAL	

図6 新スタンバイシーケンサ暖機モード

操作欄においてMANUALと記された項目が手動操作項目、CHECKと記された項目が目視確認項目である。暖機モードにおいてはすべてが手動操作または目視確認項目であることが分かる。

主機スタンバイシーケンサ更新後は、主機の暖機および始動準備作業は全て手動操作となり、実習生にとっては、機器の手動操作、運転状態の確認および報告などを反復して行う機会が増え、ディーゼルプラント運転に関する理解度および技能向上に適した実習訓練環境となった。

4. 3 代船における機関部統合制御システム

電気推進船となる大島丸代船においては、主発電機関および推進電動機等を対象機器として、暖機、出港準備等の各モードに応じてあらかじめ定められた手順による操作を可能とする機関部統合制御システムが装備される。名称は異なるものの、システムの思想としては現大島丸にて更新された主機スタンバイシーケンサと同様、システムから操作指令信号は出さず、各機器からの運転信号入力を受けてシーケンスを進めるものである。図7に統合制御システムの暖機モードにおけるシーケンス表を示す⁴⁾。

統合制御システム		1. WARM UP / 暖機モード(停泊→暖機)			
番号	印	シーケンス画面	操作	入力	動作
		<CFW SYSTEM>			
1		HOT WATER BOILER STARTED	MANUAL	SIGNAL	STOP→RUN
2		BOILER HOT WATER CIRC PUMP STARTED	MANUAL	SIGNAL	STOP→RUN
3	#	WARM UP SOURCE SELECTED	MANUAL	TP	
4	○	WARM UP LINE FROM HW BOILER OPENED	MANUAL	CONFIRM	CLOSE→OPEN
5	○	WARM UP LINE FROM ON-LINE D/G OPENED	MANUAL	CONFIRM	CLOSE→OPEN
6	○	S/B D/G HT CFW OUTLET TEMP>65°C	CHECK	CONFIRM	
7	○	WARM UP LINE FROM HW BOILER CLOSED	MANUAL	CONFIRM	OPEN→CLOSE
8	○	WARM UP LINE FROM ON-LINE D/G CLOSED	MANUAL	CONFIRM	OPEN→CLOSE
		<LO SYSTEM>			
1		LO PURIFIER STARTED	MANUAL	SIGNAL	STOP→RUN
2		LO PRIMING PUMP STARTED	MANUAL	SIGNAL	STOP→RUN
3	○	S/B D/G LO INLET TEMP>40°C	CHECK	CONFIRM	
4		LO PRIMING PUMP STOPPED TO AUTO	MANUAL	SIGNAL	RUN→STOP
		WARM UP MODE FINISH			

図7 機関部統合制御システム暖機モード

現大島丸の主機スタンバイシーケンサ同様に、すべての項目がMANUAL（手動操作）またはCHECK（目視確認）となっている。大島丸代船においては、航海状態に応じて主発電機の台数制御および推進電動機の色度切替が必要となる。機関部統合システムを適切に活用することにより、機関推進プラントの安全かつ効率的な運転が実施されることが期待される。

5 あとがき

大島商船高専では、今年度が3代目大島丸の最終年度にあたり、現船による実習訓練運航を実施するとともに、本年度末に竣工予定の4代目大島丸の建造監督業務を並行して行っている。竣工29年目を迎える現大島丸の最近10数年間は、老朽化した設備の延命措置に多くの予算、労力が費やされてきたが、これら経年化対応は貴重な経験であり、得られた知見は代船設計にも大いに活かされている。その意味では、3代目大島丸にて蓄積されたノウハウが4代目大島丸へと引き継がれていると言える。年月の経過とともに、船舶搭載機器は経年劣化し、またそれらを取り扱う船員も世代交代していくものであるが、長期的な保守整備計画の立案ならびに実施とともに、それらから得られる経験、教訓を記録、継承することが重要であると感じた。

参考文献

- 1) ヤンマーディーゼル株式会社、船舶の騒音・振動低減技術: ヤンマーディーゼル株式会社. (1991)
- 2) JRCS MFG Co., Ltd. *Stand by sequencer*. Shimonoseki, Japan: Author. (1993)
- 3) JRCS MFG Co., Ltd. *Stand by sequencer*. Shimonoseki, Japan: Author. (2010)
- 4) JRCS MFG Co., Ltd. *Total control system*. Shimonoseki, Japan: Author. (2022)