

船舶インシデント調査報告書

令和元年7月10日

運輸安全委員会（海事専門部会）議決

委員 佐藤 雄二（部会長）

委員 田村 兼吉

委員 岡本 満喜子

インシデント種類	運航不能（機関故障）
発生日時	平成30年7月16日 05時29分ごろ
発生場所	兵庫県淡路市岩屋港東南東方沖 岩屋港北防波堤東灯台から真方位106° 2.4海里（M）付近 （概位 北緯34° 34.8′ 東経135° 04.1′）
インシデントの概要	油タンカーゆうよう丸は、南東進中、主機の運転ができなくなり、運航不能となった。
インシデント調査の経過	平成30年10月9日、本インシデントの調査を担当する主管調査官（神戸事務所）ほか1人の地方事故調査官を指名した。 原因関係者から意見聴取を行った。
事実情報 船種船名、総トン数 船舶番号、船舶所有者等 L×B×D、船質 機関、出力、進水等	油タンカー ゆうよう丸、3,789トン 137025、沖野海運株式会社（A社） 104.45m×16.00m×8.10m、鋼 ディーゼル機関、2,942kW、平成14年9月 4サイクル、回転数毎分210、6気筒、ボア460mm、使用燃料 C重油、平成14年7月機関製造
乗組員等に関する情報	船長 男性 63歳 三級海技士（航海） 免許年月日 昭和55年3月17日 免状交付年月日 平成30年3月26日 免状有効期間満了日 令和5年9月4日 機関長 男性 39歳 四級海技士（機関）（機関限定） 免許年月日 平成20年12月25日 免状交付年月日 平成25年9月3日 免状有効期間満了日 平成30年12月24日
死傷者等	なし
損傷	なし
気象・海象	気象：天気 晴れ、風向 南、風力 2、視界 良好 海象：波高 約0.5m
インシデントの経過	本船は、船長及び機関長ほか8人が乗り組み、阪神港神戸第4区にある揚げ地に向け、主機を回転数毎分（rpm）約196（約80%負

	<p>荷)とし、岩屋港東南東方沖を約15ノットの対地速力で南東進中、平成30年7月16日05時29分ごろ機関室内で火災警報装置が作動した。</p> <p>機関長は、機関当直を行っていた機関士から火災警報装置が作動した旨の連絡を受け、機関室に入って主機の運転状況を確認したところ、主機クランクケースのドアに装備してある安全弁からの白煙が止まらなかったため、主機を手動で緊急停止し、船長に主機が使用できなくなった旨を報告した。</p> <p>本船は、船長が、機関長からの報告を受け、自力航行を諦めて大阪湾海上交通センターに通報し、大阪湾(明石海峡航路東口沖)で錨泊をすることを決め、同センターの支援の下、06時50分ごろ明石海峡航路東方灯浮標南南東方沖1.5M付近で錨泊した。</p> <p>機関長は、主機のクランクケースのドアを開けて内部を点検したところ、主機3番シリンダ(以下「本件シリンダ」という。)のピストンの温度が異常に高く、シリンダライナ摺動面に焼損を認め、A社担当者に報告した。</p> <p>A社は、機関製造会社(以下「B社」という。)に連絡して本件シリンダの修理を依頼し、点検及び準備を進めた。</p> <p>B社担当者は、16時40分ごろ本船に乗り込み、本件シリンダのシリンダヘッドを開放して修理を開始したが、ピストンとシリンダライナとの固着が激しかったので、シリンダライナを下部から油圧ジャッキで押し上げ、シリンダライナと固着しているピストンとを一括して抜き出した後、予備品と交換して主機を復旧した。</p> <p>本船は、17日23時40分ごろ主機の試運転を行って運転状況に異常がないことを確認し、18日00時10分ごろ抜錨して揚げ地に向けて航行を再開した。</p> <p>(付図1 インシデント発生場所概略図 参照)</p>
<p>その他の事項</p>	<p>主機は、船首側から順にシリンダ番号が付された過給機付ディーゼル機関で、機関室の中央付近に搭載され、総運転時間が約96,000時間、年間平均運転時間が約6,250時間であった。</p> <p>本船は、常に主機の運転状態を把握した上、整備計画に基づいて整備が行われていたが、主機運転諸元(運転データ)を就航(海上公試)時と対比すると、過給機の性能(過給圧力)が低下していた。</p> <p>本船は、過給機のノズルリングを交換していたが、就航以来、ガイドリングを交換していなかった。</p> <p>本船は、燃料油前処理システム及び潤滑油の管理を定期的に行っていた。</p> <p>B社は、主機の標準的なピストン抜き間隔を4,000~6,000時間(本船の年間運航時間に相当)と定め、機関取扱説明書に明記していた。</p>

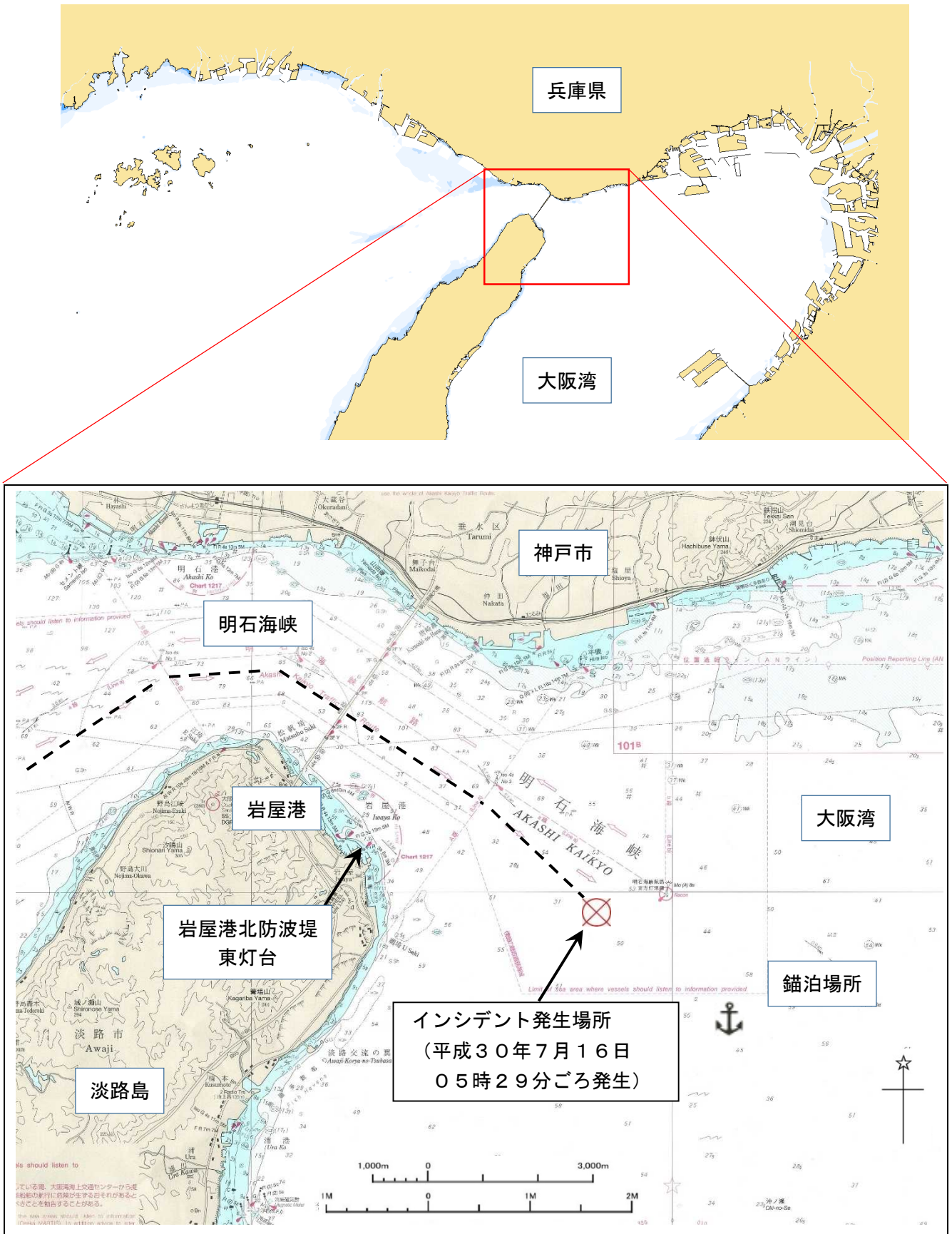
	<p>本船は、毎年の入渠^{きよ}時に主機のピストン抜きを半数のシリンダずつ交互に実施しており、その整備間隔は約2年（約12,500時間）ごととしていた。</p> <p>本船は、本件シリンダのピストン抜きを平成30年9月末のドック時に施工する予定であった。</p> <p>本船及びA社は、本船の最近の主機整備記録が付表2及び3のとおりであり、シリンダライナの口径及びピストンのリング溝等に経年使用による摩耗が進んでいるのを認めていたが、いずれもB社が設定した許容範囲内と確認して問題なしと判断していた。</p> <p>機関修理作業中に行ったB社担当者の点検結果は、次のとおりであった。</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) ピストン内部の冷却油（潤滑油）の通路部及びピストンクラウンの燃焼室面に異常がなかった。 (2) ピストンクラウンのリングランド^{*1}に経年使用に伴うカーボン（燃焼残渣物）の付着堆積及び一部のピストンリング等の固着が認められ、ピストン及びシリンダライナにスカフティング^{*2}が全周に起きていた。 (3) ピストンが発熱して熱変形を起こし、亀裂を生じた。 <p>B社担当者は、点検結果を考察した結果、ピストンリングの一時的な固着によってブローバイが発生し、シリンダライナ壁に油膜切れを起こし、ピストン及びシリンダライナ壁にスカフティングが生じたものと推測した。</p> <p>（付図2 ピストンクラウンの汚れがブローバイを発生させる経緯、付図3 過給機の経年使用に伴う効率低下及び使用限度値、付表1 主機運転諸元比較表、付表2 主機シリンダライナ口径の計測記録、付表3 主機ピストンリング溝の計測記録及び主要部品整備記録 参照）</p>
<p>分析</p> <p>乗組員等の関与</p> <p>船体・機関等の関与</p> <p>気象・海象等の関与</p> <p>判明した事項の解析</p>	<p>なし</p> <p>あり</p> <p>なし</p> <p>本船は、南東進中、経年使用に伴い、本件シリンダのピストンクラウンのリングランドとシリンダライナとの間に、燃焼残渣物が堆積した状況で運転を続けたことから、ブローバイが発生してシリンダライナ等が焼損し、主機の運転ができなくなり、運航不能となったものと</p>

*1 「リングランド」とは、ピストンクラウンの外周面でリング溝を除いた面の部分をいい、第1リングからピストン頂面までをトップランドと呼び、以下、セカンドランド、サードランドと称する。

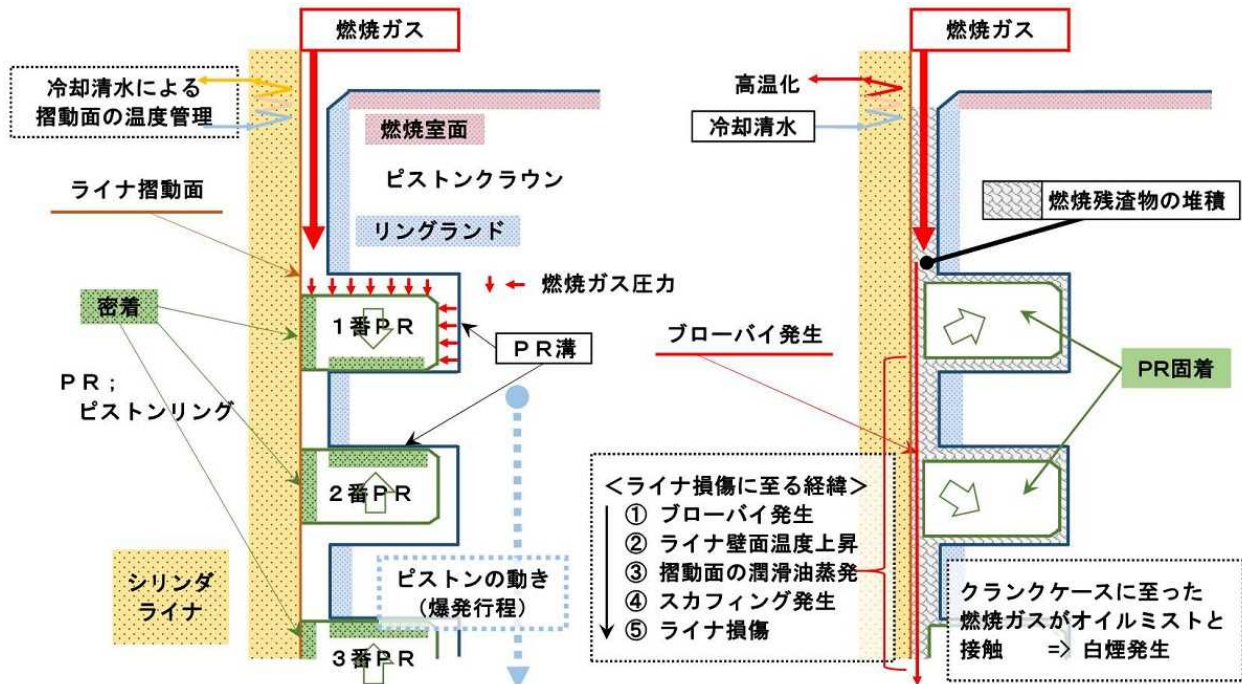
*2 「スカフティング」とは、摺動面に現れる引っかき傷のことで、「かじり」ともいい、摩擦による熱で互いの表面が溶けて、摺動方向に筋状の「ささくれ」ができることをいう。

	<p>考えられる。</p> <p>本船は、経年使用による過給機の運転性能の低下等により燃焼不良の状態を続けたことから、ピストンクラウンのリングランドに燃焼残渣物が堆積したものと考えられる。</p>
原因	<p>本インシデントは、本船が、南東進中、経年使用に伴い、本件シリンダのピストンクラウンのリングランドとシリンダライナとの間に、燃焼残渣物が堆積した状況で運転を続けたため、ブローバイが発生してシリンダライナ等が焼損し、主機の運転ができなくなったことにより発生したものと考えられる。</p>
再発防止策	<p>今後の同種事故等の再発防止に役立つ事項として、次のことが考えられる。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 主機等において、定期的に運転諸元を計測し、海上公試（ぎ装中の海上試運転）時の運転性能曲線と比較して運転状況及び経年使用による性能低下を的確に把握し、状況に応じた機関整備を立案すること。 ・ 燃焼室を構成する主要部品に経年使用による摩耗が進んでいる場合は、機関製造会社の推奨する整備間隔を参考に、その状況に応じて早期にピストンの開放整備を行うことが望ましい。

付図1 インシデント発生場所概略図



付図2 ピストンクラウンの汚れがブローバイを発生させる経緯



(ピストンリングが正常に機能している状況)

- (1) シリンダライナ及びピストンリング (以下「PR」という。) は、クランクケースから跳ね上げられた潤滑油で適切に潤っている。
- (2) PRは、ピストンの上下動に伴い、PR溝内で常に浮動している。
- (3) ピストンとシリンダライナとの隙間を燃焼ガスが流れ、ガスの圧力が1番PRをシリンダライナ壁面及びPR溝底部に向かって押しつける。
- (4) 1番PRは、自らの張力及び(3)のガス圧力によりシリンダライナに密着し、ライナ摺動面に付着している潤滑油が燃焼ガスを完全にシールする。
- (5) 2番PR以降は、自らの張力とピストンの上下運動でライナ及びPR溝に密着している。

(汚損が進んだ状況)

- (1) ピストンクラウンのリングランド及びPR溝が燃焼残渣物で汚損が進むと、PRの浮動が阻害され、やがて固着する。
- (2) PRが固着すると、シリンダライナへの密着が無くなり、燃焼ガスの圧力がPRとライナ摺動面のシール能力を越え、燃焼ガスは通過する。

この燃焼ガスがPRとライナ摺動面を通過し、クランクケースに達することを「ブローバイ」という。

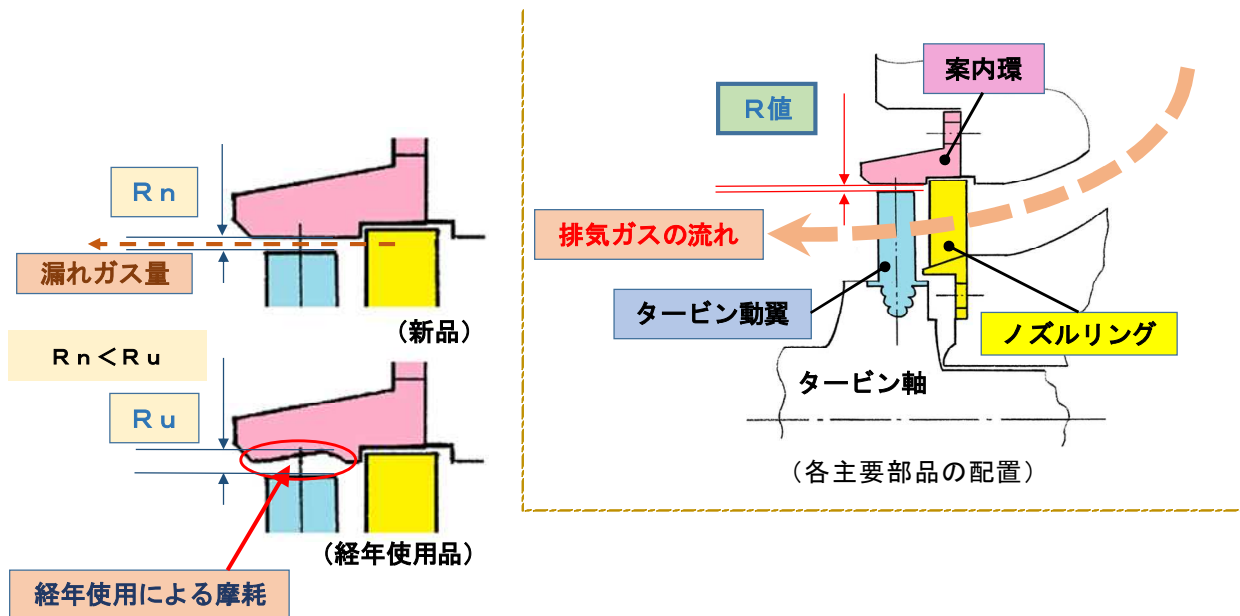
(ピストンクラウンのリングランドが燃焼残渣物で汚損した事例)



(シリンダライナにスカフィングが発生した事例)



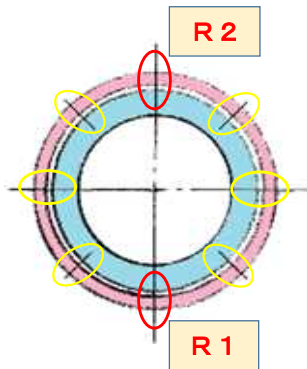
付図3 過給機の経年使用に伴う効率低下及び使用限度値



< 経年使用による性能劣化とは >

ノズルリング、タービン軸各部等を過給機の開放整備ごとに掃除をしても、案内環内側（排気ガスの流路部）は排気ガスの流れによる浸食等により衰耗が進む。この衰耗により‘タービン動翼の外縁部と案内環の内径との隙間’（以下「R値」という。）が大きくなり、‘排気ガスがタービン動翼に作用せず通過する量’「漏れガス量」が増加する。その結果、タービン効率が悪くなりタービン軸の回転速度が低下し、過給圧力の低下として表れる。

この衰耗量を知るために、毎回の開放整備ごとにR値を計測し、このR値が過給機製造会社が指定する限度値を超えた場合、案内環の寿命と判断して交換することが望ましい。



(タービン軸方向から見たR値の計測場所)

< R値の計測及び管理限度 >

R値は左図中の赤色円及び黄色円のとおり、円周45度ごとに計測を行う。また、円周下端(R1)と円周上端(R2)は特に重要で、限度値を別に設定している。

R値の管理値及び限度値 (VTR354-WG08型タービンの場合)

	管理値	限度値
全てのR値の平均値	0.48 ~ 0.80mm	0.80mm
円周下端 (R1)	0.26~0.67mm	0.67mm
円周上端 (R2)	0.61~1.02mm	1.02mm

ノズルリング及び案内環の交換記録

平成30年7月16日 現在

整備機器名称	作業	頻度	最終施工年月日	備考
ノズルリング	交換	不定期	平成21年	
案内環	交換	不定期	(就航以来、未交換)	案内環=カバーリング、等々

付表1 主機運転諸元比較表

		平成30年6月		平成14年7月		備考
		本船計測		海上公試		
		C重油使用		A重油使用		
機関出力	% (kW)	73 (2,140)		75 (2,180)		()内は出力数
機関回転数	r p m (deg)	196 (16.9)		191 (18.0)		()内は、CPP翼角
最大燃焼圧力	M P a	9.21		10.8		
過給圧力	M P a (rpm)	0.09 (13,700)		0.112 (16,000)		()内は、過給機回転数
燃料ポンプ ラック目盛り	* * *	38.9		42.0		
機関室温度	°C	35		27		
給気温度		45		42		
シリンダ排気温度	°C	347.6		336		

(解説) 本船使用C重油の動粘度は152cSt。機関製造会社作成の出力推定曲線によれば、C重油使用中の燃料ポンプラック目盛り38.9は、A重油使用中の燃料ポンプラック目盛り41.5に相当する。従って、本付表の両試験時の機関出力は、ほぼ同じであるが過給機の回転数及び圧力に大きな差があることが分かる。なお、最大燃焼圧力の差は、過給圧力の差に起因する。

付表2 主機シリンダライナ口径の計測記録

シリンダライナ口径 計測結果		使用限度： 160/100mm																
計測点 (*1)	1番シリンダ						2番シリンダ						3番シリンダ					
	A		B		C		A		B		C		A		B		C	
計測日時	FA	PS	FA	PS	FA	PS	FA	PS	FA	PS	FA	PS	FA	PS	FA	PS	FA	PS
平成24年10月3日	47	70	16	22	18	19							63	94	16	29	16	24
平成25年10月3日							50	93	12	27	12	18						
平成26年9月30日	48	76	9	29	12	15	51	96	13	27	18	18	65	100	12	27	11	19
平成27年10月5日							56	108	26	26	29	29						
平成28年10月1日	53	73	11	22	14	16							65	103	12	29	13	22
平成29年9月27日							56	95	83	60	78	79						
計測点 (*1)	4番シリンダ						5番シリンダ						6番シリンダ					
	A		B		C		A		B		C		A		B		C	
計測日時	FA	PS	FA	PS	FA	PS	FA	PS	FA	PS	FA	PS	FA	PS	FA	PS	FA	PS
平成24年10月3日							24	53	13	24	12	19						
平成25年10月3日	52	90	11	22	12	22							43	65	17	18	21	15
平成26年9月30日							35	56	21	24	17	14						
平成27年10月5日	41	70	19	20	23	17							53	100	9	28	14	25
平成28年10月1日							22	56	8	21	10	13						
平成29年9月27日	63	100	86	70	84	73							93	85	81	75	76	81
(*1) 備考	上から順に「シリンダ番号」、「計測位置」、「FA (船首尾方向の口径) 及び PS (右舷左舷方向の口径)」。 「計測位置」は、付表3添付の図面参照。																	

付表3 主機ピストンリング溝の計測記録及び主要部品整備記録

C1=17~22/100mm

標準隙間：

C2=13~18/100mm

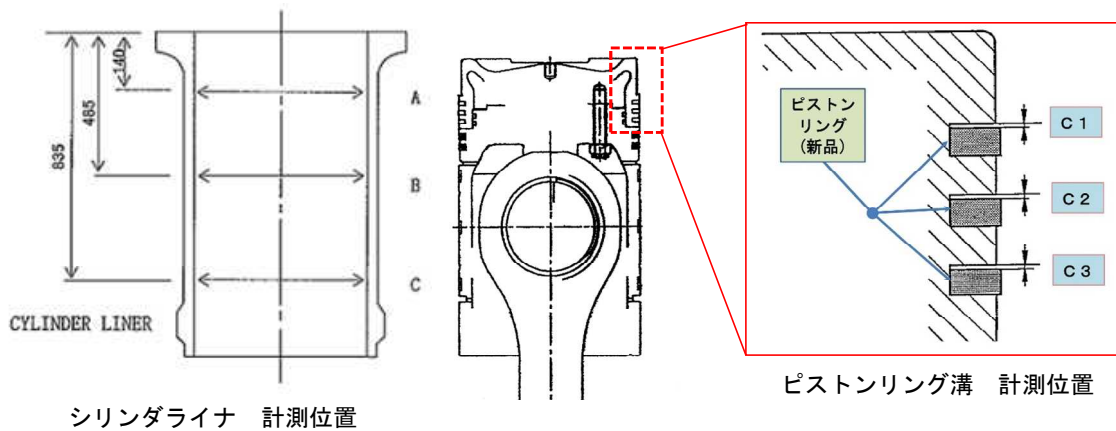
使用限度： 30/100mm

C3=13~17/100mm

ピストンリング溝隙間 計測結果

計測点 (*2) 計測日時	1 番シリンダ			2 番シリンダ			3 番シリンダ			4 番シリンダ			5 番シリンダ			6 番シリンダ		
	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3
平成24年10月3日	45	28	15				40	25	16				45	30	20			
平成25年10月3日				17	20	20				17	40	20				17	16	20
平成26年9月30日	18	19	17	25	23	20	18	18	23				19	20	22			
平成27年10月5日				25	30	22				18	18	13				23	17	15
平成28年10月1日	25	22	16				25	21	17				24	21	17			
平成29年9月27日				26	18	18				25	19	14				25	17	17

(*2) 備考 上から順に「シリンダ番号」、「計測位置」



その他の整備記録

平成30年7月16日 現在

整備機器名称	作業	頻度	最終施工年月日	備考
燃料噴射弁	整備	3か月に1回	平成30年4月7日	推定間隔（主機運転時間換算） 1,500時間
排気弁	整備	6か月に1回	平成30年5月6日	推定間隔（主機運転時間換算） 3,000時間
吸気弁	整備	1年に1回	平成29年9月25日	