

就航船の主・補機潤滑油ライン統一による 廃油ゼロ機関室に関する研究開発

2015年10月26日

一般財団法人 日本海事協会
株式会社 住本科学研究所
株式会社 赤阪鐵工所

安芸海運株式会社
東京計器株式会社
ヤンマー株式会社

1. 目的

2. 研究開発の背景

3. 研究開発目標

4. 実施内容と評価

5. まとめ

1. 目的

一般的な2ストロークディーゼル主機関潤滑油は、塩基価の低いシステム油と塩基価の高いシリンダ油の2種類が使用され、配管系統も別々に配置される。又一般的な4ストロークディーゼル補機関には塩基価が中程度の潤滑油が用いられ、主機関とは別の配管系統となっている。

①この3重となった潤滑油系統の内、主機関システム油と補機関の潤滑油を統一する事で、2重に配置される潤滑油ラインを統合し、省スペース化、機関室業務省力化、運航経費削減を図る。

②また、遠心分離器と精密濾過装置により、 0.5μ 程度までの極小夾雑物を除去し、加えて粘度管理、制御する事で、新油との交換、廃油処理が不要となり船内作業の省力化、省エネ化及び運航経費の削減を図る。

③これらを就航船で実施する事により、既存配管の有効利用方法、新設機器及び転用タンク類の最適配置の検討と検証を行い、併せて計測、監視システム、自動化システムの有効性を確認する。

④加えて主機関ランタンドレン油の再利用実用化の実証研究を行い、実用化に向けての問題点の検討及び検証を行い、機関室廃油ゼロによる省力化／省エネ化、運航経費削減を図る。

以上、大きく4項目を目的として研究開発を行う。

1. 目的

2. 研究開発の背景

3. 研究開発目標

4. 実施内容と評価

5. まとめ

2. 研究開発の背景

海事関係者にとって、船舶の安全運航は何よりも優先される事項である事は言うまでも無い。その安全運航に影響を及ぼす船内機器のメンテナンスに関しては、従来の時間基準保全から、状態基準保全または予知保全へと移行しつつある。

過去、2003～2013の10年間において、“ひまわり5”の発電機関に、通常の潤滑油清浄機に住本式清浄装置を加えた潤滑油清浄システムを設置した実船実証実験の結果で、以下の事が実証された。

- ①通常数年毎に入れ替えが繰り返される潤滑油の廃油が不要
- ②10年間の継続使用に於いても部品摩耗が殆ど生じない

また、上記結果のプロセスに於いて、以下のシステムが確立された。

- (a) 通常の潤滑油清浄機と住本式清浄装置(遠心分離器+ネフロン)で構成される、ミクロン単位迄潤滑油中の夾雑物を除去するシステム
- (b) 再循環使用中の粘度上昇を抑える低粘度新油を加えた混合潤滑油補給システム(手動)

上記②の結果は、船舶の安全運航に大きく影響を及ぼす機器の保全に関して、新たな考え方を得る切欠となった。

1. 目的

2. 研究開発の背景

3. 研究開発目標

4. 実施内容と評価

5. まとめ

3. 研究開発目標

- ①主機関システム油と補機関潤滑油を、同一油種で同一の清浄配管系及びタンクとした場合、両機関に障害が発生しない事を確認する。
- ②同上の定量的指標として、潤滑油分析により、潤滑油中の金属成分、亜鉛分、n-ペンタン不溶分、水分、灰分、及び残留炭素成分等に異常な変化がなく、許容範囲内に収まる事を確認する。
- ③再使用循環される潤滑油の粘度、塩基価の値が、異常な変化なく、一定値以内で維持される事を確認する。
- ④併せて実施するランタンドレン油の利用により、主機関シリンダ、ライナ、及びピストンに異常な磨耗が生じない事を確認し、それと併せてランタンドレン油の極圧性試験により、新油と比較して耐摩耗性が低下していない事を確認する。

1. 目的

2. 研究開発の背景

3. 研究開発目標

4. 実施内容と評価

5. まとめ

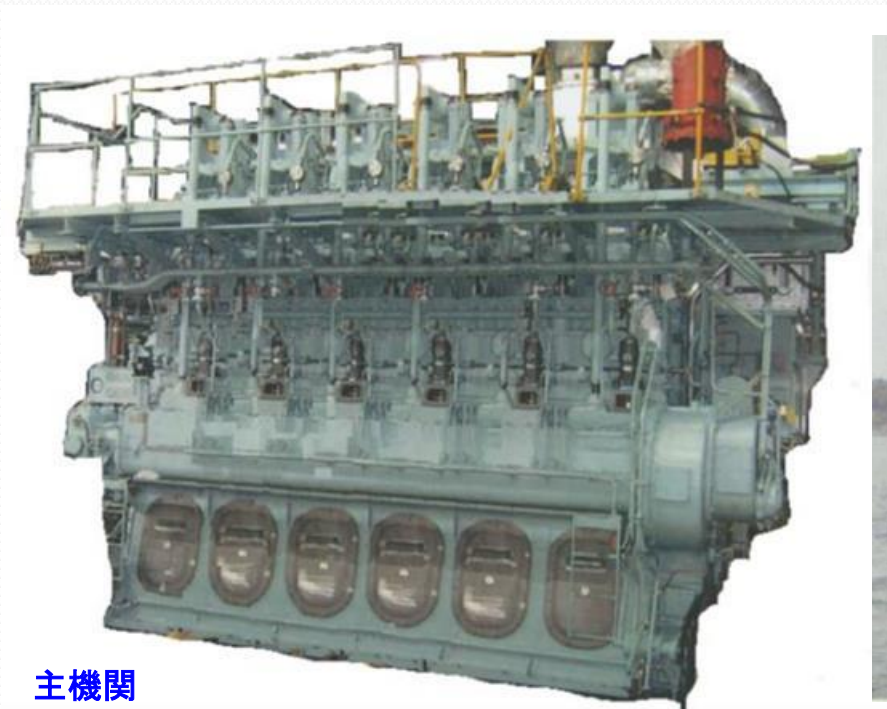
本船要目



船主 : 安芸海運株式会社
船籍港 : 大阪
船種 : セメントバラ積み船
航行区域 : 沿海国際
(韓国との二国間国際)
船級 : NK-MO
建造年度 : 平成3年(1991年)9月

造船所 : 神田造船所
L×B×D : 105m×16.8m×8.5m
喫水 : 6.70m
総トン数 : 4,335トン
載貨重量 : 6,527.65K/T
航海速力 : 13.3ノット

本船搭載機関要目



主機関

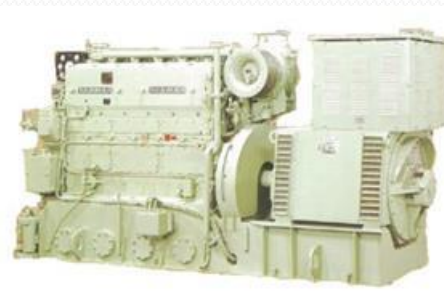
赤阪7UEC37LA 2サイクル・クロスヘッド型

4,900ps × 210rpm

出力: MCR 3,603kw(4,900ps) × 210rpm

NCR(85%MRC) 3,063kw(4,165ps) × 199rpm

シリンダ径 × 工程: 370mm × 880mm



主発電機関(補機)

ヤンマーS185L-ET

4サイクル・バンクピストン型

出力: 660ps × 900rpm

シリンダ径 × 工程: 185mm × 230mm

1. 目的

2. 研究開発の背景

3. 研究開発目標

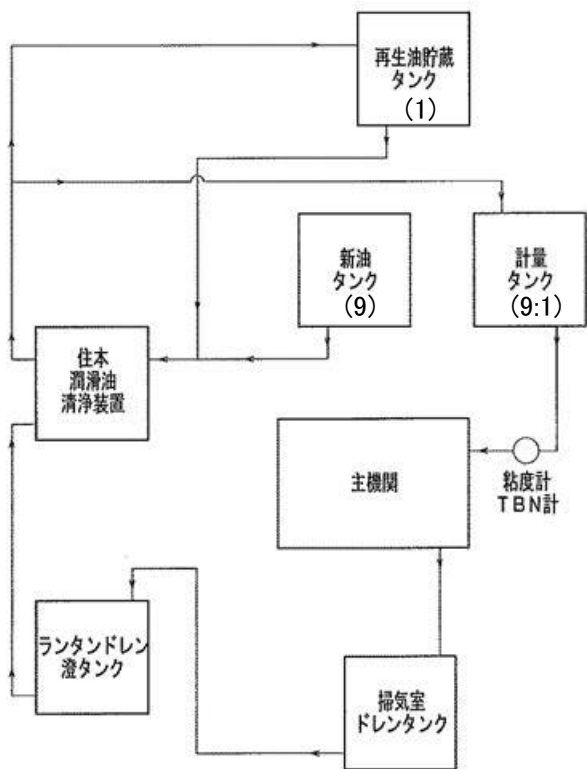
4. 実施内容と評価

4-1 潤滑油システム改装と住本式清浄装置

5. まとめ

主機システム油と補機潤滑油の統一・ランタンリーク油再生概略図

ランタンリーク油

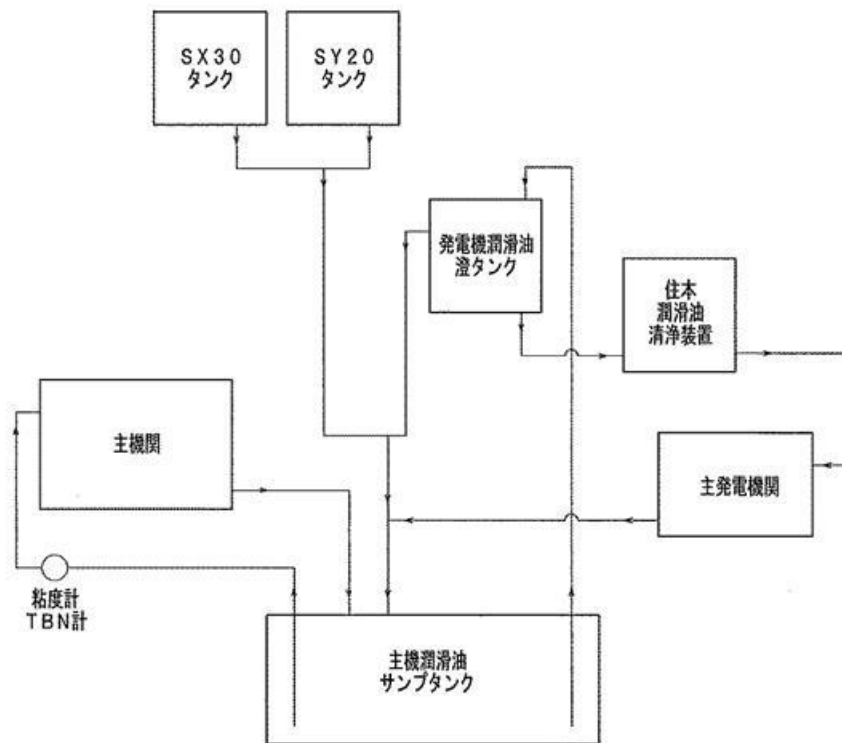


〔清浄の流れ〕

主機関⇒掃気室ドレンタンク⇒ランタンドレン澄タンク⇒清浄装置⇒再生油貯蔵タンク

再生油貯蔵タンク+新油タンク⇒清浄装置⇒計量タンク
計量タンクから主機関へ送油する際に粘度計・TBN計で状態監視しています。

システム油・潤滑油



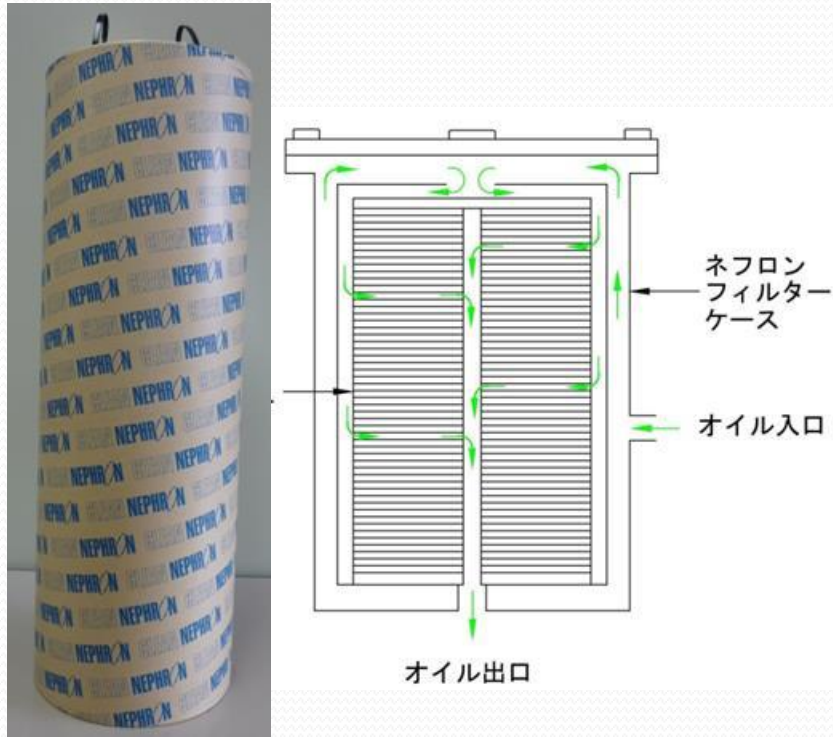
〔清浄の流れ〕

主機サンプタンク⇒発電機澄タンク⇒清浄装置⇒主発電機関⇒主機サンプタンク

発電機澄タンクからのオーバーフロー管が主機サンプタンクへ繋がっていてその途中に通常油(SX30)・低粘度油(SY20)の補給用配管が繋がっています。主機サンプタンクから主機へ送油される際に粘度計・TBN計で状態監視しています。

ネフロンフィルタの仕組み

ネフロン042型



ランタンドレン油用に使用

エコネフロン20型



システム油・潤滑油用に使用

ネフロン042型は精密濾過用に使用し、(エコ)ネフロン20型は主にエンジンオイル用で使用しています。
また、エコネフロン20型には、濃縮アルカリ添加剤を予め染み込ませてあります。
塩基価の数値によっては調整の為に、添加剤を含まないネフロン20型を使用します。

シリンダ油清浄器およびシステム油清浄器



シリンダ油清浄器

システム油清浄器

1. 目的

2. 研究開発の背景

3. 研究開発目標

4. 実施内容と評価

4-2 システム油共有化の検討

5. まとめ

主機への影響検証

2015年5月のドックで計測を行い有効性を検証

• 軸受メタル膜厚計測

- ① NO.3,6 主軸受メタル
- ② NO.1,5 クランクピン軸受メタル
- ③ NO.2,5 クロスヘッドピン軸受メタル

• ピン径計測

- ① NO.1,5 クランクピン
- ② NO.2,5 クロスヘッドピン（船首側）

No. 3, 6主軸受メタル膜厚計測

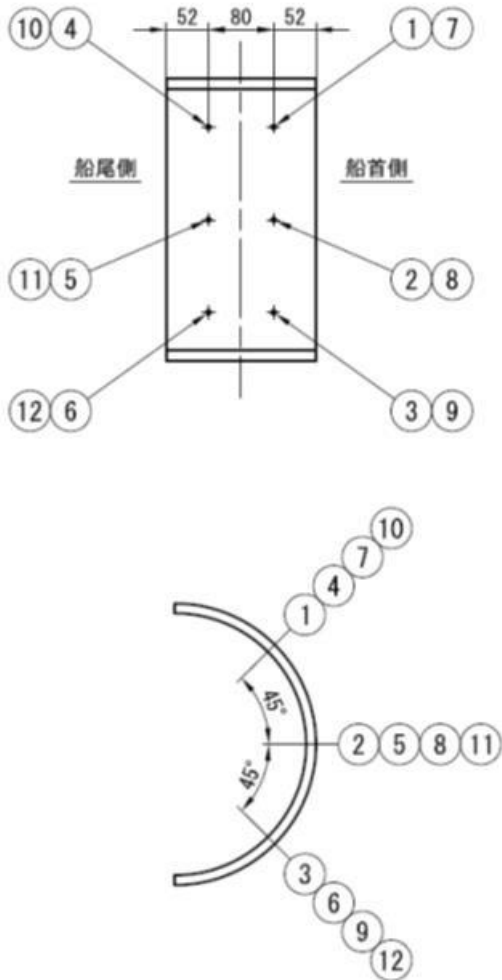
単位 : mm

主軸受メタル(上)

計測点	計測日	NO.3	NO.6
①	'14.5.15	0.78	0.94
	'15.5.26	0.78	0.94
	差異	0.00	0.00
②	'14.5.15	0.90	1.01
	'15.5.26	0.90	1.01
	差異	0.00	0.00
③	'14.5.15	0.87	0.94
	'15.5.26	0.87	0.94
	差異	0.00	0.00
④	'14.5.15	0.84	0.94
	'15.5.26	0.84	0.93
	差異	0.00	-0.01
⑤	'14.5.15	0.89	0.92
	'15.5.26	0.88	0.92
	差異	-0.01	0.00
⑥	'14.5.15	0.90	0.89
	'15.5.26	0.90	0.89
	差異	0.00	0.00

主軸受メタル(下)





計測点	計測日	NO.3	NO.6
⑦	'14.5.15	1.03	1.03
	'15.5.26	1.04	1.03
	差異	0.01	0.00
⑧	'14.5.15	1.04	1.01
	'15.5.26	1.03	1.01
	差異	-0.01	0.00
⑨	'14.5.15	1.07	1.07
	'15.5.26	1.07	1.07
	差異	0.00	0.00
⑩	'14.5.15	1.07	1.04
	'15.5.26	1.07	1.04
	差異	0.00	0.00
⑪	'14.5.15	1.07	1.01
	'15.5.26	1.07	1.01
	差異	0.00	0.00
⑫	'14.5.15	1.05	1.06
	'15.5.26	1.05	1.06
	差異	0.00	0.00




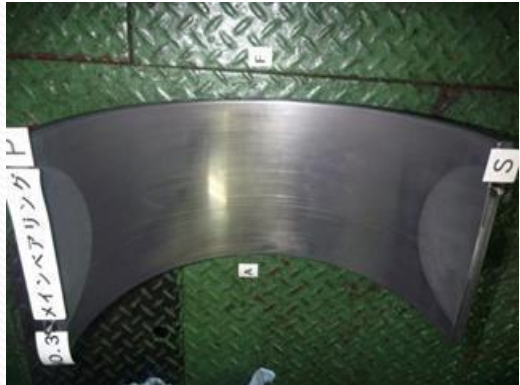

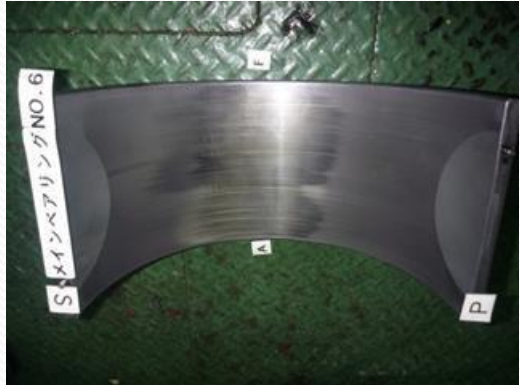
上下共に計測の結果摩耗は認められない

下メタル内面に軽微な傷は認められたものの表面的に馴染んだ状況であり前回開放時に比べ悪化した状況はない

No. 3, 6主軸受メタル(上)

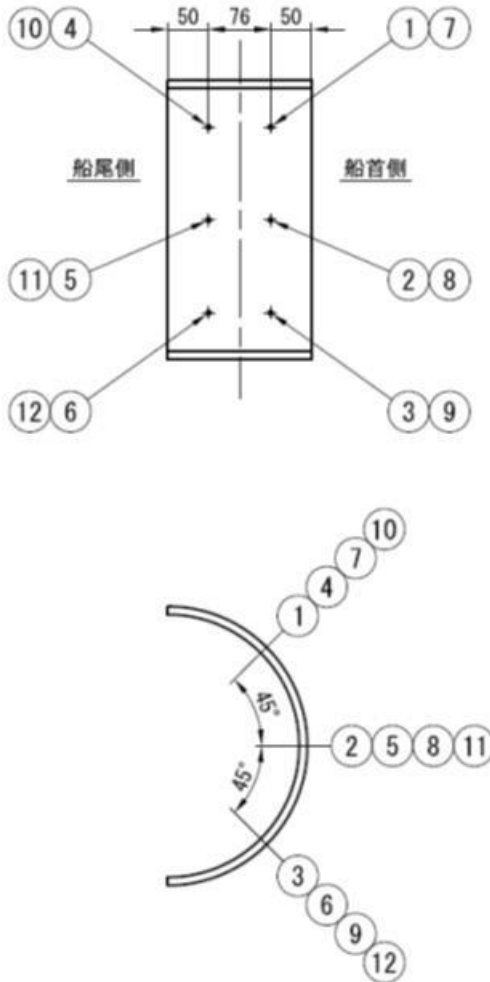
		潤滑油統合前	潤滑油統合後
日付		2014.5.15	2015.5.26
総運転時間時間		116,640 hr	120,521 hr
NO.3	概観写真		
NO.6	概観写真		

No. 3, 6主軸受メタル(下)

		潤滑油統合前	潤滑油統合後
日付		2014.5.15	2015.5.26
総運転時間時間		116,640 hr	120,521 hr
NO.3	概観写真		
NO.6	概観写真		

No. 1, 5 クランクピンメタル膜厚計測

単位 : mm



クランクピン軸受メタル(上)

計測点	計測日	NO.1	NO.5
①	'14.5.15	1.09	1.22
	'15.5.26	1.09	1.21
	差異	0.00	-0.01
②	'14.5.15	1.07	1.09
	'15.5.26	1.08	1.09
	差異	0.01	0.00
③	'14.5.15	1.10	1.20
	'15.5.26	1.10	1.20
	差異	0.00	0.00
④	'14.5.15	1.04	1.16
	'15.5.26	1.04	1.16
	差異	0.00	0.00
⑤	'14.5.15	1.04	1.09
	'15.5.26	1.04	1.09
	差異	0.00	0.00
⑥	'14.5.15	1.12	1.21
	'15.5.26	1.12	1.21
	差異	0.00	0.00

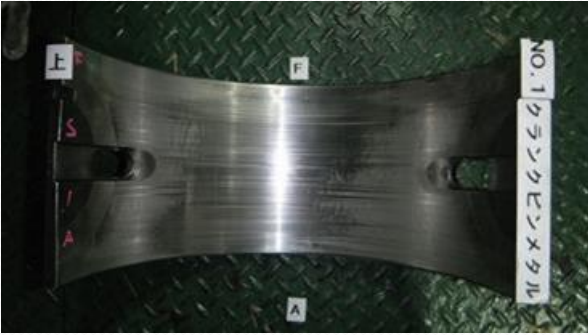



クランクピン軸受メタル(下)

計測点	計測日	NO.1	NO.5
⑦	'14.5.15	1.00	1.18
	'15.5.26	1.00	1.18
	差異	0.00	0.00
⑧	'14.5.15	1.01	1.17
	'15.5.26	1.01	1.17
	差異	0.00	0.00
⑨	'14.5.15	1.01	1.27
	'15.5.26	1.01	1.27
	差異	0.00	0.00
⑩	'14.5.15	1.04	1.17
	'15.5.26	1.03	1.17
	差異	-0.01	0.00
⑪	'14.5.15	0.95	1.17
	'15.5.26	0.95	1.18
	差異	0.00	0.01
⑫	'14.5.15	1.01	1.35
	'15.5.26	1.01	1.35
	差異	0.00	0.00

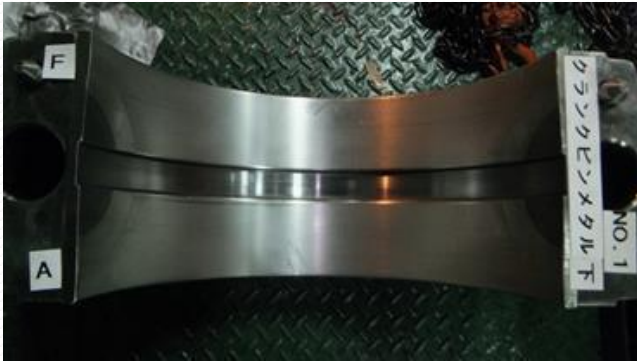

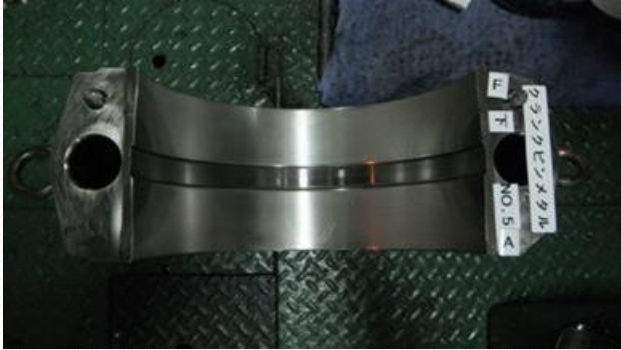

上下共に計測の結果摩耗は認められない

上メタル内面に軽微な傷は認められたものの表面的に馴染んだ状況であり前回開放時に比べ悪化した状況はない

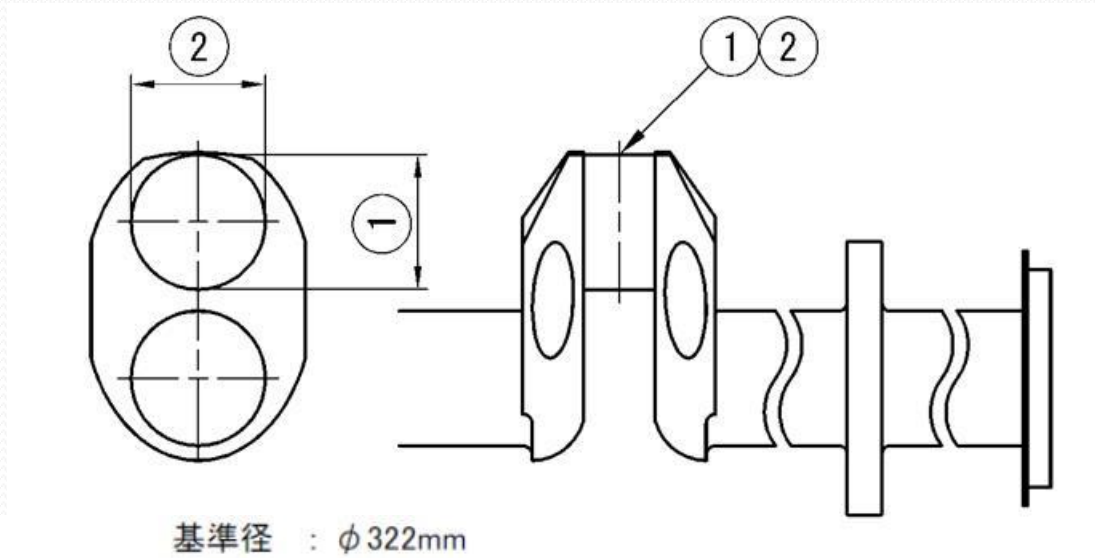
No. 1, 5 クランクピンメタル(上)

		潤滑油統合前	潤滑油統合後
日付		2014.5.15	2015.5.26
総運転時間時間		116,640 hr	120,521 hr
NO.1	概観写真		
NO.5	概観写真		

No. 1, 5 クランクピンメタル(下)

		潤滑油統合前	潤滑油統合後
日付		2014.5.15	2015.5.26
総運転時間時間		116,640 hr	120,521 hr
NO.1	概観写真		
NO.5	概観写真		

No. 1, 5 クランクピン計測



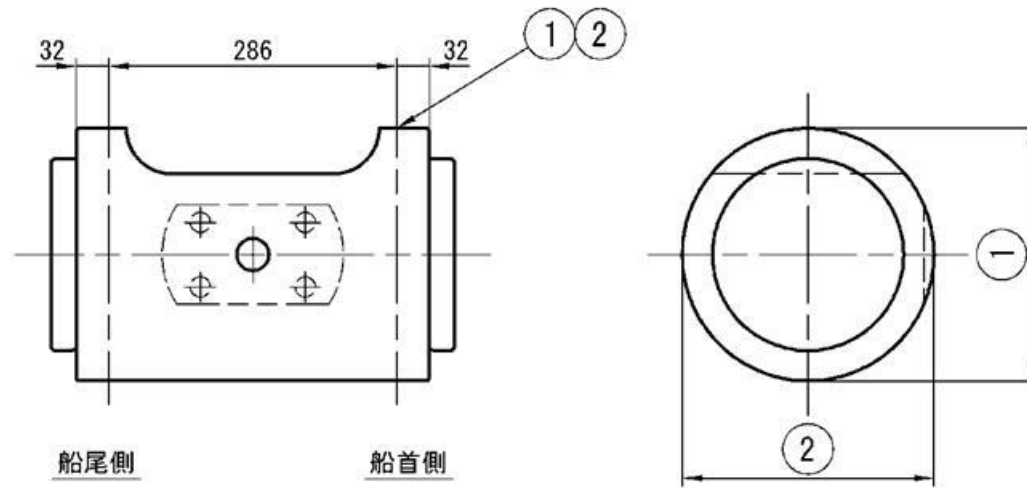
基準径 : $\phi 322\text{mm}$
 単位 : mm

クランクピン径

計測点	計測日	NO.1	NO.5
①	'14.5.15	+0.030	+0.030
	'15.5.26	+0.030	+0.030
	差異	0.000	0.000
②	'14.5.15	+0.035	+0.030
	'15.5.26	+0.035	+0.030
	差異	0.000	0.000

摩耗及び線状痕等もなく良好

No. 2, 5 クロスヘッドピン計測



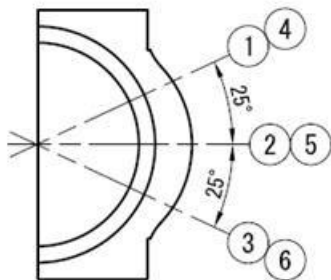
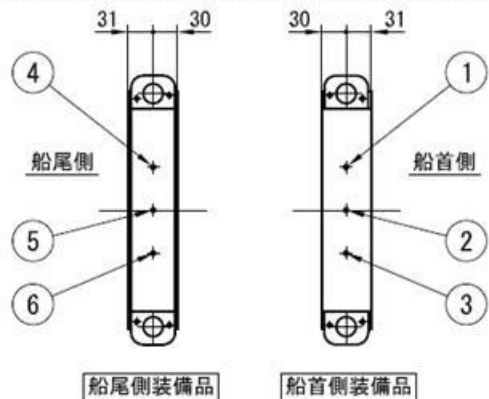
基準径 : $\phi 250\text{mm}$
 単位 : mm

クロスヘッドピン 船首側

計測点	計測日	NO.2	NO.5
①	'14.5.15	+0.030	+0.030
	'15.5.26	+0.030	+0.030
	差異	0.000	0.000
②	'14.5.15	+0.035	+0.020
	'15.5.26	+0.035	+0.020
	差異	0.000	0.000

摩耗及び線状痕等もなく良好

No. 2, 5 クロスヘッドピン上メタル膜厚計測



クロスヘッドピン軸受(上)船首装備品

計測点	計測日	NO.2	NO.5
①	'14.5.15	1.52	1.29
	'15.5.26	1.52	1.29
	差異	0.00	0.00
②	'14.5.15	1.44	1.32
	'15.5.26	1.44	1.32
	差異	0.00	0.00
③	'14.5.15	1.43	1.35
	'15.5.26	1.43	1.35
	差異	0.00	0.00

単位 : mm

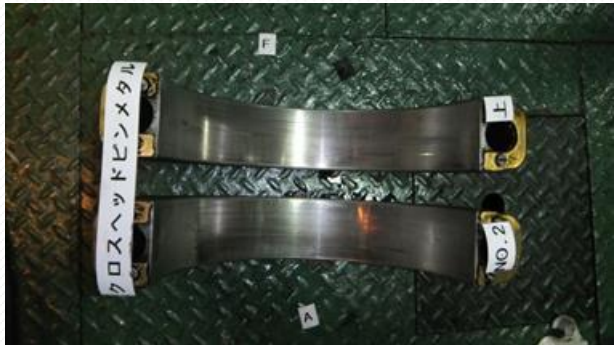
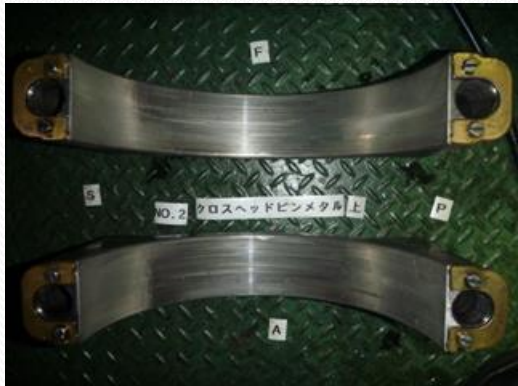

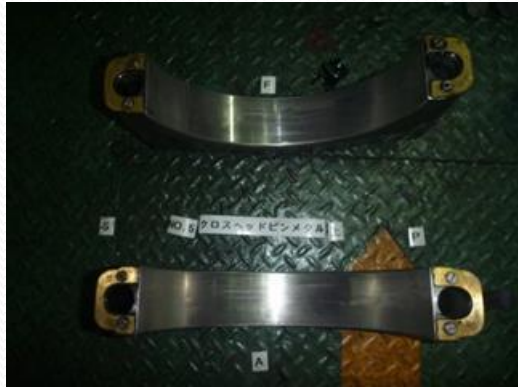

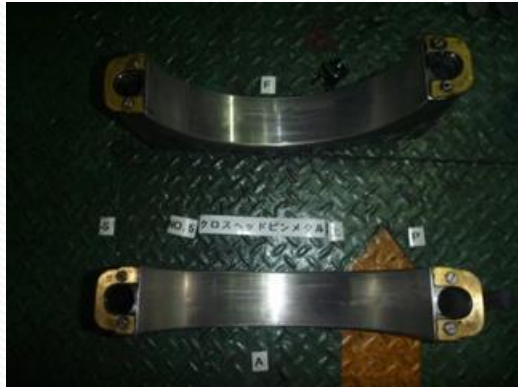

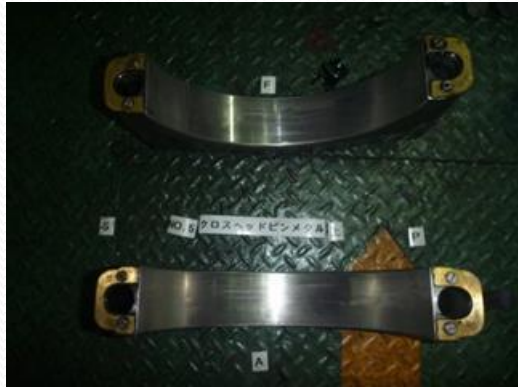
クロスヘッドピン軸受(上)船尾装備品

計測点	計測日	NO.2	NO.5
④	'14.5.15	1.46	1.31
	'15.5.26	1.46	1.31
	差異	0.00	0.00
⑤	'14.5.15	1.41	1.31
	'15.5.26	1.41	1.31
	差異	0.00	0.00
⑥	'14.5.15	1.44	1.37
	'15.5.26	1.44	1.37
	差異	0.00	0.00

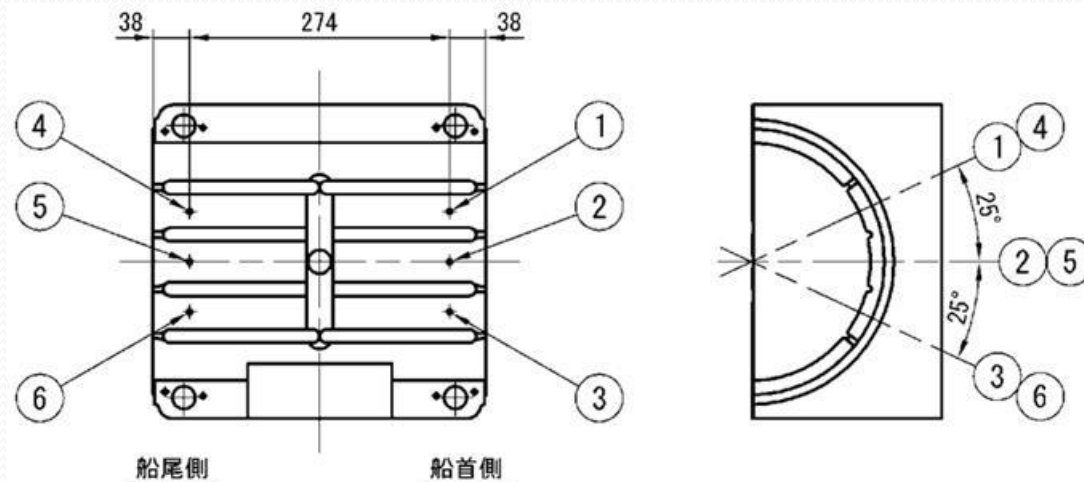
計測の結果摩耗は認められない

メタル内面に軽微な傷は認められたものの表面的に馴染んだ状況であり前回開放時に比べ悪化した状況はない

No. 2, 5 クロスヘッドピンメタル(上)

		潤滑油統合前	潤滑油統合後
日付		2014.5.15	2015.5.26
総運転時間時間		116,640 hr	120,521 hr
NO.2	概観写真		
			
NO.5	概観写真		
			

No. 2, 5 クロスヘッドピン下メタル膜厚計測







単位 : mm
クロスヘッドピン軸受(下)

計測点	計測日	NO.2	NO.5
①	'14.5.15	2.09	1.99
	'15.5.26	2.10	1.99
	差異	0.01	0.00
②	'14.5.15	2.02	2.02
	'15.5.26	2.02	2.02
	差異	0.00	0.00
③	'14.5.15	1.94	2.04
	'15.5.26	1.94	2.03
	差異	0.00	-0.01
④	'14.5.15	2.15	2.02
	'15.5.26	2.15	2.02
	差異	0.00	0.00
⑤	'14.5.15	2.17	2.09
	'15.5.26	2.17	2.09
	差異	0.00	0.00
⑥	'14.5.15	2.08	2.03
	'15.5.26	2.07	2.03
	差異	-0.01	0.00

計測の結果摩耗は認められない

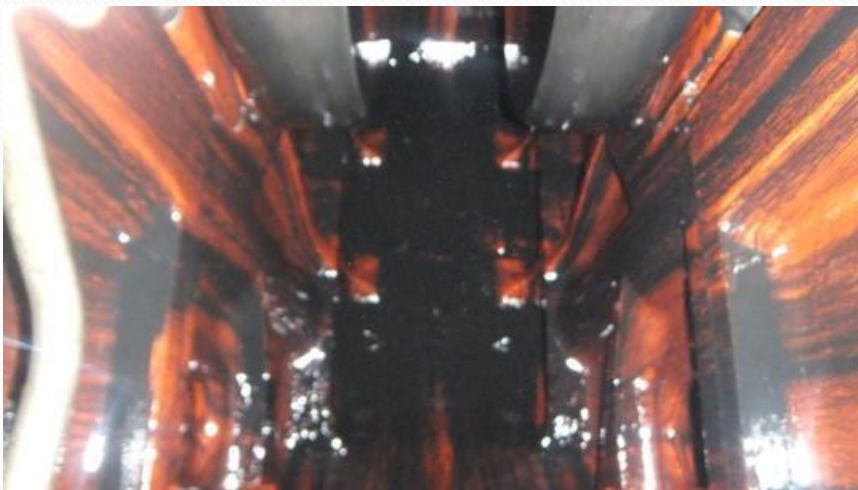
ゴミ等による掻き傷もなく前回と比べ悪化した状況はない

No. 2, 5 クロスヘッドピンメタル(下)

		潤滑油統合前	潤滑油統合後
日付		2014.5.15	2015.5.26
総運転時間時間		116,640 hr	120,521 hr
NO.2	概観写真		
NO.5	概観写真		

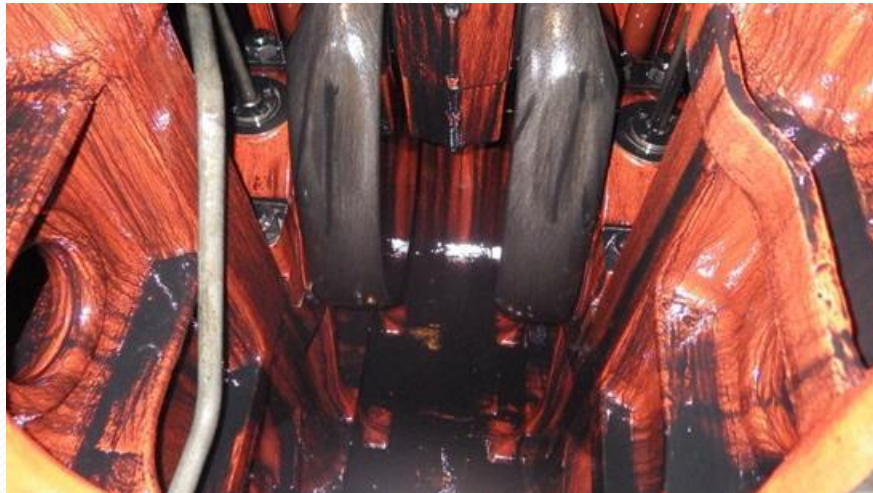
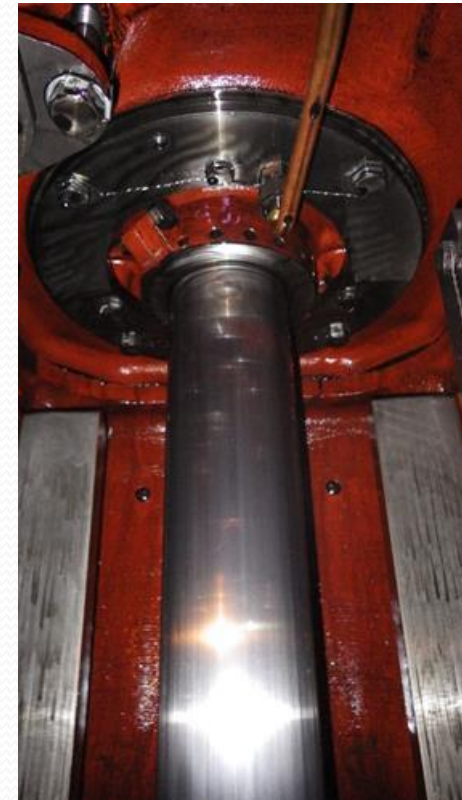
クランクケース内 潤滑油の状態

2015年2月7日



クランクケース内 潤滑油の状態

2015年3月16日



クランクケース内 潤滑油の状態

2015年5月25日



クランクケース内面壁への
黒色L Oの残留が軽微であり良好

補機への影響検証

本船で使用されている補機関S185L-ET機関の燃料は、MDOであり主機関との塩基価の違いに関しては、大きな障害となる要素は少ない。

よって、低質油焚き機関である“ひまわり5”での実証試験の延長として、潤滑油管理の自動化システムが有効に機能しているかの検証的位置付けが強く、確認すべき大きなポイントは、以下となる。

- ①機関部品の清浄度合い確認
- ②部品磨耗状況の確認
- ③その他異常の有無

補機への影響検証結果(2015.05.25)



シリンダブロックの隔壁は、油溜り部分を除けば、赤い塗装色が十分確認される状況であり、潤滑油としての清浄分散性は確保されていると思われる。

補機への影響検証結果(2015.05.25)

クランクピンメタル

NO1



NO2



NO3



NO4



NO5



NO6



各気筒のクランクピンメタルには線状痕も無く良好 ⇒ 清浄度良好

補機への影響検証結果

計測日: 2015.05.26 総運転時間: 110,500h	摩耗変化量 (mm)		摩耗率 (mm/1000h)		(参考: ひまわり43283h) 磨耗率 (mm/1000h)	
	平均	最大	平均	最大	平均	最大
	クランク軸					
クランクピン部	0.002	0.006	0.0003	0.0010	0.0003	0.0003
ライナ						
内径 (TOPリング部)	0.01	0.02	0.0017	0.0033	0.0041	0.0053
ピストン						
TOPリング溝部	0.086	0.170	0.0143	0.0283	0.0049	0.0062
2ndリング溝部	0.039	0.053	0.0065	0.0088	0.0035	0.0042
3rdリング溝部	0.042	0.053	0.0070	0.0088	0.0021	0.0025
ピン穴部	0.002	0.004	0.0003	0.0007	0.0010	0.0012
ピストンピン						
外径	0.002	0.003	0.0003	0.0005	0.0001	0.0002
ピストンピンメタル	0.007	0.01	0.0012	0.0017	0.0021	0.0024
クランクピンメタル	0.009	0.013	0.0015	0.0021		

残念ながら、総運転時間、データ数の影響も有るが、ピストンリング溝部の磨耗は、低質油焚きの「ひまわり5」と比較しても大きい。その他の部品に関しては異常が見られない。磨耗大の原因に関しては、その後の調査により、燃料不適による燃焼悪化が原因である事が判明した為、本試験による影響とは判断しない。

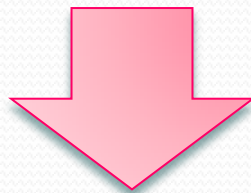
主機・補機への影響検証結果のまとめ

<主機>

- ①主軸受メタル、クランクピンメタル、クロスヘッドピンメタル共に
摩耗は認められず良好
- ②クランクピン、クロスヘッドピン共に摩耗及び線状痕等無く良好

<補機>

- ①燃焼状態の不適によるTOPリング溝の異常磨耗除けば、「ひまわり
5」の実証試験結果と同様に磨耗は認められず良好
- ②シリンダブロック内壁面の状況からも察知出来る様に、潤滑油清浄
度にも問題なく、メタルにも線状痕は見られない



主機・補機ともにシステム油共有化に関しての
有効性を実証出来た

1. 目的

2. 研究開発の背景

3. 研究開発目標

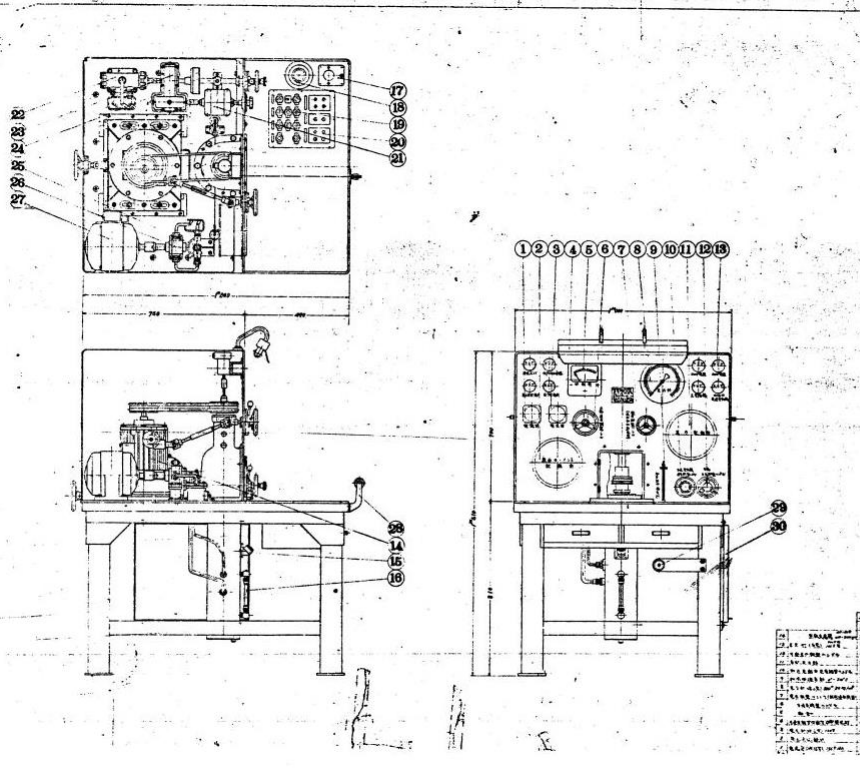
4. 実施内容と評価

4-3 シリンダ油へのランタンドレン油配合検討

5. まとめ

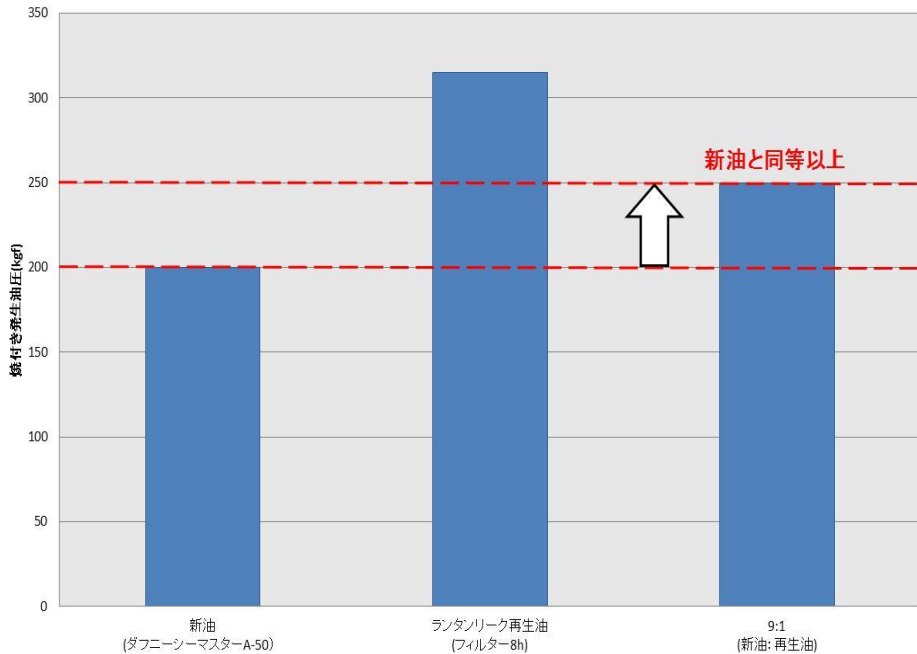
シリンダ油分析(フォアボール試験機)

フォアボール試験は、第三者機関のジャパンアナリスト(株)殿の高速四球形摩擦試験機を使用した。

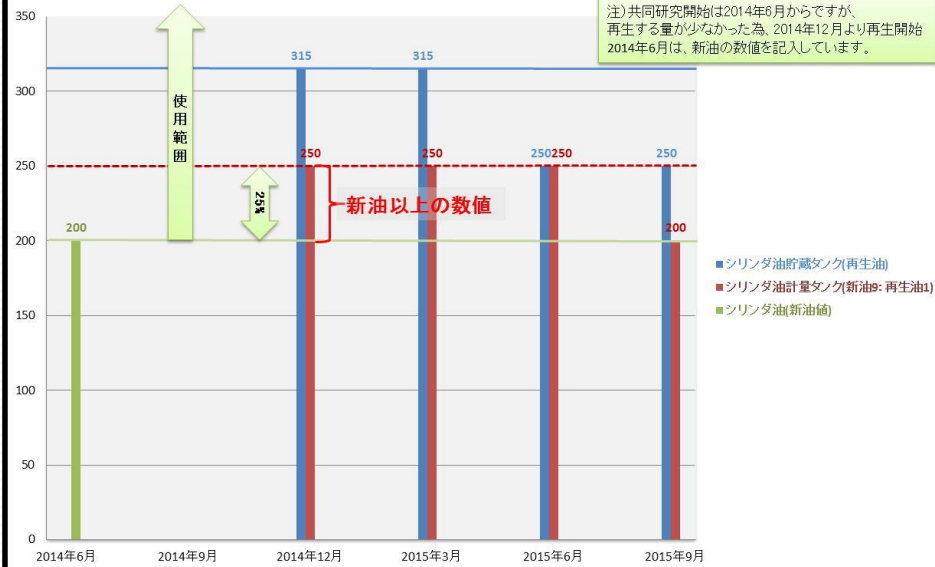


シリンダ油分析結果及び推移(四球融着荷重)

焼き発生油圧比較



シェル4球融着荷重(kgf)



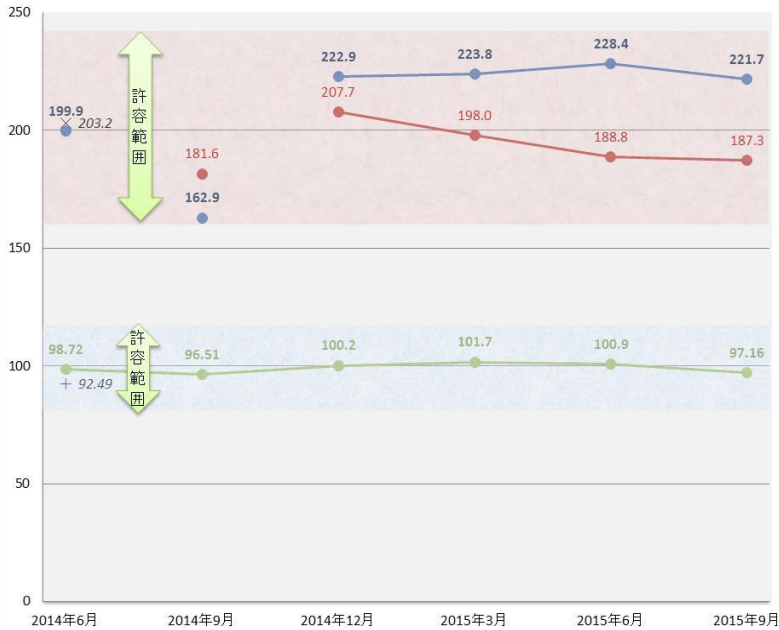
注) 共同研究は、2014年6月から行っていますが、シリンダ油が再生出来る量まで満たなかった為、上グラフでは2014年12月より正式なスタートとなっています。尚、2014年6月分データは新油値を記入しています。

新油9：再生油1の数値は250kgfの為、新油値の25%上昇となっており新油以上の数値である事から極圧性の低下も無く、問題なく使用出来る事を確認しました。

再生油の数値は、315kgfとなり数値は良いのですが、塩基価の下降、酸価が進んでいる為、新油とブレンドする事により適正使用が可能である事を確認しました。

潤滑油・シリンダ油分析結果(動粘度)

動粘度40°C (mm²/s)



許容範囲
 ・シリンダ油
 ±20%:162.4~243.6

・システム油
 ±20%:73.99~110.9

※シリンダ油は、再生出来る量を確保する為、12月より正式なスタートとしています。

動粘度100°C (mm²/s)



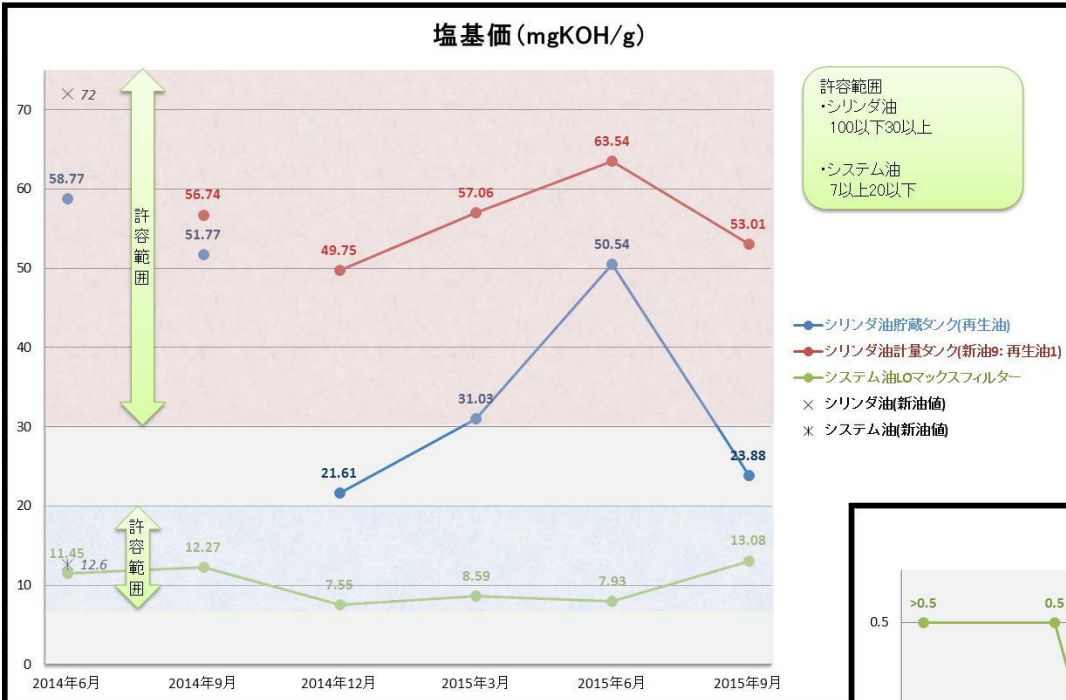
許容範囲
 ・シリンダ油
 ±20%:16.56~24.84

・システム油
 ±20%:9.05~13.58

システム油・シリンダ油共に許容範囲内に収まっている為、使用に際しては問題の無い事を確認しました。

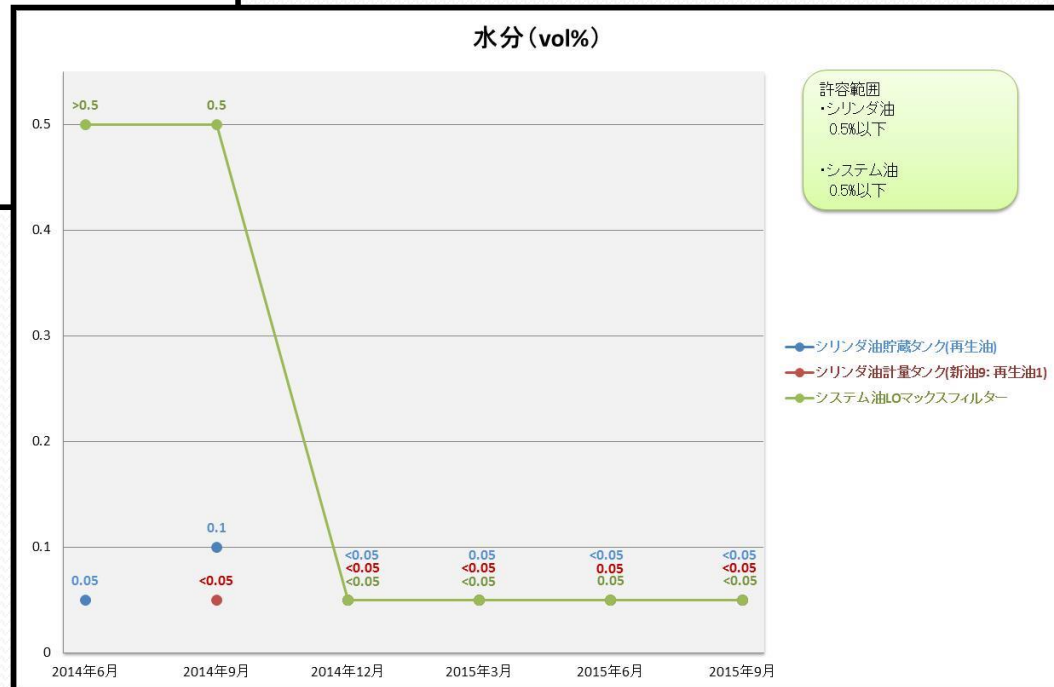
潤滑油・シリンダ油分析結果(塩基価・水分)

塩基価 (mgKOH/g)



※シリンダ油は、再生出来る量を確保する為、12月より正式なスタートとしています。

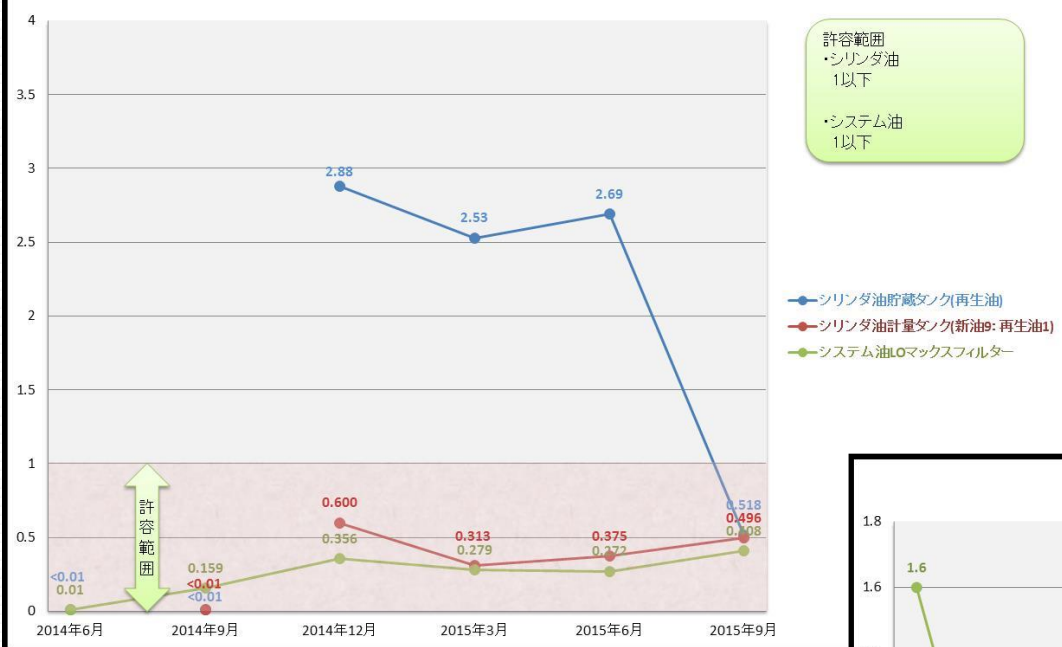
水分 (vol%)



システム油・シリンダ油共に許容範囲内に収まっている為、使用に際しては問題の無い事を確認しました。2014年6月・9月のシステム油の水分が一時的に高くなっているのは、新油入替前に行ったエンジンフラッシングの水分が検出されたものと思われます。以降の数値は問題ない事を確認しました。

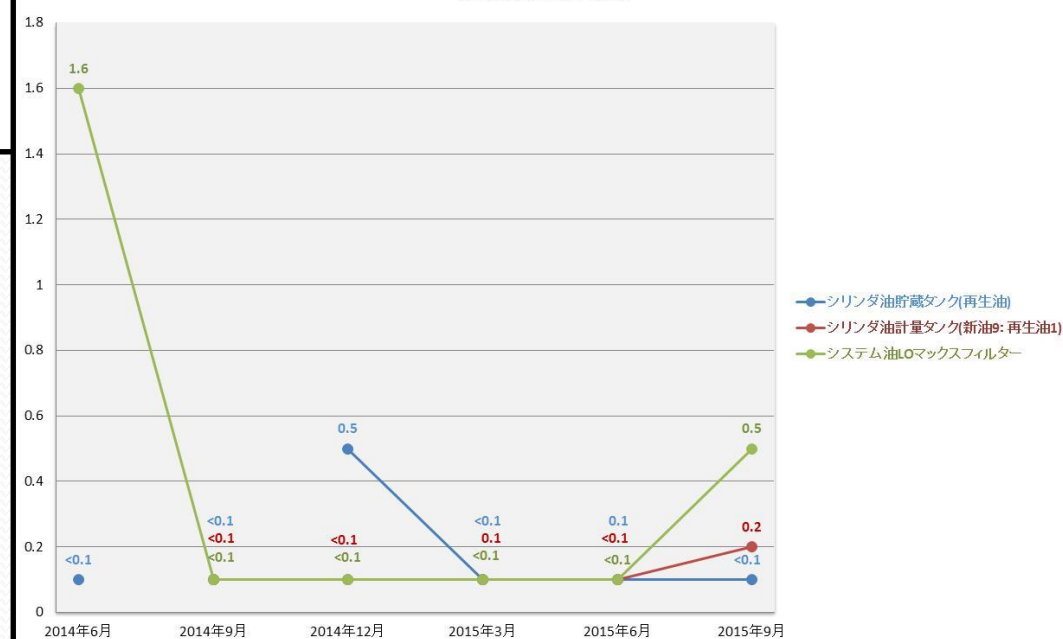
潤滑油・シリンダ油分析結果(すす量・簡易燃料分)

すす量 (mass%)



※シリンダ油は、再生出来る量を確保する為、12月より正式なスタートとしています。

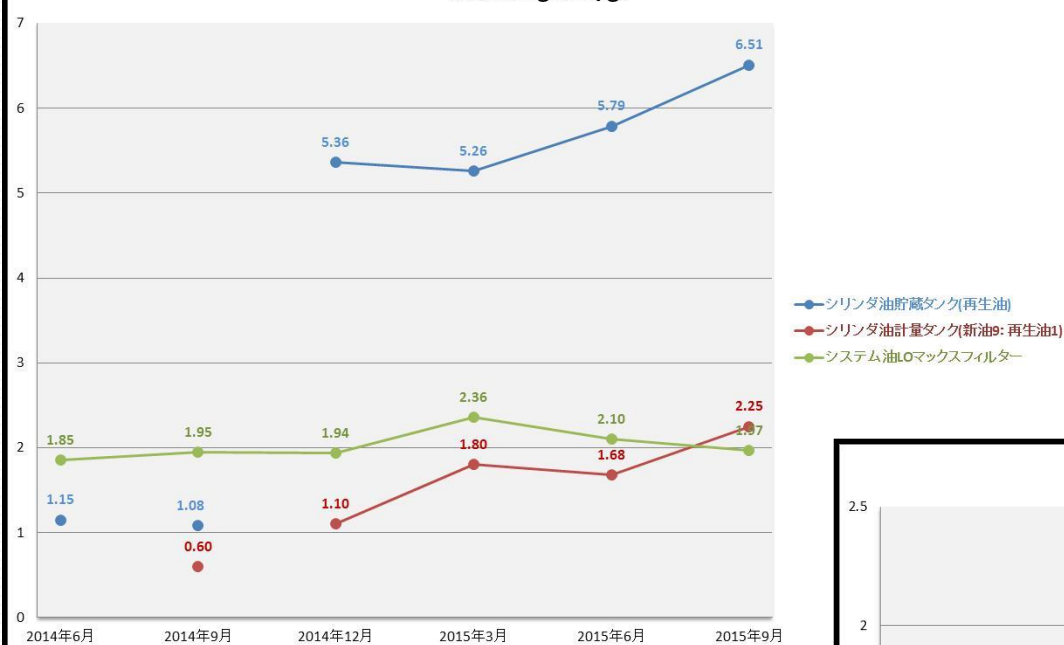
簡易燃料分 (%)



2014年6月のシステム油の簡易燃料分が高くなっているのは、一時的に燃焼の不具合が起き、L.O.中に燃料分が混入したものとされます。

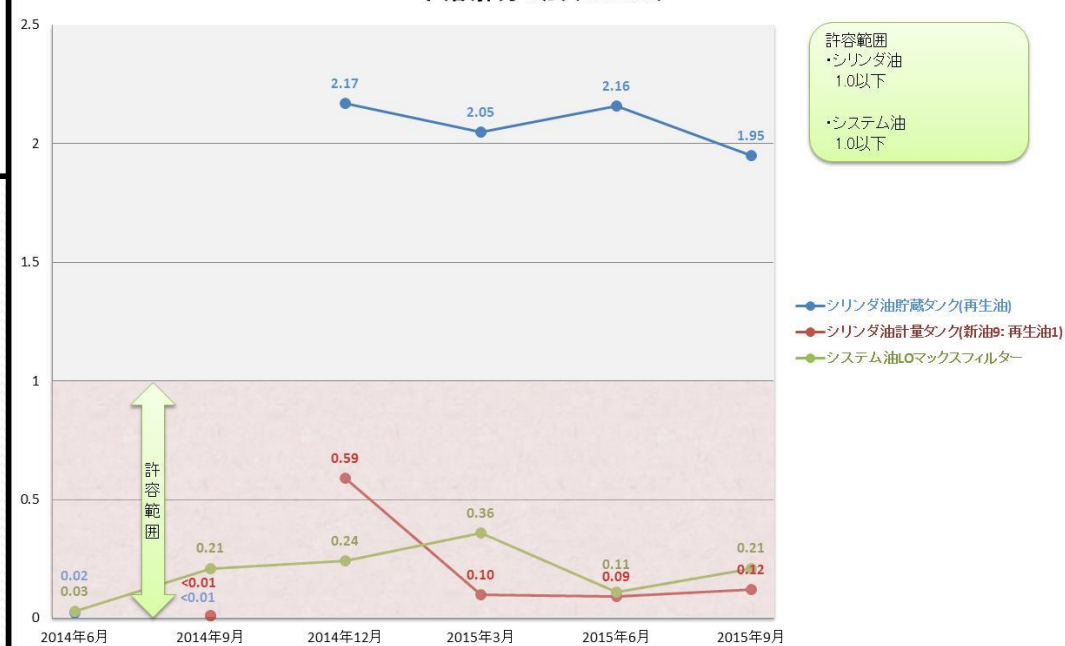
潤滑油・シリンダ油分析結果(酸価・不溶解分)

酸価 (mgKOH/g)



※シリンダ油は、再生出来る量を確保する為、12月より正式なスタートとしています。

不溶解分B法 (mass%)

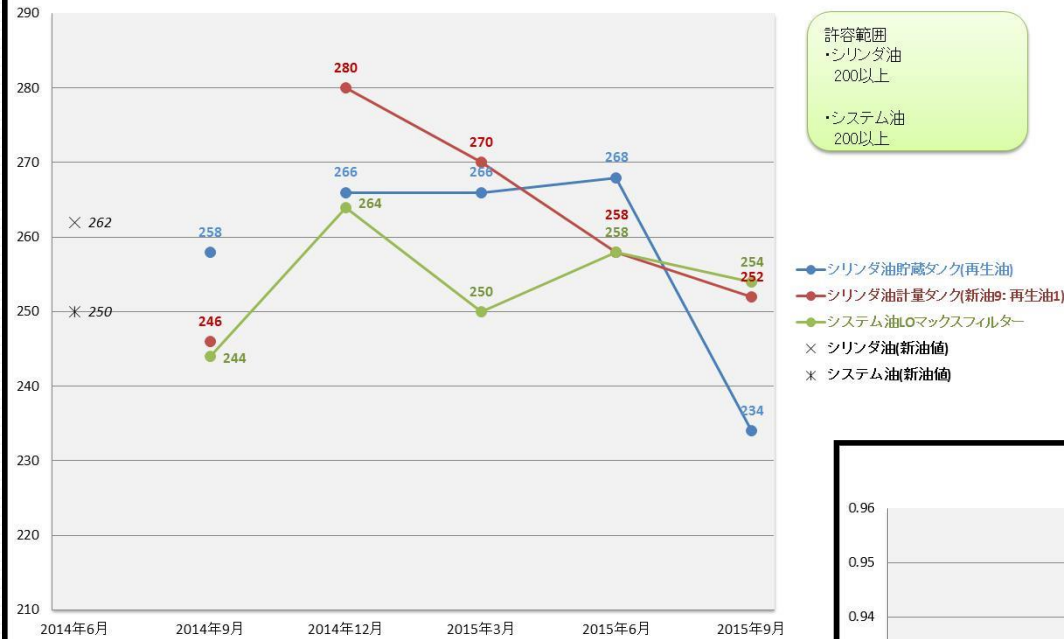


許容範囲
 ・シリンダ油
 1.0以下
 ・システム油
 1.0以下

シリンダ再生油の不溶解分の数値が許容範囲を超えていますが、新油9：再生油1にブレンドした際に数値が収まっているので、問題なく使用出来る事を確認しました。

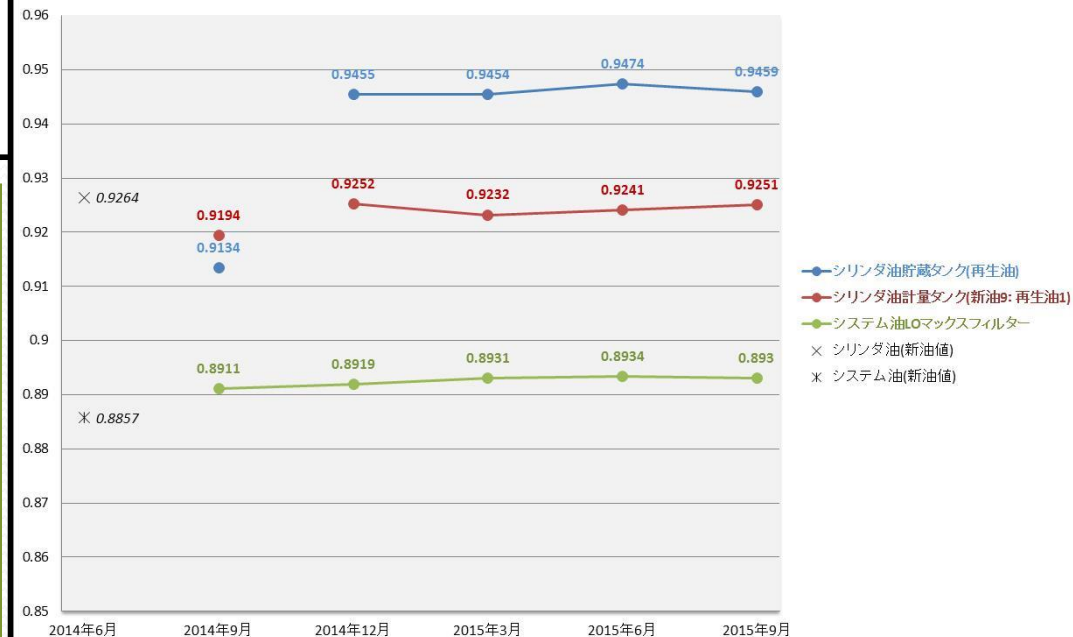
潤滑油・シリンダ油分析結果(引火点・密度)

引火点(°C)



※シリンダ油は、再生出来る量を確保する為、12月より正式なスタートとしています。

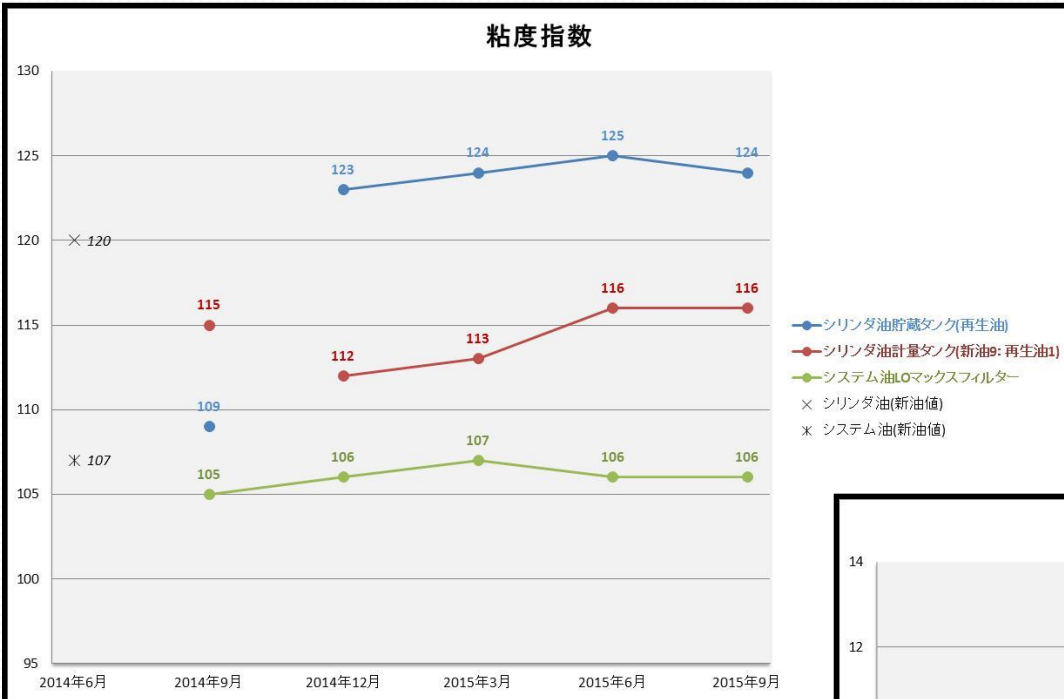
密度15°C (g/cm³)



全てにおいて新油値と大差のない事を確認しました。

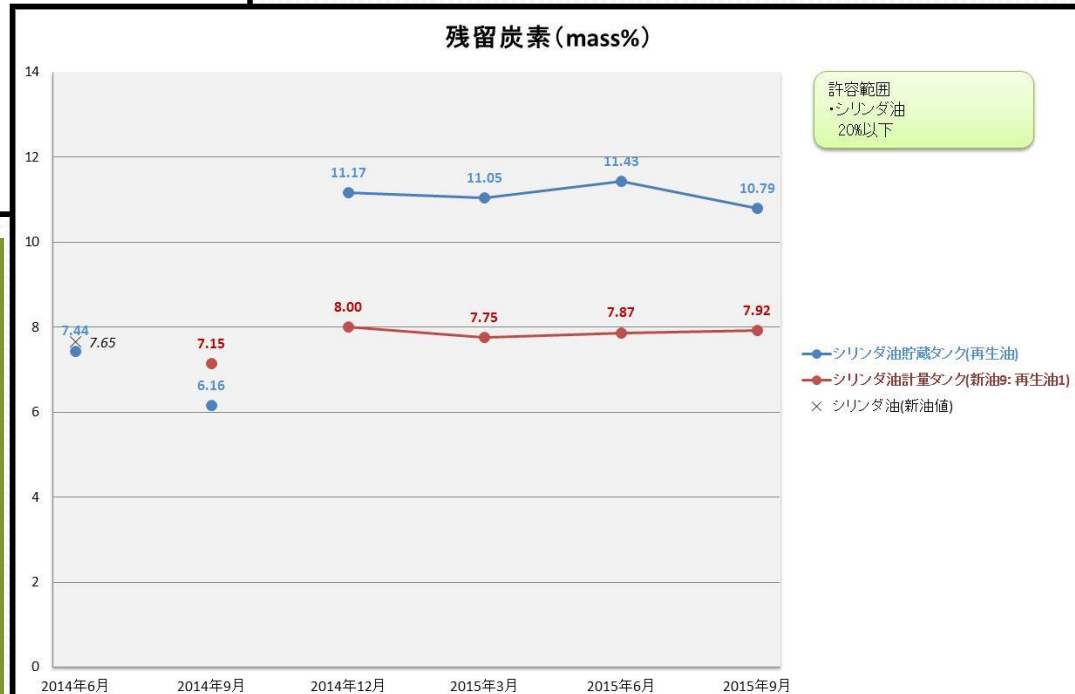
潤滑油・シリンダ油分析結果(粘度指数・残留炭素)

粘度指数



※シリンダ油は、再生出来る量を確保する為、12月より正式なスタートとしています。

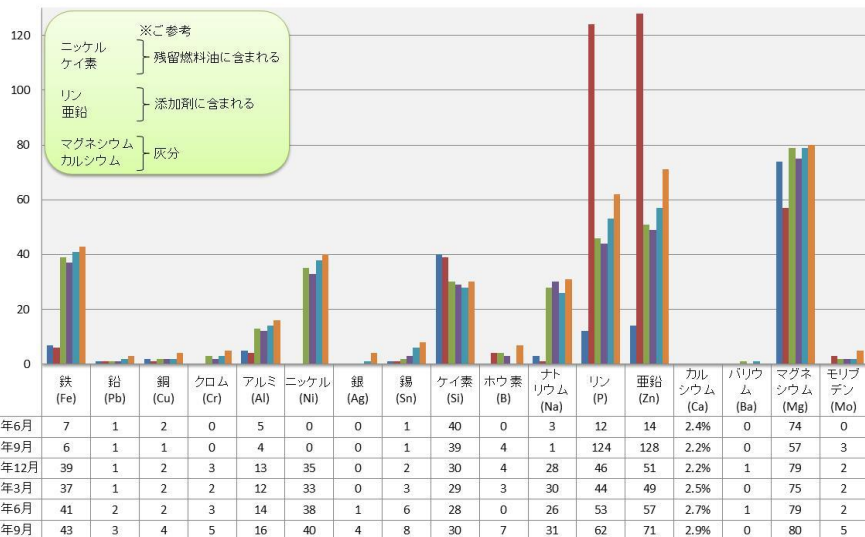
残留炭素 (mass%)



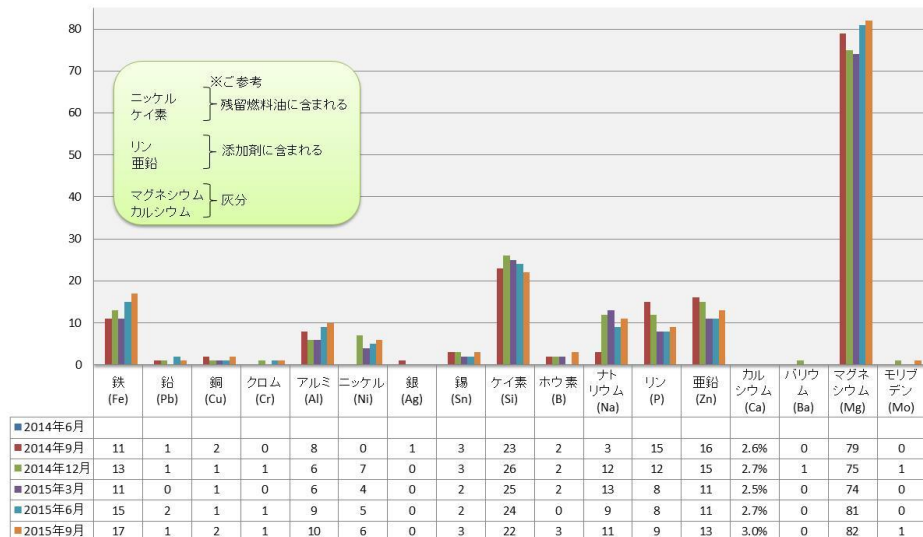
全てにおいて新油値と大差のない事を確認しました。

潤滑油・シリンダ油分析結果(金属元素分析)

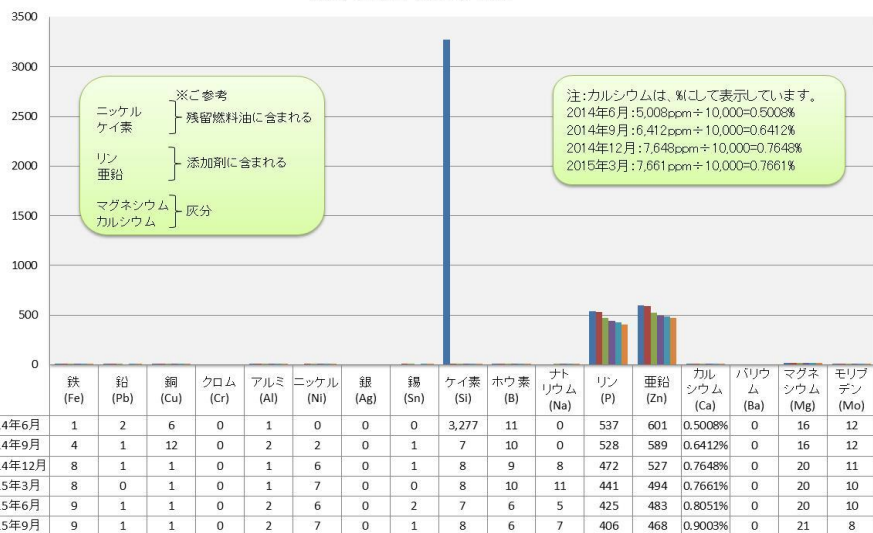
金属元素分析
(シリンダ油貯蔵タンク/再生油)



金属元素分析
(シリンダ油計量タンク/新油:再生油1)



金属元素分析
システム油L.O.マックスフィルター



金属元素分析においては、システム油の2014年6月にケイ素の数値が高く見られますが、主に残留燃料に含まれる成分なので、一時的に燃焼に不具合があったものと思われる。以降の数値では問題無いものと思われる。シリンダ油の数値として一時的にリン・亜鉛・マグネシウムの検出量が高いのは、シリンダ油に含まれる極圧添加剤の数値であり、2014年12月以降においては、安定しているため、問題無いものと思われる。

オイル分析に対する見解

今回の共同研究である「主機システム油と補機潤滑油の統一」において、昨年の6月から継続してオイルの分析推移をチェックしてきたが、良好な状態を維持している。通常オイルは、酸化が進むと消耗した添加剤や不純物等が重合し、粘度が上昇する(粘度上昇)。しかし、ネフロンシステムでオイルを清浄濾過した場合でも、運転時間と共に粘度が上昇する。その際の粘度上昇の原因としては、ネフロンフィルターで通油する際のブラウン運動により、オイル中に含まれる比重差のある添加剤が細かくせん断されているものと思われる。

また、ネフロンフィルターは、 1μ までの不純物を取り除くので、 1μ 以下の害にならない不純物もオイル内に残り、細かくせん断された添加剤と共にオイル中に混ざっている為である。

良い条件で長時間使用した摺動面でも、表面は油膜形成の為の溝や、もともと粗く仕上げられていて、でこぼこになっており、その摺動面の凹部にオイルの微小分子(細かくせん断された添加剤含む)と 1μ 以下の不純物が入り込む事により、押し上げ作用が働き、摺動面の凸部との接触を防ぎ、焼付きにくくなる と考える。(コロイド理論)

上記、コロイド理論に基づき、焼付きが起こる境界潤滑(面と面との直接接触)でも、オイルの分子程度の油膜は残っていると考えられ、本船での共同研究である油種統一並びに部品摩耗の激減につながり、結果が表れている。

シリンダ油へのランタンドレン再生油配合の検証

時間経過によるリング状況の観察および2015年5月のドックで計測を行い有効性を検証


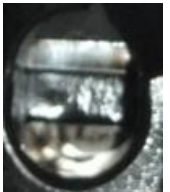












・シリンダライナ内径計測

- ① NO.1,5 シリンダライナ



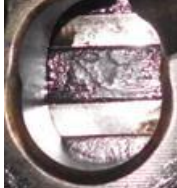









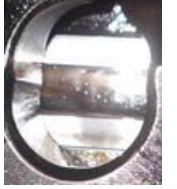

・ピストンリング及びリング溝計測

- ① NO.1,5 ピストン

ピストンリングの状況 (2015年2月7日)







シリンダNO	1	2	3	4	5	6	7
シリンダ油	ブレンド油 (新油: 再生油=9:1)						
ブレンド油 使用時間	1,857hrs						
リング 使用時間	3,034 hrs	未確認	未確認	未確認	3,034 hrs	未確認	未確認
注油率	1.036 g/PSh						
リング 状況							
							
所見	<ul style="list-style-type: none"> ・ピストンリングの固着、リング摺動面の荒れもなく良好 ・ピストンリングランドへの残渣物付着が認められるものの良好 						

ピストンリングの状況 (2015年3月16日)















シリンダNO	1	2	3	4	5	6	7
シリンダ油	ブレンド油 (新油:再生油=9:1)						
ブレンド油 使用時間	2,361hrs (前回調査から504hrs経過)						
リング 使用時間	3,538 hrs	未確認	未確認	未確認	3,538 hrs	未確認	未確認
注油率	1.036 g/PSh						
リング 状況							
							
所見	<ul style="list-style-type: none"> ・ピストンリングの固着、リング摺動面の荒れもなく良好 ・ピストンリングランドへの残渣物付着が認められるものの進展性はなく良好 						

良好なため、注油率を0.988 g/PShに減量

ピストンリングの状況 (2015年5月25日)

シリンダNO	1	2	3	4	5	6	7
シリンダ油	ブレンド油 (新油: 再生油=9:1)						
ブレンド油 使用時間	2,820hrs (前回調査から 459hrs 経過)						
リング 使用時間	3,997 hrs	未確認	未確認	未確認	3,997 hrs	未確認	未確認
注油率	0.988 g/PSh						
リング 状況							
所見	<ul style="list-style-type: none"> ・ピストンリングの固着、リング摺動面の荒れもなく良好 ・ピストンリングランドへの残渣物付着が認められるものの進展性はなく良好 						

ピストンリングの状況 (2015年8月30日)





シリンダNO	1	2	3	4	5	6	7
シリンダ油	ブレンド油 (新油:再生油=9:1)						
ブレンド油 使用時間	3,682hrs (前回調査から862hrs経過)						
リング 使用時間	4,859 hrs	未確認	未確認	未確認	4,859 hrs	未確認	未確認
注油率	0.988 g/PSh (減量から1,321hrs経過)						
リング 状況							
							
所見	<ul style="list-style-type: none"> ・ピストンリングの固着、リング摺動面の荒れもなく良好 ・ピストンリングランドへの残渣物付着が認められるものの進展性はなく良好 						

良好なため、注油率を0.940 g/PShに減量

シリンダライナの状況(外観写真)

		ランタンリーク油使用后
日付		2015.5.26
ランタンリーク油使用时间		2820 hr
NO.1	ライナ使用时间	35,477 hr
	外観写真	
NO.5	ライナ使用时间	28,084 hr
	概観写真	
所見	スカフティング等、外観上のダメージがなく正常な状態	

シリンダライナの状況 (レプリカ観察)

日付	2015.5.26	
撮影位置	A点 船首側	A点 左舷側
NO.1	ライナ使用時間	総使用時間: 35,477 hr (ランタンリーク油使用后 2,820 hr)
	レプリカ写真 × 300倍	 
NO.5	ライナ使用時間	総使用時間: 28,084 hr (ランタンリーク油使用后 2,820 hr)
	レプリカ写真 × 300倍	 
所見	<ul style="list-style-type: none"> ・グラファイトが明瞭 ・ステダイトが明瞭に現れていない ・摺動痕が浅い 以上により潤滑状態が良好と判断できる	

No. 1 シリンダライナ計測

シリンダ番号 1

今回調査日： 2015 ・ 5 ・ 26 (TRH： 120,521 h)

1. シリンダライナ

前回調査日： 2014 ・ 4 ・ 22 (TRH： 116,524 h)

Do：直径の基準寸法 370 mm + X：限界値 [$X \leq$ 2.5 mm]

現装ライナ使用開始時のTRH： 85,044 h 現装ライナ使用時間： 35477 h

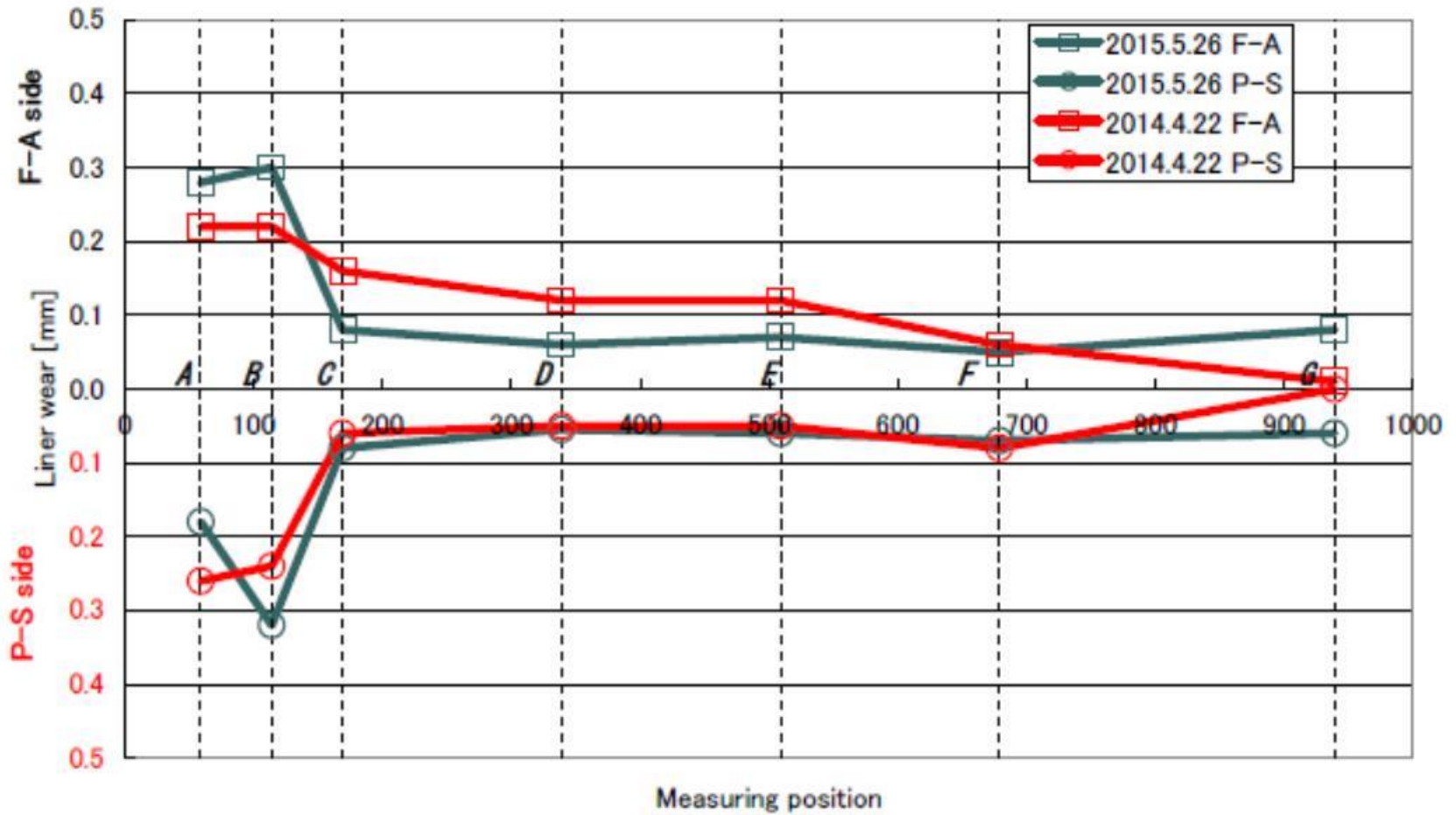
(単位：mm)

項目	計測点										摩耗率 (mm/1000h)				
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	0h ~ 今回		前回 ~ 今回		
F I A	今回	0.28	0.3	0.08	0.06	0.07	0.05	0.08				最大値	0.007	最大値	0.02
	前回	0.22	0.22	0.16	0.12	0.12	0.06	0.01				(計測点)	(B)	(計測点)	(B)
	生まれ	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03	0.02	0.02				平均値	0.003	平均値	0
P I S	今回	0.18	0.32	0.08	0.055	0.06	0.07	0.06				最大値	0.008	最大値	0.02
	前回	0.26	0.24	0.06	0.05	0.05	0.08	0				(計測点)	(B)	(計測点)	(B)
	生まれ	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03	0.02	0.02				平均値	0.002	平均値	0.003

最大摩耗率 0.02mm/1000h であり良好

ライナ内面はスカフティング傷等 表面的なダメージもなく良好

No. 1 シリンダライナ計測



No. 5 シリンダライナ計測

シリンダ番号 5

今回調査日 : 2015 ・ 5 ・ 26 (TRH : 120,521 h)

1. シリンダライナ

前回調査日 : 2014 ・ 4 ・ 23 (TRH : 116,524 h)

Do : 直径の基準寸法 370 mm + X : 限界値 [X ≤ 2.5 mm]

現装ライナ使用開始時のTRH : 92,437 h 現装ライナ使用時間 : 28084 h

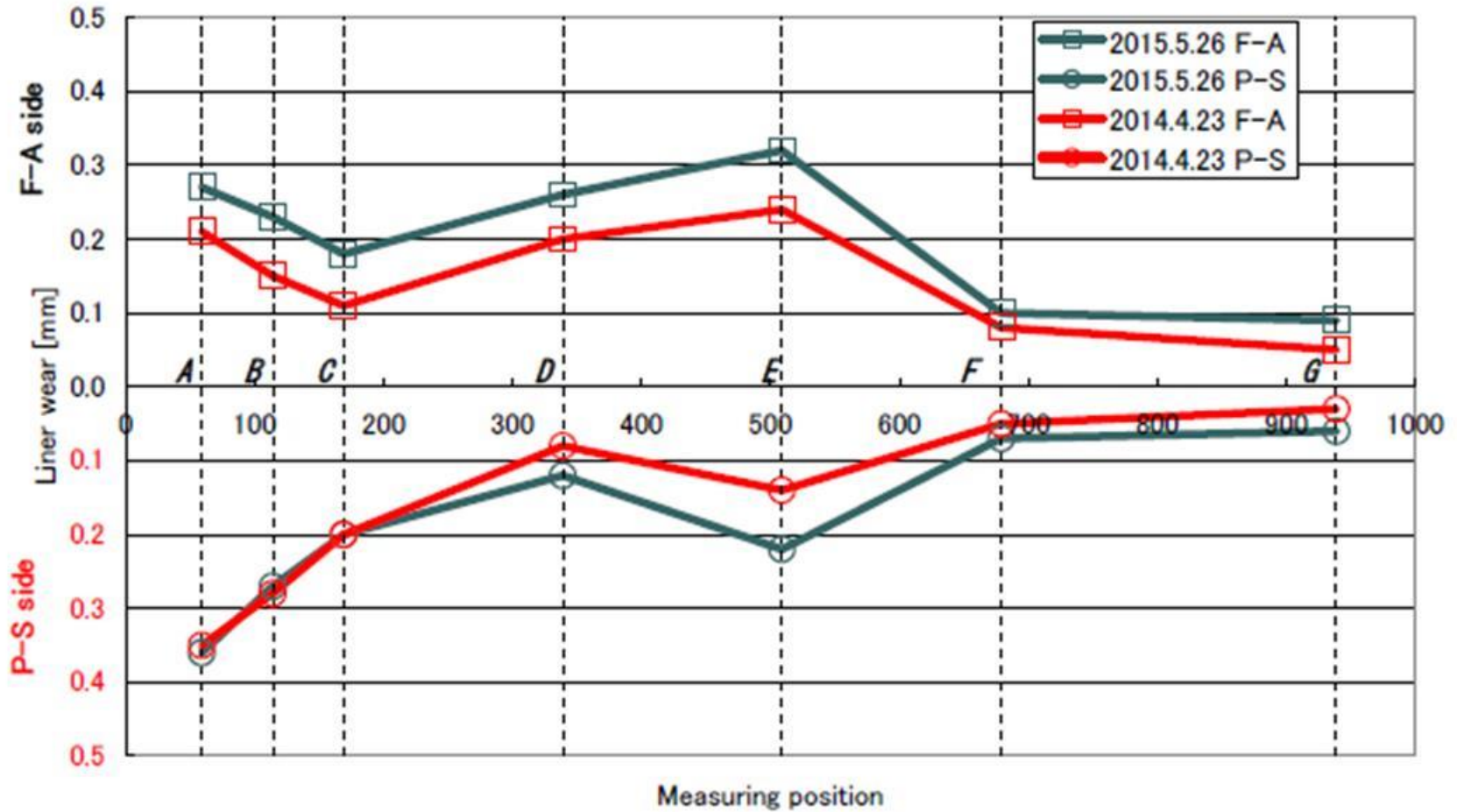
(単位 : mm)

項目	計測点										摩耗率 (mm/1000h)				
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	0h ~ 今回		前回 ~ 今回		
F I A	今回	0.27	0.23	0.18	0.26	0.32	0.1	0.09				最大値	0.01	最大値	0.02
	前回	0.21	0.15	0.11	0.2	0.24	0.08	0.05				(計測点)	(E)	(計測点)	(B)
	生まれ	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03	0.01				平均値	0.006	平均値	0.015
P I S	今回	0.36	0.27	0.2	0.12	0.22	0.07	0.06				最大値	0.011	最大値	0.02
	前回	0.35	0.28	0.2	0.08	0.14	0.05	0.03				(計測点)	(A)	(計測点)	(E)
	生まれ	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03	0.01				平均値	0.005	平均値	0.006

最大摩耗率 0.02mm/1000h であり良好

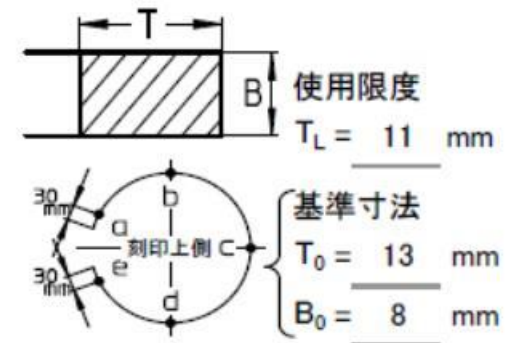
ライナ内面はスカフティング傷等 表面的なダメージもなく良好

No. 5 シリンダライナ計測



No. 1 ピストンリング計測

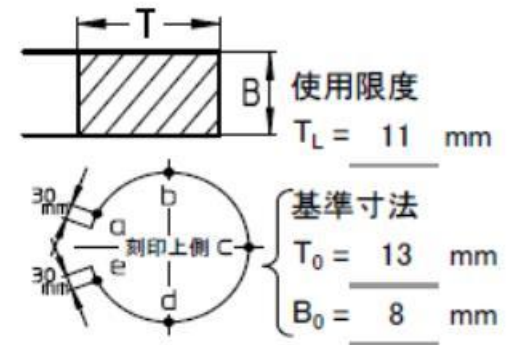
項目 NO.		上段T寸法(mm) 下段B寸法(mm)					最大摩耗 (mm) (mm/1000h)		平均摩耗 [(a+e)/2+b+c+d]/4	
		a	b	c	d	e	摩耗値	摩耗率	摩耗値	摩耗率
1st.	T	12.86	12.84	12.58	12.72	12.84	0.42	0.105	0.253	0.063
	B	7.99	7.97	7.97	7.96	8	0.04	0.01	0.026	0.007
2nd.	T	12.64	12.53	12.5	12.38	12.58	0.62	0.155	0.495	0.124
	B	7.99	7.99	7.99	8	7.99	0.01	0.003	0.007	0.002
3rd.	T	12.72	12.6	12.7	12.65	12.74	0.4	0.1	0.33	0.083
	B	7.99	7.97	7.97	7.98	7.98	0.03	0.008	0.024	0.006
4th.	T	12.71	12.66	12.65	12.64	12.64	0.36	0.09	0.344	0.086
	B	7.99	7.98	7.99	7.99	7.98	0.02	0.005	0.014	0.004



最大摩耗率 0.09~0.155mm/1000h であり良好
リングは継続使用とした

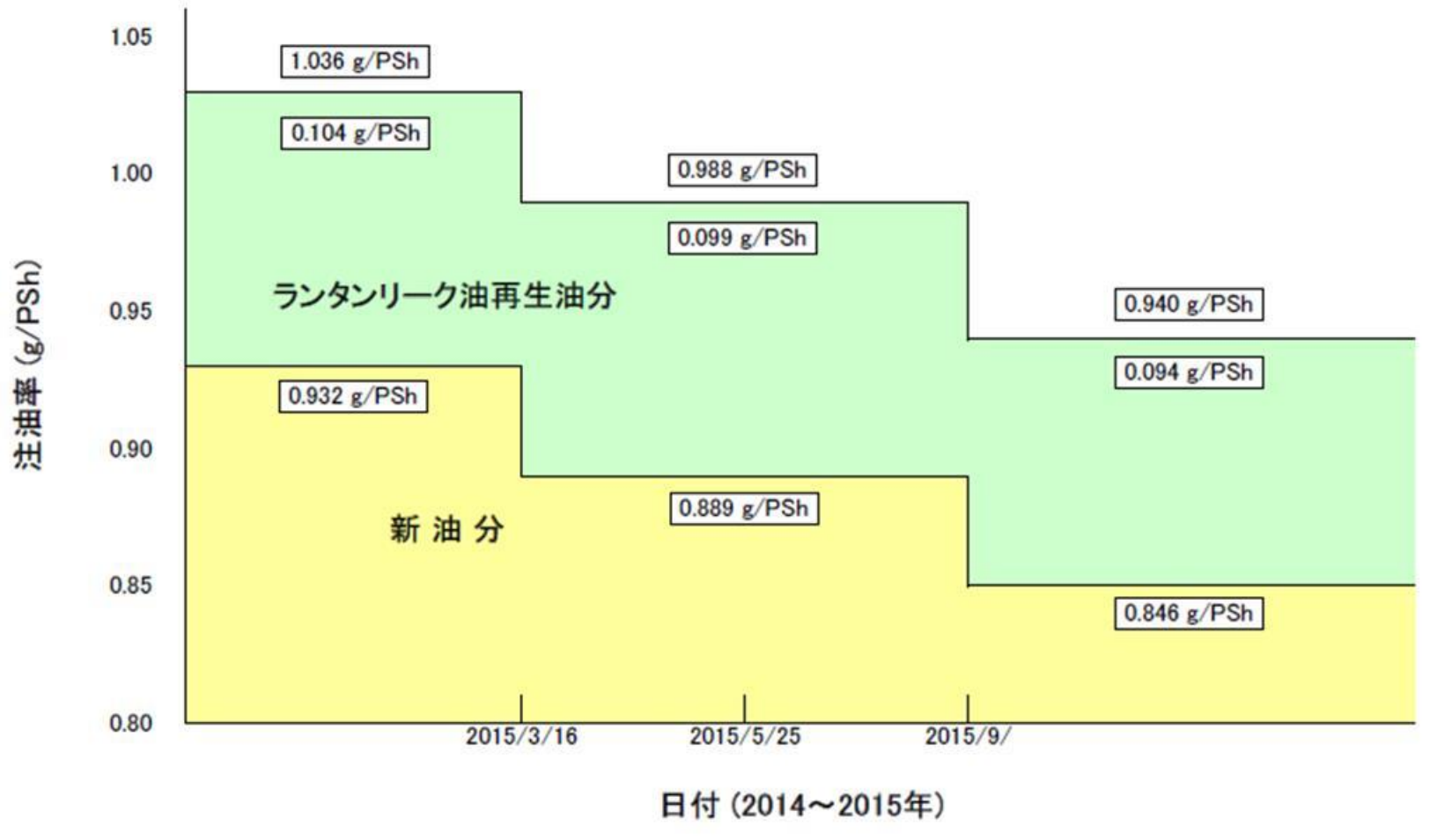
No. 5 ピストンリング計測

項目 NO.		上段T寸法(mm) 下段B寸法(mm)					最大摩耗 (mm) (mm/1000h)		平均摩耗 [(a+e)/2+b+c+d]/4	
		a	b	c	d	e	摩耗値	摩耗率	摩耗値	摩耗率
1st.	T	12.83	12.83	12.83	12.93	12.83	0.17	0.043	0.145	0.037
	B	8	7.98	7.97	7.96	8	0.04	0.01	0.023	0.006
2nd.	T	12.64	12.74	12.53	12.6	12.6	0.47	0.118	0.378	0.095
	B	7.98	7.98	7.98	7.96	7.97	0.04	0.01	0.026	0.007
3rd.	T	12.73	12.86	12.74	12.84	12.73	0.27	0.068	0.208	0.052
	B	7.99	7.98	7.98	7.98	7.98	0.02	0.005	0.019	0.005
4th.	T	12.73	12.75	12.68	12.74	12.74	0.32	0.08	0.274	0.069
	B	7.95	7.97	7.95	7.96	7.95	0.05	0.013	0.043	0.011



最大摩耗率 0.043~0.118mm/1000h であり良好
リングは継続使用とした

シリンダ注油率の推移



ランタンドレン再生油配合検証結果のまとめ

- ①再生油は新油比較においても対磨耗性に劣る事無く、オイル分析結果でも異常となる点は見られない
- ②ピストンリングの固着、リング摺動面の荒れもなく良好
- ③ピストンリングランドへの残渣物付着が認められるものの、進展性はなく良好
- ④シリンダライナ摺動面のレプリカ観察によりミクロ組織が良好
- ⑤シリンダ注油率の低減を達成



シリンダ油へのランタンドレン再生油配合に関しての
有効性を実証出来た

1. 目的

2. 研究開発の背景

3. 研究開発目標

4. 実施内容と評価

4-4 計測・監視システムの自動化検討・検証

5. まとめ

自動化・潤滑油状態監視の必要性①

1. システム油混合工程の課題

課題①：潤滑油の粘度上昇

ネフロンフィルタを使用し続ける過程において、潤滑油の粘度は上昇傾向となり、使用粘度範囲を超えてしまう。

課題②：低粘度油の補給

粘度上昇を抑えるために、同油種の低粘度油を補給することが有効であることが判明していたが、その量やタイミングが不確定であった。



潤滑油の状態監視システムを構築し、低粘度油の補給量及びタイミングを自動化することで、ネフロンフィルタを使用した潤滑油の半永久的使用が可能となるとともに、潤滑油を監視・制御する事でその健全性を維持する。

自動化・潤滑油状態監視の必要性②

2. シリンダ油の再生油利用工程の課題

課題①：ランタンドレン油再生工程が複雑

再生油を利用する場合、新油との混合が必要であることから、その混合させる工程には混合比率等を管理する必要があり、人力では困難。

課題②：乗組員の負担大

再生工程が複雑なうえ、全て人力で行っていたため、乗組員の負担が大きかった。



新油と再生油の混合システムを構築し、混合比率を適正に自動制御することで、ネフロンフィルタを使用したランタンドレン油の再利用が可能となる。

背景

主・補機関の油種統一

主機ランタンドレン油
再利用システム

適切な潤滑油管理が必須

加えて
省力化等の要求

インラインでの
粘度・劣化度計測,
監視システムの開発・
研究及び評価

自動化システムの構築

センサ配置図(システム油)



センサ配置図(シリンダ油)



測定データ

1. 記録方法：制御盤画面に表示されたデータを記帳
2. 記録期間：2014年6月14日～2015年8月31日(システム油)
2014年6月21日～2015年8月31日(シリンダ油)
3. 記録内容（システム油・シリンダ油共）
 - ①日付
 - ②温度(°C)
 - ③動粘度(mm²/s)
 - ④劣化度(単位なし・0-100)
4. その他条件
新油状態で、動粘度がジャパンアナリスト(株)の分析データに一致するように補正をかけた

測定データと粘度制御

"しんあき丸"主・補機間統合潤滑油監視データ記録

2015年8月

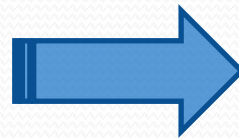
日	前月までの運転時間 8327:00 システム油系統					前月までのフィルター使用時間 571:01 シリンダ油系統							
	温度(°C)	劣化センサー	動粘度	劣化度	サンプルタンクレベル	新油給油量(L)	温度(°C)	劣化センサー	動粘度	劣化度	計量タンクレベル	再生油貯蔵容量	
1	42.0	41	95.9	70.6	7500		41.5	80	188.0	58.9	180	718	
2	41.4	44	95.0	70.6	7500		40.8	85	187.8	58.9	266	703	
3	41.6	42	95.1	70.6	7500		42.2	77	190.3	58.9	158	692	
4	41.6	42	95.5	70.6	7500		40.9	84	187.4	58.9	261	693	
5	41.0	45	96.6	70.6	7500		39.5	91	188.3	58.9	248	695	
6	43.0	32	87.7	70.6	7500		40.6	88	192.0	57.8	194	688	
7	42.9	34	87.8	70.6	7250		39.3	96	190.2	57.8	266	686	
8	43.1	33	86.9	70.6	7250		39.4	93	187.4	57.8	262	687	
9	43.6	33	89.0	71.7	7250	SY-20	40.1	87	185.0	57.0	192	683	
10	44.8	30	88.3	70.6	7750	500ℓ	43.6	68	186.0	57.8	220	676	
11	43.8	32	87.6	70.6	7750		40.9	83	187.0	57.0	197	676	
12	43.6	32	86.7	70.6	7750		40.8	82	185.2	57.0	188	675	
13	43.8	31	85.6	70.6	7750		41.5	79	185.9	57.8	223	666	
14	43.9	32	88.5	70.6	7500		40.8	84	186.4	57.0	223	653	
15	44.2	32	89.5	70.6	7500		42.2	73	183.5	57.8	243	643	
16	43.8	31	86.6	70.6	7500		41.4	77	183.0	57.8	242	642	
17	43.4	32	86.3	70.6	7500		40.4	85	183.6	57.0	242	642	
18	43.4	32	86.2	70.6	7500		40.4	84	184.4	57.0	226	644	
19	44.2	30	85.6	70.6	7500		42.5	71	183.8	57.8	268	635	
20	43.8	31	86.1	70.6	7500		41.0	81	185.5	57.0	170	636	
21	43.2	33	86.4	70.6	7500		40.1	88	186.4	57.0	206	620	
22	43.2	32	85.5	70.8	7500		39.7	88	186.3	57.8	206	620	
23	44.2	30	85.3	70.6	7500		41.9	75	182.7	57.8	215	613	
24	42.9	34	87.0	70.6	7250		39.2	95	187.1	57.0	181	612	
25	43.6	32	86.2	70.6	7500		41.2	78	184.2	57.0	254	603	
26	43.0	33	86.0	70.6	7250	SX30	37.8	90	187.1	57.8	221	602	
27	43.4	32	86.3	70.6	7250	750ℓ	40.3	85	184.1	57.0	268	592	
28	42.9	35	88.8	70.6	8000		39.8	98	183.8	57.0	268	595	
29	43.7	31	85.2	70.6	8000		40.6	84	185.8	57.8	177	594	
30	41.8	35	84.9	70.6	7750		38.6	122	193.1	57.0	268	585	
31	42.0	34	84.0	70.6	8000		37.1	114	190.5	57.0	268	581	
平均	43.1	34	88.1	70.6		0	40.4	86	186.6	57.6	225	20050	
今月の運転時間					合計	今月のフィルター使用時間							合計
今月末迄の運転時間					9071:00	今月末迄のフィルター使用時間							604:03

計測粘度に応じて
補給する潤滑油を
制御

システム油粘度測定データ



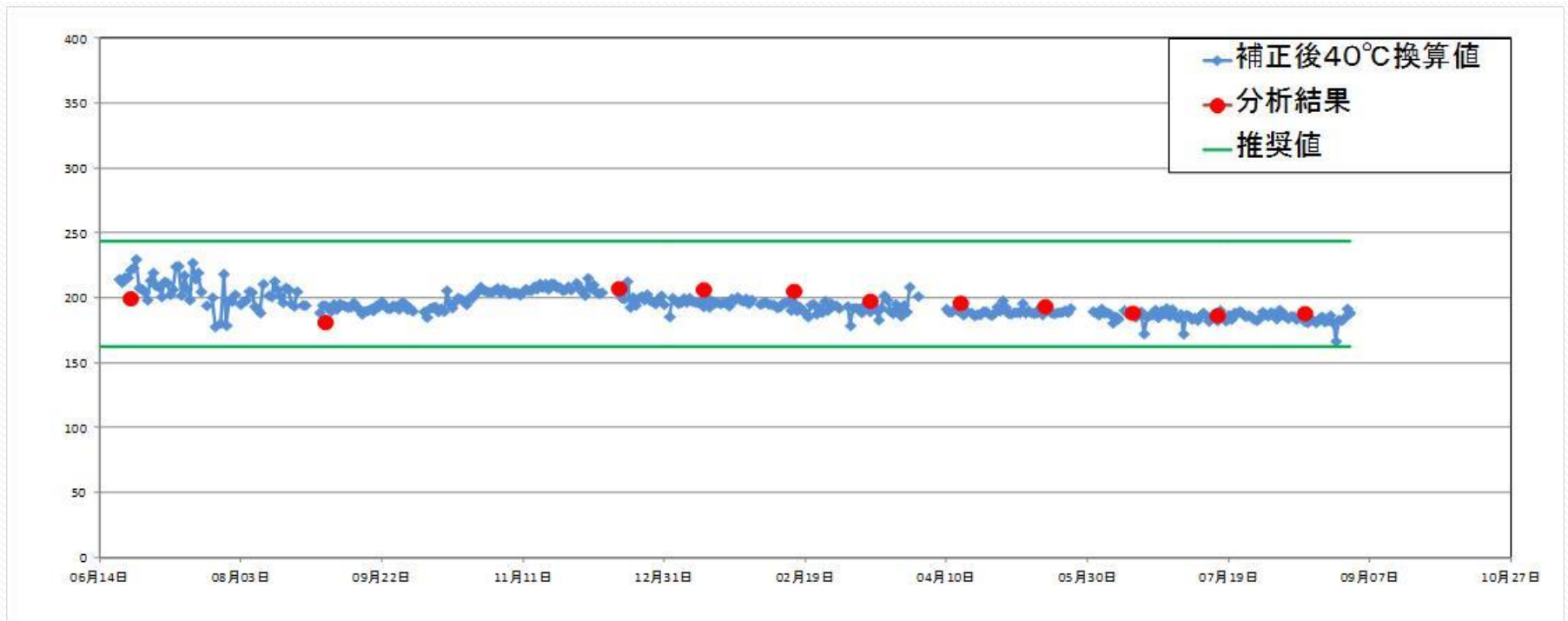
温度が40°Cの時の
動粘度に換算



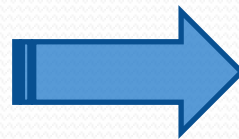
しきい値をカタログ値の
±20%に設定
(住本科学殿より)

※初期のバラつきによる推奨値からの超過は、各測定値が整数であったことによる誤差（小数表示に変更済み）

シリンダ油粘度測定データ



温度が40°Cの時の
動粘度に換算



しきい値をカタログ値の
±20%に設定
(住本科学殿より)

劣化値の測定

"しんあき丸"主・補機間統合潤滑油監視データ記録													
2015年8月													
前月までの運転時間 8327:00													
前月までのフィルター使用時間 571:01													
システム油系統						シリンダ油系統							
日	温度(°C)	劣化センサー	動粘度	劣化度	サンプルタンクレベル	新油給油量(L)	温度(°C)	劣化センサー	動粘度	劣化度	計量タンクレベル	再生油貯蔵容量	
1	42.0	41	95.9	70.6	7500		41.5	80	188.0	58.9	180	718	
2	41.4	44	95.0	70.6	7500		40.6	85	187.8	58.9	266	703	
3	41.6	42	95.1	70.6	7500		42.2	77	190.3	58.9	158	692	
4	41.6	42	95.5	70.6	7500		40.9	84	187.4	58.9	261	693	
5	41.0	45	96.6	70.6	7500		39.5	91	188.3	58.9	248	695	
6	43.0	32	87.7	70.6	7500		40.6	88	192.0	57.8	164	688	
7	42.9	34	87.8	70.6	7250		39.3	96	190.2	57.8	266	688	
8	43.1	33	86.9	70.6	7250		39.4	93	187.4	57.8	262	687	
9	43.6	33	89.0	71.7	7250	SY-20	40.1	87	185.0	57.0	192	683	
10	44.8	30	88.3	70.6	7750	500ℓ	43.6	68	186.0	57.8	220	676	
11	43.8	32	87.6	70.6	7750		40.9	83	187.0	57.0	197	676	
12	43.6	32	86.7	70.6	7750		40.8	82	185.2	57.0	188	675	
13	43.9	31	85.6	70.6	7750		41.5	79	185.9	57.8	223	666	
14	43.9	32	88.5	70.6	7500		40.8	84	186.4	57.0	223	653	
15	44.2	32	89.5	70.6	7500		42.2	73	183.5	57.8	243	643	
16	43.8	31	86.6	70.6	7500		41.4	77	183.2	57.8	242	642	
17	43.4	32	86.3	70.6	7500		40.4	85	185.6	57.0	242	642	
18	43.4	32	86.2	70.6	7500		40.4	84	184.4	57.0	226	644	
19	44.2	30	85.8	70.6	7500		42.5	71	183.6	57.8	266	635	
20	43.8	31	86.1	70.6	7500		41.0	81	185.5	57.0	170	636	
21	43.2	33	86.4	70.6	7500		40.1	88	186.4	57.0	206	620	
22	43.2	32	85.5	70.6	7500		39.7	88	186.3	57.8	206	620	
23	44.2	30	85.3	70.6	7500		41.9	75	182.7	57.8	215	613	
24	42.9	34	87.0	70.6	7250		39.2	95	187.1	57.0	181	612	
25	43.6	32	86.2	70.6	7500		41.2	78	184.2	57.0	254	603	
26	43.0	33	86.0	70.6	7250	SX30	37.8	90	187.1	57.8	221	602	
27	43.4	32	86.3	70.6	7250	750ℓ	40.3	85	184.1	57.0	268	592	
28	42.9	35	88.8	70.6	8000		39.8	88	183.8	57.0	268	595	
29	43.7	31	85.2	70.6	8000		40.6	84	185.6	57.8	177	594	
30	41.8	35	84.9	70.6	7750		38.6	122	193.1	57.0	268	585	
31	42.0	34	84.0	70.6	8000		37.1	114	190.5	57.0	268	581	
平均	43.1	34	88.1	70.6		0	40.4	86	186.6	57.6	225	20050	
今月の運転時間 9071:00						合計	今月のフィルター使用時間 604:03						合計

劣化値を計測し、潤滑油状態を監視する。

⇒陸上分析値と比較し考察

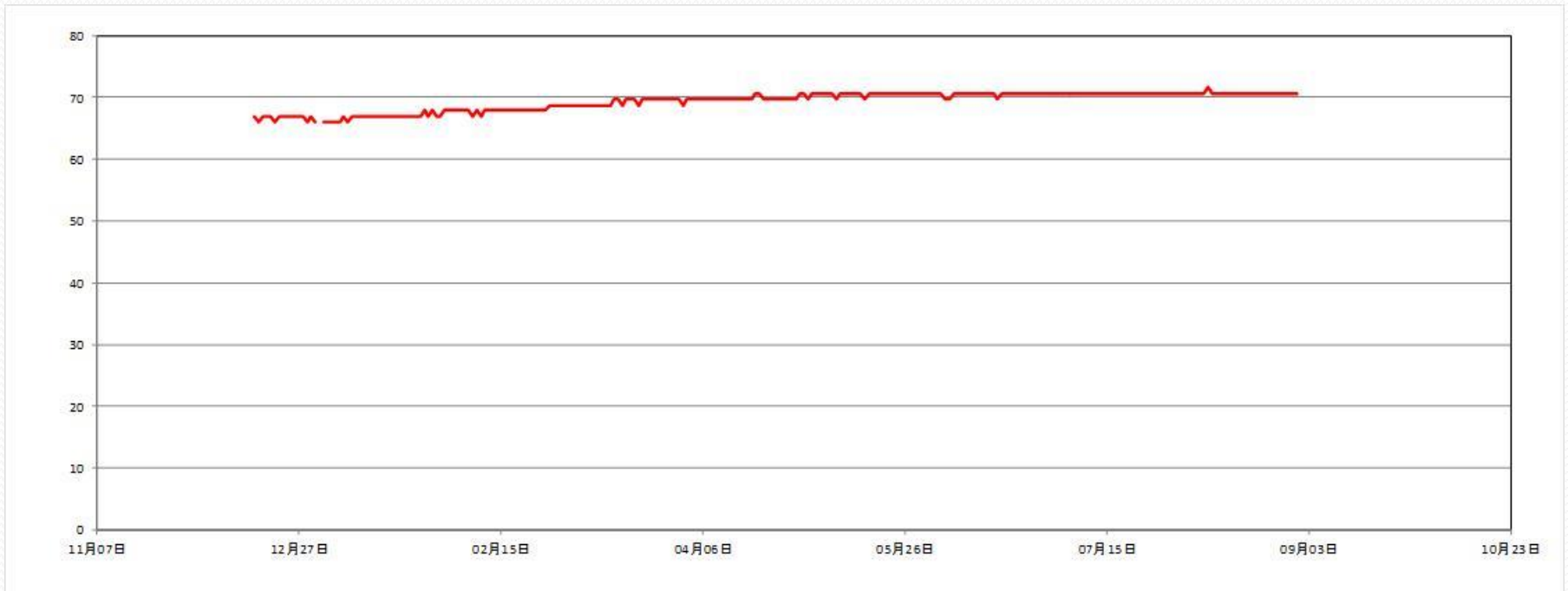
劣化センサ測定値推移

表. 塩基価の分析値推移 [mgKOH/g]

	2014.12.15	2015.1.14	2015.2.15	2015.3.14	2015.04.15	2015.05.15	2015.06.15	2015.07.15	2015.08.15
システム油	7.55	7.32	8.05	8.59	11.96	13.74	7.93	9.10	10.68
シリンダ油	49.75	46.68	47.66	57.06	53.69	57.04	63.54	55.83	52.29

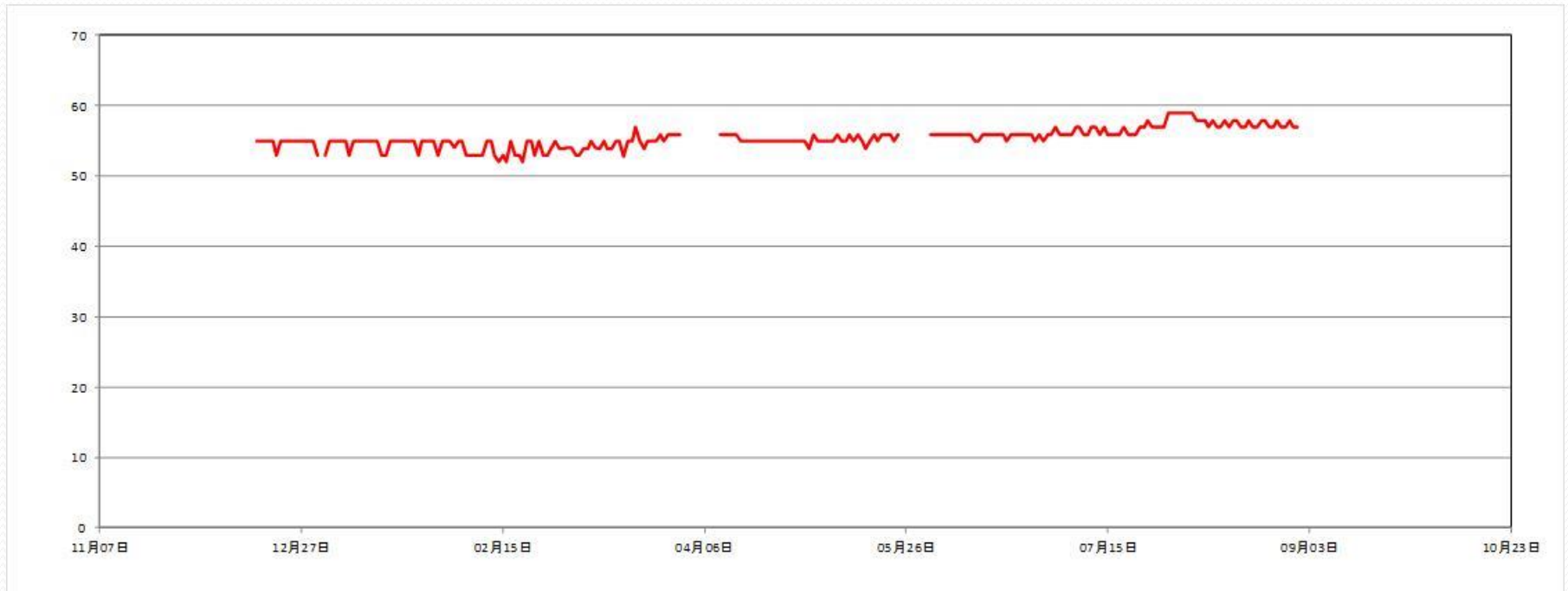
- 塩基価分析値の変化量（最高値－最低値）
システム油： 6. 42 [mgKOH/g]
シリンダ油： 16. 86 [mgKOH/g]

システム油劣化値推移



大きなトレンドの変化は見られていない

シリンダ油劣化値推移



大きなトレンドの変化は見られていない

潤滑油の分析結果

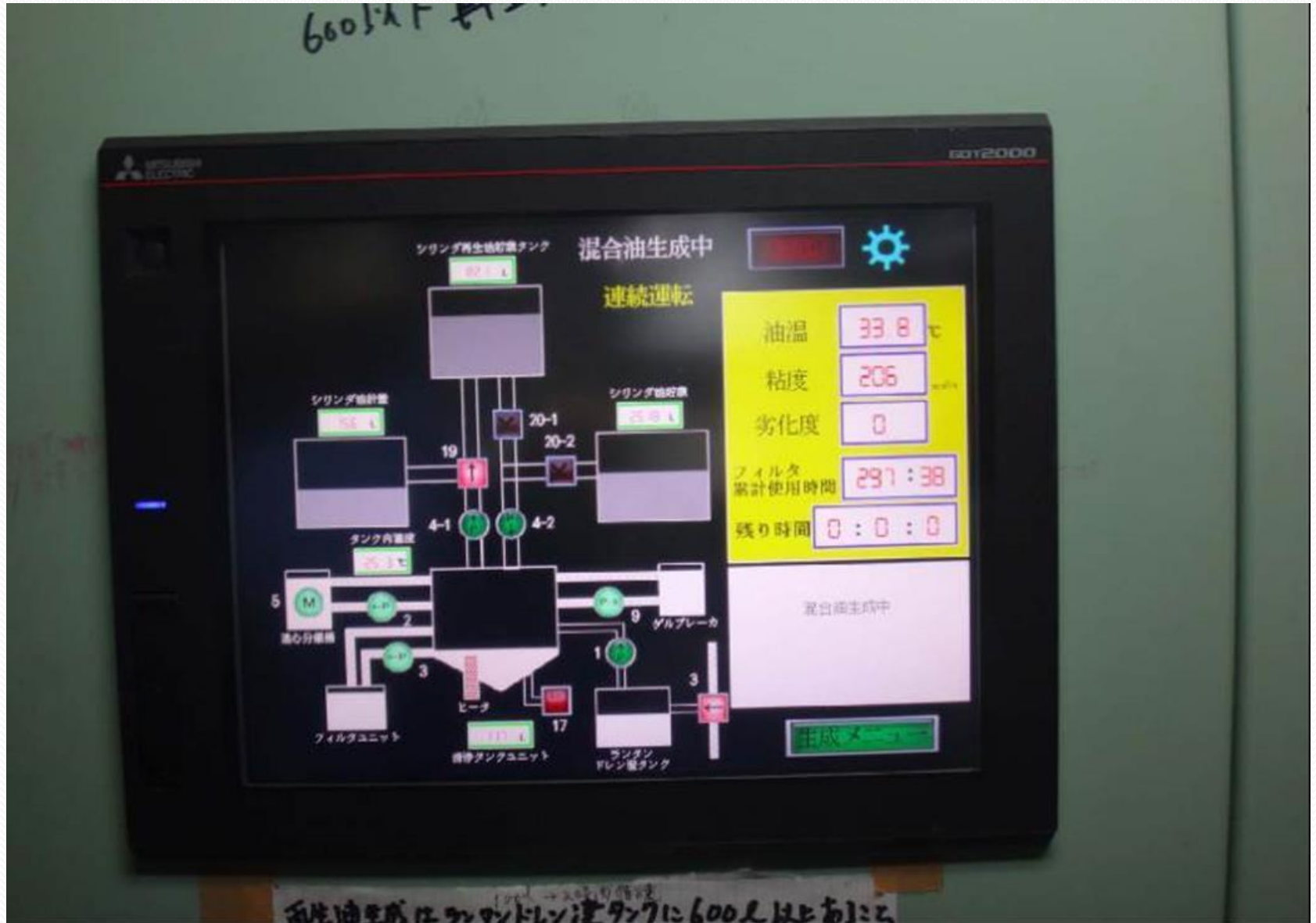
最新の陸上分析結果（8/15採油分）

- 全塩基価（TBN） [mg KOH / g]
システム油：10.68（エンジンメーカー推奨値：5～14）
シリンダ油：52.29（エンジンメーカー推奨値：50～80）
- n・ペンタン不溶分 [wt %]
システム油：0.14（エンジンメーカー推奨値：<1.0）
シリンダ油：0.13（エンジンメーカー推奨値：－）
- 水分 [wt %]
システム油：<0.05（エンジンメーカー推奨値：<0.2）
シリンダ油：<0.05（エンジンメーカー推奨値：－）



良好な状態を維持

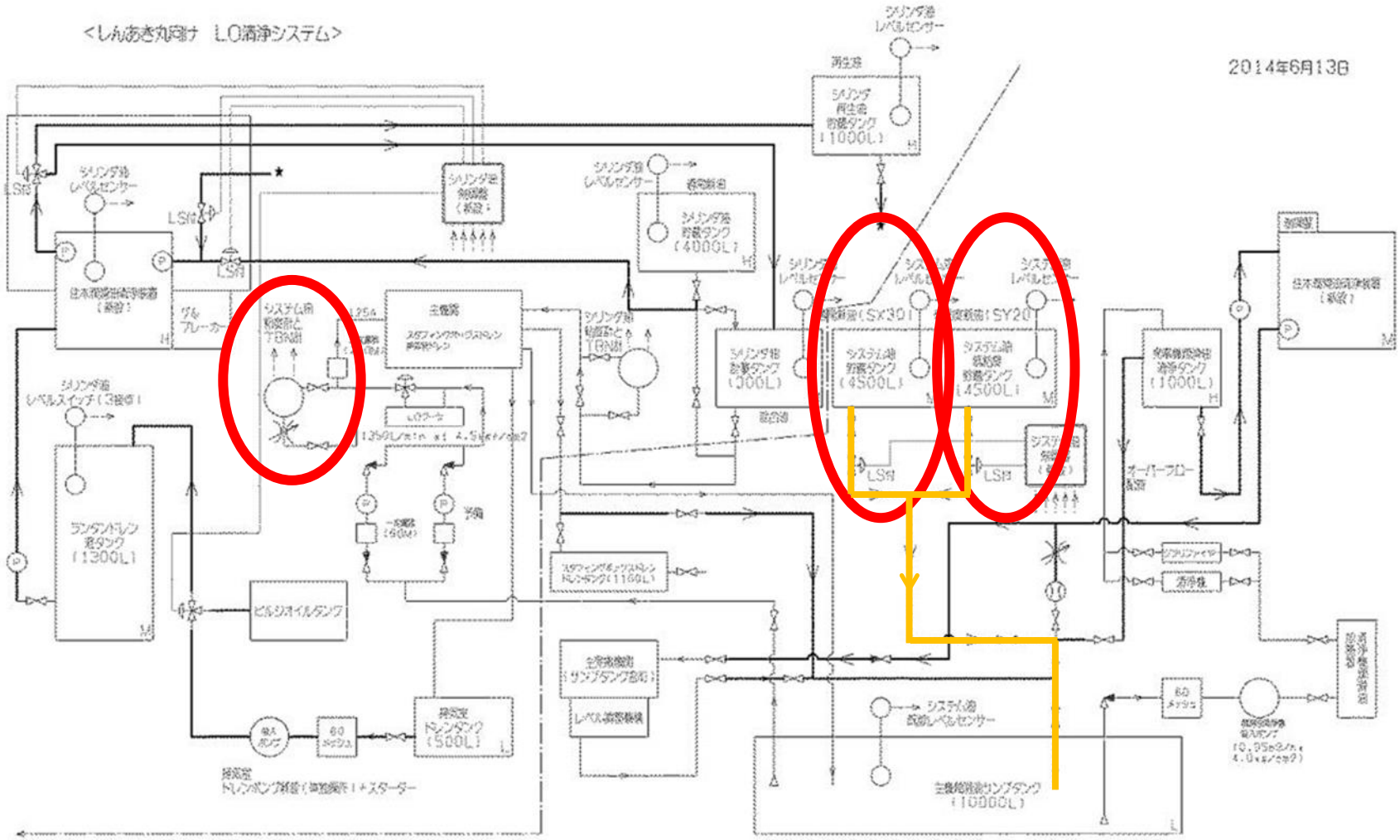
自動化システムの構築



システム油自動化システム(混合給油流れ)

<しんあま丸向け LO 清浄システム>

2014年6月13日



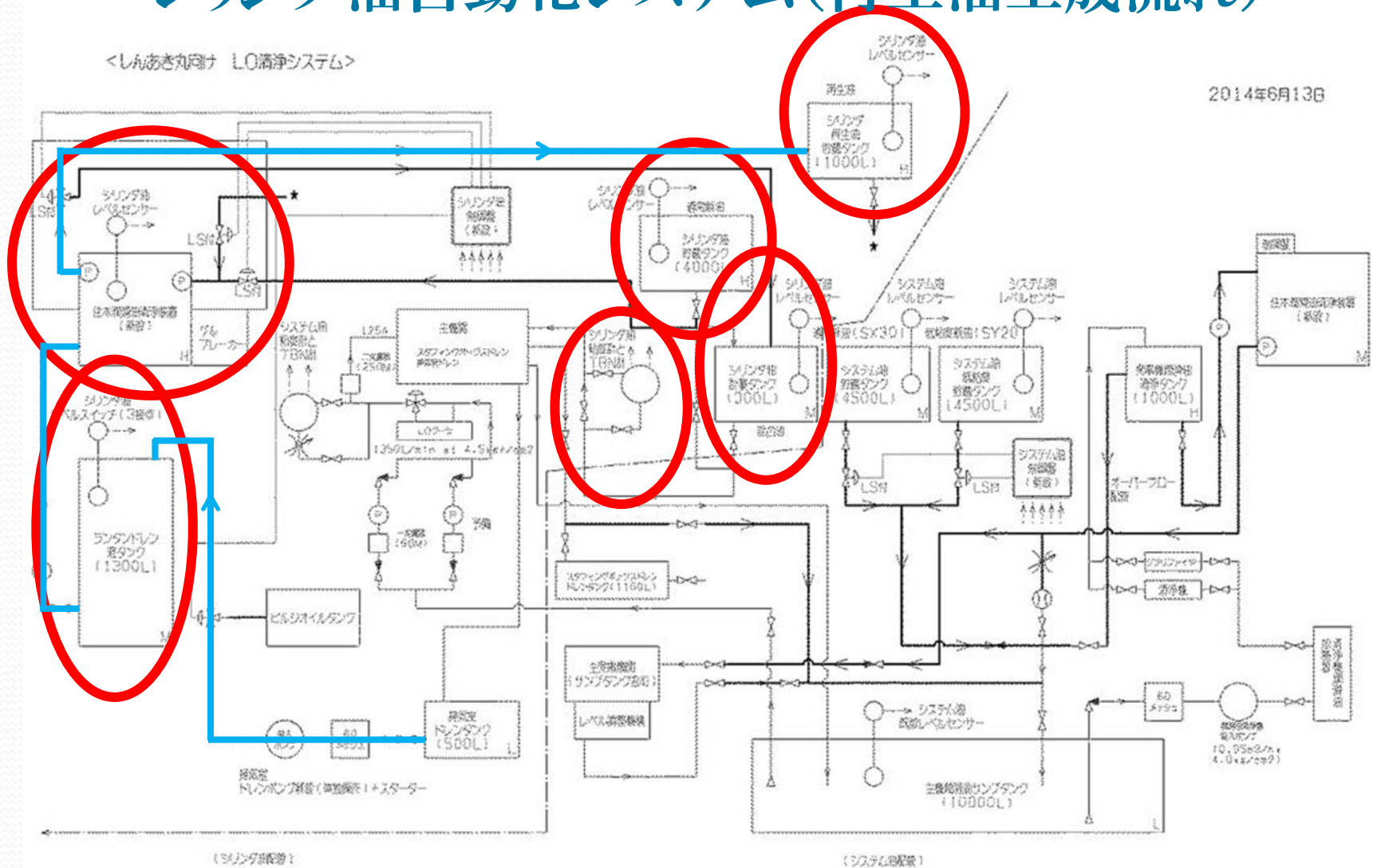
(システム油貯蔵)

(システム油供給)

シリンダ油自動化システム(再生油生成流れ)

<しんあき丸向け LO洗浄システム>

2014年6月13日



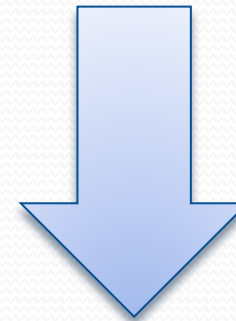
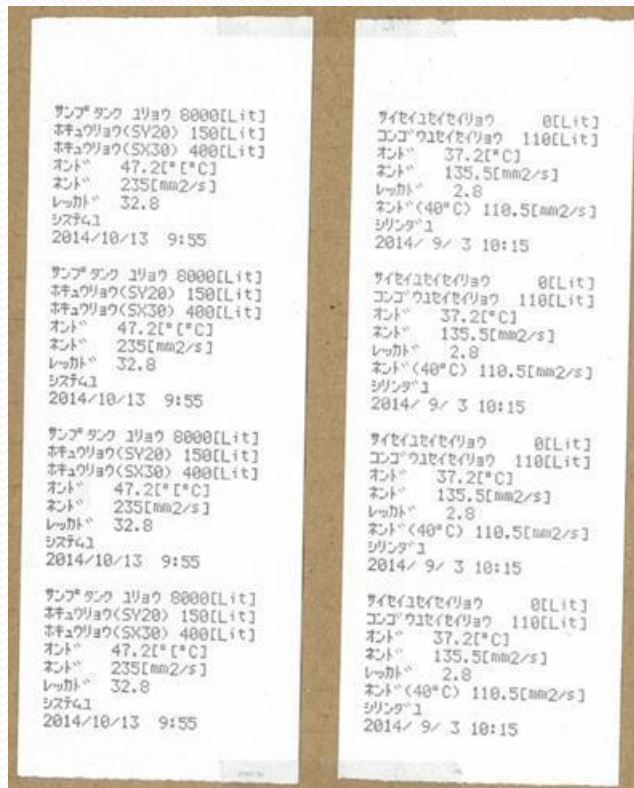
(シリンダ油側観)

(システム油側観)

自動化システムの構築

☆プリント出力装置の設置

各測定値や制御記録を自動的にプリント出力し
記録データを残すことが可能となる。



三和ドック殿での
ドックイン時（5/26）
に設置工事完了

プリンタ出力装置設置位置



自動化システムの検証結果(システム油)

課題①：潤滑油の粘度上昇

課題②：低粘度油の補給

- 既存設備に対し配管の小変更及び制御盤の追加設置により自動化システムを構築した。
- 潤滑油状態監視をシステム化し、フィルトレーション、粘度管理及び制御を行った。
- 状態監視を行い、低粘度油を補給する量を決定し制御する自動化システムが構築完了した。
- 本研究での実証データからは、管理基準値内に制御されており、良好な状態を維持している。
- 陸上分析の結果からも、各値が推奨値内で維持されている。
- 自動化システム運用により、機関室業務省力化につながると考えられる。

自動化システムの検証結果(シリンダ油)

課題①：ランタンドレン油再生工程が複雑

課題②：乗組員の負担大

- 既存設備に対し配管の小変更及び制御盤の追加設置により自動化システムを構築した。
- フィルトレーション、粘度管理及び制御を自動システム化し、粘度管理及び制御を行った。
- ランタンドレン油を再生するための複雑な工程の自動化システムを構築した。
- 再生油と新油との混合工程において、混合比率等を管理するための自動化システムを構築した。
- 本研究での実証データからは、管理基準値内に制御されており、良好な状態を維持している。
- 陸上分析の結果からも、各値が推奨値内で維持されている。
- 自動化システム運用により、機関室業務省力化につながると考えられる。

1. 目的

2. 研究開発の背景

3. 研究開発目標

4. 実施内容と評価

5. まとめ

まとめ

本共同研究の課題である「主機システム油と補機潤滑油の統一」「ランタンドレン油の再利用」「システム全体の自動化」に関して検証した結果、機関部品の状況、潤滑油分析の状況、経過観察時の制御状況等において異常なく、全ての課題に対して目標達成する事が出来た。

特に、共同研究のベースとなる「ひまわり5」での実船試験時から比べ、「システムの自動化」が構築出来た事は、非常に大きな成果と言える。乗組み員による手動すなわち人力作業が無くなり負荷軽減になるばかりでなく、複雑且つ曖昧な管理から適正な管理状態が維持出来るシステムとなった。即ち継続的な安全運航が可能なシステムの完成と言える。

機関の計画的な保全において、各部の状態監視や定期的な点検が必要となる事は言うまでも無いが、2項で述べた過去の実績も含め、今回のシステム採用により、少なくとも主要摺動部の部品磨耗が大幅に低減される事を担保する事が出来た。

今回の研究成果は、廃油ゼロ、省力化、省エネ、運航費削減に対して有効であり経済効果も決して少なくないが、今後予防保全の一環としてシステムの採用が進む事となれば、更に業界全体として非常に大きな経済効果に繋がるものと期待する。