土木新技術ショーケース2015 in 東京

メンブランパッチを用いたRGB色相による潤滑油診断技術

土木研究所 寒地土木研究所
寒地機械技術チーム 平地 一典

はじめに

- 河川用機械設備
  - ・治水、利水のために設置
  - ・重要な社会基盤施設
- 設置後30年から40年経過
- 河川用樋門設備
  - ・通常時は待機系設備
  - ・出水時には確実に機能する必要性

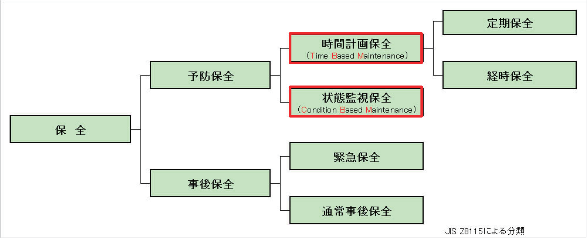
樋門設備全景(冬期間)

- ●老朽化の進行
- ●信頼性の低下
- ●維持管理費用の増加

→ 効率的、効果的な維持管理が必 要

1

機械設備の維持管理



◆ 設備保全は、予防保全と事後保全に大別される。

◆ 予防保全
設備の使用中に起こる故障を未然に防止するため、規定の間隔又は基準に従って進行し、アイテムの機能劣化又は故障の確率を低減するために行う保全
時間計画保全 → 定められた時間計画に従って進行される予防保全
状態監視保全 → 設備の劣化状態を把握し、管理・劣化基準に達したら修理、取り替えを行う保全

◆ 事後保全
異常発見後、設備の機能を修復させるために行われる保全

2

設備診断技術

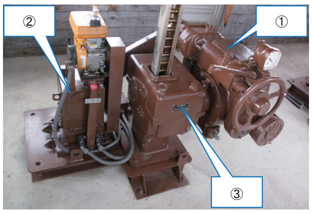
代表的な設備診断技術

手法	特徴
潤滑診断	早い段階で異常を察知できる
振動法	比較的簡易な機器で測定が可能
温度法	測定結果が可視化できる
AE法(Acoustic Emission)	損傷が材料の表面へ出現する前に検知できる

潤滑油を利用した設備劣化診断手法を確立
- 適切な時期での維持管理
- 設備の延命化
- 維持管理費用の低減

3

潤滑油の採油箇所と採油検体



樋門開閉装置(ラック式)

●採油箇所
①メインギヤボックス
②可逆装置
③スタンドボックス

採油検体の例(平成24年度採油)

採油検体の例(平成25年度採油)

4

潤滑油の汚染度分析

・計数汚染度(NAS等級)により評価。

・NAS12等級以上の潤滑油を詳細に評価できるようにNAS等級を拡張した等級「仮NAS等級」を新たに定義し、仮NAS13~21等級に細分化。

・NAS等級は1等級上がるごとに、各サイズレンジの粒子数が2倍となるため、同じ法則に則り仮NAS等級を定めた。

NAS等級

	00	0	1	2	3	4	5
5-15μm	125	250	500	1,000	2,000	4,000	8,000
15-25μm	22	44	89	178	356	712	1,425
25-50μm	4	8	16	32	63	126	253
50-100μm	1	2	3	6	11	22	45
100μm超	0	0	1	1	2	4	8

	6	7	8	9	10	11	12
5-15μm	16,000	32,000	64,000	128,000	256,000	512,000	1,024,000
15-25μm	2,850	5,700	11,400	22,800	45,600	91,200	182,400
25-50μm	506	1,012	2,025	4,050	8,100	16,200	32,400
50-100μm	90	180	360	720	1,410	2,880	5,760
100μm超	16	32	64	128	256	512	1,024

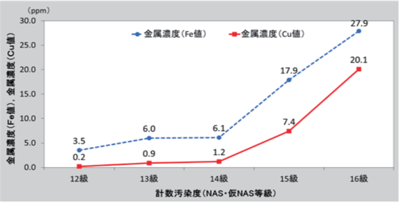
仮NAS等級

	13	14	15	16	17
5-15μm	2,048,000	4,096,000	8,192,000	16,384,000	32,768,000
15-25μm	364,800	729,600	1,459,200	2,918,400	5,836,800
25-50μm	64,800	129,600	259,200	518,400	1,036,800
50-100μm	11,520	23,040	46,080	92,160	184,320
100μm超	2,048	4,096	8,192	16,384	32,768

	18	19	20	21
5-15μm	65,536,000	131,072,000	262,144,000	524,288,000
15-25μm	11,673,600	23,347,200	46,694,400	93,388,800
25-50μm	2,073,600	4,147,200	8,294,400	16,588,800
50-100μm	368,640	737,280	1,474,560	2,949,120
100μm超	65,536	131,072	262,144	524,288

5

摩耗分析と計数汚染度の関係



※H24－H26にかけて83検体の分析を行った。

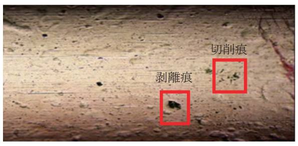
■摩耗分析と計数汚染度の関係

- 金属濃度(Fe値、Cu値)は、NAS、仮NAS等級の上昇に伴い上昇した。
- 潤滑油の汚染度の悪化は、ギヤやギヤボックスに使用されるベアリング(Fe)、又はベアリング保持器(Cu)の摩耗状態へ影響を及ぼす。
- 特に仮NAS15等級を境にFe値、Cu値が大幅に上昇していることから油中に混入した異物が一定の数量を超えた際には、機器の摩耗促進への大きな影響があると考える。

6

開閉装置ベアリングの精密評価

ベアリング内輪部



内輪部の光学顕微鏡写真

■ベアリング精密評価

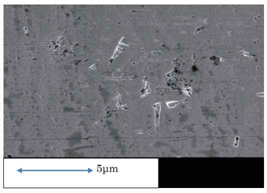
仮NAS16等級の樋門開閉装置に使用されているベアリング表面の傷状態を確認した。

■光学顕微鏡による撮影

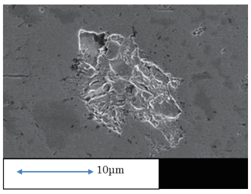
光学顕微鏡により、ベアリング内輪部の切削痕を確認した。

7

切削摩耗による切削痕①



切削痕



剥離痕

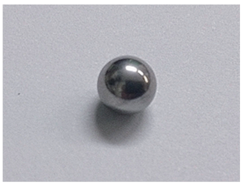
■電子顕微鏡による撮影

光学顕微鏡により、特定した撮影ポイントを電子顕微鏡にて撮影したところ、10～20μm程度の摩耗による傷が確認された。

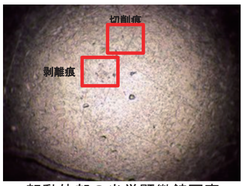
摩耗粒子による傷

8

ベアリング転動体の精密評価



ベアリング転動体



転動体部の光学顕微鏡写真

■ベアリング転動体精密評価

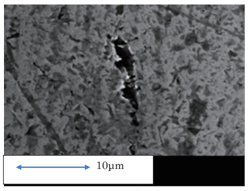
仮NAS16等級の樋門開閉装置に使用されているベアリング転動体表面の傷状態を確認した。

■光学顕微鏡による撮影

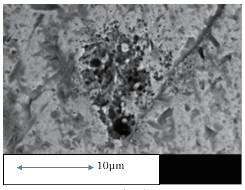
光学顕微鏡により、ベアリング転動体部の切削痕を確認した。

9

切削摩耗による切削痕②



切削痕



剥離痕

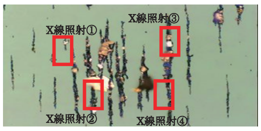
■電子顕微鏡による撮影

光学顕微鏡により、特定した撮影ポイントを電子顕微鏡にて撮影したところ、10μm程度の摩耗による傷が確認された。

摩耗粒子による傷

10

潤滑油分析



潤滑油フェログラフィー

分析対象		組成割合（%）			
		照射①	照射②	照射③	照射④
クロム	Cr	1.33	14.73	0.35	0.81
マンガン	Mn	16.50	1.40	1.68	2.53
鉄	Fe	82.17	74.65	97.97	96.66
ニッケル	Ni	-	9.22	-	-

主な混入元素組成割合

■X線マイクロアナリシス(XMA)による組成分析

・潤滑油のフェログラフィーを作成後、摩耗粒子の組成割合を分析。

・ベアリングで使用されているステンレス鋼の組成に類似した粒子を多数確認。

・潤滑油の汚染度に摩耗粒子が影響を与えている。

11

ベアリングの精密評価と潤滑油分析

ベアリング表面に切削痕が観察され、
油中にはベアリング材料に起因する切削粒子も観察された。

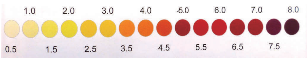
↓

油中の汚染度が高くなった要因には切削粒子の影響がある。

ベアリングの寿命を伸ばし、施設の寿命を延ばすためにも潤滑油の状態を常に把握し、正常に保つ必要がある。

12

潤滑油の色(ASTM色)



ASTM色の色見本(参考)

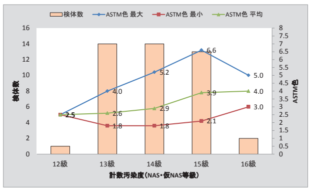
簡易型石油製品色試験機
(日本電色工業(株) OIL1)

■ASTM色

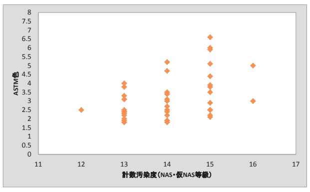
- 潤滑油の色は鉱油、合成油といった基油の種類や添加剤の種類によって製品ごとに異なる。
- 一般的には無色、黄色、褐色といった色合いとなり、その色はASTM色試験方法(JIS K2580)により判定される。
- 潤滑油の色はコンタミネーション、混油や劣化などによって変化する。
- 簡易に計数汚染度を判別するため、計数汚染度とASTM色の関連を検証し、ASTM色による判断が可能か検討した。

13

潤滑油の色(ASTM色)と計数汚染度



計数汚染度とASTM色測定値



計数汚染度とASTM色測定値

■ASTM色測定結果

- 仮NAS13等級～15等級において、ASTM色測定値の平均値は、2.6、2.9、3.9となり計数汚染度の上昇とともにASTM色が濃くなる結果となったが、上昇幅小さい。
- 同一等級内での測定値にばらつきが見られる。

14

潤滑油をろ過したメンブランパッチの色

RGB値:Red, Green, Blueの色を0~255の256段調で表した値

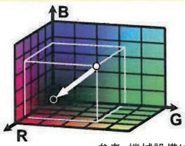
最大値は白で(255, 255, 255), 最小値は黒で(0, 0, 0)となる

最大色差:RGB値の2色間の値の差の最大差

(MCD: Maximum color difference)

(170,114,49)	|170-49|	最大色差	[121]
(11,9,12)	|12-9|		[3]

ΔE_{RGB}:RGBの3次元上での白からメンブランパッチの色までの距離



$$\Delta E_{RGB} = \sqrt{(255-R)^2 + (255-G)^2 + (255-B)^2}$$

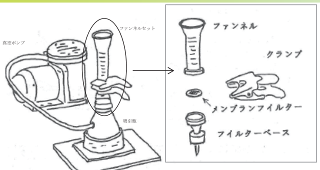
White [0] → Black [442]

ΔE_{RGB}はメンブランパッチの色の濃色化に伴い増加

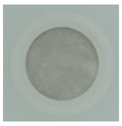
参考:機械設備における潤滑の基礎と潤滑油劣化の評価・管理法講習会資料より 2013.12.10

15

色相判別装置(CPA)と測定方法



ろ過装置(コンタミチェッカー)


メンブランパッチ

色相判別装置(CPA)

■色相判別装置(Colorimetric patch Analyzer)と測定方法

- フィルタベース部に孔径0.8μmのメンブランフィルタをセットし、試料油5mlをファンネルに注入、真空ポンプにより吸引しろ過する。
- 石油エーテルにてメンブランフィルタの油分を除去し乾燥させる。
- 作成したメンブランフィルタを色相判別装置(CPA)で測定できるようにパッチ化(メンブランパッチ)後、CPAにセットし測定を行う。
- 透過光、反射光の2つのRGB値、最大色差(MCD)を測定。

16

透過光、反射光の2つのRGB値、最大色差(MCD)

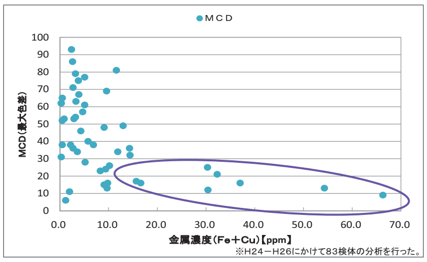
- CPAは、メンブランパッチに光を透過させ、RGB値を計測するが、反射光と透過光を測定することで、フィルター内部に補足された非常に微細な不純物の影響もとらえることが出来る。
- 最大色差(MCD)からは、潤滑油の劣化要因が判定でき、特に酸化劣化による場合はMCDが大きくなり、固形物による劣化が始まってくるとMCDが小さくなる傾向がある。

↓

樋門開閉器においては潤滑油の酸化(MCD)よりも切削粒子等不純物の影響が大きいと考えられるため、透過光と反射光により判定する。

17

メンブランパッチの色と金属濃度

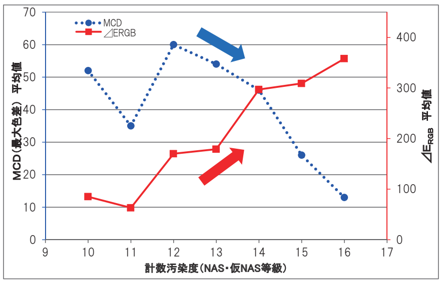


■最大色差(MCD)と金属濃度(Fe+Cu値)との関係

・金属濃度(Fe+Cu値)が15ppm以上の場合、最大色差(MCD)が30以下となり金属濃度(Fe+Cu値)の上昇とともに減少することを確認した。

18

計数汚染度とMCD、ΔE_{RGB}（反射光）



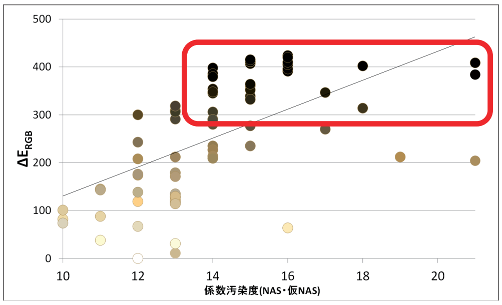
※H24－H26にかけて83検体の分析を行った。

■最大色差(MCD)、ΔE_{RGB}と計数汚染度との関係

・計数汚染度の上昇に伴い最大色差(MCD)が減少し、ΔE_{RGB}は上昇する。

19

計数汚染度とメンブランパッチ色相



■ΔE_{RGB}と計数汚染度との関係

・計数汚染度の上昇に伴いメンブランパッチ色相が濃色化する。

20

潤滑油の色相診断

■メンブランパッチの各色パラメータ測定結果

・最大色差(MCD)は、金属濃度の上昇とともに減少する。

・⊿ERGBは、汚染度を定量的に判定でき、固形粒子の増加に応じて増加する。

・NAS、仮NAS等級の上昇に伴い、最大色差(MCD)は、減少。⊿ERGBは上昇していく傾向を確認した。

・仮NAS15等級を境界として色相の濃色化が見られる。

21

メンブランパッチの画像と色測定値

NAS・仮NAS等級の上昇にともない

パッチの色相は潤滑油の色に比べ明確に濃色化している。

NAS・仮NAS等級	パッチ画像	潤滑油	R	G	B	MCD	⊿ERGB
10			243	229	178	65	82
11			255	253	217	38	38
12			181	163	124	57	176
13			190	168	123	67	171
14			116	99	68	48	280
15			112	99	76	36	277
16			27	22	14	13	405

22

管理基準(案)

RGB色相による潤滑油診断ガイドライン(案)
—樋門・樋管偏—

1.総則
 1-1 目的
 1-2 適用範囲
 1-3 点検整備フロー
 1-4 適用における注意事項

2.RGB色相による診断

3.計測機器および計測項目

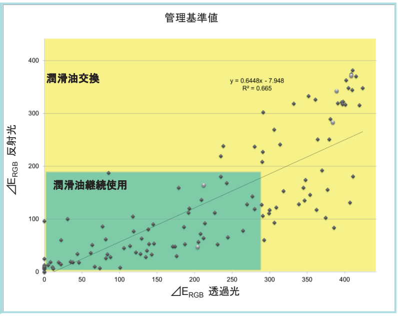
4.採油手法・採油条件

5.計測条件

6.管理基準値

7.参考資料
 7-1潤滑油分析による状態監視保全
 7-2 RGB色相検討の背景
 7-3 RGB色相の基礎理論
 7-4 測定器および簡易診断について

8.点検結果記録表(案)

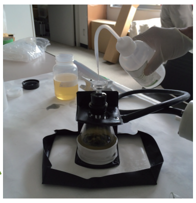


23

メンブランパッチの作成

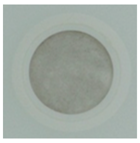
メンブランフィルターをセット

潤滑油をポンプ（AC100V電源）により吸引濾過することにより、メンブランフィルター上に不純物が捕集される。



エーテルで洗浄することで油分を流され、不純物だけがフィルター上に残る。

メンブランフィルターをパッチにはめ込む。



メンブランパッチ

24

まとめ

- 潤滑油の汚染度には油中の切削粒子が大きな影響を与えている。
- メンブランパッチのRGB色相から潤滑油の汚染状態を簡易に判定することができる。

25

今後の展開

●メンブランパッチ色相の各色パラメータ測定により、樋門開閉装置に使用される潤滑油の交換時期の適正な判断及び異常の早期発見ができるよう判定精度を高めていく。

26