

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

土研新技術ショーケース 2024 in 名古屋
令和6年12月12日



国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所
寒地機械技術チーム 永長 哲也

はじめに

2

□ 背景

- 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
- 設置時期
 - ・ 高度成長期以降、1970年から1990年頃にかけて集中的に設置
- 河川用樋門設備
 - ・ 河川用機械設備の中でも設置数が多い
 - ・ 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）

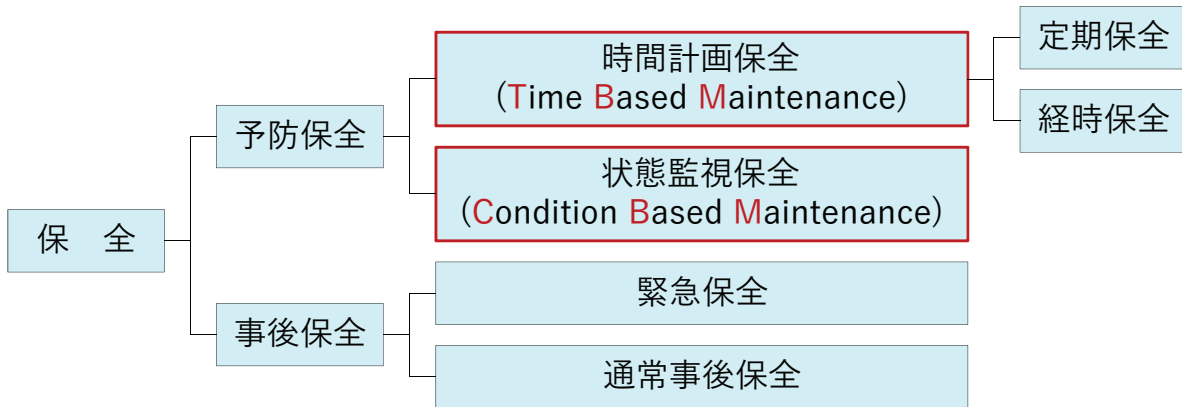
□ 目的（課題）

- ・ 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



国立研究開発法人 土木研究所
寒地土木研究所 寒地機械技術チーム



※JIS Z8115による分類

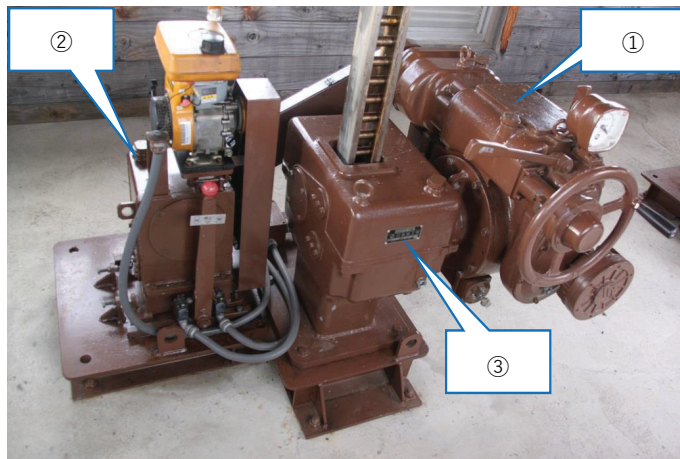
- 設備保全は、**予防保全**と**事後保全**に大別される
- (TBM)**時間**を**根拠**に保全を実施
 - 従来の設備点検手法
 - 健全な状態でも整備してしまう場合がある
- (CBM)**設備の状態**を監視し、**その結果に基づいて**保全を実施
 - オーバーメンテナン스가少ない
 - 個々の設備で稼働状況が違う**設備にも適用可能

設備診断技術



- 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

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



国立研究開発法人 土木研究所
寒地土木研究所 寒地機械技術チーム



▲ 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）

潤滑油の汚染度分析（計数汚染度「NAS等級」）

□ NAS等級とは

- 油中に含まれる粒子数により汚染度の評価を行う
- NAS等級は12等級までであり、対象の機器の指標には厳しすぎ
- 12等級を超える数値が多く存在

□ 仮NAS等級とは

- NAS12等級以上の潤滑油を詳細に評価できるようNAS等級を拡張した（仮NAS等級）を設定
- 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
- 「仮NAS等級」を新たに定義
仮NAS13～21等級に細分化



国立研究開発法人 土木研究所
寒地土木研究所 寒地機械技術チーム

NAS等級

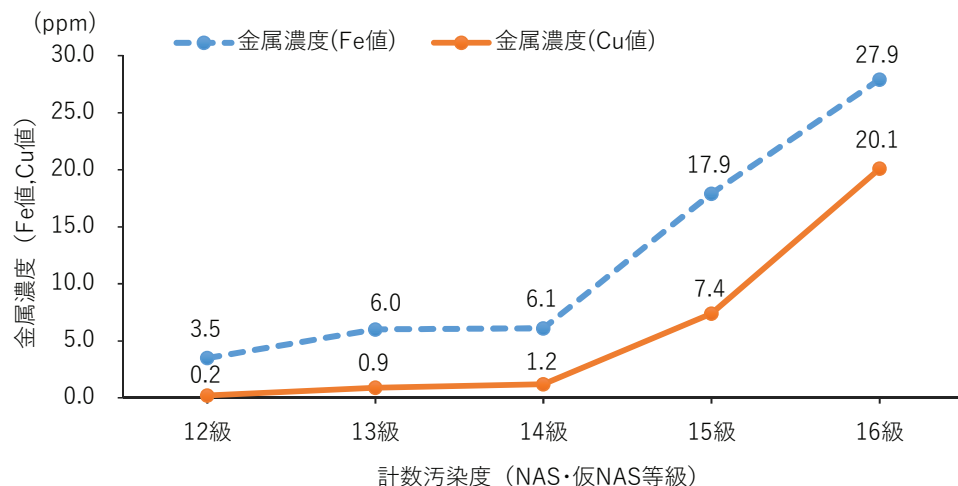
	00	0	1	2	3	4	5
5-15 μm	125	250	500	1,000	2,000	4,000	8,000
15-25 μm	22	44	89	178	356	712	1,425
25-50 μm	4	8	16	32	63	126	253
50-100 μm	1	2	3	6	11	22	45
100 μm超	0	0	1	1	2	4	8

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

仮NAS等級

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

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



※H24～H26にかけて83検体の分析を行った。

- 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。



国立研究開発法人 土木研究所
寒地土木研究所 寒地機械技術チーム

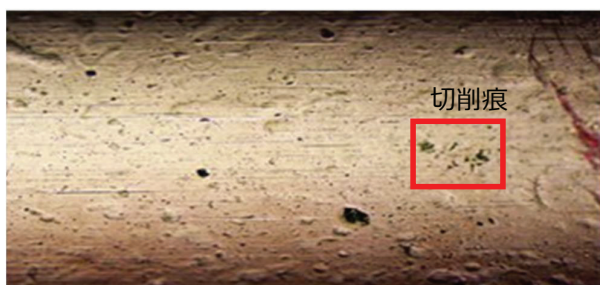
開閉装置ベアリングの精密評価①



▲ ベアリング内輪部 (切断)

□ ベアリングの精密評価

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について光学顕微鏡・電子顕微鏡により確認した。



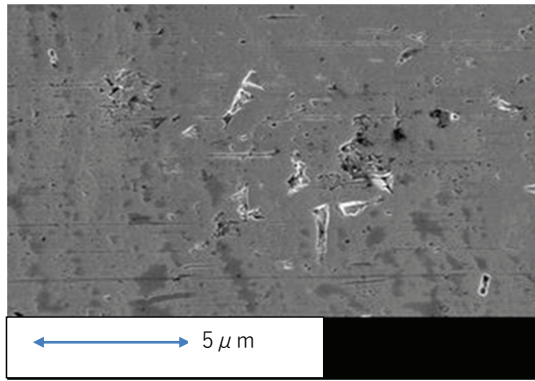
▲ 内輪部の光学顕微鏡写真

□ 光学顕微鏡による撮影

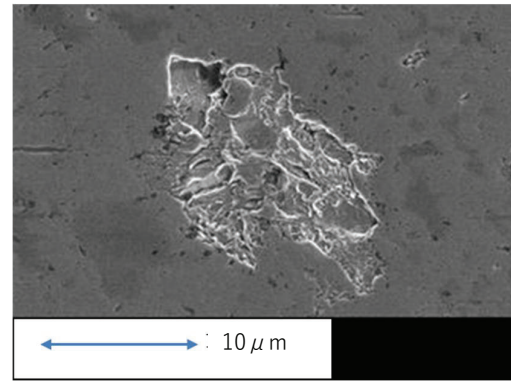
光学顕微鏡により、ベアリング内輪部の傷状態を撮影し、切削痕を確認した。



国立研究開発法人 土木研究所
寒地土木研究所 寒地機械技術チーム



▲ 切削痕

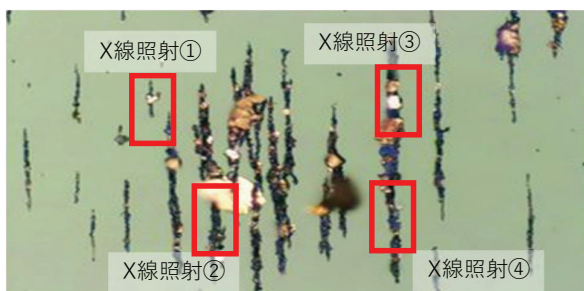


▲ 剥離痕

□ 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、10～20 μm程度の摩耗粒子による切削痕、剥離痕が確認された。

潤滑油分析（X線マイクロアナリシス）



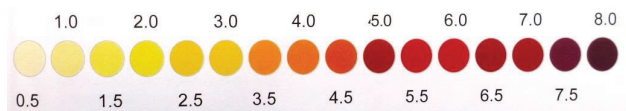
▲ 潤滑油フェログラフィー
(精密評価を行ったベアリング)

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（精密評価を行ったベアリング）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。



▲ ASTM色の色見本（参考）

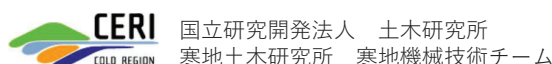


▲ 簡易型石油製品色試験機
(日本電色工業(株) OIL1)

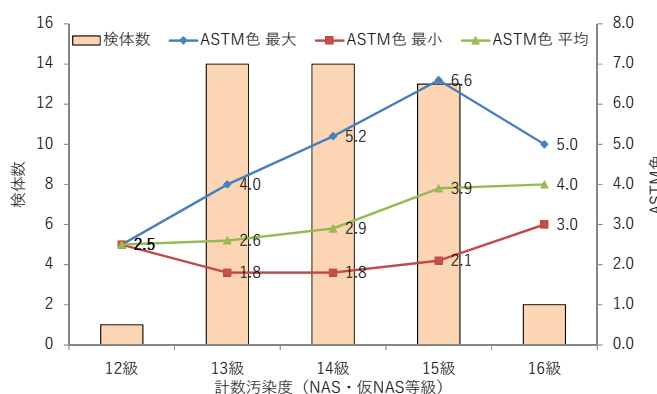
□ ASTM色

- 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。

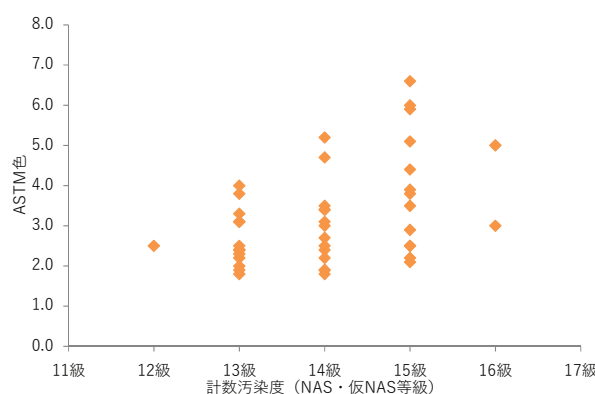
- 潤滑油の色はコンタミナント（油中の汚染物質）、混油や劣化などによって変化する。
- 簡易に計数汚染度を判別するため、計数汚染度とASTM色の関連を検証し、ASTM色による判断が可能か検討した。



潤滑油の色(ASTM色)と計数汚染度



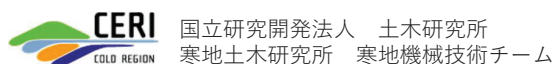
▲ 計数汚染度とASTM色測定値



▲ 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、上昇幅が小さい。
- 同一等級内での測定値にばらつきが見られる。



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段階で表した値

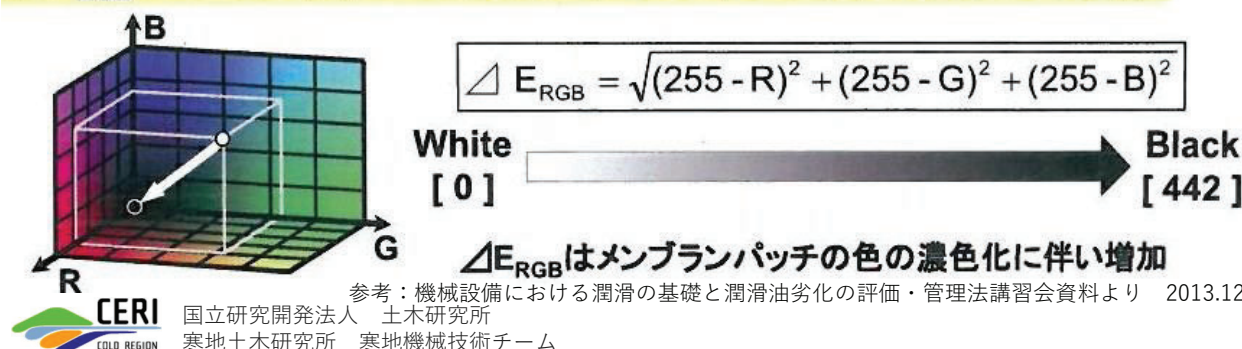
最大値は白で(255, 255, 255), 最小値は黒で(0, 0, 0)となる

最大色差: RGB値の2色間の値の差の最大差

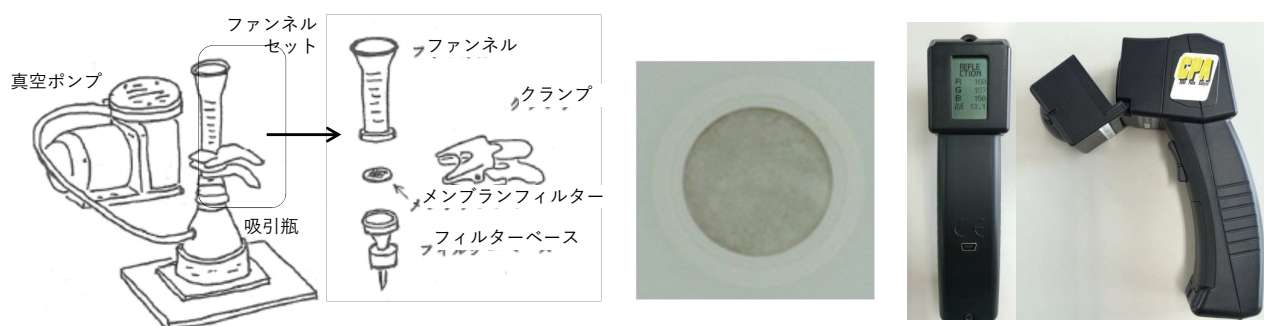
(MCD: Maximum color difference)



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



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)

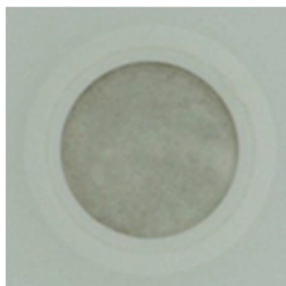
□ 色相判別装置(CPA: Colorimetric Patch Analyzer)測定方法

- フィルタベース部に孔径 $0.8\mu m$ のメンブランフィルターをセットし、**試料油 5 ml**をファンネルに注入、真空ポンプにより吸引し、ろ過する。
- 作成したメンブランフィルタを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。

メンブランパッチの作成方法

15

▼ メンブランフィルターをセット



▲ メンブランパッチ



▲ メンブランフィルターをパッチにはめ込む。

◀ 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に不純物が捕集される。



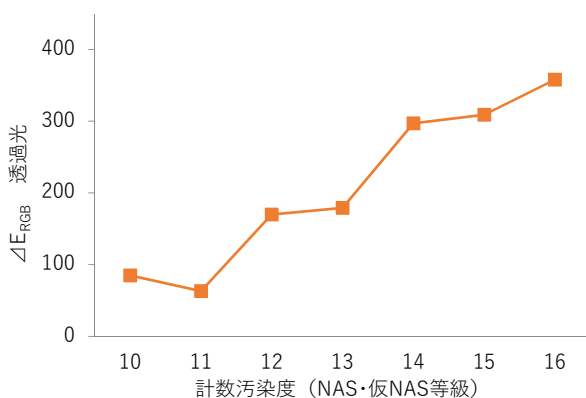
▲ エーテルで洗浄することで油分が流され、不純物だけフィルターに残る。



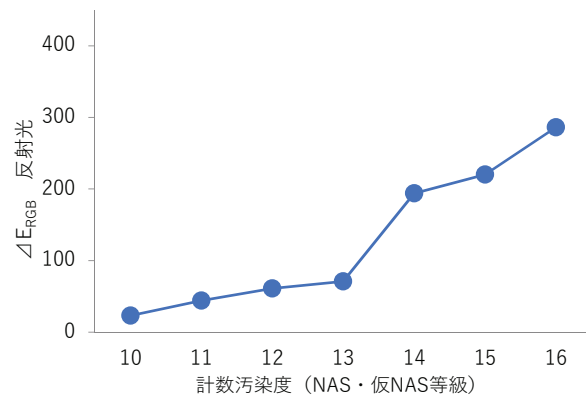
国立研究開発法人 土木研究所
寒地土木研究所 寒地機械技術チーム

計数汚染度と「 ΔE_{RGB} 」

16



▲ 計数汚染度と ΔE_{RGB} 透過光



▲ 計数汚染度と ΔE_{RGB} 反射光

□ 計数汚染度と ΔE_{RGB} との関係

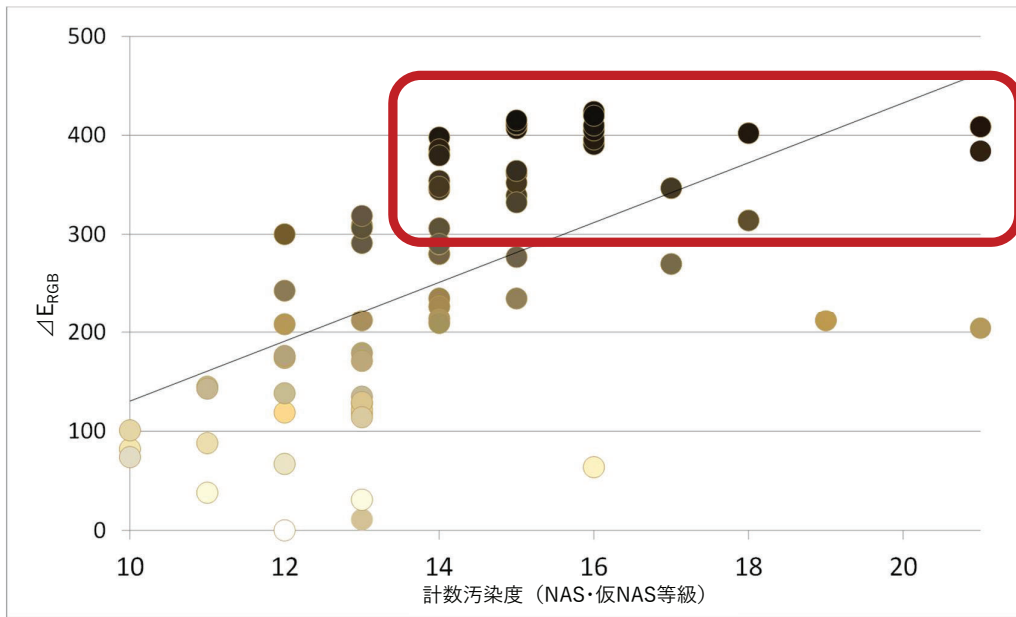
計数汚染度の上昇に伴い、反射光及び透過光 ΔE_{RGB} は上昇する。

※反射光と透過光

- ・（反射光）パッチ表面に捕集した汚染物の色を計測
- ・（透過光）パッチ内面に捕集した汚染物の色を計測



国立研究開発法人 土木研究所
寒地土木研究所 寒地機械技術チーム



NAS・仮NAS等級	パッチ画像	潤滑油
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		

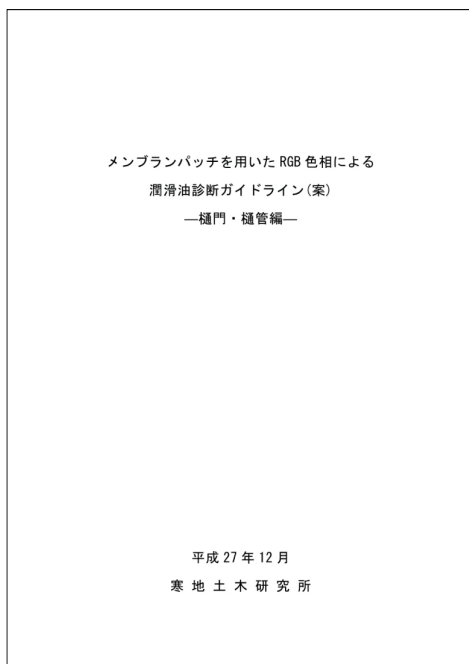
□ ΔE_{RGB} と計数汚染度との関係

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。

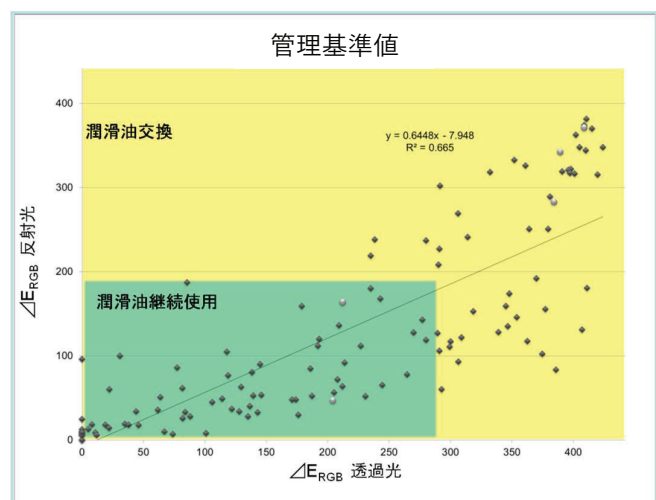


国立研究開発法人 土木研究所
寒地土木研究所 寒地機械技術チーム

メンブランパッチを用いたRGB色相による潤滑油診断ガイドライン（案）



□ RGB色相による潤滑油の簡易診断手法について取りまとめたガイドラインを作成



▲ 「メンブランパッチを用いたRGB色相による潤滑油診断ガイドライン（案）－樋門・樋管編－」 H27.12
発行：寒地土木研究所寒地機械技術チーム
<https://kikai.ceri.go.jp/download/>

▲ 管理基準値



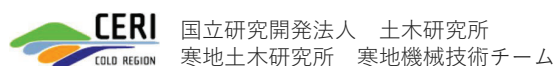
国立研究開発法人 土木研究所
寒地土木研究所 寒地機械技術チーム

□ 反射光及び透過光の値で判定

反射光と透過光それぞれのRGB値によって潤滑油の状態を点検現場にて1次スクリーングをすることが可能。定期的に計測することで傾向管理が可能となり、潤滑油の交換又は精密診断への判断指標として利用可能。



▲ メンブランパッチを用いたRGB色相による傾向管理の例



メンブランパッチによる判定結果

1. 計測日

2. 樋門名及び採油箇所

3. CPA計測結果

パッチ画像	測定値	R	G	B	ΔE _{RGB}
反射光					
透過光					

※R.G.Bの最大値はそれぞれ255である。
※ΔE_{RGB}の最大値は442である。

4. 判定

5. 所見

▲ 点検整備記録簿様式の例

試行結果

メンブランパッチによる判定結果

1. 計測日 2015/8/10

2. 樋門名及び採油箇所 A樋門

3. CPA計測結果

スタンドボックス

パッチ画像	測定値	R	G	B	ΔE _{RGB}
反射光	251	248	244	14	
透過光	232	219	180	86	

※R.G.Bの最大値はそれぞれ255である。
※ΔE_{RGB}の最大値は442である。

4. 判定

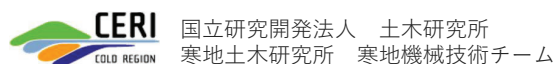
○

5. 所見

反射光、透過光のΔE_{RGB}値は非常に低い値を示しており、一般用産業機械用途としては問題のないレベルである。

□ 定期点検時に診断実施

北海道開発局の協力を得て、北海道内約100樋門の定期点検において、本診断手法により潤滑油の診断を実施した。



メンブランパッチによる判定結果

1. 計測日 2015/8/10

2. 樋門名及び採油箇所 B樋門

3. CPA計測結果

可逆装置

パッチ画像	測定値	R	G	B	ΔE _{RGB}
反射光	111	107	98	259	
透過光	21	17	12	413	

※R.G.Bの最大値はそれぞれ255である。
※ΔE_{RGB}の最大値は442である。

4. 判定

可逆装置交換

5. 所見

反射光、透過光ΔE_{RGB}共に使用可能レベルを超えており、交換が必要である。

メンブランパッチによる判定結果

1. 計測日 2015/8/10

2. 樋門名及び採油箇所 C樋門

3. CPA計測結果

スタンドボックス

パッチ画像	測定値	R	G	B	ΔE _{RGB}
反射光	215	201	175	104	
透過光	110	74	30	323	

※R.G.Bの最大値はそれぞれ255である。
※ΔE_{RGB}の最大値は442である。

4. 判定

交換

5. 所見

透過光ΔE_{RGB}の値のみが高く、酸化生成物等の影響が考えられるため、交換を推奨する。

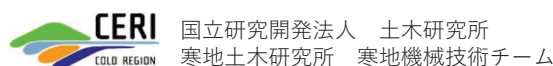
まとめ

□ メンブランパッチの各色パラメータ測定結果

- ΔE_{RGB} は、汚染度を**定量的に判定**でき、固形粒子の増加に伴い増加する。
- **NAS、仮NAS等級**の上昇に伴い、 ΔE_{RGB} 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。

□ 潤滑油の定量的な管理

これまで、潤滑油の管理は目視による点検や経過年数による交換が主流であったが、通常の設定と違い、設置場所による稼働時間にばらつきが多い樋門設備でも**本診断手法により潤滑油の定量的な管理**が可能となり、**潤滑油の交換時期**だけでなく、**樋門開閉器本体の異常の早期発見**も期待できる。



(問い合わせ先)

国立研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所

〒062-8602 北海道札幌市豊平区平岸 1 条 3 丁目 1 - 3 4

寒地機械技術チーム <http://kikai.ceri.go.jp/>

(TEL) 011-590-4049 (FAX) 011-590-4054