

# 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

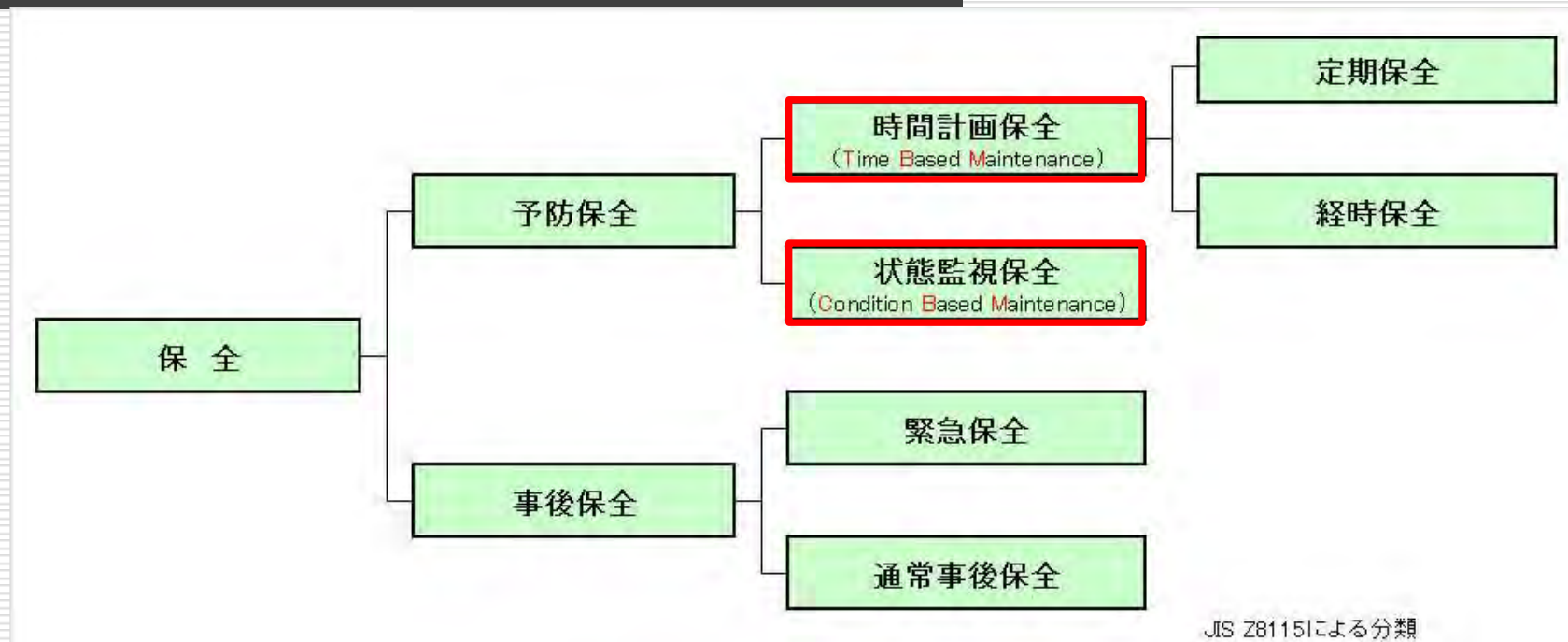


樋門設備全景(冬期間)

- 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

# 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

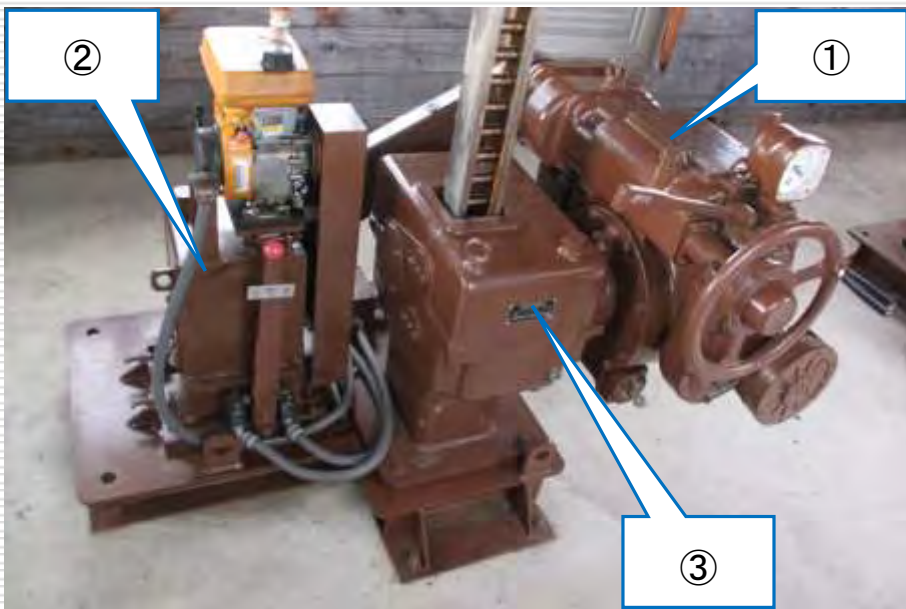
# 設備診断技術



## 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



採油検体の例



採油検体の例

# 潤滑油の分析項目

調査項目	分析項目	試験規格等
油性状	動粘度 (40°C)	JIS K 2283
	水分 (カールフィッシャー法)	JIS K 2275
	全酸価	JIS K 2501
油汚染	計数汚染度	JIS B 9930
潤滑状態 (摩耗)	摩耗粒子分析 (フェログラフィー)	大摩耗粒子を15 $\mu$ m以上、 小摩耗粒子を5 $\mu$ m以下とする。
	金属分析 (SOAP法)	JIS K 0116

# 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
5-15 $\mu\text{m}$	125	250	500	1,000	2,000	4,000	8,000
15-25 $\mu\text{m}$	22	44	89	178	356	712	1,425
25-50 $\mu\text{m}$	4	8	16	32	63	126	253
50-100 $\mu\text{m}$	1	2	3	6	11	22	45
100 $\mu\text{m}$ 超	0	0	1	1	2	4	8

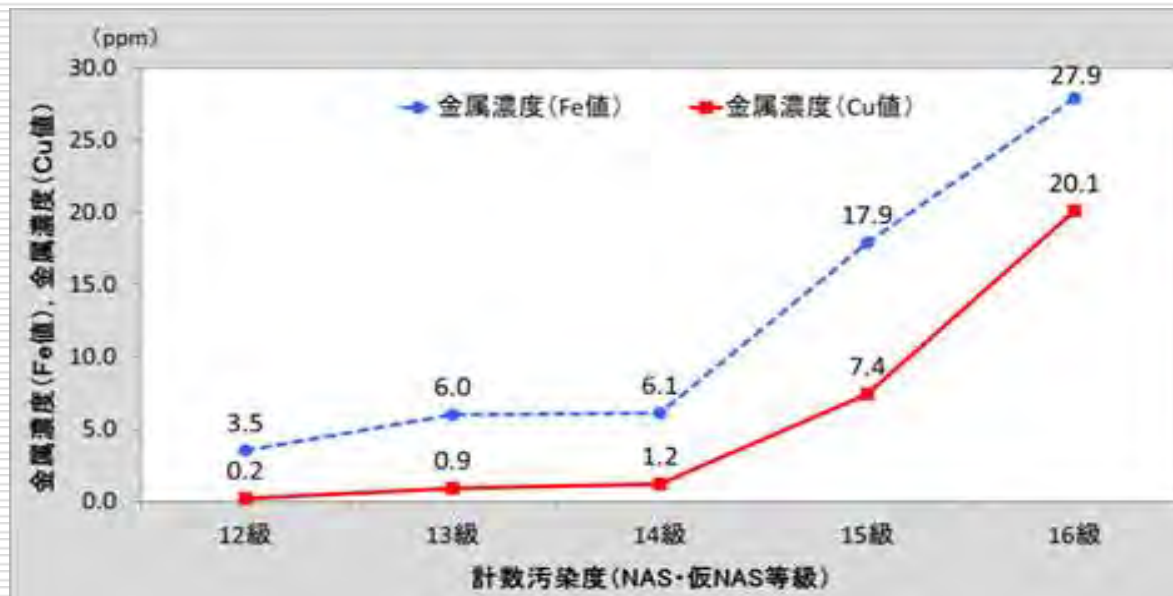
	6	7	8	9	10	11	12
5-15 $\mu\text{m}$	16,000	32,000	64,000	128,000	256,000	512,000	1,024,000
15-25 $\mu\text{m}$	2,850	5,700	11,400	22,800	45,600	91,200	182,400
25-50 $\mu\text{m}$	506	1,012	2,025	4,050	8,100	16,200	32,400
50-100 $\mu\text{m}$	90	180	360	720	1,410	2,880	5,760
100 $\mu\text{m}$ 超	16	32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

仮NAS等級

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

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

# 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られる。



# 開閉装置ベアリングの精密評価



ベアリング内輪部

## ■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。



内輪部の光学顕微鏡写真

# ベアリング転動体の精密評価



ベアリング転動体

## ■ 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。

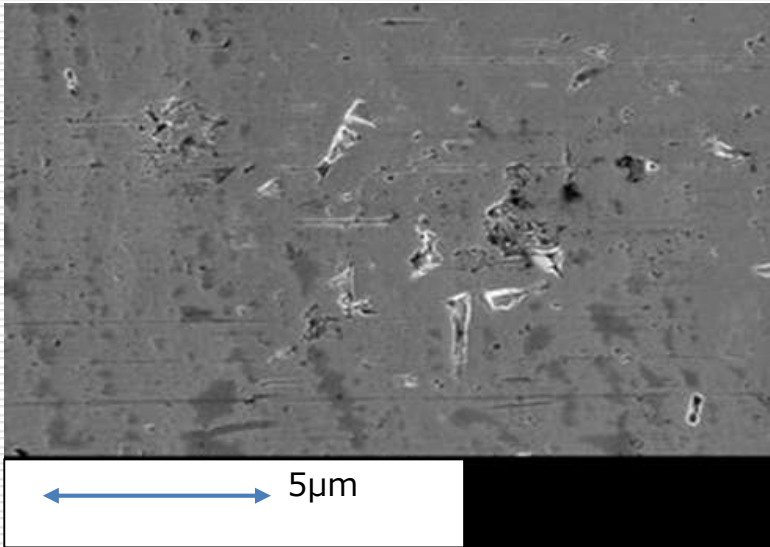


転動体部の光学顕微鏡写真

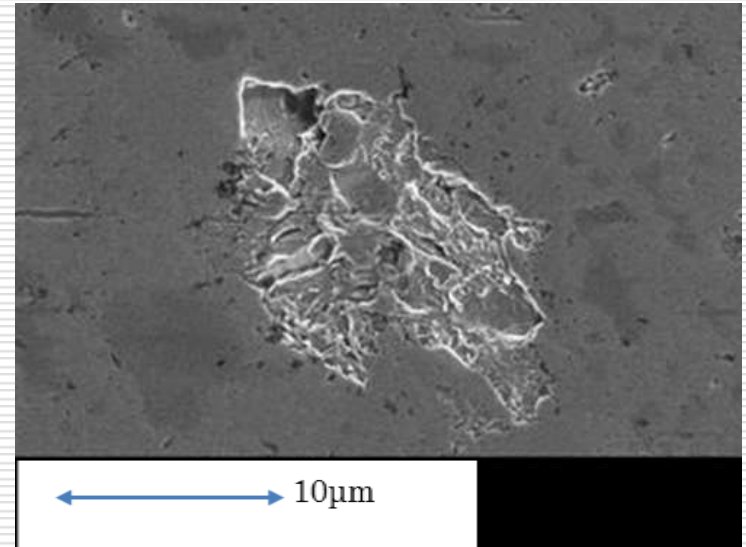
## ■ 光学顕微鏡による撮影

光学顕微鏡により、ベアリング転動体部の切削痕を確認した。

# 切削摩耗による切削痕



切削痕



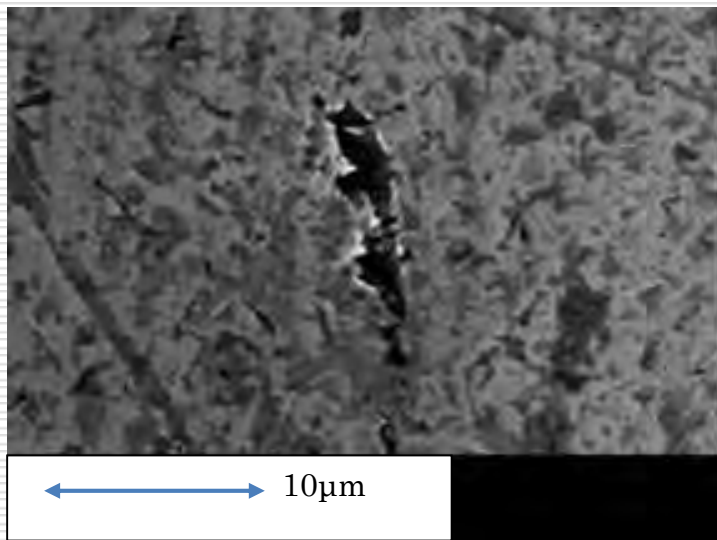
剥離痕

## ■ 電子顕微鏡による撮影

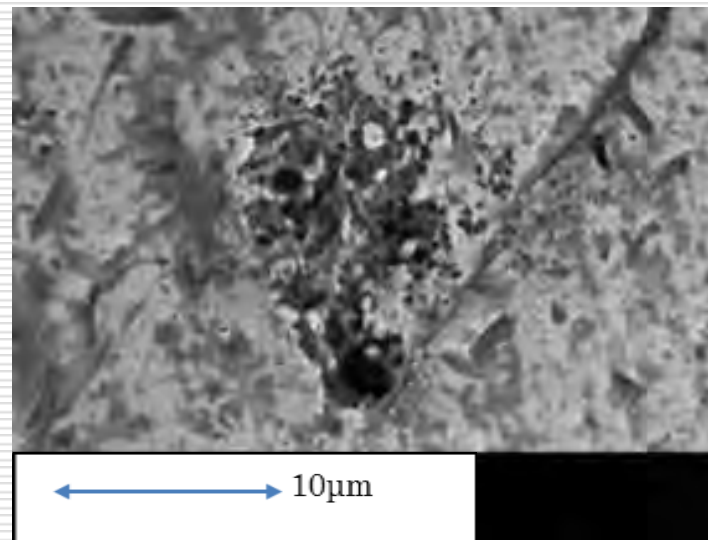
光学顕微鏡により、特定した撮影ポイントを電子顕微鏡にて撮影したところ、10~20μm程度の摩耗による傷が確認された。

摩耗粒子による傷

# 切削摩耗による切削痕②



切削痕



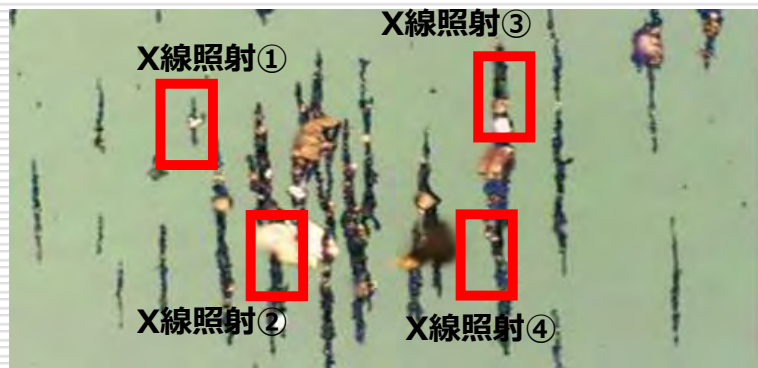
剥離痕

## ■ 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、10 $\mu$ m程度の摩耗による傷が確認された。

摩耗粒子による傷

# 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。

# 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。

# 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

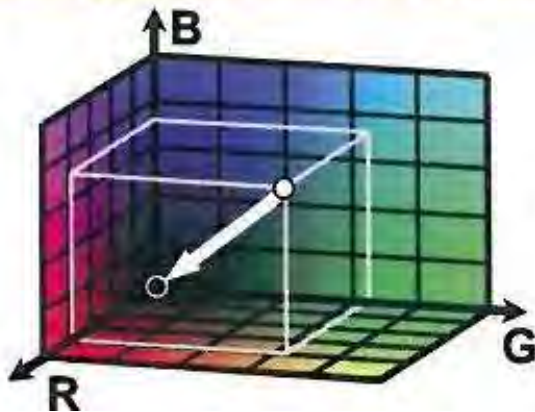
最大値は白で(255, 255, 255), 最小値は黒で(0, 0, 0)となる

最大色差: RGB値の2色間の値の差の最大差

(MCD: Maximum color difference)



$\Delta E_{RGB}$ : 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

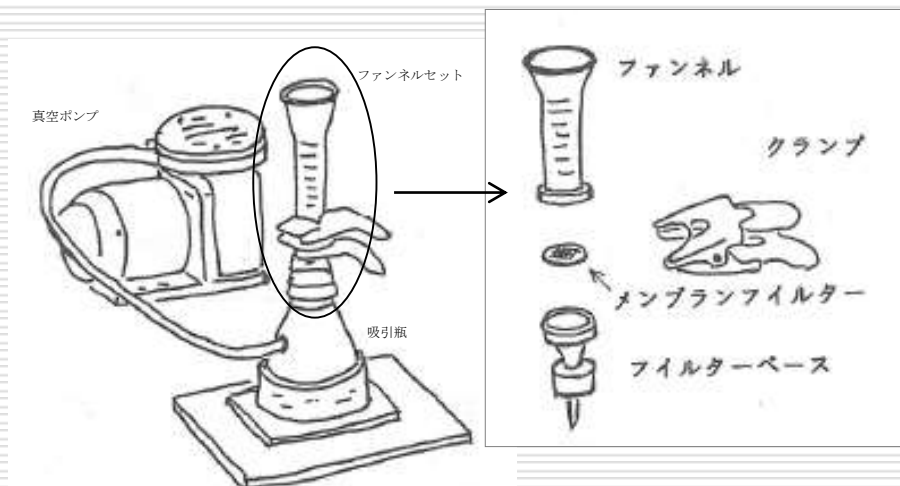


$$\Delta E_{RGB} = \sqrt{(255 - R)^2 + (255 - G)^2 + (255 - B)^2}$$

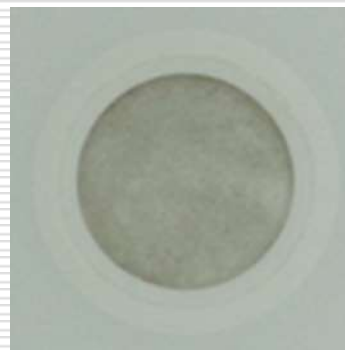


$\Delta E_{RGB}$ はメンブランパッチの色の濃色化に伴い増加

# 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

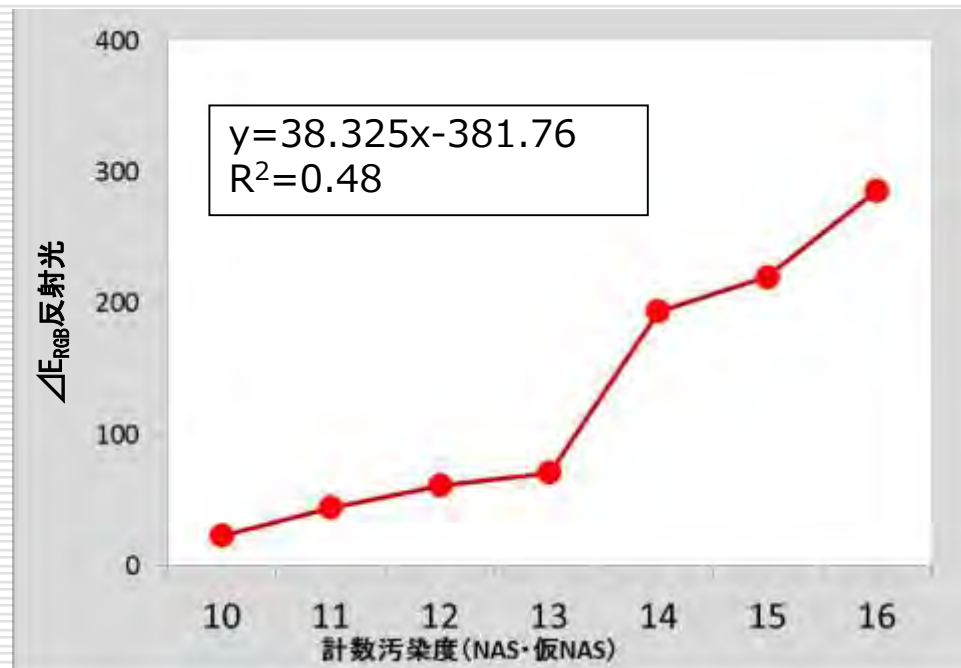
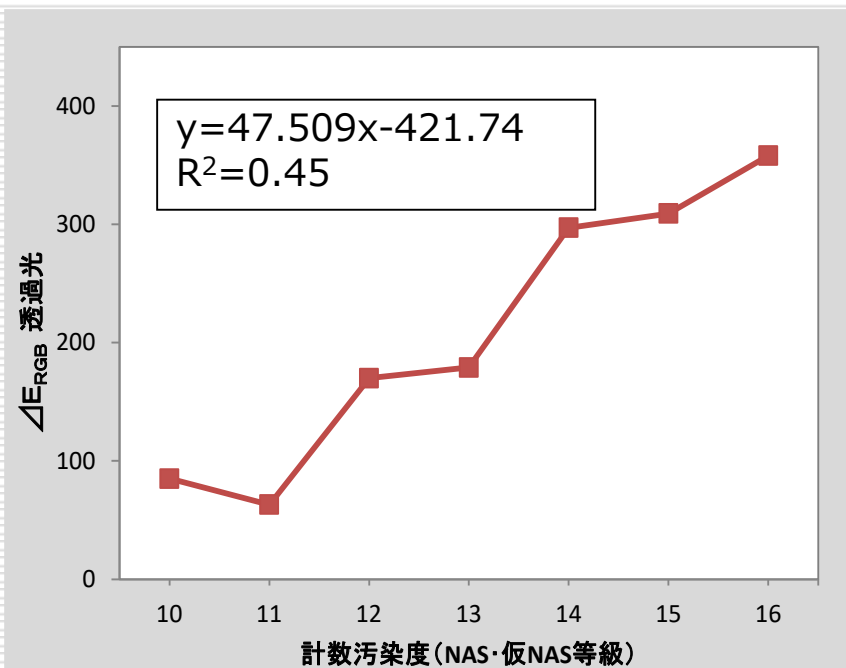
- ・ フィルタベース部に孔径 $0.8\mu\text{m}$ のメンブランフィルタをセットし、**試料油 5 ml**をファンネルに注入、真空ポンプにより吸引しろ過する。
- ・ 作成したメンブランフィルタを色相判別装置 (CPA) で測定できるようにパッチ化 (メンブランパッチ) 後、CPAにセットし測定を行う。
- ・ 透過光、反射光の2つのRGB値、最大色差 (MCD) を測定。

## ■ 購入費

- ・ コンタミチェッカー : 20万円程度、色相判別装置 : 45万円程度
- ・ メンブランパッチ1枚300円程度



# 計数汚染度と $\Delta E_{RGB}$



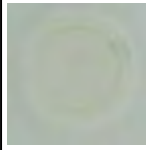



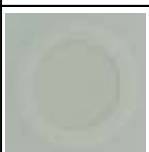

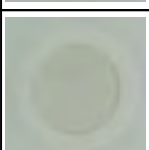




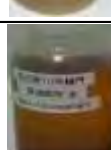


## ■ 計数汚染度と $\Delta E_{RGB}$ との関係

- 計数汚染度の上昇に伴い、反射光及び透過光  $\Delta E_{RGB}$  は上昇する。

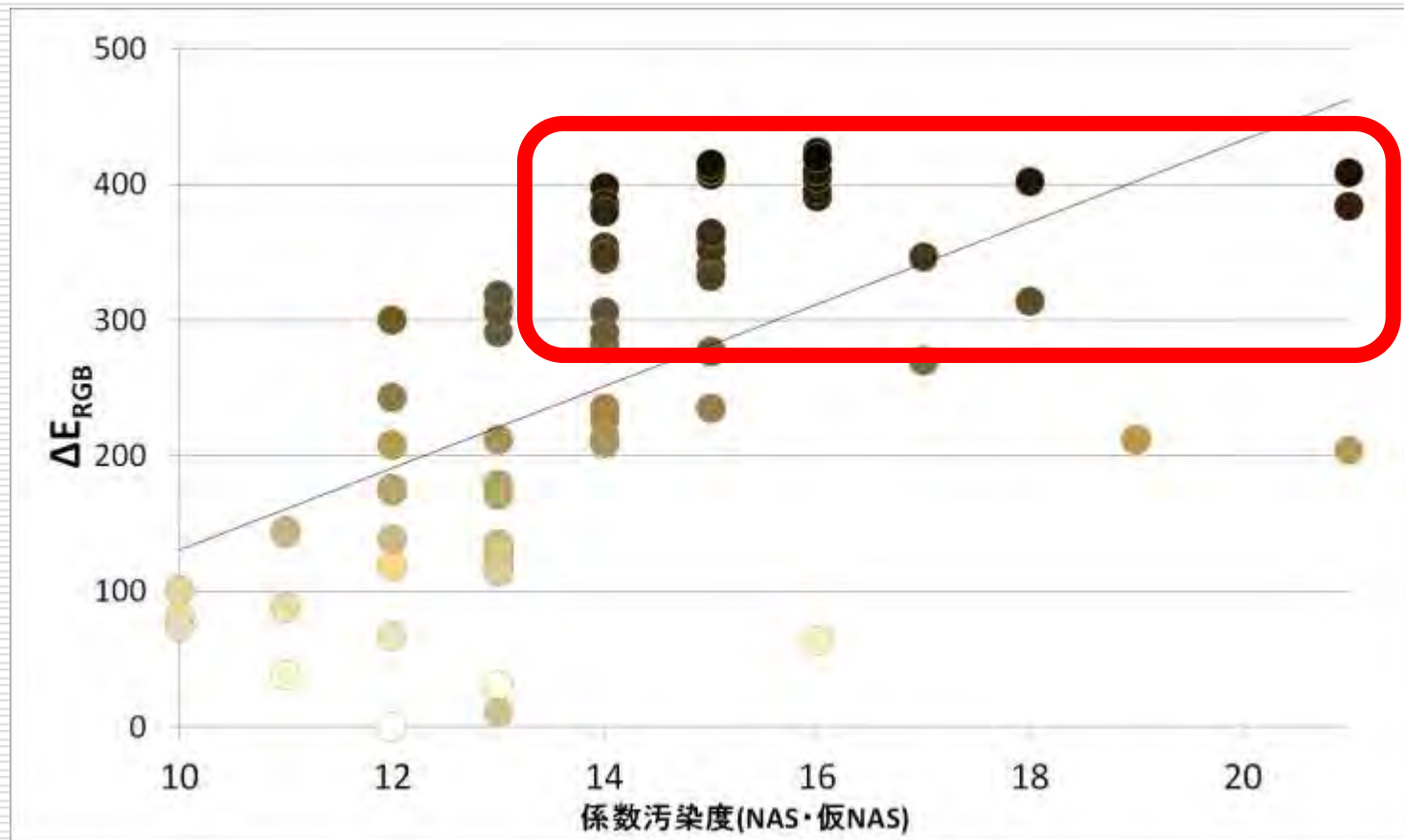
# メンブランパッチの画像と色測定値

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	$\Delta E_{RGB}$
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

# 計数汚染度とメンブランパッチ色相



## ■ $\Delta E_{RGB}$ 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。

# 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

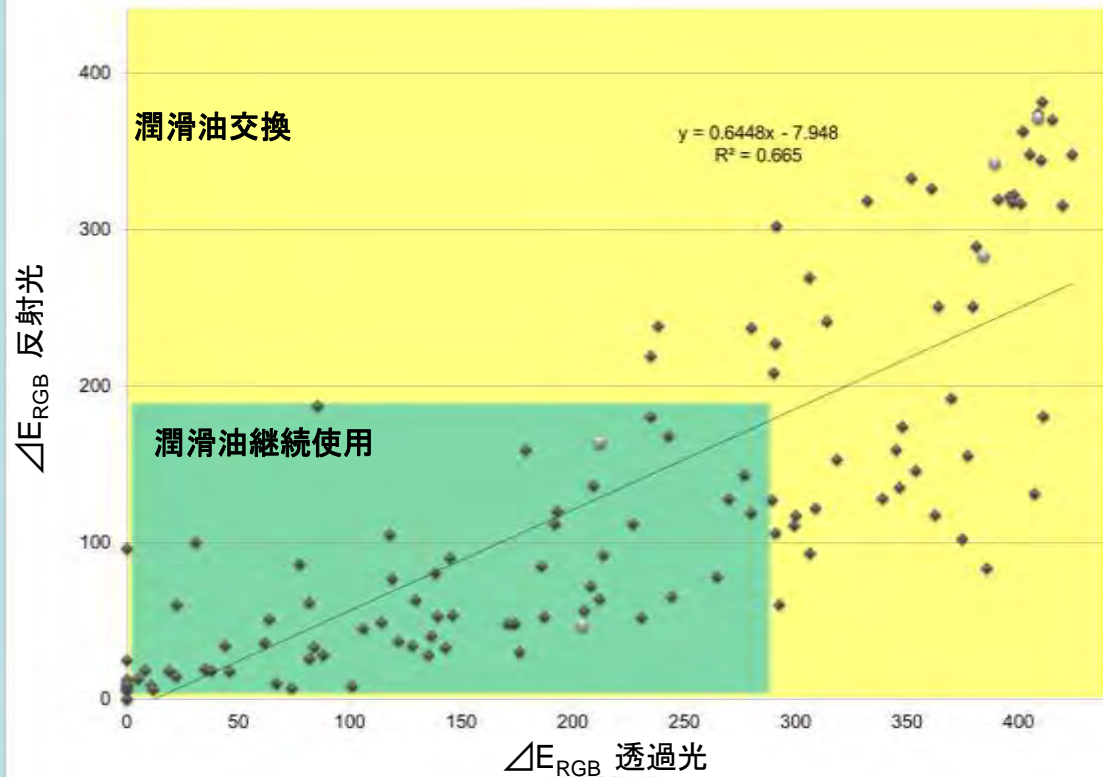
- $\Delta E_{RGB}$ は、汚染度を定量的に判定でき、固形粒子の増加に伴い増加する。
- NAS、仮NAS等級の上昇に伴い、 $\Delta E_{RGB}$ は上昇していく傾向を確認した。
- 仮NAS 1 5 等級を境界として色相の濃色化が見られる。

# 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)

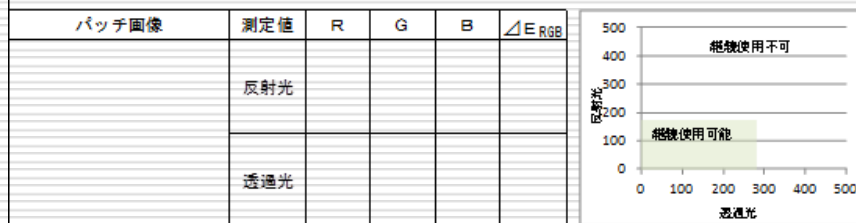
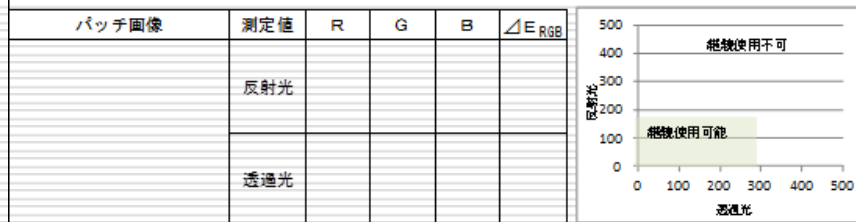
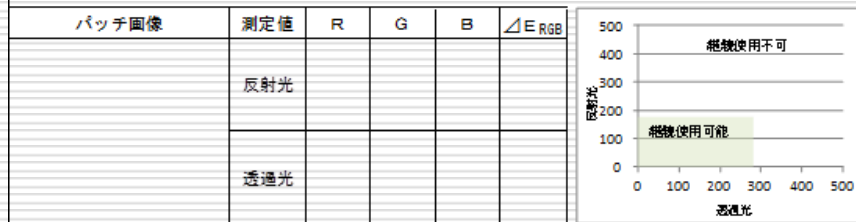
## 管理基準値



# 点検整備記録様式 (案)

## 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. CFA計測結果



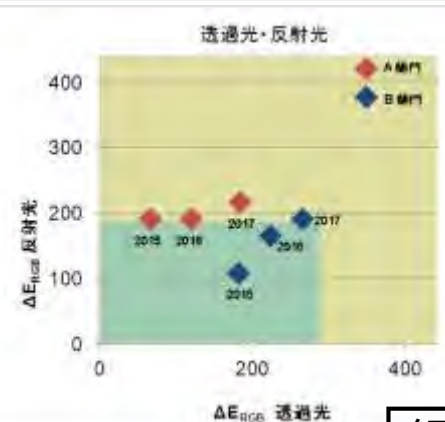
※RGBの最大値はそれぞれ255である。  
 ※ $\Delta E_{RGB}$ の最大値は442である。

4. 判定

5. 所見

## ■ 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  
 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。また、データを定期的にとる  
 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。

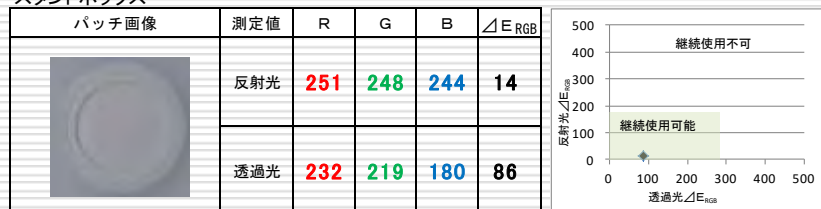


経年変化の推移例

# 試行結果①

## メンブランパッチによる判定結果

- 計測日 2015/8/10
- 樋門名及び採油箇所 A樋門
- CPA計測結果  
スタンドボックス

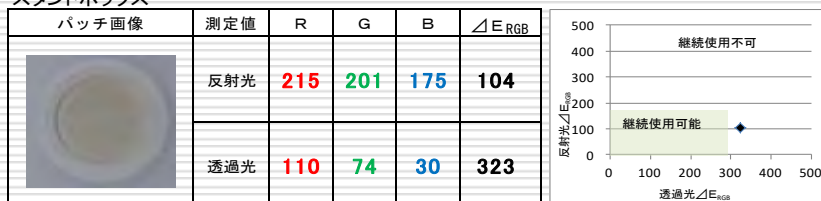


※R.G.Bの最大値はそれぞれ255である。  
※ $\angle E_{RGB}$ の最大値は442である。

- 判定  
○
- 所見  
反射光、透過光の $\angle E_{RGB}$ 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。

## メンブランパッチによる判定結果

- 計測日 2015/8/10
- 樋門名及び採油箇所 C樋門
- CPA計測結果  
スタンドボックス

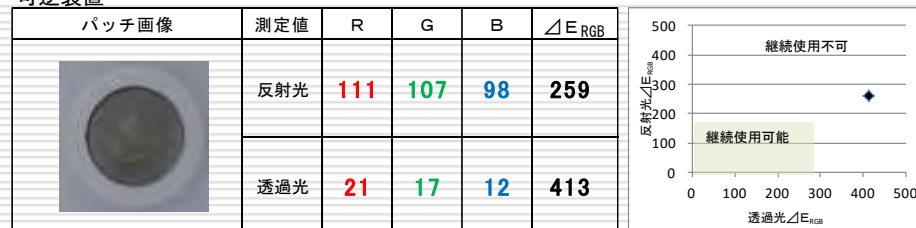


※R.G.Bの最大値はそれぞれ255である。  
※ $\angle E_{RGB}$ の最大値は442である。

- 判定  
交換
- 所見  
透過光 $\angle E_{RGB}$ 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。

## メンブランパッチによる判定結果

- 計測日 2015/8/10
- 樋門名及び採油箇所 B樋門
- CPA計測結果  
可逆装置



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

- 判定  
可逆装置交換
- 所見  
反射光、透過光 $\angle E_{RGB}$ 共に使用可能レベルを超過しており、交換が必要である。

## 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150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。

# 試行結果②

## ■ 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交換が主流であったが、通常の設備と違い、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。



# 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。



メンブランパッチ



メンブランフィルターをパッチにはめ込む。

# 今後の展開

---

- 本研究では、対象を樋門設備に限定して検討をしてきましたが、今後は、水門等河川用機械設備全般に、この診断技術が適用できるように検討していく予定であります。

## 問合せ先

- (国研) 土木研究所寒地土木研究所 寒地機械技術チーム  
Tel. 011-590-4049

