

# 福岡工業大学 機関リポジトリ

## FITREPO

Title	油膜で生じている放電現象の解析
Author(s)	砂原 賢治
Citation	福岡工業大学エレクトロニクス研究所所報 第34巻 P9-P12
Issue Date	2017-10
URI	<a href="http://hdl.handle.net/11478/772">http://hdl.handle.net/11478/772</a>
Right	
Type	Departmental Bulletin Paper
Textversion	publisher

Fukuoka Institute of Technology

# 油膜で生じている放電現象の解析

砂原 賢治 (工学部知能機械工学科)

北崎 訓 (工学部電気工学科)

山口 裕 (情報工学部情報工学科)

## Investigation of Electrical Discharge within Lubricating Film

Kenji SUNAHARA (Department of Intelligent Mechanical Engineering, Faculty of Engineering)

Satoshi KITAZAKI (Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering)

Yutaka YAMAGUTI (Department of Computer Science and Engineering, Faculty of Information Engineering)

### Abstract

Electrical discharges within lubricating films were investigated using a high-speed camera. Such discharges are typically observed in camera images as white flashes, or “white points”. These white points sometimes generate black pits, or “black points”, and some black points may allow electric current to flow. This paper presents six patterns of white and black points, and compare the impedances around the white and black points.

**Keywords :** Electrical pitting, Electrical discharge, Lubricating film

## 1. はじめに

モータの故障原因に軸受の電食がある。軸受の電食とは油膜部で放電が起こり、軸受が熔融損傷する現象である。軸受が電食すると、モータは騒音を発して使えなくなる。この問題を解決するため、軸受電食のメカニズム解明を進めている。高性能な高速度カメラ (Vision Reseach Miro VEO410L) を導入し、油膜で生じている放電について、いろんなことが分かり始めている。これまでは白い発光 (以下、白点) の数が多いと放電が多い、すなわち電食し易いと評価していた。しかし、白点によって生じる放電痕は黒い点 (以下、黒点) となる場合もあり、黒点で電流が流れ続けたりする。白点だけでなく、黒点で流れる電流も電食として表面に損傷を与えている可能性があり、従来の白点の数をカウントするだけの耐電食性の評価方法<sup>1)</sup>に疑問を感じ始めている。黒点には電流が流れる場合と流れない場合があったり、白点が生じず、いきなり黒点が現れる場合もあり、白点と黒点が生じるパターンは(1)~(6)の6種類に大別できる。本報では、それら白点と黒点の挙動を紹介するとともに、耐電食性評価の代替方法を提案する第一歩として、白点と黒点のインピーダンスを比較した結果を述べる。

## 2. 実験方法

図1に実験装置を示す。この装置は、油膜で生じる放電を可視化する装置である。ガラスディスクにITO膜 (透明導電膜) をコーティングしているところがポイントである。実

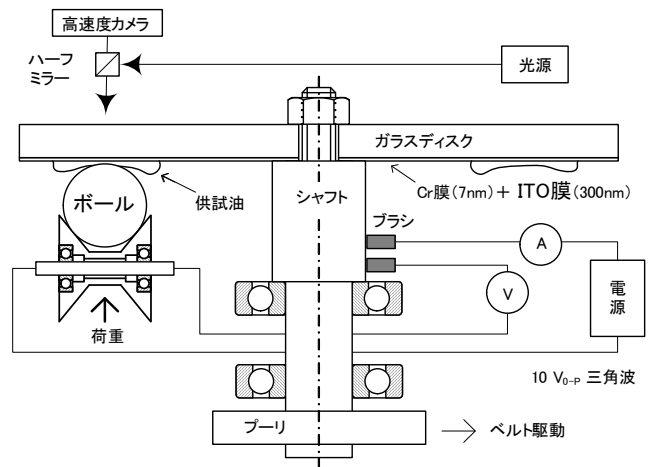


図1 発光実験装置

Fig. 1 Experimental apparatus.

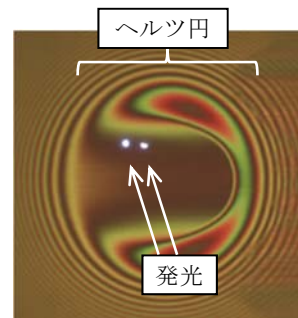


図2 カメラ画像の一例

Fig. 2 Example of camera image.

験手順を説明する。まずガラスディスクに供試油を塗布してボールを押し付け、電圧を印加する。この状態でガラスディスクを回転させボールを供回りさせ油膜を形成する。そしてITO膜とボール間に電圧(10 V<sub>0-p</sub> 10 Hz 三角波)を印加すると、時折、発光という形で放電が観察される(図2)。カメラ画像は高速度カメラを用いて5万コマ/秒(撮影間隔: 20 μs, 露光時間: 19 μs)で撮影し、電流・電圧はオシロスコープを用いて5 MS/sで測定した。表1に供試油の性状を示す。A油は放電し難いナフテン系油, B油は放電し易いパラフィン系油である。絶縁破壊維持電圧V<sub>3</sub>は文献<sup>2)</sup>を参考に式(1)から算出した。なお、接触部の電圧降下V<sub>4</sub>は0 Ωと仮定した。インピーダンスZは式(2)より求めた。

$$V_3 = V_2 - R \times A_1 - V_4 \quad (1)$$

$$Z = V_3 / A_1 \quad (2)$$

ここで、V<sub>2</sub>: 絶縁破壊後の電圧, V  
 R: ITO膜の抵抗, Ω  
 A<sub>1</sub>: 絶縁破壊時の電流, A

表1 供試油の性状

Table 1 Properties of lubricants used.

	タイプ	動粘度 ν, mm <sup>2</sup> /s	
		40°C	100°C
A油	ナフテン系油	1628	164
B油	パラフィン系油	37.9	6.02

### 3. 実験結果および考察

#### 〈3・1〉 白点と黒点の挙動(図5, 図6)

パターン(1): ①何もないところに②白点が生じ電流が流れる。その後、③黒点となり電流が流れなくなる。

パターン(2): ①黒点を起点に②白点が生じ電流が流れる。その後、③黒点となり電流が流れなくなる。

パターン(3): ①白点が生じ電流が流れる。白点は②黒点に代わるが電流は流れ続ける。③黒点がヘルツ円の外に出ると電流が流れなくなる。

パターン(4): 白点が見られずに、いきなり①黒点が現れ、電流が流れる。②黒点がヘルツ円の中では電流が流れ続け、③黒点がヘルツ円の外に出ると電流が流れなくなる。

パターン(5): ①何もないところから、いきなり②黒点が生じ電流が流れる。電流の流れは10 μsと一瞬だけで、その後、③黒点は残るが電流が流れなくなる。

パターン(6): ①白点が生じ電流が流れる。白点は②黒点に代わるが電流は流れ続ける。③黒点がヘルツ円の外側に出ても電流が流れ続けている。これは新たな黒点が発生し、電流の流れがバトンタッチしたものである。

これまでは、油膜で生じる放電のイメージとして、白点が見れた瞬間のみ電流が流れる(パターン(1))ということだけを考えていた。しかし白点が黒点に変わった後、黒点がヘル

ツ円の中にある限り電流が流れたり(パターン(3))、次の黒点にバトンタッチして電流が流れ続けたり(パターン(6))することなどが分かってきた。黒点でも電流が流れるので、電食として表面に損傷を与えている可能性があり、白点の数をカウントするだけの従来の耐電食性の評価方法は、見直す必要がある。

#### 〈3・2〉 インピーダンス解析

(1)A油での解析結果の一例(図3): 電流が0.1 A程度に立ち上がる時に①白点が生じ、その後、②黒点となり0.3 Aの電流が流れ続けている。表2にインピーダンスの計算結果を示す。インピーダンスは①白点: 60 Ω, ②黒点: 8.6 Ωとなっており、白点のインピーダンスが黒点より大きい。

(2)A油とB油での複数の解析結果: A油で5例を解析したところ、白点は30~212 Ω, 黒点は7~14 Ωと大きな差があった。白点と黒点の閾値は14~30 Ω(平均値22 Ω)になる。同様に、B油で3例解析したところ、白点は20~34 Ω, 黒点は10~18 Ωであった。白点と黒点の閾値は18~20 Ω(平均値19 Ω)になる。以上のことから20 Ω程度を閾値として白点と黒点は分離できると考えられる。この閾値は油の種類(または放電のし易さ)に影響を受けない。

(3)電流に対するインピーダンス特性(図4): 白点では、電流の増加に対しインピーダンスが減少している。放電現象特有の負性抵抗を示しており、改めて放電であることが確認できる。

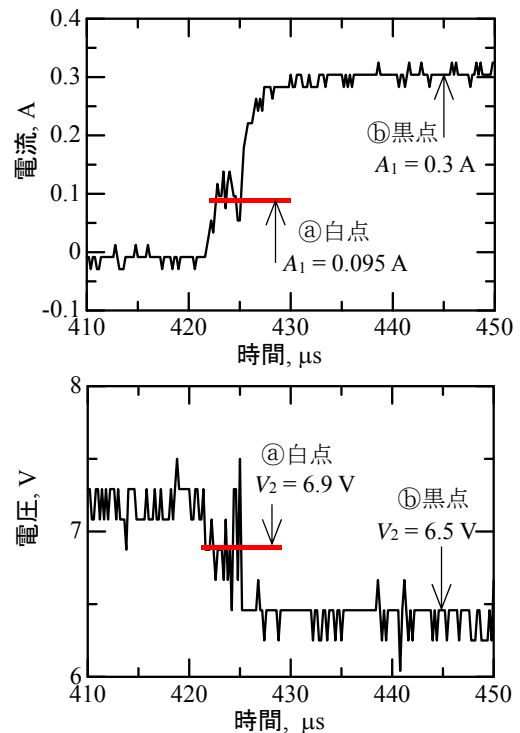


図3 白点・黒点の電流電圧波形の例(A油)  
 Fig. 3 Example of current and voltage waveforms around a white and black point for oil A.

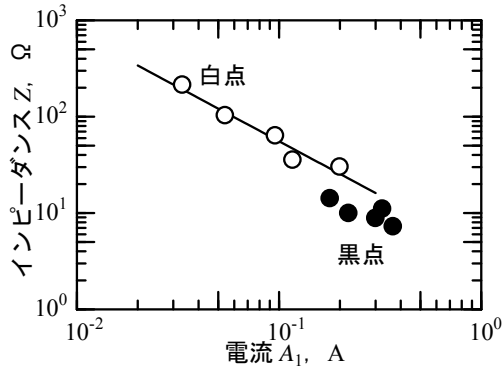


図4 電流に対するインピーダンス特性 (A油)  
Fig. 4 Impedance vs. current for oil A.

表2 白点と黒点のインピーダンス計算の例 (A油)  
Table 2 Example of impedance calculation around a white and black point for oil A.

状態	㉑白点	㉒黒点
絶縁破壊維持電流 $A_1$ , A	0.095	0.3
絶縁破壊後電圧 $V_2$ , V	6.9	6.5
絶縁破壊維持電圧 $V_3$ , V	5.7	2.6
インピーダンス $Z$ , Ω	60	8.6
ITO膜抵抗 $R$ , Ω	12.7	

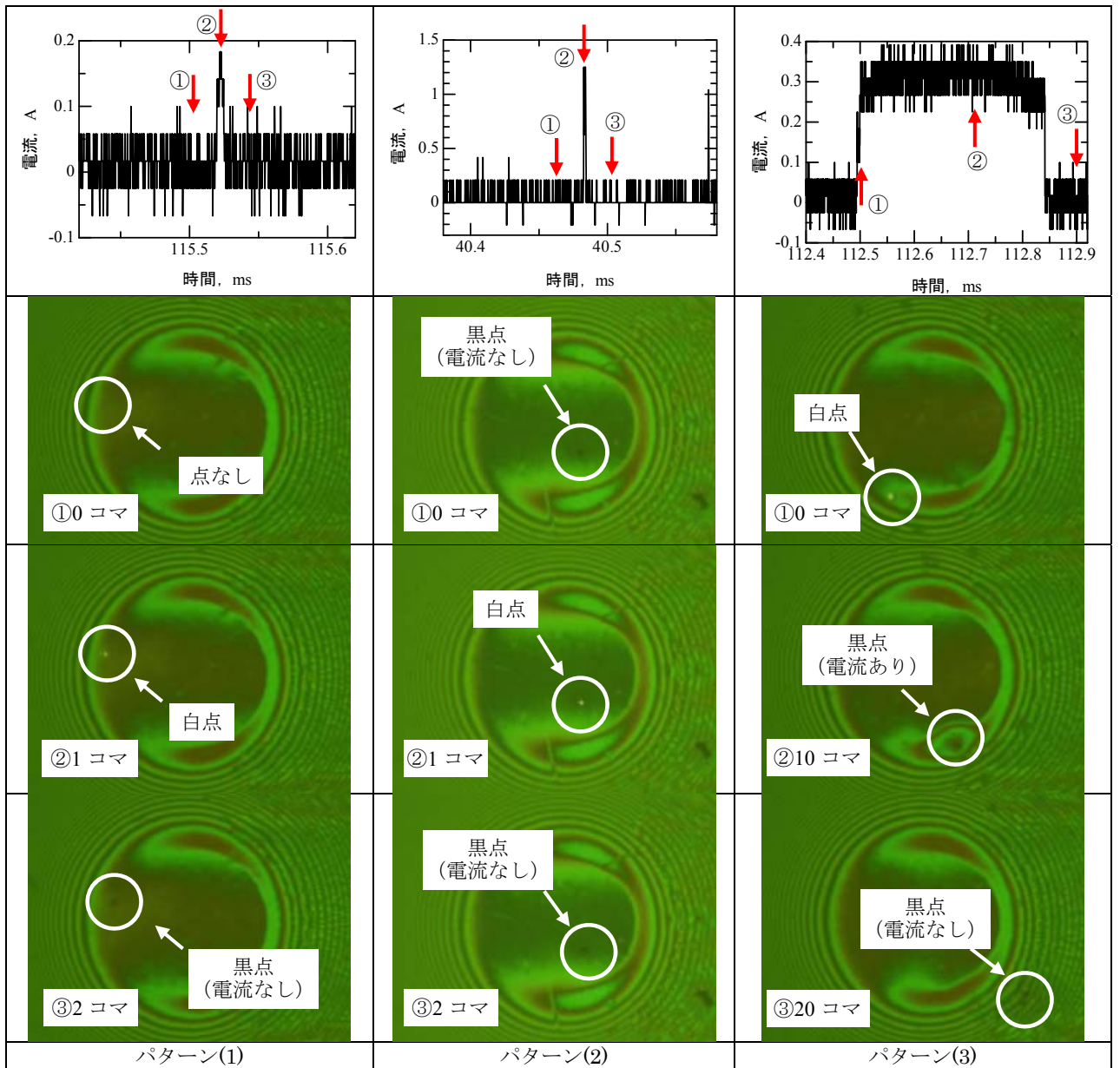


図5 電流波形とカメラの映像 (B油)  
Fig. 5 Current waveforms and camera images for oil B.

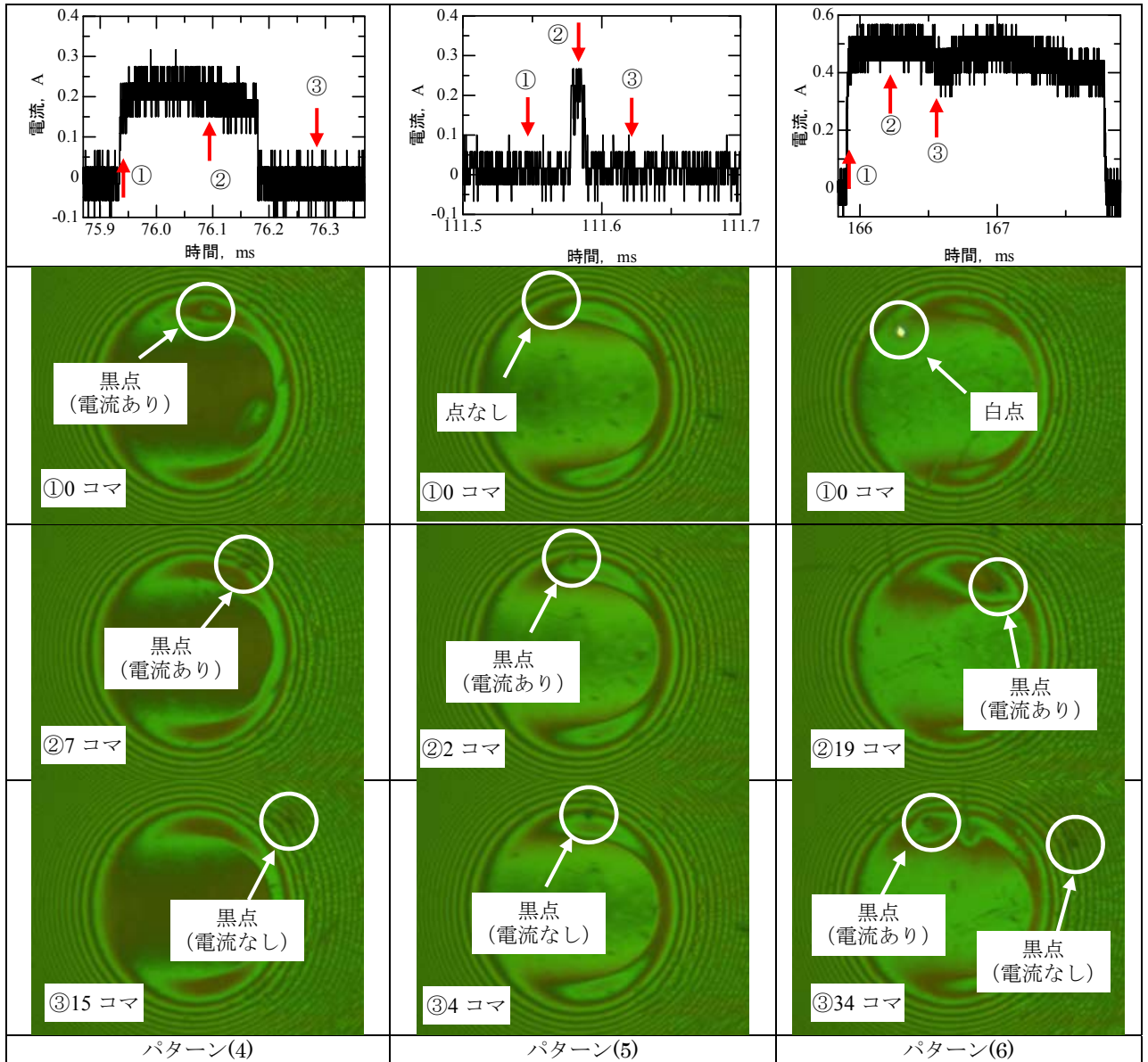


図 6 電流波形とカメラの映像 (B 油)  
Fig. 6 Current waveforms and camera images for oil B.

0.1 mm

#### 4. まとめ

(1) これまでは、油膜で生じる放電のイメージとして、白点が現れた瞬間のみ電流が流れる (パターン(1)) という考え方をしていた。しかし白点が黒点に変わった後、黒点がヘルツ円の中にある限り電流が流れたり (パターン(3)), 次の黒点にボタンタッチして電流が流れ続けたり (パターン(6)) することなどが分かってきた。

(2) インピーダンスは白点が黒点より大きい。20Ω程度を閾値として白点と黒点は分離できる。白点では、電流の増加に対しインピーダンスが減少しており、放電現象特有の負性抵抗を示している。

#### 謝辞

実験に協力して頂いた 2016 年度卒研生の山田基生氏と松田洸太氏に謝意を表す。本研究は JSPS 科研費 JP16K06058, NSK メカトロニクス技術高度化財団の研究助成, 本学のプロジェクト研究準備支援により遂行した。感謝する。

(平成 29 年 7 月 20 日受付)

#### 文 献

- (1) 砂原賢治, 石田雄二, 山下慎次, 山本正治, 大野信義, 西川宏志, 松田健次, 兼田植宏: 「弾性流体潤滑下の絶縁破壊に及ぼす潤滑油の粘度圧力係数の影響」, トライボロジスト, 56, 11 p.696 (2011)
- (2) K. Sunahara, Y. Ishida, S. Yamashita, M. Yamamoto, H. Nishikawa, K. Matsuda, and M. Kaneta: "Preliminary Measurement of Electrical Micropitting in Grease-Lubricated Points Contacts, Tribology Trans., 54, 5 p.730 (2011)