

# 酸性環境におけるシリンダボア材 FC250 の腐食摩耗特性

## Corrosive wear properties of cylinder bore material FC250 in the acid environment

福井大・院（学）\*前田 純里 福井大・工（正）本田 知己

Sumisato Maeda\*, Tomomi Honda\*

\*University of Fukui

### 1. はじめに

窒素酸化物（NOx）による大気汚染問題および温室効果ガスによる地球温暖化問題は、国際社会で取り組むべき大きな問題へと発展している。これらのガス排出量については、各国で削減目標が掲げられており、特に自動車には厳しい規制がかけられている。このような規制に対応するため、自動車産業はエンジンへの EGR (Exhaust Gas Recirculation) 装置の導入を推進している。EGR は排気ガスの一部を吸気に還元し燃焼室の酸素濃度を低下させ、燃焼におけるピーク温度を下げることで、運転時の冷却損失およびスロットル損失の低減や NOx の発生量を削減する技術である。一方で、EGR は吸気に二酸化硫黄や一酸化窒素などの腐食性物質が混入しやすくなるという特徴を持つ。これらの腐食性物質を含んだ混合気が燃焼すると、エンジン内に硫酸や硝酸、有機酸などの酸性凝縮水が発生する<sup>1)</sup>。発生した凝縮水がエンジンの腐食摩耗を引き起こし、製品の短寿命化やトラブルに繋がる危険性があることが問題視されている<sup>2)</sup>。

エンジン部品、その中でもシリンダボア（以下、「ボア」という）はエンジンの設計および製造に対する重要性が大きい。腐食摩耗を十分に考慮した材料の選定及び表面設計を行わなければならない。しかし酸性凝縮水を含んだエンジン油がボアの腐食摩耗に与える影響は不明な点が多く、そのメカニズムはほとんど解明されていない。

本研究では、実機ボアの腐食摩耗面の観察および酸性環境における摩擦試験や静腐食試験を行い、ピストンとのしゅう動作用と凝縮水の腐食作用がボアの腐食摩耗特性に与える影響について調べ、腐食摩耗量の定量化ならびに、そのための腐食摩耗メカニズムの解明を目指す。

### 2. 実機ボアの腐食摩耗面

腐食摩耗の実現象理解のために、実機ボア下死点部から腐食摩耗が生じている部分を切り出し、その表面状態を詳細に観察した。切り出しサンプルの外観を Fig. 1 に示す。腐食摩耗面は円形の黒色部が集まっており、表面がまだら模様になっていることが分かった。

腐食摩耗面の SE 像および EDS による元素分析結果を Fig. 2 に示す。SE 像から、腐食摩耗面は直径 1 mm 程度の大きさの凹部が点在しており、それらの凹部は直径 50  $\mu\text{m}$  程度の大きさのピットが複数集まることで形成されていることが確認できた。元素分析結果から、凹部では鉄元素が弱く、一方で炭素元素が強く検出されることが分かった。また、Fig. 2 における A 部分の SE 像および EDS による元素分析結果を Fig. 3 に示す。SE 像から、凹部外にはクロスハッチのほかに、しみ状の黒色部が見られた。元素分析結果から、黒色部は酸素が強く検出されたため、酸化が進行していることが確認できた。この酸化部分がしゅう動作用で除去される、あるいは変形することでピットが発生し、それに伴う表面粗さ（表面積）の増加が Fig. 2 のような凹部の形成を引き起こした可能性が示唆された。したがって、ボアの腐食摩耗はピストンおよびリングとのしゅう動により、小滴化した凝縮水がボア表面に付着することで、鉄の局所的な酸化が起因となって発生していると推察される。

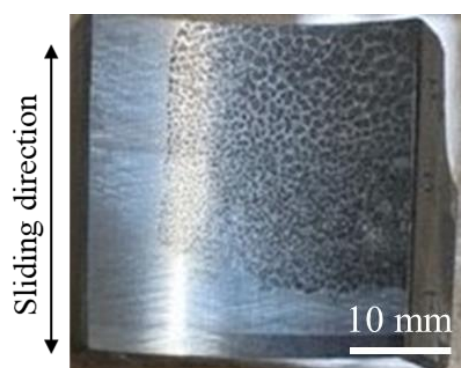


Fig. 1 Exterior view of the corrosive wear surface of actual cylinder bore

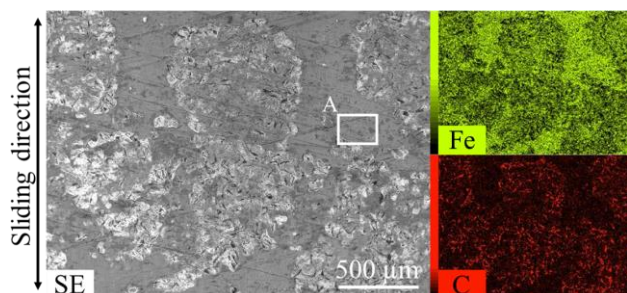


Fig. 2 SE image and EDS mapping of the corrosive wear surface of actual cylinder bore

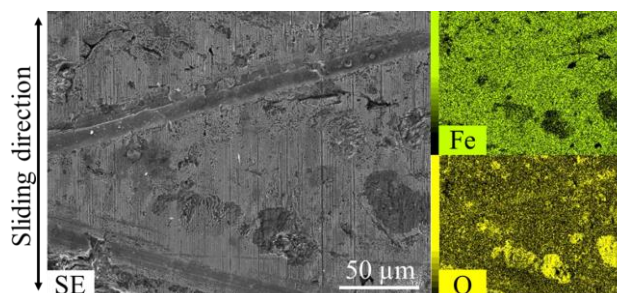


Fig. 3 SE image and EDS mapping of the outside of concavities on corrosive wear surface

### 3. 試験方法および供試材料

本研究で用いた往復動摩擦試験の概略を Fig. 4 に示す。本試験は一定速度で左右に往復運動するステージにプレート試験片を固定し、相手材のボール試験片を一定荷重で押し付けて往復すべり摩擦する方式である。このとき、プレート試験片上に酸性溶液を滴下することで、エンジン内の腐食環境を模擬的に再現した。押し付け荷重はアーム状のロードセル上部に分銅を載せることで負荷させた。摩擦力はアーム状のロードセルにより検出され、動ひずみ計と A/D 変換器を介して PC に取り込まれる。摩擦係数は摩擦力を荷重で除した値として算出した。試験条件を Table 1 に示す。湿度による影響を小さくするため、室温において相対湿度 50 %未満の環境でしゅう動試験を行った。

プレート試験片には、表面に鏡面加工 ( $Ra = 0.02$ ) を施した厚さ 3 mm のねずみ鋳鉄 FC250 を用い、ボール試験片には、直径 10 mm の SUJ2 軸受鋼を用いた。酸性溶液には、精製水で濃度を調整した pH1, 2, 3, 4 のぎ酸を用いた。

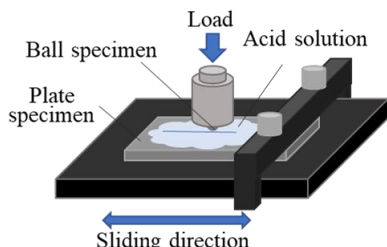


Fig. 4 Schematic view of the reciprocating tribometer

Table 1 Test condition

Test temperature, °C	20±3
Relative humidity, %RH	< 50
Sliding velocity, mm/min	6000
Stroke, mm	10
No. of cycles	1000
Load, N	1.0

### 4. 酸性溶液の pH による影響

往復回数に伴う摩擦係数の変化を Fig. 5 に示す。全ての pH において、摩擦係数は 0.3 付近を推移したが、本試験条件では pH の変化が摩擦係数に与える影響について明確な傾向は見られなかった。

試験中の外観から、プレート試験片におけるぎ酸の接触角に違いが見られ、pH が大きくなるほど、接触角が大きくなることが確認できた。

試験後のボール試験片およびプレート試験片の摩耗面のレーザ顕微鏡観察画像と断面曲線を Fig. 6 に示す。pH が小さいほどプレート試験片が摩耗する一方で、pH が大きいほどボール試験片が摩耗する傾向が見られ、ボール試験片の摩耗に伴い、摩耗こん幅の大きさも変化した。これは pH の変化により、試験片に対する腐食作用が変化し、しゅう動面上における生成物の性状が変化したためだと考えられる。また、全ての pH において、ボール試験片に凸部が形成される場合があった。

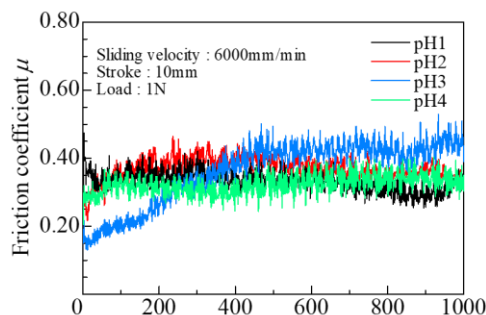


Fig. 5 Variation of friction coefficient as a function of no. of cycles

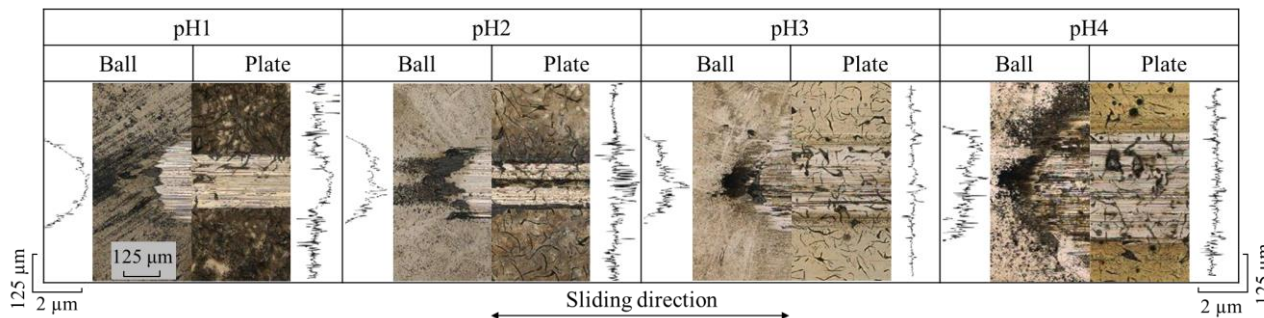


Fig. 6 Laser microscope images and cross-sectional profiles of the worn surface

### 5. おわりに

実機ボアの腐食摩耗面観察およびぎ酸を用いた酸性環境でボア材 FC250 を用いた往復動摩擦摩耗試験を行った結果、以下の知見を得た。

- 1) 実機ボアの腐食摩耗面には、直径 1 mm 程度の大きさの凹部が点在し、それらの凹部は直径 50  $\mu\text{m}$  程度の大きさの凹部が集まって形成されている。
- 2) 往復動摩擦摩耗試験において、pH が小さいほどプレート試験片が摩耗し、pH が大きいほどボール試験片が摩耗する傾向が見られた。

### 文献

- 1) 保坂・後藤・内潟・藤川・永吉・建石: ディーゼルエンジン燃焼ガスの凝縮液による銅系部材の腐食環境検討, 材料と環境, 65 巻 2 号, pp.59-66, (2016).
- 2) 社団法人 トライボロジー学会: 産業用車両の潤滑 -エンジン・油圧機器・パワートレイン・潤滑剤-, 養賢堂, pp.54, (2012).