

水素燃料内燃機関を想定した腐食試験とすべり軸受への影響
Study of the Effects on Plain Bearings in Corrosion Tests
Simulated Hydrogen Fuel Combustion Engines

大同メタル工業（正）*近藤 誠 大同メタル工業（非）川浦 紘樹
大同メタル工業（非）城谷 友保 大同メタル工業（正）辻本 健太郎
Makoto Kondo*, Hiroki Kawaura*, Tomoyasu Shiroya*, Kentaro Tsujimoto*
*Daido Metal Co., Ltd.

1. 緒言

2020 年 10 月、日本は「2050 年カーボンニュートラル」を宣言し、2050 年までに温室効果ガス排出を実質ゼロにするカーボンニュートラル（CN）を目指している。CN 達成のためには、CN 燃料を用いた取組みが重要である。その中でも内燃機関に使用する CN 燃料として水素燃料が注目されている¹⁾。

水素燃料内燃機関（H₂ICE）において、水素は燃焼に炭素を必要としないため、理想燃焼条件下では水分のみが生成される。しかし、実際のエンジン環境においては、燃焼によって高温となり、大気中の窒素の酸化により、窒素酸化物（NO_x）が顕著に発生することが報告されている²⁾。水素燃料は従来燃料よりも水分や NO_x の生成が顕著であるため、酸がエンジンオイル中に混入することにより、エンジンオイルと常に接触しながら使用されるすべり軸受が、腐食してしまうことが懸念される。すべり軸受が少量腐食した場合では、摺動特性の大きな低下は確認されていないが、過剰に腐食することにより、オーバーレイが脆くなり脱落し、摺動特性の低下やオイルクリアランス変化など、エンジンの焼付きの原因となる恐れがある。

これらより、エンジンオイル中に酸や水分が混入した際のオイル状態とすべり軸受の腐食の関係を把握することが重要であり、検証するための試験方法の確立が必要となる。

2. 試験方法

すべり軸受の腐食試験を実施するにあたり、水分や硝酸を添加して加熱することを考えた際、加熱により硝酸と水分が揮発し、試験容器の内部圧力が高まり、危険であると同時に、クランクケース内の圧力を容易に超えてしまうため、半開放型の装置が好ましいと考えた。そのため、城谷らがおこなった腐食試験方法³⁾を用いて、Fig.1 の方法にて腐食試験をおこなった。本試験において、すべり軸受を種々濃度の硝酸水溶液を添加した市販エンジンオイルに浸漬することで腐食試験を実施し、その際のオイル劣化とすべり軸受の腐食影響の分析をおこなった。

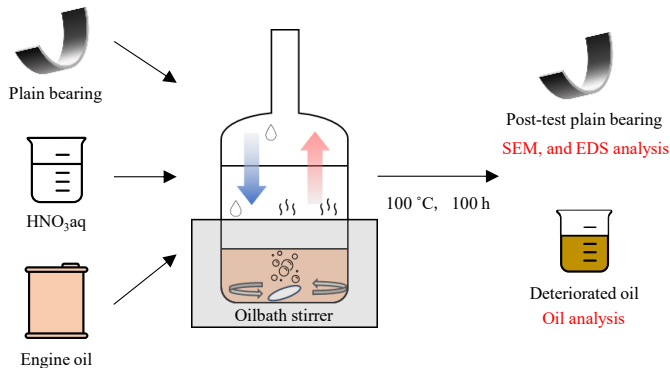
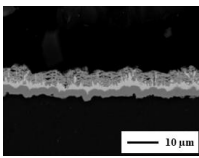
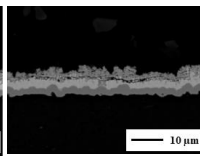
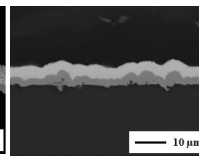
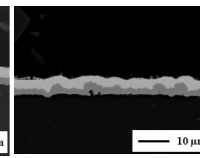
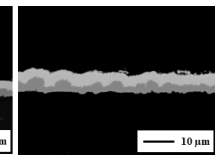


Fig. 1 Corrosion test procedures and equipment

Table 1 Conditions and results of corrosion tests

	A	B	C	D	E
Quantity of added HNO ₃ [g]	9.0	6.0	0	0.5	0.5
Quantity of added water [g]	10.5	10.5	0	127	170.0
Surface Oxygen concentration [wt%]	17.6	14.3	1.1	0.78	1.76
Cross-sectional SEM image [-]					

3. 試験結果と考察

3.1. 硝酸添加によるすべり軸受への影響

すべり軸受は、自動車エンジンで市場実績のある Bi/Ag オーバレイ付アルミ合金を用いて、各種水分添加量、硝酸添加量における腐食試験をおこなった。その結果を Table 1 に示す。

条件 A, B, C を比較すると、硝酸添加量の増大に伴い、表面酸素含有量と断面腐食深さは増加していることが確認された。これより、断面から確認された Bi オーバレイの腐食は酸化による腐食であると考えられる。条件 C, D, E を比較すると、水分添加量が増大しても、Bi オーバレイの腐食進行は確認されなかった。これらの結果より、Bi オーバレイの腐食は硝酸添加量と関係があることが示唆された。

これらの結果より、H₂ICE を高温・高荷重の環境といった、NO_x 排出量が多い環境で使用した場合、Bi オーバレイが腐食する可能性があることが確認された。

3.2. 硝酸添加によるエンジンオイルへの影響

上述より、硝酸の添加によりすべり軸受が腐食することが得られたが、その際のオイルへの影響を検討した。硝酸添加量を 0 g ~ 9 g、水分添加量を 0 g ~ 170 g と変化させ、腐食試験をおこなった。

Figure 2 は硝酸添加量とオイルの全塩基価 (TBN) の関係を示す。これより、硝酸添加量の増大により、TBN が減少しており、6 g を超える添加で顕著な減少が見られた。これは硝酸の添加による中和反応の結果と考えられる。

また、オイル中の金属元素の関係において水分添加量の増大により各種金属元素が減少していることが確認された。Ca は、主に清浄剤として多く用いられているため、水分添加により清浄作用が働き、減少したと考えられる。Zn は、主に極圧添加剤や清浄剤として用いられている。

水分は極圧添加剤を加水分解することが知られているため、水分添加により Zn が分解されたと考えられる⁴⁾。

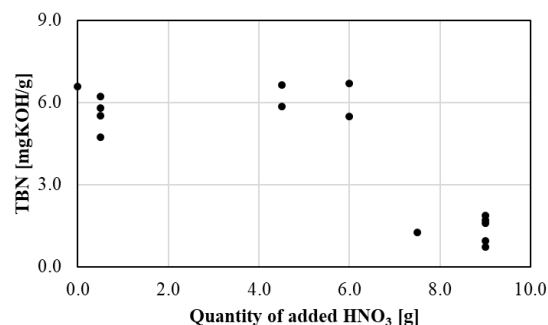


Fig. 2 Relationship between the quantity of added HNO₃ and TBN of oil after tests

3.3. 耐腐食性向上材を用いて腐食試験した際の影響確認

前節の結果を踏まえ、耐食性を向上させたすべり軸受材料である Bi 合金/Ag オーバレイ付きアルミニウム合金と、自動車エンジンで市場実績のある樹脂オーバレイ付きアルミニウム合金を用いて腐食試験をおこなった。試験条件としては、Bi/Ag オーバレイ付きアルミニウム合金の腐食が著しい条件 A を選定した。

試験結果より、Bi オーバレイの合金化により腐食の進行が抑制されていることが確認された。オイル成分は Bi/Ag オーバレイ付きアルミニウム合金を用いた腐食試験との変化は見られなかったため、Bi の合金化によって、腐食進行が抑制されたと考えられる。また、樹脂オーバレイ付きアルミニウム合金の外観は変化がなく、腐食が最小限に抑えられていることが確認された。

4. まとめ

本研究では、水素燃料内燃機関におけるすべり軸受の劣化状態を把握するため、腐食試験を実施した。硝酸をエンジンオイルに添加した場合、オイル中の TBN の低下と、Bi オーバレイの腐食が発生し、硝酸濃度を上げるとさらに進行した。また、水分を添加することで、Ca や Zn といったオイル添加剤成分の割合が低下していくが、Bi オーバレイの腐食は確認されなかった。オイル中の硝酸濃度が高くなる高温高負荷の過酷条件での H₂ICE では、Bi オーバレイの合金化や樹脂オーバレイの使用が適していることが示唆された。また、本腐食試験方法を用いて添加水溶液を調製することでオイルを意図的に劣化させることができることを確認した。

文献

- 1) Dong-Shuo Ma & Z.Y. Sun : Progress on the studies about NO_x emission in PFI-H₂ICE, International Journal of Hydrogen Energy, 45, 17 (2020) 10580.
- 2) Ramalingam, S., Rajendran, S., & Ganesan, P., "Performance improvement and exhaust emissions reduction in biodiesel operated diesel engine through the use of operating parameters and catalytic converter: A review", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 81, 2 (2018) 3215.
- 3) 城谷・川浦・近藤・渡辺：水素燃焼エンジンを模擬したオイル劣化環境下におけるすべり軸受に発生する腐食現象, 2024 トライボロジー会議秋名護予稿集, A14.
- 4) 大森・川村：潤滑油添加剤の基礎研究-鉄表面におけるりん系極圧添加剤の吸着と反応-, 28, 1 (1993) 25.