

D カーボンニュートラル燃料や電動化におけるパワートレイン系材料評価技術

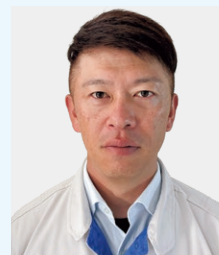
近年、自動車業界ではカーボンニュートラル社会の実現に向け、バイオ燃料、合成燃料、水素、アンモニアなどのカーボンニュートラル燃料（以下、CN 燃料とする）の活用が進んでおり、内燃機関を含む、多様なパワートレインの選択が一層求められている。これら CN 燃料は、従来の化石燃料とは異なる化学的・物理的特性を有することから、金属部品の耐食性、しゅう動部における摩耗特性、さらには樹脂・ゴム材料の劣化といった課題がある。いっぽうで、燃料の劣化による影響など、現時点では十分に顕在化していない課題や、長期信頼性に対する懸念も指摘されている。このような背景のもと、当社では各種特殊環境下における材料試験や実体部品の評価に取組むとともに新たな試験装置の導入や評価手法の開発を通じ、課題解決やメカニズム解明を進めてきた。さらに、電動化の進展に伴う駆動用モータの高速回転化に対しても、周辺部品の課題に着目した評価手法の検討を進めており、CAE 解析と組み合わせることで、より高度な評価を実施している。本項では、これらの評価技術の概要および適用事例について紹介する。



技術本部
材料ソリューションセンター
技術部 試験評価技術室
かまだ なおふみ
鎌田 尚史



技術本部
材料ソリューションセンター
技術部 ソリューション室
はらだ のりつね
原田 典恒



技術本部
材料ソリューションセンター
技術部 試験評価技術室
みた しんのすけ
味田 晋之介



営業本部
モビリティ営業部
第二営業室
しもだ だいさく
下田 大作

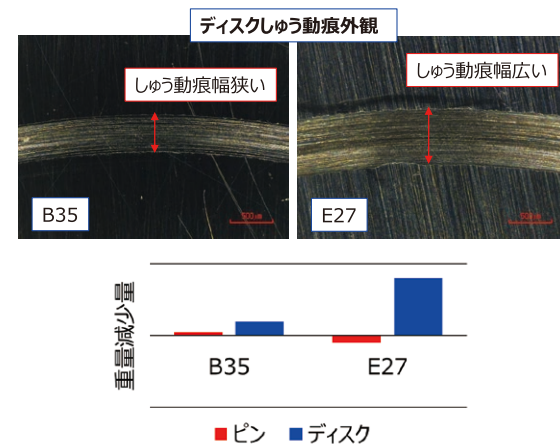
D-1 CN 燃料中のしゅう動特性評価

カーボンニュートラルの推進に伴い CN 燃料関連機器の開発が加速しており、中でも重要な課題の一つが「しゅう動特性」である。しゅう動特性は、荷重・速度・温度などの条件に加え、雰囲気によっても大きく変化するため、CN 燃料中のしゅう動部の評価はその環境中で実施する必要がある。つぎに CN 燃料としてバイオ燃料、水素ガス、アンモニアガス中のしゅう動特性評価事例を紹介する。

1.1 バイオ燃料中のしゅう動特性評価事例

バイオ燃料を満たしたチャンバ内にしゅう動試験機構を配置し、しゅう動試験を実施した。図 1 にバイオ燃料中（B35（バイオディーゼル）および E27（エタノール含有ガソリン））において、金属材料のピンオンディスク形態（ピン、ディスクともに鋼材）によるしゅう動試験を実施した結果を示す。E27 と比較し B35 の方が、ディスクのしゅう動痕幅は狭く摩耗量も少ない結果であり、バイオ燃料の成分や物性の違いが、しゅう動特性の差に繋がったと考える。なお、この試験形態はピンオンディスクを基本とするが、専用治具を作製することで、ボールなどピン以外の形状を用いた試験も可能である。

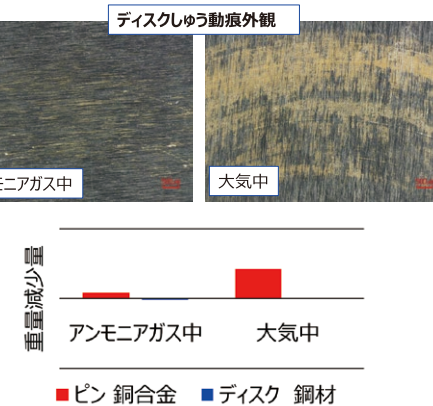
図 1 バイオ燃料中のしゅう動特性評価事例



1.2 アンモニアガス中のしゅう動特性評価事例

1.1 項と同じ試験機構を用いて、チャンバ内にアンモニアガスを充填し、しゅう動試験を実施した。図 2 にアンモニアガスおよび大気中で金属材料（ピン：銅合金、ディスク：鋼材）のしゅう動試験を実施した結果を示す。大気中と比較しアンモニアガスの方が、

図 2 アンモニアガス中のしゅう動特性評価事例



ピンの摩耗量は少なく、ディスクへのピン成分の移着も少ない傾向である。この結果の差に対して、しゅう動界面に吸着したガスの影響が一因として考えられる。このメカニズムは今後、表面分析などにより推測する。

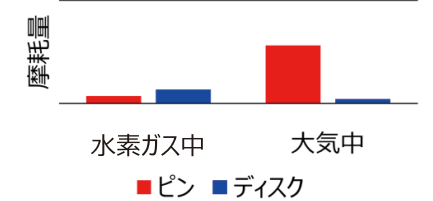
1.3 水素ガス中のしゅう動特性評価事例

当社で所有する「水素摩擦摩耗試験機」を用いて、水素ガス中でしゅう動試験を実施した。図 3 に水素ガスおよび大気中で①金属材料同士（ピン：銅合金、ディスク：鋼材）、②樹脂-金属材料（ピン：樹脂、ディスク：鋼材）のしゅう動試験をピンオンディスク形態にて実施した結果を示す。雰囲気や材料により摩耗量やピン成分のディスクへの移着程度が異なり、この特性の差にしゅう動界面に吸着した水素ガスの影響が一因として考えられる。

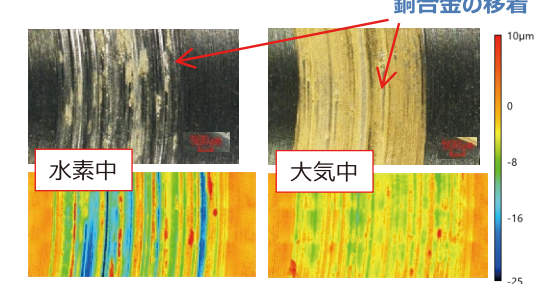
CN 燃料中のしゅう動試験事例より、各種雰囲気によってしゅう動特性が異なることが分かる。そのため、しゅう動部材の選定においては、実機と同じ雰囲気のもとで評価することが重要と考える。また、今回使用した試験システムは、その他の雰囲気についてもしゅう動試験を実施できる可能性がある。併せて、しゅう動試験後に各種表面分析を行うことで、その雰囲気特有のしゅう動メカニズムを推測することも可能である。

図 3 水素ガス中のしゅう動特性評価事例

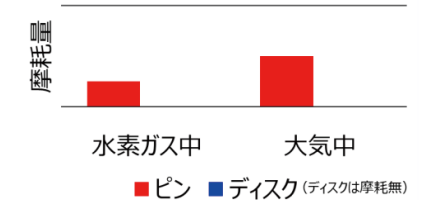
①銅合金ピン-鋼材ディスクのしゅう動試験事例



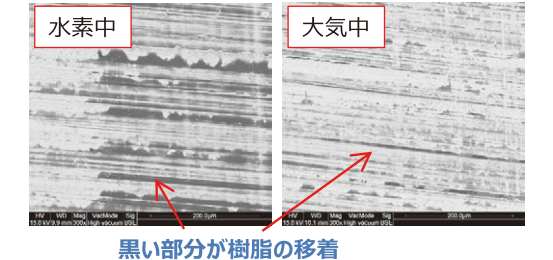
●ディスクしゅう動痕の外観・高さマップ



②樹脂ピン-鋼材ディスクのしゅう動試験事例



●ディスクしゅう動痕の反射電子像



D-2 樹脂・ゴムのバイオ燃料環境下での劣化評価

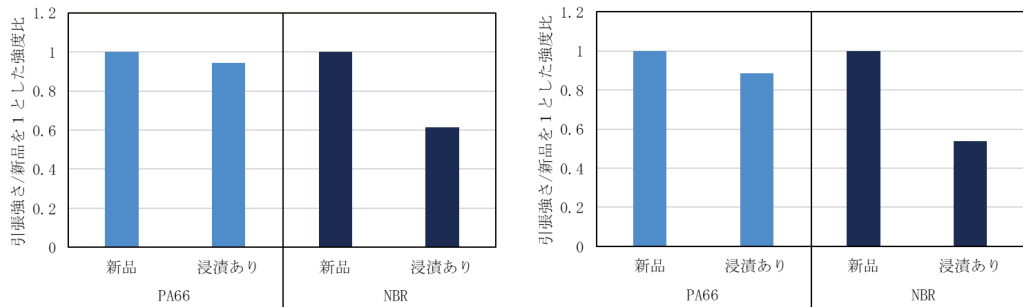
従来の化石燃料よりも炭素排出量を低減可能なバイオ燃料の利用が海外各国で取り入れられ、バイオ由来物質の混合率が増加している。バイオ燃料では、ガソリンに混合して利用されるバイオエタノール、軽油に混合して利用されるバイオディーゼルなどがあり、バイオディーゼルには脂肪酸メチルエステル（FAME：Fatty Acid Methyl Ester）、水素化植物油（HVO：Hydro-treated Vegetable Oil）がある。バイオ燃料を使用するにあたり影響の大きいエンジン部材の耐久性を検証する必要があるが、ここでは、バイオ燃料下での樹脂・ゴムの劣化評価を行った事例を紹介する。

図 4 に燃料浸漬試験の状況を示す。燃料の加熱や試験片の分解反応により、ガスの発生、圧力上昇の可能性があることから、ここでは、圧力容器内に燃料と試験片を装填し、その周りを加熱し

図 4 燃料浸漬装置と浸漬状況



図5 燃料浸漬試験結果(左：E27、右：B35)



ながら試験を実施している。ガソリンにエタノールを27%混合した燃料E27、軽油にPME(パーム油メチルエステル)を35%混合したバイオディーゼルB35中にPA66(ポリアミド66)、NBR(ニトリルゴム)試験片を70℃で所定の時間浸漬した。図5に燃料浸漬試験結果を示す。燃料への浸漬により引張強さが低下す

ることが確認され、これら樹脂・ゴムを燃料に触れる部位で使用する際に強度低下が起こることが懸念される。浸漬試験片において体積変化が起こっており、燃料の樹脂、ゴム内部への浸入による膨潤と考えられ、分子間力の低下により引張強さが低下したと推察する。

D-3 バイオ燃料の劣化評価

バイオ燃料において、ガソリンにはバイオエタノール、軽油にはFAME(脂肪酸メチルエステル)などを混合している。これらバイオ燃料の使用時あるいは保管時の劣化について把握しておくことも必要となる。そのため、ガソリンにエタノールを27%混合した燃料E27、軽油にPME(パーム油メチルエステル)を35%混合したバイオディーゼルB35に水、オレイン酸、銅板を添加し、オートクレープを用いて熱処理を行い、各特性値の劣化度合いを評価した。FAMEは、水の添加によって脂肪酸に分解される可能性があり水を添加した。オレイン酸はFAMEを構成する脂肪酸の中で最も代表的な脂肪酸であり、加水分解によってFAME自身から生成される可能性がある。銅は酸化触媒作用が知られており添加した。熱処理条件は、E27系は70℃/480時間、B35系は100℃/240時間とした。

E27系の試験結果を図6に示す。銅および水を添加したE27を70℃/480h加熱すると、顕著に銅濃度が高まり、かつ、pHが顕著に低下し、酸価も著しく増加した。いっぽう、同様に銅および水を添加したガソリンでは、70℃/480h加熱しても銅の溶出は検知されず、pHは顕著に低下したが、酸価の増加は僅かであった。以上の結果より、E27はガソリンよりも銅(酸化触媒)の溶解性が非常に高いことが分かった。その結果として、E27に水および銅を加えると、エタノールの酸化が促進され、酸価の増加(酢

酸化)が進んだことが考えられる。上記の差異は、ガソリン成分(主に脂肪族炭化水素)に比べて、エタノールの方が酸化(酢酸化)し易いことにもよると考えられる。

B35系の試験結果を図7に示す。B35を100℃/240h加熱すると、酸価および動粘度が増加した。水およびオレイン酸を単独で添加した場合は、動粘度に無添加と明確な差異は認められなかった。水およびオレイン酸を添加したB35を100℃/240h加熱すると、酸価および動粘度が増加した。また、銅(酸化触媒)の添加による不飽和結合の減少度合い(酸化)をヨウ素価で調べたが、変化が認められず、添加している酸化防止剤が影響した可能性がある。

図6 E27系燃料の加熱試験結果

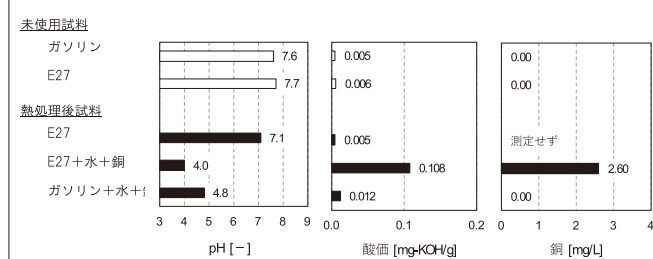
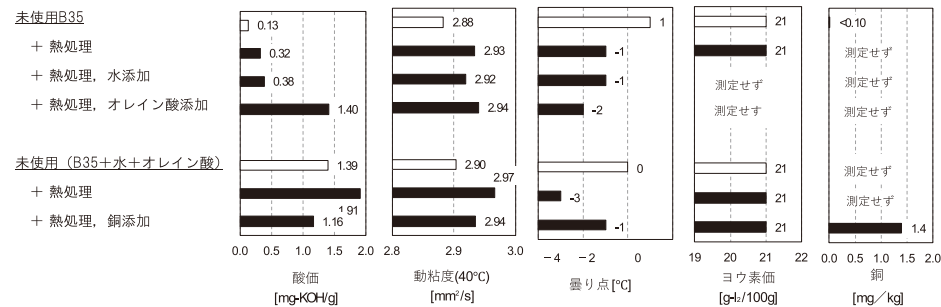


図7 B35系燃料の加熱試験結果



D-4 高速回転試験

内燃機関以外のカーボンニュートラルに向けた取組として電動化があり、高速回転化が進む駆動用モータの周辺部品は、高速負荷に曝されることによる様々な課題がある。その一つとして、過大な遠心力による変形や、高速しゅう動による損傷などが挙げられ、後者は減速機ギヤやベアリングなどしゅう動部を受け持つ部品が対象となる。当社では様々な容量のモータを活用し、試験部周りをより実体に近い構成とした回転試験装置を組み上げ種々の評価を行っている。ギヤやベアリングは転がり要素を持つため、ここでは高速で回転する部品の転がりによるしゅう動特性に着目し評価を行った。

試験は対象部品に対して、一定量のラジアル荷重を負荷し、潤滑油を連続供給しながら高速および低速下での回転試験を実施した。回転数は高速試験で15000rpm、低速試験で3000rpmとし、しゅう動履歴を等価として損傷程度を比較評価するため、低速試験時の時間は高速試験の5倍とした。回転試験時のトルク波形の時間推移を図8に、試験面の表面SEM観察、EPMA元素マッピング分析結果を図9に示す。高速試験の方が試験時に発生するトルクは高い傾向であり、試験面の損傷程度も大きい(高速ほど微小剥離が多い)。

しゅう動部の固体接触領域は高速試験の方がより高いせん断力を受けたと考える。また、しゅう動面表層のEPMAによる元素マッピング分析結果より、低速試験の方がPは濃化している様相が見られ、これは潤滑油に含まれる添加剤成分であり、部品材

図8 回転試験結果(上段：高速回転、下段：低速回転)

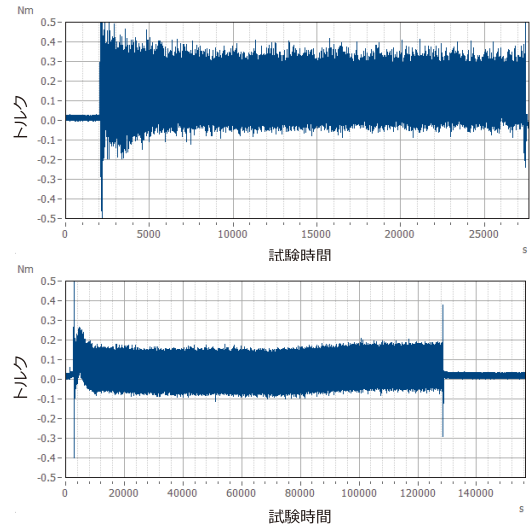


図9 しゅう動面のSEM観察とEPMA元素マッピング分析結果

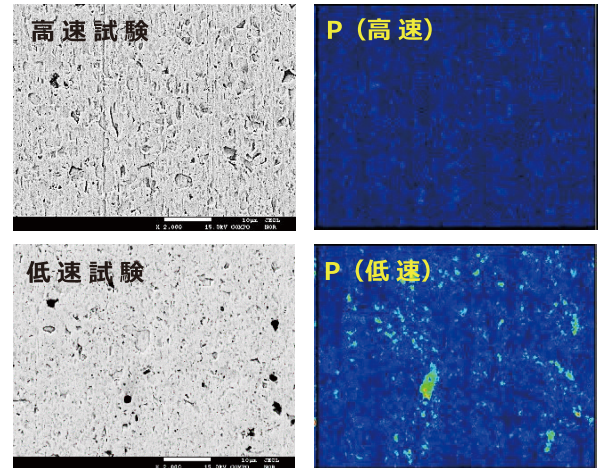
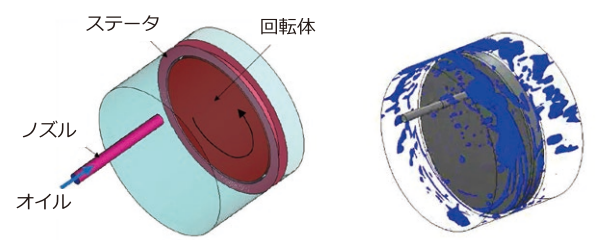


図10 回転試験時における潤滑油の挙動解析



本稿で紹介した評価技術は、モビリティ分野のカーボンニュートラルの実現に向けて極めて重要な役割を果たすものであり、顕在化する課題の解決に加え、長期信頼性に関わる潜在的リスクの把握に寄与すると考える。今後、カーボンニュートラルの実現に向けた動きは、さらに加速すると見込まれる中、当社は、材料試験、実験、解析の多方面からアプローチし、評価技術の高度化を図っていく。これらにより多様化するパワートレインに対する信頼性の向上および、最適な技術選定を支えるパートナーとして、持続可能なモビリティ社会の実現に貢献していく所存である。