

水素エンジンにおけるピストンリングのしゅう動特性評価 Evaluation of sliding performance of piston rings in hydrogen engines

リケン（正）*佐藤 雅之 日本ピストンリング（非）レンツ まりの リケン（非）岩倉 昂
リケン（非）渡辺 良成 リケン（正）臼井 美幸樹 日本ピストンリング（非）安藤 肇
Masayuki Sato*, Marino Lenz**, Takashi Iwakura*, Yoshinari Watanabe*, Miyuki Usui*, Hajime Ando**

*RIKEN CORPORATION, **NIPPON PISTON RING CO., LTD.

1. はじめに

近年の社会的な重要課題である脱炭素社会の実現に向けて水素の利活用が注目されており、運輸部門では水素エンジン車の開発も進められている¹⁾。水素エンジンでの課題の1つとして、燃焼により発生する水分量が化石燃料に比べ多いことがあげられる。油中に水分が混入することでエマルジョン化が進む²⁾ため、しゅう動部品への悪影響（摩耗量の増加や皮膜の剥離）が懸念される。本稿では、単体試験にて油中水分量がピストンリング（以下、リング）の外周 PVD 皮膜のしゅう動特性に与える影響を確認した。エマルジョン条件下の耐摩耗性、耐剥離性の変化について報告する。

2. 実験方法

評価皮膜は CrN および CrN に Si を添加した CrN-Si の 2 水準とした。この CrN-Si はナノレベルの膜構造を新たに設計し、ナノコンポジット化した皮膜である³⁾。Si の添加により、固溶強化と析出強化（添加元素の窒化物）、および結晶粒の微細化により、皮膜の耐力を向上している。

耐摩耗性の評価は横型往復動試験機を用いて、ストローク 50mm、荷重 200N、平均しゅう動速度 1.67m/s、試験時間 10h、シリンダ材温度 80℃で実施した。耐剥離性の評価は Fig.1 のすべり疲労試験機により評価した。荷重は 20N~80N の振幅荷重（50Hz）、ドラム材には SUJ2 を用い、回転速度を最高しゅう動速度 10m/s の台形パターンで 5 サイクル、温度 80℃で実施した。いずれの評価も潤滑剤には市販のエンジンオイル（SAE 0W-20, Mo-DTC なし）を用い、オイルに純水を 30vol.%まで添加し攪拌してエマルジョン化させながらしゅう動部へ供給した。評価リングには外周に前述の皮膜を成膜したトップリングを用いた。

3. 実験結果

Figure2 に耐摩耗性評価結果を示す。純水添加なしでの CrN 皮膜の摩耗量を 1 とした。純水の添加がない場合、CrN と CrN-Si の摩耗量は同等だった。一方、純水を添加した場合、CrN と CrN-Si ともに摩耗量が増加した。摩耗量は CrN-Si が CrN に比べ約 40%少ない。なお、シリンダ摩耗も純水添加により増加したが、皮膜間の差は確認されなかった。Figure3 は評価終了前 1hr での平均化した静摩擦係数である。どちらの皮膜においても純水を添加することで摩擦係数が増加した。摩耗量および摩擦係数が増加したことから、油膜切れの発生や添加剤の働きに変化が生じていると考えられる。しかし水分が入ることにより粘度は増えるため⁴⁾、油膜切れの可能性は低い。そこでトップリング（CrN, CrN-Si）と各シリンダのしゅう動面の表面分析を行い、純水添加量による添加剤への影響を確認した（Fig.4）。いずれのしゅう動面からも ZnDTP 由来と考えられる Zn が検出された。純水の添加有無で比較すると、純水添加によりシリンダ表面では Zn が減少し、リング表面では増加した。Figure5 は皮膜に CrN を用いた場合の各しゅう動面の X 線光電子分光法（XPS）による深さ方向分析結果である（深さは SiO₂ 換算値、下段は低濃度範囲の拡大）。純水添加なしに比べ純水を添加した場合、リングしゅう動面では Fe や Zn, P, S が多い。一方シリンダしゅう動面では Zn, P, S が少ない。このことから純水を添加した場合、シリンダでは P や S 由来の反応膜の形成が阻

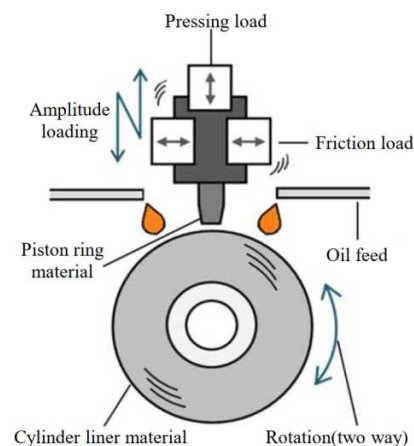


Fig.1 Peeling resistance

evaluation apparatus

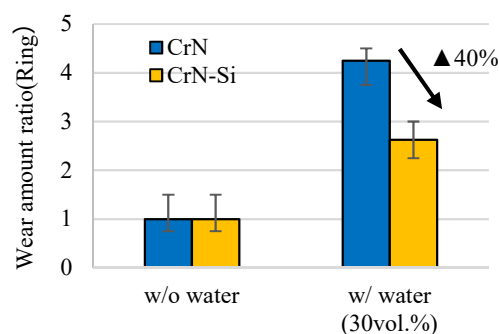


Fig.2 Wear amount ratio

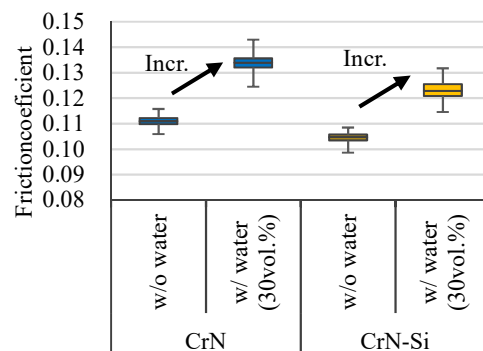


Fig.3 Friction coefficient

と、純水添加によりシリンダ表面では Zn が減少し、リング表面では増加した。Figure5 は皮膜に CrN を用いた場合の各しゅう動面の X 線光電子分光法（XPS）による深さ方向分析結果である（深さは SiO₂ 換算値、下段は低濃度範囲の拡大）。純水添加なしに比べ純水を添加した場合、リングしゅう動面では Fe や Zn, P, S が多い。一方シリンダしゅう動面では Zn, P, S が少ない。このことから純水を添加した場合、シリンダでは P や S 由来の反応膜の形成が阻

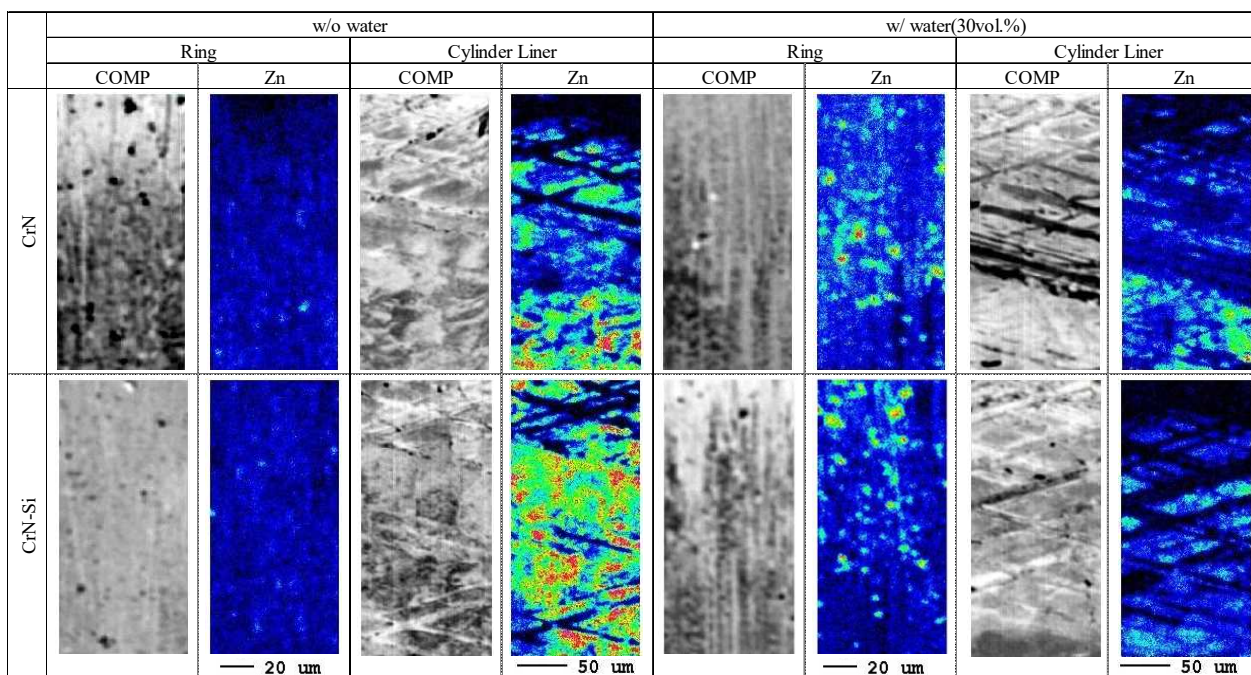


Fig.4 Surface analysis by EPMA

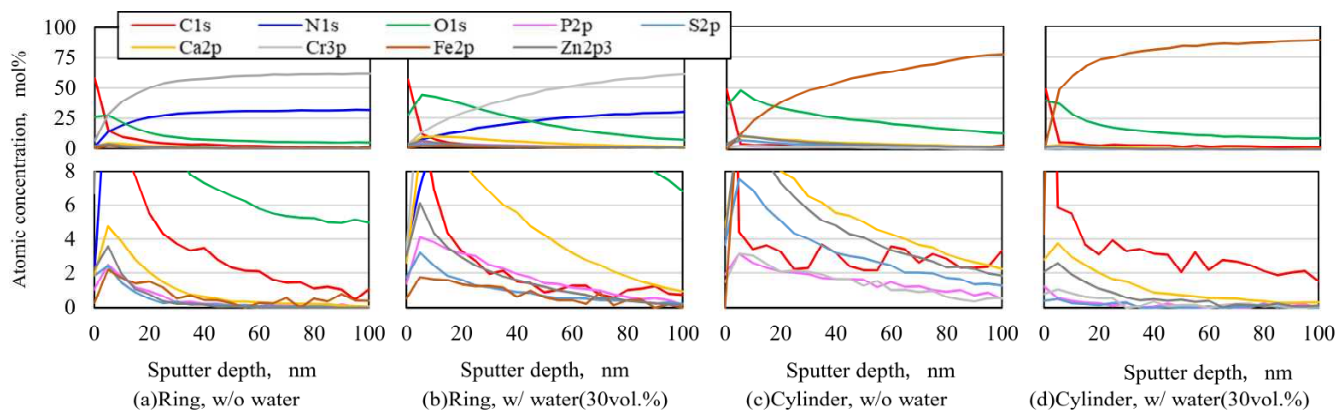


Fig.5 Depth profile by XPS

害されることによりシリンダ摩耗が増加し、摩耗したFeのリング表面への移着が増え、FeとPやSとの反応膜が形成されることが示唆される。シリンダ表面の反応膜形成の阻害要因としては、純水添加によるオイルや添加剤の加水分解や、水による冷却等で添加剤の機能が変化した可能性が考えられる。また今回、エマルジョン化により油中に沈殿物が生じることが確認されており、この沈殿物のしゅう動に対する影響について確認が必要である。

次に Fig.6 に耐剥離性評価結果を示す。CrN は純水の添加がなくても亀甲状のクラックが生じ、純水が増えると剥離が発生する。CrN-Si では純水の有無によらず損傷は確認できず、耐剥離性が高い。CrN の損傷は、前述の添加剤の機能変化によるしゅう動抵抗の増大が要因と考える。一方 CrN-Si は耐力向上の効果が現れたと考える。

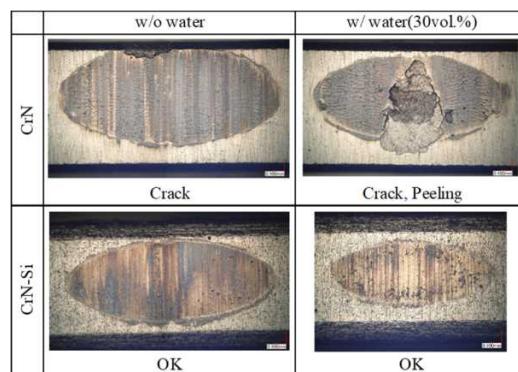


Fig.6 Result of peeling resistance

4. まとめ

- 油中水分量の増加は、CrN 系のピストンリングおよびシリンダしゅう動面の反応膜の形成に影響を及ぼす。
- CrN-Si は水分量に関係なく耐摩耗性・耐剥離性に優れる。

文献

- 1) 檜山他: 重量車用ポート噴射式水素エンジンの開発に関する研究, JSAE 学術講演会予稿集, No.20235384, 1-6(2023)
- 2) 山田: 水素エンジン開発はこうして始まった, JSAE 2022 年シンポジウム, No.20224659, 10-19(2022)
- 3) 斉藤他: ピストンリング及びその製造方法, 特許第 7085692 号 (2022)
- 4) 中原: エマルジョンの流体潤滑機構, トライボロジスト, 第 40 巻 第 8 号, 644-649(1995)