

ZnDTPおよびすす混合潤滑油における炭素鋼の異常摩耗と窒化クロムによるその抑制

Abnormal wear of carbon steel in ZnDTP and soot mixed lubricant and its suppression by CrN coating

川田 尚史^{※1}

Takashi KAWATA

耐摩耗剤である ZnDTP が配合された潤滑油に自動車エンジンで発生するすすの代用であるカーボンブラックを混合すると、鉄鋼材料が著しく摩耗する現象が報告されている。当社においては、タイミングシステムのしゅう動部の摩耗を抑制するため種々のコーティングを開発中であるが、上記潤滑油中でのコーティングの摩耗に関する報告はない。そこで、これら摩耗について研究し、鉄鋼材料に窒化クロムを皮膜することで、摩耗を大幅に抑制できることを明らかにした。

It has been reported that when carbon black, which is a substitute for soot generated in an automotive engine, is mixed with a lubricating oil containing ZnDTP, which is an abrasion resistant agent, the steel material is significantly worn. We are developing various coatings to suppress the wear of the sliding part of the timing system, but there is no report on the wear of the coating in the above lubricating oil. Therefore, we studied these wears and clarified that the wear can be significantly suppressed by coating the steel material with chromium nitride.

エコロジー訴求点と 顧客メリット

- ①省資源化
- ②製品寿命向上

1. はじめに

近年、省燃費化に向けて自動車エンジン内のフリクションロス低減を目的に潤滑油は低粘度化の傾向にあり、その背反として生じるしゅう動部材の摩耗を抑制することが重要な課題となっている。一般的な摩耗抑制対策としては、潤滑油にジアルキルジチオリン酸亜鉛（以下、ZnDTP）などの耐摩耗性に優れた添加剤を活用することや、しゅう動部材へのハードコーティングが用いられている。当社においても、自動車エンジンのカム軸を駆動するタイミングシステムのしゅう動部の摩耗抑制は重要な課題であり、その対策としてさまざまなハードコーティングを開発中である。

一方、摩耗を促進する要因としては潤滑油の低粘度化のほかに、燃料の不完全燃焼により発生するすすも軽視できない。すすによるエンジン部品の摩耗の現象としては、表面のアブレシブ摩耗¹⁾、すすがしゅう動部付近に堆積することによるオイルスタベーション²⁾など、いくつか報告されている。近年ではその中の一つに、耐摩耗

剤である ZnDTP が配合された潤滑油に、すすの代用として耐久試験でよく利用されるカーボンブラック（以下、CB）を混合すると鉄鋼材料が著しく摩耗する現象が Olomolehin らによって報告されている³⁾。しかしながら、同条件におけるハードコーティングの摩耗については報告されていない。

そこで当社では ZnDTP とすす混合潤滑油における鉄鋼およびハードコーティングの摩耗を研究してきた。その結果、鉄鋼材料のこの異常摩耗がある種の腐食を主要因とした摩耗であることを推定し、さらに当社で開発中のいくつかのハードコーティングでこの摩耗を抑制できること、中でも窒化クロムコーティングが最も摩耗を抑制することを明らかにした。本稿ではこれら研究内容の一部を報告する。

2. 添加剤の耐摩耗性向上作用

前述の ZnDTP は添加剤の中では極圧剤の一種である。極圧剤はしゅう動面で金属面（鉄または酸化鉄）と化学反応し、添加剤中の元素と鉄との化合物からなる無機化合

※ 1 技術・開発担当 研究開発部

物の膜（以下、トライボフィルム）を生成し、それがしゅう動部材同士の結合を防ぎ、摩耗や、焼き付きを防止する。これらの概念図を図1に示す。また、焼き付き防止より摩耗防止作用が優れているものを耐摩耗剤と呼ぶことが多い。極圧剤の金属面との化学反応は摩擦により進行する反応で、その駆動力は摩擦熱による温度上昇と摩耗により生成される新生面の活性である。その反応性が適当であることが必要で、反応性が増すと凝着摩耗は減少するが、反応性が高すぎると腐食摩耗をもたらす。極圧剤の反応性と摩耗との関係性は図2の概念図で示される⁴⁾。

3. 実験方法

3.1 摩耗試験装置・試験方法

摩耗の評価には図3に示すピンオンプレート型往復しゅう動試験機を使用した。ピン（直径3mm、長さ5.5mm）の円筒面に対して接触したプレート（幅4mm、長さ8mm、高さ5mm）を潤滑油中でしゅう動させた。ピンは炭素鋼製のピン（以下、鉄鋼ピン、ビッカース硬さ600HV）および炭素鋼上に窒化クロムをコーティン

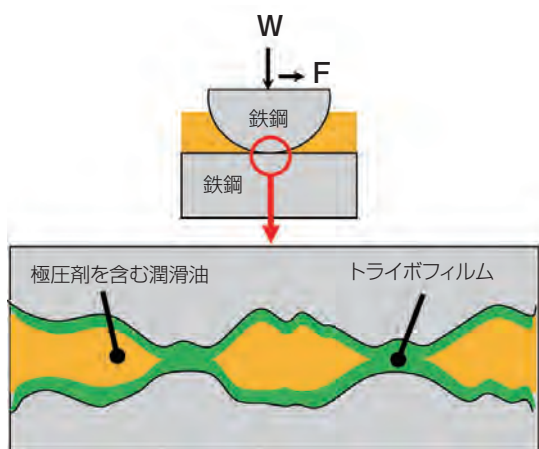


図1. 極圧剤の摩耗防止作用の概念図

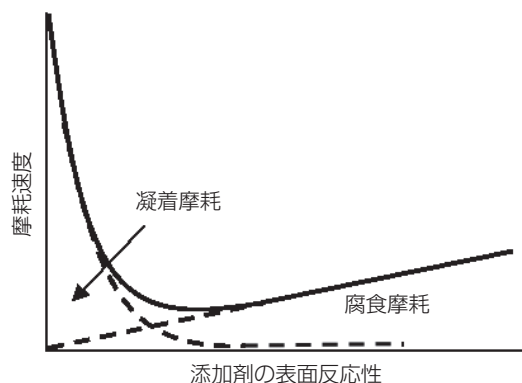


図2. 極圧剤の反応性と摩耗の関係性の概念図

グしたピン（以下、CrN ピン、ビッカース硬さ1300HV）、プレートには炭素鋼（以下、鉄鋼プレート、ビッカース硬さ550HV）を使用した。

試験は、垂直荷重15N、油温度95℃、しゅう動幅4mm、サイクル速度200cycle/min、で6時間行った。潤滑油は基油（以下、BO）のみ、BO + ZnDTP、BO + CB および BO + ZnDTP + CB の4種類を使用した。

3.2 比摩耗量の算出

ピンの摩耗体積を共焦点レーザー顕微鏡の3次元計測を用いて算出した。この摩耗体積を、すべり距離および垂直荷重で除して比摩耗量を算出した。

3.3 表面分析

走査型電子顕微鏡（SEM）で摩耗面を観察し、エネルギー分散型X線分析（EDS）で摩耗面上の元素の分布を、X線光電子分光法（XPS）で摩耗面上の元素の結合状態を、オージェ電子分光法（AES）で摩耗面上から深さ方向への元素濃度分布を測定した。これらの結果から、ZnDTP由来のトライボフィルムの生成の有無および状態を評価した。

4. 実験結果

4.1 各潤滑油中の鉄鋼ピンおよびCrNピンの比摩耗量

各潤滑油条件下における鉄鋼ピンおよびCrNピンの

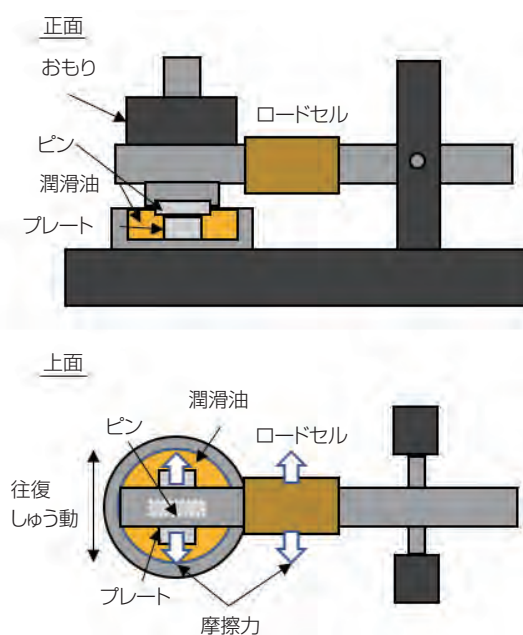


図3. 摩耗試験機の模式図

比摩耗量を図4に示す。いずれの潤滑油条件においてもCrNピンは鉄鋼ピンよりも比摩耗量は低い値を示した。鉄鋼ピンの比摩耗量は、BOに対してBOにCBのみが含まれる潤滑油で約30倍に、ZnDTPおよびCBが共存して含まれる潤滑油で約200倍に急増し、本試験においてもCBによる摩耗の増加、およびCBとZnDTPの共存による著しい摩耗の増加が確認された。対して、CrNピンはこれら条件下においても比摩耗量は3倍および11倍にとどまり、鉄鋼ピンに対して、優れた摩耗抑制効果を有することが確認された。

4.2 各潤滑油中の鉄鋼ピンおよびCrNピンの摩擦係数

摩擦係数はしゅう動部の潤滑の状態を把握するための指標の一つである。そこで、各潤滑油条件下における鉄鋼ピンおよびCrNピンの試験中の摩擦係数の平均値を比較した。その結果を図5に示す。いずれの潤滑条件においてもCrNピンは鉄鋼ピンよりも低い値を示した。

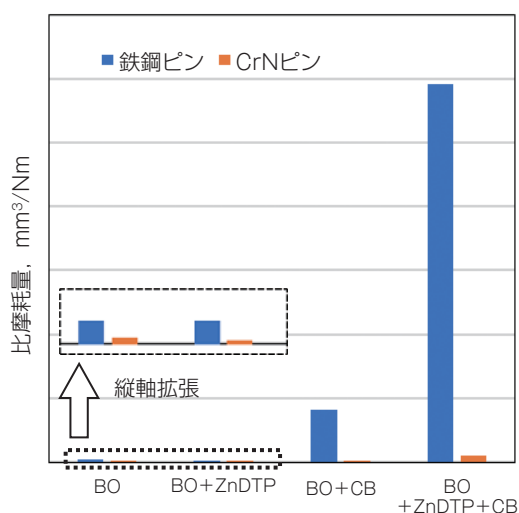


図4. 潤滑油毎の鉄鋼およびCrNピンの比摩耗量

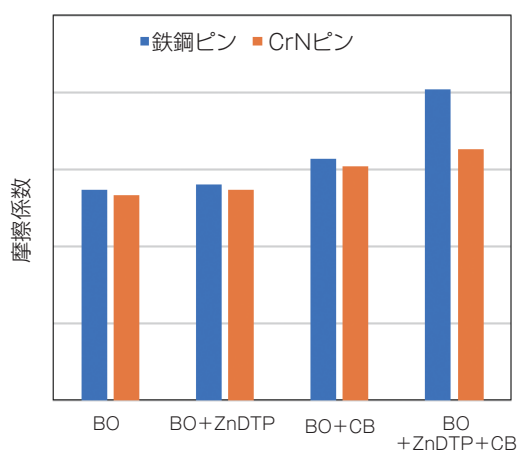


図5. 潤滑油毎の鉄鋼およびCrNピンの摩擦係数

潤滑油毎では、鉄鋼ピンおよびCrNピンともにBOとBOにZnDTPのみを含む潤滑油では大差なく、これらに対して、CBのみ含むオイルでも約1.1倍の微増にとどまる傾向が見られた。しかしながら、ZnDTPとCBともに含む潤滑油では、鉄鋼ピンはベースオイルに対し約1.5倍と大きく増加するのに対し、CrNは約1.2倍でその変化率は小さい。この理由としては、鉄鋼ピンはBOにZnDTPとCBを含んだ潤滑油とその他のオイルでは潤滑の状態が異なるのに対し、CrNピンは潤滑の状態の変化が小さいためと予想した。

4.3 比摩耗量の温度依存性

Olomolehinらは炭素鋼同士の摩耗において、CBとZnDTPがともに含まれる潤滑油を用いた場合の異常摩耗の現象として、ZnDTPによって生成したトライボフィルムがCBによって取り除かれ、このサイクルが継続的に生じるいわゆる腐食-アブレイシブ摩耗と提唱している³⁾。本研究においても前述の通り、ZnDTPおよびCBが共に含まれる潤滑油において増加率は異なるものの、鉄鋼ピンおよびCrNピンともに比摩耗量が増加した。また、摩擦係数も増加した。これらの現象も腐食-アブレイシブ摩耗によるものであれば、ZnDTPによる鉄鋼表面へのトライボフィルムの形成は化学反応を伴うため、温度依存性があると考えられる。そこで23℃および95℃におけるピンの比摩耗量を評価した。その結果を図6に示す。鉄鋼ピンにおいては23℃に比べ95℃の比摩耗量は約4.4倍に増加し、顕著な温度依存性が認められた。一方、CrNピンは23℃に対する95℃の比摩耗量は1.1倍と大差なく、明確な温度依存性は認められなかった。

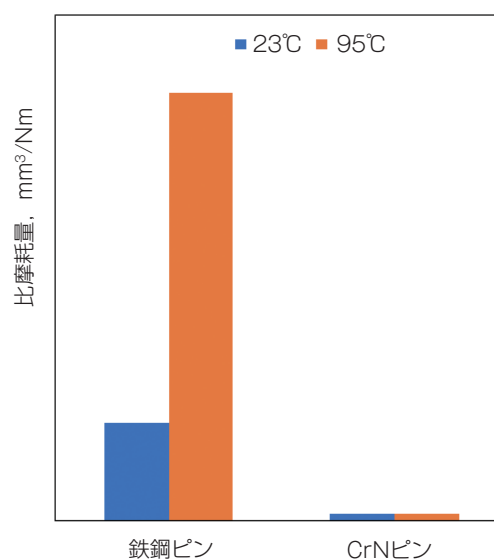


図6. 比摩耗量の温度依存性

これより、本研究においても鉄鋼ピンにおいては腐食－アブレシブ摩耗が生じること、および窒化クロムコーティングでこの摩耗は抑制されることが示唆された。

4.4 トライボフィルム生成の有無

CrN のコーティングにより、腐食－アブレシブ摩耗が抑制された現象を解明するにはトライボフィルム生成の有無の確認が重要と考え、各潤滑油条件下で試験した後の摩耗面成分を分析した。

鉄鋼ピンの結果を図 7 に示す。BO に ZnDTP のみ含む潤滑油では、摩耗痕内に ZnDTP 由来と考えられる成分のリン (P)、硫黄 (S)、亜鉛 (Zn) が検出された。これよりトライボフィルムが形成したと推定する。一方、BO に ZnDTP と CB が含まれる潤滑油では、摩耗痕にトライボフィルムの痕跡は認められなかった。これは、摺動中に摩痕内に生成した ZnDTP 由来のトライボフィルムが、即座に CB によるアブレーション部摩耗によって取り除かれるためと推察する。

次に CrN ピンの結果を図 8 に示す。CrN ピンも鉄鋼ピンと同様、ZnDTP のみ含む潤滑油では、摩耗痕内に ZnDTP 由来と考えられる成分のリン (P)、硫黄 (S)、亜鉛 (Zn) が検出され、ZnDTP と CB を含む潤滑油ではトライボフィルムの痕跡は認められなかった。しかしながら、CrN ピンに関しては、摩耗痕内に検出されたリン、硫黄、亜鉛は、相手材である鉄鋼プレートのしゅう動面に生成した ZnDTP 由来のトライボフィルムが移着したものである可能性もある。そこで、鉄鋼プレート

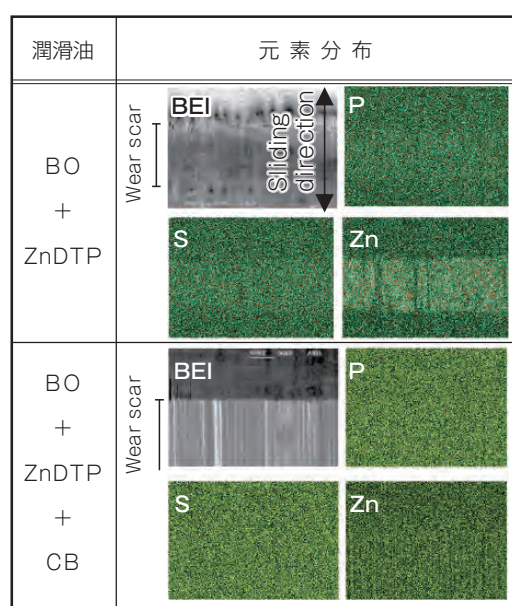


図 7. 鉄鋼ピンおよび鉄鋼プレートでしゅう動試験後の鉄鋼ピン摩耗痕上の ZnDTP 成分の分布

にも窒化クロムをコーティングした CrN プレートと CrN ピンを同条件で試験し、試験後の CrN ピン摩耗面成分を分析した。その結果を図 9 に示す。この試験の CrN ピンの摩耗痕内においても ZnDTP 由来と考えられる成分が検出された。これより、CrN ピン摩耗面においても ZnDTP 由来のトライボフィルムが生成し、それらが CB によって取り除かれていると考えられる。

4.5 CrN 摩耗面のトライボフィルムの化学結合状態

CrN ピンも鉄鋼ピンと同様に摩耗面に ZnDTP 由来成分のトライボフィルムが生成していたため、トライボフィルムの有無では CrN コーティングにより腐食－アブレシブ摩耗が抑制された現象を解明できなかった。そこで、さらにトライボフィルムの構造を理解することが重要と考え、CrN ピン摩耗痕の状態分析および表面から深さ方向の元素分布を測定した。その結果を図 10 および 11 に示す。図 10 のスペクトル波形より、BO に

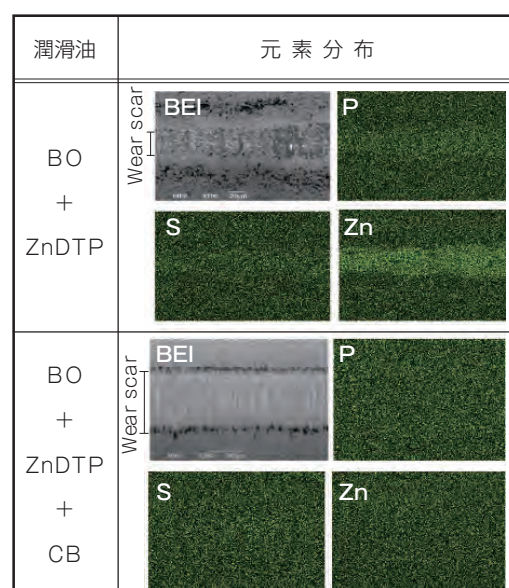


図 8. CrN ピンおよび鉄鋼プレートでしゅう動試験後の CrN ピン摩耗痕上の ZnDTP 成分の分布

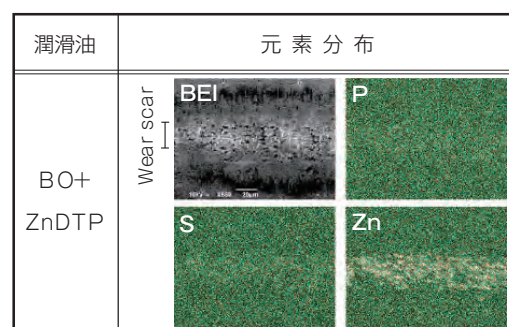


図 9. CrN ピンおよび CrN プレートでしゅう動試験後の CrN ピン摩耗痕上の ZnDTP 成分の分布

ZnDTP のみ含む潤滑油の CrN 摩耗痕に確認されたトライボフィルムは、リン酸類、硫化物、Zn (II) [候補: ZnO, ZnS, Zn₃(PO₄)₂] で構成されていることが分かった。クロムについては CrN の他 Cr (III) [候補: Cr₂O₃, Cr₂S₃] の状態で存在しているが、これは摩耗痕

内外および BO に ZnDTP および CB が共に含まれる潤滑油でも同様に確認された。

図 11 の各元素の濃度分布より、BO に ZnDTP のみ含む潤滑油では、表面近傍に主にリンおよびクロムが分布し、その下には硫黄および亜鉛が分布し、さらにその下にはクロム、窒素および酸素が分布していた。BO に ZnDTP および CB を共に含む潤滑油では、最表層に酸素や炭素が検出されたものの、その下に検出された元素は Cr と N のみであった。化学結合状態と合わせて、CrN 摩耗面に生成するトライボフィルムは、最表層にリン酸類が形成し、その下に硫化亜鉛 (ZnS) が形成し、さらにその下には CrN と Cr₂O₃ が混在した構造を有していることがわかった。

5. 考察

ZnDTP を含む潤滑油中における鉄鋼材料表面のトライボフィルム形成メカニズムや構造については、種々の研究が進められている。Smith ら (1999) は、最表層にリン酸塩 (PO₄³⁻) が形成し、その下には鉄基材上に ZnS、ZnO、FeS および FeO が存在していると提唱している⁵⁾。このトライボフィルム形成メカニズムおよび本研究結果より考えた BO に ZnDTP のみ含む潤滑油および BO に ZnDTP と CB を含む潤滑油中における鉄鋼ピンの摩耗モデルを図 12 に示す。

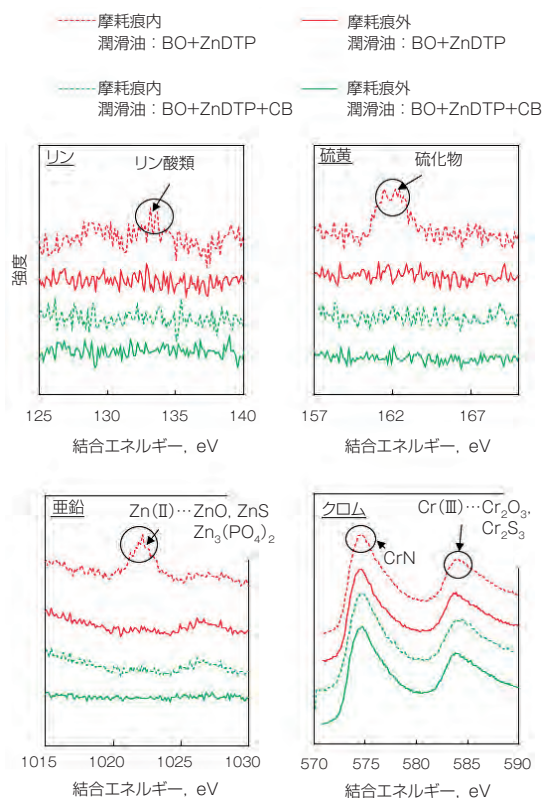


図 10. CrN ピン摩耗痕内外のリン、硫黄、亜鉛、クロムの XPS スペクトル

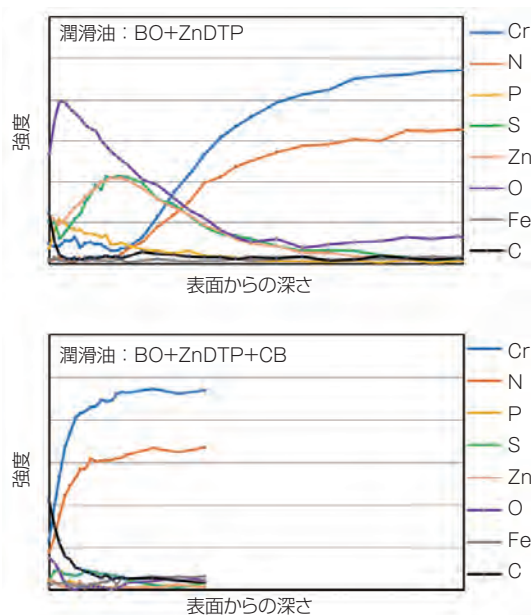


図 11. CrN ピン摩耗痕の表面から深さ方向への元素濃度推移

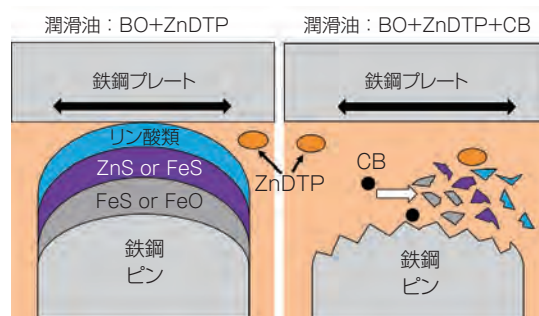


図 12. 鉄鋼ピンの摩耗モデル

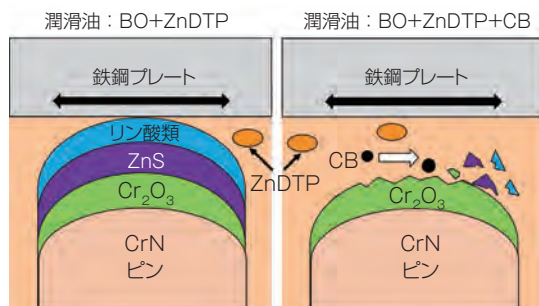


図 13. CrN ピンの摩耗モデル

また本研究結果より考えた CrN ピンの摩耗モデルを図 13 に示す。

BO に ZnDTP および CB を含む潤滑油における鉄鋼ピンの摩耗は、上記の FeS や FeO が CB によって取り除かれ新生面 (Fe) が露出し、その面が ZnDTP 由来成分と反応し、再び FeS や FeO に変化する。そして、このサイクルが継続的に繰り返されることで Fe が減少していく、つまり冒頭より述べている腐食 - アプレシブ摩耗と考えられる。

一方、CrN にも鉄鋼材料と同様に基材上に基材 (Cr) 元素の化合物 (Cr_2O_3) が確認されたが、比摩耗量の増加率は鉄鋼ピンに比べ大幅に抑制された。この現象の仮説としては、 Cr_2O_3 は FeO より硬く物理的に削り取られ難いため摩耗が抑制されたためと考える。FeO の硬さは約 400HV⁶⁾、 Cr_2O_3 の硬さは約 3000HV⁷⁾ と報告されている。この仮説の証明には、今後、酸化物の硬さについての検証が必要である。

- 7) Pang, X., Gao, K., Luo, F., Yang, H., Qiao, L., Wang, Y., and Volinsky, A. A. "Annealing effects on microstructure and mechanical properties of chromium oxide coatings." *Thin Solid Films* 516.15 (2008): 4685-4689.

6. おわりに

本研究より、ZnDTP を含む潤滑油にすすの代用である CB を混合すると、鉄鋼材料は著しく摩耗するが、鉄鋼材料に CrN をコーティングすると比摩耗量の増加率を大幅に抑制できることがわかった。また、摩耗面上に形成したトライボフィルムの構造を明らかにし、これより CrN の摩耗モデルを提案し、摩耗抑制メカニズムの仮説を立案した。

今後は、本研究を通じて得られたトライボロジーの技術をさらに向上させ、自動車エンジンの動向をとらえながら、当社製品への影響を確認し、しゅう動部全般の耐摩耗性を向上させるための技術開発に活用していきたい。

参考文献

- 1) P. R. Ryason, I. Y. Chan & J. T. Gilmore: Polishing wear by soot, *Wear*, 137.1 (1990) 15-24.
- 2) C. Cusano & H. E. Sliney: Dynamics of solid dispersions in oil during the lubrication of point contacts, Part I—Graphite, *Asle Transactions*, 25.2 (1982) 183-189.
- 3) Y. Olomolehin, R. Kapadia & H. Spikes: Antagonistic interaction of antiwear additives and carbon black, *Tribology Letters*, 37.1 (2010) 49.
- 4) 小西誠一, 上田亨, 潤滑油の基礎と応用, コロナ社 (1992) 58-59.
- 5) Smith, G. C., and Bell, J. C. "Multi-technique surface analytical studies of automotive anti-wear films." *Applied surface science* 144 (1999): 222-227.
- 6) 南口誠: *Form Tech Rvview*, 19 (2010) 52-55.

物体判別装置における撮像機の検討

Verification of the imager in the discriminator

梅村 良佑^{※1}

Ryosuke UMEMURA

松村 翔太^{※1}

Shota MATSUMURA

本報告では、機械学習による特定物体認識の際に、判別に使用する画像を取得する撮像機の検討を行った。特定物体認識の精度を安定させるためには、判別対象の商品画像を複数視点から同時に撮像する必要がある。そこで撮像機の撮像処理機として、産業用 PC より安価な RaspberryPi^{※1} の導入を検討した。システムを実装し実験を行ったところ、実用的な時間で撮像が可能であることを確認した。

In this report, we examined an imaging device that acquires an image used for discrimination when recognizing a specific object. In order to stabilize the accuracy of the recognition, it is necessary to simultaneously capture the product images to be discriminated from a plurality of viewpoints. Therefore, we considered the introducing RaspberryPi^{※1}, which is cheaper than industrial PCs, as an imaging processor. We implemented and experimented with the system, and we confirmed that it was possible to take images in a practical time.

エコロジー訴求点と 顧客メリット

①省人化・無人化

1. はじめに

近年、インターネットを利用した物品購入は一般的となった。経済産業省¹⁾によると、物販系分野の EC 市場規模は 10 兆円を超えており、年度の伸び率は約 8% となっている。市場拡大に伴って、配送する荷物の量も増加しているが、顧客確保のための競争も激しく、即日配達などサービスも高度化している。これらに対応するため、物流センターでは商品在庫を一定数抱え、顧客の注文に応じて商品を集め、梱包・配送しているが、労働者の負担も大きく自動化が強く求められている。当社ではチルトトレイ方式の仕分け機、『リニソート[®]』を使用した運用、システム化を提案し、販売してきた。リニソートは物流業界向けソーティングシステムで装置のトレイに商品を載せ、仕分け先の間口に傾倒させることで仕分けを行うシステムである。リニソートのトレイ移載時には仕分けに必要な商品データとして、SKU^{※2} コードと呼ばれる商品固有のバーコードや RFID をリーダーで読み取るが、バーコード位置が商品によって異なり手間が生じる。

そこで当社では、バーコードや RFID を使用せずに商品の特定ができるように、機械学習による特定物体認識技術の開発を行っている。その特定物体認識技術の特徴は、判別精度向上のために判別対象となる商品を複数視点から撮像し、それらの画像を総合的に判断して、商品の判別を行うところに特長がある。

したがって、商品画像撮像機には複数視点より同時に商品画像を撮像し、撮像した画像を送信するといった処理を高速に実行し、且つ低コストであることが求められる。

本報告では、RaspberryPi を用いて、上記要件を満足する画像撮像機を実現したので、その詳細を報告する。

2. 課題

開発している特定物体認識では、リニソートのトレイ上に投入された商品を認識対象としている。つまり、撮像対象は搬送されている。以下、代表的な撮像機の課題を述べる。

2.1 撮像トリガ

撮像トリガはリニソートの制御を行う PLC から発せ

※1 技術・開発担当 技術開発部

られる。PLC は作業者が商品投入後に、商品の投入を光電管センサ等で検知し、適切なタイミングで撮像機にトリガ信号を送信する。PLC からのトリガは各撮像処理機間の遅延を少なくするために PIO とし、これを受信できる機能が必要である。

2.2 撮像処理時間

リニソートは、400ms 毎にトレイが搬送される。そのため、撮像機も 400ms 以内に撮像処理を終わらせる必要がある。

2.3 複数視点の画像が必要

リニソートのトレイに投入された商品（撮像対象）は、さまざまな姿勢で撮像機内に移動してくる。このような条件下で、1 方向からの視点で商品の撮像を行い、判別を行うと判別精度が安定しない。これは、カメラの死角となる部分の商品特徴を捉えることができないからである。こうした問題を解決するためには、なるべく多くの視点から商品の画像を撮像し、それらの画像を複合的に用いて、判別を行う必要がある。また、複数視点の画像は同じタイミングで撮像された画像であることが望ましい。これは、視点ごとに撮像タイミングが異なると、撮像ごとに商品の姿勢が変わる可能性があるからである。また、複数個所で撮像をする場合、複数の撮像装置を直列に設置しなければならず、装置の全長が大きくなるので好ましくない。

複数視点化の別のアプローチとして、1 台の PC に複数台のカメラを接続し、撮像することも考えられるが、PC に画像認識処理が集中し、処理時間が 2.2 項の条件を満たせない可能性がある。

また、複数台のカメラの処理を 1 台の PCで行うと、カメラごとに撮像のタイミングがずれてしまう。したがって、複数台のカメラで同時に撮像を行うためには、カメラごとに PC を分ける構成が望ましい。

2.4 照明

本装置は搬送している商品を対象としているため、カメラのシャッタースピードが不十分だと、被写体の像が歪んでしまう。一方、シャッターピードを速くすると露光時間が短くなってしまいうため、画像が暗くなってしまいう。そこで、撮像機にはシャッタースピードを速くしても十分に明るい画像がとれるよう、撮像機に照明を付加した形にする必要がある。

3. 機器構成

以上の課題を解決すべく、カメラの接続、撮像処理、PIO の受信を行うことができ、産業用 PC より安価な RaspberryPi（以下、RasPi と記す）を採用し、1 台のカメラに対し 1 台の RasPi という構成で計画した。

また複数台のカメラには、産業用カメラより安価な RasPi カメラモジュール V2 を採用した。その理由は、撮像処理機として採用した RasPi と親和性が高く、カメラパラメータの設定等の API が豊富に準備されており、また、産業用カメラより安価であるからである。

照明には導光板を採用した。導光板は加工を施した板の端面より LED を入光させることで光を拡散し、発光面を光らせる構造の照明である。特徴としては、薄型、均一な面発光、検査用 LED と比較して安価である。

撮像機の外観写真を図 1 に示す。また、撮像機の機器構成を図 2 に示す。

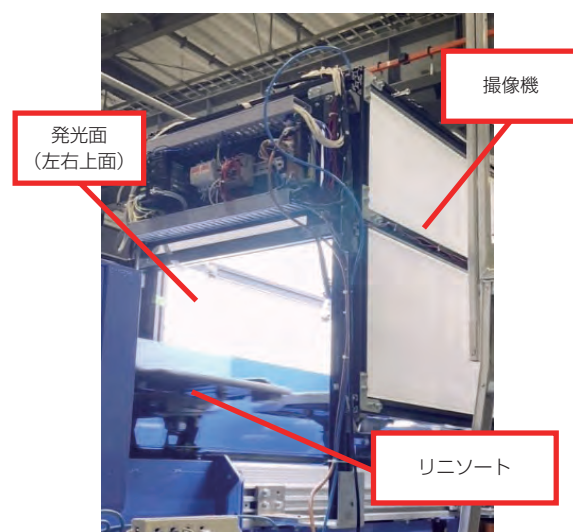


図 1. 撮像機の外観写真

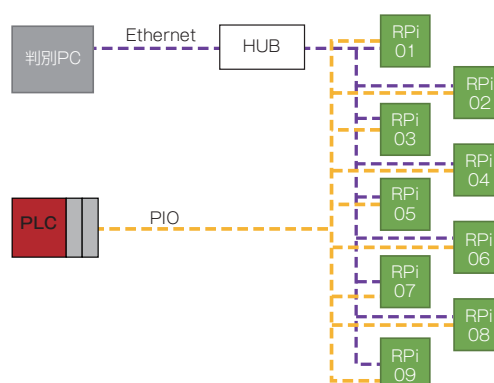


図 2. 機器構成図

4. 実験

前章で述べたシステムにおいて、2章で挙げた課題を達成できているかを確認する実験を行った。実験の手順としては、まずは簡単なシステムで事前検証を行った。事前検証後に実際の機器構成で検証を行った。

4.1 事前検証

事前検証を行った際の、機器構成を図3に示す。実験のフローは、まずトリガとして発生させた一定間隔のパルス信号を撮像用のRasPiで受信し撮像を行う。次に、判別PCに撮像した画像を送信する。判別PCは受信した画像を保存する。この一連の流れを1000回実施した。トリガは、パルス間隔350ms、パルス幅100msである。画像は640×640のRGB画像である。

4.2 検証結果

4.2.1 処理時間

撮像用RasPiのトリガ受信から撮像処理、画像送信処理を終了するまでにかかった時間の結果を図4に示す。縦軸は処理時間を示す。横軸は8台のRasPiを示す。青色プロットは処理時間の平均値、赤色プロットは処理時間の最大値を示す。いずれのRasPiでも処理時間の最大値が350msを超えている。このように撮像の処理時間が大きくなった原因は、画像を8台のRasPiから同時に送信するため、HUBでコリジョンによる再送が発生したためであると考えた。

4.2.2 トリガ受信回数

各撮像用RasPiが受信したトリガ回数の結果を図5に示す。図に示す様にいずれのRasPiもトリガの受信回数が1000回未満となった。これは、トリガのパルス間隔よりも、撮像処理の処理時間が大きいためである。また、RasPi5～8号機に関しては、RasPi1～4号機と比較して、受信できたトリガの回数が少ない。これは、

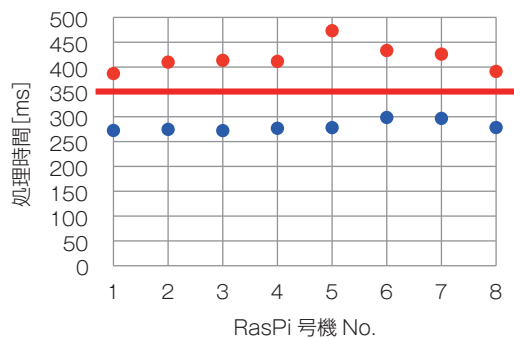


図4. 処理時間（事前検証）

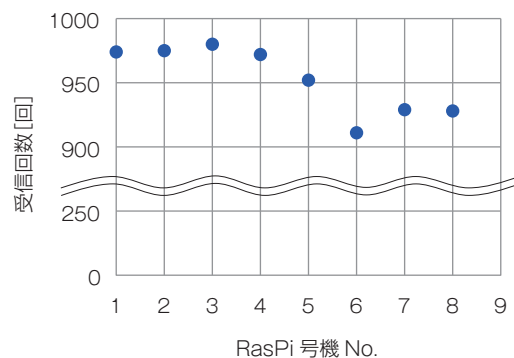


図5. トリガ受信結果

RasPi5～8号機については、HUBを2回経由して判別PCに画像を送信する構成となっていたため、コリジョンによる再送が発生しやすい条件になっていたためであると考えた。

4.2.3 撮像画像

いずれのRasPiにおいても正確に画像が撮像できていることが確認できた。また、画像の歪み、明るさについては特定物体認識で判別するために十分な画像が撮像できていることが確認できた。

4.3 実験条件

前項の実験を踏まえて、HUBを8ポートから16ポートに変更した。また、転送データを小さくするために、RasPi内部で画像をjpegに圧縮してから送信するように構造を変更した。トリガについては、実際のシステムと同様にPLCから発して検証を行った。

図2に示す機器構成で実験を行った。実験のフローは事前検証と同様である。実験条件は次に示す実運用を想定した条件で行った。トリガは、パルス間隔400ms、パルス幅50msである。画像は1280×1088のRGB画像である。

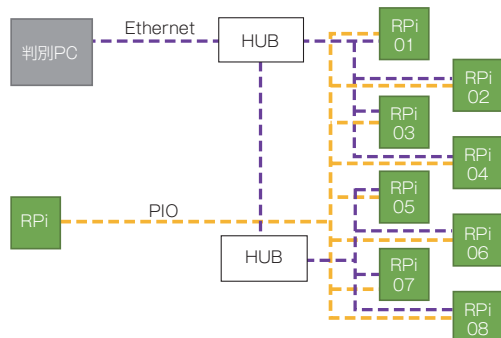


図3. 事前検証機器構成図

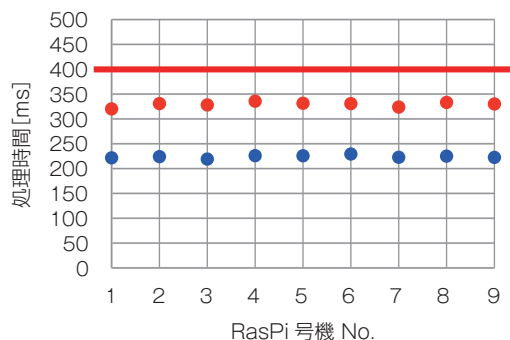


図 6. 処理時間

4.4 実験結果

図 6 に各 RasPi の処理時間の結果を示す。横軸は 9 台の RasPi を、縦軸は処理時間を示す。青色プロットは処理時間の平均値、赤色プロットは処理時間の最大値を示す。すべての RasPi において、処理時間の最大値が 400ms 以内であることを確認できた。また、各 RasPi が受信したトリガ回数を確認すると、すべての RasPi において 1000 回受信できていることが確認できた。

これらの結果から、RasPi は 2 章で述べた撮像機の条件を満たすことができ、実運用に十分耐えることができると判断した。



図 7. AI てむ鑑定士

参考文献

- 1) 経済産業省 商務情報政策局 情報経済課, 平成 30 年度 我が国におけるデータ駆動型社会に係る基盤整備 (電子商取引に関する市場調査), 2019
https://www.meti.go.jp/policy/it_policy/statistics/outlook/200722_new_hokokusho.pdf

用語解説

- * 1 RaspberryPi
 RaspberryPi とは、ARM プロセッサを搭載したシングルボードコンピュータ。イギリスのラズベリーパイ財団によって開発されている。
- * 2 SKU コード
 Stock Keeping Unit の略。在庫管理等を行う時の、「最小の管理単位」。
- * 3 AI てむ鑑定士
 投入された商品の落下状態の画像を撮像し、その画像から AI がその商品を特定して結果を表示する装置。

5. おわりに

本報告では、複数台の RasPi を用いて、同時に画像の撮像を行い、送信するシステムの検討を示した。

RasPi は、画像の撮像、画像の送信処理を 400ms 以内に実行することが可能であった。また、GPIO で受信するトリガについても、正確に受信することが可能である。

また、本報告で検討したシステムを応用して AI てむ鑑定士[®] (あいてむかんていし)^{*3} の製作を行った (図 7)。この装置では、最初に商品を上部の投入口より投入する。商品の投入は投入口に設置した光電管センサで検知する。商品検知後、PIO で RasPi にトリガ信号を送信する。RasPi はトリガ受信後に、装置内部に取り付けたカメラで商品の画像を撮像する。商品画像撮像後に、判別 PC に画像を送信し、判別 PC は投入された商品の判別を行う。商品の判別後、装置に取り付けたモニタに判別結果を表示する。

今後の予定として、リニースに設置し、実運用における特定物体認識の精度検証を行う。また、精度の検証を行うと同時に、商品画像の取得を行い、特定物体認識の精度向上のための開発につなげていきたい。