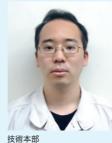


自動車分野においては環境問題やユーザニーズの観点から低燃費化 への要求が高まっている。各メーカにおいては燃焼効率の改善、車体の 軽量化、動力伝達効率の向上などさまざまな研究開発が行われている が、その中で自動車の駆動部品においては低フリクション化による燃費 向上、しゅう動面の保護が重要な技術開発課題である。低フリクション 化にともない低粘度オイルの採用やオイル供給量の低減が推進され、 しゅう動材の摩擦摩耗試験や油膜厚さ、オイル流れ可視化の需要が増 加している。本稿では、蛍光法による油膜厚さ・オイル流れの可視化試 験結果と観察した流れの解析結果について紹介する。



高砂事業所 技術室

富山 高明



技術本部 機械・プロセスソリューション事業部 プロセス技術部

技術本部

プロヤス技術部

機械・プロセスソリューション事業部

松岡 寛和

森田 亨



性のみならずしゅう動部品まわりのオイル挙動(粘度変化における 油膜厚さやオイル供給量の変化におけるオイル流れの変化)を調 べることは重要であり、しゅう動性評価に対して有効な技術となると 考えられる。実状態でのオイル流れや油膜厚さがわかれば、設計上 で想定している油膜厚さとの比較、CAEの計算精度の向上などが 可能となる。またテクスチャリングの有効性の評価にも活用が期待 できる。

これまで、摩擦摩耗の評価については、単純な摩耗量の相対比 較や摩擦係数による優劣の評価により行われてきたが、実際の接 触状態やしゅう動中のオイルの流入・排出、油膜の形成状態など 分からない部分があった。そこで、当社では技術開発の一環として 油膜厚さ測定に取り組み、多数の可視化方法の中から一般的な 可視化手法である超音波法と蛍光法を選択し試験を進めている。 2種の方法の特徴は以下の通りである。

超音波法:実際のしゅう動部材をもちいた測定が可能 広範囲の計測が困難

オイルの流れを直接観察可能

蛍 光 法:片方の部材は実しゅう動部材と異なる透明材が必要

広範囲を測定可能

応可能であること、オイルの流れを目視で確認できることから、蛍 光法に着目し、当社所有の摩擦摩耗試験機とレーザ発生装置を 組み合わせて試験を実施した。

技術本部

プロヤス技術部

機械・プロセスソリューション事業部

大西 沙紀



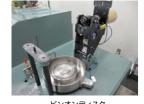
可視化試験にもちいる

摩擦摩耗試験装置の概要

本稿では、広範囲の可視化ができさまざまなしゅう動装置へ対

当社ではピンオンディスク型、リングオンディスク型、往復しゅう 動型など5種のしゅう動試験装置を所有している(第1図)。その 中で本稿ではトラクション試験機を改造し可視化試験を実施し た。トラクション試験機は2種の異なる回転体を任意の回転速度

第1図 しゅう動試験装置外観











往復しゅう動

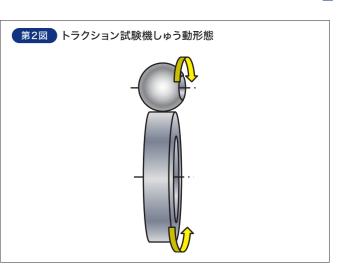
トラクション

蛍光法によるオイル流れ・油膜厚さ可視化技術 Technical Report F

で接触させ界面に発生するトラクション係数を測定する装置であ る(第2図)。トラクションとは転がり接触にて発生する摩擦力のこ とであり、負荷荷重に対するトラクションの比がトラクション係数と 呼ばれている。自動車エンジンのカムーフォロア間等の転がり-す べり部やトラクションドライブに使用される材料やオイルの選定な どに使用される装置である。

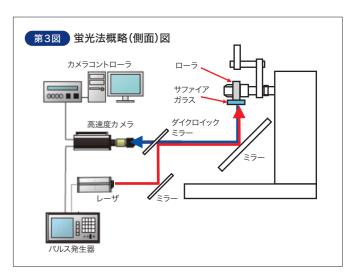
通常の試験片はどちらも鋼材の回転体でありこのままでは可視 化ができないため、試験体の一方を透明体のプレートに変更し ローラオンプレート式に対応できるよう装置を改造した。

試験片にはローラに高炭素クロム軸受鋼(φ35mm、幅8mm) をもちいた。また幅方向には400mmのRを付けることで楕円接触 とした。プレートには透明材として強度のあるサファイアガラスをも ちいた。



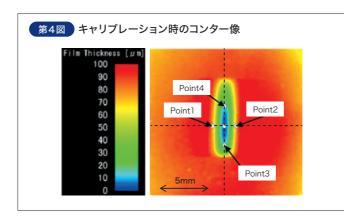
E-3 蛍光法による評価方法の原理

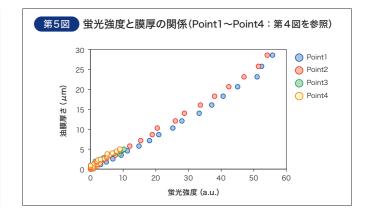
第3図に蛍光法の概要図を示す。同軸上でレーザ照射と高速 度カメラによる撮影が可能になるように光学系を組み、しゅう動部 を真下から観察した。蛍光法とはレーザ光で特定の原子・分子を 励起しその蛍光強度を観察する方法である。蛍光剤をオイルに混 ぜることで厚さや温度の観察が可能となる。ATFオイル(オートマ チックトランスミッション内の潤滑・作動油)などはレーザを当てる だけで蛍光するが、そのままでは蛍光強度が弱いことから一般的 には蛍光剤を液体に混ぜている。蛍光強度はオイルの量に比例す る性質があることから、既知の隙間にオイルを満たしキャリブレー ションすることで油膜厚さの測定が可能である。本稿ではエンジン オイル(0W-20)に蛍光剤(ローダミンβ、蛍光波長:552~556nm)を溶かした。そこで特定の波長の光をカットオフできるダイクロイッ クミラーにより550nm以下の波長をカットし、蛍光波長だけを観 察している。



E-4 油膜厚さのキャリブレーション方法

蛍光強度からオイル厚さを換算するには、実際のしゅう動環境 を再現し実施する必要がある。そこで実際の試験片のしゅう動面 形状を測定し、サファイアガラスの平面との隙間の距離を算出し た。試験片の隙間にオイルを満たしレーザを照射することで、隙間 に入りこんだオイルの厚みに応じた蛍光強度が得られる。蛍光強 度と隙間の関係から算出式を求めた。キャリブレーションしたあと の膜厚コンター像を第4図に示す。レーザはレンズにて拡散させ 面で照射していることから、照射ムラの確認のため楕円接触の頂 点から4方向のデータを取得した。第5図に示すように4点とも同 等の蛍光強度とオイル厚さの傾きがえられており、照射ムラがない ことがわかる。この4点の蛍光強度の平均値からオイル厚さの換 算式を求めた。





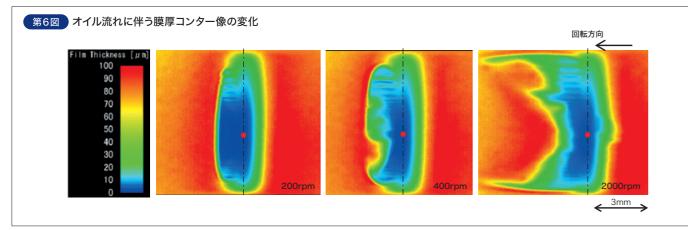
E-5 測定条件および油膜厚さとオイル流れの測定結果

測定条件を第1表に示す。Dowson-Higginsonの膜厚計算 式*1)から、潤滑領域は流体から混合潤滑であると考えられること から、サファイアガラスの損傷を考え試験は2000rpmの高速条件 から実施した。代表として200、400、2000rpmの条件時に撮影し たコンター像を第6図に示す。黒い一点鎖線がしゅう動部中央を 示しており、赤い点はしゅう動部直下で最も油膜が薄い部分であ る。青色から赤色にかけてオイルの厚さが増加していることを示し ている。

しゅう動時の油膜厚さをキャリブレーションで求めた換算式に より算出した結果を第2表および第7図に示す。回転数の増加に より油膜厚さが増加する理論通りの結果がえられた。また、 50rpmから2000rpmまでの油膜厚さの変化量は第7図に示し たように、Dowson-Higginsonの膜厚計算式*1)の算出結果と同 等であった。

第6図などの膜厚のコンター図に示されているように、発生した 流れを見てみるとオイルが無くなっている部分(青色部)が確認でき る。これはローラの回転による空気の巻き込み、もしくはしゅう動に よるキャビテーションの発生であると考えられる。今回の試験では 試験片は十分な浸漬状態ではないことから、空気巻き込みによるも のである可能性もあるが、以降ではキャビテーションと表現する。

第8図は200rpmにおけるコンター像(上半分)に空気溜まりを 図示したものである。赤い破線で示すようにキャビテーションの発 生位置がしゅう動直下から離れるとともに後流側に移動している ことがわかる。また、後流側に発生したオイル流れの領域が、回転 の増加とともに広くなっていることがわかる。これは回転速度の増 加にともないしゅう動部直下に流入するオイル量が増えることで、 後流側がより負圧に近づきキャビテーション発生領域が広がった ためであると考えられる。



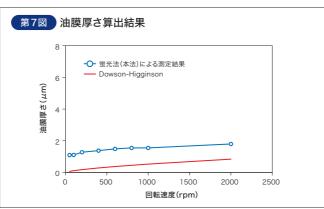
第1表 試験片、試験条件

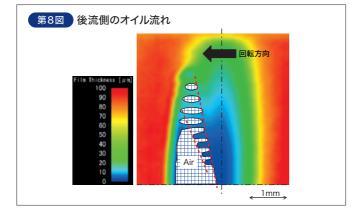
ローラ	材質:SUJ2、サイズ: ϕ 35mm
プレート	サファイアガラス
ローラ接触部	R400mm
荷 重	50N
回転速度	50 ~ 2000rpm
油温	室温
オイル	エンジンオイル(0W-20*)

※SAE(アメリカ自動車技術者協会)によるオイル粘度の分類

第2表 油膜厚さ算出結果

油膜厚さ(μm)
1.10
1.11
1.28
1.38
1.49
1.55
1.55
1.80





E-6 流体解析によるキャビテーション発生位置の検証

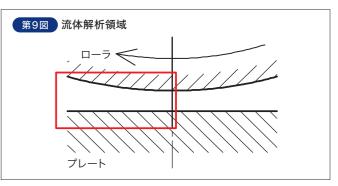
可視化試験では回転と共に後流側にキャビテーションが発生 し、その範囲が回転速度の増加と共に広がる傾向が確認できた。こ の現象を検証するために点接触のローラを想定した気液二相流解 析を実施した。解析条件を第3表、第9図に示す。キャビテーション 発生圧力はDowson*2)が報告している-3.5kPaを設定した。ロー ラとサファイアガラスの距離は、第10図に示すようにしゅう動部直 下を 1μ m、直下から離れた位置を 10μ m、 50μ mと仮定した。

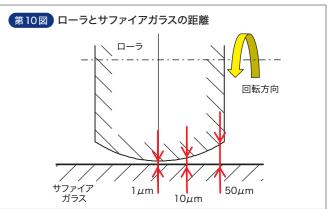
第11図に解析でえられたローラプレート間の二次元領域(後流 側)のVOF値(気液分率)のコンター像と、蛍光法でえられた蛍光強 度のコンター像を示す。コンター像は橙色部がオイル100%、青色部 がエアー100%となり、青色部がキャビテーション領域である。黒一 点鎖線はしゅう動部直下を、赤破線はキャビテーション発生位置、 黒破線はキャビテーション消滅位置を表している。蛍光法のコン ター像ではいずれの回転速度においても、ローラプレート間の隙間 が増加するとともにキャビテーション発生領域が後流側へ移動する 結果となった。解析結果からもこの傾向が確認されている。これは、 ローラの回転によるしゅう動部へのオイル供給量が位置によらず一 定であるとすると、隙間が小さいほど流速が上がり、よりしゅう動部直 下に近い場所からキャビテーションが発生したためであることがわ かった。また回転速度の増加によってもキャビテーション発生位置や 範囲が変動していることが確認でき、その形状は実験結果、解析結 果共に同じ傾向を示していることが確認できる。このことから、発生し た空気溜まりは2000rpm、 $50\mu m$ の条件のような空気の巻き込み があるものの、キャビテーションが発生していることがわかった。

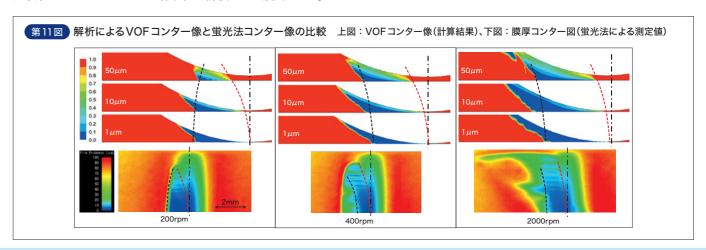
以上のように、これまでのしゅう動試験は実際の試験中のしゅう 動面の様子は未知のままであったが、本技術を適用することによ り、摩耗試験機をもちいたしゅう動試験中のオイル流れ・油膜厚 さを詳細に観察できるようになった。また解析結果と良好な一致を 見せていることから、設計上想定される油膜厚さや解析結果との 比較、またテクスチャリングの有効性の評価などに活用できる。

第3表 流体解析条件

分析領域	ローラ-プレート間の二次元領域(第9図)
支配方程式	連続の式 運動量保存式
キャビテーションモデル	k-ωSST乱流モデル
ローラとサファイアガラスの距離	1、10、50μm
ローラ回転速度	200、400、2000 rpm
キャビテーション発生圧力	-3.5kPa







本稿では蛍光法による回転ローラ周りの油膜可視化試験とその解析結果を紹介した。

現状ではまだトラクション試験機を改造したローラオンプレート形式のみ対応可能であるが、今後は各しゅう動試験装置の形態に対応 できるよう開発を進める。またしゅう動速度の変化による油膜厚さの変化は捉えられているものの、絶対値にはかい離があることから、さらに 膜厚分解能の精度向上や解析精度向上の検討も図っていきたいと考えている。

参考文献 *1) 山本雄二ほか:トライボロジー, (1998), p124, 理工学社

*2) D.Dowson: Volume 1, Issue 2, (1968), p.150