

## In situ 観察・AE 計測法を用いた樹脂摺動材料の摩擦・摩耗現象の究明

埼玉工業大学 ○高平友和, ◎長谷亜蘭

## 要 旨

摩擦面顕微鏡を用いたin situ観察（その場観察）にAE計測を組み合わせたin situ観察・AE計測法を用いて、材料表面の変形・破壊過程（摩擦・摩耗過程）の可視化を試みた。本研究では、樹脂摺動材料の表面をピン試験片で往復運動させ、観察および変形解析を行った。その結果、in situ観察およびAE平均値電圧の変化から、樹脂材料の摩擦・摩耗現象とAE平均値電圧の相関関係を確認できた。

## 1. 緒 言

近年、樹脂摺動材料は軸受や歯車など、滑り面に低摩擦係数・低摩耗性が求められる樹脂部品として、その使用が増えている。しかし、樹脂摺動材料の微視的な変形・破壊現象の研究例は少ない。樹脂摺動材料のトライボロジー特性を定量的に評価することによって、樹脂摺動材料をより効果的に活用することができると考える。

摩擦面顕微鏡を用いた in situ 観察（その場観察）にアコースティックエミッション（AE）計測<sup>1)</sup>を組み合わせた in situ 観察・AE 計測法を用いて、樹脂摺動材料の変形・破壊過程（摩擦・摩耗過程）の可視化を試みる。摩擦中の変形・破壊過程および AE 信号変化を解析し、耐摩耗性の評価を行うことが目的である。本研究では、樹脂摺動材料の表面をピン試験片で往復運動させ、表面の摩擦・摩耗過程を摩擦面顕微鏡で可視化および変形解析を行った。その結果として、in situ 観察および AE 平均値電圧の変化から得られた樹脂材料の摩擦・摩耗現象と AE 平均値電圧の相関関係について報告する。

## 2. 実験方法および実験条件

図 1 は、本研究で使用した実験装置の構成図である。実験装置でピン試験片とブロック試験片を摩擦させ、その摩擦面の様子を摩擦面顕微鏡で拡大観察した。AE センサは、広帯域型（AE-900M-WB）を使用した。AE センサからの出力信号は、プリアンプおよびディスクリミネータで 90dB 増幅し、ノイズ信号除去のために 50 kHz のハイパスフィルタ処理を行った。摩擦力は、ピン試験片固定部の板ばねに貼り付けたひずみゲージにより計測している。計測された AE 信号および摩擦力は、A/D 変換器を通してデジタル信号に変換した後、PC に取り込んだ。本研究では、摩擦面顕微鏡による高速 in situ 観察映像の録画と同時に、AE 信号（AE 平均値電圧）および摩擦力をソフトウェア LabVIEW を用いて計測した。

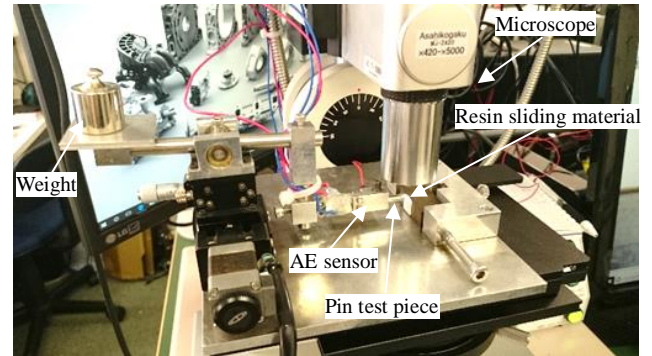


図 2 実験装置の概観

図 2 は、実験装置の概観である。本実験では、光学顕微鏡を使用し、摩擦界面に焦点に合わせ、摩擦表面直下の微視的な変形・破壊現象を拡大観察した。ピン試験片の先端を、ブロック試験片に貼り付けた樹脂摺動材料の端に接触させ、分銅で垂直荷重を与え、ピン試験片を往復運動させ実験を行った。

ピン試験片は、機械的性質が良好で広く普及しているステンレス鋼（SUS304）を使用した。樹脂摺動材料は、フッ素原子と炭素原子のみからなるフッ素樹脂で、他の工業材料では得られない物理特性、化学特性、電気特性等の優れた特性を兼ね備えているポリテトラフルオロエチレン（PTFE）を用いた。また、PTFE は充填剤を混合することで、耐摩耗性が向上することがわかっている。本研究では、耐摩耗性、圧縮強度、耐クリープ、静電防止効果の向上が図れる炭素繊維（CF）と、耐摩耗性、電氣的特性の向上が図れるガラス繊維（GF）を充填剤として混合してある PTFE（CF 10 wt%）と PTFE（GF 25 wt%）を用いて実験結果の比較・検討を行った。実験前に面積が 10 mm × 10 mm × 1 mm の PTFE の摩擦面を研磨紙（#2000）で研磨した。垂直荷重は 0.25 N、摩擦速度は 200 μm/s、摩擦回数は 20 往復とした。また、すべての実験は室温、大気中、無潤滑で行った。

## 3. 実験結果および考察

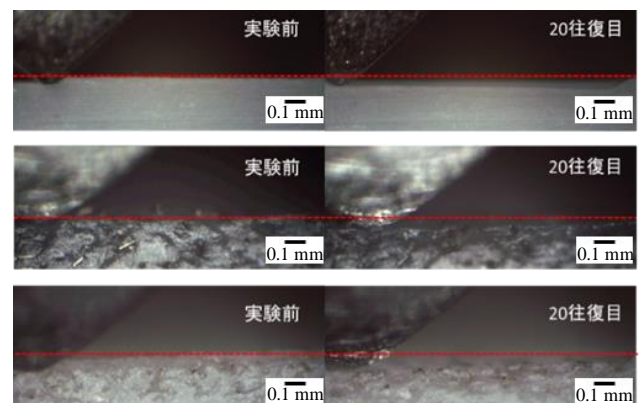


図 3 各材料の実験前と実験後の摩耗量の比較：  
上-PTFE 中-PTFE（CF 10 wt%）、下-PTFE（GF 25 wt%）

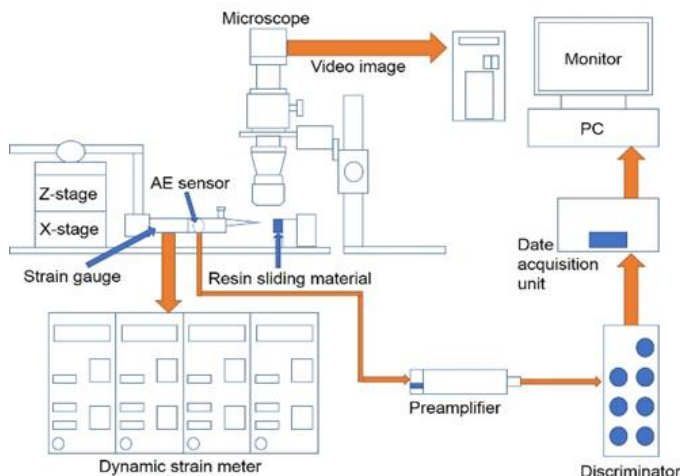


図 1 摩擦面顕微鏡の概略図

図3は、各樹脂摺動材料の実験前と実験終了後と比較した結果である。PTFE（充填剤無し）の摩耗量は75 $\mu\text{m}$ 、PTFE（CF 10 wt%）の摩耗量は45 $\mu\text{m}$ 、PTFE（GF 25 wt%）の摩耗量は60 $\mu\text{m}$ となった。PTFE（充填剤無し）の摩耗量が大きいことがわかった。また、PTFE（CF 10 wt%）は変形の際に形状の回帰がみられ、PTFE（GF 25 wt%）より高い耐摩耗性が確認できた。図4は、PTFE（CF 10 wt%）とPTFE（GF 25 wt%）の摩擦・摩耗過程を *in situ* 観察した結果である。往復回数を重ねると、ピン試験片によって破壊された樹脂表面が凝着していく様子が確認できた。図5は、*in situ* 観察・AE計測法を用いて、樹脂摺動材料の摩擦・摩耗過程の可視化を試みた実験で計測された摩擦力とAE信号の変化をまとめたグラフである。

PTFE（充填剤無し）の摩擦力は大きく上昇せず平均0.02 N（摩擦係数0.08）で材料が変形していき、(i)の摩擦開始から1.62 s後に、AE平均値電圧が9.1 mVまで上昇した。*In situ* 観察結果から、PTFE摩擦表面の変形が確認されているが、AE平均値電圧の上昇を踏まえると、観察から確認できないPTFEの摩擦表面における微視的な破壊現象が伴ったと考える。

PTFE（CF 10 wt%）の摩擦力は一定ではなく、摩擦力の上昇と下降がみられた。*In situ* 観察で実験時の摩擦表面を観察すると、炭素繊維の充填剤による凹凸が原因であることが確認できた。7.20 sからの復路では、往路で変形した樹脂表面が回帰したため、摩擦力の上昇と下降が確認された。(ii)の摩擦開始から2.97 sでAE平均値電圧が6.1 mVまで上昇した。*In situ* 観察結果から、PTFE（CF 10 wt%）の炭素繊維の充填剤が破壊され、AE波の発生源の一つとなっていることが確認できた。

PTFE（GF 25 wt%）では、摩擦開始から徐々に摩擦力が上昇していき、(iii)の2.54 s後にAE平均値電圧は6.1 mVまで上昇した。*In situ* 観察を行うと炭素繊維の場合と同様に、PTFE（GF 25 wt%）のガラス繊維の充填剤が破壊され、AE波の発生源となっていることを確認した。また、ピン試験片に剥離した小片の凝着がみられた。往路において、ガラス繊維の変形時には、PTFE（充填剤無し）やPTFE（CF 10 wt%）と比べて高い摩擦力を要していた。9.23 s後からの復路では、復路で変形した表面が摩耗したため、復路では摩擦力が一定となる部分のみがみられた。

PTFE（CF 10 wt%）とPTFE（GF 25 wt%）の表面の充填剤が破壊した瞬間に得られたAE平均値電圧は6.1 mVであった。これより、AE平均値電圧の数値の上昇から表面の状態の評価が可能であると考えられる。また、PTFEの場合のAE平均値電圧の最大値が9.0 mVであったため、観察面からでは確認できない場所でPTFE（充填剤無し）の摩擦表面の破壊現象が起きたと考える。

図6は、各材料の往復回数と摩擦力の変化を比較した。PTFEは、0.03 N~0.06 Nの間で変動を示した。PTFE（CF 10 wt%）は、0.08 N~0.11 Nの間で変動を示した。PTFE（GF 25 wt%）

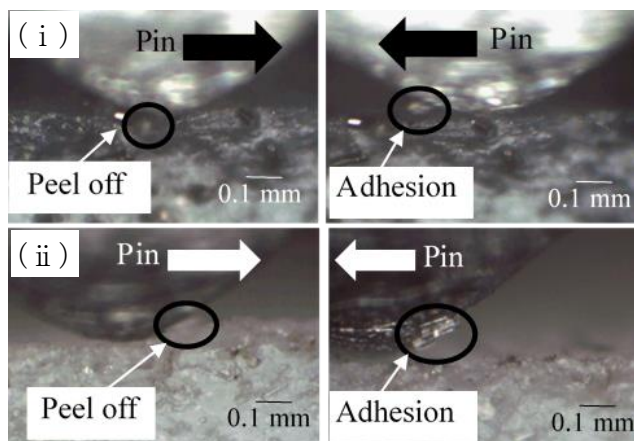


図4 PTFE (CF) とPTFE (GF) 破壊現象の過程：  
上-PTFE (CF 10 wt%)，下-PTFE (GF 25 wt%)

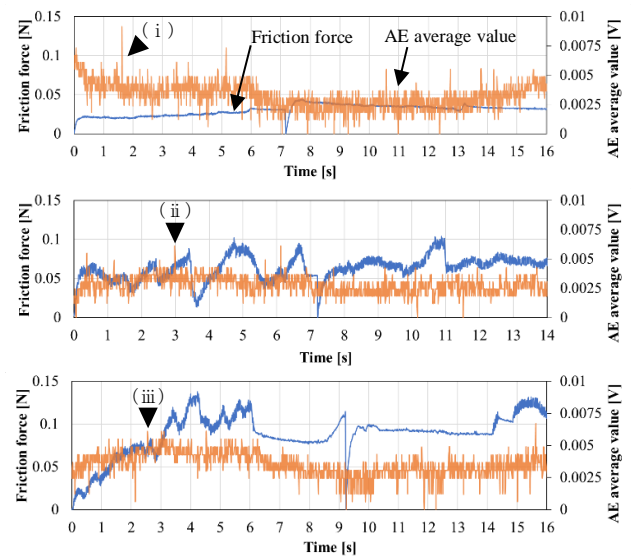


図5 各材料の変形・破壊時の  
摩擦力・AE平均値電圧のグラフ：  
上-PTFE 中-PTFE (CF 10 wt%)，下-PTFE (GF 25 wt%)

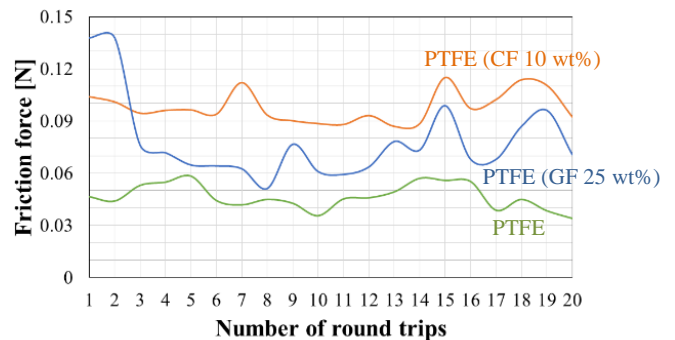


図6 各材料の往復回数と摩擦力の比較

は、3往復目以降から最大摩擦力が0.13 Nから0.07 Nまで低下した。充填剤入りのPTFEは、いずれも充填剤無しのPTFEよりも耐摩耗性は向上しているが、PTFE（GF 25 wt%）はPTFE（CF 10 wt%）に比べると耐摩耗性が低いため、その耐摩耗性の違いが現れていると考える。

#### 4. 結言

本研究では、異なる樹脂摺動材料で摩擦・摩耗を行うことによって、摩擦中の変形・破壊過程およびAE信号変化を解析し、耐摩耗性の評価を行った。その結果、変形・破壊現象が起きた際にAE平均値電圧の上昇が確認できたことから、摩擦・摩耗状態の検知・可視化が可能であることがわかった。また、AE平均値電圧の数値から樹脂摺動面の状態の評価が可能であると考えられる。今後、異なる条件下や樹脂材料での実験を行い、さらなる調査を進めていく。

なお、本稿の内容のうち、登壇者は *in situ* 観察・AE計測法を用いた樹脂摺動材料における摩擦・摩耗現象の可視化実験の実施および実験結果の解析の部分を担当した。

#### 謝辞

本研究の遂行にあたり、樹脂摺動材料を提供いただきましたスターライト工業株式会社 市川智和氏に御礼申し上げます。

#### 参考文献

- (1) 長谷亜蘭：アコースティックエミッション計測の基礎、精密工学会誌、78巻、10号（2012）pp.856-861。