

機関番号：12701

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20560126

研究課題名（和文） 接触面内伝播波動の可視化と制御に関する研究

研究課題名（英文） Study on visualization and control of waves propagating in contact interface

研究代表者

中野 健 (NAKANO KEN)

横浜国立大学・環境情報研究院・准教授

研究者番号：30292642

研究成果の概要（和文）：アクリル製のベースブロックとスライダで構成される縦長な線接触部のすべり摩擦を対象として、静止摩擦（スティック）から動摩擦（スリップ）への遷移の瞬間に生じる接触面内の動的挙動をその場観察した。その結果、潤滑の有無によって異なる摩擦の遷移モードが現れることを見出した。さらに、これらの遷移モードの違いが、静止摩擦から動摩擦への遷移に要する時間について、異なる空間スケール依存性を生み出すことを見出した。

研究成果の概要（英文）：Real time observations of real contact area have been performed using a base block and a slider made of polymethylmethacrylate at the moment of transition from static to kinetic friction. Depending on lubrication conditions, different modes of transition and different dependences of transition time on spatial scale have been found.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：トライボロジー

科研費の分科・細目：設計工学・機械機能要素・トライボロジー

キーワード：トライボロジー、静止摩擦、動摩擦、スティックスリップ、潤滑、剪断破壊

1. 研究開始当初の背景

地震発生の予知や摩擦発現機構の解明に向けて、静止摩擦から動摩擦への摩擦遷移現象を対象とした、接触面の高時間分解能計測が重要視されている。摩擦遷移現象を支配する「すべり破壊核の形成と成長」という短時間で生じる高速かつ非定常な接触面内の力学現象に着目することで、これまで見逃されてきた新たな摩擦法則が明らかとなるに違いない。

また、摩擦遷移現象の高時間分解能計測に

よって得られる知見は、機械システムの起動停止時におけるエネルギーロスの低減や位置決め精度の向上などの工学的要求に直結するという期待もある。表面設計や外部入力により、すべり破壊核の形成と成長を制御できれば、機械システムに適した望ましい摺動状態を自由を実現することが可能となるに違いない。

2. 研究の目的

以上の背景のもと、本研究では、アクリル

ブロック同士のすべり摩擦を対象として、高速度ラインスキャンカメラを用い、静止摩擦から動摩擦への摩擦遷移における真実接触部の動的挙動をその場観察した。観察結果をもとに、すべり破壊核の形成および成長過程に及ぼす潤滑の影響に着目することで、新たな学術的知見として、潤滑の有無によって異なる摩擦の遷移モードと、遷移時間のスケール依存性を見出した。

3. 研究の方法

実験装置の概略図を Fig.1 に示す。同装置は、接触する2個のアクリルブロック（ベースとスライダ）のすべり摩擦を発生させる。両ブロック間の真実接触部を可視化するために、平面レーザ（波長：532 nm）、コリメートレンズ、および高速度ラインスキャンカメラ（最大撮影速度：250 kfps）を用いて透過光学系を構成した。接触面垂直方向に設置した2個のロードセルにより、接触荷重（Z）を計測した。また、接線方向に設置したロードセルにより、接線荷重（X）を計測した。

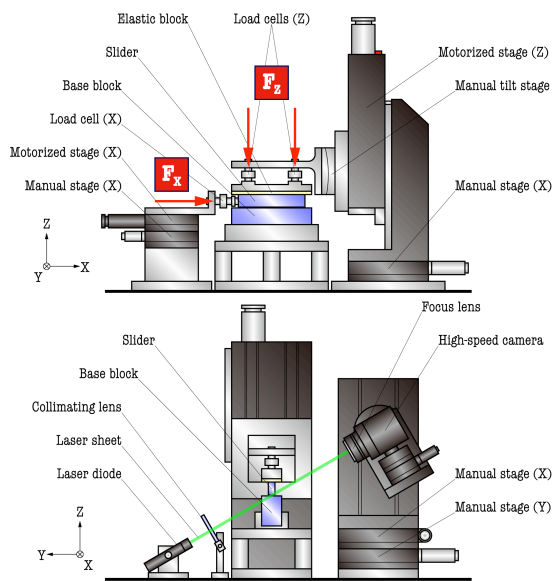


Fig.1 実験装置

ベースおよびスライダとして、接触面に異方性粗さを有するアクリルブロックを使用した。ただし、摩擦遷移現象のスケール依存性を検討するために、長さの異なる3種類のスライダ（L=100 mm、50 mm、25 mm）を準備した。また、スライダの接触面を長手方向に面取り加工を施して、接触形態を線接触（接触幅：0.8 mm）とした。

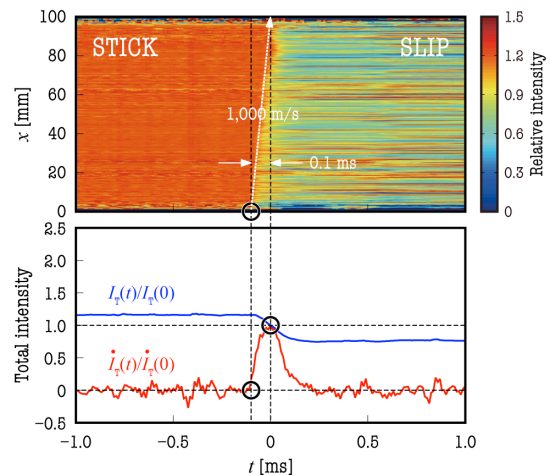
摩擦遷移現象に及ぼす潤滑の影響を検討するために、Dry 条件（乾燥状態）および Wet 条件（潤滑状態）で実験を行った。Wet 条件では、潤滑油として、ポリアルファオレフィ

ン（PAO、粘度：150 cSt（40°C））を用いた。PAO をヘキサンで希釈して、ベース面上に滴下して広げた後、ヘキサンのみを揮発させて、潤滑膜を薄膜化（平均膜厚：100 nm）した。

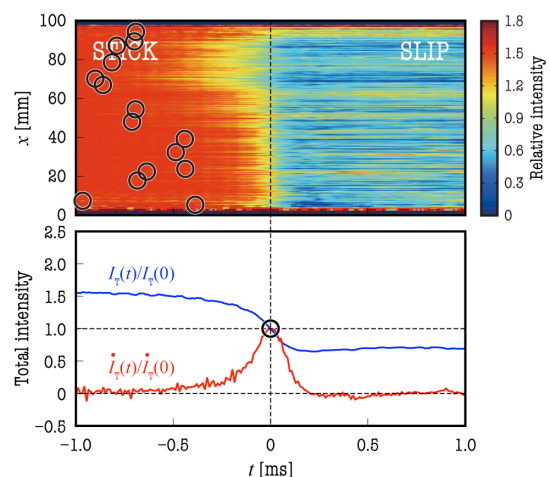
まず、スライダをベース面上に設置して、鉛直方向自動ステージにより、垂直荷重（400 N）を加えた。200 sの待機時間を与えた後に、水平方向自動ステージにより、スライダ後縁側に接線荷重（80 N/s）を加えた。静止摩擦から動摩擦への遷移が生じる瞬間に、高速度ラインスキャンカメラによって、線接触部の透過光の4ライン（X方向）を連続撮影（95 kfps）して平均化した。

4. 研究成果

潤滑の有無により、摩擦の遷移モードが大きく異なることを見出した（Fig.2）。これは、後述するように、摩擦遷移時間のスケール依存性と密接に関係する。



(a) Dry 条件での結果



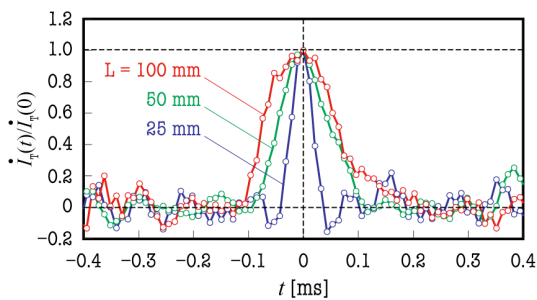
(b) Wet 条件での結果

Fig.2 摩擦の遷移モード

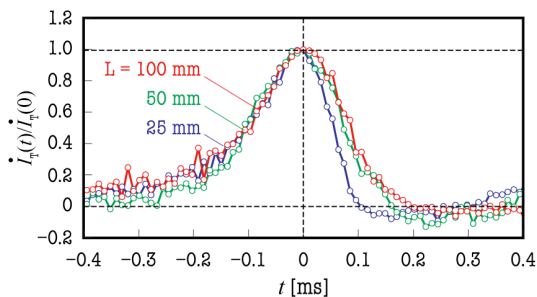
Dry 条件では、接触部後縁に形成された単

一のすべり破壊核が、急激な摩擦遷移を引き起こす。画像より、時刻-0.1msで、接触部後縁(0 mm)において、透過光強度が急激に減少することがわかる。これは、接触面の突起間で乗り上げが生じて、接触部後縁での真実接触面積が急激に減少したことを意味している。その後、接触部後縁に形成された単一のすべり破壊核は、アクリルの音速程度(約1,000 m/s)で成長して、時刻0 msで接触部前縁(100 mm)へ遷移している。すなわち、同時刻0 msにおいて、接触部全域で巨視的なすべりが発生して、動摩擦への遷移が生じている。

一方、Wet条件では、接触部内部に発生した複数のすべり破壊核が、緩やかな摩擦遷移を引き起こす。画像より、時刻-1.0 ms以降、接触部内の複数の箇所で、透過光強度が緩やかに減少することがわかる。すなわち、接触部内部で形成された複数のすべり破壊核が、互いに結合しながら成長することにより、最終的に接触部全域で巨視的なすべりが発生して、動摩擦への遷移が生じていることがわかる。



(a) Dry条件での結果



(b) Wet条件での結果

Fig. 3 摩擦の遷移時間のスケール依存性

すべり破壊核の形成および成長過程に及ぼす潤滑の影響に着目することで、摩擦遷移時間のスケール依存性を見出した(Fig. 3)。同図は、長さの異なる3種類のスライダを用いた場合の、光強度の総和の減少率の時間変化を重ねたものである。Dry条件では、光強度の総和の減少率が異なる軌跡を示すことから、摩擦遷移時間は接触部の空間スケール

に依存することがわかる。すなわち、摩擦遷移時間は、接触面の長さにともない増加する。これは、すべり破壊核の成長過程が、単一のすべり破壊に支配されていることに起因する。一方、Wet条件では、光強度の総和の減少率は普遍的な一本の曲線として重なる。すなわち、摩擦遷移時間は、接触面のサイズに依存せず、常に一定の値となる。これは、すべり破壊核の成長過程が、複数のすべり破壊に支配され、結果的には、破壊核の数密度に支配されることに起因する。

本実験による最大の学術的な成果は、すべり破壊核の形成ならびに成長過程に及ぼす潤滑の影響に着目して、摩擦の遷移時間の制御の可能性を示したことにある。今後の課題は、すべり破壊核の形成メカニズムをより一般的な形で理解することにより、表面設計や外部からの刺激の入力の観点から、摩擦の遷移モードと遷移時間の制御を目指すことにある。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計3件)

- ① S. Maegawa, A. Suzuki, K. Nakano, Precursors of global slip in a longitudinal line contact under non-uniform normal loading, *Tribology Letters*, Vol. 38, No. 3 (2010/06) pp. 313-323. (査読付)
- ② S. Maegawa, K. Nakano, Mechanism of stick-slip associated with Schallamach waves, *Wear*, Vol. 268, No. 7-8 (2010/03) pp. 924-930. (査読付)
- ③ K. Nakano, S. Maegawa, Occurrence limit of stick-slip: dimensionless analysis for fundamental design of robust-stable systems, *Lubrication Science*, Vol. 22, No. 1 (2010/01) pp. 1-18. (査読付)

[学会発表] (計3件)

- ① K. Nakano, Static friction, kinetic friction, and stick-slip motion in sliding systems, International Forum in JAST Tribology Conference (Tokyo, 2011/05/23). (招待講演)
- ② K. Nakano, S. Maegawa, S. Suzuki, Transient processes of stick-slip at dry/wet interfaces, ASIATRIB 2010 (Perth, 2010/12/07). (Award for the Best Poster受賞)
- ③ K. Nakano, Stick-slip in a large DOF system including particle layers, Satellite Forum of International Conference on Science of Friction (Tokyo, 2010/09/12). (招待講演)

〔その他〕
ホームページ等
<http://davinci.jks.ynu.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中野 健 (NAKANO KEN)
横浜国立大学・環境情報研究院・准教授
研究者番号：30292642

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし