

審査の結果の要旨

氏名 田中 健太郎

本論文は「摩擦振動安定性におよぼす潤滑膜分子の影響」と題し、4章からなる。

超薄膜潤滑は、マイクロマシンや磁気記録装置の分野で重要となりつつある。磁気記録装置の高密度大容量化にともなって、ヘッドとディスクのすきまは小さくなり 10nm 程度に達している。さらなる記録密度の向上のためには、ヘッドとディスクの接触しゅう動を許容した設計が必要であると言われている。ディスク表面には数ナノメートルの厚さのフッ素系潤滑剤 (perfluoropolyether, PFPE) が塗布されており、接触時にはこの PFPE 潤滑膜を介したヘッド面とディスク面でのしゅう動、すなわち超薄膜による潤滑状態にある。このような超薄膜潤滑においては、いまだ明らかにされていない部分が多く、そのトライボロジーに関する知見を得ることが急務となっている。このような現状から、本研究は超薄膜潤滑において摩擦振動安定性を得るためのトライボロジーに関する知見を得ることを目的として行われたものである。

第1章は「序論」であり、研究の背景と目的、本論文の構成について述べられている。また、磁気記録装置の現状、これまでの超薄膜潤滑に関する研究と、このスケールでの分子シミュレーションの有用性について述べている。

第2章は「ball on disk 型摩擦試験装置による摩擦実験」である。まず、実際の磁気記録装置と同じ運転条件でヘッドとディスクの接触しゅう動試験を行うために設計製作した ball on disk 型の摩擦試験装置の詳細について述べている。この装置により、高精度な跳躍振動と摩擦力の同時測定を可能にしている。この装置を用いて PFPE 潤滑膜がある場合とない場合とでの振動状態、摩擦特性の違いを比較した結果、潤滑膜がない場合では、回転速度に関わらず跳躍振動は小さい。一方で潤滑膜がある場合には、高速回転時では振動が小さいが、低速回転時には振動が大きくなることを観察している。一般に系に注入されるエネルギーが大きいが（速度が速いほうが）、振動が大きくなる。また、潤滑膜があるほうがその潤滑作用により振動が小さくなるのが常識であるが、実験の結果はこれに反するものとなった。この振動の増大はディスク表面の摩擦係数が負の速度依存性を持つために自励振動を発生しやすい系になっているためであると結論している。

第3章は「分子動力学法による超薄膜潤滑のシミュレーション」である。まずシミュレーションの詳細について述べている。従来の連続体であることを仮定した理論が、個々の分子の影響が現れてくるようなスケールにある超薄膜の現象には適用できないことを示し、続いて、そのような分子スケールでの動的な現象を捉えるのに適している分子動力学法の概要、手法について説明している。次に、2nm の潤滑膜のディスク表面での状態について説明し、このディスク表面上での超薄膜潤滑に分子動力学法を適用するためのモデル化について述べている。

この分子動力学法によるシミュレーションの結果として、まず潤滑膜が流体的な振舞いをするような条件では、すべり速度の増加にともなって膜の粘性が減少する現象、shear thinning が起きることを明らかにしている。これは、潤滑膜を塗布したディスク表面の摩擦係数の速度依存性が

負となることと関連している。また、潤滑膜が固体的な状態になるような条件では、壁面と潤滑膜の固着（スティック）とすべり（スリップ）の繰り返しによる摩擦力の周期的な増減、スティックスリップ現象が起きることを明らかにしている。

第4章は「結論」であり、上述した内容を総括している。

以上を要すると、今後、磁気記録装置のさらなる高密度大容量化の要求に応えるのに解決すべき超薄膜潤滑における摩擦振動安定性を得るためのトライボロジーに関する知見を得るために、実験およびシミュレーションを用いて研究を行っている。その結果、実験で観察される跳躍振動の増大が、分子動力学法によって明らかにされた **shear thinning**、スティックスリップという分子的な現象を原因とする摩擦振動のメカニズムによって引き起こされるということを示している。また本研究によって超薄膜潤滑に関する数多くの知見が得られており、今後さらなる発展が予想される微小機械の潤滑機構の設計に役立てられ、機械工学およびトライボロジーに寄与するところが大きい。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。