

氏名	こまた のぶあき <b>小俣 順昭</b>
学位(専攻分野)	博士(工学)
学位記番号	博甲第383号
学位授与の日付	平成17年3月25日
学位授与の要件	学位規程第3条第3項該当
研究科・専攻	工芸科学研究科 先端ファイブロ科学専攻
学位論文題目	超音波粘弹性評価法の確立と高周波摩擦領域への応用 (主査)
審査委員	教授 岩本正治 教授 石原英昭 教授 木村照夫 助教授 倪慶清

## 論文内容の要旨

ゴムなどの柔軟物質が表面粗さを持つ剛体に対してすべる時の摩擦力  $F$  は、凝着摩擦と凹凸により発生する高周波振動における粘弹性特性によるヒステリシス摩擦によっているため、ゴムの粘弹性特性を評価することが重要である。従来は動的粘弹性測定法 (DMA : Dynamic Mechanical Analysis) を用いていたため煩雑な時間 - 温度換算が必要であった。

本研究は、時間 - 温度換算が不要な超音波による高周波振動を応用した常温使用状況下での粘弹性特性評価法の提案を目的とし、ゴムローラやタイヤに使用される代表的なゴム材料について広範な速度範囲での摩擦特性を評価し、各種超音波計測方法のゴム粘弹性評価への適用について検討するとともに、従来の動的粘弹性測定法 DMA と比較した。さらには、表面劣化評価の可能性についても検討した。これらの結果から、DMA を使って広い温度範囲の粘弹性特性を測定しつつ誤差の大きな時間-温度換算をしなくとも、簡便な超音波による粘弹性測定によれば実使用温度での摩擦加振周波数におけるヒステリシス摩擦と凝着摩擦の依存度合いの検討が可能であることを見出した。また、紫外線による表面劣化などの影響も位相速度変化で検討できる可能性を示唆した。さらに実用上簡便な表面複素反射率を応用した粘弹性評価方法も検討し、従来の底面反射法と比較することで差異要因を検討した。

本論文は、これらの研究成果を 8 章にまとめたものである。

第 1 章では、本研究の背景と目的について述べた。

第 2 章では、第 1 章に述べた本研究の目的を達成するために採用した供試材料と評価法について説明した。まず、評価に用いた 27 種類のゴム材料の物性と組成を説明した。次に高速摩擦での摩擦係数評価法を説明し、動的粘弹性の評価方法として複素弾性論とヒステリシス摩擦の評価のための従来の評価法である DMA((Dynamic Mechanical Analysis)法において、温度を振って得たデータを周波数特性に換算するための時間 - 温度換算法(WLF Equation)を説明した。最後に本論文の主要なテーマである超音波粘弹性評価法について評価を確実にするために水浸透過法と直接接触による底面反射法について減衰率、位相速度の周波数特性測定法を説明し粘弹性率の計算式と具体的手順を説明した。

第 3 章では、ゴムローラと紙を使ったこれまでにない広範な速度領域での摩擦特性測定結果を報告し、周波数特性への変換、押圧力の影響、材料の硬度、フィラーによる違い、摩擦熱による温度上昇、紫外線照射による表面劣化の影響について考察した。

第 4 章では、粘弹性特性測定の従来法である DMA 測定の結果を報告した。試料に加えるひずみ方向を引っ張りとせん断として、それぞれの複素弾性率として貯蔵弾性率  $E'$ ,  $G'$ 、損失弾性率  $E''$ ,  $G''$ 、損失正接  $\tan \delta$  について検討し、時間 - 温度換算法の違いによるガラス転移温度とガラス転移周波数の関係を比較するとともに、応力方向の影響、紫外線照射による表面劣化、振幅の効果、摩擦による温度上昇などの影響についても考察した。

第 5 章では、超音波粘弹性評価法によるゴムの評価結果を報告した。まず、もっとも信頼できる縦波水浸透過法と測定が簡便な直接接触による底面反射法について検証した。次に、

第4章で述べた DMA による動的粘弾性測定結果と比較し、超音波粘弾性評価法の妥当性を検討した。紫外線照射による表面劣化などの粘弾性への影響の評価の可能性についても検討した。

第6章では、摩擦特性と DMA 粘弾性評価結果および超音波粘弾性評価結果から、ゴムと紙の表面粗さによる高周波摩擦振動周波数を基準に摩擦係数と  $\tan \delta$  の相関を DMA および超音波について考察し、材料毎にヒステリシス摩擦と凝着摩擦の依存度合いを考察した。

第7章では底面反射法の実用化上の課題である底面反射が不要な試料表面の複素反射率を応用した表面反射法を構想し基礎式を導くと同時に底面反射法と比較し、差異要因としてカプラント層の影響を検討した。また、貯蔵弾性率や損失弾性率の計算に必要な密度を、超音波測定結果だけで計算できる方法を提案し、実用化での課題を解決した。

第8章で本論文を総括し結論を述べた。

### 論文審査の結果の要旨

本論文では、超音波によるゴム材料の粘弾性評価法を確立し、それを用いて高周波数領域でのゴムローラの摩擦特性の評価を行った。とりわけ、まずゴムローラやタイヤに使用される代表的なゴム材料について広範な速度範囲での摩擦特性を評価し、各種超音波計測方法のゴム粘弾性評価への適用性について検討し、従来の動的粘弾性測定法（DMA）と比較した。その上、超音波による表面劣化評価の可能性について検討した。これらの結果から、DMA を使って広い温度範囲の粘弾性特性を測定しつつ誤差の大きい時間-温度換算をしなくとも、簡便な超音波による粘弾性測定によれば実使用温度での摩擦加振周波数におけるヒステリシス摩擦と凝着摩擦の依存度合いの検討が可能であることを見出した。また、紫外線による表面劣化などの影響も位相速度変化で検討できる可能性を示唆した。さらに実用上簡便な表面複素反射率を応用した粘弾性評価方法も検討し、従来の底面反射法と比較することで差異要因を明らかにした。

なお、本論文の内容は主に下記の3篇の論文を基礎に構成されたものである。これらの論文は申請者がすべて筆頭著者となっている。

#### 【本学位論文の基礎となった学術論文】

1. 小俣順昭, 佐々木章匡, 倪慶清, 紙搬送用ゴムローラの摩擦特性評価のための高周波領域動的粘弾性特性評価法（第1報），トライボロジスト（トライボロジー学会），Vol. 51, No.2, pp.142-148 (2005年2月)
2. 小俣順昭, 倪慶清, 宮本悠己, 岩本正治, 紙搬送用ゴムローラの摩擦特性評価のための高周波領域動的粘弾性特性評価法（第2報），トライボロジスト（トライボロジー学会），Vol. 51, No.3, pp.238-245 (2005年3月)
3. 小俣順昭, 近藤猛, 倪慶清, 紙搬送用ゴムローラの摩擦特性と高周波領域動的粘弾性特性, トライボロジスト（トライボロジー学会），投稿中

#### 【参考論文】

1. Nobuaki OMATA, Yusuke HONMA, and Qing-Qing NI, High Frequency Dynamic-viscoelasticity of Tribology for Rubber Roller on Paper, 2003 JSME-IIP/ASME-ISPS Joint Conference on Micromechatronics for Information and Precision Equipment (IIP/ISPS Joint MIPE) pp161-162, (2003)

2. 小俣順昭, 本間祐介, 倪慶清, ゴムの摩擦特性と表面波による評価, 日本機械学会関西支部第 78 期定期総会講演会, pp.4-39~40, (2003)
3. 小俣順昭, 近藤猛, 倪慶清, 複素反射率によるゴムの粘弾性測定, USE2004 第 25 回超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム, pp71-72, (2004)
4. 宮本悠己, 佐々木章匡, 田中智寛, 小俣順昭, 倪慶清, 岩本正治, 超音波減衰係数を用いたゴムの粘弾性評価, 第 33 回 FRP シンポジウム, pp266-268, (2004)
5. 小俣順昭, ゴムローラの超音波による粘弾性評価と摩擦特性について, 日本ゴム協会研究部会トライボロジー分科会講演(2004).
6. 近藤猛, 小俣順昭, 倪慶清, 倉舗憲, 岩本正治, 超音波の表面反射によるゴムの粘弾性評価, 第 34 回 FRP シンポジウム(2005 年 3 月 16 日)