

研究概要報告書【サウンド技術振興部門】

(/)

研究題目	ピアノアクションにおける摩擦に及ぼす材質と湿度の影響	報告書作成者	福田応夫
研究従事者	福田応夫、Lim C. Y.(学部4年生学生)		
研究目的	<p>アコースティックピアノ内部には数多くのしゅう動部分があり、演奏者の表現技術に多くの影響を与えている。特に鍵盤からハンマーに至るアクションの数多くのしゅう動部における摩擦は、雰囲気湿度と前回作動時からの経過時間の影響を受けていると考えられるが、その影響の科学的説明は十分になされていない。湿度と前回動作時からの経過時間の影響は、静止摩擦力と動摩擦力の相違を生じるメカニズムによるものと考えられ、科学技術的見地からも原因解明が期待され、本研究はこれを目的とする。ピアノアクション部における摩擦の不安定化要因の解明は、ピアノ鍵盤のタッチの短期・長期的な安定性あるいは再現性の技術的実現に貢献すると考えられ、演奏技術のさらなる発展、初心者の技術習得の促進に資する物と考える。</p>		

研究内容

ピアノアクションの摩擦部分の中でもハンマー・バット・フレンジに着目し、①摩擦部分構成材料、②動作間隔、③雰囲気湿度による摩擦抵抗の変動を調査し、その支配要因については変動原因を明らかにすることを目的とした。今回の研究では調査の過程で③に大きな進捗が得られ、雰囲気湿度の影響に関する基本的なメカニズムの解明が期待できることが明らかとなったため、この課題を優先的に取り扱った。そのため①と②については今後の課題とすることとした。提案者がこれまでに開発してきた摩擦試験方法(論文 5)と雰囲気湿度(論文 1-4)の調整方法を応用し、ピアノアクションの一部の摩擦試験を可能とする試験機 LLBT (Light Load Bearing Tester, 説明書 図1)を開発した。LLBTではピアノを打鍵した際のフレンジにおける金属軸の回転をシミュレートすることにより軸の回転位相と摩擦力に起因するトルクの関係を調査することができる。また任意の荷重を付与することが可能で、雰囲気湿度を調整した環境で試験を行うことができる。

第一段階として、金属軸の回転をシミュレートした際の摩擦トルク変動調査を行った。これらの結果から、第二段階としてフレンジ内部のフェルト内圧による初期荷重を推定する手法を提案した。今回調査では特にハンマーのスティックを重要な問題として扱ったため、金属軸が静止した際の静止摩擦係数に着目して解析を行った。具体的には、ハンマー自重を含む範囲で荷重を変化させ、その際の摩擦トルクの変動傾向を外挿し、当該トルクが 0 となる荷重をフェルト内圧による初期荷重と推定した。第三段階として、推定初期荷重と静止摩擦係数に及ぼす湿度の影響を調査した。結果は説明書図4と5に示す通りで、初期荷重は低湿度で大きく、静止摩擦係数は高湿度で大きい傾向が示された。調査は5つのサンプルを対象に行ったが、初期荷重や摩擦係数が大きくなる湿度領域ではサンプル毎のバラツキが大きい傾向が確認された。これらのバラツキの原因も今後の課題である。第四段階として、これらの結果からフレンジにおける金属軸の表面に働く摩擦力への雰囲気湿度の影響を表す物理モデルを提案した。第五段階として、湿度の影響メカニズムの解明を行い、荷重に関しては高湿度ではフェルトが膨張するとともに剛性が低くなるため初期荷重が小さくなること、摩擦係数に関しては高湿度では表面吸着水により真実接触点におけるメニスカスが形成され、ラプラス圧力による摩擦力増加が生じたものと推定した。

- 1) Zaid Ali Subhi, **Kanao Fukuda**, Takehiro Morita and Joichi Sugimura, “Analysis on the Mechanism of Humidity to Influence the Very Early Stage of Sliding under Different Load,” Tribology Online, 10, 6 (2015) 420-427. [ISSN: 1881-218X, SCOPUS, SJR: 0.265]
- 2) Zaid Ali Subhi, **Kanao Fukuda**, Takehiro Morita and Joichi Sugimura, “Quantitative Estimation of Adsorbed Water Layer on Austenitic Stainless Steel,” Tribology Online, 10, 5 (2015) 314-319. [ISSN: 1881-218X, SCOPUS, SJR: 0.265]
- 3) **Kanao Fukuda**, Masaaki Hashimoto and Joichi Sugimura, “Friction and Wear of Ferrous Materials in a Hydrogen Gas Environment,” Tribology Online, 6, 2 (2011) 142-147. [ISSN: 0915-1168] (**Best Paper Award**)
- 4) **Kanao Fukuda**, Zaid Ali Subhi and Takehiro Morita, “Analytical Study on the Growth and Transfer of Adhesive Substance Generated on the Surface in the Early Stage of Sliding,” Wear, 330-331 (2015) 64-69. [ISSN: 0043-1648, Web of Science IF 1.862, SCOPUS SJR 1.596]
- 5) **Kanao Fukuda**, “Friction Force Distribution and Its Alternation with Repeated Sliding”, Journal of Japanese Society of Tribologists, 43, 9 (1998) 788-795. (in Japanese) (**Best Paper Award**)

研究概要報告書【サウンド技術振興部門】

(/)

<p>研究のポイント</p>	<ul style="list-style-type: none"> ① ピアノ内の軽荷重軸受(ハンマー・バッド・フレンジ)をシミュレートする Light load bearing tester を開発した(説明書 図1)。 ② ハンマー・バッド・フレンジの摩擦特性に及ぼす雰囲気湿度の調査を行った(説明書 図2)。 ③ フレンジにおける軸へのフェルトによる初期荷重を推定する方法を提案した(説明書 図3)。 ④ フレンジにおける摩擦力への湿度の影響メカニズムに関して、初期荷重と摩擦係数の2つの観点から物理モデル構築した。 ⑤ 雰囲気湿度による初期荷重と摩擦係数への影響メカニズムに関する調査を行い、そのメカニズムを考察した。
<p>研究結果</p>	<p>ハンマー・バッド・フレンジの摩擦に及ぼす雰囲気湿度の影響を研究し以下の結果を得た。</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 雰囲気湿度によりフレンジの摩擦力は影響を受け、湿度の増加に伴い大きな値を示す傾向が確認された。ピアノにおける高湿度雰囲気でのハンマースティック現象と一致する結果が得られた。特に高湿度でサンプルごとの大きなバラツキが見られ、実機においてスティックを起こすハンマーと起こさないハンマーが生じることを説明することができた。(説明書 図2)。 ② フレンジ内の推定初期荷重は低湿度で大きなバラツキが見られ、中から高湿度ではバラツキが見られず値も小さくなった(説明書 図4)。 ③ 推定静止摩擦力は低湿度で小さくかつバラツキも少なかったが、湿度の増加と共に大きくなり、高湿度ではサンプルごとのバラツキが極めて大きくなった(説明書 図5)。 ④ 湿度がフレンジの摩擦に影響を与える物理モデルとして、湿度がフレンジ初期荷重と摩擦係数の双方に影響する次式を提案した。 $F_s = \mu_s (RH) \cdot [L_{internal}(RH) + L_{Hammer}]$ ⑤ 湿度が初期荷重に影響を及ぼすメカニズムとして、実験により、吸湿に伴うフェルトの体積膨張と剛性の低下という二つの相反する効果を見出した。 ⑥ 高湿度で摩擦係数が増大するメカニズムとして、フェルト繊維表面とピン表面に吸着した水分によるメニスカスの形成とラプラス圧力による引き離し力の増大を推定した。 <p>研究報告書:Proceedings of 5th Malaysia-Japan Tribology Symposium 2017 (Best Poster Award), トライボロジー会議 2017 秋 高松予稿</p>
<p>今後の課題</p>	<p>今回の研究で調査を進めることが出来なかったアクションの停止時間の影響調査が今後の課題の一つである。また、今回得られた知見を活かしたフレンジ構成材料や構造の検討により、湿度の影響を受けにくいフレンジを提案することが長期的な課題となる。</p>

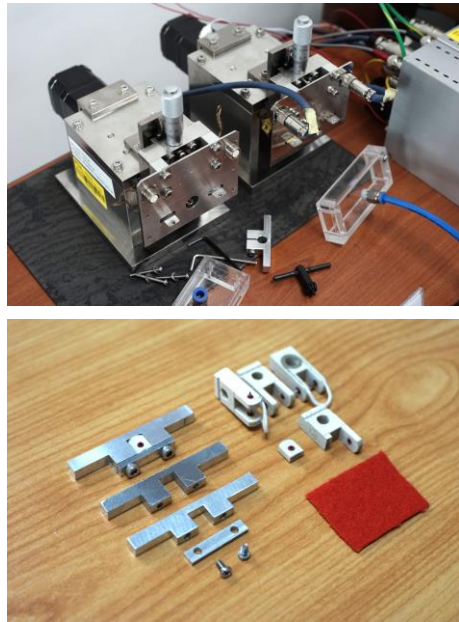


図1 開発した Light Load Bearing Testers(上)、ハンマー・バット・フレンジから切り出した試験片とそのホルダー(下)

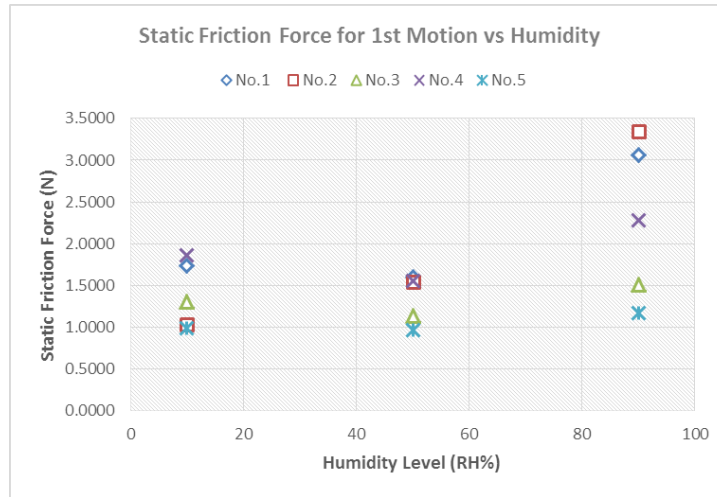


図2 静止摩擦力への湿度の影響

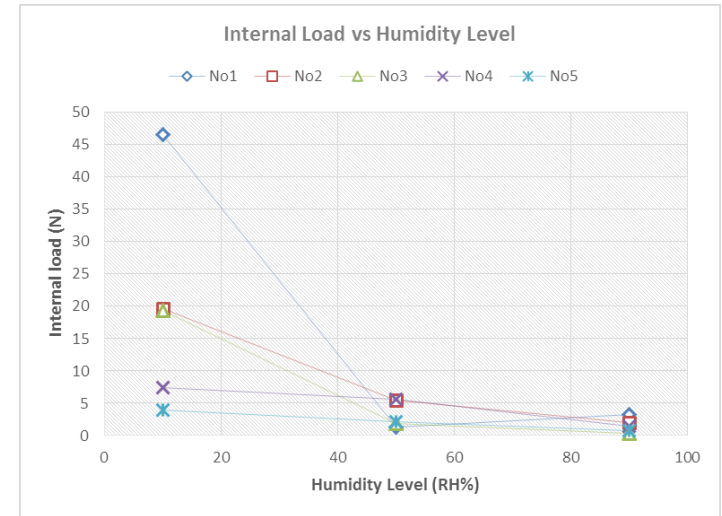


図4湿度による初期荷重の変化

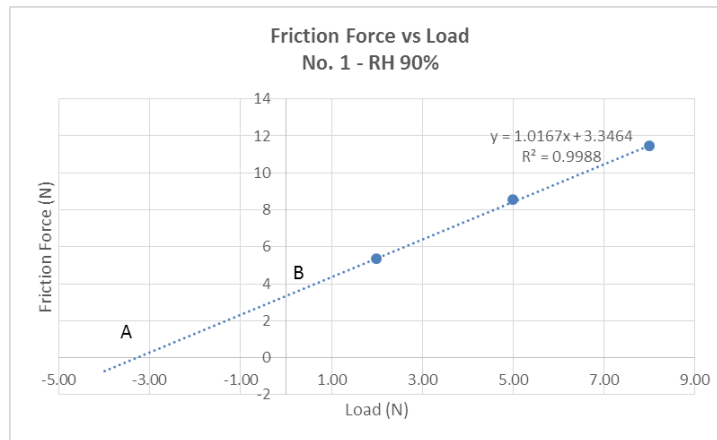


図3 軸へのフェルトによる初期荷重を推定した例

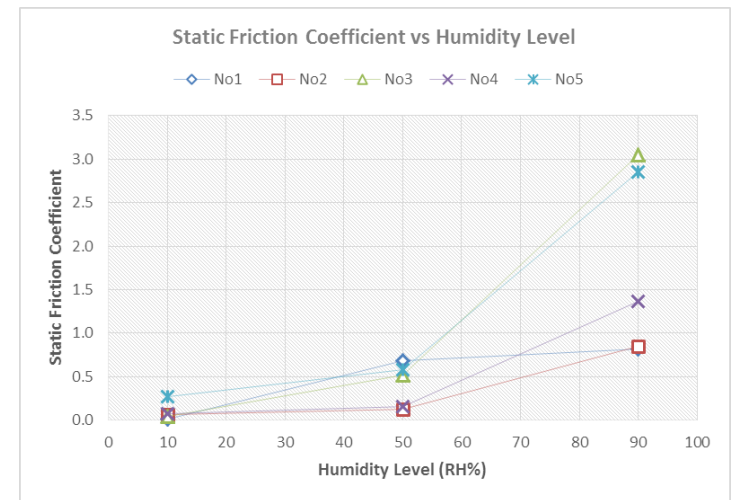


図5湿度による静止摩擦係数の変化