



動吸振器による電動サンダーの摩擦振動抑制効果

メタデータ	言語: en 出版者: 宮崎大学工学部 公開日: 2023-11-01 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 勝木, 広太, 盆子原, 康博, 中野, 駿輔, 濱畑, 貴之 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10458/0002000286

動吸振器による電動サンダーの摩擦振動抑制効果

勝木 広太^{a)}・盆子原 康博^{b)}・中野 駿輔^{a)}・濱畑 貴之^{c)}

Countermeasure against Frictional Vibration in Electric Sander by Dynamic Absorber

Kota KATSUKI, Yasuhiro BONKOBARA, Shunsuke NAKANO, Takayuki HAMAHATA

Abstract

The symptoms of Raynaud's disease, a hand-arm vibration syndrome, are caused by long-term use of hand-held electric tools or vibrating tools and by excessive exposure to hand-arm vibrations. The purpose of the present research is to develop a passive vibration suppression system using electric tools in order to address the problem of the hand-arm vibration syndrome. We focus on the development of a dynamic absorber for a electric sander used to grind the surface of wood or steel. After measuring and analyzing the vibration in the tools, it was proven that the friction force acting between tools and work materials is one of the causes of an increase in the tool's vibration. Consequently, the suppression effect of the dynamic absorber on frictional vibration was verified experimentally. As a result, it was confirmed that when the dynamic absorber with the natural frequency of 10 Hz or less is installed on the sander, the daily vibration exposure values become lower than 1.0 m/s².

Keywords: Self-excited vibration, Vibration control, Dynamic absorber, Hand arm vibration

1. 緒言

ディスクグラインダや電動サンダーなど手持ち電動工具では、使用時に把持部に強い振動が発生し、作業者が手腕に振動ばく露を受ける。このような作業を長年経験すると、末梢循環障害や末梢神経障害などの手腕振動障害を発症する恐れがある¹⁾。この障害の発症要因は、主に機械工具から手腕に伝播する振動であり、これをいかに低減するかが重要な課題である。

本研究では、手持ち電動工具に動吸振器などの制振装置を設置して、振動低減化を図ることを目的とする。既報²⁾では、ディスクグラインダに生じる振動の発生要因を調べるとともに、動吸振器による振動抑制効果について検証した。その結果、砥石ディスクを被削材に接触させた際に、摩擦力の影響で10Hz以下の振動が増大することを示した。さらに、摩擦振動の発生振動数に近い固有振動数に設定した動吸振器をディスクグラインダに設置した結果、摩擦振動の発生を防止できることを確認した。さらに、得られた結果を踏まえて摩擦自励振動に対する動吸振器を内蔵した防振ハンドルの開発を行った³⁾。

本報では、先行研究に引き続いて、電動サンダー（以下、サンダーと呼ぶ）を対象として、動吸振器による振動抑制効果について検証する。まず、サンダー使用時に生じる手

腕振動の要因が、ディスクグラインダと同じく摩擦振動であることを示す。さらに、サンダーに対して動吸振器を設置して、手腕振動測定実験を実施して動吸振器の有効性を検証するとともに、摩擦振動を抑制するための動吸振器の設計条件について考察する。

2. 手腕振動測定実験

2.1 電動サンダーおよび動吸振器

本実験で使用した電動サンダーは、図1に示すミニサンダーと呼ばれる機種である。このサンダーは、主に把持部となる本体部分と、偏心プーリーを介して本体内部のモータに取り付けられた板（パッド）からなる。パッドには紙やすりを取り付けることができ、モータを駆動するとパッドが回転し、紙やすりの面を被削材に押し当てることで被削材を研磨することができる。

図2は、検証実験を行うために製作した動吸振器である。これは、土台に固定した板ばねにおもりを取り付けた単純な構造となっており、加振時にはおもりが横方向に振動する。この動吸振器は、実用的ではないものの、振子のおもりや板ばねを変更したり、おもりの取り付け位置を調整することで、振子の固有振動数を容易に設定することができる。また、土台と板ばねの間にゴムシートなどをはさむことで、減衰を付与することが可能である。具体的な実験条件や、サンダーに動吸振器を設置する方法については後述する。

a)工学専攻機械・情報系コース大学院生

b)工学科機械知能工学プログラム准教授

c)教育研究支援センター技術職員



図1. 実験で使用した電動サンダー.

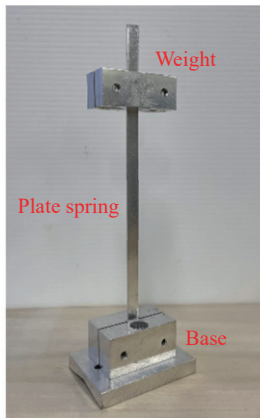


図2. 製作した動吸振器.

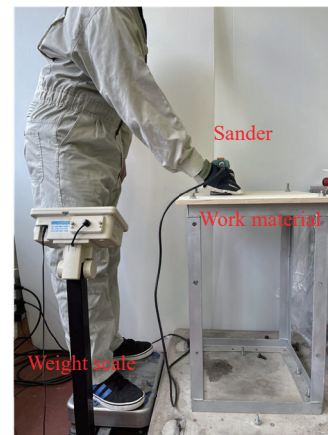


図3. 手腕振動測定実験.

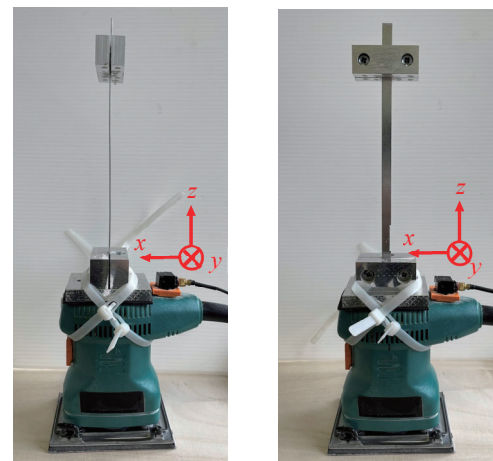


図4. 動吸振器の設置方法.

2.2 実験方法

本実験では、サンダーの把持部の振動加速度を測定する手腕振動の測定を行った。図3に実験時の様子を示す。実験にあたり、電動サンダーの上部に3軸加速度センサを設置した。紙やすりは、粗さが#120(中目)のものを用いた。被削材には、縦460mm、横550mm、厚さ13mmの桐板を使用し、剛フレームに水平に固定した。体重計は、サンダーを被削材に押し付ける力(押し付け力)を測定するために使用した。

具体的な実験方法は以下の通りである。まず、被験者が体重計に乗り、サンダー本体の胴体部分を横から片手で把持する。サンダーを駆動した後、パッドを被削材に押し付ける。実際の研磨作業では、サンダーを前後左右に動かしながら行うが、本実験ではサンダーの位置を固定した状態で行う。また、押し付け力が30Nの一定値となるように、被験者が体重計を確認しながら調節する。実際は±3N程度の変動が生じた。サンダーが定常状態になった後、3軸方向の振動加速度信号を測定し、分析する。

サンダーに動吸振器を設置する際は、図4に示すように、結束バンドを用いて動吸振器の土台をサンダー本体の上部(把持部)に固定した。このとき、振子の運動方向をx方向(電源ケーブルのある長手方向)とy方向の2種類に設定した。振子の固有振動数は、3.5Hzから230Hzまでの範囲で変動させた。なお、振子に減衰を付与することは行っておらず、減衰比は最大でも0.07程度であった。

以上のことを考慮して、動吸振器の有無、動吸振器の振動方向、被削材との接触の有無など、実験条件の違いに応じてそれぞれ3回ずつ実験を行った。なお、以下の議論では、動吸振器をDAで表し、x方向に振動する振子をx振子DA、y方向に振動する振子をy振子DAと呼ぶ。また、被削材と接触していない状態を空転時、接触させて研磨している状態を接触時と呼び区別する。

2.3 日振動ばく露量 $A(8)$ の測定

手腕振動を定量的に評価するために、国際規格(ISO 5349-1)に基づいて日振動ばく露量⁴⁾を測定した。まず、把持部に取り付けたセンサにより手腕振動に対して周波数補正された3軸方向の振動加速度 a_{hvx} 、 a_{hvy} 、 a_{hvz} を測定する。さらに、1/3オクターブバンド分析を行い、周波数補正振動加速度実効値の3軸合成値 a_{hv} を求める。これから、1日の8時間等価振動加速度実効値として、次式により日振動ばく露量 $A(8)$ [m/s^2] を算出する。

$$A(8) = a_{hv} \times \sqrt{\frac{T}{8}}, \quad a_{hv} = \sqrt{a_{hvx}^2 + a_{hvy}^2 + a_{hvz}^2} \quad (1)$$

ここで、 T [hour] は 1 日当たりの振動ばく露時間であり、最大 2 時間までとなっている。また、日振動ばく露量には、改善対策を実施する目安として限界値 5.0 m/s^2 と対策値 2.5 m/s^2 の 2 種類の基準値が定められている。本報では、振動ばく露時間 $T=2.0 \text{ hour}$ として手腕振動ばく露量 $A(8)$ を求め、限界値や対策値と比較して手腕振動の大きさを定量的に評価した。なお、使用したサンダーの 3 軸合成値のカタログ値は 4.9 m/s^2 である。

3. 実験結果および考察

3.1 振動の発生要因

サンダーに生じる振動の発生要因について調べるため、動吸振器を設置しない (DA 無し) 場合で空転時と接触時とで実験を行った。図 5 は、測定した 3 方向の振動加速度信号に対するパワースペクトルから 3 軸合成値を求めた結果である。

まず、空転時の結果を見ると、モータ回転数である 254 Hz にピークがあり、その 3 軸合成値は 20.1 m/s^2 である。これは、パッドが旋回運動することに伴う、不釣り合い振動が発生したことを示している。また、ピークは小さいものの 120 Hz のピークがある。これは、モータの特性に起因した振動を表している。サンダーには交流整流子モータが使用されており、電源周波数に依存して回転子に作用する磁気吸引力が周期的に変動するために振動が発生し得る。先行研究で取り扱ったディスクグラインダでは、この振動成分が比較的大きかったものの、本実験で使用したサンダーではあまり影響がないようである。

次に、接触時の結果を見ると、モータ回転数である 233 Hz にピークが表れている。モータの回転数が空転時よりも低くなるのは、押し付けによってパッドに摩擦力が働いたためである。このときの 3 軸合成値は 40.5 m/s^2 となり、空転時の 2 倍程度まで大きくなっている。確認のため、押し付け力を大きくすると、振動加速度はさらに増加した。これは、摩擦力が増大したことによると推察できる。このように、接触時にはパッドと被削材間に作用する摩擦力の影響により、モータ回転数成分の振動が大幅に増大することがわかる。ディスクグラインダの場合でも、接触時に摩擦力の影響で振動が増加することを確認している。ただし、増大した振動はモータ回転数成分ではなく、10 Hz 程度の低い振動数領域の振動であった。この点で、両者に発生する振動の特徴が異なっている。

3.2 動吸振器による振動抑制効果

前節の結果から、接触時に作用する摩擦力によって生じる振動が、手腕振動を増大する要因であることがわかった。そこで、この摩擦振動を抑制するために、サンダーに動吸振器を設置することを試みた。ここでは、動吸振器による振動抑制効果について実験的に検証した。

本実験では、動吸振器(DA)を設置しない場合 (DA 無し時)、 x 振子 DA を設置した場合、 y 振子 DA を設置した場合の 3 種類で、さらに空転時と接触時を組み合わせた 6 種類の条件で、把持部の振動加速度の測定を行った。

まず、DA の有効性について検証するため、DA の固有振動数を変動しながら手腕部の振動加速度を測定した。DA の固有振動数は、おもりや板ばねの変更やおもりの設置位置を設定することにより、10 Hz から 230 Hz の範囲で調節した。初めに、DA の固有振動数を接触時に発生する振動の振動数に近い 230 Hz に設定して実験を行った結果、あまり振動は低減しなかった。さらに固有振動数を下げながら繰り返し実験を行った結果、固有振動数を 10 Hz に設定した場合では、有意な振動抑制効果が表れた。図 6 は、DA 無し時と固有振動数を 10 Hz に設定した y 振子 DA を設置した場合の振動加速度の測定結果である。図中には、図 5 と同様に測定した 3 方向の振動加速度信号に対するパワースペクトルから 3 軸合成値を求めた結果を示している。この結果を見ると、DA 無し時には 3 軸合成値が 40.5 m/s^2 程度の振動が発生したが、DA を設置した場合には 3 軸合成値が 27.7 m/s^2 まで減少した。これは空転時に近い状態である。なお、 x 振子 DA を設置した場合も同様の傾向を確認している。この結果から、サンダーに対しても動吸振器による接触時に生じた振動を抑制できることがわかる。

なお、ここでの検討では、振動加速度の 3 軸合成値を用いたが、手腕振動に対しては日振動ばく露量により評価する必要がある。これについては次節で述べる。

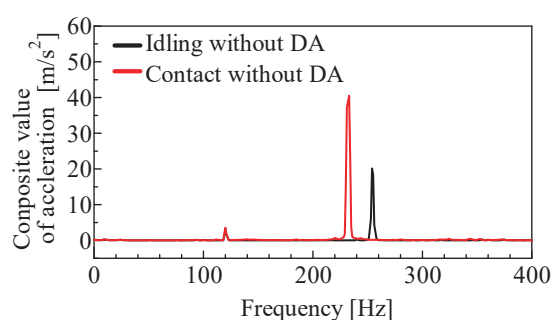


図 5. 振動加速度信号の周波数分析結果.

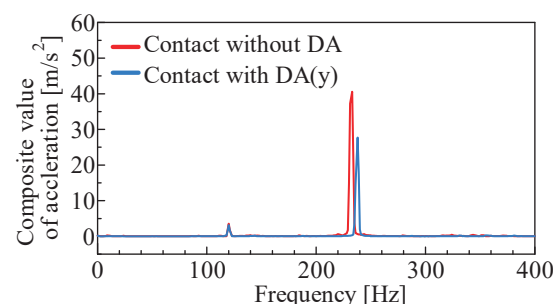


図 6. 振動加速度信号の周波数分析結果.

3.3 日振動ばく露量の測定結果

次に、前節と同様の実験条件で日振動ばく露量 $A(8)$ の測定を行った。ここでは、それぞれの実験条件で3回ずつ実験を行い、得られた結果の平均値を求めた。なお、式(1)の1日当たりの振動ばく露時間は2時間に設定した。

まず、DAを設置しない場合で日振動ばく露量を測定した結果、空転時では $A(8)=1.09 \text{ m/s}^2$ 、接触時では $A(8)=1.74 \text{ m/s}^2$ であった。空転時よりも接触時の方が $A(8)$ が大きくなっており、摩擦力の影響が確認できる。この結果では、日振動ばく露量 $A(8)$ が対策値 2.50 m/s^2 以下となっているが、押し付け力を大きくすると $A(8)$ はさらに増加することから、本検討ではこの結果を評価基準として動吸振器の振動抑制効果について検証する。

図7および図8は、それぞれ x 振子 DA および y 振子 DA の固有振動数を 10 Hz から 230 Hz まで変動させて日振動ばく露量を測定した結果である。図中の横軸は DA の固有振動数であり、縦軸は日振動ばく露量 $A(8)$ をとっている。青色の線と記号は、空転時の結果を示し、赤色の線と記号は接触時の結果を表す。また、DAを設置しない場合の空転時と接触時の結果をそれぞれ、緑色の破線および実線で示している。

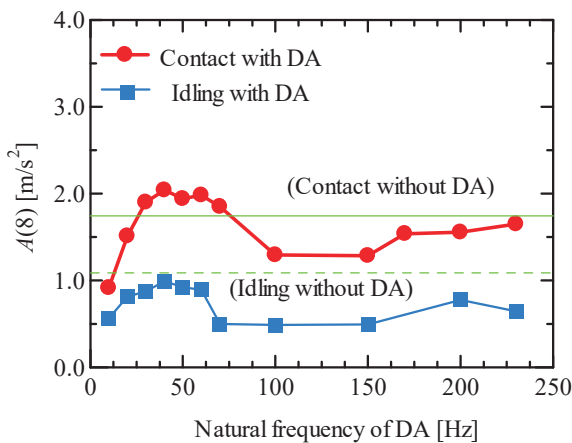


図7. x 振子 DA 設置時の日振動ばく露量。

まず、図7の x 振子 DA を設置した場合の結果を見ると、空転時では DA の固有振動数によらず $A(8)$ が 1.0 m/s^2 以下となっており、DA 無しの結果（緑色破線）よりやや小さくなっている。このことから、サンダーに動吸振器を設置しても、空転時に振動が増加するような影響はないようである。一方、接触時では、DA の固有振動数に応じて $A(8)$ が変化しており、固有振動数が 50 Hz 付近のときでは 2.0 m/s^2 程度まで増えて、DA 無しの接触時の結果（緑色実線）よりも大きな値となっている。また、固有振動数が小さくなると、 $A(8)$ が減少しており、固有振動数が 10 Hz にした場合には $A(8) = 0.92 \text{ m/s}^2$ であり、DA 無しの空転時と同程度まで $A(8)$ が低減していることがわかる。

次に、図6の y 振子 DA を設置した場合の結果を見ると、空転時では、図5と同様に、DA の固有振動数によらず DA 無し時の結果よりも小さくなっている。一方、接触時では、固有振動数が 200 Hz 付近のときでは $A(8)$ が 3.0 m/s^2 を超える程度まで増加している。また、固有振動数が小さくなると $A(8)$ が減少しており、固有振動数を 10 Hz にした場合には $A(8) = 1.10 \text{ m/s}^2$ であり、 x 振子 DA を設置した場合も同様に、良好な振動抑制効果が得られている。

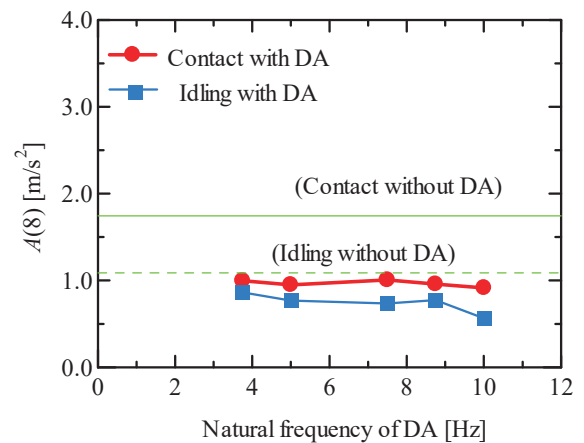


図9. x 振子 DA 設置時の日振動ばく露量。

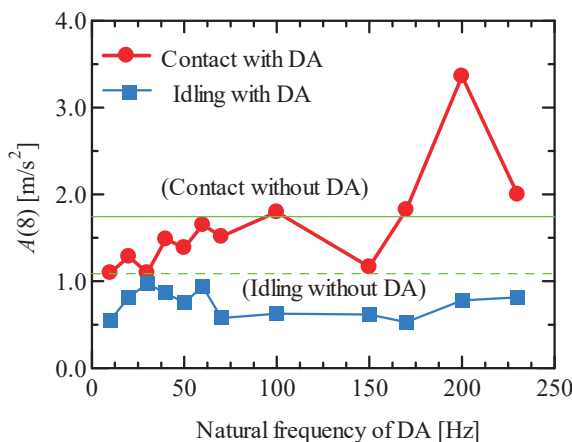


図8. y 振子 DA 設置時の日振動ばく露量。

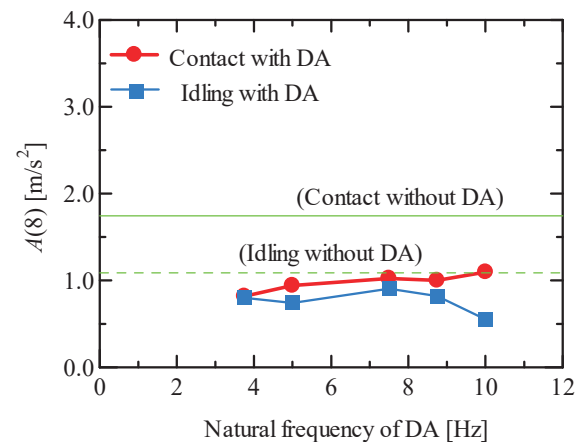


図10. y 振子 DA 設置時の日振動ばく露量。

次に、DA の固有振動数をさらに低く設定して、 $A(8)$ がどのように変化するのかについて調べた。図 9 および図 10 は、振子の固有振動数を 3.5 Hz から 10 Hz まで変動させて日振動ばく露量を測定した結果である。これらの結果を見ると、固有振動数が 10 Hz の場合と比べると、固有振動数をさらに低くしてもあまり変化はないようである。

以上の結果から、サンダーに動吸振器を設置する場合、振子の固有振動数を 10 Hz 以下に設定すれば、接触時に摩擦力に起因した振動の増加を完全に抑制できることが確認された。

4. 結言

本研究では、電動サンダーを対象として、動吸振器による摩擦振動の抑制効果について実験的に検証を行った。得られた結果は次の通りである。

- (1) 接触時において、パッドと被削材間に作用する摩擦力の影響により、モータ回転数成分の振動が大幅に増大することを確認した。
- (2) 接触時に発生する摩擦振動に対して動吸振器が有効であることを確認した。良好な振動抑制効果を得るには、動吸振器の固有振動数を 10 Hz 以下に設定すればよいことがわかった。

先行研究で取り扱ったディスクグラインダの場合でも、動吸振器の固有振動数を 10 Hz 以下とすると、摩擦振動の抑制効果が高くなった。2 種類の異なる電動工具で、動吸振器の設計条件が共通であることは興味深い。ただし、摩擦力の影響で発生する振動の振動数帯域が、ディスクグラインダでは 10 Hz 付近であったが、サンダーの場合はモータ回転数であった。今後は、このような現象の差異が生じた原因を解明するとともに、摩擦振動に対する動吸振器の最適設計法を確立することを目指す。

参考文献

- 1) 柴田延幸, 永田智久, 塩田直樹: アルミ鋳造品製造行程における作業者の手腕振動ばく露の実態, 労働安全衛生研究, Vol. 5, No. 2, pp. 79-86, 2012.
- 2) 松尾洋平, 盆子原康博, 山口剛範, 近藤孝広, 濱畑貴之: ディスクグラインダに生じる振動の発生要因とその低減対策”, Dynamics and Design Conference 2019.
- 3) 松尾洋平, 盆子原康博, 宮野俊亮, 濱畑貴之, 近藤孝広: 摩擦振動を抑制するためのディスクグラインダ用防振ハンドルの開発, 日本機械学会 2020 年年次大会講演論文集, #S10120, 2020.
- 4) 建設業労働災害防止協会編: 振動工具取扱作業の知識 (作業用テキスト), pp. 36-43, 2010.