

上肢トレーニング装置への応用を目指した 軸可動型 EAM ブレーキデバイスの開発

Development of the axial moveable rotational type EAM brake device for the application to the arm training device

○風見亮, 新藤慶樹, 山田元気, 三井和幸 (東京電機大学大学院工学研究科)
下大川丈晴 (三洋金属工業株式会社), 櫻井宏治, 安齊秀伸 (藤倉化成株式会社)
Ryo KAZAMI, Yoshiki SHINDO, Genki YAMADA, Kazuyuki MITSUI, Tokyo Denki University
Takeharu SHIMOOHKAWA, Sanyo Kinzoku Co., Ltd.
Kouzi SAKURAI, Hidenobu ANZAI, Fujikura Kasei Co., Ltd.

Abstract: In recent years, strength training has been carried out for the purpose of self-reliance of the elderly. And small size, light weight, and easy load adjustment are required for the strength training device. Therefore we developed the brake device using a functional material called EAM that we have developed. And we decided to call it rotary EAM brake device. In this brake device, a resistive torque can be controlled by the voltage. And, we developed the wearable upper limb training equipment which installed that brake device. And this time, in this study, furthermore, we developed the new brake device which has movable axis. And we tried to apply this new brake device to the wearable upper limb training equipment for the purpose of adaptation to a natural motion of a wearer's elbow joint.

Key words: Upper Limb Training Equipment, Functional Material, Brake Device

1. 緒言

高齢者の自立支援, 身体能力低下の予防, 介護負担の軽減を目的として, 筋力トレーニングによるリハビリテーションが行われている。しかし, 現在使用されているトレーニングマシンは, 装置が大型であるため, 設置施設が限られ, また, 細かい負荷の調節が困難といった問題がある。そこで, 電圧に応じて抵抗力が変化する機能性材料, EAM (Electro Attractive Material: 電氣的吸引材料)⁽¹⁾に着目した。この EAM を用いることで, 電圧を調節するだけで負荷を容易に変えることができる小型トレーニング機器の開発が可能であると考えた。

2. EAM

Fig.1 に EAM を示す。EAM とは, 我々が開発した, 分極しやすい微粒子とシリコンゴムを混ぜ合わせたシート状の材料である。Fig.2 に示すように, EAM を 2 枚の電極で挟み電圧を印加すると, 電極と EAM の間に吸引力が発生し, このとき上部電極をスライドさせると, スライド方向と逆向きに剪断抵抗力が発生する。なお, 剪断抵抗力は, 電極と EAM の接触面積, 電界強度に依存することが分かっている⁽¹⁾。

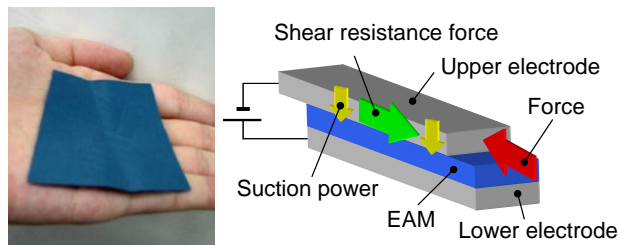


Fig.1 EAM

Fig.2 Characteristic of EAM

3. 過去に製作した回転型 EAM ブレーキデバイス

EAM を用いて, 我々は Fig.3 に示すような回転型 EAM ブレーキデバイス⁽¹⁾の開発を行っている。このデバイスは EAM を 2 枚の電極で挟んだ構造となっており, 一方の電極 (丸型電極) はシャフトの回転と連動して回転し, もう一

方の電極 (四角型電極) はケース内で固定されている。このデバイスは, 電圧印加時, 丸型電極の回転に対し抵抗トルクが発生し, その抵抗トルクは, 印加電圧に応じて変化する。

次に, 我々が製作した回転型 EAM ブレーキデバイスを用いた装着型上肢トレーニング装置⁽¹⁾を Fig.4 に示す。ショルダーサポーターを用いて装置全体を上腕に固定し, 肘の位置に回転型 EAM ブレーキデバイスを取り付けた。このトレーニング装置は, 腕を屈伸させることで, 上腕に負荷をかけることが可能である。しかし, 装置に使用した回転型 EAM ブレーキデバイスは, デバイスの軸が固定されているため, デバイスの軸と肘の軸がずれた際, 腕に余計な負荷が発生する問題があった。

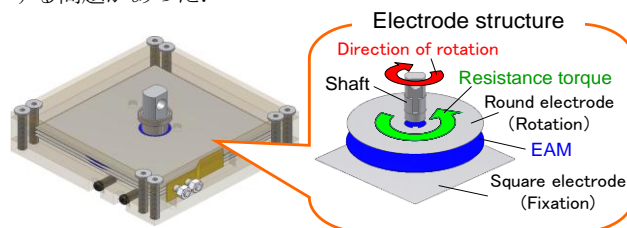


Fig.3 Rotary EAM brake device

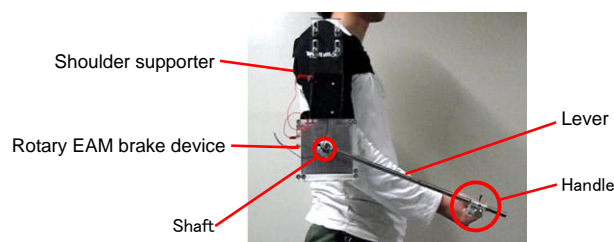


Fig.4 Wearable arms training device

4. 目的

装着者の自然な動きへの適応を目指し、本研究では、新たな回転型 EAM ブレーキデバイスを開発し、それを用いた上肢トレーニング装置を製作することを目的とした。

5. 新たな回転型 EAM ブレーキデバイス

5-1 構造

開発した新たな回転型 EAM ブレーキデバイスの全体の構造を Fig.5 に示す。このブレーキデバイスは、ケース内で固定されている四角型電極とケース内を移動可能な可動部に分かれ、可動部は、四角型電極中央部に開いた直径 20[mm] の穴の内部を、四角型電極に接触しながら移動可能な構造とした。

次に、可動部の構造を Fig.6 に示す。可動部は、EAM・丸型電極・軸が、スラスト玉軸受けと連動し、水平方向に移動可能である。我々はこの可動部を有する新たなブレーキデバイスを軸可動型 EAM ブレーキデバイスと呼ぶこととした。

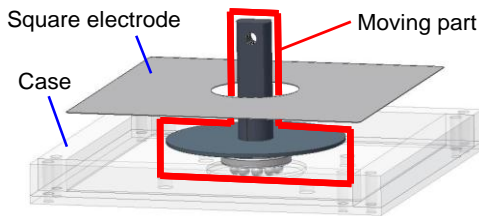


Fig.5 The whole structure

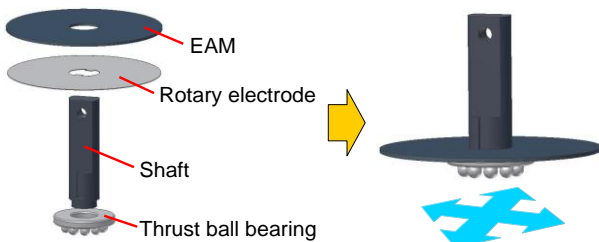


Fig.6 Structure of the moving part

5-2 製作した軸可動型 EAM ブレーキデバイス

Fig.7 に実際に製作した軸可動型 EAM ブレーキデバイスを示す。幅、奥行き共に 124[mm]、高さは 15[mm]とした。

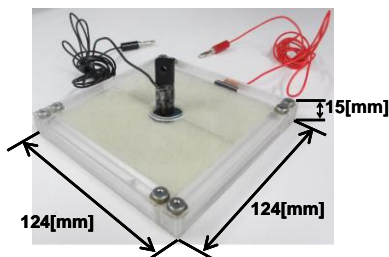
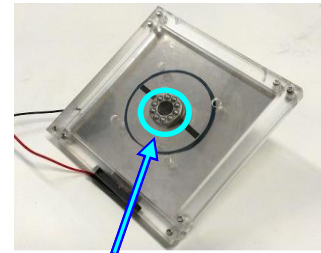


Fig.7 Dimensions of shaft moveable rotational EAM brake device

5-3 動作

Fig.8 の枠線で示した範囲が軸の可動範囲である。電圧印加時、軸の可動範囲内で、軸の位置に関わらず抵抗トルクが発生する。また、軸を移動した位置でもシャフトを回転させることが可能である。



Moveable range

Fig.8 Moveable range of shaft moveable rotational EAM brake device

6. 軸可動型 EAM ブレーキデバイスの性能評価

6-1 軸を中心位置からずらした際の印加電圧に対する抵抗トルクの測定

電圧を一定にした際、軸可動型 EAM ブレーキデバイスの軸がどの位置に移動しても同一の抵抗トルクを発揮するかを検討を行うために、軸を移動した位置での抵抗トルクの測定を行った。

6-1-1 測定方法

測定は、Fig.9 に示すように、シャフトの先端にφ50[mm]のプーリを取り付けて行った。プーリに巻きつけたワイヤの先を、ロードセルに固定したフックに取り付け、リニアステージで引張ることで抵抗トルクを測定した。測定位置は Fig.10 に示すように、デバイスの奥、中心、手前の3箇所、軸の位置を固定して行った。

なお、印加電圧は 0~2.0[kV]まで、0.5[kV]刻みとし、各5回測定を行った。また、リニアステージの引張り速度は 0.1[mm/s]、引張り量は 30[mm]とした。

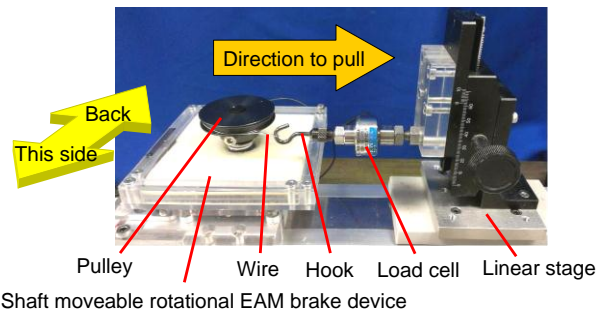


Fig.9 Method of measuring the resistance torque

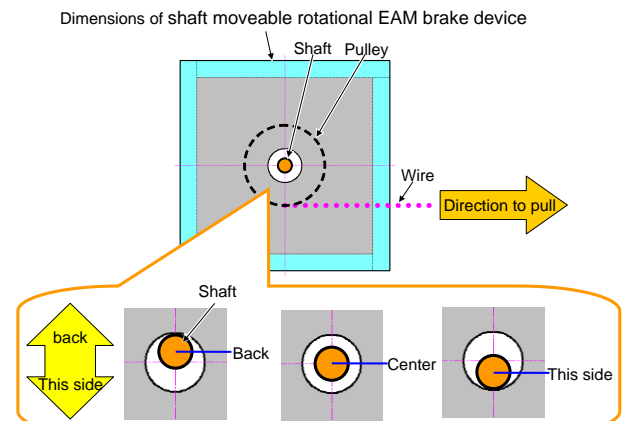


Fig.10 Measurement position of the resistance torque

6-1-2 測定結果

測定結果を Fig.11 に示す。電圧 2.0[kV]印加時の抵抗トルクは、中心が 1.7[N・m]、手前に移動したときに 1.5[N・m]、奥に移動したときに 1.7[N・m]であった。可動部がどの位置に移動しても、印加電圧の増加に伴い、抵抗トルクが増加することが分かった。また、軸の位置に関わらず、抵抗トルクはほぼ同一であることが分かった。

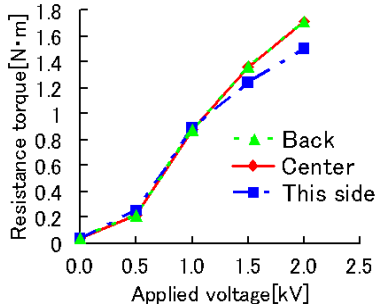


Fig.11 Resistance torque for the applied voltage

6-1-3 考察

測定結果に示したように、軸の位置に関わらず、抵抗トルクはほぼ同一であった。このことから、軸可動型 EAM ブレーキデバイスを製作することで、肘の軸と装置の軸の位置関係を考慮せずに装着可能なトレーニング装置の開発が可能であることが示唆された。

また、電圧 2.0[kV]印加時の、軸が中心に位置しているときの抵抗トルクは 1.7[N・m]であった。しかし、腕のリハビリテーションには 3[N・m] (約 1[kgf])が必要²⁾であるため、リハビリテーションに使用するトレーニング装置としては、さらに抵抗トルクが必要であることが分かった。

6-2 印加電圧に対する剪断抵抗力の測定

軸を移動した際にどの程度剪断抵抗力が発生するかを調べるために、印加電圧に対する剪断抵抗力の測定を行った。

6-2-1 測定方法

測定は、Fig.12 に示すように、軸可動型 EAM ブレーキデバイスのシャフトにワイヤを取り付けて行った。ワイヤの先を、ロードセルに固定したフックに取り付け、リニアステージで引張ることで剪断抵抗力を測定した。また、軸の可動範囲が最大 8[mm]であることから、Fig.13 に示すように、シャフトを可動範囲の端から 7[mm]直線移動させ、その際の剪断抵抗力を測定した。

なお、リニアステージの引張り速度は 0.1[mm/s]、印加電圧は 0~2.0[kV]まで、0.5[kV]刻みとし、各 5 回測定を行った。

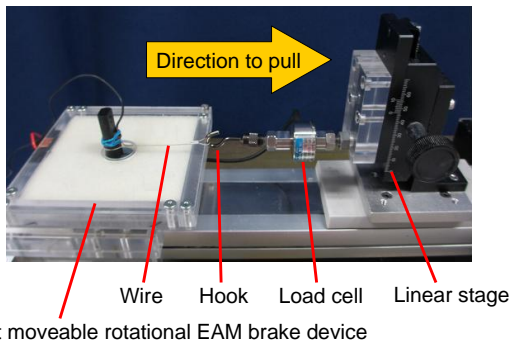


Fig.12 Method of measuring the shear resistance force

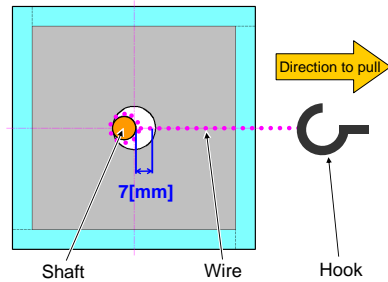


Fig.13 Measurement position of the shear resistance force

6-2-2 測定結果

1.0[kV]、2.0[kV]印加時の測定結果を Fig.14 に示す。印加電圧に対する剪断抵抗力の測定では、各測定において、最大値まで達した後、緩やかに減少し、一定値に収束する傾向が見られた。そのため、値が収束した付近の平均値を、印加電圧に対する剪断抵抗力の値とした。

Fig.15 に印加電圧に対する剪断抵抗力を示す。電圧 2.0[kV]印加時の剪断抵抗力は、5.0[N]であった。1.0[kV]印加時までは、剪断抵抗力の増加は緩やかなものであったが、1.0[kV]印加時以降は、印加電圧の増加に伴い、剪断抵抗力が増加することが分かった。

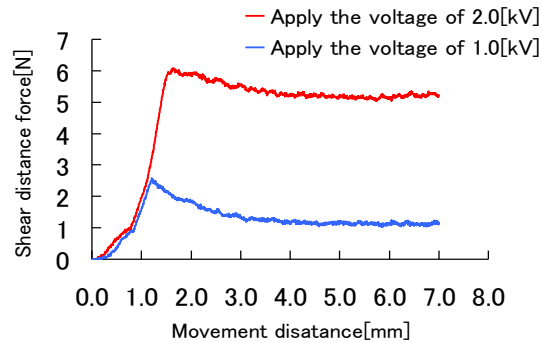


Fig.14 Shear resistance force for the movement distance

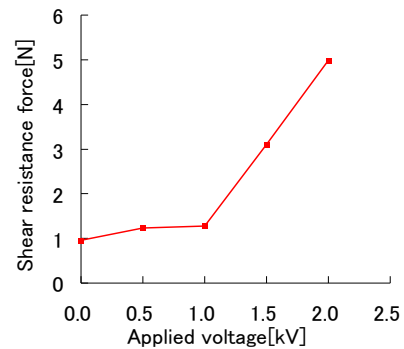


Fig.15 Shear resistance force for the applied voltage

6-2-3 考察

各測定で剪断抵抗力が最大値に達した後、緩やかに減少し、一定値に収束した測定結果について、Fig.16 に示すように、シャフトをスラスト玉軸受けで 1 箇所しか固定しておらず、軸が傾く構造であったことが原因であると考えた。剪断抵抗力が最大値に達するまでは、可動部全体が傾き、四角型電極に引っ掛かることで滑り出すことができず、リニアステージの引張り力に耐えることができなくなった瞬間から、可動部が動き出したのではないかと考えた。そのため、可動部が傾かないような構造の検討が必要であると考えた。

また、測定結果から、印加電圧の増加に伴い剪断抵抗力が増加することによって、軸の移動が困難になり、肘の軸とデバイスの軸のずれの調整が困難になることが分かった。そのため、軸の移動と抵抗トルクの発生を個々に制御できるような新たなデバイスの構造を検討する必要があると考えた。

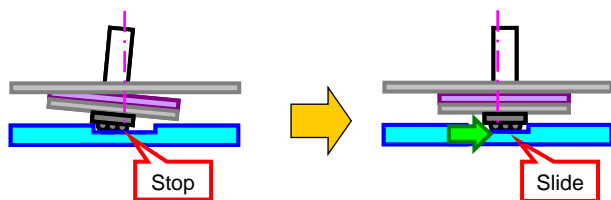


Fig.16 Consideration

7. 試作した上肢トレーニング装置

Fig.17に試作したトレーニング装置を示す。過去に開発した装着型上肢トレーニング装置に、新たに開発した軸可動型 EAM ブレーキデバイスを取り付けた。軸を動かすことが可能になったため、肘の軸とデバイスの軸の位置関係に関わらず装着することが可能である。

また、電源も含め、腕に収まるほど小さく、持ち運びが可能である。これに電圧調節可能な電源装置を搭載することで、電圧の調節で負荷を容易に変えることができ、小型でかつ腕に装着可能なトレーニング装置の開発に成功した。このデバイスを使用することにより、腕に最大 1.7[N・m] (約 0.56[kgf]) の負荷をかけることが可能である。

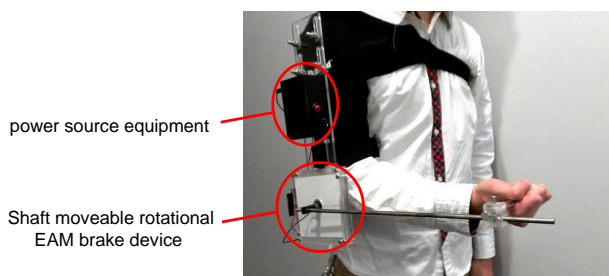


Fig.17 Experimental small size training device

8. まとめ

軸可動型 EAM ブレーキデバイスの開発を行った。開発した軸可動型 EAM ブレーキデバイスは、軸の位置に関わらず、同一の抵抗トルクを発揮可能であることが分かった。このデバイスを装着型上肢トレーニング装置に取り付けることで、肘の軸と装置の軸の位置関係を考慮せずに装着可能なトレーニング装置の開発が可能であることが示唆された。

今後は、軸が滑らかに移動可能かつ、さらに抵抗トルクを発揮可能な構造にすることで、より実用的なトレーニング装置の開発が期待される。

<参考文献>

- 1)熊谷光一, 伊奈伸弥, 山澤朋紀, 寺阪澄孝, 三井和幸, 櫻井宏治, 安齊秀伸: 多層 EAM ブレーキデバイスを用いた装着型上肢トレーニング装置の開発, 第 51 回日本生体医工学会大会抄録集 (CD 版), 2012
- 2)加藤卓郎, 星本正姫, 河合祥雄, 順天堂大学スポーツ健康科研究: 中高齢者における筋力および柔軟性トレーニングが筋力および関節可動域に及ぼす影響, 2003