

EAM ブレーキデバイスを用いたトレーニング機器開発に関する研究

Development of Training Tool with EAM Brake Device

○ 伊奈伸弥, 熊谷光一, 山澤朋紀, 寺阪澄孝, 三井和幸 (東京電機大学工学部)

櫻井宏治, 安齊秀伸 (藤倉化成株式会社)

Shinya Ina, Kouichi Kumagai, Tomoki Yamasawa, Sumitaka Terasaka, Kazuyuki Mitsui,
Department of Mechanical Engineering, Tokyo Denki University
Kouji Sakurai, Hidenobu Anzai, Fujikura Kasei Co. Ltd

Abstract: The EAM (Electro attractive material) was developed by us, and it is new functional material which dispersed particles which polarize easily in the silicone rubber. This EAM has the force attracting the electrode when a high voltage is applied. And when the electrode is made to slide, the shearing resistance force, made by that force attracting electrode, occurs between the electrode and EAM. This shearing resistance force can be controlled by the value of applying voltage. We developed the small and light weight break device by using this EAM. We called its break device the EAM break device. In this study, the trial production of the upper limb training tool for an old person by using this EAM brake device was done.

Key Words: Electro attractive material, EAM brake device, Training tool

1. 諸言

身体にハンディキャップを持つ患者や高齢者の機能回復のため、様々なトレーニング及びリハビリテーション用機器が開発されている。これらの機器には、錘やバネを用いて筋肉に負荷をかけることで筋力や関節の運動を回復させるものが多く、安全にリハビリテーションやトレーニングを行うためには用いる負荷の適切な調節が不可欠となる。しかし、既存の機器、特に錘を負荷に用いる場合は、スムーズな負荷の調節が難しく負荷のかけ方によっては怪我に至る危険性もある。もしも使用中であっても負荷を自在に変更できる装置があれば、この問題が解決でき、リハビリテーションやトレーニングをより安全かつ効率的に行えるのではないかと考えた。そこで我々は、EAMと呼ぶ印加電圧でせん断抵抗力の調節が可能な新たな機能性材料を開発し、これを用いることで電圧により回転制動力（抵抗トルク）の調節が可能なブレーキデバイス（EAMブレーキデバイス）の開発を行った。⁽¹⁾そしてさらに、このEAMブレーキデバイスを組み込むことで、与える電圧の値により負荷を自在に調節できる新たなトレーニング機器の試作を行った。

2. EAM

2.1 EAMの概要

EAM(Electro attractive material:電氣的吸引材料)は我々が開発した新たな機能性材料である。この材料はシリコンゴム中に分極しやすい微粒子を分散させた後、硬化させたゴム状の材料で、この EAM を Fig.1(a)のように一対の電極で挟み電圧(電界)を印加すると電極に対し吸引する力を発生するものである。さらに、電極の片方(例えば上部の電極)にすべり方向の力を加えると Fig.1 (b)に示すように電極の動きに対してせん断抵抗力を発生するというこれまでの材料に無い特徴を有する機能性材料である。

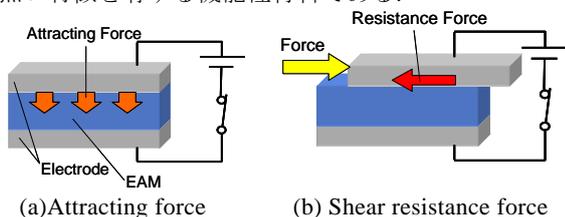


Fig.1 Force between EAM and electrode

2.2 EAMのせん断抵抗力の測定

EAM のせん断抵抗力と印加電界強度の関係を調べるため、抵抗力を測定する実験を行った。Fig.2に実験装置を示す。直動ステージに下部電極を固定し、その上に10[mm]x10[mm]の EAM 試験片を、そしてさらにその上に上部電極を設置し、上部電極を横方向に移動させた際のせん断抵抗力をロードセルを用いて測定した。この時、印加電界強度は0~2.5[kV/mm]まで0.5[kV/mm]ごとに変化させ、各電界強度に対するせん断抵抗力の測定を行った。

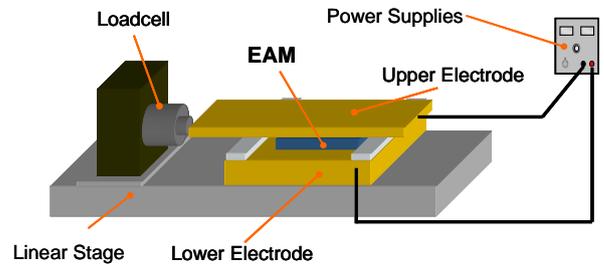


Fig.2 Experimental equipment of shear resistance force

Fig3 に測定結果を示す。印加電界強度の上昇に比例してせん断抵抗力も上昇し、最大 2.5[kV/mm]時、0.45[N]の抵抗力を発揮した。これよりせん断抵抗力は電界強度のみで調節が可能であることが確認された。

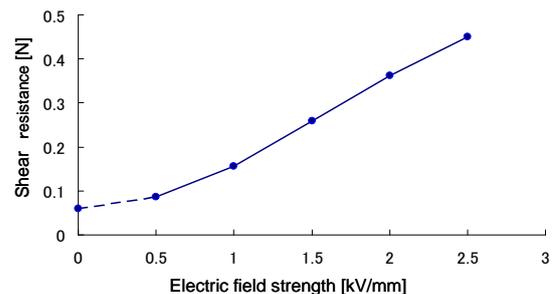


Fig.3 Relationship between electric field strength and shear resistance force

3. EAM ブレーキデバイス及びトレーニング機器の試作

3.1 EAMブレーキデバイス

Fig.4 に示すように,EAM と電極を円盤状とすることで,「2.2 EAM のせん断抵抗力の測定」において示したせん断抵抗力が,電極を回転させた際に抵抗トルクすなわち回転制動力として作用すると考えブレーキデバイスを試作した.これを EAM ブレーキデバイスと呼ぶこととした.電極に対するせん断抵抗力は電界強度により変化することが「2.2 EAM のせん断抵抗力の測定」により確認されており,このブレーキデバイスの抵抗トルクも同様に印加電界強度に応じて制御することが可能であると考えられる.なお今回試作した EAM ブレーキデバイスの寸法は Fig.5 に示すように,高さ 31[mm],外径 70[mm]とした.これに直径 60[mm],厚さ 1[mm]の EAM を直径 60[mm],厚さ 5[mm]の電極で挟み込む形で組み付けた.

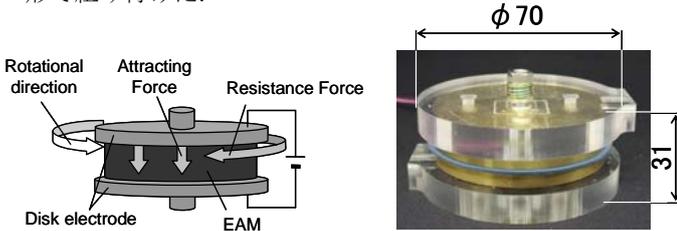


Fig.4 Structure of EAM brake device Fig.5 EAM brake device

3.2 EAMブレーキデバイスの抵抗トルク測定

3.2.1 測定方法

EAM ブレーキデバイスの挙動及び特性を調べるため電界強度に対する抵抗トルクの測定を行った.Fig.6 に示すように,EAM ブレーキデバイスの下部電極を固定し,上部電極に取り付けたプーリーに巻いたワイヤを直動ステージのフックに取り付け引っ張ることにより上部電極が回転した際に発生する抵抗トルクをロードセルで測定した.このとき,電界強度は 0.5[kV/mm]刻みで増加させ 2.5[kV/mm]まで印加し,各印加電界強度毎,プーリーに巻きつけたワイヤを 0.1[mm/s]の速さで引いた時の抵抗トルクを測定した.

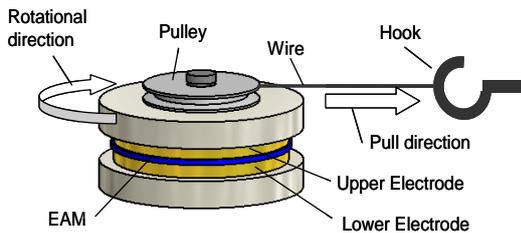


Fig.6 Schematic diagram of resistance torque measurement

3.2.2 結果および考察

測定した電界強度と抵抗トルクの関係を図.7 に示す.抵抗トルクは電界強度に対してほぼ直線的に増加し,電界強度 2.5[kV/mm]時に最大 0.15[Nm]の抵抗トルクが得られた.このように,EAM ブレーキデバイスは印加される電界強度に応じ抵抗トルクが変化することが確認でき,このことから,印加電圧に応じて回転制動力の調節が可能なブレーキデバイスとして使用可能であることが示された.

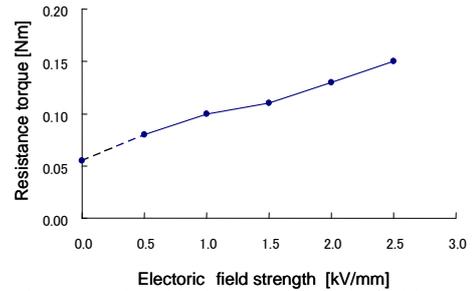


Fig.7 Relationship between electric field strength and resistance torque

3.3 トレーニング機器の試作

EAM ブレーキデバイスを用いて模擬的なトレーニング機器を試作した.これは,ダンベルなどを用いたウェイトトレーニングに置き換えることを想定し EAM ブレーキデバイスに取り付けた上肢用・前腕用アームをベルトを用いて腕に装着するものである.Fig8 に実際に装着した様子を示す.このとき手先に約 50[gf]の錘を持つと同等の負荷を腕にかけることができた.

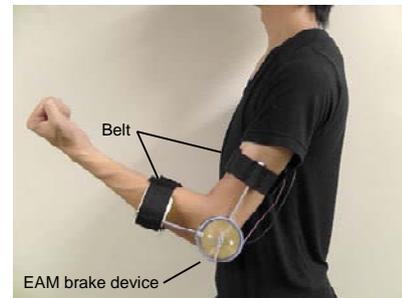


Fig.8 Trial product of training tool

4. 多層EAMブレーキデバイスの試作

4.1 多層EAMブレーキデバイスの概要

試作した EAM ブレーキデバイスは「3.2.2 結果及び考察」にあるように印加電圧のみで抵抗トルクの調節が可能なブレーキ装置として機能することが示された.また,これを用いることでトレーニング機器の開発が可能であることも示唆された.しかし今後,実用的なトレーニング装置などへの応用を考えた場合,さらに抵抗トルクを強化する必要がある.過去の研究より EAM と電極の接触面積の増加により抵抗が増えることが確認されているが,単純に面積を増加させると大型化してしまう.そこで EAM と電極を複数枚重ねる多層構造とすることで抵抗トルクを増加させる構造の多層 EAM ブレーキデバイスを試作することとした.

4.2 多層EAMブレーキデバイスの構造

試作した多層 EAM ブレーキデバイスは Fig.9(a)に示すように角型電極と EAM と丸型電極を交互に積層し,丸型電極のみシャフトに設けた溝に爪を介して組みつけてあり,角型電極はケースに固定させた.これにより,各 EAM の片面に接触している丸型電極はシャフトに連動して回転することができる.Fig.9 は EAM を 2 枚使用した場合である.さらに積層数を増加させる場合,丸型電極と角型電極を交互に積層し,その間に EAM を挟む構造(これを 1 層と呼ぶ)を増やすことで実現できる.Fig.9(b)に実際に試作した多層 EAM ブレーキデバイスを示す.この多層 EAM ブレーキデバイスの大きさはシャフトを含めた高さ 45[mm],全体の寸法縦横 79[mm]とした.

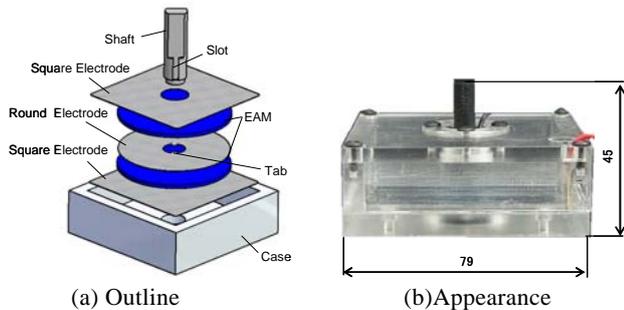


Fig.9 Plural layer EAM brake device

4.3 抵抗トルクの測定

4.3.1 測定方法

試作した多層 EAM ブレーキデバイスの特性を測定した。Fig10 に示すように EAM ブレーキデバイスをステージに固定し、シャフトに取り付けたプーリーに巻いたワイヤを直動ステージのフックに取り付け引っ張ることによりシャフトの回転に連動した丸型電極が回転した際に発生する抵抗トルクをロードセルで測定することとした。このとき、電界強度は 0.5[kV/mm]刻みで増加させ 2.5[kV/mm]まで印加し、各印加電界強度毎、プーリーに巻きつけたワイヤを 0.1[mm/s]の速さで引いた時の抵抗トルクを測定した。なお多層 EAM ブレーキデバイスは 4 層とした。

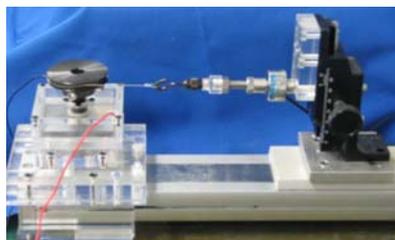


Fig.10 Experiment of resistance torque

4.3.2 結果及び考察

Fig.11 に電界強度と抵抗トルクの関係を示す。抵抗トルクは電界強度の上昇に伴い高まり、電界強度 2.5[kV/mm]時に最大抵抗トルク 0.54[Nm]を得た。このことから多層 EAM ブレーキデバイスも 1 層の場合と同様に印加される電界強度に応じて抵抗トルクが変化することが確認できた。また、4 層に多層化を行ったことで 1 層時の最大 0.15[Nm]と比較し、3.6 倍の抵抗トルクを得ることができた。

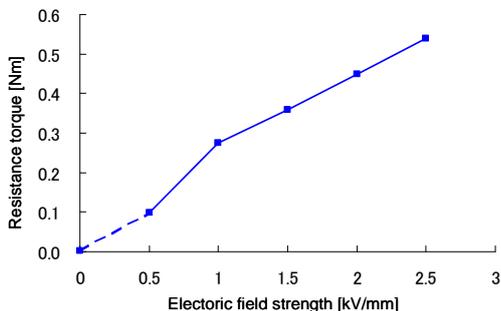


Fig.11 Relationship between electric field strength and resistance torque

5. 新たな上肢トレーニング装置の試作

5.1 装置の概要

多層化を行うことでより高い抵抗トルクを発生する EAM ブレーキデバイスの開発に成功した。このブレーキデバイスを用いることで「3.4 トレーニング機器の試作」で試作したトレーニング機器よりもより実用に近い機器の開発が可能と考え新たな上肢トレーニング装置の試作を行った。

5.2 装置の構造及び負荷の算出

Fig.12 に上肢トレーニング装置の概略図を示す。多層 EAM ブレーキデバイスに取り付けたバーをベルトで上腕部に固定し、EAM ブレーキデバイスのシャフトから延ばしたバーに持ち手を取り付けた。この持ち手を握り腕を曲げ伸ばし運動を行う際に、電圧を印加し抵抗トルクを発生させ負荷をかける構造である。Fig.13 に実際に腕に装着した様子を示す。このときの腕にかかる負荷は式 (1) によって求められる。抵抗トルクは印加電圧に比例するため印加電圧から容易に負荷を求めることができ、求める負荷を発生させることができる。

$$F = \frac{T}{L} \cdot \dots \quad (1)$$

F: 負荷[N] T: 抵抗トルク [Nm] l: 腕の長さ[m]

ここで人間の前腕を 0.3[m]と仮定すると(1)式より最大 2.5[kV/mm]時に 0.54[Nm]のトルクであるから 1.8[N]すなわち約 180[gf]に相当する負荷が発生する。これは「3.4 トレーニング装置の試作」に示した 1 層のブレーキデバイスを用いたトレーニング装置の 3.6 倍の負荷の発生を実現できたことになる。また実験では直流電源および昇圧器を用いて電圧を印加しているが、一般的な 9[V]乾電池と小型の昇圧器との組み合わせでも駆動できることも実験にて示された。すなわち、高電圧電源を用いているにもかかわらず小型化やワイヤレス化が容易に実現できると考えられる。

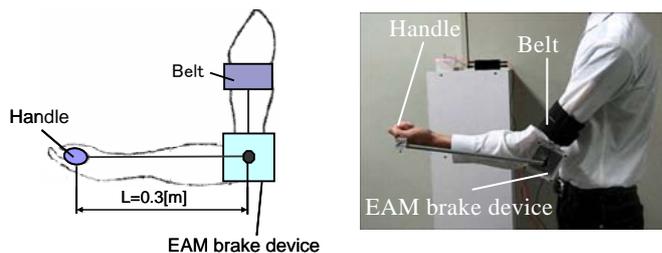


Fig.12. Outline of Upper arm training tool

Fig.13. Upper arm training tool with EAM brake device

6. 結言

我々は、電圧（電界）の印加のみで抵抗トルクすなわち回転制動力が可変な EAM ブレーキデバイスを開発した。この EAM ブレーキデバイスは、内蔵する EAM とそれを挟み込む 2 枚の電極の組み合わせを多数積層することにより、その層数に応じて抵抗トルクを増加させることが可能であった。今回 4 層の EAM ブレーキデバイスを試作し、これを組み込むことで負荷を電圧で自在に調節可能な上肢トレーニング装置への応用を試みた。その結果、前腕先端に 180[gf]の負荷をかけることが可能となり、この負荷の大きさは印加電圧で調節が可能であった。今回試作した上肢トレーニング装置は、最大負荷がまだ小さく実用への可能性を示すのみではあったが、今後 EAM の直径や積層する層数の適正化を図ることにより、実用的なトレーニング装置の開発に留まらず、様々な分野への応用が期待できる。

参考文献

- (1) 熊谷光一, 伊奈伸弥, 寺阪澄孝, 三井和幸, 電気吸着材料 EAM の開発とそのブレーキデバイスへの応用に関する研究, 2011 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, pp.913-914, 2011.