

平成 30 年 5 月 21 日現在

機関番号：10101

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2017

課題番号：26670879

研究課題名(和文)新素材を矯正歯科臨床に応用するための研究 - アクチュエーター(人工筋肉)の応用 -

研究課題名(英文) Research for applying new materials to the orthodontic treatment - Application of actuators (artificial muscles) -

研究代表者

山本 隆昭 (YAMAMOTO, TAKAAKI)

北海道大学・大学病院・講師

研究者番号：40230560

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：人工筋肉を歯科矯正治療に応用するために実験を行った。人工筋肉材料として、コイル状の形状記憶合金アクチュエーターを選択して実験を行った。流す印加する電流にはパルス幅変調式で制御した電流を用いた。電圧5.7V、平均電圧0.62Vになるように調整したところ45.8gfの張力が得られた。実験開始後4時間でも44.7gfと97.7%の張力を維持できた。

この結果から一定時間ごとに印加する電流を調整しながら使用すれば長時間に渡ってほぼ一定の力を発揮できることが分かった。このことから印加電流をon-offするようにすることで持続的な力や間欠的な力、断続的な力を発揮することができると考えられる。

研究成果の概要(英文)：I experimented in order to apply an artificial muscle to a orthodontic treatment. As an artificial muscle material, I experimented by choosing a coil shape memory alloy actuator. I applied the electric current controlled by Pulse Width Modulation. Tension was become to 45.8gf when the electric current was adjusted to the voltage 5.7V and the average voltage 0.62V. Tension was 44.7gf (97.7%) in 4 hours after an experiment start.

The results of this study suggest that when adjusting the electric current to apply, it proved that for a long time almost constant force appears. From this, if the electric current which apply to an artificial muscle is turned on or turned off, a force will turn into continuous force, intermittent force, and interrupted force.

研究分野：歯科矯正学

キーワード：人工筋肉 矯正力 歯科矯正治療

### 1. 研究開始当初の背景

歯科矯正治療においては、歯に加える矯正力が重要である。矯正力の作用様式としては、持続的な力、間欠的な力、断続的な力の3種類がある。現在、臨床において、主に用いられている金属材料や弾性高分子材料は、主に持続的な力を用いて歯の移動を行っている。以前から歯の移動には、弱い持続的な力が最適であるといわれていたが、2000年代に入って、歯の移動には間欠的な力や断続的な力が効果的との報告がいくつかみられるようになった。しかし、現在のところ、簡便に間欠的な力や断続的な力を発揮させることのできる材料が開発されていないことから、この3種類の矯正力の内、どの作用様式の矯正力が歯の移動に最適であるか、いまだ結論は得られていない。

このため歯科矯正治療に主に用いられている金属材料や弾性高分子材料を用いて間欠的な力や断続的な力を適応するのではなく、新たな材料の開発が必要である。近年、様々な分野においてアクチュエーターとして人工筋肉が色々な用途で使用されている。これらの材料は、刺激を与えると、変形(図1)することで力を発生させることができ、特に電氣的刺激により伸縮のコントロールが

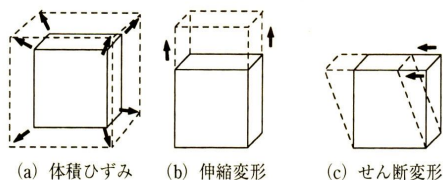


図1 (アクチュエータ工学, アクチュエータシステム技術企画委員会編, 養賢堂, 東京, 2004)

可能なものは、間欠的な力、断続的な力を発揮させることのできる材料として適応可能であると考えられる。

このようなアクチュエーター(人工筋肉)を矯正力へ応用するための研究は国内外を問わず現在のところ無く、全く新しい試みである。

### 2. 研究の目的

歯科矯正治療においては、歯にどのような力(矯正力)を加えるかが重要である。矯正力の作用様式として、3種類(1)持続的な力(2)間欠的な力(3)断続的な力)があるが現在、一般に歯科矯正治療に用いられている金属線や弾性高分子材料は、持続的な力を用いるのに適している。しかし、間欠的な力や断続的な力を発揮させるには頻りに調整する必要がある、一定時間での調整が困難など適応するためには難しい状況である。

一方、動物実験から歯の移動には、間欠的な力や断続的な力が効果的との報告がある。

近年、アクチュエーター(人工筋肉)が産業用ロボットの動力や介護機器、医療機器など様々な分野で応用されてきているが、このアクチュエーター(人工筋肉)は、電氣的に伸縮をコントロールすることができ、この特性を利用することで間欠的な力や断続的な力を発揮することのできる新たな材料として使用できるものと考えその使用方法を検討することを目的とする。

### 3. 研究の方法

本研究は、歯科矯正治療に今まで用いられていない材料である人工筋肉を、治療に使用する際の方法を明らかにするものである。そのため実験では、アクチュエーター(人工筋肉)がどのような張力を発生するかをフォースゲージを用いて計測した。その後、発生する張力をコントロールするための実験を行い、その状態での持続性、耐久性について検討した。このことにより、歯科矯正治療に適応できる張力を発生させるための条件を確定した。

アクチュエーター(人工筋肉)に印加する電流には、直流や交流、パルス変調式電流を用い、交流、パルス変調式電流の場合には電圧のみならず周波数などを変更して発生する張力がどのように変化するかを検討し、どの電流が今回の目的に適しているかを検討した。今回目標とした張力は、歯の移動を想定して約50gfとした。またこのときに使用するアクチュエーター(人工筋肉)の長さは矯正治療でよく行う犬歯の遠心移動を行う際に使用することを想定して犬歯と第一大臼歯間の距離に相当する25mmとした。この条件下で、発生する張力をコントロールするための実験を行い、その持続性、耐久性について検討した。

### 4. 研究成果

今回の研究では使用するアクチュエーター(人工筋肉)として(1)形状記憶合金アクチュエーター、(2)導電性高分子アクチュエーター、(3)イオン電動アクチュエーターの3種類を入手した。最初にこれらの材料について口腔内での使用を想定して各素材の適応性を検討した。その結果、

(1)今回入手した導電性高分子アクチュエーターは、アクチュエーターとして使用する際には劇物であるNaOHで処理してから使用する必要がある。このためシールドをしっかりとNaOHが漏れないように加工してもシールド材が破折して成分の一部が口腔内に漏れる可能性があることなどを考慮すると口腔内で使用するには不適切と判断した。

(2)今回入手したイオン電動アクチュエーターについては、適正な矯正力を発生させるには最終的な変形量が小さく、犬歯の遠心移動に応用することは困難と判断した。

以上のことから最終的には形状記憶合金アクチュエーターを選択して実験を行った。

今回入手した形状記憶合金アクチュエーターには線状のものとコイル状のものがある。歯の移動など実際の臨床に応用するためには矯正力を適応する部位に装着する必要がある。実際にアクチュエーターを装着する際には、ある程度の伸縮性があった方が操作性が良いと考えられる。このため、最終的には伸縮性のあるコイル状で線材直径が最大の BMX150 を選択して実験を行った。予備実験の段階では線状の形状記憶合金アクチュエーターに直流電流を印加して行ったが時間の経過とともに、徐々に張力が低下して、一定以上の張力を一定時間以上維持できなかった。このため印加する電流をまずは直流から交流に変更した。交流に変更して印加する電流の周波数や電圧を調整して発生する張力を検討したが適正な張力を発生させることができなかった。そこでさらに印加する電流をパルス幅変調式（パルス波のデューティ比を変化させて変調する方式）に変更した。発生させる張力：50gf を目標に印加電圧を図 2、3 に示すような 5.7V（平均電圧 0.62V、480.74Hz）になるように調整したところ 45.8gf の張力が得られた。

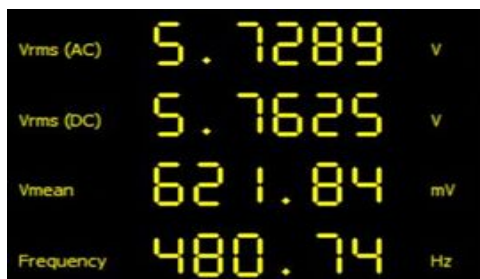


図 2 印加電流の電圧及び周波数

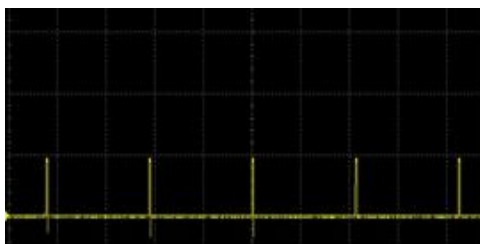


図 3 印加電流の波形

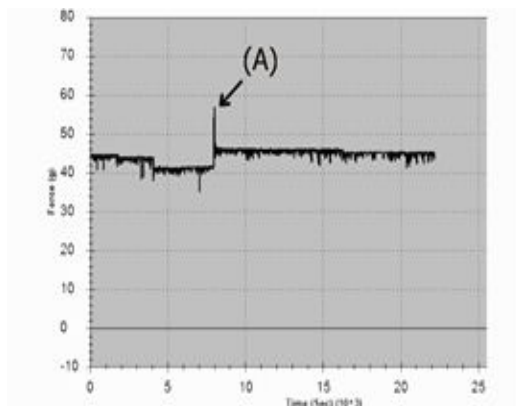


図 4 張力の測定結果

（44.1gf の張力を発生させるように調整して計測を開始。135 分後（A）には 41.3gf まで張力が低下した。再調整後 45.8gf に増加させることが出来た。調整後 235 分には 44.7gf となった。）

この場合も時間の経過とともに徐々に張力は低下する傾向が認められたが、張力が低下してきた場合には、印加する電流のデューティ比を変化させ、平均電圧を調整することで張力を回復させることができた。一連の実験では調整後に 45.8gf の張力が約 4 時間後でも 44.7gf と 97.7% の張力を維持することができた（図 4）。

この結果からある時間間隔で、印加する電流を調整しながら使用することで時間経過とともに低下する張力を修整することが出来、長時間に渡ってほぼ一定の力を発揮させることが分かった。

以上のことから今回作成した電源回路に電流を on-off する回路を組み合わせ調整することにより持続的な力や間欠的な力、断続的な力を発揮させることができると考えられる。またこの実験を何回か繰り返しても一定以上の張力を発生させられることが分かった。歯科矯正治療に応用する際には来院ごとにアクチュエーターを交換することを想定すれば耐久性にも問題はないと考えられる。今後は実際の臨床応用として口腔内の電流の印加方法についてさらなる検討が必要であると考えられる。

また、発表論文は、この形状記憶合金アクチュエーター（線状のもの）を間欠的な力として動物実験に応用したもので、このアクチュエーターに直流電流を印加したとき、時間経過とともに張力の低下が著しかったので張力を発生させる時間を短くし、さらに張力を発生させる時間的な間隔を十分取ることによって一定の張力を発生させた。

#### 5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計 2 件）

西川瑛亮、佐藤嘉晃、正満健斗、工藤悠介、山本隆昭、飯田順一郎、糖尿病モデル動物における間歇的圧刺激による微小血管の形態変化、北海道歯学雑誌、38 巻、140-151、2018、査読あり

Kento Shouman, Yoshiaki Sato, Eisuke Nishikawa, Yuusuke Kudo, Takaaki Yamamoto, Junichiro Iida, Evaluation of the effectiveness of intermittent mechanical pressure with short loading duration: new type of intermittent force for orthodontic treatment, European Journal of Orthodontics, 39, 264-269, 2017、査読あり

〔学会発表〕(計 0 件)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

山本 隆昭(YAMAMOTO TAKAAKI))  
北海道大学・北海道大学病院・講師  
研究者番号：40230560

##### (2) 研究分担者

なし

##### (3) 連携研究者

なし

##### (4) 研究協力者

なし