

# 空冷による形状記憶合金アクチュエータの反応性向上

東京都立科学技術高等学校 科学技術科 第1分野

○瀧下 桜介・成田 正侍・星野 奏真・畠山 良耶

## 1. はじめに

近年、人工知能の発達はめざましく、シンギュラリティが近づいていると言われている。シンギュラリティとは、AIが人間を超える知能を持ち、自ら進化するようになる時点のことである。しかし、現在のAIはその権限や体を持たず、人間の作業を代替していない。AI トップランナーの OpenAI や Tesla もヒューマノイドロボット（人間に似た形をしたロボット）の開発や投資を始めており、次のフェーズは AI に与える体を探ることだろう。体という点でヒューマノイドロボットの研究はかなり進んでいるが、そのほとんどが高価で人間よりも耐用年数が低い。そのため、人間に置き換えることは現実的ではない。シンギュラリティを迎えるためには AI に数多くの作業を代替させることが重要だが、コストを掛けてでも人間と置き換えたい高ストレス環境や精密作業などに限定されてしまうのが現状である。現行のヒューマノイドロボットが高コストになっている理由の1つに人間の自由度の高い動きを再現するために多彩なアクチュエータを利用していることがある。アクチュエータはロボットや機械に動きを与える装

置であり、一般的には電気や空気圧などで駆動するものが多い。しかし、これらは複雑な機構や制御が必要であり、サイズや重量、消費電力などに制約がある。

そこで、本研究ではアクチュエータとして形状記憶合金（Shape Memory Alloy, SMA）の活用を試みる。形状記憶合金は変態点とよばれる特定の温度以下で変形しても、その温度以上に加熱すると元の形状に回復する性質を持った合金である。この性質を利用し、液体や気体等周辺の温度の上昇を感知することや、通電加熱により作動させることが可能である。形状記憶合金アクチュエータは体積あたりの出力が大きく、加熱によって動作するため、人工筋肉として適している素材である。また、合金線製のバネに電流を流すだけという単純な構造であるため、高い耐久性が期待でき、どのような形状に記憶させるか、どの方向に引っ張るかによって自由度の高い動きが可能である。これらの特徴を考えると、反応速度の問題を解決すれば形状記憶合金はヒューマノイドロボットや小型ロボットなどのアクチュエータとして最適である。

## 2. 研究目的

先行研究として液冷やヒートシンクによる冷却が報告されているが、これらは小型化や軽量化のメリットを失ってしまう。また、対流による空冷の例もあるがヒューマノイド用のアクチュエータとして十分な反応速度を期待できない。そこで、本研究ではファンによる空冷で反応速度の向上を目指す。空冷は液冷やヒートシンクに比べて簡単で安価な方法であり、形状記憶合金アクチュエータの特性を損なわない。空冷による形状記憶合金アクチュエータの伸縮速度を測定し、効果を検証する。

## 3. 実験器具

- ・3Dプリンター(Adventure3X)

フィラメントにはABSを使用する。



図1 3Dプリンター

- ・計測台

自作の計測台で反応速度を計測する。

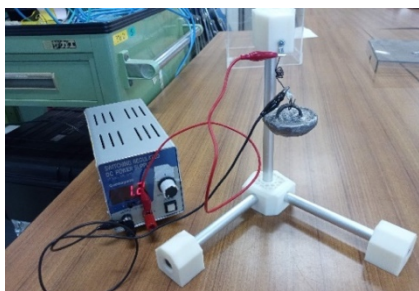


図2 計測台

- ・送風機

自作の送風機を使用してファン空冷する。

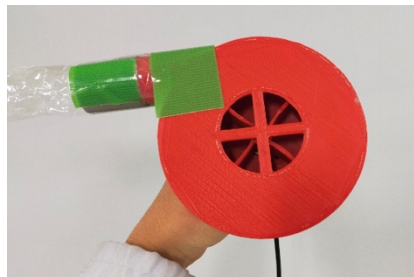


図3 送風機

- ・安定化電源

SMAを動作させるための電源に安定化電源を使用する(最大出力30V/10A, 精度は0.01)。



図4 安定化電源

- ・SMA コイル

形状記憶合金にコイルの形状を記憶させるため、変態点よりもかなり高い温度に加熱し成形する。簡易的にガスコンロで赤熱させながら直径5mmのパイプに巻きつけSMAコイルを製作し、M3の圧着端子を取り付ける。SMAコイルは巻数10回、バネ径5mmとし、線径0.85mm(以下、0.85mmSMA)と線径0.3mm(以下、0.3mmSMA)の2種類を用意する(図5)。0.85mmSMAは1本、0.3mmSMAは3本を1束として電氣的には

並列接続になるように固定する。これは 0.85 mmSMA と 0.3 mmSMA の体積を合わせるためである。

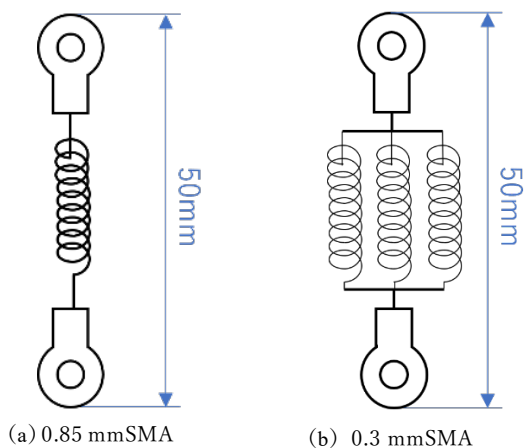


図 5 SMA コイル

#### 4. 実験方法

SMA コイルの片方は上に固定し、もう片方は 200 g の重りを吊るす。これらの寸法はそれぞれの SMA コイルの体積の合計と変形率が等しくなるように設定する。

はじめの最下点にしるしをつけ、その高さを A とする。A の位置から 50 mm 上にもしるしをつけ、その高さを B とする (図 6)。

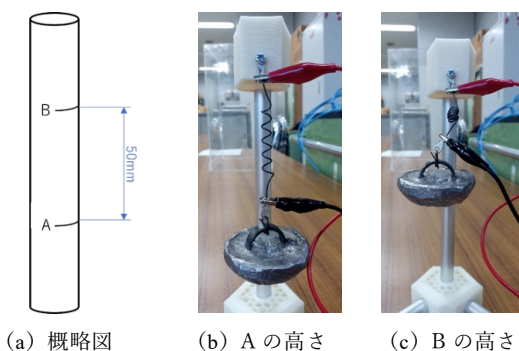


図 6 A と B の高さ

この状態で SMA コイルに電流を流すと最下点

は B に近づき、B の高さに達した時点で電流を流すのを止め、再び A の高さに戻るまでの時間を計測する。2 種類の SMA コイルの冷却方法は自然冷却とファン空冷とし、それぞれ 20 回分の計測を行う。電圧は全て 15V で動作させる。

#### 5. 実験結果

自然冷却での平均値は 0.85 mmSMA が 60.93 秒, 0.3 mmSMA が 24.69 秒となった。

ファン空冷での平均値は 0.85 mmSMA が 7.05 秒, 0.3 mmSMA が 3.48 秒となった。

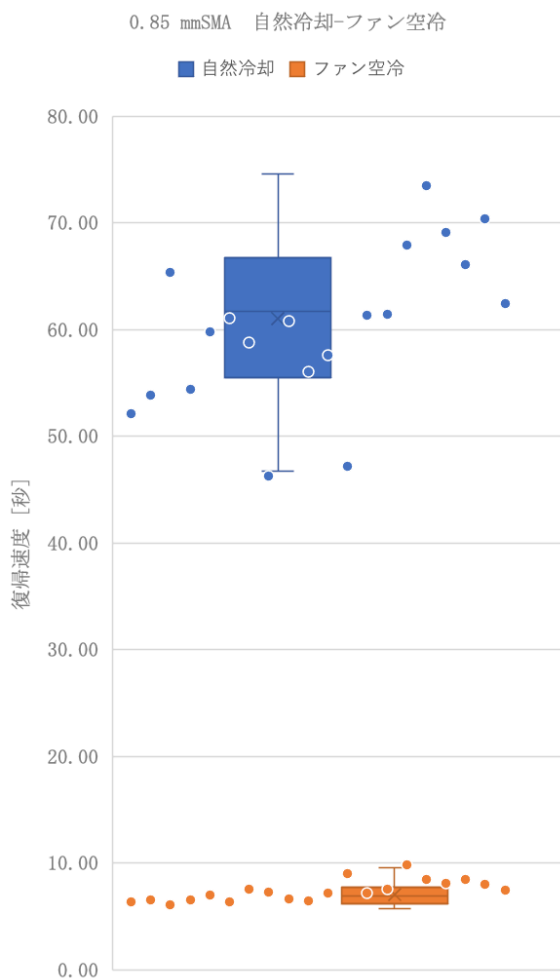


図 7 0.85 mmSMA の結果

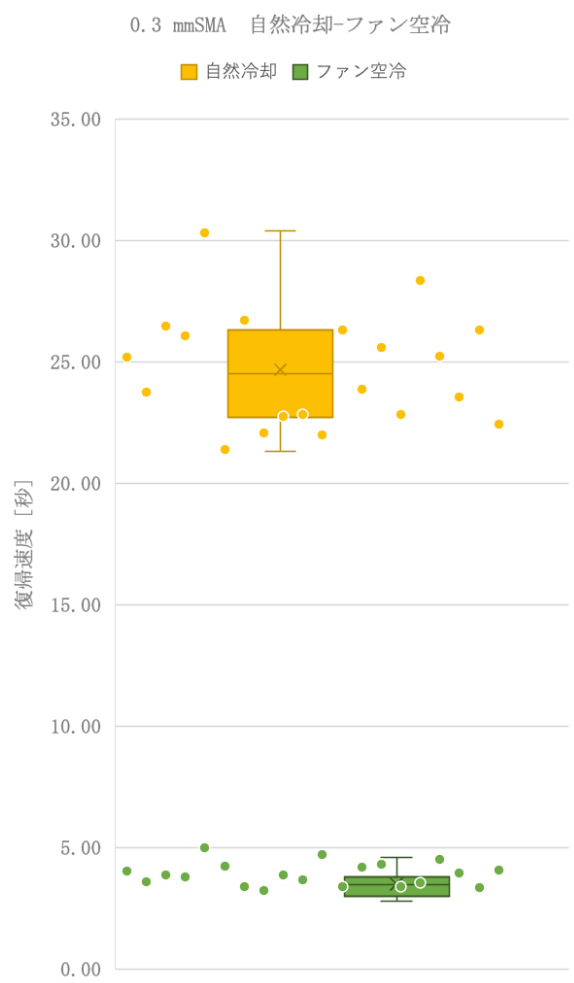


図 8 0.3 mmSMA の結果

## 6. 考察

自然冷却とファン空冷では復帰速度の差は明らかであるが、復帰速度が一定とならず、徐々に復帰しにくくなった。これは A-B 間の距離が大きすぎたためであると考えられる。A の高さから重りを外すと 5 mm ほど縮むことが確認でき、弾性変形による影響だと考えられる。復帰速度が明らかに遅くなるタイミングから数えると、1~2 秒もかかっていた。A の高さを 5 mm 上に調整することで、より正確な反応速度が計測できるのではないと思われる。

また、SMA コイルの体積を一定にして実験を

行った結果、細い線径のほうが復帰速度が早くなることがわかった。

## 7. おわりに

本研究の実用化には復帰速度に課題を残したが、設計次第で改善可能である。コストの問題で実験が難しかったが、市販の形状記憶合金アクチュエータであるバイオメタルヘリックス (BMX) の利用を検討している。BMX は線径 0.075 mm と細く、筋繊維のように配置することで、出力が大きくなり、反応速度も早くなると考えられるため、実用化に期待ができる。今後は細線を使った、より人工筋肉に近い SMA コイルを小型ドローンのプロペラを使用した空冷やこれを使用したロボットアームの制作に取り組みたい。

## 参考文献

- (1) 三輪敬之. 形状記憶合金アクチュエータ. 日本ロボット学会誌. 1984, vol. 2, no. 4, p. 50-57.
- (2) 広瀬茂男・生田幸士・佐藤 光一. 形状記憶合金アクチュエータの開発 ( $\sigma$  機構の導入による出力特性の改善). 日本ロボット学会誌. 1986, vol. 4, no. 6, p. 618-628
- (3) 古河テクノマテリアル「Ni-Ti 合金の諸特性」  
<https://www.furukawa-ftm.com/tokusyu/technical/技術資料-2/>

(最終閲覧 2023/02/06)