製品紹介

金属系人工筋肉型アクチュエータ：バイオメタル・ファイバーについて

Metal Artificial Muscle 'BioMetal Fiber'

本 間 大* *トキ・コーポレーション株式会社
Dai Homma* *TOKI CORPORATION

1. 製品概要

バイオメタル・ファイバー（当社登録商標、BMF と略す）は、通電で筋肉のように緊張収縮-弛緩伸張運動をする細線状のアクチュエータである。通常はナイロンの糸のように柔らかく、しなやかで伸びにくいだが、電流を流すとピアノ線のように硬くなって強い力で収縮する。電流を止めれば再び柔らかくなり、外力を加えなくとも自分で初めの長さまで伸びる（図 1 参照）。伸縮を繰り返すことのできる長さは、全長の 5% にも及ぶ。起動力が強く、動作音もなく、微小な運動制御も可能である。大きさや重量は、同程度の力のソレノイド（電磁石）と比較し数千分の一しかない。原料は形状記憶合金（メタル）であるが、動きが滑らかで生物的（バイオ）に見えるためバイオメタルと名付けられた。

2. 機能・性能

一般に形状記憶合金（SMA）は多結晶体である。普通に焼き鈍した素材では、結晶の大きさや方位がランダムなため、形状記憶効果の大変形に追従できない部分が生じる。各結晶が形状回復する力が非常に強いいため、動きに追従できない部分では塑性滑りが発生し、いわゆるダレや伸びといった永久変形や記憶形状の消失の原因になる。また蓄積された欠陥が障害となって変形-形状回復するひずみ量（以後は運動ひずみ）も徐々に減少する。したがって大きな運動ひずみは、限られた回数しか利用できず、変形には大きな外力が必要になる。繰り返し使用するには運動ひずみを小さくするしかなく、実用性を考えると鋼のスプリングと同程度の小さなひずみ量でしか利用できない。BMF は、運動の方向を一次元の長さだけに限定し、運動の単位となる小さな結晶の大きさと方位をそろえることで、SMA 本来の大きな動きと素材的な安定性を追求したものである。BMF

図 1 バイオメタル・ファイバーの動き

の内部は、図 2 のように大きさと運動方向がそろった小さなアクチュエータが、引張り方向に動きやすいように並んだものと考えると分かりやすい。このような状態では、大変形を行っても内部に無理な部分が生じにくく、大きなひずみの範囲で素材の安定性が高まり、変形抵抗が激減する。この状態で伸張方向に作用するわずかな応力場を残置させれば、巨大で安定した 2 方向性形状記憶効果が発生し、これによって BMF の特長である大きな自己伸縮性を実現している。BMF は、直線形状ではなく高温時と低温時の 2 種類の長さのみを記憶しているといえる。適切な条件で使用すれば、大きな運動ひずみに対しても寸法や内部組織に変化が起きにくく、動作寿命が長い。例えば BMF100 は、100[MPa] の負荷応力状態で 3% の運動ひずみを 1 億回以上、繰り返し取り出すことができる。さらに BMF では、上記の組織化と成分調整を組み合わせ、運動ひずみの温度ヒステリシス幅を狭くして応答性を大幅に向上させている。先の BMF100 の動作寿命試験では、無風の室温中（20℃）で 3[Hz] の往復運動を行うことができる。加熱時の応答は、太さに依存しないが、冷却時は細いものほど応答が速い。

原稿受付 2002 年 11 月 5 日

キーワード：Actuator, Self Contraction and Expansion Properties, Electrothermal Drive, Organized Structure, Shape Memory Alloy

*〒 143-0016 東京都大田区大森北 3-43-15

*Ohta-ku, Tokyo

図2 バイオメタル・ファイバーの内部構造概念

図3 ロボット用アクチュエータ

応答性に限らず、自己伸縮性や耐久性等の BMF の性能の多くは、寸法効果と相まって細いものほどよくなる傾向がある。

3. 利 用 法

BMF は極性もなく、伸縮で 20% 近い変化があるものの、基本的には電気抵抗と見なせる。ラッシュ電流や逆起電力、電磁ノイズなどは発生しない。BMF に所定の電流を流せば強い力で収縮する。通電をやめれば伸張する。例えば、長さ 50~60[mm] の BMF100 を動かすには、乾電池 1 本の電圧 (1.5[V]) が適当で、室温では 100~200[mA] の電流で動き出す。電流を大きくすると速く収縮するが、過熱防止のため収縮が完了する前に電流を切る必要がある。BMF は、通電による自己発熱で動くように作られているが、温風などで 70℃ 以上に加熱して収縮させることもできる。冷やせば、すぐに元の長さに伸びる。BMF は、自己伸縮性があるので、難しいバイアス力のことをほとんど意識することなく使うことができる。

4. 応 用 事 例

図 3 は、BMF をロボット用のアクチュエータとして使

用した例である。いずれの例も緊張収縮-弛緩伸長を基本にした筋肉のような使い方であり、構造も簡単である。寸法効果による性能の向上を考えると、モータなどでは作りにくい小さなメカニズムに適してる。BMF は、適切な条件で使用すれば、耐久性や応答性においてもソレノイドや小型モータに近い使い方もできる。図 4 は、BMF100 で駆動されるラッチングリレーである。単三電池 1 本で AC220[V], 10[A] の機械的接点を二つ同時に数万回切り換えることができる。動作寿命は 100 万回以上である。起動力が強く、低電圧駆動ができることも BMF の特長である。わずか約 30[g] の重さの大半が構造材と接点金具であり、同じ機能の電磁リレーよりはるかに軽く、低コスト化が可能だ。

5. 製 品 情 報

BMF 単体としての販売では、ソレノイドや使い方の難しい SMA 素材と混同されることも多く、なかなか動く機械は作れないようだ。素材以上に体験的な応用技術の普及が重要と考えられる。日本の技術者は、手本を見たり触ったりするだけで、より優れたものを作る人が多い。当面は、これまで自社で培った応用技術を盛り込んだ BMF の簡単なデバイスや評価キット等を用意して、実物に触れてもら

図4 BMFで動くラッチングリレー

うところから将来のユーザーの関心を集めようと考えている。現在、BMFは、直径 $\phi 100[\mu\text{m}]$ のBMF100を標準に直径 $\phi 50[\mu\text{m}]$ のBMF50から直径 $\phi 250[\mu\text{m}]$ のBMF250まで7種類の製品が用意されており、少量のものでは、簡単な実験ができるプーリーやスプリングなどを含めたサンプルキットが用意されている。価格は1セット¥2,300から¥2,700である。大量に使う用途にはリール巻きも用意されている。応用品としては、マイクロ・アームロボットSA-10(¥10,000)、チョウチョロボット(¥5,000)などのホビーロボットとBMラッチングリレー(評価キット¥15,000)などのデバイスを販売している。

問い合わせ先：トキ・コーポレーション株式会社 バイ

オメタル事業部

電話：03-5763-6123

電子メール：biometal@toki.co.jp

ホームページ：<http://www.toki.co.jp/biometal>

本間 大 (Dai Homma)

1986年早稲田大学大学院理工学研究科博士課程修了。1982年同大学助手。1985年トキコーポレーション(株)入社。同社取締役研究開発部長。早稲田大学理工学非常勤講師。形状記憶合金や圧電性高分子フィルムなどの新素材の応用研究。他にマイクロメカニズムの研究。演出照明機器の研究。日本機械学会、精密工学会会員、工学博士。
(日本ロボット学会正会員)