

形状記憶合金(歯科矯正線材)の温度・機械特性評価

Thermo-Mechanical Evaluation for
Shape-Memory Alloy Materials (Orthodontic Arch Wires)■はじめに
Introduction

スマートマテリアルはセンサ機能やアクチュエータ機能等を、それ自身に内包した新素材を意味し、これまでの複雑な機械システムの簡素化や小型化を実現することができる可能性を持つため、近年盛んに研究開発が行われています。

スマートマテリアルの一種として注目されている「形状記憶合金」は、温度変化や応力誘起に起因する相変態や逆変態によって材料の微細構造が変化する

ことにより形状記憶効果や超弾性効果を示し、医療から家電、衣服、ロボットなどの幅広い分野で用いられるようになってきています。

今回は形状記憶合金が実用化されている歯科矯正材(線材)を試料として、温度・機械特性(回復率の温度依存特性)を評価した例をご紹介します。なお、今回の実験で使用した評価装置は熱分析装置および強度評価装置(材料試験機)です。

T. Murakami

■ 試料
Testing Specimens

評価対象としての試料には、歯科矯正用線材として用いられている変態点^{注1)}の異なる3種類のNi-Ti系形状記憶合金線材(試料名A, B, Cと表記)^{注2)}を使用しました。ヒトの口腔内温度において試料Aは比較的強い矯正力を、試料Bは比較的弱い矯正力を示すもの、

また試料Cは口腔内温度が40℃を超えた時にのみ矯正力を示すもので、それぞれ特徴を有しています。

各試料におけるAf点温度の公称値はTable 1となっています。

Table 1 試料
Sample

試料	形状記憶合金(歯科矯正線材)		
試料名	A	B	C
Af点温度(°C)	27	35	40

注1) Ni-Ti系形状記憶合金の温度を上昇または下降させた場合、合金中のある相が他の相へと変態する変態点が現れます。各変態点は以下のように定義されています。

Ms点：冷却の際、母相(オーステナイト)からマルテンサイトへの変態が開始される温度

Mf点：冷却の際、母相(オーステナイト)からマルテンサイトへの変態が終了する温度

As点：加熱の際、マルテンサイトから母相(オーステナイト)への逆変態が開始される温度

Af点：加熱の際、マルテンサイトから母相(オーステナイト)への逆変態が終了する温度(負荷を与えられて変形した形状記憶合金はAf点以上の温度環境に置かれると形状回復を示します)

注2) 本試験で評価した形状記憶合金歯科矯正用線材は、長期間にわたり弱く一定した矯正力を歯に与えることができ、患者の通院回数の低減や矯正材装着による不快感を抑えられるという利点があります。また、矯正力の強さは逆変態終了温度(Af点)とヒトの口腔内温度との差に依存することが知られており、異なる逆変態点終了温度を有する数種類の矯正用線材が患者の歯周状態、疼痛感度などに応じて使い分けられています。

■ 試験結果

Test Results

各試料の回復率を測定するに先立ち、それぞれの Af 点温度を示差走査熱量計で測定し、その後それに基づいた温度で管理された環境において機械特性(力と

伸びの関係)を強度評価装置で測定、更に回復率を算出しました。

① 示差走査熱量計による Af 点温度の測定

回復率測定試験を行うための環境温度を決定するため、「島津示差走査熱量計 DSC-60 形」(外観を Fig.1 に示す)を用いて試料の変態点温度を確認しました。代表例として試料 B の DSC 曲線を Fig.2 に示します。

この曲線から変態点温度を讀取ることができ、この例では Ms 点と Mf 点がそれぞれ約 $-13\text{ }^{\circ}\text{C}$ と $21\text{ }^{\circ}\text{C}$ 付近、また As 点と Af 点がそれぞれ約 $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ であることが分かります。



Fig.1 島津示差走査熱量計 DSC-60 形 外観
Overview of Differential Scanning Calorimeter

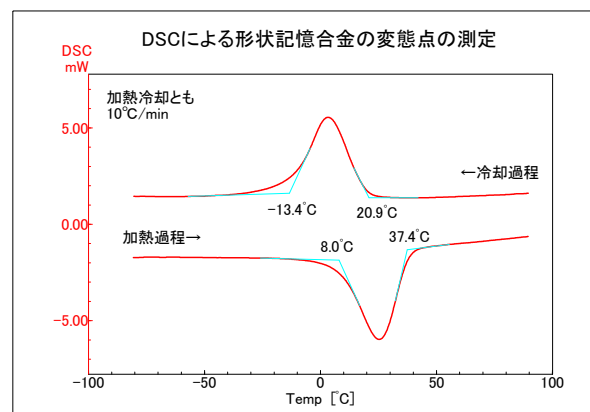


Fig.2 試料 B に対する DSC 曲線
DSC Graph for Specimen B

② 強度評価装置(材料試験機)による回復率の測定

次に、回復率を求めるための定温回復試験を「島津精密万能試験機 AG-1kNX 形」を用いて実施しました。ここで、試料の伸びを精密に計測するために非接触式伸び計 DVE 形を、また①で測定した変態点温度領域での温度管理を行うため冷凍機式恒温槽 TCR 形を併

用しました。(Fig.3 に試験システムの外観を示します) 今回の試験は、DSC 測定より得られた結果とヒト口腔内温度が変化する温度域を想定して $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ~ $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ の範囲で行いました。

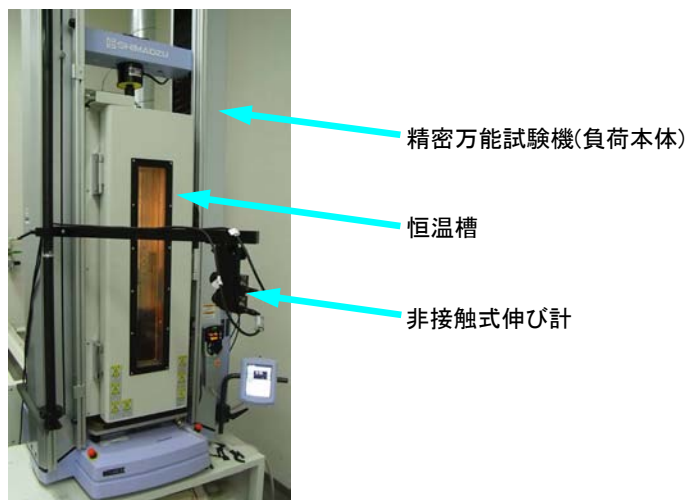


Fig.3 機械強度評価システム 外観
Overview of Mechanical Testing System
with Thermostatic Chamber

形状記憶合金は同じ温度での試験であっても試料の温度履歴により初期状態が異なり、結果に差が出る場合があります。たとえば、試験時の温度が Ms 点温度と Af 点温度の間の場合、試料を Af 点温度より高い状態から冷却したときには母相状態となりますが、Ms 点以下の温度から加熱したときはマルテンサイト相との共存状態となり状態が変化し、それにより試験結果にも違いが出ます。

したがって、今回の試験では試料の初期条件を統

$$\text{回復率 (\%)} = \frac{\text{最大ひずみ} - \text{除荷後に残るひずみ}}{\text{最大ひずみ}} \times 100$$

代表例として Fig.4 に試料 B の定温回復曲線(応力-ひずみ曲線)を示します。

試験温度を変えて取得したこれらの曲線は形状記憶合金の特徴を示しています。すなわち負荷過程では応力増加とともにひずみも増加しますが、ある応力に達するとひずみのみの増加となり、また逆の除荷過程でも一定の応力以下で応力が変化しない領域が出現しています。これらは力学的な負荷過程でも 2 種の相(オーステナイト/マルテンサイト)の

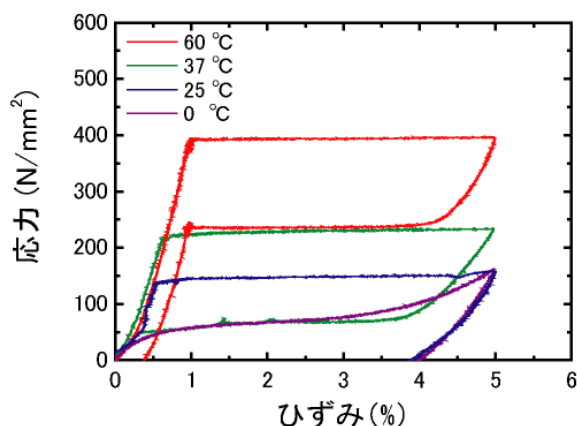


Fig.4 試料 B に対する応力-ひずみ曲線
Stress-Strain Graph for Specimen B

試料 A は約 25 °C、試料 B は約 37 °C、試料 C は約 50 °C 以上(これらの温度はそれぞれの Af に相当)の温度領域で高い回復率となることがわかります。

ヒトの口腔内温度は平常時には体温と同じ約 37 °C 程度ですが、飲食時にはおおよそ 0 °C から

一するため、定温回復試験前に試験片を Af 点以上の温度から冷却して試験温度とする前処理を施しました。

試験条件は、一定負荷速度(0.3 mm/min)でひずみ 5 % まで引張負荷を加えた後、応力 0 まで除荷を行う往復(負荷-除荷)負荷とし、全過程での試験力と伸び(ひずみ)を測定しました。

また回復率は、得られたデータから下式で算出されます。

遷移が生じ、その混相状態ではいわゆる「超弾性」が現れていることによるものです。

Fig.4 によると、試験温度 27 °C、37 °C、60 °C では応力一定である超弾性領域が認められましたが、0 °C では明瞭ではありません。(除荷過程では応力が「負=圧縮」となっています)

各試料で同様の試験を行い、それらのデータを基に前述の計算式で求めた回復率をプロットしたものを Fig.5 に示します。

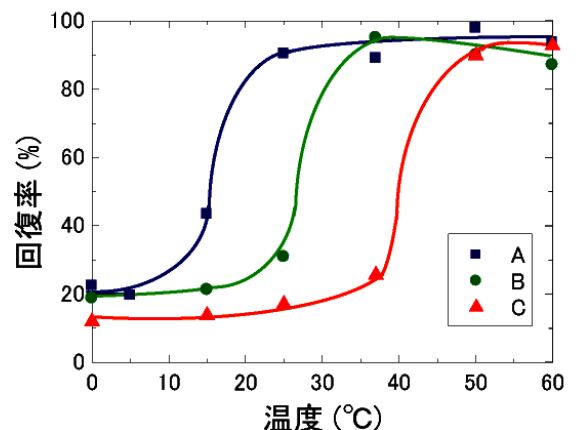


Fig.5 各試料に対する回復率
Recovery Ratio for Each Specimen

60 °C の範囲で変動すると言われています。歯科矯正用線材はこのような温度変化を受けるため、その温度・機械特性を評価することは非常に重要といえます。

初版発行:2009年8月

A 改訂版発行:2011年11月

島津製作所 分析計測事業部
応用技術部

アプリケーション開発センター

●東京
●京都

TEL (075)823-1153

※本資料は発行時の情報に基づいて作成されており、予告なく改訂することがあります。改訂版は下記の会員制 Web Solutions Navigator で閲覧できます。
<https://solutions.shimadzu.co.jp/solnavi/solnavi.htm>

会員制情報サービス「Shim-Solutions Club」にご登録下さい。
<https://solutions.shimadzu.co.jp/>
会員制 Web の閲覧だけでなく、いろいろな情報サービスが受けられます。