

平成 21 年 6 月 15 日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2006～2008

課題番号：18560090

研究課題名（和文） 高機能形状記憶素子の開発と長期形状記憶特性の研究

研究課題名（英文） Development of high-functional shape memory element and long-term shape memory characteristics

研究代表者

戸伏壽昭（TOBUSHI HISAAKI）

愛知工業大学・工学部・教授

研究者番号：70103231

研究成果の概要：（1）形状記憶合金と形状記憶ポリマーを組み合わせた形状記憶複合材料を成形し、2方向曲げ変形特性を明らかにした。（2）応力制御とひずみ制御の負荷を受ける場合の形状記憶合金のサブループ挙動を明らかにした。（3）形状記憶合金細線の曲げ疲労特性に対するひずみ比の影響を明らかにした。（4）形状記憶合金薄帯板のねじり変形特性と回転駆動特性を明らかにした。（5）形状記憶ポリマーの形状回復性と二次賦形特性を明らかにした。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	2,600,000	0	2,600,000
2007年度	500,000	150,000	650,000
2008年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	300,000	3,900,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・機械材料・材料力学

キーワード：疲労、機能材料、形状記憶材料

1. 研究開始当初の背景

エネルギー、資源、地球環境などの諸問題を解決するために、高機能材料の開発と応用が期待されている。形状記憶材料はそのような要望に応えることが材料であり、その特性評価と応用が重要である。

2. 研究の目的

形状記憶材料に高機能化と長期間使用した場合の機能特性評価が機能素子を開発する上で重要であり、これらの点を明らかにする。

3. 研究の方法

形状記憶合金および形状記憶ポリマーの長期形状記憶特性を実験的に明らかにし、これらの複合材料を成形し、その機能特性の評価を実験的および理論的に行う。

4. 研究成果

本研究においては、形状記憶合金および形状記憶ポリマーを利用した高機能形状記憶素子の開発と長期形状記憶特性の研究を行った。

得られた主な研究成果は次の通りである。

(1) 形状記憶合金と形状記憶ポリマーを組

み合わせた形状記憶複合材料を成形し、その成形法を明らかにした。また、成形した複合材料に関して曲げ試験を行い、加熱・冷却による2方向曲げ変形特性を明らかにした。

- (2) ひずみ制御と応力制御の負荷を受ける場合の形状記憶合金のサブグループ挙動を調べ、ひずみ制御の場合には回帰記憶現象が現れるが、応力制御の場合には回帰記憶現象が現れず、クリープと応力緩和が現れることを明らかにした。
- (3) 形状記憶合金細線の曲げ疲労特性を調べ、曲げ疲労寿命に対するひずみ比の影響として、ひずみ比が小さくなると疲労寿命は短くなることを明らかにした。
- (4) 形状記憶合金薄帯板素子のねじり変形特性と回転駆動特性を調べ、応力誘起のマルテンサイト変態は薄帯板の縁から生じ成長すること明らかにした。また、繰返しによるねじり変形特性に変化は少ない。また、形状記憶効果と超弾性の現れる形状記憶合金を用いたドアの開閉モデルにより、2方向回転駆動が単純な機構で実現できることを明らかにした。
- (5) 形状記憶ポリマーの形状回復性と二次賦形特性を調べ、高温で長時間保持すると非回復ひずみが現れることを明らかにした。この非回復ひずみは形状保持のひずみ、温度、時間に依存することを示した。また、この非回復ひずみを二次賦形として成形加工に応用すれば単純な機構で複雑なポリマー素子を成形できることを明らかにした。

これらの研究成果は、現在世界的に注目されているインテリジェント材料とその応用において基本的で最も重要な機能特性を明らかにしており、今後のこの分野における応用展開に寄与するところが大きい。特に、アクチュエーターの駆動素子として応用する場合、駆動素子の繰返し変形特性は最も重要である。また、駆動素子の機能特性と信頼性を評価する上で材料の疲労寿命特性は非常に重要である。このように、本研究で得られた研究成果は、世界的に高く評価されており、インテリジェント材料の実用化に大きく寄与する。

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 32 件)

- (1) 北村一浩、戸伏壽昭、吉見幸春、杉本義樹、脳ベラ用形状記憶合金の力学的特性評価、日本機械学会論文集 (A 編)、75 巻—752 号、pp. 439-445、2009.
- (2) H. Tobushi, E. A. Pieczyska, W. Nowacki and Y. Sugimoto, SMA Thin Strip for Rotary-Driving Element, Solid State Phenomena, Vol. 154, pp. 47-52, 2009.
- (3) H. Tobushi, S. Hayashi, Y. Sugimoto and K. Date, Performance of Shape Memory Composite with SMA and SMP, Solid State Phenomena, Vol. 154, pp. 65-70, 2009.
- (4) H. Tobushi, E. Pieczyska, Y. Ejiri and T. Sakuragi, Thermomechanical Properties of Shape-Memory Alloy and Polymer and their Composite, Mechanics of Advanced Materials and Structures, Vol. 16, pp. 236-247, 2009.
- (5) 戸伏壽昭、林 俊一、杉本義樹、伊達功祐、SMA と SMP による形状記憶複合材料の作製と 2 方向変形特性、実験力学、Vol. 9, No. 1, pp. 27-33, 2009.
- (6) 戸伏壽昭、古市裕司、櫻木稔巳、杉本義樹、TiNi 合金の超弾性細管および高弾性細線の曲げ疲労特性、日本機械学会論文集 (A 編)、75 巻 749 号、pp. 79-86, 2009.
- (7) E. A. Pieczyska, S. P. Gadaj, J. Luckner, W. K. Nowacki and H. Tobushi, Martensite and Reverse Transformation during Complete Cycle of Simple Shear of NiTi Shape Memory Alloy, Strain, Vol. 45, pp. 93-100, 2009.
- (8) 戸伏壽昭、櫻木稔巳、杉本義樹、齋木 努、形状記憶合金薄帯板素子の回転駆動特性、日本機械学会論文集 (A 編)、74 巻 748 号、pp. 1557-1564、2008.
- (9) H. Tobushi, S. Hayashi, K. Hoshio and Y. Ejiri, Shape Recovery and Irrecoverable Strain Control in Polyurethane Shape-Memory Polymer, Science and Technology of Advanced Materials, Vol. 9, 015009, pp.1-7, 2008.
- (10) H. Tobushi, T. Sakuragi and Y. Sugimoto, Deformation and Rotary Driving Characteristics of a Shape-Memory Alloy Thin Strip Element, Materials Transactions, Vol. 49, No. 1, pp. 151-157, 2008.
- (11) H. Tobushi, Thermomechanical Properties of Shape Memory Composite with SMA and SMP, Progress in Smart Materials and Structures, P. L. Reece ed., pp. 1-13,

- Nova Science Pub., 2007.
- (12) 戸伏壽昭、櫻木稔巳、杉本義樹、形状記憶合金薄帯板素子のねじり変形特性、日本機械学会論文集 (A 編)、73 卷 7 3 5 号、pp. 1273-1279、2007.
 - (13) 戸伏壽昭、林 俊一、星尾一暢、江尻佳弘、ポリウレタン系形状記憶ポリマーの形状回復および二次賦形特性、日本機械学会論文集 (A 編)、73 卷 7 3 4 号、pp. 1150-1156、2007.
 - (14) E. A. Pieczyska, H. Tobushi, W. K. Nowacki, S. P. Gadaj, and T. Sakuragi, Subloop Deformation Behavior of TiNi Shape Memory Alloy Subjected to Stress-Controlled Loadings, *Materials Transactions*, Vol. 48, No. 10, pp. 2679-2686, 2007.
 - (15) H. Tobushi, S. Hayashi, K. Hoshio and Y. Ejiri, Shape Recovery and Secondary-Shape Forming of Polyurethane-Shape Memory polymer, Multi-Phase and Multi-Component Materials under Dynamic Loading, W. K. Nowacki and H. Zhao eds., pp. 431-440, 2007.
 - (16) H. Tobushi, E. Pieczyska, Y. Ejiri and T. Sakuragi, Thermomechanical Properties of Shape Memory Alloy and Shape Memory Polymer, Multi-Phase and Multi-Component Materials under Dynamic Loading, W. K. Nowacki and H. Zhao eds., pp. 53-62, 2007.
 - (17) E. A. Pieczyska, W. K. Nowacki, S. P. Gadaj and H. Tobushi, Superelasticity and Transformation-Induced Effects in TiNi SMA, Multi-Phase and Multi-Component Materials under Dynamic Loading, W. K. Nowacki and H. Zhao eds., pp. 253-262, 2007.
 - (18) E. A. Pieczyska, H. Tobushi, W. K. Nowacki, S. P. Gadaj, and T. Sakuragi, Thermomechanical Behavior of TiNi Shape Memory Alloy Subjected to Various Loading Conditions: Influence of Strain Rate and Stress Rate on Deformation Behavior, Multi-Phase and Multi-Component Materials under Dynamic Loading, W. K. Nowacki and H. Zhao eds., pp. 263-271, 2007.
 - (19) H. Tobushi, Y. Ejiri, S. Hayashi and N. Miwa, Shape Recovery and Secondary-Shape Forming in Polyurethane-Shape Memory Polymer, *Key Engineering Materials*, Vols. 340-341, pp. 1217-1222, 2007.
 - (20) E. A. Pieczyska, W. K. Nowacki, T. Sakuragi and H. Tobushi, Superelastic Deformation Properties of TiNi Shape Memory Alloy, *Key Engineering Materials*, Vols. 340-341, pp. 1211-1216, 2007.
 - (21) R. Matsui, H. Tobushi and Y. Makino, Influence of Strain Ratio on Bending Fatigue Life in TiNi Shape Memory Thin Wire, *Key Engineering Materials*, Vols. 340-341, pp. 1193-1198, 2007.
 - (22) H. Tobushi, K. Hoshio, S. Hayashi and N. Miwa, Shape Memory Composite of SMA and SMP and its Property, *Key Engineering Materials*, Vols. 340-341, pp. 1187-1192, 2007.
 - (23) W. K. Nowacki, S. P. Gadaj, E. A. Pieczyska and H. Tobushi, Thermomechanical Properties of TiNi Shape Memory Alloy, *Foundation of Materials Design*, K. J. kurzydowski, B. Major and P. Zieba eds., pp. 195-240, *Research Signpost*, 2006.
 - (24) H. Tobushi, S. Hayashi, K. Hoshio, Y. Makino and N. Miwa, Bending Actuation Characteristics of Shape Memory Composite with SMA and SMP, *J. Intelligent Material Systems and Structures*, Vol. 17, pp. 1075-1081, 2006.
 - (25) E. A. Pieczyska, S. P. Gadaj, W. K. Nowacki and H. Tobushi, Stress Relaxation during Superelastic Behavior of TiNi Shape Memory Alloy, *Inter. J. Applied Electromagnetics and Mechanics*, Vol. 23, pp. 3-8, 2006.
 - (26) E. A. Pieczyska, S. P. Gadaj, W. K. Nowacki and H. Tobushi, Phase-Transformation Fronts Evolution for Stress- and Strain-Controlled Tension Tests in TiNi Shape Memory Alloy, *Experimental Mechanics*, Vol. 46, pp. 531-542, 2006.
 - (27) H. Tobushi, S. Hayashi, K. Hoshio and N. Miwa, Influence of Strain-Holding Conditions on Shape Recovery and Secondary-Shape Forming in Polyurethane-Shape Memory Polymer, *Smart Materials and Structures*, Vol. 15, pp.

- 1033-1038, 2006.
- (28) E. A. Pieczyska, H. Tobushi, S. P. Gadaj, W. K. Nowacki, K. Hoshio and Y. Makino, Martensite and Reverse Transformations in TiNi SMA during Tension Test Investigated by Advanced Infrared Technique, Journal of JSEM, Vol. 6, No. 2, pp. 175-180, 2006.
- (29) 松井良介、牧野悦康、戸伏壽昭、古市裕司、吉田総仁、TiNi形状記憶合金細線の曲げ疲労特性、日本機械学会論文集(A編)、72巻716号、pp. 544-551, 2006.
- (30) 戸伏壽昭、林 俊一、星尾一暢、三輪典生、ポリウレタン系形状記憶ポリマーの形状回復および二次賦形に及ぼすひずみ保持条件の影響、日本機械学会論文集(A編)、72巻715号、pp. 326-331、2006.
- (31) R. Matsui, Y. Makino, H. Tobushi, Y. Furuichi and F. Yoshida, Influence of Strain Ratio on Bending Fatigue Life and Fatigue Crack Growth in TiNi Shape-Memory Alloy Thin Wires, Materials Transactions, Vol. 47, No. 3, pp. 759-765, 2006.
- (32) E. A. Pieczyska, H. Tobushi, S. P. Gadaj and W. K. Nowacki, Superelastic Deformation Behaviors Based on Phase Transformation Bands in TiNi Shape Memory Alloy, Materials Transactions, Vol. 47, No. 3, pp. 670-676, 2006.

[学会発表] (計 件)

[図書] (計 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 件)

○取得状況 (計 件)

[その他]

6. 研究組織

(1) 研究代表者

戸伏壽昭 (TOBUSHI HISAAKI)
愛知工業大学・工学部・教授
研究者番号：70103231