

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 23 日現在

機関番号：82626

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24656423

研究課題名(和文)複合機能性デバイスの開発

研究課題名(英文)Research of multi functional devices

研究代表者

佐藤 宏司(Sato, Hiroshi)

独立行政法人産業技術総合研究所・先進製造プロセス研究部門・研究員

研究者番号：70344166

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,100,000円、(間接経費) 630,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、2年間の研究期間の初年度は基礎研究に重点を置き、1)水熱合成法で製膜する上での最適な条件の探索、(2)形状記憶効果、超弾性効果、圧電効果、焦電効果の特性の評価の2つの研究項目について研究を行った。二年目は応用研究に重点を置き、(1)複数の機能の特徴を利用したセンサ・アクチュエータの設計(2)複合機能デバイスの試作・評価の2つの研究を実施した。

その研究成果から、製膜条件を調整することによる膜質の向上、有限要素法による複合効果の連星解析、試作デバイスによる複合機能の評価を行い、本デバイスが有効に機能することを示した。

研究成果の概要(英文)：In this study, the first year of the two-year study period went two studies as basic research. 1) optimal conditions in the films by hydrothermal method on discovery 2) evaluation of the characteristics of the shape memory effect, super elastic effects, piezoelectric, Pyroelectric effect two years conducted two studies as applied research. (1) sensor-actuator using multiple features characteristic design (2) showed the complex functional device fabricated from the results of these studies adjust the film deposition conditions by evaluation of complex binary analysis of the composite effect of improvement of the finite element method, prototype device, this device to function effectively.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：材料力学・構造・機能材料

キーワード：センサ アクチュエータ 形状記憶合金 圧電材料 スマートストラクチャ

### 1. 研究開始当初の背景

形状記憶合金は変形させたものを温めると元の形状を記憶していたかのように回復する形状記憶効果と、変形を加えてもゴムのように伸びて回復する超弾性効果を持っており、メガネフレームなどの構造体や、医療用カテーテル、マイクロマシンなどのアクチュエータに利用されている。代表的にはニッケルとチタンが 50:50 の比で合金化された材料で、温度変化による結晶構造の相変態により変形を利用しているため 10%以上の変形が可能である。

一方で機能性セラミックス材料は機械エネルギーと電気エネルギーを変換する圧電効果、熱エネルギーを電気エネルギーに変換する焦電効果を持っており、超音波モータや加速度センサ、角速度センサ、焦電センサ等に利用されている。代表的にはチタン酸ジルコン酸鉛はペロブスカイト構造を持つセラミックスで結晶内の内部イオンの移動による変形であるため 0.1%以下の変形しか出来ない。

このように材料自体が合金とセラミックスと異なっており、また性能自体も全く異なった材料であるため、個々の材料に関する研究は基礎研究から応用研究まで幅広く国内外で盛んに行なわれているが、現在これらの機能を融合させた領域での研究はほとんど行われていないのが実情である。

### 2. 研究の目的

提案者が研究を進めている水熱合成法を利用すると、形状記憶合金表面に薄く(数十 $\mu\text{m}$ )、密度の低い(理論密度の 70%程度)、多くの結晶が積層されて圧電薄膜を成膜することが出来るため、従来の圧電材料では考えられないような大変形(~5%)の変形にも対応することが可能である。

また両機能性材料は単に組み合わせるだけでは有効に機能させることは出来ない。形状記憶合金は温度に依存して形状記憶効果、超弾性効果を持っている。一方で圧電材料は外部からの力や電圧、温度により自発分局が変化し、圧電効果や焦電効果を有しているが、これらの効果は独立しておらず、相互に連成している。例えば形状記憶効果を利用して変形させる場合、変態温度以上の熱を加え変形を行うが、加える熱により焦電効果が、変形により圧電効果がそれぞれ生じてしまう。そのため圧電材料から発生する電荷量が焦電効果により発生したのか、圧電効果により発生したのかが区別がつかない。そのため形状記憶効果と圧電効果、焦電効果の相互の効果の影響の理論的解析を行い、それぞれの効果を打ち消し合うのでは無く、相乗して効果ができるような設計にする必要がある。

このように 2 つの機能性材料を複合させるには、性能の全く異なる材料同士をそれぞれの特徴を生かしたまま結合させる技術の研究を進めるとともに、2 つの機能性材料の間

で連成して起こる現象の解明を行うことにより、個々の機能の利点を生かし、欠点を他の機能で補うことができる革新的なセンサ・アクチュエータシステムの開発を目指す。

### 3. 研究の方法

本研究では研究期間を 2 年間とし、平成 24 年度は基礎研究に重点を置き以下の 2 つの研究項目を実施する。

(1) 水熱合成法で製膜する上での最適な条件の探索

従来の水熱合成法では核付けプロセスにおいてチタン基板からもチタンが供給されるが、ニッケルチタン基板においては、その供給が不十分であるため、核付けプロセスにおいてもチタンを供給する必要がある。また超弾性状態における伸び変形にも追従することのできる低密度圧電薄膜の作製を目指す。その最適な条件を SEM, EDX, XRD 等の解析装置を用いて評価を行い探索する。

(2) 形状記憶効果、超弾性効果、圧電効果、焦電効果の特性の評価

複合化することにより、形状記憶効果、超弾性効果、圧電効果、焦電効果のそれぞれの効果は連成して起こるため、それぞれの効果を正確に測定することは従来の測定方法では困難である。図 3, 図 4 に示すように超弾性状態にした複合繊維の変形を表面の圧電薄膜で測定を行うシステムをすでに開発している。複合繊維を変態温度以上の温度で一定にすることにより、形状記憶効果と焦電効果の影響を無くし、超弾性状態の伸び変形による圧電効果を評価することが出来る。このようにそれぞれの効果が連成して起こる場合に対して、それぞれの効果を切り離して基礎特性の評価を行い、それぞれの効果が本プロセスを通して機能していることを調べる。

平成 25 年度は応用研究に重点を置き、以下の 2 つの研究を実施する。

(1) 複数の機能の特長を利用したセンサ・アクチュエータの設計

有限要素法を用いて熱や力や電気を加えた時に起こる変化について定量的に解析を行い、複数の機能が共存し、シナジー効果が得られるようなハイブリッド多機能デバイスとして、大変形は形状記憶効果を用いて、微小変形には圧電効果を用いるハイブリッド型アクチュエータ、形状記憶効果による変形量を、圧電効果や焦電効果で読み取るセンサ、アクチュエータデバイス、超弾性効果と圧電効果を利用した発電システムの設計を行い、本ハイブリッド多機能デバイスが有効であることを示す。

(2) 複合機能デバイスの試作・評価、複合機能デバイスとして、個々の機能の利点を生かし欠点を他の機能で補った大変形を形状記憶効果で行い、精密位置決めを圧電効果で行う粗動微動アクチュエータや、形状記憶合金による変形を圧電材料でモニタリ

ングするセルフセンシングアクチュエータ  
ーの設計・試作・評価を行うことにより、本  
デバイスがセンサ・アクチュエータシステム  
として有効であることを示す。

#### 4. 研究成果

平成24年度は基礎研究に重点を置き  
(1) 水熱合成法で製膜する上での最適な条  
件の探索、(2) 形状記憶効果, 超弾性効果,  
圧電効果, 焦電効果の特性の評価の2つの研  
究項目について研究を行った。

(1) 水熱合成法で製膜する上での最適な条  
件の探索では、従来の水熱合成法では核付け  
プロセスにおいてチタン基板からもチタン  
が供給されるが、ニッケルチタン基板におい  
ては、その供給が不十分であるため、核づけ  
プロセスにおいてもチタンを供給する必要  
があったが、そのチタンの供給をコントロ  
ールすることにより、チタンの含有率が低い形  
状記憶合金だけでなく、ステンレスなど全く  
チタンを含まない材料への成膜に成功した。

また(2) 形状記憶効果, 超弾性効果, 圧  
電効果, 焦電効果の特性の評価では、複合化  
することによりそれぞれの効果が連成して  
起こるため、それぞれの効果を正確に測定す  
ることは従来の測定方法では困難であった  
が、超弾性状態にした複合繊維の変形を表面  
の圧電薄膜で測定を行う事により、形状記憶  
効果と焦電効果の影響を無くし、超弾性状態  
の伸び変形による圧電効果を評価を行った。  
PZTなどの圧電性セラミックスの最大変形量  
は高々0.1%程度であるが、水熱合成法で作  
成したPZT薄膜は密度が低く柔軟性に富むた  
め、形状記憶合金の超弾性効果による弾性変  
形(5%程度)でも剥離が起こらず、変形量を  
正確に測定することができることが分かった。  
また有限要素法を利用することにより、4つ  
の効果の連成解析を行い、視覚的にそれぞ  
れの効果の連成して起こることを示すこと  
ができた。

平成25年度は応用研究に重点を置き、(1)  
複数の機能の特徴を利用したセンサ・アク  
チュエータの設計(2)複合機能デバイスの試  
作・評価の2つの研究を実施した。

(1) 複数の機能の特徴を利用したセン  
サ・アクチュエータの設計では、有限要素法  
ソフトANSYSを利用することにより、それ  
ぞれの効果が連星して起こる場合の評価を行  
った。4つの効果は独立しておらず、熱や力  
を媒体にそれぞれが連星しておくため、4つ  
の効果が打ち消しあうことも想定された。し  
かし実際にはそれぞれを用いる環境により  
同じ力であっても、静的な力と動的(振動的)  
な力によって、それぞれの効果を分けるこ  
とが可能であることを示すことができた。

(2) 複合機能デバイスの試作・評価試験  
では実際に作成した機能デバイスをセンサ  
やアクチュエータとして利用した時に、発生

する電荷、力を測定し、それぞれの単体でセ  
ンサやアクチュエータに利用した場合との  
比較研究を行った。個々の性能のばらつきが  
大きく厳密なデータを得ることはできな  
かったが10%~30%程度の性能の減少が見  
られた。この結果からもわかるように複合化  
することにより個々の性能自体は減少する  
が、多機能化という面を考えればその性能劣  
化は十分補うことが可能である。

またその他の研究として、引き続き水熱  
合成法装置の改良を進めることにより、PZT  
薄膜の性能向上をめざした。従来から行わ  
れているチタン基板上への製膜に比べ、ニ  
ッケルチタン上への製膜は界面が弱く剥離  
が起こりやすいという欠点があった。これら  
の欠点を克服するために水熱合成を行う前  
処理として、硝酸溶液による洗浄工程を行  
うことにより界面剥離の影響を軽減するこ  
とに成功した。

#### 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4件)

① Hiroshi Sato, "Multi Functional  
Devices which combined a shape memory  
alloy and a piezoelectric  
materials" Proceedings of 23rd 2012  
International Symposium on Micro Nano  
Mechatronics and Human Science.  
2012, pp. 187-190

② Hiroshi Sato, "Various Metal Core  
Piezoelectric Fiber", Proceedings of 2012  
International Symposium on Multi-scale  
Intelligent  
Systems  
, 2012, pp. 30

③ Hiroshi Sato, "Multi Functional Devices  
Using Shape-memory alloy Coated PZT Thin  
Film by Hydrothermal Method", 5th  
Japan-China Symposium on Ferroelectric  
Materials and Their Applications, pp. 30-34

④ Hiroshi Sato, "Multifunctional devices  
combining shape-memory alloy and  
piezoelectric materials", Proceeding of  
SPIE Smart  
Structures/NDE, 2014, pp. 187-192

[学会発表](計4件)

① Hiroshi Sato, "Multi Functional  
Devices which combined a shape memory  
alloy and a piezoelectric materials" 23rd  
2012 International Symposium on Micro Nano  
Mechatronics and Human Science.  
2012, Nov. 5-6

② Hiroshi Sato, "Various Metal Core  
Piezoelectric Fiber", 2012 International  
Symposium on Multi-scale Intelligent  
Systems

, 2012, Sep 27-28

③Hiroshi Sato, "Multi Functional Devices Using Shape-memory alloy Coated PZT Thin Film by Hydrothermal Method", 5th Japan-China Symposium on Ferroelectric Materials and Their Applications, Sep 10-11

④Hiroshi Sato, "Multifunctional devices combining shape-memory alloy and piezoelectric materials", SPIE Smart Structures/NDE, 2014, March 10-12

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

無し

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

佐藤宏司 (Hiroshi Sato)

産業技術総合研究所先進製造プロセス研究  
部門・主任研究員

研究者番号：70344166