

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 31 日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008 ～ 2011

課題番号：20560238

研究課題名（和文） 形状記憶合金ワイヤ駆動可変形状トラス

研究課題名（英文） SMA-Wire Actuated Variable Geometry Truss

研究代表者

花原 和之（HANAHARA KAZUYUKI）

神戸大学・大学院システム情報学研究所・准教授

研究者番号：70254430

研究成果の概要（和文）：

可変形状トラスは、骨組構造（トラス構造）の部材を可変長アクチュエータに置き換えることにより得られる機械システムであり、その多彩な用途が期待されている。本研究課題では、可変長アクチュエータとして形状記憶合金ワイヤを用いた、軽量・小型の幾何形状可変システムとしての可変形状トラスの特性を評価した。運動の記述に必要な関係式の定式化を行うとともに動力学シミュレーションを実施した。また、試作システムによる動作実験を行い、その実現可能性を確認した。

研究成果の概要（英文）：

Variable geometry truss (VGT) is a typical structural system consisting of a number of length-adjustable truss members. In this study, we deal with this type of mechanical system having a number of shape memory alloy (SMA) wires as its actuators. Kinematical as well as dynamic characteristics of the SMA-wire actuated VGT are studied. The feasibility is also demonstrated through experimental studies with 2D and 3D prototype VGT systems.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	900,000	270,000	1,170,000
2009年度	600,000	180,000	780,000
2010年度	600,000	180,000	780,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
年度			
総計	2,600,000	780,000	3,380,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学、知能機械学・機械システム

キーワード：メカトロニクス・可変形状トラス

1. 研究開始当初の背景

元来受動的であり固定であると考えられてきた構造物に何らかのアクチュエータを付与することにより、様々な幾何学的あるいは

は力学的条件に適応する能力を保有させる、適応構造物という工学概念がある。可変形状トラスはトラス構造の部材を可変長アクチュエータに置き換えたものであり、そのような機械システムの代表的なものとして研究

されてきており、様々な興味深い特性が報告されていたものの、現実のシステムとして実用化された例はほとんど報告されていなかった。

2. 研究の目的

可変形状トラスの実用化への最大のポイントの一つはその可変長アクチュエータである。いわゆる油圧・空気圧のシリンダやボールスクリューによる典型的なアクチュエータはコストや重量といった点に難点があった。本課題では、可変長アクチュエータとして形状記憶合金ワイヤを用いることにより、軽量かつ低コストの可変形状トラスの実現を想定した研究を行った。理論的側面と実証的側面の研究を行い、このようなシステムの実現可能性や将来性について検討した。

3. 研究の方法

理論面では、モデルの構築と計算機シミュレーションを行った。形状記憶合金の力学的特性は非線形性とヒステリシスを特徴とする。それらを考慮した可変形状トラス全体の運動学モデルおよび動力学モデルを構築し、計算機シミュレーションにより特性の評価を行った。実証面では、試作システムの構築と動作実験を行った。二次元および三次元の可変形状トラスを試作し、形状記憶合金ワイヤに初期ひずみを与えて装着し、通電加熱による動作について検討を行った。

4. 研究成果

(1) 概要

非線形性ならびにヒステリシス特性を考慮した形状記憶合金の区分線形モデルを構築し、これにもとづく順運動学関係式の定式化を行った。運動学シミュレーションを行い、外力の影響や駆動経路への依存性などを確認するとともに、それらを考慮した逆運動学の取扱いを示した。圧縮荷重を支えられないというワイヤの特性ならびに形状記憶合金の相変態の時間を考慮した動力学シミュレーションを行い、ヒステリシス特性による振動の減衰等、形状記憶合金を適用したことによる特徴的なふるまいを確認した。二次元および三次元の試作システムの動作実験を行って機能を確認するとともに、このような多自由度のメカニズムが軽量かつ安価に実現可能であることを示した。

(2) 詳細

形状記憶合金をアクチュエータとしたメカニズムはこれまでもいくつか提案されており、また試作されているが、本研究課題で取り扱ったようなものはこれまでにはなかった。

- ① 運動学関係式ならびに動力学関係式はトラスのトポロジーや形状記憶合金ワイヤの配置に依存しない、きわめて一般的な形式で定式化を行った。これにより様々な形態ならびに様々な規模の形状記憶合金ワイヤ駆動可変形状トラスの運動学的特性ならびに動力学的特性を評価することが可能となった。
- ② 開発した運動学シミュレーションおよび動力学シミュレーションのプログラムも一般性を持たせており、二次元および三次元の様々なシステムのシミュレーションを行うことが可能である。
- ③ 試作システムは二次元および三次元の双方とも通電加熱による形状記憶合金の相変態によって駆動が可能であることを示すことができた。冷却には空気の対流による熱伝達を用いたが、比較的良好な応答特性を観察することができた。
- ④ これまでの可変形状トラスの試作システムが多数のモータ等を必要としたが、本システムではそのようなものは必要なく、機械的な可動部分を極めて限定し、場合によっては不要とすることも可能であることを示した。
- ⑤ このようなメカニズムでは二値的な駆動が可能であり、単純なリレーによる制御が可能であることを示した。また、このような二値的な特性を活かした逆運動学の取扱いについても研究を行った。

(3) 今後の展望

形状記憶合金ワイヤをアクチュエータとする可変形状トラスが実際に機能することならびにそれらの理論的取扱いの基本的な点を示すことができた。今後は、可変形状トラスの実用化といった観点からの研究を進めてゆくことを考えている。特に、通常のアクチュエータの適用が困難であるような、特殊環境下あるいは超大型／超小型の適用分野の場合にこのようなメカニズムが有用であると考えている。また、試作システムを改良し、応答特性や操作性等についても向上させてゆきたいと考えている。

(4) 写真と図による説明

研究成果のいくつかを写真と図を用いて説明する。



図 1: 試作した 3 次元可変形状トラス

12 本の形状記憶合金ワイヤを用いた可変形状トラスの試作システムである。駆動のためのアクチュエータのない単純なメカニズムが実現されていることがわかる。

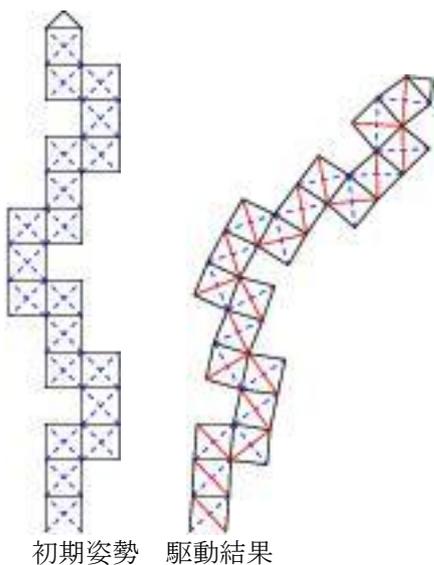


図 2: 2 次元可変形状トラスの動作シミュレーション例

一般に、形状記憶合金ワイヤそれ自身で可能な変形量は数%程度であるが、適切な構成により、有意な大きさの運動が可能であることがわかる。

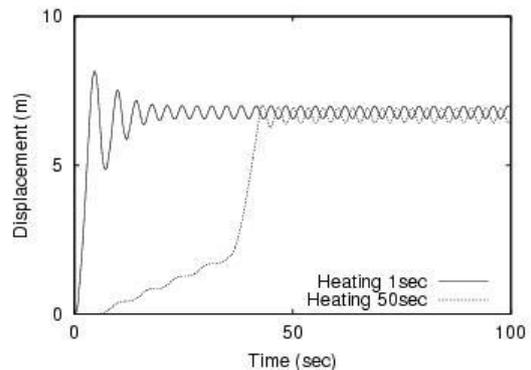


図 3: 駆動時の振動のシミュレーション結果

図 2 に示した動作に関する動力学シミュレーションを行った結果である。

形状記憶合金を急速に加熱して駆動した場合、ゆっくりとした加熱の場合に比べていわゆるオーバーシュートが発生することがわかる。ただし、形状記憶合金のヒステリシス特性によって急速に減衰することもわかる。

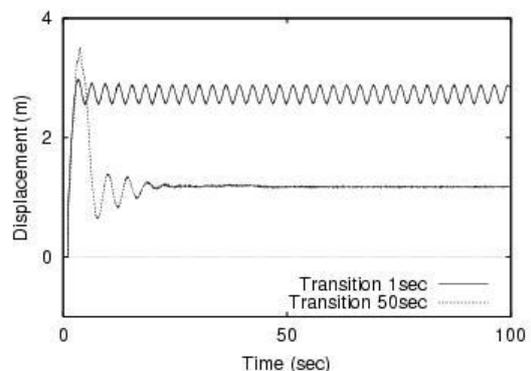


図 4: 衝撃荷重応答のシミュレーション結果

図 2 の初期姿勢の状態で、先端部に衝撃荷重を受けた直後に形状記憶合金ワイヤを加熱した場合の動力学シミュレーションの結果である。

この場合、このような大きな変形を生じるほどの衝撃であっても、急速に加熱することにより、振動の速やかな減衰が可能である。しかしながら、振動が収束した際の姿勢は加熱時間に依存することもわかる。

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 3 件)

① Kazuyuki Hanahara and Yukio Tada, Practicality Assessment of SMA-Wire Actuated Variable Geometry Truss, Proceedings of the 22nd International Conference on Adaptive Structures and Technologies, 査読有, 2011, CD-ROM.

② Kazuyuki HANAHARA, Keisuke TAKAHIRO and Yukio TADA, Dynamic Characteristics of Variable Geometry Truss with SMA Wire Actuators, Proceedings of the 13th Asia-Pacific Vibration Conference, 査読有, 2009, CD-ROM.

③ K. Hanahara and Y. Tada, Variable Geometry Truss with SMA Wire Actuators (Basic Consideration on Kinematical and Mechanical Characteristics), Proceedings of the 19th International Conference on Adaptive Structures and Technologies, 査読有, 2008, CD-ROM.

[学会発表] (計 7 件)

① 花原和之, 多田幸生, 形状記憶合金ワイヤ駆動可変形状トラスの逆運動学, 日本機械学会 [No.11-88] 第 20 回スペース・エンジニアリング・コンファレンス講演論文集, 査読無, 2012, 講演番号 D2.

② 花原和之, 多田幸生, 形状記憶合金ワイヤ駆動可変形状トラス (シミュレーションによる動特性の評価), 第 27 回宇宙構造・材料シンポジウム講演集録, 査読無, 2011, 講演番号 B20.

③ 花原和之, 多田幸生, 形状記憶合金ワイヤ駆動可変形状トラスの基礎研究, 先進機能材料・先進生体材料としての形状記憶合金の新しい用途開発 <SMA シンポジウム 2011>, 査読無, 2011, 44-47.

④ 高弘圭祐, 花原和之, 多田幸生, 形状記憶合金ワイヤを用いた可変形状トラスの動的挙動の観察, 日本機械学会 [No.10-107] 第 19 回スペース・エンジニアリング・コンファレンス講演論文集, 査読無, 2011, 講演番号 J1.

⑤ 高弘圭祐, 花原和之, 多田幸生, 形状記憶合金ワイヤを用いた可変形状トラス (実験による力学特性の評価), 日本機械学会 [No.09-96] 第 18 回スペース・エンジニアリング・コンファレンス講演論文集, 査読無, 2010, 149-153.

⑥ 花原和之, 高弘圭祐, 多田幸生, 形状記憶合金ワイヤによる可変形状トラス (二次元トラスによる基礎実験), 日本機械学会 [No.09-1] 2009 年度年次大会講演論文集 (1), 査読無, 2009, 199-200.

⑦ 花原和之, 高弘圭祐, 多田幸生, 形状記憶合金ワイヤによる適応トラス (動特性の基礎的検討), 日本機械学会 [No.09-23] Dynamics and Design Conference 2009 CD-ROM 論文集, 査読無, 2009, 講演番号 133.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

花原 和之 (HANAHARA KAZUYUKI)
神戸大学・大学院システム情報学研究科・
准教授
研究者番号 : 70254430

(2) 研究分担者

多田 幸生 (TADA YUKIO)
神戸大学・大学院システム情報学研究科・
教授
研究者番号 : 70135812

浦久保 孝光 (URAKUBO TAKATERU)
神戸大学・大学院システム情報学研究科・
助教
研究者番号 : 10335424

(3) 連携研究者