



Title	Phase Resistance Feedback Control and Modeling of Thick SMA Actuators [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	李, 軍鋒
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第11169号
Issue Date	2013-12-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/54637
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Junfeng_Li_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士 (工学) 氏名 李 軍鋒

審査担当者 主 査 准教授 原田 宏幸
副 査 教 授 小林 幸徳
副 査 教 授 梶原 逸朗
副 査 教 授 中村 孝

学位論文題名

Phase Resistance Feedback Control and Modeling of Thick SMA Actuators

(太径 SMA アクチュエータの相抵抗フィードバック制御とモデル化に関する研究)

形状記憶合金 (Shape Memory Alloy、以下 SMA と略記) アクチュエータは、高い出力-重量比、低い機械的ノイズ、容易な小型化、静粛な動作などの特徴を有し、作業空間に制約がある環境や、ノイズの発生が問題となるような環境において有効に用いることができる。特に、SMA ワイヤに通電して抵抗加熱することにより一種の電気アクチュエータとして用いる方法は利便性が高く、その利用は拡大している。この形式の SMA アクチュエータは、通常、加熱は速やかに行われるが、冷却は放熱の速度に依存するため、一般にその速度は遅い。このため、アクチュエータの動作方向によって応答速度に差を生じ、加熱側と比較して冷却側の応答性が悪い。この応答の差は、特に線径の大きいアクチュエータにおいて顕著であり、SMA アクチュエータの主要な欠点の一つである。

著者は、この欠点を克服すべく、SMA アクチュエータの応答速度の改善に取り組み、SMA がもつヒステリシス特性に着目した。広く用いられている NiTi 系 SMA アクチュエータの温度-変位関係は、ヒステリシス特性を有し、加熱・冷却のサイクルにおいて、加熱時にはマルテンサイト (低温相) 変態終了点から、オーステナイト (高温相) 変態開始点に至る区間、冷却時にはオーステナイト変態終了点から、マルテンサイト変態開始点に至る区間は、アクチュエータの変位を有効に取り出すことができない。前述のとおり、SMA アクチュエータは加熱よりも冷却により長い時間を要することから、ヒステリシスによる応答の遅れは冷却時により顕著となる。

著者は、SMA の冷却過程において、この遅れ時間を取り除くことでサイクルを早める手法として、相抵抗フィードバック制御法 (Phase resistance feedback control) を提案した。この手法においては、ワイヤ型 SMA アクチュエータを 2 つのセグメントに分離し、それぞれを独立に制御しつつ連動させる。セグメントの一方を加熱 (収縮) しアクチュエータ変位を取り出す間、もう一方をマルテンサイト変態開始点に保持し、冷却 (伸長) 時には、変態開始点に保持していたセグメントを動作させることにより、速やかに冷却過程に移行させることで、遅れ時間を解消し冷却時の応答性を

向上させる。また、マルテンサイト変態開始点での保持は、SMA の電気抵抗値のフィードバックに基づく、印加電圧のパルス幅変調制御によって行われる。手法の実現にあたり、著者はまずヒステリシス特性に伴う SMA アクチュエータの挙動を計測し、遅れ時間の定義を行うとともに、環境温度による特性の変化を明らかにした。次に、実験装置を構成し、相抵抗フィードバック制御法の有効性を実験的に検証した。その結果、単一 SMA ワイヤの加熱・冷却サイクルと比較して、最大ストローク動作時において、サイクル時間を約 3 割短縮することに成功した。よって提案手法は有効であるといえる。

続いて、SMA の抵抗値に加え、変位をフィードバックすることによる SMA アクチュエータの位置制御手法へと発展させ、相抵抗-変位併用フィードバック制御法 (Phase resistance with displacement feedback control) を提案した。実験的検証により、前述の相抵抗フィードバック制御法では、単一ワイヤに比べて二分の一に減少するアクチュエータの最大変位を、二つの SMA の連動により、単一ワイヤと同等とできることが示された。また、一般的な変位フィードバックによる PI 制御の結果と比較して、冷却時の応答性が向上することが示されており、本手法は有効であると考えられる。

さらに、著者は SMA のヒステリシス特性のモデル化に取り組んだ。相抵抗フィードバック制御法では、SMA をマルテンサイト変態開始点に保持する必要があるため、その点を測定結果に適合するように表現可能なモデルが必要である。また、SMA アクチュエータの制御には、SMA の最大変位を経ないマイナーヒステリシスループのモデル化が必要である。著者は、SMA アクチュエータの動作メカニズムが比較的簡潔に表現され、メジャーループのみで構成される Liang-Rogers のモデルに着目し、実験的に求めた SMA アクチュエータの応答結果に基づいて、Liang-Rogers モデルにマイナーループを加える手法を提案した。本モデルは実験結果とよく一致し、有効であると考えられる。

これを要するに、著者は SMA アクチュエータの主要な欠点の一つである、長い冷却時間を短縮するための有効な手法を提案しており、SMA 応用技術の発展に貢献するところ大なるものがある。よって、著者は北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格あるものと認める。