(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第4919450号
(P4919450)
(45)発行日　平成24年4月18日(2012.4.18)　(24)登録日　平成24年2月10日(2012.2.10)

(51)Int.Cl.　　F I
H01L 41/083 (2006.01)　　H01L 41/08　N
H01L 41/12 (2006.01)　　H01L 41/12

請求項の数 18　(全 13 頁)

(21)出願番号　特願2004-519925 (P2004-519925)
(86)(22)出願日　平成15年7月3日(2003.7.3)
(65)公表番号　特表2006-507663 (P2006-507663A)
(43)公表日　平成18年3月2日(2006.3.2)
(86)国際出願番号　PCT/US2003/021139
(87)国際公開番号　WO2004/006349
(87)国際公開日　平成16年1月15日(2004.1.15)
審査請求日　平成18年6月28日(2006.6.28)
(31)優先権主張番号　60/393,799
(32)優先日　平成14年7月3日(2002.7.3)
(33)優先権主張国　米国(US)

(73)特許権者　503209009
バイキング　テクノロジィーズ　エル．シー．
Ｖｉｋｉｎｇ　Ｔｅｃｈｎｏｌｏｇｉｅｓ，Ｌ．Ｃ．
アメリカ合衆国，フロリダ州　３４２３４，サラソータ，インディペンデンス　ブーレバード　１５００
１５００　Ｉｎｄｅｐｅｎｄｅｎｃｅ　Ｂｌｖｄ，Ｓａｒａｓｏｔａ，Ｆｌｏｒｉｄａ　３４２３４，Ｕ．Ｓ．Ａ．
(74)代理人　100066980
弁理士　森　哲也
(74)代理人　100075579
弁理士　内藤　嘉昭

最終頁に続く

(54)【発明の名称】てこ式スマートマテリアルアクチュエータ用の温度補償インサート

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
第１の熱膨張係数を有する第１の材料から形成された支持構造と、
前記支持構造に動作可能に結合され、アクチュエータの電気的作動に応答して前記支持構造を比例的に駆動するアクチュエータと、
前記支持構造内に一体に設けられた、所定の動作温度範囲の温度変動に応答して、前記支持構造および前記アクチュエータに使用された材料の異なる熱膨張係数を補償する手段とを備え、
前記熱膨張係数を補償する手段が、前記支持構造内に一体に設けられるとともに、前記第１の材料の前記第１の熱膨張係数とは異なる第２の熱膨張係数を有する第２の材料から形成された温度補償部材を備え、異なる２種類の材料が周囲温度の変化に応答して互いに対して反対方向の力を加えることを特徴とする装置。
【請求項２】
前記温度補償部材は、前記支持構造に動作可能に結合されるとともに、前記アクチュエータから間隔を置いて配置され、前記温度補償部材が、周囲温度の変化に起因する前記支持構造に固有のたわみ力とは反対の方向の力を前記支持構造に加えることを特徴とする請求項１記載の装置。
【請求項３】
前記反対方向の力が、前記アクチュエータの材料と前記支持構造の材料の熱膨張係数の違いに起因する前記支持構造の温度誘発性の運動を、前記支持構造の全運動の±７％以下

に限定する力であることを特徴とする請求項１記載の装置。
【請求項４】
前記温度補償部材は、前記支持構造に動作可能に接続されるとともに、前記アクチュエータから間隔を置いて配置され、前記支持構造の全幅にわたって広がることを特徴とする請求項１記載の装置。
【請求項５】
前記温度補償部材は、前記支持構造に動作可能に接続されるとともに、前記支持構造の外面に配置されていることを特徴とする請求項１記載の装置。
【請求項６】
前記温度補償部材は、前記支持構造に動作可能に接続されるとともに、前記支持構造の内面に配置されていることを特徴とする請求項１記載の装置。
【請求項７】
前記支持構造がさらに、
少なくとも１つのアーム部分を備え、前記少なくとも１つのアーム部分が、側部から、該側部と前記アーム部分との間に位置する一体に形成されたヒンジ部分を介して回動式に延びることを特徴とする請求項１記載の装置。
【請求項８】
前記少なくとも１つのアーム部分がそれぞれの前記側部の上に折り重なっていることを特徴とする請求項７記載の装置。
【請求項９】
前記温度補償部材は、前記支持構造のそれぞれのアーム部分に動作可能に接続されるとともに、前記アクチュエータから間隔を置いて配置されていることを特徴とする請求項７記載の装置。
【請求項１０】
前記支持構造の少なくとも１つのアーム部分が第２の材料から形成された前記温度補償部材とは異なる熱膨張係数を有する第１の材料から形成され、異なる２種類の材料が周囲温度の変化に応答して互いに対して反対方向の力を加えることを特徴とする請求項９記載の装置。
【請求項１１】
前記反対方向の力が、前記アクチュエータの材料と前記支持構造の材料の熱膨張係数の違いに起因する前記支持構造の前記少なくとも１つのアーム部分の温度誘発性の運動を、前記支持構造の前記少なくとも１つのアーム部分の全運動の±７パーセント以下に限定する力であることを特徴とする請求項１０記載の装置。
【請求項１２】
前記温度補償部材が、前記支持構造の前記少なくとも１つのアーム部分に動作可能に接続されるとともに、前記アクチュエータから間隔を置いて配置され、前記少なくとも１つのアーム部分の全幅にわたって広がることを特徴とする請求項７記載の装置。
【請求項１３】
前記温度補償部材が、前記支持構造の前記少なくとも１つのアーム部分に動作可能に接続されるとともに、前記少なくとも１つのアーム部分の外面に配置されていることを特徴とする請求項７記載の装置。
【請求項１４】
前記温度補償部材が、前記支持構造の前記少なくとも１つのアーム部分に動作可能に接続されるとともに、前記少なくとも１つのアーム部分の内面に配置されていることを特徴とする請求項７記載の装置。
【請求項１５】
前記支持構造がさらに、
一体に形成されたヒンジ部分に関して外側に延びる第１および第２の端部を有する少なくとも１つのアーム部分を備え、前記温度補償部材が、前記少なくとも１つのアーム部分の外側に延びるそれぞれの端部に沿って位置することを特徴とする請求項１記載の装置。

【請求項１６】
前記アクチュエータに圧縮力をプリロードする手段をさらに備えたことを特徴とする請求項１記載の装置。
【請求項１７】
前記プリロード手段がさらに、
前記支持構造の剛性のある非撓曲性ウェブ部分に形成されたねじが切られた開口とねじ込み式に係合可能なねじを備え、前記ねじが、前記アクチュエータにプリロード力を調節可能に伝えることを特徴とする請求項１６記載の装置。
【請求項１８】
プリロード力を前記アクチュエータに集中させるための調節座をさらに備え、前記調節座が、前記プリロード力を前記アクチュエータに専ら圧縮力として分配するための曲面を有することを特徴とする請求項１６記載の装置。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本出願は、てこ式のスマートマテリアルアクチュエータ用の温度補償装置およびその方法に関する。
【背景技術】
【０００２】
さまざまな産業の広範な応用に対してさまざまなスマートマテリアルアクチュエータ技術が開発されている。このタイプのアクチュエータに使用される１つの構成要素は、電気刺激式のスマートマテリアルアクチュエータである。これらのスマートマテリアルアクチュエータは電気刺激を受けると形状を変化させる。この変形を、主に１軸が変化するように設計することができる。このようスマートマテリアルアクチュエータを主支持構造に組み込むことができる。スマートマテリアルアクチュエータのその軸の寸法が変化すると、その運動は、主支持構造と一体のてこによって拡大される。主支持構造によって生み出される拡大率の結果、スマートマテリアルと主支持構造の極めて小さな熱膨張係数の差によって、比較的に大きな主支持構造の運動が出力として生み出されるということが通常の動作温度範囲で起こりうる。この運動は、アクチュエータ系の使用可能な出力の５０パーセントにも及ぶ可能性がある。
【発明の開示】
【発明が解決しようとする課題】
【０００３】
以前の設計は補償要素をスマートマテリアルと一直線に配置する。この方法にはいくつかの問題がある。１つの問題は、本体とスマートマテリアルの間に挿入された補償要素の長さによってアクチュエータの全長が増大することである。さらに、スマートマテリアルは大きな力を生み出すことができ、そのため補償要素は、インライン補償要素として機能すると同時に、アクチュエータの力および運動性能の低減を防ぐため十分な剛性を有していなければならない。安価な材料を用いてこれらの特性を同時に達成することは難しい。
【０００４】
他の共通の設計は、スマートマテリアルの周囲に異なる熱膨張係数のスリーブを配置することであり、これによってスマートマテリアルを捕捉する空洞が温度変化とともに膨張および収縮する。この系は、複雑で、機械加工に費用がかかり、全体サイズを増大させるいくつかの部品を使用し、このこともこの系を望ましくないものにしている。
【課題を解決するための手段】
【０００５】
本発明に基づく装置は、互いから間隔を置いて配置された第１および第２アームを有する支持構造を含む。圧電アクチュエータなどのスマートマテリアルアクチュエータは、アクチュエータの膨張および収縮に応答して第１および第２アームを互いに対して運動させる。作業温度および／または周囲温度の変動に起因するアームの運動を低減させまたは排

除するため、支持構造およびアクチュエータに使用された材料の異なる熱膨張係数の効果を補償する手段が提供される。

【０００６】

本発明は、温度変動に対しててこ式アクチュエータを補償する単純かつ費用効果の高い解決法を提供する。本発明は、アクチュエータ系の外囲を増大させることなく異なる熱膨張係数の効果を補償する手段を提供し、ゼロ電圧における全体誤差をアクチュエータ系の最大運動の±７パーセント以下に補正することができる。アクチュエータ系のスケーラビリティの結果、特定の応用で使用するアクチュエータ／支持構造組合せの特定の物理構成を設計する時間を短縮する、全てのパラメータを得るためのプロセスが開発された。本発明は、設計システムと、スマートマテリアルアクチュエータと、一体のてこ式アーム部分を有する支持構造と、温度補償インサート要素とを使用する。温度補償インサート要素は、支持構造上の所定の位置に、アクチュエータから間隔を置いて、例えばアーム部分に沿って配置される。このインサート要素はアーム部分の切取り部分に挿入することができる。インサートとアーム部分に２種類の異なる材料を使用することによって、アーム部分を片持ち梁とするバイマテリアルまたはバイメタル型の運動を生み出すことができる。したがって、この設計システムを使用すると、最小数の構成要素を使用し誤差幅を５パーセント未満の変動に維持する温度補償インサート要素の配置および材料タイプが容易に明らかになる。

【０００７】

本発明の他の応用は、本発明の実施のために企図された最良の形態の以下の説明を当業者が添付の図面を参照して読んだときに明らかとなろう。

以下の説明では添付の図面を参照する。全図面を通じて同じ参照符号は同じ部分を指す。

【発明を実施するための最良の形態】

【０００８】

次に図１を参照すると装置１０の一実施形態の透視図が示されている。この装置は、剛性のある上下の非撓曲性側部対１６、１８の間に延びてＣ字形部分２０を形成する非撓曲性ウェブ部分１４を含む支持構造１２を有する。第１のアーム部分２２または２４などの少なくとも１つの回動可能なアーム部分が、対応する一体のヒンジ部分２６または２８を介して対応する側部１６または１８に回動可能に接続されている。対向する２つのアーム２２、２４を希望する場合には、任意選択で、第２のアーム部分２４などの他の回動可能アームを、対応する一体のヒンジ部分２８を介して剛性のあるもう一方の側部１８に接続することができる。力伝達部材３０は、スマートマテリアルアクチュエータ３２の一端と係合可能な表面を含む。スマートマテリアルアクチュエータ３２の反対端は調節可能な座３４と係合する。調節可能な座３４は、支持構造１２を通して接続された調節可能な支持ねじ３６によって支持することができる。少なくとも１つの回動可能アーム部分２２、２４には補償インサート３８が挿入される。補償インサート３８は、対応する回動可能アーム部分２２、２４の幅と同じ幅を有することができ、支持構造１２の切取り部分４０を完全に埋めるように挿入することができる。

【０００９】

次に図２を参照すると、図１に示した装置１０の補償要素３８の作用を誇張した側面図が示されている。例えば、回動可能アーム２２は熱膨張係数５．７×１０$^{-6}$インチ／インチ°Ｆ（５．７×１０$^{-6}$ｃｍ／ｃｍ°Ｆ）の４１６ステンレス鋼から製造することができ、補償インサート３８は熱膨張係数９．６×１０$^{-6}$インチ／インチ°Ｆ（９．６×１０$^{-6}$ｃｍ／ｃｍ°Ｆ）の３０４ステンレス鋼合金から製造することができる。ただしこれらに限定されるわけではない。異なる熱膨張係数を有する２枚の金属ストリップどうしを接合すると、温度変化によってこの組立品の自由たわみ（ｆｒｅｅ　ｄｅｆｌｅｃｔｉｏｎ）が生じる。このケースでは回動可能アーム２２よりもインサート３８のほうがより膨張し、図示の方向の自由たわみを生じる。図示の位置から１８０度の位置、言い換えると回動アーム２２の下面にインサート３８を配置して上向きのたわみを生じさせることができる

こと、およびインサート３８の材料を相対的に小さな熱膨張係数を有するものにして、自由たわみの方向を変えることができることに留意されたい。このたわみを使用して、温度が変化したときに、スマートマテリアルアクチュエータ３２と支持構造１２の熱膨張係数の違いを無効にする。あるいは、熱膨張係数６×１０$^{-6}$インチ／インチ°Ｆ（６×１０$^{-6}$ｃｍ／ｃｍ°Ｆ）の１７－４ＰＨステンレス鋼、熱膨張係数１０．５５×１０$^{-6}$インチ／インチ°Ｆ（１０．５５×１０$^{-6}$ｃｍ／ｃｍ°Ｆ）の高膨張性金属合金（ニッケル－クロム－鉄）２２－３などの他の材料を支持構造１２に対して使用することもできる。一般に、支持構造に使用するのに適した材料は、その材料によって高剛性構造を形成できるかに基づいて選択することができる。このような剛性のある構造は、望ましくない運動を最小化し、それによってアームの最大運動を可能にするのに役立つ。この基準に基づいて、支持構造は、鋼、他の金属、合金、セラミック、複合材料などの材料またはこれらの組合せを使用して形成することができる。複合材料には例えば、非金属材料と混合した金属材料、互いに混合した２種類の金属材料、互いに混合した２種類の非金属材料、これらの組合せが含まれる。ただしこれらに限定されるわけではない。一般に、支持構造とともに使用する熱補償要素のアーム剛性が、熱補償のないアームのそれよりも低くなってはならない。アーム剛性の低下は支持構造のアームの出力性能を低下させる。この基準に基づいて、支持構造は、鋼、他の金属、合金、セラミック、複合材料などの材料、またはこれらの組合せを使用して形成することができる。複合材料には例えば、非金属材料と混合した金属材料、互いに混合した２種類の金属材料、互いに混合した２種類の非金属材料、これらの組合せが含まれる。ただしこれらに限定されるわけではない。熱補償によるアームの出力性能の低下は、サイズ、重量、信頼性、再現性などの応用要件全体に対してバランスがとれていなければならない。

【００１０】

次に図３を参照する。回動可能アーム２２ａは、支持構造１２ａに留め具４４ａで固定されたバイマテリアルストリップ４２ａからなることができる。この実施例ではバイマテリアルストリップ４２ａが、温度変化に対して、支持構造１２ａとスマートマテリアルアクチュエータ（図示せず）の熱膨張の正味の和にほぼ等しく反対の反応の自由たわみを提供する。支持構造に回動可能アーム２２ａを取り付ける方法は留め具４４ａだけでないことを当業者は理解されたい。この他の手段には例えば、溶接、ろう付け、はんだ付け、化学的な接着、これらの組合せなどがある。ただしこれらに限定されるわけではない。

【００１１】

次に図４を参照する。回動可能アーム２２ｂの一部は、回動可能アーム２２ｂに留め具４４ｂで固定されたバイマテリアルストリップ４２ｂからなることができる。この実施例では、バイメタルおよび／またはバイマテリアルストリップ４２ｂが、温度変化に対して、支持構造１２ｂ、回動可能アーム２２ｂおよびスマートマテリアルアクチュエータ（図示せず）の熱膨張の和にほぼ等しく反対の反応の自由たわみを提供するように、バイメタルおよび／またはバイマテリアルストリップ４２ｂを回動可能アームに沿って配置することができる。支持構造に回動可能アーム２２ａを取り付ける方法は留め具４４ａだけでないことを当業者は理解されたい。この他の手段には例えば、溶接、ろう付け、はんだ付け、化学的な接着、これらの組合せなどがある。ただしこれらに限定されるわけではない。

【００１２】

次に図５を参照する。回動可能アーム２２ｃの一部は、適当な取付け材料層２３を用いて回動可能アーム２２ｃに固定されたバイメタルおよび／またはバイマテリアルストリップ４２ｃからなることができる。この取付け材料層は、適当な任意の接着剤、はんだ、溶接／ろう付け棒残留物などとし、またはこれらの組合せとすることができる。ストリップ４２ｃは、アーム２２ｃに形成された切欠きまたはみぞ穴の中に固定されてアーム２２ｃに接続されており、温度変化に応じて、支持構造１２ｃ、回動可能アーム２２ｃおよびスマートマテリアルアクチュエータ（図示せず）の熱膨張の和にほぼ等しく反対の反応の自由たわみを提供する。

【００１３】

次に図１０を参照すると、本発明に基づく補償インサートの材料、方向および寸法の最適化を示す簡略化された流れ図が示されている。最初にステップ１００で応用の要件を定義する。要件は、例えば力、サイズ、位置決め、振動、応力、耐衝撃性、サイクル寿命、動作周波数、温度、耐環境性、耐食性、生産コスト、ヒステリシス、線形性、ガルバーニ反応および／または再現性パラメータを含む選択されたパラメータ群とすることができる。ただしこれらに限定されるわけではない。ステップ１０２で要件を定義した後、プロセスはステップ１０４に進み、最初に３次元（３Ｄ）コンピュータ援用設計（ＣＡＤ）モデルを開発する。次いでステップ１０６でインサート材料を選択し、３Ｄ　ＣＡＤモデルに挿入する。次いでステップ１０８で有限要素応力解析（ＦＥＡ）を実行して、補償インサートの性能を予測する。ステップ１１０で、有限要素応力解析の結果としてアームのたわみを求める。次いでステップ１１２で、ステップ１１０で識別された計算されたたわみに対して要件をチェックする。先にステップ１０２で定義した要件を満たさないと判定された場合には、プロセスは枝分れしてステップ１０４へ戻り、モデルをさらに最適化して、要件が満たされるまでループを続ける。ステップ１１２の要件がステップ１０２の要件を満たす場合には、プロセスはステップ１１４に進み、例えばコスト、マニファクチャビリティ、構成要素数、材料の種類および／または性能再現性を含むさまざまな特性に関して構成を評価する。ただし特性はこれらに限定されるわけではない。検討中の特定の３Ｄ　ＣＡＤモデルが要件を満たさないと判定された場合には、プロセスは枝分れしてステップ１０４へ戻り、モデルをさらに最適化して、要件が満たされるまでループを続ける。ステップ１１４の要件がステップ１０２の要件を満たす場合には、プロセスはステップ１１６に進み、プロトタイプを構築し試験することによってその構成を評価して、ステップ１０２の要件が満たされるかどうかを検証する。要件が満たされないと判定された場合には、プロセスは枝分れしてステップ１０４へ戻り、モデルをさらに最適化して、プロトタイプが要件を満たすまでループを続ける。要件が満たされると判定された場合には、プロセスはステップ１１８で終了となり、設計は完了する。

【００１４】

図１に示した実施形態では、これらの構成要素を異なる２種類の材料から機械加工することができる。例えば、支持構造１２をステンレス鋼から、補償インサート３８を黄銅から製造することができる。ただしこれに限定されるわけではない。

図１に示した装置１０は、互いに間隔を置いて配置された第１の回動可能アーム部分２２と第２の回動可能アーム部分２４とを備えた支持構造１２を有する。部分２２、２４はそれぞれ、一体に形成されたヒンジ部分２６、２８を介して対応する剛性のある非撓曲性側部１６、１８に接続されている。ヒンジ部分２６、２８はそれぞれ、対応する側部１６、１８に接続された対応する第１のヒンジウェブ４６、４８を含み、対応する第２のヒンジウェブ５０、５２は力伝達部材部分３０に接続されている。例えば、アーム部分２２、２４と側部１６、１８の間にみぞ穴５４および５６を形成して、アーム部分２２、２４が、支持構造１２の側部１６、１８と接触することなく運動できるようにすることができる。ただしこれに限定されるわけではない。第１のヒンジ部分４６、４８と力伝達部分部材３０の間にみぞ穴５８および６０を形成して、力伝達部材３０からアーム部分２２、２４へのてこの作用を容易にすることができる。

【００１５】

圧電アクチュエータなどのスマートマテリアルアクチュエータ３２は、材料に適用された電力に応答しそれに比例して形状を変化させることによって動作する。アクチュエータ３２は、材料の膨張および収縮に応答して、第１および第２アーム部分２２、２４を互いに対して回動させる。アクチュエータ３２は、調節座３４と力伝達部材部分３０との間に配置することができる。圧電アクチュエータはスマートマテリアルアクチュエータの可能な１つのタイプであり、磁気ひずみまたは電気ひずみマテリアルアクチュエータなどの他のデバイスを本発明の範囲に含めることも企図されることを理解されたい。

【００１６】

力伝達部材部分３０および回動可能アーム部分２２、２４は、実質的に剛性のある構成

要素部分であるように設計される。これらの要素の撓曲はたとえそれがごく小さなものであっても、望ましくない運動のため、非効率な仕事の伝達につながる。一般に圧電アクチュエータスタックの運動はごくわずかであり、一般にスタックの長さの約０．１％である。本発明に対して企図されるスタックの長さを基にすれば、このような運動は、実際の実施形態に応じて最大で１００マイクロインチ（２５４μｃｍ）から１５００マイクロインチ（３８１０μｃｍ）程度となろう。したがって、一般に支持構造１２の構成要素は全て、望ましくない運動を最小化するように設計される。極端には、支持構造１２に無限寿命を与える予想される設計荷重下で４マイクロインチ（１０．１６μｃｍ）を超える運動は剛性を持つとは言えず、本発明の開示に関して望ましくないと考えられる。実際には、剛性は、側部、例えば１６、１８の互いに対する変位距離または運動と、自由たわみ時の力伝達部材３０の変位距離との比としてより有効に定義される（すなわち自由たわみは、作用する負荷がなく仕事をしないものと定義される）。本発明によれば、この文脈において、力伝達部材３０の変位距離または自由たわみの１０％を超える側部１６、１８の変位距離または運動は剛性があるとは言えないとみなされる。実際にはこのパーセントは一般にこれよりもずっと小さい。例えば、圧電スタックの長さが約０．３９４インチである実施形態では、自由たわみに対する側部の望ましくない運動のパーセンテージが２％程度である。構造の剛性および結果として生じる性能効率の他の指示は、アーム部分、例えば２２、２４の自由たわみの測定値とこのような運動の理論値または計算値との比である（すなわち理論的に剛性のある構造では運動の損失がゼロであると仮定する）。この定義を使用すれば、本発明によって達成された最小の効率は約８０％である。さらに、本発明によれば約９０％の効率が達成された。本発明に基づく構成を用いれば、９０％を超える効率を達成できると予想される。例えばヒンジ部分の幾何形状は特に、応力疲労による破壊を起こさずに最大性能が得られるように設計される。本発明によれば、ヒンジ部分を除く支持構造１２の全ての部分は「剛性を持つ」と考えられる。ヒンジ部分は、撓曲し、たわみ、運動することが望ましい支持構造の唯一の構成要素または部分である。ヒンジ部分は支持構造１２の最大応力位置である。ヒンジ部分の幾何形状の屈曲点は、特定の用途に対して性能が最適化されるように正確に選択される。設計プロセスは、ヒンジ部分の増幅効果を特定の仕様を満たすように適合させることによりこの方法をサポートする。限定ではなく例として、有限要素解析は、産業応用の文脈においてヒンジ寿命が「無限」であることを証明した。圧電スタックを１次作動法として使用し、これに本発明が教示する運動増幅機構を組み合わせたデバイスの実験室試験では、オン／オフ操作が５億サイクルを超えた。選択される材料が上で論じた特定の応用に対する設計基準を満たす限り、装置１０は全体に、鋼あるいは当業者に周知の適当な任意の材料または複合材料などの、均質な材料から形成することができる。

【００１７】

支持構造１２は、剛性のある第１の非撓曲性側部１６、剛性のある第２の非撓曲性側部１８、および剛性のある非撓曲性ウェブ部分１４を含む。側部１６、１８はそれぞれ、剛性のある非撓曲性ウェブ部分１４と一体に接続されている。側部１６、１８は、第１および第２の回動可能アーム部分２２、２４のヒンジ部分２６、２８と一体に形成されている。第１および第２アーム部分２２、２４は剛性のある非撓曲性構造である。

【００１８】

屈曲点およびヒンジの幾何形状は、特定の応用に対して性能が最適化されるように正確に選択する。設計プロセスは、アーム部分２２、２４とヒンジ部分２６、２８の「増幅」効果を、材料疲労を誘発することなく性能を最大にする特定の応用に対して必要な仕様を満たすように適合させるためにこの方法をサポートする。実験室試験で確認した耐用年数によれば、５億サイクルのオン／オフ操作後も、本発明に基づく装置１０の性能に測定可能な変化は見られなかった。

【００１９】

次に図１および７を参照する。装置１０は、アクチュエータ３２に圧縮力をプリロードする手段６２を含む。プリロード手段６２は、支持構造１２のウェブ部分１４に位置する

ねじが切られた開口６４とねじ込み可能に係合するねじ３６を含むことができる。ねじ３６は、調節座３４を介してアクチュエータ３２に圧縮力を加えることができるものとすることができる。調節座３４はねじ３６からアクチュエータ３２へ圧縮力を伝達する。調節座３４は、このプリロード力を剪断荷重を含まない純粋な圧縮荷重としてアクチュエータに均一に伝える実質的に湾曲した表面を有する力集中シムを含むことができる。

【００２０】

支持構造１２およびアクチュエータ３２に使用される材料の異なる熱膨張係数の効果を補償して、作業温度および／または周囲温度の変動に起因する運動を低減させまたは排除するため、手段６６が使用される。すべての材料は熱膨張係数を有する。作業温度および／または材料の周囲の周囲温度が変化すると、材料は膨張または収縮する。膨張および収縮の大きさは熱膨張係数に比例する。本発明に基づく温度補償は、装置１０に対する温度変動の影響を低減させまたは排除することができる。本発明に基づく温度補償手段６６は、支持構造１２と動作可能に係合可能な補償インサート３８、例えば図２に示した少なくとも１つのアーム部分２２と接続可能な補償インサート３８を含むことができる。アーム部分２２の切取り部分４０を切り取り、この切取り部分４０に補償インサート３８を挿入することができる。インサート３８は、適当な接着、ろう付け、溶接、留め具による取付け、これらの組合せなどの適当な方法によってアーム部分２２に動作可能に接続可能なものとすることができる。補償インサート３８は、アーム部分２２とは異なる（すなわちアーム部分２２よりも小さいまたは大きい）ある熱膨張係数を有し、その結果、アーム２２は、作業温度および／または周囲温度の変化に起因するたわみとは反対の方向にこれと実質的に等しい量だけたわむ。切取り部分４０はアーム部分２２の外面６８または内面７０に設けることができる。本発明に基づく温度補償は、このインサートを使用して、周囲温度の変動に比例した材料の膨張および／または収縮の結果としてアーム部分２２、２４をたわませるが、支持構造が設計荷重条件下で撓曲運動を実質的に制限する意味において、アーム部分２２、２４は依然として剛性を持つ。アーム部分２２、２４とは物理的に別個の「インサート」に関して本発明を図示し詳細に説明したが、本発明は一体型「インサート」構成も開示し、これを包含する。対応するアーム部分２２、２４の内部にインサートを一体に埋め込んで、かつ／またはアーム部分２２、２４自体を所望の特性を得るために適当に混合した材料として、本発明を形成できることを当業者は理解されたい。限定ではなく例として、複合焼結材料成形技法を使用して支持構造１２を形成することによって本発明を製造することができる。したがって、本明細書における総称用語「インサート」の使用は、物理的に別個の「インサート」構成または一体として形成された「インサート」構成、あるいは別個の構成と一体の構成の組合せを包含すると定義される。

【００２１】

次に図３を参照する。少なくとも１つのアーム部分２２ａは、少なくとも１つのアーム部分２２ａの全長を形成するバイマテリアル層４２ａから製造することができる。アーム部分２２ａは留め具を用いて支持構造１２ａに固定することができる。あるいは、ろう付け、はんだ付け、溶接、化学的な接着、これらの組合せなどの他の適当な手段を使用してアーム部分２２ａを支持構造１２ａに固定してもよい。

【００２２】

次に図４を参照すると、バイマテリアル層４２ｂはアーム部分２２ｂの全長の一部を形成している。留め具４４ｂを使用して、バイマテリアル層４２ａを有するアーム部分２２ｂを支持構造１２ｂに固定する。あるいは、ろう付け、はんだ付け、溶接、化学的な接着、これらの組合せなどの他の適当な手段を使用してアーム部分２２ｂを支持構造１２ｂに固定してもよい。

【００２３】

次に図１０を参照すると、本発明に基づく装置１０を設計する方法が開示されている。方法ステップには、設計要件を定義するステップ１０２と、装置１０の支持構造１２、アーム２２のインサート３８およびアクチュエータ３２を３Ｄ　ＣＡＤでモデル化するステップ１０４と、温度補償インサート材料を選択するステップ１０６と、有限要素モデルに

対して有限要素解析を実行するステップ１０８と、結果を設計要件と比較するステップ１１０と、計算結果が設計要件を満たすまでモデルを変更しプロセスを繰り返すステップ１１２と、指定されたコストで設計を製造できるかどうかを判定するステップ１１４と、設計がステップ１０２の要件を満たすまでプロトタイプ試験を用いて設計を検証するステップ１１６と、設計がターゲットとする製造コストを満たすまでこの設計プロセスを繰り返すステップ１１８とが含まれる。

【００２４】

次に図６を参照すると、装置１０に対する有限要素解析結果の一例が示されている。アクチュエータは力伝達部材３０を通して力を伝達し、力伝達部材３０は装置１０のピーク応力をヒンジ部分２６に集中させる。力伝達部材３０が装置１０のヒンジ部分２６を通して力を伝達した結果、アーム部分２２はたわんで初期位置からたわみ位置に移る。有限要素法を使用した図示の応力分布の結果として、アクチュエータの所望の設計寿命を達成することができる。ヒンジ領域部分２６、２８に集中した応力は、アクチュエータ３２の力が増大すると増大する。装置１０は実質的に剛性を持ち、アクチュエータからの力の結果として許される唯一の屈曲運動はヒンジ部分２６、２８のそれである。ヒンジ部分２６、２８は、設計荷重条件下で装置１０が無限寿命を持つように設計される。言い換えると、ヒンジ部分２６、２８は、装置１０の生産に使用される設計および製造方法の結果、装置１０の寿命中に破壊されたりまたは破損したり十分な強度および断面を有する。追加の有限要素解析を使用して、ヒンジ部分２６からアーム部分２２の端部へ延びるアーム部分２２の運動を調べる。有限要素解析のこの態様では、熱補償のないアームの運動を熱補償されたアームの運動と比較する。両方のアームタイプの運動および力を通常の動作温度範囲についてモデル化して、使用される熱補償の有効性を確実にし、不十分な剛性に起因する望ましくない撓曲による性能の低下を最小化する。図６には、熱補償解析を図で示すために屈曲を誇張したアーム部分２２が示されている。

【００２５】

次に図７を参照すると、ねじ３６によって圧縮力がプリロードされたアクチュエータ３２が示されている。ねじ３６は、支持構造１２のウェブ１４とねじ込み式に係合可能である。ねじ３６は、アクチュエータ３２と動作可能に係合する剛性のある力集中シムなどの調節座３４と接触する。剪断力成分のない純粋な圧縮力として力を伝達するために、座３４は、全体に湾曲した表面またはドーム形の形状を含むことができる。圧電スタックでできたアクチュエータは、引張りまたは側方荷重下に置かれることになじまない。圧電スタックの全変位よりも大きなプリロードを生み出すことによって、圧電スタックの放電後に装置が初期位置に戻る最中でもスタックは常に圧縮下にある。

【００２６】

動作時、装置１０は熱変動を補償して、アーム部分２２、２４のたわみの比例制御を維持する。作業温度および／または環境温度が設計温度から変化すると、アクチュエータの材料と支持構造の材料の間の熱膨張係数の違いによってアーム部分はたわむ。実験による例を図１１に示す。図１１は、１つの可能なアーム構成のグラフであり、温度補償されたアームと温度補償のないアームのたわみ（インチ）が摂氏温度に対して示されている。このグラフによれば、補償のないアームは摂氏８０度で０．００６インチ（０．０１５ｃｍ）を超えてたわみ、温度補償されたアームはたわみを０．００１インチ（０．００２５４ｃｍ）未満に限定する。このことは重要な意味を持つ。なぜなら、試験したアーム構成では、補償のないアームの温度誘発性のたわみが、スマートマテリアルアクチュエータの電気的作動に応答した一定温度での支持構造の有効アーム変位の約５０％に相当していたからである。言い換えると、グラフに示した補償のないアーム構成は、温度変動だけの結果として、温度誘発性のたわみの方向に応じ約５０％のたわみの増大、または約５０％のたわみの低減を受ける。

【００２７】

次に図８を参照すると、流体弁セクション７６と組み合わせた装置１０の透視図が示されている。この装置は、剛性のある第１の非ｎ撓曲性側部１６と剛性のある第２の非ｎ撓

曲性側部１８との間に延びＣ字形部分２０を形成する非撓曲性ウェブ１４を含む支持構造１２を有する。一体のヒンジ２６を介して、剛性のある少なくとも１つの回動可能アーム部分２２を回動可能に接続することができる。対向する２つのアームを希望する場合には、剛性のある第２の回動可能アーム部分２４を一体のヒンジ２８を介して接続することができる。力伝達部材３０は、調節可能な座３４と協力して、スマートマテリアルアクチュエータ３２と動作可能に係合する。調節可能な座３４は、支持構造１２を通してねじ込み式に係合したねじ３６によって支持することができる。少なくとも１つの回動可能アーム部分２２には温度補償インサート３８が挿入される。回動可能アーム部分２４に弁座７２を取り付けることができる。回動可能アーム部分２４に弁棒７４を取り付けることができる。弁構成要素７２、７４は、比例制御可能な汎用双方向弁を構成することができる。この弁は、周囲温度の変動、制御された流体の温度変動などの温度変動にさらされ、スマートマテリアルアクチュエータ３２は、支持構造１２とは異なる大きさで膨張し収縮する。この温度変動の結果、回動可能アーム２２、２４は運動し、弁棒７４を弁座７２に対して移動させる。温度補償インサート３８は回動可能アーム部分２２、２４に対して膨張または収縮して、スマートマテリアルアクチュエータ３２と支持構造１２の熱膨張係数の不一致を補償する。本発明に基づく補償手段６６は、温度が変化したときに弁棒７４および弁座７２が互いに対して大きく運動することを防ぎ、より広い範囲の周囲温度および動作温度にわたって比例制御を可能にする。

【００２８】

次に図９を参照すると、複動式アーム部分２２ｄ、２４ｄを備えたアクチュエータ１０が示されている。アクチュエータ３２が作動すると、アーム部分２２ｄ、２４ｄはヒンジ部分２６ｄ、２８ｄを軸に回動する。アクチュエータ３２に通電したときおよび通電を止めたときに、アーム部分２２ｄ、２４ｄは、両端に仕事を提供することができる。アーム部分２２ｄ、２８ｄの対向する側に補償インサート３８ｄ、３８ｅを配置して、周囲温度の変動に起因する熱膨張の影響を打ち消すことができる。

【００２９】

現時点で最も実用的でかつ最も好ましいと考えられる実施形態に関して本発明を説明したが、本発明は開示の実施形態に限定されるものではなく、それどころか、添付の請求項の趣旨および範囲に含まれるさまざまな変更および等価配置をカバーするものであることを理解されたい。添付の請求項の範囲には、法の下で許されるこのような全ての変更および等価構造を包含するように、最も広い解釈が与えられなければならない。

【図面の簡単な説明】

【００３０】

【図１】本発明に基づく電気機械式アクチュエータの透視図である。

【図２】本発明に基づく補償要素の作用を示すために切り取られた図１の誇張された側面図である。

【図３】本発明の代替構造を示す図である。

【図４】本発明の代替構造を示す図である。

【図５】本発明の代替構造を示す図である。

【図６】本発明の１つの可能な構造の応力解析グラフである。

【図７】本発明に基づくアクチュエータプリロード機構の透視図である。

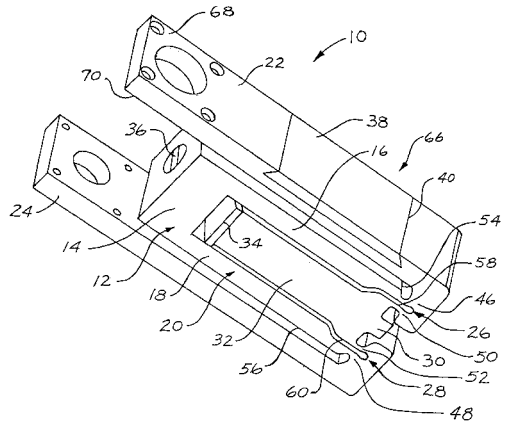
【図８】結合された流体弁を有する、本発明のアクチュエータの代替実施形態の透視図である。

【図９】本発明のアクチュエータの代替実施形態の透視図である。

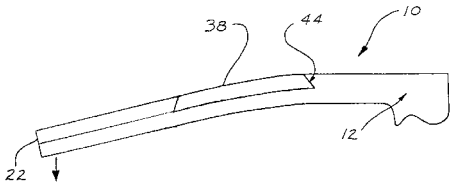
【図１０】本発明に基づく温度補償要素の設計および配置で使用する方法のステップを示す簡略化された流れ図である。

【図１１】温度補償のないアームと比較した、温度補償されたアームの摂氏温度に対するアーム変位をインチで示したグラフである。

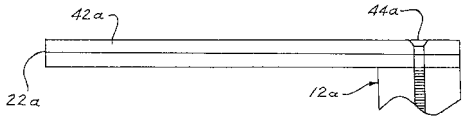
【図１】



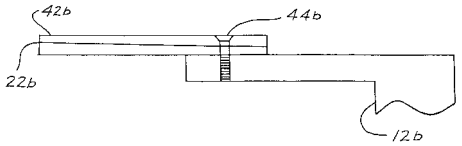
【図２】



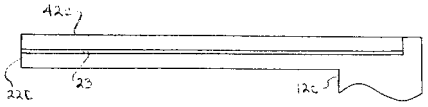
【図３】



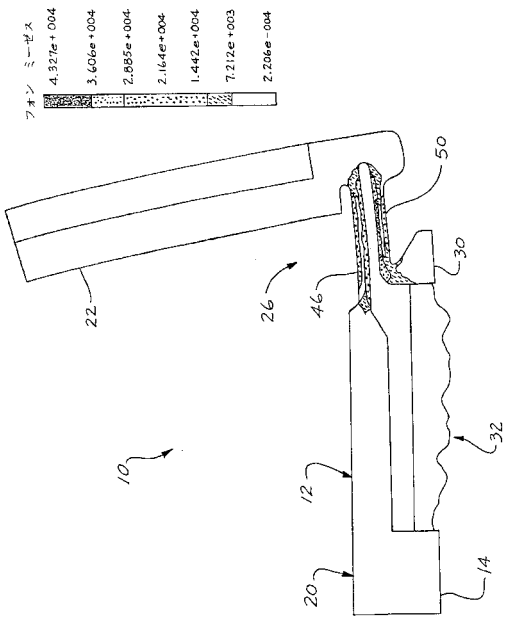
【図４】



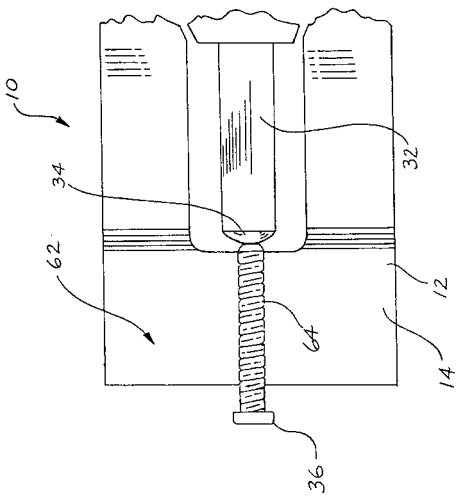
【図５】



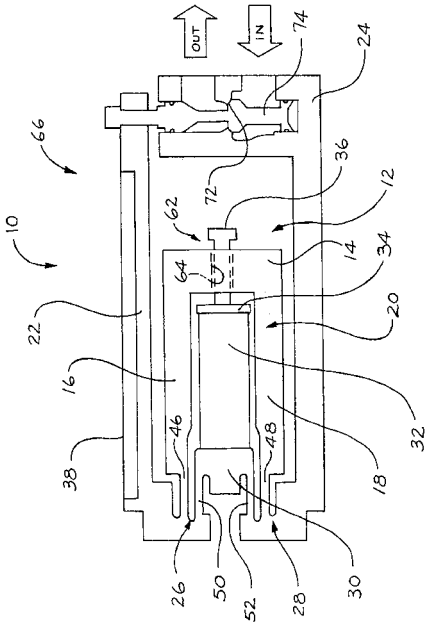
【図６】



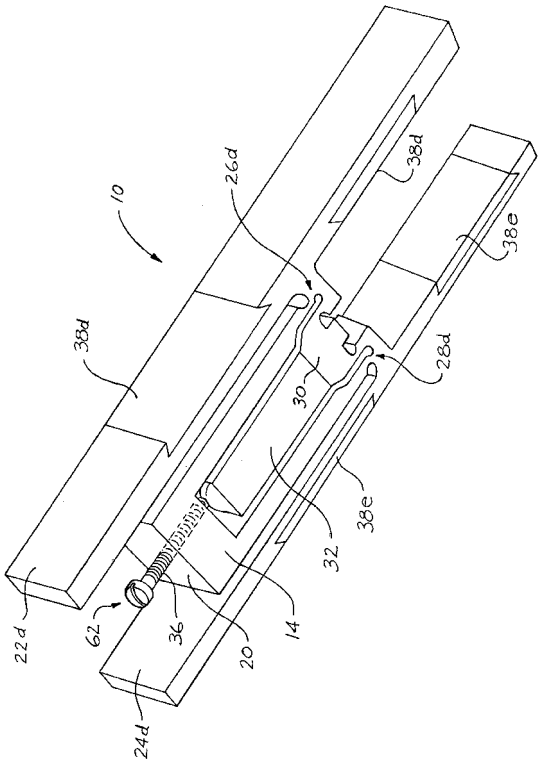
【図７】



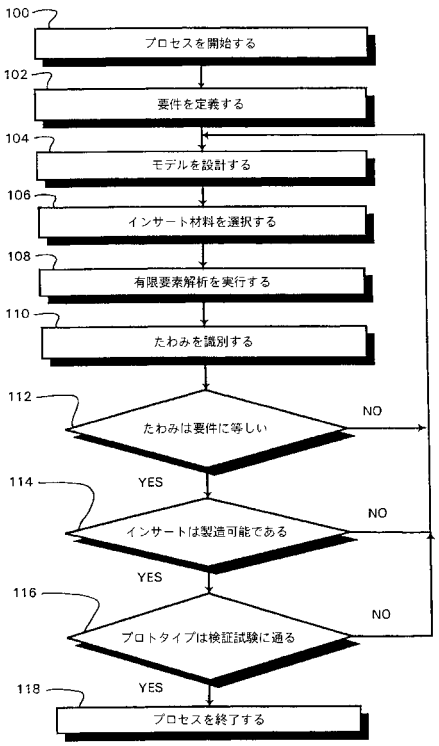
【図８】


OUT
IN
74
24
66
36
72
12
62
10
14
34
64
20
22
16
32
46
48
38
18
26
50
52
28
30

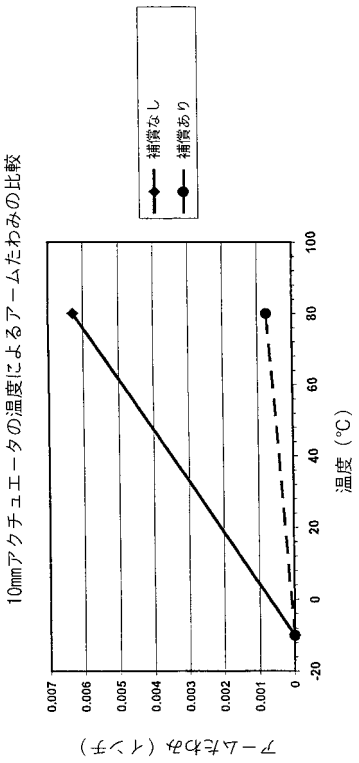
【図９】


10
26d
38d
38e
38d
28d
30
38e
32
22d
62
36
20
14
24d

【図１０】


100
プロセスを開始する
102
要件を定義する
104
モデルを設計する
106
インサート材料を選択する
108
有限要素解析を実行する
110
たわみを識別する
112
たわみは要件に等しい
NO
YES
114
インサートは製造可能である
NO
YES
116
プロトタイプは検証試験に通る
NO
YES
118
プロセスを終了する

【図１１】


補償なし
補償あり
10mmアクチュエータの温度によるアームたわみの比較
温度（℃）
100
80
60
40
20
0
-20
0.007
0.006
0.005
0.004
0.003
0.002
0.001
0
アームたわみ（インチ）

フロントページの続き

(74)代理人 100103850
弁理士 田中 秀▲てつ▼
(72)発明者 モラー，ジェフ
アメリカ合衆国，フロリダ州 ３４２３４，サラソータ，インディペンデンス ブーレバード １５００
(72)発明者 ブーゲル，ジョーン，エイ.
アメリカ合衆国，フロリダ州 ３３７７４，ラルゴ，ユンカー ドライブ １０６０１
(72)発明者 オウトショーン，マーク
アメリカ合衆国，フロリダ州 ３４２３４，サラソータ，インディペンデンス ブーレバード １５００

審査官 河合 俊英

(56)参考文献 特開平０５－０８７１８９（ＪＰ，Ａ）
特開平０２－２９００８８（ＪＰ，Ａ）
特開平０３－１２９１１２（ＪＰ，Ａ）
特開平０１－１８５１７５（ＪＰ，Ａ）
特開平０６－２６０５２４（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
H01L 41/083
H01L 41/12