

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2008-116205

(P2008-116205A)

(43) 公開日 平成20年5月22日(2008.5.22)

(51) Int.Cl.	F 1	テーマコード (参考)
G 0 4 B 17/06 (2006.01)	G 0 4 B 17/06	3 J 0 5 9
F 1 6 F 1/10 (2006.01)	F 1 6 F 1/10	

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2006-296819 (P2006-296819)	(71) 出願人	000002369
(22) 出願日	平成18年10月31日(2006.10.31)		セイコーエプソン株式会社
			東京都新宿区西新宿2丁目4番1号
		(74) 代理人	110000637
			特許業務法人樹之下知的財産事務所
		(74) 代理人	100079083
			弁理士 木下 實三
		(74) 代理人	100094075
			弁理士 中山 寛二
		(74) 代理人	100106390
			弁理士 石崎 剛
		(72) 発明者	村井 正己
			長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内
		Fターム(参考)	3J059 AB01 AB20 AD06 BA01 BA37 BC11 GA50

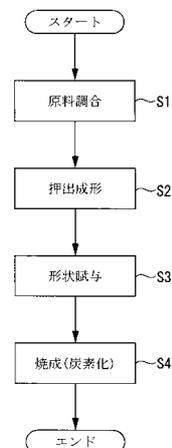
(54) 【発明の名称】ゼンマイ、これを利用した調速装置、機器、およびゼンマイの製造方法

(57) 【要約】

【課題】カーボンナノチューブを用いるゼンマイ材料およびゼンマイ製造方法を確立でき、動力源として用いられるヒゲゼンマイ、およびこれを備える調速装置並びに機器において、信頼性向上、小型化、および製造容易化を図ること。

【解決手段】グラファイト、アモルファスカーボン、およびカーボンナノチューブの複合材からヒゲゼンマイを構成する。このゼンマイ複合材により、引張強度大で低ヤング率を実現でき、小型化を図りつつ調速精度が高いヒゲゼンマイを提供できる。また、グラファイト、アモルファスカーボン、およびカーボンナノチューブを媒質に均一に分散させ、押出成形などで成形することにより、均一な品質のヒゲゼンマイを容易に製造できる。

【選択図】図8



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

駆動力を伝達する駆動輪列の回転を调速する调速装置に使用されるゼンマイであって、少なくともグラファイト、アモルファスカーボン、およびカーボンナノチューブの複合材から構成されている

ことを特徴とするゼンマイ。

【請求項 2】

請求項 1 に記載のゼンマイにおいて、前記カーボンナノチューブの軸線方向が、ゼンマイの巻かれている周方向に揃えられている

ことを特徴とするゼンマイ。

【請求項 3】

請求項 1 または 2 に記載のゼンマイにおいて、前記複合材の重量組成において、アモルファスカーボンは、グラファイトよりも大であることを特徴とするゼンマイ。

【請求項 4】

請求項 1 から 3 のいずれかに記載のゼンマイにおいて、ゼンマイ素線の断面積には、ゼンマイ素線の長さ方向において変化を持たせることを特徴とするゼンマイ。

【請求項 5】

請求項 1 から 4 のいずれかに記載のゼンマイと、前記ゼンマイにより付勢されるテンプレートを備えることを特徴とする调速装置。

【請求項 6】

請求項 5 に記載の调速装置と、駆動力を伝達する駆動輪列とを備え、前記駆動輪列の回転は、前記调速装置により调速されることを特徴とする機器。

【請求項 7】

請求項 6 に記載の機器は、前記调速装置を有して構成される計時部と、前記駆動輪列により駆動され時刻を示す指示部材とを備え、時計として構成されていることを特徴とする機器。

【請求項 8】

炭素化し得る有機物体とカーボンナノチューブとを均一に分散させる原料調合工程と、前記分散させた有機物体とカーボンナノチューブとを押出成形により線状体に成形する押出成形工程と、

前記線状体にゼンマイ形状を賦与する形状賦与工程と、

前記ゼンマイ形状が付与された線状体を不活性雰囲気中で加熱処理し炭素化させる炭素化工程と、を備える

ことを特徴とする駆動輪列の回転を调速する调速装置に使用されるゼンマイの製造方法。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、駆動輪列の回転を调速する调速装置に使用されるゼンマイ、调速装置、機器、およびゼンマイの製造方法に関する。

【背景技術】

10

20

30

40

50

【 0 0 0 2 】

従来、時計等の精密機械において、駆動輪列の回転を调速する调速装置にゼンマイ（ヒゲゼンマイ）が使用されている。

このようなゼンマイの材料としては、従来、加工硬化型あるいは時効硬化型の合金を用いている（特許文献 1；動力源用のゼンマイ）。このような合金材料を用いる場合、ゼンマイの張り付き、こすれ等を防止するため、ゼンマイ表面にテフロン（登録商標）処理を行っていた。

また、ゼンマイを小型化するためにはヤング率が小さく引張強度が大きい材料が好ましく、そのような材料として、アモルファス（非晶質）金属材料が検討されている（特許文献 2）。

また近年、カーボンナノチューブを用いたヒゲゼンマイも提案されている（特許文献 3）。

【 0 0 0 3 】

【特許文献 1】特開平 9 - 1 3 1 3 6 号公報

【特許文献 2】特許 3 4 9 8 3 1 5 号公報

【特許文献 3】特開 2 0 0 2 - 3 4 1 0 5 4 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 4 】

しかしながら、特許文献 1 のように加工硬化型あるいは時効硬化型の合金を用いる場合は、材料が多成分系であるため、材料の不均一が発生しやすい。また、このような合金材料には、物性値の温度変化が大きいという欠点があった。

一方、特許文献 2 のようにアモルファス金属材料を用いる場合には、非晶化する際の製造工程においてピンホールが入りやすく、実用化・量産化に向けて課題があった。このため、アモルファス金属材料は、ゼンマイのリボン状やワイヤ状などの線状形状に適するとは言い難いものであった。

そして、特許文献 3 のカーボンナノチューブを使用するゼンマイについては、カーボンナノチューブの使い方や製造方法の確立が待たれ、実用化に至っていなかった。

なお、特許文献 1、2 の各ゼンマイ材料により製造されたゼンマイの特性について、下記の表に示す。

【表 1】

	特許文献 1	特許文献 2
ヤング率	2 0 0 G P a	1 0 0 G P a
引張強度	2 G P a	1 . 5 G P a
物性値の温度変化	×	△
耐食性	△	△
成形・加工性	△	×
潤滑性	×	×
耐熱性	△	△
磁化	△	△

【 0 0 0 5 】

そこで本発明の目的は、上記問題をいずれも解決できるゼンマイ材料およびゼンマイ製造方法を確立し、信頼性が高く製造が容易なヒゲゼンマイ、これを備える调速装置、機器、およびヒゲゼンマイの製造方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 6 】

10

20

30

40

50

本発明のゼンマイは、駆動力を伝達する駆動輪列の回転を调速する调速装置に使用されるゼンマイであって、少なくともグラファイト、アモルファスカーボン、およびカーボンナノチューブの複合材から構成されていることを特徴とする。

【0007】

この発明によれば、グラファイト（黒鉛）、アモルファスカーボン、およびカーボンナノチューブ（カーボンナノファイバー）が用いられたゼンマイ材料としての複合材の構成を実現でき、この複合材からゼンマイを構成することで、以下のような種々多様な利点が得られる。

【0008】

[1 . ゼンマイの小型化]

駆動輪列の回転の调速に使用されるヒゲゼンマイにおいて、その调速に必要とされる所定の機械エネルギーを実現するために、ゼンマイの全長を長くしたり、ゼンマイの厚みを厚くすることが考えられるが、このような方法だけでは、ゼンマイの機械エネルギーを大とする場合にゼンマイが必然的に大型化してしまう。

これに対して、本発明では前記複合材のヤング率が小さく引張強度が大きいことから、ゼンマイの巻数や厚みに因らず、ゼンマイの機械エネルギーを大にできる。これにより、このゼンマイ（ヒゲゼンマイ）を備える调速装置全体の形状寸法を変更することなく、ゼンマイの小型化が可能となる。

このように、本発明では前記複合材による機械エネルギー増大により、调速用ゼンマイとしての所定機械エネルギー実現と小型化とを両方満足させることが可能となる。

【0009】

[2 . 低ヤング率]

上記の引張強度が大きいことに加えて、本発明では前記複合材のヤング率が小さいことから、これら引張強度大と低ヤング率との相乗効果により、调速用ゼンマイとしての機械エネルギーをより良好に確保でき、一層の小型を図ることができる。

また、本発明では前記複合材のヤング率が小さいことから、ゼンマイの靱性を確保できる。

【0010】

[3 . 各材料の均一]

本発明の複合材を構成するグラファイト、アモルファスカーボン、およびカーボンナノチューブは、調合時に媒質に分散され均一となるので、ゼンマイの所望の特性を実現でき、信頼性を向上させることができる。

【0011】

[4 . 成形容易]

本発明において、グラファイト、アモルファスカーボン、およびカーボンナノチューブを調合した焼成前の部材は、押出成形などにより、ゼンマイに必要とされる厚みの線状体に容易に成形できる。

【0012】

[5 . 非磁性]

グラファイト、アモルファスカーボン、およびカーボンナノチューブはいずれも炭素材であって非磁性のため、機器内にゼンマイをレイアウトする際の制約が緩和される。すなわち、発電機などを有する電磁気回路とゼンマイとを近接配置することが可能となる。また、ゼンマイが外部磁界に引っ張られゼンマイの特性が低下することを防止できる。

【0013】

[6 . 耐食性]

グラファイト、アモルファスカーボン、およびカーボンナノチューブは炭素材であり耐食性に優れるため、ゼンマイ表面への保護膜形成を不要にできる。

【0014】

[7 . 軽量]

炭素材であるグラファイト、アモルファスカーボン、およびカーボンナノチューブによ

10

20

30

40

50

る前記複合材は密度が小さく、軽量であるから、本発明のゼンマイを機器等に組み込んだ際に、その機器の携帯性に貢献できる。

また、軽量のため落下衝撃時にも有利であるとともに、機器携帯時の姿勢の変化によりゼンマイ特性が変化せず、ゼンマイの自重による変形を考慮して設計することを不要にできる。すなわち、ゼンマイによる調速が安定的となり、駆動精度を向上させることができる。

【0015】

[8 . 温度特性]

グラファイト、アモルファスカーボン、およびカーボンナノチューブによる前記複合材はアモルファス金属材料等と比べて熱膨張係数が小さく熱安定性が高い。当該複合材は、機械特性・物理特性それぞれにおいて温度特性に優れ、温度変化に伴うヤング率の変化が少ないため、ゼンマイによる調速が安定的となり、駆動輪列の駆動精度を向上させることができる。

10

【0016】

[9 . 環境保護]

前記複合材の組成は、自然界を循環する再生可能な炭素材のみであるから、金属材料等を使用する場合と比べて環境保護に貢献できる。

【0017】

[10 . 材料設計自由度の向上]

以上に加えて、前記複合材においては、他の材料に比べて引張強度およびヤング率を広範囲に設定できる。

20

すなわち、グラファイトとアモルファスカーボンとの配合比および焼成条件を変えることで広範囲に亘るヤング率を実現でき、これらグラファイトおよびアモルファスカーボンにカーボンナノチューブを複合化することで、グラファイトおよびアモルファスカーボンにより可変となるヤング率の範囲全域に亘って引張強度を向上させることが可能となる。

これにより、本発明の複合材を引張強度が要請されるゼンマイ材料として使用でき、当該複合材における引張強度やヤング率を広範囲に設定できることにより、ゼンマイ材料の設計の自由度が格段に向上することになる。

ここで、グラファイトおよびアモルファスカーボンのみによる複合材の引張強度は約0.05～約0.7GPa程度、ヤング率は約10～約200GPa程度であり、これにカーボンナノチューブを加えた複合材とすることにより、グラファイトおよびアモルファスカーボンのみによる剛性率を可変させる特長はそのままに、引張強度を約1.0～約1.5GPaまで大幅に向上させることが可能となる。

30

なお、一般炭素材の強度は0.02～0.1GPa程度、ヤング率は4～20GPa程度である。本発明の複合材のヤング率と引張強度の関係を図7に示す。

【0018】

本発明のゼンマイでは、前記カーボンナノチューブの軸線方向が、ゼンマイの巻かれている周方向に揃えられていることが好ましい。

この発明によれば、筒状体であるカーボンナノチューブがゼンマイの周方向に沿って配向されているため、引張強度をより大きくできる。

40

【0019】

本発明のゼンマイでは、前記複合材の重量組成において、アモルファスカーボンは、グラファイトよりも大であることが好ましい。

この発明によれば、重量組成において、複合材におけるグラファイトの構成比がアモルファスカーボンの構成比よりも小さいことによりヤング率を小さくできるので、構造材としてのゼンマイの靱性をより良好に確保できる。

【0020】

本発明のゼンマイでは、ゼンマイ素線の断面積には、ゼンマイ素線の長さ方向において変化を持たせることが好ましい。

この発明によれば、ゼンマイ素線の長さ方向においてゼンマイ素線の断面積に変化を持

50

たせることができ、これにより、ゼンマイの付勢力をコントロールすることが可能となる。

なお、前記複合材の原料調合後、押出成形などを実施して線状体を成形し、この際の吐出速度、圧力などの条件を変えることにより、ゼンマイ素線の断面積を容易に制御できる。

【0021】

本発明の調速装置は、前述のゼンマイと、前記ゼンマイにより付勢されるテンブとを備えることを特徴とする。

この発明によれば、前述のゼンマイを備えることにより、前述した効果と同様の種々の効果を楽しむことができる。

【0022】

本発明の機器は、前述の調速装置と、駆動力を伝達する駆動輪列とを備え、前記駆動輪列の回転は、前記調速装置により調速されることを特徴とする。

この発明によれば、前述した効果と同様の種々の効果を楽しむことができる。

特に、ゼンマイが低ヤング率で引張強度が大きく、温度変化に伴うヤング率の変化も小さく、しかも軽量につきゼンマイ特性が安定していることから、調速を精度良く行うことができる。これにより、調速装置によって調速される駆動輪列の駆動精度を向上させることができる。

また、調速装置が備えるゼンマイが小型軽量であるため、機器の小型化および軽量化を促進できる。

さらに、前記複合材の採用により、ゼンマイの材料設計および製造が容易化されるので、機器の製造コストを削減できるとともに、信頼性を向上させることができる。

【0023】

本発明の機器では、前記調速装置を有して構成される計時部と、前記駆動輪列により駆動され時刻を示す指示部材とを備え、時計として構成されていることが好ましい。

前述したように小型軽量で高精度、信頼性に優れたヒゲゼンマイを備える調速装置を時計のような精密機器に組み込むことで、前述した効果をより大きくできる。

【0024】

本発明の駆動輪列の回転を調速する調速装置に使用されるゼンマイの製造方法は、炭素化し得る有機物体とカーボンナノチューブとを均一に分散させる原料調合工程と、前記分散させた有機物体とカーボンナノチューブとを押出成形により線状体に成形する押出成形工程と、前記線状体にゼンマイ形状を賦与する形状賦与工程と、前記ゼンマイ形状が付与された線状体を不活性雰囲気中で加熱処理し炭素化させる炭素化工程と、を備えることを特徴とする。

【0025】

この発明によれば、原料調合工程において有機物体にカーボンナノチューブを配合することで、低ヤング率かつ高引張強度を実現できる。これにより、ヒゲゼンマイの靱性を確保できるとともに、小型でありながら調速に必要とされる所定の機械エネルギーを実現でき、さらに温度特性に優れ調速の精度が良いヒゲゼンマイを提供できる。

なお、原料調合工程において、フラン樹脂等の接合剤や、可塑剤等を使用してもよい。

ここで、有機物体としては、グラファイト、アモルファスカーボン等の炭素材のうち2つ以上の採用が好ましい。これにより、引張強度およびヤング率の取り得る値が広範囲に亘るので材料設計の自由度を高くでき、機械特性・物理特性それぞれにおいて良好な温度特性が得られる。

【0026】

また、前記押出成形工程における押出成形時の圧力、吐出速度等の条件により、線状体の断面積の大きさを制御可能となるので、ヒゲゼンマイの付勢力をコントロールすることが可能となる。なお、炭素材はこの押出成形に適するため、加工性を良好にできる。

さらに、本発明におけるゼンマイ材料は、有機物体にカーボンナノチューブが配合され、耐熱性に非常に優れるため、高温での焼成が可能であり、強固に焼き締めることが可能

10

20

30

40

50

となる。

以上のように、有機物体およびカーボンナノチューブを用いるゼンマイ製造方法が確立されたので、この製造方法によりヒゲゼンマイを製造することで、小型軽量化、動作時間の長時間化、製造の容易化、信頼性向上などの種々多様な利点を有するヒゲゼンマイを提供できる。また、量産にも対応できる。

【発明の効果】

【0027】

本発明によれば、アモルファスカーボンおよびカーボンナノチューブが用いられたゼンマイ材料、あるいは有機物体およびカーボンナノチューブを用いるゼンマイ製造方法を確立でき、調速装置に用いられるヒゲゼンマイ、これを備える調速装置、および機器における小型軽量化、信頼性向上、および製造容易化などにそれぞれ貢献できる。

10

【発明を実施するための最良の形態】

【0028】

以下に、本発明の実施の形態を図面に基づいて説明する。本実施形態は、機械式時計とされている。

図1は、本実施形態の機械式時計が備える駆動装置としての香箱を示し、図2は、香箱からの駆動力を伝達する駆動輪列の調速を行う調速装置を示す。

【0029】

[1. 香箱の構成]

図1に示すように、本実施形態の機械式時計は、動力源としてのゼンマイ1a、香箱歯車1b、香箱真1cおよび香箱蓋1dからなる香箱車1を備えている。ゼンマイ1aは、外端が香箱歯車1b、内端が香箱真1cに固定されている。

20

香箱真1cは、筒状とされて支持部材2に挿通されることにより、この支持部材2を介して地板3に片持ち状態に支持され、支持部材2に螺合される角穴ネジ5で図中の上方に抜けないように押さえ込まれていると同時に、断面方向にがた（足掻き）を持たせている。このような支持部材2は、地板3側にフランジ部2aを有し、このフランジ部2aの図中下側の周縁をカシメることによって地板3に固定され、より倒れ込みにくくなっている。

香箱車1および地板3間には香箱真1cと一体に回転する角穴車4が配置されている。角穴車4は、中心穴が四角形状やトラック形状とされ、その中心穴が香箱真1cの四角形状部分（角取り部）に貫挿された状態で香箱真1cの係止部1eと地板3とで挟持されており、いわゆる投げ込み構造で配置されている。

30

【0030】

[2. 駆動輪列の構成]

図1、図2に、香箱による駆動力を伝達する駆動輪列を示す。

香箱歯車1bの回転は、二番車6のカナ6aへ伝達された後、二番車6の歯車6bから増速されて図示しない三番車のカナへ、この三番車の歯車から増速されて四番車8のカナ8aへ、四番車8の歯車8bから車9を介して増速されて車10のカナ10aへと伝達される。

ここで、香箱歯車1bから車10までにより、動力源としてのゼンマイ1aの駆動力を伝達する駆動輪列が構成されている。

40

なお、二番車6には筒カナ6cが、筒カナ6cには図示しない分針（指示部材）が、四番車8には図示しない秒針（指示部材）がそれぞれ固定されている。

【0031】

図2に示すように、車10はガンギ車21と噛み合い、ゼンマイ1aからの動力をガンギ車21、アンクル22からなる脱進装置20に伝えている。

なお、図中の符号24はアンクル受である。

【0032】

[3. 調速装置の構成]

本実施形態の機械式時計において、上記したガンギ車21、アンクル22からなる脱進

50

装置 20 と、テンブ 31、ヒゲゼンマイ 32 からなる調速装置 30 とにより、時間標準が作り出されており、これらは計時部として機能している。

この調速装置 30 のテンブ 31 を付勢するヒゲゼンマイ 32 として、本発明のゼンマイは利用されている。

【0033】

図 3 および図 4 に、調速装置 30 をより具体的に示す。

テンブ 31 は、テン真 311、テン輪 312、振り座 313、ヒゲ玉 314、ヒゲ持 315、緩急針 316 を含んで構成される。

テン真 311 には、テン輪 312、振り座 313、ヒゲ玉 314 が固定され、これらが一体で回転するように構成されている。

ヒゲゼンマイ 32 は、その内周端がヒゲ玉 314 に固定され、外周端は、ヒゲ持 315 に固定されている。

緩急針 316 は、ヒゲ棒 316A 及びヒゲ受 316B を含んで構成され、ヒゲゼンマイ 32 の最外周部分は、ヒゲ棒 316A およびヒゲ受 316B の間を通過している。

【0034】

そして、このような調速装置 30 では、テン輪 312 がテン真 311 を軸として回転すると、これに伴いヒゲ玉 314 も回転するので、テン輪 312 には、ヒゲゼンマイ 32 の付勢力が作用し、この付勢力とテン輪 312 の慣性力とがつり合うと、テン輪 312 の回転が停止し、ヒゲゼンマイ 32 の付勢力により、テン輪 312 は逆方向に回転する。すなわち、テン輪 312 は、テン真 311 を軸として揺動を繰り返す。

このテン輪 312 の揺動周期は、緩急針 316 のヒゲ棒 316A、ヒゲ受 316B の位置を微調整することにより、変化させることができる。

【0035】

[4. ゼンマイの構成]

ここで、調速装置 30 に用いられるヒゲゼンマイ 32 は、アルキメデス渦巻状に形成され、ヒゲゼンマイ 32 の素線の寸法は、幅約 1mm、厚さ約 0.1mm、全長約 300mm となっている。

また、ヒゲゼンマイ 32 素線の断面積形状は、本実施形態では直径約 0.2mm の円形であるが、このほか、楕円、長方形など任意であってよい。

なお、ヒゲゼンマイ 32 の素線の太さに関し、図示を省略するが内端側における素線の断面積が外端側における素線の断面積よりも大きくなっている。

【0036】

ここで、ヒゲゼンマイ 32 は、グラファイト、アモルファスカーボン、およびカーボンナノチューブの複合材から構成され、この複合材は、引張強度が大きくかつヤング率が小さいものとなっている。

このヒゲゼンマイ 32 の複合材の重量組成において、アモルファスカーボンは、グラファイトよりも大とされている。また、カーボンナノチューブは、その軸線方向がヒゲゼンマイ 32 の巻かれている周方向に揃うように配向されている。

【0037】

このように引張強度が大きくかつヤング率が小さな材料がヒゲゼンマイ 32 に使用されているのは、テンブを付勢し調速するために必要な所定の引張強度の実現に鑑み、以下のように導かれるためである。

【0038】

[5. ゼンマイ材料設計の考え方]

[5-1 巻数と出力トルクとの比例関係に基づくゼンマイ厚みおよび全長の調整]

従来、ゼンマイの巻数と出力トルクとの関係は、図 5 の G6 の如く比例関係に近似するとみなせることが知られている。すなわち、ゼンマイが出力するトルクを T、ゼンマイの巻締め回数(巻数)を N、ヤング率を E、ゼンマイの全長を L とし、ゼンマイが厚さ t、幅 b の矩形状の断面を有するとすると、

$$T = (Et^3b / 6L) \times N \dots (1)$$

10

20

30

40

50

という式で表される。

【0039】

一方、ゼンマイの全長 L 、厚さ t 、幅 b は、ゼンマイが収納される香箱サイズによって決定され、香箱内半径を R 、香箱真半径を r とすると、ゼンマイの全長 L は、

$$L = (R^2 - r^2) / 2t \dots (2)$$

という式によって導かれ、ゼンマイの全長 L および厚さ t は反比例の関係にあるということが判る。

【0040】

ゼンマイに蓄えられる機械エネルギーは、(1)式 of 出力トルク T を巻数 N で積分することにより与えられ、(1)式がゼンマイの全長 L および厚さ t の関数とも考えられるので、従来は、 L 、 t を調整することによってゼンマイのエネルギーを調整していた。

しかしながら、このようにゼンマイの厚さ t および全長 L だけによってゼンマイの機械エネルギーを調整する方法では、機械エネルギーを大きくしようとするゼンマイが大型化してしまう。例えば、ゼンマイの全長 L を大きくすればゼンマイの最大巻数 N_{max} が大きくなってゼンマイが径方向に大型化し、ゼンマイの厚さ t を厚くした場合も、同様にゼンマイが径方向に大型化する。

【0041】

〔5-2 ゼンマイの撓みとゼンマイの機械エネルギーとの相関〕

ここで、上述した式(1)の関係が成立するゼンマイ(厚さ t 、幅 b 、長さ L)のたわみは、図6に示されるように、内端がヒゲ玉314に剛接合され、他の端部となる外端が自由端とされる片持ち支持梁のたわみとして近似的に求められる。図6におけるたわみ角

$$r = L / \dots (3)$$

と表すことができる。

【0042】

一方、ゼンマイの巻数 N は、上述したたわみ角 によって、

$$N = /2 \dots (4)$$

と表される。

従って、上述した式(1)は(3)、(4)式から、

$$T = (bt^3E/12L) \times \dots (5)$$

と変形される。

【0043】

そして、ゼンマイのたわみによって蓄えられるエネルギー U は、ゼンマイに作用する曲げモーメント、すなわち、ゼンマイの出力トルク T を について積分することによって求められる、

$$U = Td = (bt^3E/12L) \times d = (bt^3E/24L) \times ^2 \dots (6)$$

となる。

従って、長さ L のゼンマイが蓄え得る最大エネルギー U_{max} は、図6におけるゼンマイの最大たわみ角 \max とすると、

$$U_{max} = (bt^3E/24L) \times \max^2 \dots (7)$$

と表される。

【0044】

〔5-3 ゼンマイに作用する曲げ応力と出力トルクとの相関〕

ここで、ゼンマイに作用する曲げ応力 σ は、ゼンマイに作用する曲げモーメント、すなわち、たわみ状態にあるゼンマイが出力し得る出力トルク T の関数として表され、ゼンマイの中立軸 A からの厚さ方向変位を y 、ゼンマイの断面二次モーメントを I_z とすると、

$$\sigma = T \times y / I_z \dots (8)$$

と表される。

従って、図6におけるゼンマイの上面に作用する引張方向の最大曲げ応力 σ は、(8)式より、

10

20

30

40

50

$$b = T \cdot (t/2) / I_z \dots (9)$$

と算出される。

【0045】

一方、ゼンマイの断面は、厚さ t 、幅 b の矩形状をなすと仮定すると、

$$I_z = bt^3/12 \dots (10)$$

と算出され、(9)、(10)式より、

$$T = (bt^2/6) \times b \dots (11)$$

と表される。

従って、(1)、(11)式より、

$$T = (Et^3b / 6L) \times N = (bt^2/6) \times b \dots (12)$$

と表され、(7)式における最大たわみ角 \max を与えるゼンマイの最大巻数 N_{\max} は、(4)式より、

$$N_{\max} = \max/2 \dots (13)$$

となる。よって、(12)、(13)式より、

$$\max = 2L \cdot b/Et \dots (14)$$

という関係が導き出せる。

従って、最大たわみ角 \max は、ゼンマイの引張方向の最大曲げ応力 b 、すなわち、ゼンマイに用いられるゼンマイ材料の最大引張応力 \max によって決定され、上述した(7)式は、

$$U_{\max} = (bt^3E/24L) \times (2L \cdot \max/Et)^2 = (btL/6) \times (\max^2/E) \dots (15)$$

と算出されることが判る。

【0046】

[5-4 最大引張力およびヤング率とゼンマイの最大エネルギーとの相関]

(15)式から、図6のゼンマイに蓄えられる最大エネルギー U_{\max} は、ゼンマイの厚さ t 、幅 b 、長さ L のみならず、ゼンマイを構成する材料の最大引張応力 \max 、ヤング率 E によって変化することが判る。

従って、ゼンマイに蓄えられるエネルギー U_{\max} をより大きくするには、最大引張応力 \max が大きくかつヤング率 E が小さい性質の材料をゼンマイに採用するのが好ましいということが判る。

【0047】

なお、前記のテン輪312の揺動周期 T は、テン輪312等の回転部分の慣性モーメント J の他、ゼンマイの材料特性によっても変化し、ヒゲゼンマイの幅を b 、厚さを t 、ゼンマイ長さを L 、ヒゲゼンマイのヤング率を E とすると、以下の(16)式によって表される。

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{12JL}{Ebt^3}} \dots (16)$$

【0049】

[6.ゼンマイ材料の構成]

以上を踏まえ、本実施形態では、ヒゲゼンマイ32の原料として下記を使用する。

フラン樹脂	20重量%
グラファイト粉末	10重量%
アモルファスカーボン粉末	40重量%
カーボンナノチューブ	20重量%
ジオクチルフタレート	10重量%

【0050】

ゼンマイ材料の重量組成において、グラファイトの構成比がアモルファスカーボンの構成比よりも大きくなると脆くなるため、アモルファスカーボンの構成比をグラファイトの

10

20

30

40

50

構成比よりも大きくすることにより、ヒゲゼンマイ 32 が構造材として確実に機能するようにしている。

【0051】

ここで、図 7 に、各種材料のヤング率と引張強度との関係を示す。図 7 に「PFC」と示したのは、プラスチックのように成形自在なカーボン（Plastic Formed Carbon）であり、この PFC は、グラファイトとアモルファスカーボンとの配合比および焼成条件を変えることで広範囲の特性の材料が得られるという利点がある。ただし、ゼンマイとして使うには引張強度不足であった。

この PFC としてのグラファイトおよびアモルファスカーボンのみによる複合材の引張強度は約 0.05 ~ 約 0.7 GPa 程度、ヤング率は約 10 ~ 約 200 GPa 程度であり、すなわち、グラファイトとアモルファスカーボンとの配合比および焼成条件を変えることで広範囲に亘るヤング率を実現できる。このようなグラファイトおよびアモルファスカーボンの複合材による特徴を活かし、さらにカーボンナノチューブを加えた複合材とすることで、グラファイトおよびアモルファスカーボンにより可変となるヤング率の範囲全域に亘って引張強度を向上させることが可能となる（図 7 の太い実線「本発明」参照）。

すなわち、広範囲に亘るヤング率および引張強度が実現でき、材料設計の自由度が広がる。

【0052】

上記原料中、グラファイト粉末、アモルファスカーボン粉末、およびアモルファスカーボンそれぞれの大きさは、本実施形態では下記の通りである。

グラファイト粉末	平均粒径 2 μm
アモルファスカーボン粉末	平均粒径 2 μm
カーボンナノチューブ	直径 10 nm、長さ 10 μm

【0053】

カーボンナノチューブの直径は、1 nm ~ 50 nm が好ましい。すなわち、カーボンナノチューブの直径が 1 nm 未満の場合はヒゲゼンマイとして用いるための所望の補強効果が得られず、50 nm 超の場合は、後の押出成形工程 S2 で得られる線状体中の主体質材の配向を阻害してしまう。

また、カーボンナノチューブの長さは 0.5 μm ~ 50 μm が好ましい。すなわち、カーボンナノチューブの長さが 0.5 μm 未満の場合はヒゲゼンマイとして用いるための所望の補強効果が得られず、50 μm 超の場合は、カーボンナノチューブ自体の配向が難しくなり、やはり主体質材の配向を阻害するため強度の向上が得られない。

【0054】

[7. ゼンマイの製造方法]

上記の原料を使用してヒゲゼンマイ 32 を製造する。

図 8 は、ヒゲゼンマイ 32 の製造工程を示す。

[7-1 原料調合工程]

原料調合工程 S1 では、上記の原料、すなわち熱硬化性樹脂であるフラン樹脂、グラファイト粉末、アモルファスカーボン粉末、カーボンナノチューブ、および可塑剤としてのジオクチルフタレートにヘンシェル・ミキサーを用いて均一に分散させる。ここで、上記のグラファイト粉末およびアモルファスカーボン粉末の各平均粒径、カーボンナノチューブの大きさにより、各原料が均一となりやすい。

そして、このように均一に分散した原料に対して混練を繰り返し、シート状組成物を得る。なお、混練の際には、表面温度を約 120 に保ったミキシング用二本ロールを用いる。

【0055】

[7-2 押出成形工程]

押出成形工程 S2 では、上記原料調合工程 S1 で得られたシート状組成物から、プランジャー型油圧押出成形機によって約 3 m / 秒の吐出速度で真空押出成形を行う。これにより、直径約 0.3 mm の線状体を得られる。

ここで、押出成形時の圧力、吐出速度等を変えることによって線状体の断面積に変化を持たせることが可能で、線状体の長さ方向において当該線状体の断面積を任意に設定できるものである。。

【0056】

〔7-3 形状賦与工程〕

次いで、形状賦与工程S3では、上記押出成形工程S2で得られた線状体を渦巻状の炭素質支持基材（治具）に巻きつけ、形状付けを行う。これにより、当該線状体に安定したゼンマイ形状が賦与される。

【0057】

〔7-4 焼成（炭素化）工程〕

焼成（炭素化）工程S4では、支持基材（治具）に巻きつけられた状態の線状体を180（±5前後）に加熱されたクリーンオープンにて、大気圧で約10時間加熱する。この線状体への加熱により、炭素前駆体を得られる。この炭素前駆体は、原料として調合されたフラン樹脂やジオクチルフタレートが加熱により除去されることでポラス状となっている。

10

【0058】

さらに、この炭素前駆体を真空で約2000まで加熱することにより、炭素前駆体が炭素化・緻密化される。このように到達温度約2000で加熱することによって、ポラス状であった炭素前駆体を確実に焼き締め緻密化することができる。

ここで、炭素化する際の到達温度は、約1500～約2000の範囲で適宜設定できる。

20

【0059】

なお、炭素前駆体を得る際の加熱温度約180から、炭素化させる際の加熱温度約2000に到達するまでの昇温速度は10/分程度に設定でき、この昇温時に高温状態が保持されることから、保持時間は設定しなくてもよいが、例えば1時間程度に設定してもよい。

また、加熱終了後の冷却は炉冷でよい。

【0060】

この焼成（炭素化）工程S4の結果、グラファイト、アモルファスカーボン、およびカーボンナノチューブの複合材から構成された所望形状のヒゲゼンマイ32が得られた。

30

このようにして得られたヒゲゼンマイ32のヤング率は約100GPa、引張強度は約1.5GPaであった。

以上で得られたヒゲゼンマイ32の特性について、ヒゲゼンマイ32とは材料が異なる前述の特許文献1, 2の各ゼンマイの特性と対比し、次表に示す。

【0061】

【表2】

	特許文献1	特許文献2	本実施形態
ヤング率	200GPa	100GPa	100GPa
引張強度	2GPa	1.5GPa	1.5GPa
物性値の温度変化	×	△	○
耐食性	△	△	○
成形・加工性	△	×	○
潤滑性	×	×	○
耐熱性	△	△	○
磁化	△	△	○

40

【0062】

50

[8 . 本実施形態による効果]

以上のような本実施形態によれば、電子制御式機械時計の調速装置に使用されるヒゲゼンマイ 3 2 の材料としてグラファイト、アモルファスカーボン、およびカーボンナノチューブの複合材を採用したことから、次のような各種の効果が得られる。

【 0 0 6 3 】

(1) 上述の如く、グラファイト、アモルファスカーボンおよびカーボンナノチューブが用いられたゼンマイ材料および製造方法が確立された。

このゼンマイ複合材により形成されたヒゲゼンマイ 3 2 は、カーボンナノチューブの配合により引張強度が大幅に向上されているので、ヒゲゼンマイ 3 2 の巻数や厚みに因らず、ヒゲゼンマイ 3 2 の機械エネルギーを大にでき、ヒゲゼンマイ 3 2 を含めた調速装置 3 0 の小型化が可能となる。

【 0 0 6 4 】

(2) 前記複合材のヤング率が小さいことから、ヒゲゼンマイ 3 2 の靱性を確保できる。

【 0 0 6 5 】

(3) 前記複合材を構成するグラファイト、アモルファスカーボン、およびカーボンナノチューブは、原料調合時にフラン樹脂やジオクチルフタレートを経質として分散され均一となるので、ヒゲゼンマイ 3 2 の所望の特性を実現でき、信頼性を向上させることができる。

【 0 0 6 6 】

(4) 炭素材であるグラファイト、アモルファスカーボン、およびカーボンナノチューブは押出成形に適し、これらグラファイト、アモルファスカーボン、およびカーボンナノチューブが調合されたシート状組成物から押出成形することにより、ヒゲゼンマイ 3 2 に必要とされる所望の厚みの線状体を容易に成形できる。

【 0 0 6 7 】

(5) グラファイト、アモルファスカーボン、およびカーボンナノチューブはいずれも非磁性のため、耐磁構造を採用せずとも、ムーブメントにヒゲゼンマイ 3 2 を容易にレイアウトできる。また、ヒゲゼンマイ 3 2 が外部磁界に引っ張られヒゲゼンマイ 3 2 の特性が低下することを防止できる。

【 0 0 6 8 】

(6) グラファイト、アモルファスカーボン、およびカーボンナノチューブはいずれも耐食性に優れるため、ヒゲゼンマイ 3 2 表面への保護膜形成を不要にできる。

また、これらグラファイト、アモルファスカーボン、およびカーボンナノチューブの自己潤滑性により、ヒゲゼンマイ 3 2 の素線同士のこすれ等を防止できる。

【 0 0 6 9 】

(7) グラファイト、アモルファスカーボン、およびカーボンナノチューブが炭素材のため、前記複合材は密度が小さく軽量であるから、腕時計や懐中時計としての携帯性に貢献できる。また、軽量のため耐衝撃性に優れるとともに、ヒゲゼンマイ 3 2 の自重による変形を考慮して設計することを不要にできる。

【 0 0 7 0 】

(8) グラファイト、アモルファスカーボン、およびカーボンナノチューブによる前記複合材はアモルファス金属材料等と比べて熱安定性が高い。当該複合材は、機械特性・物理特性それぞれにおいて温度特性に優れ、温度変化に伴うヤング率の変化が少ないため、ヒゲゼンマイ 3 2 による調速を精度良く行なうことができる。すなわち、ヒゲゼンマイ 3 2 を備える調速装置 3 0 の採用は、精度が重要な時計に有利となる。

【 0 0 7 1 】

(9) ヒゲゼンマイ 3 2 の材料となる前記複合材は炭素材により構成されるため、金属材料等を使用する場合と比べて環境保護に貢献できる。

【 0 0 7 2 】

(1 0) 前記複合材においては、他の材料に比べて引張強度およびヤング率を幅広く設定できるので、ヒゲゼンマイ 3 2 材料の設計の自由度を格段に向上させることができる。

10

20

30

40

50

【 0 0 7 3 】

(1 1) 筒状体であるカーボンナノチューブがヒゲゼンマイ 3 2 の周方向に沿って配向されているため、ヒゲゼンマイ 3 2 の引張強度をより大きくできる。

【 0 0 7 4 】

(1 2) 前記複合材の重量組成において、アモルファスカーボンがグラファイトよりも大であることから、ヒゲゼンマイ 3 2 のヤング率を小さくでき、構造材としてのヒゲゼンマイ 3 2 の靱性をより良好に確保できる。

【 0 0 7 5 】

(1 3) 押出成形工程 S 2 における押出成形時に線状体の断面積の大きさを容易に制御することができ、ヒゲゼンマイ 3 2 の素線の断面積に変化を持たせることが可能となるので、ヒゲゼンマイ 3 2 の付勢力をコントロールすることが可能となる。

10

【 0 0 7 6 】

(1 4) 前記複合材の採用により、ヒゲゼンマイ 3 2 の材料設計および製造が容易化されるので、調速装置 3 0 の製造コストを削減でき、信頼性を向上させることができる。

【 0 0 7 7 】

(1 5) 前記複合材は、有機物体にカーボンナノチューブが配合され、耐熱性に非常に優れるため、高温での焼成が可能であり、炭素前駆体を強固に焼き締めることが可能となる。

【 0 0 7 8 】

なお、本実施形態において、動力源としてのゼンマイ 1 a についても、ヒゲゼンマイ 3 2 と同様の複合材により形成することが可能であり、これらヒゲゼンマイ 3 2 、ゼンマイ 1 a の両方を前記複合材により形成することによって、前述の効果をより大きくできる。

20

【 0 0 7 9 】

〔本発明の変形例〕

なお、本発明は、前述の実施形態に限定されない。

前記実施形態では、本発明のゼンマイが利用される調速装置を備えた機器として時計を例示したが、これに限らず、一定速度で曲を奏するオルゴールなども例示できる。

【 0 0 8 0 】

以上では、調速装置に利用されるヒゲゼンマイを例示したが、本発明のゼンマイを構成する前記複合材、および前記のゼンマイ製造方法は、機械式時計や電子制御式時計における動力源としてのゼンマイにも利用できる。

30

さらには、本発明のゼンマイ複合材と同様の複合材から、本発明のゼンマイ製造方法と同様の方法により、水晶発振式の電子時計の水晶振動子を付勢状態で固定するバネや、コハゼ(コハゼバネ)なども製造可能である。前記実施形態の角穴車 4 と噛合するコハゼを本発明のゼンマイ複合材から構成してもよい。

【 0 0 8 1 】

本発明のゼンマイ複合材は、少なくともグラファイト、アモルファスカーボン、およびカーボンナノチューブを含んで構成されていればよく、その重量組成などの配合比や態様などが前記実施形態に限定されないことは勿論である。

また、本発明のゼンマイの形状、素線の幅、厚み、断面積、全長、最大巻数、ヤング率、引張強度の値などについても、前記実施形態に限定されことなく適宜決められる。前記実施形態のゼンマイは平面視円形の螺旋形状であったが、これに限らず、例えば平面視楕円形の螺旋形状であってもよい。

40

さらに、本発明のゼンマイ製造方法において、各原料を分散させる方法や線状体を成形する方法、そして加熱温度等の焼成条件などについても、前記実施形態には何ら限定されない。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 8 2 】

【 図 1 】 本発明の実施形態である機械式時計における駆動装置(香箱)を示す断面図。

【 図 2 】 前記機械式時計の脱進装置および調速装置を示す断面図。

50

【図3】前記機械式時計の調速装置を示す平面図。

【図4】前記機械式時計の調速装置を示す断面図。

【図5】ゼンマイの巻数と出力トルクとの関係を表すグラフ。

【図6】ゼンマイ材料設計の考え方を説明するための模式図。

【図7】本発明のヤング率と引張強度との関係を示すグラフ。

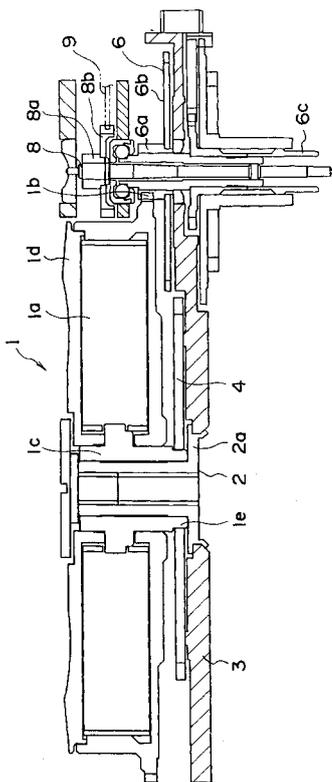
【図8】前述の実施形態におけるゼンマイの製造工程を示すフローチャート。

【符号の説明】

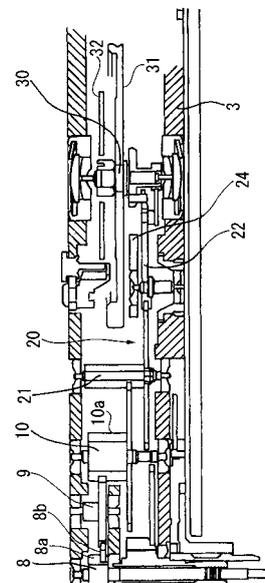
【0083】

1 b・・・香箱歯車、6・・・二番車、8・・・四番車、9・・・車、10・・・車、20・・・脱進装置、30・・・調速装置、31・・・テンブ、32・・・ヒゲゼンマイ、S1・・・原料調合工程、S2・・・押出成形工程、S3・・・形状賦与工程、S4・・・焼成（炭素化）工程。

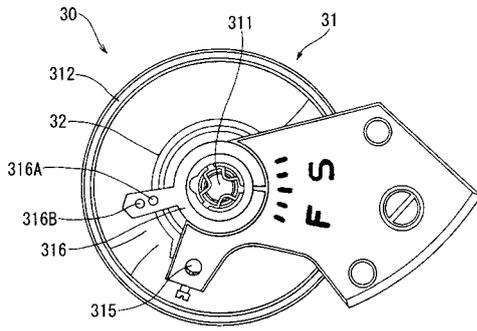
【図1】



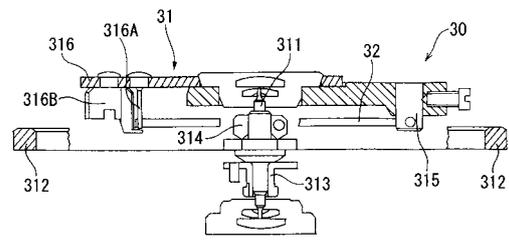
【図2】



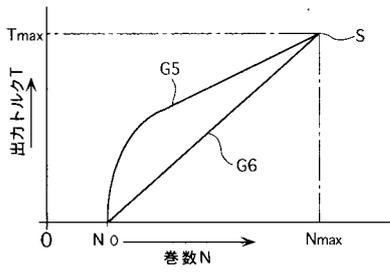
【 図 3 】



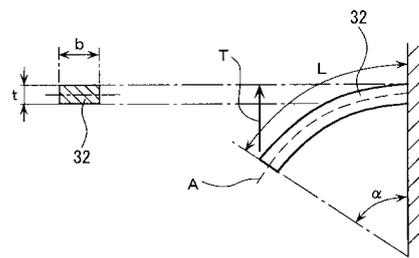
【 図 4 】



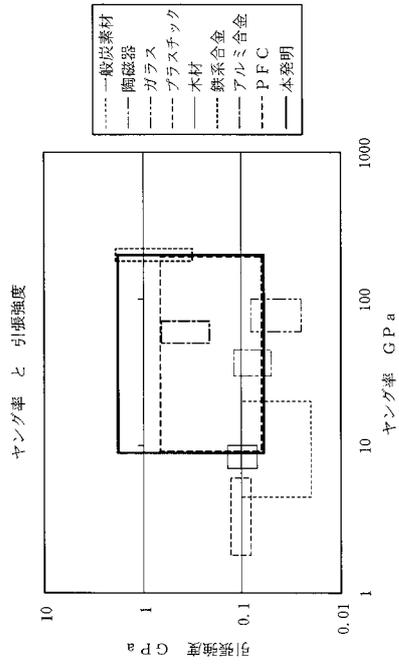
【 図 5 】



【 図 6 】



【 図 7 】



【 図 8 】

