

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2017年1月26日(26.01.2017)



(10) 国際公開番号
WO 2017/014075 A1

- (51) 国際特許分類:
A61B 17/32 (2006.01) *A61B 17/56* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2016/070309
- (22) 国際出願日: 2016年7月8日(08.07.2016)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2015-145884 2015年7月23日(23.07.2015) JP
- (71) 出願人: オリンパス株式会社 (OLYMPUS CORPORATION) [JP/JP]; 〒1928507 東京都八王子市石川町2951番地 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 中村 洋人 (NAKAMURA, Hiroto); 〒1928507 東京都八王子市石川町2951番地 オリンパス株式会社内 Tokyo (JP). 鈴木 啓子 (SUZUKI, Keiko); 〒1928507 東京都八王子市石川町2951番地 オリンパス株式会社内 Tokyo (JP). 松本 賢二 (MATSUMOTO, Kenji); 〒1928507 東京都八王子市石川町2951番地 オリンパ

ス株式会社内 Tokyo (JP). 木本 宏治 (KIMOTO, Koji); 〒1928507 東京都八王子市石川町2951番地 オリンパス株式会社内 Tokyo (JP). 宮坂 遼 (MIYASAKA, Ryo); 〒1928507 東京都八王子市石川町2951番地 オリンパス株式会社内 Tokyo (JP).

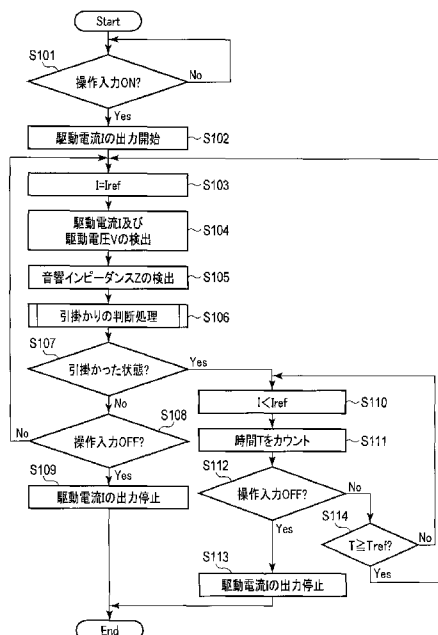
(74) 代理人: 蔵田 昌俊, 外 (KURATA, Masatoshi et al.); 〒1050014 東京都港区芝3丁目23番1号 セレスティン芝三井ビルディング11階 鈴榮特許総合事務所内 Tokyo (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

[続葉有]

(54) Title: ULTRASONIC TREATMENT SYSTEM AND ENERGY CONTROL DEVICE

(54) 発明の名称: 超音波処置システム及びエネルギー制御装置



- S101 Operational input ON?
S102 Start output of drive current I
S104 Detect drive current I and drive voltage V
S105 Detect acoustic impedance Z
S106 Determination of latched state
S107 Latched state?
S108, S112 Operational input OFF?
S109, S113 Stop output of drive current I
S111 Count time T

(57) Abstract: This ultrasonic treatment system includes: an end effector that cuts a bone or a cartilage as an object to be treated using ultrasonic vibrations transmitted from a vibration generation unit; and an energy output unit that outputs a drive current which is supplied to the vibration generation unit. A determination unit determines whether the end effector is latched onto the object to be treated, and when the determination unit determines that the end effector is latched onto the object to be treated, the determination unit generates a signal indicating that the end effector is latched onto the object to be treated.

(57) 要約: 超音波処置システムは、振動発生部から伝達された超音波振動を用いて骨又は軟骨を処置対象として切削するエンドエフェクタと、振動発生部に供給される駆動電流を出力するエネルギー出力部と、を備える。判断部は、前記エンドエフェクタが前記処置対象へ引掛かった状態であるか否かを判断し、前記エンドエフェクタが前記処置対象へ引掛かった状態であると判断した際、前記エンドエフェクタが引掛かった状態であることを示す信号を生成する。



(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK,

SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：超音波処置システム及びエネルギー制御装置

技術分野

[0001] 本発明は、超音波振動を用いて骨又は軟骨を処置対象として処置を行う超音波処置具を備える超音波処置システム、及び、その超音波処置システムにおいて超音波処置具の振動発生部への駆動電流の供給を制御するエネルギー制御装置に関する。

背景技術

[0002] 特開２００５－１５２０９８号公報には、超音波振動を用いて骨（又は軟骨）を処置対象として切削する超音波処置具が開示されている。この超音波処置具では、振動発生部で発生した超音波振動をメス部（エンドエフェクタ）に伝達し、メス部を振動させている。メス部を処置対象に当接させた状態でメス部を振動させることにより、処置対象が切削される。

[0003] 特開２００５－１５２０９８号公報のような超音波処置具（超音波処置システム）では、超音波振動を用いて骨又は軟骨を処置対象として切削している状態において、エンドエフェクタが処置対象に引掛かることがある。処置対象にエンドエフェクタが引掛かった状態で、エンドエフェクタを処置対象に対して押付けると、過度に（必要以上に）処置対象が切削される可能性がある。

発明の概要

[0004] 本発明は、前記課題に着目してなされたものであり、その目的とするところは、過度に処置対象（骨又は軟骨）が切削されることが有効に防止される超音波処置システム、及び、その超音波処置システムに設けられるエネルギー制御装置を提供することにある。

[0005] 前記目的を達成するため、本発明のある態様の超音波処置システムは、駆動電流が供給されることにより超音波振動を発生する振動発生部と、前記振動発生部で発生した前記超音波振動が伝達され、伝達された前記超音波振動

を用いて骨又は軟骨を処置対象として切削するエンドエフェクタと、前記振動発生部に供給される前記駆動電流を出力するエネルギー出力部と、前記エンドエフェクタが前記処置対象に接触している状態において前記エンドエフェクタが前記処置対象へ引掛かった状態であるか否かを判断し、前記エンドエフェクタが前記処置対象へ引掛かった状態であると判断した際、前記エンドエフェクタが引掛かった状態であることを示す信号を生成する判断部と、を備える。

[0006] 本発明の別のある態様は、駆動電流が供給されることにより超音波振動を発生する振動発生部と、前記振動発生部で発生した前記超音波振動が伝達され、伝達された前記超音波振動を用いて骨又は軟骨を処置対象として切削するエンドエフェクタと、を備える超音波処置システムにおいて、前記振動発生部への前記駆動電流の供給を制御するエネルギー制御装置であって、前記振動発生部に供給される前記駆動電流を出力するエネルギー出力部と、前記エンドエフェクタが前記処置対象に接触している状態において前記エンドエフェクタが前記処置対象へ引掛かった状態であるか否かを判断し、前記エンドエフェクタが前記処置対象へ引掛かった状態であると判断した際、前記エンドエフェクタが引掛かった状態であることを示す信号を生成する判断部と、を備える。

図面の簡単な説明

[0007] [図1]図1は、本発明の第1の実施形態に係る超音波処置システムを示す概略図である。

[図2]図2は、第1の実施形態に係る超音波処置システムを用いて処置を行う際のエネルギー制御装置での処理を示すフローチャートである。

[図3]図3は、第1の実施形態に係るエネルギー制御装置によって行われるエンドエフェクタの処置対象への引掛かりの判断処理を示すフローチャートである。

[図4]図4は、インピーダンスの経時的な変化の一例を示す概略図である。

[図5]図5は、第1の実施形態に係る制御部による、引掛かりの判断処理に基

づく駆動電流及び駆動電圧の制御を説明する概略図である。

[図6]図6は、第2の実施形態に係るエネルギー制御装置によって行われるエンドエフェクタの処置対象への引掛かりの判断処理を示すフローチャートである。

[図7]図7は、駆動電圧の経時的な変化の一例を示す概略図である。

[図8]図8は、第3の実施形態に係る振動体の構成を説明する概略図である。

[図9]図9は、第3の実施形態に係るエネルギー制御装置によって行われるエンドエフェクタの処置対象への引掛かりの判断処理を示すフローチャートである。

[図10]図10は、第1の実施形態乃至第3の実施形態の第1の変形例に係る超音波処置システムを用いて処置を行う際のエネルギー制御装置での処理を示すフローチャートである。

[図11]図11は、第1の実施形態乃至第3の実施形態の第2の変形例に係る超音波処置システムを用いて処置を行う際のエネルギー制御装置での処理を示すフローチャートである。

[図12]図12は、インピーダンスの経時的な変化の図4とは別の一例を示す概略図である。

発明を実施するための形態

[0008] (第1の実施形態)

本発明の第1の実施形態について、図1乃至図5を参照して説明する。図1は、超音波処置システム1を示す図である。図1に示すように、超音波処置システム1は、超音波処置具2と、超音波処置具2へのエネルギーの供給を制御するエネルギー制御装置3と、を備える。超音波処置具2は、長手軸Cを有する。ここで、長手軸Cに沿う方向の一方側を先端側（図1の矢印C1側）とし、先端側とは反対側を基端側（図1の矢印C2の方向）とする。超音波処置具2は、長手軸Cに沿って延設される保持可能なハウジング5を備える。ハウジング5には、ケーブル7の一端が接続されている。ケーブル7の他端は、エネルギー制御装置3に接続されている。

[0009] ハウジング5には、長手軸Cに沿って延設されるシース8が連結されている。シース8は、ハウジング5の内部に先端側から挿入された状態で、ハウジング5に連結されている。ハウジング5の内部からは、シース8の内部を通して振動伝達部材11が長手軸Cに沿って（長手軸Cを中心として）先端側に向かって延設されている。振動伝達部材11の先端部には、エンドエフェクタ（処置部）12が形成されている。振動伝達部材11は、エンドエフェクタ12がシース8の先端から先端側に突出する状態に、シース8に挿通されている。なお、本実施形態では、エンドエフェクタ12は、フック状に形成されているが、エンドエフェクタ12はへら状、ブレード状等のフック状以外の形状に形成されてもよい。

[0010] ハウジング5の内部には、振動発生部（超音波トランスデューサ）15が設けられている。ハウジング5の内部では、振動発生部15の先端側に、振動伝達部材11が接続されている。振動発生部15は、（本実施形態では4つの）圧電素子16A～16Dと、超音波電極17A、17Bと、を備える。エネルギー制御装置3には、電源21及び駆動回路（エネルギー出力部）22を備える。超音波電極17Aは、ケーブル7の内部を通して延設される電気経路18Aを介して駆動回路22に電氣的に接続され、超音波電極17Bは、ケーブル7の内部を通して延設される電気経路18Bを介して駆動回路22に電氣的に接続されている。

[0011] 電源21は、バッテリー又はコンセント等であり、駆動回路22では、電源21からの電力が超音波電気エネルギー（交流電力）に変換される。駆動回路22から変換された超音波電気エネルギーが出力されることにより、電気経路18A、18Bを介して振動発生部15に超音波電気エネルギーが供給される。これにより、超音波電極17A、17Bの間で圧電素子16A～16Dに駆動電圧（交流電圧） V が印加され、圧電素子16A～16Bに駆動電流（交流電流） I が流れる。すなわち、駆動回路（エネルギー出力部）22から出力された駆動電流 I は、振動発生部15の圧電素子16A～16Dに供給される。

- [0012] 駆動電流 I が振動発生部 15 に供給されることにより、圧電素子 16 A ~ 16 D によって駆動電流 I が超音波振動に変換され、超音波振動が発生する。発生した超音波振動は、振動発生部 15 から振動伝達部材 11 に伝達され、振動伝達部材 11 において基端側から先端側へ伝達される。これにより、エンドエフェクタ 12 に超音波振動が伝達され、エンドエフェクタ 12 は超音波振動を用いて、骨又は軟骨を処置対象として切削する。ここで、振動発生部 15 で発生した超音波振動がエンドエフェクタ 12 に伝達されている状態では、振動発生部 15 及び振動伝達部材 11 において振動体 10 が形成されている。振動体 10 がエンドエフェクタ 12 に向かって超音波振動を伝達することにより、振動体 10 は所定の周波数範囲（例えば 46 kHz 以上 48 kHz 以下の範囲）で、振動方向が長手軸 C に平行な縦振動を行う。振動体 10 が所定の周波数範囲で振動する状態では、振動体 10 における振動（縦振動）の振動腹 B_i ($i = 1, 2, \dots, n$) 及び振動節 N_i ($i = 1, 2, \dots, n-1$) の長手軸 C に沿う方向についての位置は定まっている。
- [0013] 超音波処置システム 1 では、駆動回路（エネルギー出力部）22 から出力される（振動発生部 15 に供給される）駆動電流 I を経時的に検出する電流計等の電流検出部 25 が、設けられている。電流検出部 25 は、電気経路（18 A 又は 18 B）において流れる駆動電流 I を検出している。また、超音波処置システム 1 では、駆動回路 22 から駆動電流 I が出力されることによって、超音波電極 17 A, 17 B の間（電気経路 18 A, 18 B の間）に印加される駆動電圧 V を経時的に検出する電圧計等の電圧検出部 26 が、設けられている。電圧検出部 26 は、電気経路 18 A, 18 B 間の駆動電圧 V （電位差）を検出している。
- [0014] ハウジング 5 には、エネルギー操作入力部であるエネルギー操作ボタン 27 が取付けられている。また、ハウジング 5 の内部には、スイッチ 28 が設けられている。エネルギー操作ボタン 27 でのエネルギー操作の入力の有無に基づいて、スイッチ 28 の開閉状態が切替わる。エネルギー制御装置 3 には、制御部 30 及びメモリ等の記憶媒体 31 が設けられている。制御部 30

は、例えばCPU (Central Processing Unit) 又はASIC (application specific integrated circuit) を備えるプロセッサ又は集積回路等を備え、記憶媒体31に情報等を記憶可能であるとともに、記憶媒体31に記憶された情報等を読み取り可能である。また、制御部30は、単一のプロセッサから構成されてもよく、複数のプロセッサによって制御部30が構成されていてもよい。制御部30は、スイッチ28の開閉状態を検出することにより、エネルギー操作ボタン27でエネルギー操作が入力されているか否かを検出する。また、制御部30は、エネルギー操作ボタン27でのエネルギー操作の入力に基づいて、駆動回路22からの駆動電流I (超音波電気エネルギー) の出力を制御している。

[0015] 制御部30は、インピーダンス検出部33、演算部35及び判断部36を備える。インピーダンス検出部33、演算部35及び判断部36は、例えば制御部30を構成するプロセッサによって行われる処理の一部を行う。インピーダンス検出部33は、電流検出部25及び電圧検出部26での検出結果に基づいて、超音波電気エネルギー (すなわち、信発発生部 (超音波トランスデューサ) 15) のインピーダンス (超音波インピーダンス) Zを経時的に検出している。インピーダンスZは、駆動電流I及び駆動電圧Vに基づいて、式(1)のようにして算出される。

[0016] [数1]

$$Z=V/I \quad (1)$$

[0017] また、駆動電流I及び駆動電圧Vとの間の位相差 ϕ を考慮して、式(1)の代わりに式(2)のようにして、インピーダンスZが算出されてもよい。

[0018] [数2]

$$Z=V/I \times \cos \phi \quad (2)$$

[0019] ここで、例えば、駆動電流 (交流電流) Iのピークピーク値 I_{pp} を電流値とし、かつ、駆動電圧 (交流電圧) Vのピークピーク値 V_{pp} が電圧値と

して、式（１）又は式（２）を用いたインピーダンス Z の算出が行われる。ただし、駆動電流 I の波高値（最高値） I_m を電流値とし、かつ、駆動電圧 V の波高値（最高値） V_m を電圧値として、インピーダンス Z が算出されてもよく、駆動電流 I の実効値 I_e を電流値とし、かつ、駆動電圧 V の実効値 V_e を電圧値として、インピーダンス Z が算出されてもよい。

[0020] 演算部３５は、駆動電流 I 、駆動電圧 V 及びインピーダンス Z の検出結果に基づいて、演算処理を行う。また、判断部３６は、駆動回路２２から駆動電流 I が出力されている状態（振動体１０が超音波振動を伝達している状態）において、駆動電流 I 、駆動電圧 V 及びインピーダンス Z の検出結果及び演算部３５での演算結果に基づいて、エンドエフェクタ１２が処置対象（骨又は軟骨）へ引掛かった状態であるか否かを判断する。そして、エンドエフェクタ１２が処置対象へ引掛かった状態であると判断した場合は、判断部３６は、エンドエフェクタ１２が引掛かった状態であることを示す信号を生成する。制御部３０は、判断部３６での判断結果（エンドエフェクタ１２が処置対象へ引掛かった状態であるか否か）に基づいて、駆動回路（エネルギー出力部）２２からの駆動電流 I （超音波電気エネルギー）の出力を制御している。

[0021] また、エネルギー制御装置３には、制御部３０によって作動が制御される警告部３７が設けられている。警告部３７は、ランプ、ブザー、モニタ等であり、作動されることにより警告を行う。

[0022] 次に、超音波処置システム１及びエネルギー制御装置３の作用及び効果について説明する。超音波処置システム１（超音波処置具２）を用いて、骨又は軟骨を処置対象として切削する際には、エンドエフェクタ１２を腹腔等の体腔に挿入する。この際、硬性鏡（図示しない）を用いて処置対象及びその近傍の観察が行われるとともに、送液チューブ（図示しない）等を用いて処置対象及びその近傍へ生理食塩水等の液体が送液されている。エンドエフェクタ１２が体腔に挿入されると、術者は、エネルギー操作ボタン２７でエネルギー操作を入力する。これにより、制御部３０によって、駆動回路２２か

ら駆動電流 I （超音波電気エネルギー）が出力され、振動発生部 15 において供給された駆動電流 I から超音波振動が発生する。発生した超音波振動は、エンドエフェクタ 12 に伝達される。超音波振動によってエンドエフェクタ 12 が縦振動している状態でエンドエフェクタ 12 を処置対象に接触させることにより、液体中において処置対象（骨又は軟骨）が切削される。

[0023] 図 2 は、超音波処置システム 1 を用いて処置を行う際のエネルギー制御装置 3 での処理を示すフローチャートである。図 2 に示すように、骨又は軟骨を切削する処置を行う際には、制御部 30 は、エネルギー操作ボタン 27 でエネルギー操作が入力されているか否かを検出する（ステップ S101）。エネルギー操作の入力が検出されない限り（ステップ S101-No）、処理は、ステップ S101 に戻る。エネルギー操作の入力が検出されると（ステップ S101-Yes）、制御部 30 は、駆動回路（エネルギー出力部）22 からの駆動電流 I （超音波電気エネルギー）の出力を開始させる（ステップ S102）。これにより、前述のようにして、エンドエフェクタ 12 に超音波振動が伝達され、エンドエフェクタ 12 は、超音波振動を用いて処置対象を切削する。

[0024] 駆動電流 I の出力が開始されると、制御部 30 は、駆動電流 I の電流値が経時的に一定の基準電流値 I_{ref} に保たれる状態に、駆動電流 I の出力を制御する（ステップ S103）。また、駆動電流 I の出力が開始されると、電流検出部 25 が駆動電流 I を経時的に検出するとともに、電圧検出部 26 が駆動電圧 V を経時的に検出する（ステップ S104）。そして、検出された駆動電流 I 及び駆動電圧 V に基づいて、インピーダンス検出部 33 が、インピーダンス Z を経時的に検出する（ステップ S105）。インピーダンス Z は、前述した式（1）又は式（2）を用いて算出され、例えば、駆動電流 I 及び駆動電圧 V の一周期又は半周期ごとに定期的に算出される。駆動電流 I を経時的に一定に基準電流値 I_{ref} で保つ定電流制御では、インピーダンス Z が大きくなると、駆動電圧 V の電圧値を大きくし、駆動電流 I の電流値を一定に保つ。逆に、インピーダンス Z が小さくなると、駆動電圧 V の電

圧値を小さくして、駆動電流 I の電流値を一定に保つ。本実施形態では、駆動電流（交流電流） I のピークピーク値 I_{pp} を電流値として、電流値を経時的に一定に基準電流値 I_{ref} で保つ定電流制御が行われる。ただし、ピークピーク値 I_{pp} を電流値とした場合とは基準電流値 I_{ref} の値が異なるが、駆動電流 I の波高値（最高値） I_m を電流値として、前述の定電流制御が行われてもよく、駆動電流 I の実効値 I_e を電流値として、前述の定電流制御が行われてもよい。

[0025] インピーダンス Z の検出が行われると、判断部 36 は、インピーダンス Z の検出結果に基づいて、エンドエフェクタ 12 の処置対象への引掛かりの判断処理を行う（ステップ S106）。図 3 は、エネルギー制御装置 3 によって行われるエンドエフェクタ 12 の処置対象への引掛かりの判断処理を示すフローチャートである。図 3 に示すように、引掛かりの判断処理においては、判断部 36 が、インピーダンス検出部 33 によって検出された時間 t におけるインピーダンス $Z(t)$ がインピーダンス閾値（第 1 のインピーダンス閾値） Z_{th1} 以上であったか否かを、判断する（ステップ S121）。ここで、時間 t は、駆動電流 I の出力開始を基準とする変数である。また、インピーダンス閾値 Z_{th1} は、術者等によって設定されてもよく、記憶媒体 31 に記憶されていてもよい。インピーダンス $Z(t)$ がインピーダンス閾値 Z_{th1} 以上であった場合は（ステップ S121-Yes）、判断部 36 は、判断パラメータ η を 1 に設定する（ステップ S122）。一方、インピーダンス $Z(t)$ がインピーダンス閾値 Z_{th1} より小さかった場合は（ステップ S122-No）、判断部 36 は、判断パラメータ η を 0 に設定する（ステップ S123）。

[0026] 図 2 及び図 3 に示すように、判断部 36 は、引掛かりの判断処理（ステップ S106）で設定した判断パラメータ η に基づいて、エンドエフェクタ 12 が処置対象へ引掛かった状態であるか否かを判断する（ステップ S107）。判断パラメータ η が 0 に設定された場合は、判断部 36 は、エンドエフェクタ 12 が処置対象へ引掛かった状態でないと判断する（ステップ S10

7-No)。一方、判断パラメータ η が1に設定された場合は、判断部36は、エンドエフェクタ12が処置対象へ引掛かった状態であると判断する（ステップS107-Yes）。したがって、本実施形態では、インピーダンス Z がインピーダンス閾値（第1のインピーダンス閾値） Z_{th1} 以上になったか否かに基づいて、エンドエフェクタ12が処置対象へ引掛かった状態であるか否かが判断される。エンドエフェクタ12が骨又は軟骨に引掛かると、振動体10への負荷が大きくなり、インピーダンス Z が大きくなる。このため、時間 t でのインピーダンス $Z(t)$ がインピーダンス閾値 Z_{th1} 以上であったか否かに基づいて、エンドエフェクタ12が引掛かった状態であるか否かが適切に判断される。

[0027] 判断部36によってエンドエフェクタ12が引掛かった状態でないと判断された場合は（ステップS107-No）、制御部30は、エネルギー操作ボタン27でエネルギー操作の入力が継続されているか否かを検出する（ステップS108）。エネルギー操作の入力が停止されている場合は（ステップS108-Yes）、制御部30は、駆動回路22からの駆動電流 I の出力を停止する（ステップS109）。エネルギー操作の入力が継続されている場合は（ステップS108-No）、ステップS103に戻り、前述したステップS103以降の処理が順次行われる。

[0028] ステップS107においてエンドエフェクタ12が引掛かった状態であると判断された場合は（ステップS107-Yes）、判断部36は、エンドエフェクタ12が引掛かった状態であることを示す信号を生成する。エンドエフェクタ12が引掛かった状態であることを示す信号が生成されると、制御部30は、駆動回路（エネルギー出力部）22から出力される駆動電流 I の電流値（本実施形態ではピークピーク値 I_{pp} ）を基準電流値 I_{ref} から減少させる（ステップS110）。これにより、エンドエフェクタ12が引掛かった状態であると判断された時点より前に比べて、駆動回路22から出力される駆動電流 I が減少する。また、エンドエフェクタ12が引掛かった状態であることを示す信号が生成されると、制御部30は、エンドエフェ

クタ 1 2 が引掛かった状態であると判断した時点をもととする時間 T をカウントする（ステップ S 1 1 1）。ここで、時間 t においてインピーダンス $Z(t)$ がインピーダンス閾値 Z_{th1} 以上になったと判断された場合、時間 t 又はその直後に、エンドエフェクタ 1 2 が処置対象へ引掛かった状態であると判断される。したがって、時間 t においてインピーダンス $Z(t)$ がインピーダンス閾値 Z_{th1} 以上になったと判断された場合、時間 t 又はその直後から時間 T のカウントが開始される。

[0029] 駆動電流 I を基準電流値 I_{ref} より小さくし（ステップ S 1 1 0）、かつ、時間 T のカウントを開始する（ステップ S 1 1 1）と、制御部 3 0 は、エネルギー操作ボタン 2 7 でエネルギー操作の入力が継続されているか否かを検出する（ステップ S 1 1 2）。エネルギー操作の入力が停止されている場合は（ステップ S 1 1 2 - Yes）、制御部 3 0 は、駆動回路 2 2 からの駆動電流 I の出力を停止する（ステップ S 1 1 3）。

[0030] ステップ S 1 1 2 において、エネルギー操作の入力が継続されている場合は（ステップ S 1 1 2 - No）、制御部 3 0 は、カウントされている時間 T が基準時間 T_{ref} 以上であるか否かを判断する（ステップ S 1 1 4）。すなわち、エンドエフェクタ 1 2 が処置対象へ引掛かった状態であると判断された時点（インピーダンス $Z(t)$ がインピーダンス閾値 Z_{th1} 以上になった時点又はその直後）から基準時間 T_{ref} 経過したか否かが、判断される。時間 T が基準時間 T_{ref} より小さい場合は（ステップ S 1 1 4 - No）、ステップ S 1 1 0 に戻り、前述したステップ S 1 1 0 以降の処理が順次行われる。したがって、エンドエフェクタ 1 2 が処置対象へ引掛かった状態であると判断された時点から基準時間 T_{ref} 経過する前において駆動電流 I の出力が継続される場合、駆動電流 I の電流値が基準電流値 I_{ref} より小さく保たれる。そして、エンドエフェクタ 1 2 が処置対象へ引掛かった状態であると判断された時点から基準時間 T_{ref} 経過する前において駆動電流 I の出力が継続される場合は、時間 T が継続してカウントされる。

[0031] ステップ S 1 1 4 において、時間 T が基準時間 T_{ref} 以上の場合は（ス

テップS 1 1 4－Y e s)、ステップS 1 0 3に戻り、制御部3 0は、駆動電流Iの電流値(本実施形態ではピークピーク値I p p)を基準電流値I r e fにする(ステップS 1 0 3)。すなわち、エンドエフェクタ1 2が引掛かった状態であると判断された時点から基準時間T r e f経過した後において、駆動回路(エネルギー出力部)2 2から駆動電流Iが経時的に一定に基準電流値I r e fで出力される状態になる。したがって、エンドエフェクタ1 2が引掛かった状態であると判断された時点から基準時間T r e f経過した後において、基準電流値I r e fでの駆動電流Iの定電流制御が制御部3 0によって行われる。ステップS 1 0 3に戻り、基準電流値I r e fでの駆動電流Iの定電流制御が再び行われると、ステップS 1 0 4以降の処理が再び行われる。なお、基準時間T r e fは、術者等によって設定されてもよく、記憶媒体3 2に記憶されていてもよい。

[0032] また、ステップS 1 0 7でエンドエフェクタ1 2が引掛かった状態であると判断された場合は(ステップS 1 0 7－Y e s)、制御部3 0は、駆動電流Iの電流値を基準電流値I r e fより小さくすること(ステップS 1 1 0)に加えて、引掛かりが発生したことを警告部3 7によって警告させてもよい。警告部3 7は、例えば、点灯したり、音を発信したり、警告をモニタ表示したりすることにより、警告を行う。

[0033] 図4は、インピーダンスZの経時的な変化の一例を示す図である。図4では、横軸に駆動電流Iの出力開始を基準とする時間tを示し、縦軸にインピーダンスZを示している。図4に示すように、骨又は軟骨を処置対象として切削する際には、エンドエフェクタ1 2が処置対象への接触を開始することにより、インピーダンスZが経時的に増加する。図4に示す一例では、時間t 1又はその近傍において、エンドエフェクタ1 2が処置対象への接触を開始し、処置対象が切削され始める。そして、処置対象を切削している状態において、エンドエフェクタ1 2の処置対象への引掛かりが発生し、エンドエフェクタ1 2が引掛かった状態になると、インピーダンスZが経時的に急激に増加する。図4に示す一例では、時間t 2又はその近傍において引掛かり

が発生する。本実施形態では、前述したステップS104～S107の処理が継続して行われることにより、時間 t_2 においてインピーダンス $Z(t_2)$ がインピーダンス閾値 Z_{th1} 以上になったと、判断部36が判断する。そして、時間 t_2 又はその直後に、エンドエフェクタ12が処置対象へ引掛かった状態であると判断され、エンドエフェクタ12が引掛かった状態であることを示す信号が生成される。

[0034] エンドエフェクタ12が引掛かった状態であることを示す信号に基づいて例えば警告を行うことにより、術者は、エンドエフェクタ12が処置対象へ引掛かった状態であることを認識する。これにより、術者がエンドエフェクタ12を処置対象から離間させたり、エネルギー操作の入力を停止したりすることにより、過度に（必要以上に）処置対象が切削されることが防止される。

[0035] 図5は、図4のようにインピーダンス Z が経時的に変化した場合において、エンドエフェクタ17が引掛かった状態であると判断された時点及びその近傍での、駆動電流 I 及び駆動電圧 V のそれぞれの経時的な変化を示す図である。図5では、横軸に駆動電流 I の出力開始を基準とする時間 t を示し、縦軸に駆動電流 I 及び駆動電圧 V を示している。そして、駆動電流 I の経時的な変化を破線で示し、駆動電圧 V の経時的な変化を実線で示す。図5によって、引掛かりの判断処理に基づく駆動電流 I 及び駆動電圧 V の制御が説明される。図5に示すように、エンドエフェクタ12が引掛かった状態であると判断された時点（インピーダンス $Z(t_2)$ がインピーダンス閾値 Z_{th1} 以上になった時間 t_2 又はその直後）より前においては、制御部30は、前述のステップS103の処理を継続して行うことにより、駆動電流 I の電流値（本実施形態ではピークピーク値 I_{pp} ）を経時的に一定に基準電流値 I_{ref} にする定電流制御を行っている。なお、制御部30によって定電流制御を行っている状態においてインピーダンス Z が増加した場合に、駆動電流 I の電流値が基準電流値 I_{ref} より小さくなることがある。ただし、定電流制御が行われている状態では、インピーダンス Z の増加に対応して駆動

電圧 V を増加させるため、駆動電流 I の電流値が基準電流値 I_{ref} より小さくなるのは一時的である。

[0036] 時間 t_2 においてインピーダンス $Z(t_2)$ がインピーダンス閾値 Z_{th1} 以上になったことが検出され、時間 t_2 及び時間 t_2 の直後においてエンドエフェクタ 12 が引掛かった状態であると判断されると、制御部 30 は、前述のステップ $S110$ の処理を行うことにより、駆動電流 I の電流値を基準電流値 I_{ref} より小さくする。図 5 に示す一例では、エンドエフェクタ 12 が引掛った状態であると時間 t_2 又はその直後に判断されることにより、基準電流値 I_{ref} より小さい低下電流値 I_{low} まで電流値が低下される。そして、前述のステップ $S110 \sim S112$ 、 $S114$ の処理が継続して行われることにより、エンドエフェクタ 12 が引掛かった状態であると判断された時点（時間 t_2 又はその直後）から基準時間 T_{ref} 経過する前においては、駆動電流 I の電流値が基準電流値 I_{ref} より小さく保たれる。

[0037] そして、エンドエフェクタ 12 が引掛かった状態であると判断された時点から基準時間 T_{ref} 経過した後の時間 t_3 において、前述のステップ $S103$ の処理が行われ、駆動電流 I の電流値が基準電流値 I_{ref} になる。引掛かった状態であると判断された時点（時間 t_2 又はその直後）と時間 t_3 の間では、低下電流値 I_{low} から基準電流値 I_{ref} へ駆動電流 I の電流値を経時的に増加させる電流制御が制御部 30 によって行われ、基準電流値 I_{ref} より小さい範囲で駆動電流 I の電流値が経時的に変化している。時間 t_3 以後においては、前述のステップ $S103$ の処理が継続して行われることにより、駆動電流 I の電流値が基準電流値 I_{ref} で経時的に一定に保たれる。

[0038] 前述のように、本実施形態では、エンドエフェクタ 12 が引掛かった状態であると判断された時点から基準時間 T_{ref} 経過する前においては、駆動電流 I の電流値が基準電流値 I_{ref} より小さく保たれる。駆動電流 I の電流値が小さくなることにより、エンドエフェクタ 12 を含む振動体 10 において超音波振動による振動（縦振動）の振幅及び振動速度が小さくなる。これ

により、エンドエフェクタ 1 2 の処置対象への引掛かりが発生しても、過度に（必要以上に）処置対象が切削されることがさらに有効に防止される。

[0039] （第 1 の実施形態の変形例）

なお、第 1 の実施形態では、インピーダンス Z がインピーダンス閾値（第 1 のインピーダンス閾値） Z_{th1} 以上になったことに基づいて、エンドエフェクタ 1 2 が処置対象（骨又は軟骨）へ引掛かった状態であるか否かが判断されるが、これに限るものではない。例えば、ある変形例では、インピーダンス閾値 Z_{th1} の代わりに電圧閾値（第 1 の電圧閾値） V_{th1} を用いて引掛かりの判断処理（図 2 のステップ S 1 0 6）が行われてもよい。この場合、時間 t において駆動電圧 $V(t)$ の電圧値が電圧閾値 V_{th1} 以上であったか否かに基づいて、エンドエフェクタ 1 2 が引掛かった状態であるか否かが判断される。すなわち、駆動電圧 $V(t)$ の電圧値が電圧閾値 V_{th1} 以上であった場合は、判断部 3 6 は、判断パラメータ η を 1 に設定し、ステップ S 1 0 7 において、エンドエフェクタ 1 2 が処置対象へ引掛かった状態であると判断される（ステップ S 1 0 7 - Y e s）。一方、駆動電圧 $V(t)$ の電圧値が電圧閾値 V_{th1} より小さかった場合は、判断部 3 6 は、判断パラメータ η を 0 に設定し、ステップ S 1 0 7 において、エンドエフェクタ 1 2 が処置対象へ引掛かった状態でない判断される（ステップ S 1 0 7 - N o）。

[0040] 本変形例でも、エンドエフェクタ 1 2 が引掛かっていない状態では、駆動電流 I の電流値を（基準電流値 I_{ref} で）経時的に一定にする前述の定電流制御が行われている。定電流制御が行われている状態においてエンドエフェクタ 1 2 の骨又は軟骨への引掛かりによってインピーダンス Z が大きくなると、制御部 3 0 は、インピーダンス Z の増加に対応させて駆動電圧 V の電圧値を大きくする。このため、時間 t での駆動電圧 $V(t)$ の電圧値が電圧閾値（第 1 の電圧閾値） V_{th1} 以上であったか否かに基づいて、エンドエフェクタ 1 2 が引掛かった状態であるか否かが適切に判断される。なお、駆動電圧（交流電圧） V の電圧値として、ピークピーク値 V_{pp} 、波高値（最

高値) V_m 又は実効値 V_e が用いられる。ただし、ピークピーク値 V_{pp} 、波高値 V_m 及び実効値 V_e のいずれを電圧値として用いるかにより、電圧閾値 V_{th1} の値が異なる。

[0041] また、別のある変形例では、インピーダンス閾値 Z_{th1} の代わりに電流閾値 (第1の電流閾値) I_{th1} を用いて引掛かりの判断処理 (図2のステップS106) が行われてもよい。この場合、時間 t において駆動電流 $I(t)$ の電流値が電流閾値 I_{th1} 以下であったか否かに基づいて、エンドエフェクタ12が引掛かった状態であるか否かが判断される。すなわち、駆動電流 $I(t)$ の電流値が電流閾値 I_{th1} 以下であった場合は、判断部36は、判断パラメータ η を1に設定し、ステップS107において、エンドエフェクタ12が処置対象へ引掛かった状態であると判断される (ステップS107-Yes)。一方、駆動電流 $I(t)$ の電流値が電流閾値 I_{th1} より大きかった場合は、判断部36は、判断パラメータ η を0に設定し、ステップS107において、エンドエフェクタ12が処置対象へ引掛かった状態でないと判断される (ステップS107-No)。なお、本変形例でも、引掛かった状態であると判断された際には、制御部30は、駆動電流 I の電流値を低下電流値 I_{low} まで低下させるが、低下電流値 I_{low} は、電流閾値 (第1の電流閾値) I_{th1} より小さい値に設定されている。

[0042] 本変形例でも、エンドエフェクタ12が引掛かっていない状態では、駆動電流 I の電流値を (基準電流値 I_{ref} で) 経時的に一定にする前述の定電流制御が行われている。ここで、定電流制御が行われている状態においても、エンドエフェクタ12の骨又は軟骨への引掛かりによってインピーダンス Z が急激に増加すると、インピーダンス Z が増加するタイミングに対して駆動電圧 V を増加させるタイミングが遅れ、駆動電流 I の電流値が一時的に基準電流値 I_{ref} より小さくなる。このため、時間 t での駆動電流 $I(t)$ の電流値が電流閾値 (第1の電流閾値) I_{th1} 以下であったか否かに基づいて、エンドエフェクタ12が引掛かった状態であるか否かが適切に判断される。ただし、定電流制御が行われている状態では、インピーダンス Z の増

加に対応して駆動電圧 V を増加させるため、駆動電流 I の電流値の減少からある程度の時間が経過すると、駆動電流 I の電流値が基準電流値 I_{ref} で経時的に一定になる。このため、本変形例では、駆動電流 I の電流値を検出するタイミングの時間間隔を短くし、エンドエフェクタ12が引掛かった状態であるか否かの判断を行う必要がある。なお、駆動電流（交流電流） I の電流値として、ピークピーク値 I_{pp} 、波高値（最高値） I_m 又は実効値 I_e が用いられる。ただし、ピークピーク値 I_{pp} 、波高値 I_m 及び実効値 I_e のいずれを電流値として用いるかにより、電流閾値 I_{th1} の値が異なる。

[0043] （第2の実施形態）

次に、本発明の第2の実施形態について、図6及び図7を参照して説明する。なお、第2の実施形態は、第1の実施形態の構成を次の通り変形したものである。なお、第1の実施形態と同一の部分については同一の符号を付して、その説明は省略する。本実施形態では、図2のステップS105の処理（インピーダンス Z の経時的な検出）が行われなくてもよい。

[0044] 図6は、エネルギー制御装置3によって行われるエンドエフェクタ12の処置対象への引掛かりの判断処理（図2のステップS106の処理）を示すフローチャートである。図6に示すように、引掛かりの判断処理においては、電圧検出部26及び演算部35は、検出された駆動電圧 V に基づいて、時間 t における駆動電圧 V の波高値（最大値） $V_m(t)$ を検出する（ステップS131）。駆動電圧 V の波高値 $V_m(t)$ は、駆動電圧 V の一周期又は半周期ごとに定期的に検出される（算出される）。したがって、時間 t より1回前の検出対象となった時点（ $t-1$ ）を規定すると、駆動電圧 V が波高値 $V_m(t-1)$ となった時点から駆動電圧 V が波高値 $V_m(t)$ となった時点までは、駆動電圧 V の一周期又は半周期となる。検出された駆動電圧 V の波高値 $V_m(t)$ は、記憶媒体31に記憶される。なお、駆動電圧 V の一周期ごとに波高値 $V_m(t)$ を検出する場合は、駆動電圧（交流電圧） V の山のみ又は谷のみで波高値 $V_m(t)$ を検出する。一方、駆動電圧 V の半周

期ごとに波高値 $V_m(t)$ を検出する場合は、駆動電圧 V の山及び谷の両方で波高値 $V_m(t)$ を検出する。

[0045] 時間 t での駆動電圧 V の波高値 $V_m(t)$ が検出されると、演算部 35 が、時間 t での駆動電圧 V の波高値 $V_m(t)$ から時間 t より 1 回前の検出対象となった時点 ($t-1$) での駆動電圧 V の波高値 $V_m(t-1)$ を減算した変化率 (変化量) $\varepsilon(t)$ を、算出する (ステップ S132)。そして、判断部 36 が、算出された変化率 $\varepsilon(t)$ が正であったか否かを判断する (ステップ S133)。ここで、変化率 $\varepsilon(t)$ が正であった場合は、時間 t において駆動電圧 V の波高値 $V_m(t)$ が経時的に増加し、変化率 $\varepsilon(t)$ は、時間 t での駆動電圧 V の波高値 $V_m(t)$ の増加率 (増加量) を示している。

[0046] 変化率 $\varepsilon(t)$ が正であった場合は (ステップ S133-Yes)、判断部 36 は、時間 t での (時間 ($t-1$) から時間 t までの) 変化率 (増加率) $\varepsilon(t)$ が基準増加率 (基準増加量) ε_{ref} 以上であったか否かを判断する (ステップ S134)。したがって、本実施形態では、駆動電圧 V の波高値 $V_m(t)$ が経時的に増加している状態において、駆動電圧 V の波高値 $V_m(t)$ の増加率 (変化率) $\varepsilon(t)$ が算出され、算出された増加率 $\varepsilon(t)$ が基準増加率 ε_{ref} 以上であったか否かが、判断される。ここで、基準増加率 ε_{ref} は、術者等によって設定されてもよく、記憶媒体 31 に記憶されていてもよい。

[0047] ここで、時間 t におけるカウント数 $M(t)$ を規定する。変化率 (増加率) $\varepsilon(t)$ が基準増加率 ε_{ref} 以上であった場合には (ステップ S134-Yes)、演算部 35 は、時間 t より 1 回前の検出対象となった時点 ($t-1$) でのカウント数 $M(t-1)$ に 1 を加算することにより、時間 t でのカウント数 $M(t)$ を算出する (ステップ S135)。この際、時間 ($t-1$) でのカウント数 $M(t-1)$ が 1 である場合は、時間 t でのカウント数 $M(t)$ が 2 となる。算出されたカウント数 $M(t)$ は、記憶媒体 31 に記憶される。なお、駆動回路 22 からの駆動電流 I の出力開始時においては、

カウント数 $M(t)$ は、0に設定されている。

[0048] ステップS135でカウント数 $M(t)$ が算出されると、判断部36が、算出されたカウント数 $M(t)$ が基準カウント数 M_{ref} 以上であったか否かを判断する(ステップS136)。ここで、基準カウント数 M_{ref} は、術者等によって設定されてもよく、記憶媒体31に記憶されていてもよい。

[0049] そして、カウント数 $M(t)$ が基準カウント数 M_{ref} 以上であった場合は(ステップS136-Yes)、判断部36は、判断パラメータ η を1に設定する(ステップS137)。そして、図2のステップS107において、判断部36は、エンドエフェクタ12が処置対象へ引掛かった状態であると判断する(ステップS107-Yes)。一方、カウント数 $M(t)$ が基準カウント数 M_{ref} より小さかった場合は(ステップS136-No)、判断部36は、判断パラメータ η を0に設定する(ステップS138)。そして、図2のステップS107において、判断部36は、エンドエフェクタ12が処置対象へ引掛かった状態でない判断する(ステップS107-No)。ただし、この場合、時間 $(t-1)$ でのカウント数 $M(t-1)$ から1加算された値が、時間 t でのカウント数 $M(t)$ として記憶される。

[0050] また、ステップS133において時間 t での(時間 $(t-1)$ から時間 t までの)波高値 $V_m(t)$ の変化率 $\varepsilon(t)$ が、0又は負であったと判断された場合(ステップS133-No)、及び、ステップS134において時間 t での波高値 $V_m(t)$ の増加率(変化率) $\varepsilon(t)$ が基準増加率 ε_{ref} より小さかったと判断された場合(ステップS134-No)は、演算部35は、時間 t でのカウント数 $M(t)$ を0にリセットする(ステップS139)。そして、判断部36は、判断パラメータ η を0に設定し(ステップS140)、図2のステップS107において、判断部36は、エンドエフェクタ12が処置対象へ引掛かった状態でないと判断する(ステップS107-No)。この際、リセットされた値(すなわち0)が時間 t でのカウント数 $M(t)$ として記憶される。

[0051] 前述のようにして引掛かりの判断処理(ステップS106)及びステップ

S 1 0 7 の判断が行われるため、駆動電圧 V の波高値 $V_m(t)$ が基準増加率 ε_{ref} 以上の増加率 $\varepsilon(t)$ で所定時間の間継続して増加した場合のみ、ステップ S 1 3 7 において判断パラメータ η が 1 に設定される。すなわち、判断部 3 6 は、駆動電圧 V の波高値 $V_m(t)$ が基準増加率 ε_{ref} 以上の増加率 $\varepsilon(t)$ で所定時間の間（カウント数 $M(t)$ が 0 から基準カウント数 M_{ref} に到達するまでの間）継続して増加したことに基づいて、エンドエフェクタ 1 2 が処置対象へ引掛かった状態であると判断する。なお、本実施形態でも、引掛かった状態であると判断されることにより、制御部 3 0 は、第 1 の実施形態で前述したように、駆動回路（エネルギー出力部）2 2 から出力される駆動電流 I の電流値を基準電流値 I_{ref} より小さくするとともに、警告部 3 7 に警告させる。

[0052] 図 7 は、駆動電圧 V の経時的な変化の一例を示す図である。図 7 では、横軸に駆動電流 I の出力開始を基準とする時間 t を示し、縦軸に駆動電圧 V を示している。図 7 に示すように、骨又は軟骨を処置対象として切削する際には、エンドエフェクタ 1 2 が処置対象への接触を開始することにより、インピーダンス Z が経時的に増加し、駆動電圧 V の波高値 $V_m(t)$ も経時的に増加する。図 7 に示す一例では、時間 t_4 又はその近傍において、エンドエフェクタ 1 2 が処置対象への接触を開始し、処置対象が切削され始める。このため、時間 t_4 から時間 t_5 までの間において、駆動電圧 V の波高値 $V_m(t)$ は、 V_{m4} から V_{m5} まで経時的に増加する。ただし、エンドエフェクタ 1 2 の処置対象への接触開始に起因する波高値 $V_m(t)$ の増加においては、波高値 $V_m(t)$ は急激に増加せず、波高値 $V_m(t)$ の増加率 $\varepsilon(t)$ は基準増加率 ε_{ref} より小さくなる。このため、時間 t_4 から時間 t_5 までの間では、図 6 のステップ S 1 4 0 の処理によって継続して判断パラメータ η が 0 に設定され、エンドエフェクタ 1 2 が処置対象へ引掛かった状態でないと判断される。

[0053] また、エンドエフェクタ 1 2 の引掛かりが発生することなく処置対象がエンドエフェクタ 1 2 によって切削されている状態では、インピーダンス Z は

経時的に略一定になり、駆動電圧 V の波高値 $V_m(t)$ も経時的に略一定になる。図 7 に示す一例では、時間 t_5 から時間 t_6 までの間において、エンドエフェクタ 12 の引掛かりが発生することなく処置対象がエンドエフェクタ 12 によって切削され、駆動電圧 V の波高値 $V_m(t)$ が V_{m5} で略一定に保たれる。このため、時間 t_4 から時間 t_5 までの間では、図 6 のステップ S 140 の処理によって継続して判断パラメータ η が 0 に設定され、エンドエフェクタ 12 が処置対象へ引掛かった状態でないとは判断される。

[0054] そして、処置対象を切削している状態において、エンドエフェクタ 12 の処置対象への引掛かりが発生すると、インピーダンス Z が経時的に急激に増加し、駆動電圧 V の波高値 V_m もある程度の時間は急激に増加する。図 7 に示す一例では、時間 t_6 又はその近傍においてエンドエフェクタ 12 の引掛かりが発生する。このため、時間 t_6 から時間 t_7 までの間において、駆動電圧 V の波高値 $V_m(t)$ は、 V_{m5} から V_{m7} まで経時的に急激に増加する。時間 t_6 から時間 t_7 までの間では、駆動電圧 V の波高値 $V_m(t)$ が急激に増加するため、ステップ S 134 の処理によって、波高値 $V_m(t)$ の増加率 $\varepsilon(t)$ が基準増加率 ε_{ref} 以上であったと継続して判断される。そして、時間 t_6 から時間 t_7 の間では、ステップ S 135 の処理によって、カウント数 $M(t)$ が継続して増加する。カウント数 $M(t)$ が基準カウント数 M_{ref} に到達する前においては、ステップ S 138 の処理によって継続して判断パラメータ η が 0 に設定される。ただし、時間 t_6 から時間 t_7 の間ではカウント数 $M(t)$ が継続して増加するため、時間 t_7 又はその前に、ステップ S 136 の処理によって、カウント数 $M(t)$ が基準カウント数 M_{ref} 以上になったと判断される。これにより、ステップ S 137 の処理によって、判断パラメータ η が 1 に設定され、エンドエフェクタ 12 が処置対象に引掛った状態であると判断される。これにより、時間 t_7 又はその前に、エンドエフェクタ 12 が引掛かった状態であることを示す信号が生成される。

[0055] エンドエフェクタ 12 が引掛かった状態であることを示す信号に基づいて

、制御部 30 での制御によって、警告が行われたり、駆動電流 I の電流値を基準電流値 I_{ref} より小さくしたりすることにより、本実施形態でも第 1 の実施形態と同様の作用及び効果を奏する。

[0056] また、本実施形態では、駆動電圧 V の波高値 $V_m(t)$ が基準増加率 ε_{ref} 以上の増加率 $\varepsilon(t)$ で所定時間の間増加したことに基づいて、エンドエフェクタ 12 が引掛かった状態であると判断される。したがって、例えばノイズ等によって駆動電圧 V の電圧値が瞬間的に大きい値になった場合は、エンドエフェクタ 12 が引掛かった状態でないとして適切に判断され、さらに適切にエンドエフェクタ 12 が引掛かった状態であるか否かが判断される。

[0057] また、本実施形態では、駆動電圧 V の波高値 $V_m(t)$ に基づいて、エンドエフェクタ 12 が引掛かった状態であるか否かが判断される。このため、駆動電流 I と駆動電圧 V との間に位相差 ϕ が発生しても、位相差 ϕ に関係なく、適切にエンドエフェクタ 12 が引掛かった状態であるか否かが判断される。

[0058] (第 3 の実施形態)

次に、本発明の第 3 の実施形態について、図 8 及び図 9 を参照して説明する。なお、第 3 の実施形態は、第 1 の実施形態の構成を次の通り変形したものである。なお、第 1 の実施形態と同一の部分については同一の符号を付して、その説明は省略する。

[0059] 図 8 は、本実施形態の振動体 20 の構成を示す図である。また、図 8 では、超音波振動によって振動体 20 が振動（縦振動している状態）での長手軸 C に沿う方向についての位置 X と縦振動の振幅 A との関係を示している。なお、図 8 のグラフでは、横軸に長手軸 C に沿う方向についての位置 X を示し、縦軸に振幅 A を示している。図 8 に示すように、振動体 10 が所定の周波数範囲（例えば 46 kHz 以上 48 kHz 以下の範囲）で縦振動する状態では、長手軸 C に沿う方向について所定の位置に振動（縦振動）の振動腹 B_i ($i = 1, 2, \dots, n$) 及び振動節 N_i ($i = 1, 2, \dots, n-1$) のそれぞれが位置している。例えば、振動腹 B_i の中で最も基端側の振動腹 B_1 は

、振動発生部 15 の基端（振動体 10 の基端）に位置し、振動腹 B_i の中で最も先端側の振動腹 B_k は、振動伝達部材 11 の先端（振動体 10 の先端）に位置している。

[0060] 本実施形態では、振動発生部 15 に、振動センサ等の振幅検出部 41 が設けられている。振動体が所定の周波数範囲で縦振動する状態では、振幅検出部 41 が取付けられる位置に振動腹 B_2 が位置している。ここで、振動腹 B_2 は、振動腹 B_i の中で 2 番目に基端側に位置する。駆動回路 22 から駆動電流 I が出力され、振動体 20 が振動している状態では、振幅検出部 41 は、振動腹 B_2 での振幅 $A(B_2, t)$ を経時的に検出する。振幅検出部 41 での検出結果は、有線又は無線によって、エネルギー制御装置 3 の制御部 30 に伝達される。なお、振幅 $A(X, t)$ とは、長手軸 C に沿う方向について位置 X での時間 t における縦振動の振幅 A を示している。

[0061] 本実施形態では、図 2 のステップ S_{104} の処理（駆動電流 I 及び駆動電圧 V の検出）及びステップ S_{105} の処理（インピーダンス Z の経時的な検出）が行われなくてもよい。そして、これらの処理の代わりに、又は、これらの処理に加えて本実施形態では、振幅検出部 41 によって、振動腹 B_2 での振幅 $A(B_2, t)$ が検出される。

[0062] 図 9 は、エネルギー制御装置 3 によって行われるエンドエフェクタ 12 の処置対象への引掛かりの判断処理（図 2 のステップ S_{106} の処理）を示すフローチャートである。図 9 に示すように、引掛かりの判断処理においては、判断部 36 が、振幅検出部 41 によって検出された時間 t における振動腹 B_2 での振幅 $A(B_2, t)$ が振幅閾値 A_{th} 以下であったか否かを、判断する（ステップ S_{141} ）。振幅閾値 A_{th} は、術者等によって設定されてもよく、記憶媒体 31 に記憶されていてもよい。振動腹 B_2 での振幅 $A(B_2, t)$ が振幅閾値 A_{th} 以下であった場合は（ステップ $S_{141} - Yes$ ）、判断部 36 は、判断パラメータ η を 1 に設定する（ステップ S_{142} ）。そして、図 2 のステップ S_{107} において、判断部 36 は、エンドエフェクタ 12 が処置対象へ引掛かった状態であると判断する。一方、振動腹 B_2

での振幅 $A(B2, t)$ が振幅閾値 A_{th} より大きかった場合は（ステップ S142-N）、判断部36は、判断パラメータ η を0に設定する（ステップ S143）。そして、図2のステップ S107において、判断部36は、エンドエフェクタ12が処置対象へ引掛かった状態でないと判断する。

[0063] 前述のように本実施形態では、振動腹B2での振幅 $A(B2, t)$ が振幅閾値 A_{th} 以下になったか否かに基づいて、エンドエフェクタ12が処置対象へ引掛かった状態であるか否かが判断される。エンドエフェクタ12が骨又は軟骨に引掛かると、振動体10では、振動節 N_i 以外の位置において、縦振動の振幅 $A(X, t)$ が減少する。このため、時間 t での振動腹B2の振幅 $A(B2, t)$ が振幅閾値 A_{th} 以下であったか否かに基づいて、エンドエフェクタ12が引掛かった状態であるか否かが適切に判断される。

[0064] ここで、時間 t_8 においてエンドエフェクタ12が引掛かっていない状態で処置対象の切削が行われており、時間 t_8 より後の時間 t_9 の近傍でエンドエフェクタ12の引掛かりが発生したとする。図8では、時間 t_8 での振動体10の振幅 $A(X, t_8)$ が実線で示され、時間 t_9 での振動体10の振幅 $A(X, t_9)$ が破線で示されている。図8に示すように、エンドエフェクタ12の引掛かりが発生していない時間 t_8 においては、振動腹B2での振幅 $A(B2, t_8)$ は、振幅閾値 A_{th} より大きくなる。そして、時間 t_9 の近傍においてエンドエフェクタ12の処置対象への引掛かりが発生し、エンドエフェクタ12が引掛かった状態になる。これにより、時間 t_9 においては、振動腹B2での振幅 $A(B2, t_9)$ が振幅閾値 A_{th} 以下になる。この際、前述したステップ S141, S142の処理が行われることにより、時間 t_9 において振動腹B2での振幅 $A(B2, t_9)$ が振幅閾値 A_{th} 以下になったと、判断部36が判断する。そして、時間 t_9 又はその直後に、エンドエフェクタ12が処置対象へ引掛かった状態であると判断され、エンドエフェクタ12が引掛かった状態であることを示す信号が生成される。

[0065] エンドエフェクタ12が引掛かった状態であることを示す信号に基づいて

、制御部 30 での制御によって、警告が行われたり、駆動電流 I の電流値を基準電流値 I_{ref} より小さくしたりすることにより、本実施形態でも第 1 の実施形態と同様の作用及び効果を奏する。

[0066] また、振動腹 B2 を含む振動腹 B_i は、長手軸 C に沿う方向について振幅 $A(X, t)$ が極大になる箇所である。このため、振動腹 B_i でのそれぞれでは、エンドエフェクタ 12 が引掛かっていない状態とエンドエフェクタ 12 が引掛かった状態との間で、振幅 $A(X, t)$ の差が大きくなる。このため、振動腹 B2 での振幅 $A(B2, t)$ に基づいてエンドエフェクタ 12 の引掛かりの判断処理が行われることにより、引掛かった状態であるか否かがさらに適切に判断される。

[0067] (第 3 の実施形態の変形例)

なお、第 3 の実施形態では、振幅検出部 41 が振動腹 B2 に配置されているが、ある変形例では、振幅検出部 41 が振動腹 B_i の中で振動腹 B2 以外のいずれかの振動腹（ここでは B_k とする）に配置されてもよい。この場合、振幅検出部 41 が配置される振動腹 B_k の時間 t での振幅 $A(B_k, t)$ が振幅閾値 A_{th} 以下であったか否かに基づいて、エンドエフェクタ 12 が引掛かった状態であるか否かが判断される。ただし、振動腹 B3～B_n のそれぞれでの振幅 $A(B_k, t)$ は、振動腹 B2 での振幅 $A(B2, t)$ に比べて大きくなる。このため、振動腹 B3～B_n のいずれかに振幅検出部 41 が配置される場合は、振幅検出部 41 が振動腹 B2 に配置される場合とは、振幅閾値 A_{th} の値が異なる。

[0068] また、ある変形例では、ある振動腹（B_i のいずれか）とある振動節（N_i のいずれか）との間の位置 X_k に、振幅検出部 41 が配置されてもよい。位置 X_k においても、振動腹 B_i での振幅 $A(B_i, t)$ に比べて減少量は小さくなるが、エンドエフェクタ 12 が骨又は軟骨に引掛かると、縦振動の振幅 $A(X_k, t)$ が減少する。この場合も、振幅検出部 41 が配置される位置 X_k の時間 t での振幅 $A(X_k, t)$ が振幅閾値 A_{th} 以下であったか否かに基づいて、エンドエフェクタ 12 が引掛かった状態であるか否かが判

断される。ただし、振幅検出部 41 が振動腹 B_i のいずれかに配置される場合とは、振幅閾値 A_{th} が異なる。前述のように、振幅検出部 41 は、振動節 N_i 以外の箇所配置されていけばよい。

[0069] また、ある変形例では、振幅検出部 41 の代わりにモーションセンサ等の速度検出部（図示しない）が振動体 10 に取付けられてもよい。この場合、速度検出部が配置される箇所（例えば振動腹 B_2 ）での時間 t における平均振動速度（例えば $v(B_2, t)$ ）が経時的に検出される。平均振動速度（例えば $v(B_2, t)$ ）は、例えば縦振動の一周期ごと又は半周期ごとに検出される。

[0070] 本変形例では、時間 t において速度検出部が配置される箇所（例えば振動腹 B_2 ）での平均振動速度（例えば $v(B_2, t)$ ）が速度閾値 v_{th} 以下であったか否かに基づいて、エンドエフェクタ 12 が引掛かった状態であるか否かが判断される。すなわち、平均振動速度（例えば $v(B_2, t)$ ）が速度閾値 v_{th} 以下であった場合は、判断部 36 は、判断パラメータ η を 1 に設定し、ステップ S107 において、エンドエフェクタ 12 が処置対象へ引掛かった状態であると判断される（ステップ S107-Yes）。一方、平均振動速度（例えば $v(B_2, t)$ ）が速度閾値 v_{th} より大きかった場合は、判断部 36 は、判断パラメータ η を 0 に設定し、ステップ S107 において、エンドエフェクタ 12 が処置対象へ引掛かった状態でないと判断される（ステップ S107-No）。

[0071] エンドエフェクタ 12 が骨又は軟骨に引掛かると、振動体 10 では、振動節 N_i 以外の位置において、縦振動の平均振動速度 $v(X, t)$ が減少する。このため時間 t において速度検出部が配置される箇所（例えば振動腹 B_2 ）での平均振動速度（例えば $v(B_2, t)$ ）が速度閾値 v_{th} 以下であったか否かに基づいて、エンドエフェクタ 12 が引掛かった状態であるか否かが適切に判断される。

[0072] また、ある変形例では、駆動電流 I の出力が開始されると、所定の周波数範囲内のある共振周波数に縦振動の周波数を調整する処理が、例えば PLL

(Phase Lock Loop) 制御によって行われる。縦振動の周波数を調整する処理が行われている際には、振動体 10 での縦振動の振幅 A 及び平均振動速度 v は小さくなる。このため、本変形例では、制御部 30 は、縦振動の周波数を調整する処理が完了したか否かを判断し、この判断結果に基づいて、振幅検出部 41 又は速度検出部を制御している。すなわち、縦振動の周波数を調整する処理が完了したと判断された時点より前においては、制御部 30 での制御によって、振幅（例えば $A(B_i, t)$ ）の検出が行われず、平均振動速度（例えば $v(B_i, t)$ ）の検出も行われない。このため、縦振動の周波数を調整する処理が完了したと判断された時点より前においては、エンドエフェクタ 12 が引掛かった状態であるか否かの判断が行われない。なお、縦振動の周波数を調整する処理が完了したか否かの判断は、例えばインピーダンス Z の経時的な変化に基づいて行われる。

[0073] (その他の変形例)

なお、図 10 に示す第 1 の実施形態乃至第 3 の実施形態の第 1 の変形例では、ステップ S107 においてエンドエフェクタ 12 が引掛かった状態であると判断されると（ステップ S107-Yes）、制御部 30 は、駆動回路（エネルギー出力部）22 からの駆動電流 I の出力を停止させるか、又は、警告部 37 に警告させる（ステップ S145）。この場合、エンドエフェクタ 12 が引掛かった状態であると判断されても、駆動電流 I の電流値を基準電流値 I_{ref} より小さくする処理は行われない。なお、エンドエフェクタ 12 が引掛かった状態であると判断された際に（ステップ S107-Yes）、制御部 30 は、駆動回路（エネルギー出力部）22 からの駆動電流 I の出力の停止、及び、警告部 37 による警告の両方を行ってもよい。

[0074] また、図 11 及び図 12 に示す第 1 の実施形態乃至第 3 の実施形態の第 2 の変形例では、引掛かりの判断処理（ステップ S106）に用いられるインピーダンス閾値（第 1 のインピーダンス閾値） Z_{th1} に加えて、インピーダンス閾値 Z_{th1} より大きいインピーダンス閾値（第 2 のインピーダンス閾値） Z_{th2} が設定される。本変形例でも、第 1 の実施形態と同様にして

、判断部36は、引掛かりの判断処理（ステップS106）を行い、設定した判断パラメータ η に基づいて、エンドエフェクタ12が処置対象へ引掛かった状態であるか否かを判断する（ステップS107）。

[0075] 本変形例でも、エンドエフェクタ12が引掛かった状態であると判断された場合は（ステップS107-Yes）、制御部30は、駆動回路（エネルギー出力部）22から出力される駆動電流 I の電流値を基準電流値 I_{ref} から減少させ（ステップS110）、エンドエフェクタ12が引掛かった状態であると判断した時点を0とする時間 T をカウントする（ステップS111）。ただし、本変形例では、エンドエフェクタ12が引掛かった状態であると判断された時点より後においても、電流検出部25が駆動電流 I を経時的に検出するとともに、電圧検出部26が駆動電圧 V を経時的に検出する（ステップS151）。そして、検出された駆動電流 I 及び駆動電圧 V に基づいて、インピーダンス検出部33が、インピーダンス Z を経時的に検出する（ステップS152）。

[0076] そして、第1の実施形態と同様にステップS112の判断が行わる。本変形例では、ステップS112においてエネルギー操作の入力が継続されている場合は（ステップS112-No）、判断部36が、ステップS152の処理でインピーダンス検出部33によって検出された時間 t におけるインピーダンス $Z(t)$ がインピーダンス閾値（第2のインピーダンス閾値） Z_{th2} 以上であったか否かを、判断する（ステップS153）。前述のように、インピーダンス閾値 Z_{th2} は、インピーダンス閾値 Z_{th1} より大きい値である。インピーダンス $Z(t)$ がインピーダンス閾値 Z_{th2} 以上であった場合は（ステップS153-Yes）、制御部30は、駆動回路22からの駆動電流 I の出力を停止する（ステップS154）。

[0077] ステップS153において、インピーダンス $Z(t)$ がインピーダンス閾値 Z_{th2} より小さかった場合は（ステップS153-No）、第1の実施形態と同様に、制御部30は、カウントされている時間 T が基準時間 T_{ref} 以上であるか否かを判断する（ステップS114）。そして、時間 T が基

準時間 T_{ref} より小さい場合は（ステップ $S114-No$ ）、処理はステップ $S110$ に戻る。また、時間 T が基準時間 T_{ref} 以上の場合は（ステップ $S114-Yes$ ）、処理はステップ $S103$ に戻り、制御部 30 は、駆動電流 I の電流値を基準電流値 I_{ref} にする（ステップ $S103$ ）。

[0078] 前述のように本変形例では、インピーダンス閾値 Z_{th1} 及びインピーダンス閾値 Z_{th1} より大きいインピーダンス閾値 Z_{th2} が設定され、インピーダンス閾値 Z_{th2} に基づいてステップ $S153$ の判断が行われる。これにより、本変形例では、駆動電流 I を基準電流値 I_{ref} から減少させた後で、かつ、判断部 36 によってエンドエフェクタ 12 が引掛かった状態である判断された時点から基準時間 T_{ref} 経過する前において、インピーダンス $Z(t)$ がインピーダンス閾値（第2のインピーダンス閾値） Z_{th2} 以上になったか否かが判断される。そして、この判断において、インピーダンス $Z(t)$ がインピーダンス閾値 Z_{th2} 以上になったことに基づいて、制御部 30 は、駆動回路 22 からの駆動電流 I の出力を停止する。また、エンドエフェクタ 12 が引掛かった状態であると判断された時点から基準時間 T_{ref} 経過するまでインピーダンス $Z(t)$ がインピーダンス閾値 Z_{th2} より小さく保たれた場合は、基準時間 T_{ref} の間、基準電流値 I_{ref} より小さい電流値で駆動電流 I が継続して出力される。

[0079] 図 12 は、インピーダンス Z の経時的な変化の図 4 とは別の一例を示す図である。図 12 では、横軸に駆動電流 I の出力開始を基準とする時間 t を示し、縦軸にインピーダンス Z を示している。図 12 に示す一例では、時間 t_{10} 又はその近傍において引掛かりが発生する。本変形例では、前述したステップ $S104 \sim S107$ の処理が継続して行われることにより、時間 t_{10} においてインピーダンス $Z(t_{10})$ がインピーダンス閾値（第1のインピーダンス閾値） Z_{th1} 以上になったと、判断部 36 が判断する。そして、時間 t_{10} 又はその直後に、エンドエフェクタ 12 が処置対象へ引掛かった状態であると判断され、エンドエフェクタ 12 が引掛かった状態であることを示す信号が生成される。エンドエフェクタ 12 が引掛かった状態である

ことを示す信号が生成されることにより、ステップS 1 1 0の処理によって、駆動電流Iの電流値が基準電流値I_{ref}より小さく保たれる。

[0080] 図12に示す一例では、駆動電流Iの電流値を基準電流値I_{ref}から低下させた後でも、インピーダンスZが継続して上昇し、エンドエフェクタ12が引っ掛かった状態であると判定された時点(t₁₀又はその直後)から基準時間T_{ref}経過する前の時間t₁₁において、インピーダンスZがインピーダンス閾値(第2のインピーダンス閾値)Z_{th2}以上になる。本変形例では、エンドエフェクタ12が引っ掛かった状態であると判定された時点より後においても、ステップS 1 5 1、S 1 5 2の処理によって、インピーダンスZが経時的に検出される。このため、時間t₁₀又はその直後に、エンドエフェクタ12が処置対象へ引掛かった状態であると判断された後も、インピーダンスZが検出される。そして、ステップS 1 5 3の処理が継続して行われることにより、時間t₁₁においてインピーダンスZがインピーダンス閾値Z_{th2}以上になったと判断される。これにより、時間t₁₁又はその直後に、ステップS 1 5 4の処理によって、駆動電流Iの出力が停止される。

[0081] 前述のように、本変形例では、エンドエフェクタ12が引掛かった状態であると判断され、駆動電流Iの電流値を基準電流値I_{ref}から低下させた後において、引掛かりが解消されずにインピーダンスZが継続して上昇した場合に、適切に駆動電流Iの出力が停止される。したがって、エンドエフェクタ12の処置対象への引掛かりが解消されない場合でも、過度に(必要以上に)処置対象が切削されることが有効に防止される。

[0082] なお、図11の第2の変形例では、インピーダンス閾値Z_{th1}、Z_{th2}が用いられたが、ある変形例では、インピーダンス閾値Z_{th1}、Z_{th2}の代わりに電圧閾値(第1の電圧閾値)V_{th1}及び電圧閾値V_{th1}より大きい電圧閾値(第2の電圧閾値)V_{th2}が用いられてもよい。この場合、時間tにおいて駆動電圧V(t)の電圧値が電圧閾値V_{th1}以上であったか否かに基づいて、エンドエフェクタ12が引掛かった状態であるか否

かが判断される。そして、駆動電圧 $V(t)$ の電圧値が電圧閾値 V_{th1} 以上であった場合は、判断部 36 は、ステップ S107 において、エンドエフェクタ 12 が処置対象へ引掛かった状態であると判断する（ステップ S107-Yes）。

[0083] エンドエフェクタ 12 が引掛かった状態であると判断された後において、継続してインピーダンス Z が上昇した場合は、駆動電圧 V の電圧値（例えばピークピーク値 V_{pp} ）も継続して上昇する。本変形例では、エンドエフェクタ 12 が引掛かった状態であると判断された後においても、駆動電圧 V を経時的に検出している。そして、判断部 36 は、時間 t における駆動電圧 $V(t)$ の電圧値が電圧閾値（第 2 の電圧閾値） V_{th2} 以上であったか否かを判断する。そして、エンドエフェクタ 12 が引掛かった状態であると判断された時点から基準時間 T_{ref} 経過する前に、駆動電圧 $V(t)$ の電圧値が電圧閾値 V_{th2} 以上になると、駆動電流 I の出力が停止される。エンドエフェクタ 12 が引掛かった状態であると判断された時点から基準時間 T_{ref} 経過するまで駆動電圧 $V(t)$ の電圧値が電圧閾値 V_{th2} より小さく保たれた場合は、基準時間 T_{ref} の間、基準電流値 I_{ref} より小さい電流値で駆動電流 I が継続して出力される。したがって、本変形例でも、エンドエフェクタ 12 が引掛かった状態であると判断され、駆動電流 I の電流値を基準電流値 I_{ref} から低下させた後において、引掛かりが解消されずに駆動電圧 V （インピーダンス Z ）が継続して上昇した場合に、適切に駆動電流 I の出力が停止される。なお、本変形例でも、ピークピーク値 V_{pp} 、波高値 V_m 及び実効値 V_e のいずれを電圧値として用いるかにより、電圧閾値 V_{th1} 、 V_{th2} のそれぞれの値が異なる。

[0084] また、別のある変形例では、インピーダンス閾値 Z_{th1} 、 Z_{th2} の代わりに電流閾値（第 1 の電流閾値） I_{th1} 及び電流閾値 I_{th1} より小さい電流閾値（第 2 の電流閾値） I_{th2} が用いられてもよい。この場合、時間 t において駆動電流 $I(t)$ の電流値が電流閾値 I_{th1} 以下であったか否かに基づいて、エンドエフェクタ 12 が引掛かった状態であるか否かが判

断される。そして、駆動電流 $I(t)$ の電流値が電流閾値 I_{th1} 以下であった場合は、判断部 36 は、ステップ S107 において、エンドエフェクタ 12 が処置対象へ引掛かった状態であると判断する（ステップ S107-Yes）。なお、本変形例でも、引掛かった状態であると判断された際には、制御部 30 は、駆動電流 I の電流値を低下電流値 I_{low} まで低下させるが、低下電流値 I_{low} は、電流閾値（第 1 の電流閾値） I_{th1} より小さい値で、かつ、電流閾値（第 2 の電流閾値） I_{th2} より大きい値に設定されている。

[0085] エンドエフェクタ 12 が引掛かった状態であると判断された後において、継続してインピーダンス Z が上昇した場合は、駆動電流 I の電流値（例えばピークピーク値 I_{pp} ）が継続して減少する。本変形例では、エンドエフェクタ 12 が引掛かった状態であると判断された後においても、駆動電流 I を経時的に検出している。そして、判断部 36 は、時間 t における駆動電流 $I(t)$ の電流値が電流閾値（第 2 の電流閾値） I_{th2} 以下であったか否かを判断する。そして、エンドエフェクタ 12 が引掛かった状態であると判断された時点から基準時間 T_{ref} 経過する前に、駆動電流 I の電流値が電流閾値 I_{th2} 以下になると、駆動電流 I の出力が停止される。エンドエフェクタ 12 が引掛かった状態であると判断された時点から基準時間 T_{ref} 経過するまで駆動電流 I の電流値が電流閾値 I_{th2} より大きく保たれた場合は、基準時間 T_{ref} の間、（電流閾値 I_{th2} より大きく、かつ、）基準電流値 I_{ref} より小さい電流値で駆動電流 I が継続して出力される。したがって、本変形例でも、エンドエフェクタ 12 が引掛かった状態であると判断され、駆動電流 I の電流値を基準電流値 I_{ref} から低下させた後において、引掛かりが解消されずに駆動電流 I が継続して低下した場合（インピーダンス Z が継続して上昇した場合）に、適切に駆動電流 I の出力が停止される。なお、本変形例でも、ピークピーク値 I_{pp} 、波高値 I_m 及び実効値 I_e のいずれを電流値として用いるかにより、電流閾値 I_{th1} 、 I_{th2} のそれぞれの値が異なる。

[0086] また、ある変形例では、エネルギー制御装置 3 が超音波電気エネルギー（駆動電流 1）に加えて高周波電気エネルギー（高周波電力）を出力可能であり、エンドエフェクタ 12 に超音波振動が伝達されるとともに、エネルギー制御装置 3 からエンドエフェクタ 12 に高周波電気エネルギーが供給されてもよい。

[0087] 前述の実施形態等では、超音波処置システム（1）は、駆動電流（1）が供給されることにより超音波振動を発生する振動発生部（15）と、振動発生部（15）で発生した超音波振動が伝達され、伝達された超音波振動を用いて骨又は軟骨を処置対象として切削するエンドエフェクタ（12）と、振動発生部（15）に供給される駆動電流（1）を出力するエネルギー出力部（22）と、を備える。判断部（36）は、エンドエフェクタ（12）が処置対象に接触している状態においてエンドエフェクタ（12）が処置対象へ引掛かった状態であるか否かを判断し、エンドエフェクタ（12）が処置対象へ引掛かった状態であると判断することにより、エンドエフェクタ（12）が引掛かった状態であることを示す信号を生成する。

[0088] 前述の構成を満たすものであれば、前述の実施形態等を適宜変更してもよく、前述の実施形態等を適宜部分的に組み合わせてもよい。

[0089] 以上、本発明の実施形態等について説明したが、本発明は前述の実施形態等に限るものではなく、発明の趣旨を逸脱することなく種々の変形ができることは、もちろんである。

請求の範囲

- [請求項1] 駆動電流が供給されることにより超音波振動を発生する振動発生部と、
- 前記振動発生部で発生した前記超音波振動が伝達され、伝達された前記超音波振動を用いて骨又は軟骨を処置対象として切削するエンドエフェクタと、
- 前記振動発生部に供給される前記駆動電流を出力するエネルギー出力部と、
- 前記エンドエフェクタが前記処置対象に接触している状態において前記エンドエフェクタが前記処置対象へ引掛かった状態であるか否かを判断し、前記エンドエフェクタが前記処置対象へ引掛かった状態であると判断した際、前記エンドエフェクタが引掛かった状態であることを示す信号を生成する判断部と、
- を具備する超音波処置システム。
- [請求項2] 前記判断部での判断に基づいて前記エネルギー出力部からの前記駆動電流の出力を制御し、前記判断部によって前記エンドエフェクタが引掛かった状態であることを示す前記信号が生成されたことに基づいて、前記エネルギー出力部からの前記駆動電流の出力を停止する、又は、前記エンドエフェクタが引掛かった状態であると判断された時点より前に比べて前記エネルギー出力部から出力される前記駆動電流を減少させる制御部を、さらに具備する、請求項1の超音波処置システム。
- [請求項3] 前記制御部は、前記判断部によって前記エンドエフェクタが引掛かった状態であることを示す前記信号が生成される前において、経時的に一定に基準電流値で前記駆動電流を前記エネルギー出力部から出力させ、前記エンドエフェクタが引掛かった状態であることを示す前記信号が生成されたことに基づいて、前記エネルギー出力部から出力される前記駆動電流の電流値を前記基準電流値から減少させる、請求項

2の超音波処置システム。

[請求項4] 前記制御部は、前記判断部によって前記エンドエフェクタが引掛かった状態である判断された前記時点から基準時間経過した後において、前記エネルギー出力部から前記駆動電流が経時的に一定に前記基準電流値で出力される状態にする、請求項3の超音波処置システム。

[請求項5] 前記駆動電流、前記駆動電流が出力されることによって印加される駆動電圧、及び、前記駆動電流及び前記駆動電圧に基づいて算出されるインピーダンスの少なくとも1つを経時的に検出する検出部をさらに具備し、

前記制御部は、前記駆動電流を前記基準電流値から減少させた後で、かつ、前記判断部によって前記エンドエフェクタが引掛かった状態である判断された前記時点から基準時間経過する前において、前記インピーダンスがインピーダンス閾値以上になったこと、前記駆動電圧が電圧閾値以上になったこと、又は、前記駆動電流が電流閾値以下になったことに基づいて、前記エネルギー出力部からの前記駆動電流の出力を停止する、

請求項3の超音波処置システム。

[請求項6] 前記駆動電流、前記駆動電流が出力されることによって印加される駆動電圧、及び、前記駆動電流及び前記駆動電圧に基づいて算出されるインピーダンスの少なくとも1つを経時的に検出する検出部をさらに具備し、

前記判断部は、前記インピーダンスがインピーダンス閾値以上になったこと、前記駆動電圧が電圧閾値以上になったこと、又は、前記駆動電流が電流閾値以下になったことに基づいて、前記エンドエフェクタが引掛かった状態である判断する、

請求項1の超音波処置システム。

[請求項7] 前記駆動電流が出力されることによって印加される駆動電圧の波高値を定期的に検出する検出部と、

前記駆動電圧の前記波高値が経時的に増加している状態において、前記検出部での検出結果に基づいて、前記駆動電圧の前記波高値の増加率を算出する演算部と、

をさらに具備し、

前記判断部は、前記駆動電圧の前記波高値が基準増加率以上の増加率で所定時間の間継続して増加したことに基づいて、前記エンドエフェクタが引掛かった状態であると判断する、

請求項 1 の超音波処置システム。

[請求項8]

前記振動発生部及び前記エンドエフェクタが設けられ、前記振動発生部から前記エンドエフェクタに向かって前記超音波振動を伝達することにより、振動する振動体と、

前記振動体に配置され、前記振動体が振動している状態において、振幅及び平均振動速度の少なくとも一方を経時的に検出する検出部と、

をさらに具備し、

前記判断部は、前記超音波振動による前記振幅が振幅閾値以下になったこと、又は、前記超音波振動による前記平均振動速度が速度閾値以下になったことに基づいて、前記エンドエフェクタが引掛かった状態であると判断する、

請求項 1 の超音波処置システム。

[請求項9]

作動されることにより、警告を行う警告部と、

前記判断部での判断に基づいて前記警告部の作動を制御し、前記判断部によって前記エンドエフェクタが引掛かった状態であることを示す前記信号が生成されたことに基づいて、前記エンドエフェクタが引掛かった状態であることを前記警告部に警告させる制御部と、

をさらに具備する、請求項 1 の超音波処置システム。

[請求項10]

駆動電流が供給されることにより超音波振動を発生する振動発生部と、前記振動発生部で発生した前記超音波振動が伝達され、伝達され

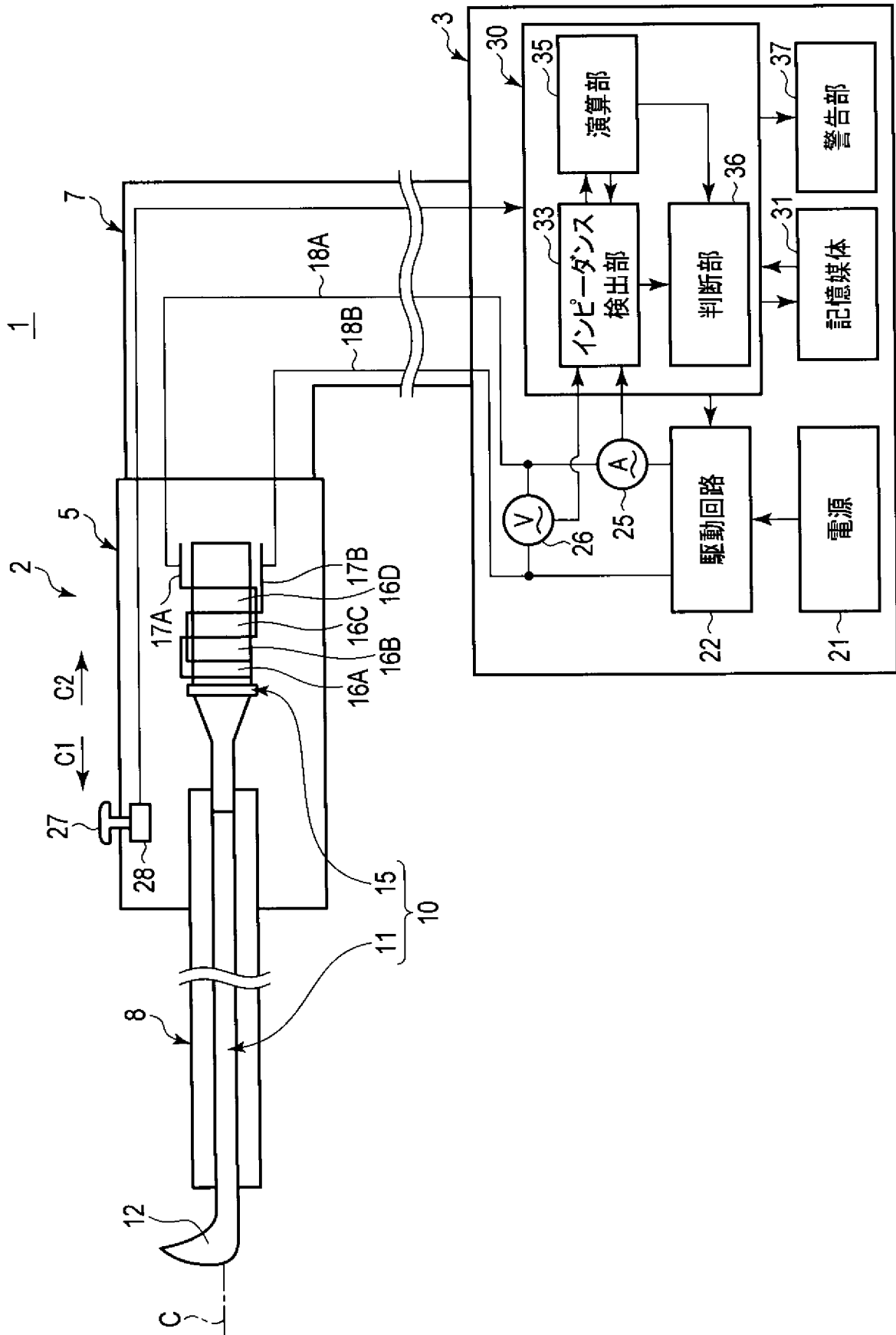
た前記超音波振動を用いて骨又は軟骨を処置対象として切削するエンドエフェクタと、を備える超音波処置システムにおいて、前記振動発生部への前記駆動電流の供給を制御するエネルギー制御装置であって、

前記振動発生部に供給される前記駆動電流を出力するエネルギー出力部と、

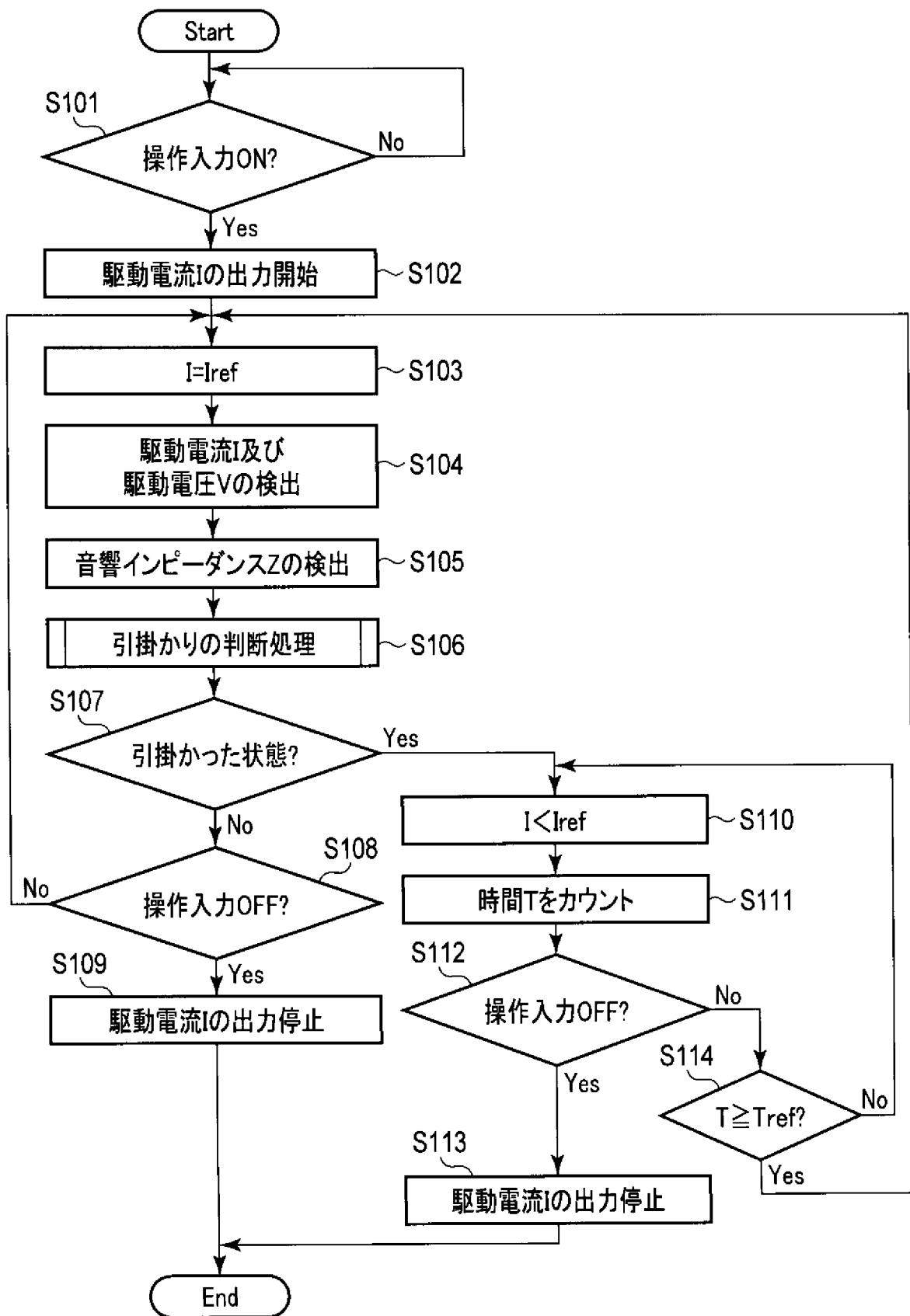
前記エンドエフェクタが前記処置対象に接触している状態において前記エンドエフェクタが前記処置対象へ引掛かった状態であるか否かを判断し、前記エンドエフェクタが前記処置対象へ引掛かった状態であると判断した際、前記エンドエフェクタが引掛かった状態であることを示す信号を生成する判断部と、

を具備するエネルギー制御装置。

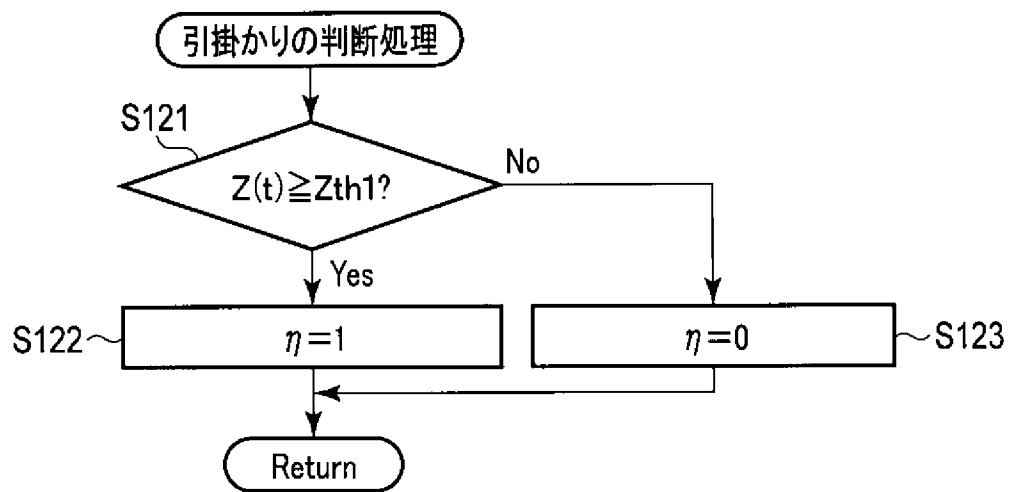
[図1]



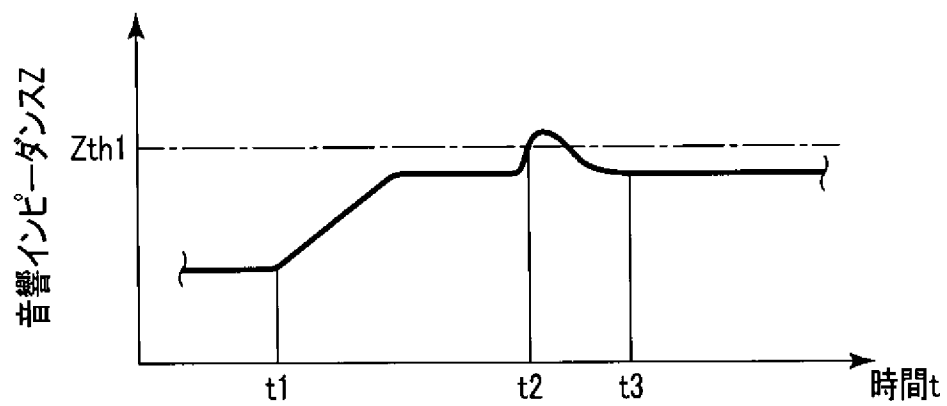
[図2]



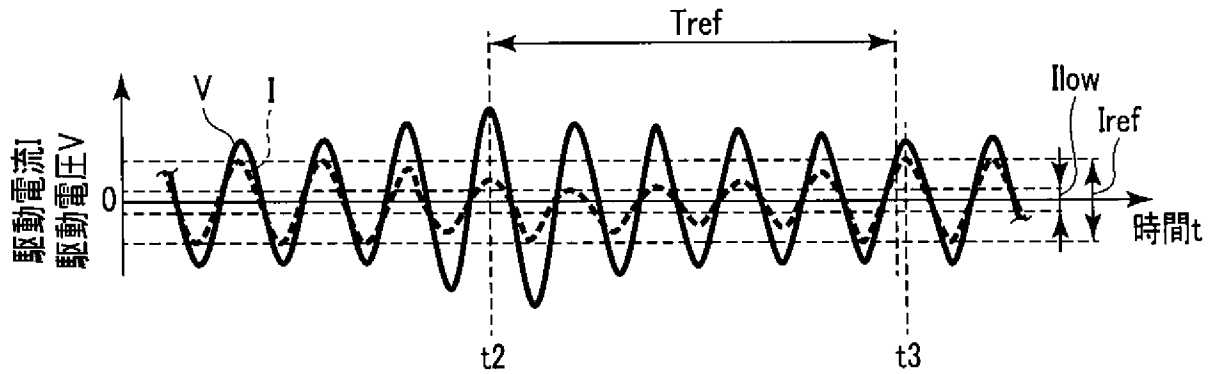
[図3]



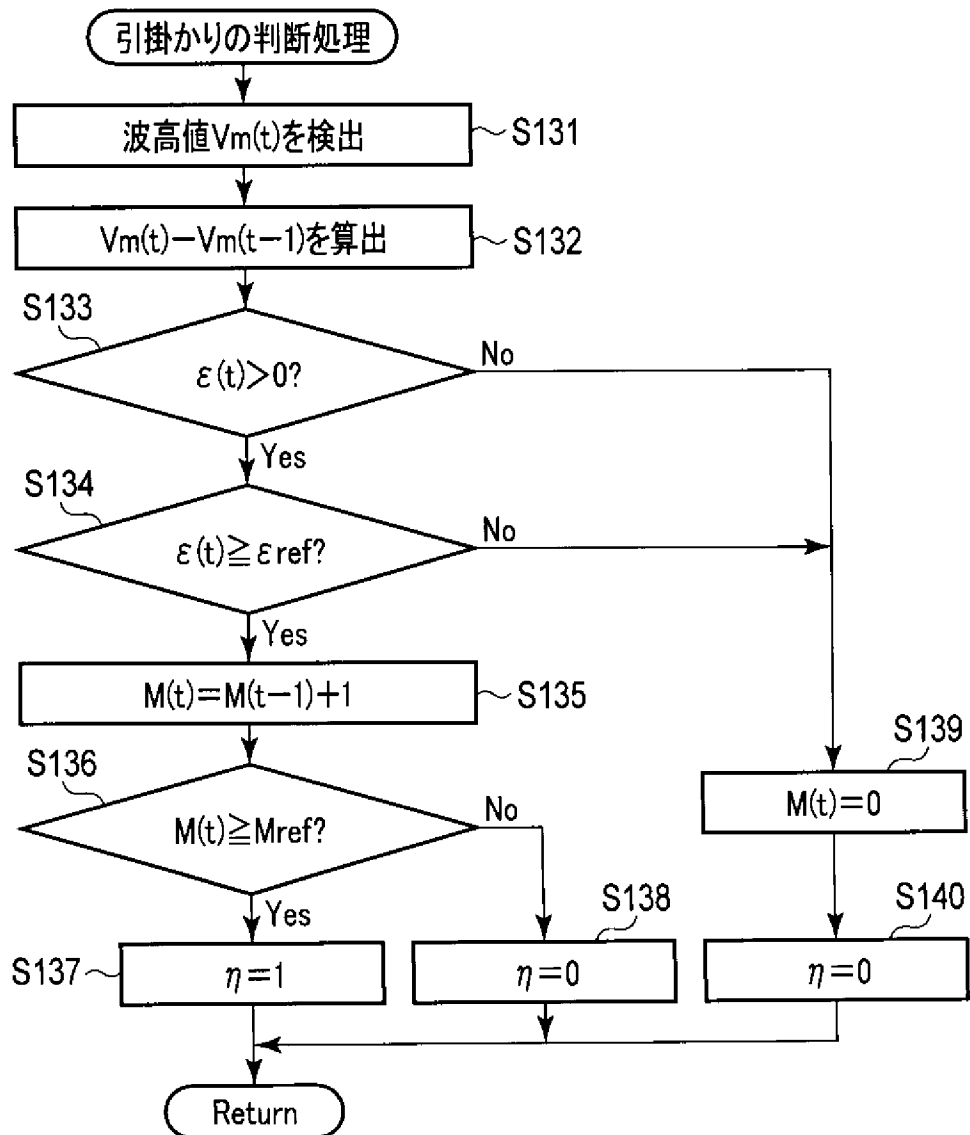
[図4]



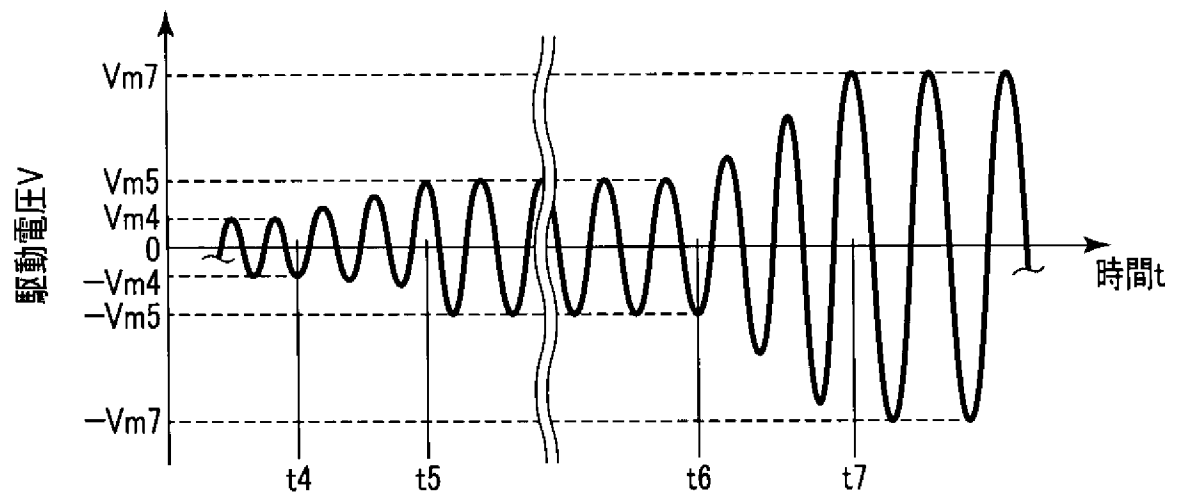
[図5]



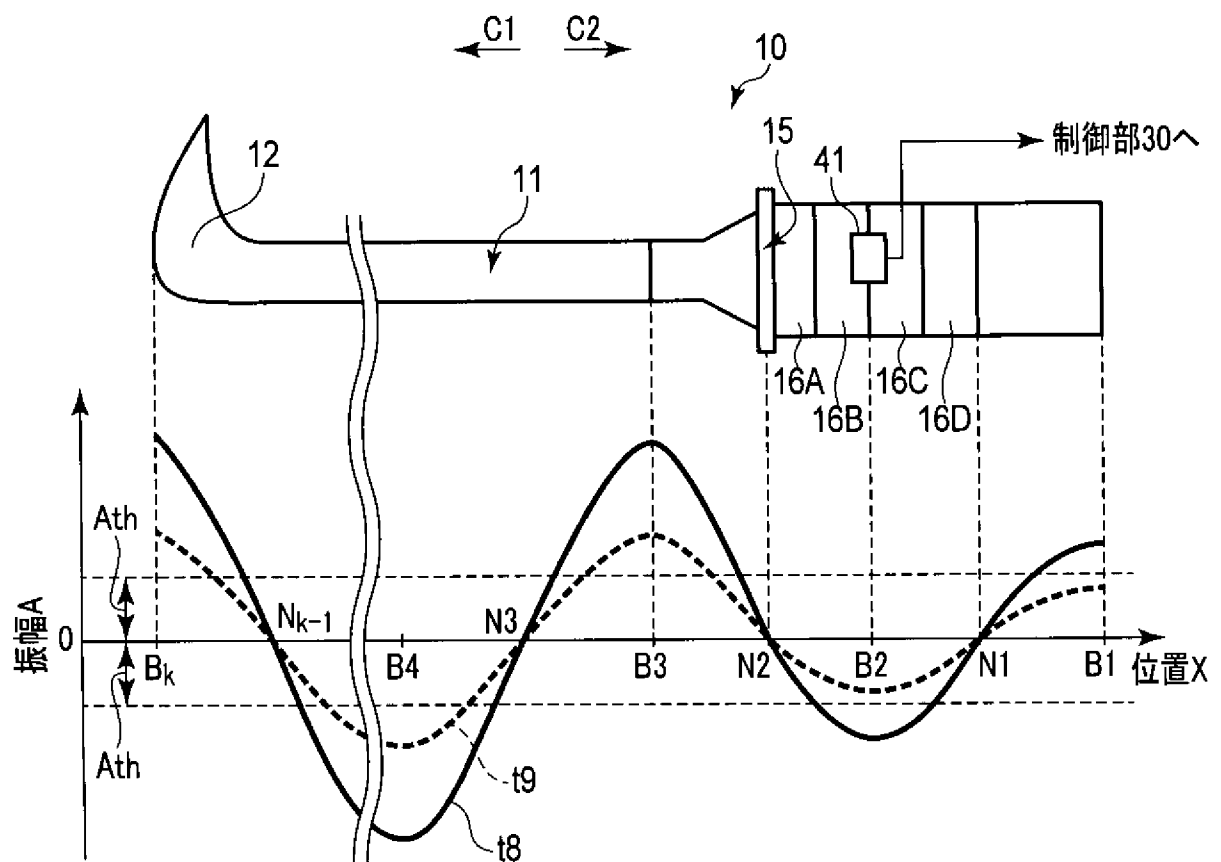
[図6]



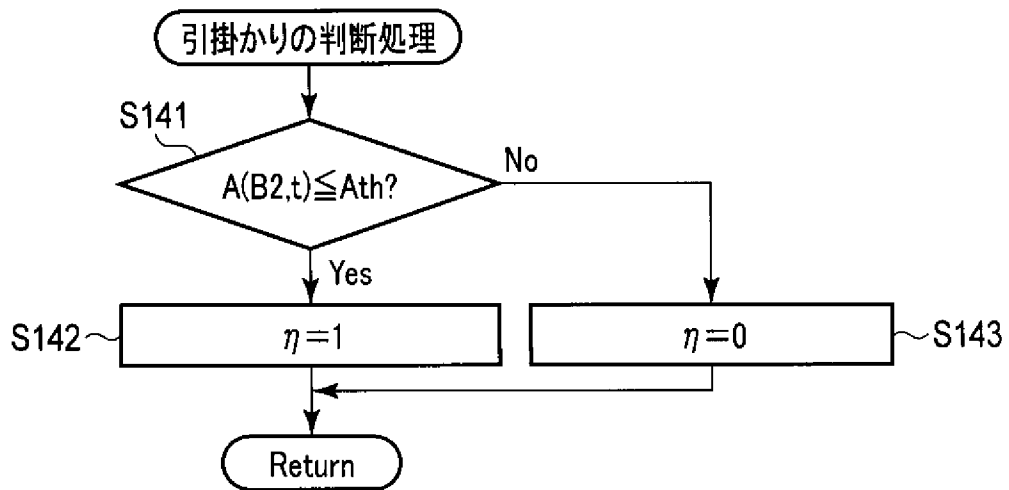
[図7]



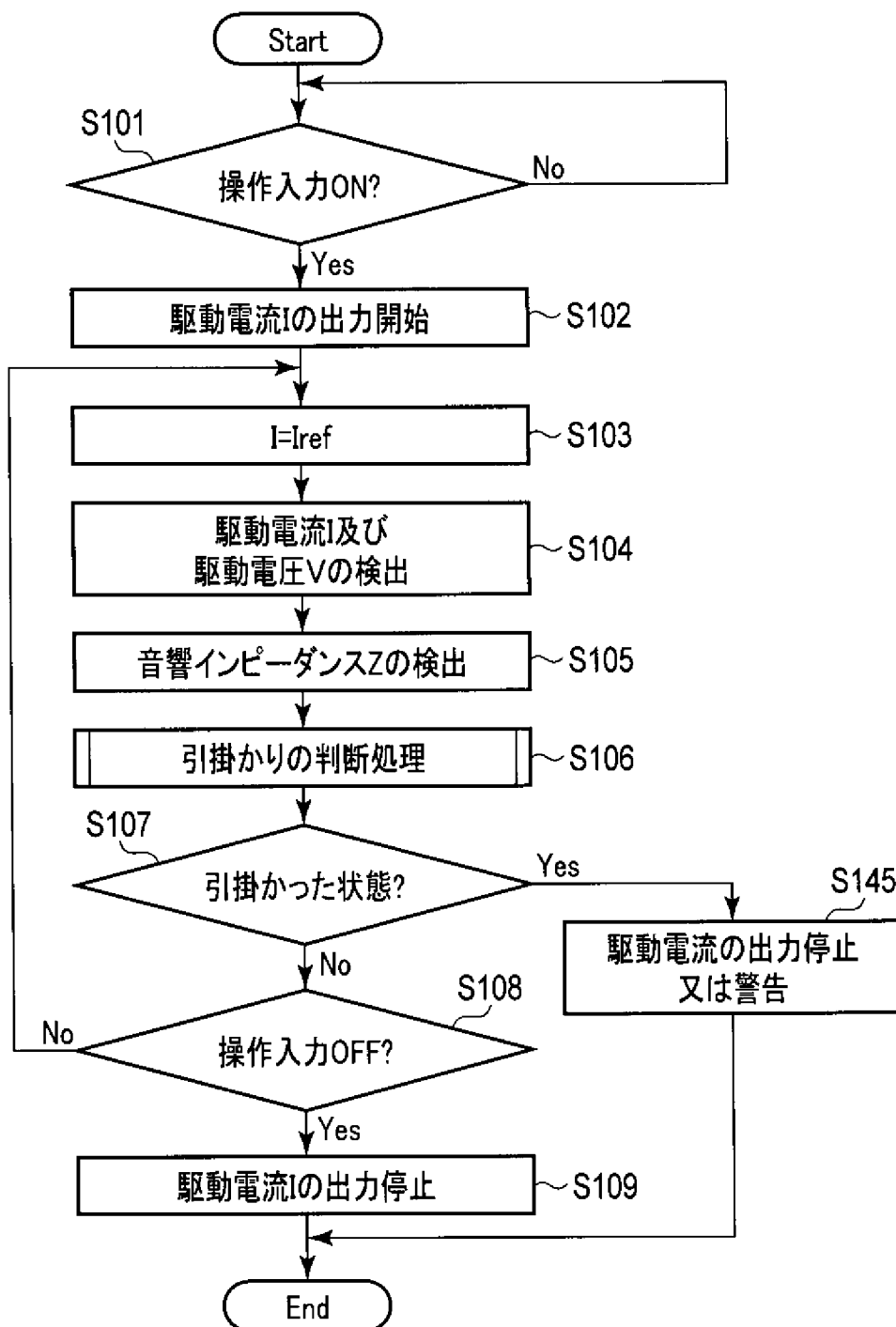
[図8]



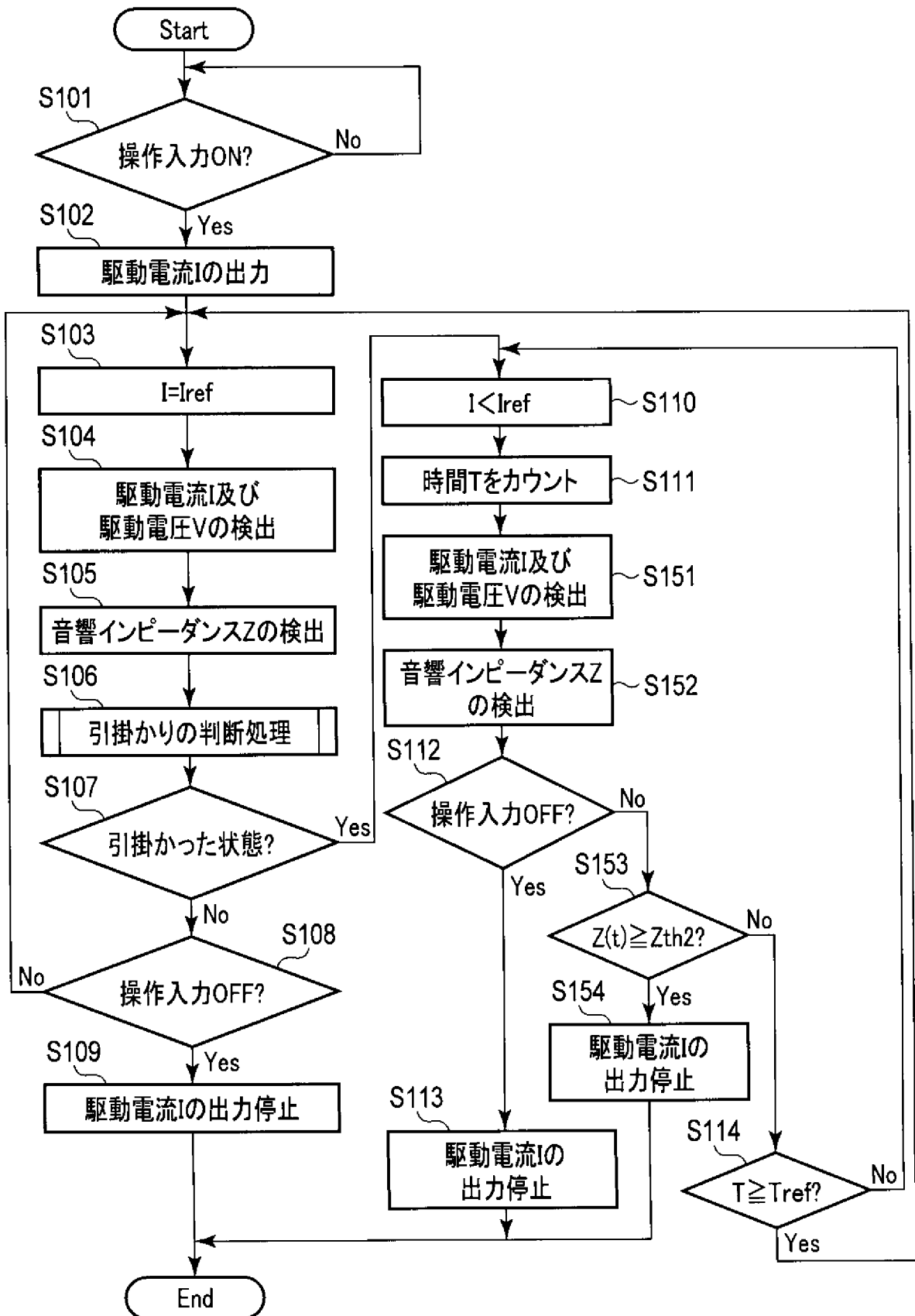
[図9]



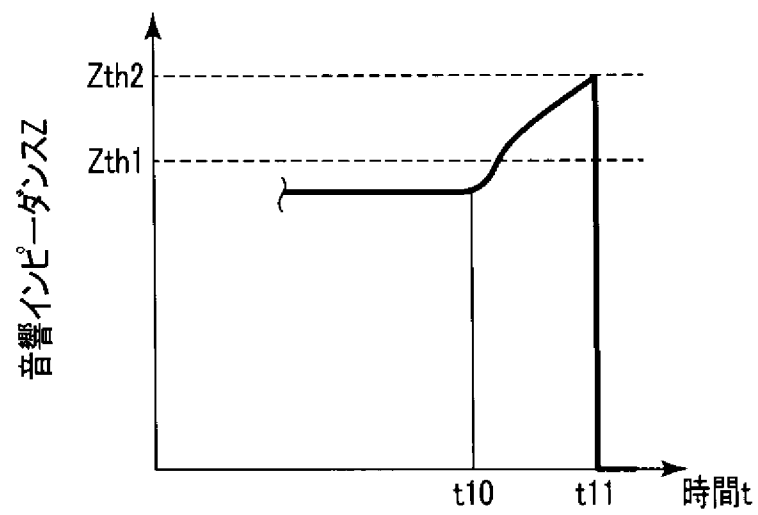
[図10]



[図11]



[図12]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/070309

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

A61B17/32(2006.01) i, A61B17/56(2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

A61B17/32, A61B17/56

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2016
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2016	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2016

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 7-51281 A (Echikon Inc.), 28 February 1995 (28.02.1995), paragraphs [0010] to [0011], [0015] to [0018], [0039] to [0041] & US 5449370 A column 2, lines 26 to 49; column 3, line 36 to column 4, line 8; column 7, lines 11 to 26 & EP 624346 A2	1-8, 10 9
Y	JP 2001-161706 A (Olympus Optical Co., Ltd.), 19 June 2001 (19.06.2001), paragraph [0023] (Family: none)	9

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
23 September 2016 (23.09.16)

Date of mailing of the international search report
04 October 2016 (04.10.16)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/070309

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2001-238893 A (Olympus Optical Co., Ltd.), 04 September 2001 (04.09.2001), entire text; all drawings (Family: none)	1-10
A	WO 2015/021216 A1 (STRYKER CORP.), 12 February 2015 (12.02.2015), entire text; all drawings & CN 105611882 A & KR 10-2016-0040695 A	1-10

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. A61B17/32(2006.01)i, A61B17/56(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. A61B17/32, A61B17/56

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2016年
日本国実用新案登録公報	1996-2016年
日本国登録実用新案公報	1994-2016年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X Y	JP 7-51281 A（エチコン・インコーポレーテッド） 1995.02.28, 段落[0010]-[0011], [0015]-[0018], [0039]-[0041] & US 5449370 A, 第2欄26-49行, 第3欄36行-第4欄8行, 第7 欄11-26行 & EP 624346 A2	1-8, 10 9
Y	JP 2001-161706 A（オリンパス光学工業株式会社） 2001.06.19, 段落[0023] （ファミリーなし）	9

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

23.09.2016

国際調査報告の発送日

04.10.2016

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

川島 徹

31

4138

電話番号 03-3581-1101 内線 3386

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2001-238893 A (オリンパス光学工業株式会社) 2001.09.04, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-10
A	WO 2015/021216 A1 (STRYKER CORPORATION) 2015.02.12, 全文, 全図 & CN 105611882 A & KR 10-2016-0040695 A	1-10