

(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
2016年1月14日(14.01.2016)



(10) 国際公開番号

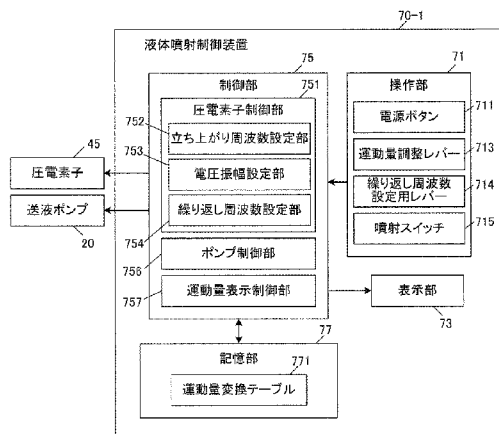
WO 2016/006218 A1

- (51) 国際特許分類:
F04B 43/02 (2006.01) F04B 43/04 (2006.01)
A61B 17/32 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2015/003374
- (22) 国際出願日: 2015年7月3日(03.07.2015)
- (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 2014-143096 2014年7月11日(11.07.2014) JP
特願 2014-231468 2014年11月14日(14.11.2014) JP
- (71) 出願人: セイコーエプソン株式会社 (SEIKO EPSON CORPORATION) [JP/JP]; 〒1630811 東京都新宿区西新宿二丁目4番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 柄沢 潤一 (KARASAWA, Junichi); 〒3928502 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 Nagano (JP).
- (74) 代理人: 渡辺 和昭, 外 (WATANABE, Kazuaki et al.); 〒3990785 長野県塩尻市広丘原新田80セイコーエプソン株式会社 知的財産本部内 Nagano (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, 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.
- (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),

[続葉有]

(54) Title: LIQUID INJECTION CONTROL DEVICE, LIQUID INJECTION SYSTEM, AND CONTROL METHOD

(54) 発明の名称: 液体噴射制御装置、液体噴射システム及び制御方法



(57) Abstract: A liquid injection control device (70-1) wherein an operating unit (71) includes an adjustment lever (713) for inputting command values for movement amount and kinetic energy relating to a pulse liquid jet injected from a liquid injection device. A control unit (75) is provided with a frequency-setting unit (752) for setting the rising frequency of a drive voltage waveform applied to a piezoelectric element (45), and an amplitude-setting unit (753) for setting the amplitude of the drive voltage waveform, so that the movement amount and kinetic energy comply with the respective command values.

(57) 要約: 液体噴射制御装置 (70-1) において、操作部 (71) は、液体噴射装置から噴射されるパルス液体ジェットに係る運動量又は運動エネルギーの指示値を入力するための調整レバー (713) を含む。また、制御部 (75) は、運動量又は運動エネルギーがそれぞれの指示値となるように、圧電素子 (45) に印加する駆動電圧波形の立ち上がり周波数を設定する周波数設定部 (752) と、駆動電圧波形の振幅を設定する振幅設定部 (753) とを備える。

- 20 Liquid feed pump
45 Piezoelectric element
70-1 Liquid injection control device
71 Operating unit
73 Display unit
75 Control unit
77 Storage unit
711 Power source button
713 Movement amount adjustment lever
714 Repeating frequency setting lever
715 Injection switch
751 Piezoelectric element control unit
752 Rising frequency setting unit
753 Voltage amplitude setting unit
754 Repeating frequency setting unit
755 Pump control unit
757 Movement amount display control unit
771 Movement amount conversion table

WO 2016/006218 A1

WO 2016/006218 A1



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：液体噴射制御装置、液体噴射システム及び制御方法
技術分野

[0001] 本発明は、圧電素子を用いて液体をパルス状に噴射する液体噴射装置を制御する液体噴射制御装置等に関する。

背景技術

[0002] 液体をパルス状に噴射して切削対象物を切削する技術が知られている。パルス状の液体の噴射は、ノズルから脈動的に噴射される液体のジェット流であり、本明細書では適宜「パルス液体ジェット (Pulsed Liquid Jet)」と称する。

[0003] パルス液体ジェットの用途は様々であるが、例えば、特許文献1には、医療分野における外科手術用として利用する技術が提案されている。この場合には、切削対象物は、生体組織となり、液体は生理食塩水となる。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開2005-152127号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] パルス液体ジェットを生成する機構の1つに、圧電素子を用いた機構が知られている。パルス波状の駆動電圧を圧電素子に加えることで、圧電素子が作動流体（液体）内に瞬間的な圧力を発生させて液体をパルス状に噴射する機構である。そのため、パルス液体ジェットの強さを変更する場合には、圧電素子に印加する駆動電圧を制御することとなる。

[0006] そこで、圧電素子に印加する駆動電圧の特性値、例えば、駆動電圧波形の振幅（電圧振幅のことであり、駆動電圧の大きさとも言える）を、操作ダイヤルや操作ボタン等の操作部で指定することで、パルス液体ジェットの強さを可変する仕様が考えられる。

[0007] しかしながら、操作部で指定する駆動電圧の特性値を変化させても、切削対象物の切削深さや切削体積を、ユーザーが思うように変化させることができない場合があることが分かった。詳細は後述するが、例えば、ユーザーが電圧振幅を2倍や4倍、或いは $1/2$ 、 $1/4$ に変えたとしても、必ずしも切削深さや切削体積がその通りに変化するとは限らないことが分かった。パルス液体ジェットを外科手術用途で用いる場合には、術者の操作感覚通りの作用が得られず、問題となり得た。

[0008] 本発明は上述した課題に鑑みて考案されたものであり、その目的とするところは、パルス液体ジェットの強さを、ユーザーの意図に沿った設定とすることを可能とし、使い勝手を向上させる技術を提案することである。

課題を解決するための手段

[0009] 以上の課題を解決するための第1の発明は、圧電素子を用いて液体をパルス状に噴射する液体噴射装置に電氣的に接続され該液体噴射装置を制御することが可能な液体噴射制御装置であって、前記液体噴射装置から噴射されるパルス液体ジェットに係る運動量又は運動エネルギーの指示値を入力するための操作部と、前記指示値となるように、前記圧電素子に印加する駆動電圧波形の振幅及び当該駆動電圧波形の立ち上がりに係る指標値を制御する制御部と、を備えた液体噴射制御装置である。

[0010] この場合、他の発明として、圧電素子を用いて液体をパルス状に噴射する液体噴射装置の制御方法であって、前記液体噴射装置から噴射されるパルス液体ジェットに係る運動量又は運動エネルギーの指示値を入力することと、前記指示値となるように、前記圧電素子に印加する駆動電圧波形の振幅及び当該駆動電圧波形の立ち上がりに係る指標値を制御することと、を含む制御方法を構成することとしてもよい。

[0011] また、第2の発明は、圧電素子を用いて液体をパルス状に噴射する液体噴射装置に電氣的に接続され該液体噴射装置を制御することが可能な液体噴射制御装置であって、前記液体噴射装置から噴射されるパルス液体ジェットに係る運動量又は運動エネルギーの指示値を入力するための操作部と、前記指

示値となるように、前記圧電素子に印加する駆動電圧波形の振幅又は当該駆動電圧波形の立ち上がりに係る指標値を制御する制御部と、を備えた液体噴射制御装置である。

[0012] この場合、他の発明として、圧電素子を用いて液体をパルス状に噴射する液体噴射装置の制御方法であって、前記液体噴射装置から噴射されるパルス液体ジェットに係る運動量又は運動エネルギーの指示値を入力することと、前記指示値となるように、前記圧電素子に印加する駆動電圧波形の振幅又は当該駆動電圧波形の立ち上がりに係る指標値を制御することと、を含む制御方法を構成することとしてもよい。

[0013] この第1の発明および第2の発明等によれば、液体噴射装置から噴射されるパルス液体ジェットに係る運動量又は運動エネルギーの指示値を入力すると、当該指示値となるように圧電素子に印加する駆動電圧波形の振幅及び立ち上がりに係る指標値のうちの少なくとも一方が制御される。後述するように、切削深さや切削体積は、パルス液体ジェットに係る運動量又は運動エネルギーと相関が高い。そのため、パルス液体ジェットに係る運動量又は運動エネルギーを直接指示することで、ユーザーの意図や操作感覚に見合った切削深さや切削体積を実現することができ、使い勝手を向上させることができる。

[0014] また、第3の発明は、第1又は第2の発明において、前記パルス液体ジェットに係る運動量又は運動エネルギーの前記指示値を表示させる制御を行う表示制御部、を更に備えた液体噴射制御装置である。

[0015] この第3の発明によれば、パルス液体ジェットに係る運動量又は運動エネルギーの指示値を表示させることができる。このため、ユーザーは、希望するパルス液体ジェットの強さや、現在の強さを表す指標を視覚的に確認することができる。よって、使い勝手を更に向上させることができる。

[0016] また、第4の発明は、第1～第3の何れかの発明において、前記パルス液体ジェットの運動量が 2 n N s （ナノニュートン秒）以上 2 m N s （ミリニュートン秒）以下、又は運動エネルギーが 2 n J （ナノジュール）以上 20

0 mJ（ミリジュール）以下の前記液体噴射装置を制御する、液体噴射制御装置である。

[0017] この第4の発明によれば、パルス液体ジェットの運動量が2 nNs以上2 mNs以下、又は運動エネルギーが2 nJ以上200 mJ以下であり、その範囲で液体噴射装置を制御することができる。よって、例えば、生体組織や食品、ゲル材料、ゴムやプラスチックなどの樹脂材料などの柔軟素材を切削するのに好適である。

[0018] また、第5の発明は、第1～4の何れかの発明において、前記パルス液体ジェットによって生体組織を切削するための前記液体噴射装置を制御する、液体噴射制御装置である。

[0019] この第5の発明によれば、例えば、外科手術用途に好適なパルス液体ジェットの強さを制御することができる。

[0020] また、第6の発明は、第1～第5の何れかの発明において、前記立ち上がりに係る指標値は、前記駆動電圧波形の立ち上がりに係る時間、又は周波数によって表される、液体噴射制御装置である。

[0021] この第6の発明によれば、立ち上がりに係る指標値を、駆動電圧波形の立ち上がりに係る時間、又は周波数によって表すことができる。

[0022] また、第7の発明は、第1～第6の何れかの発明の液体噴射制御装置と、液体噴射装置と、送液ポンプ装置とを具備した液体噴射システムである。

[0023] この第7の発明によれば、第1～第6の発明の作用効果を奏する液体噴射システムを実現することができる。

図面の簡単な説明

[0024] [図1]液体噴射システムの全体構成例を示す図。

[図2]液体噴射装置の内部構造を示す図。

[図3]圧電素子の1周期分の駆動電圧波形及び液体噴射開口部における液体の流速波形を示す図。

[図4]質量流束 J_m 、運動量流束 J_p 、及びエネルギー流束 J_e を示す図。

[図5]切削対象物の破壊状態についてのシミュレーションで用いた主ジェット

の流速波形を示す図。

[図6]シミュレーション結果（切削深さ）を示す図。

[図7]シミュレーション結果（切削体積）を示す図。

[図8]主ジェットの流速波形についてのシミュレーション結果を示す図。

[図9]運動量 P と、立ち上がり周波数及び電圧振幅との対応関係を示す図。

[図10]エネルギー E と、立ち上がり周波数及び電圧振幅との対応関係を示す図。

[図11]実施例 1 における液体噴射制御装置の機能構成例を示すブロック図。

[図12]運動量変換テーブルのデータ構成例を示す図。

[図13]運動量変換テーブルのデータ構成の他の例を説明するための図。

[図14]パルス液体ジェットの噴射に際して制御部が行う処理の流れを示すフローチャート。

[図15]表示部の表示画面例を示す図。

[図16]実施例 2 における液体噴射制御装置の機能構成例を示すブロック図。

[図17]エネルギー変換テーブルのデータ構成例を示す図。

[図18]エネルギー変換テーブルのデータ構成の他の例を説明するための図。

[図19]表示部の表示画面例を示す図。

発明を実施するための形態

[0025] 以下、本発明の液体噴射制御装置及び制御方法を実施するための一形態について説明する。なお、以下説明する実施形態によって本発明が限定されるものではなく、本発明を適用可能な形態が以下の実施形態に限定されるものでもない。また、図面の記載において、同一部分には同一の符号を付す。

[0026] [全体構成]

図 1 は、本実施形態における液体噴射システム 1 の全体構成例を示す図である。この液体噴射システム 1 は、柔軟素材、例えば生体組織を切削対象物とした外科手術用、食品を切削対象物とした食品加工用、ゲル材料の加工用、又はゴムやプラスチックなど樹脂材料の切削加工の用途で用いられるものであり、運動量が 2 nN s （ナノニュートン秒）以上 2 mN s （ミリニュー

トン秒) 以下、又は、運動エネルギーが 2 nJ (ナノジュール) 以上 200 mJ (ミリジュール) 以下のパルス液体ジェットを噴射して切削対象物を切削する。以下では、液体噴射システム 1 を外科手術用の用途で用い、患部 (生体組織) の切開、切除、又は破砕 (以下包括して「切削」という) を行う場合を例示する。また、本実施形態における運動量流速および運動量とは、パルス液体ジェットの噴射方向成分のみを考えたスカラー量、すなわち大きさを指すこととして説明する。

[0027] 図 1 に示すように、液体噴射システム 1 は、液体を収容する容器 10 と、送液ポンプ 20 と、切削対象物 (本実施形態では生体組織) に向けて液体をパルス状に噴射するための液体噴射装置 30 と、液体噴射制御装置 70 とを備える。

[0028] この液体噴射システム 1 において、液体噴射制御装置 70 は、術者が手術の際に操作する操作パネル 80 を備える。操作パネル 80 には、電源の ON/OFF を切り替えるためのボタンスイッチ 811 と、運動量又は運動エネルギーの増減操作のために「1」～「5」の目盛りが付された 5 段階のレバー位置を選択可能なレバースイッチ 813 と、繰り返し周波数を入力するために「1」～「5」の目盛りが付された 5 段階のレバー位置を選択可能な繰り返し周波数設定用のレバースイッチ 814 と、液晶モニター 82 とが配設されている。また、液体噴射制御装置 70 は、術者が足で踏んでパルス液体ジェットの噴射開始及び噴射停止を切り替えるためのペダルスイッチ 83 を備える。

[0029] 容器 10 は、水や生理食塩水、薬液等の液体を収容する。送液ポンプ 20 は、容器 10 に収容された液体を、接続チューブ 91, 93 を介して常時所定の圧力又は所定の流量で液体噴射装置 30 のパルス流発生部 40 に供給する。

[0030] 液体噴射装置 30 は、手術に際して術者が手に持って操作する部分 (ハンドピース) であり、送液ポンプ 20 から供給される液体に脈動を付与してパルス流を発生させるパルス流発生部 40 と、パイプ状の噴射管 50 とを備え

、パルス流発生部４０によって発生させたパルス流を、噴射管５０を通り最終的にノズル６０に設けられた液体噴射開口部６１からパルス液体ジェットとして噴射する装置である。

[0031] ここでパルス流とは、液体の流速や圧力が時間的に大きく且つ急激に変化する液体の脈動的な流れを意味する。同様に、液体をパルス状に噴射するとは、ノズルを通過する液体の流速が、時間的に大きく変化する、液体の脈動的な噴射を意味する。本実施形態では、定常流に周期的な脈動を付与することで生じるパルス液体ジェットを噴射する場合を例示するが、液体の噴射と非噴射とを繰り返す間欠的、断続的なパルス液体ジェットの噴射にも本発明は同様に適用できる。

[0032] 図２は、液体噴射装置３０を液体の噴射方向に沿って切断した切断面を示す図である。なお、図２に示す部材や部分の縦横の縮尺は、図示の便宜上実際のものとは異なる。図２に示すように、パルス流発生部４０は、第１ケース４１と、第２ケース４２と、第３ケース４３とによって形成された円筒状の内部空間に、圧力室４４の容積を変化させるための圧電素子４５及びダイアフラム４６が配設されて構成される。各ケース４１，４２，４３は、互いに対向する面において接合され一体化されている。

[0033] ダイアフラム４６は、円盤状の金属薄板であり、その外周部分が第１ケース４１と第２ケース４２との間に挟まれて固定されている。圧電素子４５は、例えば積層型圧電素子であり、ダイアフラム４６と第３ケース４３との間で一端がダイアフラム４６に固定され、他端が第３ケースに固定されている。

[0034] 圧力室４４は、ダイアフラム４６と、第１ケース４１のダイアフラム４６に対向する面に形成された凹部４１１とによって囲まれた空間である。第１ケース４１には、圧力室４４に各々連通する入口流路４１３と出口流路４１５とが形成されている。出口流路４１５の内径は、入口流路４１３の内径よりも大きく形成されている。入口流路４１３は接続チューブ９３と接続され、送液ポンプ２０から供給される液体を圧力室４４に導入する。出口流路４

15には噴射管50の一端が接続され、圧力室44内を流動する液体を噴射管50に導入する。噴射管50の他端（先端）には、噴射管50の内径よりも縮小された内径の液体噴射開口部61を有するノズル60が挿着されている。

[0035] 以上のように構成される液体噴射システム1において、容器10に収容された液体は、液体噴射制御装置70の制御のもと送液ポンプ20によって、所定の圧力又は所定の流量で接続チューブ93を介してパルス流発生部40に供給される。一方で、液体噴射制御装置70の制御のもと圧電素子45に駆動信号が印加されると、圧電素子45が伸長・収縮する（図2の矢印A）。圧電素子45に印加される駆動信号は所定の繰り返し周波数（例えば数十～数百Hz）で繰り返し印加されるため、周期毎に圧電素子45の伸長と収縮が繰り返されることとなる。これにより圧力室44内を流動する定常流の液体に脈動が付与され、液体噴射開口部61からパルス液体ジェットが繰り返し噴射される。

[0036] 図3（a）は、圧電素子45に印加される1周期分の駆動信号の駆動電圧波形L11の一例を示す図であり、液体噴射開口部61における液体の流速波形L13を併せて示している。Tpは繰り返し周期（駆動電圧波形の1周期分の時間）であり、その逆数が前記の繰り返し周波数である。

また、図3（b）は、図3（a）に示す流速波形L13のピークのうち、最大流速を有する主ピーク部分を抜き出した図である。なお、繰り返し周期Tpは1[msec（ミリ秒）]～100[msec]程度とされ、駆動電圧波形が最大電圧まで立ち上がるのに要する時間（立ち上がり時間）Tprは10[μsec（マイクロ秒）]～1000[μsec]程度とされる。

繰り返し周期Tpは、立ち上がり時間Tprよりも長い時間として設定される。また、立ち上がり時間の逆数を立ち上がり周波数としたとき、前記の繰り返し周波数は、立ち上がり周波数よりも低い周波数として設定される。

[0037] 例えば、圧電素子45は、正の電圧が印加されると伸長するものとする、立ち上がり時間Tprで急激に伸長し、ダイアフラム46が圧電素子45

に押されて圧力室４４側に撓む。ダイヤフラム４６が圧力室４４側へと撓むと圧力室４４の容積が小さくなり、圧力室４４内の液体は圧力室４４から押し出される。ここで、出口流路４１５の内径は入口流路４１３の内径よりも大きいので、出口流路４１５の流体イナータンスおよび流体抵抗は、入口流路４１３の流体抵抗よりも小さい。したがって、圧電素子４５が急激に伸長することで圧力室４４から押し出される液体の大部分は出口流路４１５を通過して噴射管５０に導入され、その内径よりも小径の液体噴射開口部６１によりパルス状の液滴、すなわちパルス液体ジェットとなって高速噴射される。

[0038] 最大電圧まで上昇した後は、駆動電圧は緩やかに降下する。その際、圧電素子４５は、立ち上がり時間 T_{pr} よりも長い時間をかけて収縮し、ダイヤフラム４６が圧電素子４５に引かれて第３ケース４３側に撓む。ダイヤフラム４６が第３ケース４３側に撓むと圧力室４４の容積が大きくなり、入口流路４１３から圧力室４４内に液体が導入される。

[0039] なお、送液ポンプ２０は所定圧力又は所定流量で液体をパルス流発生部４０に供給しているため、圧電素子４５が伸縮動作を行わなければ、圧力室４４を流動する液体（定常流）は出口流路４１５を経て噴射管５０に導入され、液体噴射開口部６１から噴射される。この噴射は定速かつ低速の液流であるため、定常流と言える。

[0040] [原理]

パルス液体ジェットを特徴付ける値として基本となるのは、図３（ａ）において駆動電圧波形Ｌ１１と併せて示したパルス１個分のジェットの液体噴射開口部６１における流速波形Ｌ１３である。そのうち、注目すべきなのは、駆動電圧の立ち上がり直後に発生する最も高いピークの流速波形（先頭波のジェット）である。この波形の拡大図を図３（ｂ）に示す。その他の低いピークは、圧電素子４５の伸長時に圧力室４４内に生じた圧力変動の波が噴射管５０内を反射往復することで付随的に噴射されるジェットに起因するものであるが、切削対象物の破壊状態すなわち切削対象物の切削深さや切削体積を決定付けるのは、流速が最も大きい先頭波のジェット（主ジェット）で

ある。

[0041] ところで、パルス液体ジェットの強さを変えて切削対象物の切削深さや切削体積を変化させたい場合には、圧電素子45の駆動電圧波形を制御することになる。この駆動電圧波形の制御は、その電圧特性値である駆動電圧波形の立ち上がり周波数や駆動電圧波形の振幅（電圧振幅）を術者が指定することによって行う方法が考えられる。ここでいう立ち上がり周波数は、駆動電圧の立ち上がりに係る指標値の1つであり、立ち上がり時間 T_{pr} の逆数と定義する。例えば、電圧振幅を固定にした状態で術者が立ち上がり周波数を指定したり、立ち上がり周波数を固定にした状態で電圧振幅を指定する方法が考えられる。これは、電圧振幅やその立ち上がり周波数（立ち上がり時間 T_{pr} ）が主ジェットの流速波形に大きく影響するためである。駆動電圧が最大電圧まで上昇した後の緩やかに降下している間の駆動電圧は、主ジェットの流速波形にさほど影響しない。例えば、立ち上がり周波数を高くし、或いは電圧振幅を大きくすれば、それに比例するように切削深さは深く、切削体積は大きくなると思われた。

[0042] しかしながら、実際に達成される切削対象物の切削深さや切削体積は、必ずしも電圧特性値の増減に見合って変化しない場合があり、使い勝手を悪化させる場合があることが判明した。例えば、術者が電圧振幅を2倍にしても切削深さや切削体積が期待通りに増加しなかったり、或いは電圧振幅を $1/2$ にしても切削深さや切削体積が思ったように減少しなかったりする場合が起こり得た。そのため、術者が所望する切削深さや切削体積が達成されない事態が生じ得た。これは手術時間の長期化を招きかねない問題である。

[0043] そこで、主ジェットの流速波形に着目し、この主ジェットの流速波形によって定まるいくつかのパラメータについて切削深さ及び切削体積との相関を検討した。切削深さや切削体積との相関が高いパラメータが見つければ、術者の操作感覚通りの切削深さや切削体積を達成するのに最適な駆動電圧波形で圧電素子45を制御することが可能となるからである。

[0044] そのために、先ず、液体噴射開口部61における主ジェットの流速波形 v

[m/s]に基づいて、液体噴射開口部61を通過する主ジェットの質量流束[kg/s]、運動量流束[N]、及びエネルギー流束[W]について検討した。質量流束は、液体噴射開口部61を通過する液体の単位時間当たりの質量[kg/s]である。運動量流束は、液体噴射開口部61を通過する液体の単位時間当たりの運動量[N]である。エネルギー流束は、液体噴射開口部61を通過する液体の単位時間当たりのエネルギー[W]である。なお、エネルギーとは運動エネルギーのことを指し、以下「エネルギー」と略称する。

[0045] 液体噴射開口部61では液体が自由空間に解放されるため、圧力を「0」とみなすことができる。また、液体のジェット噴射方向に直交する方向（液体噴射開口部61の径方向）の速度についても「0」とみなすことができる。液体噴射開口部61の径方向において液体の速度分布がないと仮定すると、液体噴射開口部61を通過する質量流束 J_m [kg/s]、運動量流束 J_p [N]、及びエネルギー流束 J_e [W]は、次式(1)、(2)、(3)で求めることができる。 S [m²]はノズル断面積を表し、 ρ [kg/m³]は作動流体密度を表す。

$$J_m = S \cdot \rho \cdot v \quad \dots (1)$$

$$J_p = S \cdot \rho \cdot v^2 \quad \dots (2)$$

$$J_e = 1/2 \cdot \rho \cdot S \cdot v^3 \quad \dots (3)$$

[0046] 図4は、図3(b)に示した主ジェットの流速波形から求めた質量流束 J_m (a)、運動量流束 J_p (b)、及びエネルギー流束 J_e (c)を示す図である。これら質量流束 J_m 、運動量流束 J_p 、及びエネルギー流束 J_e のそれぞれを主ジェットの流速波形の立ち上がりから立ち下がりまでの時間（継続時間） T 内で積分すれば、主ジェットとして液体噴射開口部61から噴射される液体の質量、運動量、及びエネルギーを求めることができる。

[0047] 上記の要領で算出した質量流束 J_m 、運動量流束 J_p 、エネルギー流束 J_e 、質量、運動量、及びエネルギーの各値は、パルス1個分のジェットによる切削深さ及び切削体積を決定付け得ると考えられる。ただし、何れも定常

流分を含んだ物理量であり、重要なのは、定常流の寄与分を差し引いた値である。

[0048] そこで、図4（a）の質量流束 J_m に関し、質量流束 J_m のピーク値（最大値）から定常流の質量流束 J_{m_BG} [kg/s] を減算した最大質量流束 J_{m_max} [kg/s] と、主ジェットとして液体噴射開口部61から流出する液体の質量から定常流分を除いた図4（a）中にハッチングを付して示す流出質量 M [kg] の2つのパラメータを定義する。流出質量 M は、次式（4）で表される。

[0049] [数1]

$$M = \int (J_m - J_{m_BG}) dt \quad \dots (4)$$

[0050] 図4（b）の運動量流束 J_p に関しては、運動量流束 J_p のピーク値（最大値）から定常流の運動量流束 J_{p_BG} [N] を減算した最大運動量流束 J_{p_max} [N] と、主ジェットとして液体噴射開口部61から流出する液体の運動量から定常流分を除いた図4（b）中にハッチングを付して示す運動量 P [Ns] の2つのパラメータを定義する。運動量 P は、次式（5）で表される。

[0051] [数2]

$$P = \int (J_p - J_{p_BG}) dt \quad \dots (5)$$

[0052] 図4（c）のエネルギー流束 J_e に関しては、エネルギー流束 J_e のピーク値（最大値）から定常流のエネルギー流束 J_{e_BG} [W] を減算した最大エネルギー流束 J_{e_max} [W] と、主ジェットとして液体噴射開口部61から流出する液体のエネルギーから定常流分を除いた図4（c）中にハッチングを付して示すエネルギー E [J] の2つのパラメータを定義する。エネルギー E は、次式（6）で表される。

[0053] [数3]

$$E = \int (J_e - J_{e_BG}) dt \quad \dots (6)$$

ただし、式（4）～（6）における積分区間は、各流速波形において主ジ

ェットの立ち上がりから立ち下がりまでの時間（継続時間） T である。

[0054] そして、数値シミュレーションを利用して、最大質量流束 J_{m_max} 、流出質量 M 、最大運動量流束 J_{p_max} 、運動量 P 、最大エネルギー流束 J_{e_max} 、及びエネルギー E の 6 つのパラメータが、それぞれ切削深さ及び切削体積とどの程度相関するのかを検討した。

[0055] ここで、パルス液体ジェットは流体であり、切削対象物は柔軟な弾性体である。したがって、パルス液体ジェットによる切削対象物の破壊挙動のシミュレーションを行うためには、柔軟弾性体側に適切な破壊閾値を設定した上で、いわゆる流体と構造体（ここでは柔軟弾性体）との連成解析（流体・構造連成解析（F S I））を行わなければならない。シミュレーションの計算手法としては、例えば、有限要素法（F E M : Finite Element Method）を用いた手法や、S P H（Smoothed Particle Hydrodynamics）等に代表される粒子法を用いた手法、有限要素法と粒子法とを組み合わせた手法等が挙げられる。適用する手法は特に限定されるものではないため詳述しないが、解析結果の安定性や計算時間等を考慮して最適な手法を選択し、シミュレーションを行った。

[0056] シミュレーションに際し、流体密度 $= 1 \text{ [g / cm}^3\text{]}$ 、液体噴射開口部 61 の直径 $= 0.15 \text{ [mm]}$ 、スタンドオフ距離（液体噴射開口部 61 から切削対象物表面までの距離） $= 0.5 \text{ [mm]}$ に設定した。また、切削対象物を表面が平坦な柔軟弾性体と仮定し、その物理モデルとして、密度 $= 1 \text{ [g / cm}^3\text{]}$ 、ヤング率換算で 9 [kPa] 程度（せん断弾性率換算で 3 [kPa] 程度）の弾性率を有する M o o n e y - R i v l i n 超弾性体を用いた。破壊閾値には、偏差相当ひずみ $= 0.7$ を使用した。

[0057] 主ジェットの流速波形については、様々な主ジェットの流速波形を想定し、正弦波、三角波、及び矩形波の 3 種類の波形について、振幅（流束の最大値）を $12 \text{ [m / s]} \sim 76 \text{ [m / s]}$ の範囲内、継続時間を $63 \text{ [}\mu\text{s]} \sim 200 \text{ [}\mu\text{s]}$ の範囲内で 3 種類変更したものを、合計 27 種類用意した。なお、定常流の流速は 1 [m / s] としている。

[0058] 図5は、シミュレーションで主ジェットの流れ波形として与えた正弦波（a）、矩形波（b）、及び三角波（c）を示す図であり、それぞれ実線で示す継続時間が63 [μ s] のものと、一点鎖線で示す継続時間が125 [μ s] のものと、二点鎖線で示す継続時間が200 [μ s] のものとを用意した。そして、用意した波形を主ジェットの流れ波形として与えてパルス液体ジェットを生成し、上記の柔軟弾性体に打ち込んだときの柔軟弾性体の破壊挙動についてシミュレーションを行った。

[0059] 図6は、縦軸を切削対象物の切削深さとし、横軸を最大質量流束 J_{m_max} （a）、流出質量 M （b）、最大運動量流束 J_{p_max} （c）、運動量 P （d）、最大エネルギー流束 J_{e_max} （e）、及びエネルギー E （f）としたシミュレーションの結果をプロットした図である。図6中、主ジェットの流速波形として継続時間が63 [μ s] の正弦波を与えたときのシミュレーション結果を「*」のプロット、125 [μ s] の正弦波を与えたときのシミュレーション結果を「◆」のプロット、200 [μ s] の正弦波を与えたときのシミュレーション結果を「-」のプロットで示している。また、主ジェットの流速波形として継続時間が63 [μ s] の三角波を与えたときのシミュレーション結果を「+」のプロット、125 [μ s] の三角波を与えたときのシミュレーション結果を「×」のプロット、200 [μ s] の三角波を与えたときのシミュレーション結果を「■」のプロットで示している。また、主ジェットの流速波形として継続時間が63 [μ s] の矩形波を与えたときのシミュレーション結果を「●」のプロット、125 [μ s] の矩形波を与えたときのシミュレーション結果を黒色塗りつぶしの三角形のプロット、200 [μ s] の矩形波を与えたときのシミュレーション結果を「—」のプロットで示している。

[0060] 上段の図6（a）、（c）、（e）に示すように、最大質量流束 J_{m_max} 、最大運動量流束 J_{p_max} 、及び最大エネルギー流束 J_{e_max} の3つの各パラメータと切削深さとの関係は、主ジェットの流速波形として与えた波形の形状によって大きくばらついており、双方の相関は低いことが

わかった。とりわけ質量流束は、流速に比例する値であることから、切削深さは主ジェットの最大流速のみからは決まらないことを示唆している。

[0061] 次に、下段の図6 (b), (d), (f) に示す流出質量 M 、運動量 P 、及びエネルギー E の3つの各パラメータと切削深さとの関係を見てみると、流出質量 M と切削深さとの関係については、主ジェットの流速波形として与えた波形の形状によって大きくばらついており、相関が低い。これに対し、運動量 P やエネルギー E との関係では、与えた波形の形状によるばらつきは小さく、各プロットが概ね同一曲線上に分布している。運動量 P とエネルギー E とでは、運動量 P の方がよりばらつきが小さい。したがって、切削深さは運動量 P やエネルギー E と相関が高く、特に運動量 P と良く相関するといえる。

[0062] なお、ここでは液体噴射開口部の直径を 0.15 [mm] 、スタンドオフ距離を 0.5 [mm] とした場合についてシミュレーションを行っているが、他の液体噴射開口部直径や他のスタンドオフ距離においてもシミュレーションを行い、切削深さが運動量 P やエネルギー E と相関が高い、という定性的な傾向は大きく変わらなかったことを確認した。

[0063] 図7は、縦軸を切削対象物の切削体積とし、横軸を最大質量流束 J_{m_max} (a)、流出質量 M (b)、最大運動量流束 J_{p_max} (c)、運動量 P (d)、最大エネルギー流束 J_{e_max} (e)、及びエネルギー E (f) としてシミュレーションの結果をプロットした図である。主ジェットの流速波形として与えた波形とプロットの種類との関係は図6と同様である。

[0064] 上段の図7 (a), (c), (e) に示すように、最大質量流束 J_{m_max} 、最大運動量流束 J_{p_max} 、及び最大エネルギー流束 J_{e_max} の3つの各パラメータと切削体積との関係は、切削深さとの関係ほどではないものの、主ジェットの流速波形として与えた波形の形状によってばらついており、双方の相関は低いと考えられる。

[0065] 次に、下段の図7 (b), (d), (f) に示す流出質量 M 、運動量 P 、及びエネルギー E の3つの各パラメータと切削体積との関係を見てみると、

流出質量 M と切削体積との関係については、切削深さと同様に主ジェットの流れ波形として与えた波形の形状によって大きくばらついており、相関が低い。一方、運動量 P やエネルギー E との関係では、切削深さと同様に与えた波形の形状によるばらつきは小さく、各プロットが概ね同一直線上に分布している。また、運動量 P と比べてエネルギー E の方がよりばらつきが小さい。したがって、切削体積は運動量 P やエネルギー E と相関が高く、特にエネルギー E と良く相関するといえる。

[0066] なお、ここでは液体噴射開口部の直径を 0.15 [mm] 、スタンドオフ距離を 0.5 [mm] とした場合についてシミュレーションを行っているが、他の液体噴射開口部直径や他のスタンドオフ距離においてもシミュレーションを行い、切削体積が運動量 P やエネルギー E と相関が高い、という定性的な傾向は大きく変わらなかったことを確認した。

[0067] 以上の検討結果に基づき、本実施形態では、実際に圧電素子45に印加する駆動電圧波形として代表的なものについて事前にシミュレーションを行い、運動量 P およびエネルギー E と、立ち上がり周波数及び電圧振幅との対応関係を取得しておく。そして、手術中は、術者による運動量 P 又はエネルギー E の増減操作に応じて対応する立ち上がり周波数及び電圧振幅を特定し、圧電素子45の駆動を制御する。

[0068] 先ず、電圧振幅を固定し、立ち上がり周波数を段階的に変えた駆動電圧波形を与えて主ジェットの流速波形をシミュレーションにより求めた。同様に、立ち上がり周波数を固定し、電圧振幅を段階的に変えた駆動電圧波形を与えて主ジェットの流速波形をシミュレーションにより求めた。シミュレーションは、例えば、液体噴射装置の流路系を、流体（流路）抵抗、流体インダクタンス、流体コンプライアンスなどに置き換えたモデルに基づく、等価回路法による数値シミュレーションを利用して行うことができる。又は、有限要素法（FEM）や有限体積法（FVM）などを用いた流体シミュレーションを利用してもよい。

[0069] 図8（a）は、立ち上がり周波数を変えた場合の主ジェットの流速波形の

シミュレーション結果を示す図である。図 8 (a) に示すように、立ち上がり周波数を低く（立ち上がり時間 T_{pr} でいえば長く）すると、主ジェットの流れ波形は、立ち上がりのタイミングは変わらずに継続時間が長くなり、その振幅（流速の最大値）も小さくなる。また、図 8 (b) は、電圧振幅を変えた場合の主ジェットの流速波形のシミュレーション結果を示す図である。図 8 (b) に示すように、電圧振幅を小さくすると、主ジェットの流速波形は、立ち上がり周波数を小さくした場合と違い継続時間は維持したまま、波形振幅（流速の最大値）が小さくなる。

[0070] 続いて、得られた主ジェットの流速波形のそれぞれについて運動量 P とエネルギー E とを求めた。

[0071] 図 9 は、得られた主ジェットの流速波形毎の運動量 P と、立ち上がり周波数及び電圧振幅との対応関係を示す図である。この図 9 は、縦軸を立ち上がり周波数とし、横軸を電圧振幅とする座標空間に得られた運動量 P をプロットし、運動量 P に関する等高線を描くことにより得られる。各等高線は、図 9 の左下が低くなっており、右上に向かうほど、所定量ずつ大きくなっている。

[0072] また、図 10 は、得られた主ジェットの流速波形毎のエネルギー E と、立ち上がり周波数及び電圧振幅との対応関係を示す図である。エネルギー E の場合も、図 10 に示すように縦軸を立ち上がり周波数とし、横軸を電圧振幅とする座標空間に得られたエネルギー E をプロットし、エネルギー E に関する等高線を描くことにより得られる。各等高線は、図 10 の左下が低くなっており、右上に向かうほど、所定量ずつ大きくなっている。

[0073] ここで、注目すべきなのは、運動量 P 及びエネルギー E のいずれの場合も、等高線の間隔が等間隔ではなく、しかも座標軸方向では運動量 P もエネルギー E も線形変化しないことである。例えば、図 9 に示す運動量 P と立ち上がり周波数及び電圧振幅との対応関係に着目し、電圧振幅を固定（例えば V_0 ）とし立ち上がり周波数を可変として圧電素子 45 の駆動電圧波形を制御する場合を考える。運動量 P の変化量を一定にしようとする場合、運動量指

示値 $P_{12} \sim P_{13}$ 間は立ち上がり周波数 $f_{120} \sim f_{130}$ 間の周波数変化が必要となり、運動量指示値 $P_{13} \sim P_{14}$ 間は立ち上がり周波数 $f_{130} \sim f_{140}$ 間の周波数変化が必要となる。しかし、立ち上がり周波数 $f_{120} \sim f_{130}$ 間の周波数間隔と、立ち上がり周波数 $f_{130} \sim f_{140}$ 間の周波数間隔とは異なる。この現象は運動量 P が大きくなるに従って顕著に表れる。したがって、電圧振幅を固定とし、立ち上がり周波数を一定量ずつ変化させる操作をする場合に、運動量 P が思ったように変化しないため、切削深さや切削体積が術者の意図通り・感覚通りに変化しないといった事態が起こり得るといえる。立ち上がり周波数を固定とし、電圧振幅を一定量ずつ変化させる操作をする場合にも同様のことがいえる。また、エネルギー E についても同様である。

[0074] そこで、本実施形態では、手術中に術者が行う操作を、レバースイッチ 813 を用いた運動量 P の増減操作又はエネルギー E の増減操作とする。そして、運動量 P の増減操作とする場合は、図 9 に示す座標空間内で基準線を定め、基準線が運動量 P の各等高線と交わる各交点における立ち上がり周波数及び電圧振幅を取得してテーブル化しておく。例えば、図 9 中に太線で示す直線を基準線とする場合であれば、各等高線との交点 A_{11} , A_{12} , $\dots$ における立ち上がり周波数及び電圧振幅を、該当する等高線の運動量 P と対応付けたデータテーブルを作成しておく。また、レバースイッチ 813 のレバー位置のそれぞれに、運動量 P の指示値（運動量指示値）として各等高線の運動量指示値 P_{11} , P_{12} , $\dots$ を順に割り当てておく。これによれば、レバースイッチ 813 を 1 目盛り動かした時の運動量 P の変化量を同程度とすることができる。

[0075] 一方、エネルギー E の増減操作とする場合は、図 10 に示す座標空間内で基準線を定め、基準線がエネルギー E の各等高線と交わる各交点における立ち上がり周波数及び電圧振幅を取得してテーブル化しておく。例えば、図 10 中に太線で示す直線を基準線とする場合であれば、各等高線との交点 A_{21} , A_{22} , $\dots$ における立ち上がり周波数及び電圧振幅を、該当する等

高線のエネルギーEと対応付けたデータテーブルを作成しておく。また、レバースイッチ813のレバー位置のそれぞれに、エネルギーEの指示値（エネルギー指示値）として各等高線のエネルギー指示値E21, E22, . . . を順に割り当てておく。これによれば、レバースイッチ813を1目盛り動かした時のエネルギーEの変化量を同程度とすることができる。

[0076] なお、基準線は直線である必要はない。例えば、図9, 10中に一点鎖線で示す曲線等を基準線としてもよい。

[0077] 以下、本実施形態の実施例として、術者がレバースイッチ813により行った運動量Pの増減操作に応じて圧電素子45の駆動電圧波形を制御する場合（実施例1）と、術者がレバースイッチ813により行ったエネルギーEの増減操作に応じて圧電素子45の駆動電圧波形を制御する場合（実施例2）とについて順に説明する。

[0078] （実施例1）

先ず、実施例1について説明する。図11は、実施例1における液体噴射制御装置の機能構成例を示すブロック図である。図11に示すように、液体噴射制御装置70-1は、操作部71と、表示部73と、制御部75と、記憶部77とを備える。

[0079] 操作部71は、ボタンスイッチやレバースイッチ、ダイヤルスイッチ、ペダルスイッチ等の各種スイッチ、タッチパネル、トラックパッド、マウス等の入力装置によって実現されるものであり、操作入力に応じた操作信号を制御部75に出力する。この操作部71は、図1のボタンスイッチ811によって実現される電源ボタン711と、図1のレバースイッチ813によって実現される運動量調整レバー713と、図1のレバースイッチ814によって実現される繰り返し周波数設定用レバー714と、図1のペダルスイッチ83によって実現される噴射スイッチ715とを含む。

[0080] 運動量調整レバー713は、運動量指示値を入力するためのものである。術者は、運動量調整レバー713すなわち図1のレバースイッチ813を操作し、「1」～「5」の目盛りが付されたレバー位置を選択して運動量Pを

５段階で増減操作する。各レバー位置には、対応する目盛りの数値に比例して一定量ずつ大きくなるように予め運動量指示値が割り当てられている。なお、レバー位置の段階数は５段階に限定されるものではなく、「大」「中」「小」の３段階調整とする等、適宜設定してよい。

[0081] 繰り返し周波数設定用レバー 7 1 4 は、繰り返し周波数を設定するためのものである。術者は、図 1 のレバースイッチ 8 1 4 を操作し、「1」～「5」の目盛が付されたレバー位置を選択することにより、圧電素子 4 5 に繰り返し印加される駆動電圧波形の繰り返し周波数（例えば数十～数百 Hz）を５段階で増減操作する。各レバー位置には、目盛の数値に対応した繰り返し周波数が割り当てられている。なお、レバー位置の段階数は５段階に限定されるものではなく、段数は適宜設定してよい。

[0082] 表示部 7 3 は、LCD (Liquid Crystal Display) や EL ディスプレイ (Electroluminescence display) 等の表示装置によって実現されるものであり、制御部 7 5 から入力される表示信号をもとに設定画面等の各種画面を表示する。例えば、図 1 の液晶モニター 8 2 がこれに該当する。

[0083] 制御部 7 5 は、CPU (Central Processing Unit) や DSP (Digital Signal Processor) 等のマイクロプロセッサ、ASIC (Application Specific Integrated Circuit) 等の制御装置及び演算装置によって実現されるものであり、液体噴射システム 1 の各部を統括的に制御する。この制御部 7 5 は、圧電素子制御部 7 5 1 と、ポンプ制御部 7 5 6 と、運動量表示制御部 7 5 7 とを備える。なお、制御部 7 5 を構成する各部は、専用のモジュール回路等のハードウェアで構成することとしてもよい。

[0084] 圧電素子制御部 7 5 1 は、運動量調整レバー 7 1 3 のレバー位置に従って立ち上がり周波数を設定する立ち上がり周波数設定部 7 5 2 と、運動量調整レバー 7 1 3 のレバー位置に従って電圧振幅を設定する電圧振幅設定部 7 5 3 と、繰り返し周波数設定用レバー 7 1 4 のレバー位置によって繰り返し周波数を設定する繰り返し周波数設定部 7 5 4 とを備える。この圧電素子制御部 7 5 1 は、駆動電圧波形を生成し、生成した波形の駆動信号を圧電素子 4

５に印加するが、その際、立ち上がり周波数設定部 ７５２が設定した立ち上がり周波数と、電圧振幅設定部 ７５３が設定した電圧振幅とに従って駆動電圧波形を生成する。

[0085] ポンプ制御部 ７５６は、送液ポンプ ２０に駆動信号を出力して送液ポンプ ２０を駆動する。運動量表示制御部 ７５７は、選択中の運動量調整レバー ７１３のレバー位置に割り当てられた運動量指示値（すなわち、運動量 P の現在値）を表示部 ７３に表示する制御を行う。

[0086] 記憶部 ７７は、ROM（Read Only Memory）やフラッシュ ROM、RAM（Random Access Memory）等の各種 IC（Integrated Circuit）メモリーやハードディスク等の記憶媒体により実現されるものである。記憶部 ７７には、液体噴射システム １を動作させ、この液体噴射システム １が備える種々の機能を実現するためのプログラムや、このプログラムの実行中に使用されるデータ等が事前に記憶され、或いは処理の都度一時的に記憶される。

[0087] また、記憶部 ７７には、運動量変換テーブル ７７１が記憶される。この運動量変換テーブル ７７１は、図 ９を参照して上記した運動量 P と立ち上がり周波数及び電圧振幅との対応関係を設定したデータテーブルであり、図 １２に一例を示す。

[0088] 図 １２は、運動量変換テーブル ７７１のデータ構成例を示す図である。図 １２に示すように、運動量変換テーブル ７７１には、レバー位置（目盛り）と対応付けて、対応するレバー位置に割り当てられた運動量指示値と、立ち上がり周波数と、電圧振幅とが設定される。運動量調整レバー ７１３が操作された場合には、立ち上がり周波数設定部 ７５２は、選択されたレバー位置の立ち上がり周波数を運動量変換テーブル ７７１から読み出して設定する。また、電圧振幅設定部 ７５３は、選択されたレバー位置の電圧振幅を運動量変換テーブル ７７１から読み出して設定する。これにより、例えば、運動量調整レバー ７１３のレバー位置を「３」の目盛りに合わせた場合、運動量 P がレバー位置「３」に割り当てられた運動量指示値 P １３となるような駆動電圧波形で圧電素子 ４５が制御される。

[0089] なお、図 1 2 の運動量変換テーブル 7 7 1 のデータ構成例は一例であり、上述した通り図 9 中の太線や一点鎖線で示す直線あるいは曲線以外にも、所望の直線あるいは曲線を基準線とすることもできる。すなわち、前記所望の基準線と、運動量指示値 P_{11} 、 P_{12} 、 $\dots$ の各等高線との交点における立ち上がり周波数及び電圧振幅を、運動量変換テーブル 7 7 1 に設定しておくこととしてもよい。

[0090] また、電圧振幅を一定とし、立ち上がり周波数を変更することで、運動量指示値 P_{11} 、 P_{12} 、 $\dots$ を得る運動量変換テーブル 7 7 1 を設定しておくこととしてもよい。例えば、図 1 3 に示すように、電圧振幅を V_1 で一定とし、立ち上がり周波数が運動量指示値 P_{11} 、 P_{12} 、 $\dots$ となる立ち上がり周波数 f_{111} 、 f_{121} 、 $\dots$ を運動量変換テーブル 7 7 1 に設定することができる。運動量変換テーブル 7 7 1 に従い、立ち上がり周波数を変更・設定することで、運動量 P を指示された値に変更・設定することもできる。

[0091] また、立ち上がり周波数を一定とし、電圧振幅を変更することで、運動量指示値 P_{11} 、 P_{12} 、 $\dots$ を得る運動量変換テーブル 7 7 1 を設定しておくこととしてもよい。例えば、図 1 3 に示すように、立ち上がり周波数を f_1 で一定とし、電圧振幅が運動量指示値 P_{11} 、 P_{12} 、 $\dots$ となる電圧振幅 V_{111} 、 V_{121} 、 $\dots$ を運動量変換テーブル 7 7 1 に設定することができる。運動量変換テーブル 7 7 1 に従い、電圧振幅を変更・設定することで、運動量 P を指示された値に変更・設定することもできる。

[0092] なお、図 1 3 における運動量 P と、立ち上がり周波数及び電圧振幅との対応関係は図 9 と同じである。

[0093] [処理の流れ]

図 1 4 は、パルス液体ジェットの噴射に際して制御部 7 5 が行う処理の流れを示すフローチャートである。図 1 4 に示すように、電源ボタン 7 1 1 が操作されて液体噴射制御装置 7 0 - 1 の電源が投入され、噴射スイッチ 7 1 5 によってパルス液体ジェットの噴射開始が指示されると、ポンプ制御部 7

５６が送液ポンプ２０を駆動し、圧電素子制御部７５１が圧電素子４５を駆動してパルス液体ジェットの噴射を開始する（ステップＳ１１１）。このとき、立ち上がり周波数設定部７５２は、選択中の運動量調整レバー７１３のレバー位置を取得して立ち上がり周波数を運動量変換テーブル７７１から読み出し、立ち上がり周波数を設定する。また、電圧振幅設定部７５３は、取得したレバー位置の電圧振幅を運動量変換テーブル７７１から読み出し、電圧振幅を設定する。更に、繰り返し周波数設定部７５４は、選択中の繰り返し周波数設定用レバー７１４のレバー位置を取得して繰り返し周波数を設定する。そして、圧電素子制御部７５１は、それら立ち上がり周波数、電圧振幅、及び繰り返し周波数に従って駆動電圧波形を生成し、生成した駆動電圧波形の駆動信号を圧電素子４５に印加する。

[0094] また、運動量表示制御部７５７が、取得したレバー位置に割り当てられた運動量指示値を運動量変換テーブル７７１から読み出し、表示部７３に表示する制御を行う（ステップＳ１１３）。

[0095] その後は、制御部７５は、噴射スイッチ７１５の操作によってパルス液体ジェットの噴射を終了すると判定するまでの間（ステップＳ１２５：ＮＯ）、ステップＳ１１５において運動量調整レバー７１３の操作を監視する。そして、運動量調整レバー７１３が操作された場合には（ステップＳ１１５：ＹＥＳ）、立ち上がり周波数設定部７５２が、選択されたレバー位置の立ち上がり周波数を運動量変換テーブル７７１から読み出し、立ち上がり周波数の設定を更新するとともに（ステップＳ１１７）、電圧振幅設定部７５３が、選択されたレバー位置の電圧振幅を運動量変換テーブル７７１から読み出し、電圧振幅の設定を更新する（ステップＳ１１９）。その後、圧電素子制御部７５１は、設定された繰り返し周波数、立ち上がり周波数及び電圧振幅に従って駆動電圧波形を生成し、生成した駆動電圧波形の駆動信号を圧電素子４５に印加する（ステップＳ１２１）。

[0096] また、運動量表示制御部７５７が、選択されたレバー位置に割り当てられた運動量指示値を運動量変換テーブル７７１から読み出し、表示部７３の表

示を更新する制御を行う（ステップS 1 2 3）。図 1 5 は、ステップS 1 1 3 で表示され、ステップS 1 2 3 で更新表示される表示画面例を示す図である。この表示画面により、手術中、術者は、液体噴射開口部 6 1 から噴射されるパルス液体ジェットに係る運動量 P の現在値を把握しながら作業することができる。なお、運動量指示値の表示は、図 1 5 に示した数値の表示によって行う場合に限らず、メーター表示によって行ってもよいし、又はパルス液体ジェットの噴射開始からの増減操作に伴う運動量 P の変化をグラフ表示することとしてもよい。

[0097] また、運動量表示制御部 7 5 7 は、運動量 P の指示値を表示部 7 3 に表示させるだけでなく、運動量 P の指示値及び繰り返し周波数を表示させても良い。更に、運動量 P の指示値及び繰り返し周波数に加え、現在の立ち上がり周波数（又は立ち上がり時間）や電圧振幅のうち少なくとも一方を併せて表示させてもよい。

[0098] この実施例 1 によれば、予め設定される運動量 P と立ち上がり周波数及び電圧振幅との対応関係に基づき、操作感覚通りの切削深さ及び切削体積を達成するのに最適な立ち上がり周波数及び電圧振幅に従って圧電素子 4 5 の駆動電圧波形を制御することができる。例えば、運動量調整レバー 7 1 3 を 1 目盛り動かせば、目盛り間隔に相当する分の運動量 P が変化するため、切削深さ及び切削体積をユーザーの感覚・意図に見合った設定とすることができ、使い勝手を向上させることができる。

[0099] （実施例 2）

次に、実施例 2 について説明する。実施例 1 と同様の部分には同一の符号を付す。図 1 6 は、実施例 2 における液体噴射制御装置の機能構成例を示すブロック図である。図 1 6 に示すように、液体噴射制御装置 7 0 - 2 は、操作部 7 1 a と、表示部 7 3 と、制御部 7 5 a と、記憶部 7 7 a とを備える。

[0100] 操作部 7 1 a は、図 1 のレバースイッチ 8 1 3 によって実現されるエネルギー調整レバー 7 1 6 a を含む。このエネルギー調整レバー 7 1 6 a は、エネルギー指示値を入力するためのものである。術者は、エネルギー調整レバ

ー 7 1 6 a すなわち図 1 のレバースイッチ 8 1 3 を操作し、「1」～「5」の目盛りが付されたレバー位置を選択してエネルギー E を 5 段階で増減操作する。各レバー位置には、対応する目盛りの数値に比例して一定量ずつ大きくなるように予めエネルギー指示値が割り当てられている。なお、レバー位置の段階数は 5 段階に限定されるものではなく、「大」「中」「小」の 3 段階調整とする等、適宜設定してよい。

[0101] 制御部 7 5 a は、圧電素子制御部 7 5 1 a と、ポンプ制御部 7 5 6 と、エネルギー表示制御部 7 5 8 a とを備える。

[0102] 圧電素子制御部 7 5 1 a は、エネルギー調整レバー 7 1 6 a のレバー位置に従って立ち上がり周波数を設定する周波数設定部 7 5 2 a と、エネルギー調整レバー 7 1 6 a のレバー位置に従って電圧振幅を設定する電圧振幅設定部 7 5 3 a と、繰り返し周波数設定用レバー 7 1 4 のレバー位置に従って繰り返し周波数を設定する繰り返し周波数設定部 7 5 4 a とを備える。この圧電素子制御部 7 5 1 a は、駆動電圧波形を生成し、生成した波形の駆動信号を圧電素子 4 5 に印加するが、その際、周波数設定部 7 5 2 a が設定した立ち上がり周波数と、電圧振幅設定部 7 5 3 a が設定した電圧振幅とに従って駆動電圧波形を生成する。

[0103] エネルギー表示制御部 7 5 8 a は、選択中のエネルギー調整レバー 7 1 6 a のレバー位置に割り当てられたエネルギー指示値を表示部 7 3 に表示する制御を行う。

なお、図 1 9 に示されるエネルギー表示制御部 7 5 8 a は、エネルギー E の指示値を表示部 7 3 に表示させるだけでなく、繰り返し周波数を表示させても良い。更には、現在の立ち上がり周波数（又は立ち上がり時間）や電圧振幅のうち少なくとも一方を併せて表示させてもよい。

[0104] 記憶部 7 7 a には、エネルギー変換テーブル 7 7 2 a が記憶される。このエネルギー変換テーブル 7 7 2 a は、図 1 0 を参照して上記したエネルギー E と立ち上がり周波数及び電圧振幅との対応関係を設定したデータテーブルであり、図 1 7 に一例を示す。

[0105] 図17は、エネルギー変換テーブル772aのデータ構成例を示す図である。図17に示すように、エネルギー変換テーブル772aには、レバー位置（目盛り）と対応付けて、対応するレバー位置に割り当てられたエネルギー指示値と、立ち上がり周波数と、電圧振幅とが設定される。エネルギー調整レバー716aが操作された場合には、周波数設定部752aは、選択されたレバー位置の立ち上がり周波数をエネルギー変換テーブル772aから読み出して設定する。また、電圧振幅設定部753aは、選択されたレバー位置の電圧振幅をエネルギー変換テーブル772aから読み出して設定する。これにより、例えば、エネルギー調整レバー716aのレバー位置を「3」の目盛りに合わせた場合、エネルギーEがレバー位置「3」に割り当てられたエネルギー指示値E23となるような駆動電圧波形で圧電素子45が制御される。

[0106] なお、図17のエネルギー変換テーブル772aのデータ構成例は一例であり、上述した通り、図10中の太線や一点鎖線で示す直線あるいは曲線以外にも、所望の直線あるいは曲線を基準線とすることもできる。すなわち、前記所望の基準線と、エネルギー指示値E21, E22, ...の各等高線との交点における立ち上がり周波数及び電圧振幅を、エネルギー変換テーブル772aに設定しておくこととしてもよい。

[0107] また、電圧振幅を一定とし、立ち上がり周波数を変更することで、エネルギー指示値E21, E22, ...を得るエネルギー変換テーブル772aを設定することとしてもよいし、逆に、立ち上がり周波数を一定とし、電圧振幅を変更することで、エネルギー指示値E21, E22, ...を得るエネルギー変換テーブル772aを設定することとしてもよい。具体的には、例えば、図18に示すように、電圧振幅をV2で一定とし、立ち上がり周波数がエネルギー指示値E21, 22, ...となる立ち上がり周波数f212, f222, ...をエネルギー変換テーブル772aに設定することもできるし、立ち上がり周波数をf2で一定とし、電圧振幅がエネルギー指示値E21, 22, ...となる電圧振幅V212, V222, ...をエネ

ルギー変換テーブル 772a に設定することもできる。

[0108] なお、図 18 におけるエネルギー E と、立ち上がり周波数及び電圧振幅との対応関係は図 10 と同じである。

[0109] この実施例 2 によれば、予め設定されるエネルギー E と立ち上がり周波数及び電圧振幅との対応関係に基づき、操作感覚通りの切削深さ及び切削体積を達成するのに最適な立ち上がり周波数及び電圧振幅に従って圧電素子 45 の駆動電圧波形を制御することができる。例えば、エネルギー調整レバー 716a を 1 目盛り動かせば、目盛り間隔に相当する分のエネルギー E が変化するため、切削深さ及び切削体積をユーザーの感覚・意図に見合った設定とすることができ、使い勝手を向上させることができる。

[0110] なお、上記の実施形態では、レバースイッチ 813（運動量調整レバー 713）によって運動量 P を段階的に増減操作する場合や、レバースイッチ 813（エネルギー調整レバー 716a）によってエネルギー E を段階的に増減操作する場合を説明した。これに対し、レバースイッチ 813 は、目盛りの付されたレバー位置間においても運動量指示値やエネルギー指示値を無段階に調整可能なもので構成してもよい。

[0111] 具体的な処理としては、例えば運動量 P に着目すると、目盛り間のレバー位置が選択された場合には、図 12 に示した運動量変換テーブル 771 を参照して、選択された運動量 P の前後の目盛りのレバー位置と対応付けられた運動量指示値、立ち上がり周波数、及び電圧振幅を読み出す。そして、読み出された立ち上がり周波数、及び電圧振幅、それぞれを線形補間して、現在の選択された運動量 P に対応した立ち上がり周波数及び電圧振幅を特定する。

[0112] また、選択された運動量 P の前後だけでなく、更に前後の目盛りのレバー位置（運動量指示値）に対応した立ち上がり周波数及び電圧振幅を読み出し、読み出された立ち上がり周波数、及び電圧振幅、それぞれを多項式補間等をして、現在の選択された運動量 P に対応した、立ち上がり周波数、及び電圧振幅を特定してもよい。

- [0113] 或いは、図 9 の太線や一点鎖線で示した基準線は、実際は、電圧振幅と立ち上がり周波数と運動量とを座標軸とした空間内の曲線として表現される。この曲線に対応する方程式を予め求めておき、この方程式から、選択されたレバー位置の運動量 P に対応する立ち上がり周波数及び電圧振幅を特定してもよい。
- [0114] また、例えばエネルギー E に着目すると、目盛り間のレバー位置が選択された場合には、図 17 に示したエネルギー変換テーブル 772a を参照して、選択されたエネルギー E の前後の目盛りのレバー位置（エネルギー指示値）に対応した、立ち上がり周波数、及び電圧振幅を読み出す。そして、読み出された立ち上がり周波数、及び電圧振幅、それぞれを線形補間して、現在の選択されたエネルギー E に対応した立ち上がり周波数及び電圧振幅を特定する。
- [0115] また、選択されたエネルギー E の前後だけでなく、更に前後の目盛りのレバー位置（エネルギー指示値）に対応した立ち上がり周波数及び電圧振幅を読み出し、読み出された立ち上がり周波数、及び電圧振幅、それぞれを多項式補間等をして、現在の選択されたエネルギー E に対応した、立ち上がり周波数、及び電圧振幅、を特定してもよい。
- [0116] 或いは、図 10 の太線や一点鎖線で示した基準線は、実際は、電圧振幅と立ち上がり周波数とエネルギーとを座標軸とした空間内の曲線として表現される。この曲線に対応する方程式を予め求めておき、この方程式から、選択されたレバー位置のエネルギー E に対応する、立ち上がり周波数および電圧振幅を特定してもよい。
- [0117] また、液体噴射装置 30 の種類毎に運動量変換テーブル 771 やエネルギー変換テーブル 772a を用意し、記憶部 77, 77a に記憶させておき、液体噴射装置 30 の種類に応じた運動量変換テーブル 771 やエネルギー変換テーブル 772a 等を選択的に用いるようにしてもよい。例えば、液体噴射開口部 61 およびノズル 60 の内径および長さの違いや、噴射管 50 の内径および長さの違い、圧電素子 45 の特性違い、圧力室 44 の容積の違い等

の、パルス液体ジェットの噴射に関わる構造が異なる液体噴射装置 30 の種類毎に用意しておくことが好適である。切削対象物、例えば外科手術用の用途に用いる場合であれば患部の部位により、食品加工用の用途に用いる場合であれば食品の種類により、ゲル材料、ゴムやプラスチックなどの樹脂材料の切削加工用途であればそれぞれの材料の種類によって、すなわち切削加工する対象素材の形状、密度、破壊閾値、弾性率や粘性率などによって、液体噴射装置 30 を種類違いのものに交換する場合があるからである。

[0118] また、液体噴射装置 30 に当該装置の種類を示す情報を記憶しておき、液体噴射制御装置 70 が、接続された液体噴射装置 30 から当該情報を読み出して、運動量変換テーブル 771 やエネルギー変換テーブル 772 a を自動的に切り替えることとすると更に好適である。

[0119] また、上記の実施形態では、立ち上がりに係る指標値として立ち上がり周波数を例示した。これに対し、立ち上がり周波数に代えて、立ち上がり時間 T_{pr} を用いるようにしてもよい。

[0120] また、運動量調整レバー 713 やエネルギー調整レバー 716 a は、レバースイッチ 813 によって実現する場合に限らず、例えば、ダイヤルスイッチ、ボタンスイッチなどにより実現してもよい。また、表示部 73 をタッチパネルとしてソフトウェアによるキースイッチなどにより実現してもよい。この場合、ユーザーは、表示部 73 であるタッチパネルをタッチ操作して、運動量やエネルギーの指示値を入力操作する。

[0121] また、上記の実施形態では、圧電素子制御部 751, 751 a が、設定された繰り返し周波数、立ち上がり周波数及び電圧振幅に従って駆動電圧波形を生成することとして説明した（例えば、図 14 のステップ S121）。これを、繰り返し周波数、立ち上がり周波数及び電圧振幅の取り得る組み合わせ 1 つ 1 つについて、1 周期分の駆動電圧波形を予め生成し、当該組み合わせと対応付けた波形データとして記憶部 77, 77 a に格納しておく。そして、設定された繰り返し周波数、立ち上がり周波数及び電圧振幅の組み合わせに対応する波形データを読み出し、読み出した波形データに従った駆動信

号を圧電素子45に印加することとしてもよい。

[0122] また、上記の実施形態では、運動量が2 n N s以上2 m N s以下、又は運動エネルギーが2 n J以上200 m J以下のパルス液体ジェットを噴射する構成を開示したが、より好ましくは、運動量が20 n N s以上200 μ N s以下、又は運動エネルギーが40 n J以上10 m J以下のパルス液体ジェットを噴射する構成が好ましい。こうすることで、生体組織やゲル材料を好適に切削することができる。

符号の説明

[0123] 1 液体噴射システム、10 容器、20 送液ポンプ、30 液体噴射装置、40 パルス流発生部、44 圧力室、45 圧電素子、46 ダイアフラム、50 噴射管、60 ノズル、61 液体噴射開口部、70, 70-1, 70-2 液体噴射制御装置、71, 71a 操作部、713 運動量調整レバー、716a エネルギー調整レバー、73 表示部、75, 75a 制御部、751, 751a 圧電素子制御部、752, 752a 周波数設定部、753, 753a 電圧振幅設定部、756 ポンプ制御部、757 運動量表示制御部、758a エネルギー表示制御部、77, 77a 記憶部、771 運動量変換テーブル、772a エネルギー変換テーブル

請求の範囲

- [請求項1] 圧電素子を用いて液体をパルス状に噴射する液体噴射装置に電氣的に接続され該液体噴射装置を制御することが可能な液体噴射制御装置であって、
- 前記液体噴射装置から噴射されるパルス液体ジェットに係る運動量又は運動エネルギーの指示値を入力するための操作部と、
- 前記指示値となるように、前記圧電素子に印加する駆動電圧波形の振幅及び当該駆動電圧波形の立ち上がりに係る指標値を制御する制御部と、
- を備えた液体噴射制御装置。
- [請求項2] 圧電素子を用いて液体をパルス状に噴射する液体噴射装置に電氣的に接続され該液体噴射装置を制御することが可能な液体噴射制御装置であって、
- 前記液体噴射装置から噴射されるパルス液体ジェットに係る運動量又は運動エネルギーの指示値を入力するための操作部と、
- 前記指示値となるように、前記圧電素子に印加する駆動電圧波形の振幅又は当該駆動電圧波形の立ち上がりに係る指標値を制御する制御部と、
- を備えた液体噴射制御装置。
- [請求項3] 請求項 1 又は 2 において、
- 前記パルス液体ジェットに係る運動量又は運動エネルギーの前記指示値を表示させる制御を行う表示制御部、
- を更に備えた液体噴射制御装置。
- [請求項4] 請求項 1 ～ 3 の何れか一項において、
- 前記パルス液体ジェットの運動量が 2 n N s （ナノニュートン秒）以上 2 m N s （ミリニュートン秒）以下、又は運動エネルギーが 2 n J （ナノジュール）以上 200 m J （ミリジュール）以下の前記液体噴射装置を制御する、

液体噴射制御装置。

[請求項5]

請求項 1 ～ 4 の何れか一項において、

前記パルス液体ジェットによって生体組織を切削するための前記液体噴射装置を制御する、

液体噴射制御装置。

[請求項6]

請求項 1 ～ 5 の何れか一項において、

前記立ち上がりに係る指標値は、前記駆動電圧波形の立ち上がりに係る時間、又は周波数によって表される、

液体噴射制御装置。

[請求項7]

請求項 1 ～ 6 の何れか一項に記載の液体噴射制御装置と、液体噴射装置と、送液ポンプ装置とを具備した液体噴射システム。

[請求項8]

圧電素子を用いて液体をパルス状に噴射する液体噴射装置の制御方法であって、

前記液体噴射装置から噴射されるパルス液体ジェットに係る運動量又は運動エネルギーの指示値を入力することと、

前記指示値となるように、前記圧電素子に印加する駆動電圧波形の振幅及び当該駆動電圧波形の立ち上がりに係る指標値を制御することと、

を含む制御方法。

[請求項9]

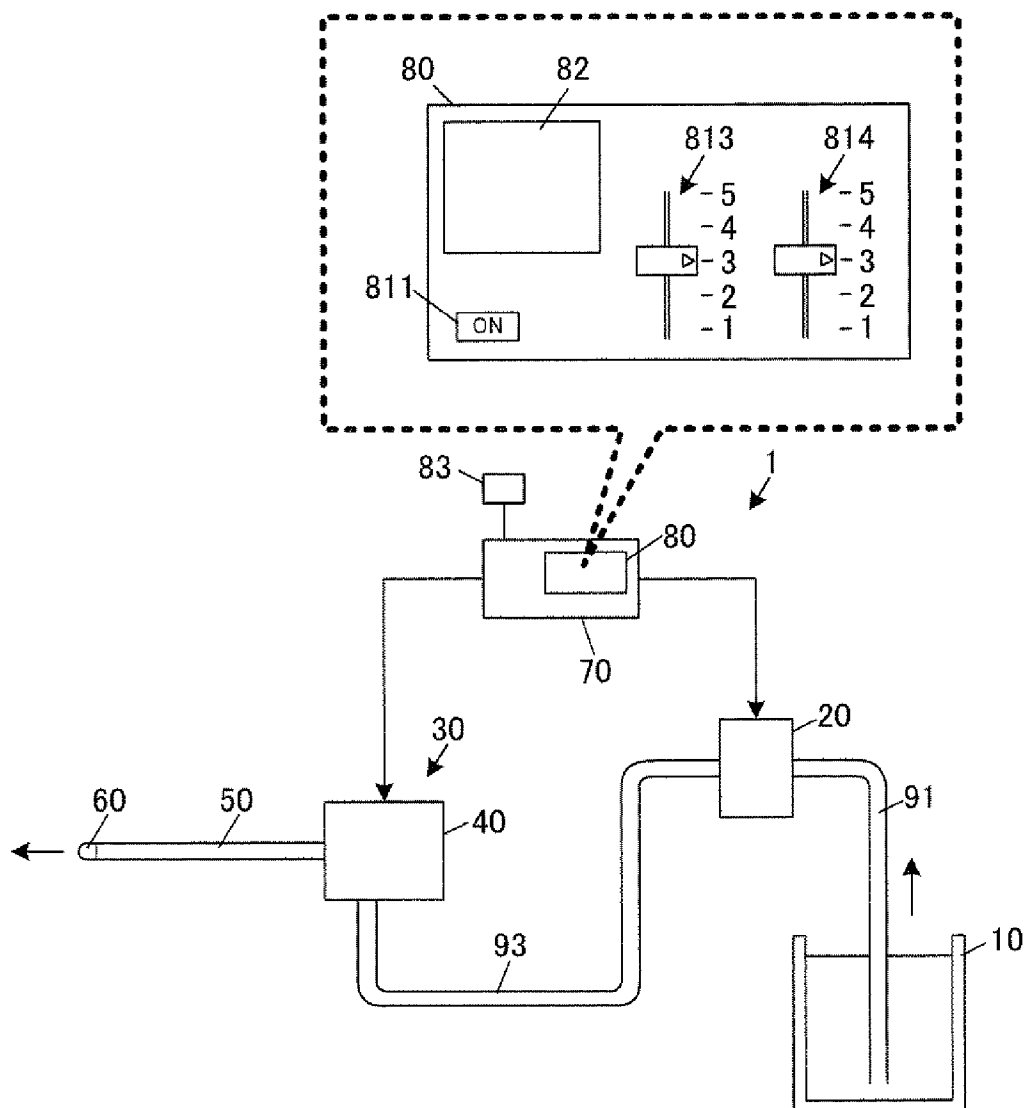
圧電素子を用いて液体をパルス状に噴射する液体噴射装置の制御方法であって、

前記液体噴射装置から噴射されるパルス液体ジェットに係る運動量又は運動エネルギーの指示値を入力することと、

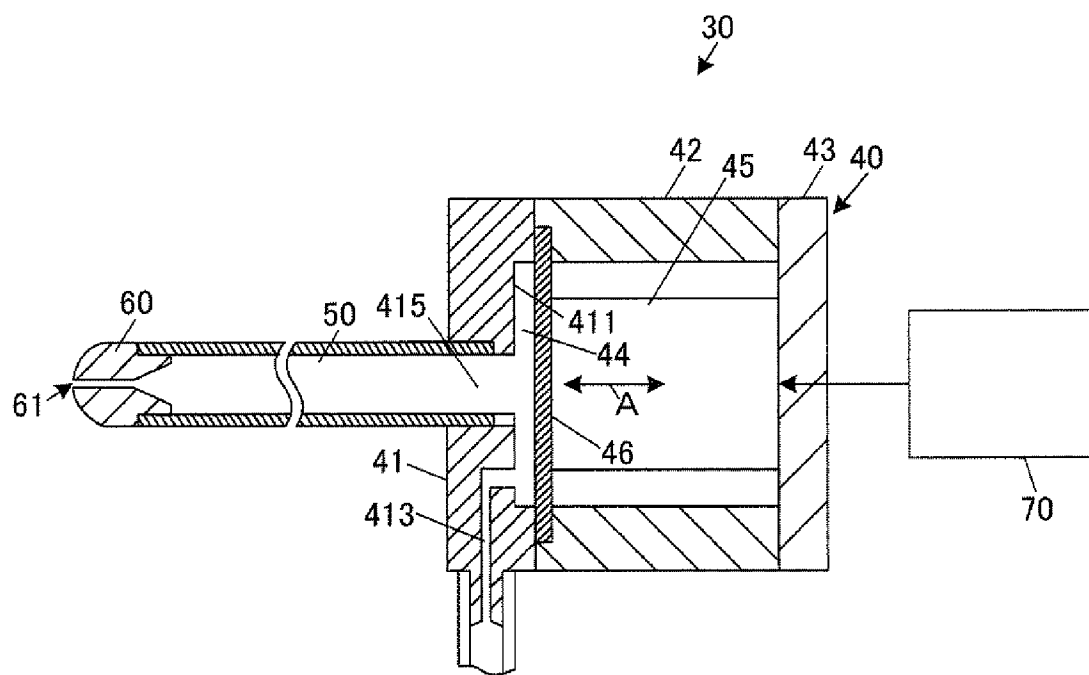
前記指示値となるように、前記圧電素子に印加する駆動電圧波形の振幅又は当該駆動電圧波形の立ち上がりに係る指標値を制御することと、

を含む制御方法。

[図1]

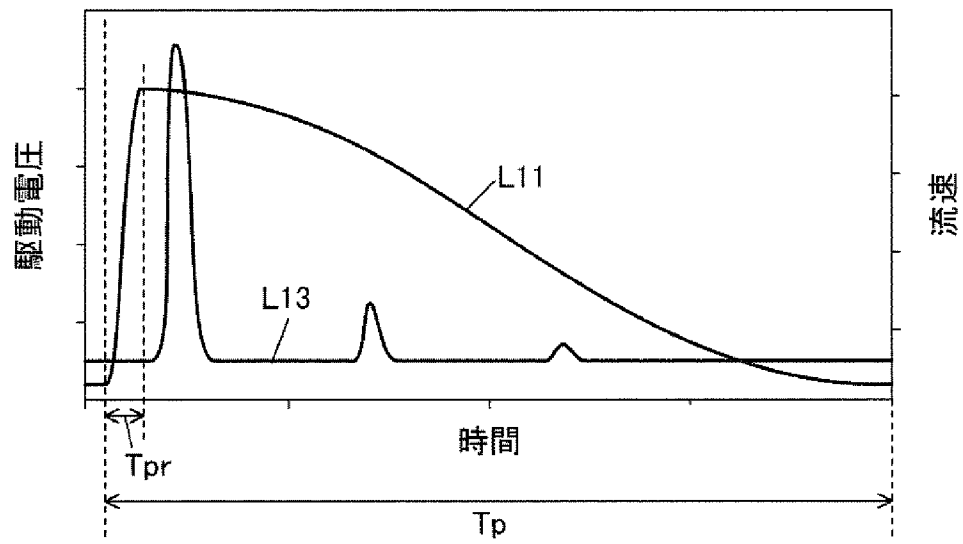


[図2]

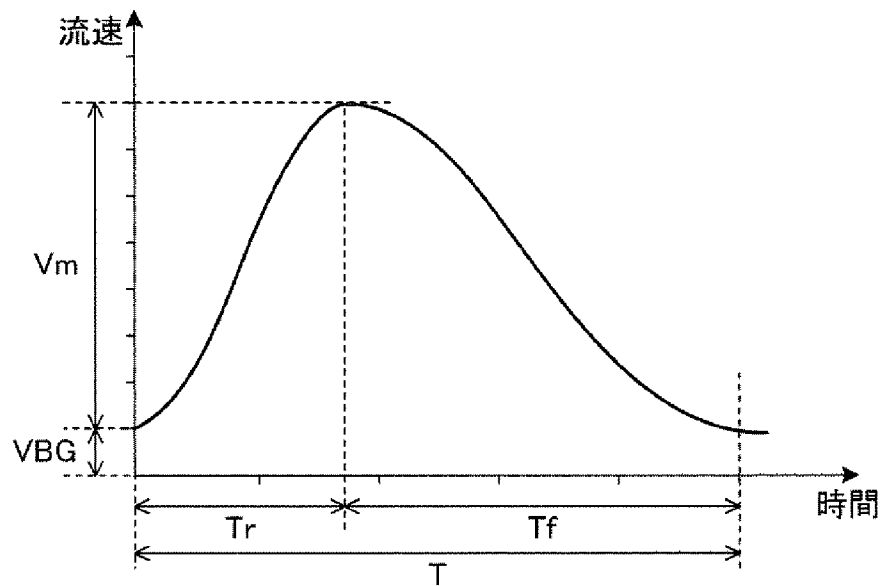


[図3]

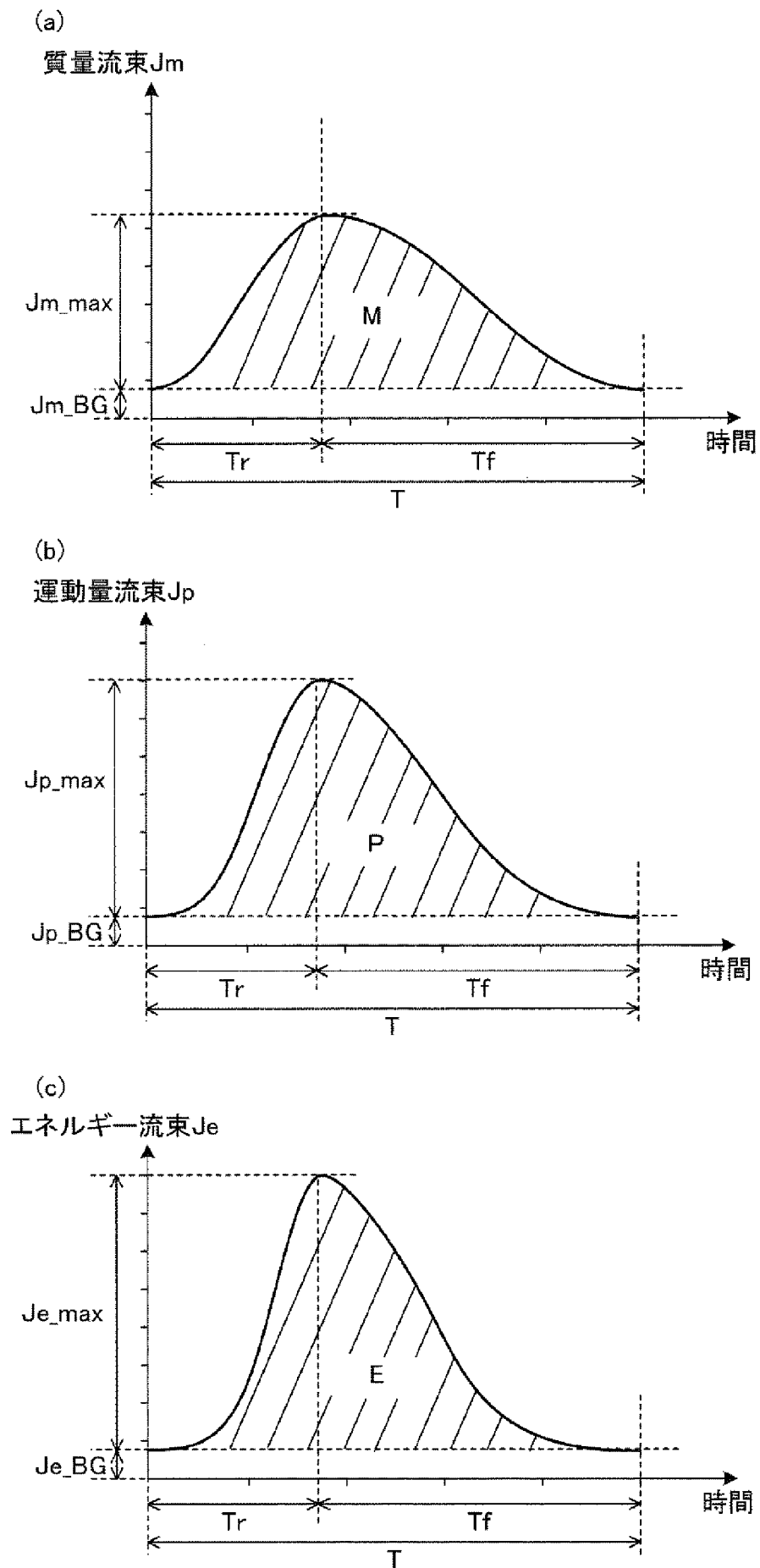
(a)



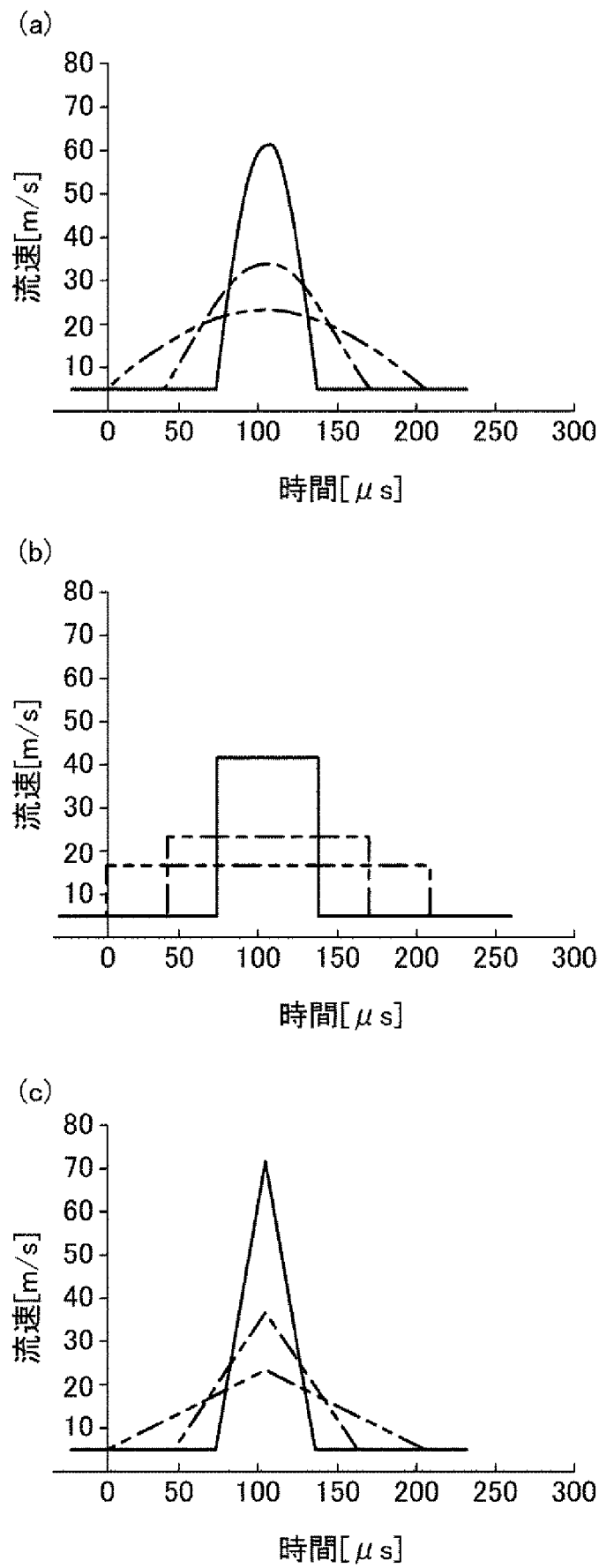
(b)



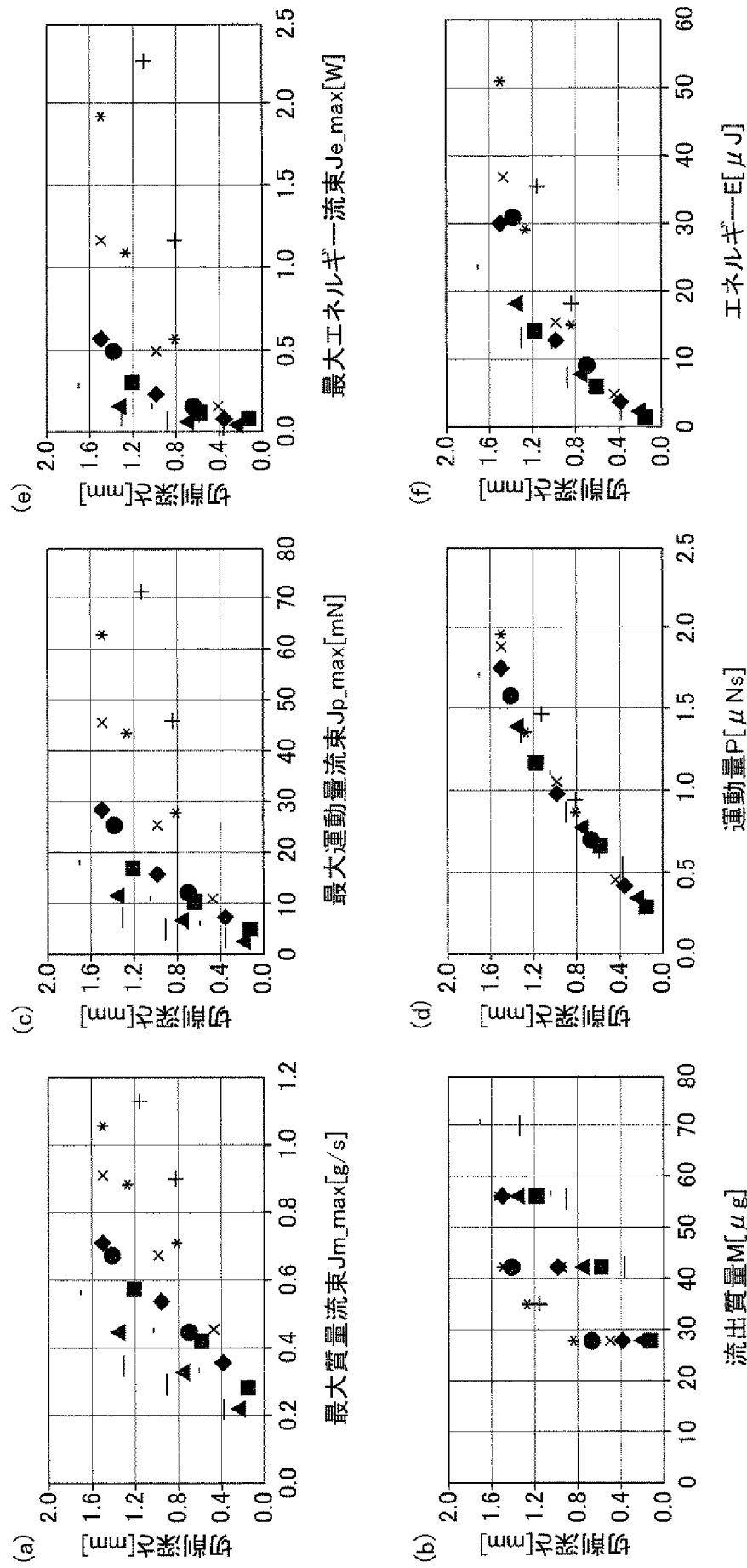
[図4]



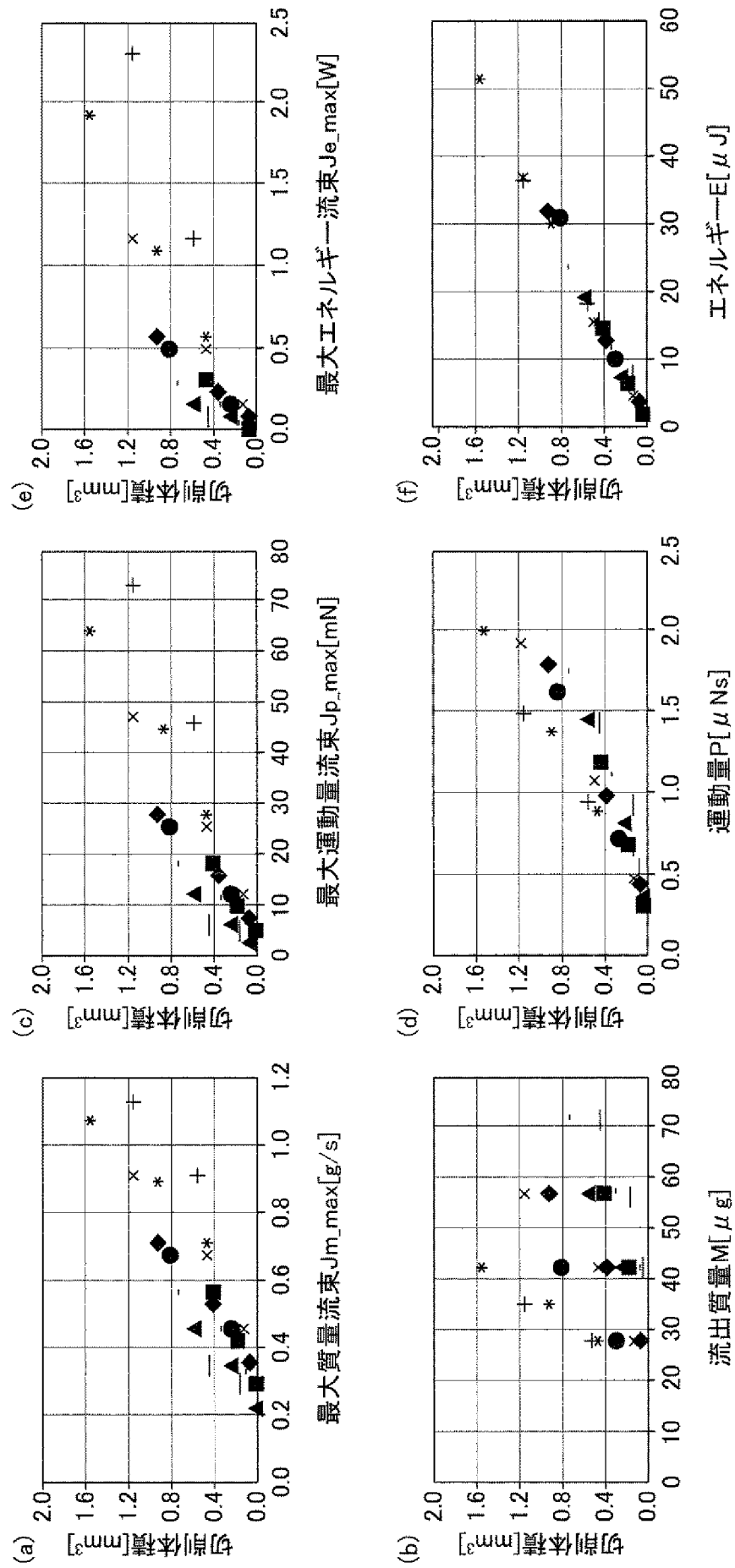
[図5]



[図6]

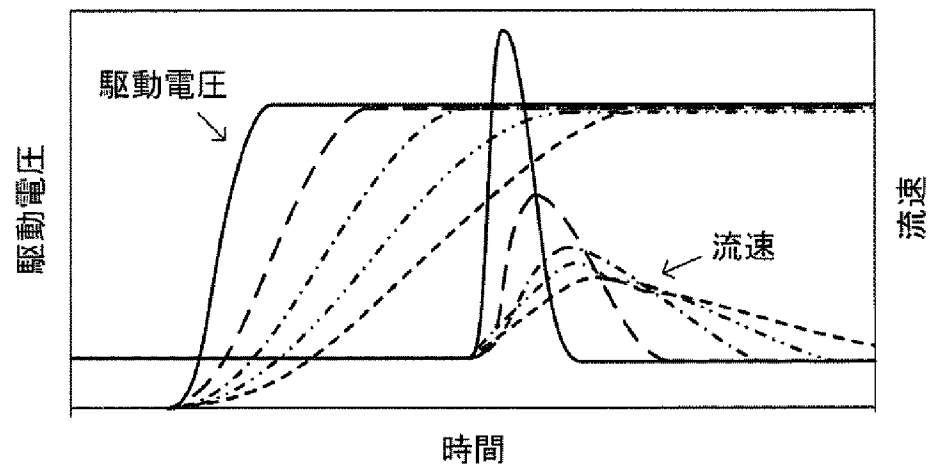


[図7]

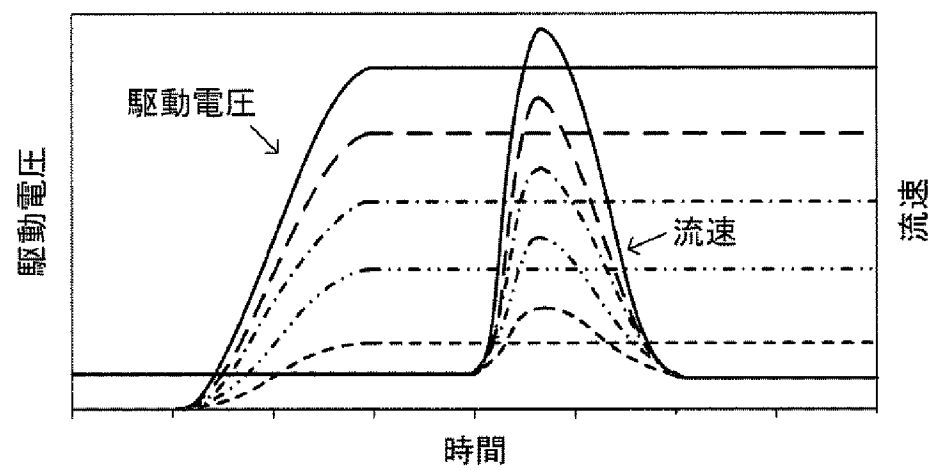


[図8]

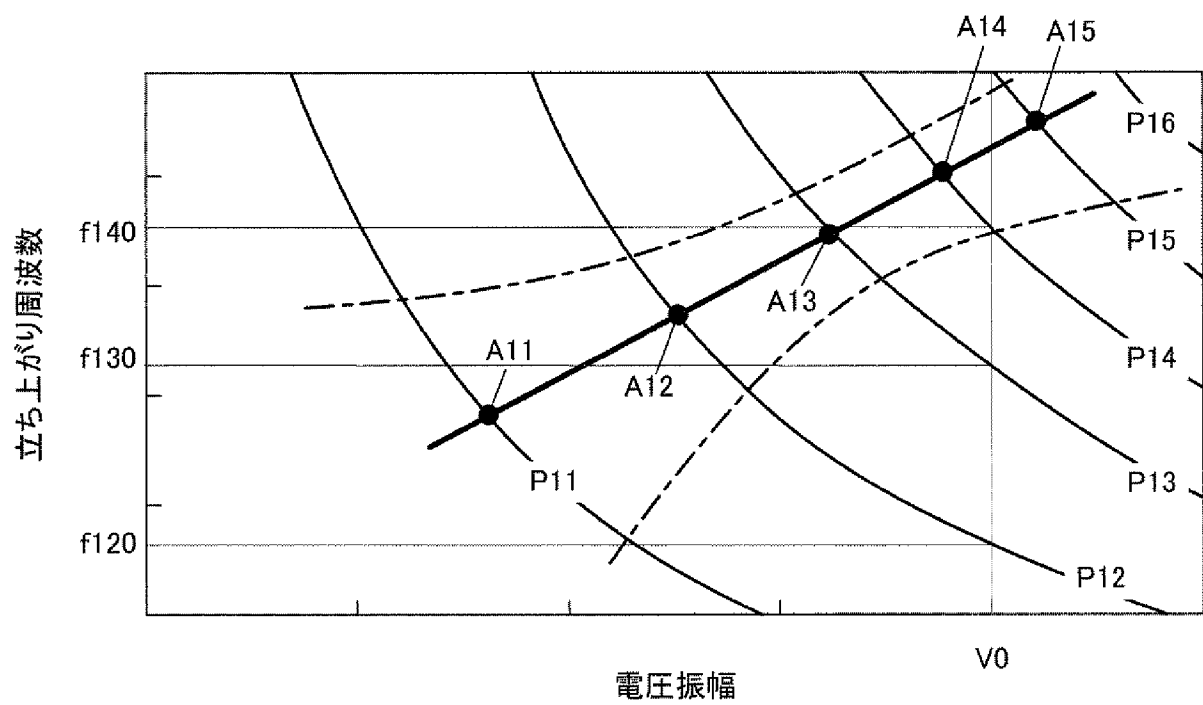
(a)



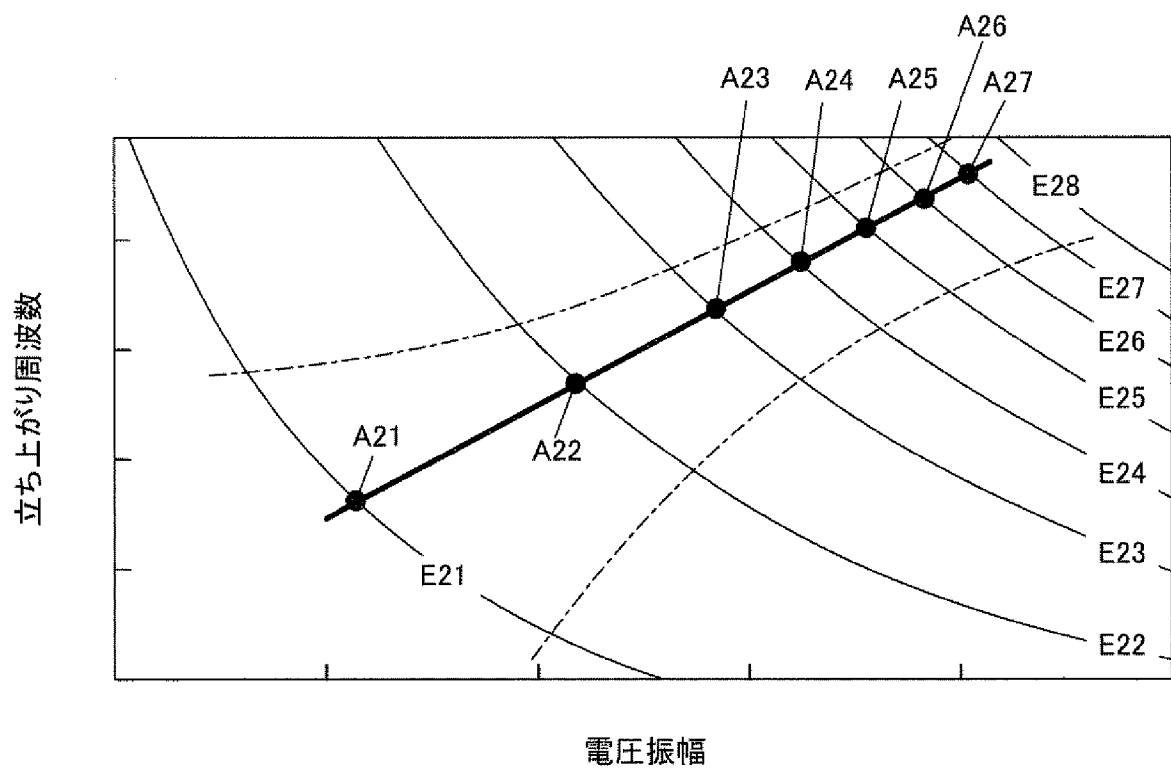
(b)



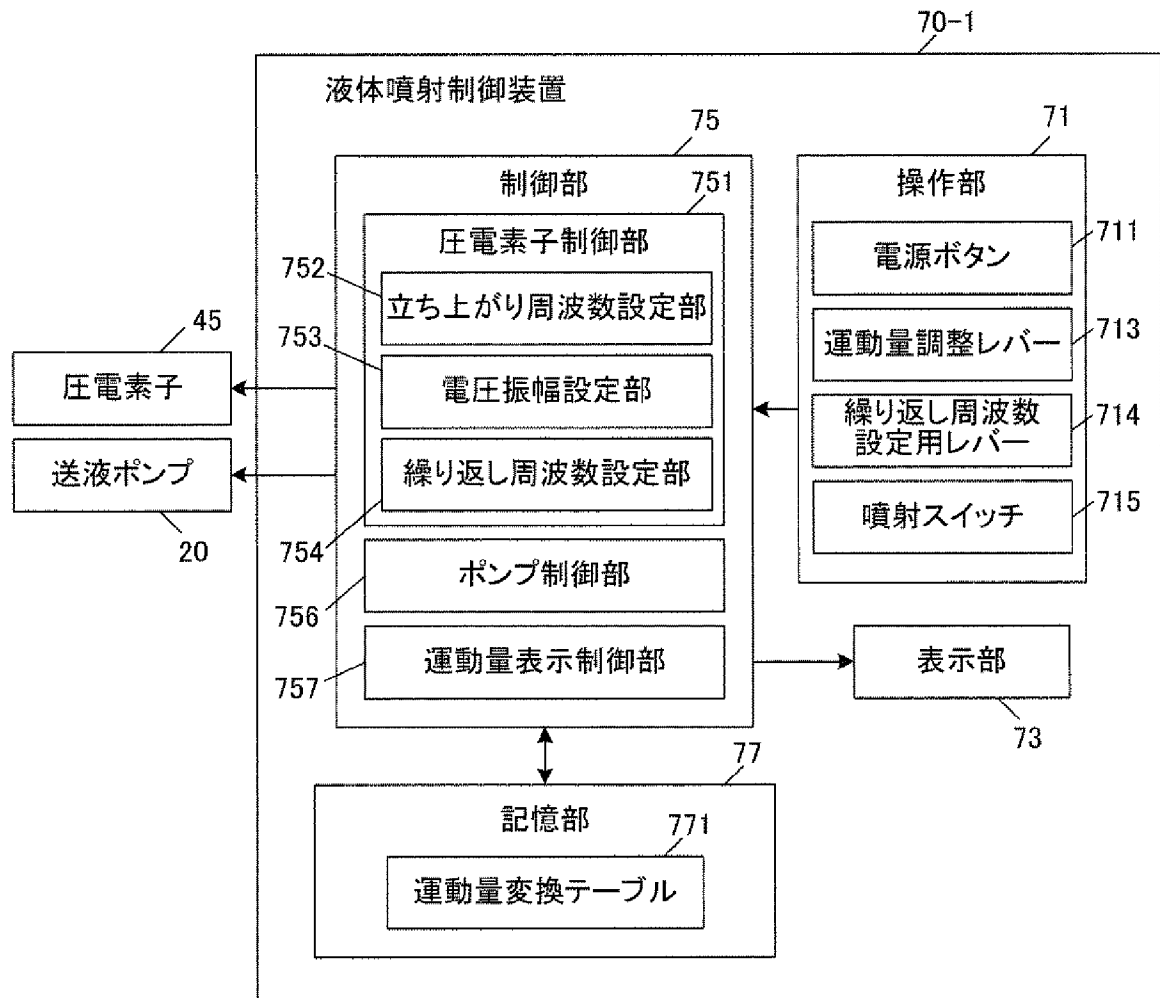
[図9]



[図10]



[図11]

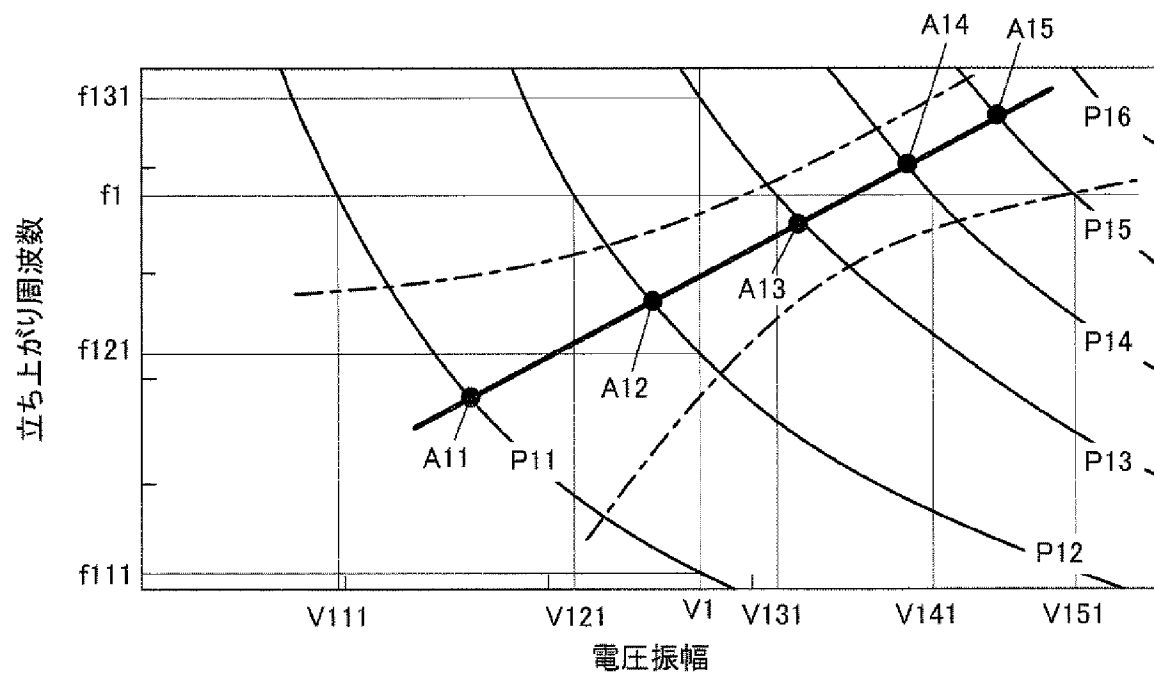


[図12]

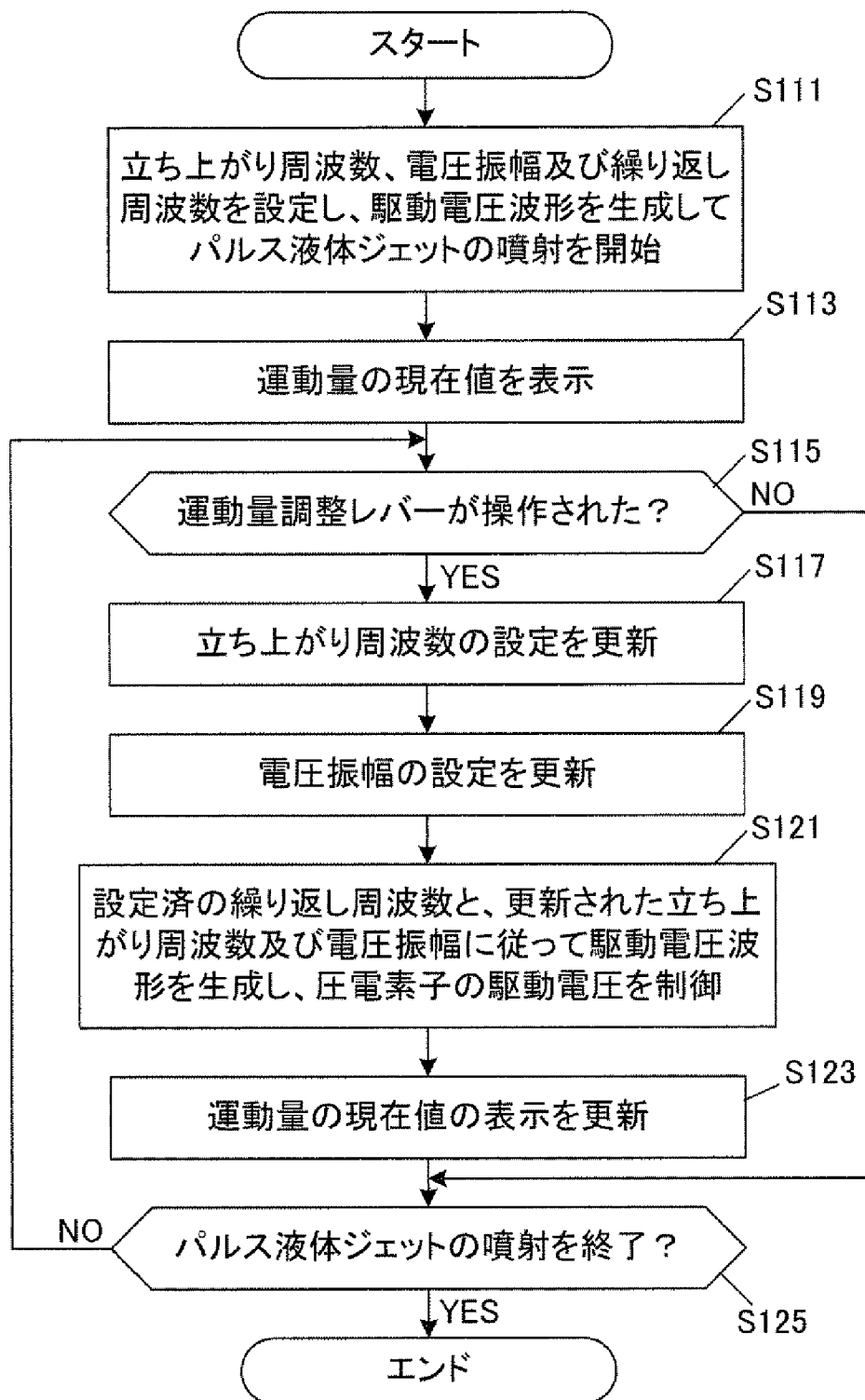
771

レバー位置 (目盛り)	運動量指示値	立ち上がり周波数	電圧振幅
1	P11	f11	V11
2	P12	f12	V12
3	P13	f13	V13
4	P14	f14	V14
5	P15	f15	V15

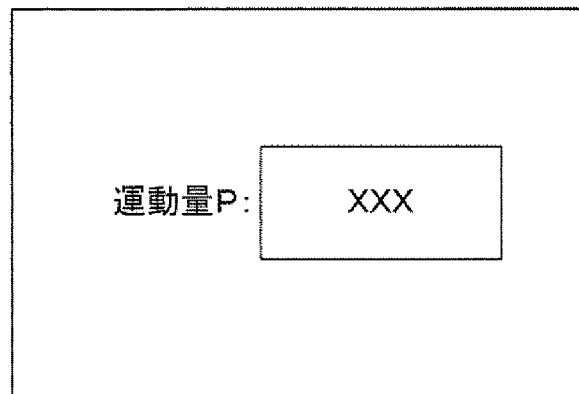
[図13]



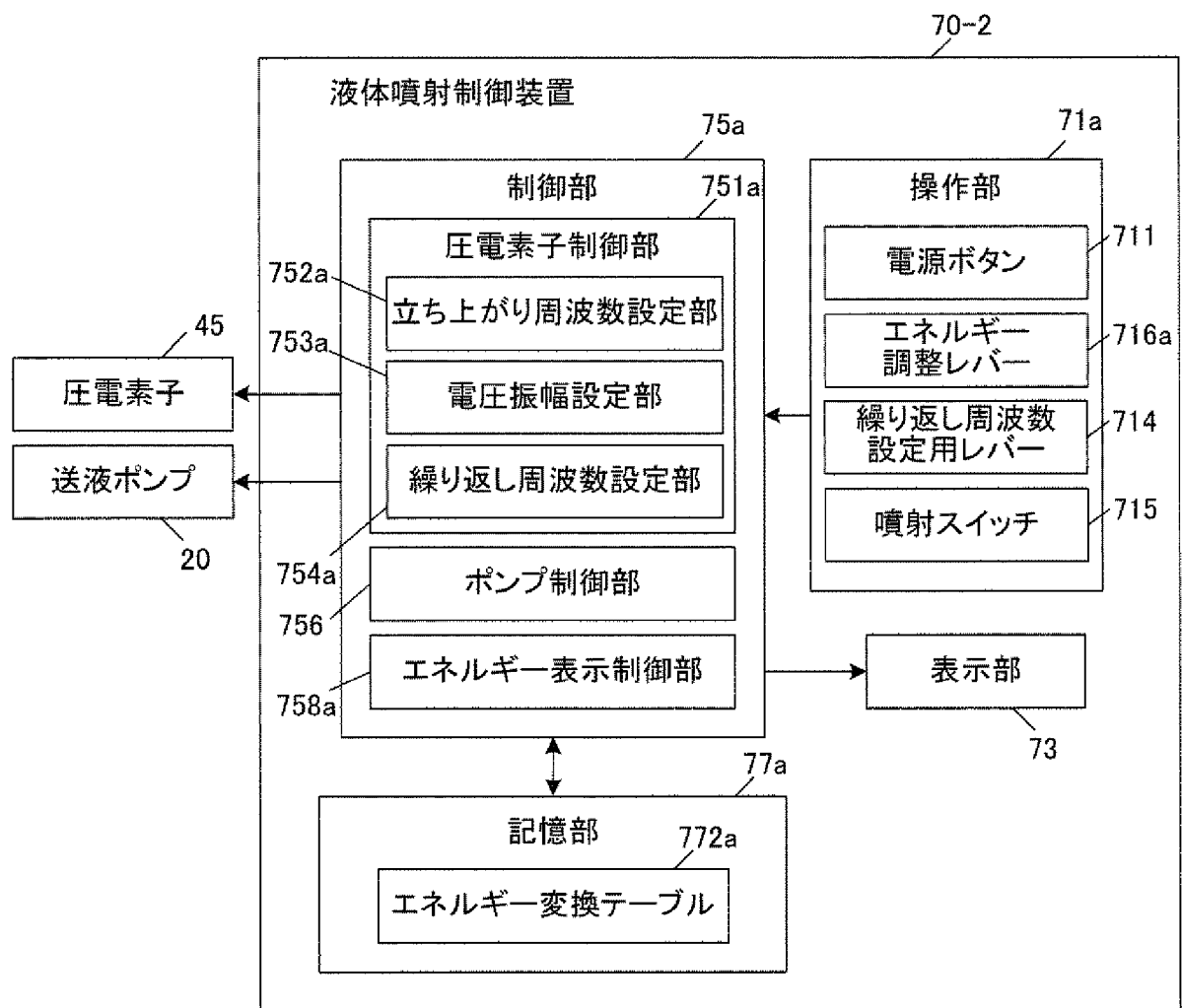
[図14]



[図15]



[図16]

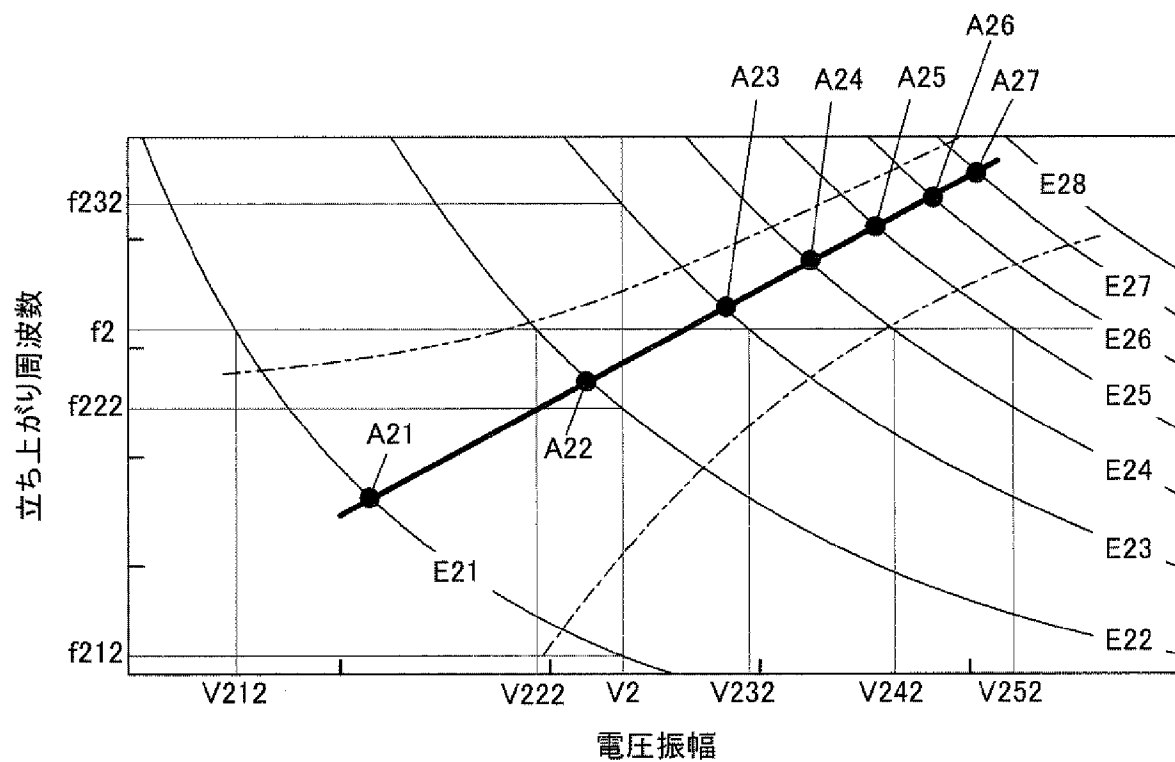


[図17]

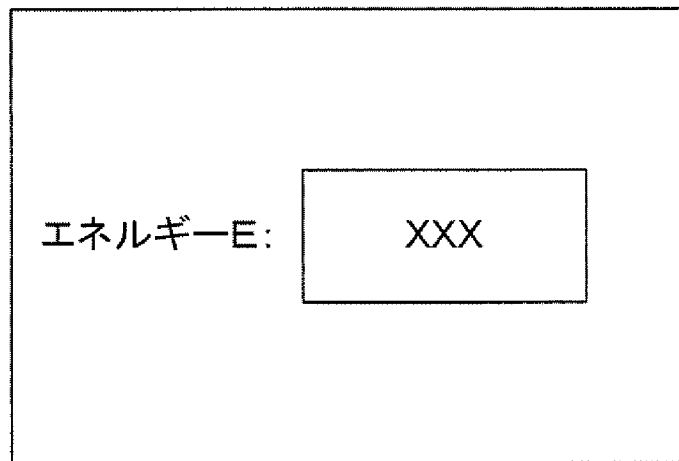
772a
↙

レバー位置 (目盛り)	エネルギー指示値	立ち上がり周波数	電圧振幅
1	E21	f21	V21
2	E22	f22	V22
3	E23	f23	V23
4	E24	f24	V24
5	E25	f25	V25

[図18]



[図19]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/003374

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

F04B43/02(2006.01)i, A61B17/32(2006.01)i, F04B43/04(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)

F04B43/02, A61B17/32, F04B43/04

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	1996-2015
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2015	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2015

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.
Y	JP 2014-98393 A (Seiko Epson Corp.), 29 May 2014 (29.05.2014), paragraphs [0037], [0038], [0078] (Family: none)	1-9
Y	JP 2010-59939 A (Seiko Epson Corp.), 18 March 2010 (18.03.2010), paragraph [0029] (Family: none)	1-9
A	JP 2010-239701 A (Toshiba Corp.), 21 October 2010 (21.10.2010), paragraph [0047] (Family: none)	1-9

☒ 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
15 September 2015 (15.09.15)

Date of mailing of the international search report
06 October 2015 (06.10.15)

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/JP2015/003374

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 2010-84678 A (Seiko Epson Corp.), 15 April 2010 (15.04.2010), paragraph [0033] & US 2010/0082054 A1	1-9
A	JP 2012-517559 A (The Board of Trustees of the University of Illinois), 02 August 2012 (02.08.2012), paragraph [0063] & US 2011/0274566 A1 & WO 2010/093383 A1	1-9

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. F04B43/02(2006.01)i, A61B17/32(2006.01)i, F04B43/04(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（I P C））

Int.Cl. F04B43/02, A61B17/32, F04B43/04

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	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 5 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 5 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 5 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
Y	JP 2014-98393 A (セイコーエプソン株式会社) 2014. 05. 29, 段落【0 0 3 7】, 【0 0 3 8】, 【0 0 7 8】（ファミリーなし）	1-9
Y	JP 2010-59939 A (セイコーエプソン株式会社) 2010. 03. 18, 段落【0 0 2 9】（ファミリーなし）	1-9
A	JP 2010-239701 A (株式会社東芝) 2010. 10. 21, 段落【0 0 4 7】（ファミリーなし）	1-9

☒ 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

1 5 . 0 9 . 2 0 1 5

国際調査報告の発送日

0 6 . 1 0 . 2 0 1 5

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

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）

所村 陽一

3 0

9 7 1 8

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 3 5 8

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 2010-84678 A (セイコーエプソン株式会社) 2010. 04. 15, 段落【0033】 & US 2010/0082054 A1	1-9
A	JP 2012-517559 A (ザ・ボード・オブ・トラスティーズ・オブ・ザ・ユニバーシティ・オブ・イリノイ) 2012. 08. 02, 段落【0063】 & US 2011/0274566 A1 & WO 2010/093383 A1	1-9