

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：電解加工装置及び電解加工方法

技術分野

[0001] 本発明は、電解加工装置及び電解加工方法に関するものである。

背景技術

[0002] 電解加工の一種として、電解液ジェット加工（下記非特許文献1並びに特許文献1及び2参照）が知られている。電解液ジェット加工は、ノズルから電解液を噴出し、ノズルと工作物の間に電圧を印加することで、電解液の噴流直下のみを選択的に加工する方法である。この場合、ノズルは加工電極として作用する。電解加工時には、工作物が陽極となるように電極間に電圧を印加して、電解液を介して電流を流す。この加工方法は、化学反応である電解作用を加工原理とするため、導電体であれば工作物の硬度によらず加工可能であり、加工変質層や残留応力、バリ、クラックなどが発生しないという利点を持つ。また、ノズルを走査させることで、任意形状をマスクレスで加工することができる。

[0003] 本発明者らはこれまで、工作物の材料としてSUS304を用い、電流密度を制御することで、高電流密度下では表面粗さの小さい鏡面が得られ、また、低電流密度下では複雑なポーラス状の性状が得られることを示している（下記非特許文献2）。これらの文献に記載の加工法では、走査により、低電流密度領域が通過することによって、工作物（いわゆるワーク）の表面粗さが悪化する。

[0004] そこで、本発明者らは、ノズル（加工電極）を高速で、かつ複数回往復して走査させることにより、任意形状を鏡面加工できることを示した（下記非特許文献3）。

[0005] しかしながら、一般的に、複雑形状を加工する場合において、電極を高速で複数回走査させるためには、かなりの装置コスト及び運用コストを要することになる。また、高速走査を行う場合は、電解液が電極の移動により飛散

してしまうという問題も生じる。

[0006] なお、下記非特許文献4は、電極表面上の電気二重層の形成を利用した超短パルス電流による電解加工により、加工精度の向上を図れることを示している。

先行技術文献

非特許文献

[0007] 非特許文献1：Kunieda M, Yoshida M, Yoshida H, Akamatsu Y (1993) Influence of Micro Indents Formed by Electro-chemical Jet Machining on Rolling Bearing Fatigue Life. ASME PED 64:693-699.

非特許文献2：Kawanaka T, Kunieda M (2014) Selective Surface Texturing Using Electrolyte Jet Machining. Procedia of 2nd CIRP Conference on Surface Integrity (CSI) (13): 345-349.

非特許文献3：Natsu W, Ikeda T, Kunieda M (2007) Generating Complicated Surface with Electrolyte Jet Machining. Precision Engineering 31: 33-39.

非特許文献4：Schuster R, Kircher V, Allonfue P, Etrl F (2000) Electochemical Micromachining. Science 289(5476):98-101.

特許文献

[0008] 特許文献1：特開2006-55933号公報

特許文献2：特開2011-110641号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0009] 本発明は、前記した状況に鑑みてなされたものである。本発明の主な目的は、工作物に対する加工電極の相対的な走査速度を低く抑えつつ、加工表面の粗さを改善できる技術を提供することである。

課題を解決するための手段

[0010] 前記した課題を解決する手段は、以下の項目のように記載できる。

[0011] (項目 1)

電解加工によって工作物の表面を加工するための電解加工装置であって、
電源と、加工電極と、電解液供給部と、チャージ制御手段とを備えており

、
前記電源は、前記加工電極と前記工作物との間に、電解加工用の電流を流
すための電圧を印加する構成となっており、

前記加工電極は、前記工作物から離間して配置されており、かつ、前記工
作物の表面方向に沿って相対的に走査可能とされており、

前記電解液供給部は、前記加工電極と前記工作物との間に電解加工用の電
解液を供給できる構成となっており、

前記チャージ制御手段は、前記電源からの電圧印加によって前記加工電極
と前記工作物との間に蓄積された電荷を、解消させる構成となっている

ことを特徴とする電解加工装置。

[0012] (項目 2)

前記電源は、前記電流としてパルス電流を用いており、

前記チャージ制御手段は、前記パルス電流のデューティ比に基づいて、前
記電荷を解消させる構成となっている

項目 1 に記載の電解加工装置。

[0013] (項目 3)

前記パルス電流におけるパルス幅の絶対値の上限は、前記加工物の表面に
鏡面加工を施すに足りるほど短く設定されており、かつ、前記電解加工用の
電流の電流密度は、前記鏡面加工を施すに足るほど高く設定されている

項目 2 に記載の電解加工装置。

[0014] (項目 4)

前記電源は、前記電流として交流電流を用いており、

前記交流電流は、前記工作物を陽極とする正方向電流成分と、前記工作物
を陰極とする逆方向電流成分とを有しており、

前記チャージ制御手段は、前記逆方向電流成分の印加により、前記電荷を

解消させる構成となっている

項目 1 に記載の電解加工装置。

[0015] (項目 5)

前記チャージ制御手段は、前記正方向電流成分における正方向電流密度をその印加時間で積分した値と、前記逆方向電流成分における逆方向電流密度をその印加時間で積分した値とがほぼ等しくなるように、前記電源を制御する構成となっている

項目 4 に記載の電解加工装置。

[0016] (項目 6)

前記チャージ制御手段は、前記逆方向電流成分のピーク値を、前記正方向電流成分のピーク値よりも低く設定する構成となっている

項目 5 に記載の電解加工装置。

[0017] (項目 7)

前記チャージ制御手段は、前記交流電流における正方向電流成分と逆方向電流成分との間に電流休止期間を挿入することにより、前記電荷を解消させる構成となっている

項目 4～6 のいずれか 1 項に記載の電解加工装置。

[0018] (項目 8)

前記加工電極は、単結晶シリコン、チタン合金、ニオブ合金、グラファイト、又は白金から構成されている

項目 4～7 のいずれか 1 項に記載の電解加工装置。

[0019] (項目 9)

前記電源は、定電圧源又は定電流源である

項目 1～8 のいずれか 1 項に記載の電解加工装置。

[0020] (項目 10)

前記工作物の表面の少なくとも一部は、0でない曲率を有しており、前記工作物と前記加工電極との対向面積は、この対向面積の範囲内で前記加工電極と前記工作物との距離の分布が前記曲率にかかわらず実質的に一定とみな

せるほどに小さいものとされている

項目 1～9 のいずれか 1 項に記載の電解加工装置。

[0021] (項目 1 1)

前記チャージ制御手段は、前記加工電極の相対的な走査に伴って、前記電荷の解消のための制御内容を変化させる構成となっている

項目 1～10 のいずれか 1 項に記載の電解加工装置。

[0022] (項目 1 2)

項目 1～11 のいずれか 1 項に記載の電解加工装置を用いた電解加工方法であって、

前記電源により、前記加工電極と前記工作物との間に、電解加工用の電流を流すステップと、

前記加工電極を、前記工作物の表面方向に沿って相対的に走査させるステップと、

前記電解液供給部により、前記加工電極と前記工作物との間に、前記電解液を供給するステップと、

前記チャージ制御手段により、前記加工電極と前記工作物との間に蓄積された電荷を解消させるステップと

を備えることを特徴とする電解加工方法。

[0023] (項目 1 3)

項目 1～11 のいずれか 1 項に記載の電解加工装置を用いた表面粗さ調整方法であって、

前記電源により、前記加工電極と前記工作物との間に、電解加工用の電流を流すステップと、

前記加工電極を、前記工作物の表面方向に沿って相対的に走査させるステップと、

前記電解液供給部により、前記加工電極と前記工作物との間に、前記電解液を供給するステップと、

前記チャージ制御手段により、前記加工電極と前記工作物との間に蓄積さ

れた電荷量を制御することにより、前記工作物表面の表面粗さを調整するステップと

を備えることを特徴とする表面粗さ調整方法。

[0024] (項目 14)

前記工作物から離間して配置される加工電極と、

前記工作物と前記加工電極との間に満たされる電解液と、

正方向電流パルスと逆方向電流パルスを前記工作物と前記加工電極との間に供給するための電源とを備え、

前記加工電極と前記工作物とが相対的に走査することで電解加工を行う電解加工装置において、

前記正方向電流パルスのピーク値よりも前記逆方向電流パルスのピーク値を低くするとともに、前記正方向電流パルスのパルス幅よりも前記逆方向電流パルスのパルス幅を広く設定することを特徴とする電解加工装置。

[0025] (項目 15)

前記工作物から離間して配置される加工電極と、

前記工作物と前記加工電極との間に満たされる電解液と、

正方向電流パルスと逆方向電流パルスを前記工作物と前記加工電極との間に供給するための電源とを備え、

前記加工電極と前記工作物とが相対的に走査することで電解加工を行う電解加工装置において、

前記正方向電流パルスのピーク値よりも前記逆方向電流パルスのピーク値を高くするとともに、

前記正方向電流パルスのパルス幅よりも前記逆方向電流パルスのパルス幅を狭く設定することを特徴とする電解加工装置。

[0026] (項目 16)

前記工作物から離間して配置される加工電極と、

前記工作物と前記加工電極との間に満たされる電解液と、

正方向電流パルスと逆方向電流パルスを前記工作物と前記加工電極との間

に供給するための電源とを備え、

前記加工電極と前記工作物とが相対的に走査することで電解加工を行う電解加工装置において、

前記逆方向電流パルスのパルス幅を前記正方向電流パルスのパルス幅以下に設定するとともに、

前記逆方向電流パルスから前記正方向電流パルスへの切り替え時には休止時間を備えることを特徴とする電解加工装置。

[0027] (項目 17)

前記工作物から離間して配置される加工電極と、

前記工作物と前記加工電極との間に満たされる電解液と、

正方向電流パルスと逆方向電流パルスを前記工作物と前記加工電極との間に供給するための電源とを備え、

前記加工電極と前記工作物とが相対的に走査することで電解加工を行う電解加工装置において、

前記正方向電流パルスにより前記工作物と前記加工電極との間に供給される正方向電荷に対して、

前記逆方向電流パルスにより前記工作物と前記加工電極との間に供給される逆方向電荷が小さくなるように設定するとともに、

前記逆方向電流パルスから前記正方向電流パルスへの切り替え時には休止時間を備えることを特徴とする電解加工装置。

[0028] (項目 18)

前記工作物から離間して配置される加工電極と、

前記工作物と前記加工電極との間に満たされる電解液と、

正方向電流パルスと逆方向電流パルスを前記工作物と前記加工電極との間に供給するための電源とを備え、

前記加工電極と前記工作物とが相対的に走査することで電解加工を行う電解加工装置において、

前記正方向電流パルスにより前記工作物と前記加工電極との間に供給され

る正方向電荷（A）と、

前記逆方向電流パルスにより前記工作物と前記加工電極との間に供給される逆方向電荷（B）との比（A/B）は、

前記走査する速度が速いほど大きくなるように設定されていることを特徴とする電解加工装置。

[0029] （項目19）

前記工作物から離間して配置される加工電極と、

前記工作物と前記加工電極との間に満たされる電解液と、

正方向電流パルスを前記工作物と前記加工電極との間に供給するための電源とを備え、

前記加工電極と前記工作物とが相対的に走査することで電解加工を行う電解加工装置において、

前記正方向電流パルスを印加するデューティ比が、前記走査する速度が速いほど大きくなるように設定されていることを特徴とする電解加工装置。

[0030] （項目20）

前記工作物から離間して配置される加工電極と、

前記工作物と前記加工電極との間に満たされる電解液と、

正方向電流パルスと逆方向電流パルスを前記工作物と前記加工電極との間に供給するための電源とを備え、

前記加工電極と前記工作物とが相対的に走査することで電解加工を行う電解加工装置において、

前記正方向電流パルス幅に対して前記逆方向電流パルス幅が、前記走査する速度が速いほど小さくなるように設定されていることを特徴とする電解加工装置。

発明の効果

[0031] 本発明によれば、工作物に対する加工電極の相対的な走査速度を低く抑えつつ、加工表面の粗さを改善することが可能となる。

図面の簡単な説明

[0032] [図1]本発明の第1実施形態に係る電解加工装置の全体的な構成を説明するための説明図である。

[図2]図1の要部における拡大断面図である。

[図3]図1の加工装置を用いた電解加工の加工原理を説明するための模式的な説明図である。

[図4]実施例1において用いられるパルス電流波形を示す説明図であって、縦軸は電流[A]、横軸は時間[s]である。

[図5]実施例1における実験結果を示すグラフであって、縦軸は表面粗さRz[μm]、横軸は並進速度[mm/s]である。

[図6]実施例2において用いられるパルス電流波形(交流波形)を示す説明図であって、縦軸は電流[A]、横軸は時間[s]である。

[図7]実施例2における実験結果を示すグラフであって、縦軸は表面粗さRz[μm]、横軸は並進速度[mm/s]である。

[図8]実施例2において利用可能な他のパルス電流波形(交流波形)を示す説明図であって、縦軸は電流[A]、横軸は時間[s]である。

[図9]本発明の第2実施形態に係る電解加工装置の概略的な構成を説明するための説明図である。

[図10]本発明の第3実施形態に係る電解加工装置の概略的な構成を説明するための説明図である。

発明を実施するための形態

[0033] 以下、添付図面を参照しながら、本発明の第1実施形態に係る電解加工装置(以下、「加工装置」と略称することがある)について説明する。本実施形態の加工装置は、いわゆる電解液ジェット加工によって工作物1(図1参照)をその表面側から加工するためのものであり、特に工作物表面の仕上げ加工に好適な装置である。

[0034] (第1実施形態の構成)

本実施形態の加工装置は、電源10と、加工電極20と、電解液供給部30と、チャージ制御手段40とを基本的な要素として備えている(図1参照)

）。さらに、この加工装置は、工作物支持部50と走査用駆動部60とを追加的に備えている。

[0035] (電源)

電源10は、加工電極20と工作物1との間に、電解加工用の電流を流すための電圧を印加する構成となっている。具体的には、電源10の一方の極は、加工電極20に電氣的に接続され、電源10の他方の極は、工作物1に電氣的に接続されて、両者間に所定の電圧を印加できるようになっている。

[0036] 本実施形態の電源10は、印加する電圧としてパルス波形の電圧（パルス電圧）を用いており、これにより、パルス波形の電流（後述の実施例1及び2参照）を電極間に流すことができる。なお、電源10としては、本実施形態では、チャージ制御手段40により指定された電流値を電極間に流す定電流源が用いられるが、必要な電流値を得られるならば、定電圧源を用いることも可能である。また、本実施形態の電源10としては、例えば、いわゆる高速バイポーラ電源を用いることができる。

[0037] 本実施形態の電源10においては、パルス電流におけるパルス幅の絶対値の上限が、工作物1の表面に鏡面加工を施すに足りるほど短く設定されている。また、電流密度の下限は、加工電極が止まっているときに加工痕が鏡面に仕上がる値に設定されている。どの程度の電流密度とパルス幅であれば鏡面加工を達成できるかについては、例えば実験的に決定できる。ここで、電流密度は、電流を加工電極と工作物の対向面積で除して求められる。また、鏡面加工とは、表面粗さを小さくする加工をいい、例えば、表面粗さRzが0.3 μ m以下に加工するものをいう。パルス幅の絶対値の上限としては、例えば150 μ s～100 μ sである。ただしこれらの数値に本発明が限定されるものではない。

[0038] (加工電極)

加工電極20は、工作物1から離間して配置されており、かつ、工作物1の表面方向に沿って相対的に走査可能とされている。具体的には、本例の加工電極20は、基部21と、先端部22とを備えている。

[0039] 基部 2 1 は、中空の筒状に形成されており、電解液供給部 3 0 の配管 3 2（後述）に接続されて、電解液を先端部 2 2 に送り出すように構成されている。

[0040] 先端部 2 2 は、基部 2 1 の先端側から工作物 1 の方向（図 1 において下向き方向）に延長されている。先端部 2 2 も中空の筒状に形成されており、ジェット状の電解液 3（後述）を工作物 1 に吹付けることができるようになっている（図 2 参照）。なお、図 2 では、先端部 2 2 の部分のみを拡大して示している。また、図 2 における電解液 3 の流出状態は模式的なものに過ぎず、正確ではない。本実施形態の加工電極 2 0 は、いわゆる電解液ジェット加工におけるノズルの機能を有している。

[0041] 加工電極 2 0 の材質としては、導電性があり、かつ、必要な機械的強度のある物質であれば、各種のものを使用可能である。特に、加工電極 2 0 の材質として、単結晶シリコン、チタン合金、ニオブ合金、グラファイト、又は白金から構成した場合には、逆方向電圧（工作物を陰極とする電圧）を印加した場合でも電解しにくいので、好適である。

[0042] ここで、工作物 1 の表面の少なくとも一部が、0 でない曲率を有している場合は、工作物 1 と加工電極 2 0 との対向面積は、「この対向面積の範囲内で加工電極 2 0 と工作物 1 との距離が前記曲率にかかわらず実質的に均一とみなせるほどに小さいもの」であることが好ましい。このようにすると、平坦でない加工表面を持つ工作物に対しても、加工表面を走査することにより、適切な鏡面加工を施すことができる。工作物 1 と加工電極 2 0 との間の距離を一定として、かつ十分狭くする（例えば 1 mm 以下、より好ましくは 0.5 mm 以下の間隙にする）ことは、鏡面加工の実現に好適である。したがって、このように小さい対向面積の加工電極 2 0 を用いることは、このような間隙の条件を満たすことに寄与する。

[0043] （電解液供給部）

電解液供給部 3 0 は、加工電極 2 0 の先端部 2 2 と工作物 1 の加工表面（図 1 において上面）との間に、電解加工用の電解液を供給できる構成となっ

ている。より詳しくは、本実施形態の電解液供給部30は、タンク31と、配管32と、ポンプ33と、シンク34とを備えている。

[0044] タンク31は、電解加工用の電解液3を貯めておく部分である。ここで、電解液3としては、電解加工用に通常使用される各種の液体を使用可能である。

[0045] 配管32は、タンク31と加工電極20の基部21との間に接続されている。ポンプ33は、配管32の途中に取り付けられており、電解液3を適宜の流量で加工電極20に送ることができるようになっている。ポンプ33としては、この実施形態では、正確な流量を得るために、いわゆるギヤポンプが用いられているが、これに制約されるものではない。

[0046] シンク34は、工作物1に向けて供給された電解液を一時的に収容する部分である。シンク34には、供給された電解液3を排出するためのドレン部341が形成されている。シンク34から排出された電解液3は、図示しない適切な方法で回収されるようになっている。

[0047] (チャージ制御手段)

チャージ制御手段40は、電源10からの電圧印加によって加工電極20と工作物1との間に蓄積された電荷を、解消させるための機能要素である。より具体的には、本実施形態のチャージ制御手段40は、電源10からの電圧による電流波形(例えば電流パルス幅、ピーク値、パルス周期など)を調整するためのコントローラ(例えばファンクションジェネレータ)として実装されている。実際の機器構成としては、チャージ制御手段40は、電源10中の機能の一部であってもよい。要するに、チャージ制御手段としては、必要な機能を発揮できるのであれば、機械的構成は制約されず、例えばコンピュータとコンピュータプログラムの組み合わせにより実装することもでき、単独の要素として存在する必要もない。

[0048] 本実施形態におけるチャージ制御手段40は、パルス電流のデューティ比に基づいて、電極間に蓄積された電荷を解消させる構成となっている。チャージ制御手段40の詳しい動作(つまり電流波形)については、実施例1及

び2として後述する。

[0049] (工作物支持部)

工作物支持部50は、電解加工の対象となる工作物1を支持するものであり、この実施形態では加工用テーブルにより構成されている。

[0050] (走査用駆動部)

走査用駆動部60は、この実施形態では、XZ方向駆動部61と、Y方向駆動部62とから構成されている。XZ方向駆動部61は、加工電極20を、X方向(図1中左右方向)と、Z方向(図1中上下方向)に、所定の速度で移動させることができるようになっている。Y方向駆動部62は、シンク34を介して、工作物支持部50を、Y方向(図1中において紙面に垂直な方向)に、所定の速度で移動させることができるようになっている。走査用駆動部60の走査速度や走査方向などの動作の制御は、図示しないコントローラにより実施可能である。走査用駆動部60により、この実施形態では、XY平面内の任意の方向において、加工電極20を、工作物1に対して相対的に走査させることができるようになっている。

[0051] (第1実施形態の加工装置の動作)

以下、前記した第1実施形態の加工装置の動作について説明する。

[0052] (加工原理の説明)

動作説明の前提として、本実施形態の電解加工における加工原理を、図3をさらに参照しながら説明する。

[0053] 図3は、加工電極としての円筒ノズルから噴出された電解液3における、噴流内の電位分布と工作物表面上での電流密度分布を示している。電解加工では、加工電極と工作物との対向部分の電流密度が高く、そこから離れるにつれて電流密度が低下する。図3において符号3aは、工作物1と加工電極20(図3中では図示省略)との間に存在する電解液3における電流密度分布の一例を模式的に示している。また、図3において符号3bは、等電位面を模式的に示しており、ここで符号 V_0 は、電極間に印加される電源電圧(工作物側が陽極となる場合)である。

- [0054] 加工電極を走査させる加工（走査加工）では、電流密度の高いノズル直下が工作物上の一点を通過したとき、ノズルが静止しているときに鏡面が得られる程度にその電流密度が十分高いものであれば、ノズル直下で鏡面に加工される。しかし、その後、電流密度の低い周辺部がその加工部分を通ることになる。走査速度が遅い場合には、電流密度の低い周辺部による電解加工により、工作物表面が荒らされることになり、表面粗さが大きくなる（つまり、鏡面加工を目的とするときは、鏡面が劣化する）。
- [0055] しかし、電流密度が低い場合の、単位時間当たりの加工量は、電流密度が高い場合に比べて、著しく劣る。走査速度を上昇させると、一回の走査における電解液ジェットの滞在時間（つまり対向電極による電解加工がおこなわれる時間）が短くなり、低電流密度領域の影響が小さくなる。このため、前記非特許文献3に記載されているように、走査速度の上昇に伴って表面粗さが向上すると考えられる。
- [0056] 一方近年、電解加工において、加工精度の向上を目的として、電極表面上の電気二重層の形成を利用した超短パルス電流による加工が行われている（前記非特許文献4）。工作物1と加工電極20との間に電圧が印加されると、工作物表面上に、図3に示すように、正負の電荷が向き合う形で電気二重層が形成される。この電気二重層が形成される現象は、コンデンサ C_{DL} への電荷の充電により表現でき、電流密度の違いにより、電気二重層の充電時間に差が生まれる。なお、図中符号Rは、電解液ジェット内の抵抗成分を表している。
- [0057] 本発明者らの知見によれば、電解反応は、電気二重層が十分に形成されないと生じない。そこで、電流密度が低い部分における電気二重層が形成される前に、パルス電流をオフにする（つまり加工電圧をオフにする）ことで、工作物の溶出を、加工電極の直下における電流密度が高い部分に限定する。そして、パルスがオフになった後の休止時間中に電気二重層の電荷を放電させ、次のパルスを印加する。この際、休止時間が十分でないと、電気二重層の電荷がすべて放電されないため、低電流密度領域においても電解反応が生

じてしまう。したがって、加工電流を短パルス化し、休止時間を十分に設けることで、工作物の溶出を高電流密度領域のみに限定することができ、低速で走査する場合でも表面粗さが良好な加工面が得られるはずである。さらに補足すると、加工電極が静止しているときに鏡面が得られないような電流密度が仮に分かっているとすれば、「電極を走査したときにそのような低電流密度域に工作物がさらされている時間が、その低電流密度で加工が生じるような時間よりも短くなるように、短いパルス幅の加工電流に設定されている」ことが好ましいといえる。

[0058] 以上が、本発明者らの知見による、本実施形態の前提となる加工原理である。

[0059] (電解加工動作)

本実施形態の加工装置を用いて電解加工を行う場合には、まず、工作物1を工作物支持部50の上面に配置する(図1参照)。ついで、電解液供給部30により、電解液3を、加工電極20と工作物1との間に供給する。このとき、電解液3は、加工電極20の先端部22を通過して、加工個所に供給される(図2参照)。一方、電源10により、所定の波形で、加工電極20と工作物1との間に電圧を印加する。これにより、両者間に、所定の電解加工用の電流を流すことができる。ここで、加工電極20と工作物1の間を流れる電流の波形は、チャージ制御手段40で設定されたもの(後述の実施例1及び2参照)となっている。

[0060] さらに、本実施形態では、走査用駆動部60を用いて、工作物1に対して、加工電極20を、XY平面内において相対的に走査させる。これにより、走査方向における工作物1の表面を加工して、その表面粗さを向上させることができる。なお、本実施形態では、加工電極20のZ方向位置は、加工中においては一定とし、必要に応じて調整するようになっている。

[0061] 以下、具体的な実施例を参照しながら、本例の電解加工動作をより詳しく説明する。

[0062] (実施例1)

前記加工原理に基づいて、第1実施形態の装置構成を用いて、下記表1中の条件 (Pulse) において電解加工を行った。

[0063] [表1]

Table 1 Machining conditions	Pulse	AC
Pulse on time [μ s]	100	100
Duty factor [%]	1, 10	59, 67, 77
Machining current [A]	± 3.0	
Current density [A/cm ²]	187	
Gap width [mm]	0.5	
Flow rate [ml/s]	5.2	
Nozzle inner diameter [mm]	1.43	
Electrolyte	NaNO ₃ aq 20wt%	

[0064] この表に示された項目の意味は下記のとおりである。なお、参照のため、電源から印加されるパルス電圧に基づく電流波形の一例を図4に示す。また、表1では、交流波形を印加する場合の条件 (AC) も併記されているが、交流の場合については後述する。

[0065] Pulse on time [μ s] : 加工電流印加時間 (図4の t_1) ;

Duty factor [%] : デューティ比 (図4の t_1 / T) ;

Machining current [A] : 電極間を流れる電流 ;

Current density [A/cm²] : 電極間での電流密度 ;

Gap width [mm] : 加工電極と工作物との間の距離 ;

Flow rate [ml/s] : 電解液の流量 ;

Nozzle inner diameter [mm] : 加工電極の先端部におけるノズル内径 ;

Electrolyte : 電解液。

[0066] 電極間での電流密度は一様ではないが、前記では、簡単のため、加工電流値をノズル噴出口の内面積で除した値を電流密度とした。なお、当然のことながら、表1の記載はすべて一例に過ぎず、他の適宜な構成が可能である。

[0067] 実施例1では、パルス電流を用いている。パルス幅 t_1 を $100\mu\text{s}$ という一定値とし、パルス休止時間 t_2 及び走査速度を変化させながら、加工電極20を走査させて、工作物1に対する溝加工を行った。図4中の符号Tは、このときのパルス周期を示す。工作物1を陽極として、工作物1から加工電極20に流れる電流の向きを図4の縦軸正方向とする。また、比較のため、直流電流(DC)、つまり $t_2=0$ 、デューティ比=100%という条件でも同じ加工を行った。これにより、パルス電流のデューティ比と走査速度が表面粗さに与える影響を調べた。工作物1としてはSUS304を用いた。工作物1の表面粗さは、最大高さ粗さ R_z を加工面内の異なる4か所で測定し平均した。

[0068] 走査速度を変化させた際の表面粗さの測定結果を図5に示す。図5においてDutyとは、所定のデューティ比(%)での結果であることを示す。図5に示すように、パルス電流を用いた場合においても、DCを用いた場合においても、走査速度を上昇させることで表面粗さが低下していることがわかる。一方、走査速度が遅い場合、パルス幅 $100\mu\text{s}$ において休止時間を長くする(つまりデューティ比を下げる)につれて表面粗さが向上している。これにより、パルス幅 $100\mu\text{s}$ という一定値において十分な電圧休止時間を設けた場合(つまりデューティ比1%)、低速走査の場合においても、表面粗さが良好な鏡面が得られることがわかった。これは、前記で考察したように、電解液ジェット加工(つまり電極が任意方向に走査される電解加工)においても加工領域が高電流密度領域のみに限定されるためであると推測できる。

[0069] したがって、実施例1によれば、チャージ制御手段40により、電極間の電荷を解消させることができ、これにより、走査速度を低く抑えつつ、加工面の表面粗さを改善できることがわかる。また、チャージ制御手段40によるデューティ比の調整により、加工面の表面粗さを制御することもできる。

[0070] (実施例2)

印加する電圧波形(つまり電極間を流れる電流波形)を、図6に示すものに変更したうえで、実施例1と同じ条件下で電解加工を行った。表1中のACは、実施例2において用いるパルス波形(交流波形)を示している。実施例

2では、期間 t_3 （図6参照）において逆方向電圧を印加し、逆方向電流を流す構成となっている。これにより、電極間を流れる交流電流は、工作物1を陽極として工作物1から加工電極20に流れる正方向電流成分（時間 t_1 ）と、工作物を陰極として加工電極20から工作物1に流れる逆方向電流成分（時間 t_3 ）とを有することになる。

[0071] 実施例1のように単極性のパルス電流を用いる場合、低速走査において鏡面を得るためには、休止時間を長くする必要がある（図5参照）。しかし、デューティ比を下げると、単位時間当たりの除去量が、直流を用いた場合に比べて少ないため、加工時間が長くなる傾向がある。

[0072] 実施例2では、前記のように交流電流を用いることで、電極間を流れる電流の極性が反転し、工作物が陰極となる時間 t_3 が存在する。この t_3 の間に、電気二重層（図3のコンデンサ C_{DL} 参照）に充電された電荷を強制的に放電させることができる。つまり、実施例2におけるチャージ制御手段40は、逆方向電流成分の印加により、電気二重層に充電された電荷を解消させる構成となっている。なお、この明細書において、「電荷の解消」とは、いわゆる電荷の放電（ディスチャージ）を意味し、電荷の完全な解消だけでなく、蓄積された電荷量の減少も含む意味で用いる。

[0073] この考察によれば、交流波形を用いることにより、休止時間を長く設けることなく、鏡面加工が可能になると考えられる。そこで、この実施例2では、工作物1が陽極となるパルス幅 t_1 を $100\mu s$ で一定とし、工作物1が陰極となる時間 t_3 及び走査速度を変化させ、交流電流のデューティ比と走査速度が表面粗さに与える影響を調査した。

[0074] 実施例2における実験結果を図7に示す。図7に示すように、交流電流を用いた場合も、直流や、単極性パルス電流を用いた場合と同様に（図5参照）、走査速度の上昇とともに表面粗さが低下していることがわかる。また、走査速度が遅い場合、パルス幅 $100\mu s$ において、極性反転時間 t_3 を長くする（つまりデューティ比を下げる）につれて表面粗さを向上させることができる。一方、低速での走査加工において交流電流を用いた場合は、実施例

1の単極性パルス電流を用いた場合に比べ、高いデューティ比でありながら、表面粗さが良好な加工面を得られることがわかる。つまり、チャージ制御手段40を用いて、逆方向電流成分を印加することにより、鏡面加工における加工速度の向上を図ることができるという利点がある。

[0075] なお、実施例2では、交流電流として矩形波を用いたが、三角波や正弦波(図8)のような別の波形を用いることもできる。

[0076] また、本実施例において、チャージ制御手段40は、正方向電流をその印加時間(図6の t_1)で積分した値(正方向電荷)と、逆方向電流をその印加時間(図6の t_3)で積分した値(逆方向電荷)とがほぼ等しくなるように、電源10からの出力を制御することが好ましい。このようにすると、電気二重層(図3のコンデンサ C_{DL} 参照)に充電された電荷をほぼ完全に放電させることができるので、同じデューティ比であれば、より良好な表面粗さを得ることができる。

[0077] さらに、本実施例において、チャージ制御手段40は、逆方向電流成分のピーク値を、正方向電流成分のピーク値よりも低く設定することが好ましい。これは、一般に電流密度が低いと、陽極上で材料の除去に使用される電流の割合が減り、その分、酸素の発生や酸化反応に使用される割合が増えるからである。これにより、逆方向電流を流したときの加工電極20の電解量を減らすことができ、装置の運用コスト低減を図ることができる。

[0078] 逆方向電流成分のピーク値を正方向電流成分のピーク値よりも低く設定する場合には、電気二重層に充電された電荷を十分に放電させるために、正方向電流パルス幅よりも逆方向電流パルス幅を長く設定することが好ましい。これにより、加工電極20に不要な電解を発生させない範囲で最大限に加工速度を速めることができる。もちろん上述のごとく、電気二重層の電荷を放電させることが目的であり、電気二重層に逆極性の電荷を蓄積することは本来の目的にそぐわない。したがって、逆方向電荷が正方向電荷を上回らないパルス幅を上限値とすることが好ましい。

[0079] 本実施例において、チャージ制御手段40は、交流電流における正方向電

流成分と逆方向電流成分との間に電流休止期間を挿入してもよい。電流休止期間とは、例えば、図6における期間 t_1 の間、あるいは、期間 t_3 の間に挿入可能な、電圧又は電流が0となる期間である。

[0080] 逆方向電流のパルス幅（期間 t_3 ）は、逆方向電荷が正方向電荷を上回らない程度に設定されていることが好ましいが、これらの現象は、電極間隙の状態に応じてばらつきを伴っている。例えば、図3の電位分布はあくまでも理想状態であって、実際には加工層が存在したり、表面形状に少なからず凸凹が存在したりする。このため、局所的に逆方向電荷が正方向電荷を上回ってしまう可能性がある。そこで、例えば調整要素としてこの電流休止期間を利用することができる。

[0081] 具体的には、正方向電流印加後に逆方向電流を印加し、電流休止期間を設けた後に、次のサイクルとして正方向電流を印加する。このとき逆方向電流のパルス幅（期間 t_3 ）を例えば正方向電荷に対して逆方向電荷が2/3程度となるように設定し、その後、電流休止期間を設ける。これにより、局所的なばらつきを考慮しても逆方向電荷が正方向電荷を上回ることがなくなり、電気二重層への逆充電を避けることができる。また、単純に電流休止期間のみを挿入する実施例1に比べて、逆方向電流を印加する手段を採用した場合には、高速に電気二重層の電荷を解消できるので、鏡面を得つつ高速に電解加工を行うことができる。

[0082] 逆方向の電流は加工電極を消耗させるため、電流ピーク値を低くすることが望ましいが、逆方向の電流ピーク値を高く設定しても、逆方向のパルス幅を十分に短くすれば、電極の電解という問題を軽減ないし解消することができる。逆方向電流成分のピーク値を正方向電流成分のピーク値よりも高く設定することで、電気二重層に蓄積された電荷を早期に解消することができるため、逆方向電流のパルス幅（期間 t_3 ）は短く設定することができる。すなわち、電極の消耗を防ぎつつ、デューティ比を高めることができるので、加工速度を向上させることができる。もちろん、逆方向電流パルスを印加後に上述のごとく電流休止期間を設けてもよい。

[0083] 前記した第1実施形態において、工作物1と加工電極20との対向面積は、工作物1における加工表面積を走査によって細部にわたって覆い尽くすことができ、かつ、対向面積の範囲内で工具電極と工作物の距離が工作物の曲率により大きく不均一にならないほどに小さいことが好ましい。

[0084] また、第1実施形態におけるチャージ制御手段40は、加工電極20の走査に伴って、電荷の解消のための制御内容を変化させる構成とすることができる。例えば、電極間距離、加工電極と工作物との対向面積、電解液供給量などの加工条件に応じて、電荷解消のための制御内容を変化させることにより、より適切な鏡面加工を行うことができる。さらに、あえて鏡面加工に適切な条件から外れる条件を用いることにより、部分的な非鏡面を形成することもできる。

[0085] 本実施の形態では、加工電極20を走査している。往復運動を繰り返したり、加工方向を変える場合には、折り返し点や加工方向を変えた地点において加工電極20と工作物1の相対速度が低下することになる。すなわち図5又は図7における横軸の走査速度が変化することになるため、この近傍では面粗さの荒い不均一な加工になりやすい。これを防ぐことを目的として、走査速度に応じてデューティ比や逆極性パルス幅、逆極性電流値を変えることができる。例えば、往復運動における折り返し点では、その前後の領域と比較して休止時間を長くする、あるいは逆極性電流パルス幅を広げるようにチャージ制御手段40を動作させることで、均一な面粗さを得ることができる。

[0086] (第2実施形態)

次に、本発明の第2実施形態に係る電解加工装置を、図9を参照しながら説明する。なお、第2実施形態の説明においては、前記した第1実施形態と基本的に共通する要素については、同一符号を用いることにより、説明の煩雑を避ける。

[0087] 前記第1実施形態では、いわゆる電解液ジェット加工を用いた。これに対して、第2実施形態では、ジェットを用いない、通常の電解加工を前提とし

ている。

[0088] 第2実施形態の加工装置では、ノズル状の加工電極20に代えて、棒状の加工電極220を用いている（図9参照）。電源10の一方の極は、所定の二つの取付具221を介して、加工電極220の両端に電氣的に接続されている。電源10の他方の極は、前記第1実施形態と同様に、工作物1に電氣的に接続されている。

[0089] 本実施形態の棒状の加工電極220は、工作物1の表面にほぼ平行となるように配置されており、工作物1の表面に沿って走査可能とされている。第2実施形態における電解液（図示せず）は、適宜な電解槽（図示せず）を用いて、加工電極220と工作物1表面との間の空間に予め充填されている。

[0090] すなわち工作物1は、電解液に浸漬された状態で加工される。もちろん、加工により工作物1と加工電極220との間に加工屑が発生することが想定されるため、電解液を電極間隙に適宜な吹きかけ手段によって供給してもよい。工作物1と加工電極220とは平行であることが望ましく、上下方向に電極間距離が変化してしまうと均一な電解加工が実現しにくい。このため加工電極220に振動や変形がおこりにくいように、加工電極の上部と下部とで取付具221により加工電極220を保持するとともに電氣的に接続している。しかしながら、必ずしもこの限りではなく、上部及び下部のうちいずれか一方の取付具221のみで加工電極220を保持してもよい。

[0091] さらにまた、加工電極220として、いわゆるワイヤ放電加工機で用いられるワイヤ電極を使用することもできる。さらにまた、ワイヤ放電加工機との両立を図るべく、ワイヤ電極を両方の目的で使用することができる。例えば、ワイヤ電極を用いて、工作物1をワイヤ放電加工して表面を仕上げた後に、同じワイヤ電極を用いて、放電加工後の仕上げ加工面を電解加工でさらに仕上げることができる。同一装置内でワイヤ放電加工と電解加工との切り替えが可能な構成とすることにより、加工電極220と工作物1とを平行に位置決めする作業が容易になるという利点もある。

[0092] 第2実施形態においても、前記した第1実施形態と同様に、チャージ制御

手段40を用いて、電気二重層における電荷を解消させることにより、走査速度を抑えつつ工作物の鏡面加工を行うことができるという利点がある。また、交流波形を用いることにより、電解加工における加工速度の向上も図ることができる。

[0093] 第2実施形態における他の構成及び利点は、前記した第1実施形態と同様なので、これ以上の説明は省略する。

[0094] (第3実施形態)

次に、本発明の第2実施形態に係る電解加工装置を、図10を参照しながら説明する。なお、第3実施形態の説明においては、前記した第1実施形態と基本的に共通する要素については、同一符号を用いることにより、説明の煩雑を避ける。

[0095] この第3実施形態では、前記した第2実施形態と同様に、ジェットを用いない通常の電解加工を前提としている。

[0096] 第3実施形態の加工装置では、ノズル状の加工電極20に代えて、ブロック状の加工電極320を用いている(図10参照)。電源10(図10においては省略)の一方の極は、加工電極320に電氣的に接続されている。電源10の他方の極は、前記第1実施形態と同様に、工作物1に電氣的に接続されている。

[0097] 本実施形態の加工電極320は、その表面を工作物1に対向させた状態で、工作物1の表面に沿って走査可能とされている。第3実施形態における電解液は、ノズル36によって、加工電極320と工作物1との間に供給されるようになっている。

[0098] 第3実施形態においても、前記した第1実施形態と同様に、チャージ制御手段40を用いて、電気二重層における電荷を解消させることにより、走査速度を低く抑えつつ、工作物の鏡面加工を行うことができるという利点がある。また、交流波形を用いることにより、電解加工における加工速度の向上を図ることができる。

[0099] 第3実施形態における他の構成及び利点は、前記した第1実施形態と同様

なので、これ以上の説明は省略する。

[0100] なお、本発明は、前記した実施の形態に限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲内において種々の変更を加え得るものである。

[0101] (付記)

前記した各実施形態に記載の発明は、項目の内容として記載することができる。

[0102] (項目A)

前記工作物から離間して配置される加工電極と、
前記工作物と前記加工電極との間に満たされる電解液と、
正方向電流パルスと逆方向電流パルスを前記工作物と前記加工電極との間に供給するための電源とを備え、
前記加工電極と前記工作物とが相対的に走査することで電解加工を行う電解加工装置において、
前記正方向電流パルスのピーク値よりも前記逆方向電流パルスのピーク値を低くするとともに、前記正方向電流パルスのパルス幅よりも前記逆方向電流パルスのパルス幅を広く設定することを特徴とする電解加工装置。

[0103] (項目B)

前記工作物から離間して配置される加工電極と、
前記工作物と前記加工電極との間に満たされる電解液と、
正方向電流パルスと逆方向電流パルスを前記工作物と前記加工電極との間に供給するための電源とを備え、
前記加工電極と前記工作物とが相対的に走査することで電解加工を行う電解加工装置において、
前記正方向電流パルスのピーク値よりも前記逆方向電流パルスのピーク値を高くするとともに、
前記正方向電流パルスのパルス幅よりも前記逆方向電流パルスのパルス幅を狭く設定することを特徴とする電解加工装置。

[0104] (項目C)

前記工作物から離間して配置される加工電極と、
前記工作物と前記加工電極との間に満たされる電解液と、
正方向電流パルスと逆方向電流パルスを前記工作物と前記加工電極との間に供給するための電源とを備え、
前記加工電極と前記工作物とが相対的に走査することで電解加工を行う電解加工装置において、
前記逆方向電流パルスのパルス幅を前記正方向電流パルスのパルス幅以下に設定するとともに、
前記逆方向電流パルスから前記正方向電流パルスへの切り替え時には休止時間を備えることを特徴とする電解加工装置。

[0105] (項目D)

前記工作物から離間して配置される加工電極と、
前記工作物と前記加工電極との間に満たされる電解液と、
正方向電流パルスと逆方向電流パルスを前記工作物と前記加工電極との間に供給するための電源とを備え、
前記加工電極と前記工作物とが相対的に走査することで電解加工を行う電解加工装置において、
前記正方向電流パルスにより前記工作物と前記加工電極との間に供給される正方向電荷に対して、
前記逆方向電流パルスにより前記工作物と前記加工電極との間に供給される逆方向電荷が小さくなるように設定するとともに、
前記逆方向電流パルスから前記正方向電流パルスへの切り替え時には休止時間を備えることを特徴とする電解加工装置。

[0106] (項目E)

前記工作物から離間して配置される加工電極と、
前記工作物と前記加工電極との間に満たされる電解液と、
正方向電流パルスと逆方向電流パルスを前記工作物と前記加工電極との間に供給するための電源とを備え、

前記加工電極と前記工作物とが相対的に走査することで電解加工を行う電解加工装置において、
前記正方向電流パルスにより前記工作物と前記加工電極との間に供給される正方向電荷（A）と、
前記逆方向電流パルスにより前記工作物と前記加工電極との間に供給される逆方向電荷（B）との比（A／B）が、
前記走査する速度が速いほど大きくなるように設定されていることを特徴とする電解加工装置。

[0107] （項目F）

前記工作物から離間して配置される加工電極と、
前記工作物と前記加工電極との間に満たされる電解液と、
正方向電流パルスを前記工作物と前記加工電極との間に供給するための電源とを備え、
前記加工電極と前記工作物とが相対的に走査することで電解加工を行う電解加工装置において、
前記正方向電流パルスを印加するためのデューティ比が、前記走査する速度が速いほど大きくなるように設定されていることを特徴とする電解加工装置。

[0108] （項目G）

前記工作物から離間して配置される加工電極と、
前記工作物と前記加工電極との間に満たされる電解液と、
正方向電流パルスと逆方向電流パルスを前記工作物と前記加工電極との間に供給するための電源とを備え、
前記加工電極と前記工作物とが相対的に走査することで電解加工を行う電解加工装置において、
前記正方向電流パルス幅に対して前記逆方向電流パルス幅が、前記走査する速度が速いほど小さくなるように設定されていることを特徴とする電解加工装置。

符号の説明

- [0109] 1 工作物
3 電解液
10 電源
20・220・320 加工電極
21 基部
22 先端部
221 取付具
30 電解液供給部
31 タンク
32 配管
33 ポンプ
34 シンク
341 ドレン部
36 ノズル
40 チャージ制御手段
50 工作物支持部
60 走査用駆動部
61 XZ方向駆動部
62 Y方向駆動部
 t_1 パルス幅
 t_2 パルス休止時間
 t_3 極性反転時間
T パルスの周期
R 電解液ジェット内の抵抗成分
 C_{DL} 電気二重層に対応するコンデンサ成分

請求の範囲

- [請求項1] 電解加工によって工作物の表面を加工するための電解加工装置であって、
- 電源と、加工電極と、電解液供給部と、チャージ制御手段とを備えており、
- 前記電源は、前記加工電極と前記工作物との間に、電解加工用の電流を流すための電圧を印加する構成となっており、
- 前記加工電極は、前記工作物から離間して配置されており、かつ、前記工作物の表面方向に沿って相対的に走査可能とされており、
- 前記電解液供給部は、前記加工電極と前記工作物との間に電解加工用の電解液を供給できる構成となっており、
- 前記チャージ制御手段は、前記電源からの電圧印加によって前記加工電極と前記工作物との間に蓄積された電荷を、解消させる構成となっている
- ことを特徴とする電解加工装置。
- [請求項2] 前記電源は、前記電流としてパルス電流を用いており、
- 前記チャージ制御手段は、前記パルス電流のデューティ比に基づいて、前記電荷を解消させる構成となっている
- 請求項1に記載の電解加工装置。
- [請求項3] 前記パルス電流におけるパルス幅の絶対値の上限は、前記加工物の表面に鏡面加工を施すに足りるほど短く設定されており、かつ、前記電解加工用の電流の電流密度は、前記鏡面加工を施すに足りるほど高く設定されている
- 請求項2に記載の電解加工装置。
- [請求項4] 前記電源は、前記電流として交流電流を用いており、
- 前記交流電流は、前記工作物を陽極とする正方向電流成分と、前記工作物を陰極とする逆方向電流成分とを有しており、
- 前記チャージ制御手段は、前記逆方向電流成分の印加により、前記

電荷を解消させる構成となっている

請求項 1 に記載の電解加工装置。

[請求項5] 前記チャージ制御手段は、前記正方向電流成分における正方向電流密度をその印加時間で積分した値と、前記逆方向電流成分における逆方向電流密度をその印加時間で積分した値とがほぼ等しくなるように、前記電源を制御する構成となっている

請求項 4 に記載の電解加工装置。

[請求項6] 前記チャージ制御手段は、前記逆方向電流成分のピーク値を、前記正方向電流成分のピーク値よりも低く設定する構成となっている

請求項 5 に記載の電解加工装置。

[請求項7] 前記チャージ制御手段は、前記交流電流における正方向電流成分と逆方向電流成分との間に電流休止期間を挿入することにより、前記電荷を解消させる構成となっている

請求項 4～6 のいずれか 1 項に記載の電解加工装置。

[請求項8] 前記加工電極は、単結晶シリコン、チタン合金、ニオブ合金、グラファイト、又は白金から構成されている

請求項 4～7 のいずれか 1 項に記載の電解加工装置。

[請求項9] 前記電源は、定電圧源又は定電流源である

請求項 1～8 のいずれか 1 項に記載の電解加工装置。

[請求項10] 前記工作物の表面の少なくとも一部は、0でない曲率を有しており、前記工作物と前記加工電極との対向面積は、この対向面積の範囲内で前記加工電極と前記工作物との距離の分布が前記曲率にかかわらず実質的に一定とみなせるほどに小さいものとされている

請求項 1～9 のいずれか 1 項に記載の電解加工装置。

[請求項11] 前記チャージ制御手段は、前記加工電極の相対的な走査に伴って、前記電荷の解消のための制御内容を変化させる構成となっている

請求項 1～10 のいずれか 1 項に記載の電解加工装置。

[請求項12] 請求項 1～11 のいずれか 1 項に記載の電解加工装置を用いた電解

加工方法であって、

前記電源により、前記加工電極と前記工作物との間に、電解加工用の電流を流すステップと、

前記加工電極を、前記工作物の表面方向に沿って相対的に走査させるステップと、

前記電解液供給部により、前記加工電極と前記工作物との間に、前記電解液を供給するステップと、

前記チャージ制御手段により、前記加工電極と前記工作物との間に蓄積された電荷を解消させるステップと

を備えることを特徴とする電解加工方法。

[請求項13]

請求項1～11のいずれか1項に記載の電解加工装置を用いた表面粗さ調整方法であって、

前記電源により、前記加工電極と前記工作物との間に、電解加工用の電流を流すステップと、

前記加工電極を、前記工作物の表面方向に沿って相対的に走査させるステップと、

前記電解液供給部により、前記加工電極と前記工作物との間に、前記電解液を供給するステップと、

前記チャージ制御手段により、前記加工電極と前記工作物との間に蓄積された電荷量を制御することにより、前記工作物表面の表面粗さを調整するステップと

を備えることを特徴とする表面粗さ調整方法。

[請求項14]

前記工作物から離間して配置される加工電極と、

前記工作物と前記加工電極との間に満たされる電解液と、

正方向電流パルスと逆方向電流パルスを前記工作物と前記加工電極との間に供給するための電源とを備え、

前記加工電極と前記工作物が相対的に走査することで電解加工を行う電解加工装置において、

前記正方向電流パルスのピーク値よりも前記逆方向電流パルスのピーク値を低くするとともに、前記正方向電流パルスのパルス幅よりも前記逆方向電流パルスのパルス幅を広く設定することを特徴とする電解加工装置。

[請求項15]

前記工作物から離間して配置される加工電極と、
前記工作物と前記加工電極との間に満たされる電解液と、
正方向電流パルスと逆方向電流パルスを前記工作物と前記加工電極との間に供給するための電源とを備え、

前記加工電極と前記工作物とが相対的に走査することで電解加工を行う電解加工装置において、

前記正方向電流パルスのピーク値よりも前記逆方向電流パルスのピーク値を高くするとともに、

前記正方向電流パルスのパルス幅よりも前記逆方向電流パルスのパルス幅を狭く設定することを特徴とする電解加工装置。

[請求項16]

前記工作物から離間して配置される加工電極と、
前記工作物と前記加工電極との間に満たされる電解液と、
正方向電流パルスと逆方向電流パルスを前記工作物と前記加工電極との間に供給するための電源とを備え、

前記加工電極と前記工作物とが相対的に走査することで電解加工を行う電解加工装置において、

前記逆方向電流パルスのパルス幅を前記正方向電流パルスのパルス幅以下に設定するとともに、

前記逆方向電流パルスから前記正方向電流パルスへの切り替え時には休止時間を備えることを特徴とする電解加工装置。

[請求項17]

前記工作物から離間して配置される加工電極と、
前記工作物と前記加工電極との間に満たされる電解液と、
正方向電流パルスと逆方向電流パルスを前記工作物と前記加工電極との間に供給するための電源とを備え、

前記加工電極と前記工作物とが相対的に走査することで電解加工を行う電解加工装置において、

前記正方向電流パルスにより前記工作物と前記加工電極との間に供給される正方向電荷に対して、

前記逆方向電流パルスにより前記工作物と前記加工電極との間に供給される逆方向電荷が小さくなるように設定するとともに、

前記逆方向電流パルスから前記正方向電流パルスへの切り替え時には休止時間を備えることを特徴とする電解加工装置。

[請求項18]

前記工作物から離間して配置される加工電極と、

前記工作物と前記加工電極との間に満たされる電解液と、

正方向電流パルスと逆方向電流パルスを前記工作物と前記加工電極との間に供給するための電源とを備え、

前記加工電極と前記工作物とが相対的に走査することで電解加工を行う電解加工装置において、

前記正方向電流パルスにより前記工作物と前記加工電極との間に供給される正方向電荷（A）と、

前記逆方向電流パルスにより前記工作物と前記加工電極との間に供給される逆方向電荷（B）との比（A/B）は、

前記走査する速度が速いほど大きくなるように設定されていることを特徴とする電解加工装置。

[請求項19]

前記工作物から離間して配置される加工電極と、

前記工作物と前記加工電極との間に満たされる電解液と、

正方向電流パルスを前記工作物と前記加工電極との間に供給するための電源とを備え、

前記加工電極と前記工作物とが相対的に走査することで電解加工を行う電解加工装置において、

前記正方向電流パルスを印加するためのデューティ比が、前記走査する速度が速いほど大きくなるように設定されていることを特徴とす

る電解加工装置。

[請求項20]

前記工作物から離間して配置される加工電極と、

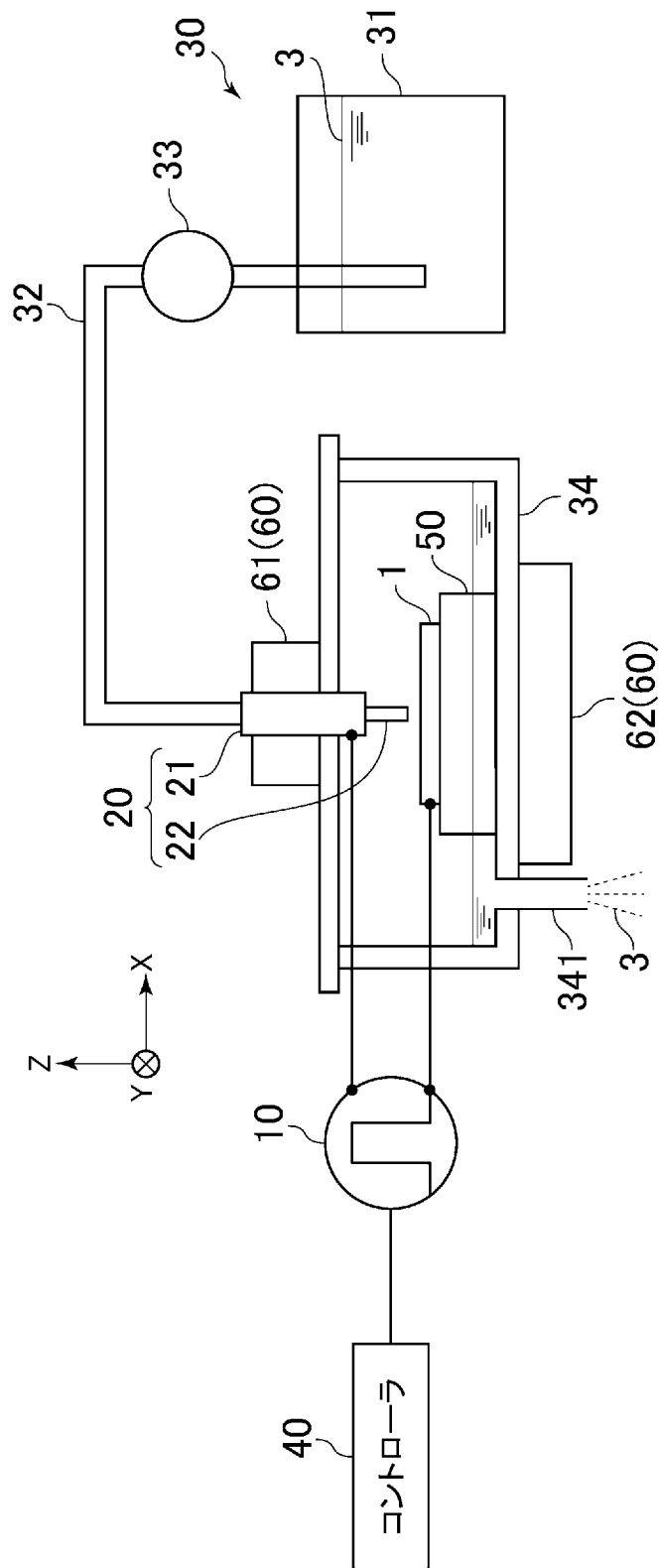
前記工作物と前記加工電極との間に満たされる電解液と、

正方向電流パルスと逆方向電流パルスを前記工作物と前記加工電極との間に供給するための電源とを備え、

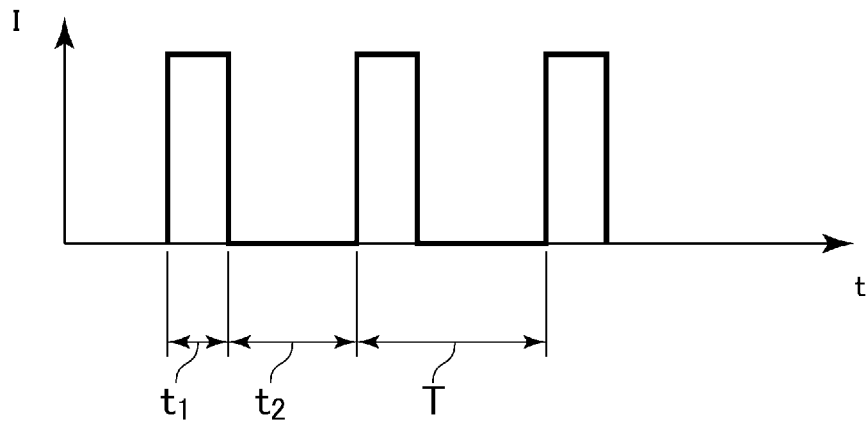
前記加工電極と前記工作物とが相対的に走査することで電解加工を行う電解加工装置において、

前記正方向電流パルス幅に対して前記逆方向電流パルス幅が、前記走査する速度が速いほど小さくなるように設定されていることを特徴とする電解加工装置。

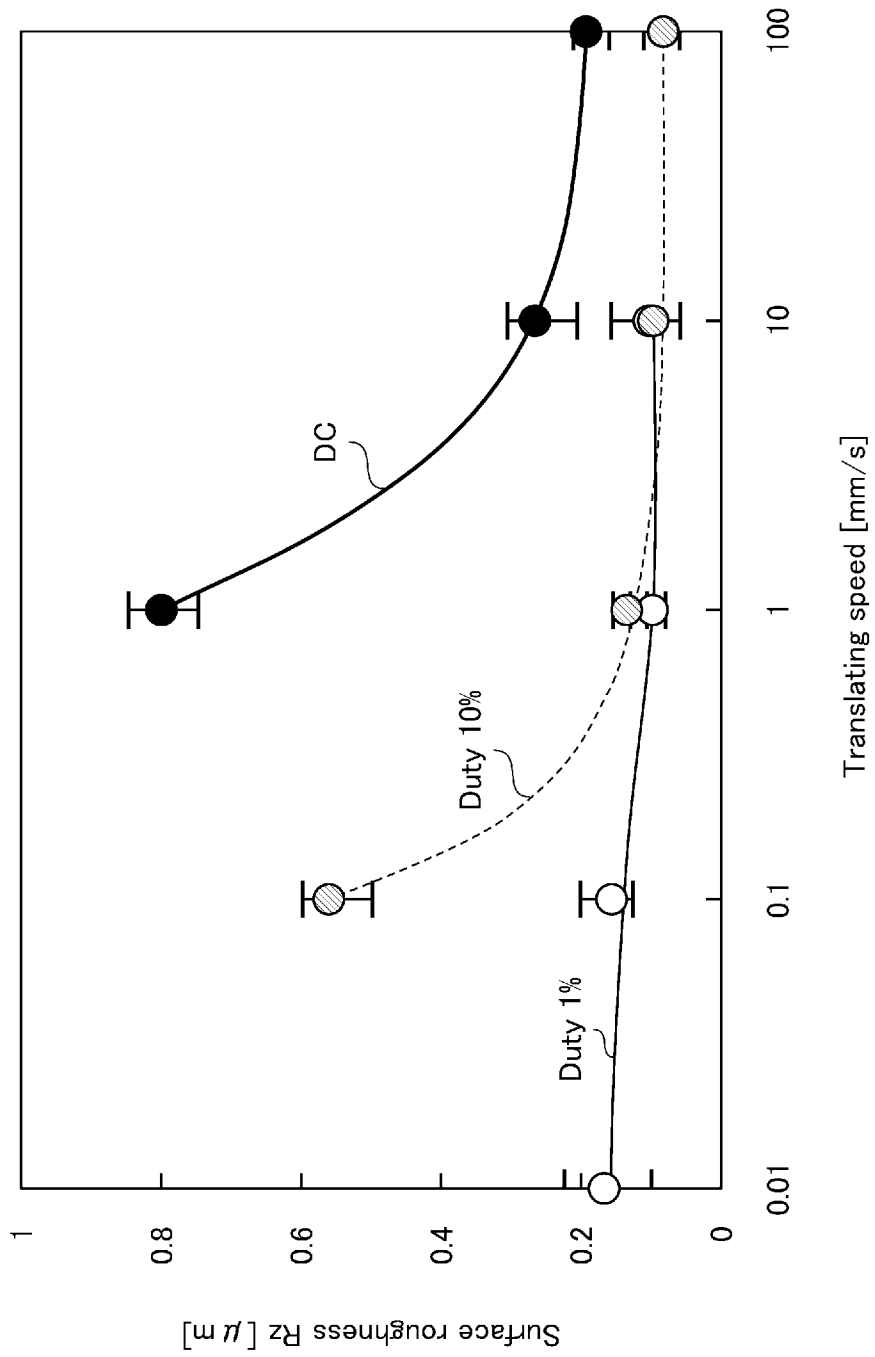
[図1]



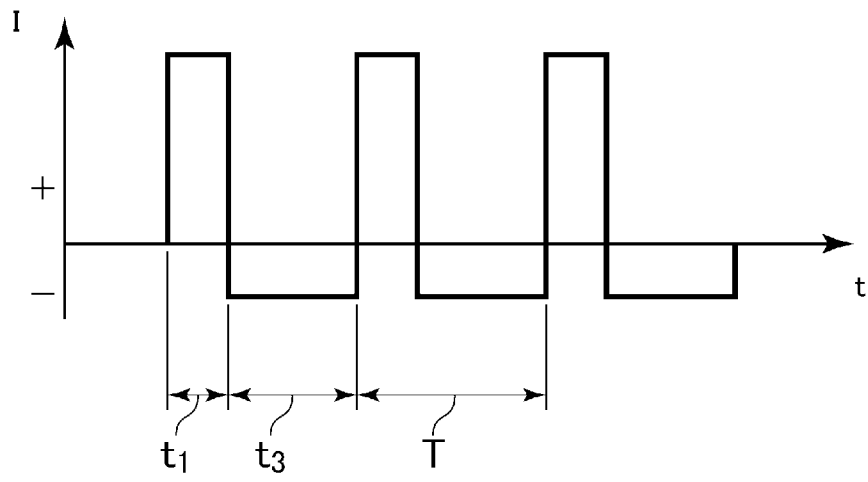
[図4]



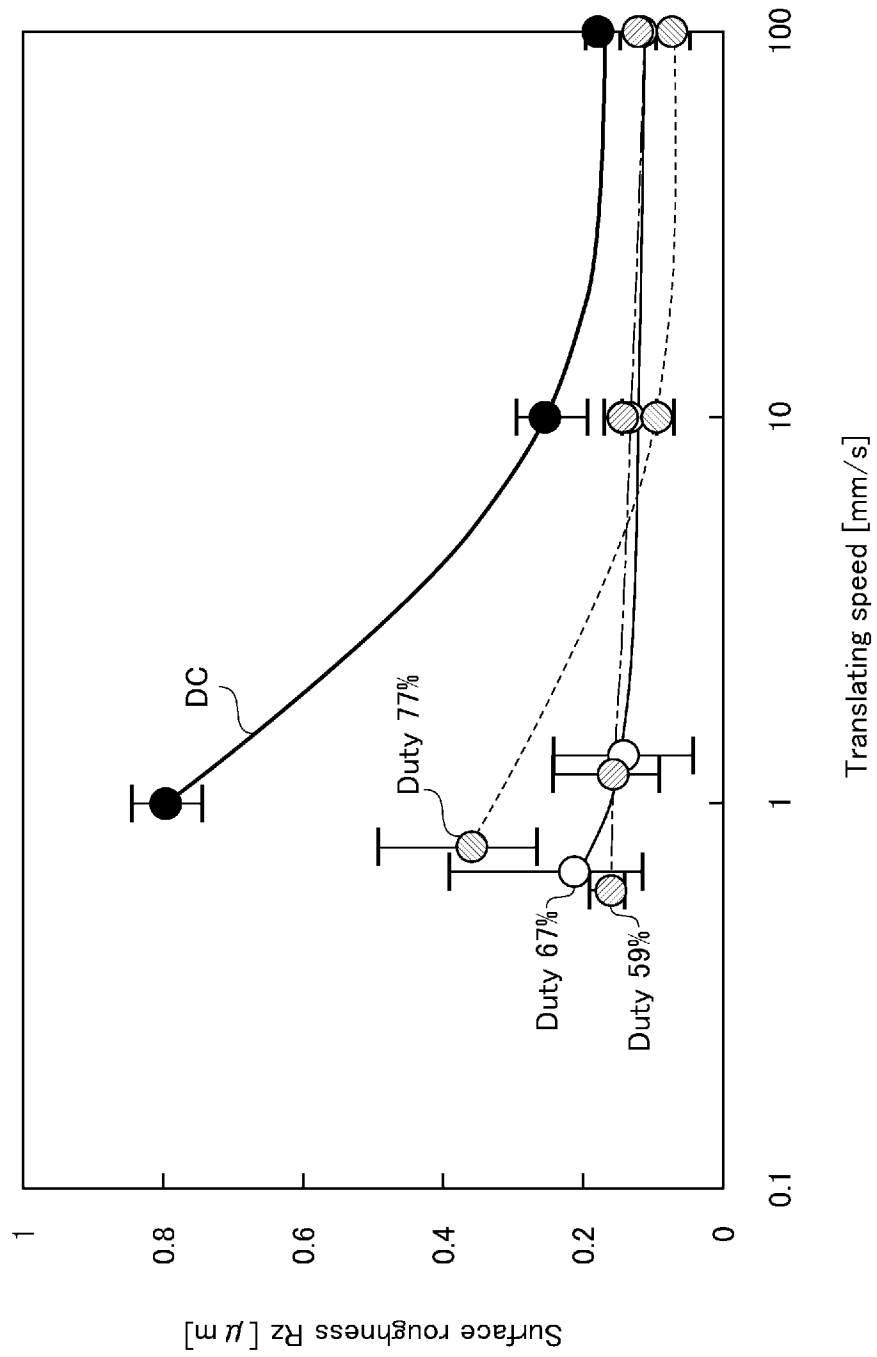
[図5]



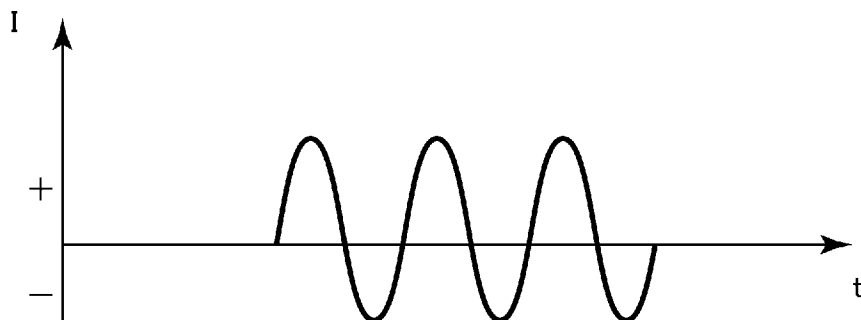
[図6]



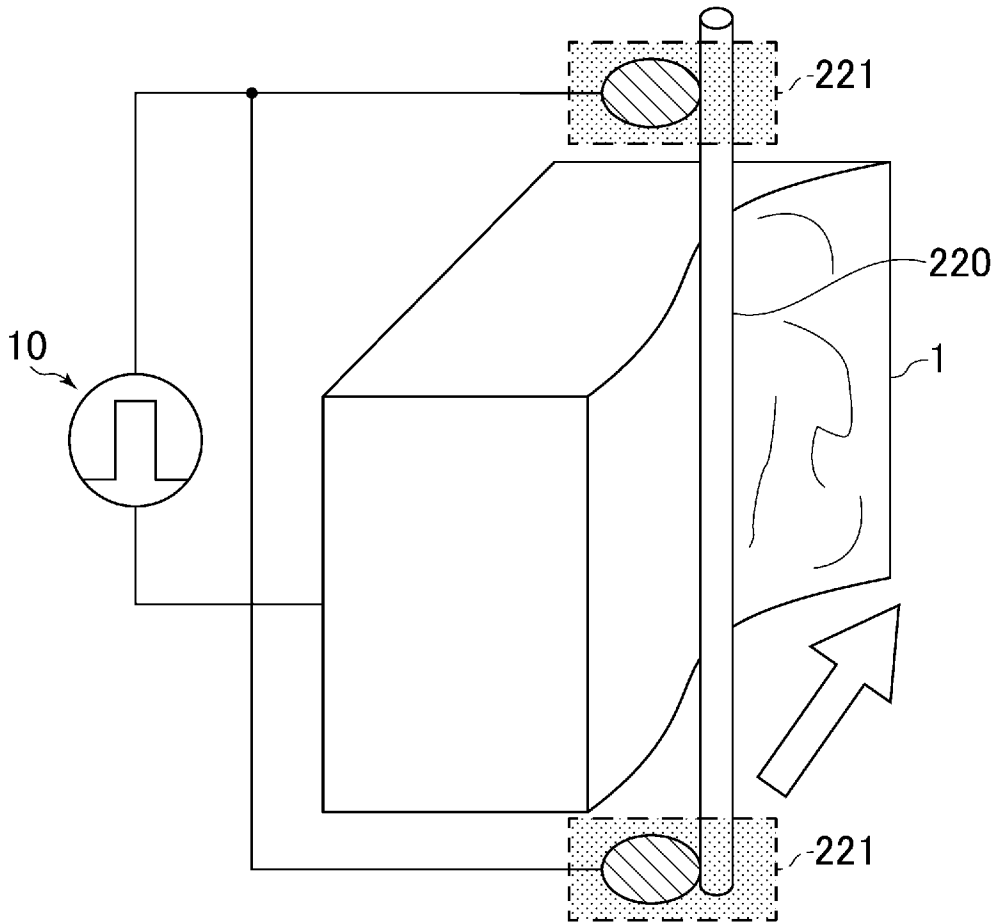
[図7]



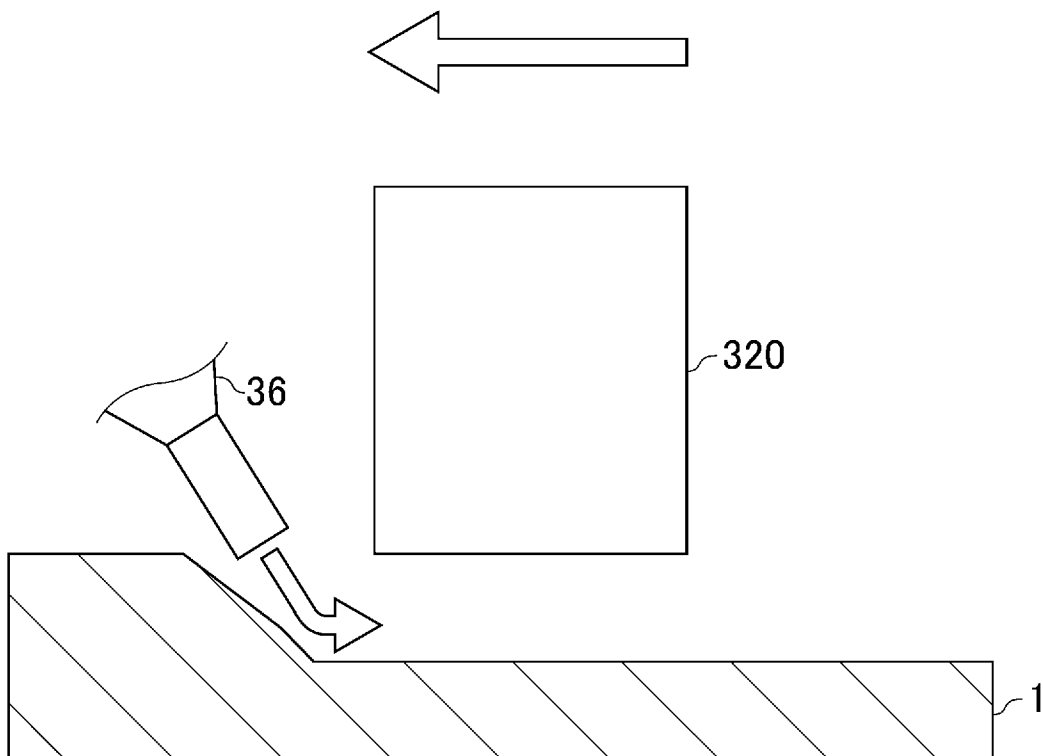
[図8]



[図9]



[図10]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2016/055802

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
B23H3/02(2006.01)i, B23H3/06(2006.01)i, B23H3/10(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)
B23H3/02, B23H3/06, B23H3/10

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

<i>Jitsuyo Shinan Koho</i>	<i>1922-1996</i>	<i>Jitsuyo Shinan Toroku Koho</i>	<i>1996-2016</i>
<i>Kokai Jitsuyo Shinan Koho</i>	<i>1971-2016</i>	<i>Toroku Jitsuyo Shinan Koho</i>	<i>1994-2016</i>

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 A	JP 2004-521761 A (Koninklijke Philips Electronics N.V.), 22 July 2004 (22.07.2004), paragraphs [0007], [0019] to [0027]; fig. 1, 4 & WO 2002/090029 A1 page 2, line 31 to page 3, line 25; page 7, line 15 to page 11, line 18	1-4, 7-17 5-6, 18-20
Y	JP 2004-358585 A (Japan Science and Technology Agency), 24 December 2004 (24.12.2004), paragraphs [0028], [0051]; fig. 1 (Family: none)	1-4, 7-17

Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"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	

Date of the actual completion of the international search 06 May 2016 (06.05.16)	Date of mailing of the international search report 17 May 2016 (17.05.16)
---	--

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/JP2016/055802

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 46-16571 B1 (Hitachi, Ltd.), 07 May 1971 (07.05.1971), column 1, line 20 to column 2, line 35; fig. 2, 4 (Family: none)	4, 7-8

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））
 Int.Cl. B23H3/02(2006.01)i, B23H3/06(2006.01)i, B23H3/10(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. B23H3/02, B23H3/06, B23H3/10

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
Y	JP 2004-521761 A (コーニンクレッカ フィリップス エレクトロ ニクス エヌ ヴィ)	1-4, 7-17
A	2004.07.22, 段落[0007], [0019]-[0027], FIG. 1, FIG. 4 & WO 2002/090029 A1, 第2ページ第31行-第3ページ第25行, 第7 ページ第15行-第11ページ第18行	5-6, 18-20

☑ 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
 06.05.2016

国際調査報告の発送日
 17.05.2016

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）
 竹下 和志
 電話番号 03-3581-1101 内線 3363

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
Y	JP 2004-358585 A (独立行政法人 科学技術振興機構) 2004.12.24, 段落[0028], [0051], 図1 (ファミリーなし)	1-4, 7-17
Y	JP 46-16571 B1 (株式会社日立製作所) 1971.05.07, 第1欄第20行-第2欄第35行, 第2, 4図 (ファミリーなし)	4, 7-8