

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2011-30508

(P2011-30508A)

(43) 公開日 平成23年2月17日(2011.2.17)

| | | | | |
|-------------------|------------------|------------|---|-------------|
| (51) Int.Cl. | | F I | | テーマコード (参考) |
| AO1K 61/00 | (2006.01) | AO1K 61/00 | L | 2B104 |
| AO1K 63/06 | (2006.01) | AO1K 63/06 | C | |

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2009-180474 (P2009-180474)
 (22) 出願日 平成21年8月3日(2009.8.3)

特許法第30条第1項適用申請有り 平成21年5月24日、社団法人日本機械学会発行の「ROBOMEC2009ロボティクス・メカトロニクス講演会2009講演論文集」に発表

(71) 出願人 800000068
 学校法人東京電機大学
 東京都千代田区神田錦町2-2
 (74) 代理人 100083806
 弁理士 三好 秀和
 (74) 代理人 100100712
 弁理士 岩▲崎▼ 幸邦
 (74) 代理人 100100929
 弁理士 川又 澄雄
 (74) 代理人 100095500
 弁理士 伊藤 正和
 (74) 代理人 100101247
 弁理士 高橋 俊一
 (74) 代理人 100098327
 弁理士 高松 俊雄

最終頁に続く

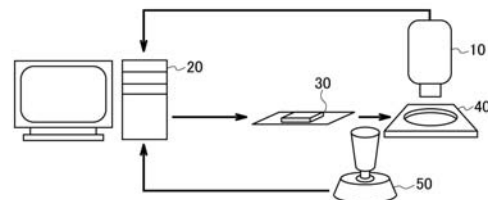
(54) 【発明の名称】 行動制御装置及び行動制御方法

(57) 【要約】

【課題】高精度に微生物の行動を制御し得る行動制御装置及び行動制御方法を提供する。

【解決手段】水中における甲殻類の行動を前記甲殻類の走性を利用して制御する行動制御装置であって、前記甲殻類を入れるための円筒状容器と、前記円筒状容器の円周壁面に設置された、青色光を照射する複数の制御用光源と、前記複数の制御用光源のうち前記甲殻類を泳がせたい方向に設置された前記制御用光源を点灯させる光源制御手段とを備える。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

水中における甲殻類の行動を前記甲殻類の走性を利用して制御する装置であって、
前記甲殻類を入れるための円筒状容器と、
前記円筒状容器の円周壁面に設置された、青色光を照射する複数の制御用光源と、
前記複数の制御用光源のうち前記甲殻類を泳がせたい方向に設置された前記制御用光源
を点灯させる光源制御手段と、
を備えたことを特徴とする行動制御装置。

【請求項 2】

前記光源制御手段は、前記甲殻類を泳がせたい方向に連続性を持たせて前記青色光の光
強度を高くすることを特徴とする請求項 1 記載の行動制御装置。

10

【請求項 3】

更に、前記甲殻類の行動確認用の照明として赤色光を照射する確認用光源を備えたこと
を特徴とする請求項 1 又は 2 記載の行動制御装置。

【請求項 4】

前記円筒状容器の壁面は、つや消し黒色で塗装されていることを特徴とする請求項 1 から
3 のいずれかに記載の行動制御装置。

【請求項 5】

前記光源制御手段は、前記甲殻類の反応遅れの特性に応じたタイミングで、点灯させる
前記制御用光源の位置を切り替えることを特徴とする請求項 1 から 4 のいずれかに記載の
行動制御装置。

20

【請求項 6】

前記光源制御手段は、点 A と点 B とを結ぶ経路上にない点 D で前記甲殻類が点 B に向か
って泳いでいる場合、点 A から見たときの点 B の方向を θ_1 、点 D から見たときの点 B の
方向を θ_2 とすると、角度 $(\theta = \theta_1 + K p (\theta_1 - \theta_2))$ に示す位置に設置されて
いる前記制御用光源を点灯させることを特徴とする請求項 1 から 5 のいずれかに記載の行
動制御装置。

【請求項 7】

更に、前記甲殻類の行動風景を撮影する撮影手段と、前記撮影手段により撮影された前
記甲殻類の行動風景をコンピュータゲームに反映させるゲーム手段とを備えたことを特徴
とする請求項 1 から 6 のいずれかに記載の行動制御装置。

30

【請求項 8】

前記甲殻類は、ミジンコであることを特徴とする請求項 1 から 7 のいずれかに記載の行
動制御装置。

【請求項 9】

水中における甲殻類の行動を前記甲殻類の走性を利用して制御する方法であって、
前記甲殻類を入れるための円筒状容器の円周壁面に青色光を照射する複数の制御用光源
を設置し、前記複数の制御用光源のうち前記甲殻類を泳がせたい方向に設置された前記制
御用光源を点灯させることを特徴とする行動制御方法。

【発明の詳細な説明】

40

【技術分野】

【0001】

本発明は、微生物の行動を制御する行動制御装置及び行動制御方法に関し、特に、ミジ
ンコに代表される小型甲殻類の行動を制御する行動制御装置及び行動制御方法に関する。

【背景技術】

【0002】

微生物には、環境内に存在する刺激に対して一方向に行動を起こす場合があり、この性
質を走性という。刺激の種類により、圧力走性、化学走性、電気走性、磁気走性、重力走
性、水分走性、光走性、水流走性、温度走性、接触走性などがある。走性には、刺激に向
かう正の走性と刺激から遠ざかる負の走性とがある。各微生物が全ての走性を持つわけで

50

はなく、どのような走性を持つかは微生物によって異なる。刺激により行動は起こすが、その方向がでたらめの場合は「動性」と呼び、走性と区別する。

【0003】

本発明者らは、これまでに上述の走性を利用して微生物の行動を制御し、微生物を「生きたマイクロマシン」として機械的に利用する研究を行ってきた（非特許文献1参照）。具体的には、ゾウリムシなどの電気走性を持つ原生生物を微弱電場で行動制御するシステムや、ミドリムシなどの光走性を持つ原生生物を一般光やレーザー光で行動制御するシステムを開発してきた。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0004】

【非特許文献1】A. Itoh, "Motion Control of Protozoa for Bio-MEMS", IEEE/ASME Transaction on Mechatronics, Vol.5, No.2, P181-188, June, 2000.

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、ゾウリムシやミドリムシなどの原生生物は各個体による反応のばらつきが極めて大きい。すなわち、これら原生生物を「生きたマイクロマシン」として応用するには、行動制御の性能の悪さから苦戦しているのが現状である。

【0006】

本発明は、上記課題を解決するためになされたものであり、その目的は、高精度に微生物の行動を制御し得る行動制御装置及び行動制御方法を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明の第1の特徴は、水中における甲殻類の行動を前記甲殻類の走性を利用して制御する行動制御装置であって、前記甲殻類を入れるための円筒状容器と、前記円筒状容器の円周壁面に設置された、青色光を照射する複数の制御用光源と、前記複数の制御用光源のうち前記甲殻類を泳がせたい方向に設置された前記制御用光源を点灯させる光源制御手段とを備えたことである。

【0008】

本発明の第2の特徴は、前記行動制御装置において、前記光源制御手段が、前記甲殻類を泳がせたい方向に連続性を持たせて前記青色光の光強度を高くすることである。

【0009】

本発明の第3の特徴は、前記行動制御装置において、更に、前記甲殻類の行動確認用の照明として赤色光を照射する確認用光源を備えたことである。

【0010】

本発明の第4の特徴は、前記行動制御装置において、前記円筒状容器の壁面が、つや消し黒色で塗装されていることである。

【0011】

本発明の第5の特徴は、前記行動制御装置において、前記光源制御手段が、前記甲殻類の反応遅れの特性に応じたタイミングで、点灯させる前記制御用光源の位置を切り替えることである。

【0012】

本発明の第6の特徴は、前記行動制御装置において、前記光源制御手段が、点Aと点Bとを結ぶ経路上にない点Dで前記甲殻類が点Bに向かって泳いでいる場合、点Aから見たときの点Bの方向を θ_1 、点Dから見たときの点Bの方向を θ_2 とすると、角度 $\theta = \theta_1 + K \rho (\theta_1 - \theta_2)$ に示す位置に設置されている前記制御用光源を点灯させることである。

【0013】

本発明の第7の特徴は、前記行動制御装置において、更に、前記甲殻類の行動風景を撮

10

20

30

40

50

影する撮影手段と、前記撮影手段により撮影された前記甲殻類の行動風景をコンピュータゲームに反映させるゲーム手段とを備えたことである。

【0014】

本発明の第8の特徴は、前記行動制御装置において、前記甲殻類が、ミジンコであることである。

【0015】

本発明の第9の特徴は、水中における甲殻類の行動を前記甲殻類の走性を利用して制御する方法であって、前記甲殻類を入れるための円筒状容器の円周壁面に青色光を照射する複数の制御用光源を設置し、前記複数の制御用光源のうち前記甲殻類を泳がせたい方向に設置された前記制御用光源を点灯させることである。

10

【発明の効果】

【0016】

本発明によれば、高精度に微生物の行動を制御し得る行動制御装置及び行動制御方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】本発明の実施の形態における行動制御装置の構成を示す図である。

【図2】つり糸をミジンコの背中に貼付けた様子を示す図である。

【図3】第二触覚の動作頻度とレーザ光の照射位置との関係を示す図である。

【図4】第二触覚の振り幅とレーザ光の照射位置との関係を示す図である。

20

【図5】行動制御プールの概観を示す図である。

【図6】行動制御実験風景の一例を示す図である。

【図7】点灯させる光源の位置を切り替えた際の遊泳経路を示す図である。

【図8】点灯させる光源の位置を切り替えた際に反応までにかかる時間を示す図である。

【図9】制御方程式の概要を説明するための図である。

【図10】プラスチックのボールをミジンコに搬送させている様子を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0018】

以下、本発明の実施の形態について図面を参照して詳細に説明する。

【0019】

30

本発明の実施の形態における行動制御装置は、ミジンコの行動を走性を利用して制御する装置であって、図1に示すように、ビデオカメラ10と、パーソナルコンピュータ20と、マイクロコンピュータ30と、行動制御プール40と、ジョイスティック50とを備えている。ビデオカメラ10は、行動制御プール40内のミジンコを撮影する装置である。パーソナルコンピュータ20は、ビデオカメラ10やジョイスティック50からの信号を用いて各種演算を行う装置である。マイクロコンピュータ30は、パーソナルコンピュータ20からの信号に基づいて、行動制御プール40に設置された機器を制御する装置である。行動制御プール40は、ミジンコを入れるための円筒状容器や、青色光を照射する複数の制御用光源などを備えている。

【0020】

40

ところで本発明者らは、これまで各種の原生生物の走性を利用した行動制御、およびその工学的な利用方法について検討してきた。しかしながら、水中微生物には、これらの単細胞生物のみならず、ミジンコに代表される小型甲殻類など、さまざまな多細胞生物も存在し、これらも走性を持つことが知られている。これらの多細胞生物を走性を利用して制御することについては、現時点では、全く検討されていない。そこで本発明では、ミジンコを中心とした小型甲殻類について、光走性を利用した行動制御手法について検討した。

【0021】

まず、光走性を利用するに当たって、どのようなメカニズムによりミジンコが青色光に集まるかを知っておく必要がある。そのため、ミジンコを固定した状態で、様々な方向から青色レーザ光を照射して、その時のミジンコの反応を調査した。ミジンコは、基本的に

50

は大きな第二触角を動かすことで遊泳する。この第二触角の動きを高速度ビデオカメラにて記録し、レーザ光の波長、強度、照射位置などを変えたときに第二触角の反応頻度を最初に調べた。なお、ミジンコの固定は、図2に示すように、過去のミジンコ研究で行われている手法を参考に、髪の毛や極細つり糸を瞬間接着剤によりミジンコの背中に貼付ける方法により固定した。実験の結果、触角の動作頻度は、青色レーザ（波長473nm）で最大となり、強度は強いほど頻度は増加した。照射位置については、図3に示すように、目に近い位置に照射するほど頻度は増加した。次に、様々な角度から青色レーザを目に向けて照射した結果、図4に示すように、上部、斜め右より照射した場合は左の触覚の振り幅が増加し、斜め左から照射した場合は、右の触覚の振り幅が増加する傾向があることがわかった。すなわち、光と反対方向の触覚を大きく振ることで、ミジンコは光に向かって泳いでいると考えられる。なお、動作頻度や、振り時間には、左右で有意な差は見られなかった。

10

20

30

40

50

【0022】

以上をもとに、プール内で青色光によって行動制御する方法を検討した。ミジンコの場合は、はっきりとした指向性光走性を示すため、青色光の光強度がなだらかに光源に向かって増加するように分布させるのが良さそうである。ミドリムシ用の装置を利用してレーザによる行動制御も試みたが、照射面積が狭いレーザではうまく行動制御できなかった。そこで、基礎実験から最もよく光源に集まった、波長470nm、広角60度の超高輝度青色LEDを行動制御に利用することにし、LEDの配置やプールの構造について、様々なタイプを試作し、検討した。その結果、プールで光が反射すると、その反射光へも向かうようになるため、制御が困難になることがわかり、プールはLED以外の箇所をつや消し黒にて塗装した。最終的には、図5に示すように、直径130mm、深さ15mmの円筒状容器41の周りに24個のLED（光源）42を装着し、ジョイスティック50を傾けた方向の光が照射されるタイプの行動制御プール40を試作した。

【0023】

なお、ミジンコの光走性は、反応する波長領域としてはミドリムシに似ており、青色光に最も良く反応し、赤色光への反応が少ない。これは、行動制御用の光として青色光を用い、ミドリムシの行動確認用の照明として赤色光を用いることができることを意味する。すなわち、赤色光を照射する確認用光源を備えれば、ミジンコの行動制御に影響を与えることなく、ミジンコの行動を正確に確認することができる。

【0024】

マニュアル制御によるミジンコ43の行動制御実験を行った結果、ゾウリムシを電場制御した場合に比べはるかに制御性がよく、自在に行動制御できることが明らかになった。例えば、図6は、ミジンコ43を星型経路に沿って遊泳させたときの実験風景を示している。このような星型経路を5周にわたって遊泳させた場合でも、星型を認識できる程度に精度よくミジンコ43の行動を制御し得ることが分かった。

【0025】

次に、支持する遊泳方向を切り替えた時の反応遅れの特性調査を行った。調査の結果、常に光源の方向に向かってほぼ一直線に向かって遊泳することが分かり、図7に示すように、この遊泳方向を切り替えた時に反応遅れが生じることが分かった。また、点灯させる光源42の位置を切り替えた際に反応までにかかる時間は約0.3秒から0.6秒となることが分かり、図8に示すように、LED42の光が切り替わった時に、それまでの進行方向に対しての角度が小さいほど反応が良い結果が出た。そこで、このような反応遅れの特性に応じたタイミングで、点灯させる光源42の位置を切り替えるようにしてもよい。例えば、反応遅れ時間が0.3秒の方向に遊泳方向を切り替えたい場合は、その切り替え地点にミジンコ43が到達する0.3秒前に、点灯させる光源42の位置を切り替えるのが好ましい。

【0026】

次に、自動的にミジンコ43の行動を制御する実験を行った。ここでは、図9に示すように、点Aと点Bとを結ぶ経路上にない位置（点D）でミジンコ43が点Bに向かって泳

いでいる場合を想定している。この場合、点 A から見たときの点 B の方向を θ_1 、点 D から見たときの点 B の方向を θ_2 とすると、 $\theta = \theta_1 - \theta_2$ と表すことができる。そこで、次式に示す角度 θ の位置に設置されている光源 42 を点灯させると、ミジンコ 43 を点 A と点 B とを結ぶ経路上に誘導して、この経路上を泳がせることが可能になる。比例係数 K_p の値は 0 から 2 までの間で実験したところ 1.5 のときに良い結果が出た。なお、ミジンコ 43 の位置は、ビデオカメラ 10 により撮影された画像をパーソナルコンピュータ 20 で解析すれば検出することができる。

【0027】

$$\theta = \theta_1 + K_p (\theta_1 - \theta_2)$$

また、マニュアル操作によってオオミジンコに物体を衝突させることで物体を搬送させる実験を行った。搬送物体としてポリプロピレンの板をこの字に加工し、いくつかのサイズを用いて搬送が可能かどうかを検証した。実験の結果として長辺が 30 mm までの搬送物体においては衝突をさせ搬送させることに成功をした。この結果よりミジンコの発生力は原生生物よりも大きく、また自身の体長よりも大きい物を搬送できる力があることが分かった。例えば、図 10 に示すように、最大直径 8 mm のプラスチックのボールをミジンコに搬送させることにも成功した。

【0028】

以上のように、本発明では、オオミジンコの走性を調査した結果、青色光については強い正の指向性光走性を持つことを明らかにした。またシャーレ状プールの円周壁面に青色 LED を並べて設置し、ジョイスティックの傾く方向の LED が点灯する方式の行動制御手法を開発した。これの装置により実験を行った結果、原生生物よりもはるかに制御性の良い行動制御が可能であることが明らかになった。ミジンコは原生生物よりも大型のため、マイクロマシンとしては用途は限られるが、小型の種類もあり、幼生の利用も含めれば、高い制御性から原生生物ではできないマイクロ作業をさせられる可能性がある。また、ミジンコを固定した状態で、触覚をツールとして利用することも考えられよう。

【0029】

更に、ミジンコの示す行動制御の自在性は、人がミジンコを操ることで楽しむ、ホビー・レジャー用途としても有望である。すなわち、ゾウリムシを飼育する場合は、飼育溶液が発するドブのような臭いが問題となる。一方、ミジンコの場合は、(1) 餌とするのは植物プランクトンであり、緑になった池の水を与えればよいので、ゾウリムシのような臭いはしないこと、(2) 容姿がエビカニに近いので可愛らしく感じられること、(3) サイズが大きなものでは 2 ~ 4 mm と、微生物としては大きく目で確認しやすいこと、(4) 何よりも、ただ浮かんでいると思っていたミジンコが、こちらの思い通りに自在に動くこと、などより、ホビー用途に対する有望性は極めて高いものと思われる。

【0030】

ビデオカメラ 10 により撮影されたミジンコの映像をスーパーインポーズすることで、コンピュータゲームの主角として実物のミジンコを登場させる方法もある。この場合、装置の値段は、ミジンコの大きさを考えるとゾウリムシなどに比べて十分に安く作製できるであろう。また、ミジンコをペットとして、ペットと共に争う犬のアジリティ競技のように競技化できる可能性もある。このようなゲームは、例えば、ビデオカメラ 10 により撮影されたミジンコの行動風景の映像に障害物の画像を重ね合わせることで実現することができる。この場合、障害物を通過する度に得点が加算され、一定の得点に達すると実物のミジンコに餌を与えたり飼育溶液中に酸素を供給するようにしてもよい。その他、ミジンコに迷路を通過させたり物体を搬送させたりして、そのタイムを競うゲームも考えられる。このようなゲームは、パーソナルコンピュータ 20 に搭載してもよいし、パーソナルコンピュータ 20 とネットワークを介して接続された別のコンピュータに搭載してもよい。

【0031】

なお、前記の説明では、円筒状容器 41 の周りに 24 個の LED 42 を装着することとしているが、LED 42 の数はこれに限定されるものではなく、例えば 2 倍の 48 個の LED 42 を装着してもよい。また、ミジンコの行動を平面内で制御するのではなく空間内

10

20

30

40

50

で制御したい場合は、円筒状容器 4 1 の周りに L E D 4 2 の輪を何重にも装着すればよい。このようにすれば、水平方向だけでなく垂直方向にも L E D 4 2 が配置されるので、ミジンコの行動を空間内で制御することが可能になる。

【 0 0 3 2 】

また、前記の説明では、L E D を光源として採用することとしているが、本発明はこれに限定されるものではない。すなわち、ミジンコを泳がせたい方向に連続性を持たせて青色光の光強度を高くすることができれば、他の光源を採用してもかまわない。

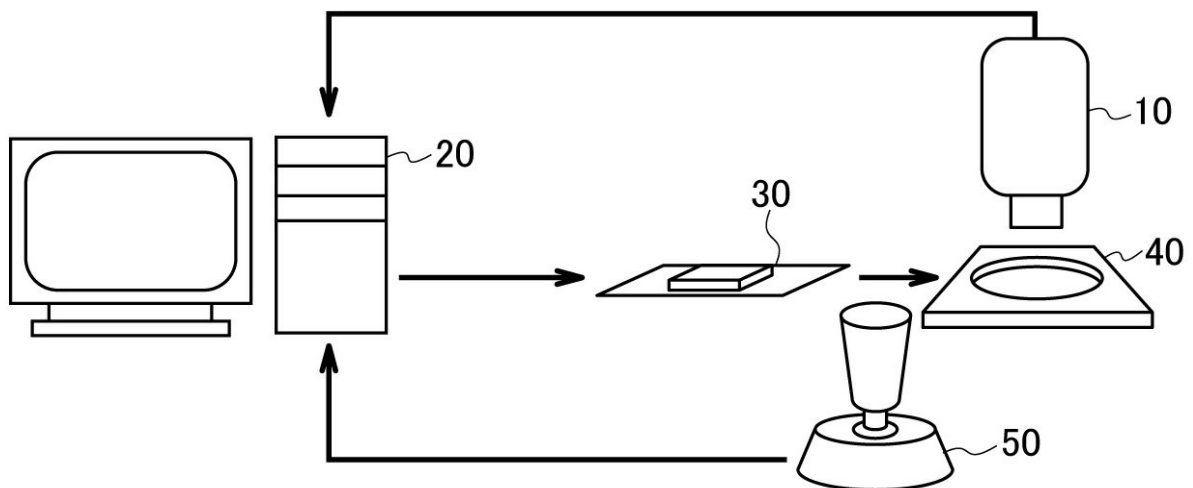
【 符号の説明 】

【 0 0 3 3 】

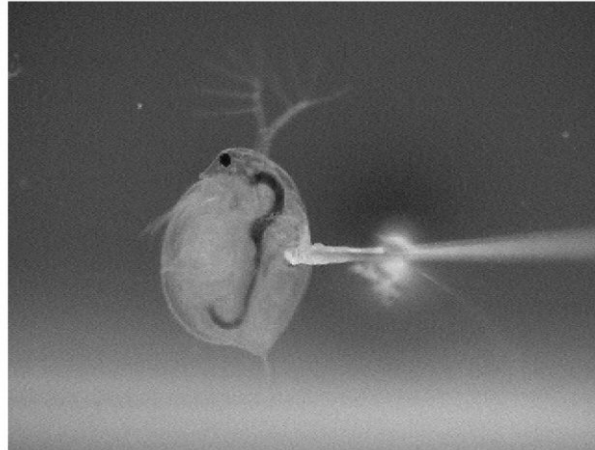
- 1 0 . . . ビデオカメラ
- 2 0 . . . パーソナルコンピュータ
- 3 0 . . . マイクロコンピュータ
- 4 0 . . . 行動制御プール
- 4 1 . . . 円筒状容器
- 4 2 . . . L E D (光源)
- 4 3 . . . ミジンコ
- 5 0 . . . ジョイスティック

10

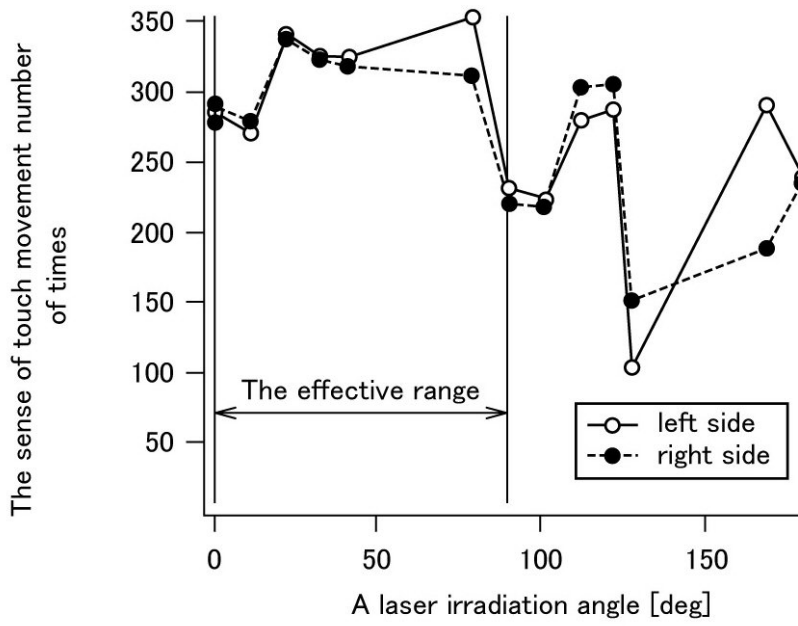
【 図 1 】



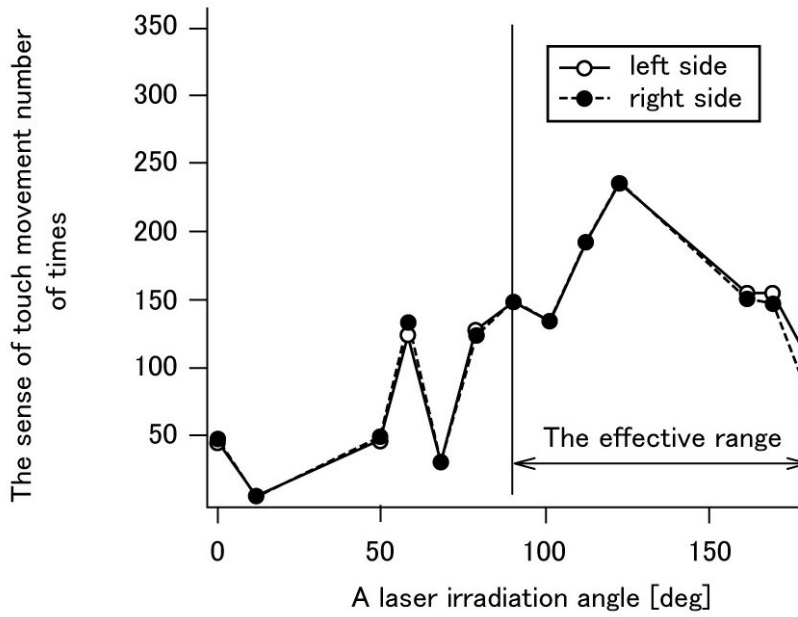
【 図 2 】



【 図 3 】

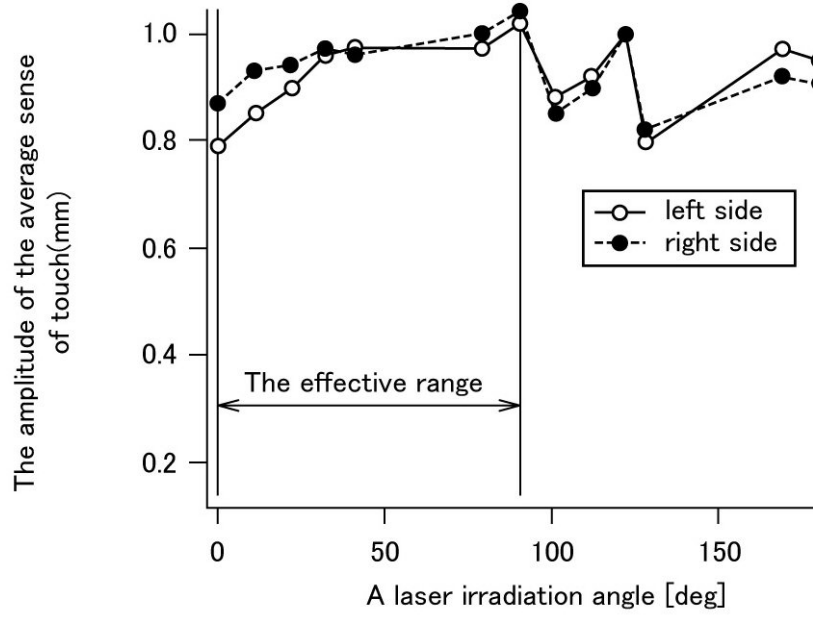


(a) 0 [deg] to 180 [deg]

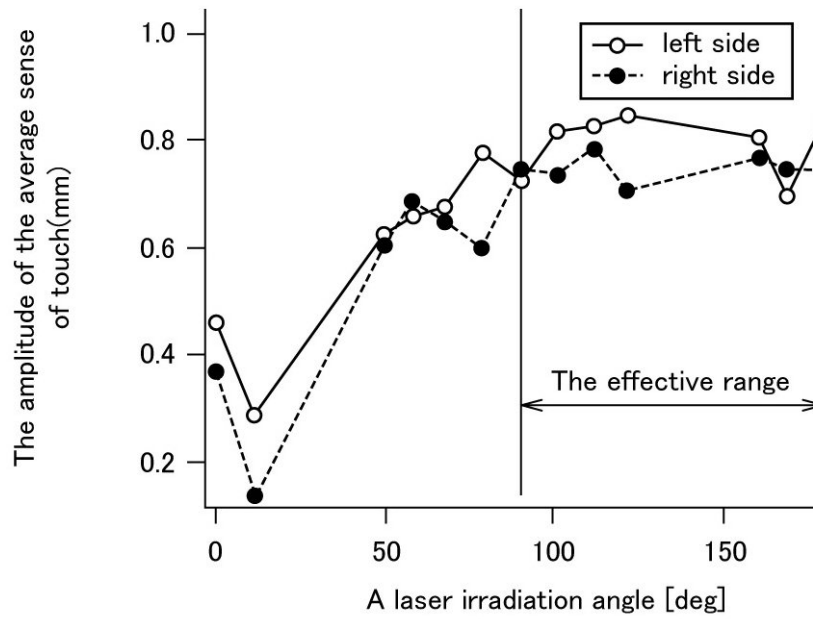


(b) 0 [deg] to 180 [deg]

【 図 4 】

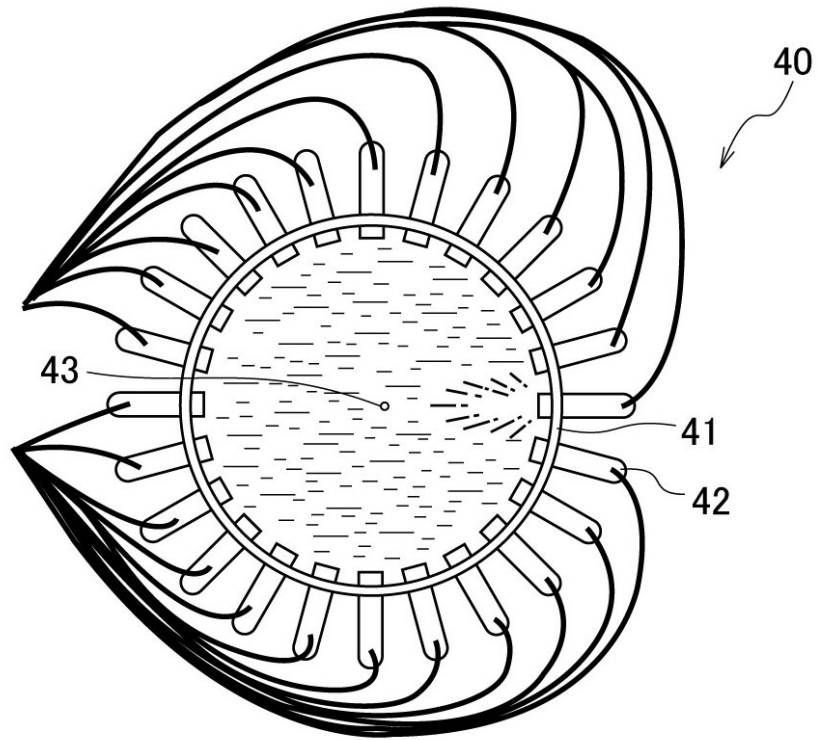


(a) 0 [deg] to 180 [deg]

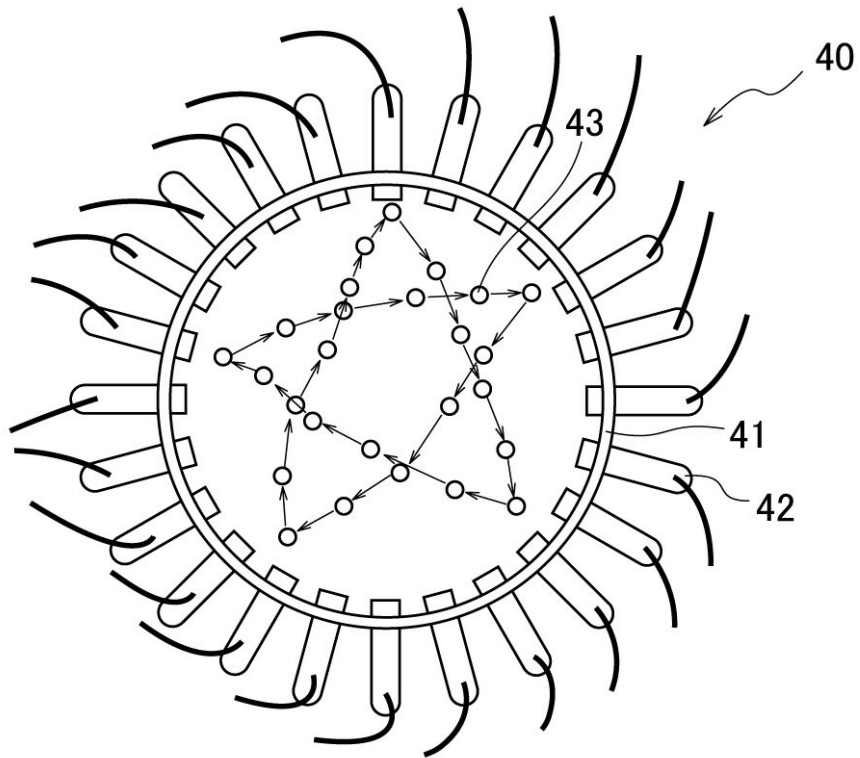


(b) 0 [deg] to 180 [deg]

【 図 5 】

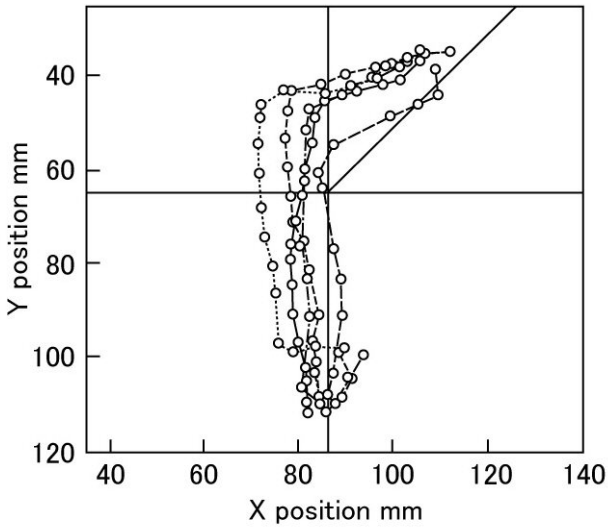


【 図 6 】

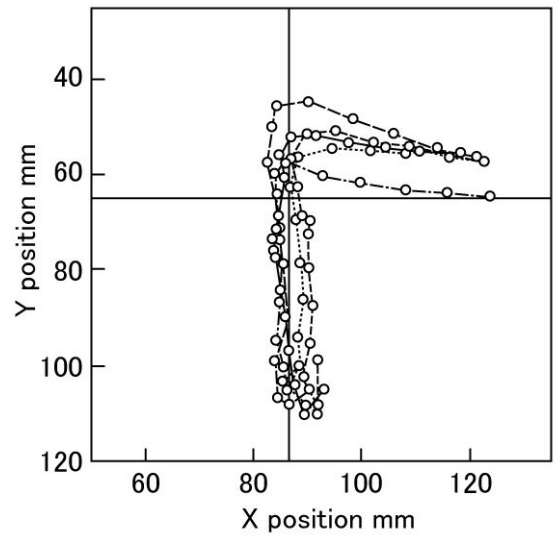


【 図 7 】

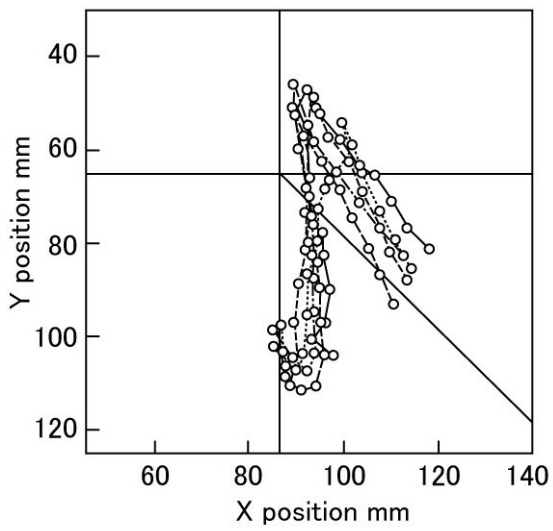
(a) 45 deg.



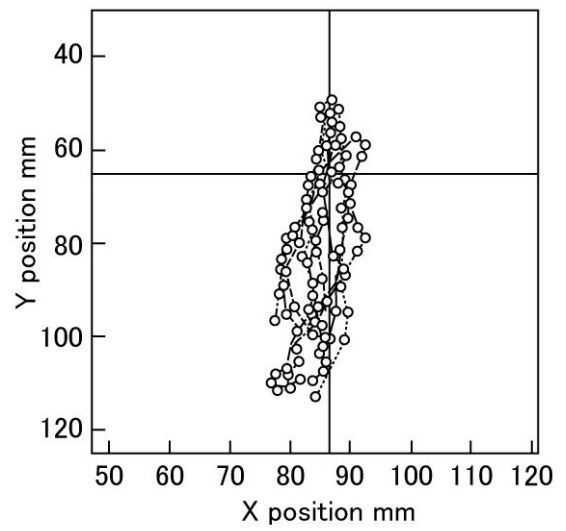
(b) 90 deg.



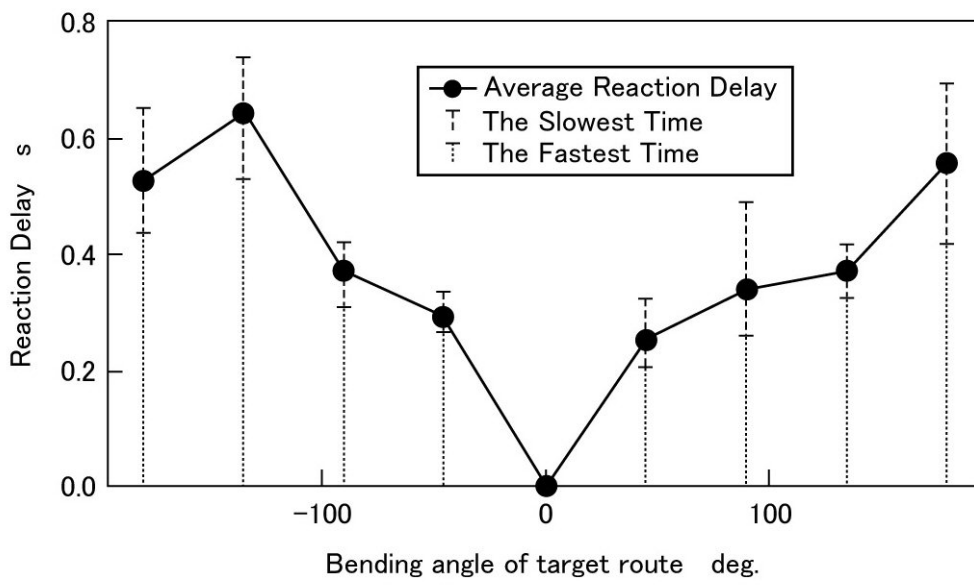
(c) 135 deg.



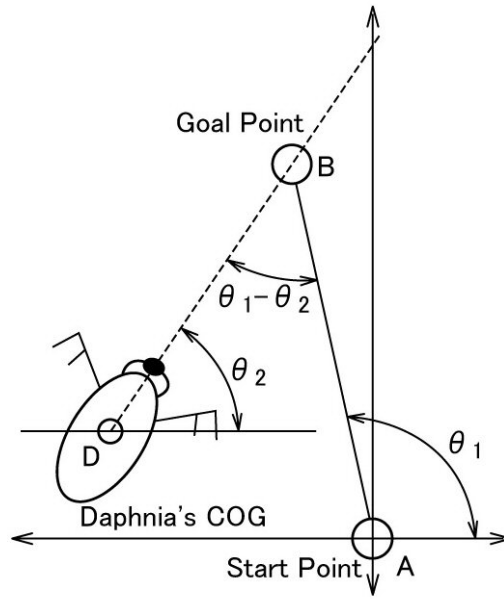
(d) 180 deg.



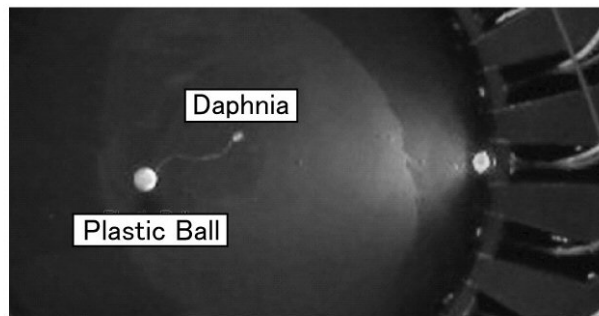
【 図 8 】



【 図 9 】



【 図 10 】



フロントページの続き

(72)発明者 伊東 明俊

東京都千代田区神田錦町2丁目2番地 学校法人東京電機大学内

Fターム(参考) 2B104 AA34 BA00 EG01 EG06 EG07