(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
2020年3月12日(12.03.2020)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2020/050306 A1

(51) 国際特許分類:
G01F 17/00 (2006.01)　*A01K 61/95* (2017.01)

(21) 国際出願番号：　PCT/JP2019/034745

(22) 国際出願日：　2019年9月4日(04.09.2019)

(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 2018-167565　2018年9月7日(07.09.2018)　JP

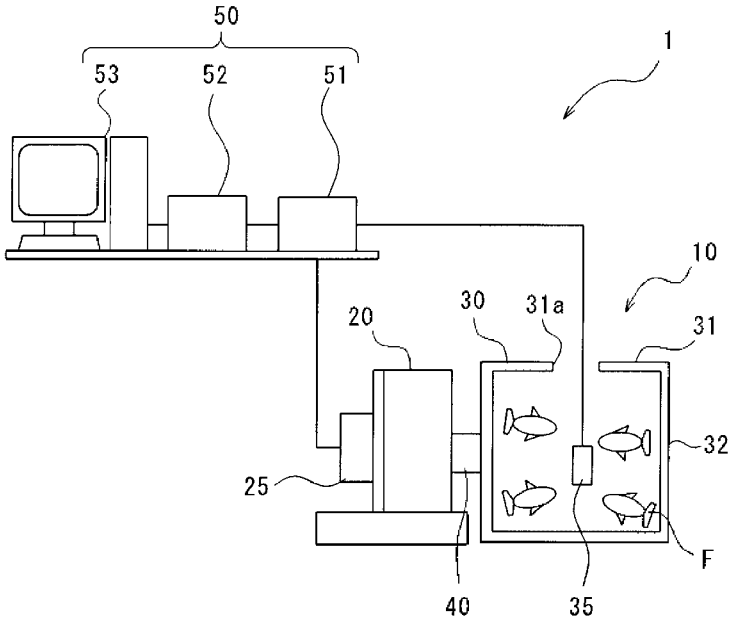
(71) 出願人: 国立大学法人京都大学(**KYOTO UNIVERSITY**) [JP/JP]; 〒6068501 京都府京都市左京区吉田本町３６番地１ Kyoto (JP). 国立大学法人岐阜大学(**GIFU UNIVERSITY**) [JP/JP]; 〒5011193 岐阜県岐阜市柳戸１番１ Gifu (JP).

(72) 発明者: 近藤 直(**KONDO, Naoshi**); 〒6068501 京都府京都市左京区吉田本町３６番地１ 国立大学法人京都大学内 Kyoto (JP). ンジャネ・スティーブン・ンジェヒア(**NJANE, Stephen Njehia**); 〒6068501 京都府京都市左京区吉田本町３６番地１ 国立大学法人京都大学内 Kyoto (JP). 小川 雄一(**OGAWA, Yuichi**); 〒6068501 京都府京都市左京区吉田本町３６番地１ 国立大学法人京都大学内 Kyoto (JP). 鈴木 哲仁(**SUZUKI, Tetsuhito**); 〒6068501 京都府京都市左京区吉田本町３６番地１ 国立大学法人京都大学内 Kyoto (JP). 緒方 康平(**OGATA, Kohei**); 〒6068501 京都府京都市左京区吉田本町３６番地１ 国立

(54) **Title:** VOLUME MEASURING DEVICE AND VOLUME MEASURING METHOD

(54) 発明の名称： 体積計測装置および体積計測方法

［図1］



(57) **Abstract:** A volume measuring device 1 is provided with: a first container 20 demarcating a first space S1; a second container 30 demarcating a second space S2; a neck portion 40 demarcating a flow passage FP providing fluid communication between the spaces S1, S2; a speaker 25 which is disposed in the first space S1 and which emits sound in a prescribed frequency range; a hydrophone 35 disposed in the second space S2; a storage unit 53c storing a reference resonant frequency f_0, which is the frequency of a resonant sound generated in the second space S2

WO 2020/050306 A1

［続葉有］

大学法人京都大学内 Kyoto (JP). 西津 貴久 **(NISHIZU, Takahisa)**; 〒5011193 岐阜県岐阜市柳戸１番１ 国立大学法人岐阜大学内 Gifu (JP).

(74) 代理人: 山尾 憲人, 外 **(YAMAO, Norihito** et al.); 〒5300017 大阪府大阪市北区角田町８番１号梅田阪急ビルオフィスタワー青山特許事務所 Osaka (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, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, 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), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

一 国際調査報告（条約第21条(3)）

by the sound emitted by the speaker 25 when fish F are not present in the second space S2; a resonance analyzing unit 53b which analyzes sound collected by the hydrophone 35 to acquire a target resonant frequency f, which is the frequency of the resonant sound when fish F are present in the second space S2; and a volume calculating unit 53d which calculates a volume V_o of the fish F on the basis of the frequencies f_0, f.

(57) 要約：体積計測装置１は、第１空間Ｓ１を画定する第１容器２０と、第２空間Ｓ２を画定する第２容器３０と、空間Ｓ１，Ｓ２を流体的に連通する流路ＦＰを画定するネック部４０と、第１空間Ｓ１に配置され、所定の周波数範囲の音を発するスピーカ２５と、第２空間Ｓ２に配置されたハイドロホン３５と、第２空間Ｓ２に魚Ｆが存在しない場合におけるスピーカ２５の発する音によって第２空間Ｓ２に生じる共鳴音の周波数である基準共鳴周波数f_0を記憶した記憶部５３ｃと、ハイドロホン３５で集音された音を分析することで、第２空間Ｓ２に魚Ｆが存在する場合における同共鳴音の周波数である対象共鳴周波数ｆを取得する共鳴分析部５３ｂと、周波数f_0，ｆに基づいて魚Ｆの体積V_oを算出する体積演算部５３ｄとを備える。

明　細　書

発明の名称 ： 体積計測装置および体積計測方法

技術分野

[0001]　本発明は、体積計測装置および体積計測方法に関する。

背景技術

[0002]　特許文献１には、ネック部と容器本体を備えるヘルムホルツ共鳴器を用いて水中で活動する生魚等の体積を計測する方法が開示されている。このヘルムホルツ共鳴器には、ネック部の開口部にリード部が設けられている。リード部に所定流速の水流を所定方向から当てると音が発生し、共鳴する。当該方法は、リード部から発生する音の共鳴周波数に基づいて生魚等の体積を計測するものである。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特許第６１０３７１３号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004]　しかし、リード部から発生する音を共鳴させるためには、リード部に当てる水流の流速を速くすることが必要な場合があり、当該水流によって生魚が傷つけられるおそれがある。従って、特許文献１の方法は、養殖魚等の体積を計測するためには適さない場合がある。また、計測精度の観点からも改善の余地がある。

[0005]　本発明は、液体中に存在する対象物の体積を高精度かつ安全に計測できる体積計測装置および体積計測方法を提供することを課題とする。

課題を解決するための手段

[0006]　本発明の第１の態様は、液体を貯留する第１空間を画定する第１容器と、前記液体を貯留して対象物が液体内に配置される第２空間を画定する第２容器と、前記第１空間と前記第２空間とを流体的に連通する流路を画定するネ

ック部と、前記第１空間に配置され、所定の周波数範囲の音を発する発音部と、前記第２空間に配置された集音部と、前記発音部から発せられ、前記第２空間にて共鳴し、前記集音部にて集音された音の共鳴周波数を用いて前記対象物の体積を算出する制御装置とを備える、体積計測装置を提供する。

[0007] 前記制御装置は、前記第２空間に前記対象物が存在しない場合における前記発音部の発する音によって前記第２空間に生じる共鳴音の周波数である基準共鳴周波数を記憶した記憶部と、前記集音部で集音された音から、前記第２空間に前記対象物が存在する場合における前記発音部の発する音によって前記第２空間に生じる前記共鳴音の周波数である対象共鳴周波数を取得する共鳴分析部と、前記基準共鳴周波数および前記対象共鳴周波数に基づいて前記対象物の体積を算出する体積演算部とを備えてもよい。

[0008] これらの構成によれば、第１容器と第２容器とネック部とによってヘルムホルツ共鳴器が構成される。このヘルムホルツ共鳴器の共鳴周波数に基づいて対象物の体積を算出するため、液体中に存在する対象物の体積を非接触で計測できる。特に、対象物を目視できない程に液体が汚れている場合でも計測可能である。また、従来のように水流を利用した発音構成ではないため、対象物を傷つけることなく安全に体積を計測できる。また、ヘルムホルツ共鳴器が２つの容器（第１容器と第２容器）を有しているため、音を発生させる第１容器と計測のための第２容器とに役割を分けることができる。これにより、音の発生と計測をそれぞれ安定して高精度に実行できる。また、１つの容器からなるヘルムホルツ共鳴器に比べて高周波数の共鳴周波数を得ることもできる。共鳴周波数が高周波数となると、基準共鳴周波数と、対象共鳴周波数との差を大きくすることができる。従って、高精度での計測が可能となる。特に、本装置は、水中で活動する養殖魚等の生育状況を把握することに適している。その場合、第２容器を大きな水槽と解し、対象物を養殖魚と解することができる。

[0009] 前記体積演算部は、演算テーブルを有し、前記演算テーブルは、それぞれ前記対象共鳴周波数と前記基準共鳴周波数の特定の組み合わせに対するもの

である、前記対象物の体積を格納していてもよい。

[0010] この構成によれば、都度複雑な計算を要することなく、予め設定した演算テーブルを用いて迅速に対象物の体積を計測できる。

[0011] 前記体積演算部は、以下の式に基づいて前記対象物の体積V_0を算出してもよい。

[0012] [数1]

$$V_o = \frac{K_o}{K_w - K_o}\left\{\frac{{f_0}^2}{\frac{(f^2 - {f_0}^2)}{W_1} + \frac{f^2}{W_2}} - W_2\right\}$$

V_0：対象物の体積

K_o：対象物の体積弾性率

K_w：液体の体積弾性率

f_0：基準共鳴周波数

f：対象共鳴周波数

W_1：第１容器に貯留された液体の体積

W_2：第２容器に貯留された液体の体積

[0013] この構成によれば、対象物の体積を具体的に高精度に計測できる。上記式において、対象共鳴周波数以外の値は予め求めることができるため、上記式の変数は対象共鳴周波数のみである。ここで、液体の体積弾性率K_wは、液体の密度ρ_wに当該液体中での音速C_wの２乗を積算して求められる値である（$K_w = \rho_w \times C_w^2$）。同様に、対象物の体積弾性率$K_o$は、対象物の密度$\rho_o$に当該対象物中での音速$C_o$の２乗を積算して求められる値である（$K_o = \rho_o \times C_o^2$）。

[0014] 前記体積演算部は、以下の式に基づいて前記対象物の体積V_0を算出してもよい。

[0015] [数2]

$$\boldsymbol{V_0 = \frac{K_o}{K_w - K_o}\left\{\frac{f_0^2}{\frac{E_{r1}}{E_{r1}W_1 + K_w}(f^2 - f_0^2) + \frac{E_{r2}}{E_{r2}W_2 + K_w}f^2} - \frac{E_{r2}W_2 + K_w}{E_{r2}}\right\}}$$

V_0：対象物の体積

K_o：対象物の体積弾性率

K_w：液体の体積弾性率

f_0：基準共鳴周波数

f：対象共鳴周波数

W_1：第１容器に貯留された液体の体積

W_2：第２容器に貯留された液体の体積

E_{r1}：第１容器の共鳴器係数

E_{r2}：第２容器の共鳴器係数

[0016] この構成によれば、第１容器および第２容器の壁の弾性を考慮して対象物の体積を高精度に計測できる。第１容器および第２容器は実際上完全な剛体ではないため、液体で満たされることによって幾分膨張する。共鳴周波数はこの膨張の影響を受けるため、膨張を考慮した補正を行うことで、対象物の体積を一層高精度に計測できる。特に容器が樹脂などの比較的軟性材料からなる場合には容器が大きく膨張するため、上記補正は有効である。ここで、第１容器の共鳴器係数E_{r1}および第２容器の共鳴器係数E_{r2}は、容器の材質等に応じて定まり、容器の膨張の程度を示す値であり、予め実験的に求めることができる。

[0017] 前記第２容器は前記液体表面より上部の壁の一部に開口部が設けられてもよい。

[0018] この構成によれば、開口部から第２容器内にアクセスできる。従って、対象物の出し入れや第２容器内のメンテナンスが可能となる。また、有線式の集音部を、開口部を通じて第２容器内に配置することもできる。

[0019] 前記対象物が前記ネック部の前記流路を通過することを防止するための通過防止部材をさらに備えてもよい。

[0020] この構成によれば、ネットなどの通過防止部材によって、対象物がネック部を通って第１空間に進入することを防止できる。仮に、対象物が第１空間に進入すると、発音部からの音が減衰し、正確な測定ができないおそれがあ

る。従って、これを防止し、安定した高精度の計測を可能としている。

[0021] 前記第１容器および前記第２容器の少なくとも一方は、前記ネック部に対して取り外し可能に取り付けられていてもよい。

[0022] この構成によれば、ヘルムホルツ共鳴器の一部が取り外し可能であることによって、利便性を向上できる。仮に、第２容器が大きな水槽である場合であっても、第１容器（およびネック部）を取り外して持ち運ぶこともできる。即ち、ポータブル型として体積計測装置を使用することもできる。

[0023] 前記ネック部は、前記第１容器に取り付けられ、前記第１容器および前記ネック部は、前記第２空間に配置されてもよい。

[0024] この構成により、第２容器に接続することなく第１容器およびネック部を構成できる。従って、第２容器が第１容器およびネック部を収容できる限り、第２容器の大きさや形状に依存することなく第１容器およびネック部を構成できる。上記構成は、例えば、第２容器が大きな水槽である場合などに第１容器およびネック部を当該水槽に沈めて使用することが考えられる。

[0025] 前記第２空間に空気を注入するバブル注入部をさらに備えてもよい。

[0026] この構成によれば、バブル注入部によって対象物に見立てた気泡（バブル）を第２空間に形成できる。従って、計測精度の試験を簡易に行うことができる。

[0027] 前記第１容器と、前記第２容器と、前記ネック部とは、同一の中心軸を共有するように配置構成されてもよい。

[0028] この構成によれば、ヘルムホルツ共鳴器の共鳴周波数を安定して高精度に計測できる。音は均等に広がる性質を有するため、第１空間の発音部から発せられた音は、ネック部を通って第２空間内で均等に広がる。第１容器と第２容器とネック部とが同一中心軸を有すると、音の共鳴を均等にできる。

[0029] 本発明の第２の態様は、液体を貯留する第１空間を画定する第１容器と、前記液体を貯留して対象物が配置される第２空間を画定する第２容器と、前記液体が充填されて前記第１空間と前記第２空間とを流体的に連通する流路を画定するネック部と、前記第１空間に配置され、所定の周波数範囲の音を

発する発音部と、前記第２空間に配置された集音部とを準備し、前記第２空間に前記対象物が存在しない場合における前記発音部の発する音によって前記第２空間に生じる共鳴音の周波数である基準共鳴周波数を前記集音部を使用して測定し、前記第２空間に前記対象物が存在する場合における前記発音部の発する音によって前記第２空間に生じる共鳴音の周波数である対象共鳴周波数を前記集音部を使用して測定し、前記基準共鳴周波数および前記対象共鳴周波数に基づいて前記対象物の体積を算出する、体積計測方法を提供する。

[0030] この方法によれば、前述のようにして液体中に存在する対象物の体積を高精度かつ安全に計測できる。

発明の効果

[0031] 本発明によれば、体積計測装置および体積計測方法において、第１容器および第２容器を有するヘルムホルツ共鳴器を利用しているため、液体中に存在する対象物の体積を高精度かつ安全に計測できる。

図面の簡単な説明

[0032] [図1]本発明の第１実施形態に係る体積計測装置の概略構成図。

[図2]一般的なヘルムホルツ共鳴器の模式図。

[図3]第１実施形態におけるヘルムホルツ共鳴器の断面図。

[図4]制御ブロック図。

[図5]共鳴周波数と振幅の関係を示すグラフ。

[図6]魚の体積と共鳴周波数の関係を示すグラフ。

[図7]魚の体積に関する計測精度を示すグラフ。

[図8]開口部の大きさごとの共鳴周波数と振幅の関係を示すグラフ。

[図9]開口部の大きさごとのバブルの体積と共鳴周波数の関係を示すグラフ。

[図10]開口部の大きさごとのバブルの体積と振幅の関係を示すグラフ。

[図11]第３実施形態の体積計測装置の一部の概略構成図。

[図12]空気の体積に関する計測精度を示すグラフ。

[図13]第４実施形態の体積計測装置の一部の概略構成図。

発明を実施するための形態

[0033] 以下、添付図面を参照して本発明の実施形態を説明する。

[0034] （第１実施形態）

図１を参照して、本実施形態の体積計測装置１は、ヘルムホルツ共鳴理論を計測原理として用い、音の共鳴を利用して魚等の水圏生物の体積を計測するものである。以下の実施形態では、測定する対象物として魚を例に説明するが、体積計測装置１は任意の対象物の体積を計測できる。同様に、使用する液体として水ないし海水を例に説明するが、体積計測装置１は任意の液体を使用できる。

[0035] 体積計測装置１は、第１容器２０と、第２容器３０と、ネック部４０と、制御装置５０とを備える。第１容器２０と、第２容器３０と、ネック部４０とによって、ヘルムホルツ共鳴器１０が構成される。

[0036] 図２を参照して、本実施形態とは異なるが、一般的なヘルムホルツ共鳴器１００について説明する。一般的なヘルムホルツ共鳴器１００は、空気で満たされた、単一のネック部１１０と、単一の容器部１２０とで構成される。ネック部１１０は筒状であり、容器部１２０はネック部１１０に連通した有底筒状である。換言すると、一般的なヘルムホルツ共鳴器１００は、概ねビール瓶のような形状をしている。このようなヘルムホルツ共鳴器１００の内部にて音が発生すると、容器部１２０内の空気のばね的な性質により、ネック部１１０で音の振動が発生する。この振動がヘルムホルツ共鳴であり、ヘルムホルツ共鳴器１００の形状に応じた固有の共鳴周波数を持つことが知られている。

[0037] 図２のヘルムホルツ共鳴器１００において、ネック部１１０の長さＬおよび断面積Ｓとし、容器部１２０の体積Ｖとする。容器部１２０内に体積Ｖ。の対象物を入れた際の共鳴周波数ｆは以下の式（１）で表される。ただし、Ｌ。は開口端補正量である。

[0038]

[数3]

$$f = \frac{c}{2\pi}\sqrt{\frac{S}{(V - V_o)(L + L_s)}} \qquad (1)$$

[0039] 上記式（１）を体積Ｖ$_o$について解き、実際に測定した共鳴周波数ｆを代入することにより、対象物の体積Ｖ$_o$を算出できる。しかし、当該方法では、対象物が音源の近傍にあるときに音を大きく減衰させるおそれがあるため、測定精度の観点で改善の余地がある。また、水中での共鳴周波数ｆの計測は一般に困難であるため、生魚等の水圏生物を対象物とした場合には適用し難い。

[0040] 本実施形態では、図２のヘルムホルツ共鳴器１００のネック部１１０を共有して２つ繋げた形状を有するヘルムホルツ共鳴器１０を使用する（図３参照）。これにより、魚Ｆと音の発生源（後述するスピーカ２５）を分けることができ、測定精度の低下を防止できる。また、計測機器として水中でも使用可能な機器を使用することで魚Ｆを対象物とした場合でも測定精度が低下することを防止している。

[0041] 図３を参照して、本実施形態のヘルムホルツ共鳴器１０の構成について説明する。

[0042] 第１容器２０は、内部に第１空間Ｓ１を画定している。第１容器２０は、例えば、有底円筒状であり、ステンレス製である。ただし、第１容器２０の形状や材質は、特に限定されない。第１空間Ｓ１には、スピーカ（発音部）２５が配置されている。詳細には、第１容器２０の一端部がスピーカ２５によって構成されている。

[0043] スピーカ２５は、水中用のものであり、例えば１００～１００００Ｈｚ程度の周波数の音を発生させることができる。スピーカ２５は、制御装置５０に有線で電気的に接続されており、制御装置５０によって音の発生周波数を制御できる。

[0044] 第２容器３０は、内部に第２空間Ｓ２を画定している。第２容器３０は、例えば、直方体の箱状であり、アクリル樹脂製である。ただし、第２容器３

０の形状や材質は、特に限定されず、例えば有底円筒状であってもよい。本実施形態では、第２容器３０の上壁３１の中央部に、魚Ｆなどを出し入れできる平面視円形の開口部３１ａが設けられている。また、上壁３１は第２容器３０の側壁３２に隙間なく固着されており、固着された部分からは音が漏出することがないようにされている。

[0045] 第２容器３０には、計測対象となる魚Ｆと、ハイドロホン（集音部）３５とが収容されている。ハイドロホン３５は、水中用マイクであり、例えば２０～２００００Ｈｚ程度の周波数の音を集音できる。ハイドロホン３５は、有線式であり、開口部３１ａを通じて延びる電気線を通じて制御装置５０（図１参照）と電気的に接続されている。なお、ハイドロホン３５は、第２容器３０内の任意の位置に配置され、第２空間Ｓ２にて共鳴する音を集音できる。

[0046] スピーカ２５およびハイドロホン３５は、水中用のものであればよく、市販のものを使用できる。本実施形態では、ともに有線型のものを使用しているが、無線型のものを使用してもよい。

[0047] ネック部４０は、第１空間Ｓ１と第２空間Ｓ２とを連通する流路ＦＰを画定している。ネック部４０は、例えば円筒状である。ネック部４０の長手方向の中心軸ＣＬに垂直な断面積は、第１容器２０の同断面積よりも小さく、かつ、第２容器３０の同断面積よりも小さい。即ち、ヘルムホルツ共鳴器１０は、ネック部４０にて窄められた形状をしている。ネック部４０の形状は特に限定されないが、ネック部４０の長さは短い方が好ましく、上記断面積は大きい方が好ましい。これらの好ましい条件下では、後述する式（２）を参照してわかるように、共鳴周波数を大きくすることができ、計測精度を向上させることができる。

[0048] ネック部４０の第２容器３０側の端部には、魚Ｆがネック部４０の流路ＦＰを通過することを防止するためのネット（通過防止部材）４１が設けられている。ネット４１の網目の大きさは、魚Ｆを通過させることなく、かつ、音が影響なく通過できるように設定されている。また、例えば、通過防止部

材として、ネット４０に代えて金網を使用してもよい。

[0049] 本実施形態では、ネック部４０の第１容器２０側の端部には、ねじ機構４２が設けられている。ねじ機構４２によって第１容器２０がネック部４０に対して取り外し可能に構成されている。これにより、第１容器２０をネック部４０から取り外して持ち運び可能となっている。代替的には、第２容器３０がネック部４０に対して取り外し可能に構成されていてもよいし、第１容器２０および第２容器３０の両方がネック部４０に対して取り外し可能に構成されていてもよい。また、第１容器２０および第２容器３０は、ネック部４０に対して取り外しできないように固着されていてもよい。

[0050] 本実施形態では、第１容器２０と、第２容器３０と、ネック部４０とは、同一の中心軸ＣＬを共有するように配置されている。

[0051] 図１を再び参照して、制御装置５０は、アンプ５１と、サウンドデバイス５２と、コンピュータ５３とを備える。

[0052] アンプ５１は、ハイドロホン３５からのアナログの電気信号を増幅するとともにデジタルの電気信号に変換してサウンドデバイス５２に伝送している。また、アンプ５１は、サウンドデバイス５２からの電気信号を増幅してスピーカ２５に伝送している。

[0053] サウンドデバイス５２は、アンプ５１からの電気信号を受け、コンピュータ処理に必要な種々の処理を行うものである。また、コンピュータ５３からの電気信号を受け、スピーカ２５の制御に必要な種々の処理を行うものである。

[0054] コンピュータ５３は、サウンドデバイス５２からの入力信号を受け、種々の制御を行い、サウンドデバイス５２に出力信号を送る。なお、アンプ５１やサウンドデバイス５２はコンピュータ５３に組み込まれてもよい。制御装置５０の構成は、以降の制御を実質的に実行できるものであれば特に限定されない。

[0055] 図４を参照して、コンピュータ５３は、スピーカ制御部５３ａと、共鳴分析部５３ｂと、記憶部５３ｃと、体積演算部５３ｄと、モニタ５３ｅとを備

える。なお、図示を簡略化するため、図４では、アンプ５１とサウンドデバイス５２は、１つのブロックで示されている。

[0056] スピーカ制御部５３ａは、スピーカ２５を制御する部分である。当該制御では、ヘルムホルツ共鳴器１０の共鳴周波数を探るために、所定の周波数範囲で低い周波数から高い周波数に（またはその逆の方向に）、スピーカ２５の発する音の周波数を変化させる。所定の周波数範囲は、ヘルムホルツ共鳴器１０の大きさや形状などに応じて設定される。

[0057] 共鳴分析部５３ｂは、スピーカ２５から得られた信号に基づいて、共鳴周波数（対象共鳴周波数ｆ）を求めるための周波数分析を行う。周波数分析の方法は、例えばフーリエ解析によるものであってもよい。具体的には、共鳴分析部５３ｂは、第２空間Ｓ２に魚Ｆが存在する場合におけるスピーカ２５の発する音によって第２空間Ｓ２に生じる共鳴音の周波数である対象共鳴周波数ｆを取得する。

[0058] 対象共鳴周波数ｆは、ヘルムホルツ共鳴理論に基づいて以下の式（２）で表される。ここで、定数Ｋ１，Ｋ２は、第１空間Ｓ１における体積弾性率，第２空間Ｓ２における体積弾性率をそれぞれ表している。体積弾性率Ｋ１，Ｋ２は、水の体積弾性率K_wおよび魚Ｆの体積弾性率K_oに基づいて算出される値である。ここで、水の体積弾性率K_wは、水の密度ρ_wに水中での音速C_wの２乗を積算して求められる値である（$K_w=\rho_w\times C_w^2$）。同様に、魚Ｆの体積弾性率K_oは、魚の密度ρ_oに魚中での音速C_oの２乗を積算して求められる値である（$K_o=\rho_o\times C_o^2$）。また、定数Ｓはネック部４０の断面積、定数Ｌはネック部４０の長さ、定数Ｌｓは開口端補正量を表している。

[0059] [数4]

$$f=\frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{1}{\rho_w}\cdot\left(\frac{K_1}{W_1}+\frac{K_2}{W_2}\right)\cdot\frac{S}{L+L_s}} \qquad (2)$$

$$K_1=K_w$$

$$K_2=\frac{W_2}{\frac{W_2-V_o}{K_w}+\frac{V_o}{K_o}}$$

V_0：魚の体積

K_o：魚の体積弾性率

K_w：水の体積弾性率

f_0：基準共鳴周波数

f：対象共鳴周波数

W1：第１容器に貯留された水の体積

W2：第２容器に貯留された水の体積

[0060] 記憶部５３ｃは、第２空間Ｓ２に魚Ｆが存在しない場合におけるスピーカ２５の発する音によって第２空間Ｓ２に生じる共鳴音の周波数である基準共鳴周波数ｆ$_0$を記憶している。基準共鳴周波数ｆ$_0$は、実験により予め求めることができる。

[0061] 基準共鳴周波数ｆ$_0$は、ヘルムホルツ共鳴理論に基づいて以下の式（３）で表される。

[0062] [数5]

$$f_0 = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{K_w}{\rho_w}\times\left(\frac{1}{W_1}+\frac{1}{W_2}\right)\times\frac{S}{L+L_s}} \qquad (3)$$

[0063] 上記の式（２），（３）に基づいて体積Ｖ$_o$を導出すると、以下の式（４）が得られる。

[0064] [数6]

$$V_o = \frac{K_o}{K_w - K_o}\left\{\frac{{f_0}^2}{\frac{(f^2-{f_0}^2)}{W_1}+\frac{f^2}{W_2}} - W_2\right\} \qquad (4)$$

[0065] 本実施形態では、体積演算部５３ｄは、上記の式（４）によって魚Ｆの体積Ｖ$_0$を算出する。これにより、第２容器３０内の全ての魚Ｆの合計の体積Ｖ$_o$が算出される。計測された魚Ｆの体積Ｖ$_o$は、モニタ５３ｅに表示される。なお、式（４）では、対象共鳴周波数ｆ以外の値は予め求めることができる。従って、式（４）の変数は対象共鳴周波数ｆのみである。

[0066] 以下では、本実施形態の体積計測装置１を用いて、水中の魚Ｆの体積を具

体的に求めた実験結果について説明する。

[0067] 実験条件は、ネック部４０の長さＬ＝３０ｍｍ、開口端補正量L_s＝９．０ｍｍ、ネック部４０の直径＝３０ｍｍ（断面積Ｓ＝７０６．８５８mm^2）、第１容器２０の水の体積W_1＝０．４７１Ｌ、第２容器３０の水の体積W_2＝４．９１３Ｌと設定した。なお、開口端補正量L_sはネック部４０の半径１５ｍｍに所定の定数０．６を積算して算出した。

[0068] 図５は、上記実験条件の下で得られた共鳴周波数（Frequency[Hz]）と振幅（Amplitude）の関係を示すグラフである。グラフの横軸は音の周波数を示し、縦軸は音の振幅を示している。グラフには、魚の体積V_0ごとに７つの曲線Ｃ１～Ｃ７が描かれている。具体的には、魚Ｆの体積V_0を、０ｍＬ（Ｃ１），５６．１５９ｍＬ（Ｃ２），９５．８８ｍＬ（Ｃ３），１１９．６２２ｍＬ（Ｃ４），１３３．４５９ｍＬ（Ｃ５），１４５．７６９ｍＬ（Ｃ６），１７１．３６ｍＬ（Ｃ７）としたときの結果が示されている。曲線Ｃ１～Ｃ７では、ピークをとった周波数にて共鳴が発生している。換言すれば、曲線Ｃ１～Ｃ７の各ピーク周波数が各共鳴周波数である。グラフを見ると、体積V_0が大きくなるほど、共鳴周波数および振幅が低下することがわかる。

[0069] 図６は、魚の体積（Volume of fish[mL]）と共鳴周波数（Frequency[Hz]）の関係を示すグラフである。グラフの横軸は魚の体積V_0を示し、縦軸は共鳴周波数を示している。グラフを見ると、魚の体積V_0が大きくなるほど共鳴周波数が低下することがわかる。

[0070] 図５，６の結果から、魚Ｆの体積V_0と共鳴周波数には相関があることわかる。従って、共鳴周波数を測定することによって、魚の体積V_0を推定可能なことがわかる。本実施形態では上記式（４）によって関数的に魚Ｆの体積V_0を求めているが、代替的には予め用意した演算テーブルによって魚Ｆの体積V_0を求めてもよい。演算テーブルは、それぞれ対象共鳴周波数ｆと基準共鳴周波数f_0の特定の組み合わせに対するものである、魚Ｆの体積V_0を格納している。演算テーブルは、予め実験により、対象共鳴周波数ｆと基準共鳴周波数f_0とを入力値として魚の体積V_0を出力値として実験を行い作成すれば

よい。これにより、都度複雑な計算を要することなく、予め設定した演算テーブルを用いて迅速に魚Ｆの体積Ｖ。を計測できる。

[0071] 本実施形態の体積計測装置１の計測精度を図７に示す。図７のグラフでは、横軸が実際の魚Ｆの体積（Actual volume[mL]）を示し、縦軸が体積計測装置１によって計測（推定）した魚の体積（Predicted volume[mL]）を示している。グラフを見ると、高精度の測定を実現したことがわかる。

[0072] 本実施形態の体積計測装置１によれば、以下の優位点がある。

[0073] 第１容器２０と第２容器３０とネック部４０とによってヘルムホルツ共鳴器１０が構成される。このヘルムホルツ共鳴器１０の共鳴周波数に基づいて対象物となる水圏生物（本実施形態では魚Ｆ）の体積を算出するため、水中に存在する魚Ｆの体積を非接触で計測できる。特に、魚Ｆを目視できない程に水が汚れている場合でも計測可能である。また、従来のように水流を利用した発音構成ではないため、魚Ｆを傷つけることなく安全に体積を計測できる。また、ヘルムホルツ共鳴器１０が２つの容器（第１容器２０と第２容器３０）を有しているため、音を発生させる第１容器２０と計測のための第２容器３０とに役割を分けることができる。これにより、音の発生と計測をそれぞれ安定して高精度に実行できる。また、１つの容器からなるヘルムホルツ共鳴器１０（図２参照）に比べて高周波数の共鳴周波数を得ることもできる。共鳴周波数が高周波数となると、基準共鳴周波数ｆ。と、対象共鳴周波数ｆとの差を大きくすることができる。従って、高精度での計測が可能となる。

[0074] 特に、本実施形態の体積計測装置１は、一例として説明したように水中で活動する魚Ｆ等の生育状況を把握することに適している。一般に養殖業では、水槽内の魚の数を把握できるようになっており、同種の魚が養殖されるために生育状況も概ね等しくなる。換言すれば、著しくサイズの異なる魚が同じ水槽内で養殖されることは稀である。そのため、第２容器３０を大きな水槽として、体積計測装置１によって全ての魚Ｆの合計の体積を把握し、魚の数で除算することで、養殖魚の１匹当たりの体積を把握できる。

[0075] また、第２容器３０の上壁３１に開口部３１ａを設けているため、開口部３１ａから第２容器３０内にアクセスできるようになっている。従って、魚Ｆの出し入れや第２容器３０内のメンテナンスが可能である。また、図２に示すように有線式のハイドロホン３５を、開口部３１ａを通じて第２容器３０内に配置することも可能となる。ただし、開口部３１ａは、第２容器３０内で共鳴を発生させる観点からは設けられない方が好ましい。この点、開口部３１ａの大きさに伴う計測の実現可能性については後述する。

[0076] また、ネック部４０に配置されたネット４１によって、魚Ｆがネック部４０を通って第１空間Ｓ１に進入することが防止されている。仮に、魚Ｆが第１空間Ｓ１に進入すると、スピーカ２５からの音が減衰し、正確な測定ができないおそれがある。従って、これを防止し、安定した高精度の計測を可能としている。

[0077] また、第１容器２０がネック部４０に対して取り外し可能であることによって、利便性を向上させている。仮に、第２容器３０が前述のように大きな水槽である場合であっても、第１容器２０を取り外して持ち運ぶこともできる。即ち、ポータブル型として体積計測装置１を使用することもできる。

[0078] また、第１容器２０と、第２容器３０と、ネック部４０とは、同一の中心軸ＣＬを共有するように配置されているため、ヘルムホルツ共鳴器１０の共鳴周波数を安定して高精度に計測できる。音は均等に広がる性質を有するため、第１空間Ｓ１のスピーカ２５から発せられた音は、ネック部４０を通って第２空間Ｓ２内で均等に広がる。第１容器２０と第２容器３０とネック部４０とが同一中心軸ＣＬを有すると、音の共鳴を均等にできる。

[0079] 図８～１０は、開口部３１ａの大きさに伴う計測の実現可能性について検討した結果である。実験条件は、開口部３１ａの大きさに関する以外、本実施形態で説明したものと同じである。

[0080] 図８は、共鳴周波数（Frequency[Hz]）と振幅（Amplitude）の関係を示すグラフである。グラフの横軸は音の周波数を示し、縦軸は音の振幅を示している。グラフには、開口部３１ａ（図３参照）の直径ごとに５つの曲線が描

かれている。具体的には、開口部３１ａの直径を、１５ｍｍ，１７ｍｍ，１９ｍｍ，２１ｍｍ，２３ｍｍとしたときの結果が示されている。５つの曲線では、ピークをとった周波数にて共鳴が発生している。換言すれば、５つの曲線の各ピーク周波数が各共鳴周波数である。グラフを見ると、開口部３１ａの直径が大きくなるほど、共鳴周波数が増加する一方で振幅が低下することがわかる。

[0081] 図９は、対象物に見立てたバブル（空気）の体積（Volume of air[mL]）と共鳴周波数（Frequency[Hz]）の関係を示すグラフである。グラフの横軸はバブルの体積を示し、縦軸は共鳴周波数を示している。ここでは、対象物に見立てたバブルを第２空間Ｓ２に形成し、当該バブルの体積を計測する試験を行った結果を示している。例えば、バブルは後述する第３実施形態で示す図１１の符号Ａｒで示すように形成されている。グラフには、開口部３１ａ（図３参照）の直径ごとに５種類のデータが描かれている。詳細には、図８と同様に開口部３１ａの直径を、１５ｍｍ，１７ｍｍ，１９ｍｍ，２１ｍｍ，２３ｍｍとしたときの結果が示されている。グラフを見ると、開口部３１ａの直径が大きくなるほど共鳴周波数が増大することがわかる。

[0082] 図１０は、対象物に見立てたバブル（空気）の体積（Volume of air[mL]）と振幅（Amplitude）の関係を示すグラフである。グラフの横軸はバブルの体積を示し、縦軸は音の振幅を示している。ここでは、図９の場合と同様に対象物に見立てたバブルを第２空間Ｓ２に形成し、当該バブルの体積を計測する試験を行った結果を示している。グラフには、開口部３１ａ（図３参照）の直径ごとに５種類のデータが描かれている。詳細には、図８，９と同様に開口部３１ａの直径を、１５ｍｍ，１７ｍｍ，１９ｍｍ，２１ｍｍ，２３ｍｍとしたときの結果が示されている。グラフを見ると、開口部３１ａの直径が大きくなるほど振幅が低下することがわかる。

[0083] 図８～１０の結果から、開口部３１ａの直径を様々に変更した場合でも共鳴周波数や振幅を測定できるとともに、これらとバブル（対象物の魚に対応）の間に一定の相関があることがわかる。従って、開口部３１ａの大きさを

様々に変更した場合でも計測が実現可能であることが確認できる。

[0084] （第２実施形態）

本実施形態の体積計測装置１は、共鳴分析部５３ｂでの分析方法が第１実施形態と異なる。これ以外は、第１実施形態と実質的に同じである。従って、第１実施形態と同じ部分については説明を省略する場合がある。

[0085] 本実施形態の体積演算部５３ｄは、第１容器２０および第２容器３０の壁の弾性を考慮して魚Ｆの体積Ｖ$_o$を算出する。第１容器２０および第２容器３０は、水で満たされることによって幾分膨張する。共鳴周波数はこの膨張の影響を受けるため、膨張を考慮した補正を行うことで、魚Ｆの体積を一層高精度に計測できる。特に本実施形態では、第２容器３０がアクリル樹脂のような比較的軟性材料からなるため、当該補正は有効である。

[0086] 第２容器３０内に魚Ｆが存在しないとき、基準共鳴周波数ｆ$_0$は、ヘルムホルツ共鳴理論に基づいて以下の式（５）で表される。

[0087] [数7]

$$f_o = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{1}{\rho_w}\cdot\left(\frac{K_1}{W_1}+\frac{K_2}{W_2}\right)\cdot\frac{S}{L+L_s}} \qquad (5)$$

$$K_1 = \frac{W_1}{\frac{W_1}{K_w}+\frac{1}{E_{r1}}}$$

$$K_2 = \frac{W_2}{\frac{W_2}{K_w}+\frac{1}{E_{r2}}}$$

E_{r1}：第１容器の共鳴器係数

E_{r2}：第２容器の共鳴器係数

[0088] なお、第１容器の共鳴器係数Ｅ$_{r1}$および第２容器の共鳴器係数Ｅ$_{r2}$は、容器の材質等に応じて定まり、容器の膨張の程度を示す値である。共鳴器係数Ｅ$_{r1}$，Ｅ$_{r2}$は、定数として予め実験的に求めることができる。詳細には、共鳴器係数Ｅ$_{r1}$，Ｅ$_{r2}$は、第１容器２０および第２容器３０の各共鳴器の体積弾性率Ｋ$_{r1}$，Ｋ$_{r2}$を各共鳴器の体積変化Ｖ$_{r1}$，Ｖ$_{r2}$で割った値として表される（Ｅ$_{r1}$＝Ｋ$_{r1}$／Ｖ$_{r1}$、Ｅ$_{r2}$＝Ｋ$_{r2}$／Ｖ$_{r2}$）。

[0089] 第２容器３０内に魚Ｆが存在するとき、対象共鳴周波数ｆは、ヘルムホルツ共鳴理論に基づいて以下の式（６）で表される。

[0090] [数8]

$$f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{1}{\rho_w}\cdot\left(\frac{K_1}{W_1}+\frac{K_2}{W_2}\right)\cdot\frac{S}{L+L_s}} \qquad (6)$$

$$K_1 = \frac{W_1}{\frac{W_1}{K_w}+\frac{1}{E_{r1}}}$$

$$K_2 = \frac{W_2}{\frac{W_2-V_o}{K_w}+\frac{V_o}{K_o}+\frac{1}{E_{r2}}}$$

[0091] 上記の式（５），（６）に基づいて体積Ｖ。を導出すると、以下の式（７）が得られる。本実施形態の体積演算部５３ｄは、式（７）によって魚Ｆの体積Ｖ。を推定計測する。

[0092] [数9]

$$V_0 = \frac{K_o}{K_w-K_o}\left\{\frac{f_0^2}{\frac{E_{r1}}{E_{r1}W_1+K_w}(f^2-f_0^2)+\frac{E_{r2}}{E_{r2}W_2+K_w}f^2}-\frac{E_{r2}W_2+K_w}{E_{r2}}\right\} \qquad (7)$$

[0093] 本実施形態によれば、第１容器２０および第２容器３０の壁の弾性を考慮して魚Ｆの体積Ｖ。を高精度に計測できる。特に、第１容器２０および第２容器３０が樹脂などの比較的軟性材料からなる場合には大きく膨張するため、本実施形態は有効である。

[0094] （第３実施形態）

図１１に示す本実施形態の体積計測装置１は、第２容器３０内に空気を注入するバブル注入器６０を備える。これ以外は、第１実施形態と実質的に同じである。従って第１実施形態と同じ部分については説明を省略する場合がある。

[0095] バブル注入器６０は、例えば注射器型であり、第２容器３０の開口部３１ａに配置される。バブル注入器６０から注入されたバブル（空気）Ａｒは、第２空間Ｓ２の上部の角部に溜まる。バブル注入器６０には、注入した空気

量がわかるように目盛が付されている。

[0096] 本実施形態の体積計測装置１の計測精度を図１２に示す。図１２のグラフでは、横軸が実際の空気の体積（Actual volume[mL]）を示し、縦軸が体積計測装置によって計測（推定）した空気の体積（Predicted volume[mL]）を示している。グラフを見ると、高精度の測定を実現したことがわかる。

[0097] 本実施形態によれば、バブル注入器６０によって対象物に見立てた気泡（バブル）を第２空間Ｓ２に形成できる。従って、計測精度の試験を簡易に行うことができる。

[0098] このように、空気に関する体積Ｖ。を求めることもできるため、対象物としては、魚だけでなく例えば貝のように身が空気とともに殻に閉じられている水圏生物について、生育状況を正確に計測することもできる。特に、貝のような水圏生物は、外観では生育状況の把握が困難であるため、本実施形態の体積計測装置１によって生育状況を把握できることは有効である。

[0099]（第４実施形態）

図１３に示す本実施形態の体積計測装置１は、第２容器３０内に第１容器２０およびネック部４０が配置されている。これ以外は、第１実施形態と実質的に同じである。従って第１実施形態と同じ部分については説明を省略する場合がある。

[0100] 本実施形態では、ネック部４０の一端部は第１容器２０に取り付けられており、他端部はネット４１が取り付けられ、開放されている。第１容器２０およびネック部４０は、前述のように第２容器３０内に配置されており、即ち第２空間Ｓ２に配置されている。

[0101] 本実施形態によれば、第２容器３０に接続することなく第１容器２０およびネック部４０を構成できる。従って、第２容器３０が第１容器２０およびネック部４０を収容できる限り、第２容器３０の大きさや形状に依存することなく第１容器２０およびネック部４０を構成できる。本実施形態の体積計測装置１は、例えば、第２容器３０が大きな水槽である場合などに第１容器２０およびネック部４０を当該水槽に沈めて使用することが考えられる。

[0102] 以上より、本発明の具体的な実施形態およびその変形例について説明したが、本発明は上記形態に限定されるものではなく、この発明の範囲内で種々変更して実施することができる。例えば、個々の実施形態の内容を適宜組み合わせたものを、この発明の一実施形態としてもよい。

符号の説明

[0103] １　体積計測装置

１０　ヘルムホルツ共鳴器

２０　第１容器

２５　スピーカ（発音部）

３０　第２容器

３１　上壁

３１ａ　開口部

３２　側壁

３５　ハイドロホン（集音部）

４０　ネック部

４１　ネット（通過防止部材）

４２　ねじ機構

５０　制御装置

５１　アンプ

５２　サウンドデバイス

５３　コンピュータ

５３ａ　スピーカ制御部

５３ｂ　共鳴分析部

５３ｃ　記憶部

５３ｄ　体積演算部

５３ｅ　モニタ

６０　バブル注入器（バブル注入部）

１００　ヘルムホルツ共鳴器

１１０　ネック部

１２０　容器部

Ｓ１　第１空間

Ｓ２　第２空間

ＦＰ　流路

Ｆ　魚（水圏生物）（対象物）

Ａｒ　バブル（空気）

請求の範囲

[請求項1] 液体を貯留する第１空間を画定する第１容器と、

前記液体を貯留して対象物が液体内に配置される第２空間を画定する第２容器と、

前記第１空間と前記第２空間とを流体的に連通する流路を画定するネック部と、

前記第１空間に配置され、所定の周波数範囲の音を発する発音部と、

前記第２空間に配置された集音部と、

前記発音部から発せられ、前記第２空間にて共鳴し、前記集音部にて集音された音の共鳴周波数を用いて前記対象物の体積を算出する制御装置と

を備える、体積計測装置。

[請求項2] 前記制御装置は、

前記第２空間に前記対象物が存在しない場合における前記発音部の発する音によって前記第２空間に生じる共鳴音の周波数である基準共鳴周波数を記憶した記憶部と、

前記集音部で集音された音から、前記第２空間に前記対象物が存在する場合における前記発音部の発する音によって前記第２空間に生じる前記共鳴音の周波数である対象共鳴周波数を取得する共鳴分析部と、

前記基準共鳴周波数および前記対象共鳴周波数に基づいて前記対象物の体積を算出する体積演算部と

を備える、体積計測装置。

[請求項3] 前記体積演算部は、演算テーブルを有し、

前記演算テーブルは、それぞれ前記対象共鳴周波数と前記基準共鳴周波数の特定の組み合わせに対するものである、前記対象物の体積を格納している、請求項２に記載の体積計測装置。

[請求項4] 前記体積演算部は、以下の式に基づいて前記対象物の体積V_0を算出する、請求項２に記載の体積計測装置。

$$V_o = \frac{K_o}{K_w - K_o}\left\{\frac{{f_0}^2}{\frac{(f^2 - {f_0}^2)}{W_1} + \frac{f^2}{W_2}} - W_2\right\}$$

V_0：対象物の体積

K_o：対象物の体積弾性率

K_w：液体の体積弾性率

f_0：基準共鳴周波数

f：対象共鳴周波数

W_1：第１容器に貯留された液体の体積

W_2：第２容器に貯留された液体の体積

[請求項5] 前記体積演算部は、以下の式に基づいて前記対象物の体積V_0を算出する請求項２に記載の体積計測装置。

$$\boldsymbol{V_0 = \frac{K_o}{K_w - K_o}\left\{\frac{f_0^2}{\frac{E_{r1}}{E_{r1}W_1 + K_w}(f^2 - f_0^2) + \frac{E_{r2}}{E_{r2}W_2 + K_w}f^2} - \frac{E_{r2}W_2 + K_w}{E_{r2}}\right\}}$$

V_0：対象物の体積

K_o：対象物の体積弾性率

K_w：液体の体積弾性率

f_0：基準共鳴周波数

f：対象共鳴周波数

W_1：第１容器に貯留された液体の体積

W_2：第２容器に貯留された液体の体積

E_{r1}：第１容器の共鳴器係数

E_{r2}：第２容器の共鳴器係数

[請求項6] 前記第２容器は前記液体表面より上部の壁の一部に開口部が設けられている、請求項１から請求項５のいずれか１項に記載の体積計測装置。

[請求項7] 前記対象物が前記ネック部の前記流路を通過することを防止するための通過防止部材をさらに備える、請求項１から請求項６のいずれか１項に記載の体積計測装置。

[請求項8] 前記第１容器および前記第２容器の少なくとも一方は、前記ネック部に対して取り外し可能に取り付けられている、請求項１から請求項７のいずれか１項に記載の体積計測装置。

[請求項9] 前記ネック部は、前記第１容器に取り付けられ、

前記第１容器および前記ネック部は、前記第２空間に配置される、請求項１から請求項８のいずれか１項に記載の体積計測装置。

[請求項10] 前記第２空間に空気を注入するバブル注入部をさらに備える、請求項１から請求項９のいずれか１項に記載の体積計測装置。

[請求項11] 前記第１容器と、前記第２容器と、前記ネック部とは、同一の中心軸を共有するように配置構成されている、請求項１から請求項１０のいずれか１項に記載の体積計測装置。

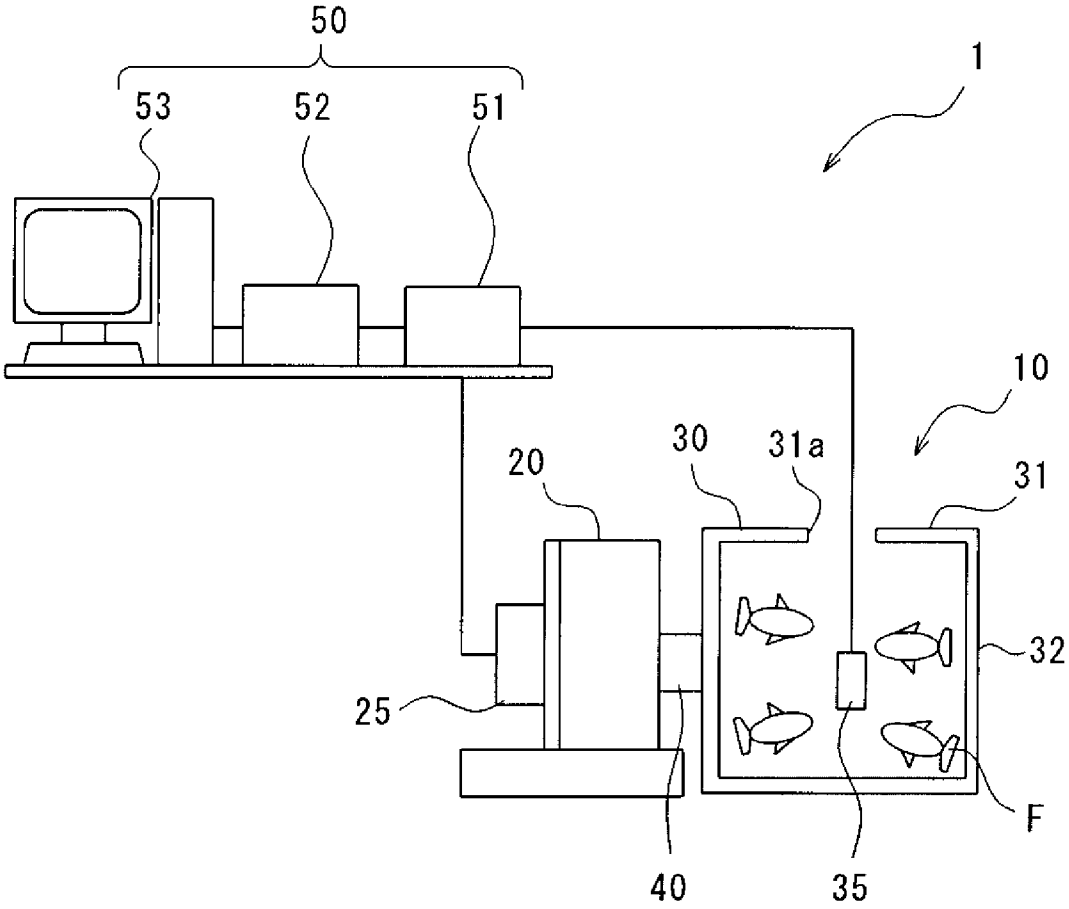
[請求項12] 液体を貯留する第１空間を画定する第１容器と、前記液体を貯留して対象物が配置される第２空間を画定する第２容器と、前記液体が充填されて前記第１空間と前記第２空間とを流体的に連通する流路を画定するネック部と、前記第１空間に配置され、所定の周波数範囲の音を発する発音部と、前記第２空間に配置された集音部とを準備し、

前記第２空間に前記対象物が存在しない場合における前記発音部の発する音によって前記第２空間に生じる共鳴音の周波数である基準共鳴周波数を前記集音部を使用して測定し、

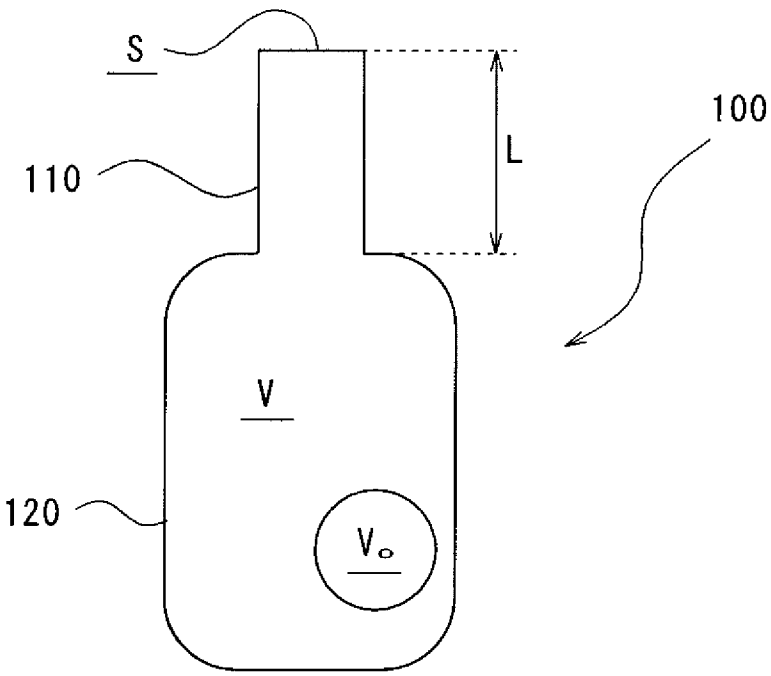
前記第２空間に前記対象物が存在する場合における前記発音部の発する音によって前記第２空間に生じる共鳴音の周波数である対象共鳴周波数を前記集音部を使用して測定し、

前記基準共鳴周波数および前記対象共鳴周波数に基づいて前記対象物の体積を算出する、体積計測方法。

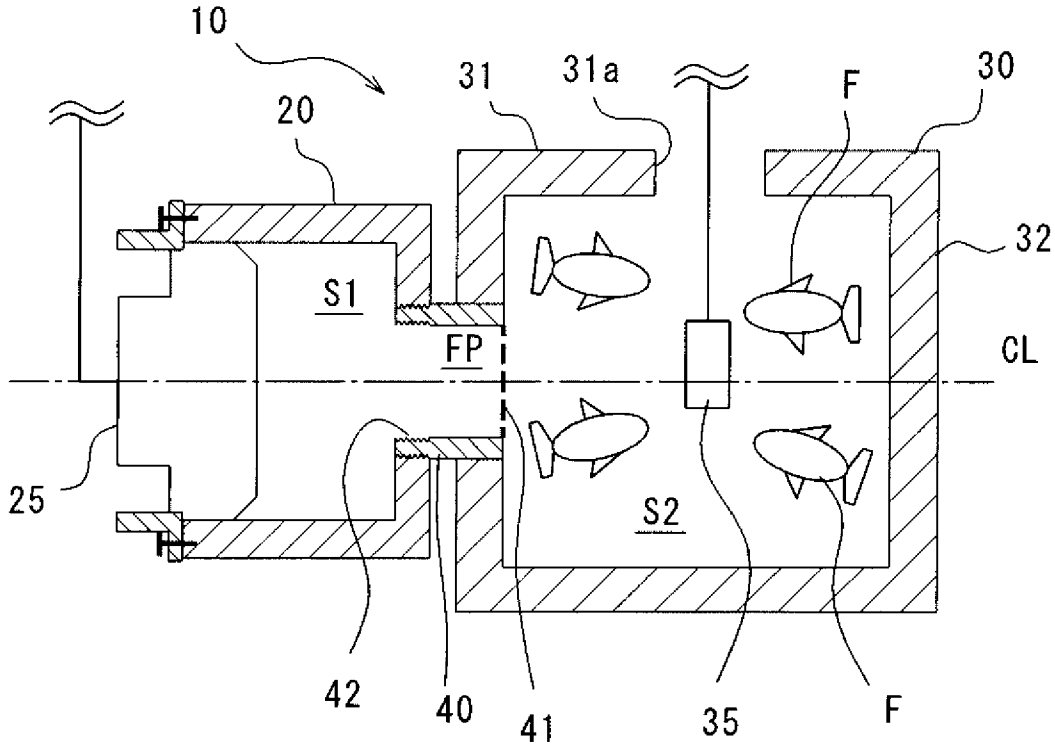
[図1]



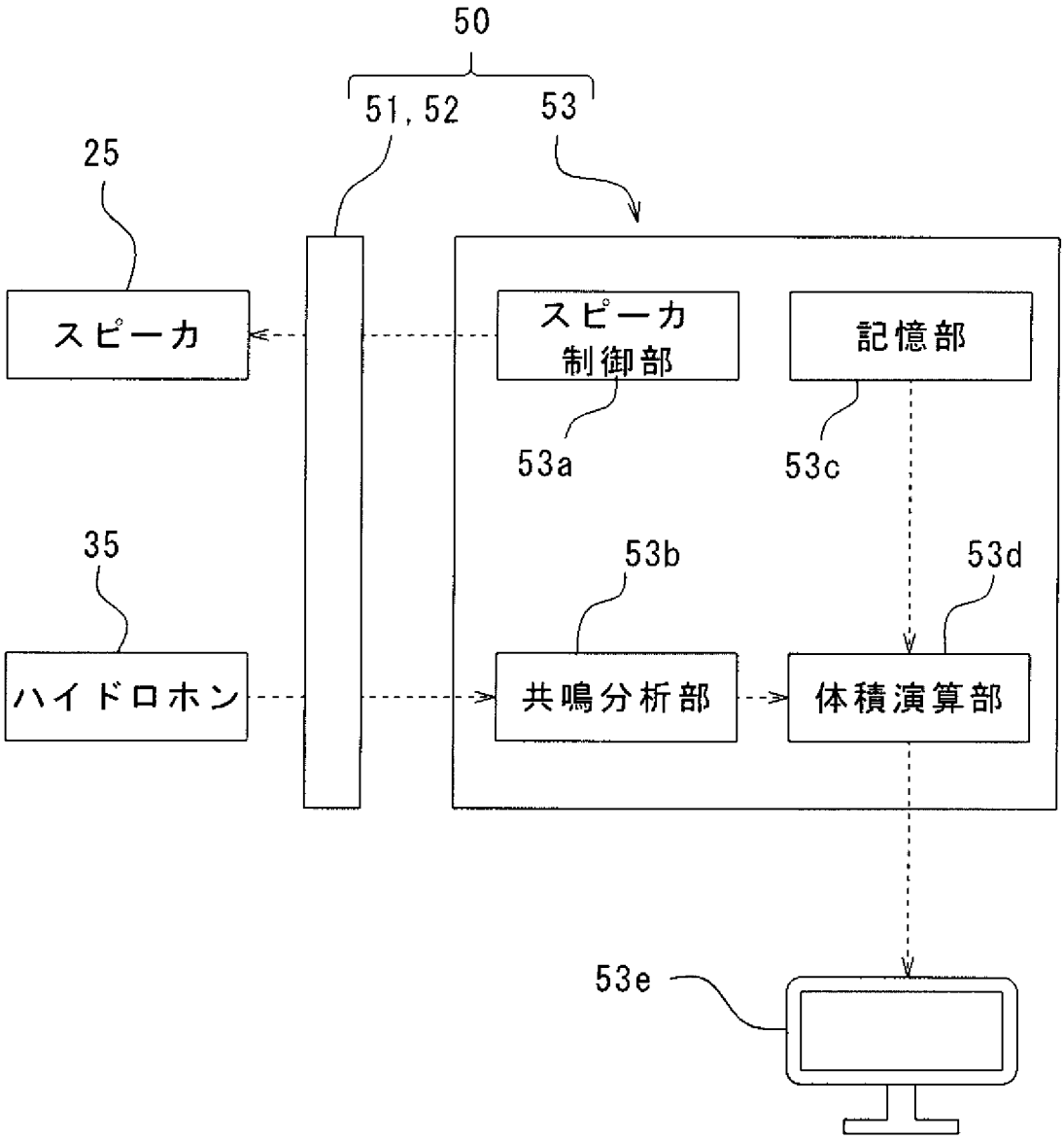
[図2]



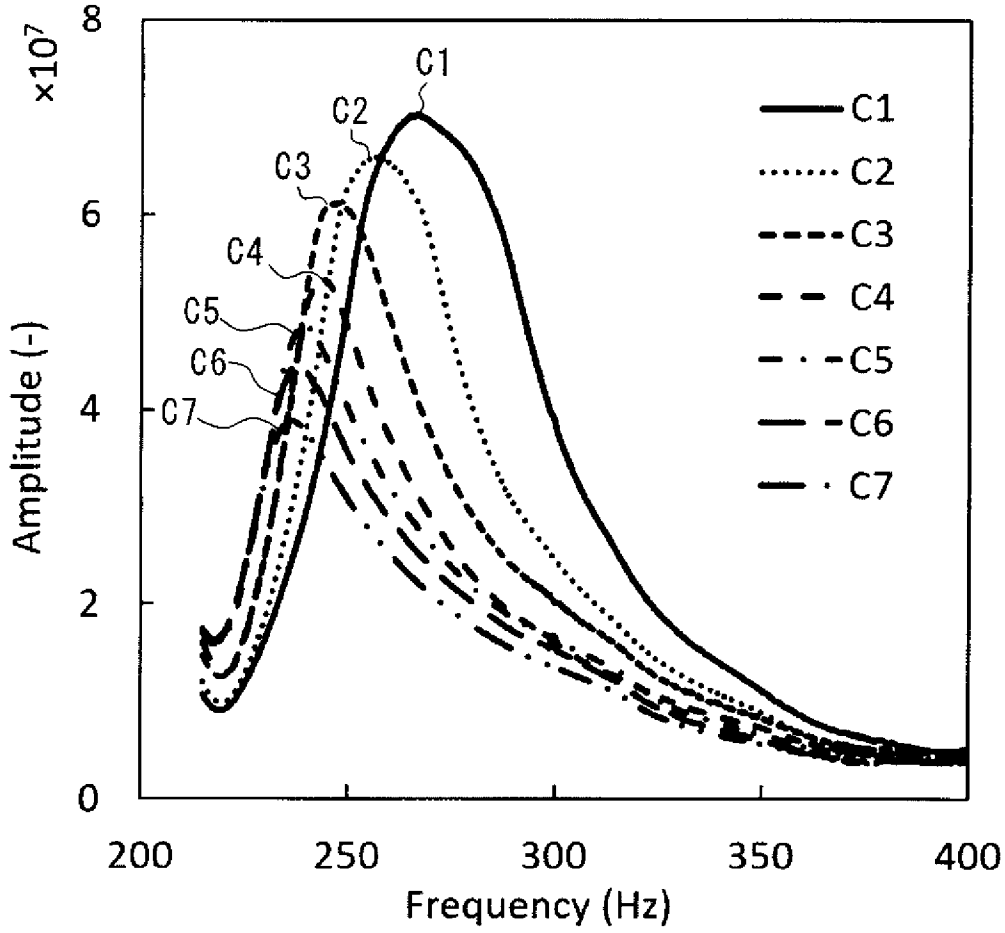
[図3]



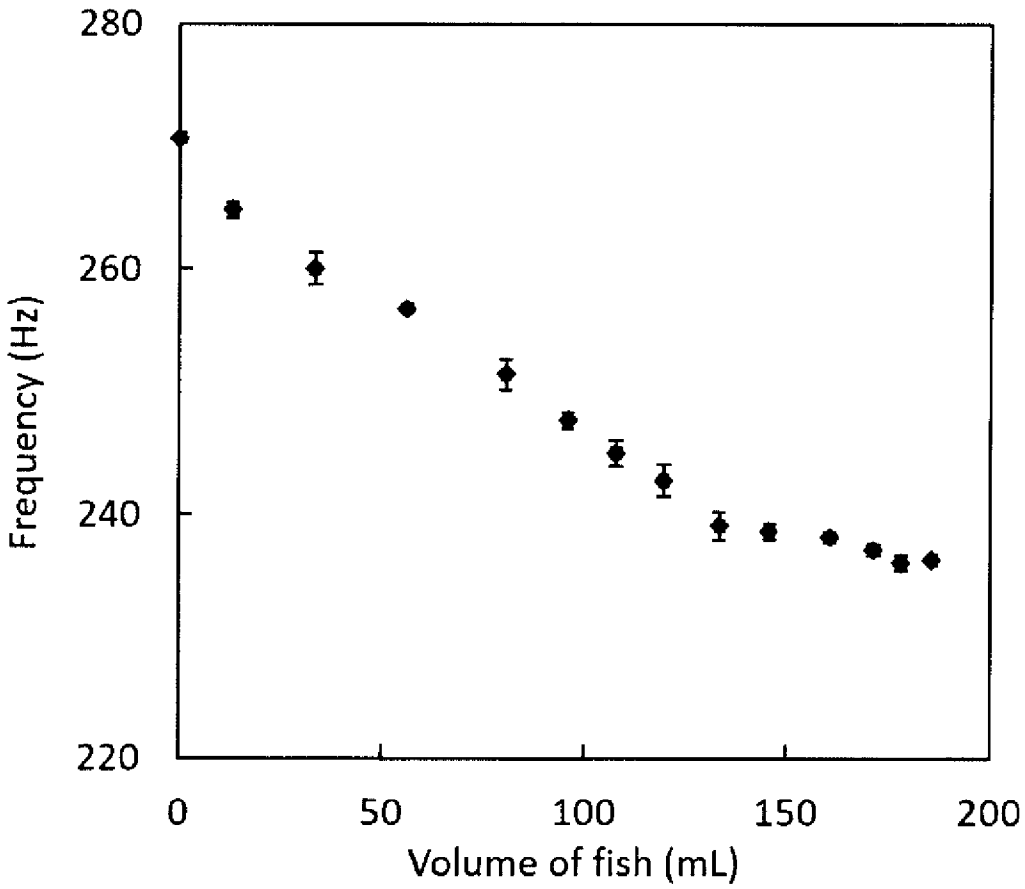
[図4]


50
51, 52
53
25
スピーカ
スピーカ制御部
記憶部
53a
53c
35
53b
53d
ハイドロホン
共鳴分析部
体積演算部
53e

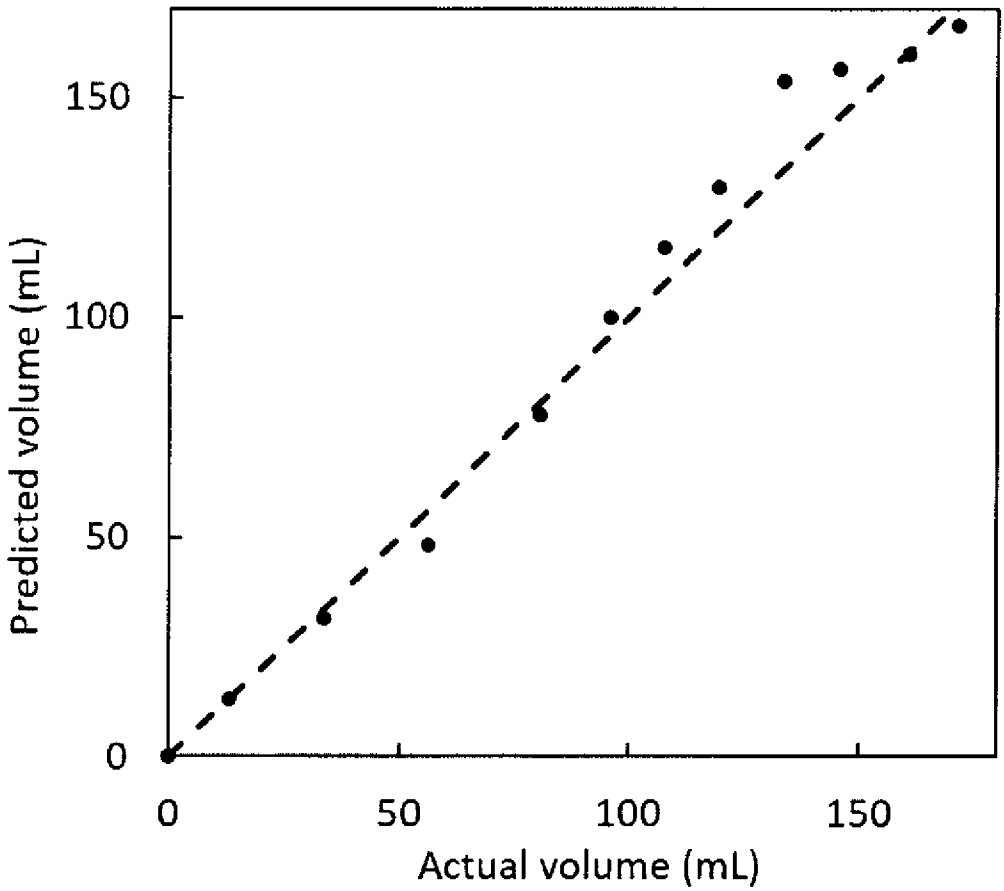
[図5]


×10^7
8
6
4
2
0
Amplitude (-)
200
250
300
350
400
Frequency (Hz)
C1
C2
C3
C4
C5
C6
C7

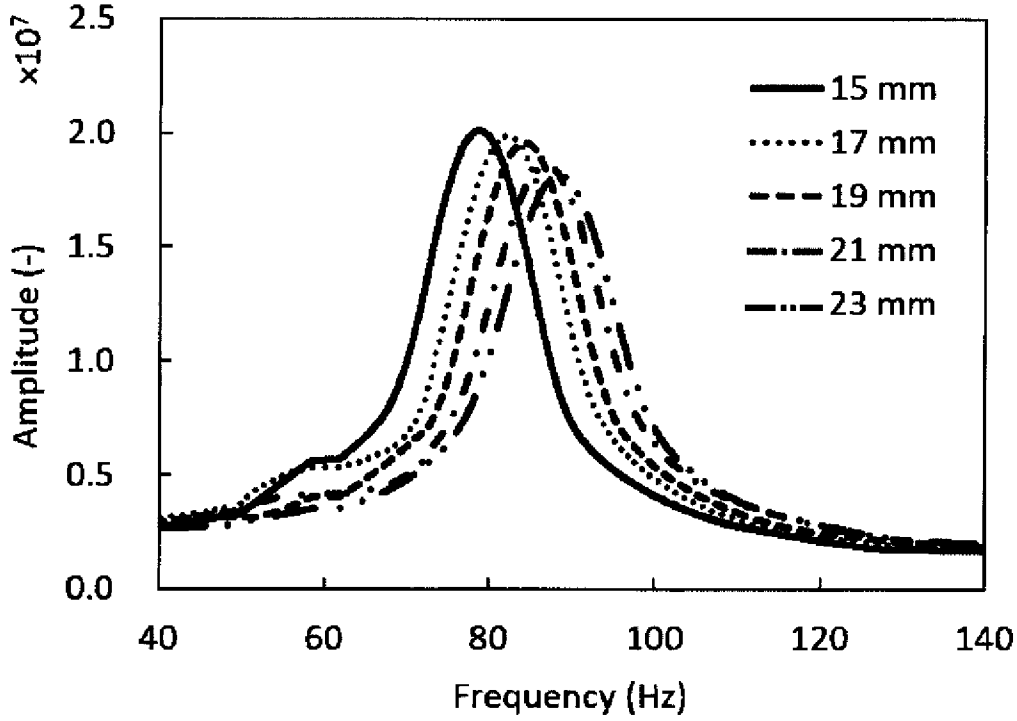
[図6]


280
260
240
220
Frequency (Hz)
0
50
100
150
200
Volume of fish (mL)

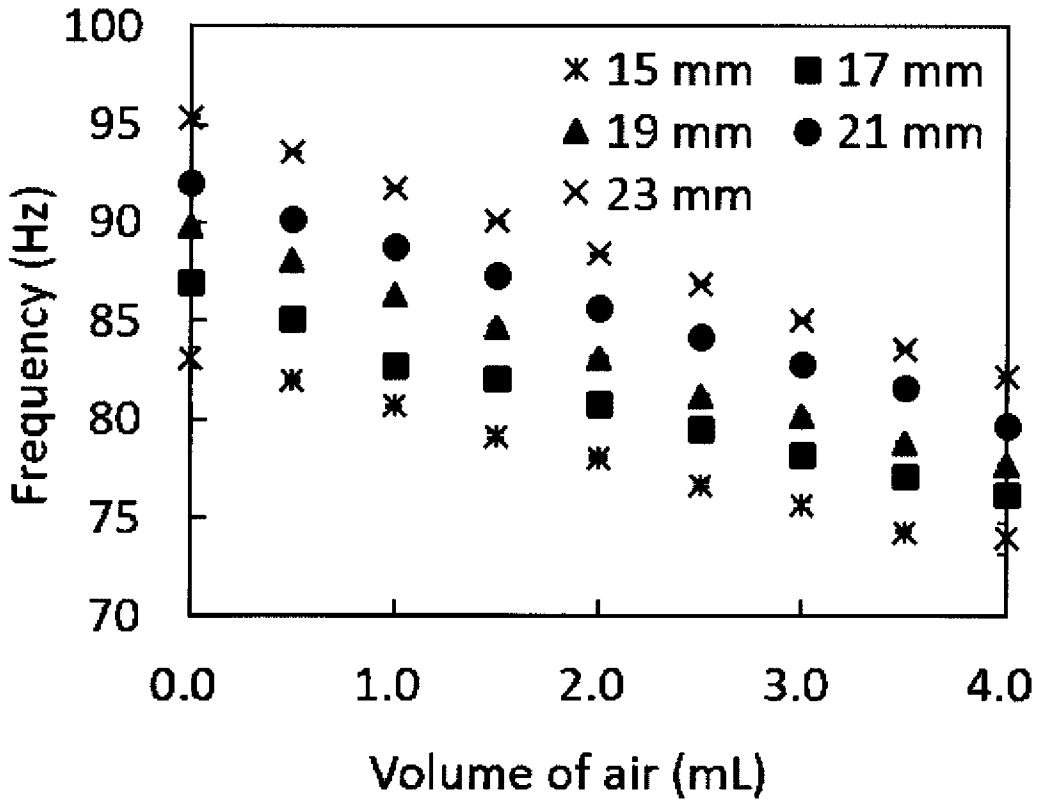
[図7]


150
100
50
0
Predicted volume (mL)
0
50
100
150
Actual volume (mL)

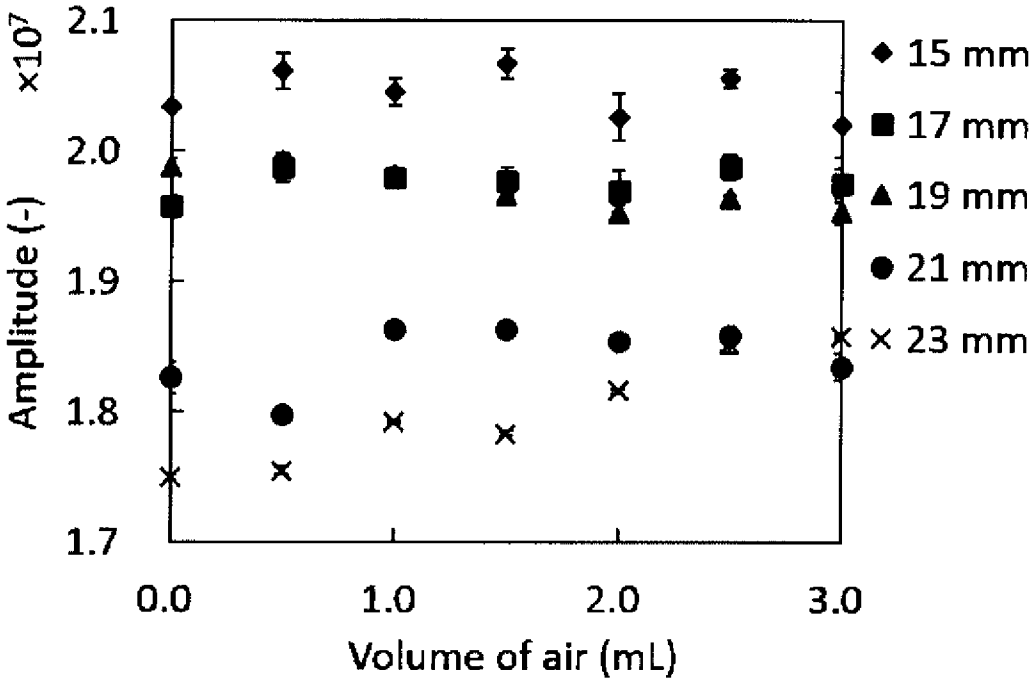
[図8]


×10^7
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
Amplitude (-)
15 mm
17 mm
19 mm
21 mm
23 mm
40
60
80
100
120
140
Frequency (Hz)

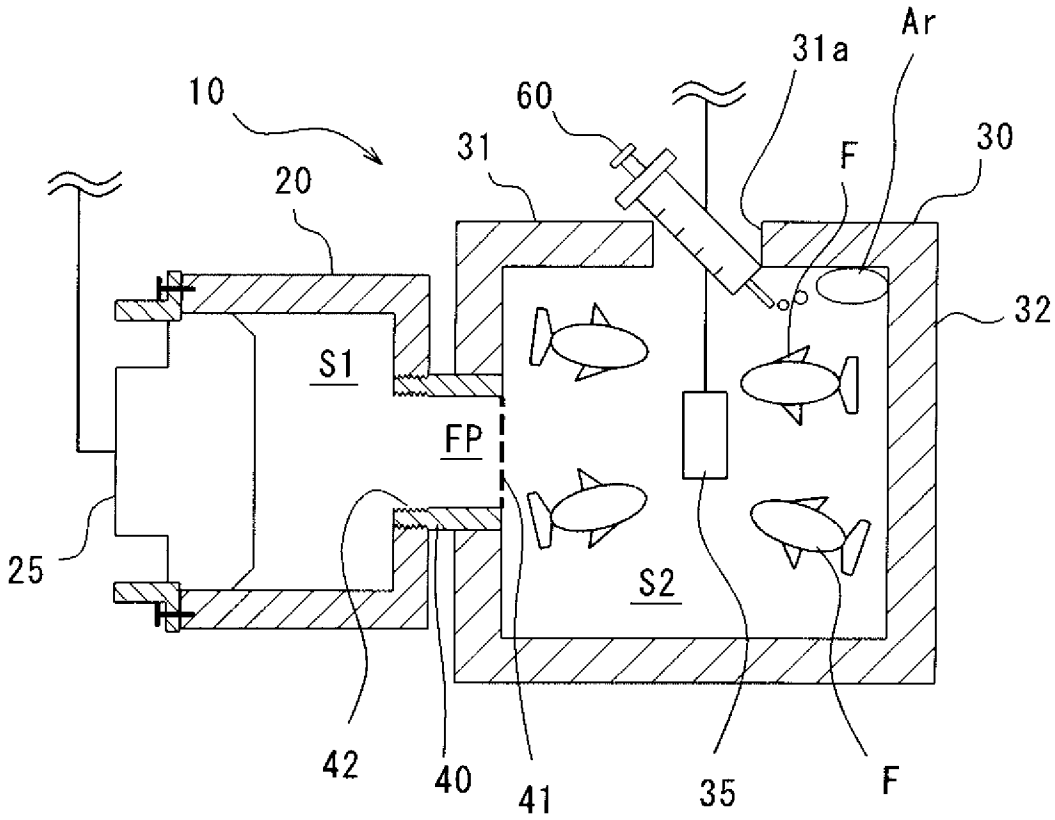
[図9]


100
95
90
85
80
75
70
Frequency (Hz)
15 mm
17 mm
19 mm
21 mm
23 mm
0.0
1.0
2.0
3.0
4.0
Volume of air (mL)

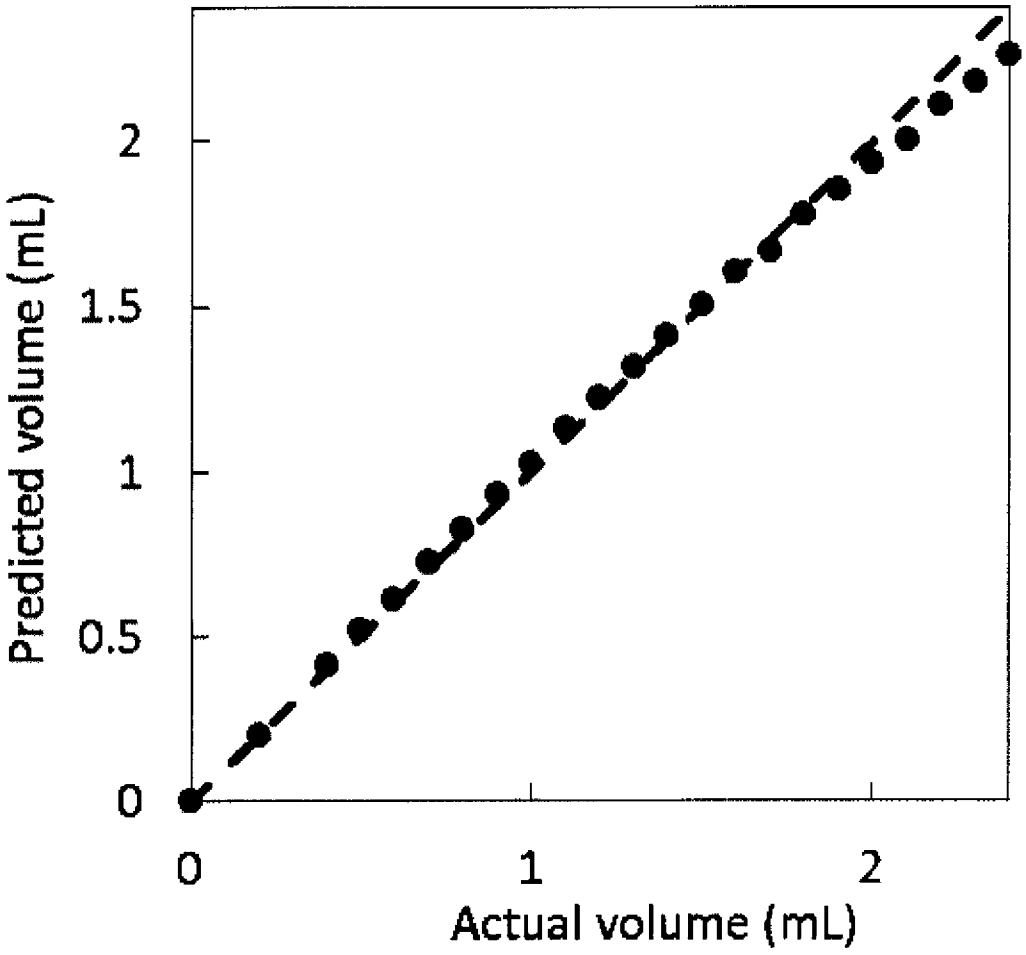
[図10]


×10^7
2.1
2.0
1.9
1.8
1.7
Amplitude (-)
0.0
1.0
2.0
3.0
Volume of air (mL)
15 mm
17 mm
19 mm
21 mm
23 mm

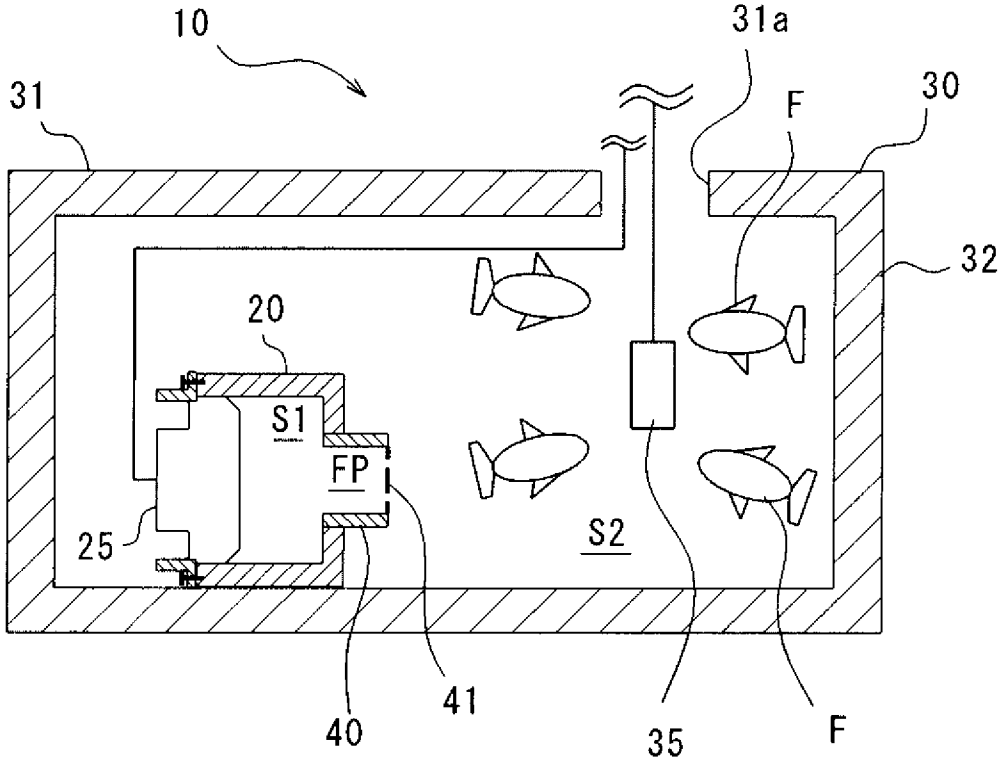
[図11]


10
20
31
60
31a
Ar
F
30
32
S1
FP
S2
25
42
40
41
35
F

[図12]


Predicted volume (mL)
Actual volume (mL)
0
0.5
1
1.5
2
0
1
2

[図13]


10
31
31a
F
30
32
20
S1
FP
25
S2
40
41
35
F

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2019/034745

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl. G01F17/00(2006.01)i, A01K61/95(2017.01)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)
Int.Cl. G01F17/00, A01K61/90-61/95

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

Published examined utility model applications of Japan	1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan	1971-2019
Registered utility model specifications of Japan	1996-2019
Published registered utility model applications of Japan	1994-2019

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 1-136027 A (TECHNO-JAPAN CO., LTD.) 29 May 1989, page 2, upper left column, line 17 to lower right column, line 18, fig. 1-3 (Family: none)	1-4, 6, 8-9, 11-12
Y	WO 2005/090932 A1 (KYOTO UNIVERSITY) 29 September 2005, paragraphs [0071]-[0072], [0106]-[0107], fig. 2, 8 & TW 200537076 A & US 2007/0193350 A1, paragraphs [0082]-[0083], [0124]-[0126], fig. 2, 8	1-4, 6, 9, 11-12

☒ 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	Date of mailing of the international search report
14 November 2019 (14.11.2019)	26 November 2019 (26.11.2019)

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2019/034745

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 7-83731 A (NISSAN MOTOR CO., LTD.) 31 March 1995, paragraph [0006], fig. 1 (Family: none)	8
A	WO 2013/094739 1 (KYOTO UNIVERSITY) 27 June 2013, entire text, all drawings (Family: none)	1-12
A	US 4991433 A (APPLIED ACOUSTIC RESEARCH) 12 February 1991, entire text, all drawings (Family: none)	1-12
A	JP 1-184417 A (ISHII, Yasushi) 24 July 1989, entire text, all drawings (Family: none)	1-12

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１９／０３４７４５

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　G01F17/00(2006.01)i, A01K61/95(2017.01)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.　G01F17/00, A01K61/90-61/95

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	１９７１－２０１９年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１９年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１９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 1-136027 A (テクノジヤパン株式会社) 1989.05.29, 2頁左上欄17行-右下欄18行, 第1-3図 (ファミリーなし)	1-4,6,8-9, 11-12
Y	WO 2005/090932 A1 (国立大学法人京都大学) 2005.09.29, [0071]-[0072], [0106]-[0107], 図2, 8 & TW 200537076 A & US 2007/0193350 A1, [0082]-[0083], [0124]-[0126], FIGS.2, 8	1-4,6,9, 11-12

☑　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	国際調査報告の発送日
１４．１１．２０１９	２６．１１．２０１９

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ）
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）　２Ｆ　９２０６
岡田　卓弥
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３２１６

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 7-83731 A (日産自動車株式会社) 1995.03.31, [0006], 図 1 (ファミリーなし)	8
A	WO 2013/094739 A1 (国立大学法人京都大学) 2013.06.27, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-12
A	US 4991433 A (APPLIED ACOUSTIC RESEARCH) 1991.02.12, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-12
A	JP 1-184417 A (石井泰) 1989.07.24, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-12