

(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
2015年6月11日(11.06.2015)



(10) 国際公開番号

WO 2015/083283 A1

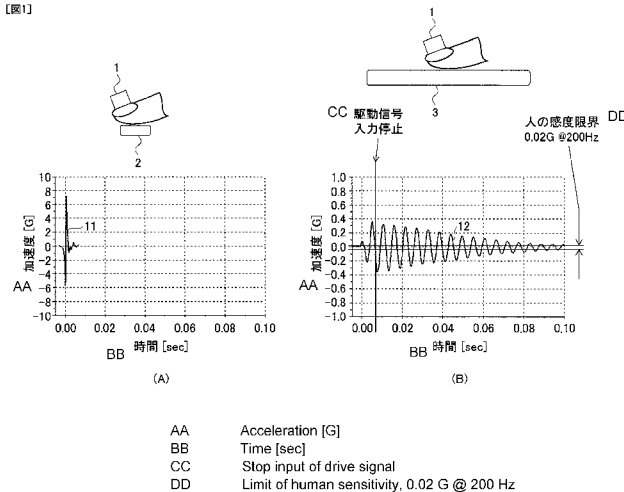
- (51) 国際特許分類:
B06B 1/04 (2006.01) *G06F 3/041* (2006.01)
B06B 1/06 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2013/082803
- (22) 国際出願日: 2013年12月6日(06.12.2013)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人: 富士通株式会社 (FUJITSU LIMITED)
[JP/JP]; 〒2118588 神奈川県川崎市中原区上小田
中4丁目1番1号 Kanagawa (JP).
- (72) 発明者: 谷中 聖志 (TANINAKA, Kiyoshi); 〒
2118588 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目
1番1号 富士通株式会社内 Kanagawa (JP). 遠藤
康浩 (ENDO, Yasuhiro); 〒2118588 神奈川県川崎市
中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会
社内 Kanagawa (JP). 矢吹 彰彦 (YABUKI, Akihiko);
〒2118588 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁
目1番1号 富士通株式会社内 Kanagawa (JP).
- (74) 代理人: 伊東 忠重, 外 (ITO, Tadashige et al.); 〒
1000005 東京都千代田区丸の内二丁目1番1号
丸の内 M Y P L A Z A (明治安田生命ビ
ル) 16階 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保
護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA,
BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN,
CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES,
FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN,
IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR,
LS, LT, 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, 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,

[続葉有]

(54) Title: DRIVE DEVICE, ELECTRONIC EQUIPMENT, DRIVE CONTROL PROGRAM, AND DRIVE SIGNAL-GENERATING METHOD

(54) 発明の名称: 駆動装置、電子機器、駆動制御プログラム、及び駆動信号の生成方法

[図1]



(57) Abstract: Provided are a drive device, electronic equipment, drive control program, and drive signal-generating method, which are capable of producing a sensation that corresponds to operation. The drive device comprises: a storage unit, which stores waveform data representing a drive signal that is a sine wave satisfying frequency $(f1) = (m/n) \times q(t)$ with respect to the time characteristic $q(t)$ of the resonance frequency and excites a vibration-generating device, for which the resonance frequency varies in a range comprising the rated value $(f0)$ from a first to a second resonance frequency according to the acceleration amplitude, (m) times ((m) and (n) being mutually differing non-0 natural numbers), or a drive signal for exciting the vibration-generating device $(m/2) \times (a)$ times ((a) being a non-0 natural number)((m) and (n) being mutually differing positive odd numbers); and a drive-processing unit for outputting the drive signal to the vibration-generating device. The time characteristic $q(t)$ is a time characteristic that is a sine wave satisfying frequency $(f1) = (m/n) \times (f2)$ and is obtained by driving the vibration-generating device with a drive signal that excites the vibration-generating device (m) times when $(m) \neq (n)$ or a drive signal that excites the vibration-generating device $(m/2) \times (a)$ times ((m) and (n) being mutually differing positive odd numbers).

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2015/083283 A1



NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI 添付公開書類:

(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, — 国際調査報告 (条約第 21 条(3))
MR, NE, SN, TD, TG).

操作に応じた触感を提供できる駆動装置、電子機器、駆動制御プログラム、及び駆動信号の生成方法を提供する。 駆動装置は、共振周波数が加速度振幅に応じて定格値 f_0 を含む第 1 から第 2 共振周波数の範囲で変化する振動生成装置を共振周波数の時間特性 $q(t)$ に対して、周波数 $f_1 = (m/n) \times q(t)$ を満たす正弦波であり m 回加振する駆動信号 (m, n は互いに異なる 0 以外の自然数)、又は、 $(m/2) \times a$ (a は 0 以外の自然数) 回加振する駆動信号 (m, n は互いに異なる正の奇数) を表す波形データが格納される記憶部と、駆動信号を振動生成装置へ出力する駆動処理部とを含み、時間特性 $q(t)$ は、周波数 $f_1 = (m/n) \times f_2$ を満たす正弦波であり、 $m \neq n$ の場合に振動生成装置を m 回加振する駆動信号、又は、 $(m/2) \times a$ 回加振する駆動信号 (m, n は互いに異なる正の奇数) で振動生成装置を駆動して得られる時間特性である。

明 細 書

発明の名称：

駆動装置、電子機器、駆動制御プログラム、及び駆動信号の生成方法

技術分野

[0001] 本発明は、振動生成装置を駆動させる駆動装置、電子機器、駆動制御プログラム、及び駆動信号の生成方法に関する。

背景技術

[0002] 従来から、表面を有し且つ撓み波を支持可能なパネルと、前記表面に関連付けられたタッチ感知式入力デバイスと、前記入力デバイスに力フィードバックを与えるための力変換器を含む手段とを備えるユーザ／機械インタフェースがある。前記力が前記パネルに対するパルス形式のものであり、前記パルスが、ボタンクリック感覚をユーザの指先に提供するような変調信号の形式であり、前記変調信号が $150 \sim 750 \text{ Hz}$ の範囲の基調搬送周波数を有し且つ少なくとも 10 ms の持続時間である（例えば、特許文献 1 参照）。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開 2012-20284 号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] しかしながら、従来の装置では、振動生成装置の共振周波数が加速度振幅に応じて変化する場合に、良好な触感を提供することが困難である。

[0005] そこで開示の技術は、振動生成装置の共振周波数が加速度振幅に応じて変化する場合に、操作に応じた触感を提供することが可能な駆動装置、電子機器及び駆動制御プログラムを提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0006] 開示の一態様の駆動装置は、共振周波数の定格値が f_0 である振動生成装

置であって、前記共振周波数が加速度振幅に応じて前記定格値 f_0 を含む第 1 共振周波数 f_{11} から第 2 共振周波数 f_{12} の範囲で変化する周波数特性を有する振動生成装置を、前記共振周波数の時間特性 $q(t)$ に対して、周波数 $f_1 = (m/n) \times q(t)$ (m, n は互いに異なる 0 以外の自然数) を満たす正弦波であり、且つ前記振動生成装置を m 回加振する第 1 駆動信号、又は、周波数 $f_1 = (m/n) \times q(t)$ (m, n は互いに異なる正の奇数) を満たす正弦波であり、且つ前記振動生成装置を $(m/2) \times a$ (a は 0 以外の自然数) 回加振する第 2 駆動信号を表す波形データが格納された記憶部と、前記記憶部に格納された前記波形データを読み出し、前記波形データに対応する前記第 1 駆動信号又は前記第 2 駆動信号を前記振動生成装置へ出力する駆動処理部と、を含み、前記時間特性 $q(t)$ は、誤差を考慮した前記共振周波数の範囲に含まれる周波数 f_2 に対して、周波数 $f_1 = (m/n) \times f_2$ (m, n は互いに異なる 0 以外の自然数) を満たす正弦波であり、且つ前記振動生成装置を m 回加振する第 3 駆動信号、又は、周波数 $f_1 = (m/n) \times f_2$ (m, n は互いに異なる正の奇数) を満たす正弦波であり、且つ前記振動生成装置を $(m/2) \times a$ (a は 0 以外の自然数) 回加振する第 4 駆動信号で前記振動生成装置を駆動したときに得られる、前記振動生成装置の共振周波数が時間経過に応じて変化する時間特性である。

発明の効果

[0007] 開示の技術によれば、振動生成装置の共振周波数が加速度振幅に応じて変化する場合に、操作に応じた触感を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0008] [図1]実施の形態 1 の概要を説明する図である。

[図2]人の加速度器官の感度を示す図である。

[図3]実施の形態 1 の電子機器を説明する図である。

[図4]L R A の例を示す図である。

[図5]実施の形態 1 の駆動装置を説明する図である。

[図6]実施の形態 1 の駆動装置による L R A の駆動を説明するフローチャート

である。

[図7] L R A の模式図の例を示す図である。

[図8] 実施の形態 1 の L R A の駆動信号の例を示す図である。

[図9] L R A の変位を説明する図である。

[図10] L R A の振動の速度及び振動の加速度の例を示す図である。

[図11] L R A の固有振動数の正弦波を駆動信号としたときの L R A の振動の加速度を示す図である。

[図12] L R A の固有振動数の正弦波による駆動信号停止後に L R A に発生する振動の逆位相の電圧を振動抑制信号として印加したときの L R A の振動の加速度を示す図である。

[図13] 特定の条件を満たさない信号を駆動信号としたときの L R A の振動の加速度を示す図である。

[図14] 特定の条件を満たす信号を駆動信号としたときの L R A の振動の加速度を示す図である。

[図15] 物体 3 0 1 とばね 3 0 2 を含む振動系 3 0 0 を示す図である。

[図16] 物体 3 0 1 に強制振動 $J \sin pt$ を加えたときの自由振動、強制振動、及び応答振動の変位、速度、及び加速度を示す図である。

[図17] n 、 m がともに奇数であるときに物体 3 0 1 を周波数 f_1 で $(m/2) \times a$ 回振動させたときの自由振動、強制振動、及び応答振動の変位、速度、及び加速度を示す図である。

[図18] 強制振動の周波数と、振動時間との関係を示す図である。

[図19] n 、 m がともに奇数であるときに物体 3 0 1 を周波数 f_1 で $(m/2) \times a$ 回振動させたときの自由振動、強制振動、及び応答振動の変位、速度、及び加速度を示す図である。

[図20] 自由振動の加速度を測定する測定系 4 0 0 を示す図である。

[図21] 自由振動の加速度の減衰を示す図である。

[図22] 駆動信号 Z_1 で L R A 1 4 0 を駆動した場合の自由振動、強制振動、及び応答振動の変位、速度、及び加速度を示す図である。

[図23]減衰特性の有無による残留振動の違いを示す図である。

[図24]L R A が筐体に設けられた電子機器の例を示す図である。

[図25]漸硬ばねと線形ばねの変形特性を示す図である。

[図26]共振周波数が加速度振幅に応じて変化する特性を示す図である。

[図27]共振周波数が加速度振幅に応じて変化する特性を示す図である。

[図28]L R A 1 4 0 の駆動信号の波形と応答振動の変位を示す図である。

[図29]実施の形態 1 の L R A 1 4 0 の駆動制御方法による駆動信号の波形と応答振動の変位を示す図である。

[図30]実施の形態 1 の L R A 1 4 0 の駆動信号を生成する方法を段階的に示す図（パート 1）である。

[図31]実施の形態 1 の L R A 1 4 0 の駆動信号を生成する方法を段階的に示す図（パート 2）である。

[図32]実施の形態 1 の L R A 1 4 0 の駆動信号を生成する方法を段階的に示す図（パート 3）である。

[図33]実施の形態 2 の駆動装置を説明する図である。

[図34]実施の形態 2 における共振周波数の測定処理を説明するフローチャートである。

発明を実施するための形態

[0009] <実施の形態 1>

以下に図 1 を参照して実施の形態 1 の概要について説明する。図 1 は、実施の形態 1 の概要を説明する図である。

[0010] 図 1（A）は、人間の指に加速度計 1 を取り付けてボタン 2 を押下した際に生じる振動の加速度の波形 1 1 を示す図である。図 1（B）は、人間の指に加速度計 1 を取り付けて、L R A (Linear Resonant Actuator) が取り付けられたタッチパネル 3 をタッチした際に生じる振動の加速度の波形 1 2 を示す図である。図 1 の例では、ボタン 2 は例えばメタルドーム式のボタンである。またボタン 2 とタッチパネル 3 は、電子機器に設けられたものである。

[0011] 波形 1 1 で示される振動は、1～数周期で急速に減衰する。これに対して波

形 1 2 で示される振動は、駆動信号の供給を停止後も L R A の固有振動数による自由振動が減衰するまで続く。以下の説明では、駆動信号の供給停止後も続く L R A の固有振動数による自由振動を残留振動と呼ぶ。

[0012] ところで、人間の指は、振動周波数 2 0 0 H z において振動の加速度が 0 . 0 2 G 以下になると振動を感知できなくなる。振動周波数とは、1 秒間の振動数である。振動の加速度とは、単位時間当たりの振動の速度変化量を示すものである。図 2 は、人の加速度器官の感度を示す図である。尚人間の加速度を感知する器官は、パチニ小体である。パチニ小体は、主に皮膚に見られる主要な 4 種類の機械受容体のうちの 1 つである。

[0013] すなわち波形 1 1 では、指は 0 . 0 1 s e c 以内に振動の加速度が 0 . 0 2 G 以下とるため振動を感知しなくなる。これに対して波形 1 2 では、振動の加速度が 0 . 0 2 G 以下になるまで 0 . 1 s e c が必要であり、指は 0 . 1 s e c 経過するまで振動を感知し続ける。したがって波形 1 1 で示される振動と、波形 1 2 で示される振動とでは、人間が感知する触感として全く異なるものとなる。

[0014] そこで実施の形態 1 では、残留振動を抑制することで 1 ~ 数周期で急速に減衰する振動を発生させ、クリック感を表現する。

[0015] 実施の形態 1 では、特定の条件を満たす駆動信号を L R A 1 4 0 に供給したときに L R A 1 4 0 の振動が 1 ~ 数周期で停止し残留振動が発生しないことに着目し、この特定の条件を満たす駆動信号を L R A 1 4 0 に印加する。

[0016] 以下に図 3 を参照して実施の形態 1 の電子機器について説明する。図 3 は、実施の形態 1 の電子機器を説明する図である。

[0017] 実施の形態 1 の電子機器は、例えば表示機能と入力機能とを有するタッチパネルを入力手段として有する機器であれば良い。例えば実施の形態 1 の電子機器は、スマートフォン、タブレット型コンピュータ、携帯情報端末機等であっても良い。

[0018] 実施の形態 1 の電子機器 1 0 0 は、筐体 1 1 0、タッチパネル 1 2 0、両面テープ 1 3 0、L R A 1 4 0、基板 1 5 0 を有する。

[0019] 実施の形態１の電子機器１００では、両面テープ１３０により、タッチパネル１２０が筐体１１０に固定されている。ＬＲＡ１４０は、タッチパネル１２０の筐体側の面に取り付けられている。ＬＲＡ１４０は、予め設計された共振周波数を持つ振動系とアクチュエータとが組み合わされたもので、主に共振周波数で駆動して振動を発生させる振動生成装置であり、駆動波形の振幅により振動量が変化する。ＬＲＡ１４０の詳細は後述する。尚実施の形態１ではＬＲＡ１４０を振動生成装置としたが、共振器と加振用のアクチュエータを備えた構造であればＬＲＡに限らない。

[0020] 基板１５０は、筐体１１０内部に配置されている。基板１５０には、ＬＲＡ１４０の駆動を制御するために駆動装置やＬＲＡ１４０に駆動信号を出力するドライバＩＣが実装されている。

[0021] 実施の形態１の電子機器１００は、タッチパネル１２０にユーザの指が接触すると、この接触を感知して基板１５０に実装された駆動装置によりＬＲＡ１４０を駆動し、ＬＲＡ１４０の振動をタッチパネル１２０に伝播させる。

[0022] 尚実施の形態１の電子機器１００は、タッチパネル１２０を入力操作部とする機器であればよい。例えばＡＴＭ（Automatic Teller Machine）のように特定の場所に設置されて利用される機器であってもよい。

[0023] 以下に図４を参照してＬＲＡ１４０について説明する。図４は、ＬＲＡの例を示す図である。図４（Ａ）はボイスコイルを用いたＬＲＡの例を示す図であり、図４（Ｂ）は圧電素子を用いたＬＲＡの例を示す図である。

[0024] 図４（Ａ）に示すＬＲＡ３０は、ばね３１、磁石３２、コイル３３を有する。ＬＲＡ３０は、ばね３１のばね定数を k とし、磁石３２の質量を m とすると、固有振動数 f_0 が以下の式（１）で示される。

[0025]

[数1]

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (1)$$

図4（B）に示すLRA40は、重り41、梁42、圧電素子43を有する。LRA40は、重り41の質量をmとし、梁42のヤング率をEとし、梁42の断面2次モーメントをIとし、Lを梁42の長手方向の長さとする、固有振動数f0が以下の式（2）で示される。

[0026] [数2]

$$f_0 \approx \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{3EI}{mL^3}} \quad (2)$$

実施の形態1のLRA140は、ボイスコイルを用いたLRA30を適用しても良いし、圧電素子43を用いたLRA40を適用しても良い。

[0027] 次に図5を参照して実施の形態1の電子機器100の有する基板150に実装された駆動装置について説明する。図5は、実施の形態1の駆動装置を説明する図である。

[0028] 実施の形態1の駆動装置200は、CPU（Central Processing Unit）210と、メモリ220とを有する。CPU210は、メモリ220に格納された駆動制御プログラム230を読み出して実行することで、後述するLRA140の駆動処理を行う。メモリ220には、LRA140の駆動を制御

する駆動制御プログラム230が格納される記憶領域と、波形データ240が格納される記憶領域と、触感を提供するAPI (Application Programming Interface) 250が格納される記憶領域とが設けられている。

[0029] 駆動制御プログラム230は、CPU210にLRA140の駆動制御を実行させる。波形データ240は、LRA140により生じる振動によりクリック感を表現するために予め生成された駆動波形のデータである。波形データ240の詳細は後述する。API250は、駆動制御プログラム230により起動され、触感を提供するための各種処理を行う。API250は、図5ではAPI250はメモリ220に格納されるものとしたが、基板150に実装された他のメモリに格納されていても良い。

[0030] 図6は、実施の形態1の駆動装置によるLRA140の駆動を説明するフローチャートである。

[0031] 実施の形態1の駆動装置200は、タッチパネル120に対する接触を検出すると(ステップS601)、API250を起動させる(ステップS602)。具体的には駆動装置200は、例えばタッチパネル120上に表示されたボタンに対する接触があった場合等にAPI250を起動しても良い。

[0032] API250は、メモリ220に格納された波形データ240を読み出し、波形データ240に対応した駆動指令をドライバIC260へ出力する(ステップS603)。ドライバIC260は、駆動指令を受けて波形データ240をD/A (Digital to Analog) 変換し(ステップS604)、アンプ等により増幅する(ステップS605)。ドライバIC260は、増幅した信号をLRA140に対して出力する(ステップS606)。

[0033] 以下に実施の形態1の波形データ240について説明する。実施の形態1の波形データ240は、残留振動を停止させる特定の条件を満たす駆動信号の波形を示すデータである。

[0034] 特定の条件を満たす駆動信号は、LRA140の固有振動数(以下、共振周波数)を f_0 としたとき、 $f_1 = (m/n) \times f_0$ (m, n は、0以外の

自然数かつ $m \neq n$)となる周波数 f_1 の信号でLRA140を m 回加振する信号である。

[0035] 図7は、実施の形態1のLRA140の模式図の例を示す図であり、図8は、実施の形態1のLRA140の駆動信号の例を示す図である。

[0036] 実施の形態1のLRA140は、図7に示すように共振周波数 $f_0 = 175\text{ Hz}$ 、重りの重さを 1.5 g 、重りを支持するばね定数を 1813.5 N/m のものとした。

[0037] 実施の形態1の駆動信号は、 $m = 2$ 、 $n = 1$ としたとき、駆動信号の周波数 $f_1 = 2 / 1 \times 175 = 350\text{ Hz}$ となる。周波数を f_1 としたときの駆動信号 Z は、図8に示す波形となる。図8の例では、駆動信号 $Z = 0.01 \sin 2\pi f_1 t$ となる。図8の駆動信号 Z は、 $m = 2$ であるから2周期の正弦波である。

[0038] 実施の形態1では、例えば図8に示す駆動信号 Z を示すデータが波形データ240としてメモリ220に格納される。波形データ240は、例えば駆動信号 Z の周波数 f_1 の値と、振幅と位相の値と、 m 、 n の値等を含んでも良い。また波形データ240は、駆動信号 Z の波形そのものを示すデータであっても良い。

[0039] また実施の形態1では、駆動信号 Z の周波数 f_1 は、 $m / n \times f_0$ に対して誤差が1%以下となるように設定することが好ましい。このように周波数 f_1 を設定すれば、駆動信号の印加を停止した後に残留振動が生じたとしても、振動の加速度は人の感知下限である 0.02 G 以下となり人に感知されないため、クリック感を損ねることがない。

[0040] 実施の形態1の駆動装置200は、図6のステップS603において、AP1250により、駆動信号 Z を示す波形データ240を読み出し、波形データ240に対応した駆動指令をドライバIC260へ出力する。ドライバIC260は、波形データ240をD/A変換して増幅し、LRA140に出力する。

[0041] 実施の形態1の駆動装置200において、LRA140に駆動信号 Z が印

加された場合について説明する。

[0042] 駆動信号 Z が $LRA140$ に印加されると、 $LRA140$ には、周波数 f_1 の強制振動と $LRA140$ の共振周波数 f_0 の自由振動が生じ、 $LRA140$ の変位はこれらの合成波となる。

[0043] 図9は、 LRA の変位を説明する図である。図9 (A) は、変位を説明する第一の図であり、図9 (B) は変位を説明する第二の図である。

[0044] 図9 (A) において、点線で示される波形は $LRA140$ に駆動信号 Z が印加されたときに生じる振動変位の強制振動成分 y_1 を示し、実線で示される波形は自由振動成分 y_2 を示す。駆動信号 Z が $LRA140$ に印加されたときの応答変位 y_3 は、強制振動成分 y_1 と自由振動成分 y_2 との合成波となる。

[0045] 図9 (B) は、応答変位 y_3 の例を示す図である。応答変位 y_3 は、駆動信号 Z が0となるタイミング T において0となることがわかる。

[0046] 応答変位 y_3 が0となるタイミング T において、 $LRA140$ の振動の速度、振動の加速度ともに0になるため、 $LRA140$ の振動は停止する。

[0047] 図10は、 $LRA140$ の振動の速度及び振動の加速度の例を示す図である。図10 (A) は応答変位 y_3 の波形を示す図であり、図10 (B) は応答変位 y_3 の微分である速度の波形 y_3' の波形を示す図であり、図10 (C) は応答変位 y_3 の2回微分である加速度の波形 y_3'' の波形を示す図である。

[0048] 図10からわかるように、速度の波形 y_3' と加速度の波形 y_3'' とは、応答変位 y_3 が0となるタイミングで0となる。すなわち $LRA140$ の振動がタイミング T で停止する。

[0049] このとき加速度の波形 y_3'' は、 0.01 sec 以内に2周期で停止する。したがって図10の例では、振動の加速度が 0.01 sec 以内に 0.02 G 以下となり、ボタン2を押下した際のクリック感を表現することができる。

[0050] 尚実施の形態1では、 $m=2$ ， $n=1$ としたが、これに限定されない。実

施の形態1では、 m 、 n は自然数（0を含まない）かつ $m \neq n$ を満たせば良い。尚 m 、 n の関係は、 $m > n$ を満たす関係であることが好ましい。

[0051] 以下に図11乃至図14を参照して、実施の形態1の効果を説明する。図11は、LRA140の共振周波数の正弦波を駆動信号としたときのLRA140の振動の加速度を示す図である。

[0052] 図11（A）は、LRA140の共振周波数 $f_0 = 175\text{ Hz}$ と同一の 175 Hz の正弦波の駆動信号を示す。図11（B）は、図11（A）の正弦波を駆動信号としてシミュレーションした際のLRA140の振動の加速度を示す。図11（C）は、共振周波数 $f_0 = 175\text{ Hz}$ のLRA140を搭載した実機において図11（A）の駆動信号をLRA140に印加した際のタッチパネル120の振動の加速度を示す。尚タッチパネル120の加速度は、タッチパネル120の中央に加速度計を配置して検出したものである。

[0053] 図11（B）、（C）からわかるように、共振周波数 f_0 の正弦波を駆動信号とした場合、残留振動が0.1 sec以上に亘り現れる。

[0054] 尚図11（C）において駆動信号が印加されるLRA140は、共振周波数 $f_0 = 175\text{ Hz}$ 、重りの重さを1.5 g、重りを支持するばね定数を1813.5 N/mのものとした。

[0055] 図12は、駆動指令によってLRA140に発生する振動の逆位相の電圧を振動抑制信号として加えたときのLRA140の振動の加速度を示す図である。図12（A）は、LRA140の共振周波数 $f_0 = 175\text{ Hz}$ の正弦波の駆動信号を示す。図12（B）は、LRA140を搭載した実機において図12（A）の正弦波を駆動信号とし、且つ駆動信号の供給停止後にLRA140に発生する振動の逆位相の電圧を印加したときのタッチパネル120の振動の加速度を示す。

[0056] 図12の例では、図11に比べて残留振動は小さくなるが、振動の加速度が人の感知下限の0.02 G以下になるまでに0.05 sec以上かかる。

[0057] 図13は、特定の条件を満たさない信号を駆動信号としたときのLRA140の振動の加速度を示す図である。

[0058] 図13(A)は、特定の条件を満たさない周波数300Hzの正弦波の駆動信号を示す。図13(B)は、図13(A)の正弦波を駆動信号としてシミュレーションした際のLRA140の振動の加速度を示す。図13(C)は、共振周波数 $f_0 = 175\text{ Hz}$ のLRA140を搭載した実機において図13(A)の駆動信号を印加した際のタッチパネル120の振動の加速度を示す。

[0059] 図13の例では、図(B), (C)からわかるように、特定の条件を満たさない周波数の正弦波を駆動信号とした場合、残留振動が0.04sec以上に亘り現れる。

[0060] 図14は、特定の条件を満たす信号を駆動信号としたときのLRA140の振動の加速度を示す図である。

[0061] 図14(A)は、特定の条件を満たす周波数350Hzの正弦波の駆動信号を示す。図14(B)は、図14(A)の正弦波を駆動信号としてシミュレーションした際のLRA140の振動の加速度を示す。図14(C)は、共振周波数 $f_0 = 175\text{ Hz}$ のLRA140を搭載した実機において図14(A)の駆動信号を印加した際のタッチパネル120の振動の加速度を示す。

[0062] 図14の例では、図14(B), (C)からわかるように、0.02sec以降は残留振動の加速度が感知下限の0.02G以下となり、振動の波形は短時間の波形となる。

[0063] 以上から、LRA140による振動の波形は、LRA140の共振周波数を f_0 としたとき、 $f_1 = (m/n) \times f_0$ (m, n は、0以外の自然数かつ $m \neq n$)となる周波数 f_1 の信号でLRA140を m 回加振する信号を駆動信号とすれば、残留振動をなくすることができる。またLRA140を搭載した実機におけるタッチパネル120の振動の加速度の波形は1～数周期で急速に減衰する短時間の波形となり、クリック感を表現することができる。

[0064] 次に、図15に示す質量 M の物体の変位 x について考える。図15は、物体301とばね302を含む振動系300を示す図である。

[0065] 物体301の質量はMであり、物体301はばね302の下端に接続されている。ばね302のばね定数はKである。ばね302の上端は固定端であり、ばね302の下端は自由端である。

[0066] なお、物体301に力を加えずに、ばね302に物体301を吊り下げた状態における物体301の位置（つり合いの位置）を原点とし、原点に対する物体301の変位をxで表す。変位xは、鉛直下向きが正の方向である。

[0067] また、振動系300における物体301の自由振動の固有角振動数を ω とすると、固有角振動数 ω は次式(3)で表され、自由振動の周波数 f_0 は、 $f_0 = \omega / 2\pi$ である。

[0068] [数3]

$$\omega = \sqrt{\frac{K}{M}} \quad (3)$$

このような振動系300において、物体301に正弦波状の力（強制力） $J \sin pt$ を加える。ここで、Jは正弦波状の力の振幅、pは強制力の角周波数であり、tは時間である。強制力による強制振動の周波数 f_1 は $f_1 = p / 2\pi$ である。周波数 f_1 は、 $f_1 = (m/n) \times f_0$ を満たし、m、nは0を含まない自然数であり、互いに異なる（ $m \neq n$ ）。

[0069] このように物体301に強制振動を与えると、物体301の変位xは次式(4)で表される。

[0070]

[数4]

$$x = \frac{F}{m} \left(-\frac{p}{\omega(\omega^2 - p^2)} \sin \omega t + \frac{1}{(\omega^2 - p^2)} \sin pt \right) \quad (4)$$

式（４）の右辺における括弧内の左側の項は自由振動の成分を示し、右側の成分は強制振動の成分を示す。なお、時刻 $t = 0$ における変位 x は 0 であり、速度 x' も 0 であることとする。

[0071] 式（４）から明らかなように、物体 301 の変位 x は、自由振動の成分と強制振動の成分とを合成したものとして表される。これは、図 9 を用いて説明したように、LRA140 に駆動信号 Z が印加したときに生じる振動変位の強制振動成分 y_1 、自由振動成分 y_2 を用いると、駆動信号 Z を LRA140 に印加したときの応答変位 y_3 が、強制振動成分 y_1 と自由振動成分 y_2 との合計になることと同様である。

[0072] ここで、図 14 で説明した場合と同様に、特定の条件を満たす正弦波の駆動信号として、物体 301 に強制振動 $J \sin pt$ を加えた場合に、式（４）で表される自由振動、強制振動、及び応答振動は、図 16 に示す通りである。応答振動は、自由振動と強制振動を合成した振動として与えられる。

[0073] 図 16 は、物体 301 に強制振動 $J \sin pt$ を加えたときの自由振動、強制振動、及び応答振動の変位、速度、及び加速度を示す図である。速度 x' は、変位 x の一次微分で表され、加速度 x'' は、変位 x の二次微分で表される。

[0074] なお、図 16 には、強制振動の周波数 f_1 が $f_1 = 5/4 \times f_0$ の場合（ $m = 5$ 、 $n = 4$ ）に、強制振動によって物体 301 を加振した場合の波形を示す。

[0075] 図16に示す応答振動の変位、速度、及び加速度を見て分かるように、変位 x が0となるタイミング(1)、(2)において、応答振動の速度及び加速度はともに0になっている。タイミング(1)、(2)は、それぞれ、4回と8回加振したタイミングである。

[0076] ここで、応答振動の変位、速度、及び加速度がすべて0になるタイミングが他にも得られないかどうか検討する。

[0077] 式(4)に示す変位 x 、変位 x の一次微分である速度 x' 、変位 x の二次微分である加速度 x'' は、次式(5)のように表される。

[0078] [数5]

$$\left. \begin{aligned} x &= \frac{F}{m} \frac{1}{\omega(\omega^2 - p^2)} (-p \sin \omega t + \omega \sin pt) \\ x' &= \frac{F}{m} \frac{p}{\omega^2 - p^2} (\cos pt - \cos \omega t) \\ x'' &= \frac{F}{m} \frac{p}{\omega^2 - p^2} (\omega \sin \omega t - p \sin pt) \end{aligned} \right\} (5)$$

式(5)に示す変位 x と加速度 x'' がともに0になるのは、次式(6)として求まる。

[0079]

[数6]

$$\begin{aligned}
 &\begin{cases} -p \sin \omega t + \omega \sin pt = 0 \\ \omega \sin \omega t - p \sin pt = 0 \end{cases} \\
 &\sin \omega t = \sin pt = 0 \\
 &\begin{cases} \omega t = n\pi & n=1,2,\dots \\ pt = m\pi & m=1,2,\dots \end{cases} \\
 &n \neq m \quad (\omega \neq p) \\
 &t = \frac{n\pi}{\omega} a = \frac{m\pi}{p} a \quad a=1,2,\dots \quad \text{の時 } x = x'' = 0 \\
 &p = \frac{m}{n} \omega \\
 &\therefore f_1 = \frac{m}{n} f_0 \quad t = \frac{2\pi m}{p} a \quad (6)
 \end{aligned}$$

すなわち、 $t = (n\pi/\omega) \times a = (m\pi/p) \times a$ において、 a が0以外の自然数 ($a=1, 2, \dots$) のときに、変位 x と加速度 x'' がともに0になる。従って、 $p = (m/n) \times \omega$ である。

[0080] 以上より、式(6)として示す、 $f_1 = (m/n) \times f_0$ 、かつ、 $t = (2\pi/p) \times (m/2) \times a$ が成立するときに、変位 x と加速度 x'' がともに0になる。すなわち、 $(m/2) \times a$ 回振動したときに、変位 x と加速度 x'' がともに0になる。

[0081] また、変位 x と加速度 x'' に加えて、式(5)に示す速度 x' が0になるのは、以下の2つのケースがある。まず、第1のケースは次式(7)として求める。

[0082]

[数7]

$$\cos pt = \cos t\omega$$

$$t = \frac{n\pi}{\omega} a \quad a=1,2,\dots \quad \text{の時 } x = x' = 0$$

$$\cos \frac{p}{\omega} na\pi = \cos na\pi \quad (= \pm 1) \quad \text{の時 } x = x' = x'' = 0$$

$$na \text{ が奇数の時 } \frac{p}{\omega} na = \frac{m}{n} na = ma \text{ も奇数}$$

$$na \text{ が偶数の時 } ma \text{ も偶数}$$

$$\therefore f_1 = \frac{m}{n} f_0 \text{ で加振した時 } x = x' = x'' = 0 \text{ になるのは、}$$

$$t = \frac{m\pi}{p} a = \frac{2\pi m}{p} \frac{a}{2} \quad (7)$$

式(7)は、速度 x' に含まれる $\cos pt = \cos t\omega$ が成り立つことから導かれる条件である。式(6)を求める過程で求めた $t = (n\pi/\omega) \times a$ ($a=1, 2, \dots$)を用いると、 $\cos(p/\omega) na\pi = \cos na\pi = \pm 1$ のときに変位 x と加速度 x'' がともに0になる。

[0083] 従って、 na が奇数のときは、 $(p/\omega) na = (m/n) na\pi = ma$ も奇数であることが必要になる。これとは逆に、 na が偶数のときは、 $(p/\omega) na = (m/n) na\pi = ma$ も偶数であることが必要になる。

[0084] このため、 $f_1 = (m/n) \times f_0$ で物体301を加振したときに、式(7)として示す $t = (ma\pi/p) \times a = (2\pi/p) \times (m/2) \times a$ が成り立つときに、変位 x と加速度 x'' に加えて速度 x' が0になる。

[0085] 従って、式(7)から得られる条件は、 a が偶数のときには、物体301を m 回振動させるときである。これは、図14に示す条件と同様である。ま

た、 a が奇数であれば、 n 、 m がともに偶数であり、かつ、物体301を（ $m/2$ ） $\times a$ 回振動させるときである。

[0086] また、変位 x と加速度 x'' に加えて、式（5）に示す速度 x' が0になる第2のケースは次式（8）として求まる。

[0087] [数8]

$$\cos pt = \cos t\omega = 0$$

$$pt = \frac{\pi}{2}(2k-1) \quad k=1,2,\dots = m\text{が奇数}$$

$$\omega t = \frac{\pi}{2}(2l-1) \quad l=1,2,\dots = n\text{が奇数}$$

$$t = \frac{\pi}{2p}(2k-1) \times a = \frac{\pi}{2\omega}(2l-1) \times a \quad a=1,2,\dots \text{の時 } x' = 0$$

$$p = \frac{2k-1}{2l-1}\omega$$

$$\therefore f_1 = \frac{2k-1}{2l-1}f_0 \quad t = \frac{2\pi}{p} \frac{2k-1}{4}a \quad (8)$$

式（8）は、速度 x' に含まれる $\cos pt = \cos t\omega = 0$ が成り立つことから導かれる条件である。ここで、0以外の任意の自然数 k 、 l を用いると、 $pt = (\pi/2) \times (2k-1)$ ときと、 $\omega t = (\pi/2) \times (2l-1)$ ときに、 $\cos pt = \cos t\omega = 0$ が成り立つ。

[0088] ここで、 $(2k-1)$ は m が奇数であることを表し、 $(2l-1)$ は n が奇数であることを表す。

[0089] すなわち、 $t = (\pi/2p) \times (2k-1) \times a = (\pi/2\omega) \times (2l-1) \times a$ が成り立つときに、 $\cos pt = \cos t\omega = 0$ が成り立つ。ただし、 a は0以外の自然数である（ $a=1, 2, \dots$ ）。これより、 $p=\omega$

$\times (2k-1) / (2l-1)$ である。

[0090] 従って、式(8)として示す $f_1 = \{(2k-1) / (2l-1)\} \times f_0$ 、 $t = (2\pi / p) \times \{(2k-1) / 4\} \times a$ が求まる。これは、物体301を $(m/4) \times a$ 回振動させることを表す。

[0091] 従って、式(8)から得られる条件は、 n 、 m がともに奇数であり、かつ、物体301を周波数 f_1 で $(m/2) \times a$ 回振動させるときである。なお、この条件には、式(7)から求まる、 a が奇数であれば、 n 、 m がともに偶数であり、かつ、物体301を $(m/2) \times a$ 回振動させるときという条件が含まれる。

[0092] 以上より、変位 x と加速度 x'' に加えて、式(5)に示す速度 x' が0になるのは、 a が偶数のときに周波数 f_1 で物体301を m 回振動させるときと、 n 、 m がともに奇数であるときに物体301を周波数 f_1 で $(m/2) \times a$ 回振動させるときである。このうち、前者は図14に示す条件と同一であるため、ここでは新たに後者の条件が得られたことになる。後者の条件は、 n 、 m がともに奇数であるときに物体301を周波数 f_1 で $(m/2) \times a$ 回振動させるときである。この条件につき、図17を用いて説明する。

[0093] 図17は、 n 、 m がともに奇数であるときに物体301を周波数 f_1 で $(m/2) \times a$ 回振動させたときの自由振動、強制振動、及び応答振動の変位、速度、及び加速度を示す図である。図17には、強制振動の周波数 f_1 が $f_1 = 5/3 \times f_0$ の場合 ($m=5$ 、 $n=3$) に、強制振動によって物体301を加振した場合の波形を示す。タイミング(1)、(2)は、それぞれ、 $5/2$ 回と5回加振したタイミングである。

[0094] 図17に示すように、 $5/2$ 回加振したタイミング(1)において、応答振動の変位、速度、及び加速度は、すべて0になっている。また、5回加振したタイミング(2)においても、応答振動の変位、速度、及び加速度は、すべて0になっている。タイミング(2)は、図14に示す動作条件において、 m 、 n が奇数である場合に相当する。

[0095] 以上、実施の形態1によれば、 n 、 m がともに正の奇数であるときに物体

301を周波数 $f_1 (= (m/n) \times f_0)$ で $(m/2) \times a$ 回振動させるときに、応答振動の変位、速度、及び加速度をすべて0にすることができる。ただし、 a は、0以外の自然数であり、 $a = 1, 2, \dots$ である。

[0096] 従って、LRA140を駆動する駆動信号を表す波形データ240として、 n, m がともに奇数であるときに周波数 $f_1 (= (m/n) \times f_0)$ で $(m/2) \times a$ 回振動させる波形データをメモリ220に格納しておけば、タッチパネル120を操作したときに、LRA140により生じる振動によってクリック感を提示することができる。

[0097] 図17に示すタイミング(1)で提示するクリック感は、タイミング(2)で提示するクリック感の半分の振動期間で実現されるため、より切れのあるクリック感を提示することができる。

[0098] 図18は、強制振動の周波数と、振動時間との関係を示す図である。図18には、図17に示すタイミング(1)の動作点と、タイミング(2)の動作点とを示す。

[0099] 上述のように、タイミング(1)で提示するクリック感は、タイミング(2)で提示するクリック感の半分の振動期間で実現される。このため、200Hzから500Hzの間で強制振動の周波数を設定する場合に、タイミング(1)の動作点は、タイミング(2)の動作点の間を補間するように得られる。特に、タイミング(2)の動作点は、高周波数側で離散的になるため、このようにタイミング(1)の動作点で補間されることは利点がある。

[0100] 実際の電子機器100において、強制振動の周波数を設定する場合には、タッチパネル120の固有振動数、又は、動作点が高周波数側になる等の制約を考慮するため、実際に選択可能な動作点は限られる。

[0101] しかしながら、タイミング(2)の動作点の間を補間するようにタイミング(1)の動作点を得られるため、強制振動の周波数を設定する場合の選択肢が広がるという効果がある。

[0102] ところで、LRA140の自由振動の減衰が比較的大きい場合には、上述のような駆動信号でタイミング(1)、(2)において、応答振動の変位、

速度、及び加速度のうちのいずれかが0にならない場合があり得る。

[0103] そこで、以下では、L R A 1 4 0の自由振動の減衰を考慮して、応答振動の変位、速度、及び加速度のすべてが0になるようにする。

[0104] 図19は、自由振動に比較的大きな減衰が存在する場合の自由振動、強制振動、及び応答振動の変位、速度、及び加速度を示す図である。

[0105] 図19に示すL R A 1 4 0の自由振動の変位 x は、図16に示す自由振動（減衰なし）に比べて、時間経過に伴って減衰している。このため、速度 x' 及び加速度 x'' も時間経過に伴って減衰している。

[0106] このように自由振動に比較的大きな減衰が存在する場合には、例えば、タイミング(1)及び(2)において、応答振動の速度 x' が0ではなくなる。これは、L R A 1 4 0の自由振動に減衰があるが、強制振動は図16に示す波形と同様であるため、自由振動と強制振動を合成して得る応答振動の波形が図16に示す波形とは異なる波形になるためである。

[0107] 減衰率は変位、速度、加速度で共通であるため、実施の形態1では、自由振動の減衰率を、自由振動の加速度に基づいて求める。ここで、減衰率を自由振動の加速度に基づいて求めるのは、自由振動の変位、速度、加速度のうち、加速度は加速度計で比較的に測定できるからである。また、人間の感覚器の特性が加速度センサに合っているからである。例えば、図20に示す測定系400において、自由振動の加速度を求めることができる。

[0108] 図20は、自由振動の加速度を測定する測定系400を示す図である。測定系400は、駆動部401、D A (Digital to Analog) コンバータ402、アンプ403、重り404、振動子405、加速度計406、及びスポンジ407を含む。

[0109] 駆動部401は、所定の波形データを保持しており、波形データで表される駆動信号をD A コンバータ402に出力する。なお、所定の波形データは、強制振動を実現する波形データ240であることが望ましい。

[0110] 重り404は、実際の電子機器100において図3に示すようにタッチパネル120にL R A 1 4 0を取り付ける場合は、タッチパネル120と等し

い重さの重りであればよい。なお、重り 404 の代わりに、実際に LRA 140 が取り付けられる部材を用いてもよい。図 3 に示すようにタッチパネル 120 に LRA 140 を取り付ける場合は、重り 404 の代わりにタッチパネル 120 を用いてもよい。

[0111] 重り 404 の中心近傍には振動子 405 が取り付けられ、また、重り 404 には加速度計 406 が取り付けられる。重り 404 の端部は、スポンジ 407 を介して設置台等に設置される。

[0112] このような測定系 400 において、駆動部 401 から駆動信号を DA コンバータ 402 に出力し、DA コンバータ 402 でアナログ信号に変換された駆動信号は、アンプ 403 で増幅されて振動子 405 に入力される。振動子 405 は、例えば、LRA であればよい。

[0113] 振動子 405 は、アンプ 403 から供給される駆動信号によって駆動され、重り 404 が振動する。そして、駆動信号をオフにした後に、加速度計 406 で LRA 140 の自由振動を測定すれば、LRA 140 の自由振動の減衰特性を求めることができる。

[0114] 図 21 は、自由振動の加速度の減衰を示す図である。例えば、 $t = 0$ 秒で振動子 405 の駆動を開始し、 $t = 0.04$ 秒で駆動信号を停止すると、図 21 (A) に示すように、 $t = 0.04$ 秒以降は自由振動のみの波形が得られる。この自由振動の減衰を加速度計 406 で測定すれば、図 21 (A) に太線で示すような自由振動の減衰特性を表す包絡線 410 のデータを取得できる。なお、包絡線 410 は、例えば、ヒルベルト変換等を用いることによって求めることができる。

[0115] 図 21 (A) に示す包絡線 410 は、 $h = e^{-\sigma t}$ で表される。ここで、 $-\sigma$ は減衰率を表す係数であり、包絡線 410 を表す式 ($h = e^{-\sigma t}$) は減衰特性を表す。

[0116] 図 21 (A) に示す包絡線 410 を片対数で示すと、図 21 (B) の特性を得る。図 21 (B) に示す包絡線 420 の傾きは、 $-\sigma$ である。

[0117] 実施の形態 1 では、このようにして求まる減衰特性を応答振動の変位 x 、

速度 x' 、及び加速度 x'' に乗じることにより、応答振動の変位 x 、速度 x' 、加速度 x'' がすべて 0 になる動作点を得る。

[0118] 具体的には、駆動信号 $Z = A \sin 2\pi f_1 t$ に、減衰特性 $h = e^{-\sigma t}$ を乗じた駆動信号を表す波形データ 240 をメモリ 220 に格納し、この減衰特性を乗じた駆動信号を用いて LRA140 を駆動する。

[0119] 減衰特性を乗じた駆動信号 Z_1 は、次式で表される。

$$Z_1 = A (e^{-\sigma t}) \sin 2\pi f_1 t$$

この駆動信号 Z_1 を用いて LRA140 を駆動した場合の応答振動の変位、速度、及び加速度は図 22 に示す通りである。

[0120] 図 22 は、駆動信号 Z_1 で LRA140 を駆動した場合の自由振動、強制振動、及び応答振動の変位、速度、及び加速度を示す図である。

[0121] 図 22 に示すように、応答振動の変位 x 、速度 x' 、加速度 x'' は、タイミング (1) 及び (2) の両方において、すべて 0 になっている。

[0122] 図 23 は、減衰特性の有無による残留振動の違いを示す図である。図 23 には、 $m = 5$ 、 $n = 4$ の場合の駆動信号による振動の加速度を示す。

[0123] 図 23 (A) は、減衰特性を乗じていない駆動信号 $Z (= A \sin 2\pi f_1 t)$ を入力として、時刻 t_1 で駆動信号 Z をオフにした後に生じる自由振動の加速度を示す。

[0124] 図 23 (B) は、減衰特性を乗じた駆動信号 $Z_1 (= A (e^{-\sigma t}) \sin 2\pi f_1 t)$ を入力として、時刻 t_1 で駆動信号 Z_1 をオフにした後に生じる自由振動の加速度を示す。

[0125] 図 23 (A) と図 23 (B) を比べて分かるように、時刻 t_1 以降において、図 23 (A) では比較的大きな残留振動が残るのに対して、図 23 (B) では残留振動が殆ど生じていないことが分かる。図 23 (B) における時刻 t_1 以降の加速度は、0.02 G 以下であり、人間は感知できないレベルである。

[0126] 以上、実施の形態 1 によれば、自由振動の減衰が比較的大きい場合においても、自由振動の減衰特性を表す減衰率を駆動信号に含ませることにより、

応答振動の変位 x 、速度 x' 、加速度 x'' のすべてが 0 になるタイミングを確実に得ることができる。

[0127] 従って、L R A 1 4 0 を駆動する駆動信号を表す波形データ 2 4 0 として、自由振動の減衰特性を表す減衰率を駆動信号を用いることにより、L R A 1 4 0 により生じる振動によってクリック感を提示することができる。

[0128] 自由振動の減衰特性を表す減衰率を駆動信号に含ませる前の駆動信号としては、例えば、次の 2 つのいずれであってもよい。

[0129] L R A 1 4 0 の共振周波数を f_0 としたとき、 $f_1 = (m/n) \times f_0$ (m, n は、0 以外の自然数かつ $m \neq n$) となる周波数 f_1 の信号で L R A 1 4 0 を m 回加振する信号を駆動信号を用いることができる。この場合は、図 1 4 に示す振動になる。

[0130] また、L R A 1 4 0 を駆動する駆動信号を表す波形データ 2 4 0 として、 n, m がともに奇数であるときに周波数 $f_1 (= (m/n) \times f_0)$ で $(m/n) \times a$ 回振動させる波形データを表す駆動信号を用いてもよい。この場合は、図 1 7 に示す振動になる。

[0131] なお、以上では、駆動信号が正弦波である形態について説明したが、駆動信号は正弦波に限られず、矩形波のような正弦波以外の波形であってもよい。

[0132] また実施の形態 1 の電子機器 1 0 0 では、L R A 1 4 0 がタッチパネル 1 2 0 の筐体側の面に取り付けられるものとしたが、これに限定されない。L R A 1 4 0 は、例えば筐体 1 1 0 内部に配置された基板 1 5 0 の近傍に配置されても良い。

[0133] 図 2 4 は、L R A 1 4 0 が筐体に設けられた電子機器の例を示す図である。図 2 4 に示す電子機器 1 0 0 A では、L R A 1 4 0 が筐体 1 1 0 内部に設けられた基板 1 5 0 の近傍に配置されている。実施の形態 1 は、電子機器 1 0 0 A に対しても適用することができる。また電子機器 1 0 0 A に実施の形態 1 を適用した場合、実施の形態 1 の電子機器 1 0 0 と同様にメタルドーム式のボタン 2 を押下した際のクリック感を表現することができる。

[0134] 以上では、残留振動を低減し得る L R A 1 4 0 の駆動条件として、次の 4 通りの駆動条件について説明した。

[0135] 第 1 番目の駆動条件は、 m 、 n が 0 以外の自然数であり、かつ、 $m \neq n$ である場合に、L R A 1 4 0 の共振周波数 f_0 に対して、 $f_1 = (m/n) \times f_0$ となる周波数 f_1 を含む駆動信号で L R A 1 4 0 を m 回加振する駆動条件である。

[0136] また、第 2 番目の駆動条件は、 n 、 m が互いに異なる正の奇数である場合に、周波数 $f_1 = (m/n) \times f_0$ となる周波数 f_1 を含む駆動信号で L R A 1 4 0 を $(m/2) \times a$ 回振動させる駆動条件である。ただし、 a は、0 以外の自然数であり、 $a = 1, 2, \dots$ である。

[0137] また、第 3 番目の駆動条件では、第 1 番目の駆動条件に対して、L R A 1 4 0 が実装される振動系の減衰率による減衰特性を乗じた駆動信号を用いる。すなわち、 m 、 n が 0 以外の自然数であり、かつ、 $m \neq n$ である場合に、L R A 1 4 0 の共振周波数 f_0 に対して、 $f_1 = (m/n) \times f_0$ となる周波数 f_1 を含む駆動信号に、L R A 1 4 0 が実装される振動系の減衰率による減衰特性を乗じた駆動信号で、L R A 1 4 0 を m 回加振する駆動条件である。

[0138] また、第 4 番目の駆動条件では、第 2 番目の駆動条件に対して、L R A 1 4 0 が実装される振動系の減衰率による減衰特性を乗じた駆動信号を用いる。すなわち、 n 、 m が互いに異なる正の奇数である場合に、L R A 1 4 0 の共振周波数 f_0 に対して、周波数 $f_1 = (m/n) \times f_0$ となる周波数 f_1 を含む駆動信号に、L R A 1 4 0 が実装される振動系の減衰率による減衰特性を乗じた駆動信号で、 $(m/2) \times a$ 回振動させる駆動条件である。ただし、 a は、0 以外の自然数であり、 $a = 1, 2, \dots$ である。

[0139] しかしながら、L R A 1 4 0 の共振周波数が、加速度振幅に応じて変化する特性を有する場合には、上述の 4 通りの駆動信号では残留振動を低減しきれないおそれがある。共振周波数が、加速度振幅に応じて変化する特性とは、例えば、加速度振幅の増大に伴って、共振周波数が高周波数側にシフトす

る特性である。加速度振幅とは、加速度と同義であり、単位は m/s^2 又はG(Gravity)である。

[0140] このような特性は、漸硬ばねの非線形的な変形特性に類似している。図25は、漸硬ばねと線形ばねの変形特性を示す図である。図25において、横軸は変形量を表し、縦軸は漸硬ばねと線形ばねにかかる力を表す。なお、図25において、実線は漸硬ばねの変形特性を示し、破線は線形ばねの変形特性を示す。

[0141] 図25に破線で示すように、線形ばねは、力の増大に伴って変形量が線形的に増大する。これに対して、漸硬ばねは、実線で示すように、力の増大に伴って変形量が少なくなる。このように、漸硬ばねは非線形的な変形特性を有する。

[0142] 図26及び図27は、共振周波数が加速度振幅に応じて変化する特性を示す図である。ここでは、LRA140の共振周波数が、図26及び図27に示すように、加速度振幅に応じて変化する場合について説明する。LRA140がこのような特性を有するのは、例えば、LRA140の小型化に伴う薄型化等で、応力に対する変形量が線形的ではなく、非線形的になっているような場合である。

[0143] LRA140の共振周波数の定格値が f_0 である場合に、LRA140の駆動電圧を15V、35V、55V、75Vのいずれかに設定して周波数を変化させると、図26に示す周波数特性を得る。

[0144] 周波数特性において加速度がピークを取る周波数が共振周波数である。図26に示すように、駆動電圧が高くなって加速度（加速度振幅）が大きくなるに伴い、周波数特性のピークが高周波数側にシフトしている。

[0145] 図27は、図26の一部を拡大して示す図であり、駆動電圧が10V、15V、25V、35V、45V、55V、65V、75Vの場合の周波数特性を示す。図27に示すように、駆動電圧の増大によって加速度が増大するのに伴い、太い一点鎖線で示すように、共振周波数 f_0 は高周波数側にシフトしている。

[0146] このように、加速度の増大に伴って共振周波数 f_0 が高周波数側にシフトするのは、L R A 1 4 0 の漸硬ばねのような変形特性により、高周波数側で変形量が少なくなることによって、共振周波数が高くなるためと考えられる。

[0147] また、図 2 7 では、特に駆動電圧が 5.5 V 以上の場合に、周波数が共振周波数を超えると、加速度が急激に低下している。これは、非線形振動のジャンプ現象であり、このようにある周波数を境に加速度の値が不連続的に飛んでおり、加速度が不定の状態が生じる。

[0148] ここで、例えば、L R A 1 4 0 の共振周波数の定格値が 225 Hz である場合に、実際には製造誤差等による共振周波数のずれが存在しうる。このため、図 2 8 を用いて、共振周波数 f_0 を 205 Hz、210 Hz、215 Hz、225 Hz にして、 $f_1 = (5/4) \times f_0$ で得られる周波数の駆動信号に、減衰特性を乗じた駆動信号を用いて L R A 1 4 0 を 5 回加振した場合の駆動信号と応答振動の変位について説明する。すなわち、図 2 8 には、上述した 4 通りの駆動条件のうちの第 3 番目の駆動条件において、 $m = 5$ 、 $n = 4$ の場合に、共振周波数 f_0 を 205 Hz、210 Hz、215 Hz、225 Hz に設定して得られる応答振動の変位を示す。

[0149] 図 2 8 は、L R A 1 4 0 の駆動信号の波形と応答振動の変位を示す図である。図 2 8 の (A) は共振周波数 f_0 が 205 Hz、(B) は共振周波数 f_0 が 210 Hz、(C) は共振周波数 f_0 が 215 Hz、(D) は共振周波数 f_0 が 225 Hz の場合の波形を示す。また、図 2 8 には、駆動信号の波形を破線で示し、応答振動の変位を実線で示す。なお、図 2 8 に示す応答振動の変位は、L R A 1 4 0 が加速度振幅に応じて共振周波数が変化する特性を有する場合のものである。また、図 2 8 に示す応答振動の変位は、L R A 1 4 0 を図 3 に示すようにタッチパネル 120 に取り付けた状態で得られるものである。

[0150] 図 2 8 の (A) に示すように、時刻 t_1 で $205 \text{ Hz} \times (5/4)$ の周波数で減衰特性を有する駆動信号を 5 周期にわたって L R A 1 4 0 に入力する

と、駆動信号がオフになる時刻 t_2 以後は、応答振動の変位は残留振動があることを示している。これは、応答振動の変位、速度、及び加速度が略ゼロになる点が生じないことを表している。

[0151] 図 28 の (A) における時刻 t_2 以後の応答振動の残留振動は、約 0.02 G 以上の加速度があり、人間が知覚する強度の加速度である。このため、図 28 の (A) では、駆動信号をオフにした時刻 t_2 以後において、人間に知覚可能な残留振動が生じており、クリック感を呈示することは難しい状況である。また、これは、図 28 の (B)、(C)、(D) においても同様である。

[0152] 図 28 の (A) ~ (D) の中では、(B) の場合 ($210 \text{ Hz} \times (5/4)$) の周波数で減衰特性を有する駆動信号を 5 周期にわたって LRA140 に入力する場合) に残留振動が最も小さくなるが、図 28 の (B) の場合でも、駆動信号をオフにした時刻 t_2 以後において、人間に知覚可能な残留振動が生じており、クリック感を呈示することは難しい状況である。

[0153] このように、LRA140 の共振周波数が加速度振幅に応じて変化する特性を有する場合は、第 3 番目の駆動条件において共振周波数の定格値の誤差を考慮して上述のように調整を行っても、残留振動を人間が知覚不能なレベルにまで抑制できないおそれがある。

[0154] また、これは、上述の第 1 番目、第 2 番目、及び第 4 番目の駆動条件を用いた場合でも同様であると考えられ、上述の第 1 番目、第 2 番目、及び第 4 番目の駆動条件を用いて共振周波数を調整しても、残留振動を人間が知覚不能なレベルにまで抑制できないおそれがある。

[0155] このため、実施の形態 1 では、LRA140 の共振周波数が加速度振幅に応じて変化する特性に基づいて駆動信号の周波数を時間経過に伴って変化させることにより、残留振動を人間が知覚不能なレベルにまで抑制する。以下、具体的な手法について説明する。

[0156] 図 29 は、実施の形態 1 の LRA140 の駆動制御方法による駆動信号の波形と応答振動の変位を示す図である。図 29 の (A) は、第 3 番目の駆動

条件において $210\text{ Hz} \times (5/4)$ の周波数で減衰特性を有する駆動信号を5周期にわたって L R A 1 4 0 に入力した場合の応答振動の変位を示す。図29の(A)に示す応答振動の変位は、図28の(B)に示す応答振動の変位と同一であり、L R A 1 4 0 の共振周波数が加速度振幅に応じて変化している。図29に示す応答振動の変位は、L R A 1 4 0 を図3に示すようにタッチパネル120に取り付けた状態で得られるものである。

[0157] 図29の(A)では、時刻 t_1 の直後と、時刻 t_2 の直前のように応答振動の振幅が比較的小さい領域では、応答振動の周波数は約 205 Hz であり、応答振動の振幅が最大になる時刻 $t_1 A$ の前後では、応答信号の周波数は約 215 Hz である。

[0158] これは、L R A 1 4 0 の共振周波数が、加速度振幅に応じて、 205 Hz から 215 Hz まで変化することを表している。

[0159] このため、実施の形態1のL R A 1 4 0 の駆動制御方法では、L R A 1 4 0 の駆動信号の周波数が、時刻 t の変化に応じて $205\text{ Hz} \sim 215\text{ Hz} \sim 205\text{ Hz}$ と変化する特性 $q(t)$ を用いてL R A 1 4 0 の駆動制御を行う。

[0160] 図29の(B)は、時刻 t の変化に応じて、 $205\text{ Hz} \sim 215\text{ Hz} \sim 205\text{ Hz}$ と周波数が変化する特性 $q(t)$ を用いて、 $f_1 = (5/4) \times q(t)$ で与えられる駆動信号に減衰特性を乗じた駆動信号を用いてL R A 1 4 0 を5回加振した場合の駆動信号と応答振動の変位を示す。特性 $q(t)$ は、図29の(A)に示す応答振動の変位の周波数が、時刻 t_1 での 205 Hz から、時刻 $t_1 A$ での 215 Hz まで上昇し、その後、時刻 t_2 での 205 Hz まで低下するように変化する時間変化特性を有する。この特性 $q(t)$ については後述する。

[0161] 図29の(B)に示すように、加速度振幅に応じて変化するL R A 1 4 0 の共振周波数に合わせた周波数の特性 $q(t)$ を用いた駆動信号でL R A 1 4 0 を駆動すると、駆動信号をオフにする時刻 t_2 の直後では、応答振動の変位、速度、及び加速度が略ゼロになっており、時刻 t_2 以後の加速度は約

0.02G以下であり、人間が知覚できない強度の加速度である。

[0162] 以上のように、実施の形態1では、LRA140の共振周波数が加速度振幅に応じて変化する特性に応じて、駆動信号の周波数を時間経過に伴って変化させて、LRA140の駆動制御を行う。

[0163] そして、このような駆動制御を行うことにより、残留振動を人間が知覚不可能なレベルにまで抑制する。以下、特性 $q(t)$ を求める具体的な手法について説明する。

[0164] 図30は、実施の形態1のLRA140の駆動信号を生成する方法を段階的に示す図（パート1）である。

[0165] まず、LRA140に正弦波状の駆動信号を入力して駆動し、LRA140の応答振動の加速度の定常振幅を計測する。正弦波状の駆動信号の周波数 f は、LRA140の共振周波数の定格値、及び、定格値の前後の複数の値に設定し、複数の周波数で駆動した場合の応答振動の加速度の定常振幅を計測する。なお、応答振動の加速度の定常振幅は、LRA140を図3に示すようにタッチパネル120に取り付けた状態で計測する。

[0166] このように周波数の異なる複数種類の正弦波状の駆動信号をLRA140に入力して応答振動の加速度の定常振幅を計測することにより、図30の（A）に示すように、周波数 f に対する応答振動の加速度の定常振幅の特性を得る。

[0167] 例えば、LRA140の共振周波数の定格値が225Hzであり、共振周波数の誤差により、実際のLRA140の共振周波数が205Hz～235Hzの範囲で存在しうる場合には、一例として5Hz程度のマージンを取り、200Hz～240Hzの範囲で、複数の周波数 f の正弦波状の駆動信号をLRA140に入力して応答振動の加速度の定常振幅を計測する。ここでは、誤差を考慮した共振周波数の範囲が205Hz～235Hzであり、さらにこの範囲にマージンを与えた範囲が200Hz～240Hzである。

[0168] 例えば、200Hz～240Hzの範囲で、1Hzずつ周波数の異なる複数の周波数 f の正弦波状の駆動信号をLRA140に入力して応答振動の加

速度の定常振幅を計測することにより、図30の(A)に示すように、駆動信号の周波数 f に対する加速度の特性を得る。図30の(A)に示す複数の点は、各周波数 f で得られた応答振動の加速度の定常振幅を示す。

[0169] 次に、図30の(A)に示す周波数 f に対する応答振動の加速度の定常振幅を高次の多項式等で補間した曲線を求める。換言すれば、図30の(A)に示す複数の点に当てはまる曲線を表す式を求める。このようにして求まる曲線は、図30の(B)に示す曲線であり、この曲線は、周波数 f の関数 $G(f)$ で表される。関数 $G(f)$ は、周波数 f に対する応答振動の加速度の定常振幅の特性を表す。なお、周波数 f_{11} は、加速度 G をゼロ ($G=0$) にした場合の周波数であり、周波数 f_{12} は、LRA140を定格の最大電圧で駆動したときの加速度の定常振幅が最大となる周波数である。

[0170] 次に、図30の(B)に示す曲線を表す関数 $G(f)$ の逆関数を求める。逆関数 $f(G)$ は、図30の(C)に示すように、横軸の加速度 G の変化に対して縦軸の周波数 f が変化する特性として求まる。

[0171] 次に、上述のようにして求めた逆関数 $G(f)$ を用いて、共振周波数 f_0 を200Hzから240Hzまで変更しながら、特性 $q(t)$ と最良の共振周波数 f_0 を求める。以下では、共振周波数 f_0 を200Hzから240Hzまで変更しながら、ステップS1からステップS7を繰り返し実行する。200Hzから240Hzという共振周波数 f_0 の範囲は、上述したように、共振周波数の誤差とマージン(5Hz)を考慮して求めた範囲である。

[0172] 図31は、実施の形態1のLRA140の駆動信号を生成する方法を段階的に示す図(パート2)である。なお、以下ではLRA140を図3に示すようにタッチパネル120に取り付けた状態で駆動する。

[0173] まずステップS1では、上述の第1番目から第4番目のうちのいずれかの駆動条件を用いてLRA140を駆動する。ここでは、一例として、第3番目の駆動条件でLRA140を駆動することとする。また、ステップS1からステップS7の処理は繰り返し行うため、最初は共振周波数 f_0 を200Hzに設定して第3番目の駆動条件でLRA140を駆動する。

- [0174] 第3番目の駆動条件は、 m 、 n が0以外の自然数であり、かつ、 $m \neq n$ である場合に、L R A 1 4 0の共振周波数 f_0 に対して、 $f_1 = (m/n) \times f_0$ となる周波数 f_1 を含む駆動信号に、L R A 1 4 0が実装される振動系の減衰率による減衰特性を乗じた駆動信号で、L R A 1 4 0を m 回加振する駆動条件である。
- [0175] 第3番目の駆動条件による駆動信号は、周波数 f_1 と減衰率 σ を用いて、 $Z_1 = A (e^{-\sigma t}) \sin 2\pi f_1 t$ と表される。この駆動信号 Z_1 は、図31の(A)に示すような波形を有する。
- [0176] 次に、ステップS2として、図31の(A)に示す駆動信号 Z_1 でL R A 1 4 0を駆動することによって得られる応答振動の加速度を計測する。応答振動の加速度は、図31の(B)に示す波形で表される。
- [0177] 応答振動の加速度の計測は、例えば、加速度計を用いて、時刻 $t = [t_0, \dots, t_i, \dots, t_n]$ において測定した値をデジタル変換することにより、離散的なデジタル値の加速度 $a = [a_0, \dots, a_i, \dots, a_n]$ として求めることができる。この加速度のデータは、時系列的な離散値である。
- [0178] 次に、ステップS3として、加速度 $a = [a_0, \dots, a_i, \dots, a_n]$ に対してヒルベルト変換を行うことにより、加速度の包絡線のデータ $w = [w_0, \dots, w_i, \dots, w_n]$ を求める。加速度の包絡線のデータ w は、図31の(B)に破線で示す包絡線を表す時系列的な離散値であり、加速度の最大値を結ぶ包絡線を表す。
- [0179] 次に、ステップS4として、加速度の包絡線のデータ $w = [w_0, \dots, w_i, \dots, w_n]$ を、図30の(C)に示す逆関数 $f(G)$ に代入し、図31の(C)に示す周波数の時系列データ $b = [b_0, \dots, b_i, \dots, b_n]$ を得る。包絡線のデータの各値($w_0 \sim w_n$)は加速度を表すため、逆関数 $f(G)$ の加速度 G に代入することができる。
- [0180] 次に、ステップS5として、時刻 $t = [t_0, \dots, t_i, \dots, t_n]$ と、周波数の時系列データ $b = [b_0, \dots, b_i, \dots, b_n]$ との対応を求め、高次多項式等で補間すると、図31の(D)に示す特性 $q(t)$ を得る。特性 $q(t)$ は、図31の(D)に示す特性を表す。特性 $q(t)$ は、図29の(A)に示すL R A 1 4 0の

共振周波数が時間の経過に応じて変化する時間特性を表す。共振周波数が加速度振幅に応じて変化するL R A 1 4 0を駆動すると、時間変化に応じて加速度が変化するため、時間の経過に応じて共振周波数が変化する。特性 $q(t)$ は、このように共振周波数が時間の経過に応じて変化する時間特性を表す。

[0181] 図32は、実施の形態1のL R A 1 4 0の駆動信号を生成する方法を段階的に示す図（パート3）である。以下ではL R A 1 4 0を図3に示すようにタッチパネル120に取り付けた状態で駆動する。

[0182] 次に、ステップS6として、駆動信号 $Z1 = A(e^{-\sigma t}) \sin 2\pi f_1 t$ の f_1 に含まれる f_0 を $q(t)$ に入れ替えることにより、駆動信号 $Z2(t)$ を得る。駆動信号 $Z2(t)$ は図32の(A)に示す通りであり、次式で表される。

$$Z2(t) = A(e^{-\sigma t}) \sin 2\pi (m/n) q(t) t$$

次に、ステップS7として、駆動信号 $Z2(t)$ を用いてL R A 1 4 0を駆動し、図32の(B)に示す残留振動の振幅をerrorとして計測する。

[0183] そして、 f_0 を変えて、ステップS1からS7を繰り返し行い、残留振動の振幅errorを計測する。ステップS1からS7の処理を繰り返し行うことにより、複数の f_0 についての残留振動の振幅errorが計測される。

[0184] 例えば、 $f_0 = 200 \text{ Hz}$ に対応する特性 $q(t)$ を含む駆動信号 $Z2(t)$ でL R A 1 4 0を駆動したときの残留振動の振幅errorが0.05Gであったとする。また、 $f_0 = 201 \text{ Hz}$ に対応する特性 $q(t)$ を含む駆動信号 $Z2(t)$ でL R A 1 4 0を駆動したときの残留振動の振幅errorが0.04Gであったとする。

[0185] このように、 f_0 を1Hzずつ変化させて残留振動の振幅errorを求めて行き、 $f_0 = 210 \text{ Hz}$ に対応する特性 $q(t)$ を含む駆動信号 $Z2(t)$ でL R A 1 4 0を駆動したときの残留振動の振幅errorが0.01Gであり、 $f_0 = 240 \text{ Hz}$ に対応する特性 $q(t)$ を含む駆動信号 $Z2(t)$ でL R A 1 4 0を駆動したときの残留振動の振幅errorが0.05Gであったとする。

- [0186] このような場合には、 $f_0 = 210\text{ Hz}$ に対応する特性 $q(t)$ を含む駆動信号 $Z_2(t)$ でLRA140を駆動したときの残留振動の振幅errorが0.01Gで最小であるため、最良の共振周波数 f_0 は 210 Hz と求まる。最良の共振周波数 f_0 は周波数 f_2 の一例である。周波数 f_2 は、誤差を考慮した共振周波数 f_0 の範囲に含まれる周波数である。
- [0187] このように残留振動の振幅errorが人間の感知下限である0.02G以下になるのは、応答振動の変位 x 、速度 x' 、加速度 x'' のすべてが0になっているからである。
- [0188] 実施の形態1の駆動制御装置では、以上のようにして、残留振動の振幅errorが最小になる共振周波数 f_0 を求める。
- [0189] そして、上述のようにして求まる最良の共振周波数 f_0 を用いてLRA140を駆動すれば、残留振動の振幅を人間が感知することはなく、良好なクリック感を提示することができる。
- [0190] 従って、実施の形態1によれば、LRA140の共振周波数が加速度振幅に応じて変化する特性を有する場合においても、LRA140の共振周波数が時間経過に応じて変化する時間特性 $q(t)$ を駆動信号 Z_1 に代入することにより、応答振動の変位 x 、速度 x' 、加速度 x'' のすべてが0になるタイミングを確実に得ることができる。
- [0191] 従って、LRA140を駆動する駆動信号を表す波形データ240として、LRA140の共振周波数が時間経過に応じて変化する時間特性 $q(t)$ を用いることにより、LRA140により生じる振動によってクリック感を提示することができる。
- [0192] なお、LRA140の共振周波数が時間経過に応じて変化する時間特性 $q(t)$ を表すデータは、離散的な数値データであり、波形データ240（図5参照）としてメモリ220に格納しておけばよい。
- [0193] また、以上では、残留振動を低減し得るLRA140の駆動方法として、第1番目から第4番目の駆動条件で、LRA140の共振周波数が時間経過に応じて変化する時間特性（ $q(t)$ ）を求める形態について説明した。し

かしながら、第1番目から第4番目の駆動条件以外の駆動条件による駆動信号を用いて、L R A 1 4 0 の共振周波数が時間経過に応じて変化する時間特性 ($q(t)$) を求めて、L R A 1 4 0 を駆動するようにしてもよい。

[0194] また、以上では、応答振動の加速度の包絡線のデータ (図31(B) 参照) から時間特性 $q(t)$ を求めたが、時間特性 $q(t)$ の求め方はこのような手法に限られない。時間特性 $q(t)$ は、例えば、図31(B) の応答振動の変位を正弦波で近似することによって求めてもよい。

[0195] <実施の形態2>

以下に図面を参照して実施の形態2について説明する。実施の形態2では、L R A 1 4 0 の共振周波数 f_0 を電子機器100に組み込んだ状態で測定した値とする例である。実施の形態2の説明では、実施の形態1との相違点についてのみ説明する。また実施の形態2において、実施の形態1と同様の機能を有するものには実施の形態1の説明で用いた符号と同様の符号を付与し、その説明を省略する。

[0196] 実施の形態2では、L R A 1 4 0 を電子機器100に組み込んだ状態におけるタッチパネル120の共振周波数 f_0' を測定する。そして実施の形態2では、駆動信号Zの周波数 f_1 を算出する際に共振周波数 f_0' を用いる。

[0197] 図33は、実施の形態2の駆動装置を説明する図である。実施の形態2の駆動装置200Aは、CPU210Aと、メモリ220Aとを有する。

[0198] CPU210は、メモリ220Aから後述する周波数測定プログラム255を読み出して実行することで、後述する共振周波数 f_0' の測定と再設定を行う。

[0199] メモリ220Aには、駆動制御プログラム230、波形データ240、API250に加え、周波数測定プログラム255、設計値データ256が格納されている。

[0200] 周波数測定プログラム255は、例えばL R A 1 4 0 が電子機器100に組み込まれた状態でのL R A 1 4 0 の共振周波数 f_0' の測定処理をCPU

210に実行させる。設計値データ256は、電子機器100が設計された際に決められた値である。実施の形態2の設計値データ256は、例えばLRA140固有の共振周波数 f_0 である。

[0201] 以下に実施の形態2における共振周波数 f_0' の測定について説明する。

[0202] 図34は、実施の形態2における共振周波数の測定処理を説明するフローチャートである。

[0203] 実施の形態2において、電子機器100に対して共振周波数 f_0' の測定指示がなされると（ステップS1701）、CPU210は周波数測定プログラム255を読み出す。実施の形態2において共振周波数 f_0' の測定指示がなされるときとは、例えば電子機器100の製造工程においてLRA140とタッチパネル120を筐体110に組み込む工程が終了したときや、工場出荷時等である。

[0204] 周波数測定プログラム255は、CPU210に、LRA140に対して所定の周波数の帯域において複数の周波数の正弦波を駆動信号として印加させる（ステップS1702）。具体的には例えばCPU210は、100Hzから300Hzにおいて、周波数100Hzの正弦波、周波数110Hzの正弦波、・・・、周波数290Hzの正弦波、周波数300Hzの正弦波というように、LRA140に駆動信号を印加する。

[0205] 周波数測定プログラム255は、CPU210に、周波数の異なる駆動信号毎の

タッチパネル120の振動の加速度の最大値をメモリ220Aに格納させる（ステップS1703）。具体的には電子機器100は、図示しない加速度センサが内蔵されており、周波数の異なる駆動信号がLRA140に印加される度にタッチパネル120の振動の加速度の最大値を検出する。メモリ220は、周波数測定プログラム255による演算結果を記憶する領域が設けられており、この領域に駆動信号毎の加速度の最大値が一時的に格納される。

[0206] 続いて周波数測定プログラム255は、CPU210に、メモリ220A

に格納された加速度のうち、加速度が最大となる駆動信号の周波数を選択させる（ステップS 1 7 0 4）。続いて周波数測定プログラム2 5 5は、選択した駆動信号の周波数を共振周波数 f_0' とし、CPU 2 1 0に、メモリ2 2 0 Aの設計値データ2 5 6を共振周波数 f_0' に上書きさせる（ステップS 1 7 0 5）。

[0207] 実施の形態2では、この処理により共振周波数を f_0 から f_0' へ変更する。したがって実施の形態2では、残留振動を抑制するための駆動信号の周波数 f_1 は、 $f_1 = (m/n) \times f_0'$ となる。

[0208] よって実施の形態2では、例えばL R A 1 4 0にタッチパネル1 2 0や筐体1 1 0等の振動が重畳されるような場合に、直接ユーザの指に触れるタッチパネル1 2 0の共振周波数 f_0' に基づき駆動信号 f_1 を算出することができる。このため実施の形態2では、ユーザに対して1～数周期で急速に減衰する短時間の波形の触感を直接提供することができ、クリック感を表現することができる。

[0209] 尚実施の形態2では、共振周波数 f_0' を周波数測定プログラム2 5 5により行うものとしたが、共振周波数 f_0' は電子機器1 0 0の外部で測定され、メモリ2 2 0 Aの設計値データ2 5 6に上書きされても良い。

[0210] また実施の形態2は、電子機器1 0 0 Aにも適用することができる。

[0211] 以上、実施の形態の駆動装置、電子機器、駆動制御プログラム、及び駆動信号の生成方法について詳述したが、特定の実施の形態に限定されるものではなく、特許請求の範囲に記載された範囲内において、種々の変形及び変更が可能である。

符号の説明

- [0212] 1 0 0、1 0 0 A 電子機器
1 1 0 筐体
1 2 0 タッチパネル
1 3 0 両面テープ
1 4 0 L R A

- 2 0 0 駆動装置
- 2 1 0 C P U
- 2 2 0 メモリ
- 2 3 0 駆動制御プログラム
- 2 4 0 波形データ
- 2 5 0 A P I
- 2 5 5 周波数測定プログラム
- 2 5 6 設計値データ
- 2 6 0 ドライバ I C

請求の範囲

[請求項1]

共振周波数の定格値が f_0 である振動生成装置であって、前記共振周波数が加速度振幅に応じて前記定格値 f_0 を含む第1共振周波数から第2共振周波数の範囲で変化する周波数特性を有する振動生成装置を、前記共振周波数の時間特性 $q(t)$ に対して、周波数 $f_1 = (m/n) \times q(t)$ (m, n は互いに異なる0以外の自然数) を満たす正弦波であり、且つ前記振動生成装置を m 回加振する第1駆動信号、又は、周波数 $f_1 = (m/n) \times q(t)$ (m, n は互いに異なる正の奇数) を満たす正弦波であり、且つ前記振動生成装置を $(m/2) \times a$ (a は0以外の自然数) 回加振する第2駆動信号を表す波形データが格納された記憶部と、

前記記憶部に格納された前記波形データを読み出し、前記波形データに対応する前記第1駆動信号又は前記第2駆動信号を前記振動生成装置へ出力する駆動処理部と、

を含み、

前記時間特性 $q(t)$ は、誤差を考慮した前記共振周波数の範囲に含まれる周波数 f_2 に対して、周波数 $f_1 = (m/n) \times f_2$ (m, n は互いに異なる0以外の自然数) を満たす正弦波であり、且つ前記振動生成装置を m 回加振する第3駆動信号、又は、周波数 $f_1 = (m/n) \times f_2$ (m, n は互いに異なる正の奇数) を満たす正弦波であり、且つ前記振動生成装置を $(m/2) \times a$ (a は0以外の自然数) 回加振する第4駆動信号で前記振動生成装置を駆動したときに得られる、前記振動生成装置の共振周波数が時間経過に応じて変化する時間特性である、駆動装置。

[請求項2]

前記時間特性 $q(t)$ は、前記振動生成装置の前記共振周波数の加速度振幅に対する周波数特性に、前記第3駆動信号又は前記第4駆動信号で前記振動生成装置を駆動することによって得られる応答振動の変位の加速度の包絡線を表す加速度を代入することによって得る、前

記振動生成装置の共振周波数が時間経過に応じて変化する時間特性である、請求項 1 記載の駆動装置。

[請求項3] 前記記憶部に格納される前記波形データは、前記第 1 駆動信号又は前記第 2 駆動信号に、前記振動生成装置が実装される振動系の減衰率による減衰特性を乗じて得る駆動信号を表す波形データである、請求項 1 又は 2 記載の駆動装置。

[請求項4] 前記周波数 f_1 は、 $f_1 = (m/n) \times f_0$ (m, n は 0 以外の自然数かつ $m > n$) を満たす、請求項 1 乃至 3 のいずれか一項記載の駆動装置。

[請求項5] タッチパネルと、

共振周波数の定格値が f_0 である振動生成装置であって、前記共振周波数が加速度振幅に応じて前記定格値 f_0 を含む第 1 共振周波数から第 2 共振周波数の範囲で変化する周波数特性を有し、前記タッチパネルを振動させる振動生成装置と、

前記振動生成装置を、前記共振周波数の時間特性 $q(t)$ に対して、周波数 $f_1 = (m/n) \times q(t)$ (m, n は互いに異なる 0 以外の自然数) を満たす正弦波であり、且つ前記振動生成装置を m 回加振する第 1 駆動信号、又は、周波数 $f_1 = (m/n) \times q(t)$ (m, n は互いに異なる正の奇数) を満たす正弦波であり、且つ前記振動生成装置を $(m/2) \times a$ (a は 0 以外の自然数) 回加振する第 2 駆動信号を表す波形データが格納された記憶部と、前記記憶部に格納された前記波形データを読み出し、前記波形データに対応する前記第 1 駆動信号又は前記第 2 駆動信号を前記振動生成装置へ出力する駆動処理部とを有する駆動装置と

を含み、

前記時間特性 $q(t)$ は、誤差を考慮した前記共振周波数の範囲に含まれる周波数 f_2 に対して、周波数 $f_1 = (m/n) \times f_2$ (m, n は互いに異なる 0 以外の自然数) を満たす正弦波であり、且つ前記

振動生成装置を m 回加振する第3駆動信号、又は、周波数 $f_1 = (m/n) \times f_2$ (m, n は互いに異なる正の奇数)を満たす正弦波であり、且つ前記振動生成装置を $(m/2) \times a$ (a は0以外の自然数)回加振する第4駆動信号で前記振動生成装置を駆動したときに得られる、前記振動生成装置の共振周波数が時間経過に応じて変化する時間特性である、電子機器。

[請求項6]

共振周波数の定格値が f_0 である振動生成装置であって、前記共振周波数が加速度振幅に応じて前記定格値 f_0 を含む第1共振周波数から第2共振周波数の範囲で変化する周波数特性を有する振動生成装置を、前記共振周波数の時間特性 $q(t)$ に対して、周波数 $f_1 = (m/n) \times q(t)$ (m, n は互いに異なる0以外の自然数)を満たす正弦波であり、且つ前記振動生成装置を m 回加振する第1駆動信号、又は、周波数 $f_1 = (m/n) \times q(t)$ (m, n は互いに異なる正の奇数)を満たす正弦波であり、且つ前記振動生成装置を $(m/2) \times a$ (a は0以外の自然数)回加振する第2駆動信号を表す波形データを読み出し、

前記波形データに対応する前記第1駆動信号又は前記第2駆動信号を前記振動生成装置へ出力する、

処理をコンピュータに実行させるプログラムであって、

前記時間特性 $q(t)$ は、誤差を考慮した前記共振周波数の範囲に含まれる周波数 f_2 に対して、周波数 $f_1 = (m/n) \times f_2$ (m, n は互いに異なる0以外の自然数)を満たす正弦波であり、且つ前記振動生成装置を m 回加振する第3駆動信号、又は、周波数 $f_1 = (m/n) \times f_2$ (m, n は互いに異なる正の奇数)を満たす正弦波であり、且つ前記振動生成装置を $(m/2) \times a$ (a は0以外の自然数)回加振する第4駆動信号で前記振動生成装置を駆動したときに得られる、前記振動生成装置の共振周波数が時間経過に応じて変化する時間特性である、駆動制御プログラム。

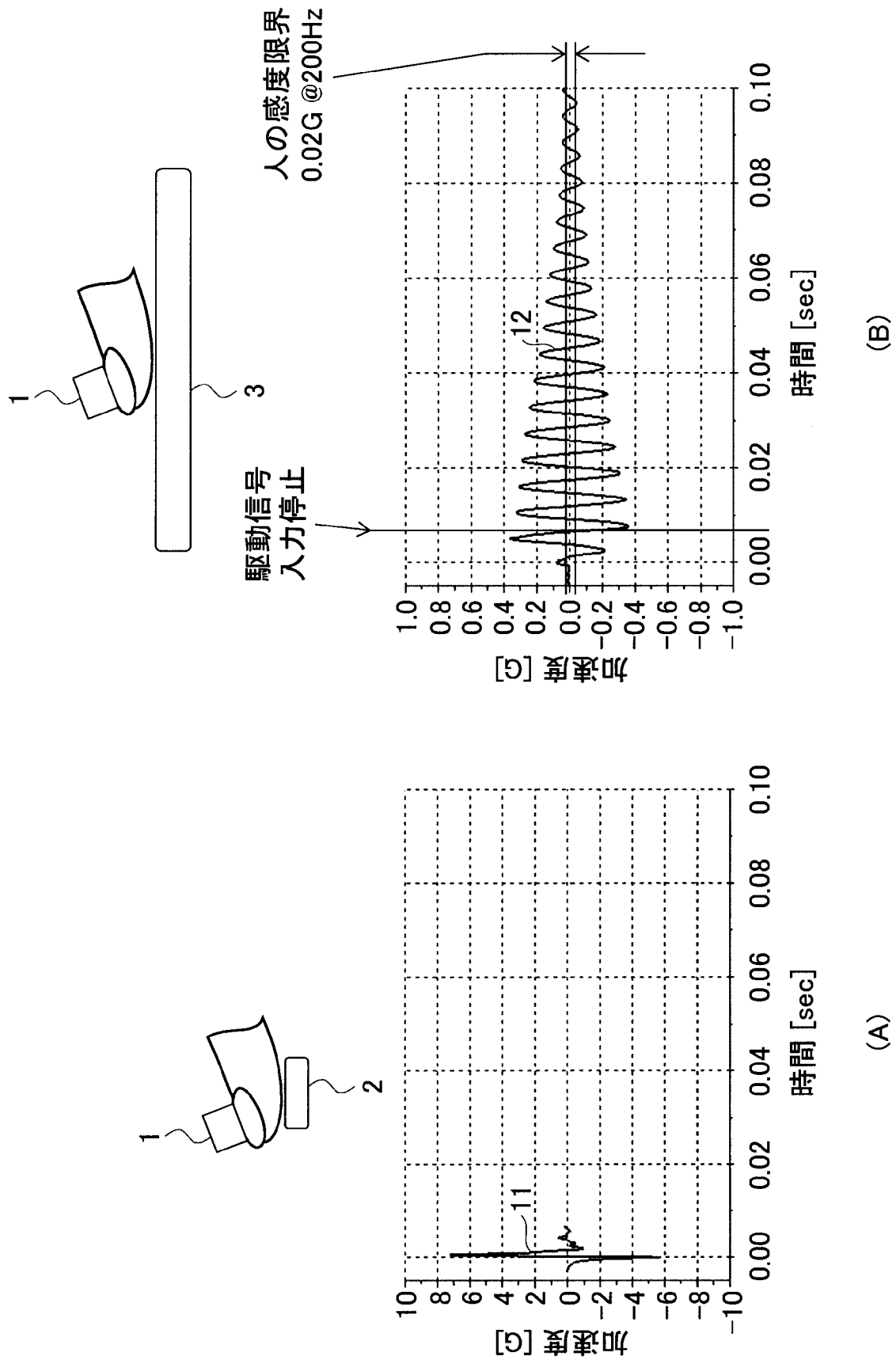
[請求項7]

共振周波数の定格値が f_0 である振動生成装置であって、前記共振周波数が加速度振幅に応じて前記定格値 f_0 を含む第1共振周波数から第2共振周波数の範囲で変化する周波数特性を有する振動生成装置を、誤差を考慮した前記共振周波数の範囲に含まれる周波数 f_2 に対して、周波数 $f_1 = (m/n) \times f_2$ (m, n は互いに異なる0以外の自然数) を満たす正弦波であり、且つ前記振動生成装置を m 回加振する第1駆動信号、又は、周波数 $f_1 = (m/n) \times f_2$ (m, n は互いに異なる正の奇数) を満たす正弦波であり、且つ前記振動生成装置を $(m/2) \times a$ (a は0以外の自然数) 回加振する第2駆動信号で前記振動生成装置を駆動したときに得られる、前記振動生成装置の共振周波数が時間経過に応じて変化する時間特性 $q(t)$ を求める段階と、

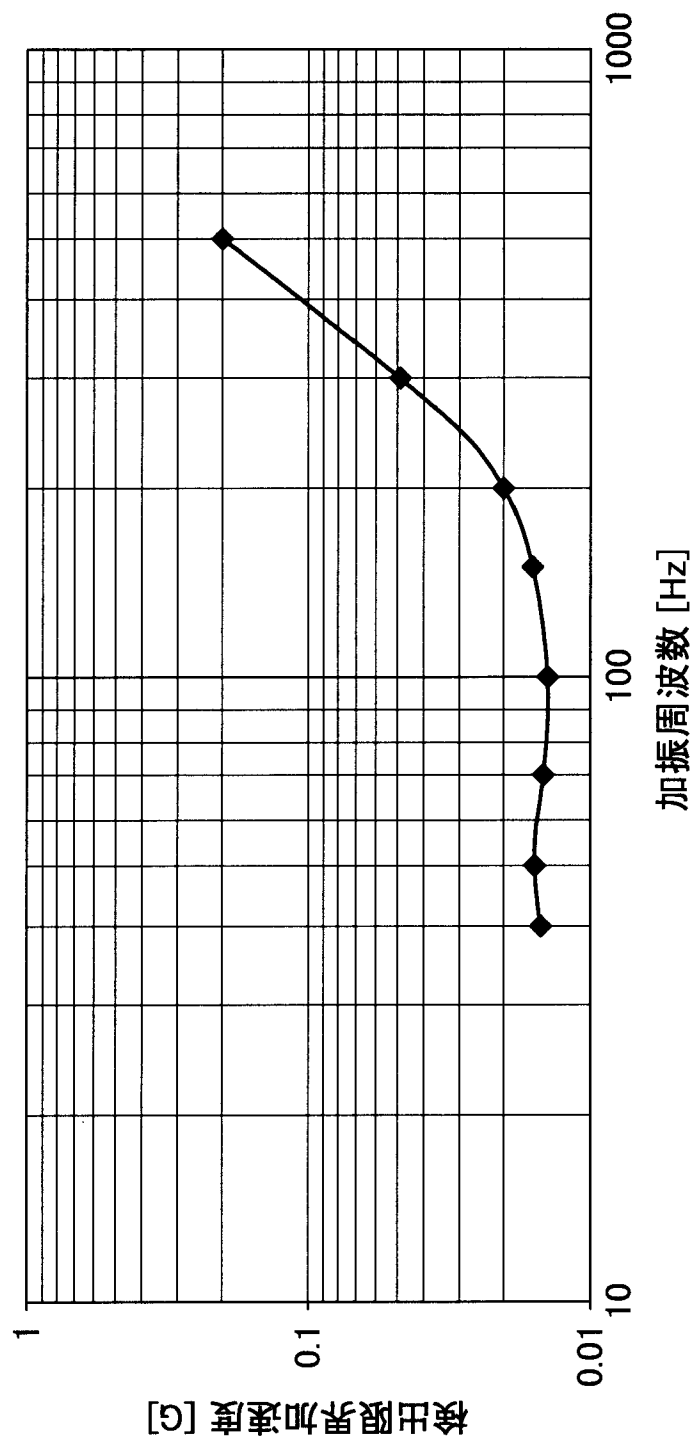
前記共振周波数の時間特性 $q(t)$ に対して、周波数 $f_1 = (m/n) \times q(t)$ (m, n は互いに異なる0以外の自然数) を満たす正弦波であり、且つ前記振動生成装置を m 回加振する第3駆動信号、又は、周波数 $f_1 = (m/n) \times q(t)$ (m, n は互いに異なる正の奇数) を満たす正弦波であり、且つ前記振動生成装置を $(m/2) \times a$ (a は0以外の自然数) 回加振する第4駆動信号を表す波形データを生成する段階と

を含む、駆動信号の生成方法。

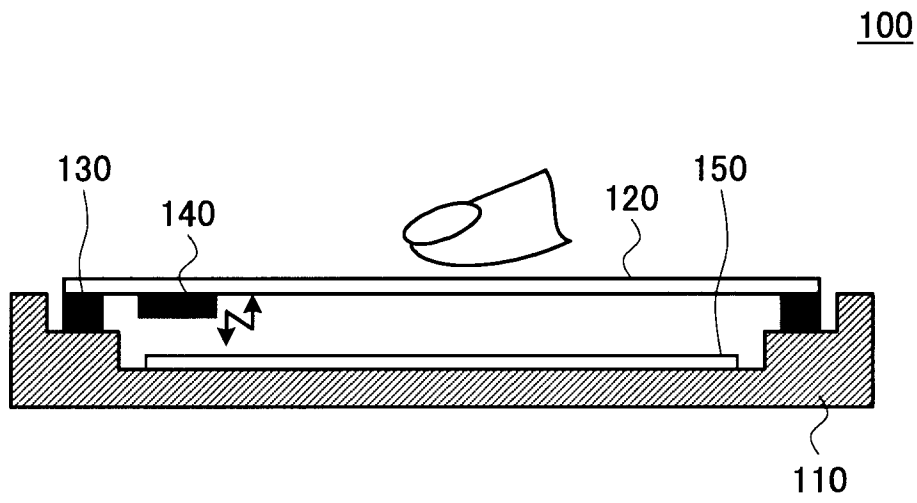
[図1]



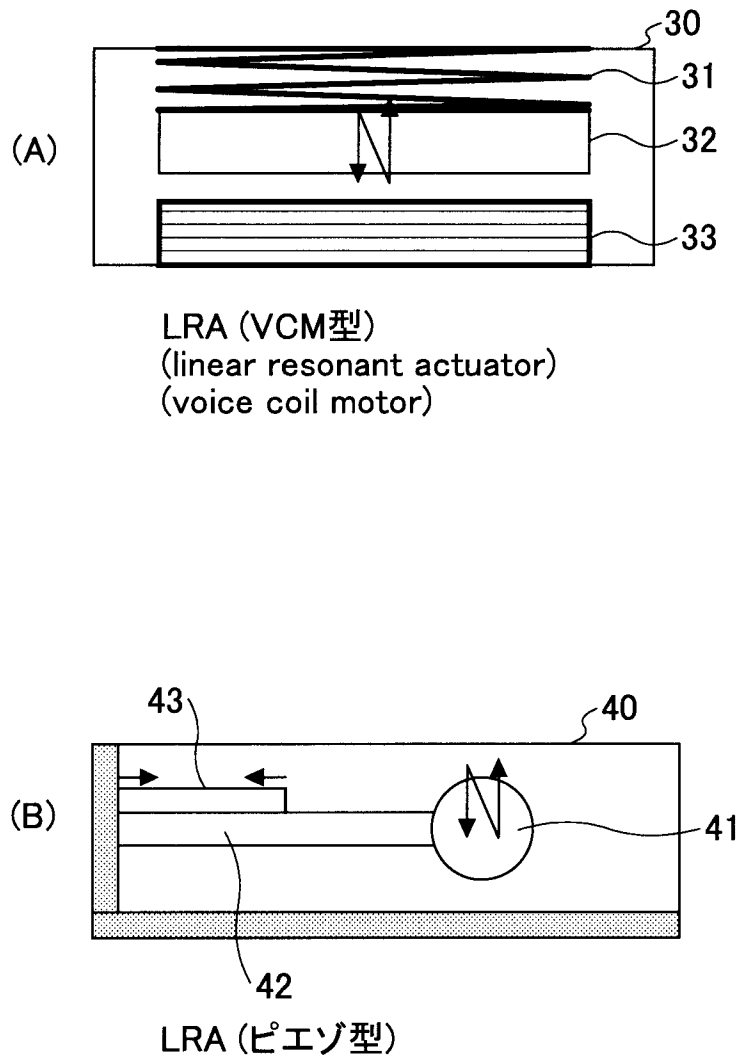
[図2]



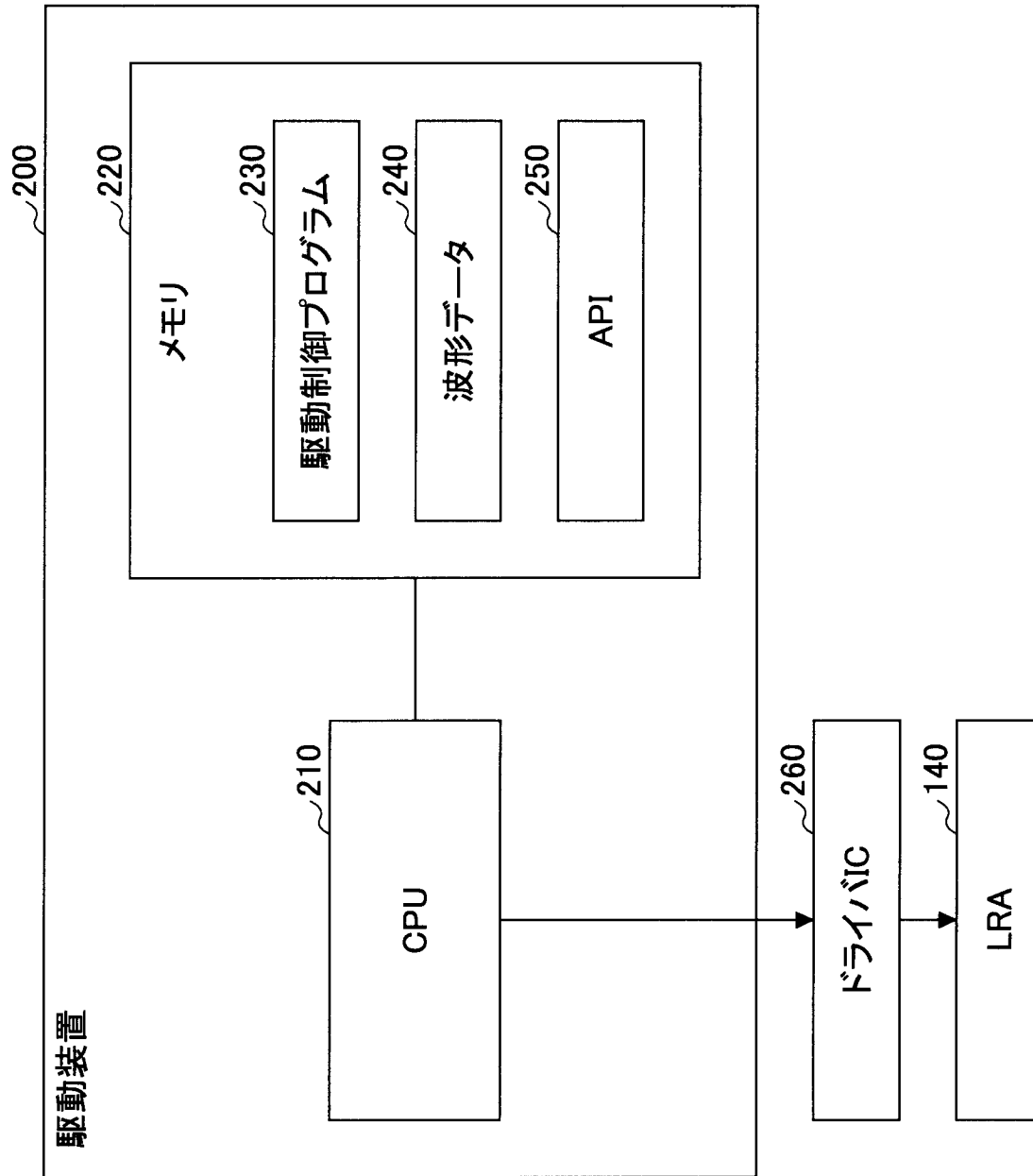
[図3]

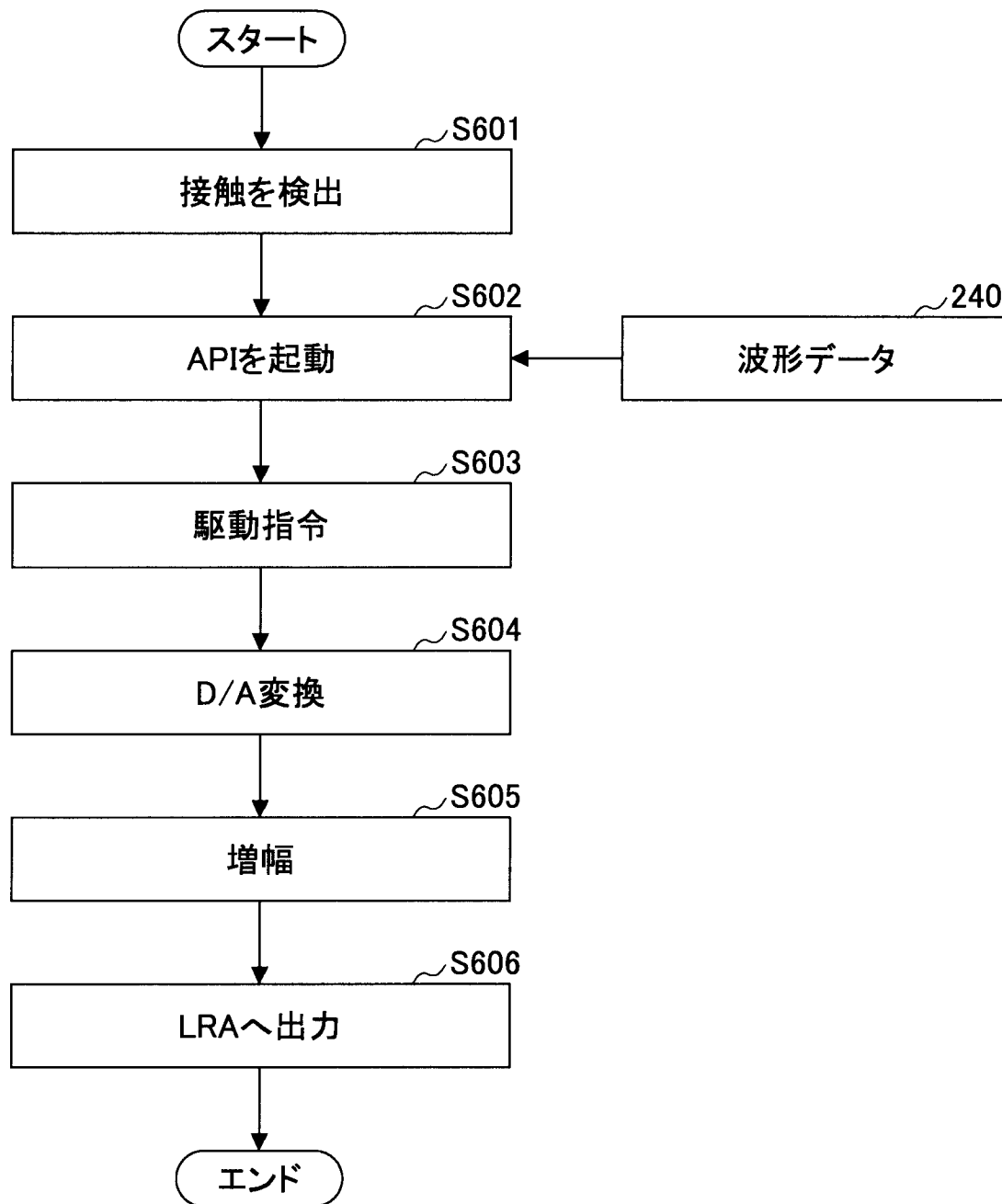


[図4]

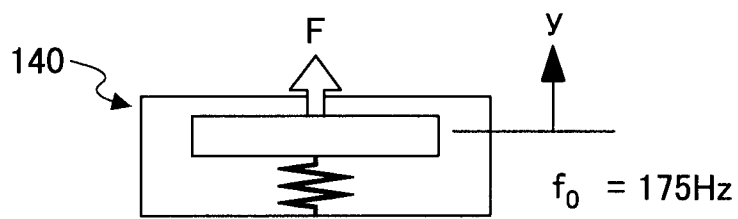


[図5]

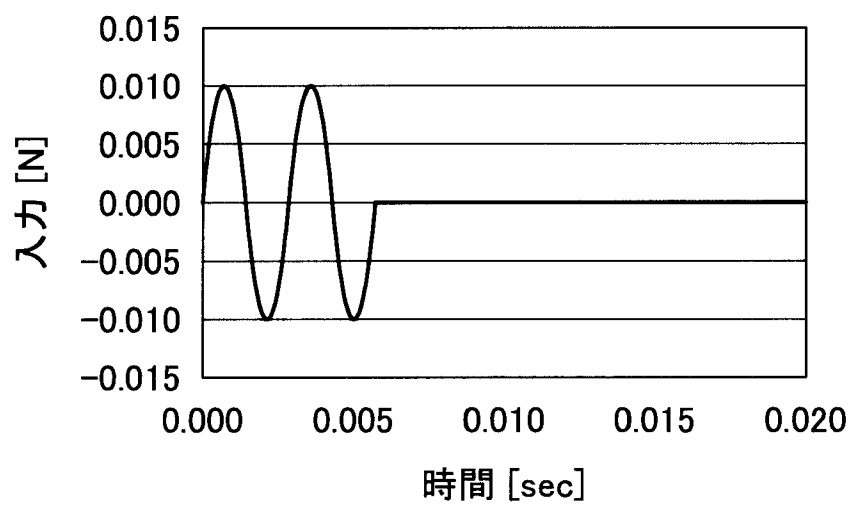




[図7]



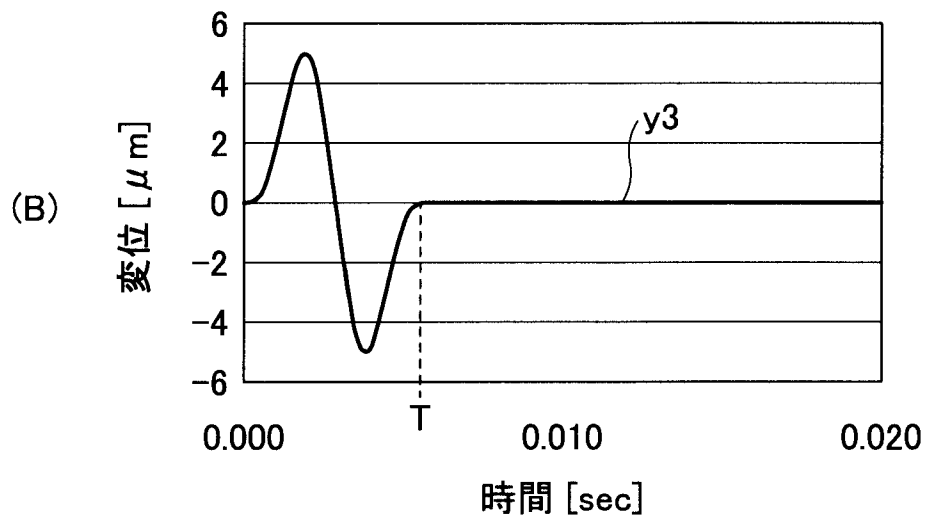
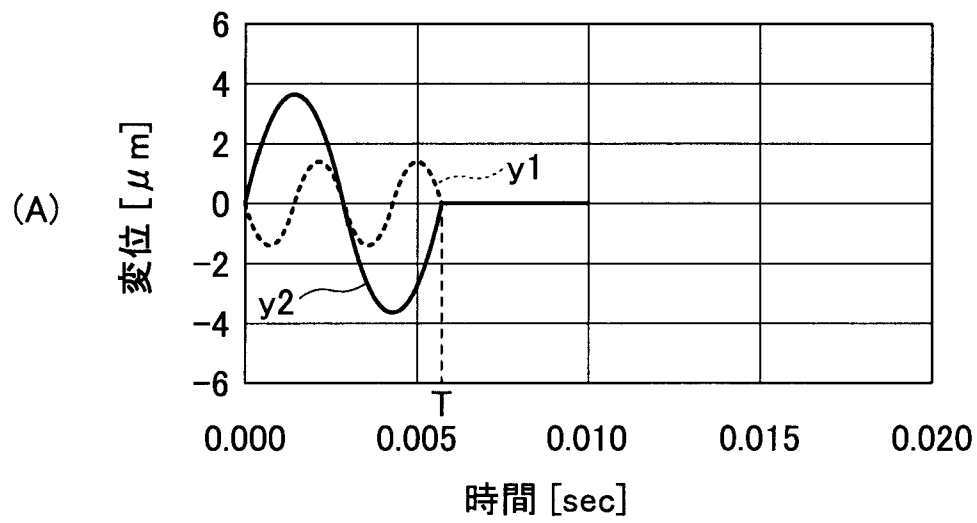
[図8]



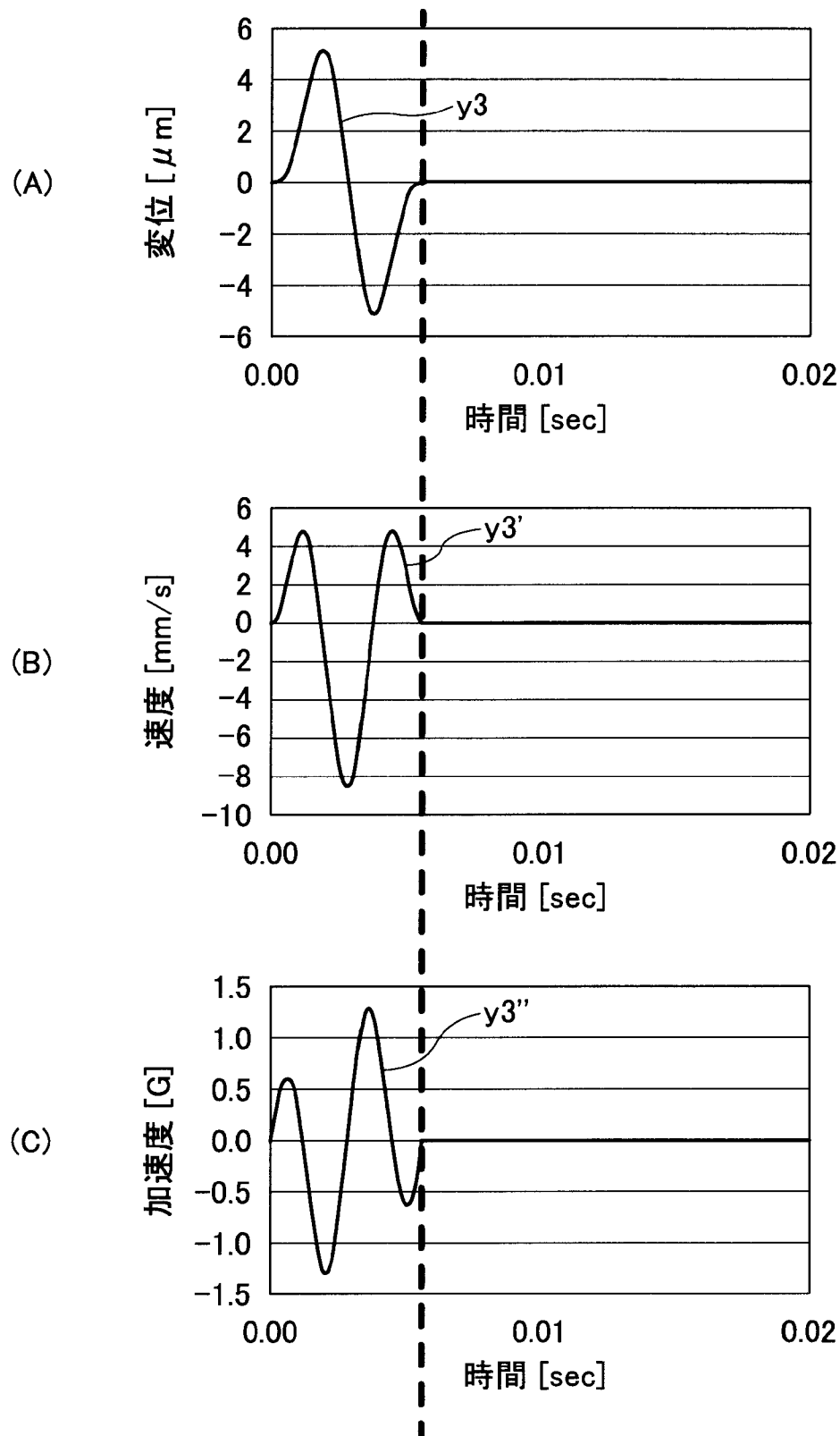
$$F = 0.01 \sin 2\pi f_1 t \quad f_1 = 350\text{Hz}$$

$$m = 2, n = 1$$

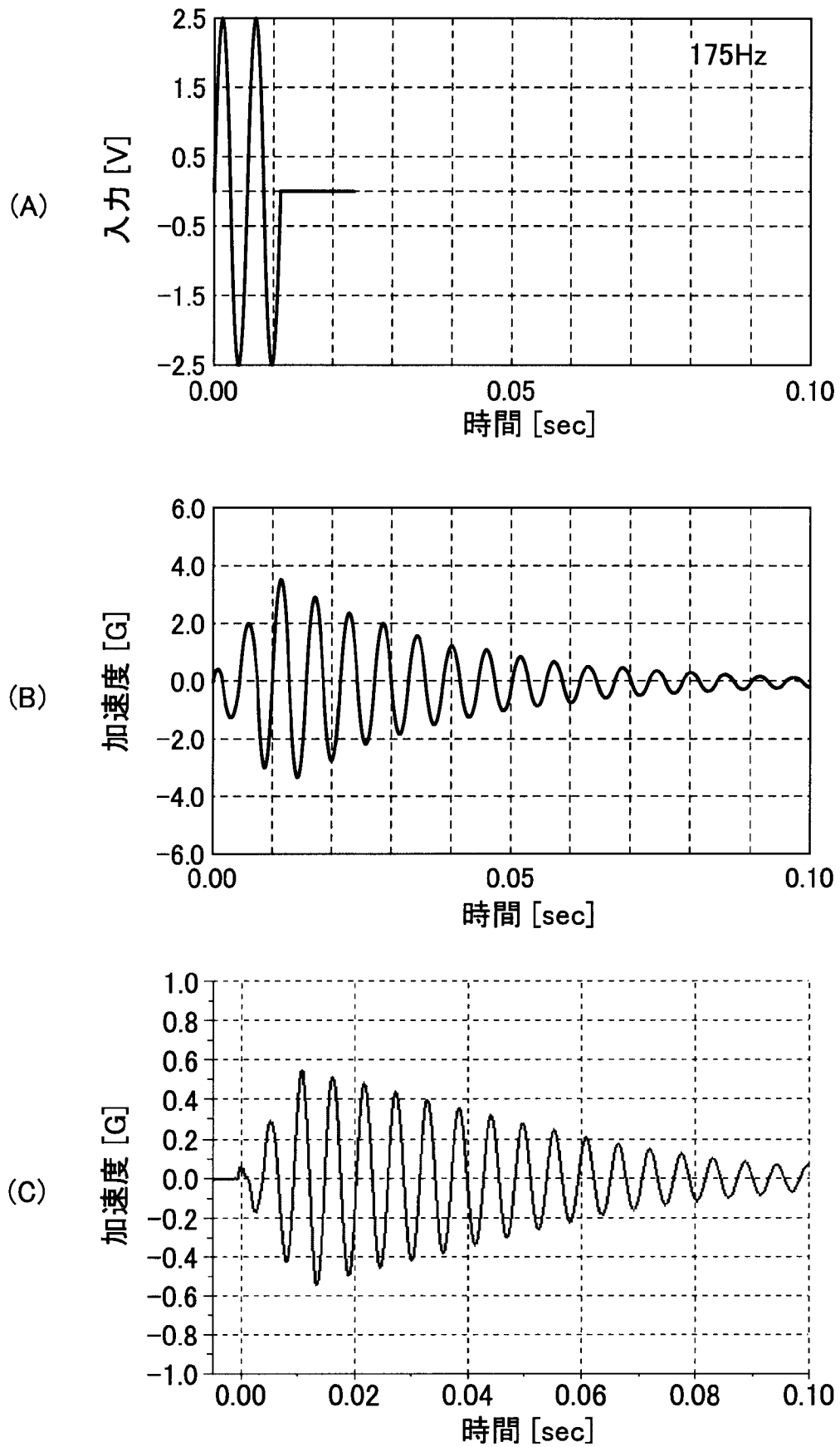
[図9]



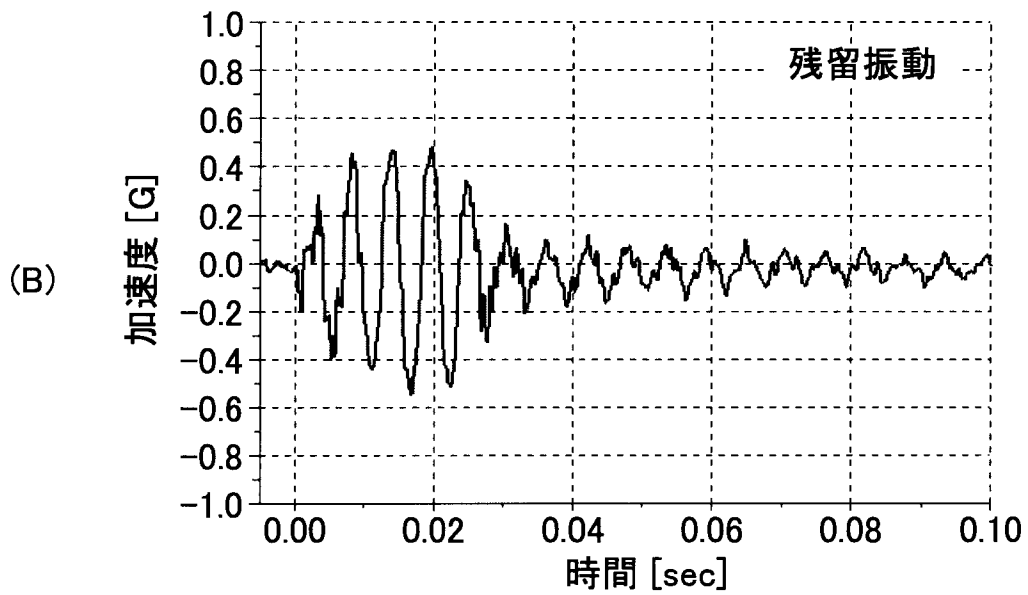
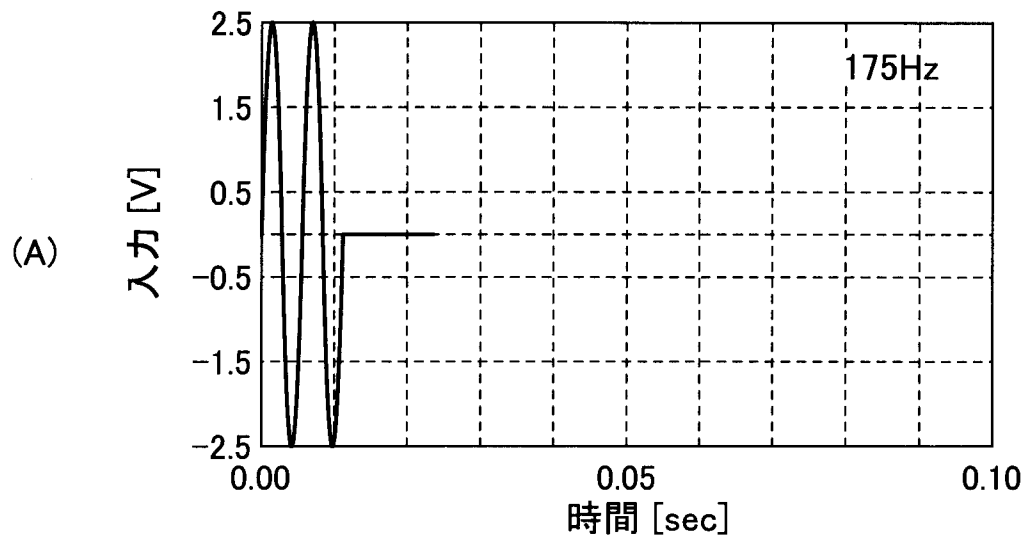
[図10]



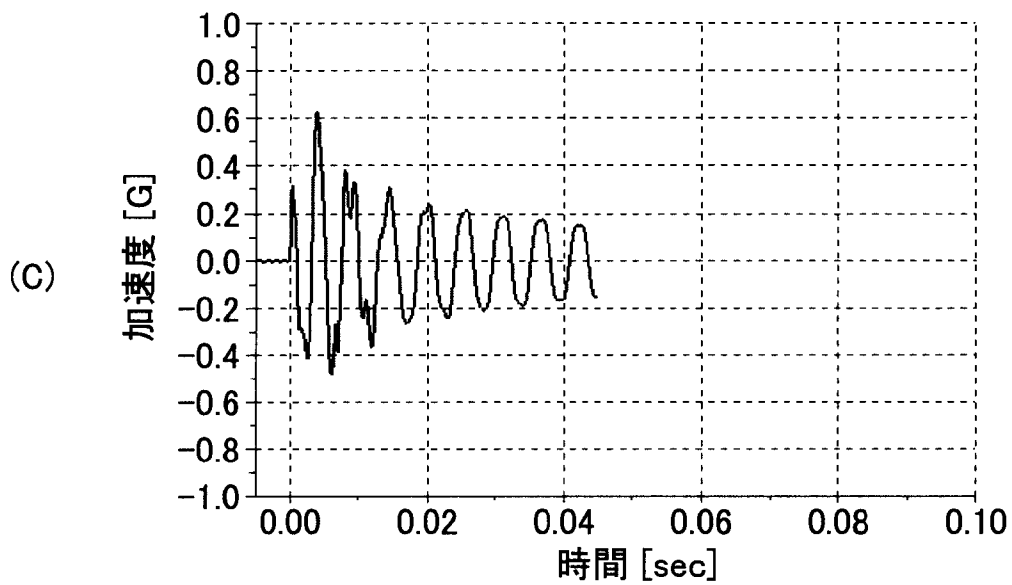
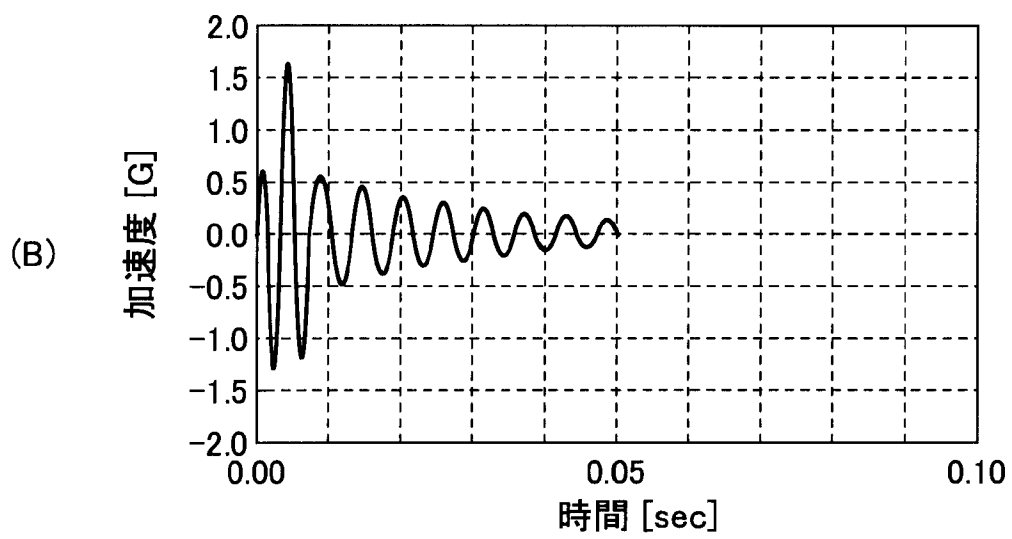
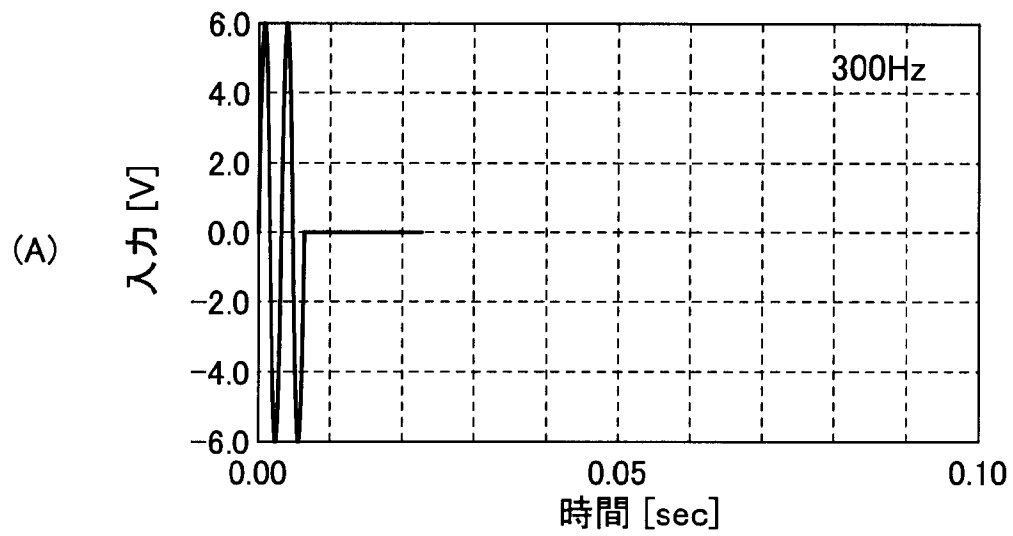
[図11]



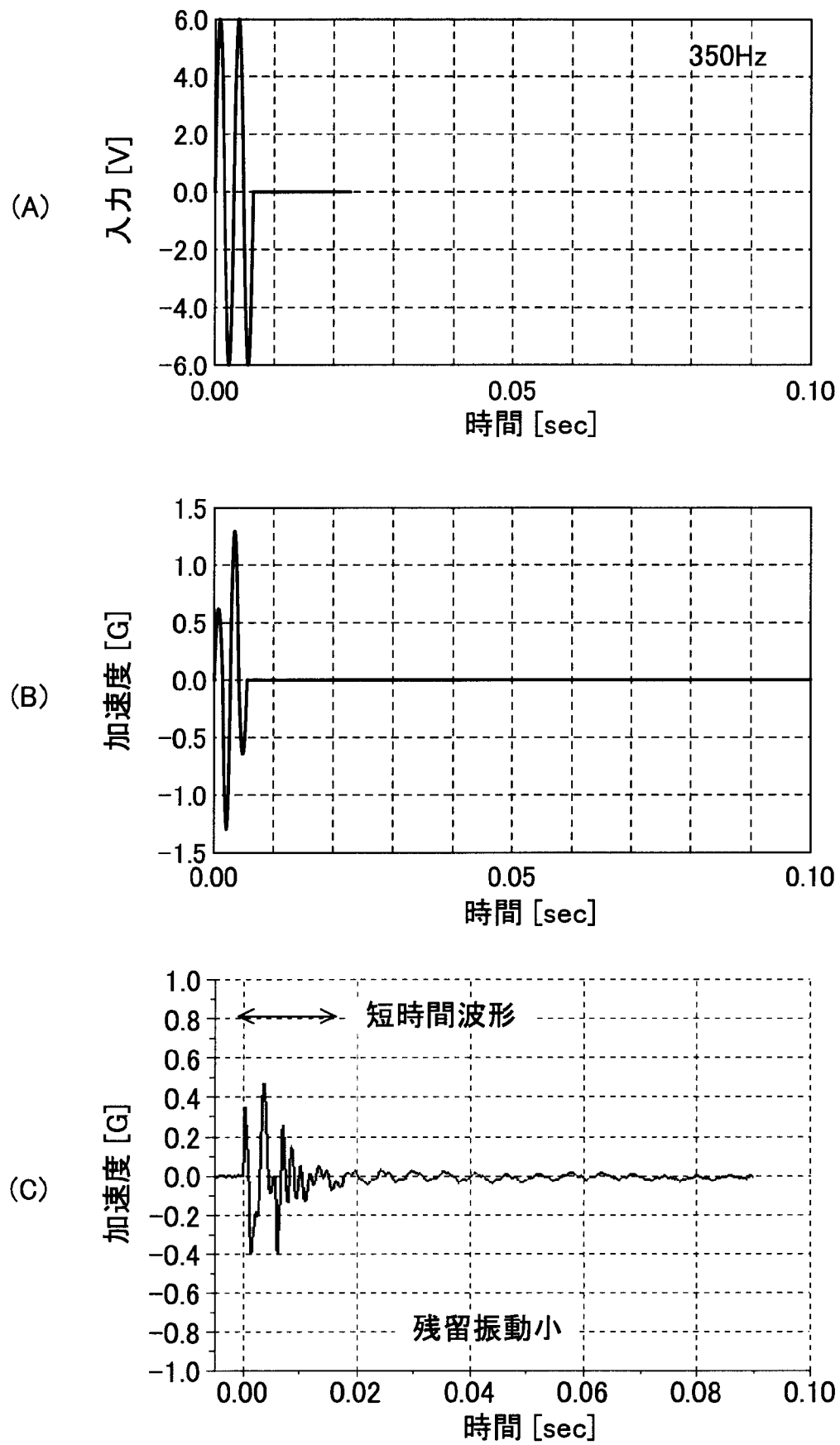
[図12]



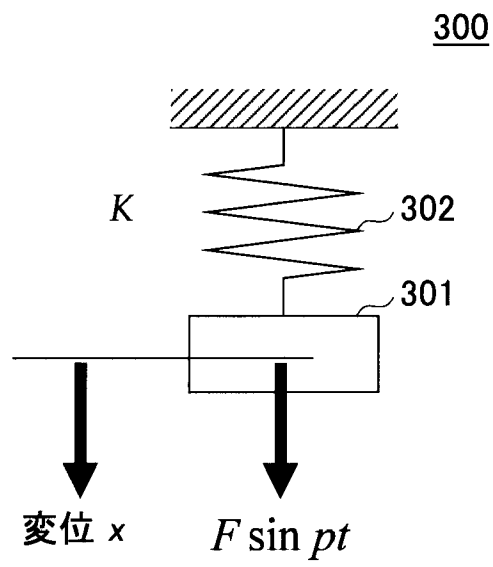
[図13]



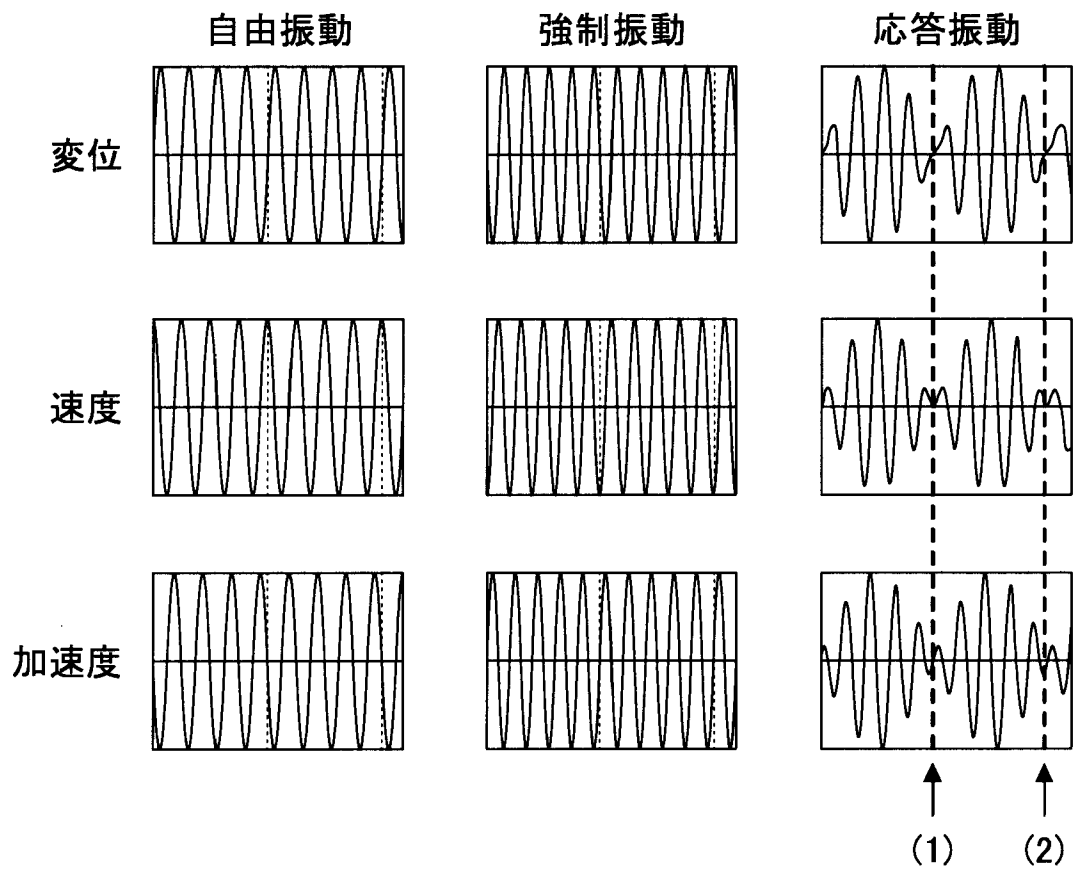
[図14]



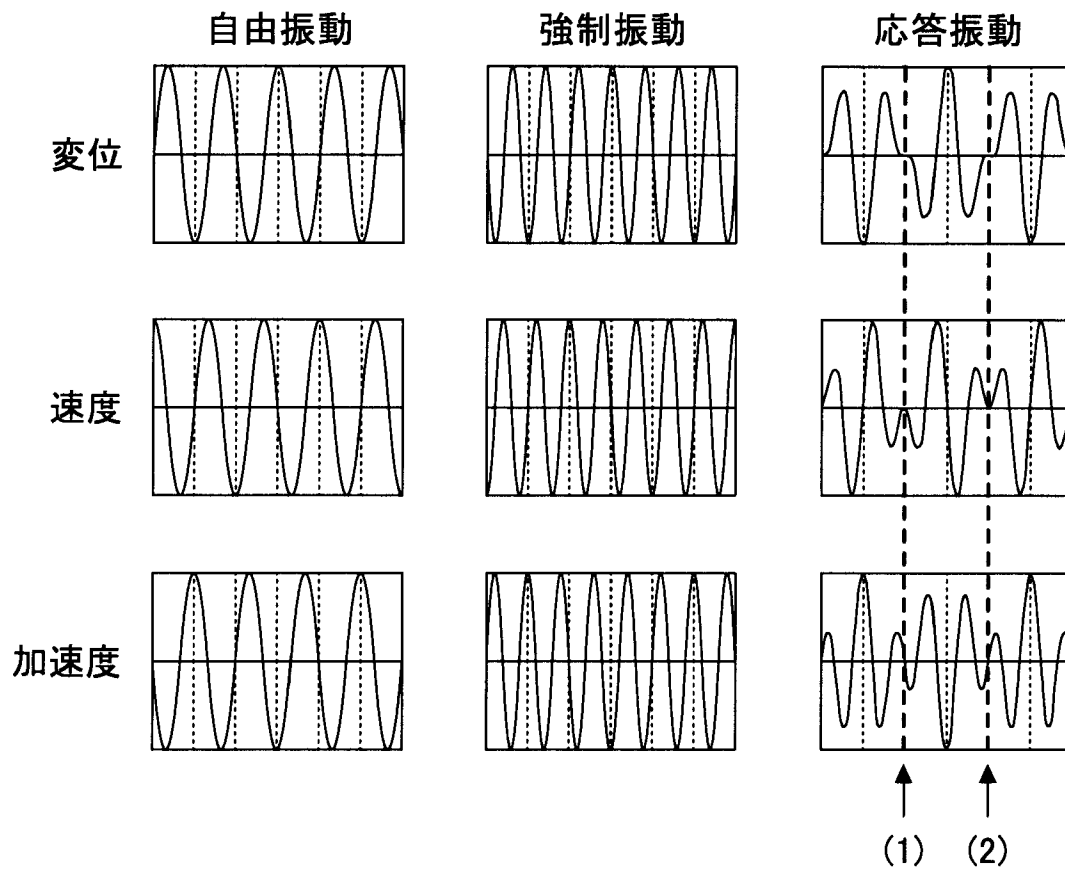
[図15]



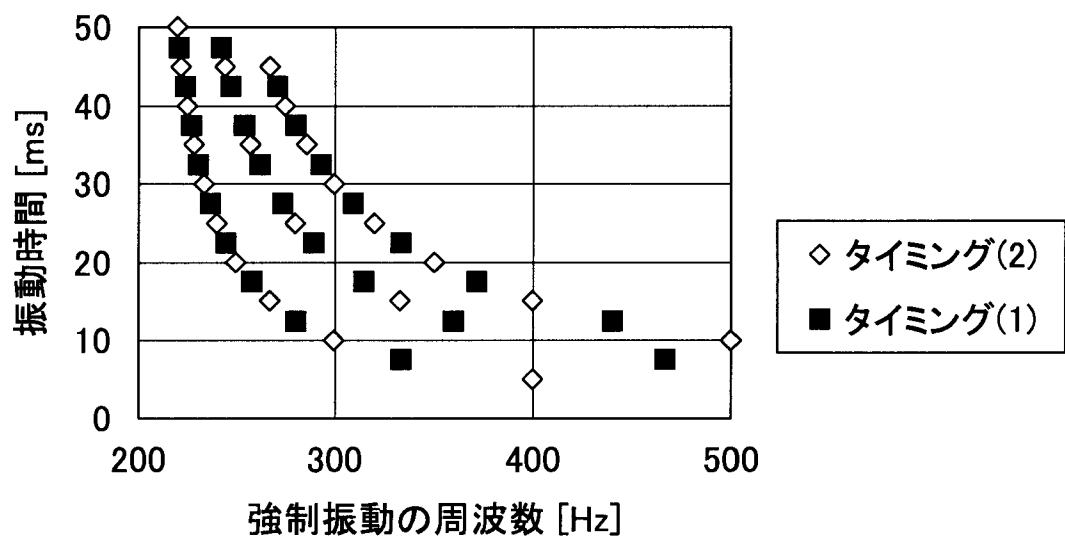
[図16]



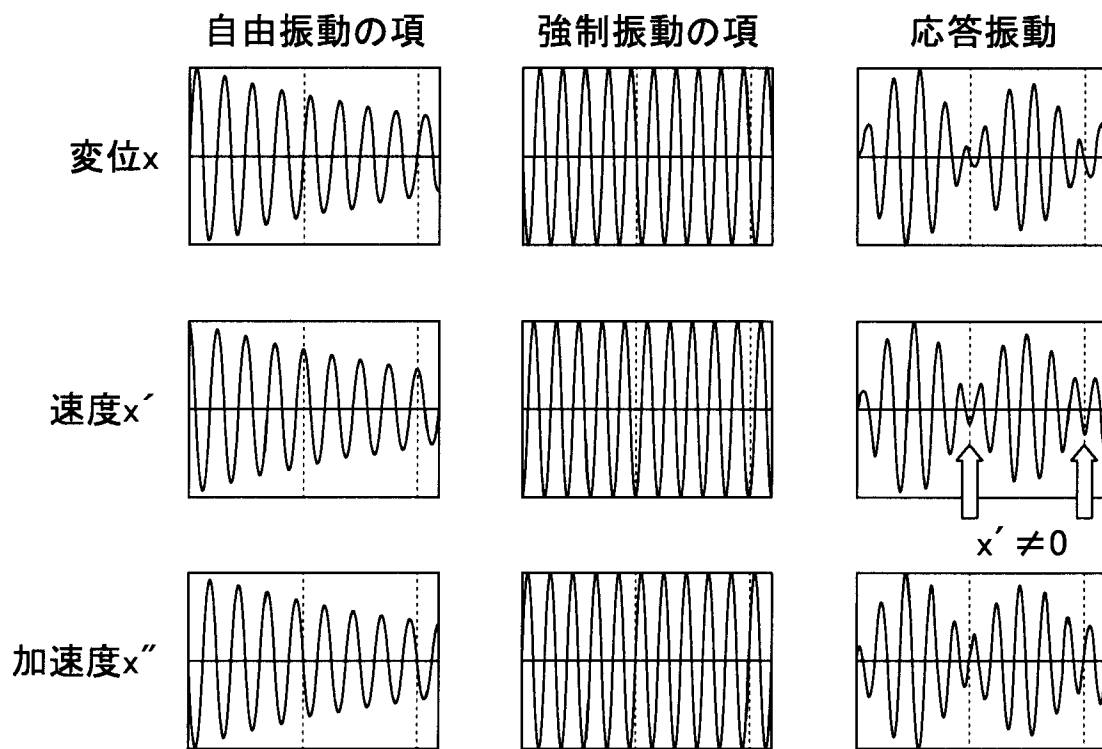
[図17]



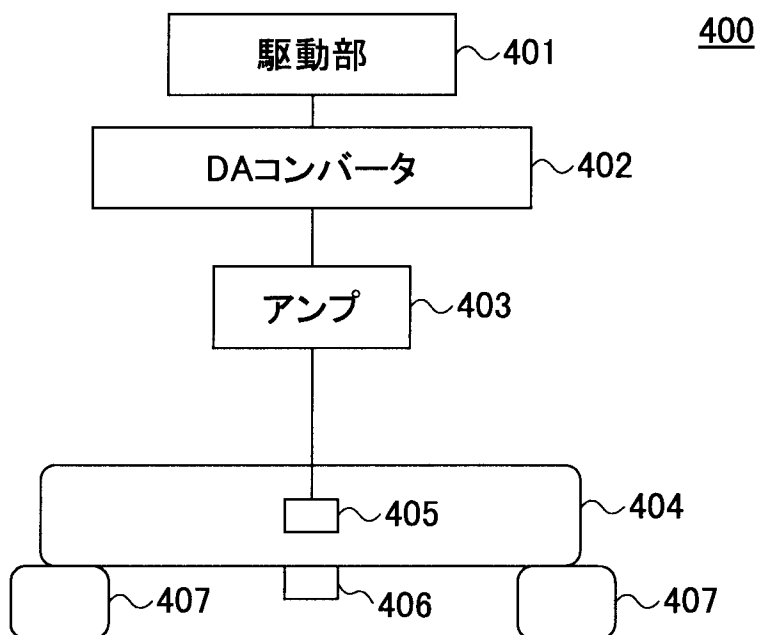
[図18]



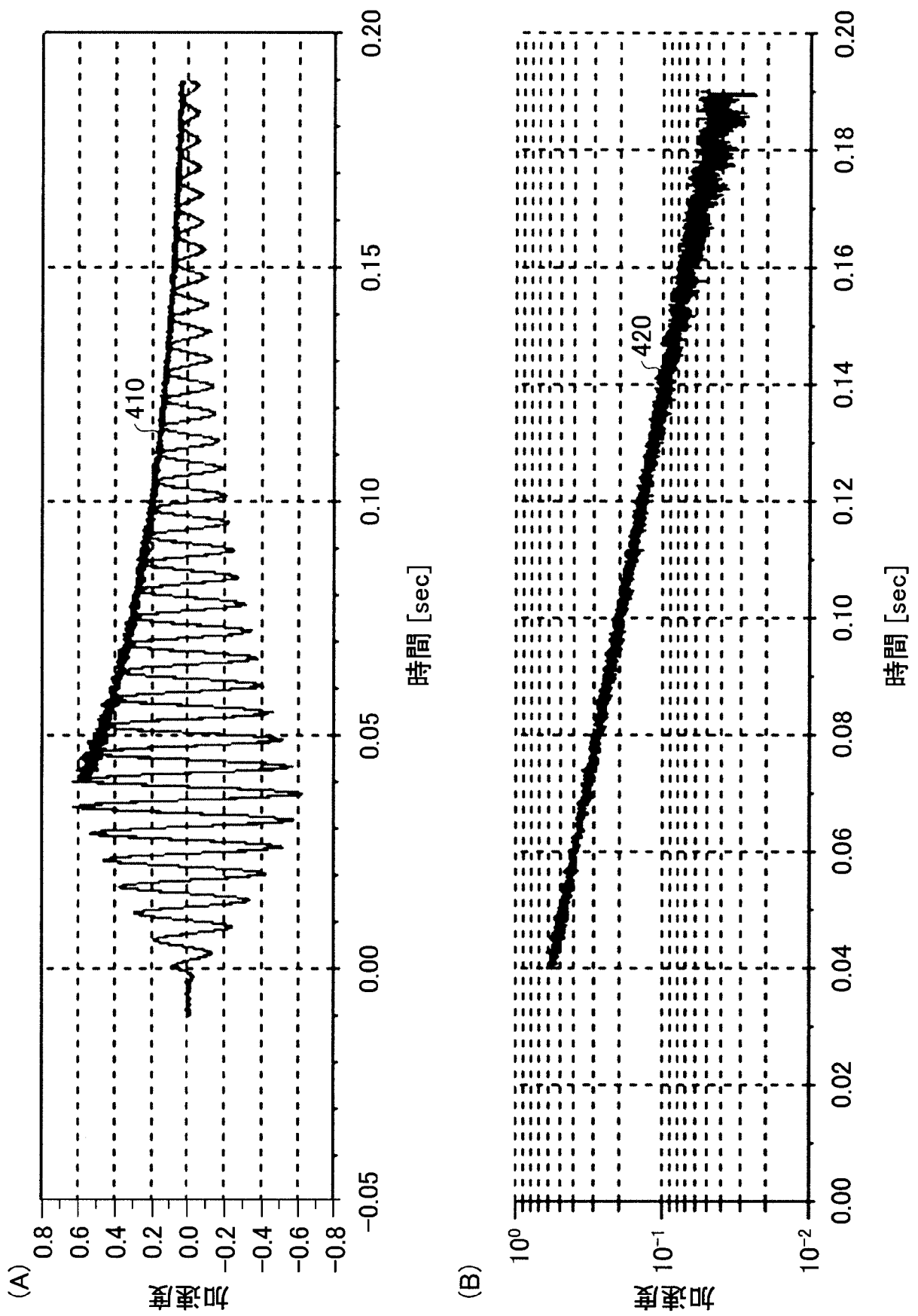
[図19]



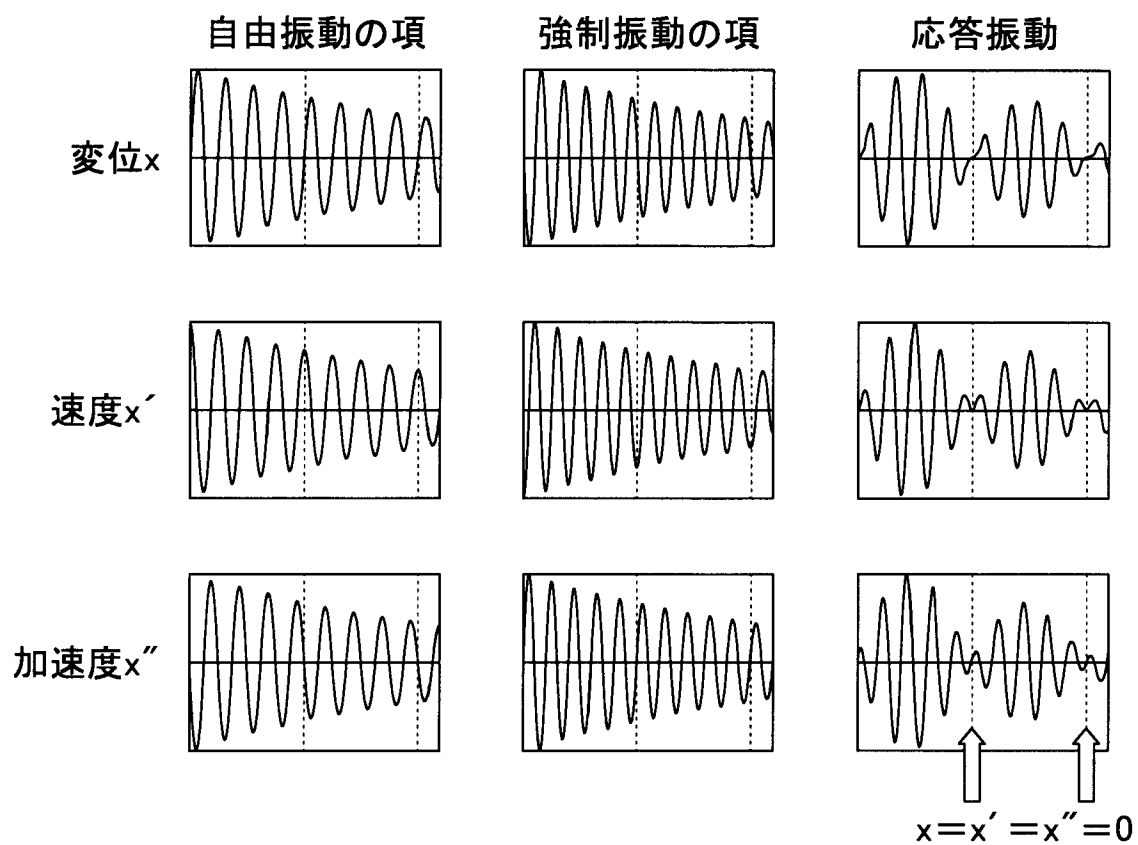
[図20]



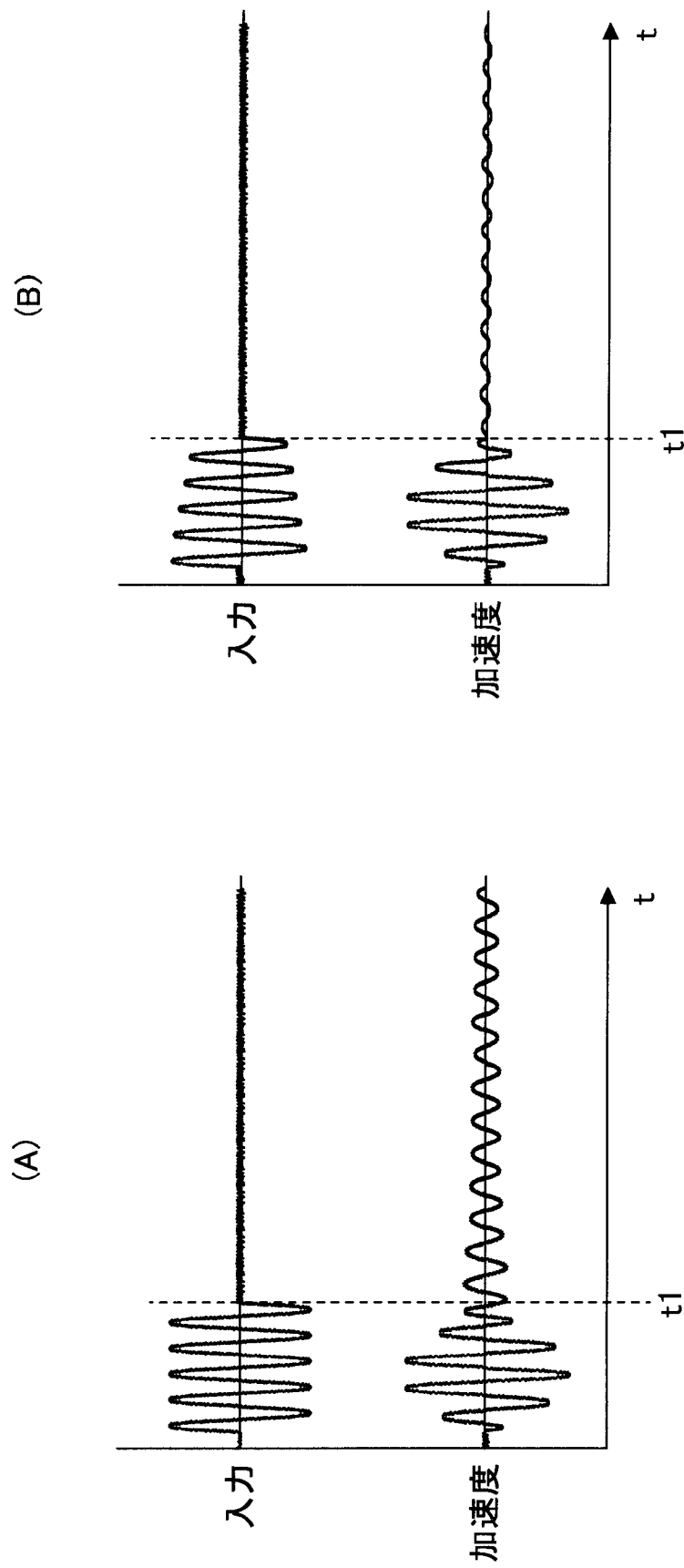
[図21]



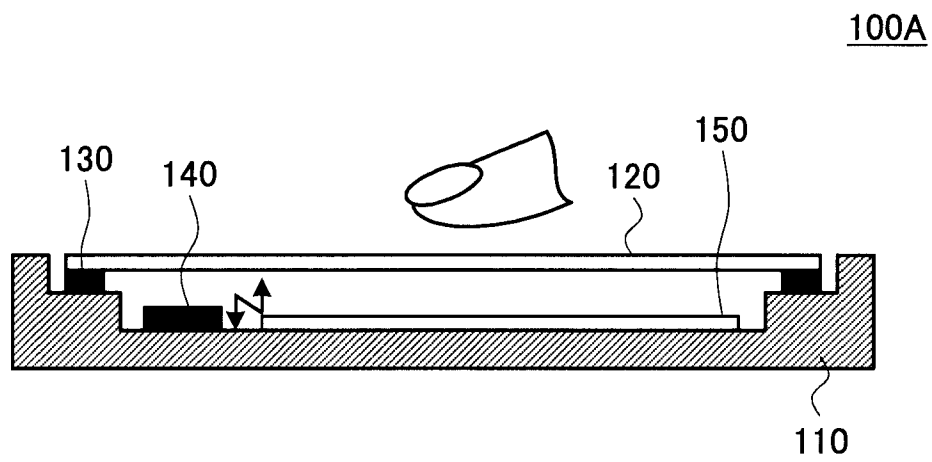
[図22]



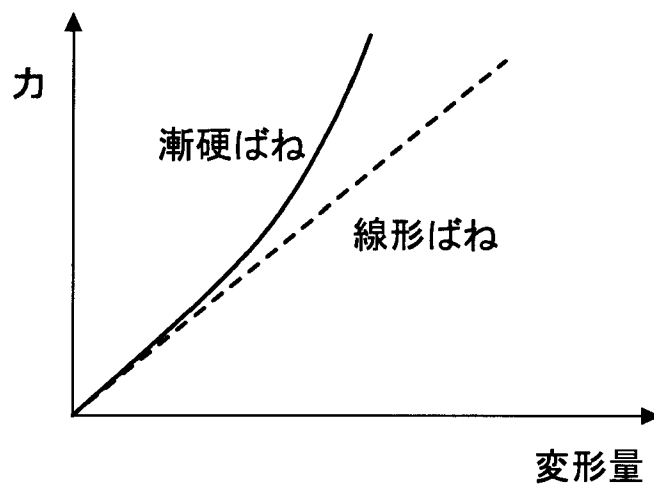
[図23]



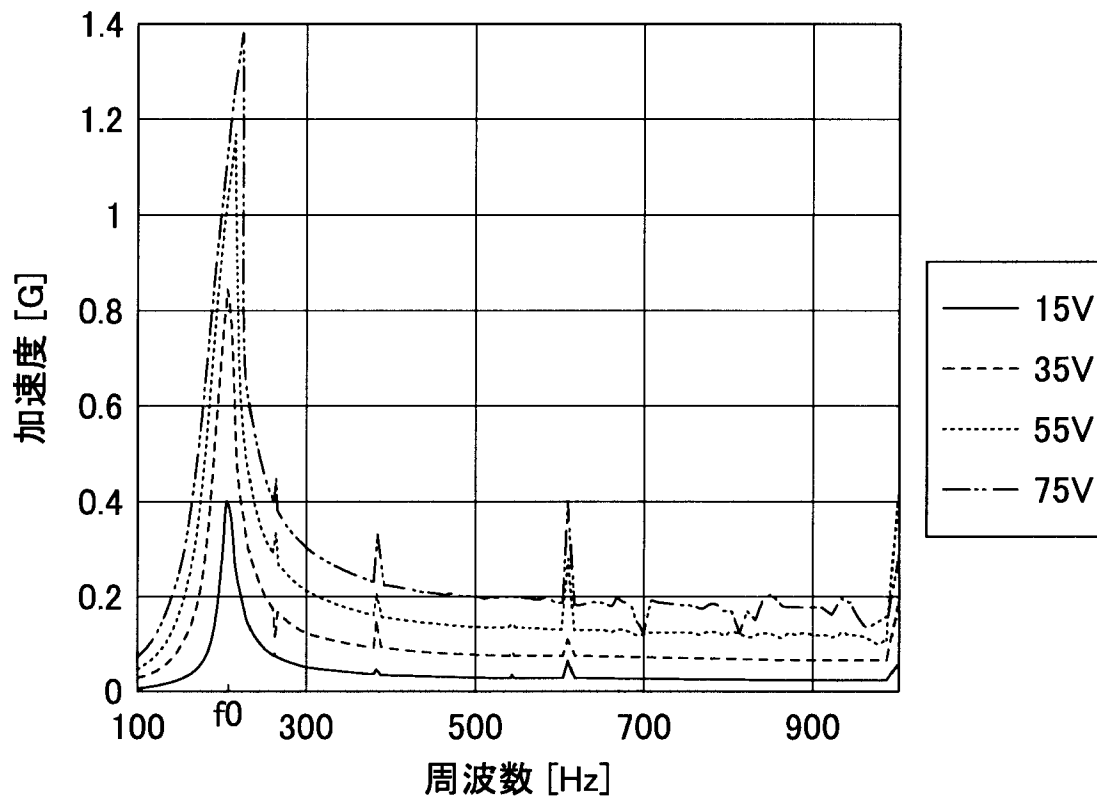
[図24]



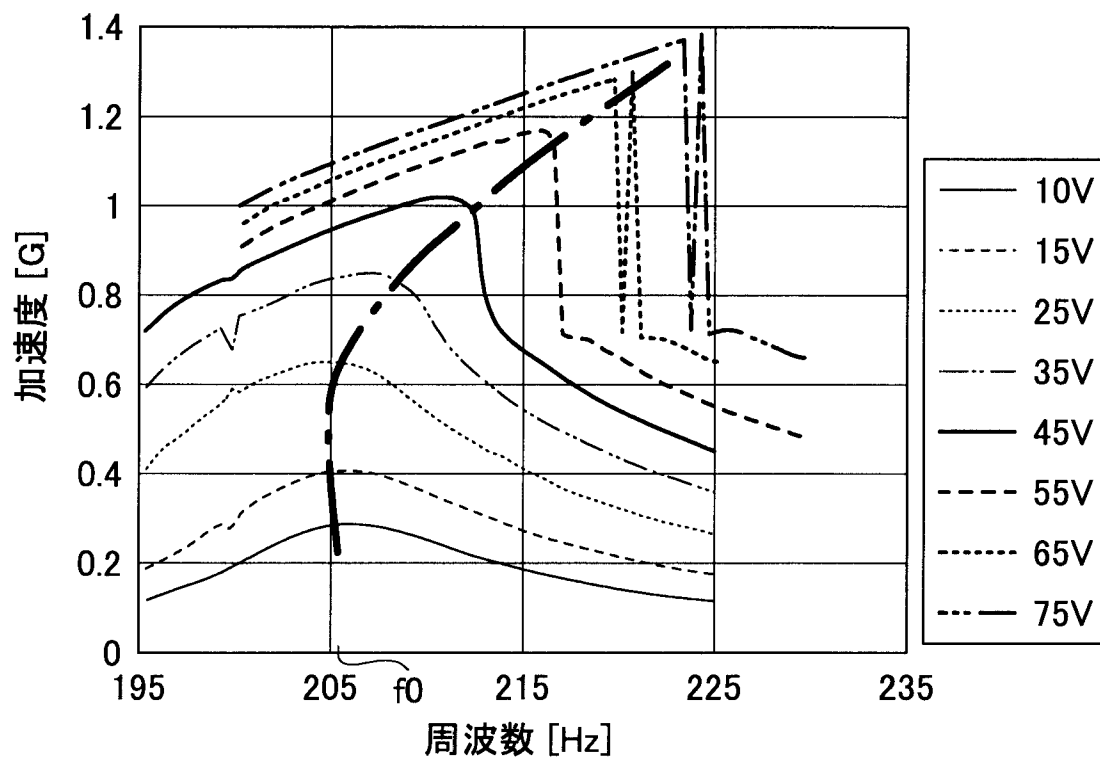
[図25]



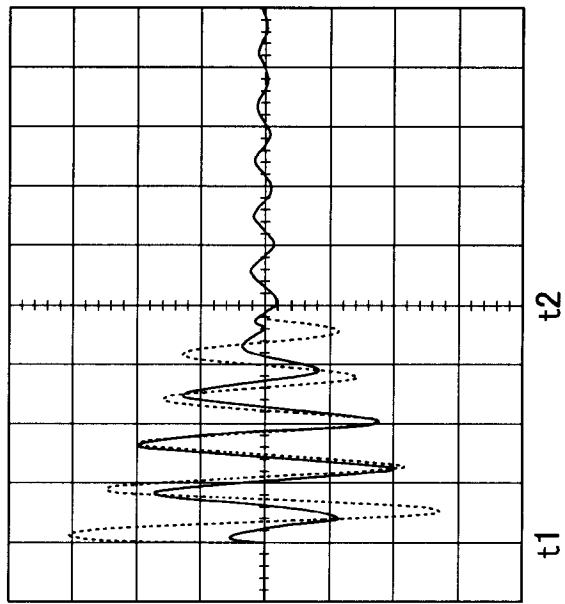
[図26]



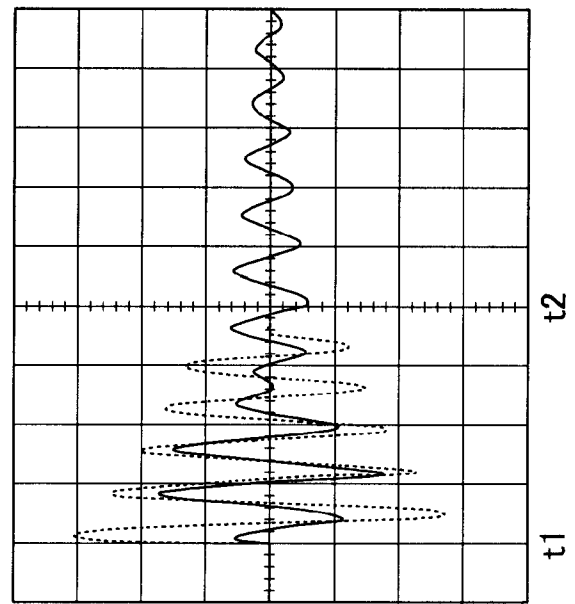
[図27]



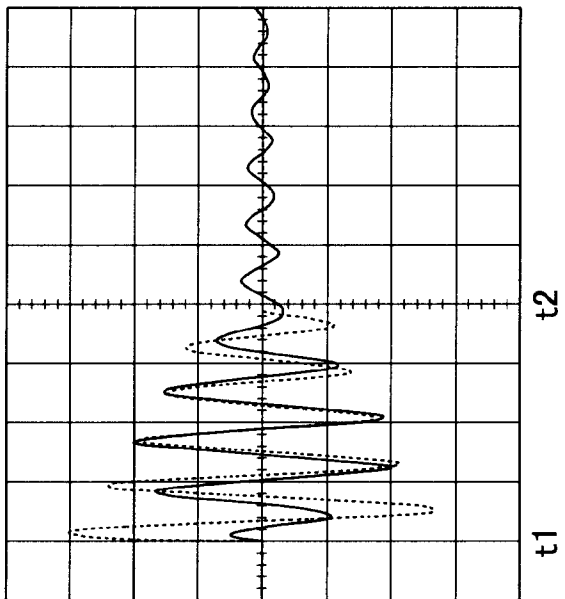
[図28]



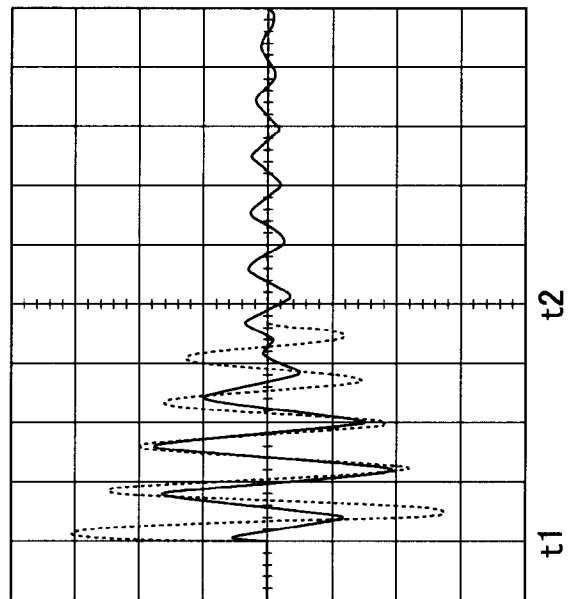
(B)



(D)

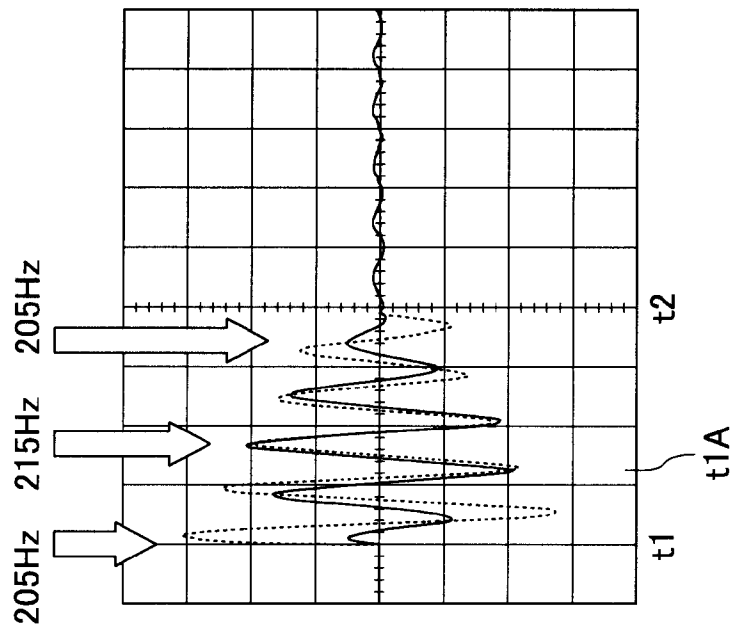


(A)

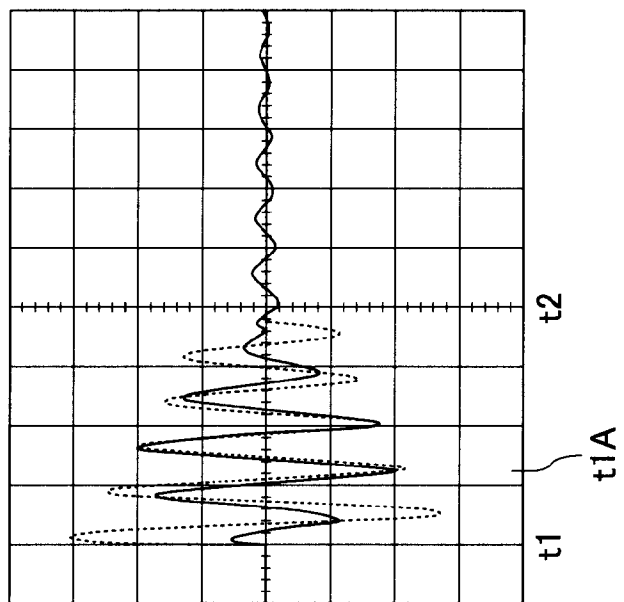


(C)

[図29]

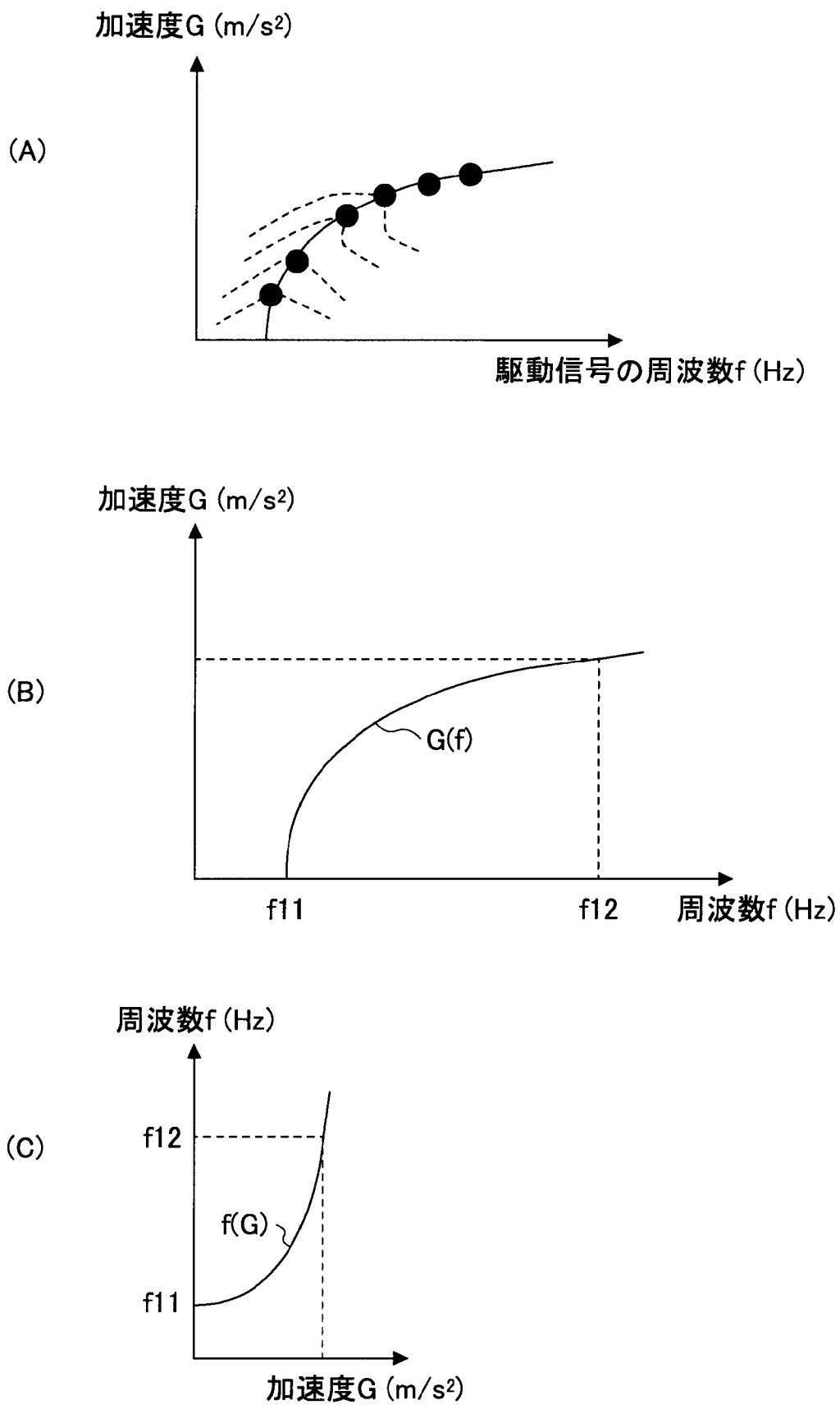


(B)

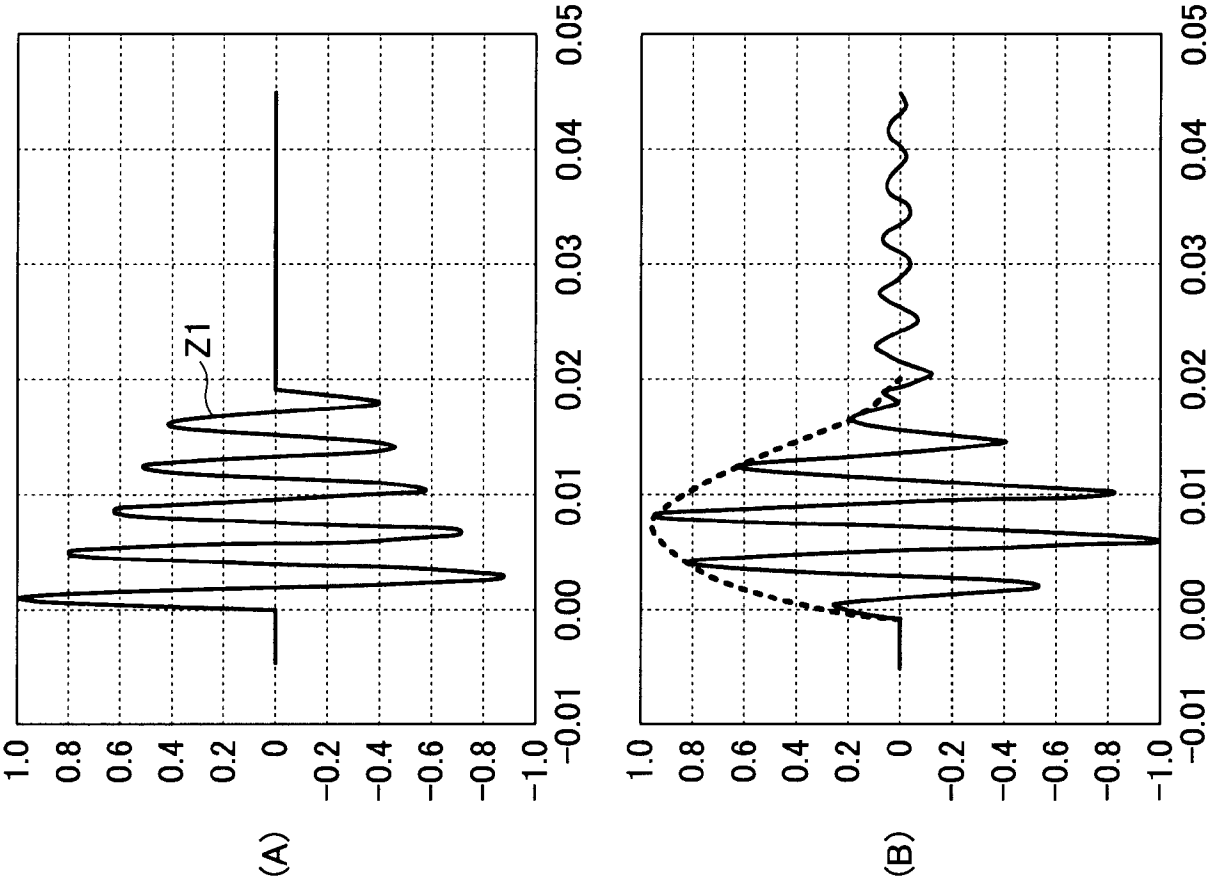


(A)

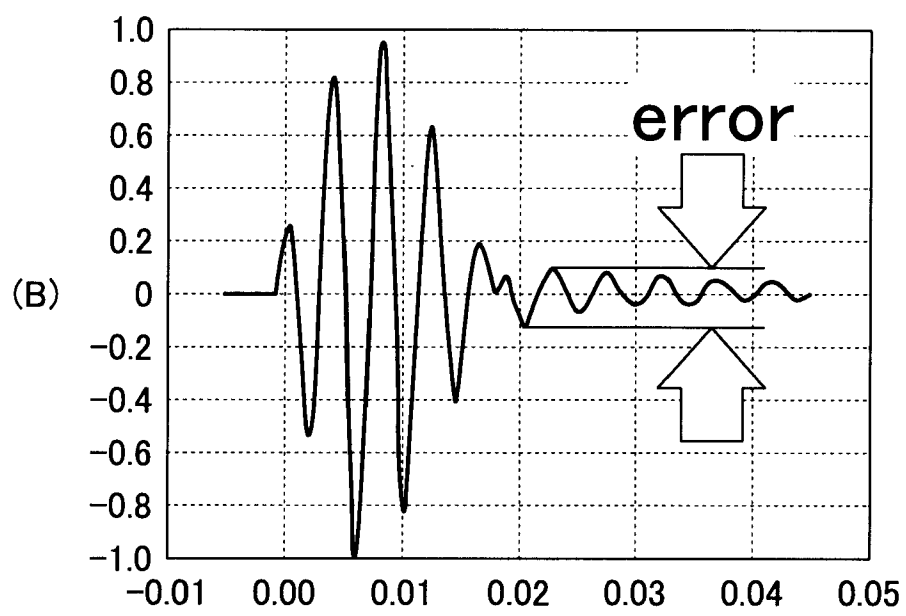
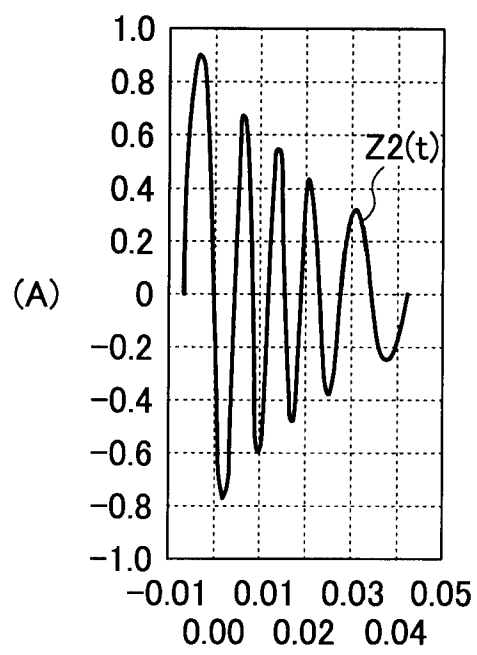
[図30]



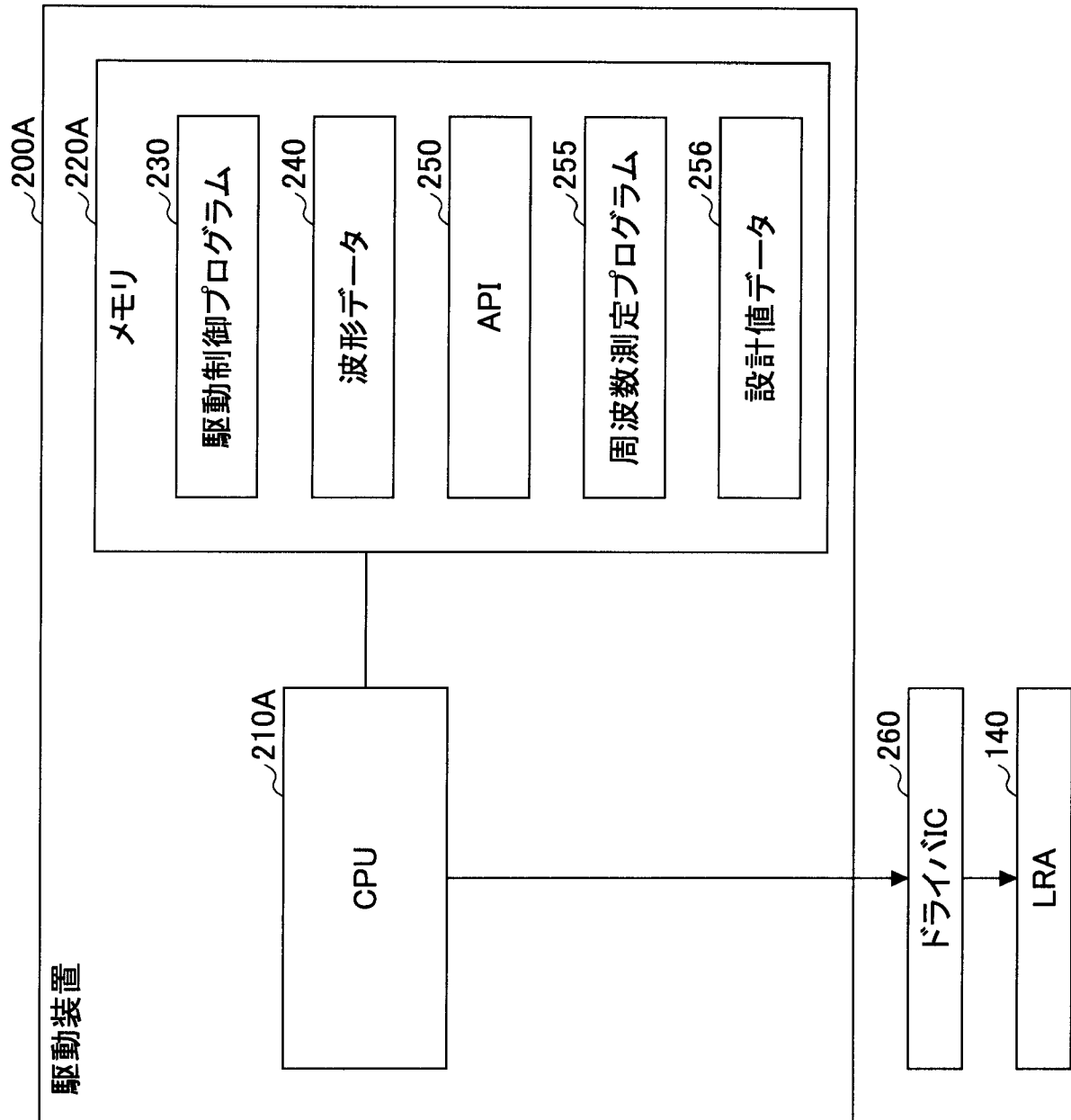
[図31]



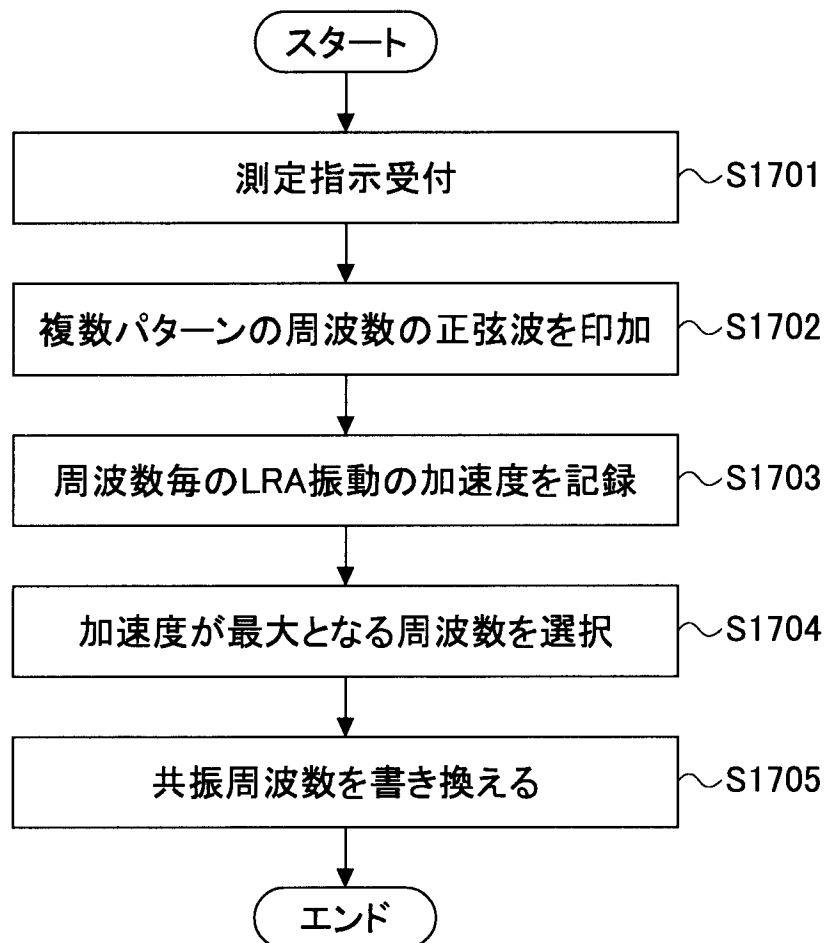
[図32]



[図33]



[図34]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/082803

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B06B1/04(2006.01)i, B06B1/06(2006.01)i, G06F3/041(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)

B06B1/04, B06B1/06, G06F3/041

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	1996-2014
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2014	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2014

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.
A	JP 2002-149312 A (NTT Docomo Inc.), 24 May 2002 (24.05.2002), entire text; all drawings & US 2002/0149561 A1 & EP 1310860 A1 & WO 2002/012991 A1 & AU 7671901 A & AU 770872 B & CN 1392977 A	1-7
A	JP 2010-287232 A (Immersion Corp.), 24 December 2010 (24.12.2010), entire text; all drawings & US 2010/0309141 A1 & EP 2264562 A2 & CN 101980115 A	1-7

☒ 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
04 March, 2014 (04.03.14)

Date of mailing of the international search report
11 March, 2014 (11.03.14)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/082803

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 2010-506499 A (Immersion Corp.), 25 February 2010 (25.02.2010), entire text; all drawings & US 2008/0084384 A1 & EP 2069888 A1 & WO 2008/045694 A1 & CN 101523329 A & KR 10-2009-0078342 A	1-7
A	JP 2011-501296 A (Immersion Corp.), 06 January 2011 (06.01.2011), entire text; all drawings & US 8325144 B1 & EP 2198422 A1 & WO 2009/051976 A1 & KR 10-2010-0083826 A & CN 101828217 A	1-7
A	JP 2008-521597 A (Immersion Corp.), 26 June 2008 (26.06.2008), entire text; all drawings & JP 2012-20284 A & JP 4997114 B2 & US 2006/0119573 A1 & EP 1817121 A1 & WO 2006/071449 A1 & KR 10-2007-0086834 A & KR 10-2008-0092482 A & KR 10-2011-0095967 A & KR 10-1179777 B1	1-7

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. B06B1/04(2006.01)i, B06B1/06(2006.01)i, G06F3/041(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. B06B1/04, B06B1/06, G06F3/041

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 4年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6－2 0 1 4年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4－2 0 1 4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
A	JP 2002-149312 A（株式会社エヌ・ティ・ティ・ドコモ）2002. 05. 24, 全文、全図 & US 2002/0149561 A1 & EP 1310860 A1 & WO 2002/012991 A1 & AU 7671901 A & AU 770872 B & CN 1392977 A	1-7
A	JP 2010-287232 A（イマージョン・コーポレーション）2010. 12. 24, 全文、全図 & US 2010/0309141 A1 & EP 2264562 A2 & CN 101980115 A	1-7

☒ 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

0 4 . 0 3 . 2 0 1 4

国際調査報告の発送日

1 1 . 0 3 . 2 0 1 4

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）

尾家 英樹

3 V

9 3 3 5

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 3 5 7

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 2010-506499 A (イマーシジョン・コーポレイション) 2010. 02. 25, 全文、全図 & US 2008/0084384 A1 & EP 2069888 A1 & WO 2008/045694 A1 & CN 101523329 A & KR 10-2009-0078342 A	1-7
A	JP 2011-501296 A (イマージョン・コーポレイション) 2011. 01. 06, 全文、全図 & US 8325144 B1 & EP 2198422 A1 & WO 2009/051976 A1 & KR 10-2010-0083826 A & CN 101828217 A	1-7
A	JP 2008-521597 A (イマージョン・コーポレイション) 2008. 06. 26, 全文、全図 & JP 2012-20284 A & JP 4997114 B2 & US 2006/0119573 A1 & EP 1817121 A1 & WO 2006/071449 A1 & KR 10-2007-0086834 A & KR 10-2008-0092482 A & KR 10-2011-0095967 A & KR 10-1179777 B1	1-7