

(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
2014 年 10 月 2 日(02.10.2014)



(10) 国際公開番号

WO 2014/157495 A1

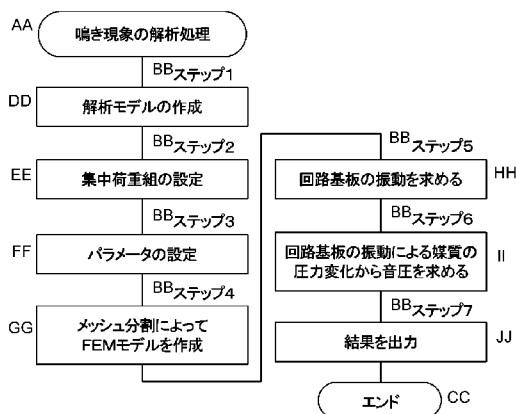
- (51) 国際特許分類:
G06F 17/50 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2014/058809
- (22) 国際出願日: 2014 年 3 月 27 日(27.03.2014)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2013-069619 2013 年 3 月 28 日(28.03.2013) JP
- (71) 出願人: 株式会社村田製作所(MURATA MANUFACTURING CO., LTD.) [JP/JP]; 〒6178555 京都府長岡京市東神足 1 丁目 1 〇 番 1 号 Kyoto (JP).
- (72) 発明者: 三船 洋嗣(MIFUNE Hiroshi); 〒6178555 京都府長岡京市東神足 1 丁目 1 〇 番 1 号 株式会社村田製作所内 Kyoto (JP). 日高 青路(HIDAKA Seiji); 〒6178555 京都府長岡京市東神足 1 丁目 1 〇 番 1 号 株式会社村田製作所内 Kyoto (JP). 藤井 裕雄(FUJII Yasuo); 〒6178555 京都府長岡京市東神足 1 丁目 1 〇 番 1 号 株式会社村田製作所内 Kyoto (JP).
- (74) 代理人: 広瀬 和彦(HIROSE Kazuhiko); 〒1600023 東京都新宿区西新宿 3 丁目 1 番 2 号 H A P 西新宿ビル 4 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), ユーロピア (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).

[続葉有]

(54) Title: ANALYSIS DEVICE AND ANALYSIS METHOD

(54) 発明の名称: 解析装置および解析方法

Fig.4



AA Analysis process for phenomenon of screech
BB Step
CC End
DD Create analytical model
EE Establish concentrated load grouping
FF Establish parameter
GG Create FEM model through mesh division
HH Calculate vibration of circuit board
II Calculate acoustic pressure from pressure changes of medium due to vibration of circuit board
JJ Output result

(57) Abstract: This analysis device (11) constructs an analytical model (21) from a circuit board (22) and a medium (M), as well as providing a concentrated load grouping (CLG) comprising concentrated loads (CLa) - (CLd) on the circuit board (22). At this time, the concentrated loads (CLa) - (CLd) are established in such a way that the sum of the mutual vectors is zero, and the torque relating to the center of gravity is zero. The analysis device (11), applying a finite element technique to the analytical model (21), calculates vibration of the circuit board (22) when the concentrated loads (CLa) - (CLd) are vibrated at a constant cycle. Pressure changes of the medium (M) are computed from the vibration of the circuit board (22), and the pressure changes are converted to acoustic pressure.

(57) 要約: 解析装置 (11) は、回路基板 (22) と媒質 (M) によって解析モデル (21) を構築すると共に、回路基板 (22) に集中荷重 (CLa) ~ (CLd) からなる集中荷重組 (CLG) を与える。このとき、集中荷重 (CLa) ~ (CLd) は、互いのベクトルの和が零になり、かつ重心に関するトルクが零になるように設定する。解析装置 (11) は、解析モデル (21) に有限要素法を適用し、集中荷重 (CLa) ~ (CLd) が一定周期で振動したときの回路基板 (22) の振動を求める。この回路基板 (22) の振動から媒質 (M) の圧力変化を演算し、この圧力変化を音圧に換算する。



添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称： 解析装置および解析方法

技術分野

[0001] 本発明は、積層セラミックコンデンサを実装した回路基板の鳴き現象を解析する解析装置および解析方法に関する。

背景技術

[0002] 圧電体である積層セラミックコンデンサは電圧を印加すると変形する。周期的に変化する電圧を印加すると、その周期に応じて積層セラミックコンデンサは収縮する。このとき、積層セラミックコンデンサを実装している回路基板全体が振動し、音が発生することが知られている（例えば、非特許文献1，2参照）。例えば携帯電話の回路基板に積層セラミックコンデンサを実装したときに、このような鳴き現象が生じると、回路基板が耳の近傍に位置するため、小さな音でも気になる。そこで、鳴き現象の対策を講じるために、有限要素法を用いて積層セラミックコンデンサを実装した回路基板の振動解析が行われている。

先行技術文献

非特許文献

[0003] 非特許文献1：積層商品事業部積層コンデンサ実装技術部，「チップ積層セラミックコンデンサの「鳴き」の発生要因と実装方法による対策」，メタモルフォシス，株式会社村田製作所，2008年12月，No.14，p.36-37
非特許文献2：Nicolas Guibourg，“Reducing MLCCs’ piezoelectric effects and audible noise”，[online]，2012年9月，EDN，インターネット<URL：<http://www.edn.com/design/components-and-packaging/4397351/Reducing-MLCCs-piezoelectric-effects-and-audible-noise-?cid=EDNToday>>

発明の概要

[0004] ところで、従来技術による鳴き現象の解析では、積層セラミックコンデンサ、回路基板および媒質（例えば空気）の3種類の立体を備えた計算モデル

(解析モデル)を用いている。このとき、積層セラミックコンデンサは、圧電体、外部電極、内部電極、半田、ランドパターン等で構成されている。このため、有限要素法による解析を行う際には、立体的な積層セラミックコンデンサを反映させて計算モデルをメッシュ分割した上で、隣接したメッシュの物理量が矛盾無く連続するようにモデル全体に亘って物理量を求めている。

[0005] しかし、積層セラミックコンデンサが詳細な立体モデルであるために、メッシュの数が多くなり、計算に必要なメモリ使用量が増加すると共に、計算時間も長くなる傾向がある。また、回路基板には多数（例えば10個以上）の積層セラミックコンデンサが使用されることがあり、このような回路基板に関する鳴き現象を解析するときには、メモリ使用量と計算時間が飛躍的に増加するという問題がある。

[0006] 本発明は上述した従来技術の問題に鑑みなされたもので、本発明の目的は、メモリ使用量と計算時間を削減することができる解析装置および解析方法を提供することにある。

[0007] (1)、上述した課題を解決するために、本発明は、有限要素法を用いて積層セラミックコンデンサを実装した回路基板の鳴き現象を解析する解析装置であって、前記回路基板と媒質とによって解析モデルを構築するモデル構築手段と、互いのベクトルの和が零になり、かつ重心に関するトルクが零になる複数の集中荷重からなる集中荷重組を、前記積層セラミックコンデンサに対応して前記解析モデルの前記回路基板に与える集中荷重組付与手段と、前記各集中荷重の大きさが時間的に周期変化したときに、前記集中荷重組を与えた前記回路基板の振動を求める基板振動演算手段と、前記回路基板の振動による前記媒質の圧力変化に基づいて前記媒質中の音圧を求める音圧演算手段とを備える。

[0008] 本発明によれば、解析モデルの回路基板には、複数の集中荷重からなる集中荷重組を与える。このとき、回路基板の移動や回転が生じないように、複数の集中荷重は、互いのベクトルの和が零になり、かつ重心に関するトルク

が零に設定する。これにより、積層セラミックコンデンサによって回路基板に作用する荷重を、集中荷重組による複数の集中荷重に置き換えることができる。この結果、回路基板と媒質とからなる解析モデルに対して有限要素法を用いた振動解析を行えばよいから、積層セラミックコンデンサとして3次元の立体モデルを用いた場合に比べて、メッシュの分割数を低減して、メモリ使用量および計算時間を抑制することができる。

[0009] (2) . 本発明では、前記音圧の計算値と実測値とが近い値となるように、前記集中荷重の場所と大きさの設定値を決める設定値決定手段をさらに備える。

[0010] 本発明によれば、設定値決定手段は、音圧の計算値と実測値とが近い値となるように、集中荷重の場所と大きさの設定値を決める。このため、音圧演算手段は、実際に測定した実測値に近い値となった音圧を求めることができる。また、積層セラミックコンデンサとして3次元の立体モデルを用いた場合には、積層セラミックコンデンサの構造が複雑なために、モデル化が不十分なことが多く、実測値との乖離が大きくなる傾向がある。これに対し、本発明では、積層セラミックコンデンサによって回路基板に作用する荷重を複数の集中荷重によって置き換えるから、それぞれの集中荷重の場所と大きさを調整することによって、音圧の計算値を実測値に近付けることができ、音圧の演算精度を高めることができる。

[0011] (3) . 本発明では、前記設定値決定手段は、前記音圧の周波数特性を求めたときに、前記音圧の極大値が生じる周辺帯域で前記音圧の計算値と実測値とが近い値となるように、前記集中荷重の場所と大きさの設定値を決める。

[0012] 本発明によれば、設定値決定手段は、音圧の極大値が生じる周辺帯域で音圧の計算値と実測値とが近い値となるように、集中荷重の場所と大きさの設定値を決める。このため、音圧の計算値と実測値とを全ての帯域で近付けた場合に比べて、集中荷重の設定値を決定するまでに必要な計算時間を短縮することができる。また、音圧の実測値は、極大値の周辺帯域の方が他の周波

数領域に比べて高精度で測定できるから、高精度な音圧の実測値に応じて、集中荷重の場所と大きさの設定値を決めることができ、音圧の演算精度を高めることができる。

[0013] (4) . 本発明では、前記設定値決定手段によって、前記積層セラミックコンデンサの種類毎に前記集中荷重の場所と大きさの設定値を求めて、これらの設定値をライブラリに登録するライブラリ登録手段と、前記積層セラミックコンデンサの種類に応じた前記集中荷重の設定値を前記ライブラリから選択する設定値選択手段とをさらに備える。

[0014] 本発明によれば、ライブラリ登録手段は、複数種類の積層セラミックコンデンサにおける集中荷重の場所と大きさの設定値をライブラリに登録する。このため、集中荷重の場所と大きさの設定値を改めて求める必要がなく、設定値選択手段が積層セラミックコンデンサの種類に応じた集中荷重の設定値をライブラリから選択することによって、回路基板の鳴き現象を容易に解析することができる。

[0015] (5) . 本発明は、有限要素法を用いて積層セラミックコンデンサを実装した回路基板の鳴き現象を解析する解析方法であって、前記回路基板と媒質とによって解析モデルを構築するモデル構築工程と、互いのベクトルの和が零になり、かつ重心に関するトルクが零になる複数の集中荷重からなる集中荷重組を、前記積層セラミックコンデンサに対応して前記解析モデルの前記回路基板に与える集中荷重組付与工程と、前記各集中荷重の大きさが時間的に周期変化したときに、前記集中荷重組を与えた前記回路基板の振動を求める基板振動演算工程と、前記回路基板の振動による前記媒質の圧力変化に基づいて前記媒質中の音圧を求める音圧演算工程とを備える。

[0016] 本発明によれば、集中荷重組付与工程によって、解析モデルの回路基板に、複数の集中荷重からなる集中荷重組を与える。このとき、回路基板の移動や回転が生じないように、複数の集中荷重は、互いのベクトルの和が零になり、かつ重心に関するトルクが零に設定する。これにより、積層セラミックコンデンサによって回路基板に作用する荷重を、集中荷重組による複数の集

中荷重に置き換えることができる。この結果、回路基板と媒質とからなる解析モデルに対して有限要素法を用いた振動解析を行えばよいから、積層セラミックコンデンサとして3次元の立体モデルを用いた場合に比べて、メッシュの分割数を低減して、メモリ使用量および計算時間を抑制することができる。

図面の簡単な説明

- [0017] [図1]回路基板に積層セラミックコンデンサを実装した状態を示す斜視図である。
- [図2]積層セラミックコンデンサを図1中の矢示II-II方向からみた断面図である。
- [図3]本発明の第1の実施の形態による解析装置を示す構成図である。
- [図4]図3中の解析装置による鳴き現象の解析処理を示す流れ図である。
- [図5]回路基板と媒質とからなる解析モデルを示す斜視図である。
- [図6]解析モデルにおける音圧の観測点を示す説明図である。
- [図7]回路基板に集中荷重組を与えた状態を示す拡大斜視図である。
- [図8]集中荷重組に含まれる4個の集中荷重の配置関係を示す平面図である。
- [図9]図5中の解析モデルをメッシュ分割した有限要素モデルを示す斜視図である。
- [図10]図9中の回路基板のうち集中荷重組の近傍を拡大して示す斜視図である。
- [図11]比較例による積層セラミックコンデンサの立体モデルを示す図10と対応した位置の斜視図である。
- [図12]比較例および第1の実施の形態について、音圧の周波数特性を示す特性線図である。
- [図13]比較例および第1の実施の形態について、積層セラミックコンデンサの個数と計算時間との関係を示す特性線図である。
- [図14]積層セラミックコンデンサの個数と比較例に対する計算時間の比率との関係を示す特性線図である。

[図15]本発明の第2の実施の形態による解析装置を示す構成図である。

[図16]図15中の測定装置を示す構成図である。

[図17]図15中の解析装置によるパラメータの導出処理を示す流れ図である。

[図18]図15中の解析装置による鳴き現象の解析処理を示す流れ図である。

[図19]集中荷重のパラメータを記録したライブラリを示す説明図である。

[図20]集中荷重のパラメータと残差2乗平均との関係を示す特性線図である。

[図21]パラメータの初期値を用いたときに、解析装置によって算出した音圧の周波数特性を示す特性線図である。

[図22]導出後のパラメータの設定値を用いたときに、解析装置によって算出した音圧の周波数特性を示す特性線図である。

[図23]回路基板に10個の集中荷重組を与えたときの解析モデルを示す斜視図である。

[図24]図23中の解析モデルをメッシュ分割した有限要素モデルを示す斜視図である。

[図25]実測値、比較例および第2の実施の形態について、音圧の周波数特性を示す特性線図である。

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よる解析装置について添付図面に従って詳細に説明する。

[0019] まず、鳴き現象の解析対象となる積層セラミックコンデンサ1（以下、MLCC1という）および回路基板7について説明する。

[0020] 図1および図2に示すように、MLCC1は、圧電体2、外部電極3、4、内部電極5、6を備える。圧電体2は、圧電性を有する絶縁材料によって形成され、例えば直方体形状をなしている。圧電体2の外部には、その長さ方向（X方向）の両端に位置して、外部電極3、4がそれぞれ設けられる。

[0021] 圧電体2の内部には、複数枚の内部電極5、6が厚さ方向（Z方向）に交

互に積み重ねられている。内部電極 5 は、一方の外部電極 3 に電氣的に接続され、内部電極 6 は、他方の外部電極 4 に電氣的に接続されている。また、内部電極 5 と内部電極 6 とは互いに離間して電氣的に絶縁されている。なお、内部電極 5、6 は、厚さ方向（Z 方向）に限らず、例えば幅方向（Y 方向）に積み重ねてもよい。

[0022] MLC C 1 の外部電極 3、4 は、回路基板 7 のランドパターン 8 に半田 9 によって接合される。これにより、MLC C 1 は、回路基板 7 に実装される。外部電極 3、4 に周期的に変化する電圧を印加すると、その周期に応じて MLC C 1 は例えば厚さ方向（Z 方向）や長さ方向（X 方向）に収縮する。この MLC C 1 の収縮によって、回路基板 7 全体が振動し、音が発生する。

[0023] 次に、本発明の第 1 の実施の形態による解析装置 11 について、図 3 ないし図 10 を参照しつつ説明する。

[0024] 図 3 は、第 1 の実施の形態による解析装置 11 の全体構成を示している。解析装置 11 は、コンピュータ 12 によって構成される。このコンピュータ 12 は、後述の解析プログラム等を格納する ROM、RAM 等からなる記憶部 12A を備えると共に、その出力側が表示装置 13 に接続される。そして、コンピュータ 12 は、図 4 に示す有限要素法を用いた解析処理のプログラムを実行することによって、回路基板 22 による鳴き現象を解析する。

[0025] 具体的には、図 5 および図 6 に示すように、回路基板 22 と媒質 M によって解析モデル 21 を構築すると共に、MLC C 1 の振動を集中荷重 CLa~CLd の振動に置き換えて、回路基板 22 に与える。この解析モデル 21 に対して、有限要素法に基づく振動や圧力変化の解析を行い、予め決められた観測点 P での音圧を求める。この操作を、集中荷重 CLa~CLd の振動周波数を変化させながら繰り返し、観測点 P での音圧の周波数特性を取得する。コンピュータ 12 は、このようにして得られた音圧の周波数特性を表示装置 13 に表示する。

[0026] 次に、解析装置 11 による鳴き現象の解析処理について、図 4 を参照しつつ説明する。

- [0027] ステップ1では、回路基板22および回路基板22を覆う例えば空気等の媒質Mによって解析モデル21を構築する（図5参照）。このとき、回路基板22は、MLCC1を省いた回路基板7に対応する。また、解析モデル21は、例えば円形の底面を有する半球状に形成されると共に、媒質Mの底面と回路基板22の底面は同一平面上に配置される。これに加え、解析モデル21の底面の中心位置には、回路基板22の中心位置が配置される。このため、底面上で媒質Mの中心と回路基板22の中心は、互いに一致している。
- [0028] なお、解析モデル21は、例えば演算負荷の軽減を考慮して前述の構成を採用したが、この構成に限るものではない。即ち、解析モデル21は、半球状に限らず、例えば球状、立方体状、円柱状、多面体状等でもよい。また、回路基板22の位置や形状も適宜変更することができる。
- [0029] ステップ2では、4個の集中荷重CLa～CLdからなる集中荷重組CLGを解析モデル21中の回路基板22に与える。このとき、4個の集中荷重CLa～CLdは、互いのベクトルの和が零になり、かつ重心Gに関するトルクが零になるように設定される。
- [0030] 図7および図8に、集中荷重CLa～CLdの配置の具体例を示す。図8に示すように、集中荷重CLa、CLbは、回路基板22を平面視したときに、MLCC1の重心Gを通るX軸上であって、MLCC1のX方向（長さ方向）両端に対応する位置に配置される。一方、集中荷重CLc、CLdは、回路基板22を平面視したときに、MLCC1の重心Gを通るY軸上であって、MLCC1のY方向（幅方向）両端に対応する位置に配置される。このため、集中荷重CLa～CLdは菱形状に配置される。このとき、集中荷重組CLGは、MLCC1の長さ寸法と同じ長さ寸法Lを有すると共に、MLCC1の幅寸法と同じ幅寸法Wを有する。集中荷重組CLGの長さ寸法Lと幅寸法Wのうち長い方（長さ寸法L）の方向と、回路基板22の長辺の方向とは互いに一致している。同様に、長さ寸法Lと幅寸法Wのうち短い方（幅寸法W）の方向と、回路基板22の短辺の方向とは互いに一致している。
- [0031] そして、集中荷重CLa、CLbは、互いに逆方向で大きさの等しいX方向

成分（パラメータ F_x ）を備えると共に、同方向で大きさの等しい Z 方向成分（パラメータ F_z ）を備える。集中荷重 $C L_c$ 、 $C L_d$ は、互いに逆方向で大きさの等しい Y 方向成分（パラメータ F_y ）を備えると共に、同方向で大きさの等しい Z 方向成分（パラメータ F_z ）を備える。集中荷重 $C L_a$ 、 $C L_b$ の Z 方向成分と集中荷重 $C L_c$ 、 $C L_d$ の Z 方向成分とは、互いに逆方向で大きさが等しくなっている。これにより、4 個の集中荷重 $C L_a \sim C L_d$ は、互いのベクトルの和が零になり、かつ重心 G に関するトルクが零になる。

[0032] なお、集中荷重組 $C L G$ は、4 個の集中荷重 $C L_a \sim C L_d$ によって構成した場合を例示したが、平面的な荷重分布を与えることができれば、4 個に限るものではない。即ち、集中荷重組 $C L G$ は、3 個の集中荷重によって構成してもよく、5 個以上の集中荷重によって構成してもよい。また、4 個の集中荷重 $C L_a \sim C L_d$ の配置も、前述の位置に限るものではなく、適宜変更してもよい。このため、集中荷重組 $C L G$ の長さ寸法 L および幅寸法 W も、前述した値に限らず、 $M L C C 1$ の振動が回路基板 22 に反映される範囲で、適宜変更することができる。

[0033] ステップ 3 では、集中荷重 $C L_a \sim C L_d$ のパラメータ L 、 W 、 F_x 、 F_y 、 F_z の値を設定する。このとき、パラメータ L は、集中荷重組 $C L G$ の X 方向（長さ方向）の寸法を示し、パラメータ W は、集中荷重組 $C L G$ の Y 方向（幅方向）の寸法を示している。また、パラメータ F_x は、集中荷重組 $C L G$ の X 方向の荷重の力の大きさを示し、パラメータ F_y は、集中荷重組 $C L G$ の Y 方向の荷重の力の大きさを示し、パラメータ F_z は、集中荷重組 $C L G$ の Z 方向の荷重の力の大きさを示している。このとき、パラメータ F_x 、 F_y 、 F_z の単位は、いずれも $[N]$ （ニュートン）である。

[0034] パラメータ L 、 W の値は、例えば $M L C C 1$ の長さ寸法と幅寸法に設定される。一方、パラメータ F_x 、 F_y 、 F_z の値は、例えば実際の $M L C C 1$ による測定結果等を考慮して適当な数値が設定される。

[0035] ステップ 4 では、解析モデル 21 を有限個の多数の要素に分割した有限要素モデル（以下、FEM モデル 23 という）を作成する。具体的には、図 9

に示すように、解析モデル 2 1 中の回路基板 2 2 と媒質 M に対して、これらの基準形状をモデル化して、メッシュ分割によって複数の有限要素に分割された F E M モデル 2 3 を作成する。

[0036] 要素としては、4 面体ソリッド要素、5 面体ソリッド要素、6 面体ソリッド要素等が挙げられ、これらの要素は 3 次元座標（例えば、回路基板 2 2 の長さ方向を X 軸、回路基板 2 2 の幅方向を Y 軸、上下方向を Z 軸とする X Y Z 座標）を用いて逐一特定される。そして、メッシュ内の応力や変位などの物理量をコンピュータ 1 2 のメモリに割り当てる。なお、解析結果の精度を高めつつ、演算時間の低減を図るために、メッシュ分割時には、集中荷重組 C L G の周囲では、その他の部分に比べてメッシュを細かく形成する（図 1 0 参照）。

[0037] ステップ 5 では、F E M モデル 2 3 中の回路基板 2 2 について、剛性方程式に基づく連立方程式を解き、回路基板 2 2 の振動を求める。このとき、集中荷重組 C L G の集中荷重 C L a ~ C L d を、予め決められた周波数帯域 B の範囲内において周波数 f で正弦波状に振動させる。そして、所定の周波数間隔（例えば 1 0 0 H z）毎に周波数 f を変化させながら、それぞれの周波数 f における回路基板 2 2 の振動を求める。これにより、周波数帯域 B での回路基板 2 2 の振動が求まる。

[0038] このとき、周波数 f は、例えば人間の聴覚感度が高い 1 0 k H z 以下の周波数帯域 B の範囲内に設定される。なお、周波数帯域 B は、人間の聴覚感度が高い帯域として、例えば 1 0 k H z 以下に設定されるものとしたが、必要に応じて人間の可聴帯域の上限周波数である 2 0 k H z 程度まで広げてよい。

[0039] ステップ 6 では、F E M モデル 2 3 中の媒質 M について、流体の運動に関する方程式に基づく連立方程式を解き、回路基板 2 2 の振動の基づく媒質 M の圧力変化を求める。そして、この圧力変化を音圧に換算し、観測点 P における音圧を求める。

[0040] このとき、ステップ 5 によって、集中荷重 C L a ~ C L d が振動する周波数

f 毎に回路基板 2 2 の振動が演算されているから、周波数 f 毎の音圧レベルを求めることができる。このため、周波数帯域 B における音圧の周波数特性を求めることができ、この音圧の周波数特性を計算値として記録する。

[0041] なお、観測点 P は、回路基板 2 2 の振動によって音圧レベルが変化する位置として、例えば M L C C 1 の真上で回路基板 2 2 から垂直方向に所定の距離寸法 d (例えば $d = 3 \text{ mm}$) だけ離れた位置に設定される (図 6 参照)。

[0042] また、観測点 P は、前述の位置に限らず、解析モデル 2 1 の範囲内であって、回路基板 2 2 の振動によって音圧レベルが変化する範囲であれば、回路基板 2 2 の周囲のいずれの位置でもよい。但し、音圧レベルの大きさを考慮すると、観測点 P は、振動源となる M L C C 1 の真上に設定するのが好ましい。

[0043] ステップ 7 では、ステップ 6 によって記録した音圧の周波数特性を表示装置 1 3 に表示する。その後、処理を終了する。

[0044] 次に、集中荷重組 C L G を用いた解析装置 1 1 と、M L C C 1 の立体モデル 3 1 を用いた比較例とを対比する。

[0045] なお、比較例では、図 1 1 に示すように、M L C C 1 の立体モデル 3 1 として表すと共に、この立体モデル 3 1 を含めて回路基板 2 2 と媒質 M をメッシュ分割し、有限要素モデル (F E M モデル) を構成する。そして、この立体モデル 3 1 中の内部電極 (図示せず) に所定周波数の電圧を印加し、このときの立体モデル 3 1 の変形を、有限要素法を用いて求める。立体モデル 3 1 の変形は半田を通じて回路基板 2 2 に伝わるから、立体モデル 3 1 の変形の解析結果に基づいて、回路基板 2 2 の振動を解析する。その後、回路基板 2 2 の振動に基づく媒質 M の圧力変化を求めると共に、この圧力変化から音圧を求める。

[0046] 図 1 2 に、解析装置 1 1 によって求めた音圧の周波数特性と、比較例によって求めた音圧の周波数特性とを示す。なお、回路基板 2 2 は、X 方向に 1 0 0 m m、Y 方向に 4 0 m m、Z 方向に 1 . 6 m m の寸法を有する長方形の

板体とした。媒質Mは、半径が60mmの半球状をなすものとした。

[0047] また、立体モデル31のMLCC1は、X方向に2mm、Y方向に1.2mm、Z方向に1.2mmの寸法を有する直方体とすると共に、静電容量を $47\mu\text{F}$ とし、直流バイアス電圧が4Vで1Vppの交流電圧が印加されるものとした。

[0048] 一方、解析装置11では、集中荷重CLa~CLdのパラメータLは2mm、パラメータWは1.2mm、パラメータFxは-0.31N、パラメータFyは-0.1N、パラメータFzは-0.1Nに設定した。

[0049] 図12に示すように、解析装置11および比較例は、ほぼ同じ音圧の周波数特性を求めることができる。このとき、比較例では、メッシュ数は17581になる。これに対し、第1の実施の形態による解析装置11では、メッシュ数は8641になり、比較例に比べて48%程度に低減することができる。即ち、コンピュータ12のメモリ使用量は概ねメッシュ数に比例するから、コンピュータ12のメモリ使用量も比較例に比べて半分程度まで低減することができる。

[0050] また、音圧の周波数特性を求めるために必要な計算時間は、比較例では14分4秒程度なのに対し、第1の実施の形態による解析装置11では、4分36秒程度であった。このように、第1の実施の形態による解析装置11では、比較例に比べて、計算時間も33%程度に低減することができる。

[0051] さらに、解析装置11および比較例について、MLCC1の個数を増加させて、計算時間を比較した。その結果を図13および図14に示す。例えば回路基板22にMLCC1を10個実装したときには、比較例による計算時間は5時間20分44秒になるのに対し、解析装置11による計算時間は、1時間22分14秒程度であった。

[0052] 比較例の場合には、MLCC1の個数が増加すると、MLCC1の個数分だけ立体モデル31が増加するから、その分だけメッシュ数も増加する。この結果、図13に示すように、メッシュ数に応じて未知数が増加し、計算時間も増加する。有限要素法では一般に計算時間は未知数の3乗に比例すると

言われているように、比較例の場合には、MLCC1の個数が増加すると、メモリ使用量と計算時間が飛躍的に増加する。

[0053] これに比べて、第1の実施の形態による解析装置11では、MLCC1の個数が増加しても、回路基板22および媒質Mのメッシュ数が増加するだけであり、立体モデル31を省く分だけ、メッシュ数は少なくなる。この結果、第1の実施の形態では、比較例に比べて、連立方程式の未知数が減るため、計算時間を低減することができる。図14に示すように、このような計算時間の低減効果はMLCC1の個数が増加するに従って顕著になる。

[0054] かくして、第1の実施の形態では、回路基板22と媒質Mとからなる解析モデル21を構築すると共に、回路基板22には4個の集中荷重CLa~CLdからなる集中荷重組CLGを与えた。即ち、MLCC1によって回路基板22に作用する荷重を、4個の集中荷重CLa~CLdに置き換えた。この結果、回路基板22と媒質Mとからなる解析モデル21に対して有限要素法を用いた振動解析を行えばよいから、MLCC1として3次元の立体モデル31を用いた場合に比べて、FEMモデル23におけるメッシュの分割数を低減して、メモリ使用量および計算時間を抑制することができる。

[0055] 次に、本発明の第2の実施の形態について、図15ないし図25を参照しつつ説明する。第2の実施の形態の特徴は、音圧の計算値と実測値とが近い値となるように、集中荷重の場所と大きさの設定値を決めることにある。なお、第2の実施の形態では、前記第1の実施の形態と同一の構成要素に同一の符号を付し、その説明を省略するものとする。

[0056] 図15は、第2の実施の形態による解析装置41の全体構成を示している。解析装置41は、コンピュータ42と、MLCC1を実装した回路基板7による音圧を測定する測定装置43とによって構成される。コンピュータ42は、後述の解析プログラム等を格納する記憶部42Aを備えると共に、入力側が測定装置43に接続され、出力側が表示装置13に接続される。

[0057] 測定装置43は、マイク43Cによって測定した測定データをコンピュータ42に出力する。コンピュータ42は、この測定データを音圧の実測値と

して、記憶部 42A に記憶する。そして、コンピュータ 42 は、音圧の実測値を用いて、集中荷重のパラメータ F_x , F_y , F_z の設定値を導出する。その上で、コンピュータ 42 は、導出された集中荷重のパラメータ F_x , F_y , F_z の設定値を用いて、実際の回路基板 52 による鳴き現象を解析し、その結果を表示装置 13 に表示する。

[0058] 次に、音圧の実測値を測定する測定装置 43 について説明する。

[0059] 図 16 に示すように、測定装置 43 は、無響箱 43A、発振器 43B、マイク 43C および騒音計 43D を備える。無響箱 43A は、内面に音波吸収素材が設けられた箱状に形成される。そして、無響箱 43A の内部には、測定対象として MLC C1 が実装された回路基板 7 が配置される。以下では、MLC C1 は、X 方向に 1.6 mm、Y 方向に 0.8 mm、Z 方向に 0.8 mm の寸法を有する直方体形状で静電容量が $22\ \mu\text{F}$ のものを例に挙げて説明する。

[0060] 発振器 43B は、信号入力源を構成し、所定の周波数 f と振幅をもった正弦波信号を、MLC C1 の外部電極 3, 4 に入力する。このとき、正弦波信号の周波数 f は、コンピュータ 42 によって制御されると共に、例えば人間の聴覚感度が高い 10 kHz 以下の周波数帯域 B の範囲内に設定される。このため、発振器 43B は、正弦波信号として、例えば 0~10 kHz で 1 V_{pp} の交流電圧を 4 V 程度の直流のバイアス電圧と一緒に MLC C1 に印加する。なお、周波数 f および振幅は、前述した値に限らず、例えば実際の MLC C1 の仕様等を考慮して、適宜変更することができる。

[0061] マイク 43C は、回路基板 7 の振動音（音圧）を集音する集音マイクであり、回路基板 7 等と一緒に無響箱 43A 内に配置される。このマイク 43C は、観測点 P に配置される。この観測点 P は、例えば MLC C1 の真上で回路基板 7 から垂直方向に所定の距離寸法 d （例えば $d = 3\text{ mm}$ ）だけ離れた位置に設定される。

[0062] 騒音計 43D は、マイク 43C で集音された音の音圧レベルを測定して記録する。また、騒音計 43D は、コンピュータ 42 に接続され、記録した音

圧レベルをコンピュータ 42 に出力する。これにより、コンピュータ 42 は、発振器 43 B による正弦波信号の周波数 f と一緒に測定した音圧レベルを記録する。このような測定操作を、所定の周波数間隔（例えば 25 Hz）毎に周波数 f を変化させながら繰り返し、周波数帯域 B における音圧レベルの周波数特性を取得する。

[0063] 回路基板 7 は、MLCC 1 による鳴き現象の音圧を実際に測定し、集中荷重 CLa~CLd のパラメータ F_x , F_y , F_z を導出する目的で使用する。このため、回路基板 7 は、例えば長方形の板体のような簡易な形状のものを用いる。ここでは、一例として、第 1 の実施の形態において例示した回路基板 7 と同じものを用いるものとする。このとき、回路基板 7 は、例えば長さ方向（X 方向）に 100 mm、幅方向（Y 方向）に 40 mm、厚さ方向（Z 方向）に 1.6 mm の長さ寸法を有する。

[0064] なお、回路基板 7 の形状は、前述したものに限らず、正方形、多角形、円形等の他の形状でもよい。また、回路基板 7 の大きさも、例えば実際に適用される回路基板の大きさ等を考慮した上で、適宜変更することができる。

[0065] 次に、解析装置 41 による解析処理の準備段階として、集中荷重 CLa~CLd に関するパラメータの導出処理について、図 17 を参照しつつ説明する。ここでは、 n 種類の MLCC 1 について、これらに対応した集中荷重組 CLG1~CLGn のパラメータ L , W , F_x , F_y , F_z を導出する場合を例に挙げて説明する。

[0066] まず、測定装置 43 に、パラメータ L , W , F_x , F_y , F_z を導出する MLCC 1 を実装した回路基板 7 を用意する。この状態で、コンピュータ 42 によって、図 17 に示すパラメータの導出処理を実行する。

[0067] ステップ 11 では、測定装置 43 を用いて MLCC 1 を実装した回路基板 7 の音圧を所定の周波数帯域 B に亘って測定する。この測定結果をコンピュータ 42 の記憶部 42 A に記憶する。

[0068] ステップ 12 では、MLCC 1 を実装した回路基板 7 に対応した解析モデル 21 を構築する。この解析モデル 21 は、第 1 の実施の形態と同様に、回

路基板 22 および回路基板 22 を覆う例えば空気等の媒質 M によって構成される（図 5 参照）。このとき、回路基板 22 は、MLCC1 を省いた回路基板 7 に対応している。また、解析モデル 21 は、例えば円形の底面を有する半球状に形成されると共に、その底面の中心位置に回路基板 7 の中心位置が配置される。

[0069] ステップ 13 では、4 個の集中荷重 $CLa \sim CLd$ からなる集中荷重組 $CLG1$ を解析モデル 21 中の回路基板 22 に与える。このとき、4 個の集中荷重 $CLa \sim CLd$ は、互いのベクトルの和が零になり、かつ重心 G に関するトルクが零になるように設定される。この点は、第 1 の実施の形態と同様である。

[0070] ステップ 14 では、集中荷重 $CLa \sim CLd$ のパラメータ L , W , F_x , F_y , F_z の初期値を設定する。パラメータ L , W の初期値は、例えば MLCC1 の長さ寸法（例えば $L = 1.6 \text{ mm}$ ）と幅寸法（例えば $W = 0.8 \text{ mm}$ ）に設定される。一方、パラメータ F_x , F_y , F_z の初期値は、例えば最終的な設定値として想定可能なオーダーの適当な数値が設定される。

[0071] ここでは、パラメータ L , W の値を固定した上で、音圧の実測値に基づいて、パラメータ F_x , F_y , F_z の設定値を調整するものとする。しかし、本発明はこれに限らず、パラメータ F_x , F_y , F_z と同様な調整方法を採用することによって、パラメータ L , W の設定値も調整することができる。

[0072] ステップ 15 では、第 1 の実施の形態と同様に、解析モデル 21 を有限個の多数の要素に分割した FEM モデル 23 を作成する（図 9 参照）。そして、メッシュ内の応力や変位などの物理量をコンピュータ 42 のメモリに割り当てる。なお、解析結果の精度を高めつつ、演算時間の低減を図るために、メッシュ分割時には、集中荷重組 $CLG1$ の周囲では、その他の部分に比べてメッシュを細かく形成する。

[0073] ステップ 16 では、FEM モデル 23 中の回路基板 22 について、剛性方程式に基づく連立方程式を解き、回路基板 22 の振動を求める。このとき、集中荷重組 $CLG1$ の集中荷重 $CLa \sim CLd$ を、周波数 f で振動させる。そし

て、所定の周波数間隔（例えば25 Hz）毎に周波数 f を変化させながら、それぞれの周波数 f における回路基板 22 の振動を求める。

[0074] ステップ 17 では、FEMモデル 23 中の媒質 M について、流体の運動に関する方程式に基づく連立方程式を解き、回路基板 22 の振動の基づく媒質 M の圧力変化を求める。そして、この圧力変化を音圧に換算し、観測点 P における音圧を求める。このとき、集中荷重 $C L a \sim C L d$ が振動する周波数 f 毎に回路基板 22 の振動が演算されているから、周波数 f 毎の音圧レベルを求めることができる。このため、周波数帯域 B における音圧の周波数特性を求めることができ、この音圧の周波数特性を計算値として記録する。

[0075] ステップ 15 ～ 17 の処理は、第 1 の実施の形態によるステップ 4 ～ 6 とほぼ同様である。そして、ステップ 18 でパラメータ $F x$, $F y$, $F z$ のうち 1 つのパラメータ（例えばパラメータ $F x$ ）を微小量 ΔF だけ変化させた上で、ステップ 19 の終了判定条件を満たすまで、ステップ 15 ～ 18 の操作を繰り返す。

[0076] このとき、ステップ 18 では、各パラメータ $F x$, $F y$, $F z$ について、少なくとも 3 個の異なる値に設定する。また、ステップ 19 では、所定の演算回数（例えば 9 回）が終了したか否かを判定する。ステップ 19 で「NO」と判定したときには、ステップ 15 ～ 18 の操作を繰り返す。一方、ステップ 19 で「YES」と判定したときには、ステップ 20 に移行する。

[0077] なお、ここでは、1 回の調整動作で 3 個のパラメータ $F x$, $F y$, $F z$ を一緒に調整する場合を例示するが、パラメータ $F x$, $F y$, $F z$ をそれぞれ別個に調整してもよい。この場合、ステップ 19 の判定に用いる所定の演算回数は、例えば 3 回にすることができる。

[0078] ステップ 20 では、9 回分の音圧の周波数特性の計算値について、実測値との一致指標をそれぞれ演算する。このとき、一致指標は、音圧の実測値と計算値がどの程度一致しているかの指標であり、例えば残差 2 乗平均が適用される。この場合、残差 2 乗平均は、周波数毎の実測値と計算値の差の 2 乗の平均値であり、この差が小さいほど特性が良く一致していることを示す。

[0079] この残差 2 乗平均は、周波数帯域 B の全域に亘って計算してもよいが、計算時間の削減と、音圧が低いところは測定誤差が大きく指標に適さないことを考慮して、音圧の極大値（ピーク）の周辺帯域のみについて計算する。音圧の極大値の周辺帯域としては、例えば極大値に対して音圧が 2 ～ 10 dB 程度低減する周波数範囲に設定してもよく、極大値が生じる周波数を中心に予め決められた周波数範囲（例えば ± 25 ～ 100 Hz 程度）に設定してもよい。なお、残差 2 乗平均は、音圧の極大値が生じる周波数だけについて計算してもよい。

[0080] ステップ 21 では、一致指標を 2 次関数で近似し、後述の数 2 の式に基づいて、2 次関数の極小値となる係数 U_0 を求める。ステップ 22 では、後述の数 3 の式に基づいて、2 次関数が極小となるパラメータ F_x , F_y , F_z を求める。パラメータ F_x , F_y , F_z の求め方について、以下に詳しく説明する。

[0081] まず、図 20 に、パラメータ F_x だけを変化させ、他のパラメータ F_y , F_z は固定したときのパラメータ F_x と残差 2 乗平均との関係を示す。図 20 に示すように、パラメータ F_x に対する残差 2 乗平均の特性は、下に凸の 2 次関数で精度良く近似することができる。このようにパラメータ F_x と残差 2 乗平均との関係は 2 次関数で近似できるので、パラメータ F_x を少なくとも 3 個の異なる値に設定した上で、それぞれの残差 2 乗平均を演算すれば、極小となるパラメータ F_x を求めることができる。パラメータ F_y , F_z についても、パラメータ F_x と同様に、残差 2 乗平均との関係を 2 次関数で近似することができる。

[0082] この結果、パラメータ F_x , F_y , F_z で残差 2 乗平均 V は以下の数 1 の式で近似的に表現することができる。なお、数 1 中の a_1 , a_2 , b_1 , b_2 , c_1 , c_2 , U は、係数を示している。

[0083] [数 1]

$$V = a_1 \times F_x^2 + a_2 \times F_x + b_1 \times F_y^2 + b_2 \times F_y + c_1 \times F_z^2 + c_2 \times F_z + U$$

[0084] 数 1 の式は、数 2 の式に変形することができる。

[0085]

[数2]

$$V = a1 \left(Fx + \frac{a2}{2a1} \right)^2 + b1 \left(Fy + \frac{b2}{2b1} \right)^2 + c1 \left(Fz + \frac{c2}{2c1} \right)^2 + U0$$

[0086] 数2の式の右辺第1項～第3項が零になるときに、残差2乗平均Vは極小になる。このため、数3の式に基づいて、残差2乗平均Vが極小となるパラメータFx, Fy, Fzを求めることができる。このとき、数2中の係数U0が残差2乗平均Vの極小値になる。

[0087] [数3]

$$Fx = -\frac{a2}{2a1}, \quad Fy = -\frac{b2}{2b1}, \quad Fz = -\frac{c2}{2c1}$$

[0088] このように、2次関数による近似で残差2乗平均Vが最小となるパラメータFx, Fy, Fzを求めることができるが、これはあくまでも近似であり、理論的な最小値が求まるわけではない。このため、一度求めたパラメータFx, Fy, Fzを出発点として、再度2次関数で残差2乗平均Vを近似し、最小値となるパラメータFx, Fy, Fzを順次求める。この操作を繰り返すことで、徐々に残差2乗平均Vが小さくなるパラメータFx, Fy, Fzの組を探索することができる。

[0089] ステップ22が終了すると、ステップ23に移行して、パラメータ導出の終了条件を満たすか否かを判定する。具体的には、残差2乗平均Vの極小値（係数U0）が予め決められた範囲内の値に収束したか否か、または規定の繰り返し回数に到達したか否かを判定する。

[0090] そして、以上2つの終了条件をいずれも満たさないときには、ステップ23で「NO」と判定して、ステップ15以降の処理を繰り返し、パラメータFx, Fy, Fzの値を順次更新する。一方、少なくともいずれか一方の条件を満たすときには、ステップ23で「YES」と判定して、ステップ24に移行し、現在のパラメータFx, Fy, FzをパラメータL, Wと一緒に、MLCC1に対応させて、ライブラリ44に登録する（図19参照）。これにより、ライブラリ44には、MLCC1の集中荷重組CLG1に対応したパラメー

タの設定値 L_1 , W_1 , F_{x1} , F_{y1} , F_{z1} が登録される。

- [0091] ステップ25では、種類の異なる別種のMLCC1について、集中荷重 $C_{La} \sim C_{Ld}$ のパラメータ L , W , F_x , F_y , F_z を導出するか否かを判定する。ここで、種類の異なるMLCC1とは、例えば静電容量、圧電体2の形状、大きさ、材料定数、電極3～6の形状、大きさ、配置等が異なるものをいう。
- [0092] ステップ25で「YES」と判定したときには、ステップ11以降の処理を実行し、別種のMLCC1について求めたパラメータ L , W , F_x , F_y , F_z をライブラリ44に登録する。これにより、ライブラリ44には、別種のMLCC1の集中荷重組 CLG_2 に対応したパラメータの設定値 L_2 , W_2 , F_{x2} , F_{y2} , F_{z2} が登録される。このため、以上の操作を繰り返すことによって、例えば n 種類のMLCC1があるときには、ライブラリ44には、MLCC1の種類数に応じて n 個ずつのパラメータの設定値 $L_1 \sim L_n$, $W_1 \sim W_n$, $F_{x1} \sim F_{xn}$, $F_{y1} \sim F_{yn}$, $F_{z1} \sim F_{zn}$ が集中荷重組 $CLG_1 \sim CLG_n$ に対応してそれぞれ登録される。
- [0093] 一方、ステップ25で「NO」と判定したときには、MLCC1の全ての種類について、パラメータの設定値 $L_1 \sim L_n$, $W_1 \sim W_n$, $F_{x1} \sim F_{xn}$, $F_{y1} \sim F_{yn}$, $F_{z1} \sim F_{zn}$ の登録が終了したため、処理を終了する。
- [0094] なお、前述では、複数種類（ n 種類）のMLCC1について、これらに対応した集中荷重組 $CLG_1 \sim CLG_n$ のパラメータ L , W , F_x , F_y , F_z を設定する場合を例に挙げて説明した。しかし、本発明はこれに限らず、例えば1種類のMLCC1について、これに対応した集中荷重組 CLG のパラメータ L , W , F_x , F_y , F_z を導出してよい。
- [0095] 以上のパラメータの導出処理の有効性を確認するために、集中荷重 $C_{La} \sim C_{Ld}$ のパラメータ F_x , F_y , F_z の初期値を用いたときと、導出後の設定値を用いたときで、それぞれの音圧の周波数特性を求めた。その結果を、図21および図22に示す。
- [0096] このとき、パラメータ F_x , F_y , F_z の初期値として、例えばパラメータ F

xは -0.01 N 、パラメータ F_y は 0.001 N 、パラメータ F_z は 0.01 N に設定している。図21に示すように、初期値を用いたときには、音圧の計算値は実測値から乖離し、このときの残差2乗平均は33.3程度になる。

[0097] 一方、パラメータ F_x 、 F_y 、 F_z の設定値は、図21と同じ条件の下で、前述したパラメータの導出処理によって最終的に導出されたものであり、例えばパラメータ F_x は -0.0212 N 、パラメータ F_y は -0.0014 N 、パラメータ F_z は 0.0108 N に設定している。図22に示すように、パラメータ F_x 、 F_y 、 F_z の初期値を用いたときに比べて、音圧の計算値は実測値に近付き、残差2乗平均は4.8程度まで減少する。このように、本実施の形態では、少ない個数のパラメータを調整することによって、音圧の計算値を実測値に精度良く近付けることができる。

[0098] なお、パラメータ F_x 、 F_y 、 F_z の導出には、例えば23分程度の計算時間を要した。但し、パラメータ F_x 、 F_y 、 F_z の導出は、MLCC1の種類毎に1回だけ行えばよく、この導出に必要な計算時間は、後述する解析処理の利用段階では不要である。

[0099] 次に、解析装置41による解析処理の利用段階として、前述のライブラリ44を用いた鳴き現象の解析処理について、図18を参照しつつ説明する。ここでは、10種類のMLCC1をそれぞれ1個ずつ合計10個実装した回路基板52について、音圧特性を解析する場合を例に挙げて説明する。

[0100] ステップ31では、解析したい回路基板52の解析モデル51を構築する(図23参照)。このとき、回路基板52の形状や大きさについては、特に制限はなく、実際に使用するものが適用可能である。また、回路基板52には、必要に応じてIC、金属ケース等のような他の部品が取付けられていてもよい。

[0101] ステップ32では、ライブラリ44に登録された集中荷重組 $CLG1 \sim CLGn$ のパラメータの設定値 $L1 \sim Ln$ 、 $W1 \sim Wn$ 、 $Fx1 \sim Fxn$ 、 $Fy1 \sim Fyn$ 、 $Fz1 \sim Fzn$ から、回路基板52に実装されるMLCC1に対応したものを選択

する。例えば、集中荷重組 $CLG1 \sim CLG10$ に応じた10種類の $MLCC1$ を回路基板52に実装する場合には、ライブラリ44からパラメータの設定値 $L1 \sim L10$, $W1 \sim W10$, $Fx1 \sim Fx10$, $Fy1 \sim Fy10$, $Fz1 \sim Fz10$ が選択される。

[0102] ステップ33では、ステップ32で選択した集中荷重組 $CLG1 \sim CLG10$ を解析モデル51中の回路基板52に与える。このとき、集中荷重組 $CLG1 \sim CLG10$ はそれぞれ集中荷重 $CLa \sim CLd$ を備えると共に、集中荷重 $CLa \sim CLd$ は、互いのベクトルの和が零になり、かつ重心Gに関するトルクが零になるように設定される。

[0103] ステップ34では、ステップ32で選択したパラメータの設定値 $L1 \sim L10$, $W1 \sim W10$, $Fx1 \sim Fx10$, $Fy1 \sim Fy10$, $Fz1 \sim Fz10$ を、集中荷重組 $CLG1 \sim CLG10$ の集中荷重 $CLa \sim CLd$ にそれぞれ設定する。

[0104] ステップ35では、解析モデル51を有限個の多数の要素に分割した有限要素モデル（以下、FEMモデル53という）を作成する（図24参照）。メッシュ分割時には、集中荷重組 $CLG1 \sim CLG10$ の周囲では、その他の部分に比べてメッシュを細かく形成する。そして、メッシュ内の物理量をコンピュータ42のメモリに割り当てる。

[0105] ステップ36では、FEMモデル53中の回路基板52について、剛性方程式に基づく連立方程式を解き、回路基板52の振動を求める。続くステップ37では、FEMモデル53中の媒質Mについて、流体の運動に関する方程式に基づく連立方程式を解き、回路基板52の振動の基づく媒質Mの圧力変化を求める。そして、この圧力変化から観測点Pにおける音圧を求めて、周波数帯域Bにおける音圧の周波数特性を計算値として記録する。このように、ステップ35～37の処理は、第1の実施の形態によるステップ4～6や前述したステップ15～17の処理とほぼ同様である。

[0106] ステップ38では、ステップ37によって記録した音圧の周波数特性を表示装置13に表示し、処理を終了する。

[0107] なお、前述では、10種類の $MLCC1$ をそれぞれ1個ずつ合計10個実

装した回路基板 5 2 に実装した場合を例に挙げて説明したが、MLCC 1 の種類数や実装数は、実際の実装状況に応じて適宜変更することができる。

[0108] 第 2 の実施の形態による解析装置 4 1 は、前述のように構成されるもので、次に、実際の音圧を測定した実測値と、前述の解析装置 4 1 を用いて計算した計算値と、MLCC 1 を立体モデル 3 1 で表した比較例による計算値とを比較した。その結果を図 2 5 に示す。

[0109] なお、これらの結果では、ステップ 1 1 の測定に使用した回路基板 7 を用いた。即ち、回路基板 7 は単純な長形状とし、その中央に MLCC 1 は配置した。また、MLCC 1 の外形寸法と静電容量は、前述したものと同一のもの（X 方向に 1.6 mm、Y 方向に 0.8 mm、Z 方向に 0.8 mm で、静電容量が 22 μ F のもの）を用いたが、圧電体 2 の材料定数や内部の構造が異なるものを用いた。このため、解析装置 4 1 は、パラメータ L は 1.6 mm、パラメータ W は 0.8 mm、パラメータ F_x は -0.0027 N、パラメータ F_y は -0.0047 N、パラメータ F_z は 0.0092 N にそれぞれ設定している。

[0110] 図 2 5 に示すように、実測値と解析装置 4 1 による計算値は近い値になるのに比べて、比較例の計算値は実測値とは異なる値になる。この理由は、MLCC 1 の構造が複雑であり、立体モデル 3 1 のモデル化が不十分だったためと考えられる。即ち、立体モデル 3 1 を用いた場合には、例えば 129 個のパラメータで各所の寸法や材料定数をしてしたが、それでもモデル化が十分とは言えない。また、パラメータの数が多すぎて、その調整が困難という問題もある。

[0111] これに対し、第 2 の実施の形態による解析装置 4 1 では、例えば 5 個のように個数の少ないパラメータを調整することで、実測値に近い音圧特性を得ることができ、実測値との一致精度を高めることができる。

[0112] また、立体モデル 3 1 を用いた比較例では、計算時間が 10 分 44 秒になるのに対し、解析装置 4 1 では、計算時間が 4 分 48 秒になった。このように、第 2 の実施の形態では、比較例に比べて、計算時間も 45 % 程度に低減

することができる。

[0113] かくして、第2の実施の形態でも第1の実施の形態と同様の作用効果を得ることができる。また、第2の実施の形態では、音圧の計算値と実測値とが近い値となるように、集中荷重のパラメータ L , W , F_x , F_y , F_z の設定値を決める。このため、解析装置41は、実際に測定した実測値に近い値となった音圧を求めることができる。また、解析装置41では、MLCC1によって回路基板52に作用する荷重を4個の集中荷重 $C_{La} \sim C_{Ld}$ によって置き換えるから、それぞれの集中荷重のパラメータ L , W , F_x , F_y , F_z を調整することによって、音圧の計算値を実測値に近付けることができる。このため、MLCC1を立体モデル31によって表した場合に比べて、少ない個数（例えば5個）のパラメータ L , W , F_x , F_y , F_z を調整することで、音圧の計算値と実測値とを容易に近付けることができ、実測値に対する音圧の演算精度を高めることができる。

[0114] また、解析装置41は、音圧の極大値が生じる周辺帯域で音圧の計算値と実測値とが近い値となるように、集中荷重のパラメータ L , W , F_x , F_y , F_z の設定値を決める。このため、音圧の計算値と実測値とを全ての帯域で近付けた場合に比べて、集中荷重の設定値を決定するまでに必要な計算時間を短縮することができる。また、音圧の実測値は、極大値の周辺帯域の方が他の周波数領域に比べて高精度で測定できるから、高精度な音圧の実測値に応じて、集中荷重の場所と大きさの設定値を決めることができ、音圧の演算精度を高めることができる。

[0115] また、解析装置41は、複数種類のMLCC1における集中荷重のパラメータの設定値 $L_1 \sim L_n$, $W_1 \sim W_n$, $F_{x1} \sim F_{xn}$, $F_{y1} \sim F_{yn}$, $F_{z1} \sim F_{zn}$ をライブラリ44に登録する。このため、パラメータの設定値 $L_1 \sim L_n$, $W_1 \sim W_n$, $F_{x1} \sim F_{xn}$, $F_{y1} \sim F_{yn}$, $F_{z1} \sim F_{zn}$ を改めて求める必要がなく、MLCC1の種類に応じたパラメータの設定値 $L_1 \sim L_n$, $W_1 \sim W_n$, $F_{x1} \sim F_{xn}$, $F_{y1} \sim F_{yn}$, $F_{z1} \sim F_{zn}$ をライブラリ44から選択することによって、回路基板52の鳴き現象を容易に解析することができる。これにより、例えば

MLCC 1 を製造するサプライヤがライブラリ 4 4 を作成すれば、MLCC 1 を使用するユーザは、サプライヤが作成したライブラリ 4 4 を用いて回路基板 5 2 の鳴き現象を解析することができる。この結果、回路基板 5 2 を設計するときに、ユーザは、使用する MLCC 1 の振動特性等をサプライヤに問い合わせる必要がなく、ライブラリ 4 4 を用いて回路基板 5 2 の鳴き現象を容易に解析することができ、回路設計時の効率を高めることができる。

[0116] なお、前記各実施の形態では、図 4 および図 1 8 のステップ 1, 3 1 がモデル構築手段（モデル構築工程）の具体例を示し、ステップ 2, 3 3 が集中荷重組付与手段（集中荷重組付与工程）の具体例を示し、ステップ 5, 3 6 が基板振動演算手段（基板振動演算工程）の具体例を示し、ステップ 6, 3 7 が音圧演算手段（音圧演算工程）の具体例を示している。また、図 1 7 のステップ 1 4 ~ 2 2 が設定値決定手段（設定値決定工程）の具体例を示し、ステップ 2 4 がライブラリ登録手段（ライブラリ登録工程）の具体例を示し、図 1 8 のステップ 3 2 が設定値選択手段（設定値選択工程）の具体例を示している。

符号の説明

[0117] 1 積層セラミックコンデンサ（MLCC）
 7, 2 2, 5 2 回路基板
 1 1, 4 1 解析装置
 1 2, 4 2 コンピュータ
 1 3 表示装置
 2 1, 5 1 解析モデル
 4 3 測定装置
 4 4 ライブラリ
 CLG, CLG1~CLGn 集中荷重組
 CLa~CLd 集中荷重

請求の範囲

- [請求項1] 有限要素法を用いて積層セラミックコンデンサを実装した回路基板の鳴き現象を解析する解析装置であって、
- 前記回路基板と媒質とによって解析モデルを構築するモデル構築手段と、
- 互いのベクトルの和が零になり、かつ重心に関するトルクが零になる複数の集中荷重からなる集中荷重組を、前記積層セラミックコンデンサに対応して前記解析モデルの前記回路基板に与える集中荷重組付与手段と、
- 前記各集中荷重の大きさが時間的に周期変化したときに、前記集中荷重組を与えた前記回路基板の振動を求める基板振動演算手段と、
- 前記回路基板の振動による前記媒質の圧力変化に基づいて前記媒質中の音圧を求める音圧演算手段とを備えた解析装置。
- [請求項2] 前記音圧の計算値と実測値とが近い値となるように、前記集中荷重の場所と大きさの設定値を決める設定値決定手段をさらに備えてなる請求項1に記載の解析装置。
- [請求項3] 前記設定値決定手段は、前記音圧の周波数特性を求めたときに、前記音圧の極大値が生じる周辺帯域で前記音圧の計算値と実測値とが近い値となるように、前記集中荷重の場所と大きさの設定値を決めてなる請求項2に記載の解析装置。
- [請求項4] 前記設定値決定手段によって、前記積層セラミックコンデンサの種類毎に前記集中荷重の場所と大きさの設定値を求めて、これらの設定値をライブラリに登録するライブラリ登録手段と、
- 前記積層セラミックコンデンサの種類に応じた前記集中荷重の設定値を前記ライブラリから選択する設定値選択手段とをさらに備えてなる請求項2に記載の解析装置。
- [請求項5] 有限要素法を用いて積層セラミックコンデンサを実装した回路基板の鳴き現象を解析する解析方法であって、

前記回路基板と媒質とによって解析モデルを構築するモデル構築工程と、

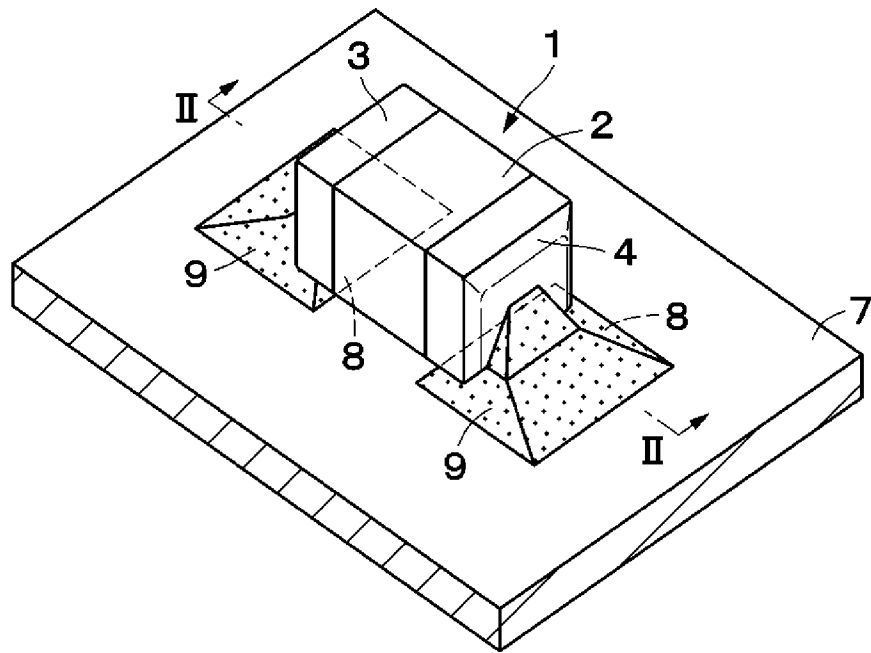
互いのベクトルの和が零になり、かつ重心に関するトルクが零になる複数の集中荷重からなる集中荷重組を、前記積層セラミックコンデンサに対応して前記解析モデルの前記回路基板に与える集中荷重組付与工程と、

前記各集中荷重の大きさが時間的に周期変化したときに、前記集中荷重組を与えた前記回路基板の振動を求める基板振動演算工程と、

前記回路基板の振動による前記媒質の圧力変化に基づいて前記媒質中の音圧を求める音圧演算工程とを備えた解析方法。

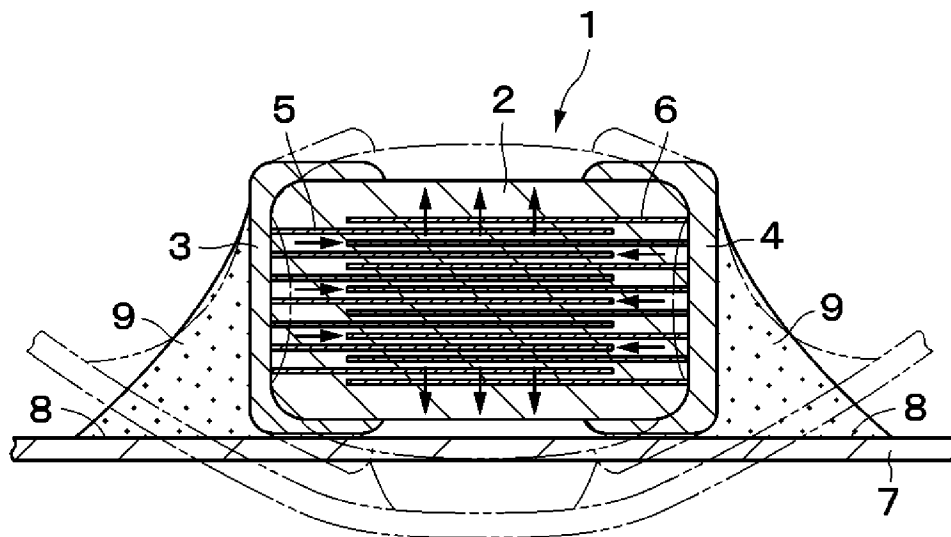
[図1]

Fig.1



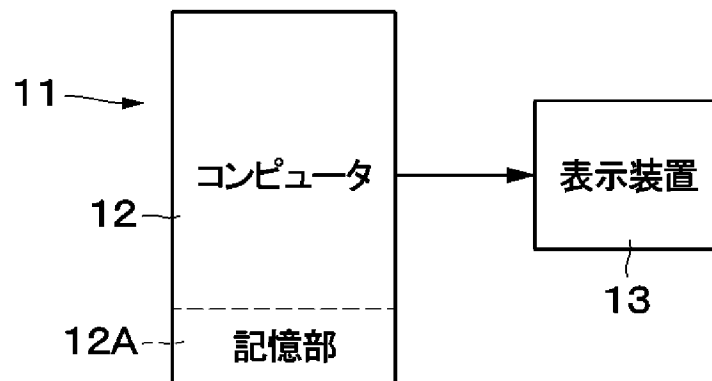
[図2]

Fig.2



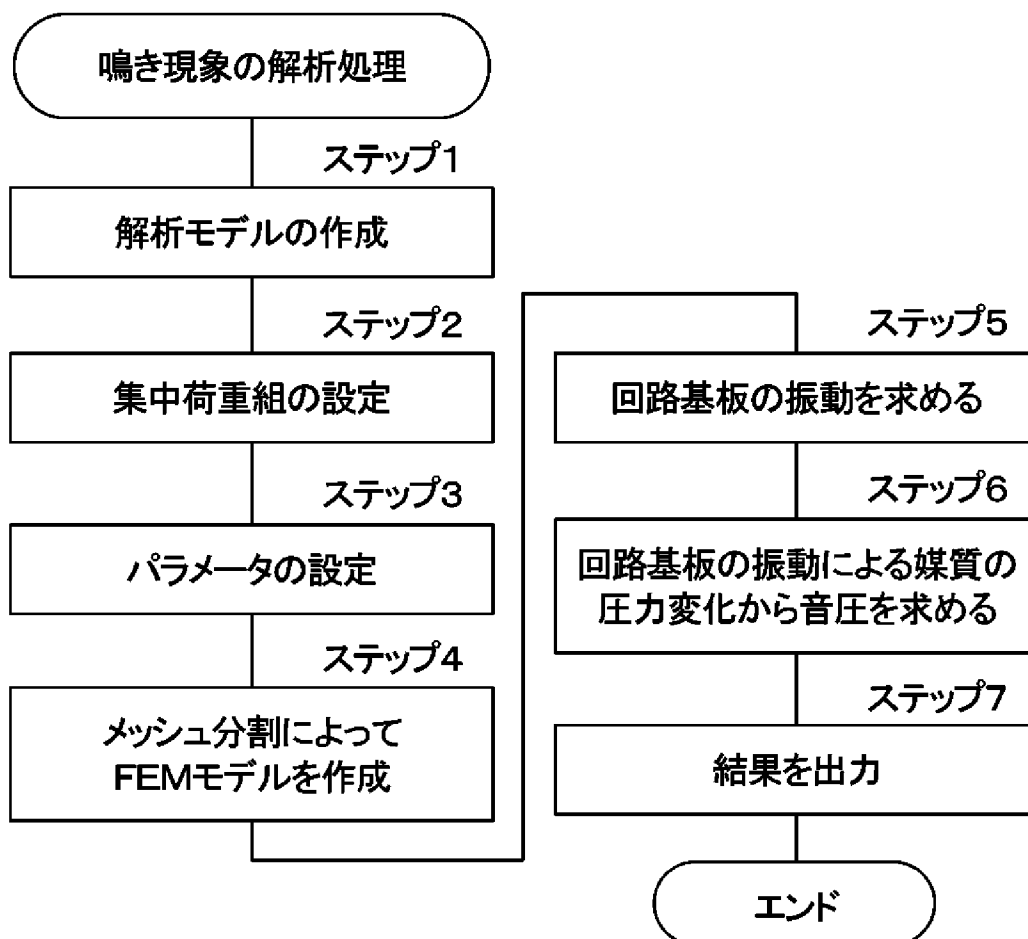
[図3]

Fig.3



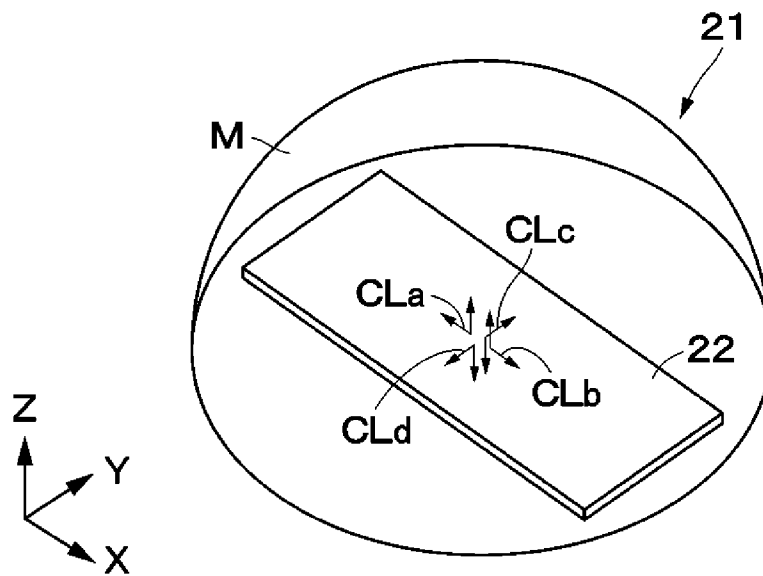
[図4]

Fig.4



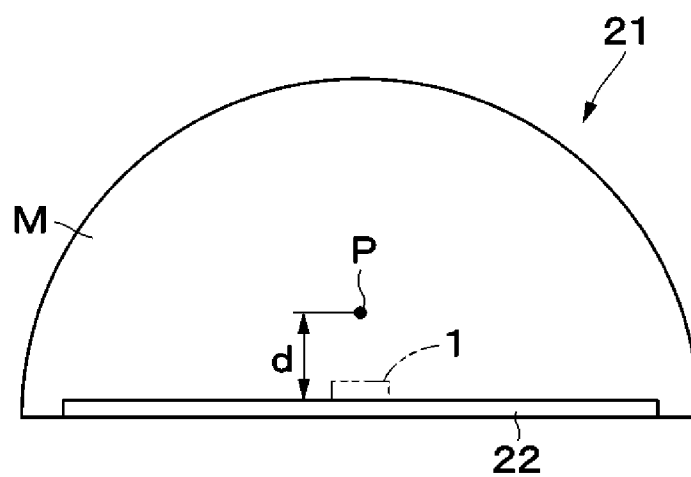
[図5]

Fig.5



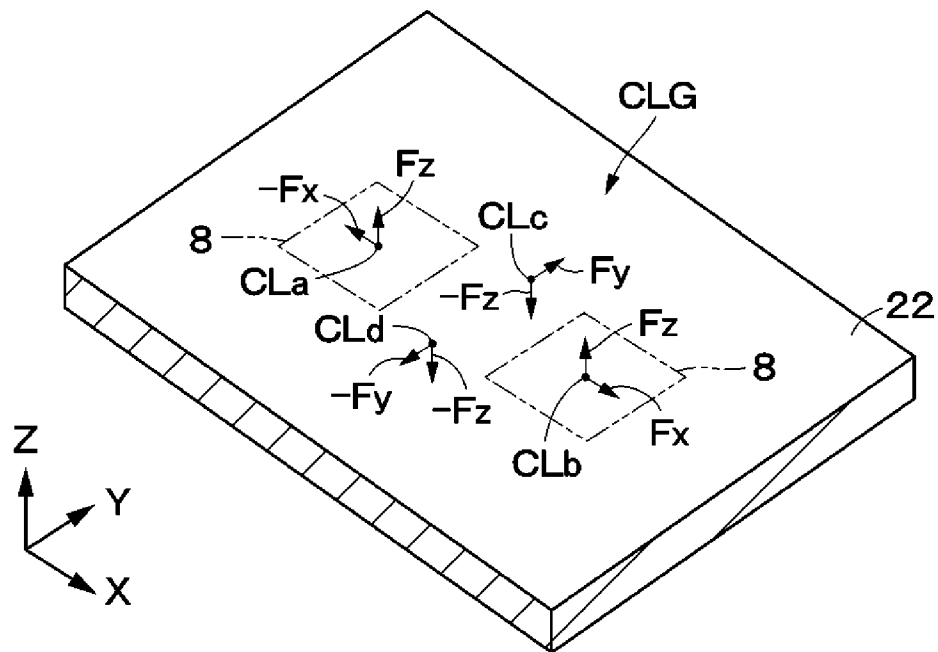
[図6]

Fig.6



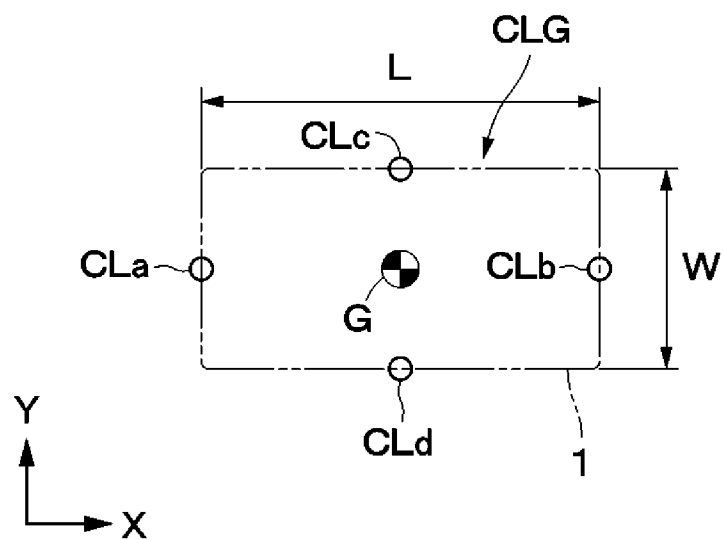
[図7]

Fig.7



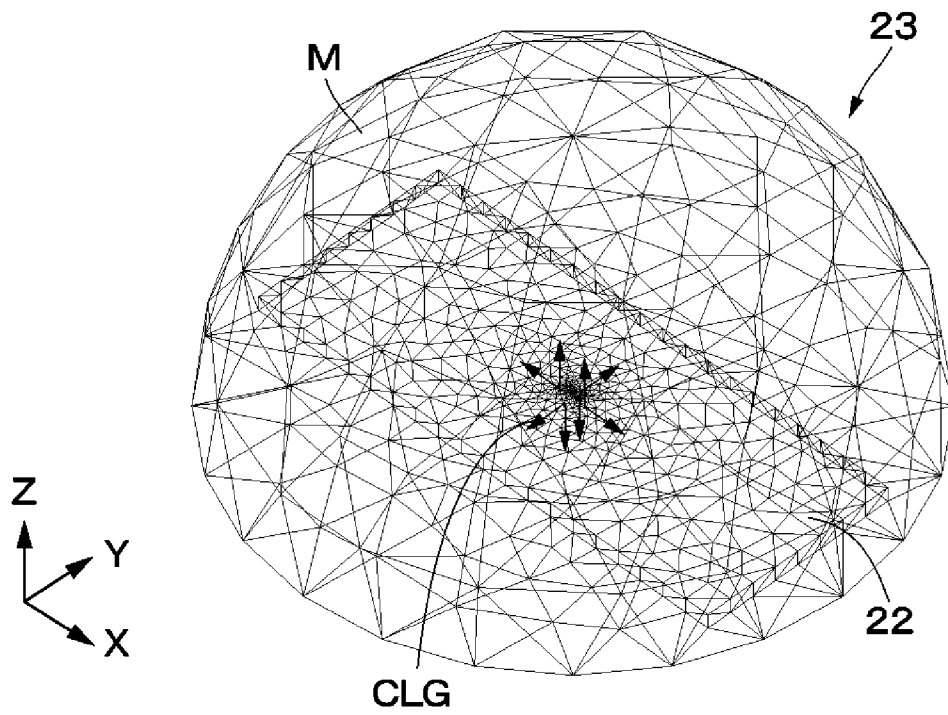
[図8]

Fig.8



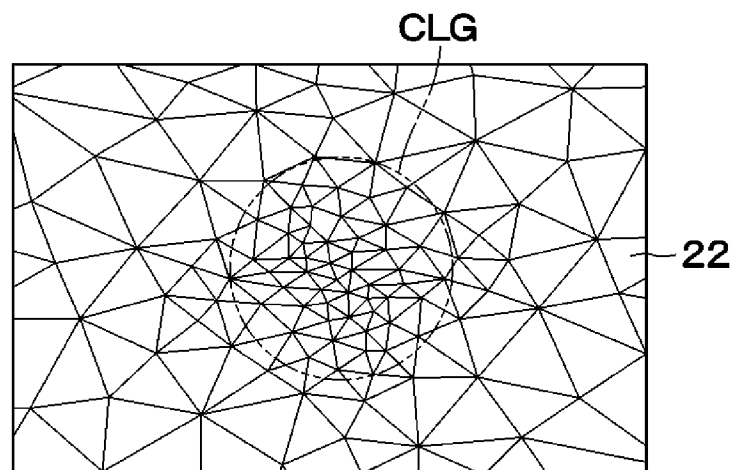
[図9]

Fig.9



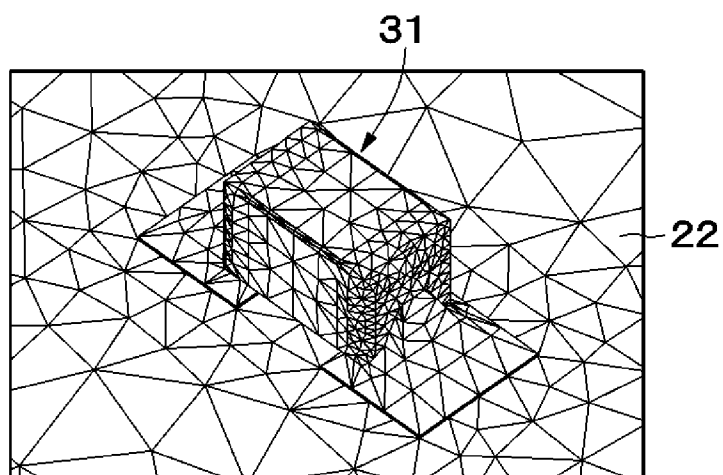
[図10]

Fig.10



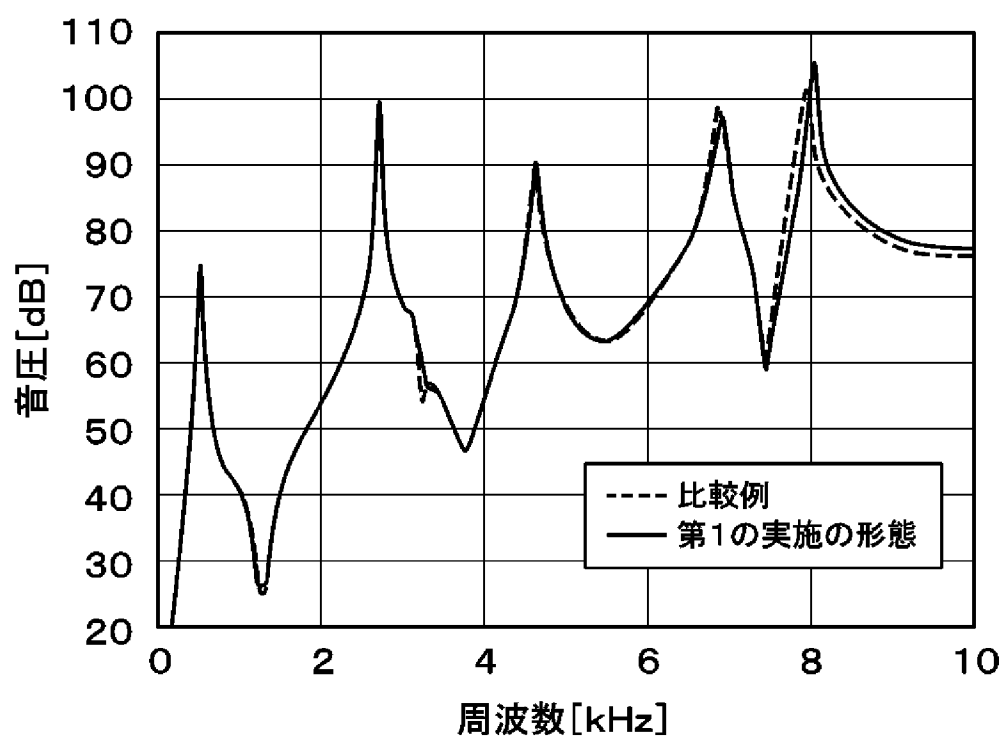
[図11]

Fig.11



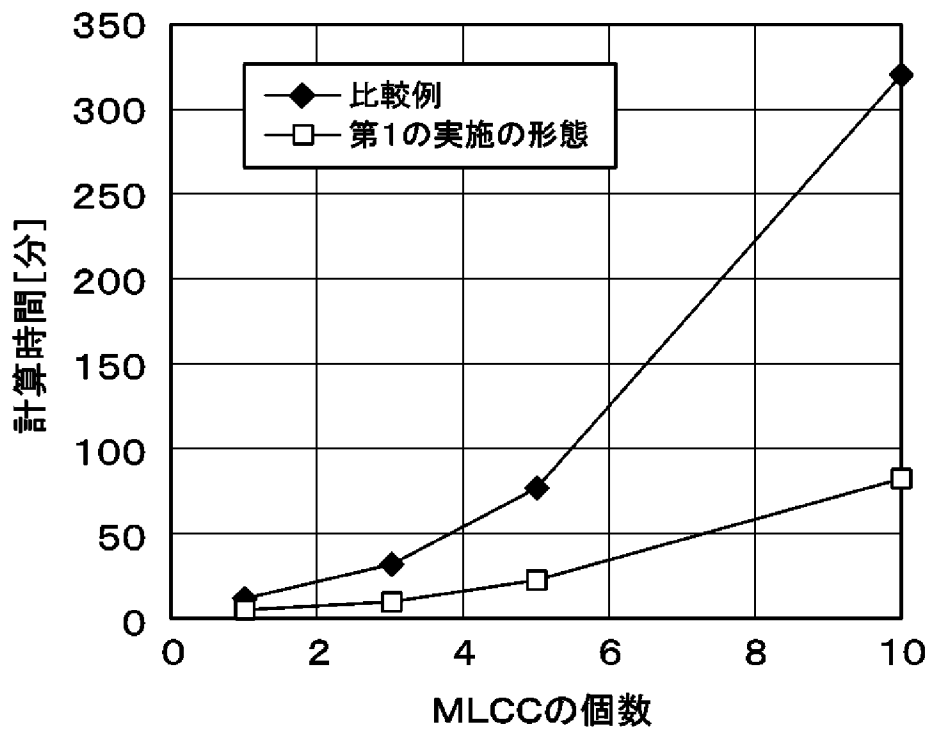
[図12]

Fig.12



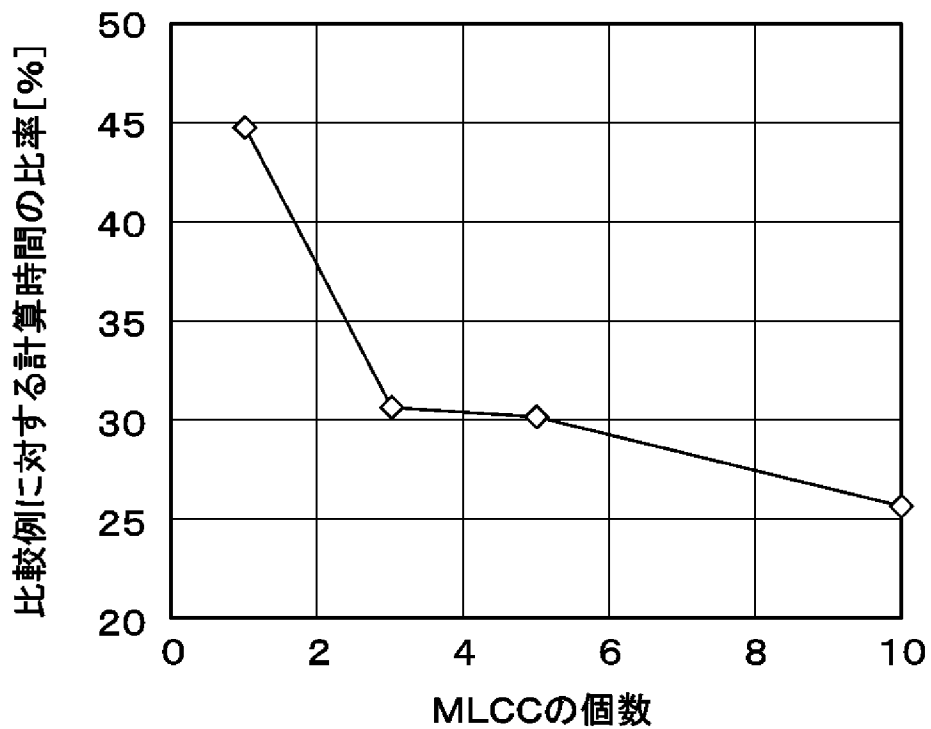
[図13]

Fig.13



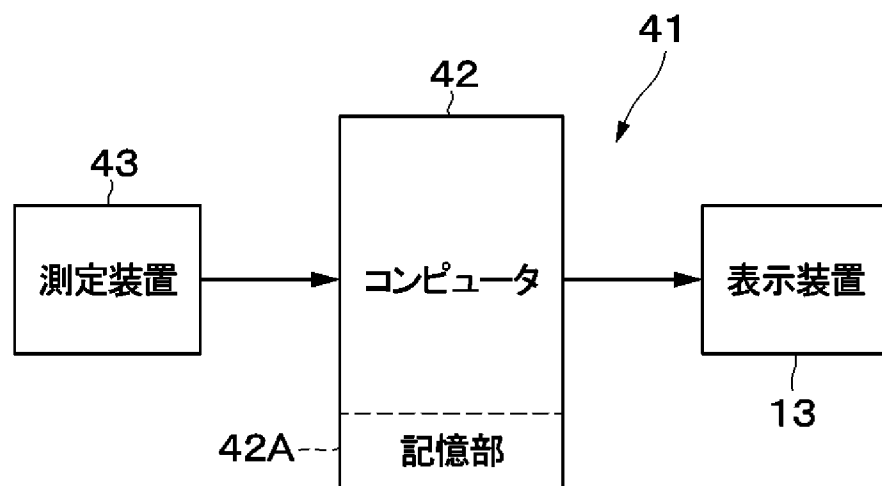
[図14]

Fig.14



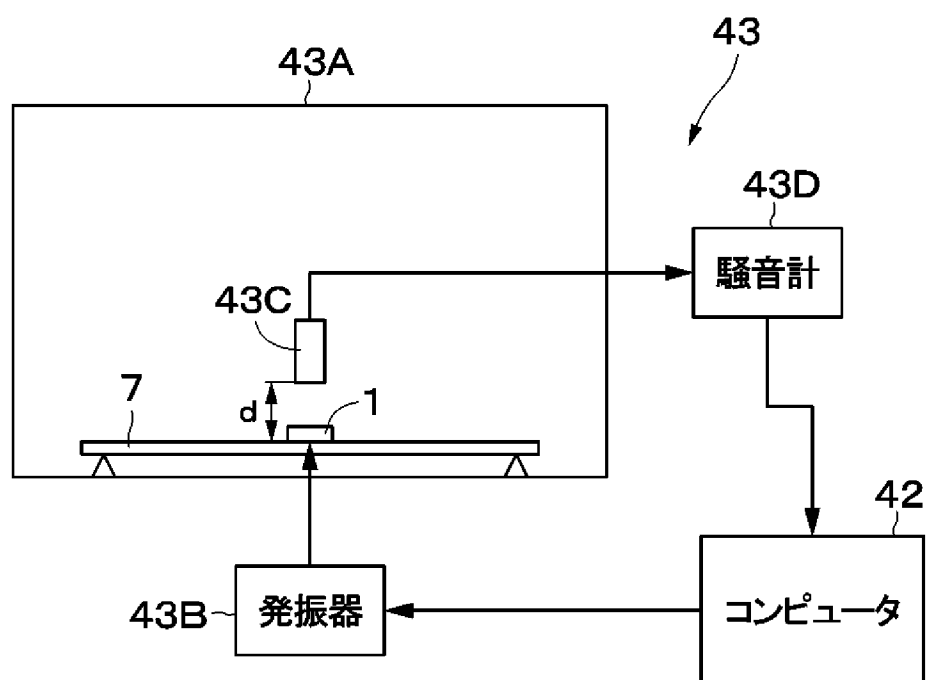
[図15]

Fig.15



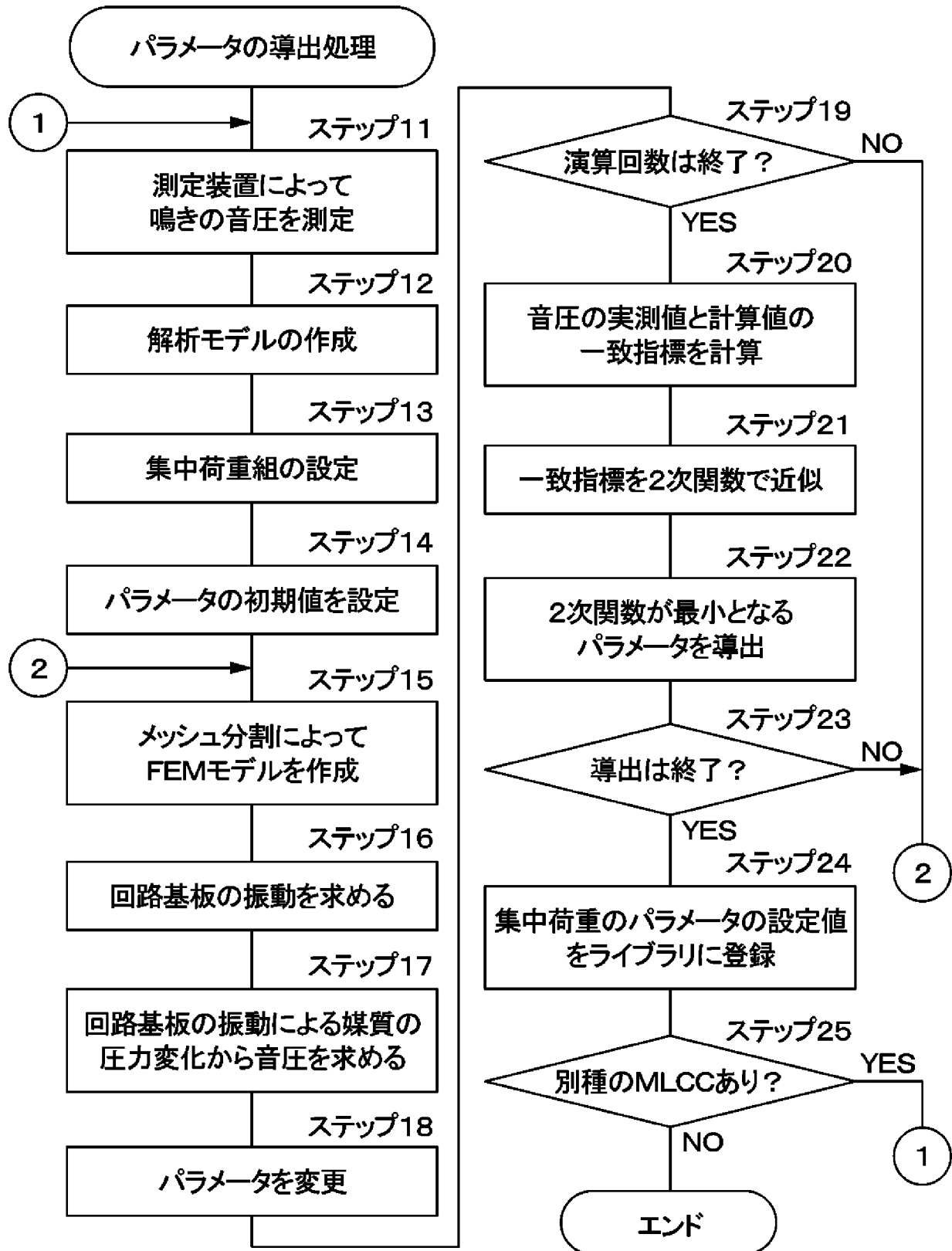
[図16]

Fig.16



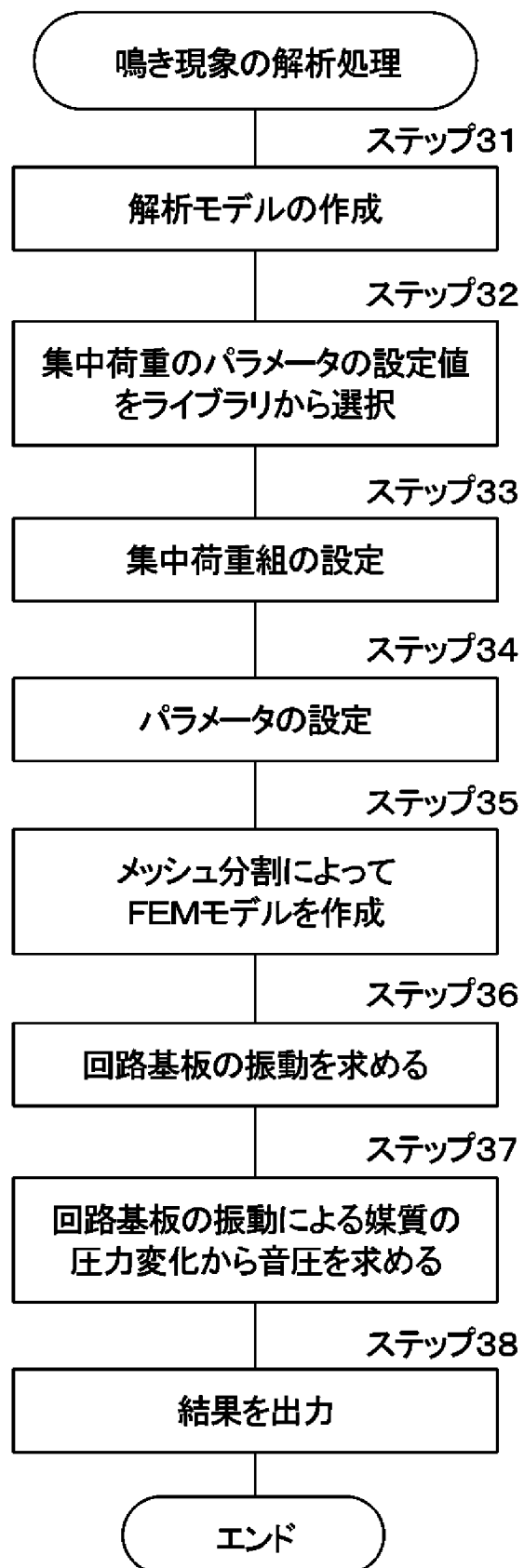
[図17]

Fig. 17



[図18]

Fig.18



[図19]

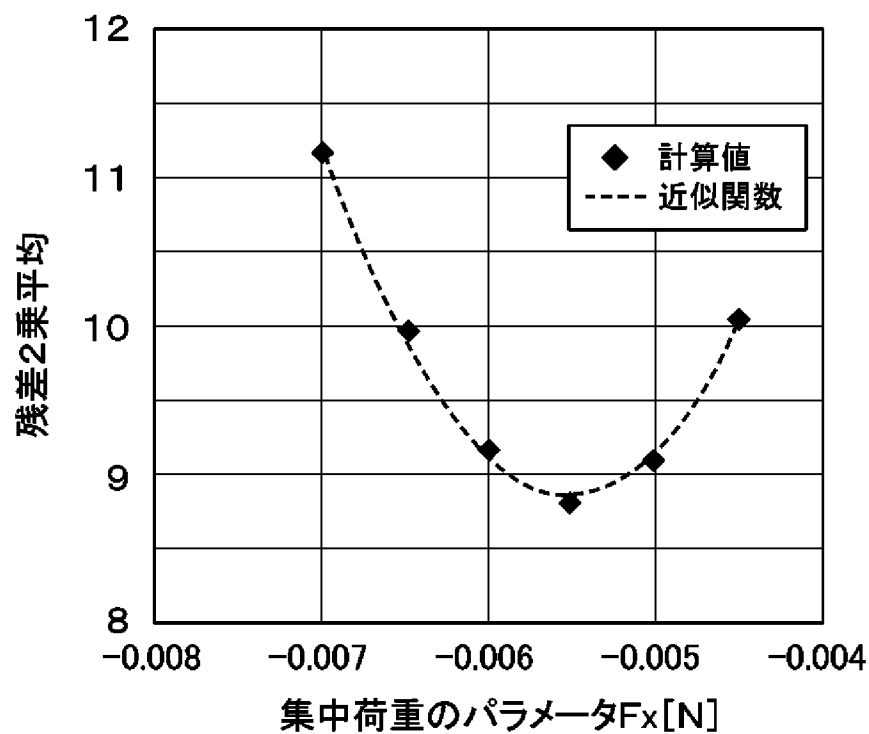
Fig.19

44

MLCC の番号	集中荷重組	集中荷重のパラメータの設定値				
		L	W	F _x	F _y	F _z
1	CLG1	L1	W1	F _{x1}	F _{y1}	F _{z1}
2	CLG2	L2	W2	F _{x2}	F _{y2}	F _{z2}
3	CLG3	L3	W3	F _{x3}	F _{y3}	F _{z3}
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
n	CLG _n	L _n	W _n	F _{xn}	F _{yn}	F _{zn}

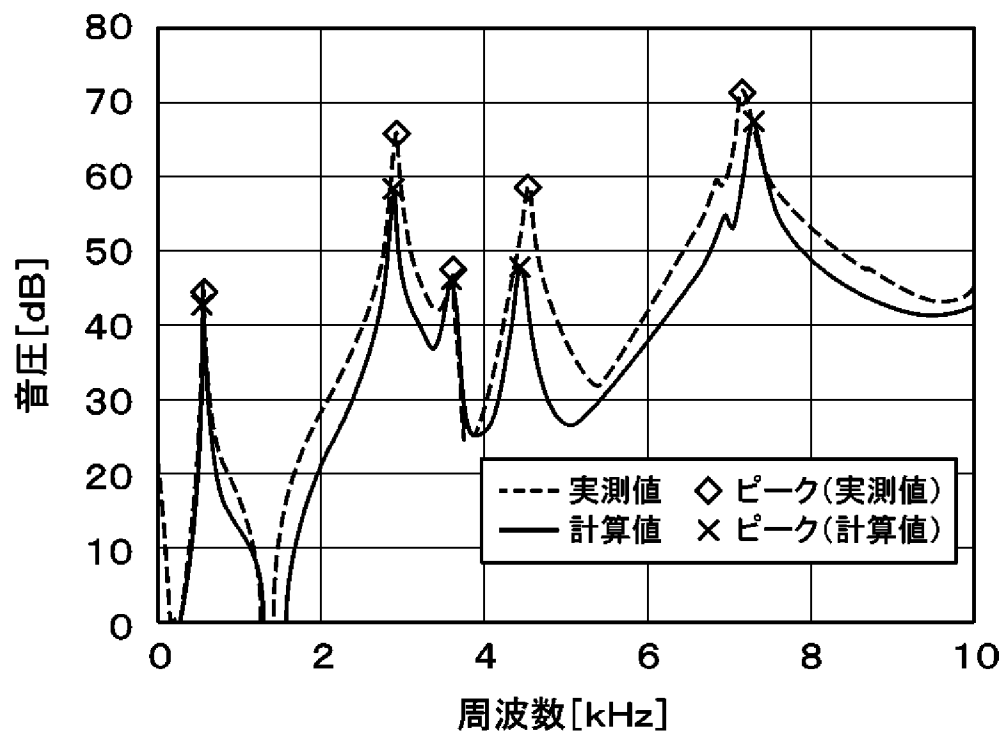
[図20]

Fig.20



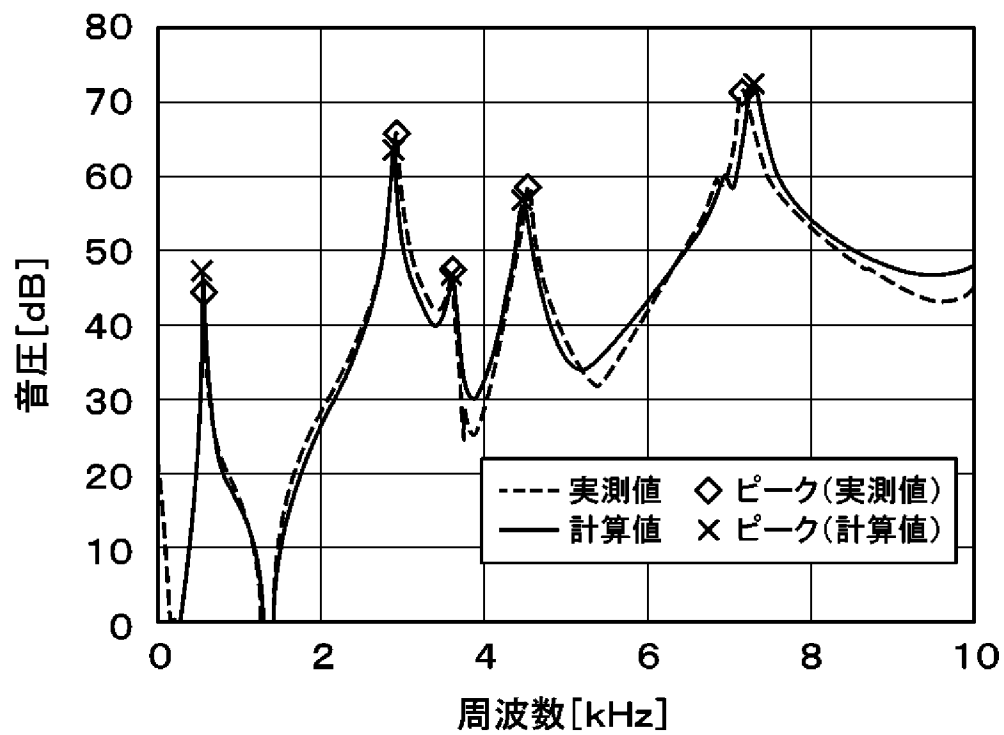
[図21]

Fig.21



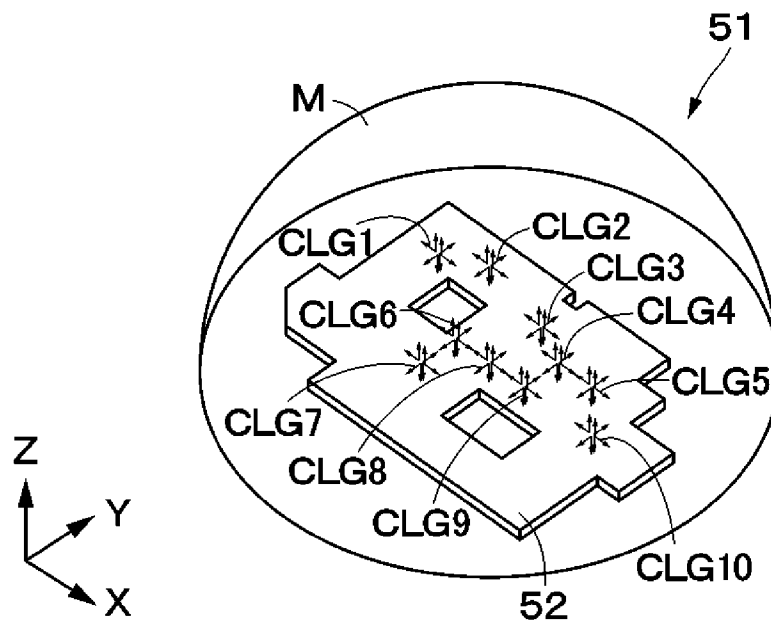
[図22]

Fig.22



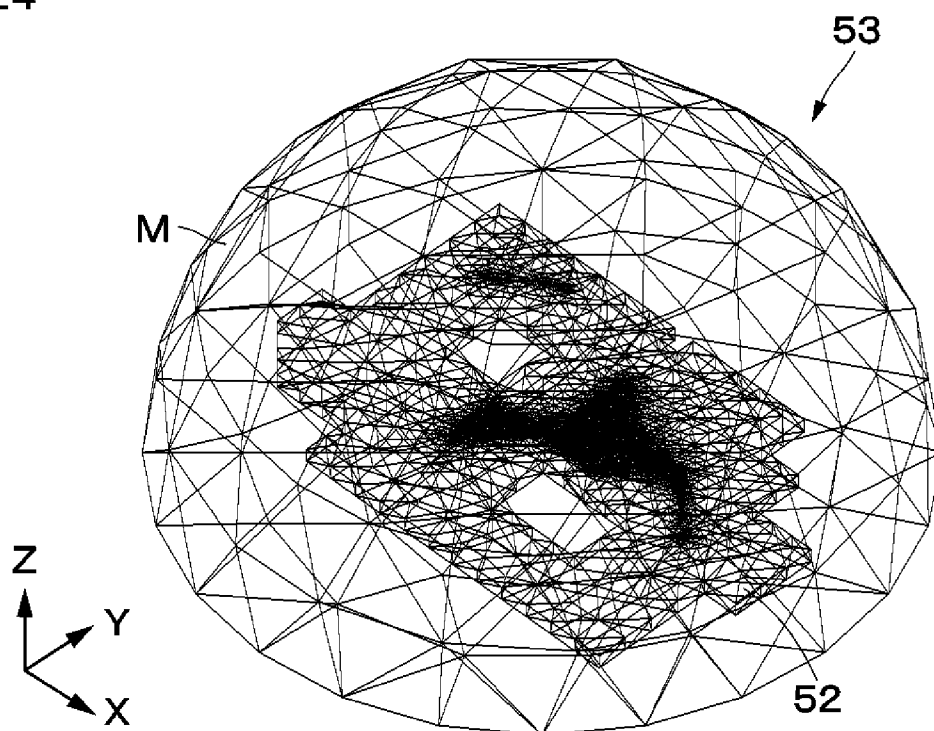
[図23]

Fig.23



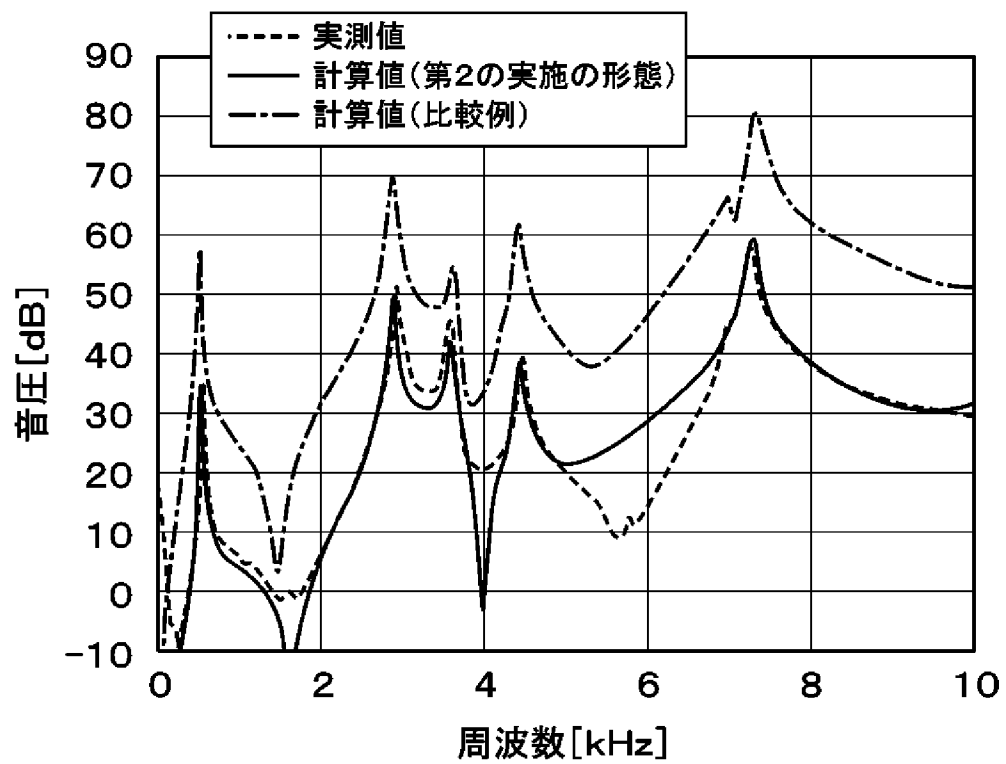
[図24]

Fig.24



[図25]

Fig.25



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/058809

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G06F17/50(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)

G06F17/50

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)

IEEE Xplore, CiNii, JSTPlus(JDreamIII)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2000-349360 A (Murata Mfg. Co., Ltd.), 15 December 2000 (15.12.2000), paragraph [0032] (Family: none)	1-5
A	Tatsuya HOSOKAWA, Akihiro SAWADA, Koji FUJIWARA, Yoshiyuki ISHIHARA, "A Novel Multi- Resonant Current ZVS Converter Operated in Fixed Frequency", [online], IEICE Technical Report. EE, Energy Engineering in Electronics and Communications, 20 January 2011 (20.01. 2011), vol.110/no.393, pages 11 to 16, [retrieved on 11 June 2014 (11.06.2014)] Retrieved from: CiNii	1-5

☒ 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
11 June, 2014 (11.06.14)

Date of mailing of the international search report
24 June, 2014 (24.06.14)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/058809

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	Qiang-Tao Lai, Jun-Fa Mao and Mu-Shui Zhang, Compensation Design for DC Blocking Multilayer Ceramic Capacitor in High-Speed Applications, [online], Components, Packaging and Manufacturing Technology, IEEE Transactions on, 2011.05, volume 1, issue 5, pages 742-751, [retrieved on 11 June 2014] Retrieved from: IEEE Xplore	1-5

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G06F17/50(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. G06F17/50

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）

IEEE Xplore, CiNii, J S T P l u s (J D r e a m I I I)

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 2000-349360 A（株式会社村田製作所） 2000.12.15, 段落【0032】 (ファミリーなし)	1-5
A	細川 達也, 澤田 明宏, 藤原 耕二, 石原 好之, 固定周波数で動作する電流複共振 ZVS コンバータ, [online], 電子情報通信学会技術研究報告. EE, 電子通信エネルギー技術, 2011.01.20, 第110巻／第393号, 第11-16頁, [retrieved on 11 June 2014] Retrieved from: CiNii	1-5

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

1 1 . 0 6 . 2 0 1 4

国際調査報告の発送日

2 4 . 0 6 . 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）

合田 幸裕

5 M

4 6 8 9

電話番号 03-3581-1101 内線 3599

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	Qiang-Tao Lai, Jun-Fa Mao and Mu-Shui Zhang, Compensation Design for DC Blocking Multilayer Ceramic Capacitor in High-Speed Applications, [online], Components, Packaging and Manufacturing Technology, IEEE Transactions on, 2011.05, volume 1, issue 5, pages 742-751, [retrieved on 11 June 2014] Retrieved from:IEEE Xplore	1-5