

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) **公開特許公報(A)**

(11) 特許出願公開番号

特開2012-14246

(P2012-14246A)

(43) 公開日 平成24年1月19日(2012.1.19)

(51) Int. Cl.

F I

テーマコード (参考)

G06F 19/00 (2011.01)

G06F 19/00 110

5 B 0 4 6

G06F 17/50 (2006.01)

G06F 17/50 612H

G06F 17/50 680B

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2010-147575 (P2010-147575)

(22) 出願日 平成22年6月29日 (2010. 6. 29)

(71) 出願人 000002299

清水建設株式会社

東京都港区芝浦一丁目2番3号

(74) 代理人 100064908

弁理士 志賀 正武

(74) 代理人 100108578

弁理士 高橋 詔男

(74) 代理人 100089037

弁理士 渡邊 隆

(74) 代理人 100146835

弁理士 佐伯 義文

(72) 發明者 朝倉 巧

東京都港区芝浦一丁目2番3号 清水建設
株式会社内

[最終頁に続く](#)

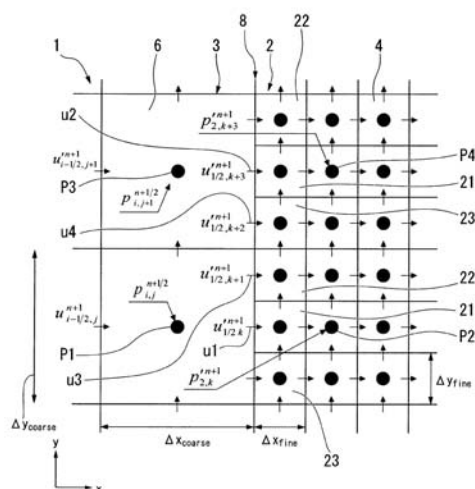
(54) 【発明の名称】 音場解析方法

(57) 【要約】

【課題】微小な散乱体を含む音場において、計算機負荷を低減させることができると共に、計算時間を短縮することができる。

【解決手段】解析対象音場 1 のうち散乱体を含む領域およびその近傍領域とからなるサブグリッド領域（第 1 領域）2 を同一寸法の第 1 グリッド 4 で空間離散化すると共に、解析対象音場 1 のうちサブグリッド領域 2 以外の通常グリッド領域（第 2 領域）3 を同一寸法で、かつ、1 辺が第 1 グリッド 4 の各辺の複数倍の大きさで構成された第 2 グリッド 6 で空間離散化する。

【選択図】図2



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

F D T D 法による音場解析方法であって、

解析対象音場のうち散乱体を含む領域およびその近傍領域とからなる第 1 領域を同一寸法の第 1 グリッドで空間離散化すると共に、前記解析対象音場のうち前記第 1 領域以外の第 2 領域を同一寸法で、かつ、1 辺が前記第 1 グリッドの各辺の複数倍の大きさを構成された第 2 グリッドで空間離散化することを特徴とする音場解析方法。

【請求項 2】

前記第 2 グリッドを構成する各辺が、対応する前記第 1 グリッドの各辺の 3 以上の奇数 N 倍の大きさを構成されていることを特徴とする請求項 1 に記載の音場解析方法。

10

【請求項 3】

前記第 1 グリッドの時間離散化幅を、前記第 2 グリッドの時間離散化幅を前記奇数 N で除した値とし、

前記第 1 グリッドの解析を前記奇数 N 回反復することを特徴とする請求項 2 に記載の音場解析方法。

【請求項 4】

前記第 1 領域と前記第 2 領域との境界における粒子速度および音圧の算出は、

前記境界における 1 個の前記第 2 グリッドと、該第 2 グリッドに接して配列された前記奇数 N 個の第 1 グリッドのうち配列の中央に位置する中央グリッドと、の間の粒子速度を、前記第 2 グリッドの音圧と、前記第 1 領域における前記第 2 グリッドの音圧と前記境界を基準に対称となる位置の音圧と、の差分から算出し、

20

前記境界における 1 個の前記第 2 グリッドと、該第 2 グリッドに接して配列された前記奇数 N 個の第 1 グリッドのうち前記中央グリッド以外の側方グリッドと、の間の粒子速度を、前記側方グリッドの前記境界に沿って両側にそれぞれ配される 2 つの前記中央グリッドのそれぞれの粒子速度を線形補間して算出し、

前記第 1 グリッドの音圧は、前記粒子速度の方向の前後に隣接する粒子速度の差分から算出することを特徴とする請求項 2 または 3 に記載の音場解析方法。

【発明の詳細な説明】

30

【技術分野】

【0001】

本発明は、F D T D 法による音場解析方法に関する。

【背景技術】

【0002】

従来より、建築建具の周辺部分等に生じる微小な隙間が遮音性能の低下の要因となるため、その対策方法や遮音性能低下の予測計算手法などが検討され、実施されている。

ここで、電磁場の特性解析手法の一つとして、例えば、特許文献 1 に F D T D (F i n i t e D i f f e r e n n c e T i m e D o m a i n) 法を用いた解析手法が開示されている。F D T D 法を用いた一般的な解析方法は、解析対象(空間)全体を同一寸法のグリッドで空間離散化し、全てのグリッドにマクスウェルの方程式を適用して解析を行っている。

40

本発明は、この F D T D 法を音場解析に利用するものである。

ところで、解析対象に微小な散乱体が部分的に含まれる場合、この微小な散乱体の寸法に見合った目の細かいグリッドで音場全体を空間離散化する必要があるため、グリッドの数が増大して解析を行う計算機の負荷が大きくなり、解析に時間がかかるという問題がある。

そこで、特許文献 1 では、不等間隔のメッシュ(グリッド)を用いて解析空間を構成し、解析を行っている。

【先行技術文献】

50

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開2004-239736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、特許文献1の電磁界特性解析方法では、微小な散乱体の近傍と、この近傍からグリッド線に沿って四方に延びる領域とを目的の細かいグリッドで空間離散化するため、全ての領域を同一寸法のグリッドに区切る場合よりは計算機負荷は小さくなるものの、依然として計算機負荷が大きく、解析に時間がかかると共に、計算アルゴリズムも複雑

10

【0005】

本発明は、上述する問題点に鑑みてなされたもので、微小な散乱体を含む音場において、計算機負荷を低減させることができ、計算時間を短縮することができる音場解析方法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】

上記目的を達成するため、本発明に係る音場解析方法は、FDTD法による音場解析方法であって、解析対象音場のうち散乱体を含む領域およびその近傍領域とからなる第1領域を同一寸法の第1グリッドで空間離散化すると共に、前記解析対象音場のうち前記第1領域以外の第2領域を同一寸法で、かつ、1辺が前記第1グリッドの各辺の複数倍の大きさで構成された第2グリッドで空間離散化することを特徴とする。

20

【0007】

本発明では、解析対象音場のうち散乱体を含む領域およびその近傍領域とからなる第1領域を第1グリッドで空間離散化し、これ以外の第2領域を第2グリッドで空間離散化しており、第1グリッドは、第2グリッドよりも目が細かく設定されている。これにより、散乱体の寸法に見合った目の細かいグリッドで音場全体を空間離散化する従来の音場解析方法と比べて、空間離散化されたグリッド数を少なくすることができるため、解析を行う計算機にかかる負荷を低減させることができ、解析時間を短縮させることができる。

【0008】

30

また、本発明に係る音場解析方法では、前記第2グリッドを構成する各辺が、対応する前記第1グリッドの各辺の3以上の奇数N倍の大きさで構成されていることが好ましい。

【0009】

このように、第2グリッドの1辺の長さが第1グリッドの1辺の長さの3以上の奇数N倍であることにより、第2グリッドの中心と、第2グリッドと隣り合いかつ第2グリッドと同じ大きさで構成される第1グリッド群の中心とが、第1領域と第2領域との境界に沿って奇数N個配された第1グリッドのうち中央に位置する第1グリッドの境界を介して対称な位置に配されることとなる。したがって、音圧および粒子速度を簡便に求めることができる。また、この中央に位置する第1グリッドの両側に同数の第1グリッドが配されるため、解析を行いやすい構成とすることができる。

40

【0010】

また、本発明に係る音場解析方法では、前記第1グリッドの時間離散化幅を、前記第2グリッドの時間離散化幅を前記奇数Nで除した値とし、前記第1グリッドの解析を前記奇数N回反復することが好ましい。

【0011】

このように、第1グリッドの時間離散化幅を第2セルの時間離散化幅を前記奇数Nで除した値とすると共に、第1グリッドの解析を奇数N回反復することにより、第1グリッドの解析にかかる時間を短縮させることができるとともに、精度の高い解析を行うことができる。。

【0012】

50

また、本発明に係る音場解析方法では、前記第 1 領域と前記第 2 領域との境界における粒子速度および音圧の算出は、前記境界における 1 個の前記第 2 グリッドと、該第 2 グリッドに接して配列された前記奇数 N 個の第 1 グリッドのうち配列の中央に位置する中央グリッドと、の間の粒子速度を、前記第 2 グリッドの音圧と、前記第 2 グリッドの音圧と前記境界を基準に対称となる位置の音圧と、の差分から算出し、前記境界における 1 個の前記第 2 グリッドと、該第 2 グリッドに接して配列された前記奇数 N 個の第 1 グリッドのうち中央グリッド以外の側方グリッドと、の間の粒子速度を、前記第 2 グリッドと、前記側方グリッドに前記境界に沿って両側にそれぞれ近接する 2 つの前記中央グリッドと、の間の粒子速度の線形補間によって算出し、第 1 グリッドの音圧を前記粒子速度の方向の前後に隣接する粒子速度の差分から算出することが好ましい。

10

【 0 0 1 3 】

このように、粒子速度および音圧を算出することにより、簡便に解析することができるため、更に、計算機負荷を低減させることができ、解析時間を短縮させることができる。

【 発明の効果 】

【 0 0 1 4 】

本発明によれば、音場解析を行う計算機の負荷を低減させることができ、解析時間を短縮させることができる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 1 5 】

【 図 1 】 本発明の実施形態による音場の一例を示す図である。

20

【 図 2 】 第 1 領域と第 2 領域との境界部分を示す図である。

【 図 3 】 本発明の実施形態による音場解析方法のフローチャートを示す図である。

【 図 4 】 (a) は解析対象とした音場を示す図、(b) は (a) の拡大図である。

【 図 5 】 サブグリッド部位からの反射エネルギーを示す図である。

【 図 6 】 (a) は解析対象とした他の音場を示す図、(b) は (a) の拡大図である。

【 図 7 】 異なるグリッドを使用した音場解析の結果を比較する図である。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 1 6 】

以下、本発明の実施形態による音場解析方法について、図 1 乃至図 6 に基づいて説明する。

30

本実施形態による音場解析方法は、図 1 に示すような、建築建具 1 1 の周辺部などに生じた隙間 1 2 を透過する透過音を F D T D 法によって解析する方法である。

本実施形態では、解析対象音場 1 は、微小な散乱体を含む領域およびその近傍の領域からなるサブグリッド領域 (第 1 領域) 2 と、サブグリッド領域 2 以外の周縁に配される通常グリッド領域 (第 2 領域) 3 と、を備えている。サブグリッド領域 2 は、同一寸法で、かつ、矩形状のサブグリッド (第 1 グリッド) 4 に区切られ、該サブグリッド 4 で空間離散化されるように構成されている。つまり、全てのサブグリッド 4 は同一形状で形成されている。通常グリッド領域 3 は、同一寸法で、かつ、サブグリッド 4 より大きい矩形状の通常グリッド (第 2 グリッド) 6 に区切られ、該通常グリッド 6 で空間離散化されるように構成されている。つまり、全ての通常グリッド 6 は同一形状で形成されている。

40

【 0 0 1 7 】

図 2 に示すように、サブグリッド 4 は、微小な散乱体にあわせて、通常グリッド 6 よりも目が細かく形成されている。具体的には、1 つの通常グリッド 6 の辺の長さ (空間離散化幅) Δx_{coarse} , Δy_{coarse} は、1 つのサブグリッド 4 の辺の長さ (空間離散化幅) Δx_{fine} , Δy_{fine} の 3 以上の奇数 N 倍となるように構成されており、本実施形態では、N = 3 となっている。なお、N は 3 以上の奇数であれば、3 以外としてもよい。

ここで、サブグリッド領域 2 と通常グリッド領域 3 との境界 8 において、1 つの通常グリッド 6 と接する 3 つのサブグリッド 4 のうち、中央部に位置するサブグリッド 4 を中央グリッド 2 1 とし、その両側のサブグリッド 4 を側方グリッド 2 2 , 2 3 として以下説明する。

50

【 0 0 1 8 】

次に、本実施形態による音場解析の手順を図 1 乃至 3 に基づいて説明する。図 3 には、本実施形態による音場解析方法のフローチャートを示す。

【 0 0 1 9 】

まず、図 1 および図 2 に示す通常グリッド領域 3 における粒子速度を更新する (S 1)

。

続いて、サブグリッド領域 2 と通常グリッド領域 3 との境界 8 上の粒子速度を計算する (S 2) 。

具体的には、境界 8 上の、隣り合う通常グリッド 6 とそれぞれに対応する中央グリッド 2 1 との間の粒子速度 u_1 , u_2 を求める。

10

粒子速度 u_1 , u_2 は、下記式 (1)、(2)を用いて算出する。式中の $n + 1$ は、時間ステップを表す。

【 0 0 2 0 】

【 数 1 】

$$u_1 = u'_{1/2,k}{}^{n+1} = u'_{1/2,k}{}^n - (p'_{2,k}{}^{n+1/2} - p'_{i,j}{}^{n+1/2}) \Delta t / \rho \Delta x_{\text{coarse}} \quad (1)$$

$$u_2 = u'_{1/2,k+3}{}^{n+1} = u'_{1/2,k+3}{}^n - (p'_{2,k+3}{}^{n+1/2} - p'_{i,j+1}{}^{n+1/2}) \Delta t / \rho \Delta x_{\text{coarse}} \quad (2)$$

20

ここで、 ρ は空気の密度、 Δt は通常グリッド6の時間離散化幅、 Δx_{coarse} は通常グリッド領域3における空間離散化幅を表す。

【 0 0 2 1 】

つまり、境界 8 における 1 個の通常グリッド 6 と、該通常グリッド 6 に接して配列された 3 個のサブグリッド 4 のうち配列の中央に位置する中央グリッド 2 1 と、の間の粒子速度 u_1 、 u_2 を、通常グリッド 6 の音圧と、サブグリッド領域 2 における通常グリッド 6 の音圧と境界 8 を基準に対称となる位置の音圧と、の差分から算出している。このように構成することで、解析アルゴリズムも比較的簡便となり、解析時間を短縮することが可能となる。

30

【 0 0 2 2 】

次に、通常グリッド 6 と側方グリッド 2 2 との間の粒子速度 u_3 、通常グリッド 6 と側方グリッド 2 3 との間の粒子速度 u_4 を求める。

粒子速度 u_3 , u_4 は、粒子速度 u_1 , u_2 の線形補間から算出する。具体的には、下記式 (3)、(4)となる。

【 0 0 2 3 】

【 数 2 】

$$u_3 = u'_{1/2,k+1}{}^{n+1} = (2 \cdot u'_{1/2,k}{}^{n+1} + 1 \cdot u'_{1/2,k+3}{}^{n+1}) / 3 \quad (3)$$

40

$$u_4 = u'_{1/2,k+2}{}^{n+1} = (1 \cdot u'_{1/2,k}{}^{n+1} + 2 \cdot u'_{1/2,k+3}{}^{n+1}) / 3 \quad (4)$$

【 0 0 2 4 】

上記 (3)、(4)式において二つの粒子速度 u_3 、 u_4 に乗ずる各係数は、通常グリッド 6 とサブグリッド 4 との辺の長さの比 (メッシュ比、本実施形態では 3 : 1) に応じて変化させればよい。以上の計算をすべての境界 8 上におけるすべての粒子速度に対して行う。

50

【 0 0 2 5 】

続いて、サブグリッド領域 2 の粒子速度を更新 (S 3) し、サブグリッド領域 2 の境界条件の付与を行う (S 4)。

そして、サブグリッド領域 2 の音圧を更新する (S 5)。

このサブグリッド領域 2 における粒子速度および音圧は以下の式 (5)、(6)、(7)を用いて逐次更新する。

【 0 0 2 6 】

【 数 3 】

$$u'_{i+1/2,j}{}^{n+1} = u'_{i+1/2,j}{}^n - (p'_{i+1,j}{}^{n+1/2} - p'_{i,j}{}^{n+1/2}) \Delta t / \rho \Delta x_{\text{fine}} \quad (5)$$

10

$$v'_{i,j+1/2}{}^{n+1} = v'_{i,j+1/2}{}^n - (p'_{i,j+1}{}^{n+1/2} - p'_{i,j}{}^{n+1/2}) \Delta t / \rho \Delta y_{\text{fine}} \quad (6)$$

$$p'_{i,j}{}^{n+1/2} = p'_{i,j}{}^{n-1/2} - \rho c^2 \Delta t \left(\frac{u'_{i+1/2,j}{}^n - u'_{i-1/2,j}{}^n}{\Delta x_{\text{fine}}} + \frac{v'_{i,j+1/2}{}^n - v'_{i,j-1/2}{}^n}{\Delta y_{\text{fine}}} \right) \quad (7)$$

なお、 v' は y 方向の粒子速度、 Δx_{fine} 、 Δy_{fine} はサブグリッド領域2における x 方向、 y 方向の空間離散化幅を表す。

20

【 0 0 2 7 】

ここで、サブグリッド領域 2 における数値的安定性を確保するため、サブグリッド 4 の寸法に応じた時間離散化幅 ΔT を設定する。このため、サブグリッド領域 2 の時間離散化幅 ΔT を通常グリッド領域 3 の時間離散化幅 Δt よりも細かく設定し、解析時間を短縮させる。

即ち、サブグリッド領域 2 に対するステップ S 2 ~ S 5 について、N 回の反復計算を行い、サブグリッド領域 2 の時間離散化幅 $\Delta T = \Delta t / N$ とする。なお、 Δt は、通常グリッド領域 3 における時間離散化幅を示す。また、本実施形態では $N = 3$ とし、上述した 3 以上の奇数 N と同数とする。

30

【 0 0 2 8 】

続いて、通常グリッド領域 3 の境界条件を付与し (S 6)、通常グリッド領域 3 の音圧を更新する (S 7)。

そして、上述したステップ 1 からステップ S 7 までを、境界 8 においてサブグリッド領域 2 と隣接する通常グリッド領域 3 の通常グリッドの分割数 (M) 回反復する。

ここで、通常グリッド領域 3 における音圧と粒子速度については、高次差分スキームによる従来の F D T D 法を用いて、逐次時間ステップ毎に行う。

【 0 0 2 9 】

次に、上述した本実施形態による音場解析方法の効果について説明する。

本実施形態による音場解析方法によれば、微小な散乱体を含む領域及びその近傍の領域であるサブグリッド領域 2 のみを、散乱体に合わせた目の細かいサブグリッド 4 で空間離散化し、これ以外の領域である通常グリッド領域 3 を、サブグリッド 4 よりも目の粗い通常グリッド 6 で空間離散化している。このため、解析対象音場 1 全体をサブグリッド 4 で空間離散化させる従来の音場解析方法と比べて、計算機負荷を低減させることができ、解析時間を大幅に短縮することができる効果を奏する。

40

【 0 0 3 0 】

また、解析対象音場 1 全体の時間離散化を同一に設定せずに、サブグリッド領域 2 の時間離散化幅 ΔT のみを、通常グリッド領域 3 の時間離散化幅 Δt よりも小さく設定したため、全領域の時間離散化幅を小さく設定する従来の音場解析方法よりも、解析時間を低減させることができる。

50

また、サブグリッド 4 における粒子速度を線形補間によって算出しているため、解析アルゴリズムも比較的簡便となり、取り扱い易く広く使用することができる。

【0031】

ここで、本実施形態による音場解析方法では、通常グリッド 6 とサブグリッド 4 との不連続性によって生じる反射波が数値誤差となるため、この反射波について、定量的に把握するための検討を行った。

まず、図 4 (a)、(b) に示す 2 次元音場 3 1 を対象として解析を行った。図中における音場 3 3 の右側をサブグリッド領域 3 2、左側を通常グリッド領域 3 3 とし、通常グリッド 3 6 とサブグリッド 3 4 とのメッシュ比 (グリッドの辺の長さ比) を 3 : 1 とした。

10

そして、2 次元音場 3 1 に平面波を入射させ、受音点における過剰応答を求め、入射波及び反射波を時間的に分離し、両者のエネルギー比 (Reflection error) を算出した。また、これと同様に、メッシュ比を 9 : 1 とした場合の両者のエネルギー比を算出した。

【0032】

図 5 からわかるように、メッシュ比が 3 : 1 の場合は、100 Hz において -100 dB 程度、1 kHz において -50 dB 程度の反射音が生じている。そして、メッシュ比が 9 : 1 の場合と、メッシュ比が 3 : 1 の場合とでは、反射特性に大きな違いが見られない。

【0033】

20

次に、微小な隙間を介した音響透過について調べるため、図 6 (a)、(b) に示す 2 次元音場を対象とした FDTD 解析を行った。

図 6 (a) に示すように、音場 4 1 の略中央に幅 40 mm の剛壁 5 0 を設置し、この中央に 1 mm の隙間 5 1 が形成された状況を想定した。隙間 5 1 近傍領域の音場をサブグリッド領域 4 2 とし、サブグリッド 4 4 (図 6 (b) 参照) を用いて空間離散化した。また、これ以外の通常グリッド領域 4 3 には、通常グリッド 4 6 (図 6 (b) 参照) を用いて空間離散化した。この解析モデルを Type 1 とする。

【0034】

Type 1 では、メッシュ比を 39 : 1 とし、通常グリッド 6 の 1 つのグリッド辺寸法を、 $\Delta x_{coarse} = 40 \text{ mm}$ 、 $\Delta y_{coarse} = 40 \text{ mm}$ とし、サブグリッド 4 のグリッド辺寸法を $\Delta x_{fine} = \text{約 } 1 \text{ mm}$ 、 $\Delta y_{fine} = \text{約 } 1 \text{ mm}$ とした。

30

比較のために、図 6 と同様の剛壁 5 0 が設置された音場において、全領域を上述したサブグリッド 4 で空間離散化した場合についても解析を行った。この解析モデルを Type 2 とする。

そして、Type 1 および Type 2 共に、音源点 5 3 に 1 kHz までの周波数成分を含むガウシンプルスを与えた。

【0035】

図 7 に解析結果を示す。図 7 に示すように、Type 1 において、若干の乱れが生じているものの、概ね両者は同様の傾向を示していることがわかる。

ここで、7000 ステップ (7 ms) の計算に対して、Type 1 の場合は、41 sec 要したのに対して、Type 2 の場合は、4724 sec 要した。つまり、隙間 1 2 近傍のみをサブグリッド 4 で空間離散化した Type 1 の方が、音場 1 全体をサブグリッド 4 で空間離散化した Type 2 と比べて、解析時間を大幅に短縮することができることがわかる。

40

【0036】

以上、本発明による音場解析方法の実施形態について説明したが、本発明は上記の実施形態に限定されるものではなく、その趣旨を逸脱しない範囲で適宜変更可能である。

例えば、上述した実施形態では、1 つの通常グリッド 6 の辺の長さ (空間離散化幅) Δx_{coarse} 、 Δy_{coarse} は、1 つのサブグリッド 4 の辺の長さ (空間離散化幅) Δx_{fine} 、 Δy_{fine} の 3 以上の奇数 N 倍となるように構成されており、本実施形態では、 $N = 3$ とな

50

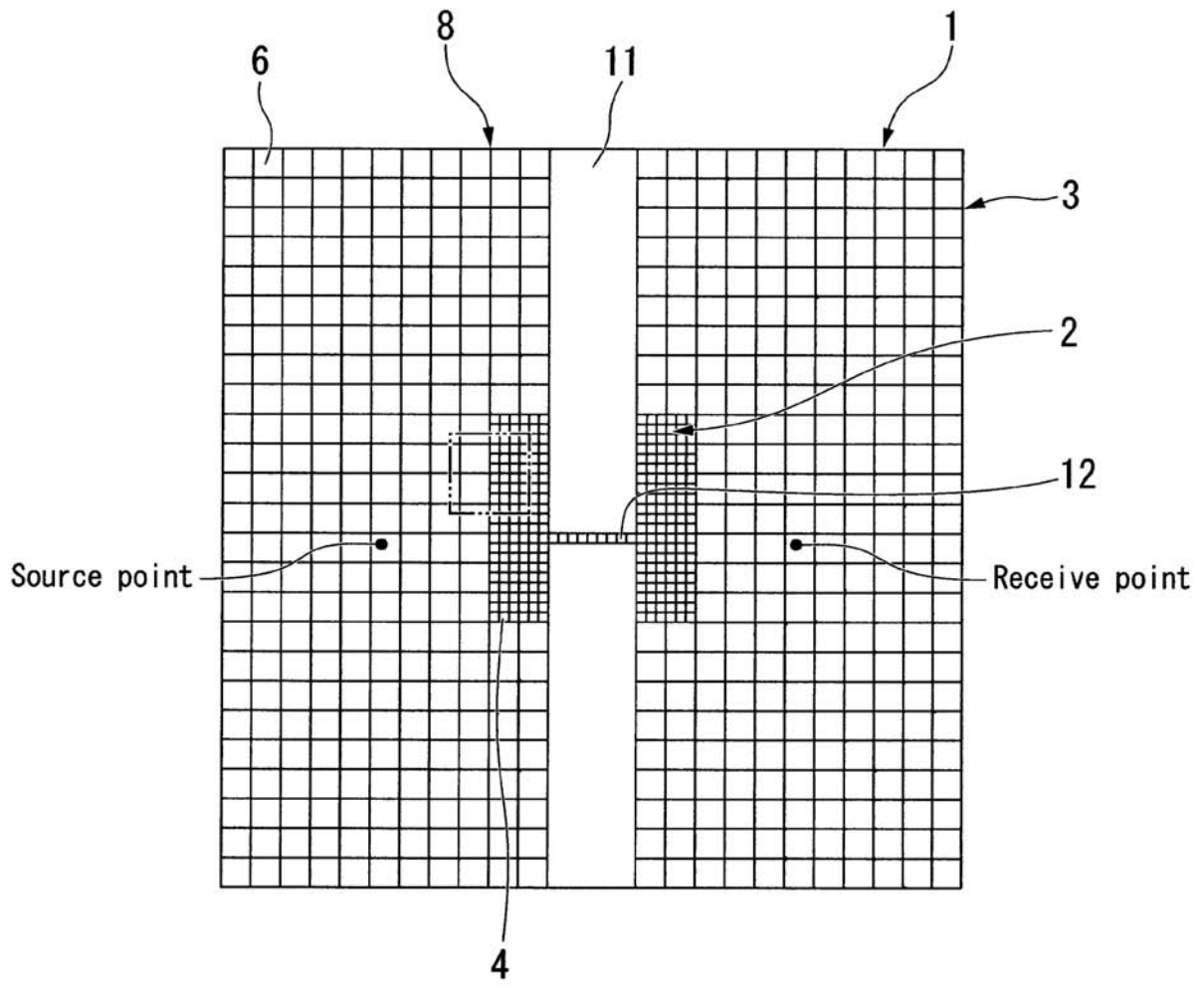
っているが、 N は 3 以上の奇数であれば、3 以外としてもよい。

【符号の説明】

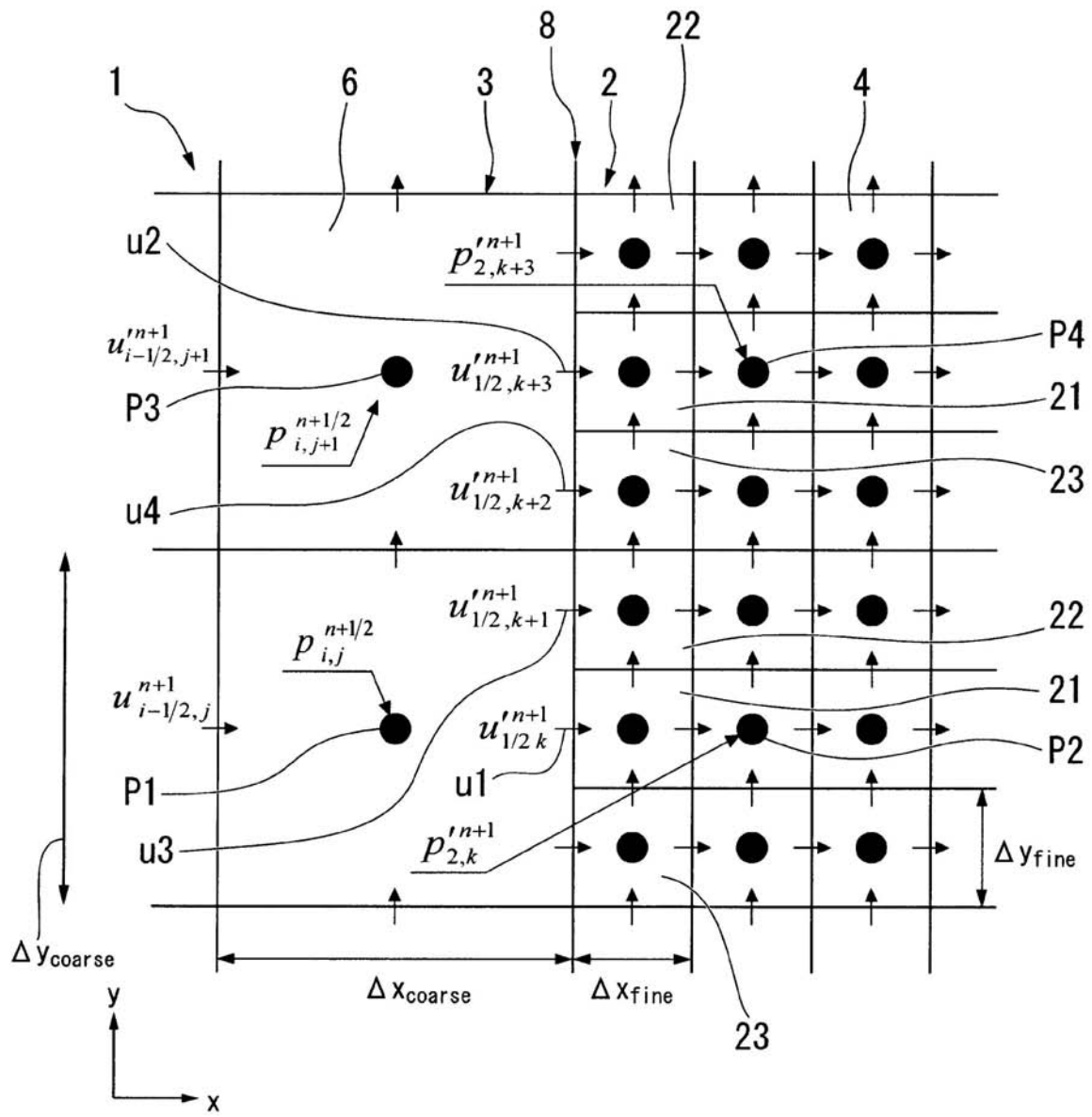
【0037】

- 1 音場
- 2 サブグリッド領域 (第 1 領域)
- 3 通常グリッド領域 (第 2 領域)
- 4 サブグリッド (第 1 グリッド)
- 6 通常グリッド (第 2 グリッド)
- 8 境界
- 21 中央グリッド
- 22, 23 側方グリッド
- u 粒子速度
- p 音圧

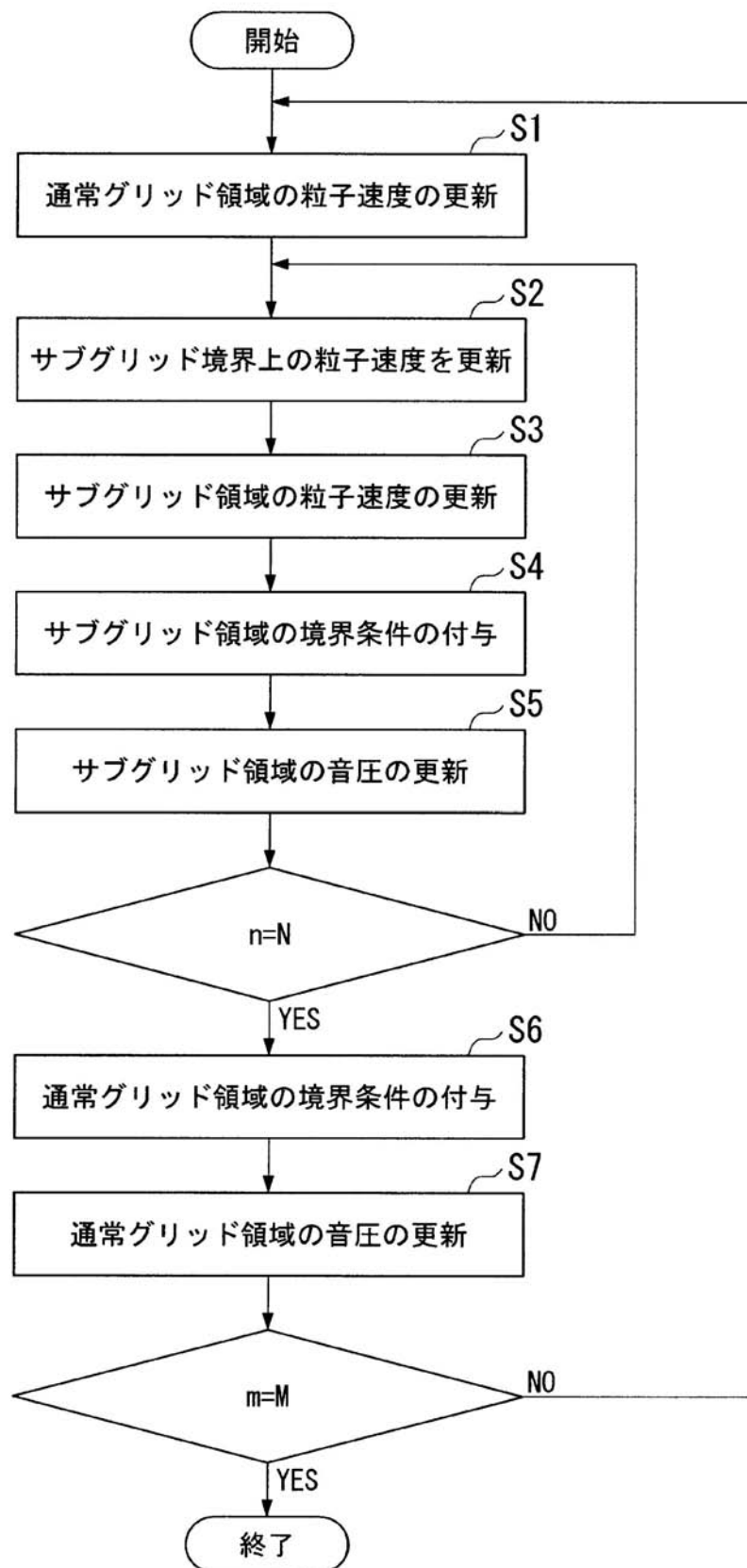
【図 1】



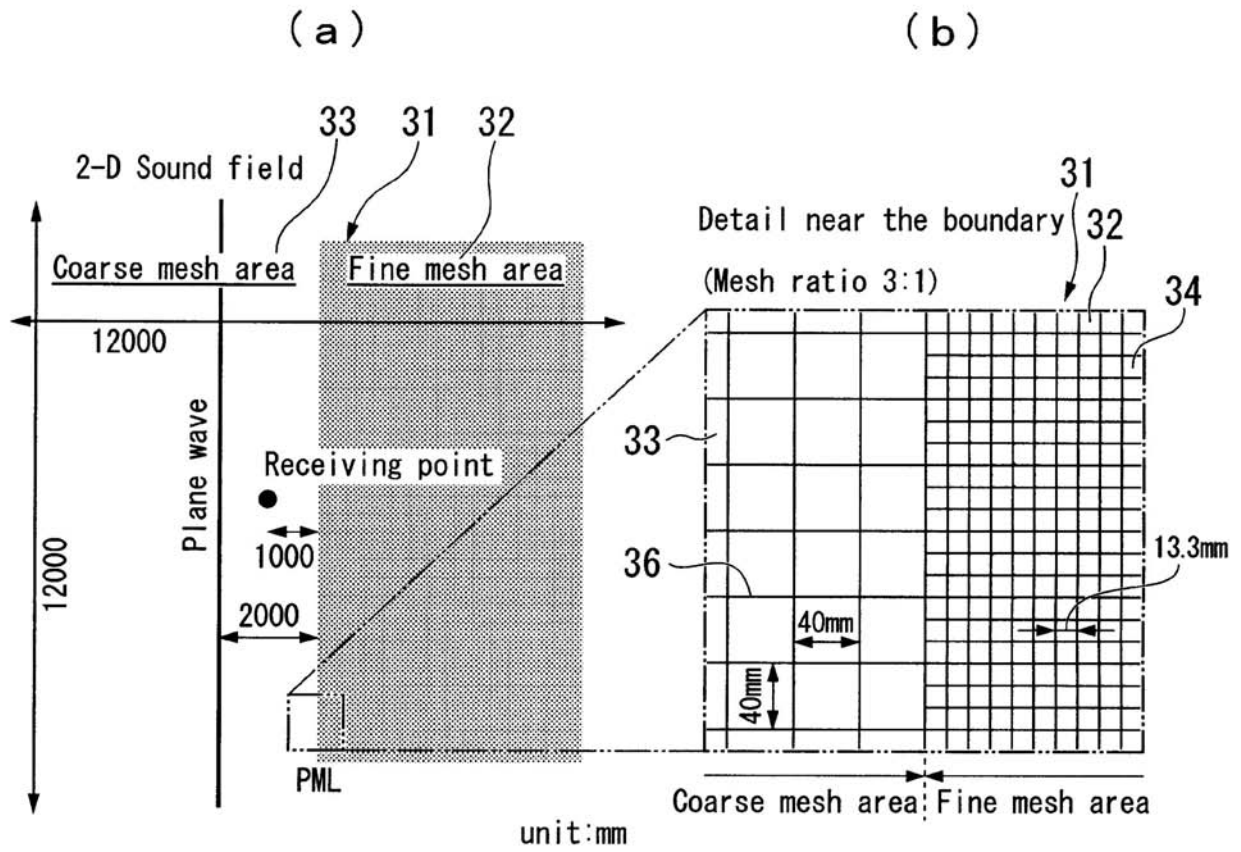
【図 2】



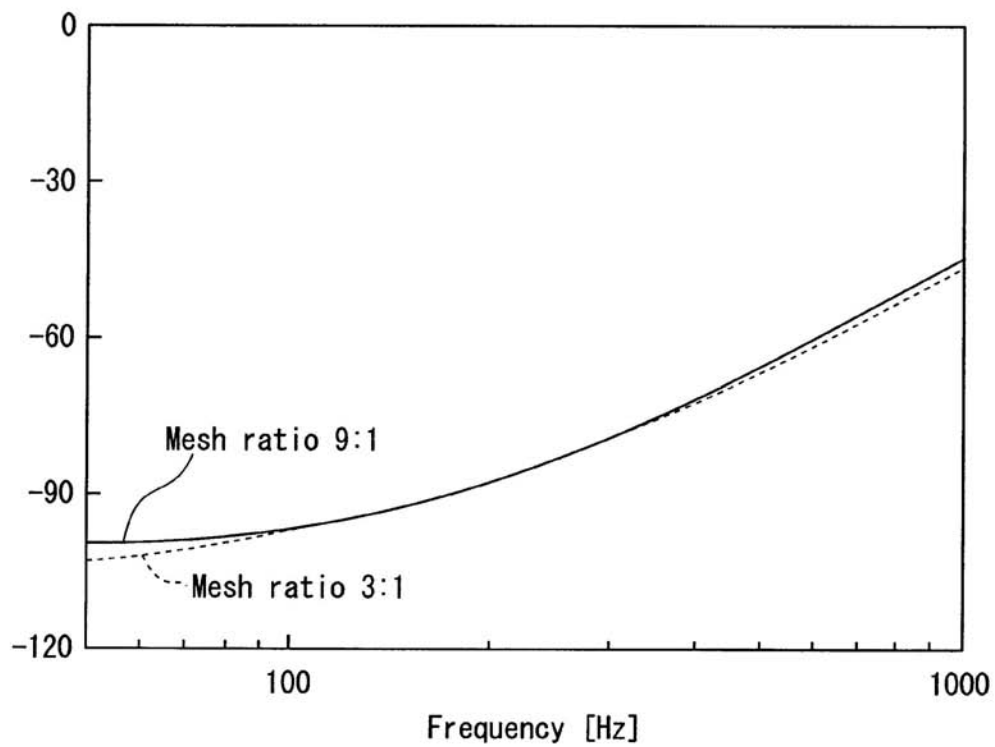
【図 3】



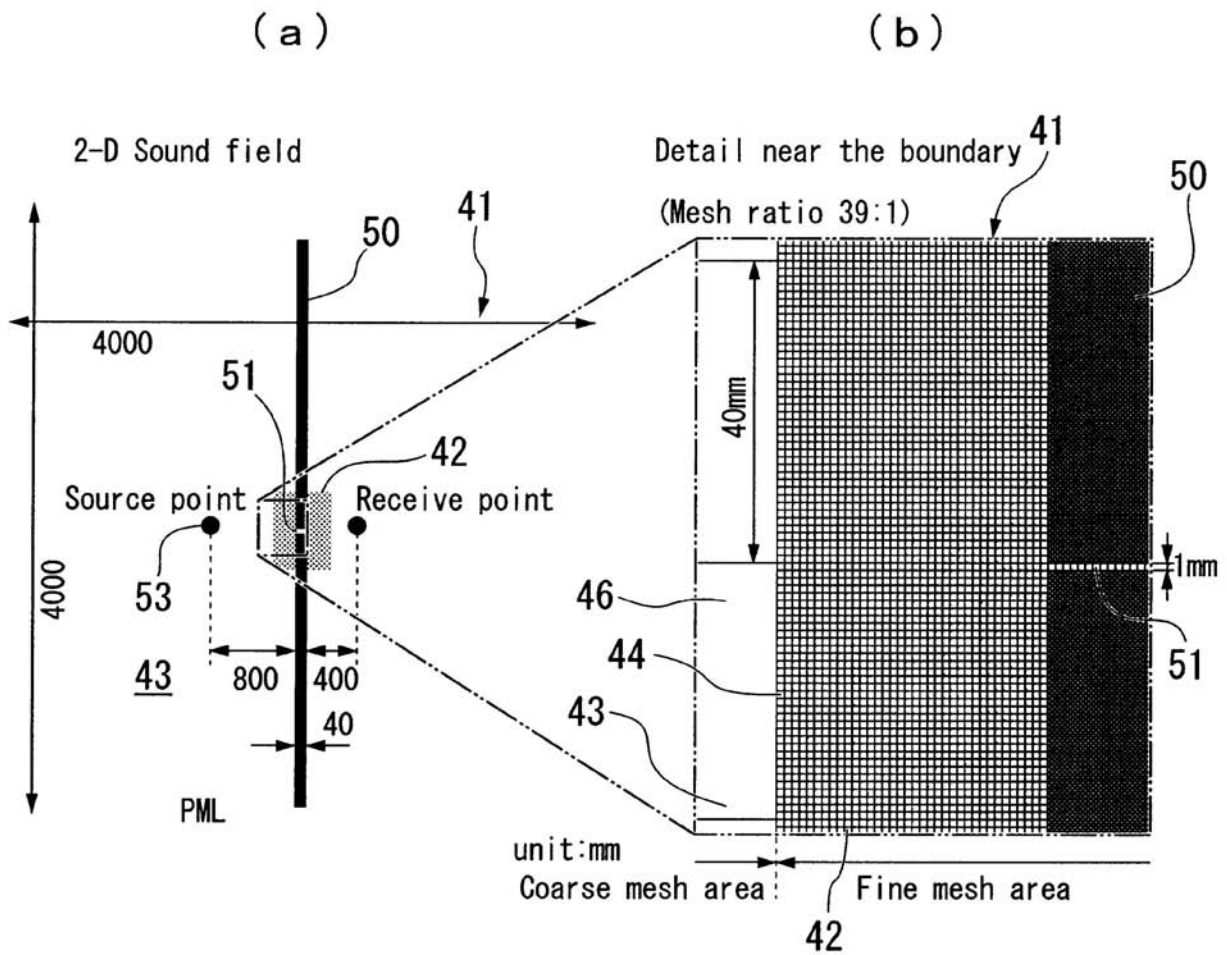
【 図 4 】



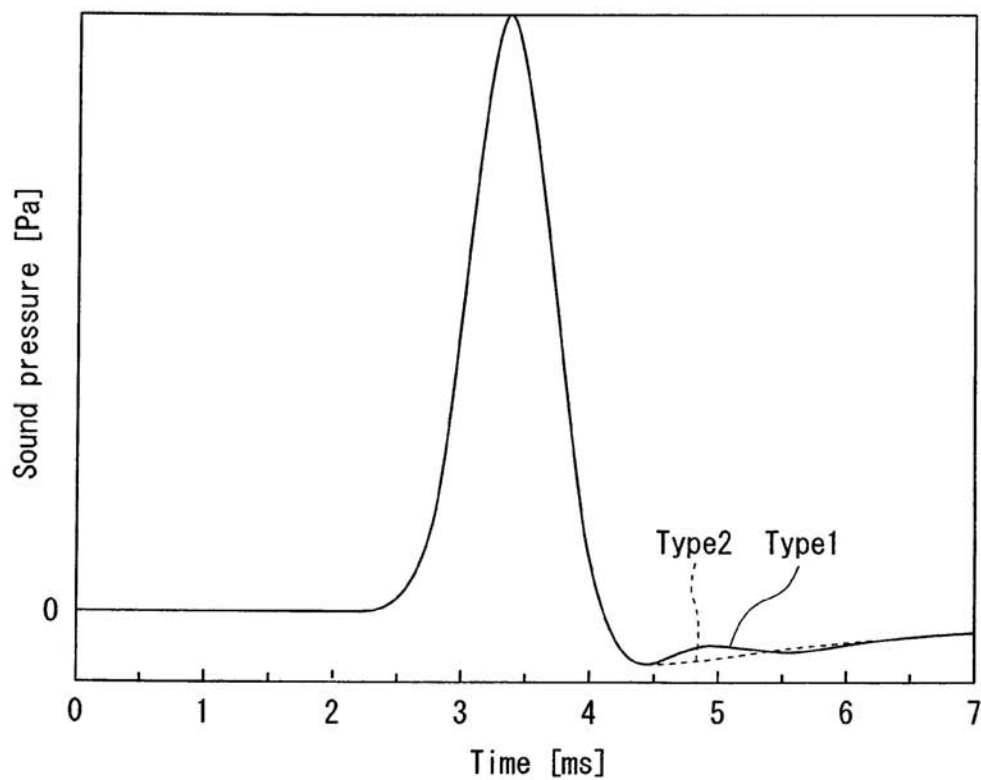
【 図 5 】



【図 6】



【図 7】



フロントページの続き

(72)発明者 坂本 慎一

東京都目黒区駒場 4 - 6 - 1 東京大学 生産技術研究所内

Fターム(参考) 5B046 AA03 JA07