

⑫ 公開特許公報(A)

平2-80951

⑤Int. Cl.<sup>5</sup>  
G 01 N 29/18  
// G 01 N 29/00

識別記号 庁内整理番号  
5 0 1 8707-2G  
8707-2G

⑬公開 平成2年(1990)3月22日

審査請求 有 請求項の数 3 (全6頁)

⑭発明の名称 超音波トモグラフィーを用いた試料の組成分布の評価方法および装置

⑮特 願 昭63-231838

⑯出 願 昭63(1988)9月17日

⑰発 明 者 天 田 重 庚 東京都日野市落川173-45

⑱発 明 者 島 田 道 男 東京都西多摩郡羽村町栄町2丁目13番7号 メゾン武蔵境103

⑲出 願 人 運輸省船舶技術研究所 東京都三鷹市新川6丁目38番1号  
長

明細書

1. 発明の名称

超音波トモグラフィーを用いた試料の組成分布の評価方法および装置

2. 特許の請求の範囲

(1) 試料を複数の領域に区分したモデルを想定し、試料の表面上の一点から指向性の広い超音波を発生させ、前記試料を透過した超音波を、区分した各領域を少なくとも一本の超音波の伝播経路が横切るように試料表面の複数の点で受信し、各受信点に至るまでの超音波の透過時間を測定し、前記のモデルの各領域を通過した超音波の伝播速度を求め(コンピューター・トモグラフィーの方法)、その速度から前記各領域の組成を求めることとなる。試料内部の組成分布の評価法。

(2) 前記超音波をレーザー光の照射によって発生させることを特徴とする。  
請求項(1)記載の組成分布の評価法。

(3) 請求項(1)、(2)を実施するための装置として、図-1に示すようなレーザー発振機と複数の超音波受信器(レシーバー)、及び超音波の透過時間測定装置(トランジェント・レコーダー、デジタイジング・オシロスコープ)、ならびに内部の組成分布を計算する(トモグラフィー)計算機より構成するものである。

3. 発明の詳細な説明

① 目的

(イ) 産業上の利用分野

本発明は非破壊的に試料の内部の組成分布を求める方法に関し、特にコンピューター・トモグラフィーを用いた組成分布の評価法に関する。

(ロ) 従来技術

宇宙往還機、核融合炉、断熱機関等の実現には耐熱材料の開発が最も重要である。特に、高温環境にさらされると同時に高い熱落差を受ける構造部材では、いかに内部に発生する熱応力を緩和するかが重要な課題となる。このため、与えられた温度負荷に対して、熱応力を減少させるように材料内部の組成を人工

的に配列する傾斜機能材料が考えられ現在、鋭意開発が進行している。この材料内部の組成が目的どおり配列されているかどうかを評価するためには、材料内部の組成分布を同定する必要がある。この種の評価手段として現在X-線CTが唯一である。

(ハ) 発明が解決しようとする課題

X-線CTは安全性、装置が大型で高価、操作に時間を要するなどの欠点を有するので使用範囲が限られる。本発明は小形の装置で、任意の場所で安全に測定することのできる評価法を提供することを目的とする。

② 発明の構成

(イ) 課題を解決するための手段

この目的のために、試料を複数の領域に区分したモデルを想定し、試料の表面上の一点から指向性の広い超音波を発生させ、前記試料を透過した超音波を、区分した各領域を少なくとも一本の超音波の伝播経路が横切るように試料表面の複数の点で受信し、各受信点に至るまでの超音波の透過時間を測定し、前記モデルの各領域を通過した超音波の伝播速度を求め(コンピューター・トモグラフィーの方法)、その速度から前記各領域の組成を求めるような構成であることを特徴とする。

(ロ) 作用

弾性体中を伝播する超音波の縦波の速度Vは、ヤング率E、密度ρ、ポアソン比νを用いて、次式のように表せる。

$$V^2 = E[1-\nu] / [(1+\nu)[1-2\nu]\rho] \quad \text{無限体} \quad (1)$$

$$V^2 = E / [(1-\nu^2)\rho] \quad \text{板} \quad (2)$$

$$V^2 = E / \rho \quad \text{棒} \quad (3)$$

一般に、

$$V = f(E, \rho, \nu) = f(\text{組成の成分}) \quad (4)$$

と表される。対象としている材料中に含まれる成分に対して関数fは一価関数を仮定する。そこで、図-2に示すように、与えられた幾何学形状の物体に対して、局所的な超音波の透過時間を測定する。超音波の伝播速度は式(1)、(2)、(3)のように材料のヤング率E、密度ρ、ポアソン比νによって変

化する。従って、透過時間を測定すれば超音波の透過経路上の(E, ρ, ν)なる量の積分値が得られることになる。これよりCT(コンピューター・トモグラフィ)計算を行うことで局所的な物性値(E, ρ, ν)が判り、最後に(E, ρ, ν)より材料を同定することで組成分布を求める。

(ハ) 実施例

(A) 一次元物体

図-3に示すような等厚の無限帯板が板厚方向(X-軸)のみ非均質な組成分布となっている場合を考える。図の左端に微小スポット径を持つレーザーパルスを照射すると熱弾性効果により照射点から超音波が発生する。これを右端のS<sub>n</sub>なる場所でレシーバーにより波を受信することで、経路L<sub>n</sub>に沿って超音波が伝播する時間TOF(Time of Flight):Γ<sub>n</sub>が求まる。一方、L<sub>n</sub>に沿うΓ<sub>n</sub>は、微小経路長さをdℓとすると、次式で与えられる。

$$\Gamma_n = \int_{L_n} d\ell / V(x) \quad n=1, 2, \dots, N \quad (5)$$

次に、受信場所S<sub>n</sub>が必ず異なる層に含まれるように板厚をN個の層に分割し、各層内で組成は均一であると仮定する。すると、式(5)は次式のように書き改められる。

$$\Gamma_n = \sum_{i=1}^K \bar{V}_i \cdot \Delta \ell_{ni} \quad (6)$$

ただし、 $\bar{V}_i$ は層内の伝播速度の逆数、すなわち $\bar{V}_i = 1/V_i$ 、 $\Delta \ell_{ni}$ は伝播経路L<sub>n</sub>のうちのi番目の層の伝播経路長であり、KはL<sub>n</sub>中に含まれる層の数である。例えば、図-3の第一番目の層にレーザービームを照射した場合、

式(6)は次のように書ける。

$$\begin{bmatrix} \Delta \ell_{11} \\ \Delta \ell_{21} & \Delta \ell_{22} \\ \dots & \dots & \dots \\ \Delta \ell_{N1} & \Delta \ell_{N2} & \dots & \Delta \ell_{NN} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \bar{V}_1 \\ \bar{V}_2 \\ \vdots \\ \bar{V}_N \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \Gamma_1 \\ \Gamma_2 \\ \vdots \\ \Gamma_N \end{Bmatrix} \quad (7)$$

層内の経路長さを表す係数マトリックスは三角行列となる。式(7)は簡単に

図-5のように、円筒体をリングと放射状に分割する。半径方向にN分割(N個のリングに相当)、周方向にM分割すれば、N×M個のピクセル(分割された微小格子要素)で円筒体は構成されることになる。各ピクセル内では均質と仮定する。すると、N×M個のレシーバーを、各ピクセルを少なくとも一本の超音波の経路が横切るように配置することにより、これまでの手順と同じように組成分布を求めることができる。

⑤ 発明の効果

レーザー光を一点に照射するのみで測定でき、スキヤニングが不要となるので装置が小形化することができる。又、操作方法が簡単となる。どのような試料でも正確に評価できる。特に、物体中に含まれる空孔、異質物等の同定や位置の確認、材料の組成分布の決定や材料の特性評価(例えば、焼結セラミックスの密度分布等)にも応用できる。

④ 図面の簡単な説明

- 図-1は本発明を実施する装置のブロック図。
- 図-2は本発明の方法しめすフローチャート。
- 図-3は本発明の一次元物体の場合のビーム、レシーバー、区分モデル説明図
- 図-4は本発明の軸対象、円筒体の場合のビーム、レシーバー、区分モデル説明図
- 図-5は本発明の非均質円筒体の場合のビーム、レシーバー、区分モデル説明図

$$[\Delta] \{\bar{V}\} = \{\Gamma\} \quad (8)$$

のようになり、これをベクトルVについて解けば

$$\{\bar{V}\} = [\Delta]^{-1} \{\Gamma\} \quad (9)$$

となって速度が求まる。速度から式(4)の関係より組成の成分が最終的に決定できる。

(B) 二次元物体

二次元の非均質体に対しては、一次元物体の場合を直交する軸方向に拡張して、前節と全く同一の手順にて行えばよい。ただし、一次元の場合には分割を層状に実施したが、二次元の場合にはピクセル(微小格子)なる。

(C) 軸対称円筒

図-4に示すような軸対称円筒体を考える。最初に、組成分布は軸対称を仮定する。伝播経路L<sub>n</sub>に沿う超音波のTOFは

$$\Gamma_n = \int_{L_n} d\ell / V(r) \quad n=1, 2, \dots, N \quad (10)$$

ただし、rは半径、Nは経路の数である。図のごとく円筒体をN個のリングに分割し、リング内では仮定により組成は均質とする。L<sub>n</sub>に沿うTOFは次のように書き改められる。

$$\Gamma_n = \sum_{i=1}^K \bar{V}_i \cdot \Delta \ell_{ni} \quad (11)$$

ただし、 $\Delta \ell_{ni}$ は経路L<sub>n</sub>に含まれる外側からi番目のリングの経路長である。図に示すようなレーザービームの照射とレシーバーの配列に対して、

式(11)は

$$\begin{bmatrix} \Delta \ell_{11} & \Delta \ell_{12} \\ \Delta \ell_{21} & \Delta \ell_{22} & \Delta \ell_{23} \\ \dots & \dots & \dots \\ \Delta \ell_{N1} & \Delta \ell_{N2} & \Delta \ell_{N3} & \dots & \Delta \ell_{NN} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \bar{V}_1 \\ \bar{V}_2 \\ \vdots \\ \bar{V}_N \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \Gamma_1 \\ \Gamma_2 \\ \vdots \\ \Gamma_N \end{Bmatrix} \quad (12)$$

式(12)より一次元の場合と同じ手順にて組成分布が求まる。

(D) 非軸対称組成分布の円筒体

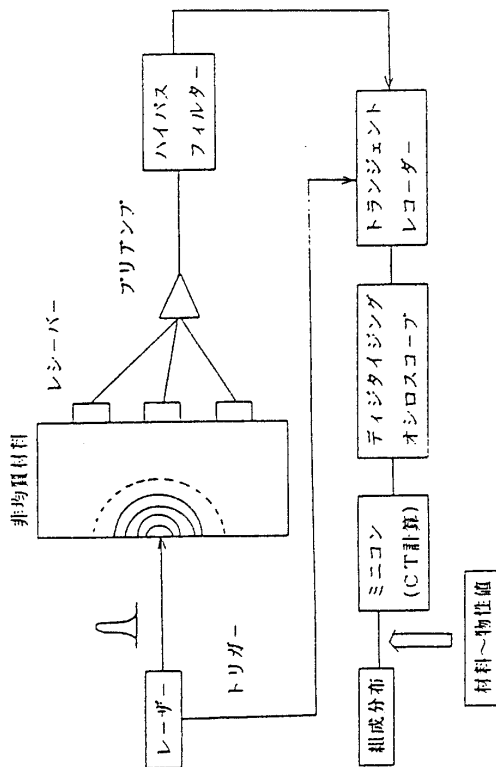


図-1 評価装置の概要

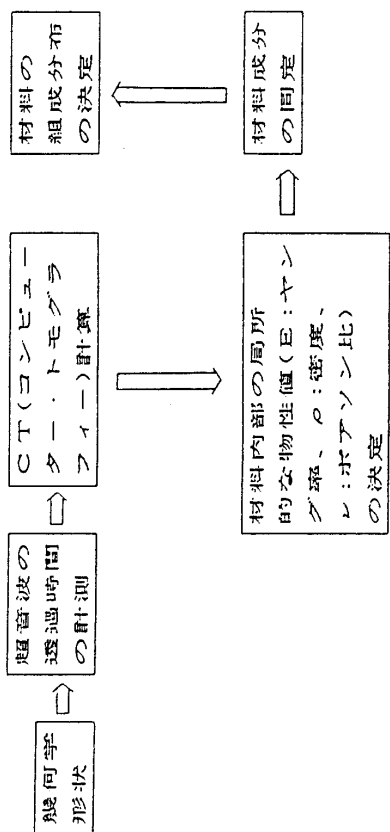


図-2 評価方法のフローチャート

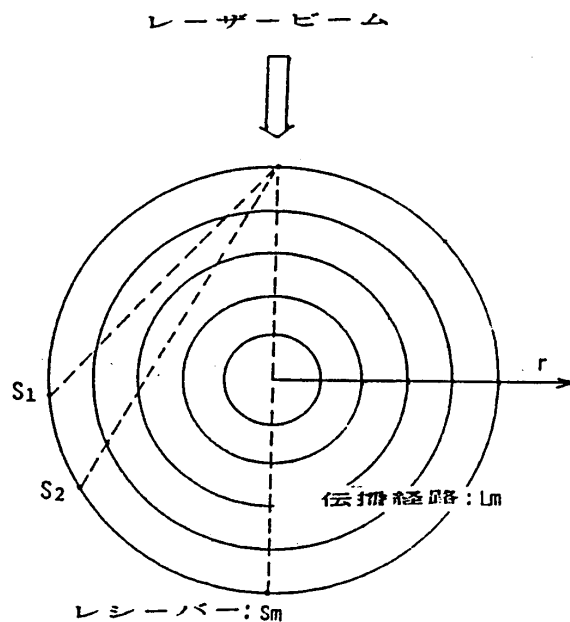


図-4 軸対称円筒体のモデル

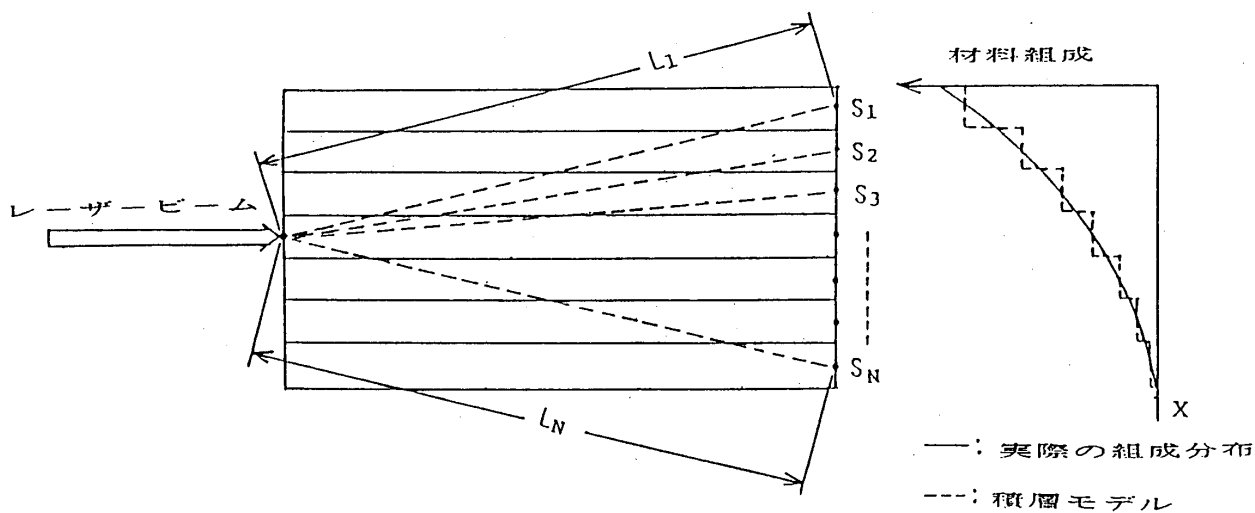


図-3 一次元体のモデル

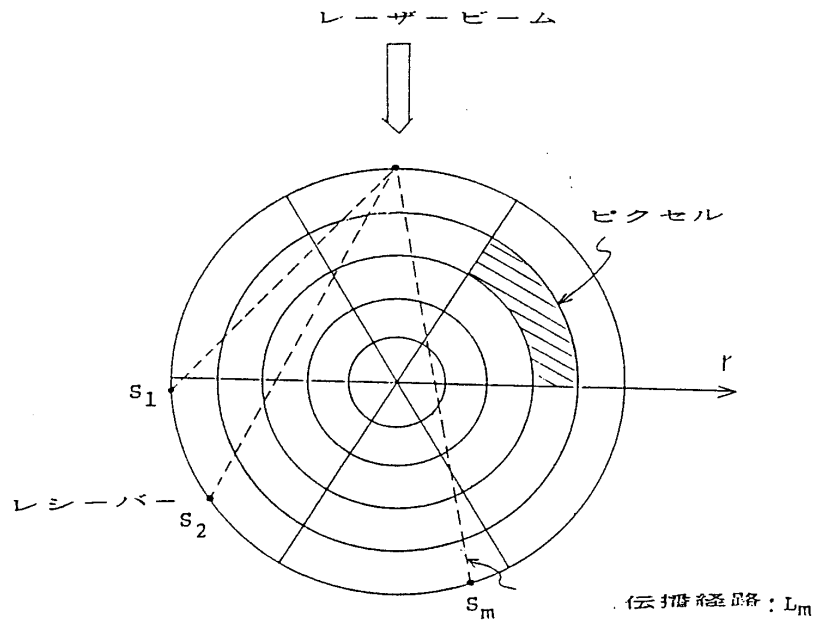


図-5 非均質円筒体のモデル

手続補正書 (方式)

昭和63年12月26日



特許庁長官 殿

1. 事件の表示  
昭和63年特許願第231838号
2. 発明の名称  
超音波トモグラフィーを用いた試料の組成分布の評価方法および装置
3. 補正をする者  
事件との関係 特許出願人  
住所 東京都三鷹市新川6丁目38番1号  
氏名(名称) 運輸省船舶技術研究所長 菅井和夫
5. 補正の対象  
昭和63年9月17日提出の特許願(発明の名称)及び明細書の図面(図1)
6. 補正の内容  
別紙訂正願書及び明細書の図面(図1~5)のとおり(明細書の内容は変更なし)



方式 松島 番査

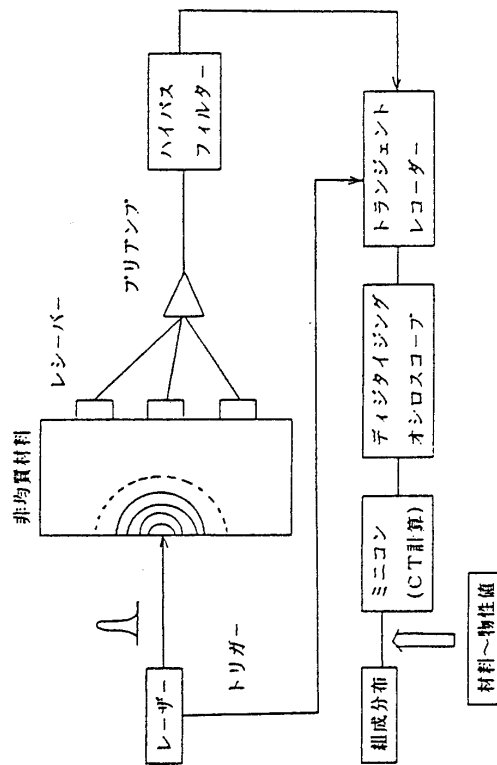


図-1 評価装置の概要

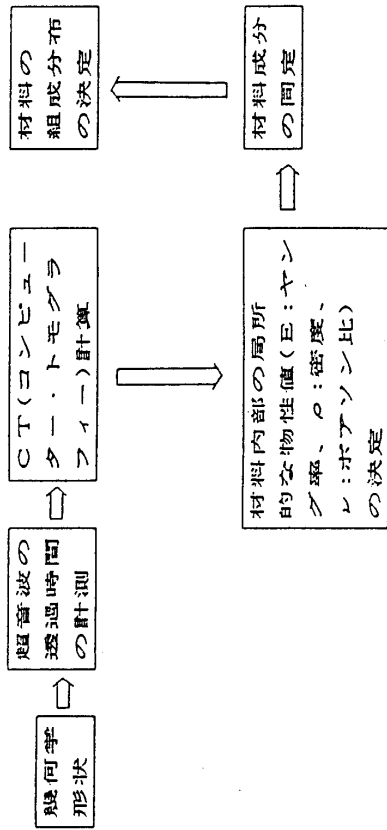


図-2 評価方法のフローチャート

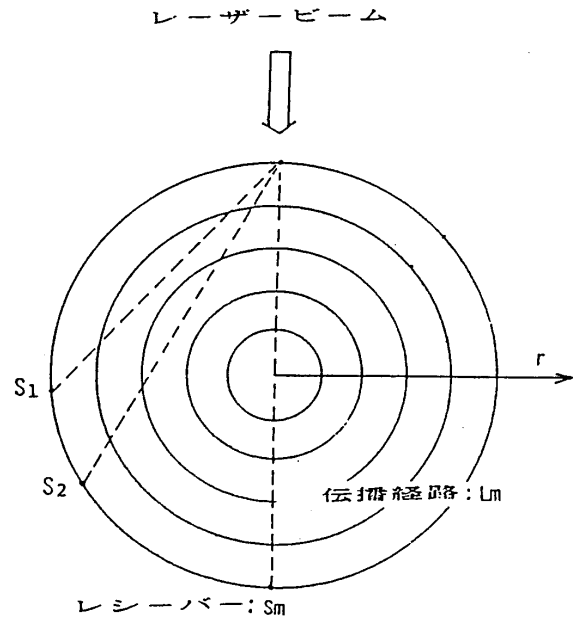


図-4 軸対称円筒体のモデル

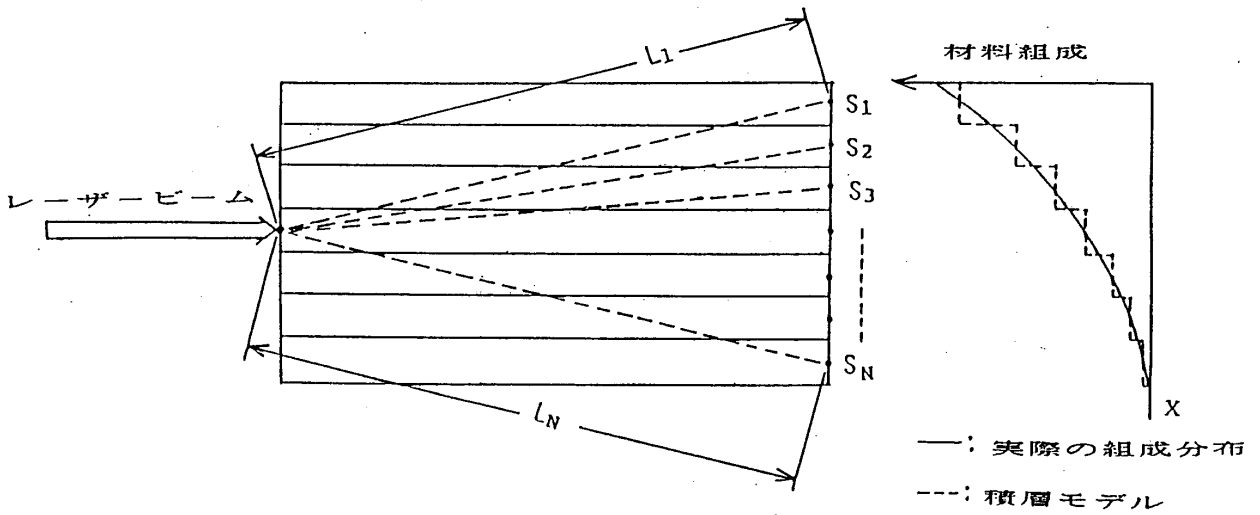


図-3 一次元体のモデル

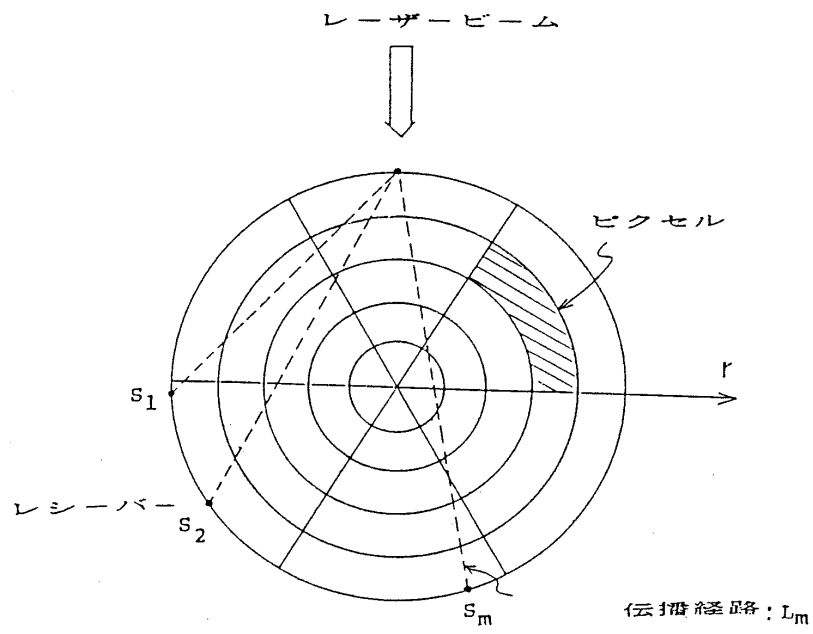


図-5 非均質円筒体のモデル