

伊勢史郎 高林和彦 中村聡延 清山信正 山崎芳男 伊藤 毅 (早大理工)

1. まえがき

近接4点法は4本のマイクロホンのインパルス応答の時間構造の違いに着目して、受音点からみた等価的な反射音 - 仮想音源 - の空間座標と大きさを計算する測定方法である。4つのインパルス応答波形から仮想音源を抽出する過程において適応型の処理を施すことにより室の形状の違いを表すこともできるようになった。そのアルゴリズムを紹介する。

人間は音を探索するときいろいろな方向に耳を傾け、その音の方向を経験的に推定する。この概念を近接4点法にとり入れた。すなわち、ロボットを使って測定点を想定される反射音の位置に漸次精度が向上するように適応させて移動しようというものである。

2. 仮想音源分布の計算アルゴリズム

近接4点法により得られた4つのインパルス応答波形を見比べてみるとどの反射音がどのくらいの長さで対応しているかを判断することができる。そこで次のような処理過程を採用した。

直交する座標に画定した4つのマイクにより収音した信号をそれぞれ $ho(t), hx(t) \cdots hz(t)$ とし各信号において時間 t_N から $t_N + \Delta$ について $S_{ox}(\tau), S_{oy}(\tau) \cdots S_{yz}(\tau)$ の最大値を調べる。その最大となる τ をそれぞれ $\tau_{ox}, \tau_{oy} \cdots \tau_{yz}$ とする。ただし $S_{ox}(\tau)$ は

$$S_{ox}(\tau) = \int_{t_N}^{t_N + \Delta} \frac{ho(t) \cdot hx(t + \tau)}{(ho^2(t) \cdot hx^2(t))^{1/2}} dt \quad (1)$$

である。?

$S_{ox}(\tau_{ox}), S_{oy}(\tau_{oy}) \cdots S_{yz}(\tau_{yz})$ の値が0.8以上となる最大の Δ を探す。その最大となる Δ をそれぞれ $\Delta_{ox}, \Delta_{oy} \cdots \Delta_{yz}$ とする。

$\Delta_{ox}, \Delta_{oy} \cdots \Delta_{yz}$ の中で最小のものをその

反射音の長さ w であると決定する。

その w の長さのデータだけ16倍補間し $\tau_{ox}, \tau_{oy} \cdots \tau_{yz}$ をより厳密に決定する。

決定したパラメータ ($w, \tau_{ox}, \tau_{oy} \cdots \tau_{yz}$) より反射音の波形を決定し、元のデータから減算する。

次の時間 t_{N+1} について 行う。

無響室に反射板を置いてその直接音及び反射音の抽出を試みた。その配置を図1に示す。図4はインパルス応答。図2,3は上記のアルゴリズムにより計算した仮想音源分布図、抽出された直接音および反射音の波形である。

3. マイク位置の適応化による反射音抽出

図2,3を見てもわかるとおり上述のアルゴリズムでは反射音を時間的にはっきりと分離してしまいあまり自然ではない。そこで、音源との距離がわかっていれば受音点の位置を変えることによりその反射音の波形をある程度正確に抽出することが可能となる。

ある時間 t から $t + \Delta$ において反射音を N 個含み、その中で目標とする反射音を $f_1(t)$ とし、それ以外を $f_2(t) \sim f_N(t)$ とする。但し各反射音 $f_1(t) \sim f_N(t)$ の座標を $(x_1, y_1, z_1) \sim (x_N, y_N, z_N)$ とする。測定点 $(px_1, py_1, pz_1) \sim (px_M, py_M, pz_M)$ において M 回測定した時の測定波形を $h_M(t)$ すると、 $f_1(t)$ は

$$f_1(t) = \left(\sum_{i=0}^M h_i(t + s_{i1}) - \sum_{i=0}^M \sum_{k=2}^N f_k(t - s_{ik} + s_{i1}) \right) / M \quad (2)$$

となる。但し s_{ik} は反射音 f_k が受音点 i に到達する時間である。 M および N が大きいほどすなわち音場が拡散していて、しかも測定回数が多いほど上式分子の第2項の期待値は0に近付く。したがって $f_1(t)$ は

$$f_1(t) = \sum_{i=0}^M h_i(t + r_{i1}) / M \quad (3)$$

*Extract Reflection by Adaptive Processing of Closely Located Four Point Microphone Method. By Shiro Ise, Kazuhiko Takabayashi, Toshinobu Nakamura, Nobumasa Seiyama, Yoshio Yamasaki and Takeshi Itow (Waseda University).

となり反射音を推定することが可能となる。

図5はマイクロホンの位置を適応化することにより測定、計算した仮想音源分布図、図6,7はその抽出した直接音と反射音の波形である。なおマイクロホンの移動はスピーカの方に1cm間隔で64回行った。

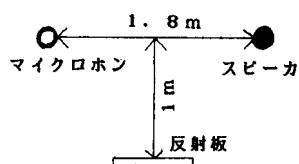


図1 音源，測定点，反射板の配置

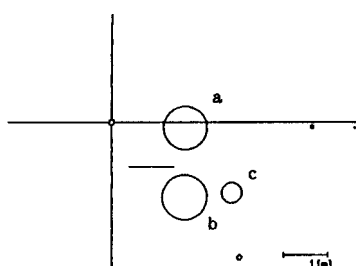


図2 仮想音源分布図

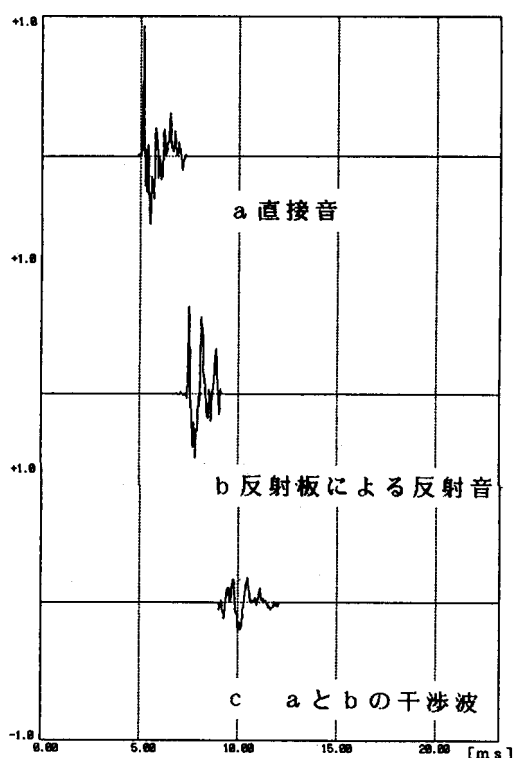


図3 抽出された反射音の波形

4. むすび

マイクロホンの位置制御にロボットを使うことによって明らかな反射音から順々に正確に抽出しながら合理的に測定することも可能となる。また近接4点法において1つのマイクロホンだけで測定すればマイクロホン自身の音場に対する影響も小さくなる。

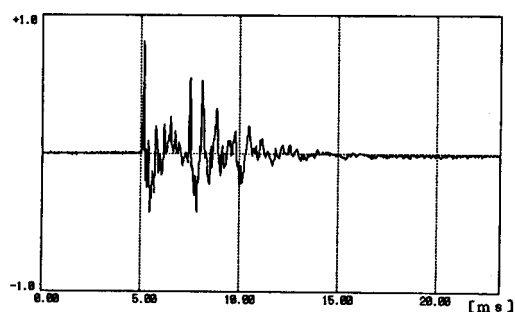


図4 インパルス応答

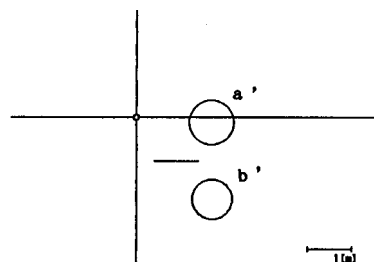


図5 位置制御による仮想音源分布図

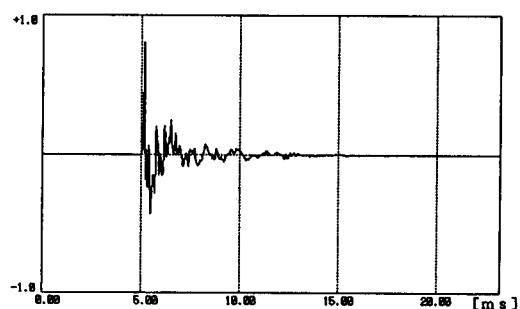


図6 図5における直接音 a' の波形

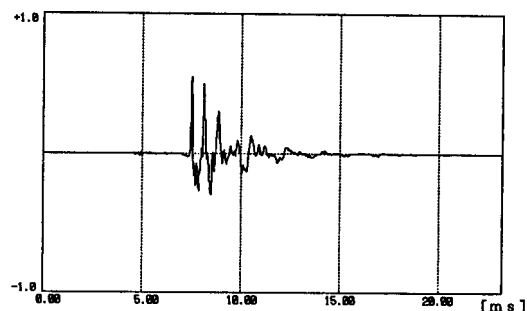


図7 図5における反射音 b' の波形