

線状に配列した平面スピーカの放射特性

小林 正明^{*1}土屋 裕造^{*1}

概 要

近年、多目的ホールの使用は多岐にわたり、音楽に最適な残響を得る一方で、音声の明瞭性を高める技術が必要とされる。その一例として、建築空間の音響特性については音楽を目標とし、それによって損なわれると考えられる講演時等の音声の明瞭性を平面スピーカによる拡声システムで回復するという事例が見られる。平面スピーカは指向性が鋭く、正面を外れると急激に音圧が減衰するため、反射性の側壁や天井へ入射するエネルギーが小さく、後壁に高い吸音性を確保することで拡声音に対する見かけ上の残響時間を極力短く設定することが可能となる。実際には、建築物の規模やコストによって平面スピーカの幅（枚数）に制限が生じるため、幅（枚数）に応じた減衰特性や指向特性が音響計画に必要となる。

そこで、本論文では、線状に配列した平面スピーカの放射特性をスピーカ幅の観点から検討する。

Radiation Characteristics of Flat Panel Loudspeaker in a Row

Masaaki KOBAYASHI^{*1}Yuzo TSUCHIYA^{*1}

The acoustical design of rooms involves optimizing speech transmission performance since speech communication is a basic function of most public spaces. Recently, many all-purpose halls need the acoustical characteristic for both music and speech. Acoustical characteristic for speech needs little reverberation and it is contrary to the acoustical characteristic for music. Flat panel loudspeaker has sharp directivity and the sound wave from the flat panel loudspeaker straight ahead. Therefore, it is possible to set at shorter reverberation time by using the flat panel loudspeakers than cone speakers when the front wall of the speakers is absorbed in reverberated space. Actually, the width of the flat panel loudspeaker is restricted because of the cost and scale of the architecture.

In this study, it is investigated that the relation between radiation characteristics of flat panel loudspeaker in a row and the width of the loudspeaker.

*1 技術研究所

*1 Technical Research Institute

線状に配列した平面スピーカの放射特性

小林 正明^{*1}土屋 裕造^{*1}

1. はじめに

近年、多目的ホールの使用は多岐にわたり、音楽に最適な残響を得る一方で、音声の明瞭性を高める技術が必要とされる。その一例として、側壁および天井を反射性として、演奏等に対する残響を確保した上、音声伝達を目的とする場合には平面スピーカを用いる事例がみられる。すなわち、建築空間の音響特性については音楽を目標とし、それによって損なわれると考えられる講演時等の音声の明瞭性を平面スピーカによる拡声システムで回復するというものである。

2. 平面スピーカの特徴

通常の点音源スピーカから出る音は全空間に満遍なく球面波として拡がり、自由空間では、距離が2倍になると音圧は1/2に減衰する(-6dB)。十分長い線音源スピーカから出る音は水平方向に満遍なく拡がり、垂直方向にほぼ線の幅で進むため、距離が2倍になると $1/\sqrt{2}$ に減衰する(-3dB)。これに対し、十分大きな面積を持つ平面スピーカから出た音は、その平面の前面のみに進むため、距離による減衰がなく、正面をわずかに離れると急激に音圧が減衰するという鋭い指向性を持つ。現実には、有限の面積による影響によって音は拡がりを生じ、減衰特性および指向特性は寸法と波長の関係による[1]。

3. 本研究の問題点

平面スピーカは指向性が鋭いため、正面を外れると急激に音圧が減衰するため、反射性の側壁や天井へ入射するエネルギーが小さく、後壁に高い吸音性を確保することで拡声音に対する残響時間を極力短く設定することが可能となる[1][2]。従って、建築空間の音響特性を検討するうえで、拡声時に使用する平面スピーカの減衰特性や指向特性を把握することは非常に重要である。現実には、建築物の規模やコストによって平面スピーカの幅(枚数)に制限が生じるため、幅(枚数)に応じた減衰特性や指向特性が必要となる。そこで、本論文では、線状に配列した平面スピーカの放射特性をスピーカ幅の観点から検討する。また、平面スピーカから放射された平面音波が吸音面に垂直入射した場合の反射特性についても若干の検討を試みる。

4. 実験1; 平面スピーカの放射特性

4.1 実験方法

スピーカは12面体スピーカおよびマルチセル型ダイナミック平面スピーカ WASEDA E.E. W - 3232 (30×30cm) を用いた。平面スピーカは線状(1列)に設置し、2枚、4枚、8枚および12枚並べた場合を測定した。測定点は12面体スピーカおよび平面スピーカの中央から正面に5m、10mおよび20mの距離で各30cm間隔である。図1に音源と受音点の位置関係を示す。なお、測定は屋外で実施した。

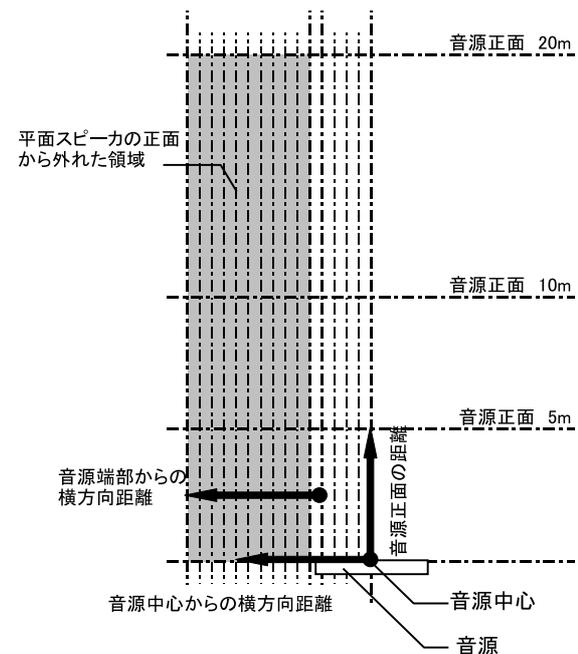


図1 音源と受音点の位置 (実験1)

4.2 実験結果

4.2.1 12面体スピーカとの比較

図2に12面体スピーカと平面スピーカの1kHzオクターブバンド放射特性を距離ごとに比較して示す。上から(A)音源正面5mの場合、(B)音源正面10mおよび(C)音源正面20mの場合を示す。図中の破線は、平面スピーカを用いた場合のスピーカが正面に位置する範囲と正面から外れる場合の境界を示す。図中の記号は「○」が12面体スピーカを表し、「●」が平面スピーカ(12

*1 技術研究所

枚並列)を表す。なお、両者とも、音源中心から正面5mの点を基準レベルとしている。

図2より、音源からの距離ごとに「○」はほぼ一定となるが「●」は大きく変化する。すなわち、音源からの距離が等しい場合、12面体スピーカの相対レベルは音源中心からの横方向距離にかかわらずほぼ一定となるのに対し、平面スピーカの相対レベルは音源の正面からはずれると大きく減少する。また、(A)(B)(C)図の比較より、12面体スピーカは音源正面からの距離が2倍になるにつれて約6dB減少するという点音源の傾向が明確にあらわれた。しかし、平面スピーカはわずかに減少する程度である。音源中心と平面スピーカの端部の差は正面から5mおよび10mの場合で約5dB、20mの場合約10dBであるのに対し、音源中心の正面から5mと20mの差は約3dBである。平面スピーカを12枚並べた場合の指向性の鋭さが示された。

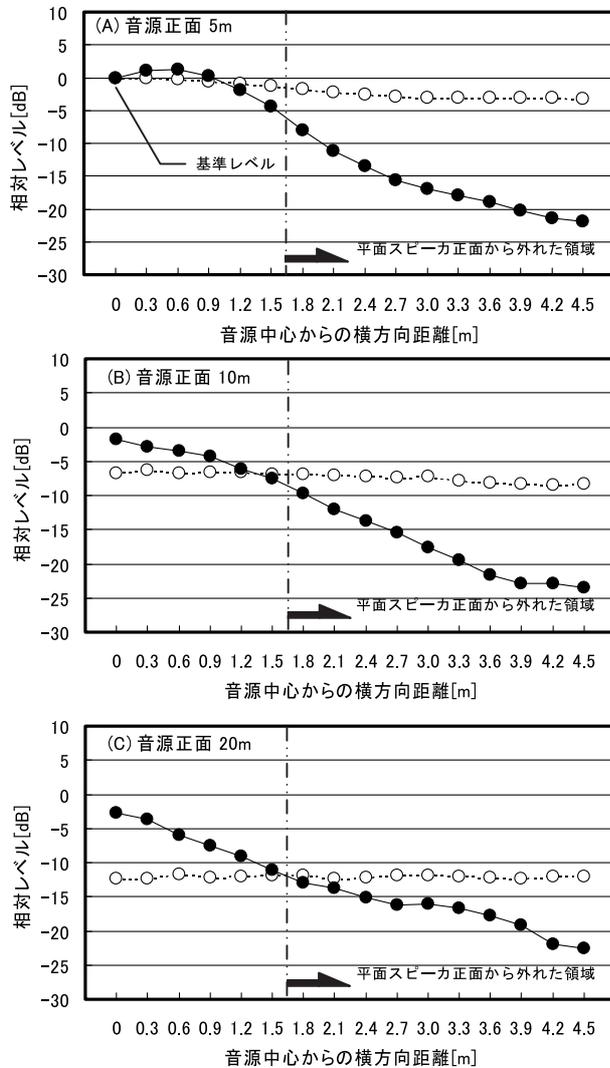


図2 12面体スピーカと平面スピーカの放射特性
○：12面体スピーカ
●：平面スピーカ(12列)

4.2.2 平面スピーカ幅との関係

図3に平面スピーカの幅と1kHzオクターブバンド放射特性の関係を距離ごとに比較して示す。上から(A)音源正面5mの場合、(B)音源正面10mおよび(C)音源正面20mの場合を示す。図中の破線は、平面スピーカを用いた場合のスピーカが正面に位置する範囲と正面から外れる場合の境界を示す。図中の記号は「○」が12面体スピーカを表し、「●」、「□」、「◇」および「△」はそれぞれが平面スピーカ12枚、8枚、4枚および2枚並列を表す。なお、いずれの場合も、端部に位置する平面スピーカから正面5mの点を基準レベルとしている。また、図1で示した音源中心位置と受音点の関係から、平面スピーカの正面に位置する受音点の数はスピーカの枚数により異なる。

まず、図(A)(B)(C)にかかわらず、「●」と「□」はほぼ一致している。すなわち、平面スピーカが12列と8列の場合、相対レベルは音源正面からの距離に関係

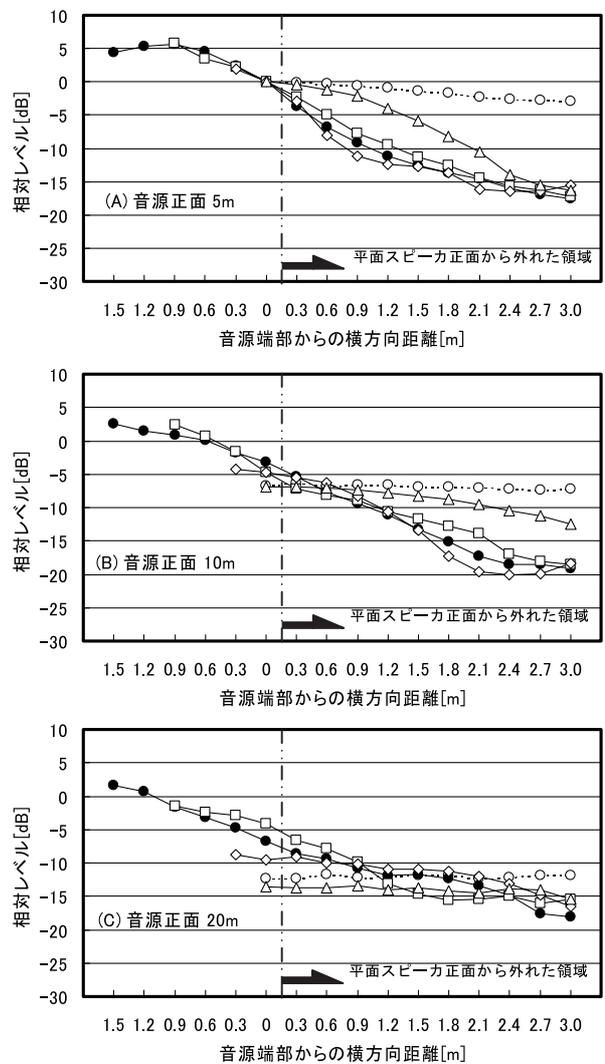


図3 平面スピーカの放射特性
○：12面体スピーカ
●：平面スピーカ(12列)
□：平面スピーカ(8列)
◇：平面スピーカ(4列)
△：平面スピーカ(2列)

なくほぼ一致している。次に「◇」に着目すると、(A) 図および (B) 図では「●」「□」とほぼ一致するが、(C) 図ではやや「○」に近い結果となった。すなわち、平面スピーカ 4 列並列の場合、音源正面からの距離が 10m までは平面スピーカ 8 列および 12 列と等しい放射特性を持つが、音源からの距離が 20 m では、やや点音源に近い放射特性を持つ。また、「△」の結果より、平面スピーカが 2 列の場合の相対レベルは、音源正面からの距離が 5 m では、スピーカ正面から外れた領域で点音源よりも減衰が明確にあらわれるものの、8 列以上並べた場合ほどの差は生じない。10 m では平面スピーカを 8 列以上並べた場合と点音源の場合のほぼ中間値となり、20 m では点音源とほぼ一致する。

次に、平面スピーカを 12 列並べた場合（図中の記号「●」）に着目する。音源正面から 5 m ((A) 図) では、スピーカ正面の領域で相対レベルが +5 dB ほどで上昇が止まり、定常に達している。しかし、10 m ((B) 図) および 20 m ((C) 図) では相対レベルは定常には達していない。平面スピーカが 8 列以下の場合（図中の記号「□」「◇」「△」）、音源正面から 5 m においても上昇が続いている。

以上のことから、平面スピーカの放射特性について以下のことが考えられる。すなわち、音源と受音点の距離に対し、平面スピーカが十分な幅を持つ場合、スピーカの幅によらず、スピーカ正面から外れた距離に応じて同様の減衰を示す。しかし、音源と受音点の距離に対し、平面スピーカが十分な幅を持たない場合、平面スピーカは点音源と同様の放射特性を示す。ここで、本実験の結果より、平面スピーカを 2 列並べた場合、すなわち 60cm とした場合の相対レベルは、音源正面から 10 m の位置で平面スピーカと点音源の中間値であり、20 m の位置ではほぼ点音源と一致した。さらに、平面スピーカを 4 列並べた場合、すなわち 120cm とした場合の相対レベルは、音源正面から 20 m の位置で平面スピーカと点音源の中間値を示したことを合わせて考えると、音源と受音点の距離が平面スピーカの幅の 15 倍程度で平面スピーカの放射特性は点音源に近い傾向を示し、30 倍程度ではほぼ点音源と一致すると思われる。

4.2.3 周波数との関係

図 4 に 500Hz から 2kHz オクターブバンドの平面スピーカ幅と放射特性の関係を示す。左列から順に

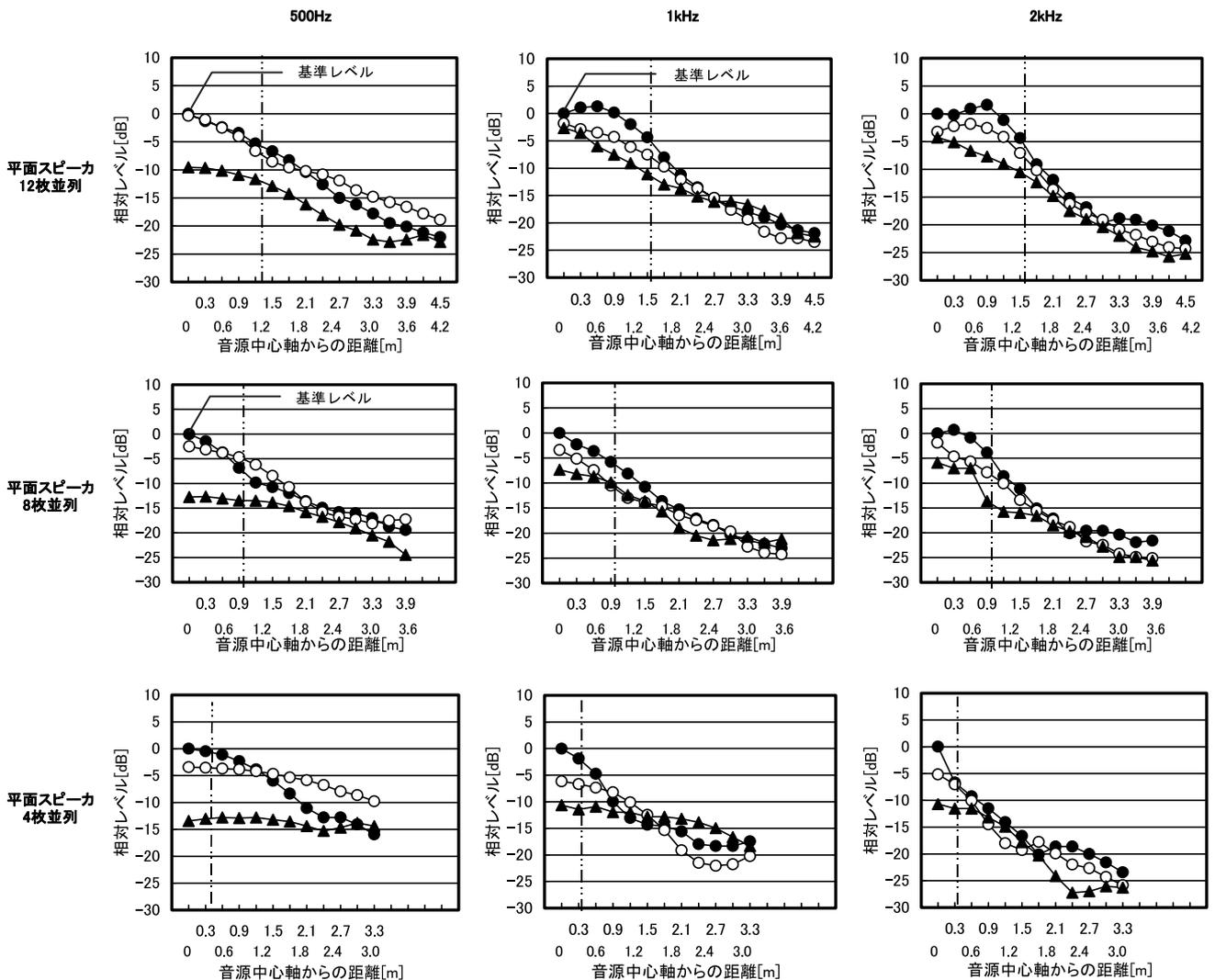


図 4 各周波数帯域の放射特性
音源と受音点間距離 ● : 5 m ○ : 10 m ▲ : 20 m

500kHz、1kHz および 2kHz の結果を示し、上から順にスピーカ枚数 12 枚、8 枚および 4 枚並列の結果である。図中の記号は音源からの距離を表し、「●」が 5 m、「○」が 10 m および「▲」が 20 m を表している。それぞれ音源中心軸から正面 5 m の点を基準レベルとしている。

平面スピーカを同じ枚数並べた場合の周波数比較より（図中において、横の比較）、通常のスピーカと同様に、高音域になるほど指向性が鋭くなることがわかる。

5. 実験 2；

平面スピーカから放射された音の反射特性

実験 1 より、平面スピーカの指向性の鋭さと減衰特性を示した。ここで、平面スピーカ使用時には、平面スピーカと向かい合う壁面を吸音することが通常である。しかし、平面スピーカから放射された音が吸音面で反射した後に、どのような放射特性を持つかはわからない。反射後の放射特性によってはエコーのような音響障害が生じることも考えられる。そこで、実験 2 では、平面スピーカから放射された音が、吸音面でどのような反射特性を持つかを検討する。

5.1 実験方法

図 5 に実験配置を示す。吸音性の対抗面として、ここでは図 6 に示す 2 種類を用いた。これらは、いずれも通常の内装仕上げで用いられる仕様である。また、意匠上の問題から、仕上げ面をスピーカに平行とした。平面スピーカは実験 1 と同様のものを用いた。なお、比較の為、コーンスピーカ (FOSTEX 38D) を用いて同様の実験を行った。実験場所は当社技術研究所簡易無響室である。

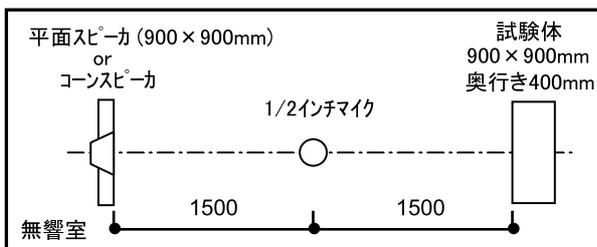


図 5 音源と受音点の位置 (実験 2)

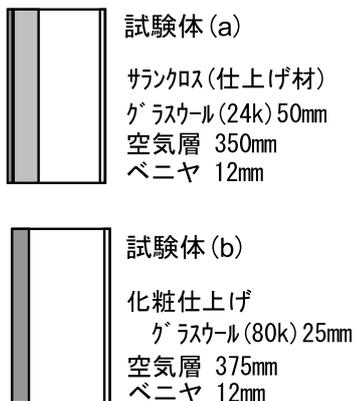


図 6 試験体の断面仕様

5.1 実験結果

図 7 にコーンスピーカおよび平面スピーカの 1 kHz オクターブバンドにおける実験結果を示す。それぞれ、エコータイムパターンおよび振幅の最大値を基準レベルとする相対レベルを示す。試験体による 1 次反射について、コーンスピーカと平面スピーカにほとんど差はみられない。しかし、2 次以降の反射波がコーンスピーカではあらわれないのに対し、平面スピーカでは明らかである。2 次以降の反射波は試験体と平面スピーカの往復反射によるものであり、これより、平面スピーカから放射された音 (平面波) は、試験体で反射した後も拡散せず、平面波に近い特性を持つと考えられる。

6. まとめと今後の課題

線状に配列した平面スピーカの放射特性について、スピーカ幅を変化させて測定した。その結果、音源と受音点の距離に対し、平面スピーカが十分な幅を持つ場合および十分でない場合の放射特性を示した。さらに、周波数によって指向特性および減衰特性に差が生じることを示した。これらの結果をもとに、平面スピーカ使用時の吸音配置を検討すべきであるが、平面スピーカから放射された音は距離減衰しないため、後壁に入射するエネルギーが通常のコーンスピーカと比較して非常に大きい。また、平面スピーカの場合、通常の吸音仕様において、反射後の距離減衰も期待できない。これらを踏まえ、平面スピーカに対する吸音処理について、さらに検討を続ける所存である。

【参考文献】

- 1) 服部永雄、岡崎正倫、山崎芳男：いろいろなスピーカ (1) 大型平面スピーカによる均一で明瞭な拡声、音響技術 No.125 (Vol.33 no.1)
- 2) 田中巧、小野政一郎、及川靖広、山崎芳男：マルチセル平面スピーカを使った教室の拡声システム、音講論集、pp.815-816 (1999.9)

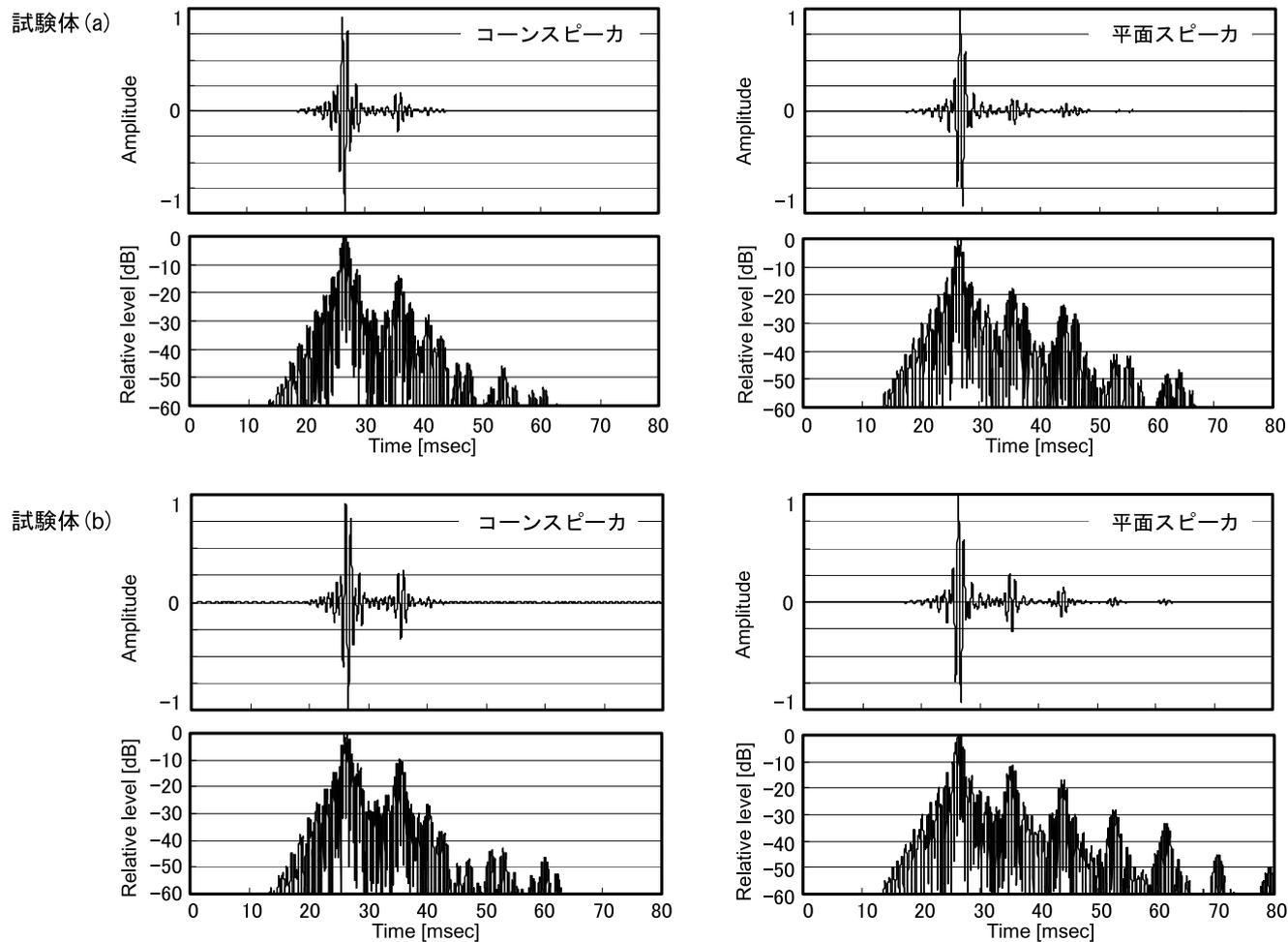


図7 反射実験結果 (1 kHz オクターブバンド)