

車室内ステレオ再生における時間差とレベル差

Relation between time difference and level difference in acoustic reproduction in a car

若松 和夫⁽¹⁾ 黒崎 哲也⁽²⁾
Kazuo Wakamatsu Tetsuya Kurosaki

要 旨

近年、カーオーディオの「音」に対する要求が高まり、単に「音質」だけでなく、「広がり感」についても重要視され始めた。

このため、車室内でもバランスのとれたステレオ音場を再現しようとして、左右スピーカの信号間の時間差、位相差、レベル差を扱う音像制御技術が研究されている。

しかし、音が聴感に及ぼす影響の中で、時間差とレベル差との関係はこれまであまり明確ではなく、特に反射音の多い車室内での応用については疑問が持たれていた。

本研究では、2 chステレオ再生における2信号間の時間差とレベル差とのトレーディング効果について聴感試験を行い、両者の関係を定量化した。また、試聴室と車室内での効果の相違を確認した。ここでは、その実験結果を紹介すると共に、今後の音像制御技術への展開を考察している。

Recently, the “better sound” of car audio has been increasingly demanded and “spatial impression” as well as “sound quality” has been an important factor. To achieve balanced acoustic reproduction in a car, time difference, phase difference and level difference between signals from right and left loudspeakers have been studied, which we call “acoustic-image control technology”. However, the relation between the time difference and the level difference has not been cleared yet.

In this reserch, the trading effects of the time difference and the level difference between two signals were auditorily measured both in a auditory room and in a car, to quantify the relation of the two. Here, we present the result of the research and discuss the development of “acoustic-image control technology” in future.

1. ま え が き

従来、車室内におけるステレオ再生では、非対称位置での聴取に起因するステレオ音場の歪みを補正して、左右均等な広がり感を得ようとする、音像制御が試みられて来た。これら、車室内の音場補正を同時に複数位置で行える様にするための有力な手法である「2信号間の時間差とレベル差との置き換え効果について検討を行った。

2 chステレオ再生時、対称聴取位置における、左右2信号間の時間差とレベル差との間には、ある一定の遅延時間内であれば、聴感上置き換えが可能なが知られており、現在では、その神経生理学的な研究もかなり進んでいる。

また、2信号間の位相差とレベル差との関係については、これまで多数の研究結果が報告されているが、2信号間の時間差とレベル差の置き換え（以後、これをトレーディングと呼ぶ）に関しては、詳細な報告例がほとんどなかった。

本研究では、試聴室および車室内で実験を行い、2信号間の時間差とレベル差とのトレーディングが可能な遅延時間範囲、および、その実用的な許容値を求めた。

2. 2ch ステレオ再生における 時間差とレベル差が聴感に 及ぼす影響について

2ch ステレオ再生において、始め中央（聴取者の真正面）に定位していた音像が、一方のチャンネルの信号に遅延をかけると、遅延をかけていないチャンネルに移動する（その際、音像が一方のチャンネルのみに偏って定位する現象を「ハース効果」と呼ぶ）。しかし、その移動した側のチャンネルの信号を小さくすると、音像は再び中央に戻ってく

る。この現象は、2信号間の時間差とレベル差とのトレーディング（Time-Intensity-Trading）として知られている。

トレーディングの可能な2信号間の時間差には限界があり、プログラムによっても異なるが、通常1 msec 付近までと言われている。一方、先に述べたハース効果を生み出す時間差は、1～30 msec 付近であるが、トレーディングでは、1 msec を越える時間差が両信号間に生じると、聴感上の音像が大ききゆがみ、もはや、レベル差で補正することは不可能となる。また、時間差が約50 msec を越えると、分離したエコーとして、左右2つの音が別々に確認出来るようになる。

このように、左右スピーカ間で、先行する実音源が遅延した音によって、1つの融合した新たな音像として成立する現象を、定量的に把握していくことは、今後、音像制御技術を研究していく上で、非常に重要な事項である。

3. 試聴室における聴感試験

3.1 装置および方法

実験スタジオは、^{脚注 1)} 規準条件（電波技術審議会答申による）に準ずる試聴室で、図-1に示す残響時間特性を有する。

実験は、^{脚注 2)} 図-2に示す標準聴取条件（電波技術審議会答申による）に準ずる配置で行った。なお、スピーカ背面の壁には、壁面の模様から来る視覚的影響を考慮して黒地の暗幕をつるしてある。

実験装置系統図を図-3に示す。図中、遅延装置

脚注 1) 規準条件：

部屋の容量 90～200m³、残響時間 70～200 Hzで 0.4±0.2秒、200～5 kHzで 0.4±0.1秒。
など

脚注 2) 標準聴取条件：

左右スピーカ間隔 3m、スピーカは判定者群の中心に向ける。など

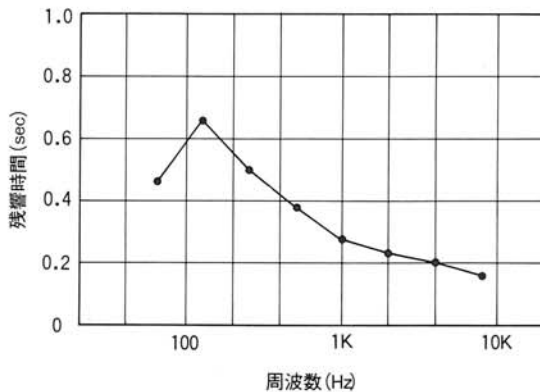


図-1 実験スタジオの残響時間特性

Fig. 1 Reverberation time characteristic of the studio.

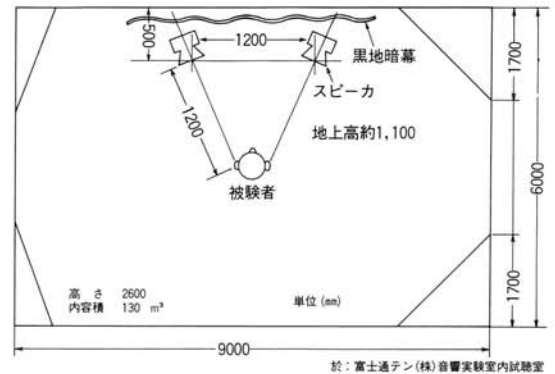


図-2 実験スタジオの寸法および配置

Fig. 2 Layout of the studio.

は今回、新しく製作した機器で、図-4に示す構成であり、本実験用として十分な性能を有する。またスピーカには、10 cm フルレンジユニットを使用した。

プログラムには、純音、バンドノイズ、ボーカルの3種を用いたが、このうち、バンドノイズには、ホワイトノイズを急峻な遮断特性を有するバンドパスフィルタで、帯域制限して用いている。

実験は、被験者と実験者の2人で行う。被験者から見えない場所にいる実験者が、実験器具（遅延装置、アッテネータ-1、アッテネータ-2）をす

べてランダムに操作し、被験者は音像が自分の真正面に定位したと感じられた時のみ、実験者に声で合図して、実験者がその際のデータを記録する方法をとった。

3.2 被験者および評価方法

被験者は正常な聴力を有する19才～28才の男子計5名であり、聴取レベルは約70dBとした。

実験を進めて行く上で、音像の評価方法、ならびに音像の提示方法の2点が、実験結果に大きな影響を及ぼすことが判明したため、被験者間で個人差が出ないように、次に示す方法で統一して実

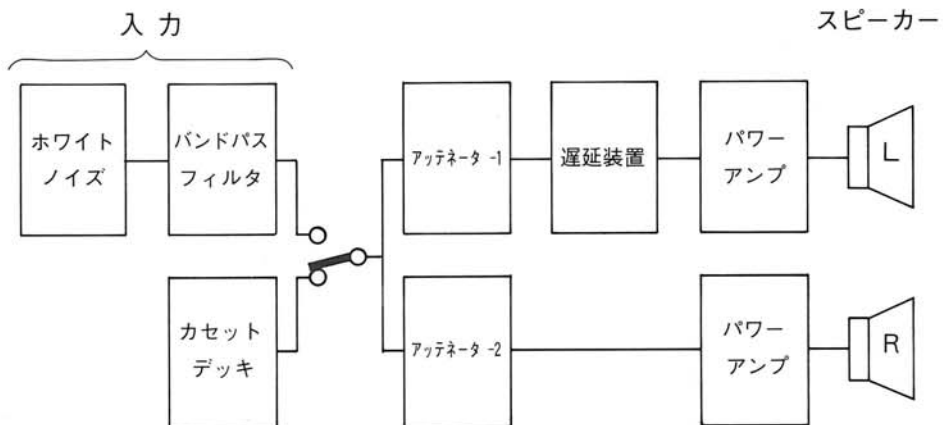


図-3 実験装置系統図

Fig. 3 Flow diagram of the test equipment.

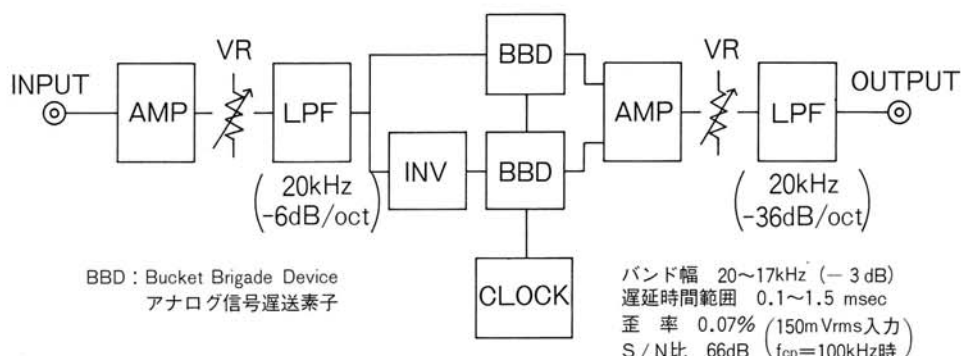


図-4 遅延装置結線ブロック図

Fig. 4 Block diagram of Delay-circuit.

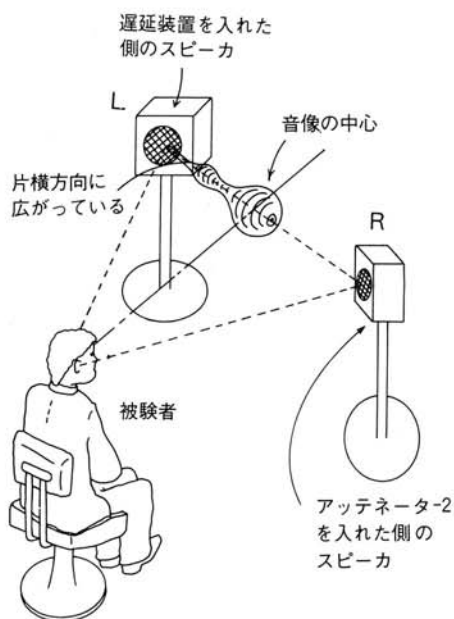


図-5 音像の感じ方

Fig. 5 Acoustic-image.

験を行った。

1) 音像を補える部分の統一

2チャンネルステレオ再生時、遅延により一方に偏った音像をレベル差で中央に戻しても、その音像は図-5に示すように、遅延をかけた側のスピーカへ尾を引くゆがんだ形となる。また、このゆがみは遅延時間が長くなる程大きくなり、ついには、音像の中心の判定が不可能となる。

本実験では、被験者毎の音像の補え方の個人差

を排除するため、音像の中心を、図中右端の一番大きく膨らんだように感じる部分で判断するよう統一した。

2) 音像提示法の統一

実験は、各被験者毎に音像が自分の真正面に定位することを確認してから始める。まず、左右チャンネルに同一の信号を出し、その際、音像の中心が被験者の真正面に定位するようアッテネータ-1、-2を実験者が調整する。次に、左チャンネルの信号に遅延をかけ、被験者に音像が右チャンネルに偏って定位したことを確認した上で、右チャンネルの信号を小さくしていく。被験者は音像が再び中央に戻ったと思うところで実験者に合図する。

この時、音像が始めて中央に定位した瞬間に止めた場合と、一度中央を通り過ぎた上で再び中央に戻り定位した瞬間に止めた場合とを比較すると、表-1に示すように、明らかに後者の方がデータのばらつきが少なくなった。(なお、両者の比較は同じ実験を左端から始めた場合と、右端から始めた場合との測定値のばらつきの度合いで行った)。

以上から、本実験では音像の提示を、音像が一度中央を通り過ぎた上で、再び戻して中央に定位した瞬間に止める極限法に統一した。

表-1 音像提示法をかえた時のレベル差のばらつきの
平均値

中 央 合 わ せ		遅延をかけた時	
音像を1回 で中央に止 めた時	1度通過さ せてから戻 した時	音像を1回 で中央に止 めた時	1度通過さ せてから戻 した時
2.1	0.9	0.9	0.5

〔表中の値〕＝〔(左端から始めた時のレベル差)－(右端から始めた時のレベル差)〕の平均値(dB)

表-2 試験用プログラム

純 音	正弦波 400, 1K (Hz)
バンドノイズ	1.2K, 4.8K, 600～1.2K, 3.4～6.8K (Hz)
ボ ー カ ル	FM大阪 「こだぬきテラス」より 収録

3. 3 試験プログラム

今回使用したプログラムを表-2に示す。このうち、バンドノイズは通常様々なスペクトルを有するプログラムの代表として、また、ボーカルは実用的なプログラムの代表として選んだ。ボーカルにはFM放送より収録した女性アナウンスを使用している。声質は標準的で、試験用として聞き疲れしない内容であり、図-6に示すスペクトル分布を有する。

3. 4 結果と考察

最初、プログラムに純音を用いた結果は、音像の位置を判定するのが非常に困難であった。これは、純音の場合、周波数や遅延時間の僅かな違いによって、聴取位置における位相回転が著しく異なるためであると考えられる。

次に、バンドノイズを用いた結果を図-7、図-8に示す。なお、被験者5人の測定値(左右端から計10個)の分散を次式(1)より算出し、図中の各測定点に示した。

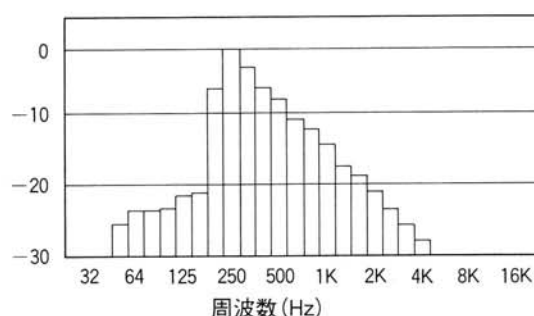


図-6 使用プログラム(女性アナウンス)のスペクトル
Fig. 6 Spectrum of the program. (female voice)

$$\sigma^2 = \frac{1}{10} \sum_{n=1}^{10} \{\bar{x}_i - x_i(n)\}^2 \quad (1)$$

(遅延時間: $i = 100 \sim 1000$)

これによると、遅延時間が500 μsec 付近までは、トレーディングに要する2信号間のレベル差が単調増加し、これを越えると、逆に減少する傾向を示す。また、遅延時間が500 μsec 以降では、測定値のばらつきも大きくなり、音像の中心の判定が難しくなっていることを表している。

最後に、ボーカルを用いた結果を図-9に示す。ボーカルでもバンドノイズの場合と、ほぼ同様の傾向が現れている。

以上から、2信号間の時間差とレベル差とのトレーディングが可能な遅延時間範囲は、500 μsec 付近までと考えられる。ただし、ボーカルのバックグラウンドにある楽器の音から判断すると、実用的に一般の音楽ソースを用いた場合には、トレーディングが可能な遅延時間範囲は、もう少し狭くなることが予測される。理由は、一般の音楽ソースの場合、図-6に示したボーカルよりも、低い周波数まで信号のスペクトルを含むことが多いためである。すなわち、低域では左右信号間にレベル差を与えても、位相回転による音像の質への悪影響が大きく、音像の位置の正確な判定が出来なくなるためである。

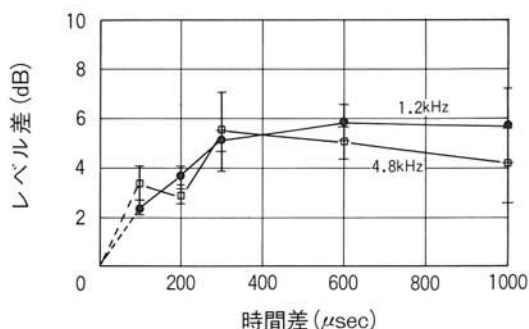


図-7 バンドノイズ(単峰型)を用いた際の2信号間の時間差とレベル差との関係

Fig. 7 Relation between time difference and level difference. (single hump band-pass filtered noise)

表-3 試験室におけるトレーディングの許容値

2信号間の時間差(μsec)	100	200	300	400
トレーディングに必要なレベル差(dB)	3	6	8	9

トレーディングの許容値については、バンドノイズの場合、周波数が低い方がトレーディングに要するレベル差が1 dB程度大きくなっている点、また、ボーカルでは更に遅延時間300 μsec以降で2 dB程度大きくなっている点から見て、プログラムに含まれる低域成分が大きい程、2信号間の時間差を補正するのに、大きなレベル差を要することがわかる。

以上の考察をもとに、図-6のようなプログラムを使用した場合、試験室標準聴取状態では、2信号間の時間差とレベル差とのトレーディングが可能な遅延時間範囲は500 μsecまでであり、レベル差の許容値は表-3に示す値とするのが妥当であると考えられる。

4. 車室内における聴感試験

4.1 装置および方法

実験車には小型乗用車(セダン)を使用し、窓

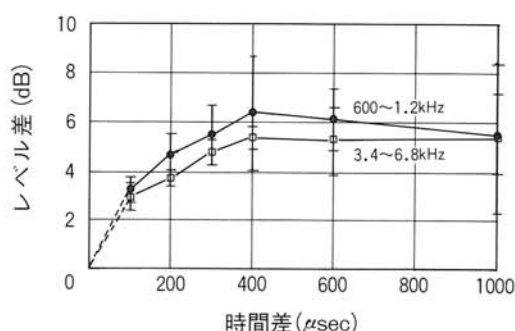


図-8 バンドノイズ(双峰型)を用いた際の2信号間の時間差とレベル差との関係

Fig. 8 Relation between time difference and level difference. (double-hump band-pass filtered noise)

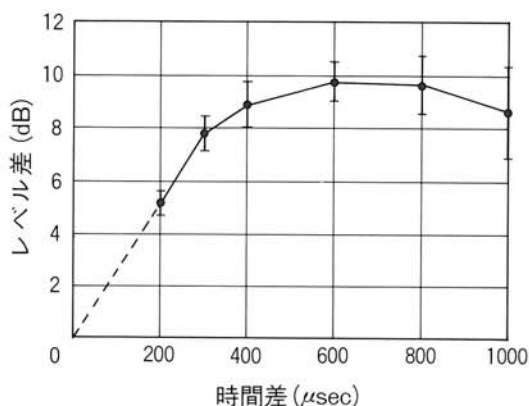


図-9 ボーカルを用いた際の2信号間の時間差とレベル差との関係

Fig. 9 Relation between time difference and level difference. (female voice)

を全部閉めた状態で実験を行った。実験車の車室内残響時間特性を図-10に示す。

車室内では寸法上の制約から図-11に示す配置とし、スピーカには8 cm フルレンジユニットを使用した。このような小型のスピーカシステムでは、音圧周波数特性が200 Hz 付近から急速に低下するが、本実験では信号帯域が200 Hz 以上のプログラムを用いているため、特に問題はない。

車室内では、プログラムに実用面を考慮して前出の女性アナウンスを用いた。被験者および実験

手順も試聴室の場合と同様であり、被験者と実験者の2人が後部座席に座って実験を行った。

4.2 結果と考察

実験結果を図-12に示す。試聴室の結果と比較すると、トレーディングが可能と判断した500 μ sec内の3点における分散値の平均は、試聴室1.3車室内2.3で明らかに車室内での測定値のばらつきの方が大きく、また、トレーディングに要するレベル差が単調増加する遅延時間範囲は、試聴室500 μ secまでに対して、車室内300 μ secまでと、約半分に狭まっている。これは、車室内がトレーディングが成立しにくい環境であることを実証しており、試聴時の印象とも一致する。

以上より、車室内において、2信号間の時間差

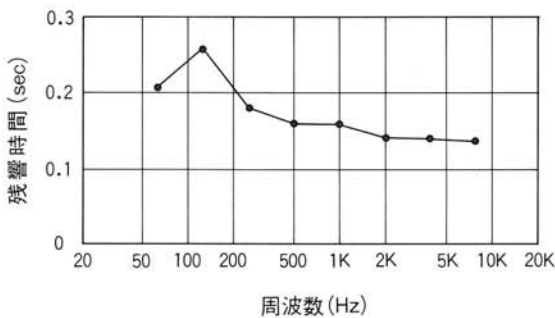


図-10 車室内残響時間特性

Fig. 10 Reverberation time characteristic in the car.

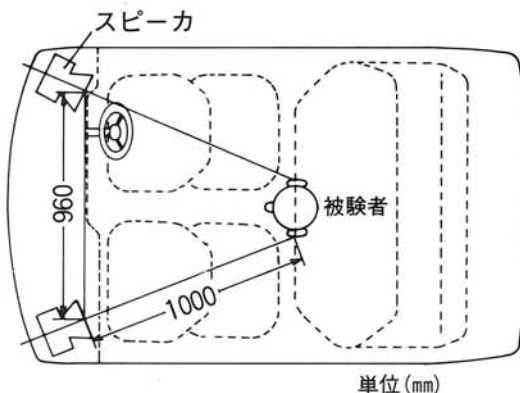


図-11 車室内の配置

Fig. 11 Arrangement in the car.

とレベル差とのトレーディングが可能な遅延時間範囲は300 μ secまでであり、レベル差の許容値は表-4のように定められることが判明した。

4.3 車室内音像制御へのアプローチ

車室内は試聴室と異なり、音響的に非常に特殊な環境である。インストルメントパネルやガラス等の反射面と、シートや天井の布張り面等の吸音面とが、狭い空間に相接して共存しており、しかもスピーカ取付け位置の制約、ハンドルやシート、取手等の障害物の存在、非対称位置での聴取等、良好なステレオ聴取を妨げる要因が多数存在する。

このため、現在コンサートホールや放送関係で使用している音像制御技術を、そのまま車室内に持ち込んでも、先に述べた悪条件や、それに伴って発生する多くの反射音の影響で、音像制御効果

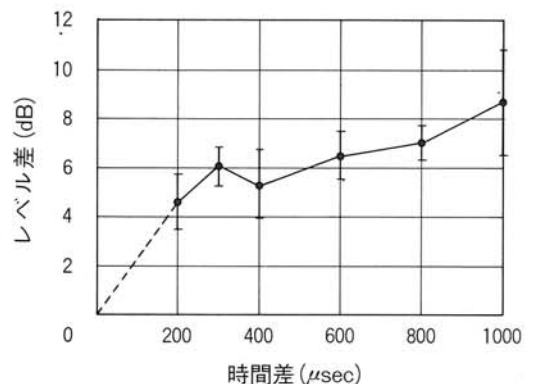


図-12 車室内における2信号間の時間差とレベル差との関係

Fig. 12 Relation between time difference and level difference in the car. (female voice)

表-4 車室内におけるトレーディングの許容値

2信号間の時間差 (μ sec)	100	200	300
トレーディングに必要なレベル差 (dB)	3	5	6

を十分に発揮することは出来なかった。

今回の実験で、車室内においても2信号間の時間差とレベル差とのトレーディングが可能なることを確認した。今後、この性質を利用し、より有効な音像制御回路を開発していくことが課題となる。

5. む す び

2chステレオ再生における2信号間の時間差とレベル差とのトレーディングについて、試聴室および車室内での聴感試験をもとに検討した。

これにより、トレーディングの可能範囲および許容値のデータを得ると共に、車室内においても300 μ secの遅延時間内で、トレーディングが可能なることが判明した。

今後、これらのデータをもとに、車室内音像制御技術の確立を図るため、プログラムの音圧レベル、周波数スペクトル、スピーカ取付け位置や車室内における反射音が、トレーディングに及ぼす

影響について、詳細な調査を行っていきたい。

最後に、本研究を進めるにあたり、多大の御指導をいただいた 藤田 尚工学博士 に深く感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) 境 久雄ほか：聴感と音響心理、日本音響学会編（1978）。
- 2) 高橋 良ほか：放送音響技術、日本放送協会編（1982）。
- 3) 藤田 尚ほか：FMステレオ放送技術、日本放送協会編（1965）。
- 4) 二階堂誠也：“ステレオ再生における左右チャンネル間位相差の検知限と許容限”NHK技術研究、第17巻第4号（1965）。
- 5) Harry. F. Olson 著、平岡正徳訳：音学工学、誠文堂新光社（1969）。
- 6) 黒住幸一：“音像の広がり感と距離感”NHK技研月報、Vol. 26、No. 5（1983）。