

高速エスカレータの低騒音化

Noise Reduction of High Speed Escalator

Railroad stations in urban districts are more and more multistoried to ensure higher transportation efficiency, and at these stations need for high speed escalators is strongly felt. However, before such high speed escalators can be put in use, the problem of noise from escalator operation must be solved.

This article describes the source of noise of high speed escalators and a device for noise reduction with some considerations on the relationship between noise and building structure.

三浦雅樹* Masaki Miura

一柳 健* Ken Ichiryû

中沢 敏** Hayashi Nakazawa

1 緒 言

近年、都市交通機関は、過密化した都市交通に対処してますます立体化し、地下鉄や鉄道などは幾重にも重なり合うため、これらの駅でのプラットフォームと地上の高低差はしだいに大きくなっている。これに伴い、地上とプラットフォームを結ぶ交通機関としてエスカレータの設置が不可欠になっているが、このような都市交通用として設置されるエスカレータにおいては、大きな輸送能力が必要とされ、また揚程が高いため、乗客を速く目的階に運ぶという、乗客サービスの向上の面からも高速化が要求される。

また、最近一般のデパート、事務所ビルのほかに、種々の機能をもった多目的ビル(たとえば、下階層は店舗であるが、上階層は多数の人間が集中するスタジアムあるいは公会堂などがあるビル)が出現しつつあり、これらの場所に設置されるエスカレータは、複数階床間の直通エスカレータとなるため、揚程も高く、かつ短時間に多数の人間を輸送する必要があり、都市交通用の場合と同様に高速化が要求される。

このような情勢にかんがみ、われわれは早くから高速エスカレータの開発に着手し、最も基本的な安全性⁽¹⁾および各機器の強度、寿命についてはすでに開発を終了しているが、エスカレータを高速運転する場合には、ほとんどすべての機器の騒音が従来のものより大きくなり、従来の速度30m/min時には見られなかった新たな騒音問題が生ずる。そこで、高速エスカレータが静粛な建屋、あるいは騒音に対して条件の悪い建屋に設置される場合にも、その騒音を許容値内に押えるための種々の検討を行なった。

本稿では、高速化によって増大する騒音について、その発生源と今回開発した防音装置につき述べる。

2 エスカレータの高速化とその騒音源

エスカレータは図1に示すように、駆動機械により踏み段がチェーンにけん引されてレール上を連続走行し、上下ターミナル部においてこれが反転する構造であり、多数の騒音源

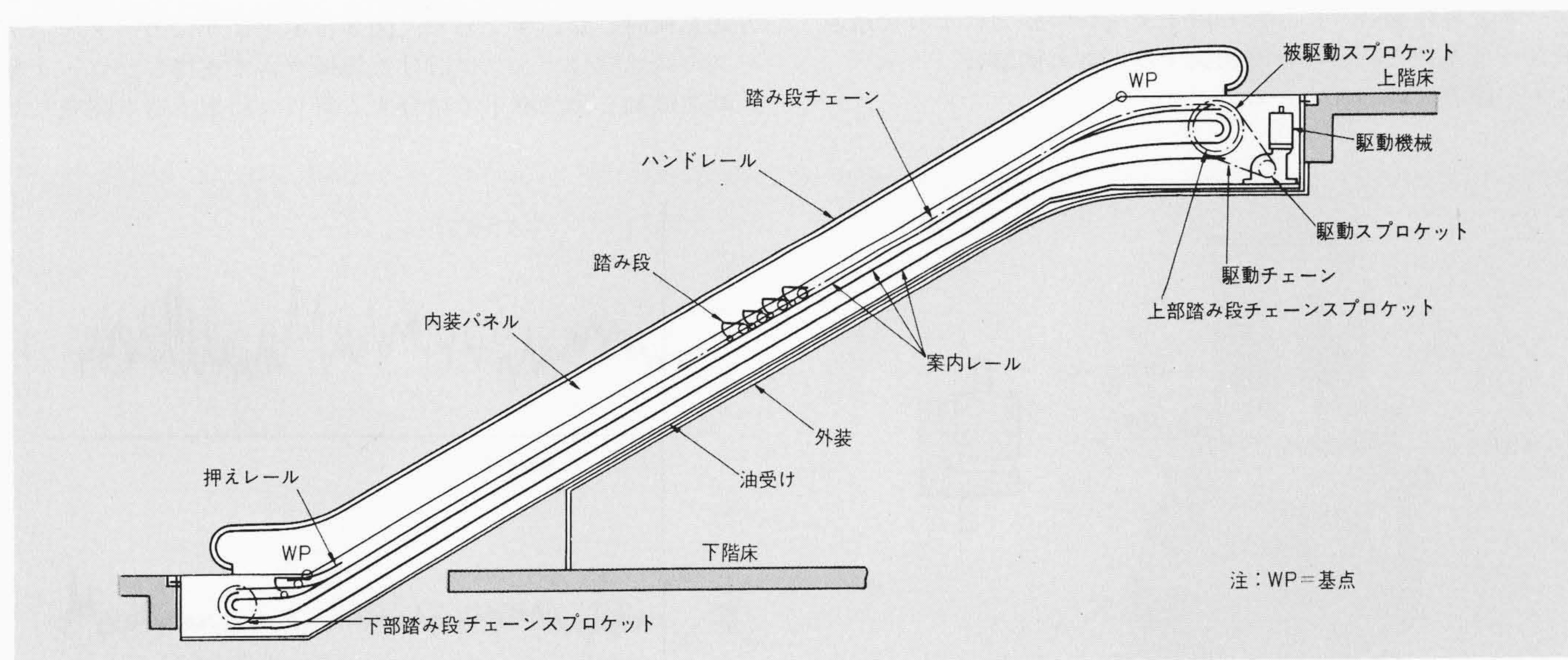


図1 エスカレータの概略構造図 エスカレータ全体の概略構造を示すもので、多数の騒音源を有する。

Fig. 1 Mechanism of Escalator

* 日立製作所日立研究所

** 日立製作所水戸工場

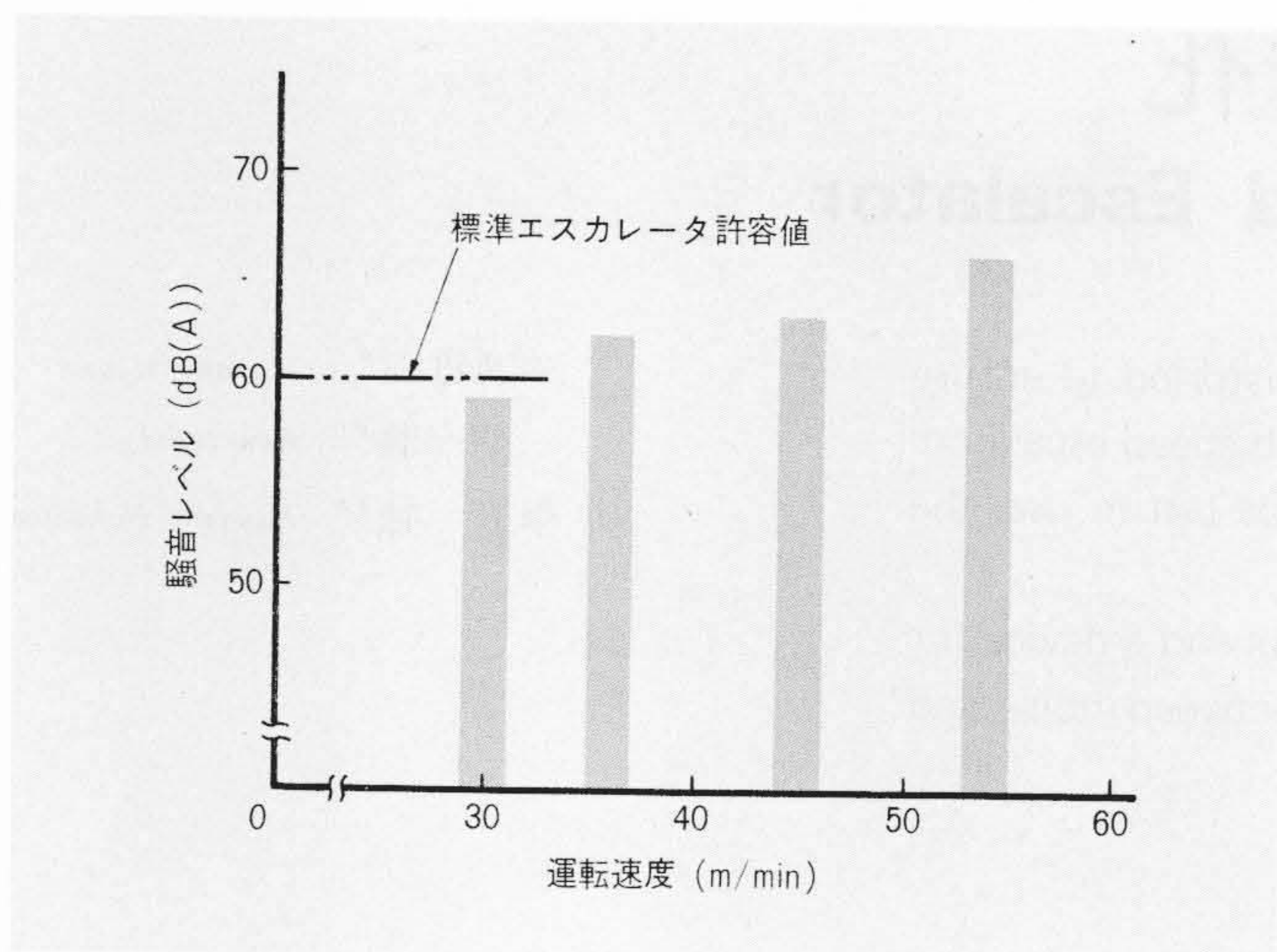


図2 エスカレータ運転速度と騒音の関係 エスカレータは、高速になるに従い騒音はわずかながら大きくなる。

Fig.2 Noise Level of Escalator at Various Running Speeds

を有している。これらの騒音源のうち、従来の30m/min時には特に踏み段チェーンと踏み段チェーン sprocketのかみ合い衝撃音が問題となり、これに対してすでにわれわれは、昭和41年にsprocketの歯底にピンタイプのバッファをそう入する独自の緩衝装置を開発²⁾して顕著な効果をあげている。この結果、銀行、ホテルなどの静かな環境に設置する標準形エスカレータの騒音は非常に小さくなっている。

しかしながら、運転速度を40～45m/minに上げた場合新たに、

- (1) モータと減速機を組み合わせた駆動機械から発生する騒音
- (2) 駆動チェーンと駆動sprocketのかみ合い時の衝撃音
- (3) 中間傾斜部における踏み段の定常的な走行騒音
- (4) 踏み段が下部乗り口より中間傾斜部への移行時（エスカレータ上昇の場合）に、踏み段チェーンの張力によって踏み段ローラと押えレールとが衝突するときの衝撃音などが顕著に表われてくる。

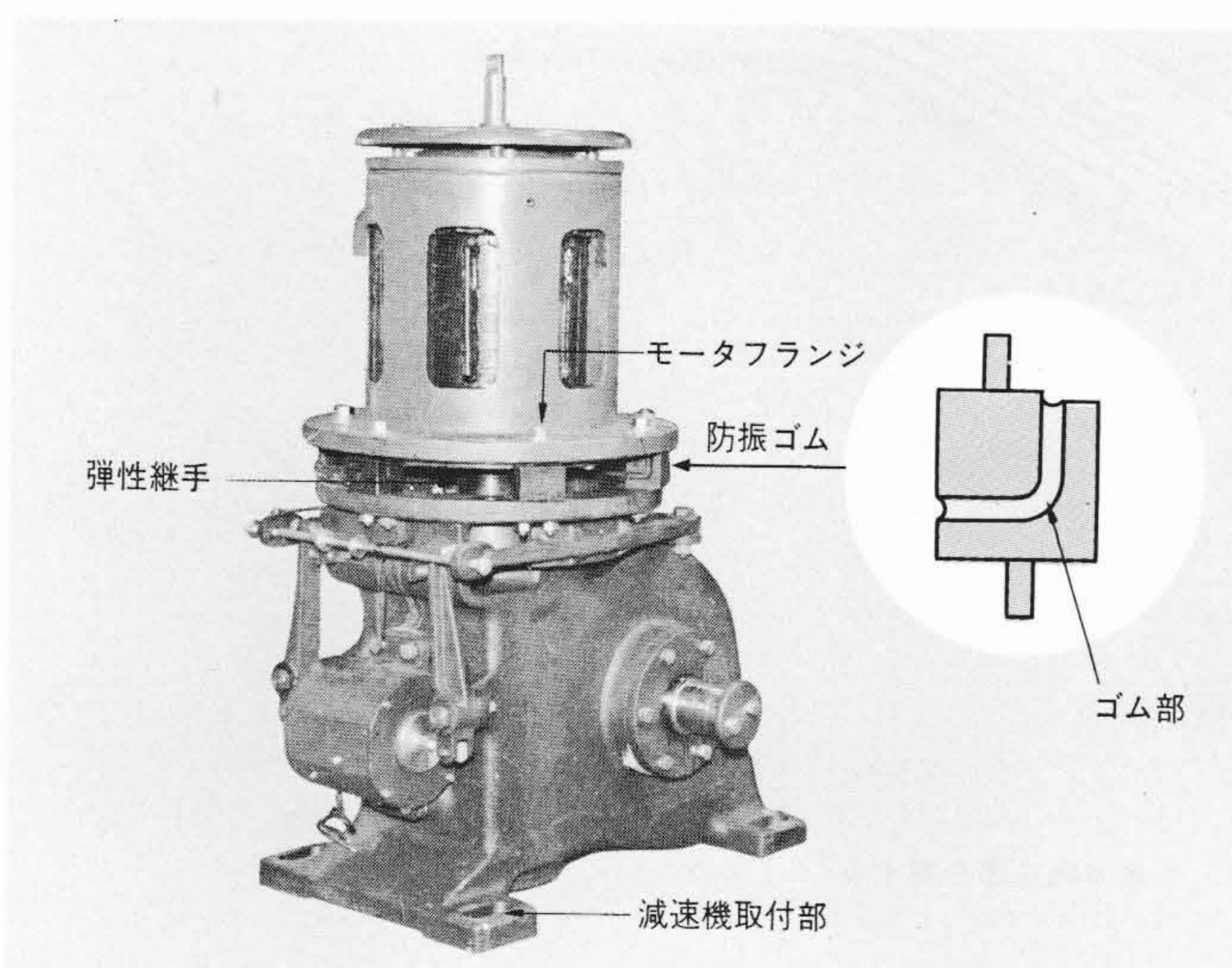


図3 駆動機械の防振構造 駆動モータの振動を防振ゴムと弾性継手により、減速機に伝えない構造とした。

Fig.3 Vibration Isolation

図2は、速度を変えた場合の上部機械室付近の騒音を示したもので、高速になるに従い騒音も大きくなる。

一方、エスカレータの騒音は建屋環境によって、

(1) 静粛なビル内や都市交通用でも早朝や夜間などの静かな時間帯には運転音が耳につきやすい。

(2) 運転音の騒音レベル自体が変わってくる。たとえば、残響率の高いトンネル状の建屋などに設置される場合には、騒音は大きく聞こえる。

などの影響を受ける。

そこでわれわれは、これらの条件にも対処できるよう、高速エスカレータの騒音を標準エスカレータと同程度以下とすることを目標に、個々の騒音源に対して検討を進めた。

3 各振動騒音低減構造とその効果

3.1 駆動機械の振動騒音の低減

エスカレータを高速化するに伴い、駆動機械は大容量となり、またその回転数も増加するため、これにより発生する振動騒音は当然標準エスカレータに比べて大きくなる。特に問題となるのは、駆動機械の振動がフレームあるいは薄板部材に伝達して上部機械室付近の騒音となることである。

一般にエスカレータのフレームは、形鋼を用いたトラス構造でその部材は種々の長さあるいは大きさのものより構成されるため、多数の部材の中にはモータの振動と共振するものが含まれる場合もあり、これによって増幅された振動が油受け、内装パネルなどの薄板部材あるいは他のフレーム部材に伝達し、これを振動させるため大きな騒音となる。しかもこの振動周波数は、100～1,000Hzが主成分であり、これは人間の聴感の最も鋭い音域であるため特に耳にうるさく感じる。そこで駆動機械の防振装置が必要となるが、最も簡単な駆動機械全体を防振ゴムで支持する構造では、減速機が駆動チェーンによって偏心した力を受け駆動機械全体がねじられるため、これを防止する複雑な防振構造が必要となる。そこで、駆動機械はフレームに強固に取付け可能で、かつモータの振動をフレームに伝達しない構造としてモータのみを防振する方法を検討した。すなわち、図3に示すようにモータのステータを減速機フランジに設けた防振ゴムで支持し、ロータ軸と減速機軸を弾性継手で結合する新しい防振構造を開発した。

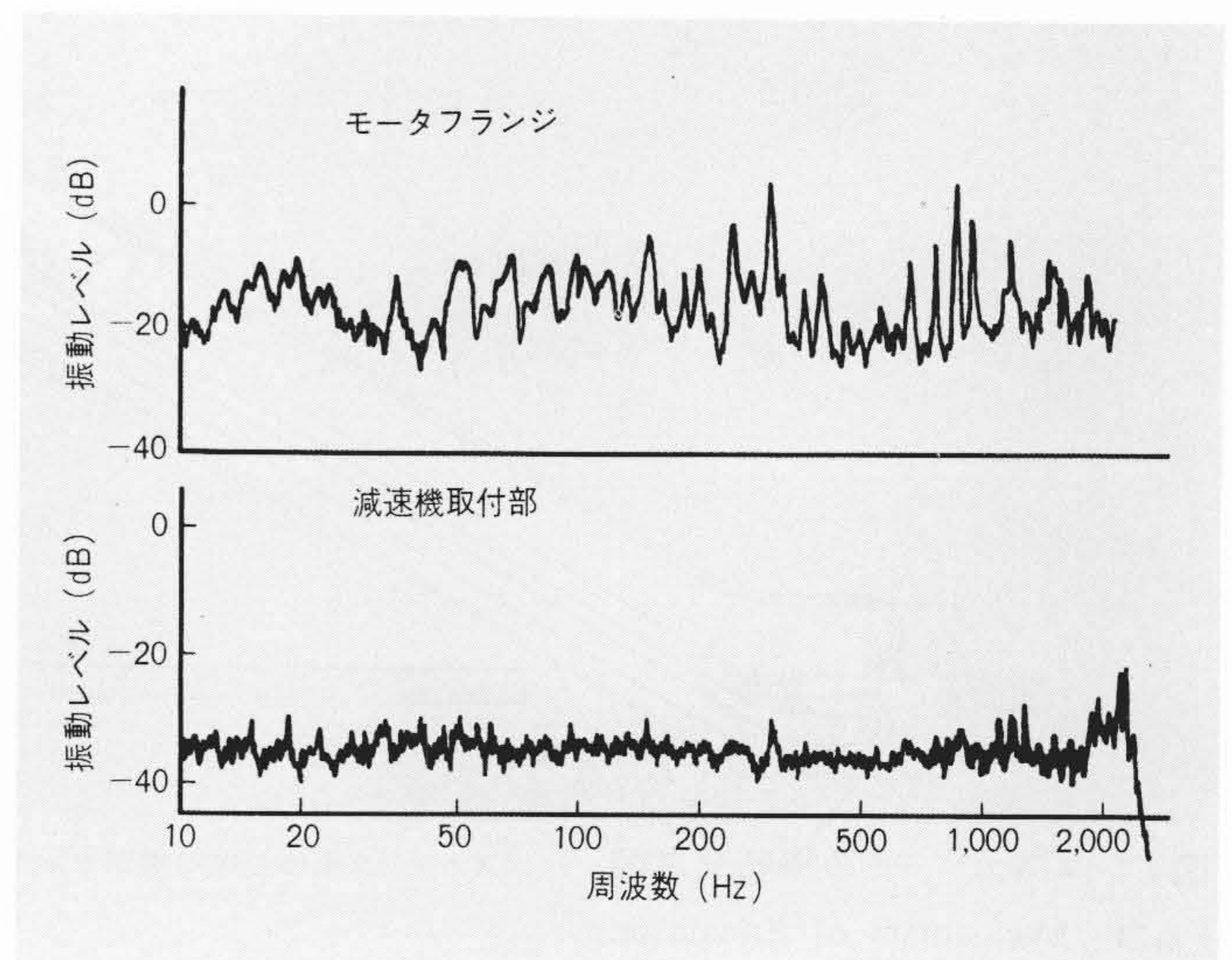


図4 防振構造の振動分析結果 駆動モータの振動がよくしゃ断されており、減速機およびフレームは振動していない。

Fig.4 Frequency Analysis of Vibration Isolation

(特許出願中)。

図4はこの防振構造を用いた場合のモータフランジ(防振ゴムの上方)、減速機取付部における振動加速度の周波数分析を示したもので、同図よりモータフランジで発生している100~1,000Hzの振動は、減速機取付部ではほぼ完全に消滅しており、十分な防振効果が表われるとともに、騒音についても大幅な低減が見られた。

また本防振ゴムの寿命試験として、実用上最も過酷な起動トルクでのくり返し試験を行なった結果、き裂の発生や、性能の低下はなく、20年以上の寿命があることが確認された。

3.2 駆動チェーンとスプロケットのかみ合い衝撃音の低減

前述したように踏み段チェーンと踏み段スプロケットのかみ合い衝撃音の防止装置として、すでに日立製作所はスプロケットの歯底にピンタイプのバッファをそう入する方法を開発している。しかしこの構造は歯幅の小さい駆動機械のスプロケットに適用できないため、図5に示すような緩衝装置を開発した。これは駆動チェーンのピンを従来より延長し、これに合成樹脂製のローラを回転可能に取り付け、スプロケットの歯の両側には突出したリング状の弾性体を設けた構造で、チェーンローラがスプロケットの歯底に衝突する前にローラと弾性体を接触させ、弾性体のばね作用によって、チェーンとスプロケットのかみ合い衝撃音を防止するものである(特許申請中)。

図6は衝撃音の周波数およびその大小を色の濃淡で表示するソナグラムを用いて、本緩衝装置の効果を示したものである。緩衝装置のない場合には、かみ合い周期で明らかに衝撃音を発生しているが、緩衝装置を設けることによりこれは減少し、高周波音も消滅している。なお、騒音レベルについては、負荷試験によりチェーン張力が大きくなるほど、その効果も大きくなることを確認している。さらに、われわれは寿命試験により、耐油性があり、かつ長期間の使用に耐える弾性体を開発している。

3.3 踏み段走行音の低減

高速エスカレータの中間傾斜部で問題となる騒音に、踏み段走行騒音がある。これは踏み段が案内レール上を高速走行するため、誘起される振動が大きくなり発生するもので、その原因としては、

- (1) 踏み段ローラが高速回転するため、これをささえるベアリングの回転振動が増大する。
 - (2) 踏み段ローラが合成ゴム製であるから、図7(a)に示すように、踏み段の自重あるいは乗客の負荷によりたわみ変形し、(b)の場合のように、たわみがない理想的な状態では見られないレールとの相対速度 B が生ずる。このため接触位置でレールと衝突する現象が起こる。
 - (3) 踏み段ローラがレール上の微細な突起や塵芥(じんかい)を乗り越えて走行するため振動をひき起こす。
- などが考えられる。そこで、これらの原因を除くことが最も理想的であるが、このためには踏み段案内構造は従来の踏み段ローラあるいは案内レールと全く異なったものとなり、技術的にも経済的にも実現が困難である。そのため、われわれは振動の原因をなくす代わりに、その振動によって騒音を発生する部材に着目し、最も騒音を大きくしている部材の制振を検討した。

3.3.1 各部材の振動および騒音

図8は、運転速度を種々に変えた場合のエスカレータ各部の振動加速度を示すもので、これにより、油受けが最も振動しており、かつ速度の増加に伴い著しく大きくなることがわかる。また構造上油受けは、フレーム全長にわたって設けてあり、その面積は他の部材より大きいので、騒音を幅(ふく)射しやすく、踏み段走行音に対しても大きな騒音発生源となっていると考えられる。

図9は踏み段上方1mでの騒音の周波数分析の結果で、40Hz付近に最も大きなピークをもっており、100~200Hzにも数個のピークが見られる。したがって、これらのピークを下げることで、これらの周波数の騒音を発生している部材を把(は)握するため、各部材の振動と騒音との相関関数を検討した。

3.3.2 各部材の振動と騒音の相関関数

相関関数とは、二つの信号間の関連を時間の関数として示したもので、これを用いてデータ分析を行なう相関技術は最近各方面で盛んに行なわれている。

われわれは、前述の騒音分析によるピークの騒音を発生している部材を見いだすために、種々の部材の振動と騒音との相関をとった。その結果、42Hzおよび208Hzにおいて、油受

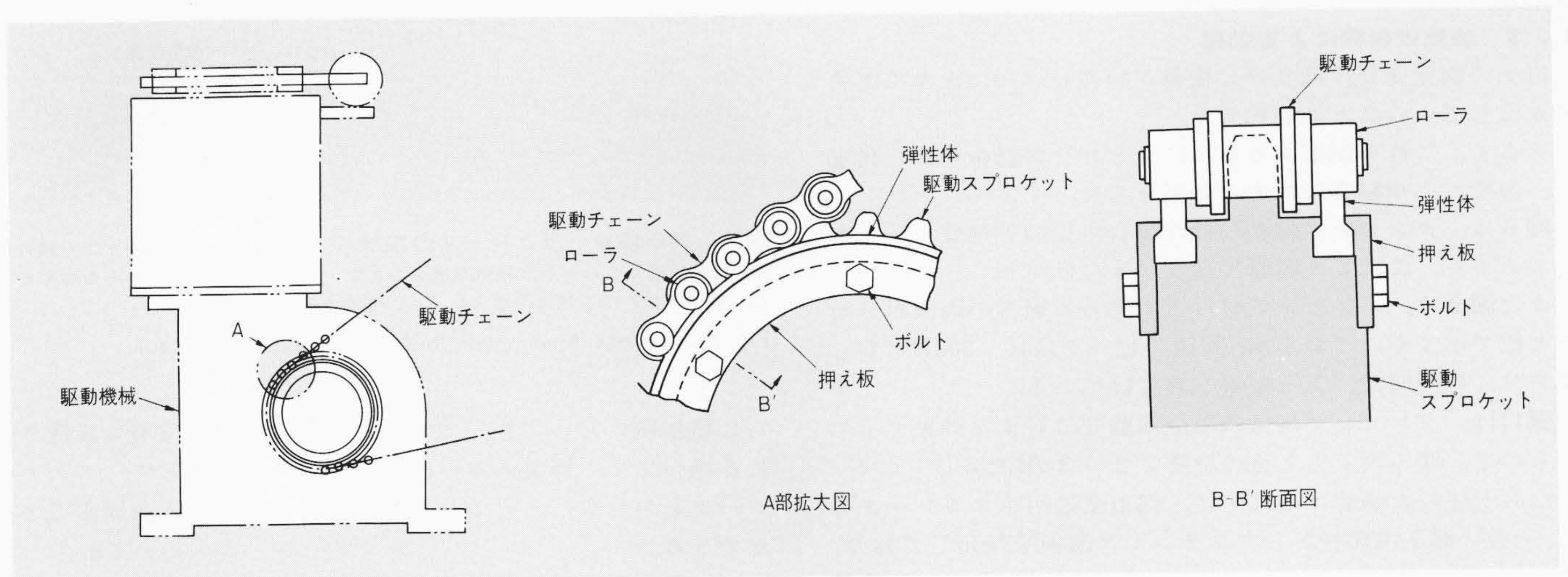


図5 駆動チェーン、スプロケットの緩衝装置 駆動チェーンとスプロケットとのかみ合い衝撃を弾性体で緩衝する。

Fig.5 Buffer for Noise of Chain Drive

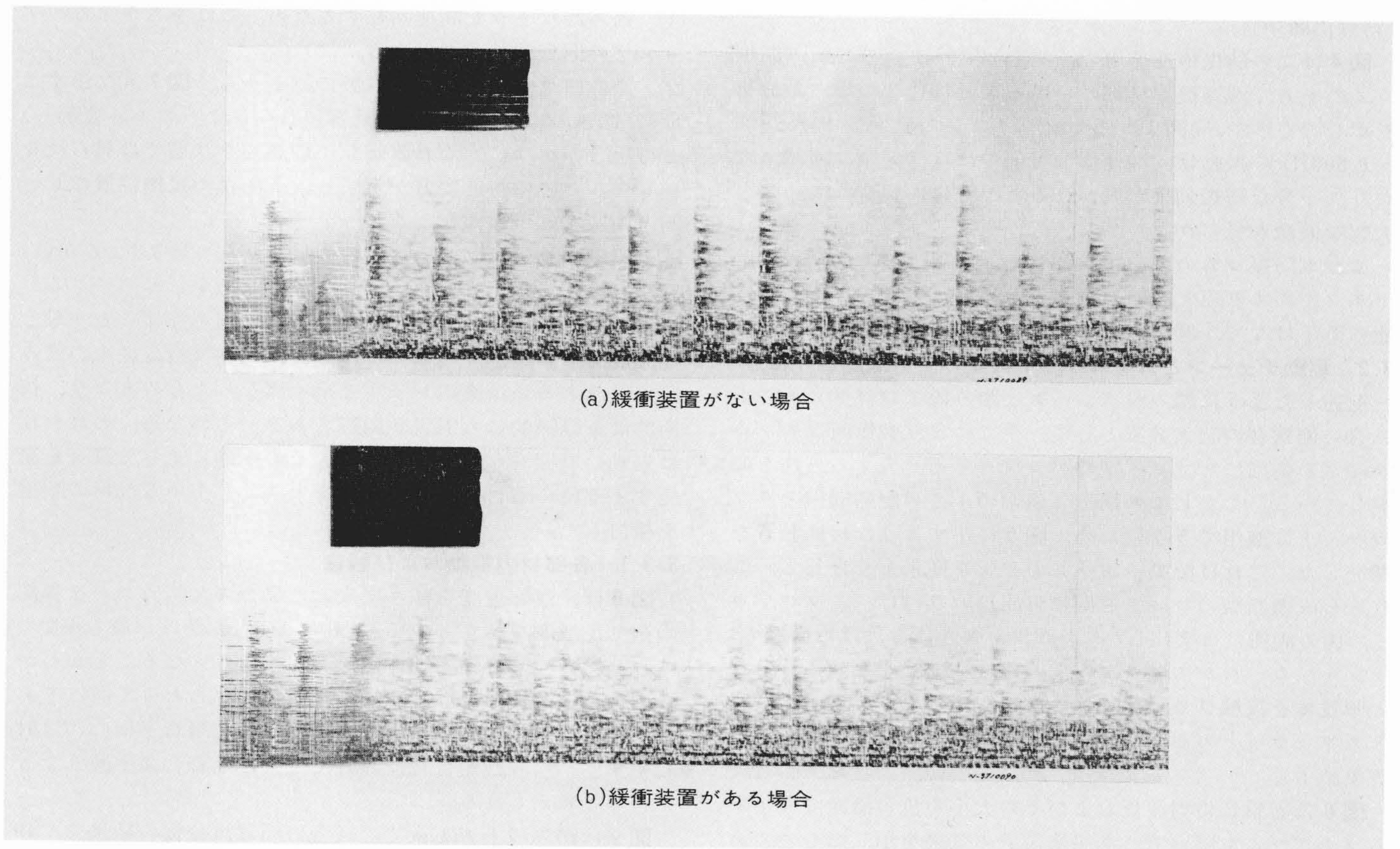


図6 かみ合い衝撃音の分析結果 緩衝装置によって高周波音はなくなり、かつその大きさも小さくなる。

Fig.6 Sound Analysis of Noise of Chain Drive

けの振動と騒音に明らかな相関関係が認められた。なお、他の部材の振動と騒音との相関関係は、いくつか認められたが、問題の周波数付近では、明らかなものは見いだせなかった。

図10は、これら二つの周波数での相関関数を棒グラフで示したもので、縦軸は相関関数の値、横軸は時間を表わし、個々の棒グラフの間隔はサンプリング時間に対応する。

この結果より、油受けは騒音の主成分で振動していることがわかった。

3.3.3 油受け制振による効果

以上の測定より、油受けの振動が騒音レベルに大きな影響を及ぼしていることが判明した。

そこで、これを制振するためにダンピング材を全面に付加し、振動および騒音に対する効果をみた。

図8は、ダンピング材をつけた場合の振動加速度を示すものであるが、これより振動加速度は $\frac{1}{4}$ に低減している。

また図9は、ダンピング材付きの場合の騒音の周波数分析を太線で示すものであるが、問題のピークは10～20dB下がっており、相関関数による結果を裏付けている。

図11は、ダンピング材付きの全体騒音に対する効果を示したもので、踏み段上方1mの位置で2～3dB低減している。

なお上述した油受けのほかに、都市交通用エスカレータでは、一般に欄干内装材としてステンレス薄板を使用しており、これも同様なダンピング材を付けることによりさらに騒音低減が見込まれる。

以上、高速エスカレータで新たに問題となる騒音に対し、これを低減するための構造および効果について述べたが、さ

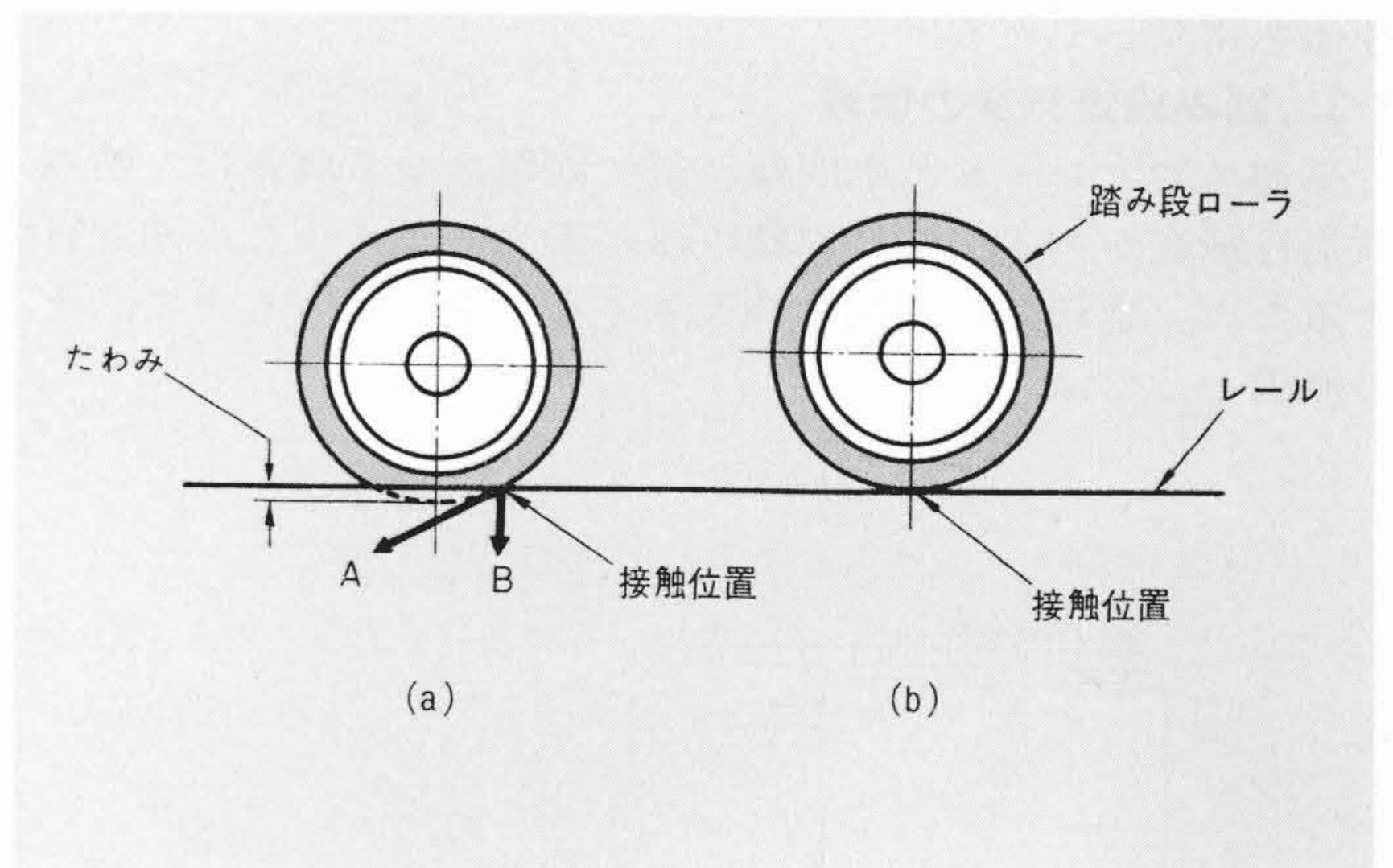


図7 踏み段ローラとレールの接触 (b)のようにたわみがない場合は、接触位置でのローラは相対速度をもたないが、(a)のようにたわみを生ずると、ローラはBなる相対速度でレールに衝突する。

Fig.7 Contact Mechanism between Roller and Track

らに建屋側においても、エスカレータが静粛な環境に設置される場合には、外装あるいはコンクリート壁などで、エスカレータをおおうことにより、防音効果をいっそうあげることができる。

4 結 言

都市交通用エスカレータが将来高速化されることは必至と考えるが、この場合に問題となる駆動機械の騒音、駆動スプ

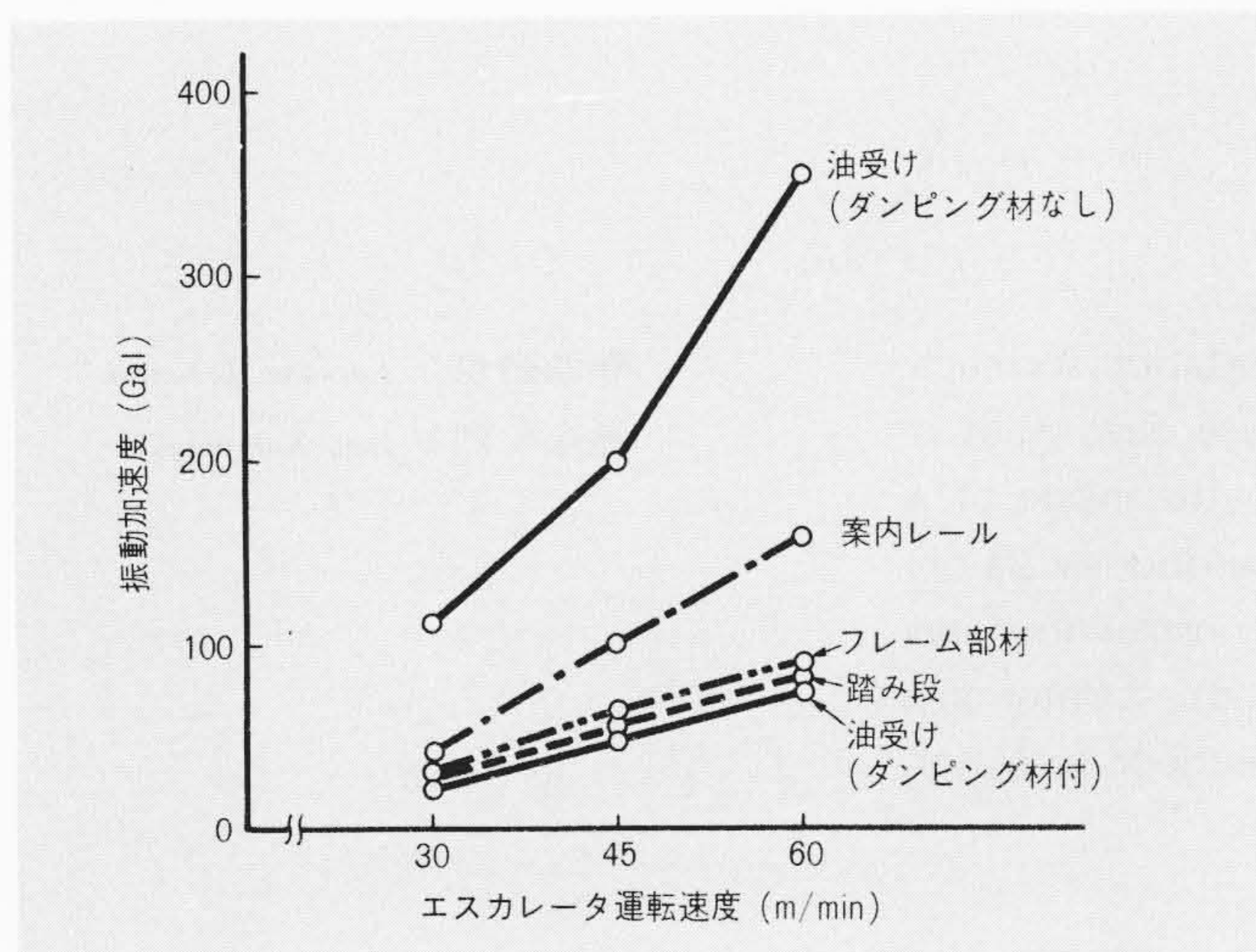


図8 エスカレータ各部の振動 振動は油受けが最も大きく、これにダンピング材を付けることにより大幅に低減する。

Fig. 8 Acceleration of Various Points of Escalator at Various Speeds

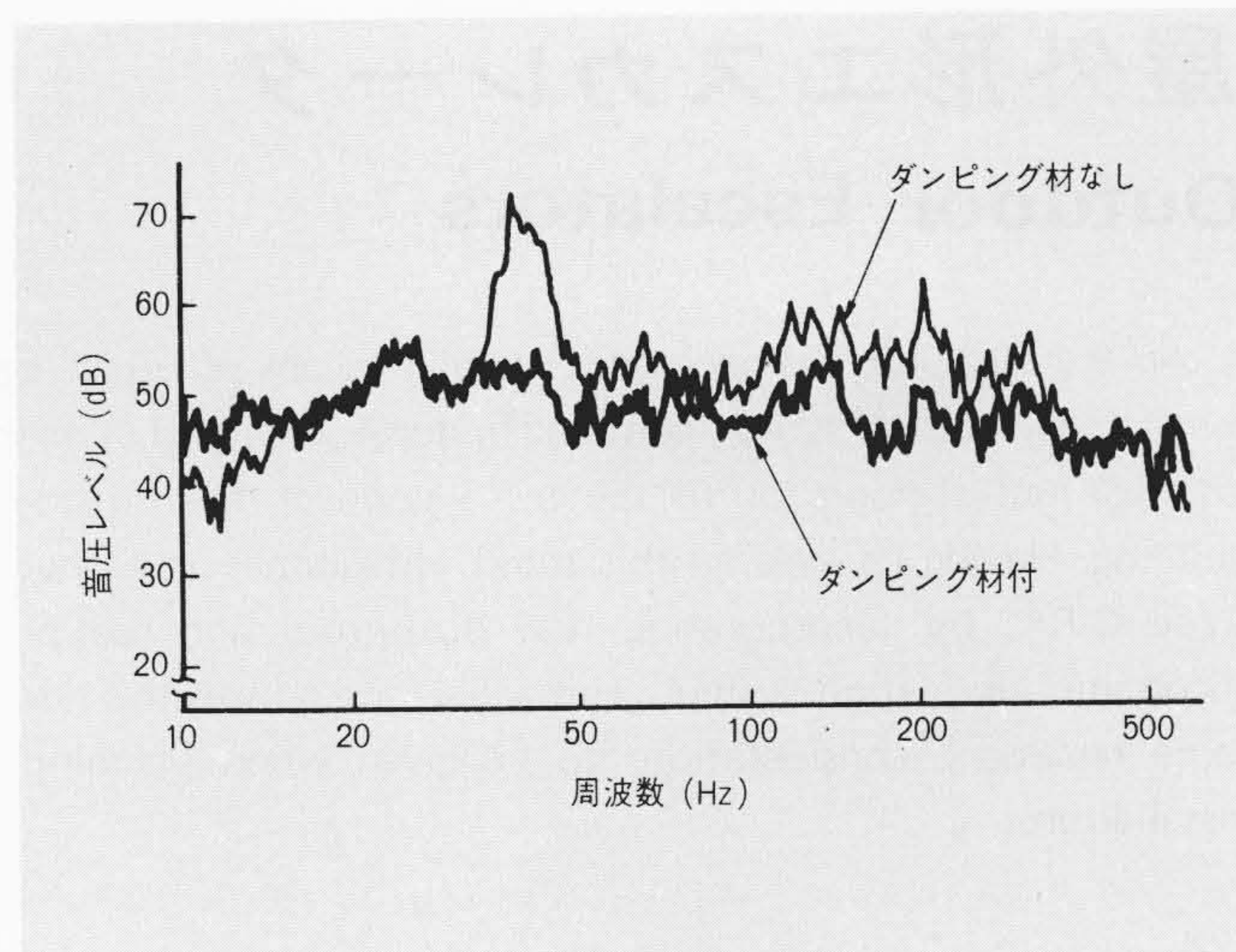


図9 踏み段走行音の周波数分析 ダンピング材がない場合、40Hz付近および100～200Hz付近でピークが見られる。

Fig. 9 Frequency Analysis of The Noise by Running Steps

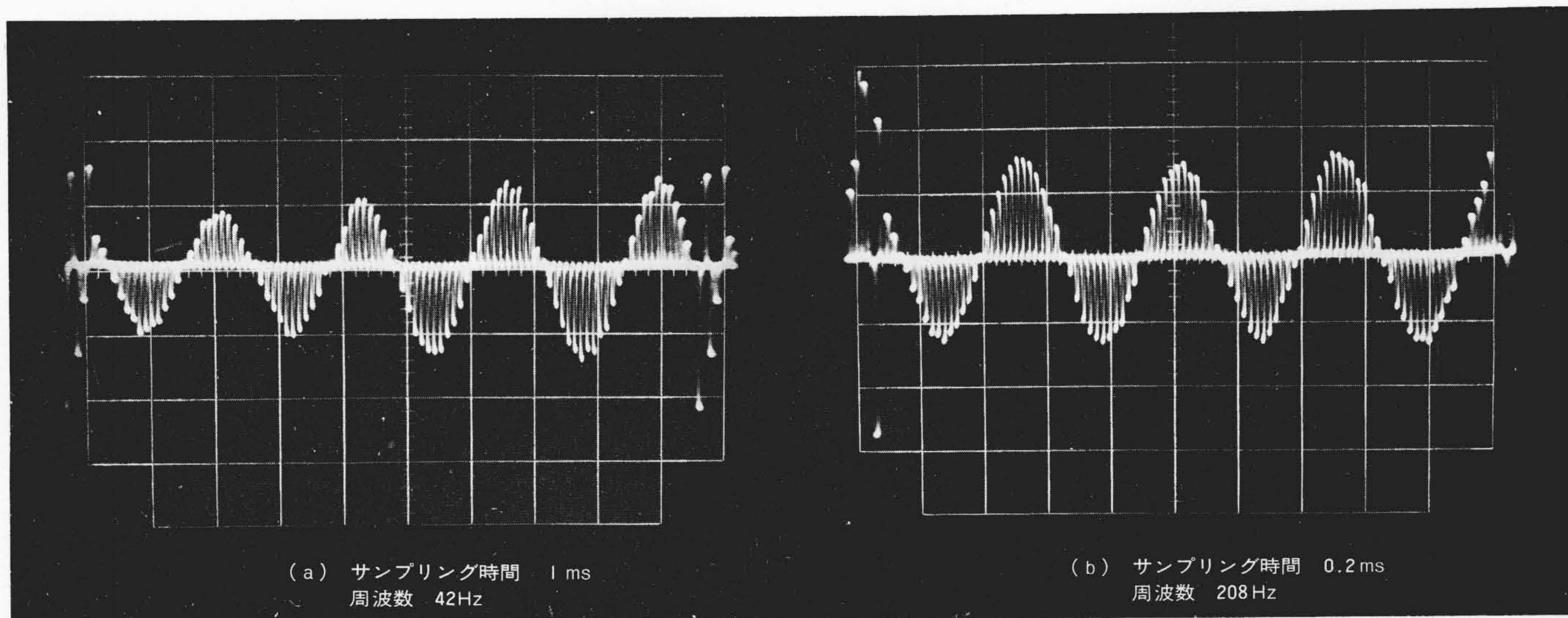


図10 油受けの振動と騒音の相関測定 42Hzおよび208Hzで完全な相関が見られる。

Fig. 10 Correlation between Vibration of Oil Pan and Noise

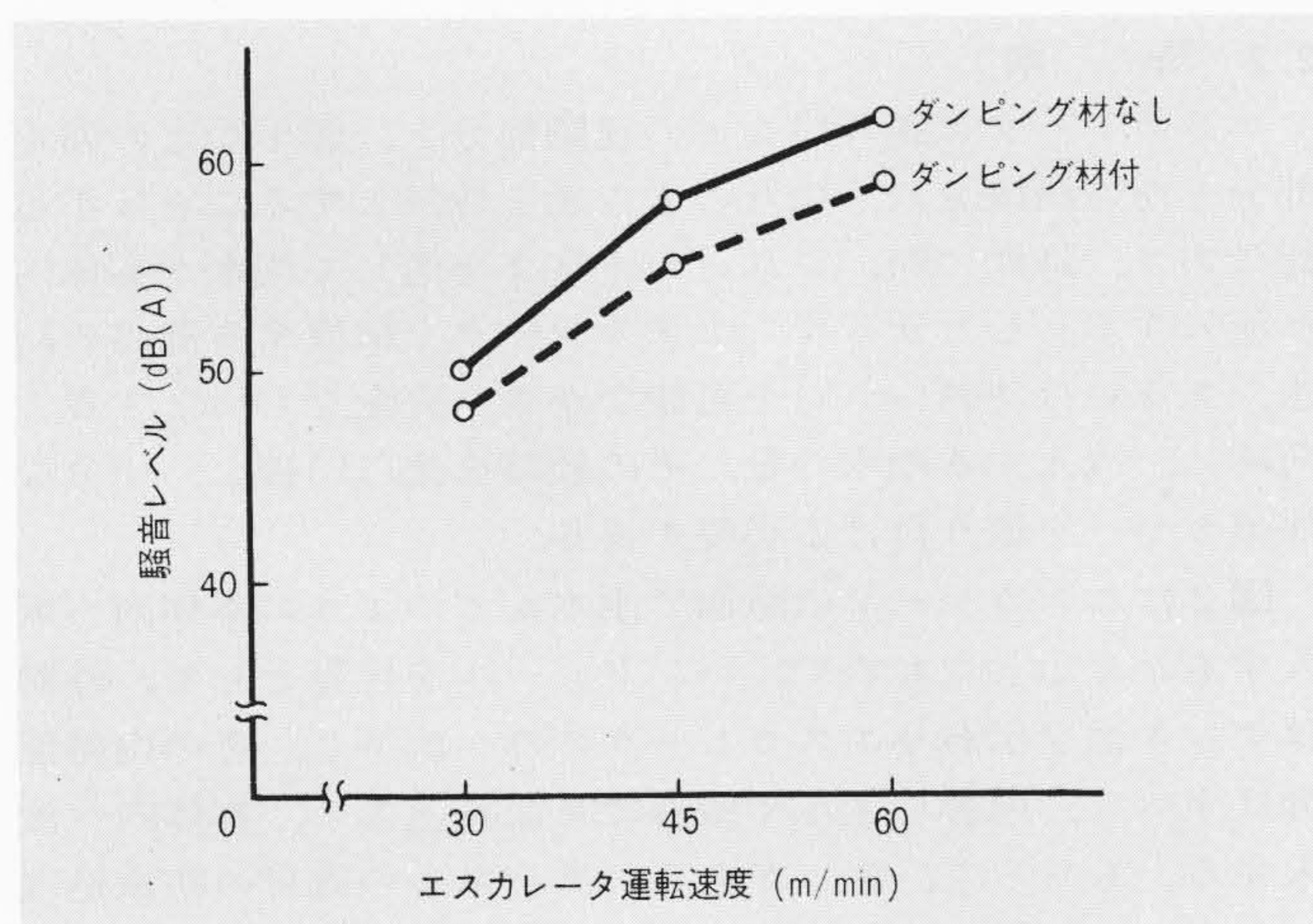


図11 ダンピング材の騒音に及ぼす響果 油受けにダンピング材を付けることにより、2～3 dB騒音が低減する。

Fig. 11 Effect of Damping Material on Over-All Noise Level

ロケットのかみ合い衝撃音および踏み段走行音に対し、それぞれ有効な防音構造を開発し、高速エスカレータの低騒音化を実現した。これらの構造は高速エスカレータのみならず、静かな環境に設置するエスカレータにも適用していく方針である。われわれは今後とも低騒音化に努力する所存であるが、一方、エスカレータを設置する建屋計画の中においても騒音防止に留意のうえ建屋の構造を決められるよう切望するしだいである。

参考文献

- (1) 平元ほか：「都市交通機関用日立高揚程エスカレータの高速化」日立評論 55, 465 (昭48-5)
- (2) 一柳ほか：「エスカレータにおける無騒音構造の研究とその成果」日立評論 48, 704 (昭41-6)
- (3) 川田ほか：「材料強度ハンドブック」230 朝倉書店(昭41-12)