

乗用油圧エレベーターの低騒音技術

—「日立ハイドロ・4」への適用—

Technique of Noise Reduction for Oil-Hydraulic Elevators —Its Application to "Hitachi Hydro・4"—

油圧エレベーターのパワーユニットから発生する騒音は、油柱、固体、空気の三つの経路で、乗りかごや周囲の区画へ伝搬される。油柱については、ポンプから吐出する圧力脈動やバルブの圧力絞りによるキャビテーション脈動が騒音源になる。

この圧力脈動の低減に関して、実規模のモデルにより理論的アプローチと一連の試験を実施した結果、1段の空胴形マフラを音源から半波長の整数倍の位置に設置することにより、シリンダ入口部の圧力脈動がほぼ無脈流に減衰できることを確認した。

この技術を4人乗り油圧エレベーター「日立ハイドロ・4」へ適用し、乗りかご内45dB以下、機械室周囲の区画で35dB以下の騒音レベルを達成した。

更に、建築計画時点で騒音に対し、特に配慮すべき内容についても本稿末尾に言及した。

木戸康夫* Yasuo Kido
根本芳明* Yoshiaki Nemoto
土屋征久** Masahisa Tsuchiya

1 緒 言

油圧エレベーターは機械室を任意の場所に計画できること、建屋に懸垂荷重が加わらないことなど、建築計画上の利点がある¹⁾。一方、性能や安全性に対する油圧制御技術は近年大幅に進歩改良が推進され、従来は電動ロープ式（以下、ロープ式と略す。）エレベーターの市場であった「乗用エレベーター」の分野でも、油圧方式が脚光を浴びつつある²⁾。

図1に示す最近6年間の油圧エレベーターの設置台数をみると、乗用エレベーターの年伸び率は50%以上の高率で推移しており、中でも4~5階床の小規模ビルでは建築条件によって、ロープ式よりも油圧式を選択する時代が到来しつつある。

一方、これら小規模ビルでの油圧エレベーターの設置環境は、貴重な建築スペースの中に機械室が計画され、周囲の区画は居室、寝室など生活の場として利用されており、エレベーターから発生する騒音や振動の低減については十分な配慮が必要である。

本稿は静謐な環境を維持するために、日立製作所が実施している低騒音技術について述べ、「日立ハイドロ・4」へ適用した結果を報告する。

2 油圧エレベーターの構造と騒音の設定レベル

2.1 構 造

図2に油圧エレベーターの構造を示す。機械室に設置された油圧パワーユニットと昇降路の油圧ジャッキは、1本の油送管で結合する。乗りかごはロープを介してプランジャで押し上げ、ガイドレールに沿って昇降路内を上下に走行する。

図3に油圧制御回路の一例を示す。上昇は電動機を駆動し、ポンプ吐出油をタンクへバイパスする。上昇制御弁を閉じることにより、油をシリンダへ圧送して乗りかごを上昇させる。下降は乗りかごの自重を利用して行なう。すなわち、下降指令により下降制御弁を開き、シリンダ内の圧油をタンクへ戻して乗りかごを下降する。下降に電動機を使用しないことは油

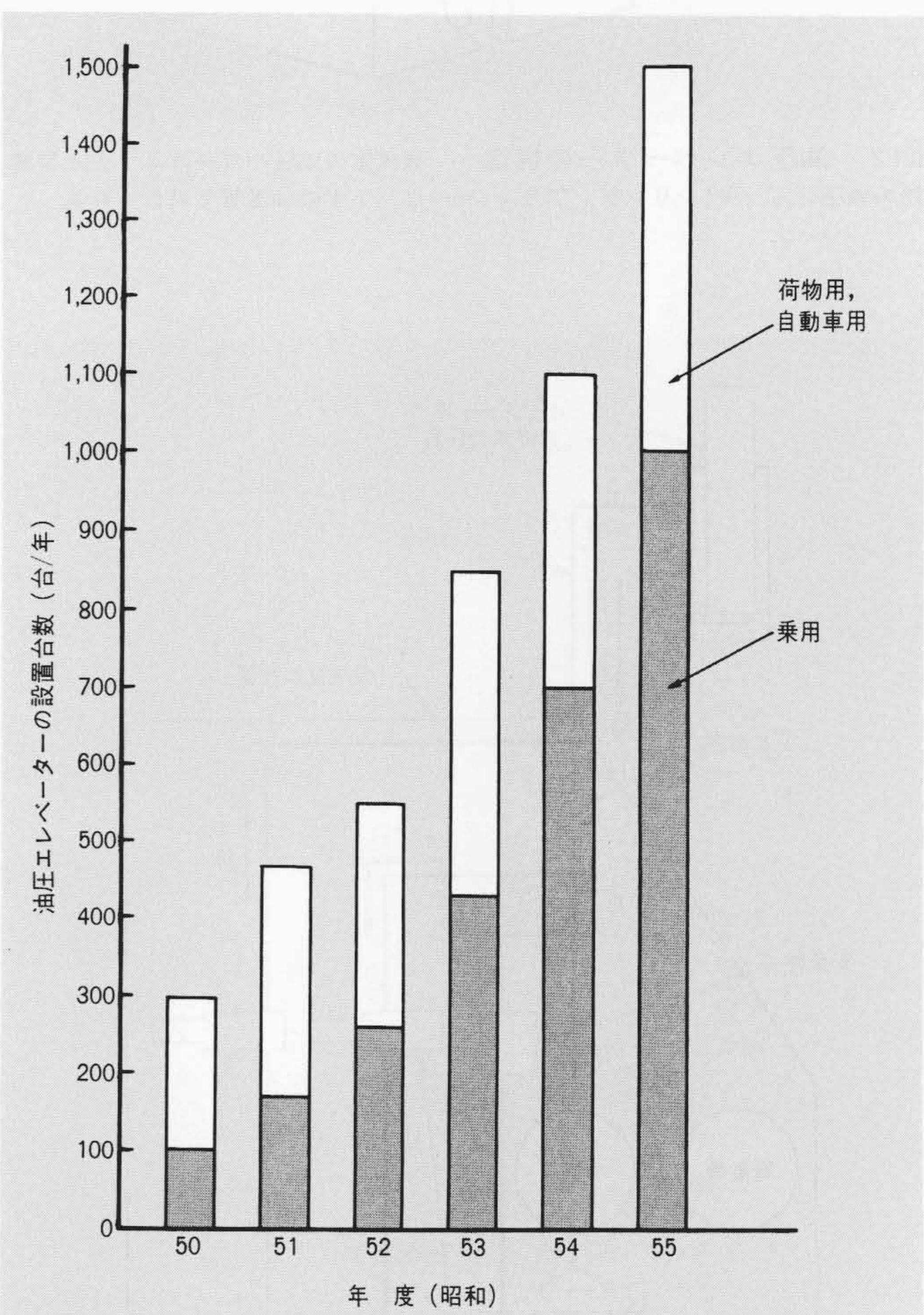


図1 油圧エレベーターの設置台数推移 特に乗用油圧エレベーターは、50%以上の年伸び率を示している(出典:財団法人日本エレベータ協会)。

* 日立製作所水戸工場 ** 日立製作所機電事業本部

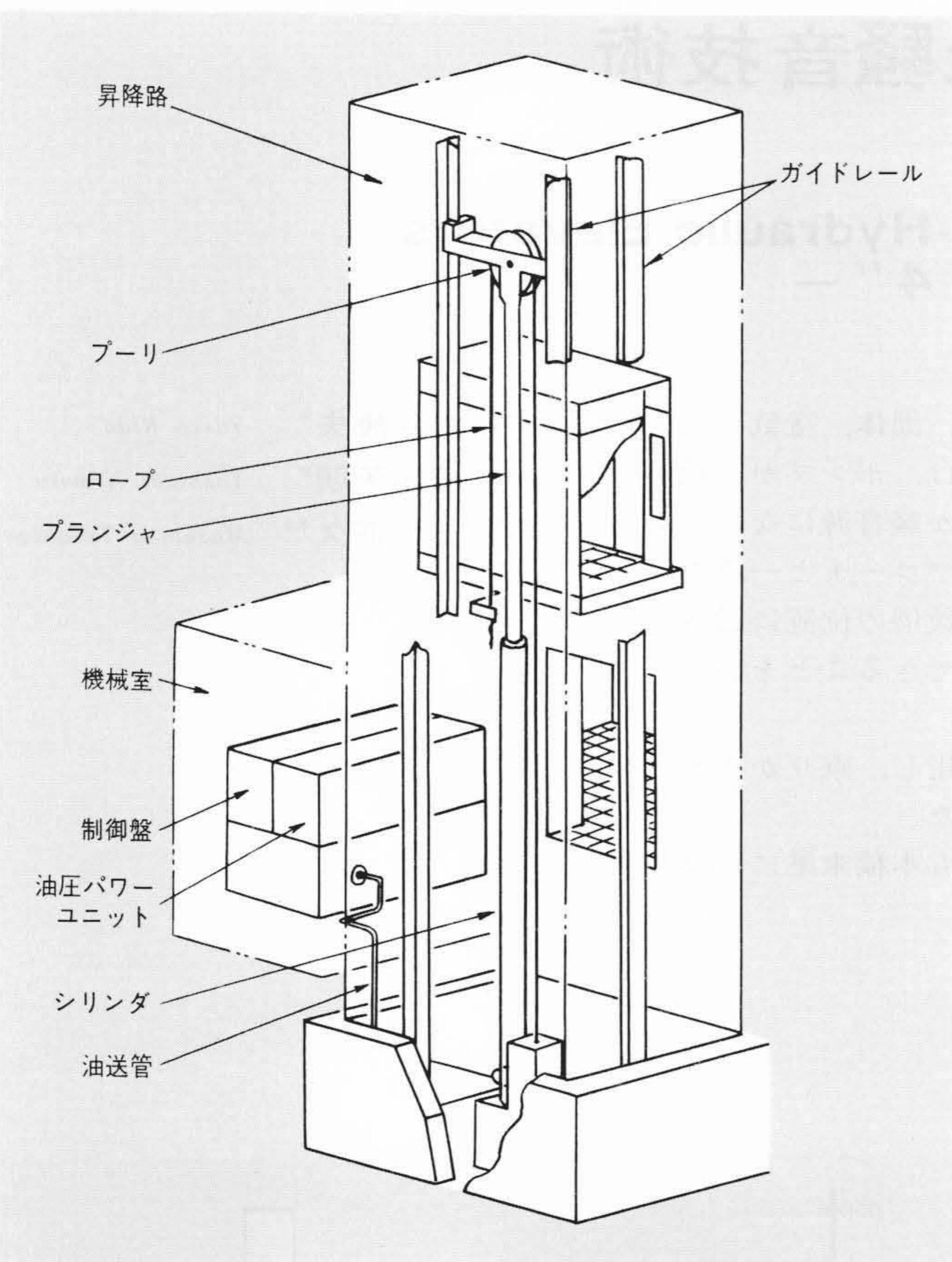


図2 油圧エレベーターの構造 機械室の油圧パワーユニットと昇降路の油圧ジャッキ(シリンダ、プランジャ)は、1本の油送管で結合される。

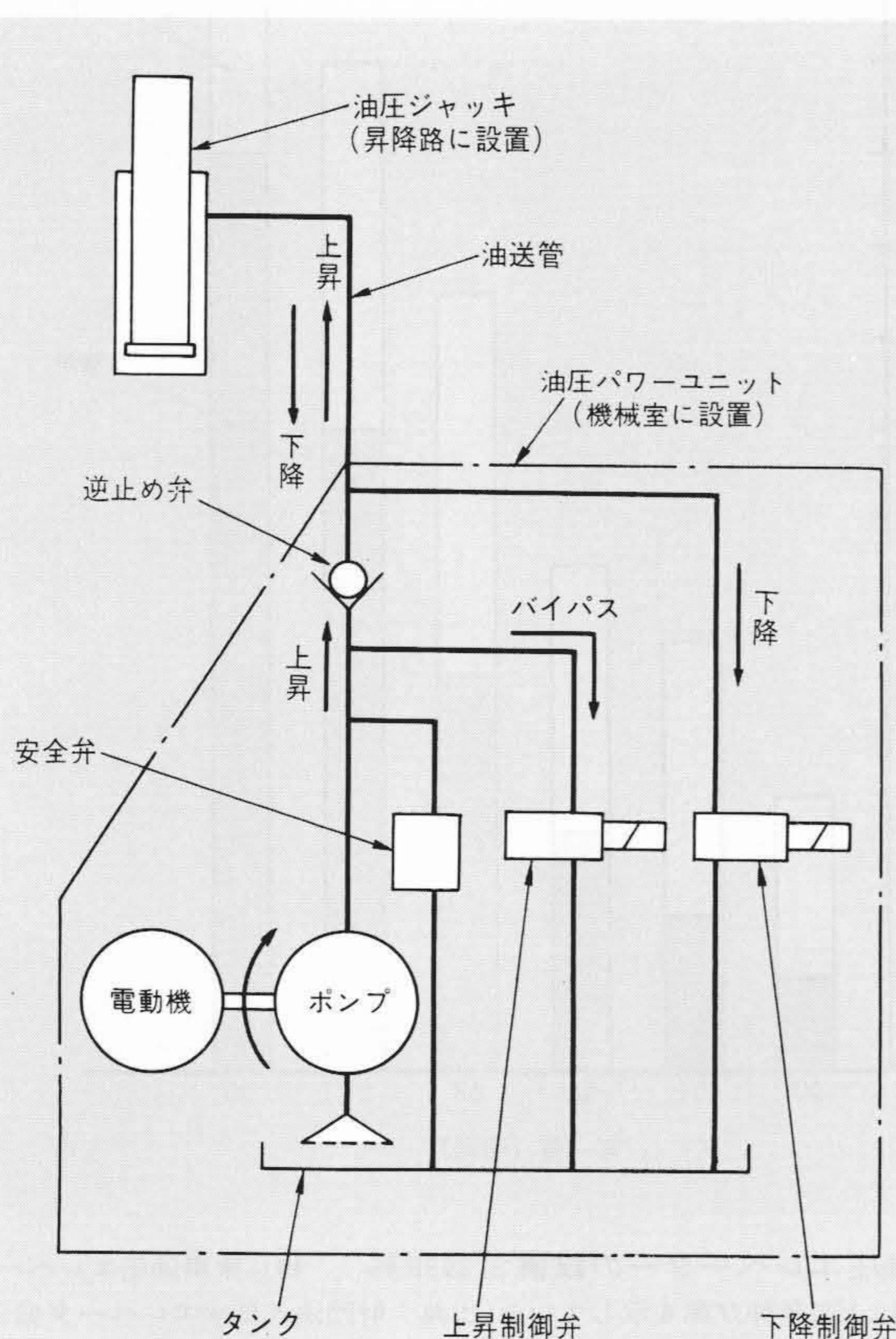


図3 油圧制御回路 上昇はポンプで駆動し、下降はエレベーターの自重を利用する。

表1 部屋の用途別騒音レベル(日本建築学会が定めた等級を示す)。居室での騒音レベルは、35dBを目標に設定した。

用途	等級	1級	2級
居 室	35	40	
寝 室	35	40	
客室(ホテル)	40	45	
応接室	40	45	
病室(個室)	40	45	
一般事務室	45	50	

注: 単位 dB (Aスケール)

1級(好ましいレベル), 2級(ほぼ満足できるレベル)

圧エレベーターの特長である。電動機、ポンプ、制御弁、油タンク、電気制御盤などを一体の油圧パワーユニットへ組み込み、機械室の床面に固定する。

2.2 騒音の設定レベル

表1は日本建築学会が室内騒音に対し、用途別に指針として示したレベルを示す⁴⁾。騒音の許容値は暗騒音とのレベル差、周波数の主成分、更に個人の感覚差などにより、一律に定めにくいか、居室に対しては表1に示した「好ましいレベル35dB」に設定して低騒音設計を進めた。また、エレベーターの乗りかご内では従来の経験により上昇、下降とも45dB以下とした。

3 騒音の種類と伝搬経路

図4に騒音の種類を示す。ポンプ、制御弁から発生する圧力脈動は油中を伝搬し、シリンダや油送管を振動させて乗りかご内や居室で騒音になる。成分は300Hz以上の高周波のため感知しやすい音質である。

固体や空気を伝搬する騒音は、周波数に応じて油圧パワーユニットや油送管を防振防音設計することによりあるレベルまで低減する。ただし、ロープ式エレベーターは機械室が屋上のペントハウスに設置されるのに対し、油圧エレベーターの機械室は住民の生活スペースに接近するケースが多い。したがって、騒音は機械室の壁による質量効果に頼るだけでは必ずしも十分な低減は得られず、油圧パワーユニット自体の防振防音を行なうとともに、建築レイアウトの検討、あるいは機械室の防音施工も合わせて考慮し効果的な改善を行なう必要がある。

4 油圧エレベーターの低音設計

4.1 油柱を伝搬する脈動

(1) ポンプから発生する圧力脈動(上昇時)

図5は一例として「日立ハイドロ・4」で使用しているベーンポンプ(羽根ポンプ)の吐出口で検出した圧力脈動を示す。脈動の周期はベーンの枚数で決まり、ポンプ回転数1,500rpmの場合、基本周波数は300Hzとなる。

(2) 制御弁の油圧絞りによるキャビテーション脈動(下降時)

図6に下降制御弁の一例を示す。弁の絞り抵抗は、上流側のシリンダ負荷圧力とバランスさせている。圧油は矢印の方向でタンクへ流出する。この噴流による下流側の負圧で、油中に溶解、混入している空気が分離発泡し、キャビテーション気泡が生じて1.5~2kHzの高い主成分をもつ圧力脈動が発生する。

4.1.1 圧力脈動の低減

上述のとおり、上昇時の300Hz、下降時の1.5~2kHzの圧

全体構造		
経路	発生源	低減策
油柱を伝わる振動	<ul style="list-style-type: none"> ポンプの圧力脈動 キャビテーション脈動 	<ul style="list-style-type: none"> 圧力脈動の低減
固体伝搬	<ul style="list-style-type: none"> ポンプ, 電動機の振動 	<ul style="list-style-type: none"> 油圧パワーユニットの防振 油送管の防振
空気伝搬	<ul style="list-style-type: none"> 油圧パワーユニットの運転音 (ポンプ, 電動機) 	<ul style="list-style-type: none"> しゃ音, 吸音

図4 騒音、振動の種類と伝搬経路 油柱、固体及び空気の三つの経路で伝搬する。

力脈動が発生する。消音装置としては、一般に(1)空胴形、(2)共鳴器形、(3)吸音材充填形などに区分されるが、(2)は特定周波数を対象としており、(3)は管路損失が増加する点で、いずれも油圧エレベーター用としては得策と言えない。今回開発した「単一空胴形油圧マフラ」は、上昇、下降いずれの領域に対しても圧力脈動の低減に優れた効果をもっており、以下詳細を説明する。

4.1.2 油圧マフラの開発

マフラーは自動車や二輪車の排気音を低減する目的で広く利用されている。これを油圧システムで設計する場合、音速、すなわち脈動の波長が空気中の約3倍になること、マフラーとシリンドラ間に反射波があることの2点が異なる。

図7に音源(ポンプ, 制御弁), マフラ, シリンダ及びそれらを結ぶ油送管に対する4端子定数等価回路を示す⁵⁾。ここで入力管の長さ l_1 はマフラと音源との距離を示し, 適正長さを選定できる。尾管 l_3 は機械室と昇降路間の距離で定まり, 4~30mの範囲でばらつく。

本等価回路による圧力脈動の低減効果 L (dB) は、次式で求められる。

$$L \doteq 20 \left\{ \log |\cos kl_1| + \log \frac{S_2}{S_3} + \log |\sin kl_2| + \log |\sin kl_3| - \log |\cos k(l_1 + l_2 + l_3)| \right\} \quad \dots \dots \dots \quad (1)$$

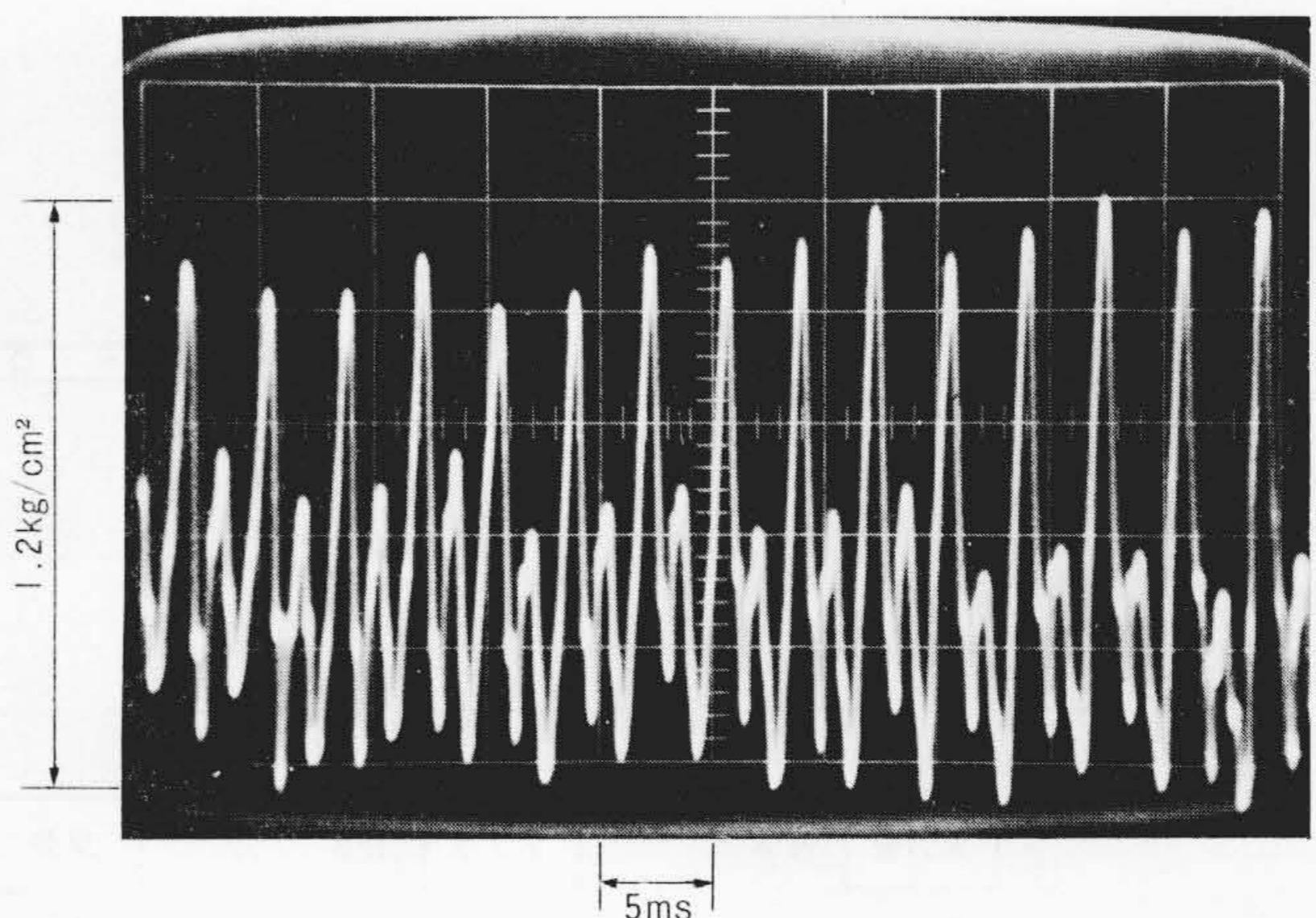


図5 ポンプ吐出部の圧力脈動のオシログラム ベーンとベーンの間のオイルボリュームが連続して吐出し、圧力脈動を形成する。

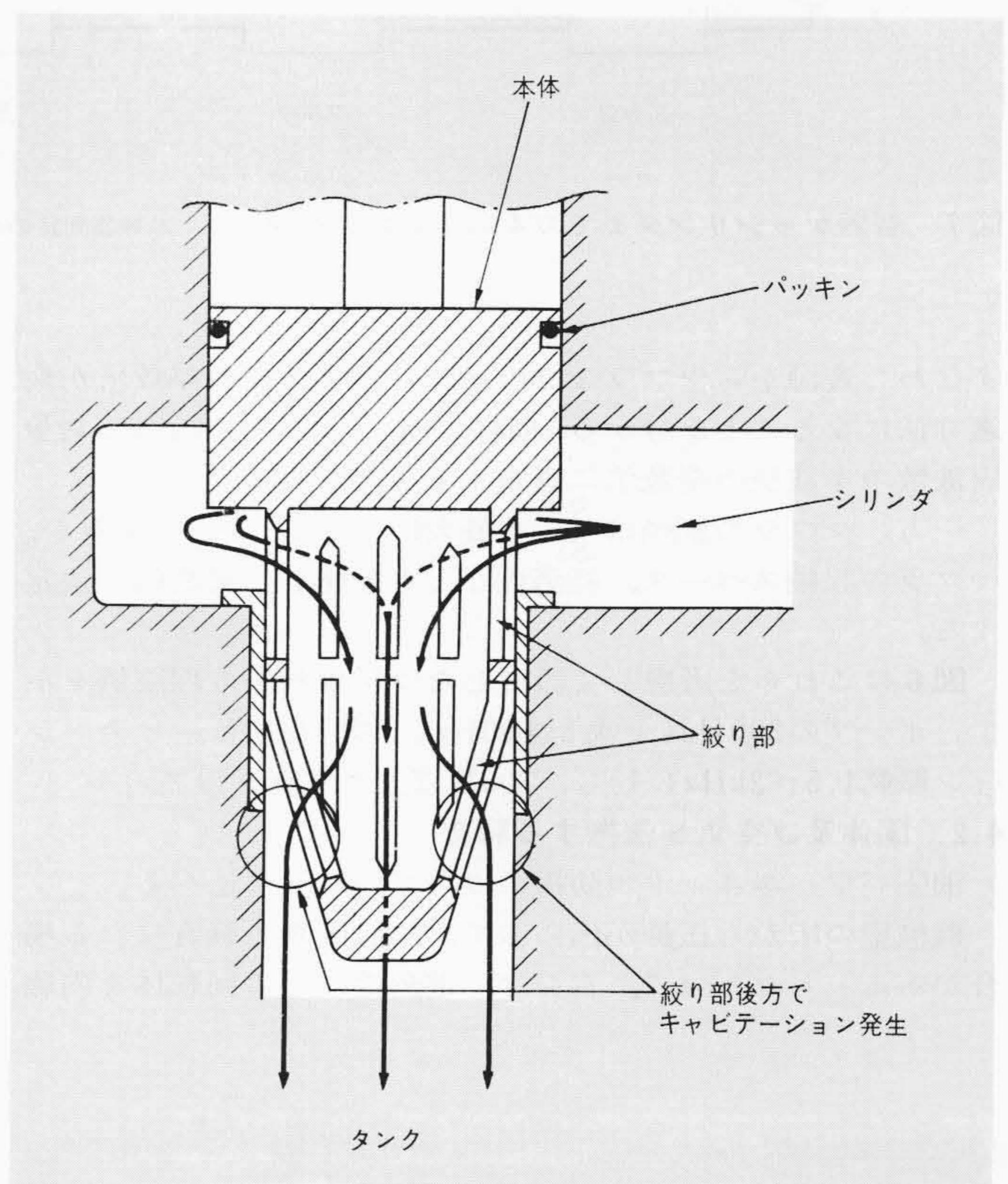


図6 下降制御弁の構造　　圧油が絞られ、キャビテーションが発生する。

$$\text{ここに} \quad k = \frac{2\pi f}{C}$$

f ：圧力脈動の周波数(Hz)

C：油の音速

S_3 ：尾管の断面積

S_2 ：マフラの断面積

上式から、 L が最大となる入力管の長さ l_1 は、

ここに n : 整数

λ : 波長

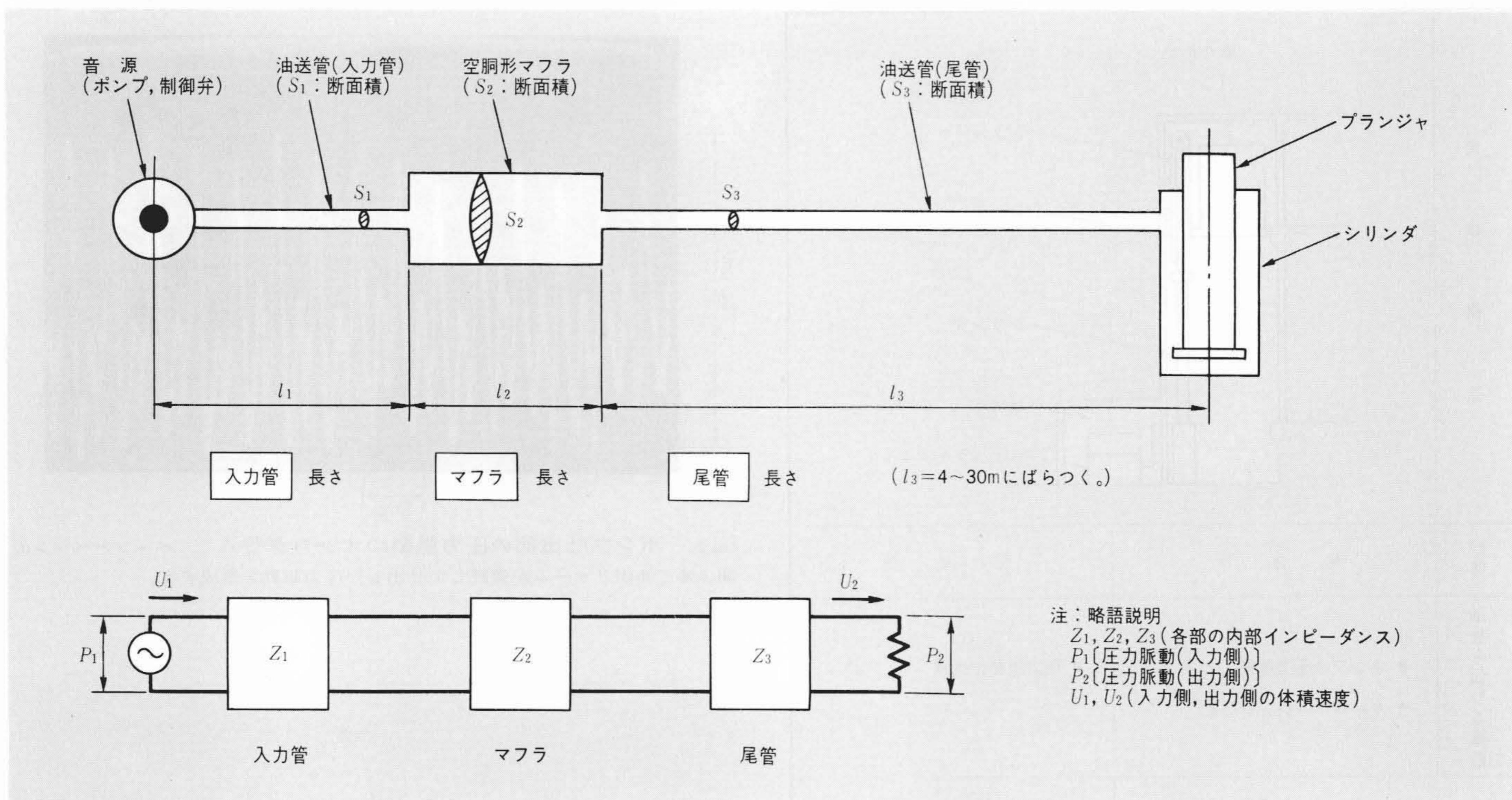


図7 音源からシリンダまでの4端子定数等価回路 本等価回路の合成4端子定数を算出し、マフラ、入力管などの最適諸元を求めた。

すなわち音源からマフラまでの距離は、半波長の整数倍が最適寸法になることが分かる。同様にマフラ長さ l_2 寸法は、対象周波数の $\frac{1}{4}$ 波長の奇数倍に選定する必要がある。

一方、マフラの胴径は $\frac{S_2}{S_3}$ を最大にすることから定まるが、マフラの収納スペース、経済性なども配慮して最終的に決定する。

図8にこれらを考慮して設計したマフラ効果の理論値を示す。ポンプの300Hz(一次)、600Hz(二次)及びキャビテーション振動1.5~2kHzに対し、30dB以上の減衰を得ている。

4.2 固体及び空気を伝搬する騒音

油圧パワーユニットの防振について、以下に述べる。

機械室の床から振動が伝わって、隣接区画で騒音になる場合がある。したがって、ポンプ、電動機などの回転体を内蔵

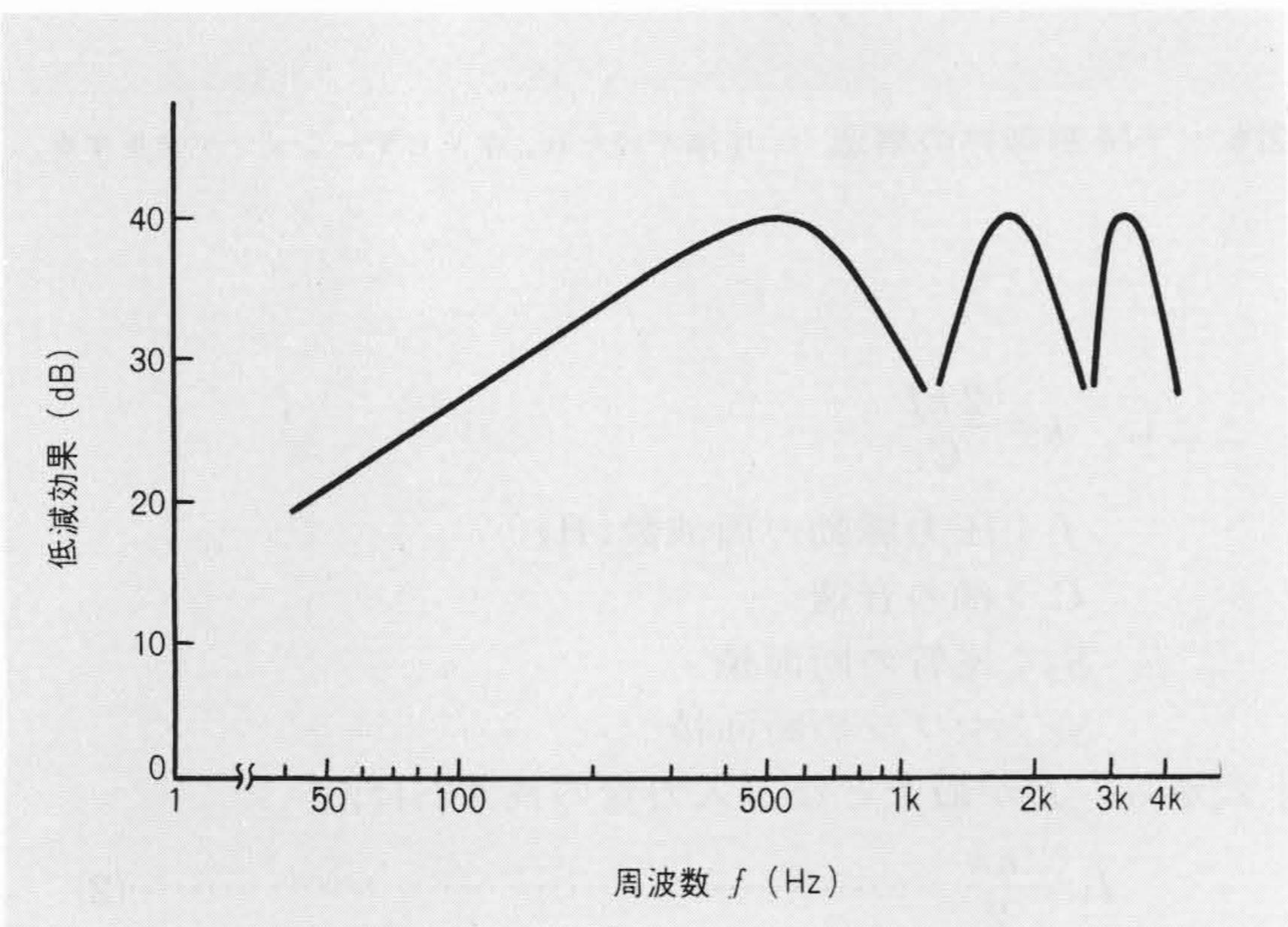


図8 マフラの低減効果 ポンプの300Hz、600Hzキャビテーションの1.5~2.5kHzに対し、30dB以上の減衰を得ている。

する油圧パワーユニットには、固有振動数に対し適正な防振支持を行なう。

油圧エレベーターの機械室は地下階に計画することが好ま

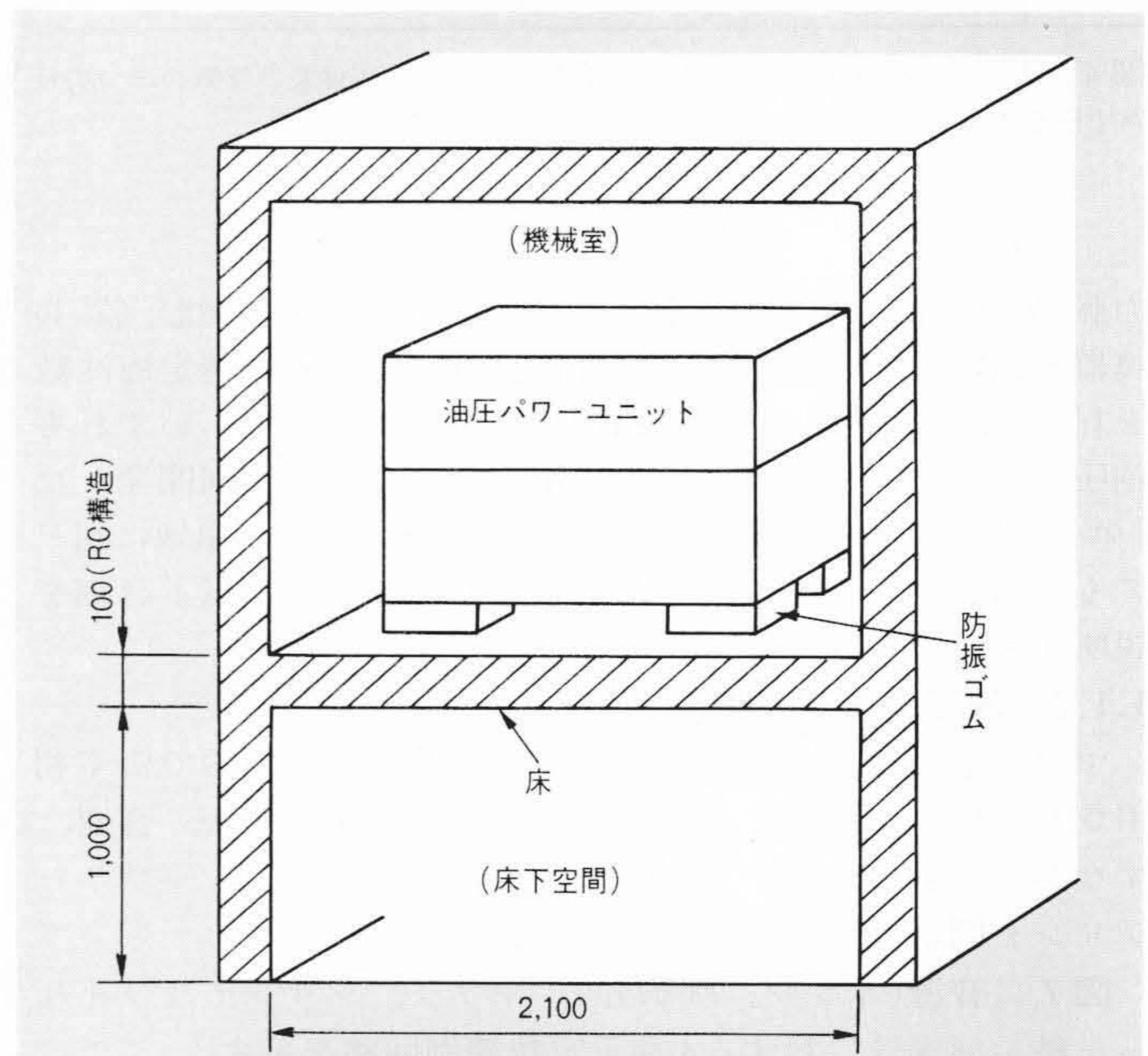


図9 機械室床面の振動試験装置 油圧パワーユニットの防振支持で、床の振動は5Gal以下を達成している。

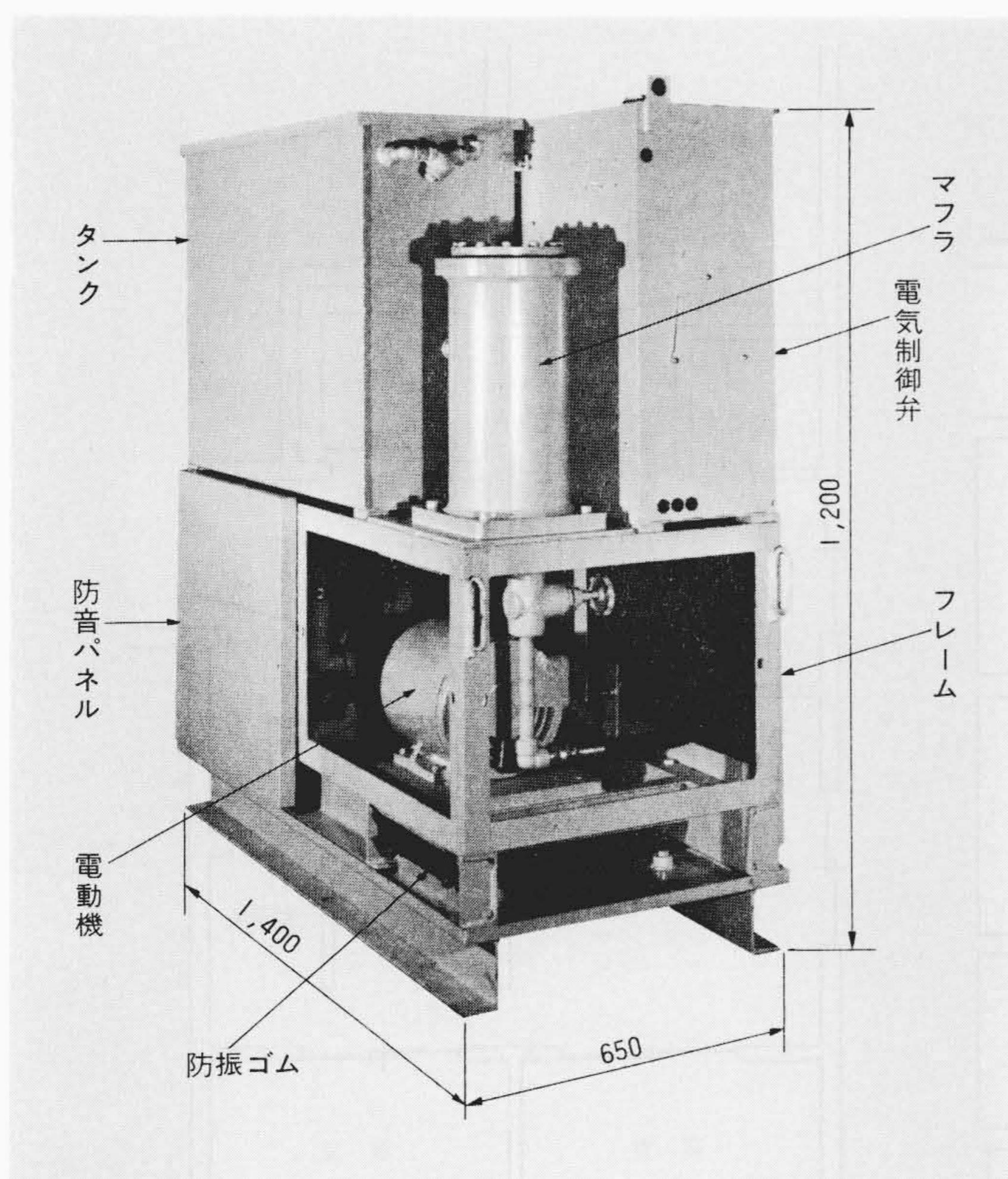


図10 「日立ハイドロ・4」の油圧パワーユニット タンク、ポンプ、電動機などを、一体のユニットにまとめてある。

しいが、床下にパイプスペースなどの空隙がある場合に、床自体が膜板振動となって騒音を助長するおそれがある。図9は床の振動加速度を確認するための装置で、床厚は実用上最少の100mmとした。経験上、床振動が10Gal以下であれば、騒音への影響は出ない。製品は油圧パワーユニットの運転による床面の振動加速度は、上昇、下降いずれも5Gal以下に抑えてある。

5 4人乗り乗用油圧エレベーター「日立ハイドロ・4」への適用

以上油圧エレベーターの低騒音技術について述べた。これらは、日立乗用油圧エレベーターへ適用しているが、ここでは「日立ハイドロ・4」での騒音データについて解説する。なお、「日立ハイドロ・4」は日立製作所独自の4人乗り油圧エレベーターとして、昭和45年に開発⁶⁾し、小規模の住宅ビルや事務所ビル向きの実用形エレベーターとして広く利用されている。今回、低騒音、省スペースを重点にモデルチェンジを行なったが、極めて小規模な集合住宅ビルやビジネスホテルが主な対象となるため、低騒音化については特に配慮する必要がある。

5.1 油圧パワーユニットの構成

図10に「日立ハイドロ・4」の油圧パワーユニットを示す。ユニットはフレーム上部には電気制御盤、タンク及びマフラを設置し、下部にはポンプ、電動機及び制御弁を一体収納している。制御弁からマフラには入力管が配管され、ベースの防振ゴムでユニット全体を支える。ユニットの周囲には防音パネルを設置して、ポンプや電動機の運転音をしゃ音している。

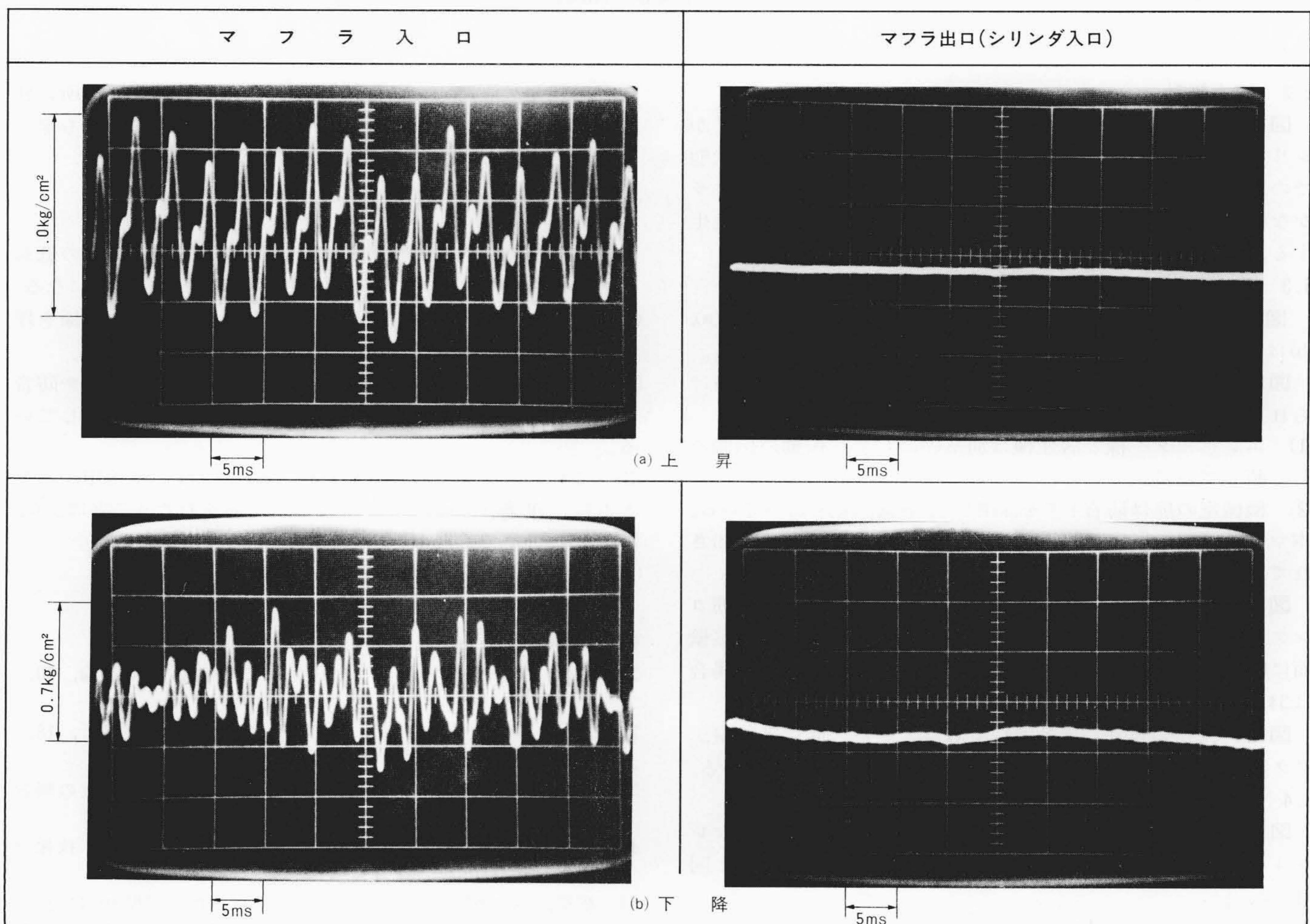


図11 「日立ハイドロ・4」でのマフラ前後の圧力脈動 シリンダ入口部では、圧力脈動はほぼ無脈流に減衰している。

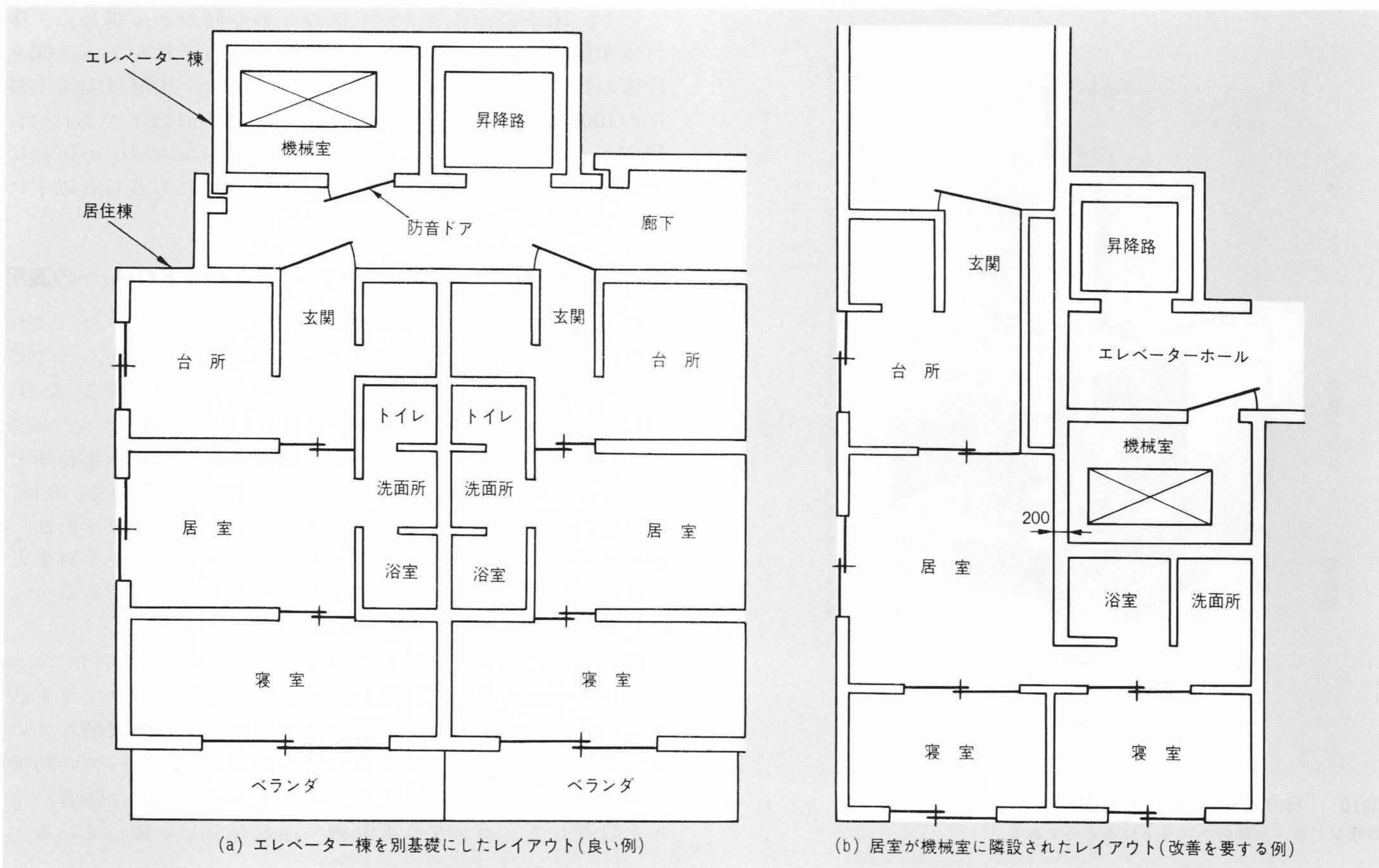


図12 マンションのレイアウト例 レイアウトの改善やエレベーター機械室の防音施工によって、居室や寝室の騒音レベルは大幅に変動する。

5.2 圧力脈動

図11に圧力脈動を示す。マフラー入口部の 1.0kg/cm^2 の脈動がシリンドラ入口部ではほぼ無脈流まで減衰している。この状態での乗りかご内は43dBの低レベルを実現した。なお、マフラーがない状態では55dB前後の耳障りな騒音が乗りかご内で発生する。

5.3 集合住宅での騒音対策例

図12は「日立ハイドロ・4」を納入した集合住宅の例を示す。(a), (b)はエレベーター騒音に対し対象的な例として示してある。

図12(a)は廊下を隔ててエレベーター機械室と玄関口が設けられており、建築計画の段階から次の配慮を得ている。

- (1) エレベーター棟と居住棟は別基礎にして、振動の伝搬をしや断している。
- (2) 機械室の扉は防音ドアを採用して、空気伝搬を防いでいる。本マンションの居室では、エレベーターの騒音は全く感知されていない。

図12(b)は居室が機械室に隣接され、隔壁は200mmの鉄筋コンクリート構造で施工されている。居室での騒音は機械室壁面に吸音材をはり付けた状態で33~35dB、吸音材がない場合は34~38dB発生する。

図12(a), (b)のほか、機械室や昇降路と居室の間に階段室、ダクト室などが介在している場合は、35dB以下を達成している。

5.4 建築計画時点で配慮したい項目

図12の二例のように、居室や寝室での騒音をより静かなレベルに維持するには、ハードウェアそのものの低騒音化とともに、

- (1) 機械室及び扉の防音施工
- (2) 機械室や昇降路と居室の隣接を避ける。

など、建築計画時点での配慮が重要である。日立製作所は建築側と協調して、「静かなエレベーター」の実現に今後も努力していく考えである。

6 結 言

以上、日立製作所で実施している油圧エレベーターの低騒音設計について述べた。これらを要約すると、次のようになる。

- (1) 圧力脈動を低減するため入力管とマフラー効果の関係を理論的に究明し、シリンドラ入口では無脈流に減衰させた。
- (2) 固体や空気伝搬に対しては、ユニットの一体防振や防音パネルを実用化し、機械室の床振動を5Gal以下に制振している。
- (3) これらの低騒音技術を「日立ハイドロ・4」に適用するとともに、建築計画時点での防音への配慮を行なうことにより、隣接した居室でも35dB以下を達成した。
- (4) 乗りかご内騒音は45dB以下を得た。

参考文献

- 1) 木戸, 外: 最近の住宅用油圧エレベーター, 日立評論, 60, 4, 275~280 (昭53-4)
- 2) 木戸: 脚光をあびる油圧エレベーター, 油空圧化設計, 18, 3 (昭55-3)
- 3) 木戸: 70年代の油圧エレベーターの移りかわりと最近の騒音問題, 油圧技術, 81, 5 (昭56-5)
- 4) 日本建築学会編: 建築物の遮音性能基準と設計指針, 技報堂出版(株) (昭54年-12月)
- 5) 福田, 外: 騒音対策と消音設計, 共立出版(株) (昭49-11-10)
- 6) 水野, 外: 4人乗りH形油圧式エレベーター, 日立評論, 53, 10, 1003~1007 (昭46-10)