

一般住宅ビル用日立“ハイドロ-4”の開発 4人乗りH形油圧式エレベータ

Development of Hitachi “Hydro-4” Elevator for Low-rise Residential Building
—4- Passenger Type H Oil Hydraulic Elevator—

水 野 薫* 弓 野 洋*
Kaoru Mizuno Hiroshi Yumino

要 旨

住宅ビル用エレベータシリーズの一環として、4～5階建ての一般住宅ビルを対象としたハイドロ-4（4人乗り油圧式エレベータ）を開発した。この新形油圧式エレベータは、昇降機構を間接押上形の1:4ローピング方式として機器の小形化、軽量化を図り、油圧式の特長を建築計画の段階で積極的に織り込むための工夫を取り入れたものである。その結果プレハブ建築上特に好適な条件が明確となり、建設費も維持費も安くなり総合的見地から経済的で、公益性の高いエレベータとすることができた。

1. 緒 言

住宅産業は、今やモータリゼーションの次にくるべき巨大産業として、わが国の基幹産業の一つになりつつある。その一つの現われとして、プレハブ建築に代表されるような近代工法によって、経済的かつ短工期の住宅の建築計画が積極的に推進されている。

一方、エレベータが採用されている建築物の多くは、ほぼ6階床以上であり、4～5階の低階床住宅にはほとんど設置されていないのが実状である。この理由はエレベータの必要性、公益性は大いに認められているにもかかわらず、戸数が少ないことによる負担金の大きさが計画推進上の障害になっているためと考えられる。

図1は4階床以上の建築着工件数の推移を示したものである。4～5階建ての住宅件数は、4階床以上の総建築件数のほぼ70%に達し、これら大多数の住宅に経済的なエレベータを提供することは社会的にも意義あるものと考えられる。

本稿で述べるハイドロ-4は、このようなわが国の一般住宅ビルに関する需要構造の変化およびプレハブ化による経済性の促進など建築業界の発展に寄与するための新昇降設備として開発したものであって、経済性、工事性あるいは実用性などに一般住宅ビル向けとして種々の工夫を取り入れている点が特長となっている。

2. エレベータの計画

低階床住宅ビル用エレベータを開発するにあたり、設計上特に検討を加え考慮を払った諸点は次のとおりである。

- (1) エレベータ価格のほかに、建設費および維持費など総体価格の低減に努めること。
- (2) 建築物に負荷される荷重を軽減し、プレハブ建築に適した構造とすること。
- (3) 標準シリーズを設け、建築の設備ユニット的要素をもたせるとともに、建築計画につり合った短納期化を図ること。
- (4) 従来行なわれているラッシュ時の集団到着に対する運転能力を重視するよりは、むしろ平均乗客率に注目した実用性に重点をおくこと。
- (5) 住宅にふさわしい環境を維持すること。

これらを総合的に比較検討した結果、次に述べるように電動式エレベータ（電氣的に制御され、ワイヤロープとシーブの摩擦駆動により昇降するエレベータ）に比べ、さらに有利に計画できる油圧式が低階床向けエレベータとして特に好適であることがわかった。加えて油圧式エレベータは機械室を昇降路頂部に固定しないでよいと

* 日立製作所水戸工場

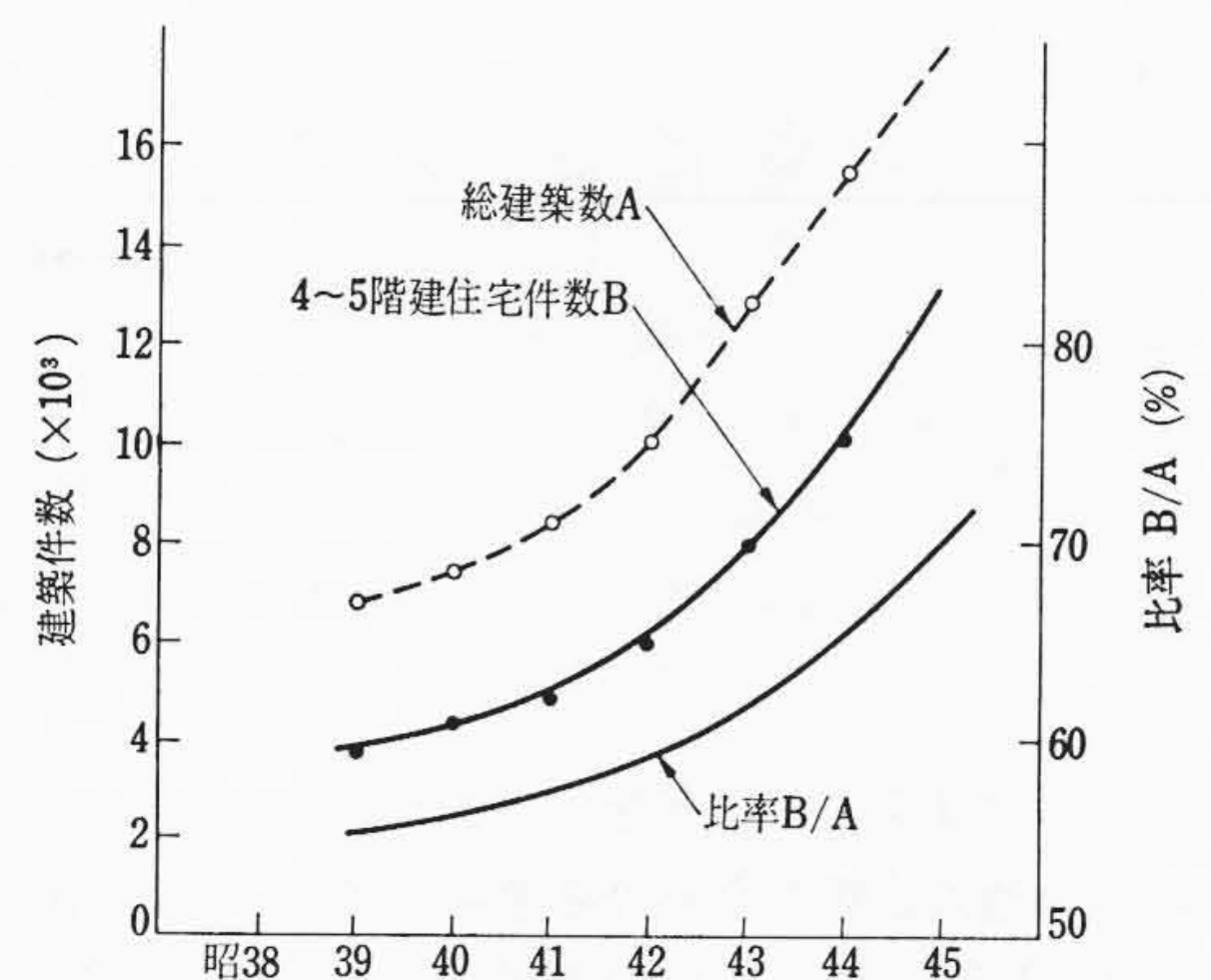


図1 総建築数と住宅件数の推移（建設省 統計）

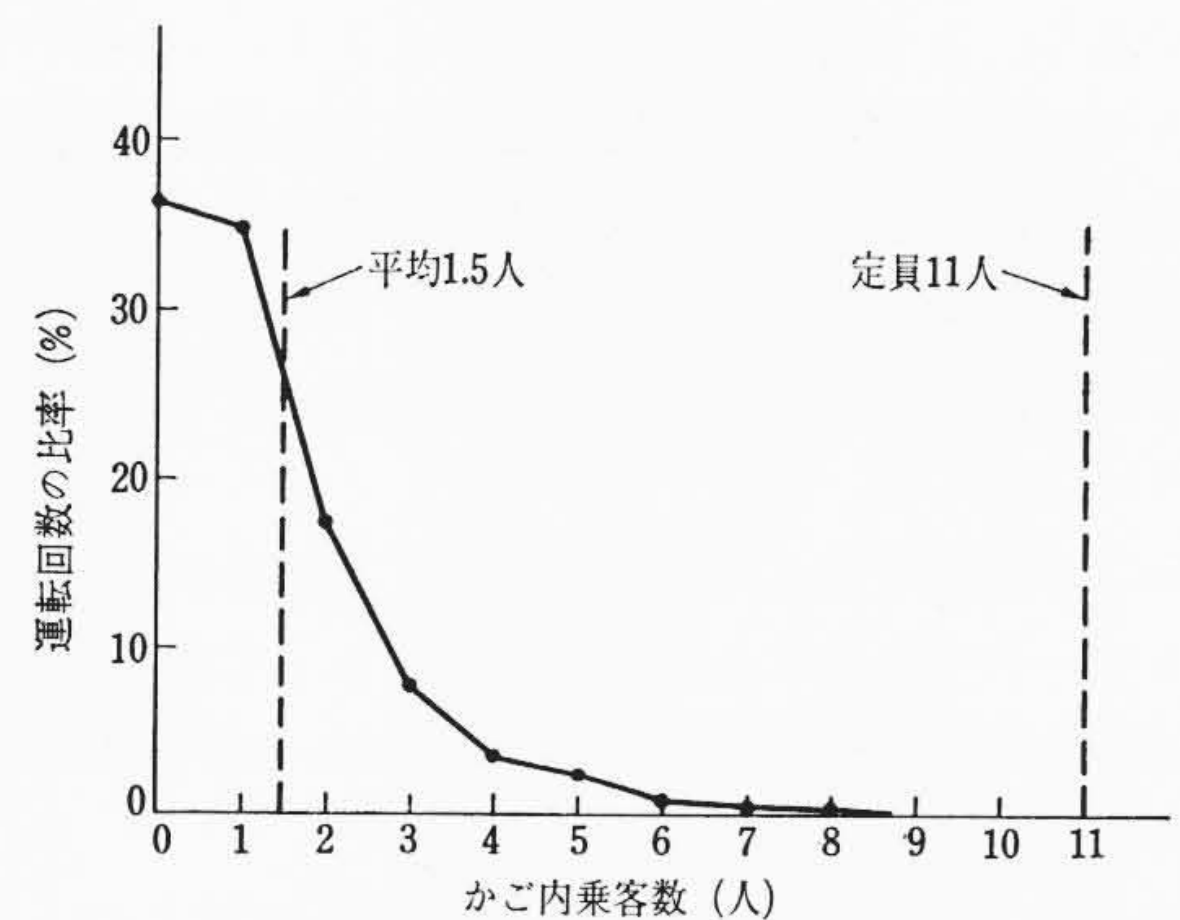


図2 エレベータかごの利用率

いう建物との取合い関係、また昇降路の頂部を階高以内に収めるという建築美観上の問題に本質的なメリットを有する。したがって建築計画の初期段階においてハイドロ-4の特長を織り込むことが最もたいせつで、その結果総合的な経済性をいっそう高めることができる。

2.1 4人乗りの選定

かごの定員は高層サービスの場合、6～11人乗りが多く採用されているが、これは朝夕のラッシュあるいは引越し時の家具の輸送などから決められる場合が多い。住宅に設けられるエレベータは、一般の事務所ビルなどとは稼働状況が大きく異なっている。

図2は8階建てアパートに設置されたエレベータの稼働調査結果の一例を示したものである。図から明らかなように、11人乗りのかごであるにもかかわらず1日を通じて約40%が空運転されており、

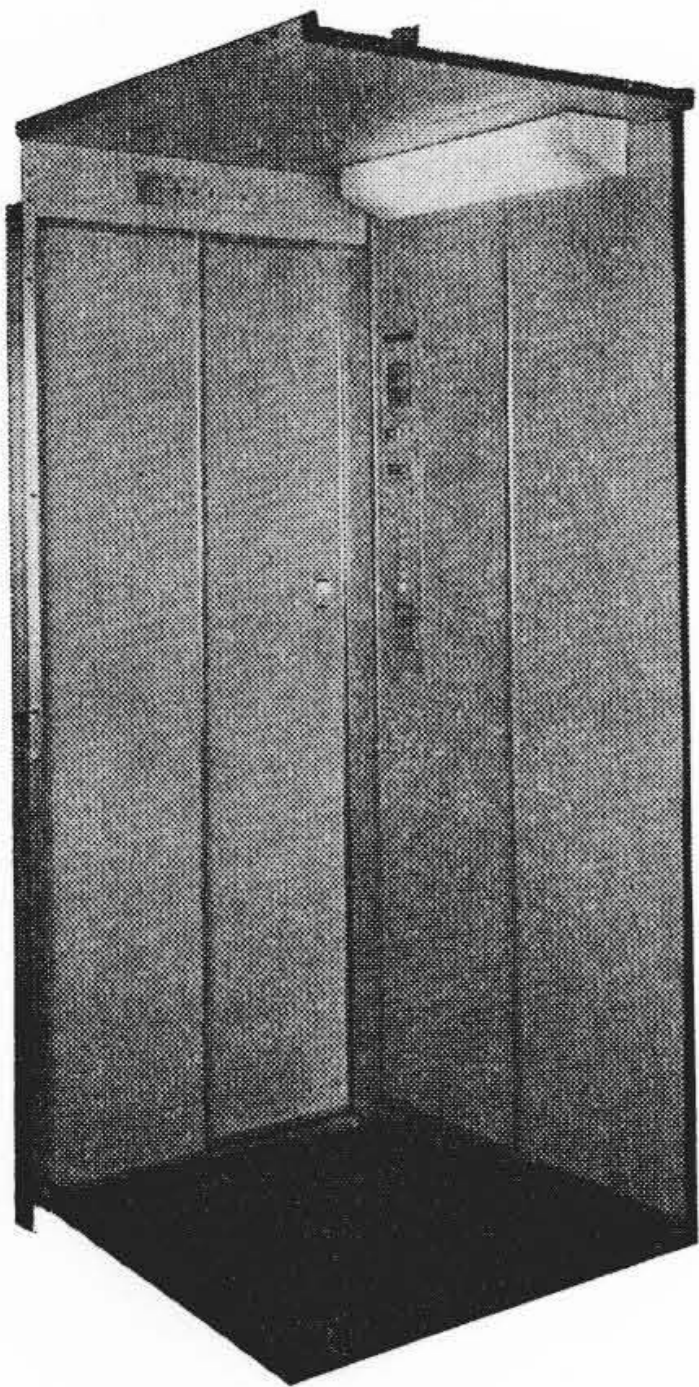


図3 かごの意匠

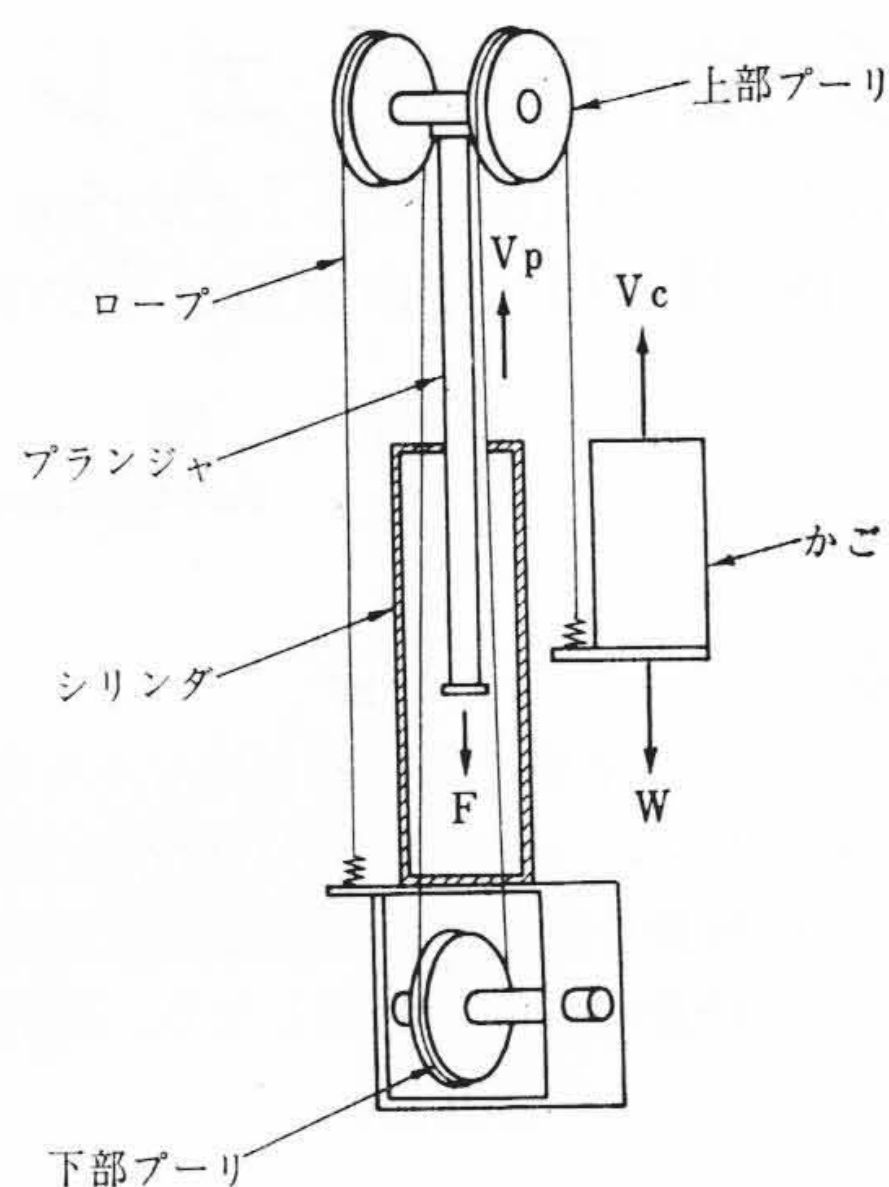


図4 1:4ローピングの構成

表1 輸送能力(計算値)

計 算 条 件		輸 送 能 力	
建 物 規 模	アパ ー ト 5 階	平均一周時間	83 s
入 居 数 (1~2 階を除く)	30 世 帯	5分間輸送能力	18 人
	150 人	同 上 比	17%
昇 降 人 数	昇り3人, 降り2人	平均待時間	42 s

同時乗客数は平均 1.5 人に過ぎない。これはエレベータの利用単位が、住宅の場合他人と乗り合わせる機会が少なく家族単位(多くは母親と子供 1~2 名)、あるいは個人単位(通勤者、御用聞きなど)の利用が多いものといえる。

したがって乗客輸送のみを考えると、かごの定員は 3 人程度でじゅうぶんであり、より効率的であるといえよう。しかし一方において定員 3 人では満員運転時に乗客に心理的な圧迫感を与え、好ましくない。また玄関を通して搬入出できる家庭用品はすべて容易に運搬されることがエレベータの効用をいっそう高める重要な要素であることを考慮し、定員は 4 人乗りとして選定できる最大の床面積を有するように工夫した。

図 3 はかごの意匠を示したものである。ドアの出入口幅はかごの内法間口と同一の 800 mm と最大限に広くとってある。

かごの速度は低階床用としてじゅうぶんな上昇 30 m/min、下降 45 m/min としている。

表 1 は輸送能力の計算例である。平均待ち時間は 42 s で JIS の推奨値をじゅうぶんに満たしている。

2.2 構造の検討

かごの大きさが決められた場合、エレベータ構造を小形軽量化しユニット化を推進するためには油圧装置および昇降方式を検討しなければならない。これを実現するために 1:4 ローピングによる間接押上形を新たに設計に織り込み、実用化を図っている。次にその構造上の特長を述べる。

2.2.1 油圧ジャッキの小形化

図 4 に示す 1:4 ローピングの構成原理から明らかなように、直接押上形に比べ油圧ジャッキの長さは 1/4 に縮小される。しかも長さが短くなることにより油圧プランジャの座屈強度⁽¹⁾(長さの自乗に反比例する)は大幅に増大し、この面からの制限を受けないので、プランジャ直径を油圧の制御からみた最適寸法に設計することができる。これは油圧ジャッキの小形軽量化へつながり、塔内への搬入および据付けを容易にするのみならず、建物に対す

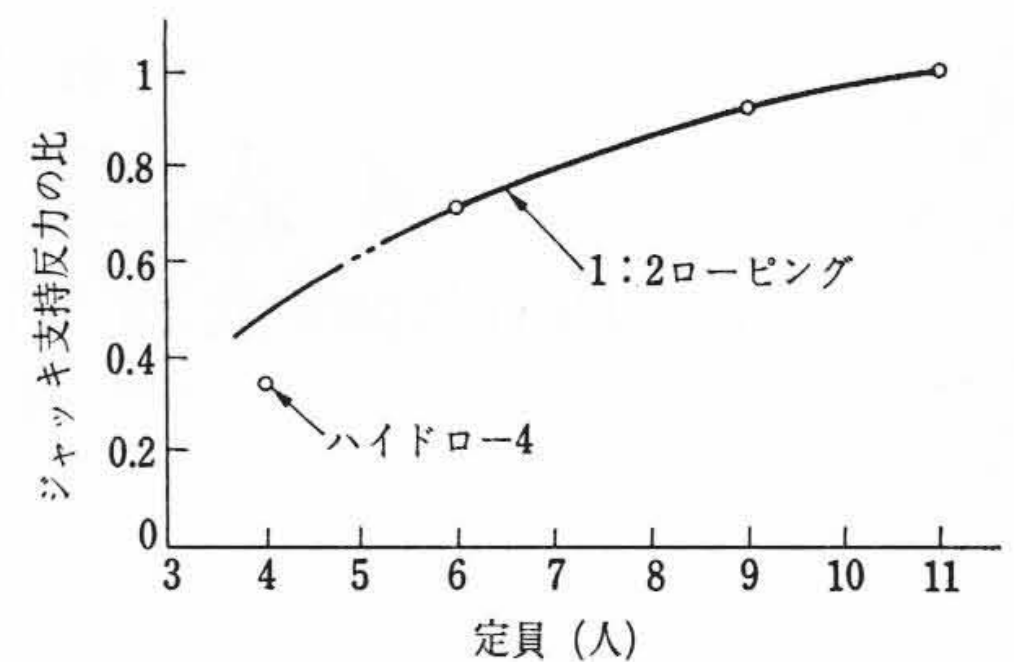


図5 油圧ジャッキ支持反力の比較

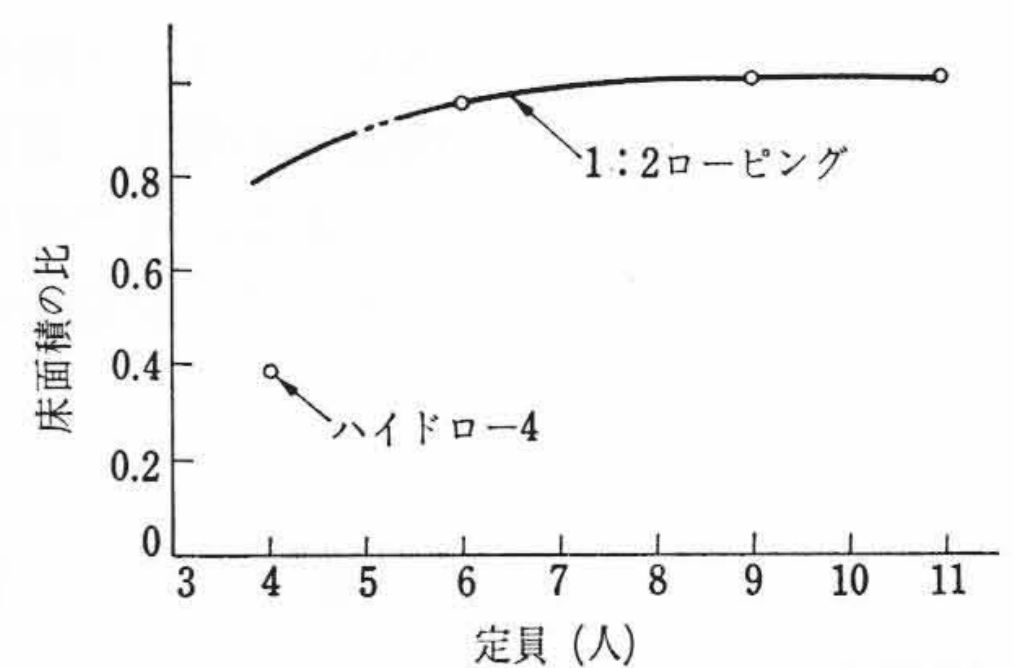


図6 機械室床面積の比較

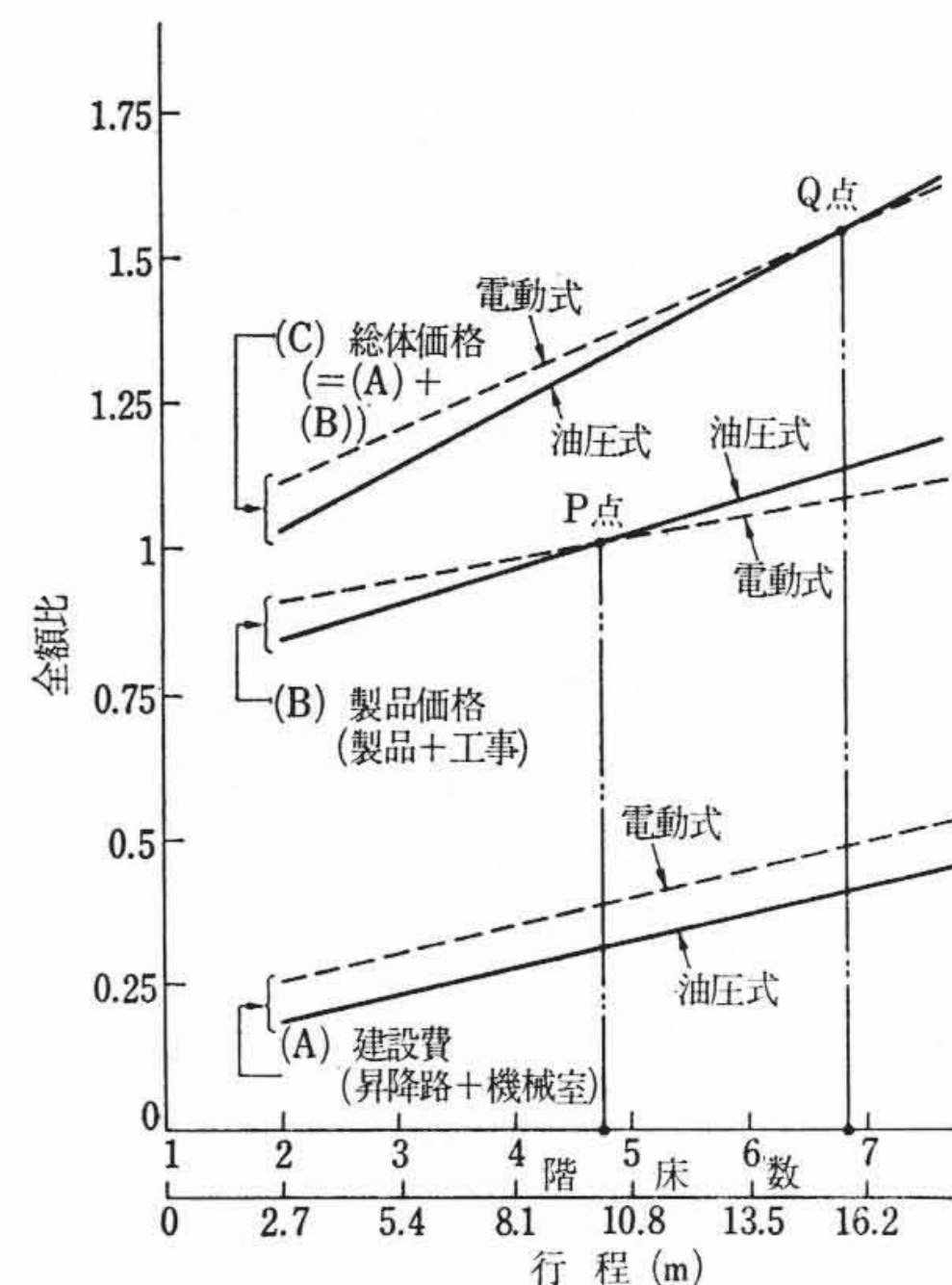


図7 油圧式エレベータと電動式との経済性比較(4人乗り)

る荷重条件を軽減するうえで大きな効果となっている。

図 5 は従来の 1:2 ローピングによる油圧式エレベータとハイδρο-4 において、ジャッキに作用する支持荷重の比較を示したものである。2 点鎖線は従来の 1:2 ローピング方式を定員 4 人にまで延長して推定したものである。本図から定員 4 人において比較すると、従来の形が支持反力比がほぼ 0.5 であるのに対し、ハイδρο-4 は 0.35 となり、約 70% に軽量化されるため、プレハブ建築に適した構造といえよう。

2.2.2 機械室

油圧式の大きな特長の一つは機械室を屋上に設ける必要がなく、任意の位置に配置できることである。特にプレハブ建築の場合、建築強度上からも荷重点を下方へもってこることが望ましい。

また油圧式の場合、機械室の床面積は保守上じゅうぶんな広さを有していればよく、電動式エレベータに規定されているような昇降路平面積の 2 倍以上という制約を受けないため、その占積率を比較的小さく計画することができる。ハイδρο-4 は、これら油圧式の持つ本質的な優位性に加え、1:4 ローピングにより機械室をさらに小形化している。すなわち 1:4 ローピングとすること

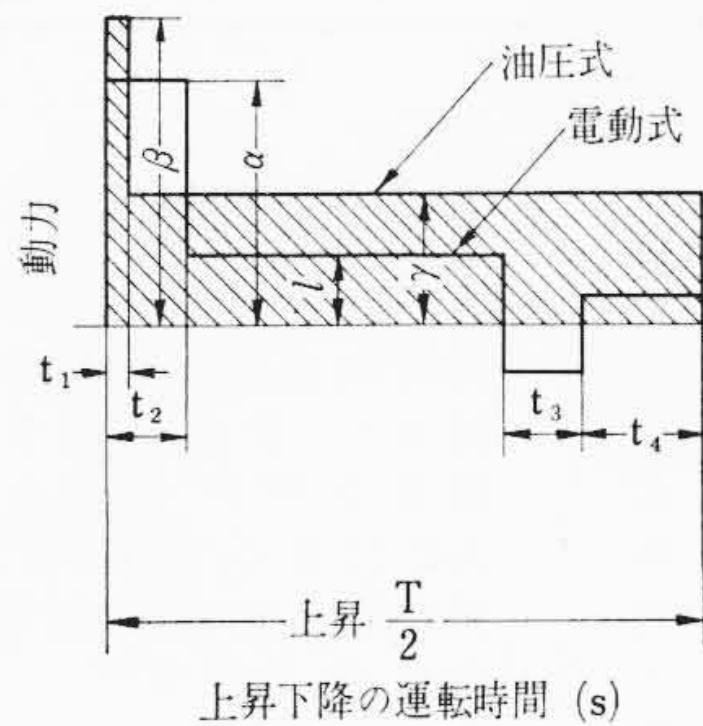


図8 エレベータの運転サイクル

により原理的に高圧化を可能にし、一方かごの速度に対応して必要とされる流量を直接押し形の1/4に押える結果、油圧パワーユニットを大幅に小形化することができる。

図6は従来の1:2ローピングによる機種とハイドロ-4との機械室床面積の比較を示したものである。2点鎖線は1:2ローピング方式を定員4人にまで延長することによって推定したものである。定員4人において、従来形の床面積の比が0.8であるのに対しハイドロ-4は、ほぼ0.4であり約1/2に小形化され、特にスペース効率を重視する一般住宅ビルには最適であるといえることができる。

2.3 経済性の比較

2.3.1 建設費

図7は定員4人乗りについて1:4ローピングを採用した油圧式エレベータと電動式エレベータとの経済比較を階床ごとに示したものである。エレベータの据付工事を含めた製品価格では4～5階床近傍に交点Pが現われ、油圧式が有利であることを示している。このような傾向は主として油圧ジャッキの長さに基づくもので、短いほど有利に計画でき、1:4ローピング法がいかに有効な方法であるかが知られる。昇降路および機械室などの建設費を考慮に入れた場合の交点Qは7階床付近に存在し、これより低階床で利用されるハイドロ-4の経済性はいっそう増大する。なお、図は最上階に荷重点がないための建築強度上の有利性あるいは機械室配置上の有用性などについては考慮されていないため、実際にはハイドロ-4の経済性はさらに増大するものと考えられる。

2.3.2 電力消費量を考慮した経済比較

油圧式においては、つり合いおもりがないために、駆動電動機の容量は電動式よりも大きくならざるを得ない。しかし、下降は自重作用で行なわれることおよびエレベータの全効率は油圧式のほうが比較的に高いことなどから電力消費量は少なく済む。

一方、エレベータの経済的電力使用の尺度を示すものとして電力消費量のほかに、定員に対する乗客率が考えられる。

ラッシュ時に対応するよう定員を決めた場合、前述したアパートの稼働調査にみるように、平均的には輸送能力を大幅に下まわって使用されることになり、きわめて非経済的となる。したがって、電力消費の点からも、かご定員は比較的小容量のものが望ましく、この点をじゅうぶんに考慮して開発した4人乗りエレベータについて油圧式と電動式との電力消費を比較する。

図8はエレベータの運転サイクルをモデル化したもので、実斜線は油圧式、実線は電動式を示している。図においてドアの開閉時間、人の出入り時間は両者とも同一条件として省略してある。

油圧式の場合、電動機は無負荷起動に近い制御を行なうため瞬時に起動し、したがって起動時間 t_1 は無視できる。一方、電動式（交流二段速度）においてはエレベータの起動加速時間 t_2 の間に

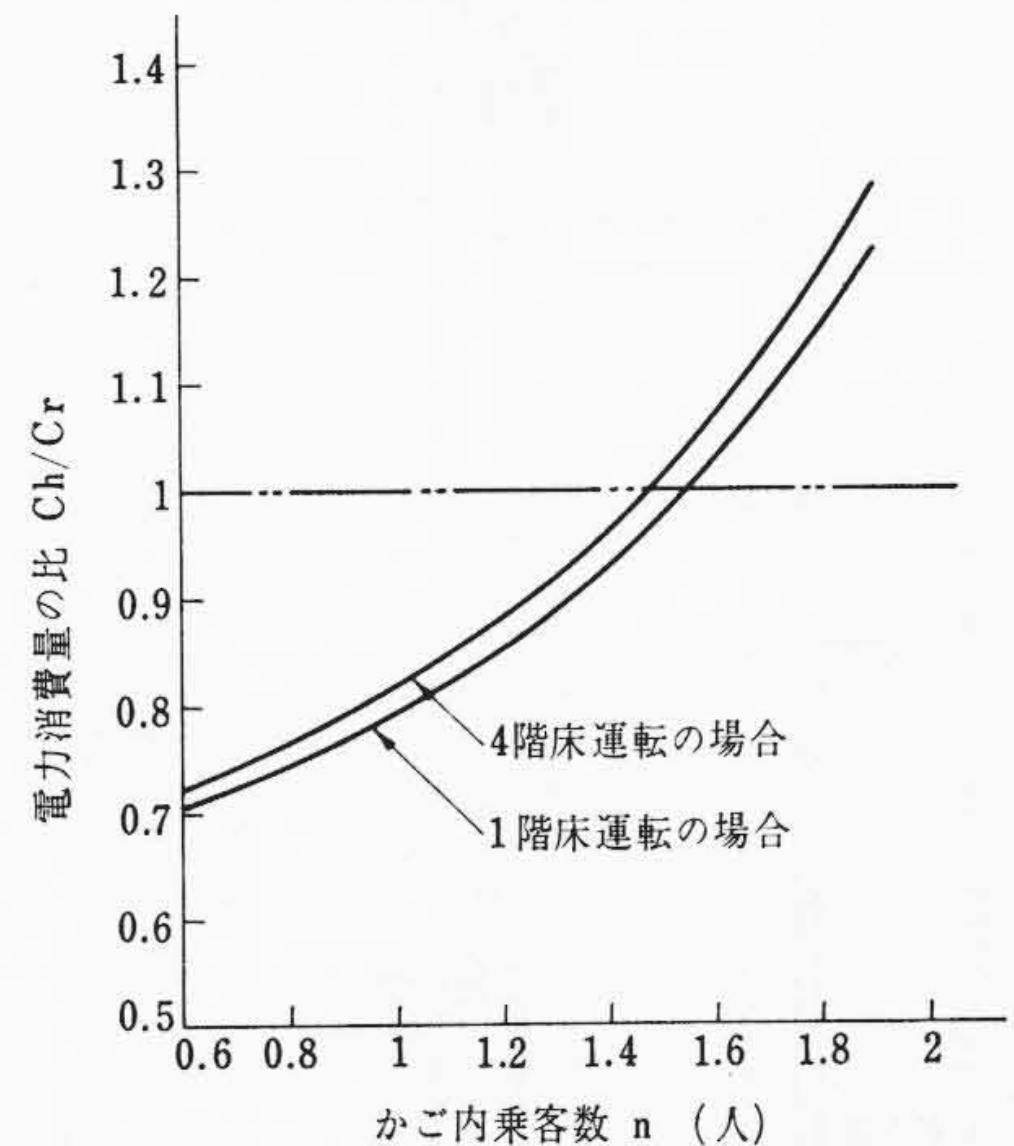


図9 電力消費量の比較

定格速度走行時の α 倍という大きな電力を消費し、また減速時間 t_3 に電力回生が行なわれるが、この量は着床運転時間 t_4 の間に消費される量にほぼ等しい。これらを考慮して、油圧式と電動式との電力消費量の比を求めると次のようになる。

$$R = \frac{C_h}{C_r} = \frac{\left(\beta t_1 + \frac{T}{2} - t_1\right) \{kN - n(1-x)\} \eta_r}{2 \left(\alpha t_2 + \frac{T}{2} - t_2 - t_3 - t_4\right) \left\{\frac{N}{2} - n(1-x)\right\} \eta_h} \quad \dots\dots\dots (1)$$

- ここに、 C_h : 油圧式エレベータの電力消費量 (kW-h)
 C_r : 電動式エレベータの電力消費量 (kW-h)
 β : 油圧式エレベータ起動時の定格走行時に対する電力の比
 α : 電動式エレベータ起動加速時の定格走行時に対する電力の比
 T : 上昇下降の1往復運転時間 (s)
 kN : 定員から換算されたかごの自重 (人)
 N : かごの定員 (人)
 n : 平均乗客数 (人)
 x : エレベータ全運転に対する空運転の比
 η_r, η_h : 電動式および油圧式エレベータの全効率

(1) 式は空運転を含んだ電力消費の比較を示しており、 $R \leq 1$ のとき油圧式が有利であることを意味する。この式は運転時間 T および乗客数 n について(2)式のように整理される。

$$R = \frac{T(kN + 0.6n)}{4.3(T+1)(0.5N - 0.6n)} \quad \dots\dots\dots (2)$$

図9は階床間隔を2.7mとしたときの階床運転を変数として乗客数 n と電力消費量の比 R との関係を示している。同一乗客数に対し階床運転間隔が大きくなるに従い電動式のほうが電力消費は少なくなるが、低階床として計画される最大の4階床運転の場合では乗客数1.5人以下において $R < 1$ となり、電動式よりハイドロ-4が有利であることを示している。これらのことは前述した図2の調査結果をみても、4～5階床の場合の平均乗客数は1.5人以下と予想され、これから定員を4人乗りとし油圧式とすることの妥当性が理解できよう。

2.3.3 保守性

電動式と油圧式との根本的な相違はその駆動方式にあり、このような駆動上の相違が保守性に大きく現われてくる。

すなわち電動式ではワイヤロープとシーブの摩擦によって駆動

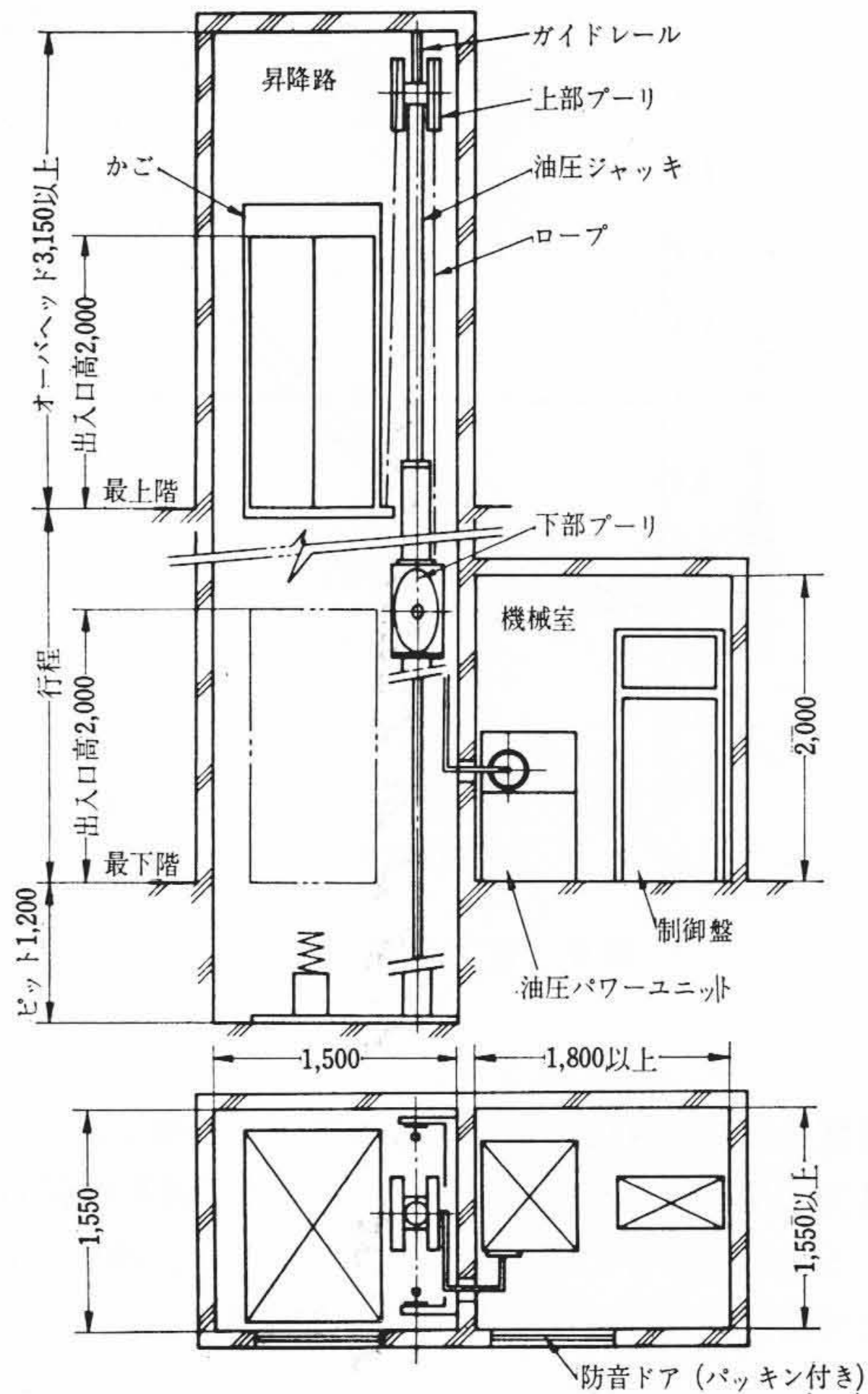


図 10 エレベータの全体据付図

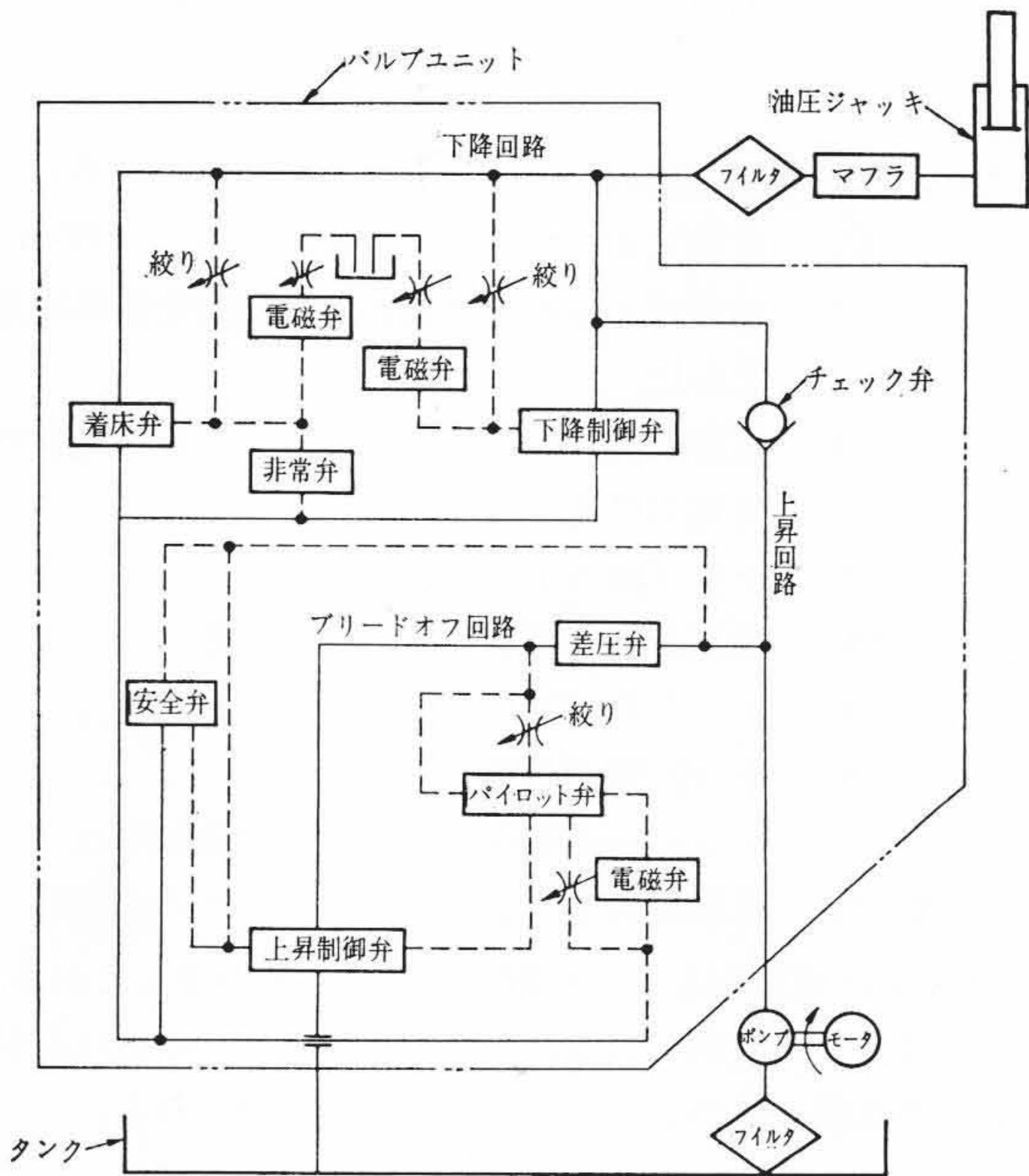


図 11 油圧回路

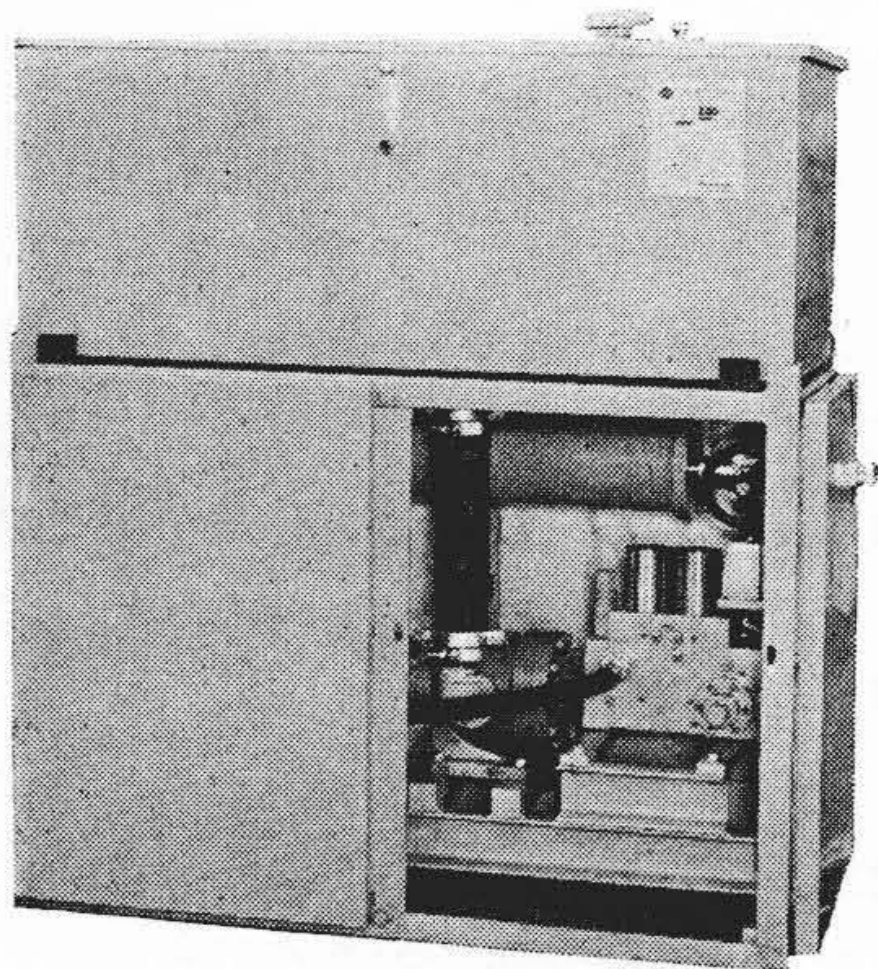


図 12 油圧パワーユニット

表 2 標準仕様

定積	員	4 人
載荷	重量	320 kg
速度	速度	上昇 30 m/min, 下降 45 m/min
制御	方式	油圧 2 段速度
運転	方式	コレクティブコントロール (最下階復帰式)
かご	内法	800 (W) mm×1,080 (D) mm
ドア	形式	側板 日立化粧板張り
電動	機	電動 2 枚戸片開き
最大	行程	AC 三相 5.5 kW
イン	行程	15 m (最大停止階数 5)
警報	装置	たて形点灯式
電源	装置	インターホン
	源	AC 200~200 V, 50/60 Hz

が行なわれるために、これらの間に摩耗が生じ、また正常な運転を維持するためには電磁ブレーキの定期的な調整・点検が必要とされる。これに対し、油圧式エレベータのパワーユニット (ポンプ、弁などを一体にまとめた装置)、配管およびジャッキなどの油圧装置は、それ自体油潤滑されているので機械的な信頼性が高く、かつ次に述べるようなメンテナンスフリー化への配慮がはらわれている。

- (1) 油圧ポンプ、制御弁類は一度調整された後は動作上狂いの生じない構造のものを採用し、さらに制御弁を全油圧操作として制御系の簡素化を図っている。
- (2) 油圧系統にはラインフィルタを設けて油中に混入した異物を取り除き、油圧機器の動作を保護している。
- (3) 粘度 150 SSU (38℃) 程度の作動油を使用しており、0 リングシールにより外部への油漏れを完全に防止している。
- (4) 停電などの非常時には、非常弁の操作によりエレベータを容易に低速下降できるようにしてある。

以上のように、前述の電力消費を含めて考えると、油圧式の維持費は電動式の 70~80% 程度と評価してよいであろう。

事実、油圧式エレベータの普及した欧米においては建築計画上の利点もさることながら保守性に重点をおいて油圧式を選定する場合が多く、自家保守の方向へ移行しつつあるといわれている。

2.4 ユニット搬入方式

生産性については別題「住宅ビル用エレベータ生産体制の効率化」において詳述したとおりであるが、ハイドロ-4 は特にプレハブ構法を念頭において設計されており、建築工程に見合った短納期化ができるように、全面的にユニット化されている。

出入口、かごなどの主体品は図 5 に示したように可及的に軽量化され、ユニット化されており、1 階出入口の開口部から搬入される。レール、ジャッキなど塔内装置の据え付け精度についても 1:4 ローピングという新機構が工事の省力化に生かされており、これらにより正味の工程は従来の油圧式乗用エレベータに比べ 1/3 程度まで短縮されている。

3. 構造上の特長

図 10 はエレベータの全体据え付け図、表 2 はおもな標準仕様である。

昇降路内にはかごと油圧ジャッキとを併設し、2 本のワイヤロープ (1:4 ローピング) によりこれらを連結し、間接的に油圧駆動される (特許出願中)。側面に設けた一対のガイドレールはかごと油圧プランジャの案内を同時に行ない、階床ごとに支持固定される。荷重はこのレールを介して昇降路の 1 側面にのみ伝達され、他の壁には反力が作用することがない。

かごわくから出たロープは上部プーリ、下部プーリ再び上部プーリに巻かれ、他端がジャッキの一部に固定される。これが 1:4 ローピングの構成である (特許出願中)。

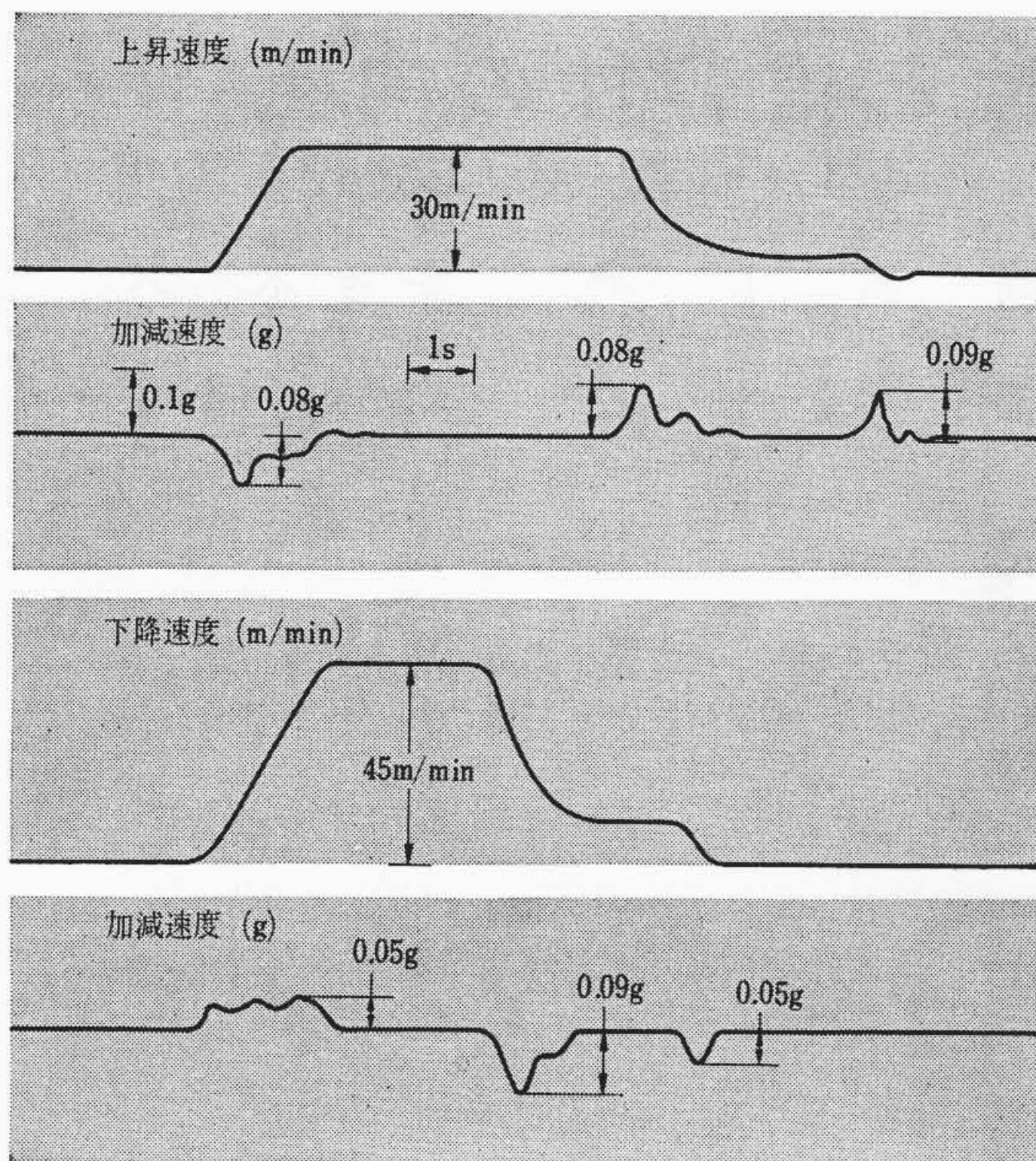


図13 走行特性(全負荷, 油温 60°C)

機械室は通常、昇降路に隣接して1階に配置され、ここには油圧パワーユニットおよび電気制御盤のみがあり、この油圧ユニットと塔内のジャッキとは1本の油圧配管により連結されている。このような構成であるため既設建物への増設が容易である。

4. 油圧制御装置および試験結果

4.1 油圧制御装置

油圧ポンプ、制御バルブなどの油圧装置はエレベータの加減速度特性、着床精度および騒音など基本的な性能を左右するもので、制御の心臓部に相当する。さらに各油圧機器の機能および油圧回路の構成については経済性、保守性の点からも使用目的に応じた使い分けが必要であり、設計上大いに検討されなければならない。

今回は従来の一般油圧式乗用エレベータの経験を生かしたうゑに⁽²⁾、機能および信頼性の点を改善した全油圧操作によるP形制御バルブユニットを開発し、適用を図った(特許出願中)。

図11はこのバルブを組み込んだ油圧回路を、また図12は低騒音化した油圧パワーユニットの外観を示したものである。油圧ポンプとしては低騒音の特殊ポンプを採用している。

上昇回路は流量制御用としての差圧弁、上昇制御弁およびパイロット弁の一連の圧力温度補償機構をもつブリードオフ回路を構成し、これに主回路のチェック弁を備えている。チェック弁はエレベータを静止状態に保持させるもので、電動式エレベータの電磁ブレーキに相当する。下降はおもに下降制御弁、着床弁からなり、ジャッキ内の圧油はこの弁によって流量制御される。いわゆる自重降下方式である。

停電などの非常時には、非常弁を手動操作することによりエレベータを低速(6 m/min)で容易に下降させることができる。

マフラーは油圧の圧力脈動を吸収して、かご内の騒音を低減させる装置である⁽³⁾。主回路にはラインフィルタを設けて油中の異物を取り除き、機器の動作を保護している。

4.2 試験結果

現地据え付け完了後の走行性能について述べる。

(1) 加減速特性

図13は使用条件の過酷な100%負荷、油温60°Cにおける走行

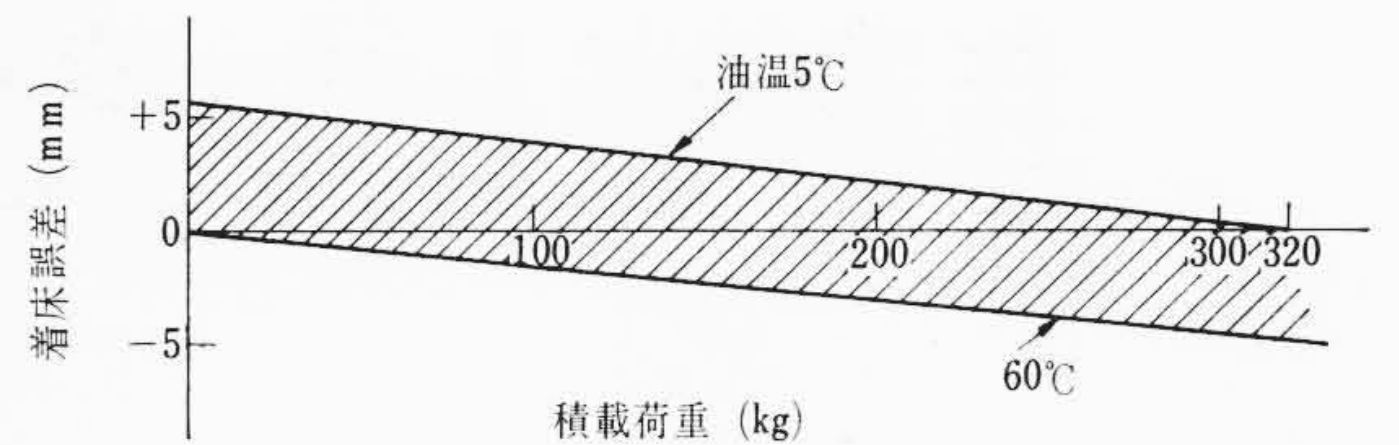


図14 着床誤差

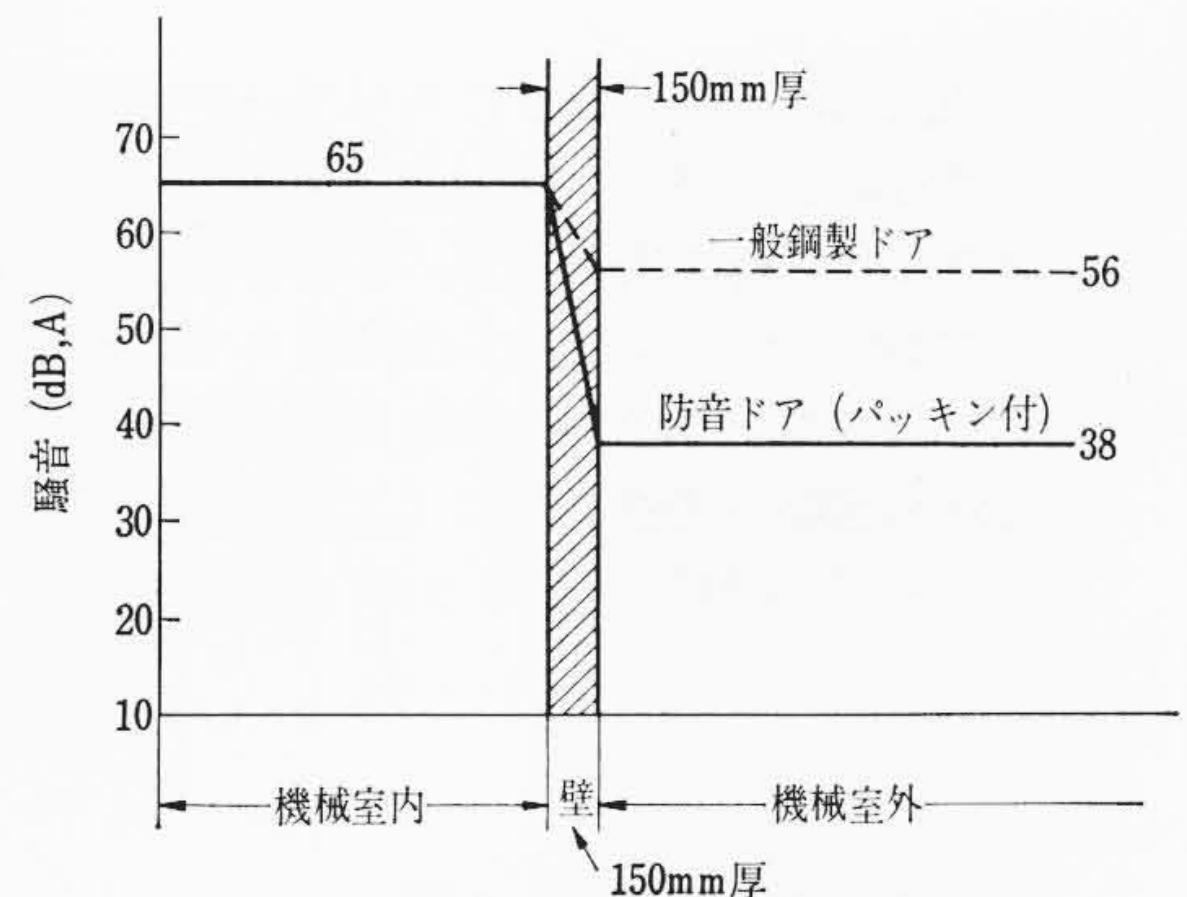


図15 機械室内外の騒音(実測)

時のオシログラムである。起動、停止時のショックはほとんど感じられず、油圧独特の円滑な乗りごこちである。

(2) 着床精度

図14は油温などのドリフトを含んだ着床誤差である。実用範囲の油温5~60°Cおよび負荷0~320 kgに対し、上昇下降方向とも±5 mm以内の高精度が得られている。

(3) 騒音

かご内においては上昇下降とも45 dB(A)程度認められるが、油圧による騒音はほとんど感じられない。これは交流電動式エレベータの特性に匹敵し、じゅうぶん満足すべき値といえる。

機械室から外部へ透過する騒音は図15に示すように、40 dB以下(防音ドアを用いた場合)で、これは環境騒音にほぼ等しく住宅用として問題にならないことを確認している。

5. 結 言

4~5階の住宅ビル向けを対象として、公益性を第一義的に考えて開発したハイドロ-4について、その基本計画および経済性を中心に述べた。これらを要約すると次のとおりである。

- (1) 電動式と比較した場合、油圧式は4~5階の低階床に対し製品価格、建設費および維持費とも経済的に計画できる。
- (2) 昇降方式としては、かごと油圧ジャッキの連結に1:4ローピング機構を適用してエレベータを軽量化した結果、建物への負担荷重が著しく減少し、プレハブ建築に適している。
- (3) かごの大きさは、稼働調査を基に乘客輸送に重点をおいた定員4人乗りとし、さらに家庭用品の運搬もできるよう配慮されている。

電動式エレベータは、その長い歴史と、すぐれた安定性ゆゑに広く普及しているが、油圧式エレベータにも注目すべき特長が多く、ちうちょなく採用して、その長所を生かすよう望まれる。

参 考 文 献

- (1) 高橋：日立評論 45, 952 (昭38-6)
- (2) 中島, 松田：日立評論万国博別冊特集号 (昭45)
- (3) 一柳ほか2名：日立評論 49, 993 (昭42-10)