

都市交通機関用

日立高揚程エスカレータの高速化

Speed-up of Hitachi High-rise Escalators for the Urban Transportation

In recent years an increasing number of railway stations is planning the installation of high-rise escalators as they become high-rising, and these escalators are in the direction to the adoption of high running speeds to ensure appropriate service for passengers as well as transport capacity.

In responding to such a trend, Hitachi, Ltd. developed recently a high efficiency two speed escalator after achieving a noteworthy breakthrough in such problems as passenger safety and machine performance. This new escalator incorporates a new type braking device and speed change system which permit emergency stopping and speed changing with small acceleration and deceleration rates.

平元武治* *Takeji Hiramoto*

三ツ井強* *Tsuyoshi Mitsui*

今中道雄* *Michio Imanaka*

1 緒 言

近年、都市における建築物の密集化は著しく、一般住宅地は年々郊外に広がりつつある。これに伴って通勤客が都市へ集中する度合いが増加し、都市交通機関はその輸送能力向上のためますます立体化し、地下鉄、鉄道などは幾重にも重なり合い、これらの駅プラットフォームと地上間の揚程はしだいに大きくなっている。これに伴い、設置されるエスカレータも階高が従来の3～5倍の高揚程のものが必要となってきた。

エスカレータの高揚程化に従って、乗客を速く目的階に運ぶというサービスならびに乗客を大量に輸送するというエスカレータ本来の目的から、運転速度の高速化が必要となってきた。欧米諸国では表1に示すように、わが国の法定速度30m/minよりも速い36～72m/minのエスカレータがすでに実用化されており、わが国でも地下鉄を中心に低速、高速に切換えできる二段速度エスカレータの実用化の気運が急速に高まっている。

しかし、(1) 高揚程のエスカレータでは特に乗客数の大小による負荷の差が大きいため、緊急あるいは停電時などの非常停止時の減速度が運転方向により大きく異なるので、負荷の大小ならびに運転方向による減速度の差を小さくする制動装置が必要である。また、(2) 二段速度エスカレータでは速度変換時の加減速度を乗客に安全な値にしなければならない。さらに(3) 高速運転時におけるエスカレータ乗降時のショックを小さくするなど、乗客にとって安全で乗りやすいエスカレータが必要である。

一方、機器としては、高速化に伴って必然的に増加する振動、騒音の低減ならびに大形および高速化に十分耐えうる強度、寿命の確立を図らなければならない。

日立製作所は、早くからエスカレータの大形化ならびに高速化の開発に着手し、今回、高性能の高速高揚程エスカレータを開発した。本稿では、都市交通機関用エスカレータの高速化の必要性ならびにエスカレータの性能のうち最も重要な乗客の安全性を中心に日立高速高揚程エスカレータの構造と特長について述べる。

表1 各国地下鉄駅のエスカレータ運転速度 諸外国ではわが国の法定速度30m/minより速い36～72m/minのエスカレータが実用されている。

Table 1 Running Speed of Escalators at Subway Station in Foreign Countries

国名	都市名	地下鉄名	階高(m)		傾斜角(度)	最大運転速度(m/min)
			平均	最大		
フランス	パリ	パリ運輸公団	7.5	22.45	30	36
ドイツ	ハンブルグ	ハンブルグ高架鉄道	4.0	21.0	"	40
	ベルリン	ベルリン運輸公社	4.8	12.0	"	36
スウェーデン	ストックホルム	ストックホルム交通営団	8.9	19.95	"	45
イギリス	ロンドン	ロンドン運輸会社	13.7	24.5	"	44
カナダ	トロント	トロント運輸	5.2	8.05	"	36
アメリカ	ニューヨーク	ニューヨーク交通営団	10.5	16.8	"	36
	シカゴ	シカゴ市交通営団	6.1	7.6	"	27
ソ連	モスクワ	モスクワ地下鉄管理局	—	60.0	"	72

2 駅用エスカレータの高速化の必要性

2.1 駅用エスカレータの大形化

諸外国では、階高60mの超高揚程エスカレータをはじめ数多くの交通機関用エスカレータ設備を地下鉄駅などで運転しているが、わが国でも昭和39年ごろより本格的に設置されはじめ、現在約400台が駅構内の交通機関として使用されている。

*日立製作所水戸工場

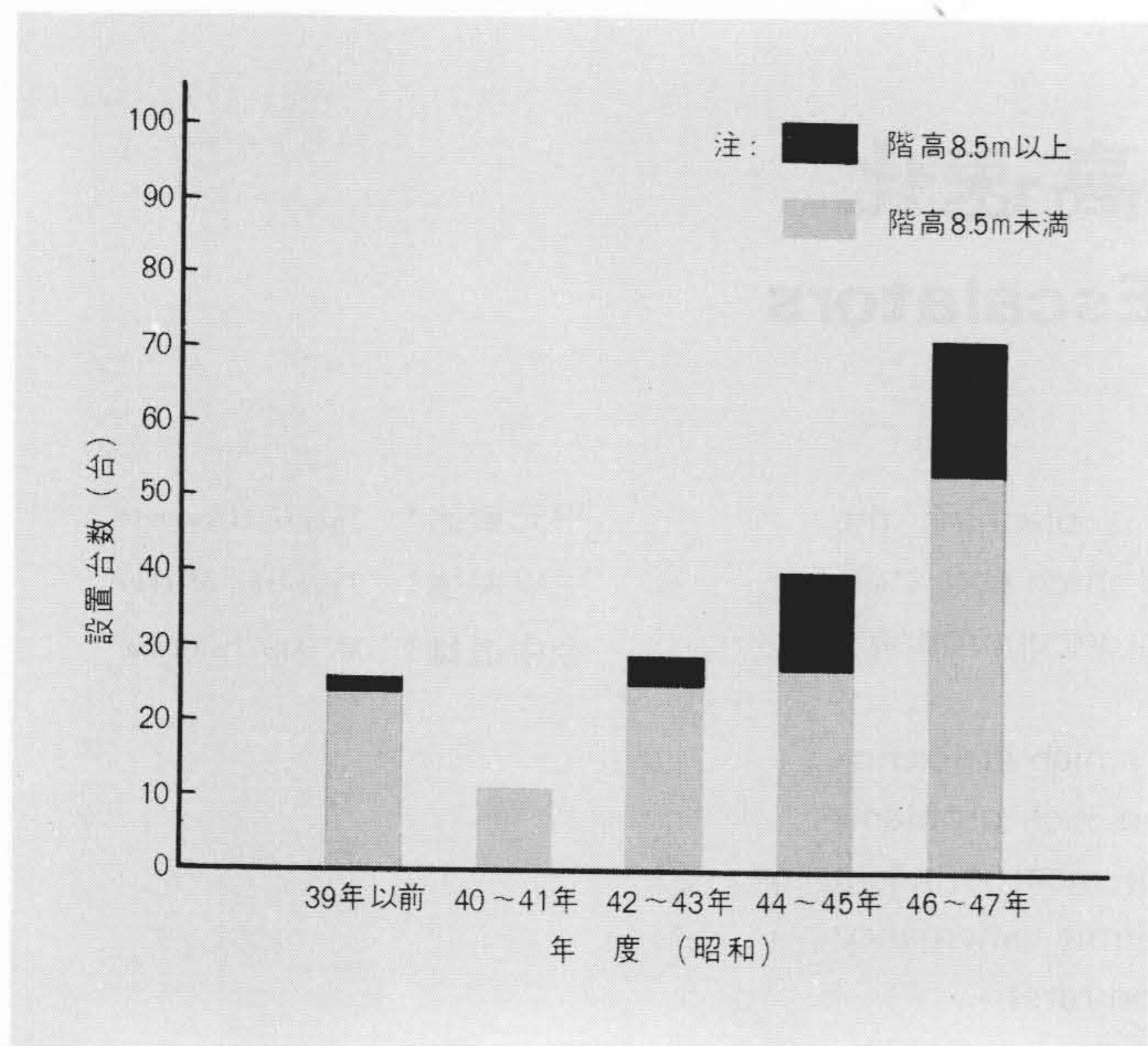


図1 都市交通機関用エスカレータの年度別設置台数 日立製作所が設置した都市交通機関用エスカレータの年度別設置台数を示したもので、昭和42年以後高揚程エスカレータの比率が増加している。

Fig. 1 Hitachis Escalators for Urban Transportation

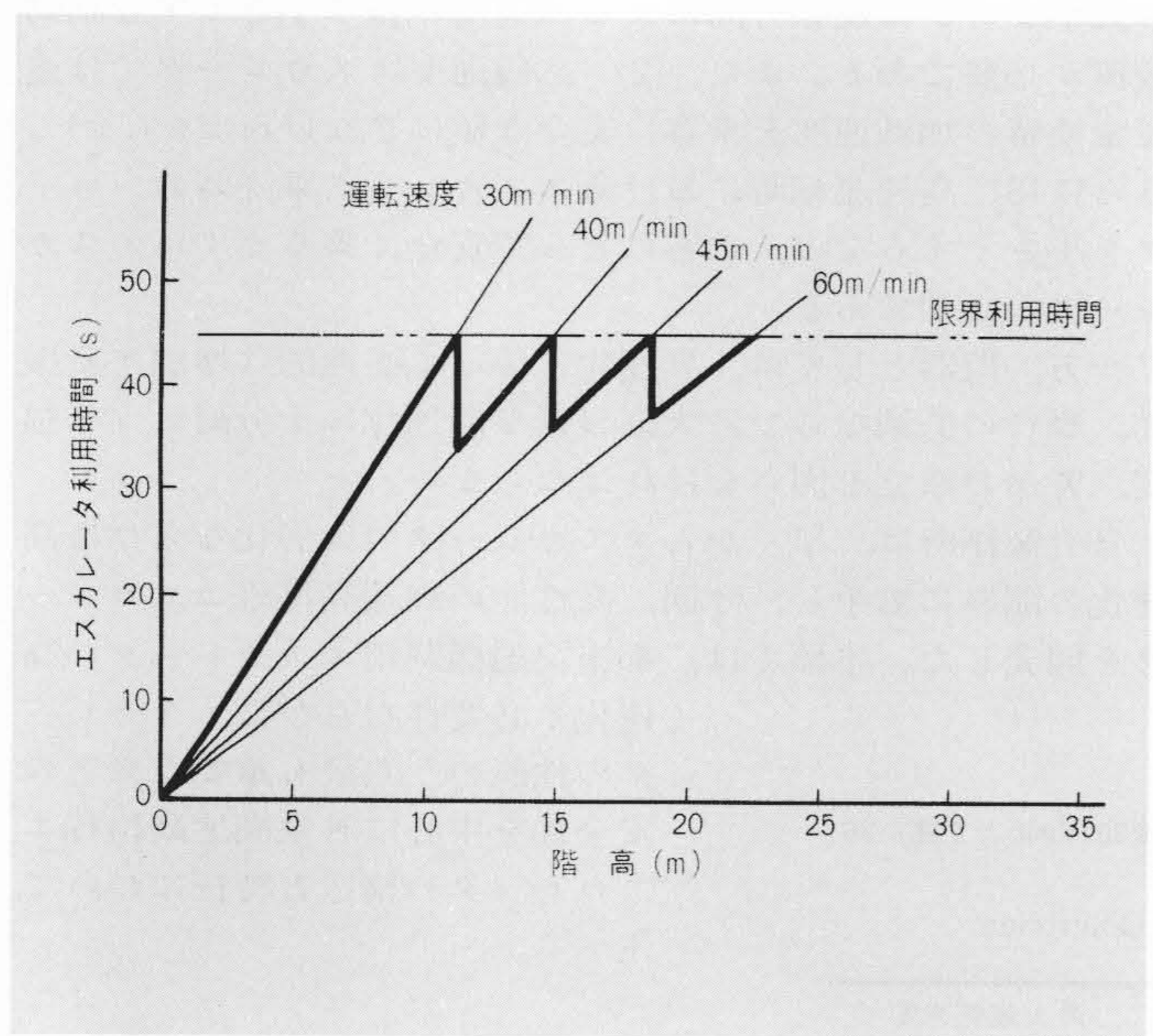


図2 運転速度を変えた場合の階高とエスカレータ利用時間 エスカレータに乗っている時間を45秒としたときの運転速度と限界階高の関係を示している。

Fig. 2 Time of Riding Versus Rise of Escalator at Various Running Speeds

図1は日立製作所が納入した駅用エスカレータの年度別設置台数で、同図からわかるように昭和41年ごろまでは設置台数も少なく、かつその階高も6m程度の比較的low揚程のものが大部分であった。しかし、昭和42年以後は前述したように交通機関の立体化に伴い、設置台数も急速に増加し、階高も帝都高速度交通営団、新御茶ノ水駅納めの20.415mを筆頭に8.5m以上の高揚程エスカレータが大きな割合を占めるようになっており、今後もこの傾向は続くものと考えられる。

2.2 運転速度と所要時間

階高が高くなれば、当然エスカレータに乗っている時間は長くなり、ある時間以上では乗客に焦燥感をいだかせると同時に、乗客を速く目的階に輸送する機能も失われる。特に駅などでは、朝夕のラッシュ時はもとより、そのほかの時間帯でも乗換えなどのため乗客は性急になりやすく、階高の高いエスカレータほどこの傾向が強い。

一般に乗客がエスカレータに乗って焦燥感をもたず耐えられる時間は、その人の性格や周囲の環境で異なるが、エレベータの待ち時間などから推定してほぼ45秒程度と考えられる。

図2は運転速度を変えたときのエスカレータの階高とエスカレータに乗っている時間の関係を示したもので、太い実線は乗っている時間を45秒としたときの運転速度と限界階高を示している。図より階高11mまでは現在の法定速度30m/minでも十分満足できるが、階高11~15mでは40m/min、15~19mの階高では45m/min程度、それ以上の階高ではさらに高速運転が必要であることがわかる。

現在、地下鉄や鉄道駅などに設置されるエスカレータの階高は大部分が10~20mの範囲であるから、これらのエスカレータには40~45m/min程度の運転速度が必要である。

2.3 運転速度と輸送能力

エスカレータの輸送能力を向上する方法としては、設備台数の増加、合理的な配置および運転速度の高速化が考えられる。特に駅などでは大形エスカレータのため、設備台数を増すことは設置場所、周囲の建築物などの設備条件から制約を受けることが多く、できるだけ少ない台数で輸送能力を確保する必要があり、その方法として高速化がクローズアップされる。

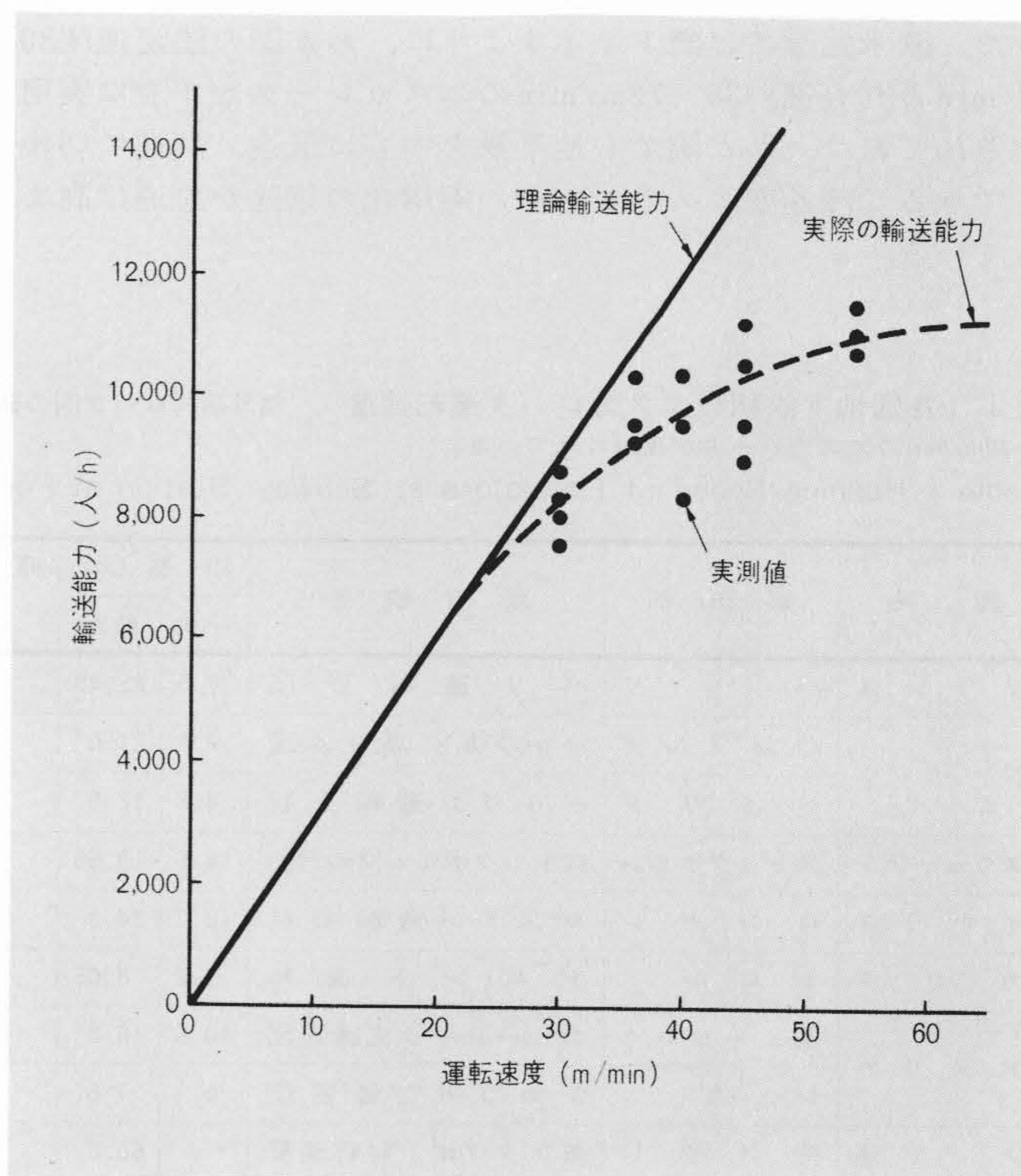


図3 運転速度と輸送能力 輸送能力は運転速度に比例して増加するが、速度45~50m/min程度で飽和する。

Fig. 3 Relationship between Transport Capacity and Running Speed of Escalator

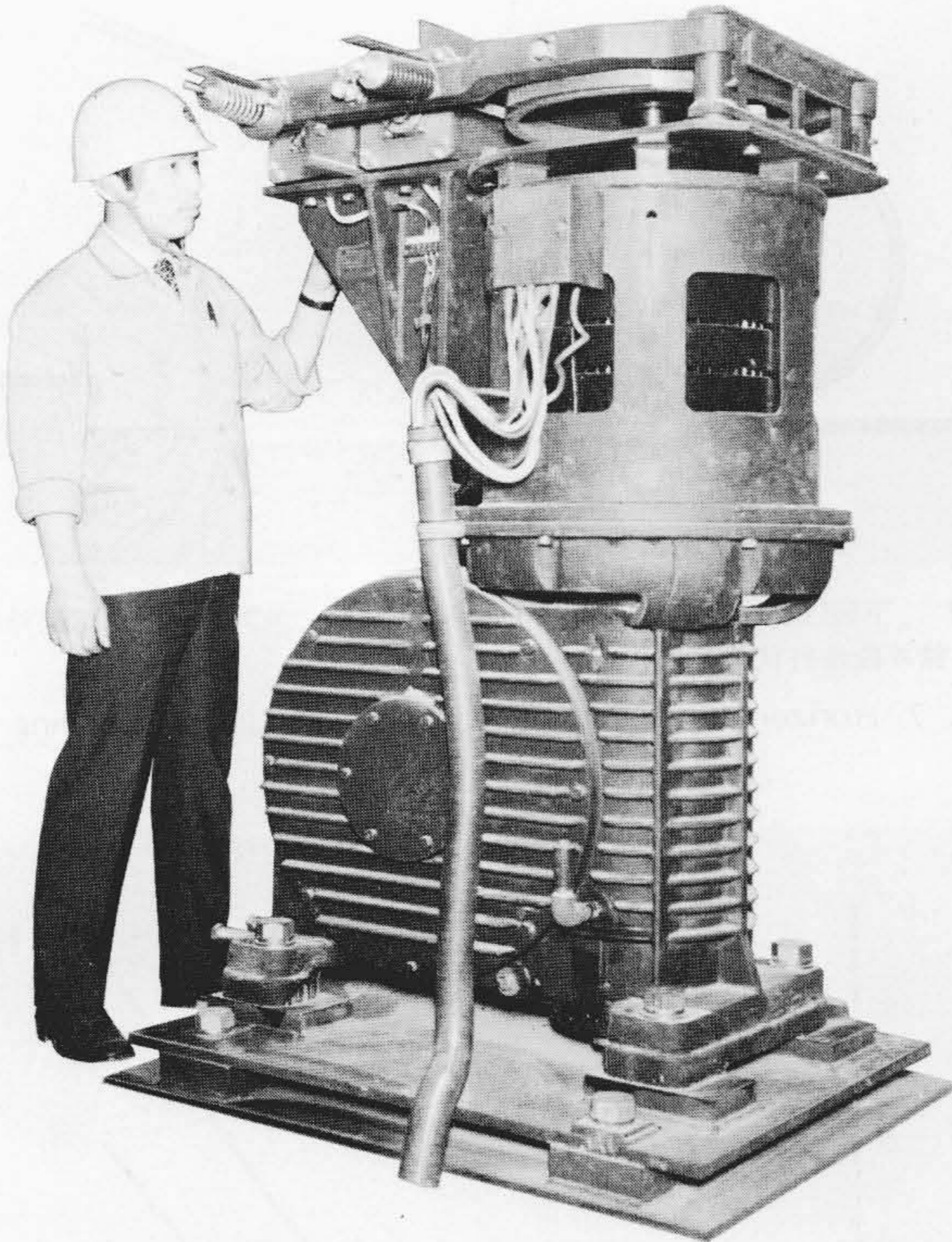


図4 新形制動装置を組み込んだ駆動機械 新形制動装置を組み込んだ高效率、低騒音の駆動機械の外観である。

Fig. 4 Driving Machine with New Type Braking Device

一般にエスカレータの輸送能力は、運転速度に比例して直線的に増加する。図3は運転速度と輸送能力の関係を実際のエスカレータを用いて実測した結果を示したもので、図中の実線は理論輸送能力（乗客の乗り込み速度が運転速度と同一の場合の輸送能力）で、点線は実測した輸送能力の平均値を示すものである。図3より運転速度25m/min以下では、乗り込み速度と運転速度が一致し、理論輸送能力どおりであるが、速度が速くなるにつれて乗り込み速度が運転速度よりおそくなるため理論値よりも低く、速度45~50m/min程度ではほぼ飽和する傾向にある。しかし、速度30m/minと45m/minの輸送能力を比べると45m/minの場合が約25%増加しており、高速化の効果が表われている。

3 高速高揚程エスカレータの安全性

エスカレータの高揚程化は、必然的にトラスフレームの大形化ならびにチェーン、駆動機械など駆動装置の大容量化を必要とするが、高速化は振動、騒音および寿命など各性能の検討を必要とする。最も重要な問題は乗客の安全性である。このようにエスカレータの高速高揚程化に伴う問題は多岐にわたるが、以下ここでは最も重要な乗客の安全性について述べる。

3.1 非常停止時の減速度と制動装置

エスカレータには踏み段チェーン切断安全装置、駆動チェーン切断安全装置など各種の安全装置のほか、上下部の乗降口付近に非常停止用スイッチが設けてあり、緊急あるいは不意の停電時には運転を停止できる構造である。

このような非常停止時の場合には、乗客が転倒などしないため小さな減速度でゆるやかに停止することが必要であり、われわれは実験の結果、乗客に安全な減速度の最大値は40Gal、

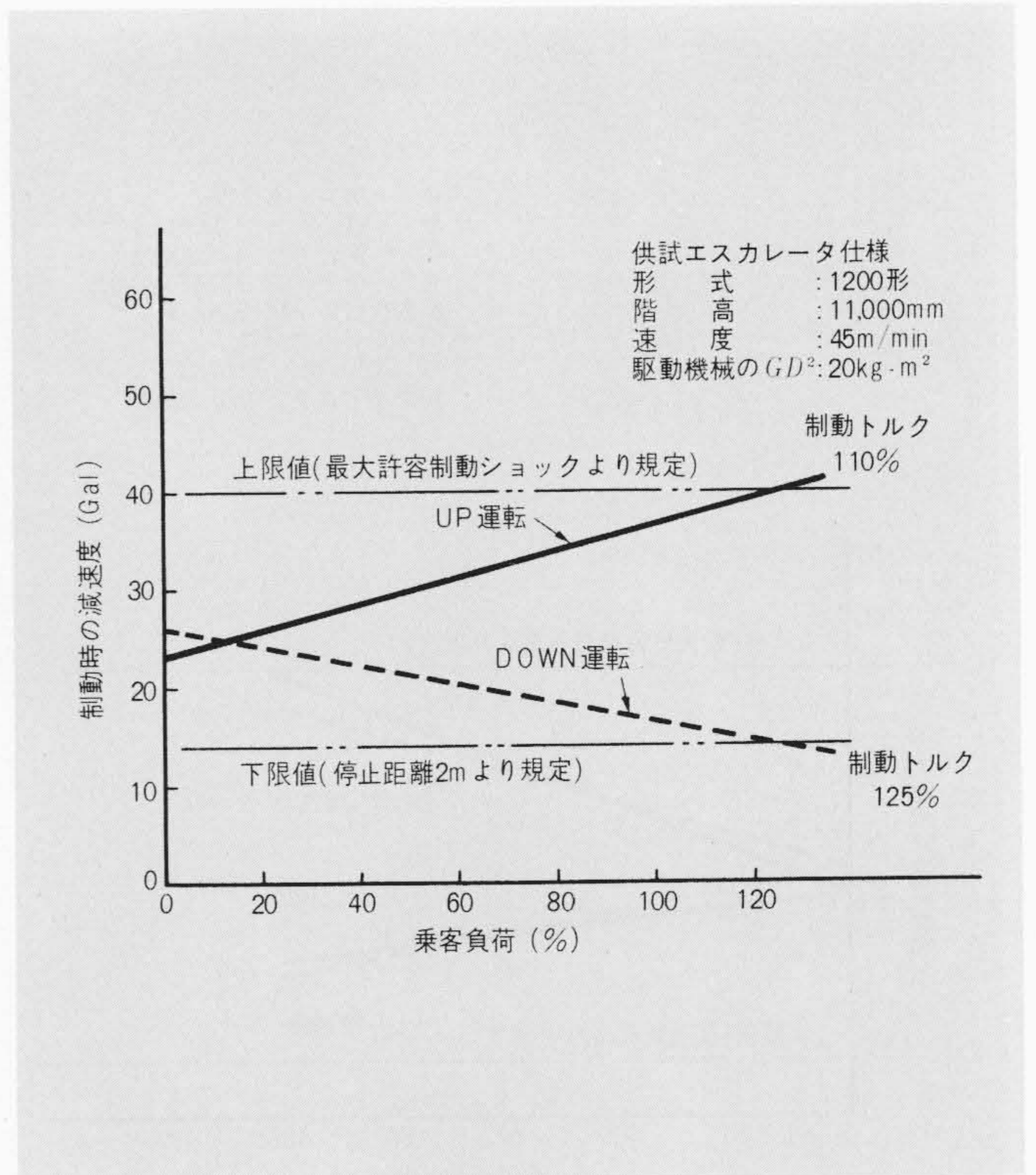


図5 新形制動装置の制動特性 新形制動装置を用いた場合の負荷の大小および運転方向による制動時の減速度を示したものである。

Fig. 5 Characteristic of New Type Braking Device

また最大停止距離はほぼ2mが限界であることを確認している。

一般に非常停止時の減速度 β は、近似的に次式で表わされる。

$$\beta = K \cdot \frac{T_B \pm T_L}{GD_R^2} \dots\dots\dots(1)$$

ここで、 K ：定数

T_B ：制動トルク

T_L ：乗客負荷の電動機軸換算トルク

GD_R^2 ：駆動機械全体の電動機軸換算の GD^2

(1)式より、減速度は制動トルクと負荷トルクを加えた合成トルクと駆動機械の GD^2 との比で与えられ、合成トルクが小さいほど、また駆動機械の GD^2 が大きいほど減速度は小さくなる。したがって、制動トルクおよび駆動機械の GD^2 が一定の場合、負荷トルクの大小ならびに運転方向により減速度が大きく変化する。すなわち、全負荷上昇運転時の合成トルクは $(T_B + T_L)$ で表わされ減速度が大きく、一方、全負荷下降運転時の合成トルクは $(T_B - T_L)$ で減速度が小さく、制動距離が長くなる。特に高揚程エスカレータの場合には、乗客数の大小による負荷の差が大きいため乗客が少ない場合と全負荷に近い状態とでは減速度の差が非常に大きい。さらに運転方向による減速度の差も前述したように全負荷に近い状態では一段と大きくなる。したがって、負荷の大小ならびに運転方向に関係なく乗客に安全な減速度とするとともに、停止距離も非常停止の意味を失わない程度の距離とする制動装置が必要である。今回、われわれは駆動機械全体の GD^2 を大きくし、かつ制動トルクをエスカレータの運転方向により増減できる新しい制動装置(特許申請中)を開発し、この問題を解決した。

本制動装置は、制動トルクを与える制動ばねとして主ばね

供試エスカレータ仕様
 形式 : 1200形
 階高 : 11,000mm
 速度 : 30/45 m/min
 駆動機械の GD^2 : 20kg·m²
 制御インピーダンス
 制御抵抗 : 0.1Ω
 制御リアクタンス : 0.165Ω

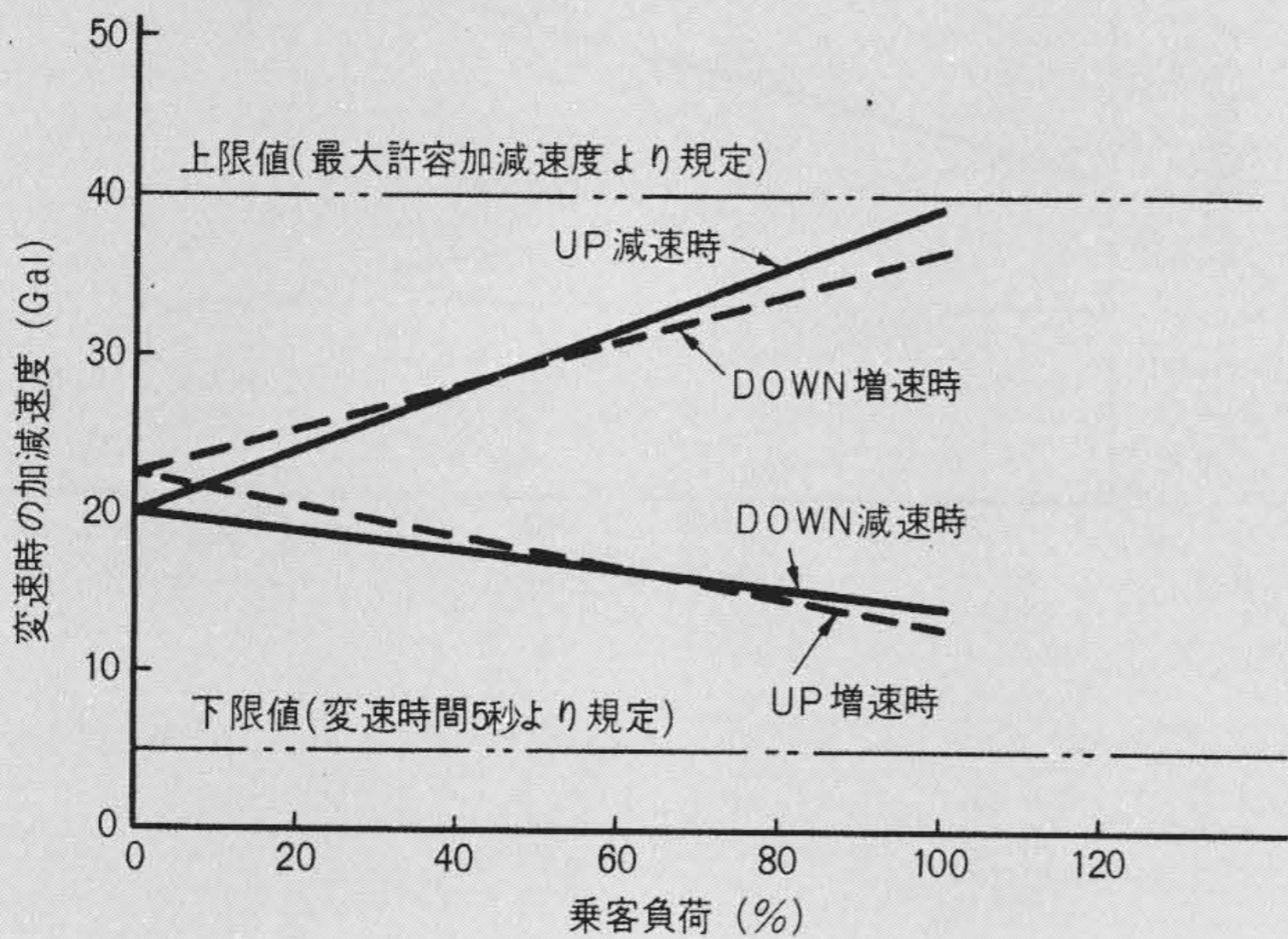


図6 速度変換時の加減速度特性 乗客負荷の大小ならびに運転方向による速度変換時の加減速度を示したもので、いずれも安全な値である。

Fig. 6 Acceleration and Deceleration at Speed Change

と補助ばねの2個を使用し、それぞれに釈放用電磁コイルを設け、運転方向によりこれら電磁コイルの作動個数を変えて制動トルクを制御する構造である。図4は本制動装置を組み込んだ駆動機械の外観である。

図5は本制動装置を実際に階高11m、運転速度45m/minのエスカレータに組み込み試験した制動特性で、実線は上昇(UP)運転時、点線は下降(DOWN)運転時を示している。図より運転方向ならびに乗客負荷の大小に関係なく、減速度は常に乗客に安全な許容範囲にあり、本制動装置は十分な性能であることを証明している。

3.2 速度変換時の加減速度

交通機関の駅では、朝夕のラッシュ時あるいは昼間の閑散時など時間帯により乗客の量と質が変わるため、エスカレータの運転速度もそれに見合った値にすることが必要で、一般に低速と高速とを切り換えできる二段速度エスカレータが要望される。このような二段速度エスカレータにおいては、変速時の加減速度も前述した制動時と同様、乗客に安全な値にしなければならない。

この変速時の加減速度は、近似的に電動機の加速トルクあるいは回生制動トルクと乗客負荷トルクを加えた合成トルクと駆動機械の GD^2 との比で与えられ、制動時と同様に合成トルクが小さいほど、また駆動機械の GD^2 が大きいほど加減速度は小さくなる。したがって、今回加速および回生制動トルクをインピーダンスで制御して合成トルクを小さくするとともに、 GD^2 を大きくした駆動機械を併用する加減速度制御方式(特許申請中)を開発し、実用化した。

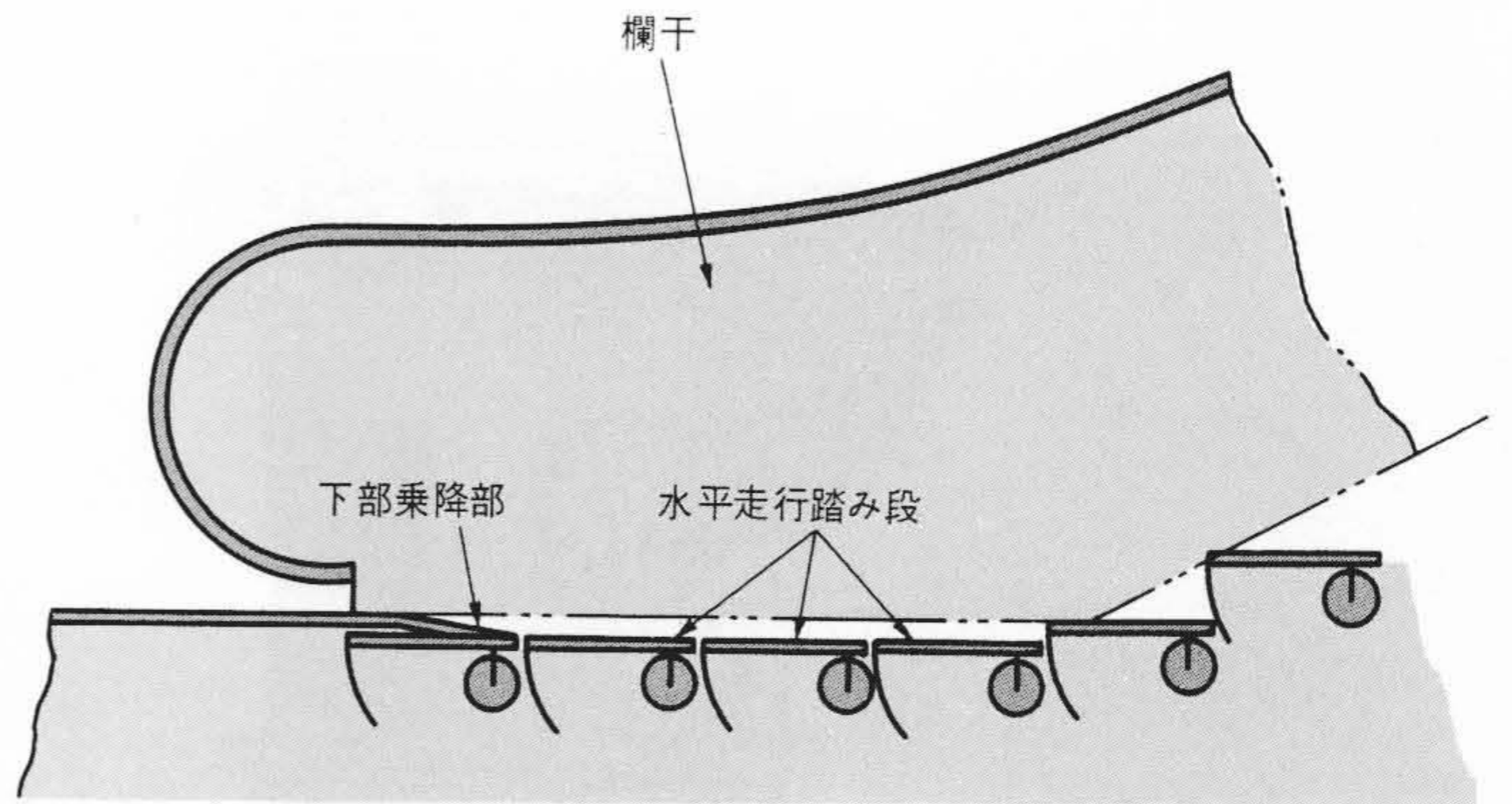


図7 下部乗降部の水平走行踏み段数 エスカレータ下部乗降部における踏み段走行状態を示したものである。

Fig. 7 Horizontal Running Steps around Lower Landing

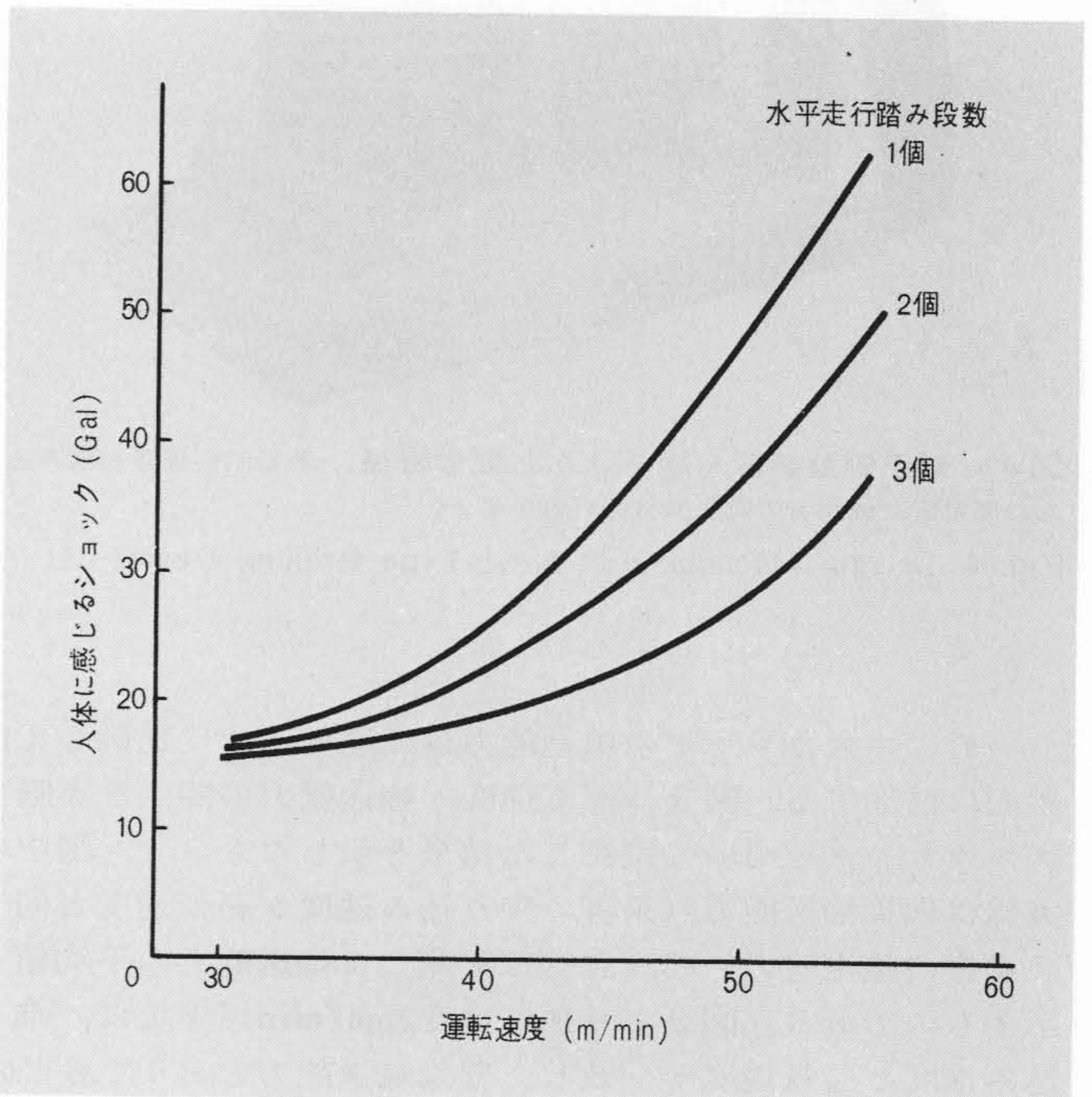


図8 水平走行踏み段数および運転速度と乗り込み時のショック 運転速度の増加に伴う乗り込み時のショックを示したもので、水平走行踏み段数が多いほど人体に感ずるショックは小さい。

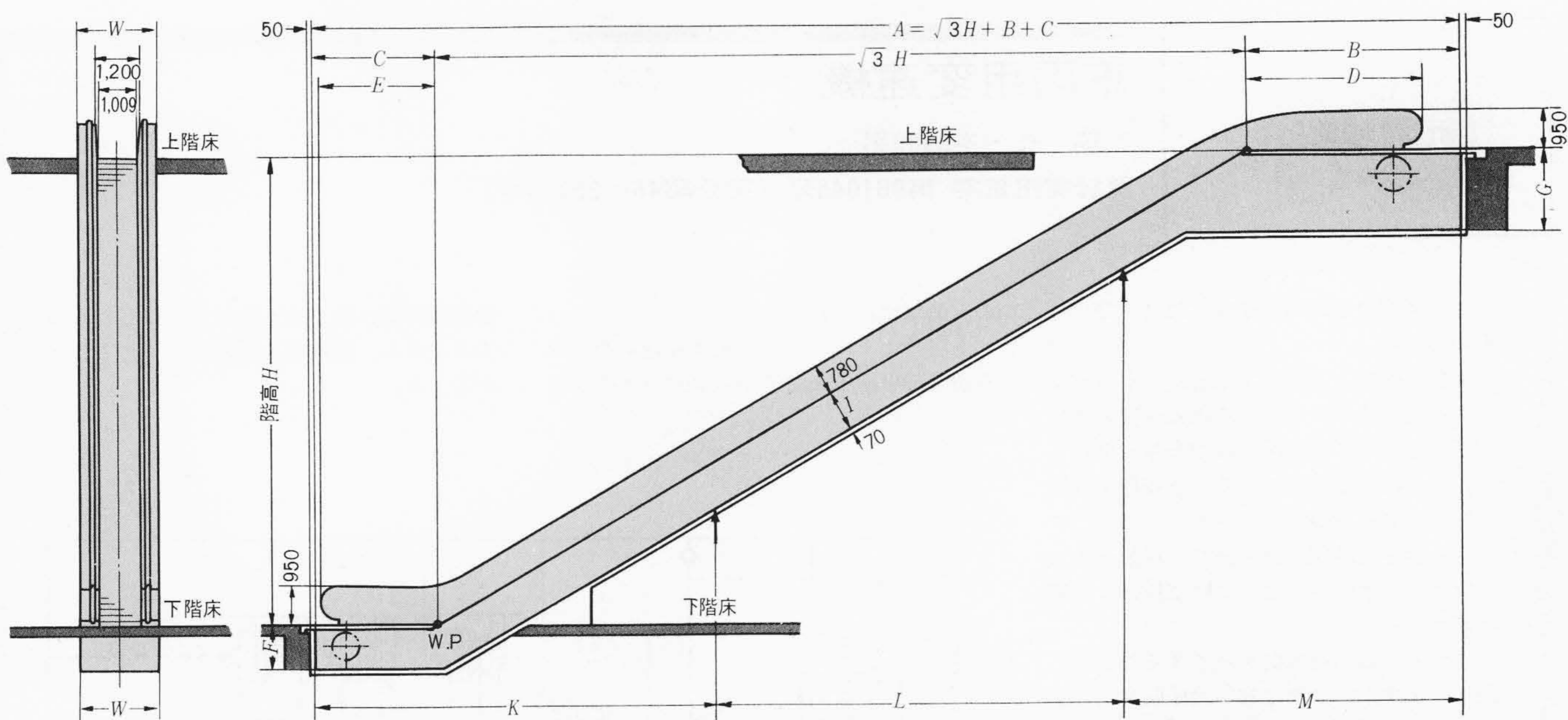
Fig. 8 Riding Shock versus Running Speed at Various Numbers of Horizontal Running Steps

図6は本制御方式を階高11m、運転速度30/45m/minの二段速度エスカレータに応用したときの加減速度の実測結果を示したもので、負荷の大小ならびに運転方向に関係なく、乗客に安全な40Gal以下のショックで変速できる。

3.3 乗降時の安全性

エスカレータへ安全かつ容易に乗降できるようにすることは、運転速度の高速化に伴い解決しなければならない問題の一つである。

エスカレータに乗降する場合、図7に示す乗降部の水平踏み段数が少ないと乗り込む際、踏み段と踏み段の境界に乗らないようにするタイミングが取りにくく、乗り込み時に受けるショックが大きい。また、乗り込んだ後ただちに踏み段が水平状態から階段状に移行するため安定した姿勢が取りにくい。この傾向は運転速度が速いほど著しい。したがって、高速エスカレータではその速度に見合った水平走行踏み段数



形式	階高 (mm)	標準寸法 (mm)								標準仕様						
		B	C	D	E	F	G	I	W	階高 (mm)	速度 30/40(m/min)		速度 30/45(m/min)		傾斜角 (度)	電源
											電動機(kW)	輸送能力(人/h)	電動機(kW)	輸送能力(人/h)		
1200C-P ₄₀ および 1200C-P ₄₅	3,000~4,500	4,550	3,050	2,590	2,480	1,080	1,500	800	1,680	3,500以下	7.5/11	9,000/12,000	7.5/11	30	200/220V 50/60Hz	
	4,501~7,500	5,750		3,260			1,780			3,501~6,000	11/15		11/18.5			
1200HC-P ₄₀ および 1200HC-P ₄₅	7,501~8,500	6,050	3,350	4,230	2,480	1,480	1,980	1,000	1,760	6,001~8,500	18.5/22	9,000/13,500	18.5/30	30	200/220V 50/60Hz	
	8,501~11,500	6,550							3,740	1,920	8,501~11,500		22/30			22/37
	11,501~13,500	7,650									1,480		1,920			11,501~16,000
	13,501~16,000	7,650							16,001~20,500	8,350						4,230

注：K, L, Mなど支点間距離は最大12mとする。

図9 日立高速高揚程エスカレータ標準据付計画図 各種の新しい装置、構造を備えた日立高速高揚程エスカレータの標準寸法を示したものである。

Fig. 9 Standard Plan Drawing of Hitachi High-speed and High-rise Escalators

を確保する必要がある。

図8は水平走行踏み段数を変えた場合、エスカレータに乗り込んだ瞬間に乗客が受けるショックと運転速度との関係の実測値を示したものである。本図より、運転速度が40~50m/minの高速エスカレータでは、乗降部水平踏み段数を3個以上とすれば十分安全と考えられ、これを標準寸法としている。したがって、高速エスカレータの上下部水平距離は標準速度のエスカレータに比べ比較的長くなるので、設備計画に際しては、はり間寸法は十分考慮されなければならない。

図9はこれら乗降部の水平踏み段数ならびに前述した新形制動装置を設けた駆動機械および新しい速度変換方式を加えた制御盤などを組み込んだ日立高速高揚程エスカレータの標準据付寸法およびおもな仕様を示したものである。

以上、主として高速高揚程エスカレータの乗客の安全性に関係するエスカレータ機器自体のおもな構造と特長について述べたが、このほかエスカレータの配置、上下乗降部の床面積、あるいは乗り継ぎの場合エスカレータと次のエスカレータを結ぶ通路の広さなど、エスカレータのレイアウトが高速化に伴い、今以上に乗客の安全性に大きな影響を与えるものと考え、この方面の研究も実態調査をもとに進めている。

さらに、われわれは高速化に伴う振動、騒音ならびに各部品の寿命についても研究を重ね、数多くの新しい構造を開発

し、実用化している。

4 結 言

都市交通機関の立体化に伴って、将来これらの駅における中枢的役割を果たす高速高揚程エスカレータの必要性ならびにその安全性について述べた。

これらの設備をより安全、かつ効率的、経済的なものとするため、機能、構造両面の改善はさらに図られなければならないが、同時に建築側にあっても設置場所、設置台数、運転速度の選定など従来のエスカレータとは異なった観点に立った設備計画が進められなくてはならないと考える。特に都市交通向けエスカレータは最近急速に各所で計画立案されており、その場所に応じて配置上、安全上の諸問題を解決する必要がある。これらについては、次の機会に発表したい。本稿が将来のエスカレータ設備計画の一助となればまことに幸いである。

参考文献

- (1) 原ほか：日立評論 52,810 (昭45-9)
- (2) 帝都高速度交通営団：各国地下鉄駅設備のエスカレータ運転速度に関する調査結果 (昭45-1)