

日本空港ビルディング—東京国際空港納
日立 CS 形 オートライン
 Hitachi Type CS Autoline for Japan Airport Terminal Co.—
 Tokyo International Airport

中尾 彰 一*
 Shoichi Nakao

寺西 勝 也*
 Katsuya Teranishi

佐々木 武 彦**
 Takehiko Sasaki

要 旨

動く歩道は従来ゴムベルト方式のものが多く用いられていたが、今回まったく新しい機構のパレット式の日立 CS 形オートラインを完成した。本オートラインは乗客の安全性と機器の信頼性が特にすぐれており、低消費動力、容易な保守性など多くの特長をもつもので、すでに日本万国博覧会をはじめ東京国際空港においてそのすぐれた性能を発揮しており、いよいよ都市内交通へのオートライン利用に各方面から注目を集めている。

1. 緒 言

最近の都市内交通量の増加は著しいものがあり、群集の移動に一定の秩序を保たせることが、都市機能の維持に不可欠の課題となってきた。この問題を解決するにあたって古くから提唱され、また諸外国ではかなりのレベルに達しているシステムに動く歩道の利用があり、今度開催された日本万国博覧会では大規模な活用が試みられた⁽¹⁾⁽²⁾。

日立製作所は、昭和 35 年にわが国最初の実用的な日立オートライン(動く歩道)を開発⁽³⁾、以来改良と研究を重ねてきたが、今回、まったく新しい機構のパレット式 CS 形オートラインを完成した。

このオートラインは安全性と信頼性が高く、静かで快適な乗りごこち、低消費動力など数多くの特長を有するもので、すでに万国博で順調な運転を続けているほか、わが国では最初の空港施設として東京国際空港で旅客サービスに活躍している。

以下、本文では都市交通機関としての動く歩道のあり方について検討し、次に東京国際空港へ納入した日立 CS 形オートラインの構造、特長について述べる。

2. 都市交通機関としてのオートラインの利用

2.1 オートラインの特長

動く歩道がほかの交通機関と最も異なる特長は、連続的に大量の人員を輸送でき、かつ乗る時の待ち時間がほとんど不要なことである。したがって二つまたはそれ以上の交通機関の駅間の連絡、交通機関と事務所ビルあるいはショッピングセンター、ビルとビルとの連絡、さらにはジャンボ時代を迎えて大形化する空港など、大量の人が移動する場所に利用すれば複雑な人の流れが一定の秩序に従ったものとなり、都市交通問題の解決にきわめて大きな効果をあげることができる。このような動く歩道の利用は古くから世界各地の都市で提案あるいは計画されてきたが、本格的に実用化した例はない。それは安全性などの基本的な問題のほか、輸送速度、設置形態、建設費、運営費などの問題が複雑にからみあい、簡単には実現できなかったためである。しかし世界の大都市での交通事情の悪化は激しく、群集が移動もしくは集まりやすい場所ではその流れの秩序と安全の確保のために、オートラインによる交通システムの効率化が積極的に計画・実施されるようになりつつある。また動く歩道も年々高性能のものが開発されているので、近い将来各地にオートラインを利用した交通システムが出現すると考えられる。これはわが国においても例外ではなく、すでにその動きは万国博の試みにも現われ

ていると言える。

2.2 運転速度と輸送能力

オートラインは踏み面が連続した平たんな形状であり、階段状となるエスカレータに比べて乗り降りが容易である。そのため運転速度は一般にエスカレータよりも速く、現在では 35~50 m/min が採用されている。しかしこれは人の通常の歩行速度である 60~80 m/min に比べて遅いので、乗客の混雑する場所では歩行者の流れと動く歩道の上の人の流れを合わせることが問題となる。混雑した状態での歩行速度は当然普通の歩行速度より低下するが、そのときにすべての歩行者が動く歩道を利用するならば、乗込み口での混雑と乗込みの不慣れのため乗込み速度が動く歩道の速度に合わず、輸送能力は速度と踏み面幅から計算した公称値よりも低下する。これを解決するには動く歩道の数を増し、乗客の流れを良くして乗込みを容易にし、かつ速度を上げることが必要である。現在の動く歩道では乗客が慣れれば 80 m/min 以上の速度でも実用できるであろう。しかし動く歩道を都市交通機関として使用する場合、その長さは一般に 100 m 以上、長いものでは 1 km にもなるのでこの程度の速度では乗客に退屈な感じを与える。この解決には一つには時間の経過を忘れさせるように動く歩道の周囲に快適なふん囲気を作ったり、見晴らしのよい展望を与えることが考えられるが、もう一つにはその歩道の上を乗客に歩かせることである。こうすれば乗客は容易に時速 6~10 km/h の速度で移動することになり、退屈な感じはなくなるであろう。

動く歩道の輸送能力は乗客の乗込み間隔が一定であれば運転速度に比例する。乗込み間隔を踏み面の長さ 0.4 m とすればその輸送能力は

$$Q = (60V/0.4)n \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 Q : 輸送能力 (人/h) V : 速度 (m/min)

n : 同時に乗り込める人員 (1200 形では通常 2 人)

となる。速度 35~40 m/min の動く歩道で実測したところでは輸送量は約 10,000 人/h であるが、その上を乗客が歩くときは輸送量は飛躍的に増すことが知られている。しかし、現在の都市内交通の混雑状態において、バス、乗用車などでは 10,000 人/h を一定区間内で輸送することは不可能であるから、現状でも動く歩道の価値が高いことがわかる。なお将来、連続乗込みで、しかも安全に高速で運転できるような高性能のオートラインが開発される予定であるからますますその価値は高まるであろう。

2.3 オートラインと都市交通

ここでは都市中心部の主要交通機関として、まず到達距離と時間の関係においてオートラインの利用を考えてみる。現有の都市内交通機関にはすべて待ち時間および乗り降りに要する時間が付随して

* 日立製作所水戸工場

** 日立製作所交通事業部

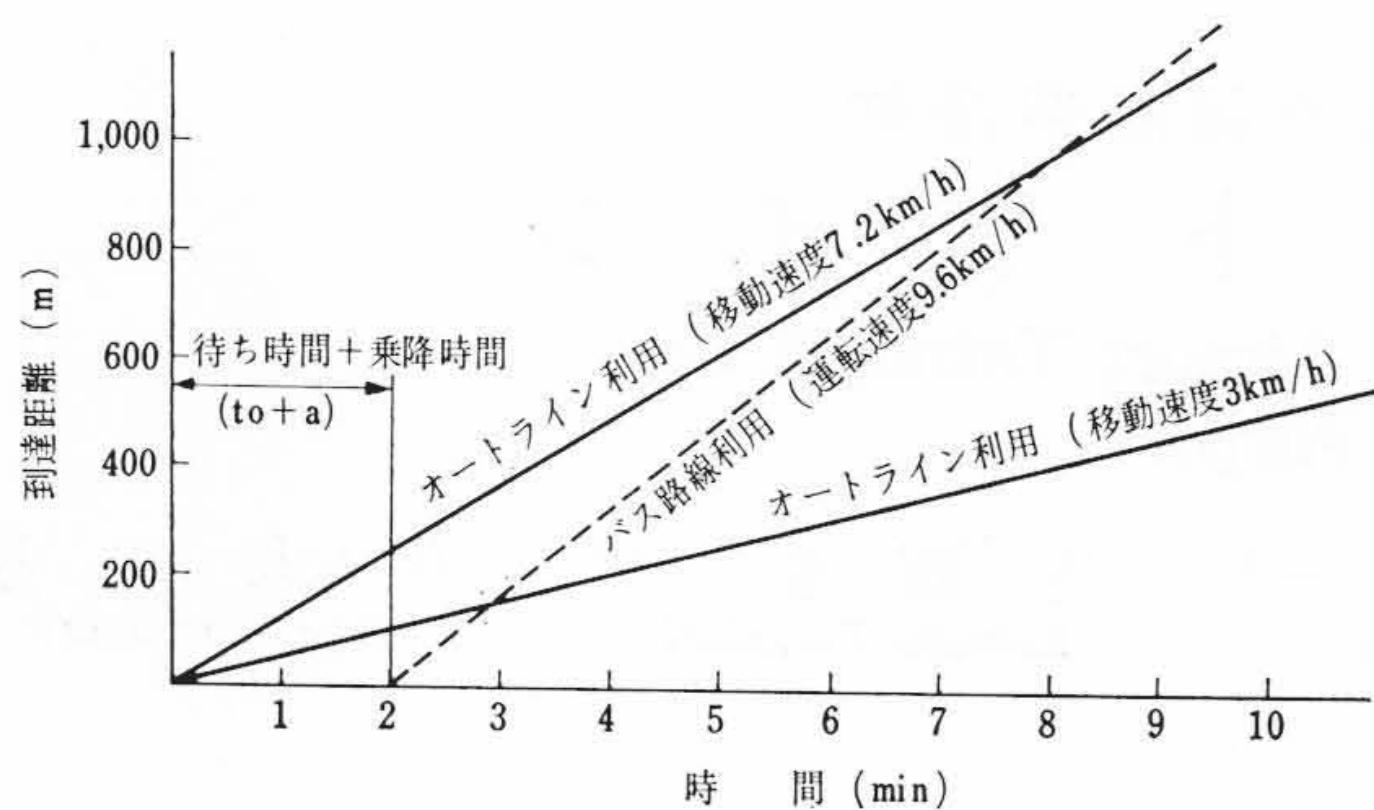


図1 オートライン利用の到達時間と
バス路線利用の到達時間の比較

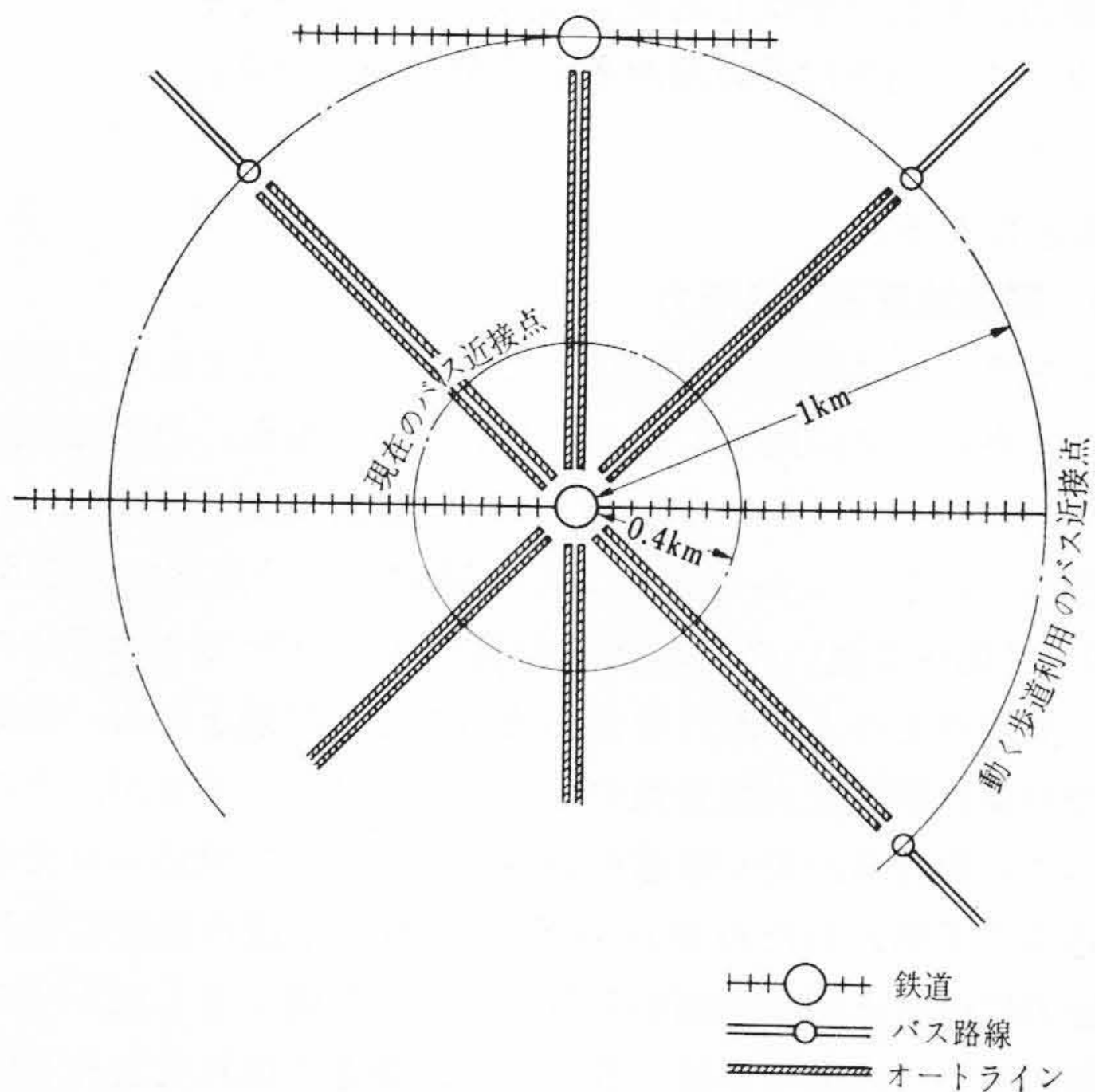


図2 都市内交通機関への“動く歩道”利用の一形態

おり、一応これらの時間をそのまま到達所要時間に加えることにする。また高架鉄道、地下鉄などの遠距離高速交通機関は考慮外とし、これらの駅を中心としたバス路線との関係について検討を加えてみる。

いま、オートラインの限界長さをバス利用の到達所要時間と同一とすることによって求めるとすれば、

$$L \leq (a+t_0) V_c \cdot V_A / (V_c - V_A) \quad \dots\dots\dots (2)$$

ただし、 L = 走行距離 (m)

a : バスの乗降に要する時間 (min)

t_0 : バスの待ち時間 (min)

V_c : バスの都市内平均走行速度 (m/min)

V_A : オートラインを利用して得られる移動速度 (m/min)

であり、バスの都市内平均速度は $V_c \approx 160 \sim 330$ m/min (約 10~20 km/h)、 $(a+t_0)$ はおよそ 2~5 min であるから、オートライン上を歩行するものとして得られる移動速度を $V_A = 120$ m/min とすれば、 $L = 945 \sim 960$ m、すなわち、半径約 1 km の範囲を従来のバス路線からオートラインに置きかえても到達時間に差を生じないことになる。図1はこれらの関係を表わしたものである。この検討結果から図2に示すような都市交通網を想定することができる。すなわち、従来、鉄道あるいは地下鉄の駅近くに集中しなければならなかったバス路線は、オートラインを利用することにより半径 1 km 内にははいる必要がなくなり、都市交通の混雑防止に役だつばかりでなく、それぞれの交通機関の効率のよい運用が可能となる。

一方、大形航空機時代を迎えて世界主要都市の空港は拡大の一途をたどっており、発着ゲートの増設、空港玄関からゲートまでの通

路の延長、拡大が続けられている。このため飛行機の乗客は空港入口とゲートの間の長い通路を歩行しなければならず、重い手荷物を持っている乗客には苦痛である。また乗客も年々増加しているから発着時には乗降客で通路は混雑し、空港の機能を低下させることにもなる。この解決策としてオートラインの利用は必要欠くべからざるものであり、欧米にある多くの空港でその実例を見ることができる。一般に空港では平坦で長さは 100 m 以上のものに適用する例が多く、踏み面幅を広くとって手荷物を持った乗客が楽に乗れ、また、その上を歩く人と立ち止まっている人とお互いに邪魔にならぬようにしている。現状では速度はそれほど問題ではなく 40 m/min 前後で使用されたい。今後は空港の拡大に伴って発着ゲート、連絡路もますます多く、かつ空港入口から遠くなり、その配置も複雑になると思われるが、それに対するオートラインの活用はいっそう有効なものとなるであろう。

2.4 オートラインに必要な性能

さきに述べたように広範囲にわたる用途をもつオートラインは特にその公共性の強いことから、次のような性能を備えたものでなければならない。

- (1) すぐれた安全性と高い信頼性をもつこと。
- (2) その上を人が歩行するものであるから、踏み面は適度のかたさを持ち、こちよい歩行感が得られること。
- (3) かなりの時間動く歩道上にあることになるから、乗客に不快感を与えるようなショックや振動あるいは騒音がないこと。
- (4) 屋外に露出して設置する機会が多いから、その場合にも安定した性能を発揮するものであること。
- (5) 乗口と降口および中間部を一水平面内に据付けられない場合が多いから、踏み面が自由に凹凸(おうとつ)曲線を構成できるものであること。

図3は実在する動く歩道の代表例を示したものであり、これらは踏み面構成からベルト方式とパレット方式に大別される。われわれはベルト方式でもベルトに無理な張力が加わらず、乗りごちもすぐれたチェンベルト式オートラインを最初に開発した⁽⁸⁾。しかし、ベルト式では踏み面ゴムベルトおよび駆動方式の機構上や、乗降口でくしとかみ合うため栈(さん)が金属性の踏み面ほどこまかくできず、またベルトの蛇行(だこう)、凹曲線路面の構成が困難であるなど、安全性、構造上とも種々の欠点が残る。そこでわれわれは今回上記の諸条件を完全に満足し、都市交通機関としての性能をじゅうぶんに発揮できるパレット式の日立CS形オートラインを開発した。本オートラインは日立製作所が長年にわたり、技術、経験を蓄積したエスカレータに基本技術をおいている。

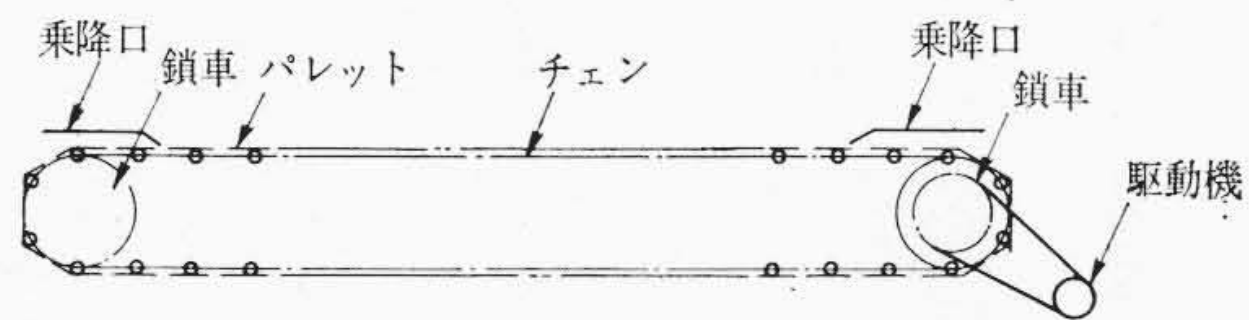
3. 東京国際空港納 日立CS形オートライン

東京国際空港でも最近、国内外航空機の発着の増加が著しくなり、国際線の空港設備の拡充が行なわれたが、増設した長い連絡路にオートラインを設置して乗客のサービスに当てることになった。これは国際線の待合室から出発ゲートまで、および到着ゲートから入国管理室までの連絡路に3基設けられ、飛行機をながめながら利用できる位置にあるのできわめて快適な気分を味わうことができる。

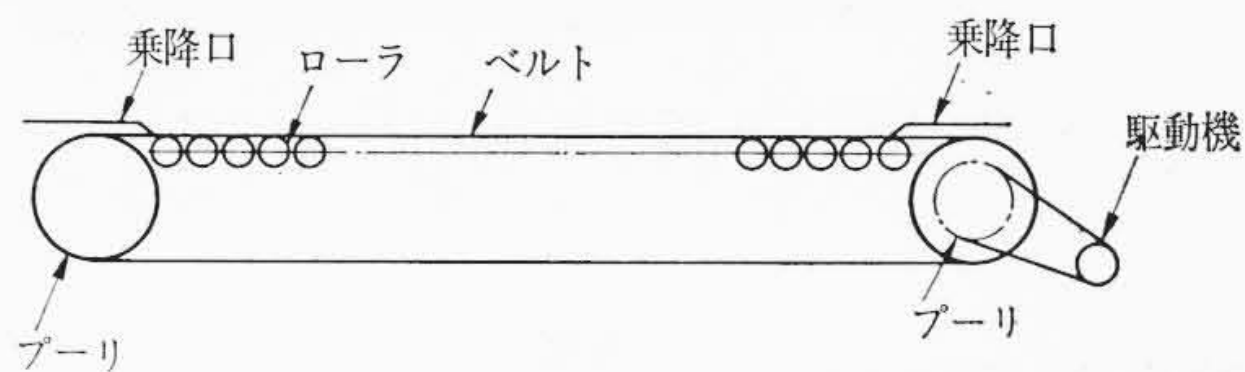
このオートラインは、万国博で屋外に設置した全長 100 m のものがもつ安全で快適な乗りごちとすぐれた性能が評価され、採用されたものである。

図4は設置したオートラインの配置を、表1はおもな仕様を示したものである。本オートラインの最長のものは約 150 m あり、パレット式ではわが国最長のもので、空港施設としてはわが国最初のものである。

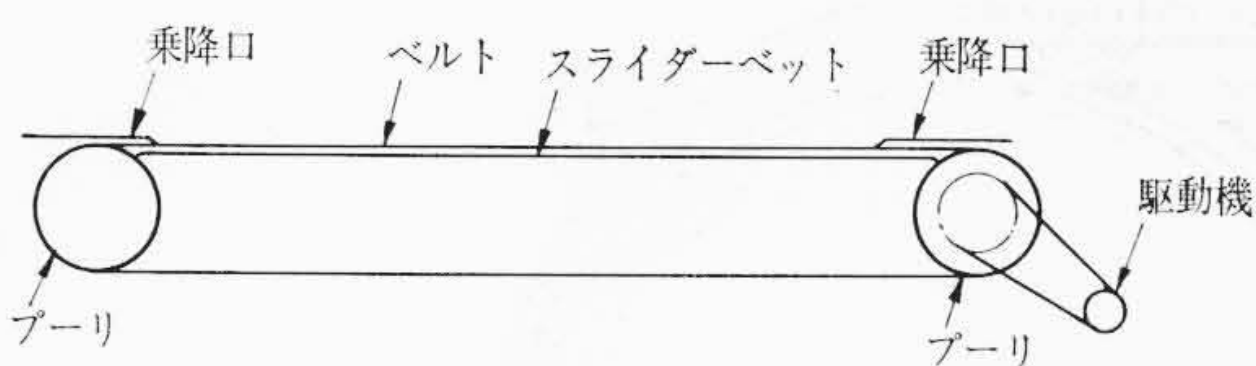
1. パレット式



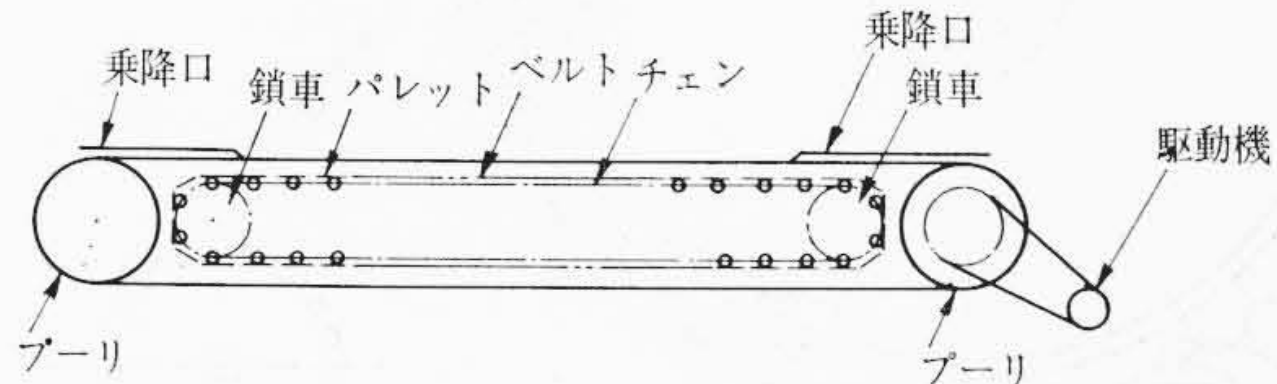
2. ベルト式(ローラベット形)



3. ベルト式(スライダベット形)



4. チェンベルト式 (ベルト駆動)



5. チェンベルト式 (パレット駆動)

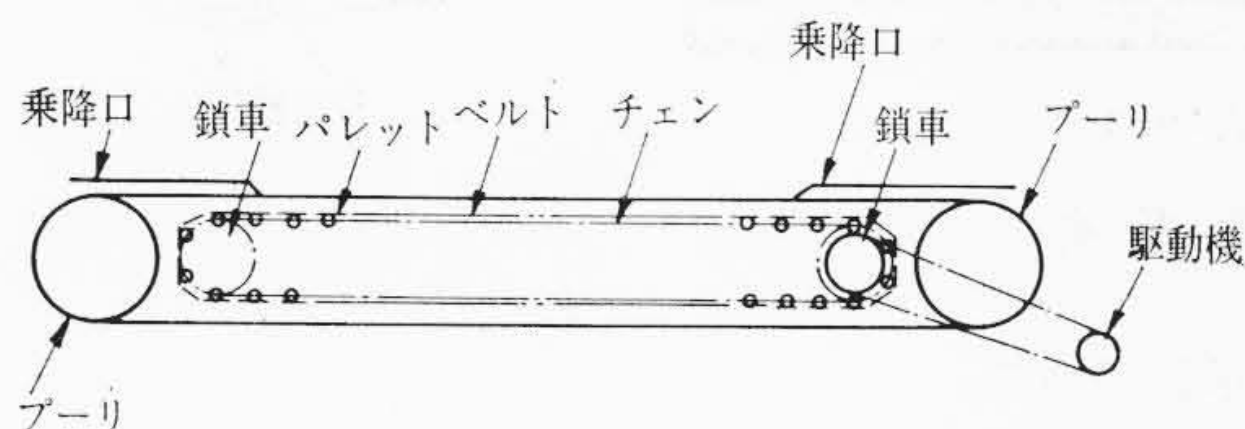


図3 動く歩道の分類

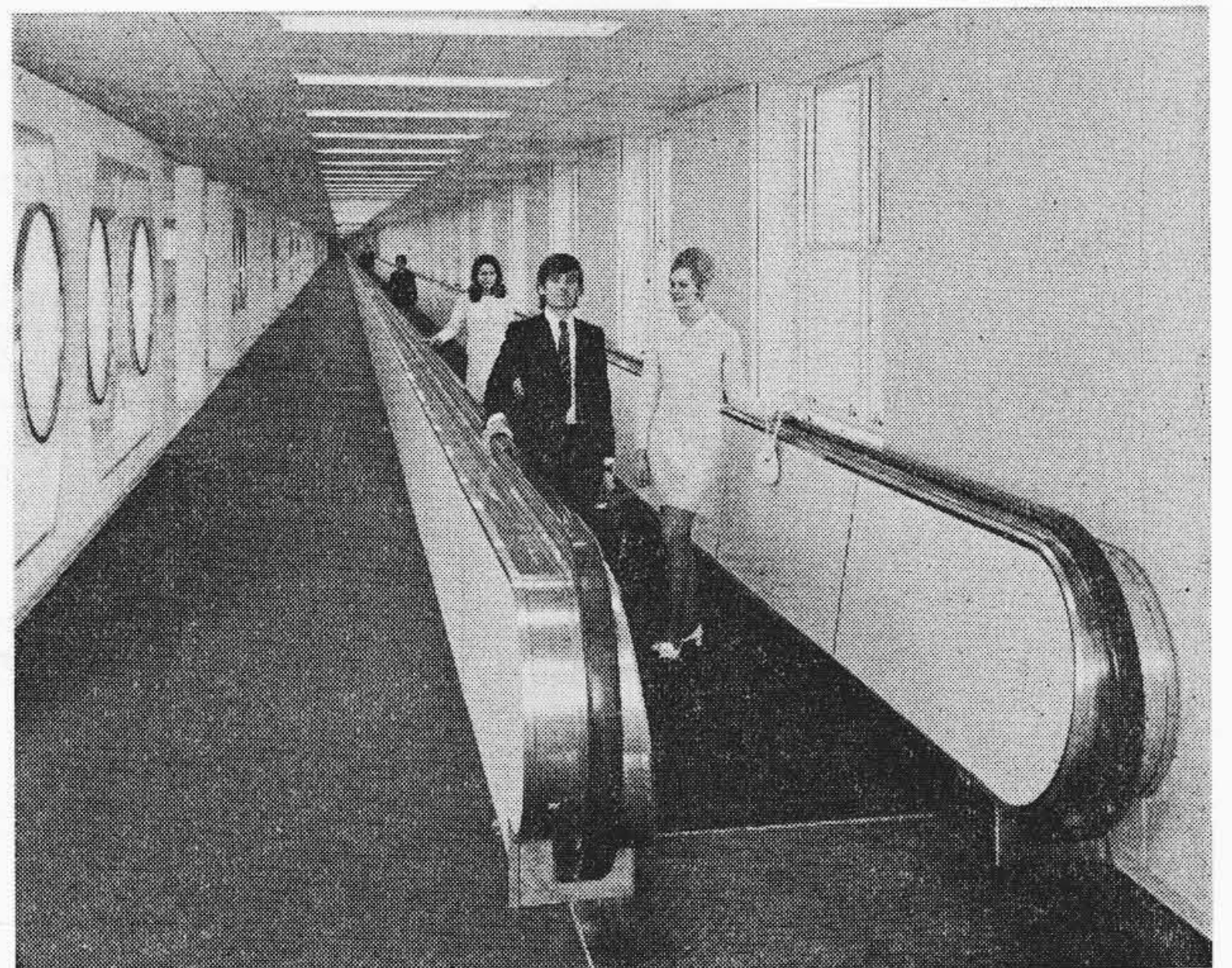
本オートラインを設置した連絡路は鉄骨構造であり、オートラインの下には居室があるため振動、騒音の低いことが必要であるが、CS形オートラインのすぐれた性能によって満足な結果を得ている。

乗客の安全については特に意をそそぎ、オートラインの本体側で安全な構造や安全装置をじゅうぶんに採り入れたほか、建屋側でも注意銘板などで乗客に注意を与える配慮がなされている。

図5は東京国際空港納入の1号機の外観である。

表1 東京国際空港納 CS 形オートラインの仕様

号機	No. 1	No. 2	No. 3
形式		1,200 CSH-P	
有効長	146.3 m	59.7 m	51.5 m
踏み面有効幅		1,009 mm	
欄干有効幅		1,200 mm	
運転速度		40 m/min	
電動機容量	15 kW	7.5 kW	7.5 kW
運転方式	キースイッチコントロール可逆式		



(長さ 146 m)

図5 東京国際空港における CS 形オートライン

4. 日立 CS 形オートラインの構造と特長

4.1 踏み板構造と駆動機構

本オートラインは前述したようにパレット式であり、踏み面は金属製の踏み板を連続して敷設したもので、踏み板は安全率をじゅうぶんにもった強力なチェーンで連結して無端のベルトを構成している。

図6は1セットの踏み板を示したものである。踏み板表面はエスカレータでじゅうぶん安全性を実証しているとおり細かく、深い棧をもつアルミダイキャスト製であり、この踏み板が両端にローラを有する軸に固定されている。ローラは両側面を規制したガイドレール上を走行するから、走行中の踏み板の蛇行はなく、乗降口でもくしと細かい確実な噛み合いが確保されているので安全性はきわめて

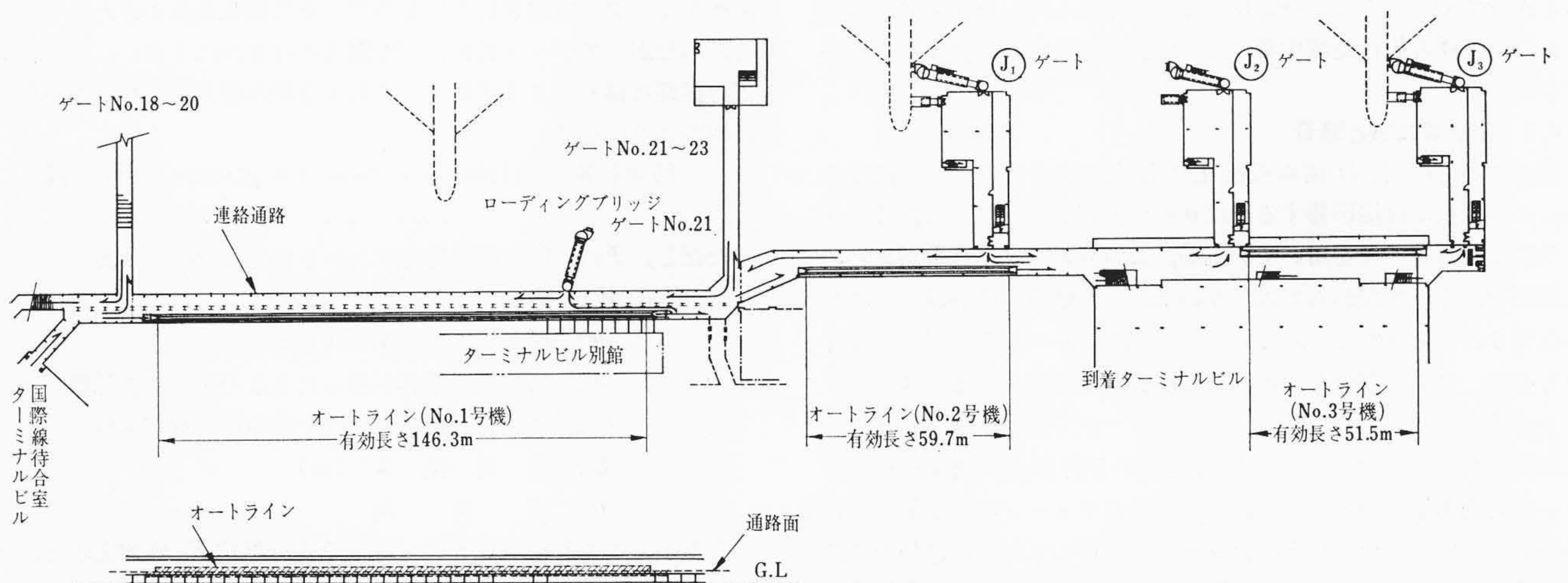


図4 東京国際空港の CS 形オートライン設置状態

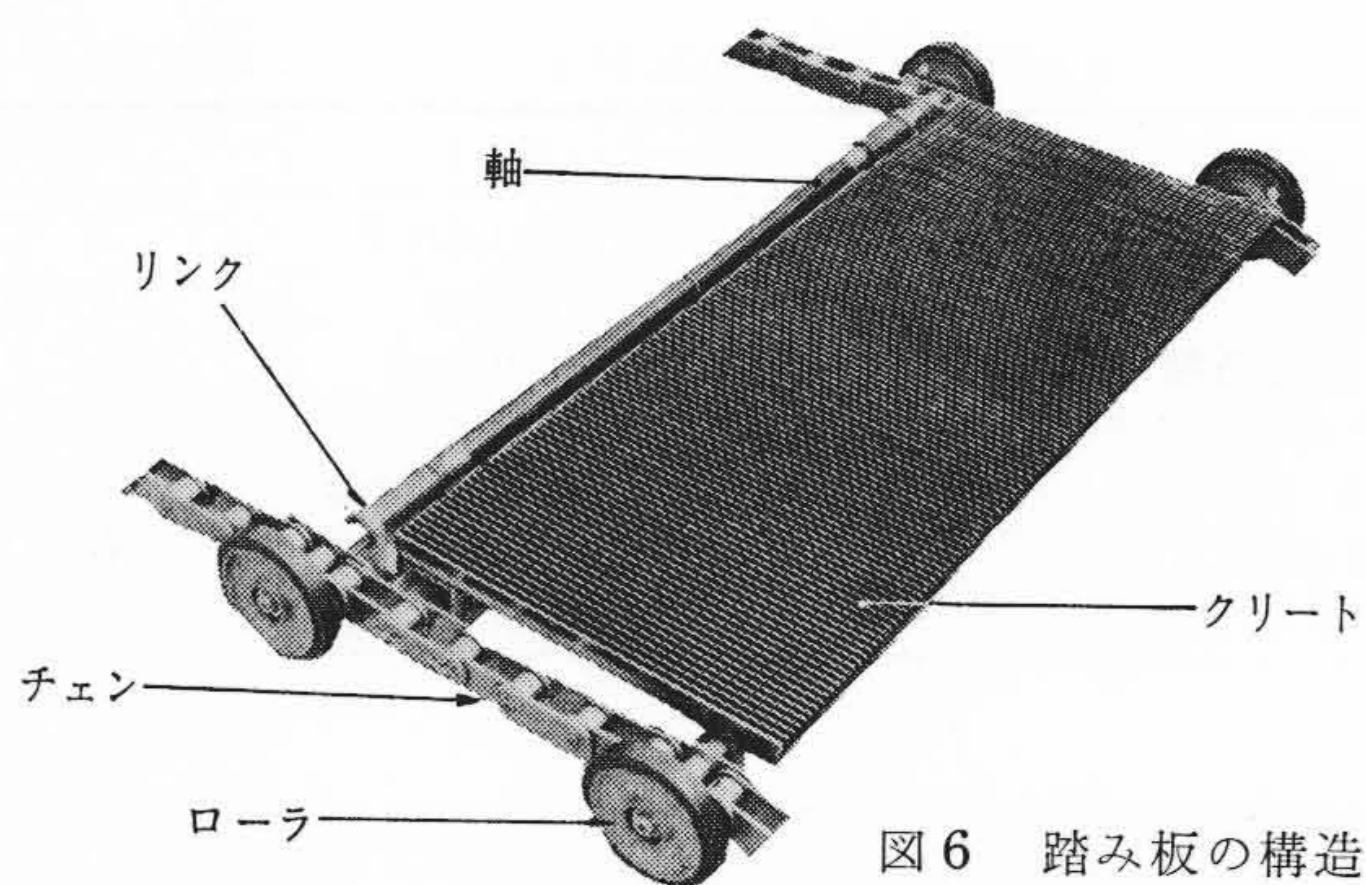


図6 踏み板の構造

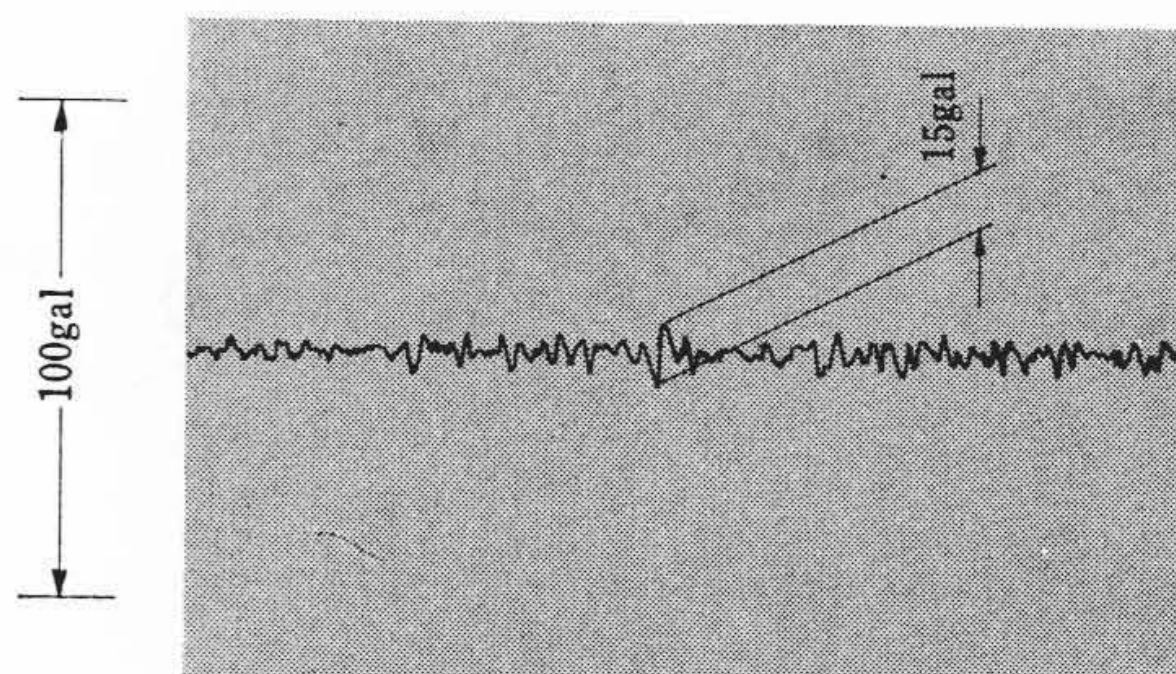


図8 踏み板上面の振動オシログラム

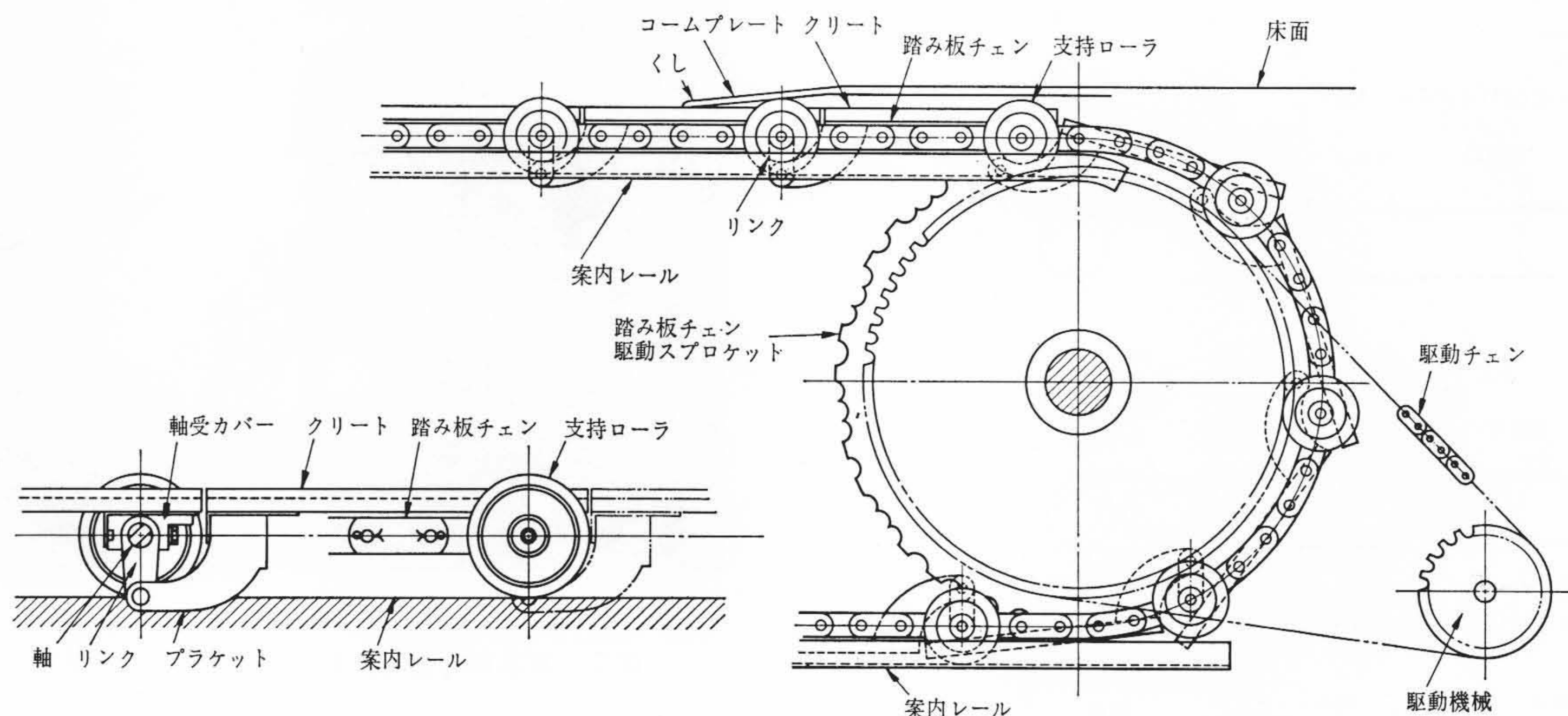


図7 踏板構造と駆動機構

高い。

図7に示すように踏み板の前部はローラ軸に固定されているが、後部は後方へ張り出したブラケットと後続の軸をリンクで結んだ構造で、1ユニット1ローラ方式となっている(実用新案出願中)。このため踏み板は浅い寸法であり、占有面積が小さくてすむ。ローラ軸は等間隔に踏み板チェーンに結合し、この踏み板チェーンを図7に示すように端部でスプロケットにより駆動する。スプロケット上で踏み板チェーンの屈曲による踏み板間隔の変化はリンクの傾きによって吸収する。本方式ではローラのガイドレールによって自由に凹凸曲線が得られるので、CS形オートラインはどんな起伏形状の土地にでも設置できる。また本方式では踏み板が1セットずつ自由に着脱できるので、据付作業および保守作業時の内部点検が容易である。もしあとでオートラインを延長もしくは短縮したいときには踏み板チェーンと踏み板の増減作業によって自由に長さを変更することができる。

4.2 乗りごちと騒音

乗りごちの良否は踏み板面上の振動の大きさによって決まるが、この振動に直接影響するのはローラとガイドレールである。ローラにはゴムタイヤを用いているが、このゴムのバネ常数がきわめて重要である。すなわちゴムが厚いほどまた硬度が低いほどなめらかな乗りごちとなるが、この場合荷重によるゴムの変形が大きくなるので、ゴムの寿命をじゅうぶん検討する必要がある。CS形オートラインではこの点についてエスカレータで長い経験とじゅうぶん実績をもっており、実用最大荷重の2倍以上の安全率をもつローラを使用している。このほか高精度のチェーンによる駆動と、ローラ転動面を入念に仕上げたレールを使用しており、きわめて良好な乗りごちを有している。図8は踏み板上面の上下振動加速度の実測値で、その値は10~15galと非常に小さくなめらかな乗りご

ちを示している。

運転中の騒音については、まず踏み板の走行音は上に述べたゴムローラの緩衝によりきわめて静かである。次に駆動機械の騒音は、高精度のウォーム減速機と特別に設計した低騒音モータにより最小となっている。またターミナルギヤのスプロケットには日立独特のBT-SC₂形無騒音バッファ⁽⁴⁾を取り付け、踏み板チェーンとスプロケットのかみ合いによる騒音を防止している。この結果、オートラインの運転騒音は一般に65dB以下、東京国際空港のように建屋の構造上、特に屋内に反響しやすい場合でも同等以上の成果を得ている。

4.3 所要動力

オートラインの踏み板駆動に要する動力は、踏み板の走行抵抗すなわちゴムローラの転動抵抗の大きさに関係するが、ローラはボールベアリングで支持されているので、その回転抵抗がきわめて小さく、したがってベルト式に比べて動力ははるかに小さい。踏み板の走行経路は図9のようになり、これより踏み板走行に必要な駆動力は次のようになる。

$$F_T = \{ (W + w) (\sin \alpha + \mu \cdot \cos \alpha) + w (\mu' \cdot \cos \alpha - \sin \alpha) \} L \quad \dots \dots \dots (3)$$

ただし、 F_T : 踏み板駆動力すなわち全走行抵抗 (kg)

W : 乗客荷重 (kg/m)

w : 踏み板自重 (kg/m)

μ : 踏み板の乗客が乗ったときの走行抵抗係数

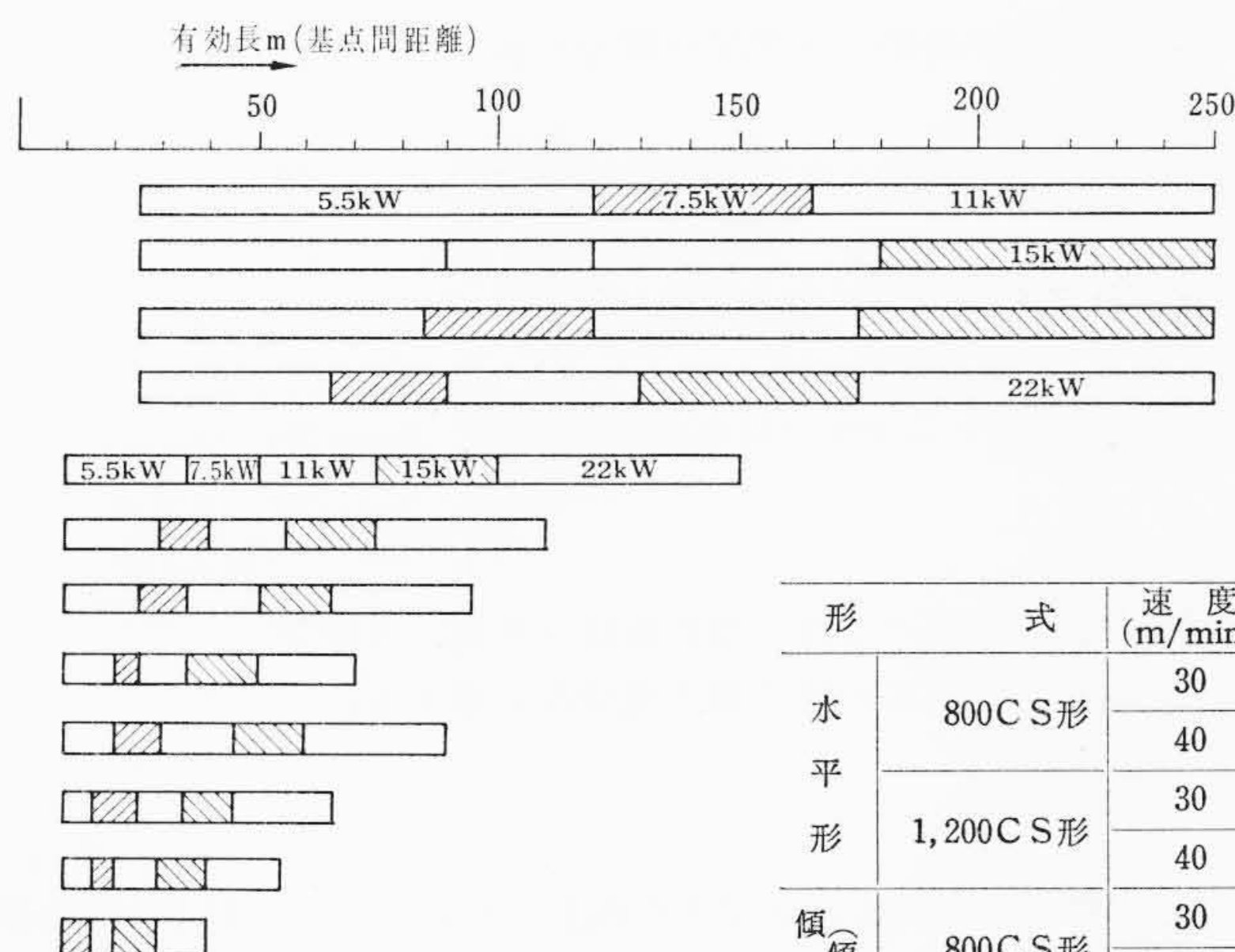
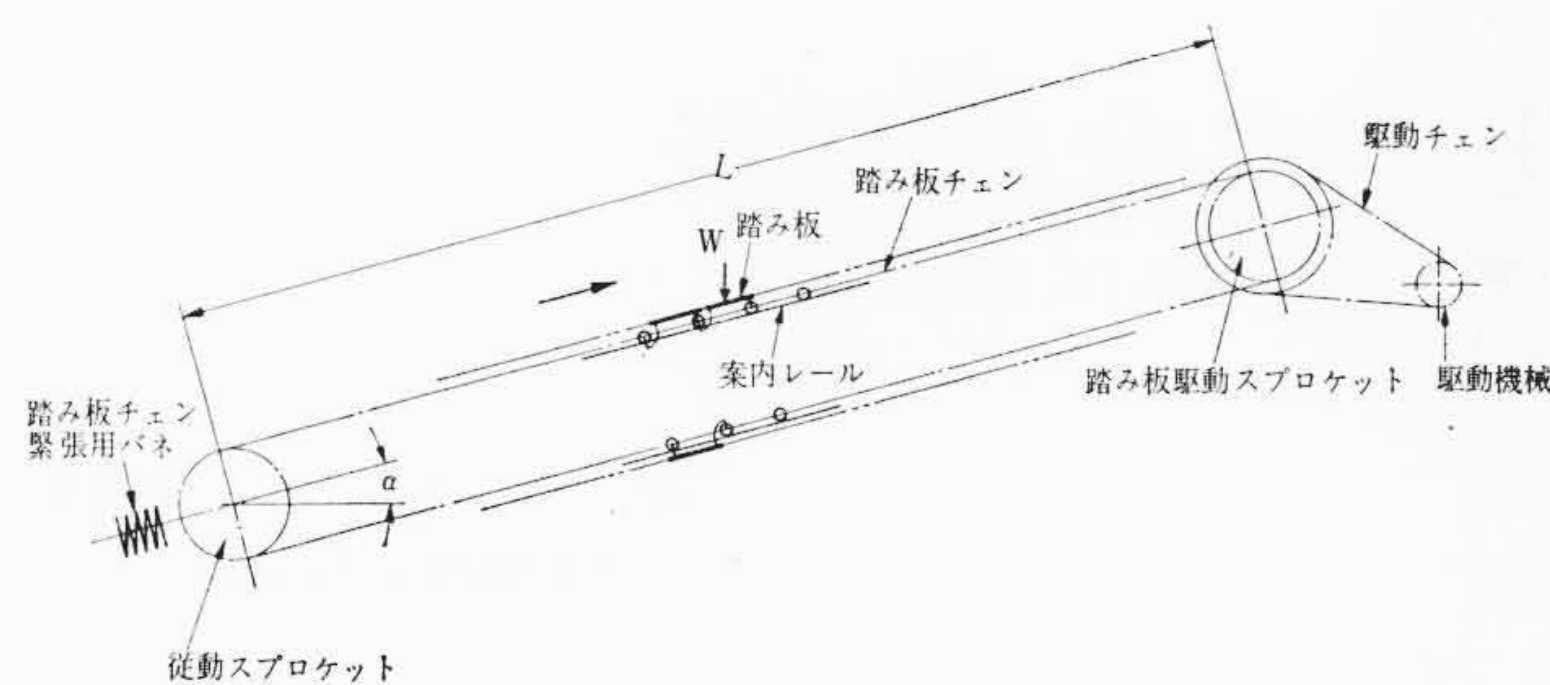
μ' : 踏み板の自重のみのときの走行抵抗係数

L : 有効長さ (m)

α : 傾斜角

したがってこれにハンドレールの全走行抵抗 F_H を加えると、オートラインを運転するのに必要な動力となる。

$$P = (F_T + F_H) V / 102 \times 600 \eta \quad \dots \dots \dots (4)$$



注：基点間距離：傾斜形の傾斜部の長さを示す。

ここに、 P ：所要動力 (kW)
 V ：運転速度 (m/min)
 η ：駆動機械効率

ハンドレールの走行抵抗は、長行程になると無視できない値となり、一般にエスカレータに用いているすべりガイド構造では長行程駆動が困難となるが、CS形オートラインではガイド部分全長にローラを取り付けて著しい抵抗の減少を図っているので、駆動限界長さの延長を可能にしている。

図 10 は μ , μ' , F_H の実測値と (4) 式および (5) 式から求めた CS 形オートラインの有効長さ²⁾と所要動力の関係を示したものである。これをベルト式のもののカタログ値と比較すると、その約 75% の動力で運転できることを示している。この場合、乗客荷重としてはエスカレータの規格に準拠している⁽⁵⁾。動力が小さくてすむことはそれだけ運転費が安くなることになり、この点も CS 形オートラインのすぐれた特長である。

4.4 フレームおよび欄干

オートラインは踏み板が薄い構造でフレーム内の浅い範囲に入るので踏み板面下のフレームは浅くできる。フレームはトラス構造でトラスの上半分は欄干フレームを兼用するようになっており、トラス全体としてはじゅうぶんな高さをもっているのでじゅうぶんな強度と剛性をもっている。

東京国際空港では建屋の支柱が4,000 mm ピッチにあり、これに鉄骨横はりが通っているため、フレームもこの横はりの間にはいる長さのものを製作して両端を建屋の横はりでささえ、つなぎ合わせて

表2 CS形オートラインの特長

性能項目	摘	要
1. 高い安全性	(1) 踏み面のさん(棧)の変形がなく、切除口のくし(櫛)とのかみ合いが確実 (2) 踏み面の蛇行がなく、欄干下端のすきまにはさまれない	くし 踏み板 ベルト 欄干下端 くし板 CS形オートライン ベルト式動く歩道
2. 快適な乗りごこち	(1) エスカレータと同様のなめらかな乗りごこちである (2) 高精度のチェーン駆動により脈動がなく静粛	
3. 起伏形状設置が可能である	(1) 凹曲線部において踏み面の浮き上がりが無い	設置形状例
4. 取付面積が小さく床下掘下げが浅い	(1) 保守、点検に特別な通路を必要としない	
5. 保守点検が容易	(1) 踏み板の部分取りはずしができる	
6. 寿命が長い	(1) チェーン、クリートの強度が大きく破損磨耗がない	
7. 少ない消費動力	(1) ベルト式に比べ25%節約できる	

全体に長いフレームを構成している。また1号機は踏み板の往復走行路が建屋の横りを間にはさんだ形になっているが、建屋の条件に合わせてこのような構造も容易にとれる。

欄干はデッキ、ハンドレールフレームにアルミ成形材、内装板に合成化粧板を使用している。保守作業時には内装板をはがす必要がしばしば生ずるが、全体が長いので中間部にも数箇所取りはずしができる場所を設けている。

以上、日立CS形オートラインの構造と特長について述べたが、これらをまとめると表2のようになる。

5. 結 言

以上、都市交通の重要な手となる動く歩道の展望と、この目的に沿うよう新しく開発したオートラインの構造と特長について述べた。オートラインは都市内の主要交通機関として発展する過程においては、まだ解決しなければならない多くの問題がある。その一つとして屋外設置の場合の耐候性、発錆(しょう)の問題があるが、われわれはこの点についてもすでに検討を加えている。現在、稼動中の万国博納入の屋外式および東京国際空港納入のオートラインはいずれもそのすぐれた性能を実証しており、現在および今後の都市交通の重要な機関としてますます発展していくことを確信する。

参 考 文 献

- (1) 曾根，森岡：新しい都市交通（昭43-10）
- (2) 財団法人 運輸経済センター：動く歩道の都市交通機関への適応性に関する研究調査報告（昭45-3）
- (3) 神，杉本：日立評論 43，883（昭36-7）
- (4) 原，中尾：日立評論 50，852（昭43-9）
- (5) 社団法人：日本エレベータ協会；昇降機法令解説