

製鉄所熱延工場全自動コイル搬送台車システム

Automatic Transportation System for Steel Plant

製鉄所でのコイルヤードの保管・冷却・運搬・管理の形態は、高度の自動化が進む今日でも新技術がなく、人手に頼らざるを得ない作業であり、従来から最大の課題であった。これらの課題を解決し、搬送能力、スペース効率、ランニングコスト、省エネルギーのいずれをとっても優れた画期的なコイル搬送システムを開発し、日本鋼管株式会社京浜製鉄所扇島熱延コイルヤードの合理化に成功した。

本システムは、構内敷地を有効に活用し、効率良く搬送するシステムとして、曲線半径 4.5m の小曲線軌道を自在に走行できる台車、及びこの台車を目的の場所に±50mmの精度で停止させる制御装置、並びに複数の台車を安全かつ効率良く制御する運行管理システムから構成される。

津久井孝史*	Takashi Tsukui
岡部 久郎*	Hisao Okabe
秋 浜 雄 一**	Yûichi Akihama
庄 司 秋 夫**	Akio Shôji
関 幸 一***	Kôichi Seki
今 井 隆****	Takashi Imai
石 田 康*****	Yasushi Ishida
明 石 吉 三*****	Kichizô Akashi

1 緒 言

製鉄所でのコイルヤードの保管・冷却・運搬・管理の形態は、高度の自動化が進む今日でもその適用が難しく、従来から最大の課題であった。日本鋼管株式会社京浜製鉄所扇島熱延工場の新設に際し、生産能力の向上と省力化の観点から完全無人化をねらった画期的なコイル搬送システムを開発した。

本システムは、広域に分散したヤード内の多数の積卸し箇所から各々独立に、しかも高頻度に発生(4,000回/日)する搬送要求に対し、効率良く完全自動でコイルを搬送するものである。そのため、ヤード内の積卸し場所を通る軌道を閉ループで構成し、各ループに台車群を配車して、これら台車群の運行管理を行なうことにより効率良く無人で搬送を行なうものである。

本搬送方式は、規模・レイアウトに見合って最適な軌道ループを敷設できる。搬送能力は配車台数の増減により対処でき、更に台車の故障時などは該当台車を取り除くことにより

システム続行が可能であるため、搬送能力、スペース効率、信頼性、ランニングコストなど、いずれをとっても従来方式に比べシステムの自由度が高く優れた方式といえる。

本論文では、この搬送システムについてのシステム構成、並びに開発のポイントになった特殊台車の構造、原理、性能試験結果及び制御方式について述べる。

2 システム概要

2.1 システムの位置づけ

製鉄所の熱延コイルヤードは、圧延機で巻き取られたコイルを冷却するための冷却ヤード、最終製品を貯蔵し出荷するための成品ヤード及び出荷ヤードから構成される。この広域なヤードの多数分散した積卸し箇所から、圧延計画、出荷計画に従ったコイル搬送要求が各々独立に高頻度に発生する。

本システムは、これら搬送要求を満たし効率良く自動搬送

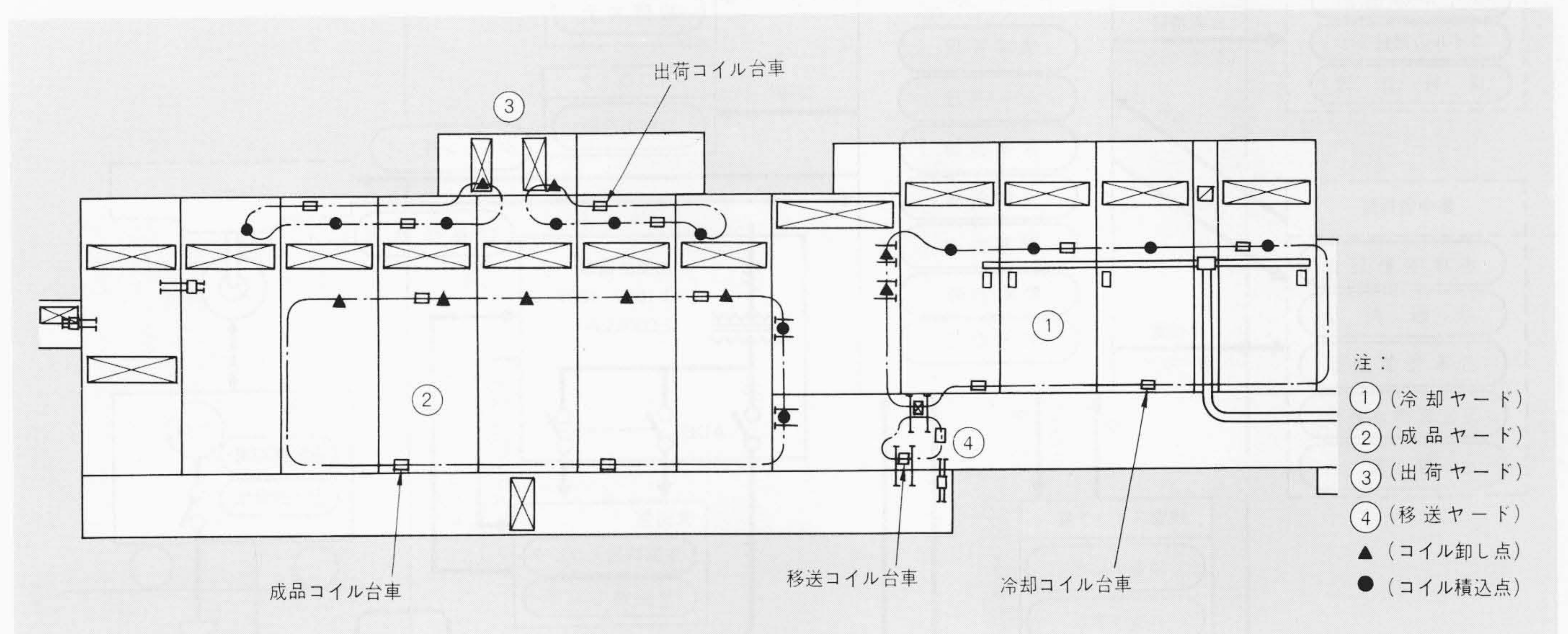


図1 コイルヤードレイアウト 搬送台車用軌道は、五つの閉ループから構成される。

* 日本鋼管株式会社 ** 日立製作所水戸工場 *** 日立製作所日立工場 **** 日立製作所機電事業本部 ***** 日立製作所システム事業部
***** 日立製作所システム開発研究所

するもので、ループ軌道上を走行する台車とヤード内でコイルのハンドリングを行なう自動クレーンとが一体となり、上位計算機とリンケージをとり管理・制御され無人化コイルヤードの機能を満たすものである。

コイルヤードのレイアウト及び搬送ルートを図1に、またシステム全体構成と本システムの位置づけを図2に示す。

2.2 機能概要

図3に本システムの制御ブロックを示す。運行制御装置と台車間の信号伝送用として設けた信号用トロリ線は、台車の軌道に沿って複数のセクションに区切られている。本運行制御装置は、セクション位置信号取込みにより台車追跡を行なうとともに、該当するセクションに速度信号を与えることにより効率的な台車走行制御を行なう。更に、台車をコイルの積卸し場所で停止させる場合、クレーンとのコイル受渡し上、許容された精度範囲で停止させるため定位置停止制御を行なうとともに、あらゆる異常を監視し、異常の早期発見と異常の波及を防止している。

2.3 システム開発の着眼点

広域なヤードの多数分散した積卸し箇所から発生する搬送要求に対し、効率良い搬送方式を計画するに当たり、次に述べるような点に留意しながらシステムの開発を行なった。

(1) スペース効率の向上

スペース効率と搬送頻度を考慮し、搬送ルートは、複数積卸し点を通るユニークな閉ループ軌道で構成する。具体的には、建屋内のデッドスペースを利用した閉ループ軌道を、規模に応じて最適となるよう敷設する。

(2) 搬送能力の向上

搬送能力を上げるため、閉ループ軌道内に複数の台車群を配車し、これら台車群の運行管理を行なうことにより能力向上を図る。本方式は、特定箇所の荷役作業で一時的に停滞しても、他の地点での台車の運行が可能であるため、荷役効率とシステムの自由度が高い搬送方式とする。

(3) 拡張性

搬送能力の増減は、配車台数の増減及び運行管理方式に

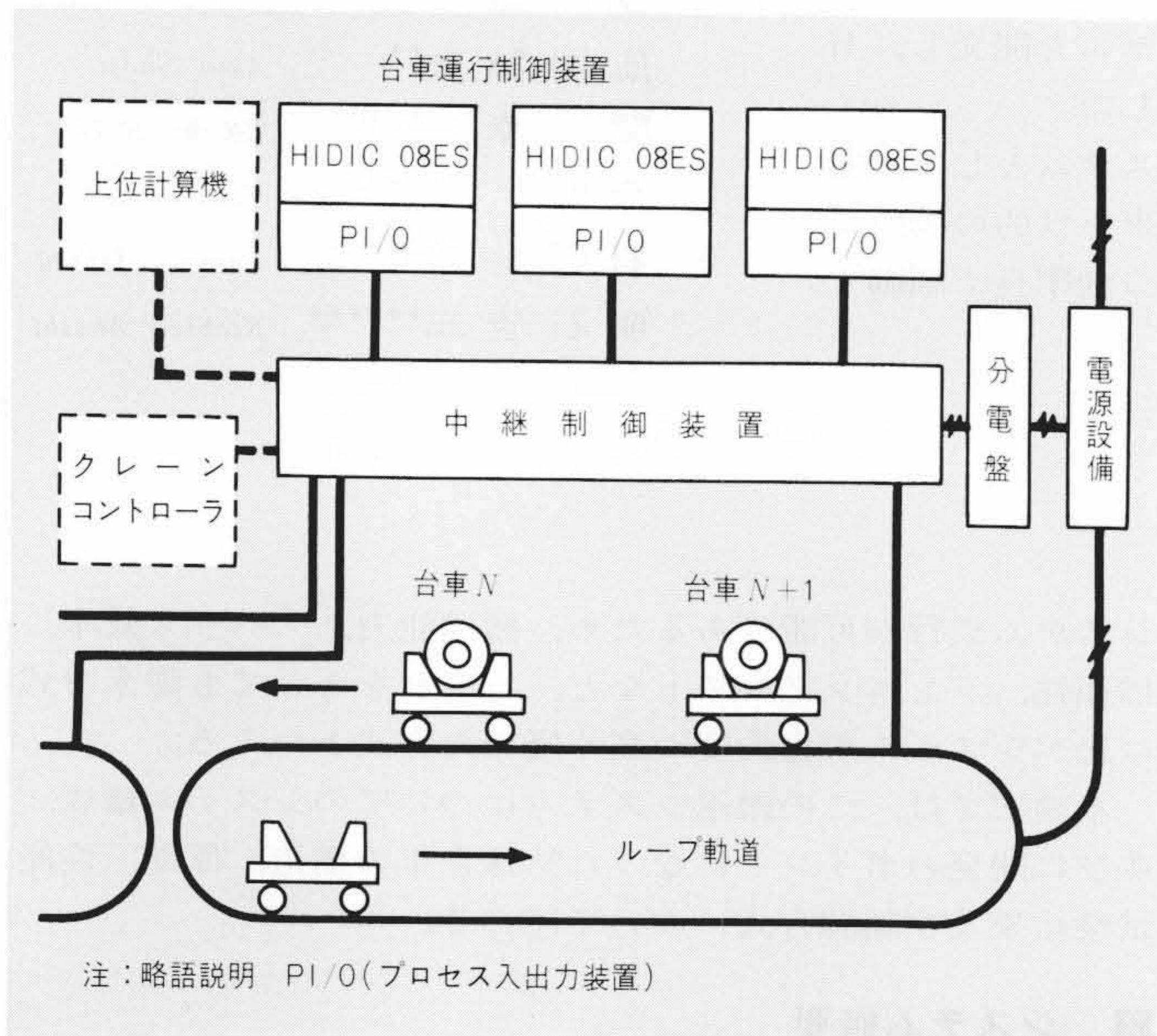


図2 全体システム構成図 台車及び地上制御装置主要機器の構成を示す。

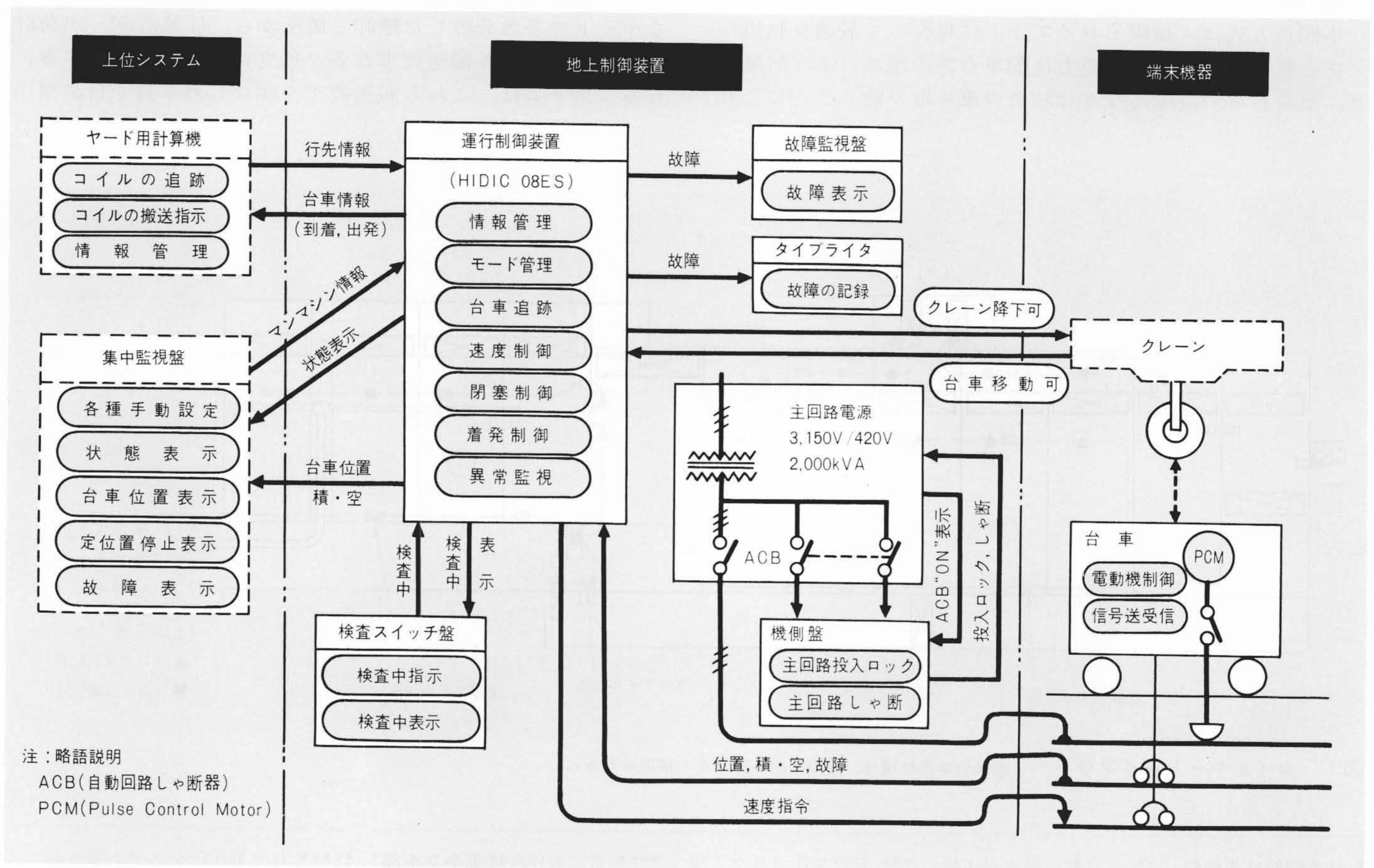


図3 制御ブロック図 上位システム、地上制御装置、端末である台車との間の信号の流れ、及び制御機能を表わしたブロック図を示す。

より対処可能とし、将来の積卸し点の追加に対して拡張性のあるシステムとする。

(4) 信頼性及び安全性

本システムは24時間連続無人運転が前提であり、信頼性及び安全性を最重点に機器の開発、ソフトウェアの設計を行なった。具体的な項目としては、台車故障時の該当台車取除きによるシステム続行、衝突防止のハードウェアとソフトウェアによる二重化、異常監視と異常検知によるモード切替、クレーンとのタイミング規制によるコイル落下、台車とクレーンとの衝突防止などが挙げられる。

3 小曲線軌道通過台車

ヤード内の限られたスペースを有効に利用するため、小曲線¹⁾(曲線半径4.5m)を含む閉ループ軌道をなんら不自由なく通過できる台車を開発した。

台車が小曲線軌道を通過する場合には、軌道に与える横圧、脱線、曲線抵抗、車輪フランジの摩耗などが問題となる²⁾。これらの問題点について、従来の二軸台車方式と今回開発した中央案内一軸台車方式を、理論計算と $\frac{1}{4}$ モデルにより性能を比較検討した。その検討結果、及び実測結果を表1、図4に

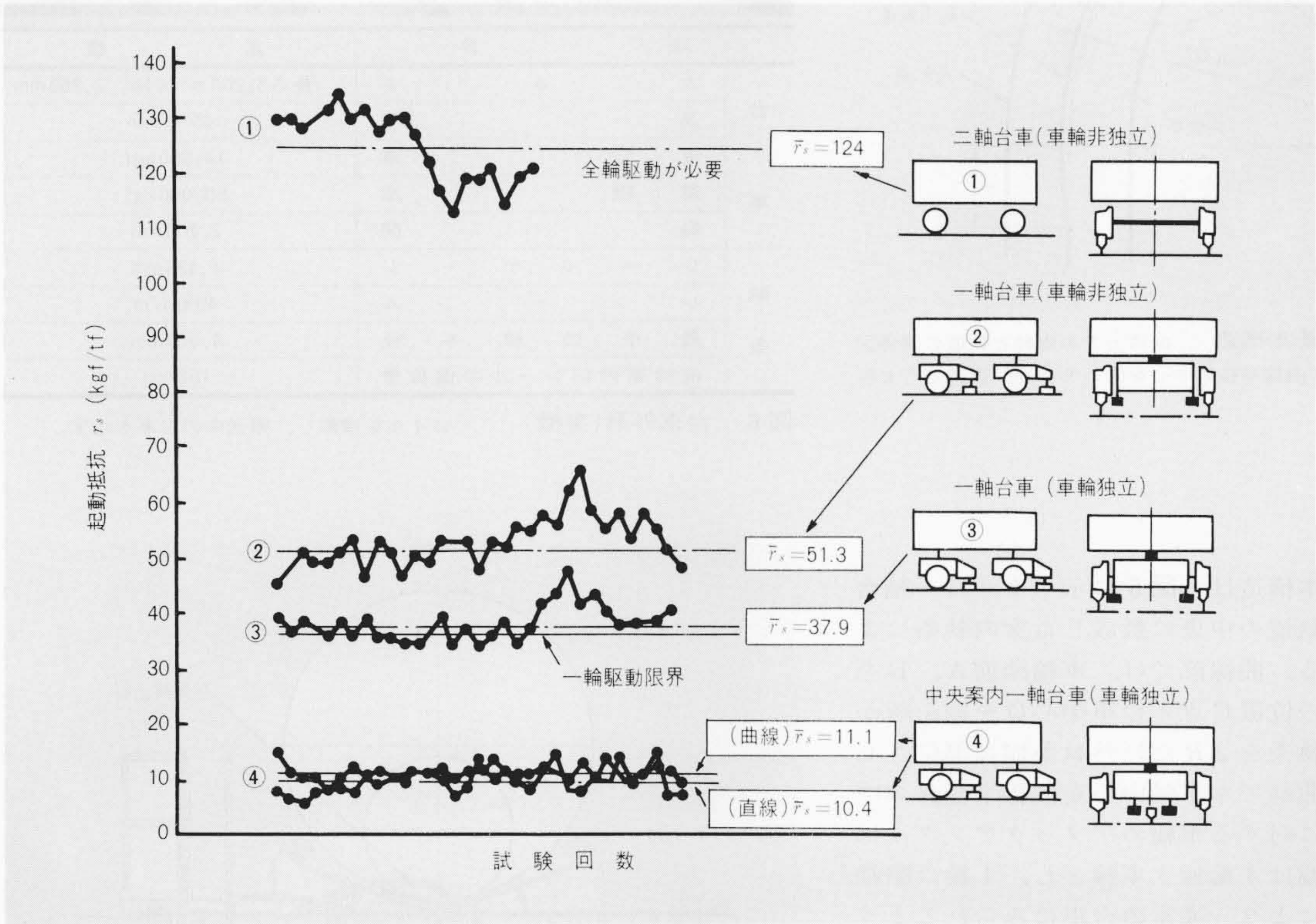


図4 $\frac{1}{4}$ モデルによる起動抵抗(曲線半径部4.5m)
曲線半径部 4.5m での起動抵抗
実測値であり、二軸台車に比
べて中央案内一軸台車は約1/5とな
っている。

表1 各種台車方式の比較 各種台車方式の曲線通過性能を比較したもので、中央案内一軸台車方式の曲線通過性能が良いことが分かる。

項目	方式	中央案内一軸台車方式	二軸ボギー方式	二軸車方式	一般の鉄道車両
曲線通過性	曲線通過半径	4.5m	4.5m	4.5m	100m
	アタックアングル	敷設エラー9mmとして±0.43°	4.13°	13.7°	0.45°
	車輪の横滑り	なし	あり	あり	あり
	フランジ横圧	1,575kgf	9,660kgf	7,603kgf	3,000~4,000kgf
	脱線係数	$\frac{1,575}{12,500} = 0.13$	$\frac{9,660}{6,250} = 1.54$	$\frac{7,603}{12,500} = 0.61$	0.48~0.64
	フランジ摩耗指数	0.09×10^{-4}	3.99×10^{-4}	10.4×10^{-4}	$0.135 \sim 0.18 \times 10^{-4}$
	曲線部起動抵抗	9.7kgf/tf *	70kgf/tf	121kgf/tf	14.3kgf/tf

注：*印は、実測値

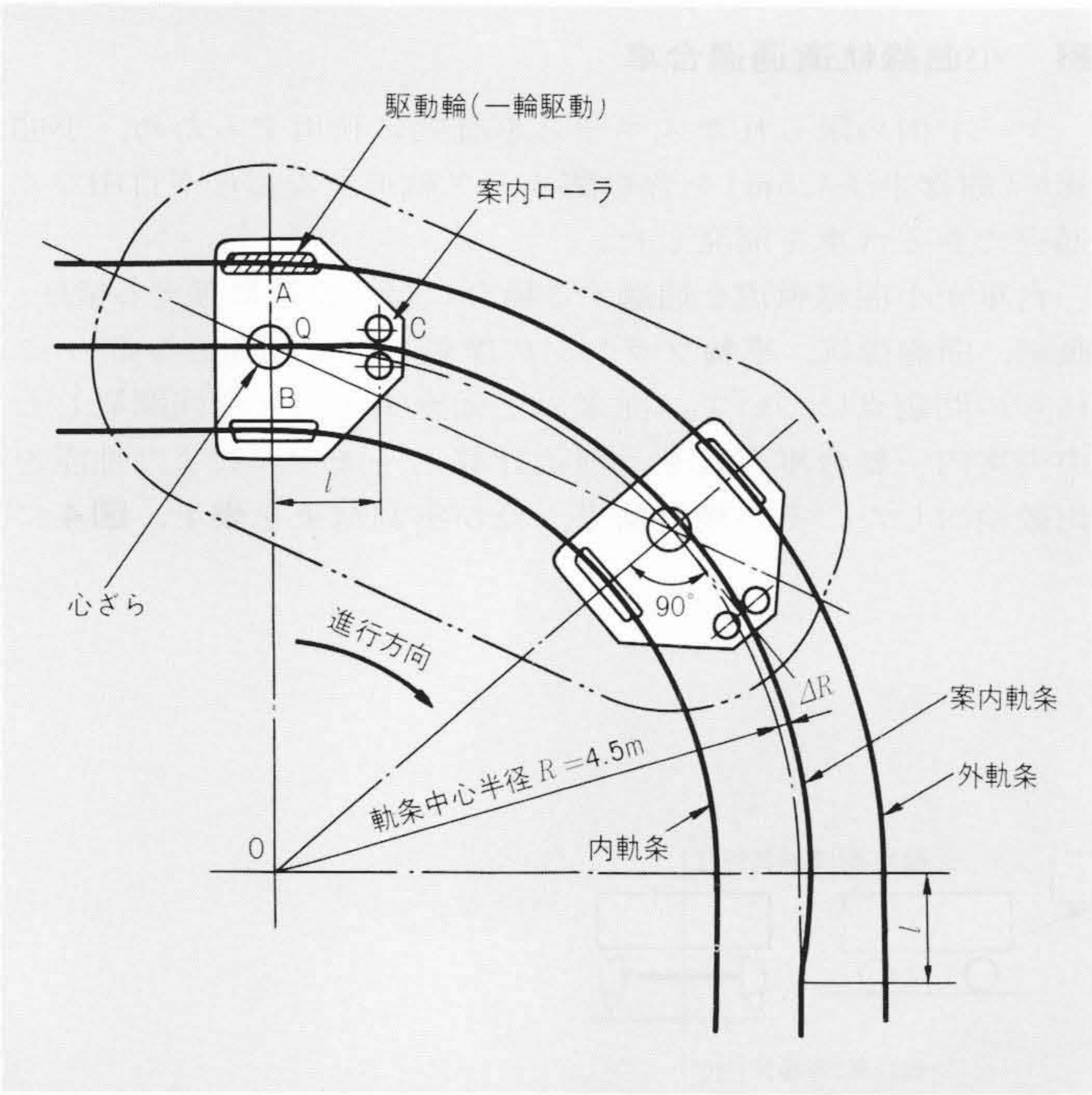


図5 中央案内一軸台車の基本構造 曲線上での車軸と軌道の関係図を示すもので、車軸の中心は常に曲線半径の中心を向いており、直線走行と同じ結果になることが分かる。

示す。

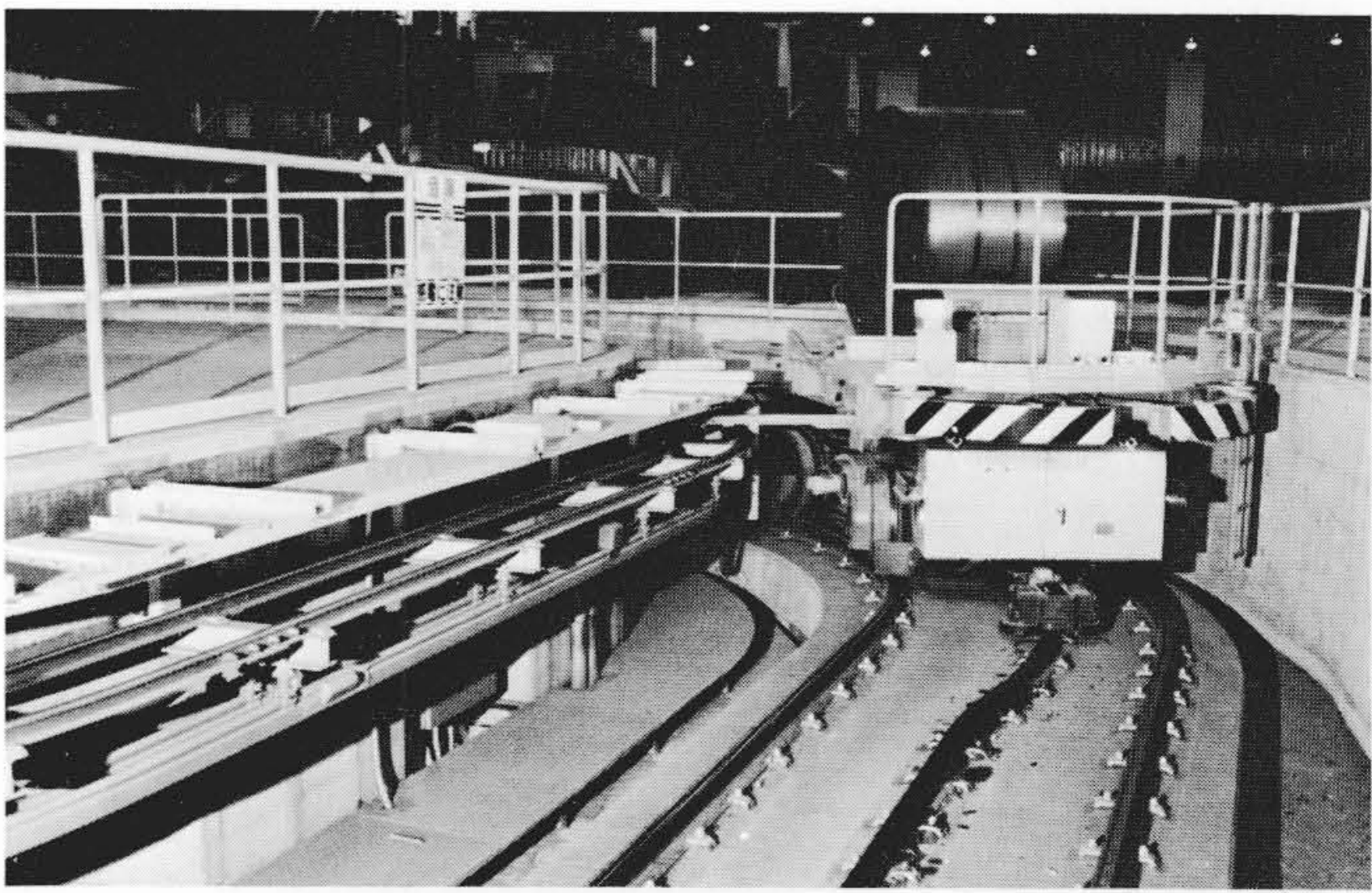
中央案内一軸台車の基本構造は、図5に示すように一軸台車に案内ローラを設け、軌道の中央に敷設した案内軌条によって操舵されるものである。曲線部では、車輪踏面A、Bを結ぶ軸心と、案内ローラの位置C点と台車中心Qを結ぶ線が直角になるように、案内軌条をΔRだけ外軌条側に偏位させて敷設する。その結果、曲線でも車軸中心が曲線半径Rの中心点Oを通るため、軌条に対する車輪のアタックアングルはほぼ零となる。また、車輪は4輪独立車輪とし、1輪は駆動輪、他は従輪とすることにより、通常の台車にみられるような曲線部での内外輪の回転差による滑りが理論上全くない構造とした。台車外形、仕様を図6、7に、走行抵抗ほかの実測値を表2にそれぞれ示す。本台車の開発により、小曲線通過に対しても直線通過とほぼ同一の走行性能で通過できるため、閉ループ軌道を複数の積卸し点を通る自由な搬送ルートで結び、システム規模に見合った最適な搬送路の構成が可能となった。

4 台車運行管理

各グループでの台車の運行は、待機ゾーンにある空台車（作業済みの台車）に対し、コイルの搬送要求により先頭から順

表2 起動抵抗、走行抵抗測定結果 台車(実機)により測定したもので、モデルによる実験とあまり変わらないことが分かる。

	起動抵抗 (kgf/tf)		走行抵抗 (kgf/tf)	
	直線区間	曲線区間	直線区間	曲線区間
設計値	9	—	6	7
モデル実験	10.4	11.1	6.7	7.9
実機試験	8.0	9.7	3.4~3.7	6.5



項	目	実	機
台	大	き	長さ 5,200mm × 幅 2,250mm
	速	度	100m/min
車	重	空	14,000 kgf
	量	積	50,000 kgf
軌	軸	間	2,200mm
	レ	ール	ゲージ 1,435mm
条	レ	ール	40kgf/m
	最	小	曲線半径 4,500mm
	曲線案内	内部レールの偏位量	158mm

図6 台車外形(実機) コイルを積載し、搬送中の台車を示す。

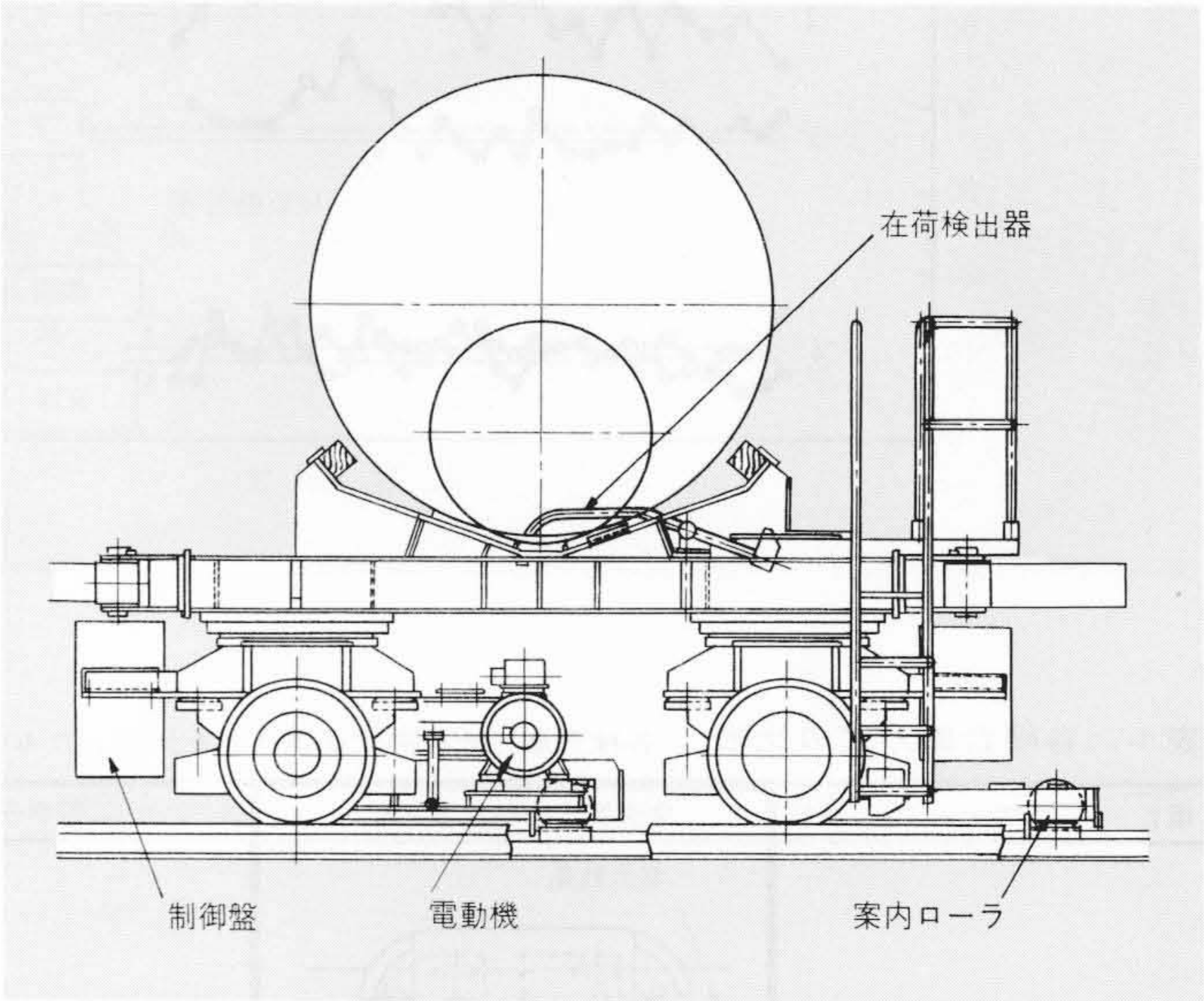


図7 コイル搬送台車の全体図 電動自走中央案内一軸ボギー方式台車の外形図を示す。

次出発させ、原則として荷積み点から荷卸し点までコイルを搬送し、再び空台車として待機ゾーンにもどるのを基本パターンとしている。本基本パターンのほか、半自動又は手動運転による変則的運行やシステム故障時のバックアップ運転が行なえるよう配慮した。台車運行の基本パターンを図8に示す。

台車運行制御装置は、上位システムから受けるOD(Origin & Destination) 情報を基に、該当台車の出発条件をチェックし、O点(一般には荷積み点)に向け出発、定位置停止させる。定位置停止完了検知後、クレーンに移載作業条件を与え、積荷信号とクレーン退避信号の検知により出発条件をチェックしてD点(一般には荷卸し点)に向け出発させる。

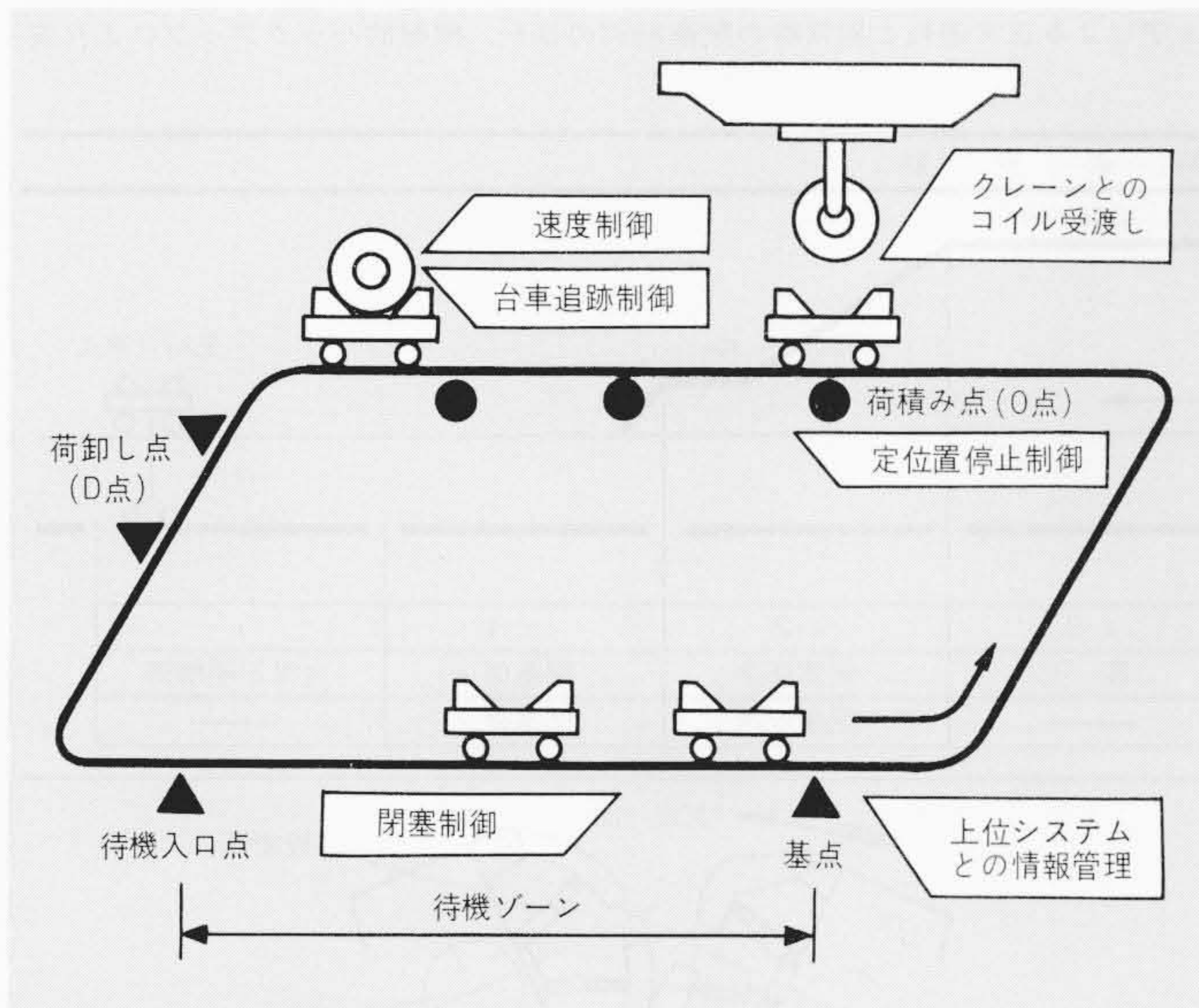


図8 台車運行の基本パターン ループ状軌道を、上位システムからの指令により先頭台車から順次出発させ、荷積み点から荷卸し点まで搬送し、再び空台車として待機ゾーンにもどる。

更に本運行管理には、尖頭電力を制限し電源設備容量を低減させ、安全性と輸送効率向上をねらった運転方式を開発し組み込んだ。

4.1 台車追跡

ループ内を移動する台車位置情報を、位置信号のセクションに1対1に対応した位置検知リレーの動作信号として取り込み、台車ごとに設けた台車追跡テーブル内の台車位置を移動させることにより、台車の追跡を行なう。

4.2 速度指令

台車への速度指令は、地上の台車運行制御装置から2本(積卸し点では後進低速のため3本)の信号用セクショントリに速度レベルを与えることにより制御される。指令の内容は次の4信号である。

- (1) 前進高速指令(100m/min又は60m/min)
- (2) 前進低速指令(5m/min)
- (3) 後進低速指令
- (4) 停止

セクションの速度レベルは、走行する台車の前方 n セクションまでは高速、 $n+1$ セクション目を低速レベルとし、順次プリセットする方式とした。また、台車は積み荷の有無にかかわらず一定の加減速となるよう制御するとともに、台車運行の円滑化を目的として、台車の出発タイミングを前方台車との間隔により調整し、スムーズな運行が行なえるようにした。

4.3 定位置停止制御

コイルの積卸し点に、台車を $\pm 50\text{mm}$ 以内に定位置停止させる機能である。定位置停止させるセクション(n)に停止指令、($n-1$)に低速指令を与える。定位置停止の確認は、定位置セクションに台車が到着して一定時間後の位置検知入力パターンが“0110”であることによる。定位置停止に失敗した場合は、インチング運転により自動位置合せ制御を行なう。図9に定位置制御の原理を示す。

4.4 閉塞制御

閉ループ状の軌道に複数台の台車を運行させるため、衝突防止については表3に示すように、ソフトウェアとハードウェアの両方で閉塞制御を行ない、その信頼性を高めるよう配

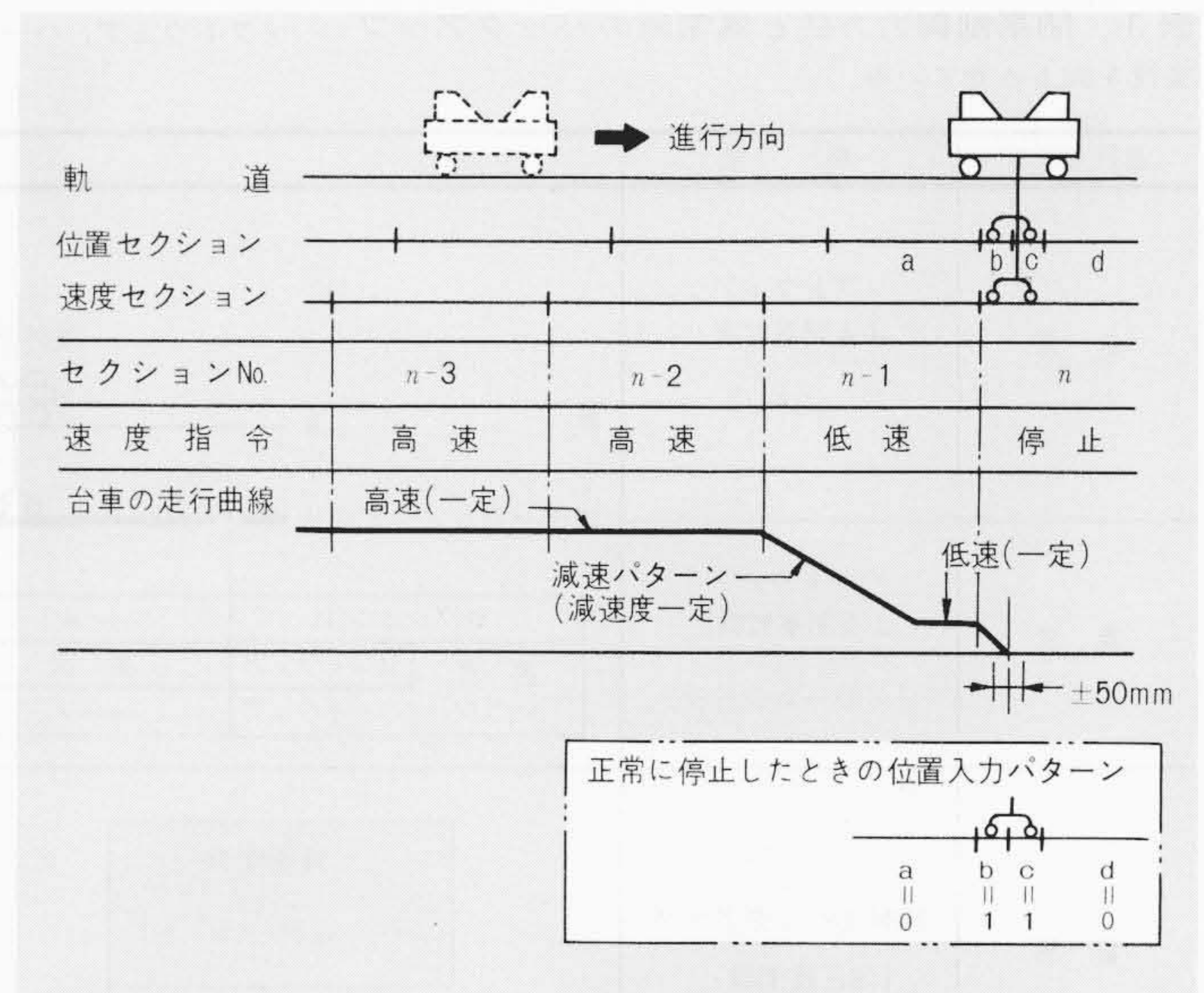


図9 定位置停止制御の原理 位置セクションと速度セクションは、互いにずらせて敷設される。

慮した。

ソフトウェアによる閉塞制御は、台車“A”がセクション(n)に存在する場合、後続のセクション($n-1$)を「閉塞停止」に、セクション($n-2$)を「閉塞低速」に制限する。また、ハードウェアによる閉塞制御は、位置検知リレーにより後続セクション($n-1$)の速度指令を強制的にカットするため、台車Aがセクションの後続セクションは常に速度指令が停止信号レベルとなり、閉塞停止を1セクション確保している。また、位置検知リレーの溶着などの最悪ケースを考慮して、直線、曲線を問わず全速で台車が衝突しても脱線防止はもちろん、車上機器にも支障をきたさぬように、衝撃力を緩和吸収する特殊な油圧緩衝機構を台車の前後に備え、安全性を高めた。

4.5 異常検知

無人運転を行なうシステムにとって、異常の早期検知と適切な処理は、システムの稼働率向上につながる。本システムでは、検知した異常の大きさにより、重故障と軽故障に分けて異常処理を行なっている。

(1) 重故障

故障表示及び警報吹鳴を行なうとともに、該当ループの全台車を停止させる。

(2) 軽故障

故障表示及び警報吹鳴は行なうが、ループの運転は継続させる。

5 評価シミュレータの開発

本システムの搬送能力は、クレーンのサイクルタイム、搬送路ループ構成、台車走行特性、台車数及び運行制御の方式により決定される。本シミュレータは、本閉ループ軌道による搬送方式計画に当たり、最適な設備と運用方式を評価するように開発したものであり、各種パラメータ変更に対し、次に述べるような出力が得られる。

- (1) 台車の運行実績(X-Yプロッタ)及び統計
- (2) 積卸し場所の使用状況及び待ち状況
- (3) 給電設備容量

本シミュレータの概要を図10に示す。

表3 閉塞制御方式と異常時のバックアップ ソフトウェア、ハードウェアによる正常運転と異常時の閉塞制御のほか、機械的バックアップにより安全性を向上させている。

運行モード	方 式	制 御 内 容																														
正 常	ソフトウェアによる閉塞制御 (CPU)																															
異 常	ハードウェアによる閉塞制御 (リレーロジック)	<table><tr><td colspan="2">速度セクショントリ</td><td colspan="5"></td></tr><tr><td colspan="2">速度レベル</td><td>ソフトウェア</td><td>ハードウェア</td><td>高速</td><td>高速</td><td>閉塞低速</td><td>閉塞低速</td><td>閉塞停止</td><td>閉塞停止</td><td>台車不明検知</td></tr><tr><td colspan="2"></td><td></td><td></td><td>——</td><td>——</td><td>——</td><td>——</td><td>——</td><td>——</td><td>——</td></tr></table>		速度セクショントリ							速度レベル		ソフトウェア	ハードウェア	高速	高速	閉塞低速	閉塞低速	閉塞停止	閉塞停止	台車不明検知					——	——	——	——	——	——	——
速度セクショントリ																																
速度レベル		ソフトウェア	ハードウェア	高速	高速	閉塞低速	閉塞低速	閉塞停止	閉塞停止	台車不明検知																						
				——	——	——	——	——	——	——																						
最 悪	機械的バックアップ (油圧緩衝器)	緩衝能力 3.8tf・m																														

注：略語説明 CPU(中央処理装置)

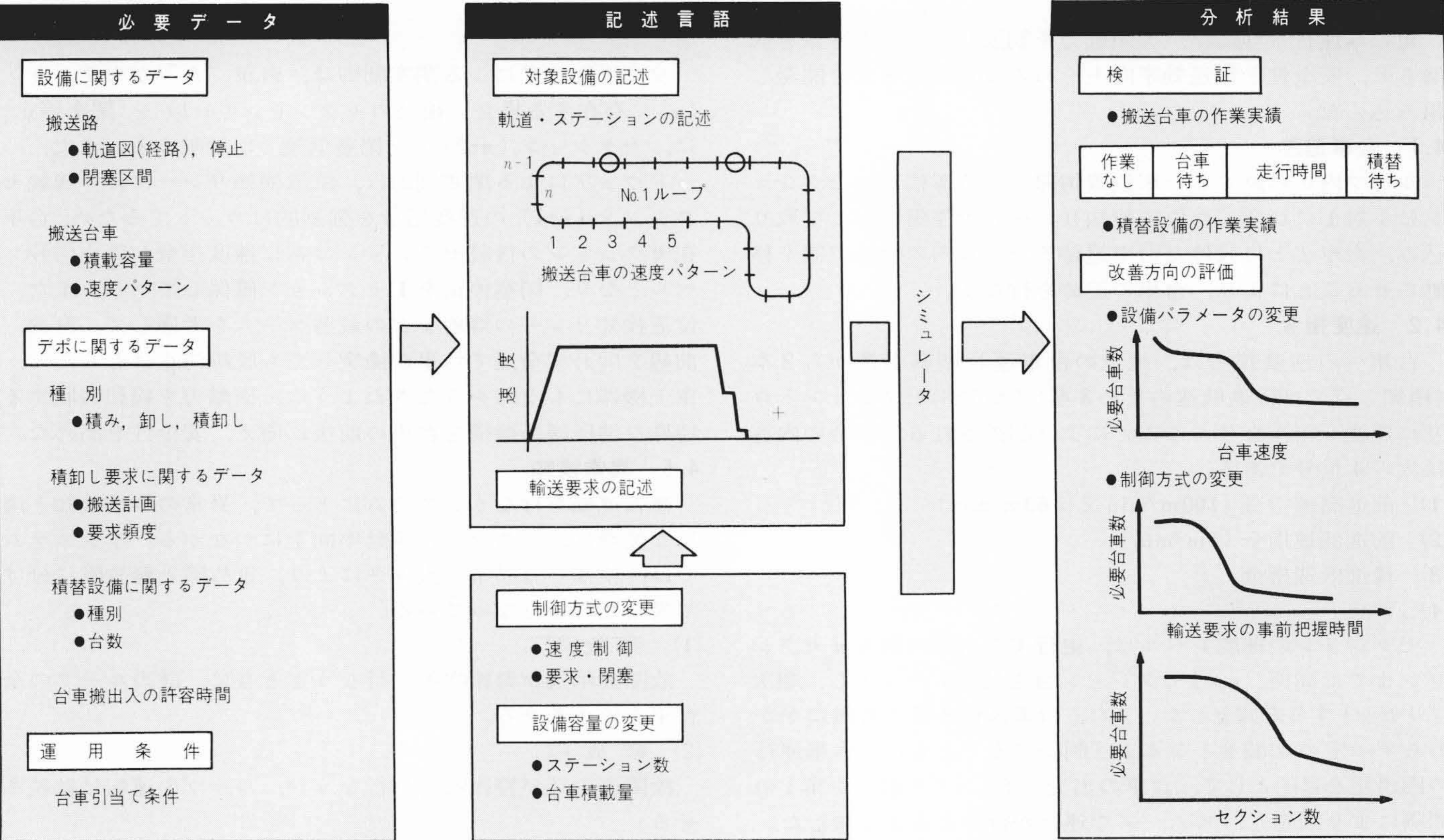


図10 シミュレータの入出力項目の概要 入力パラメータに記述でき、出力はプロットに出力される。

6 結 言

小曲線軌道(曲線半径4.5m)を自在に走行できる台車の開発、閉ループ軌道による極めて自由度が高くスペース効率の良いユニークな搬送路の確立、及びループ内に配車された台車群の効率的な運行管理方式の開発により、従来の搬送方式に比べ信頼性、拡張性、スペース効率、搬送能力、ランニングコストのいずれをとっても自由度が高く、優れた搬送システムを実現させた。本システムの実用化により、省力化はも

とより、生産性の向上とともに大きな課題となっていた生産ラインに直結した搬送作業の自動化が可能となった。今後、製鉄所のヤードだけでなく、各種製造業で類似システムの適用、拡大が期待される。

終わりに、本システムの開発に当たり御協力をいただいた関係各位に対し、深く感謝の意を表わす次第である。

参考文献

1) 中央労働災害防止協会：「安全」，30，2，67～69 (1979-2)
2) 大塚，外：「鉄道車両」，日刊工業新聞 (昭32)