

リニアモータ方式L₄形貨車加減速装置

Type L₄ Linear Motor System Wagon Booster-retarder

武井 謙 二* 秋浜 雄 一* 高山 雅 幸*
Kenji Takei Yûichi Akihamas Masayuki Takayama

高橋 宏** 安藤 正 博***
Hiroshi Takahashi Masahiro Andô

要 旨

リニアモータを応用した新しいヤード機器であるL₄形貨車加減速装置を開発中であつたが、今回、実用化試験を目的とした装置が完成し、日本国有鉄道富山操車場で実負荷、実作業による長期テストが行なわれることになり、目下テスト続行中である。

ここではこのL₄形貨車加減速装置の機能、性能、構造および制御方式について述べる。

1. 緒 言

最近の物資輸送量の増大に対処するため、貨物輸送の合理化、近代化が進められているが、貨物輸送の重要拠点である操車場(ヤード)の合理化も重要課題として取り上げられている。

ヤードの合理化方式としては種々の方式が提案されており、空気式リターダを用いたターゲットシューティング方式が郡山ヤード⁽¹⁾に採用され、またダウティ方式と称する油圧ユニットを用いた方式が高崎ヤードに採用されている状況である。日立製作所では新しい方式のリニアモータを応用したヤード機器を日本国有鉄道のご指導のもとに開発中であり、L₂形貨車突放装置とL₄形貨車加減速装置を製作した。L₂形貨車突放装置は昭和42年3月に鉄道技術研究所へ納入したが、これは大容量のリニアモータを応用した製品として各方面から注目を浴びた。

今回開発したL₄形貨車加減速装置(以下、L₄カーと記す)はハンプから散転されて来た貨車を仕分線内で捕捉(ほそく)し、所定の距離だけ走行し安全連結速度で停留中の貨車に順次連結させていく装置で移動形、線制御ができるカーブスタ・リターダである。このL₄カーはリニアモータを使用し、高加速、高減速で起動、停止する完全自動運転装置で、加減速ができるものとしては世界最初のものである。制御方式をはじめ装置の機構、構造など全く新しく開発したものが多く、国産のヤード機器としても初めてのものである。

L₄カーは詳細な計画に基づき研究、開発中で現在2号機までが完成し、富山ヤードに納入され実負荷、実作業によって性能テスト、耐久テストを実施中である。ここではL₄カーの性能、構造および制御方式についての概要を述べる。

2. L₄装置によるヤード自動化システム

L₄カーを主力機器としたヤード自動化システム構成は図1に示すとおりである。

おもな構成機器としては固定式の主リターダ、調整リターダ、ポイント転換装置、軸重測定装置、車軸検知器、風向風速計およびL₄カーである。コンピュータ1は分解作業の制御をつかさどる制御用コンピュータで、コンピュータ2は分解表の作成、貨車情報処理などの事務用コンピュータである。

L₄カーは各仕分線に1両ずつ設けられており、散転されて来た貨車を捕捉し、所定の距離を走行し安全連結速度で突放する機能を有している。したがって主リターダと調整リターダの制御はL₄カー

が捕捉可能な2 km/h から12 km/h 以内の速度に制御すれば良いので、ターゲットシューティング方式に比較して簡単な速度制御で良い。

本自動化方式の特長は次のとおりである。

- (1) 乗込制動員が不要となり大幅な要員の削減ができる。
- (2) 貨車の加速、減速の制御ができる。
- (3) ターゲットシューティング方式では仕分線のこう配が変動した場合、制御を修正しなければならないが、本方式では修正の要がない。
- (4) 風向、風速、貨車形式、荷重などで影響を受ける走行抵抗に関係なく安全連結速度で貨車を連結できる。途中停止などの分解能率の低下がない。
- (5) ハンプヤードでも平面ヤードでも本方式は使用できる。

3. L₄カーの概要

L₄カーは図2に示すように貨車の下を通過するため、高さと幅に制限があり、コンパクトでかつ大きな加減速力を要求される装置である。したがってL₄カーの駆動方式には非粘着駆動のリニアモータ方式を採用しており、本体重量は小形軽量ではあるが大きな加減速力を出しうることが大きな特徴である。

L₄カーの構成は貨車の車輪を捕捉するプッシャーカーと捕捉した貨車速度を制御するコントロールカー、ならびに動力車としてリニアモータを取り付けたモータカー、この3両で1編成となっている。

図3はL₄カーの編成図を、表1は主要仕様を示したものである。

3.1 プッシャーカー

プッシャーカーの主要機能は図4に示すように前後2組のプッシャーローラの間に貨車の車輪をはさみ減速時には前側のプッシャーローラ(1)で、加速時には後側のプッシャーローラ(2)によって貨車速度を制御することである。プッシャーローラは貨車の進入検知指令により軌条の側面に突き出し、貨車車輪のフランジ部を捕捉する構造となっている。進入してきた貨車を捕捉する場合L₄カーと貨車との相対速度は常用7 km/h 以下に制御されるが、打当時に大きな衝撃荷重を生ずる。この衝撃荷重の水平方向分力は油圧緩衝器により吸収し、鉛直方向分力はフレームに作用させることなく、直接プッシャ本体に取り付けた車輪を介し走行路に伝える構造としてある⁽³⁾。

3.2 コントロールカー

コントロールカーは捕捉した貨車を制御し、停止している貨車に安全連結速度で連結してやるために必要な制御装置をすべてとう載しており、車上のプログラム制御により自動運転を行なっている。車上の自動運転制御箱にはリニアモータの主回路用の電磁接触器な

* 日立製作所水戸工場
** 日立製作所日立工場
*** 日立製作所交通事業部

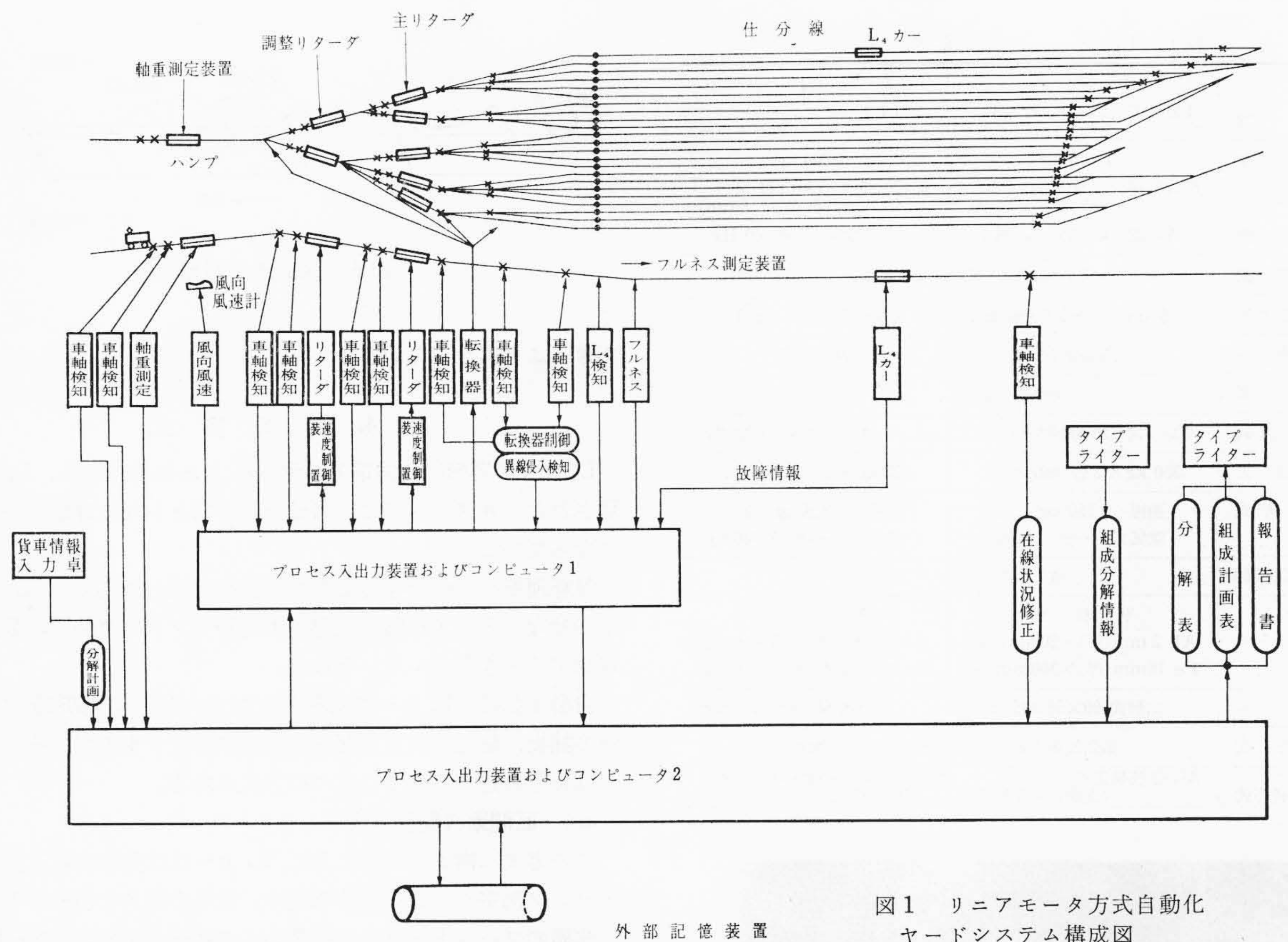
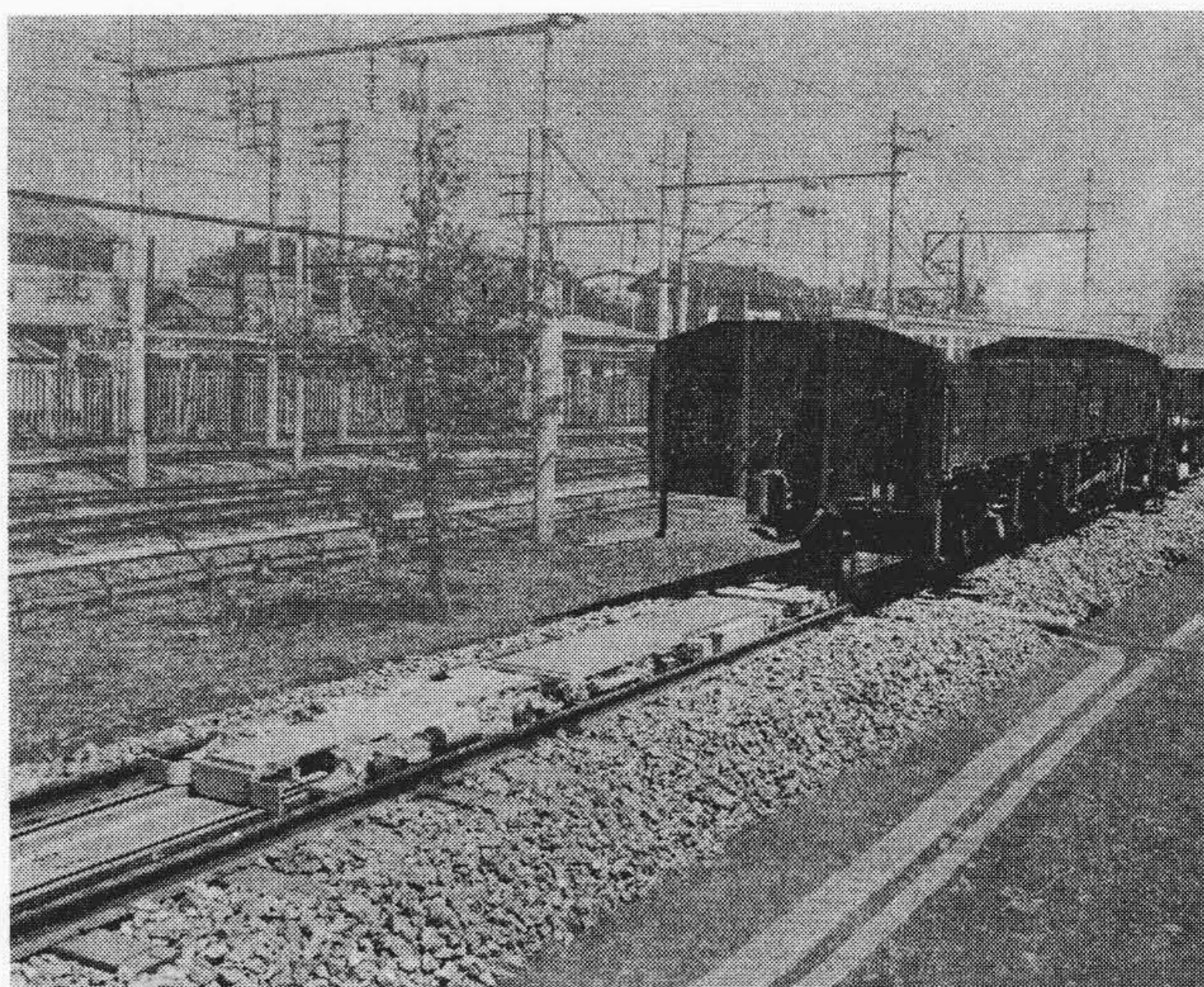


図1 リニアモータ方式自動化ヤードシステム構成図



← 図2 L₄カー 外観

↓ 図3 L₄カー 編成図

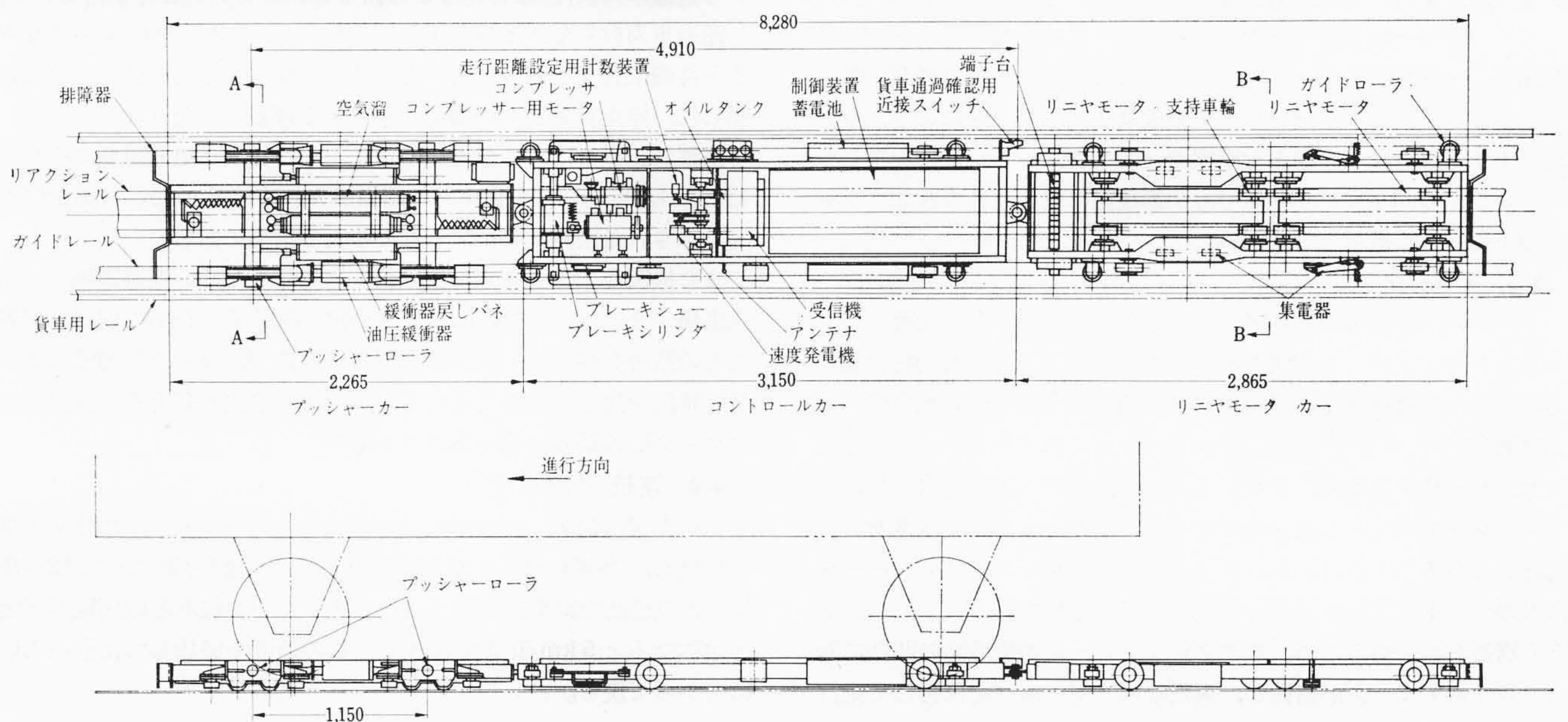


表1 L₄カーの主要仕様

	1号L ₄ カー	2号L ₄ カー
編成	1M2T (プッシャーカー+コントロールカー+モーターカー)	1M1T (プッシャーカー+モーターカー)
編成重量	1,800 kg	2,000 kg
編成長さ	8,280(長さ)×935(幅)×196(高さ) (mm)	8,470(長さ)×940(幅)×196(高さ) (mm)
電源	AC220 V 3φ 50 Hz	AC220 V 3φ 60 Hz
運転方式	ブロックレス自動運転方式および無線方式による遠隔操作	
貨車転走速度	5 km/h ±1.5 km/h	6 km/h ±1 km/h
同期速度	25 km/h	30 km/h
速度制御	ON OFF 制御	
貨車捕捉方式	リレー式 (加速時間一定方式)	リレー式 (加速時間可変方式)
起動推力	350 kg×2台 (slip=1)	325 kg×2台 (slip=1)
ブレーキ方式	逆相 350 kg×2台 空気ブレーキ 590 kg	逆相 315 kg×2台 空気ブレーキ 1,180 kg
プッシャー開閉制御	電 磁 空 気 式	
リアクションレール	平板式 Al 2mm(厚)×200mm(幅) Fe 16mm(厚)×300mm(幅)	平板式 Al 3mm(厚)×235mm(幅) Fe 16mm(厚)×235mm(幅)
ガイドレール	山形式 90×65×16(mm)	山形式 90×65×13(mm)
集電方式	第3軌条方式 (一相はガイドレール共用)	
トロリバー支持方式	がい子支持方式 (上面しゅう動形)	がい子レス絶縁トロリダクト方式 (側面しゅう動形)

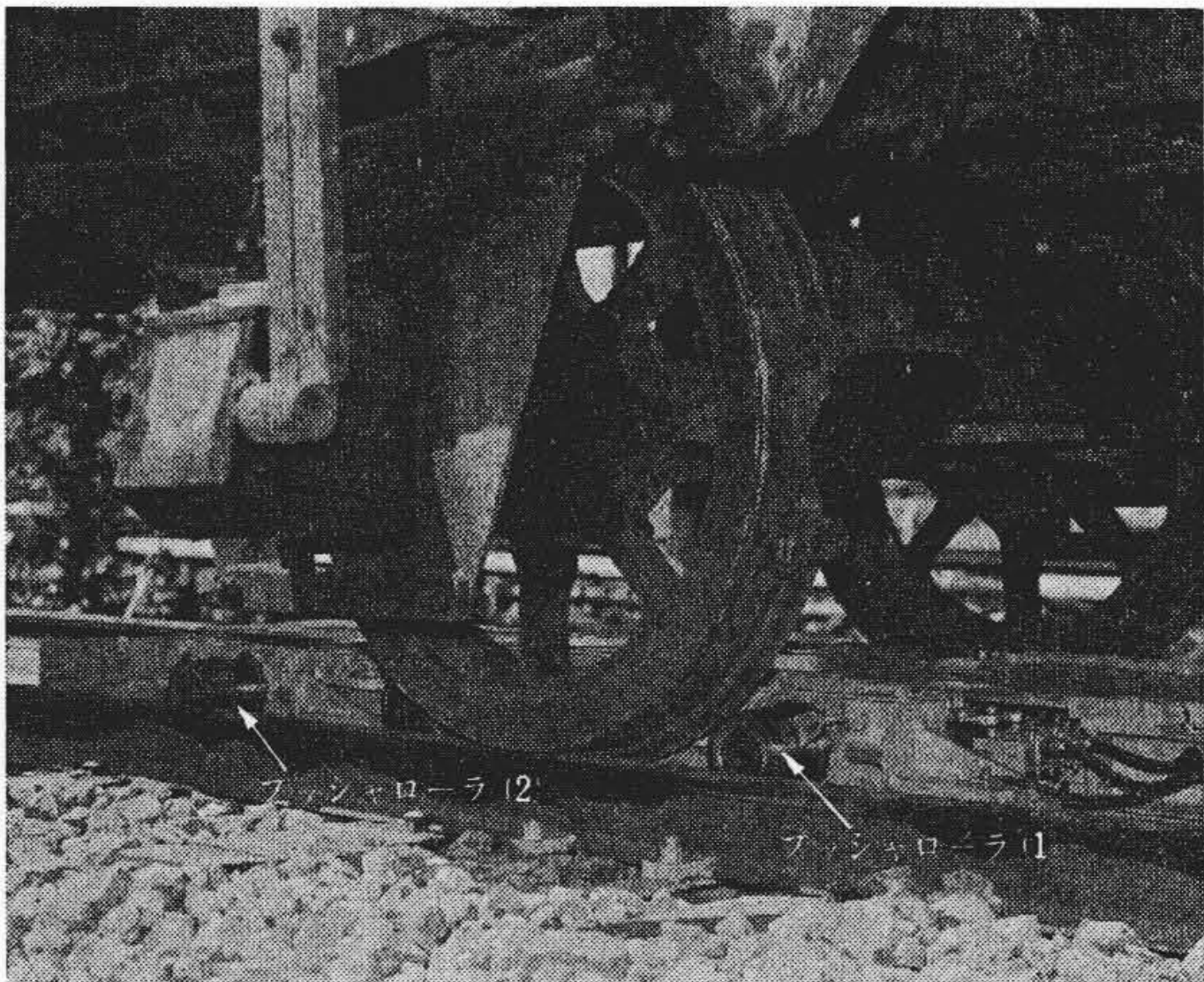


図4 貨車車輪捕捉状態

らびに自動運転制御論理装置のほか、捕捉した貨車の速度を設定する速度検出器および停止している貨車との間隔を測定し、貨車の突放した位置を判断する距離演算装置⁽⁴⁾などが内蔵されている。

また、L₄カーのブレーキ力はリアモータの逆相ブレーキのほか空気ブレーキ装置をコントロールカーに取り付け、貨車の減速能力を高めている。この空気ブレーキ装置は空気シリンダにより、走行路のガイドレールの両側面を摩擦面としてブレーキシューを押しつけているため、L₄カーが軽量でも制動重量に関係なく大きなブレーキ力が得られる構造としてある。

3.3 モーターカー

モーターカーは2台のリアモータを車上に装備し、二次導体であるリアクションレールを地上側に設置した車上一次片側励磁方式である。リアモータを使用した場合の問題点である一次側(コア)と二次側(リアクションレール)のエアギャップはリアモータの性能を大きく左右するため、リアモータに直接ゴム車輪を取り付け、リアクションレール上面を走行させ、エアギャップを安定させる機構としてある⁽⁵⁾。すなわち、モーターカーのフレームとリアモータはおのおの上下方向に独立した運動ができ、推力のみフレームに伝える構造としてあるため、リアクションレールの敷設時の凹凸に対してもリアモータが追従し、適正なエアギャップを保持して走行

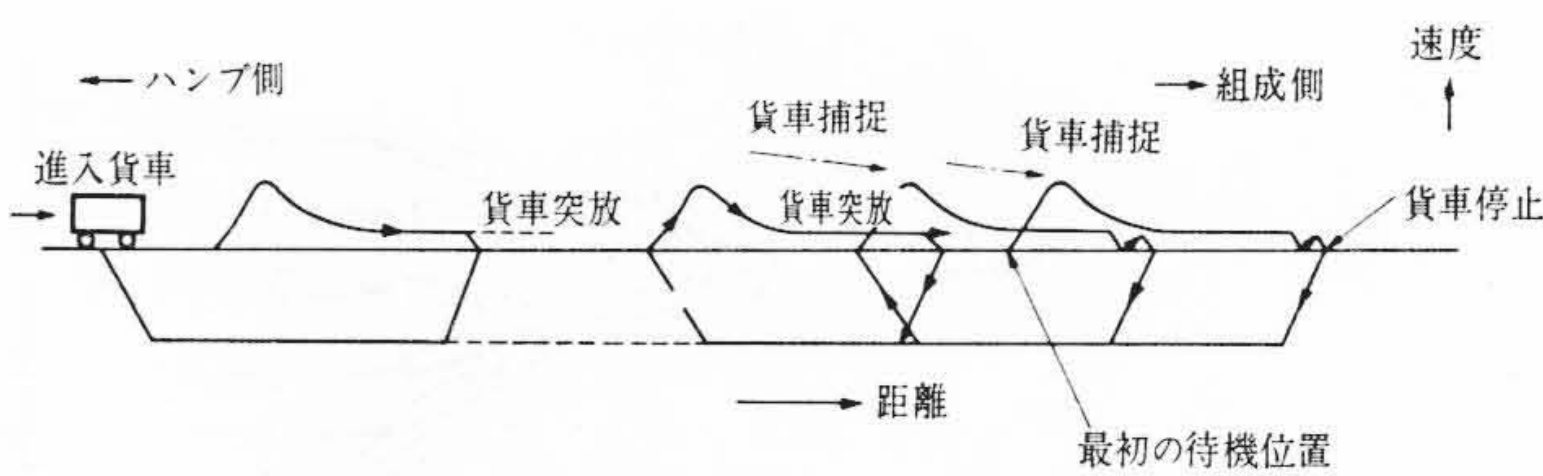


図5 区間逐次制御方式

できるようになっている。

4. 制御方式

L₄カーの運転は微弱電界の無線による無線運転と、L₄カーに内蔵されたプログラムによる自動運転の二通りの運転ができるようになっている。

無線運転は、仕分線の貨車の移動や突放、あるいはL₄カーを移動させながら、走行路の状態、集電器やブレーキ装置の動作状態を確認するときなどに用いられる。

自動運転は、L₄カーに内蔵されたプログラム制御装置により、貨車の捕捉、転走、突放などを自動的に行なうもので、その運転方式には以下に述べるような二つの方式がある。

4.1 区間逐次制御方式⁽⁶⁾

この方式は図5に示すように、L₄カーは仕分線の組成側端より若干ハンプ側寄りて貨車を待ち受け、貨車の進入を検知するといちばん先頭のプッシャーローラを開いてスタートする。このときのL₄カーの速度は、貨車の進入速度に応じて自動的に調整されちょうどリレーのボタンタッチの要領で相対速度が小さい状態で貨車の車輪を捕捉する。貨車の車輪を捕捉すると6 km/hの速度で貨車を転送し、停止貨車の近くまで貨車を転走していき、貨車を突放して戻ってくる。戻り運転にはいったとき、プッシャーカーに設置してある近接スイッチで車輪を検出し、検出するたびに距離計数器をリセットする。L₄カーが突放した貨車の最後尾の車輪を通過し終わるころには、突放された貨車はすでに停止貨車に連結し停止しているため、L₄カーは貨車の最後尾の車輪から距離計数を行ない、設定された距離を走行して停止するので、L₄カーの待機位置と、停止貨車との間隔を常に一定に保つことができる。

L₄カーはこのような運転をくり返して、順次運転区間を移動し仕分線に貨車を停留していく。

区間逐次制御方式では、ヤード作業の効率を上げるため、電算機から超過車両数、距離修正などの指令をタイミングよく与えている。

超過車両数指令は1両～4両までであり、この信号をL₄カーに与えると待機位置を指令された車両数に相当する距離だけ仕分線側に移動して、停止貨車との間隔を大きくする運転を行なう。

距離修正指令は、仕分線に停留している貨車が組成線側に引かれたときL₄カーと停止貨車との間隔が大きくなるので、その間隔をセットされた間隔に修正するため与える指令である。

また機関車や雪かき車が仕分線を通過するための退避運転や、原点復帰、または仕分線内に積もった雪を除雪するための雪かき運転などの指令を与えている。これらの信号は、L₄カーの動力線に直流信号電流を通じて指令を与えている。区間逐次制御方式の自動運転ブロック図は図6に示すとおりである。

4.2 連続制御方式⁽⁷⁾

この方式は図7の説明図に示されている。L₄カーは仕分線入口で待機し、貨車の進入を検知すると貨車の車輪を捕捉して12～15 km/hの速度で貨車を転走させ、停止している貨車との間隔が所定距離になると5 km/hまで減速し、この速度で突放して仕分線入口に向かって戻る。

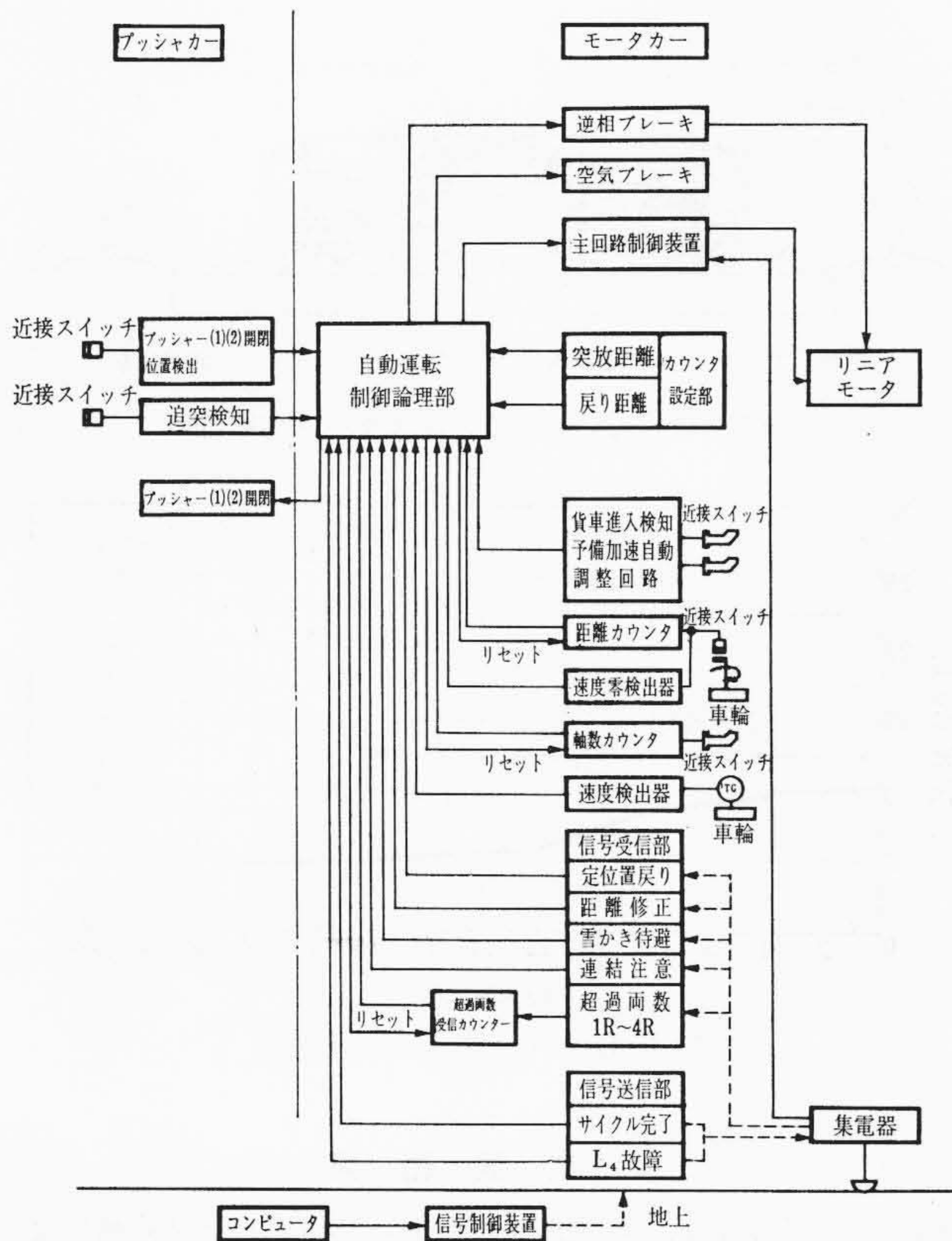


図6 区間逐次制御方式自動運転ブロックダイアグラム

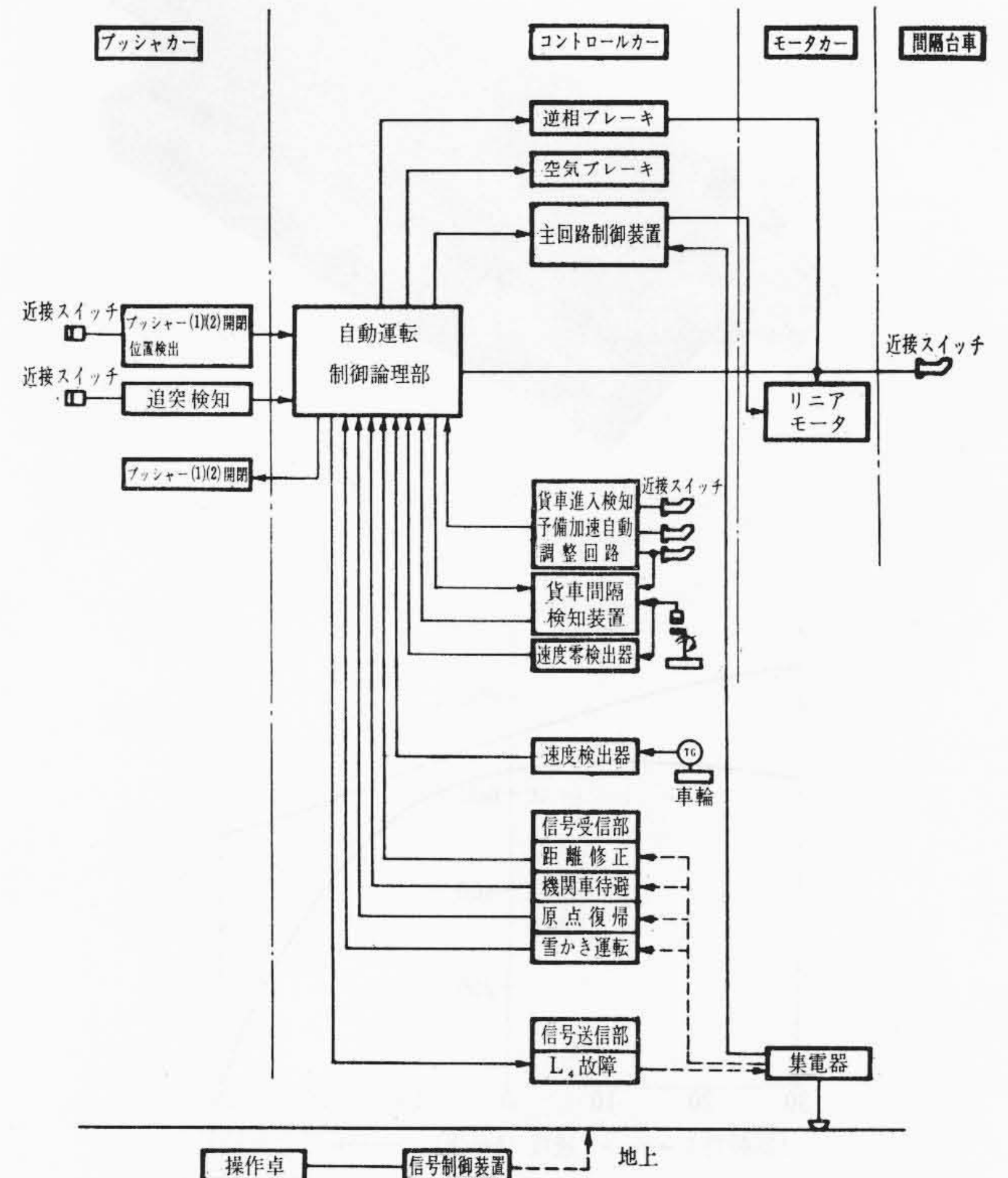


図8 連続制御方式自動運転ブロックダイアグラム

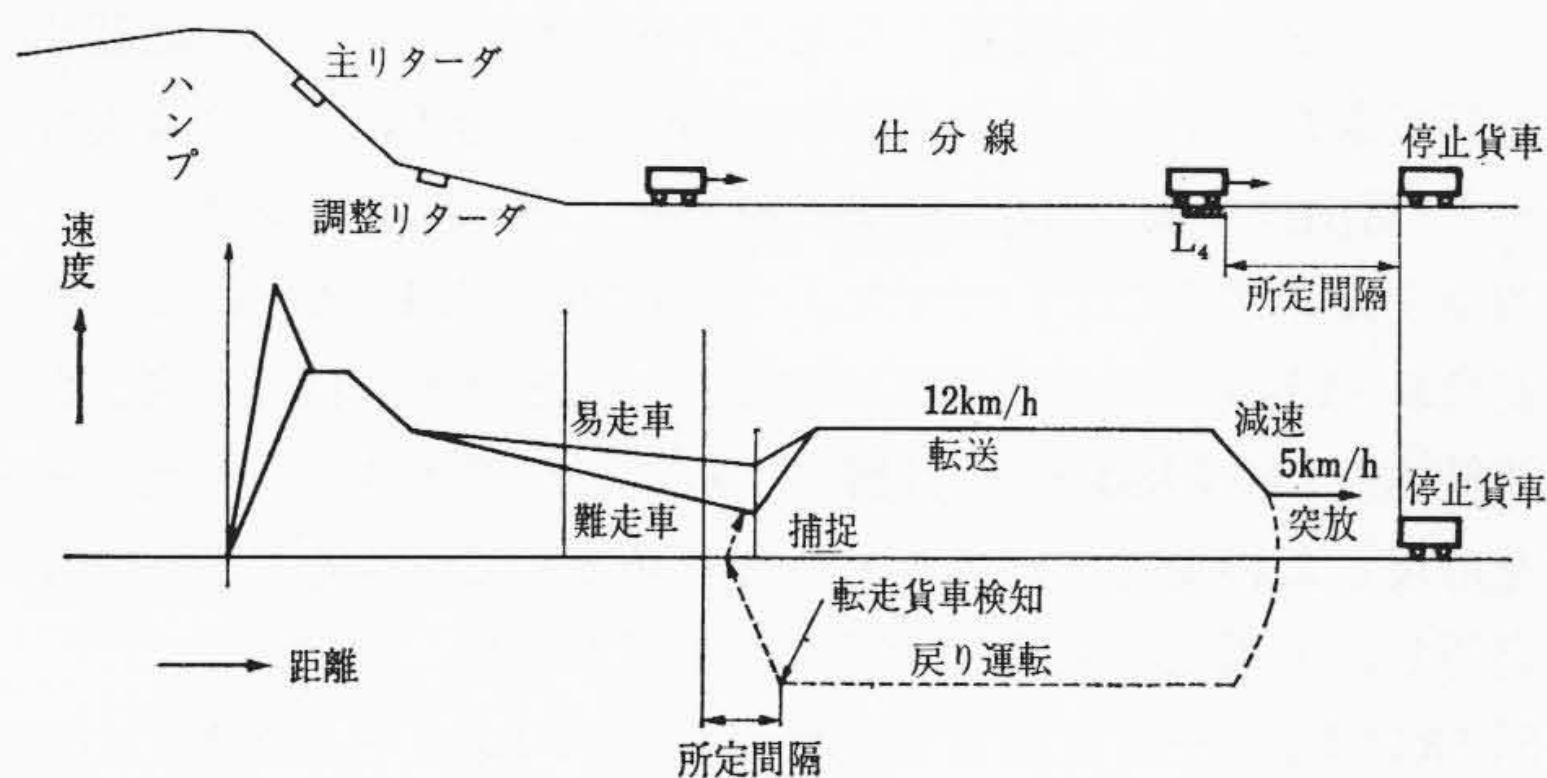


図7 連続制御方式

戻ってくる途中で貨車に出会ったとき、いったん停止して貨車を待ち受け、貨車を捕捉して転走させ、以下同じ運転をくり返して仕分線に貨車を停留させていく。

連続制御方式にすると、途中で貨車が停止する心配がないため、リターダは一定の脱出速度で貨車の速度制御をすれば良いので、リターダ制御は簡単になり、経済的なヤードを実現することができる。

連続制御方式の自動運転ブロック図は図8に、また制御装置の外観写真は図9に示すとおりである。

5. リニアモータ

L₄カーは仕分線内を自由に走行する関係から車両限界を越えることが許されず、モータは高さ方向寸法 159 mm、幅方向寸法 340 mm の苦しい寸法制限内に収められ、かつ高加速 (9.0 km/h/s) 高減速 (16.0 km/h/s) が要求される。この場合の粘着係数は力行時 180% (従来の車両の約 6 倍) に相当するもので、これらの要求特性は従来の電動機による粘着駆動では実現できないため、非粘着駆動のリニアモータを採用し、L₄カーを完成することができた。図10はリニアモータの外観写真を、図11はL₄カーの速度特性を示すものである。

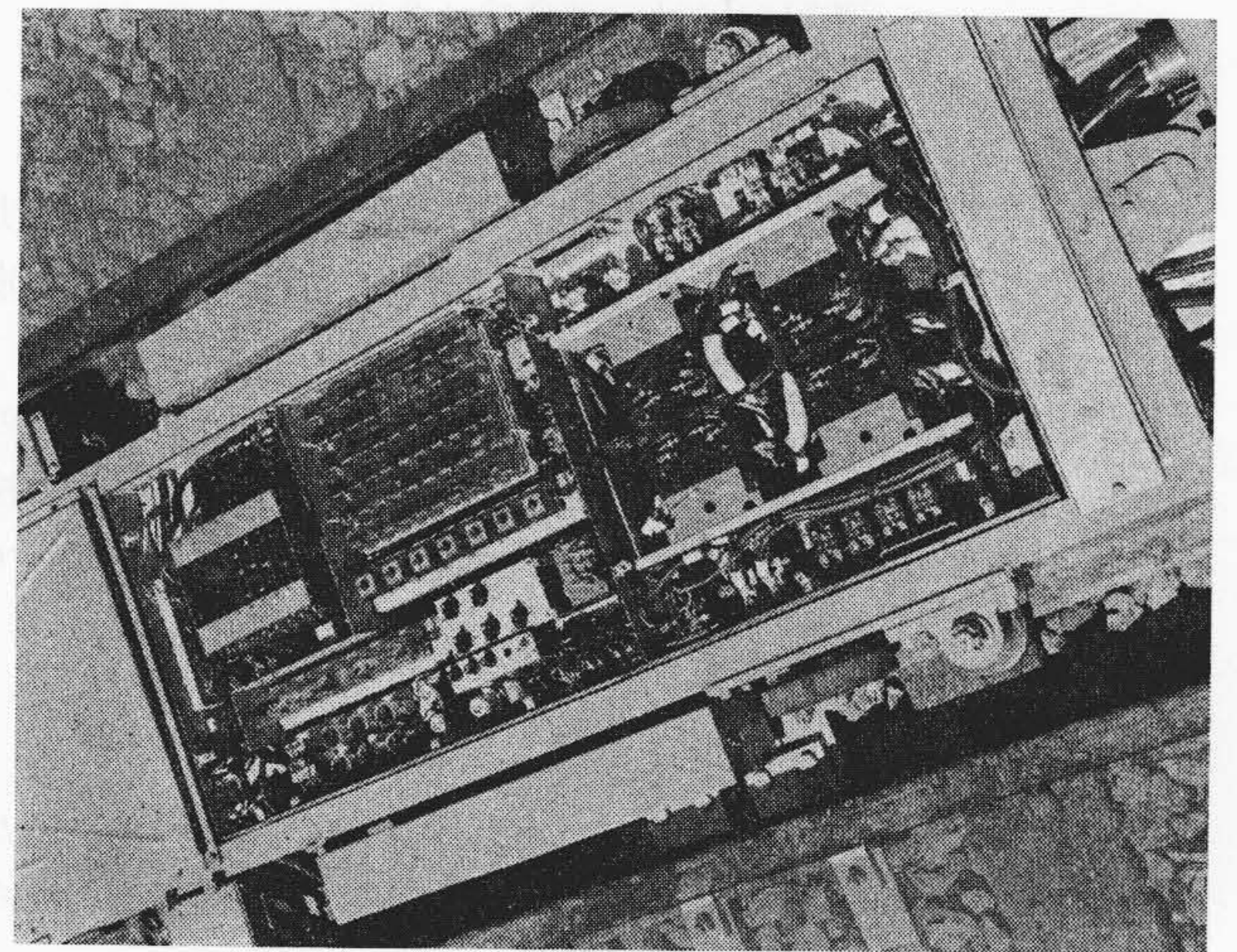


図9 自動運転制御箱内部

- (1) リニアモータは一般の誘導電動機を直線状に展開した構造を有するもので、地上にはリニアモータに対向してリアクションレールが敷設され、移動磁界によりリニアモータが直線的に走行する。励磁方式は車上一次片側励磁である。
- (2) リニアモータはコイルコアが露出した状態で使用され、雨水・ダストにさらされるため従来の絶縁では耐水性が不足である。このため無溶剤エポキシ樹脂絶縁にナトリウム処理の四フッ化エチレンテープの巻込み⁽⁸⁾を加えた超耐湿絶縁を行ない、コイルエンドを特殊な可とう性の大きい無溶剤エポキシコンパウンドにてモールド⁽⁹⁾することにより、口出部の耐水絶縁を強化している。その結果、48時間の水づけ試験後も良好な耐水性能を与えることができた。
- (3) 耐熱的にはF種絶縁を採用しているため、ヤードのひんぱんな貨車散転責務にじゅうぶん耐えられる。
- (4) モータの両端には保護板を設け走行車輪による泥水や碎石

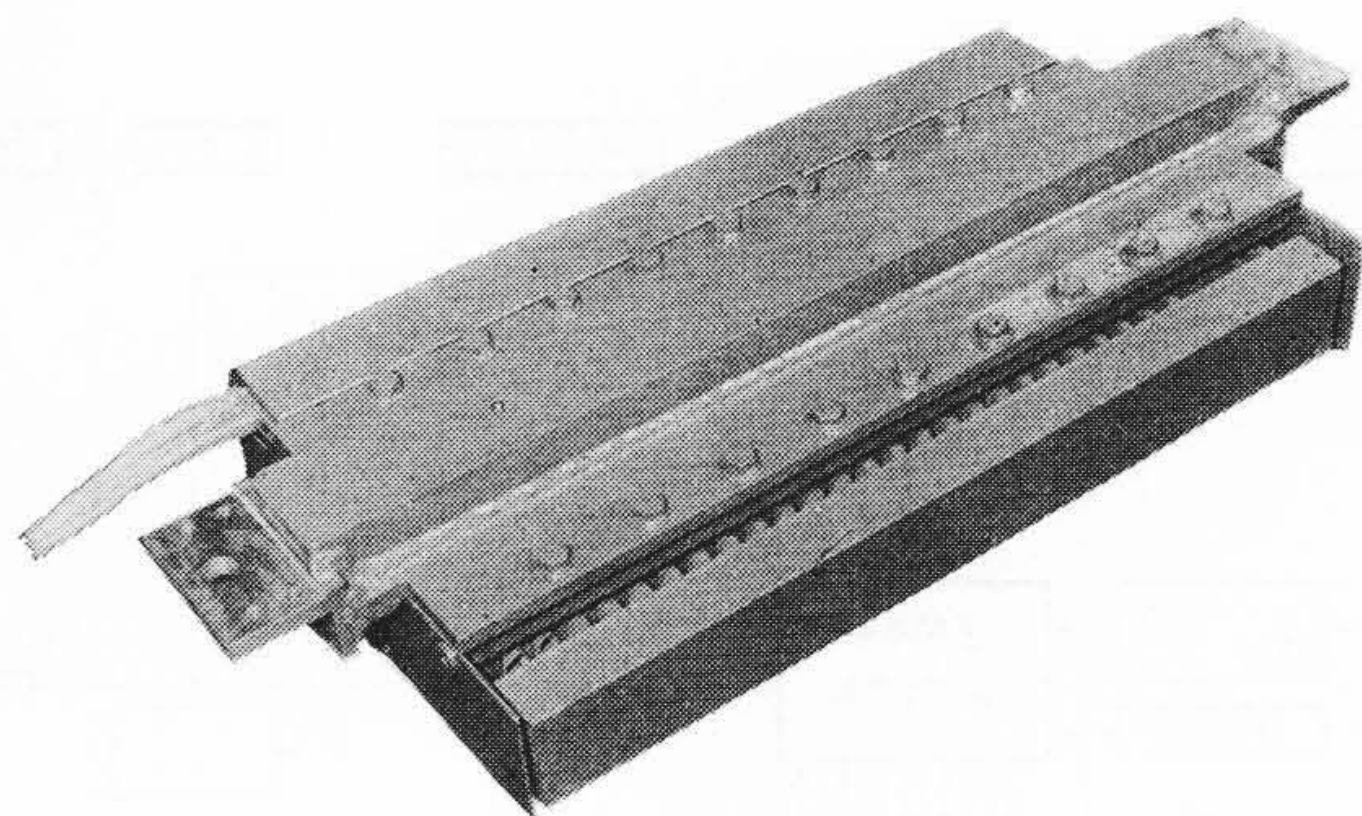
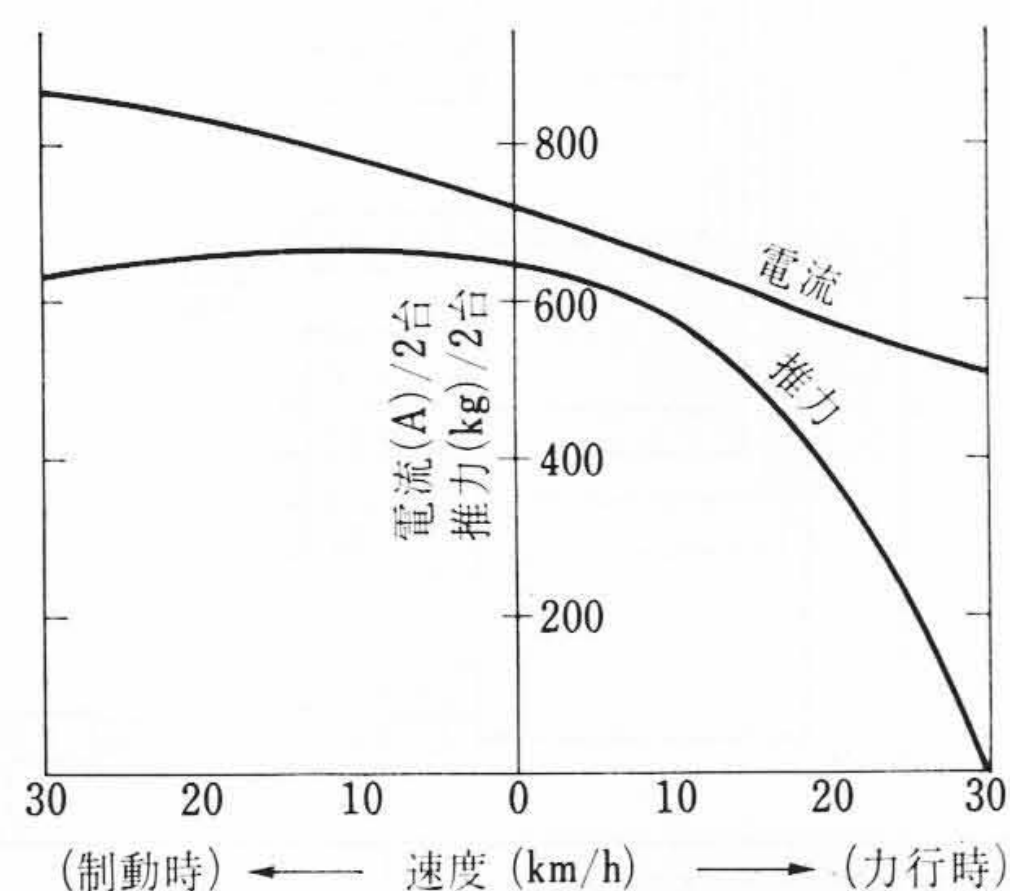


図10 リニアモータ



線電圧 220V, 3φ, 60 Hz
リニアモータ M810形, 2台
空げき長 5mm

図11 L₄カー速度特性曲線

のはねあがりからコイルコアを防護している。

- (5) コア背部にはモータ固定用の支持はりを設け、磁気吸引力および振動に対しじゅうぶんな剛性をもたせてある。現車を想定した振動試験に対し問題ない。
- (6) ヤード用リニアモータとして最適の電気装荷と磁気装荷の配分をとり、リアクションレールにはアルミ板と鉄板の複合体を用い、電気性能の向上と磁気吸引力の低減を図っている。

6. 走行路

L₄カーの走行路は自動化するヤードの仕分線のほぼ全線にわたって敷設されるため、構造を簡易化し、かつ既設の軌道を改造することなく設置できる構造としてある⁽¹⁰⁾。

走行路の主要部分は図12に示すとおり、リニアモータの二次導体である平板式リアクションレールとL₄カーの走行するガイドレールならびにL₄カーに給電するトロリ線から構成されている。

リアクションレールは三相誘導電動機の回転子に相当するもので、16mmの鋼板に3mmのアルミ板を爆発圧接によって接合した複合体を使用している。またガイドレールはL形形状で、底面をL₄カーが走行し、側面はL₄カーの横振れを規正するガイドローラの案内面となるとともに空気ブレーキの摩擦面および接地用集電器のしゅう動面を兼ねている。リニアモータへの給電方式はこのガイドレールを一相としているほか、他の二相としてはガイドレールの内側に特殊塩化ビニルでカバーをしたトロリ線を配置した三相2線式である。

トロリ線としては6063アルミ合金をベースとした公称240mm²のアルミ複合トロリバーを使用しており、集電器のしゅう動面は耐摩耗性を向上させるため、20%のシリコンを配合したアルミ合金を押し出成形によりベースに圧着したものである。

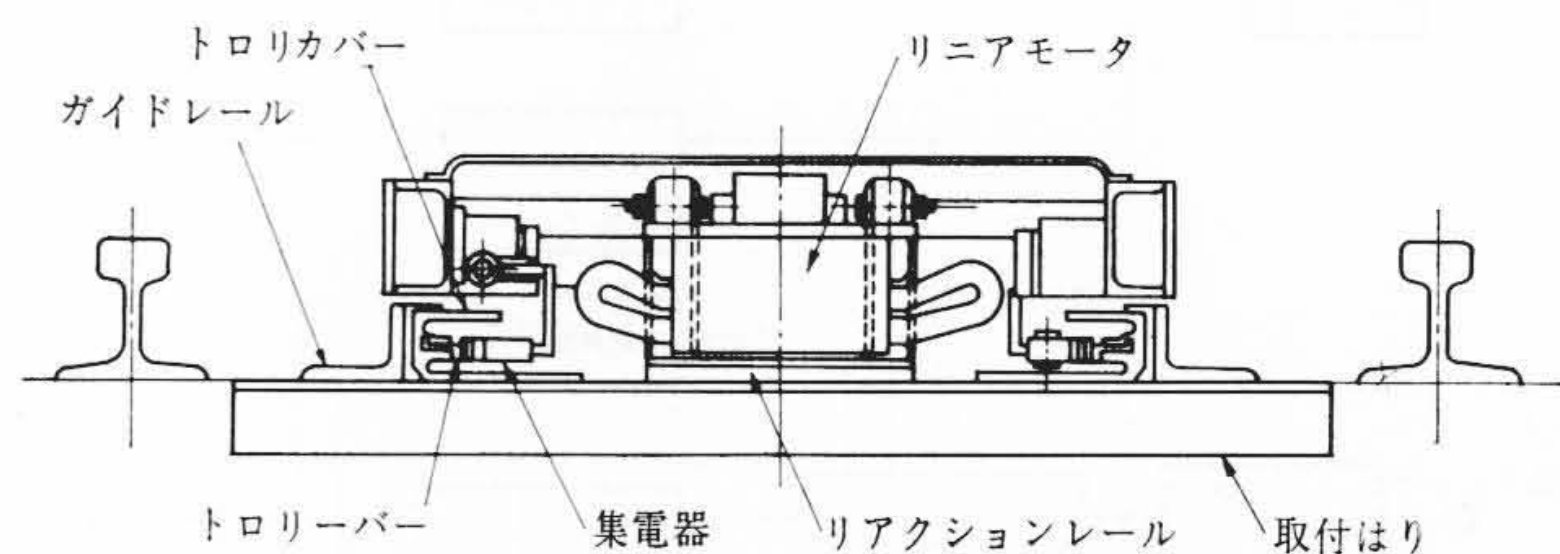
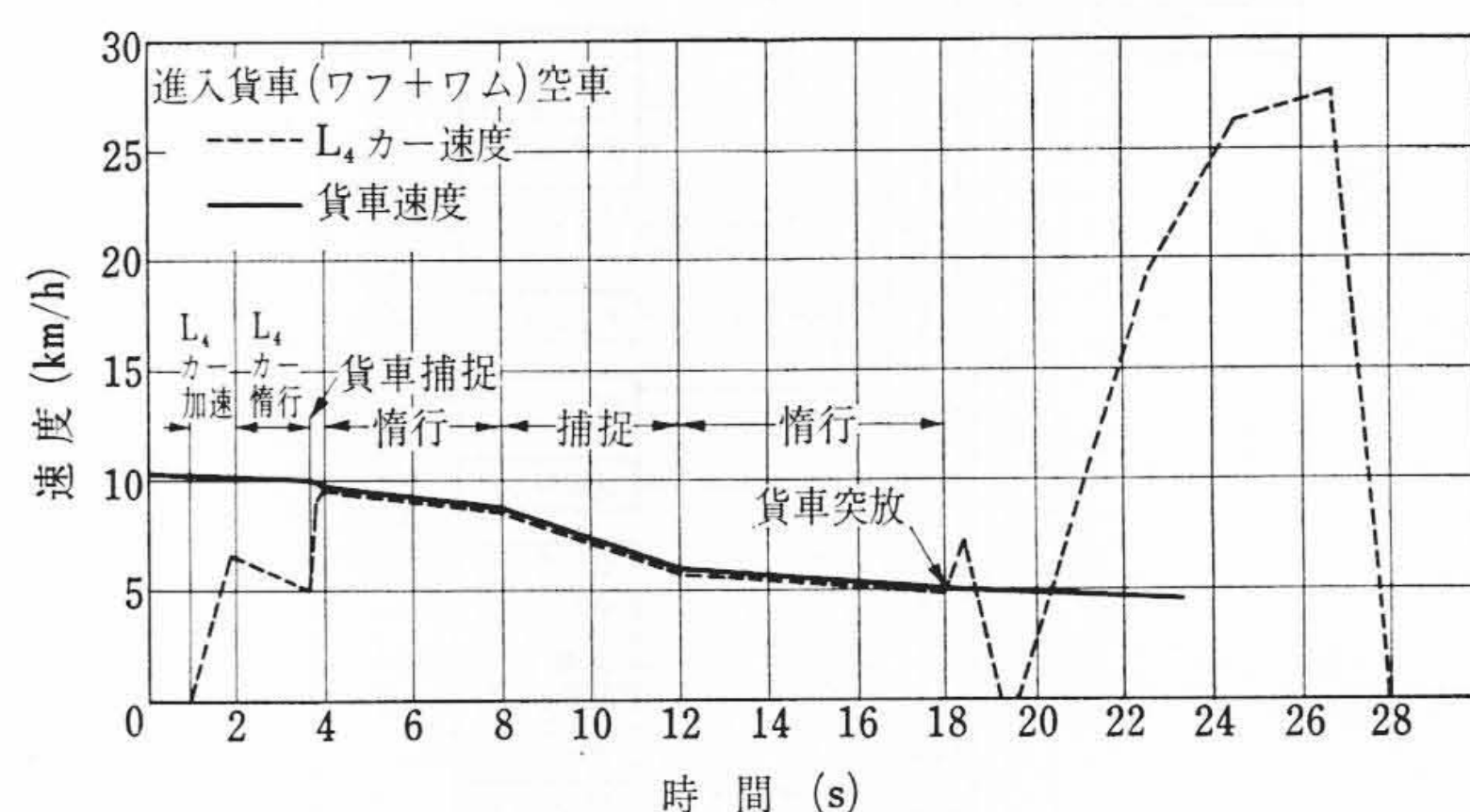


図12 走行路およびリニアモータ部断面

図13 L₄カーと貨車の速度特性

7. 試験結果

L₄カーの性能試験は実用機のスケールで製作した試験車により行なわれた。1号L₄カーは鉄道技術研究所の試験線において、トおよびトラ形式の貨車を使用して試験を行ない、機械的強度ならびに耐振性、制御特性、貨車車輪の浮き上がり限界速度、リアクションレールの磁気吸引力と温度上昇などの基礎的性能について確認することができた。また、引き続いて製作した2号L₄カーでは実際のヤード(富山操車場)で関連機器と組合せ、その性能とシステム上の問題点を確認することができた。試験結果からL₄カーは広範囲な速度(1.0~15 km/h)で仕分線に進入してくる貨車を捕捉して、所定の連結速度(3~7 km/h)に制御しうることが確認され、リニアモータを応用した移動式ブースタ・リターダとしての性能をじゅうぶんに発揮し、実用化の見通しを得ることができた。

図13はL₄カーで貨車を制御した場合のL₄カーと貨車との速度特性を示した一例である。

8. 結 言

日本国有鉄道のヤード合理化計画に基づき、日立製作所はリニアモータを応用した新構想のヤード機器としてL₄カーを開発中であり、現在のところ1号機は鉄道技術研究所に、2号機は富山ヤードに納入し長期テストを実施している段階である。1号機および2号機のテスト結果から、L₄カーは基本的な機能、性能ともヤード作業に適合し、仕分線の貨車制御にすぐれた性能を発揮することが確認され、各方面の注目を浴びている。

今後の富山ヤードでの長期テストの結果に基づき性能上、改良すべき点を把握(はあく)し、今冬納入予定の3号機、4号機の設計に取り入れていく予定である。

終わりに臨み本研究、開発にたいして、終始ご指導いただいている日本国有鉄道工作局玉置課長はじめ関係各位、鉄道技術研究所宇佐美室長はじめ関係各位、金沢鉄道管理局および富山操車場の関係各位に対して厚くお礼申し上げる次第である。

参 考 文 献

- (1) 長沢：エレクトロニクスダイジェスト 33 (1970-2)
- (2) 村戸：JREA 13巻 第2号 6698
- (3)~(10) 特許実用新案出願中