

日本国有鉄道塩浜操車場納め

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 for Shiohama Shunting Yard of the Japanese National Railways

日立製作所は、かねてより新しいヤード自動化機器であるL₄形貨車加減速装置を開発中であつたが、このたび日本国有鉄道塩浜操作場へ納入し、各種試験を経て営業運転に入った。

このL₄形貨車加減速装置は、リニアモータを駆動源として仕訳線内を走行し、貨車を連続制御するもので、従来の自動化機器に比べ高精度の貨車制御ができる。

機器の開発に当たっては、機械・電気部品ともに過酷な条件で使用されるため、特に信頼性に注意を払い、自社工場内信頼度試験、日本国有鉄道富山操車場での現車を使用した実用化試験を十分に行ない、実用化に結びつけた。納入後の現地試験によりその性能を確認した結果、所期の成果が得られ、特に重要な連結速度についても普通車、連結注意車ともに良好な結果が確認された。

高山雅幸*	Masayuki Takayama
山路正弘*	Masahiro Yamaji
池田紘宇*	Kôu Ikeda
稲垣晴夫*	Haruo Inagaki
高橋宏**	Hiroshi Takahashi
村田博***	Hiroshi Murata

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、貨車輸送の重要拠点である操車場(以下、ヤードと記す)の自動化は、かねてより我が国だけでなく、世界の鉄道界にとっても、懸案となっている大命題である。

そのため、各国では自動化⁽¹⁾について種々の方式を研究、開発し日本国有鉄道(以下、国鉄と略す)でもターゲット シューティング方式を郡山ヤード⁽²⁾に、またダウティ方式を高崎ヤードにそれぞれ採用し、成果を挙げている。しかし、ヤードによって、規模、新設か既設か、気象条件、配線などが異なるため、一つの方式だけで経済的な自動化を行なうことは困難である。

日立製作所は、国鉄の指導のもとに、リニアモータを応用した、世界でも初めてのヤード自動化方式である、L₄形貨車加減速装置(以下、L₄カーと記す)を昭和43年より研究・開発し、特に国鉄富山ヤードでの長期にわたる試験結果⁽³⁾をもとに改良を加え、更に、このたび信頼性を向上させた量産車を川崎市にある国鉄塩浜ヤードに納入した。

このL₄カーは、ハンプと呼ばれる小高い丘から散転されてきた貨車を仕訳線内で捕捉し、所定の距離を走行後、安全連結速度で順次停留中の貨車に連結させていく装置で、ターゲット シューティング方式の点制御に比較し、連続制御ができるものである。なおこのL₄カーは、車上のプログラム制御による完全自動運転装置で、走行の駆動源には、リニアモータを使用している。

この論文ではL₄カーの自動化システム、性能、構造、制御方式、信頼性及び試験結果について述べる。

2 L₄カー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の構成を図1に示す。

L₄カーは各仕訳線ごとに1両ずつ設けられており、ハンプ

から散転されてきた貨車を捕捉し、所定の距離を走行後、安全連結速度で連結するよう、貨車を減速し突放する機能をもっている。

従って、リターダの制御はL₄カーの捕捉可能な2 km/hから15 km/h以内の速度に制御すればよく、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よい。

この自動化システムの特長は次に述べるとおりである。

- (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) 貨車に対し、減速だけでなく加速の制御ができるため、途中停止貨車の起動も可能である。
- (3) 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、特に連結注意車の制御が可能である。
- (4) ハンプヤード、平面ヤードいずれでもこの方式は使用できる。
- (5) 工事期間が短く、特に既設ヤードの場合、ヤード作業に与える影響が少ない。

3 L₄形貨車加減速装置の機能、及び構造

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・幅に制限があり、コンパクトながら大きな加減速力を要求される装置である。

従って、L₄カーの駆動方式には非粘着駆動のリニアモータを採用しており、本体重量は小形・軽量ではあるが、大きな加減速力を出し得ることが大きな特長である。

L₄カーの構成は、試作車での試験結果と経験をもとに、連続制御方式を採用、振動衝撃を受ける機器の配置換え、及びメンテナンスの向上などの見地から検討を加え、図3に示すように、プッシャーカー、ブレーキカー、コントロールカー、モータカー、及びディスタンスカーの5両で1編成を構成している。

L₄カーの主要仕様を表1に示す。

* 日立製作所水戸工場 ** 日立製作所日立工場 *** 日立製作所交通技術本部

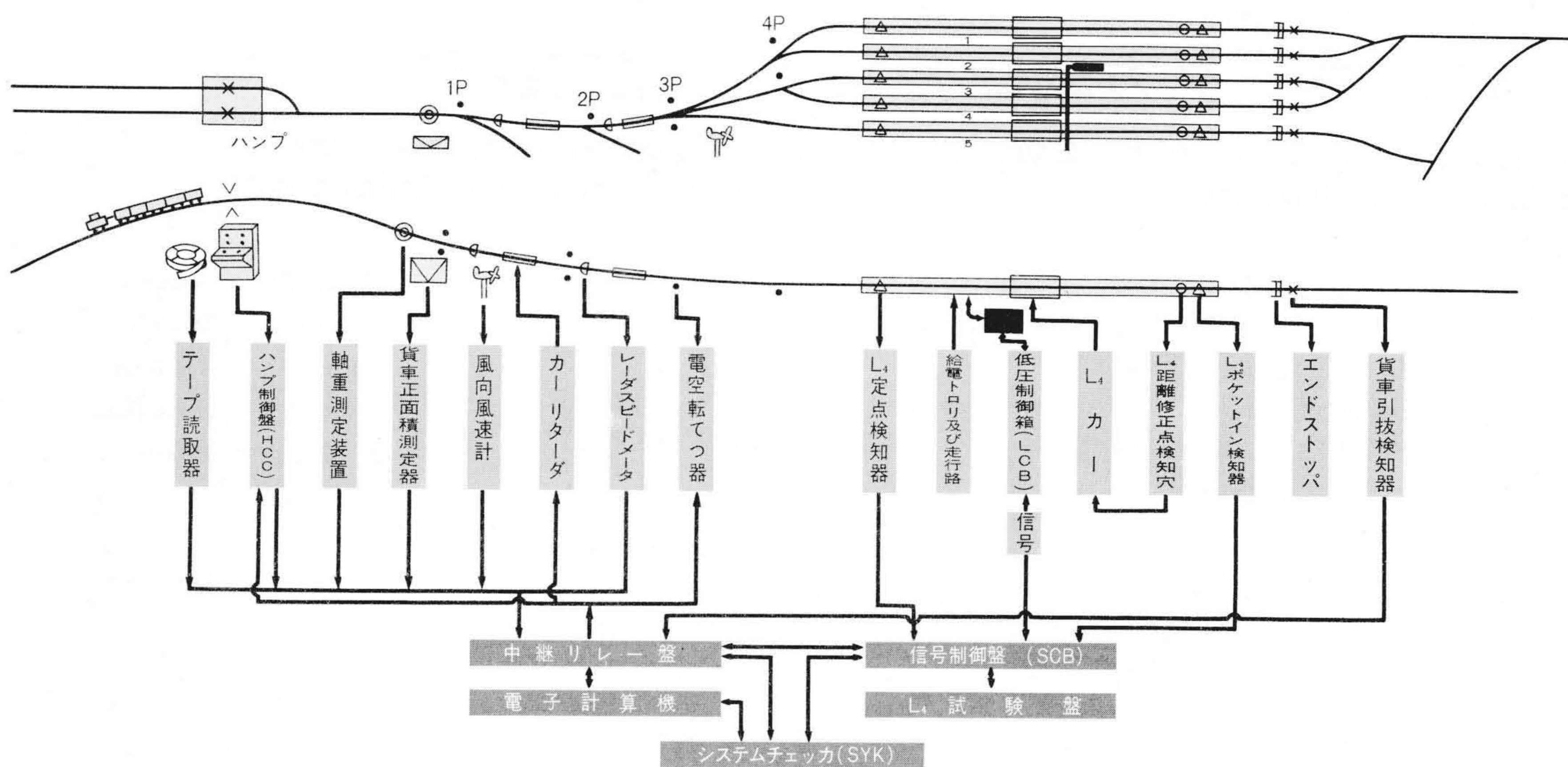


図1 リニアモータ方式ヤード自動化システム構成 ハンブ側から、軸重測定装置、貨車正面積測定器、風向風速計、カーリターダ、ポイント転換装置、L4カー及びエンドストッパが主な機器である。

3.1 プッシャーカー

プッシャーカーの主要機能は、前後2組のプッシャーローラ、すなわちプッシャーローラ(1)、及び(2)で貨車の先頭車輪のフランジ部を捕捉し、貨車を転送させるもので、貨車を捕

捉しないときは、貨車の通過が可能となるようプッシャーローラは(1)、(2)とも閉じている。なお捕捉時の衝撃荷重は、油圧緩衝器で吸収している。

3.2 ブレーキカー

L4カーのブレーキ力は、リニアモータの逆相ブレーキとブレーキカーに設けた空気ブレーキの併用であり、この空気ブレーキ装置は、空気シリンダにより、走行路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る構造としている。そのため、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ものである。ブレーキカーはこのほか、空気圧縮機などの各種空圧機器を搭載した車両である。

3.3 コントロールカー

コントロールカーは、貨車捕捉時のL4カーの速度を制御し、捕捉後所定の位置まで貨車を転送し、貨車を減速突放後反転して、次の貨車を処理する一連の貨車制御に必要な制御装置をすべて搭載したもので、制御箱内部に自動運転制御論理装置、及び間隔検知装置を内蔵している。

コントロールカーにはその他、進入貨車の車輪を検知するメタローチスイッチ、L4カーの速度を検出する速度検出器などが取り付けられている。

3.4 モーターカー

3.4.1 モーターカー

モーターカーは、貨車を加速推進するリニアモータを設置した車で、二次導体であるリアクションレールは地上側に設けられている。リニアモータを使用した場合、一次側(コア)と二次側(リアクションレール)のエアギャップはその性能を大きく左右するため、リニ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て、エアギャップを安定させる構造としてある。その他、この車にはリニアモータ、及び空気圧縮機モータ用の電磁接触器を内蔵した接触器箱、S相用の集電器が設置されている。

3.4.2 リニアモータ

L4カーは仕訳線内を自由に走行して、貨車を次々と捕捉す

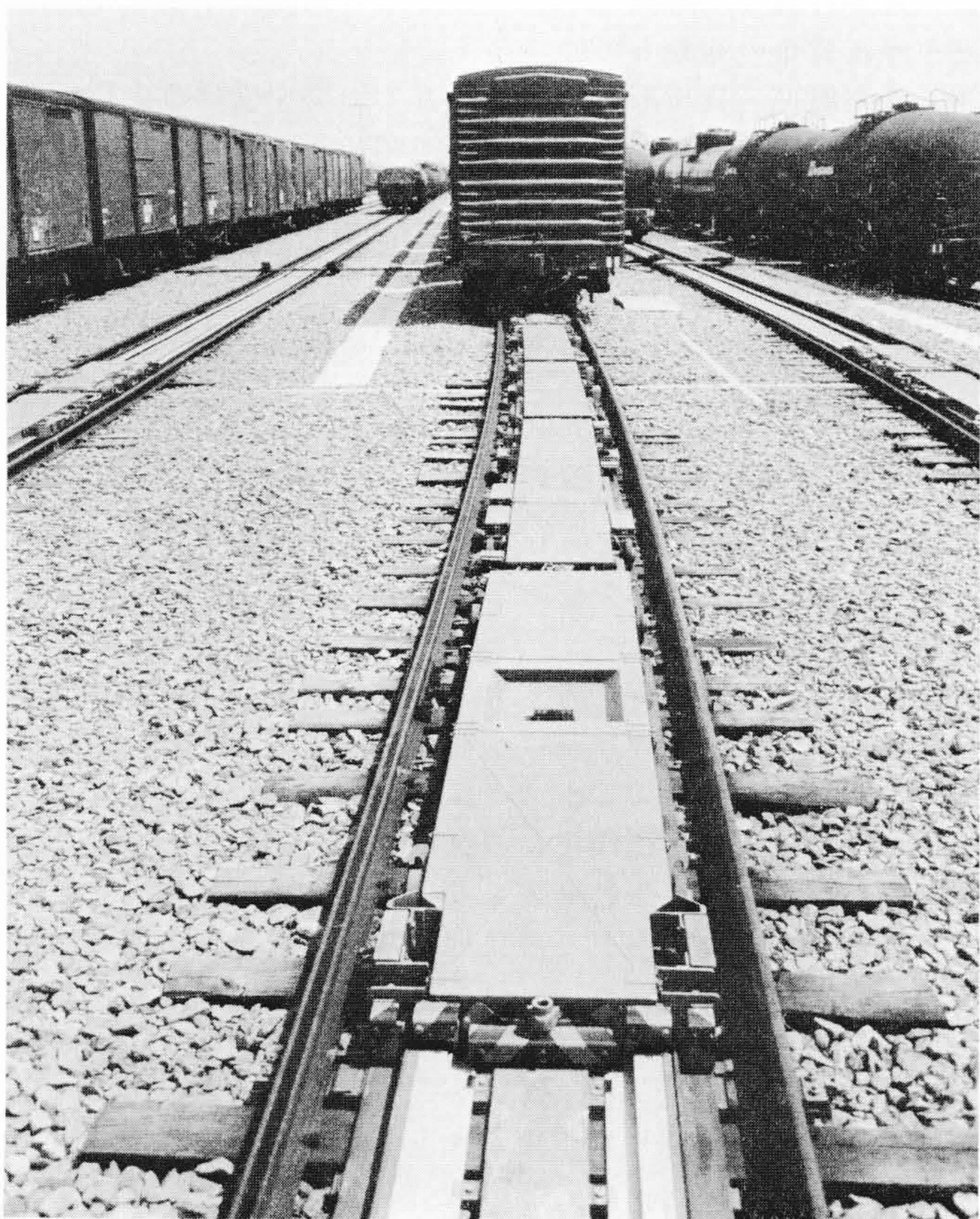


図2 L4カー L4カーは貨車の下を通過するため、非常にコンパクトに設計されている。

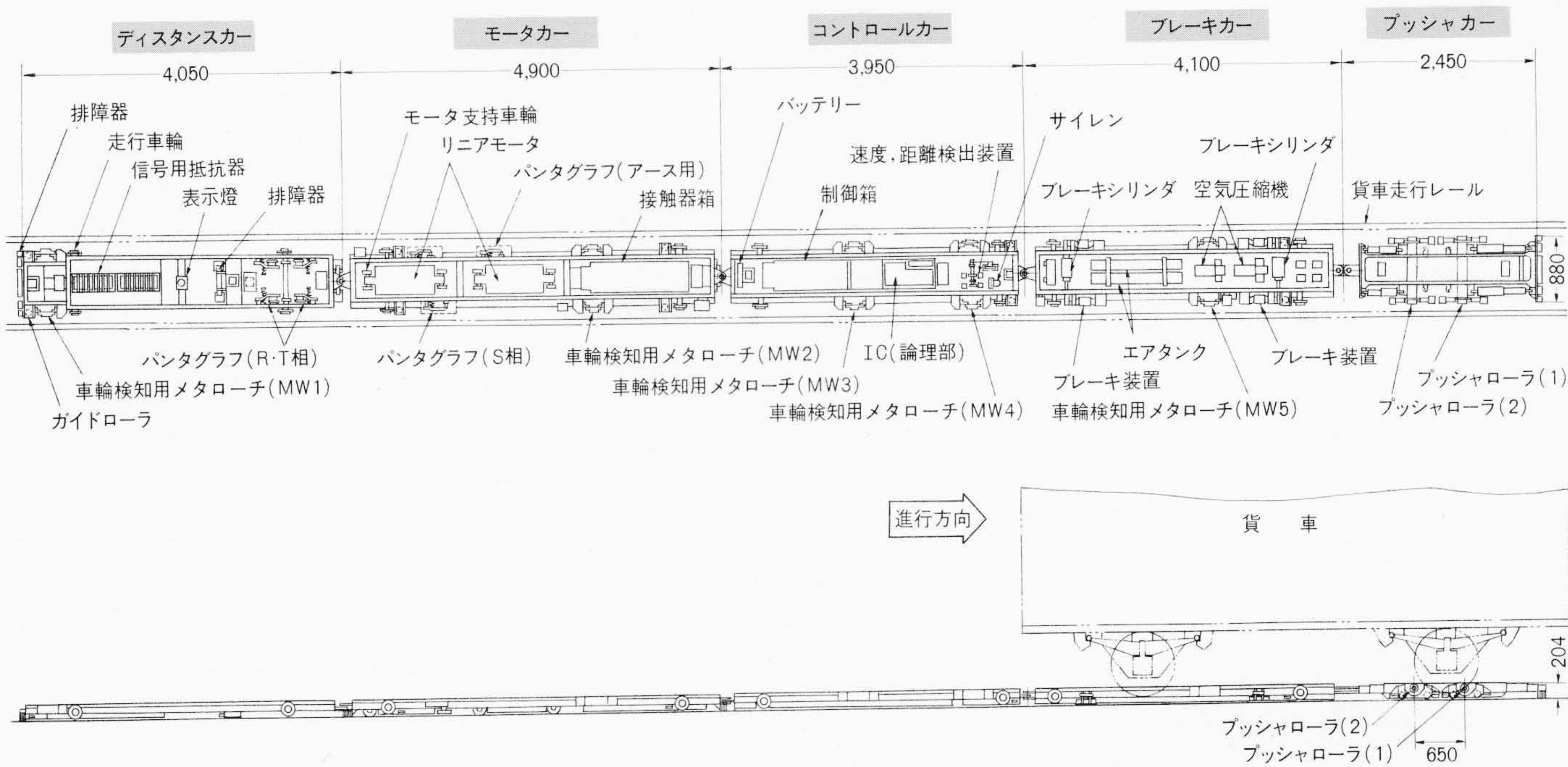


図3 L₄カー編成図 L₄カーはプッシャーカー、ブレーキカー、コントロールカー、モーターカー、ディスタンスカーの5両で編成され、その全長は19.45mである。

表1 L₄カーの主要仕様 L₄カーの主な仕様を示したもので、L₄カーは小形軽量ながら大きな加減速力をもっている。

項 目		仕 様
電 源		AC 400V, 3φ, 50Hz
リニアモータ (一次側)	起動推力	325kg×2台 (slip=1)
	起動電流	170A×2台 (slip=1)
	同期速度	25km/h (slip=0)
リアクションレール (二次側)		平板式複合プレート Al3 (厚さ)×230 (幅) mm Fe16 (厚さ)×230 (幅) mm
ブ レ ー キ 力		逆相310kg×2台 (slip=2) 空気ブレーキ1,200kg (P=6 kg/cm ² , μ=0.25)
制 御 関 係	運 転 方 式	連続制御自動運転方式
	プッシャ開閉制御	電磁空気式
	貨車キャッチ方式	加速時間可変方式
	速 度 制 御	ON-OFF制御
	貨車キャッチ速度	常用最大15km/h, 異常時最大18km/h
	貨 車 転 送 速 度	13~15km/h
信 号 関 係	貨 車 突 放 速 度	普通車 5 km/h, 連結注意車 2.5km/h
	L ₄ カー戻り速度	12.5~15.5km/h
	地 上 → L ₄	分解貨車情報 4 信号 距離修正信号, 定点復帰信号, ポケット イン信号
集 電 方 式	L ₄ → 地 上	サイクル完了信号, フルネス信号 (30m) フルネス信号 (90m), L ₄ 状態信号
		第3軌条方式

る必要があるために、そのモータは、小形、且つ高加速(8.1 km/h/s)、高減速(8.4km/h/s)の性能を要求される。この場合の加速力行時の粘着係数は約80%(従来の車両の約3倍)に相当するもので、非粘着駆動小形軽量のリニアモータにより初めて実現できるものである。

富山ヤードにおいて長期実用化試験を行ない、従来のL₄カー用リニアモータに対し、次に述べるような性能向上、及び

- 改造を行なった。
- (1) 環境条件の過酷なヤードでの長期使用に耐えるように超耐湿絶縁を実用化しているが、より耐熱性のある低膨張モールドレジンを開発して、コイルエンドモールド部を強化し、更に外被をガラス繊維強化プラスチック(FRP)で保護し、信頼度の向上を図った。
- (2) 保守の簡易化のために、リニアモータ支持はり部に小形の端子箱を設けて、口出線の交換を容易にした。またリニアモータの動力伝達機構をリンク式として、リニアモータ空隙側表面の点検を容易とした。
- (3) リニアモータの過熱保護装置をリニアモータ本体にも取り付け、ヤードシステムとの保護協調を図った。

図4にL₄カーの速度特性を示す。

3.5 ディスタンスカー

ディスタンスカーは、先端に取り付けられた車輪検知用メタローチスイッチで貨車の車輪を検出し、進入貨車の検知を行なうものである。この車両にはその他、信号送信用抵抗器、及びR・T相用の集電器が設置されている。

3.6 地上電気品

L₄システムを構成する地上側の電気品には、低圧制御箱(LCB)、信号制御盤(以下、SCBと略す)、L₄検知器、及びL₄検知器用電源箱がある。

低圧制御箱は、L₄カーに給電する動力電源を開閉するしゃ断器と、L₄カーから送信される信号を受信する受信装置などを収納している。

信号制御盤は、L₄カーや地上の各機器と電子計算機との中継的な仕事を行なうもので、その主な機能は次に述べるとおりである。

- (1) L₄カーの位置検出
- (2) 地上の各種機器とL₄カーの故障信号を整理して、電子計算機に伝達する。
- (3) 電子計算機からL₄カーに伝える各種信号を直流電圧に変換して、動力線に印加して送信する。

3.7 走行路

L₄カーの走行路は、仕訳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、且つ既設の軌道を改造することなく10mユニットで設置できる構造としてある。

走行路の主要部分は図5に示すように、その中央部にリアクション レール、両側には絶縁性のトロリ カバーでおおわれた給電用のトロリ バー、及びL₄カーの走行面、ブレーキシューの摺動面、ガイド ローラの案内面をそれぞれ兼用したガイド レールが取付はりで取り付けられ、軌道内に敷設されている。

なお直線部の走行路は、工場内でリアクション レール、及びガイド レールを取付はりに仮組溶接しておき、現地敷設工事期間の短縮を図っている。

L₄走行路敷設工事はヤード作業に影響を与えぬよう、短期間でしかも隣接線に支障をきたさぬ方法とする必要があるた

め、特に準備した敷設工事車により工事を行なった。

この敷設工事車を使用し、走行路を工場で仮組溶接することにより、現地据付工事工程が他の自動化方式と比べて $\frac{1}{4}$ ～ $\frac{1}{5}$ に短縮することができた。このことは、在来方式では工事のため、営業線の長期間使用停止をせざるを得ないことから、大ヤードの自動化は困難とされていたのに対して、明るい希望を与えるものである。

4 制御方式

L₄カーの運転は、電子計算機からSCBを経由して指令されるポケット イン運転、定点復帰運転、及び距離修正運転、並びに仕訳線に進入してくる貨車を捕捉して自動的に貨車の速度制御を行なう貨車制御運転の4方法の運転が可能である。

以下、これらの運転について説明する。

(1) ポケット イン運転

入換用機関車が仕訳線に進入する場合、L₄カーと入換用機関車との接触を防止するため、組成側端に設けたポケットと称する退避位置に退避行動を行なう運転である。

(2) 定点復帰運転

ポケットに停止しているL₄カーが、定点に復帰する運転である。

(3) 距離修正運転

L₄カーは停留貨車との間隔を常に測定して走行しているが、仕訳線の停留貨車を組成線に引き上げると、今まで記憶していた間隔を修正しなければならない。

その場合、電子計算機からL₄カーに距離修正指令を与える。L₄カーはその信号を受信すると直ちに前進し、13～15km/hのインチング運転で走行し、停留貨車の車輪を検知すると停止して反転し、その車輪の位置から距離を測定しながら走行し定点まできて停止する。

停留貨車が仕訳線にない場合には、組成側に設けた距離修正穴まで走行し、そこで反転して距離修正穴からの距離を測定しながら定点に戻り停止する。

(4) 貨車制御運転

貨車制御運転は図6に示すように、定点で待機しているL₄カーが、カー リターダから所定の速度で制御されて進入してきた貨車を、図3に示す車輪検知用メタローチ スイッチMW1で検知し、次にMW3とMW4で進入速度を検知してプッシャーローラ(1)を開いて助走する。

助走の時間は、メタローチ スイッチMW3とMW4で測定した貨車の進入速度で調整し、貨車キャッチ時の相対速度が7km/h以下になるよう制御する。

貨車の車輪がプッシャーローラ(1)に当たると、加速用のプッシャーローラ(2)を開き車輪を捕捉して、13～15km/hのインチング運転で貨車を組成側に転送していく。

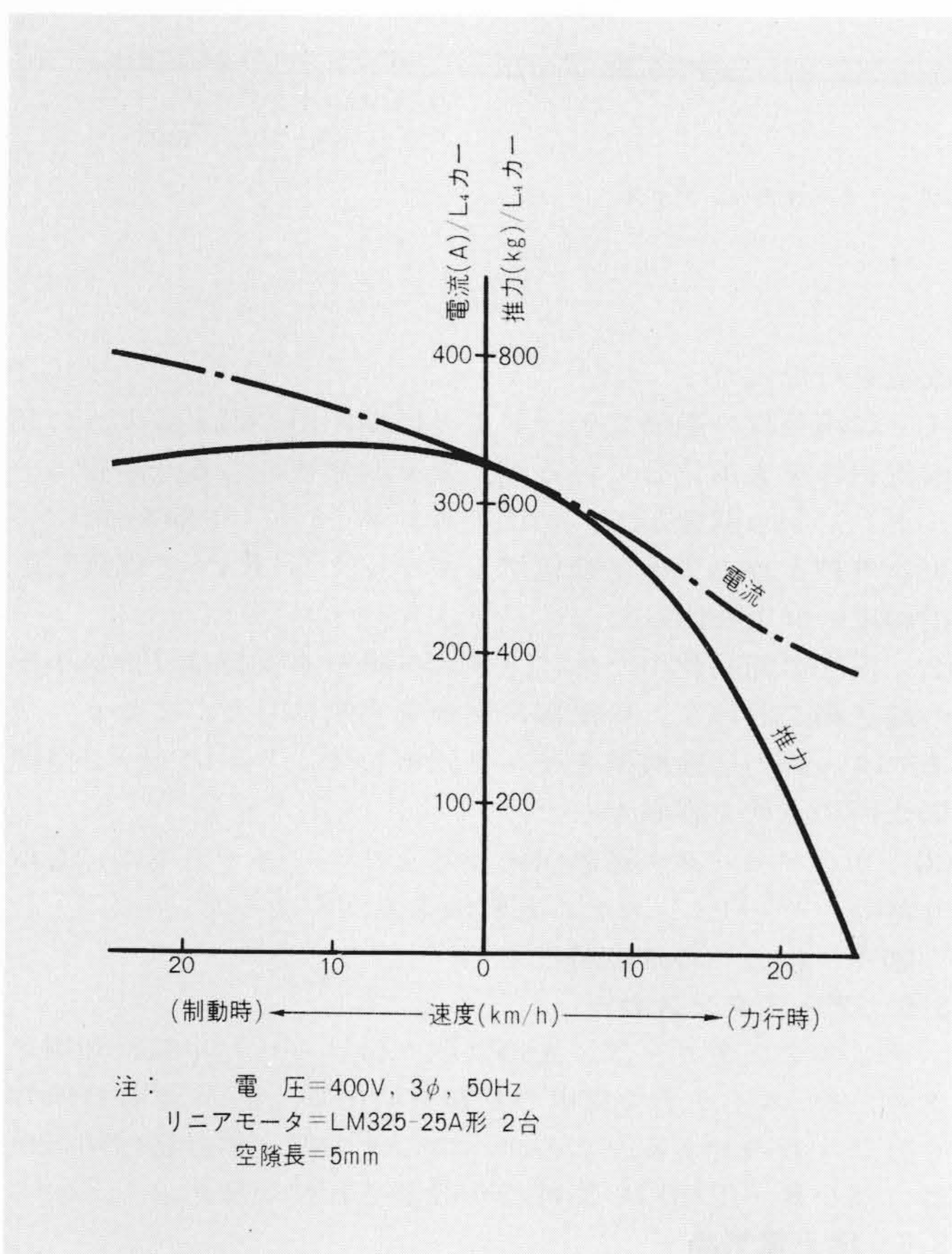


図4 L₄カー速度特性曲線 起動時及び制動時に推力の大きいハイ スリップ特性である。

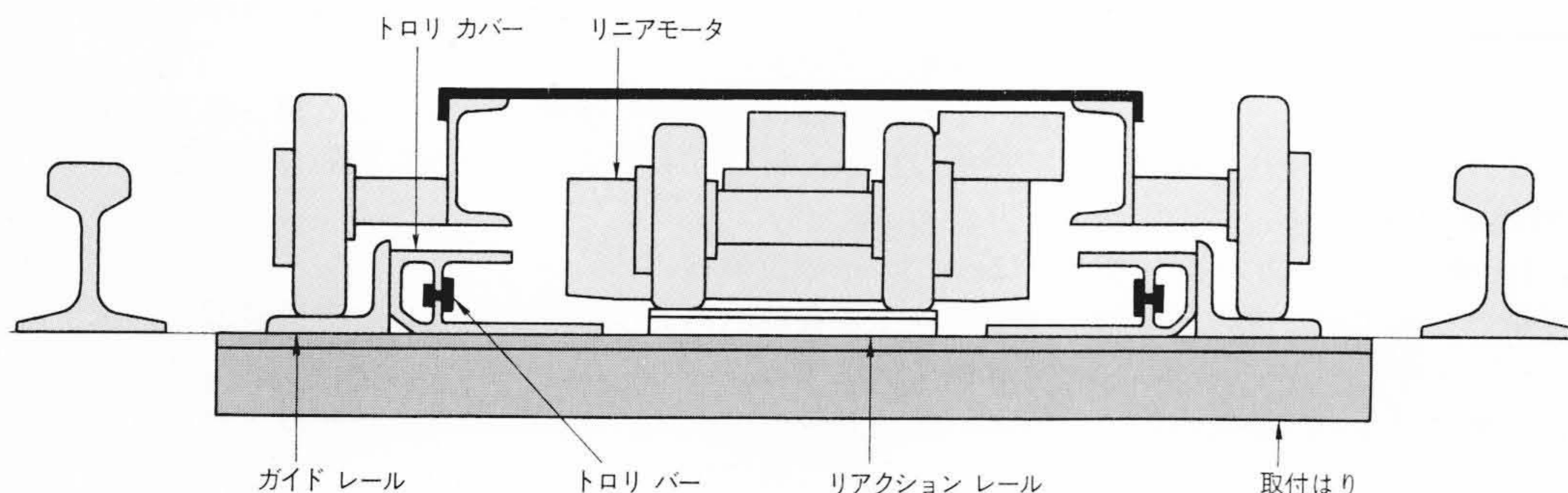


図5 走行路構造図 リアクション レール及びガイド レールは取付はりと一体に溶接されている。

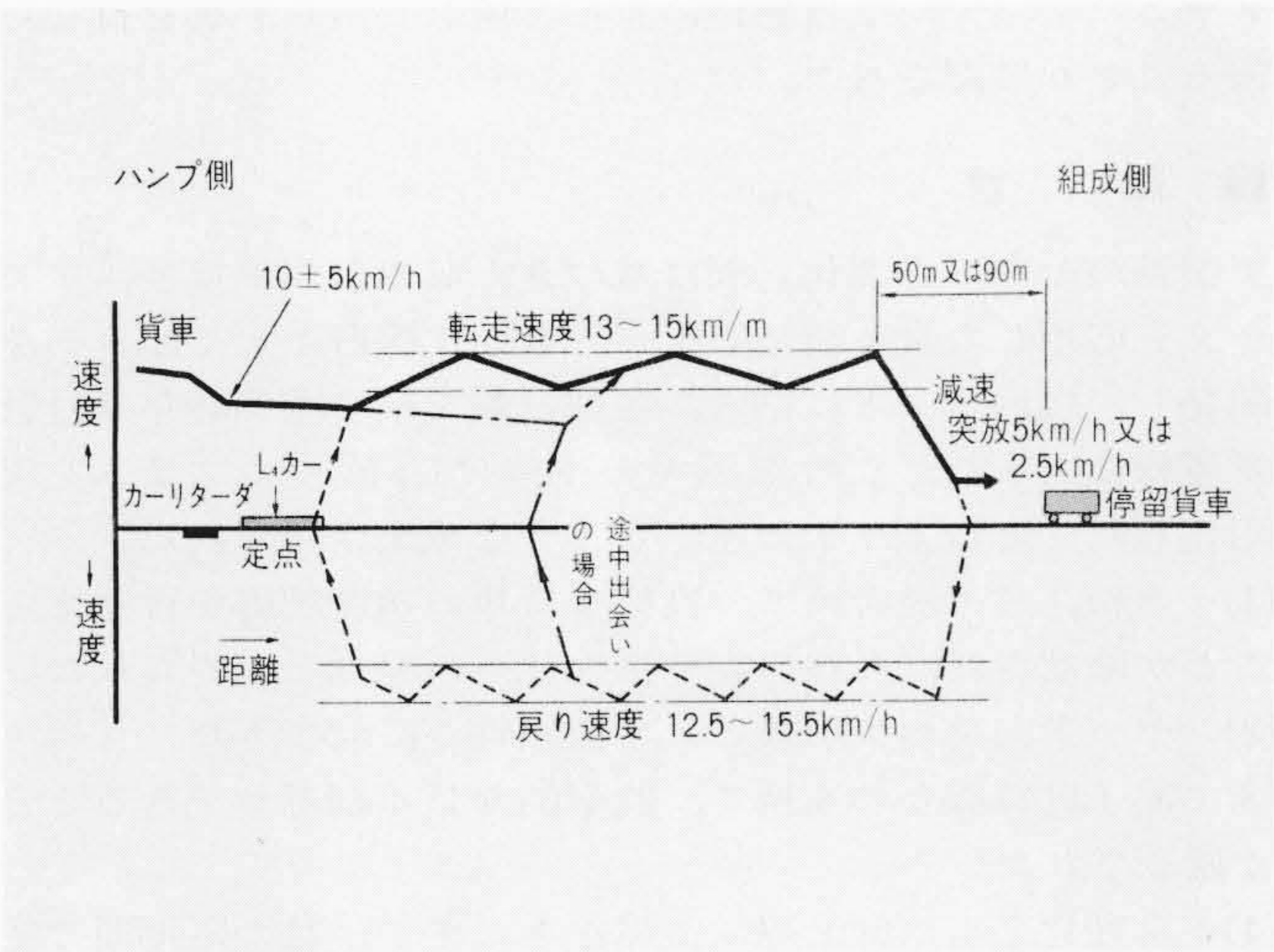


図6 貨車制御運転 L₄カーはカーリターダから所定の速度で脱出した貨車を仕分線入口(定点)で待ち受け、これを捕捉し、13~15km/hの速度で所定の地点まで転走し、そこから減速を開始して所定の速度になると突放し、戻り運転を行なう。

停留貨車に所定の距離まで近づくと貨車を減速し、所定速度まで減速するとプッシャーローラを閉じて貨車を突放し、定点に戻ってくる。この減速開始距離と突放速度は、貨車捕捉前に電子計算機から受信した貨車情報により制御する。

L₄カーは突放した貨車をくぐり抜けつつ貨車長の測定を行ない、貨車からくぐり抜けたことを脱出検知装置で検出し、測定した貨車の長さだけ前に記憶した停留貨車との距離から減算することにより、停留貨車とL₄カーとの間隔を常に正しく知るようにしている。

戻り運転の途中で進入してきた貨車と出会った場合、L₄カーはメタローチ スイッチMW1で車輪を検知して停止し、以下前述した方法で貨車を捕捉し転送する。

以後は同様な運転を繰り返し、仕訳線が満線になるまで貨車制御運転を繰り返す。

L₄カーは、所定の運転が完了するたびに電子計算機にサイクル完了信号を送信して、次の貨車情報を電子計算機から受信している。

また、停留貨車が定点から90m以内まで詰まるとフルネス信号(90m)を送信し、30m以内まで詰まるとフルネス信号(30m)を送信し、仕訳線のフルネス状態を電子計算機に連絡している。

5 L₄システムの信頼性

ヤードは貨物輸送の拠点であるため、その作業は昼夜の別なく、しかも1日の休みもなく稼動している。

従って、L₄カー及び各種の地上機器の信頼性は、このシステムを完成するため特に重要な要素である。

また万一、機器故障が発生した場合、L₄カーや貨車、及び積み荷に対し損傷を与えないよう配慮する必要がある。

(1) 信頼性の確保

L₄カーはその機器の性格上、振動、衝撃、温度、湿度など使用環境が極めて劣悪な条件で使用されるうえ、偏平な形状のため機器取付スペースに制限があり、その信頼性確保はなかなか難しい。

そのため、過去3年にわたって富山ヤードで実作業状態での試験を行ない、各種の改良を積み重ねてきた。

塩浜ヤードに実用機を納入するに当たっては、富山ヤードで経験した各種の問題点、及び実用機で予想されるいろいろな問題点を整理し、これらをどのように対策して実用機に採り入れていくかについて計画を立て実行した。

表2にその計画表の一部を示す。

次に故障発生時のダウンタイムの低減はユーザーの保守体制によるところが大きいが、機器側としては部品の交換、及び点検が容易にできる構造にするよう考慮し、保全性の向上を図った。

また、ヤードでは検修車を用意し、L₄カーが故障した場合は検修庫にある予備のL₄カーを積載して仕訳線に運び、短時間で交換できる体制となっている。

(2) 異常時の処置

停電、機器故障などが発生した場合、極力貨車の運行に影響を及ぼさないシステムにする必要がある。

このシステムでは停電の場合、2秒未満の停電、2秒以上75秒までの停電、及び75秒を超える停電の三つに分けて、それぞれ運転方式を変え、運行に万全を期している。

また機器故障が発生した場合、重故障と軽故障に分けて運転方式を変え、貨車制御に悪影響を与えない運用ができるよう配慮している。

6 試験結果

営業運転に先だち、実貨車をハンプ頂上より散転し各種試験を行なったが、ここでは貨車操車上最も重要な連結速度測定の結果につき述べる。

分解車は8tから150tまで30種類とし、連結注意車と普通車の両車両について連結速度を測定した。その結果、連結注意

表2 信頼度設計計画表の一部 各装置について、検討項目・内容・対策・確認方法についてそれぞれ計画を立て、試験により確認した。

項番	装置	検討内容		対策	確認方法				
		項目	内容		富山	工場試験	工場信頼度	試作	塩浜
1	プッシャー装置	プッシャーの強度	プッシャーローラ剛性検討	材質検討、試験確認	●				
			プッシャーローラ弾性検討		●	●	●		
			プッシャーアーム剛性検討	寸法形状検討、試験により確認	●	●			
			プッシャー体剛性検討		●	●			
		可動部分の異常摩耗	プッシャーローラメタル鉄車輪	材質検討、試験確認	●				
		部品の動作固渋	プッシャー軸固渋	試験による確認	●				

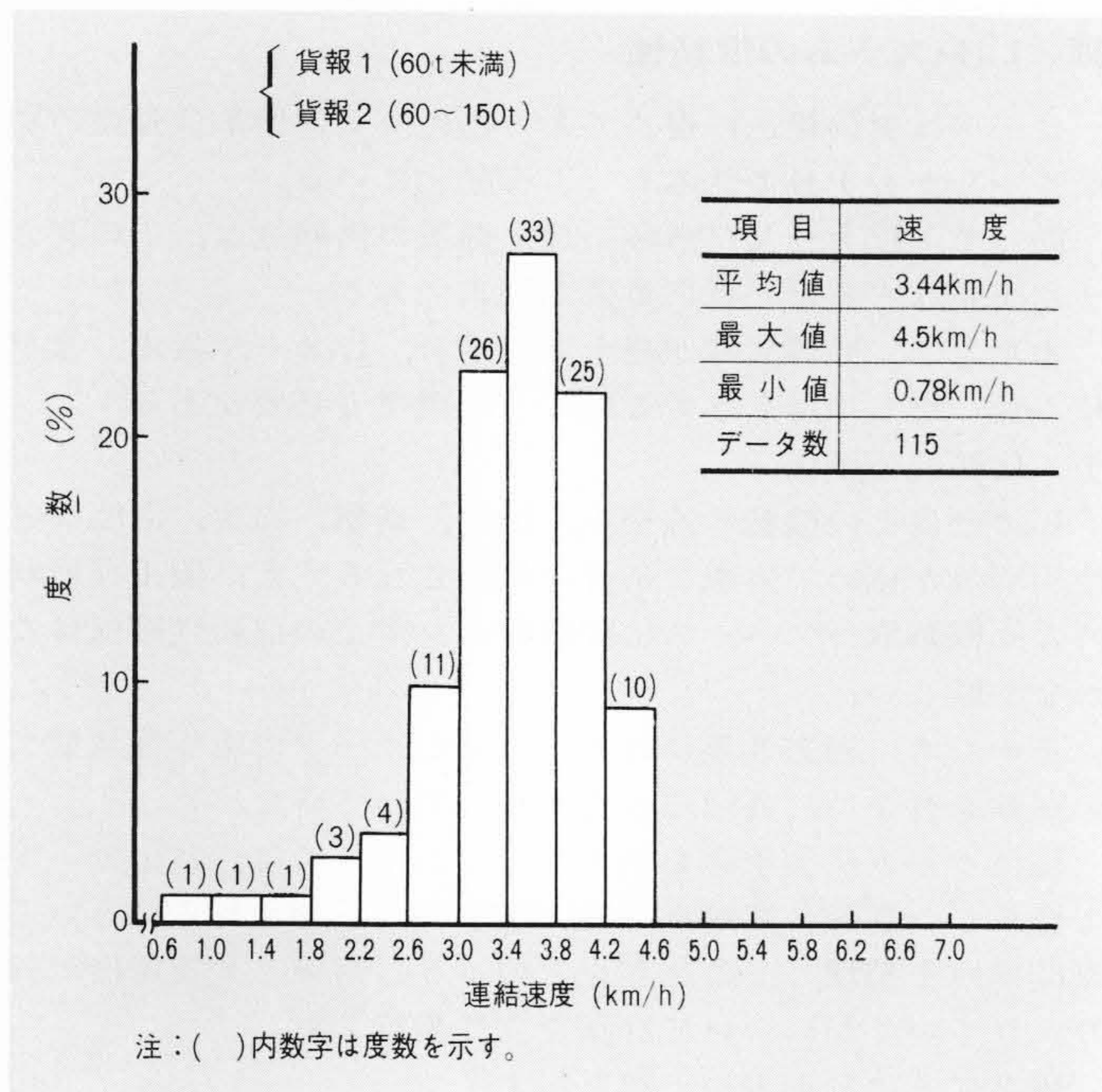


図7 連結注意車の連結速度分布 平均連結速度3.35km/hで良好な速度に制御されている。

車は4.5km/h以下に、普通車は7km/h以下にすべて入ることが確認された。図7はそのうち連結注意車についての連結速度分布を表わしたものである。

なお、その他の試験についても良好な結果が得られ、L₄シ

ステムによるヤード自動化によって優れた貨車制御を行ない得ることが確認された。

7 結 言

国鉄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全く新しいヤード自動化機器としてL₄カーを開発し、塩浜ヤードに納入、各種試験を経て昭和49年9月営業運転に入った。この塩浜ヤード向けL₄カーシステムを実用化したことにより次に述べるような成果が得られた。

- (1) 連結注意車を含めて、良好な貨車の速度制御を行なえることが確認され、今後の完全無人化への見通しが得られた。
- (2) ヤード向けの実用機として信頼性が確認できた。
- (3) 電子計算機との連携で、能率的な貨車制御ができることが確認された。
- (4) 自動化工事が営業線に支障をきたさず、且つ短期間で完了し得た。

以上、述べた塩浜ヤード向けL₄カーの実績をもとに、今後、各地ヤードの自動化においていっそう合理的なL₄カーを実現すべく引き続き研究が重ねられている。

終わりに、このシステムの実用化に対して、終始御指導いただいた日本国有鉄道の関係各位に対し、厚くお礼を申しあげる次第である。

参考文献

- (1) 松田, 「ヤード自動化の方向」, JREA13, 7073 (昭45-10)
- (2) 長沢, 「YACシステムにおける計算機制御の実施例と問題点」, エレクトロニクスダイジェスト135, 33 (昭45-2)
- (3) 武井ほか, 「リニアモータ方式L₄形貨車加減速装置」, 日立評論52, 1096 (昭45-12)

論文抄録

超電導マグネット

日立製作所 木村 浩
電気学会誌 94-5, 386 (昭49-5)

超電導材料の基本的な性質には、臨界温度 T_c 、臨界磁界 H_c 、臨界電流密度 J_c がある。このうち T_c は、材料の組成と結晶構造から決まる値であり、超電導応用の面からはできるだけ高いことが望ましい。当然、昔から高 T_c 材料の探索は各国で行なわれているが、その道は険しく、 T_c の上昇率は1K/4年ぐらいに過ぎない。昭和48年秋にアメリカでNb₃Ge薄膜の T_n (超電導開始温度)が22.3Kに達したと報じられたが、超電導マグネットの冷媒として液体水素を想定するにはまだ低きに過ぎ、依然として液体ヘリウム温度付近で使用せざるを得ない。 H_c は結晶の不規則性などに影響されるが、一般的に T_c の高い材料は H_c も高い。 J_c はこれらに比べるとマクロな金属組織によって大きく変化する量で、超電導体内に侵入する磁束をピン止めする結晶粒界、折出物、転移などの多い試料ほど J_c は大きくなる。

90kG以下のマグネット用実用超電導線材と

しては、Nb-Ti合金線が最も一般的であり、日本、ソビエトではNb-Ti-Zrなどの3元合金線も使われている。100kG以上の高磁界マグネット用としてはNb₃Sn及びV₃Ga化合物テープが使われているが、材料がもろいこと、テープ状であるための異方性などの欠点がある。最近では合金線材と同じく極細多心線材も開発されており、特にV₃Gaについては我が国が中心になり開発が進んでいる。

初期の合金系単線(0.25mmφ)巻きコイルは電流劣化現象が著しく、コイルの設計が極めて困難であった。これは磁束が超電導体に侵入していくときに起こる磁束跳躍と、これに伴う発熱に起因することが分かり、この不安定性を除くために各種の安定化法が提案された。完全安定化は複数の超電導線を導電率の高い常電導金属と電気的、熱的に接触させておく方法で、一時的にサブストレートに全電流が流れても T_c を超える

温度上昇を起こさないような冷却条件を与えておく方法である。本質的安定化は、「超電導線材の線径を細くすることによって、磁束跳躍をその影響がほとんど無視できるほど少なくできる。」という理論に基づく。現在までに作られた大形超電導マグネットの大部分は、完全安定化複合線材を使用したものであり、現在研究が進められているのは主に本質的安定化極細多心複合線材を使用したマグネットである。複合線材の超電導素線間の結合電流を防ぐツイストや、マグネット巻線の動きなども安定化に大きな影響をもつ。

完全安定化法は、超電導マグネットの発展及び実用化に大きな貢献をしたが、常電導サブストレートの割合が多いため装置が大形になる欠点がある。本質的安定化ではこの割合ははるかに小さくでき、前者では10³A/cm²台のコイル平均電流密度は10⁴A/cm²台に達している。