

リニアモータ応用貨車ヤードのシミュレーション

Simulation of Marshalling Yard System Using Linear Motor Cars

To modernize and automate marshalling yard operations, a new system using linear motor cars in sorting tracks is being introduced. In designing this type of marshalling yard system, the dynamic movements of freight cars and linear motor cars must be analyzed with respect to their dynamic interferences. In a unique simulation system recently developed at Hitachi, movements of freight cars and linear motor cars, which can be expressed by ordinary differential equations, are expressed by the continuation of the analytical solution. Characterized by high accuracy and short calculation time, this new simulation system has been proving extremely effective at the Japanese National Railways' Shiohama Marshalling Yard and at the Kitakami, Suôtonda Marshalling Yards.

越智利夫* Toshio Ochi
 国友佳男* Yoshio Kunitomo
 武井謙次** Kenji Takei
 村井忠雄*** Tadao Murai
 安藤正博**** Masahiro Andô

1 緒 言

操車場（以下、ヤードと称す）とは、貨物列車を行先別に仕分ける場所の名称である。ハンプヤードに到着した貨物列車は、ハンプと称する小高い丘に押し上げられる。ハンプ上では、貨車を行先別に切り離し、順次これを行先別に準備された仕分線群に押し出す。押し出された分解貨車はハンプのこう配を走行し、ポイントの操作で必要な仕分線に導かれることになる。図1は、この概要を示したものである。

ハンプから押し出され、ポイント操作で所定の仕分線に導かれた貨車は、その仕分線に既に滞留している貨車群に、ある定められた範囲内の速度で連結されなければならない。この連結速度が高すぎると、貨車内の積荷が破損するし、低すぎると連結器が作動せず、滞留貨車を引き出すとき不都合が起こる。また、同一方向に行く貨車群を駅別単位に仕分ける矢羽根線と呼ばれる特殊な用途に用いる仕分線がある（図1参照）。この矢羽根線はその性格上、貨車が相前後して進入する場合が多く、仕分けのポイントにおいて貨車の間隔が十分ないとポイントの切り換えができず、競合するという危

険性を有する。

ハンプから押し出された貨車は、ハンプの大きいこう配と仕分線入口付近の緩やかなこう配で加速され、滞留貨車の地点まで移動するのであるが、貨車の形式、積荷の有無、滞留貨車の位置、風向、風速及び雨や雪の状態などにより速度は大きく変化する。そこで考えられる手段は、ハンプのこう配を、抵抗の大きい貨車が逆風の際でも仕分線の先端（組成側）にまで進めるよう大きく取り、貨車の速度を必要に応じて減速するように制御する方法である。

この制御の方法として従来から用いられてきた方法が二つある。その一つは、各分解貨車に人間が乗り、人間の判断で足踏み式ブレーキをかけることである。この方法は確実ではあるが、危険を伴うこと、多数の人員を要することなどの欠点を持つ。他の一つは、このブレーキ操作を自動化しようとするもので、まず線路上の必要な場所に、リターダと呼ばれるブレーキ装置を置く方法である。各リターダは中央の電子計算機と連動しており、電子計算機は貨車の形式、重量、滞

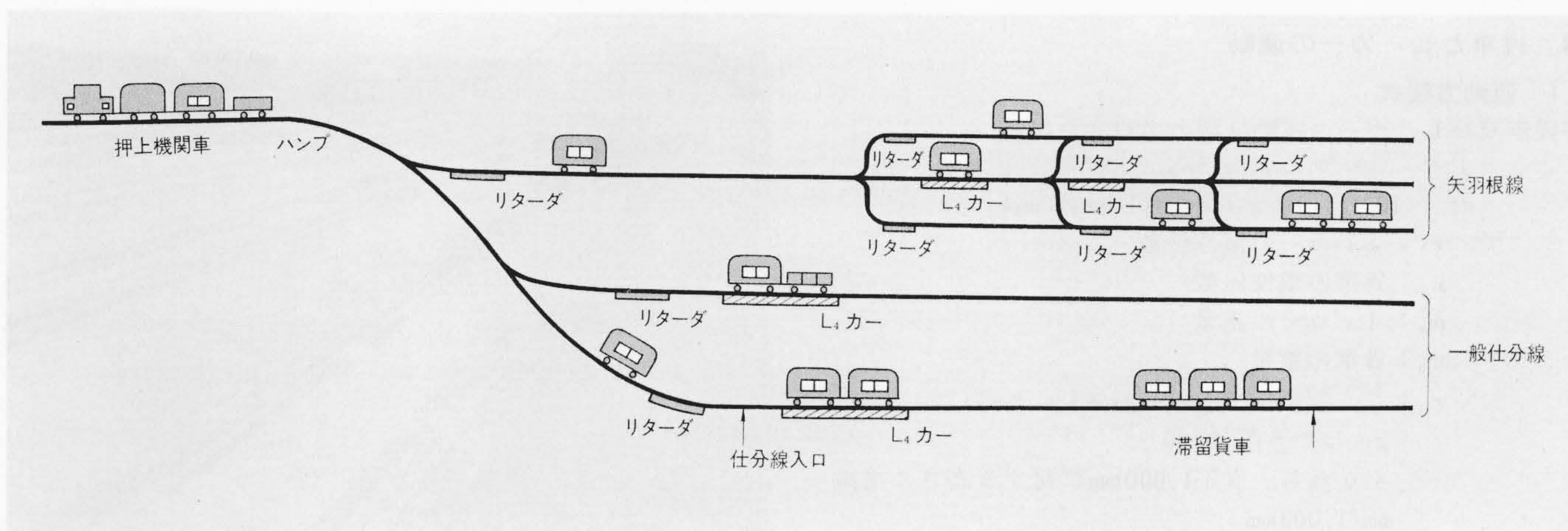


図1 仕分線と列車分解の概要図 ハンプのこう配を利用して貨車を走行させ、仕分線の入口付近で待機しているL4カーがこれを捕捉し転送後、突放する。

Fig. 1 Outline of Sorting Sidings and Train-Decomposition

*日立製作所日立研究所

**日立製作所水戸工場

***日立製作所システム技術本部

****日立製作所車両技術本部

留貨車の位置及び気象条件などから分解貨車の走行状況を予測してリターダを制御する。この方法は、分解貨車が滞留貨車に所定の速度でぶつかるようリターダを制御するもので、目標にねらい打ちする意味からターゲット シューティング方式とも呼ばれており、広く採用されている。しかし、この方法にも貨車の走行状態を予測する部分で十分な精度が得られにくい欠点がある。

リニア モータ応用のヤード方式は、仕分線内で積極的に貨車の速度を制御することにより、上記の欠点を補おうとするものである。この方式では、仕分線の各レール内に、リニアモータ方式で動く車両を設置する(図2)。この車両(以下、L₄カーと称す)は、高さが低く、ちょうど貨車の下をレールに沿って前方、あるいは後方に動くことができる。また、L₄カーは必要に応じてレール上を走行してきた分解貨車をだ捕したり、だ捕した貨車を加減速したり、突放したりすることができる。従って、L₄カーでは連続的に分解貨車の速度を制御できる特長を持っている。

日本国有鉄道(以下、国鉄と略す)ではリニア モータ応用のヤード自動化方式に注目し、日立製作所と共同で開発を進め、昭和45年1月から富山ヤードで試験的に使用するとともに、手計算によるシミュレーションで部分的解明を行っていたが、塩浜ヤードに本格的に採用した場合の貨車処理能力や、システムとしての問題点につき十分な分析をする必要があった。すなわち、将来見込まれる作業量を消化するためにどのような能力のL₄カーとリターダを置き、どのような気象条件のときはどのくらいの速度でハンプ上から貨車を押し出すか、またそのとき予想される事故、例えば貨車の追突や途中停止はどのくらいと考えられるかなどの分析が要求されるが、このためにはL₄カー方式によるヤード自動化システムの本格的シミュレータが必要であった。

我々は、昭和46年4月からこのシミュレータ開発に取り組み、同年10月、解析的方法を取り入れた新しい概念のHITAC 5020 F用ソフトウェアを開発し、各種条件でシミュレーションを実施した。この結果、前述のようなL₄カーの貨車処理能力が決定的に証明でき、国鉄塩浜ヤードへのL₄カー導入が決定された。

2. 以下で本シミュレータの概要につき報告する。

2 貨車とL₄カーの運動

2.1 運動方程式

貨車及びL₄カーの運動は次の方程式に従う。

$$\frac{dv}{dt} = \frac{g \times \{f - (r - r_1)\}}{10^3 \times \{(1+x_1)w_1 + (1+x_2)w_2\}} \quad \dots\dots(1)$$

ここで、 x_1 : L₄カーの慣性係数

x_2 : 貨車の慣性係数

w_1 : L₄カーの重量

w_2 : 貨車の重量

r_1 : こう配抵抗で、 $r_1 = gr \times (w_1 + w_2)$

gr はこう配(0/00)

すなわち、水平1,000mmに対する高さの増減mm/1,000mm

f : L₄カーの速度特性を示すもので図3の形で与えられる。

g : 重力加速度

$r = R_2 w_2 + R_l w_1 \dots\dots$ 走行抵抗

ここで、

R_l : L₄カーの走行抵抗

$R_2 = R_m + R_w + R_p + R_c \dots\dots$ 貨車の走行抵抗

R_m : 直線抵抗

$R_w = \frac{K \cdot S}{w_2} (V + V_w)^2 \cdot \text{sign}(V + V_w) \dots\dots$ 空気抵抗

R_p : 分岐器抵抗

$R_c = 600/R \dots\dots$ 曲線抵抗

K : 係数(0.06)

S : 貨車断面積

V : 貨車速度

V_w : 風速の貨車進行方向成分

R : レールの曲率半径

2.2 運動方程式の解

上述の運動方程式は、そのままでは解析的には解けない。その理由は、速度特性 f が、図3に示す曲線で与えられていることと、空気抵抗 R_w が $\text{sign}(V + V_w)$ という項を含んでいるためである。

このため、従来この方程式は数値的に解かれていたが、L₄カー方式のシミュレータの場合、解く回数が多く、時間がかかりすぎる点と、貨車をL₄カーがだ捕する点や、追突点などの交点の計算が、数値解では非常にやっかいな点に問題があり解析的な解が望まれたわけである。今回はこの問題を以下のように考えた。

まず、速度特性 f は、力行と制動に分け、それぞれを二次曲線、

$$f = aV^2 + bV + C$$

で近似する。

次に、線路が一定方向を向いており、且つこう配の変わらない区間を考える。この区間内では、同一分解貨車に対し x_1 , x_2 , w_1 , w_2 , K , R_l , R_c , r_1 , S , R_m , R_p , R などの変数は一定の値を持ち、変化するのは $\text{sign}(V + V_w)$ を含む R_w だけである。しかし、この R_w も、上記線路区間内で、 $V + V_w$ の符号が変化する点までは、+1あるいは-1で変わらない。

従って、 $\text{sign}(V + V_w)$ の符号が変化しないところまで線路区間を縮小すると、この区間内では運動方程式は簡単に解け、数式は省略するがその解は五つのパラメータで表示されることになる。一方、上述の $\text{sign}(V + V_w)$ の変化点は速



図2 リニア モータ カー リニア モータ カーの実物写真を示すものである。

Fig. 2 Linear Motor Car

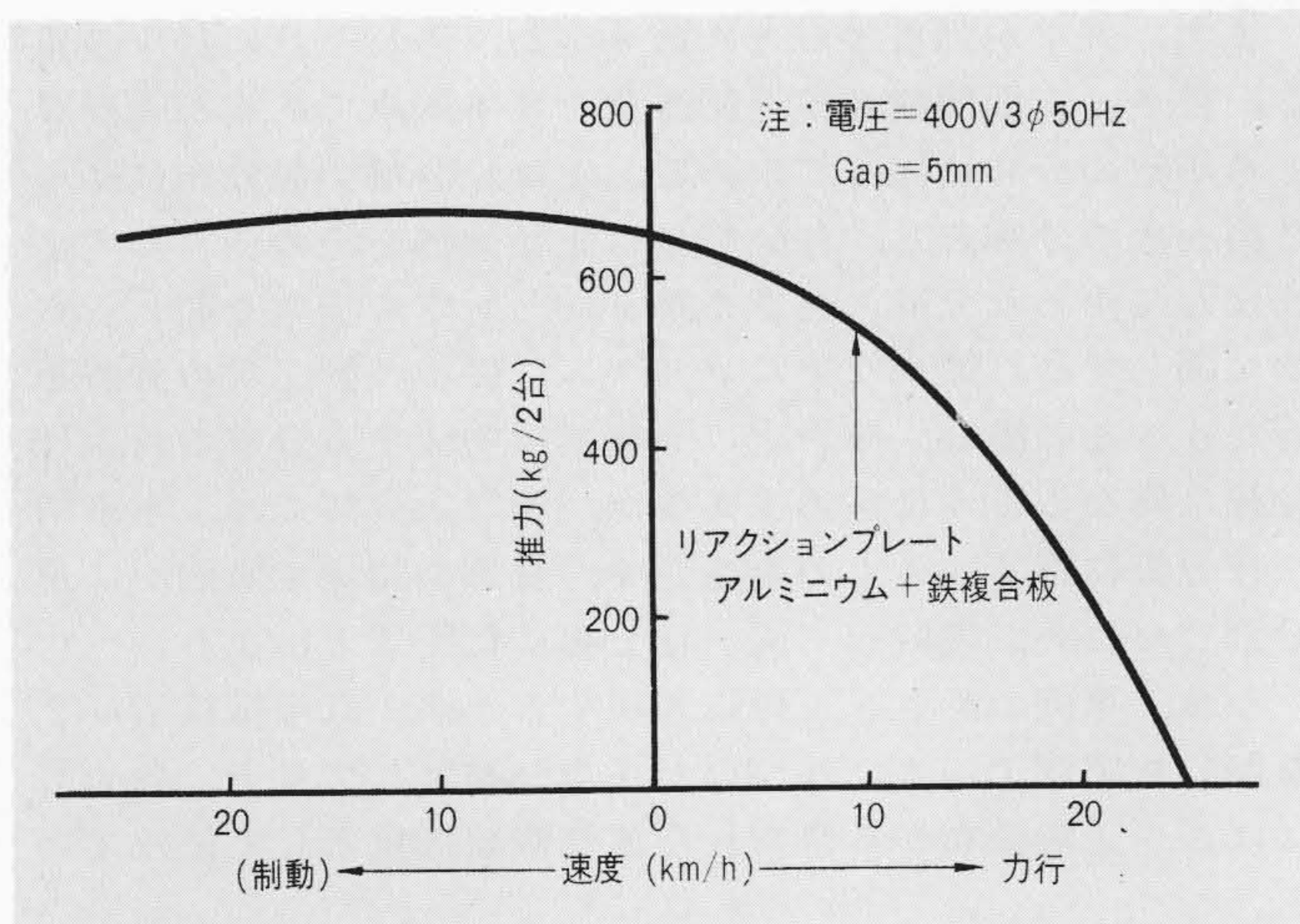


図3 L₄カー推力の速度特性図 L₄カーの推力は速度の関数となっており、二次関数で近似する。本図は電圧ごとに3種類の特性が示されている。

Fig. 3 Dependence of the Driving Force on the Velocity of L₄ Car

度 V と風速の線路方向成分 V_w の値で変化する。従って、五つのパラメータで表わされる運動方程式の解の有効区間は、ダイナミックに変化するのでハンプから押し出された貨車やL₄カーの全体的な動きは、これらパラメータ群の結合により表わされることになる。

3 データの取扱い

3.1 線路条件の取扱い

3.1.1 区分点

ハンプ頂上、こう配の変化する点、曲線区間の切れめ、分岐点、リターダ位置及びストップ位置などを区分点と呼び、区分点番号を与える。区分点番号は整数の通し番号でハンプ頂上を1とする。

No.	名 称
1	前ポイント
2	後ポイント
3	出発場所
4	出発時間
5	出発速度
6	方 向
7	最終場所
8	最終時間
9	最終速度
10	関 数 形
11	対応線路区間
12	a
13	b
14	c
15	d
16	状 態 (α)

但し、

1. a, b, c, d は運動方程式の係数を示す。
2. 状態(α)は、
 $\alpha=1$ 自動転送
 2 加 速
 3 減速(逆相)
 4 定速(インテグレーション速度)
 5 最高速度
 6 減速(逆相+空気)
 7 停 止
 8 リターダ区間
 9 L₄カー情行

図4 運動のデータブロック 条件が一定な区間で運動方程式を解いたときの結果を保存している。貨車及びL₄カーの動きはこのデータブロックのつながりとして表現されている。

Fig. 4 Data Block of Wagon's and L₄ Car's Movement

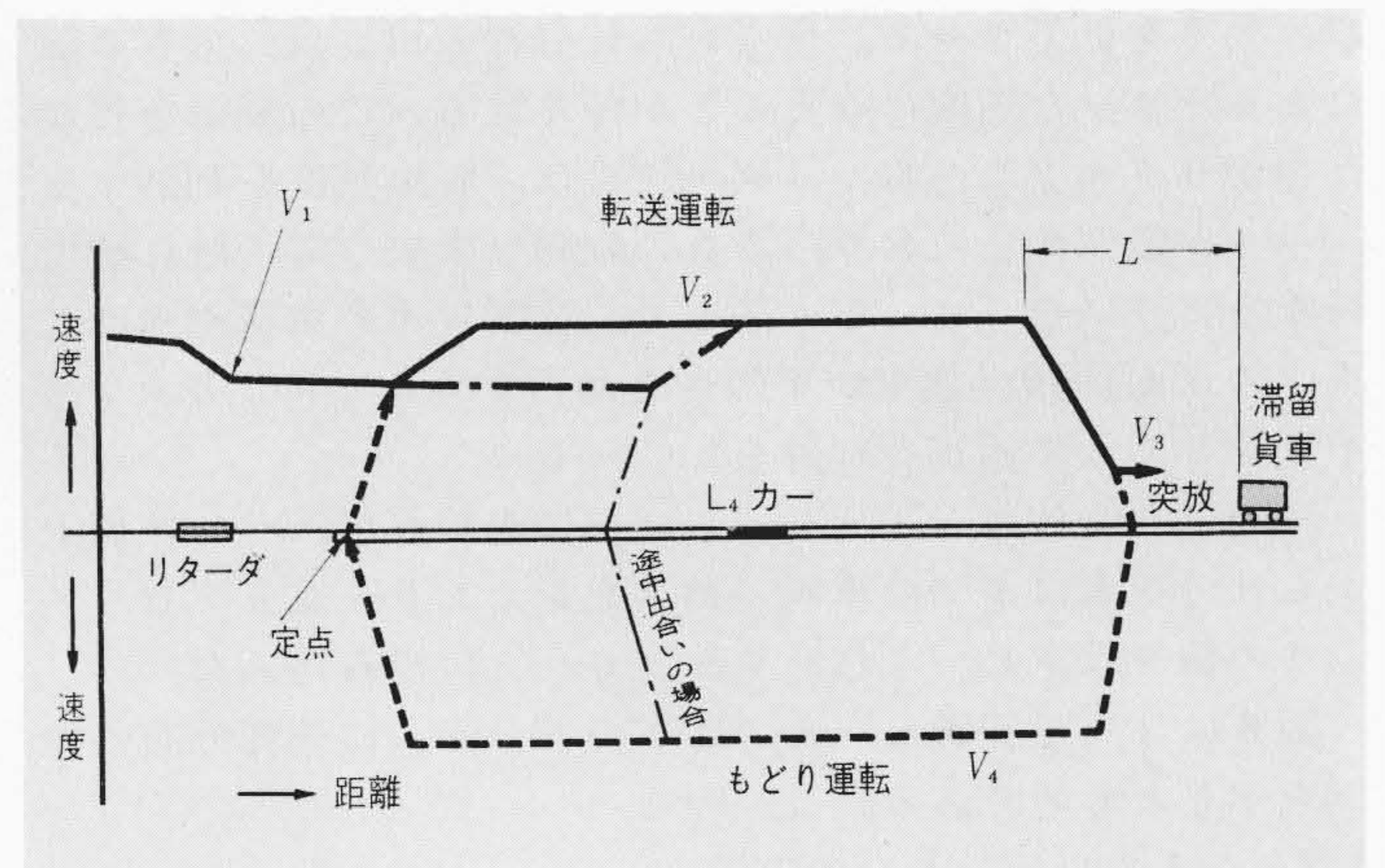


図5 自動運転サイクル L₄カーが侵入してきた貨車をだ捕し、転送、減速、突放及び反転(戻り運転)のサイクルを図示したものである(L₄カーが定点でだ捕する場合及び途中出合いでだ捕する場合の2例が示されている。

Fig. 5 Cycle of L₄ Car's Automatic Driving

3.1.2 線路条件

仕分線を記述するために、2方向にポイントを持つデータ構造を採用する。

3.2 貨車とL₄カーの運動データの扱い

前述の線路条件は、一線路データブロック内では同一線路条件を満たすように作成されている。それは条件の変化する点はすべて区分点として選び、区分点には含まれた最小区間を線路条件データブロックとして作成したからである。従って、この区間上で貨車やL₄カーが一定条件、すなわち自然走行、加速及び減速などで動くとき、運動は2.で示した五つのパラメータで記述できる。そうして線路条件データブロック間で条件の変化する点は、加速から自然走行などの走行状態での変化と、(1)式に含まれる sign の変化、貨車の追突及びL₄カーによるだ捕などの条件変化を起こす点であり、これらの点は時々刻々変化する。従って、運動を表わすデータは変化に対応できる構造を持つ必要がある。図4は、運動のデータブロックの内容を示したものである。このデータブロックは、データ構造管理システムにより常に現状が管理され、不要なデータの削除や、必要データブロックの挿入が容易に行なえるようになっている。

4 貨車とL₄カーの動き

4.1 L₄カーの運転サイクル

L₄カーは、ハンプ頂上から自然走行してきた貨車をだ捕して加速、あるいは減速し所定の速度にした後、その貨車を滞留貨車の近くまで運び、減速突放する。突放された貨車は、滞留している貨車まで自然走行し連結される。L₄カーは貨車を突放した後、停止し、仕分線入口方向に戻り運転を行なう。

仕分線入口に到着するまでに次の貨車を検出したときは、直ちに停止し、進行方向を反転して貨車をだ捕する。仕分線入口までに次の貨車と出合わないときは、仕分線入口で停止して貨車の到着を待つ。図5は、この自動運転サイクルの概要を示したものである。

4.2 リターダの制御

ハンプ頂上から押し出された分解貨車は押し出されたときの速度と、ハンプの持つこう配で加速されて仕分線入口に到着する。この場合、仕分線入口で貨車が停止することがあってももちろんいけないし、非常に速い速度や遅い速度も以下のL₄カーの減速や加速に時間がかかるため、システムとし

での効率を低下させる。すなわち仕分線入口では、できる限りある定まった速度になることが望まれる。この制御を行なうのがリターダである。リターダには、脱出速度を制御するノッチが数個ついており、これの制御は中央の電子計算機で行なうようになっている。従って、分解貨車の重量や風向、車両の正面面積（貨車が屋根付きか否か）などにより、ノッチを切り換えて適正な制御をしている。

今回は、全体のシミュレーションに先だて、ハンプ頂上から仕分線入口までの車両の動きをシミュレーションし、ノッチの値を設定し、これをシミュレータに組み込んだ。

図6はノッチ制御と、そのときの仕分線入口速度分布の一例を示したものである。

4.3 シミュレーションの方法

4.3.1 初期値とデータの発生

各仕分線での滞留貨車の初期状態、風向、風速及び仕分線からの貨車引出し計画などはデータとして与える。

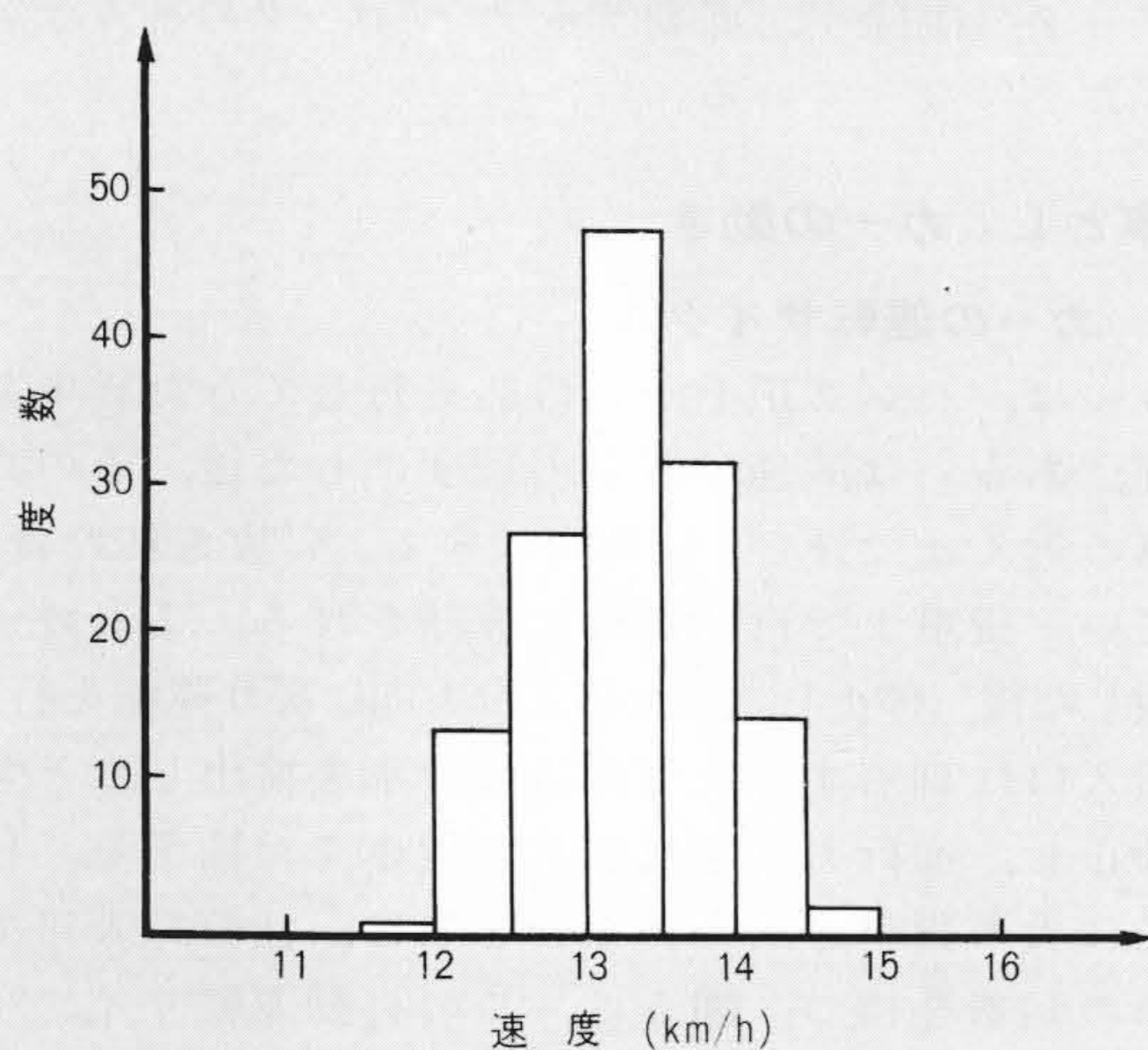
到着列車の両数、行先仕分線別に分解するときの1分解の両数、各貨車の形式、重量などはシミュレーションを行なうヤードのデータを分析し、分布の形で与えておく。また、到着列車の行先仕分線に関しては、到着列車のタイプ、すなわち、どのような方面から到着したかに応じて行先仕分線分布が変わるようになっている。

ハンプへの貨物列車到着時間に関しては、到着ダイヤを与える方法と、到着間隔を時間帯別に指数分布など分布の形で与える方法とが準備されている。

ノッチ 番号	貨車重量 (t)		風速 (m/s)		断面積 (m ²)	設定値 (m/s)	分散値 (m/s)
	下限値	上限値	下限値	上限値			
1	0.0	300.0	0.0	-100.0	100.0	3.0	0.3
2	"	20.0	"	"	5.0	3.7	"
3	20.0	300.0	"	"	"	3.2	"
4	0.0	10.0	"	"	100.0	4.4	"
5	10.0	40.0	"	"	"	3.7	"
6	40.0	300.0	"	"	"	3.2	"

注：但し、負の値の風速は追風を、正の値の風速は向い風を示す。

(a) リターダ設定値(仕分線入口速度13km/hの制御)



(b) 仕分線入口の速度分布

図6 リターダの設定値及び仕分線入口の速度分布 貨車重量、風速、貨車断面積ごとにリターダノッチの値をテーブル化したものである。リターダの脱出速度は与えられた設定値と分散値の正規分布で決定される。

Fig. 6 Retarder's Fixed Value Table and Entrance Velocity Distribution

まず、列車が到着すると両数を定め、それぞれの貨車の重さ、長さ、正面面積及び連結注意を要する車であるか否かなどを所定の分布に従って求める。次に、分解両数分布に従って第一次の分解をし、各分解の行先仕分線を決める。このようにして決めた分解の長さや重さが、所定の基準を超えるものに関しては、簡単なアルゴリズムに従って第二次の分解を行なう。この場合、第一次の分解では前後する分解の行先仕分線は異なるように定めてあるが、第二次分解では、本来同一仕分線に行くべきものを重さや、長さの関係で何個かに再分割したため、連続して同一仕分線に行くことになる。

なお、車両の動きを正確に表現するため、直線抵抗 $Rm(2.参照)$ を実測データに基づいた正規分布として与え、各分解にはこの正規分布から得られた値を直線抵抗として使っている。

4.3.2 シミュレーション

まず、すべての分解貨車をハンプ頂上から出発させ、滞留貨車末尾まで進む自然走行のデータを計算する。次に、一つの分解貨車を取り出し、この分解貨車の進む仕分線の L_4 カーの位置を求め、可能なら L_4 カーによる捕、転走及び突放計算を行なう。次に、進行途中で後続貨車が追突する可能性があるかチェックし、もしあれば追突させて、その時点からの計算をやりなおす。この方法で順次後続貨車をチェックし、追突がなくなった時点で計算を確定したものとし、 L_4 カーを反転させて仕分線入口のほうに進行させ、次の新しい分解車両のだ捕計算を行なう。

L_4 カーは貨車を突放後、停止、反転して仕分線先端のほうに進行するとき、いま突放した貨車の長さを測定し滞留貨車長を更新するが、貨車が途中で停止したり、測定の誤差などのために、貨車引出しのあった直後や仕分線にある程度貨車の入ったときなどに、距離測定のための L_4 カー単独の走行を行なう。シミュレータでは、実際の貨車長が正確に分かっているもので、距離測定そのものは意味がないが、 L_4 カーの距離修正のための作業が貨車のキャッチミスや、途中停止に与える影響などを調べるためにこの機能も組み込んである。

また、仕分線からは、あらかじめ与えられたダイヤに従って滞留貨車の引出しを行なっている。このとき、滞留貨車のどれだけの部分を引き出すかは、前もって与えられた分布に従うようになっている。一方、このような貨車引出し中には、その仕分線に分解貨車を入れることはできないので、目的仕分線がこの貨車引き出し作業時間帯のときには行先仕分線を変更しなければならない。シミュレータでは、この外、目的仕分線がいっぱいのときには、あらかじめ定めている雑放線(複数)に行先を変更することを試み、雑放線が引出し中や、いっぱいときには他の線に変更するようになっている。この部分の考え方は現実の動きと同じである。

図7はシミュレーションの概要を示したものである。

4.3.3 シミュレーション結果の編集

シミュレーションで得られたすべてのデータは保存され、結果処理ルーチンに渡される。このルーチンでは走行回数、距離といった単純データから滞留貨車への連結速度分布や、貨車途中停止の状態、回数及び各仕分線での同時走行状態など複雑な資料並びに走行状態のプロット図などの分析資料を必要に応じて作り出す。

5 リニアモータ方式ヤードの問題点

ヤードの地理的条件、 L_4 カーの性能、風向風速を考慮したリターダ設定値、貨車押上速度、滞留貨車引出計画及び貨

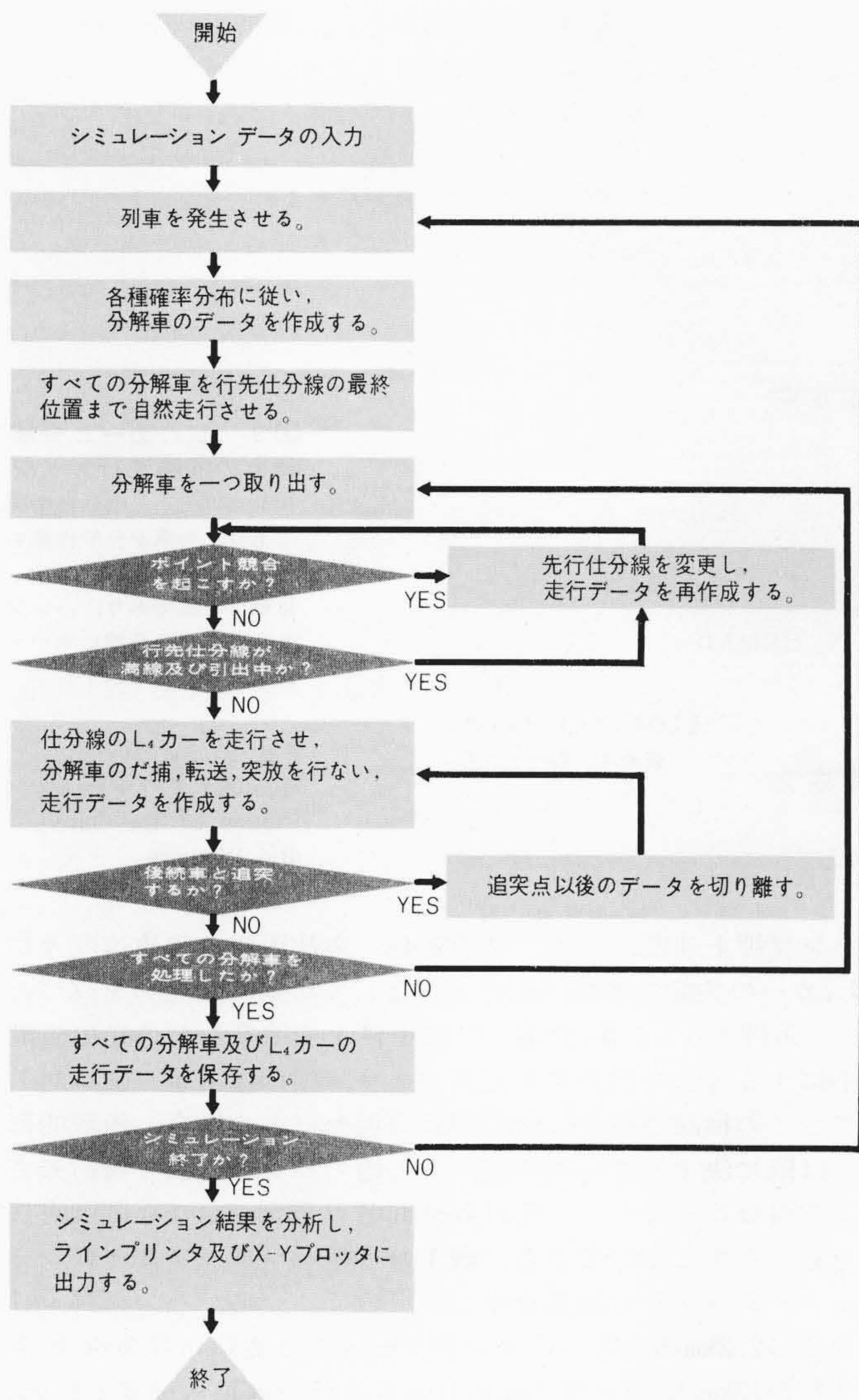


図7 シミュレーションの概要図 シミュレーション プログラムの処理手順の概略を示したゼネラル フローチャートである。

Fig. 7 Outline of the Simulation Program

車突放条件などを与えてヤード能力を検討するとき、以下のような点が問題となる。またこのときは、問題点の発生頻度、状況に応じて上記パラメータを変更し、問題点の発生が少なく、且つ、1日当たりの分解処理量の大きいものを求める必要がある。その問題点とは次のようなものである。

(1) 貨車の途中停止

貨車の途中停止には三つのケースがある。一つは、 L_4 カーが突放した後、滞留貨車まで進まないもので、これは滞留貨車と連結していないため、引き出すときに問題があるのと、 L_4 カーは滞留貨車に連結したものととして滞留貨車末尾を自分で更新し、次の突放の資料とするが、実際は途中停止のため貨車は手前があるので、次回からの突放時、連結速度が大きくなる点に問題がある。

もう一つは、 L_4 カーが貨車をだ捕する前に貨車は既に停止しているケースで、次の貨車がきてこれに追突してしまう。この追突のときに問題の発生するおそれがある。

更にもう一つのケースは、2番目のケースと似ているものであって、 L_4 カーが貨車を検出しタイマを設定して加速し、自然走行に移る。一方、貨車は極めて速度が遅く、この自然走行中に L_4 カーだ捕点までこずに停止してしまい、 L_4 カーも停止してしまうものである。但し、このケースは確率的

には極めてまれである。

(2) キャッチ ミス

L_4 カーが、貨車を突放し、反転して、ある一定の距離を進む以前に次の貨車がきたときはこれをだ捕することはできない。このとき、一般仕分線ではだ捕されなかった貨車は高速で滞留貨車に追突する危険があり、矢羽根線では、仕分けのポイントにおける競合の危険性を含んでいる。

(3) 追 突

前走車が難走車で、後続車が易走車であり、且つ、連続して同一仕分線に入ってくるときに追突発生の危険性がある。一応、貨物列車を行先仕分線に分解する第1ステップでは、連続して同一仕分線に入ることはないが、4.3.1で述べたように、重量などの関係から再分割するとき、あるいは目的仕分線が満ばいのときにこの現象の発生することがある。

このため、分解の第2ステップでは追突の発生が少なくなるよう考慮を払っている。

(4) 連結速度

L_4 カーによる突放後、滞留貨車への連結速度はある定まった範囲に入っている必要がある。というのは、速度が余り速いと積荷をこわすおそれがあるし、速度が余り遅いと連結しないためである。

(5) 滞留貨車の量

滞留貨車が仕分線入口まで接近すると、もうその仕分線には貨車を入れることができなくなる。このような満ばいの仕分線が多くなると、貨車の行先仕分線が限定されるため、追突やキャッチ ミスが多くなる。このため適当な引出し計画を立てる必要がある。

(6) ポイントの競合

行先が異なる貨車が相前後してポイントを通過する場合、前走車がポイントを抜け切らない前に後走車が同じポイント区間にさしかかることがある。この場合、ポイントの切り換えができず、後走車の行先は前走車の行先に変更される。この現象をポイント競合と呼ぶ。

6 計算結果

今回開発したシミュレータでは、(1) L_4 カーや貨車の走行にはパラメータ表示による解析解を接続する方法を採用し、(2)一つの分解車両に対してハンプ頂上での押出しから、 L_4 カーによるだ捕、滞留貨車への連結を行ってから後続、あるいは更にそれに続く貨車がどこかで追突していたかを調べ、もしそうなら、その時点で再計算を行なう方法を採用している。このために、運動を数値解で解く方法や、事象の発生を

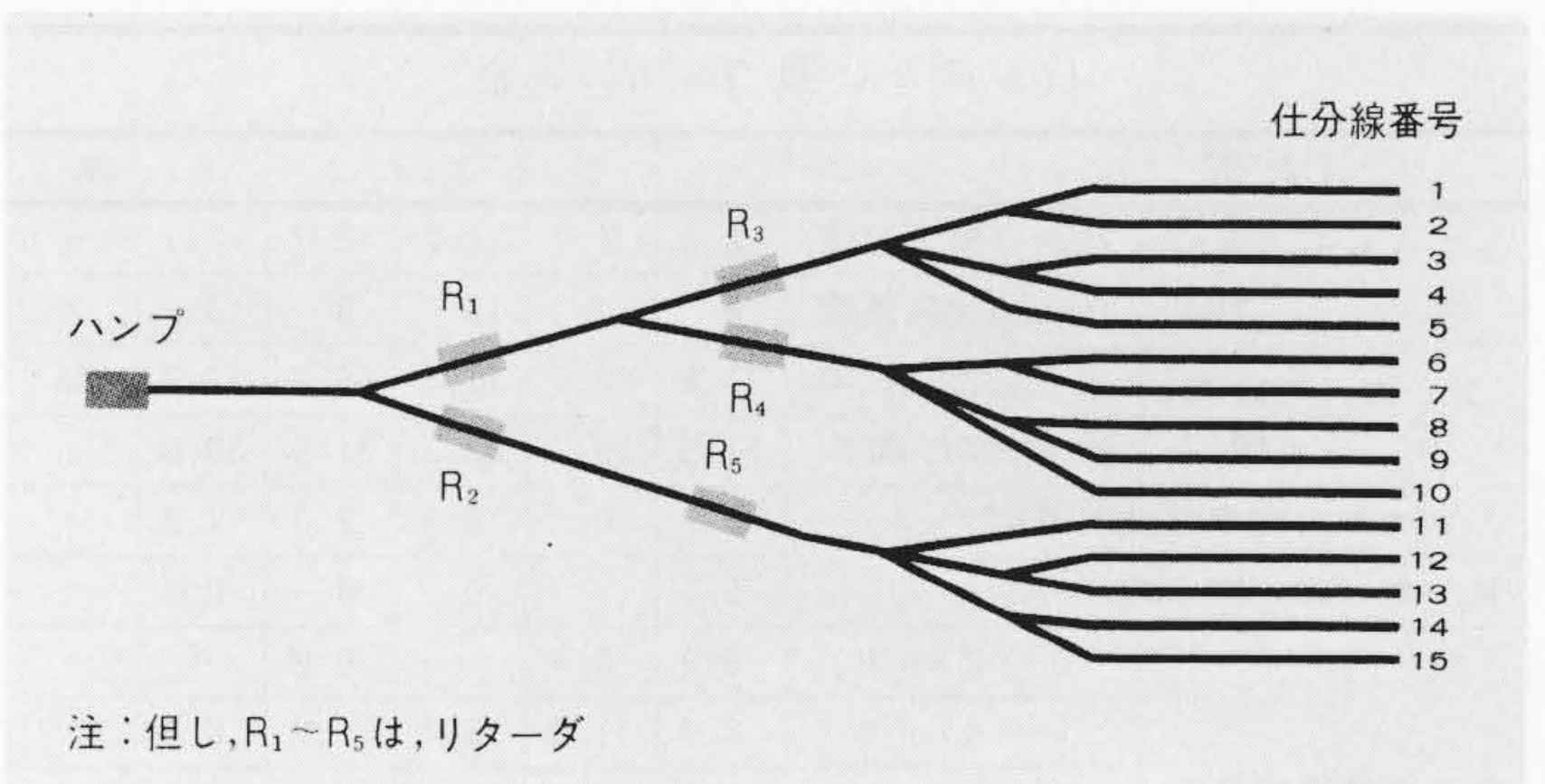


図8 国鉄 塩浜ヤード平面図 川崎市にある国鉄 塩浜ヤードの平面図である。仕分線は15線、 L_4 カーは各線1台ずつ15台あり、各線とも2段のリターダ制御を受ける。

Fig. 8 Plane Figure of the Shiohama Marshalling Yard

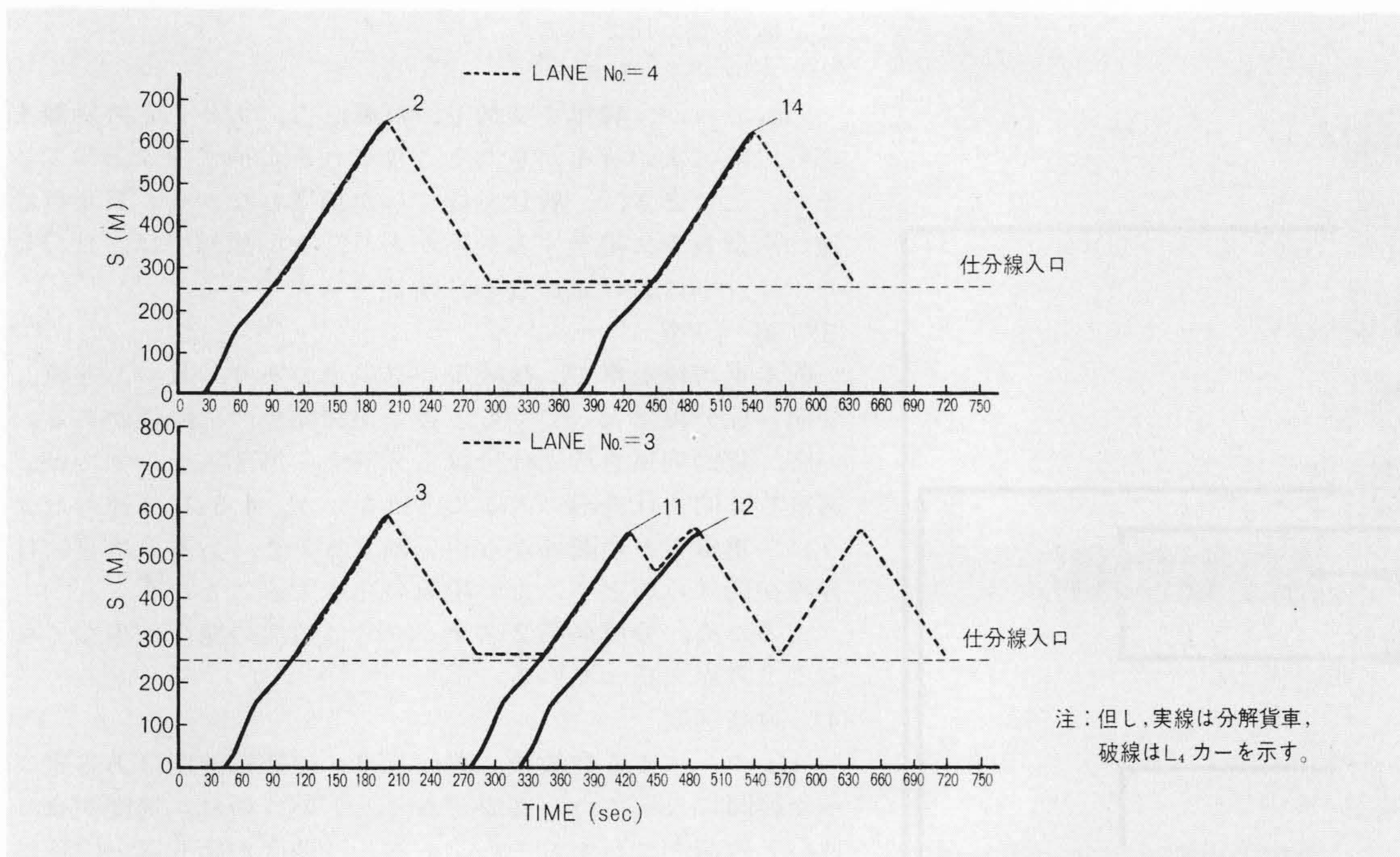


図9 L₄カーと分解貨車の同時走行X-Yプロッタ図 横軸は時間であり、列車が分解作業を始めた時刻を0としている。縦軸は距離であり、ハンプを0として仕分線に向かう線路上の長さを示す。

Fig. 9 Synchronous Running X-Y Plotter Figure of L₄ Cars and Wagons

時間軸で追う方法と比較して計算時間は大幅に短くなると同時に精度も向上している。例えば図8に示した国鉄塩浜ヤードに対し、71列車980分解のシミュレーションを行なうのにHITAC 5020 Fの所要時間は11分である。その内訳は列車を発生させ、それを走行させるに要する時間は10分、結果を分析したり、プロッタ図を描かせる出力ルーチンに要する時間は1分である。ヤードシミュレータでは、仕分線の地理的形状や

表1 シミュレーション結果の例 向かい風、追い風ごとにシミュレーション条件を変えて計算した結果の一例である。数値の単位は総分解数に対する割合で示している。

Table 1 Example of Simulation Results

CASE No.		1	2	3	4	5	単位
シミュレーション条件	ハンプ押上速度	2.2	2.2	2.2	2.7	2.7	km/h
	仕分線侵入速度	8	10	13	8	13	"
L ₄ カーの貨車捕	定点だ捕率	75.4	68.2	81.1	65.8	68.9	%
	非定点だ捕率	22.2	29.3	18.8	31.1	29.5	"
L ₄ カーの貨車だ捕不能率		2.4	2.5	0.1	3.1	1.6	"
貨車追突率		0	0.2	0	0	0.3	"
貨車連結速度分布	0 ~ 2 km/h	5.8	6.8	10.9	6.0	5.5	"
	2 ~ 4 km/h	26.8	26.7	34.3	29.0	28.7	"
	4 ~ 6 km/h	63.3	62.3	54.7	59.3	58.5	"
	6 ~ 8 km/h	2.7	4.2	0.1	4.7	3.9	"
	8 km/h以上	1.4	0	0	1.0	3.4	"

(a) 向かい風 7m/sの場合

CASE No.		1	2	3	4	5	単位
シミュレーション条件	ハンプ押上速度	2.2	2.2	2.2	2.7	2.7	km/h
	仕分線侵入速度	8	11	13	8	13	"
L ₄ カーの貨車捕	定点だ捕率	77.8	80.8	77.4	65.8	68.7	%
	非定点だ捕率	21.5	19.2	22.3	31.9	30.0	"
L ₄ カーの貨車だ捕不能率		0.7	0	0.3	2.3	1.3	"
貨車追突率		0	"	0	0	0.3	"
貨車連結速度分布	0 ~ 2 km/h	0.2	0.3	"	0.3	"	"
	2 ~ 4 km/h	8.0	11.3	8.4	11.0	8.6	"
	4 ~ 6 km/h	76.8	80.7	79.2	76.2	77.5	"
	6 ~ 8 km/h	13.5	7.7	10.7	10.2	10.7	"
	8 km/h以上	1.5	0	1.7	2.3	2.9	"

(b) 追い風 7m/sの場合

ハンプ押上速度、リターダ設定値、突放距離、突放速度及びL₄カーの性能などをパラメータとして必要処理能力を保つという条件のもとで5.で述べた途中停止や追突などの発生を最小にする方法を検討する必要がある。国鉄塩浜ヤードに対してもこの検討を行なった。国鉄塩浜ヤードの場合、地理的形状は既に決まっていたので、その他のパラメータで検討せざるを得なかったが、一応、各種問題点発生が少ない制御方法を見いだすことができた。表1は各種パラメータごとにシミュレーションした結果を示したもので、一応、ハンプ押上速度は2.2km/hとし、向かい風7m/sのときには仕分線進入速度が13km/h、追い風7m/sのときは仕分線進入速度が11km/hとなるようリターダを制御すればよいことを示している。なお図9は仕分線3番及び4番でのL₄カーと貨車の走行状態を示したプロッタ図である。

7 結 言

リニアモータを使った貨車ヤードのシミュレータを開発した。このシミュレータでは、貨物列車の発生から分解、ハンプからの押出し、自然走行、リターダ制御、L₄カーによるだ捕、転送及び突放といった一連の動作を正確に表現できる。また、リニアモータ部分を取り外せば、従来方式ヤードにも簡単に使うことができる。今回のシミュレータは、運動方程式を小区間で解析的に解き、これをダイナミックに接続する方法を採用したもので、この方法により、シミュレーションでありながら非常に短時間で正確な答えを得ることができた。本シミュレータは完成後、神奈川県川崎市にできる国鉄塩浜ヤードの検討に活躍した。また現在、矢羽根線を持つ岩手県北上市の国鉄北上ヤードにも適用されており、今後、リニアモータ方式自動化ヤードの導入計画に威力を発揮していくものである。

終わりに本シミュレータの開発に当たり、終始御指導を賜わった日本国有鉄道鉄道技術研究所停車場研究室原田主任研究員並びに工作局瀬間課員、東京第一工務局丸山係長、盛岡工務局山本係長、元木課員をはじめ関係各位に対し深謝する次第である。