

ヤード設備と機能に関する研究

AN ANALYTIC STUDY OF THE INSTALLATIONS AND CAPACITY OF MARSHALLING YARDS

金子 慶一*
By Keiichi KANEKO

1. はじめに

貨車ヤードにおける作業内容は

- (イ) 他域相互着発車を中継する全域中継作業
- (ロ) 自域内着発車を中継する区域中継作業
- (ハ) 自操配内着発車を集配する集配作業

で、これによって、ヤードをその使用目的から次のごとく分類している。

輸送力ヤード：(イ)，(ロ)，(ハ)の作業を行う

地区操配ヤード：(ロ)，(ハ)の作業を行う
ヤードの取扱能力は、従来

- (i) ヤード作業が1日当たり3回転できると仮定し、全収容力の70%の3倍を取扱能力とする。
- (ii) 各部容量(到着線群，仕分線群，出発線群)，各部特性(分解，組成)の物理的数値のうち最小値をとる。
- (iii) 多数のヤード設備とその取扱能力からの相関により査定する。

によって取扱われてきた。

しかし、ヤードの取扱能力は、単にヤードの内部構造によってのみ一意的に決まるものではなく、外的要因(貨物ターミナルの影響，隣接ヤードの影響)と内的要因(有効長，入換機の数，自動化など)によって大きく影響を受けることに着目し、それがヤードのインプット，アウトプットの波動にあらわれることから、

- 1) ヤードを分類し、その属性すなわち、輸送力ヤードか地区操配ヤードかを明確化して、
- ② ヤードにかかる負荷すなわち、到着列車

と出発列車の時間別入出量強度の特性を解析し、①ヤードをネットワーク上のノードとして、このヤード系について、ヤードの特性すなわち、波動が伝達する構造を求めて、ヤード取扱能力の査定法を開発する(工学的目的)。

- 2) これにより、全国ヤードの取扱能力を解析し、ヤード取扱能力の査定の基準(標準化)を確立する(実用化目的)

のが本研究の目的である。

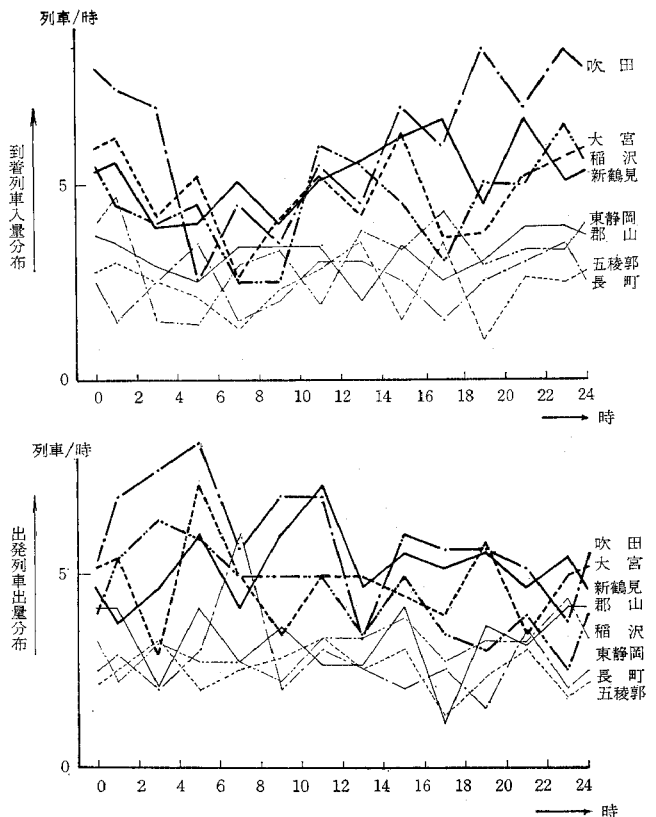


図-1 全国主要ヤード列車到着出発分布

* 正会員 三井建設(株)技術研究所顧問 (前国鉄外務部)

2. ヤードの負荷特性

(1) 輸送流動における負荷の発生、吸収、流動構造

輸送流動における負荷は、貨物ターミナルにおいて、貨物が集荷されることによって発生し、到着貨物が配達されることによって吸収、消滅される。すなわち、負荷とは貨物ターミナルにおける1日8時間の作業時間内に取扱われる着発貨物トン数の時間的変化をあらわす。貨物の流れは、荷主よりトラックで貨物ターミナルに搬入、トラックから取卸、貨車への積込、列車の組成、出発となり、ヤードにおいては、方向別に分解、組成されて、相手側のヤード、貨物ターミナルでは、この逆の操作がなされ、荷主のもとに貨物が届いて終了する。

負荷には、年間の輸送負荷、週間負荷、日間負荷があるが、このうち最も重要な日間負荷すなわち、時間別負荷については、貨物の種類が車扱、コンテナ扱および直行ライナー扱に分かれてそれぞれに負荷があり、この負荷の合成は個々の貨物ターミナルによって異なっているが、到着、発送ともにだいたい1日3回のピークがあらわれている。この貨物ターミナルの負荷が、これら貨物ターミナルを勢力圏にもつヤードに列車着発の時間別入出量強度すなわち、インプット、アウトプットとなってあらわれる。一般的にヤードにおける取扱車数の約1/2が貨物ターミナル操配貨車となり、ヤードのインプット、アウトプットに大きな影響を与えている。

図-1は全国主要ヤードのインプットダイヤ、アウトプットダイヤを示すが、なぜこのような形が発生するか、すなわち、貨物ターミナルに輸送流動のシンクとソースを与え、ヤードを列車の変換の場と考えて、ネットワーク上の伝達構造(外的要因)から解析することが必要である。このことは、一つのヤードから出発する時間別排出密度“アウトプット”は本線路上を運転され、一定時素の遅れをもって、隣接ヤードに対し列車到着密度“インプット”となってあらわれるので、これらヤード間を連結してネットワークによる波動伝達のシステムを組むことができると考える。

ヤード内は主として、到着線群—分解作業—仕分線群—組成作業—出発線群の流れとなり、到着線群はインプットダイヤに、出発線群はアウトプットダイヤに支配され、仕分線群はインプット、アウトプットの相互の組合せに支配されている。ヤード取扱能力は、総取扱貨車数はもちろんであるが、インプット、アウトプットの組合せに

よって大きな影響をうける。

仕分線群での波動は比較的フラットである。このことは、到着線群から仕分線群に入る間に、分解作業のため、いわゆる、分解のフィルターにかかって塞流され波形の凹凸がとれて、ハンプでは一様の流れとなり、仕分線群では振動が少なくなっている。出発線群は、直行集結は仕分線群の現在車に比例し、ローカル列車は地区操配の独立な時間帯によって列車を出している。

いま一例として、郡山ヤードの作業流動の特性解析図

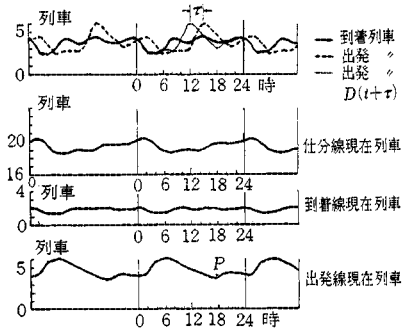


図-2 郡山ヤード特性解析図

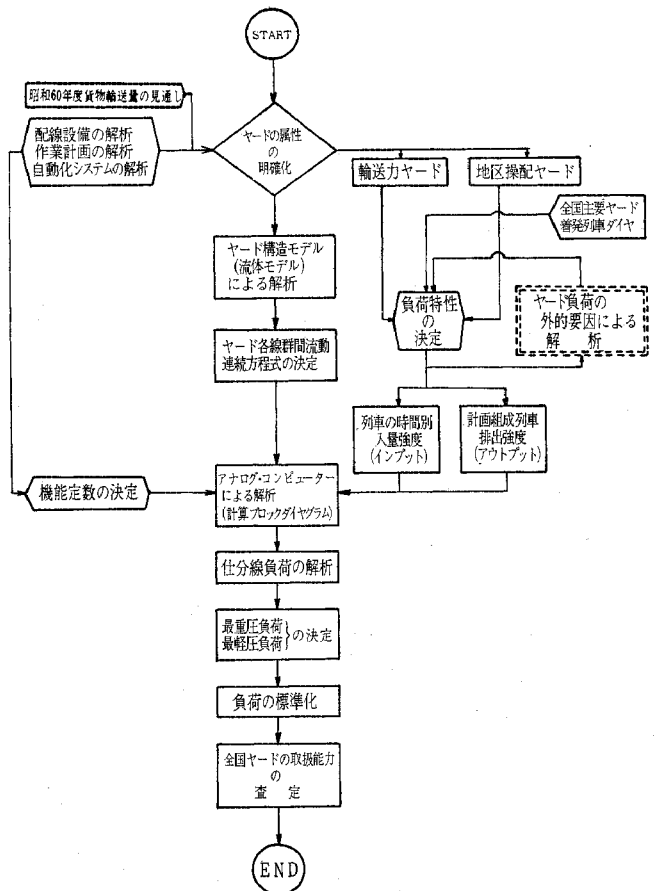


図-3 ヤード取扱能力解析のフロー

を見ると、図-2のごとくである。

イ) インプット(実線)の波形は到着線群現在列車数のそれとよく対応している。すなわち、到着列車数の多い0時頃は、到着線群現在列車数も多く、つづいて4時頃の到着列車数の少ない時間帯は到着線群現在列車数も少ない。ただし、到着列車数よりも到着線群現在列車数が少ないのは、分解作業に引き出されているためである。

ロ) アウトプット(点線)の波形は、組成作業に要する時間 τ 時間だけ、出発時刻より位相を早めて(細い実

線に従って)組成作業が開始され、その波形が出発線群現在列車数のそれとよく対応している。すなわち、出発列車数が3~6時頃の減少する時間帯は、組成された列車が出発線群に排出されるので、出発線群現在列車数は増加の形となる。郡山ヤードの実績では、 $\tau=3$ 時間として、組成作業が実施されていて、17時頃までは組成列車数が減少し、出発列車数に従って、出発線群現在列車数が一定割合で減少して、 P 時刻で組成列車数が増加に変われば、同時刻から出発線群現在列車数は増加してきている。

ハ) 仕分線群現在列車数は、到着列車がハンプ分解作業で塞流されて、ほぼ一定の分解列車数が仕分線群にたまるから、到着列車数したがって到着線群現在列車数に追従して出発線群現在列車数と比べて、出発線群現在列車数が増加のときは、組成引出しが多いから減少する。また、出発線群現在列車数が減少しているときは、組成引出しが少なく、仕分線群現在列車数は増加している。すなわち、仕分線群現在列車数は到着線群、出発線群相互の現在列車数の差によって、その波動があらわれている。

本論では、インプット、アウトプットの組合せによって、ヤードの内的要因がヤード取扱能力におよぼす影響について解析を行う。この研究の手法をフローチャートで示すと図-3のごとくである。

(2) ヤード構造モデルと各線群間の流動連続方程式

ヤードにおける貨車の流れおよび作業内容は図-4に示すごとくである。

ヤードの取扱貨車は大別して、輸送力列車扱、部分集結列車扱およびローカル列車扱ならびに特殊継承扱である。

ヤードにおいて、到着した列車に連結されている貨車を、他の列車に連結して送り出すことを継承といっているが、このうち、特に速達を要する鮮魚、野菜等の市場行急送品積貨車等は、ヤードにおける中継時間

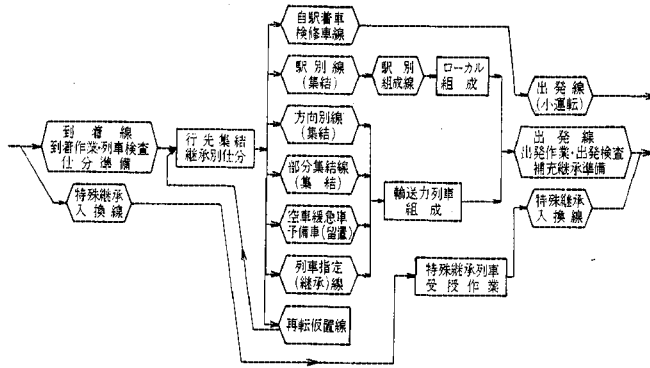
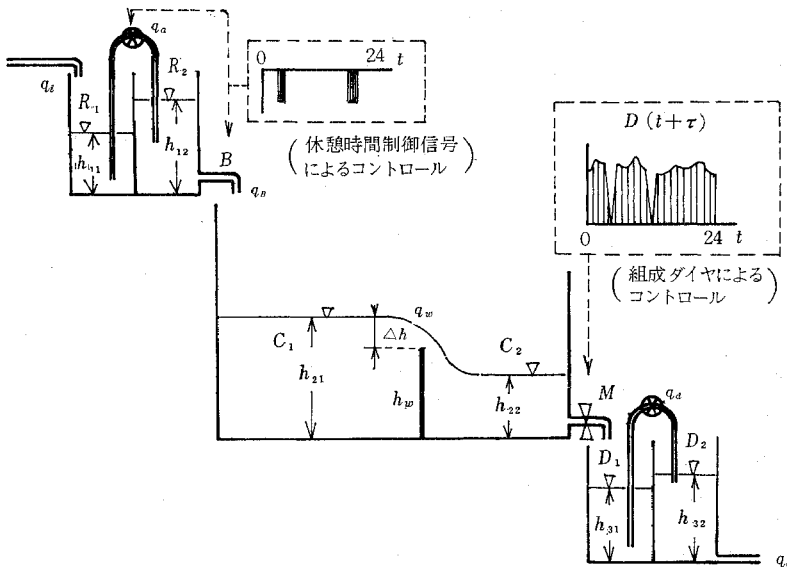


図-4 ヤード作業モデル

R (到着線群)

C (仕分線群)

D (出発線群)



流体モデルによる系の対応

水理系

ヤード系

h = 水位

N = 現在列車数 / 収容可能列車数

q = 単位時間当りの流量 (h/R)

q = 列車 / 時間 (1時間当りの列車数)

R = 流水抵抗

α = 時間 / 単位列車 (1列車の処理時間)

C = 底面積

K = 最大収容列車数

図-5 流体モデルによるヤード

を短縮するために、列車組成および貨車集結方を指定して（ハンプの分解作業を通さず）着発線において継承作業を行って、この作業を特殊継承といっている。また、逆に、非常に継承時間の長いものは一度再散転線に預入れるのが普通である。再散転作業は、上りから下りへ、下りから上りへ行くもの、または満線仮置きのため発生するものである。

これら、輸送力列車扱、部分集結列車扱、ローカル列車扱、特殊継承扱および再散転扱は、全ヤード取扱量のそれぞれ、3/10, 2/10, 3/10, 1/10, 1/10 である。

図-4 の作業モデルに示すときヤード作業に伴って生ずるヤード内の貨車流動の波形の解析は、ヤードの構造が一つの伝達システムであらわすことができるから、フーリエ級数になおしたインプット、アウトプットの構造組合せにより、逆にヤードの伝達システムを求める操作を行うことである。換言すれば、普通は伝達システムの方にインプットの波形を加えて、どのような波形のアウトプットが出るかを解析するが、ヤードの場合には、インプット、アウトプットの両方の波形が決っていて、すなわち、出口の波形を指定していて、そのなかで、どのような波動を示すかを調べることとなり、特異な問題である。

ヤード内の各線群間の流動構造を 図-5 に示す流体モデルでシミュレートする。

- R : 到着線群 (R_1 と R_2)
 - C : 仕分線群 (C_1 と C_2)
 - D : 出発線群 (D_1 と D_2)
- } (3 容量)
- B : 分解能力
 - M : 組成能力
- } (2 特性)

を示す。

まず、この系の左から圧力パイプを通して R_1 に注水される（列車が到着する）。 R_1 に注がれた水は一定時間後ポンプで R_2 に移される。このことは、到着列車は分解作業に移る前に列車到着作業があり、到着した列車の波動を到着作業で一定の数だけ分解に送り出している。したがって、 R_2 の水位が上り（分解可能列車がたまり）これを B なるパイプを通して C_1 のプールに流す。すなわち、 B なるハンプの分解作業で仕分線群 C に貨車を散転している。しかも、 R_2 の水位 h_{12} に相当する分の水を B （ハンプ分解作業）のパイプで C_1 のプール（仕分線群）に流下（散転）することになる。

仕分線群 C では、ハンプ分解作業を経て、集結別に指定された仕分線に仕分けられた列車がある程度たまらなければ円滑な組成作業ができない。したがって、 h_w の高さの堰を設け、これ以上に水（仕分線在線列車数）がたまらなければ堰を越えて C_1 から C_2 に流入しない。すなわち、組成作業のための貨車が集まらない。こ

のことは、出発列車に仕立てるための組成作業を待つ貨車群——列車組成のための財源と呼ぶ——がないときは、組成ができないように制限しておくことである。したがって、 B により流下する水量と溢流して流れ去る量の差が C_1 にたまる水量（水深 h_{21} ）となる。もし、この両方の差の水深 h_{21} が堰の高さ h_w になると溢流がとまる。したがって組成可能財源が集まらない。 C_1 から溢流した水量により C_2 の水深 h_{22} の水（列車数）がたまり、 M により D_1 のプールに流下する。すなわち、 M なる組成作業により出発列車が集められる。実際の組成作業では、組成が開始されてから一定時間かかって出発列車がつくられ出発線から出発する。このことは、組成作業の内容が一定時間後に出発する列車の組成を実施していることで、この分だけ位相を早めた出発ダイヤにそった組成作業をすることになる。

組成された列車は、出発線群で出発作業があるので、モデルでは D_1 にたまった水をポンプで D_2 に注いでいる。厳密には、ターミナル操配をする駅別組成と隣接ヤード送りの方向別組成とは、組成内容、組成時間、したがって、発車時刻が異なり、別々に解析すべきであるが、マクロ的な解析であるため両者を一緒にした取扱で近似する。

以上から、ヤードの各線群間の流動連続方程式は次のごとくである。

到着線群について

q_i : 到着列車の入量強度

q_a : 到着列車検査の作業強度

C_{11} : 到着検査列車に対する収容可能列車数

h_{11} : 到着線群における到着検査前の滞留列車数

とすれば、滞留列車の時間的变化は、

$$C_{11} \frac{dh_{11}}{dt} = q_i - q_a \dots \dots \dots (1)$$

いま、 $q_i - q_a$ は、負については排出は考えられないので、非線形関数であるから、 $q_i - q_a \geq 0$ に対し、 $h > 1$, $h < 1$ について、1, 0 の値をとる単位関数を $k_1(h_{11})$ として、

$$C_{11} h_{11} = k_1(h_{11}) \int (q_i - q_a) dt + (1 - k_1(h_{11})) \int q_i dt$$

$h_{11} \geq 1$ ならば $k_1(h_{11}) = 1$

$$h_{11} = \frac{1}{C_{11}} \int (q_i - q_a) dt$$

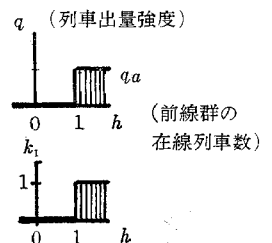
$h_{11} < 1$ ならば $k_1(h_{11})$

$$= 0 \quad h_{11} = \frac{1}{C_{11}} \int q_i dt$$

また

q_B : 分解能力

C_{12} : 到着検査終了列



車に対する収容可能列車数

h_{12} : 到着線群における分解待列車数

とすれば,

$$C_{12} \frac{dh_{12}}{dt} = q_a - q_B \dots\dots\dots (2)$$

ここに, $q_a - q_B$ は同様に非線形関数であるから, $q_a - q_B \geq 0$ に対し, $h > 1, h < 1$ について, 1, 0 の値をとる単位関数を $k_2(h_{12})$ として,

$$C_{12} h_{12} = k_2(h_{12})$$

$$\cdot \int (q_a - q_B) dt + (1 - k_2(h_{12}))$$

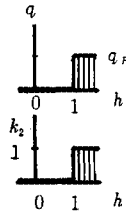
$$\cdot \int q_a dt$$

$h_{12} \geq 1$ ならば $k_2(h_{12}) = 1$

$$h_{12} = \frac{1}{C_{12}} \int (q_a - q_B) dt$$

$h_{12} < 1$ ならば $k_2(h_{12}) = 0$

$$h_{12} = \frac{1}{C_{12}} \int q_a dt$$



仕分線群について

q_w : 組成可能列車の入量強度

C_{21} : 組成財源確保のための収容可能列車数

h_{21} : 仕分線群滞留列車数

h_w : 組成財源確保のための制限列車数

とすれば

$$C_{21} \frac{dh_{21}}{dt} = q_B - q_w \dots\dots\dots (3)$$

$q_B - q_w$ は同様に非線形関数であるから, $q_B - q_w \geq 0$ に対して, 1, 0 の値をとる単位関数を $k_3(h_{21})$ とすると,

$$C_{21} h_{21} = k_3(h_{21})$$

$$\cdot \int (q_B - q_w) dt + (1 - k_3(h_{21}))$$

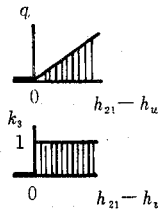
$$\cdot \int q_B dt$$

$h_{21} - h_w \geq 0$ ならば $k_3(h_{21}) = 1$

$$h_{21} = \frac{1}{C_{21}} \int (q_B - q_w) dt$$

$h_{21} - h_w < 0$ ならば $k_3(h_{21}) = 0$

$$h_{21} = \frac{1}{C_{21}} \int q_B dt$$



また,

$D(t + \tau)$: τ 時間後に出発線より出発する出発列車
出量強度

C_{22} : 組成待ち収容可能列車数

h_{22} : 組成待ち列車数

とすれば

$$C_{22} \frac{dh_{22}}{dt} = q_w - D(t + \tau) \dots\dots\dots (4)$$

同様に, $q_w - D(t + \tau)$ は非線形関数であるから, $q_w - D(t + \tau) \geq 0$ に対し, $h > 1, h < 1$ について, 1, 0 の値をとる単位関数 $k_4(h_{22})$ とする
と,

$$C_{22} h_{22} = k_4(h_{22})$$

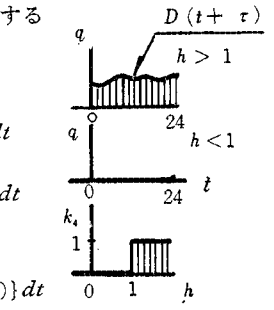
$$\cdot \int \{q_w - D(t + \tau)\} dt$$

$$+ (1 - k_4(h_{22})) \int q_w dt$$

$h_{22} \geq 1$ ならば $k_4(h_{22}) = 1$

$$h_{22} = \frac{1}{C_{22}} \int \{q_w - D(t + \tau)\} dt$$

$h_{22} < 1$ ならば $k_4(h_{22}) = 0$



出発線群について

q_d : 出発列車検査の作業強度

C_{31} : 出発検査列車に対する収容可能列車数

h_{31} : 出発線群における滞留列車数

とすれば

$$C_{31} \frac{dh_{31}}{dt} = D(t + \tau) - q_d \dots\dots\dots (5)$$

$D(t + \tau) - q_d$ は同様に非線形関数であるから, $D(t + \tau) - q_d \geq 0$ に対し, $h > 1, h < 1$ について, 1, 0 の値をとる単位関数 $k_5(h_{31})$ を用いて,

$$C_{31} h_{31} = k_5(h_{31}) \int \{D(t + \tau) - q_d\} dt$$

$$+ (1 - k_5(h_{31})) \int D(t + \tau) dt$$

$h_{31} \geq 1$ ならば $k_5(h_{31}) = 1$

$$h_{31} = \frac{1}{C_{31}} \int \{D(t + \tau) - q_d\} dt$$

$h_{31} < 1$ ならば $k_5(h_{31}) = 0$

$$h_{31} = \frac{1}{C_{31}} \int D(t + \tau) dt$$

また,

C_{32} : 出発待ち収容可能列車数

h_{32} : 出発待ち列車数

μ : 係数

とすれば

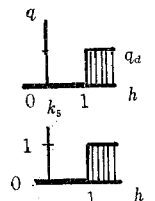
$$C_{32} \frac{dh_{32}}{dt} = q_d - \mu h_{32} \dots\dots\dots (6)$$

ただし, 全体として

$$\int_0^{24} q_i dt = \int_0^{24} D(t + \tau) dt$$

とする。

上記 (1) ~ (6) の微分方程式を解析するために, MEL COM-EA-7420 アナログ計算機を使用した。その演算回路を示せば, 図-6 のブロックダイアグラムのごとくである。



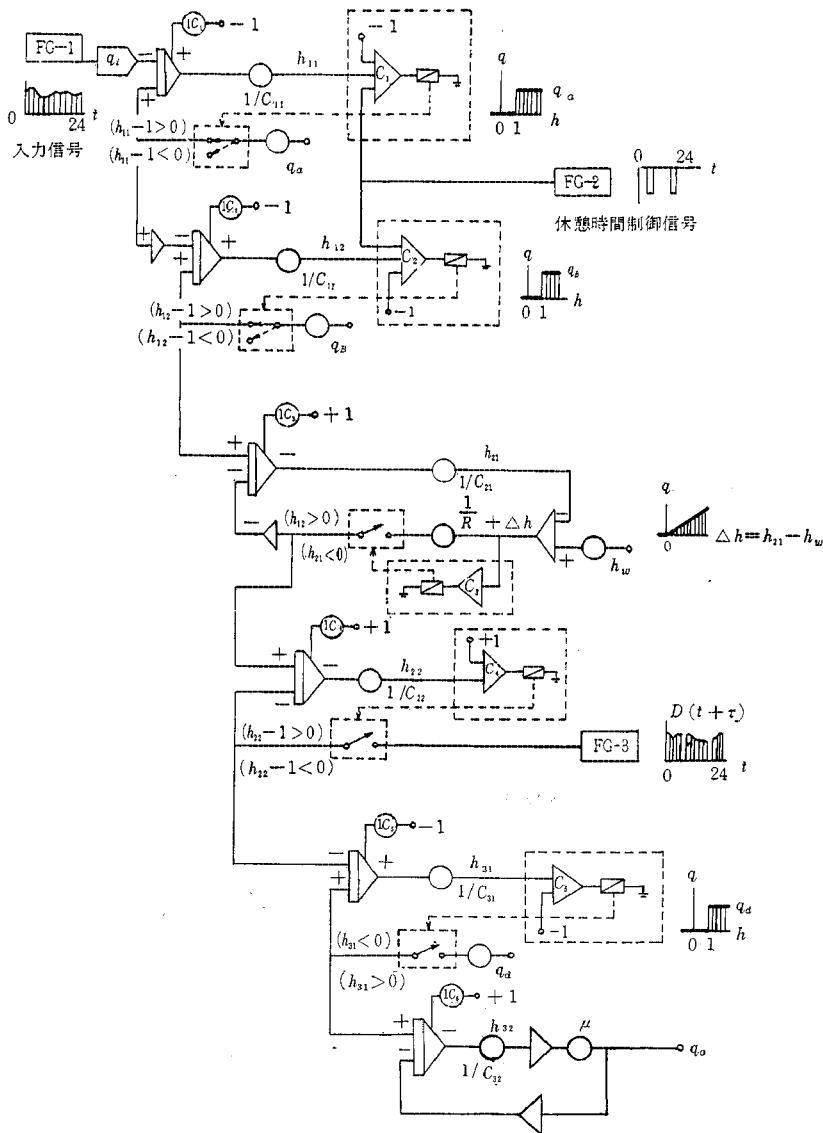


図-6 ブロックダイアグラム

3. ヤード負荷の解析

図-1 に示す全国主要ヤードの2時間ごとのインプット、アウトプットのうち、演算を行う新鶴見ヤード（輸送カヤード）、郡山ヤード（地区操配ヤード）について、インプット、アウトプット、作業休憩時間、分解および組成能力など基礎データを次のごとく定める。

(1) インプット、アウトプット

図-7 に示すごとくとする。ここで、演算に使用するアナログ計算機 MELCOM-EA-7420 の関数発生器 (FG) が XY 軸とも連続可変 10 折線であるので、到着

列車の入量分布については、数値の同じものは省いて、FG の座標点にあわせて設定した (FG-1)。到着作業、分解作業の休憩時間は FG の座標点にあわせて、休憩時間が1時間以上に及ぶ時間帯にまとめて、ほぼ 12 時間をへだてて所定の全休憩時間を1日2回に分けて設定した (FG-2)。計画組成ダイヤは休憩時間を含めて設定し、休憩時間帯とした部分の作業列車数はその前後に加算した。休憩時間帯は FG-2 と同様1日2回とし、全休憩時間は所定の時間をとった (FG-3)。

(2) ヤードの各機能定数

a) 列車到着検査の作業強度 (q_a)

到着列車の車両点検と連結器、ホースの解放を実施する。作業時間は分解能力にマッチさせ、新鶴見ヤード、6.1 列車/時間、郡山ヤード 4.0 列車/時間とする。

b) 列車出発検査の作業強度 (q_a)

出発列車の車両点検、連結器、ホースの連結で、到着検査より多少長い時間を要する。新鶴見ヤード 5.2 列車/時間、郡山ヤード 3.2 列車/時間とする。

a), b) とともに演算では、実作

業にあわせて列車単位で解析するので、滞留列車数が1列車に満たないときは、作業の進行を止めるようにする。

c) 分解作業能力 (q_b)

到着線群における分解待ち列車数が分解作業能力より少ないときは、分解列車数は到着線群在線列車数となり、また逆に、分解作業能力より多い分解待ち列車数が到着線群にある場合は、分解能力で作業が進められる。しかも、1日 4~6 回、合計 4 時間程度の作業休憩時間があるので、分解作業はほぼ 20 時間連続して分解能力いっぱいまで作業を続けることとなる。実際には、新鶴見ヤードで 5.7~6.8 列車/時間、郡山ヤードで 3.2~4.0 列車/時間と偏差があるが、平均値として、新鶴見ヤード 6.1

列車/時間, 郡山ヤード4.0列車/時間とする。

d) 組成作業能力 $\{D(t+\tau)\}$

t 時刻に出発線より出発する列車の組成作業は, 組成作業に要する時間 τ 時間だけ前もって組成作業を開始しなければならない。すなわち, 作業休憩時間を加味した計画組成ダイヤ $D(t+\tau)$ の能力に従って組成作業が実施される。 τ の値を3時間とする。

e) 組成必要絶対最小財源列車数

既設ヤードの実績から, 概略的に

到着線群取扱可能列車数 15 列車/1線/日

出発線群取扱可能列車数 10 列車/1線/日

とする。

仕分線群については, 1日のヤード回転数が2~3回転とヤードによって幅があるが, これを2.5回転としてヤードにおけるある時刻の概略的な滞留列車数を各線群別に次のごとくとする。いま,

$$N = \text{ヤード取扱車数} = 500 \text{ 両/日}$$

$$n = 1 \text{ 列車の平均連結両数}$$

$$= 35 \text{ 両 (ワム換算)}$$

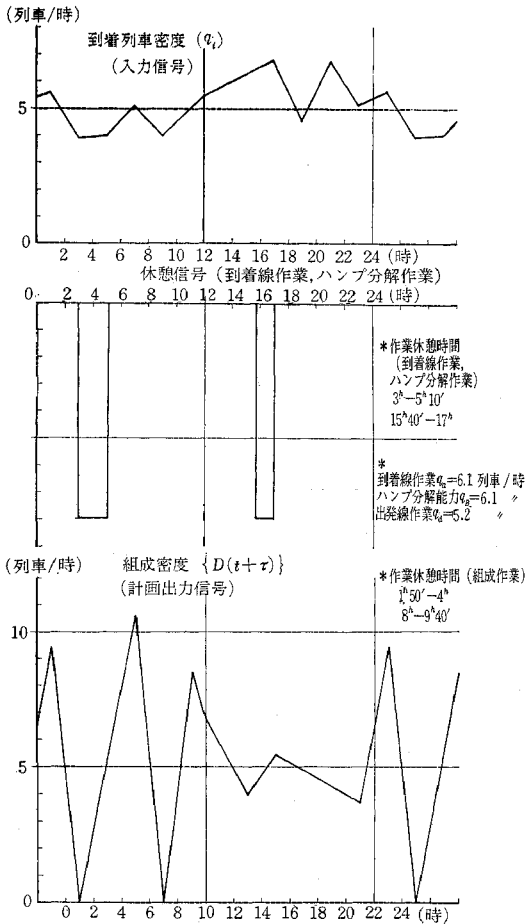


図-7 (a) (I)

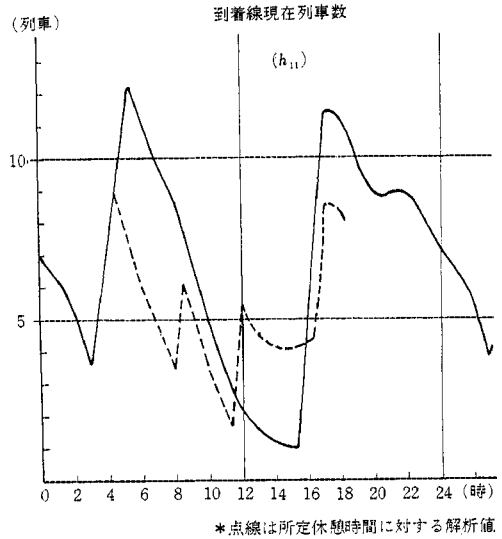


図-7 (a) (II)

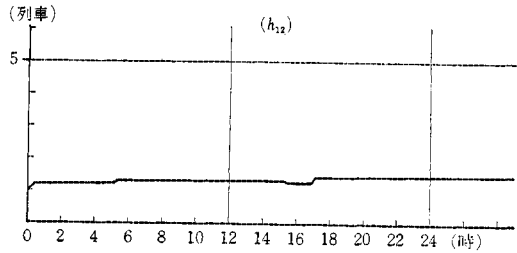


図-7 (a) (III)

とすれば、取扱列車数は $N/n=15$ 列車/日となる。したがって、

	到着線群	仕分線群	出発線群
取扱列車数	15	15	15
回転数	15	2.5	10
同時在線列車数	1	6	1.5

次に、組成作業を円滑に行うためには、仕分線群に組成待財源列車数を確保しなければならない。全国主要ヤードの時間別滞留貨車数の実績から、最小滞留貨車数と最大収容貨車数との比はほぼ 70~80% であるので、組成財源列車数として仕分線群滞留容量の 2/3 を確保する

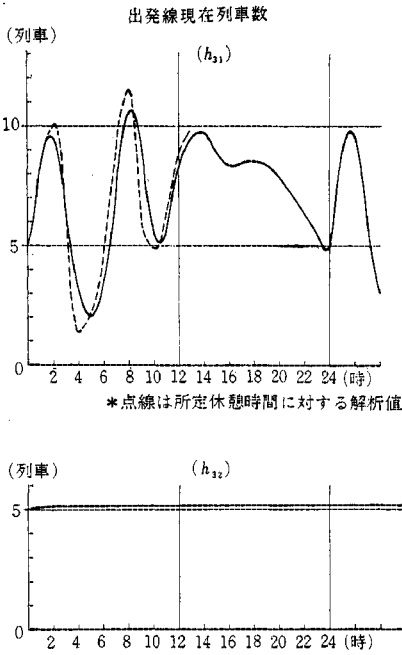


図-7 (a) (IV)

図-7 (a) 新鶴見ヤードの負荷の解析

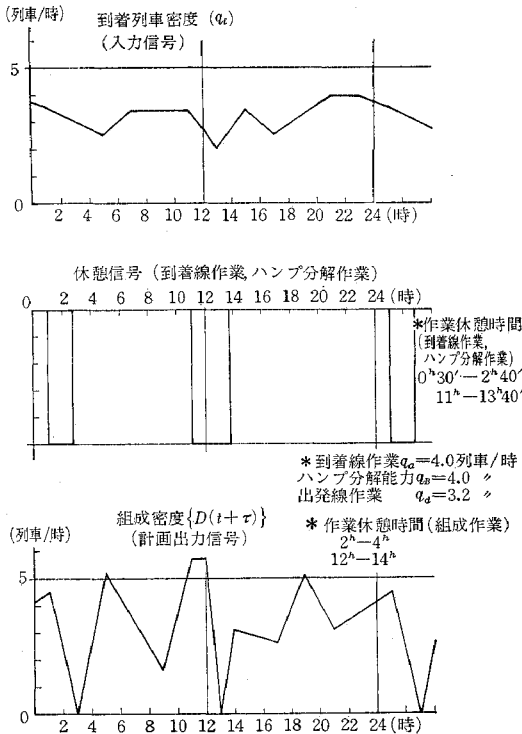


図-7 (b) (I)

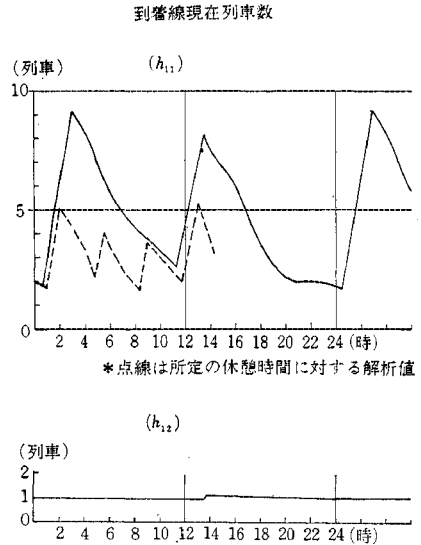


図-7 (b) (II)

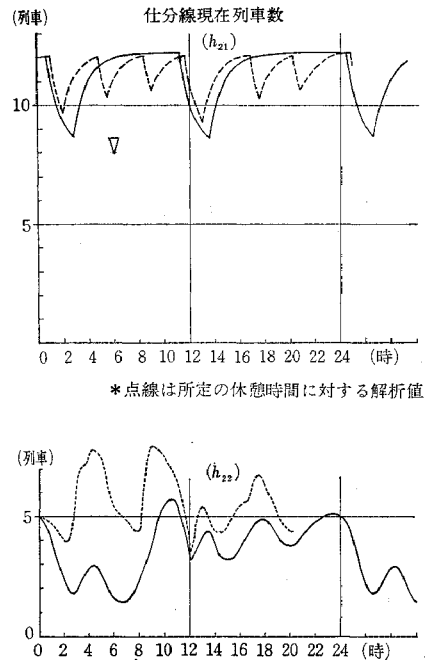


図-7 (b) (III)

* 到着線作業 $q_a=4.0$ 列車/時
 ハンプ分解能力 $q_b=4.0$ ♯
 出発線作業 $q_c=3.2$ ♯
 * 作業休憩時間 (到着線作業, ハンプ分解作業)
 $0^h30' - 2^h40'$
 $11^h - 13^h40'$
 * 作業休憩時間 (組成作業)
 $2^h - 4^h$
 $12^h - 14^h$

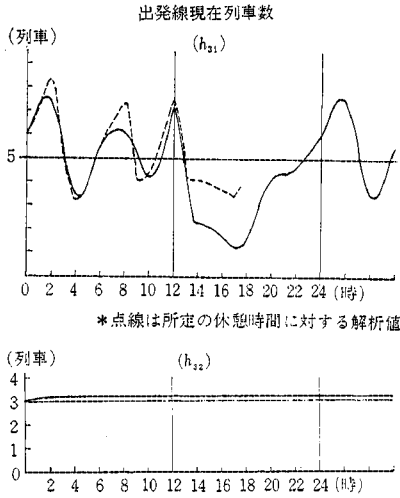


図-7 (b) (IV)

図-7 (b) 郡山ヤードの負荷の解析

必要がある。

N_0 = 仕分線群取扱列車数

h_w = 組成必要絶対最小財源列車数

とすれば、

$$N_0 \times \frac{1}{2.5} \times \frac{6}{8.5} \times \frac{2}{3} = 0.19 N_0 \geq h_w$$

として解析することとする。

これより、取扱列車数に対する組成必要絶対最小財源列車数を次のごとくとする。

取扱列車数	組成必要絶対最小財源列車数 ($h_w \leq 0.19 N_0$)
$N = 500$ 両, $N_0 = 15$ 列車	2
$N = 1000$ 両, $N_0 = 30$ 列車	4
$N = 2000$ 両, $N_0 = 60$ 列車	8
$N = 4000$ 両, $N_0 = 120$ 列車	16

(3) ヤード負荷の解析とヤードシミュレーター

新鶴見ヤードの取扱列車数を120列車、郡山ヤードの取扱列車数を60列車とし、前述の基礎データに従い、図-6の演算プログラムがヤードの負荷の解析を行った結果を図-7に示す。

アナログ計算機 MELCOM-EA-7420 の出力は ±50 ボルト、10 ミリアンペアであるから、演算は、

1時間 = 1ボルト 1列車 = 1ボルト 1日 = 24 秒
として設定計算した。

最初各線群とも初期値を0として演算を始めると、第1日目に当然過渡状態が起こり、 h_{11} , h_{12} , h_{21} は第2日目から、 h_{22} , h_{31} , h_{32} は第3日目から各部が定常状態になることがわかったので、初期値として、各線群で作業待ちを生じない最小値を与えて演算を進めた。まず、新鶴見ヤードの演算結果で検討すると次のごとくである。

① 到着線群: R_1 では初期値として7列車を与えて演算を始めたが、休憩時間に入るとただちに在線列車数がたまり12.2列車となった。作業が再開されると限界値の1列車まで減少したが振動状態は起こらず、第2回目の休憩時間で再び在線列車数が増加している。 R_2 では、到着検査定数と分解能力を同じ値にとっており、作業休憩時間も同じ時刻に定めてあるため、作業待ちを生じない。すなわち、振動状態を起こさない限界滞留列車数1列車が滞留列車数である。

② 仕分線群: C_1 については $C_{21}(dh_{21}/dt) = q_B - q_w$ より q_w は常に q_B と q_w の差によって決まるので、最大値は $q_B - q_w = 0$ より q_w は分解列車数 q_B に等しくなって、作業休憩時間のため $q_B = 0$ とならない限り飽和状態にあり、

$$h_{21} = \text{組成必要絶対最小財源列車数} + \text{分解列車数}$$

である。この結果、初期値は22列車とした。

C_1 では、やはり2回の分解作業の休憩時間帯では、在線列車数が組成必要絶対最小財源列車数の近くまで少なくなるが、休憩時間を過ぎるとすぐ飽和状態にもどることを示している。

C_2 では、分解作業と計画組成ダイヤの両方に支配されている様子がよくあらわれている。時間ごとの分解作業と組成作業の相互の影響による在線列車数の変化のうえに、作業休憩時間による影響ははっきりあらわれている。すなわち、1時50分~4時の組成作業の休憩時間帯付近では在線列車数が増加を示すが、3時~5時10分の分解作業の休憩時間帯の影響で在線列車数は減少を続ける。8時~9時40分の組成作業の休憩時間帯に入って再び増加する。15時40分~17時の分解作業の休憩時間帯ではまた、在線列車数が減少を続けている。

③ 出発線群: 計画組成列車数と出発列車数との変化の状態は D_1 で見ることができる。すなわち、組成作業に要する $\tau = 3$ 時間の遅れをもって、 D_1 の在線列車数の波形が計画組成ダイヤの波形に追従しているが、図では組成列車数と出発列車数との差で示されているのがわかる。

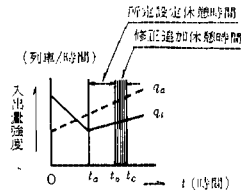
D_2 では5.2列車で飽和するので、初期値として5列車を与えた。郡山ヤードの演算でも、ほぼ同じ結果があらわれているといえる。

この演算から、図-6のブロックダイヤグラムはヤード作業をよく表現していることがわかる。特に各線群とも休憩時間の影響がその波形に顕著にあらわれているといえる。

次に、新鶴見、郡山両ヤードの所定の休憩時間帯について、各線群の在線列車数の変化を調べると図-7の点線で示すごとくで、これを新鶴見ヤードの演算結果で見ると次のごとくである。

① 到着線群：図-8 (a) に
おいて

$t_c - t_b$ ：他の時間帯の作業
休憩時間をまとめて
所定の設定休憩
時間 $(t_b - t_a)$ に追
加した時間

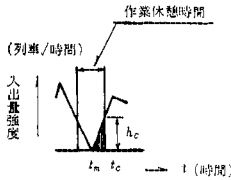


(a)

とすれば、

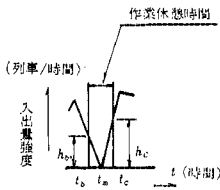
$$t_b \text{ 時刻の滞留列車数} \\ = (t_c \text{ 時刻の滞留列車数}) \\ - (q_i - q_a)(t_c - t_b)$$

によって、所定の作業休憩時間
に相当する最大滞留列車数が求
められる。その結果 8.9 列車が
最大滞留列車数で、4 列車減少
する。



(b)

② 仕分線群：計画組成ダイ
ヤの作業休憩時間を FG の座標
点に合わせて三角形であらわして
いるために、図-8 (b) に示す
 $t_m \sim t_c$ 間の列車数は早く組成



(c)

されてしまうこととなり、 C_2 図-8 滞留列車数の解析
における最大滞留列車数は、 $h_c(t_c - t_m)/2$ だけ少なく示
されている。すなわち、2 列車増加する。

③ 出発線群：同様に、図-8 (c) のごとく、所定の
設定休憩時間によって演算すれば、作業休憩時間の中点
 t_m 時刻より前では $h_b(t_m - t_b)/2$ だけ、また、後では
 $h_c(t_c - t_m)/2$ だけそれぞれ、最大滞留列車数は 1 列車大
きく、最小滞留列車数は 1 列車小さくあられる。

郡山ヤードの演算についても同様な解析結果を得るこ
とができた。

以上の結果、新鶴見、郡山両ヤードについて、休憩時
間を 2 回にとった演算値、所定の休憩時間による解析値
ならびに現行設備を比較すれば表-1 のごとくである。

表-1 ヤード負荷の解析 (単位：列車)

ヤード別	線群別	演算値		解析値		休憩時間による在線列車数の差 (A-B)	現行設備	
		(A)	(B)	(A)	(B)			
N=4000 両 N ₀ =120 列車 新鶴見ヤード (輸送力ヤード)	到着線群	R ₁ =13 R ₂ =1	R ₁ =9 R ₂ =1	R ₁ =4 C ₂ =-2 D ₁ =-1	R=10			
	仕分線群	C ₁ =22 C ₂ =16	C ₁ =22 C ₂ =18					C ₁ =31 (C ₁ /C=0.64) C ₂ =25
	出発線群	D ₁ =11 D ₂ =5	D ₁ =12 D ₂ =5					D=17
N=2000 両 N ₀ =60 列車 郡山ヤード (地区操配ヤード)	到着線群	R ₁ =9 R ₂ =1	R ₁ =5 R ₂ =1	R=5				
	仕分線群	C ₁ =12 C ₂ =6	C ₁ =12 C ₂ =8					C ₁ =34 (C ₁ /C=0.89) C ₂ =4
	出発線群	D ₁ =7 D ₂ =3	D ₁ =8 D ₂ =3					D=11

上記の検討に従い、流体モデルによる演算値と解析値との差 (A-B) を考慮すれば、所定の作業休憩時間による各線群の在線列車数、したがって、線群容量を求めることができる。

仕分線群内における方向別線群 C_t と駅別仕分線 C_s との割合は、実績から、

新鶴見ヤード 郡山ヤード

$$\frac{C_t}{C_t + C_s} \quad 0.67 \quad 0.82$$

で、かつ、 $C_t = C_1 + C_2$ であるから、駅別仕分線 C_s の容量を求めることができる。

このように、流体モデルによって行ったマクロ的なヤード作業の解析は、新鶴見ヤード、郡山ヤードの演算からわかるごとく、各線群間の作業の流れ、ヤード設備と機能とよく表現していて、有力なヤードシミュレーターを開発することができた。

輸送力ヤードとして新鶴見ヤード、地区操配ヤードとして郡山ヤードを例に解析を行ったが、輸送力ヤード、地区操配ヤードの標準的なインプット、アウトプット、すなわち、 $q_i, D(t+\tau)$ を決定すれば、各機能定数によって上記のヤードシミュレーターを使って次のごとく解析を行うことができる。

(i) 建設すべきヤードの貨車流動表より、ヤード取扱貨車の規模が与えられて、これにより、N または N₀ を推定し、類似の規模のヤードから、q_a, q_B, q_d を推定して演算を行い、各線群の容量を計算できる。

(ii) 既設ヤードの能力査定も、このヤードシミュレーターによりマクロ的な解析ができる。すなわち、到着線群、仕分線群、出発線群の必要線数が容易に判定できる。仕分線群については、C₁ および C₂ の演算から求められる方向別線群の容量は、全仕分線群の 0.6 (輸送力ヤード)、0.8 (地区操配ヤード) に相当するものとして、駅別線群の容量を決めることができる。

(4) ヤード負荷の標準化と最重圧負荷、最軽圧負荷

輸送力ヤード 地区操配ヤードのインプット、アウトプットの標準形を決めるために、輸送力ヤードでは、新鶴見、大宮、稲沢、吹田各ヤードの、また、地区操配ヤードでは、郡山、長町、五稜郭、東静岡各ヤードの、それぞれ、インプット、アウトプットの波形の 2 時間ごとの値とその平均値との比を求め、最大値同志、最小値同志ができるだけ重なり、輸送力ヤード、地区操配ヤードの特性が表現できるように、時間軸 (横軸) の位相をずらして、標準波形を作ると図-9 のごとくである。ここで、新鶴見、大宮両ヤードは、図-1 のインプット、アウトプットの波形を横軸にそって移動していないので、インプット、アウトプットの位相差は 0 であるが、稲沢

ヤードは、インプットに対しアウトプットは6時間遅れ、吹田ヤードは2時間遅れている。このように各ヤードごとにインプット、アウトプットの位相差に差があることが、ヤード回転数、有効長、取扱能力に影響することに着目して、標準化したインプット、アウトプットの位相差を変えた場合に、ヤードの設備容量、すなわち、仕分線群容量にどのような変化を示すかを見ることが必要である。いま、演算の基礎データを次のごとく定める。この基礎データに従い、ヤードシミュレーターによって、輸送力ヤード、地区操配ヤードの特性を解析すると図-10に示すごとくである。

$$N_0 \quad h_w \quad q_a = q_B = q_d$$

輸送力ヤード	122.1 列車	16 列車	5.09 列車/時間
地区操配ヤード	66.7 列車	8 列車	2.78 列車/時間

これより、インプットに対し、アウトプットと2時間ずつの時間間隔で位相をずらし、仕分線群 C_2 に対する必要な容量を調べると図-11のごとくである。

図-11で、最大の滞留列車数、したがって、最大の仕分線群容量を必要とするインプット、アウトプットの位相差を最重圧負荷、最小の滞留列車数、したがって、最小の仕分線群容量を必要とするそれを最軽圧負荷と名づけて、ヤード容量設計の目安とすることとする。

標準負荷のインプット、アウトプットの位相差を0として、これを基準にして、輸送力ヤードでは、最重圧負荷は位相を8時間遅らせたときに起こり、最軽圧負荷は位相を4時間進めたときに起こることが明らかとなった。地区操配ヤードでは、インプット、アウトプットの形が1日3サイクルをなしているために、輸送力ヤードほどにはっきりとした表現はできず、むしろ、ほぼ8時間のサイクルの重圧負荷、軽圧負荷の波形を示しているといえる。

組成作業が進めば、列車は仕分線群から出発線群に排出されることになるので、 C_2 と D_1 とは明らかに相補う関係にあり、したがって、 $C_1 + D_1$ で検討しなければならない。 C_2 に在線列車数の多い時間帯は D_1 は空いていて、組成が進めば、 C_2 の在線列車数が少なくなり、 C_2 から D_1 に列車は移って、 D_1 の在線列車数が多くなっている。すなわち、 C_2 が最大のときは D_1 は最小で、 C_2 が最小のときは D_1 は最大である。いま

\bar{x}_c : C_2 における位相差による在線列車数の1日の
の平均値

σ_c : \bar{x}_c の標準偏差

\bar{x}_d : D_1 における位相差による在線列車数の1日の
の平均値

σ_d : \bar{x}_d の標準偏差

とすれば、 D_1 では列車の出発検査があり、出発列車の待機の場所であるので、平均値 \bar{x}_d と標準偏差 σ_d によ

*平均取扱列車数 $5.09 \times 24^h = 122.1$ 列車
*入出量の時間的分布は
新鶴見ヤードの時間を基準とする。

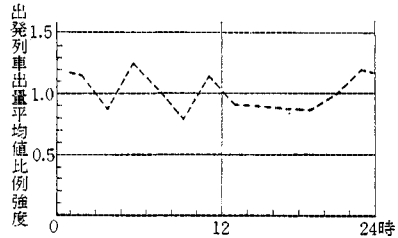
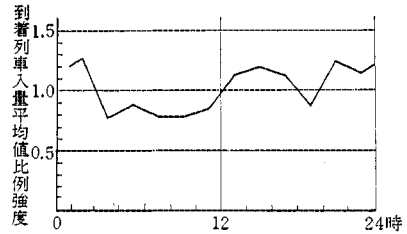


図-9 (a) 輸送力ヤードにおける列車入出量分布

*平均取扱列車数 $2.77 \times 24^h = 66.5$ 列車
*入出量の時間的分布は
郡山ヤードの時間を基準とする。

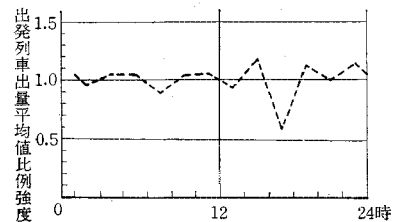
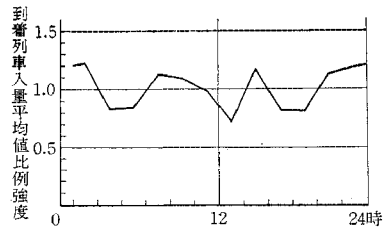


図-9 (b) 地区操配ヤードにおける列車入出量分布

り最大値で設計する。

輸送力ヤード $\bar{x}_d = 4.55, \sigma_d = 1.23$

地区操配ヤード $\bar{x}_d = 2.03, \sigma_d = 0.71$

したがって、最重圧負荷、最軽圧負荷の解析は、 C_2 について行えばよいこととなり、 $\bar{x}_c \pm 3\sigma_c$ が与えられるべき負荷条件で、最重圧負荷と最軽圧負荷の割合は表-2のごとくである。

インプット、アウトプットの位相をずらして、ヤードの負荷を解析することにより、将来の列車ダイヤの組合せが、ヤード取扱能力にどのような影響を与えるかを明らかにすることができた。

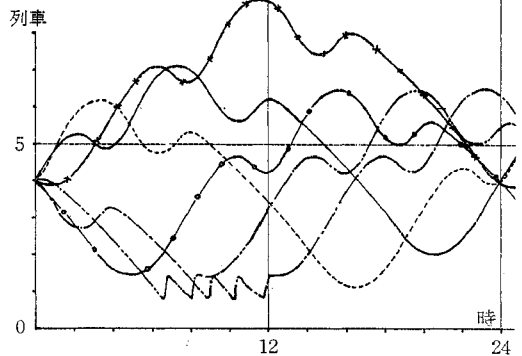
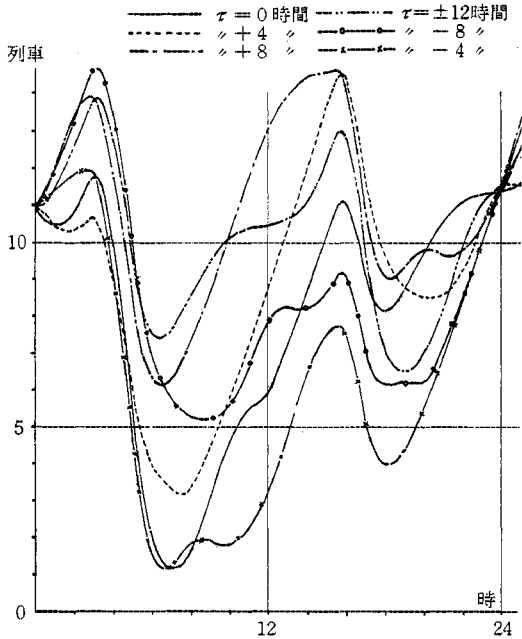


図-10 (a) 位相差による滞留列車数の変化 (輸送力ヤード)

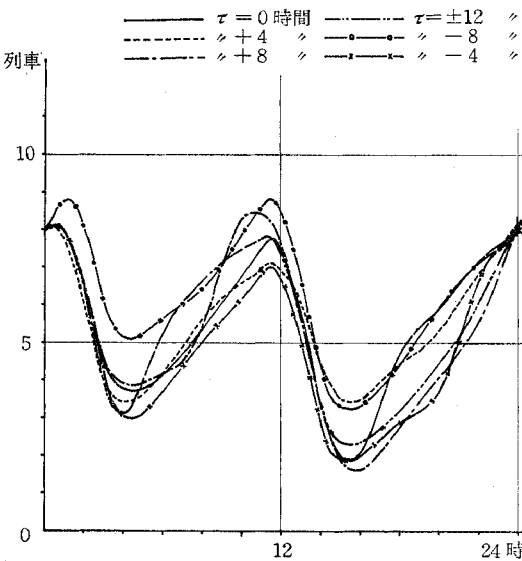


図-10 (b) (I)

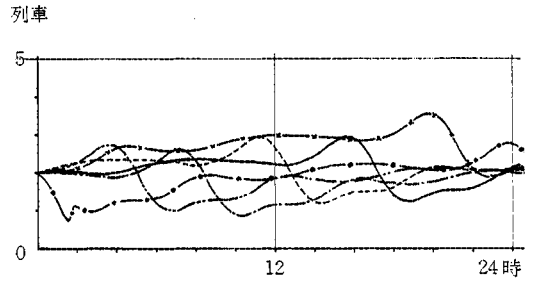


図-10 (b) (II)

図-10 (b) 位相差による滞留列車数の変化 (地区操配ヤード)

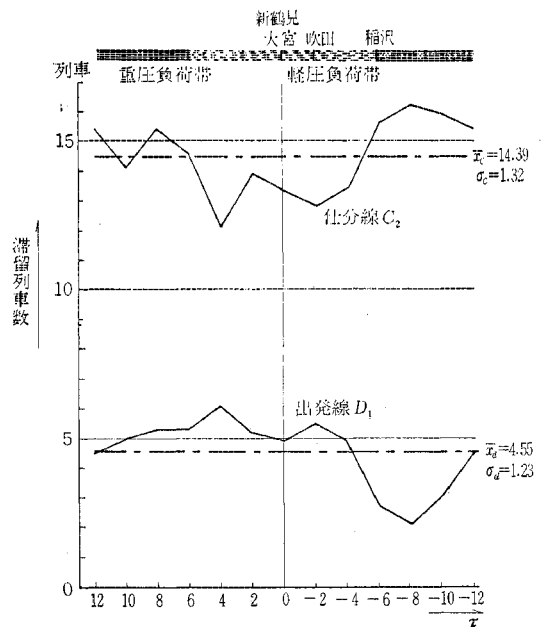


図-11 (a) 最重圧負荷および最軽圧負荷 (輸送力ヤード)

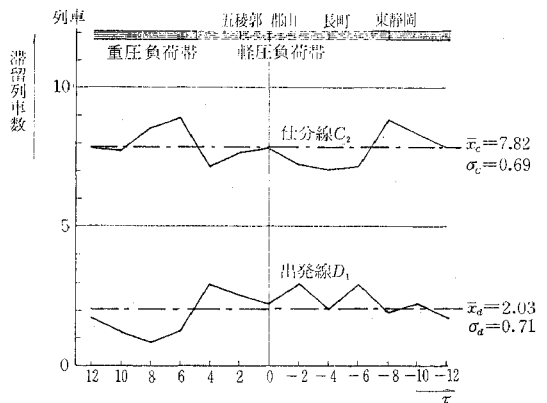


図-11 (b) 最重圧負荷および最軽圧負荷 (地区操配ヤード)

表一 標準偏差 $\pm\sigma$, $\pm 2\sigma$, $\pm 3\sigma$ によるヤードの負荷と最重圧負荷・最軽圧負荷の割合

ヤード別	負荷 \bar{x}, σ	最重圧負荷			最軽圧負荷		
		$\bar{x}_c + \sigma_c$	$\bar{x}_c + 2\sigma_c$	$\bar{x}_c + 3\sigma_c$	$\bar{x}_c - \sigma_c$	$\bar{x}_c - 2\sigma_c$	$\bar{x}_c - 3\sigma_c$
輸送力ヤード	$\bar{x}_c = 14.39$ $\sigma_c = 1.32$	15.71	17.03	18.35	13.07	11.75	10.43
地区操配ヤード	$\bar{x}_c = 7.82$ $\sigma_c = 0.69$	8.51	9.20	9.89	7.13	6.44	5.75

ヤード別	負荷の割合	最重圧負荷/最軽圧負荷		
		$\bar{x}_c + \sigma_c / \bar{x}_c - \sigma_c$	$\bar{x}_c + 2\sigma_c / \bar{x}_c - 2\sigma_c$	$\bar{x}_c + 3\sigma_c / \bar{x}_c - 3\sigma_c$
輸送力ヤード		1.20	1.45	1.76
地区操配ヤード		1.19	1.43	1.72

前述のごとく、標準負荷を求めるために、輸送力ヤードでは、新鶴見、大宮両ヤードのインプット、アウトプットの位相差を0として、これを基準にインプットに対し、稲沢ヤードはアウトプットを6時間進め、吹田ヤードは2時間進めているので、図-11に示す仕分線群容量を決める負荷に対するインプット、アウトプットの位相差は、

輸送力ヤード：新鶴見、大宮両ヤード 0時間
 稲沢ヤード -6時間
 吹田ヤード -2時間

同様に、

地区操配ヤード：郡山ヤード 0時間
 五稜郭ヤード +2時間
 長町ヤード -4時間
 東静岡ヤード -8時間

である。したがって、既存のヤードのほとんどは、軽圧負荷で設計されているということができ、位相差で+4時間~-4時間の範囲にあることも今回の解析でわかった。

最後に、標準負荷については、図-9より、輸送力ヤードは1日1サイクルの大きな波形になっているが、地区操配ヤードは、位相差約8時間を周期とする3サイクルの同程度の波形であらわされているのが特徴である。したがって、輸送力ヤードでは、到着列車は午前中に少なく、出発列車は午後には少ない傾向にあり、その両者の変換点は12時と見れるので、ヤードのインプットダイヤ、アウトプットダイヤをこの点に注目して、両者間に何時間位相のずれがあるかを見ることができる。地区操配ヤードでは、12~15時の間がインプット、アウトプットの波形がほぼ同相となるので、この点に注目して位相差を見つけることができる。

4. 結 び

流体モデルによって、列車の到着から出発までのヤード内における分解および組成作業による各線群間の列車の流動状況および取扱能力をマクロ的に解析することが

できた。すなわち、

(1) 既設ヤードを、輸送力ヤードと地区操配ヤードに、分類し、それぞれの実績から各機能定数を定め、マクロ的なヤード取扱能力の解析のための有効なヤードシミュレーターを開発することができた。

(2) 輸送力ヤード、地区操配ヤード別に標準負荷(インプット、アウトプット)を定め、ヤード・シミュレーターで、インプット、アウトプットの位相をずらして解析した結果、ヤード取扱能力に与える最重圧負荷、最軽圧負荷の考え方を適用

することができた。すなわち、ヤードに与える負荷の平均値と標準偏差による負荷条件から仕分線群の容量を決めることができる。しかして、輸送力ヤードでは、最重圧負荷は位相が8時間遅れ、最軽圧負荷は位相が4時間進んで起こることがわかった。地区操配ヤードでは、輸送力ヤードほどにははっきりした形は把握できず、むしろほぼ8時間のサイクルの重圧負荷、軽圧負荷の波形を示すと見る方が妥当であろう。いずれにしても+6時間~-6時間は軽圧負荷帯、-6時間~+6時間は重圧負荷帯であるといえる。

(3) 現在の主要なヤードは、今回の解析の結果、軽圧負荷で設計されていることがわかった。この解析方法により、全国のヤードの取扱能力を判定することが必要である。

(4) この位相差による解析は、今後のダイヤ改正で、ヤードの到着列車、出発列車のダイヤが変わった場合、そのヤードの取扱能力に与える影響、換言すれば、「らくになった」か「きつくなった」かの判断を与えることができる。また、大切換工事等で一時的にアウトプットをおさえるとき、インプット、アウトプットの間位相差が起こることになるので、ヤードの在線列車数の変化と工事中のヤード取扱能力を判断することができるなど、今後の改良計画に大きな目安を立てる効果があることがわかった。

(5) 標準負荷は、主要ヤードのインプット、アウトプットの平均値から求めた。輸送力ヤードは、到着列車数が午前中少なく、午後は出発列車数が少なく、その切合点が12時であることがわかったので、これに注目して、位相原点と判定し、位相差を求めることができる。地区操配ヤードでは、インプット、アウトプットが同相になる時刻が12時で、やはりこれに注目すれば解析することができる。

いずれにしても、ヤードをネットワーク上のノードに配して、ヤード相互間の影響を解析する外的要因の研究で詳細を検討することとしたい。