

(昭和 40 年 5 月造船協会春季講演会において講演)

一条のレール上に配置された複数台クレーンの 相互干渉および待合せに関する研究 (第2報)

正員 石 川 克比古*

正員 星 野 真*

Study on Mutural Interference and Queuing of Plurality of Cranes Running on Single
Pair of Rails.

By Katsuhiko Ishikawa, *Member*
Makoto Hoshino, *Member*

Summary

This study, continued from the previous one, deals with the interference of cranes as a problem of queuing.

This time we changed one of the assumptions into that the cranes have the process of moving as a part of their services so that the result can be use for the more practical application. These results are shown in Fig. 7 and Fig. 8, In these diagrams $\bar{n}$ expresses the average number of work waiting for their receiving services (including those which are being served) and ρ means the working ratio. Then in Fig. 7, for example, the case $N=3$, $d=0.11, \dots$, represents the case of three cranes whose winding-down positions are selected at random within the range of 10% of whole working length from their winding-up positions, and in Fig. 10, the case $N=3$, $d=0.11, \dots$, for example, means the case of three cranes and when a crane is giving a service it occupies the range of 10% of whole working length from its winding-up position and any other cranes cannot enter this range. These diagrams, Fig. 7 and 8, can be applied to the practical use when we want to know the effect of installing more cranes or when we look for the difference of effectivity by changing the principle of cranes' services. We also stated here on the way to decrease the interference of crances.

1 序 言

この報告は、前報にひきつづき複数台クレーンの相互干渉と待合せ問題を取扱つたものである。

前報(造船協会論文集第113号)では、クレーンがサービス中に移動を伴わない場合の相互干渉について考察した。すなわちクレーンは仕事発生場所でサービスを開始し、サービスはその発生場所を動くことなく終了すると云う仮定に基づいている。

しかし実際のクレーンの動態においては、クレーンは作業場内のある地点から他の地点へ物の運搬を行ない、それによつて作業場は機能を持つのであるから、吊上げ吊下しの動作とともに移動の動作は無視できないものである。

本報告では、先ず移動々作が相互干渉に及ぼす影響について検討を行なつた。前報において同様に無視したクレーンの大きさは、移動の一形式として取扱つた。解析の手段として電子計算機によるシミュレーションを用い基礎データとして使用するサービス時間分布および移動距離分布は、実測データに符合するように分布形状を決定した。前報の模型にこれらの修正を加えた今回の模型は、ほぼ実態の近似と見なし得ると考える。

原稿受付 昭和 39 年 12 月 20 日

* 三菱重工業横浜造船所

さらに、前報を含め以上の結果から、いかにしたらクレーンを干渉から解放して有効に使用し得るかという問題、具体的に、クレーンの移動距離制限の問題、分割サービスの問題、置場配置、生産量とクレーンサービス能力の関係等について考察を加えた。1つの結論を得たと思うのでここに報告する。

2 サービス時間分布および移動距離分布

シミュレーションは実態を再現するものであるが、再現の程度と結果の信頼度は使われた基礎データの近似の程度によつて決ってくる。そこでクレーンの挙動を規定する諸元のうち確率過程に従うサービス時間および移動距離の頻度分布形状に検討が加えられなければならない。

しかし一般的に複数台クレーンの干渉について述べる目的であるから、1, 2の実測値をそのままシミュレーションの基礎データとして使用することは問題の一般性を失うものである。この考えから本報告では実測値を近似し得る理論分布を見出し基礎データとして使用する方法をとる。すなわち実態の近似と見なし得るモデル化を行なった。

2.1 サービス時間分布

前報において、サービス時間は指数分布に従うとした。指数分布は正味時間の全体に占める割合が少なくサービスが単一過程の場合に表われる。

第1表 クレーン状態の頻度

状 態	頻 度
吊 上 げ	25%
走 行	10
吊 下 し	26
そ の 他	39
計	100%

第1表は snap reading によつて求めた実測値であり、吊上げ、走行、吊下しの各状態頻度を表わしたものである。この表の吊上げ状態はクレーンが吊上げ点に存在している状態でワイヤーの巻き上げ巻き下しの状態に無関係である。吊下し状態も同様である。走行状態はクレーンが物を吊つて移動している状態であり物を吊つて止まっている状態は除外してある。これから判るように吊上げ、走行、吊下しの合成からなるサービスの1サイクルにおいて、走行に費す時間は他の吊上げ、吊下し過程に比し少なく約40%である。従つて走行時間の前半を吊上げ過程に後半を吊下し過程に含めてしまう簡略化によつて走行過程を除外した2過程を内容にもつサービス時間分布が近似模型として使用出来る可能性が見出される。また2過程のそれぞれの平均サービス時間は同一と見なし得ることも第1表の示す結果である。

ここでそれぞれのサービス時間は指数分布に従うものと仮定し、この2過程合成のサービス時間分布の理論値を求める。それぞれの過程のサービス時間分布 $S(t)$ は、平均値の等しい指数分布であるから、

$$S(t) = \mu \cdot \exp(-\mu t) \quad (1)$$

ここに $\mu = 1/\text{平均サービス時間}$

で表わされる。合成サービス時間分布 $S'(t)$ は

$$S'(t) = \frac{dI(T)}{dT} \quad (2)$$

$$\text{ただし } I(T) = \int_{t_1=0}^T \left\{ S(t_1) \int_{t_2=0}^{T-t_1} S(t_2) dt_2 \right\} dt_1 \quad (3)$$

から求めることが出き結局

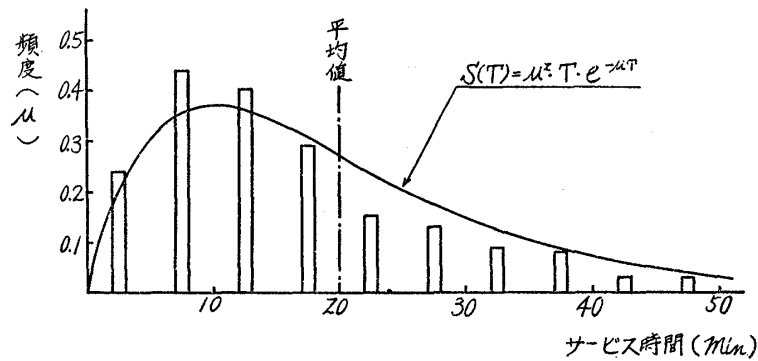
$$S'(t) = \mu^2 \cdot T \cdot \exp(-\mu T) \quad (4)$$

が得られる。 $S'(T)$ は指数2のガンマ分布と呼ばれるものである。また平均サービス時間 $\bar{T}$ は

$$\bar{T} = \int_0^\infty S'(T) \cdot T \cdot dT = \int_0^\infty \mu^2 \cdot T^2 \cdot \exp(-\mu T) \cdot dT = 2/\mu \quad (5)$$

となる。

第1図は、実測値と理論値 $S'(T)$ の比較である。実測値は吊上げ吊下しのサイクルを単位として表したのではなく纏つた仕事を1件と数えこれを単位として表わした頻度である。例として1つのブロックの部材配置は、何回かの部材の吊上げ吊下しをその内容に持つが、連続して行なわれた場合、全体を纏めて1単位を計上している。部材配置が数回に分けて行なわれた場合はそれぞれを1単位と計上した。待合せの単位として部材の単位は意味を持たず仕事の単位が意味をもつことがその理由である。このような計上方法は前述の $S'(T)$ を導き出した仮定と完全に一致するものではないが、複数過程で構成されること、零点以外に頂点を持つ頻度分布を示す点ではともに一致しており、単一過程指数分布で表示する以上の近似度を示すものである。第1図における理論値



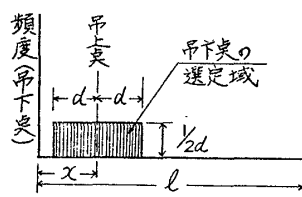
第1図 サービス時間分布

$S'(T)$ と実測値はほぼ一致しており $S'(T)$ を近似模型として使用することは妥当であろう。

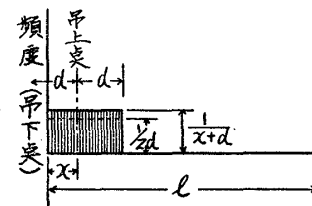
2.2 移動距離分布

移動距離分布は、クレーンが吊上げ点でサービスを終了した後に吊下し点を作業場のどの区域に選定するかによつて決定される問題である。

ここで次のとき移動の規則を考える。すなわち吊下し点は吊上げ点を中心に前後 d の限定された範囲の中からランダムに選定される場合である。この場合は限定範囲内の単位長さの中に吊下し点が選定される確率は $2d$ の区域について一様で $1/2d$ である。(第2図) なお d の範囲が作業場から逸脱する場合は、第3図のごとく作



第2図 移動規則 (1)



第3図 移動規則 (2)

業場内に一様に分布するような修正を施す。この規則に基づき移動距離 s を示す移動距離分布函数 $F(s, d)$ は吊上げ点が作業場内のどの位置を占めることが多いかに関係するが、これを近似的に前報で導いた占拠率に従うものとし、例をクレーン3台、作業場の端に配置されているクレーン c_1 にとれば

$$\begin{aligned}
 F(s, d) = & \int_{x=0}^s \frac{1}{x+d} {}_3p_1(x) dx + \int_{x=s}^d \frac{2}{x+d} {}_3p_1(x) dx \\
 & + \int_{x=d}^{l-d} \frac{2}{2d} {}_3p_1(x) dx + \int_{x=l-d}^{l-s} \frac{2}{l-x+d} {}_3p_1(x) dx \\
 & + \int_{x=l-s}^l \frac{1}{l-x+d} {}_3p_1(x) dx \\
 = & \frac{3}{2l} \left[-2 \left(\frac{s}{l} \right)^2 + 4 \left(1 + \frac{d}{l} \right) \left(\frac{s}{l} \right) + \left\{ -5 \frac{1}{3} \left(\frac{d}{l} \right)^2 - 6 \left(\frac{d}{l} \right) - 2 + \frac{2}{3} \frac{1}{(d/l)} \right\} \right. \\
 & \left. + 2 \left\{ 1 + 2 \left(\frac{d}{l} \right) + 2 \left(\frac{d}{l} \right)^2 \right\} \cdot \log \frac{4}{(s/l) / \left(\frac{d}{l} \right) + 1} \right] \quad (6)
 \end{aligned}$$

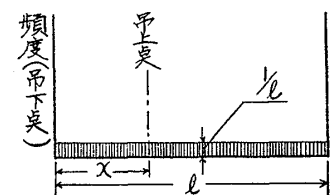
である。

d の範囲を次第に広げ $d=l$ に達するときは、吊下し点が吊上げ点の占める位置とは無関係に作業場の中の任意の位置として選定される場合である。第4図はこの場合を示しており移動距離分布函数 $F(s, l)$ は上述と同じ例について

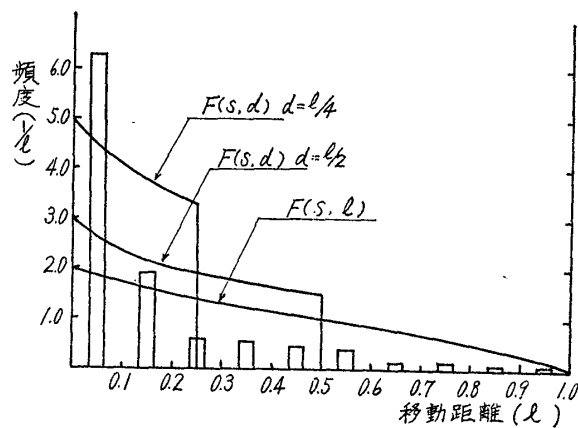
$$\begin{aligned}
 F(s, l) = & \int_{x=0}^s \frac{1}{l} {}_3p_1(x) dx + \int_{x=s}^{l-s} \frac{2}{l} {}_3p_1(x) dx + \int_{x=l-s}^l \frac{1}{l} {}_3p_1(x) dx \\
 = & \frac{1}{l} \{ 2 - 3(s/l) + 3(s/l)^2 - 3(s/l)^3 \} \quad (7)
 \end{aligned}$$

となる。

第5図に $F(s, d)$ および $F(s, l)$ と実測の移動距離分布を比較した。実測は前述した仕事の件数を単位として行



第4図 移動規則 (3)



第5図 移動距離分布

この二つの点を考慮すれば、 $F(s, d)$ および $F(s, l)$ は、移動距離の分布形状として実測値の類似と見なすことが出き、従つて、この移動規則をシミュレーションの規則として使用することは許容されるであろう

3 シミュレーションとその結果

シミュレーションの目的は、系中にある仕事の平均数（待合せ中の仕事とサービスを受けつつある仕事の合計）を求めることであり、ある模型について稼働率を変化させた試行を繰り返すことによつて、その模型に固有な、稼働率 ρ と系中にある平均仕事数 $\bar{n}$ の関係を求めることが出来る。なお筆者らは I. B. M 7090 電子計算機 General Purpose Simulation System II を使用した。

3.1 模型化（仮定）

とくに実測との符合を確認すべきサービス時間分布と移動距離分布の模型化については既に述べた。これを含めクレーンの動態を規制する（あるいはシミュレーションを規制する）模型を次のごとくきめる。

i) 作業場、クレーン配置および仕事の発生

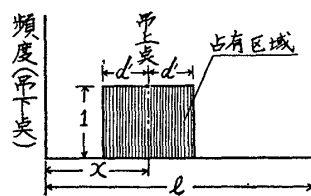
これらはすべて前報と同様である。すなわち長さ l の矩型の作業場があり l に沿つた一条のレール上に複数台のクレーンが配置されている。クレーンは互にその並び方を変えることが出来ない。作業場における仕事の発生はポアソン分布に従う。すなわち時間々隔 T に k 箇の仕事の発生を見る確率 $P(k, \lambda T)$ は、次式で表わされる。

$$P(k, \lambda T) = \frac{(\lambda T)^k}{k!} \exp(-\lambda T)$$

ここに λ = 単位時間当り発生する平均仕事数

ii) 移動

吊上げ点に対し前章に述べた $F(s, l)$ あるいは $F(s, d)$ によつて吊下し点を選定される場合を移動形式 [A] と称す。



この外に移動形式 [B] を加える。移動形式 [B] はサービス中のクレーンが 1 点ではなくある面積（レール方向長さ）を占有し他のクレーンは、この占有区域の中に入りこめない場合である。占有区域の大きさを d' で表示する。（第6図）実さいに、クレーンがある区域内で短時間周期の往復を繰り返している、場合、他のクレーンは時間的間隙をぬつてその区域に入り込めない場合があり [B]

第6図 サービス中の占有域はこの状態を表している。同時にクレーンがレール方向に長さをもち相互に近づき得る距離が 0 でない場合に近似的に当てはめることが出来る。

iii) サービス時間

サービス時間は吊上げ点および吊下し点においてそれぞれ同一平均サービス時間をもつ指数分布に従う。この2過程合成のサービス時間分布 $S'(T)$ が

$$S'(T) = \mu^2 \cdot T \cdot \exp(-\mu T)$$

であることは前章で述べた通りである。

クレーンが仕事発生場所に到達するまでの時間および吊上げ点サービスを終了した後に吊下し点に至るに要する時間はサービス時間に含めて考える。すなわち移動時間は、吊上げ点および吊下し点においてそれぞれ $1/2$ を

消費されるとし、移動々は瞬間に行なわれると仮定する。

移動形式 [B] の場合は、クレーンはサービス開始と同時に 2 過程のサービスを最後まで他のクレーンに障害されることなく遂行出来る保障を得られるので問題ないが、移動形式 [A] においてはサービス方針により第 1 過程のサービスを終了した後第 2 過程のサービスに入ることが出きずクレーンが物を吊つたまま無稼働の状態におちいる場合が生ずる。この状態は見掛けの稼働率を増加させるが、サービスの進行には無関係であるので費す時間はサービス時間とは見なさない。

iv) サービス方針

すでに述べたように、移動形式 [B] の場合はクレーンはサービスを開始した瞬間に最後まで、そのサービスを停滞なく遂行する保障を獲得するから、系中のクレーンの状態は空いているかサービス中であるかのいずれかであり前報の単 1 過程サービスと同様のサービス方針によつてクレーンの動態を規制し得る。すなわち仕事に最も近い位置を占めるクレーンがサービスを受持ち早く発生した仕事が優先のサービスを得る。

移動形式 [A] の場合には、クレーンが第 1 過程のサービスを終え第 2 過程のサービス位置に移動を試みるとき、その過程に他のサービス中（吊上げ点あるいは吊下し点におけるサービス中）のクレーンが介在しているならば、移動を行なうことが来きない。この状態を中間状態と呼ぶことにする。ここに新たなサービス方針を附け加える必要が生ずる。従つてサービス方針として次を規定する。

(a) 吊上げ点、あるいは吊下し点におけるサービスは中断されることがなく最優先の順位をもつ。中間状態から吊下し点サービスへの移行は他のクレーンの吊上げ点サービスの開始に優先する。中間状態にあるクレーンが 2 台以上あるとき先に中間状態に入つたクレーンが優先して吊下し点サービスに移行出来る。

(b) ある時刻にあるクレーンが吊上げ点サービスを開始出来る条件は、そのクレーンが空いていること（中間状態は空いているとは見なさない）かつそのクレーンと仕事との間に他のサービス中（中間状態はサービス中とは見なさない）のクレーンが介在しないことである。このような仕事が 1 台のクレーンに 2 箇以上あるときは先に発生した仕事が優先してサービスを受ける。逆に 1 つの仕事に対し 2 台以上のクレーンがサービス可能なときは最も近いクレーンがサービスを受持つものとする。

(c) あるクレーンがサービス開始点に到達するために道程にいる他の中間状態のクレーンを移動させることが出来る。またサービス終了点に到達を試みるクレーンは道程に介在する他の空いているクレーンおよび中間状態のクレーンを移動させることができる。しかしサービス中のクレーンはいかなる場合も移動させることが出来ない。移動を余儀なくされるクレーンの移動は最小限距離行なわれ、その位置に止つて次の状態を待ち受ける。

上記のサービス方針は筆者らの経験では、ほぼ実際に近いものである。

3.2 シミュレーションの結果

シミュレーションはクレーンが 2 台 ($N=2$) および 3 台 ($N=3$) の各々について次の 7 系列について行なつた。各系列は模型を固定し稼働率を変化させた一連の試行である。1 つの試行に対し仕事発生件数は 500~1000 箇とした。

i) 移動形式 [A] の場合

移動距離分布 $F(s, d)$ で $d=0.2l, 0.4l, 0.6l$ の 3 系列

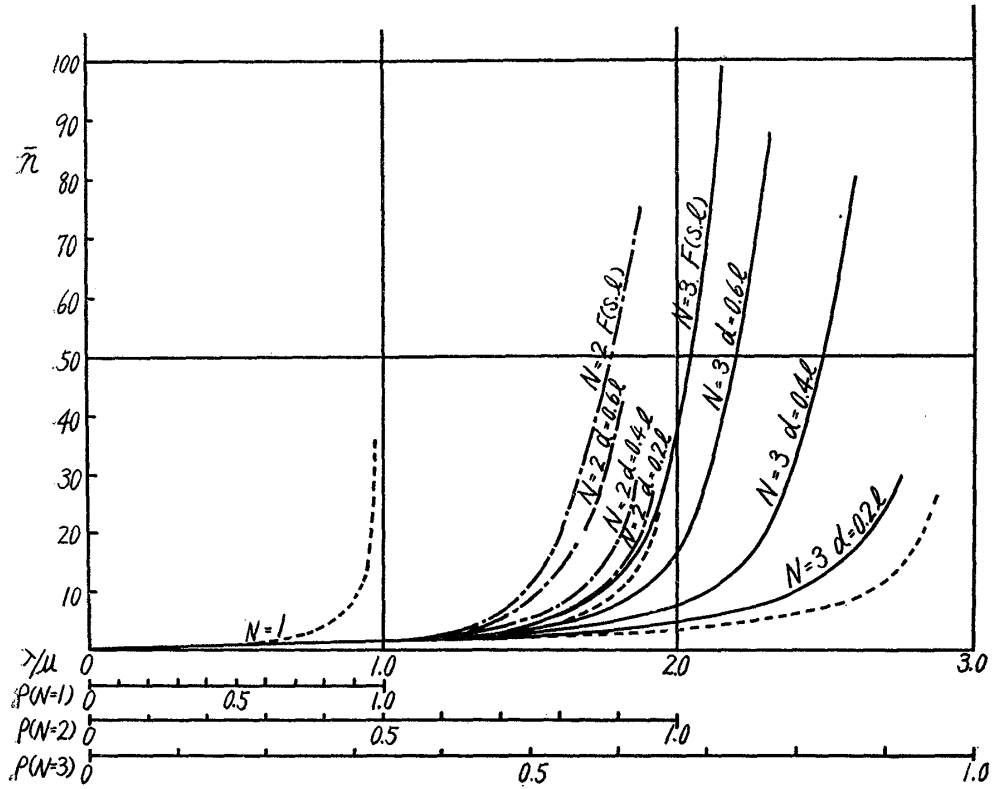
移動距離分布 $F(s, l)$ の 1 系列

ii) 移動形式 [B] の場合

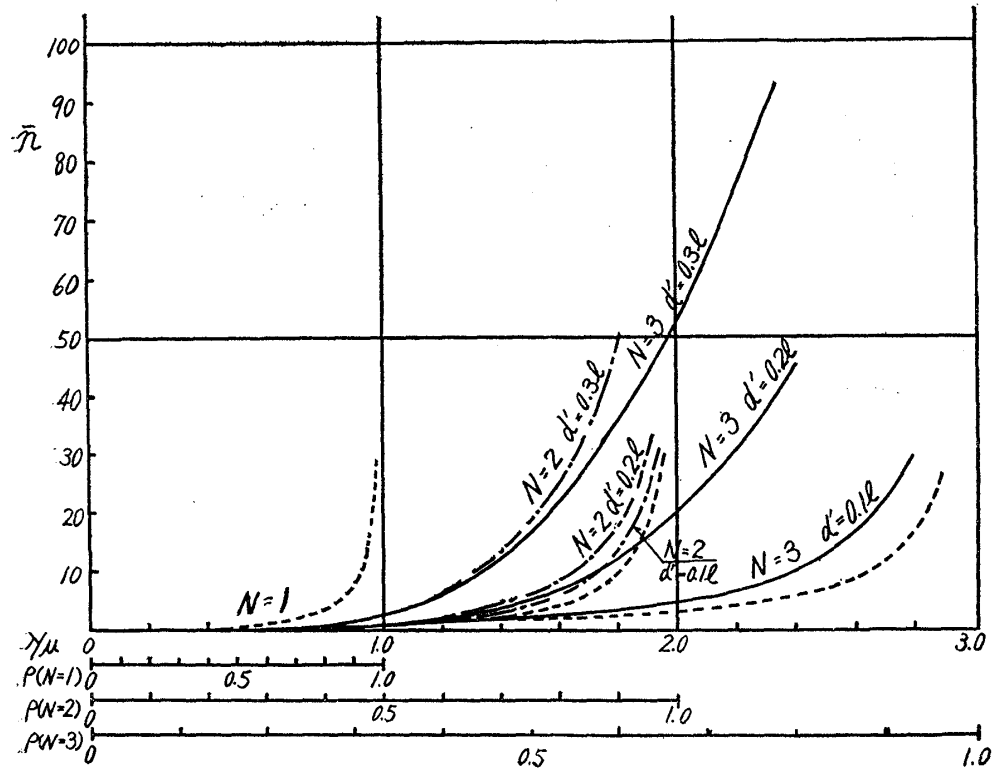
$d'=0.1l, 0.2l, 0.3l$ の 3 系列

第 7 図および第 8 図にシミュレーションの結果得られた稼働率 ρ と系中仕事平均数 $\bar{n}$ の関係を示す。図中に併記してあるのは前報における移動を伴わない場合の干渉状態である。移動々が相互干渉を増大させていることが良く表われている。主な傾向についてのべれば、干渉は 3 台の場合の方が 2 台の場合よりも大きく移動距離の増加につれて急激に大きくなる。

前報で述べた移動を伴わない場合では、有効台数は系中の仕事数の増加に伴つて配置台数に近づくものであつた。従つて干渉のない場合に対する $\bar{n}$ の増加は主に系中の仕事数の少ないときの有効台数の低減に起因するものであつた。今回の移動を伴う場合には有効台数は系中仕事数が増加しても配置台数に近づかず配置台数より小さいところで飽和に達する。第 7 図、第 8 図で稼働率の比較的小さいところで $\bar{n}$ が急激に増加を始めるのはこのためである。



第7図 稼働率 ρ と系中仕事数 $\bar{n}$ の関係-移動形式 [A] の場合



第8図 稼働率 ρ と系中仕事数 $\bar{n}$ の関係-移動形式 [B] の場合

第2表は $\bar{n}=20$ を示す各状態の稼働率 ρ を第7図、および第8図から読みとつたものである。この表からも干渉に及ぼす配置台数と移動距離の影響を知ることが出きよう。

4 分割サービス

第7図および第8図に示されたシミュレーションの結果から明らかに、相互干渉に与える移動の影響は極めて大きい。ここで分割サービスと云うのは、クレーンの移動区域を制限して干渉を少なくする1つのサービス方針であって各クレーンは等分された作業場の1区域だけのサービスを分担し他の区域のサービスには一切関与しない。

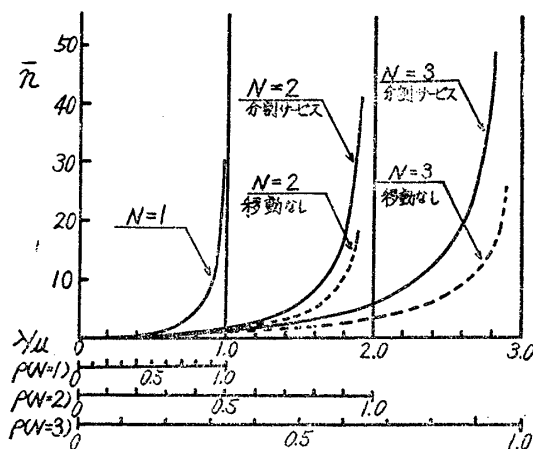
この場合クレーン N 台で稼働率 ρ のサービス系は、各分担区域について稼働 ρ の単1チャンネルのサービス系に置き換えることができる。ポアソン到着指数分布サービス時間を仮定すれば、各分担区域における系中平均仕事数 $\bar{n}_0$ は

$$\bar{n}_0 = \frac{\rho}{1-\rho} \quad (8)$$

であり、作業場全域について系中にある平均仕事数 $\bar{n}$ は

$$\bar{n} = 3\bar{n}_0 = \frac{3\rho}{1-\rho} \quad (9)$$

で表わすことができる。第9図は(9)式を表示したものであり、図中に併記してある移動を伴わない場合の干渉状態と比較するとやや不利ではある。しかし第7図あるいは第8図と比較するならば移動形式 [A] における $d=0.2l$ 、[B] における $d'=0.1l$ とほぼ等しい値を示しており、これ以上大きな移動を伴う場合には、分割サービスの方が有利であると判定される。分割サービスは、サービス方針としては単純であるから、置場を適切な位置に配置すれば実用の可能性が大きい。



第9図 稼働率 ρ と系中仕事数 $\bar{n}$ の関係-分割サービスの場合

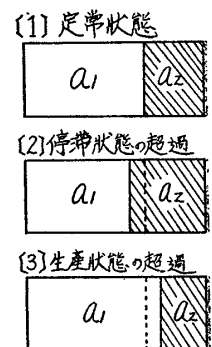
5 クレーンサービス場の生産量

作業場にクレーンを増設したとき、あるいはサービス方針を変えて干渉を少なくすることの起きたときに生産量をどの程度増大し得るかと言う問題は実用上重要であろう。以下にこの問題を取扱う。

一般に待合せ状態は入力と出力の中間の状態であるが入力に待合せ単位の数に無関係であるのが普通である。しかしクレーンサービスを受ける作業場においては入力に待合せ単位数によって変化するものである。第10図において [1] は生産状態 a_1 がクレーンのサービスを受けなければ作業を進行させることの出きない停滞状態 a_2 と均衡のとれた定常状態である。一方 [2] は定常状態 [1] に対し生産状態が少なく停滞状態が多い場合を表しており [3] はこの逆の場合で、ともに定常状態を逸脱している。[2] および [3] の状態は長つづきせず [1] の状態に復元する傾向をもつのは次の理由である。すなわち [2] の状態の継続は次の段階において仕事発生率を減少させる。従つてクレーンの稼働率は低下し待合せ中の仕事数は少なくなり生産状態が増加するのである。[3] の状態からは逆にクレーンの稼働率が増し待合せ中の仕事数が増加し生産状態は減少する。従つて生産量は定常状態における a_1/A ($A=a_1+a_2$) に比例して増大すると云うことができる。

ここで $\tau=a_1/A$ を生産率と名付けよう。系中にある平均仕事数を $\bar{n}$ 、 $\bar{n}$ のうち作業に停滞状態を生じさせているクレーンの仕事の割合を α (すぐ行なわなくても作業に支障のないクレーンの仕事は α に含まない) 作業場に配置出来る作業単位数 (あるいは生産設備の数) を B セットとすれば、クレーン台数 N 稼働率 ρ の作業場において生産率は

$$\tau \equiv a_1/A = 1 - \frac{\bar{n}\alpha}{B} \quad (10)$$



第10図 生産状態と停滞状態の釣合

$$\tau = \beta\lambda/\mu \quad (11)$$

である。従つて

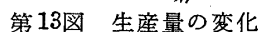
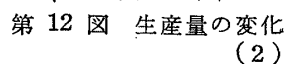

$$\left. \begin{aligned} 1 - \frac{\bar{n}_1 \cdot \alpha}{B} &= \beta \cdot \lambda_1 / \mu \\ 1 - \frac{\bar{n}_2 \cdot \alpha}{B} &= \beta \cdot \lambda_2 / \mu \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

が成立つ。(13) 式と $N_1\rho_1=\lambda_1/\mu$, $N_2\rho_2=\lambda_2/\mu$ の関係から

$$\frac{\tau_2}{\tau_1} = \frac{\lambda_2/\mu}{\lambda_1/\mu} = \frac{N_2 \rho_2}{N_1 \rho_1} = \frac{1 - \bar{n}_2 \cdot \alpha/B}{1 - \bar{n}_1 \cdot \alpha/B} \quad (14)$$

上述は、生産状態の単位面積当りの仕事発生率と作業場面積が変わらないとした場合である。作業場の生産設備の生産速度を速めることができるとき、あるいは造船のブロック組立場において1ブロックの作業人員を遊休させることなく増加出来る場合のように、生産状態単位面積当りのクレーンの仕事の発生率（以下単に単位発生率と呼ぶ）を増加させることができるならば生産量は上述よりもさらに増加出来るものである。もし単位発生率の増加を稼働率に比例させて行なうことができるならば、第12図において状態〔1〕から〔2〕への移行は、生産状態と停滞状態の面積比を変えることなく、 $\bar{n}$ ＝一定で行なうことができるから、 p 点は p 軸に平行に q 点に移行する。この場合、機械の生産速度あるいは作業員密度は状態〔1〕の $\{1+\delta(\lambda/\mu)/(\lambda/\mu)\}$ 倍に耐え得ることが必要である。単位発生率が一定であつても生産状態面積 a_1 を増加させ得る場合も同様であつて生産状態面積が $\{1+\delta(\lambda/\mu)/\delta(\lambda/\mu)\}$ 倍、すなわち作業物全体の面積を $\{a_1+a_2\}$ から $\{a_1\{1+\delta(\lambda/\mu)/(\lambda/\mu)\}+a_2\}$ に増加させた場合には〔1〕に対し $\{1+\delta(\lambda/\mu)/(\lambda/\mu)\}$ 倍

第12図 生産量の変化



つぎに単位発生率を増加させることだけで生産量増加を試みる場合について述べる。すなわち第 13 図において点 p から点 q への移行を行なう場合であるが、移行が実現してきたとき稼働率は $\{1+\delta\theta/\rho\}$ 倍になり一方生産状態面積は減少して $\{B-\alpha(\bar{n}+\delta\bar{n})\}/(B-\alpha\bar{n})$ 倍になるから、 q 点における単位発生率は p 点のその

$$(1+\delta\rho/\rho)\left\{\frac{B-\alpha\bar{n}}{B-\alpha(\bar{n}+\delta\bar{n})}\right\}=(1+\delta\rho/\rho)\left(\frac{1}{1-\frac{\alpha\cdot\delta\bar{n}}{B-\alpha\bar{n}}}\right)$$

NII-Electronic Library Service

決ってくる。クレーン2台移動式〔A〕移動距離分布 $F(s, l)$ の場合を例にとると、 $B=50$ 、 $\alpha=40\%$ として $\rho=1.60$ を $\rho=1.80$ に移行すれば単位発生率は 1.70 倍になり 70% の生産速度の増加あるいは作業員密度の増加を行なわなければならない。通常 70% と云う大幅な作業員密度の増加は実現が困難であろう。ここにクレーンサービス場の限界生産量とクレーンの限界稼働率が存在する。なお $\bar{n}$ を増加させて生産量を増大する方法は $\bar{n}$ の増加に伴って n のバラツキが増し生産能率を低下させるものであり生産量増加の方法としては好ましくないものであることを付言しておく。

6 干渉現象を低減する二、三の方法

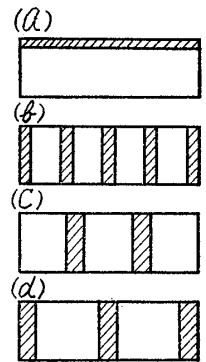
以上の考察結果から干渉を少なく止めクレーンを有効に使用する具体的な方法について述べる。

i) 移動距離制限と分割サービス方針

相互干渉は移動距離の増加に伴って急激に大きくなるから、移動距離を小さくすることが干渉を少なくする最も有効な対策になる。その1つに分割サービス方針がある。分割サービスはクレーンがサービス中に移動することは欠くべからざることでありと認めた上で移動区域を制限することによつて移動距離を少なくする方法である。分割サービスの効果は第9図に示した通りである。この方法は規則としては極めて単純であるから実用性の大きいものである。

ii) 置場配置

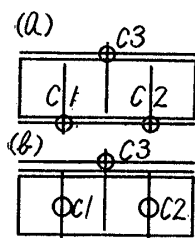
移動距離を少なくするためには、作業場の中に設置される一時置場の数と位置の選定が1つの重要な問題になる。最も移動を少なくし得る置場配置は第14図(a)のごとくレールに平行に細長い置場を設ける場合であるが、この置場配置を有効ならしめるためには、材料は使用される場所の近くをあらかじめ選んで置かれる必要があり管理が難しい欠点がある。第14図(b)のごとく、数多く置場を設ける場合も同様である。普通、実用となし得るのは、隣り合うクレーンで1つの置場を共有する場合(第14図(c))と各クレーンはそれぞれ1つの専用置場をもつ場合(第14図(d))である。前者は置場に置く材料の管理が多少楽になる点があり有利であるが置場内でクレーンの干渉が起こる点で不利である。筆者らは置場内でのクレーンの干渉を重要と考えて、各クレーン1つずつの専用置場を設ける方法がより優利であると考え。その位置はそれぞれのクレーンの占拠率最大の位置が選定されるべきである。この置場配置は分割サービスにそのまま適用できるものである。



第14図 置場配置

iii) レールの増設

レール一条に配置されるクレーン台数は少ない方が優利であり1台の場合は干渉の起らない状態を実現できる。また分割サービス、置場の数と配置の適切な考慮、あるいはその他の方法によつて移動距離制限が可能な場合には干渉はそれ程大きくなる。しかし2台あるいは3台のクレーンの中で1台だけは広い区域の移動を行なうことが、そのクレーンの役割上止むを得ない場合がある。例えば一条のレール上に配置された2台のクレーンのうち1台のブロック移動用クレーンと他の1台の配材専用クレーンがそれである。この場合には大きな移動を行なうクレーンには別条のレールを与えて自由な走行を行なわしめることが大きな効果を表わす。(第15図)このときの ρ と $\bar{n}$ の関係は、2台の場合にはそれぞれレールに1台であつて前報に示した干渉のない場合になり、3台の場合は移動を伴わない場合と同程度を示すであろう。



第15図 レール増設時のクレーン配置

またクレーンの大きさの影響を排する意味で、二台の門型クレーンが交叉し得るように二重レールを設置する方法がある。これは2台の吊点間隔を短かくする目的で行なわれるのが普通であるが、同時に干渉を少なくする効果を期待することが出来る。

iv) 仕事発生率を作業場の特定区域に集中させる方法およびコンベヤーラインとの併用

仕事の発生率が作業場の特定区域に集中している場合には、その区域をサービスすべく配置された1台のクレーンは作業場の特定区域を離れることが少なくなり上述の分割サービスと同様な効果が得られる。もちろん特定区域をサービスするクレーンは、他のクレーンが出きるだけ自由に走行できるように選ばねばならない。造船組立場において枠組立を採用する場合の枠組立のためのクレーンの作業、船台における機関室周辺の機装関係を

主にするクレーン作業がこの例である。

コンベヤーラインは最近になつて造船組立場に採用されつつあるが、板ブロックをコンベヤー始点から流し、部材はコンベヤーライン上の決められたセットで配置する点で、特定区域集中サービスの方法である。同時に、作業場の端から端に至るブロックの移動をクレーンとは別の運搬手段であるコンベヤーで行なう点は、上述した大きな移動を行なうクレーンを別条のレールに配置する方法と極めて似た意味をもつものである。

7 結 言

重量物を扱う工場においては、クレーンは設備の主要を占めるものであり、そのサービス能力は生産量と生産能率を支配するものである。クレーンのサービス能力は、一方ではクレーンの配置台数であり、他方ではクレーンをいかに有効に使用するかと云う問題であるが、相互干渉の起こるクレーン配置では、両者は関連をもち一方だけで論ずることが出きない。干渉の影響は大きく無視出きないものである。本報告では前報にひきつづき、この問題を取扱かつた。特に実際に近い模型化に努めたので得られた結果は実用上の参考にならうかと思う。二回にわたつた報告をこれで終了する。

最後に本論文の作製に当り終始ご懇篤なご指導を賜つた東京大学工学部平本教授に厚くお礼申し上げます。また実用的な面から有益なご示唆とご助言を戴いた横浜造船所造船工作部武藤次長、阿部工場長に深甚の謝意を表します。第5図は夏期実習に際し実測とその資料整理に当られた東京大学工学部学生岩崎 隆、斎藤研二両君のご努力によるものであることを述べ謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 石川克比古, 星野真: 一条のレール上に配置された複数台クレーンの相互干渉および待合せに関する研究 (第1報) 造船協会論文集 第113号
- 2) 平本文男: 作業の手待ちについて 造船協会論文集 第98号
- 3) 宮脇一男外: 待合せ理論とその応用 日刊工業新聞社
- 4) 森口繁一外: オペレーションリサーチ入門(下巻) 紀伊国屋書店
- 5) 小山健夫, 伏見彬: 造船用クレーンの稼働率について 昭和37年3月東大船舶工学科卒業論文