Ⅳ－145　製鉄所における炉前施設の規模決定に関する研究

京都大学工学部　正員　工博　長尾義三
運輸省航空局　正員　工修　○柏村正樹

1　まえがき

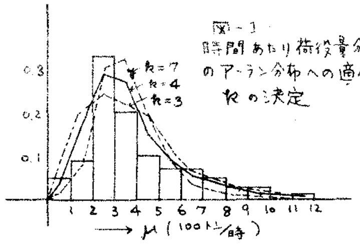
土木施設計画の問題をとりあつかう場合，種々の施設を１つの場所に建設し，全体として１つの有機的な機能をもったシステムとして活動するように，各施設の規模と配置を決定しなければならないというような問題にぶつかることが多い。鉄鋼一貫工場の炉前施設計画もその１つである。鉄鋼一貫工場の炉前施設とは鉄鋼生産に必要な原料が工場内に搬入され高炉における製銑に供されるまでに通過する諸施設の諸施設の総称であり，岸壁，荷役機械，原料ヤード（ベルトコンベヤー，ジブローダー，スタッカーを含む）などを含んでいる。それらの諸施設は相互に無関係ではなく，相互の関係を解析したうえで，それぞれの施設の規模を決定しなければならない。

2　バース数・荷役機械能力の原料輸送船の待ち時間におよぼす影響

製鉄所への原料輸送船の到着を主要原料である鉄鉱石について調べた結果，単位時間の到着隻数はポアッソン分布に従うと仮定してよい。また単位時間あたりの荷役量の分布は図－1のように phase $k=4$ のアーラン分布に従う。したがって製鉄所専用港の岸壁バース数 S，荷役機械能力 μ が到着船の待ち時間におよぼす影響についての解析はポアッソン到着アーランサービスの待ち合せ理論をもちいておこなうことができる。$S=1$ のときはすでに知られているように平均待ち時間 w_q は，

$$w_q = \frac{\rho}{2(1-\rho)}\cdot\frac{1}{\mu}\left(1+\frac{1}{k}\right) \qquad (1)$$

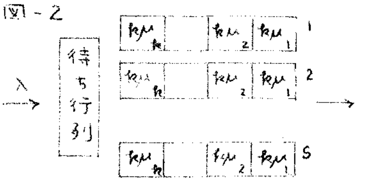
ここに，$\rho=\lambda/\mu$，λ；1日あたりの平均到着数，μ；1日あたりのサービス数により求めることができる。$S \geqq 2$ のとき w_q の一般解はまだ求められていない。そこでアーラン分布に従うサービスをするチャネルは図－2のように，$k\mu$ のサービス速度をもつ k 個の指数サービスをする仮想窓口が直列に配列されたものからなりたっているとみることができることを利用する。その状態方程式の一般式をつぎに示す。



図－1　時間あたり荷役量分布のアーラン分布への適合性 k の決定

$$\left\{\delta_{N,0}\left[(1-\delta_{N,N_{max}})\cdot\lambda + k\mu\left(\sum_{n=1}^{n} S_n\right)\right] + (1-\delta_{n,s})\cdot\delta_{n,s}\left[(1-\delta_{N,N_{max}})\cdot\lambda + k\mu S\right]\right\} P(N,n;S_n,\cdots S_1)$$
$$= \left\{\delta_{N,0}(1-\delta_{n,0})(1-\delta_{S_n,1})\cdot\lambda\cdot P(N,n-1;S_n,S_{n-1}\cdots S_1) + (1-\delta_{N,0})\delta_{n,s}\cdot\lambda P(N-1,n;S_n\cdots S_1)\right.$$
$$+\sum_{s=2}^{n}\left\{[\delta_{N,0}+(1-\delta_{N,0})\cdot\delta_{n,s}](1-\delta_{s,1})(1-\delta_{S_{s-1},0})\cdot k\mu(S_s+1)P(N,n;S_n,\cdots S_1)\right\} + \left\{(1-\delta_{n,0})\cdot\delta_{N,0}(1-\delta_{n,s})\right.$$
$$\times k\mu(S_1+1)\cdot P(N,n+1;S_1+1,\cdots S_n) + (1-\delta_{N,0})\delta_{n,s}(1-\delta_{N,N_{max}})\cdot k\mu(S_1+1)P(N,n+1;S_1+1,\cdots S_n) \qquad (2)$$

この状態方程式を状態確率を未知数とする連立方程式として解くことにより，a 隻の待ちのある確率 P_a が求まると，つぎの式により w_q を求めることができる。

図－2


$$L_q = \sum_{a=0}^{\infty} a P_a \quad ,\; w_q = L_q/\lambda \qquad (3)$$

ここに L_q は平均待ち行列である。(1)，(3)を用いて求め

たW_qを使って，S，μの値を変えたときの待ち損失を求めることが可能である。

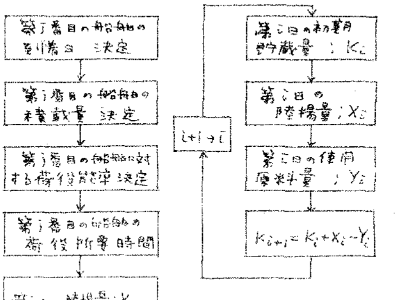
3　荷役機械能力μのヤード規模におよぼす影響

製鉄所におけるヤードは鉄鉱石など原材料陸揚げ岸壁と高炉の中間に位置し，原料の一時貯蔵と必要原料常時確保の機能を有する。さきの昭和40年度関西支部年次学術講演会においてヤードの1つである貯鉱場の確率統計的方法による規模決定について述べたが，ここでは岸壁における荷役機械能力μのヤード規模におよぼす影響をみる。連続した多数期間を考え，期間番号をiとし，ヤードの期首貯蔵量をk_i，荷揚げ量x_i，高炉での使用量y_i，期末貯蔵量z_iとすれば次式がなりたつ。

$$k_{i+1} \equiv z_i = k_i + x_i - y_i \qquad (4)$$

図－3のシミュレーションをおこなうことにより，z_iの分布形を求めることができる。z_iの分布形を求めることにより，ヤード規模の決定が可能になるが，シミュレーションにおいてμの値を変えることにより荷役機械能力がz_iの分布形にいかに影響するかをみることができる。すなわちμが大であるほど船によって運ばれてきた原料は短時間に集中的にヤードに運びこまれるわけであり，ヤード規模は大きくしなければならない。このシミュレーションはそのことを定量的につかむことを目的としている。

図－3



4　炉前施設規模決定に関する一考察

製鉄所の原材料需要量は製鉄所における高炉能力および高炉数によってほぼ一定となると考えてよい。そこでこのようにして決まってくる原料の需要量を高炉におくるために要する年間費用を最小にするような炉前施設の規模をいかにして決定すべきかという問題について考察することが必要になる。その場合同一高炉数に対して原料輸送船の1船あたり積載量qが大になれば到着隻数は減少し，輸送費用は低下する。したがって年間費用の算出には2，3の解析の結果のほかにqと海上輸送費用の関係をも加えなければならない。また単位時間あたりの待ち損失はqが大であるほど大であるから待ち損失に関してもS，μの他にqが関係してくる。いま年間の海上輸送費をC_1，年間待ち損失をC_2，岸壁，荷役機械，ヤードの建設費，補修費などの1年間の費用をC_3とすればそれらはS，μ，qの関数となり

総費用Cは，$C = C_1 + C_2 + C_3 \qquad (5)$

で与えられる。出銑能力1000ﾄﾝ/日高炉1基の場合のS＝2に対する年間総費用Cの値を算出した結果を図－4に示す。この方法により炉前施設全体としての費用最小を目的とした規模決定をおこなうことができる。またヤードの面積など，制限状態が与えられたときの他の施設の適正規模の決定にも応用することができる。