

IV-189

列車の到着と出発サービスの共用に基づく石炭埠頭鉄道駅のシステム特性に関する研究

九州大学 学生員 ○属 国楯 九州大学 正 員 榎木 武

九州大学 学生員 黄 文吉 九州大学 学生員 黄 仁植

1. はじめに

石炭埠頭鉄道駅の作業システムは、基本的には石炭列車の到着作業・荷卸作業・空列車の出発作業といった待ち行列の性質をもつ三つの作業で構成されるが、到着・出発作業チームおよび設備を共用すると、駅での作業システムは、到着・出発作業システムと石炭荷卸作業システムの二つに大別される。

本研究は、この到着・出発作業設備が共用され、そのサービスが同時的に行われる石炭埠頭駅のシステム特性を明らかにするために、駅システムシミュレーションにより、作業及び施設相互の待ち行列上の関係を明らかにせんとするものである。

2. 石炭埠頭鉄道駅での施設配置と作業システム

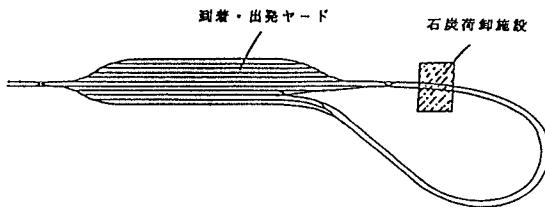


図-1 石炭埠頭における鉄道駅システムの施設配置

図-1に示すように、石炭埠頭鉄道駅の主要な施設は、(1) 石炭列車到着後の到着作業の停留、石炭荷卸作業の待ち停留、および空列車出発前の出発作業の停留のための到着・出発ヤード、(2) チッピングプラントをもつ連続的な石炭荷卸のための荷卸作業施設、(3) 石炭列車の到着・荷卸・出発などの作業過程をつなぐサークル線である。

待ち行列上の性質にもとづいて、駅システムの各種影響要素を示せば以下のとおりである。

(1) 石炭列車の到着分布、(2) 各種作業のサービス時間分布、(3) 各種作業サービスの待ち時間、(4) 各作業システムでの滞留総時間、(5) 各種作業設備の利用率、(6) 各種作業サービスの待ち列車本数、(7) 各作業システムに滞留する列車総本数、(8) 各作業システムでの作業チームおよび設備数。

以上の要素は駅システムの計画に大きく影響し、それら要素間の複合的な関係が駅のシステム特性を表し、駅システム計画上の基礎となるものである。

3. 駅システムでの各種作業の基本特性について

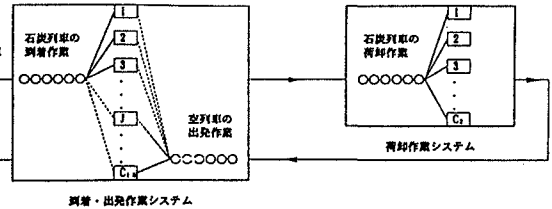


図-2 到着・出発サービスを共用する石炭埠頭鉄道駅の作業システム

石炭埠頭駅での作業システムは、到着・出発作業システムと石炭荷卸作業システムであり、図-2はそれら作業におけるフローを示す。これによれば、到着サービスを終えた石炭列車は荷卸作業施設に入るか、あるいは荷卸サービスを待つために駅ヤードで待機する。そして、到着サービスを終了した石炭列車を到着・出発システムの出力が荷卸システムの入力となる。また、石炭荷卸システムの出力は石炭荷卸サービスを終え、駅ヤードの到着・出発システムにもどる空列車である。この空列車は出発サービスを受けて出発する。

石炭列車の到着時間間隔の確率分布および各種作業のサービス時間の特性に関する研究によれば¹⁾、石炭列車の到着分布は対数正規分布で表しう。また、各種作業のサービス時間は、列車長の線形式で与えられ、その残差は正規分布で表わすことができる。

以上から、駅における到着・出発作業システムおよび石炭荷卸作業システムとして、待ち行列のM/M/Cシステムを適用することは妥当でない。そこで、ここでは各種作業システムの要素間の関係を明らかにするために駅システムのシミュレーションモデルを構築し検討した。

4. 駅システムにおける各種要素間の関係

4.1 到着・出発作業システム

図-3はシミュレーションにより到着・出発作業システムでの平均列車待ち時間(W_{q1s} (時間))と到着・出発作業システムの設備利用率(ρ_{1s})との間の関係を求めたものである。待ち行列システムの性質から見れば、この図の中に作業設備の作業チームおよび設備数(C_{1s})と相応した作業サービス率(μ_{1s} (本/時間))及び列車の到着密度(n (本/時間))との間の関係が含まれている。ここでは、平均列車待ち時間

(W_{q1s}) と ρ_{1s} , μ_{1s} , C_{1s} , および n との関係を表すために, C_{1s} の値毎に考察することとする。

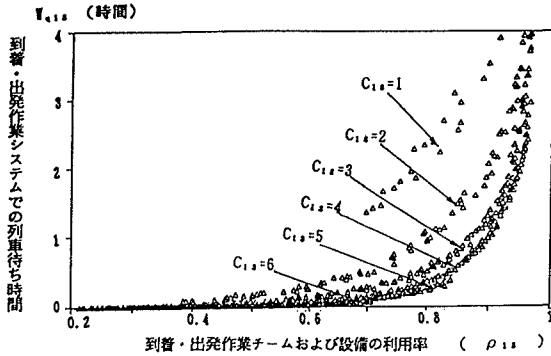


図-3 到着・出発作業システムにおける平均列車待ち時間 W_{q1s}

W_{q1s} と ρ_{1s} , C_{1s} , n , μ_{1s} との関係を表す式として, 待ち行列モデルの Lee-Longton 式に, パラメータを導入して類似の式形を仮定し, シミュレーションの結果を回帰分析すれば, 次のようにえられる。

$$C_{1s}=1: W_{q1s} = \frac{0.261 \rho_{1s}^{0.452} (n/\mu_{1s})^{4.423 C_{1s}}}{(C_{1s}! (1-\rho_{1s})^2)^{0.227} (n)^{3.778}} \quad (r^2=0.997) \quad (1)$$

$$C_{1s}=2: W_{q1s} = \frac{0.016 \rho_{1s}^{1.919} (n/\mu_{1s})^{4.323 C_{1s}}}{(C_{1s}! (1-\rho_{1s})^2)^{0.331} (n)^{4.101}} \quad (r^2=0.999) \quad (2)$$

$$C_{1s}=3: W_{q1s} = \frac{1.046 \cdot 10^{-3} \rho_{1s}^{2.458} (n/\mu_{1s})^{2.977 C_{1s}}}{(C_{1s}! (1-\rho_{1s})^2)^{0.384} (n)^{5.543}} \quad (r^2=0.998) \quad (3)$$

$$C_{1s}=4: W_{q1s} = \frac{1.773 \cdot 10^{-3} \rho_{1s}^{3.321} (n/\mu_{1s})^{2.422 C_{1s}}}{(C_{1s}! (1-\rho_{1s})^2)^{0.412} (n)^{13.302}} \quad (r^2=0.991) \quad (4)$$

C_{1s} が増えるに従って待ち時間が変わり, C_{1s} が 1 から 2, 3 へと増加すれば, 待ち時間も大きく変化し, 減少するが, $C_{1s}=4$ 以上ではさほど変化しないことが分かる。さらに, ρ_{1s} が増加すると, 待ち時間が増加するが, 特に, $\rho_{1s} \geq 0.9$ では, 急激に大きくなることが明らかである。

石炭列車の到着・出発作業システムにおける滞留時間 (W_{s1s} (時間)), 到着密度 (n) とシステム内に滞留する列車本数 (L_{1s}) との関係を定式化すれば,

$$L_{1s} = 1.008 (n)^{0.799} (W_{s1s})^{0.836} \quad (\text{本}) \quad (r^2=0.996) \quad (5)$$

ここに, $W_{s1s} = W_{q1s} + 1/\mu_{1s}$ 。

また, 到着・出発作業システムでの作業チームおよび設備利用率 (ρ_{1s}), 作業チーム及び設備 (C_{1s}), 作業サービス率 (μ_{1s}), 列車到着密度 (n) の間の関係を求めれば, 次式のとおりである。

$$\rho_{1s} = \frac{0.807 (n)^{0.730}}{(C_{1s} \mu_{1s})^{0.822}} \quad (r^2=0.986) \quad (6)$$

決定係数は何れも 0.9 以上であり, 十分な精度を有する。

4.2 石炭荷卸システム

シミュレーションにより石炭荷卸システムでの列車待ち時間 (W_{q2}), 荷卸作業設備の利用率 (ρ_2), 設備数 C_2 および作業サービス率 (μ_2), 列車の到着密度 (n) の間の関係を求めば,

$$C_2=1: W_{q2} = \frac{1.29 \rho_2^{1.878} (n/\mu_2)^{0.583 C_2}}{(C_2! (1-\rho_2)^2)^{0.15} (n)^{0.990}} \quad (r^2=0.984) \quad (7)$$

$$C_2=2: W_{q2} = \frac{0.235 \rho_2^{1.424} (n/\mu_2)^{0.553 C_2}}{(C_2! (1-\rho_2)^2)^{0.153} (n)^{0.678}} \quad (r^2=0.998) \quad (8)$$

$$C_2=3: W_{q2} = \frac{3.996 \cdot 10^{-2} \rho_2^{1.262} (n/\mu_2)^{1.8 \cdot C_2}}{(C_2! (1-\rho_2)^2)^{0.187} (n)^{1.350}} \quad (r^2=0.996) \quad (9)$$

$$C_2=4: W_{q2} = \frac{9.014 \cdot 10^{-3} \rho_2^{1.105} (n/\mu_2)^{1.077 C_2}}{(C_2! (1-\rho_2)^2)^{0.157} (n)^{2.312}} \quad (r^2=0.994) \quad (10)$$

また, 列車待ち時間が C_2 及び ρ_2 により変化するが, 特に, $C_2=1, 2, 3$ の場合には, 待ち時間の変化が大きく, $C_2=4$ 以上の場合には少ないといえる。さらに, ρ_2 が 0.95 以上になると待ち時間は急激に増大することが明らかである。

荷卸作業システムに列車の滞留時間 (W_{s2}), 列車の到着密度 (n) および列車の滞留本数 (L_2) との間の関係は次式のとおりである。

$$L_2 = 1.290 (n)^{0.797} (W_{s2})^{0.861} \quad (\text{本}) \quad (r^2=0.996) \quad (11)$$

ここに, $W_{s2} = W_{q2} + 1/\mu_2$ 。

また, 石炭荷卸作業システムでの作業設備の利用率 (ρ_2), 設備数 (C_2) および相応的な作業サービス率 (μ_2), 列車の到着密度 (n) との間の関係式は

$$\rho_2 = \frac{0.894 (n)^{0.656}}{(C_2 \mu_2)^{0.777}} \quad (r^2=0.982) \quad (12)$$

荷卸作業システムの特性を表す各種関係式について決定係数は何れも 0.9 以上である。

5. まとめ

本研究は, 列車の到着・出発サービスを共用する場合の石炭埠頭駅システムのシミュレーションにより, 列車の到着・出発作業システムと荷卸作業システムでの各要素間の関係を回帰分析した。これにもとづけば到着・出発サービスを共用する石炭埠頭駅のシステム特性を明らかにできる。

参考文献

- 1) 廣 國雄, 榎木 武, 重 雄英, 黄 文吉: 石炭埠頭駅における石炭列車到着および各作業サービスの確率分布モデルについて, 九州大学工学集報, 第 67 巻, 第 3 号, 平成 6 年 6 月。
- 2) Thomas H. Naylor, Joseph L. Balintfy, Donald S. Burdick, Kong Chu: Computer Simulation Techniques, published by John Wiley & Sons, Inc., New York, 1966.