

## 数理工学が重工業分野で果たす役割



企業レポート

福島高司\*, 大寺信行\*\*

Application of Information and Systems Engineering to Decision Making  
on Plant Administration

Key Words : Simulation, Scheduling, Decision Making

### 1. はじめに

昨今, 当社の事業である鉄鋼, アルミ銅, 溶接などの素材系事業, 産業機械, 建設機械などの機械系事業への情報技術の活用が重要な役割を果たすようになってきている. そのため, 当社において数理工学系の人材へのニーズが高まっており, 学生の方にも興味をもっていただくために, 森田浩先生にお願いして, 2007年11月に情報科学研究科の博士課程前期の学生の方に対して講演の機会をいただいた. 本稿では, その講演の内容から, 数理工学が重工業分野で果たす役割について, 事例を用いて紹介する.

### 2. 神戸製鋼所の事業概要

当社及び関係会社(子会社203社及び関連会社69社)は, 鉄鋼関連事業, 電力卸供給事業, アルミ・銅関連事業, 機械関連事業, 建設機械関連事業, 不動産関連事業, 各種サービス事業等多岐にわたる事業を展開している. ものづくりを担う製造拠点は,

高砂製作所, 加古川製鉄所, 神戸製鉄所, 藤沢事業所, 茨木工場, 西条工場, 真岡製造所, 長府製造所, 大安工場, 播磨工場と日本国内のみならず, 関係会社の製造拠点として, アメリカ・アジア・オセアニア地域に多数持っている.

### 3. 事例紹介

本章では, スケジューリングおよびシミュレーションを用いた意思決定支援システムについて, 当社製造部門への情報技術の適用事例として紹介する.

#### (ア) スケジューリング事例: 原料入荷計画<sup>1)</sup>

鉄鋼業では物流コストが売上高の4~5%を占めており, 過去から現在までそのコスト削減は常に重要な経営課題となっている. 特に, 我が国の一貫製鉄所は臨海部に立地しているため, 原料入荷と海外への製品出荷のほぼ100%, 及び国内への製品出荷の約80%は船舶を利用しており, 物流問題における船舶の比重は非常に高い. ここでは, 船舶による原料入荷計画について紹介する.

当社加古川製鉄所では利用する鉄鉱石, 石炭等を積載した原料船数百隻が3箇所のバース(E3, E4, E5)を利用する. それらは, 製鉄所沖に到着した後, 利用予定のバースを他の船舶が利用中であれば沖で待機し, バースが利用可能になれば入港, 着岸する. その後, 数日間バースを占有してアンローダ等で原料を揚陸した後, 離岸, 出航する. バース決定問題とは, これらの原料船に対して3箇所のバースの割り当てを決定する問題である(図1).

この問題に対して, 当初, 熟練作業者がバースを決定する際に参考にする船舶の種類, 積荷種類, その量, 及びバースの稼働状況を用いた“IF THEN”処理でノウハウを表現した(図2.(a))



\*Takashi FUKUSHIMA

1967年6月生  
神戸大学大学院自然科学研究科博士後期課程修了(2006年)  
現在, 株式会社 神戸製鋼所 技術開発本部 生産システム研究所 企画担当課長 博士(工学) 情報科学  
TEL: 078-992-5651  
FAX: 078-992-5530  
E-mail: fukushima.takashi@kobelco.com



\*\*Nobuyuki OTERA

1958年10月生  
大阪大学大学院工学研究科応用物理学専攻博士前期課程修了(1984年)  
現在, 株式会社 神戸製鋼所 技術開発本部 生産システム研究所 システム応用研究室 室長 修士 組込み技術, ものづくりIT

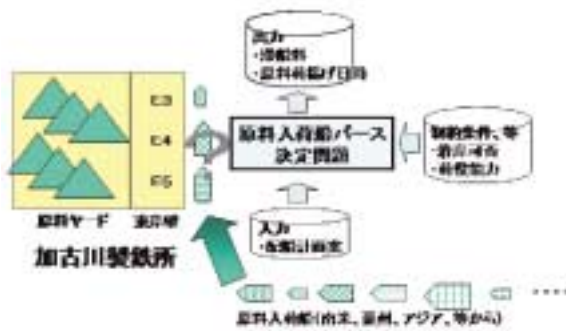


図1. 原料入荷船のバーススケジュール問題

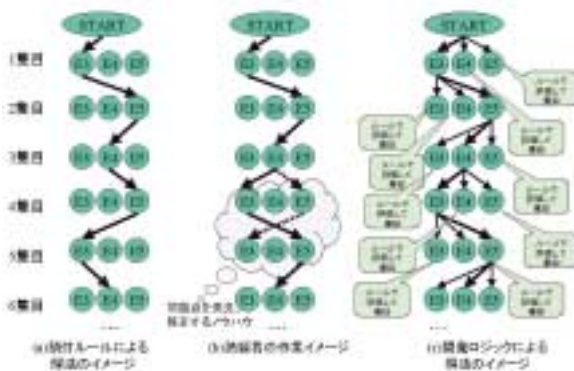


図2. 各種解法のイメージ

が、熟練者が作成する解のレベル (= 滞船料) に及ぶ解は導出できなかった。熟練者はノウハウ(ルール)に基づいて数隻のバースを決定した後に、滞船料が多ければ見直しをおこない、ノウハウ(ルール)とは異なるバース決定を実施している。そのやり直し方が真のノウハウであった。つまり、どの程度の滞船料が発生していれば見直しをおこない、どこをどのように変更するかが、計画問題における熟練者の真のノウハウといえる(図2.(b))。そのようなノウハウは、人間の思考パターンそのものであり、その抽出、計算機での実現は困難であった。全ての組合せを検討し最適な解を求める手法もあるが、組み合わせ爆発を起こし実用時間内での解の算出は困難である。そこで、船舶のバースを決定する場合に、将来への割り当てで発生するコスト(滞船料)を上述した“IF-THEN”ルールで高速に求めることで、全体のコストを算出し、最もコストが低くなるバースへの割り当てを選択する手法を開発した(図2.(c))。この手法だと計算量は $N^2$ ( $N$ : 割り付け対象の船舶の数)に比例するので、組合せの爆発は発生しない。

表1に約100隻の船舶に対するバース決定問題に、各種手法を適用した結果を示す。開発ロジックはC言語で記述し、ルールによる決定は市販のスケジューリングツールを利用した。そのため、計算時間が開発ロジックよりも長くかかっている。また、比較のために熟練作業者の計画結果とも同時に比較した。これに示すように、開発ロジックは、高速に熟練作業者並みの解を導出することができた。

表1. 各種手法の能力比較

スケジューリング方法	処理時間	滞船料
開発ロジック	0.2秒	0.98
熟練者ハンド設定	30分	1.00
ルール利用(ツール)	0.7秒	2.08

(イ) 物流シミュレーション事例：スラブ搬送<sup>2)</sup>

次に、シミュレーションを用いた投資計画事例について紹介する。連铸工場で鑄造された薄板スラブは、次工程の熱延工場に搬送されるが、加古川製鉄所では、その搬送プロセスにおいて複数のヤードと工場、そして搬送設備が関連する。また、連铸でのスラブ生産量、熱延工場でのスラブ消費量は日々変動するといった特徴を持つ。そのため、スラブの搬送プロセスは複雑となり、熱延工場へのスラブ搬送能力定量化が容易ではなかった。特に、将来的な増産を考慮した搬送設備への投資を検討する場合、必要十分な投資内容を定量的に決定する手段が求められていた。図3にスラブ物流に関連する工場、ヤードを示す。スラブ物流に関係するヤードは、製鉄所内に分散配置されている。そのため、ヤード間のスラブ搬送には4種類の作業が発生する。すなわち、作業(i)搬送元のヤードに機関車で台車を移動し、作業(ii)搬送元ヤードからクレーンにより台車にスラブを荷積みし、作業(iii)機関車で台車を搬送先のヤードに移動し、作業(iv)搬送先ヤードでクレーンにより台車からスラブを荷降ろしする、事が必要である。本問題の対象ヤードは5箇所、物流設備は機関車2台以上、台車、クレーンはそれぞれ10基以上にのぼり、それらの

設備が製鉄所内に分散している。また、熱延工程は1ヶ月単位で品種構成が一巡するため、搬送能力の議論には1ヶ月単位での検討が基本となる。そのため、在庫も考慮すると、数万本単位のスラブの動きをシミュレータで検証する事になる。



図3 . スラブ物流関連工場とヤード

スラブ搬送作業は常に搬送元クレーン、台車、機関車、搬送先クレーンの4設備の連携を必要とし、連携がうまく行かない場合に、設備に待ち時間が発生することから、スラブ搬送能力の検証は、個人での全体把握が困難であり、ある設備増強が全体に与える影響の定量的判断が非常に難しかった。

熱延工場 (= 加熱炉前ヤード) への搬送能力増強のための手段としては、1) 機関車速度の向上、2) 機関車台数の増加、3) 台車数の増加、4) クレーン作業速度の向上、5) 各スラブヤードの在庫量上限拡張、等が候補として上がった。開発した物流シミュレータは、それらを変動させた場合のスラブ搬送量を導出するとともに、各ヤードのスラブ在庫変動量、各搬送設備の稼働率を記録できるようにした。今回の増設検討では対象設備が多く、また、各設備の増設案も複数あり、それらの全組合せを検証するにはシミュレーション回数が膨大となる。そのため、まず搬送能力への影響が大きい設備を、品質工学における

SN比分析を活用して、影響が最も大きい機関車速度と機関車台数を検証対象として絞り込んだ。それらを変動させた場合の加熱炉前ヤードへの搬送量を図4に示す。この図から、近未来の目標の達成には30%の機関車速度増加が必要であり、長期的目標の達成には速度増加に加え、機関車1台の増車が必要であるという結論に達した。

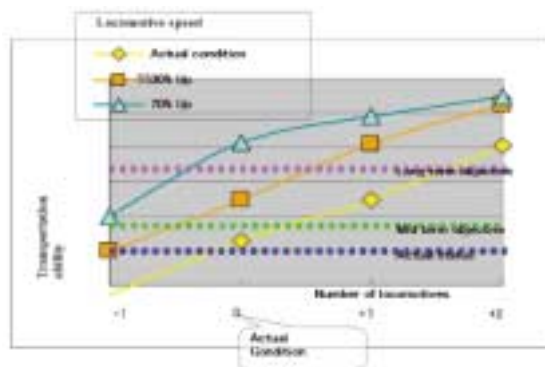


図4 . 機関車台数と速度の搬送能力への影響

#### 4 . おわりに

製造業における数理工学の適用は、操業上、設備投資上の意思決定支援など重要な役割を担っている。このような意思決定を支援する技術としては、シミュレーション、数理計画法、探索アルゴリズム、そして品質工学とあるが、問題の規模と特徴を見極めた使いわけが重要と考えており、各々のケースで適切な選択が必要となる。本稿では、事例にてこれら意思決定支援技術の実務への適用について紹介し、その可能性について示した。

今後、ますます競争が激化する中、企業には迅速に合理的な意思決定することが求められており、これを支援する数理工学への期待は大きい。

#### 参考文献

- 1) 岩谷他：SMS-ISIJ, Vol.56(2005), pp.31-46
- 2) 岩谷他：神戸製鋼技法, Vol.56(2006), No.1, pp.20-23