石油精製業における生産管理システムの統合化

池ノ上　晋

1．はじめに

石油業界では規制緩和や国際化に伴い企業競争力の強化が叫ばれており，その中でより高度な生産管理システムが要求されている．計画精度の向上や生産管理業務の迅速化省力化をめざし，従来からいろいろな関連業務を対象にコンピュータシステムが開発運用されてきたが，さらに一層の改善強化をめざして努力が行われている．その重要な観点は生産管理業務の関連システムの「統合化」である．

この「統合化」を高度に実現する為のシステム関連技術について筆者らは「生産スケジューリングの立案手法」や「関連する複数の部署間での情報共有，データベース」，「高度なユーザーインターフェース」について，OR技術を中心とした研究開発を進めている．その中で得られた知見について以下に述べてみたい．

2．石油精製業の生産活動の特徴

精製工場の生産活動は次のような特徴を持っている．

- 単一の原油から同時に数十種類の製品を年間連続運転している装置群により生産している．
- 原油は大きなロットで専用のタンカーで海外から持ち込まれる．
- 製品はごく一部を除き共通品であり，見込み生産している．
- 製造工程には原油，半製品，製品のタンクがあり，原料入荷や装置運転，出荷のスケジュールの緩衝役をしている．
- 出荷の大半は船出荷で月次の総出荷量は決まるが，日別出荷量は前日にならないと確定しない．
- 油（原油，半製品，製品）の在庫について一定量以上の備蓄の義務がある．
- 原油タンカーから荷揚げしてから製品出荷まで製造期間として約1週間位かかる．

このような状況は生産計画やスケジューリングについて強い特徴を与えている．他の製造業界とは異なると思われるが生産の計画について以下の認識が存在する．

「生産計画」

- 事務屋さん管理屋さんの世界（本社の業務部門や計画部門等）
- 関心事は価格，需給バランス，競合等である．
- 通常LPを利用しており，この意味での最適性を持っている（と認識している）．
- この計画は年度や半期，月次を1つのサイクルとしており，日程スケジューリングの意味合いは一部を除き薄い．
- この計画の結果が次の「スケジューリング」の目標と制約になる．
- 計画は原油選択と期間総生産販売量である．

「スケジューリング（日程計画）」

- 技術屋さんや製造現場の世界（工場管理部門や製造現場のスタッフ）
- 品質，運転条件，省エネルギー等に注目する．
- 現在のスケジューリング機能は表計算ソフトやシミュレーションソフトで会話型である．当然実行可能性は厳密に意識した結果になっている．
- 対象期間は週間，旬間や月次である．
- 「生産計画」を達成目標にした日程計画である．
- 日別の装置別タンク別の生産予定であり，その結果を運転指示に結びつける．

3．「統合化」の意味するところ

(1) 全体システムとしての「統合化」

「統合化」とは何を結びつけたり，1つにしたりす

いけのうえ　すすむ　富士石油㈱生産管理部
〒104 中央区明石町8-1　E-mail: ikenouye@foc.co.jp

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．

るべきなのであろうか．現実のシステム開発の際に議論の過程で必ず出てきて，しかし緊密なシステム化が困難な以下のようなポイントがたくさん見受けられる．

・事務屋／技術屋
・管理部門／製造部門
・物の流れ／お金の流れ
・本社／工場
・社内／社外

以上の観点に対する「統合化」をシステムとして考えて見ると，データや機能などの内容を物理的に1つにすることを追求することは得策ではなく，これらの区分間を流れているデータや仕組みを「シームレス」につなげていくことだと考えている．タイミングや言葉やデータを，それぞれの関係者の立場の特徴そのままで取り扱うことができるように全体の仕組みを作る必要がある．また複数の部署を柔らかく連携させるコミュニケーションシステムとしての意味合いも強い．

(2) 生産管理システムとしての「統合化」

生産管理システムの統合化としては

・計画（生産計画やスケジューリング）と実績
・最適性と実行可能性
・関連する組織の作業環境

をめざして，冒頭に述べたシステム技術の切り口から検討を進めている．

この中で最適性と実行可能性をいかに同時に満足させるかはORの技術が大いに貢献するべき対象であり，この点について数理計画法をより深く適用するべく作業を進めている．

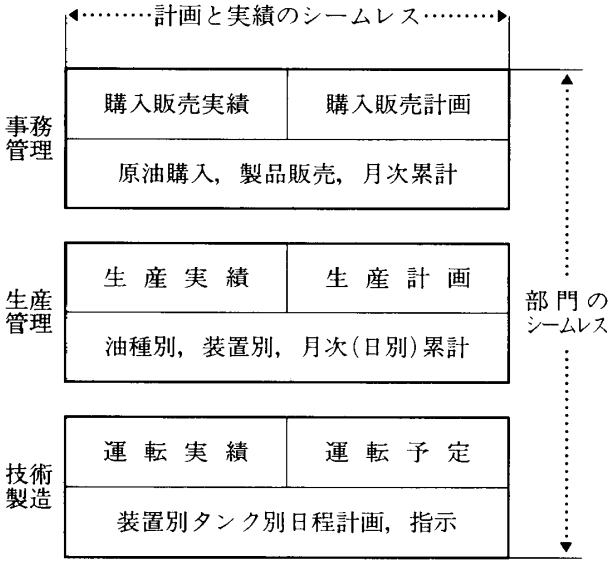

図1　生産管理統合(シームレス)化の内容

4．生産管理システム統合化の技術要素

(1) スケジューリング機能

研究開発の最終目標は日程生産スケジューリングの自動化および実行可能性を満たした最適化である．石油精製工場の生産設備の可能な限り大きな範囲をモデル化し，数理計画法を適用したアルゴリズムで日程計画を作成する．スケジューリングの精度向上や迅速化省力化を実現する．次項でもう少し詳細に述べる．

(2) データベース統合化

計画（前述の生産計画やスケジューリング）と実績の管理にはかなりコンピュータシステムが活かされているが，データベースは現時点では計画と実績それぞれ個別に用意されている例が多い．企業環境の変化の中で作業が効率的に行える仕組みが必要である．異なる複数の担当者が整合性の高い異なる視点のデータを共有できる環境をつくりたい．

生産管理用データベースの統合化の内容として，

・計画と実績のデータのシームレス化
・事務，生産管理，製造の各部門間のデータのシームレス化を検討し，データベースシステムの概念を考えてみた．石油精製工場の生産活動の結果発生するデータ（タンクの在庫や出入り，装置運転にかかわる油量データ）等の特徴や発生量から，入力および変換，記憶蓄積方式，分析検索編集方法について機能検討し概念設計を行った．最近のソフトウェア技術であるデータウェアハウスやOLAP（On-Line Analytical Processing）などのソフトウェアを組み合わせると簡素なシステム構造として表現できる．

発展しつつあるデータベース技術と常識的になりつつあるパソコンネットワークを見れば，部門間の実績データの一元化はほぼ実現できると考えている．計画データについては各部門での計画作業の動機やデータ精度，作業頻度，評価基準等の解析をさらに進める必要がある．計画を作成する際に実際に取り扱うデータは各部門で固有の形(言葉，数値のまとめ方，時間軸)を持っており部門間のデータ相互の結びつきを滑らかにするにはもう一層の工夫が必要である．

(3) ユーザーインターフェース

「スケジューリング」や「データベース」は結局インターフェース機能を介して利用することになり，利用者は可視化されたコンピュータシステムの内容を取り扱うのである．操作支援の機能についても改善の余地を探っているが，「統合化」の観点からは，

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．

・自由な着目点による手順や操作量の削減を考慮した，作成作業の思考の流れを補助するシステムとして設計する．
・複数の担当者が一元化されたデータ（計画結果，参照データ，前提条件等）を一覧性を持った操作環境で利用し，相互の業務の整合性を保てる．
・生産計画やスケジューリングと実績のデータを可能な限り生データとして保持し，異なる立場の利用者がそのデータを必要な編集方法で固有の言葉を使って取り扱える．

といった方向をめざしている．パソコンの機能向上，ネットワークの能力向上，データウェアハウスやOLAP等を組み合わせると簡素で合理的なシステム構造として表現できる．この様な構造のシステムについては，開発作業やシステム保守についても非常に改善が期待できるので今後とも検討を続けたい．

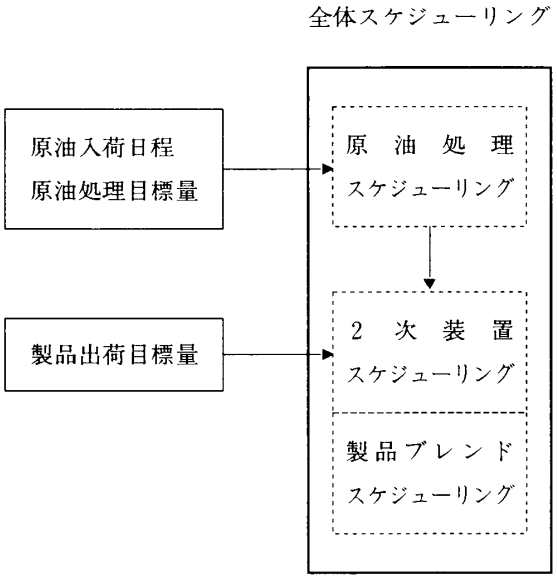

図2　スケジューリング作業の区分

5．生産スケジューリング

(1) スケジューリング問題

スケジューリング問題の内容は石油精製工場全体の数十の装置と数百のタンクの運転切り替えと順序づけを，量と性状の制約を満たしながら日別の運転計画として作成することである．

現在はこの作業を原油処理日程計画とそれより下流の設備群に2区分して，表計算，シミュレーション機能あるいはLPを組合せ全体として会話型のいろいろな形のシステムとして実現されている場合が多い．この作業の過程では実行可能性を満たすべく試行錯誤を繰り返し前提となる生産目標に可能な限り近づくように日程計画を作成している．

(2) 数理計画法のアプローチ

この種の問題に対する混合整数計画法の適用の考え方は以前からあった．30年前の専門書を読み返すと，スケジューリングへの混合整数計画法の適用が論じられているが，その膨大な計算量から実用は問題が多いむね記述されている．

筆者らも以前から混合整数計画法を実際の石油精製工場の生産スケジューリングに適用して何らかの改善が得られるものと考えていた．ここに来て近年の数理計画法解法の発展とコンピュータの処理能力の大きな発展の動きから，従来実際には解けなかった規模や形式の数式モデルが何とか普通のシステム環境でも計算できるとの認識から，実用規模の混合整数計画法モデルについて取り組みを開始した．

(3) 混合整数計画法の適用

製油精製工場の日程計画にとって最も重要なものとして原油処理日程計画に取り組んだ．スケジューリングの内容は14基の原油タンクと2基の原油処理装置の運転切り替えと順序づけを，量と性状の制約を満たしながら日別の31日分の日程計画として作成することである．

この対象に対し混合整数計画法を利用することで，実行可能性と最適性をともに満たすことを狙いモデル化と解法の工夫を行った．とにかく何らかのモデル化を行うと，その数式モデルにより表現された世界の中での実行可能性と最適性になる．その意味で可能な限り現実の生産活動の動きや制約を数式に盛り込むよう工夫をした．

モデルとしては整数変数を約3000個持つ規模である．これをベースモデルにして色々な数値実験を行った．最適性を追求すると当然計算時間がかかり，可能解のみであれば相対的に短時間で解ける．当初は何日単位であったが最近では計算時間は十数分から十数時間までに短縮することができた．この混合整数計画法を応用した原油処理日程計画モデルでの数値実験では，担当者の手作業よりある種の評価値が良い結果を得ることができた．このモデルの目的関数をどのように設定するのかは非常に難しい問題であり計算時間にも大きく影響する．コストを指標として利用するのか，また，運転条件の変更回数を最小化するといった運転上のルールを評価の対象にするのかについては今後さらに検

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．

討が必要である．

(4) 非線形混合整数計画法での挑戦

石油精製工場全体の数十の装置と数百のタンクの日別運転計画を作ることがスケジューリング問題の最終目標である．混合整数計画法による原油処理日程計画モデルでの実績を検討しモデル化対象範囲の拡張を考えた．

工場全体のスケジューリング問題の区分の1つが原油処理日程計画である．そこでさらに下流の装置と製品ブレンドの設備を加えた生産の流れを1つの原油処理2次装置ブレンド計画モデルとして数式化の対象にした．この流れには装置間に中間タンクが設置されており，日ごとの油の性状変化を表現することが必要になり，分数式のような非線形の数式が必要になった．このために表現としては非線形混合整数計画問題として解法を試行することとなった．

数千個の整数変数を含む規模の非線形混合整数計画問題の一般的な解法はいまだ定まったものはなく，分枝限定法，逐次最適化等を組み合わせた手法で数値実験を行った．

現時点ではこのスケジューリングはモデルの対象期間の日数が短期間ならば解が得られる所まできた．しかし現状のモデルでは非線形の数式の影響で制約を緩和しなければ解が出ず，実用性についての確証は得られていない．モデリングについての更なる努力が必要である．

(5) 数理計画法によるスケジューリング

石油精製工場のスケジューリングにこれまで述べてきたような数式表現でアプローチしてきたが，従来に比べ格段に実用的な規模と内容でモデルを試すことができた．実行可能性と最適性を同時に取り扱えることが非常に重要なポイントである．混合整数計画法によるスケジューリングは計算時間の問題を除けば実用可能であると判断できる．非線形の式を含むモデルは現時点では数理計画法の1つの最適化手法で実用化というのは現時点では難しく，さらに研究を進めていく必要がある．

(6) 大きな捉え方

スケジューリングは担当者から見ればいろいろな機能が組み込まれたシステムとしてインターフェースを介して利用しており，数理計画法等を意識しているわけではない．また現場の状況を数式化すると不可避的に乖離が起きる．この点から実装されるシステムとしてはいろいろな手法や，データベースと組み合わせて数理計画法の能力を充分に発揮させるように仕組みを工夫することが肝要である．この研究開発を数年間にわたり進めている間にもコンピュータ能力は非常に発達し，パソコンネットワークの利用も格段に広まってきた．現在のコンピュータの普遍化はインフラストラクチャーとしては非常に強固で，この上にシステム構築を考えるとより良いものになる．一方，統合化の必須要素である複数の人間の共同作業として生産管理作業をとらえると，いろいろな支援機能も非常に重要でありうまく組み込む必要がある

6．おわりに

現在，企業競争力の強化のため，より高度な生産管理システムの「統合化」を求められていると誰しもが考えている．しかし具体的な個々の機能については現場の担当者から明確な要望が具体的に示されている例は少なくもどかしさが感じられる．しかし担当者は現実にないシステムについて希望を述べることはできるが，誰が詳細に機能を説明できるであろうか．このような状況であるからこそOR分野の人間の出番であり，創造的な技術研究の大きなフィールドがあると思っている．今後もさらに大きな課題に取り組んでいきたい．

参考文献

[1] ミュース，トンプソン「インダストリアル スケジューリング」1966竹内書店

[2] 草刈他 「石油精製工場におけるスケジューリングへの数理計画法の適用」

安藤他 「出荷量想定機能へのニューラルネットワーク技術の適用」

常盤他 「統合生産管理データベースの課題と関連技術」

池ノ上他「石油精製業における生産管理システムの統合化」

以上 OR学会平成9年度春期研究発表会予稿

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．