

光ファイバーケーブル工場における 対話型スケジューリングについて

Jay R. Rajasekera

1. はじめに

本稿で考えるスケジューリング問題は米国におけるある光ファイバーケーブル工場が始まったものである。この工場規模はケーブル製品の多様性という観点からは全世界において最大とあってよいだろう。米国ならびに全世界の顧客から電話およびFAXで注文が工場にくる。顧客はケーブルの長さ・種類・伝送パラメータといった光ファイバーの特徴や希望納期を言う。工場では、その種のケーブル工場の能力や希望納期近くのその他の注文状況を見る。工場受付窓口では、実現可能な納期を設定し、その納期を顧客に電話およびFAXで通知する。このような顧客とのやりとりは数分から2・3日のオーダで行なわれていた。この光ファイバー工場受付窓口では、競争会社が出現するまで、顧客とのやりとりは旧態依然のままうまくいっていた。

ところが競争会社の出現により、この工場管理者は注文減少を認めざるを得なくなった。顧客調査（サーベイ）を実施した結果次のことが明らかになった。

- 1) 90%の顧客は競争会社から納期について即時回答を得ていた。この会社では、50%しか即時回答ができなかった。
- 2) この会社の顧客の45%は競争会社に移っても何ら支障がないとしていた。
- 3) (顧客とのやりとりで決まった)最終的な納期に対して20%の顧客が満足できなかった。

顧客に満足してもらいかつ販売拡大を行なうために、この工場では受付窓口業務をオンライン化して、対話型スケジューリング (Interactive Scheduling, IS) システムを導入することにした。ISシステムの他の目的

は：顧客に対する応答時間を6秒以内にし、95%の顧客に対し工場側が提示する納期を満足してもらい、受付窓口業務の省力化によりその人員削減分を他業務に回すこと等があったようである。ISシステムの核ともいべき点は顧客と工場とを接続する適切な計算機網、工場におけるCIM (Computer integrated manufacturing) 工程、および需要に見合った実時間操業スケジューリングアルゴリズムである。

本稿においては顧客サイトと工場を結ぶ計算機網を紹介し、工場におけるCIM環境について簡単に述べる。主要な焦点はISアルゴリズムを実用化させた箇所である。ISの副産物として、工場負荷図 (shopload chart) が工場管理にどう使われているかについても言及する。なお、本稿に用いられるアルゴリズムの数学的記述については拙稿 [5, 6] を参照されたい。

2. 顧客・工場間計算機網

典型的な顧客サイトサンプルと工場とを結ぶ計算機網を図1に示す。米国国外からの注文は米国内の顧客サイトにまず生じそれから工場に転送させるため、米国外からの回線接続は図1では省略されている。

ISでは顧客が、計算機端末のスクリーン上から注文申込を行なうようになっている。注文が入力されるとすぐに工場における計算機に伝達される。工場でのスケジューリングアルゴリズムはその注文を取り入れ、機械能力や他の注文状況などの工場側の制約条件を考慮して、(顧客の要求した時間内に間に合うように)納期を設定し再び計算機網を介して顧客に納期を提示する。もし、工場側の制約条件により、顧客が希望した時間内に納入できない時は、納期はできるだけ希望時間に近いものにする。顧客がその納期に満足すれば確認情報が工場に通達される。顧客はその後も工場に対して、注文状況を把握することができる。

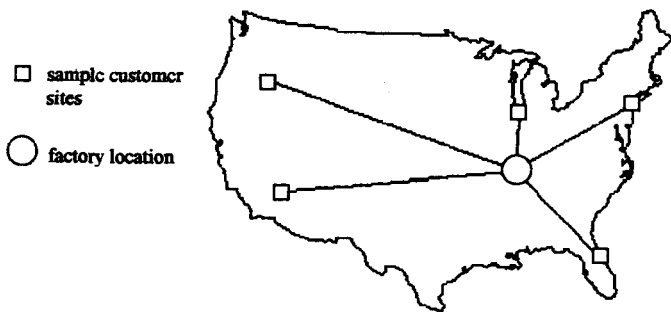


図1 顧客サンプルと工場とを結ぶ計算機網

3. 工場におけるワークセンター網

光ファイバー製造工程は多段階である。まず、顧客の要求したものに合うファイバーが在庫にあるかどうか確認されねばならない。次にファイバーは着色され、試験され、ケーブル工程に進まなければならない。工程終了後も試験され、ラベルが印刷され、リール（巻き枠）に巻かれ、トラックによって運搬されなければならない。

ケーブル工程や輸送工程などからなるタスク（仕事）は本稿ではワークセンター（Work Center）で処理されると言おう（ワークセンターの定義）。本工場のCIM環境では、ワークセンターが図2のように計算機と結ばれている。ジョブ（あるいは注文）が受け入れられると、ワークセンター間を終了するまで移動する。形態によってはワークセンターで異なる処理時間（processing time）を要することがある。あるジョブはいつも決まったワークセンターしか要求しないのに対し、他のジョブには機械を交代させてもよい自由度が与えられていることがある。どのジョブが終了したか、どのジョブが処理待ちか、処理時間情報やワークセンター（機械）の稼働状況はどうかといったような

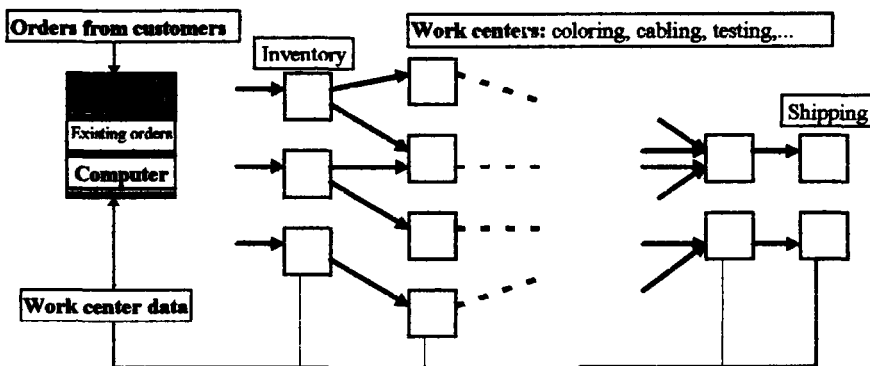


図2 工場におけるCIM環境（細線：データの流れ、太線：製品の流れ）

ワークセンターデータが、リアルタイムに計算機に伝えられている。

対話型スケジューリング（interactive scheduling, IS）では、性能向上のために、工場における全有効データは顧客の注文入力専用データとともにしか用いられないように工夫されている。

4. 注文のスケジューリング

注文のスケジューリングとは、ここでは「いつ始めて（部内用）、いつ配送するかを特定する」ことである。スケジューリングは工場管理においては最も重要な仕事であり、いくつかのアプローチが文献では紹介されている：

- 1) MRP-II [2]
- 2) PUSH-PULL [1]
- 3) 数理計画 [4]
- 4) 待ち行列網 [1]
- 5) フローモデル [3]
- 6) シミュレーション
- 7) 発見的手法

しかし実際の応用ではこれらの殆どのアプローチが多大な計算機時間を要し、ISに適さない。計算機時間問題のうち1つの原因は「異なるジョブが異なる処理時間を要求する」ことにある。たとえば、単一ワークセンター上で、同一処理時間を持つ1000ジョブを考えよう。この時、IBMの大型計算機（メインフレーム）上で数理計画問題を解くのに0.1秒要することが、報告されている。しかし、1000ジョブのうち、たった1つが999ジョブと異なる処理時間を持つ場合、計算機時間は30000%以上増加の30.26秒かかることが知られている [4]。ISで期待される応答時間にこの種のア

プローチが適さないことがおわかりいただけよう。

拙稿 [5] では、光ファイバーケーブル工場における納期決定問題に対する数学的なアルゴリズムを提案した。拙稿 [6] では待ち行列網的アプローチを用いて本アルゴリズムを拡張し、工場管理ツールの1つとして応用できることを示した。ISア

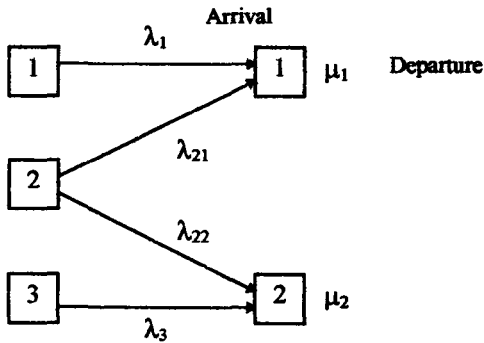


図3 仕事量の均等化

ルゴリズムに要求されていることは非常に短い時間内に応答しなければならないことである。本工場のISシステムでは「応答時間が6秒以上になると顧客が長すぎると感じてしまう」という調査結果があり、目標の応答時間は6秒と設定されている。

4.1 アルゴリズムの概要

先に述べたように伝統的なスケジューリングアルゴリズムでは多大な計算機時間を要してしまう。ここではMRP [2] に work-in-process (WIP) 最小化を組み合わせた前方/後方スケジューリング手法を提案する。ここでは、結果とその直観の意味づけだけを紹介するにとどめる。詳細は文献 [5, 6] を参照されたい。

文献 [6] で示されているように「ジョブ (注文) をワークセンターに配分する際、ワークセンターに配分

された仕事量が均等になるようにする」ことが WIP を最小化することが知られている。図3を見ていただきたい。ここで λ_1 と λ_2 はワークセンター1, ワークセンター2 にすでに配分されている仕事の到着率を表わし, μ_1, μ_2 はワークセンター1, ワークセンター2 のサービス終了率を表わす。左側のワークセンター2で終了するジョブを右側のワークセンター1, 2に配分する際、このジョブは $\lambda_1/\mu_1, \lambda_2/\mu_2$ の小さな値の方のワークセンターに配分すべきであるというのが、WIP 最小化方策である。

内容と時間における実現可能性を調査するために前方/後方スケジューリングを用いる。負荷に対する実現性確認作業は図4のように進められる。図4の例では、第 i 日には注文が受けられない。しかし第 $i+1$ 日には注文が受け入れられる (大量注文の場合は複数日に分けて受け入れられる)。

時間的に受け入れ可能かどうかを確認するため2つの場合を考える。

場合1) 平均リードタイム (生産・開始から終了までの平均所要時間) の p 倍以内の (顧客が要求した) 納期。

場合2) 平均リードタイムの p 倍以上の (顧客が要求した) 納期。 p の値は 98% の注文が、平均リードタイムの p 倍以下になるように決定される。

場合1) のとき、図4のような負荷情報およびリードタイム評価が必要である。図5に示した例では第 i 日に到着した注文はその日負荷満杯のため第 $i+1$ 日になってはじめて生産される。したがって注文の退去日 (生産終了日) は第 $i+1 + (\text{リードタイム})$ 日となる。このように前方に動かして生産開始日を決めてゆくやり方を前方スケジューリング (forward scheduling) と呼ぶ。与えられた日付からリードタイム・負荷情報を後方に動かすやり方を後方スケジューリング (backward scheduling) と呼ぶ。

場合2) のときは、顧客の希望納期から始めて後方スケジューリングを行なう。それでもジョブが生産開始できないときは、前方スケジューリングを用いる。

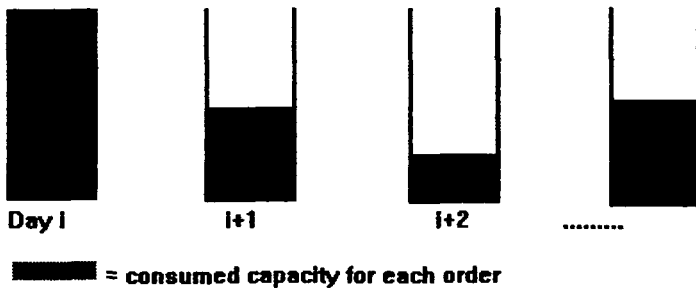


図4 ワークセンターにおける負荷確認

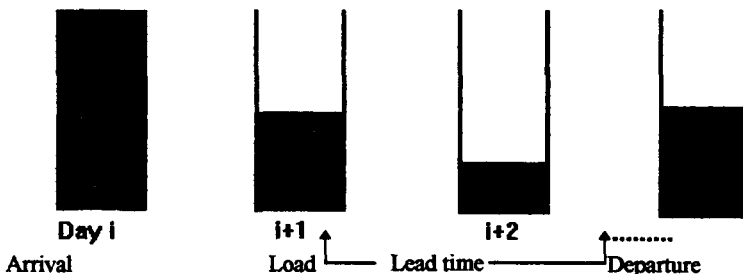


図5 ワークセンターにおける前方スケジューリング

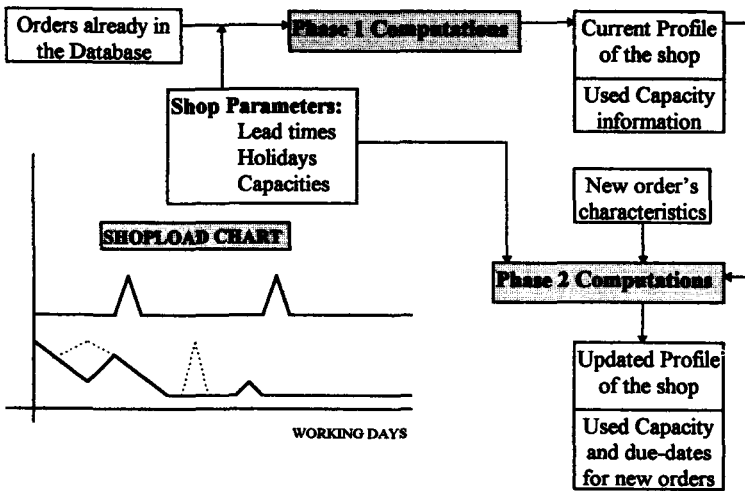


図6 スケジューリング、負荷計画、工場負荷図

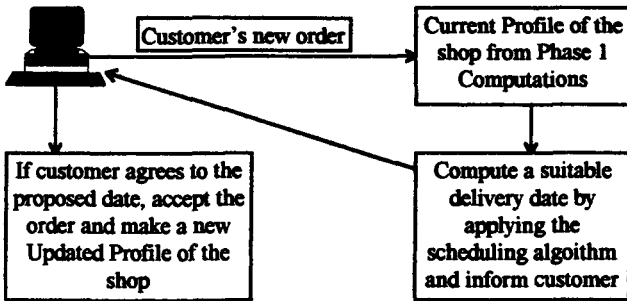


図7 フェーズ2評価 (新しい注文に対する対話型スケジューリング)

4.2 ISの実装と工場負荷図の生成

前節で概説したアルゴリズムを実用化する際には対話型スケジューリングIS (Interactive scheduling) の

時間制約上2段階に分ける必要がある。

段階1) 既存注文のスケジューリング

段階2) 対話型入力注文のスケジューリング

段階1) は毎早朝、工場が稼働する前に工場の計算機システムにより自動的に行なわれる。この段階で工場において何が起きているかを示す最新情報を用いて“フェーズ1評価”と呼ばれる計算が実行される。図6のフローを参照されたい。計算時間制約上、フェーズ1評価は1日1回であるが、新しい注文が入るたびに、

データを更新する (図6, Updated Profile 参照)。

段階2) では新しい注文のISに段階1)の結果を用いる。図7にフェーズ2評価の詳細を示す。図7における一連の操作は計算機網を介して工場に入力された各注文毎に繰り返される。

工場管理の際には、受け付けられた注文数や鍵となる箇所 (ワークセンター) における現時点負荷、注文による利用予定負荷や新たな注文により工場現況がどのようになるかを知ることが重要である。管理者はよりよい計画のためにこれらの情報を用いる必要がある。工場負荷図はこれらの情報をグラフ化して理解するのに役立つ。

実際の応用で生成された工場負荷例を図8に示す。

LINE 8 - SHOPLOAD EVALUATED ON 931217 AT 09:30

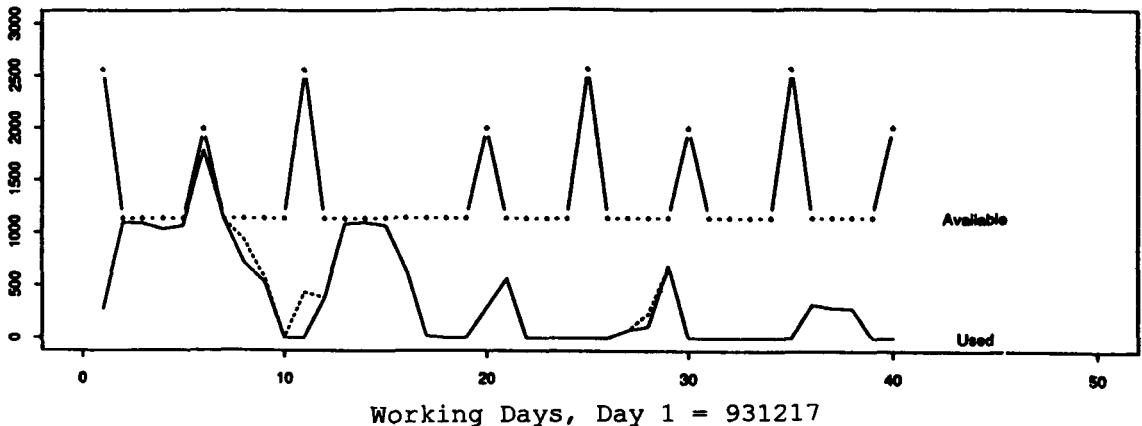


図8 工場負荷図の一例

工場負荷は工場内のモニターに掲示され、管理者が妥当な時間軸（たとえば1ヵ月）上で状況判断するのに適している。工場管理者の適正なコメントを加えると工場負荷図の効果ははかりしれない。

図8に示した工場負荷図はLINE8と呼ばれるワークセンターを経由しなければならないジョブ（注文）の断片的状況表現である。Y軸はこのワークセンターの能力を表わす。Availableなる曲線は工場の有効能力を表わす。棘波（鋭くとがった波形）は（通常週末等の）時間外労働に対応する。Usedなる実線はジョブがX軸上に与えられた日々でのワークセンターを経由する際のジョブによって利用されている負荷を示す。新しい（スケジューリングされた）注文が来ると利用されている負荷は点線のように増加する。

5. むすび

実時間スケジューリングや負荷計画を行なうために待ち行列網モデルを適用したアルゴリズムを提案した。また、工場負荷図の概要を示した。これらは世界最大規模の米国最先端技術工場管理問題の定式化と解法に非常に有効なことがわかった。ここで取り扱った問題は一光ファイバーケーブル工場に特有のものというよりはこの種の通信機器に広く見られる現象であろう。

参考文献

- [1] Bucacott, J.A. and Shanthikumar, J.G. 1993. Stochastic Models of Manufacturing Systems, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, NJ.
- [2] Orlicky, J. 1975. Material Requirement Planning, McGraw-Hill, New York.
- [3] Perry, D. and Levikson, B. 1989. Continuous Production/Inventory Model with Analogy to Certain Queueing and Dam Models, Advanced Applied Probability, Vol. 21, 123-141.
- [4] Potts, C.N. and Van Wassenhove, L.N. 1992. Single Machine Schedule to Minimize Total Late Work, Operations Research Vol. 40, No. 3, 586-595.
- [5] Rajasekera, J.R., Murr, M.R., and So, K.C. 1991. A Due-date Assignment Model for a Flow Shop with Application in a Lightguide Cable Shop, Journal of Manufacturing Systems, Vol. 10, No. 1, 1-7.
- [6] Rajasekera, J.R. 1994. Real-time Scheduling, Capacity Planning and "Shopload Charts" by a Queueing Network Model, Proceedings of APORS'94, editors: M. Fushimi and K. Tone.

（訳者：NTT通信網研究所 高橋敬隆）

報文集価格表（会員価格）

T-77-2	環境アセスメントにおけるシステム分析手法に関する研究	2000円
	—第一編 環境影響評価支援システムの検討	
	—第二編 空間に対する影響の評価に関する調査研究	
T-77-3	環境アセスメントにおけるシステム分析手法に関する研究	2400円
	—第三編 米国における環境アセスメントマニュアル事例調査	2400円
R-88-1	「南米諸国とのOR交流視察団」報告書	1200円
T-94-1	New Direction in Simulation for Manufacturing and Communications	6000円
T-95-1	「巨大プロジェクトに関するOR」	3500円