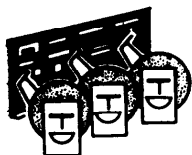


リレー解説



エキスパートシステムの諸事例-VI

生産計画立案支援システム†

大谷 明†† 後藤 周一††
 桑田 喜隆††† 本條 信隆††††

1. はじめに

スケジューリング問題は、絶対に満たさなければならぬ制約条件を満足しながら、満たすことが望ましい条件をできるだけ満足した計画をつくり出すという問題である。しかし、スケジューリング結果の評価項目が複数あり、全ての評価項目を合わせて何が最善の結果かを評価することは困難である。また、出荷量が計画時に想定していたものより多かたり、少なかつたりすれば、計画を見直す必要があるように、スケジューリング立案時の諸条件は、長期にわたって安定したのではなく、計画のスケールによっては時々刻々、あるいは日々、毎月、変化するものであることから、スケジューリング問題の全自動的な解決は現状では困難である。

本稿では、そのようなスケジューリング問題の解決システムのひとつの具体的事例について、概要を説明する。まず、対象分野、業務の説明をした後、今回のシステムでの評価項目について触れる。次にシステムをどのように実現したかについて説明し、最後に、実用化にあたって、前述の問題をどのようにとらえたかについて触れる。

ただし、世にあるスケジューリング問題には、個々に特有のモデル、制約条件が存在し、汎用的なスケジューリング問題の解決方法を開発することは困難であるので、ここで紹介するシステムにおける手法も他の分野にそのまま使えるものとは限らないということをつけ加えておく。

2. 対象業務の概要

2.1 対象分野の概要

ここで取り上げるシステムでのスケジューリングの対象分野は、瓶詰された製品を主体とした食品製造業における瓶詰工程である。

① 当該業界における顧客との力関係を考えると、受注から出荷までのリードタイムは可能な限り短くする必要がある。

② 基本的には材料が揃っていれば、瓶詰自体は一日もかからずに終わらせることができる。したがって、製造のリードタイムは大部分が原材料の仕入れのリードタイムであるといえる。

③ 食品という対象の性質上、製品、原材料ともに在庫日数に限度があり、在庫をむやみに増やすことはできない。そのため、リードタイムを短くするために在庫を余分にもつということには限度がある。

④ 計画の対象となる製品のアイテム数は多く、ラインの能力を考えると出荷量もかなり多い。一方、ラインの段取り替えに時間がかかるので、計画的に生産しなければ、出荷予定数をこなすことができない。

2.2 製造現場の概要

ここで今回の生産計画立案支援システムの対象となる製造工程、ラインについて説明する。

① 工程

ここで扱う製品の製造は工程がいくつかに分かれているが、対象にした工程は既述の瓶詰工程であり、製品液、瓶、キャップ、ラベルの4種類の部品を組み合わせて製品をつくるので、一種の組立工程と考えられる。

② ライン

生産ラインは8つあり、1ラインで一日1～6個のロットの生産を行う。ラインによっては、時には、数日間連続して同じ製品を生産し続ける

† Scheduling Support System by Akira OHTANI, Shunichi GOTO (NTT DATA COMMUNICATIONS SYSTEMS CORPORATION, Center for Human Oriented System Technology), Yoshitaka KUWATA (Development Headquarters, Technical Department) and Nobutaka HONJYO (Kansai Regional Headquarters, Industrial Systems Department).

†† NTT データ通信(株)社会システム開発センター

††† NTT データ通信(株)開発本部第一技術部

†††† NTT データ通信(株)関西支社産業システム部

表-1

ライン	
1, 2	大量生産型 一日 1~2 ロット
3	第4ラインと同時に動くことはない 一日 1~6 ロット
4	第3ラインと同時に動くことはない 一日 1~6 ロット
5	瓶が、段取り替えにいちばん影響を与える。 一日 1~6 ロット このラインでつくられる製品は総量が多く、第5ラインは無休で操業する。
6	一日 1~6 ロット
7	段取り時間が長い。一日 1~6 ロット
8	第8ラインでつくられる製品の作業人数は2人~11人と差が大きい。

こともあるが、一方で、一日のうちに何度も段取り替えをするラインもある。ロットの切り替えをする際にはラインの段取り替えを行うが、液種の切り替えがこの段取り替え時間に最も影響を与える。段取り替えにかかる時間は、ライン、製品の組合せによって数分~数時間での幅がある。

ある特定の製品を取り上げた場合、その製品が、どのラインで生産されるべきかということ、は、一意に決まる。その関係は主として、瓶の材質、容量によるもので、これによって、ラインごとに扱う製品はほぼ決まっている。ラインごとに生産の特徴がある(表-1 参照)。

③ 作業員

工場の機械化は進んでいるが、生産は完全無人化ではない。ラインごとに2~10 数名の作業員を必要とし、必要な人数は製品ごとに決まっており、マスタファイルに登録されている。一日の工場全体の作業員数は限られており、全ラインを同時に動かすには十分ではない。したがって、どのラインを動かすことにするかは、作業員を割り当てるかどうかによって決定される。

④ 材料

製品液、包材(瓶、ラベル、キャップ)は段取り替えの時間に影響する。ひとつのラインで、異なる製品を続けて作る場合、ラインによって異なるが、製品液種または瓶の切り替えの時間が最も大きいので、同じ製品液種または瓶を利用する製品はなるべく続けて生産するほうが効率が良い。

2.3 計画の評価項目

計画の善し悪しを評価する項目は以下の3点である。

① 在庫切れを起こさないこと

機会損失をなくし、顧客の要望に迅速に応えること。

② 最大在庫日数を上回らないこと

在庫が長期にわたり、日付が古くなると、食品という性質上、実際には品質が劣化していなくても、廃棄しなければならなくなる。

③ できるだけ在庫量は少ないこと

経営上、在庫は少なければ少ないほど、財務状況は優良となる。

これらの条件を満たしていれば、どのような計画であっても適切であるということが出来るが、計画をたてた時点で、計画の適否を機械的に評価することは困難である。

理由は以下のとおりである。

計画立案段階では、毎日の需要予測を単純に月間出荷予定の日割りで求めており、①の「在庫切れを起こさない」というのは、その需要予測と、その統計的誤差を考慮して得られる安全在庫を切らないという形でしか表現できない。実際に在庫切れを起こすかどうかは当日になってみないと分からない。

②も同じように、予定した在庫日数は需要予測に基づいているので、実際にその日になってみないと分からない。

③の「できるだけ在庫量は少ないこと」は主観的な表現で、客観的な評価基準とはなりえない。

また、これらの条件のうち、ある条件を優先するために、他の条件が満たされないこともあるうえ、状況によっては優先する条件の重要度が変化することもある。以上のような理由から、今回のシステムでのスケジュール結果の機械的な評価は困難である。

3. 計画立案支援システムの概要

本システムは以上のような条件の製造部門において、毎月立てられる生産計画を立案することを支援する。

3.1 システム構成

システムは、ホストコンピュータに付属するエンジニアリングワークステーション上に構築された(図-1 参照)。開発にはエキスパートシステム構築支援ツールとして、JinK's¹⁾を使用した。JinK'sはルール形式で書かれたソースコードをC

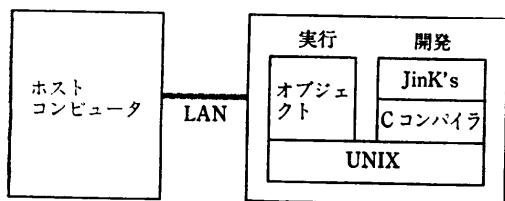


図-1

言語のソースコードに変換するプリプロセッサである。

3.2 システムの動き

システムを立ちあげると、

まず営業部門が事前にあげている翌月の出荷予定データを取り込む。このデータに基づき、該当月の需要を予測、製品別にひと月の生産量を決定し、それを計画用のデータ構造に変換し、計画画面に表示する。ここで、ユーザが休業日、作業パターン、作業員の情報など、いくつかの条件を設定し、自動計画を選択すると、1カ月単位で8ライン分の計画を自動的に作成する。結果を見ながら、ユーザは計画を手動で調整し、納得がいく計画をつくる。これをもとに、資材所要量を計算して、自動発注される。

このうち、自動計画の部分に知識ベースが使われている。

3.3 統合システムの一部としての生産計画立案支援

今回のシステムは統合システムの一機能として構築されたものである。統合システムは大きく受注系と発注系に分かれる。今回取り上げた生産計画部分は、その中の発注系に含まれる。発注系では、営業からあげられた出荷予定をもとに生産計画を立案し、さらにそれをもとに原材料の自動発注を行う(図-2)。

4. 計画の立案

スケジューリング問題では、あらかじめ得られ、知識ベース上に表現されたヒューリスティックのほかにも実際に計画をたてる場合の特殊な条

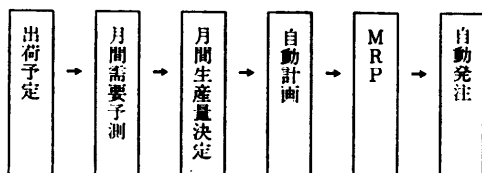


図-2

件が加わることがある。それを吸収するためのユーザインタフェースは知識ベースと同じく重要であるが、本稿では、自動計画の知識ベースの部分に重点的に的を絞って説明を加える。

4.1 計画の方針

最適解の評価が数式によって表現できず、単一の解が見つかる問題でもないのに、数式による解法は困難であると判断し、ヒューリスティックな手法を用いて、問題を解くことにした。計画の評価は、直接専門家をお願いすることにした。

4.2 計画の基本的考え方

スケジューリング問題は、遂行に必要な人的、物的資源を作業単位に割り当てて、時間的、空間的計画を立てることである。この際にその作業をタスク、必要な人的、物的資源をリソースと呼ぶことにする。たとえば、学校の時間割においてはタスクは授業であり、教師、教室、教材がリソースである。

今回のシステムでは、①まだ割当がされていないが、当該月中に製造しなければならない製品アイテムの製造作業、および、②割当が終わって、特定の日の特定のラインでの連続した製造作業をタスクと呼んだ。後者は、ロットと同じ概念である。

4.3 処理の概要

今回の計画では、ロットにラインと作業員を割り付けることになるので、ロットをタスク、ラインと作業員をリソースと呼ぶことにした。

計画は前処理、日別計画、後処理の3段階に分けて以下のように行う。

① 前処理

各種マスタデータ、在庫データ、出荷予定データの読み込みを行い、現在の在庫と、計画開始日までの生産計画、需要見込みから計画開始時のアイテムごとの初期在庫を計算する。

② 日別処理

毎日、以下の(a)から(c)までの処理を繰り返す。

(a) 所要量見積

前日分の予想出荷量を差し引き、アイテムごとに在庫計算を行う。

(b) 人数割当

各ラインで近日中に生産しなければならないタスクをピックアップし、その必要に基づいて、当

日に利用できる作業員数を勤務体系に合わせて各ラインに振り分ける。

(c) タスク割当

ラインごとに、割り当てられた人数をもとにタスクの割当を行う。

③ 後処理

一通りの割当が終わった後に月末予想在庫量と、残りのタスクを照らし合わせ、安全在庫に足りているアイテムのタスクを消去する。足りないタスクについては、生産量を調整する。

4.4 自動計画の概要

上記の処理のうち、日別処理に当たる部分が特にヒューリスティックな知識を用いて計画をたてている部分である。ここでは、その自動計画の実際の動きについて詳述する。

本システムでは最終的に全てのタスクを日々のラインリソースに割り当てているが、その際に必要な決定は生産時期と生産量の二つである。この二つが決定されることによって、タスクは、ラインリソース上に配置される。これらの割当は、基本的には在庫管理の一手法である定量発注法の考え方に則っている。

タスクがラインに割り当てられる際には、作業員リソースもタスクに割り当てられている。作業員リソースは総量に制限があるため、ライン間で配分を調整するが、ラインごとにどのようなタスクが割り当てられるかが決まらなないと、必要な作業員数が正確には分からない。一方、ラインにタスクを割り当てる際には、そのラインで、何人の作業員を使うことができるのかが分かっているとタスクを選ぶことができない。すなわち、タスクのラインへの割当処理とライン間での作業員数の配分処理を同時にしなければならないが、これは処理が複雑となり実行速度が遅くなると考えられるので、割当を二段階に分けて、第一段階で作業員をラインに割り当て、第二段階でタスクをラインに割り当てることとした。作業員リソースは本来タスクに割り当てられるものであるが、第二段階でタスクをピックアップしやすいように、第一段階ではラインごとに、利用できる作業員数を決め、その作業員数で対応できるタスクを第二段階でピックアップすることとした。

第一、第二段階では、両方で、割り当てられる可能性のあるタスクのピックアップを行ってい

る。第一段階では、どのようなタスクを割り当てなければならないかを見積もり、必要な作業員数を決定しているのに対して、第二段階では前段階で決定された作業員数をもとに、ラインに割り当てるタスクを具体的に決定している。同じ条件でタスクのピックアップを2回するのは、一見無駄にみえる。しかし、逐次改善法²⁾によって、スケジューリングする場合は計画の修正を事後的に行うので、問題がないが、今回のシステムのように発見的計画法³⁾で割当を行っている場合、一度計画されてしまうとその後の調整がないので、作業員数の決定のために、事前に、割当の可能性のあるタスクの見積を行う必要がある。

4.5 採用した知識

人間にとって当り前の事柄も、システムにとっては当り前ではないことはよくある。このため、知識ベースには専門家ならではのヒューリスティックな知識と呼ばれるもののほかに、専門家からみると当り前の知識も含まれることになる。ここでは、この両者をあまり区別することなく記述することにする。

仮説をたてて、ある事柄を決定する場合の制約条件は、その仮説が単独で満たさなければならない絶対条件と複数の代替案の中からひとつの仮説を選ぶ場合の相対条件に分類できる。今回のシステムにおける絶対条件と相対条件の例は表-2のとおりである。

5. 実用システムの導入にあたって

本稿では、生産計画立案支援のうち初期計画の自動立案部分の説明をおもに行った。ここでは、まず、実用システムとして稼働して、実際にはどのような問題点があるかという点に触れる。次に、前述のように計画の評価は困難であるという問題をシステム全体として、どのように解決することにしたかということと、状況の変化にどのように対応するようにしたかという点について述べる。

5.1 実際に計画立案しての問題点

実際にシステムを動かして計画をたててみると、さまざまな問題を計画担当者のほうから指摘された。技術的な問題について対応するのは難しくないが、計画の評価についての問題は解決が困難であった。当初想定していた数以上に評価項目があり、それらの条件の中にはなかなか両立しに

表-2

	内 容
絶対条件	① ロットの割当は作業員が割当されているラインにのみ可能である。
	② リードタイムを切るような日にはロットを割り当てられない。
	③ ある製品は常に特定のラインに割り当てられなければならない。
	④ 割り当てる生産量は、最少ロット数を下回ってはいけない。
	⑤ 同じ製品を続けて4日以上つくらない。
相対条件	① 期限が迫っているタスクから割り当てる。
	② 在庫が少ないタスクから割り当てる。
	③ 第5ラインでは、数日間にわたって、材料種Bの型が同じロットを続けてつくる。
	④ 第1ラインには優先して、作業員を割り当てる。
	⑤ 材料種Aの型が同じロットは続けてつくる。
	⑥ 工場全体で、ひと月に使用する材料種Aが少量の場合は、その材料を使用する製品は一日でまとめてつくる。
	⑦ プライベートブランド (PB) の製品は早めにつくる。
	⑧ 期日指定のあるタスクを優先してつくる。
	⑨ 同じ製品はなるべく何日も続けてつくる。

くいものもあった。中でも、特に重視されていたのは、段取り替え時間を極力短くし、生産効率をあげるという点であった。そのために、適正在庫を犠牲にすることも構わないということがあった。この問題を解決するために知識ベースや運用データに変更を加え、その結果、当初の評価項目である在庫の関連については、必ずしも満たすことができなくなった。しかし、結果的にユーザの満足度は高くなったことをもってよしとした。計画の評価に関する問題は最後までつきない問題である。そこで、5.2 に述べるような方法でこの問題を解決することとした。

5.2 計画の評価

前述のように、計画の評価項目は、あげればつきることがなく、また、その場その場での臨機応変な条件が、人間のスケジューラによって加えられることもある。この計画立案過程を機械で正確に表現することは不可能であり、最終的には、人手によるチェック、修正が必要である。この際に

生産ライン	生産計画表			
	5/14 (火)	5/15 (水)	5/16 (木)	5/17 (金)
	製品名 : 数量	製品名 : 数量	製品名 : 数量	製品名 : 数量
300ml		*料理用調味増 300 : 4000		*みりん風 300 : 4000
500ml	*みりん風 500 : 3200		*みりん風 500 : 3200	
1.8L	*サマーライフ 600 : 55 *みりん風 600 : 1000	*料理用ワイン 1.8 : 100 *赤ワイン 1.8 : 400		*田舎風本だし 1.8 : 50 *みりん風 1.8 : 800 *みちのく 1.8 L : 30
兼用			*コンビニ 300 : 500 *みりん風 200 : 400	
ペット	*生協みりん P 500 : 550 *ほんだし風 P 500 : 100 *よろずや L 500 : 100 *桃太郎 P 500 : 795 *農協 P 500 : 150	*料理用調味増 P 1 L : 1200 *生協調味用 P 1 L : 500	*みりん P 1 L : 150 *生協 P 1 L : 100 *桃太郎 P 1 L : 1000 *桃太郎 P 1 L : 200	*みりん風 P 1.8 : 3200
紙パック	*生協 1.8 L : 900	*生協 900 : 650	*生協 900 : 650	*生協 1.8 L : 900
1.8L	*D890 1.8 L : 400	*紅 R 20 1.8 L : 90 *太極 1.8 L : 100 *一寸法師 1.8 L : 100	*みりん 1.8 L : 250 *みりん 1.8 L (梅) : 150 *農協用 1.8 L : 50	*料理用調味増 1.8 L : 150
酢	*にんにく酢 700 : 400	*四千年酢 360 : 200 *太極酢 750 : 100 *一寸法師酢 500 : 200 *Jタワー 1.8 L : 100	*にんにく酢 300 : 400	*さみだれ酢 20 L : 50 *マーク 7合酢 20 L : 50

コントロールパネル	
自動スケジュール	
パート人数編集	ライン・パート編集
中止	終了
ロット情報 <input type="button" value="確認"/> <input type="button" value="中止"/> <input type="button" value="更新終了"/>	
ロット番号	: 50488
製品名	: 農協用合成酢 500
製品番号	: 805888
生産量	: 473
緊急変更	: なし
生産期間 (上限)	: 1991.05.01
生産期間 (下限)	: 1991.05.31
生産時間	: 473
発注元	: 000000
日付指定	: なし
ロック指定	: なし
ライン番号	: 8
人数	: 20
容量	: 500
作業人数	: 8
8時間の生産量	: 480
製品種別	:
製品液番号	: 703120
ピン番号	: 912220
キャップ番号	: 922310
ラベル番号	: 938010
段ボール番号	: 948010
段数	: 30
開通期間	: 1
最小ロット数	: 200
安全在庫数	: 381
月間出荷予定数	: 374
メッセージ	
負荷	時計

図-3

いかにスムーズに自動計画機能と手動編集機能をリンクするかというのもひとつの重要な課題である。したがって、計画立案支援システムにおいては、使い勝手のよいヒューマンインタフェースもひとつの条件となる。本システムでは、8ラインの計画を同時にひと月分たてるということで、一覧性が要求された。画面上に多くの情報を表示するために、入力操作にはキーボードは適さず、マウスを使った。(画面インタフェースについては図-3を参照)これによって、人間のスケジューラが最終的な判断を下すことになり、計画の評価を臨機応変にすることができる。

5.3 状況の変化への対応

スケジュールをたてても、実際の運用では、予定どおりにことが運ぶことは少ない。予定していた作業員が当日には足りなくなったり、需要が思ったより多かかったり、ラインの調子が悪くて予定をこなせなかったり計画立案時には想定できなかったさまざまな問題が起こり得る。したがって、現実の運用においては、初期計画をたてるより、生産計画を突然の条件変更に合わせて日々修正することが重要な業務となり、その変更のしやすさがポイントとなる。本稿では、詳しく触れることはしなかったが、営業からの需要見込み変更のケースと、製造部門での事情による変更の二通りの変更をサポートした。営業からの需要見込み変更の場合は、特に日付を限って、ある特定の製品がある特定の日付までに製造されることを要求することができる。製造部門での事情による変更は、すでにリードタイムを切っていて材料の発注の変更ができないロットと、手動で変更しない旨を設定したロットは固定され、残りのロットを再割当する。

6. おわりに

お互いに条件の関係がある複数のラインが存在する製造工場における生産計画立案支援システムについて述べた。このシステムは在庫管理の一手法である定量発注法を基本的に利用して、個々の割当について、ヒューリスティックな知識を用いて、自動的に計画をたてるものである。現在、システムは統合システムの一部に生産計画立案支援部分として稼働している。

謝辞 本稿をまとめるにあたり、終始ご支援、ご助言をいただいた、NTT データ通信(株)社会システム開発センタ田中康博担当課長ならびに関係各位に深謝いたします。

参考文献

- 1) 桑田他: RETE ネットワークの動的最適化方法に関する考察, 平成3年前期情報処理学会第42回全国大会論文集.
- 2) 松本他: スケジューリング・アルゴリズムに関する一考察, 昭和63年度人工知能学会全国大会(第2回)論文集.

(平成3年7月25日受付)



大谷 明

1962年生。1986年東京大学法学部卒業。同年日本電信電話(株)入社。以降エキスパートシステムの開発に従事。合成型エキスパートシステムに興味を持ち、1988年実験システムを開発。以降、計画型ESの実現に従事。現在NTTデータ通信(株)社会システム開発センタに所属。



後藤 周一

1963年生。1989年早稲田大学政治経済学部経済学科卒業。同年NTTデータ通信(株)入社。入社直後から本システムの設計・開発・メンテナンスに従事。現在NTTデータ通信(株)社会システム開発センタに所属。



桑田 喜隆

1961年生。1986年群馬大学工学部電子工学科修士課程修了。同年日本電信電話(株)入社。以降AIの研究開発に従事。現在NTTデータ通信(株)開発本部に所属。1991年より客員研究員としてマサチューセッツ大学計算機情報工学科にてリアルタイムAIの研究に従事。特に推論の高速化、リアルタイムAIおよび分散AIに興味を持つ。人工知能学会、AAAI各会員。



本條 信隆

1962年生。1980年日本電信電話公社入社後、1987年NTT大学部技術本科を卒業。医療DBシステムの開発などに従事した後、現在NTTデータ通信(株)関西支社産業システム部MDSに所属。CIM関連のAIに興味を持つ。