

差異分析による生産計画システムの運用改善

Improvement of production scheduling system with decision tree analysis

生産計画システムによって自動立案された生産計画は、計画担当者による手動調整を経て作業指図となり、製造を経て製造実績となる。この一連の業務プロセスにおいて、生産計画の制約条件や製造条件の変化により、生産計画を構成するロット情報や作業情報がしばしば変更されることになる。これは、自動立案、手動調整および製造といった各業務が、常に様々な変動の影響を受けるためである。製造業を取り巻く環境は、大きくかつ急激に変化している。こうした環境下で、生産効率を高め、スループットを維持・向上するために、生産計画システムには高い柔軟性と変化に対する追従性が要求される。そこで、手動調整の前後における生産計画の差異を分析し、システムの改善指標を抽出する手法を確立した。今後は、本手法を活用し、生産計画業務のプロセスマネジメントをサービスメニュー化していく。

山森 慎也 Yamamori Shinya
山口 和弘 Yamaguchi Kazuhiro

1. はじめに

(株)日立東日本ソリューションズは、1994年以來、日本および海外の製造業を中心とした企業に対し、生産計画分野のITソリューションを提供してきた¹⁾。自社製品である生産計画・納期回答支援システム LoadCalc の納入先は、2004年10月時点で118社に達している。

現在、急速に変化するビジネス環境に対応するため、システムの柔軟性の向上が、重要な課題となっている。すなわち、納入先企業の業務プロセスの変更などにより、業務の目的とシステムの処理結果に差異が生じ、その結果、この差異を調整するために追加の作業が必要となるといった現象が発生している。

製造業を取り巻く環境は、製品寿命の短命化、多品種少量化、短納期要求など厳しい変化にさらされており、納入先企業は、業務プロセスの一層の効率化を迫られている。したがって、このような状況の変化に継続的に対応するため、システムを改善する手法を体系化することが急務である。

本報告では、生産計画システムによる自動立案の結果と計画担当者による手動調整の結果の差異を分析して、その要因を追跡する手法について述べる。また、本手法の適用により、生産計画システムのマスターデータを修正し、生産計画システムによる自動立案の結果を改善した事例について述べる。

2. 分析手法

本手法は、データマイニング²⁾の手法の一つである決定木分類法²⁾を利用する。まず、決定木分類法の概略について以下に述べる。

2.1 決定木分類法

決定木とは、対象とするオブジェクトを目標属性別に分類するルールを木構造で表現したものである。分析者にとって理解し易い表現形式であるため、売上情報や顧客情報などの分析に広く利用されている²⁾。

決定木の例を図1に示す。図1の決定木は、顧客情報を分析し、パソコンを購入する確率が高い顧客の特徴を抽出するために作成されたものである。この場合、対象とするオブジェクトは「顧客」であり、目標属性はパソコンの購入に対する「YES・NO」である。また、オブジェクト「顧客」は、説明属性として「年齢」、「職業」および「クレジットカード」を保持するものとする。

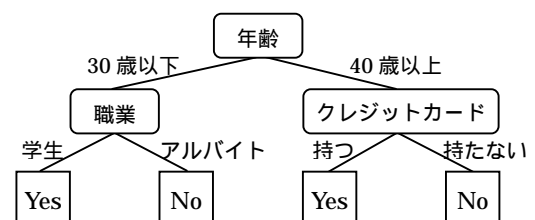


図1 パソコン購入に対する決定木の例

図1の決定木は、パソコンを購入する顧客の特徴として、次の二つのルールがあることを表現している。

- ・「年齢」が30歳以下で「職業」が学生である
- ・「年齢」が40歳以上で「クレジットカード」を持つ

このように、決定木は、ある目標属性に対するオブジェクトの状態を、オブジェクトが保持する説明属性とその値によって分類するものである。

2.2 生産計画の差異

次に、生産計画の差異について述べる。本報告では、生産計画情報を一つのオブジェクトとして捉える。また、オブジェクト「生産計画情報」は、オブジェクト「ロット情報」を子オブジェクトとして持ち、さらに、オブジェクト「ロット情報」は、オブジェクト「作業情報」を子オブジェクトとして持つものとする。この関係をクラス図で表すと、図2の通りとなる。

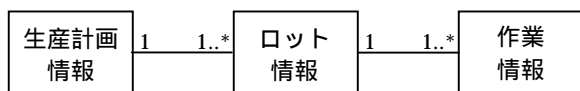


図2 「生産計画情報」のクラス図

ここで、生産計画の立案から製造までの業務フローに沿って、「生産計画情報」の状態遷移を考える。生産計画の立案に情報システムを利用している場合、業務フローは、自動立案、手動調整、製造という流れになる。これに対し、「生産計画情報」の状態は、一次解、作業指図、製造実績と遷移する。これを状態遷移図で表すと、図3の通りとなる。

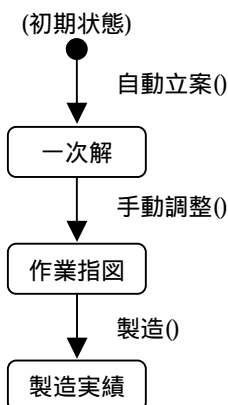


図3 「生産計画情報」の状態遷移図

「生産計画情報」は、図3に示した状態遷移の過程で、様々な属性値が変更される。例えば、「ロット情報」の先後順序や納期、「作業情報」の使用設備や作業員、作業開始・終了時刻などが変更される。状態遷移に伴う「作業情報」の属性値の変更例を表4に示す。

表4 「作業情報」の属性値の変更例

状態	使用設備	作業員	開始時刻	終了時刻
一次解	設備 A	担当 X	10:00	12:00
作業指図	設備 A	担当 Y	13:00	15:00
製造実績	設備 B	担当 Y	13:30	16:15

手動調整での変更理由には、特急注文などによる需要の変動や設備の定期点検などの他に、生産効率を向上させるための計画担当者の経験に基づく修正がある。また製造での変更理由には、製造現場でのトラブルや作業能率の変動、資材品質や加工品質のばらつきなどがある。すなわち、「生産計画情報」の属性値は、各業務プロセスで発生する変動によって変更される。

ここで、手動調整や製造において属性値の変更が頻発すると、本来の生産活動以外の調整作業などに多大な時間を費やすことになり、生産活動のスループットが低下する。したがって、生産計画システムによる自動立案には、生産条件の変化に対する追従性が要求される。

そこで、状態遷移の前後における「生産計画情報」の属性値の差異を分析し、変動前と変動後の状態を比較することで、自動立案プロセスの改善指標を抽出することが必要となる。

2.3 決定木分類法による生産計画の差異分析

決定木分類法を応用して「生産計画情報」の状態遷移の前後における差異を分析し、自動立案プロセスの改善指標を抽出する手法について述べる。

例として、手動調整の前後における一次解と作業指図の差異分析を考える。分析の対象とするオブジェクトは「生産計画情報」である。ここで、目標属性を手動調整の前後における「生産計画情報」の状態として、決定木分類法を適用する。その結果、「生産計画情報」の状態を一次解と作業指図に分類するためのルールを、「生産計画情報」が持つ説明属性とその値で表現することができる。

分析対象とする「生産計画情報」を表5に示す。

表 5 分析対象の「生産計画情報」

計画 サイクル [週次]	状態	平均リード タイム [時間]	納期遅れ ロット数 [ロット]	平均 稼働率 [%]
第1週	一次解	520	5	76
	作業指図	450	1	85
第2週	一次解	480	3	80
	作業指図	460	4	92

分析によって得られる決定木の例を図6に示す。「生産計画情報」は平均リードタイム、納期遅れロット数および平均稼働率を説明属性として保持するものとする。

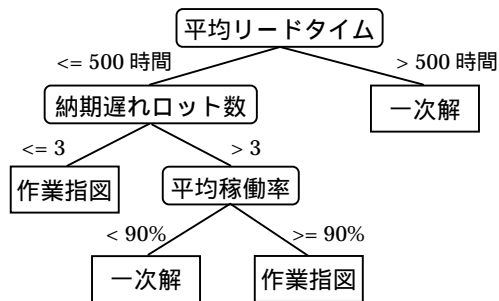


図 6 「生産計画情報」に対する決定木の例

図6の決定木が得られたとすると、一次解と比較した場合の作業指図の特徴として次のことが分かる。

- ・平均リードタイムは、500時間以下である
- ・納期遅れロット数は、3ロット以下である
- ・納期遅れロット数が3ロットを超えている場合は平均稼働率が90%以上である

したがって、一次解に対する手動調整の作業量を減らすには、上記の条件に満足するか、より近い一次解が得られるように、自動立案プロセスを改善すれば良い。

ここで、改善策としては、自動立案ロジックの見直しとマスターデータの修正が考えられるが、ロジックの見直しはプログラムの修正を伴い、保守コストの増加を招くため、マスターデータの修正を優先すべきである。

本手法を適用し、修正対象のマスターデータとその値を導出した事例について、次章で詳説する。

3. 適用事例

本手法の適用により、実際に納入した生産計画システムの改善に成功した事例について述べる。

本事例では、具体的な改善策を導出するまでに、本手法を繰り返し適用した。すなわち、分析結果である説明属性とその値が、具体的な改善策としてシステムに反映できない場合は、その説明属性を目標属性に置き換えて新たに分析を実施した。これにより、具体的な改善策として、修正すべきマスターデータとその値を導出できた。

3.1 適用の背景

A社は、生産計画システムとしてLoadCalcを導入した。導入後1年以上が経過した段階で、各工場の日程計画を作成する担当者より、システムによる自動立案の精度が悪く、手動調整による負荷が増大しているため、改善策を検討して欲しいという要望が出された。この問題の解決には、計画担当者の手動調整の目的を調査し、また、その目的をどのように実現しているかを解明した上で、システムに反映させる必要があった。

従来は、担当者へのヒアリングを実施し、システムのマスターデータやスケジューリングロジックを修正していた。しかし、担当者の要望はあいまいで、客観的に把握することは困難であった。また、マスターデータやスケジューリングロジックの修正は、見直しの範囲を絞り込んで、保守コストをできる限り削減する必要がある。

そこで、本手法を適用することにより、実際の運用実績に基づく客観的な評価を行うことにした。分析対象とした「生産計画情報」オブジェクトの概要を表7に示す。

表 7 分析対象とした生産計画情報の概要

計画サイクル	週次
期間	10週(10回分)
工程	加工・組立
代替ライン数	7ライン

3.2 決定木による分析結果(その1)

最初に手動調整における担当者の計画全体に対する評価指標を抽出するために、「生産計画情報」の状態が「一次解」と「作業指図」のどちらであるかを目標属性として分析を実施する。説明属性には、生産計画に対する一般的な評価指標³⁾を使用した。分析に用いた説明属性を表8に示す。

表 8 分析に用いた説明属性

総製造量	納期遅れ時間_{最大・最小・平均}
総ロット数	最早着手進み時間_{最大・最小・平均}
納期遅れロット数	日別稼働率_{最大・最小・平均}
最早着手違反ロット数	リードタイム_{最大・最小・平均}

分析によって得られた決定木を図 9 に示す。

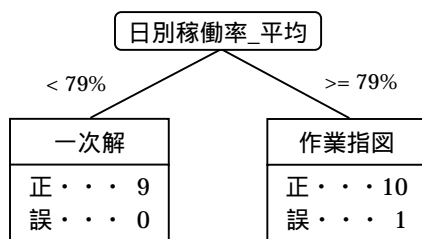


図 9 分析結果(その1)

図 9 の決定木で、葉の部分の「正」および「誤」は、それぞれ、正しく分類されたオブジェクトの数と、誤って分類されたオブジェクトの数を表す。すなわち、「日別稼働率_平均」が 79%未満のオブジェクトを一次解とすると、9 個のインスタンス(一次解)を正しく分類できることが分かる。また、「日別稼働率_平均」が 79%以上のオブジェクトを作業指示とすると、10 個のインスタンス(作業指示)を正しく分類できるが、1 個のインスタンス(一次解)を誤って分類してしまうことが分かる。

ここで、決定木の評価指標として誤分類率²⁾を導入する。誤分類率は、次式で算出される。

$$\text{誤分類率} = \frac{\text{誤って分類したインスタンス数}}{\text{分析に使用した全インスタンス数}} \quad (1)$$

式(1)をもとに図 9 に示した決定木の誤分類率を求めると、5%となる。誤分類率が低いほど決定木が表すルール
の精度は高い。本手法では、決定木の生成に際し、誤分類率が最も低くなる説明属性とその閾値の組合せを求め
るアルゴリズム⁴⁾を使用した。表 8 に示した説明属性のうち、決定木のノードとしては「日別稼働率_平均」のみが抽出されたが、これは、前述のアルゴリズムによって全ての説明属性の組合せを試みた上での結果である。

図 9 に示した決定木が表す分類ルールをまとめると、次の通りとなる。

- ・ 手動調整は日別稼働率_平均を 79%以上にする
ことを目的として実施されている
- ・ 自動立案では日別稼働率_平均を 79%以上にする
ことが実現できていない

分析結果より、手動調整における担当者の目的は、「日別稼働率_平均」を 79%以上にする
ことであり、自動立案プロセスの改善指標は、一次解の「日別稼働率_平均」を 79%以上
に高めることであると判明した。しかし、実際に自動立案プロセスを改善するには、何を、
どのように修正するかという点について、具体的に明らかにする必要がある。そこで、説明
属性である「日別稼働率_平均」を目標属性とし、79%以上と 79%未満でオブジェクトを
分類する決定木を新たに作成することで、担当者がどのような調整によって、「日別稼働率_平均
79%以上」を実現しているかを追跡する。

3.3 決定木による分析結果(その2)

「日別稼働率_平均」を目標属性とし、「ロット情報」や「作業情報」に関する属性値を説明属性として分析を実施する。ラインに関する説明属性を表 10 に、工程に関する説明属性を表 11 に示す。

表 10 ラインに関する説明属性

最大稼働率	稼働率分散	稼働日数
最小稼働率	総稼働時間	不稼働日数
平均稼働率	総休止時間	使用率(*)

* 使用率 = 当該ラインを通過したロット数 / 総ロット数

表 11 工程に関する説明属性

製造量	最大サイクルタイム	最大仕掛在庫
待ち時間	最小サイクルタイム	最小仕掛在庫
スループット	平均サイクルタイム	平均仕掛在庫

分析によって得られた決定木を図 12 に示す。目標属性を、「日別稼働率_平均」が 79%以上か、または 79%未満かとしたので、決定木の葉は、「日別稼働率_平均: 79%以上」および「日別稼働率_平均: 79%未満」となる。

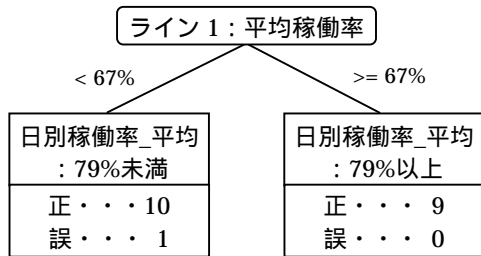


図 12 分析結果 (その 2)

図 12 に示した決定木より、次のことが分かる。

- ・「日別稼働率_平均 79%以上」が実現している時は
ライン 1 の「平均稼働率」が 67%以上である

分析結果より、7 ラインの中で、特にライン 1 の平均稼働率が、全体の稼働率に与える影響が大きいことが分かった。そこで、目標属性を「ライン 1: 平均稼働率」に変更し、67%以上と 67%未満に分類する決定木を作成することで、代替ラインを選択する際の優先度に傾向があるかどうかを分析した。各ラインは作業能力が異なるため、どのロットをどのラインに割り付けるかについては、担当者の経験と勘に基づくノウハウが蓄積されていると考えたからである。

3.4 決定木による分析結果 (その 3)

目標属性である「ライン 1: 平均稼働率」に対し、説明属性には、各ラインの使用率を順次適用し、ライン別に決定木を作成した。分析結果の例として、ライン 2 の使用率を説明属性として場合の決定木を図 13 に示す。

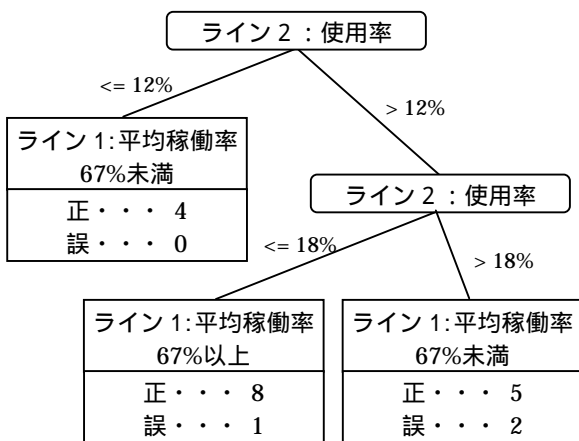


図 13 分析結果 (その 3): ライン 2

この分析から、「ライン 1: 平均稼働率」が 67%以上となる場合における、各ラインの使用率の分布が明らかとなった。図 14 に各ラインの使用率の分布を示す。

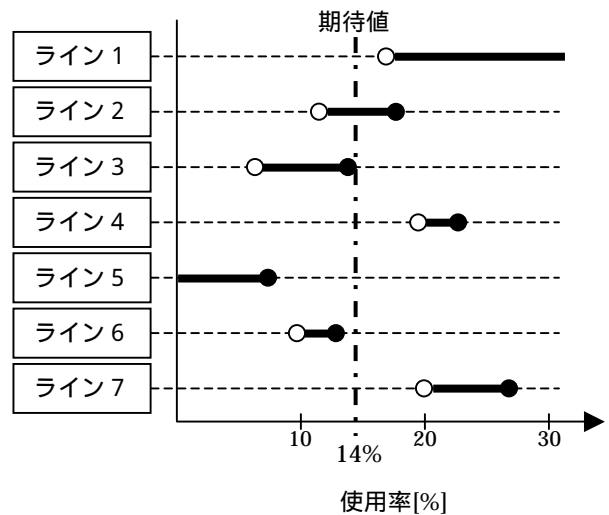


図 14 各ラインの使用率の分布

図 14 で、7 ラインが均等に使用されていたとすれば、各ラインの使用率は、期待値である 14% (1/7 = 0.14) 付近に分布するはずである (図 14 の一点破線近傍)。しかし、実際には図 14 に示した通り、ラインによって使用率は偏った分布となった。例えば、ライン 2 の使用率は期待値付近に分布しているが、ライン 5 の使用率は期待値に対して低い位置に分布している。これに対し、ライン 7 の使用率は期待値よりも高い位置に分布している。したがって日別稼働率の平均が 79%以上を実現している生産計画情報には、代替ラインを選択する際の優先度に一定の傾向があることが判明した。

3.5 改善策の実施と効果の検証

代替ラインを選択する際の優先度は、ラインに関するマスターデータの一項目である選択優先度として、生産計画システムに反映させることができる。

そこで、図 14 の結果をもとに、ラインマスタの選択優先度に対する修正を実施した。A 社に納入した LoadCalc は、ラインの選択優先度を高、中、低の三段階で表現し、マスターデータには、それぞれを 1, 2, 3 という整数値で設定する仕様になっていた。そこで、図 14 の結果をもとに、修正後の選択優先度を表 15 の通りに設定した。修正前と比較すると、選択優先度の設定が二段階から三段階に詳細化されたことが分かる。

表 15 修正前後のラインマスタの選択優先度

ライン	選択優先度 [設定値 (意味)]	
	修正前	修正後
ライン 1	1 (高い)	1 (高い)
ライン 2	1 (高い)	2 (普通)
ライン 3	1 (高い)	2 (普通)
ライン 4	2 (普通)	1 (高い)
ライン 5	2 (普通)	3 (低い)
ライン 6	2 (普通)	2 (普通)
ライン 7	2 (普通)	1 (高い)

マスタデータを修正後、再び自動立案を実施し、「生産計画情報」の評価指標である「日別稼働率_平均」について、どの程度の改善効果が得られたかを検証した。検証結果を表 16 に示す。

表 16 改善効果の検証結果

計画週	日別稼働率_平均 [%]		増減	閾値 (79%) 超え
	修正前	修正後		
第 1 週	71	72	増	
第 2 週	78	85	増	
第 3 週	72	89	増	
第 4 週	64	77	増	
第 5 週	27	27	不変	
第 6 週	76	72	減	
第 7 週	69	80	増	
第 8 週	75	83	増	
第 9 週	63	64	増	
第 10 週	35	35	不変	

表 16 に示したとおり、10 週分の計画のうち、7 週分で「日別稼働率_平均」が増加した。また、第 2 週、第 3 週、第 7 週および第 8 週の計画では、「日別稼働率_平均 79%以上」を達成した。したがって、本手法の適用によって導出した改善策は、有効であったことが検証された。

また、第 5 週、第 6 週および第 10 週のような特殊な傾向を示すケースについて個別に調査することにより、プログラムの修正内容を効率的に抽出し、修正範囲を最小限に抑えることができた。

4. 今後の展開

(株)日立東日本ソリューションズは、これまで、主に計画系の IT ソリューションを提供し、お客様の生産活動の利益向上に貢献してきた。

お客様を取り巻く環境の変化に伴い、計画系システムには、高い柔軟性と変化に対する追従性が要求される。そこで、本手法により計画系と実行系の差異を分析し、適切な改善活動を継続的に実施していく仕組みの構築を新たなサービスメニューとしていく計画である。

システム構築だけでなく、業務プロセス全体の PDCA サイクル(図 17)の実現という、より付加価値の高いソリューションを提供することで、お客様の生産活動に対し、一層の貢献が可能であると確信している。

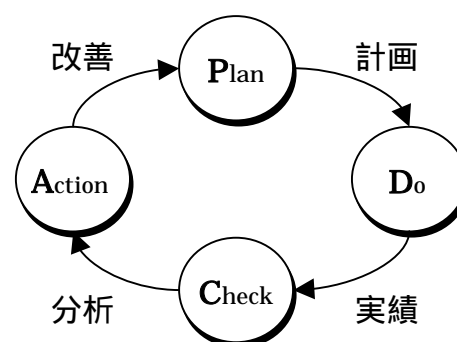


図 17 生産計画業務の PDCA サイクル

5. おわりに

業務の目的とシステムの処理結果との差異を決定木分類法によって分析し、その要因を抽出する手法を確立した。実際の生産計画システムに本手法を適用し、自動立案後の一次解と手動調整後の作業指図との乖離を改善することができた。

今後は、従来の情報システム構築ソリューションに加えて、業務プロセス全体の PDCA サイクル(図 17)を実現する、より付加価値の高いソリューションを提供することで、お客様の生産業務により一層貢献できることを願っている。

参考文献

- 1) 捧 保浩, 他: SCMを支える意思決定支援システム
SYNAPSEsuite, 日立 TO 技報第6号, pp. 16-20,
2000
- 2) Michael J. A. Berry: データマイニング手法, 海文堂,
1999
- 3) Wallace J. Hopp: Factory Physics, McGraw-Hill,
2000
- 4) Ian H. Witten, 他: Data Mining Practical Learning
Tolls and Techniques with Java Implementations,
Morgan Kaufmann Publishers, 1999



山森 慎也 2001年入社
コンサルティングセンタ
生産計画システム導入・運用支援

yamamori@hitachi-to.co.jp



山口 和弘 1991年入社
SCM第一グループ
生産計画システムの設計・開発

k-yamagu@hitachi-to.co.jp