

地域戦略研究所紀要

第 3 号

行動経済学による生産スケジューリングの実用化に関する研究 野村 利則、吉村 英俊 …… 83

北九州市立大学
地域戦略研究所
2018.3

行動経済学による生産スケジューリングの実用化に関する研究

野村 利則、吉村 英俊

- I 研究の背景と目的
- II 行動経済学と関連理論
- III 行動経済学に基づく生産スケジューリング
- IV 研究結果とその考察
- V 新しい生産スケジューリングの実現と今後の課題

<要旨>

生産スケジューリングの役割は、次世代生産システムにおいてより重要となる。しかし、現状は現場力に頼り、人への依存度が高く、次世代生産システムの生産連動には適していない。本研究は、これまでの調査・研究 [野村、2017] により得られた生産条件の「網羅性¹⁾」、スケジューリング結果の「納得性²⁾」、生産条件の競合に対する「調停³⁾」機能という課題解決のために行動経済学の活用を試み、その実現方法を明らかにするものである。

<キーワード>

生産意思決定、生産スケジューリング、網羅性、納得性、調停機能

Production decision-making, Production scheduling, Comprehensibility of production conditions, Acceptability of scheduling result, Function of mediation

I 研究の背景と目的

第4次生産革命ともいべき次世代生産システムは工場をつなぎ、完成日時や数量、着工順序などの生産情報を交換・連携し、工場間および工程間の生産連動によって「ものづくり」に変革をもたらそうとしている。そのためには、迅速で的確な生産意思決定と適時かつ着実な生産実行が必要であり、生産意思決定としての生産スケジューリングとその処理結果としての工程計画⁴⁾に対して、より重要な役割を求めている。

しかし、先の研究 [野村、2017] において示したように、現状は現場力に頼り、人への依存度が高く生産連動には適さない。それは、考慮すべき生産条件を増やし、その網羅性を高めるほど生産条件が競合し条件を満足できず処理結果に対する納得性が得られないこと。その対応のために人の介入、意思決定判断が必要であるなど課題も多い。一方、スケジューリング手法の研究に目を転じると生産条件の網羅性の向上とともに複雑化し、解法の近道を探るものの課題解決には至っていない。そして、これらの課題が生産条件の「網

羅性)、スケジューリング結果の「納得性」、生産条件の競合に対する「調停」機能であることを見出した。[野村、2017]

これを踏まえて、本研究は生産スケジューリングが生産意思決定すなわち人間の生産活動に対する意思決定であることから人間の行動意思決定に着目した。この行動意思決定を解き明かすものが行動経済学であり、その知見の活用が課題解決には有効であると考えた。とくに、不確実な状況下においてどのように行動意思決定されるのか、カーネマン⁵⁾とトベルスキー⁶⁾によって提唱された「プロスペクト理論」(詳細は「Ⅱ.3.(3) プロスペクト理論」参照)が明らかにし、我々に多くの示唆を与えてくれる。それは、心理的価値により行動意思決定するというものであり、損失の少ない方を選択するだけでなく、どう転んでも損失を被りそうな状況においては、かなりの確率において損失を被る可能性があっても小さな確率で利得を得る可能性があればギャンブル的な選択をする場合もあるとしている。これは、このプロスペクト理論が示す行動意思決定が生産スケジューリングをより人間の思考に近づけてくれる可能性を秘めている。

本研究は、この知見の応用により課題に応え、問題の解決を図るための新しい生産スケジューリング手法として提案し、実現方法とその有用性を示すものである。そこでは、人が意思決定するときの関心事⁷⁾すなわち処理または判断時の着目点のみを生産条件として網羅し、その生産条件に従って人に代わって生産スケジューリング処理を実行する。その意思決定代替した処理結果を受け取った側(人間)の関心事に関する処理結果の評価(処理結果の出来栄)によって納得性を得ることができると考えた。

また、既存の生産スケジューリングは加工できた製品数量など、主に機械的な産出量(output)を評価対象とし、その効用をリニアな直線または逓減曲線で表される効用関数により評価する。これに対して、新しい生産スケジューリングはプロスペクト理論を応用し、スケジューリング担当者の関心事に対する処理結果の出来栄を心理的価値として疑似的に数値化する。そして、これを担当者が得ることのできる満足度(input)として扱うことにより処理結果を満足度の高い方向へ導くことにより納得性を高め、迅速な生産意思決定を図るものである。このプロスペクト理論は生産以外の問題であれば、例えば購買行動など人間の行動を対象とする問題に対してその応用は存在する。しかし、生産スケジューリングにおいては、プロスペクト理論を応用し処理結果から受ける心理的価値を評価対象とした事例は存在しない。その意味において、本研究はこれまでにない新しいアプローチであるといえる。

ただし、これは機械的な産出量という合理性による判断を軽視するものではなく、スケジューリング担当者は生産するうえで何が効用の最大化であるかを知っており、機械的な産出量を含む処理結果全般について、その確からしさを自分の経験や勘により確認できる能力を保有していることを指したものである。それは、もしスケジューリング担当者が機械的な産出量という効用最大化について知見を持っていなければ、処理結果の妥当性を評価することはできず、現在利用されている既存の生産スケジューリングの存在意義をも否

定してしまうことをその理由とする。

II 行動経済学と関連理論

行動意思決定問題を考えるうえで、行動経済学が多くの有用な知見を与えてくれる。本章においては、まず行動経済学に至るまでの諸理論として構造化問題と限定合理性について触れる。それから、行動経済学の骨格をなす諸理論を調べ、それが実社会の中でどのように活用されているのか事例を挙げる。そこから行動経済学の諸理論を使って我々の行動意思決定をどのように分析、改善することができるのかを学び、その結果を生産スケジューリングに活用する。

1 構造化問題

意思決定とは「将来起こるであろう事象を予測し、とるべき行動を決める」ことである。既に起きてしまった過去の事象と（現在を境として）これから起きる事象は別ものであるから、未来を予測する意思決定には確実性は存在せず、本源的に「勘」の領域のものである。過去を注視しすぎるとバイアスが働き、正しい意思決定を阻害する可能性が出てくる。実際に我々が遭遇する意思決定が必要な問題とは何か。その問題をどのように解決すればよいのか。この問題に対してサイモン⁸⁾が、その著書『意思決定の科学』において多くの示唆を与えてくれている。それは、問題事象とその対策を構造化し機械的な解決手段を講じることができるものと例外的で構造化が困難な問題の存在である。

具体的には、構造化可能な問題とは解決ロジックが明確なもので、詳細生産計画の立案や最適な資材調達量の決定など、数学的な定式化によって人の意思決定に代えてコンピュータで代替可能なもの。構造化困難な問題は、工場建設や設備増強、新規事業や企業合併など、事案ごとに目的も環境も大きく異なり、解決するロジックが存在しないもの。この場合、情報システムは役に立たない。その多くが、最終的にはトップの意思決定（勘）により戦略的意思決定がなされ問題解決が図られる。半構造化は、構造化可能な問題と構造化困難な問題の間。構造化可能な問題のような定型的な解法はない。しかし、情報システムなどの支援によって、人と機械が協働することにより解答が見出せるというような問題が該当する。[サイモン、1979]

本研究においても、システム化できるものと人との協業が必要な作業について分析、考察するうえで重要なフレームワークとなるものである。

2 限定合理性

人間の行動意思決定において、伝統的な経済学では経済人は利用できるすべての選択肢の中から選び、その結果として得られる利益の最大化を図るとされていた。これに対してサイモンは、その著書『経営行動』において「合理性は選択に対して起こる結果について完全な知識と予測を必要とする。しかし、結果に係る知識は断片的で不完全なものである

(知識の不完全性)。そして、その結果は将来のことであるから、経験的な感覚と想像によって結果と価値を結び付けるため価値の予測は困難かつ不完全なものとなる（予測の困難性）。さらに、合理性は起こり得る代替可能な行動の選択肢すべての中から選択を要求される。しかし、実際の行動においては、代替可能な行動の選択肢の中のいくつかしか思いつかない（行動可能性の範囲）」と述べている。[サイモン、2009]

すなわち、人間が知識の不完全性、予測の困難性、行動可能性の範囲により限定された合理性しか持ちえないことを示したものである。また、この現実世界の人間を経営人と表現し、経営人が限定された合理性の中であって、そこから満足できる選択肢を選び意思決定を図ることを「妥当な利益」や「適正な価格」などの経験的証拠から示している。

3 行動経済学の理論

行動経済学が生まれる背景となった限定合理性にはじまり、心理学の知見に基づき人間の思考メカニズムを明らかにしたうえで、我々人間がどのように行動意思決定をするのか、行動経済学の骨格をなす諸理論を示す。

(1) 「速い思考」と「遅い思考」

限定された合理性の下、我々人間がどのように判断し意思決定しているのか、カーネマンは、その著書『ファスト&スロー』において意思決定の判断と選択の思考メカニズムを直観的かつ感情的な「速い思考」（以下、システム1とする）と、意識的かつ論理的な「遅い思考」（以下、システム2とする）の2つのシステムによって説明している。要約すると、2つのシステムは次のような機能を有するものである。

まず、システム1は我々が目覚めているときは常に処理可能状態にあり自動的かつ高速に働き、働かせるための努力はまったく不要か、必要であってもわずかでしかない。そのため無意識に働き自らコントロールしているという感覚はない。例えば、突然響き渡る音の方向を感知したり、「猫に〇〇」という対句を完成させたり、「 $2+2=4$ 」のような簡単な計算結果を答えたりするような言語や文化などの知識および記憶に基づき、いとも簡単に処理できる。

次に、システム2は複雑な計算など頭を使わなければならない困難な知的活動で、注意力が必要なもの。例えば、人が大勢いる中で特定の人物の声に耳を澄ましたり、文章の中に現れる特定の文字の出現回数を数えたり、2つの商品の機能を総合的に比較評価するなど、注意力を払わなければならないもの。通常、システム2は活動レベルを低く抑えている。システム1が処理した結果として生み出す印象、直観、意志、感触がシステム2へと渡され、とくに問題ない場合は了承し確信に変わる。また、システム1が困難な問題に遭遇するとシステム2が駆り出され処理にあたり、緻密な計算や複雑な問題に対処する。例えば、「 $17 \times 24 = 408$ 」の掛け算の答えを出したり、想定外の事象が発生した時に注意力が高まるのは、このためである。

ほとんどの場合において、うまく処理できるのはシステム 1 がだいたいうまく処理してくれるおかげである。それまでに経験し慣れ親しんだ状況に対しては、システム 1 がつくり上げたモデルは正確で、予測もおおむね正しい。ただし、システム 1 は本来の質問をやさしい質問に置き換えて答えようとするため、そこにバイアスが生じる。また、システム 1 はその働きを切ることができないため、システム 2 が処理しなければならない複雑な状況においてもシステム 1 が自動反応し、邪魔をしてしまう。例えば、システム 2 の働きで同じ大きさと分かっている物体がシステム 1 の直観的な働きによって異なる大きさに見えてしまったり、逆に異なるものが同じものに見えてしまう錯覚は、システム 1 の働きを切ることができないことによるシステム 1 とシステム 2 の衝突により生じるものである。[カーネマン、2012a]

(2) ヒューリスティクスとバイアス

複雑な問題に対して我々人間がなぜ直観的に応えられるのかという疑問に対してカーネマンは、難しい質問に対してすぐに満足な答えが出せないとき、システム 1 はもとの質問に関連する簡単な質問を見つけ「置き換え (substitution)」操作によって代りの質問に答えるからであるとしている。そして、この置き換えは正確に的を絞ることなく自動的に開始され、簡単なヒューリスティクスに置き換えて即座に答えを出すことを容易とし、システム 2 に負荷をかけずに処理することを可能としている。このとき、もともと答えるべき質問を「ターゲット質問」、代りに答える簡単な質問を「ヒューリスティクス質問」と呼び、この置き換えという考え方は、その後のヒューリスティクスとバイアス研究の柱となった。なお、ヒューリスティクスの専門的定義は、「困難な質問に対して、適切ではあるが往々にして不完全な答えを見つけるための単純な手続き」である。[カーネマン、2012a]

実際に我々はどのようにして「ヒューリスティクス質問」への置き換えを行っているのか、「代表性ヒューリスティック⁹⁾」、「利用可能性ヒューリスティック¹⁰⁾」、「係留ヒューリスティック¹¹⁾」という 3 つの代表的な近道とそこに生じる 3 つの偏り「代表性バイアス¹²⁾」、「利用可能性バイアス¹³⁾」、「係留バイアス¹⁴⁾」に着目し、その特性を知ることによって発生原因を生じさせない対策を講じ、それを防止方法として活用することができる。

(3) プロスペクト理論

プロスペクト理論は、人間が不確実性下においてどのように予測し、行動意思決定するかを論ずるものである。同じ規模の利得と損失を比較した場合、損失の方を大きく見積もること（「図 II.3.(3) 利得損失と心理的価値」）。

また、利得または損失の発生確率によって、その行動意思決定はリスク回避的にもリスク志向的にもなるという 2 点が理論の支柱をなしている。それまでの人間が最終的な富の状態によって選択するというベルヌーイの理論¹⁵⁾に対し、選択は富の変化によって判断されるというカーネマンとエイモスの反証研究から生まれたものである。カーネマンは、次

のような問題を提示することによって、これを説明している。

- 問題 1 あなたはどちらを選びますか？
A：確実に 900 ドルもらえる。
B：90%の確率で 1000 ドルもらえる。

- 問題 2 あなたはどちらを選びますか？
A：確実に 900 ドル失う。
B：90%の確率で 1000 ドル失う。

問題 1 では、大多数の人は確実に 900 ドル得られることの主観的価値が 90%の確率で得られる 1000 ドルの主観的価値を上回るため A を選び、リスク回避を図る。これは、ベルヌーイの理論とも一致する。ところが、問題 2 では、大多数の人は確実に 900 ドル失うことの負の価値が 90%の確率で失う 1000 ドルの負の価値を上回るため B のギャンブルを選ぶ。

さらに、次の問題 3 と問題 4 では最終的な富の状態が同じになるように、まったく同じ選択肢を与えている。確実な選択肢を選べば、これまでより 1500 ドルの富が増える。ギャンブルを選べば、どちらの問題でも同じ確率で 1000 ドルまたは 2000 ドル増える。ベルヌーイの理論に従えば、いずれの問題においても同じものを選ぶはずである。

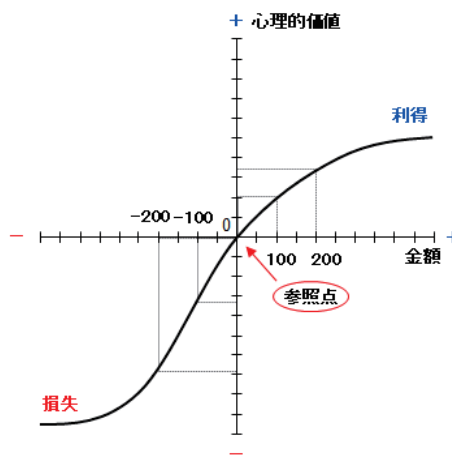


図 II.3.(3) 利得損失と心理的価値

- 問題 3 あなたは現在の富に上乗せして 1000 ドルもらったうえで、次のどちらかを選ぶように言われました。
A：50%の確率で 1000 ドルもらう。
B：確実に 500 ドルもらう。
- 問題 4 あなたは現在の富に上乗せして 2000 ドルもらったうえで、次のどちらかを選ぶように言われました。
A：50%の確率で 1000 ドル失う。
B：確実に 500 ドル失う。

問題 3 では、大多数の人が確実な B を選択する。そして、問題 4 では A のギャンブルを選ぶ。すなわち、不確実な状況下においてどちらの選択肢も損失を被る結果となる場合、リスク志向的な行動意思決定をするということであり、明確にベルヌーイの理論とは異なる選択をするということが示されている。これら実験結果から、カーネマンはプロスペクト理論の 3 つの特徴を導き出している。

第 1 の特徴は、評価が中立の参照点に対して行われること。この参照点は順応レベルとも呼ばれることもあり、それを準備した 3 つのボウルで説明している。左のボウルに氷水、右のボウルに湯、真中のボウルに常温の水を入れ、左手を氷水、右手を湯の入ったボウルに 1 分間浸してから両手を常温の水の入ったボウルに入れる。すると、同じ水であっても左手は暖かく、右手は冷たく感じる。通常、金銭的結果の場合の参照点は期待結果である。参照点を上回る結果が利得、下回る結果が損失となる。

第 2 の特徴は、感応度逓減性 (diminishing sensitivity) があること。例えば、暗い部屋でかすかな明かりのランプを灯ただけで大きな効果 (明るさ) を感じることができるが、煌々と照明が輝く部屋でランプ 1 つくらい灯されても気づくことはできない。同じように手持ちのお金が 1,000 円から 2,000 円に増えれば、ありがたみを感じるが、9,000 円が 10,000 円に増えても、それほどありがたみは感じられない。

第 3 の特徴は、損失回避性 (loss aversion) があること。プラスの期待や経験とマイナスの憂慮や経験との間の非対称性は、損失と利得を直接比較した場合でも確率で重みづけした場合でも、損失は利得の 2 倍も強く感じられ、損失を避けようとする。しかし、確実な損失か不確実であるが大きな損失という状況のように、どちらに転んでも損失となるような選択の場合は、心理的価値に対する感応度の低減によってギャンブルを選択し、リスク追及的になることを示している。[カーネマン、2012b]

Ⅲ 行動経済学に基づく生産スケジューリング

本章の目的は、生産意思決定としての生産スケジューリング処理結果をスケジューリング担当者の満足が得られ、納得性が確保できるものとするところにある。そのために、行動意思決定でもある生産スケジューリングへスケジューリング担当者の意思を生産条件という形で注入すること。そして、注入条件にしたがって生産スケジューリング処理を実行することによりスケジューリング担当者の意思決定を代替することにある。さらに、処理結果である工程計画が生産意思決定としての機能を果たし、生産システムによる工場間または工程間における生産連動を実現することにある。

ここに至る経緯は、既存の生産スケジューリングがその実行において生産条件 (制約条件) が増え網羅性が高まるほど条件が競合し条件間の調整がつかず、処理結果に対する納得性が得られなくなり満足度の低下を招くこと。その結果、納得できない状況に対して妥協するか人の介入により状況の打開を図るなど、既存の生産スケジューリングによる生産意思決定には限界があること。また、これは生産条件の「網羅性」、スケジューリング結果

への「納得性」、競合する生産条件間の「調停」機能が生産スケジューリング問題の課題であるという、先の研究〔野村、2017〕に基づくものである。

また、問題解決を図るために新しい生産スケジューリングの具体的な方策について考察し、提案するものである。

1 既存生産スケジューリングにおける生産意思決定の限界

既存の生産スケジューリングにおいて、その中核をなす OR 的アプローチは生産条件を数式などによりモデル化し、我々に最適解を与えてくれる。しかし、それは前提条件として与えた生産条件下における答えであって、複雑な生産モデルとなると数式で表すことが困難になったり、処理時間がかかるために簡略化して近似解を求めるにとどまる。

これに対して、限定合理性が示すように、そもそも人間には能力の限界があるから完全に条件を網羅することは不可能でありながらも、人間は自身の知識や経験に基づいて、いとも簡単に現実解を導き出してしまふ。この乖離が既存の生産スケジューリング処理結果において生産条件を満足できない場合にその状況を受容するか、人手による調整介入など、人の介入なしに生産スケジューリングを実行することを困難にしている。例えば、生産順序問題において平準化のレベルを高めるために生産条件を増やし、その網羅性を高めれば高めるほど条件の競合が起り競合条件間の調整をうまく執ることができず、結果的には妥協しその状況を受容するか、人の介入が生じるなど満足度の低下を招き、処理結果に対する納得性が得られないという状況につながってしまう。

2 生産スケジューリングの意義と納得性

生産スケジューリングの処理結果をより有用なものとするべく、生産スケジューリングの本質的な目的、意義から捉えなおす。これまでの研究から生産スケジューリング問題に対する課題は生産条件の「網羅性」、スケジューリング結果への「納得性」、そのための生産条件間の「調停」機能であった。とくに処理結果を受容するという意味において「納得性」は重要ポイントであり、処理結果から受ける印象または感覚という形のない人の内面の問題であることから、ここでは行動経済学により明らかとなった「プロスペクト理論」に基づく心理的価値と行動意思決定に着目する。

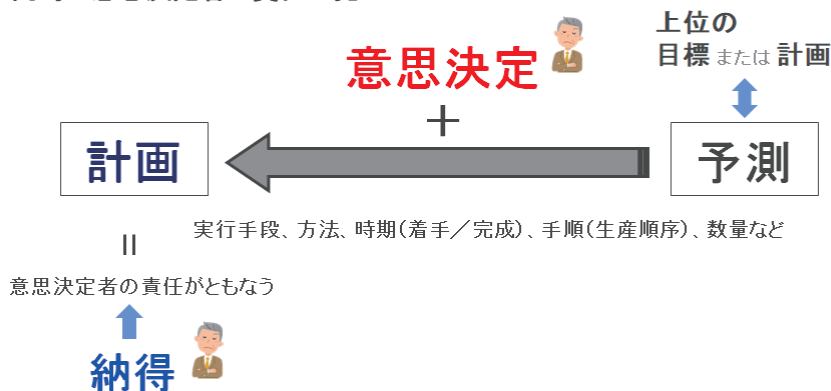
これは、計画（プランまたはスケジュール）が計画遂行者の実行意思決定であると同時に意思決定者の責任が発生するものであるから、計画には意思決定者の納得が最も重要であることをその理由とする。すなわち、納得するためにはスケジューリング結果が満足できるレベルであり、意思決定者にとって心理的に受容可能なものでなければならない。そのために「プロスペクト理論」を応用し心理的価値により評価することが損失のより少ない（利得の大きい）処理結果をもたらす、ときには局所的な損失があっても全体的には利得の大きい処理結果をもたらすことができると考えた。

また、実際の生産活動において計画どおりに生産が進まない場合、意思決定者が主催す

る関連部署との対策会議や個別の対策調整を執ること。そして、計画変更が必要な場合において意思決定者の意思としての変更および関連部署への手配行動から納得の重要性を見て取ることができる。結局のところ、計画は意思決定者の意志そのものなのである。それが、生産スケジューリングへの行動経済学の応用を意義あるものとする。(図Ⅲ.2)

「計画」(プランまたはスケジュール)とは、

計画遂行者の実行の意思決定
同時に意思決定者の責任が発生



計画変更は、意思決定者が自らの意思に基づいて変更しなければならない

図Ⅲ.2 生産スケジューリングの意義

3 既存の生産スケジューリングとの差異（新規性）

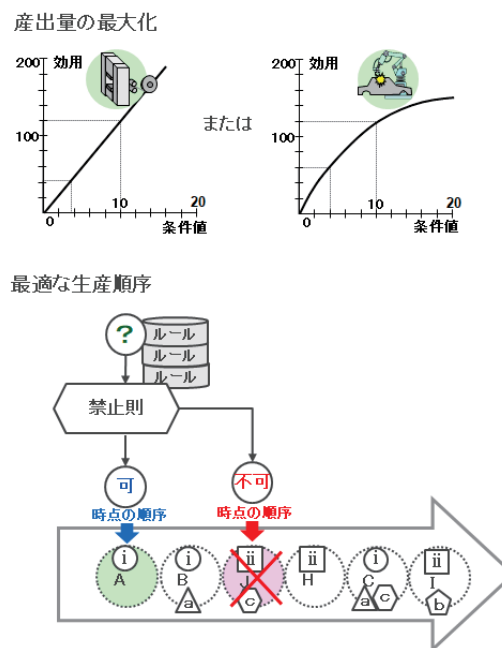
既存の生産スケジューリングが加工できた製品数量など、主に機械的な産出量 (output) などを対象とし、その効用を評価する。これに対し、新しい生産スケジューリングはプロスペクト理論の応用によりスケジューリング担当者の関心事に対する処理結果の出来栄を心理的価値として疑似的に数値化し、これを担当者が得ることのできる満足度 (input) として扱い、その処理結果を満足度の高い方向へ導くことにより納得性を高め、迅速な生産意思決定を狙うものである。

具体的には、既存の生産スケジューリングは生産工程または生産設備を直接の対象としたものである。主として OR 的アプローチにより与えられた条件下における効用として、生産工程または生産設備から産出量 (output) を評価する。その目的は効用の最大化または与えられた資源内において生産可能な生産順序などを求め、実行計画として詳細スケジュールを立案するものである。それが産出量の場合、機械設備という物理的な特性から生産条件とその効用はリニアな直線または逓減曲線に表す関係にある。また、対象が生産順序問題の場合はその並びが設定された禁止則をクリアすることができるかなどを評価する (図Ⅲ.3.a)。

しかしながら、生産を決定づける要因は多岐にわたり生産条件のすべてを網羅することは現実的に難しい。処理結果は、あくまでも与えられた条件下における実行可能解にすぎず、限定合理性に従えば人間の能力には限界があるから、処理結果が正しいと確信し納得できるとも限らない。とくにOR的アプローチにおいて扱う生産条件は、制約条件として与えられるものであるから、あくまでも「やってはいけないこと」、「あってはならないこと」を示しているのであって、「してほしいこと」、「なってほしいこと」を求めているわけではない。このあたりに既存の生産スケジューリングに対して納得性が得られない理由があるのではないかと筆者は考える。

これに対し、新しい生産スケジューリングは処理結果に対する人（担当者）の評価を対象として扱うものである。それは、与えられた条件下における処理とその結果を前述の「心理的価値」に変換し、評価する。すなわち、既存の生産スケジューリングが現実の世界で起こる事象やそこで実現される生産設備の産出量 (output) を対象としているのに対して、新しい生産スケジューリングは心理的価値として疑似的に数値化された担当者の利得または損失による満足度 (input) を納得性という表現により扱うものである。本研究においてはプロスペクト理論を応用し、この心理的価値を「十分条件」、「必要条件」、「絶対条件」と呼び、3つの条件をそれぞれの特性による数値で表す。

「必要条件」は期待値を表し、プロスペクト理論の参照点に当たるものである。「十分条件」は、これ以上利得が増えない状態を示し、これを超えた場合はその時点で合格として扱う。「絶対条件」は、これ以上損失が増えない状態を示し、これを下回った場合は損失を受容できず損失回避のため、これを不合格として扱う。そして、必要条件と十分条件を結ぶ凸曲線は利得とリスク回避的な状態を表し、必要条件と絶対条件を結ぶ凹曲線は損失とリスク選好にもなり得る状態を表す。生産条件が競合するとき、それぞれの生産条件について利得・損失曲線上の心理的価値としての利得が多い（損失が少ない）方を選ぶことにより調停を図る。さらに、すべての評価対象が不合格となった場合は不合格事象の評価相手先まで遡り、その時点で選択されている次の生産条件に選択しなおす（スケジュールの蒔き直しを行い、この部分だけを捉えれば悪い条件を選ぶ）ことによりリスク選好的な調停をも実現可能とする（図III.3.b）。



図III.3.a 既存の生産スケジューリング

再び既存のスケジューリングに目を向けると、生産スケジューリング以外の問題であれば、例えば購買行動など人間の行動を対象とする問題に対してはプロスペクト理論の応用は存在する。しかし、生産スケジューリングにおいては、その多くが生産活動を生産設備や生産工程という機械的なものとしてとらえているため、人の意思決定行動に着目しプロスペクト理論の応用による処理結果から受ける心理的価値を評価対象とした事例は存在せず、本研究はこれまでにない新しい手法といえる。

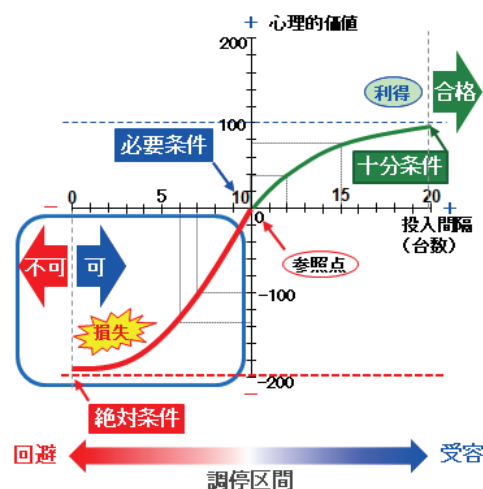
なお、これは機械的な産出量という合理性による判断を軽視するものではなく、スケジューリング担当者は生産するうえで何が効用の最大化であるかを知っており、機械的な産出量を含む処理結果全般について、その確からしさを自分の経験や勘に基づき確認するという考えによるものである。もし、スケジューリング担当者が機械的な産出量という効用最大化について知見を持っていなければ、処理結果の妥当性を評価することはできないのであり、それは既存の生産スケジューリングの存在意義をも否定することになるからである。

4 課題解決の基本的考え方

基本的な考え方として「人間の能力には限界があり、だいたいところで納得し意思決定している」という「限定合理性」をその前提とする。したがって、必ずしも数理的な合理的意思決定によらずスケジューリング担当者自身の関心事（着目点）と期待値を取り入れ、スケジューリング結果を実行に移した場合に得られる関心事に対する満足度を評価するために数値化した心理的価値により判断し、意思決定することとする。そのうえで、生産条件の「網羅性」、スケジューリング結果への「納得性」、そのための生産条件間の「調停」機能という生産スケジューリング問題の課題解決に取り組む。なお、ここでいう網羅性とは担当者の関心事、すなわち処理結果に対して納得できるかの判断対象事象を生産条件として漏れなく取り込むことを指す。

5 検証対象生産モデル

検証のために生産モデルを定義する。対象は生産順序問題とし、製品の並びが平準化され作業負荷の高い製品仕様の投入間隔が一定以上となるように制御することを中心機能とする。そして、その生産モデルは製品を一個流し生産する単一工程、単一ラインの生産工



図III.3.b 心理的価値と意思決定

程を前提とする（図Ⅲ.5）。一個流し、単一工程、単一ラインという単純化によって、複雑な設備環境から受ける影響を排除し、論理的可視性を確保する。

また、この生産工程で生産する製品系列¹⁶⁾は2系列（系列 i、ii）とし、身近な耐久消費財で例に挙げると「iPhone」や「iPad」などの製品呼称、「プリウス」や「フィット」のような自動車の車名で区分される製品群がこれに相当する。製品型式¹⁷⁾は2系列を通じて最大10型式（製品型式 A,B,C,D,E,F,G,H,I,J）とし、製品系列や仕様などの組み合わせを表す製品記号である。例えば、製品カタログなどに記載されている「iPhoneX」の製品番号「MQAY2J/A」や「iPad」の型番

「MB292J/A」、「プリウス」の車種型式「ZVW50AHXE B」や「フィット」の車種型式「DAA-GP5」などの表記が製品型式に該当する。そして、製品が装備するオプション仕様や機能を表す個別仕様は、電機の「出力（ワット数）」やIT機器の「メモリ容量」、自動車の「自動ブレーキ」や「サ

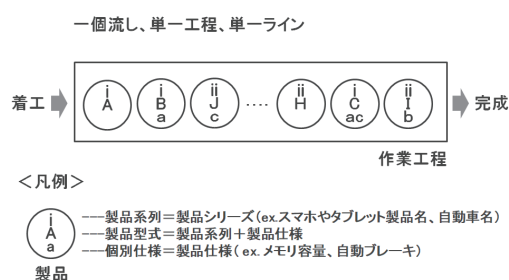
ンルーフ」などのような最大5機能要素（仕様 a,b,c,d,e）で構成するものとする。ただし、製品型式別の生産量および生産のために必要な材料部品などの資源は、上位かつ上流に位置する生産管理業務において決定され、準備されているものとする。これは、「いつまでに、何を、いくつ造るか」という生産計画（Production Planning）と「どの順番で、いつ着工し、いつ完成させるか」という生産スケジューリング（Production Scheduling）を明確に区分し、本課題が後者を対象として扱うことを示す。

6 新しい生産スケジューリング手法の構造

新しい生産スケジューリングの手法および構造については、OR に代表される経営工学的解法に加えて、情報処理技術は欠かすことができない重要な要素である。とりわけデータベース（DB）¹⁸⁾の活用は課題解決を図るうえで有用であり、具体的実現方法や解決方法については工学的、技術的な論述にも紙幅を割く。

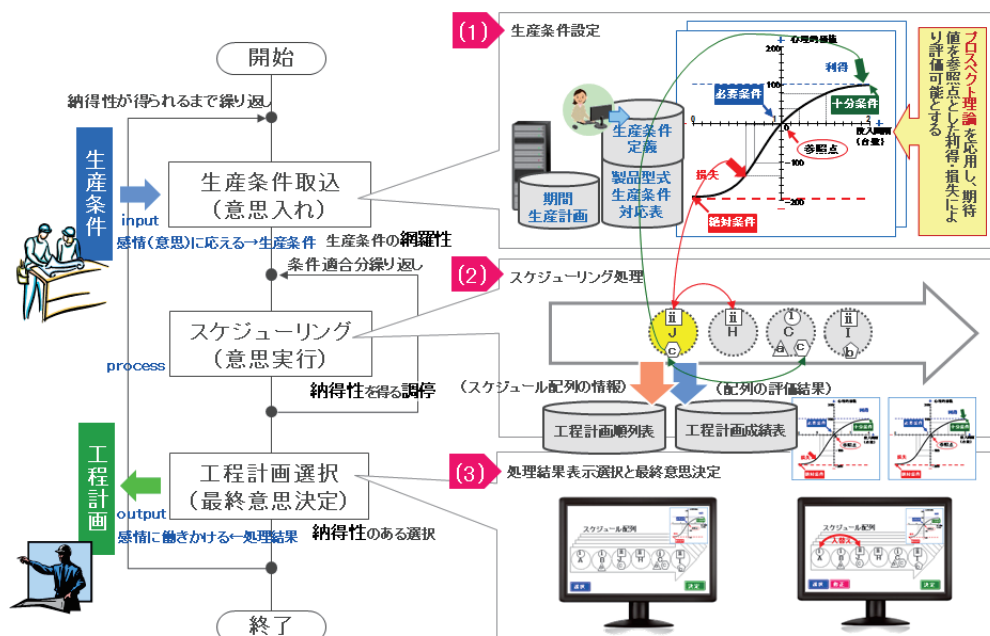
その基本構造は、生産条件と生産計画を入力（input）する「生産条件取込（意思入れ）」、生産計画を生産条件に基づいて工程計画へと変換（process）し立案する「スケジューリング（意思実行）」、処理結果としての工程計画をスケジューリング担当者や関係者に対して提示出力（output）し、最もよいとするものを選択したうえで最終意思決定する「工程計画選択（最終意思決定）」により構成する（図Ⅲ.6）。そして、この一連の処理過程において、バイアスや損失に対する過敏な反応を抑制し、「納得性」の高い処理結果を得るために「プロスペクト理論」に代表される行動経済学の知見を応用する。

なお、研究対象の製造業の中にあっても大手企業は相対的に生産管理レベルが高く、材



図Ⅲ.5 対象生産工程（モデル）

料部品表¹⁹⁾や QC 工程表²⁰⁾、作業標準²¹⁾など生産管理データの精度も高く整備されている。したがって、生産スケジューリングに必要な生産条件はこれら生産管理データから得られることもある。しかしながら、中小企業の実態は必ずしも高いとは言えず、生産管理データの整備が不十分か、整備されていないことも多く、生産スケジューリングのための新たなデータ管理の必要性が発生する可能性はある。



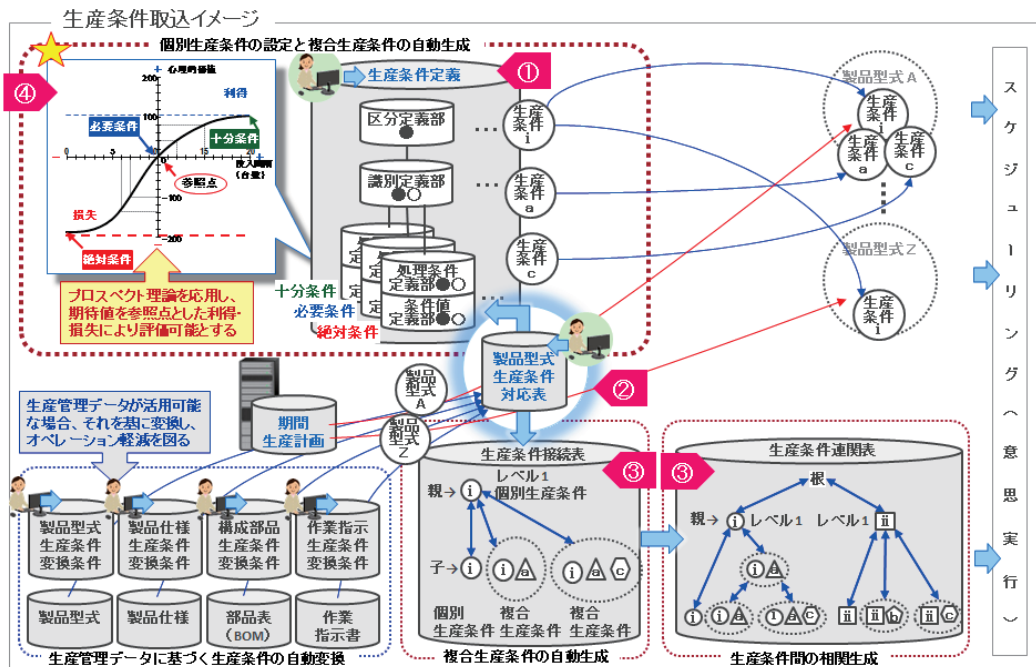
図III.6 生産スケジューリング手順

(1) 生産条件取込 (意思入れ)

本項「生産条件取込」の中心的機能と役割は、スケジューリング処理条件となる生産条件の網羅性を向上させ、同時に生産条件にスケジューリング担当者のバイアスが生じないように客観的な生産条件値を設定することにある。すなわち、スケジューリング担当者の意思を正しく生産スケジューリングに反映させること（意思入れ）と生産条件の客観性の確保の両立にある。また、同時に網羅性を確保するための条件設定の容易性にも留意する。

生産条件には、「自動ブレーキ」または「サンルーフ」のいずれかなど、単一の装備仕様を対象とする個別生産条件と、「自動ブレーキ」および「サンルーフ」の両方など、複数の装備仕様を同時に対象とする複合生産条件が存在する。これら生産条件の取込手順は、まず製品型式が持つ製品仕様を基にスケジューリング条件としたい仕様のみについて、製品型式から個別生産条件へ展開し変換する。次に、製品型式から展開された個別生産条件の組み合わせパターンとして複合生産条件を自動生成し、その組み合わせに基づいて複合生

産条件と個別生産条件との関連性を管理する。そして、この生産条件毎に生産計画台数からプロスペクト理論に基づく生産条件値（投入間隔台数）を設定する。この生産条件の構成と取込処理の基本的考え方とその手順を示す。（図Ⅲ.6.(1)）



図Ⅲ.6.(1) 生産条件取込イメージ

① 「生産条件定義」の設定

スケジューリング担当者の関心事であるスケジューリング処理条件を「生産条件定義」に設定する。まず、「区分定義部」には該当生産条件がどのような属性の集合なのか、製品系列や例えば自動車であれば「サンルーフ」のような製品仕様の属性を表す基本的分類（カテゴリ）を設定する。そして、「識別定義部」には該当生産条件がどのような仕様のものなのか、例えば自動車の「サンルーフ」であれば「電動スライドサンルーフ」（モータ駆動開閉）や「チルト式サンルーフ」（手動開閉）などの区分を設定する。そして、「処理条件定義部」には、「絶対条件」、「必要条件」、「十分条件」のそれぞれについて、スケジューリング処理における取り扱い方、振る舞い方の条件を設定する。さらに、「条件値定義部」には上記「処理条件定義部」に対する「資源量」（何台まで生産可能か）または「投入間隔台数」（何台空けて生産するか）などの条件値を設定する。（図Ⅲ.6.(1)の①に示す）

① 「製品型式生産条件対応表」の設定

期間生産計画²²⁾には製品であれば製品型式または製品に付与された部品番号、部品であれば部品番号と生産予定日および生産数量が設定されている。この期間生産計画に設定さ

れた製品型式または部品番号から個別生産条件へ変換するための対応関係を設定するものである。具体的には、生産計画対象となる製品型式または部品番号のすべてについて、それがどの個別生産条件に該当するか、「生産条件定義」（「区分定義部」、「条件区分」、「識別定義部」、「識別区分」の4条件より構成）との対応関係を設定し、関連付ける。この変換、関連付け条件を「製品型式生産条件対応表」と呼ぶこととする。（図Ⅲ.6.(1)の②に示す）

② 複合生産条件の自動生成

前記の「製品型式生産条件対応表」は該当する個別生産条件を1つしか持たない製品型式は1件のみ、該当する個別生産条件を複数持つ製品型式は2件以上の製品型式生産条件対応表が生成されている。このうち、1つの製品型式に対して2件以上の生産条件の組み合わせを持つデータを抽出し、その組み合わせデータを合成することによって複合生産条件分の「生産条件定義」として自動生成する。

さらに、「生産条件定義」の「区分定義部」について、複合生産条件および個別生産条件のいずれにも包含される製品系列のような基本的分類（カテゴリ）の集合属性を持つ個別生産条件を親とし、ここまで生成した複合生産条件および個別生産条件のすべてと、その親との間の親子関係を自動生成する。この生産条件間の親子関係を「生産条件接続表」と呼ぶこととする。

そして、「生産条件接続表」に生成した生産条件間の親子関係を基にして期間生産計画に存在する製品型式に対応する複合生産条件または個別生産条件を最下位層とし、親の個別生産条件にたどり着くまでの経路を上位方向に構築・生成する。親の個別生産条件にたどり着いたものは、最上位の根（すべての本）に接続する。この期間生産計画に存在する製品から親の個別生産条件、さらに根に至るまでの関係性を木構造（ツリー）で階層的に表現し、これを「生産条件連関表」と呼ぶこととする。この「生産条件連関表」の階層的な関連性を基に次項スケジューリング処理において生産計画から工程計画へとスケジュール配分する。（図Ⅲ.6.(1)の③に示す）

③ 生産計画に基づく条件値生成

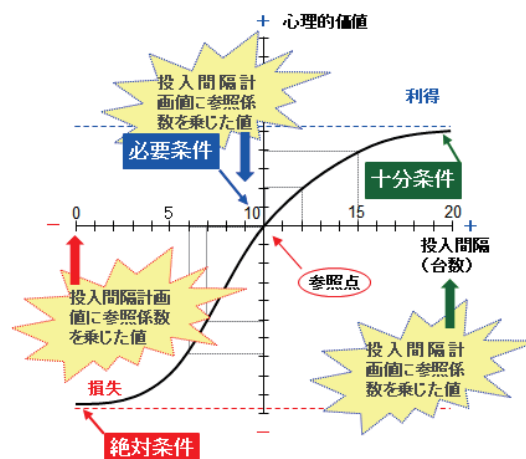
個別生産条件は期間生産計画における個別の生産計画数量にしたがい、複合生産条件は期間生産計画からそれを構成する個別生産条件の合計生産計画数量を求め、絶対条件、必要条件、十分条件それぞれについて条件値としての投入間隔台数を設定する。これは、バイアス除去と設定条件の客観性向上対策としての意味を持ち、特定の個別生産条件に対して過度に固執したり、その生産計画台数がアンカーとなって複合生産条件について誤った期待を抱くことの防止を狙っている。ここに生産スケジューリングへの行動経済学から得られた知見の応用がある。また、これは生産スケジューリング担当者の意思の注入であり、納得性を図るうえで本研究の重要ポイントとなるものである。

具体的には、必要条件、十分条件、絶対条件のそれぞれについて、求めた生産計画数量

に対する投入間隔計画値を生産計画比率の逆数の整数部（小数部切捨て）とし、それぞれに設定された参照係数（0~1 の小数値）を乗じた値を投入間隔台数条件値として「生産条件定義」に自動設定する。また、条件値として固定数値を手動設定することも可能とし、例えば絶対条件値に 1 を設定することによって、連続投入禁止を厳守させることができる。

この投入間隔条件は、生産計画比率に基づく必要条件を参照点とし、これ以上投入間隔が大きくなっても利得としての心理的価値が増加しない十分条件と、これ以上投入間隔が小さくなっても損失としての心理的価値が減少しない絶対条件とを結ぶ曲線で表すことができる。この曲線上における投入間隔台数に対する得失として得られる心理的価値を数値化することによってスケジューリング処理結果を評価するものとする。また、この時の心理的価値がプラスのときが納得性の得られている状態を表す。マイナスのときは、生産条件間の調停や比較によって選択意思決定が必要な状態を表す。

（図Ⅲ.6.(1)の④に示す）



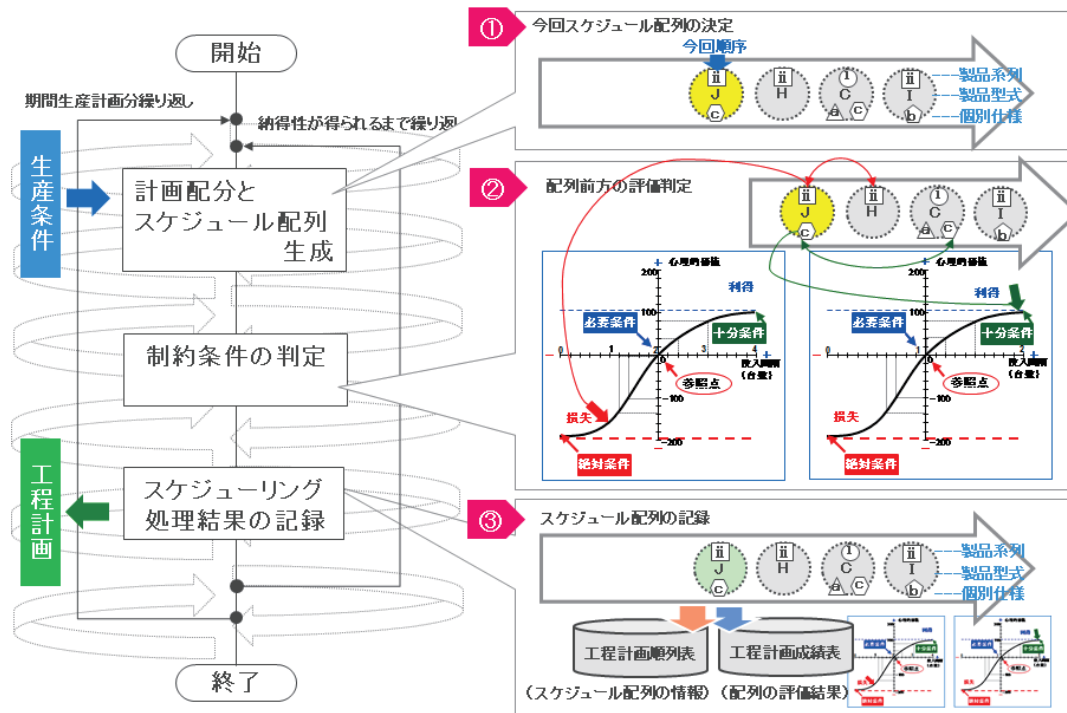
図Ⅲ.6.(1).④ 投入間隔と心理的価値

(2) スケジューリング（意思実行）

本項「スケジューリング」の中心的機能とその役割は、前項で生成した生産条件にしたがい、対象とする期間の生産計画から生産順序としての工程計画へ変換すること。すなわち、スケジューリング担当者に代わって注入された担当者の意思を実行することである。この生産順序を決める過程において、行動経済学の知見に基づきプロスペクト理論の応用により利得と損失によって評価し、納得性の得られるスケジュール配列を探り出す。

その処理は、まず「①計画配分とスケジュール配列生成」において、今回のスケジュール順序となる生産条件の候補を決める。そして、次の「②制約条件の判定」において、候補の生産条件に対する生産制約として条件値設定されている投入間隔台数を実現することができるか、その利得と損失による評価判定を行う。そして、最後の「③スケジューリング処理結果の記録」において、条件選択結果としてそのスケジュール配列を評価判定結果とともに記録することにより実現する。この一連の処理は期間生産計画が要求する数量分だけ繰り返し、スパイラルしながら該当のスケジュール順序となる生産条件の候補を求め、組み合わせ可能なスケジュール配列のパターン数分、順次実行する（図Ⅲ.6.(2)）。

また、処理過程においては損失が最小（利得が最大）となる生産条件の選択や、すべてが損失のときにあえて損失を選ぶことにより問題解決と全体的な利得を図るなど、スケジューリング担当者に代わる意思決定代替としてプロスペクト理論を応用する。



図III.6.(2) スケジューリング

① 計画配分とスケジュール配列生成

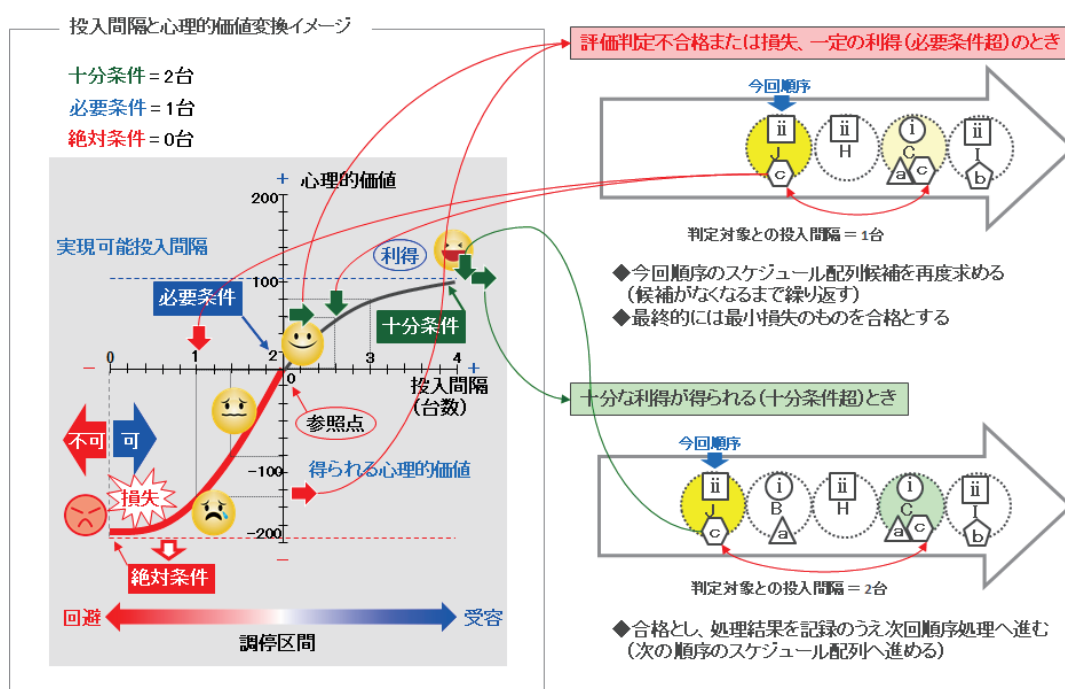
スケジュール配列（順序）は、均質な配列をつくり出すために「生産条件連関表」に設定された個別生産条件および複合生産条件の親子関係を表す木構造（ツリー）に基づき、その生産計画数量比にしたがって階層的に繰り返しながら生産条件別に配分し、生成する。その処理方法は生産条件別に求めた生産計画台数とその生産計画比率に基づいて各階層の親子関係の子側生産条件へと計画を配分し、最下位層の生産条件によるスケジュール配列を生成する。ここでは、出現率²³⁾を用いて生産計画比率に対して配分比率実績の乖離が大きい、すなわち処理中における分配率（＝配分比率実績÷生産計画比率）の小さい生産条件から配分して行くことによって金太郎飴のように均等に配分し、その生産条件を制約条件の判定候補とする。

なお、次の制約条件の判定で確定しなかった場合、この出現率による計画配分を分配率が次に小さい生産条件、さらにその次に小さい生産条件へと対象生産条件がなくなるまで続け、生産条件の組合せであるスケジュール配列の生成を繰り返す。

② 制約条件の判定

制約条件の評価判定は、プロスペクト理論の応用により生産条件定義の必要条件を参照

点、投入間隔の増加に対しこれ以上利得としての心理的価値が増加しない投入間隔台数を十分条件、投入間隔の減少に対しこれ以上損失としての心理的価値が減少しない投入間隔台数を絶対条件とし、これらを結ぶ曲線から投入間隔台数に対する利得または損失として得られる疑似的に数値化された心理的価値を評価判定基準とする。このとき、心理的価値は参照点である必要条件は 0（ゼロ）点のニュートラルポジションとし、区分定義部または条件値定義部の十分条件に設定された満点値、絶対条件に設定された及第点値に示す範囲値を採る（図Ⅲ.6.(2).②）。なお、条件が指定されていないときは満点を 100 点、及第点を -200 点とする。



図Ⅲ.6.(2).② 投入間隔と心理的価値変換

さらに、この条件下における当該生産条件に該当する先行生産条件がスケジュール配列上の何台前に存在するか見つけ出し、その相対的位置関係から 1 を減じた数値を投入間隔台数とする。このとき、その投入間隔台数が十分条件より大きい場合は即時合格とし、今回の配列順序として確定することとなる。絶対条件より小さい場合は不合格とする。そして、絶対条件を満たすものの、十分条件を満たせない場合は、求めた投入間隔台数を基に先の利得損失曲線から利得または損失として数値化された疑似的心理的価値を求め、評価判定する。この心理的価値がプラスのときが利得の得られている状態、マイナスのときは損失の状態であり、生産条件間の調停や比較によって選択意思決定が必要な状態として扱うものとする。ここに、プロスペクト理論の応用による損失の最小化（利得の最大化）というスケジューリング担当者に代わる生産意思決定代替が実現される。

③ スケジューリング処理結果の記録

生産条件による評価判定結果は、その利得と損失による評価成績とともに工程計画案として記録する。その時のスケジュール配列の並び順の情報は「工程計画順列表」に、配列1件ごとの評価成績は「工程計画成績表」に記録する。このとき、評価判定の記録結果が十分条件を満たすものであれば即時に合格とし、次の順序へと処理を進め、「①計画配分とスケジュール配列生成」より繰り返す。評価判定結果が十分条件を満たすものでなければ、同順序の次の候補を求めるため「①計画配分とスケジュール配列生成」より繰り返す。

ただし、同順序のすべての候補について評価判定し十分条件を満たすものがなかった場合、絶対条件を満たすものの中から最小損失（最大利得）の生産条件候補を受容可能な合格扱いとして記録のうえ次の順序へと処理を進め、「①計画配分とスケジュール配列生成」より繰り返す。すべての候補が絶対条件を満たすことができなかつた場合、その不合格の原因となった生産条件のスケジュール順序まで遡り、「①計画配分とスケジュール配列生成」よりやり直す。このやり直しは、前回決定よりも損失のある（条件の悪い）生産条件をあえて選択することによって、局所的な損失があっても全体的には利得のある結果が得られるようにその問題解決を狙うものである。

これらプロスペクト理論の応用により損失の最小化（利得の最大化）、または損失時のリスク選好というスケジューリング担当者に代わる生産意思決定代替を実現する。

(3) 工程計画選択（最終意思決定）

本項「工程計画選択」の中心的役割は、スケジューリング処理結果として記録された複数の工程計画案の中から選択し、工程計画を確定させるためのスケジューリング担当者の最終的意思決定支援にある。このため、「工程計画選択」は機能として複数の工程計画案を利得と損失による評価とともに提示（表示）し、担当者の最終的意思決定によって工程計画を確定させる過程とそのしくみを持つ。そして、工程計画案毎の配列順と配列順1件ごとの生産条件および評価値のリスト情報なども提供可能とし、スケジュール担当者の判断による最終意思決定を支援する。

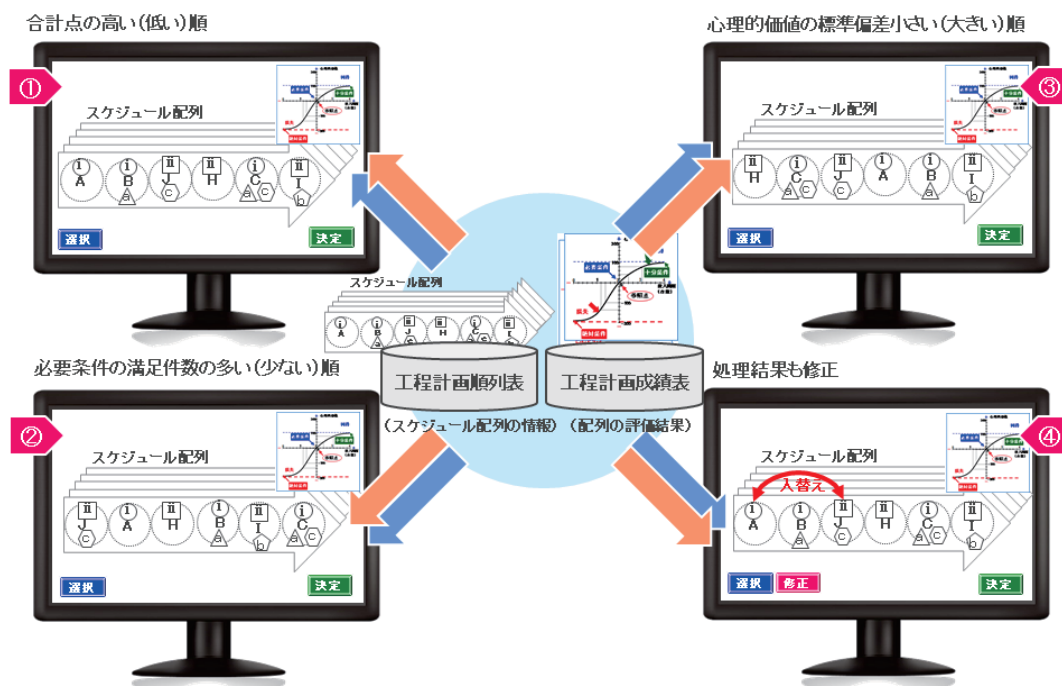
スケジューリング担当者または関係者に対する工程計画案の提示は、工程計画成績表に記録された評価判定結果を基に工程計画案別にリスト表示する。そして、その中から最終意思決定し、工程計画を選択することを促す。リスト表示は、該当スケジュール配列の合格／不合格区分の情報の全件が合格であることが条件となる。

そして、工程計画案の提示順は、プロスペクト理論に基づき最小損失（最大利得）となるよう心理的価値の合計点の高い順にリスト表示することを基本（規定）とする。ただし、この提示順は選択可能とし、必要条件満足件数の多い順または少ない順、必要条件を満足する心理的価値（プラス値）の合計点が高い順、必要条件を満足できない心理的価値（マイナス値）の合計点が高い順、心理的価値の平均値に対する標準偏差のマイナス振幅幅が

小さい順など、多面的評価指標により提供する。それは、最終意思決定を人間に委ね、スケジューリング担当者の価値判断に基づき、あえて損失のある（悪い条件の）生産条件を選択することが、局所的な損失があっても全体的には利得となり、納得性の高いスケジューリング処理結果につながる可能性を持つとの考えに立つものである。また、これは選択肢のすべてが損失のとき、リスク選好的な行動意思決定をするというプロスペクト理論の知見を応用するものでもある。（図Ⅲ.6.(3)の①～③に示す）

なお、スケジューリング処理結果としての工程計画案は、スケジューリング担当者によるスケジュール配列の修正手直しを可能とする。そして、修正後のスケジュール配列は生産条件に基づいて再評価し、工程計画案として追加記録する。これもまた、選択肢のすべてが損失のとき、リスク選好的な行動意思決定をするというプロスペクト理論の知見の応用によるものである。それは、スケジューリング処理結果に対してスケジューリング担当者自身が手直した工程計画案を加え、それらの中から満足度の最も高い工程計画を選択することを可能とし、とりわけ「納得性」の向上が期待できる。（図Ⅲ.6.(3)の④に示す）

このように最終意思決定を人間に委ねることは、とくに中小企業のように生産管理データの整備が不十分か、整備されていないことに起因する生産条件の精度不足に対してスケジューリング処理結果を補正し、スケジューリング担当者による最終調整により柔軟な業務運用を可能とする。また、飛込み受注に対する生産着手順序の優先割り付けなど、例外処理への柔軟な対応も可能とする。



図Ⅲ.6.(3) 最終意思決定とその支援

7 新しい生産スケジューリングの効果とまとめ（実用化提案と実現機能）

この新しい生産スケジューリングによって何が解決できたのか、スケジュール配列の生成から制約条件判定における特徴的場面について図を交えながら、そのアルゴリズムと処理結果を詳述する。それぞれの場面ともにスケジュール配列の生成は、期間生産計画における生産条件の生産計画数量比に基づき平準化して配分されるよう、その出現率にしたがって順次候補を決める。そして、この配列候補と前方に位置する該当生産条件との間隔（投入間隔）を生産条件にしたがい心理的価値へ変換し、投入可否を評価判定する。なお、出現率が同じ場合は生産条件による制約が厳しい（投入間隔台数条件が大きい）もの、次に複合生産条件の製品かつ、その対象個別生産条件の件数が多いものを優先する。

その基本となる稼働日1日分の生産計画を、下図「生産型式別生産計画（仕様内訳）」（図Ⅲ.7 左側）に示す。各製品型式（A,B,C,H,I,J）が1台ずつ、その製品系列（i,ii）内訳がそれぞれ3台、その仕様内訳はaが2台、bが1台、cが2台とする。このときの製品系列および仕様による生産条件を「系列および仕様別内訳と生産条件」（図Ⅲ.7 中央部）とした。この稼働日1日分の生産計画を提案する新しい生産スケジューリングによって処理した場合、「スケジューリング処理結果（スケジュール配列）」（図Ⅲ.7 右側）に示す結果となる。この処理結果を先行する確定済みのスケジュール配列順序とし、翌稼働日の生産計画も同様台数とする前提において、制約条件判定場面ごとにその処理を詳述する。

ただし、翌稼働日分の処理結果も新しい生産スケジューリングによって処理した場合、生産条件間の調停が正しく図られ同様の処理結果となる。そこで、制約条件判定場面における解説は、先行する確定済みのスケジュール配列順序の直後にどのような生産条件の製品型式が配列候補となったときに、どのような状況となり調停処理が図られるかを示すものとした。



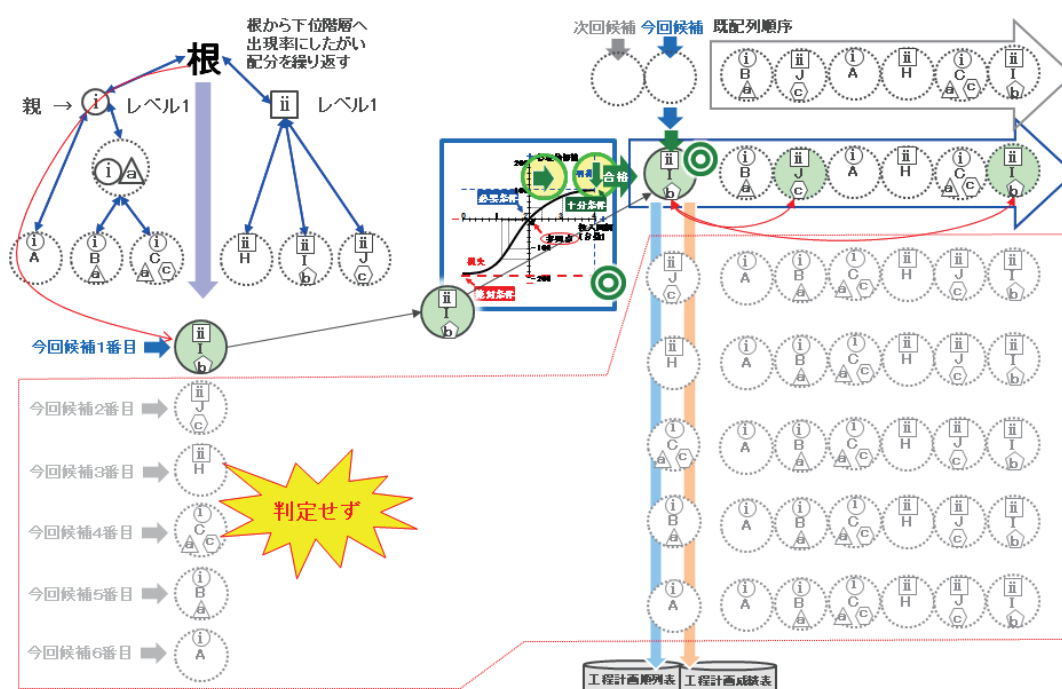
図Ⅲ.7 計画台数とスケジューリング処理結果

(1) スケジュール配列候補が十分条件を満足するとき

先行する確定済みのスケジュール配列順序（I,C,H,A,J,B）に対し、今回のスケジュール配列候補は、出現率および生産条件制約の厳しさによる優先順に従い製品型式I,J,H,C,B,Aの順序となる。その今回配列候補1番目の製品型式Iは、製品系列iiと製品仕様bを有し

ており、先行する確定済みのスケジュール配列に対して製品系列 ii と製品仕様 b を持つ製品型式との間の投入間隔を判定する。まず、製品系列 ii は先行する製品型式 J がその対象となり、その間の投入間隔として 1 台が確保できるので十分条件を満たしている。次に、製品仕様 b は先行する同じ製品型式 I が対象であり、投入間隔として 5 台が確保できるので十分条件を満たしている。

この結果、配列候補 1 番目の I は、有しているすべての生産条件について十分条件を満たし、十分な利得が得られるので即座に合格として扱う。そして、2 番目以降の候補については判定処理を行わない。(図Ⅲ.7.(1))



図Ⅲ.7.(1) スケジュール配列候補が十分条件を満足するとき

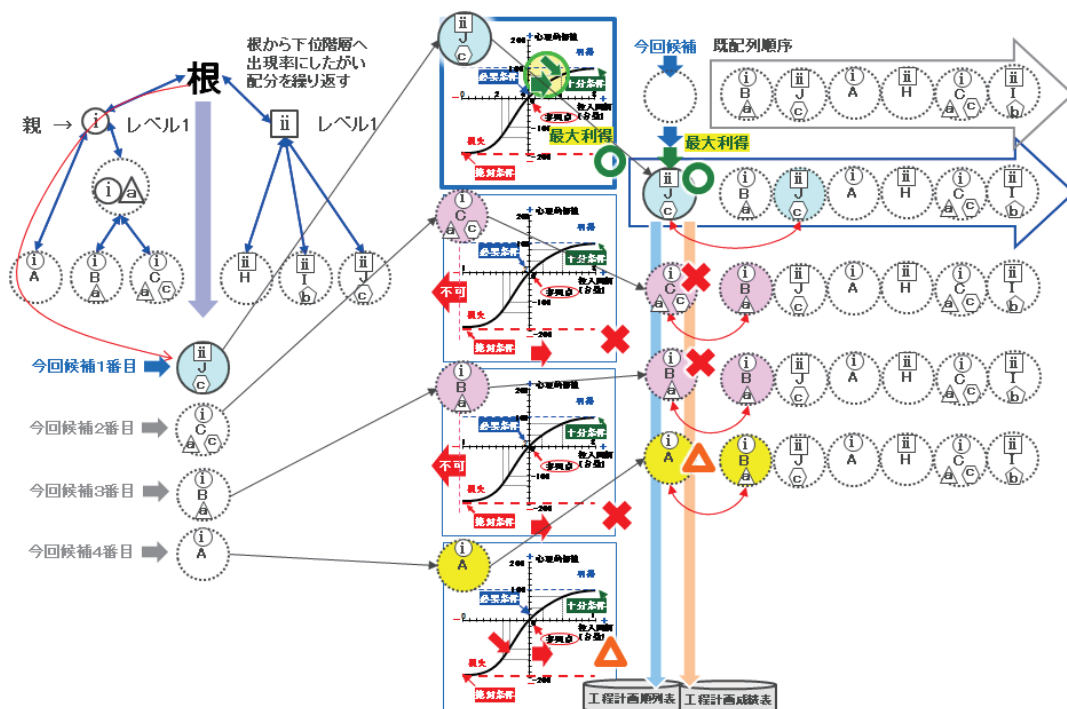
これは、該当選択は他の条件判定を待つまでもなく、十分な利得を得ることができるものであるという人間に代わるロジック的評価による選択を可能としたものである。

(2) 絶対条件を満足するが十分条件を満足しないとき

十分条件を満足する製品型式が存在しない場合、すべての配列候補について制約条件判定を行い、処理結果の中から必要条件を満足する場合は最大利得を、絶対条件を満足するものの、必要条件を満足しない場合は最小損失の製品型式を今回の配列順序とする。

前者の必要条件を満足する場合、対象とするスケジュール配列候補は前記(1)の処理に対し十分条件が成立する I および H を除く製品型式 J, C, B, A の順序とする。1 番目の製品型式 J は、製品系列 ii と製品仕様 c を有しており、これらを持つ製品型式との間の投入間隔

を判定する。まず、製品系列 ii は先行する同じ製品型式 J との間の投入間隔として 1 台が確保できるので十分条件を満たしている。次に、製品仕様 c は同じく製品型式 J との間の投入間隔 1 台であり、十分条件の 2 台は満たせないものの、必要条件は満たしている。2 番目の製品型式 C は、製品系列 i と製品仕様 a および c を有している。製品系列 i は先行する製品型式 B との間の投入間隔は 0 台であるが絶対条件と必要条件は満たしている。また、製品仕様 c は先行する同じ製品型式 J との間の投入間隔は十分条件の 2 台は満たせないものの、必要条件の 1 台は満たしている。しかし、製品仕様 a は同じく対象の先行する製品型式 B との間の投入間隔が 0 台であり、絶対条件の 1 台を満たせないため不合格となる。3 番目の製品型式 B もまた製品系列 i と製品仕様 a を有している。製品系列 i は先行する同じ製品型式 B がとの間の投入間隔は 0 台であるが絶対条件と必要条件は満たしている。しかし、製品仕様 a は対象となる先行する同じ製品型式 B との間の投入間隔が 0 台であり、絶対条件の 1 台を満たせないため不合格となる。4 番目の製品型式 A は、製品系列 i を有している。製品系列 i は先行する製品型式 B との間の投入間隔は 0 台であり、十分条件は満たせないものの絶対条件と必要条件は満たしている。これらの判定結果、1 番目の製品型式 J が必要条件を満たし、かつ最大利得を得ることができるので合格とし、今回順序として決定する。(図Ⅲ.7.(2)a)



図Ⅲ.7.(2)a スケジュール配列候補が必要条件を満足するとき (最大利得)

後者の必要条件を満足しない場合、今回スケジュール配列候補は前者に対し製品型式 J を除く製品型式 C,B,A の順序となる。その制約条件判定処理は、前者と同様に絶対条件を満たすことのできない 1~2 番目の製品型式 C,B は不合格とする。3 番目の製品型式 A が絶対条件を満たし、かつ最小損失なので合格とし、今回順序として決定する。(図 III.7.(2)b)

いずれの場合においても、プロスペクト理論を応用することによって最小損失（最大利得）のものを選ぶべきであるという人間の意思決定を代替する評価判定を実現し、スケジュール配列の選択を可能としている。ただし、(3)に示すような配列候補のすべてが不合格となり確実に損失を被るような状況においては、スケジュールリングの蒔き直しという形のリスク選好的選択をする。

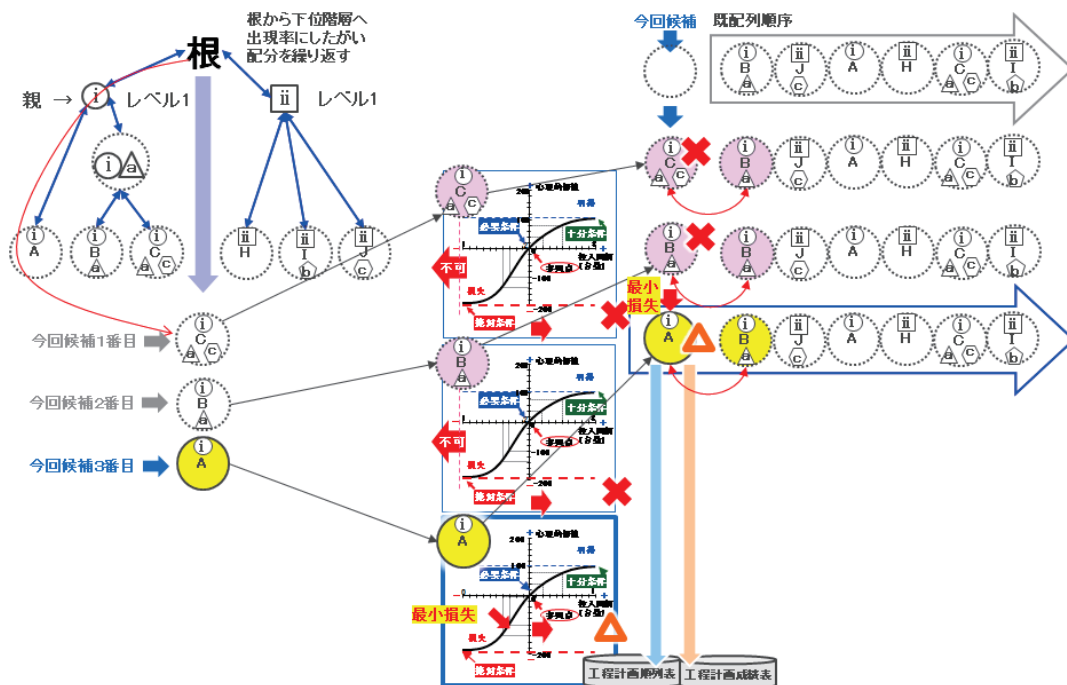
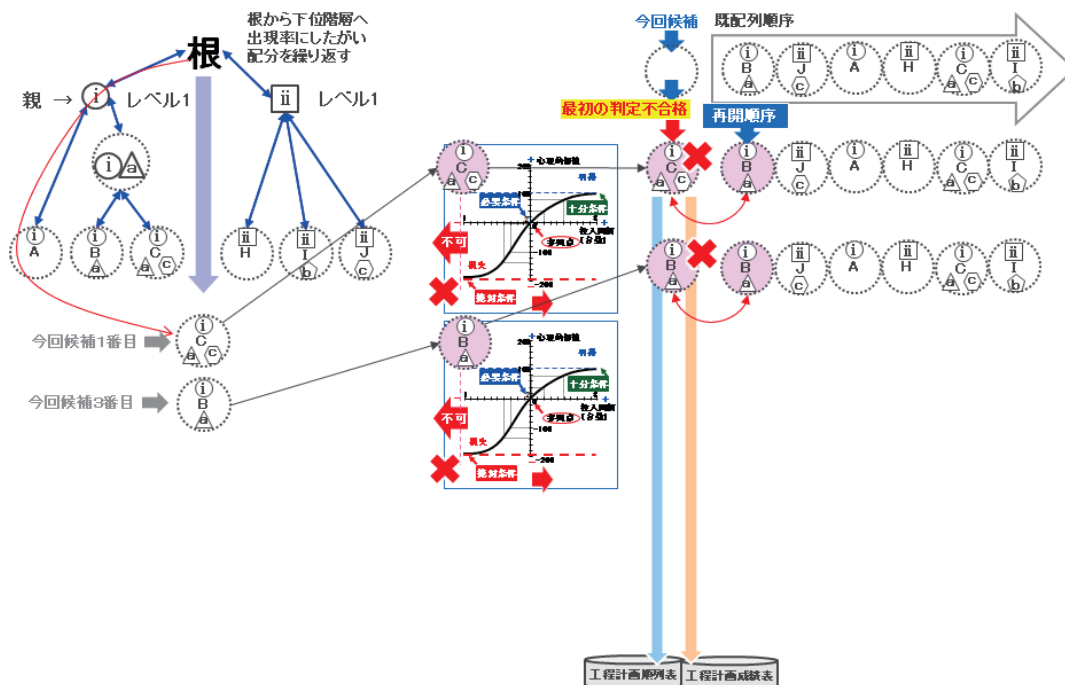


図 III.7.(2)b スケジュール配列候補がすべて損失のとき（最小損失）

(3) 配列候補のすべてが不合格のときのスケジュールリングの蒔き直し

(1)の処理および(2)の処理に対して、十分条件が成立する I,H と絶対条件が成立する J,A を除く製品型式 C,B を今回スケジュール配列候補順序とするものである。1 番目の製品型式 C と 2 番目の製品型式 B は、ともに(2)の処理で示したように対象となる製品仕様 a について先行する製品型式 B との間の投入間隔が 0 台であり、絶対条件 1 台を満たせないため不合格となる。そのとき、不合格となった制約条件判定先まで遡り、そこを再開順序としてスケジュールリング処理をやり直す。これは、すべて不合格（大きな損失）という状況下においては、やり直しというスケジュールの蒔き直しによって、起死回生の挽回が図れ

る可能性もあり、すべてが損失という状況下にあってはリスク選好的な行動意思決定をとるといった人間に代わる評価判定を実現するものである。(図Ⅲ.7.(3)a)



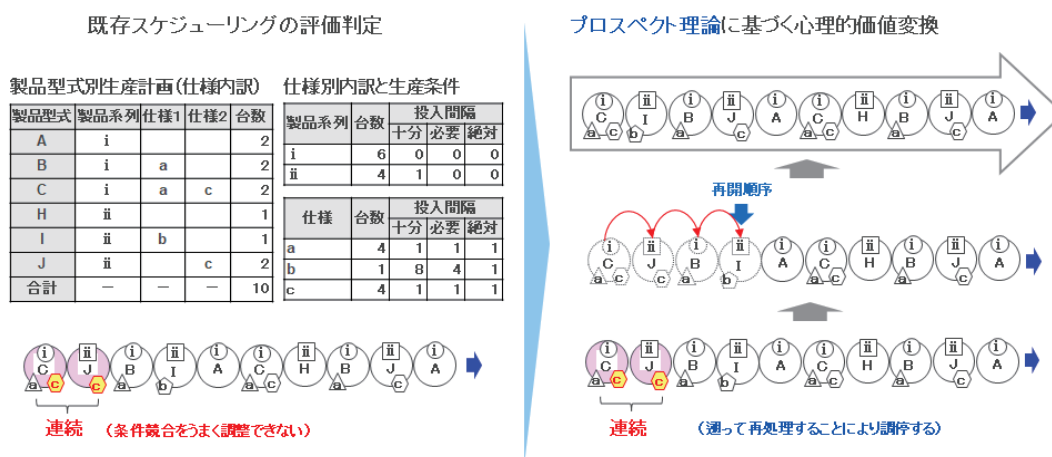
図Ⅲ.7.(3)a スケジュール配列候補がすべて不合格 (スケジュール葺き直し)

なお、スケジュール葺き直しについては、詳述するために配列候補のすべてが不合格となる生産条件モデルを別途設定し解説する。それは、製品型式 A が 2 台、製品型式 B が 2 台、製品型式 C が 2 台、製品型式 H が 1 台、製品型式 I が 1 台、製品型式 J が 2 台の合計 10 台が計画されている。その内訳は、製品系列 i が 6 台、ii が 4 台、そして製品仕様 a が 4 台、b が 1 台、c が 4 台とし、それぞれに期待される投入間隔を求め、投入間隔台数を設定する。製品仕様については、連続が発生しないように製品仕様 a、b、c とともに絶対条件として投入間隔が 1 台に設定されている。(図Ⅲ.7.(3)b の左側上)

この条件下、既存スケジューリングを用いて禁止則に基づき調整を図ろうとした場合、スケジュール配列の最後に製品仕様 c の連続が発生してしまう。そのため、製品仕様 c の投入間隔を 1 台以上確保したいというスケジューリング担当者の期待に応えた結果を得ることができない。(図Ⅲ.7.(3)b の左側下)

これに対し、新しい生産スケジューリングによるスケジュールの葺き直し処理は、まず最初に不合格となった製品 C の対象先の製品 J からやり直す。しかし、うまく連続を回避できないため、製品 B からやり直す。それでもうまく行かないため、さらに製品 I まで順次遡ってスケジューリングのやり直しを実行した結果、すべての条件を満たすスケジュール配列が得られた。(図Ⅲ.7.(3)b の右側)

このように、プロスペクト理論を応用することによって、すべて選択肢について条件を満たすことができず確実に損失が発生する場合、人間に代わって既に決定済みの有利な条件に代えて、あえて不利な条件を選択し処理をやり直すというリスク選好的な選択を行い、意思決定代替することによって問題解決を実現している。



図III.7.(3)b スケジューリングの葺き直し

IV 研究結果とその考察

次世代生産システムにおける新しい生産スケジューリング手法を提案し、生産スケジューリング問題における生産条件の「網羅性」、スケジューリング結果への「納得性」、生産条件間の「調停」という3つの課題を中心に研究を進めた。この新しい生産スケジューリング手法がどのような機能を果たし、生産スケジューリング問題を解決できるのか、この研究結果の意義について考察する。

第1章「I 研究の背景と目的」においても述べたように、既存の生産スケジューリングが生産工程または生産設備を対象とし、主としてOR的アプローチにより生産工程または生産設備からの産出量(output)を評価し、効用の最大化や最適な生産順序を求めることにあった。しかしながら、生産を決定づける要因は多岐にわたり生産条件のすべてを網羅することは現実的に難しく、人間の能力には限界があるから処理結果が正しいと確信し納得できるとも限らない。既存の生産スケジューリングにおいて扱う生産条件は、制約条件として与えられるものであるから、あくまでも「やってはいけないこと」、「あってはならないこと」を示しているのであって、「してほしいこと」、「なってほしいこと」を求めているわけではない。ここに納得性が得られない理由があるのではないかと考えた。また、「納得性」が経験や勘などに基づき事象から受ける印象または感覚(スケジューリング担当者の心理的input)という形のない人の内面の問題を取り扱うものであることに着目し、心理的価値評価により生産意思決定を図ることが有効であると考えた。この仮説に基づき行動

経済学の知見を応用した新しい生産スケジューリングが前章の「Ⅲ.行動経済学に基づく生産スケジューリング」であった。

その結果は、「Ⅲ.7 新しい生産スケジューリングの効果とまとめ（実用化提案と実現機能）」に示したように、生産順序問題におけるそれぞれの意思決定判断の場面において、人（担当者）の意思決定を代替しうる生産スケジュール配列を作成するものであった。また、生産条件の「網羅性」が高まり条件競合が起きた場合、生産条件の心理的価値への変換によって条件間の「調停」を図り、利得と損失の関係によってうまく調整できている。とりわけ、「Ⅲ.7.(3) 配列候補のすべてが不合格のときのスケジューリングの蒔き直し」に示した結果は、既存の生産スケジューリングが OR 的アプローチを採る場合に生じやすい禁止則対象条件が最後に残ってしまう（または、条件を甘くすると対象条件が前方に偏る）という合理性の罣²⁴ともいふべき事象に対して、生産条件が成立しない相手先まで遡りやり直し、あえて不利な条件を選択する中から問題事象の打開を図ることを実現している。これは、処理が意図するように進まないときには自動的にやり直したり、別の解決方法を見出し問題解決するなど、まさにスケジューリング担当者が考える「してほしいこと」、「なっていないこと」を代行するものであり、納得性の向上にも寄与するものである。

これらは、生産スケジューリングにおいて DB の活用とそのデータ管理技術の応用が生産条件の「網羅性」を高め、行動経済学の知見の応用がスケジューリング結果への「納得性」を確保するための生産条件間の「調停」機能として重要な役割を果たすとともに、人（スケジューリング担当者）の意思決定を代替し、納得性が得られる工程計画の立案に対して有効であることを立証するものである。

V 新しい生産スケジューリングの実現と今後の課題

Ⅲ章において、次世代生産システムにおける新しい生産スケジューリングへの行動経済学の知見の応用についてその有効性を示した。また、これは既存の生産スケジューリングが「納得性」を確保できず人の介入を必要とした問題に対して、「納得性」の向上が人の介入する場面を減少させ、次世代生産システムが目指す生産連動に対しても有効であり、本研究の問題認識に対する答えになるものとなった。

ここでは、生産スケジューリング問題の課題とした生産条件の「網羅性」、スケジューリング結果への「納得性」、生産条件間の「調停」について研究を振り返り、課題解決の方策と今後の課題を整理する。

1 「網羅性」、「納得性」、「調停」の解決

まず、「網羅性」については、構造化問題に従えば問題を完全に構造化することは困難であるから、生産条件のすべてを網羅することは不可能である。限定された合理性に従えば、そもそも人間は大体のところで満足しているのであるから、生産スケジューリング時の処理条件である生産条件は、スケジューリング担当者が処理結果に反映させたい経験に

基づく関心事のみを条件設定すればよいと考える。ただし、個別生産条件を複数持つ複合生産条件の製品（部品）が存在する場合、該当する複数の個別生産条件間の干渉によって投入間隔をうまく調整することができない。この課題に対しては、個別生産条件の組合せを複合生産条件として自動的に生成、増殖させることによって解決を図ることができる。第3章の「Ⅲ.6.(1).③ 複合生産条件の自動生成」において述べたように、いったん自動生成した複合生産条件と関連する複数の個別生産条件を同列の生産条件として扱い、その投入間隔を調整する。それから、複合生産条件を構成する複数の個別生産条件に分配することにより個別生産条件の投入間隔を調整することができる。すなわち、複合生産条件の自動生成は、生産条件の網羅性を高めるとともに投入間隔をうまく調整処理し、納得性の確保にもつながる。また、この複合生産条件はスケジューリング担当者がとくに強く関心を示す特定の個別生産条件に固執するあまり、その代表性バイアスによって他の個別生産条件との関係性を見落とし、特定の個別生産条件に引きずられてスケジューリング処理結果に対して偏った期待を抱くことの防止効果も併せ持つ。

次に、「納得性」については、そもそも人間は大体のところで満足しているのであり、スケジューリング担当者の満足のゆくスケジューリング結果への期待は、結果に対する担当者の関心事についての納得性である。そして、担当者の経験則に基づくものであるからバイアスをとまなう。よって、満足のゆく結果とは必ずしも最適解である必要はなく、担当者が確からしさを確信できる（満足できる）ものであればよい。スケジューリング担当者の関心事であるスケジューリング処理の肝となる生産条件を確実に把握したうえで生産計画を正しく認識し、その生産計画に基づき投入間隔台数などの生産条件値を求めることによって、係留効果などのバイアスに起因する誤った期待値を生じさせないための方策を採ることによって納得性が確保できる。

また、先行する確定済みのスケジュール配列に対して、その後方へ加える新たな配列の選択過程において、それぞれの配列候補へ設定された生産条件に基づき生産制約上の利得および損失により評価することは、人間が利得よりも損失には敏感に反応し損失の少ないほうを選ぶという「プロスペクト理論」に基づくものであり、損失が最小となる新たなスケジュール配列の提供を優先することが結果の納得性につながる。

さらに、すべての処理結果が損失の場合、個々の配列を見て選択できるようにすることは、部分的に目立つ大きな損失があっても利益を得る部分も多く含まれる受容可能な工程計画を見い出すことができ、そこから納得性を得ることも可能となる（損失に対する選択のギャンブル性）。それは、損失となる結果が多いほど機能を発揮し、損失の中に埋もれている利得を探し出す効果を生む。例えば、実際のライン作業の場合、流れてくる作業負荷の高い箇所が特定できれば、作業応援によってカバーすることもできる。この負荷の高い箇所が少ない方が応援による対応は取りやすく、多ければ応援能力（対応可能人員）を超えてしまい、ライン停止につながる。これを、ベルヌーイの理論（=期待効用理論）に基づき合理的に判断しようとするれば、配列選択において選択可能な生産条件がなくなってし

まったり、すべての処理結果が損失の場合、選択できるものがなくなるか、受容可能な結果を見落としてしまう可能性がある。これに対し、「プロスペクト理論」に基づく損失に対する選択のギャンブル性の適用は、その解決策となる。

最後に、「調停」については、スケジューリング処理過程においては、どちらを選ぶべきかという背反関係にある生産条件間の競合事象が発生する。この場合、得点より失点に注意し、損失の少ないほうを選ぶという「プロスペクト理論」に基づく条件選択によって条件間の調停を図り問題解決することができる。また、すべて損失という場合においても、前述の納得性でも触れたようにその中から損失の少ないものや、部分的に目立つ大きな損失があっても利益を得る部分も多く含まれる受容可能な工程計画を見い出すことも可能となる。これらの研究から、人間が限定された合理性の中で意思決定しているという状況において、行動経済学の知見を活用することは係留効果などバイアスによるヒューリスティクスを防ぎ、生産条件の「網羅性」、スケジューリング結果への「納得性」、生産条件間の「調停」という3つの重要な課題に対する問題解決を図ることに繋がる。それは、次世代生産システムの生産スケジューリングを実現し、生産意思決定するうえで有用であることを示している。

2 実用化のための課題

新しい生産スケジューリングの有効性が確認されただけで実用化できるわけではない。それを実用できるものとするためには、業務モデルの構築とその人材、システム構築と人材、そして設備投資費用などの問題解決を図る必要がある。とくに中小企業は、大企業と比べて相対的に生産管理レベルが低いことも多い。生産スケジューリングをより効果のあるものとするためには、他業務と連携させたり新たなデータ管理の必要性が出てくることも想定される。その場合、生産管理とその周辺業務に精通した人材の確保が重要となる。

まず、業務モデルの構築については新しい生産スケジューリングを業務オペレーションにどのように組み込むのか、または業務モデル全体を再構築するのかという問題である。このときに課題となるのが、業務モデルを企画設計し、運用を定着させることのできる人材の確保である。それを困難とする要因としては、業務モデルが戦後復興を支えた戦前生まれ世代や高度成長を支えた団塊世代の創意工夫によって構築されたものであることが多いこと。団塊世代が退職した現在、以前からそうしているという理由で運用され続けている場合や、属人化されていたり、業務の内容が暗黙知化されている場合もある。

次に、システム化およびシステム導入にあたり、システムの企画設計と開発運用して行くことのできる人材の確保が課題となる。企業システムは団塊世代が必要に迫られて情報通信技術を活用し創意工夫しながら構築してきたものも多く、団塊世代が退職した現在、処理内容がブラックボックス化したり、退職を前に市販のERPパッケージにリプレースされ、それが新たなブラックボックスとなっている場合がある。

そして、最後に残るのはこれらに対応するための費用問題である。人材が確保できない

場合は、新たな人材を外部から採用したり、コンサルティングサービスを活用することになる。また、システム開発であれば外部委託も選択肢となる。

3 中小企業における IT 導入と生産性改革（今後の研究課題について）

この新しい生産スケジューリングは、大企業と比べて相対的に生産管理レベルが低く、生産管理データの整備が不十分か、整備されていないことも多い中小企業にあっても機能できるように生産条件の設定さえすれば機能することを前提としている。しかしながら、さらに次世代生産システムとして機能発揮させ生産革新を図るためには、生産条件として生産管理データを活用したり、処理結果としての工程計画を製造工程や生産設備へ直接連携させたり、工程計画を「見える化」のための基準情報（ものさし）として活用することにより生産統制の管理精度を向上させる必要がある。

また、中小企業の現状に目を向けると、業務モデルを企画設計し運用を定着させることのできる人材や、システム化について企画設計し開発運用して行くことのできる人材が少ないという問題が存在する。そして、高額の投資負担の問題も存在する。いずれも中小企業にとって重い課題である。これらを念頭に、今後は中小企業が次世代生産システムを導入し、生産革新を図るための課題とその取り組みについて研究を進める。

（本学 大学院社会システム研究科 院生）

（本学 地域戦略研究所 教授）

〔注〕

- 1) 網羅とは「もらすことなく、すべてに及ぶこと」(新村出編(1991)『広辞苑第四版』岩波書店)である。ここでは、網羅性をスケジューリング担当者が対象条件としたいとする条件の中で実際にどれを条件として採用できたか、その度合いとして扱う。
- 2) 納得とは「承知すること。なるほどと認めること」(新村出編(1991)『広辞苑第四版』岩波書店)である。ここでは、納得性をスケジューリング担当者が対象とした条件に対し、スケジューリング処理結果が期待どおりであり、承知できるものであるかという心理的な満足の度合いを意味するものとして扱う。
- 3) 調停とは「当事者双方の間に第三者が介入して争いをやめさせること」(新村出編(1991)『広辞苑第四版』岩波書店)である。ここでは、調停をスケジューリング処理過程において与えられた条件の中、複数の条件が採用するか否かの対象となったときに、それぞれの条件の優劣を評価判断のうえ優れた方を採用し劣る側を引き下がらせるよう、あたかも仲裁するかのような振る舞い(処理)として扱う。
- 4) スケジューリング処理結果、立案された生産スケジュールは生産する工程と作業の行程、タイムスケジュールを予定するものとして、本研究においてはこれを工程計画と呼ぶ。
- 5) ダニエル・カーネマン(Daniel Kahneman, 1934-)は認知心理学者で専門は意思決定論および行動経済学。不確実な状況下における意思決定モデル「プロスペクト理論」などの業績により2002年度ノーベル経済学賞受賞。「プロスペクト理論」などはトベルスキーとの共同研究によるもの。
- 6) エイモス・トベルスキー(Amos Tversky, 1937-1996)は、心理学者。カーネマンの共同研究者であり、カーネマンの2002年度ノーベル経済学賞受賞前の1996年に没。
- 7) 関心とは、ある対象に向けられている積極的・選択的な心構え、または感情(出所:新村出編(1991)『広辞苑 第四版』岩波書店)であり、ここで扱う関心事は生産スケジュールリング時の生産条件としたい製品仕様などの対象事項を指す。
- 8) ハーバート A・サイモン(Herbert Alexander Simon, 1916-2001)はコンピュータ科学、心理学の世界的権威で、1978年度ノーベル経済学賞受賞。
- 9) 代表性ヒューリスティックとは、人がものごとを判断するときに、その論理や確率によらず、その判断対象の典型的な特徴によって判断することをいう。
- 10) 利用可能性ヒューリスティックとは、問題の頻度や大きさを見積もるときに記憶の中から同種の例を呼び出し、その事例が頭に思い浮かぶたやすさによって頻度や大きさを判断することをいう。
- 11) 係留ヒューリスティックとは、ある未知の数値を見積もる前に何らかの特定の数値を示されると、見積もりはその特定の数値の近くにとどまったまま離れることができないことをいう。
- 12) 代表性バイアスとは、人がものごとを判断するときに、その判断対象の典型的な特徴に引きずられてしまい、その判断に偏りが生じることをいう。
- 13) 利用可能性バイアスとは、問題の頻度や大きさを見積もるときに記憶の中から同種の例を呼び出し、その事例が頭に思い浮かぶたやすさによって頻度や大きさの判断に偏りが生じることをいう。
- 14) 係留バイアスとは、ある未知の数値を見積もる前に何らかの特定の数値を示されると、その特定の数値の近くにとどまったまま離れることができなくなり、見積もりに偏りが生じることをいう。
- 15) ベルヌーイの理論とは、スイスの数学および物理学者ダニエル・ベルヌーイ(Daniel Bernoulli, 1700-1782)が提唱した期待効用理論を指す。不確実な状況下における合理的な意思決定判断は、結果に関する効用の期待値に基づいてなされるとする理論である。利得期待値が無限大の賭であっても、大金を払ってまで参加する者はいないことを、人々が効用関数を持ち、効用の期待値を最大化するかのよう振る舞う行動によって説明している。

- 16) 製品系列 (product line) とは、JIS において「特定の製品について、その代表的な属性に変化を付けて設計した仕様の異なる一連の製品 JIS Z8101-3107」と定義されている。例えば、冷蔵庫の容量、自動車の社格 (サイズや車名、またはその派生車種 (ファミリー)) による分類がこれにあたる。
- 17) 型式 (model) とは、「航空機・船舶・自動車などの、基本的な構造・設備・外形によって分類する、特定の型。モデル」(出所：新村出編(1991)『広辞苑 第四版』岩波書店) であり、ここから製品の系列や機能、仕様などの特性を知ることができる。
- 18) データベース (DB: database = 「情報の基地」の意) とは、系統的に整理・管理された情報の集まり。特にコンピュータで、様々な情報検索に高速に対応できるように大量のデータを統一的に管理したファイル。また、そのファイルを管理するシステム。(出所：新村出編(1991)『広辞苑 第四版』岩波書店)
- 19) 材料部品表 (bill of material) とは、部品表または部品構成表とも呼ばれ、JIS において「各部品 (製品も含む) を生産するのに必要な子部品の種類と数量を示すリスト。備考 1: 部品の親子関係の連鎖からこれを木構造で表現したストラクチャ型 (structure type) と表形式で示したサマリー型 (summary type) がある。備考 2: 部品展開を行うときの基礎資料となる JIS Z8142-3307」と定義されている。
- 20) QC 工程表 (QC process chart) とは、1 つの製品の原材料、部品の供給から完成品として出荷されるまでの工程の各段階での、管理特性や管理方法を工程の流れに沿って記載した表である。(出所：日本経営工学会編(2002)『生産管理用語辞典』日本規格協会)
- 21) 作業標準 (operation standard) とは、製品または部品の各製造工程を対象に、作業条件、作業方法、管理方法、使用材料、使用設備、作業要領などに関する基準を規定したもの。(出所：日本経営工学会編(2002)『生産管理用語辞典』日本規格協会)
- 22) 期間生産計画とは、長期期間の生産計画を指す場合もあるが、ここでは特定の計画日程範囲における生産計画を指す。具体的には、月次生産計画であれば月頭稼働日から月末稼働日、週次計画であれば週初日から週末稼働日、日次計画であれば該当稼働日の生産計画をいう。
- 23) 出現率とは、ある事象が出現する確率であり、ここではスケジュール配列をつくるために製品型式や対象生産条件を配分するときの製品型式や対象生産条件が出現する確率をいう。基本的には、出現率が期間生産計画における製品型式や対象生産条件の計画比に等しくなるように配分を繰り返す。
- 24) 合理性の罫とは、自分の持っている範囲内の知識や限られた情報の下で最大の効果を得ようとして合理的な選択をしたとしても、求める結果が範囲外の知識や情報に起因するものであれば最大の効果が得られないばかりか、逆に部分最適となったり最小効果となる悪い結果を選択してしまう状況を指す。

〔参考文献〕

- Daniel Kahneman(2011a), Thinking Fast and Slow, Brockman(ダニエル・カーネマン著, 村井章子訳(2012a)『ファスト&スロー あなたの意思はどのように決まるか 上』早川書房).
- Daniel Kahneman(2011b), Thinking Fast and Slow, Brockman(ダニエル・カーネマン著, 村井章子訳(2012b)『ファスト&スロー あなたの意思はどのように決まるか 下』早川書房).
- Herbert A. Simon(1977), revised edition The New Science of Management Decision, Prentice-Hall(ハーバート A.サイモン著, 稲葉元吉/倉井武夫訳(1979)『意思決定の科学』産業能率大学出版部).
- Herbert A. Simon(1997), Administrative Behavior: A Study of Decision-Making Processes in Administrative Organizations, Fourth Edition, The Free Press(ハーバート・A・サイモン著, 二村敏子/桑田耕太郎/高尾義明/西脇暢子/高柳美香訳(2009)『新版 経

営行動 ―経営組織における意思決定過程の研究』ダイヤモンド社).
野村利則(2017)「生産スケジューリングの今日的課題」『地域戦略研究所紀要 第2号 2017
年3月発行』北九州市立大学, pp39-68

STUDIES
OF
INSTITUTE FOR
REGIONAL STRATEGY
CONTENTS

A Study on Practical Application of New Production Scheduling using
Behavioral Economics Toshinori NOMURA, Hidetoshi YOSHIMURA..... 83

No.3
March 2018
INSTITUTE FOR REGIONAL, STRATEGY
THE UNIVERSITY OF KITAKYUSHU
KITAKYUSHU CITY, JAPAN