

# 食品製造業向け需給計画システムへの遺伝アルゴリズムの適用

## The Application of Generic Algorithm to Supply Planning Systems in the Food Industries

牟 礼 宏<sup>(1)</sup>  
Hiroshi MURE

### 抄 録

食品業界において消費者への“鮮度の訴求”が重視されている。このため精度の高い需給計画を立案することが求められている。著者らは、遺伝アルゴリズムを核とした需給計画システムの構築を行ってきており、その要件と機能及び開発方法論について概要を紹介した。

### Abstract

In the food industries, great importance is placed on the "appeal of freshness" to consumers, and thereby it is required to draw up a highly accurate supply and demand program to assure this effort. Authors have been eagerly constructing supply planning systems with a generic algorithm as the core. Requisites for the systems and their function together with the methodology for developing the systems are outlined in this paper.

### 1. 緒 言

食品業界では、消費者への“鮮度の訴求”が重要視されてきている。必要場所に必要量を必要時間に所定の鮮度状態で供給することを消費者に約束することである。これは、単に生産現場から最終小売り店頭までの輸送時間の短縮化で解決するのではなく、一般的に変動要因の多い需要に対して如何に必要十分な質量を供給するかを需給計画問題としてとらえ、これを解決する必要がある。

大手食品企業の場合、日本全国の消費地需要に対して、分散した生産拠点の供給を割り振る問題からスタートする。需要地と供給拠点が静的に結び付くことはまれで、需要の変動や供給側能力等の需給バランスによって、都度動的に結び付けられているのが実態である。また、供給側能力の点では、現場作業員数が生産能力のボトルネックとなっている例が少なくない。この制約によって極端な場合、需要を生産拠点に割り振る時点で、各生産拠点でのライン毎・日毎の生産計画まで立ち入って、設備能力のみならず人的資源の充足可否まで検証している事例もある。

現状、このような需給計画は本社の生産統括部門あるいはロジスティクス統括部門の高度に専門化されたスタッフが属人的に処理しているのが一般的である。鮮度管理がより重要視されてきた結果、計画見直しサイクルがより短期間化する傾向にある。また消費者ニーズの多様化傾向に追従した結果、取り扱いアイテム数が膨大化するなかで、専門家による属人的な処理では取捨がつかなくなってきた。その結果欠品・過剰在庫問題が顕在化してきている例

もある。

以上の背景から需給計画業務を高度に支援するシステムへの期待が高まってきている状況にあり、著者らは食品製造業において幾つかの需給計画システム構築を行っている。本稿では、食品業向け需給計画システムの要件と機能及び開発方法論について一般化したかたちで紹介する。

### 2. 食品製造業における需給計画の特徴と需給計画業務の概要

#### 2.1 食品需給の特徴

食品の需要は気象、天候や地域での大規模祭事などの要因の他、サプライチェーンの下流側の意志あるいは消費者の嗜好変化等の様々な要因によって、年単位のトレンド的な変動から曜日レベルの変動が重畳した複雑且つ大幅な動きをするのが一般的である。“鮮度”が重要視されてきた結果、商品の“賞味期限”の1/5~1/10内出荷が小売業者への納品期限となっている。これが、製造業者の持ちうる在庫の上限制約となり、これを超過した場合は最悪破棄対象となってしまう。また、受注から出荷までの納品リードタイムは年々短縮され、非日配食品でも“受注翌日出荷”に近づく傾向にある。この厳しい需要環境下において、在庫水準を適正に保つ生産補充計画を適切に転がしていくことが必要とされる。

#### 2.2 需給計画業務の概要

全国の支店、営業所からの販売見込み・計画を販売統括部門が全社集約・調整し販売計画及び販売目的での在庫水準を決定する。こ

<sup>(1)</sup> エレクトロニクス・情報通信事業部

産業システムソリューション第一部 マネジャー  
神奈川県相模原市淵野辺5-10-1 ☎229-8551 ☎(0427)68-5102

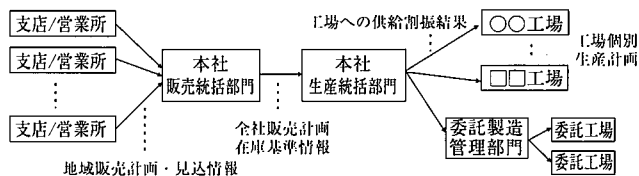


図1 需給計画業務の流れ

の情報が全社生産統括部門に渡り、ここで全国の生産拠点への供給割り振りがなされる。需要地と供給拠点が静的に結び付くことは牛乳やパン等いわゆる日配食品を除いては希である。

例えば、ビール業界では全国に工場を分散させ“需要地生産”を基本施策としているものの、天候、地域祭事等の需要変動や非主力商品の集中生産等の供給側論理によって、都度動的な割り振りがなされている。各生産工場では、工場の設備及び人的な資源を活用して割り当てられた供給を満たす詳細計画(ライン毎日程計画)にブレークダウンする(図1参照)。これが、一般的な非日配食品の需給計画業務の概要であり、販売統括部門、生産統括部門、各工場の業務分担範囲は企業により様々である。また、この段階では、最終工程である“詰め工程”、“包装工程”を主対象に計画するケースが多い。これは、仕込み等前工程や原料・資材調達是最終工程の確定計画を与件として、これに追従可能なように設備及び業務システムが構築されているためである。

### 3. 食品製造業向け需給計画システムの概要

#### 3.1 需給計画システムの機能と構成

需給計画システムのモジュール構成と各モジュールの機能について述べる。

図2にシステムのモジュール構成を示す。大きく、(1)販売計画立案支援モジュール、(2)需給配分計画立案モジュール、(3)ライン生産計画立案モジュール、及び(1)~(3)を有機的に機能結合するための(4)生販在アラームモジュールから構成される。それぞれのモジュールの概要は以下のとおりである。

(1)販売計画立案支援モジュール：全社集約されたアイテム毎の販売計画の入力と在庫水準の設定を行うモジュールである。その前段となる各支店や営業所から上がってくる販売計画・予測値を集約、分析して全社需要を設定するまでの機能に関しては、現在のところ別システムまたは属人的処理に委ねている。ここは“販売分析”とか“需要予測”と呼ばれる機能で、米国等で注目を集めている“サプライチェーンプランニング”関連パッケージの多くは各種の予測手法を組み込んだ需要計画モジュールを備えており、それらの活用も視野

に入れて新日本製鐵の今後の展開を計画している段階である。

(2)需給配分計画立案モジュール：販売計画立案支援モジュールによって設定されたアイテム毎の需要と在庫水準を与件として、生産拠点に供給を割り振るモジュールである。月又は旬単位期間でアイテム毎の需要軸と工場・ライン毎の供給軸のマトリクスとして問題を捕らえて、需要軸を満たすと共に供給軸側では主として工場設備能力と工場人員資源を満たすように、供給配分を立案する。単位期間で需給配分がとれない場合には、単位期間を超えた生産・在庫調整を試みる。原料、資材は立案した“詰め・包装工程計画”を与件として、これに追従させるかたちで調達をかける前提としているが、“ビール”のように“熟成期間”が必要で、他からの代替え調達手段がない場合には“主原料”のみの工場財源をも供給側の制約に加えることがある。

(3)ライン生産計画立案モジュール：需給配分計画によって、ライン毎の期間“需要”と“現場人員資源”が割り振られることになる。本モジュールでは、ライン需要、対象アイテムの在庫水準、初期在庫、勤務体制を与件として、ライン毎の各種設備制約条件(アイテム毎時間生産量、段取り替え時間、色物等順序制約その他)を満たす日程計画を立案する。

(4)生販在アラームシステム：需給計画における最大の外乱要因は需要の変動である。一般に全国規模で販売活動している大手食品メーカーではアイテム数が1000を超える例も少なくない。需給計画を滞りなく転がしていくためには、需要の計画からのずれとその結果の在庫の推移を日々監視して、異常を早期に検知して需給計画にすばやく反映する事が肝要である。実際の需要は、予測が困難な天候要因や小売り側の意志等の人為的な要因が重なり合っており、需要予測システムを導入しても完全に解決できる問題ではない。本システムでは、販売予測と実績との差異を日々とらまえ、要チェック“アイテム”をピックアップして関連情報とともに販売計画担当者に判断を促す方式を採用した。また、販売予測を変更した時点で、現在庫及び現生産計画を与件として在庫推移をチェックし、在庫ショートが発生するアイテムを生産計画担当者に関連情報と共に提示する事も可能としている。

図3にこれらのモジュールを用いた運用イメージを示す。食品需給計画業務は、一般に月次、週次といった周期で定期的に計画を転がしていく運用形態をとるが、生販在アラームシステムによって、販売予実差異や在庫予実差異などの状況変化をトリガとした非定期的な計画見直しも可能となる。本システムの中核部に当たる需給配分計画及びライン生産計画について以下で詳述する。

#### 3.2 需給配分計画立案モジュール

##### 3.2.1 所要量計算

販売予算と在庫上下限情報及び現有在庫から供給所要量を求めて、これに対しての供給配分を行う方式をとっている。供給所要量を求めるために、複数の考え方による“基準在庫レベル”を用意している。例えば、(1)在庫上下限の中間在庫を維持する、(2)在庫下限に達したら上限まで在庫を確保する等(図4参照)であり、ユーザーは立案時に“基準在庫レベル”を選択可能としている。

##### 3.2.2 需給配分計画での勘案条件

単位期間(月、週)で括った供給所要量及び供給側の設備・人員資源を与件として、両者を満たす各生産拠点のライン(群)毎の所要量を配分決定する。ここで考慮する制約条件として代表的なものは、(1)ライン毎の生産可能アイテム、(2)ライン設備能力、(3)ライン稼働率(代替え時間等非稼働時間を代表させる)、(4)工場及びライ

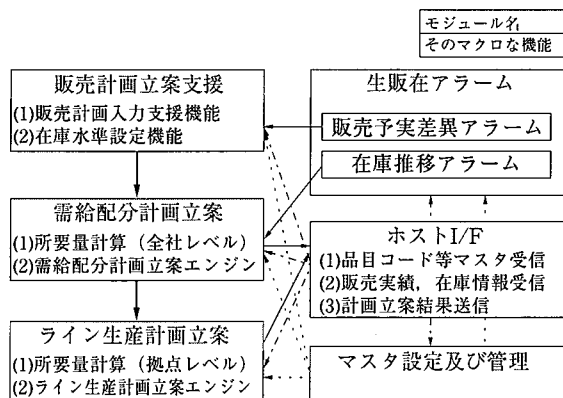


図2 需給計画システムのモジュール構成

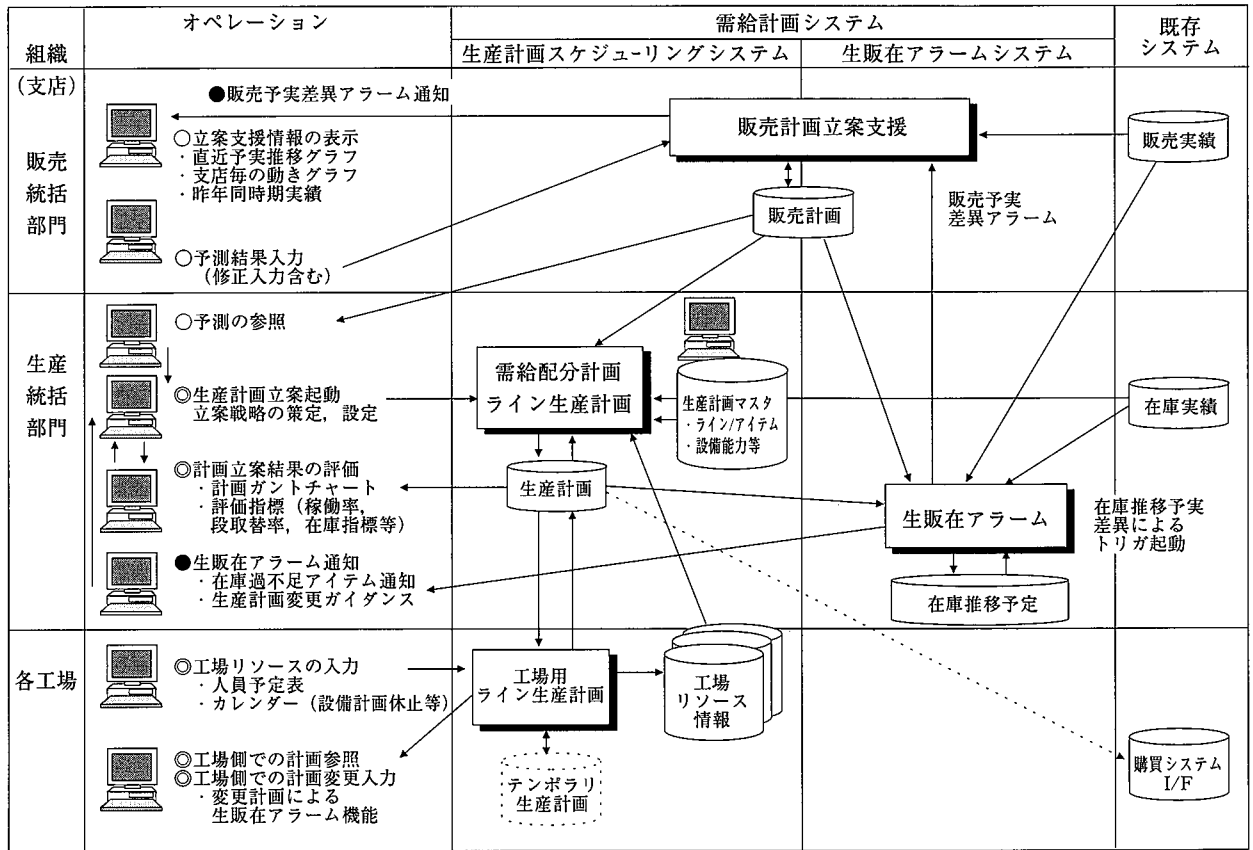
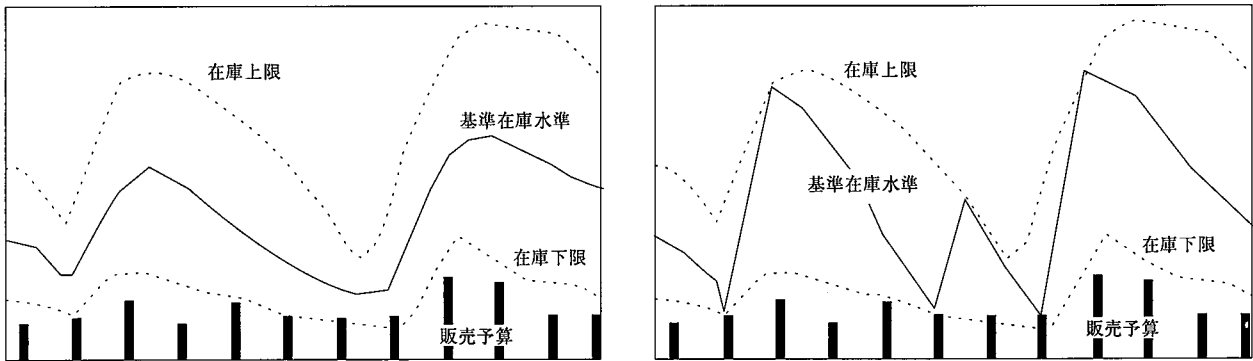


図3 需給計画システムの運用フロー



所要量計算パターン例1：  
出荷予算で出しつつ、在庫上下限の中間レベルを維持するための日々の生産量を所要量とする。

所要量計算パターン例2：  
出荷予算で出しつつ、在庫下限に達したら上限まで在庫を回復するための日々の生産量を所要量とする。

図4 所要量計算パターン例

ン毎の可能勤務形態(時間), (5)工場毎の人員数, (6)ライン毎勤務体制毎の所要人員であり, これらは事前にマスタ定義された条件値を用いる。また, 戦略条件として, 同じくマスタ設定する(1)工場毎の戦略(大量生産工場, 需要変動対応工場等), (2)カテゴリ毎の戦略(主に製造後の納入期限から定まる)に加えて, (3)立案の都度設定する戦略(生産性重視, 勤務形態平準化)を設定可能である。

### 3.2.3 需給配分計画立案エンジン

アイテム毎の需要軸とライン毎の供給軸のマトリクスのセルに上記制約条件を満たした供給量を割り振り, 需要軸側の合計が需要を満たし, その結果必要となる人員リソースを工場単位で集計した結果が工場人員を満たす解を導出する(図5参照)。この種の制約充足問題の解法として, LPに代表される古典的OR手法やAI或いはシミュレーテッドアニーリング法等が知られており, 人により評価は

様々である。

著者らは, 製鉄事業での過去の各種手法の適用事例とその成否等をも含め比較検討した結果, GA(Generic Algorithm: 遺伝的アルゴリズム)を立案エンジンとして採用することとし, 新日本製鐵エレクトロニクス・情報通信事業部システム研究開発センターが開発したGAライブラリを用いている。GAは生物の遺伝子交配に基づく進化説に着想を得た手法であり, 解を“遺伝子”として表現し解の交配を繰り返すことにより, 優勝劣敗の法則に従って解を進化させる仕掛けである(図6参照)。GAの特徴として, 解法の論理は不要で, 解の評価尺度を定義できれば後はシステムがより良い解に向けて進化させていく点にある。

GAを需給配分計画問題に適用する場合の問題は, 例えば1000アイテム×50ライン規模のマトリクスでは組み合わせの数が膨大とな

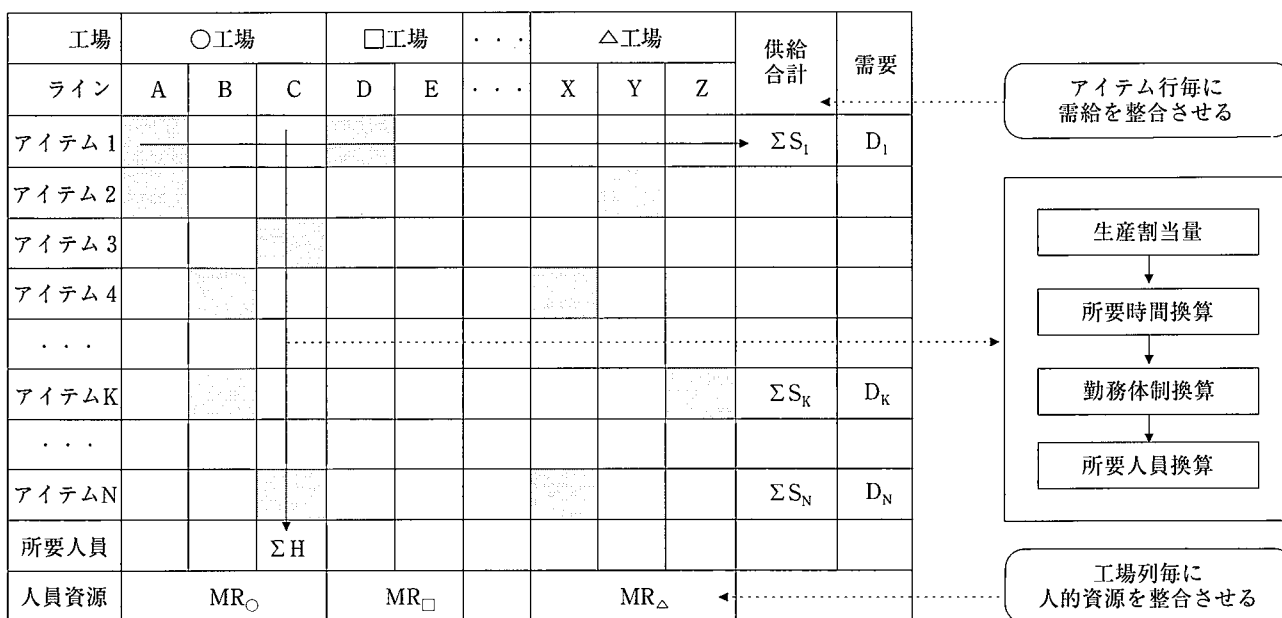


図5 需給配分問題の概念図

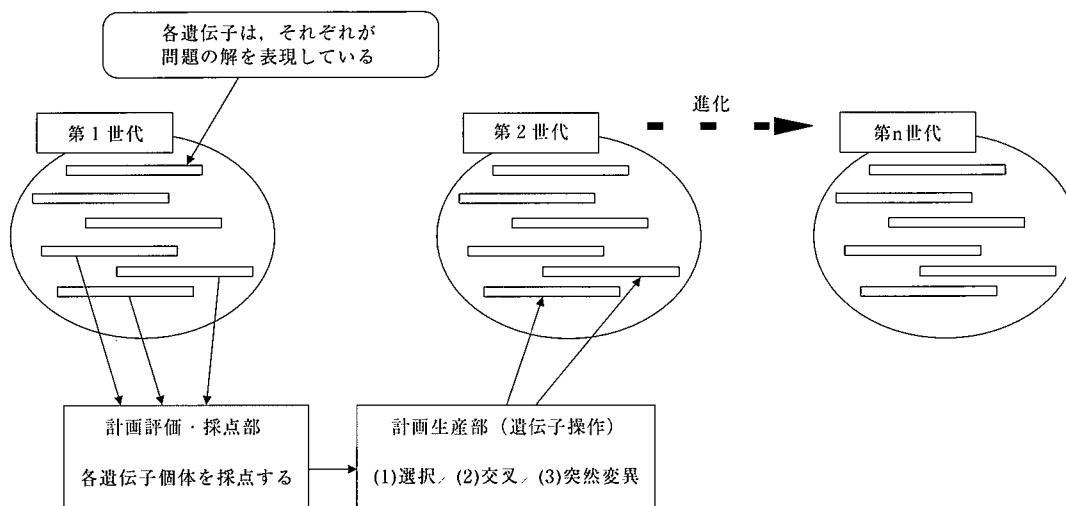


図6 GA(遺伝的アルゴリズム)の原理

り、実時間的な処理が不可能となる点である。そこで、まず“サブカテゴリ”の概念を導入して、上記制約条件が同一となるアイテムを一つに括る処理を施す。この結果、アイテムの軸は通常オーダー単位で減少する。例えば50×50のようなマトリクスに縮小可能である。この段階でも、まだGAに解導出を委ねることは実行時間的に困難である。次の着眼点は、50×50マトリクスも実際に割り付ける事ができるセルは経験的にその数割にも満たない、且つ、複数ラインで製造可能な“サブカテゴリ”は同じく経験的に半数はいかないという事実である。この事実を用いて、遺伝子構造を極力圧縮した後GAに処理を委ねる方式で解決を図っている。

### 3.3 ライン生産計画立案モジュール

需給配分計画結果のライン毎の所要量とライン毎の勤務体制を与件としてラインの日程計画を立案する。

1) ライン生産計画での勘案条件：所要量配分計画での制約条件、戦略条件に加えて、ここでは設備的な制約、前工程の制約等を加える。例えば、(1)アイテム投入順序や同日禁止条件、(2)ライン間の設備取り合い等による同時製造必須又は不可条件、(3)生産性を高める為の段取り時間最小化順序等を勘案する。

2) ライン生産計画エンジン：実時間的に解を導出するために、(1)探索型のアルゴリズムによって複数戦略指向の実行可能解を導出する、(2)これを“初期解”としてGAに渡し、GAで選択された戦略指向解への進化<sup>1)</sup>を図るとの2段階処理を行っている。

## 4. 需給計画システム開発方法論

最近、受発注管理、生産在庫管理等の業務系システムの分野においては、SAP、ORACLE<sup>2)</sup>アプリケーション等に代表される“統合基幹系パッケージ”が注目を集めている。これは、様々な業務形態を集大成したパッケージ化された業務モデルを、モジュール取捨選択或いはパラメータ選択することによりユーザの業務形態に適合させようとするものである。従来のスクラッチ型システムがビジネスの変革スピードに追いつかない問題に対峙する手段として注目されている。

<sup>1)</sup> 付与した評価基準“戦略”への合致度を尺度にGAをまわして、戦略に合う解を求めること。

<sup>2)</sup> ORACLEは、米国ORACLE Corporationの登録商標。

これに対して、需給計画の領域では、パッケージは商品化されていない。また、“統合基幹系パッケージ”においても対象外とされている。これは、“需給計画”業務が専門スタッフの頭の中での思考判断に多くを依存しており、受払処理的な単純な論理では実現できない点と、企業の販売体制、供給体制、商品戦略その他に密接に関わる個別要因が複雑にからみ、パッケージとして“集大成”化が困難な理由によるものと解釈できる。

しかしながら、従来型のスクラッチ方式で需給計画システムの構築に取り組む場合、“計画立案論理”の抽出と体系化及びその結果の論理の検証過程に多大な労力が必要となる事が知られている。また、この開発プロセスに不備があるとせっかくできあがったシステムを全て御破算にして再度構築し直した事例も少なからず存在すると聞く。

問題の本質は、需給計画立案者の業務が本人の頭の中での思考過程に多くを依存しており、明文化困難な直観的思考をも含めた処理をしていることにある。更に言えば、この思考過程を論理手続きとして表出する必要もなく業務を遂行しているため、SEに対して(表層的な事は説明できるとしても)説明し尽くすことも難しいことにある。

著者らは、この“知識獲得・検証”プロセスの効率化を目的として“テンプレートエンジン”による開発<sup>3</sup>手法を採用している。基本的な考えは、(1)実際の需要・供給側資源に対してシステムが出す答え(計画立案結果)で議論した方が効率的に知識獲得・検証が行える

点、(2)企業によって個別要件が違っていても、需要軸のアイテム行と供給軸の製造ライン及び人的所要資源列のマトリクスの行と列での整合性を図る基本的な考え方は変わらないことから、エンジンの“骨格部”はテンプレートとして再利用可能な点、(3)ライン計画においても、勤務体制を与件として需要と在庫水準を満たす考えは類似しており、制約条件的にも食品業では、主原料財源とラインの容器交換条件等骨格部は共有できるはず、の3点によるものである。

また、企業によって立案論理自体の多様性はあっても、データモデルや立案結果の様々な観点からの表示等、周辺部はテンプレートとして再利用可能なケースが比較的多いと判断している。

## 5. 結 言

食品製造業向け需給計画システムの要件と機能及び開発方法論を一般化したかたちで紹介した。

計画系のシステムでは、制約条件、目的関数といった要件を如何に正確に初期段階で抽出・体系化できるかが第一の鍵であり、次に重要なものが解法(キーテクノロジー)と言っても過言ではない。著者らは製鉄事業での経験をも踏まえ、GAの手法を計画立案エンジンに位置づけ開発手法を含めて差別化を図り、まずは、食品業界において橋頭堡を構築できたと考えている。今後は、食品業界への広範囲な展開を目指すとともに、他の製造業の計画問題への展開も視野にいれて事業推進していく所存である。

<sup>3</sup> 解法の骨格だけを持つ“テンプレート”で試み、その結果で目的的な肉付け(論理、条件付加)をしていく方法論。