

「IEとPFで明らかにする、肉の解凍工程のメカニズム」

学校法人産業能率大学 総合研究所
経営管理研究所 齋藤 義雄

●論旨

産業能率大学では、伝統的な管理技術（IE、QC、VE）の現代化アレンジを進めている。本稿ではIE（インダストリアル・エンジニアリング）について、企業での問題解決の取り組みに即した新しいアプローチのしかたを紹介する。

●はじめに

製造現場においては、日々改善活動に取り組み、品質の向上およびコストの削減を進めている。これまでQCやIEといった伝統的な管理技術を用いることによって、問題解決を図ることができた。しかし、近年では企業を取り巻く環境が厳しくなり、製造現場にはより高度な問題解決が求められてきている。

例えばIEの場合、従来は「運搬」や「停滞」といった付加価値のない工程に着眼し、改善のECRS（排除・結合・交換・簡素化）を適用して、生産性の向上を図っていた。ところが製造現場のレベルが上がることによって、付加価値のない工程は少なくなってしまった。そのため、付加価値のある「加工」工程にスポットが当てられるようになった。しかし、「加工」工程は製造現場にとってブラックボックスである場合が多く、これまであまり踏み込めていなかった。

そこで、本稿ではTRIZの技法をIE分析に組み込み、「加工」工程を詳しく調べることによって、効果的な問題解決を進めるアプローチを実践した。

<キーワード>

【IE(Industrial Engineering)】

・経営工学、管理工学と翻訳されることもあるが、”IE（アイ・イー）”とそのまま呼ばれることが多い。IEは、人、材料、設備などの総合的なシステムの問題を解決することで生産性の向上を図る技術であり、生産活動の現場において問題解決のための技法として広く用いられている。

【TRIZ】

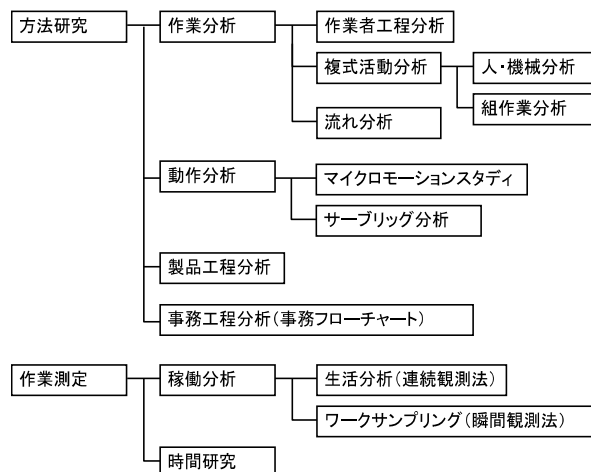
・現在までの技術者の経験と技術と製品の歴史から、多くの分野に共通する考え方と法則性を抽出して、具体的な問題を解決し課題を達成する独創的かつ実際的なアイデアを得るために応用する方法。

1. IE分析手法の限界

私は製造業向けの研修として、管理技術の中でもIEの指導を行っている。IEとは、一言で言うと「資源の有効活用のための管理技術」である。人の数を少なくする、材料のロス減らす、作業時間を短くする、情報の流れをシンプルにするなど、IEを通じて企業の改善活動を推進している。

IE研修では、受講者が座学で製品工程分析や時間研究などの分析手法を学んだ後、受講者自身の担当する現場を分析手法で調査し、問題点を特定して改善の方向を検討する。実際、管理技術（仕事を上手に進めるための技術）であるIEは、業種や業界を問わず適用が可能である。しかし、先日のIE研修で次のようなことが起こった。

図表-1 主なIE分析手法の体系



ある食品メーカーの研修において、「原料肉解凍処理工程の歩留り向上」というテーマに取り組む受講者がいた。原料の冷凍肉を水解凍し、硬骨などの異物をナイフで除去して後工程（冷凍食品の製造）へ渡す、という工程である。これを製品工程分析で示したのが図表－2である。なお、製品工程分析は物の立場で記述する。

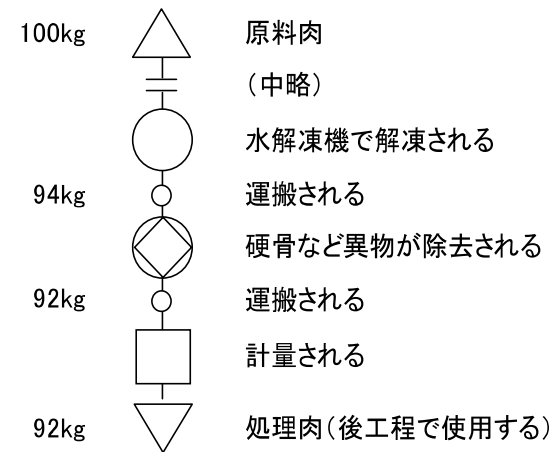
加工点ごとに肉の重量を測っていくと、肉の解凍工程において大きく重量が減っている（歩留りが6%低下している）ことが分かった。

IE分析手法による一般的な調査方法では、系統的に手法を適用して問題点を絞り込んでいく。例えば、製品工程分析によって異物の除去工程の歩留りが低下していることが分かったとき、なぜ歩留りが低いのかについて、次に除去工程の作業工程分析（除去の手順）や動作分析（ナイフの使い方）によって、人の行動を調べていくことになる。

しかし、肉の解凍工程の問題が特定されたとき、目で見て動きや変化が分からない解凍工程そのものを、IE分析手法でさらに踏み込んで分析することは難しい。

つまり、解凍という固有技術（業界や仕事固有の専門技術）を調べる分析手法の必要性が生じた。

図表－2 解凍処理工程の製品工程分析



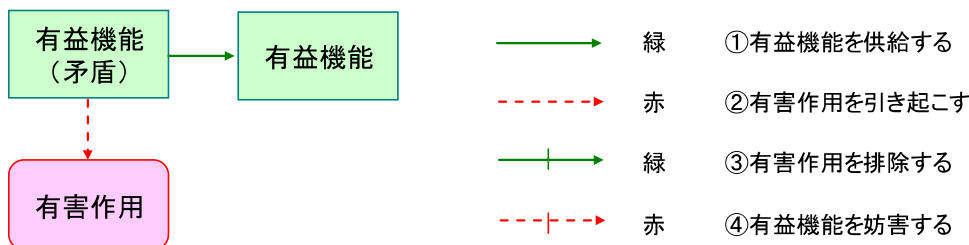
2. PF(プロブレム・フォーミュレーション)

解凍という固有技術を分析するためには、解凍の仕組みを記述するような分析手法が必要である。一般的には、連関図法および特性要因図など、原因を言葉で記述してその関係を表す手法がある。しかし、従来の方法では、すでに知っている知識や経験をもとに集団で議論するため、新しい原因にたどりつきにくく、また原因検討の漏れも生じることがある。

そこで解凍工程の検討には、PF(プロブレム・フォーミュレーション)という分析手法を利用した。PFは、現代版TRIZの技法の一つで、問題状況の見える化の手法とも言われている。PFは特性要因図や機能系統図を組み合わせたような分析手法であり、原因・結果や目的・手段の関係を同時に表現することができる。現状の機能をもとにして検討を進めるため、これまでの知識や経験に左右されず、また検討の漏れも防ぐことができる。さらに、TRIZには自然科学の法則をまとめた「イフェクツ」と呼ばれる事例集があり、PFとの親和性も高い。

PFは図表－3のように、2種類のボックスと4種類の矢印で構成されている。

図表－3 PFの構成要素(2種類のボックスと4種類の矢印)



ボックスは有益機能(緑)と有害作用(赤)の2つである。設計者の意図した機能を有益機能、意図しない不具合や副作用を有害作用として表す。また、有害作用は他の有益機能から生じることがあり、そこから有益機能に(問題解決のヒントとなる)矛盾を見つけることができる。

一方、矢印は4つである。①は目的・手段の関係を表し、有益機能どうしを結ぶことが多い。②は原因・結果の関係を表し、有益機能から有害作用、また有害作用からさらなる有害作用を発生させる状況を表現する。③は抑制の関係を表し、有害作用を他の有益機能で防ぐ構造を表現する。最後に④は妨害の関係を表し、有益機能を他の有害作用が妨げている構造を表現する。

以上の記号（ボックスおよび矢印）を使うことにより、PFで問題状況を表現して、ボックスごとに分けて解決の方向性を検討する。なお、分析にあたっては、工程全体の概要を表現する「マスターPF」、および工程の部分の詳細を表現する「フォーカストPF」を作成する。

3. 肉の解凍メカニズムを明らかにする

PFで肉の解凍の問題状況を表現する。PFを描くときには、まずボックスを上げる必要がある。そのために製品工程分析の結果から、図表-4のような工程分析による機能抽出表を用いて、工程別に有益機能と有害作用を出していく。有益機能は、各工程での目的や手段を挙げる。

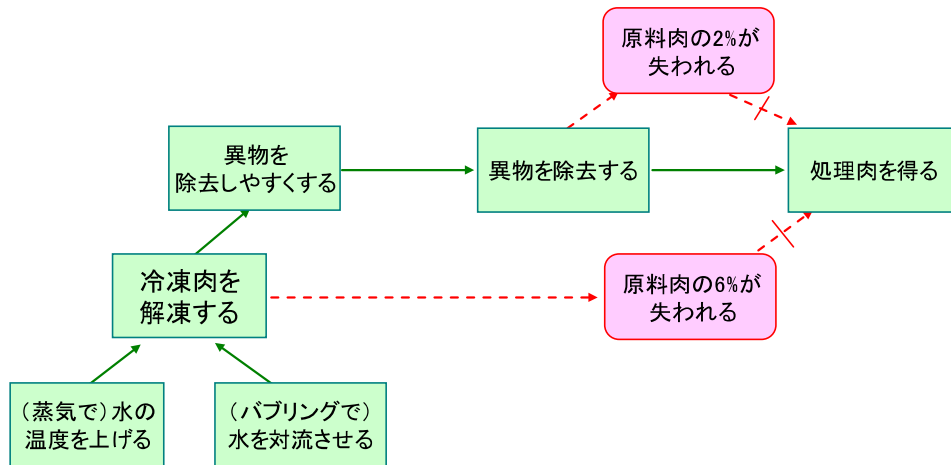
図表-4 工程分析による機能抽出

工程分析による機能抽出表

改善活動のテーマ		原料肉解凍処理工程の歩留り向上			
定量情報	記号	内容	有益機能	有害作用	備考
100kg	△	原料肉			・冷凍肉 ・10kg毎袋詰め
	○	水解凍機で解凍される	・冷凍肉を解凍する ・(蒸気で)水の温度を上げる ・(バフリングで)水を対流させる ・異物を除去しやすくする	・原料肉の6%が失われる	<現状> ・設定温度:20℃ ・解凍時間:1時間
94kg	○	運搬される			
	◊	硬骨など異物が除去される	・異物を除去する	・原料肉の2%が失われる	
92kg	○	運搬される			
	□	計量される			
92kg	▽	処理肉 (後工程で使用する)	・処理肉を得る		<条件> ・異物がない ・カットのしやすい 柔らかさ

ボックスの要素が出揃った状態で、それらを矢印で組み合わせ、マスターPF（図表-5）を作る。目的・手段関係で解凍処理工程を表すため、時系列で示した製品工程分析とは表現が異なることに注意する。

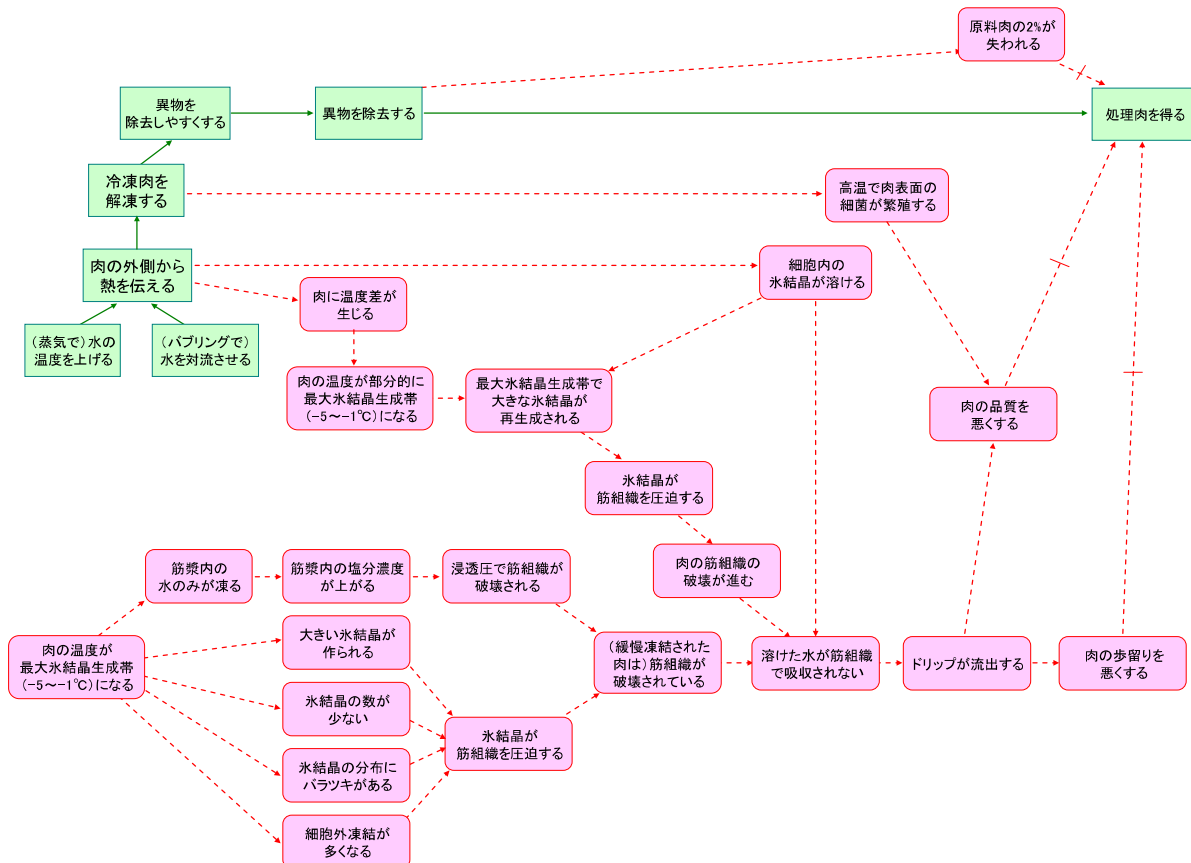
図表-5 肉の解凍のマスターPF



一連の工程では、「処理肉を得る」ことが目的となっている。それを右側に置き、有益機能のボックスの連鎖によって、目的・手段関係を整理する。また、「冷凍肉を解凍する」および「異物を除去する」の手段からは、原料肉の歩留りが低下しているという有害作用のボックスが導かれる。この有害作用によって、一連の工程の目的である「処理肉を得る」ことを妨げている。

次に、マスターPFから目に見えない詳しいメカニズムを表したい箇所を特定する。製品工程分析(図表-2)より解凍工程へ問題を絞り込んだことから、マスターPF上で該当する「冷凍肉を解凍する」から「原料肉の6%が失われる」の間を詳しく分析する。そのために、フォーカストPF(図表-6)を作成する。

図表-6 肉の解凍のフォーカストPF



フォーカストPFでは、TRIZのイフェクツも活用しながら化学や物理学などの原理を調査して、マスターPFに追記していく形で分析を行う。肉の解凍の例では、解凍工程で歩留りを下げている原因は、肉汁などがドリップとして流出したためである。解凍によって溶け出した水分が、肉の筋組織で吸収されないときに、ドリップとして流れ出てしまう。

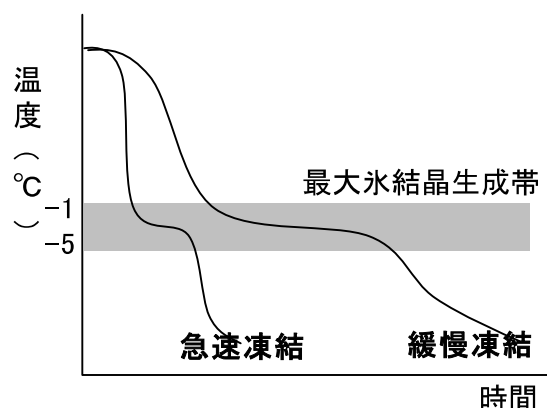
なお、解凍工程における重要な原理は、最大氷結晶生成帯に関するものである。温度が $-5\sim-1^{\circ}\text{C}$ のときに、細胞内の水分が大きな氷の結晶となり、筋組織を圧迫し破壊してしまうという現象が起こる。これは冷凍する場合にもあてはまる。通常は急速凍結によって、最大氷結晶生成帯を素早く通過できるような温度管理の方法をとることが多い（図表-7）。

したがって、仮に冷凍の際に、最大氷結晶生成帯で時間を要した緩慢凍結を行った場合、解凍の際のドリップが多く流出してしまうことになる。これが歩留り低下の大きな原因の一つとなっている。

一方、解凍においては、水解凍という方法で肉の外側から熱を伝えている。そのため、肉内部に温度差が生じ、溶けた水分が最大氷結晶生成帯（ $-5\sim-1^{\circ}\text{C}$ ）によって、大きな氷結晶として再生成されてしまう。したがって、冷凍時と同様に氷結晶が筋組織を破壊して、ドリップ流出の原因となる。

以上のことから、最大氷結晶生成帯を意識した温度管理を行うことが、解決の方向性となる。この後のプロセスとしては、具体的に温度管理の方法についてアイデアを出していく。そのとき、フォーカストPFで示唆していることは、高温による細菌の繁殖に起因する肉の品質低下であり、解凍温度の上げ過ぎや時間のかけ過ぎには注意が必要である。

図表-7 凍結曲線



4. まとめ

「原料肉解凍処理工程の歩留り向上」という改善活動のテーマに対して、以下のように問題解決を進めた。

- ・製品工程分析を用いて、工程ごとの歩留りを調査し、解凍工程に問題の的を絞った。
- ・工程分析による機能抽出表を作成し、有益機能と有害作用を挙げた。
- ・有益機能と有害作用のボックスを使い、マスターPFを作成した。
- ・解凍工程と歩留り悪化の因果関係をフォーカストPFに表した。
- ・フォーカストPFから、問題解決の方向性を絞り込んだ。

以上のように、従来のIE分析手法に加えてPFを用いることで、勘と経験に頼らずに問題解決を図ることができる。また、IEが扱えなかった解凍工程のような固有技術に関する問題解決も行うことが可能になる。

<参考文献>

- 1) 鈴木 徹 著：『食品と開発』Vol.49 No.8 「食品の凍結・貯蔵と解凍における品質保持技術の最新動向」UBMメディア