

展望

1 公開月例研究会講演記録〈第 293 回〉(2017.11.10) 13

公開月例研究会講演記録〈第 292 回〉(2017.9.2) 2

産研だより

34

公開月例研究会講演記録〈第 292 回 (2017.9.2)〉

平成 27 年～28 年度産業経営研究所プロジェクト研究報告 ビッグデータ時代のポスト ERP/SCM 化法の研究

日本大学経済学部教授

大場 允 晶

日本工業大学准教授

丸山 友希夫

日本大学経済学部准教授

大槻 明

日本フィルコン株式会社主任

林 千 宏

青山学院大学経営学部准教授

中 邨 良 樹

「ビッグデータ時代のポスト ERP / SCM 化法 の研究」

研究代表者 大場 允 晶

日本大学経済学部産業経営研究所の産業経営プロジェクト共同研究の報告会を行ないたいと思います。

テーマは「ビッグデータ時代のポスト ERP / SCM 化法の研究」です。

この研究の背景として、まず情報技術の飛躍的發展によるビッグデータの活用が挙げられます。ERP によって、企業活動を一元的なデジタルデータとして収集し、企業内のデータ一元化による企業内全体最適化がだんだんと目指せるようになってきました。また、情報システムのリアルタイム連携と統合、そしてビッグデータを処理できる環境から、3 DP と言われる 3 次元データの処理が可能になってきました。このようなことから、設計情報から最終製品を一気につくる 3 DP の生産、あるいは企業間の物量データに対する全体最適化などが課題となってきています。

一方、サプライ・チェーン・マネジメントの目

的にも変化が起きています。たとえば、標準化された製品の在庫圧縮は在庫の持つ需要変動吸収のバッファ機能を低下させることが多く、欠品発生リスクも増大していることから、不確かなリードタイムの短縮によって、在庫圧縮と欠品リスク増大のトレードオフ関係をできるだけ軽減することも SCM の目的になってきています。需要変動リスクも流通サイドから製造サイドにだんだんシフトしてきた。また、月次生産計画から日次または週次の多頻度少量生産への転換や、調達納期の短縮、サプライチェーンに連なる全ての企業が生産計画サイクルや調達サイクルの短縮化によって、物量基準から時間基準に少しずつ変わってきているという方向もあります。また、多頻度化に対応できる企業体制への変革も求められています。

今回対象としたのはプラスチックワイヤー製造企業の A 社です。もちろん名前はあるのですが、原価などの機密データも扱ったために匿名にしています。A 社の課題は、在庫問題や需給管理の負荷問題など、販売と連動した需給調整の生産と販売をスムーズに、そしてスピーディーに連結し、統合管理する製販統合システムの基礎研究の必要

性が出てまいりました。特に量を中心とした管理から時間をベースとした管理への変換の問題で、将来対応として多大な手間のかかる人工工程を一気になくして、生産場所の制約を排除可能な3Dプリンターを利用した生産改革なども検討の視野に入ってまいりました。

本プロジェクトの研究目的ですが、一つは、企業の経営行動を Enterprise Modelingなどをベースに表現し、製造業のERP、SCMの内容を包含する経営工学の科学的・工学的な業績評価指標の研究開発をしようというものです。

新しい企業経営管理システムの構築に関する基礎的研究も併せて行ないたい。その意味で、企業経営管理システムをベースに、生産スケジューリング、在庫管理評価や設計情報の3次元情報等を使った新しい管理手法の構築・応用も考えています。

また、複雑化する製造環境に対応した戦略的なビジネス技術をポストERP/SCMに役立つ技術として再構築したい。ポストERP/SCMにおける現状、要件や課題について検討するとともに、プロセスモデルとデータモデルのサンドイッチ(プログレス・マトリクス)として活用する新しいロジックを提供することで、一般企業への応用発展の基礎を得たいと考えました。

研究方法ですが、最初にやったのは問題点の明確化です。協力企業A社の製品であるプラスチックワイヤー(PW)の論点を整理していく。PW製造の現行システム、SCMとその課題をまず明らかにしていきたい。

課題解決のための技術・理論の基礎研究としては、一つは製造工程とコスト構造の解析をする。基礎研究として、生産座席システムの適用や、発注関連データの解析、IDEF0を使ったアクティブコストモデリングを進めてみました。ERP/SCMの問題では、ポストERP/SCMの経営モデルの構築を考えました。データ解析では、この経営モデルをベースに、協力企業から受けた実データ構造を利用して、仕組みを考えていく。

PW製造の課題解決のアイデアとして、まず構想設計。それからポストERP/SCMの新しい仕組みによるリードタイム短縮とその評価をやっていく。また、新需要予測の仕組みを新たに検討して、生産座席システムと併せたシステムを構築し

ながら、SCMの特に在庫問題の解決を図っていききたい。さらに、3Dプリンターを導入した場合のリアルタイム3Dプリントシステムへの技術移管を想定した効果推定を行なうなどを研究方法として挙げました。

研究成果ですが、まず準備段階として、協力企業の製品(PW)をベースに、ポストERP/SCMの具体的な課題を明らかにし、整理をして、これを報告としました。

課題解決のための技術・理論の基礎研究として、近年特に盛んにデータとして出てきているビッグデータの基本的な解析方法、またPW製品データを対象とした発注数予測モデルの比較調査、見込み生産環境下での最適な座席枠設定に関する研究などを基礎研究としてまとめました。企業で行なっているスケジューリングの最適化や製造工程やサプライ・チェーン・マネジメントまで踏まえた統一的な評価が求められる在庫問題に対して、生産・在庫の双方を含めたコスト評価モデルを検討し、それを構築して、在庫管理の対応に対する経営の評価を明確にしました。

経営管理モデルの検討としては、一つは三次元データの処理の時代におけるビッグデータの利用による設計情報から一気通貫でモノづくりが進む高度な経営環境を支援して、プロセスモデルとデータモデルのサンドイッチ(プログレス・マトリクス)として活用する新しいロジックを組み込んだ経営評価モデルを構築しました。

また、複雑化する製造環境に対応した戦略的なビジネス技術をポストERP/SCMに役立つ技術として構築していくこともしました。

このような研究の結果、雑誌論文3件、学会発表9件ほどやっています。これらについてさらにまとめたものをきょうお話ししたいと思います。

「ビッグデータの基本的な解析方法」

丸山 友希夫

まず研究背景としてERPとSCMについて簡単にお話ししますと、ERPは企業資源を有効活用するための管理手法であり、SCMは調達から販売までの流れを効率化するための管理手法で、日本ではトヨタのかんばん方式がこれに当たります。

製造業部門の流れを見ていきますと、開発・企画部門から企画が上がり、設計部門で設計していく。その設計によって製造を行いますが、ここで物品の発注などがかわってきますので、SCMの管理はこの部門に当たります。そして品質管理を経て販売をする。各部門ではそれぞれ、企画書、設計図、工程表、販売リスト、配達リストなど、さまざまな情報・データが出てきますし、人件費、輸送費などもかわってきます。これらを全て管理するのがERPになると思います。

各部門から出るデータとか情報はデータベース化して企業で共有し、ビッグデータとして関係する部門のデータをお互いに取り出し、処理をし、いろいろ使うことができる仕組みが必要になってきます。

本日の私のテーマは「ビッグデータの基本的な解析方法」ですが、全体を管理するERPにおける経営管理としては、予算、購買、在庫、倉庫、販売、人材、営業、財務、マーケティング、顧客など、さまざまな管理があり、各管理からさまざまなデータや情報が出てくる。それを経営に活かすためにどのように使っていくか。たとえば在庫と倉庫は密接な関係にあって、在庫が増えれば倉庫に入れるけれども、どのタイミングで入れるかというときに、ビッグデータの解析が必要になる。ビッグデータの主な解析方法には、クロス集計分析、クラスター分析、決定木分析、因子分析、主成分分析、線形回帰分析、ロジスティック回帰分析、時系列分析、アソシエーション・バスケット分析などがあります。

今回一つの事例として紹介するのは、テーマは「心理的要因と昼食の満足度に関する研究」で、昼食の満足度の要因を導き出し、それが心理的要因と関係があるのかないのか明らかにしたいというのが研究の目的です。ここで使う手法はアンケート調査を行ない、アンケート調査の結果をビッグデータ解析方法の一つである因子分析を行なう。対象は大学生85名で、ビッグデータと言うには少人数過ぎるような気もしますが、今回の事例とします。

この事例がERP / SCM化法とどう関連するかというと、マーケティング管理、顧客管理に関連してくるのではないかと。人がどういうことで昼食に満足するかというのは、因子分析を使うと顧客

ニーズの傾向が見えてくるのではないかと。それは新規店舗展開のときの場所の選定につながっていく可能性がある。また、顧客のニーズが得られるということは、その後さらに発展させるために、在庫管理、購買管理、倉庫管理の情報として共有できるだろうし、それは食材の発注、食材の消費予測にもつながるのではないかと考えました。

解析の流れですが、アンケート調査は2種類で、一つは昼食の満足度について聞いています。もう一つの5因子性格検査短縮版というのは、心理学で使われている人の性格を判断するものです。この二つのアンケートによって、心理的要因と昼食の満足度の関係がどうなっているか見ていこうとしたわけです。

まず昼食の満足度についてのアンケートでは、「あなたは普段の昼食において、次の項目についてどれくらい重視しますか」という設問で、12の項目を挙げ、それぞれ四者択一方式で回答してもらいました。12の項目は安さ、接客態度、栄養バランス、素材の安全性、高級感、立地場所、品揃えの豊富さ、クーポン、ボリューム、周りの評判、店の雰囲気、ポイントカードで、それぞれ、「大変重視する」「まあまあ重視する」「あまり重視しない」「全く重視しない」の四つから選んでチェックする。これによって、昼食を食べたいと思ったとき、ほんと浮かぶ、つまりこういう昼食であればいいなという理想的な昼食の満足度が得られるのではないかと仮定しました。

次に、「あなたは学食での昼食について、次の項目についてどれくらい重視しますか」という設問で、同じ12の項目について四者択一方式で回答してもらおう。「学食で」と限定していますので、実際にいま使っているところですから、現実的な昼食の満足度が得られると仮定しました。この二つのアンケートによって、本当はこういう昼食をとって満足したいが、現実はどうなっているということが比較できると考えたわけです。

アンケート調査結果を因子分析して、満足する要因を推定する。多くの変量データに潜む共通因子を探る方法である因子分析をした結果、このようになりました。教科書通りに判定していきますと、累積寄与率が50%を超えたところで、固有値が1.0ある因子数3と推定しました。つまり、理想的な昼食の満足度には三つの要因がある。

その三つの要因に先ほどの12項目がどこに帰属するか分類すると、このような感じになります。重要度が高い順に因子1、因子2、因子3とすると、因子1に入る設問項目は素材の安全性、栄養バランス、立地場所です。以下、2、3はこのようになっています。

ここから、因子1、2、3がそれぞれどういう要因になるのか、直感で項目の中からキーワードをつけていく。今回の例では、因子1の素材の安全性、栄養バランス、立地場所は「自己欲求追求」と命名しました。つまり、自分がやりたいようにやりたいという因子だと考えたわけです。因子2はポイントカード、クーポン、安さですので、「価格」、因子3は「店舗環境」と命名しました。因子分析する人によってこの命名は変わってくると思いますが、理想的な昼食の満足度は、自分が食べたいものを食べたいというのが1番気になることで、2番目は価格、3番目に店舗環境が気になる。こういう結果が今回の事例では推定されました。

一方、学食という現実的な昼食の満足度についても同じように因子分析した結果、因子1は「コストパフォーマンス」、2が「立地場所」、3は「店舗環境」となりました。

二つのアンケートをまとめますと、理想的な昼食と現実的な昼食の満足要因はこのようになります。特に因子1に着目しますと、理想的には自己欲求追求で、自分が食べたいように食べたいけれども、現実的な学食ではコストパフォーマンスに重点を置いている。このような傾向は顧客のニーズとして、マーケティング管理とか顧客管理に利用できるのではないかと思います。

もちろんアンケート回答者全員が全部こういう傾向だとは限りません。そこで各回答者に因子得点を与えた結果がこのようになります。ただし、アンケート対象者85名の中で、現在の昼食に満足していると回答した36名に限って、因子1、2、3の得点を与えています。回答者1の人は因子1を一番重要だと言っている。回答者2は因子3、回答者3は因子1を重視している。

こういう見方をしますと、回答者1と3は因子1の「コストパフォーマンス」を重視し、回答者2は因子3の「店舗環境」を重視しており、因子得点を見ればどの因子を重要視しているかは人によって変わってくるのが分かります。また、回

答者1と3はどちらも「コストパフォーマンス」を重視しているけれども、その得点の値は違っていて、重視の度合いが異なることも分かります。

さらにこれらは心理的要因や人の性格と何か関連があるのではないかということで、5因子性格診断簡易版によるアンケート調査を実施しました。藤島寛さんたちによると、人の性格の本質は情動、活動、意志、関係、遊びの5因子に分かれていて、情動がないほうが情緒が安定しており、情動が多いほうが敏感であるなど、ここに書いてあるような特徴で人の性格を決めています。

ここで「情緒の安定した」というのは堅実であるとも言えますので、非情動性・現実性の強い性格の人はこういうものを好むのではないかという仮説を幾つか立てて、心理的要因と昼食の満足度と何か関係があるのではないかと見ましたが、今回の85名のアンケート調査の結果からは、残念ながら双方の関係は見出せませんでした。

しかし、心理的要因は何らか関係があるのではないか。このあたりの情報が得られれば、この人はリピートをするかな、一見さんで終わりがかなとか、顧客管理をするうえでも有用な関連性が見出せるのではないかと思いますので、今後も引き続き見ていきたいと考えています。

以上、ビッグデータの基本的な解析方法と事例紹介を中心にお話しさせていただきました。どうもありがとうございました。

「ワイヤー製品を対象とした発注数予測モデルの比較調査」

大 槻 明

先ほど林さんが話をされた座席枠システムの研究と直接絡まないかもしれませんが、A社のワイヤー製品を対象として、発注数の時系列データを使い、合計14種類の予測手法の比較調査を行なった結果について報告します。14種類の予測手法の中には、独自に考案したものも一つ入れております。また、比較調査の手法についても独自手法を考案したうえで比較調査を行いました。しかし、本報告は、新しいモデルを提案するのが主眼ではなく、今回対象としたワイヤー製品において最適な予測手法を、比較調査を通じて報告するこ

とが主でございます。そして、今回最適だと判断された予測手法を用いて座席枠システムを考えると、この感じにつながっていくのだと思われま

す。ここに、今回対象とするワイヤー製品の発注数上位5つの製品の時系列データを出しておりますが、横軸が年月で、縦軸が製品の発注数です。時系列データというのは、基本的に乱高下をしながら推移するのが一般的で、これをホワイトノイズと言いますが、その中でも、乱高下しながらも、上昇傾向にある、もしくは下降傾向にある、といったトレンド性を持っているものをトレンド型といい、例えば、夏だけ発注数が上がるとか周期性のあるものを周期性型と言います。これらは全て連続型と呼ばれる性質のものですが、一方で非連続型というのもありまして、完全に不規則に乱高下したり、0が混じっている間欠型などの間欠型、さらに周期性がある間欠周期性型など、時系列データといってもいろいろなものがあります。

この表は行が予測手法の一覧で、列が時系列データの種類になっています。それぞれ時系列データの種類によって適した予測手法が存在するため、まずは今回対象としている時系列データがどのような特徴であるのかを押さえないと、どの予測手法が適しているのかが分かりません。ゆえに、まずデータの特徴を押さえる必要があるということで、A社からいただいた発注データの特徴を調べてみました。

先ほど、林さんからご説明がありましたように、A社がワイヤー製品という部品のなものをお客様に納品し、この部品をお客様のマシンに組み込んで紙をつくる、という流れです。この表は実際にいただいた生データの一部を示していますが、まず納品した製品の情報がありまして、その製品がお客様のどのマシンに組み込まれたか、その製品はどのようなサイズなのか、また、お客様いつどのマシンにその製品を組み込み使用を開始し、そして終了したか、といったデータを提供いただきました。

これらのデータを単純に時系列にプロットしたものがこれです。横軸は年だけ表示されていますが、実際には月単位で設定しており、縦軸が発注数になっています。同じ一つの製品でも複数のお客様のマシンに納入されているケースがありましたが、そこを考えず、複数の納品先マシンを合算

した製品単位での発注数を表したグラフになっています。このプロット図を見ると、全てのデータの特徴は先ほど説明した非連続型の不規則型に該当することが分かりました。

ただ、今回は納品先マシンで分けずに製品単位で合算していますので非連続型になっていますが、縦軸を見ていただくと分かる通り、納品先マシンを合算しても多い月でも20~30の発注数ですので、もし製品単位で集計した場合は間欠型になると考えられます。月単位の発注数で見ると、10もいかないという感じになります。

さて、ここで今回の対象データをもとに、14個の予測手法モデルを比較して、一番適した予測手法を調査しました。比較実験のアウトラインについて説明します、まず学習期間と予測期間ですが、今回いただいたデータは2006年5月から2015年10月までのデータです。A社を含めてプロジェクトの皆さんでニーズを聞いた結果、学習期間は2年間、予測期間は1カ月ごとでやってほしいということでしたので、また、提供されたデータの期間は、2006年5月~2015年11月であるため、1つ目の予測は、学習期間が2006年5月~2008年4月の2年間で予測期間が2008年6月の1か月分、2つ目の予測は、学習期間が2006年6月~2008年5月の2年間で予測期間が2008年7月の1か月分、というように1か月ごとずらしながら、2015年11月まで予測を行う形で比較調査を行いました。

いま画面に出ているのが14種類の予測手法です。今回はRを用いて実装しましたので、Rの関数名が1列目、そして2列目が予測手法名となっています。一番下のカプラン・マイヤーというのが今回つくった独自手法で、納品先マシンにおける製品使用開始間隔にノンパラメトリック・カプラン・マイヤーを適用したモデルです。具体的には、生存時間分析を時系列分析にアレンジしています。今回の場合、納品先マシンにおけるワイヤー製品の使用開始から終了までのデータがありますので、この使用期間中を生存時間と考えて、製品が交換されるまでの時間を分析すると考えていただければ結構です。

生存時間分析をするためのインプットデータですが、他社製品を含めた製品リストと、その各製品の使用日数。また「打ち切り」データとなりま

す。打ち切りは、1が「打ち切りなし」、0が「打ち切りあり」と設定しています。通常で使用して交換時期を迎えたと考えられるものは打ち切りがなかった。それに対して、納品した製品に穴あきや欠落があったりして寿命よりも前に製品が交換された場合は打ち切りがあったと考える。この判断はA社の方にさせていただきました。

以上のインプットデータをそろえて生存時間分析をした結果、19ページのグラフのような段階関数として結果が出ます。横軸が使用日数で、縦軸が生存率です。たとえば100日の時点では、ローとアッパーが出ていますが、40%から90%の生存確率と理解できます。交換時期で考えると、40と90の逆ですから、100日経ったときにはこの製品の交換時期は10%から60%、150日経つとほぼ確実にこの製品は交換時期を迎える、という理解ができます。

これは通常の生存時間分析ですが、今回のデータ用にアレンジしたのが次のスライドで、使用日間隔から先ほどのモデルを作成しました。カレンダーラインが横軸ですが、黒が実際の発注あるいは使用開始で、たとえば3月に一つ使用開始があって、4月下旬まで使われた。二つ目4月の中旬、三つ目は4月の下旬から使用された。一つ目の使用開始と次の使用開始の間の使用間隔、この間は使用され続けていると考える。というのが使用開始間隔確率モデルです。

先ほど述べたインプットデータを使って、上位5製品それぞれに生存時間分析を行いました。これはトップ5のうちの一つの製品の例ですが、80%確率で見ると80日ぐらいでしたので、この製品ですと80日という日数が生存時間分析から導き出されます。いま開始がされていてまだ終わっていないものにその80日をそれぞれ加算して、10日使われていれば70日とか、使用終了日を予測します。使用終了日が分かれば、たとえば6月には幾つ発注するだろうとか予測が立てられますので、こういったかたちで発注予測をする、というモデルになります。

次に14種類の手法の予測精度を評価する手法についてですが、22ページは代表的な予測精度を評価手法です。上からMAPE、RMSE、MAE、MASEですが、たとえばMAEとRMSEは二乗してルート、つまり平方根取るか取らないかだけな

ので、今回はより差が明確に大きく出ると考えられる平均二乗誤差(RMSE)を採用しました。また、MASEは、Rの時系列分析パッケージであるフォアキャスト関数を使わないと算出できませんが、今回アレンジしたカプランモデルは、そもそもフォアキャストパッケージの関数を使っていないのでMASEでサブスコアが算出できないということで外しています。以上から、今回はMAPEとRMSEの二つを使って14種類の手法の予測精度を評価しました。

単純にこれら2つのスコアの平均値を見れば評価ができるのですが、これだと25ページに示したような問題が存在します。1列目の右が14種類の予測手法です。sesは単純指数平滑法、holt法とかarimaとか、いろいろあります。B列は1月ごとの時系列です。2015年2月、3月、4月と、毎月ごとに各手法のスコアを出している例です。

その平均値を見るだけでも比較ができますが、平均だけで見ると次のような問題が考えられます。このスライドは、予測手法1、2を比較したダミーのイメージですが、2017年1月から5月の予測誤差を並べています。手法1が2、2、2、2、5、手法2が3、3、3、2、2と、平均で見ると同じですが、標準偏差で見ると違いがあるということです。

標準偏差は分布の大体の幅が見れるもので、平均値が少なく、かつ標準偏差値も小さいものは、良いスコアが集中していると考えられますので、今回は平均と標準偏差の合成指標を考えました。

14種類の手法で予測したのが2008年6月から2015年11月まで1月ずつで予測しているので、数年分のスコアが毎月出ているということになります。その全スコアの平均値がave欄に出ています。同じく全スコアの標準偏差値がstdev欄に出ています。まず、これらの最大値を求めます。分母に当たるものですが、14種類の平均値の最大値、14の平均誤差の最大値をとっているわけです。

数式で書くと難しく見えますが、簡単に言うと、たとえばholt法の合成指標の求め方はholt法の平均誤差を全手法の平均の最大値で割っているというだけです。標準偏差も同様に求めて、これらを掛け合わせたものが合成指標になります。これ

が黄色いラインに出ています。

以上の内容をもとに、5製品で比較実験を行った結果がこちらです。表が小さくて恐縮ですが、RMSE、MAPEそれぞれ、誤差平均、誤差の標準偏差、これら2つのmax値、合成指標のerr indexというかたちで表示しています。

製品1で14種類の手法で一番よかったのは、RMSEもMAPEもともにcrostonです。製品2の場合は、RMSEでは単純平滑法(ses)、MAPEでは今回提案したカプランの応用モデルがよかったです。製品3はholt法とcroston。製品4はholt winters法とcroston。製品5はcrostonで、全体と通して一番スコアよかったのはcrostonだということが分かりました。

なぜこのような結果になったのかについて簡単に考察しています。このグラフは先ほど5製品で黄色く出た手法をプロットしたものです。横軸が時系列、縦軸が誤差平均。たとえば2008年10月、グレーが大きく外れていますが、これはholt winters法です。ここを見ると大きくオレンジが外していますが、これはholt法です。緑はカプラン法ですが、大きく外れている月が散見されます。つまり、指数平滑モデル以外は大きく外れている箇所が散見され、全体を通して見ると、他の手法よりも指数平滑法のほうがスコアがよかったということが考えられます。

指数平滑は直近のデータを重視した平均から予測を行なうモデルであり、ほかの手法と比べて大きく予測を外しをしているというケースが少ないため、トータルで見ると一番スコアがよかったということが考えられます。そして、crostonはゼロではないデータだけを取り出して指数平滑を行なうモデルですので、今回の比較ではcrostonが一番よかったという結果になりました。

以上をまとめますと、今回はワイヤー製品を対象として、14種類の予測手法を比較調査した結果、crostonが一番スコアがよかったです。今後、座席枠システムを考えるうえで、今回のデータであればcrostonを使う方向性がよいと考えられます。

今後の課題としては、今回カプランの応用モデルを考えましたけれども、モデルが単純すぎますので、分布の仮定を変えたりパラメーターを考えたりしてブラッシュアップして、既存のモデルに

負けられないものにしていきたいと考えております。

私からは以上です。

「プラスチックワイヤー企業を対象とした見込環境下での生産座席システムの基礎研究」

林 千 宏

この研究が対象としているプラスチックワイヤー企業Aというのは私の会社で、紙を漉く網をつくっています。(スライド2) 左上の写真は和紙を製造する際に使われる網ですが、これの工業的な大型プラスチック製ワイヤーをつくっています。下の写真は製織工程の一つで、左は当社の持っている織機というマシンです。この設備で、顧客のサイズに関係なく、大きな網を見込みでつくる。そして右の機械で顧客の使うサイズに1品1品カットイングして、テーラーメードで生産するという受注生産を行なっています。タイトルに「見込生産環境下での生産座席システムの研究」としましたのは、前半の見込生産製織工程をキーに、現在ここに生産座席枠システムを導入しておりますので、この点を今回研究し、深めていこうと考えた次第です。

「生産座席枠システム」とは、受注時に製造設備の使用日程や資財の使用予定などにオーダーを割り付け、顧客が要求する納期通りに生産する方式で、飛行機や新幹線の座席予約に似た考え方に基づく生産計画法です。

(スライド3) 生産座席枠システムのオーダー割付イメージですが、縦軸がマシンナンバー、横軸が日付で、空いている枠に生産計画を割り当てていく。このとき、1日当たりの座席数をどれだけに設定するかという座席枠設定が生産能力調整の役割を果たします。大き過ぎると遊休が発生しますし、少な過ぎると納期通りに物をつくれなとか欠品を生じたりしますので、いかに適切な座席枠設定を行なうかが大きな課題になります。

このシステムの特徴は製販協業による計画立案及び計画保証ができるということです。一般的には製造側がスケジューリングして、販売側は生産計画などあまり細かく見ていないのが普通ですが、生産座席枠システムでは操業状況を簡単に把

握できるので、ここに入れられれば納期通り守れるなどか、ここが空いているからここに入れようとか、そういった判断が販売側にも容易にできるわけです。

生産座席枠システムを見込生産環境に適用するに当たっての課題は、生産設備の稼働時間を増やしたり段取り替え等の非稼働時間を短くするというのが基本ですが、生産座席枠システムを用いることで、よりむだな時間を省き、効率的稼働に持っていく。そのためには製販双方で計画内容の考慮が必要で、生産座席枠システムの製販統合性に着目することになります。

見込需要への対応としては、従来方式では在庫に需要を引き当て、数量のみの管理がメインだったのですが、このシステムを用いることによって、座席に需要を引き当て、時間と量の計画がメインになり、未来在庫としてフィックスすることができ、計画変更が容易になり、変動に対する柔軟性が高いものとなりますので、この点でもこのシステムの適用が有益ではないかと考えています。

生産座席枠システムに関する従来の研究を見ますと、見込生産環境ではなく、受注生産や受注・見込複合生産環境を対象にしているものが多く、生産座席枠システム導入事例を挙げ、システム設計や制御方法に関する管理手法を提案している研究が見られました。

従来研究が提案する管理手法の例としては、手順3で決定した管理方針を満たすための政策変数の範囲を求め、この範囲の中で技術的・経済的な面において実現可能かどうかを検討し、意思決定を行なうというものでした。

そこで本研究では、現状、過不足のない座席枠設定が求められており、受注ではなく見込生産に適用するという点を勘案し、より定量的な評価を行なうことで具体的な管理手法の提案を実現したい。政策変数の範囲の中で技術的・経済的な面において可能なものという従来の考え方ではなく、定量的なアプローチで、見込生産環境において、評価指標を目標水準内に維持しつつ、関連コストを可能な限り低く抑えた座席枠設定方法を考えようというのが今回の研究目的でございます。

(スライド7) まず生産環境とモデルの定式化をいたします。前提条件ですが、I種類の見込品を対象として、需要量は確率変動し、日によって

独立すると設定しています。図のボトルネック工程を対象に座席枠システムを適用し、製品倉庫は十分なスペースがあるが、量によって保管料が増減する。つまり、在庫を持ち過ぎるとコストがかかると考えます。

(スライド8) 生産計画は、まず基準生産計画(座席枠設定)、次に各日生産能力設定、そしてオーダー割付と生産指示という流れになります。基準生産計画段階では、大枠1日当たりどれぐらい物をつくるか設定する。第t期のボトルネック工程の稼働可能時間を設定するのですが、これは需要予測に基づく所要加工量(1)と基準在庫に基づく補充分の所要加工量(2)に分けて、1と2を加算して求めるかたちで設定します。このとき、需要の変動に対してどのぐらい余力を持つかという能力余力パラメーター(ε)と、基準在庫をどれだけ持つかという基準在庫パラメーター(ϕ)、この二つの変数を管理可能変数として導入しております。 ε と ϕ を変更していきながら、効果的な座席枠設定を行なうことになるわけです。

次のステップは、基準生産計画で決定した稼働可能時間を各日に均等分配し、各日生産能力設定を行なう。そのうえで、フォアワード方式で各日末に到着したオーダーを順次割り付けていく。その日の座席枠に入り切らなかった分は翌日以降に繰り延べし、当日に空席がある場合は前日在庫と基準在庫から所要量を求め、各製品を比例分配して座席枠割付を確定し、生産指示を行なう。このステップをぐるぐる回してスケジューリングをしていくことになります。

(スライド11) これらをシミュレーション実験した結果、出てきた数値を評価していくわけですが、品切れ率と平均在庫率にそれぞれ係数を掛けて、品切れと在庫率のトレードオフ関係を一元で評価する在庫コスト(IC)という指標を用いております。たとえば ω は在庫保管料に対する品切れペナルティーコストの重みを表していますが、1品品切れしたことで大きなダメージを受ける環境もあれば、そこまでではない環境もあります。そのあたりをフレキシブルに再現できるように、このような評価指標を設定した次第です。

(スライド12) 数値実験ですが、実験条件はここに記載の通りです。シミュレーション期間600週で、先ほどの在庫コスト(IC)を最小にする能

力余力パラメーター ε と基準在庫パラメーター ϕ を製造環境条件ごとに探索していこうという実験です。

(スライド13) 実験結果ですが、図1では、能力余力のパラメーター、基準在庫のパラメーターを変更させていきますと、このようなカーブを描いております。縦軸は在庫のコストがどのように変化するか、 ω は品切れペナルティーコストの重みがどれだけあるかですが、右は11ですから、こちらのほうがペナルティーのウエートが重いことが分かります。CVは1日の需要量のばらつき、kは加工時間のばらつきを示す係数です。このように ω 、CV、kという製造環境を表す条件変数の違いによって、在庫コストがどのように動くか分かります。

(スライド14) 実験結果から、製造環境を表す条件変数 (ω , CV, k) の違いによって、在庫コスト (IC) を最小にする政策変数 (ε , ϕ) が異なることが明らかになりました。では製造環境を表す条件変数が与えられた際に在庫コスト (IC) を最小化する ε , ϕ について重回帰分析を用いることで推定できないかというのが次のステップになります。その際の目的変数はICを最小にする ε と ϕ 、説明変数は ω , CV, kです。

(スライド15) 重回帰分析の結果はこのようになっています。 ϕ よりも ε のほうが品切れ率 a に与える影響は高いことから、製造環境を表す条件変数を代入することで在庫コスト (IC) を最小にする ε , ϕ が推定可能であろうという結論に至った次第です。

(スライド16) これらを用いまして、新たな座席枠設定手法の提案をいたします。右上にあるのは従来研究が提案する管理手法ですが、手順1, 2は今回の研究と同じです。手順3からは違っておまして、今回の研究では、製造環境条件ごとにデータのサンプリングを行ない、ここで得たデータを使って重回帰分析を行なうことで、関連コスト指標を最小化する政策変数の推計式を求め、その推計式の決定係数を考慮して、推計された政策変数の採択・棄却の意思決定をする。このような手法を今回提案いたします。

従来の研究では「この範囲内で、技術的・経済的な面において実現可能であるかを検討して意思決定を行なう」という提案に対して、今回の提案

は実際の製造現場においてより具体的な政策変数が定量的に設定できる手法であり、この提案は実現場でより分かりやすく意思決定できる一助になり得ると考えております。

以上です。

「プラスチックワイヤー企業に3Dプリンタ技術導入の可能性の考察」

中 邨 良 樹

研究背景ですが、現在、3Dプリンタの登場で製造業に技術革新が起こる可能性が出てきたと言われています。GEは2020年までに飛行機の部品を3Dプリンタでつくると宣言し、「インダストリーインターネット」という方針でやっています。物と物をインターネットでつなぎ、情報を全て見える化して共有化し、それを原価管理や生産効率につなげようとする「IoT」の促進を国家レベルで進めています。アメリカ合衆国は、オバマ政権のときに3Dプリンタがイノベーションを起こさせる可能性があるということで、2013年に大きな予算をつけています。日本でも「産業競争力強化法案」において3Dプリンタ等の先端技術を導入した企業に減税や補助金で支援することを掲げています。このように国家レベルで3Dプリンタを普及させるという取り組みになっています。

3Dプリンタとは、コンピュータ上で描いた設計図をもとに、樹脂や粉末を積み重ねていって一体で造形する装置です。プラスチックを積み重ねて造形していくものです。5~6年前までは、まだまだ高価格のものであったが、いまは量販店で安く売っています。

3Dプリンタでは、自動車の部品、医療分野では歯とか心臓など、建築では3Dプリンタを使って家を建てる構想もあります。電気スタンドや机、椅子などは自分用にカスタマイズできるようになり、3Dプリンタの適用範囲は大きく広がっています。

3Dプリンタの研究は、2009年ぐらいからスタートしています。当初は印刷方法の可能性が中心だったのが、効率的なプリント方法の研究、2013年ごろになるとコスト評価の研究が始まりました。しかし、3Dプリンタ導入によるコスト

管理や経営管理に関する議論はなされていないです。そこで本研究では、コスト管理や経営管理の視点で、3Dプリンタ導入によってどのようなメリット、デメリットがあるのか、A社との共同研究をしてみたいです。

実在のプラスチックワイヤー（pw）企業を対象に、3Dプリンタを導入した場合のメリット、デメリットを明確にするというのが本研究プロジェクトの目的になっております。今日はその成果を報告しつつ、今後の展開について議論していこうと思っております。

pw企業のA社は業務用ワイヤーをつくっている会社で、プラスチックワイヤーは不純物を除去するための網で、網目の構造によって、コストや除去率が変わってきます。このワイヤーをつくるために最も時間がかかるのが織継加工で、1枚の大きなワイヤーのかたまりを織って手縫いする。人間がやっているのが3日から1週間かかり、当然人件費もかかる。最終製品はお客様の要望するサイズに切って納品するわけですから、むだも多く、歩留りも非常に低いという問題点があります。

このA社に3Dプリンタを入れた場合、全部機械がやりますので、時間もおカネもかからない。顧客の要望するサイズ通りに設計し、その通りにつくれれば、むだもなく、仕損じも起きないのではないか——という仮説をもとに研究を進めてまいりました。

最初に議論したのは、この企業に3Dプリンタを導入する場合、検討事項としてどのようなことが挙げられるかということです。3Dプリンタに生産を切り換えることによって、織継の人手工程をなくし、完全機械化が可能になる。設計通りつくれますから、ロスによる歩留りの問題も解消するのではないかと。現在は高価な機械ですが、需要が増えるに従って安くなるだろう。しかし、価格とワイヤーを売ったときの利益、収益構造がまだ見えてこない。コスト算出システムを明確につくれないといけなのではないか。コスト計算に関してはどのような方法で議論していくべきなのか、というようなことが検討事項になりました。

そこで本研究ではコスト算出システムを考えております。まずA社に3Dプリンタを導入した場合、コストがどのように変わってくるか計算す

るために、IDEF0とコストマトリックスという数式を設定してみました。IDEF0というのは、事業の仕組みをアクティビティ同士の関係で図解したものです。先ほど言いました加工1、加工2をそれぞれアクティビティという表現にして、それがどのような活動で、どういう入力項目、出力項目、費用、設備を使っているのか、ということを確認する手法です。

現状の工程で言うならば、加工1は原材料を調達してきて四角いものをつくる、加工2は織継、そして納品する。それぞれの活動をIDEF0で表現すると、このようなかたちになります。

3Dプリンタを導入するとどうなるかといいますと、原材料を調達するところは一緒ですが、3Dで一気に完成品をつくって納品ができる。つまり、加工1、2が1個にまとまるわけです。また、3Dプリンタでは設計をしないといけませんので、その設計を3DCADでやるのか、3DCGでやるのか、スキャナーでやるのか、いろいろな方法が今後議論できる。これによってコストも変わってくると、ということも明確になりました。

次に、アクティビティごとにどの程度のおカネがかかっているのかということで、コストマトリックスをつくりました。アクティビティごとにかかったコストがどのような材料とか時間でできているのか計算しています。そのときに、仕損じ率、1個当たりのコストや材料費、それぞれの量などを掛け合わせて、アクティビティのコストを計算するようなイメージです。一番左が総コストですが、それぞれのアクティビティから、この式を使って計算する。

サイズは100×200×500と非常に小さいものをイメージしていますが、小さいプラスチックワイヤーをつくる場合、A1では原材料どのような量のプラスチックが必要で、それぞれのアクティビティでどのくらいのおカネがかかるか計算しています。A1の中にも四つぐらいの工程がありまして、それぞれ細かく分析することができて、それぞれの加工においてコストが計算できるようになっています。A3が加工2で、ワイヤーを織継ぐところのコスト構造になっています。このように1個1個計算できますよということです。

3Dプリンタを導入した場合のアクティビ

ティコストとしては、設計にかかわるコストとプリンティングのコスト。プリンティングのコストはプリントする時間と原材料によってコスト構造は変わってきます。そして配送のコストになります。

このような形でアクティビティごとにコスト計算をしますので、サイズの大きさによって、どのように印刷時間とかコストが変わっていくのか、シミュレーションできるようになっています。サイズが大きくなればなるほど、人が織継ぐ時間がかかりますので、当然時間とコストが増えていきます。これが従来の人間が織継ぐ場合のコストです。それに対して3Dプリンタを使った場合は、プリント時間が延びるだけなので、増えはするけれども、増え幅はある程度一定の増加率になっている。損益分岐点のような点が見られて、あるサイズ以上は3Dプリンタのほうが効果があるのではないか。この表ではコストだけですが、時間についても同じようにつくれるようになっておりますので、これらをもとに議論できるようになると思います。

まだ基礎研究の段階ですが、見えてきた課題や検討事項も幾つかあります。ユーザーが希望する製品がカスタマイズできるという意味では、3Dプリンタは受注生産に向いている。ただし、見込生産にも対応できるためには、3Dプリンタを導入しても稼働率を加味したプリンティングのスケジュール管理が大事だということが分かってきました。どこにプリンタを置くかという納所については、工場の敷地のどこにでも配置できることは強みになっていくのではないかと考えています。

在庫については、加工1、加工2という途中工程が3Dプリンタの導入によってなくなることで、仕掛在庫がなくなる。その点からも、どうかたちでプリンティングのスケジュールを組んでいくかということが大事になってきますし、「空

き在庫」という言葉を遣って稼働率の増減を評価し、検討する。どこにプリンタが空いているかということを考えながらスケジューリングしていくことが大事だということです。

経営の観点では、ヒト・モノ・カネという経営資源配分のビジネスモデルが変わってくるのではない。いままで人がやっていた作業がなくなるので、その人たちをどう再配置していくのかというも見えてきた課題の一つです。

今後の取り組みとしては、コストだけではなく、納期・納所については座席システムなども取り入れながら検討していきたいと思っています。在庫に関しても、3Dプリンタが稼働していない部分はイコール空き在庫と考えられますので、稼働率をどうやって上げていくかということも考えていかなければいけない。

経営管理の視点では、プラスチックワイヤーをメーカーに売るのでなく貸し出して、IoTによるリアルタイムのデータを受けてpwを独自に交換する。これは現在、タイヤメーカーが目指している話で、タイヤはいままで消費者に売って終わりだった。これからはタイヤに情報をつけて、タイヤを売るのでなく走行距離によってサービスを展開するというものです。たとえば「これだけの走行距離なら、そろそろ交換時期ですよ」と交換する。それによって毎月平均的な収益を得ていくという考えです。プラスチックワイヤーも、ただ売らただけでなく、そういう経営管理の視点を入れていくことも大事になってくるのではないかと考えています。

このような議論は、3Dプリンタの能力の急速な発展とともに、サプライチェーンマネジメントの話なども一緒になってやっていかなければいけないのではないかと。この点は今後の取り組みとして考えていきたいと思っています。