

生産管理工学と学生教育

赤 木 文 男

要 旨

著者は40年間以上にわたり、大学において生産管理の教育を行ってきた。この報告では、その過程について述べる。生産管理の導入教育として、どのようなテーマを教えたらいいか。大学の学生にとってそのテーマは適切であるのか。教えてきたことは、工学的である。その内容は、高度情報化、そして国際化の影響を受けて、絶えず大きく変動してきた。さらに対象学生の基礎学力の低下による影響が甚大であった。包括的に、社会の中で企業の働きに占める生産管理の工学的役割を体系的に教えてきたが、1年間30週（90分/週）の課程で、取り組める内容を30年前の国立大学在職中に比べて5分の1程度に絞らざるを得なかった。

キーワード：社会・生産システム（Social and Production System）、損益分岐点分析（Break-even Point Analysis）、利息算（Interest Analysis）、作業研究（Work Study）、組立ライン編成（Assembly Line Balancing）

I はじめに

日本生産管理学会会長であり、関西学院大学商学部教授の福井先生から、先生ご退職記念論文集への寄稿を依頼された。福井先生とは日本生産管理学会の活動をともにしてきた。断ることはできないと、お引き受けしたものの、何を書いたらよいものか、半年以上にわたって悩んだ。そんな中、アメリカ大リーグにおけるイノベーションの系譜の先生のご著書（福井 2016/3/31）を恵贈された。メジャーリーグの発祥から、発展、充実を経て、現在の隆盛

に至る過程を調査・研究し、考察されたものであった。先生はご辞退されたが、日本生産管理学会の優秀学術著書として学会賞への推薦を行った。かつてその稿を温めておられるときに、福岡の地での研究会へ先生をお招きし、大リーグについての研究の一端をご講演頂いたこともあった。

2005年、筆者も1年間ケンタッキー州レキシントンにて、訪問研究員として研究生生活を送ったことがある。先立つ1985年オハイオ州シンシナティーでの経営工学関連の国際会議での組立ライン編成とセル生産システムについての研究発表(Akagi 1985)の折に、リバーフロントスタジアムにて、ドジャースとレッズの試合を観戦した。ピートローズが先発メンバーであった。さらに、その帰路、ニューヨークへ寄り、シェイスタジアムにてメッツの試合を見た。ラガーディア空港へ発着する飛行機が真上を飛んでいた。メッツの監督は、日本プロ野球の巨人でプレーしたジョンソンであった。そんな過去の良い経験があったので、アメリカ1年間留学のケンタッキー滞在中の当初に車でフリーウェイを飛ばして、シンシナティーを訪れたものである。ちょうど20年を経て、ひどく街の雰囲気が悪くなっており、愕然とした。高速道路が、素晴らしかった街並みをぶち抜いて走り抜ける都市の発展に大いに失望した。

ところで、著者は40年以上にわたり、大学において生産管理の教育研究を行ってきた。福井先生のご退職に際して今一度生産管理工学教育について、大学生への教育内容として、まず何を教え、どこまで教えたら良いのかを論じる。

生産管理というと一般的には経営学の一分野で、社会科学系の文系分野の学問である。生産管理の項目に、需要予測、工場レイアウト、資源配分、製品・サービスの設計、スケジューリングなどがあげられる。ただ、著者の所属は工学部であり、文系ではなく、実験で得た数値データに基づいて科学的に分析を行う生産管理工学、あるいは、よくIE(Industrial Engineering)と呼ばれた分野を学んできた。そして作業研究・時間研究、生産工程の設計・改善・効率向上を研究してきた。したがって教育内容もそういった工学系の

分野であった。

ところで、著者が大学へ助手として採用された1975年ごろから、大型計算機の利用が盛んになり、1985年ごろにはパーソナルコンピュータ（パソコン）が使用され始め、1995年には、パソコンが実際の業務使用に耐えるものとなり、その後は指数関数的に展開し、21世紀となり、IT（Information Technology）革命と呼ばれるほどの進化を遂げた。その上に、企業の国境を越えたビジネス展開が加速し、国際化の時代を迎えた。生産管理という教育を取り巻くそんな流れの中で、現在、筆者の所属する大学で、教育の対象である学生の質の程度はといえば、理系とはいえ数学の学力が格段に低い学生たちである。

そのため、90分×15週×2期の講義で教授する領域を基礎的なものへと絞ってきている。本報では、現在著者が大学2、3年生に講義し、学生実験における生産管理のテーマとして掲げている内容を報告して問題提起とし、後任の教員へ引き継いでいく一つの資料とする。

II 生産管理概論

生産という言葉を辞書で調べると、人類が自然物に加工して生活に役立つものを作り出すことといった解説がなされている。こういった場合の説明に対し、工学の分野では、Input/Output システムとしての要因分析が行われる。入力された材料に人が道具などを使用して加工し、価値を付加して、製品として出力することになる。詳細については第3図に後述している。

この生産の工程を効率的に行うために生産管理が必要となる。生産工程の分析に入る前に、生産システムを内包している社会経済の仕組みについての理解が必要不可欠である。これは、高等学校社会科現代社会において、企業の働きとして教育されている。

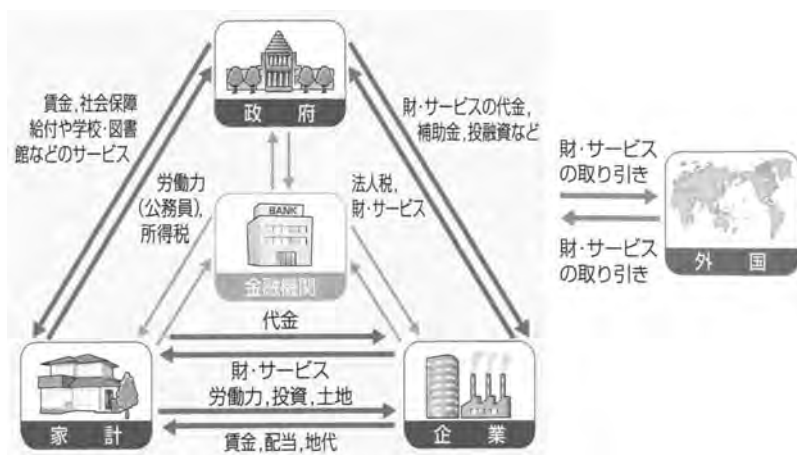
1. 社会システム

高等学校の教科の現代社会では、経済主体と経済活動のなかで、企業の働

きについて説明している。この企業の働きの根幹が生産活動である。

社会システムの概念図を高校教科書から引用して第1図に示した。わたしたちの毎日の生活は、おもに家計を中心に営まれている。家計は、企業などに労働力を提供して賃金・給与を得るか、あるいは事業を営むなどして、所得を得る。そしてその所得から消費や貯蓄をおこなう。企業は、家計から提供された労働力をもとに、財やサービスを生産し、その販売を通じて利益を得ようとする。政府は、家計や企業がおさめる税金をおもな財源にして、民間企業が提供できない財やサービス（公共財）を供給し、経済の安定や成長をはかる政策をおこなう。現代の経済は、この3つの経済主体の相互のやりとりのうえに、なりたっている。

第1図 経済の主体と経済循環（坂上ほか 2012, 77頁）



2. 生産管理の歴史

1764年の James Watt の蒸気機関の発明によるとされる動力革命、1776年に発表された Adam Smith の著書の国富論で述べる分業、そして1790年の Eli Whitney のマスキット銃における互換性部品の使用という標準化が18世紀後半に提案された。生産管理発展の転機となる三つの画期的な出来事であ

る。それぞれに西暦年をいれたが、そこへ至る時代の機運が徐々に醸成され、その後改善を重ねて充実してきた。これらによる改善は、専門化 (Specialization)、簡単化 (Simplification)、標準化 (Standardization) として、合理化の 3S として現代に続いている。

19世紀100年の間の各種工作機械の開発などの生産技術の進歩、発展、充実を経て、20世紀初頭、1911年の F. W. Taylor の著作、労働の科学的管理に代表される作業研究、時間研究が始まる。家内工業から工場生産へと移行し、大量雇用が始まるに伴い、作業者の労働に目が向けられ始めた。それが、生産管理とか IE (Industrial Engineering) の起源といわれる。F. Gilbreth などによる動作研究とか方法研究が活発に行われ、1912年には H. Gantt によるガントチャートとも呼ばれる日程計画・進捗管理のための棒状工程図などが発表された。それらは、H. Ford による自動車 T 型フォードの生産ラインとして生産現場での効率的な大量生産として結実する。また製品がベルトコンベアによって次から次へと運ばれてくる生産ラインに、歯車のように組み込まれた作業者に関し、人間工学とか産業心理学の問題が議論された。働きやすい職場とかやりがいのある職場などの研究である。

1935年、W. Shewhart らにより、実験計画法とか 3σ 管理図のような統計的品質管理が提案される。世界中が戦争に巻き込まれた第2次世界大戦のなかで学際的グループによる戦争の早期終結に向けた作戦研究から、戦後に OR (Operations Research) という学問が生まれ、経営に関わる問題を数学的に解決した。

そして、1950年以降の大型計算機の発達による経営科学の進展、それは、1977年の PC (Personal Computer) の開発、1995年の Windows 95 OS を搭載した PC の市場への供給によるパソコン元年の始まり、マルチメディア、インターネットコミュニケーションの高度情報化により、21世紀になって知識革命がなされつつある。

3. IT 革命

情報技術の進展が、生産を取り巻く状況に大きな影響を及ぼしてきた。当初は退屈な反復計算を行い、その高速化、続いてデータを記憶し、その大容量化、今や人工知能として判断・意思決定を行い、コンピュータは人間をしのご始めている。IT (Information Technology) 革命と呼ばれ、2000年ごろをIT バブルの時期と呼び、21世紀展望が期待されたが、数年で泡のようにはじけてしまった。IT バブルの崩壊である。しかし、情報技術の進歩は、インターネットと呼ばれる広域高速の情報通信網を得て、ICT (Information and Communication Technology) としてブレイクスルーした。そして、今、すべてのものをインターネットで結ぶ IoT (Internet of Things) が進んでいる。

情報の重要性を示す階層構造を第2図に示した。モノを記号化・数値化したデータを収集し、それらを処理して情報とし、それから判断して知識を得、知識を愛する哲学をもって活用する。

スマートフォン利用からの情報等に代表されるビッグデータの処理が注目されている。また、情報から得た知識を悪用した企業の不祥事がたびたび話題となっている。例えば、自動車業界における燃費データの問題である。企業倫理の観点から、哲学をもつての意思決定が望まれる。

(1) データのまとめ方

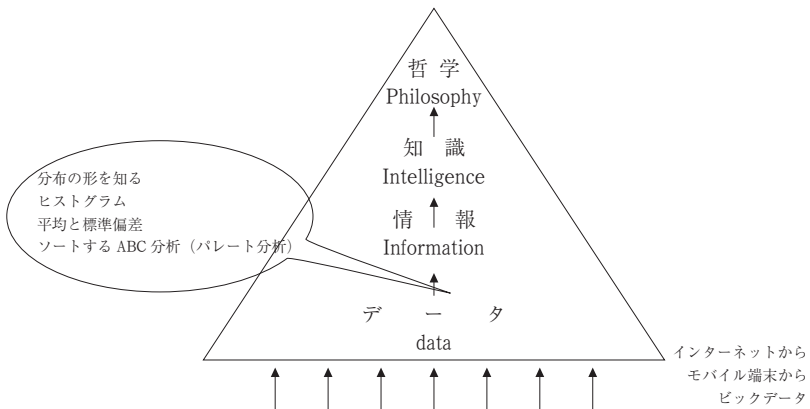
データをまとめて意味のあるものに変換するために、各種情報処理技術が駆使される。コンピュータの利用によって処理技術は格段に進歩した。パレート分析 (ABC 分析) はデータを大から小へ順に並べることによる。それだけのことで例えば利益に大きく貢献する数品目が判別できる。

一般的には、特性値の分布の形状を知るためにデータをまとめる。

①図的には、ヒストグラムを作成し、目で見た形状により、分布の傾向を把握する。

②数的には、平均と標準偏差を計算する。そして、分布の中心的傾向とその周りへのデータの散らばり具合について把握する。

第2図 データ活用のピラミッド



正規分布という確率統計の知識が必須である。平均値±標準偏差の間に68%のデータが出現する。例えば、洋服を大中小 LMS に三分するとき L サイズを16%、M サイズを68%、S サイズを16%の割合で生産することになる。

(2) PC の表計算ソフトによる経営分析

データの処理にコンピュータは欠かせない。かつて40年ほど以前の1975年ごろでは、FORTRAN とか BASIC、COBOL などのプログラミング言語でプログラムを作成し、情報処理を行っていた。現在では、Excel などの表計算ソフトによって簡単に複雑な処理まで行えるようになった。Excel では、統計、財務などの分野に分類された関数が多数揃っている。

(3) モデルによる問題の解決

モデルによる問題の解決が、科学的アプローチの基本である。現実を抽象化してモデルを作成し、モデルを操作して答えを得て、現実へ適用する。

小学生の時の算数で、問題が与えられるとそれをグラフにしたり、クレイモデルを作成したりして問題を理解し、グラフにして答えの見当を立て、数式を構築して解答を得た。経営に関わる問題でも同様である。生産システムの分析において、入出力に関する要因を挙げてブロックダイアグラムを作成し（第3図に後述）、それらの金銭的關係をグラフで示し（第4図に後述）、

そして数式モデルを作成して問題を解決する。

高度情報化の時代となり、モデルは CG (Computer Graphics) により図として、あるいは映像化され、コンピュータシミュレーションによって視覚的に最適解が類推される。ゲームが高度化しているし（経営もゲームであるといえなくもない）、映画なども CG にてリアルに制作されており、目を見張るものがあり、隔世の感がある。ディープラーニング（深層学習）と呼ばれる多量データからの解析能力により、人工知能が人間の知能を超えようとしている。

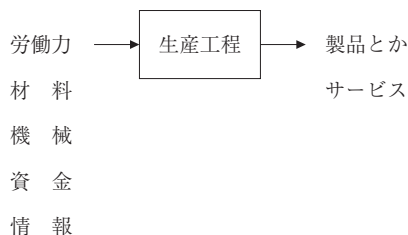
Ⅲ 生産システムの経済性分析

1. 生産システム

生産とは人類が道具とか機械設備を使用して自然物を加工し、生活に役立つものを作り出すことと辞書に記されている。

要因分析により、生産システムを入出力システム、すなわち I/O システムとしてとらえたブロックダイアグラムを第3図に示し、システムを構成する代表的要素を示した。

第3図 生産システム



(1) 入力 ヒト、モノ、カネが生産の3要素といわれる。その上に情報である。ヒトは労働力である。モノには直接に製品へと変換される材料と、変換するために使用される土地建物機械設備との2種類がある。消費財と生産財と区別される。これらは、カネがなければ揃えられない。そして情報は昔より必要で、狼煙、手旗などの手段であったが、この ICT の時代には、

インターネットを経由し、人工知能を使った有効な処理が欠かせない。

(2) 出力 製品とかサービスである。製品を販売すれば、その後のアフターサービスが必要となり、また、野球というゲームを見せるとしても入場記念にユニホームなどの製品を付加するように、両者は一体である。製品の品質とともに、サービスの良し悪しが出力の価値を決める。

(3) 生産工程 人が道具・機械設備を使用し、材料を加工して価値を与え、製品を生産し、サービスを供給する。製品を製造する工場であり、サービスを供給する病院とか野球場である。そこでの生産・供給作業は、効率的かつ合理的に行われるべきであり、Operations Research, Operations Management が為される。

2. 生産システムの経済性

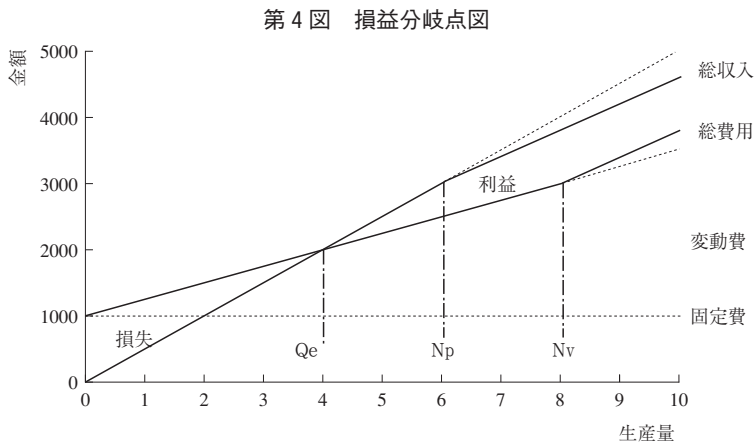
生産システムの入出力の要因、およびそれを扱うシステムの中心的仕事、すなわち生産のプロセスについて簡単に述べた。生産管理では、この生産プロセスをより効率的に行うように管理する。その成果は利潤の多寡である。自明のことではあるが、効率とは入力に対する出力の比率である。物理的にいえば、地球には重力があり、抵抗とかそれによる発熱などの各種損失により物理的効率は1以下である。ところが、顧客の好みに加わる経済的効率は1以上の大きな値を取り得る。むしろそうでなければビジネスは成立しないといえる。入力に関わる費用、すなわち労働者へ支払う賃金、材料の購入費、機械設備土地建物のリース料などと、出力の製品とかサービスの売り上げとの差が利益となる。生産性の向上はまさに利益の拡大を目指した活動である。この生産システムの経済性分析については、損益分岐点分析として、生産管理工学の主要部分を占めている。

(1) 損益分岐点分析

企業にとって投資した資本を回収することが当面の目標であるため、収入と費用が等しくなる点、損益分岐点を求める必要がある。このため使用する損益分岐点図は、生産販売量を横軸にとり、対応する収入と費用の金額をブ

ロットしたものである。

この問題を、 $y=ax+b$ の一次関数で簡単に捉える。費用線においては、 b は固定費、 a は変動費単価である。収入線においては、 a は製品単価であり、原点から伸びる直線となる。当然、 x は生産量あるいは販売量であり、 y は費用とか売り上げである。一例を第4図に示す。



(2) 資産の時間価値—金融工学

資金を投下して生産工程を設備して作業を行い、製品を生産・販売して利益を得る。その事業を評価するには、時間経過に伴って発生する収入と支出との関係を金銭という尺度で比較することになる。投下資金を何年で回収できるか、投資の利回りはどうか、あるいは投資による利益の総額はいくらになるかといった基準によって事業を比較し、評価する。

基礎となるのは利息算で、每期決済する等差数列の単利法と、利息が利息を生む等比数列の複利法がある。一般にはその都度に金を抜かない複利で計算する。Excel の関数も複利計算である。

次の記号を用いる。＝に続く記号は、表計算ソフト Excel の関数名である。

$P = PV$ (Present Value)	: 資産の現在価値 (元金、投下資本、借入金)
$R = PMT$ (PayMenT)	: 資産による毎期の収益 (定期支払額、年金)
$i = RATE$ (interest RATE)	: 利率 (年利率、月利など)
$n = NPER$ (Number of PERiods)	: 期間数 (年数、月数など)
$S = FV$ (Final Value)	: 将来価値 (終価、元利合計、残存価値)
$f = FLAG$: 支払期日 (期末の場合: 0、期首の場合: 1)

このとき、次の関係式となる。

$$P \times (1+i)^n + R \times (1+f \times i) \times \{(1+i)^n - 1\} / i + S = 0$$

たとえば、投資額と投資による各期の収益の合計と残存価値を合算すれば零となる。投資額 P は負債で負の値を取り、残存価値は資産を清算して価値が残ればプラスであるが、撤去費用などの負債が残ればマイナスである。

IV 生産工程設計

1. 基本的な生産方式と設備配置

生産工程の形態は、製品やサービスの種類、生産量などによってさまざまである。

生産量が少ない場合は、個別生産方式がとられ、製品を中心とした1か所ないし種類別の機械配置となり、注文に応じて生産する。生産量がある程度まとまってくるとロット生産方式がとられ、作業工程中心の種類別の機械配置となる。生産量が多くなると流れ生産方式がとられ、部品から製品への流れ中心の作業順序に従った機械配置となり、見込生産を行う。その他、石油化学製品のような化学プラントなどでの連続生産方式がある。この生産量による生産方式と設備配置を第1表に示す。

第 1 表 生産量による生産方式と設備配置

生産方式	機械設備の配置	生産量	生産着手の型	作る段取り	生産効率	車関連	食品関連	衣服関連
個別生産	製品中心、1 か所ないし機械の種類別	1 ないし少数	注文	ジョブショップスケジューリング	低い	F1 カー	アパートで作る鍋	オーダーメイドのスーツ
ロット生産	作業の工程中心、機械の種類別	中	注文または見込	フローショップスケジューリング	中	バス	学生食堂の定食	イージーオーダーのスーツ
流れ生産	作業の流れ中心、部品から製品への作業の流れに沿った機械配置	多数	見込	アセンブリーラインバランシング	高い	一般乗用車	行楽地向け弁当	吊るしのスーツ
連続生産	化学プラント	多量	見込	プロジェクトスケジューリング	高い	ガソリン	ビール	メリヤスの生地

2. 柔軟な生産方式

20世紀初頭から、他人が持っているものを自分も欲しいという画一的要求によって大量生産・大量消費の時代が幕開けし、生産効率は飛躍的に上昇した。例えば、高度経済成長へと進んだ第2次世界大戦後の日本において、1975年代頃の一般乗用車でいえば、トヨタのカローラ、日産のサニーなどを誰もが欲しがり、メーカーは見込みでどんどん同じものを生産して市場へ供給した。とにかく同じものを工場で製造して市場へ送り出すところてん式のPush生産であった。作り出されたものは同じようなもので、市場で必ず消費された。生産ラインは一車種に特化されて工程の効率化・省力化・自動化が図られ、トランスファーレイアウトとして無人化した生産ラインが構築された。

しかし最近では、一応の生活水準が満たされ、他人とは少しでも違うものが欲しいという需要の多様化が起こって多品種少量生産の必要性が生まれた。製品のライフサイクルも極めて短くなり、需要の多様化に対応できる機械設備の配置が模索されてきた。これらを総称してフレキシブル生産方式FMS (Flexible Manufacturing System) といい、配置をフレキシブル・レイアウトと呼んでいる。

グループ・テクノロジーという群分けの技術によって多種であっても、た

例えば製法上で類似したものをまとめて多量とし、一つの生産ラインで数種の製品を生産する混合生産ラインとか、中心として使用される機械をさながら細胞の核のように中央に据え、その周りに従属する種々の設備を配置したセル・レイアウトなどが工夫されてきた。顧客の好みはさらに多様化し、製品によってはカスタム化が一層激しくなり、生産方式は顧客の注文が確定してから最終製品の組立を行う BTO (Built To Order) 方式がとられている。これは市場の製品要求が工場の製品生産を引き起こすので Pull 生産と呼ばれる。

相撲の世界では Pull の引き技は厳禁で、Push の押しが奨励されるが、生産の世界では需要のない最終製品は使い回しようのない最悪の不良在庫となる。作れば売れた時代とは違って高度な経営判断が要求されている。

3. 高度情報化時代の生産方式

コンピュータの開発と発展により、CPU の高速化で計算処理する能力が革新し、メモリーの超巨大化で記憶処理能力が格段に進化した。その上にブロードバンドといわれる高速広域の通信網インターネットが普及し、情報伝達のコミュニケーション能力が高度化した。無線 LAN の Wi-Fi が広く普及し、至る所でインターネットに接続でき、小さな携帯端末からでもインターネット経由で大型のコンピュータシステムを利用できるユビキタス (Ubiquitous) 環境が整ってきた。時計とかメガネ、家庭用の電気製品などにも情報端末が組み込まれた何でもコンピュータの時代となっている。Pervasive Computing である。そして今、すべてのものがインターネットでつながれ (IoT)、生産管理されるようになりつつある。

生産工程は、ヒト、モノ、カネ、そして、製品とかサービスの具体的なもののやり取りであるが、それらのものを記号化した情報のやり取りとなって、生産活動の範囲が広く世界中に及び、やりとり時間も短縮している。次節では情報の観点から生産システムの生産方式について、持論を述べる。

4. 生産形態と方式に関する情報

生産工程の設計のためには、営業からの生産計画の情報と、生産技術部門からの作業についての情報を入力として工程設計を行い、生産工程の設計仕様を結果として出力する。

誰のために (Whom)、何を (What)、どれだけ (How many)、いつまでに (When)、だれが (Who)、どこで (Where)、どのように (How to) 作ることか、の情報が必要とされる。なぜ (Why) 生産活動を行うかについては、ここでは論外である。松下幸之助いわく企業は社会の公器である。

(1) 生産計画からの情報

製品とかサービスを生産し、供給して行くわけであるから、何を、どれだけ、いつまでに作ることか、の生産計画は、効率的な生産システムの運用のための重要な情報である。消費市場を調査して営業部門がその情報を与えてくれる。それに従って生産部門では、作業分析を行い、利用可能な機械設備とか割り当て可能な作業員数を考慮して生産工程の設計を行う。

単位期間あたりの生産量を、生産率 r という。生産の速度である。具体的には、日産量とか月産量がこれにあたる。生産率の逆数をサイクルタイム C といい、製品一個を作り出す時間間隔である。

このとき、 $C=1/r$ である。

また、利用可能な機械設備とか作業員の数である工程数 N が、生産率を決める一つの要因である。

例えば、北部九州で或る乗用車を月に2万台生産する。月に24日、1日2交替で14時間稼働するとして、 $24日 \times 14時間 \times 60分 = 20,160分/月$ である。よって1分に1台の割合で生産するので、サイクルタイムは、1分となる。

次項にて述べる情報から、この乗用車1台の組立に30時間=1,800分を要するとする。サイクルタイム1分なので1,800工程が必要となり、1工程に1人配置するとすれば、1,800人の労働者が必要となる。そして、乗用車の長さを考えて1工程5m占有とすると、 $1,800工程 \times 5m = 9,000m$ 、すなわち9kmの長さの組立ラインが必要となる。これを1直線に伸ばすのは却って

非効率であるので、U字とか多層階の組立ラインとするが、それでも長さ3km、幅1km程の工場用地が必要な計算となる。

(2) 作業についての情報

労働者が道具とか機械設備を使用し、材料を加工変換し、価値を付加して製品とかサービスを作り出し、供給する。この一連の作業について知らなければならない。このため作業研究とか時間研究が行われてきた。

作業を要素作業に区分し、要素作業間の順序関係を表示し、要素作業の時間研究、動作研究を行う。

作業を構成する要素作業とその作業所要時間値、要素作業間の先行関係(空間的条件)、作業遂行上の制約条件(分離と結合の要求)が必要な情報である。

1) 作業研究・時間研究

人事労務管理のための F. W. Taylor に始まる労働の科学的管理の方法論の提唱によって、作業の時間研究が学問として始まった。Taylor は作業者の作業を分析・測定して標準化し、1日の作業量を定め、課業とした。標準的な人が、標準的な方法で、標準的な速度で作業したときに要する所要時間を、標準時間と呼ぶ。この表現ではどう考えても工学的ではない曖昧な基準である。しかし、労使双方で測定分析したデータに基づいて納得し、この標準に基づいて作業を行い、標準に達しないものには標準に近づくように教育、指示して管理し、標準を超えて出来高の多いものにはそれに見合うより多くの報酬を与える。

これが IE (Industrial Engineering) 手法の始まりとされる。

(i) 作業区分法と作業順序図式表示

作業のやり方を調べる方法研究では、作業の区分法そして区分した作業順序の図式化を行う。

作業は、工程(10分単位)、単位作業(1分単位)、要素作業(0.1分単位)、動作(0.01分単位)、動素(0.001分単位)と細分化される。この分類は作業の種類によってそれぞれであろうが、最短の動素に関しては、ビデオ録画が、

1 秒に30コマであり、1 コマ0.03秒であるので、0.001分=0.06秒を動素とするのが頷ける。もっとも高速度カメラでは、1 秒に1,000コマとかを撮影している。

ところで組立作業とは、二つ以上の部品を一つに結合する作業である。そこには一定の結合方式がある。その代表は、なんといっても雄ねじと雌ねじのネジ結合、ボルト・ナットであり、組立・分解可能にて組立作業の主役であった。雌雄のネジは言い得て妙である。近年、人手を省いた自動組立によりネジ結合が少なくなった。この結合方式に基づいて作業を機能単位に区分し、それを要素作業に対応付ける。結合のための部品に着目した作業区分である。

こうして区分した要素作業間の順序関係については、次の通りの図がある。

- ①組立見取図：組立順序を誰が見てもわかるように、実態的に図で示したもの。
- ②作業先行図：作業を○で、順序関係を→で示したもの。
- ③アローダイアグラム：→で作業を、○に入れた番号で順序関係を示したもの。
- ④オペレーションプロセスチャート：▽貯蔵、○作業、□検査の記号を→で結び、作業の流れを表示し、それぞれにコメントを記載しているもの。
- ⑤フロープロセスチャート：○作業、→移動、□検査、D遅れ、▽貯蔵を表にし、作業工程を観測しながら、発生した作業を記して、チェックしたもの。

いまだに一般的によく使用されているのは店で買った製品に添付された組立見取図である。また、新聞紙面でサッカーの得点シーンを表現するために、オペレーションプロセスチャートもどきの図が使用されている。

(ii) 時間研究

作業にかかる時間を測定する。これには、実測法と計算法がある。

- ①実測法：ストップウォッチを使用して実際の作業を観測し、得られたデータから統計的处理によって作業に要する時間を推定する。ストップウォッチは情報化によりかなりの進化を遂げている。腕時計あるいはスマートフォン

の時計機能によってラップタイム、スプリットタイムが測定記録され、データファイルとして、あるいはプリンターにて出力される。さらにビデオ録画、スロー再生によって細かく解析される。大変に便利な時代となった。

さらにもう一つ、ワークサンプリングと呼ばれる方法がある。任意の時刻に作業状況を観測し、集計した比率から作業時間を求めるものである。最近では、工場のトップが気ままに工場内を見て回り、その観測結果から工場の稼働状況を判断している。

②計算法：過去の似たような作業の標準時間のデータから作業時間を推定する。新たな製品の価格とか納期の見積もりなどの段階で必要とされる方法である。

2) 動作研究

作業動作の研究は、PTS 法、サーブリグ法と呼ばれる微動作分析法とかビデオ録画を使用した分析によって昔から行われ、現在も進歩発展した情報機器を駆使して行われている。スポーツの世界で特に華やかである。録画した画像をスロー再生、コマ送りして動作のムダ、ムリ、ムラを削除するよう分析する。

(3) 生産工程の仕様—スペック (Specification)

作業分析による作業所要時間と生産計画からのサイクルタイムから工程数が決まる。各工程へ順に配分された要素作業の内訳けが、生産工程の仕様である。工程へ配分された要素作業時間値の合計が、工程時間であり、工程時間の最大値が生産ラインのサイクルタイムである。

生産工程の仕様を得るために、生産工程への作業配分と工程時間の均衡化を行う。互いに順序関係を有する要素作業を、直列した各工程へ、作業量がなるべく均一になるように配分する。

この生産形態は、1913年にフォードシステムとして自動車大量生産ラインへ流れ作業として適用された。そして、1955年になって、Salveson によって Assembly Line Balancing として経営科学上のひとつの問題として提起され、学会で議論された。その方法は、次の2段階で行う。山積みと山崩しで

ある。

1) 直列工程への作業配分 (山積み)

まず、順序関係、時間的制約、作業遂行上の制約条件に基づいて配分可能な作業を選出し、順に配分していく。その際、工程時間の上限 C_u を与える。この C_u は、各工程へ与える手持ち時間である。持ち時間であって、これに配分された作業が満たないと、その差が待ち時間となる。

C_u に最も近く、超えない範囲で、順序関係、制約条件に基づいて要素作業の一つを選び、最初の工程、あるいは最後の工程から順に一つずつ配分していく。

配分可能な要素作業の条件は、次の4つである。

- ①配分されずに残っている (要素作業は一度だけ配分)
- ②配分しても作業の順序関係を乱さない (空間的条件)
- ③配分しても工程時間の上限を超えない (時間的条件)
- ④工程の作業遂行上の条件を満たす (分離/結合の条件)

さらに、Heuristic 手法では、配分可能な作業が複数あった場合、分岐決定規則によってそのうちの一つを選んで、配分する。分岐決定規則には、最大候補規則、高先行度規則、ランダム法などがある。可能な配分のすべてを探索すれば計算に膨大な時間がかかるので、とられる手法である。

ところで、コンピュータの性能が格段に向上して深層学習などが可能となっている。すべての組合せを列挙して最適解を得ることも出来るだろうが、実際の生産現場では、作業者による作業時間のばらつきなどから、そのような必要性はないと考える。

2) 工程時間の均衡化 (山崩し)

実行可能な工程配分の結果が得られると、続いて工程時間の均衡化をはかる。サイクルタイムを固定して、工程数を減らすか、工程数を固定して、サイクルタイムを下げる手順を取る。

工程数は整数であるので、最小化は行いやすい。バランスロスタイムの合計がサイクルタイム未満であれば、それ以上、工程数は減らせない。そのう

えで、隘路工程から他の工程へ要素作業を移す山崩しを行う。

V おわりに

本報では、大学2、3年生への学生教育の見地から生産管理工学を1年間講義する際の主要なテーマについて述べた。地方私立大学学生の基礎学力低下から講義の内容を絞らざるを得ない実状がある。生産管理の歴史、経済の循環と生産の経済性、IT技術、生産工程の設計など必須である。

経済の循環は、アダムスミスによると見えざる手によって調整される。この度、敬愛する福井幸男先生ご退職記念の関西学院大学商学論究に執筆の機会を得た。ここまでのことは、著者にとってまさに神の見えざる手による導きであると深く感じ入る。

(筆者は福岡工業大学情報工学部教授)

引用・参考文献

- Akagi, F. et al. (1983), "A Method for Assembly Line Balancing with more than One Worker in Each Station," *International Journal of Production Research*, Vol. 21, No. 5, pp. 755-770.
- Akagi, F. (1985), "An Application of Cell Formation in Assembly System Design," *Proceedings of the 9th ICPR*, pp. 2364-2369.
- Salveson, M. E. (1955), "The Assembly Line Balancing Problem," *The Journal of Industrial Engineering*, Vol. 6, No. 3, pp. 18-25.
- Stevenson, W. J. (1993), *Production/Operations Management Fourth Edition*, Irwin, Boston.
- 赤木文男ほか (1981)『生産システム技法』共立出版。
- 赤木文男 (1994)『生産情報管理論』産図テキスト。
- 赤木文男ほか (2009)『現代生産管理—情報化・サービス化時代の生産管理』朝倉書店。
- 阪上順夫ほか10名 (2012)『高等学校改訂版現代社会』第一学習社。
- 福井幸男 (2016)『アメリカ大リーグにおけるイノベーションの系譜』関西学院大学出版会。