

流れをバランスする 直接流れ観察法

ゴールドドラフト コンサルティング ジャパン

尾関克己 飛田甲次郎 岸良裕司

要旨 本論文では、「数日間に生産能力を60%引き上げる」ことができた成果をもとに、「良い流れをつくる」ことを基本とした生産能力改善事例を紹介するとともにその骨格となった「直接流れ観察法」（以降：DFS（Direct Flow Study））[1]を提案するものである。それは、今日主流となっているIEの「直接時間観察法」（以降：DTS）の課題、すなわち「不確かな観測時間を、条件をつけて確かなものとして取り扱う」という適用限界を解決し、しかも極めて短期に実践的に生産能力を改善できる有用な観察法である。

1 はじめに

藤本隆宏東京大学教授は、「ハンディ付きの競争」と「ハンディなしの実力」という概念で現在の企業競争環境を説明し、そのハンディの代表的なものとして「為替」を取り上げている[2]。1985年のプラザ合意以来、このハンディは、マクロ的に見れば厳しくなることはあっても、今日まで一貫して緩むことはなかったといえる。

「ハンディなしの実力」では、新興国の数倍の生産性を誇り、圧倒的優位に立つ日本企業も、「ハンディ付きの

競争」では、残念ながら優位に立っているとは言えず、'80年代後半から海外進出を加速し、そのハンディの克服に努めてきた。そればかりか、海外においてさえも日本の生産現場同様に、改善活動を怠ることはなく、日夜ハンディの早期克服に邁進してきた。

しかしながら、こういった涙ぐましい改善努力にもかかわらず、経営的視点から見た目覚ましい成果が実態として出ていると言いはれない。なぜならば、「生産性が向上し大幅な人員削減が可能になった」、「セル生産の導入により工場スペースが半分になった」などの報告は数多いが、他方では、これら改善で磨き上げられた工場が、閉鎖あるいは海外EMSなどに売却されている事例が少なくないことも事実である。

2 問題提起

生産能力の算出に必要な標準時間を決めるには、DTSが簡便な方法として広く活用されている。DTSは、生産現場の作業工程ひとつひとつをストップウォッチなどで直接時間測定する方法である。DTSでは、一般に、正確さを期するために工程ごとに複数回測定し、その平均値を観測値としている。それ

にレイティングを掛けたものを正味時間とし、さらに（1+余裕率）を掛けて標準時間としている。最後に、稼働時間を標準時間で除すると生産能力を得ることができる。

$$\text{生産能力} = \text{稼働時間} \div [(\text{観測値} \times \text{レイティング}) \times (1 + \text{余裕率})]$$

なお、以降の議論では、十分習熟した作業で構成された生産ラインを対象とし、レイティングを100（正常速度）、余裕率を0とする。

さて、複数の工程で構成されている生産ラインにおける生産能力は、当然ながらもっとも作業時間の長い「制約工程」（以降：CCR（Capacity Constraint Resource））の制限を受けることになる。つまり、各工程がそれぞれの持ち時間を100%有効に生産に振り向けても、仕掛在庫が増えるか、または手待ちが増えるだけで、CCRの能力以上のアウトプットは出ないということである。図表1に、9つの工程からなる生産ラインのDTSチャートを示す。この生産ラインのCCRは第6工程の45秒である。したがって、1日の稼働時間を8時間としたときの生産能力は、8時間/日 ÷ 45秒/台 = 640台/日と求めることができる。

このデータは、筆者らが実際に工場現場を訪問し管理者から得たデータである。しかし、この生産ラインの生産能力は530台/日と設定されていた。この数値は、先に求めた生産能力に余裕率15%を乗じた数値にほぼ等しくなっている。

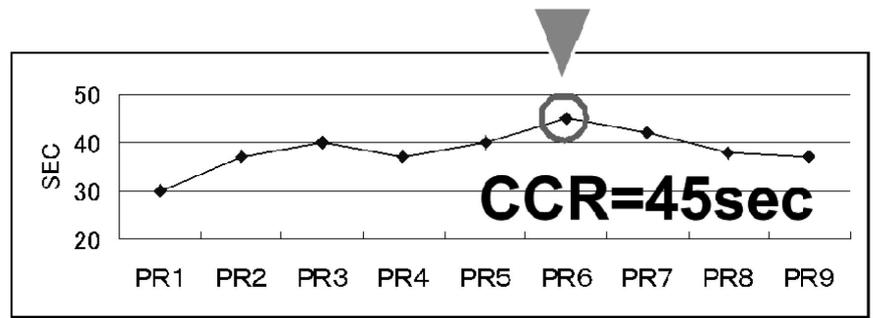
なぜ余裕率を15%みなければいけないのか、なぜ余裕率0の生産はできないのか、すなわち理論値と現実の生産能力の差異という問題について、以下の4つの視点から吟味してみたい。

3 生産現場における4つの問題

(1) 混流生産ラインにおける「変動性」について

流れ作業ラインとは、分業化された工程をコンベヤーや手渡しなど何らかの手段で結合して生産する方式のことで、一般に広く知られている。1900年代初頭に、Henry Fordらにより自動車の生産ラインとして実現され、少品種を大量に生産する環境下で優れた成果を上げた。このことにより、それまで1台1台手作りで生産するしかなかった自動車を、大量に生産し市場に安価に供給する、いわば「大量生産」という第1の壁を乗り越えることができた。現在においても、この生産方式が主流であることに変わりはない。

時代が移り顧客の自動車に対する嗜好が多様化すると、フォード式の流れ作業ラインは、「多品種少量生産」という第2の壁にぶつかる。というのも、自動車生産ラインでは、製品を切り替えるたびに段取りを替えるので、都度生産ラインを長い時間止めなくてはならず、生産性を大きく損なうからである。'50年代に、この第2の壁に果敢に挑戦したのが大野耐一氏で、「同じ流れ作業ラインで複数の製品を混在して生産する」ことができる混流生産ラインを提案して、ブレークスルーを成



図表1 DTSチャート

し遂げた。この混流生産ラインは、その後そして今もなお、世界の生産現場に大きなインパクトを与え続けていることは周知の事実である。

複数の製品を1本の実験ラインで流す混流生産ラインは、今日では一般消費財等を生産する工場でも当たり前になっている。一方で、市場競争の激化により、ますます短くなる製品ライフサイクルで、目まぐるしく売れ筋が変わるといふ、いわば「短い商品サイクル」という第3の壁が出現するなか、このような混流生産ラインの現場管理者は、「生産能力をどうやって設定すれば良いのか」という悩みを抱えることになる。何しろ、ある製品AでDTSによる観測結果をもとにラインをピカピカに磨き上げたとしても、その次には異なる製品Bを生産しなくてはならないのだから。

図表1のDTSのチャートを振り返りたい。製品が変われば、作業が変わり、作業時間も変わるはずである。つまりCCRは、製品が切り替わるたびに「製品Aでは工程2」「製品Bでは工程7」のように、生産ラインのなかを動き回っているはずである。特にこの現象は、IE技術者によって日々磨き続けられてきた現場で顕著となる。なぜなら、長年の改善でそれぞれの工程のタクトは、大差ないレベルにまでなっているのが通常だからである。もし常に生産能力を最大化しようと現場管理者が考えるならば、CCRの動きに合わ

せて、作業者の配置換えを行う、あるいは工程を変更しなければならないはずである。しかし、現実的にはそのようなことは行われていない。なぜならば、同じラインを使って生産される製品の種類は多いし、また製品のライフサイクルは、例えば一般消費財では数週間から6か月程度と短く、次々に生産能力の設定を行わなくてはならないというプレッシャーに押しつぶされそうになっているのが現実だからである。

すなわち、「混流生産ラインにおける生産能力は、対象製品群のなかで最も遅い生産工程に依存している」ということになる。

(2) 生産そのものにおける「不確実性」について

生産ラインを観察し続けると、同じ製品の生産であってもその速度が均一ではないことに気づく。訓練を受けた作業も時に間違いを起こしてやり直しをし、また、不良部品が混入し手間取ることもある。さらには生産設備が故障し、その復旧に時間を取られることも珍しくない。つまり通常の生産状態であっても、生産ラインは様々な外乱要因に影響を受け続けているということである[3]。これらのことが「現場は生き物である」と言われる証左ともいえる。

すなわち、「そもそも単一の製品の生産においても安定した生産は難しい」ということになる。

(3) 作業する「人のサガ」について

至極当たり前のことだが、作業は人によって行われる。パーキンソンの法則では「人は与えられた時間と予算をすべてつかってしまう」と言われている。流れ作業ラインにおいて、重視されているのは、当然ながらモノの流れである。隣の工程のスピードに知らず知らずのうちに作業スピードを合わせたり、または、ゆとりがあると、よかれと思って、次のモノがくるまで、何らかの準備作業を行ったりして、タクトをつい合わせてしまうことが、しばしば現場には見受けられる。いくら仕事を早く終えてもその事実は決して報告されることがない、という「早期完

了の未報告」は人のサガともいえる。

DTSでは、図表2に示すように、その工程の本来の作業ではない「ちょっとした外観検査」「ちょっとした手直し」「ちょっとした…」などの作業者自身も気づかない時間は、正確に正味の作業時間を測定したいという観察者の意図にも関わらず、図らずも測定時間のなかに潜んでしまうことが避けられない。すなわち、「人は与えられた時間と予算をすべてつかってしまう」というサガがあるので、正確な時間を測定するのは容易ではないことになる。

(4) 管理者の「ジレンマ」について

(1)~(3)で述べたように生産現場には、

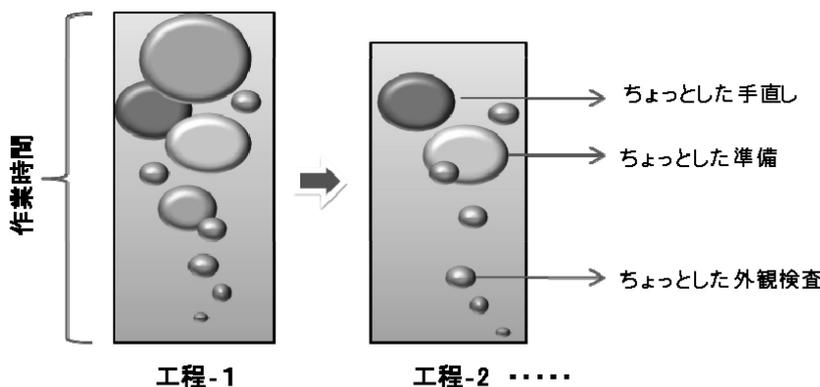
「変動性」「不確実性」そして「人のサガ」があいまって、多くの不確定な要素が存在している。その上に製品のライフサイクルは、数週間から最大でも6か月程度と短く、生産すべき製品が目まぐるしく「変化」する。そのような環境下にあっても、現場管理者には高い生産性と高い品質、そして納期を厳格に守り続けることが要求される。それら管理者のジレンマは、図表3のクラウド[4]で表すことができる。

図表3に示すように、優秀な工場であることは管理者の当然の目標である。そのためには上段で示すように、生産計画は必達であり、納期を100%守る必要がある。そのためには、不確定要素があっても納期を担保できるように、生産能力に余裕を持つべきだとプレッシャーを感じているはずである。

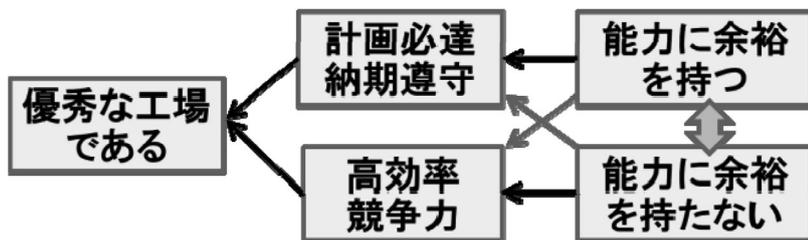
一方で、優秀な工場であるためには下段で示すように、高効率で高い競争力を維持し続ける必要がある。そのためには、生産能力に余裕を持つてはならないとプレッシャーを感じているはずである。

この逃げようのないジレンマに挟まれているのが管理者である。能力に余裕を持つ、持たない、の間で揺れ動くジレンマのなかで、不確定な要素の多い現場において、余裕をすべて取り去ることは「納期遵守」という顧客の重要な要望を脅かすことになる。したがって、不確定な要素へ対応する余裕を担保しながらも高い生産性を維持できるように、図表4のように若干の安全余裕を加味して、生産のキャパシティを計算し、生産管理をせざるを得なくなるのである。つまり、100%の稼働率は現実的に達成できないことを前提に、実用的な生産性を管理することになる。すなわち、「生産性の管理は、100%の稼働率は現実的に達成できないことを前提としている」ことになる。

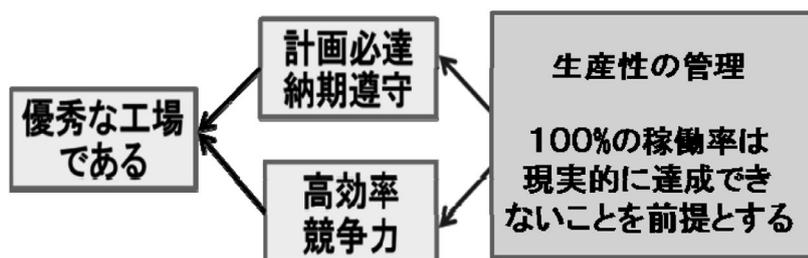
よかれの思いからくる作業者自身も気づかない「ちょっとした作業」



図表2 時間測定



図表3 管理者のジレンマのクラウド



図表4 現実的な生産性の管理

4 DFSによる実証実験

DTSの前提にあるのは、正しい時間が測定できるということである。しかし4つの視点から吟味してきたように、様々な商品が生産される混流ラインにおいて本当に正しい時間を測定するのは、ほとんど不可能なように思える。とはいえ、CCRを特定することは、生産能力の改善の糸口を掴むためになくはならない第一歩であり、以下に示すTOC (Theory Of Constraints) [5]の継続的改善の考え方「5つの集中のステップ」[6]でも明確に記されており、何らかの方法でCCRを見つけ出さなくてはならない。

【5つの集中のステップ (Five Focusing Steps)】

Step1. IDENTIFY the system's constraint(s)/システムの制約を見つける。

Step2. Decide how to EXPLOIT the system's constraint(s)/システムの制約を徹底活用する方法を決める。

Step3. SUBORDINATE everything else to the above decisions./制約にその他すべてを従属させる。

Step4. ELEVATE the system's constraint(s)/システムの制約の能力を高める。

Step5. Warning!!!! Do not allow INERTIA to become the system's constraint. When a constraint is broken, return to Step 1./警告！ 惰性がシステムの制約とならないようにすること。この制約が制約でなくなったら、ステップ1に戻る。

Step1 - 制約を見つける

そもそもCCRとは、連続した流れ作業ラインにおける最も遅い工程をさす。遅ければその工程の前には、上流工程から流れてきた製品が溜まるはずである。しかし、流れ作業ライン、特に長年現場の努力で磨き上げられた流れ作

業ラインでは、工程間に仕掛品が滞留していることはほとんど見られず、仕掛品が滞留しているのであれば、すぐに現場の生産技術者が解消のために手を打つのが通常である。こういったラインでは工程のCCRを仕掛品の観察から見つけることは極めて困難である。

とはいえ、こういった流れ作業ラインであっても、もし流れのバランスが悪ければ、工程内の仕掛品は滞留するはずである。ならば、CCRを見つけるのに、流れのバランスを直接調べてみれば良いということになる。つまり、流れのバランスを調べるために、「工程の途中に仕掛品を置けば、その上流と下流の流れのバランスを直接観察することができる」ということになる。

そこで筆者らは現場において工程間に1か所だけ、仕掛品(図表5の▲)を置く方法を現場管理者に提案し実行した。

このラインは左から右に製品が流れている。この▲ポイントに仕掛品が溜まっていくようなら、下流の工程グループにCCRが存在するといえる。逆にこの▲ポイントの仕掛品が消費されていくようなら、上流の工程グループにCCRが存在するといえる。このように、仕掛品を置いてその増減をみる方法を使えば、▲ポイントの上流または下流の、どちらのグループにCCRが存在するのかを特定することができ、それには10分とは掛からない。

次に図表6のように、CCRが存在すると特定したグループの任意の場所、例えば図表6の▲に、仕掛品を移してみる。1回目と同様のロジックで、もし一旦置かれた仕掛品が消費され、その後いつまでたっても仕掛品が溜まらないとするならば、2回目に分割された工程グループの上流の3工程のいずれかがCCRであると特定できる。

引き続き、図表7のように2回目

特定した3工程のいずれかに仕掛品を移してみる。この仕掛品が滞留により増えていけば、この仕掛品の下流の工程がCCRであると特定できる。

以上のように、10工程の生産ラインでも、わずか3回の試行によってCCRが特定できる。つまり、極めてシンプルに「仕掛品を置いて、その仕掛品の増減でバランスを見て、上流、下流のどちらのグループにCCRが属するかを判定する」ことを繰り返すという手法であるが、特段の技能を必要とせず、極めて短い時間でCCRを特定することができる。

筆者らは、この方法を冒頭で紹介したように、直接流れ観察法DFSと名づけた。DFSは「変動性」と「不確実性」が存在し、その上に避けがたい「人のサガ」と製品の目まぐるしい「変化」が加わる現実の現場において、「その流れに直接着目し、バッファ(仕掛在庫)を配置して、上流および下流のバランスを直接観測する」ことで容易にCCRが特定できる方法である。

STEP2 - システムの制約を徹底活用する方法を決める

CCRが特定できたその次にやることは、このCCRの能力を徹底活用して、システム全体のスループット[7]を上げることである。この例の生産ラインは10工程で構成されているが、重要なことは、CCR以外の他の9工程に対しては、何も改善を行う必要がない。つまり、このCCRをCCR以外の工程の不確定要素(不確実性と変動性)から影響を受けないようにしさえできれば、CCRは止まることなく最大限の100%の能力で作業を続けることができ、それを持って徹底活用することができるといえる。

【実証実験】

実際の現場の生産ラインにおいて実証実験を試みた結果を報告する。生産

ラインは9工程で構成されている。このラインに任意の仕掛品を配置し、まずはDFSによりCCRを特定した。その結果は図表8に示す通りで、CCRは第5工程であると3回繰り返すと簡単に特定することができた。

次にCCRの上下流に、図表9のようにバッファ（上流側：仕掛品を置く、下流側：仕掛品置き場を設ける）を配置する。これによって、CCRは上流および下流の工程からの外乱から分離され、CCRは自工程の要因以外で止まることなく生産を続けることができる。

以上の結果、1日当たりの生産量が530台であったこの生産ラインは、理

論値である640台（8時間／日÷45秒／個=640個／日）に限りなく近づいて、「CCRの上下流にバッファを設ける」ことでCCRが徹底活用できた。

Step3 - その他をすべて従属させる

また、過剰な仕掛品を生まないために、あるいは生産ラインを過剰仕掛品で混乱させないために、CCRのスピードに合わせて投入するという、Step3の「その他をすべて従属させる」ことも、STEP2の実行と同時に実行されたことは言うまでもない。なお、CCRをドラムのようにして、その合図をもとに最初の工程に投入を行う手法は、DBR（Drum Buffer Rope）[6]と称

され、TOCの主要なアプリケーションのひとつとなっている。

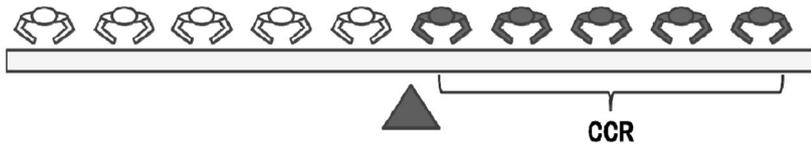
【実証実験ライン→工場全体への波及】

ここで極めて興味深い事件が発生したことを書き記しておきたい。実証実験は約4千人の巨大工場の片隅の9名編成の1ラインで行われていた。大仰に喧伝することなく、ひそやかに実証実験が行われていたにもかかわらず、このラインで「1日で生産能力が15%以上もアップする（530台／日⇒640台／日）」という大きな成果が出たことは、すぐに周囲の生産ライン管理者に口コミで広がったのである。すでに述べてきたように、このDFSによる生産能力アップには、特別な技術も手間もかからない、いわば誰でも実行可能な取り組み易さがあった。その上に、現場管理者たちは生産性の改善を指標として、お互いに競っていたという要因もあって、工場の片隅での出来事にもかかわらず、それを真似る管理者が続々と現れたのである。そうすると、それは波紋のように工場全体に広がり、瞬間に、しかも管理部門からの指導もままに、工場全体に広がったのである。実に喜ばしい誤算であった。

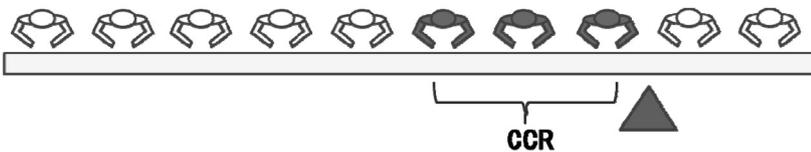
Step4 - 制約の能力を高める

さて、530台／日から640台／日に生産能力を引き上げた達成感の余韻に浸る間もなく、当該生産ラインは、需要拡大に応えられるよう、緊急に生産能力を拡大するよう迫られていた。短いライフサイクルの製品では、生産能力の拡大は「時間との闘い」である。そこで、CCRの能力をアップさせるべく、CCRの工程ばらしが行われた。

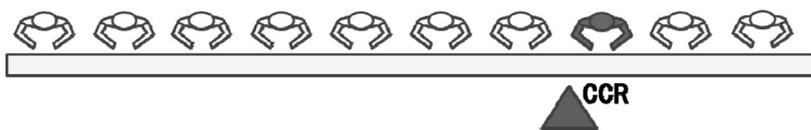
この時に留意されたことは、「CCRの位置を変えない」ということであった。なぜなら、CCRの改善は容易でないからである。そもそもCCRがなぜ制約なのかを考えてみると、投資の大きさ、技術的な難しさ、作業のし難さな



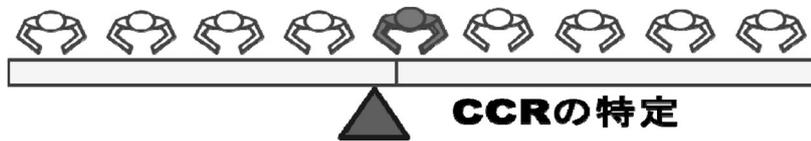
図表5 CCR 1回目



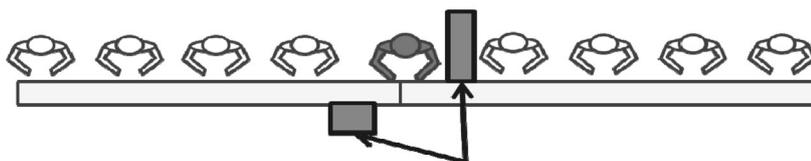
図表6 CCR 2回目



図表7 CCR 3回目



図表8 CCRの特定



**CCRを最大活用するために
上流および下流にバッファを設ける**

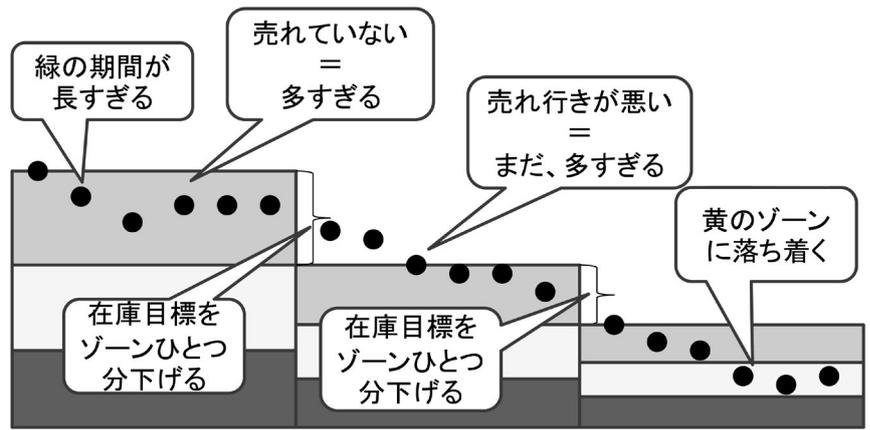
図表9 バッファの配置

ど、改善の難しさが制約を導いていることが分かる。一方で、CCR以外の工程は、投資も小さい、技術的難度も低い、作業もしやすい、など改善が容易であるといえる。ならば、CCRの改善はもちろんだが、CCRの次に制約となっている2、3か所の工程の改善も同時に行い、生産ライン全体として、より少ない投資で、より大きい成果を得るようにすべきだと考えるのはごく自然である。また、意図的にCCRを固定することで、全体の生産性改善の管理がしやすくなることも見逃せない効果である。

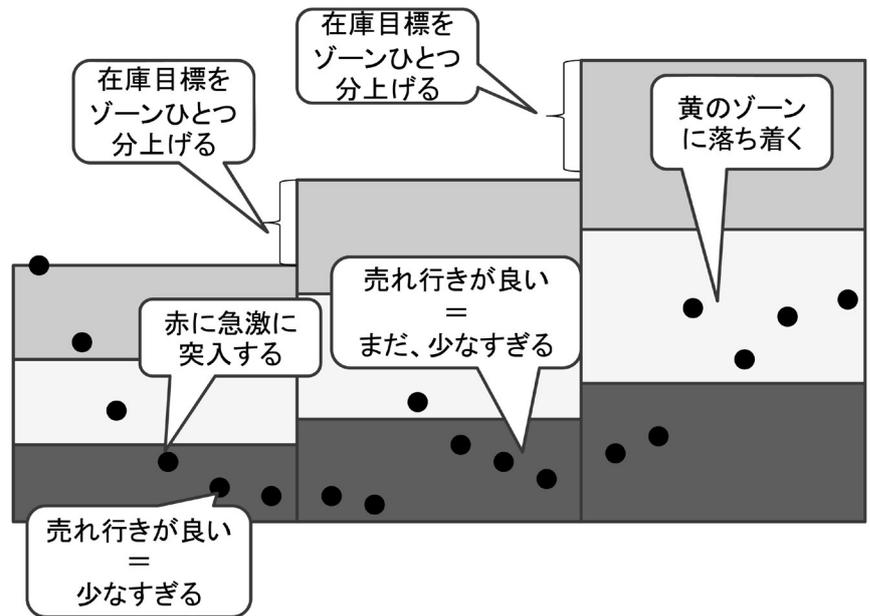
以上のようにして新しい生産ラインが設計され、9工程だった生産ラインを13工程編成に変えることで、生産能力を60%アップさせることが計画された。実行上の課題のひとつとして、どうやって4名の増員を図るかがあったが、それは以下のようにして解決することができた。

この工場では、全体最適のマネジメントTOCの導入に際して、生産計画を優先順位にしたがって行う仕組みを取り入れていた。この仕組みは、「動的在庫管理」(DBM: Dynamic Buffer Management) [8] と呼ばれ、在庫が少なく補充の優先度の高い製品は赤色、少なくとも多くもない健全な在庫状況にある製品は黄色、在庫が多く余裕のある製品は緑色、と3色のシグナルで優先度を管理する機能と、需要の変化に応じて在庫管理水準を素早く増減させる機能から成っている。

DBMの考え方を具体的に説明すると、図表10に示すように、在庫がまったく減らない、すなわち、モノが売れていない状況に陥ると、在庫はいつまでも緑の状態に留まる。この緑の状態に留まる経過時間(横軸)と、緑の状態にどれだけ深く浸食したかの程度(縦軸)の2つの指標から、消費の速



図表10 DBM過剰在庫への応答



図表11 DBM過少在庫への応答

度を面積として捉える。この消費速度が遅いと、市場での売れ行きに対して過剰な在庫状態にあるため、在庫水準を下げるという判断をする。

一方、図表11に示すように、在庫が急速に減る、すなわちモノが売れている状況に陥ると、在庫の状態はただちに赤の状態になる。この赤の状態に留まる経過時間(横軸)と、赤の状態にどれだけ深く浸食したかの程度(縦軸)の2つの指標から、緑の時と同様に消費の速度を面積で捉える。この消費速度が早いと、市場での売れ行きに対して過少な在庫状態にあるという判断をして、在庫水準を上げる判断をす

る。さらに、過剰状態よりも過少状態に陥った時のほうが経営成果に与えるインパクトが大きいことを考慮して、過剰状態へは余裕を持って、過少状態へ俊敏に反応するようにも、DBMはデザインされている。

デミング博士はノイズとシグナルという概念で、ノイズに反応してアクションを取ることは何ら意味のないことであることを示した。DBMはまさにこの考えに沿ったものであり、ノイズではないシグナルの変化に対して応答するように設計されている。つまり、在庫が黄色の状態から緑、または赤の状態に移移することをシグナルと捉え、

さらに、本当に是正処置をとるべきシグナルかどうかを「経過時間」と「浸食程度」から消費の速度を量り判定しているのである。

さて、このDBMを複数の製品で実施したらどうなるだろうか。いずれの製品の在庫にも、現在の消費（あるいは実需）に応じた在庫の水準が色で表示されていることになり、その色は市場での消費に対しての優先的に補充すべき優先度を示していることにならないだろうか。

この優先度を管理する機能を見れば、在庫状況に応じて生産リソースの配分ができることになる。すなわち、在庫の多い製品の生産ライン、つまり今は生産をしなくてよい緑色の生産ラインから、貴重なリソースである作業者をより優先度の高い赤色の生産に従事させ、過剰在庫を減らしながら、優先度の高い＝今売れている製品への生産に充てることが可能となる。

以上のようにしてCCRの工程能力を引き上げ、計画された通り830台／日の生産能力を実現することができ、530台／日からスタートして830台／日まで、60%の生産能力アップに要した時間は僅か6日間であった。

5 おわりに

長年の現場改善努力によって磨き上げられた流れ作業ラインを、6日間で60%も生産能力をアップさせることは、一見不可能とも思える。しかし、「直接流れ観察法」DFSというシンプルで新しい発想が、生産性による競争や、IEをベースとした現場力とあいまって、この実証実験を成功させ、極めて短期間のうちに工場全体への波及させることができた。

言い換えれば、長年のIEなどの導入でレベルが極めて高くなっている現場力があつたからこそ、フロー（流れ）

のバランスに着目した「直接流れ観察法」DFSを導入することによって、短期間で目覚ましい成果を得ることが可能になったと筆者らは考察している。

最後に、日々改善にいそしむ、ものづくりの現場に本論文[9]の内容が活用され、日本、そして世界で成果が報告されることを願ってやまない。

☆

謝辞／この論文を作成するにあたり、TOCの知識体系の学びの機会を与えて下さったゴールドラット博士に感謝いたします。また、本論文は2012年7月9日に、東京大学ものづくり経営研究センターで新宅純二郎教授のご厚意で行った講演をベースしており、先生に感謝いたします。

【注】

- [1] 岸良裕司による命名。
- [2] 藤本隆宏『ものづくりからの復活』日本経済新聞社（2012年）
- [3] 直接時間観察法DTSにおいてもこの課題は認識されており、測定回数を20回程度とする経験的方法や、Barnesの統計的方法が提案されている。
- [4] Eliyahu M. Goldratt博士が発案したジレンマを表現し、その解消策を考え出すための図式のこと。
- [5] Eliyahu M. Goldratt博士（1947-2011）が発案した全体最適のマネジメント理論。
- [6] Eliyahu M. Goldratt『The Goal Second Revised Edition』（1992年）、邦訳『ザ・ゴール』ダイヤモンド社（2001年）
- [7] Eliyahu M. Goldratt『The Haystack Syndrome』（1990年）、邦訳『コストに縛られるな！』ダイヤモンド社（2005年）
- [8] 岸良裕司『よかれの思い込みが会社をダメにする』ダイヤモンド社

（2009年）

[9] 本論文内容は、TOCICOの2012で報告されている。Katsumi Ozeki [2012]「How to improve Toyota Production System flow factory performance 6 days 60% increase」



尾関克己（おぜき かつみ）

ゴールドラット コンサルティング ジャパン
〒107-0061 東京都港区
北青山1-2-3
☎03(5770)8856
katsumi.ozeki@goldrattgroup.com



飛田甲次郎（とびた こうじろう）

ゴールドラット コンサルティング ジャパン
大阪工業大学 客員教授
kojiro.tobita@goldrattgroup.com



岸良裕司（きしら ゆうじ）

ゴールドラット コンサルティング ジャパン
yuji.kishira@goldrattgroup.com