1 DBR (Drum-Buffer-Rope) とは

DBRとは、

「ボトルネック工程(制約条件工程) にフォーカスし、ボトルネック工程の能力を最大限に発揮させる生産管理手法」であるといえます。

ＤＢＲの基本は、１９７０年代にゴールドラット博士がスケジューラー手法として開発し１９８０年代前半に発売され、効果を上げたことで米国で一躍有名になったスケジューラーソフト (ＯＰＴ) にあります。

ゴールドラット博士はＯＰＴの良さをもっと多くの人に知ってもらうため、ＯＰＴの背後にあるコンセプトを小説「ザ・ゴール」として発表、米国で２５０万部を超えるベストセラーとなりました。

しかし、多くの読者から「ザ・ゴールを読んで、その小説通りに改善したら、スケジューラーソフトを導入するよりも効果がある。」という沢山の意見が寄せられたことから、ゴールドラット博士はソフトウェアに疑問を持ち、その原理を研究し確立されたものがＤＢＲという生産管理の手法です。

ＤＢＲの考え方は非常にシンプルで解かりやすいものなのですが、日本企業ではまだあまり多くの成功例を聞きません。これだけ多くの企業が関心を持ち、高いシステムの導入や難しい管理が必要なわけではありません。ナゼなのでしょうか？

本項では、この部分に焦点をおき小説「ザ・ゴール」の抜粋を多く取り入れながら、実際のコンサルの場でよく起きる問題点を成功例と失敗例を基に、ＤＢＲの導入から実践に至る過程でのポイントを明確にしていきます。

Copyright©2004 Goal-system consulting

DBRは、TOCの中でも最も代表的な解決策です。

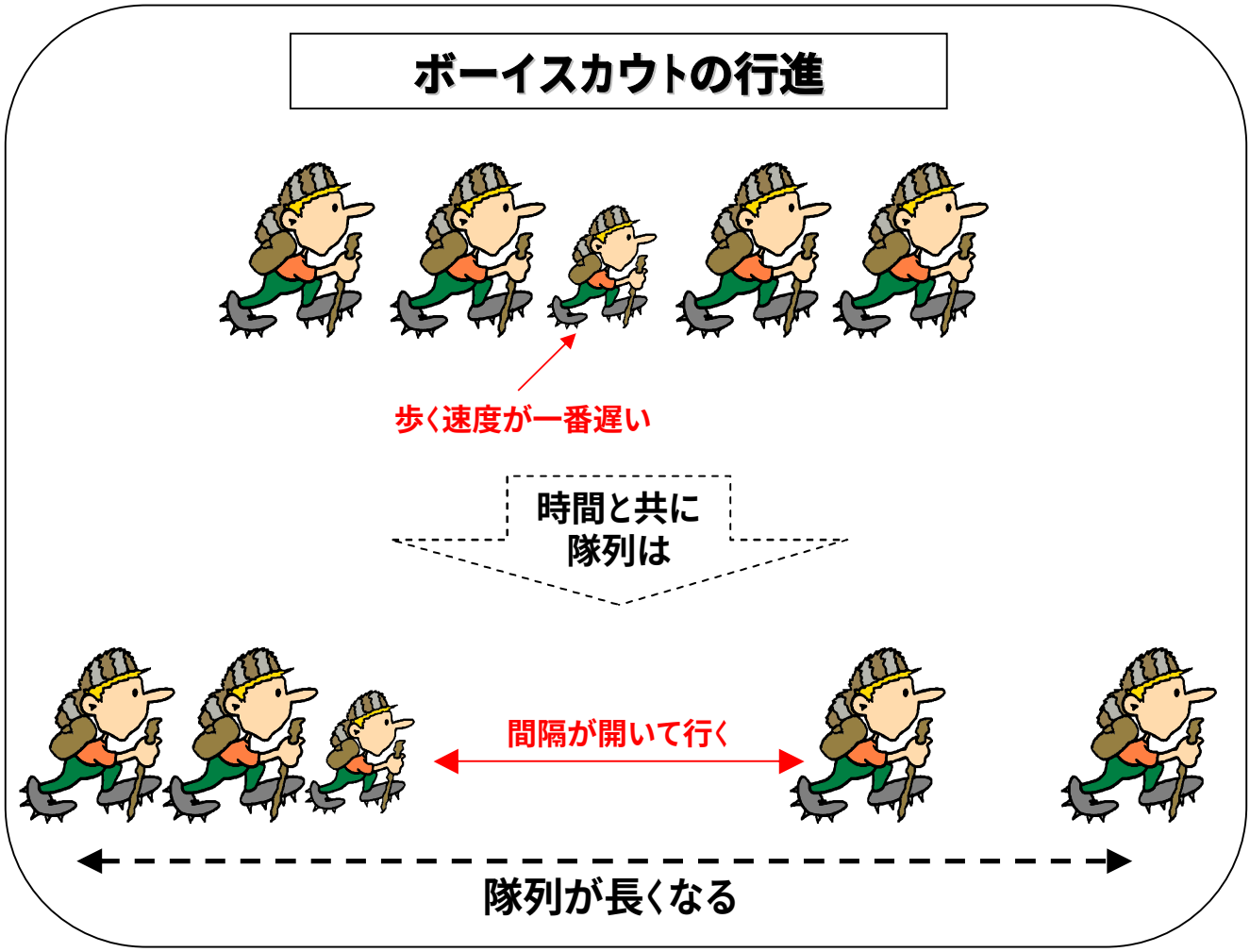
ＤＢＲの基本となる考え方は『工場の生産性はボトルネック工程の能力以上は絶対に向上しない』という一見当たり前な原理であり、工場の生産性をあげるにはボトルネック工程の生産スピードに、他の生産工程や資材調達を合わせるべきというものです。

このＤＢＲはTOCが提唱されるきっかけとなった『ザ・ゴール』で、最初に提示されたもので『ザ・ゴール』の中では、ボーイスカウトのハイキングに帯同した主人公「アレックス・ロゴ」が、最も足の遅い少年「ハービー」が制約条件となって、隊列が間延びてしまい遅れる様子を目にします。

全員が揃って目的地へ、出来る限り早く到着するにはどうすればよいか？

＜行進のルール＞

・後ろの人は、前の人を追い越すことは出来ない。

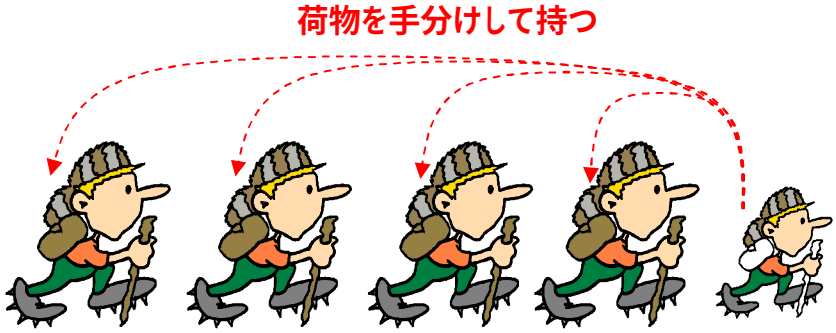


Copyright©2004 Goal-system consulting

「ザ・ゴール」の中ではどうしたのでしょうか。

まず、ハービー少年の持っていた荷物を他の少年が手分けして持ち、ハービー少年の負荷を軽減することで歩く速度を上げました。

次に、並ぶ順序を変えました。最も歩く速度の遅いハービー少年を隊列の先頭にしたのです。これにより、ハービー少年の歩く速度に隊列全体の速度を合わせることが出来たのです。



しかし、実際の生産ラインでは生産の順番を入替えるということは、ほとんど不可能に近いことです。(例えば、パン生地を練る前にパン生地を焼いておくことはできません)

ではどうしたら良いのでしょうか？

並ぶ順序を変える代わりに、全員をロープで結べばよいのです。

ロープで結ばれた隊列をみて何かに似ていると思いませんか？

JIT (Just-In-Time) の考え方に似ていますね。

しかし、全員をロープで結ぶという方法は、隊列の中の誰か1人がアクシデントにより歩くことを止めたとしたらどうでしょうか？

「全員が止まってしまう」という問題を抱えています。

Copyright©2004 Goal-system consulting

それではどうしたら良いのでしょうか？

まずロープで少年たちを結ぶことにより何を守ろうとしたのかを考えてください。一番歩く速度の遅いハービー少年のペースに全員のペースを合わせるということであり、全員の間隔を揃えるということではありません。

となると、後ろの人は前の人を追い越すことは出来ないのですから、自然にハービー少年の速度に合わせざるをえませんからロープで結ぶ必要はないわけです。

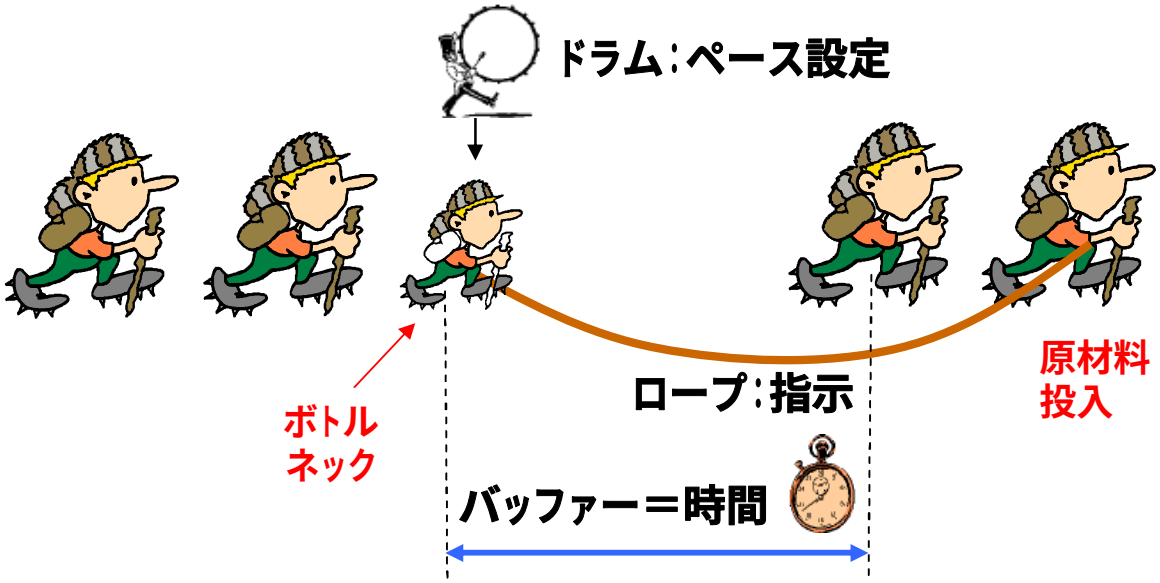
ようするにハービー少年の前を歩く少年達だけをハービー少年に合わせる仕組み（ロープで結ぶ）を考えればよいのですが、前の少年がつまずいて転ぶことによりハービー少年が立ち止まることも想定できます。そのため、前を歩く少年とハービー少年の間に間隔を持たせる（ロープに余裕を持たせる）ことで、解消することが出来るはずです。

ここまでボーイスカウトの行進の例で考えてきたことを整理してみましょう。

まず、目的は、全員が揃って目的地に出来る限り早く到着すること。

そのためには、

① 最も足の遅いハービー少年の荷物を他の少年達が分担して持ち、ハービー少年の負担を少しでも減らしてやることで、歩く速度を上げる。
② ハービー少年の歩く速度（ドラム）に合わせ、全員がペースを合わせる。
③ ハービー少年が前を歩く少年のアクシデントにより止まったり、速度を落とすことが無いように備えた「時間的余裕」（バッファー）を設ける。
④ 先頭を歩く少年とハービー少年との間隔が、大きく開かないように「歯止め」（ロープ）をかける。

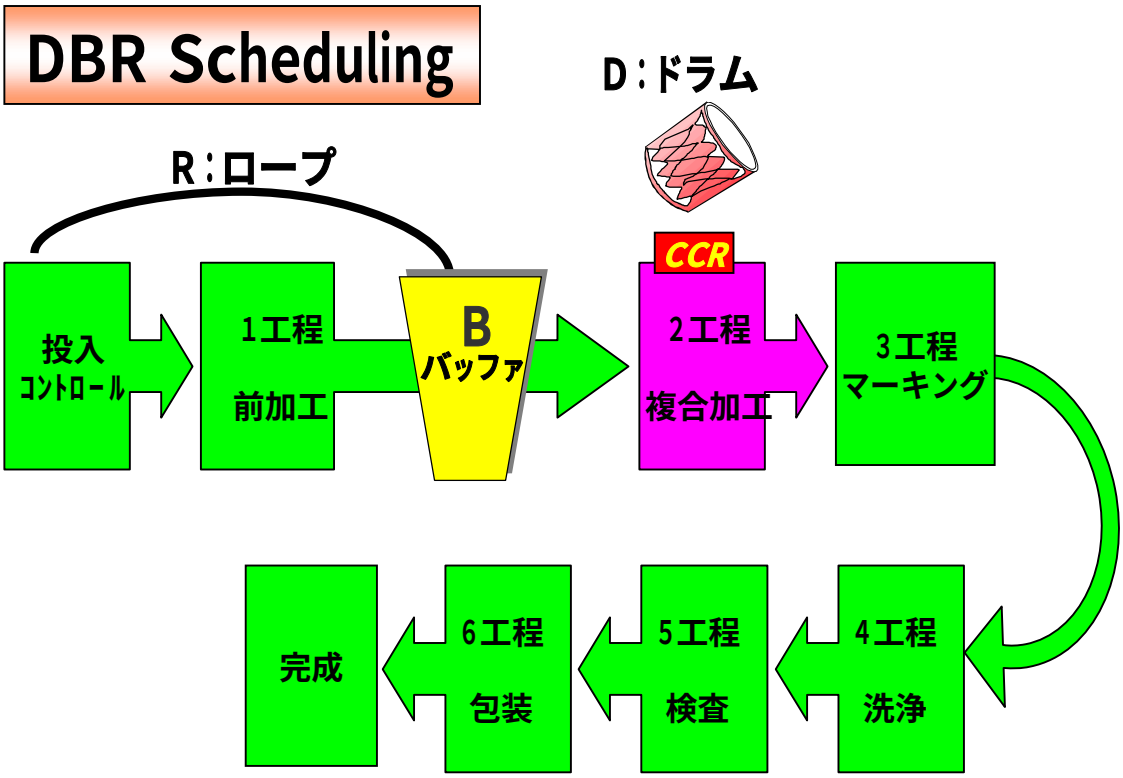


Copyright©2004 Goal-system consulting

TOC DBR (TOC Drum-Buffer-Rope)の概要

ボーイスカウトの行進を生産工程に置き換えると、

ドラムは、
能力に制約のある工程の能力のこと、
バッファーは、
制約工程をフル稼働させるためにあらかじめ設定しておいた「時間的な余裕」のこと、
ロープは、
初工程（制約条件より前の工程）への原材料の投入タイミングを制限する、時間的な条件である。



Copyright©2004 Goal-system consulting

2 DBRの重要性と適用範囲

1) DBRの重要性

これまでの製造業は製造機能を徹底的に分業･効率化して、良い品質のものをいかに大量に、早く、安いコストで提供できるかを競ってきました。

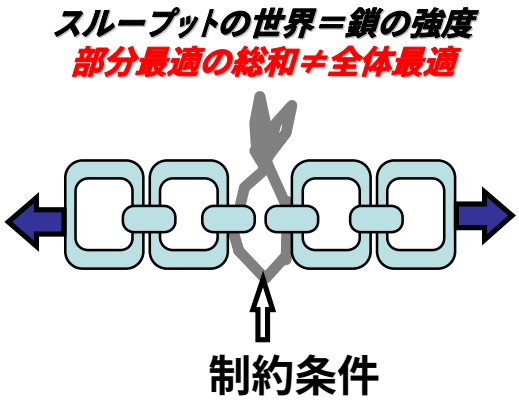
工場では各工程が最大限の能力を発揮するように、競って改善活動を進めてきました。そして、このような環境の中では、TPMやTQCなど個別の指標を改善する手法が非常に有効でした。また、このような個別最適のパラダイムのもとでは、全体をコントロールする機能よりも、個別の改善を進めることが優先されたのです。

この考え方は、生産した製品は必ず売れるということを前提としています。たとえば、生産部門で設備稼働を高く維持し、製造原価を下げるための大ロットでの生産を行うと、工程間には仕掛り在庫が発生します。また物流部門が輸送コストを最小化することを目的として大ロット輸送をすれば、出荷待ちの製品は倉庫に積み上がります。さらに販売部門ではこうした体制で顧客への欠品率を最小化して販売機会損失を最小化しようとすれば、ここでも多くの営業在庫を保有せざるを得ないことになります。

こうした部分最適の結果、至るところで仕掛り在庫がバッファーとして利用されてきました。そしてこの在庫は市場が変化した場合、常にデッドストックとなる危険性を伴っているのですが、右肩上がりの経済ではいつの間にか販売され企業収益に結びついてきたのです。したがってこのような部分最適マネジメントは、人と設備の生産性は高いが、モノの流れやスピードは犠牲にされることが多かったのです。

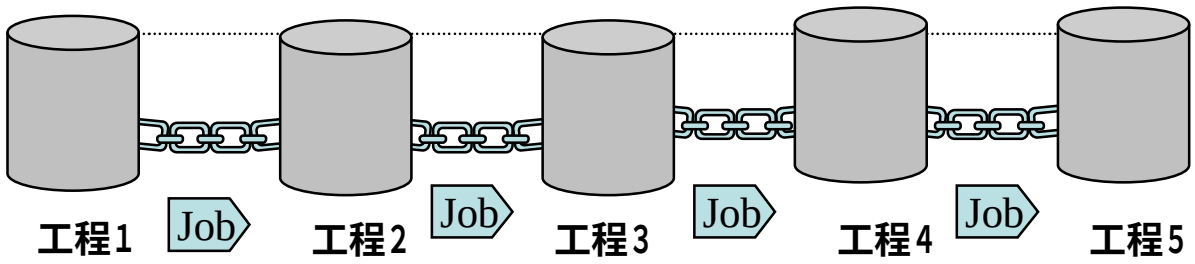
しかし実際には工場には何らかのボトルネックが存在し、各工程が個別の最適を求めて改善を進めても決して全体最適にはつながりません。

このためDBRでは、各工程の生産性やバランスを重要視せず、モノの流れに注目し、一番能力の低い工程が最大限の能力を発揮できるような活動を行うことにより、全体最適を実現させるのです。



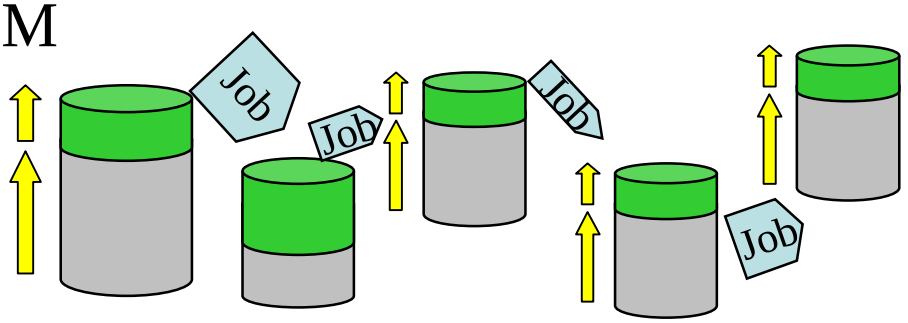
Copyright©2004 Goal-system consulting

リーン生産(JIT)方式



各工程の能力は限りなく同一が望ましい。各工程のゆらぎはほとんど考慮されない、
稼働率100%が前提、非常にタイトなシステム。

TPM



各工程の能力を限りなく向上させる。稼働率100%を目標
各工程のバランスを考慮せず作れるだけ作るシステム。工場が在庫の山になることも。

2）DBRの適用範囲

DBRに適した製品としては基本的に、

繰り返し性（リピート性）のある製品であり、ある程度の生産量がある製品であり、一つの製品を生産する時間があまり長くないものが望ましい。

一品料理的な製品や量が少なく一つの工程に長い時間を必要とする製品については、CCPM（クリティカルチェーン・プロジェクトマネジメント）が適しています。

Copyright©2004 Goal-system consulting

3 DBRと生産のゆらぎ

1) DBRスケジューリングの特徴

スケジューリングとは、何を目的に行われるのでしょうか？
単に製造現場をコントロールする計画を作ることがスケジューリングの目的ではありません。
TOCにおけるスケジューリングとは、スループットを最大化し、在庫を最小化することにあります。会社全体のスループットは一番弱い(能力の低い)工程の能力により決定されることは前回お話したと思います。よってスループット最大化とは「制約条件を徹底的に活用すること」です。具体的にはネック工程が最大限稼働できる詳細でかつ、実行可能なスケジュールを行うということになります。
また在庫を最小化するためには「制約条件以外の工程を制約条件に従わさせる」ことにより実現されます。このような考え方に基づき、スループットが最大でなおかつ在庫が最小になるように、先頭工程の投入計画を立案することとネック工程以外の工程の作業ルール(作業順序や作業量及び手待ち時間の利用法など)を決めることが必要です。

ザ・ゴールでも工場の中でのこんなやりとりが繰り広げられます。
「我々は、今このパーツが必要だ。明日じゃだめなんだ。ノンボトルネックのパーツは、まだ何週間も余裕がある。何ヶ月も待てるものだってある。――たぶん、要らないものだってあるだろう。つまり、この工程がノンボトルネックのためのパーツを作り続けると、オーダーを出荷し、利益を出すのを邪魔しているということになる。」「でも、どうしようもない」「その通りだ。この工程ではボトルネック工程へ行く重要なパーツとそうでないパーツを区別できないんだ」
このような場合、非ネック工程はネック工程に従属することが求められます。しかしどのパーツが重要でどのパーツが重要でないか分からないとしたら、まずするべきは何でしょうか？この場合には「先入れ先出し」を第一の基本にして行うことが必要なのです。

また従来から利用されているスケジューリングソフトなどは、多くの場合できる限り現在の計画担当者が考えるロジックに近づけようと多くのマスター情報を入力しないと動かないものとなっています。しかし、その反面、改善努力・設備投資・新しい製品による工程パターンの変化などによって登録された基準情報が変化することは当たり前のように起きていながら追随できていないのです。さらにDBRのスケジューリングではネック工程の能力を常に高める活動を行っているため、半年・1年といったサイクルでは計画の基準となるべきボトルネック工程が変化する可能性があります。そうなると計画を立案するためには、基準となる工程を変えなければなりません。

DBRに限らずスケジューリングでは、出来る限りシンプルで変化に柔軟に対応できる仕組みにする必要があります。そのためには、キーとなる工程のみを詳細に計画立案することと、それ以外の工程は計画を持たず仕事を行うためのルール化(先入先出など)により作業を行うようにする必要があるのです。

Copyright©2004 Goal-system consulting

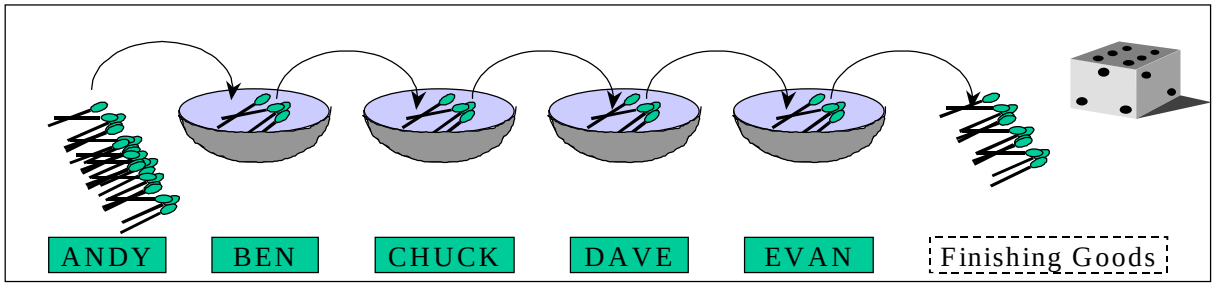
1) 従属性と変動性

工場や企業の中には予期せぬ出来事がたくさん起きます。そして多くの製造工場では、前工程の作業が終わらなければ、次の工程の作業が出来ません。(例えば、物を成型しなければ加工することが出来ない) などの順序が決まっている「従属性」と、統計的な変動 (サイクルタイムのバラツキなど) や、いつ起こるか分からない突然のトラブル (ランダムな故障発生など) という「変動性」が存在します。

小説「ザ・ゴール」の中で、ボーイスカウトのハイキングの昼食時に、アレックス・ロゴが子供たちと行っていた、サイコロを使ってマッチ棒を次々にお椀に移動させていくゲームを思い出してください。このサイコロを使ったゲームでは、工程の能力変動がどのようにスループットに影響するかをシミュレーションすることが出来ます。

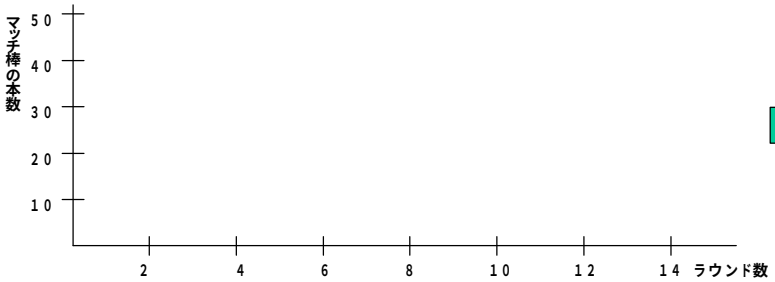
工程の従属性と変動性(ダイスゲーム)

工程のばらつきを理解する Dice Game (From "The Goal")



このゲームの前提条件
1，サイコロの目は１－６の間で変動する。回数を重ねれば出目の平均は３．５に限りなく近づく。
2，移動できるマッチの数は、ボウルの中のマッチの数まで（多い目が出てもムダになる）

１０ラウンド終わったときに出来上がり数はいくつになるか？？？？？？



供給平均　(　　)
出来上がり平均　(　　)

始める前に、みんなでスループットと仕掛量の予想をしてから始めると盛り上がります。

Copyright©2004 Goal-system consulting

結果は予想に対して、どうだったでしょうか？
おそらく投入量とスループットでは相当な差が出たと思います。その差として仕掛が工程のどこかに仕掛かっています。そしてサイコロの目と移動できたマッチ棒の数は、後ろの工程になればなるほど差が大きく現れたと思います。（これは「従属性と変動性」によって、引き起こされた「遅れの伝播」という現象なのです。

次に、どのようにしたらこのスループットを最大化できるか？を考えてみてください。
例えば、
1．生産能力を上げる。（サイコロを2つにする＝設備投資）
2．仕掛を持つ。（各工程のお椀に決めた数のマッチ棒を事前に入れておく＝仕掛を持つ）
3．バラツキを抑える。（サイコロの目の数1～3は3とする。4～6は4とする＝平準化生産）
などです。
このときの投入数・スループット・仕掛量がどのように変化するのか？また、実施した改善は実際の生産ラインではどのようなことに当るのか？などを考えながら行ってみてください。
また、10回を20回に増やし、20回目からはマッチ棒の代わりにコインを製品として流すことで、新しい製品がどれ位のスピードで流れるのかLT（リードタイム）を知ることができます。

※　TOCでは突発トラブル（いつ起こるか分からない障害）を「マーフィー」と呼びます。

＜マーフィーの法則＞
「起きてほしくないことは必ず起こる。しかも、一番起きてほしくないときに」

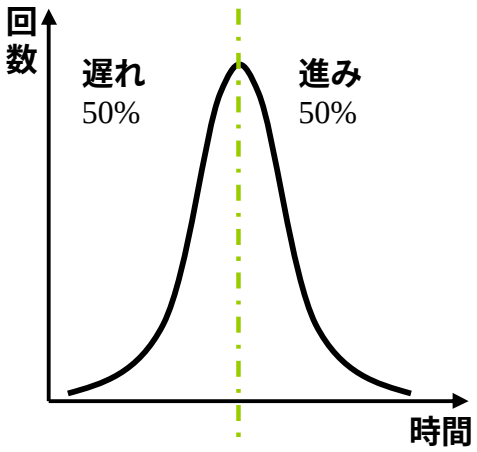
従属性：ＡからＥまでの５人が順番に繋がっている。（工程順）

変動性：Ａ～Ｅの５人が、振るサイコロの目。（バラツキ，突発トラブル）

＜バラツキを科学する＞
生産工程における作業は、同じ作業を何千何万回と繰り返すことに特徴があり、基本的には毎回同じ作業を繰り返し、細かい要素が少しずつ変化するのが普通です。

このような場合には、統計的にはバラツキが正規分布になることが知られています。

こうして見ると、当然正規分布の中心点を標準時間として設定すれば、予定より早く完了する確率が５０％，遅れが５０％あることが分かります。



Copyright©2004 Goal-system consulting

ちょっと「ザ・ゴール」からの抜粋をお読み下さい。
アレックス・ロゴが息子のボーイスカウトのハイキングに出かけ、少年たちの隊列が乱れ予定した速度が出ていないことを不思議に思ったくだりです。

：：：：：：：：：：：：：：：：：：：：：：：：：：：：：：：：：

私たちのハイキングは、従属事象の連続で…それは統計的なゆらぎの組み合わせによる。一人一人の速度は、速くなったり、遅くなったり、常にゆらいでいる。だが、平均値より速く歩く能力は制限されている。列の私より前の少年が時速2マイルでしか歩けなければ、私は時速5マイルでは歩けない。そして、私のすぐ前を歩いている子供が時速5マイルで歩くことができたとしても、それでも私もその子も、列についている子供が全員、同時に時速5マイルで歩かない限り、その速さで歩くことはできない。

：：：：：：：：：：：：：：：：：：：：：：：：：：：：：：：：：

このように工程の揺らぎ（少年の歩行ペースのばらつき）によって、前工程の遅れが次工程の遅れへと伝わってゆきますが、前工程の生産の進みは、ほとんど次工程へは伝わりません。このような状態は毎日のように製造ラインで発生しています。
ここでもう少し科学的に考えるために、標準時間（ST）と呼ばれる生産計画を立案するための基準時間を例に考えてみましょう。 生産工程における作業は同じ作業を何千回、何万回と繰り返すことに特徴があり、基本的には毎回同じ作業を繰り返しているのが普通です。そしてその細かい作業要素が少しずつ変化しているのです。このような場合、統計的にバラツキが正規分布となることが知られています。以前このメルマガでダイスゲームを説明しましたが、その時使用したサイコロの出目がこれに当たります。こうして考えてみると、当然正規分布の中心点を標準時間として設定すれば、作業が予定より早く完了する確率が50％であり、遅く完了する確率が50％であることが分かります。しかし、通常の生産ラインでは遅れだけが伝播し、早く終了してもほとんどが伝播しません。
この現象は工程が直線的な場合でも、複数の工程が合流する場合でも起こります。どうしてそうなるのでしょうか？

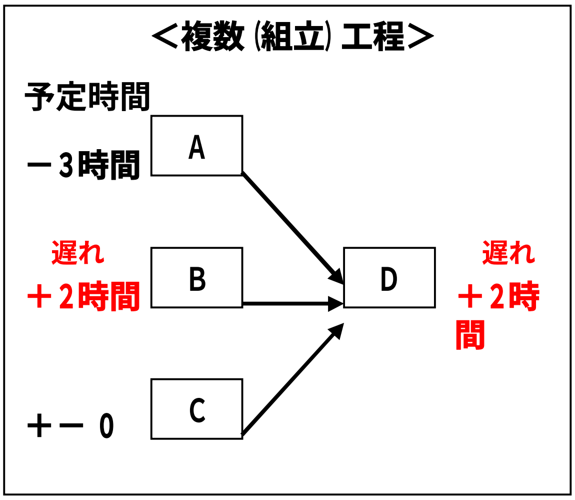
1．複数工程：

ABC工程が並行して作業を行い、D工程で組立作業が行われる場合、

A工程は予定より3時間早く終わり、
B工程は2時間遅くなり、
C工程は予定道りだったとすると、

ABC全部が終わらないと着手できない

D工程は、A工程が早く終了したこととは何ら関係なく、B工程の2時間遅れだけが伝わります。



Copyright©2004 Goal-system consulting

2．直線的な工程：

A~Dの各工程がギリギリの負荷（100%）で作業していた場合、確率分布は遅れ・進みそれぞれ５０%です。

最初のA~Bを考えてみるとA工程が予定より早く完了する確率は５０%ですが、

B工程がその仕事に速くかかれる確率も５０%です。

このように考えるとB工程完了時点で予定より進んでいる可能性は50%×50% で２５%です。

＜直線工程＞

※ A～D工程の負荷は１００%とする。

A → B → C → D

A	B	C	D	
50%	25%	12.5%	6.25%	
速い	速い	速い	速い	1 /
速い	速い	速い	遅い	16
速い	速い	遅い	速い	
速い	速い	遅い	遅い	
速い	遅い	速い	速い	
速い	遅い	速い	遅い	
速い	遅い	遅い	速い	
速い	遅い	遅い	遅い	
遅い	速い	速い	速い	
遅い	遅い	速い	速い	
遅い	速い	遅い	速い	
遅い	速い	速い	遅い	
遅い	遅い	遅い	速い	
遅い	遅い	速い	遅い	
遅い	速い	遅い	遅い	
遅い	遅い	遅い	遅い	

アレックスロゴはどう考えたのでしょうか、彼の分析を見てみましょう。

：：：：：：：：：：：：：：：：：：：：：：：：：：：：：：：：：：

要するに私は歩く速さを制限されているのだ――私個人の速さとハイキングに参加している他の人たちの速さの両方によって制限を受けている。しかし、自分のペースを落とす自由はある。他の人も、皆ペースを落としたり、立ち止まったりする能力は制限されてはいない。そして、誰か一人がペースを落とすか、立ち止まれば、列は無限に伸びていくことになる。個々の異なるスピードのゆらぎは、平均されるのではなく、蓄積されていくのだ。それも、ほとんど全て、遅くなる方の蓄積だ――なぜなら、スピードがあがるような状況は、限られているから。これが列が伸びていく原因だ。

：：：：：：：：：：：：：：：：：：：：：：：：：：：：：：：：：：

ということで、このように工場が大きくなれば大きいほど（工程が長いほど）、一部の工程が早く作業を終了しても伝播せず、遅れだけがそのまま伝播するという厄介な特性を持っていることが分かります。そしてこの影響により日常的に生産計画・指示の変更を余儀なくされていることも事実です。

それでは、このような日常的に発生する混乱をどのように回避したらよいのでしょう。TOCではこのような生産の揺らぎからスループットを守る手段として「保護能力とバッファー」を使います。

Copyright©2004 Goal-system consulting

小説「ザ・ゴール」のボーイスカウトのハイキングでアレックス・ロゴは、歩くのが一番遅いハービー君が全体のスループットを決めていることに気付きます。そしてその対策として、ハービー君を先頭にして歩かせることにしました。
＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝
本当だ。みんなハービーの後ろから離れないで続いている。私は列の最後尾について、子供たちの間が開かないように監視することにした。だが間が開くような様子はなかった。列の真ん中あたりで誰かが止まって、リュックの紐を調節している。しかしまた歩き始めると、みんな少しスピードを上げ、すぐ前に追いついた。息切れしている者は一人もいない。すごい！
＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝
しかし、現実の工場ではスループットを守るために工程順序を入れ替えることはできません。では、このボーイスカウトの列も順序を入れ替えることが出来ないとしたら、どうしたらよいのでしょうか？

例えば幼稚園児の散歩のように、全員が手を結んで歩いてみましょう。こうするともし、誰かがつまずいて転んだら、転んだ人が立ち上がりまた歩き出すまで全員が待たなければならなくなります。そしてもし転んだ子供が一番遅い人ではなくとも、スループットを決める一番歩く速度の遅い子供までも立ち止まらせてしまうことになります。ではどうしたらよいのでしょう。

まず、歩く速度の一番遅い子供は全体のスループットを決めてしまうのですから、他の子の影響により立ち止まることが無いようにしなければなりません。そのために一番歩く速度の遅い子供がその前の人が転んだりしても立ち止まることの無いように、前の子供と間隔を空けることが必要です。この間がＤＢＲで言うところのバッファーになります。生産ラインでは、前工程で起こるトラブルなどでネック工程が材切れにより停止することがないだけの仕掛り量（時間）をバッファーとして持ちます。
そしてここが一番重要ですが、一番歩くのが遅い人以外が止まった分の遅れを取り戻す力（歩く速度が一番遅い人とそれ以外の人の歩く速度の差）が保護能力となるわけです。よって、生産ラインでもネック工程以外では保護能力が必要になるのです。もし、全ての工程が同じ能力であったら、失われたスループットを取り戻すことはできないのです。

おさらいしてみますと、スループットを決定するネック工程がドラムをたたき、全体の作業ペース（1日分の処理量）を決め、ネック工程がネック工程以外の生産の揺らぎにより生産が止まることが無いように必要最小限の仕掛り量(バッファー)を持ち、このバッファーが必要以上に増えたり減ったりしないように、ネック工程前のバッファー量の変動に合わせ先頭工程の投入量をコントロールすること（ロープ）が必要なのです。

そしてこの保護能力とバッファーには深い関係があります。
もしバッファーを大きく取れば、保護能力は少なくて済みますが、リードタイムは長期化してしまいます。そしてバッファーを小さくすれば、保護能力は多めに取らないとスループットが失われることになります。この考え方がＤＢＲ構築の基礎知識となります。

Copyright©2004 Goal-system consulting