

ADVANCED PROJECTS, INC.

LPM により、継続的に改善を実現する

(What to do after the party is over.)

Lawrence P. Leach, PMP
Advanced Projects, Inc.
6 North Ridge Drive
Boise, Idaho 83716

Tel: 208-345-1136

Email: lawrence_leach@hotmail.com

8/1/2007

要約

この資料は、絶えることなく、継続的に、プロジェクトのスケジュールを改善して、プロジェクトを成功に導くためのプロセスについて解説したものです。

クリティカルチェーンによるプロジェクトのマネジメント(CCPM)、および、LPM (Lean Project Management) を使い、プロジェクトをどう成功に導くか、ということに焦点を合わせていますが、この方法は、どんなプロジェクトにも、一般的に適用できるアプローチです。

ここでは、二つのレベルの改善に焦点を合わせています。すなわち、プロジェクト全体を成功裏に引き渡すための統合的なシステムレベルと、プロジェクトタスクを構成するプロセスのレベルの二つです。この改善アプローチでは、シックスシグマの品質マネジメントツールを使用します。

品質改善の鍵は、システムを理解すること、変動性を理解することです。変動性を理解するには、変動性は、日常的に発生する通常の統計的変動と特別な原因による変動の二つのタイプがあること、そして、これら二つのタイプの変動を区別することが必要です。これら二つのタイプの変動を区別することが必要となる主な理由は、これら二つの変動には、異なる改善アプローチが必要だからです。

プロジェクトを引き渡すまでのプロセスレベルで改善を行うには、いつ、そして、何処で改善プロセスを行なったらよいか、ということを決めるためにコントロール チャートを使います。このコントロール チャートにより、全体的な観点から、プロジェクト期間の推定プロセス、バッファの大きさを決めるプロセスが改善され、「バッファの状態を見ながら、取る行動方式」を改善できます。プロジェクトの実行中に取られた「バッファ管理行動」を分析することにより、改善のために注目すべきシステム内の要素の候補が特定されてきます。こうして、ひとたび、改善のために注目すべきシステム内の要素が特定されたら、シックスシグマ改善プロセスを適用します。システム改善には、それが可能であるところでは、特別な原因によって変動を惹起する潜在的な原因を、予め、コントロールするために、プロジェクトのリスク管理が必要です。「変動性には、二つのタイプの変動性がある」ということを理解し、その考えを適用することで、プロジェクトのリスク管理は、相対的に簡単になります。

CCPM

CCPMは、プロジェクトを計画し、実行し、状態を把握し、コントロールするシステムです。

計画:

1. 資源平準化の後に、プロジェクト全体を見て、「最も長いパス」としてクリティカルチェーンを識別する。クリティカルパスとは異なり、クリティカルチェーンは、タスクの論理的関係にのみによって決められるものではない。
2. 平均タスク期間推定値を使う。
3. 変動性を吸収するために、バッファを持つ。
4. 複数プロジェクト環境では、制約資源を過負荷にしないために、パイプライニングを行う。

実行:

1. 資源が、ある時点で、複数のタスクではなく、たった一つのタスクに取り組めるように、タスクの優先順位づけを行う。
2. 必要なとき、スケジュールを回復できるようにするために、バッファを管理する。

状態を把握し、コントロールする:

1. タスクの実際の開始、完了時期を見ながら、タスクの完了に、あと、どれくらいの時間が必要かを推定する。
2. タスクがクリティカルチェーン上にあるかに関らず、プロジェクトに一つ設置される「プロジェクトバッファ」の消費の状態を見ながら、バッファの消費の原因となっているタスクやチェーンのスケジュールの回復に、コントロールの焦点を合わせる。

LPMにより、継続的に改善を実現する

プロジェクトのタスクレベルでの改善は、プロセス内の状態の把握、そして、どれくらいの大きさのバッファの消費を惹起しているかを知ることから始まります。こうして、あるひとつのタスクプロセスを選び、改善を行おうと決めたら、そこに、シックスシグマの改善プロセスを適用します。

はじめに

Critical Chain Project Management<CCPM>という言葉を作り、公表したのは、リーチ(1998)です。そして、頭文字語 CCPM でまとめられる概念を、Eliyahu Goldratt 博士の制約理論(TOC)、プロジェクトのスケジュール マネジメントの方法である Critical Chain method、PMI の Guide to the Project Management Body of Knowledge<PMBOK>、そして、TQM を統合した全体を指すものと定義しました。

TQM は、「シックスシグマ」という言葉で最もよく表されています。最初のページの枠内に書かれていることは、主要な CCPM の要素を説明したものです。そして、Fig-1 は、簡単な CCPM の計画を例示したもので、プロジェクトバッファが設置されていることに注意してください。プロジェクトバッファは、本書で説明する主要な部分です。

たくさんの論文、及び書籍で、CCPM によるプロジェクトの実行プロセスについて書かれていますが、CCPM システムの継続的改善については、Lean Project Management (Leach, 2006)、および、著者の記した PMI Network and Journal articles (Leach 2001, 2001-2, 2003) のみが触れている文献です。多くの組織が、CCPM によって、プロジェクトを劇的に改善し、成功に導いていますが、それらの実績を、さらに、改善することは、なかなかうまくいきません。

本書は、著者の多くの資料を更新し、進行中の改善プロセスをどのように実行するかを、さらに詳しく述べたものです。これは、どのようなプロジェクト実行プロセスにも適用できますが、プロジェクトバッファの状況を把握し、管理するという特定のケースでは、CCPM に固有なフィーチャーを使います。

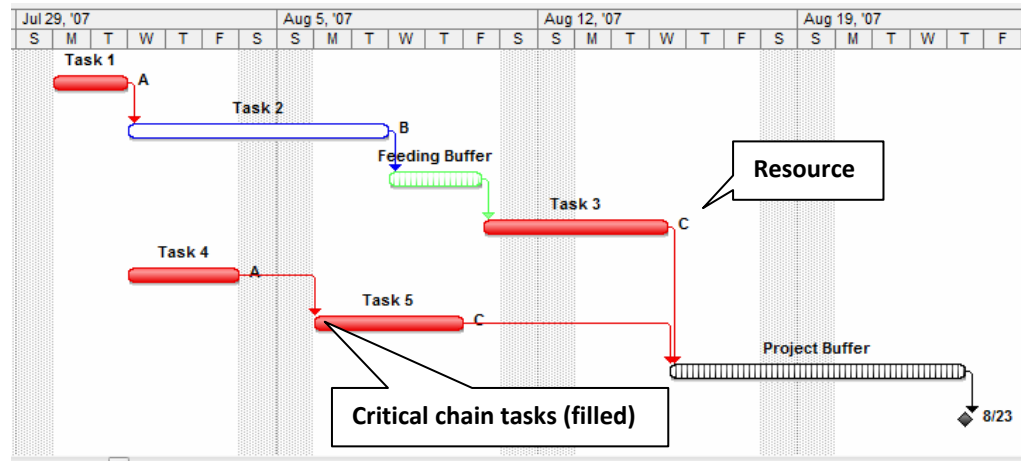


Figure 1: Simple project CCPM schedule illustrates the critical chain and project buffer.

組織は、それがどんな組織であっても、二つの理由で、プロジェクトを適切に、予定した時間で完了する能力を、システムとして改善をし続けなければなりません。最初の理由は、競争が存在する世界では、CCPM を採用することによって得られる「大きい改善」に満足してはいけなからです。競争相手も同じことを行います。そして、改善を継続しない組織は、改善を継続し続ける組織に追い越されてしまいます。二番目の理由は、安定したシステムは、放置したままでは安定した状態を継続できません。熱力学の法則により、放置したままでは、システムは、時間の経過、その利用と共に劣化してゆくことが確かめられています。したがって、組織が、改善をし続けないと、それは劣化してゆきます。

プロジェクトを、適切に、そして時間どおりに完了させるための改善は、二つのレベルで行なわれます。すなわち、プロジェクトを完了させるためのシステムのレベル、および、プロジェクトタスクから構成されるワークプロセスのレベルです。これら両方とも、プロセスです。そして、一組の、同一のプロセス改善ツールが適用されますが、二つのレベルでは、異なることに使われます。デミング博士は、彼の深

遠な学識のポイントの一つである"Appreciation for a system"を説明するとき、「システムの管理には、…システムの中の、すべてのサブプロセスの間の相互関係についての知識を必要とし、さらに、サブプロセスで働くすべての人の間の相互関係を知ることが必要である」と述べています。

マネジメントの仕事は、システム全体を最適化することです。「部分の最適化は高くつきませ(Latzko and Saunders, p. 35)。この理由から、改善は、二つのレベルの間の関係も考えなければなりません。

デミング博士は、また、「システムの目的は、システムに関係するすべての人にとって、明確でなければならない。目的がなければ、システムは存在し得ない」とも述べています。皆さんの「プロジェクト引渡しシステム」の明確な目的を定義しなければなりません。CCPMのプロジェクト引渡しシステムの一般的な目的(または、目標)は、プロジェクトの完了に貢献するすべての人たちにやりがいのある仕事を提供しつつ、同時に、許された時間と予算の範囲内で、顧客の要求を満たすプロジェクトの成果物を引き渡すことです。上で述べたように、現在、および、将来とも、この目標を満たし続けるには、中断することのない、継続的なシステムの改善が必要です。

ジョゼ フジュラン博士(1988)は、顧客に、品質の高い製品を提供するために必要となる、下記の三つの機能を特定しました。

1. 品質計画を持っていること
2. 品質をコントロールすること
3. 品質を改善すること

最初の二つの項目は、現在の顧客を満足させるために必要であり、三つ目の項目、すなわち、「品質を改善すること」の基礎を形成します。そして、「品質を改善すること」は、将来の顧客を満足させるために必要なことです。クリティカルチェーンによるプロジェクトマネジメント (CCPM) をテーマにして書かれた本や論文の多くは、最初の二つの項目のみについてしか書いていません。本書は、将来の顧客を満足させるために必要となる三番目の「品質を改善すること」に関係している、最初の二つの項目を構成する要素のいくつかについても述べますが、それらは「品質改善」に焦点を合わせたものです。

本書では、プロジェクトの成果物を予定通りに依頼主に引き渡すということを、「プロジェクトの完成時期の予測精度」、および、「全体的なプロジェクト期間」という二つの観点から、その技術的な特性を議論します。長期的にみると、通常、「顧客ニーズを充足すること」という観点からみた技術的品質の方がより重要ですが、これは本書の議論の対象ではありません。ここで提示されるプロセスの大部分は、これらの特性にも適用できます。著者がこれまでにプロジェクトで経験したことでは、ほとんどの場合、スケジュール通りに、もしくは、スケジュールよりも早く完了したプロジェクトは、コスト的にも予算通りに、もしくは、それ以下のコストで、しかも、プロジェクトに求められていた成果物をすべて完成して引き渡されています。もし、皆さんのプロジェクトで、コストが重視されていて、コスト管理が求められているなら、本書で説明されている要素を、これらにも適用できます。その場合、「コストバッファ」と対応する「(fever chart)」を使います (Leach, 2006)。

制約理論 (TOC)(Goldratt, 1990)は、システム改善に焦点を合わせた強力なツールです。TOCは、システムの全体的な目標の設定から始まります。そして、目標達成に向かい、「最も大きい、システムとしての改善が実現できる領域」に焦点を合わせるために有効なツールを提供しています。TOCは、プロジェクトミックスを所与として、任意の時点で、たった一つの制約が、目標を達成するために必要となる、「システムを通過するフロー」を制限している、と主張しています。そして、その「たった一つの制約」に関係する改善のみが「ボトムラインの改善」をもたらす、と主張しています。TOCは、上記につ

精度

「精度」という言葉は、よく、誤って解釈され、「結果が厳密に予測と一致すること」を意味すると取られる。「The PMBOK™ Guide、および、そのグロッサリー (PMI 2005, p. 41)」は、この用語の意味を正しく定義している。すなわち、“accuracy (+ x percent)”である。精度は、あるプロセスを経ると、結果がその中に落ちるであろうという「範囲」を意味する。これは、決定論的な「単一の値」を意味しているのではない。

いての知識を活用するために、下記の「5のステップからなるプロセス（5段階継続的改善プロセス）」を提供しています。

1. 制約要員を識別する
2. 制約要員を徹底的に活用し、目標を達成するのに必要なフローレートを大きくする（CCPM システムではプロジェクトの結果）
3. 制約要員を徹底的に活用することに影響を与える、システムの中にある他の要員を制約に従属させる
4. 制約要員を高める、言い換えると、制約要員の負荷を軽くしたり、制約要員を大きくしたりして、制約要員がフローを妨げないようにする
5. 制約要員を高めると、それまでの制約要員は、もはや、制約要員ではなくなり、新しい制約要員が現れてくるので、ステップ1に戻り、この5のステップからなるプロセスを繰り返す

このプロセスは、それが利益追求のシステムであろうと、非営利的なシステムであろうと、あらゆるシステムで、非常に大きい改善を生み出してくれます。

プロジェクトを依頼者に引き渡すまでのプロセスの品質を改善し、引き渡すまでのスケジュールの予測の精度を改善することは、将来、バッファを回復するための行動を減少させ、将来のプロジェクトのためのプロジェクト期間を減少させることにつながりますが、そうするには、バッファの状態をモニターし、バッファを管理するという、CCPM によるコントロール機能を使うという以上の、もっと深く掘りさげて分析することが必要です。

シックスシグマは、DMAIC プロセス (Pande, Neuman, and Cavanagh, 2001)を使い、どんなシステムでも改善します。DMAIC プロセスの要素は下記のようなものです。

1. 定義する (DEFINE) : 問題や機会ソリューション要件、ゴールを識別する
2. 測定する (MEASURE) : 改善のために、「あるがまま (“as-is”) のプロセス」からデータを収集する
3. 分析する (ANAYZE) : ばらつき (variation) の原因を確かめ、改善の機会を確認する
4. 改善する (IMPROVE) : プロセスの改善の仮定を作り、検証し、プロセスの改善の仮定を正しいものにする
5. コントロールする (CONTROL) : こうして得られた結果を実行し、人々の取るべき行動尺度を展開して、これらの新しいプロセスをコントロールし、改善する

この標準 DMAIC プロセスは、明示的に記述されていない六番目のプロセスを欠いています。すなわち、TOC の5段階継続的改善プロセスの五番目のプロセスで、DMAIC プロセスでも、繰り返すことが必要です。しかし、これはシックスシグマの中では当然のこととされています。TOC の5段階継続的改善プロセスの五つステップを、シックスシグマと組み合わせると、大きな改善相乗作用が生まれます。

Walter Shewhartは、プロセス改善を大きく機能アップするツールを開発しました(Shewhart, 1939)。彼は、変動性があらゆるところに存在するのに気付きました。しかし、ある特定のプロセスを与えられたとき、変動の多くの原因は経済的にコントロールできません。彼は、これらを「偶発原因 (chance causes)」と呼んでいますが、もっと一般的には、「日常的に発生する通常の統計的変動 (Common-cause Variation)」と呼ばれています(Deming, 1988)。日常的に発生する通常の統計的変動のもっと完全な定義は以下の通りです(www.iSixSigma.com)。

日常的に発生する通常の統計的変動 日常的に発生する通常の統計的変動は、データの平均を中心に、左右に均等に分布するランダムな分布をもたらす未知の要素によって引き起こされる変動です。日常的に発生する通常の統計的変動は、プロセスの可能性、換言すると、特別な原因による変動が取り除かれたとき、そのプロセスがどれくらいよく動くことができるかを示す尺度です。したがって、この統計的変動は、プロセステクノロジーの尺度です。また、この統計的変動は、ランダムな変動、ノイズ、コントロールできない変動、郡内変動 (within-group variation)、固有な変動 (inherent variation) などと呼ばれます。例えば、小さいインパクトを与えるたくさんの何かです。

さらに、この統計的変動は、5Ms and an "E" (Manpower, Material, Method, Measurement, Machine, and Environment)の一つ、もしくは、複数に起因する特別な原因 (non-normal causes) による変動を取り除いたあとに残る変動性です。5Ms and an "E"は、6Ms (Man power, Mother nature, Materials, Method, Measurements or Machine)とも呼ばれます。

Shewhartは、変動を効果的に減少させるには、取り除くことが経済的に引き合う変動の原因に焦点を合わせなければならない、と提案しました。彼は、これらの変動性を、「突き止められる原因 (assignable causes)」と名づけましたが、今日では、一般に、「特別な原因 (special-cause)」と呼ばれます。特別な原因による変動のもっと完全な定義 (www.iSixSigma.org) <http://www.iSixSigma.org>を下に記します。

特別な原因による変動

日常的に発生する通常の統計的変動とは異なり、特別な原因による変動は、変動を惹き起こす要因を知ることができ、生じてくる結果の変動はランダムな分布とはなりません。特別な原因による変動は、例外的な変動、「突き止められる原因 (assignable causes)」による変動とも呼ばれます。例えば、大きいインパクトを与える、ごく少数の何かです。

特別な原因による変動は、環境条件とか、プロセスへのインプットパラメタなどの特別な要因によって引き起こされる、アウトプットでのシフトです。これは、説明のできる、そして、潜在的に、直接、除去できるもので、プロセスコントロールの測定尺度です。

著者は、「突き止められる (knowable)」を付け加えましたが、これは、それらの原因となる要素が「既知 (known)」であるとするなら、だれでも、それらを取り除いてしまっているからです。シックスシグマは、要素、言い換えると、特別な原因を特定する原因分析ツールを提供しています。

PMBOK ガイド、その用語集でも、日常的に発生する通常の統計的変動、特別な原因による変動を正しく定義していますが、この概念を、スケジュール計画の作成、リスクマネジメントを含むコントロール、そして、改善に適用していません。

リーン(Lean)

TOCと同様、リーンは生産から生まれた。多くの人が、リーン生産のモデルは、トヨタ生産システムであると考えている。リーンは、下記の五つの原理により、ムダを排除することに焦点をあてる。

- バリューを識別する
- バリュー・ストリームを識別する
- フローを重視する
- プル方式
- 完璧を目指す

リーンの考え方は、下記の八つのムダの除去に焦点を合わせる

1. 製品の欠陥(手直し)
2. 販売の当てのない品目の生産
3. 処理を待つ在庫の山
4. 不必要な処理
5. 原材料、製品の不必要な運搬
6. 人の不必要な動き/動作
7. 処理するための原材料を待っている人々の時間
8. 顧客ニーズを満たさない製品やサービス

また、リーンは、五つのよい習慣("5 Ss")を重視する

1. 整理
2. 整頓
3. 清掃
4. 躰
5. 清潔

二つのタイプの変動を区別する理由

これらの二つのタイプの変動を区別する理由は二つあります。最初の理由は、これらの二つのタイプの変動に対処するための行動が異なるからです。特別な原因はプロセスの中で発生し、消えてゆくので、通常、それらは、プロセス自体を変更させることなく、現場で働く人たちによって除去できるものです。特別な原因を特定して取り除く仕事は、通常、プロセス オペレータ、例えば、プロジェクトマネージャとプロセスに関わる要員（人々）の仕事です。他方、日常的に発生する通常の統計的変動を小さくするには、プロセス自体を変えることが必要であり、したがって、それは、マネジメントの責任です。

二つの異なる種類の原因を区別する二番目の理由は、日常的に発生する通常の統計的変動を特別な原因による変動と間違えたり、逆に、特別な原因による変動を日常的に発生する通常の統計的変動と間違えたりすると、変動を大きくしてしまうからです (Leach, 2001)。そのため、場合によっては、安定しているプロセスを不安定にしてしまうことさえあります。

犯し易いエラーには、二つのタイプがあります。

1. タイプ1のエラー：「日常的に発生する通常の統計的変動」を「特別な原因による変動」と間違えるエラー
2. タイプ2のエラー：「特別な原因による変動」を「日常的に発生する通常の統計的変動」と間違えるエラー

デミングは、漏斗とボールを使う実験を行い、これらの誤りが、いかに、破壊的なダメージを与えるかを示しています (Deming, 1982)。著者は、PM Network 掲載の論文 (Leach, 2001) で、この実験を説明し、その結果を例示しています。変動に関するこれらの事実を理解すると、プロジェクトでの変動をどのように管理するかに関係するいくつかの重要な結論が導けます。このことについては、著者は、PM Network の論文で報告しています。本書は、そこに書かれていることを、さらに発展させたものです。

コントロール チャート

Shewhart は、プロセスで特別な原因が、悪さをしているらしいかどうかを決めるツールを開発しました。それは、コントロール チャートです。このコントロール チャートは、シックスシグマ プロセスの中に位置づけられている「力仕事 (heavy lifting)」ツールの一つです。これは、TOC の5段階継続的改善プロセスの最初のステップ、すなわち、「制約要員を識別する」というステップから始まります。著者は、このコントロール チャートの一つの使い方を例示するため、CCPM のバッファのサイズを決め (Leach, 2003)、時間の経過と共に、プロジェクトを完成し、引き渡すためのプロセスを改善する方法を示しました。本書は、そこでのリコメンデーションを更新し、拡張したものです。

体温表 (fever chart)

プロジェクトに携わっているほとんどの組織では、プロジェクトを完成するまでのプロセスに、コントロール チャートを適用していません。したがって、CCPM を開始するとき、それらの組織では、なんらかの一つのプロセスを定義し、「体温表 (fever chart)」 (Leach, 2003) を使って、バッファを回復するためには、プロジェクトの中で、いつ行動を取ったらよいかを決めます。体温表により、「バッファの消費パーセント」と「プロジェクトの完成パーセント」を対比して、その推移を追跡できます。

体温表は、統計的工程管理 (SPC) の言葉でいう「ランチャート (run chart)」の特別なバージョンであり、今後の SPC のための資料を収集し始めるための一般的な方法です。コントロール チャートほど強力ではありませんが、これを使うと、統計的コントロールの状態がどうか、また、ランチャートを使い (Deming 1982, pps.7, 310, 311, 313, 327)、特別な原因による変動がありそうかどうかについて、初期の推論をすることができます。体温表は、また、マネジメントがいつも抱く「いつ、完了するのか」という質問に答えるのに役立ちます。

体温表は、いつ、バッファ回復の行動をとったらよいかの時間的限界を教えてください。この時間的限界は、プロジェクトを成功させ、納期までに完了するのに必要なことと、プロジェクトの実績の実態についてのデータを比較して決められますが、これは、生産プロセスでの許容限度に相当するものです。

プロセスが、これらの限界を超えたとき、プロジェクトに求められているプロジェクトのスコープを組み込み、顧客に約束した納期までに、プロジェクトを完了するためには行動が必要であることを意味します。バッファ管理のためのこれらの行動は、バッファを余分に使ってしまった原因を決定するのではなく、そして、将来のプロジェクトでの遅れを発生させる原因を取り除こうとするものでもありません。換言すれば、これらの行動は品質を改善するための行動ではなく、品質管理の行動であるということです。

プロジェクトでの間違い

プロジェクトの中での最初のタイプのエラーには、下記のようなものがあります。

1. タスクの納期の小さな遅れに、その遅れの説明を求め、遅れを取り返すための行動を要求する。
2. 新しいプロジェクトの推定に、完了したプロジェクトの実際の完了期間やコスト実績を使う。

プロジェクトの中での二つ目のタイプのエラーには、下記のようなものがあります。

1. プロジェクトがコントロールクライテリアを越えてしまっても行動をとらない。
2. プロジェクトのバッファ消費が 100%を越えたとき、バッファサイズを大きくする、もしくは、逆に、プロジェクトがバッファをあまり、使わないときバッファサイズを小さくする。

プロセス改善へのシックスシグマのアプローチは、「社会の敵ナンバーワン」として、変動に焦点を合わせ、それを小さくしようとします。そして、ほとんどの人々が、いつも、時間的にプロジェクトをより速く完成させたいと願ひ、プロジェクトに求められているスコープをすべて入れ込み、そのコストとスケジュールが正確に予測できるとよい、と思っています。予測精度を改善するには、プロジェクトを実行するときの変動性を小さくすることが必要です。CCPM の考え方に基づくプロジェクトでは、与えられたバッファと対比し、これからこなさなければならない、残っているクリティカルチェーンの長さを較べ、予測します。

プロジェクトを引き渡すまでのプロジェクトの改善

まず、全体的なプロジェクトの完成、顧客への引渡しシステムについて考えましょう。

システムは、顧客によるプロジェクトに期待するニーズの識別、確定から始まり、顧客を満足させることのできるプロジェクトの完成で終わります。

皆さんの職場でのプロセスの詳細は異なるでしょうが、このようなプロセスは、すべて、下記と同じようなステップを持っています。

1. 問題、もしくは、機会を識別し、多分、数値化する。
2. プロジェクトで実行するソリューションを決める。
3. プロジェクトのスコープを明確にする（この行動は、行動構成明細[WBS : Work Breakdown Structure]から始まる）。
4. こうして得られるプロジェクト スコープを計画し、実現する責任を割り当てる。
5. プロジェクト計画を作成する。そこには、プロジェクト スコープの定義、スケジュール、予算、および、プロジェクトの行動の権限とコントロールを行うためのプロセスが含まれる。
6. プロジェクトタスクを実際に行う。
7. プロジェクトを完成し、引き渡すためのプロセスを定義し、状態を測定し、コントロールする。

PMBOK™Guide は、上記以外にも、多くの詳細なプロセスステップを挙げています。

CCPM では、バッファへの消費を、コントロールするための主要な尺度として使います。バッファの消費は、プロジェクトの進捗状況の更新時点で、バッファをどれくらい使っているかの推定値です。バッファ管理の行動は、取り組んでいるプロジェクトについてとられる行動で、必ずしも、プロジェクトを実行し、引き渡すまでのプロセスの改善につながるというわけではありません。品質の観点から見ると、それらは、規格外的な状態に対応するための「是正措置」です。ここで、specification

LPMにより、継続的に改善を実現する

とは、体温表の「行動限界」です。そして、バッファ管理では、行動限界を超えさせてしまった原因を特定する必要はありません。ここでは、問題が悪い影響を与えないようにするためのソリューションを作成する、つまり、バッファを回復することです。

ここで議論しているシステムについては、既に、その定義をしています。すなわち、プロジェクトを実行し、引き渡すシステムです。皆さんのCCPMの実行には、プロセスオーナーを指定し、プロセスを定義するための正式なアプローチが含まれており、また、プロセスフローチャート、および進捗状況を評価する尺度も含まれていることを願っています。もし、そうでなければ、皆さんは、その作成からスタートすべきです。

複数プロジェクトシステムの改善

TOCは、どんなシステムでも、制約での改善が、もっとも重要であることを示し、総合的な改善アプローチとして、「改善のための5つのステップ（5段階継続的改善プロセス）」を提案しています。

複数プロジェクト環境では、ドラム要員が制約です。したがって、改善は、ドラム要員から始まるべきです。ドラム要員（戦略的要員）が行うタスクよりも上流のタスクでの改善をいくら行っても、それらの改善は、システムのスループットを大きくできません。せいぜい、プロジェクトで処理している在庫を、少々、減少させるのにすぎないでしょう。

ドラム要員が行うタスクよりも下流のタスクでの改善は、システムのスループット、および、行動在庫に、それなりのよいインパクトを与えますが、そのインパクトの大きさには限界があります。

しかし、ドラム要員が行うタスクのプロセスの改善はとても大きなインパクトをもたらし、即座にスループットを大きくさせ、在庫を減少させ、業務費用を小さくすることができます。複数プロジェクトに取り組んで入る環境で行なう改善は、改善の焦点をそこに合わせなければなりません。

複数プロジェクトの体温表は、プロジェクトを実行している期間を通じて、「コントロールを行うための意思決定をどうしたらよいか」についての主要な判定尺度です。また複数プロジェクトの体温表からは、プロセス改善に役立つ情報が得られます。ここでは、まず、単一プロジェクトを取り上げ、体温表、および、コントロールチャートにプロジェクトの実績をプロットするのに使われた同一のソースデータが、どのように、いろいろな目的に使えるかを例示します。

体温表の使い方の定義には、下記のものが含まれます。

1. プロジェクトバッファの大きさを決めるためのプロセス。いくつかの方法が利用可能であるが、すべてはタスク期間推定値にかかっている。
2. 縦座標は、クリティカルチェーンの完了率が0%、および、100%のところで二本の基準線と交差している。
3. タスクの実際の開始日、完了期日でタスクの状況を把握し、行動中のタスクの完了までに、あと、どれくらいの時間が必要であるかを推定する。
4. バッファの消費が、最大でどれくらいになるかを定めるため、仕掛中のタスクについて完了までに必要な追加の作業量を入力する。
5. 体温表上に、消費されたバッファの%をクリティカルチェーンの完了した%と対比して、各時点での状況をプロットする。

体温表のポイントは、線で結ばれ、また、各ポイントはプロジェクトの進捗状況の更新の結果で示されますが、更新は、通常、一定の時間間隔、例えば、一週間間隔で行われます。バッファの消費は、クリティカルチェーンに沿った推定タスク期間と実際のタスク期間の違いを蓄積してゆくことに注意してください。体温表には、通常、一つの表が付いており、そこには、バッファへの浸透を惹き起こしているタスクが特定されています。場合によっては、プロジェクトの完了がいつになるかの推定も提供できるようになっています。

体温表には、取るべき行動を区分けする二本の基準線が引かれています。この二本の線により、緑色、黄色、赤色の色分けで区別される三つの領域に分けられます。プロジェクトの状況を示すポイントが、緑色領域から黄色領域に移ることは、「バッファ回復の計画を作成しなさい」というシグナルを意味します。黄色領域から赤色領域に移ることは、「作成してある計画に従って、バッファ回復を実行しなさい」というシグナルを意味します。この二本の基準線が、クリティカルチェーンの完了率が0%、および、100%のところで、縦座標のどこで交差するかは、プロジェクトを行う組織が決めます。標準の計算方法は存在していません。Fig-2の交差点は、典型的な選択を示しています。

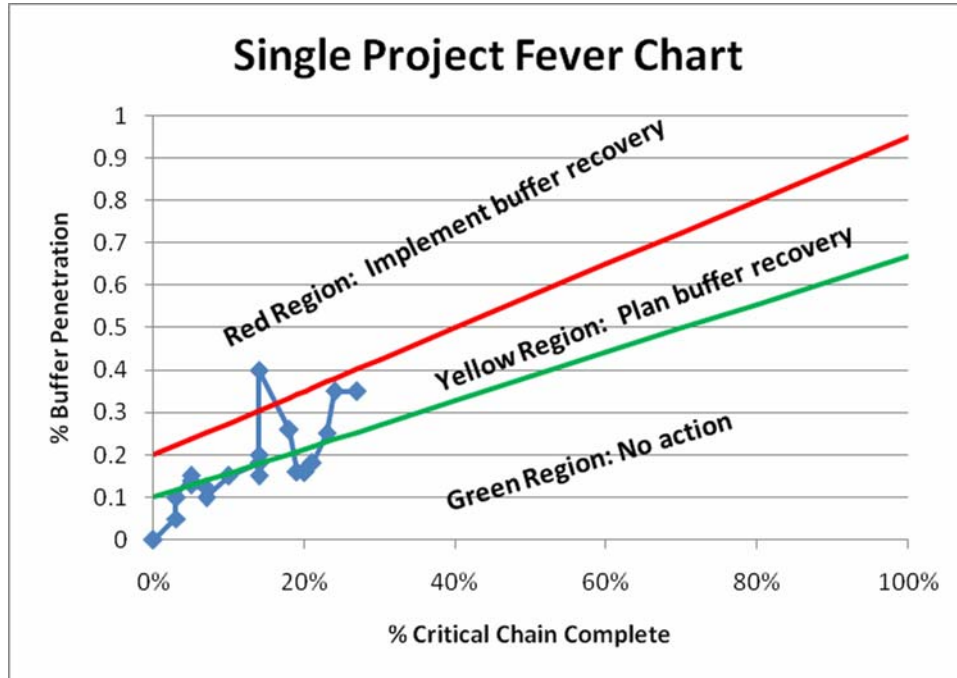


Figure 2: Single project Fever Chart tracks buffer penetration vs. control criteria.

バッファ管理は、ある領域から上の領域に、プロジェクトの状況が移ったことを示すシグナルが発せられたときは、バッファ回復計画を作成する行動を取ったり、あらかじめ作成しておいたバッファ回復計画を実行に移したりすることです。

ここで、「バッファを回復する」とは、まだ、完成していないタスクのタスク実行期間を短くすること意味します。そのための行動には、遅れを惹き起こしていた原因が取り除かれたことを確認し、そのタスクが実際に進行していること、タスクの完成までの時間がさらに短縮できていることが含まれ、失われた時間が回復できなくてはなりません。そして、具体的に取られる行動には、これらのタスクに取り組む要員に残業を行わせたり、一週間当りの実働労働時間を長くしたり、要員を交代させたり、増員したり、タスクプロセスを変更したり、タスク ロジックを変更したりすることが含まれています。

バッファ管理が、一般的なプロセスの改善ではなく、現在のプロジェクトのコントロールについてのものであることに注意してください。しかし、バッファ管理を行って、バッファを回復する必要ができたとき、それは、特別な原因による変動によるものであるかも知れません。その経験は、これから行うプロジェクトで、同じ特別な原因による変動を避けることに役立つかもしれません。

こうして、バッファを回復する必要を発生させた原因についての情報を蓄積して行くことは、改善のための分析に貴重なデータを提供します。この中には、バッファ回復の行動を必要とさせる可能性のある原因のパレート図も含まれています。もう一つ、別の目的のために、下のパレート図を使う例を示しておきます。この分析で使えるような原因には、以下のようなものがあるでしょう。

- タスクのインプットが遅かった
- 要員の利用可能量が足りなかった
- 要員のスキルが不適切であった
- タスクが、予想よりも複雑であった
- やり直し、手直しが必要となった
- タスク要件が正しくなかった、もしくは、不十分であった
- その他（説明：_____）

多くのプロジェクトで経験されたことを蓄積してゆくと、そこから、「よく起きがちな、そして、インパクトの大きい特別な原因による変動」が見えてきて、そこから、全体的なプロセスの改善を何処でおこなったら良いかが判明してくるでしょう。

複数プロジェクトの体温表

複数プロジェクトの体温表では、折線ではなく、各プロジェクトを一つのポイントで示します。各プロジェクトのポイントは、**共通の更新時点**でのプロジェクトの状態を示します。複数プロジェクトの体温表は、マネジメントに、全体的なプロジェクトポートフォリオビューを提供するだけであり、プロジェクトコントロールやプロセス改善の一部ではありません。

右側の箱の中で、Excelのスプレッドシートで、容易に行えるコントロールチャートを作成するための簡単なステップについて説明しています。バッファの消費を管理するためのコントロールチャートを作成する場合、いくつかの選択があります。

コントロールチャートの目的は、プロセスが、いつ、特別な原因による変動によって大きな影響を受けるようになりそうかを特定することですが、コントロールチャートの機能を簡単、かつ、適切に行うために、著者は、「バッファの消費の増分」と「バッファの消費の累積」を較べて見ることができるようなチャートを作成することをお勧めします。こうすると、このチャートは、コントロールチャートとして、体温表よりも敏感になると思います。

Fig-3 は、Fig-2 で使われたのと同じバッファへの消費データを使って作成された一つのコントロールチャートの例です。これらのチャートは、プロジェクトの状況が更新され、計算されたバッファへの消費状況を、順番に並べたものです。これらのチャートでは、体温表では、バッファへの消費が累積値で示されるのとは異なり、状況の更新をしたときに、その前の更新のときの状況との変分を示しています。最初のチャートは「範囲チャート (range chart)」と呼ばれ、各更新で見られるバッファへの消費の変分の絶対値、相前後する二つの更新の変分の平均、そして、コントロールの情報源、下限を示しています。

両方のチャートは、いずれも役立ちますが、ユーザは、2番目のチャートにより多くの注意を向ける傾向があり、最初の範囲チャートは、2番目のチャートを作成するためのツールであるとみなすます。

2番目のチャートは、それぞれの状態の更新ごとの実際のバッファの消費の、プラス、または、マイナスを示しています。これらの限界の外にあるポイントは、何か、普通ではない、特別な原因による変動が起こったことを示しています。これをトリガーとして、なぜ、このような変動が起こったか、その原因を調査して、将来のプロジェクトでのプロセス改善を行うべきです。

このような場合、両方のチャートに見られる最初の兆候は、体温表の行動シグナルに対応しますが、突然のシフトとして生まれてきます。体温表での行動シグナルは、バッファへの消費が着実に増大することで生まれてきますが、これはコントロールチャートでは見えないかもしれません。同様に、コントロ

単一プロジェクトのコントロール・チャート

コントロール・チャートにはさまざまなものがある。コントロール・チャートは対になっている。すなわち、その一は、サンプルのレンジを示すものであり、その二は、測定の対象となる項目(x)<See Table-1>である。ここでの場合は、バッファへの食い込みである。

ここに示されている一対のチャートは、二つで一つの移動範囲:moving range (mR)を構成する。各ポイントの示す移動範囲は、それぞれの状態把握時点でのバッファ食い込みの大きさとその前の状態把握時点でのバッファ食い込みの大きさとの差の絶対値である。

このデータから2つの値が得られる。すなわち、移動範囲から、移動範囲の3.37倍の上限、および、下限ゼロである。

バッファへの食い込みを示すチャート(x)の上側の管理限界は、バッファ変化ポイントの平均に、移動平均レンジ(average moving range)の2.66倍を加えたものであり、また、その下側の管理限界は、バッファ変化ポイントの平均から、移動平均レンジ(average moving range)の2.66倍を引いたものである。

Wheeler, 2000, p. 60)

ール チャートのシグナルは、図表に示されている二次シグナルのケースのように、かならずしも、体温表に、それに対応するシグナルがないかもしれません。この二次シグナルの原因は、「バッファ回復行動」として知られています。

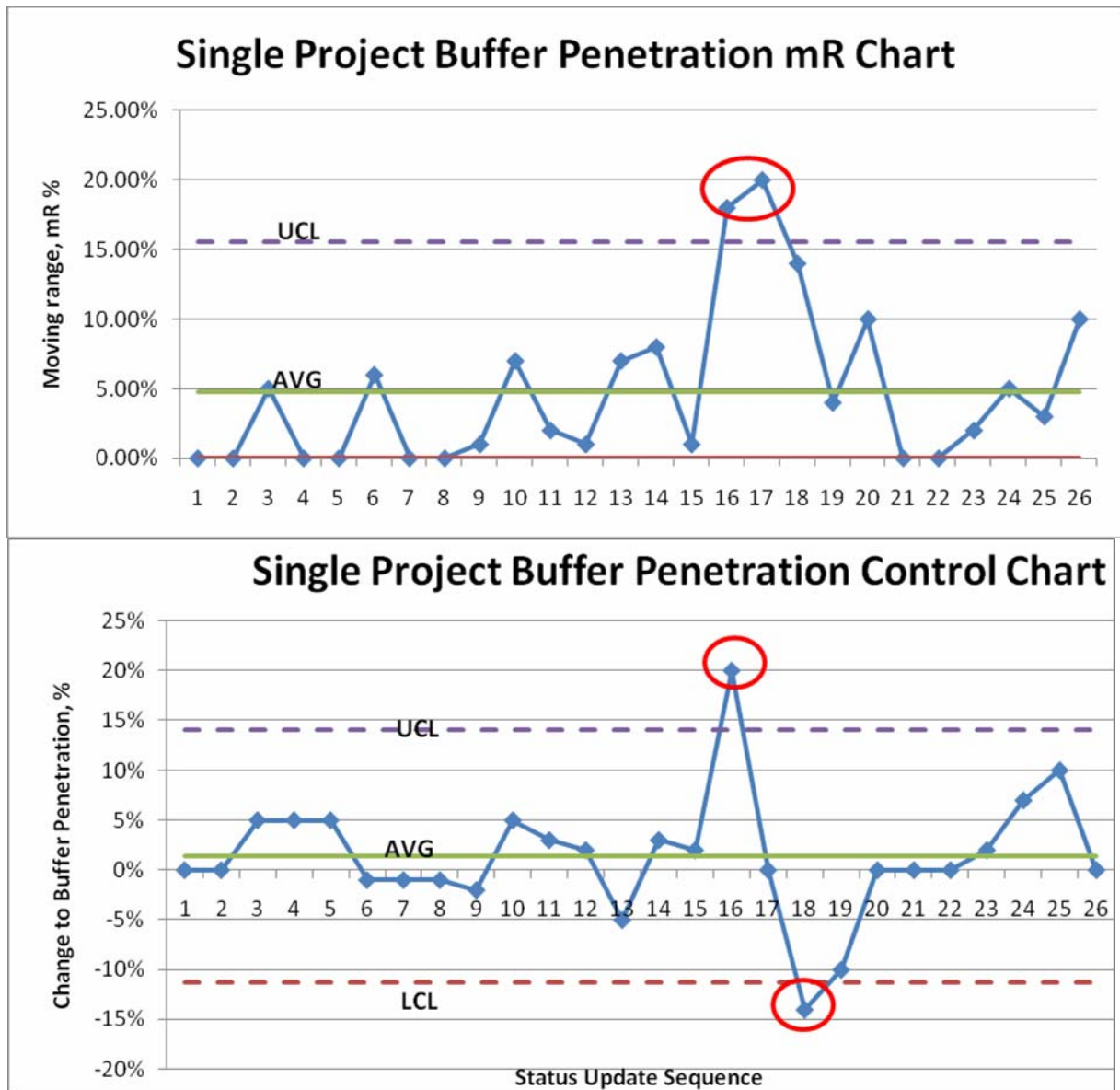


Figure 3: Single project Control Chart tracks buffer penetration changes vs. status update point to identify results likely to be from special causes.

Table 1 のカラム X は、コントロール チャートを作成するのに使われるデータです。すなわち、更新ポイントから更新ポイントまでのバッファへの消費(Buffer P)の変化の大きさです。スプレッドシートにより、各セルに指定されている計算方式に従い、残りのカラムの値が生成されます。チャートをテーブルと比較してください。そして、チャートで表現されている情報が、どのようにインディケーションポイントを「ポップアップ」させ、直ちに、データトレンドを突き止めるのに役立つかを確認して下さい。

Table 1: Calculation table for single project buffer penetration control chart illustrates the calculations.

Point	CC Complete	Buffer P	X	mR Chart				X Chart		
				mR	LCL	Avg	UCL	LCL	bar	UCL
0	0		0%	0	0.0%	4.8%	15.6%	-11.3%	1%	14.0%
1	0%	0%	0%	0%	0.0%	4.8%	15.6%	-11.3%	1%	14.0%
2	3%	5%	5%	5%	0.0%	4.8%	15.6%	-11.3%	1%	14.0%
3	3%	10%	5%	0%	0.0%	4.8%	15.6%	-11.3%	1%	14.0%
4	5%	15%	5%	0%	0.0%	4.8%	15.6%	-11.3%	1%	14.0%
5	5%	14%	-1%	6%	0.0%	4.8%	15.6%	-11.3%	1%	14.0%
6	5%	13%	-1%	0%	0.0%	4.8%	15.6%	-11.3%	1%	14.0%
7	7%	12%	-1%	0%	0.0%	4.8%	15.6%	-11.3%	1%	14.0%
8	7%	10%	-2%	1%	0.0%	4.8%	15.6%	-11.3%	1%	14.0%
9	10%	15%	5%	7%	0.0%	4.8%	15.6%	-11.3%	1%	14.0%
10	14%	18%	3%	2%	0.0%	4.8%	15.6%	-11.3%	1%	14.0%
11	14%	20%	2%	1%	0.0%	4.8%	15.6%	-11.3%	1%	14.0%
12	14%	15%	-5%	7%	0.0%	4.8%	15.6%	-11.3%	1%	14.0%
13	14%	18%	3%	8%	0.0%	4.8%	15.6%	-11.3%	1%	14.0%
14	14%	20%	2%	1%	0.0%	4.8%	15.6%	-11.3%	1%	14.0%
15	14%	40%	20%	18%	0.0%	4.8%	15.6%	-11.3%	1%	14.0%
16	14%	40%	0%	20%	0.0%	4.8%	15.6%	-11.3%	1%	14.0%
17	18%	26%	-14%	14%	0.0%	4.8%	15.6%	-11.3%	1%	14.0%
18	19%	16%	-10%	4%	0.0%	4.8%	15.6%	-11.3%	1%	14.0%
19	20%	16%	0%	10%	0.0%	4.8%	15.6%	-11.3%	1%	14.0%
20	20%	16%	0%	0%	0.0%	4.8%	15.6%	-11.3%	1%	14.0%
21	20%	16%	0%	0%	0.0%	4.8%	15.6%	-11.3%	1%	14.0%
22	21%	18%	2%	2%	0.0%	4.8%	15.6%	-11.3%	1%	14.0%
23	23%	25%	7%	5%	0.0%	4.8%	15.6%	-11.3%	1%	14.0%
24	24%	35%	10%	3%	0.0%	4.8%	15.6%	-11.3%	1%	14.0%
25	27%	35%	0%	10%	0.0%	4.8%	15.6%	-11.3%	1%	14.0%

新しいコントロールチャートで、有効な管理限界を確立するには、いくつかのポイントが必要であるかについて、意見は異なります。Shewhart (1939, p. 37) は、4つのデータポイントの平均からなる、少なくとも25の値が必要であると言っています。最近では、例えば、Wheeler (Wheeler, 2000, p. 60) のように、5つか6つのデータポイントかえられる情報でも、役に立つと言っています。Excel スプレッドシートを使うことの良いことは、新しいデータが得られるたびに、管理限界を更新できるということです。もっとも、これには、論議の余地があるかもしれませんが。

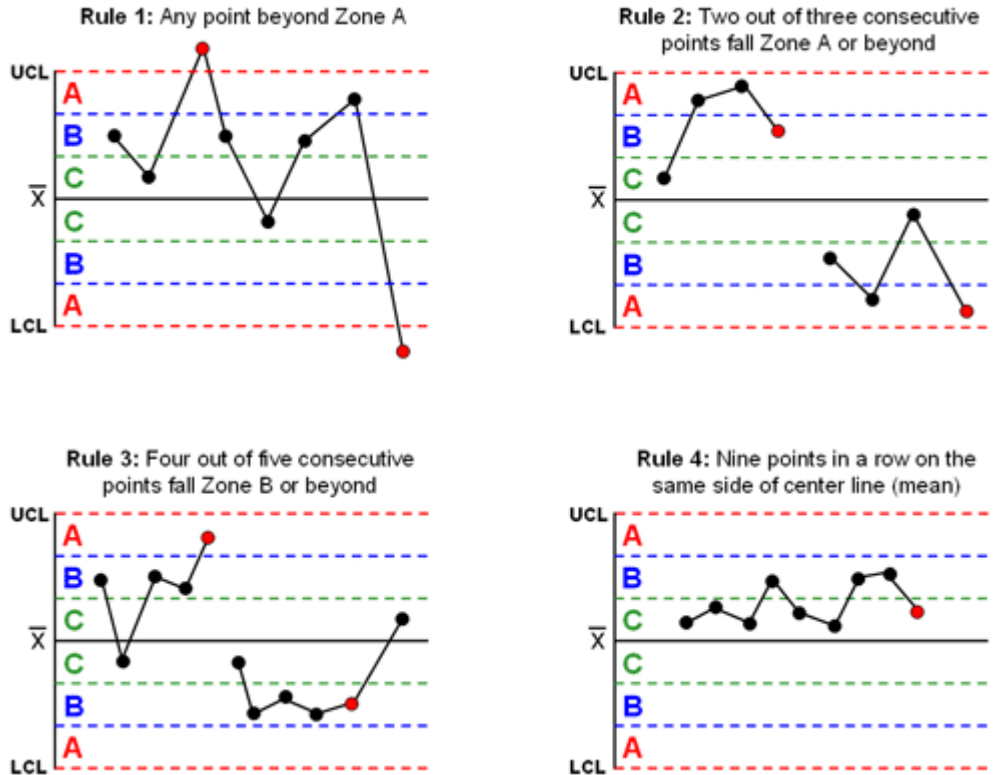
コントロールチャートからのシグナルを読み取るための、別な方法もあります。信号の最も普通の、一組のシグナルがありますが、これは、20世紀前半に Western Electric によって開発されたもので、Western Electric Rules として知られています。ここでは、平均と管理限界の間の距離を、およそ、標準偏差 σ に基づいて、三つのゾーンに区分します。

ルール1：センターラインから 3σ の外にあるデータポイント(すなわち、上側、または、下側の管理限界を超え、Zone Aの外に落ちているデータポイント)

ルール 2：連続した3つのポイントのうち、2つが、センターラインの同じ側で、 2σ の管理限界の外(すなわち、ゾーン A、もしくは、それ以上)に落ちた場合

ルール 3：連続した5ポイントのうち、4つが、センターラインの同じ側で、 1σ の管理限界の外(すなわち、ゾーン B、もしくは、それ以上)に落ちた場合

ルール 4：連続した9つのポイントが、センターラインの同じ側に落ちた場合(すなわち、ゾーン C、もしくは、それ以上)



ところで、過去のプロジェクトのコントロールチャート線と限界を、新しいプロジェクトで使えるでしょうか。それとも、個々のプロジェクトで、それぞれ、新しいチャートを作るべきでしょうか。当たり前ですが、最初は、このことにつき、選択の余地はありません。最初のプロジェクトは、新しいチャートで始めなければなりません。時間が経ち、プロジェクトの統計的管理が行える状態に達したと感じられるようになったら、蓄積したデータを、「プロジェクトを完了し、引き渡すプロセス」の改善に使えるようになります。

二つのチャートから得られるシグナルは、異なる種類の行動を求めていることに注意してください。とられる行動は、別々の、多分、異なる人々によって行われる行動でしょう。

単一プロジェクトの体温表は、プロジェクトのコントロールだけに焦点を合わせたものです。体温表は、もともとそういうものなので、プロセスが、いつ頃、顧客のニーズを満たしそうもない結果を生み出してしまいそうであるか、そして、これまでに生み出された結果を前提に、バッファを回復する必要があるかを示すものです。

それに対して、コントロールチャートは、顧客ニーズを満たすプロセスの成果物を創り出す過程で、多分、なにか、特別なものが高確率で起こっており、その原因を取り除くことによって、品質を改善するトリガーとなるシグナルを示してくれるものです。このシグナルにより分析を行い、観測された結果の原因を見つけます。両方の図は、例で示されているように、同じステータスポイントで、シグナルを発生させることもあります。常にそうとは限りません。

著者が、前に、PM Journal (Leach, 2003) に書いた論文から引用した、Fig-4 は、一つの定義されているプロジェクト引渡しのプロセスを流れる複数のプロジェクトを、その完成まで流すことにコントロールチャートを適用することの全体的なイラストです。組織の中でプロジェクトの管理を担当する部門（PMOと呼ばれる）は、このイラストのような全体的なコントロールチャートの適用の仕方を持っているべきです。主要なデータがプロジェクトのある時点でのバッファへの消費の大きさであるムービングレンジチャートも適用できます。当初、著者は、これらを、プロジェクトの進捗に伴うバッファへの消費のために使うことを提言していました。状況によっては、それらが、クリティカルチェーン完了の度合い25%、50%、75%のときの状態の把握として役に立つことを見つけました。コントロールチャートの使用を始めるとき、下位四分位点チャート（lower quartile chart）は、特に役に立ちます。なぜなら、この方式の適用を、沢山のプロジェクトが完了し、データが蓄積されるまで待たずに、開始できるからです。後になると、これらのデータは、プロジェクトのタイムラインで、プロジェクトバッファの消費がどこで起こるかを特定するのに役立ちます。そして、改善を行う焦点を何処にしたら良いかを教えてくれます。

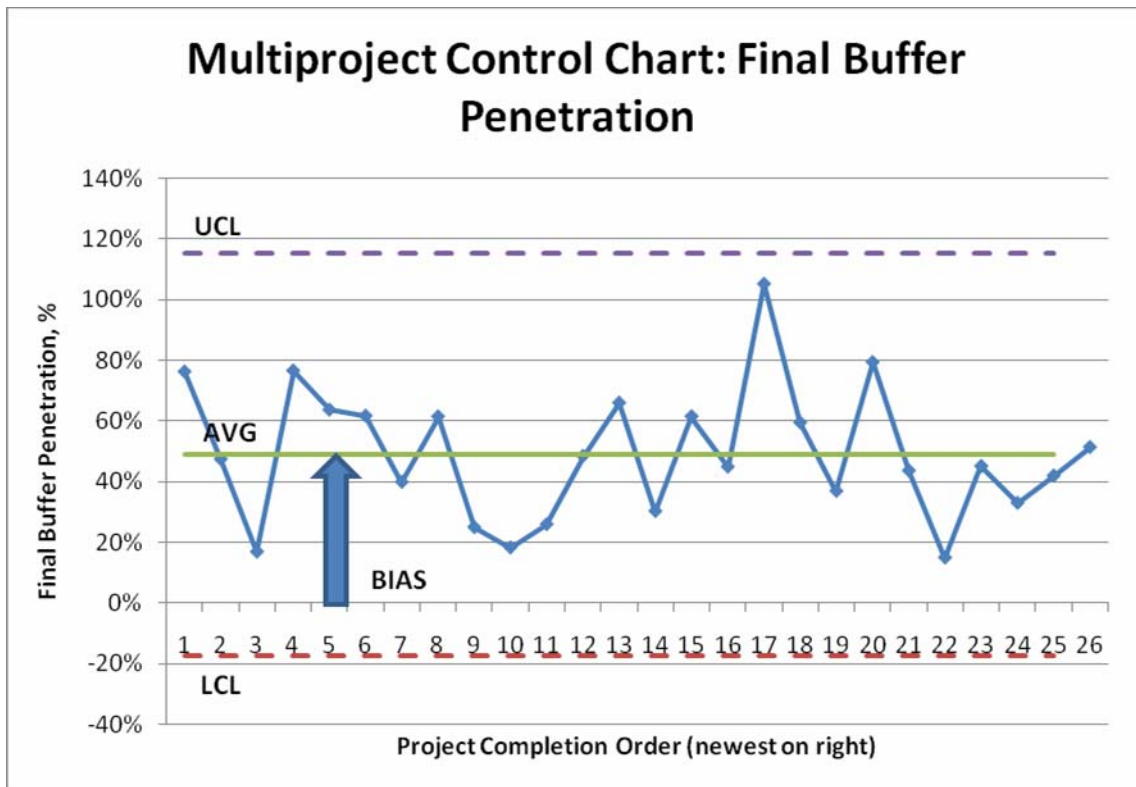


Figure 4: Multiproject control chart tracks buffer penetration at project completion to aid in buffer sizing and identify individual projects with special causes of variation.

複数プロジェクトのコントロールチャートは、下記のようなことを通じて、プロジェクトの実績を改善するため、「プロジェクトを遂行するためのプロセス要素」を改革できます。

1. 下記の事柄に関連して、CCPMで求められる行動が、実際に行われ、強化されているかどうかを確かめる。
 - a. プロジェクトの優先順位づけの管理。
 - b. プロジェクト進捗状態の更新。
 - c. タスク実績。例えば、マルチタスキングが行われていない。
2. タスク期間の推定。
3. プロジェクトネットワークデザイン(先行/後行タスクの関係)。

4. バッファのサイズを決める。
5. 体温表のアクションのしきい値を設定する。
6. 異なるカテゴリのプロジェクトが、異なる行動を示しているかどうかを見極める。 これには、カテゴリ別の複数プロジェクト コントロール チャートが必要。例えば、プロジェクトを実行する部門。

Fig 4 は、乱数と正規分布を使って作成されています。当然ながら、プロセスは安定しています。分布は、再生成すると、非常に異なるかたちに見えるパターンを与えますが、そのほとんどすべてが、安定したプロセスを確認するものです。この安定したプロセスで、時々、「バッファの 100%以上の超過が起こる、ということを経験すべきである」ということに注意してください。

チェーンに沿ったタスクの実績が、プロジェクトの最終的なバッファへの消費を決定しているとするならば、プロジェクトの実績の分布は、バッファへの消費が平均ゼロを中心に分布していると予想できます。著者は、Leach(2003)で、個々のタスクの統計的な分布が対称であったとしても、プロジェクトがタスクチェーンを超過させてしまうようなバイアスを惹き起こす原因の多くがどのようなものであるかについて説明しました。多くの人たちは、個々のタスク時間の統計的な分布が、右側に、すなわち、より長いタスク時間の方向に、長い裾を引く、対称でない分布であると信じています。しかし、統計学の中心極限定理により、この事は取るに足らないことと言えます。

クリティカルチェーンバッファを確立するということの背後にあるアイディアは、タスク時間は変動するものであるということ、要員の前にタスクの行列ができるということの潜在的な影響、および、タスクネットワークでパスが合流するということです(Goldratt 1997)。これらは、プロジェクトを引き渡すプロセスでの日常的に発生する通常の統計的変動の一部です。

ゴールドラットが発表した、当初のクリティカルチェーンでは、「知ることの出来ない未知のこと」、「リスク管理で知ることの出来る未知のこと」については、説明がありませんでした。 発生の確率は低いのですが、沢山あるリスクは、プロジェクトに、非常に大きい影響を与える場合があります。上で説明されているような「コンティンジェンシー」を念頭に、「知ることの出来ない未知のこと」に対応するために、バッファを設置して防護しようとしても、それは可能ではありません。なぜなら、バッファの大きさが、受け入れられないほどに大きくなければならないからです。

実際のプロジェクトで経験することは、「なにか、特別の、系統だった原因」により、タスクが遅れることは、日常的に発生する通常の統計的変動と同じくらい重要です。なぜなら、このような原因は、タスクの完了を遅らせ、分布にゆがみをもたらすからです。これらの原因は、日常的に発生する通常の統計的変動、および、互いに変動を打ち消しあうのとは異なり、ランダムな結果をもたらしません。

著者は、「なにか、特別の、系統だった原因」を「バイアス」と呼んでいます。バイアスの原因として、二つの原因がよく知られています。その一つは「合流効果 (merging effect)」で、これは、合流点で、先行タスクが、複数、あり、そのいずれもが、タスクの開始を遅らせることができること、その二は、待ち行列で、これは、タスクの遅れの非線形な原因 (non-linear cause) で、タスクの開始を遅らせることはできても、決して、タスクの早期完成に導くことは出来ないものです。

このバイアスが及ぼす影響と潜在的な原因を知ることは、プロジェクトでその影響を軽減したり、その存在の認識に基づき、プロジェクトを、それをより上手く管理する手助けとなります。 その結果、例えば、バッファの大きさを決めるアルゴリズムを調整し、バッファをより短くできる、などです。モンテカルロ法を使う分析は、特に、上で述べた二つの原因による影響を、より正確に予測するのに役立ちますが、例えば、手直しは起こり得るものであり、かつ、プロジェクトに行動を追加してしまうものであるにも拘わらず、取り除くことがなかなか出来ない、といったような原因には、うまく対応できないと思います。こうして、モンテカルロ法を使う分析は、日常的に発生する通常の統計的変動に対応するためのバッファの大きさを決めるとき、その下限を設定する場合に役に立つかもしれませんが、バイアスを惹き起こす重要な原因を捉まえることは出来ないかもしれません。

LPMにより、継続的に改善を実現する

仮に、上のチャートが、皆さんの組織のものであり、そして、時々、超過することが許容できないとするなら、皆さんは、プロジェクトを引き渡すまでのプロセスを変更して、日常的に発生する通常 of 統計的変動を減少させる方法を探する必要があります。そうするには、どのようにプロジェクトを計画し、実行するか、そのプロセスを変えることが必要になります。例えば、著者はこのアプローチを推薦しませんが、タスク期間推定値を大きくしようとするかもしれません。当然、タスク期間推定値を大きくすると、バッファサイズも大きくしなければならないでしょう。望ましいのは、皆さんが、以下で説明するように、タスク実績の行動時間の平均を短くして、標準偏差を小さくする方法を見つけることです。DMAIC プロセスは、このような改善を特定し、テストし、実際に展開したい場合、その目的に非常に適っているプロセスです。

プロジェクトのリスク管理

PMI (2004)は、リスク管理の目的を、「プロジェクトにとって良いこと、良い事象が生まれる確率を大きくし、そして、その良い影響を大きくすること、かつ、プロジェクトにとって悪い事象が生まれる確率を小さくし、そして、その悪い影響を小さくすること」と定義しています(p. 237)。そのために、下記の6つのステップからなるプロセスを説明しています。

1. リスク管理計画を作成する
2. リスクを識別する
3. 定性的なリスク分析を行う
4. 定量的なリスク分析を行う
5. リスクが発生したときの対応の計画を作成する
6. リスクをモニターし、コントロールする

この定義には、前向きな、プロジェクトにとって望ましい事象を評価することも含まれていますが、実際にプロジェクトに携わっている人たちの殆どは、これを行っていません。この側面は、本資料では、システム改善という意味でカバーされています。

リスク管理は、潜在的に発生する可能性のある特別な原因による変動をあらかじめ特定し、それらが、実際にプロジェクトのプロセスを苦しめる前に、それらを取り除こうとするものです。

PMBOK™Guide は、また、「プロジェクトリスクは、すべてのプロジェクトに存在している不確実性に、その起源をもっている」と述べています。

「既知のリスク」は、特定されて、分析されているリスクです。そして、それらのリスクにたいして、本章で説明されたプロセスを使って、あらかじめ計画を作成しておくことが出来るでしょう。

「未知のリスク」は、先を見越した対応はできません。そして、プロジェクト チームが慎重であれば、費用対効果の観点からは好まれないでしょうが、そして、先を見越した対策が立てられないので、「既知のリスク」に対してと同じように、このようなリスクにたいしても、一般的なコンティンジェンシーを用意しておくことです。

PMBOK™Guide、および、Wideman, (1992)、Pritchard, (2001)の記述は、リスク管理との関連では、「日常的に発生する通常の統計的変動」と「特別な原因による変動」を区別しておらず、品質改善のツールを生かしていません。さらに悪いことは、現在、一般に使われている方法は、プロジェクトの定量分析の際に、「日常的に発生する通常の統計的変動」と、本質的には離散的な「特別な原因による変動」の両方によるインパクトを含めるように勧めることによって、明らかに、この両者を混同させていることです(PMI, p.256)。著者は、PM Network の

大規模なプロジェクト: 黒鳥の孵化場
プロジェクトパフォーマンスについての研究は、みな、大きいプロジェクトは小さいプロジェクトよりも、高い確率で失敗し、より大きい、そして、しばしば、より大きい度合いで行き詰まる、と言っている。この結果は、より大きいプロジェクトのプロジェクト完成期日やコストについて、より小さな変動を予言する「統計的なツールによる予測」と一致しない。これを惹起している、他の何かがあるはずだ。

「黒鳥(The Black Swan)」で、Taleb (2007)は、「大きいプロジェクトは、小さなプロジェクトとは、別の宇宙に属す」と言っている。なぜなら、大きいプロジェクトには多数の関係が含まれていて、これらの関係のいくつかが、その原因から考えられる以上の、線形的ではない、複合的で、指数関数的なインパクトを与え、かつ、多くの人たちが考えるよりも発生する確率が高い、すなわち、そのようなイベントの確率分布が「裾厚である(fat tails)」と考えられるからである。Taleb は、黒鳥を、「知られていない未知なこと(unknown unknowns)」に喩えている。「The Black Swan」というタイトルは、「すべてのswan は白い」ということを立証できないことの証拠として黒い swan を使った賢人に由来する。これに反証するには、オーストラリアへの旅行が必要だ。

Taleb は、このようなプロジェクトに関して、「日々の、業務の細かいことを追いかけても役に立たず、むしろ、有害である場合さえある」と言っている。彼は、計画にますます多くの詳細を入れ、リスクを分析し、システムをコントロールするのではなく、フレキシブルな計画を作り、組織を、即座に反応できるようにすることが大切だと提案している。現実が、「知られていない未知なこと(unknown unknowns)」により支配されているなら、より精巧なリスク分析の価値は何なのだろうか。「知られていない未知なこと」は、定義的に、分析に包含できない。彼は、確率をコントロールしようとするのではなく、起こることの結果の影響を小さくすることに努力を注入することを提案している

論文 (Leach 2001, 2001-2) で、この二つのタイプの変動を認識させ、人々の混同を正そうとしましたが、これまでのところ、それが成功したという証拠はありません。

CCPM では、バッファを使って、日常的に発生する通常の統計的変動を管理し、コントロールし、特別な原因による変動の潜在的なインパクトの影響を軽減するためには、バッファ管理とリスク分析を使います。上述のとおり、PMBOK™Guide は、「知られていない未知なこと (unknown unknowns)」とも呼ばれる認識していないリスクに対応するために、一般的なコンティンジェンシーを用意しておくことを勧めています。実際問題として、プロジェクトに用意されるコンティンジェンシーは、通常、CCPM が勧めるスケジュール・バッファに比べてかなり小さいものです。具体的には、これにより用意されるコンティンジェンシーは、たかだか、5%から 10%のオーダーですが、CCPM のプロジェクトバッファは、クリティカルチェーンの半分です。同じことが、予算で用意されるコンティンジェンシーについても言えます。定義的に、特別な原因による変動は、それ自体として、大きいインパクトを与えるので、コンティンジェンシーは、それらのリスクをカバーできません。

シックスシグマでは、PMBOK™Guide のプロジェクトリスクマトリックス(p. 251)と同じ機能を行なうために、Failure Modes and Effects Analysis (FMEA)と呼ばれるプロセスを適用します。これらの二つのアプローチを融合して、プロジェクトの引渡しまでのプロセスの継続的改善を実現することもできます。ここではプロジェクトが始まる前に、識別できるリスクを、その発生を防止することが経済的である場合、取り除こうとします。リスクマトリックスと FMEA テーブルは、両方とも、下記を含んでいます。

1. リスク識別名
2. そのリスクの発生の確率 (高い、中程度、低い)
3. プロジェクト目標に与えるインパクト (高い、中程度、低い)
4. リスク (上記の項目 2 と項目 3 の積)
5. 発生を予防するための行動
6. 影響を緩和するための行動
7. 行動の割当 (誰が、何を、何時)

リスク管理により識別されず、また、取り除かれてもいない特別な原因、すなわち、「知られていない未知なこと」については、バッファコントロールチャートの使用を含むリスク管理により、プロジェクトプロセスの管理をサポートします。

バッファは、潜在的なリスクを、「高い」、「中程度」、「低い」のカテゴリに割り振るベースを提供してくれます。「高いリスク」は、プロジェクトバッファを超える影響を与える可能性があります。

「低いリスク」は、バッファの 1/3 のオーダーの大きさでしょうから、日常的に発生する通常の統計的変動の中に隠れてしまうかも知れません。「中程度のリスク」のインパクトは、「高いリスク」、「低いリスク」の中間です。

プロジェクトの実行の間のリスクの確率を判断するのにも、同様の推論を行います。リスクは、プロジェクトの実行の間、起こり得る確率が50%以上ではありえません。その理由は、リスクの発生確率が50%より高いなら、それが発生するということは、プロジェクトのベースラインに入れるべき仮定であるからです。こうして、「起こる確率が50%のオーダーである」と判断されたリスクは、高い確率のリスクです。こうして、例えば、20%-50%の生起確率を持つと判断されるリスクは、「高い確率で発生するリスク」だと考えます。起こる確率が5%から10%くらいの確率であるリスクは、「低い確率で発生するリスク」だと考えます。「高い確率で発生するリスク」と「低い確率で発生するリスク」の中間が「中程度の確率で発生するリスク」となります。

リスクの大きさは、「インパクトと確率の積」です。かりに、インパクトと発生の確率に数値を与える、例えば、「高」には3、「中程度」には2、「低」には1という数値を与えるとすれば、リスクを1から9までの値で数値化し、評価できます。そうして、高いリスク評価を持つリスクにリスク管理の焦点を合わせます。

クリティカルチェーン、および、初期のクリティカルチェーンのバッファを成立させるためのアイデアには、タスク完了までに掛かる時間に変動性があること、それにより、要員の前に待ち行列が生まれる可能性のあること、そして、タスクのネットワークの中にパスの合流があることの影響が含まれていました (Goldratt 1997)。

これらは、プロジェクトを完了させ、引き渡すまでのプロセスでの日常的に発生する通常の統計的変動を対象としたものです。したがって、初期の考え方では、「知られていない未知なこと」が生むリスク、ないしは、リスク管理を通して知ることのできる未知については触れていません。多くの「低い確率のリスク」は、プロジェクトに非常に大きい影響を与える可能性があります。

「コンティンジェンシー」について上で説明したように、バッファで、「知られていない未知なこと」に対して、プロジェクトを防護することは不可能です。なぜならば、バッファで防護するためには、バッファの大きさを、受け入れることができないくらいに大きくしなければならないからです。かりに、FMEA やプロジェクトリスク マトリクスなどのツールを使って、特別な原因による変動を識別し、特定できるとするならば、単に、バッファでそれらのリスクを考慮するのではなく、むしろ原因を取り除くべきです。プロジェクト マネージャが、スケジュールのバッファの中に、それらへの対応のためのバッファを入れることが許されたとしても、それらをプロジェクト予算に追加することは許可されないでしょう。なぜなら、そんなことをしたら、プロジェクトがコスト的に引き合わなくなってしまうからです。

こうして、プロジェクトリスクの経済的な管理を行うには、日常的に発生する通常の統計的変動と特別な原因による変動を別個に扱うアプローチが必要になります。

CCPM の計画でのバッファは、マネジャーに、日常的に発生する通常の統計的変動を管理する一つの方法を与え、これにより、できるだけ短時間で、納期以内にプロジェクトを引き渡すという顧客ニーズを満足させることが出来ます。それが適切な場合は、PMBOK™ Guide で説明されている数量的な方法、および、それをサポートする知識ベースも、バッファの大きさを決めるときに役立つでしょう。しかし、この分析を実行するとき、バッファのサイズ決めと、FMEA やプロジェクトリスクマトリクス アプローチで扱ったほうがよい「未知であると知られている未知 (known unknowns)」とを混同してはいけません。

プロジェクトのタスクプロセスを改善する

プロジェクトタスク実行のプロセスを改善する方法は、他の、様々なプロセスを改善するのとまったく同じです。すなわち、DFSS (design for six sigma)のためのシックスシグマのツールを適用することです。そこには、DMAIC プロセスの変形である DMADV (Define, Measure, Analyze, Design, Verify) モデル含まれますが、この変形は、新しいプロセスの設計に最適です。ひとたび、プロセスが設計され、実行段階に入れるようになったら、統計的管理によって特別な原因による変動を取り除き、タスク行動の効率的な実行により影響を生み出すため、タスク時間の平均を小さくし、かつ、日常的に発生する通常の統計的変動も小さくするように、このプロセスを維持、管理してください。

TOCは、デミングのアプローチ、および、TQMによる品質改善運動の他のリーダーのものとは異なる一つの結論を導きます。よく見られることですが、「改善を行うプロセス」は、当然のこととして、「常時、すべてのプロセスを改善する」ように勧めています。それに反して、TOCは、システムの目標の改善に、「直接的に結びつく部分」での改善のみに、改善の焦点を合わせることを勧めています。ここで、「直接的に結びつく部分」とは、「システムの制約」です。シックスシグマのインプリメンテーションのいくつかで、費用対効果の分析を行うことで、シックスシグマの誤りを修正したケースもありますが、TOCを真に理解し、TOCを適用して、どのタスクプロセスがプロセスの改善を行うに値するかを決定しているケースは、ごく僅かで、殆どありません。

また、多くの費用対効果の分析はコスト節減に焦点を合わせたものです。しかし、主要な目標として、「コスト節減に焦点を合わせて改善を行う」ことは、TOCが示唆するものではありません。デミング博士 (W. Edwards Deming, 2007) は、下記のことと同意しています。

1970年代に、デミング博士の哲学が、下記の(a)、および、(b)の比較という形式で、デミング博士の何人かの日本人の支持者によってまとめられました。

(a) 人々、および、組織は、品質について考えるとき、品質を下記の比率で定義する。

$$Quality = \frac{Results\ of\ work\ efforts}{Total\ costs}$$

上の式で、時間の経過とともに、コストは小さくなり、品質は大きくなる傾向がある。

(b) しかし、人々と組織が、人間の性（さが）としてよく見られる典型的な人間の行動に従って、主として、コストに焦点を合わせると、ムダを最小にせず、発生する手直しの量を無視し、行動員を当然のこととして減員し、意見の違いをなくすことを放置し、製品改善の必要性を認識せず、必要な残業を行わないでいて、その結果、顧客のロイヤルティを失うようなことになると、コストは上昇する傾向がでてきて、時間がたつにつれて、品質は劣化する。

「プロセスを改善するためにタスクを選択すること」への最初のアプローチは、CCPM/LPMで適用される、TOCの「制約を識別するステップ（IDENTIFY ステップ）」です。なぜなら、「ドラム要員を使用するタスク」を改善することによって、プロジェクトの全体としてのスループットが最も大きくなるからです。こうして、皆さんは、まず「ドラム要員を使用するタスク」のプロセスを改善することに焦点を合わせなければなりません。そして、もし、ドラム要員が、複数のタイプのタスクを実行しなければならないとすると、その場合は、最初に、クリティカルチェーンで最も長いタスク期間に焦点を合わせてください。

しかし、ひとたび、プロジェクトが実行フェーズに入ると、プロジェクト期間にもっとも影響するのは、クリティカルチェーンの上にあるタスクでも、最も長いタスク期間が必要なタスクではなく、特に、「特別な原因による変動」に苦しめられている、変動性が最も大きいタスクです。すべてのプロジェクトタスクのタスク期間のプロジェクト期間の移動範囲コントロール チャート（moving range control charts）を維持することは、「データ駆動型アプローチ（data-driven approach）」を取るための簡単な方法です。Fig-5は、単一タスクのためのチャートの一例です。これは、プロジェクトシステムコントロール チャートと、完全に同一のやりかたで作成でき、管理できます。それには、対となる移動範囲チャートもあります。

各タスクのためのコントロール チャートから、「タスク期間推定値」としての平均値が得られ、また、タスクオーナー、すなわち、タスクの実行者が、タスクを苦しめている特別な原因による変動を、いつ、探し、取り除くべきかを教えてくれます。上で述べたように、絶えることなく、常時、すべてのタスクプロセスを改善しようとするのは、経済的ではありません。最初は、プロジェクトのクリティカルチェーンに最も頻繁に出てくるタスクに焦点を合わせるべきです。そして、その後は、以下にお勧めする測定尺度を使用すれば、そのプロセスは、皆さんを誘導してくれるでしょう。

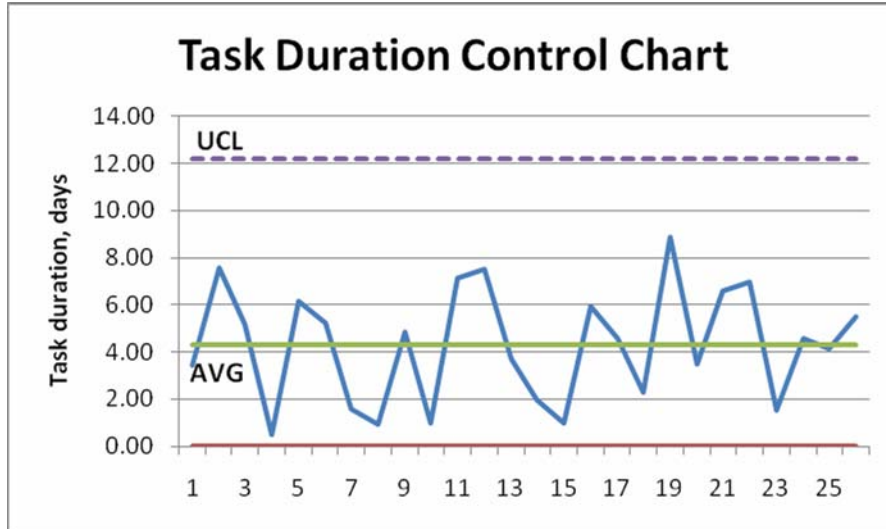


Figure 5: Individual task duration control chart provides task duration average (mean) for estimating and enables identifying when special causes afflict the individual task process.

このチャートは、コントロールできていないというシグナルがなにも見えない、ということで、統計的に管理されているタスクプロセスの例です。これはタスク期間の平均を示しています。このタスク期間は、次の計画作成のときに使用されるべき値です。この図で、時々、タスクが、平均の2倍くらいまでの値を取ることに注意してください。CCPMは、はっきりと、この大きさの変動を考慮したものです。著者が行った多様なプロジェクトの実際のデータのレビューでは、このチャートと同様の相対的な変動の範囲が見られます。

TOCをよく理解すると、例えば、キャパシティを大きくする前に、制約要員を徹底的に活用するなど、高いレベルで、どこに改善の焦点を合わせるべきか、そして、どのようにそれにアプローチするかを知ることが出来ます。しかし、TOCは、直接的に使える改善ツールを持っていません。シックスシグマとリーンは、プロセス改善を実行するのに必要なツールを提供してくれます。シックスシグマは、基本となる7つ品質改善ツールの上に構築されています。そして、リーンも、value stream mappingや「5つのSのワークシート」のような、それ自身の一組のツールを持っています。最も適切なツールは、プロセスによって異なります。

日常的に発生する通常の統計的変動を小さくするには、管理者は、どのタスクプロセスに焦点を合わせるべきか

経営者、管理者は、まず、ドラム要員によって実行されるタスクに焦点を合わせるべきです。下記の5段階継続的改善ステップを念頭に、少なくとも、ドラム要員のキャパシティが大きくされるたびに（elevateされるたびに）、ドラム要員が変わることを注意してください。また、ドラム要員は、プロジェクトミックスが変わる、などの他の理由で変化するかもしれない、ということも注意してください。そして、常時、その時点でのドラム要員のタスクに焦点を合わせるようにしないといけません。

二番目に、経営者、管理者は、最大のバッファへの消費を引き起こしているタスクに焦点を合わせるべきです。そして、バッファへの消費に最も影響するタスクのパレート図を作成するため、プロジェクト実行の間に得られるデータを活用してください。バッファの食いこみを示すパレート図は、どのタスクが、全体的なバッファへの消費を惹き起こしているかを示すヒストグラムです。そして、最も大きい消費を惹き起こしているタスクのプロセス改善に、まず、取り組みます。それらのタスクは、必ずしも、大きな変動を持っているタスクではないかも知れませんが、プロジェクトのクリティカルチェーンの上に頻繁に見られるタスクであったり、統計的に安定していても、相対的に、大きな変動を持つタスクで

あるかもしれません。Fig-5 は、パレート図の例ですが、この例は、ほんのいくつかの原因が測定された消費の大部分を惹き起こしている、という、ごく普通に見られる調査結果を例示しているものです。タスク改善を使ってドラム要員を徹底的に活用するためのアプローチと、ほとんどのバッファへの消費を惹き起こしているタスクへのアプローチは同じです。

下に示されているパレート図で示されているような図を作成することからスタートし、タスクの種類、原因の種類別に、推定タスク期間と実績タスク期間を比較し、「バッファ消費への貢献度」として過多の大きさを集計します。タスクの種類は、例えば、下記のようなものです。

- デザイン、プログラム、単位テストのようなタスクのタイプ
- ある特定のタスクを担当している組織
- 配管工、プログラマーというようなタスク要員のタイプ
- 特定のタスクの名前
- インストール、検査、分析というような機能

カテゴリ化は、タスクプロセスの実績を改善するために、プロセスを行う当事者としての個人が識別できる程度に明確でなければなりません。皆さんが、どのようにこれを行うべきかについての詳細は、プロジェクトの内容と、皆さんがプロジェクトを計画し、プロジェクトの進捗をどのように測定するために使用するツールによります。MS Project を使うと、完成したプロジェクトのデータを Excel にエクスポートし、このような分析のサポート資料として使えます。他のツールでも、同じようなことが出来ます。

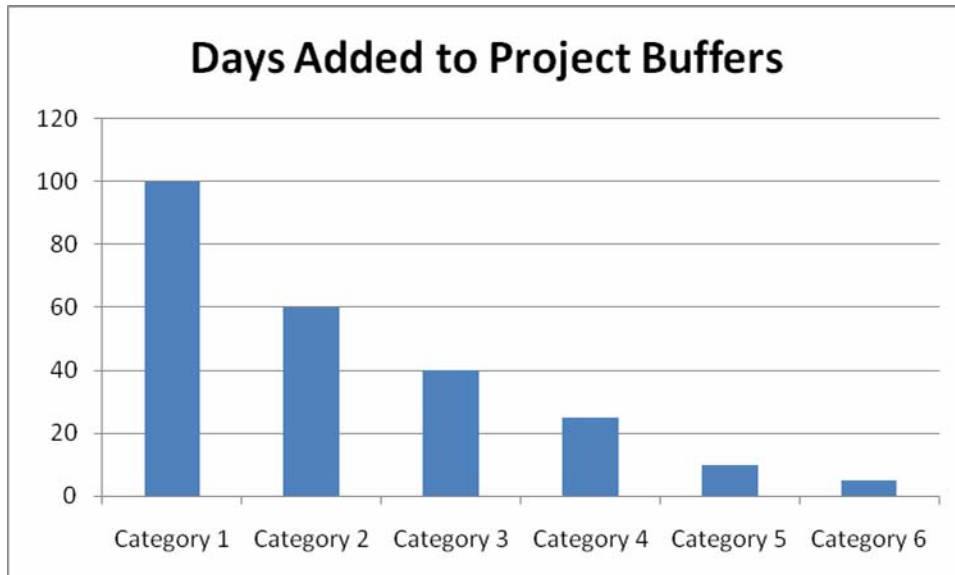


Figure 6: Pareto Chart identifies the categories most impacting buffer penetration as an aid to identify the constraint to improve project schedule performance.

LPM により、継続的に改善を実現する

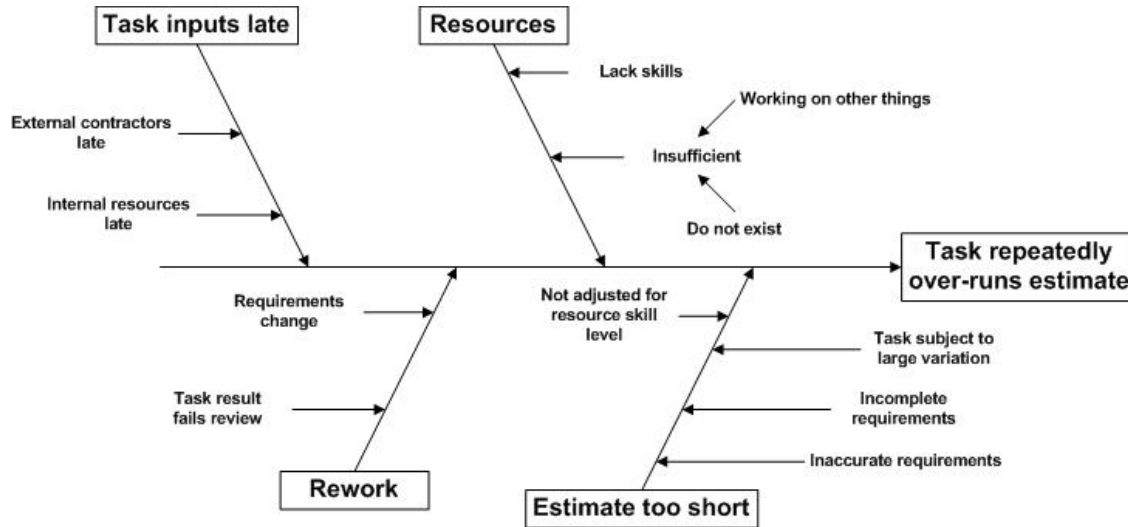


Figure 7: Task over-run Fishbone diagram aids cause identification and analysis.

皆さんが、コントロール チャートから、特別な原因による変動のシグナルを受け取ったり、もしくは、ある特定のプロセスを改善したいような場合、原因の解析ツールが必要です。Fig-7 は、簡単なツールの一つです。このツールは、イラストから受ける印象よりも、簡単ではありません。なぜなら、ひとたび、潜在的な原因が識別されると、除去に手をつける真の原因をどれにするかについての意思決定を行うためのデータを得なければならないからです。このツールの主要な分枝として、上で、「日常的に発生する通常の統計的変動」を定義した箇所で説明した"6 Ms" を使うことがあります。

経済性が許せば、根本原因を分析する、もっと強力なツールもあります。著者が、さまざまな状況で使えると感じたツールの一つは、Kepner-Tregoe (KT)プロセスです(Kepner and Tregoe, 1981)。KT は、いくつかのツールを提供しています。その中には、「問題分析」、および、「潜在的な問題分析」も含まれています。根本的原因の問題分析を行うツールは、最もありそうな原因を推論するために、現在、システムに存在している、そして、存在していない原因と条件を見極めるために、原因結果ロジックを適用します。潜在問題分析は、リスク分析のもう一つの形式です。

TOC は、「思考プロセス (Thinking Process)」を提供しています(Dettmer, 1997)が、これは、非常に強力なツールです。TOC 思考プロセスには、他のアプリケーションもありますが、この TP として知られるプロセスは、ほとんどの状況に適用できる非常に強力な原因分析ツールです。現状問題構造ツリー (CRT : Current Reality Tree)では、望ましくない結果、プロジェクト管理の場合は、特別な原因による変動から生まれる結果から始め、複数の望ましくない結果を生み出している日常的に発生する通常の統計的変動、もしくは、衝突 (conflict) まで、因果関係を確かめながら、掘り下げて行きます。CRT は、原因が、人間の行動とか信念によるものである場合、最も役に立ちます。

ひとたび、問題の原因、排除したい原因、もしくは、活用したい機会が見つげられると、DMAIC プロセスの残りのプロセスを使い、新しい「あるべき (Should-be)」プロセスを開発し、テストし、実際に展開することが出来ます。勿論、最後のステップは、惰性に陥ることなく、最初から5段階継続的改善のプロセスを繰り返すことです。

結論

シックスシグマのプロセスとツールは、プロジェクトを実行して、顧客に引き渡すためのプロセスの改善に必要な、止むことのない改善を支援します。ひとたび、これらのツールを適用し、組織としてのプロセスをデザインし、例えば、業務の行い方として文書化して、これらに基づいてプロジェクトを実行すると、品質改善がすぐに実現するはずですが、この資料では、プロジェクト期間の予測とその精度に関連して、品質改善に焦点を合わせました。

プロジェクト完成時期の予測の精度を改善し、プロジェクト期間を減少させるには、「変動性」、および、「全体的なプロジェクトシステムのプロセス、および、要素となるタスクの変更」を減少させることが必要です。変動性を減少させるには、変動がどのような働きかを理解し、特に、「日常的に発生する通常の統計的変動」と「特別な原因による変動」の違いを理解し、この二つを別な方法で扱うことが不可欠です。この二つの種類の変動を取り違え、誤った方法で対応すると、通常、変動が増幅してしまいます。特別な原因による変動は、プロジェクトの中で、一つずつ、取り除き、改善して行きます。他方、日常的に発生する通常の統計的変動は、プロジェクトを実行し、顧客に引き渡すプロセスに抜本的な変革を行う必要があります。

CCPM のバッファは、計画に対比し、日常的に発生する通常の統計的変動がプロジェクトのスケジュール、および、予算に与える影響を吸収することで、変動を管理することに役立ちます。しかし、CCPM のバッファは、特別な原因による変動に対応するには適切ではありません。特別な原因による変動は、プロジェクトの実行の前に、プロジェクトのリスク管理の一部として取り除くか、もしくは、プロジェクトの実行中に、バッファ管理で対処します。

日常的に発生する通常の統計的変動を混同してはいけません。プロジェクトの「リスク管理の6つのステップ」と「リスクマトリクス」は、特定できる、潜在的な「特別な原因による変動」を防止したり、コントロールしたりするのに役立ちます。非常に大きい長期にわたるプロジェクトは特別なニーズを持っているので、これらのプロジェクトを除き、プロジェクトを行う組織は、日常的に発生する通常の統計的変動の推定値の分析や、または、二つのタイプの変動を間違えないようにするための分析を、時間を浪費しないで、一刻も早く行わなければなりません。プロセスの実行の間、コントロール チャートを適用することは、事前のリスク管理によっては識別できず、したがって、取り除かれなかった特別な原因による変動をコントロールするのに役立ちます。

プロジェクトのコントロールと全体的なプロジェクトの実行、引渡しシステムの改善のための主要なツールは、コントロール チャート類、特性要因図 (Fishbone Diagram)、TOC の5段階継続的改善のステップのような日常的に発生する通常の統計的変動をどこで小さくするかを見極めるのに役立つツール、それに、パレート図です。

シックスシグマの DMAIC のプロセス、および、リーンのツールは、プロジェクトを改善するのに役立つ、上記以外のツールを提供してくれます。最も重大な影響を与えるプロセスに、これらを経済的に適用すると、継続的に進行する改善で、最大級の改善が達成されるでしょう。

REFERENCES

- Deming, W. Edwards. (1982). *Out of the Crisis*. Cambridge, MA: MIT Press
- Dettmer, W. (1997). *Goldratt's Theory of Constraints*. Milwaukee, WI: ASQ Press
- Goldratt, E. (1990). *What is this thing called the Theory of Constraints?*. Great Barrington, MA: North River Press
- Goldratt, E. (1997). *Critical Chain*. Great Barrington, MA: North River Press
- Juran, J. M. (1988). *Juran on Planning for Quality*. New York: The Free Press
- Kepner, C. and Tregoe, B. (1981) *The New Rational Manager*. Princeton, NJ: Princeton Research Press
- Latzko, William and Sanders, David. M. (1995) *Four Days with Dr. Deming: A Strategy for Modern Management Methods*. Reading, MA: Addison-Wesley Publishing Company
- Leach, L. (1998). *Critical Chain Project Management*. Presentation at Project Management Institute Global Congress, Long Beach, CA
- Leach, L. (2000). *Critical Chain Project Management: First Edition*. Boston: Artech House
- Leach, L. (2001). *Putting Quality in Project Risk Management-Part1: Understanding Variation*. PM Network Volume 15, Number 2, February, 2001 pp. 53-56
- Leach, L. (2001-2). *Putting Quality in Project Risk Management-Part2: Dealing With Variation*. PM Network Volume 15, Number 3, March, 2001 pp. 47-52
- Leach, L. (2003). *Schedule and Cost Buffer Sizing: How to Account for Bias Between Project Performance and Your Model*. PM Journal, Volume 34, Number 2, June 2003, pp. 34-47
- Pande, Peter S., Neuman, Robert P., and Cavanaugh, Roland R. (2000) *The Six Sigma Way*. New York: McGraw-Hill
- PMI. (2004). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge, 3rd Edition*. Newtown Square, PA: Project Management Institute
- PMI (2005). *Combined Standards Glossary, Second Edition*. Newtown Square, PA: Project Management Institute
- Pritchard, C. (2000). *Risk Management: Concepts and Guidance*. Arlington, VA: ESI International
- Shewhart, W. (1939). *Statistical Method from the Viewpoint of Quality Control*. New York: Dover Publications, Inc.
- Taleb, N. (2007). *The Black Swan: The Impact of the HIGHLY IMPROBABLE*. New York: Random House
- W. Edwards Deming. (2007, June 29). In Wikipedia, The Free Encyclopedia. Retrieved 15:44, July 27, 2007, from http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=W._Edwards_Deming&oldid=141309756
- Wideman, R. (1992). *Project and Program Risk Management*. Upper Darby, PA: Project Management Institute
- Western Electric rules. (2007, June 3). In Wikipedia, The Free Encyclopedia. Retrieved 14:28, July 27, 2007, from http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Western_Electric_rules&oldid=135474360
- Wheeler, Donald K. (2000). *Understanding Variation: The Key to Managing Chaos*. Knoxville, TN: SPC Press
- Womack, J. and Jones, D. (1996). *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*. New York: Simon and Schuster