

本書は、Minitab 統計ソフトウェアのアシスタントで使用される方法およびデータチェックを開発するため、Minitabの統計専門家によって行われた調査に関する一連の文書群を構成する文書の1つです。

工程能力分析

概要

工程能力分析は、工程に顧客の要件を満たす出力を生産する能力があるかどうかを評価するために使用されます。Minitabアシスタントには、連続工程データを調べる2つの工程能力分析が含まれています。

- 工程能力分析: この分析は、1つのプロセス変数に基づいて工程能力を評価します。
- 改善前後の工程能力比較: この分析は、改善前後の1つのプロセス変数を調べることで、改善努力によって工程が改善前より顧客の要件を満たせるようになったかどうかを評価します。

現在の工程能力を適切に推定し、今後の工程能力を確実に予測するため、これらの分析データは安定した工程から取得する必要があります (Bothe, 1991, Kotz and Johnson, 2002)。さらに、これらの分析は正規分布に基づいて工程能力統計量を推定するため、工程データは正規分布または近似の正規分布に従う必要があります。最後に、工程能力統計量の精度を高め、工程の安定性を適切に評価するために十分なデータ量が必要です。

アシスタントはこれらの要件に基づき、データで次のチェックを自動的に行い、レポートカードに結果を表示します。

- 安定性
- 正規性
- データ量

本書では、これらの要件が実際にどのように工程能力分析に関連するかを調査し、これらの条件をチェックするためのガイドラインをどのように定めたかについて説明します。

データチェック

安定性

工程能力を正確に推定するには、データを安定した工程から取得する必要があります。データの正規性をチェックする前と工程能力を評価する前に、工程の安定性を検証する必要があります。工程が安定していない場合、不安定になっている原因を特定して取り除きます。

連続データで工程の安定性を評価する場合、さまざまな管理図（Xbar-R/SまたはI-MR管理図）で8つのテストを実行できます。これらのテストを同時に使用することで、管理図の感度を高めることができます。ただし、管理図にテストを追加するたびに誤った警告の割合が増えるため、各テストの目的と付加価値を考慮することが重要です。

目的

安定性に対する8つのテストのうち、どのテストをアシスタントの計量管理図に含めるかを決定します。1つ目の目的は、誤った警告の割合をあまり増やすことなく、管理外の状態に対する感度を大幅に高めるテストを特定することです。2つ目の目的は、管理図の簡易性と実用性を確保することです。この調査はXbar管理図とI管理図のテストに焦点を当てています。R、S、およびMR管理図では、点が管理限界外にある場合に信号を出す、テスト1のみを使用します。

方法

シミュレーションを実行して文献を確認し、安定性に対するテストの組み合わせが管理図の感度および誤った警告の割合にどのように影響するかを評価しました。さらに、テストに関連する特別原因の存在も評価しました。各テストで使用された方法の詳細は、次の「結果」セクションと「付録B」を参照してください。

結果

Xbar管理図とI管理図の安定性の評価には、テスト1、2、および7が最も役立つことがわかりました。

テスト1: 管理限界外の点を識別する

テスト1は、中心線からの距離が3標準偏差を超えている点を識別します。テスト1は管理外の状態の検出に必要であると広く認められています。この誤った警告の割合はほんの0.27%です。

テスト2: 平均のシフトを識別する

テスト2は、連続する9点が中心線に対して同じ側にある場合に信号を出します。標準偏差の倍数に設定された4つの異なる平均を使用してシミュレーションを実行し、信号の検出に必要なサブグループ数を判断します。正規分布に基づいて管理限界を設定しました。テスト2を追加することで、平均の小さなシフトに対する管理図の検出感度が大幅に高まることわかりました。テスト1とテスト2を併用した場合、テスト1のみを使用した場合に比べて平均の小さなシフトの検出に必要なサブグループ数は激減します。そのため、テスト2の追加は

一般的な管理外の状況の検出に役立ち、誤った警告の割合が大きく増えることなく感度を高めることができます。

テスト7: 広すぎる管理限界を識別する

テスト7は、連続する12～15点が中心線から1標準偏差内にある場合に失敗の信号を出します。このテストは、管理限界がデータから推定されるときにXBar管理図のみで使用されません。通常、このテストに失敗する原因はサブグループ内の変動の体系的な要因（層化）にあり、多くの場合合理的サブグループが形成されていないことにより発生します。合理的サブグループの形成は管理図が管理外の状況を正確に検出するために不可欠であるため、アシスタントはデータから管理限界を推定するときに修正されたテスト7を使用します。テスト7は、サブグループ数に応じて、連続する点の数が12～15の場合に失敗の信号を出します。

$k = (\text{サブグループ数}) \times 0.33$	必要な点の数
$k < 12$	12
$k \geq 12$ および $k \leq 15$	k以上の整数
$k > 15$	15

アシスタントには含まれていないテスト

テスト3: 連続するK点がすべて増加または減少している

テスト3は、工程平均のドリフトを検出するように設計されています（Davis and Woodall, 1988）。ただし、テスト1とテスト2に加えてテスト3を使用した場合、工程平均のドリフトに対する管理図の感度はそれほど高まりません。シミュレーションの結果に基づいてテスト1とテスト2の使用をすでに決定しているため、テスト3を含めることで管理図に大きな付加価値がもたらされることはありません。

テスト4: 連続するK点が交互に増減している

このパターンは実際に発生する可能性があります、一定のパターンをテストする代わりに異常な傾向やパターンを探すことが推奨されます。

テスト5: K+1点のうちK点の中心線からの距離が2標準偏差を超えている

管理図を簡単にするため、このテストは除外しました。このテストでは、実際によくある特別原因の状況を一意に特定できませんでした。



テスト6: K+1点のうちK点の中心線からの距離が1標準偏差を超えている

管理図を簡単にするため、このテストは除外しました。このテストでは、実際によくある特別原因の状況を一意に特定できませんでした。

テスト8: 連続するK点の中心線からの距離が1標準偏差を超えている

管理図を簡単にするため、このテストは除外しました。このテストでは、実際によくある特別原因の状況を一意に特定できませんでした。

レポートカードで安定性をチェックするときに、アシスタントに次のステータスインジケータが表示されます。

ステータス	状態
	<p>平均の管理図（I管理図またはXbar管理図）と変動の管理図（MR、R、またはS管理図）で失敗したテストはありません。各管理図に使用されるテストは次のとおりです。</p> <p>I管理図：テスト1およびテスト2。</p> <p>Xbar管理図：テスト1、テスト2、およびテスト7。テスト7は管理限界がデータから推定される場合にのみ実行されます。</p> <p>MR、R、およびS管理図：テスト1。</p>
	<p>上記の状態ではない場合。</p>

各ステータスの状態を示す特定のメッセージは工程能力分析に照らして記述されているため、アシスタントで計量管理図が個別に表示されるときに使用されるメッセージとは異なります。

正規性

正規分布の工程能力分析では、正規分布が工程データに適合され、その適合された正規分布から工程能力統計量が推定されます。工程データの分布が正規分布に近くない場合、これらの推定は不正確になる可能性があります。データが正規分布に従うかどうかを評価するには、確率プロットおよびAnderson-Darling (AD) 適合度検定を使用できます。AD検定はその他の正規性の検定よりも検出力が高くなる傾向にあります。この検定は、分布の下限と上限（裾）の正規性からの離脱をより効果的に検出することもできます (D' Agostino and Stephens, 1986)。これらの特性があるため、測定値が規格限界の外側にある確率を推定する場合は、AD検定がデータの適合度検定に適しています。

目的

一部の専門家は、サンプルサイズが極端に大きい場合、AD検定は保守的すぎて正規性の仮定をあまりにも頻繁に棄却してしまうのではないかと疑問に思っています。しかし、この問題について記載された文献は見つからなかったため、大きいサンプルサイズが正規性に対するAD検定の性能に及ぼす影響を調査します。

実際のAD検定結果がその検定の目標有意水準 (α 、またはタイプI過誤率) とどの程度近く一致するか、つまり、期待されるより高い頻度でAD検定が正規性の帰無仮説を誤って棄却するかどうかを調べます。また、非正規分布を識別する検定の検出力、つまり、サンプルサイズが大きい場合に期待どおりの頻度でAD検定が正規性の帰無仮説を正しく棄却するかどうかも評価します。

方法

AD検定のタイプI過誤率と検出力を推定する2つのシミュレーションセットを実行しました。

タイプI過誤率：データが正規分布から取得されている場合に正規性を棄却する確率

タイプI過誤率を推定するため、最初に正規分布から同じサイズの5000個のサンプルを生成し、すべてのサンプルで正規性に対するAD検定を実行してp値を計算しました。次に、kの値（p値が有意水準以下のサンプル数）を調べました。これで、タイプI過誤率を $k/5000$ として計算できます。AD検定が適切に機能する場合、推定されるタイプI過誤率は目標有意水準に非常に近くなります。

検出力：データが正規分布から取得されていない場合に正規性を棄却する確率

検出力を推定するため、最初に正規分布から同じサイズの5000個のサンプルを生成し、すべてのサンプルで正規性に対するAD検定を実行してp値を計算しました。次に、kの値（p値が有意水準以下のサンプル数）を調べました。これで、検出力を $k/5000$ として計算できます。AD検定が適切に機能する場合、推定される検出力は100%に近くなります。

この手順をサンプルサイズを変化させ、またさまざまな正規母集団および非正規母集団からサンプルを抽出して繰り返しました。この方法と結果の詳細は、「付録B」を参照してください。

結果

タイプIの誤り

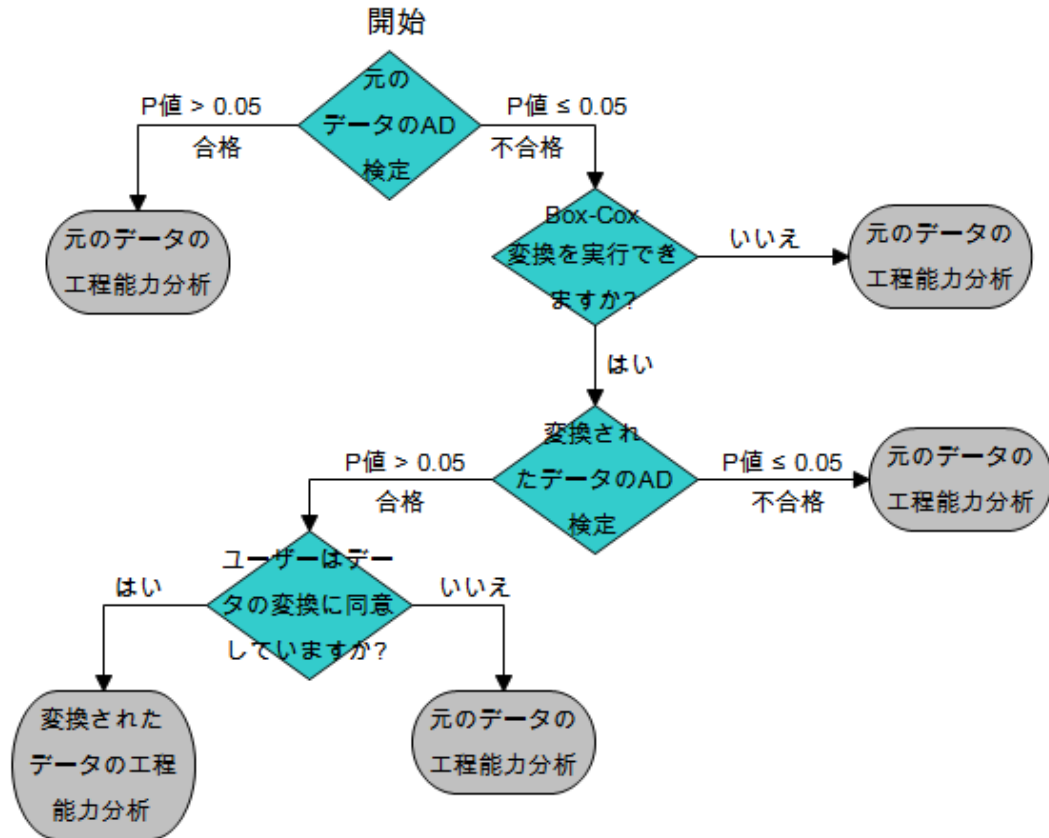
このシミュレーションでは、サンプルサイズが大きい場合にAD検定は期待されるより高い頻度で帰無仮説を棄却することはないことが示されています。サンプルが正規分布から取得された場合の帰無仮説の棄却率（タイプI過誤率）は、サンプルサイズの大きさが10,000の場合でも、0.05や0.1などの目標有意水準とほぼ等しくなっています。

検出力



このシミュレーションでも、ほとんどの非正規分布でAD検定の検出力は1（100%）に近く、正規性の帰無仮説を正しく棄却することが示されています。正規分布に非常に近い非正規分布からデータが取得された場合にのみ、検定の検出力は低くなります。ただし、これらの正規分布に近い非正規分布の場合、正規分布によって工程能力の推定に適切な近似を得られる可能性があります。

これらの結果に基づき、アシスタントは確率プロットおよびAnderson-Darling（AD）適合度検定を使用し、データが正規分布に従うかどうかを評価します。データが正規分布に従っていない場合、アシスタントはBox-Cox変換を使用してデータの変換を試みます。変換に成功した場合、変換されたデータの正規性がAD検定を使用して評価されます。

この工程を次のフローチャートに示します。



これらの結果に基づき、工程能力分析で正規性を評価するときに、アシスタントレポートカードに次のステータスインジケータが表示されます。

ステータス	状態
	元のデータがAD正規性検定に合格しました ($p \geq 0.05$)。 または 元のデータはAD正規性検定に合格しませんでした ($p < 0.05$)、ユーザーがBox-Coxによるデータ変換を選択し、変換されたデータがAD正規性検定に合格しました ($p \geq 0.05$)。
	元のデータがAD正規性検定に合格しませんでした ($p < 0.05$)。Box-Cox変換で問題が修正されませんが、ユーザーはデータを変換しないことを選択しました。 または 元のデータがAD正規性検定に合格しませんでした ($p < 0.05$)。問題を修正するためのデータのBox-Cox変換を正常に実行できません。

データ量

正確な工程能力推定値を得るには、十分なデータ量が必要です。データ量が不足している場合、サンプリング変動性が原因で工程能力推定値は「真の」値とはほど遠くなる可能性があります。推定値の精度を上げるには、観測値数を増やします。ただし、より多くの観測値を収集するには、より多くの時間とリソースが必要になります。そのため、観測値数が推定値の精度にどのように影響するか、および使用可能なリソースに基づいてどの程度のデータを収集するのが適切かを把握することが重要です。

目的

正規分布の工程能力分析の正確な推定値を得るために必要な観測値数を調査します。工程能力推定値の精度に対する観測値数の効果を評価し、ユーザーが考慮すべき必要なデータ量に関するガイドラインを提供することを目的としています。

方法



文献を確認し、一般的に工程能力の推定に適切と見なされるデータ量を調べました。さらに、主要な工程能力推定値（工程のzベンチ）に対する測定値数の効果を調べるシミュレーションを実行しました。10,000個の正規データセットを収集してから各サンプルでzベンチ値を計算し、その結果を使用して、推定されたzと真のz間の差が90%と95%の信頼度で特定の精度範囲内になるために必要な観測値数を推定しました。詳細は、「付録C」を参照してください。

結果

『Statistical Process Control (SPC) manual (統計的工程管理 (SPC) マニュアル)』では、主な工程変動の要因がデータに反映されるために十分なサブグループ数の使用が推奨されています (AIAG, 1995)。一般に、25以上のサブグループ数と100以上の総観測値数が推奨されています。その他の文献では、「絶対最小値」として30観測値数 (Bothe, 1997)、推奨最小値として100観測値数が挙げられています。

このシミュレーションでは、工程能力推定に必要な観測値数は、工程の真の能力と推定に求められる精度によって異なることが示されています。一般的な目標zベンチ値 ($z > 3$) では、100の観測値数によって、90%の信頼度で推定された工程のzベンチが真のz値と15%以内の差になります ($0.85 * \text{真の}z\text{値}$ 、 $1.15 * \text{真の}z\text{値}$)。詳細は、「付録C」を参照してください。

工程能力分析のデータ量をチェックするときに、アシスタントレポートカードに次のステータスインジケータが表示されます。

ステータス	状態
	観測値数が100以上です。
	観測値数が100未満です。

参考文献

- AIAG (1995). Statistical process control (SPC) reference manual. Automotive Industry Action Group.
- Bothe, D.R. (1997). Measuring process capability: Techniques and calculations for quality and manufacturing engineers. New York: McGraw-Hill.
- D' Agostino, R.B., & Stephens, M.A. (1986). Goodness-of-fit techniques. New York: Marcel Dekker.
- Kotz, S., & Johnson, N.L. (2002). Process capability indices - a review, 1992 - 2000. *Journal of Quality Technology*, 34 (January), 2-53.

付録A：安定性

シミュレーションA1：テスト2のテスト1への追加による感度への影響

テスト1は、点の中心線からの距離が3標準偏差を超えている場合に信号を出すことで、管理外の点を検出します。テスト2は、連続する9点が中心線に対して同じ側にある場合に信号を出すことで、平均のシフトを検出します。

テスト1とテスト2を併用することで平均管理図（I管理図とXbar管理図）の感度が改善されるかどうかを評価するため、正規分布（0, SD）の管理限界を設定しました。標準偏差の倍数で分布の平均をシフトしてから、10,000回の反復それぞれで信号を検出するために必要なサブグループ数を記録しました。この結果を表1に示します。

表1 テスト1に失敗（テスト1）、テスト2に失敗（テスト2）、テスト1またはテスト2に失敗（テスト1または2）するまでの平均サブグループ数。平均のシフトは標準偏差（SD）の倍数で、シミュレーションはサブグループサイズ $n = 1, 3, 5$ で実行されました。

シフト	n = 1			n = 3			n = 5		
	テスト1	テスト2	テスト1または2	テスト1	テスト2	テスト1または2	テスト1	テスト2	テスト1または2
0.5 SD	154	84	57	60	31	22	33	19	14
1 SD	44	24	17	10	11	7	4	10	4
1.5 SD	15	13	9	3	9	3	1.6	9	1.6
2 SD	6	10	5	1.5	9	1.5	1.1	9	1.1

I管理図（ $n = 1$ ）の結果に示されるように、0.5標準偏差の平均のシフトを検出するには、テスト1のみを使用した場合は平均154サブグループが必要であったのに対して、両方のテストを使用した場合（「テスト1または2」列）は平均57サブグループが必要でした。同様に、両方のテストを使用することで、Xbar管理図（ $n = 3, n = 5$ ）の感度を高めることができます。たとえば、サブグループのサイズが3の場合、0.5標準偏差のシフトを検出するには、テスト1のみを使用した場合は平均60サブグループが必要であったのに対して、テスト1とテスト2の両方を使用した場合は平均22サブグループが必要でした。したがって、両方のテストを使用することで、平均の小さなシフトに対する検出感度が大幅に高まります。ただし、シフトが大きくなるにつれ、テスト2を追加しても感度はそれほど高まらなくなります。

シミュレーションB2：テスト7による層化（サブグループ内の変動性の複数の要因）の検出の効率性

通常、テスト7は、連続する12～15点が中心線から1標準偏差内にある場合に失敗の信号を出します。アシスタントは、データ内のサブグループ数に基づいて必要な点の数を調整するよ

うに修正された規則を使用します。表2に示すように、 $k = (\text{サブグループ数} \times 0.33)$ と設定し、テスト7での失敗に必要な連続する点の数を定義します。

表2 テスト7での失敗に必要な連続する点の数

$k = (\text{サブグループ数}) \times 0.33$	必要な点の数
$k < 12$	12
$k \geq 12$ および $k \leq 15$	k以上の整数
$k > 15$	15

管理限界を設定するための一般的なシナリオで、上記の基準を使用してシミュレーションを実行し、テスト7が失敗の信号を出す尤度を判断しました。具体的には、データから管理限界が推定される段階での層化の検出規則を評価しました。

標準偏差 (SD) を持つ正規分布から、サイズnのm個のサブグループをランダムに選択しました。各サブグループの点の半数の平均は0に等しく、残りの半数の平均はSDシフト (0 SD、1 SD、または2 SD) に等しくなっています。10,000回の反復を行い、表3に示すように、テスト7で1回以上の失敗が示された管理図の割合を記録しました。

表3 テスト7から1つ以上の信号が出される管理図の割合

サブグループ数		m = 50	m = 75	m = 25	m = 38	m = 25
サブグループサイズ		n = 2	n = 2	n = 4	n = 4	n = 6
テスト		連続する15点	連続する15点	連続する12点	連続する13点	連続する12点
シフト	0 SD	5%	8%	7%	8%	7%
	1 SD	23%	33%	17%	20%	15%
	2 SD	83%	94%	56%	66%	50%

表の1番目の「シフト」行 (シフト= 0 SD) に示されるように、層化がない場合、テスト7で1回以上失敗のある管理図の割合は比較的低くなっています。一方、層化がある場合 (シフト= 1 SDまたはシフト= 2 SD) 、テスト7で1回以上失敗のある管理図の割合ははるかに高く、94%にまで達しています。このため、テスト7での管理限界の推定段階で層化を特定できます。

付録B： 正規性

シミュレーションB.1： AD検定のタイプI過誤率の推定

大きいサンプルでのAD検定のタイプI過誤率を調査するため、平均が30、標準偏差が0.1、5、10、30、50、70の異なる正規分布の分散を生成しました。各平均と標準偏差で、サンプルサイズ n がそれぞれ500、1000、2000、3000、4000、5000、6000、10000の5000個のサンプルを生成し、AD統計量の p 値を計算しました。次に、5000個のサンプルのうち p 値 ≤ 0.05 と p 値 ≤ 0.1 の比率で正規データセットを指定した場合の正規分布の棄却確率を推定しました。この結果を次の表4～9に示します。

表4 サンプルサイズ (n)、 p 値 (0.05、0.1) ごとの平均= 30、標準偏差= 0.1のタイプI過誤率

サンプルサイズ (n)	500	1000	2000	3000	4000	5000	6000	10000
p 値 ≤ 0.05 でのデータセットの比率	0.0514	0.0480	0.0526	0.0458	0.0492	0.0518	0.0582	0.0486
p 値 ≤ 0.1 でのデータセットの比率	0.1008	0.1008	0.0984	0.0958	0.1004	0.1028	0.1046	0.0960

表5 サンプルサイズ (n)、 p 値 (0.05、0.1) ごとの平均= 30、標準偏差= 5のタイプI過誤率

サンプルサイズ (n)	500	1000	2000	3000	4000	5000	6000	10000
p 値 ≤ 0.05 でのデータセットの比率	0.0524	0.0520	0.0446	0.0532	0.0481	0.0518	0.0594	0.0514
p 値 ≤ 0.1 でのデータセットの比率	0.0990	0.1002	0.0990	0.1050	0.0965	0.1012	0.1074	0.1030

表6 サンプルサイズ (n)、 p 値 (0.05、0.1) ごとの平均= 30、標準偏差= 10のタイプI過誤率

サンプルサイズ (n)	500	1000	2000	3000	4000	5000	6000	10000
p 値 ≤ 0.05 でのデータセットの比率	0.0486	0.0488	0.0498	0.0500	0.0458	0.0470	0.0446	0.0524
p 値 ≤ 0.1 でのデータセットの比率	0.1008	0.0964	0.0988	0.1076	0.0930	0.0942	0.0924	0.1062

表7 サンプルサイズ (n) 、p値 (0.05、0.1) ごとの平均= 30、標準偏差= 30のタイプI過誤率

サンプルサイズ (n)	500	1000	2000	3000	4000	5000	6000	10000
p値 ≤ 0.05でのデータセットの比率	0.0514	0.0432	0.0506	0.0486	0.0558	0.0482	0.0508	0.0482
p値 ≤ 0.1でのデータセットの比率	0.1028	0.0888	0.0978	0.0994	0.1012	0.0994	0.0992	0.0932

表8 サンプルサイズ (n) 、p値 (0.05、0.1) ごとの平均= 30、標準偏差= 50のタイプI過誤率

サンプルサイズ (n)	500	1000	2000	3000	4000	5000	6000	10000
p値 ≤ 0.05でのデータセットの比率	0.0470	0.0530	0.0520	0.0460	0.0540	0.0444	0.0458	0.0472
p値 ≤ 0.1でのデータセットの比率	0.0950	0.0996	0.1072	0.0940	0.0996	0.0980	0.0890	0.0940

表9 サンプルサイズ (n) 、p値 (0.05、0.1) ごとの平均= 30、標準偏差= 70のタイプI過誤率

サンプルサイズ (n)	500	1000	2000	3000	4000	5000	6000	10000
p値 ≤ 0.05でのデータセットの比率	0.0520	0.0524	0.0522	0.0528	0.0502	0.0442	0.0500	0.0422
p値 ≤ 0.1でのデータセットの比率	0.1038	0.1040	0.1020	0.0994	0.0990	0.0926	0.0994	0.0964

すべての表で、2行目の比率は0.05、3行目の比率は0.1に近く、タイプI過誤率は目標有意水準（それぞれ0.5、0.1）に基づく期待どおりであることが示されています。そのため、大きいサンプルやさまざまな正規分布の分散でのADは非保守的ですが、目標有意水準に基づいて期待される頻度で帰無仮説を棄却します。

シミュレーションB.2: AD検定の検出力の推定

AD検定の検出力を調査して大きいサンプルの非正規性を検出するため、工程能力のモデル化に一般的に使用される非正規分布を含む、多数の非正規分布からデータを生成しました。各分布で、サンプルサイズnがそれぞれ500、1000、3000、5000、7500、10000の5000個のサンプルを生成し、AD統計量のp値を計算しました。次に、5000個のサンプルのうちp値 ≤ 0.05とp値 ≤ 0.1の比率を計算することで、非正規データセットのAD検定を棄却する確率を推定しました。

この結果を次の表10～26に示します。

表10 サンプルサイズ (n) 、p値 (0.05、0.1) ごとの自由度が3のt分布に対する検出力

サンプルサイズ (n)	500	1000	2000	3000	4000	5000	7500	10000
p値 ≤ 0.05でのデータセットの比率	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
p値 ≤ 0.1でのデータセットの比率	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

表11 サンプルサイズ (n) 、p値 (0.05、0.1) ごとの自由度が5のt分布に対する検出力

サンプルサイズ (n)	500	1000	2000	3000	4000	5000	7500	10000
p値 ≤ 0.05でのデータセットの比率	0.9812	0.9998	1.00	1.00	1.00	1.00	0.9812	0.9998
p値 ≤ 0.1でのデータセットの比率	0.9890	0.9998	1.00	1.00	1.00	1.00	0.9890	0.9998

表12 サンプルサイズ (n) 、p値 (0.05、0.1) ごとのラプラス分布Laplace(0, 1)に対する検出力

サンプルサイズ (n)	500	1000	2000	3000	4000	5000	7500	10000
p値 ≤ 0.05でのデータセットの比率	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
p値 ≤ 0.1でのデータセットの比率	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

表13 サンプルサイズ (n) 、p値 (0.05、0.1) ごとの一様分布(0, 1)に対する検出力

サンプルサイズ (n)	500	1000	2000	3000	4000	5000	7500	10000
p値 ≤ 0.05でのデータセットの比率	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
p値 ≤ 0.1でのデータセットの比率	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

表14 サンプルサイズ (n) 、p値 (0.05、0.1) ごとのベータ分布(3, 3)に対する検出力

サンプルサイズ (n)	500	1000	2000	3000	4000	5000	7500	10000
p値 ≤ 0.05でのデータセットの比率	0.7962	0.9944	1.00	1.00	1.00	1.00	0.7962	0.9944
p値 ≤ 0.1でのデータセットの比率	0.8958	0.9944	1.00	1.00	1.00	1.00	0.8958	0.9944

表15 サンプルサイズ (n) 、p値 (0.05、0.1) ごとのベータ分布(8,1)に対する検出力

サンプルサイズ (n)	500	1000	2000	3000	4000	5000	7500	10000
p値 ≤ 0.05でのデータセットの比率	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
p値 ≤ 0.1でのデータセットの比率	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

表16 サンプルサイズ (n) 、p値 (0.05、0.1) ごとのベータ分布(8,1)に対する検出力サンプルサイズ (n)

サンプルサイズ (n)	500	1000	2000	3000	4000	5000	7500	10000
p値 ≤ 0.05でのデータセットの比率	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
p値 ≤ 0.1でのデータセットの比率	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

表17 サンプルサイズ (n) 、p値 (0.05、0.1) ごとの指数分布Expo(2)に対する検出力

サンプルサイズ (n)	500	1000	2000	3000	4000	5000	7500	10000
p値 ≤ 0.05でのデータセットの比率	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
p値 ≤ 0.1でのデータセットの比率	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

表18 サンプルサイズ (n) 、p値 (0.05、0.1) ごとのカイ二乗分布Chi-Square(3)に対する検出力

サンプルサイズ (n)	500	1000	2000	3000	4000	5000	7500	10000
p値 ≤ 0.05でのデータセットの比率	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
p値 ≤ 0.1でのデータセットの比率	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

表19 サンプルサイズ (n) 、p値 (0.05、0.1) ごとのカイ二乗分布Chi-Square(5)に対する検出力

サンプルサイズ (n)	500	1000	2000	3000	4000	5000	7500	10000
p値 ≤ 0.05でのデータセットの比率	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

サンプルサイズ (n)	500	1000	2000	3000	4000	5000	7500	10000
p値 ≤ 0.1でのデータセットの比率	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

表20 サンプルサイズ (n)、p値 (0.05、0.1) ごとのカイ二乗分布Chi-Square(10)に対する検出力

サンプルサイズ (n)	500	1000	2000	3000	4000	5000	7500	10000
p値 ≤ 0.05でのデータセットの比率	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
p値 ≤ 0.1でのデータセットの比率	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

表21 サンプルサイズ (n)、p値 (0.05、0.1) ごとのガンマ分布Gamma(2, 6)に対する検出力

サンプルサイズ (n)	500	1000	2000	3000	4000	5000	7500	10000
p値 ≤ 0.05でのデータセットの比率	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
p値 ≤ 0.1でのデータセットの比率	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

表22 サンプルサイズ (n)、p値 (0.05、0.1) ごとのガンマ分布Gamma(5, 6)に対する検出力

サンプルサイズ (n)	500	1000	2000	3000	4000	5000	7500	10000
p値 ≤ 0.05でのデータセットの比率	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
p値 ≤ 0.1でのデータセットの比率	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

表23 サンプルサイズ (n)、p値 (0.05、0.1) ごとのガンマ分布Gamma(10, 6)に対する検出力

サンプルサイズ (n)	500	1000	2000	3000	4000	5000	7500	10000
p値 ≤ 0.05でのデータセットの比率	0.9970	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.9970	1.00
p値 ≤ 0.1でのデータセットの比率	0.9988	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.9988	1.00

表24 サンプルサイズ (n) 、p値 (0.05、0.1) ごとのワイブル分布(1,4)に対する検出力

サンプルサイズ (n)	500	1000	2000	3000	4000	5000	7500	10000
p値 ≤ 0.05でのデータセットの比率	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
p値 ≤ 0.1でのデータセットの比率	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

表25 サンプルサイズ (n) 、p値 (0.05、0.1) ごとのワイブル分布(4,4)に対する検出力

サンプルサイズ (n)	500	1000	2000	3000	4000	5000	7500	10000
p値 ≤ 0.05でのデータセットの比率	0.1816	0.3406	0.8502	0.9840	0.9992	1.00	0.1816	0.3406
p値 ≤ 0.1でのデータセットの比率	0.2818	0.4754	0.9198	0.9928	1.00	1.00	0.2818	0.4754

表26 サンプルサイズ (n) 、p値 (0.05、0.1) ごとのワイブル分布(20,4)に対する検出力

サンプルサイズ (n)	500	1000	2000	3000	4000	5000	7500	10000
p値 ≤ 0.05でのデータセットの比率	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
p値 ≤ 0.1でのデータセットの比率	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

上記の表に示されているように、調査したほぼすべての非正規分布において、計算されたAD検定の検出力はほとんどの場合100% (1.00) またはほぼ100%であり、AD検定は帰無仮説を正しく棄却し、非正規データのほとんどの大きいサンプルで非正規性を検出することが示されています。したがって、この検定の検出力は極めて高いと言えます。

計算されたAD検定の検出力は、2つのケースでのみ100%より有意に低くなっています。1つはnが500の場合のベータ分布(3,3) (表14) で、もう1つはnが500、1000、3000の場合のワイブル分布(4,4) (表25) です。ただし、次の図1と図2に示すように、この2つの分布は正規分布とはそれほど異なりません。

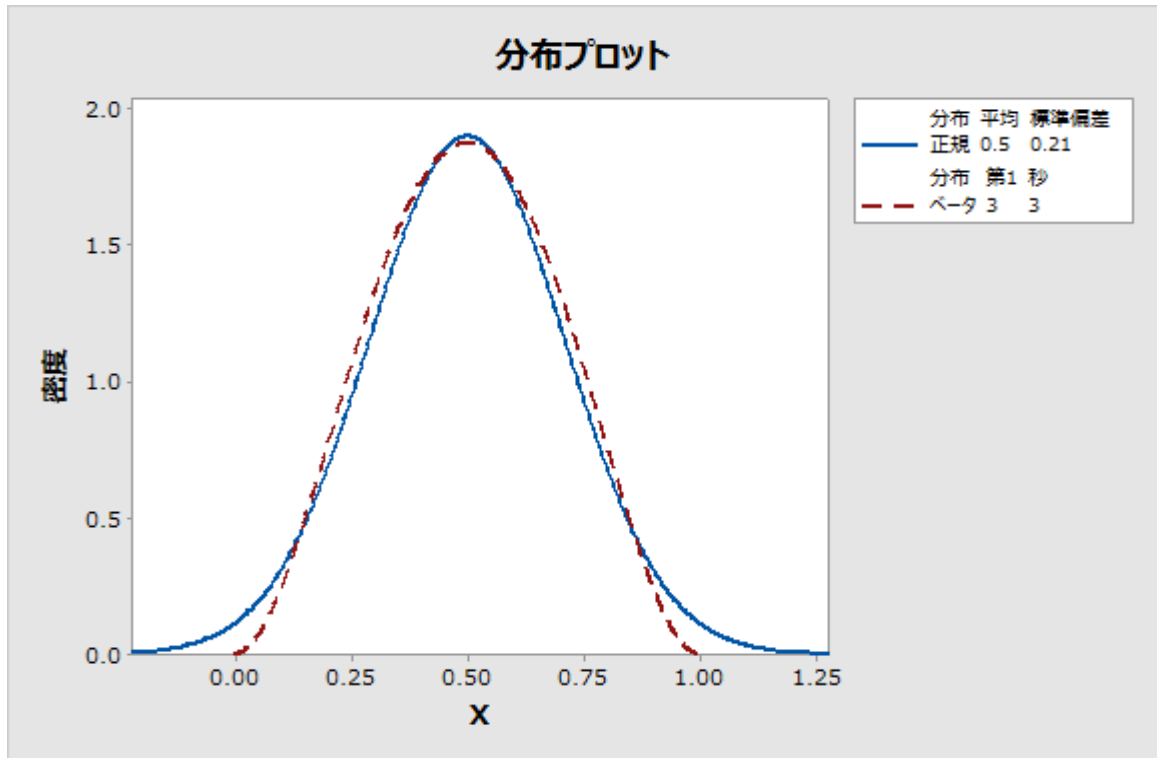


図1 ベータ分布(3, 3)と正規分布の比較

上記の図1に示されているように、ベータ分布(3, 3)は正規分布に近くなっています。このことが理由で、サンプルサイズが1000未満の場合、AD検定によって正規性の帰無仮説が棄却されるデータセットの比率が低くなっています。

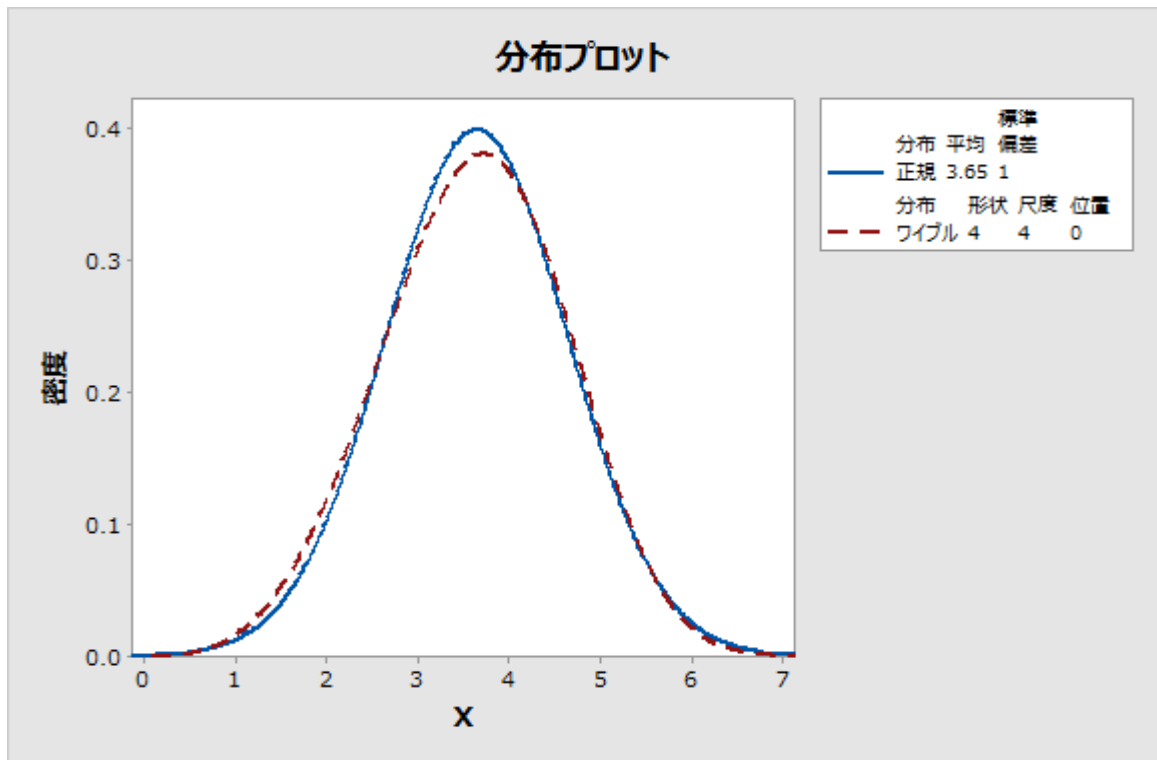


図2 ワイブル分布(4, 4)と正規分布の比較

同様に、図2に示されているように、ワイブル分布(4, 4)は正規分布に非常に近くなっています。実際に、この分布を正規分布と区別することは困難です。この場合、正規分布が真の分布に対する十分な近似となり、正規分布に基づく工程能力推定で工程能力が妥当に表されます。

付録C: データ量

シミュレーションC.1: さまざまな精度水準で必要なサンプルサイズの決定

設定と手順

一般性を失うことなく、下側規格限界 (LSL) は-1、上側規格限界 (USL) は1と仮定し、次の平均と標準偏差を使用してサンプルを生成しました。

表27 サンプルの平均、標準偏差、および目標z値

平均	標準偏差	目標z
0	0.163	6.02
0.1	0.163	5.52
0.2	0.160	5.00
0.2	0.177	4.52
0	0.240	4.01
0.1	0.256	3.51
0.2	0.265	3.02
0.1	0.352	2.50
0	0.437	2.01
0	0.545	1.50
0.1	0.700	1.01

目標z値 (真のz) は次の計算式を使用して計算しました。ここで、 μ は平均、 σ は標準偏差です。

$$p_1 = \text{Prob}(X < LSL) = \Phi((LSL - \mu)/\sigma)$$

$$p_2 = \text{Prob}(X > USL) = 1 - \Phi((USL - \mu)/\sigma) = \Phi((\mu - USL)/\sigma)$$

$$\text{目標}Z = \Phi^{-1}(1 - p_1 - p_2) = -\Phi^{-1}(p_1 + p_2)$$

シミュレーションの実行は次の手順に従いました。

1. 各目標z (上記の表27を参照) に対して、さまざまなサンプルサイズの10,000個の正規データセットを生成します。

2. 生成されたデータセットを使用して、zベンチ値を計算します。各目標zとサンプルサイズに対して、10,000個のz値がありました。
3. 10,000個のz値を小さい順に並べ替えます。zベンチの95%信頼区間は（250番目、9750番目）の推定z値、90%信頼区間は（500番目、9500番目）の推定z値、80%信頼区間は（1000番目、9000番目）の推定z値を使用して形成されました。
4. 選択した信頼水準での特定の範囲（精度）内の推定z値と真のz値の差を得ることができる観測値数を特定します。

シミュレーションのステップ4を実行するため、サンプルサイズの選択で使用するのに適切な範囲または精度水準を最初に決定する必要があります。必要な精度は推定される真のz値に依存するため、すべての状況に正常に適用できる精度水準はありません。たとえば、次の表は、2つの異なるz値での固定精度水準と100万機会あたりの欠陥数（DPMO）の関係を示しています。

表28 真のz、DPMO、および精度水準の関係

精度	真のz = 4.5、DPMO = 3.4		真のz = 2.5、DPMO = 6209.7	
	下側DPMO	上側DPMO	下側DPMO	上側DPMO
真のz +/- 0.1	2.0	4.4	4661.2	8197.5
真のz +/- 0.2	1	8.5	3467.0	10724.1
真のz +/- 0.3	0.79	13.3	2555.0	13903.0

この表に示されるように、z値が4.5の場合、ほとんどの用途で下側DPMOと上側DPMOの値の差（0.79対13.33など）は実質的な差とは見なされない可能性があるため、3つすべての精度水準（+/-0.1、+/-0.2、+/-0.3）を考慮できます。ただし、z値が2.5の場合、精度水準+/-0.2と+/-0.3は許容されない可能性があります。たとえば+/-0.3の精度水準では、上側DPMOは13,903で、下側DPMO値の6,209とは大きく異なります。そのため、精度は真のz値に基づいて選択する必要があります。

このシミュレーションでは、次の3つの精度水準を使用して必要な観測値数を特定しました。

表29 シミュレーションでのzの精度水準

誤差幅	計算	zの範囲
15%	真のz +/- 0.15 * 真のz	(0.85 * 真のz, 1.15 * 真のz)
10%	真のz +/- 0.1 * 真のz	(0.9 * 真のz, 1.1 * 真のz)
5%	真のz +/- 0.1 * 真のz	(0.95 * 真のz, 1.05 * 真のz)

結果の要約

このシミュレーションの主な結果を次の表30に示します。この表には、90%の信頼水準で3つの精度水準ごとのさまざまな目標z値に必要な観測値数が示されています。

表30 90%の信頼水準で各精度の誤差幅に必要な観測値数

目標z	目標DPMO	観測値数		
		15%の誤差幅	10%の誤差幅	5%の誤差幅
6.02	0.00085	85	175	675
5.52	0.01695	85	175	650
5.00	0.28665	87	175	625
4.52	3.09198	90	175	600
4.01	30.36	83	175	650
3.51	224.1	90	185	650
3.02	1263.9	94	200	700
2.50	6209.7	103	215	750
2.01	22215.6	115	225	900
1.50	66807.2	135	300	1000
1.01	156247.6	185	400	1600

精度の誤差幅が狭くなるほど、必要な観測値数が大きくなっています。さらに、次のセクションの表31～52に示されている詳細なシミュレーション結果で明らかのように、信頼水準を90%から95%に上げた場合は必要な観測値数が大幅に増えます。

このシミュレーション結果に基づき、次のように結論付けることができます。

1. 十分に正確な工程能力推定値を得るために必要な観測値数は、真の工程能力によって異なります。
2. 一般的な目標zベンチ値 ($z > 3$) では、最小の100観測値数を使用した場合、約90%の信頼水準で、推定された工程のzベンチは真のz値に対して15%以内になります (0.85 * 真のz値、1.15 * 真のz値)。観測値数を175以上に増やすと、推定zベンチの精度は10%以内の誤差幅になります (0.9 * 真のz値、1.1 * 真のz値)。

詳細なシミュレーション結果

次の表には、上記の表30で要約されているシミュレーションの具体的な結果が示されています。各目標z、および各信頼水準と各精度水準において、対応する信頼区間が参照区間内となる最小観測値数を特定します。

たとえば、次の最初の結果セットでは、表31の1行目に示されるように、目標zが6.02の場合、精度の誤差幅が15%の参照区間は(5.117, 6.923)と計算されます。表32では、3列目の

90%の信頼水準の区間は、観測値数が85に増えるまでこの参照区間内にはなりません。したがって、目標 z が6.02の場合、15%の精度の誤差幅で90%の信頼水準を達成するために必要な推定最小観測値数は、85になります。表33～51のその他の目標 z 値に対する信頼水準と精度の誤差幅は、同様に解釈できます。

目標 $Z = 6.02$ 、目標DPMO = 0.00085

表31 各精度水準での最小観測値数の選択に使用される参照区間

精度	下側限界	上側限界
15%の誤差幅	$z - 0.15z = 5.117$	$z + 0.15z = 6.923$
10%の誤差幅	$z - 0.1z = 5.42$	$z + 0.1z = 6.62$
5%の誤差幅	$z - 0.05z = 5.72$	$z + 0.05z = 6.32$

表32 さまざまな観測値数でシミュレートした z ベンチの信頼区間

観測値数	95%信頼区間	90%信頼区間	80%信頼区間
5	(3.36, 20.97)	(3.64, 13.91)	(4.04, 11.22)
10	(3.97, 11.82)	(4.23, 9.65)	(4.54, 8.63)
15	(4.26, 10.14)	(4.49, 8.65)	(4.79, 7.95)
20	(4.47, 9.40)	(4.67, 8.16)	(4.93, 7.63)
25	(4.60, 8.82)	(4.79, 7.87)	(5.01, 7.43)
30	(4.70, 8.49)	(4.88, 7.65)	(5.10, 7.25)
35	(4.78, 8.23)	(4.95, 7.52)	(5.16, 7.12)
40	(4.86, 8.08)	(5.02, 7.43)	(5.22, 7.09)
45	(4.90, 7.89)	(5.05, 7.30)	(5.26, 7.00)
50	(4.94, 7.78)	(5.09, 7.25)	(5.28, 6.93)
60	(5.05, 7.55)	(5.18, 7.08)	(5.34, 6.81)
70	(5.11, 7.43)	(5.24, 6.97)	(5.39, 6.75)
80	(5.15, 7.32)	(5.28, 6.94)	(5.43, 6.71)
85		(5.30, 6.92)	
90	(5.20, 7.23)	(5.32, 6.87)	(5.46, 6.67)
100	(5.24, 7.15)	(5.35, 6.83)	(5.48, 6.64)
105	(5.26, 7.13)	(5.37, 6.81)	(5.51, 6.63)

観測値数	95%信頼区間	90%信頼区間	80%信頼区間
110	(5.27, 7.10)	(5.38, 6.78)	(5.51, 6.60)
120	(5.31, 7.07)	(5.41, 6.73)	(5.54, 6.55)
130	(5.34, 7.00)	(5.44, 6.71)	(5.56, 6.55)
140	(5.35, 6.97)	(5.45, 6.70)	(5.57, 6.54)
150	(5.37, 6.89)	(5.47, 6.67)	(5.58, 6.51)
175	(5.42, 6.87)	(5.50, 6.62)	(5.62, 6.48)
200	(5.46, 6.77)	(5.54, 6.55)	(5.64, 6.43)
250	(5.51, 6.71)	(5.58, 6.51)	(5.67, 6.40)
300	(5.56, 6.62)	(5.63, 6.46)	(5.71, 6.36)
350	(5.59, 6.59)	(5.65, 6.43)	(5.73, 6.34)
400	(5.62, 6.54)	(5.68, 6.40)	(5.75, 6.32)
450	(5.62, 6.51)	(5.69, 6.38)	(5.76, 6.30)
500	(5.65, 6.50)	(5.71, 6.36)	(5.78, 6.28)
550	(5.68, 6.46)	(5.73, 6.35)	(5.79, 6.27)
650	(5.71, 6.43)	(5.75, 6.32)	(5.81, 6.24)
700	(5.71, 6.41)	(5.76, 6.31)	(5.81, 6.24)
900	(5.75, 6.37)	(5.79, 6.27)	(5.84, 6.21)
1000	(5.76, 6.34)	(5.80, 6.26)	(5.85, 6.20)
1050	(5.77, 6.35)	(5.81, 6.25)	(5.85, 6.20)
1100	(5.77, 6.33)	(5.81, 6.25)	(5.86, 6.20)
1150	(5.78, 6.32)	(5.82, 6.25)	(5.86, 6.20)
1200	(5.78, 6.33)	(5.82, 6.24)	(5.86, 6.18)
1250	(5.79, 6.32)	(5.82, 6.23)	(5.87, 6.18)
1300	(5.80, 6.31)	(5.83, 6.23)	(5.87, 6.18)
1350	(5.80, 6.30)	(5.83, 6.22)	(5.87, 6.18)
1400	(5.80, 6.30)	(5.83, 6.22)	(5.88, 6.18)
1450	(5.80, 6.28)	(5.84, 6.22)	(5.88, 6.17)

観測値数	95%信頼区間	90%信頼区間	80%信頼区間
1500	(5.81, 6.28)	(5.84, 6.21)	(5.88, 6.17)
1550	(5.81, 6.28)	(5.84, 6.21)	(5.88, 6.17)
1600	(5.81, 6.28)	(5.85, 6.21)	(5.88, 6.17)
1650	(5.81, 6.28)	(5.85, 6.21)	(5.89, 6.17)
1700	(5.81, 6.27)	(5.85, 6.20)	(5.89, 6.17)

目標 $Z = 5.52$ 、目標DPMO = 0.01695

表33 各精度水準での最小観測値数の選択に使用される参照区間

精度	下側限界	上側限界
15%の誤差幅	$z - 0.15z = 4.692$	$z + 0.15z = 6.348$
10%の誤差幅	$z - 0.1z = 4.97$	$z + 0.1z = 6.07$
5%の誤差幅	$z - 0.05z = 5.24$	$z + 0.05z = 5.80$

表34 さまざまな観測値数でシミュレートした z ベンチの信頼区間

観測値数	95%信頼区間	90%信頼区間	80%信頼区間
5	(3.18, 18.68)	(3.49, 12.87)	(3.86, 10.62)
10	(3.68, 11.28)	(3.92, 9.12)	(4.22, 8.14)
15	(3.99, 9.38)	(4.20, 8.03)	(4.46, 7.40)
20	(4.15, 8.74)	(4.34, 7.64)	(4.59, 7.08)
25	(4.27, 8.18)	(4.45, 7.32)	(4.67, 6.86)
30	(4.36, 7.80)	(4.52, 7.13)	(4.75, 6.72)
35	(4.43, 7.61)	(4.59, 6.94)	(4.79, 6.60)
40	(4.47, 7.45)	(4.64, 6.84)	(4.82, 6.53)
45	(4.56, 7.23)	(4.69, 6.73)	(4.86, 6.44)
50	(4.55, 7.14)	(4.71, 6.65)	(4.88, 6.38)
60	(4.65, 7.00)	(4.78, 6.56)	(4.93, 6.32)
70	(4.71, 6.84)	(4.82, 6.46)	(4.97, 6.23)
80	(4.75, 6.73)	(4.87, 6.38)	(5.00, 6.18)

観測値数	95%信頼区間	90%信頼区間	80%信頼区間
83		(4.88, 6.36)	
84		(4.87, 6.37)	
85		(4.89, 6.32)	
90	(4.80, 6.65)	(4.91, 6.33)	(5.03, 6.14)
100	(4.84, 6.60)	(4.94, 6.29)	(5.06, 6.12)
115	(4.86, 6.50)	(4.96, 6.23)	(5.08, 6.07)
125	(4.88, 6.45)	(4.99, 6.19)	(5.10, 6.04)
150	(4.94, 6.38)	(5.03, 6.13)	(5.14, 5.99)
175	(4.98, 6.17)	(5.06, 6.06)	(5.16, 5.95)
200	(5.02, 6.21)	(5.09, 6.03)	(5.18, 5.92)
250	(5.06, 6.15)	(5.14, 5.98)	(5.22, 5.87)
300	(5.10, 6.09)	(5.16, 5.94)	(5.24, 5.84)
350	(5.13, 6.04)	(5.19, 5.90)	(5.26, 5.81)
375	(5.13, 6.02)	(5.19, 5.88)	(5.27, 5.80)
400	(5.15, 6.00)	(5.21, 5.87)	(5.28, 5.79)
450	(5.18, 5.98)	(5.22, 5.85)	(5.29, 5.78)
500	(5.19, 5.96)	(5.24, 5.84)	(5.30, 5.77)
650	(5.23, 5.83)	(5.27, 5.80)	(5.33, 5.73)
700	(5.24, 5.89)	(5.28, 5.78)	(5.34, 5.72)
800	(5.25, 5.86)	(5.29, 5.76)	(5.35, 5.71)
900	(5.27, 5.83)	(5.31, 5.75)	(5.36, 5.70)
1000	(5.28, 5.82)	(5.32, 5.74)	(5.37, 5.69)
1100	(5.29, 5.80)	(5.33, 5.73)	(5.37, 5.68)
1200	(5.30, 5.79)	(5.33, 5.72)	(5.38, 5.68)
1300	(5.31, 5.78)	(5.34, 5.71)	(5.38, 5.67)
1400	(5.31, 5.77)	(5.35, 5.70)	(5.39, 5.66)
1500	(5.32, 5.76)	(5.35, 5.70)	(5.39, 5.66)

観測値数	95%信頼区間	90%信頼区間	80%信頼区間
1600	(5.33, 5.76)	(5.36, 5.69)	(5.40, 5.65)
1700	(5.34, 5.75)	(5.37, 5.69)	(5.40, 5.65)

目標 $Z = 5.00$ 、目標 $DPMO = 0.28665$

表35 各精度水準での最小観測値数の選択に使用される参照区間

精度	下側限界	上側限界
15%の誤差幅	$z - 0.15z = 4.25$	$z + 0.15z = 5.75$
10%の誤差幅	$z - 0.1z = 4.5$	$z + 0.1z = 5.5$
5%の誤差幅	$z - 0.05z = 4.75$	$z + 0.05z = 5.25$

表36 さまざまな観測値数でシミュレートした z ベンチの信頼区間

観測値数	95%信頼区間	90%信頼区間	80%信頼区間
10	(3.38, 10.10)	(3.57, 8.23)	(3.85, 7.36)
20	(3.74, 7.80)	(3.93, 6.89)	(4.16, 6.39)
30	(3.94, 7.16)	(4.10, 6.47)	(4.28, 6.11)
40	(4.07, 6.69)	(4.20, 6.18)	(4.35, 5.90)
50	(4.15, 6.48)	(4.27, 6.06)	(4.41, 5.80)
60	(4.20, 6.27)	(4.32, 5.92)	(4.45, 5.70)
70	(4.26, 6.23)	(4.37, 5.86)	(4.50, 5.64)
80	(4.29, 6.10)	(4.40, 5.78)	(4.53, 5.59)
87		(4.43, 5.75)	
90	(4.31, 6.05)	(4.43, 5.74)	(4.55, 5.56)
100	(4.35, 5.96)	(4.44, 5.68)	(4.57, 5.53)
115	(4.40, 5.91)	(4.49, 5.64)	(4.60, 5.50)
125	(4.40, 5.84)	(4.50, 5.60)	(4.61, 5.46)
150	(4.47, 5.76)	(4.55, 5.55)	(4.65, 5.43)
170	(4.50, 5.70)	(4.57, 5.51)	(4.66, 5.39)
175	(4.50, 5.70)	(4.58, 5.49)	(4.67, 5.39)

観測値数	95%信頼区間	90%信頼区間	80%信頼区間
200	(4.54, 5.65)	(4.60, 5.48)	(4.69, 5.37)
250	(4.58, 5.57)	(4.64, 5.41)	(4.73, 5.32)
300	(4.61, 5.52)	(4.67, 5.38)	(4.74, 5.29)
350	(4.64, 5.47)	(4.70, 5.34)	(4.76, 5.26)
400	(4.66, 5.45)	(4.71, 5.32)	(4.77, 5.25)
450	(4.68, 5.42)	(4.73, 5.30)	(4.79, 5.23)
500	(4.69, 5.39)	(4.74, 5.29)	(4.80, 5.23)
600	(4.73, 5.35)	(4.77, 5.26)	(4.82, 5.20)
625	(4.73, 5.36)	(4.77, 5.25)	(4.82, 5.20)
700	(4.74, 5.32)	(4.78, 5.23)	(4.83, 5.18)
800	(4.76, 5.31)	(4.80, 5.23)	(4.85, 5.17)
900	(4.77, 5.28)	(4.81, 5.21)	(4.85, 5.16)
1000	(4.78, 5.27)	(4.82, 5.20)	(4.86, 5.16)
1100	(4.79, 5.26)	(4.82, 5.19)	(4.86, 5.15)
1200	(4.80, 5.25)	(4.83, 5.18)	(4.87, 5.14)
1300	(4.81, 5.24)	(4.83, 5.17)	(4.87, 5.13)
1400	(4.82, 5.22)	(4.84, 5.16)	(4.88, 5.13)
1500	(4.83, 5.22)	(4.85, 5.17)	(4.88, 5.13)
1600	(4.82, 5.22)	(4.85, 5.16)	(4.88, 5.13)
1700	(4.83, 5.21)	(4.86, 5.16)	(4.89, 5.12)

目標Z = 4.52、目標DPMO = 3.09198

表37 各精度水準での最小観測値数の選択に使用される参照区間

精度	下側限界	上側限界
15%の誤差幅	$z - 0.15z = 3.842$	$z + 0.15z = 5.198$
10%の誤差幅	$z - 0.1z = 4.07$	$z + 0.1z = 4.97$

精度	下側限界	上側限界
5%の誤差幅	$z - 0.05z = 4.29$	$z + 0.05z = 4.75$

表38 さまざまな観測値数でシミュレートしたzベンチの信頼区間

観測値数	95%信頼区間	90%信頼区間	80%信頼区間
10	(3.03, 9.22)	(3.22, 7.50)	(3.49, 6.72)
20	(3.36, 7.07)	(3.51, 6.20)	(3.72, 5.78)
30	(3.54, 6.45)	(3.69, 5.83)	(3.86, 5.52)
40	(3.64, 6.08)	(3.78, 5.59)	(3.94, 5.34)
50	(3.75, 5.87)	(3.85, 5.46)	(3.99, 5.23)
60	(3.80, 5.76)	(3.91, 5.37)	(4.04, 5.17)
70	(3.84, 5.61)	(3.94, 5.28)	(4.07, 5.10)
80	(3.88, 5.53)	(3.98, 5.24)	(4.09, 5.07)
90	(3.91, 5.47)	(4.00, 5.20)	(4.12, 5.04)
92		(4.00, 5.19)	
100	(3.93, 5.40)	(4.02, 5.15)	(4.13, 5.01)
115	(3.96, 5.34)	(4.05, 5.10)	(4.16, 4.96)
150	(4.04, 5.23)	(4.11, 5.03)	(4.20, 4.91)
175	(4.07, 5.16)	(4.14, 4.97)	(4.22, 4.87)
200	(4.10, 5.12)	(4.16, 4.95)	(4.24, 4.85)
250	(4.14, 5.03)	(4.20, 4.90)	(4.27, 4.82)
300	(4.17, 4.99)	(4.22, 4.86)	(4.29, 4.79)
350	(4.20, 4.96)	(4.25, 4.83)	(4.30, 4.76)
400	(4.21, 4.93)	(4.26, 4.81)	(4.32, 4.75)
450	(4.23, 4.90)	(4.27, 4.79)	(4.32, 4.73)
500	(4.24, 4.88)	(4.29, 4.78)	(4.34, 4.72)
600	(4.27, 4.84)	(4.31, 4.76)	(4.35, 4.71)
700	(4.29, 4.82)	(4.32, 4.74)	(4.36, 4.69)

観測値数	95%信頼区間	90%信頼区間	80%信頼区間
800	(4.29, 4.80)	(4.33, 4.72)	(4.37, 4.68)
900	(4.31, 4.78)	(4.34, 4.71)	(4.38, 4.67)
1000	(4.32, 4.76)	(4.35, 4.70)	(4.39, 4.66)
1100	(4.33, 4.75)	(4.36, 4.68)	(4.39, 4.65)
1200	(4.34, 4.74)	(4.37, 4.68)	(4.40, 4.65)
1300	(4.34, 4.74)	(4.37, 4.68)	(4.40, 4.64)
1400	(4.35, 4.74)	(4.38, 4.67)	(4.41, 4.64)
1500	(4.36, 4.72)	(4.38, 4.67)	(4.41, 4.63)
1600	(4.36, 4.72)	(4.39, 4.66)	(4.42, 4.63)
1700	(4.36, 4.71)	(4.39, 4.66)	(4.42, 4.63)

目標Z = 4.01、目標DPMO = 30.36

表39 各精度水準での最小観測値数の選択に使用される参照区間

精度	下側限界	上側限界
15%の誤差幅	$z - 0.15z = 3.4085$	$z + 0.15z = 4.6115$
10%の誤差幅	$z - 0.1z = 3.61$	$z + 0.1z = 4.41$
5%の誤差幅	$z - 0.05z = 3.81$	$z + 0.05z = 4.21$

表40 さまざまな観測値数でシミュレートしたzベンチの信頼区間

観測値数	95%信頼区間	90%信頼区間	80%信頼区間
5	(2.12, 12.84)	(2.32, 9.13)	(2.61, 7.35)
10	(2.57, 7.96)	(2.75, 6.50)	(2.97, 5.79)
15	(2.79, 6.75)	(2.95, 5.82)	(3.13, 5.32)
20	(2.92, 6.21)	(3.06, 5.46)	(3.23, 5.08)
25	(2.99, 5.85)	(3.12, 5.24)	(3.29, 4.91)
30	(3.09, 5.63)	(3.20, 5.08)	(3.35, 4.83)
35	(3.13, 5.50)	(3.26, 5.04)	(3.40, 4.76)

観測値数	95%信頼区間	90%信頼区間	80%信頼区間
40	(3.17, 5.38)	(3.29, 4.95)	(3.44, 4.71)
45	(3.22, 5.25)	(3.33, 4.86)	(3.47, 4.65)
50	(3.27, 5.15)	(3.36, 4.82)	(3.49, 4.62)
60	(3.32, 5.09)	(3.42, 4.76)	(3.53, 4.56)
70	(3.35, 4.98)	(3.44, 4.68)	(3.56, 4.52)
80	(3.41, 4.88)	(3.50, 4.63)	(3.60, 4.48)
83		(3.50, 4.61)	
85		(3.50, 4.60)	
90	(3.44, 4.82)	(3.52, 4.58)	(3.62, 4.44)
100	(3.47, 4.76)	(3.55, 4.55)	(3.64, 4.43)
110	(3.48, 4.76)	(3.56, 4.51)	(3.65, 4.40)
115	(3.48, 4.73)	(3.56, 4.52)	(3.66, 4.39)
150	(3.55, 4.63)	(3.62, 4.44)	(3.70, 4.33)
175	(3.58, 4.57)	(3.65, 4.41)	(3.72, 4.32)
200	(3.61, 4.53)	(3.67, 4.38)	(3.74, 4.29)
250	(3.65, 4.47)	(3.70, 4.33)	(3.77, 4.26)
300	(3.68, 4.43)	(3.73, 4.31)	(3.79, 4.24)
350	(3.70, 4.40)	(3.74, 4.28)	(3.80, 4.22)
400	(3.72, 4.36)	(3.76, 4.27)	(3.81, 4.20)
450	(3.74, 4.35)	(3.78, 4.25)	(3.82, 4.19)
500	(3.75, 4.33)	(3.79, 4.24)	(3.84, 4.18)
650	(3.78, 4.28)	(3.81, 4.21)	(3.86, 4.16)
675	(3.79, 4.27)	(3.82, 4.20)	(3.86, 4.16)
700	(3.78, 4.28)	(3.82, 4.20)	(3.86, 4.16)
900	(3.81, 4.25)	(3.84, 4.18)	(3.88, 4.14)
1000	(3.82, 4.23)	(3.85, 4.16)	(3.88, 4.13)
1100	(3.83, 4.22)	(3.86, 4.16)	(3.89, 4.12)

観測値数	95%信頼区間	90%信頼区間	80%信頼区間
1200	(3.84, 4.21)	(3.87, 4.15)	(3.89, 4.12)
1300	(3.84, 4.20)	(3.87, 4.15)	(3.90, 4.12)
1400	(3.85, 4.19)	(3.88, 4.14)	(3.90, 4.11)
1500	(3.86, 4.18)	(3.88, 4.14)	(3.91, 4.11)
1600	(3.86, 4.18)	(3.88, 4.13)	(3.91, 4.10)
1700	(3.86, 4.18)	(3.89, 4.13)	(3.91, 4.10)

目標Z = 3.51、目標DPMO = 224.1

表41 各精度水準での最小観測値数の選択に使用される参照区間

精度	下側限界	上側限界
15%の誤差幅	$z - 0.15z = 2.9835$	$z + 0.15z = 4.0365$
10%の誤差幅	$z - 0.1z = 3.16$	$z + 0.1z = 3.86$
5%の誤差幅	$z - 0.05z = 3.33$	$z + 0.05z = 3.69$

表42 さまざまな観測値数でシミュレートしたzベンチの信頼区間

観測値数	95%信頼区間	90%信頼区間	80%信頼区間
10	(2.27, 7.08)	(2.43, 5.80)	(2.63, 5.17)
20	(2.57, 5.56)	(2.68, 4.88)	(2.85, 5.52)
30	(2.71, 5.05)	(2.83, 4.54)	(2.96, 4.28)
40	(2.80, 4.73)	(2.90, 4.37)	(3.02, 4.16)
50	(2.86, 4.57)	(2.97, 4.25)	(3.08, 4.07)
60	(2.92, 4.44)	(3.00, 4.18)	(3.10, 4.03)
70	(2.95, 4.37)	(3.03, 4.13)	(3.12, 3.98)
80	(2.97, 4.33)	(3.06, 4.08)	(3.15, 3.94)
90	(3.01, 4.26)	(3.08, 4.04)	(3.17, 3.90)
100	(3.03, 4.22)	(3.11, 4.02)	(3.19, 3.89)
110	(3.05, 4.16)	(3.11, 3.98)	(3.20, 3.86)

観測値数	95%信頼区間	90%信頼区間	80%信頼区間
150	(3.12, 4.06)	(3.17, 3.91)	(3.24, 3.81)
175	(3.14, 4.02)	(3.19, 3.87)	(3.27, 3.79)
185	(3.14, 4.00)	(3.20, 3.86)	(3.26, 3.78)
200	(3.17, 3.97)	(3.22, 3.84)	(3.28, 3.77)
250	(3.20, 3.92)	(3.24, 3.80)	(3.30, 3.74)
300	(3.22, 3.88)	(3.26, 3.78)	(3.31, 3.72)
350	(3.24, 3.86)	(3.29, 3.76)	(3.33, 3.71)
400	(3.25, 3.83)	(3.30, 3.75)	(3.34, 3.69)
450	(3.27, 3.81)	(3.31, 3.72)	(3.35, 3.67)
500	(3.28, 3.79)	(3.31, 3.71)	(3.36, 3.67)
600	(3.30, 3.77)	(3.33, 3.70)	(3.37, 3.65)
650	(3.31, 3.76)	(3.34, 3.69)	(3.37, 3.65)
700	(3.31, 3.74)	(3.34, 3.68)	(3.38, 3.64)
800	(3.33, 3.74)	(3.35, 3.67)	(3.38, 3.63)
900	(3.33, 3.71)	(3.36, 3.66)	(3.39, 3.62)
1000	(3.34, 3.71)	(3.37, 3.65)	(3.40, 3.61)
1100	(3.35, 3.69)	(3.38, 3.64)	(3.40, 3.61)
1200	(3.36, 3.69)	(3.38, 3.64)	(3.41, 3.61)
1300	(3.36, 3.69)	(3.39, 3.63)	(3.41, 3.60)
1400	(3.37, 3.67)	(3.39, 3.63)	(3.42, 3.60)
1500	(3.38, 3.67)	(3.40, 3.62)	(3.42, 3.60)
1600	(3.38, 3.66)	(3.40, 3.62)	(3.42, 3.59)
1700	(3.38, 3.66)	(3.40, 3.61)	(3.42, 3.59)

目標 $Z = 3.02$ 、目標DPMO = 1263.9

表43 各精度水準での最小観測値数の選択に使用される参照区間

精度	下側限界	上側限界
15%の誤差幅	$z - 0.15z = 2.567$	$z + 0.15z = 3.473$
10%の誤差幅	$z - 0.1z = 2.72$	$z + 0.1z = 3.32$
5%の誤差幅	$z - 0.05z = 2.87$	$z + 0.05z = 3.17$

表44 さまざまな観測値数でシミュレートした z ベンチの信頼区間

観測値数	95%信頼区間	90%信頼区間	80%信頼区間
10	(1.92, 6.26)	(2.07, 5.02)	(2.26, 4.49)
20	(2.22, 4.83)	(2.33, 4.23)	(2.46, 3.91)
30	(2.32, 4.34)	(2.42, 3.92)	(2.54, 3.70)
40	(2.40, 4.11)	(2.48, 3.77)	(2.60, 3.58)
50	(2.45, 3.96)	(2.55, 3.68)	(2.64, 3.52)
60	(2.50, 3.87)	(2.58, 3.62)	(2.68, 3.48)
70	(2.54, 3.79)	(2.61, 3.55)	(2.70, 3.43)
80	(2.56, 3.73)	(2.63, 3.52)	(2.71, 3.40)
90	(2.59, 3.68)	(2.65, 3.49)	(2.73, 3.38)
94		(2.66, 3.47)	
100	(2.61, 3.65)	(2.67, 3.46)	(2.74, 3.36)
110	(2.62, 3.61)	(2.69, 3.44)	(2.76, 3.34)
120	(2.64, 3.58)	(2.70, 3.42)	(2.76, 3.32)
150	(2.68, 3.52)	(2.73, 3.37)	(2.79, 3.29)
200	(2.72, 3.44)	(2.76, 3.32)	(2.81, 3.25)
250	(2.75, 3.38)	(2.79, 3.28)	(2.84, 3.23)
300	(2.77, 3.36)	(2.81, 3.26)	(2.86, 3.20)
350	(2.78, 3.32)	(2.82, 3.24)	(2.87, 3.19)
400	(2.80, 3.30)	(2.83, 3.22)	(2.87, 3.18)

観測値数	95%信頼区間	90%信頼区間	80%信頼区間
425	(2.81, 3.29)	(2.84, 3.22)	(2.88, 3.17)
450	(2.81, 3.28)	(2.85, 3.21)	(2.88, 3.17)
500	(2.82, 3.28)	(2.85, 3.20)	(2.88, 3.16)
600	(2.84, 3.25)	(2.87, 3.19)	(2.90, 3.15)
650	(2.84, 3.24)	(2.87, 3.18)	(2.90, 3.14)
700	(2.85, 3.23)	(2.88, 3.17)	(2.91, 3.14)
800	(2.86, 3.22)	(2.88, 3.16)	(2.91, 3.13)
900	(2.87, 3.21)	(2.89, 3.16)	(2.92, 3.12)
1000	(2.88, 3.20)	(2.90, 3.15)	(2.93, 3.12)
1100	(2.88, 3.18)	(2.91, 3.14)	(2.93, 3.11)
1200	(2.89, 3.18)	(2.91, 3.14)	(2.93, 3.11)
1300	(2.89, 3.17)	(2.91, 3.13)	(2.94, 3.10)
1400	(2.90, 3.16)	(2.92, 3.12)	(2.94, 3.10)
1500	(2.90, 3.16)	(2.92, 3.12)	(2.94, 3.10)
1600	(2.91, 3.15)	(2.92, 3.12)	(2.94, 3.10)
1700	(2.91, 3.15)	(2.93, 3.12)	(2.95, 3.09)

目標Z = 2.50、目標DPMO = 6209.7

表45 各精度水準での最小観測値数の選択に使用される参照区間

精度	下側限界	上側限界
15%の誤差幅	$z - 0.15z = 2.125$	$z + 0.15z = 2.875$
10%の誤差幅	$z - 0.1z = 2.25$	$z + 0.1z = 2.75$
5%の誤差幅	$z - 0.05z = 2.38$	$z + 0.05z = 2.63$

表46 さまざまな観測値数でシミュレートしたzベンチの信頼区間

観測値数	95%信頼区間	90%信頼区間	80%信頼区間
10	(1.51, 5.09)	(1.63, 4.13)	(1.78, 3.69)
20	(1.76, 4.05)	(1.86, 3.51)	(1.98, 3.25)

観測値数	95%信頼区間	90%信頼区間	80%信頼区間
30	(1.87, 3.57)	(1.97, 3.27)	(2.07, 3.07)
40	(1.94, 3.40)	(2.01, 3.14)	(2.11, 2.98)
50	(1.99, 3.32)	(2.07, 3.07)	(2.16, 2.93)
60	(2.04, 3.22)	(2.10, 3.00)	(2.18, 2.88)
70	(2.08, 3.14)	(2.13, 2.96)	(2.21, 2.85)
80	(2.10, 3.10)	(2.16, 2.93)	(2.23, 2.82)
90	(2.11, 3.07)	(2.16, 2.91)	(2.24, 2.82)
100	(2.13, 3.02)	(2.18, 2.88)	(2.25, 2.79)
102		(2.19, 2.88)	
103		(2.19, 2.87)	
105		(2.19, 2.86)	
120	(2.16, 2.98)	(2.21, 2.83)	(2.27, 2.76)
125	(2.17, 2.97)	(2.21, 2.84)	(2.27, 2.76)
130	(2.18, 2.96)	(2.22, 2.83)	(2.28, 2.75)
135	(2.18, 2.94)	(2.23, 2.81)	(2.29, 2.74)
150	(2.19, 2.94)	(2.24, 2.81)	(2.29, 2.73)
200	(2.23, 2.87)	(2.27, 2.77)	(2.32, 2.71)
215	(2.24, 2.85)	(2.28, 2.75)	(2.33, 2.69)
225	(2.25, 2.83)	(2.29, 2.74)	(2.33, 2.69)
250	(2.26, 2.82)	(2.29, 2.73)	(2.33, 2.68)
300	(2.28, 2.79)	(2.31, 2.72)	(2.35, 2.67)
350	(2.30, 2.77)	(2.33, 2.69)	(2.37, 2.65)
400	(2.31, 2.75)	(2.34, 2.68)	(2.37, 2.64)
450	(2.32, 2.73)	(2.35, 2.67)	(2.38, 2.63)
500	(2.33, 2.72)	(2.35, 2.66)	(2.38, 2.63)
600	(2.34, 2.71)	(2.37, 2.65)	(2.40, 2.61)
700	(2.36, 2.69)	(2.38, 2.64)	(2.40, 2.61)

観測値数	95%信頼区間	90%信頼区間	80%信頼区間
750	(2.36, 2.68)	(2.38, 2.63)	(2.41, 2.60)
800	(2.36, 2.67)	(2.39, 2.63)	(2.41, 2.60)
900	(2.37, 2.66)	(3.39, 2.62)	(2.42, 2.59)
1000	(2.38, 2.65)	(2.40, 2.61)	(2.42, 2.59)
1100	(2.38, 2.65)	(2.40, 2.61)	(2.42, 2.58)
1200	(2.39, 2.64)	(2.41, 2.60)	(2.43, 2.58)
1300	(2.39, 2.64)	(2.41, 2.60)	(2.43, 2.58)
1400	(2.39, 2.63)	(2.41, 2.60)	(2.43, 2.57)
1500	(2.40, 2.63)	(2.41, 2.59)	(2.43, 2.57)
1600	(2.40, 2.62)	(2.42, 2.59)	(2.44, 2.57)
1700	(2.40, 2.62)	(2.42, 2.59)	(2.44, 2.57)

目標Z = 2.01、目標DPMO = 22215.6

表47 各精度水準での最小観測値数の選択に使用される参照区間

精度	下側限界	上側限界
15%の誤差幅	$z - 0.15z = 1.7085$	$z + 0.15z = 2.3115$
10%の誤差幅	$z - 0.1z = 1.81$	$z + 0.1z = 2.21$
5%の誤差幅	$z - 0.05z = 1.91$	$z + 0.05z = 2.11$

表48 さまざまな観測値数でシミュレートしたzベンチの信頼区間

観測値数	95%信頼区間	90%信頼区間	80%信頼区間
5	(0.87, 6.72)	(0.99, 4.65)	(1.16, 3.78)
10	(1.15, 4.20)	(1.25, 3.39)	(1.38, 2.96)
15	(1.29, 3.53)	(1.38, 3.02)	(1.50, 2.73)
20	(1.36, 3.23)	(1.45, 2.80)	(1.55, 2.59)
25	(1.43, 3.05)	(1.50, 2.72)	(1.59, 2.53)
30	(1.46, 2.95)	(1.54, 2.65)	(1.63, 2.49)

観測値数	95%信頼区間	90%信頼区間	80%信頼区間
35	(1.49, 2.85)	(1.57, 2.59)	(1.65, 2.45)
40	(1.53, 2.80)	(1.59, 2.54)	(1.68, 2.42)
45	(1.55, 2.72)	(1.61, 2.50)	(1.69, 2.38)
50	(1.58, 2.68)	(1.64, 2.48)	(1.71, 2.36)
60	(1.61, 2.61)	(1.66, 2.44)	(1.72, 2.33)
70	(1.63, 2.55)	(1.69, 2.40)	(1.75, 2.30)
80	(1.66, 2.52)	(1.71, 2.37)	(1.77, 2.29)
90	(1.68, 2.49)	(1.72, 2.35)	(1.78, 2.27)
100	(1.69, 2.46)	(1.74, 2.33)	(1.79, 2.26)
115		(1.75, 2.31)	
120		(1.76, 2.30)	
150	(1.75, 2.37)	(1.79, 2.27)	(1.83, 2.21)
200	(1.78, 2.32)	(1.81, 2.23)	(1.85, 2.18)
225	(1.79, 2.30)	(1.82, 2.22)	(1.87, 2.17)
250	(1.80, 2.29)	(1.83, 2.21)	(1.87, 2.16)
300	(1.82, 2.26)	(1.85, 2.18)	(1.88, 2.14)
350	(1.83, 2.24)	(1.86, 2.18)	(1.89, 2.14)
400	(1.84, 2.23)	(1.87, 2.17)	(1.90, 2.13)
450	(1.86, 2.21)	(1.88, 2.15)	(1.91, 2.12)
500	(1.86, 2.20)	(1.88, 2.15)	(1.91, 2.12)
700	(1.88, 2.17)	(1.90, 2.13)	(1.93, 2.10)
800	(1.89, 2.16)	(1.91, 2.12)	(1.93, 2.09)
850	(1.90, 2.15)	(1.91, 2.12)	(1.93, 2.09)
900	(1.90, 2.15)	(1.92, 2.11)	(1.94, 2.09)
1000	(1.90, 2.15)	(1.92, 2.11)	(1.94, 2.09)
1100	(1.91, 2.13)	(1.93, 2.10)	(1.95, 2.08)
1200	(1.92, 2.13)	(1.93, 2.10)	(1.95, 2.08)

観測値数	95%信頼区間	90%信頼区間	80%信頼区間
1300	(1.92, 2.13)	(1.93, 2.09)	(1.95, 2.08)
1400	(1.92, 2.12)	(1.94, 2.09)	(1.95, 2.07)
1500	(1.93, 2.12)	(1.94, 2.09)	(1.95, 2.07)
1600	(1.93, 2.11)	(1.94, 2.09)	(1.96, 2.07)
1700	(1.93, 2.11)	(1.94, 2.09)	(1.96, 2.07)

目標Z = 1.50、目標DPMO = 66807.2

表49 各精度水準での最小観測値数の選択に使用される参照区間

精度	下側限界	上側限界
15%の誤差幅	$z - 0.15z = 1.275$	$z + 0.15z = 1.725$
10%の誤差幅	$z - 0.1z = 1.35$	$z + 0.1z = 1.65$
5%の誤差幅	$z - 0.05z = 1.43$	$z + 0.05z = 1.58$

表50 さまざまな観測値数でシミュレートしたzベンチの信頼区間

観測値数	95%信頼区間	90%信頼区間	80%信頼区間
10	(0.76, 3.27)	(0.85, 2.55)	(0.96, 2.27)
20	(0.94, 2.53)	(1.03, 2.18)	(1.11, 2.00)
30	(1.04, 2.26)	(1.10, 2.02)	(1.18, 1.89)
40	(1.09, 2.13)	(1.15, 1.94)	(1.22, 1.83)
50	(1.13, 2.06)	(1.19, 1.89)	(1.25, 1.79)
60	(1.16, 2.00)	(1.21, 1.84)	(1.27, 1.79)
70	(1.19, 1.96)	(1.23, 1.82)	(1.29, 1.75)
80	(1.20, 1.92)	(1.25, 1.80)	(1.30, 1.72)
90	(1.23, 1.91)	(1.26, 1.79)	(1.31, 1.72)
100	(1.24, 1.88)	(1.27, 1.76)	(1.32, 1.70)
130		(1.30, 1.73)	
132		(1.30, 1.73)	
135		(1.30, 1.72)	

観測値数	95%信頼区間	90%信頼区間	80%信頼区間
140		(1.31, 1.72)	
145		(1.31, 1.72)	
150	(1.28, 1.80)	(1.31, 1.72)	(1.35, 1.67)
175	(1.29, 1.78)	(1.32, 1.70)	(1.36, 1.66)
185	(1.30, 1.77)	(1.33, 1.70)	(1.37, 1.65)
200	(1.30, 1.76)	(1.33, 1.68)	(1.37, 1.64)
250	(1.33, 1.72)	(1.36, 1.66)	(1.39, 1.63)
275	(1.33, 1.72)	(1.36, 1.66)	(1.39, 1.62)
300	(1.35, 1.70)	(1.37, 1.65)	(1.40, 1.61)
350	(1.36, 1.70)	(1.38, 1.64)	(1.40, 1.61)
400	(1.36, 1.67)	(1.38, 1.63)	(1.41, 1.60)
450	(1.37, 1.67)	(1.39, 1.62)	(1.41, 1.59)
500	(1.38, 1.66)	(1.40, 1.62)	(1.42, 1.59)
600	(1.39, 1.65)	(1.40, 1.61)	(1.42, 1.58)
700	(1.40, 1.64)	(1.41, 1.60)	(1.43, 1.58)
800	(1.40, 1.63)	(1.42, 1.59)	(1.44, 1.57)
900	(1.41, 1.62)	(1.42, 1.59)	(1.44, 1.57)
1000	(1.41, 1.61)	(1.43, 1.58)	(1.44, 1.56)
1100	(1.41, 1.61)	(1.43, 1.58)	(1.44, 1.56)
1200	(1.42, 1.60)	(1.43, 1.57)	(1.45, 1.56)
1300	(1.42, 1.60)	(1.43, 1.57)	(1.45, 1.56)
1400	(1.43, 1.59)	(1.44, 1.57)	(1.45, 1.55)
1500	(1.43, 1.59)	(1.44, 1.57)	(1.45, 1.55)
1600	(1.43, 1.59)	(1.44, 1.57)	(1.46, 1.55)
1700	(1.43, 1.59)	(1.44, 1.56)	(1.46, 1.55)

目標Z = 1.01、目標DPMO = 156247.6

表51 各精度水準での最小観測値数の選択に使用される参照区間

精度	下側限界	上側限界
15%の誤差幅	$z - 0.15z = 0.8585$	$z + 0.15z = 1.1615$
10%の誤差幅	$z - 0.1z = 0.91$	$z + 0.1z = 1.11$
5%の誤差幅	$z - 0.05z = 0.96$	$z + 0.05z = 1.06$

表52 さまざまな観測値数でシミュレートしたzベンチの信頼区間

観測値数	95%信頼区間	90%信頼区間	80%信頼区間
10	(0.38, 2.33)	(0.46, 1.86)	(0.55, 1.62)
20	(0.55, 1.83)	(0.62, 1.55)	(0.68, 1.41)
30	(0.62, 1.63)	(0.67, 1.44)	(0.74, 1.32)
40	(0.67, 1.54)	(0.72, 1.37)	(0.77, 1.28)
50	(0.70, 1.45)	(0.75, 1.32)	(0.80, 1.24)
60	(0.73, 1.42)	(0.77, 1.29)	(0.82, 1.22)
70	(0.75, 1.38)	(0.78, 1.27)	(0.83, 1.21)
80	(0.76, 1.35)	(0.80, 1.25)	(0.84, 1.19)
90	(0.78, 1.32)	(0.81, 1.23)	(0.85, 1.18)
100	(0.78, 1.31)	(0.81, 1.22)	(0.85, 1.17)
150	(0.82, 1.25)	(0.84, 1.18)	(0.88, 1.14)
185		(0.86, 1.16)	
187		(0.87, 1.16)	
190		(0.87, 1.16)	
200	(0.85, 1.21)	(0.87, 1.15)	(0.90, 1.12)
250	(0.86, 1.19)	(0.88, 1.14)	(0.91, 1.11)
300	(0.87, 1.18)	(0.89, 1.13)	(0.92, 1.10)
350	(0.88, 1.16)	(0.90, 1.12)	(0.92, 1.09)
400	(0.89, 1.14)	(0.91, 1.11)	(0.93, 1.08)

観測値数	95%信頼区間	90%信頼区間	80%信頼区間
450	(0.89, 1.14)	(0.91, 1.11)	(0.93, 1.08)
500	(0.90, 1.13)	(0.92, 1.10)	(0.94, 1.08)
600	(0.91, 1.12)	(0.93, 1.09)	(0.94, 1.07)
700	(0.92, 1.11)	(0.93, 1.08)	(0.95, 1.07)
800	(0.93, 1.11)	(0.94, 1.08)	(0.95, 1.06)
900	(0.93, 1.10)	(0.94, 1.07)	(0.95, 1.06)
1000	(0.93, 1.09)	(0.94, 1.07)	(0.96, 1.06)
1100	(0.94, 1.09)	(0.95, 1.07)	(0.96, 1.05)
1200	(0.94, 1.09)	(0.95, 1.06)	(0.96, 1.05)
1300	(0.94, 1.08)	(0.95, 1.06)	(0.96, 1.05)
1400	(0.94, 1.08)	(0.95, 1.06)	(0.97, 1.05)
1500	(0.95, 1.08)	(0.95, 1.06)	(0.97, 1.05)
1600	(0.95, 1.08)	(0.96, 1.06)	(0.97, 1.05)
1700	(0.95, 1.07)	(0.96, 1.06)	(0.97, 1.04)

© 2015, 2017 Minitab Inc. All rights reserved.

Minitab®, Quality. Analysis. Results.® and the Minitab® logo are all registered trademarks of Minitab, Inc., in the United States and other countries. See minitab.com/legal/trademarks for more information.