バージョン 11

品質と工程

「真の発見の旅とは、新しい風景を探すことではなく、新たな視点を持つことである。」

マルセル・プルースト

JMP, A Business Unit of SAS
SAS Campus Drive
Cary, NC 27513

11.2

このマニュアルを引用する場合は、次の正式表記を使用してください : SAS Institute Inc. 2014.
『JMP® 11 品質と工程』Cary, NC: SAS Institute Inc.

JMP® 11 品質と工程

Copyright © 2014, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA

ISBN 978-1-61290-755-0

All rights reserved. Produced in the United States of America.

印刷物の場合 : この出版物のいかなる部分も、出版元である SAS Institute Inc. の書面による許可なく、電子的、機械的、複写など、形式や方法を問わず、複製すること、検索システムへ格納すること、および転送することを禁止します。

Web からのダウンロードや電子本の場合 : この出版物の使用については、入手した時点で、ベンダーが規定した条件が適用されます。

この出版物を、インターネットまたはその他のいかなる方法でも、出版元の許可なくスキャン、アップロード、および配布することは違法であり、法律によって罰せられます。正規の電子版のみを入手し、著作権を侵害する不正コピーに関与または加担しないでください。著作権の保護に関するご理解をお願いいたします。

U.S. Government Restricted Rights Notice: Use, duplication, or disclosure of this software and related documentation by the U.S. government is subject to the Agreement with SAS Institute and the restrictions set forth in FAR 52.227-19, Commercial Computer Software-Restricted Rights (June 1987).

SAS Institute Inc., SAS Campus Drive, Cary, North Carolina 27513.

2014 年 7 月、第 1 刷

SAS® Publishing provides a complete selection of books and electronic products to help customers use SAS software to its fullest potential. For more information about our e-books, e-learning products, CDs, and hard-copy books, visit the SAS Publishing Web site at support.sas.com/publishing or call 1-800-727-3228.

SAS® and all other SAS Institute Inc. product or service names are registered trademarks or trademarks of SAS Institute Inc. in the USA and other countries. ® indicates USA registration.

Other brand and product names are registered trademarks or trademarks of their respective companies.

技術ライセンスに関する通知

- Scintilla - Copyright © 1998-2012 by Neil Hodgson <neilh@scintilla.org>.

  All Rights Reserved.

  Permission to use, copy, modify, and distribute this software and its documentation for any purpose and without fee is hereby granted, provided that the above copyright notice appear in all copies and that both that copyright notice and this permission notice appear in supporting documentation.

  NEIL HODGSON DISCLAIMS ALL WARRANTIES WITH REGARD TO THIS SOFTWARE, INCLUDING ALL IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS, IN NO EVENT SHALL NEIL HODGSON BE LIABLE FOR ANY SPECIAL, INDIRECT OR CONSEQUENTIAL DAMAGES OR ANY DAMAGES WHATSOEVER RESULTING FROM LOSS OF USE, DATA OR PROFITS, WHETHER IN AN ACTION OF CONTRACT, NEGLIGENCE OR OTHER TORTIOUS ACTION, ARISING OUT OF OR IN CONNECTION WITH THE USE OR PERFORMANCE OF THIS SOFTWARE.

- Telerik RadControls: Copyright © 2002-2012, Telerik. Usage of the included Telerik RadControls outside of JMP is not permitted.
- ZLIB Compression Library - Copyright © 1995-2005, Jean-Loup Gailly and Mark Adler.
- Made with Natural Earth. Free vector and raster map data @ naturalearthdata.com.
- Packages - Copyright © 2009-2010, Stéphane Sudre (s.sudre.free.fr). All rights reserved.

  Redistribution and use in source and binary forms, with or without modification, are permitted provided that the following conditions are met:

  Redistributions of source code must retain the above copyright notice, this list of conditions and the following disclaimer.

  Redistributions in binary form must reproduce the above copyright notice, this list of conditions and the following disclaimer in the documentation and/or other materials provided with the distribution.

  Neither the name of the WhiteBox nor the names of its contributors may be used to endorse or promote products derived from this software without specific prior written permission.

  THIS SOFTWARE IS PROVIDED BY THE COPYRIGHT HOLDERS AND CONTRIBUTORS “AS IS” AND ANY EXPRESS OR IMPLIED WARRANTIES, INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE ARE DISCLAIMED. IN NO EVENT SHALL THE COPYRIGHT OWNER OR CONTRIBUTORS BE LIABLE FOR ANY DIRECT, INDIRECT, INCIDENTAL, SPECIAL, EXEMPLARY, OR CONSEQUENTIAL DAMAGES (INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, PROCUREMENT OF SUBSTITUTE GOODS OR SERVICES; LOSS

OF USE, DATA, OR PROFITS; OR BUSINESS INTERRUPTION) HOWEVER CAUSED AND ON ANY THEORY OF LIABILITY, WHETHER IN CONTRACT, STRICT LIABILITY, OR TORT (INCLUDING NEGLIGENCE OR OTHERWISE) ARISING IN ANY WAY OUT OF THE USE OF THIS SOFTWARE, EVEN IF ADVISED OF THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGE.

- iODBC software - Copyright © 1995-2006, OpenLink Software Inc and Ke Jin (www.iodbc.org). All rights reserved.

  Redistribution and use in source and binary forms, with or without modification, are permitted provided that the following conditions are met:

  – Redistributions of source code must retain the above copyright notice, this list of conditions and the following disclaimer.

  – Redistributions in binary form must reproduce the above copyright notice, this list of conditions and the following disclaimer in the documentation and/or other materials provided with the distribution.

  – Neither the name of OpenLink Software Inc. nor the names of its contributors may be used to endorse or promote products derived from this software without specific prior written permission.

  THIS SOFTWARE IS PROVIDED BY THE COPYRIGHT HOLDERS AND CONTRIBUTORS "AS IS" AND ANY EXPRESS OR IMPLIED WARRANTIES, INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE ARE DISCLAIMED. IN NO EVENT SHALL OPENLINK OR CONTRIBUTORS BE LIABLE FOR ANY DIRECT, INDIRECT, INCIDENTAL, SPECIAL, EXEMPLARY, OR CONSEQUENTIAL DAMAGES (INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, PROCUREMENT OF SUBSTITUTE GOODS OR SERVICES; LOSS OF USE, DATA, OR PROFITS; OR BUSINESS INTERRUPTION) HOWEVER CAUSED AND ON ANY THEORY OF LIABILITY, WHETHER IN CONTRACT, STRICT LIABILITY, OR TORT (INCLUDING NEGLIGENCE OR OTHERWISE) ARISING IN ANY WAY OUT OF THE USE OF THIS SOFTWARE, EVEN IF ADVISED OF THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGE.

- bzip2, the associated library "libbzip2", and all documentation, are Copyright © 1996-2010, Julian R Seward. All rights reserved.

  Redistribution and use in source and binary forms, with or without modification, are permitted provided that the following conditions are met:

  Redistributions of source code must retain the above copyright notice, this list of conditions and the following disclaimer.

  The origin of this software must not be misrepresented; you must not claim that you wrote the original software. If you use this software in a product, an acknowledgment in the product documentation would be appreciated but is not required.

Altered source versions must be plainly marked as such, and must not be misrepresented as being the original software.

The name of the author may not be used to endorse or promote products derived from this software without specific prior written permission.

THIS SOFTWARE IS PROVIDED BY THE AUTHOR "AS IS" AND ANY EXPRESS OR IMPLIED WARRANTIES, INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE ARE DISCLAIMED. IN NO EVENT SHALL THE AUTHOR BE LIABLE FOR ANY DIRECT, INDIRECT, INCIDENTAL, SPECIAL, EXEMPLARY, OR CONSEQUENTIAL DAMAGES (INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, PROCUREMENT OF SUBSTITUTE GOODS OR SERVICES; LOSS OF USE, DATA, OR PROFITS; OR BUSINESS INTERRUPTION) HOWEVER CAUSED AND ON ANY THEORY OF LIABILITY, WHETHER IN CONTRACT, STRICT LIABILITY, OR TORT (INCLUDING NEGLIGENCE OR OTHERWISE) ARISING IN ANY WAY OUT OF THE USE OF THIS SOFTWARE, EVEN IF ADVISED OF THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGE.

- R software is Copyright © 1999-2012, R Foundation for Statistical Computing.
- MATLAB software is Copyright © 1984-2012, The MathWorks, Inc. Protected by U.S. and international patents. See www.mathworks.com/patents. MATLAB and Simulink are registered trademarks of The MathWorks, Inc. See www.mathworks.com/trademarks for a list of additional trademarks. Other product or brand names may be trademarks or registered trademarks of their respective holders.

目次
品質と工程

1 JMP の概要

マニュアルとその他のリソース 15
表記規則 17
JMP のマニュアル 17
JMP ドキュメンテーションライブラリ 18
JMP ヘルプ 22
JMP を習得するためのその他のリソース 22
チュートリアル 22
サンプルデータテーブル 23
統計用語と JSL 用語の習得 23
JMP を使用するためのヒント 23
ツールヒント 23
JMP User Community 24
JMPer Cable 24
JMP 関連書籍 24
「JMP スターター」ウィンドウ 24

2 品質と工程の評価

工程と製品の改善のためのツール群 25

3 管理図ビルダー

管理図を対話的に作成する 27
管理図ビルダーの概要 29
管理図ビルダーの例 29
計量値の管理図 31
計数値の管理図 32
まれなイベントの管理図 33
管理図の種類の一覧表 34
管理図ビルダーの起動 35

「管理図ビルダー」ウィンドウ 37
管理図ビルダーのオプション 38
赤い三角ボタンのメニューのオプション 38
オプションパネルと管理図を右クリックして表示するオプション 39
軸を右クリックすると表示されるオプション 46
標本の除外および非表示 46
管理図ビルダーのその他の例 46
$\overline{X}$-R 管理図の例 46
P 管理図の例 48
NP 管理図の例 50
C 管理図の例 51
U 管理図の例 53
G 管理図の例 54
T 管理図の例 55
「管理図ビルダー」プラットフォームの統計的詳細 56
$\overline{X}$ 管理図と R 管理図の管理限界 56
$\overline{X}$ 管理図と S 管理図の管理限界 57
個々の測定値管理図と移動範囲管理図の管理限界 58
P 管理図と NP 管理図の管理限界 58
U 管理図の管理限界 59
C 管理図の管理限界 59
Levey-Jennings 管理図 60
G 管理図の管理限界 60
T 管理図の管理限界 61

4 統計管理図

計量値管理図と計数値管理図を作成する 63
「管理図」プラットフォームの概要 65
「管理図」プラットフォームの例 65
計量値の管理図 67
計数値の管理図 68
「管理図」プラットフォームの起動 69
工程に関する情報 70
管理図タイプに関する情報 72
管理限界の指定 73
統計量の指定 74

「管理図」レポート 74
「管理図」プラットフォームのオプション 76
ウィンドウオプション 76
個々のチャートに対するオプション 79
限界値の保存と取得 81
標本の除外、非表示、削除 85
「管理図」プラットフォームのその他の例 86
ランチャートの例 86
$\overline{X}$管理図とR管理図の例 87
サブグループ標本のサイズが異なるときの$\overline{X}$管理図とS管理図の例 89
個々の測定値と移動範囲の管理図（IR管理図）の例 90
P管理図の例 91
NP管理図の例 92
C管理図の例 93
U管理図の例 93
UWMA管理図の例 94
EWMA管理図の例 95
予め集計管理図の例 96
フェーズの例 97
「管理図」プラットフォームの統計的詳細 98
$\overline{X}$管理図とR管理図の管理限界 98
$\overline{X}$管理図とS管理図の管理限界 99
個々の測定値管理図、移動範囲管理図、メディアン移動範囲管理図の管理限界 100
UWMA管理図の管理限界 101
EWMA管理図の管理限界 102
P管理図とNP管理図の管理限界 102
U管理図の管理限界 103
C管理図の管理限界 103
Levey-Jennings管理図 104

5 CUSUM（累積和）管理図

工程平均における小さなシフトを検出する 105
CUSUM管理図の概要 107
CUSUM管理図の例 107
CUSUM（累積和）管理図 111

両側CUSUM（累積和）管理図の解釈 112
片側CUSUM（累積和）管理図の解釈 113
「CUSUM(累積和)」管理図プラットフォームのオプション 113
片側CUSUM（累積和）管理図の例 114
CUSUM（累積和）管理図の統計的詳細 115
片側CUSUM（累積和）管理図 116
両側CUSUM（累積和）管理図 117

6 多変量管理図

工程に関する複数の特性を同時に監視する 119
多変量管理図の概要 121
多変量管理図の例 121
手順 1: 工程が安定状態かどうかを判断する 121
手順 2: 目標統計量を保存する 122
手順 3: 工程を監視する 123
多変量管理図 124
「多変量管理図」プラットフォームのオプション 126
T2 乗の分割 127
変化点の検出 127
主成分分析 128
多変量管理図のその他の例 128
サブグループ化したデータを使用した工程監視の例 128
変化点の検出の例 131
多変量管理図の統計的詳細 132
個々のデータの統計的詳細 132
サブグループ化されたデータの統計的詳細 133
加算性の統計的詳細 134
変化点の検出の統計的詳細 134

7 測定システム分析

EMP 法による計量値の測定システム分析 137
測定システム分析の概要 139
測定システム分析の例 139
「測定システム分析」プラットフォームのオプション 144
平均図 146

範囲図または標準偏差図 146
EMP 分析 146
測定の有効桁数 148
変化検出プロファイル 148
バイアスの比較 149
繰り返し誤差の比較 150
測定システム分析の別例 150
測定システム分析の統計的詳細 156

8 計量値用ゲージチャート

Gauge R&R による計量値の測定システム分析 159
変動性図の概要 161
変動性図の例 161
「計量値用ゲージ」チャート 164
「計量値用ゲージ」プラットフォームのオプション 165
等分散性の検定 167
分散成分 168
Gauge R&R 分析について 169
［Gauge RR］オプション 170
判別比 172
誤分類率 172
バイアスレポート 173
直線性 173
変動性図のその他の例 174
等分散性の検定の例 174
［バイアスレポート］オプションの例 176
変動性図の統計的詳細 179
分散成分の統計的詳細 179
判別比の統計的詳細 180

9 計数値用ゲージチャート

カテゴリカル測定データの一致性評価 181
計数値用ゲージチャートの概要 183
計数値用ゲージチャートの例 183
「計数値用ゲージ」のチャートとレポート 186

一致性レポート 187
有効性レポート 188
「計数値用ゲージ」プラットフォームのオプション 190
計数値用ゲージチャートの統計的詳細 191
「一致性レポート」の統計的詳細 192

10 工程能力分析

仕様の範囲に収まっているかを調べる 195
「工程能力」プラットフォームの概要 197
「工程能力」プラットフォームの例 197
仕様限界 199
「工程能力」レポート 203
ゴールプロット 204
工程能力箱ひげ図 206
「工程能力」プラットフォームのオプション 207
正規化箱ひげ図 208
要約テーブルの作成 209
工程能力指数レポート 209
各列に対する詳細レポート 210
「工程能力」プラットフォームのその他の例 210

11 パレート図

重要な問題に的を絞って品質改善に導く 215
「パレート図」プラットフォームの概要 217
「パレート図」プラットフォームの例 217
「パレート図」レポート 221
「パレート図」プラットフォームのオプション 222
［原因］のオプション 223
「パレート図」プラットフォームのその他の例 224
［原因を組み合わせる］の例 224
グループ全体で一定の標本サイズを使用した例 225
グループ全体で一定でない標本サイズを使用した例 227
1 元層別パレート図の例 228
2 元層別パレート図の例 230

12 特性要因図

根本原因を調べる 233
特性要因図の概要 235
特性要因図の例 235
「特性要因図」プラットフォームの起動 236
特性要因図 237
コンテキストメニュー 237
特性要因図の保存 240
特性要因図をデータテーブルとして保存する 241
特性要因図をジャーナルとして保存する 241
特性要因図をスクリプトとして保存する 241

A 参考文献

索引

品質と工程 245

第 1 章

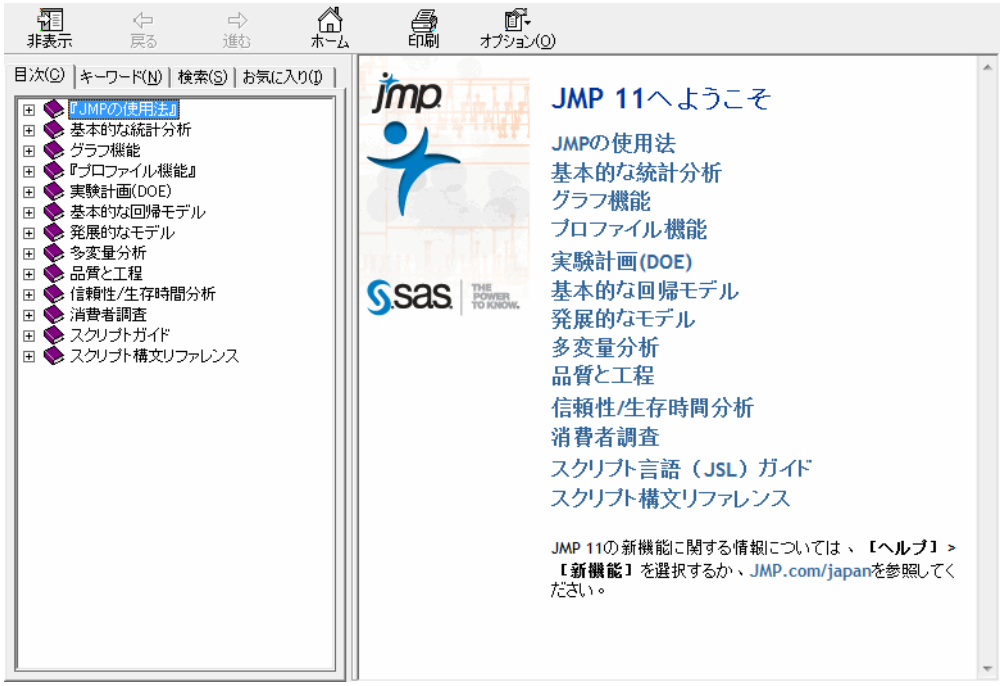
JMP の概要

マニュアルとその他のリソース

この章には以下の情報が記載されています。

- 本書の表記法
- JMP のマニュアル
- JMP ヘルプ
- その他のリソース
  - その他の JMP のドキュメンテーション
  - チュートリアル
  - 索引
  - Web リソース

図 1.1 JMP ヘルプのホームウィンドウ（Windows）



目次

表記規則 17
JMP のマニュアル 17
JMP ドキュメンテーションライブラリ 18
JMP ヘルプ 22
JMP を習得するためのその他のリソース 22
チュートリアル 22
サンプルデータテーブル 23
統計用語と JSL 用語の習得 23
JMP を使用するためのヒント 23
ツールヒント 23
JMP User Community 24
JMPer Cable 24
JMP 関連書籍 24
「JMP スターター」ウィンドウ 24

表記規則

マニュアルの内容と画面に表示される情報を対応付けるために、次の表記規則を使っています。

- サンプルデータ名、列名、パス名、ファイル名、ファイル拡張子、およびフォルダ名は「」で囲んで表記しています。
- スクリプトのコードは `Lucida Sans Typewriter` フォントで表記しています。
- スクリプトコードの結果（ログに表示されるもの）は *`Lucida Sans Typewriter`*（斜体）フォントで表記し、先に示すコードよりインデントされています。
- クリックまたは選択する項目は［］で囲んで太字で表記しています。これには以下の項目があります。
  - ボタン
  - チェックボックス
  - コマンド
  - 選択可能なリスト項目
  - メニュー
  - オプション
  - タブ名
  - テキストボックス
- 次の項目は太字で表記しています。
  - 重要な単語や句、JMP に固有の定義を持つ単語や句
  - マニュアルのタイトル
  - 変数名
- JMP Pro のみの機能には JMP Pro アイコン JMP PRO がついています。JMP Pro の機能の概要については http://www.jmp.com/software/pro/ をご覧ください。

注：特別な情報および制限事項には、この文のように「注:」という見出しがついています。

ヒント：役に立つ情報には「ヒント」という見出しがついています。

JMP のマニュアル

JMP には、印刷版、PDF 版、電子本など、さまざまな形式のマニュアルが用意されています。

- PDF 版は［**ヘルプ**］>［**ドキュメンテーション**］メニューまたは JMP オンラインヘルプのフッタから開くことができます。

- 検索しやすいようにすべてのドキュメンテーションが 1 つの PDF ファイルにまとめられた『JMP ドキュメンテーションライブラリ』と呼ばれるファイルがあります。『JMP ドキュメンテーションライブラリ』の PDF ファイルは［**ヘルプ**］>［**ドキュメンテーション**］メニューから開くことができます。
- 電子本は Amazon、Safari Books Online、および Apple iBookstore でお求めになれます。

JMP ドキュメンテーションライブラリ

以下の表は、JMP ライブラリに含まれている各ドキュメンテーションの目的および内容をまとめたものです。

マニュアル	目的	内容
『はじめての JMP』	JMP をあまりご存知ない方を対象とした入門ガイド	JMP の紹介と、データを作成および分析し始めるための情報
『JMP の使用法』	JMP のデータテーブルと、基本操作を理解する	一般的な JMP の概念と、データの読み込み、列プロパティの変更、データの並べ替え、SAS への接続など、JMP 全体にわたる機能の説明
『基本的な統計分析』	このマニュアルを見ながら、基本的な分析を行う	［分析］メニューからアクセスできる以下のプラットフォームの説明： • 一変量の分布 • 二変量の関係 • 対応のあるペア • 表の作成 ブートストラップを使用した標本分布の近似方法も含まれています。

マニュアル	目的	内容
『グラフ機能』	データに合った理想的なグラフを見つける	［グラフ］メニューからアクセスできる以下のプラットフォームの説明： • グラフビルダー • 重ね合わせプロット • 三次元散布図 • 等高線図 • バブルプロット • パラレルプロット • セルプロット • ツリーマップ • 散布図行列 • 三角図 • チャート 背景マップやカスタムマップの作成方法も記載されています。
『プロファイル機能』	対話式のプロファイルツールの使い方を学ぶ。任意の応答曲面の断面を表示できるようになります。	［グラフ］メニューに表示されるすべてのプロファイルについて。誤差因子の分析が、ランダム入力を使用したシミュレーションの実行とともに含まれています。
『実験計画 (DOE)』	実験の計画方法と適切な標本サイズの決定方法を学ぶ	**［実験計画（DOE）］**メニューのすべてのトピックについて。
『基本的な回帰モデル』	「モデルのあてはめ」プラットフォームとその多くの手法について学ぶ	［分析］メニューの「モデルのあてはめ」プラットフォームで使用できる、以下の手法の説明： • 標準最小2乗 • ステップワイズ • 正則化回帰 • 混合モデル • MANOVA • 対数線形-分散 • 名義ロジスティック • 順序ロジスティック • 一般化線形モデル

マニュアル	目的	内容
『発展的なモデル』	付加的なモデリング手法について学ぶ	［分析］>［モデリング］メニューで使用できる以下のプラットフォームの説明： • パーティション • ニューラル • モデルの比較 • 非線形回帰 • Gauss過程 • 時系列分析 • 応答スクリーニング ［分析］>［モデリング］メニューの「スクリーニング」プラットフォームについては『実験計画(DOE)』で説明しています。
『多変量分析』	複数の変数を同時に分析するための手法について理解を深める	［分析］>［多変量］メニューで使用できる以下のプラットフォームの説明： • 多変量の相関 • クラスター分析 • 主成分分析 • 判別分析 • PLS
『品質と工程』	工程を評価し、向上させるためのツールについて理解を深める	［分析］>［品質と工程］メニューで使用できる以下のプラットフォームの説明： • 管理図ビルダーと個々の管理図 • 測定システム分析 • 変動性図/計数値用ゲージチャート • 工程能力 • パレート図 • 特性要因図

マニュアル	目的	内容
『信頼性/生存時間分析』	製品やシステムにおける信頼性を評価し、向上させる方法、および人や製品の生存時間データを分析する方法について学ぶ	［分析］>［信頼性/生存時間分析］メニューで使用できる以下のプラットフォームの説明： • 寿命の一変量 • 寿命の二変量 • 再生モデルによる分析 • 劣化分析 • 信頼性予測 • 信頼性成長 • 信頼性ブロック図 • 生存時間分析 • 生存時間(パラメトリック)のあてはめ • 比例ハザードのあてはめ
『消費者調査』	消費者選好を調査し、その洞察を使用してより良い製品やサービスを作成するための方法を学ぶ	［分析］>［消費者調査］メニューで使用できる以下のプラットフォームの説明： • カテゴリカル • 因子分析 • 選択モデル • アップリフト • 項目分析
『スクリプトガイド』	パワフルなJMPスクリプト言語（JSL）の活用方法について学ぶ	スクリプトの作成やデバッグ、データテーブルの操作、ディスプレイボックスの構築、JMPアプリケーションの作成など。
『スクリプト構文リファレンス』	JSL関数、その引数、およびオブジェクトやディスプレイボックスに送信するメッセージについて理解を深める	JSLコマンドの構文、例、および注意書き。

注：［**ドキュメンテーション**］メニューでは、印刷可能な2つのリファレンスカードも用意されています。『メニューカード』はJMPのメニューをまとめた表で、『クイックリファレンス』はJMPのショートカットキーをまとめた表です。

JMPヘルプ

JMPヘルプは、一連のマニュアルの簡易版です。JMPのヘルプは、次のいくつかの方法で開くことができます。

- Windowsでは、F1キーを押すとヘルプシステムウィンドウが開きます。
- データテーブルまたはレポートウィンドウの特定の部分のヘルプを表示します。［**ツール**］メニューからヘルプツール を選択した後、データテーブルやレポートウィンドウの任意の位置でクリックすると、その部分に関するヘルプが表示されます。
- JMPウィンドウ内で［**ヘルプ**］ボタンをクリックします。
- Windowsの場合、［**ヘルプ**］メニューの［**ヘルプの目次**］、［**ヘルプの検索**］、［**ヘルプの索引**］の各オプションを使用して、JMPヘルプ内を検索し、目的の内容を表示します。Macの場合、［**ヘルプ**］>［**JMPヘルプ**］を選択します。
- http://jmp.com/support/help/ でヘルプを検索します（英語のみ）。

JMPを習得するためのその他のリソース

JMPのマニュアルとJMPヘルプの他、次のリソースもJMPの学習に役立ちます。

- チュートリアル（「チュートリアル」（22ページ）を参照）
- サンプルデータ（「サンプルデータテーブル」（23ページ）を参照）
- 索引（「統計用語とJSL用語の習得」（23ページ）を参照）
- 使い方ヒント（「JMPを使用するためのヒント」（23ページ）を参照）
- Webリソース（「JMP User Community」（24ページ）を参照）
- 専門誌『JMPer Cable』（「JMPer Cable」（24ページ）を参照）
- JMPに関する書籍（「JMP関連書籍」（24ページ）を参照）
- JMPスターター（「「JMPスターター」ウィンドウ」（24ページ）を参照）

チュートリアル

［**ヘルプ**］>［**チュートリアル**］を選択して、JMPのチュートリアルを表示できます。［**チュートリアル**］メニューの最初の項目は［**チュートリアルディレクトリ**］です。この項目を選択すると、すべてのチュートリアルをカテゴリ別に整理した新しいウィンドウが開きます。

JMPに慣れていない方は、まず［**初心者用チュートリアル**］を試してみてください。JMPのインターフェースおよび基本的な使用方法を学ぶことができます。

他のチュートリアルでは、円グラフの作成、グラフビルダーの使用など、JMPの具体的な活用法を学習できます。

サンプルデータテーブル

JMPのマニュアルで取り上げる例は、すべてサンプルデータを使用しています。次の操作はすべて［**ヘルプ**］>［**サンプルデータ**］で表示されるウィンドウで行えます。

- サンプルデータディレクトリを開く。
- すべてのサンプルデータテーブルを文字コード順に並べた一覧を表示する。
- カテゴリ別に整理されたリストからサンプルデータテーブルを見つける。

サンプルデータテーブルは次のディレクトリにインストールされています。

Windowsの場合: C:¥Program Files¥SAS¥JMP¥<バージョン番号>¥Samples¥Data

Macintoshの場合: \Library\Application Support\JMP\<バージョン番号>\Samples\Data

JMP Proでは、サンプルデータが（JMPではなく）JMPPROディレクトリにインストールされています。

統計用語とJSL用語の習得

［**ヘルプ**］メニューには、次の索引が用意されています。

統計の索引　統計用語が説明されています。

スクリプトの索引　JSL関数、オブジェクト、ディスプレイボックスに関する情報を検索できます。スクリプトの索引からサンプルスクリプトを編集して実行することもできます。

JMPを使用するためのヒント

JMPを最初に起動すると、「使い方ヒント」ウィンドウが表示されます。このウィンドウには、JMPを使う上でのヒントが表示されます。

「使い方ヒント」ウィンドウを表示しないようにするには、［**起動時にヒントを表示する**］のチェックを外します。再表示するには、［**ヘルプ**］>［**使い方ヒント**］を選択します。または、「環境設定」ウィンドウで非表示に設定することもできます。詳細については、『JMPの使用法』を参照してください。

ツールヒント

次のような項目の上にカーソルを置くと、その項目を説明するツールヒントが表示されます。

- メニューまたはツールバーのオプション
- グラフ内のラベル
- レポートウィンドウ内の結果（テキスト）（カーソルで円を描くと表示される）
- 「ホームウィンドウ」内のファイル名またはウィンドウ名
- スクリプトエディタ内のコード

ヒント：JMP 環境設定で、ツールヒントを表示しないよう設定できます。［**ファイル**］>［**環境設定**］>［**一般**］（Macintosh の場合は［**JMP**］>［**環境設定**］>［**一般**］）を選択し、［**メニューのヒントを表示**］のチェックを外します。

JMP User Community

JMP User Community では、さまざまな方法でJMPをさらに習得したり、他のSASユーザとのコミュニケーションを図ったりできます。ラーニングライブラリには1ページ構成のガイド、チュートリアル、デモなどが用意されており、JMPを使い始める上でとても便利です。また、JMPのさまざまなトレーニングコースに登録して、自己教育を進めることも可能です。

その他のリソースとして、ディスカッションフォーラム、サンプルデータやスクリプトファイルの交換、Webcastセミナー、ソーシャルネットワークグループなども利用できます。

WebサイトのJMPリソースにアクセスするには［**ヘルプ**］>［**JMP User Community**］を選択します。

JMPer Cable

JMPer Cableは、JMPユーザを対象とした年刊の専門誌です。JMPer Cableは次のJMP Webサイトで閲覧可能です。

http://www.jmp.com/about/newsletters/jmpercable/（英語）

JMP関連書籍

JMP関連書籍は、次のJMP Webページで紹介されています。

http://www.jmp.com/japan/academic/books.shtml

「JMPスターター」ウィンドウ

JMPまたはデータ分析にあまり慣れていないユーザは、「JMPスターター」ウィンドウから開始するとよいでしょう。カテゴリ分けされた項目には説明がついており、ボタンをクリックするだけで該当の機能を起動できます。「JMPスターター」ウィンドウには、［**分析**］、［**グラフ**］、［**テーブル**］、および［**ファイル**］メニュー内の多くのオプションがあります。

- 「JMPスターター」ウィンドウを開くには、［**表示**］（Macintoshでは［**ウィンドウ**］）>［**JMPスターター**］を選択します。
- WindowsでJMPの起動時に自動的に「JMPスターター」を表示するには、［**ファイル**］>［**環境設定**］>［**一般**］を選び、「開始時のJMPウィンドウ」リストから［**JMPスターター**］を選択します。Macintoshでは、［**JMP**］>［**環境設定**］>［**起動時にJMPスターターウィンドウを表示する**］を選択します。

第 2 章

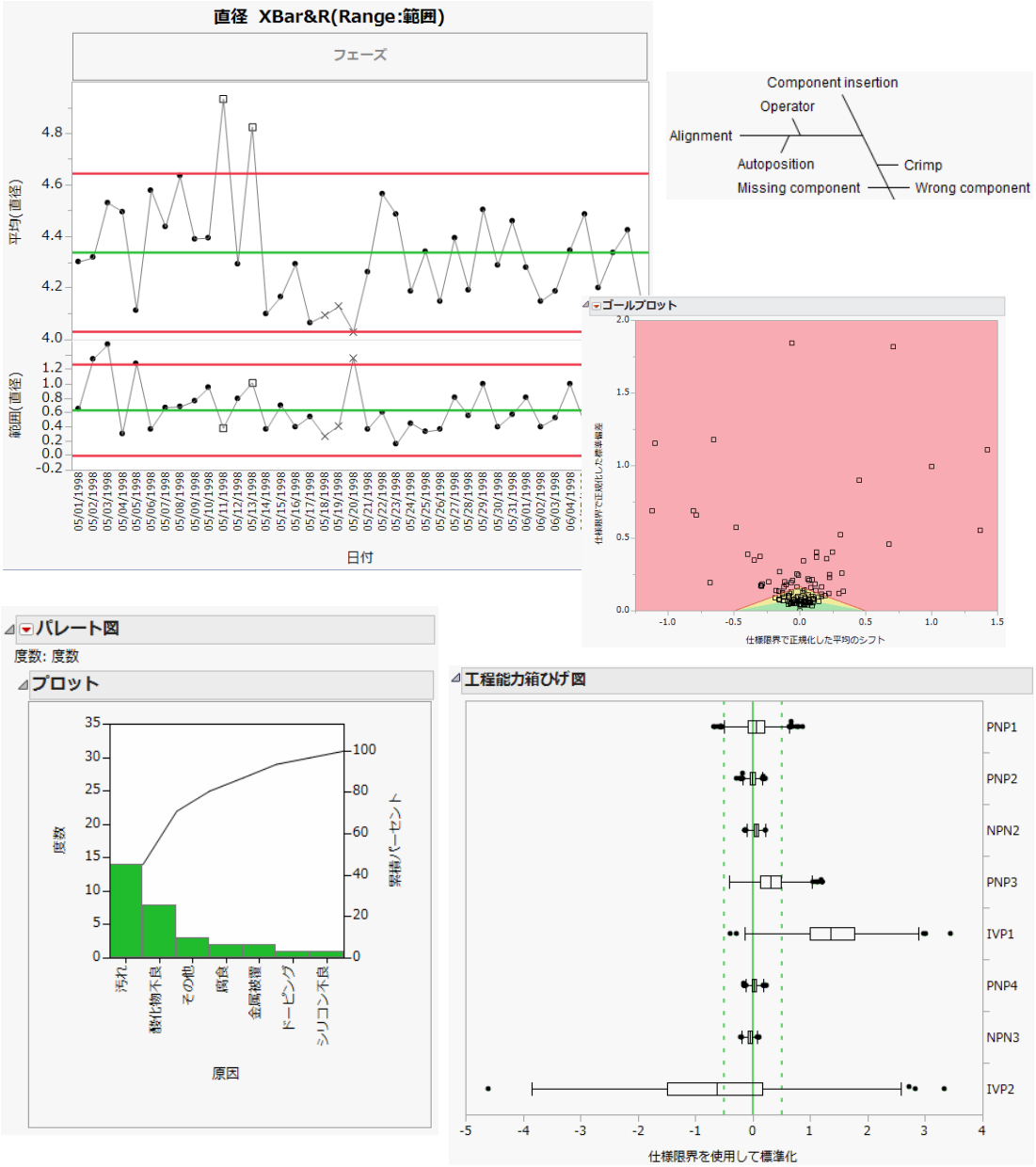
品質と工程の評価

工程と製品の改善のためのツール群

このマニュアルでは、品質や工程のパフォーマンスを評価し、改善する目的でJMPで採用している手法や便利なツールの数々について解説します。

- 管理図は、主要な変数の把握に役立ち、工程が統計学的な見地から管理状態にあるか、管理状態から逸脱しているかを示します。第3章「管理図ビルダー」および第4章「統計管理図」では、対話式の管理図プラットフォーム「管理図ビルダー」の紹介も含め、JMPで管理図を作成する方法について説明します。工程に生じる小さなシフトを検出する、または工程に関する複数の特性を同時に監視する必要がある場合については、第5章「CUSUM（累積和）管理図」および第6章「多変量管理図」をそれぞれご確認ください。
- 「測定システム分析」プラットフォームは、測定システムの精度、一貫性、かたより（バイアス）を評価します。工程を分析する前に、工程が精確に測定されているかどうかを調べる必要があります。変動が測定に起因しているとしたら、工程について確かなことを探り出すことはできません。そのため、あらかじめ、測定システム分析を行って、システムの測定精度を調べる必要があります。詳細については、第7章「測定システム分析」を参照してください。
- 「計量値/計数値ゲージチャート」プラットフォームでは、計量値用ゲージチャートまたは計数値用ゲージチャートを作成します。計量値用ゲージチャートでは、連続量の測定値を分析し、システムの精度を把握できます。計数値用ゲージチャートでは、カテゴリカルな測定値を分析し、応答間の一致性を調査できます。ゲージ調査は、データに見られるばらつきを調べる方法でもあります。詳細については、第8章「計量値用ゲージチャート」および第9章「計数値用ゲージチャート」をそれぞれ参照してください。
- 「工程能力分析」プラットフォームでは、仕様限界内で製品を生産する工程の能力を調べます。工程能力分析では、現在の工程を仕様限界と比較することで、生産の一貫性の維持に役立てられます。求められる仕様と比較してばらつきの大きさを減らし、適合率を引き上げていくことが可能になります。詳細については、第10章「工程能力分析」を参照してください。
- 「パレート図」プラットフォームでは、品質に関連する工程や作業で問題が発生する頻度（度数）を調べられます。問題の頻度や重大性を把握し、早急に対処が必要なものを見極めることができます。詳細については、第11章「パレート図」を参照してください。
- 「特性要因図」プラットフォームでは、問題の原因を整理するのに役立つ特性要因図を作成できます。特性要因図は、ミーティングで意見を出し合うときや、実験の準備段階で必要な変数を認識するときなどに使います。その後、分析を進め、問題の主要因を特定するのに役立ちます。詳細については、第12章「特性要因図」を参照してください。

図 2.1 品質管理と工程管理の例



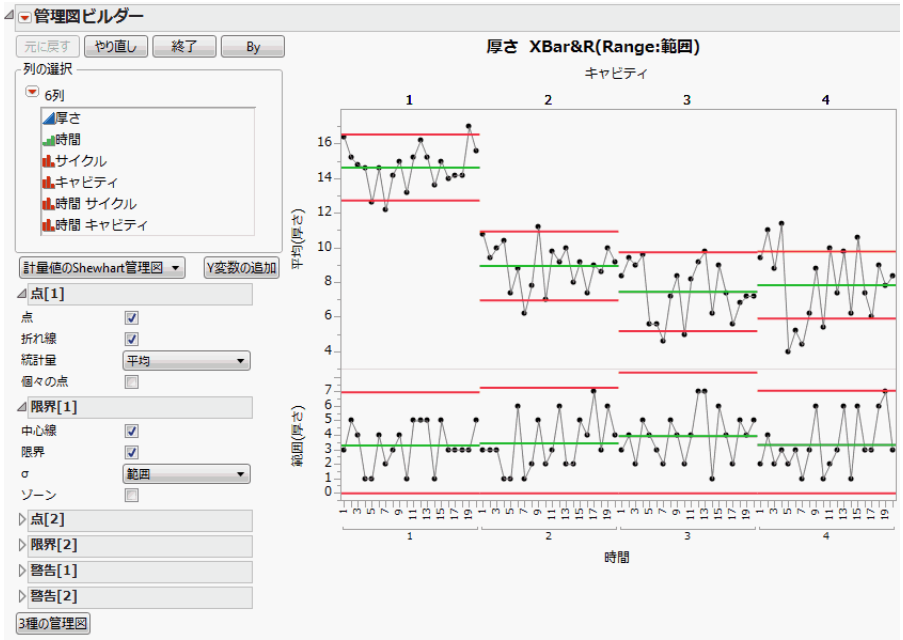
第 3 章

管理図ビルダー

管理図を対話的に作成する

管理図は、工程変動をグラフで監視できる分析ツールです。管理図ビルダーでは、工程データの管理図を作成できます。グラフに表示する変数を選択してゾーンにドラッグすると、データに基づいて適切な種類の管理図が自動的に選択されます。反応が良くすぐに結果が見られ、さらなる分析へのやる気がわいてくることでしょう。分析の途中で考えが変わった場合、別の種類の管理図にしたり、管理図の設定を変更したりすることもすばやく行えます。

図 3.1 管理図ビルダーの例



目次

管理図ビルダーの概要 29
管理図ビルダーの例 29
管理図の種類. 31
計量値の管理図 31
計数値の管理図 32
まれなイベントの管理図 33
管理図の種類の一覧表 34
管理図ビルダーの起動 35
「管理図ビルダー」ウィンドウ 37
管理図ビルダーのオプション 38
赤い三角ボタンのメニューのオプション. 38
オプションパネルと管理図を右クリックして表示するオプション 39
軸を右クリックすると表示されるオプション 46
標本の除外および非表示. 46
管理図ビルダーのその他の例 46
「管理図ビルダー」プラットフォームの統計的詳細 56

管理図ビルダーの概要

管理図は、一般原因による工程変動とそうでないものをグラフで見分けるためのツールです。製造業などの業種では、工程が予測可能で安定した状態にあるかどうかを判断する材料となります。変動が一般原因によるものではない場合は、工程を調整し、より低コストで品質の高い製品を製造できるようになります。

最新バージョンのJMPでも、管理図の作成方法刷新の方向性は引き継がれ、オールインワンの対話型ワークスペースである「管理図ビルダー」の機能がさらに強化されています。管理図ビルダーは各種管理図（計量値のShewhart管理図、計数値のShewhart管理図、まれなイベント）を作成するだけでなく、問題解決や工程分析も対話的に行えるツールです。管理図は、大きく分けると計量値と計数値の管理図に分類されます。まれなイベントの管理図は、従来の管理図では扱いきれない、発生頻度の極めて低い事象を管理する手法です。

管理図ビルダーを使用する場合、管理図の種類を事前に指定する必要はありません。データ列をワークスペースにドラッグすると、データのタイプと標本サイズに従って適切な管理図が自動的に作成されます。基本の管理図が作成されたら、メニューから各種のオプションを選択し、次のような操作を実行できます。

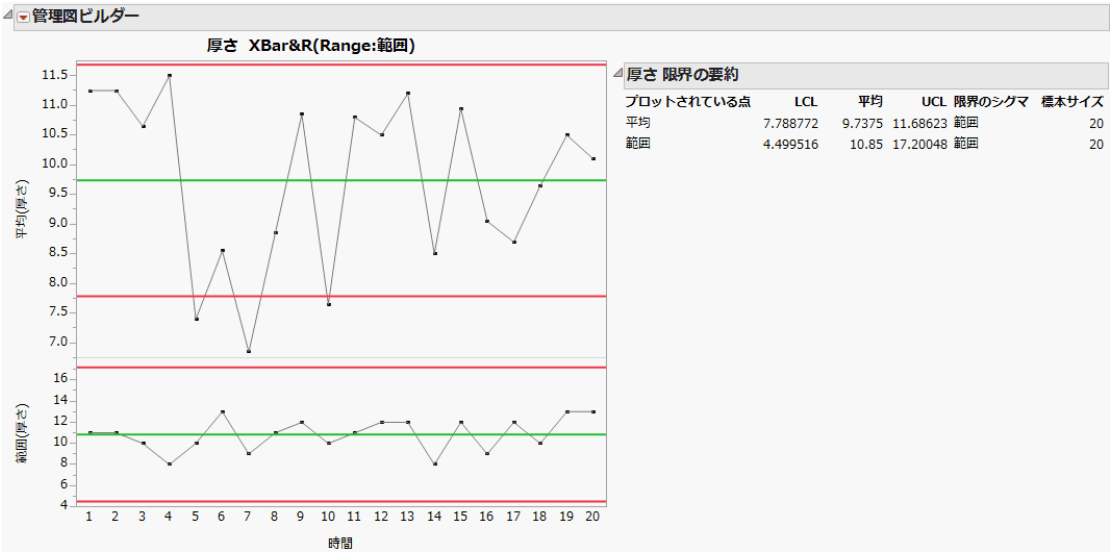
- 管理図の種類を変更する。プラットフォームを再起動しなくても、計数値、計量値、まれなイベントの管理図の間で切り替えることができます。
- 管理図に表示する統計量を変更する。プラットフォームを再起動しなくても、変数の追加、削除、入れ替えができます。
- 管理図の形式を設定し、複数の X 変数で定義されるサブグループを作成する。
- 3種の管理図（サブグループ平均、群内変動、群間変動）など、他の管理図を追加する。

管理図ビルダーの例

この例では、「Socket Thickness.jmp」サンプルデータテーブルを使用し、ソケットの厚さを測定したデータを扱います。製造工程で不適合品数が増えたため、その原因を調査することにしました。管理図ビルダーを使用して、データのばらつきと工程の管理状態を調査します。

1. 「Quality Control」フォルダに入っている「Socket Thickness.jmp」サンプルデータテーブルを開きます。
2. ［**分析**］>［**品質と工程**］>［**管理図ビルダー**］を選択します。
3. **「厚さ」**を**「Y」**ゾーンにドラッグします。
4. **「時間」**を**「サブグループ」**ゾーン（下部）にドラッグします。

図 3.2 ソケットの厚さの管理図

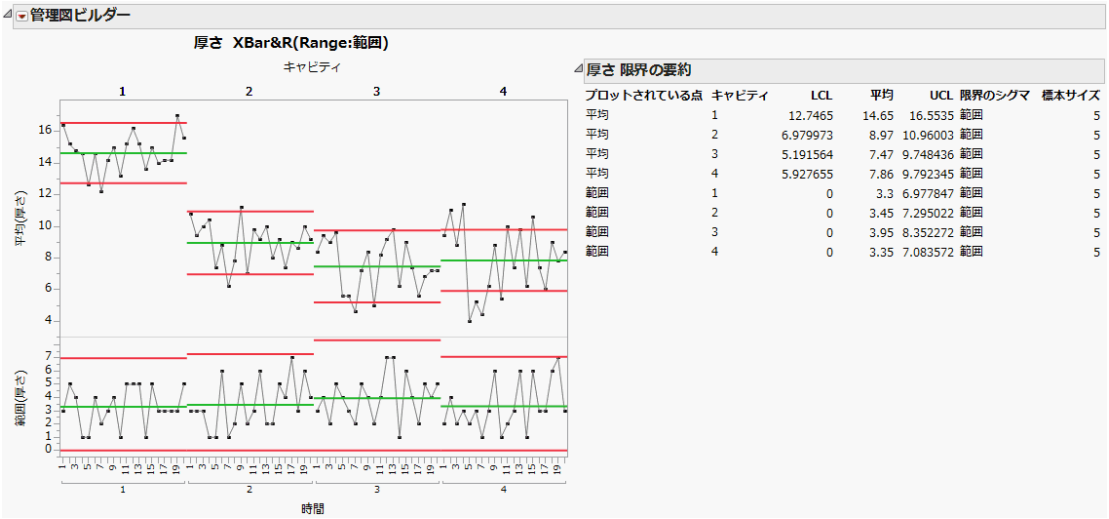


プロットされている点	LCL	平均	UCL	限界のシグマ	標本サイズ
平均	7.788772	9.7375	11.68623	範囲	20
範囲	4.499516	10.85	17.20048	範囲	20

「平均」の図を見ると、下側管理限界（7.788772）より下に点がいくつかあります。そこで、別の変数がこの問題の原因となっているかどうかを検討してみましょう。

5. **「キャビティ」**を**「フェーズ」**ゾーンにドラッグします。

図 3.3 キャビティごとの管理図



プロットされている点	キャビティ	LCL	平均	UCL	限界のシグマ	標本サイズ
平均	1	12.7465	14.65	16.5535	範囲	5
平均	2	6.979973	8.97	10.96003	範囲	5
平均	3	5.191564	7.47	9.748436	範囲	5
平均	4	5.927655	7.86	9.792345	範囲	5
範囲	1	0	3.3	6.977847	範囲	5
範囲	2	0	3.45	7.295022	範囲	5
範囲	3	0	3.95	8.352272	範囲	5
範囲	4	0	3.35	7.083572	範囲	5

「平均」の図から、次のようなことがわかります。

- キャビティ間に差があり、それぞれ管理限界が異なる。

- キャビティ 1 はソケットの厚さの平均が高く、キャビティ間の差をさらに調査する必要があることを示唆している。
- どのキャビティでも、管理限界の外に点が見られる。このため、キャビティごとにデータが管理状態にない理由を調査する必要があります。

各キャビティの「範囲」の図から、測定値の群内変動は管理限界内に収まっていることがわかります。

管理図の種類

管理図ビルダーでは、各種の管理図（計量値の Shewhart 管理図、計数値の Shewhart 管理図、まれなイベント）を作成できます。管理図を作成する際に、管理図の種類を事前に指定する必要はありません。グラフに表示する変数（列）を選択し、ゾーンにドラッグアンドドロップします。データ列をワークスペースにドラッグすると、データのタイプと標本サイズに従って適切な管理図が自動的に作成されます。基本の管理図が作成されたら、メニューから各種のオプションを選択し、管理図の種類、表示する統計量、図の表示形式を変更できます。

計量値の管理図

計量値の管理図には、プロットされるサブグループの要約統計量の種類によって、次のようなものがあります。

- $\overline{X}$ 管理図は、サブグループの平均をプロットしたものです。
- **R** 管理図は、サブグループの範囲（最大値－最小値）をプロットしたものです。
- **S** 管理図は、サブグループの標準偏差をプロットしたものです。
- 予め集計管理図は、サブグループ平均と標準偏差をプロットしたものです。
- 個々の測定値管理図は、個々の測定値をプロットしたものです。
- 移動範囲管理図は、2 つの連続した測定値の移動範囲をプロットしたものです。

XBar 管理図、R 管理図、S 管理図

連続尺度の品質特性（計量値）を分析する場合、工程平均を示す XBar 管理図と、その下に、対応する **R** 管理図または **S** 管理図が表示されます。

個々の測定値に対する管理図

個々の測定値管理図は、個々の測定値をプロットしたものです。サブグループ標本に測定値が1つずつしか含まれていないときに適しています。個々の測定値に対する管理図の場合は、対応する移動範囲管理図が表示されます。移動範囲管理図は、2つの連続した測定値の移動範囲をプロットしたものです。

予め集計管理図

データが同じ工程単位を繰り返し測定したものである場合、その繰り返した測定値を単位ごとに1つの値に予め集計することができます。ただし、予め集計の管理図は、同一の工程単位または測定単位で繰り返し測定が行われたものでない限り、使用することをお勧めしません。

予め集計では、標本サイズまたは標本ラベルをもとに工程列が集計され、標本平均や標準偏差が計算されます。それから、ウィンドウで選択したオプションに従って予め集計したデータの管理図が作成されます。

Levey-Jennings 管理図

Levey-Jennings 法の管理図は、工程平均と長期シグマに基づく管理限界を示します。管理限界は、中央線から 3*s* の位置にあります。Levey-Jennings 法の管理図の標準偏差（*s*）は、「一変量の分布」プラットフォームの標準偏差と同じ方法で計算されます。

計数値の管理図

これまで紹介してきた管理図では、工程変数として測定データを使います。測定データは通常、連続量であるため、それには連続量の理論に基づいた管理図を選択します。もう1つのデータの種類は、度数データ（文字データの場合は水準ごとの個数）です。度数データの変数は、故障数や不適合数などの離散値を取ります。離散値を取るデータには、2項モデルや Poisson モデルに基づく計数値管理図を使用します。度数はサブグループごとに測定されるため、複数の管理図を比較するときは、各サブグループごとのアイテム数に大きな差がないことを確認する必要があります。計数値管理図は、計量値管理図と同じように、サブグループの標本統計量によっていくつかの種類に分類されています。

表 3.1 計数値管理図の種類と選択基準

		統計量	
		割合	度数
シグマ	二項	P 管理図	NP 管理図
	Poisson	U 管理図	C 管理図

管理図ビルダーでは、選択した変数に基づいて自動的に基本的な管理図が作成されます。たとえば、*X* 変数が未指定の場合は、二項分布の推定材料がないため、まず C 管理図が作成されます。ここで *X* 変数（ロットサイズ）を追加すると、サブグループごとの度数がサブグループの標本サイズを下回っている場合は、NP 管理図に切り替わります。基本の管理図が作成されたら、メニューから各種のオプションを選択し、管理図の種類、表示する統計量、図の表示形式を変更できます。

- P 管理図は、サブグループ標本内の不適合率をプロットしたもので、標本のサイズは必ずしも一定ではありません。P管理図では、各サブグループがN_i個のアイテムから成り、各アイテムは適合か不適合かで判断されるため、サブグループ内の不適合品数は最大でN_{i}です。
- NP管理図は、サブグループ標本内の不適合品数をプロットします。NP 管理図では、各サブグループがN個のアイテムから成り、各アイテムは適合か不適合かによって判断されるため、サブグループの不適合品数は最大でNです。
- C 管理図は、サブグループ標本内の不適合数をプロットしたもので、標本は通常、1 つの検査単位から成ります。
- U管理図は、サブグループ標本内の単位あたりの不適合数をプロットしたもので、各標本の検査単位数は必ずしも一定ではありません。

まれなイベントの管理図

まれなイベントの管理図は、工程における発生頻度の極めて低い事象（希少事象）に関するデータを調査するための管理図です。希少事象を従来の管理図で調査することは、あまり効果的ではありません。まれなイベントの管理図は、希少事象に対する従来の管理図の限界を打破するため、開発されました。管理図ビルダーでは、まれなイベントの管理図を2種類（G管理図とT管理図）作成できます。

G管理図では、まれに発生するミスや不適合事象が起こってから、次に似たような事象が起こるまでの間の機会の回数を観察し、時間経過に沿って工程データをプロットします。各点が、希少事象の発生から発生までの間のユニット数を表します。たとえば、商品が毎日製造される生産現場を例とした場合、生産ラインの予定外停止が起きることがあります。この場合、G管理図を使用して、ラインが停止してから次に停止するまでの間に製造されたユニット数を観察できます。このようなデータを伝統的な管理図でそのままプロットしても、状況を理解する助けにはなりません。G管理図は、このようなデータを従来の管理図と同じような形式で視覚化できるため便利です。

T管理図は、前回の事象発生からの経過時間を計測し、時間経過に伴う工程のグラフを作成します。管理図上の各点は、希少事象が前回発生してから経過した時間数を表します。この種のデータを従来のプロットで表すと、ゼロに点が密集し、たまに1に点が現れます。T管理図では、多数の点が管理外と判定される事態を回避できます。特殊原因によるばらつきと一般原因によるばらつきを識別できるため、適宜改善策を講じることが可能になります。

G管理図と同様、T管理図でも、有害事象の発生率の変化を検出できます。T管理図では、上限管理限界の上にある点は、事象の発生から発生までの時間が長くなっていることを意味し、つまり、事象の発生率は低下したと判断できます。下限管理限界の下にある点は、有害事象の発生率上昇を示唆します。

これら2つの管理図には、どのように時間を計測しているかというかという点から、他の管理図との基本的な違いが1つあります。つまり、上側管理限界の上にある管理外の点は、有害事象の発生間隔が大幅に長くなっていることを示すため、通常、望ましい状態と考えられるのです。G管理図とT管理図の違いは、事象間の距離の測定に使用される尺度です。G管理図は離散量の尺度、T管理図は連続量の尺度を使用します。

表 3.2 まれなイベントの管理図の種類と選択基準

		統計量
		度数
シグマ	負の二項	G 管理図
	Weibull	T 管理図

管理図の種類の一覧表

一般に使用される管理図のほとんどは管理図ビルダーおよび「管理図」プラットフォームで作成できます。管理図をすばやく簡単に作成するには、まず管理図ビルダーを試してください。データに基づいて適切な種類の管理図が自動的に選択されます。表3.3は、各種の管理図についてまとめたものです。

表 3.3 管理図の種類

図の種類	管理図ビルダーのオプション	
	［点］>［統計量］	［限界］>［σ］
グループ（X）変数がない（未要約データの）計量値管理図:		
個々の測定値	個々の測定値	移動範囲
移動範囲 (個々の測定値)	移動範囲	移動範囲
Levey-Jennings 法	個々の測定値	Levey-Jennings 法
グループ（X）変数がある（要約データの）計量値管理図:		
XBar（管理限界の計算に範囲を使用）	平均	範囲
XBar（管理限界の計算に標準偏差を使用）	平均	標準偏差
R	範囲	範囲
S	標準偏差	標準偏差
Levey-Jennings 法	［個々の測定値］。管理限界は、長期シグマの推定値に基づきます。	［Levey Jennings 法］または全体の［標準偏差］
予め集計管理図		
グループ平均 (測定値)	平均	移動範囲
グループ標準偏差 (測定値)	標準偏差	移動範囲
グループ平均 (移動範囲)	平均 (移動範囲)	移動範囲
グループ標準偏差 (移動範囲)	標準偏差 (移動範囲)	移動範囲

表 3.3 管理図の種類（続き）

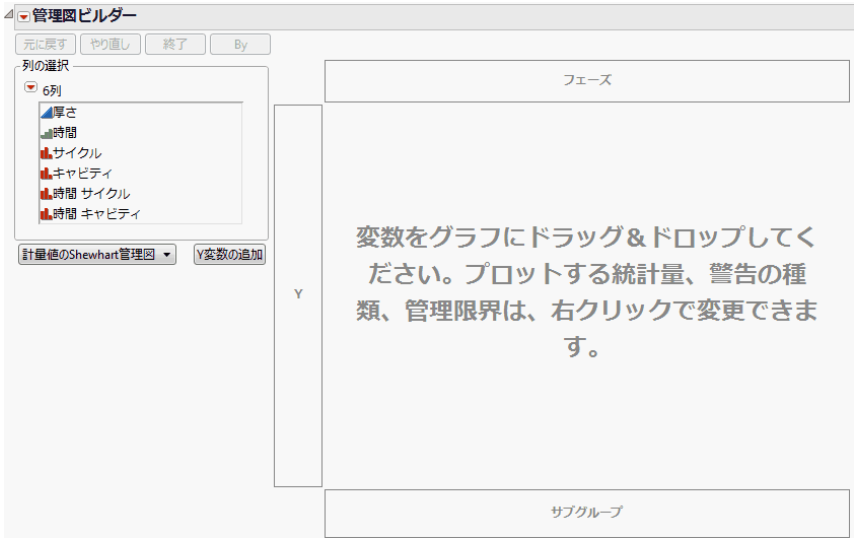
図の種類	管理図ビルダーのオプション	
	［点］ > ［統計量］	［限界］ > ［σ］
計数値管理図		
P 管理図	割合	二項
NP 管理図	度数	二項
C 管理図	度数	Poisson
U 管理図	割合	Poisson
まれなイベントの管理図		
G 管理図	度数	負の二項
T 管理図	度数	Weibull

ランチャート、UWMA、EWMA、CUSUM、多変量管理図は、管理図ビルダーでは作成できません。3 種の管理図、G 管理図、T 管理図は、「管理図」プラットフォームでは作成できません。「管理図」プラットフォームの詳細については、本書の第 4 章「統計管理図」を参照してください。

管理図ビルダーの起動

管理図ビルダーを起動するには、［**分析**］ > ［**品質と工程**］ > ［**管理図ビルダー**］を選択します。

図 3.4「管理図ビルダー」ウィンドウ



管理図の作成を開始するには、**「列の選択」**ボックスにある変数をゾーンにドラッグします。中央部に変数をドロップすると、連続量かカテゴリカルな変数かによって、配置先が自動的に決まります。管理図ビルダーには次のようなゾーンがあります。

Y　工程変数を割り当てます。

サブグループ　サブグループ変数を割り当てます。複数の列を組み合わせてサブグループの水準を定義する場合は、**「サブグループ」**ゾーンに複数の変数を追加します。サブグループ変数を割り当てた場合、管理図上の各点は、サブグループ内のすべての点の要約統計量を表します。

フェーズ　フェーズ変数を割り当てます。［**フェーズ**］変数を割り当てると、管理限界がフェーズごとに計算されます。

最初の「管理図ビルダー」ウィンドウには次のボタンがあります。

前回の設定　前回使用した列がウィンドウに自動的に配置されます。アクションが実行された後、［**前回の設定**］ボタンは［**元に戻す**］ボタンになります。

元に戻す　ウィンドウで行った直前の変更内容を元に戻します。

やり直し　ウィンドウをデフォルトの状態に戻します。データがすべて削除され、ゾーンに何も割り当てられていない状態に戻ります。

終了　ボタンと**「列の選択」**ボックスが非表示になり、ドロップゾーンのアウトラインもすべて表示されなくなります。この形式でグラフを他のプログラムにコピーすれば、すぐにプレゼンテーションに利用できます。ウィンドウを対話モードに戻すには、「管理図ビルダー」の赤い三角ボタンをクリックし、［**設定パネルの表示**］をクリックします。

By　ここで指定した列の値ごとに、個別に分析が行われます。

計量値の Shewhart 管理図／計数値の Shewhart 管理図／まれなイベント　［計量値のShewhart管理図］、［計数値のShewhart管理図］、［まれなイベント］の中から管理図の種類を選択できます。［計数値のShewhart管理図］を選択した場合は、**「試行回数」**というボックスとゾーンが表示されます。

試行回数　計数値管理図が選択された場合に、ロットサイズを割り当てます。管理図の種類として［計数値のShewhart管理図］を選択した場合に表示されます。

Y 変数の追加　**「列の選択」**ボックスで選択した列に対し、現在の図と同じ種類の管理図が作成されます。新しい管理図では、選択された列が**「Y」**になります。

変数を管理図にドラッグすると、画面の左下に他のボタンやオプションが表示されます。これらを使用して、管理図の項目の表示／非表示を切り替えたり、項目を入れ替えたりすることができます（図3.5を参照）。これらの機能（「点」、「限界」、「警告」）の多くは、管理図を右クリックしたときにメニューに表示されるオプション群と同じです。詳細については、「オプションパネルと管理図を右クリックして表示するオプション」（39ページ）を参照してください。警告とルールの詳細については、「テスト」（42ページ）および「ウェストガードルール」（44ページ）を参照してください。

3 種の管理図　計量値管理図の場合は、3 種の管理図を作成できます。サブグループのサイズは 1 より大きくする必要があります。表示する統計量は、サブグループ平均、郡内変動、群間変動によって決まります。デフォルトでは、移動範囲から限界を求めた平均値の予め集計管理図、移動範囲管理図、範囲管理図の 3 種が作成されます。

イベントの選択　選択内容の変化が管理図にリアルタイムに反映されます。いくつかの標準的な応答のグループが認識されます（たとえば、合格／不合格、はい／いいえ、リッカート尺度、適合／不適合）。アンケート調査の結果を分析していて、特定分野の設問の回答だけに着目したい場合は、画面上で適宜選択すれば、管理図にすぐに反映され、スコアとプロットが変更されます。**「イベントの選択」**は、名義尺度または順序尺度の変数を使用した計数値管理図の場合にのみ表示されます。連続尺度の応答の場合は表示されません。

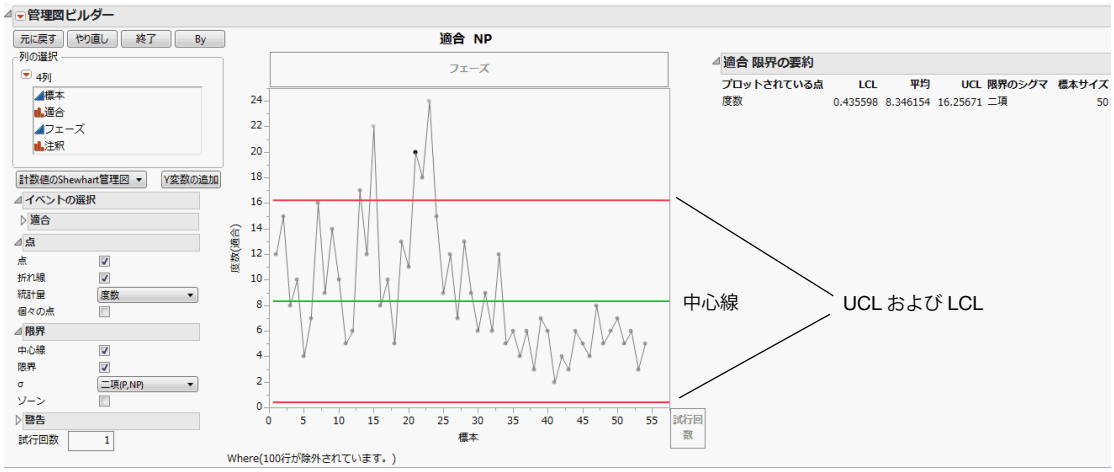
「管理図ビルダー」ウィンドウ

作成される管理図は、工程が統計的管理状態にあるかどうかの判断材料として役立ちます。レポートの内容は、選択した管理図の種類によって異なります。データを追加するたび、またはデータテーブルを変更するたびに、管理図は動的に更新されます。図 3.5 では、「Bottle Tops.jmp」サンプルデータテーブルが「管理図ビルダー」ウィンドウに表示されています。

管理図を作成するには、次の手順に従います。

1. 「Quality Control」フォルダに入っている「Bottle Tops.jmp」サンプルデータテーブルを開きます。
2. ［**分析**］>［**品質と工程**］>［**管理図ビルダー**］を選択します。
3. 「**適合**」を「**Y**」ゾーンにドラッグします。
4. 「**標本**」を「**サブグループ**」ゾーンにドラッグします。

図 3.5「管理図ビルダー」ウィンドウ



他の変数を各種ゾーンにドラッグして分析をさらに進めたり、「管理図ビルダーのオプション」を使用してデータをさらに検討したりすることができます。管理図を右クリックすると表示されるオプションの一部（点、限界、警告、ゾーンの表示／非表示、統計量の選択、σの選択など）は、管理図の左側にも表示されていて、便利に使えます。

管理図には、次のような特徴があります。

- 管理図上の各点は、個々の測定値または要約統計量を示します。サブグループは、工程の群**間**変動をできるだけ精確に捉えられるよう、**合理的に**設定されている必要があります。
- 管理図の縦軸は、計算された要約統計量を表します。
- 管理図の横軸は、標本のサブグループを表す時間軸です。時間の経過に沿って工程を観察することは、工程が変化しているかどうかを評価する上で重要です。
- 緑の線は中心線で、データの平均を示します。中心線は、工程が統計的管理状態にあるときの要約統計量の平均値（期待値）を示します。本来、測定値は中心線の両側に等しく分布します。そうでない場合は、工程平均が変化している証拠と考えられます。
- 2 本の赤い線は、上側管理限界（UCL）と下側管理限界（LCL）です。工程が統計的管理状態にあるときに要約統計量が変動すると期待される範囲を示します。工程変動が一般原因によるものだけである場合、すべての点が管理限界内にランダムに分布します。
- 管理限界の外に点がある場合は、特殊原因による変動があると考えられます。

「管理図ビルダー」ウィンドウのオプションで作成した管理図は、データテーブルに標本を読み込んだり、追加したりしたときにリアルタイムで更新されます。管理図に通常と異なる変動が見られ、それが工程の劣化によるものである場合は、適切に対処し、工程を統計的管理状態に戻す必要があります。通常と異なる変動が、工程がより良い状態になったこと示す場合は、変動の原因を詳しく調べ、意識的に工程に組み込む必要があります。

軸上をダブルクリックすると、該当する「軸の指定」ウィンドウが開き、軸上に表示されるラベルの形式、軸の値の範囲、目盛りの数、グリッド線、参照線などを指定することができます。

管理図ビルダーのオプション

管理図ビルダーのオプションは、赤い三角ボタンをクリックするか、管理図上または軸上を右クリックすると表示されます。右クリックして表示できるオプションの一部は、管理図の左下にも表示され、便利に使うことができます。管理図ビルダーの大半のオプションについては、［**ファイル**］>［**環境設定**］>［**プラットフォーム**］>［**管理図ビルダー**］で環境設定を指定できます。

赤い三角ボタンのメニューのオプション

設定パネルの表示　次の要素の表示／非表示を切り替えます。

– ボタン

– **「列の選択」**ボックス

– ドロップゾーンの枠線

– ウィンドウの右クリックオプション

限界の要約を表示 「限界の要約」レポートの表示／非表示を切り替えます。このレポートには、管理図ごとに管理限界（LCL および UCL）、中心線（平均）、プロットされている点と限界、標本サイズが表示されます。まれなイベントの管理図の場合、標本サイズは表示されません。

限界値の取得 データテーブルに保存されている管理限界を読み込みます。

標本サイズの設定 サブグループのサイズを設定します。限界および σ の計算時には欠測値が考慮されます。

限界値の保存 管理限界を既存のデータテーブルに応答変数の列プロパティとして保存します。このオプションは、フェーズ変数には使用できません。

要約の保存 標本ラベル、標本サイズ、プロットに表示されている統計量、中心線、管理限界、テスト、警告、故障数などの情報を新しいデータテーブルに保存します。テーブルに保存される統計量の種類は、管理図の種類によって異なります。

欠測値のカテゴリを含める カテゴリカル変数の列に欠測値がある行をまとめ、これらの欠測値をグラフ上に個別のカテゴリとして表示できます。このオプションを無効にすると、X 変数に欠測値のある行はすべて、グラフから非表示になると同時に、計算からも除外されます。X 変数が連続量の場合は、収集した欠測値を表示する余地が X 軸上にないため、このオプションは表示されません。このオプションは、デフォルトで有効になっています。

スクリプト すべてのプラットフォームに共通なオプションが表示されます。詳細については、『JMP の使用法』を参照してください。

オプションパネルと管理図を右クリックして表示するオプション

次のオプションは、簡単に指定できるよう管理図の左側に表示されているのに加え、管理図を右クリックした場合にも表示されます。

点 次のようなオプションが表示されます。

– ［**統計量**］では、管理図にプロットされる統計量を変更することができます。「統計量」（40 ページ）を参照してください。

– ［**個々の点**］は、サブグループ内の個々の観測値の表示／非表示を切り替えます。サブグループ変数を指定した場合、または［標本サイズの設定］を行った場合にのみ表示されます。

– ［**点をつなぐ**］を選択すると、点をつなぐ線が表示されます。

– ［**点の表示**］は、管理図上の点の表示／非表示を切り替えます。

限界 次のようなオプションが表示されます。

– ［**σ**］では、シグマの計算方法を指定します。「σ」（41 ページ）を参照してください。

– ［**ゾーン**］は、管理図上のゾーンの表示／非表示を切り替えます。平均から上下に 1、2、3 シグマ離れた位置にゾーンの境界線が引かれます。管理図ビルダーでは、ゾーンが重なって表示されることはあり

ません。平均から上側と下側の管理限界までの距離が等しくない場合、各ゾーンの幅は(UCL-Avg)/3となります。ゾーンは、下側管理限界（LCL）より下側、または上側管理限界（UCL）より上側には描画されません。計量値管理図と計数値管理図の場合にのみ表示されます。

– ［**仕様限界**］は、管理図上の仕様限界の表示／非表示を切り替えます。

– ［**管理限界の設定**］では、テストのための管理限界を入力できます。

– ［**限界の追加**］では、管理図に追加する管理限界を指定します。ここで追加した管理限界はテストには使用されません。

– ［**限界を表示**］は、管理図上の管理限界の表示／非表示を切り替えます。

– ［**中心線の表示**］は、管理図上の中心線の表示／非表示を切り替えます。

ばらつき図の追加　グラフ領域にばらつき図を追加します。グラフの種類は、［**点**］のオプションで変更できます。ばらつき図は、範囲、標準偏差、移動範囲など、ばらつきを表す統計量のいずれかをプロットしたもので、データの変動を表します。計量値管理図の場合にのみ表示されます。

標本サイズの設定　サブグループのサイズを設定します。限界およびσの計算時には欠測値が考慮されます。

警告　次のようなオプションが表示されます。

– ［**テストのカスタマイズ**］では、独自のテストを指定することができます。このオプションを選択すると、「テストのカスタマイズ」ウィンドウが表示され、テストの内容を指定できます。テストの説明のチェックボックスを選択し、nに対応する数とラベルを入力します。設定内容を環境設定として保存したり、デフォルトの設定に戻したりすることができます。計量値管理図と計数値管理図の場合にのみ表示されます。

– ［**テスト**］では、特殊原因のテストを適用することができます。テストの詳細については、「テスト」（42ページ）を参照してください。計量値管理図と計数値管理図の場合にのみ表示されます。

注：管理図上でフラグがついた点にカーソルを移動すると、テストで検出された異常の内容が表示されます。

– ［**ウェストガードルール**］では、ウェストガードルールのテストを適用することができます。ウェストガードルールは、ゾーンではなくσを基準とするので、一定の標本サイズを想定しなくても計算できます。テストの詳細については、「ウェストガードルール」（44ページ）を参照してください。計量値管理図と計数値管理図の場合にのみ表示されます。

– ［**限界を超えた点のテスト**］は、点が管理限界の外にあるかどうかのテストを適用します。管理図上に管理限界外の点がわかりやすく表示されます。このテストは限界値が指定されたすべての管理図で使用でき、標本サイズが一定であるかどうかは問いません。

注：［**行**］、［**グラフ**］、［**カスタマイズ**］、［**編集**］の各メニューについては、『JMPの使用法』を参照してください。

統計量

管理図上にプロットする統計量の種類は変更できます。選択されている管理図の種類によって、利用できるオプションが異なります。

計量値管理図の場合は、次のオプションを使って、管理図上にプロットする統計量の種類を変更できます。

個々の測定値　管理図の各点がデータテーブルの個々の値を表します。

平均　管理図の各点がサブグループ内の値の平均を表します。

範囲　管理図の各点がサブグループ内の値の範囲を表します。

標準偏差　管理図の各点がサブグループ内の値の標準偏差を表します。

平均 (移動範囲)　連続した 2 つのサブグループ平均の範囲を計算します。

標準偏差 (移動範囲)　連続した 2 つのサブグループの標準偏差の範囲を計算します。

移動範囲　管理図の各点が 2 つの連続した観測値の差を表します。

注：［平均］、［範囲］、［標準偏差］、［平均 (移動範囲)］、［標準偏差 (移動範囲)］は、標本サイズが 1 より大きいサブグループ変数が指定されている場合、または標本サイズが設定されている場合にのみ表示されます。

計数値管理図の場合は、次のオプションを使って、管理図上にプロットする統計量の種類を変更できます。

割合　管理図の各点が、標本サブグループ内の項目の割合を表します。

度数　管理図の各点が、標本サブグループ内の項目の個数を表します。

まれなイベントの管理図の場合は、次のオプションを使って、管理図上にプロットする統計量の種類を変更できます。

度数　管理図の各点が、標本サブグループ内の項目の個数を表します。

σ

管理図のσ（シグマ）の計算方法を変更できます。選択されている管理図の種類によって、利用できるオプションが異なります。

計量値管理図の場合は、次のオプションを使用できます。

範囲　サブグループ内のデータの範囲に基づいてシグマの推定値を計算します。

標準偏差　サブグループ内のデータの標準偏差に基づいてシグマの推定値を計算します。

移動範囲　移動範囲に基づいてシグマの推定値を計算します。移動範囲は、2 つの連続した点の差に該当します。

Levey-Jennings 法　すべての観測値の標準偏差に基づいてシグマの推定値を計算します。

計数値管理図の場合は、次のオプションを使用できます。

二項　二項分布モデルに基づいてシグマの推定値を計算します。このモデルは、一連の実験を行ったときの成功回数で表されます。［二項］を選択した場合は、P 管理図または NP 管理図が作成されます。

Poisson　Poisson 分布モデルに基づいてシグマの推定値を計算します。このモデルは、一定の時間内に事象が起こる回数といつ発生したかの情報で表されます。［Poisson］を選択した場合は、C 管理図または U 管理図が作成されます。

まれなイベントの管理図の場合は、次のオプションを使用できます。

負の二項　負の二項分布モデルに基づいてシグマの推定値を計算します。このモデルは、一連の試行を行ったときに、所定回失敗するまでに成功した回数で表されます。［負の二項］を選択すると、G 管理図が作成されます。

Weibull　連続型確率分布モデルに基づいてシグマの推定値を計算します。このモデルは、平均故障間隔を示します。［Weibull］を選択すると、T 管理図が作成されます。

テスト

右クリックメニューまたはウィンドウの左側に表示される［**警告**］オプションには、テストを選択するための［**テスト**］サブメニューがあります。このサブメニューから、特殊原因のテスト（ネルソンルール）を複数選択することができます。Nelson（1984）は、管理図での特殊原因テストを番号で分類しました。標本サイズが一定かどうかに関係なく使用できます。

テストの結果、特定の標本について異常が検出された場合、問題の点にテスト番号が表示されます。複数のテストを選択し、1 つの点が 2 つ以上のテストで同時に異常だと判断された場合は、小さい方のテスト番号が表示されます。管理図上でフラグがついた点にカーソルを移動すると、テストで検出された異常の内容が表示されます。

表 3.4（43 ページ）は、8 つのテストの解説、図 3.7 は各テストのグラフです。テストの説明では、次のような用語とルールが使われています。

- 上側管理限界と下側管理限界に挟まれた領域は、幅が 1 標準偏差に相当する 6 つのゾーンに分割されます。
- ゾーンには A、B、C、C、B、A というラベルがつき、C が中心線に最も近いゾーンです。
- ある点が「B ゾーン以上にある」というのは、C ゾーンと B ゾーンの境界線より外側に位置するという意味です。つまり、中心線からの距離が 1 標準偏差を超えています。
- 点が 2 つのゾーンの境界線上に位置するときは、外側のゾーンに属するとみなします。

テスト 1 ～ 8 は、すべての Shewhart 管理図に適用できます。

テスト 1、2、5、6 は管理図の上側半分と下側半分に別々に適用され、テスト 3、4、7、8 は管理図全体に適用されます。

テストの使い方は、Nelson の論文（1984, 1985）で詳細に説明されています。

図 3.6 ネルソンルールのゾーン

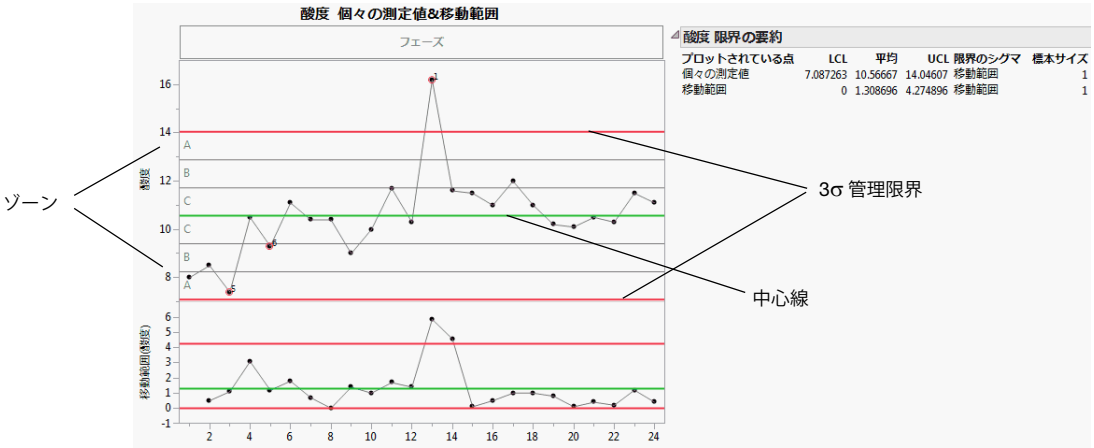


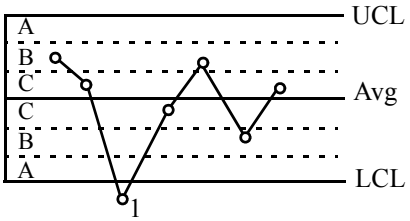
表 3.4 特殊原因のテストの説明と解釈[a]

テスト 1	1 点が A ゾーンを超えている	平均のシフト、標準偏差の増加、単一の値における異常を検出する。**R** 管理図では、変動の増加の排除に役立てることができます。
テスト 2	連続した 9 点がどちらか一方（上側または下側）の C ゾーン以上にある	工程平均のシフトを検出する。
テスト 3	連続した 6 点が常に増加または減少している	工程平均の傾向を検出する。小さな傾向は、テスト 1 よりも先に検出できます。
テスト 4	連続した 14 点が交互に上がったり下がったりしている	たとえば 2 つの機械、仕入れ業者、オペレータなどが交互に使用される場合に生じる体系的な効果を検出する。
テスト 5	連続した 3 点のうち最後の点を含む 2 点が A ゾーン以上にある	工程平均のシフト、または標準偏差の増加を検出する。3 点のうち 2 点が A ゾーン以上にあれば、異常があると判断されます。
テスト 6	連続した 5 点のうち最後の点を含む 4 点が B ゾーン以上にある	工程平均のシフトを検出する。5 点のうち 4 点が B ゾーン以上にあれば、異常と判断されます。
テスト 7	連続した 15 点が C ゾーンにある	各サブグループのオブザベーションが、複数の層から同じように抽出されていることを示唆する。
テスト 8	連続した 8 点が C ゾーンには 1 点もない	各サブグループが、異なる平均をもつ異なる層から抽出された測定値であることを示唆する。

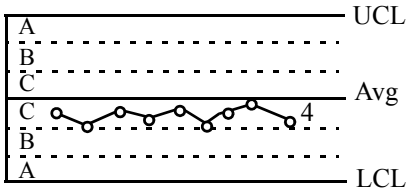
a. Nelson（1984, 1985）

図 3.7 特殊原因のテストのグラフ[1]

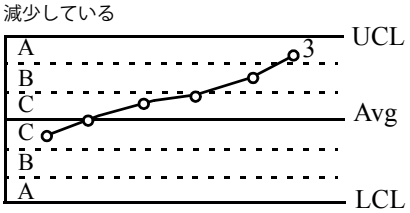
テスト **1:** 1 点が A ゾーンを超えている



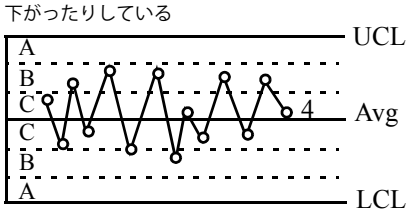
テスト **2:** 連続した 9 点がどちらか一方（上側または下側）の C ゾーン以上にある



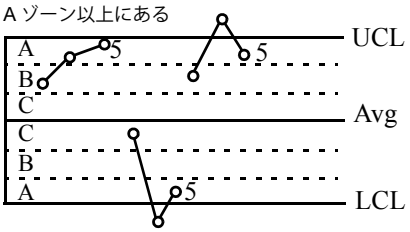
テスト **3:** 連続した 6 点が常に増加または減少している



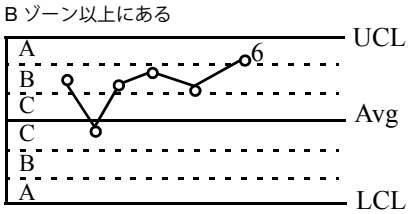
テスト **4:** 連続した 14 点が交互に上がったり下がったりしている



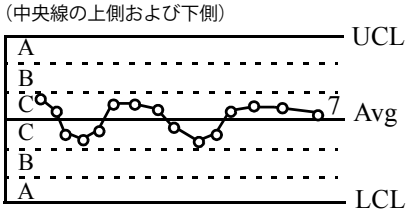
テスト **5:** 連続した 3 点のうち 2 点が A ゾーン以上にある



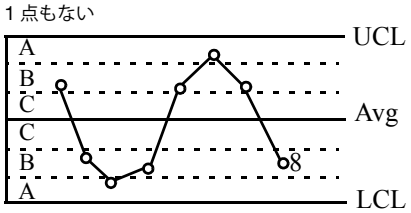
テスト **6:** 連続した 5 点のうち 4 点が B ゾーン以上にある



テスト **7:** 連続した 15 点が C ゾーンにある（中央線の上側および下側）



テスト **8:** 連続した 8 点が C ゾーンには 1 点もない

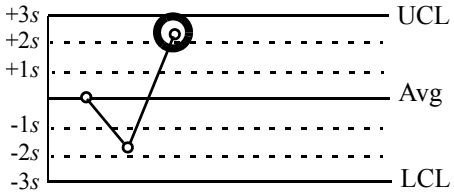
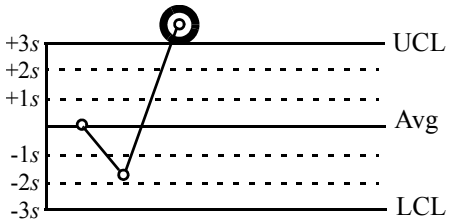
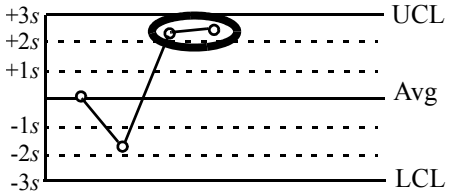
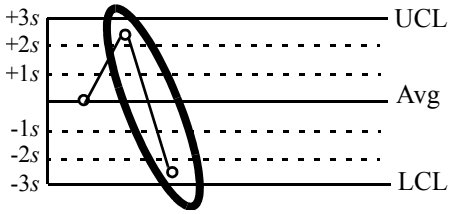
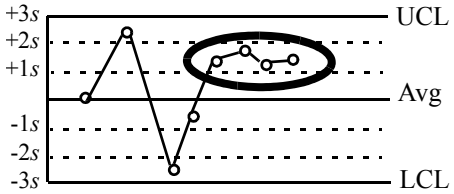
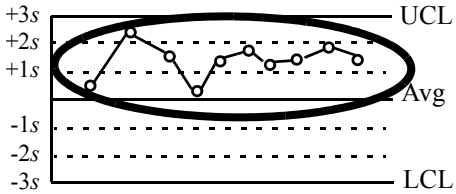


ウェストガードルール

ウェストガードルールは、管理図を右クリックしたときに表示されるメニューまたはウィンドウの左側に表示される［**警告**］オプションの［**ウエストガードルール**］サブメニューを使って実行します。各テストには、判断基準となるルールの省略形が名前としてついています。たとえば「**1 2s**」は、1つの点が平均から2標準偏差離れているかどうかのテストを表します。

1. Nelson（1984, 1985）

表3.5 ウェストガードルール

ルール1 2Sは、管理限界を平均から2標準偏差の位置に設定したLevey-Jennings管理図でよく使用される。管理限界を超える点が1つでもあると、このルールにより検出されます。	
ルール1 3Sは、管理限界を平均から3標準偏差の位置に設定したLevey-Jennings管理図でよく使用される。管理限界を超える点が1つでもあると、このルールにより検出されます。	
ルール2 2Sは、連続した2つの点が平均から2標準偏差より離れているケースを検出する。	
ルールR 4Sは、1つの点が平均から2標準偏差以上離れ、その前の点が、平均から逆の方向に2標準偏差以上離れたケースを検出する	
ルール4 1Sは、連続した4点が平均から1標準偏差より離れているケースを検出する。	
ルール10 Xは、連続した10点が平均の片側（上または下）にあるケースを検出する。	

軸を右クリックすると表示されるオプション

削除　変数の割り当てを解除します。

［**軸の設定**］、［**軸の設定を元に戻す**］、［**軸ラベルの追加**］、［**軸ラベルの削除**］、［**編集**］の各オプションについては、『JMP の使用法』を参照してください。

標本の除外および非表示

次の一覧に、標本とそのサブグループの状態が処理に与える影響をまとめています。

- 除外したサブグループは計算では対象外となりますが、管理図上には表示されます（ただし、グレー表示になります）。
- 非表示のオブザベーションは計算の対象になりますが、管理図上には表示されません。
- サブグループ内の一部のオブザベーションだけを除外し、少なくとも 1 つは除外していないオブザベーションがある場合、除外したオブザベーションは、統計量または管理限界の計算の対象外になります。
- 負の値および非整数値のチェックはデータ全体（除外した値も含む）に対して実行されます。
- テストは除外したすべてのサブグループにも適用されます。

管理図ビルダーのその他の例

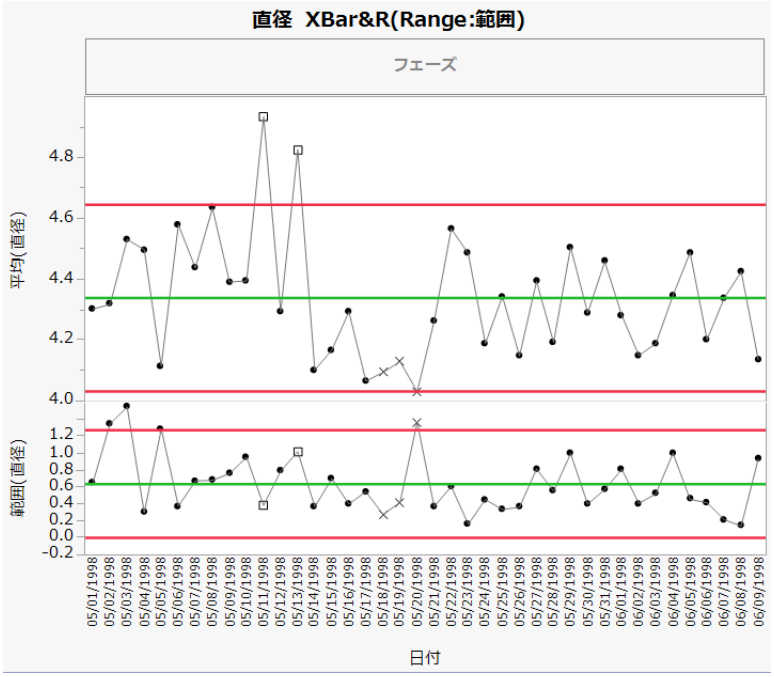
管理図ビルダーを使用した例をいくつか紹介します。例によって、設定パネルが表示されている場合と、表示されていない場合があります。設定パネルの表示と非表示を切り替えるには、赤い三角ボタンのメニューから［設定パネルの表示］を選択します。

$\overline{X}$-R 管理図の例

医療用チューブのメーカーが、新しいプロトタイプに使用するチューブの直径を測定し、データをまとめました。測定対象は、過去 40 日間に製造されたチューブです。データ収集を開始してから 20 日後（フェーズ 1）、製造機器に調整を加えました。その後 20 日間（フェーズ 2）の製造工程が管理状態にあるかどうかを調べるため、データを分析してみましょう。

1. 「Quality Control」フォルダに入っている「Diameter.jmp」サンプルデータテーブルを開きます。
2. ［**分析**］>［**品質と工程**］>［**管理図ビルダー**］を選択します。
3. 「**直径**」を「**Y**」ゾーンにドラッグします。
4. 「**日付**」を「**サブグループ**」ゾーンにドラッグします。

図 3.8「直径」の管理図

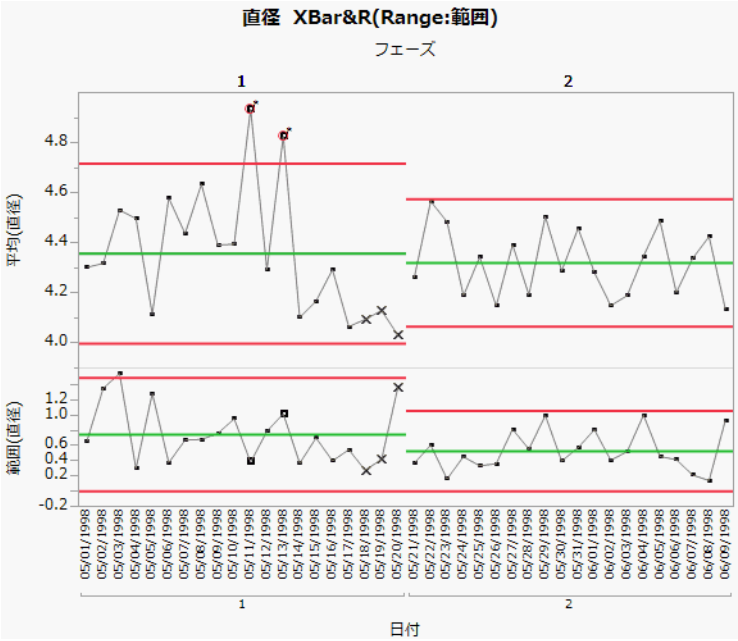


前半の 20 日間の方がばらつきが大きく、「平均」の管理図を見ると、3 つの点が管理限界の外にあります。その後、製造機器が調整され、新しい管理限界が設けられました。

各フェーズの管理限界を個別に計算するには、次の手順に従います。

5. **「フェーズ」**を**「フェーズ」**ゾーンにドラッグします。
6. 「平均」の管理図を右クリックし、［**警告**］ > ［**限界を超えた点のテスト**］を選択します。

図 3.9 各フェーズの管理図



［**フェーズ**］変数の指定により、フェーズ2の管理限界はフェーズ2のデータのみを使用して求められたものになります。フェーズ2の観測値はいずれも管理限界内に収まっています。このことから、製造機器の調整後、工程は管理状態にあると結論することができます。

P 管理図の例

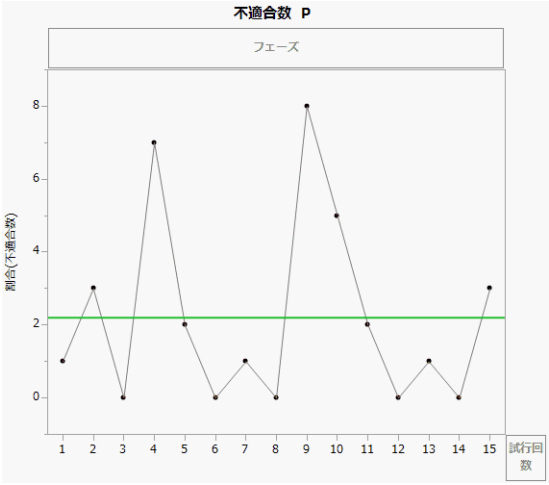
「Washers.jmp」サンプルデータテーブルには、ロットごとの不適合品の個数が記録されています。ロットサイズの列は2つ用意されています。出典は、『ASTM Manual on Presentation of Data and Control Chart Analysis』（American Society for Testing and Materials）です。**「ロットサイズ」**と**「ロットサイズ2」**の管理図を比較することにより、標本サイズが一定の場合と、標本サイズが異なる場合の違いを確認できます。

1. 「Quality Control」フォルダに入っている「Washers.jmp」サンプルデータテーブルを開きます。
2. ［**分析**］>［**品質と工程**］>［**管理図ビルダー**］を選択します。
3. **「不適合数」**を**「Y」**ゾーンにドラッグします。

   「個々の測定値＆移動範囲」管理図が表示されます。
4. ドロップダウンから［**計数値の Shewhart 管理図**］を選択し、管理図の種類を計数値管理図に変更します。

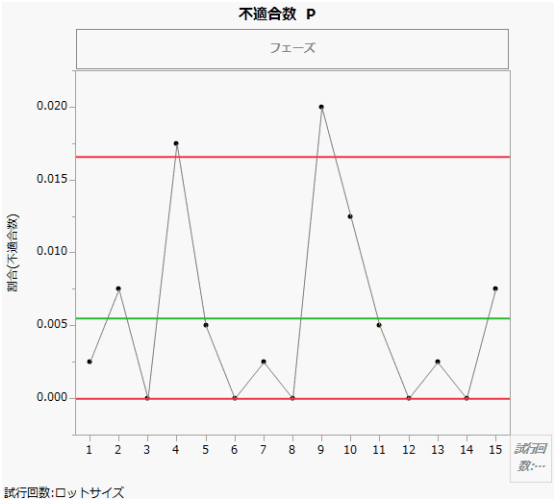
   C管理図が表示されます。
5. **「σ」**を［**二項**］に変更すると、NP管理図に切り替わります。
6. **「統計量」**を［**度数**］から［**割合**］に変更すると、P管理図に切り替わります。

図 3.10「不適合数」のＰ管理図



7. **「ロットサイズ」**を**「試行回数」**ゾーンにドラッグします。

図 3.11「不適合数」のＰ管理図（標本サイズを指定）



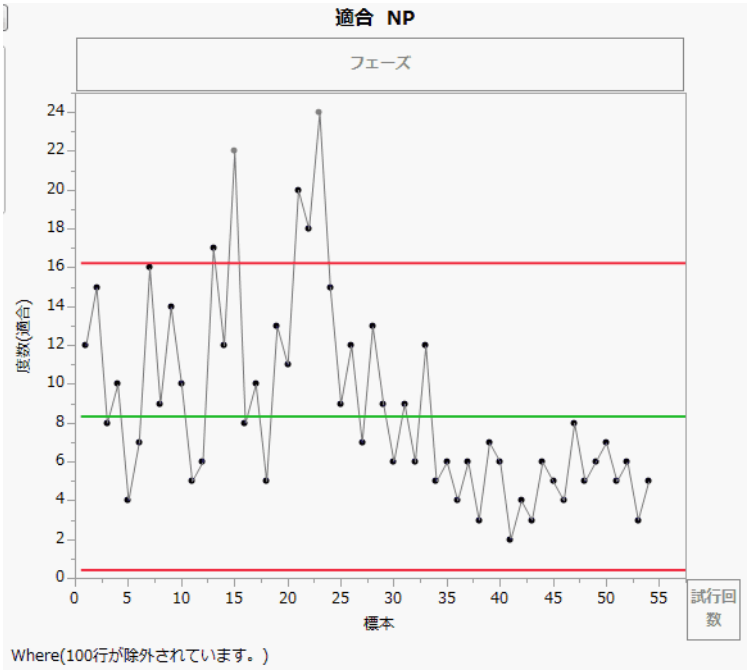
「ロットサイズ」または**「ロットサイズ 2」**を「試行回数」ゾーンにドラッグし、それぞれの管理図を比較すると、標本サイズが一定の場合と、標本サイズが異なる場合の違いを確認できます。

NP 管理図の例

「Bottle Tops.jmp」サンプルデータは、ボトルキャップの製造工程をシミュレートしたデータです。**「標本」**は各ボトルの標本ID番号です。**「適合」**は、ボトルのキャップが設計基準を満たしているかどうかを示します。**「フェーズ」**列では、工程を調整する前の期間を第1フェーズ、工程を調整した後の期間を第2フェーズとしています。工程の変更に関する注釈も記録されています。

1. 「Quality Control」フォルダに入っている「Bottle Tops.jmp」サンプルデータテーブルを開きます。
2. ［**分析**］>［**品質と工程**］>［**管理図ビルダー**］を選択します。
3. **「適合」**を**「Y」**ゾーンにドラッグします。
4. **「標本」**を**「サブグループ」**ゾーンにドラッグします。

図 3.12「適合」のNP図

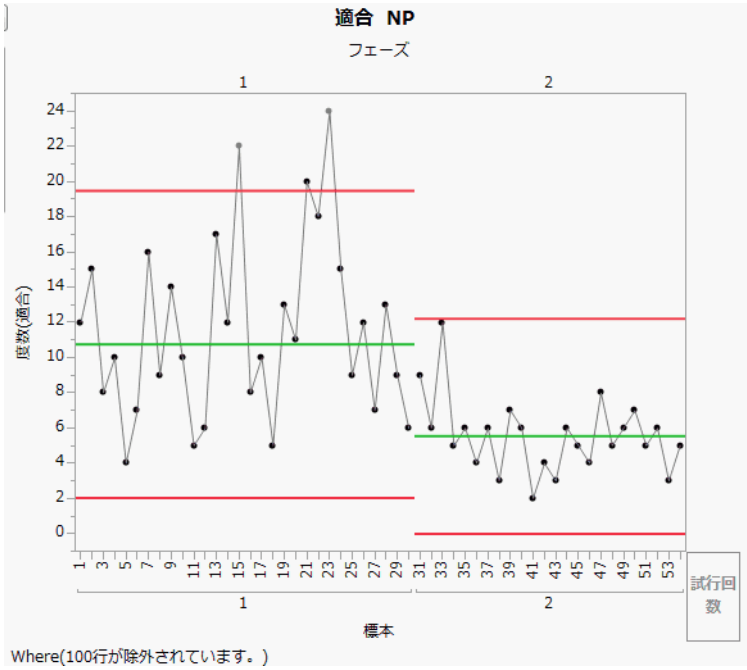


当初の観測値の方がばらつきが多く、5つの点（標本13、15、21、22、23）が上側管理限界の外側にあります。標本15には「new material」（新材料の導入）、標本23には「new operator」（新しいオペレーターの配属）が発生したいう注釈が記録されています。フェーズ1が終わった時点で製造機器が調整されました。そのため、フェーズ2が管理状態にあるかどうかを評価するために、全期間のデータから求められた管理限界を使用するべきではありません。

各フェーズの管理限界を個別に計算するには、次の手順に従います。

5. **「フェーズ」**を**「フェーズ」**ゾーンにドラッグします。

図 3.13 各フェーズのNP管理図



［**フェーズ**］変数の指定により、フェーズ2の管理限界はフェーズ2のデータのみを使用して求められたものになります。フェーズ2の観測値はいずれも管理限界内に収まっています。このことから、製造機器の調整後、工程は管理状態にあると結論することができます。

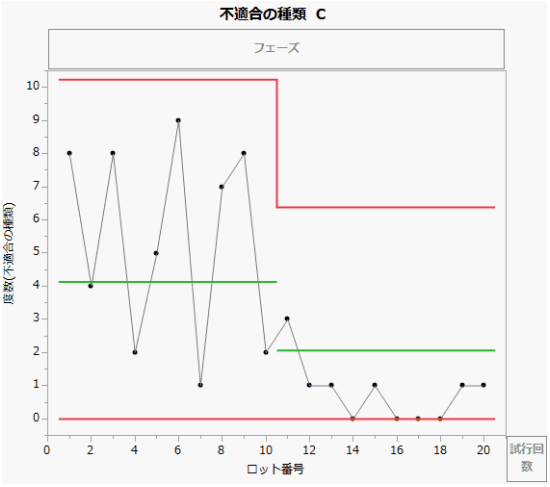
C 管理図の例

「Cabinet Defects.jmp」サンプルデータテーブルは、2つの期間に製造されたキャビネットの不適合の種類に関するデータをまとめたものです。

1. 「Quality Control」フォルダに入っている「Cabinet Defects.jmp」サンプルデータテーブルを開きます。
2. ［**分析**］>［**品質と工程**］>［**管理図ビルダー**］を選択します。
3. 「**不適合の種類**」を「**Y**」ゾーンにドラッグします。
4. 「**ロット番号**」を「**サブグループ**」ゾーンにドラッグします。

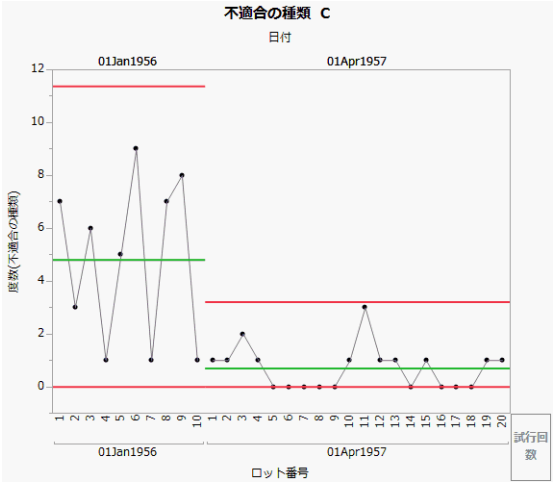
   「**不適合の種類**」のNP管理図が表示されます。
5. 「σ」のリストから［**Poisson**］を選択してC管理図に切り替えます。
6. 「**イベントの選択**」の下にある「不適合の種類」の開閉ボタンをクリックします。不適合の種類の値がすべて表示されます。最初は、［**Bruised veneer**］だけが選択され、これが管理図上に表示されています。他の不適合の種類を選択すると、管理図が即座に更新されます。

図 3.14「不適合の種類」のＣ管理図



7. フェーズ変数を追加するには、**「日付」**を**「フェーズ」**ゾーンにドラッグします。

図 3.15「不適合の種類」のＣ管理図（フェーズを指定）



これで、2つの期間における結果を確認できます。どちらの期間でも、すべての点が管理限界内に収まっています。**「イベントの選択」**で他の不適合の種類を選択すると、管理限界が更新され、選択した種類の不適合品に関する結果を確認できます。

U 管理図の例

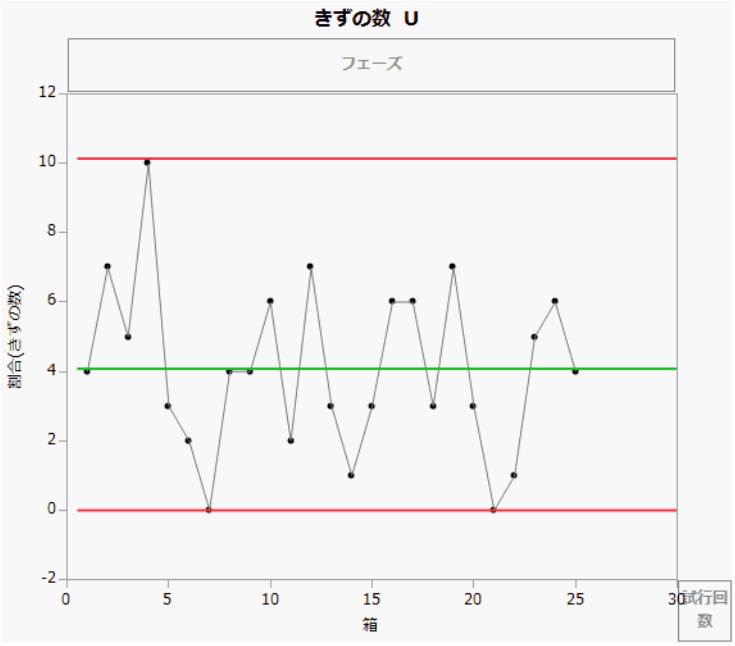
「Shirts.jmp」サンプルデータテーブルには、箱詰めしたシャツ中の、きずがあるシャツの枚数が記録されています。

1. 「Quality Control」フォルダに入っている「Shirts.jmp」サンプルデータテーブルを開きます。
2. ［**分析**］>［**品質と工程**］>［**管理図ビルダー**］を選択します。
3. **「きずの数」**を**「Y」**ゾーンにドラッグします。
4. **「箱」**を**「サブグループ」**ゾーンにドラッグします。

   「きずの数」の「個々の測定値＆移動範囲」管理図が表示されます。
5. 計数値管理図に変更するには、ドロップダウンリストから［**計数値の Shewhart 管理図**］を選択します。

   「きずの数」のＣ管理図が表示されます。
6. **「統計量」**を［**度数**］から［**割合**］に変更すると、Ｕ管理図に切り替わります。

図 3.16「きずの数」のＵ管理図



すべての点が管理限界の内側にあります。

G 管理図の例

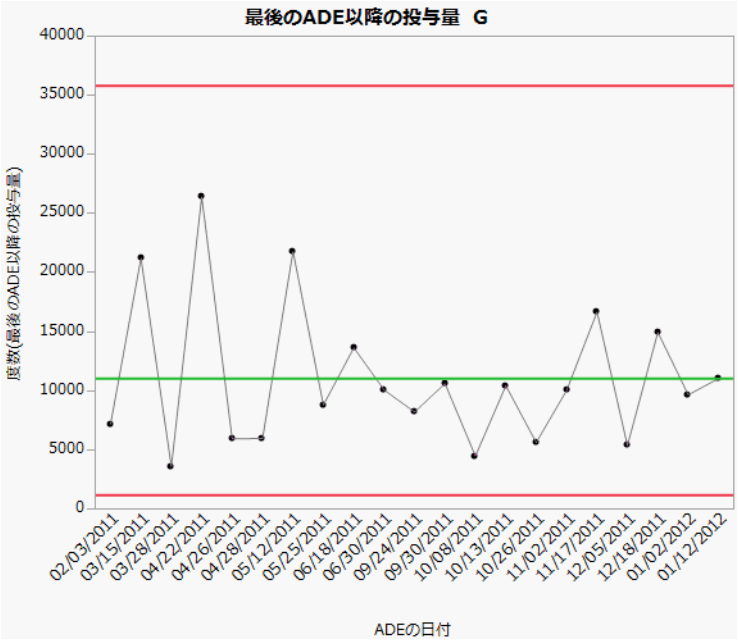
まれなイベントの管理図は、正規分布に従わないデータを分析する場合に役立ちます（度数や待ち時間を測定した場合など）。G管理図では、まれにしか発生しない事象（希少事象）の発生頻度が想定より高くなっていないかどうか、何らかの介入が必要となっていないかを効率的に見極めることができます。G管理図は、希少事象が前回起こってからの機会数を示します。この種のデータを標準的なShewhart管理図でプロットすると、管理限界の幅が狭くなりすぎ、多くの点が誤って管理外と判断される可能性があります。「Adverse Reactions.jmp」サンプルデータテーブルはシミュレーションにより作成された、ある入院患者のグループから報告のあった薬物有害事象（ADE）について追跡したものとするデータを含んでいます。ADEとは、薬物を投与された患者に生じたあらゆる好ましくない症状や反応を指します。反応が生じた日付と最後の反応からの経過日数がデータとして記録されています。

1. 「Quality Control」フォルダに入っている「Adverse Reactions.jmp」サンプルデータテーブルを開きます。
2. ［**分析**］ > ［**品質と工程**］ > ［**管理図ビルダー**］を選択します。
3. **「最後のADE以降の投与量」**を**「Y」**ゾーンにドラッグします。
4. **「ADEの日付」**を**「サブグループ」**ゾーンにドラッグします。

   「最後のADE以降の投与量」の「個々の測定値＆移動範囲」管理図が表示されます。
5. まれなイベントの管理図に変更するには、ドロップダウンリストから**「まれなイベント」**を選択します。

   「最後のADE以降の投与量」のG管理図に、前回の有害事象発生後からの投与量が表示されます。

図 3.17「最後のADE以降の投与量」のG管理図



T 管理図の例

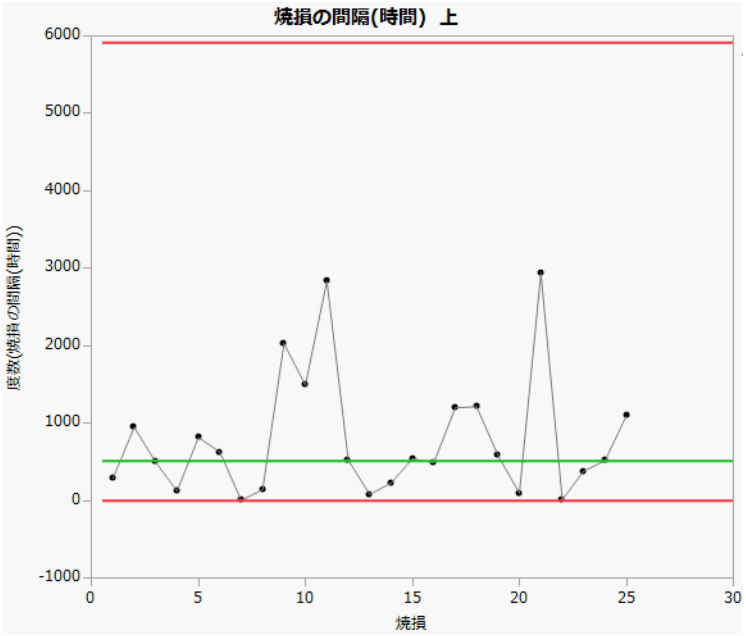
まれなイベントの管理図は、正規分布に従わないデータを分析する場合に役立ちます（度数や待ち時間を測定した場合など）。T管理図では、希少事象が前回発生してから経過した時間を測定します。この種のデータを標準的なShewhart管理図でプロットすると、管理限界の幅が狭くなりすぎ、多くの点が誤って管理外と判断される可能性があります。「Fan Burnout.jmp」サンプルデータテーブルは、ファンの製造工程をシミュレートしたデータを記録したものです。第1列は焼損したファンを示し、第2列は焼損から次の焼損までに経過した時間数を示します。

1. 「Quality Control」フォルダに入っている「Fan Burnout.jmp」サンプルデータテーブルを開きます。
2. ［**分析**］>［**品質と工程**］>［**管理図ビルダー**］を選択します。
3. **「焼損の間隔(時間)」**を**「Y」**ゾーンにドラッグします。
4. **「焼損」**を**「サブグループ」**ゾーンにドラッグします。

   「焼損の間隔(時間)」の「個々の測定値＆移動範囲」管理図が表示されます。
5. まれなイベントの管理図に変更するには、ドロップダウンリストから**「まれなイベント」**を選択します。

   「焼損の間隔(時間)」のG管理図が表示されます。すべての点が管理限界の内側にあることがわかります。
6. 「σ」を［**負の二項**］から［**Weibull**］に変更すると、T管理図に切り替わります。

図 3.18「焼損の間隔(時間)」のT管理図



すべての点が管理限界の内側に収まっています。つまり、この分析に関しては、「個々の測定値＆移動範囲」管理図は適切ではなかったということがわかります。

「管理図ビルダー」プラットフォームの統計的詳細

以降では、「管理図ビルダー」プラットフォームの統計的詳細を説明します。

$\overline{X}$ 管理図と R 管理図の管理限界

JMP では、$\overline{X}$ 管理図と R 管理図の管理限界が次のように計算されます。

$\overline{X}$ 管理図の下側管理限界（LCL）$= \overline{X}_w - \dfrac{k\hat{\sigma}}{\sqrt{n_i}}$

$\overline{X}$ 管理図の上側管理限界（UCL）$= \overline{X}_w + \dfrac{k\hat{\sigma}}{\sqrt{n_i}}$

R 管理図の下側管理限界（LCL）$= \max(d_2(n_i)\hat{\sigma} - kd_3(n_i)\hat{\sigma}, 0)$

R 管理図の上側管理限界（UCL）$= d_2(n_i)\hat{\sigma} + kd_3(n_i)\hat{\sigma}$

R 管理図の中心線: 第 i サブグループの中心線は、デフォルトで R_i の期待値の推定値を示し、$d_2(n_i)\hat{\sigma}$ で計算されます。この式で、$\hat{\sigma}$ は σ の推定値です。k は σ の乗数です。σ として既知の値（σ_0）を指定した場合、中心線は $d_2(n_i)\sigma_0$ の値を示します。中心線の位置は、n_i によって変わります。

$\overline{X}$ ／ R 管理図の標準偏差は次の式で推定されます。

$$\hat{\sigma} = \frac{\dfrac{R_1}{d_2(n_1)} + \ldots + \dfrac{R_N}{d_2(n_N)}}{N}$$

ここで、

$\overline{X}_w$ = サブグループ平均の重み付き平均

σ = 工程標準偏差

n_i = i 番目のサブグループの標本サイズ

$d_2(n)$ は、母標準偏差が 1 である n 個の独立した正規分布に従う確率変数の範囲の期待値

$d_3(n)$ は、母標準偏差が 1 である n 個の独立した正規分布に従う確率変数の範囲の標準誤差

N は、$n_i \geq 2$ であるサブグループの数

$\overline{X}$ 管理図と S 管理図の管理限界

JMP では、$\overline{X}$ 管理図と **S** 管理図の管理限界が次のように計算されます。

$\overline{X}$ 管理図の下側管理限界（LCL）$=\overline{X}_w - \dfrac{k\hat{\sigma}}{\sqrt{n_i}}$

$\overline{X}$ 管理図の上側管理限界（UCL）$=\overline{X}_w + \dfrac{k\hat{\sigma}}{\sqrt{n_i}}$

S 管理図の下側管理限界（LCL）$=\max(c_4(n_i)\hat{\sigma} - kc_5(n_i)\hat{\sigma}, 0)$

S 管理図の上側管理限界（UCL）$=c_4(n_i)\hat{\sigma} + kc_5(n_i)\hat{\sigma}$

S 管理図の中心線: 第 **i** サブグループの中心線は、デフォルトで s_i の期待値の推定値を示し、$c_4(n_i)\hat{\sigma}$ で計算されます。この式で、$\hat{\sigma}$ は σ の推定値です。k は σ の乗数です。σ として既知の値（σ_0）を指定した場合、中心線は $c_4(n_i)\sigma_0$ の値を示します。中心線の位置は、n_i によって変わります。

$\overline{X}$ ／ **S** 管理図の標準偏差は次の式で推定されます。

$$\hat{\sigma} = \frac{\dfrac{s_1}{c_4(n_1)} + \ldots + \dfrac{s_N}{c_4(n_N)}}{N}$$

ここで、

$\overline{X}_w$ = サブグループ平均の重み付き平均

σ = 工程標準偏差

n_i = i 番目のサブグループの標本サイズ

$c_4(n)$ は、母標準偏差が 1 である n 個の独立した正規分布に従う確率変数の標準偏差の期待値

$c_5(n)$ は、母標準偏差が 1 である n 個の独立した正規分布に従う確率変数の標準偏差の標準誤差

N は、$n_i \geq 2$ であるサブグループの数

s_i は、i 番目のサブグループの標本の標準偏差

個々の測定値管理図と移動範囲管理図の管理限界

個々の測定値管理図の下側管理限界（LCL）$=\overline{X}-k\hat{\sigma}$

個々の測定値管理図の上側管理限界（UCL）$=\overline{X}+k\hat{\sigma}$

移動範囲管理図の下側管理限界（LCL）$=\max(d_2(n)\hat{\sigma}-kd_3(n)\hat{\sigma},0)$

移動範囲管理図の上側管理限界（UCL）$=d_2(n)\hat{\sigma}+kd_3(n)\hat{\sigma}$

個々の測定値管理図と移動範囲管理図の標準偏差は次の式で推定されます。

$$\hat{\sigma}=\frac{\overline{MR}}{d_2(n)}$$

ここで、

$\overline{X}$ = 個々の測定値の平均

$\overline{MR}$ = $(MR_n+MR_{n+1}+...+MR_N)/N$ で算出した非欠測値の移動範囲の平均

σ = 工程標準偏差

k = 標準偏差の乗数

$d_2(n)$ は、母標準偏差が 1 である n 個の独立した正規分布に従う確率変数の範囲の期待値

$d_3(n)$ は、母標準偏差が 1 である n 個の独立した正規分布に従う確率変数の範囲の標準誤差

$d_4(n)$ = 正規分布に従うサイズ n の標本の範囲の期待値

P 管理図と NP 管理図の管理限界

下側管理限界（LCL）と上側管理限界（UCL）は、それぞれ次のように計算されます。

P 管理図の下側管理限界（LCL）$=\max(\bar{p}-k\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})/n_i},0)$

P 管理図の上側管理限界（UCL）$=\min(\bar{p}+k\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})/n_i},1)$

NP 管理図の下側管理限界（LCL）$=\max(n_i\bar{p}-k\sqrt{n_i\bar{p}(1-\bar{p})},0)$

NP 管理図の上側管理限界（UCL）$=\min(n_i\bar{p}+k\sqrt{n_i\bar{p}(1-\bar{p})},n_i)$

ここで、

$\overline{P}$ は、全サブグループの不適合品率の平均

$$\bar{p} = \frac{n_1 p_1 + \ldots + n_N p_N}{n_1 + \ldots + n_n} = \frac{X_1 + \ldots + X_N}{n_1 + \ldots + n_N}$$

n_iは、i番目のサブグループのアイテム数

kは、標準偏差の乗数

U 管理図の管理限界

下側管理限界（LCL）と上側管理限界（UCL）は、それぞれ次のように計算されます。

下側管理限界（LCL）$=\max(\bar{u} - k\sqrt{\bar{u}/n_i}, 0)$

上側管理限界（UCL）$=\bar{u} + k\sqrt{\bar{u}/n_i}$

限界値は、n_iに従って変化します。

uは、工程で生産されるユニットあたりの不適合数の期待値

u_iは、i番目のサブグループにおけるユニットあたりの不適合数。一般に、$u_i = c_i/n_i$

c_iは、i番目のサブグループにおける不適合数の合計

n_iは、i番目のサブグループの検査ユニット数

$\bar{u}$は、全サブグループのユニットあたり不適合数の平均。数量$\bar{u}$は、重み付き平均として計算される

$$\bar{u} = \frac{n_1 u_1 + \ldots + n_N u_N}{n_1 + \ldots + n_N} = \frac{c_1 + \ldots + c_N}{n_1 + \ldots + n_N}$$

Nは、サブグループの数

C 管理図の管理限界

下側管理限界（LCL）と上側管理限界（UCL）は、それぞれ次のように計算されます。

下側管理限界（LCL）$=\max(n_i\bar{u} - k\sqrt{n_i\bar{u}}, 0)$

上側管理限界（UCL）$=n_i\bar{u} + k\sqrt{n_i\bar{u}}$

限界値は、n_iに従って変化します。

uは、工程で生産されるユニットあたりの不適合数の期待値

u_iは、i番目のサブグループにおけるユニットあたりの不適合数。一般に、$u_i = c_i/n_i$

c_iは、i番目のサブグループにおける不適合数の合計

n_iは、i番目のサブグループの検査ユニット数

$\bar{u}$ は、全サブグループのユニットあたり不適合数の平均。数量 $\bar{u}$ は、重み付き平均として計算される

$$\bar{u} = \frac{n_1 u_1 + \ldots + n_N u_N}{n_1 + \ldots + n_N} = \frac{c_1 + \ldots + c_N}{n_1 + \ldots + n_N}$$

N は、サブグループの数

Levey-Jennings 管理図

Levey-Jennings 法の管理図は、長期シグマに基づく工程平均と管理限界を示します。管理限界は、中央線から $3s$ の位置にあります。

Levey-Jennings 法の管理図の標準偏差（s）は、「一変量の分布」プラットフォームの標準偏差と同じ方法で計算されます。

$$s = \sqrt{\sum_{i=1}^{N} \frac{(y_i - \bar{y})^2}{N-1}}$$

G 管理図の管理限界

負の二項分布は、幾何分布や Poisson 分布を拡張した分布であり、実際のデータのばらつきが Poisson 分布の分散に比べて過分散である場合に対処できます。この負の二項分布を用いて、度数データの正確な管理限界と近似的な管理限界の両方を求めることができます。近似的な管理限界は、負の二項分布をカイ 2 乗分布で近似して求めます。サブグループのサイズにかかわらず、すべてのデータが個々の観測値として使用されます。

X が（**u**、**k**）をパラメータとする負の二項分布に従うとした場合、次式が成り立ちます。次式が成り立ちます。

$$P(X \le r) \sim P\left(X^2_v < \frac{2r+1}{1+uk}\right)$$

ここで、

X^2_v は、自由度 **v** = 2**u**/（1+**uk**）のカイ 2 乗分布に従う変数。

この式に従い、近似的な上側管理限界と下側管理限界を求めることができます。片側の有意水準（片側方向で第 1 種の誤りを犯す確率）が α であるとき、近似的な上側管理限界（UCL）は次式を満たします。

$$P(X > UCL) = 1 - P\left(X^2_v < \frac{2UCL+1}{1+uk}\right) = \alpha$$

片側の有意水準（片側方向で第 1 種の誤りを犯す確率）が α であるとき、近似的な下側管理限界（LCL）は次式を満たします。

$$P(X < LCL) = 1 - P\left(X^2_v > \frac{2LCL+1}{1+uk}\right) = \alpha$$

したがって、近似的な下限管理限界（LCL）と上限管理限界（UCL）は、それぞれ次のように計算されます。

上側管理限界（UCL）$= \dfrac{X^2_{v,\,1-\alpha}(1+uk)-1}{2}$

下側管理限界（LCL）$= \dfrac{X^2_{v,\,\alpha}(1+uk)-1}{2}$

ここで、

$X^2_{v,\,1-\alpha}(X^2_{v,\,\alpha})$ は、自由度

v = 2**u**/(1+**uk**) のカイ 2 乗分布の上限（下限）パーセント点。下側管理限界が負の数になった場合は 0 に設定されます。

T 管理図の管理限界

T 管理図では、事象間の経過時間を観察します。T 管理図は、事象間の機会数をプロットする G 管理図を拡張したものです。G 管理図と同様、T 管理図でも、有害事象の発生率の変化を検出できます。T 管理図では、上限管理限界の上にある点は、事象の発生から発生までの時間が長くなっていることを意味し、つまり、事象の発生率は低下したと判断できます。下限管理限界の下にある点は、有害事象の発生率上昇を示唆します。

T 管理図は、負でない数値データ、日付時間データ、時間間隔データを扱うことができます。

- 負でない数値データは、事象が発生してから次に発生するまでの間隔数で、連続量または整数となります。
- 日付時間データは、各事象の日時を記録します。各データ値は、ひとつ前の値より後の時点を表すものでなければなりません。
- 時間間隔データ（経過時間データ）は、イベント **i** と **i-1** の間の経過時間を表します。

データに 0 がない場合、形状パラメータと尺度パラメータの推定値がデータから計算され、それを基に Weibull 分布のパーセント点が求められます。

次のようにデータから管理限界の推定値を求めることができます。

p1 = normalDist(-3) for Normal (0,1)

p2 = normalDist(0) for Normal (0,1)

p3 = normalDist(3) for Normal (0,1)

の場合

CL = Weibull Quantile (p2, β) * α

UCL = Weibull Quantile (p1, β) * α

LCL = Weibull Quantile (p3, β) * α

第 4 章

統計管理図

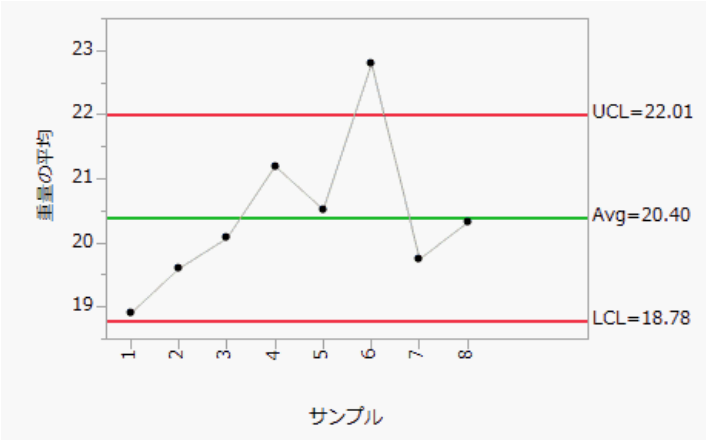
計量値管理図と計数値管理図を作成する

管理図は、工程変動をグラフで監視できる分析ツールです。工程に生じる自然な変動は管理限界内に収まります。管理限界を基準に、一般原因による変動と特殊原因による変動を見分けることができます。通常、特殊原因による変動が見られる場合は対処して排除し、工程を管理状態に戻します。また、工程能力を判断するうえで、一般原因による工程変動を定量化することも重要です。

JMP の「管理図」プラットフォームでは、多様な管理図とランチャートを作成できます。工程の改善という目標達成のため、[管理図] メニューのオプションでは、次のような種類の管理図をそれぞれ作成し、プロジェクトの様々なフェーズを 1 つのグラフ内にプロットできます。

- ランチャート
- $\overline{X}$ 管理図、**R** 管理図、**S** 管理図
- IR 管理図（個々の測定値と移動範囲の管理図）
- **P** 管理図、**NP** 管理図、**C** 管理図、**U** 管理図
- UWMA 管理図と EWMA 管理図
- CUSUM（累積和）管理図
- 予め集計、Levey-Jennings 法、多変量管理図
- $\overline{X}$、**R**、**S**、**IR**、**P**、**NP**、**C**、**U**、予め集計、Levey-Jenning 法の管理図に関して、フェーズがある場合の管理図

図 4.1 管理図の例



目次

「管理図」プラットフォームの概要 65

「管理図」プラットフォームの例 65

Shewhart 管理図の種類 67

「管理図」プラットフォームの起動 69

工程に関する情報 70

管理図タイプに関する情報 72

管理限界の指定 73

統計量の指定 74

「管理図」レポート 74

「管理図」プラットフォームのオプション 76

ウィンドウオプション 76

個々のチャートに対するオプション 79

限界値の保存と取得 81

標本の除外、非表示、削除 85

「管理図」プラットフォームのその他の例 86

ランチャートの例 86

X 管理図と R 管理図の例 87

サブグループ標本のサイズが異なるときの X 管理図と S 管理図の例 89

個々の測定値と移動範囲の管理図（IR 管理図）の例 90

P 管理図の例 91

NP 管理図の例 92

C 管理図の例 93

U 管理図の例 93

UWMA 管理図の例 94

EWMA 管理図の例 95

予め集計管理図の例 96

フェーズの例 97

「管理図」プラットフォームの統計的詳細 98

「管理図」プラットフォームの概要

管理図は、一般原因による工程変動とそうでないものをグラフで見分けるためのツールです。製造業などの業種では、工程が予測可能で安定した状態にあるかどうかを判断する材料となります。変動が一般原因によるものではない場合は、工程を調整し、より低コストで品質の高い製品を製造できるようになります。

どのような工程でも、時間の経過に伴う測定値にはばらつきが見られます。測定値のばらつきは次の 2 種類に大別されます。

- **一般原因（通常原因）**による変動。安定状態にある工程でも、測定値のランダムなばらつきは避けられません。ばらつきが通常原因によるものだけの場合、測定値は許容できる限界内に収まります。
- **異常原因（特殊原因）**による変動。特殊原因による変動がある場合の例としては、工程平均が変わる、管理限界の外に点が見られる、測定値が徐々に上がるまたは下がる傾向にあるなどが挙げられます。このような変動は、ツールや機械の故障、装置の劣化、原材料の変化などが要因となっている可能性があります。工程における変化や不具合は通常、異常原因による測定値のばらつきとして現れます。

管理図では、一般原因による工程変動を定量化することにより特殊原因を見つけられます。管理図で一般原因による変動かそうでないかを判断するひとつの方法は、管理限界を適用することです。管理限界は、一般原因による変動のみを含む工程の測定値の範囲を定義したものです。測定点が管理限界内にあれば、工程は安定状態にあります。限界の外側にある測定点は特殊原因を示します。工程を管理内の状態に戻すため、対処が必要です。

管理図がどれほど役に立つかは、標本抽出の方法により左右されます。標本抽出は**合理的**に計画してください。工程を代表するサブグループを選択する必要があります。**合理的なサブグループ化**とは、工程の標本抽出時に、特殊原因が群内変動ではなく群間変動として現れるようにサブグループを選択することです。

管理図は、大きく分けると計量値と計数値の管理図に分類されます。計量値の管理図には、移動平均管理図と CUSUM（累積和）管理図が含まれます。CUSUM（累積和）管理図は、計数値管理図の一種でもあります。詳細については、「移動平均管理図」（67 ページ）および「CUSUM（累積和）管理図」（105 ページ）の章を参照してください。

「管理図」プラットフォームの例

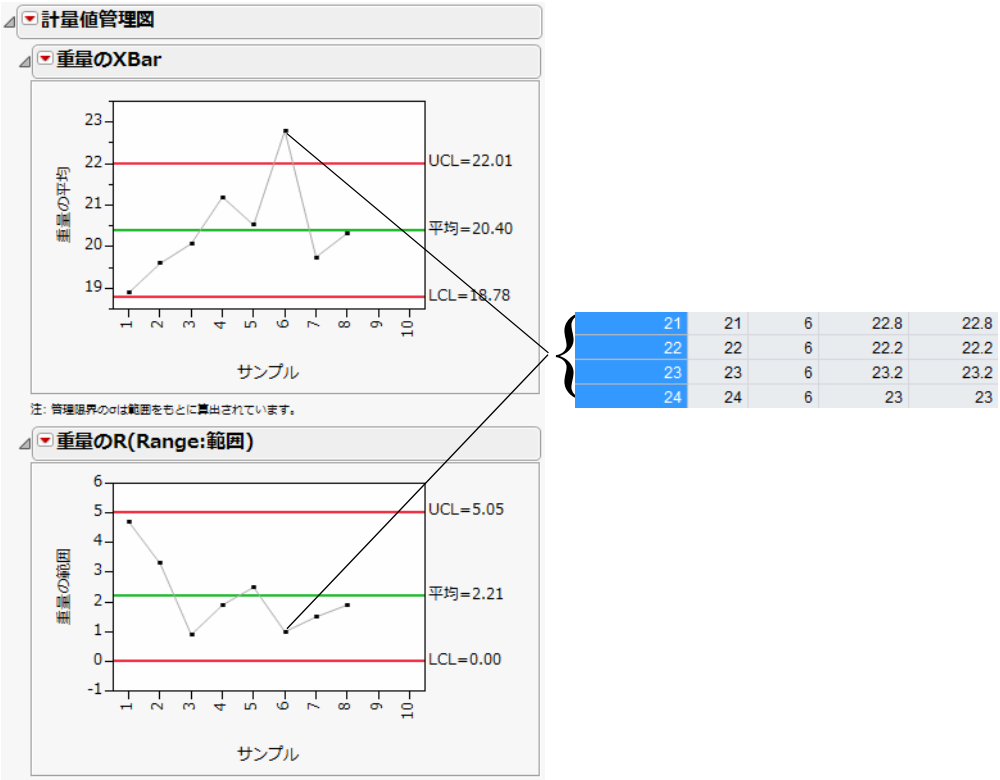
次の例は、サンプルデータフォルダ内の「Quality Control」フォルダにある「Coating.jmp」サンプルデータテーブルを使っています（出典は、『ASTM Manual on Presentation of Data and Control Chart Analysis』）。分析対象となる品質特性は「**重量**」列で、サブグループの標本サイズは 4 に設定してあります。

1. ［分析］>［品質と工程］>［管理図］>［XBar］を選択します。

   ［XBar］と［R(Range: 範囲)］が選択されていることを確認します。

2. 「重量」を選択し、［工程］をクリックします。
3. 「サンプル」を選択し、［標本ラベル］をクリックします。
4. ［OK］をクリックします。

図 4.2「Coating」データの計量値管理図



工程の $\overline{X}$ 管理図と R 管理図は図 4.2 のようになります。サンプル 6 を見ると、工程が統計的に管理された状態にないことが示唆されています。標本の値を調べるには、どちらかの管理図上でサンプル 6 の点をクリックします。すると、対応する行がデータテーブル内で強調表示されます。

注： $\overline{X}$ 管理図と S 管理図を同時に選択した場合、$\overline{X}$ 管理図の限界値は標準偏差に基づいて計算されます。それ以外の場合は、$\overline{X}$ 管理図の限界値が範囲に基づいて計算されます。

Shewhart 管理図の種類

管理図は、大きく分けると計量値と計数値の管理図に分類されます。

計量値の管理図

計量値の管理図には、プロットされるサブグループの要約統計量の種類によって、次のようなものがあります。

- ランチャートは、データを点のつながりとして表示します。
- $\overline{X}$管理図は、サブグループの平均をプロットしたものです。
- **R** 管理図は、サブグループの範囲（最大値－最小値）をプロットしたものです。
- **S** 管理図は、サブグループの標準偏差をプロットしたものです。
- 予め集計管理図は、サブグループ平均と標準偏差をプロットしたものです。

IR を選択すると、さらに 2 つの管理図の種類が追加されます。

- 個々の測定値管理図は、個々の測定値をプロットしたものです。
- 移動範囲管理図は、2 つ以上の連続した測定値の移動範囲をプロットしたものです。

ランチャート

ランチャートは、データの列を点のつながりとして表示します。ウィンドウまたはスクリプトを使って**標本ラベル**の列が指定されているときは、ランチャートにグループ平均をプロットすることもできます。

XBar 管理図、R 管理図、S 管理図

連続尺度の品質特性（計量値）を分析する場合、工程平均を示す XBar 管理図と、その下に、対応する **R** 管理図または **S** 管理図が表示されます。

個々の測定値に対する管理図

個々の測定値管理図は、個々の測定値をプロットしたものです。サブグループ標本に測定値が 1 つずつしか含まれていないときに適しています。

移動範囲管理図は、2 つ以上の連続した測定値の移動範囲をプロットしたものです。移動範囲は、「**移動範囲の区間**」ボックスに入力した数の測定値から計算されます。デフォルトは 2 です。移動範囲は相関しているので、移動範囲管理図を解釈するときに注意が必要です。

移動平均管理図

これまでに紹介した管理図は、単一の標本サブグループから取った情報に基づいて各点をプロットするものばかりでした。移動平均管理図の場合、それとは違い、各点が現在の標本の情報と過去の標本の情報を組み合わせたものから成ります。そのため、移動平均管理図は工程平均に生じた小さなシフトに対して敏感です。しかし、連続した移動平均の値は強く相関していることがあるため、点のパターンの解釈は難しくなります（Nelson 1982）。

移動平均管理図では、移動平均の計算に、サブグループの平均ではなく個々のオブザベーションを使用することもできます。ただし、個々の測定値の移動平均管理図は、個々の測定値と移動範囲の管理図（IR 管理図）とは異なります。

一様加重移動平均管理図

一様加重移動平均（UWMA：Uniformly Weighted Moving Average）管理図（単に、移動平均管理図ともいう）の各点は、w 個の最近のサブグループ平均（現在のものも含む）の平均です。新しく標本サブグループを入手すると、w 個のサブグループ平均の中で最も古いものを除外し、代わりに新しい標本サブグループを入れて、新しい移動平均が計算されます。定数 w は移動平均の**範囲**と呼ばれ、移動平均の計算に使用するサブグループの数を指します。範囲（w）の値が大きければ大きいほど UWMA 管理図の線は滑らかになり、シフトが線に及ぼす影響が小さくなります。つまり、w の値が大きいと、小さなシフトでも図に現れるようになります。

指数加重移動平均管理図

指数加重移動平均（EWMA: Exponentially Weighted Moving Average）管理図（GMA: 幾何移動平均管理図ともいう）の各点は、現在のサブグループ平均も含め、以前のサブグループ平均すべてを合わせて計算した加重平均を示します。時間をさかのぼるにつれて、重みは指数的に減少していきます。現在のサブグループ平均に割り当てられる重み（$0 <$ 重み ≤ 1）は、EWMA 管理図のパラメータです。重みの値を小さくすると、小さなシフトを検出しやすくなります。

予め集計管理図

データが同じ工程単位を繰り返し測定したものである場合、その繰り返した測定値を単位ごとに 1 つの値に予め集計することができます。ただし、予め集計の管理図は、同一の工程単位または測定単位で繰り返し測定が行われたものでない限り、使用することをお勧めしません。

予め集計では、標本サイズまたは標本ラベルをもとに工程列が集計され、標本平均や標準偏差が計算されます。それから、起動ウィンドウで選択したオプションに従って予め集計したデータの管理図が作成されます。起動ウィンドウには、工程能力分析を追加するためのチェックボックスも用意されています。

計数値の管理図

これまで紹介してきた管理図では、工程変数として測定データを使います。測定データは通常、連続量であるため、それには連続量の理論に基づいた管理図を選択します。もう 1 つのデータの種類は、度数データです。度数データの変数は、故障数や不適合数などの離散値を取ります。離散値を取るデータには、2 項モデルや Poisson モデルに基づく計数値管理図を使用します。度数はサブグループごとに測定されるため、複数の管理図を比較するときは、各サブグループごとのアイテム数に大きな差がないことを確認する必要があります。計数値管理図は、計量値管理図と同じように、サブグループの標本統計量によっていくつかの種類に分類されています。

表 4.1 計数値管理図の種類と選択基準

各アイテムが、適合か不適合かによって判断される		各アイテムに関して、不適合数が数えられている	
不適合品の**率**を表示	不適合品の**数**を表示	不適合品の**数**を表示	不適合品の**平均数**を表示
P 管理図	NP 管理図	C 管理図	U 管理図

- P 管理図は、サブグループ標本内の不適合率をプロットしたもので、標本のサイズは必ずしも一定ではありません。P 管理図では、各サブグループが N_i 個のアイテムから成り、各アイテムは適合か不適合かで判断されるため、サブグループ内の不適合品数は最高で N_i です。
- NP 管理図は、サブグループ標本内の不適合品数をプロットします。*NP* 管理図では、各サブグループが N 個のアイテムから成り、各アイテムは適合か不適合かによって判断されるため、サブグループの不適合品数は最高で N です。
- C 管理図は、サブグループ標本内の不適合数をプロットしたもので、標本は通常、1 つの検査単位から成ります。
- U 管理図は、サブグループ標本内の単位あたりの不適合数をプロットしたもので、各標本の検査単位数は必ずしも一定ではありません。

注：P 管理図または **NP** 管理図で「Sigma」列プロパティを使用する場合、この列プロパティの値は割合に相当するものでなければなりません。JMP はシグマを割合と標本サイズの関数として算出します。

注：計数値管理図の場合は、工程変数として不適合の度数、もしくは不適合率を指定します。0 ～ 1 の範囲に収まる非整数値が含まれる場合以外は、度数とみなされます。

Levey-Jennings 管理図

Levey-Jennings 法の管理図は、長期シグマに基づく工程平均と管理限界を示します。管理限界は、中央線から 3*s* の位置にあります。Levey-Jennings 法の管理図の標準偏差（*s*）は、「一変量の分布」プラットフォームの標準偏差と同じ方法で計算されます。

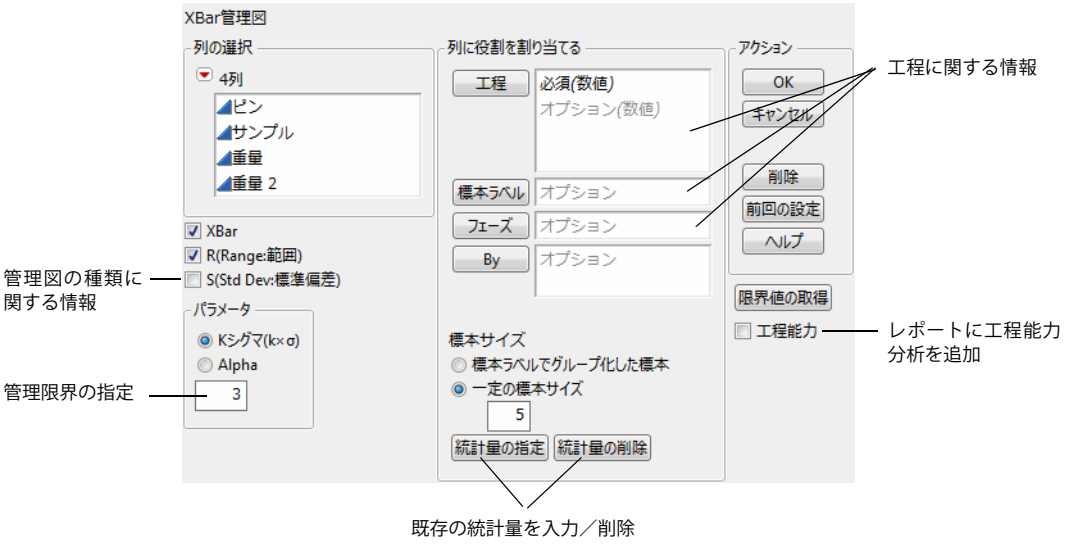
「管理図」プラットフォームの起動

「管理図」プラットフォームを起動するには、［**分析**］>［**品質と工程**］>［**管理図**］から該当する管理図の種類を選択します。図 4.3 のような「管理図」起動ウィンドウが開きます。ウィンドウに表示される具体的な内容は、選択した管理図の種類によって若干異なります。最初は、次の種類の情報が表示されます。

- 工程に関する情報（測定値変数の選択に利用）
- 管理図の種類に関する情報
- 管理限界の指定
- 統計量の指定

それぞれの領域に表示される情報は、選択した管理図の種類によって異なります。起動ウィンドウで、どのような管理図を作成するかを詳しく指定します。以下の節で、ウィンドウ内の各パネルについて説明します。

図 4.3「XBar 管理図」起動ウィンドウ



工程に関する情報

起動ウィンドウには、データテーブルにある列がリストされます。ここで、分析対象となる変数とサブグループ標本のサイズを指定します。

工程

グラフにする変数を選択します。

- 計量値管理図の場合は、測定値を指定します。
- 計数値管理図の場合は、不適合品数、不適合率、もしくは不適合数を指定します。0 ～ 1 の範囲に収まる非整数値が含まれる場合以外は、度数とみなされます。

注：テーブルの行は、管理図に表示する順序で並べ替えておく必要があります。［**標本ラベル**］変数が指定されている場合でも、データは適切に並べ替えておかなければなりません。

標本ラベル

横軸のラベルにする変数を指定すれば、サイズの異なるサブグループを作成することができます。変数を指定しなかった場合、サブグループ標本に対する通し番号が横軸のラベルになります。

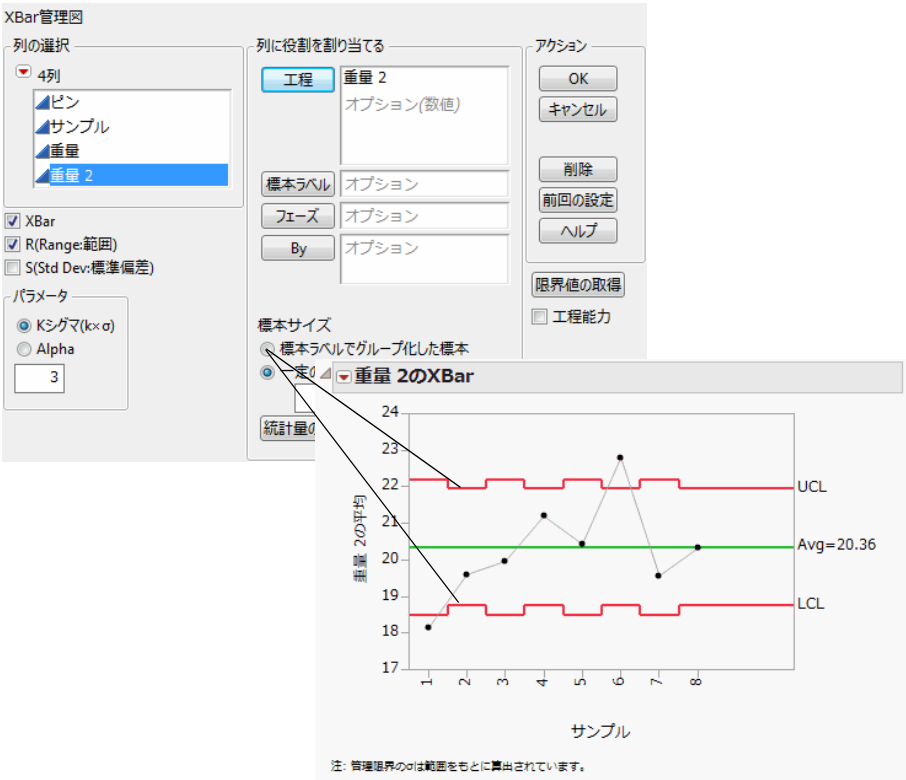
- 標本のサブグループのサイズが等しいときは、「**一定の標本サイズ**」オプションを選択し、テキストボックスにサイズを入力します。標本ラベルの変数を指定した場合は、その変数の値が横軸のラベルになります。標本の欠測値の有無に関係なく、標本サイズは管理限界の計算時に考慮されます。
- サブグループ標本の行数が異なる場合や欠測値がある場合に列で各標本を識別するには、［**標本ラベルでグループ化した標本**］オプションを選択し、各標本を識別する値を含む列を指定します。

計数値管理図（P、NP、C、U管理図）では、データテーブルにおける1行が、1つのサブグループを表します。選択内容に応じて、「**標本サイズ**」、「**一定のサイズ**」、または「**ユニットサイズ**」などの追加のオプションが起動ウィンドウに表示されます。計数値管理図では、サブグループのサンプルサイズもしくはユニットサイズを含んだ列を指定することができます。管理図の種類として**IR**を選択した場合、［**移動範囲の区間**］テキストボックスが表示されます。このテキストボックスに入力するのは、**移動範囲**を計算するための測定値の数です。

注：テーブルの行は、管理図に表示する順序で並べ替えておく必要があります。［**標本ラベル**］変数が指定されている場合でも、データは適切に並べ替えておかなければなりません。

図4.4は、サンプルデータの「Quality Control」フォルダにある「Coating.jmp」データの$\overline{X}$管理図で、サブグループの標本サイズが異なります。

図4.4 サブグループの標本サイズが異なる計量値管理図



フェーズ

「**フェーズ**」には、異なるフェーズ（phase、セクション）を識別する列を指定します。「**フェーズ（phase）**」とは、データテーブル内の連続するオブザベーションをグループにまとめたものです。たとえば、新しい工程で生産を開始する前と後は異なるフェーズだと定義できます。指定したフェーズ変数の水準ごとに新しいシグマ、限界値のセット、ゾーン、テストの結果が計算されます。

$\overline{X}$、**R**、**S**、**IR**、**P**、**NP**、**C**、**U**、予め集計、Levey-Jennings 法の管理図の場合は、起動ウィンドウに［**フェーズ**］ボタンがあります。このボタンでフェーズ変数を指定すると、フェーズ変数の値によってグループ分けされます。限界値をデータテーブルに保存する際は、各フェーズに対して計算されたシグマと限界値が保存されます。例については、「フェーズの例」（97 ページ）を参照してください。

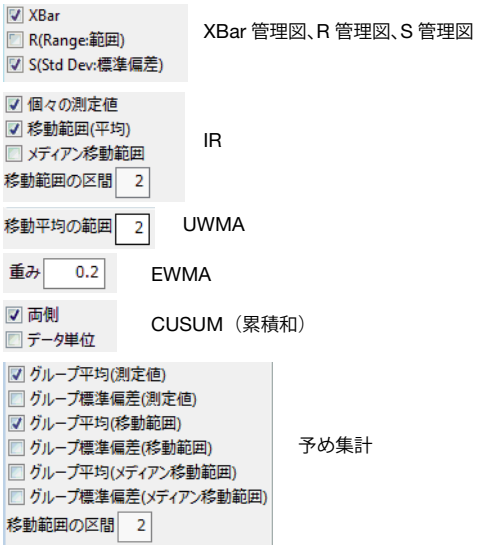
By

ここで指定した列の値ごとに、個別に分析が行われます。

管理図タイプに関する情報

管理図には、大きく分けて計量値管理図と計数値管理図の 2 種類があります。移動平均管理図と CUSUM（累積和）管理図は、計量値管理図の特殊形態ということができます。

図 4.5 計量値管理図のウィンドウのオプション



- ［**XBar**］管理図を選択すると、「**XBar**」、「**R**」、「**S**」のチェックボックスが表示されます。
- ［**IR**］を選択すると、「**個々の測定値**」、「**移動範囲**」、「**メディアン移動範囲**」管理図のチェックボックスが表示されます。
- 一様加重移動平均（［**UWMA**］）と指数加重移動平均（［**EWMA**］）は、平均の管理図です。

- ［**CUSUM（累積和）**］管理図は、平均または個々の測定値の管理図です。
- ［**予め集計**］を使用すると、予め集計する統計量に関する情報を指定することができます。
- ［**P**］、［**NP**］、［**C**］、［**U**］管理図、［**ランチャート**］、および［**Levey-Jennings 法**］管理図には、追加指定する項目はありません。

それぞれの種類については、「「管理図」プラットフォームの概要」（65 ページ）の節で説明しています。

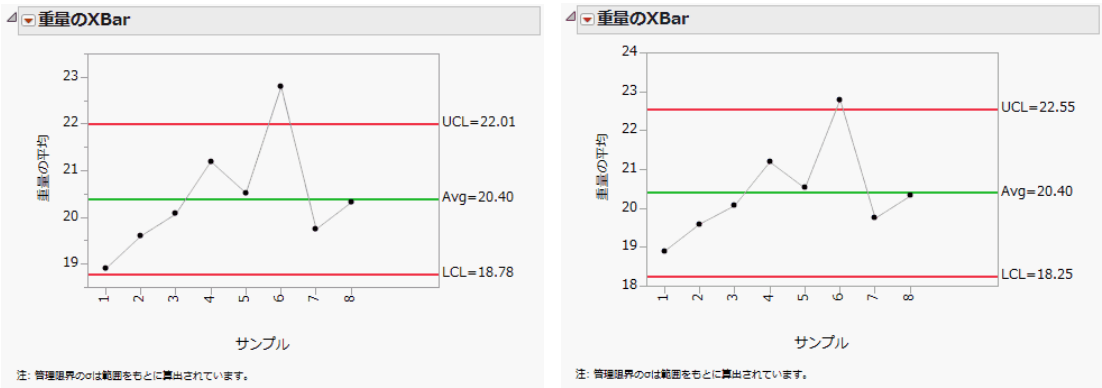
管理限界の指定

管理限界は、*k* の倍数（**K シグマ**）と有意水準（**Alpha**）のどちらかの値に基づき計算されるか、工程変数における列のプロパティから取得するか、または、以前作成した限界値テーブルから取得します。限界値テーブルおよび［**限界値の取得**］ボタンについては、「限界値の保存と取得」（81 ページ）で説明しています。［**K シグマ (kx σ)**］と［**Alpha**］を指定する場合は、どちらか一方だけを指定してください。［**K シグマ (kx σ)**］は、デフォルトでは 3（3 シグマ）に設定されています。

K シグマ (kx σ)

各標本における標準誤差の倍数として管理限界を設定することができます。［**K シグマ（kx σ）**］を指定すると、期待値より標準誤差の *k* 倍だけ大きい値および小さい値が管理限界になります。*k* を指定するには、［**K シグマ（kx σ）**］のラジオボタンをクリックし、テキストボックスに正の値を入力します。通常は、*k* を 3（3xσ）に設定します。図 4.6 の例は、「Coating.jmp」データの $\overline{X}$ 管理図で、**K シグマ**が 3 のときと 4 のときを比較したものです。

図 4.6 K シグマが 3（左図）と 4（右図）のときの管理図



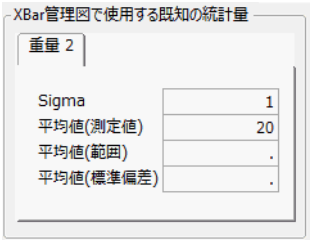
Alpha

管理限界（確率限界（**probalibity limits**）とも呼ばれる）として、工程が管理された状態にあるときに、サブグループの統計量が管理限界を超える確率（**Alpha**）を使用します。Alpha を指定するには、［**Alpha**］ラジオボタンをクリックし、確率の値を入力します。通常、Alpha は 0.01 ～ 0.001 の間に設定します。**K シグマ** 3 に相当する **Alpha** 値は 0.0027 です。

統計量の指定

工程変数を指定した後、「管理図」起動ウィンドウに［**統計量の指定**］ボタンがある場合にこれをクリックすると、ウィンドウの下部にテキストボックスのタブが開きます。そこに工程変数として使う既知の統計量（つまり、既存のデータから取得した統計量）を入力すると、その値を使って管理図が作成されます。図では、工程変数の標準偏差が1、測定値の平均が20になっています。

図4.7 統計量の指定の例



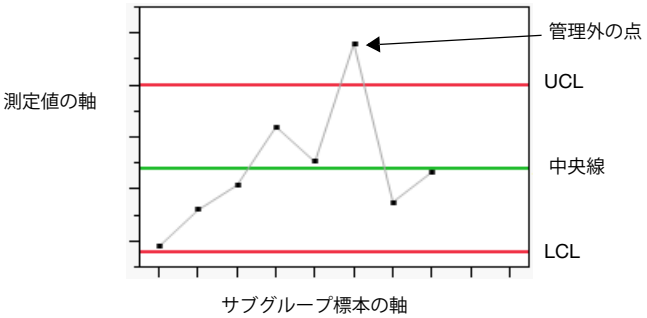
注：ユーザが指定した平均には、プロット上で「μ0」というラベルがつきます。

「管理図」起動ウィンドウ（図4.3）の［**工程能力**］オプションを選択すると、プラットフォームの起動時に仕様限界を入力するウィンドウが開きます。管理図で使用されるσがこのウィンドウでデフォルトのσとして表示されます。仕様限界を入力して［OK］をクリックすると、管理図と同じウィンドウに工程能力分析が表示されます。工程能力指数の計算方法については、『基本的な統計分析』を参照してください。

「管理図」レポート

作成される管理図は、工程が統計的管理状態にあるかどうかの判断材料として役立ちます。レポートの内容は、選択した管理図の種類によって異なります。図4.8は、単純な管理図を例に、各部について説明しています。データを追加するたび、またはデータテーブルを変更するたびに、管理図は動的に更新されます。

図4.8 管理図の例



注:データテーブルで除外されている行は、ランチャート、P管理図、U管理図、C管理図では非表示になります。

管理図には、次のような特徴があります。

- 管理図上の各点は、個々の測定値または要約統計量を示します。図 4.8 では、各点は標本の測定値の平均を表しています。

  サブグループは、工程の群**間**変動をできるだけ精確に捉えられるよう、**合理的に**設定されている必要があります。
- 管理図の縦軸は、計算された要約統計量を表します。
- 管理図の横軸は、標本のサブグループを表す時間軸です。時間の経過に沿って工程を観察することは、工程が変化しているかどうかを評価する上で重要です。
- 緑の線は中心線で、データの平均を示します。中心線は、工程が統計的管理状態にあるときの要約統計量の平均値（期待値）を示します。本来、測定値は中心線の両側に等しく分布します。そうでない場合は、工程平均が変化している証拠と考えられます。
- 2 本の赤い線は、上側管理限界（UCL）と下側管理限界（LCL）です。工程が統計的管理状態にあるときに要約統計量が変動すると思われる範囲を示します。工程変動が一般原因によるものだけである場合、すべての点が管理限界内にランダムに分布します。図4.8 では、点のうち1つが上側管理限界より上にあります。この点は、特殊原因による変動を示す可能性が高く、場合によっては不具合かも知れません。
- 管理限界（CUSUM 管理図の場合は V マスク）の外に点がある場合は、特殊原因による変動があると考えられます。

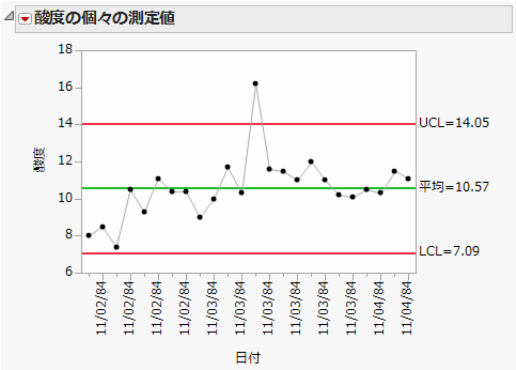
各プラットフォーム内のオプションで作成した管理図は、データテーブルに新しいデータが追加されたときにリアルタイムで更新されます。

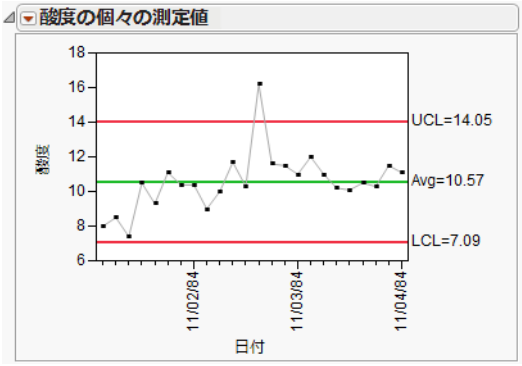
管理図に異常原因による変動が見られ、それが工程の劣化によるものである場合は、適切に対処し、工程を統計的管理状態に戻す必要があります。異常原因による変動が工程の改善を意味する場合は、変動の原因を詳しく調べ、意識的に工程に組み込む必要があります。

X 軸または *Y* 軸上をダブルクリックすると、該当する「軸の指定」ウィンドウが開き、軸上に表示されるラベルの形式、軸の値の範囲、目盛りの数、グリッド線、参照線などを指定することができます。

たとえば、「Pickles.jmp」データは、3 日間にわたって測定したデータを記録したものです。図4.9 では、デフォルトで *X* 軸の 1 つおきの目盛りにラベルがついています。図4.9 の左側のようにラベルが見にくい状態になってしまうことがあります。8 つの目盛りごとにラベルをつければ（目盛りと目盛りの間に 7 つの測定値が入るようにすれば）、日付ごとに 1 つのラベルがつき、右側のプロットのようになります。

図 4.9 X 軸の目盛りのラベルを調整した例





ヒント：警告とルールの詳細については、本書の「テスト」（42 ページ）および「管理図ビルダー」の章の「ウェストガードルール」（44 ページ）を参照してください。

「管理図」プラットフォームのオプション

管理図の赤い三角ボタンのメニューでは、プラットフォーム内のいろいろな要素を調整できます。

- 一番上のタイトルバーにあるメニューは、プラットフォームウィンドウ全体に作用するメニューです。選択した管理図の種類によって異なるメニュー項目が表示されます。
- 管理図の種類を表示したタイトルバーにあるメニューは、個々のチャートに作用するオプションです。

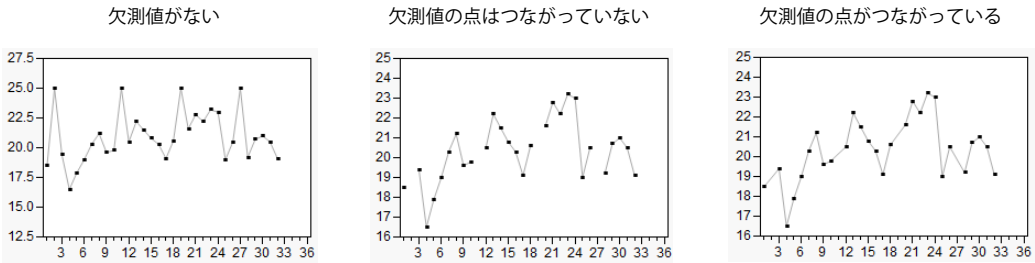
ウィンドウオプション

ウィンドウ最上部のタイトルバーにある赤い三角ボタンのメニューには、レポートウィンドウに関連するオプションがあります。**スクリプトは、特殊原因（special causes）に対するテストが適用され、**［**XBar**］と［**R**］を両方とも選択した場合、XBar 管理図と R 管理図の表示／非表示を個別に切り替えることができます。使用できるオプションの種類は、管理図の種類によって異なります。グレー表示になっているオプションは選択できません。

限界値の凡例を表示　プロットの右に位置する平均（中心線）、LCL（下側管理限界）、UCL（上側管理限界）の表示／非表示を切り替えます。

欠測値をつなぐ　欠測値を持つ標本があっても点を直線でつなぎます。図 4.10 の左側の図は、欠測値がない管理図です。中央の図では、サンプル 2、11、19、27 が欠測値で、これらの点はつながれていません。右側の図では、［**欠測値をつなぐ**］オプションが選択されています（デフォルトの設定）。

図 4.10［欠測値をつなぐ］オプションの例



中央値の使用　ランチャートでは、各ランチャートの赤い三角ボタンのメニューから［**中心線の表示**］オプションを選択すると、列の中心値の位置に線が表示されます。中心線は、メインの「ランチャート」の赤い三角ボタンのメニューにある［**中央値の使用**］の設定に左右されます。［**中央値の使用**］がオンになっているときは中央値、それ以外の場合は平均が中心線になります。限界値をファイルに保存すると、全体平均と中央値も保存されます。

工程能力　データの工程能力分析を実行します。このオプションを選択すると、工程変数の下側仕様限界、目標値、上側仕様限界を入力するウィンドウが表示されます。

図 4.11「工程能力分析」ウィンドウ

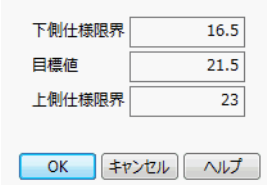
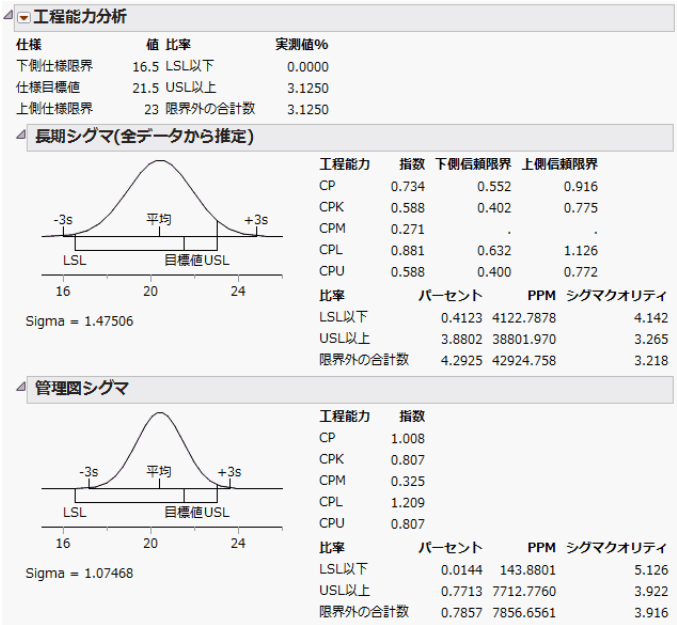


図 4.12 は、「Coating.jmp」を使用し、下側仕様限界を 16.5、目標値を 21.5、上側仕様限界を 23 とした場合の「工程能力分析」レポートです。

図 4.12「Coating.jmp」の「工程能力分析」レポート



工程能力分析

仕様	値	比率	実測値%
下側仕様限界	16.5	LSL以下	0.0000
仕様目標値	21.5	USL以上	3.1250
上側仕様限界	23	限界外の合計数	3.1250

長期シグマ(全データから推定)

Sigma = 1.47506

工程能力	指数	下側信頼限界	上側信頼限界
CP	0.734	0.552	0.916
CPK	0.588	0.402	0.775
CPM	0.271	.	.
CPL	0.881	0.632	1.126
CPU	0.588	0.400	0.772

比率	パーセント	PPM	シグマクオリティ
LSL以下	0.4123	4122.7878	4.142
USL以上	3.8802	38801.970	3.265
限界外の合計数	4.2925	42924.758	3.218

管理図シグマ

Sigma = 1.07468

工程能力	指数
CP	1.008
CPK	0.807
CPM	0.325
CPL	1.209
CPU	0.807

比率	パーセント	PPM	シグマクオリティ
LSL以下	0.0144	143.8801	5.126
USL以上	0.7713	7712.7760	3.922
限界外の合計数	0.7857	7856.6561	3.916

工程能力分析の詳細については、『基本的な統計分析』を参照してください。

σ の保存　σの計算結果が、JMP データテーブル内の工程変数列に列プロパティとして保存されます。

限界値の保存 > 列に　σ、中心線、上側および下側信頼限界の値が、JMP データテーブル内の工程変数列に列プロパティとして保存されます。限界値は、管理図の「Weight Limits Summaries」レポートにも「ユーザ定義」として表示されます。

限界値の保存 > 新しいテーブルに　新しい JMP データテーブルが作成され、管理図のすべてのパラメータが保存されます。パラメータは、K シグマ、標本サイズ、中心線、上側および下側管理限界です。このデータテーブルを保存すると、限界値を後で使用できます。「管理図」起動ウィンドウで、［**限界値の取得**］をクリックし、保存したデータテーブルを選択します。詳細は、「限界値の保存と取得」（81 ページ）の節を参照してください。

要約の保存　新しいデータテーブルに、標本ラベル、標本サイズ、プロットに表示されている統計量、中心線、管理限界が保存されます。テーブルに保存される統計量の種類は、図の種類によって異なります。

警告スクリプト　特殊原因のテストに失敗したことを示すスクリプトを作成し、実行することができます。結果はログに出力されるか、または読み上げられます。詳細については、本書の「管理図ビルダー」の章の「テスト」（42 ページ）を参照してください。カスタムスクリプトの書き方については、『スクリプトガイド』で詳しく説明しています。

スクリプト　すべてのプラットフォームに共通なオプションが表示されます。詳細については、『JMP の使用法』を参照してください。

個々のチャートに対するオプション

各チャート名の横にある赤い三角ボタンをクリックすると、メニューが開き、そのチャートに関するオプションが表示されます。一部のオプションは、チャート上を右クリックしたときに［**チャートオプション**］の下にも表示されます。

箱ひげ図　サブグループ平均をプロットしたXbar管理図に、箱ひげ図が重ねて表示されます。箱ひげ図は、サブグループの最大値、最小値、75パーセント点、25パーセント点、メディアン（中央値）を示します。［**点の表示**］オプションをオフにしない限り、サブグループ平均を表すマーカーも表示されます。なお、表示されている管理限界は、サブグループ平均に対してだけ適用できるものです。［**箱ひげ図**］は、$\overline{X}$管理図だけで使用できるオプションです。箱ひげ図は、サブグループの標本サイズが大きいとき（各サブグループ内の標本数が10を超えるとき）に適しています。

垂線　プロット点から中心線へ、垂直線を引きます。

点をつなぐ　点をつなぐ直線の表示／非表示を切り替えます。

点の表示　要約統計量を表す点の表示／非表示を切り替えます。デフォルトでは表示されます。［**箱ひげ図**］オプションを選択しているときにこのオプションをオフにすると、サブグループ平均を示すマーカーが表示されなくなります。

線の色　点をつなぐ線の色をJMPカラーパレットから選択できます。

中心線の色　中心線の色をJMPカラーパレットから選択できます。

限界値の色　上側管理限界と下側管理限界を示す線の色をJMPカラーパレットから選択できます。

線の幅　管理限界を示す線の幅を選択できます。選択肢は**「細線」**、**「標準」**、**「太線」**です。

点マーカー　管理図で使用するマーカーを選択できます。

中心線の表示　デフォルトでは、中心線が緑色で表示されます。［**中心線の表示**］をオフにすると、管理図から中心線とその凡例が取り除かれます。

管理限界の表示　管理限界と凡例の表示／非表示を切り替えます。

管理限界の表示桁数　ラベルに表示する小数点以下桁数を指定できます。

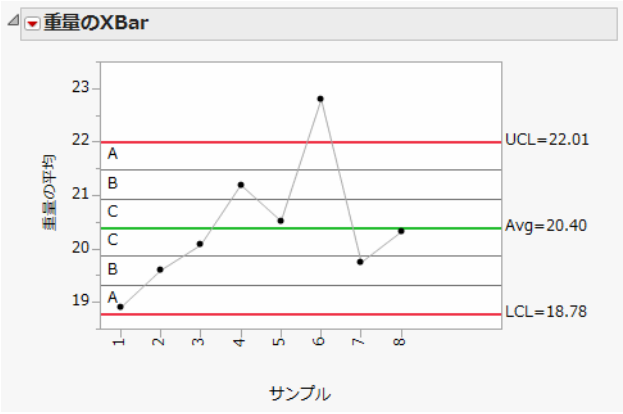
テスト　サブメニューが開くので、適用するテストを選択します。すると、そのテストで異常と見なされたものが表示されるようになります。テストは、管理限界を3σに設定した場合だけ適用されます。テスト1～4の対象は、XBar管理図、個々の測定値の管理図、および計数値管理図です。テスト5～8は、XBar管理図、予め集計管理図、個々の測定値の管理図だけを対象とします。適用できないオプションは、グレー表示になっています。標本サイズが等しくない場合、［テスト］のオプションはグレー表示になります。［テスト］オプションまたは［ゾーンの表示］オプションが選択されている状態で、管理図が開いている間に標本が変更され、サイズが一定になった場合は、すぐにオプションが適用され、管理図上に表示されます。この8つの特殊原因テスト（special causes test）は、**ネルソンルール**(Nelson Rules)とも呼ばれます。特殊原因テストの詳細については、本書の「管理図ビルダー」の章の「テスト」（42ページ）を参照してください。

ウェストガードルール　ウェストガードルールは、工程が管理状態にあるか管理状態から逸脱しているかを判断する指標となります。各テストには、判断基準となるルールの省略形が名前としてついています。「管理図ビルダー」の章の「ウェストガードルール」（44 ページ）の説明文と図を参照してください。

限界を超えた点のテスト　このコマンドを実行すると、限界を超えた点すべてに、「*」という印が付きます。これは限界値が指定されたすべての管理図で使用でき、標本サイズが一定であるかどうかや、*k* のサイズや限界の幅は問いません。たとえば、標本サイズが異なる場合に、このコマンドを使って **R** チャートの限界を超えるすべての点に印を付けることができます。

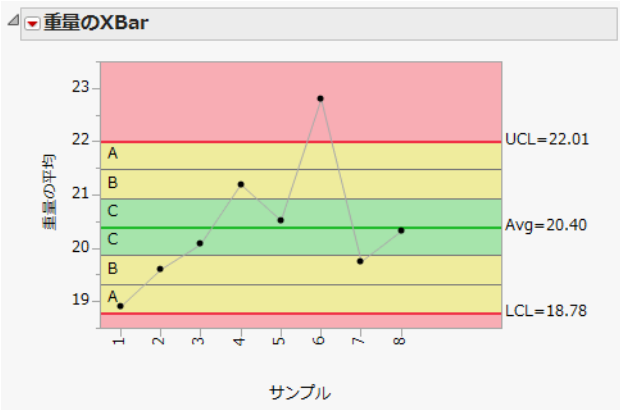
ゾーンの表示　**ゾーンの線**の表示／非表示を切り替えます。ゾーンには A、B、C というラベルがついています（図は、「Coating.jmp」データの「**重量**」をプロットした Xbar 管理図）。ゾーンの線が管理図のテストでの境界線となります。中心線の上下に、それぞれ 1σ の間隔をあけて 3 本ずつ線が引かれます。

図 4.13 ゾーンの表示



ゾーンで色分け　ゾーンのカラー表示のオン／オフを切り替えます。このオプションをオンにすると、ゾーンが緑色、黄色、赤色で表示されます。緑色は、中心線から 1σ のゾーン、黄色は、中心線から 2σ および 3σ のゾーン、赤色は、3σ を超えた領域を示します。ゾーンでの色分けは、ゾーン線の有無に関わらず設定できます。

図 4.14 ゾーンで色分け



OC 曲線　一部の管理図では、検査特性曲線（OC 曲線: Operating Characteristic curve）が表示できます。JMP では、$\overline{X}$、**P**、**NP**、**C**、**U** 管理図だけに OC 曲線が定義されています。OC 曲線は、ロットが品質検査に合格する確率が、標本の質とともにどのように変化するかを表します。管理図オプションから［**OC 曲線**］オプションを選択すると、新しいウィンドウが開き、管理図内のすべての計算値をそのまま使った OC 曲線が表示されます。または、JMP スターターの［**管理**］タブから直接起動することもできます。OC 曲線のもとになる管理図を選択し、ウィンドウが開いたら、「**目標値**」、「**下側管理限界**」、「**上側管理限界**」、「**k**」、「**シグマ**」、および「**標本サイズ**」を指定します。同様にして、1 回抜取検査と 2 回抜取検査を実行することもできます。それには、［**表示**］>［**JMP スターター**］>［**管理**］（カテゴリのリスト内）>［**OC 曲線**］の順にクリックします。ポップアップウィンドウが開いたら、［1 回抜取検査］または［2 回抜取検査］を選択します。次に開いたウィンドウで、（1 回抜取検査を指定した場合は）合格判定個数、検査数、ロットの大きさを指定します。［**OK**］をクリックすると、指定どおりの OC 曲線が表示されます。

限界値の保存と取得

JMP の管理図では、管理限界に既知の値を指定することができます。

- 上側管理限界、下側管理限界、中心線の値。
- 平均や標準偏差など、限界値の計算に必要なパラメータ。

管理限界およびパラメータの値は、「**限界値テーブル**」として JMP データテーブルに保存されているか、JMP データテーブル内の工程変数列に列プロパティとして保存されている必要があります。［**管理図**］コマンドで開いた「管理図」起動ウィンドウから、［**限界値の取得**］ボタンを押して限界値テーブルを読み込むことができます。

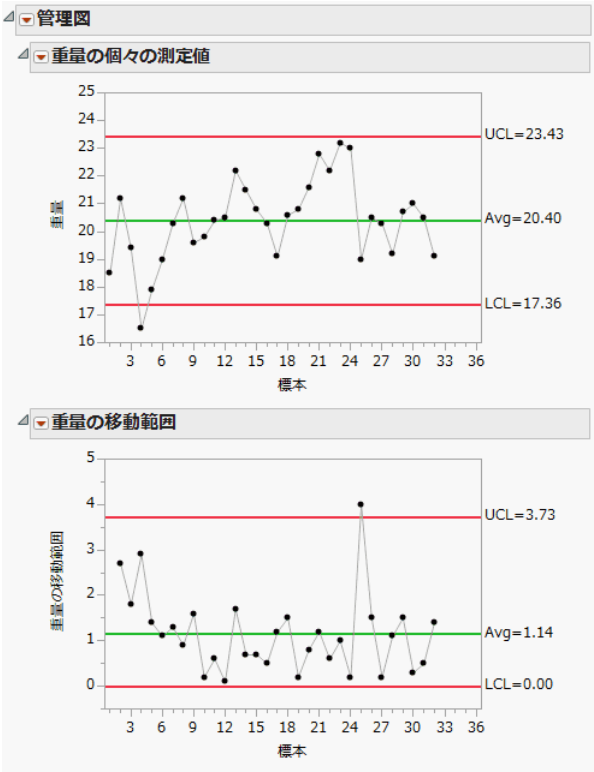
最も簡単に限界値テーブルを作成する方法は、「管理図」プラットフォームで計算された結果を保存することです。各管理図の赤い三角ボタンのメニューにある［**限界値の保存**］コマンドを使えば、標本の値から計算された管理限界値が自動的に保存されます。テーブルに保存されるデータの種類は、管理図の種類によって異なります。また、独自の限界値テーブルを作成することも可能です。どの限界値テーブルにも、以下のものが必要です。

- 行を識別するためのキーワードを含んだ列。
- 既知の標準パラメータまたは限界値を含んだ列。「管理図」プラットフォームで分析を行うには、この列に、データテーブル内の該当する工程変数と同じ名前を付ける必要があります。

管理限界値は、新しいデータテーブルに保存するか、応答列の属性として保存します。［**新しいテーブルに**］コマンドで管理限界を保存する場合、テーブルに書き込まれる限界値キーワードは、表示されている管理図の種類によって異なります。

図 4.15 は、「Coating.jmp」で［限界値の保存］を実行したときに作成されるテーブルの例です。「**_Mean**」（平均）、「**_LCL**」（下側管理限界）、「**_UCL**」（上側管理限界）の値を含む行は、個々の測定値に対する管理図のものです。接尾辞に **R** がついている値（「**_AvgR**」（範囲の平均）、「**_LCLR**」（範囲の下側管理限界）、「**_UCLR**」（範囲の上側管理限界））は移動範囲管理図のものです。この限界値テーブルを使って再び同じ種類の管理図を作成する場合、「**_LimitsKey**」列のキーワードで限界値が区別されます。

図 4.15 データテーブルに限界値を保存する例



	_LimitsKey	重量
1	_KSigma	3
2	_Alpha	0.0026997961
3	_Range Span	2
4	_Std Dev	1.0120139729
5	_Mean	20.396875
6	_LCL	17.360833081
7	_UCL	23.432916919
8	_AvgR	1.1419354839
9	_LCLR	0
10	_UCLR	3.7301687077

表 4.2（83 ページ）は、限界値キーワードとその管理図のリストです。

「**_KSigma**」（K シグマ）、「**_Alpha**」（有意水準）、「**_Range Span**」（移動範囲の区間）の値は「管理図」起動ウィンドウで指定できます。JMP では、値の検索は常にウィンドウ内から行われ、ウィンドウで指定された値が限界値テーブルの値に優先します。

未知のキーワードを含んだ行と、行の属性が「除外された行」となっているものは無視されます。「**_Range Span**」、「**_KSigma**」、「**_Alpha**」、「**_Sample Size**」（標本サイズ）以外で指定されていない値は、データから推定計算されます。

表 4.2（83 ページ）を参照する際、次のリストを見ると、「管理図」プラットフォームで使用できる管理図の種類がわかります。

- ランチャート
- 計量値管理図には次の種類があります。
  - $\overline{X}$ 管理図（平均）
  - **R** 管理図（範囲）
  - **S** 管理図（標準偏差）
  - 個々の測定値に対する管理図（X 管理図）
  - 移動範囲管理図
  - UWMA 管理図（一様加重移動平均）
  - EWMA 管理図（指数加重移動平均）
  - CUSUM（累積和）管理図
  - Levey-Jennings 管理図（平均）
- 計数値管理図には次の種類があります。
  - **P** 管理図（標本サブグループの不適合品率）
  - **NP** 管理図（標本サブグループの不適合品数）
  - **C** 管理図（標本サブグループの不適合数）
  - **U** 管理図（単位あたりの不適合数）

表 4.2 限界値テーブルのキーワードと、その関連管理図および意味

キーワード	管理図	意味
_Sample Size	$\overline{X}$、**R**、**S**、**P**、**NP**、**C**、**U**、UWMA、EWMA、CUSUM（累積和）	管理限界の計算に使われる固定標本サイズ。標本サイズが一定でない場合は欠測値になります。「管理図」起動ウィンドウで値を指定した場合は、その値が表示されます。
_Range Span	個々の測定値、移動範囲	移動範囲の計算に必要な連続した値の数（$2 \leq n \leq 25$）。

表 4.2 限界値テーブルのキーワードと、その関連管理図および意味（**続き**）

キーワード	管理図	意味
_Span	UWMA	移動平均の計算に必要な連続したサブグループ平均の数（$2 \le n \le 25$）。
_Weight	EWMA	EWMA の計算に使う定数の重み。
_KSigma	全種類	シグマの乗数。管理限界の計算に使われます。管理限界が有意水準を使って設定されている場合は、欠測値になります。
_Alpha	全種類	管理限界の計算に使用される第1種の誤りの確率（α 水準）。起動ウィンドウまたは限界値テーブルで標準偏差の乗数が指定されていない場合に使用されます。
_Std Dev	$\overline{X}$、**R**、**S**、個々の測定値、移動範囲、UWMA、EWMA、CUSUM（累積和）	既知の工程標準偏差。
_Mean	$\overline{X}$、個々の測定値、UWMA、EWMA、CUSUM（累積和）	既知の工程平均。
_U	**C**、**U**	単位あたりの不適合数の、既知の平均。
_P	**NP**、**P**	不適合品率の、既知の平均。
_LCL、_UCL	$\overline{X}$、個々の測定値、**P**、**NP**、**C**、**U**	XBar 管理図、個々の測定値管理図、計数値管理図の下側および上側管理限界。
_AvgR	**R**、移動平均	平均範囲または平均移動範囲。
_LCLR、_UCLR	**R**、移動平均	**R** 管理図または移動範囲管理図の下側管理限界。 **R** 管理図または移動範囲管理図の上側管理限界。
_AvgS、_LCLS、_UCLS	**S**	**S** 管理図の平均標準偏差、上側および下側管理限界。
_Head Start	CUSUM（累積和）	片側 CUSUM 管理図の開始値。
_Two Sided、_Data Units	CUSUM（累積和）	管理図の種類。
_H、_K	CUSUM（累積和）	有意水準（Alpha）と Beta に代わって使用される。K はオプション。

表 4.2 限界値テーブルのキーワードと、その関連管理図および意味（**続き**）

キーワード	管理図	意味
_Delta **_Beta**	CUSUM（累積和）	_Delta は工程標準偏差の乗数として表される検出する最小のシフトの絶対値。_Beta は誤りの確率。「**_Alpha**」が指定されているときだけ使われます。
_AvgR_PreMeans **_AvgR_PreStdDev** **_LCLR_PreMeans** **_LCLR_PreStdDev** **_UCLR_PreMeans** **_UCLR_PreStdDev** **_Avg_PreMeans** **_Avg_PreStdDev** **_LCL_PreMeans** **_LCL_PreStdDev** **_UCL_PreMeans** **_UCL_PreStdDev**	個々の測定値、移動範囲	予め集計した平均または標準偏差をもとに計算される平均、上側管理限界、および下側管理限界。

標本の除外、非表示、削除

次の表は、標本とそのサブグループの状態が処理に与える影響をまとめたものです。

表 4.3 標本の除外、非表示、削除

管理図を作成する前に標本の行をすべて除外した	標本は管理限界の計算には含まれないが、グラフには表示される。
管理図を作成した後で標本を除外した	標本は管理限界の計算に含まれ、グラフにも表示される。グラフを開いたまま標本を除外しても、分析結果には何の影響も及びません。
管理図を作成する前に標本が非表示になっていた	標本は管理限界の計算には含まれるが、グラフには表示されない。
管理図を作成した後で標本を非表示にした	標本は管理限界の計算には含まれるが、グラフには表示されない。標本を示すマーカーがグラフから消えますが、標本ラベルは軸上に表示されたままで、管理限界も変化しません。
管理図を作成する前に標本の行をすべて除外し、かつ非表示にした	標本は管理限界の計算には含まれず、グラフにも表示されない。

表 4.3 標本の除外、非表示、削除（**続き**）

管理図を作成した後で標本の行をすべて除外し、かつ非表示にした	標本は管理限界の計算には含まれるが、グラフには表示されない。標本を示すマーカーがグラフから消えますが、標本ラベルは軸上に表示されたままで、管理限界も変化しません。
管理図を作成する前に標本が削除され、データセットがサブセット化されていた	標本は管理限界の計算に含まれず、標本の値は軸に表示されず、標本を示すマーカーもグラフに表示されない。
管理図を作成した後で標本を削除し、データセットをサブセット化した	標本は管理限界の計算には含まれず、グラフにも表示されない。標本を示すマーカーがグラフから消え、標本ラベルが軸上から削除され、グラフも管理限界も変化します。

追記：

- ［非表示かつ除外］の属性は、標本内の第 1 オブザベーションの行のものだけがチェックされます。たとえば、標本の第 2 オブザベーションが非表示になっていても、第 1 オブザベーションが表示されていれば、標本は管理図上に表示されます。
- 「除外する／表示しない」ルールには例外が 1 つあります。特殊原因のテストは、標本が除外されていても検出されたものがあるテストの番号が表示されますが、標本が非表示になっているときは番号が表示されません。
- 特別なルールが課されるため（表 4.3（85 ページ））、管理図は自動再計算スクリプトに対応していません。

「管理図」プラットフォームのその他の例

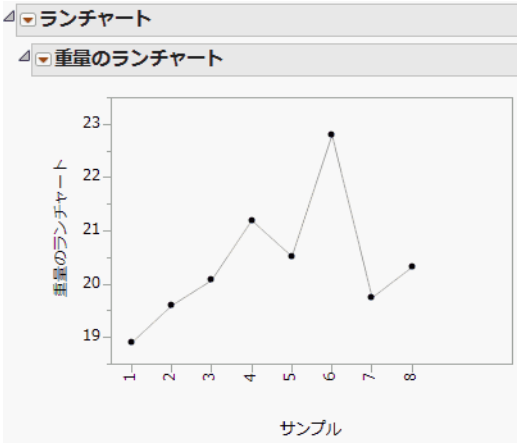
ここでは、「管理図」プラットフォームを使った例をさらに紹介します。

ランチャートの例

ランチャートは、データの列を点のつながりとして表示します。次の例は、サンプルデータフォルダ内の「Quality Control」フォルダにある「Coating.jmp」サンプルデータテーブル（出典は、『ASTM Manual on Presentation of Data and Control Chart Analysis』）の「**重量**」変数を使ったランチャートです。

1. ［**分析**］>［**品質と工程**］>［**管理図**］>［**ランチャート**］を選択します。
2. 「**重量**」を選択し、［**工程**］をクリックします。
3. 「**サンプル**」を選択し、［**標本ラベル**］をクリックします。
4. ［**OK**］をクリックします。

図 4.16 ランチャート



$\overline{X}$ 管理図と R 管理図の例

次の例では、「Coating.jmp」データテーブルを使います。分析対象となる品質特性は「**重量**」列で、サブグループの標本サイズは 4 に設定してあります。工程の $\overline{X}$ 管理図と **R** 管理図は図 4.17 のようになります。

1. ［**分析**］>［**品質と工程**］>［**管理図**］>［**XBar**］を選択します。

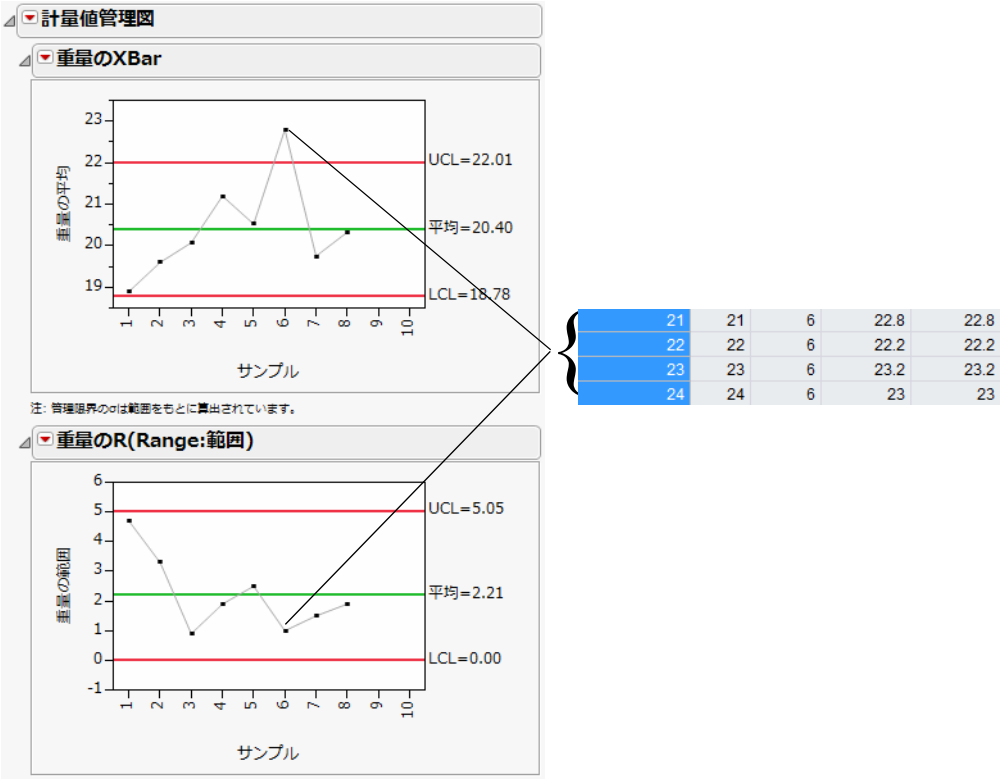
   ［**XBar**］と［**R(Range: 範囲)**］が選択されていることを確認します。

2. 「**重量**」を選択し、［**工程**］をクリックします。
3. 「**サンプル**」を選択し、［**標本ラベル**］をクリックします。
4. ［**OK**］をクリックします。

サンプル 6 は、工程が統計的管理状態にないことを示しています。標本の値を調べるには、どちらかの管理図上でサンプル 6 の点をクリックします。すると、対応する行がデータテーブル内で強調表示されます。

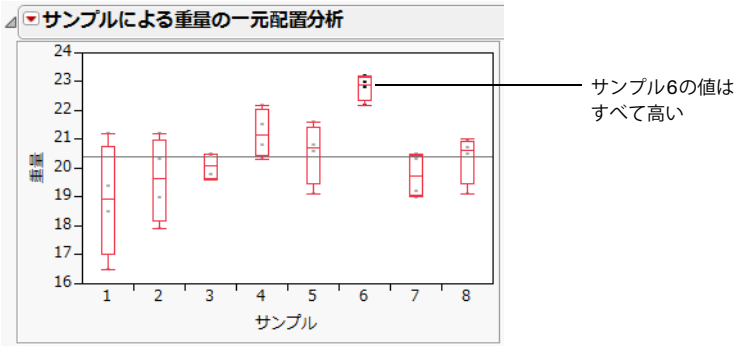
注： $\overline{X}$ 管理図と **S** 管理図を同時に選択した場合、$\overline{X}$ 管理図の限界値は標準偏差に基づいて計算されます。それ以外の場合は、$\overline{X}$ 管理図の限界値が範囲に基づいて計算されます。

図 4.17「Coating」データの計量値管理図



データを別の方法でグラフにするには、**「二変量の関係」**プラットフォームを使用します。まず、**「サンプル」**の尺度を名義尺度に変更します。連続尺度の**「重量」**を［**Y, 目的変数**］に設定し、名義尺度の変数**「サンプル」**を［**X, 説明変数**］に指定します。「一元配置分析」のドロップダウンメニューから［**分位点**］オプションを選択します。図 4.18 の箱ひげ図を見ると、標本 6 は値が大きく、範囲が狭いことがわかります。

図 4.18「二変量の関係」プラットフォームの「分位点」オプション



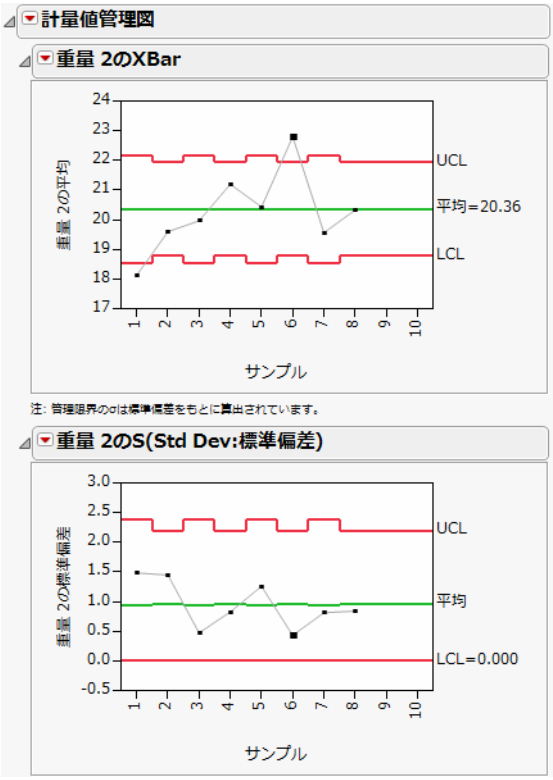
サブグループ標本のサイズが異なるときの $\overline{X}$ 管理図と S 管理図の例

次の例では、「Coating.jmp」データテーブルを使います。「**重量 2**」列を分析対象としたとき、工程の $\overline{X}$ 管理図と **S** 管理図は図 4.19 のようになります。

1. ［**分析**］>［**品質と工程**］>［**管理図**］>［**XBar**］を選択します。
2. 管理図の種類として［**XBar**］と［**S**］を選択します。
3. 「**重量 2**」を選択し、［**工程**］をクリックします。
4. 「**サンプル**」を選択し、［**標本ラベル**］をクリックします。

   「**標本サイズ**」のオプションが自動的に［**標本ラベルでグループ化した標本**］に変わります。
5. ［**OK**］をクリックします。

図 4.19 サブグループ標本のサイズが異なるときの $\overline{X}$ 管理図と S 管理図



データの「**重量 2**」列にはいくつか欠測値があるため、管理限界の値が一定ではありません。どのサンプルもオブザベーションの数は同じですが、サンプル 1、3、5、7 には欠測値が含まれています。

注：標本サイズが等しくない場合、［テスト］のオプションはグレー表示になります。［テスト］オプションまたは［ゾーンの表示］オプションが選択されている状態で、管理図が開いている間に標本が変更され、サイズが一定になった場合は、すぐにオプションが適用され、管理図上に表示されます。

個々の測定値と移動範囲の管理図（IR 管理図）の例

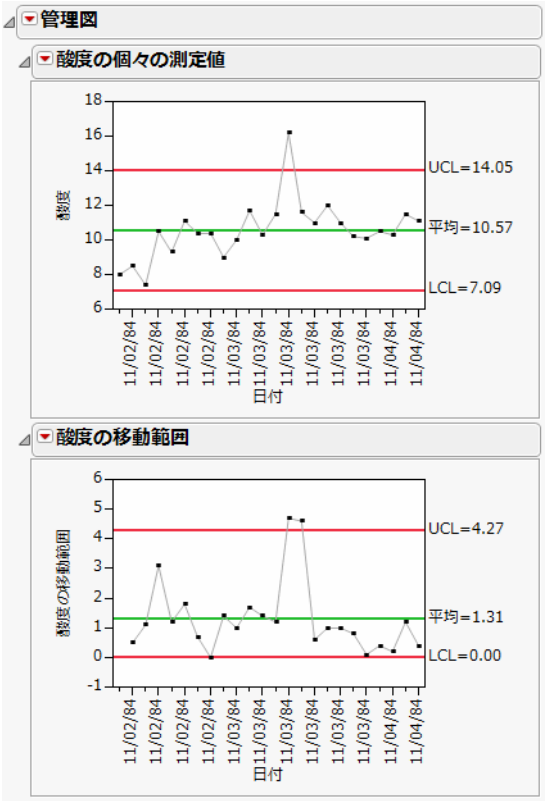
サンプルデータの「Quality Control」フォルダの「Pickles.jmp」データは、ピクルスのバットに含まれた酸度をまとめたものです。ピクルスは酸に敏感な上に大きなバットで製造されるため、酸度が高すぎるとバット全体が不良品になってしまいます。4 つのバット内の酸度を、毎日午後 1 時、2 時、3 時に計測し、日付、時刻、酸度の測定値をデータテーブルにまとめました。個々の測定値と移動範囲の管理図（IR 管理図）を作成し、横軸に日付のラベルを表示します。

1. ［**分析**］>［**品質と工程**］>［**管理図**］>［**IR**］を選択します。
2. 管理図の種類として［**個々の測定値**］と［**移動範囲 (平均)**］を選択します。
3. **「酸度」**を選択し、［**工程**］をクリックします。
4. **「日付」**を選択し、［**標本ラベル**］をクリックします。
5. ［**OK**］をクリックします。

図 4.20 にある個々の測定値と移動範囲の管理図では、各バット内の酸度が監視できます。

注：「メディアン移動範囲」管理図も評価できます。管理図の種類として「メディアン移動範囲」と「個々の測定値」を選択した場合、個々の測定値の管理図は、移動範囲の平均ではなく、その中央値（メディアン）をシグマの計算に使用します。

図 4.20「Pickles」データの個々の測定値および移動範囲の管理図



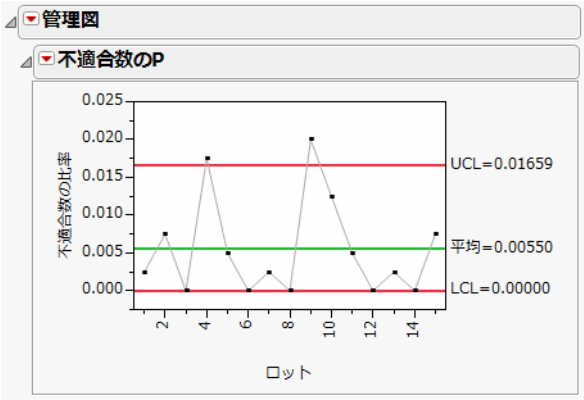
P 管理図の例

「Quality Control」フォルダ内の「Washers.jmp」データは、亜鉛メッキが施されたワッシャー 15 ロット、各 400 個のうちの不適合品の個数をまとめたものです。検査されたのは、亜鉛メッキが粗い、鉄鋼が露出している、などの仕上げの不良です。仕上げに不良のあるワッシャーは不適合品とみなされます。不適合品の度数は、400 個から成る各ロットに何個の不適合ワッシャーがあるかを示します。「Washers.jmp」データテーブルを使い、ここでは標本サイズを表す変数を指定します。これにより、異なる標本サイズの使用が可能になります。このデータの標本サイズは一定です。

1. ［**分析**］>［**品質と工程**］>［**管理図**］>［**P**］を選択します。
2. 「**不適合数**」を選択し、［**工程**］をクリックします。
3. 「**ロット**」を選択し、［**標本ラベル**］をクリックします。
4. 「**ロットサイズ**」を選択し、［**標本サイズ**］をクリックします。
5. ［**OK**］をクリックします。

図 4.21 は、不適合品の割合をプロットした **P** 管理図です。

図 4.21 P 管理図



点は図 4.22 の **NP** 管理図と同じですが、Y 軸、平均、および限界値は割合をもとに計算されるため、異なっています。

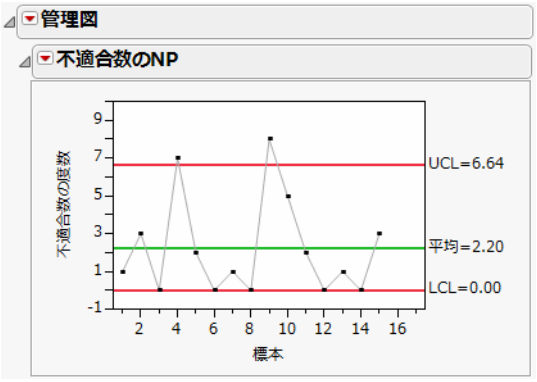
NP 管理図の例

次の例では、「Washers.jmp」データテーブルを使います。

- ［**分析**］ > ［**品質と工程**］ > ［**管理図**］ > ［**NP**］を選択します。
- 「**不適合数**」を選択し、［**工程**］をクリックします。
- 「**一定のサイズ**」を「400」に変更します。
- ［**OK**］をクリックします。

図 4.22 は、不適合品の個数をプロットした **NP** 管理図です。点 4 と 9 が、上側管理限界より上にあります。

図 4.22 NP 管理図



C 管理図の例

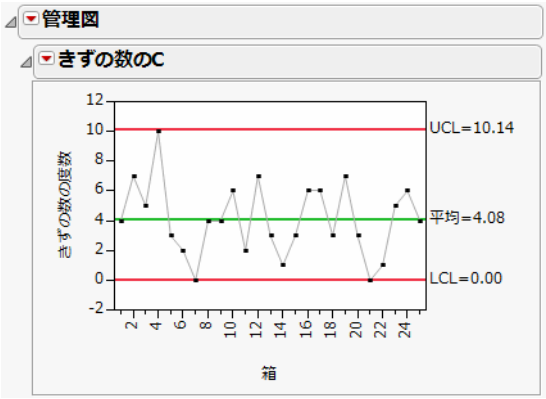
C 管理図は、サブグループ標本内における不適合数を監視するという点で U 管理図と似ています。C 管理図では、検査単位あたりの平均不適合数を監視することもできます。

注：C 管理図を作成する際に［**工程能力**］を選択すると、「一変量の分布」で Poisson 分布があてはめられ、Poisson 分布に基づく工程能力分析が行われます。

この例ではシャツの品質を取り上げましょう。あるアパレルメーカーは、シャツを 10 枚ずつ箱に詰めて出荷します。出荷の前に、シャツにきずがないかどうかが検査されます。シャツ 1 枚あたりのきずの平均数を調べるため、箱あたりのきずの数を 10 で割った値を記録しました。

1. サンプルデータの「Quality Control」フォルダにある「Shirts.jmp」データテーブルを開きます。
2. ［**分析**］> ［**品質と工程**］> ［**管理図**］> ［**C**］を選択します。
3. 「**きずの数**」を選択し、［**工程**］をクリックします。
4. 「**箱**」を選択し、［**標本ラベル**］をクリックします。
5. 「**1 箱の枚数**」を選択し、［**標本サイズ**］をクリックします。
6. ［**OK**］をクリックします。

図 4.23 C 管理図



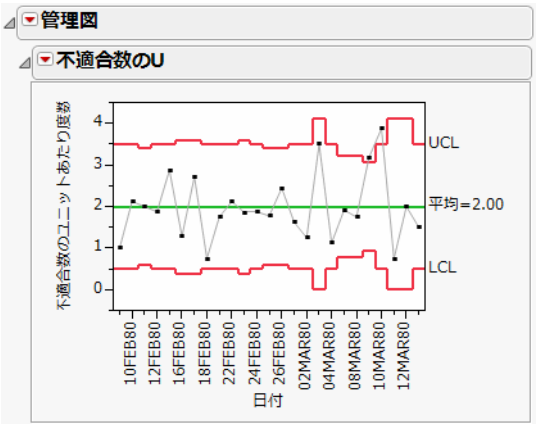
U 管理図の例

「Quality Control」フォルダ内の「Braces.jmp」データは、自動車を支える留め金具の各ケース内の不適合数を記録したものです。検査単位は 1 ケース分の留め金具です。ユニットサイズ（サブグループ標本のサイズ）は検査されるケースの数（1 日あたり）で、日によって異なります。図 4.24 のような U 管理図を作成すると、ユニットサイズあたりの留め金具の不適合数を監視することができます。上側管理限界と下側管理限界は、ユニットサイズ（検査単位の数）によって異なります。

注：U 管理図を作成する際に［**工程能力**］を選択すると、「一変量の分布」で Poisson 分布があてはめられ、Poisson 分布に基づく工程能力分析が行われます。［**工程能力**］を使用する場合は、ユニットサイズが一定でなければなりません。

1. サンプルデータの「Quality Control」フォルダにある「Braces.jmp」データテーブルを開きます。
2. ［**分析**］>［**品質と工程**］>［**管理図**］>［**U**］を選択します。
3. 「**不適合数**」を選択し、［**工程**］をクリックします。
4. 「**日付**」を選択し、［**標本ラベル**］をクリックします。
5. 「**ユニットサイズ**」を選択し、［**ユニットサイズ**］をクリックします。
6. ［**OK**］をクリックします。

図 4.24 U 管理図



UWMA 管理図の例

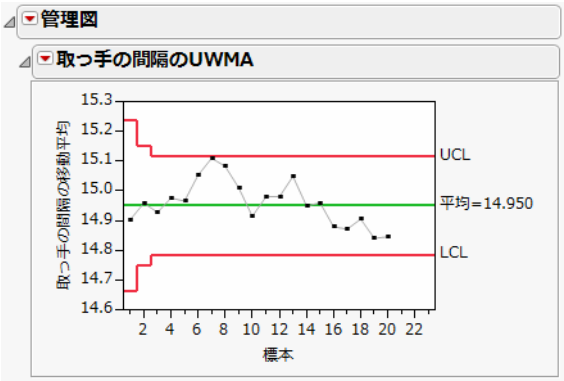
「Clips1.jmp」サンプルデータテーブルの分析対象は、製造された金属製クリップの取っ手の間隔です。工程における平均間隔の変化を監視するために、毎日 5 つのクリップを選んでサブグループとし、移動平均の範囲を 3 に設定して UWMA 管理図を作成します。

1. ［**分析**］>［**品質と工程**］>［**管理図**］>［**UWMA**］を選択します。
2. 「**取っ手の間隔**」を選択し、［**工程**］をクリックします。
3. 「**サンプル**」を選択し、［**標本ラベル**］をクリックします。
4. ［**移動平均の範囲**］を「3」に変更します。
5. ［**OK**］をクリックします。

この結果が、図 4.25 のグラフです。第 1 日の点は、最初のサブグループ標本、つまり第 1 日に取った 5 つの値の平均です。第 2 日の点は、第 1 日と第 2 日のサブグループ平均を合わせて計算した平均を表します。第 2 日以降の点は、その日と前 2 日間のサブグループ平均を合わせた平均です。

取っ手の間隔の平均値に減少傾向が見られますが、3σ管理限界の外まで落ち込んだ点はありません。

図 4.25「Clips1.jmp」データのUWMA管理図



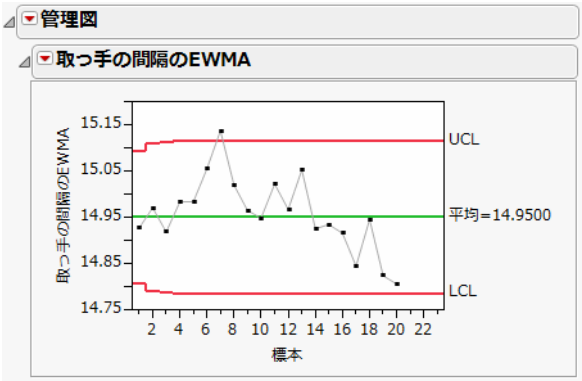
EWMA 管理図の例

次の例では、「Clips1.jmp」データテーブルを使います。

1. ［**分析**］>［**品質と工程**］>［**管理図**］>［**EWMA**］を選択します。
2. 「**取っ手の間隔**」を選択し、［**工程**］をクリックします。
3. 「**状態**」を選択し、［**標本ラベル**］をクリックします。
4. 「**重み**」を「0.5」に変更します。
5. ［**一定の標本サイズ**］は「5」をそのまま使います。
6. ［**OK**］をクリックします。

図 4.26 は、図 4.25 と同じデータの EWMA 管理図です。重みは 0.5 に設定してあります。

図 4.26 EWMA 管理図



予め集計管理図の例

次の例では、「Coating.jmp」データテーブルを使います。

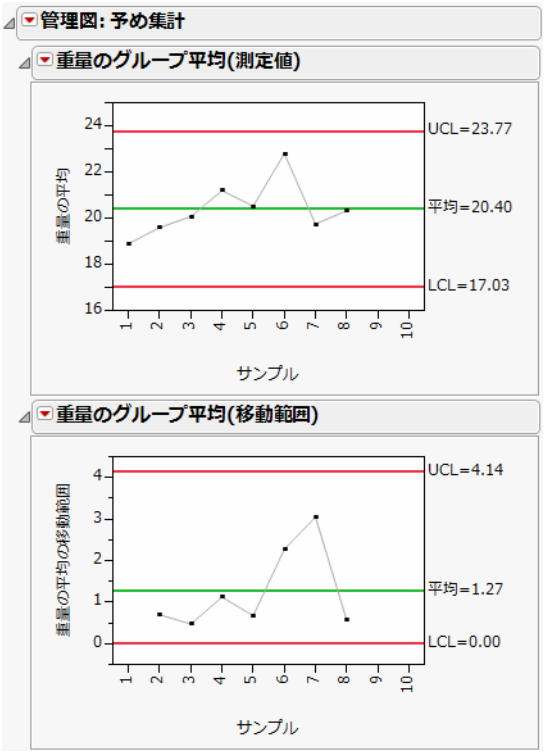
1. ［**分析**］>［**品質と工程**］>［**管理図**］>［**予め集計**］を選択します。
2. 「**重量**」を選択し、［**工程**］をクリックします。
3. 「**サンプル**」を選択し、［**標本ラベル**］をクリックします。
4. ［**グループ平均(測定値)**］と［**グループ平均(移動範囲)**］の両方を選択します。［**標本ラベル**］変数を指定した場合、自動的に［**標本ラベルでグループ化した標本**］が選択されます。

   予め集計管理図では、［**グループ平均**］の管理図と［**グループ標準偏差**］の管理図の一方、または両方を作成できます。そして、平均や標準偏差をもとに、個々の測定値（X 管理図）と移動範囲の管理図を作成することができます。

   ［**グループ平均**］に関するオプションは、各標本の平均を計算し、平均値をもとに個々の測定値管理図と移動範囲管理図を作成します。

   ［**グループ標準偏差**］に関するオプションは、各標本の標準偏差を計算し、標準偏差をもとに個々の測定値管理図と移動範囲管理図を作成します。
5. ［**OK**］をクリックします。

図 4.27 予め集計したデータの管理図の例



［グループ平均 (測定値)］および［グループ標準偏差 (測定値)］の予め集計して作成された管理図では、点はそれぞれ $\overline{X}$ 管理図と **S** 管理図と同じになりますが、限界値が異なります。予め集計した管理図の限界値は、集計したデータから計算されるためです。

引き続き「Coating.jmp」データテーブルを使い、予め集計した管理図を別の方法で作成してみましょう。

1. ［**テーブル**］>［**要約**］を選択します。
2. 「**サンプル**」を［**グループ化**］変数に、「**平均 (重量)**」と「**標準偏差 (重量)**」を［**統計量**］に指定します。
3. ［**OK**］をクリックします。
4. ［**分析**］>［**品質と工程**］>［**管理図**］>［**IR**］を選択します。
5. 「**平均 (重量)**」と「**標準偏差 (重量)**」を選択し、［**工程**］をクリックします。
6. ［**OK**］をクリックします。

作成される管理図は、予め集計した管理図と一致します。

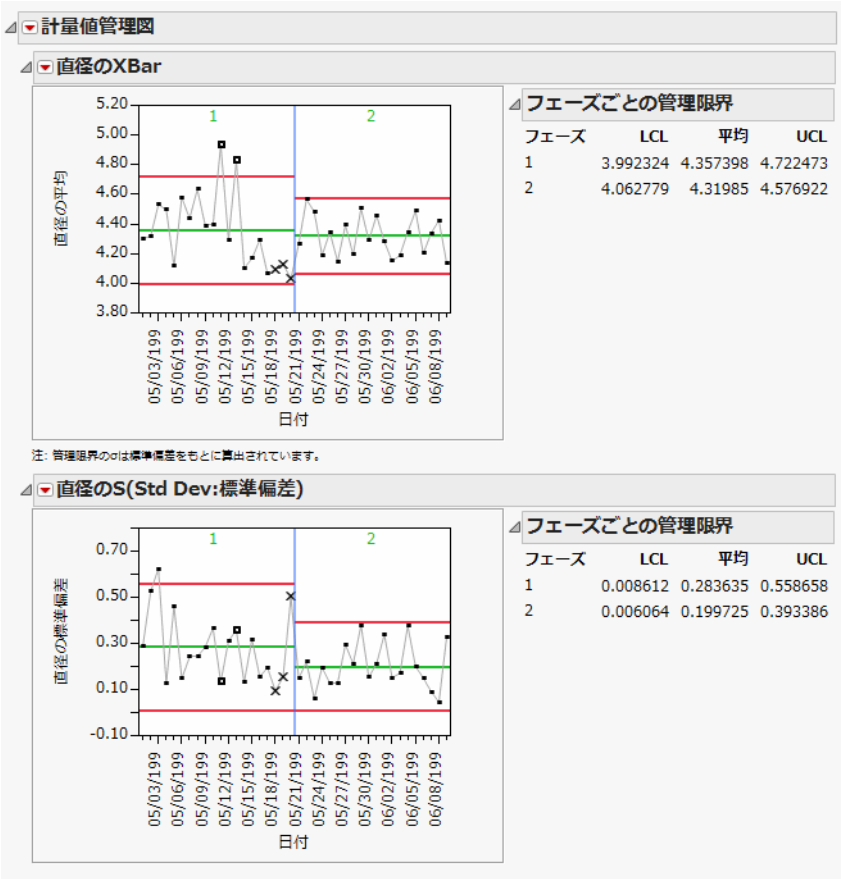
フェーズの例

サンプルデータの「Quality Control」フォルダにある「Diameter.jmp」を開きます。このデータテーブルには、最初のプロトタイプ（フェーズ 1）と 2 番目のプロトタイプ（フェーズ 2）で計測した直径が日付と共に記録されています。

- ［**分析**］>［**品質と工程**］>［**管理図**］>［**XBar**］を選択します。
- 「**直径**」を選択し、［**工程**］をクリックします。
- 「**日付**」を選択し、［**標本ラベル**］をクリックします。
- 「**フェーズ**」を選択し、［**フェーズ**］をクリックします。
- ［**S**］と［**XBar**］を選択します。
- ［**OK**］をクリックします。

作成された管理図を見ると、フェーズごとに異なる限界値が設定されています。

図 4.28 フェーズを指定した管理図



「管理図」プラットフォームの統計的詳細

以降では、「管理図」プラットフォームの統計的詳細を説明します。

$\overline{X}$ 管理図と R 管理図の管理限界

JMP では、$\overline{X}$ 管理図と R 管理図の管理限界が次のように計算されます。

$$\overline{X}\text{管理図の下側管理限界（LCL）}=\overline{X}_w-\frac{k\hat{\sigma}}{\sqrt{n_i}}$$

$\overline{X}$管理図の上側管理限界（UCL）$=\overline{X}_w+\frac{k\hat{\sigma}}{\sqrt{n_i}}$

R管理図の下側管理限界（LCL）$=\max(d_2(n_i)\hat{\sigma}-kd_3(n_i)\hat{\sigma},0)$

R管理図の上側管理限界（UCL）$=d_2(n_i)\hat{\sigma}+kd_3(n_i)\hat{\sigma}$

R管理図の中心線: 第iサブグループの中心線は、デフォルトでR_iの期待値の推定値を示し、$d_2(n_i)\hat{\sigma}$で計算されます。この式で、$\hat{\sigma}$はσの推定値です。kはσの乗数です。σとして既知の値（σ_0）を指定した場合、中心線は$d_2(n_i)\sigma_0$の値を示します。中心線の位置は、n_iによって変わります。

$\overline{X}$／**R**管理図の標準偏差は次の式で推定されます。

$$\hat{\sigma}=\frac{\frac{R_1}{d_2(n_1)}+\ldots+\frac{R_N}{d_2(n_N)}}{N}$$

ここで、

$\overline{X}_w$ = サブグループ平均の重み付き平均

σ = 工程標準偏差

n_i = i番目のサブグループの標本サイズ

$d_2(n)$は、母標準偏差が1であるn個の独立した正規分布に従う確率変数の範囲の期待値

$d_3(n)$は、母標準偏差が1であるn個の独立した正規分布に従う確率変数の範囲の標準誤差

Nは、$n_i\geq 2$であるサブグループの数

$\overline{X}$ 管理図と S 管理図の管理限界

JMPでは、$\overline{X}$管理図と**S**管理図の管理限界が次のように計算されます。

$\overline{X}$管理図の下側管理限界（LCL）$=\overline{X}_w-\frac{k\hat{\sigma}}{\sqrt{n_i}}$

$\overline{X}$管理図の上側管理限界（UCL）$=\overline{X}_w+\frac{k\hat{\sigma}}{\sqrt{n_i}}$

S管理図の下側管理限界（LCL）$= \max(c_4(n_i)\hat{\sigma} - kc_5(n_i)\hat{\sigma}, 0)$

S管理図の上側管理限界（UCL）$= c_4(n_i)\hat{\sigma} + kc_5(n_i)\hat{\sigma}$

S管理図の中心線: 第iサブグループの中心線は、デフォルトでs_iの期待値の推定値を示し、$c_4(n_i)\hat{\sigma}$で計算されます。この式で、$\hat{\sigma}$はσの推定値です。kはσの乗数です。σとして既知の値（σ_0）を指定した場合、中心線は$c_4(n_i)\sigma_0$の値を示します。中心線の位置は、n_iによって変わります。

$\overline{X}$／S管理図の標準偏差は次の式で推定されます。

$$\hat{\sigma} = \frac{\frac{s_1}{c_4(n_1)} + \ldots + \frac{s_N}{c_4(n_N)}}{N}$$

ここで、

$\overline{X}_w$ = サブグループ平均の重み付き平均

σ = 工程標準偏差

n_i = i番目のサブグループの標本サイズ

$c_4(n)$は、母標準偏差が1であるn個の独立した正規分布に従う確率変数の標準偏差の期待値

$c_5(n)$は、母標準偏差が1であるn個の独立した正規分布に従う確率変数の標準偏差の標準誤差

Nは、$n_i \geq 2$であるサブグループの数

s_iは、i番目のサブグループの標本の標準偏差

個々の測定値管理図、移動範囲管理図、メディアン移動範囲管理図の管理限界

個々の測定値管理図の下側管理限界（LCL）$= \overline{X} - k\hat{\sigma}$

個々の測定値管理図の上側管理限界（UCL）$= \overline{X} + k\hat{\sigma}$

移動範囲管理図の下側管理限界（LCL）$= \max(d_2(n)\hat{\sigma} - kd_3(n)\hat{\sigma}, 0)$

移動範囲管理図の上側管理限界（UCL）$= d_2(n)\hat{\sigma} + kd_3(n)\hat{\sigma}$

メディアン移動範囲管理図の下側管理限界（LCL）= max(0, MMR - (k* 標準偏差*$d_3(n)$))

メディアン移動範囲管理図の上側管理限界（UCL）= MMR + (k* 標準偏差*$d_3(n)$)

個々の測定値管理図と移動範囲管理図の標準偏差は次の式で推定されます。

$$\hat{\sigma} = \frac{\overline{MR}}{d_2(n)}$$

メディアン移動範囲管理図の標準偏差は次の式で推定されます。

Std Dev = MMR/$d_4(n)$

ここで、

$\overline{X}$ = 個々の測定値の平均

$\overline{MR}$ = $(MR_n+MR_{n+1}+...+MR_N)/N$ で算出した非欠測値の移動範囲の平均

σ = 工程標準偏差

k = 標準偏差の乗数

MMR = メディアン移動範囲管理図の中心線（平均）

$d_2(n)$ は、母標準偏差が 1 である n 個の独立した正規分布に従う確率変数の範囲の期待値

$d_3(n)$ は、母標準偏差が 1 である n 個の独立した正規分布に従う確率変数の範囲の標準誤差

$d_4(n)$ = 正規分布に従うサイズ n の標本の範囲の期待値

UWMA 管理図の管理限界

UWMA 管理図の管理限界は、次のように計算されます。各サブグループ i で

$$\mathrm{LCL}_i = \overline{X}_w - k\frac{\hat{\sigma}}{min(i,w)}\sqrt{\frac{1}{n_i}+\frac{1}{n_{i-1}}+\ldots+\frac{1}{n_{1+max(i-w,0)}}}$$

$$\mathrm{UCL}_i = \overline{X}_w + k\frac{\hat{\sigma}}{min(i,w)}\sqrt{\frac{1}{n_i}+\frac{1}{n_{i-1}}+\ldots+\frac{1}{n_{1+max(i-w,0)}}}$$

ここで、

w は、区間パラメータ（移動平均内の項数）

n_i は、i 番目のサブグループの標本サイズ

k は、標準偏差の乗数

$\overline{X}_w$ は、サブグループ平均の重み付き平均

$\hat{\sigma}$ は、工程標準偏差

EWMA 管理図の管理限界

EWMA 管理図の管理限界は、次のように計算されます。

$$\text{下側管理限界（LCL）}=\overline{X}_w - k\hat{\sigma}r\sqrt{\sum_{j=0}^{i-1}\frac{(1-r)^{2j}}{n_{i-j}}}$$

$$\text{上側管理限界（UCL）}=\overline{X}_w + k\hat{\sigma}r\sqrt{\sum_{j=0}^{i-1}\frac{(1-r)^{2j}}{n_{i-j}}}$$

ここで、

r は、指数加重移動平均における重みパラメータ（$0 < r \leq 1$）

x_{ij} は、i 番目のサブグループの j 番目の測定値（$j = 1$、2、3...n_i）

n_i は、i 番目のサブグループの標本サイズ

k は、標準偏差の乗数

$\overline{X}_w$ は、サブグループ平均の重み付き平均

$\hat{\sigma}$ は、工程標準偏差

P 管理図と NP 管理図の管理限界

下側管理限界（LCL）と上側管理限界（UCL）は、それぞれ次のように計算されます。

P 管理図の下側管理限界（LCL）$=\max(\bar{p} - k\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})/n_i}, 0)$

P 管理図の上側管理限界（UCL）$=\min(\bar{p} + k\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})/n_i}, 1)$

NP 管理図の下側管理限界（LCL）$=\max(n_i\bar{p} - k\sqrt{n_i\bar{p}(1-\bar{p})}, 0)$

NP 管理図の上側管理限界（UCL）$=\min(n_i\bar{p} + k\sqrt{n_i\bar{p}(1-\bar{p})}, n_i)$

ここで、

$\bar{p}$ は、全サブグループの不適合品率の平均

$$\bar{p} = \frac{n_1 p_1 + \ldots + n_N p_N}{n_1 + \ldots + n_n} = \frac{X_1 + \ldots + X_N}{n_1 + \ldots + n_N}$$

n_i は、i 番目のサブグループのアイテム数

k は、標準偏差の乗数

U 管理図の管理限界

下側管理限界（LCL）と上側管理限界（UCL）は、それぞれ次のように計算されます。

下側管理限界（LCL）$=\max(\bar{u} - k\sqrt{\bar{u}/n_i}, 0)$

上側管理限界（UCL）$=\bar{u} + k\sqrt{\bar{u}/n_i}$

限界値は、n_iに従って変化します。

uは、工程で生産されるユニットあたりの不適合数の期待値

u_iは、i番目のサブグループにおけるユニットあたりの不適合数。一般に、$u_i = c_i/n_i$

c_iは、i番目のサブグループにおける不適合数の合計

n_iは、i番目のサブグループの検査ユニット数

$\bar{u}$は、全サブグループのユニットあたり不適合数の平均。数量$\bar{u}$は、重み付き平均として計算される

$$\bar{u} = \frac{n_1 u_1 + \ldots + n_N u_N}{n_1 + \ldots + n_N} = \frac{c_1 + \ldots + c_N}{n_1 + \ldots + n_N}$$

Nは、サブグループの数

C 管理図の管理限界

下側管理限界（LCL）と上側管理限界（UCL）は、それぞれ次のように計算されます。

下側管理限界（LCL）$=\max(n_i\bar{u} - k\sqrt{n_i\bar{u}}, 0)$

上側管理限界（UCL）$=n_i\bar{u} + k\sqrt{n_i\bar{u}}$

限界値は、n_iに従って変化します。

uは、工程で生産されるユニットあたりの不適合数の期待値

u_iは、i番目のサブグループにおけるユニットあたりの不適合数。一般に、$u_i = c_i/n_i$

c_iは、i番目のサブグループにおける不適合数の合計

n_iは、i番目のサブグループの検査ユニット数

$\bar{u}$は、全サブグループのユニットあたり不適合数の平均。数量$\bar{u}$は、重み付き平均として計算される

$$\bar{u} = \frac{n_1 u_1 + \ldots + n_N u_N}{n_1 + \ldots + n_N} = \frac{c_1 + \ldots + c_N}{n_1 + \ldots + n_N}$$

Nは、サブグループの数

Levey-Jennings 管理図

Levey-Jennings法の管理図は、長期シグマに基づく工程平均と管理限界を示します。管理限界は、中央線から3*s*の位置にあります。

Levey-Jennings法の管理図の標準偏差（*s*）は、「一変量の分布」プラットフォームの標準偏差と同じ方法で計算されます。

$$s = \sqrt{\sum_{i=1}^{N} \frac{(y_i - \bar{y})^2}{N-1}}$$

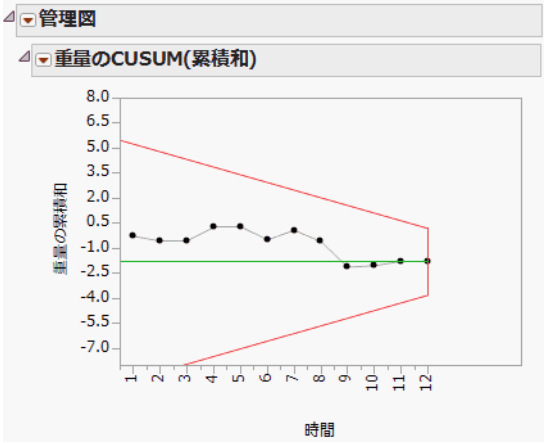
第 5 章

CUSUM（累積和）管理図

工程平均における小さなシフトを検出する

CUSUM（累積和）管理図は、サブグループの測定値または個々の測定値の、目標値からの累積和を表します。CUSUM 管理図は、工程平均における小さなシフトを検出し、工程が統計的管理状態にあるかどうかを判断するのに役立ちます。Shewhart 管理図は、工程のシフトが 2 ～ 3 シグマを超えている場合など、測定値の突発的で大きな変化を検出できますが、シフトが 1 シグマだけの場合など、小さな変化を検出しにくいという短所があります。

図 5.1 CUSUM 管理図の例



目次

CUSUM 管理図の概要 107
CUSUM 管理図の例 107
「CUSUM(累積和) 管理図」プラットフォームの起動 109
CUSUM（累積和）管理図 111
両側 CUSUM（累積和）管理図の解釈 112
片側 CUSUM（累積和）管理図の解釈 113
「CUSUM(累積和)」管理図プラットフォームのオプション 113
片側 CUSUM（累積和）管理図の例 114
CUSUM（累積和）管理図の統計的詳細 115
片側 CUSUM（累積和）管理図 116
両側 CUSUM（累積和）管理図 117

CUSUM 管理図の概要

CUSUM（累積和）管理図は、サブグループの測定値または個々の測定値の、目標値からの累積和を表します。CUSUM 管理図は、工程平均における小さなシフトを検出し、工程が統計的管理状態にあるかどうかを判断するのに役立ちます。Shewhart 管理図は、工程のシフトが 2 ～ 3 シグマを超えている場合など、測定値の突発的で大きな変化を検出できますが、シフトが 1 シグマだけの場合など、小さな変化を検出しにくいという短所があります。

CUSUM 管理図の例

このデータの検査対象は、2 サイクルエンジンのオイル用添加剤を 8 オンスずつ缶に充填する機械で、充填の工程は統計的に見て管理内の状態にあると考えられています。工程は、充填された缶の平均重量（μ_0）が 8.10 オンスになるように調整されています。前回の分析から、充填重量の標準偏差（σ_0）が 0.05 オンスであることがわかっています。

サブグループとして 4 缶を標本抽出し、重量を計測する作業を、1 時間に 1 回、12 時間にわたって行いました。「Oil1 Cusum.jmp」データテーブルの各オブザベーションは、「重量」の値と、それが測定された「時間」の値から成ります。オブザベーションは、「時間」の値が昇順になるように並べられています。

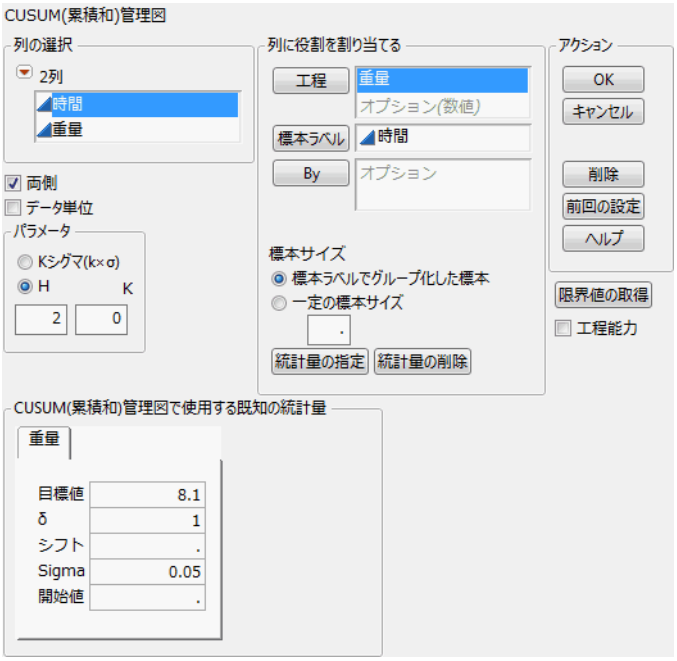
1. 「Quality Control」フォルダに入っている「Oil1 Cusum.jmp」サンプルデータテーブルを開きます。
2. ［**分析**］>［**品質と工程**］>［**管理図**］>［**CUSUM(累積和)**］を選択します。
3. 「**重量**」を選択し、［**工程**］をクリックします。
4. 「**時間**」を選択し、［**標本ラベル**］をクリックします。
5. ［**両側**］チェックボックスにマークをつけます。
6. 「パラメータ」領域で［**H**］ボタンをクリックして「2」と入力します。
7. ［**統計量の指定**］をクリックします。
8. 「**目標値**」として「8.1」を入力します。

   8.1 は充填後の缶の平均重量（オンス）で、これを目標値とします。
9. 「δ」に「1」を入力します。

   1 は、検出したい最小のシフトの絶対値です。標準偏差または標準誤差の乗数で指定します。
10. 「**Sigma**」として「0.05」を入力します。

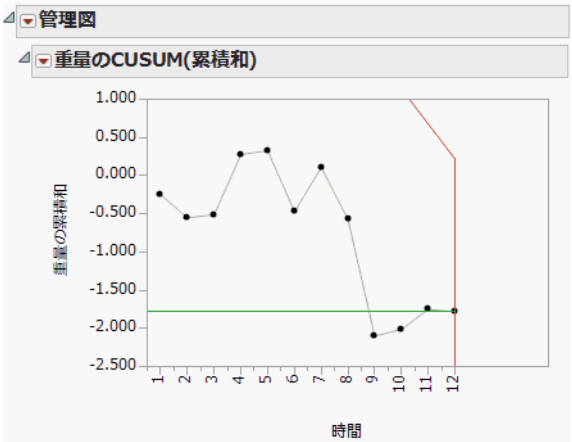
    0.05 は、すでに判明している充填重量（オンス）の標準偏差（σ_0）です。

図 5.2 設定後の起動ウィンドウ



11. ［OK］をクリックします。

図 5.3「Oil1 Cusum.jmp」データの両側 CUSUM（累積和）管理図

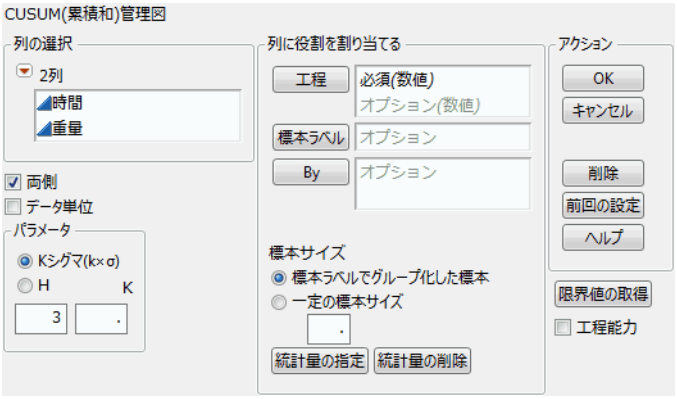


最も新しい点（時間=12）から広がっている V マスクと点を比較することで、チャートを解釈することができます。V マスクからはみ出ている点がないので、工程にシフトが生じた証拠はないと言うことができます。「両側 CUSUM（累積和）管理図の解釈」（112 ページ）を参照してください。

「CUSUM(累積和) 管理図」プラットフォームの起動

「CUSUM(累積和) 管理図」プラットフォームを起動するには、［**分析**］>［**品質と工程**］>［**管理図**］>［**CUSUM(累積和)**］を選択します。

図 5.4「CUSUM(累積和) 管理図」起動ウィンドウ



工程　管理図に表示する変数を指定します。計量値管理図の場合は、測定値を指定します。計数値管理図の場合は、不適合品数、不適合率、もしくは不適合数を指定します。0～1の範囲に収まる非整数値が含まれる場合以外は、度数とみなされます。

注：データテーブルの行は、管理図に表示する順序で並べ替えておく必要があります。［標本ラベル］変数が指定されている場合でも、データは適切に並べ替えておかなければなりません。

標本ラベル　横軸のラベルにする変数を指定すれば、サイズの異なるサブグループを作成することができます。変数を指定しなかった場合、サブグループ標本に対する通し番号が横軸のラベルになります。「統計管理図」の章の「標本ラベル」（70 ページ）を参照してください。

By　指定した列の水準ごとにレポートが作成されます。

両側　このオプションを選択すると、両側 CUSUM 管理図が作成され、選択しない場合は V マスクのない片側 CUSUM 管理図になります。［H］の値を指定すると、決定間隔が表示されます。

データ単位　このオプションを選択すると、サブグループ平均や個々の測定値を標準化しないで累積和が計算され、CUSUM 管理図の縦軸がデータと同じ単位でスケールされます。

注：「データ単位」を選択する場合は、サブグループの標本サイズが一定でなければなりません。

K シグマ (k×σ)　各標本における標準誤差の乗数として管理限界を設定します。［H］の下に表示されるボックスに K シグマの値を入力します。期待値より標準誤差の k 倍だけ大きい値および小さい値が管理限界になります。「統計管理図」の章の「K シグマ (kxσ)」（73 ページ）を参照してください。

H 両側CUSUM管理図の場合に、Vマスクの原点とVマスクの上下の線との垂直距離（h）を指します（図5.6を参照）。片側CUSUM管理図の場合、Hは決定間隔になります。「H」には、標準誤差の何倍にするかを入力します。

K 参照値（k）として、ゼロより大きい値を指定します。

標本ラベルでグループ化した標本 各標本を識別する値を含む列を指定します。「統計管理図」の章の「標本ラベル」（70ページ）を参照してください。

一定の標本サイズ 標本のサブグループのサイズが等しいときは、このオプションを選択します。「統計管理図」の章の「標本ラベル」（70ページ）を参照してください。

統計量の指定 「CUSUM(累積和)管理図で使用する既知の統計量」領域で、工程変数に関する次の値を指定します。

– **「目標値」**には、工程または母集団の目標値を指定します。指定する値は、データと同じ単位でスケールされていなければなりません。

– **「δ」**は、検出したい最小のシフトの絶対値です。標準偏差または標準誤差の乗数で指定します。「δ」は「シフト」オプション（この後すぐ説明があります）の代わりということができます。「シフト」と「δ」の関係は、次のような式で表されます。

$$\delta = \frac{\Delta}{(\sigma/(\sqrt{n}))}$$

ここで、δはδ、Δはシフト、σは工程標準偏差、nは（共通の）サブグループ標本サイズです。

– **「シフト」**には、目標値からの上または下へのシフトとして検出したい最小値を指定します。シフトの値はデータと同じ単位で入力し、それをサブグループ平均から計算される平均におけるシフトとみなします。「シフト」と「δ」のどちらかを選択します。

– **「Sigma」**には、工程標準偏差（σ）として既知の標準偏差（σ_0）を指定します。デフォルトでは、データからSigmaの推定値が自動的に計算されます。

– **「開始値」**には、片側CUSUM管理図の場合に、累積和S_0の初期値を指定します（S_0は、通常は0です）。標準誤差の何倍にするかを入力します。

統計量の削除 「CUSUM(累積和)管理図で使用する既知の統計量」領域に指定されている値をすべて削除します。

限界値の取得 JMPデータテーブルに保存されている既知の管理限界値を使用できます。「統計管理図」の章の「限界値の保存と取得」（81ページ）を参照してください。

工程能力 工程が特定の仕様限界に適合しているかどうかを測定します。起動ウィンドウで［**OK**］をクリックしたときに、仕様限界や目標値が列プロパティとして定義されていない場合は、これらを入力するウィンドウが表示されます。『基本的な統計分析』を参照してください。

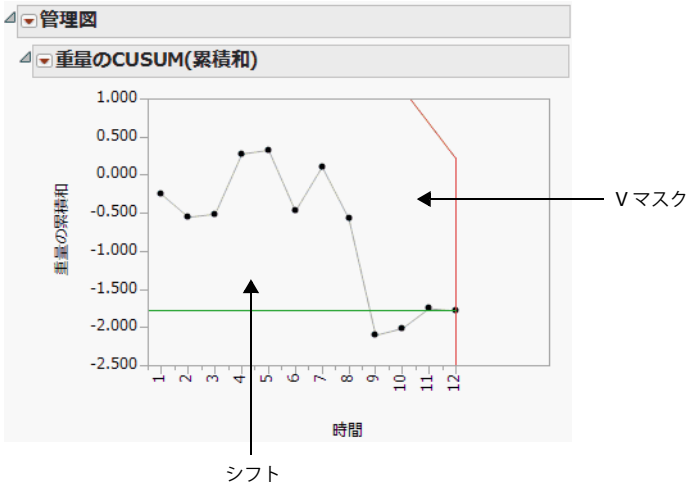
起動ウィンドウの詳細については、『JMPの使用法』を参照してください。

CUSUM（累積和）管理図

CUSUM（累積和）管理図には、特定の基準平均から一方向へのシフトを検出する片側のものと、両方向のシフトを検出する両側のものがあります。

図 5.5 は、「CUSUM 管理図の例」（107 ページ）の手順に従って作成したものです。

図 5.5 両側 CUSUM（累積和）管理図の例



次の点を念頭に置いてください。

- 手のひらツールで点をクリックすると、シフトと V マスクは、その時点のものになります。
- 既存の CUSUM 管理図のデータテーブルに新しいデータが追加された場合は、管理図が自動的に更新されます。

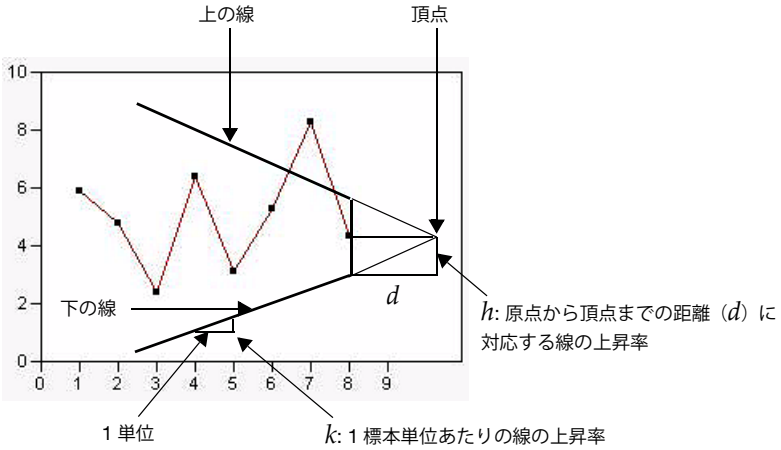
その他のオプションについては、「「CUSUM(累積和)」管理図プラットフォームのオプション」（113 ページ）を参照してください。

両側CUSUM（累積和）管理図の解釈

注：「CUSUM管理図の例」（107ページ）も参照してください。

両側CUSUM管理図を解釈するには、点を、Vマスクとして表示された限界値と比較します。Vマスクは、V字を横に寝かせた形で、累積和のグラフの上に重ねて表示されます。限界値がV字形で表されたものです。最も新しくプロットされた点を原点として、そこから X 軸上を戻るように線が引かれます（図5.6）。データが回収されるにつれて一連の累積和が更新され、原点が新しい点に移動します。

図5.6 両側CUSUM（累積和）管理図のVマスク



平均がシフトすると、CUSUM管理図上では点の傾きが変化するので、平均がシフトしたことがすぐにわかります。傾きが変化している点がシフトの生じた点です。前にプロットされた点の中にVマスクの上下にはみ出ているものがあるときは、工程が**管理外**であると判断できます。下の線から点がはみ出ている場合は、平均が上昇していることを示し、上の線から点がはみ出ている場合は、平均が下降していることを示します。

CUSUM管理図とShewhart管理図の間には、大きな違いがいくつかあります。

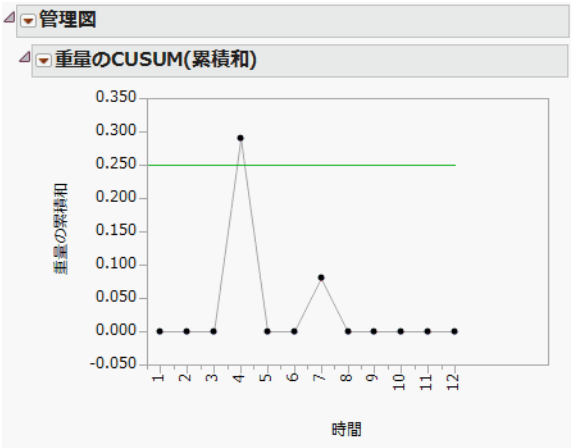
- 通常の管理図では、点が、そのサブグループ内の情報だけに基づいてプロットされます。CUSUM管理図の点には、以前に取ったすべてのサブグループ（現在のものも含む）の値が影響しています。
- 通常の管理図では、管理外であることを示す点があるかどうかを判断するのに、水平な管理限界の線を基準にします。CUSUM管理図では、管理限界として、Vマスクと水平な決定間隔のどちらかを選択することができます。
- 通常の管理図では、管理限界として 3σ の値を設定するのが標準的です。CUSUM 管理図の管理限界は、平均連長（average run length）、誤りの確率（error probability）、または経済性から決定されます。

CUSUM管理図は、工程平均における小さなシフトを検出する際により効果的です。Vマスクでは、1σのシフトを通常の管理図に比べて4倍の速度で検出できると言われています（Lucas 1976）。

片側CUSUM（累積和）管理図の解釈

データが目標値に近づいているか、あるいは超えているかを、目標値の片側だけで調べるには、片側CUSUM（累積和）管理図を作成します。

図5.7 片側CUSUM（累積和）管理図の例



起動ウィンドウで指定したHの値の位置に**決定間隔**（水平の線）が表示されます。この例では、0.25が決定間隔です。決定間隔（0.25）を超える値は、工程にシフトが生じたか、工程が管理外の状態であることを示唆します。この例では、オブザベーション4でシフトが生じていると判断できます。片側CUSUM管理図にはVマスクは表示されません。

「CUSUM(累積和)」管理図プラットフォームのオプション

「管理図」の横の赤い三角ボタンのメニューに表示されるオプションについては、「統計管理図」の章の「ウィンドウオプション」（76ページ）を参照してください。「CUSUM(累積和)」の赤い三角ボタンをクリックすると、次のオプションが表示されます。

点の表示　データ点の表示／非表示を切り替えます。

点をつなぐ　データ点をつなぐ線を表示します。

マスクの色　（［Vマスクの表示］が選択されている場合にのみ適用）Vマスクの線の色を選択できます。

線の色　（［点をつなぐ］が選択されている場合にのみ適用）点をつなぐ線の色を選択できます。

中心線の色　（［シフトの表示］が選択されている場合にのみ適用）中心線の色を選択できます。

シフトの表示　起動ウィンドウで入力したシフトの表示／非表示を切り替えます。

Vマスクの表示　Vマスクの表示／非表示を切り替えます。Vマスクは、CUSUM管理図の起動ウィンドウで指定された統計量をもとに計算されます。

パラメータの表示　CUSUM管理図のパラメータを要約したレポートの表示／非表示を切り替えます。

ARLの表示　平均連長（ARL：Average Run Length）の表示／非表示を切り替えます。平均連長とは、管理外の状況になるまでのサブグループ数の期待値です。

- ARL（δ）は、指定したδの大きさに相当するシフトを検出するのに必要な平均連長を指します。ARL（δ）はARL1ともいいます。
- ARL（0）は、指定したパラメータで工程が管理状態にある平均連長を指します。ARL（0）はARL0ともいいます（Montgomery 2001）。

片側CUSUM（累積和）管理図の例

「CUSUM管理図の例」（107ページ）で使用したエンジンオイルのデータをもう一度見てみましょう。生産者にとってはコストが重要なので、過少な充填はさほど問題になりませんが、過剰充填は回避する必要があります。そこで、CUSUM（累積和）管理図を作成し、過剰充填が生じていないかを調べます。平均値（8.1オンス）との差は0.25オンスまで許容されます。

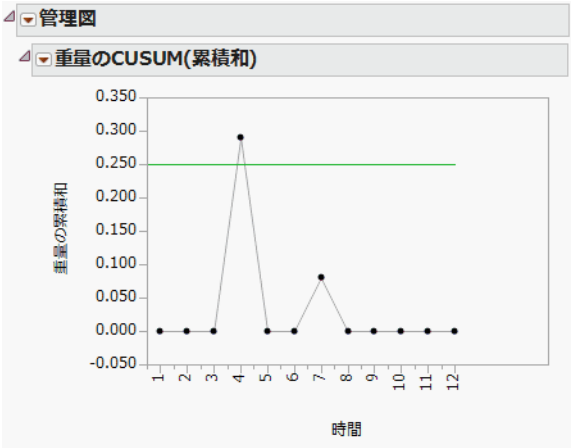
1. 「Quality Control」フォルダに入っている「Oil1 Cusum.jmp」サンプルデータテーブルを開きます。
2. ［**分析**］>［**品質と工程**］>［**管理図**］>［**CUSUM(累積和)**］を選択します。
3. ［**両側**］の選択を解除します。
4. 「**重量**」を選択し、［**工程**］をクリックします。
5. 「**時間**」を選択し、［**標本ラベル**］をクリックします。
6. ［**H**］をクリックし、「0.25」と入力します。
7. ［**統計量の指定**］をクリックします。
8. 「**目標値**」として「8.1」を入力します。

   8.1は充填後の缶の平均重量（オンス）で、これを目標値とします。
9. 「**δ**」に「1」を入力します。

   1は、検出したい最小のシフトの絶対値です。標準偏差または標準誤差の乗数で指定します。
10. 「**Sigma**」として「0.05」を入力します。

    0.05は、すでに判明している充填重量（オンス）の標準偏差（σ_0）です。
11. ［**OK**］をクリックします。

図 5.8「Oil1 Cusum.jmp」データの片側 CUSUM（累積和）管理図



入力した H 値（0.25）の位置に決定間隔が表示されています。「時間」の 4 の位置で過剰充填が生じていることがわかります。

CUSUM（累積和）管理図の統計的詳細

計算式は、次の記号を使って表します。

- μ は、母集団の平均を表します。工程平均や工程水準とも呼ばれます。
- μ_0 は、母集団の平均の目標値を表します。μ_0 を $\overline{X}_0$ という記号で表すこともあります。American Society for Quality Statistics Division（2004）を参照してください。起動ウィンドウの「CUSUM(累積和) 管理図で使用する既知の統計量」領域の「目標値」で μ_0 を指定できます。
- σ は、母集団の標準偏差を表します。$\hat{\sigma}$ は、σ の推定値を表します。
- σ_0 は、既知の標準偏差を表します。起動ウィンドウの「CUSUM(累積和) 管理図で使用する既知の統計量」領域の「Sigma」で σ_o を指定できます。
- n は、CUSUM 管理図における各サブグループの標本サイズを表します。
- δ は、検出する μ のシフトを表し、標準偏差の乗数として表したものです。起動ウィンドウの「CUSUM(累積和) 管理図で使用する既知の統計量」領域の「δ」で δ0 を指定できます。
- Δ は、検出する μ のシフトを表し、データ単位として表したものです。標本サイズ n がサブグループ間で一定の場合は、次式が成り立ちます。

  $$\Delta = \delta\sigma_{\overline{X}} = (\delta\sigma)/\sqrt{n}$$

  起動ウィンドウの「CUSUM(累積和) 管理図で使用する既知の統計量」領域の「シフト」で Δ を指定できます。

注：統計学者によっては、ΔをDと表記する場合があります。

片側CUSUM（累積和）管理図

正のシフト

正のシフトδを検出したいときには、次の計算式に基づき、t番目のサブグループの累積和を計算します。

$$S_t = \max(0, S_{t-1} + (z_t - k))$$

（$t = 1, 2, \ldots, n$ の場合）。$S_0 = 0$ です。また、z_t は両側CUSUM 管理図の時と同じように定義され、パラメータ k（**参照値**）は正の値です。CUSUMの S_t は、**上側累積和**といいます。S_t は、次のように計算できます。

$$\max\left(0, S_{t-1} + \frac{\overline{X}_i - (\mu_0 + k\sigma_{\overline{X}_i})}{\sigma_{\overline{X}_i}}\right)$$

このため、数列 S_t は、μ_0 から標準偏差の k 倍よりも大きいサブグループの偏差を累積します。S_t が正の値 h（**決定間隔**）を超えると、工程にシフトが生じたか、工程が管理外であると判断できます。

負のシフト

負のシフトを検出したいときには、次の計算式に基づき、t 番目のサブグループの累積和を計算します。

$$S_t = \max(0, S_{t-1} - (z_t + k))$$

（$t = 1, 2, \ldots, n$ の場合）。$S_0 = 0$ です。また、z_t は両側CUSUM 管理図の時と同じように定義され、パラメータ k（**参照値**）は正の値です。CUSUMの S_t は、**下側累積和**といいます。S_t は、次のように計算できます。

$$\max\left(0, S_{t-1} - \frac{\overline{X}_i - (\mu_0 - k\sigma_{\overline{X}_i})}{\sigma_{\overline{X}_i}}\right)$$

このため、数列 S_t は、μ_0 から標準誤差の k 倍よりも小さいサブグループの偏差の絶対値を累積します。S_t が正の値 h（**決定間隔**）を超えると、工程にシフトが生じたか、工程が管理外であると判断できます。

S_t と h はともに、δが正であるか負であるかに関係なく、常に正の値です。一部の統計学者が定義した負のシフトを検出するための管理図では、S_t が負の限界を下回った場合にシフトが発生したことを表します。

Lucas and Crosier（1982）は、高速初期応答（FIR: Fast Initial Response）について述べています。そこでは、累積和の初期値 S_0 に開始値を設定することが述べられています。平均連長の計算を見ると、工程が管理された状態にあるときはFIRを使用してもほとんど効果がありませんが、その初期段階で管理外の状態になっている場合には、標準のCUSUM 管理図よりも早く検出することができます。起動ウィンドウの「CUSUM(累積和)管理図で使用する既知の統計量」領域の「開始値」で開始値を指定できます。

一定の標本サイズ

サブグループの標本サイズが一定（$= n$）の場合は、累積和がデータと同じ単位でスケールされている方がよい場合があります。$\delta>0$ の場合には、データと同じ単位でスケールされている累積和は、次のように計算されます。

$$S_t = \max(0, S_{t-1} + (\overline{X}_i - (\mu_0 + k\sigma/\sqrt{n})))$$

$\delta < 0$ の場合、式は次のようになります。

$$S_t = \max(0, S_{t-1} - (\overline{X}_i - (\mu_0 - k\sigma/\sqrt{n})))$$

いずれの場合も、S_t が $h' = h\sigma/\sqrt{n}$ を超えた場合にシフトが発生したことを表します。統計学者によっては、h' を H と表記する場合があります。

両側 CUSUM（累積和）管理図

両側 CUSUM 管理図の場合は、t 番目のサブグループに次の累積和 S_t がプロットされます。

$$S_t = S_{t-1} + z_t$$

（$t = 1, 2, \ldots, n$ の場合）。ここで、$S_0=0$ であり、z_t の項は次のように計算します。

$$z_t = (\overline{X}_t - \mu_0)/(\sigma/\sqrt{n_t})$$

ここで、$\overline{X}_t$ は t 番目のサブグループの平均を示し、n_t は t 番目のサブグループの標本サイズを示します。サブグループの標本が個々の測定値 x_t から成る場合は、z_t の項は次のように単純化されます。

$$z_t = (x_t - \mu_0)/\sigma$$

最初の式は、次のように書き換えられます。

$$S_t = \sum_{i=1}^{t} z_i = \sum_{i=1}^{t} (\overline{X}_i - \mu_0)/\sigma_{\overline{X}_i}$$

数列 S_t は、目標平均 μ_0 からのサブグループ平均の偏差を標準化したものを累積します。

実際の場面では、サブグループの標本サイズ n_i は等しく（$n_i = n$）、その場合、S_t の式は次のように単純化できます。

$$S_t = (1/\sigma_{\overline{X}}) \sum_{i=1}^{t} (\overline{X}_i - \mu_0) = (\sqrt{n}/\sigma) \sum_{i=1}^{t} (\overline{X}_i - \mu_0)$$

また、用途によっては、S_t を次のように計算する方がよい場合があります。

$$S_t = \sum_{i=1}^{t} (\overline{X}_i - \mu_0)$$

これは、データと同じ単位でスケールされます。この場合、V マスクのパラメータ h と k は、それぞれ $h' = h\sigma/\sqrt{n}$ と $k' = k\sigma/\sqrt{n}$ にスケールが変更されます。統計学者によっては、k' を F、h' を H と表記する場合があります。

工程が管理された状態にあり、平均 μ が目標値 μ_0 に達したかそれに近い値である場合は、μ_0 からの正と負のずれが相殺されるため、プロットした点に傾きが現れません。μ が正の方向にシフトすると上向きの傾きが現れ、μ が負の方向にシフトすると下向きの傾きが現れます。

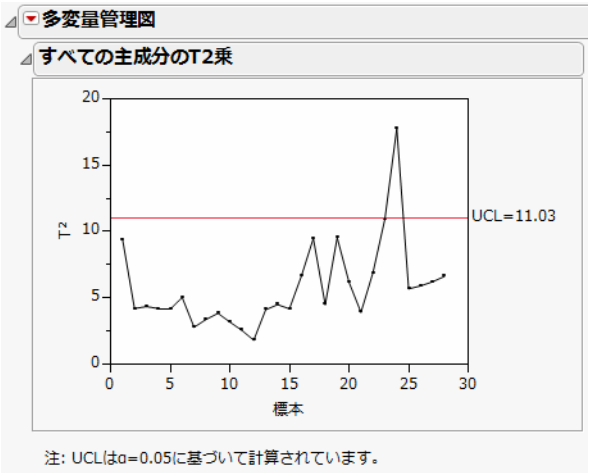
第 6 章

多変量管理図

工程に関する複数の特性を同時に監視する

一変量の管理図は、工程における１つの特性に着目するのに対し、多変量管理図では複数の特性を同時に監視できます。各変数を個別の管理図にすることもできますが、これらの変数に相関関係がある場合は、多変量管理図を使用して工程の管理状態を判断する必要があります。多変量管理図では、工程平均におけるシフトを検出したり、複数の変数間の関係を調べたりすることができます。

図 6.1 多変量管理図の例



目次

多変量管理図の概要 121

多変量管理図の例 121

「多変量管理図」プラットフォームの起動 124

多変量管理図. 124

「多変量管理図」プラットフォームのオプション 126

T2 乗の分割 127

変化点の検出 127

主成分分析 128

多変量管理図のその他の例 128

サブグループ化したデータを使用した工程監視の例. 128

変化点の検出の例. 131

多変量管理図の統計的詳細 132

個々のデータの統計的詳細 132

サブグループ化されたデータの統計的詳細 133

加算性の統計的詳細. 134

変化点の検出の統計的詳細 134

多変量管理図の概要

一変量の管理図は、工程における1つの特性に着目するのに対し、多変量管理図では複数の特性を同時に監視できます。各変数を個別の管理図にすることもできますが、これらの変数に相関関係がある場合は、多変量管理図を使用して工程の管理状態を判断する必要があります。多変量管理図では、工程平均におけるシフトを検出したり、複数の変数間の関係を調べたりすることができます。

個々の測定値またはサブグループに分けた測定値の多変量管理図を作成する際は、まず、工程能力が安定している期間を見極めます。そのうえで、JMPを使用して次の作業を進めます。

1. 管理図を作成し、上記で確認した期間中に工程が安定状態を維持しているかどうかを確認します。
2. このデータの目標統計量を保存します。
3. 保存した目標統計量を基準として、管理図を使用して実際の工程を監視します。

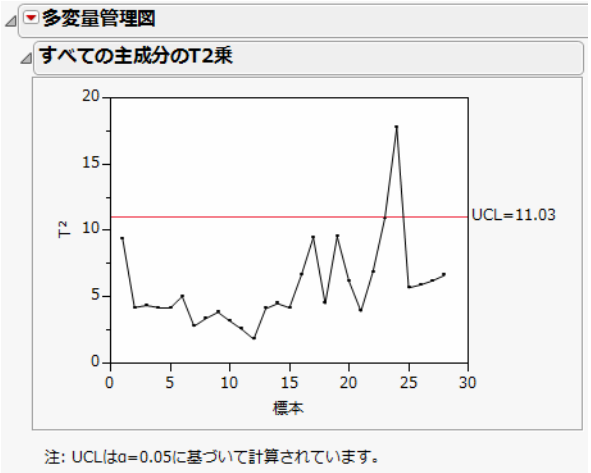
多変量管理図の例

次の例では、サブグループ化されていないデータの管理図を作成します。蒸気タービンエンジンに関する測定データを使用します。サブグループ化されたデータを使用する例については、「サブグループ化したデータを使用した工程監視の例」（128ページ）を参照してください。

手順 1: 工程が安定状態かどうかを判断する

1. 「Quality Control」フォルダに入っている「Steam Turbine Historical.jmp」サンプルデータテーブルを開きます。
2. ［**分析**］>［**品質と工程**］>［**管理図**］>［**多変量管理図**］を選択します。
3. すべての列を選択し、［**Y, 列**］をクリックします。
4. ［**OK**］をクリックします。

図 6.2 最初の多変量管理図



管理外の点が1つしかないので、この工程は統計的管理状態にあると判断して妥当でしょう。そこで、このデータに基づいて目標値を設定します。

手順 2: 目標統計量を保存する

1. 赤い三角ボタンのメニューから［**目標統計量の保存**］を選択します。

   すると、工程の目標統計量を保存した新しいデータテーブルが作成されます。

図 6.3 蒸気タービンのデータの目標統計量

	Ref_Stats	燃料	蒸気量	蒸気温度	メガワット	冷却温度	圧力
1	_SampleSize	28	28	28	28	28	28
2	_NumSample	1	1	1	1	1	1
3	_Mean	237595.78571	179015.78571	846.39285714	20.647142857	53.871428571	29.139285714
4	_Std	7247.6859825	4374.3063819	2.9481857034	0.5341650261	0.2088010623	0.0497347461
5	_Corr_燃料	1	0.8714382899	-0.549875041	0.8558570808	-0.270049819	-0.469928462
6	_Corr_蒸気量	0.8714382899	1	-0.629023927	0.9852529223	-0.223127002	-0.533056185
7	_Corr_蒸気温度	-0.549875041	-0.629023927	1	-0.595214609	0.2475387217	0.2192147319
8	_Corr_メガワット	0.8558570808	0.9852529223	-0.595214609	1	-0.207305813	-0.50447312
9	_Corr_冷却温度	-0.270049819	-0.223127002	0.2475387217	-0.207305813	1	0.3617461646
10	_Corr_圧力	-0.469928462	-0.533056185	0.2192147319	-0.50447312	0.3617461646	1

2. この新しいデータテーブルを「Steam Turbine Targets.jmp」という名前で保存します。

目標統計量を保存できたので、次に、工程を監視するための多変量管理図を作成します。

手順 3: 工程を監視する

1. 「Quality Control」フォルダに入っている「Steam Turbine Current.jmp」サンプルデータテーブルを開きます。

   このサンプルデータテーブルには、工程の最近のオブザベーションが記録されています。

2. ［**分析**］>［**品質と工程**］>［**管理図**］>［**多変量管理図**］を選択します。
3. すべての列を選択し、［**Y, 列**］をクリックします。
4. ［**目標統計量の取得**］をクリックします。
5. 先ほど保存した「Steam Turbine Targets.jmp」テーブルを開きます。
6. ［**OK**］をクリックします。

デフォルトの α 水準は 0.05 です。これを 0.001 に変更します。

7. 赤い三角ボタンのメニューから［**α 水準の設定**］>［**その他**］を選択します。
8. 「0.001」と入力して［**OK**］をクリックします。

図 6.4 蒸気タービンのデータの管理図

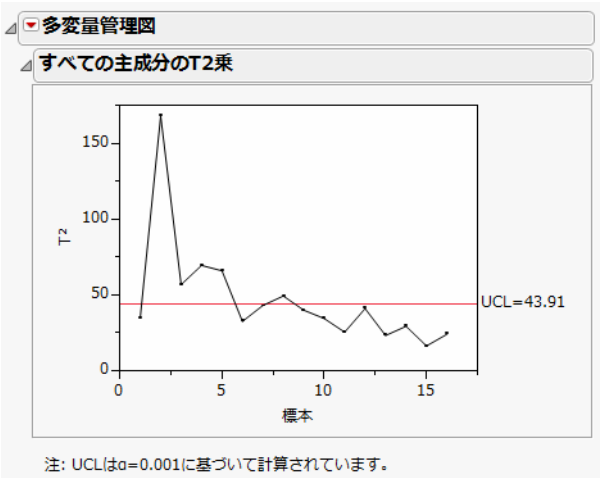
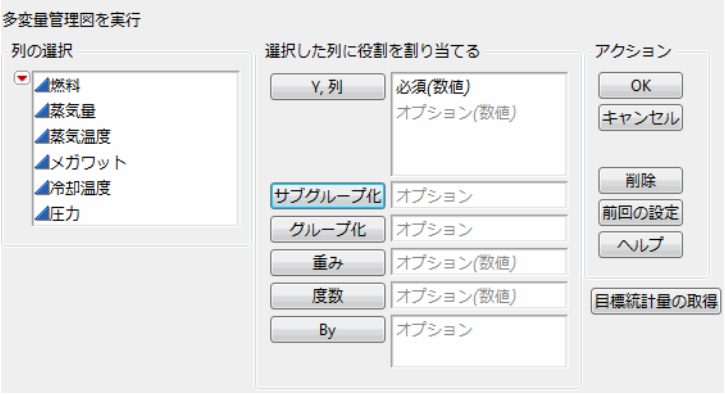


図 6.4 を見ると、オブザベーション 2、3、4、5、8 が管理外となっています。これは、これらのオブザベーションが「Steam Turbine Historical.jmp」に保存された過去のデータに適合していないこと、工程をさらに調査する必要があることを示唆しています。原因究明のため、一変量の管理図を個別に調べたり、その他の一変量解析を試してみたりするのも有効です。

「多変量管理図」プラットフォームの起動

「多変量管理図」プラットフォームを起動するには、［**分析**］>［**品質と工程**］>［**管理図**］>［**多変量管理図**］を選択します。

図 6.5「多変量管理図」起動ウィンドウ



Y, 列　分析の対象となる列を指定します。

サブグループ化　サブグループ化されたデータを含む列を指定します。サブグループは、階層上、「**グループ**」の内部にあります。

グループ化　もっとも上の階層のレベルでどのグループに属すかを示す列を指定します。

重み　データに重み（重要度、影響度など）をつけるのに使う変数の列を指定します。

度数　この役割を割り当てた列の値は、各行の度数（繰り返し数）を表します。データが集計されている場合に便利です。

By　指定した列の水準ごとにレポートが作成されます。

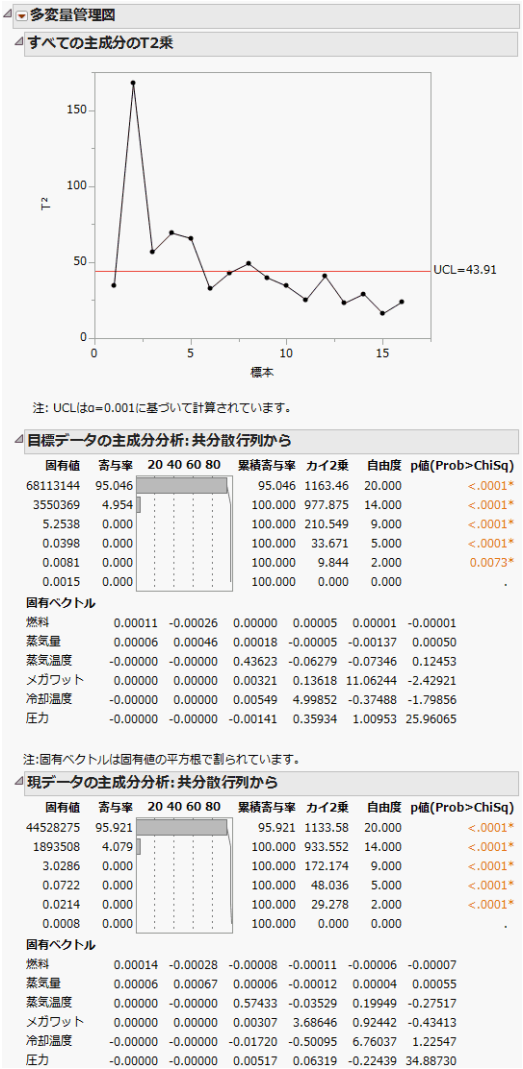
目標統計量の取得　このボタンをクリックして、工程の過去のデータから計算した目標値が保存されている JMP テーブルを選択できます。

多変量管理図

多変量管理図では、工程におけるシフトをすばやく検出し、特殊原因による変動が生じていないか工程を監視できます。

図 6.6 は、「多変量管理図の例」（121 ページ）の手順に従って作成したものです。

図 6.6 多変量管理図



ヒント：その他のオプションについては、「「多変量管理図」プラットフォームのオプション」（126 ページ）を参照してください。

多変量管理図には、Hotelling の T^2 統計量がプロットされます。管理限界の計算方法は、目標値が指定されているかどうかによって異なります。T^2 統計量と上限管理限界（UCL）の計算方法については、「多変量管理図の統計的詳細」（132 ページ）を参照してください。管理限界の詳細については、Tracy, et al.（1992）を参照してください。

上の例では、両方のデータセットの「主成分分析」レポートで、「固有値」の1行目の値（主成分分析の第1主成分に対応）が、分析対象の変数による総変動の約95%を説明しています。両方の「固有ベクトル」テーブルの値から、第1主成分が主に「燃料」と「蒸気量」の情報を表していることがわかります。このことから、この第1主成分だけに着目した方が、より敏感な管理図を作成できると予想できます。「主成分分析」レポートの詳細については、「主成分分析」（128ページ）を参照してください。

「多変量管理図」プラットフォームのオプション

プラットフォームの赤い三角ボタンのメニューには、次のオプションが表示されます。

T2乗図 T^2管理図を表示します。HotellingのT^2管理図は、XBar管理図を拡張し、相関を考慮した多変量管理図です。

T2乗の分割 Yの主成分に基づいた多変量管理図を作成します。T^2の主成分の数を指定できます。「T2乗の分割」（127ページ）を参照してください。

α水準の設定 管理限界の計算に使うα水準を設定します。デフォルトは0.05です。

共分散行列 「共分散行列」レポートを表示します。共分散行列は、二変量間の線形関係の強さを測る指標です。

相関行列 「相関行列」レポートを表示します。

共分散行列の逆行列 共分散行列の逆行列、または特異行列の場合は共分散行列の一般逆行列を表示します。

相関行列の逆行列 相関行列の逆行列、または特異行列の場合は相関行列の一般逆行列を表示します。

平均の表示 各グループの平均を表示します。

T2乗の保存 データテーブル内の新しい列にT^2の値を保存します。

T2乗の計算式の保存 データテーブルに新しい列を作成し、T^2の値の計算式を保存します。

目標統計量の保存 新しいデータテーブルに工程の目標統計量を保存します。目標統計量として、標本サイズ、サブグループ数、平均、標準偏差、および相関関係が保存されます。

変化点の検出 （サブグループ化されたデータの場合は適用外）各行の検定統計量から「変化点の検出」プロットを作成し、変化点が現れた行番号を表示します。「変化点の検出」（127ページ）を参照してください。

主成分分析 固有値および対応する固有ベクトルを示すレポートを表示します。主成分分析では、監視対象の複数の変数のうち、工程変動に対する寄与率の高いものを見極めることができます。「主成分分析」（128ページ）を参照してください。

主成分の保存 データテーブル内の新しい列に尺度化した主成分を保存します。

T2 乗の分割

工程に関する複数の特性間に相関関係があり、これらを監視する場合は、［T2 乗の分割］オプションを使用して、主成分に基づく管理図を作成できます。測定値における変動の大部分が少数の主成分で説明される場合、それらの主成分に基づいて作成した多変量管理図の方が、元の高次元データに基づく管理図より敏感になる傾向にあります。

また、［T2 乗の分割］オプションは、共分散行列が悪条件（ill-conditioned）になる場合にも役立ちます。このような場合、固有値が小さい主成分（変動に対する寄与率は低い）が、T^2 に大きく影響し、間違った結果に導く可能性があります。工程の振る舞いを調べるときは、こうした重要度の低い成分は切り離した方が得策です。

［T2 乗の分割］オプションを選択すると、採用する主成分の数を指定するウィンドウが表示されます。

このオプションを使うと、「大きな主成分の T2 乗」と「小さな主成分の T2 乗」という 2 つの多変量管理図が作成されます。たとえば、オプションの初回選択時に主成分数として r を入力した場合、「大きな主成分の T2 乗」管理図は、大きいものから r 個の固有値に対応する r 個の主成分に基づいて作成されます。この場合の r は、「主成分分析 : 共分散行列から」レポートの「寄与率」列と「累積寄与率」列から判断できる、変動の大半を説明している主成分の数です。「小さな主成分の T2 乗」管理図は、残りの主成分に基づいて作成されます。

サブグループごとに、「大きな主成分の T2 乗」管理図の T2 乗値と「小さな主成分の T2 乗」管理図の T2 乗値の和は、「すべての主成分の T2 乗」レポートに示される総 T2 統計量に等しくなります。分割した T2 乗値の計算方法の詳細については、Kourti, T. and MacGregor, J. F.（1996）を参照してください。

変化点の検出

注：［変化点の検出］コマンドは、Sullivan and Woodall（2000）に基づいています。

多変量データにおける、平均ベクトル、共分散行列、またはその両方の変化（シフト）を検出します。この手法では、データを 2 つに分けた時の尤度比統計量を計算します。その尤度比統計量を、シフトがないと仮定した場合の期待値で割り、行番号ごとにプロットします。「変化点の検出」プロットを見ると、どこで変化が生じているかがすぐに分かります。検定統計量が最大になっている時点が、変化が生じている時点だと解釈できます。

注：［変化点の検出］は、データ内に見られる 1 つのシフトの検出を目的としています。複数のシフトを検出するには、データを分割してからさらに［変化点の検出］を行う必要があります。

「変化点の検出」プロットについては、以下の点に留意してください。

- 値の中で 1.0 を超えるものは、データにシフトが生じた可能性を示唆します。
- 「変化点の検出」プロットの管理図統計量は、対象（平均ベクトルや共分散行列）の尤度比統計量を正規化のための係数で割って求められています。
- 「変化点の検出」プロットで最大の検定統計量を持つオブザベーションが、データの変化点にあたります。

「散布図行列」については、以下の点に留意してください。

- このプロットでは、標本平均ベクトルにおけるシフトが見て取れます。
- 「変化点の検出の例」（131 ページ）では、データは 2 つのグループに分けられます。最初の 24 のオブザベーションを第 1 グループ、残りのオブザベーションを第 2 グループとしています。

主成分分析

「主成分分析」レポートには、次の情報が表示されます。

固有値　共分散行列の固有値。

寄与率　対応する固有ベクトルで説明される変動の割合。棒グラフもあわせて表示されます。

累積寄与率　固有値に対応する固有ベクトルで説明される変動の割合の累積値。

カイ 2 乗　該当する次元以降の固有値がすべて等しいかどうかを検定する検定統計量が表示されます。ここで使用するのは、Bartlett の球面性検定です。この検定で帰無仮説が棄却される場合、該当する因子と変数間の相関が強いと判断できます。

自由度　カイ 2 乗検定の自由度。

p 値 (Prob>ChiSq)　検定の p 値。

固有ベクトル　固有値に対応する固有ベクトルの表。各固有ベクトルは、対応する固有値の平方根で割って表記しています。

主成分分析の詳細については、『多変量分析』を参照してください。

多変量管理図のその他の例

ここでは、個々の工程を監視し、変更点を検出する多変量管理図の作成例をさらに紹介します。

サブグループ化したデータを使用した工程監視の例

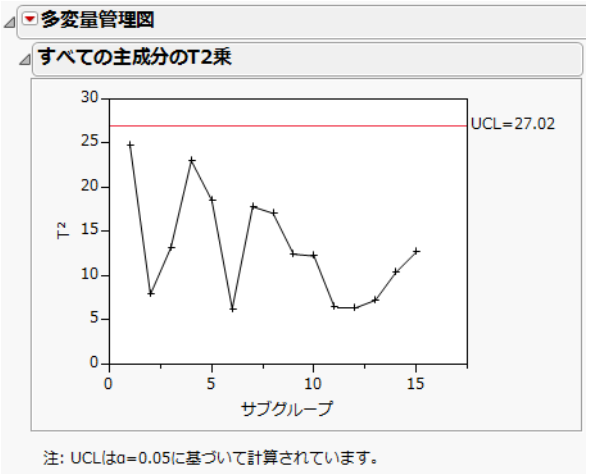
データをサブグループ化した場合でも、多変量管理図による分析の流れは、個々のデータを扱う場合とあまり変わりません。「多変量管理図の例」（121 ページ）を参照してください。手始めの管理図を作成して目標統計量を保存し、その目標値を使用して工程を監視します。

手順 1: 工程が安定状態かどうかを判断する

1. 「Quality Control」フォルダに入っている「Aluminum Pins Historical.jmp」サンプルデータテーブルを開きます。
2. ［**分析**］>［**品質と工程**］>［**管理図**］>［**多変量管理図**］を選択します。
3. 「**直径**」と「**長さ**」の列をすべて選択し、［**Y, 列**］をクリックします。

4. 「**サブグループ**」を選択し、［**サブグループ化**］をクリックします。
5. ［**OK**］をクリックします。

図 6.7 サブグループ化したデータの多変量管理図（手順 1）



工程が統計的管理状態にあるようなので、このままこのデータを使用して目標統計量を作成します。

手順 2: 目標統計量を保存する

1. 赤い三角ボタンのメニューから［**目標統計量の保存**］を選択します。

   すると、工程の目標統計量を保存した新しいデータテーブルが作成されます。
2. この新しいデータテーブルを「Aluminum Pins Targets.jmp」という名前で保存します。

   目標統計量を保存できたので、次に、工程を監視するための多変量管理図を作成します。

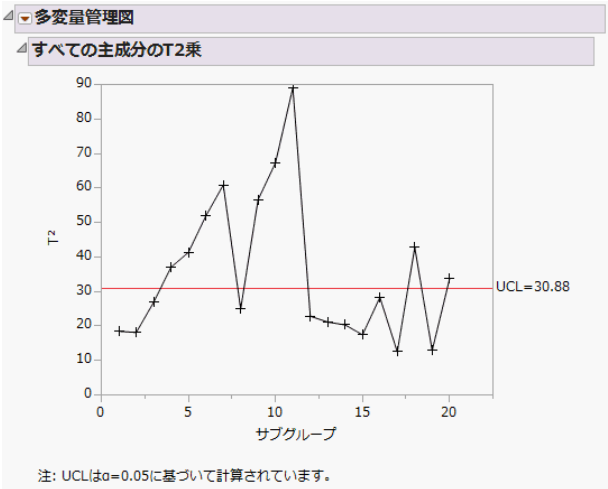
手順 3: 工程を監視する

1. 「Quality Control」フォルダに入っている「Aluminum Pins Current.jmp」サンプルデータテーブルを開きます。

   このサンプルデータテーブルには、工程の最近のオブザベーションが記録されています。
2. ［**分析**］>［**品質と工程**］>［**管理図**］>［**多変量管理図**］を選択します。
3. 「**直径**」と「**長さ**」の列をすべて選択し、［**Y, 列**］をクリックします。
4. 「**サブグループ**」を選択し、［**サブグループ化**］をクリックします。
5. ［**目標統計量の取得**］をクリックします。
6. 先ほど保存した「Aluminum Pins Targets.jmp」テーブルを開きます。
7. ［**OK**］をクリックします。
8. 赤い三角ボタンのメニューから［**平均の表示**］を選択します。

［平均の表示］オプションで各サブグループの平均を表示し、他のグループと一番かけ離れたグループがどれかを判断できます。

図 6.8 サブグループ化したデータの多変量管理図（手順3）



注: UCLはα=0.05に基づいて計算されています。

目標データの主成分分析: 共分散行列から

固有値	寄与率	20 40 60 80	累積寄与率	カイ2乗	自由度	p値(Prob>ChiSq)
0.0020	77.438		77.438	194.981	20.000	<.0001*
0.0004	14.112		91.549	95.046	14.000	<.0001*
0.0002	6.543		98.092	57.140	9.000	<.0001*
0.0000	1.110		99.201	7.721	5.000	0.1723
0.0000	0.442		99.643	0.227	2.000	0.8925
0.0000	0.357		100.000	0.000	0.000	.

固有ベクトル

直径1	-1.74765	25.69209	11.26651	-2.09837	-141.425	234.5830
直径2	-1.94301	21.04343	4.33901	83.66331	225.8678	72.80281
直径3	-2.05350	24.72990	1.72384	96.30263	-115.819	-195.706
直径4	-1.81865	30.15028	4.14986	-136.824	58.89822	-97.0216
長さ1	17.11878	2.03343	49.34954	4.23294	6.82763	-19.3736
長さ2	13.94341	11.23070	-57.7762	2.53526	-4.00887	21.85602

注:固有ベクトルは固有値の平方根で割られています。

現データの主成分分析: 共分散行列から

グループ平均

サブグループ	度数	直径1	直径2	直径3	直径4	長さ1	長さ2
16	2	10.0000	9.9900	9.9900	14.9950	49.9250	60.0300
17	2	10.0000	9.9950	9.9900	14.9900	49.9150	60.0200
18	2	10.0000	9.9950	9.9900	14.9950	49.9300	60.0250
19	2	10.0000	9.9950	9.9900	14.9950	49.9100	59.9950
20	2	10.0000	10.0000	9.9900	14.9950	49.9000	59.9900

図 6.8 では、サブグループ 4 ～ 7、9 ～ 11、18、20 で不安定状態が認められます。これは、これらのオブザベーションが「Aluminum Pins Historical.jmp」に保存された過去のデータに合っていないこと、工程をさらに調査する必要があることを示唆しています。これらの点で工程が管理外になっている原因を究明するため、一変量の管理図を個別に調べたり、その他の一変量解析を試してみたりするのも有効です。

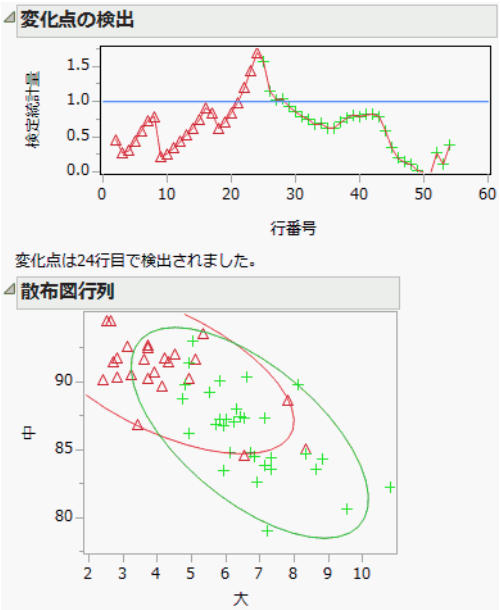
さらに、この工程を監視する別の方法として、大きな主成分に焦点を当てます。上の例では、履歴データから、最初の3つの主成分が総変動の約98%を説明していることがわかります。このことから、最初の3つの主成分に基づく管理図を作成し、これら3つの主成分を使用して現在のデータを監視します。工程監視に使用する管理図の管理限界は、過去のデータの管理図から求められたものを使用します。

変化点の検出の例

［変化点の検出］を使用して、データのどこでシフトが生じているかを判断できます。

1. 「Quality Control」フォルダに入っている「Gravel.jmp」サンプルデータテーブルを開きます。
2. ［**分析**］>［**品質と工程**］>［**管理図**］>［**多変量管理図**］を選択します。
3. 「**大**」と「**中**」を選択し、［**Y, 列**］をクリックします。
4. ［**OK**］をクリックします。
5. 赤い三角ボタンのメニューから［**変化点の検出**］を選択します。

図6.9「Gravel.jmp」の「変化点の検出」プロット



ヒント：データによっては、軸をドラッグしないと、2つのグループの確率楕円を確認できない場合があります。

「変化点の検出」プロットで、1.0を超える値は、データにシフトが生じた可能性を示唆します。オブザベーション24が変化点であり、その直後にシフトが生じていることが明らかになっています。両グループの95%の確率楕円を比べたときにサイズ、形状、向きが似ていることから、両グループの標本共分散行列は似ていることがわかります。

多変量管理図の統計的詳細

ここでは、個々のデータ、サブグループ化したデータ、加算性、変化点の検出に関する統計的詳細について説明します。

個々のデータの統計的詳細

測定データがサブグループ化されていない場合、サブグループサイズは1になります。標本サイズをn、測定対象の特性の数をpとした場合、T^2統計量は次の式で定義されます。

$$T^2 = (X_i - \overline{X})' S^{-1} (X_i - \overline{X})$$

ここで、

X_iは、i番目の標本におけるp個の測定値の列ベクトル。

$\overline{X}$は、X_iの標本平均。

SはX_iの標本共分散行列。

これらの点は、多変量管理図にプロットされます。

データから管理限界を計算する際（手順1）、上限管理限界（UCL）はベータ分布に基づいて求められます。具体的には、UCLは次の式で定義されます。

$$UCL = \frac{(n-1)^2}{n} \beta\left(1-\alpha, \frac{p}{2}, \frac{n-p-1}{2}\right)$$

ここで、

pは変数（列）の数。

nは標本サイズ。

目標統計量を指定した場合（手順2）、新しいオブザベーションは既知の統計量から独立します。この場合、UCLはF分布の関数となり、目標値の計算に使用したデータ中のオブザベーション数によってその定義は異なります。

nが100以下の場合、UCLは次の式で定義されます。

$$UCL = \frac{p(n+1)(n-1)}{n(n-p)} F(1-\alpha, p, n-p)$$

nが100より大きい場合、UCLは次の式で定義されます。

$$UCL = \frac{p(n-1)}{n-p} F(1-\alpha, p, n-p)$$

ここで、

p は変数（列）の数。

n は、目標値の計算に使用されたデータの標本サイズ。

サブグループ化されたデータの統計的詳細

p 個の特性値を監視し、標本サイズが n のサブグループが m 個得られたとします。T^2 統計量の値はサブグループごとにプロットされます。i 番目のサブグループの T^2 統計量が次の式で定義されます。

$$T^2 = (\overline{X}_i - \overline{X})'\overline{S}^{-1}(\overline{X}_i - \overline{X})$$

ここで、

$\overline{X}_i$ は、i 番目の標本における p 個の測定値の n 個の列ベクトルの平均。

$\overline{X} = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\overline{X}_i$ は、オブザベーションの全体平均。

S_i は、i 番目の標本における n 個のオブザベーションの標本共分散行列。

$\overline{S} = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}S_i$ は、郡内共分散行列の平均。

目標値を指定せずデータから管理限界を求める時には（手順1）、UCL は次の式で定義されます。

$$UCL = \frac{p(m-1)(n-1)}{mn-m-p+1}F(1-\alpha, p, mn-m-p+1)$$

ここで、

p は特性の数。

n は各サブグループごとの標本サイズ。

m はサブグループの数。

目標統計量を指定して現在のデータを過去のデータと比較する際は、UCL は次の式で定義されます。

$$UCL = \frac{p(m+1)(n-1)}{mn-m-p+1}F(1-\alpha, p, mn-m-p+1)$$

ここで、

p は変数（列）の数。

n は各サブグループごとの標本サイズ。

m はサブグループの数。

加算性の統計的詳細

独立した正規分布に従う mn 個のオブザベーションから成る標本を、標本サイズが n の合理的なサブグループ m 個にグループ化したとします。ここで、サブグループにおける平均ベクトル Y と、全体における平均ベクトル Y の距離を $T^2{}_M$ と表します。T^2 統計量の成分は、平方和のように加算性があります。つまり、次式が成り立ちます。

$$T_A^2 = T_M^2 + T_D^2$$

$T^2{}_M$ は、サブグループ平均の目標値からの距離で、次式で計算されます。

$$T_M^2 = n(\overline{Y}_j - \mu)' S_P^{-1} (\overline{Y}_j - \mu)$$

上式における、n 個のオブザベーションのサブグループ平均からの変動は、次の式で定義されます。

$$T_D^2 = \sum_{j=1}^{n} (Y_j - \overline{Y})' S_P^{-1} (Y_j - \overline{Y})$$

上式における、n 個のオブザベーションの全体平均からの変動は、次の式で定義されます。

$$T_A^2 = \sum_{j=1}^{n} (\overline{Y}_j - \mu)' S_P^{-1} (\overline{Y}_j - \mu)$$

変化点の検出の統計的詳細

次の式を満たす p 次元の多変量正規分布に従う独立した m 個のオブザベーションがあるとします。

$$x_i \sim N_p(\mu_i, \Sigma_i), \quad i = 1, \ldots, m.$$

上の式で、x_i は個々のオブザベーション、$N_p(\mu_i, \Sigma_i)$ は、それぞれ多変量正規分布に従う平均ベクトルと共分散行列です。

m_1 個のオブザベーションの後で平均ベクトル、共分散行列、またはその両方に明らかな変化が生じたとします。その場合、m_1 までのオブザベーションはすべて同じ平均ベクトルと同じ共分散行列 (μ_a, Σ_a) を持ち、同様に、$m_1 + 1$ 以後のオブザベーションはすべて同じ平均ベクトルと同じ共分散行列 (μ_b, Σ_b) を持つと仮定できます。一方、管理状態にある場合には、m のすべての値について $\mu_a = \mu_b$ および $\Sigma_a = \Sigma_b$ が成り立っていると仮定でき、パラメータはデータ全体から推定できると考えられます。

平均ベクトルと共分散行列の変化は、尤度比検定の枠組みを用いて検出されます。すべての m_1 に対して尤度比統計量がプロットされ、適切な上側管理限界（UCL）が計算されます。検定統計量が最大となっている時点（行番号）は、変化が 1 時点だけで生じると仮定した場合に、その変化の尤度が最大になる時点に相当します。

［変換点の検出］コマンドは、Sullivan and Woodall（2000）に基づいています。この節の説明や計算式も、Sullivan and Woodall（2000）に基づくものです。最初の m_1 個のオブザベーションについての最大対数尤度は、次式により表されます。

$$l_1 = -m_1 k_1 \log[2\pi] - m_1 \log\left[\left|S_1\right|_{k_1}\right] - m_1 k_1$$

上の式で、$|S_1|$ は最初の m_1 個のオブザベーションの共分散行列の最尤推定値で、S_1 のランクは $k_1 = \mathrm{Min}[p, m_1\text{-}1]$ と定義されています。ここで、p は行列の次元を示します。

それに続く $m_2 = m - m_1$ 個のオブザベーションに対する最大対数尤度を l_2、m 個すべてのオブザベーションの最大対数尤度を l_0 と表します。これらの最大対数尤度は、同様の式で計算されます。

$l_1 + l_2$ は、m_1 でシフトが生じていると仮定したときの尤度です。この尤度が、シフトがないと仮定したときの尤度 l_0 と比較されます。l_0 が $l_1 + l_2$ を大幅に下回る場合、工程は管理外の状態にあると考えられます。

対数尤度比に 2 を掛けたものは次の式で定義されます。

$$\mathrm{lrt}[m_1] = l_1 + l_2 - l_0$$

$$\mathrm{lrt}[m_1] = (m_1(p - k_1) + m_2(p - k_2))(1 + \log[2\pi])$$

$$+ m\log[|S|] - m_1 \log\left[\left|S_1\right|_{k_1}\right] - m_2 \log\left[\left|S_2\right|_{k_2}\right]$$

対数尤度比は近似的にカイ 2 乗分布に従い、自由度は $p(p + 3)/2$ に等しくなります。対数尤度比の値が大きい場合は、工程が管理外の状態にあると考えられます。

上の式（対数尤度比に 2 を掛けた式）を、シミュレーションと上側管理限界から求めた期待値で割って、管理図における上側管理限界が 1 になるようにします。管理図の統計量は次のようになります。

$$y[m_1] = \frac{\mathrm{lrt}[m_1]}{E[\mathrm{lrt}[m_1]] \times \mathrm{UCL}}$$

尤度比の期待値を $p(p+3)/2$ で割った値の近似値は、次の近似式により求めます。

$m_1 < p + 1$ の場合、$\mathrm{ev}[m, p, m_1] = a_p + m_1 b_p$

$(m - m_1) < p + 1$ の場合、$\mathrm{ev}[m, p, m_1] = a_p + (m - m_1) b_p$

それ以外の場合、$\mathrm{ev}[m, p, m_1] = 1 + \dfrac{(m - 2p - 1)}{(m_1 - p)(m - p - m_1)}$

上記の等式の切片は、

$$a_p = -\frac{0.08684(p - 14.69)(p - 2.036)}{(p - 2)}$$

傾きは、

$$b_p = \frac{0.1228(p - 1.839)}{(p - 2)}$$

なお、$p = 2$ で、$m_1 = 2$ または $m_2 = 2$ の場合には、$\mathrm{ev}[m,p,m_1] = 1.3505$ とします。この近似式は、$p > 12$ または $m < (2p + 4)$ の場合には近似がよくありません。そのような場合には、別にシミュレーションを行って確認した方がよいでしょう。

手順 1 の管理図では、誤って管理外であると判断する確率に基づいて、上側管理限界（UCL）を設定するのが有用です。誤って管理外であると判断する確率が約 0.05 であるときの、m および p に対する近似 UCL は、次式で計算されます。

$$\mathrm{UCL}[m,p] \cong (3.338 - 2.115\log[p] + 0.8819(\log[p])^2 - 0.1382(\log[p])^3)$$

$$+ \quad (0.6389 - 0.3518\log[p] + 0.01784(\log[p])^3)\log[m].$$

最終的に、管理図の統計量は次式で計算されます。

$$\hat{y}[m_1] = \frac{2\mathrm{lrt}[m_1]}{p(p+3)(\mathrm{ev}[m,p,m_1]\mathrm{UCL}[m,p])}$$

第 7 章

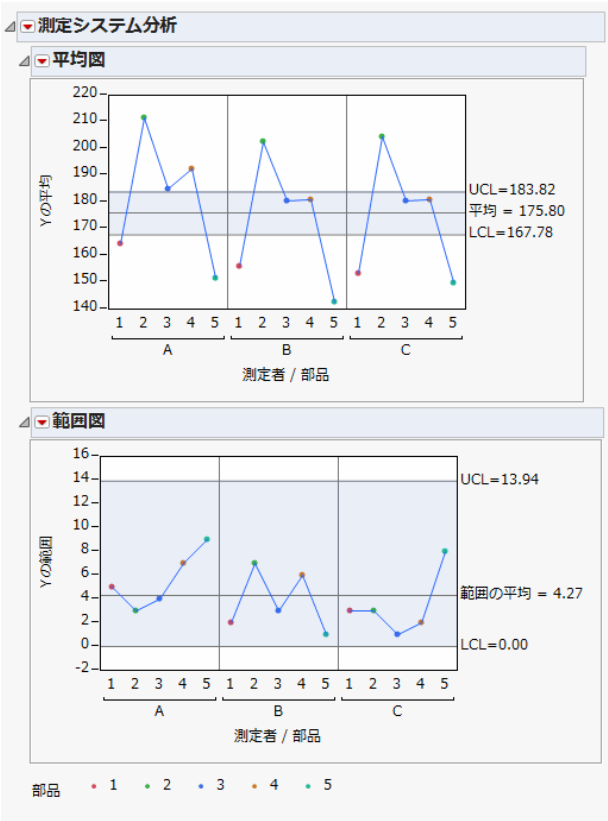
測定システム分析

EMP 法による計量値の測定システム分析

「測定システム分析」プラットフォームは、測定システムの精度、一貫性、かたより（バイアス）を評価します。工程を分析する前に、工程が精確に測定されているかどうかを調べる必要があります。測定値のばらつきの大部分が測定そのものに起因しているとしたら、工程について確かなことを探り出すことはできません。そのため、あらかじめ、測定システム分析（MSA: Measurement System Analysis）を行って、測定システムの測定精度を調べる必要があります。

この章では、EMP 分析（測定プロセス評価）だけを説明します。Gauge R&R 分析については、「計量値用ゲージチャート」（159 ページ）の章で解説しています。

図 7.1 測定システム分析の例



目次

測定システム分析の概要 139
測定システム分析の例 139
「測定システム分析」プラットフォームの起動 143
「測定システム分析」プラットフォームのオプション 144
平均図 146
範囲図または標準偏差図 146
EMP 分析 146
測定の有効桁数 148
変化検出プロファイル 148
バイアスの比較 149
繰り返し誤差の比較 150
測定システム分析の別例 150
測定システム分析の統計的詳細 156

測定システム分析の概要

「測定システム分析」プラットフォームで提供されているEMP法は、Donald J. Wheeler（2006）の『EMP III Using Imperfect Data』に基づく手法です。EMP法（Evaluating the Measurement Process: 測定プロセス評価）の結果はグラフが多く、解釈しやすくなっています。また、それらの結果に基づき、分析者は測定システムを改善できます。

「測定システム分析」プラットフォームでは、Gauge R&R分析も行えます。Gauge R&R分析でも、測定値のばらつきのうち、どの程度が測定者（再現性）に起因し、どの程度が繰り返し誤差（併行性）に起因するかを分析します。Gauge R&Rは、交差作用モデルと枝分かれモデルの多くの組み合わせで使用できます。また、データのバランス（釣り合い）が取れていなくても使用できます。詳細については、「計量値用ゲージチャート」（159ページ）の章を参照してください。

シックスシグマのDMAIC手順（Define「定義」・Measurem「測定」・Analyze「分析」・Improve「改善」・Control「管理」）において、測定システム分析は、「測定」フェーズで用います。一方、管理図は、「管理」フェーズで用います。測定システム分析の結果は、将来、工程のデータを見る時に役立ちます。管理図を構成し、解釈するのに、測定システム分析の結果が役立ちます。

管理図の詳細は、「管理図ビルダー」（27ページ）を参照してください。

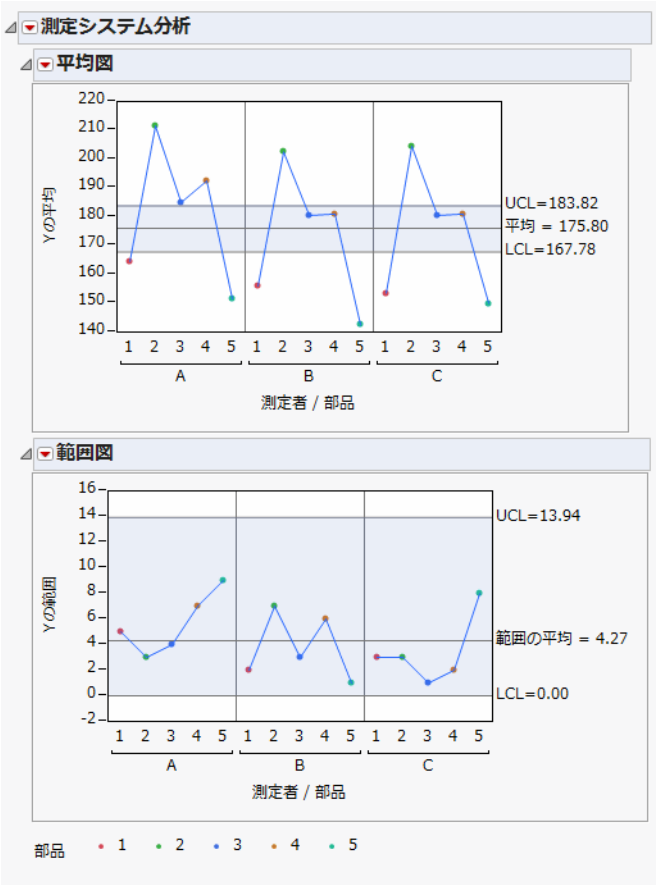
測定システム分析の例

このデータ例では、3名の測定者が、同じ5個の部品を測定しています。測定値のばらつきを調べ、測定システムの精度を検証してみましょう。

1. 「Variability Data」フォルダに入っている「Gasket.jmp」サンプルデータテーブルを開きます。
2. ［**分析**］>［**品質と工程**］>［**測定システム分析**］を選択します。
3. 「**Y**」に［**Y, 応答変数**］の役割を割り当てます。
4. 「**部品**」に［**部品 , 標本 ID**］の役割を割り当てます。
5. 「**測定者**」に［**X, グループ変数**］の役割を割り当てます。

   「**分析方法**」が［**EMP**］に、「**ばらつき図の種類**」が［**範囲**］に、「**モデルの種類**」が「**交差**」に設定されていることを確認してください。図7.5を参照してください。
6. ［**OK**］をクリックします。

図 7.2 MSA の初期レポート



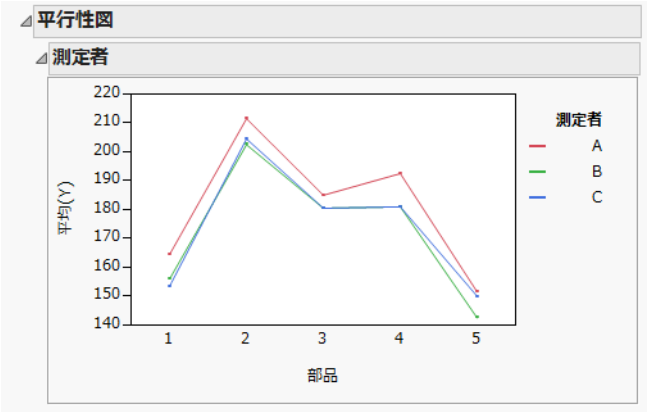
「平均図」には、「測定者」と「部品」の組み合わせごとに、測定値の平均が表示されます。この例では、多くの部品の平均が、管理限界外になっています。これは、測定システムによって、部品間の違いを検出できていることを意味しており、望ましい結果です。

「範囲図」には、「測定者」と「部品」の組み合わせごとに、測定値のばらつきが表示されます。この例では、すべてのばらつきは、管理限界内になっています。ここでは、繰り返し誤差のばらつきが等しいことを示唆しています。これは、すべての測定者が同じ方法で測定すれば、測定値が同じようなばらつきになることを意味しているため、望ましい結果です。

測定者と部品の間の交互作用を調べましょう。

7. 「測定システム分析」の赤い三角ボタンをクリックし、**「平行性図」**を選択します。

図 7.3 測定者と部品の平行性図



「平行性図」には、各部品の測定値の平均が、測定者ごとに、重ねてプロットされます。この例では、折れ線はほぼ平行で、特に大きく交差していません。測定者と部品の間に交互作用はないと言えます。

ヒント：交互作用がある場合は、重大な問題が存在する可能性があり、さらなる調査が必要です。

最終的な判断を下すため、「EMP 分析」レポートを確認します。

8. 「測定システム分析」の赤い三角ボタンをクリックし、**「EMP 分析」**を選択します。

図 7.4「EMP 分析」レポート

EMP分析

EMP分析	結果	説明
繰り返し誤差	3.7812	セル内誤差
自由度	13.39	セル内誤差の推定に使用された情報量
公算誤差	2.5504	1回の測定における誤差の中央値
級内相関 (バイアス除去後)	0.9745	バイアス要因を除去した場合の、部品によるばらつきの割合
級内相関 (バイアス含む)	0.9437	バイアス要因を含む場合の、部品によるばらつきの割合
バイアスの影響	0.0308	バイアス要因によって減少する級内相関の量

システム	等級
現状(バイアス含む)	第1級
実現可能(バイアス除去後)	第1級

工程監視の等級分けについて

等級	級内相関	工程からの信号の減衰	ルール1だけによる検出確率 ※	ルール1～4による検出確率 ※
第1級	0.80 - 1.00	11%より小さい	0.99 - 1.00	1.00
第2級	0.50 - 0.80	11% - 29%	0.88 - 0.99	1.00
第3級	0.20 - 0.50	29% - 55%	0.40 - 0.88	0.92 - 1.00
第4級	0.00 - 0.20	55%より大きい	0.03 - 0.40	0.08 - 0.92

※ Wheeler のルールによって、3シグマの変化を検出できる確率

「EMP 分析」レポートには、測定システムの評価や等級付けに関する統計量が表示されます。「級内相関」は、測定値の総変動に対する、部品の寄与率です。

「EMP 分析」レポートから、次のようなことがわかります。

- 「級内相関」が 1 に近いことから、測定値のばらつきのほとんどは、測定システムではなく、部品のばらつきによって生じていると言えます。
- 「等級」は「第 1 級」です。「第 1 級」の場合、工程からの信号が減衰する割合は、11% 未満です。
- 「第 1 級」の場合、テスト 1 だけで、変化を検出できる確率は 99% 以上です。
- 「第 1 級」の場合、テスト 1 ～ 4 によって、変化を検出できる確率は 100% です。

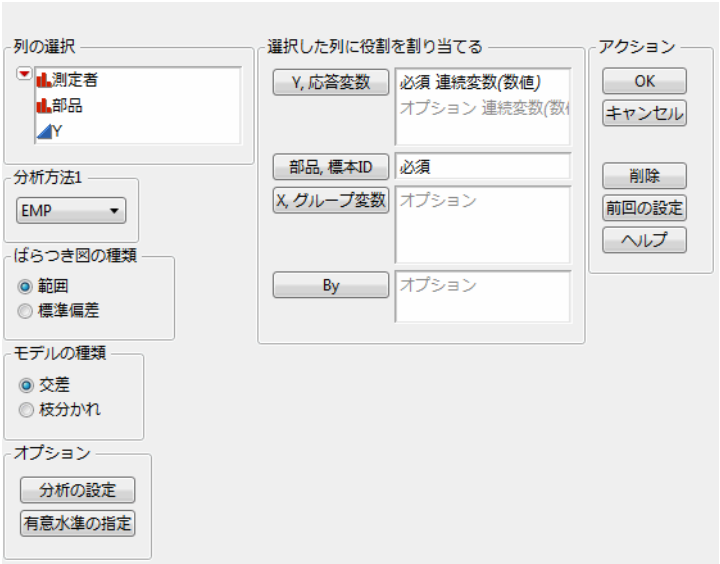
注：管理図におけるテスト、および工程に生じた変化の検出についての詳細は、「変化検出プロファイル」（148 ページ）を参照してください。

測定者と部品の間に交互作用はなく、測定によるばらつきは非常に小さいので（「等級」が「第 1 級」なので）、測定システムは非常に良いと言えます。

「測定システム分析」プラットフォームの起動

「測定システム分析」プラットフォームを起動するには、［**分析**］>［**品質と工程**］>［**測定システム分析**］を選択します。

図 7.5「測定システム分析」ウィンドウ



「測定システム分析」ウィンドウには次のような機能があります。

列の選択　現在のデータテーブルにある列が、すべて表示されます。ここで列を選択して、役割を割り当てます。

分析方法　使用する分析方法として、［**EMP**］または［**Gauge R&R**］を選択します。この章では、**EMP** 分析（測定プロセス評価）だけを説明します。**Gauge R&R** 分析については、「計量値用ゲージチャート」（159 ページ）の章を参照してください。

ばらつき図の種類　ばらつきを見るためのグラフとして、［**範囲**］または［**標準偏差**］を選択します。

注：分析として［**EMP**］を選択した場合、ばらつき図の種類によって、統計量の計算方法が決められます。ばらつき図の種類として［**範囲**］が選択され、かつ、1 因子、または、2 因子のバランスが取れた交差モデルの場合、範囲に基づき統計量が計算されます。それ以外の場合は、標準偏差に基づく統計量がレポートに表示されます。

モデルの種類　モデルの種類を以下から選択します。

- 主効果：指定された変数を名義尺度の主効果として、主効果だけのモデルをあてはめます。
- 交差：すべての因子のいずれの水準でも、別の因子のすべての水準が存在しているときに、すべての交互作用を含んだモデルをあてはめます。

– 2 因子までの交互作用: 2 つの因子において、一方の因子の各水準が、もう片方の因子のすべての水準に存在しているときに、2 因子までの交互作用を含んだモデルをあてはめます。
– 枝分かれ: ある因子の特定の水準が、別の因子のある 1 水準でしか存在しないときに、枝分かれモデルをあてはめます。
– 交差後、枝分かれ (3 因子の場合のみ): 交差後、枝分かれする 3 因子のモデルをあてはめます。
– 枝分かれ後、交差 (3 因子の場合のみ): 枝分かれ後、交差する 3 因子のモデルをあてはめます。

オプション 次のようなオプションが表示されます。

– ［**分析の設定**］では、REML 推定における、最大反復回数と収束限界を設定します。
– ［**有意水準の指定**］では、信頼水準（1-α）を指定します。

Y, 目的変数 測定値の列を指定します。

部品 , 標本 ID 部品またはユニットを表す列を指定します。

X, グループ変数 グループ変数を表す列を指定します。

By ここで指定した変数の水準ごとに、分析が実行され、レポートが作成されます。

「測定システム分析」プラットフォームのオプション

「測定システム分析」の赤い三角ボタンをクリックすると、プラットフォームのオプションが表示されます。オプションを選択すると、該当するグラフやレポートが「測定システム分析」レポートに表示されます。オプションの選択を解除すると、該当するグラフやレポートが削除されます。次のいずれかのオプションを選択します。

平均図 部品変数と X 変数の組み合わせごとに、測定値の平均値がプロットされます。「平均図」では、測定誤差の影響を受けても、部品の違いを検出できるかどうかを見てください。部品の違いを検出することが目的なので、「平均図」では、管理限界外の平均値があるほうが望ましいです。「平均図」（146 ページ）を参照してください。

範囲図 （このグラフは、起動ウィンドウで、「ばらつき図の種類」を［**範囲**］に設定した場合のみ表示されます。）部品変数と X 変数の組み合わせごとに、測定値の範囲がプロットされます。「範囲図」では、サブグループ内におけるばらつきの一貫性が確認できます。誤差が等分散であり、「範囲図」において範囲が管理限界内に収まっているのが望ましいです。「範囲図または標準偏差図」（146 ページ）を参照してください。

標準偏差図 （このグラフは、起動ウィンドウで「ばらつき図の種類」を［**標準偏差**］に設定した場合のみ表示されます。）部品変数と X 変数の組み合わせごとに、測定値の標準偏差がプロットされます。「標準偏差図」では、サブグループ内におけるばらつきの一貫性が確認できます。誤差が等分散であり、「標準偏差図」において標準偏差が管理限界内に収まっているのが望ましいです。「範囲図または標準偏差図」（146 ページ）を参照してください。

平行性図　部品ごとの測定値の平均が、重ね合わせてプロットされます。折れ線が平行でない場合や交差している場合、部品変数と X 変数に交互作用があることを示唆しています。

ヒント：交互作用がある場合は、重大な問題が存在する可能性があり、さらなる調査が必要です。たとえば、部品と測定者の間に交互作用がある場合は、測定者ごとに測定方法が異なっているなどの原因が考えられます。この場合、測定値のばらつきは、予測できなくなってしまいます。さらに調査し、測定者ごとの測定値が同じパターンでない原因を調べる必要があります。

EMP 分析　測定システムを評価するための統計量がレポートされます。「EMP 分析」（146 ページ）を参照してください。

測定の有効桁数　測定システムの分解能がレポートされます。「測定の有効桁数」（148 ページ）を参照してください。

バイアスの比較　X 変数の平均が異なるかどうかを、平均分析（ANOM）によって検定したグラフです。「バイアスの比較」（149 ページ）を参照してください。

繰り返し誤差の比較　繰り返し誤差の分散が異なるグループがあるかどうかを、分散の平均分析（ANOMV）または範囲の平均分析によって検定したグラフです。「繰り返し誤差の比較」（150 ページ）を参照してください。

変化検出プロファイル　管理図によって変化を検出できる確率を示した、対話的なグラフです。「変化検出プロファイル」（148 ページ）を参照してください。

分散成分　分散成分の推定値がレポートされます。このレポートの結果は、範囲ではなく分散に基づいて計算されます。分散成分の推定には、バランスが取れているデータの場合には EMS 法、バランスが取れていないデータの場合には REML 法が使われます。

注：このレポートは、「変動性図」プラットフォームの「分散成分」レポートとほぼ同じです。ただし、EMS 法、または REML 法だけが推定に使われ、Bayes 法による推定は行われません。詳細は、「計量値用ゲージチャート」の章の「分散成分」（168 ページ）を参照してください。

EMP Gauge RR 分析　測定値のばらつきに関するレポートです。測定値の全変動において、部品による変動と、測定システムによる変動が、それぞれ、どれぐらい寄与しているかがレポートされます。このレポートの結果は、範囲ではなく分散に基づいて計算されます。

注：このレポートは、「変動性図」プラットフォームの「Gauge R&R」レポートに似ています。ただし、このレポートのモデルには、「再現精度」の交互作用が含められていません。Gauge R&R 分析の詳細は、「計量値用ゲージチャート」の章の「Gauge R&R 分析について」（169 ページ）を参照してください。

スクリプト　このメニューで表示されるオプションは、すべてのプラットフォームで共通です。詳細については、『JMP の使用法』を参照してください。

平均図

「平均図」の赤い三角ボタンをクリックすると、次のオプションが表示されます。

全体平均の表示　*Y* 変数の全体平均が図に表示されます。

平均の接続線を表示　平均値をつなぐ折れ線が表示されます。

管理限界の表示　上側管理限界（UCL）と下側管理限界（LCL）を表す線と、上下の管理限界値が表示されます。

管理限界の陰影を表示　UCL と LCL の間が淡色で塗りつぶされます。

区切り線の表示　*X* 変数間を区切る垂直線が表示されます。

データの表示　データ点が図に表示されます。

注：「平均図」では、列を入れ替えることができます。それには、軸上に表示されてる列名をドラッグして、軸上の別の箇所にドロップするか、データテーブルの「列」パネルで列をクリックし、軸上にドラッグします。

範囲図または標準偏差図

「範囲図」または「標準偏差図」の赤い三角ボタンをクリックすると、次のようなオプションが表示されます。

ばらつきの平均を表示　範囲の平均または標準偏差の平均が図に表示されます。

接続線の表示　範囲または標準偏差をつなぐ折れ線が表示されます。

管理限界の表示　上側管理限界（UCL）と下側管理限界（LCL）を表す線と、上下の管理限界値が表示されます。

管理限界の陰影を表示　UCL と LCL の間が淡色で塗りつぶされます。

区切り線の表示　*X* 変数間を区切る垂直線が表示されます。

注：「範囲図」や「標準偏差図」でも、列を入れ替えることができます。それには、軸上に表示されてる列名をドラッグして、軸上の別の箇所にドロップするか、データテーブルの「列」パネルで列をクリックし、軸上にドラッグします。

EMP 分析

注：「分析方法」として［**EMP**］を選択した場合、ばらつき図の種類によって、統計量の計算方法が決められます。**「ばらつき図の種類」**として［**範囲**］が選択され、かつ、1 因子、または、2 因子のバランスが取れた交差モデルの場合、範囲に基づき統計量が計算されます。それ以外の場合は、標準偏差に基づく統計量がレポートに表示されます。

「EMP 分析」レポートには、測定システムの評価や等級付けに関する統計量が表示されます。このレポートにより、次のようなことが分かります。

- 管理図による工程監視を行うとき、どの程度、測定誤差が影響を与えるか？
- 管理図のどのテストを行えばいいか？
- 工程からの信号が、どの程度、減衰するか？
- バイアス要因がシステムに与える影響の大きさ。バイアス要因によって、級内相関がどの程度、減少しているか？

「EMP 分析」レポートには、次のような統計量が表示されます。

繰り返し誤差　同じ測定条件でも生じるばらつき、つまり、併行精度（repeatabiity）を示します。繰り返し誤差は、「セル内誤差」（within error）、または「純粋誤差」（pure error）とも呼ばれています。

自由度　繰り返し誤差の推定に使われた情報量を示します。

公算誤差　繰り返し誤差（の絶対値）の中央値です。測定の分解能を示す統計量で、測定の有効桁数を決める上で参考になります。詳細は、「測定の有効桁数」（148 ページ）を参照してください。

級内相関　総変動における部品の寄与率を示します。測定のばらつきが小さくなるほど、値は 1 に近づきます。

- **「級内相関（バイアス除去後）」**は、バイアス要因または交互作用を考慮せずに計算した結果です。
- **「級内相関（バイアス含む）」**は、バイアス要因（測定者、測定器など）を考慮に入れた計算結果です。
- **「級内相関（バイアスと交互作用含む）」**は、バイアス要因と交互作用を考慮に入れた計算結果です。この値は、交差モデルを用いて、かつ、範囲ではなく標準偏差に基づき推定した場合にのみ表示されます。

バイアスの影響　バイアス要因によって級内相関が小さくなる度合い。

バイアスと交互作用の影響　バイアス要因と交互作用によって級内相関が小さくなる度合い。この値は、交差モデルを用いて、かつ、範囲ではなく標準偏差に基づき推定した場合にのみ表示されます。

工程監視の等級

測定システムの「等級」もレポートされます。「等級」を理解するには、「工程監視の等級分けについて」という凡例に記載されている情報を、まず理解する必要があります。

図 7.6 工程監視の等級分けについて

工程監視の等級分けについて

等級	級内相関	工程からの信号の減衰	ルール1だけによる検出確率 ※	ルール1～4による検出確率 ※
第1級	0.80-1.00	11%より小さい	0.99 - 1.0	1.0
第2級	0.50-0.80	11% - 29%	0.88 - 0.99	1.0
第3級	0.20-0.50	29% - 55%	0.40 - 0.88	0.92 - 1.0
第4級	0.00-0.20	55%より大きい	0.03 - 0.40	0.08 - 0.92

※ Wheeler のルールによって、3シグマの変化を検出できる確率

この凡例には、第1級から第4級までの等級について説明しています。等級ごとに次のような情報が表示されます。

- 各等級に対応する級内相関の値
- 工程からの信号の減衰量
- Wheeler（2006）で説明されている方法で（ルール1だけを用いた場合、または、ルール1～4のすべてを用いた場合）、10個のサブグループによって、3シグマの変化を検出できる確率

Wheeler（2006）では、ウェスタン・エレクトリックの8つのテストのうち、4つだけを用いています。「変化検出プロファイル」では、8つのテストすべてを選択できます。なお、Wheeler（2006）において、ルール1、2、3、4と呼ばれているものは、ウェスタン・エレクトリックにおける、1、5、6、2番のテストです。

測定の有効桁数

「測定の有効桁数」レポートは、測定の有効桁数を決めるのに役立ちます。有効桁数を増やしたり、逆に減らしたりする必要があるか、または、現在の桁数のままで良いかが表示されます。次の点を念頭に置いてください。

- 「公算誤差」には、繰り返し誤差（の絶対値）の中央値が表示されます。
- 「現在の測定単位」には、現在のデータから推察された測定単位が、10 のべき乗で表示されます。この数値が、「最小有効測定単位」、「測定単位の下限」、「最大有効測定単位」と比較され、有効桁数の提案がなされます。
- 有効桁数を減らすと、測定値の最終桁における数字がもつ不確実さは減ります。しかし、数値を丸めたことによる誤差は大きくなります。一方、有効桁数を増やすと、数値の丸めによる誤差は小さくなります。しかし、測定値の最終桁における数字は、不確実さが増します。

変化検出プロファイル

「変化検出プロファイル」は、工程平均を監視する管理図で、次の k 個のサブグループにおいて、指定された量だけ平均が変化して警告を生じる確率を計算します。サブグループのサイズが1と等しい場合、個々の測定値に対する管理図になります。サブグループのサイズが1より大きい場合、XBar管理図になります。「工程シグマ」と「誤って警報を出す確率」がチャートの下に表示されます。工程シグマの値は変更することもできます。

プロファイルには次のような設定値があります。

サブグループの数　警告が発せられる確率を計算するサブグループの数です。デフォルトの数は10です。信頼区間も表示されます。

部品平均の変化　検出したい平均の変化量（シフト）です。初期設定では、部品の標準偏差に対する推定値が設定されています。初期設定では、部品の標準偏差に対する推定値が設定されています。この初期値は、「分散成分」レポートに表示されている値です。信頼区間も表示されます。

部品の標準偏差　部品の標準偏差の推定値です。初期設定では、部品の標準偏差に対する推定値が設定されています。この初期値は、「分散成分」レポートに表示されている値です。

バイアス要因の標準偏差　バイアス要因の標準偏差です。初期設定では、再現精度の標準偏差の推定値が設定されています。初期設定では、「分散成分」レポートにある再現精度による変動と交互作用による変動を使用して求められます。

繰り返し誤差の標準偏差　モデルに見られる繰り返し誤差の標準偏差です。初期設定では、セル内誤差（繰り返し誤差）の標準偏差の推定値が設定されています。この初期値は、「分散成分」レポートに表示されている値です。

サブグループの標本サイズ　各サブグループの標本サイズを示します。初期設定では、1 に設定されています。標本サイズを大きくして、管理図の有効性を調べることができます。標本サイズを大きくすると、IR 管理図から XBar-R 管理図に切り替えた場合にどうなるかを確認できます。

設定を対話的に変更しながら、変化を検出する確率にどのような影響があるかを確認できます。また、「変化検出プロファイル」の赤い三角ボタンのメニューの使用時に適用するテストを選択し、カスタマイズすることもできます。使用するテストの数が多いほど、テストのいずれかで警告が発生する確率は高くなります。その他にも次のメニューオプションがあります。

工程シグマの変更　工程シグマの値を変更できます。初期設定では、部品の標準偏差に対する推定値が設定されています。新しい値を入力して［OK］をクリックします。

関連情報

- テストの詳細については、「管理図ビルダー」の章の「テスト」（42 ページ）を参照してください。
- 「分散成分」レポートと「EMP Gauge R&R 分析」レポートについては、「計量値用ゲージチャート」（159 ページ）の章を参照してください。
- プロファイルとそのオプションについては、『プロファイル機能』を参照してください。

バイアスの比較

［**バイアスの比較**］オプションを選択すると、「平均分析」グラフが作成されます。「平均分析」（ANOM）は、グループごとの平均を、全体の平均と比較します。ここでの「平均分析」のグラフは、測定者ごとの平均を見て、平均が高すぎたり、低すぎたりしている測定者がいないかを確認できます。

「平均分析」の赤い三角ボタンをクリックすると、次のようなオプションが表示されます。

有意水準の設定　サブメニューに表示されている有意水準を選択するか、［**その他**］を選択して自分で数値を入力します。有意水準を変更すると、上側決定限界と下側決定限界が変更されます。

要約レポートの表示　グループ平均と決定限界を示すレポートが表示されます。グループ平均が上側決定限界の上、または下側決定限界の下にある場合は、それもレポートされます。

表示オプション　次のようなオプションが表示されます。

– ［**決定限界の表示**］を選択すると、上側決定限界（UDL）と下側決定限界（LDL）を表す線と、限界の値が表示されます。

– ［**決定限界の陰影の表示**］を選択すると、UDL と LDL の間が淡色で塗りつぶされます。

– ［**中心線の表示**］を選択すると、平均を示す中心線が表示されます。
– ［**点のオプション**］では、グラフの表示形式を垂線、接続線、または点のみに切り替えることができます。

繰り返し誤差の比較

［**繰り返し誤差の比較**］オプションを選択すると、「分散の平均分析」または「範囲の平均分析」のグラフが作成されます。このグラフは、繰り返し誤差のばらつきに、測定者間で差があるかどうかを示しています。このグラフで、たとえば、各測定者において、測定方法が違っているかどうかを調べることができます。「範囲の平均分析」グラフは、分散成分が範囲により推定されている場合に表示されます。

- 「測定者の分散検定」の赤い三角ボタンのメニューに表示されるオプションについては、「バイアスの比較」（149 ページ）を参照してください。
- 「分散の平均分析」のグラフについては、「計量値用ゲージチャート」の章の「分散成分」（168 ページ）を参照してください。

測定システム分析の別例

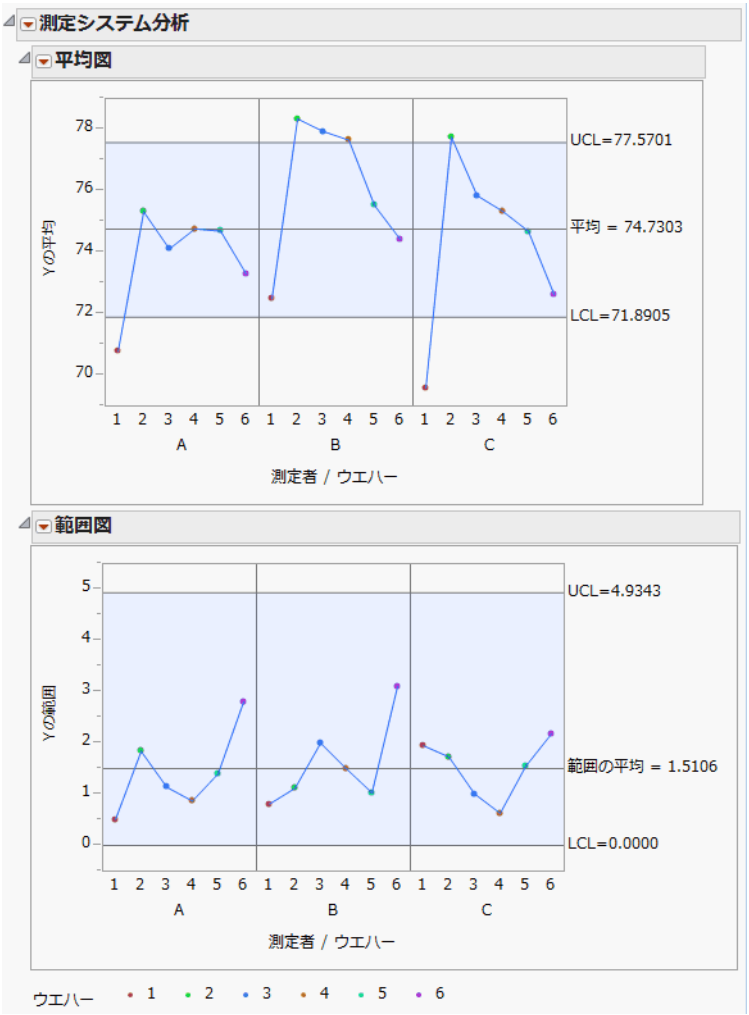
この例では、6 枚のウエハーを、3 名の測定者が 2 回ずつ測定しています。測定システムの精度について詳しく調べてみましょう。

初期分析の実行

1. 「Variability Data」フォルダにある「Wafer.jmp」データテーブルを開きます。
2. ［**分析**］>［**品質と工程**］>［**測定システム分析**］を選択します。
3. 「**Y**」に［**Y, 応答変数**］の役割を割り当てます。
4. 「**ウエハー**」に［**部品 , 標本 ID**］の役割を割り当てます。
5. 「**測定者**」に［**X, グループ変数**］の役割を割り当てます。

   「**分析方法**」が［**EMP**］に、「**ばらつき図の種類**」が［**範囲**］に、「**モデルの種類**」が「**交差**」に設定されていることを確認してください。
6. ［**OK**］をクリックします。

図 7.7 平均図と範囲図



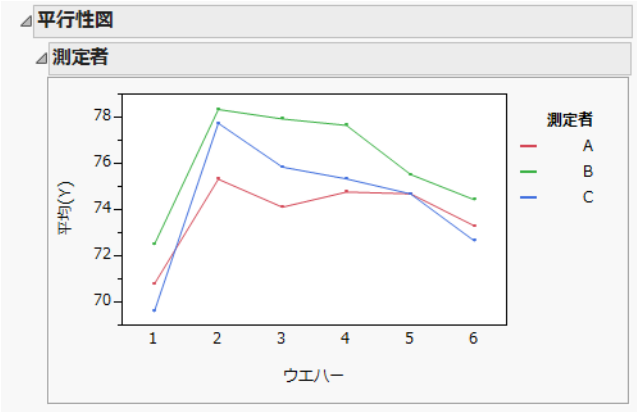
まず、「平均図」を見てください。いくつかの部品において、測定値の平均が管理限界外になっています。これは、測定によって、部品間の違いを検出できていることを意味しており、望ましい結果です。

次に、「範囲図」を見てください。すべての範囲が管理限界内に収まっています。これは、すべての条件において、測定値のばらつきが似ていることを示しています。すべての測定者が一貫した方法で測定していることを示唆しており、望ましい結果です。

交互作用の検討

測定者と部品の間の交互作用を調べましょう。「測定システム分析」の赤い三角ボタンをクリックし、[**平行性図**] を選択します。

図 7.8 平行性図

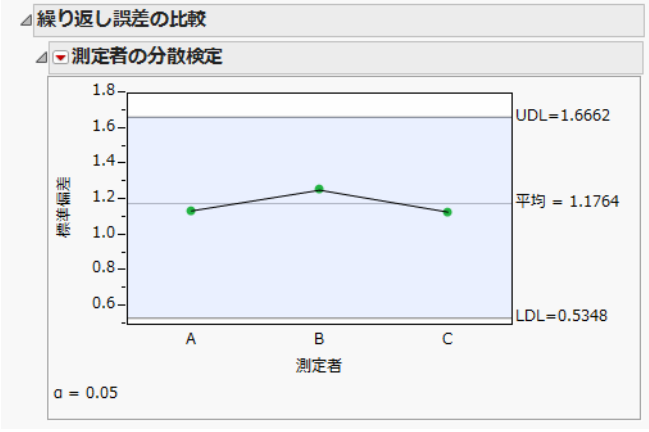


測定者別の平行性図を見ると、折れ線グラフがおおむね平行し、大きく交差する箇所もありません。

測定者の一貫性の検討

測定者ごとに見られるばらつきについて、さらに詳しく検討しましょう。「測定システム分析」の赤い三角ボタンをクリックし、［**繰り返し誤差の比較**］を選択します。

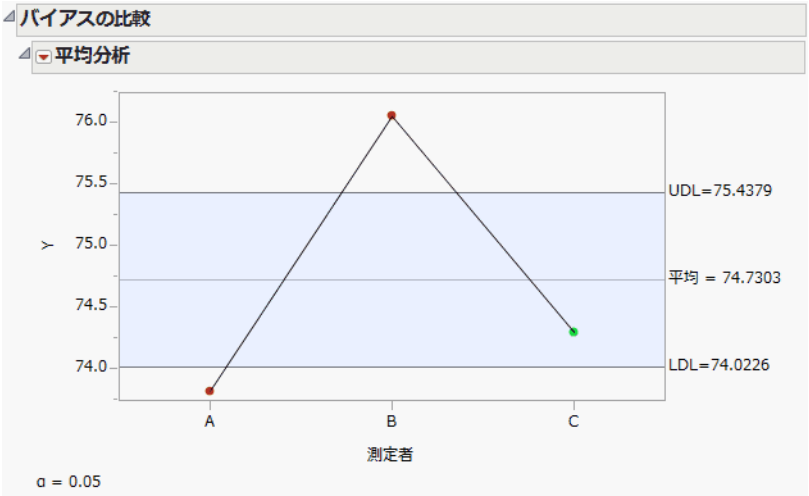
図 7.9 繰り返し誤差の比較



「繰り返し誤差の比較」レポートから、各測定者の繰り返し誤差がいずれも、全体の繰り返し誤差と有意に異ならないことがわかります。測定者の測定が一貫していると考えてよいでしょう。

念のため、「バイアスの比較」グラフも見てみましょう。このグラフは、測定者ごとの平均を見て、平均が高すぎたり、低すぎたりしている測定者がいないかを確認できます。「測定システム分析」の赤い三角ボタンをクリックし、［**バイアスの比較**］を選択します。

図 7.10 バイアスの比較



「バイアスの比較」グラフからは、次のようなことがわかります。

- 測定者 A と B は、全体平均からの偏りが大きく、測定バイアスが生じています。
- 測定者 A は、低い方向にバイアスが生じています。
- 測定者 B は、高い方向にバイアスが生じています。
- 測定者 C には、全体平均との有意差は見られません。

測定システムの等級分け

「EMP 分析」レポートを参考に、測定システムを等級分けし、改善点を探ってみましょう。「測定システム分析」の赤い三角ボタンをクリックし、［**EMP 分析**］を選択します。

図 7.11 EMP 分析

EMP分析

EMP分析	結果	説明
繰り返し誤差	1.3387	セル内誤差
自由度	16.017	セル内誤差の推定に使用された情報量
公算誤差	0.9029	1回の測定における誤差の中央値
級内相関 (バイアス除去後)	0.7385	バイアス要因を除去した場合の、部品によるばらつきの割合
級内相関 (バイアス含む)	0.6272	バイアス要因を含む場合の、部品によるばらつきの割合
バイアスの影響	0.1113	バイアス要因によって減少する級内相関の量

システム	等級
現状(バイアス含む)	第2級
実現可能(バイアス除去後)	第2級

工程監視の等級分けについて

等級	級内相関	工程からの信号の減衰	ルール1だけによる検出確率 ※	ルール1～4による検出確率 ※
第1級	0.80 - 1.00	11%より小さい	0.99 - 1.00	1.00
第2級	0.50 - 0.80	11% - 29%	0.88 - 0.99	1.00
第3級	0.20 - 0.50	29% - 55%	0.40 - 0.88	0.92 - 1.00
第4級	0.00 - 0.20	55%より大きい	0.03 - 0.40	0.08 - 0.92

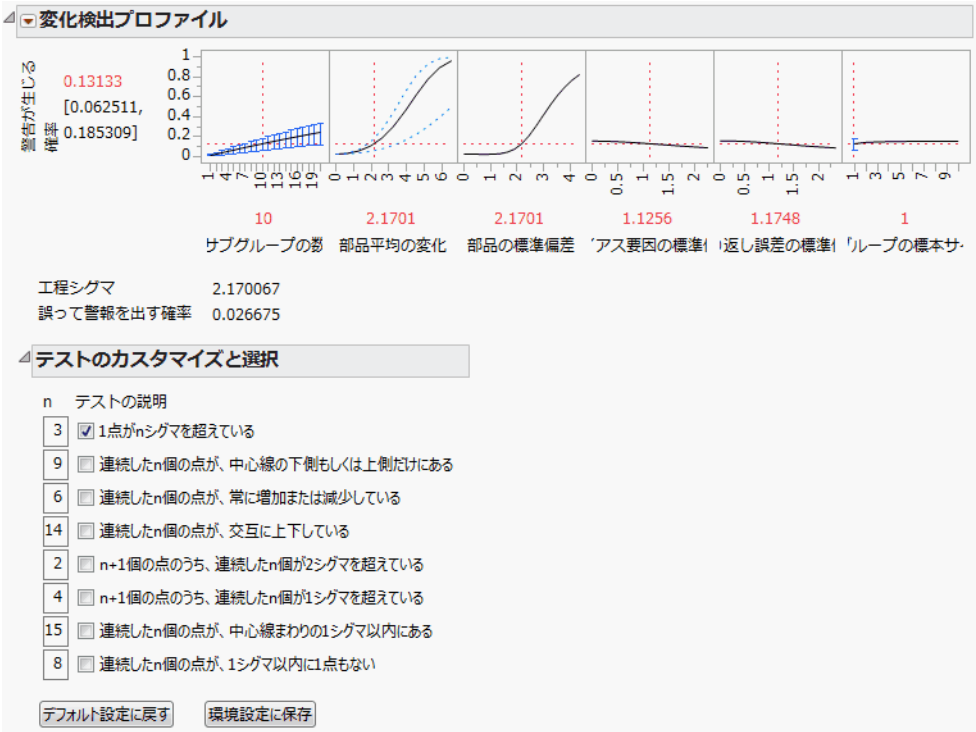
※ Wheeler のルールによって、3シグマの変化を検出できる確率

この例の測定システムは、「第 2 級」に分類されました。「第 2 級」の測定システムは、平均が 3 シグマだけ変化した場合、監視するサブグループが 10 個以下で、ルール 1 だけによって、その変化を検出できる確率は 88% 以上です。また、レポートを見ると、「バイアス要因によって減少する級内相関の量」が 0.11 になっています。つまり、もし、バイアス要因を除去できたら、級内相関係数は 0.11 だけ大きくなります。

確率の検討

「変化検出プロファイル」を用いて、パラメータの変更やテストの追加が、工程の変化を検出する確率に、どのように影響するかを調べましょう。「測定システム分析」の赤い三角ボタンをクリックし、［**変化検出プロファイル**］を選択します。

図 7.12 変化検出プロファイル



3 シグマ分の平均変化を 1 つ目のテストだけによって検出できる確率を、求めてみましょう。**「部品平均の変化」**の値を 2.1701 から 6.51（2.17 の 3 倍）に変更してください。3 シグマの変化を検出できる確率は約 96% であることが分かります。

次に、もし、バイアスを除去できたら、検出確率がどのように変化するかを見てみましょう。**「バイアス要因の標準偏差」**の値を 1.1256 から 0 に変更してください。確率は約 99% まで上がります。

最後に、用いるテストを増やした場合、検出確率がどのように変化するかを見てみましょう。1 つ目のテストに加えて、2、5、6 つ目のテストを選択してみてください。確率はほぼ 100% になります。

測定単位の検討

最後に、測定値の桁数が適切かどうかを調べてみましょう。「測定システム分析」の赤い三角ボタンをクリックし、［**測定の有効桁数**］を選択します。

図 7.13 測定の有効桁数

測定の有効桁数

要因		値	説明
公算誤差	(PE)	0.9029	1回の測定における誤差の中央値
現在の測定単位	(MI)	0.01	データから推察された測定単位(10のべき乗)
測定単位の下限	(0.1*PE)	0.0903	測定単位はこの値より小さくすべきではない
最小有効測定単位	(0.22*PE)	0.1986	測定値の間隔はこの値より大きいとより効果的
最大有効測定単位	(2.2*PE)	1.9865	この値より小さい測定単位が有効である

対処法: 測定値を1桁減らす。
理由: 現在の測定の1単位は0.01になっており、単位の下限より小さいです。測定値を丸めて、桁数を少なくすべきです。

「現在の測定単位」は 0.01 で、「測定単位の下限」の 0.09 を下回っています。この結果は、測定値の桁数を 1 桁減らして、0.01 から 0.1 に単位を変更したほうが良いことを示唆しています。

測定システム分析の統計的詳細

「級内相関（バイアス除去後）」は、次のように計算されます。

$$r_{pe} = \frac{\hat{\sigma}_p^2}{\hat{\sigma}_p^2 + \hat{\sigma}_{pe}^2}$$

「級内相関（バイアス含む）」は、次のように計算されます。

$$r_b = \frac{\hat{\sigma}_p^2}{\hat{\sigma}_p^2 + \hat{\sigma}_b^2 + \hat{\sigma}_{pe}^2}$$

「級内相関（バイアスと交互作用含む）」は、次のように計算されます。

$$r_{int} = \frac{\hat{\sigma}_p^2}{\hat{\sigma}_p^2 + \hat{\sigma}_b^2 + \hat{\sigma}_{int}^2 + \hat{\sigma}_{pe}^2}$$

公算誤差は、次のように計算されます。

$$Z_{0.75} \times \hat{\sigma}_{pe}$$

上式における各記号は、次のようになっています。

$\hat{\sigma}_{pe}^2$ = 繰り返し誤差（純粋誤差）の分散推定値

$\hat{\sigma}_p^2$ = 部品（製品）の分散推定値

$\hat{\sigma}_b^2$ = バイアス要因の分散推定値

$\hat{\sigma}_{int}^2$ = 交互作用の分散推定値

$Z_{0.75}$ = 標準正規分布の 75% 分位点

第 8 章

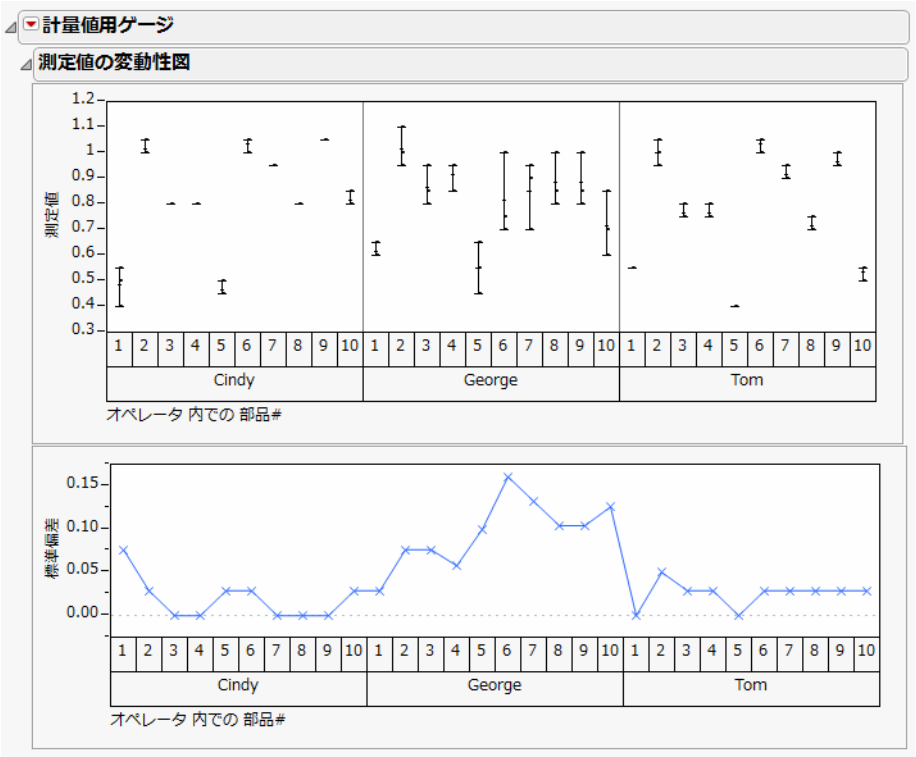
計量値用ゲージチャート

Gauge R&R による計量値の測定システム分析

計量値用ゲージチャートでは、連続量の測定値を分析し、測定システムの測定精度を調べることができます。ゲージ調査は、データに見られるばらつきを調べる方法でもあります。

ヒント：この章では、計量値用ゲージチャートだけを扱います。計数値用ゲージチャートの詳細については、「計数値用ゲージチャート」（181 ページ）の章を参照してください。

図 8.1 変動性図の例



目次

変動性図の概要 161

変動性図の例 161

「計量値 / 計数値ゲージチャート」プラットフォームの起動 163

「計量値用ゲージ」チャート 164

「計量値用ゲージ」プラットフォームのオプション 165

- 等分散性の検定 167
- 分散成分 168
- Gauge R&R 分析について 169
- ［Gauge RR］オプション 170
- 判別比 172
- 誤分類率 172
- バイアスレポート 173
- 直線性 173

変動性図のその他の例 174

- 等分散性の検定の例 174
- ［バイアスレポート］オプションの例 176

変動性図の統計的詳細 179

- 分散成分の統計的詳細 179
- 判別比の統計的詳細 180

変動性図の概要

ヒント：変動性図は従来、**マルチバリチャート**（multi vari chart: 多変量図）と呼ばれていましたが、この名前は知名度が低いため、より一般的な意味を持つ「変動性図」という名前を採用しています。

管理図では時間ごとに工程の変動（ばらつき）が描かれるのに対し、変動性図では、オペレータ、部品、繰り返し条件、計器などのカテゴリごとに変動が描かれます。変動性図では、グループ化変数の水準ごとにデータや平均などが図示されます。グラフは、横に並べて表示されます。平均、範囲、標準偏差がカテゴリごとに表示され、カテゴリ間でこれらの値がどのように異なるかを確かめることができます。カテゴリ間に見られる平均や分散の違いを調べるため、いろいろなオプションが用意されています。

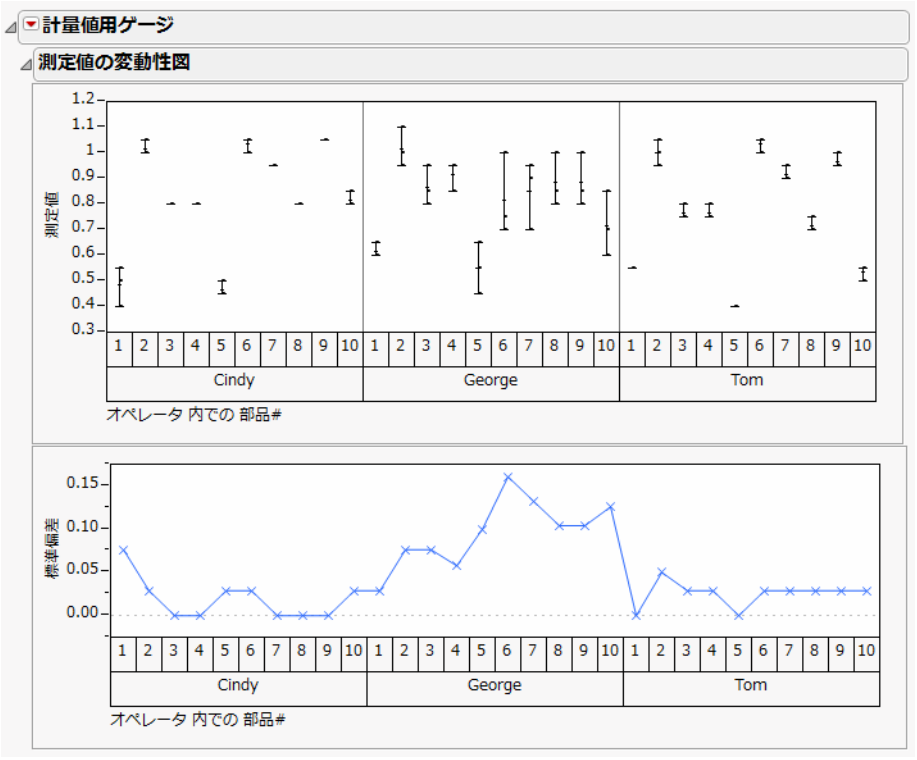
変動性図は、主に Gauge R&R（Gage Repeatability and Reproducibility：測定の再現精度および併行精度）のような測定精度の分析に使用します。Gauge R&R は、変動性のうち、どれだけがオペレータ間の変動（再現性）に起因し、どれだけが測定の繰り返し誤差（併行性、繰り返し性）に起因するかを調べるものです。Gauge R&R は、交差作用モデルと枝分かれモデルの多くの組み合わせで使用できます。また、データのバランス（釣り合い）が取れていなくても使用できます。

変動性図の例

部品の測定値を記録したデータがあるとしましょう。3 名のオペレータ（Cindy、George、Tom）が 10 個の部品についてそれぞれ測定しました。各自が各部品をそれぞれ 3 回評価したため、合計 90 件のオブザベーションが記録されています。オペレータごとに見られるばらつきについて検討します。

1. 「Variability Data」フォルダに入っている「2 Factors Crossed.jmp」サンプルデータテーブルを開きます。
2. ［**分析**］>［**品質と工程**］>［**計量値/計数値ゲージチャート**］を選択します。
3. 「**チャートの種類**」で［**計量値**］を選択します。
4. 「**測定値**」を選択し、［**Y, 応答変数**］をクリックします。
5. 「**オペレータ**」を選択し、［**X, グループ変数**］をクリックします。
6. 「**部品 #**」を選択し、［**部品 , 標本 ID**］をクリックします。
7. ［**OK**］をクリックします。

図 8.2 変動性図の例

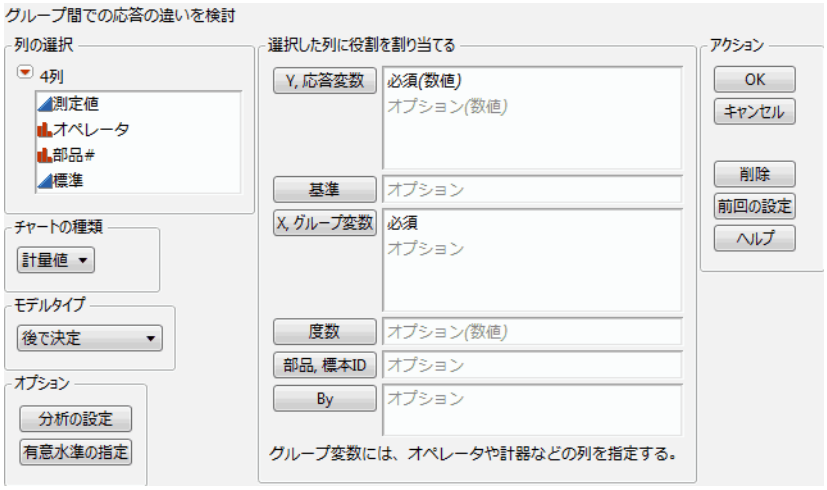


「標準偏差」チャートでは、Cindy と George の測定値のばらつきが Tom に比べて大きく、Tom の測定結果は部品間のばらつきが一番少ないことが見て取れます。George の測定値はばらつきが一番大きく、測定方法が測定方法が一環していない可能性を示唆しています。

「計量値 / 計数値ゲージチャート」プラットフォームの起動

「計量値/計数値ゲージチャート」プラットフォームを起動するには、［**分析**］ > ［**品質と工程**］ > ［**計量値/計数値ゲージチャート**］を選択します。「**チャートの種類**」を［**計量値**］に設定します。

図 8.3「変動性図/計数値用ゲージ(多変動図)」起動ウィンドウ



チャートの種類　計量値ゲージ分析（連続量の応答変数に対するゲージ分析）または計数値ゲージ分析（合格／不合格などのカテゴリカルな応答変数に対するゲージ分析）のいずれかを選択できます。

注：この章では、**計量値**用ゲージチャートについて解説します。**計数値**用ゲージチャートの詳細については、「計数値用ゲージチャート」（181 ページ）の章を参照してください。

モデルタイプ　モデルの種類（「**主効果**」、「**交差**」、「**枝分かれ**」など）を指定します。「分散成分の統計的詳細」（179 ページ）を参照してください。

分析の設定　分散成分の計算方法を指定します。「分析の設定」（168 ページ）を参照してください。

有意水準の指定　プラットフォームで使用する有意水準を指定します。

Y, 応答変数　測定列を指定します。Y 列を複数指定すると、応答変数ごとに個別の変動性図が作成されます。

基準　測定される部品の「真」の値（既知の値）を含む列を、［基準］の列として指定すると、**バイアス**および**直線性**の分析オプションが使用可能になります。これらのオプションは、観測した測定値と参照値（基準値）との差に関する分析を行います。「バイアスレポート」（173 ページ）および「直線性」（173 ページ）を参照してください。

X, グループ変数　測定値をグループに分けるための列を指定します。因子が枝分かれ階層になっているときは、高位の項から順に指定していきます。ゲージ分析の場合、まずオペレータを、次に部品を指定します。

度数　この役割を割り当てた列の値は、各行の度数（繰り返し数）を表します。データが集計されている場合に便利です。

部品 , 標本 ID　測定対象の部品または標本を指定します。

By　指定した列の水準ごとにレポートが作成されます。

起動ウィンドウの詳細については、『JMP の使用法』を参照してください。

「計量値用ゲージ」チャート

変動性図と標準偏差チャートに、変動のパターンが図示されます。これらのチャートを参考に、どのような変動（群内変動、群間変動、時間変動）が生じているかを確認できます。いずれかの要因による変動が大きいことがわかれば、その要因による変動を減らすよう対処できます。

図 8.4 は、「変動性図の例」（161 ページ）の手順に従って作成したものです。

図 8.4「計量値用ゲージ」チャート

これらのチャートでは、Y 軸に応答、X 軸に複数のカテゴリが表示されます。

図 8.4 の「測定値」チャートには、各測定者による測定値の範囲が部品ごとに表示されています。また、このチャートには、各測定値もプロットされています。最大値と最小値を示すバーは、各セルの範囲を示しています。平均を示すバーは、各セルの平均値を示しています。「標準偏差」チャートは、各測定者における部品ごとの標準偏差を表します。

図 8.4 で示されているチャートには、いくつかのオプションが用意されています。「「計量値用ゲージ」プラットフォームのオプション」（165 ページ）を参照してください。

また、次の操作によって、チャートで使われている変数を入れ替えることができます。

- 軸上の既存の変数をドラッグして別の軸にドロップする。変数をチャート上にドラッグするか軸ラベルをクリックすると、軸ラベルが強調表示されます。強調表示された箇所に変数をドロップできます。
- データテーブルの「列」パネルで変数をクリックし、軸の上にドラッグする。

なお、他のプラットフォームでは、データテーブルで行が除外されていても、その行はチャートやグラフには表示されますが、変動性図では除外された行は表示されません。

「計量値用ゲージ」プラットフォームのオプション

赤い三角ボタンのメニューのオプションを使用して、チャートの外観を変更したり、Gauge R&R 分析を実行したり、分散成分の推定値を計算したりできます。

注：図 8.4 に、一部のオプションの使用結果が図示されています。

ヒント：これらのオプションのデフォルトの動作を設定するには、［**ファイル**］>［**環境設定**］>［**プラットフォーム**］>［**変動性図**］を選択します。

チャートを縦に並べる　チャートの表示方向を縦または横に切り替えます。

変動性図　変動性図の表示／非表示を切り替えます。

点の表示　個々の行を表す点の表示／非表示を切り替えます。

範囲バーの表示　各セルの最大値と最小値を示すバーの表示／非表示を切り替えます。

セル平均の表示　各セルの平均を示すマーカーの表示／非表示を切り替えます。

セル平均をつなぐ　各セルの平均をつなぐ直線の表示／非表示を切り替えます。

区切り線の表示　［**X, グループ変数**］の水準間の区切り線の表示／非表示を切り替えます。

グループ平均の表示　（［X, グループ変数］を 2 つ以上、または［X, グループ変数］を 1 つと［部品, 標本 ID］を 1 つ割り当てた場合にのみ使用可能）セルグループごとの平均の表示／非表示を切り替えます。平均は、横の実線で表示されます。グループ変数を 1 つ選択するためのウィンドウが表示されます。

全体平均の表示　グラフ全体の平均の表示／非表示を切り替えます。平均は、グレーの横の点線で表示されます。

全体中央値の表示　グラフ全体の中央値の表示／非表示を切り替えます。中央値は、青の横の点線で表示されます。

箱ひげ図の表示　箱ひげ図の表示／非表示を切り替えます。

平均のひし形　平均のひし形の表示／非表示を切り替えます。信頼区間には、各セルのグループ内標準偏差が使用されます。

XBar 管理限界　変動性図上で上側管理限界線と下側管理限界線の表示／非表示を切り替えます。

点をずらす　点をランダムにずらし、一致した点が重なって表示されないようにします。

バイアス線の表示　（[**基準**] 変数を指定した場合にのみ使用可能）メインの変動性図でバイアス線の表示／非表示を切り替えます。

標準平均の表示　（[**基準**] 変数を指定した場合にのみ使用可能）基準列の平均の表示／非表示を切り替えます。

変動性要約レポート　要約レポートの表示／非表示を切り替えます。要約レポートは、平均、標準偏差、平均の標準誤差、下側および上側信頼限界、オブザベーションの数と最小値、最大値で構成されます。

標準偏差図　各セルの標準偏差を示すグラフの表示／非表示を切り替えます。

標準偏差の平均　標準偏差図において、標準偏差の平均を示す線の表示／非表示を切り替えます。

S 管理限界　標準偏差図において、下側信頼限界と上側信頼限界を示す線の表示／非表示を切り替えます。

標準偏差のグループ平均　標準偏差図において、標準偏差のグループ平均を示す線の表示／非表示を切り替えます。

等分散性の検定　グループごとの分散を比較する検定を実行します。「等分散性の検定」（167 ページ）を参照してください。

分散成分　特定のモデルに対して、分散成分（variance component）の推定値が計算されます。分散成分は、主効果、交差、枝分かれ、交差後枝分かれ（3 因子のとき）、枝分かれ後交差（3 因子のとき）のモデルについて計算することが可能です。「分散成分」（168 ページ）を参照してください。

ゲージ分析　次のオプションが表示されます。

- ［**Gauge RR**］では、第 1 因子をグループ変数の列、最後の因子を部品とみなし、分散成分の推定値を使って Gauge R&R 分析のレポートが作成されます（起動ウィンドウにおいて、［部品］の列を明示的に指定することもできます）。「［Gauge RR］オプション」（170 ページ）を参照してください。
- ［**判別比**］は、ある測定が特定の製品のために有用かどうかを相対的に割り出したもので、測定誤差の分散に対して、全体分散がどれほど大きいかを表す指標です。「判別比」（172 ページ）を参照してください。
- ［**誤分類率**］は、指定された仕様限界を用いたときに、良い部品が不適合と分類されてしまう確率と、悪い部品が適合と分類されてしまう確率を算出します。「誤分類率」（172 ページ）を参照してください。
- ［**バイアスレポート**］は、観測値と基準値の差の平均を表示します。平均バイアスのグラフと要約表が作成されます。このオプションは、起動ウィンドウで［基準］変数を指定した場合にのみ選択できま

す。「バイアスレポート」（173 ページ）を参照してください。

– ［**直線性**］は、基準値をX変数、バイアスをY変数として回帰分析を行います。この分析では、部品のサイズとバイアスとの関係が調べられます。傾きが0に等しくなるのが理想的です。傾きが0でない場合は、部品のサイズによってゲージの性能が異なることを示唆しています。このオプションは、起動ウィンドウで［基準］変数を指定した場合にのみ選択できます。「直線性」（173 ページ）を参照してください。

– ［**Gauge RR プロット**］サブメニューからは、［**平均プロット**］（モデルの各主効果と応答平均の関係）と［**標準偏差プロット**］が選択できます。モデルが純粋に枝分かれしている場合、グラフに枝分かれの構造が表示されます。モデルが純粋に交差している場合、交互作用グラフが表示されます。そのどちらでもない場合は、効果別にプロットが作成されます。標準偏差プロットにおける標準偏差の平均（赤い線）は、分散の重み付け平均の平方根です。

– ［**AIAG ラベル**］を使用すると、品質に関する統計量に米国自動車工業会（AIAG）が定める標準に沿ったラベルをつけることができます。AIAG 標準は、自動車産業で広く普及しています。

スクリプト　すべてのプラットフォームに共通なオプションが表示されます。詳細については、『JMP の使用法』を参照してください。

等分散性の検定

注：「等分散性の検定の例」（174 ページ）を参照してください。

［**等分散性の検定**］オプションをオンにすると、グループごとの分散を比較する検定が実行されます。分散の平均分析（ANOMV; analysis of means for variances）に基づいて、いずれかのグループの標準偏差が、グループ分散の平均の平方根と異なるかどうかが検定されます。

この手法では、正規分布に従っていないデータに対しても頑健となるように、並べ替えのシミュレーションを用いて決定限界を求めます。分析法の詳細については、Wludyka and Sa（2004）を参照してください。シミュレーションが採用されているため、このオプションを使用するたびに決定限界が若干異なります。毎回同じ結果を得るためには、Ctrl キーと Shift キーを押しながらオプションを選択し、同じ乱数シード値を指定します。

検定レポートの赤い三角ボタンをクリックすると、次のオプションがメニューに表示されます。

有意水準の設定　この検定の α 水準を設定します。

要約レポートの表示　検定の要約レポートの表示／非表示を切り替えます。要約レポートには、プロット上と同じ値が表示されます。

注：プロットと「要約」レポートに表示される値は、グループ標準偏差ではなく、検定の計算で使用された値です。

表示オプション　決定限界、決定限界の陰影、中心線、垂線の表示／非表示を切り替えることができます。

分散成分

［**分散成分**］オプションは、測定値間の変動をモデル化します。このモデルでは、測定値は、いろいろな変量効果を一定の平均に加えたものであると仮定されます。

注：［**分散成分**］オプションを選択すると、起動ウィンドウで「**モデルタイプ**」が未選択だった場合（［**後で決定**］を選択した場合）、モデルタイプを選択するためのウィンドウが開きます。モデルタイプの詳細については、「「計量値/計数値ゲージチャート」プラットフォームの起動」（163 ページ）を参照してください。

図 8.5「分散成分」レポートの例

分散分析

要因	自由度	平方和	平均平方	F値	p値(Prob>F)
オペレータ	2	0.054889	0.02744	1.3150	0.2931
部品#	9	2.633583	0.29262	14.0209	<.0001*
オペレータ*部品#	18	0.375667	0.02087	5.0425	<.0001*
セル内	60	0.248333	0.00414		
合計	89	3.312472	0.03722		

分散成分

成分	分散成分	全体に対する%	20406080	平方根(分散成分)
オペレータ	0.00021914	0.5461		0.01480
部品#	0.03019444	75.2		0.17377
オペレータ*部品#	0.00557716	13.9		0.07468
セル内	0.00413889	10.3		0.06433
合計	0.04012963	100.0		0.20032

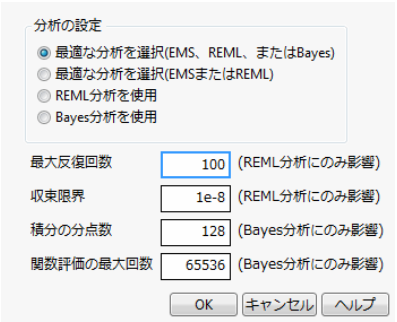
「分散分析」レポートは、分散成分の推定に EMS 法が使用されている場合にのみ表示されます。このレポートには、モデル内の各効果の有意度が表示されます。

「分散成分」表には、分散成分の推定値が表示されます。「分散成分の統計的詳細」（179 ページ）を参照してください。

分析の設定

起動ウィンドウで［**分析の設定**］をクリックすると、分散成分の計算方法を選択できます。

図 8.6「分析の設定」ウィンドウ



最適な分析を選択 (EMS、REML、または Bayes) 次の論理に従い、最適な分析法を EMS 法、REML 法、Bayes 法の中から選択します。

- データのバランスが取れていて、負の分散成分がない場合は、EMS 法（期待平均平方法）で分散成分の推定値が計算されます。
- データのバランスが取れていない場合は、REML 法（制限最尤法）が使用されます。ただし、分散成分の推定値が負になる場合は、Bayes 法が使用されます。
- EMS 法を用いて分散成分の推定値が負になる場合は、Bayes 法が使用されます。
- 分散成分に交絡関係がある場合は、分散推定値を非負とする制約付きの REML 法が使われ、負の分散成分の推定値は 0 とされます。

最適な分析を選択 (EMS または REML) 最適な分析法を EMS 法または REML 法から選択します。［**最適な分析を選択 (EMS、REML、または Bayes)**］オプションと同じ論理に従いますが、分散成分の推定値が負になる場合でも Bayes 法は使用されません。その場合は、制約付きの REML 法が使用され、負の分散成分は常に 0 とされます。

REML 分析を使用 データのバランスが取れている場合も、分散成分を非負とする制約付きの REML 法を使用します。この制約付きの REML 法では、バランスの取れていないデータも扱え、また、負の分散成分は常に 0 とされます。

Bayes 分析を使用 Bayes 法を使用します。Bayes 法では、バランスの取れていないデータを扱うことができ、分散成分の推定値は常にゼロでない正の値になります。分散成分に交絡関係がある場合は、制約付きの REML 法が使用され、分散成分の推定値が負となった場合は 0 とされます JMP で採用している手法では、調整を加えた Jeffreys の事前分布を用いて事後平均が算出されます。詳細は、Portnoy（1971）および Sahai（1974）を参照してください。

最大反復回数 （REML 法にのみ適用）問題が複雑で最適計算が収束しない場合は、反復回数を増やすと収束する場合があります。この値を増やすと、最適化における反復回数が多くなります。

収束限界 （REML 法にのみ適用）高い精度が求められる場合は、収束限界を小さくした方が得策です。この値を小さくすると、最適化における収束値の精度を向上できますが、収束値を得るまでの時間がかかります。収束限界を大きい値にすれば結果が短時間で得られますが、精度は低くなります。

積分の分点数 （Bayes 法にのみ適用）積分の分点数を増やすと、結果の数値精度は良くなりますが、計算時間が長くなります。この値を小さくすると、計算時間は短くなりますが、精度は悪くなります。

関数評価の最大回数 （Bayes 法にのみ適用）関数評価の最大回数を増やすと、結果の数値精度は良くなりますが、計算時間が長くなります。この値を小さくすると、計算時間は短くなりますが、精度は悪くなります。

Gauge R&R 分析について

Gauge R&R 分析では、測定値のばらつきのうち、どの程度が測定者（再現性）に起因し、どの程度が繰り返し誤差（併行性）に起因するかを分析します。JMP の Gauge R&R は、交差モデルや枝分かれモデルのあらゆる組み合わせに対応しています。また、バランスが取れていないデータにも対応しています。

ヒント：また、測定システムの評価に EMP 法を使用することもできます。詳細については、「測定システム分析」（137 ページ）の章を参照してください。

Gauge R&R 分析の実行前に、工程で生じるすべてのサイズの部品から、部品の標本を無作為抽出します。次に、複数のオペレータを無作為に選び、各部品を何度か測定してもらいます。測定値に見られる変動は、次のような原因から生じます。

- 部品ごとに生じる**工程変動**。測定の信頼性がとても高い場合には、データのばらつきはこの変動だけに起因します。
- 同じ部品を同じ条件で測定しても生じる測定の変動、つまり**併行精度**（repeatability）。表 8.1（170 ページ）では**セル内変動**と呼ばれています。
- 部品を測定するのが複数のオペレータであることから生じる変動、つまり**再現精度**（reproducibility）。

Gauge R&R 分析では、これらの変動が併行精度と再現精度に分類されてレポートされます。

表 8.1 Gauge R&R 分析での項と和の定義

分散の和	項	略称	別名
「セル内」変動	併行精度	EV	設備変動
「オペレータ＋オペレータ＊部品」による変動	再現精度	AV	評価者による変動
「オペレータ＊部品」による変動	交互作用	IV	交互作用による変動
「セル内+オペレータ+オペレータ*部品」による変動	Gauge R&R	RR	測定による変動
「部品」による変動	部品による変動	PV	部品による変動
「セル内＋オペレータ＋オペレータ＊部品＋部品」による変動	合計変動	TV	合計変動

管理図では、時間の経過につれて管理範囲から外れてしまった処理を判別できますが、変動性図では、平均または分散が他とは異なるオペレータ、計器、部品を判別することができます。

［Gauge RR］オプション

［**Gauge RR**］オプションで表示される指標は、オペレータと部品に対するゲージ調査に関するものです。

［**Gauge RR**］オプションを選択すると、モデルタイプを選択するためのウィンドウが表示されます（起動ウィンドウで選択していない場合）。その次に、Gauge R&R の仕様を変更します。

Gauge R&R の仕様を入力 / 確認

「Gauge R&R の仕様を入力 / 確認」ウィンドウには次のオプションがあります。

許容範囲の入力方法　許容範囲の入力方法を次の中から選択します。

［**許容範囲**］を選択すると、許容範囲を直接入力できます（許容範囲 = USL - LSL）。

［**LSL/USL**］を選択すると、仕様限界を入力できます。その値から許容範囲が自動的に計算されます。

K, シグマ乗数　K には、シグマに掛け合わせる定数を指定します。たとえば、「6」を入力すると、シグマの 6 倍（シックスシグマ工程）ということになります。

ヒント：K のデフォルト値を変更するには、［**ファイル**］>［**環境設定**］>［**プラットフォーム**］>［**変動性図**］を選択します。

許容範囲 , USL-LSL　工程の許容範囲（上側仕様限界と下側仕様限界の差）を入力します。

仕様限界　上側仕様限界と下側仕様限界を入力します。

履歴平均　許容範囲の入力方法として［LSL/USL］を選んで、片側の仕様限界だけを指定した場合、履歴平均が使われ、「USL - 履歴平均」または「履歴平均 - LSL」によって許容範囲が設定されます。なお、片側の仕様限界だけを設定し、「履歴平均」を入力しなかった場合は、全体平均が使用されます。

履歴 σ　ばらつきの値（履歴や過去の結果に基づく値）を入力します。

「Gauge R&R」レポート

図 8.7「Gauge R&R」レポートの例

Gauge R&R

要因		変動(6*標準偏差)		変動は6*sqrt(分散)で計算
併行精度	(EV)	0.3860052	設備による変動	V(セル内)
再現精度	(AV)	0.4568005	判定者による変動	V(オペレータ) + V(オペレータ*部品#)
オペレータ		0.0888194		V(オペレータ)
オペレータ*部品#		0.4480823		V(オペレータ*部品#)
Gauge R&R	(RR)	0.5980524	測定による変動	V(セル内) + V(オペレータ) + V(オペレータ*部品#)
部品による変動	(PV)	1.0425929	部品による変動	V(部品#)
合計変動	(TV)	1.2019429	合計変動	V(セル内) + V(オペレータ) + V(オペレータ*部品#) + V(部品#)

6 k
49.7571 % Gauge R&R = 100*(RR/TV)
0.57362 部品変動(PV)と測定精度(RR)との比
2 異なるカテゴリの数 = 1.41(PV/RR)
最後に指定された列部品#が、部品の列として使用されています。

完全な「Gauge R&R」レポート

Gauge R&R

測定		変動(6*標準偏差)		変動は6*sqrt(分散)で計算
オペレータ*部品#	(IV)	0.4480823	交互作用による変動	V(オペレータ*部品#)
併行精度	(EV)	0.3860052	設備による変動	V(セル内)
再現精度	(AV)	0.4568005	判定者による変動	V(オペレータ)+V(オペレータ*部品#)
Gauge R&R	(RR)	0.5980524	測定による変動	V(セル内)+V(オペレータ)+V(オペレータ*部品#)
部品による変動	(PV)	1.0425929	部品による変動	V(部品#)
合計変動	(TV)	1.2019429	合計変動	V(セル内)+V(オペレータ)+V(オペレータ*部品#)+V(部品#)

6 k
49.7571 % Gauge R&R = 100*(RR/TV)
0.57362 部品変動(PV)と測定精度(RR)との比
2 異なるカテゴリの数 = 1.41(PV/RR)

簡略版の「Gauge R&R」レポート

注：Gauge R&R 簡略レポートを生成するには、［**ファイル**］>［**環境設定**］>［**プラットフォーム**］>［**変動性図**］>［**Gauge RR 簡略レポート**］を選択します。

この例では、「変動」列の値は、分散成分の和の平方根に *k* の値（この例では 6）を掛けたものです。

表 8.2 は、測定のばらつきの大きさを示す指標である「% Gage R&R」について、Barrentine（1991）が提案している基準をまとめています。

表 8.2 受け入れることができるパーセント測定変動

～10%	優良
11%～20%	適切
21%～30%	ぎりぎりで受け入れられる
30%～	受け入れることはできない

許容範囲などを指定すると、次のような結果も出力されます。

- 「Gauge R&R の仕様を入力/確認」ウィンドウで［**許容範囲**］を指定した場合は、「Gauge R&R」レポートに「**許容範囲に対する %**」列が表示されます。この列の値は、100*(変動 / 許容範囲) という式で計算されます。また、レポートの下部に「**精度と許容範囲の比**」も表示されます。この比は、測定の変動が、許容範囲（仕様限界の範囲）においてどれぐらい占めているかを示します。
- 「Gauge R&R の仕様を入力/確認」ウィンドウで［**履歴 σ**］を指定した場合は、「Gauge R&R」レポートに「**工程 (%)**」列が表示されます。この列の値は、100*(変動 /(K* 履歴 σ)) という式で計算されます。
- 「異なるカテゴリの数」（NDC; Number of distinct categories）は、(1.41*(PV/RR)) という式で求めた値を整数に切り下げたものです。

判別比

判別比は、ある測定が特定の製品のために有用かどうかを相対的に割り出したもので、一般に、判別比が 2 未満のときは、その測定では製品の変動を検出できず、測定処理を改善する必要があると言えます。判別比が 4 より大きい場合、許容できない製品の変動が的確に検出されるため、生産工程を改善するためにその測定システムを用いることができると示唆されます。

詳細については、「判別比の統計的詳細」（180 ページ）を参照してください。

誤分類率

測定誤差により、優良部品が不適合と分類され、不良部品が適合と分類される場合があります。これを誤分類といいます。［**誤分類率**］オプションを選択すると、モデルタイプを選択するためのウィンドウと仕様限界を入力するためのウィンドウが表示されます（いずれも指定していない場合）。

図 8.8「誤分類率」レポートの例

誤分類率

説明	確率
良い部品で、誤って棄却される確率	0.0802
悪い部品で、誤って受容される確率	0.2787
部品が良く、かつ棄却される確率	0.0735
部品が悪く、かつ受容される確率	0.0235
部品が良い確率	0.9157

次の点を念頭に置いてください。

- 1 番目と 2 番目の値は条件付き確率です。
- 3 番目と 4 番目の値は結合確率です。
- 5 番目の値は周辺確率です。
- 先頭から 4 つの値は誤りの確率で、測定で生じるばらつきが小さくなると、この確率も小さくなります。

バイアスレポート

［**バイアスレポート**］を選択すると、「全体の測定バイアス」と「基準ごとの測定バイアス」のグラフおよび要約表が表示されます。X 変数の各水準におけるバイアス（観測値と基準値の差）の平均が表示されます。バイアスに対する **t** 検定も行われます。

［**バイアスレポート**］オプションは、起動ウィンドウで［**基準**］変数を指定した場合にのみ選択できます。

「測定バイアス」レポートの赤い三角ボタンをクリックすると、次のオプションがメニューに表示されます。

信頼区間　各部品の平均バイアスに対して信頼区間を計算し、「基準ごとの測定バイアス」プロット上にマークを表示します。

測定誤差グラフ　すべてのグループ変数をまとめて比較した測定誤差グラフと、グループ変数ごとに個別の測定グラフが作成されます。

直線性

［**直線性**］オプションは、基準変数を X 変数、バイアスを Y 変数として使用し、回帰分析を行います。この分析では、部品のサイズとバイアスとの関係が調べられます。傾きが 0 に等しくなるのが理想的です。傾きが 0 と有意に異なる場合、部品のサイズ（または基準として測定される変数）と測定バイアスの間に有意な関係があると結論できます。

［**直線性**］オプションは、起動ウィンドウで［**基準**］変数を指定した場合にのみ選択できます。

レポートには次の情報が表示されます。

- 基準ごとのバイアスの要約統計量。
- 「直線の傾きが 0 である」に対する検定の分散分析表。

- 傾き（直線性）や切片（バイアス）などの直線のパラメータ。切片の検定は、傾きの検定で「傾きが 0 である」という仮説が棄却されなかった場合のみ有用です。
- 回帰式は、グラフの下に表示されます。

「直線性」レポートの赤い三角ボタンをクリックすると、次のオプションがメニューに表示されます。

有意水準の設定　バイアスの信頼区間で使用している α 水準を変更できます。

グループごとの直線性　起動ウィンドウで［**X, グループ変数**］に指定した変数の水準ごとに、個別の直線性プロットを作成します。

変動性図のその他の例

ここでは、変動性図の例をさらに紹介します。

等分散性の検定の例

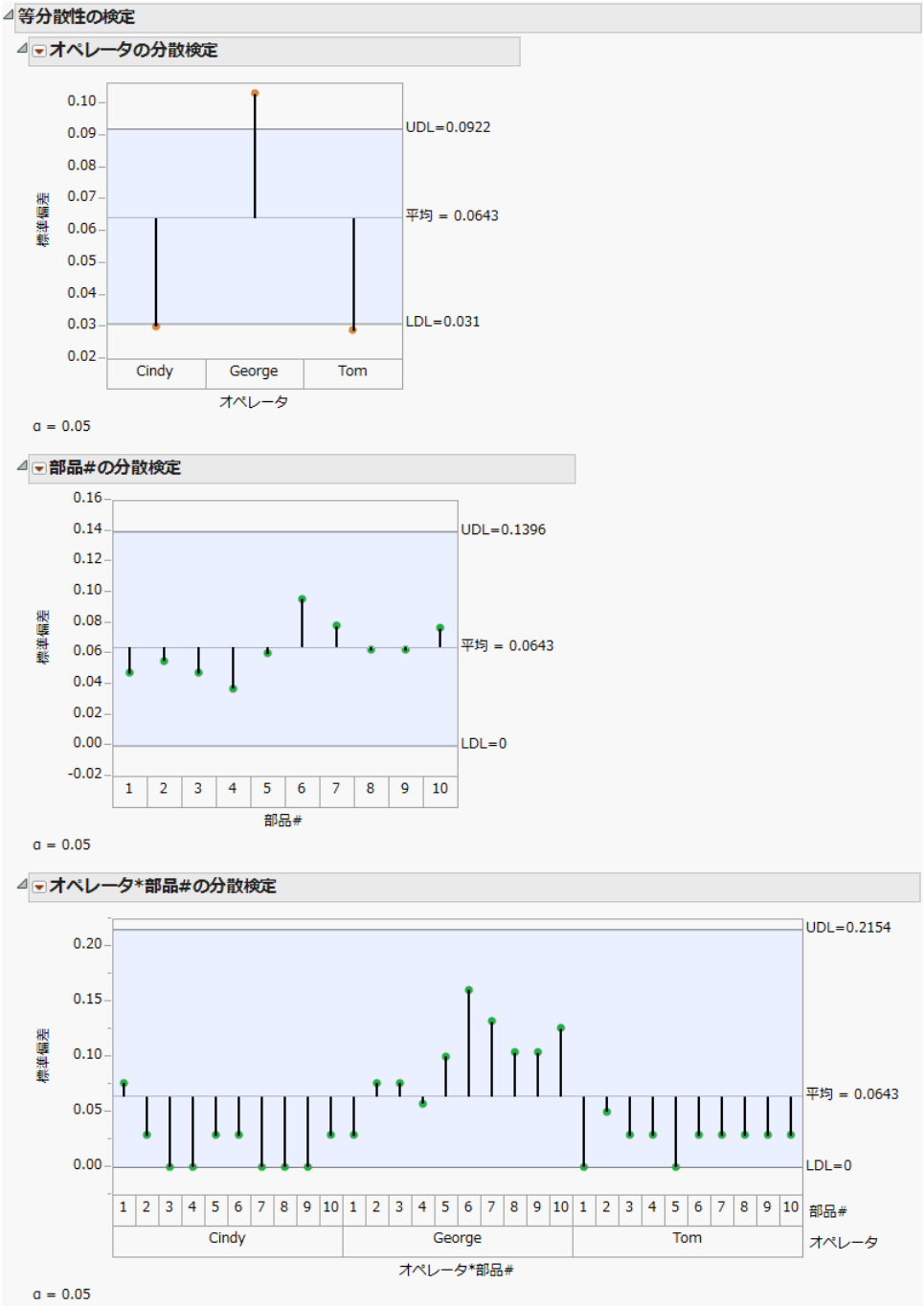
この例では、部品の測定値を記録したデータを分析します。3 名のオペレータ（Cindy、George、Tom）が 10 個の部品についてそれぞれ測定しました。各自が各部品をそれぞれ 3 回評価したため、合計 90 件の測定値が記録されています。以下の点を検討します。

- 測定値のばらつきが、オペレータごとに異なるかどうか
- 測定値のばらつきが、部品ごとに異なるかどうか
- 測定値のばらつきが、オペレータと部品の組み合わせごとにが異なるかどうか

すべてのグループで、測定のばらつきが同じであるのが理想的です。

1. 「Variability Data」フォルダに入っている「2 Factors Crossed.jmp」サンプルデータテーブルを開きます。
2. ［**分析**］>［**品質と工程**］>［**計量値 / 計数値ゲージチャート**］を選択します。
3. 「**測定値**」を選択し、［**Y, 応答変数**］をクリックします。
4. 「**オペレータ**」を選択し、［**X, グループ変数**］をクリックします。
5. 「**部品 #**」を選択し、［**部品 , 標本 ID**］をクリックします。
6. 「**チャートの種類**」を［**計量値**］に設定します。
7. ［**OK**］をクリックします。
8. 赤い三角ボタンのメニューから［**等分散性の検定**］を選択します。
9. ［**交差**］を選択します。
10. ［**OK**］をクリックします。

図 8.9「等分散性の検定」レポート



注：シミュレーションが採用されているため、このオプションを使用するたびに決定限界が若干異なります。

「オペレータの分散検定」では、3つの水準すべてが上側決定限界または下側決定限界を超えています。このことから、各オペレータにおけるばらつきは、全体の平均的なばらつきと異なっていると結論できます。この分析結果を受けて、なぜ、オペレータ間でばらつきが異なったのかを考える必要があるでしょう。

「部品 # の分散検定」と「オペレータ * 部品 # の分散検定」では、どの水準も決定限界を超えていません。したがって、それぞれの分散は、分散の平均と統計的有意差はないと結論づけられます。グラフを見ても、これらのグループの分散は似たような大きさになっています。

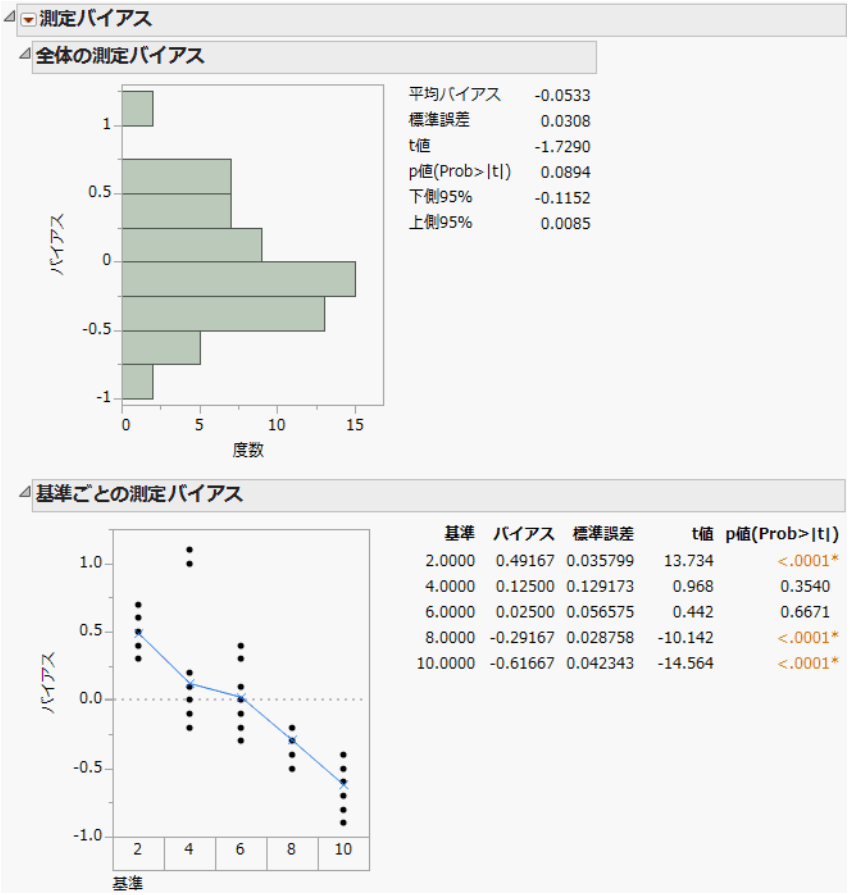
［バイアスレポート］オプションの例

注：この節で用いるデータは、Automotive Industry Action Group (AIAG) (2002), Measurement Systems Analysis Reference Manual (3rd edition, 94) から引用したものです。

工場の責任者として、新しい測定システムを工程に導入することを検討しているとしましょう。製造部品承認プロセス（PPAP: Production Part Approval Process）の一環として、測定システムのバイアスと直線性を評価する必要があります。測定システムが使われる工程から、実際の製品のばらつきに従っている5つの部品を抽出しました。まず、基準値を決めるために、各部品をケガキ検査で測定しました。そして、主任オペレータが各部品を12回測定しました。なお、部品は、測定するその日に無作為に抽出されました。この例では、全体の測定バイアスと個々の測定バイアス（基準値ごとの測定バイアス）を検討します。

1. 「Variability Data」フォルダに入っている「MSALinearity.jmp」サンプルデータテーブルを開きます。
2. ［**分析**］>［**品質と工程**］>［**計量値/計数値ゲージチャート**］を選択します。
3. 「**応答**」を選択し、［**Y, 応答変数**］をクリックします。
4. 「**基準**」を選択し、［**基準**］をクリックします。
5. 「**部品**」を選択し、［**X, グループ変数**］をクリックします。
6. 「**チャートの種類**」を［**計量値**］に設定します。
7. ［**OK**］をクリックします。
8. 赤い三角ボタンのメニューから［**ゲージ分析**］>［**バイアスレポート**］を選択します。

図 8.10「測定バイアス」レポート



測定値ごとにバイアス（**「応答」- 「基準」**）が計算されます。「全体の測定バイアス」レポートには、バイアスのヒストグラムと、平均バイアスが 0 であるかどうかの t 検定が表示されます。「平均バイアス」はちょうどぴったり 0 ではなく、-0.0533 になっています。ただし、95% 信頼区間 (-0.1152、0.0085) にゼロが含まれるため、「平均バイアス」とゼロとの間には、有意水準 5% で統計的有意差は見られません。また、**p** 値が 0.05 より大きいことからも、「平均バイアス」と 0 との間には有意水準 5% で統計的有意差が見られないことが分かります。

「基準ごとの測定バイアス」には、各部品の平均バイアスが表示されます。グラフには、各部品の平均バイアスの他に実際のバイアスの値もプロットされているので、広がりがわかります。この例では、部品番号 1（基準値 2）は高い方向に、部品番号 4 と 5（基準値 8、10）は低い方向にバイアスが生じています。

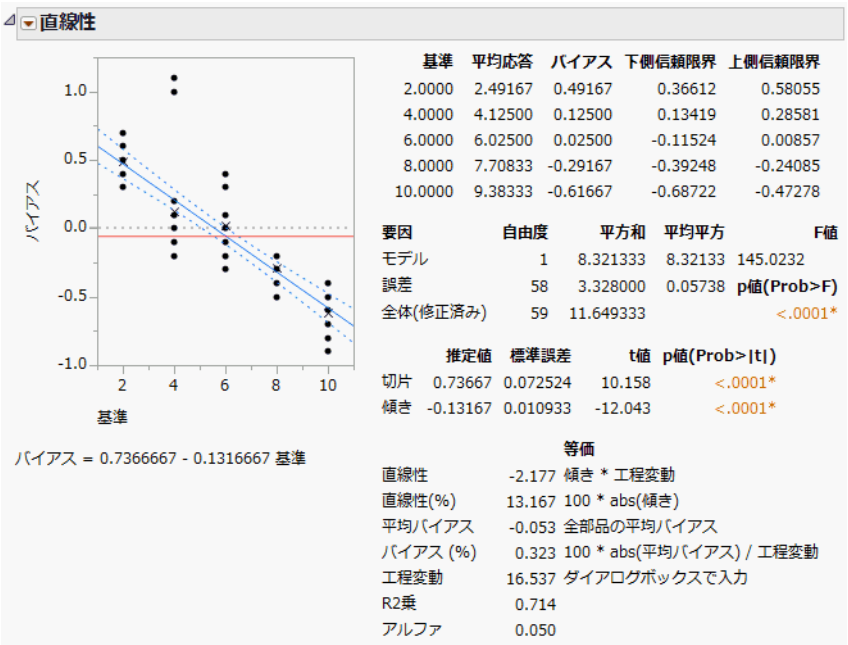
ヒント：バイアスの信頼区間を表示するには、表を右クリックして［**列**］>［**下側 95%**］と［**上側 95%**］を選択します。

直線性の例

［**バイアスレポート**］オプションと同じデータとシナリオを使用して、直線性を調べ、部品のサイズとオペレータの測定能力の間に有意な関係があるかどうかを判定します。

1. 「Variability Data」フォルダに入っている「MSALinearity.jmp」サンプルデータテーブルを開きます。
2. ［**分析**］>［**品質と工程**］>［**計量値/計数値ゲージチャート**］を選択します。
3. 「**応答**」を選択し、［**Y, 応答変数**］をクリックします。
4. 「**基準**」を選択し、［**基準**］をクリックします。
5. 「**部品**」を選択し、［**X, グループ変数**］をクリックします。
6. 「**チャートの種類**」を［**計量値**］に設定します。
7. ［**OK**］をクリックします。
8. 赤い三角ボタンのメニューから［**ゲージ分析**］>［**直線性**］を選択します。
9. 「工程変動 (K* 履歴 σ) を指定」ウィンドウが表示されるので、「16.5368」と入力します。

図 8.11 直線性



基準	平均応答	バイアス	下側信頼限界	上側信頼限界
2.0000	2.49167	0.49167	0.36612	0.58055
4.0000	4.12500	0.12500	0.13419	0.28581
6.0000	6.02500	0.02500	-0.11524	0.00857
8.0000	7.70833	-0.29167	-0.39248	-0.24085
10.0000	9.38333	-0.61667	-0.68722	-0.47278

要因	自由度	平方和	平均平方	F値
モデル	1	8.321333	8.32133	145.0232
誤差	58	3.328000	0.05738	p値(Prob>F)
全体(修正済み)	59	11.649333		<.0001*

	推定値	標準誤差	t値	p値(Prob>|t|)
切片	0.73667	0.072524	10.158	<.0001*
傾き	-0.13167	0.010933	-12.043	<.0001*

	等価	
直線性	-2.177	傾き * 工程変動
直線性(%)	13.167	100 * abs(傾き)
平均バイアス	-0.053	全部品の平均バイアス
バイアス (%)	0.323	100 * abs(平均バイアス) / 工程変動
工程変動	16.537	ダイアログボックスで入力
R2乗	0.714	
アルファ	0.050	

次の点に注目してください。

- 傾きは -0.131667 です。この値は、グラフの下に表示されている回帰式と、3 番目の表から知ることができます。

- 傾きに対する t 検定の p 値はかなり小さくなっています（p<0.0001）。この検定は、バイアスが基準値とともに変化するかどうかを評価します。

p 値が小さいため、部品のサイズと、オペレータの測定バイアスとの間には有意な直線関係があると結論できます。この関係はグラフでも確認できます。基準値が小さいと高い方向に測定バイアスが生じ、逆に、基準値が大きいと低い方向にバイアスが生じています。

変動性図の統計的詳細

ここでは、分散成分と判別比の統計的詳細について説明します。

分散成分の統計的詳細

選択するモデルの種類は、データの収集方法によって異なります。たとえば、オペレータが同じ部品を測定している場合は交差モデル、異なる部品を測定している場合は枝分かれモデルを選択します。具体例として、B が A から枝分かれしているときは、次のように、$na \times nb \times nw$ 個の測定値があることになります。

- 変量効果 A の水準が **na** 個
- A の各水準に nb 個ずつある変量効果 B の水準が $na \times nb$ 個
- A 内の B の各水準に nw 個ずつある変量効果が $na \times nb \times nw$ 個

$$y_{ijk} = u + Za_i + Zb_{ij} + Zw_{ijk}$$

Z は、各階層の変量効果を表します。どの Z も、その他の変量効果とは相関がない、平均がゼロの変量効果と仮定されています。この仮定のもとでは、応答 Y の分散は、各 Z 成分の分散の和として求められます。

$$\mathrm{Var}(y_{ijk}) = \mathrm{Var}(Za_i) + \mathrm{Var}(Zb_{ij}) + \mathrm{Var}(Zw_{ijk})$$

表 8.3 は、使用できるモデルと、各モデル内の効果をまとめたものです。

表 8.3「変動性図」プラットフォームで使用できるモデル

モデル	因子数	モデル内の効果
主効果	1	A
	2	A、B
	無制限	因子数に合わせて以下同様

表 8.3「変動性図」プラットフォームで使用できるモデル（**続き**）

モデル	因子数	モデル内の効果
交差	1	A
	2	A、B、A*B
	3	A、B、A*B、C、A*C、B*C、A*B*C
	4	A、B、A*B、C、A*C、B*C、A*B*C、D、A*D、B*D、A*B*D、C*D、A*C*D、B*C*D、A*B*C*D、
	無制限	因子数に合わせて以下同様
枝分かれ	1	A
	4	A、B(A)
	3	A、B(A)、C(A,B)
	4	A、B(A)、C(A,B)、D(A,B,C)
	無制限	因子数に合わせて以下同様
交差後、枝分かれ	3	A、B、A*B、C(A,B)
枝分れ後、交差	3	A、B(A)、C、A*C、C*B(A)

判別比の統計的詳細

判別比とは、測定値の合計分散を、測定誤差の分散に対比した値です。判別比は、枝分かれしたものも含め、すべての主効果に対して計算されます。判別比（*D*）は、次の式で計算されます。

$$D = \sqrt{2\left(\frac{P}{T-P}\right)+1}$$

ここで、

P = 該当する要素の分散（の推定値）

T = 合計分散（の推定値）

第 9 章

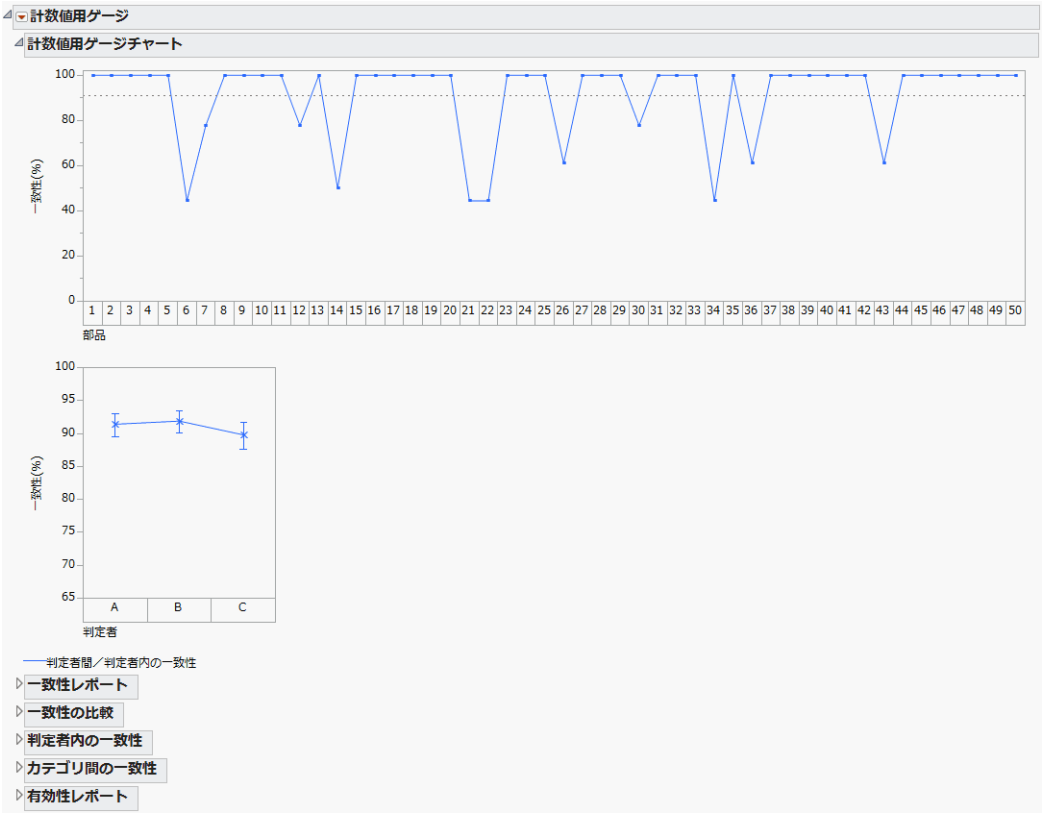
計数値用ゲージチャート

カテゴリカル測定データの一致性評価

計数値用ゲージチャートは、カテゴリカルな測定値を分析し、各応答（たとえば判定者）の一致性を測ります。**計数値データ**とは、分析対象である変数がカテゴリを表す特性値であるものを指します。典型的な例は、2つの結果しかないデータ（合格／不合格など）です。判定者による部品判定の有効性、判定者間の一致率、同一判定者の複数回判定間の一致率などを調べることができます。

ヒント：この章では、計数値用ゲージチャートだけを扱います。計量値用ゲージチャートの詳細については、「計量値用ゲージチャート」（159 ページ）の章を参照してください。

図 9.1 計数値用ゲージチャートの例



目次

計数値用ゲージチャートの概要 183
計数値用ゲージチャートの例 183
「計量値 / 計数値ゲージチャート」プラットフォームの起動 185
「計数値用ゲージ」のチャートとレポート 186
一致性レポート 187
有効性レポート 188
「計数値用ゲージ」プラットフォームのオプション 190
計数値用ゲージチャートの統計的詳細 191
「一致性レポート」の統計的詳細 192

計数値用ゲージチャートの概要

計数値用ゲージチャートを作成する前に、次のガイドラインに従い、データの形式を整えておく必要があります。

- 判定者間の一致率を比較するには、データテーブルにおいて、判定者ごとに 1 列ずつ結果を保存しておく必要があります。これらの列に、起動ウィンドウで［**Y, 応答変数**］の役割を割り当てます。図 9.2 では、判定者（A、B、C）ごとに、全部で 3 列で結果が保存されています。
- 各列に保存する応答は、文字列（合格／不合格）、数値（0／1）のいずれでもかまいません。図 9.2 では、判定者の応答は数値（合格の場合は 0、不合格の場合は 1）で保存されています。応答列のデータタイプはすべて同じであることが必要です。
- ［**X, グループ変数**］として使用したいその他の変数は、それぞれ 1 つの列に入れておきます（図 9.2 の［部品］列を参照）。［基準］列も定義し、各判定者を基準と比較したレポートを生成することもできます。基準列と応答列のデータタイプは同じである必要があります。

図 9.2 計数値用ゲージチャート

Attribute Gauge
計数値用チャート

列(7/0)
部品
基準
コード
A
B
C
参照値

行
すべての行 150
選択されている行 0
除外されている行 0
表示しない行 0

	部品	基準	コード	A	B	C	参照値
25	9	0	-	0	0	0	0.437817
26	9	0	-	0	0	0	0.437817
27	9	0	-	0	0	0	0.437817
28	10	1	+	1	1	1	0.515573
29	10	1	+	1	1	1	0.515573
30	10	1	+	1	1	1	0.515573
31	11	1	+	1	1	1	0.488905
32	11	1	+	1	1	1	0.488905
33	11	1	+	1	1	1	0.488905
34	12	0	x	0	0	0	0.559918
35	12	0	x	0	0	1	0.559918
36	12	0	x	0	0	0	0.559918
37	13	1	+	1	1	1	0.542704

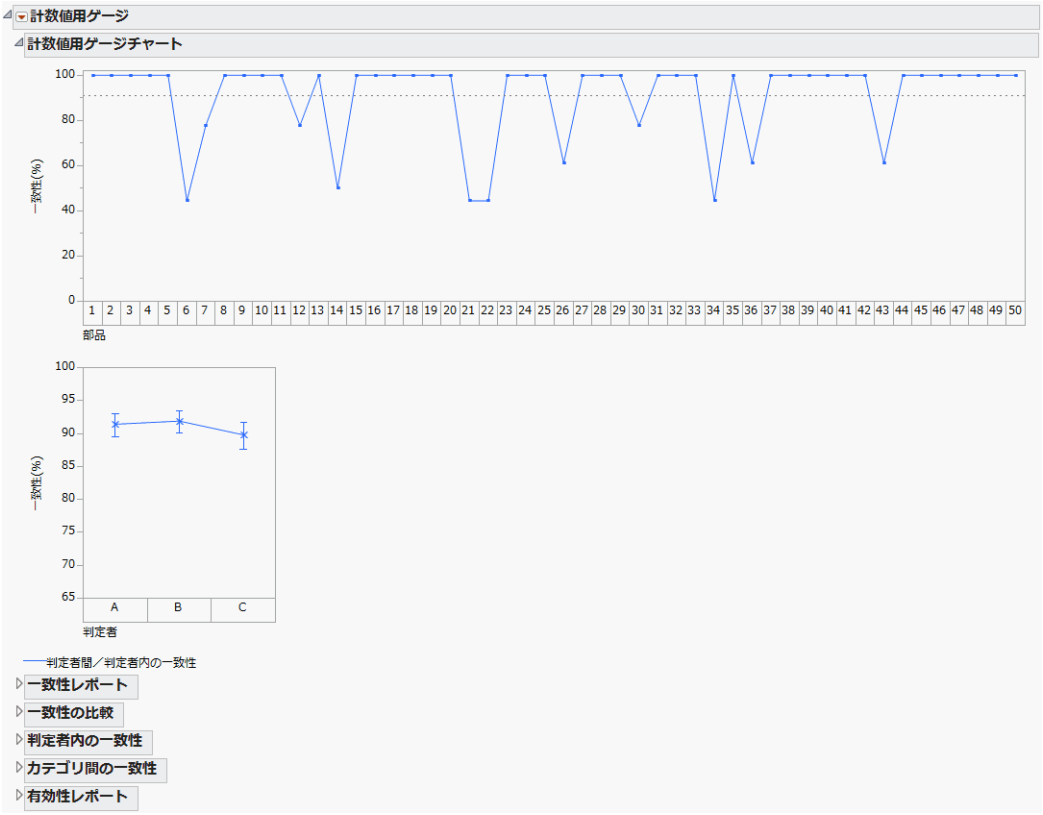
計数値用ゲージチャートの例

部品の評価（合格／不合格）を記録したデータがあるとします。3 人の判定者（A、B、C）が 50 個の部品をそれぞれ 3 回ずつ評価し、0（合格）または 1（不合格）の判定を下しています。判定者による部品判定の有効性、判定者間の一致率、同一判定者の複数回判定間の一致率などを調べます。

1. 「Attribute Gauge.jmp」サンプルデータテーブルを開きます。
2. ［**分析**］>［**品質と工程**］>［**計量値/計数値ゲージチャート**］を選択します。
3. 「**チャートの種類**」で［**計数値**］を選択します。
4. 「**A**」、「**B**」、「**C**」を選択し、［**Y, 応答変数**］をクリックします。
5. 「**基準**」を選択し、［**基準**］をクリックします。

6. 「**部品**」を選択し、［**X, グループ変数**］をクリックします。
7. ［**OK**］をクリックします。

図 9.3 計数値用ゲージチャートの例



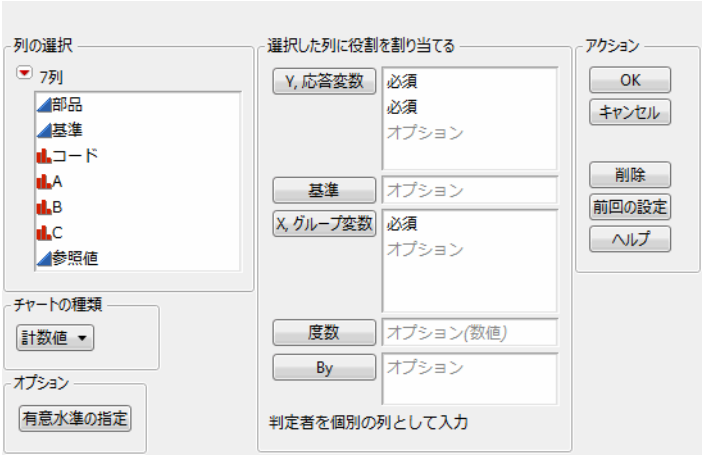
1 番目のチャート（「部品」）には、部品ごとに判定者間の一致率が表示されます。たとえば、部品 6、12、14、21、22 などで一致率が下がっていることがわかります。これらの部品は、判定が難しかったことが伺えます。

2 番目のチャート（「判定者」）は、判定者ごとに、同一部品に対する判定者内一致率と判定者間一致率が、全部品について集計して表示されます。この例では、判定者の判定能力は比較的似通っているようです。判定者 C の一致率が一番低いですが、差はさほど大きくありません（91% に対して約 89% 程度）。

「計量値 / 計数値ゲージチャート」プラットフォームの起動

「計量値/計数値ゲージチャート」プラットフォームを起動するには、［**分析**］>［**品質と工程**］>［**計量値/計数値ゲージチャート**］を選択します。「**チャートの種類**」を［**計数値**］に設定します。

図 9.4「変動性図/計数値用ゲージ(多変動図)」起動ウィンドウ



チャートの種類　計量値ゲージ分析（連続量の応答変数に対するゲージ分析）または計数値ゲージ分析（合格／不合格などのカテゴリカルな応答変数に対するゲージ分析）のいずれかを選択できます。

注：この章では、**計数値用ゲージチャート**について解説します。**計量値用ゲージチャート**の詳細については、「計量値用ゲージチャート」（159 ページ）の章を参照してください。

有意水準の指定　プラットフォームで使用する有意水準を指定します。

Y, 応答変数　各判定者による評価が記録されている列を指定します。複数の列を指定する必要があります。

基準　部品の「真」の値（既知の値）を含む列を、［基準］の列として指定すると、各判定者を基準と比較したレポートとして、レポートウィンドウに「有効性レポート」と、「一致性の比較」レポート内に追加のセクションが表示されます。

X, グループ変数　測定値をグループに分けるための列を指定します。因子が枝分かれ階層になっているときは、高位の項から順に指定していきます。

度数　この役割を割り当てた列の値は、各行の度数（繰り返し数）を表します。データが集計されている場合に便利です。

By　指定した列の水準ごとにレポートが作成されます。

起動ウィンドウの詳細については、『JMP の使用法』を参照してください。

「計数値用ゲージ」のチャートとレポート

「計数値用ゲージチャート」には、分析対象の部品ごとに判定者の一致率を示す「一致性 (%)」がプロットされます。各部品の一致率は、判定結果のすべてのペアについて、一致しているかどうかを数えて計算します。「計数値用ゲージチャートの統計的詳細」（191 ページ）を参照してください。

図 9.5 は、「計数値用ゲージチャートの例」（183 ページ）の手順に従って作成したものです。

図 9.5 計数値用ゲージチャート

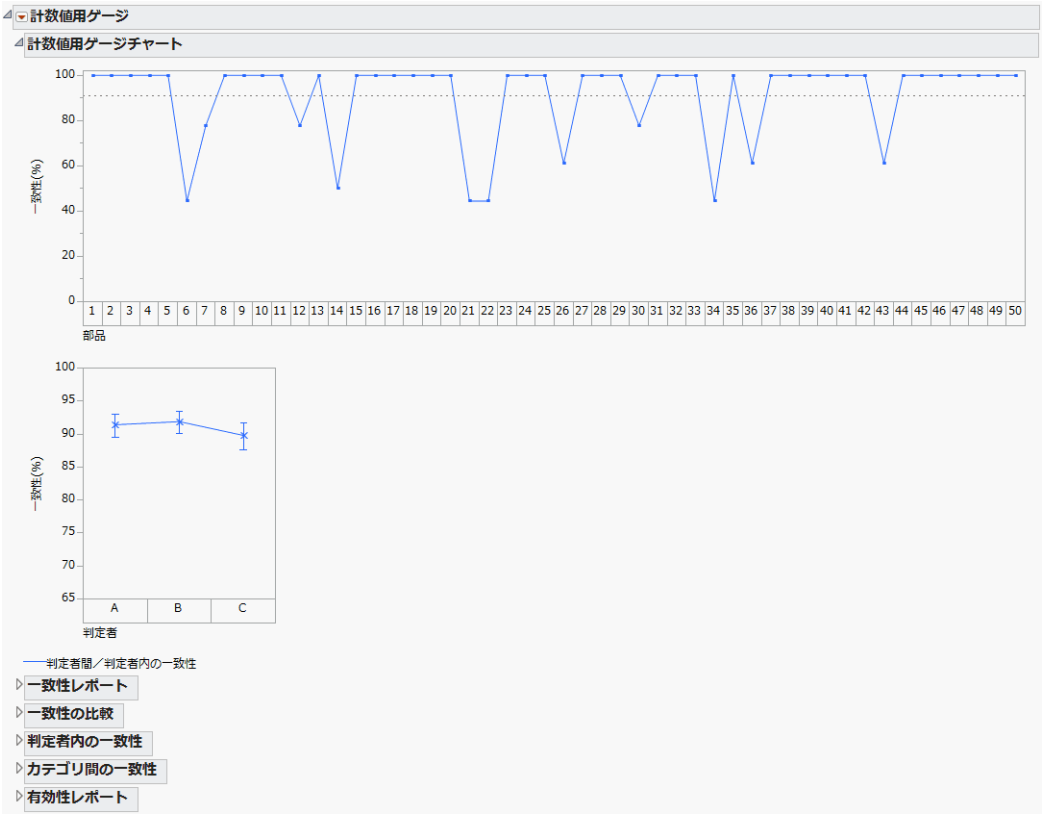


図 9.5 の 1 番目のチャートでは、すべての X グループ変数（この場合は「部品」）が X 軸に表示され、2 番目のチャートでは、すべての Y 変数（通常、およびこの例では、「判定者」）が X 軸に表示されています。

- 1 番目のグラフで、「一致性（%）」の値が低い部品を探し、この部品に対する判定が一致していない理由を調べます。
- 2 番目のグラフで、「一致性（%）」の値が低い判定者を探し、その判定者の判定が、自分自身および他者と一致していない理由を調べます。

その他のオプションについては、「「計数値用ゲージ」プラットフォームのオプション」（190ページ）を参照してください。

一致性レポート

注：「カッパ」値は、一致率を表す統計量です。カッパ値が1に近いほど一致率は高く、0に近づくほど一致率は低くなります。

「一致性」レポートには、判定者別にまとめた一致率と全体の一致率が表示されます。このレポートは、「計数値用ゲージチャート」レポートの2番目のチャートに表示されているデータを数値化したものです。図9.5を参照してください。

「一致性の比較」レポートには、ある判定者の判定と、別の判定者の判定との一致性を示すカッパ統計量が、すべての判定者のペアに対して表示されます。また、起動ウィンドウで［基準］変数を指定した場合は、各判定者の判定と基準値との一致性を示すカッパ統計量も表示されます。

「判定者内の一致性」レポートの「検査された部品数」は、該当の判定者が検査した部品の総数です。また、「一致した部品数」は、該当の判定者において、すべての判定が同じになっている部品の総数です。「判定者のスコア」は、「一致した部品数」を「検査された部品数」で割った値です。その信頼区間は、スコア法（Agresti and Coull 1998）で計算されています。

「カテゴリごとの一致性」レポートには、判定者間において判定が偶然によらずに一致する度合いが表示されます。この指標は、ある決められた人数の判定者が複数の部品を評価した場合において、判定者間の一致性を評価します。

図 9.6 一致性レポート

一致性レポート

判定者	一致性(%)	95%下側信頼限界	95%上側信頼限界
A	91.4286	89.5082	93.0248
B	91.9048	90.0502	93.4388
C	89.8095	87.6057	91.6588

検査された部品数	一致した部品数	一致性(%)	95%下側信頼限界	95%上側信頼限界
50	39	78.000	64.758	87.246

一致性の比較

判定者	比較対象の判定者	カッパ	.2 .4 .6 .8	標準誤差
A	B	0.8629		0.0442
A	C	0.7761		0.0547
B	C	0.7880		0.0537

判定者	基準との比較	カッパ	.2 .4 .6 .8	標準誤差
A	基準	0.8788		0.0416
B	基準	0.9230		0.0338
C	基準	0.7740		0.0551

判定者内の一致性

判定者	検査された部品数	一致した部品数	判定者のスコア	95%下側信頼限界	95%上側信頼限界
A	50	42	84.0000	71.4858	91.6626
B	50	45	90.0000	78.6398	95.6524
C	50	40	80.0000	66.9629	88.7562

カテゴリ間の一致性

カテゴリ	カッパ	.2 .4 .6 .8	標準誤差
0	0.7936		0.0236
1	0.7936		0.0236
全体	0.7936		0.0236

有効性レポート

「有効性レポート」は、起動ウィンドウで［基準］変数を指定した場合にのみ表示されます。［基準］変数の詳細については、「「計量値/計数値ゲージチャート」プラットフォームの起動」（185 ページ）を参照してください。このレポートでは、各判定者を基準と比較します。

図 9.7 有効性レポート

有効性レポート

一致度数

判定者	一致(0)	一致(1)	合計(一致)	不一致(0)	不一致(1)	総数
A	45	97	142	3	5	150
B	45	100	145	3	2	150
C	42	93	135	6	9	150

有効性

判定者	有効性	95%下側信頼限界	95%上側信頼限界	エラー率
A	94.6667	89.8296	97.2730	0.0533
B	96.6667	92.4348	98.5680	0.0333
C	90.0000	84.1565	93.8459	0.1000
全体	93.7778	91.1542	95.6603	0.0622

誤分類

基準列の水準	0	1
0	.	16
1	12	.
その他	0	0

適合性レポート

判定者	誤警報率	誤分類率	仮定
A	0.0490	0.0625	不適合 = 0
B	0.0196	0.0625	適合 = 1
C	0.0882	0.1250	

「一致度数」の表は、基準変数の各水準に対して、正しく判定された部品の数と、誤って判定された部品の数をまとめたものです。図9.7では、基準変数に0と1という2つの水準があります。判定者Aは、水準0について45回の判定が正しく、3回が誤判定、水準1については97回が正しい判定で、5回が誤判定でした。

有効性は、正確な判定の数を全判定の数で割った値として定義されます。この例では、各部品は3回ずつ測定されており、判定者Aが6番目の部品での3回目の測定で、判定を間違えています（基準値は1なのに0と判定している）。この場合でも、1回目と2回目の判定は正しい判定としてカウントされます。このような有効性の定義は、MSA第3版と異なります。MSAでは、6番目の部品における判定者Aの3つの判定すべてが誤判定としてカウントされます。JMPでは、判定全体に関してより詳しい情報を得るために、それぞれの判定が合っているかどうかを個別にカウントします。

「有効性」表には、有効性の95%信頼区間が表示されます。ここではスコア信頼区間が使用されています。特に割合が0もしくは1の近くにある場合は、スコア信頼区間の方が被覆確率の点で良いと言われています（Agresti and Coull, 1998を参照）。

「誤分類」は、誤った判定をまとめた表です。行は基準の水準（承認された参照値）を表し、列は判定者による判定の結果を表します。

適合性レポート

「適合性レポート」は、誤って警告を出す確率と、見逃してしまう確率をまとめたものです。「適合性レポート」は、評価の水準が2つ（合格／不合格、0／1など）の場合にのみ表示されます。

次の情報が表示されます。

誤警報　実際には適合の部品を、不適合と判定すること。

誤分類　実際には不適合の部品を、適合と判定すること。

誤警報率　誤って不適合とした部品の個数を、真の適合品の総数で割った値。

誤分類率　誤って適合とした部品の個数を、真の不適合品の総数で割った値。

「適合性レポート」の赤い三角ボタンをクリックすると、次のオプションがメニューに表示されます。

適合品カテゴリの変更　適合／不適合を示す応答カテゴリを変更できます。

流出率の計算　流出率（不適合部品が製造され、検出されない確率）を計算できます。流出率は、不適合部品が製造される確率と、検査で見逃す確率を掛けて求めます。ここでは、不適合部品が製造される確率（不適合確率）を指定します。

注：このプラットフォームでは、欠測値が個別のカテゴリとみなされます。これを回避するには、データテーブルの欠測値の行を除外します。

「計数値用ゲージ」プラットフォームのオプション

「計数値用ゲージ」の赤い三角ボタンをクリックすると、次のようなオプションが表示されます。

計数値用ゲージチャート　チャートの表示／非表示が切り替わります。

一致性の点を表示　一致性を示す点の表示／非表示が切り替わります。

一致性の点を接続　一致性を示す点をつなぎます。

判定者ごとの一致性の信頼区間　判定者ごとの一致性の信頼区間の表示／非表示が切り替わります。

一致性のグループ平均を表示　一致性のグループ平均の表示／非表示が切り替わります。このオプションは、［X, グループ変数］に複数の列が指定されている場合に選択できます。

一致性の全体平均を表示　一致性の全体平均の表示／非表示が切り替わります。

有効性の点を表示　有効性チャートにおいて、有効性を示す点の表示／非表示が切り替わります。

有効性の点を接続　有効性チャートにおいて、有効性を示す点をつなぎます。

判定者ごとの有効性の信頼区間 「計数値用ゲージチャート」の2番目のチャートにおいて、信頼区間の表示／非表示が切り替わります。図9.5を参照してください。

有効性レポート 「有効性レポート」の表示／非表示が切り替わります。このレポートは、各判定者を基準と比較したときのカッパ統計量を表示します。

スクリプト すべてのプラットフォームに共通なオプションが表示されます。詳細については、『JMPの使用法』を参照してください。

計数値用ゲージチャートの統計的詳細

図9.5の1番目のチャートでは、すべての［**X, グループ変数**］が**X**軸に表示されています。「一致性(%)」の値は次の式で計算されます。

$$\text{対象}\,i\,\text{の一致性（\%）} = \frac{\displaystyle\sum_{i=1}^{k}\binom{\text{応答水準}\,l\,\text{の度数}}{2}}{\dbinom{N_i}{2}}$$

図9.5の2番目のチャートでは、すべての［**Y, 応答変数**］が**X**軸に表示されています。「一致性(%)」の値は次の式で計算されます。

$$\text{判定者}\,k\,\text{の一致性（\%）} = \frac{\displaystyle\sum_{i=1}^{n}\left(\sum_{j=1}^{r_i}\begin{array}{c}\text{対象}\,i\,\text{に対する判定者}\,k\,\text{の}\,j\,\text{回目の判定と一致する}\\ \text{もののうち、まだ数えていないものの度数}\end{array}\right)}{\displaystyle\sum_{i=1}^{n}\left(\sum_{j=1}^{r_i} N_i - j\right)}$$

上式における各記号は、次のとおりです。

- n = 判定対象の数（グループ変数がもつ水準の数）
- r_i = 判定対象 i（i = 1、・・・、n）の判定回数（繰り返し数）
- m = 判定者の数
- k = 水準の数
- $N_i = m \times r_i$。判定対象 i（i = 1、・・・、n）の判定回数。これには、判定者全員を表す応答と、部品ごとの繰り返しの判定も含まれます。たとえば、判定対象 i が3人の判定者により3回判定された場合、N_i は3x3=9となります。

例として、3人の判定者による次のようなデータを取り上げてみましょう。各判定者は、同一対象物を、3回、繰り返し判定しています。

表 9.1 判定者 A、B、C による 3 回の測定

	A	B	C
1	1	1	1
4	1	1	0
3	0	0	0

この表のデータを使った場合、式は次のようになります。

$$\text{一致性}(\%) = \frac{\binom{4}{2} + \binom{5}{2}}{\binom{9}{2}} = \frac{16}{36} = 0.444$$

$$\text{一致性}(\%)\ [\text{判定者 A}] = \text{一致性}(\%)\ [\text{判定者 B}] = \frac{4+3+3}{8+7+6} = \frac{10}{21} = 0.476$$

$$\text{一致性}(\%)\ [\text{判定者 C}] = \frac{4+3+2}{8+7+6} = \frac{9}{21} = 0.4286$$

「一致性レポート」の統計的詳細

判定者間の一致性を表す指標には、次の単純カッパ係数が使われています。

$$\hat{\kappa} = \frac{P_0 - P_e}{1 - P_e}$$

ここで

$$P_0 = \sum_i p_{ii}$$

および

$$P_e = \sum_i p_{i.} p_{.i}$$

2 つの応答変数を、n 個の対象に対する 2 つの独立した判定であると考えたとき、判定者どうしの判定が完全に一致するとカッパ係数が 1 になります。観測された一致性が偶然による一致性を上回るとカッパ係数が正の値になり、数値の大きさが一致性の高さを表します。実際にはほとんどあり得ないケースですが、観測された一致性が偶然による一致性を下回ると、カッパが負になります。カッパ係数の最小値は、周辺度数に応じて -1 から 0 までの間の値を取ります。

単純カッパ係数の漸近分散は、次のような推定式で計算されます。

$$\text{var} = \frac{A + B - C}{(1 - P_e)^2 n}$$

ここで

$$A = \sum_i p_{ii}[1 - (p_{i.} + p_{.i})(1 - \hat{\kappa})]$$

$$B = (1 - \hat{\kappa})^2 \sum_{i \neq j} \sum p_{ij}(p_{.i} + p_{j.})^2$$

および

$$C = [\hat{\kappa} - P_e(1 - \hat{\kappa})]^2$$

レポートには、カッパ統計量のプロットと標準誤差も含まれます。

注：計数値用ゲージチャートのカッパ統計量は、変数の水準が同じでない場合にも計算されます。

「カテゴリごとの一致性」に計算されている指標には、次に述べるカテゴリごとのカッパ統計量（Fleiss 1981）が使われています。

以下の式において、

- n = 判定対象の数（グループ変数がもつ水準の数）
- m = 判定者の数
- k = 水準の数
- r_i = 判定対象 i（i = 1、・・・、n）の判定回数（繰り返し数）
- $N_i = m \times r_i$。判定対象 i（i = 1、2、・・・、n）の判定回数。これには、判定者全員を表す応答と、部品ごとの繰り返しの判定も含まれます。たとえば、判定対象 i が 2 人の判定者により 3 回判定された場合、N_i は 3x2=6 となります。
- x_{ij} = 判定対象 i（i = 1、2、・・・、n）において水準 j（j=1、2、・・・k）と判定された回数とした場合、カテゴリごとのカッパ統計量は、次のように計算されます。

$$\hat{\kappa}_j = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n} x_{ij}(N_i - x_{ij})}{(\bar{p}_j \bar{q}_j) \sum_{i=1}^{n} N_i(N_i - 1)} \quad \text{ここで} \quad \bar{p}_j = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_{ij}}{\sum_{i=1}^{n} N_i} \quad \bar{q}_j = 1 - \bar{p}_j$$

これらをまとめた全体のカッパ統計量は、次のように計算されます。

$$\hat{\bar{\kappa}} = \frac{\sum_{j=1}^{k} \bar{q}_j \bar{p}_j \hat{\kappa}_j}{\sum_{j=1}^{k} \bar{p}_j \bar{q}_j}$$

$\hat{\kappa}_j$ と $\hat{\bar{\kappa}}$ の分散は、次の式で計算されます。

$$\mathrm{var}(\hat{\kappa}_j) = \frac{2}{nN(N-1)}$$

$$\mathrm{var}(\hat{\bar{\kappa}}) = \frac{2}{\left(\sum_{j=1}^{k} \bar{p}_j \bar{q}_j\right)^2 nN(N-1)} \times \left[\left(\sum_{j=1}^{k} \bar{p}_j \bar{q}_j\right)^2 - \sum_{j=1}^{k} \bar{p}_j \bar{q}_j (\bar{q}_j - \bar{p}_j)\right]$$

判定対象あたりの判定回数が等しい場合（i =1、…、n のすべてで $N_i = N$ の場合）のみ表示されます。

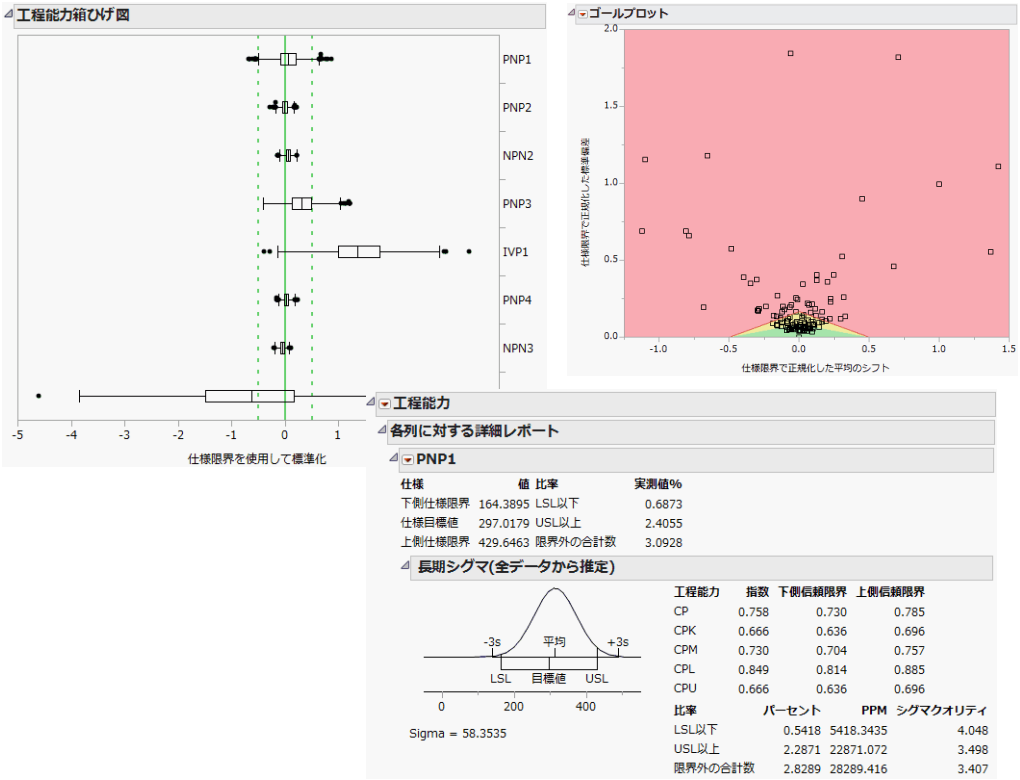
第 10 章

工程能力分析

仕様の範囲に収まっているかを調べる

品質管理の分野では、工程が仕様限界に適合しているかを工程能力分析によって調べます。工程能力分析では、現在の工程を仕様限界と比較し、生産の一貫性を調べることができます。ゴールプロットや箱ひげ図のようなグラフツールは、仕様限界内に収まっているかどうかを視覚的に把握するのに役立ちます。「各列に対する詳細レポート」では、分析対象の変数ごとに工程能力レポートが表示されます。仕様や規格の範囲に収まるようにばらつきを減らし、適合率を引き上げるのに、これらの分析結果が役に立ちます。

図10.1「工程能力」プラットフォームの例



目次

「工程能力」プラットフォームの概要 197
「工程能力」プラットフォームの例 197
「工程能力」プラットフォームの起動 199
仕様限界 199
「工程能力」レポート 203
ゴールプロット 204
工程能力箱ひげ図 206
「工程能力」プラットフォームのオプション 207
正規化箱ひげ図 208
要約テーブルの作成 209
工程能力指数レポート 209
各列に対する詳細レポート 210
「工程能力」プラットフォームのその他の例 210

「工程能力」プラットフォームの概要

「工程能力」プラットフォームでは、さまざまなツールを使って、工程が特定の仕様限界に適合しているかどうかを測定できます。デフォルトでは、「ゴールプロット」と、分析対象の変数ごとに工程能力箱ひげ図が作成されます。他にも、正規化箱ひげ図、要約テーブル、工程能力指数レポート、分析対象の変数ごとの工程能力レポートを追加できます。仕様限界は、データテーブルの変数ごとに指定されている必要があります。

「各列に対する詳細レポート」には、工程の能力を表す指標も示されます。これらの指標は、定められた仕様の範囲内に、どれぐらい製品を生産できているかを表します。また、これらの工程能力指標は、単に仕様や規格を満たしているかの判断だけでなく、工程の継続的な改善に役立てることもできます。

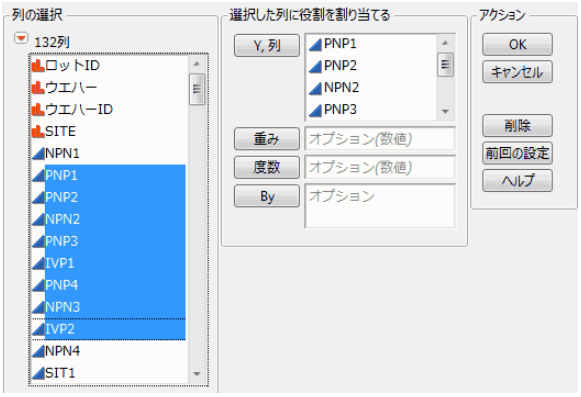
工程能力分析では、通常、調査対象の工程が安定した統計的管理状態にあり、工程が変化していないが前提となります。工程が安定していれば、その工程の将来における工程能力を予測するのに、過去の分析結果を使えます。

「工程能力」プラットフォームの例

この例では、「Semiconductor Capability.jmp」サンプルデータテーブルを使用します。変数は、半導体メーカーが製造中のウエハーについて通常測定する情報を表します。各変数の仕様限界は、［**列プロパティ**］>［**仕様限界**］プロパティを使用して、データテーブルの各列に設定されています。

1. 「Semiconductor Capability.jmp」データテーブルを開きます。
2. ［**分析**］>［**品質と工程**］>［**工程能力**］を選択します。
3. 「**PNP1**」、「**PNP2**」、「**NPN2**」、「**PNP3**」、「**IVP1**」、「**PNP4**」、「**NPN3**」、「**IVP2**」を選択し、［**Y, 列**］をクリックします。

図 10.2「Semiconductor Capability.jmp」の例の起動ウィンドウ



4. ［**OK**］をクリックします。

図 10.3「Semiconductor Capability.jmp」の例の分析結果

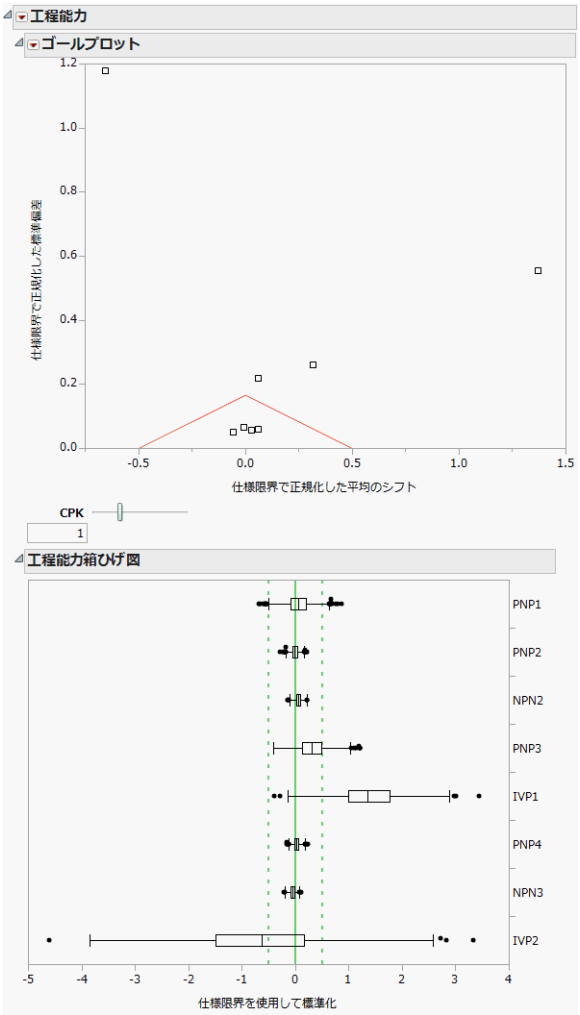


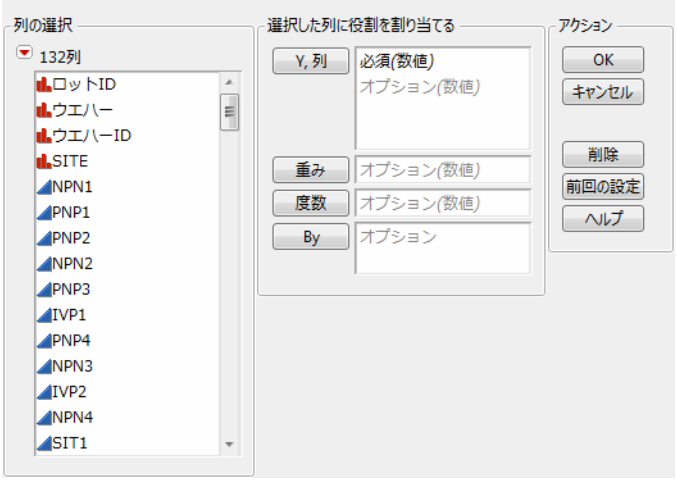
図 10.3 の「ゴールプロット」は、変数ごとに、仕様限界で正規化した平均のシフトを X 軸上、仕様限界で正規化した標準偏差を Y 軸上に示したものです。各点の上にカーソルを置くと、変数名が表示されます。**「PNP1」**、**「PNP3」**、**「IVP1」**、**「IVP2」**がゴールラインの外側にあり、仕様限界から外れている可能性があります。

「工程能力箱ひげ図」は、分析対象の各変数についての箱ひげ図です。各列の値は、その目標値で中心化され、仕様限界間の差で尺度化されます。**「IVP1」**では、点の大部分が上側仕様限界（USL）を超えていますが、**「IVP2」**を見ると、大部分が目標値を下回っています。**「PNP2」**は、すべての点が仕様限界内に収まっていることから、目標に達していると考えられます。

「工程能力」プラットフォームの起動

「工程能力」プラットフォームを起動するには、［**分析**］>［**品質と工程**］>［**工程能力**］を選択します。

図 10.4「Semiconductor Capability.jmp」を使用した「工程能力」起動ウィンドウ



「工程能力」起動ウィンドウには、次のようなオプションがあります。

Y, 列　分析の対象となる変数を割り当てます。

重み　オブザベーションに異なる重みを付けるための変数を指定します。

度数　度数の変数を指定します。データがすでに要約されている場合に便利です。

By　**By** 変数の水準ごとに個別のレポートが作成されます。複数の **By** 変数を割り当てた場合、それらの **By** 変数の水準の組み合わせごとに個別のレポートが作成されます。

［**OK**］をクリックすると、各変数の仕様限界を指定していない場合は、「仕様限界」ウィンドウが表示されます。データテーブルで仕様限界を指定している場合は、レポートウィンドウが開きます。仕様限界の入力方法の詳細については、「仕様限界」（199 ページ）を参照してください。

仕様限界

仕様限界は、データテーブルの変数ごとに指定されている必要があります。データテーブルで仕様限界を指定していない場合は、起動ウィンドウで［**OK**］をクリックした後に「仕様限界」ウィンドウが表示されます。「仕様限界」ウィンドウで手入力するほかにも、限界値の入力方法はいくつかあります。限界値は、「限界値テーブル」として JMP データテーブルに保存するか、JMP データテーブル内の工程変数列に列プロパティとして保存することができます。仕様限界は、次の方法で指定できます。

- 「仕様限界」ウィンドウで限界値を入力します。詳細については、「「仕様限界」ウィンドウ」（200 ページ）を参照してください。

- 限界値がデータテーブルに保存されている場合は、「仕様限界」ウィンドウから［**仕様限界の読み込み**］コマンドで読み込むことができます。詳細については、「限界値データテーブル」（200 ページ）を参照してください。
- データテーブルの［仕様限界］プロパティを使用して限界値を列プロパティとして入力します。この場合、「仕様限界」ウィンドウは表示されなくなります。詳細については、「［仕様限界］プロパティ」（201 ページ）を参照してください。
- JSL を使って限界値を入力します。詳細については、「JSL スクリプト」（202 ページ）を参照してください。

仕様限界が片側しかない場合も扱えます。片側の仕様限界しか指定されていない変数がある場合、「ゴールプロット」と「工程能力箱ひげ図」では、下側仕様限界（LSL）のみ指定された列は赤、上側仕様限界（USL）のみ指定された列は青で色分けされます。

「仕様限界」ウィンドウ

データテーブルで仕様限界を指定していない場合は、起動ウィンドウで［**OK**］をクリックした後に「仕様限界」ウィンドウが表示されます。起動ウィンドウで選択した列ごとに、「LSL」、「目標値」、「USL」の入力フィールドが表示されます。図 10.5 は、「Cities.jmp」サンプルデータテーブルの「仕様限界」ウィンドウです。直前に起動ウィンドウで、**「オゾン」**、**「一酸化炭素」**、**「二酸化炭素」**、**「一酸化窒素」**の各列を変数として指定しました。「仕様限界」ウィンドウで限界値を入力してから［**次へ**］をクリックすると、レポートウィンドウが表示されます。

図 10.5「Cities.jmp」の「仕様限界」ウィンドウ

限界値データテーブル

「仕様限界」ウィンドウの赤い三角ボタンのメニューから［**仕様限界の読み込み**］オプションを選択して、限界値データテーブルから読み込むこともできます。［**仕様限界の読み込み**］を選択し、分析で使用する仕様限界値を含むデータテーブルを選択します。適切な限界値テーブルを選択すると、値がウィンドウに読み込まれます。［**次へ**］をクリックすると、レポートウィンドウが表示されます。

限界値データテーブルには、既知の標準パラメータまたは限界値を含んだ列が必要です。限界値データテーブルには、**横長方形**と**縦長方形**の2つの形式があります。応答変数ごとに1列ずつ設け、各行に限界値キーワードを記入する方法と、応答変数名の列と限界値キーワードそれぞれの列を設け、各行が各変数を表す方法です。どちらの形式も、［**仕様限界の読み込み**］コマンドに対応しています。図10.6に、両形式の限界値データテーブルの例を示します。

図10.6 縦長方形（上）と横長方形（下）の仕様限界テーブル

	列1	_LSL	_Target	_USL
1	オゾン	0.075	0.15	0.25
2	一酸化炭素	5	7	12
3	二酸化硫黄	0.01	0.04	0.09
4	一酸化窒素	0.01	0.025	0.04

	_LimitsKey	一月の最高気温	オゾン	一酸化炭素	二酸化硫黄
1	_LSL	15	0	•	0
2	_Target	40	0.1	7	0.05
3	_USL	•	0.3	20	0.1

縦長方形のテーブルは、「工程能力」プラットフォームでの分析対象である列と同数の行で構成され、列は4つです。最初の列には、列名を入力します。他の3列には、必ず「**_LSL**」、「**_USL**」、「**_Target**」という名前をつけます。

横長方形のテーブルは、「工程能力」プラットフォームでの分析対象である列と同数の列に「**_LimitsKey**」という列を加えた構成で、行は3つです。「**_LimitsKey**」列の各行には、必ず「**_LSL**」、「**_USL**」、「**_Target**」という識別子を入力します。

最も簡単に限界値データテーブルを作成する方法は、「工程能力」プラットフォームで計算された結果を保存することです。「工程能力」の赤い三角ボタンのメニューにある［**仕様限界の保存**］コマンドを使えば、標本の値から計算された仕様限界値が自動的に保存されます。仕様限界を入力または読み込んだ後で、次の操作を実行できます。

- ［**仕様限界を列プロパティとして保存**］コマンドによって、分析対象のデータテーブルに列プロパティとして保存する。
- ［**仕様限界を新しいテーブルに保存**］コマンドによって、仕様限界の新しいデータテーブルを作成する。

詳細は、「「工程能力」プラットフォームのオプション」（207ページ）を参照してください。

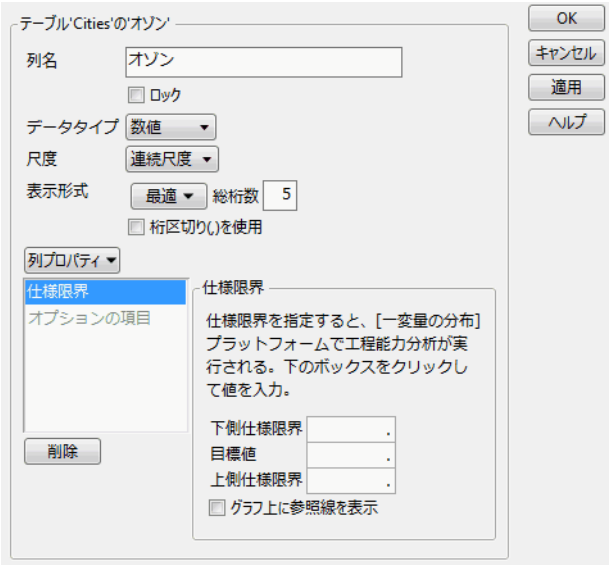
［仕様限界］プロパティ

データテーブルの［**列プロパティ**］>［**仕様限界**］プロパティを使用して、仕様限界を列プロパティとして保存しておけば、分析のたびに仕様限界を再指定する必要がなくなります。また、列にこれらの限界を保存しておくと、分析間で一貫性を保つのが簡単になります。たとえば、ある限界のもとで分析を実行して、後でデータを変更してから同じ限界のもとでもう一度分析を実行することができます。図10.7は、「Cities.jmp」サンプルデータテーブルの「**オゾン**」の「列プロパティ」ウィンドウの［仕様限界］セクションです。

数値列に対して、下側仕様限界、上側仕様限界、および目標値を入力します。下側仕様限界（LSL）と上側仕様限界（USL）の範囲内に、工程のばらつきが収まっていることが望ましいです。

［**グラフ上に参照線を表示**］チェックボックスをオンにすると、グラフ上に仕様限界が参照線として表示されます。列プロパティの詳細については、**JMP の使用法**を参照してください。

図 10.7「列プロパティ」ウィンドウの［仕様限界］セクション



JSL スクリプト

仕様限界は、JSL スクリプトで設定することもできます。JSL スクリプトのコード上で仕様限界を設定するには、たとえば「Cities.jmp」サンプルデータテーブルの場合は、次のようなコードで、`Spec Limits()` 式の内側に仕様限界を指定します。

```
// 仕様限界を読み込むための JSL
Capability(
   Y( :オゾン , :一酸化炭素 , :二酸化硫黄 , :一酸化窒素 ),
   Capability Box Plots( 1 ),
   Spec Limits(
      オゾン ( LSL( 0.075 ), Target( 0.15 ), USL( 0.25 ) ),
      一酸化炭素 ( LSL( 5 ), Target( 7 ), USL( 12 ) ),
      二酸化硫黄 ( LSL( 0.01 ), Target( 0.04 ), USL( 0.09 ) ),
      一酸化窒素 ( LSL( 0.01 ), Target( 0.025 ), USL( 0.04 ) )
   );
);
```

読み込んだ結果は、図 10.18 に示すとおり、各値が仕様限界外になります。

JSLによる限界データテーブルの読み込み

JSLスクリプトによって、仕様限界を含んだデータテーブルを読み込むこともできます。この際、2つのテーブル形式（縦長方形と横長方形）を区別する構文は特に必要ではありません。どちらの形式にも次の構文を使用できます。仕様限界が含まれたデータテーブルのパスを、`Import Spec Limits`（）式の中に指定します。「CitySpecLimits.jmp」サンプルデータテーブルを読み込む場合には、Window版のJMP Proでは、"<パス名>/ ファイル名.JMP"の部分を"C:\Program Files\SAS\JMPPRO\11\Samples\Data\CitySpecLimits.jmp"に置き換えてください（このサンプルデータが保存されているパスに置き換えてください）。

```
// 仕様限界ファイルを読み込むための JSL
Capability(
   Y( :オゾン , :一酸化炭素 , :二酸化硫黄 , :一酸化窒素 ),
   Capability Box Plots( 1 ),
   Spec Limits(
      Import Spec Limits(
         "<パス名>/ファイル名.JMP"
)));
```

読み込んだ結果は、図10.18に示すとおり、各値が仕様限界外になります。

「工程能力」レポート

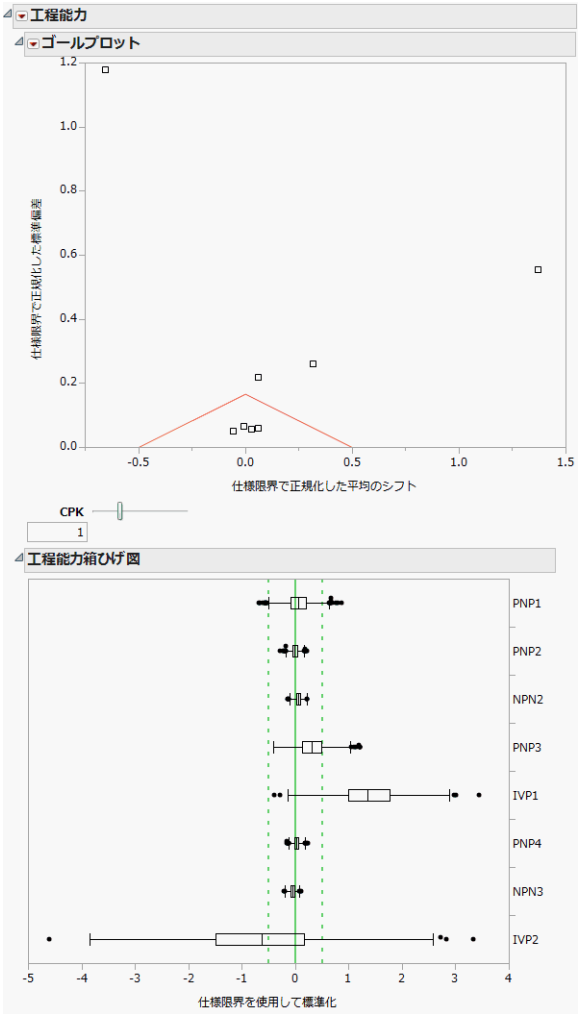
デフォルトでは、「工程能力」レポートには次の2つのセクションがあります。

- 「ゴールプロット」（204ページ）
- 「工程能力箱ひげ図」（206ページ）

他にも、**「工程能力」**の赤い三角ボタンのメニューを使って、正規化箱ひげ図を描いたり、工程能力指数と要約統計量の表を追加したり、変数ごとの工程能力レポートを表示したりできます。各オプションについては、「「工程能力」プラットフォームのオプション」（207ページ）を参照してください。

レポートのデフォルトの設定は、［**ファイル**］>［**環境設定**］>［**プラットフォーム**］>［**工程能力**］で変更できます。「「工程能力」プラットフォームの例」（197ページ）の手順に従って作業すると、図10.8のレポートが作成されます。

図 10.8「Semiconductor Capability.jmp」のデフォルトの結果



ゴールプロット

「ゴールプロット」は、変数ごとに、仕様限界で正規化した平均のシフトを X 軸上、仕様限界で正規化した標準偏差を Y 軸上に示したものです。各変数が仕様に従っているかどうかをすばやく確認したいときに便利です。各点の上にカーソルを置くと、変数名が表示されます。**「ゴールプロット」**の赤い三角ボタンのメニューには、次のようなコマンドがあります。

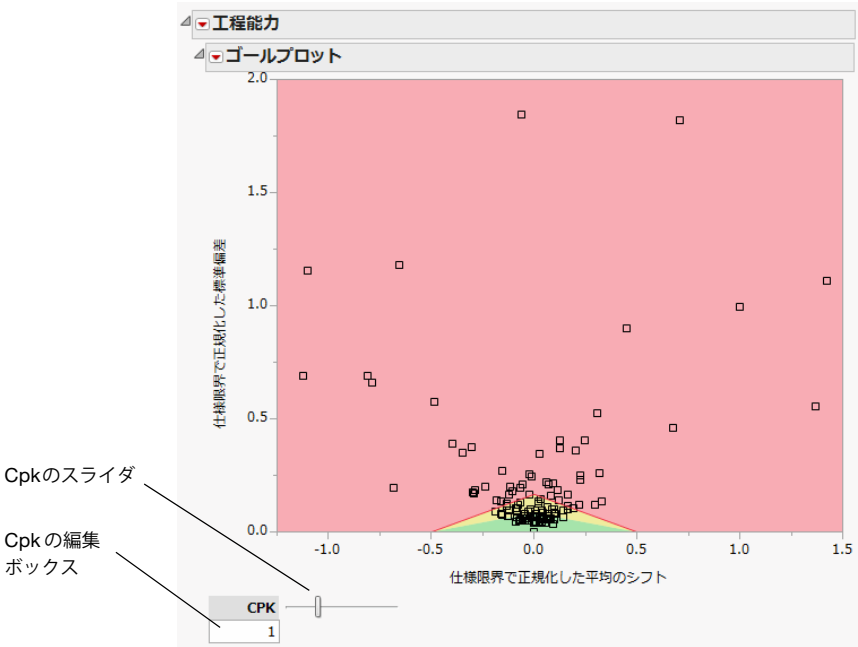
Cpk 水準で色分け　Cpk の各水準を示す色の表示/非表示を切り替えます。

ゴールプロットのラベル　点のラベルの表示/非表示を切り替えます。

不適合率の等高線　指定の不適合率を示す等高線の表示/非表示を切り替えます。

図 10.9 は、「Semiconductor Capability.jmp」サンプルデータテーブルのデータセット全体に関する「ゴールプロット」で、「ゴールプロット」の赤い三角ボタンのメニューから［**CPK 水準で色分け**］を選択した結果を示しています。

図 10.9 ゴールプロット



各点の座標は、LSL（下側仕様限界）、目標値、USL（上側仕様限界）を持つ各列に対し、次の式で計算されます。

仕様限界で正規化した平均のシフト = (Col[*i*] の平均 - 目標値) / (USL[*i*] - LSL[*i*])

仕様限界で正規化した標準偏差 = Col[*i*] の標準偏差 / (USL[*i*] - LSL[*i*])

Cpk のスライダと数値編集ボックスは、デフォルトで Cpk=1 に設定されています。これは、不適合率が約 0.0027 であることに相当します（目標値が LSL と USL の中間にあり、かつ、目標値を平均とした正規分布にデータが従っている場合）。赤色のゴールラインは、編集ボックスに入力されている Cpk の値に該当します。Cpk の値を変更するには、スライダを動かすか、編集ボックスに新しい値を入力します。プロット上の点は、行ではなく列を示します。

色のついた領域は、次のような意味を持ちます。C は、「CPK」編集ボックスに入力されている値です。

- 赤色の領域は、Cpk < C
- 黄色の領域は、C < Cpk < 2C
- 緑色の領域は、2C < Cpk

環境設定によって、「CPK」ではなく、「PPK」と表示するように変更することができます。変更した場合、スライダのラベルが「PPK」になります。この変更は、［**ファイル**］>［**環境設定**］>［**プラットフォーム**］>［**工程能力**］で行えます。

工程能力箱ひげ図

「工程能力箱ひげ図」は、分析対象の各変数についての箱ひげ図です。各列の値は、その目標値で中心化され、仕様限界間の差で尺度化されます。各列 j の値 Y_{ij} から次の式で計算します。

$$Z_{ij} = \frac{Y_{ij} - T_j}{\mathrm{USL}_j - \mathrm{LSL}_j} \quad T_j \text{は目標値}$$

図 10.10 工程能力箱ひげ図

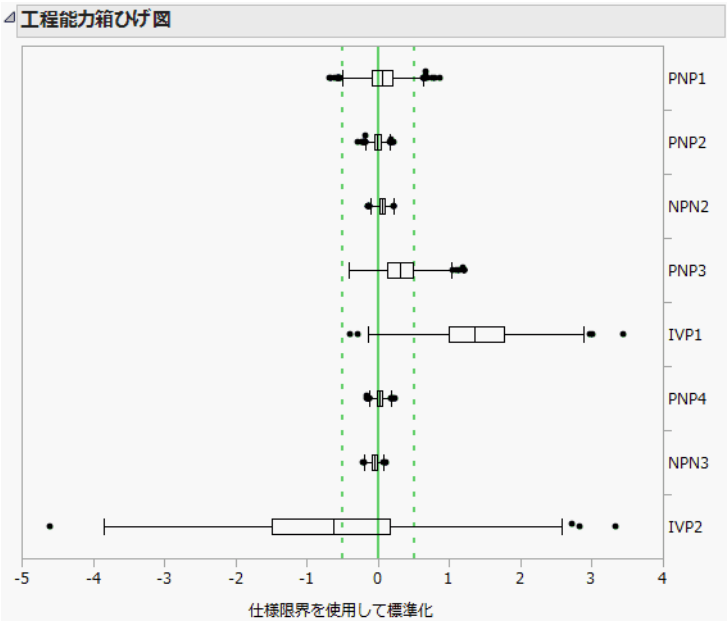
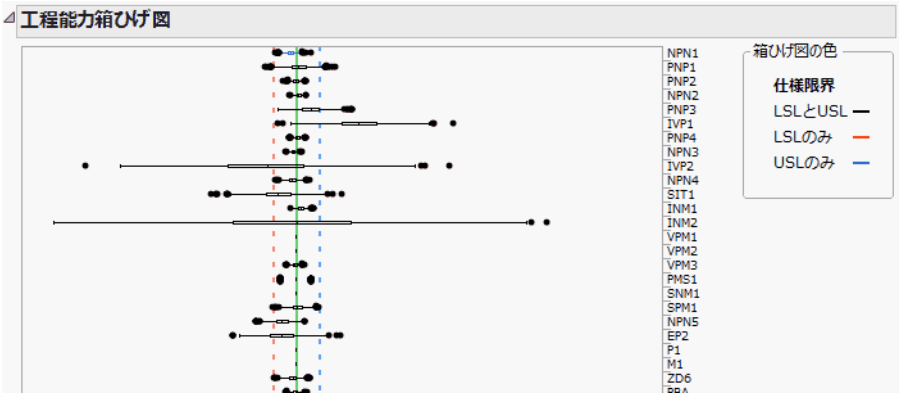


図 10.10 は、「「工程能力」プラットフォームの例」（197 ページ）で説明した「Semiconductor Capability.jmp」サンプルデータテーブルの「工程能力箱ひげ図」です。±0.5 の位置に引かれている緑色の 2 本の点線は、それぞれ正規化した LSL_j と USL_j を示します。このプロットでは、各変数をその仕様限界と比較することができます。たとえば、「**IVP1**」では、点の大部分が上側仕様限界を超えていますが、「**IVP2**」を見ると、大部分が目標値を下回っています。「**PNP2**」は、すべての点が仕様限界内に収まっていることから、目標に達していると考えられます。

仕様限界がない場合

片方の仕様限界しか指定されていない列は、箱ひげ図に色が付けられます。上側仕様限界（USL）しか指定されていない列は青色で、下側仕様限界（LSL）しか指定されていない列は赤色で、箱ひげ図が描かれます。図 10.11 を参照してください。また、プロットの下には、箱ひげ図を描くときに使われた計算についての注釈が表示されます。

図 10.11 仕様限界がない場合



「工程能力」プラットフォームのオプション

レポートウィンドウで「工程能力」の赤い三角ボタンをクリックすると、次のオプションがメニューに表示されます。

ゴールプロット　データのゴールプロットを表示します。「ゴールプロット」は、変数ごとに、仕様限界で正規化した平均のシフトを X 軸上、仕様限界で正規化した標準偏差を Y 軸上に示したものです。詳細については、「ゴールプロット」（204 ページ）を参照してください。

正規化箱ひげ図　データの正規化箱ひげ図を表示します。各列の値から平均を引いて標準偏差で割ることにより、正規化（標準化）します。次に、正規化した各列の分位点を計算し、正規化した分位点を元に各列の箱ひげ図を作成します。詳細については、「正規化箱ひげ図」（208 ページ）を参照してください。

工程能力箱ひげ図　分析対象の各変数の工程能力箱ひげ図を表示します。各列の値は、その目標値で中心化され、仕様限界間の差で尺度化されます。詳細については、「工程能力箱ひげ図」（206 ページ）を参照してください。

要約テーブルの作成　変数の名前、仕様限界で正規化した平均のシフト、および仕様限界で正規化した標準偏差を表した要約テーブルを作成します。詳細については、「要約テーブルの作成」（209 ページ）を参照してください。

工程能力指数レポート　各変数の下側仕様限界（LSL）、目標値、上側仕様限界（USL）、平均、標準偏差、Cp、Cpk、および PPM をまとめた「工程能力指数」レポートを表示します。詳細については、「工程能

力指数レポート」（209 ページ）を参照してください。

各列に対する詳細レポート　分析対象の変数ごとに個別の詳細レポートを表示します。詳細については、「各列に対する詳細レポート」（210 ページ）を参照してください。

表示順序　箱ひげ図、工程能力指数レポート、各列に対する詳細レポートの表示順序を変更できます。［**最初の表示順序**］、［**最初の表示順序の逆順**］、［**CPK の昇順**］、［**CPK の降順**］のいずれかを選択できます。

仕様限界の保存　データの仕様限界を保存できます。［**仕様限界を列プロパティとして保存**］コマンドは、現在の仕様限界を、分析対象のデータテーブルに列プロパティとして保存します。また、［**仕様限界を新しいテーブルに保存**］コマンドは、仕様限界を新しいデータテーブルに保存します。

スクリプト　このメニューには、すべてのプラットフォームに共通するスクリプト関連のコマンドが表示されます。詳細については、『JMP の使用法』を参照してください。

正規化箱ひげ図

正規化箱ひげ図を作成するにあたり、まず、各列の値から平均を引いて標準偏差で割ることにより、正規化（標準化）します。次に、正規化した各列の分位点を計算し、正規化した分位点を元に各列の箱ひげ図を作成します。

図 10.12 正規化箱ひげ図

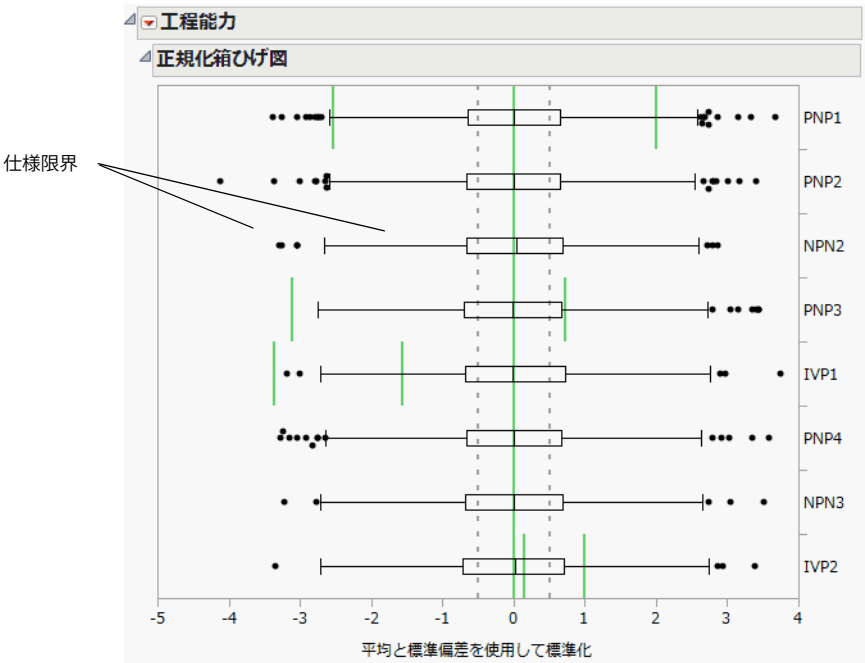


図 10.12 は、「「工程能力」プラットフォームの例」（197 ページ）で説明した「Semiconductor Capability.jmp」サンプルデータテーブルの「正規化箱ひげ図」です。

緑色の縦線は、平均と標準偏差で正規化した仕様限界を表します。グレーの縦の点線は±0.5の位置を示しています。すべてのデータは標準偏差1で正規化されているので、その幅は標準偏差に相当します。

要約テーブルの作成

［要約テーブルの作成］オプションを選択すると、変数の名前、仕様限界で正規化した平均のシフト、および仕様限界で正規化した標準偏差を含んだ要約テーブルが作成されます。

図10.13は、「「工程能力」プラットフォームの例」（197ページ）で説明した「Semiconductor Capability.jmp」サンプルデータテーブルの要約テーブルです。

図10.13 要約テーブル

	変数	仕様限界で正規化した平均のシフト	仕様限界で正規化した標準偏差
1	PNP1	0.060514123	0.2199887772
2	PNP2	-0.007336131	0.0663486129
3	NPN2	0.0580913305	0.0612288463
4	PNP3	0.3153977755	0.2609703636
5	IVP1	1.368139782	0.5535989822
6	PNP4	0.0300797696	0.0556116319
7	NPN3	-0.056828799	0.0503418504
8	IVP2	-0.654156076	1.1799901131

工程能力指数レポート

［工程能力指数レポート］オプションを選択すると、各変数の下側仕様限界（LSL）、目標値、上側仕様限界（USL）、平均、標準偏差、Cp、Cpk、およびPPMをまとめた表の表示／非表示が切り替わります。図10.14は、「「工程能力」プラットフォームの例」（197ページ）で説明した「Semiconductor Capability.jmp」サンプルデータテーブルの「工程能力指数」レポートです。オプションでレポートに表示できる列には、下側信頼限界、上側信頼限界、CPM、CPL、CPU、LSL未満のPPM、およびUSL超えのPPMがあります。オプションの列を表示するには、レポート上で右クリックし、［列］サブメニューから列名を選択します。

図10.14 工程能力指数

工程能力

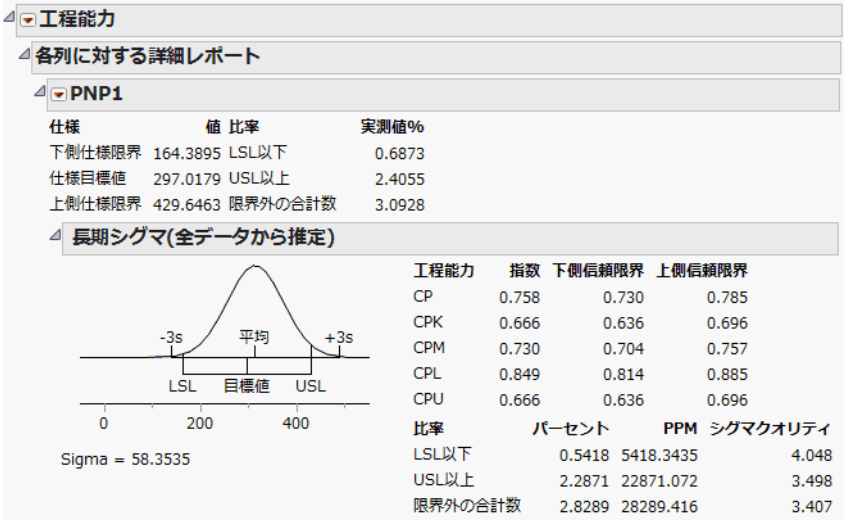
工程能力指数

列	LSL	目標値	USL	平均	標準偏差	CP	CPK	PPM
PNP1	164.3895	297.0179	429.6463	313.0697	58.35353	0.757614	0.6659	28289.42
PNP2	-136.122	465.442	1067.006	456.6157	79.82589	2.511984	2.4751	6.655e-8
NPN2	96.59381	113.749	130.9042	115.7421	2.100786	2.722029	2.4058	2.651e-7
PNP3	118.6778	130.2898	141.9018	137.6146	6.060762	0.638642	0.2358	240559.3
IVP1	59.62007	63.41011	67.20015	73.78072	4.196326	0.30106	-0.5227	941949.5
PNP4	-54.4319	238.7386	531.9091	256.3756	32.60738	2.996975	2.8167	7.73e-16
NPN3	97.31768	120.8047	144.2917	118.1352	2.364757	3.310698	2.9344	6.65e-13
IVP2	139.2004	142.3052	145.4099	138.2432	7.327164	0.141244	-0.0435	715981.5

各列に対する詳細レポート

［**各列に対する詳細レポート**］オプションを選択すると、分析対象の各変数の工程能力レポートが作成されます。このレポートは、「一変量の分布」プラットフォームのものと同じです（詳細は『基本的な統計分析』を参照）。図10.15は、「Semiconductor Capability.jmp」サンプルデータテーブルの「PNP1」列に対する詳細レポートです。

図10.15 各列に対する詳細レポート



仕様	値	比率	実測値%
下側仕様限界	164.3895	LSL以下	0.6873
仕様目標値	297.0179	USL以上	2.4055
上側仕様限界	429.6463	限界外の合計数	3.0928

工程能力	指数	下側信頼限界	上側信頼限界
CP	0.758	0.730	0.785
CPK	0.666	0.636	0.696
CPM	0.730	0.704	0.757
CPL	0.849	0.814	0.885
CPU	0.666	0.636	0.696

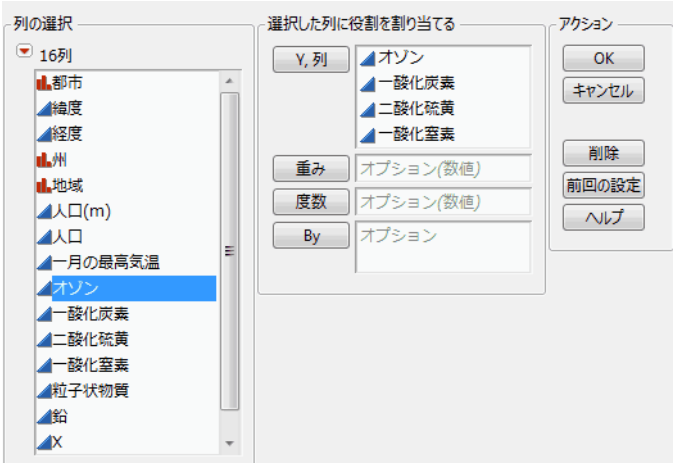
比率	パーセント	PPM	シグマクオリティ
LSL以下	0.5418	5418.3435	4.048
USL以上	2.2871	22871.072	3.498
限界外の合計数	2.8289	28289.416	3.407

「工程能力」プラットフォームのその他の例

この例では、「Cities.jmp」サンプルデータを使用します。このデータテーブルには、52の都市における汚染の測定値が記録されています。各変数に対する仕様限界は、このデータテーブルの列プロパティとしては保存されていません。**「オゾン」**、**「一酸化炭素」**、**「二酸化炭素」**、**「一酸化窒素」**の各変数の仕様限界は、「CitySpecLimits.jmp」という別のデータテーブルに保存されています。

1. 「Cities.jmp」データテーブルを開きます。
2. ［**分析**］>［**品質と工程**］>［**工程能力**］を選択します。
3. **「オゾン」**、**「一酸化炭素」**、**「二酸化炭素」**、**「一酸化窒素」**を選択し、［**Y, 列**］をクリックします。

図10.16「Cities.jmp」の起動ウィンドウ

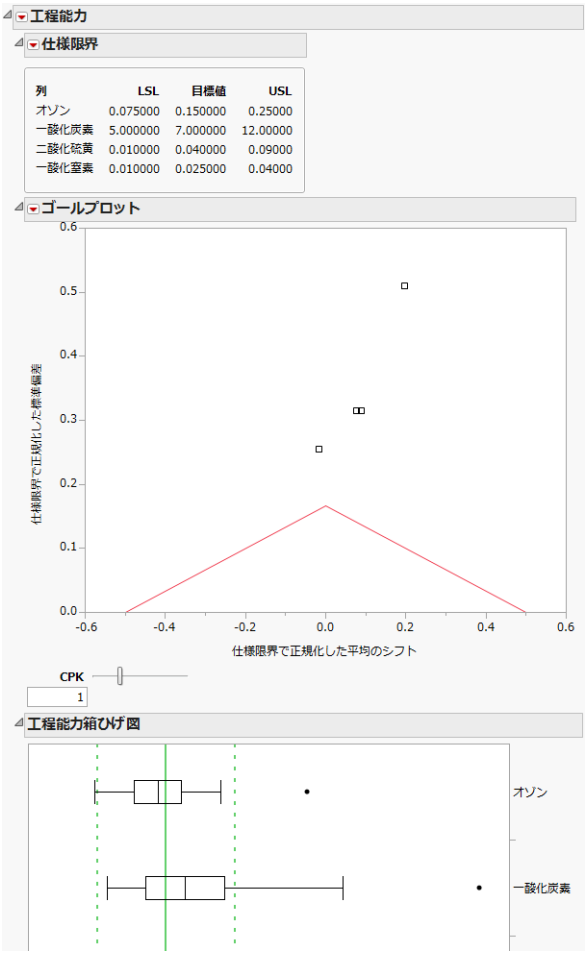


4. ［**OK**］をクリックします。「**仕様限界**」ウィンドウが表示されます。
5. 「仕様限界」の赤い三角ボタンをクリックし、メニューから［**仕様限界の読み込み**］を選択し、「CitySpecLimits.jmp」を選択すると、仕様限界値が自動的に読み込まれます。

図10.17「Cities.jmp」の「仕様限界」ウィンドウ

6. ［**次へ**］をクリックすると、レポートウィンドウが表示されます。

図 10.18「Cities.jmp」の結果



7. 正規化箱ひげ図と工程能力指数レポートを表示するには、「工程能力」の赤い三角ボタンをクリックし、メニューから［**正規化箱ひげ図**］と［**工程能力指数レポート**］を選択します。

図10.19「Cities.jmp」の結果

工程能力

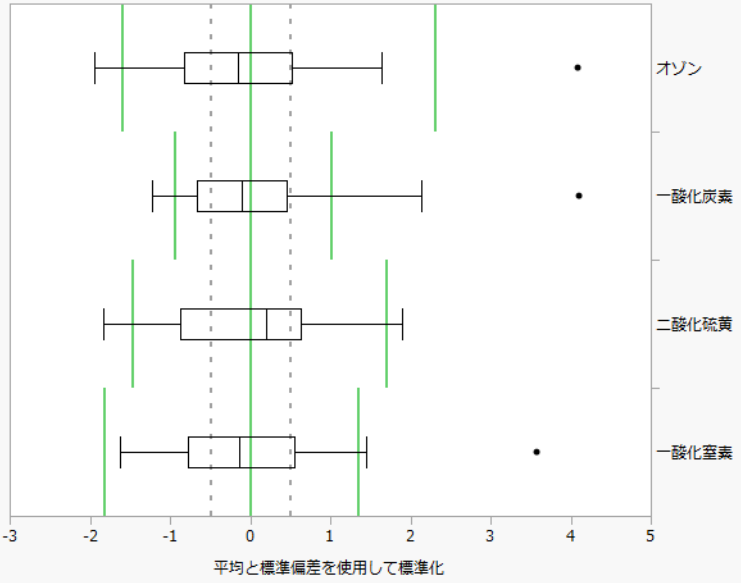
仕様限界

列	LSL	目標値	USL
オゾン	0.075000	0.150000	0.25000
一酸化炭素	5.000000	7.000000	12.00000
二酸化硫黄	0.010000	0.040000	0.09000
一酸化窒素	0.010000	0.025000	0.04000

工程能力指数

列	LSL	目標値	USL	平均	標準偏差	CP	CPK	PPM
オゾン	0.075	0.15	0.25	0.146875	0.044729	0.652078	0.5356	64604.97
一酸化炭素	5	7	12	8.382979	3.566469	0.327121	0.3162	326674.3
二酸化硫黄	0.01	0.04	0.09	0.04714	0.025248	0.528097	0.4903	115439.2
一酸化窒素	0.01	0.025	0.04	0.027273	0.009435	0.529948	0.4497	122245.5

正規化箱ひげ図



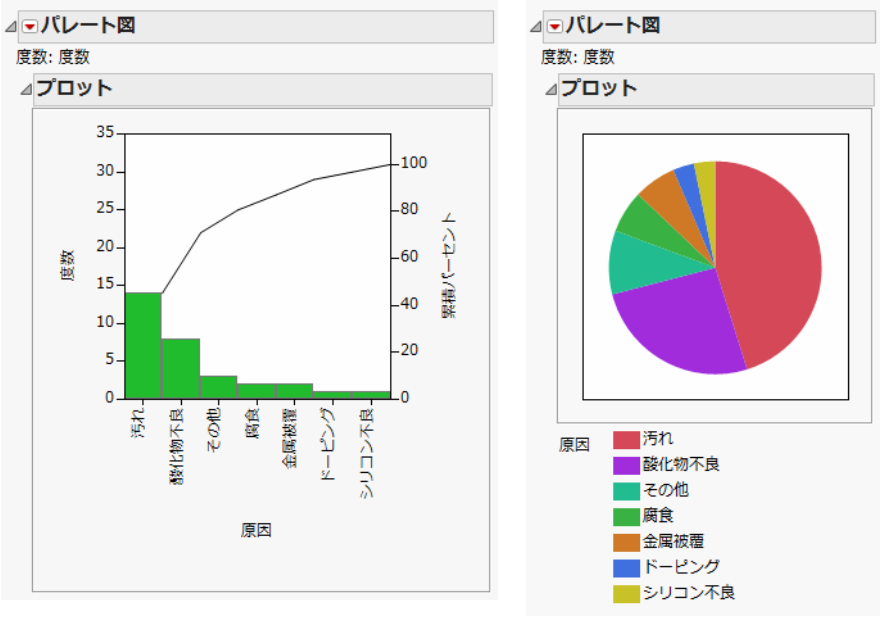
第 11 章

パレート図

重要な問題に的を絞って品質改善に導く

パレート図を使用して、工程や作業の質を統計的観点から改善していくことができます。パレート図には、品質が重視される工程や作業で生じた問題の重大性（度数）がわかりやすく示されます。度数を把握し、早急に対処が必要な問題を見極めることができます。

図 11.1 パレート図の例



目次

「パレート図」プラットフォームの概要 217
「パレート図」プラットフォームの例 217
「パレート図」プラットフォームの起動 220
「パレート図」レポート 221
「パレート図」プラットフォームのオプション 222
［原因］のオプション 223
「パレート図」プラットフォームのその他の例 224
［原因を組み合わせる］の例 224
グループ全体で一定の標本サイズを使用した例 225
グループ全体で一定でない標本サイズを使用した例 227
1 元層別パレート図の例 228
2 元層別パレート図の例 230

「パレート図」プラットフォームの概要

「パレート図」プラットフォームでは、品質が重要視されている工程または作業で生じた問題の度数（重大性）が表示されます。デフォルトの表示形式は、問題を度数の降順に並べた棒グラフです。問題の種類（カテゴリ）を表す値が含まれた列を *Y*（**原因**）変数に指定します。

1つのY（原因）変数に対して、複数のパレート図を組み合わせた層別パレート図を作成することもできます。*X* 変数の水準ごとに、また、複数の *X* 変数における水準の組み合わせに対する棒グラフが作成され、グラフ全体が1つのグループとして表示されます。*X* に指定した列は、**分類変数**と呼びます。

パレート図を作成できるのは、*Y*（原因）変数が1つ、*X*（分類）変数が0～2個あるときです。変数が数値か文字列かの区別も、尺度の区別もありません。棒グラフと円グラフを切り替えることができます。すべての値が離散変数として扱われ、棒グラフの棒または円グラフの扇形は度数およびパーセントを表します。

「パレート図」プラットフォームの例

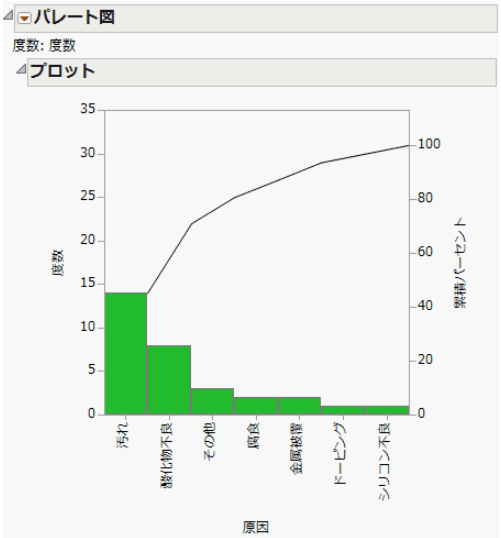
この例で使用する「Failure.jmp」サンプルデータテーブルは、「度数」の列がある不適合のデータであり、集積回路（IC）の製造工程で生じる不適合の原因と、不適合の度数をその種類別にまとめたものです。この分析により、工程に不適合を生じる一番の原因を追究できます。

1. 「Quality Control」フォルダに入っている「Failure.jmp」データテーブルを開きます。
2. ［**分析**］>［**品質と工程**］>［**パレート図**］を選択します。
3. 「**原因**」を選択して、［**Y, 原因**］をクリックします。

   不適合の原因が記録されているこの列を、分析の対象となるY変数として指定します。
4. 「**度数**」を選択し、［**度数**］をクリックします。

   この列には、不適合の数が種類別に記録されています。
5. ［**OK**］をクリックします。

図 11.2「パレート図」レポートウィンドウ



左の軸は不適合の度数、右の軸は不適合の各カテゴリの割合を示します。棒は最も頻度の高い不適合から順に、左から右へと並べられています。曲線は不適合を左から右へ足していったときの累計和を示します。

6. 「パレート図」の横にある赤い三角ボタンのメニューから［**累積パーセント点のラベル**］を選択します。

   「汚れ」が不適合の約45%を占めていることがわかります。「酸化物不良」の棒の上に位置する点が、「汚れ」と「酸化物不良」の2つで不適合の約71%を占めることを示しています。

7. 赤い三角ボタンのメニューから［**累積パーセント点のラベル**］と［**累積パーセント曲線の表示**］の選択を解除します。

8. Y軸をダブルクリックして「**Y軸の指定**」ウィンドウを表示します。
   - 「**最大値**」フィールドに「15」と入力します。
   - 「**目盛り間隔**」フィールドに「2」と入力します。
   - 「**目盛りとグリッド線**」領域で、「**グリッド線**」の［**大**］チェックボックスを選択します。
   - ［**OK**］をクリックします。

9. 赤い三角ボタンのメニューから［**カテゴリの凡例**］を選択します。

図 11.3 表示オプションを適用したパレート図

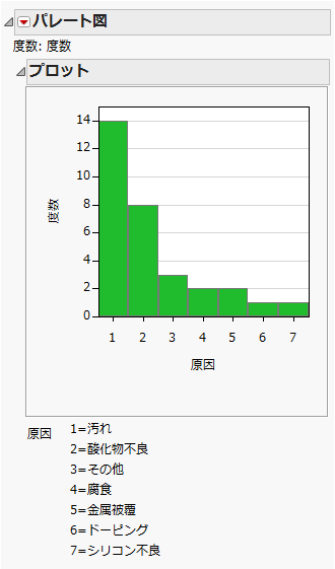
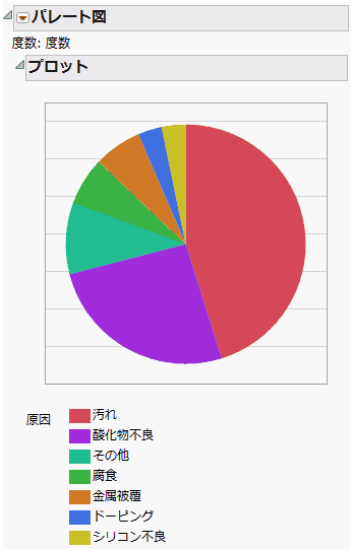


図 11.3 では、割合の代わりに度数を表示し、カテゴリの凡例も表示しています。度数を示す縦軸のスケールを変更し、主目盛りにグリッド線を表示しています。

10. データを円グラフで表示するには、赤い三角ボタンのメニューから［円グラフ］を選択します。

図 11.4 円グラフを使ったパレート図

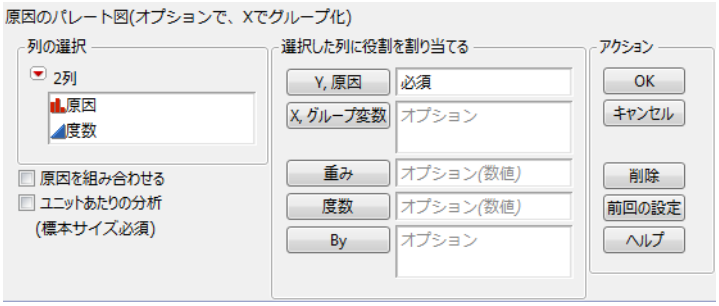


「汚れ」と「酸化物不良」が不適合数の大半をしめていることが一目瞭然です。

「パレート図」プラットフォームの起動

「パレート図」プラットフォームを起動するには、［**分析**］>［**品質と工程**］>［**パレート図**］を選択します。

図 11.5「パレート図」起動ウィンドウ



「パレート図」起動ウィンドウには、次のようなオプションがあります。

Y, 原因　問題の原因を表す値が含まれた列を指定します。工程変数とも呼ばれ、分析の対象となる変数です。

X, グループ変数　グループ化因子を指定します。グループ変数を指定すると、1つのウィンドウの中に、隣り合わせに並んだパレート図が作成されます。グループ変数は指定しなくても、1つ（「1元層別パレート図の例」（228ページ）を参照）または2つ（「2元層別パレート図の例」（230ページ）を参照）指定することもできます。

重み　オブザベーションに異なる重みを付けるための変数を指定します。

度数　度数の値が含まれた列を指定します。

By　ここで指定した列の値ごとに、個別に分析が行われます。

原因を組み合わせる　度数または割合の最小値を閾値として指定することにより、原因を組み合わせることができます。［原因を組み合わせる］オプションを選択し、［**累積 %**］または［**度数**］のいずれかを選択して閾値を入力します。［累積 %］オプションの場合は、全体に占める割合を閾値として指定し、その割合に満たない原因を1つにまとめて表示します。［度数］オプションの場合は、度数の閾値を指定できます。例として、「［原因を組み合わせる］の例」（224ページ）を参照してください。

ユニットあたりの分析　グループ間で不適合率を比較できます。また、不適合率に対する95% 信頼区間も計算されます。［ユニットあたりの分析］オプションを選択し、［**定数**］または［**度数列の値**］のいずれかを選択して、それぞれ「標本サイズ」または「原因コード」に値を入力します。［定数］オプションの場合は、起動ウィンドウで一定の標本サイズを指定できます。［度数列の値］オプションの場合は、グループ

ごとに異なる標本サイズを指定できます。特殊な原因コードを指定し、その値を含む行を、原因を含む行として指定します。

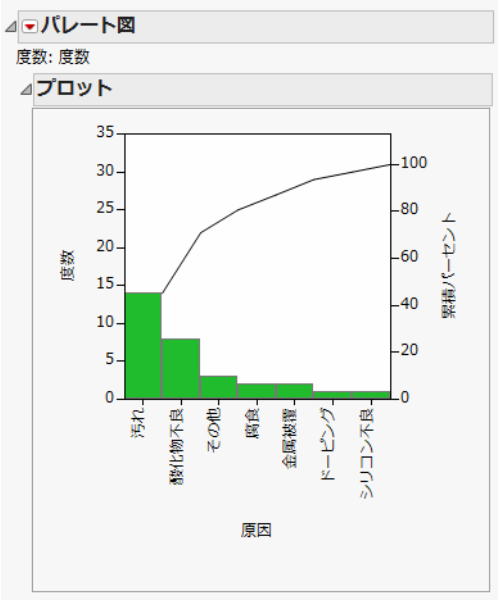
パレート図では原因を組み合わせることができますが、それに合わせて分析の計算が変わることはありません。

例として、「グループ全体で一定の標本サイズを使用した例」（225 ページ）および「グループ全体で一定でない標本サイズを使用した例」（227 ページ）を参照してください。

「パレート図」レポート

パレート図は、データ中に各変数が占める割合を示す棒グラフと、変数の累積割合を示す折れ線グラフで構成されます。

図 11.6 パレート図の例



パレート図を作成できるのは、*Y*（原因）変数が 1 つ、*X*（分類）変数が 0 ～ 2 個あるときです。変数が数値か文字列かの区別も、尺度の区別もなく、すべての値が離散変数として扱われ、棒グラフの棒は度数およびパーセントを表します。パレート図は、次のような構成になっています。

- *Y* 変数が 1 つで *X* 分類変数がないときは、図が 1 つだけ作成され、棒は *Y* 変数の各値の度数を表します。例として、「「パレート図」プラットフォームの例」（217 ページ）を参照してください。
- *Y* 変数が 1 つで *X* 分類変数が 1 つのときは、横 1 列に並んだパレート図が作成されます。*X* 変数の水準ごとにパレート図が 1 つ作成され、棒は、各水準内における *Y* 変数の各値の度数を表します。全体を層別パレート図といい、1 つ 1 つの図を**セル**といいます。*X*（グループ変数）の水準につき 1 つのセルがありま

す。X変数は1つだけなので、このパレート図は**1元層別パレート図**と呼ばれます。例として、「1元層別パレート図の例」（228ページ）を参照してください。

- Y変数が1つでX変数が2つのときは、m行n列に並んだパレート図が作成されます。1番目のX変数の水準と同数（m）の行、2番目のX変数の水準と同数（n）の列ができます。X変数が2つなので、このパレート図は**2元層別パレート図**と呼ばれます。各行には、1番目のX変数の水準ごとのパレート図が並ぶことになります。左上のセルは**基準セル**と呼ばれます。基準セルの棒は降順に並べられ、他のセルの棒はそれと同じ順序で並べられます。セルの行列の配置は変更できます。左上の角に移動したセルが新しい基準セルになり、セルの棒がそれに合わせて並べ替えられます。例として、「2元層別パレート図の例」（230ページ）を参照してください。

「パレート図」の赤い三角ボタンのメニューのオプションを使用して、軸の種類や棒の配置を変更したり、棒グラフを円グラフに切り替えたりすることができます。詳細は、「「パレート図」プラットフォームのオプション」（222ページ）を参照してください。

「パレート図」プラットフォームのオプション

「パレート図」の横の赤い三角ボタンのメニューには、図の外観をカスタマイズできるコマンドが用意されています。その中の［**原因**］にはさらにサブメニューがあり、パレート図の個々の棒に適用されるオプションが含まれています。パレート図全体に作用するコマンドには、次のようなものがあります。

パーセント表示　左側の縦軸の表示において、度数とパーセントとで切り替えます。

Nの凡例　プロット内の合計標本サイズの表示／非表示を切り替えます。

カテゴリの凡例　カテゴリのラベルが棒についた状態と、カテゴリの凡例が別に表示される状態とで切り替えます。

円グラフ　棒グラフ／円グラフを切り替えます。

列の並べ替え、行の並べ替え　パレート図がグループ変数によって分かれているときに、並べ替えを行います。

プロットのグループ化解除　グループ化されたパレート図を個別に表示します。

度数分析　ユニットあたりの不適合数を分析できます。グループ間およびグループ内で不適合率を比較し、尤度比検定を実行できます。

- ［**ユニットあたりの比率**］では、グループ間の不適合率を比較します。標本サイズが指定されている場合は、ユニットあたり度数（DPU: Defect Per Unit）と100万個あたりの度数（PPM: Parts Per Million）の各列がレポートに追加されます。
- ［**グループ内の比率の検定**］では、それぞれの原因によるユニットあたりの度数（DPU）が、グループ内で同じかどうかを検定（尤度比カイ2乗検定）します。
- ［**グループ間の比率の検定**］では、それぞれの原因によるユニットあたりの度数（DPU）が、グループ間で同じかどうかを検定（尤度比カイ2乗検定）します。

累積パーセント曲線の表示　棒の上にある累積パーセント曲線と右の縦軸上の累積パーセント軸の表示／非表示を切り替えます。

累積パーセント軸の表示　右の縦軸上にある累積パーセント軸の表示／非表示を切り替えます。

累積パーセント点の表示　累積パーセント曲線上の点の表示／非表示を切り替えます。

累積パーセント点のラベル　累積パーセント曲線上の点に付くラベルの表示／非表示を切り替えます。

累積パーセント曲線の色　累積パーセント曲線の色を変更できます。

原因　サブメニューに、棒に適用するオプションが含まれています。詳しくは、次の「［原因］のオプション」（223ページ）の節を参照してください。

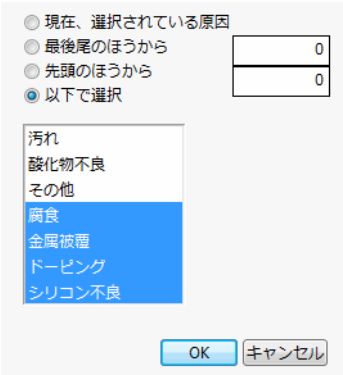
スクリプト　すべてのプラットフォームに共通なオプションが表示されます。詳細については、『JMPの使用法』を参照してください。

［原因］のオプション

棒を選択するには、棒をクリックします。隣り合わせに並んでいない複数の棒を選択するには、Ctrlキーを押しながらクリックします。棒を選択すると、赤い三角ボタンのメニューのコマンドのうち、棒に関連するものが使用可能な状態になります。棒に関連するオプションは、赤い三角ボタンのメニューにある［**原因**］サブメニューにも含まれています。これらのオプションは、グラフ領域のどこかを右マウスボタンでコンテキストクリックして表示することもできます。以下のオプションは、パレート図全体ではなく、選択した棒だけに適用されます。

原因の組み合わせ　選択されている（強調表示されている）棒を結合します。［**現在、選択されている原因**］、［**最後尾のほうから**］、［**先頭のほうから**］、または図11.7に示す変数のリストから選択できます。

図11.7「原因の組み合わせ」ウィンドウ



原因の分離　選択されている結合した棒を分離し、元の棒に戻します。

先頭に移動　選択されている棒が一番左、つまり先頭に移動します。

最後尾に移動　選択されている棒が一番右、つまり最後尾に移動します。

色　カラーパレットが開き、そこで選択した色が強調表示された棒に適用されます。

マーカー　［**累積パーセント点の表示**］オプションがオンになっているときに、マーカーパレットからマーカーを選択すると、累積パーセント曲線上の点にそのマーカーが割り当てられます。

ラベル　強調表示されたすべての棒の上に、棒の値を表示します。

「パレート図」プラットフォームのその他の例

ここでは、「パレート図」プラットフォームを使った例をさらに紹介します。

［原因を組み合わせる］の例

この例で使用する「Failure.jmp」サンプルデータテーブルは、「度数」の列がある不適合のデータであり、集積回路（IC）の製造工程で生じる不適合の原因と、不適合が生じた回数をその種類別にまとめたものです。この例では、閾値として 2 を指定します。

1. 「Quality Control」フォルダに入っている「Failure.jmp」データテーブルを開きます。
2. ［**分析**］>［**品質と工程**］>［**パレート図**］を選択します。
3. 「**原因**」を選択して、［**Y, 原因**］をクリックします。
4. 「**度数**」を選択し、［**度数**］をクリックします。
5. ［**原因を組み合わせる**］を選択し、［**度数**］を選択します。
6. 閾値として「**2**」と入力します。
7. ［**OK**］をクリックします。

図 11.8 閾値（度数 =2）を指定したパレート図

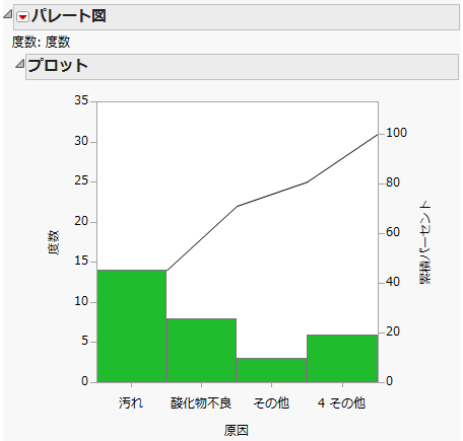
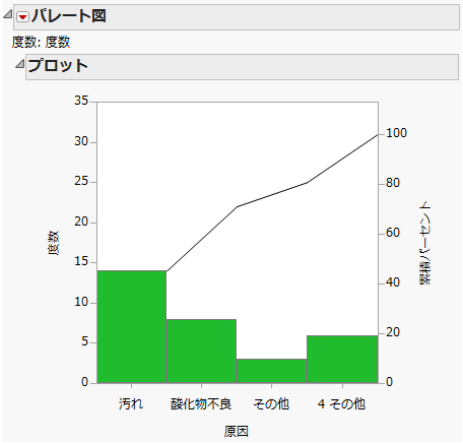


図 11.8 は、度数=2 という閾値を指定した結果のパレート図です。「4 その他」という名前の棒に、度数が 2 以下の原因がすべて組み合わさります

8. 組み合わせた棒を図 11.9 に示すように元に戻すには、［**原因**］>［**原因の分離**］を選択します。

図 11.9 原因を分離したパレート図

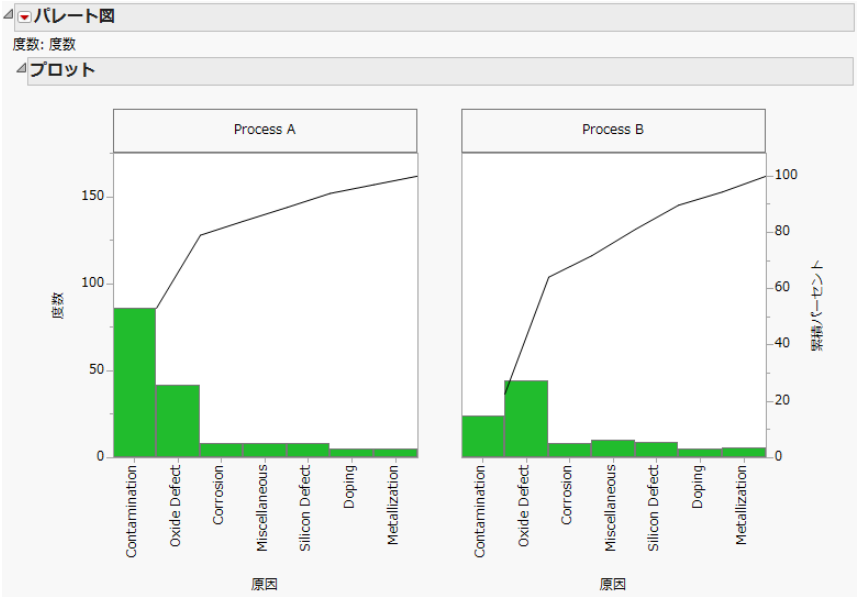


グループ全体で一定の標本サイズを使用した例

この例で使用する「Failures.jmp」サンプルデータテーブルは、「度数」の列がある不適合のデータであり、集積回路（IC）の 2 つの製造工程で生じる不適合の原因と、不適合が生じた回数をその種類別にまとめたものです。この例では、一定の標本サイズとして 1000 を指定します。

1. 「Quality Control」フォルダに入っている「Failures.jmp」データテーブルを開きます。
2. ［**分析**］>［**品質と工程**］>［**パレート図**］を選択します。
3. 「**原因**」を選択して、［**Y, 原因**］をクリックします。
4. 「**プロセス**」を選択し、［**X, グループ変数**］をクリックします。
5. 「**度数**」を選択し、［**度数**］をクリックします。
6. ［**ユニットあたりの分析**］を選択し、［**定数**］を選択します。
7. 「**標本サイズ**」に「**1000**」を入力します。
8. ［**OK**］をクリックします。

図 11.10「パレート図」レポートウィンドウ



「Process A」では、「Contamination」が不適合の一番の要因となっていますが、「Process B」では「Oxide Defect」が有力要因となっています。

9. 赤い三角ボタンのメニューから［**度数分析**］>［**グループ間の比率の検定**］を選択します。

図 11.11［グループ間の比率の検定］の結果

グループ間の比率の検定

グループ間の比率の検定: プロセス

要因	DPUの差	-.8-.6-.4-.2 0 .2 .4 .6 .8	標準誤差	カイ2乗	自由度	p値(Prob>ChiSq)
Contamination	0.0620		0.0105	37.0810	1	<.0001*
Oxide Defect	-0.0020		0.0093	0.0465	1	0.8292
Corrosion	0.0000		0.0040	0.0000	1	1.0000
Miscellaneous	-0.0020		0.0042	0.2227	1	0.6370
Silicon Defect	-0.0010		0.0041	0.0589	1	0.8083
Doping	0.0000		0.0032	0.0000	1	1.0000
Metallization	-0.0010		0.0033	0.0910	1	0.7629
合算合計	0.0080		0.0023	11.7882	1	0.0006*

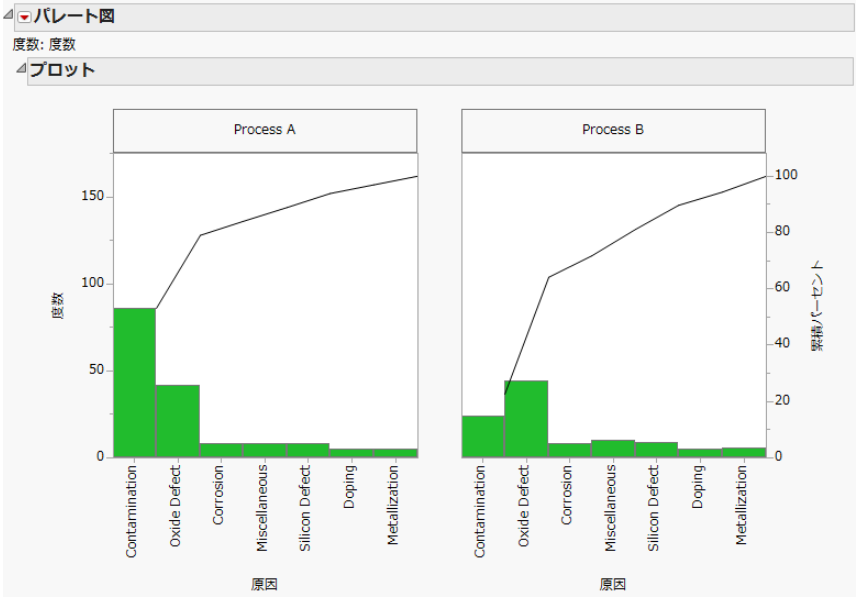
「Contamination」によるユニットあたりの度数（DPU）のグループ間（Process A と Process B）の差は約 0.06 になっています。

グループ全体で一定でない標本サイズを使用した例

この例で使用する「Failuressize.jmp」サンプルデータテーブルは、「度数」の列がある不適合のデータであり、集積回路（IC）の2つの製造工程で生じる不適合の原因と、不適合が生じた回数をその種類別にまとめたものです。諸原因（「Oxide Defect」、「Silicon Defect」など）の下に、**「size」**という名前の原因があります。原因コードとして「size」を指定して、該当する行を、標本サイズを含む行として指定します。

1. 「Quality Control」フォルダに入っている Failuressize.jmp」データテーブルを開きます。
2. ［**分析**］>［**品質と工程**］>［**パレート図**］を選択します。
3. **「原因」**を選択して、［**Y, 原因**］をクリックします。
4. **「プロセス」**を選択し、［**X, グループ変数**］をクリックします。
5. **「度数」**を選択し、［**度数**］をクリックします。
6. ［**ユニットあたりの分析**］を選択し、［**度数列の値**］を選択します。
7. **「原因コード」**に**「size」**と入力します。
8. ［**OK**］をクリックします。

図11.12「パレート図」レポートウィンドウ



9. 赤い三角ボタンのメニューから［**度数分析**］>［**ユニットあたりの比率**］と［**度数分析**］>［**グループ間の比率の検定**］を選択します。

図 11.13 ［ユニットあたりの比率］と［グループ間の比率の検定］の結果

ユニットあたりの比率

プロセス(整数)	要因	度数	DPU	PPM	下側95%	上側95%
1	Contamination	86	0.8515	851485.15	0.6811	1.0516
	Oxide Defect	42	0.4158	415841.58	0.2997	0.5621
	Corrosion	8	0.0792	79207.92	0.0342	0.1561
	Miscellaneous	8	0.0792	79207.92	0.0342	0.1561
	Silicon Defect	8	0.0792	79207.92	0.0342	0.1561
	Doping	5	0.0495	49504.95	0.0161	0.1155
	Metallization	5	0.0495	49504.95	0.0161	0.1155
	合算合計	162	0.2291	229137.20	0.1952	0.2673
	size	101				
2	Contamination	24	0.1655	165517.24	0.1061	0.2463
	Oxide Defect	44	0.3034	303448.28	0.2205	0.4074
	Corrosion	8	0.0552	55172.41	0.0238	0.1087
	Miscellaneous	10	0.0690	68965.52	0.0331	0.1268
	Silicon Defect	9	0.0621	62068.97	0.0284	0.1178
	Doping	5	0.0345	34482.76	0.0112	0.0805
	Metallization	6	0.0414	41379.31	0.0152	0.0901
	合算合計	106	0.1044	104433.50	0.0855	0.1263
	size	145				

グループ間の比率の検定

グループ間の比率の検定: プロセス(整数)

要因	DPUの差	-.8 -.6 -.4 -.2 0 .2 .4 .6 .8	標準誤差	カイ2乗	自由度	p値(Prob>ChiSq)
Contamination	0.6860		0.0978	63.0776	1	<.0001*
Oxide Defect	0.1124		0.0788	2.1195	1	0.1454
Corrosion	0.0240		0.0341	0.5202	1	0.4707
Miscellaneous	0.0102		0.0355	0.0847	1	0.7710
Silicon Defect	0.0171		0.0348	0.2500	1	0.6171
Doping	0.0150		0.0270	0.3251	1	0.5685
Metallization	0.0081		0.0278	0.0871	1	0.7679
合算合計	0.1247		0.0207	40.7524	1	<.0001*

グループ A の原因には標本サイズを 101 として DPU を計算し、グループ B の原因には 145 として計算しています。

2 つのグループ変数（「日付」と「プロセス」など）がある場合は、「ユニットあたりの比率」表には、各原因の「日付」と「プロセス」のすべての組み合わせに対して、比率（DPU）が表示されます。ただし、［グループ間の比率の検定］では、グループ間の全体的な差だけが検定されます。

1 元層別パレート図の例

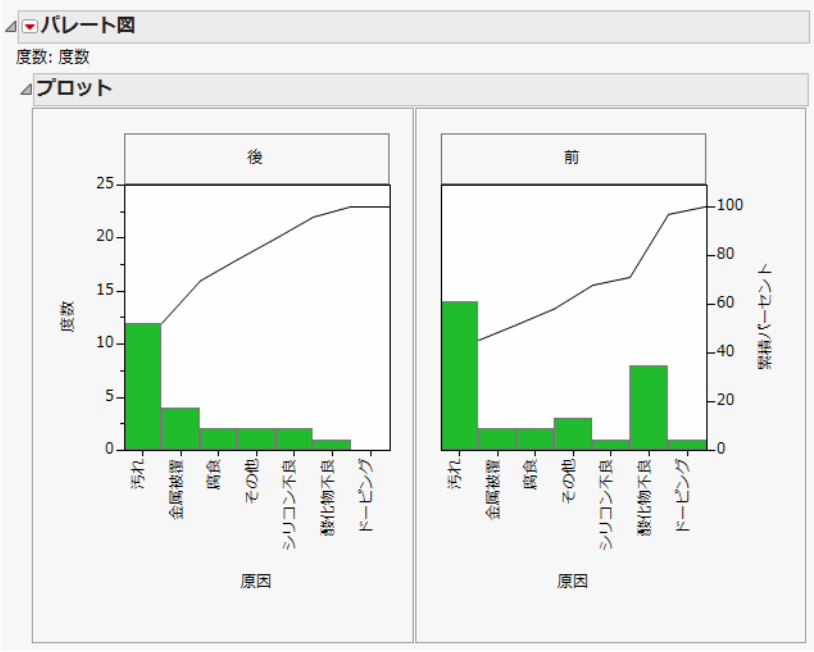
この例では、「Failure2.jmp」サンプルデータテーブルを使用します。このデータテーブルには、拡散炉の管を洗浄する前に生産されたコンデンサーの標本と、管を洗浄した後に生産された標本の不適合が記録されています。不適合の種類ごとに、**「洗浄」**という変数が「前」または「後」の値を取ります。

1. 「Quality Control」フォルダに入っている「Failure2.jmp」データテーブルを開きます。
2. ［**分析**］> ［**品質と工程**］> ［**パレート図**］を選択します。
3. **「原因」**を選択して、［**Y, 原因**］をクリックします。
4. **「洗浄」**を選択し、［**X, グループ変数**］をクリックします。

5. 「**度数**」を選択し、[**度数**] をクリックします。
6. [**OK**] をクリックします。

   図 11.14 では、「**洗浄**」変数の値ごとにパレート図が隣り合わせに並んで表示されています。

図 11.14 1 元層別パレート図

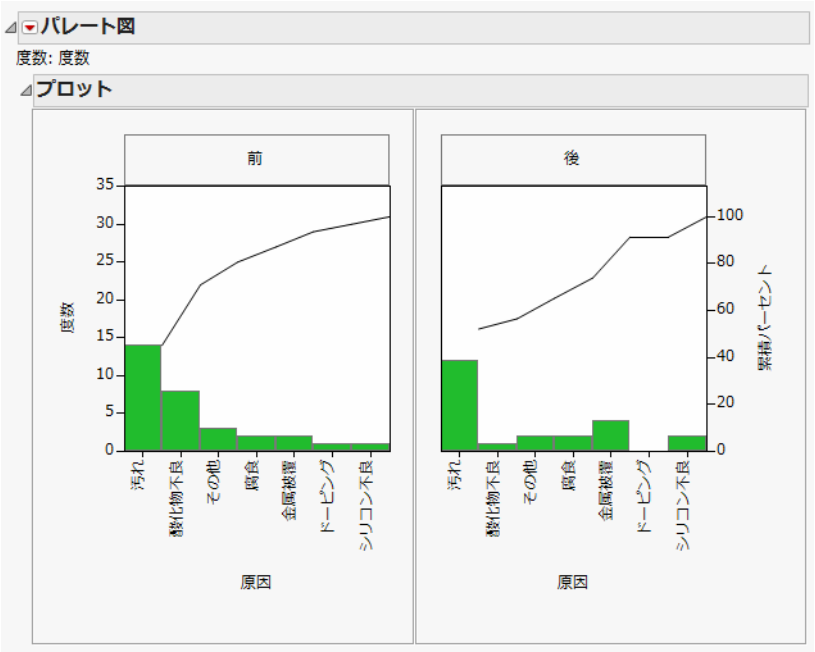


どちらの図も、縦軸と横軸のスケールは同じです。左側の図の棒は Y 軸の値が降順になるように並べられ、それによって決まった棒の順序が、他のセルでも使用されています。

7. パレート図の並び順序を変更するには、左側の図のタイトル（「**後**」）をクリックし、右側の図のタイトル（「**前**」）にドラッグします。

   2 つの図を比較すると、洗浄後に「酸化物不良」が減少していることがわかりますが、図が図 11.15 のように「前」と「後」という自然な順序で並んでいた方が（同時に「原因」もそれに合わせて並べられた方が）、解釈はより簡単になります。上の図においては、原因の表示順序が、左側の図に合わせて変更されています。

図 11.15 セルの順序を変更した 1 元層別パレート図



2 元層別パレート図の例

この例では、「Failure3.jmp」サンプルデータテーブルを使用します。コンデンサーの製造工程で、管の洗浄前と洗浄後の標本を 3 日間にわたって観察しました。このデータテーブルには、**「日付」**という列があり、値として**「10 月 1 日」**、**「10 月 2 日」**、**「10 月 3 日」**が含まれています。

1. 「Quality Control」フォルダに入っている「Failure3.jmp」サンプルデータテーブルを開きます。
2. ［**分析**］>［**品質と工程**］>［**パレート図**］を選択します。
3. **「原因」**を選択して、［**Y, 原因**］をクリックします。
4. **「洗浄」**と**「日付」**を選択し、［**X, グループ変数**］をクリックします。
5. **「度数」**を選択し、［**度数**］をクリックします。
6. ［**OK**］をクリックします。

   図 11.16 では、両方の *X* 変数の各水準を示した 2 元層別の図が 1 つのウィンドウに表示されています。左上のセルは**基準セル**と呼ばれます。基準セルの棒は降順に並べられ、他のセルの棒はそれと同じ順序で並べられます。
7. 基準セル内の**「汚れ」**と**「金属被覆」**をクリックすると、それに該当する棒が他のセルでも強調表示されます。

図 11.16 2元層別パレート図

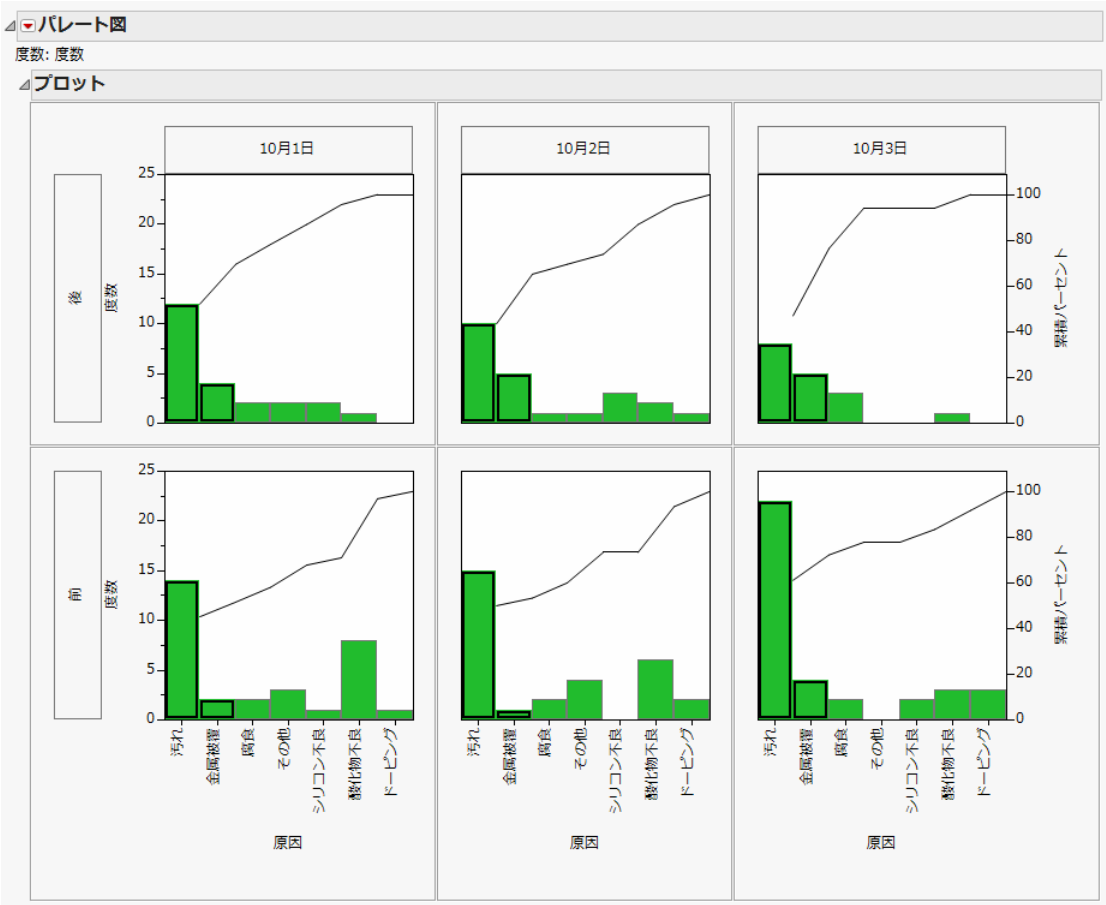


図 11.16 のパレート図は、**重要な原因**だけが選択されている状態です。2元層別パレート図のすべてのセルで、頻度の高い2つの不適合を表す棒が選択されています。「**汚れ**」と「**金属被覆**」はすべてのセルで重要な原因に数えられますが、管の洗浄後は改善されていることがわかります。

第 12 章

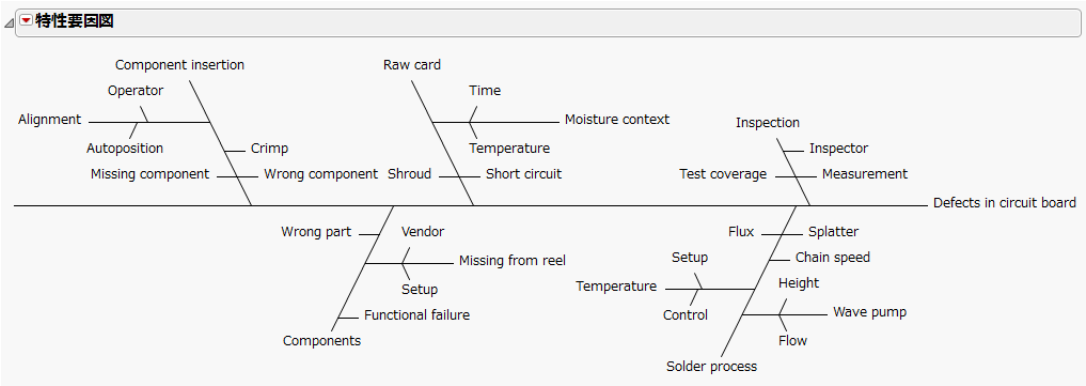
特性要因図

根本原因を調べる

「特性要因図」プラットフォームでは、特性要因図を作成します。特性要因図は、**石川ダイヤグラム**、**フィッシュボーンチャート**（**魚骨図**）ともいいます。特性要因図は、次の用途で役に立ちます。

- 特性の要因（問題の原因）を整理する
- ミーティングで意見を出し合う（ブレインストーミング）
- 実験の準備段階で変数を識別する

図 12.1 特性要因図の例



目次

特性要因図の概要 235
特性要因図の例 235
データの準備 236
「特性要因図」プラットフォームの起動 236
特性要因図 237
コンテキストメニュー 237
特性要因図の保存 240
特性要因図をデータテーブルとして保存する 241
特性要因図をジャーナルとして保存する 241
特性要因図をスクリプトとして保存する 241

特性要因図の概要

「特性要因図」プラットフォームでは、特性要因図を作成します。特性要因図は、**石川ダイヤグラム**、**フィッシュボーンチャート**（**魚骨図**）ともいいます。特性要因図は、次の用途で役に立ちます。

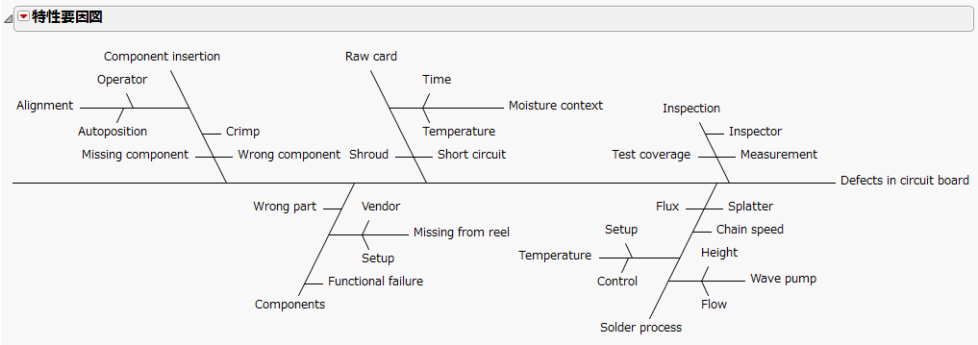
- 特性の要因（問題の原因）を整理する
- ミーティングで意見を出し合う（ブレインストーミング）
- 実験の準備段階で変数を識別する

特性要因図の例

回路基板の不具合に関するデータがあります。主な要因と、不具合の原因候補を特性要因図で調べます。

1. 「Ishikawa.jmp」サンプルデータテーブルを開きます。
2. ［**分析**］>［**品質と工程**］>［**特性要因図**］を選択します。
3. 「**親**」を選択し、［**X, 親**］をクリックします。
4. 「**子**」を選択し、［**Y, 子**］をクリックします。
5. ［**OK**］をクリックします。

図 12.2「Ishikawa.jmp」の特性要因図



主な要因は、「Inspection」、「Solder process」、「Raw card」、「Components」、「Component insertion」です。これらの各主要要因から、原因候補が枝分かれしています。たとえば、「Inspection」という要因から、「Inspector」、「Measurement」、「Test coverage」が枝分かれしています。

主要な要因ごとに、考えられる原因や変動の元となっているものをさらに検討することもできます。

データの準備

特性要因図を作成する前に、データが 2 列に格納されたデータテーブルを用意します。

図 12.3「Ishikawa.jmp」データテーブルの例

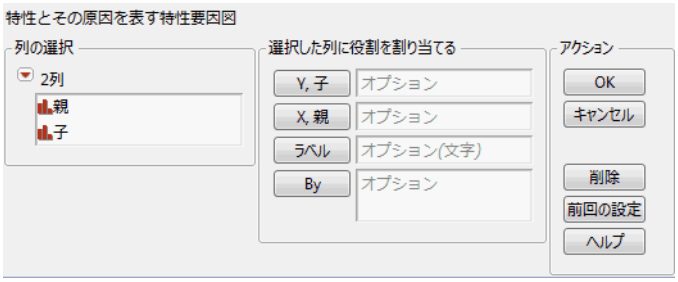
	親	子
1	Defects in circuit boar	Inspection
2	Defects in circuit boar	Solder process
3	Defects in circuit boar	Raw card
4	Defects in circuit boar	Components
5	Defects in circuit boar	Component insertior
6	Inspection	Measurement
7	Inspection	Test coverage
8	Inspection	Inspector
9	Solder process	Splatter
10	Solder process	Flux
11	Solder process	Chain speed
12	Solder process	Temperature
13	Solder process	Wave pump
14	Temperature	Setup

「親」の「Defects in circuit board」という値にはいろいろな要因があり、それが**「子」**列にリストされています。その中の「Inspection」という要因は、それ自体がまた要因を持っており、それらが**「子」**列にリストされています。親の値に対して子がリストされ、その子に対してさらに子を設定できます。（それ自体が子を持つ子は、**「親」**列にも**「子」**列にも表示されます）。

「特性要因図」プラットフォームの起動

「特性要因図」プラットフォームを起動するには、［**分析**］ > ［**品質と工程**］ > ［**特性要因図**］を選択します。

図 12.4「特性要因図」起動ウィンドウ



ヒント：データテーブルに関係のない基本の特性要因図を作成するには、［**Y, 子**］と［**X, 親**］のフィールドを空にして［**OK**］をクリックします。その後、右クリックメニューのオプションを使ってノードを編集します。「コンテキストメニュー」（237 ページ）を参照してください。

Y, 子　親要因の原因となっている子要因を表す列を指定します。

X, 親　子要因を含む親要因（特性）を表す列を指定します。

ラベル　［ラベル］列を指定すると、その列の値（テキスト）が特性要因図上にラベルとして表示されます。

By　［By］変数の列を指定すると、By 変数の値ごとに個別の特性要因図が作成されます。

特性要因図

図 12.5 特性要因図

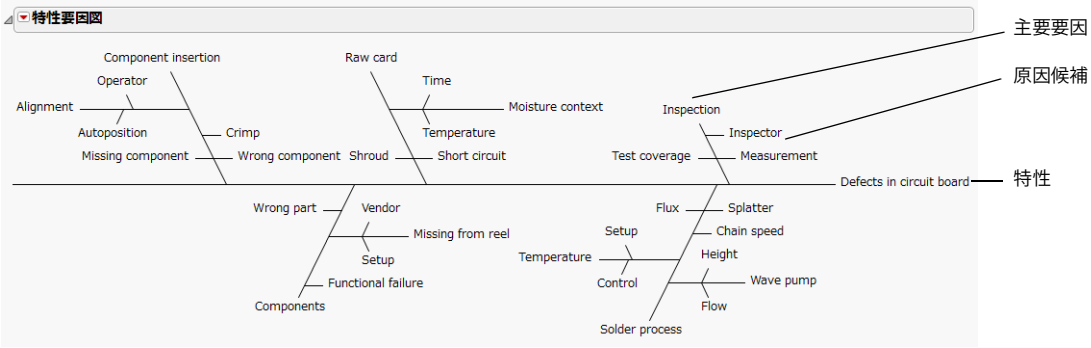


図 12.5 では、「Defects in circuit board」という特性（問題）が中心線の右側に表示されています。中心線から上下に枝分かれした先端にあるのが主要な要因（「Inspection」、「Solder process」、「Raw Card」など）で、それぞれの主要要因から、考えられる要因の候補が子として枝分かれしています。

コンテキストメニュー

強調表示したノードを右クリックすると、テキストの変更、新しいノードの挿入、特性要因図の種類の変更などを実行できます。次の点を念頭に置いてください。

- 文字列を右クリックすると、フォントや色、テキストの配置、表示／非表示、書式を変更できます。
- ノードをクリックして強調表示し、名前を変更できます。
- ノードの位置を変更するには、ノードをクリックしてドラッグします。

［テキスト］メニュー

［テキスト］メニューには次のオプションがあります。

フォント　テキストまたは数字のフォントを選択できます。

色　テキストまたは数字の色を選択できます。

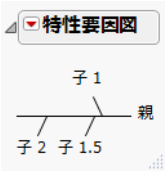
左に回転、右に回転、横に並べて表示　［横に並べて表示］を選択するとテキストや数字が水平になり、［左に回転］と［右に回転］で左右に 90 度回転します。

［挿入］メニュー

［**挿入**］メニューを使うと、既存のノードに項目を挿入することができます。［挿入］メニューには次のオプションがあります。

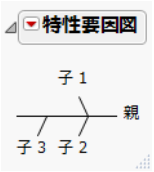
前へ　強調表示されたノードの右側に新しいノードを挿入します。たとえば、図 12.6 では、「子 2」の前に「子 1.5」を挿入しています。

図 12.6 前に挿入



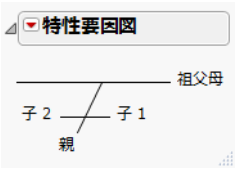
後ろへ　強調表示されたノードの左側に新しいノードを挿入します。たとえば、図 12.7 では、「子 2」の後ろに「子 3」を挿入しています。

図 12.7 後ろに挿入



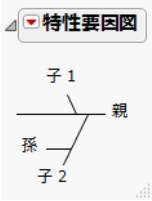
上へ　現在のノードの上のレベルに新しいノードを挿入します。たとえば、図 12.8 では、「親」の 1 つ上のレベルに「祖父母」を挿入しています。

図 12.8 上に挿入



下へ　現在のノードの下のレベルに新しいノードを挿入します。たとえば、図12.9では、では、「子2」の1つ下のレベルに「孫」を挿入しています。

図12.9 下に挿入



［移動］メニュー

［移動］メニューを使用してノードや枝を移動できます。［移動］メニューには次のオプションがあります。

最初へ　強調表示されたノードを、その親の下にある最初の位置へ移動します。

最後へ　強調表示されたノードを、その親の下にある最後の位置へ移動します。

反対側へ　強調表示されたノードを、「親」線の反対側へ移動します。

左へ　水平方向に枝分かれした要素を、すべて親の左側に表示します。

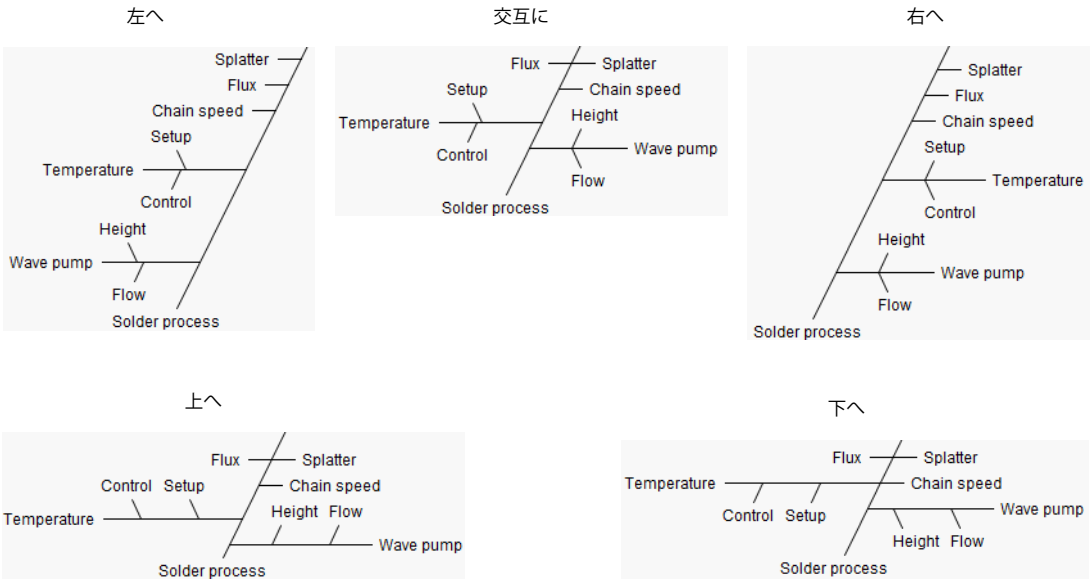
右へ　水平方向に枝分かれした要素を、すべて親の右側に表示します。

上へ　垂直方向に枝分かれした要素を、すべて親の上に表示します。

下へ　垂直方向に枝分かれした要素を、すべて親の下に表示します。

交互に　子を、親の線の両側に交互に表示します。

図 12.10 移動オプション



その他のメニューオプション

強調表示したノードを右クリックしたときに表示されるメニューには、次のオプションもあります。

タイプの変更　チャート全体のタイプを［**フィッシュボーン**］、［**階層化**］、または［**入れ子**］に変更します。

編集不可能　［**移動**］と［**タイプの変更**］以外のすべてのコマンドを無効にします。

テキストの折り返し幅　テキストを折り返して表示する場合のラベルの幅を指定できます。

データテーブルに出力　強調表示されているノードをデータテーブルの形に変換します。特性要因図全体（特性）を強調表示すると、すべてのノードを変換できます。

閉じる　強調表示されたノードの表示／非表示を切り替えます。

削除　強調表示されたノードとその子をすべて削除します。

特性要因図の保存

特性要因図は、次のいずれかの方法で保存できます。

- データテーブルとして保存する
- ジャーナルとして保存する
- スクリプトとして保存する

特性要因図をデータテーブルとして保存する

1. 特性要因図全体を強調表示します。
2. 右クリックして［**データテーブルに出力**］を選択します。
3. 新しいデータテーブルを保存します。

この方法を使う場合は、次の点に注意してください。

- 他の作業でこのデータテーブルを更新する必要がある場合は、この保存方法が得策です。
- データテーブルではフォントや位置などのカスタマイズを表現できないため、カスタマイズの自由度は低くなります。

特性要因図をジャーナルとして保存する

1. 特性要因図全体を強調表示します。
2. 右クリックして［**編集**］>［**ジャーナル**］を選択します。
3. 新しいジャーナルを保存します。

この方法を使う場合は、次の点に注意してください。

- さしあたりの作業としては、この方法が便利です。たとえば、特性要因図を手動で作成し、ジャーナルとして保存しておいて、後からそのジャーナルを開いて特性要因図の編集を続けることができます。
- カスタマイズした内容はジャーナル内にのみ保存され、ジャーナルはデータテーブルからは分離されます。

特性要因図をスクリプトとして保存する

1. 赤い三角ボタンのメニューから［**スクリプト**］>［**スクリプトをスクリプトウィンドウに保存**］を選択します。
2. 新しいスクリプトを保存します。

この方法を使う場合は、次の点に注意してください。

- 他の作業でこのデータテーブルを更新する必要がある場合は、この保存方法が得策です。
- データテーブルから特性要因図を作成した場合、簡単なスクリプトが表示されます。このスクリプトは該当するデータテーブルに対して再実行できますが、カスタマイズは適用されません。
- データテーブルを使わずに特性要因図を作成した場合（またはジャーナルから作成した場合）、もう少し複雑なスクリプトが表示されます。このスクリプトには、特性要因図の各部を追加およびカスタマイズするために必要なコマンドがすべて含まれています。

付録 A

参考文献

Agresti, A., and Coull, B. (1998), "Approximate is Better Than 'Exact' for Interval Estimation of Binomial Proportions," *The American Statistician*, 52, 119–126

American Society for Quality Statistics Division (2004), *Glossary and Tables for Statistical Quality Control*, Fourth Edition, Milwaukee: Quality Press.

Automotive Industry Action Group (AIAG) (2002), *Measurement Systems Analysis Reference Manual*, Third Edition.

Barrentine (1991), *Concepts for R&R Studies*, Milwaukee, WI: ASQC Quality Press.

Fleiss, J. L. (1981). Statistical Methods for Rates and Proportions. New York: John Wiley and Sons.

Kourti, T. and MacGregor, J. F. (1996), "Multivariate SPC Methods for Process and Product Monitoring," Journal of Quality Technology, 28:4, 409-428.

Lucas, J.M. (1976), "The Design and Use of V–Mask Control Schemes," *Journal of Quality Technology*, 8, 1–12.

Lucas, J.M. and Crosier, R.B. (1982), "Fast Initial Response for CUSUM Quality Control Schemes: Give Your CUSUM a Head Start," *Technometrics*, 24, 199-205.

Montgomery, D.C. (2001), *Introduction to Statistical Quality Control*, 4th Edition New York: John Wiley and Sons.

Nelson, L. (1984), "The Shewhart Control Chart—Tests for Special Causes," *Journal of Quality Technology*, 15, 237–239.

Nelson, L. (1985), "Interpreting Shewhart X Control Charts," *Journal of Quality Technology*, 17, 114–116.

Nelson, W.B. (1982), *Applied Life Data Analysis*, New York: John Wiley and Sons.

Portnoy, Stephen (1971), "Formal Bayes Estimation with Application to a Random Effects Model", *The Annals of Mathematical Statistics*, Vol. 42, No. 4, pp. 1379–1402.

Sahai, Hardeo (1974), "Some Formal Bayes Estimators of Variance Components in the Balanced Three-Stage Nested Random Effects Model", *Communication in Statistics – Simulation and Computation*, 3:3, 233–242.

Sullivan, J.H. and Woodall, W.H. (2000), "Change-point detection of mean vector or covariance matrix shifts using multivariate individual observations," *IIE Transactions*, 32, 537-549.

Tracy, N. D., Young, J. C. and Mason, R. L. (1992), "Multivariate Control Charts for Individual Observations," Journal of Quality Technology, 24:2, 88-95.

Westgard, J.O. (2002), *Basic QC Practices, 2nd Edition*. Madison, Wisconsin: Westgard QC Inc.

Wheeler, Donald J. (2006) *EMP III Using Imperfect Data*. SPC Press.

Wludyka, P. and Sa, P. (2004) "A robust I-Sample analysis of means type randomization test for variances for unbalanced designs," *Journal of Statistical Computation and Simulation*, 74:10,701-726

索引
品質と工程

記号
_LimitsKey 201

数字
1元層別パレート図 222

A
Aluminum Pins Historical.jmp 128

B
Bayes法による分散成分 169

C
Cpk水準で色分け 204
CUSUM（累積和）管理図 105, 118
C管理図 93

E
EMP Gauge RR分析 145
EMP分析 145
EWMA 68

G
Gauge R&R分析 161, 165, 170, 172

I
`Import Spec Limits()` 203

J
JMPスターター 24
JMPスターターウィンドウを閉じる 24
JMPチュートリアル 22

L
Levey-Jennings法 73

M
MSA 139
　起動 143
　工程監視の等級分けについて 147
　統計的詳細 156
　例 139, 142, 150, 156

N
Nの凡例 222

O
OC曲線 81
Oil1 Cusum.jmp 107

P
P管理図 92

R
R管理図 31, 67

S
`Spec Limits()` 202
Steam Turbine Current.jmp 123
Steam Turbine Historical.jmp 121
S管理限界 166
S管理図 31, 67

T
T^2管理図 126
T2乗の計算式の保存 126

T2 乗の分割 126
T2 乗の保存 126

U

UWMA 68
U 管理図 93

W-Z

XBar 管理限界 166
XBar 管理図 31, 67
Y, 原因の役割 220
Y 変数の追加 36

ア

予め集計 32, 67, 73
α 水準の設定 126

イ

一致性の比較 187
一致性レポート 187
一致度数 189
移動範囲管理図 67
移動平均管理図 32, 67
色 224

ウ

ウェストガードルール 44
ウェストガードルールオプション 40

エ

円グラフ 222

カ

カテゴリの凡例 222
管理図
  C 93
  CUSUM 105, 118
  P 92
  R 31, 67
  S 31, 67
  U 93
  XBar 31, 67
  移動範囲 67
  移動平均 32, 67
  個々の測定値 32, 67
管理図の統計量オプション 39
管理図ビルダー
  オプション 37, 46
  起動 35
  例 46, 48

キ

基準セル 222, 230
級内相関 147
行の並べ替え 222
共分散行列 126
共分散行列の逆行列 126

ク

区切り線の表示 165
繰り返し誤差の比較 145
グループ間の比率の検定 222
グループ内の比率の検定 222
グループ平均の表示 165

ケ

ゲージ分析 166
警告オプション 40
計数値データ 181
欠測値のカテゴリを含める 39
原因 222, 223
原因の組み合わせ 223
原因の分離 223
限界値の取得 39
限界値の保存 39
限界のオプション 39
限界の追加オプション 40
限界の要約を表示 39
限界を超えた点のテストオプション 40
限界を表示オプション 40
検査特性曲線 81

コ

ゴールプロットのラベル 204
公算誤差 147
工程能力指数レポート 209
工程能力プラットフォーム 195
工程能力分析 68
　管理図を使った 74
合理的なサブグループ化 65
個々の測定値 67
個々の測定値に対する管理図 32, 67
個々の点オプション 39
誤分類率 172

サ

最後尾に移動 224
削除オプション 46
サブグループ 36

シ

σオプション 39
σのオプション 41
重要な原因 231
主成分の保存 126
主成分分析 126
仕様限界の保存 201, 208
仕様限界の読み込み 200, 211
仕様限界を新しいテーブルに保存 201, 208

ス

スクリプト 165, 167

セ

設定パネルの表示 38
セル平均の表示 165
セル平均をつなぐ 165
全体中央値の表示 166
全体平均の表示 165
先頭に移動 223

ソ

ゾーンオプション 39
相関行列 126
相関行列の逆行列 126
測定システム分析
　MSA を参照
測定の有効桁数 145

タ

多変量管理図 124, 134

チ

チャートを縦に並べる 165
チュートリアル 22
チュートリアルの例
　パレート図 228, 230
中央値の使用 77
中心線の表示 77
中心線の表示オプション 40
直線性 173

ツ

ツールヒント 23

テ

適合性レポート 190
テストオプション 40
テストのカスタマイズオプション 40
点のオプション 39
点の表示 165
点の表示オプション 39
点をずらす 166

ト

統計量のオプション, 管理図 40
特性要因図 233
度数分析 222

ネ

ネルソンルール 42

ハ

パーセント表示 222

バイアス線の表示 166
バイアスと交互作用の影響 147
バイアスの影響 147
バイアスの比較 145
箱ひげ図の表示 166
ばらつきグラフの追加 40
ばらつき図の種類 143
パレート図 220
パレート図プラットフォーム
　オプション 223
　起動 217, 219
　実行前／実行後の図 228, 230
　例 228, 230
範囲図 144
範囲バーの表示 165
判定者内の一致性 187

ヒ

比較パレート図 217, 221
標準偏差図 144, 166
標準偏差のグループ平均 166
標準偏差の平均 166
標準偏差プロット 167
標本サイズの設定 40
開く
　JMP スターターウィンドウ 24

フ

フィッシュボーンチャート 233
フェーズ 36
フェーズの検出 126
不適合率の等高線 204
プロットのグループ化解除 222
分散成分 145, 166, 168, 180
分析の設定 144
分析方法 143
分類変数 217

ヘ

平均図 144
平均のひし形 166
平均の表示 126
平均プロット 167
平行性図 145
変化検出プロファイル 145
変動性図プラットフォーム 164, 167
　Gauge R&R 170, 172
　オプション 165
　起動 167
　分散成分 168, 180
変動性要約レポート 166

マ

マーカー 224
マルチバリチャート 161

メ

メニューのヒント 23

モ

目標統計量の取得 124
目標統計量の保存 122, 126
モデルタイプ 143

ヤ

役割
　工程 217

ユ

有意水準の指定 144
有効性レポート 188, 189

ヨ

要約テーブルの作成 209
要約の保存 39, 78

ラ

ラベル 224
ランチャート 73

ル

累積パーセント曲線の色 223
累積パーセント曲線の表示 223

累積パーセント軸の表示 223
累積パーセント点の表示 223, 224
累積パーセント点のラベル 223

レ

列の並べ替え 222