

Webセミナー

ビギナー向け 実験計画法の概要と JMPを使った実施例（全3回）

2023/10/5, 10/12, 10/19
SAS Institute Japan 株式会社
JMPジャパン事業部

1

本セミナーシリーズについて

第1回：実験計画法の基礎の基礎（10/5）

第2回：JMPに搭載されている「カスタム計画」の概要と利用例（10/12）

第3回：実演！実験計画法 ～身近な例で実験計画法を実施してみる（10/19）

注意：

- セミナータイトル通り、実験計画法の初心者を対象としたセミナーです。
- 実験計画法の詳細や理論を説明する趣旨のセミナーではなく、JMPで実験計画法を利用していただくきっかけになることを目的としています。
- 本セミナーは、現時点での最新バージョン「JMP 17.2」で実施します。

jmp

2

本セミナーシリーズについて 3段階でレベルアップ



3

ユーザ様の声

DOEのためにJMPを使い始めると、実験に必要なサンプルサイズを劇的に減らすことができ、適切な統計分析を適用できるようになりました。これにより、分析に費やす時間が大きく改善されました

SK Hynix社の事例より

DOEにより、同社は複数の入力を同時にテストし、それらの要因が出力にどのように影響するかを理解することができます。

Atotech社の事例より

“ 使い始めから実験計画（DOE）が提供する価値を定量化することができました。いくつかの社内ケースでDOEを使用しており、定量化にかかる時間とリソースの少なくとも50%を削減できました。70%になることもあったくらいです。 ”

Pilar Gomez Jimenez
Principal Scientist, Johnson Matthey

jmp

4

第1回 実験計画法の基礎の基礎

2023.10.5



Copyright © SAS Institute Inc. All rights reserved.

5

セミナー概要

1. 実験計画法を使うメリット
2. 実験計画法の手順に沿った実施例
3. 効率的な実験とは？

目標

- 実験計画法を用いるメリットを理解する
- 実験計画法で用いる基本的な用語を理解する
- 実験計画法を実施する流れを理解する



6

1. 実験計画法を使うメリット

- 実験計画法を使うメリット
- 実験計画法とは
- 因子の役割、水準
- よくある実験の例
- 実験の例
- OFAT実験と多因子実験
- 交互作用

jmp

7

実験計画法を使うメリット

- **交互作用の理解**：2つ以上の要因が同時に作用する場合の影響を評価
 - **最適化**：応答曲面法などを使用し、プロセスや製品の最適な条件を特定できる
 - **効率性**：少ない実験回数で多くの情報を得ることができる
- ⇒ 時間やリソースの削減



リスクの軽減、品質の向上

jmp

8

実験計画法とは

入力変数

出力変数

因子

変化させる条件
(入力)

例：温度、時間、
触媒の量、反応
速度



$$Y1 = f(X1, X2, \dots)$$
$$Y2 = f(X1, X2, \dots)$$



応答

因子の条件で
実験を行い得
られる出力

例：収率、不
純物の量

実験の結果から、“統計モデル”(主に回帰モデル)
をあてはめ、入力変数と出力変数の関係を調べる

制御可能な因子が、関心をもつ応答にどのように影響するか理解できる

⇒ 因子の設定により応答（収率など）をより良くすることができる

jmp

9

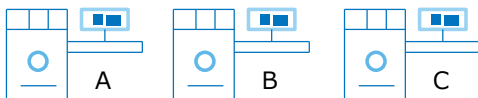
因子の役割、水準 実験計画法で使われる用語

連続因子：連続的な値をとることができると仮定できる因子



例：溶液の量
(20ml~40ml)

カテゴリカル因子：質的な値をとる因子、数値の大小関係は持たない



例：製造装置の種類
製造装置は、3つの
値 (A,B,C) をとる
3水準の因子

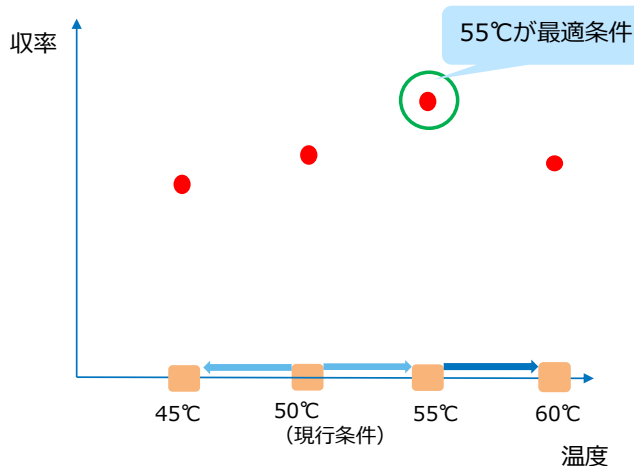
水準：因子が取りうる値
やカテゴリのこと
4つの値をとる因子であ
れば、“4水準の因子”と
いう

jmp

10

よくある実験の例

例：温度と収率の関係



この実験は、暗に“温度以外の条件は一定である”と仮定している



他の要素（例えば、反応時間や触媒の量）によっても収率は変化しないのだろうか？

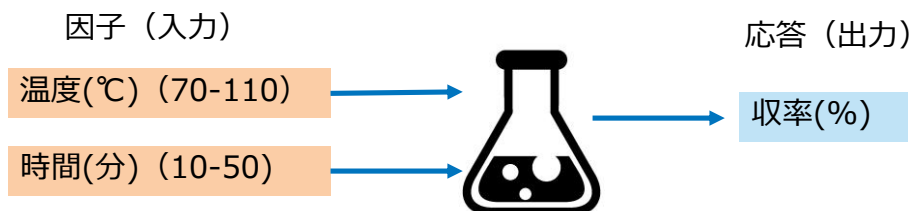
jmp

11

実験の例

化学反応実験において、できるだけ化合物の収率を向上させたい
⇒ 実験における「温度」、「時間」をどのような条件としたときに収率が高くなるかを調べる

温度は70°C～110°C、時間は10分～50分の範囲で検討する

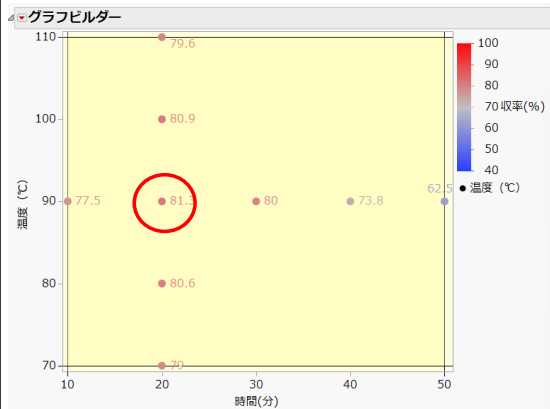


➡ 時間やコストの関係で9回しか実験ができない場合、どのような条件で実験するのか？

jmp

12

実験の例 Aさんの実験



まず温度を真ん中の90℃にして、時間を10分、20分、・・・50分と変化させてそれぞれの収率を測定しました。

20分の収率が最も高かったので、今度は20分のとき、温度を70℃、80℃、100℃、110℃としたときの収率を測定しました。

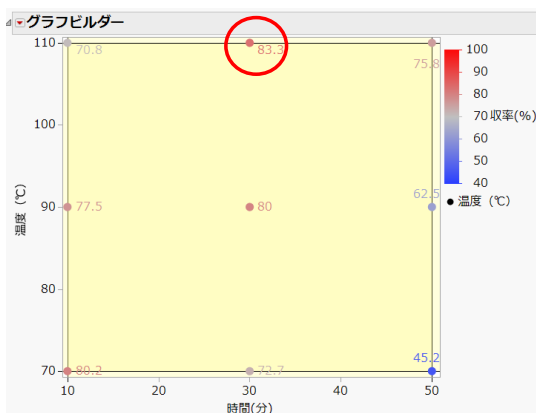
収率が一番高かったのは、時間が20分、温度が90℃のときで、そのときの収率は81.3%でした。



jmp

13

実験の例 Bさんの実験



9回の実験しかできないので、実験ができる範囲の中で、範囲内を網羅できるように、左図のように9回の実験を設定しました。

収率が一番高かったのは、時間が30分、温度が110℃のときで、そのときの収率は83.3%でした。



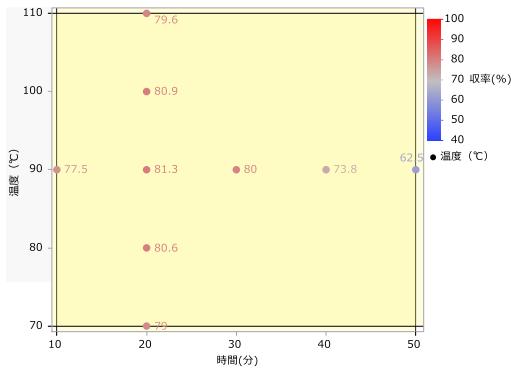
jmp

14

OFAT実験と多因子実験

OFAT(One Factor At a Time)実験

1因子ずつ実験する

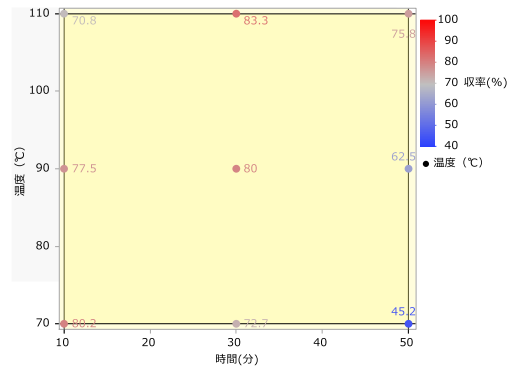


温度を一定にし、時間を変化させて収率を求める
時間を一定にし、温度を変化させて収率を求める

多因子実験

実験計画法

すべての因子を同時に実験する



温度と時間を同時に変化させて収率を求める



15

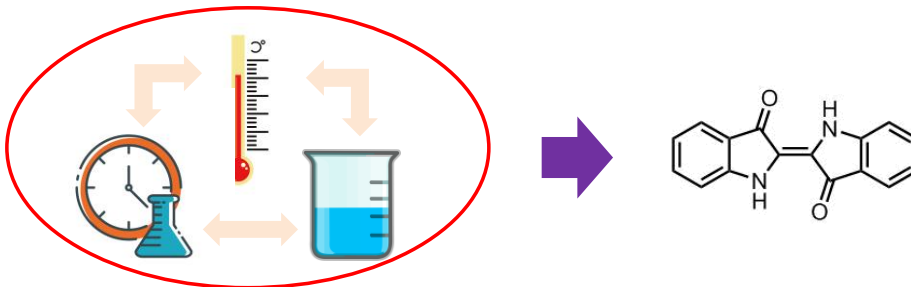
多因子実験 実験計画法の考え方

複数の因子（2因子以上）を同時に評価する実験を計画

メリット：

- 複数の因子が応答に与える影響を同時に評価できる
- 因子間の交互作用を調べることができる

(OFAT実験ではこれら进行评估することができない)

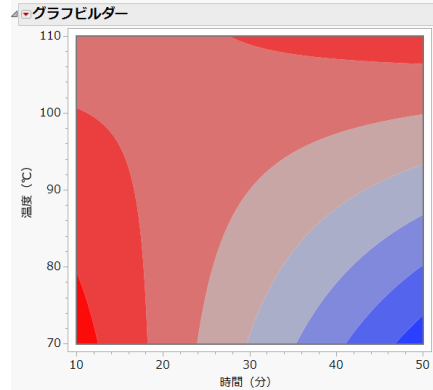
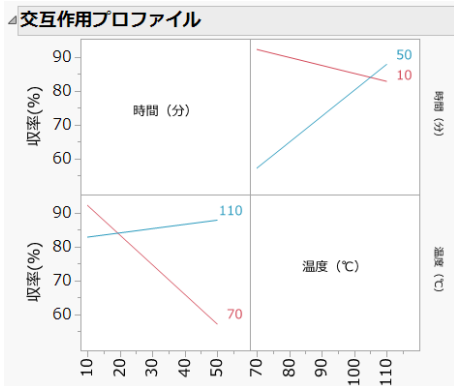


16

交互作用 交互作用効果がある場合

交互作用効果：ある因子の効果が別の因子の取りうる値（水準）に依存している状態 ⇒ 複数の因子の組み合わせ効果

例：温度と時間の交互作用が収率に影響している



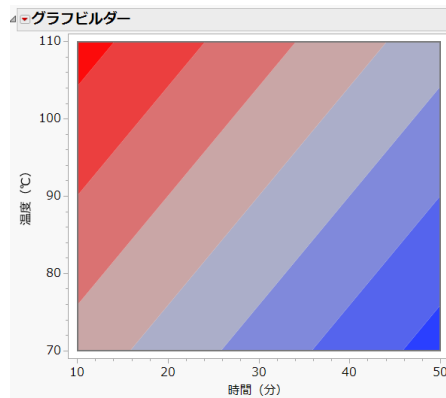
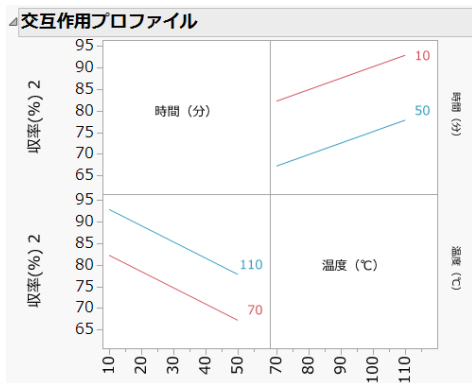
jmp

17

交互作用 交互作用効果がない場合

交互作用効果：ある因子の効果が別の因子の取りうる値（水準）に依存している状態 ⇒ 複数の因子の組み合わせ効果

例：温度と時間の交互作用は収率に影響していない



jmp

18

2. 実験計画法の実施手順と最適化

- 最適化実験
- 実験計画法の主な手順
- 実験計画法の実施例
 - 実験計画の作成
 - 実験結果を入力
 - 応答曲面モデルのあてはめ
 - あてはめのレポート
 - 曲面プロファイルによる可視化
 - 等高線プロファイルによる可視化
 - 交互作用プロファイルによる可視化
 - 予測プロファイルによる可視化

jmp

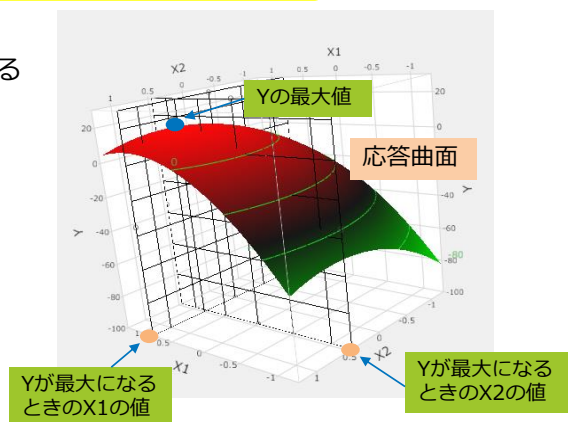
19

最適化実験 最適化とは

目的：応答の目標（最大化、最小化など）を満足する
ような、因子の設定値を求める

- 応答には、最大化、最小化、目標値に合わせるといった目標を設定できる
- 応答は複数あるケースもある
- 応答の目標を満たす因子の設定値を求める

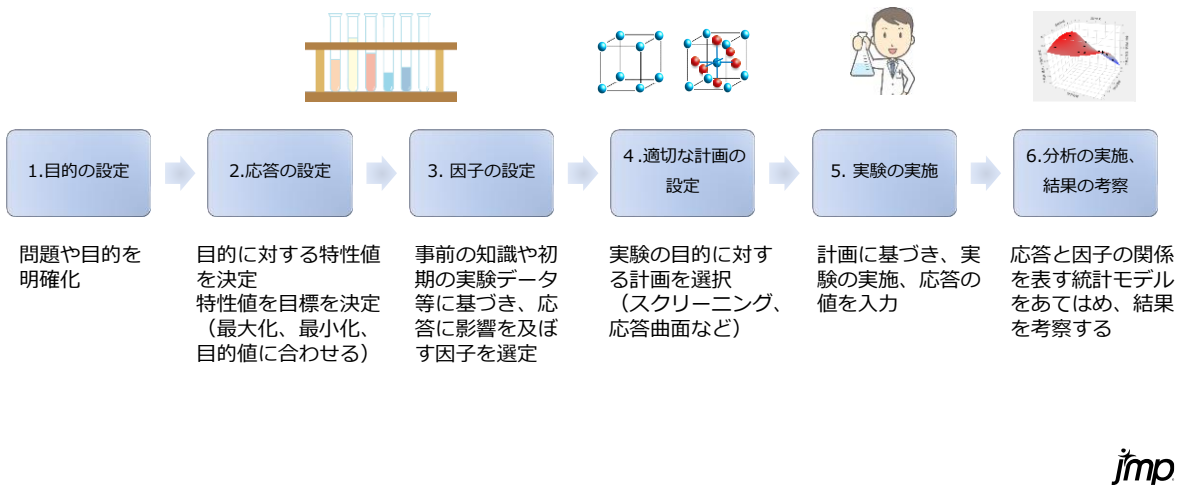
実験データに対し、主に**応答曲面モデル**をあてはめ、応答の目標を満足する因子の設定値を求める



Y(応答)が最大となるX1,X2(因子)の値を求める jmp

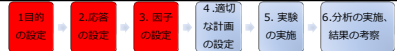
20

実験計画法の主な手順 JMPでの操作を意識して



21

実験計画法の実施例 ポップコーンの調理条件



目的：ポップコーンを電子レンジで調理するときの、出力レベルと加熱時間に対する最適条件を見つける

応答：ポップコーンの収率 ⇒ 収率を**最大化**したい (**最適化**)
(ポップコーンがはじけ、焦げ目がないものの割合)

因子：

- ポップコーンの加熱時間 (3~5分)
- 電子レンジの出力 (レベル 6~10)



➡ 応答と因子の関係を調べ、加熱時間と出力をどのような条件にしたときに、収率が最も大きくなるかを調べるために、実験をおこなう

jmp

22

実験計画の作成

JMPで作成

JMPの「カスタム計画」(第2回で説明)による実験計画法の作成例

- 1. 目的の設定
- 2. 応答の設定
- 3. 因子の設定
- 4. 適切な計画の設定
- 5. 実験の実施
- 6. 分析の実施、結果の考察

応答と因子の設定

応答

応答名	目標	下側限界	上側限界
収率	最大化	.	.

因子

名前	役割	変更	値
時間	連続変数	容易	3 5
出力	連続変数	容易	6 10

応答は収率で大きくしたい、
因子は時間と出力の2つです。

モデル、実験回数の設定

モデル

名前	推定
切片	必須
時間	必須
出力	必須
時間*時間	必須
時間*出力	必須
出力*出力	必須

実験の回数

- 最小値 6
- デフォルト値 12
- ユーザ定義 12

応答曲面モデルをあてはめるために、12回の実験をします。



23

実験結果を入力

- 1. 目的の設定
- 2. 応答の設定
- 3. 因子の設定
- 4. 適切な計画の設定
- 5. 実験の実施
- 6. 分析の実施、結果の考察

実験計画のテーブルを出力

計画	時間	出力	Y(収率)
1	5	8	
2	4	8	
3	4	6	
4	4	8	
5	4	8	
6	5	6	
7	4	10	
8	4	8	
9	3	6	
10	5	10	
11	3	8	
12	3	10	

実験計画に基づき、応答の値を入力

計画	時間	出力	Y(収率)
1	5	8	87.7%
2	4	8	83.4%
3	4	6	72.8%
4	4	8	86.8%
5	4	8	82.5%
6	5	6	79.8%
7	4	10	58.1%
8	4	8	87.1%
9	3	6	28.5%
10	5	10	61.5%
11	3	8	58.5%
12	3	10	32.0%

このテーブルに基づいて、1行目の条件から順々に実験をおこない、実験結果(収率の値)を入力する

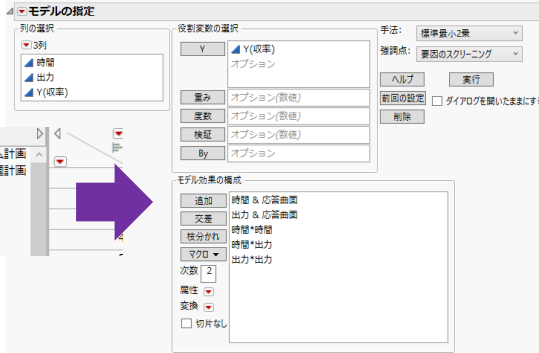


24

応答曲面モデルのあてはめ

- 1. 目的の設定
- 2. 応答の設定
- 3. 因子の設定
- 4. 適切な計画の設定
- 5. 実験の実施
- 6. 分析の実施 結果の考察

モデルの指定



モデルの指定ウィンドウにて、実験計画で指定した「応答」がYに、「モデル」の内容が**モデル効果の構成**に指定されている

- 主効果**：因子の直接的効果（1次効果）
- 2次の交互作用**：2つの因子の組み合わせ効果
- 2乗項**：因子の2乗効果

応答曲面モデル

$$Y(\text{収率}) = \beta_0 + \beta_1 \text{時間} + \beta_2 \text{出力} + \beta_{12} \text{時間} * \text{出力} + \beta_{11} \text{時間}^2 + \beta_{22} \text{出力}^2$$

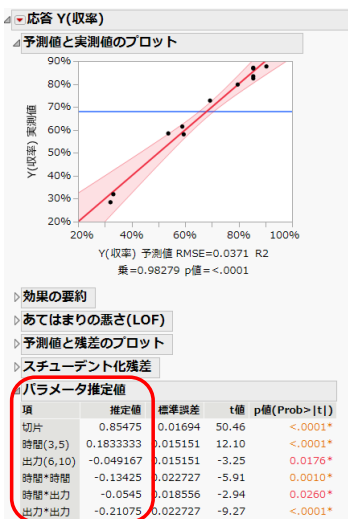
実験で得られたデータから、各項の効果の大きさ ($\beta_0, \beta_1, \beta_{12}, \beta_{11}, \beta_{12}$) を推定する



25

あてはめのレポート 応答と因子の関係を表した式

- 1. 目的の設定
- 2. 応答の設定
- 3. 因子の設定
- 4. 適切な計画の設定
- 5. 実験の実施
- 6. 分析の実施 結果の考察



推定された応答曲面モデルの式

$$Y(\text{収率}) = 0.855 + 0.183 * \text{時間}' - 0.049 * \text{出力}' - 0.055 * \text{時間}' * \text{出力}' - 0.132 * \text{時間}'^2 - 0.21 * \text{出力}'^2$$

注意：推定値間の効果の大きさを合わせるため、時間', 出力' は、尺度化した推定値（平均値を0、範囲を2に変換したときの推定値）を用いている
時間' = (時間 - 4) / 1, 出力' = (出力 - 8) / 2

モデル式が求められたが、式だけ見ても応答と因子の関係をイメージするのは難しい

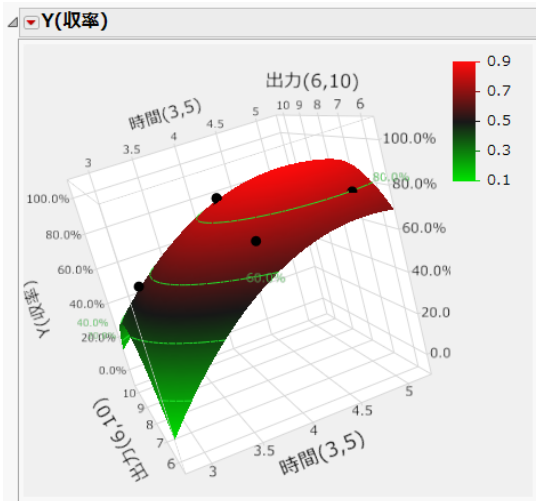


モデル式を可視化する



26

曲面プロファイルによる可視化



- モデル式に対し、底面を因子（時間、出力）、Yの予測値（因子の特定の値をモデル式に代入したときのYの値）を高さにしたときに曲面
- 黒いプロット点は実験点

濃い赤色になるほど、Y(収率)の予測値が高くなる

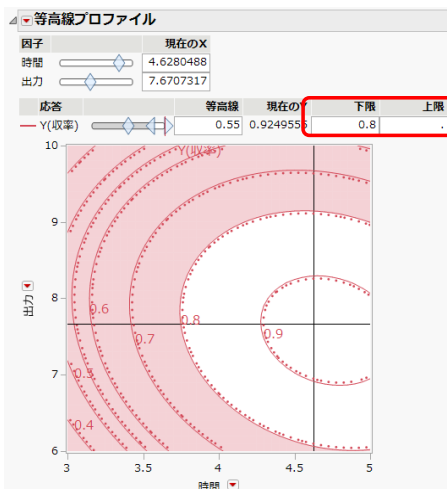
時間を長めに、出力を小さめにした方が収率が上がりそうだ！



jmp

27

等高線プロファイルによる可視化



時間を横軸、出力を縦軸としたときの、Yの予測値を等高線にて表示

左図は、Y(収率)が0.8より大きい領域を白色にて表示

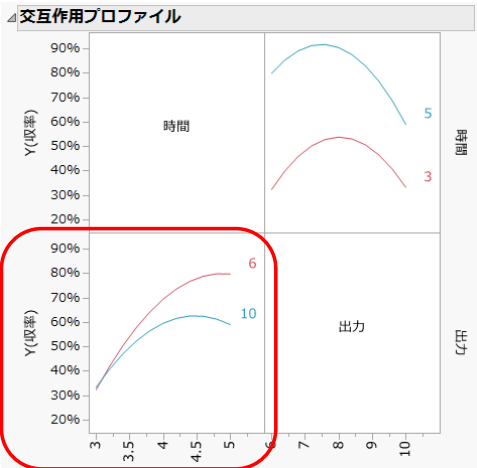
時間は長めに、出力は7~8ぐらいにした方が収率が上がりそうだ！



jmp

28

交互作用プロファイルによる可視化



時間と出力の交互作用効果を調べるプロット

左下の図は、横軸を時間、縦軸をY(収率)とし、出力の違いで時間とY(収率)の関係がどのように変化するのかが示したグラフ

- 出力が6(赤色の曲線)では、時間が長くなるほど急激に収率が增加する傾向を示している
- 出力が10(水色の曲線)では、時間が3~4.5あたりまでは収率が增加する傾向を示すが、それ以降は若干の減少傾向にある

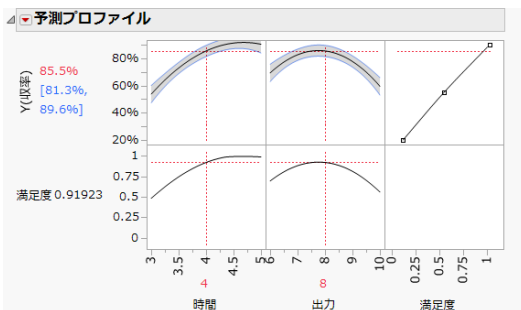
時間と出力の交互作用効果はありそうだ



jmp

29

予測プロファイルによる可視化



- モデルを作成したときのX(因子)とY(応答)との関係を視覚化
- 他の因子を固定させ、ある因子の水準値が変化するとき、応答の値がどのように変化するかをインタラクティブに表示
- 因子の欄に示されている赤字の値が、現在の因子の値(水準値)になり、応答に表示されている赤字の値があてはめたモデルを用いたときの応答の予測値

時間を4, 出力を8にすると、収率は85.5%ぐらいになるのか

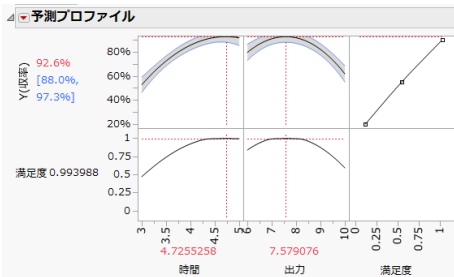


jmp

30

予測プロファイルによる可視化 応答を最大とする因子設定値の算出（最適化）

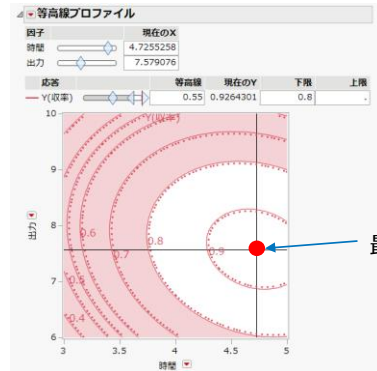
Y(収率)を最大とする因子の値を算出



時間が4.73、出力が7.58のときに、
収率の予測値は最大となり、その値は
92.6%である



算出した最適値
を等高線に反映



それならば時間は4.7分、出力
は8として、収率がどれぐらい
になるか確認してみよう！



31

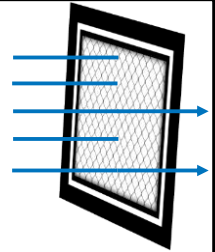
3. 効率的な実験とは？

- スクリーニング実験
- 効率的な実験とは
- モデルのあてはめ
- スクリーニング実験の例

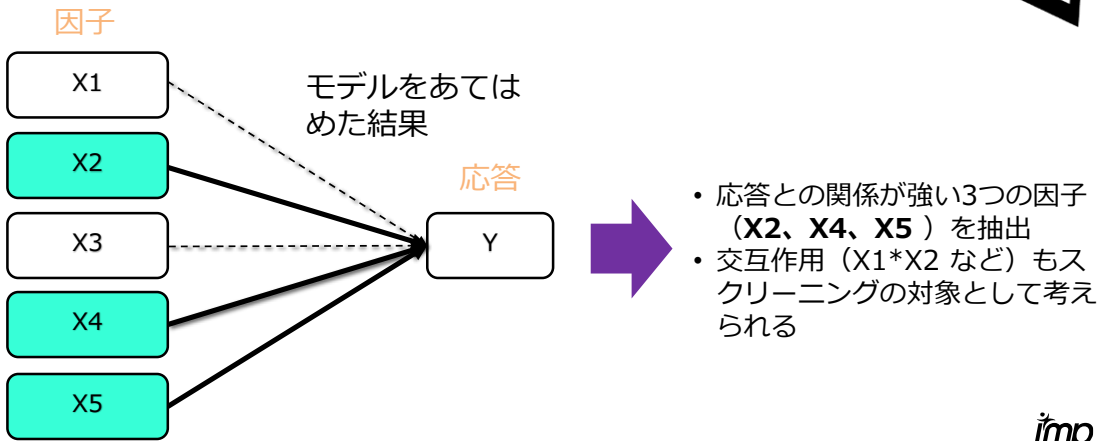
JMP

32

スクリーニング実験



目的：応答に影響を及ぼすと考えられる多数の因子から、効果のある因子を抽出する



jmp

33

スクリーニング実験 さらに詳しく

- 多数の因子から応答に影響をもつ因子を特定することを主眼としている (スクリーニング)
- 因子の影響の大きさや影響を受ける方向 (因子の値が大きくなると応答の値は大きくなる、小さくなる?) を大まかに調査する方法
- スクリーニング実験を実施して影響がある因子だけを特定し、その後の実験で応答と因子間の関係を詳細に調べる (最適化など) ことができる

おおまかに知ることができれば良いのであれば、すべての実験パターンを行う必要はなく、一部の実験をすれば良い
⇒ 実験回数を減らすことができる

jmp

34

スクリーニング実験 どのような実験なのか？

因子が多数あるとき、すべての実験を網羅的に行くと実験回数が非常に多くなる



スクリーニング実験では、すべての実験を行わず必要な実験のみ実施すれば良い



必要な実験とは、どのように決められるのか？



jmp

35

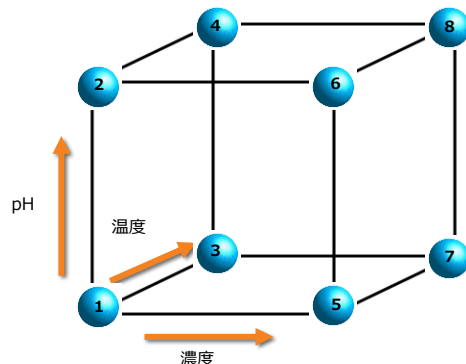
効率的な実験とは 例題

- ある化合物の生産量に影響を与えると考えられる要因（因子）として、「濃度」、「温度」、「pH」の3つを考える
- 各因子について、低水準（小さい）、高水準（大きい）で実験をおこなうことができる
- どの因子が生産量に影響を及ぼすかをみるために、どのような実験をしたらよいか？

濃度	小、大
温度	小、大
pH	小、大

↓ (小、大) のすべての組み合わせで実施すると、8回 (= 2 × 2 × 2) の実験が必要

実験	濃度	温度	pH
1	小	小	小
2	小	小	大
3	小	大	小
4	小	大	大
5	大	小	小
6	大	小	大
7	大	大	小
8	大	大	大



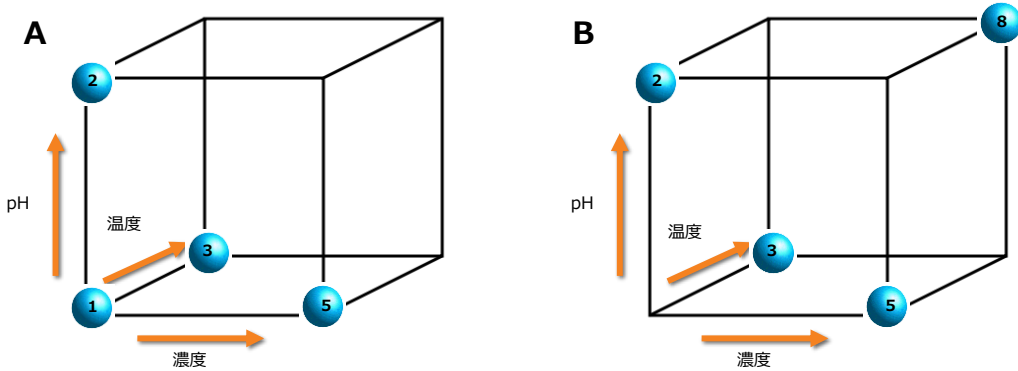
時間やコストの制約より、4回しか実験できない場合、どのような組み合わせで実験をすべきか？

jmp

36

効率的な実験とは

4回の実験をするとき、A, B どちらの実験点の配置が良いでしょうか？



3因子程度であれば適切な実験点は分かりやすいが、もっと多くの因子があったときは、どこの実験点で実験をすべきが想像し難い
⇒ スクリーニング計画の実施



効率的な実験とは すべての実験から一部の実験だけ実施

- 5つの因子があり、すべて2水準 (Low, High) の実験を考える
- すべての組み合わせで実験をすると 32回 (2の5乗) 実施することになる

すべての組み合わせ
(=32回)

パターン	X1	X2	X3	X4	X5
1	-----	Low	Low	Low	Low
2	-----	Low	Low	Low	High
3	-----	Low	Low	High	Low
4	-----	Low	Low	High	High
5	-----	Low	High	Low	Low
6	-----	Low	High	Low	High
7	-----	Low	High	High	Low
8	-----	Low	High	High	High
9	-----	High	Low	Low	Low
10	-----	High	Low	Low	High
11	-----	High	Low	High	Low
12	-----	High	Low	High	High
13	-----	High	High	Low	Low
14	-----	High	High	Low	High
15	-----	High	High	High	Low
16	-----	High	High	High	High
17	-----	High	Low	Low	Low
18	-----	High	Low	Low	High
19	-----	High	Low	High	Low
20	-----	High	Low	High	High
21	-----	High	High	Low	Low
22	-----	High	High	Low	High
23	-----	High	High	High	Low
24	-----	High	High	High	High
25	-----	High	Low	Low	Low
26	-----	High	Low	Low	High
27	-----	High	Low	High	Low
28	-----	High	Low	High	High
29	-----	High	High	Low	Low
30	-----	High	High	Low	High
31	-----	High	High	High	Low
32	-----	High	High	High	High



パターン	X1	X2	X3	X4	X5
1	-----	Low	Low	Low	High
2	-----	Low	Low	High	Low
3	-----	Low	High	Low	High
4	-----	Low	High	High	Low
5	-----	High	Low	Low	High
6	-----	High	Low	High	Low
7	-----	High	High	Low	Low
8	-----	High	High	High	High

主効果のみスクリーニングの対象とするのであれば、そのうちの8回の実験が良い
⇒ 実験回数が1/4になる

パターン	X1	X2	X3	X4	X5
1	-----	Low	Low	Low	High
2	-----	Low	Low	Low	Low
3	-----	Low	Low	High	Low
4	-----	Low	Low	High	High
5	-----	Low	High	Low	Low
6	-----	Low	High	Low	High
7	-----	Low	High	High	Low
8	-----	Low	High	High	High
9	-----	High	Low	Low	Low
10	-----	High	Low	Low	High
11	-----	High	Low	High	Low
12	-----	High	Low	High	High
13	-----	High	High	Low	Low
14	-----	High	High	Low	High
15	-----	High	High	High	Low
16	-----	High	High	High	High

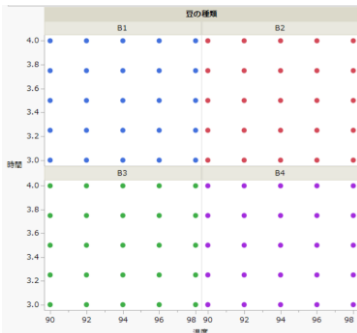
主効果と2次の交互作用をスクリーニングの対象とするのであれば、そのうちの16回の実験が良い
⇒ 実験回数が1/2になる



効率的な実験とは すべての実験から一部の実験だけ実施

分析者が指定した設定に基づき、最適性（直交性も含む）によって、必要な実験計画（実験点）が決められる

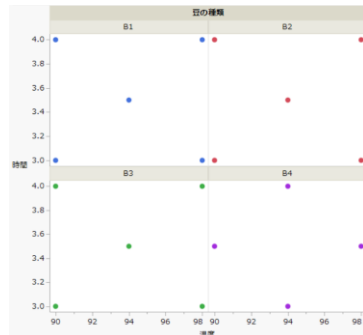
例：コーヒー豆の種類(4種類)、お湯の温度(90～98℃の5か所)、時間(3～5分の5か所)の3つの因子があり、すべてのパターンを実験すると、下図のように100回 (= 4×5×5) の実験が必要になる



時間とコストを考えると20回しか実験できないが、このとき必要な実験点は？



最適性を満たす20回の実験点



39

モデルのあてはめ 応答と因子の関係の強さをどのように決めるのか？

5つの因子 (X1～X5) の主効果とすべての2次の交互作用のスクリーニングを目的としたとき、実験データに回帰モデルをあてはめたときのレポート

▲ 尺度化した推定値

連続尺度の要因に対する推定値は、平均で中心化し、範囲/2で尺度化した時のもの

項	尺度化した推定値	標準誤差	t値	p値(Prob> t)
切片	1.3525965	0.522725	2.59	0.0608
X1	0.8187601	0.616038	1.33	0.2546
X2	5.9549831	0.616038	9.67	0.0006*
X3	-0.780742	0.616038	-1.27	0.2738
X4	-4.677849	0.616038	-7.59	0.0016*
X5	3.1110426	0.616038	5.05	0.0072*
X1*X2	0.0990063	0.616038	0.16	0.8801
X1*X3	0.7913159	0.616038	1.28	0.2683
X1*X4	-1.53787	0.616038	-2.50	0.0670
X1*X5	1.1425172	0.616038	1.85	0.1373
X2*X3	-0.507252	0.616038	-0.82	0.4565
X2*X4	-3.309672	0.616038	-5.37	0.0058*
X2*X5	-0.627579	0.616038	-1.02	0.3659
X3*X4	0.737378	0.616038	1.20	0.2974
X3*X5	-0.878949	0.616038	-1.43	0.2268
X4*X5	2.9458354	0.616038	4.78	0.0088*

y に対しマイナスに影響 ← y に対しプラスに影響 →

- 回帰分析により求められたそれぞれの項に対する推定値の大きさで、項と応答との関係の強さを推定できる
- 推定の誤差を考慮したt値やp値により、項の有意性（応答と関係があるかどうか）を判断する
- 通常は、p値が0.05より小さい項（有意水準 5%）について、その項は応答と関係があると結論づける*

*スクリーニングの段階では、有意水準を大きめ (15%など) に設定することもある



40

スクリーニング実験の例 化学反応実験

- 化学反応実験において、反応率に影響を及ぼす因子として、「送り速度」、「濃度」、「攪拌速度」、「温度」、「触媒」の5つが挙げられる
- 実験により、反応率に効果がある因子をスクリーニングする

「送り速度」、「濃度」、「攪拌速度」、「温度」は、**連続因子**として扱う
「触媒」はA, Bの2種類検討するため、**カテゴリカル因子**として扱う

⇒ 主効果とすべての2次の交互作用を対象としたスクリーニング実験をおこなう

因子の一覧(5因子)

因子名	連続 or カテゴリカル	値 (下限)	値(上限)
送り速度	連続	10	15
濃度	連続	3	6
攪拌速度	連続	100	120
温度	連続	140	160
触媒	カテゴリカル	A	B

jmp

41

スクリーニング実験の例 実験計画のアウトライン

実験計画のテーブルと実験の実施

送り速度	濃度	攪拌速度	温度	触媒	Y:反応率(%)
1	10	6	100	180 B	84.7
2	15	3	120	140 B	73.2
3	10	6	120	180 B	88.5
4	15	3	120	180 B	84.8
5	10	6	120	140 A	64.5
6	15	6	120	180 A	74.1
7	10	3	120	140 B	61.7
8	15	3	120	180 A	67.7
9	10	3	100	180 A	76
10	10	3	100	140 A	43.3
11	10	3	100	140 B	67.9
12	15	3	100	180 B	74.8
13	15	3	100	140 A	40.5
14	15	6	100	140 B	61.7
15	15	6	120	140 A	50.8
16	10	6	100	180 A	74.1
17	15	6	100	140 A	52.8
18	10	6	120	140 B	63.9
19	15	6	100	180 B	79
20	10	3	120	180 A	86.3

モデルのあてはめ
(主効果+ 2次の交互作用)

※この例の詳細は第2回 (10/12)に説明

jmp

42

スクリーニング実験の例

推定値のレポート (ステップワイズ法実施後)

尺度化した推定値

名義尺度の要因においては、全水準に対して推定値が求められている

項	尺度化した推定値	標準誤差	t値	p値(Prob> t)
切片	68.515	1.115904	61.40	<.0001*
送り速度(10,15)	-2.940617	1.141156	-2.58	0.0242*
攪拌速度(100,120)	4.0024411	1.167341	3.43	0.0050*
温度(140,180)	9.6961304	1.167341	8.31	<.0001*
触媒[A]	-6.049189	1.141156	-5.30	0.0002*
触媒[B]	6.0491886	1.141156	5.30	0.0002*
送り速度*温度	-2.720943	1.193675	-2.28	0.0417*
送り速度*触媒[A]	-2.116262	1.166231	-1.81	0.0946
送り速度*触媒[B]	2.1162621	1.166231	1.81	0.0946
攪拌速度*触媒[A]	1.828086	1.193675	1.53	0.1516
攪拌速度*触媒[B]	-1.828086	1.193675	-1.53	0.1516

スクリーニングされた項 (p値 < 0.15)

主効果：温度、触媒、攪拌速度、送り速度

交互作用：送り速度*温度、送り速度*触媒

※この例の詳細は第2回 (10/12)に説明

jmp

43

第1回のまとめ

実験計画法を用いるメリット

効率性、交互作用の理解、最適化

スクリーニング実験と最適化実験

- スクリーニング：多数の因子から影響のある因子を抽出
- 最適化：応答の目標を満足する因子の設定値を算出

JMPを使った実験計画法の実施

- JMPでは実験の計画から分析まで一連の流れをシームレスに実施できる
- 分析結果を分かりやすく可視化できる

jmp

44

第2回 JMPに搭載されている「カスタム計画」 の概要と利用例

2023.10.12



Copyright © SAS Institute Inc. All rights reserved.

45

セミナー概要

1. JMPの「カスタム計画」について
2. 「カスタム計画」による実験計画法の流れ
3. カスタム計画の活用例
4. まとめ

目標

- ・ カスタム計画とは何か、その特徴を理解する
- ・ カスタム計画を使って実験計画を行う流れを理解する
- ・ スクリーニング、最適化についての分析結果を考察できるようにする



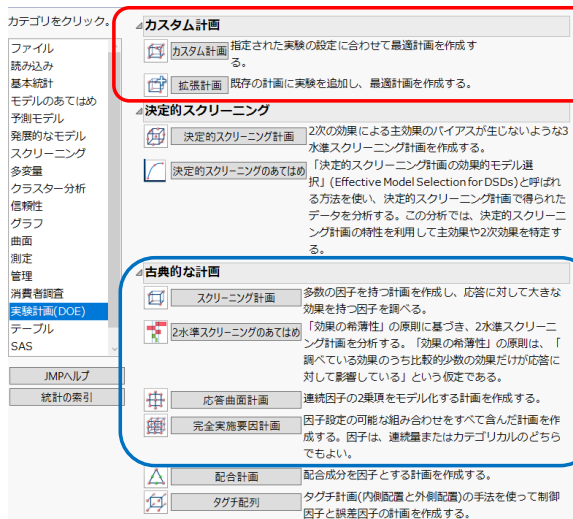
46

1. JMPの「カスタム計画」について

- 「カスタム計画」とは
- 「カスタム計画」の主な特長
- ビギナー向けのメリット



「カスタム計画」とは JMPの実験計画法(DOE)メニュー



本セミナーで紹介する
計画作成手法

従来から広く使われてい
る計画作成手法



従来からある計画の難しさ

$L_8 (2^7)$

実験No.	因子列						
	A	B	C	D	E	F	G
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

直交表を使って因子を割り付ける？何だか難しそう。。。何回実験をすればよいかもわからないし。。



JMPの「カスタム計画」を使えば、対話的な操作により簡単に要望に沿った実験計画を作成してくれます。



jmp

49

「カスタム計画」とは

第4章

カスタム計画
ニーズに合った計画の作成

「カスタム計画」は、JMP独自の計画名である

カスタム計画



カスタム計画

指定された実験の設定に合わせて最適計画を作成する。

最適計画によって計画を作成する

jmp

50

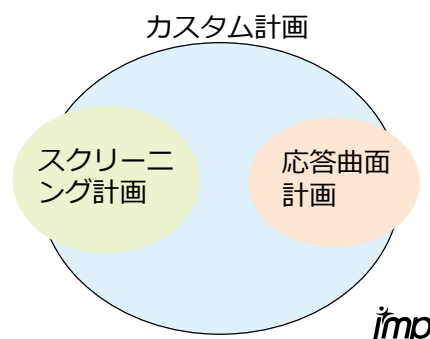
「カスタム計画」とは ニーズに合った柔軟なモデルの作成（お勧めする計画作成方法）

「スクリーニング計画」や「応答曲面計画」（従来の方法）では、因子数やその水準数、計画の種類が決まると実験回数、実験点が決まる

⇒ 因子の取り得る範囲に制約がある場合や、実験回数に制約がある場合に対応できない



JMPの「カスタム計画」ではこれらの欠点を解消し、柔軟に効率のよい計画を作成することができる



51

「カスタム計画」の主な特長

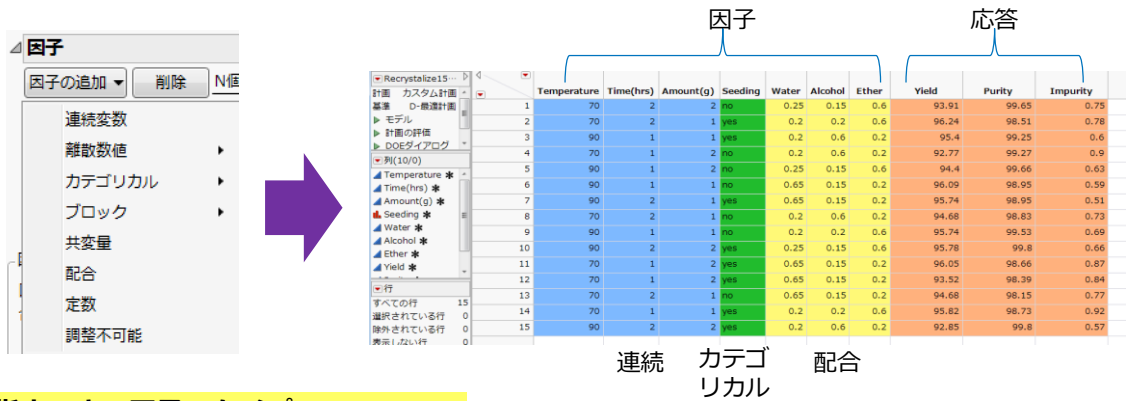
1. さまざまな種類の因子（連続、カテゴリカル、配合など）を指定できる
2. 実験で用いる因子の領域に制約条件をつけることができる
3. 柔軟に実験回数を指定できる

jmp

52

「カスタム計画」の主な特長

1. さまざまなタイプの因子を指定できる



指定できる因子のタイプ
 連続変数、離散数値、カテゴリカル、
 ブロック、共変量、配合など

3つの連続因子、1つのカテゴリカル因子、
 3つの配合因子が混在して指定した例

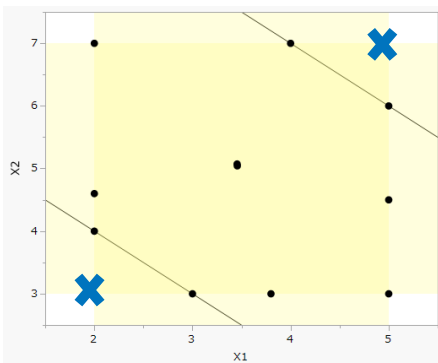


53

「カスタム計画」の主な特長

2. 因子の領域に制約をつけることができる

因子に制約がある場合でも、柔軟に実験点を設定することができる



黄色の箇所が実験の領域のとき、
 制約条件を設定することにより、
 最適計画より実験点を設定できる

The dialog box '因子の制約を定義' (Define Factor Constraints) has options:

- しない (None)
- 線形制約を指定 (Specify Linear Constraints)
- フィルタで許可しない組み合わせを指定 (Specify Inadmissible Combinations with Filter)
- スクリプトで許可しない組み合わせを指定 (Specify Inadmissible Combinations with Script)

 Under '許可しない組み合わせ' (Inadmissible Combinations), there are buttons for 'クリア' (Clear) and '選択をリセット' (Reset Selection). A list shows:

- X1 with a range of 15 to 20.
- X3 (3) with three colored segments (red, blue, green).

 At the bottom, there are 'AND' and 'OR' buttons.

コストや時間等の問題から、実施でき
 ない因子の条件を設定できる

⇒ 指定した条件以外での計画を提示



54

「カスタム計画」の主な特長 3. 柔軟に実験回数を指定できる

- 指定したモデルに対する実験回数の推奨値を表示
- 最小値以上であれば、予算、コストなどに応じて任意の実験回数を指定できる

どの因子の効果を調べたいのか？

モデル	
名前	推定
M1	必須
M2	必須
M3	必須
X1*X2	必須
X1*X3	必須
X1*M1	必須
X1*M2	必須
X1*M3	必須

「モデル」の欄に、調べたい因子の情報を任意に指定できる
(例：主効果と特定の交互作用だけを考慮したモデルを作成する)

実験回数の設定

実験の回数:

最小値 18

デフォルト値 24

ユーザ定義

- 指定したモデルに対して、デフォルト値を提示
- ユーザ定義で任意の実験回数（最小値以上）を指定できる

jmp

55

ビギナー向けのメリット

- 調べたい因子のタイプ（連続、カテゴリカル など）
- 調べたい因子の効果、因子を用いたモデル（主効果、交互作用、2乗項 など）

を指定すると、推奨される実験回数（デフォルト値）が提示される

⇒ 実験回数分の実験を提示してくれるので、提示された実験をすれば良い



因子Aは5水準カテゴリカル、因子Bは2水準カテゴリカル、因子Cは連続

主効果と2次交互作用をスクリーニングしたいです。

計画	実験	X1	X2	X3
1	L1	-1	L1	-1
2	L2	-1	L2	-1
3	L2	-1	L4	-1
4	L1	1	L3	-1
5	L1	1	L5	-1
6	L2	1	L1	-1
7	L1	-1	L3	1
8	L2	1	L4	1
9	L1	-1	L5	1
10	L2	1	L2	1
11	L2	-1	L1	1
12	L1	-1	L4	1
13	L2	-1	L3	1
14	L1	-1	L2	1
15	L2	-1	L5	1
16	L1	1	L4	1
17	L2	1	L3	1
18	L1	1	L1	1
19	L2	1	L5	1
20	L1	1	L2	1

それなら、この20回の実験をすればいいよ。



jmp

56

2. 「カスタム計画」による実験計画法の流れ

- JMPで実験計画法を実施する流れ
- スクリーニング実験の例



57

JMPで実験計画法を実施する流れ

① 実験計画
テーブルの作成

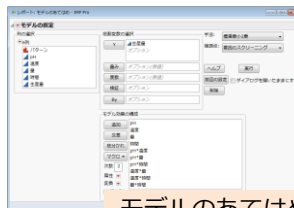
- 応答、因子の指定
- 計画の種類を選択、モデルの指定、実験回数の指定
- 中心点や反復数などの指定

因子	レベル	値	順序	反復	合計
因子1	1	1.0	1	1	1.0
因子1	2	2.0	2	1	2.0
因子2	1	1.0	1	1	1.0
因子2	2	2.0	2	1	2.0
因子3	1	1.0	1	1	1.0
因子3	2	2.0	2	1	2.0
因子4	1	1.0	1	1	1.0
因子4	2	2.0	2	1	2.0
因子5	1	1.0	1	1	1.0
因子5	2	2.0	2	1	2.0
因子6	1	1.0	1	1	1.0
因子6	2	2.0	2	1	2.0
因子7	1	1.0	1	1	1.0
因子7	2	2.0	2	1	2.0
因子8	1	1.0	1	1	1.0
因子8	2	2.0	2	1	2.0
因子9	1	1.0	1	1	1.0
因子9	2	2.0	2	1	2.0
因子10	1	1.0	1	1	1.0
因子10	2	2.0	2	1	2.0
因子11	1	1.0	1	1	1.0
因子11	2	2.0	2	1	2.0
因子12	1	1.0	1	1	1.0
因子12	2	2.0	2	1	2.0
因子13	1	1.0	1	1	1.0
因子13	2	2.0	2	1	2.0
因子14	1	1.0	1	1	1.0
因子14	2	2.0	2	1	2.0
因子15	1	1.0	1	1	1.0
因子15	2	2.0	2	1	2.0
因子16	1	1.0	1	1	1.0
因子16	2	2.0	2	1	2.0

計画テーブル

② 実験の結果を入力し、
モデルをあてはめ

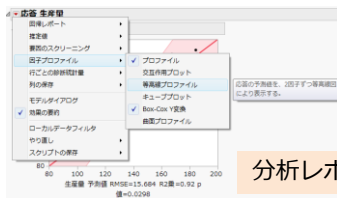
- 実験を行い、応答の値を入力
- モデルのあてはめを実行



モデルのあてはめ

③ 分析レポートの表示、
分析オプションの実行

- R2乗やRMSEなどの「あてはめの要約」を確認
- 「効果の要約」を確認
- 予測プロファイル、等高線プロファイルなどによるモデル式の可視化
- 予測プロファイルによる最適化



分析レポート



58

スクリーニング実験の例 第1回で紹介した化学反応実験

- 化学反応実験において、反応率に影響を及ぼす因子として、「送り速度」、「濃度」、「攪拌速度」、「温度」、「触媒」の5つが挙げられる
- 実験により、反応率に効果がある因子をスクリーニングする

「送り速度」、「濃度」、「攪拌速度」、「温度」は、**連続変数**として扱う
「触媒」はA, Bの2種類検討するため、**カテゴリカル変数**として扱う

⇒ 主効果とすべての2次の交互作用を対象としたスクリーニング実験をおこなう

因子の一覧(5因子)

因子名	連続 or カテゴリカル	値 (下限)	値(上限)
送り速度	連続	10	15
濃度	連続	3	6
攪拌速度	連続	100	120
温度	連続	140	160
触媒	カテゴリカル	A	B

jmp

59

スクリーニング実験の例 計画の作成

1. [実験計画法(DOE)] > [カスタム計画] を選択し起動
⇒ 応答と因子を指定する

2. モデルとして、主効果と2次の交互作用を設定する

3. 実験の回数は、デフォルト値である20回にする

4. [計画の作成] ボタンをクリックすると、20回の計画が作成される

jmp

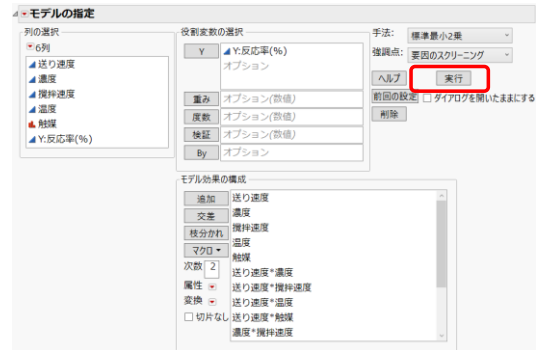
60

スクリーニング実験の例 実験データの入力、モデルのあてはめ

6. 応答値を入力後、テーブル左上にある「モデル」のスク립トを実行

計画	カスタム計画	送り速度	濃度	攪拌速度	温度	触媒	Y:反応率(%)
1	10	6	100	180	B		84.7
2	15	3	120	140	B		73.2
3	10	3	120	180	B		88.5
4	10	3	120	180	B		84.8
5	120	180	A				64.5
6	120	180	A				74.1
7	120	140	B				61.7
8	15	3	120	180	A		67.7
9	10	3	100	180	A		76
10	10	3	100	140	A		43.3
11	10	3	100	140	B		67.9
12	15	3	100	180	B		74.8
13	15	3	100	140	A		40.5
14	15	6	100	140	B		61.7
15	15	6	120	140	A		50.8
16	10	6	100	180	A		74.1
17	15	6	100	140	A		52.8
18	10	6	120	140	B		63.9
19							79
20							86.3

5. 作成された実験計画テーブルに応答値（反応率）を入力

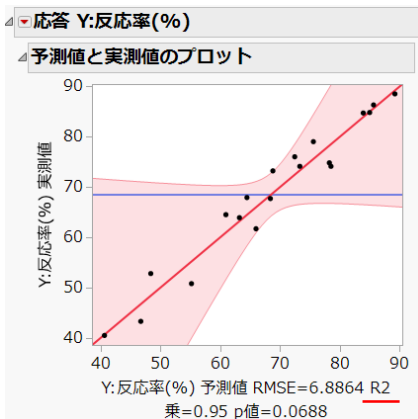


jmp

61

スクリーニング実験の例 レポート

実測値と予測値のプロット



- あてはめたモデルがデータに良くあてはまっているか確認するプロット
- プロット点が、赤い線の近くに位置しているほど、あてはまりが良いことを示す

チェックポイント：

- プロット点は赤い線の付近にプロットされているか？
- 信頼区間（赤色で塗られた領域）から大きく外れたプロット点があるか？（あると良くない）
- R2乗（あてはめりの良さを示した指標）がある程度大きな値（0.6以上など）であるか？

jmp

62

スクリーニング実験の例 レポート

パラメータ推定値

▲尺度化した推定値
 名義尺度の要因においては、全水準に対して推定値が求められている

項	尺度化した推定値	標準誤差	t値	p値(Prob> t)
切片	68.515	1.539851	44.49	<.0001*
送り速度(10,15)	-3.575	1.814732	-1.97	0.1202
濃度(3,6)	0.875	1.814732	0.48	0.6549
攪拌速度(100,120)	3.358333	1.814732	1.85	0.1379
温度(140,180)	10.104167	1.814732	5.57	0.0051*
触媒[A]	-6.345833	1.814732	-3.50	0.0250*
触媒[B]	6.345833	1.814732	3.50	0.0250*
送り速度*濃度	0.0541667	1.814732	0.03	0.9776
送り速度*攪拌速度	0.025	1.814732	0.01	0.9897
送り速度*温度	-2.816667	1.814732	-1.55	0.1956
送り速度*触媒[A]	-2.195833	1.814732	-1.21	0.2929
送り速度*触媒[B]	2.195833	1.814732	1.21	0.2929
濃度*攪拌速度	-0.3375	1.814732	-0.19	0.8615
濃度*温度	-0.366667	1.814732	-0.20	0.8497
濃度*触媒[A]	2.233333	1.814732	1.23	0.2859
濃度*触媒[B]	-2.233333	1.814732	-1.23	0.2859
攪拌速度*温度	1.2791667	1.814732	0.70	0.5198
攪拌速度*触媒[A]	1.633333	1.814732	0.90	0.4190
攪拌速度*触媒[B]	-1.633333	1.814732	-0.90	0.4190
温度*触媒[A]	0.85	1.814732	0.47	0.6639
温度*触媒[B]	-0.85	1.814732	-0.47	0.6639

- 実験データより、各項の効果の大きさを推定（回帰分析）
- “パラメータの係数が0である”を帰無仮説としたp値を表示
- p値が小さい（例：0.05未満）と帰無仮説を棄却し、その項が応答Yに効果があるといえる

チェックポイント：

- 推定値の大きいものは？またその符号（+、-）は？
- p値が小さい項（応答に対して効果がある項）はどれか？

注意：ここでは [要因のスクリーニング] > [尺度化した推定値] のレポートを表示



63

スクリーニング実験の例 レポート

効果の検定

▲効果の検定

要因	パラメータ数	自由度	平方和	F値	p値(Prob>F)
送り速度(10,15)	1	1	184.0410	3.8809	0.1202
濃度(3,6)	1	1	11.0250	0.2325	0.6549
攪拌速度(100,120)	1	1	162.4090	3.4247	0.1379
温度(140,180)	1	1	1470.1563	31.0010	0.0051*
触媒	1	1	579.8823	12.2279	0.0250*
送り速度*濃度	1	1	0.0422	0.0009	0.9776
送り速度*攪拌速度	1	1	0.0090	0.0002	0.9897
送り速度*温度	1	1	114.2440	2.4091	0.1956
送り速度*触媒	1	1	69.4322	1.4641	0.2929
濃度*攪拌速度	1	1	1.6403	0.0346	0.8615
濃度*温度	1	1	1.9360	0.0408	0.8497
濃度*触媒	1	1	71.8240	1.5145	0.2859
攪拌速度*温度	1	1	23.5623	0.4969	0.5198
攪拌速度*触媒	1	1	38.4160	0.8101	0.4190
温度*触媒	1	1	10.4040	0.2194	0.6639

指定した因子が応答に対して効果があるか検定をしたもの

効果の要約

▲効果の要約

要因	対数値	P値
温度(140,180)	2.293	0.00510
触媒	1.603	0.02497
送り速度(10,15)	0.920	0.12017
攪拌速度(100,120)	0.860	0.13789
送り速度*温度	0.709	0.19559
濃度*触媒	0.544	0.28587
送り速度*触媒	0.533	0.29289
攪拌速度*触媒	0.378	0.41899
攪拌速度*温度	0.284	0.51976
濃度(3,6)	0.184	0.65489 ^
温度*触媒	0.178	0.66389
濃度*温度	0.071	0.84974
濃度*攪拌速度	0.065	0.86151
送り速度*濃度	0.010	0.97762
送り速度*攪拌速度	0.005	0.98967

削除 追加 編集 □ FDR (^) は上位の効果を含む効果

p値を小さい順に並べたレポート



64

スクリーニング実験の例 さらなるアプローチ

スクリーニング実験では、応答に影響を及ぼす効果をはっきりと見極めるために、**あてはめたモデルで有意でない項を除外する（誤差とみなす）、または有意でない項はモデルに含めないことがある**



上記のことを行うために、JMPでは次のようなアプローチがある

- ①「効果の要約」を使った誤差へのプーリング
- ②ステップワイズ法の実行

要因	対数値	P値
温度(140,180)	2.293	0.00510
触媒	1.603	0.02497
送り速度(10,15)	0.920	0.12017
攪拌速度(100,120)	0.860	0.13366
送り速度*温度	0.709	0.19559
濃度	0.544	0.28587
送り速度*触媒	0.533	0.29289
攪拌速度*触媒	0.378	0.41899
攪拌速度*温度	0.284	0.51976
濃度(3,6)	0.184	0.65489 ^
温度*触媒	0.178	0.66389
濃度*温度	0.071	0.84974
濃度*攪拌速度	0.065	0.86151
送り速度*濃度	0.010	0.97762
送り速度*攪拌速度	0.005	0.98967

有意でないものは、
そもそもモデルの項
として含めなくてよ
いのでは？



スクリーニング実験の例 ①効果の要約を使ったプーリング

要因	対数値	P値
温度(140,180)	5.895	0.00000
触媒	3.603	0.00025
攪拌速度(100,120)	2.147	0.00714
送り速度(10,15)	1.330	0.04678
送り速度*温度	1.095	0.08041
送り速度*触媒	0.911	0.12273
送り速度*攪拌速度	0.005	0.98967

不要な項を選択して削除

要因	対数値	P値
温度(140,180)	5.895	0.00000
触媒	3.603	0.00025
攪拌速度(100,120)	2.147	0.00714
送り速度(10,15)	1.330	0.04678
送り速度*温度	1.095	0.08041
送り速度*触媒	0.911	0.12273

p値が0.15より大きい項
を削除した最終状態

各応答に対するレポートにある「効果の要約」により、次の方法で、不要な変数を削除する

1. p値が一番大きい要因を選択し、「削除」をクリックする
2. 手順1を繰り返し、残された要因のp値がすべて有意（例：p値 < 0.15）になるまで繰り返す

ただし、手順1で一番大きい項が主効果（1次の項）で、それより上（p値が小さい）にその主効果を含む交互作用が含まれている場合は、その主効果は削除しない（効果の階層性）

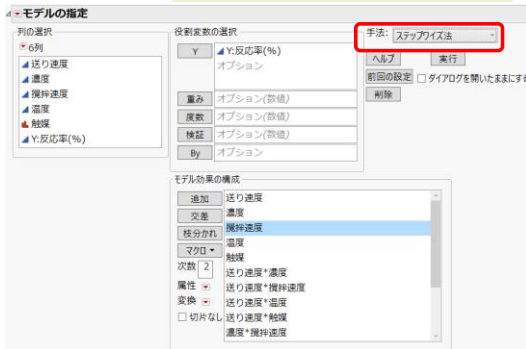


スクリーニング実験の例

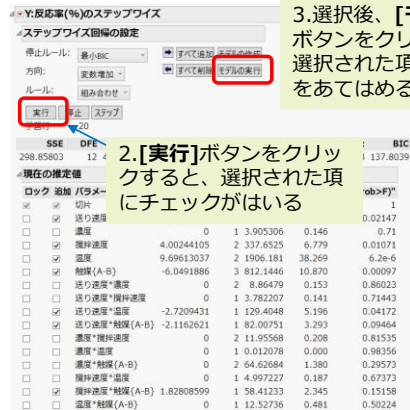
②ステップワイズ法の実行

- 回帰分析を行う際の変数選択方法
- 停止ルールに基づき、逐次的に応答と関連する変数を選択する

1.手法を「ステップワイズ法」に変更して、モデルを実行



3.選択後、[モデルの実行] ボタンをクリックすると、選択された項のみでモデルをあてはめる

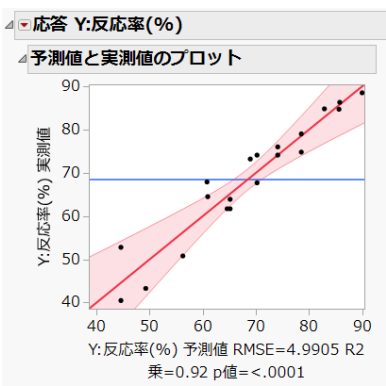


2.[実行]ボタンをクリックすると、選択された項にチェックがはいる



スクリーニング実験の例

ステップワイズ法で変数選択したときのレポート



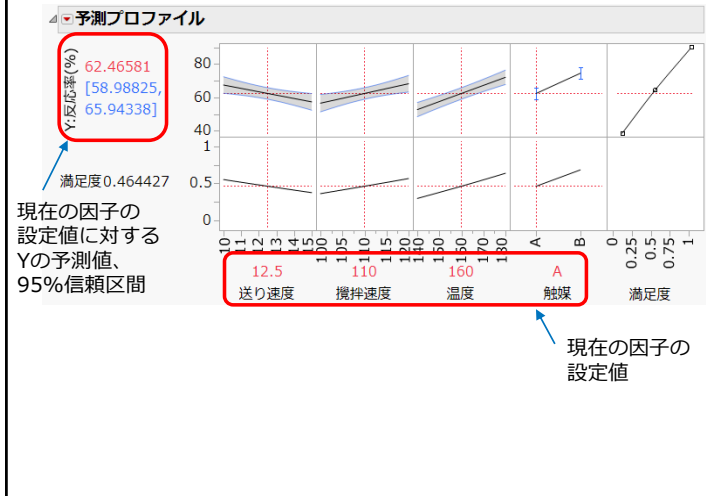
要因	パラメータ数	自由度	平方和	F値	p値(Prob>F)
送り速度(10,15)	1	1	165.3754	6.6403	0.0242*
攪拌速度(100,120)	1	1	292.7778	11.7559	0.0050*
温度(140,180)	1	1	1718.2452	68.9924	<.0001*
触媒	1	1	699.8229	28.0999	0.0002*
送り速度*温度	1	1	129.4048	5.1960	0.0417*
送り速度*触媒	1	1	82.0075	3.2928	0.0946
攪拌速度*触媒	1	1	58.4123	2.3454	0.1516

選択された項 (p値 < 0.15 を基準としたとき)

- 主効果：温度、触媒、攪拌速度、送り速度
- 交互作用：送り速度*温度、送り速度*触媒



スクリーニング実験の例 予測プロフィール

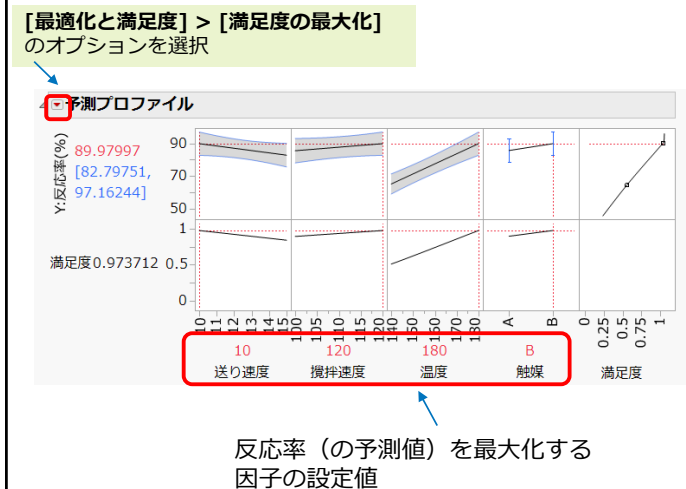


- 他の因子を固定させ、ある因子の水準値が変化するとき、応答の値がどのように変化するかをインタラクティブタイプに表示することができる
- グラフ上のY軸に平行な赤い点線をドラッグして、因子の水準値を変更することができ、その水準値に応じて応答の値も変化する

jmp

69

スクリーニング実験の例 満足度の最大化（最適化）



- 「予測プロフィール」により、Yの要望（最大化、最小化、目標値に合わせる）を満たす因子の条件（Xの水準値）を算出できる（最適化）
- Yが複数あった場合は、Yの重要度を考慮し最適化をおこなう（重要度を指定しない場合は、複数のYの重要度は等しいとみなす）

jmp

70

3. 「カスタム計画」の活用例

- 例1：RNAのノックダウン実験
 - 連続とカテゴリカル因子の混在、水準が多いときのスクリーニング
- 例2：タイヤトレッドの性能評価
 - 応答曲面モデルによる最適化

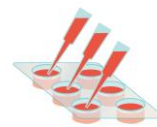


71

例1: RNAのノックダウン実験

連続とカテゴリカル因子の混在、水準が多いときのスクリーニング

- 応答は“siRNAのノックダウン効率(%)”で最大化することが目標
- 細胞や試薬に関する条件を検討、ノックダウン効率を最大化する細胞や試薬の条件を検討する
- スクリーニング対象は主効果のみ



応答名	目標
ノックダウン効率(%)	最大化

因子名	連続 or カテゴリカル	値 (下限)	値 (上限)
試薬の種類	カテゴリカル	A,B,C,D,E	
log10(試薬の濃度) (ng/ml)	連続	-2	0
細胞の種類	カテゴリカル	X株、Y株、Z株	
細胞の密度(cell/well)	連続	200	5000
試薬タイミング (播種)	カテゴリカル	前、後	

ポイント

- 連続因子とカテゴリカル因子が混在している
- カテゴリカル因子の水準が多い（5水準）のものがある
- すべてのパターンを考慮するのであれば、120回（ $=5 \times 2 \times 3 \times 2 \times 2$ ）の実験が必要



72

例1: RNAのノックダウン実験 カスタム計画による応答、因子、モデル、実験回数の設定

応答と因子の設定

カテゴリカル因子については、水準数を指定
(5水準、3水準など)

カスタム計画

応答

応答名	目標	下側限界	上側限界	重要度	検出下限
ノックダウン効率(%)	最大化

因子

名前	役割	変異	値	単位
試薬の種類	カテゴリカル	容積	試薬A 試薬B 試薬C 試薬D 試薬E	ng/ml
log10(試薬の濃度)	連続変数	容積	-2 0	
細胞の種類	カテゴリカル	容積	X株 Y株 Z株	
細胞の密度	連続変数	容積	200 5000	cell/well
試薬のタイミング (播種)	カテゴリカル	容積	前 後	

モデルの設定

この例では、主効果のみを指定
(デフォルトの設定)

モデル

主効果	交互作用	RSM	交差	べき乗	項目の削除
名前					推定
切片					必須
試薬の種類					必須
log10(試薬の濃度)					必須
細胞の種類					必須
細胞の密度					必須
試薬のタイミング (播種)					必須

実験回数の設定

計画の生成

ブロックごとに実験を実施: ブロックサイズ

中心点の数:

反復する行数:

実験の回数:

- 最小値 10
- デフォルト値 15
- ユーザ定義

計画の作成



73

例1: RNAのノックダウン実験 実験データの入力とモデルのあてはめ

実験テーブル

15回の実験により応答の値を入力

計画	試薬の種類	log10(試薬の濃度) (ng/ml)	細胞の種類 (cell/well)	試薬のタイミング (播種)	ノックダウン 効率(%)
1	試薬B	0	X株	5000 前	38.5
2	試薬D	-2	X株	5000 前	27.7
3	試薬C	0	X株	5000 後	48.2
4	試薬A	0	Y株	5000 前	44.5
5	試薬A	-2	X株	200 後	21.4
6	試薬A	-2	Z株	5000 後	-0.5
7	試薬E	0	X株	200 前	54.4
8	試薬D	0	Z株	200 前	58.1
9	試薬D	0	Y株	5000 後	28.5
10	試薬B	0	Z株	200 後	31.9
11	試薬B	-2	Y株	200 前	22.6
12	試薬C	-2	Z株	5000 前	28.7
13	試薬E	-2	Y株	5000 後	20.1
14	試薬C	0	Y株	200 前	53.5
15	試薬E	0	Z株	5000 前	43.8

モデルの指定

カスタム計画で設定した応答、因子を使ったモデルが設定されていることを確認

モデルの指定

列の選択

- 6列
- 試薬の種類
- log10(試薬の濃度)
- 細胞の種類
- 細胞の密度
- 試薬のタイミング (播種)
- ノックダウン効率(%)

役割変数の選択

Y ノックダウン効率(%)

オプション

重み オプション(数値)

度数 オプション(数値)

検定 オプション(数値)

By オプション

モデル効果の構成

追加 試薬の種類

交差 log10(試薬の濃度)

積分かれ 細胞の種類

マクロ 細胞の密度

次数 2 試薬のタイミング (播種)

属性

変換

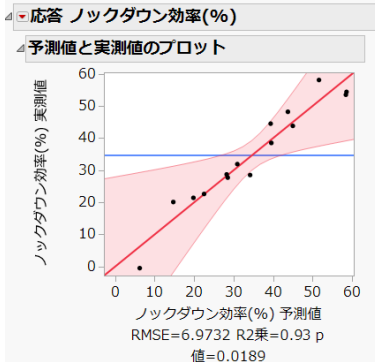
切片なし



74

例1: RNAのノックダウン実験 分析レポート その1

予測値と実測値のプロット



パラメータ推定値

▲ 尺度化した推定値

名義尺度の要因においては、全水準に対して推定値が求められている

項	尺度化した推定値	標準誤差	t値	p値(Prob> t)
切片	32.384167	1.927289	16.80	<.0001*
試薬の種類[試薬A]	-3.971667	3.854578	-1.03	0.3501
試薬の種類[試薬B]	-7.996667	3.747979	-2.13	0.0860
試薬の種類[試薬C]	7.1227778	3.629999	1.96	0.1070
試薬の種類[試薬D]	1.7561111	3.629999	0.48	0.6490
試薬の種類[試薬E]	3.0894444	3.629999	0.85	0.4336
log10(試薬の濃度)(-2,0)	10.395833	1.927289	5.39	0.0030*
細胞の種類[X株]	3.28	2.54625	1.29	0.2541
細胞の種類[Y株]	-0.92	2.54625	-0.36	0.7326
細胞の種類[Z株]	-2.36	2.54625	-0.93	0.3965
細胞の密度(200,5000)	-3.979167	1.927289	-2.06	0.0939
試薬のタイミング(播種)[前]	5.4625	1.927289	2.83	0.0365*
試薬のタイミング(播種)[後]	-5.4625	1.927289	-2.83	0.0365*



75

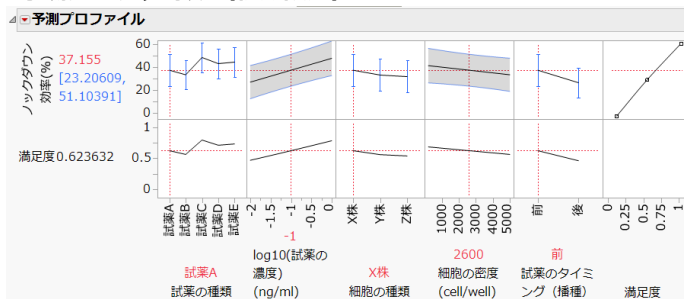
例1: RNAのノックダウン実験 分析レポート その2

効果の検定

▲ 効果の検定

要因	パラメータ数	自由度	平方和	F値	p値(Prob>F)
試薬の種類	4	4	399.9957	2.0565	0.2245
log10(試薬の濃度)(-2,0)	1	1	1414.7784	29.0954	0.0030*
細胞の種類	2	2	85.8720	0.8830	0.4695
細胞の密度(200,5000)	1	1	207.2784	4.2628	0.0939
試薬のタイミング(播種)	1	1	390.6184	8.0332	0.0365*

予測プロファイル (初期設定)

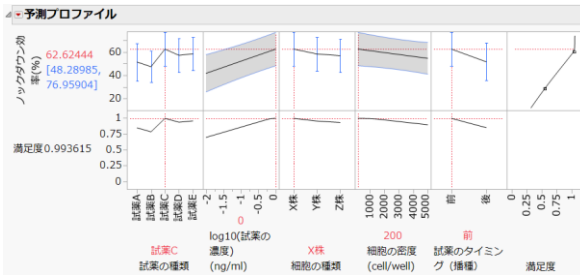


76

例1: RNAのノックダウン実験 分析レポート その3

予測プロフィール (最適化)

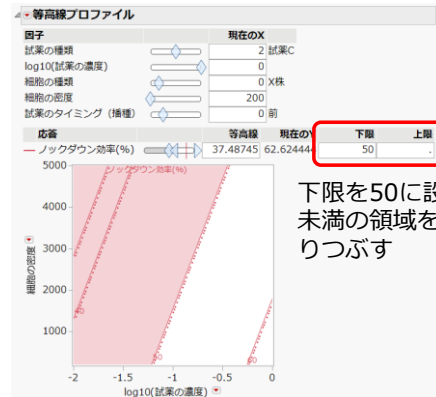
満足度の最大化を用いたときの因子設定



予測プロフィールの左にある赤い三角ボタンから [因子設定] > [すべてのプロフィールを連動] を選択すると、予測プロフィールでの因子設定が他のプロフィール (等高線など) に反映される

等高線プロフィール

- 最適化した因子設定による等高線
- 等高線の白色の領域はノックダウン効率の予測値が50%以上となる



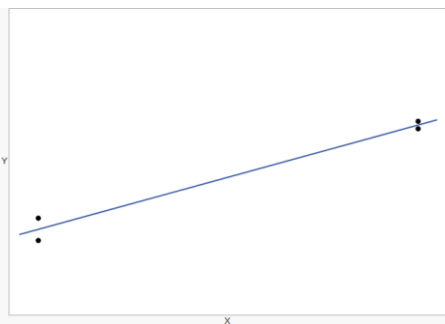
下限を50に設定し、50未満の領域を赤色で塗りつぶす



77

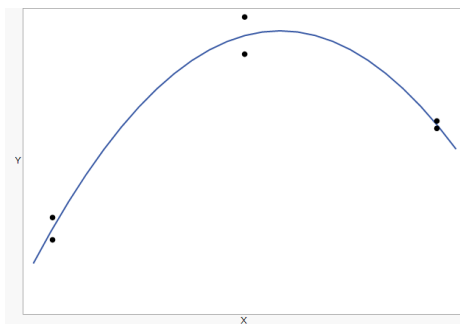
応答曲面モデル スクリーニングのモデルとの違い

スクリーニングのモデル



直線をあてはめているので、Xの下限と上限の間に最適値があった場合は識別できない

応答曲面モデル



曲線をあてはめているので、Xの下限と上限の間にある最適値を見つけることができる



78

例2:タイヤトレッドの性能評価 応答曲面モデルによる最適化



- タイヤトレッドの性能と素材との関係を調べる
- 性能は4つの応答（摩耗、引張応力、伸び、硬度）を検討し、それぞれ目標や仕様下限、上限を設けている
- 素材はシリカ、硫黄、シランの3つであり、これらが因子となる
- 応答と因子の関係を説明する応答曲面モデルをあてはめ、応答の目標や仕様を満たす、因子の水準値を求める（最適化）

応答名	目標	仕様下限	仕様上限
摩耗	最大化	100	
引張応力	最大化	1000	
伸び	目標値(500)に合わせる	450	550
硬度	目標値(67.5)に合わせる	65	70

因子名	連続/カテゴリカル	値(下限)	値(上限)
シリカ	連続	0.7	1.7
硫黄	連続	1.8	2.8
シラン	連続	40	60

jmp

79

例2:タイヤトレッドの性能評価 カスタム計画による応答、因子、モデル、実験回数の設定

応答と因子の設定

4つの応答、3つの連続因子を設定

モデルの設定

RSM (Response Surface Model) をクリックすると、応答曲面モデルを指定する

実験回数の設定

デフォルト値が16回なので、16回を設定

jmp

80

例2:タイヤトレッドの性能評価 実験データの入力とモデルのあてはめ

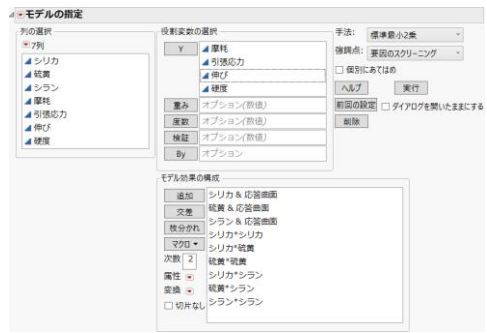
実験テーブル

16回の実験により応答の値（4つ）を入力

計画	シリカ	硫黄	シラン	摩擦	引張応力	伸び	硬度
1	0.7	1.8	60	117	213	546	77.3
2	1.2	2.3	50	135	989	353	66.2
3	0.7	1.8	40	105	1126	640	62
4	1.7	2.8	40	128	1252	275	70.4
5	1.2	1.8	50	121	1549	488	62.7
6	1.7	2.8	60	197	2264	260	74.1
7	0.7	2.3	50	107	641	528	70.5
8	1.7	1.8	40	117	1227	416	66.9
9	0.7	2.8	60	131	1516	425	79.2
10	1.2	2.3	40	120	912	436	66.2
11	1.2	2.3	60	149	1533	358	72.2
12	1.7	2.3	50	148	962	324	68.3
13	1.7	1.8	60	147	1612	339	70.5
14	0.7	2.8	40	86	1228	501	71
15	1.2	2.8	50	153	2093	328	72
16	1.2	2.3	50	136	1819	380	68.7

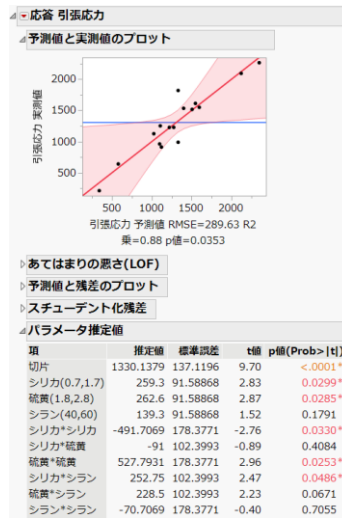
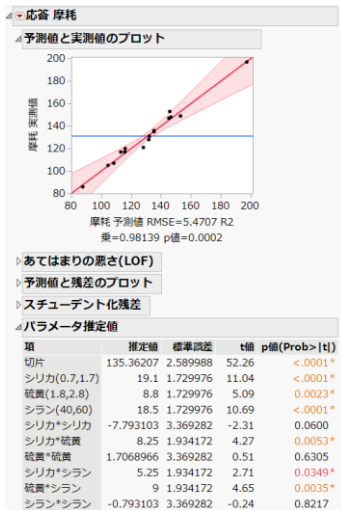
モデルの指定

カスタム計画で設定した応答、因子を使ったモデルが設定されていることを確認



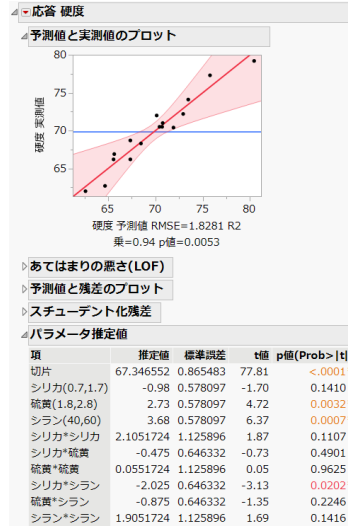
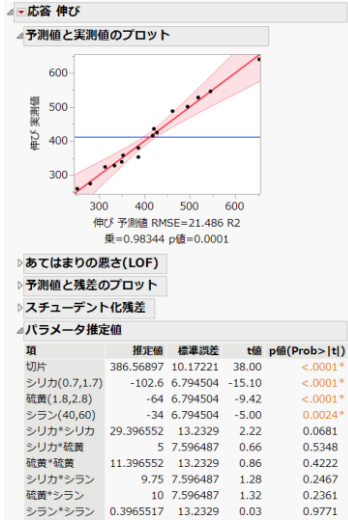
81

例2:タイヤトレッドの性能評価 分析レポート その1



82

例2:タイヤトレッドの性能評価 分析レポート その2

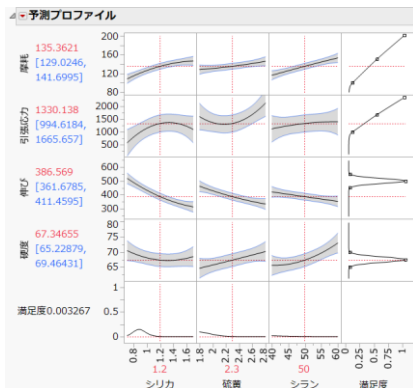


jmp

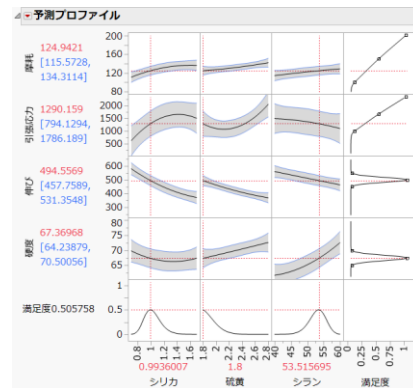
83

例2:タイヤトレッドの性能評価 分析レポート その3

予測プロファイル (最適化)



満足度の
最大化



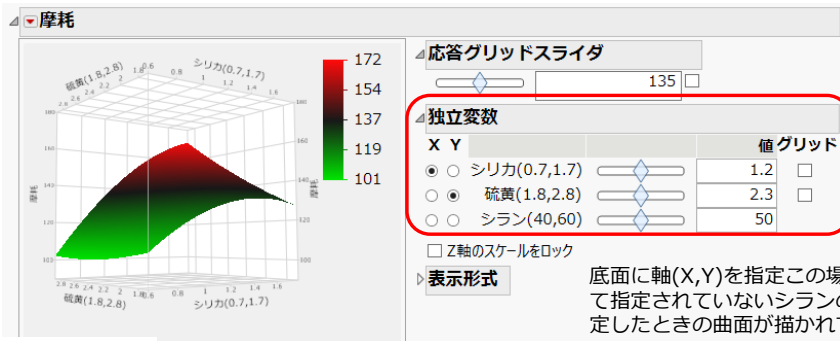
満足度の最大化を用いたときの因子設定

jmp

84

例2:タイヤトレッドの性能評価 分析レポート その4

曲面プロファイル



底面に軸(X,Y)を指定この場合は、軸として指定されていないシランの値を50に固定したときの曲面が描かれている

グラフ部分を右クリックし、右クリックメニューから次の設定を行える

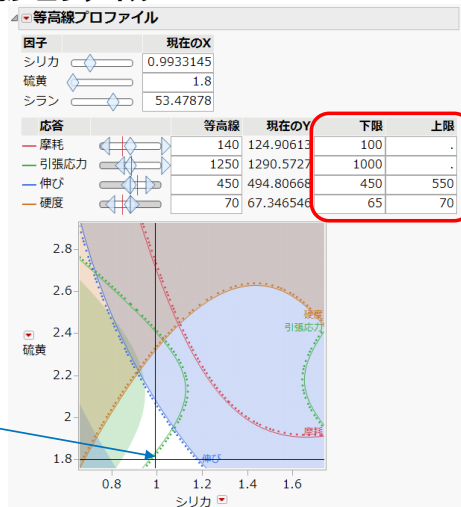
- **【曲面のプロパティ】**: 曲面にカラーテーマを設定 (応答の予測値の大きさでグラデーションをつける)
- **【凡例の表示】**: グラフ右上に凡例を表示

jmp

85

例2:タイヤトレッドの性能評価 分析レポート その5

等高線プロファイル



応答の仕様下限、仕様上限を入力

満足度の最大化による最適な因子の水準値

jmp

86

4. まとめ

- まとめ
- 最適計画とは
- 拡張計画

jmp

87

第2回のまとめ

「カスタム計画」とは

実験者のニーズにあった柔軟な計画を作成できる計画（JMP独自の名称）

「カスタム計画」の特長

- **さまざまな種類の因子を指定できる**
- 因子の制約を定義できる
- **調べたいモデルを指定し、推奨する実験回数が提示される**

JMPで実験計画法を実施する流れ

- 計画の作成 ⇒ 実験データの入力 ⇒ モデルのあてはめ
- 実測値と予測値のプロットより、あてはまりの良さを確認する
- パラメータ推定値や効果の検定から要因の効果を解釈する
- 予測プロファイルで最適化を実行できる

jmp

88

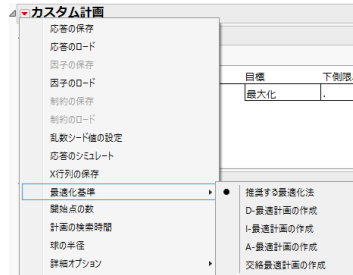
最適計画とは 計画の作成アルゴリズム

• D-最適計画、A-最適計画


- **パラメータ推定値の分散を最小化する計画**
- 主に因子スクリーニングの目的で使用
- カスタム計画のデフォルト設定
- 座標変換アルゴリズムにより、実験点が求められる

• I-最適計画

- **計画領域での平均予測分散を最小化する計画(予測に適している)**
- 応答曲面計画で使用
- 計画領域の中心付近の計画点に着目する
- カスタム計画で応答曲面 (RSM) を選んだ際に設定される



最適計画の利点

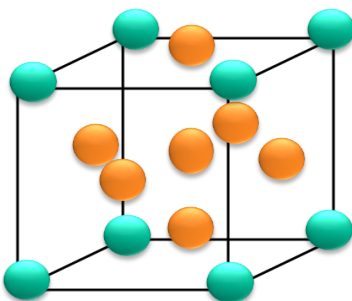
- 連続、カテゴリカル、配合などさまざまな属性の因子を混在させることができる
- 制約をつけることができる
- 実験回数（最小値以上の範囲内）を設定することができる
- 容易に実験を拡張することができる 

89

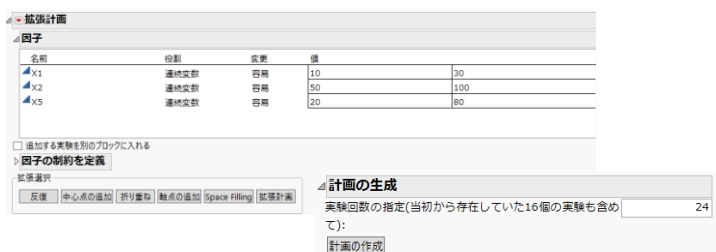
拡張計画

最適計画を利用し、既存の計画に拡張点を追加

- 既存の計画に対し、追加実験を行うための実験点を提示
- 既存の実験に対し、実験点を追加することにより、計画の領域の拡張、要因効果（2次の効果など）の追加、追加の制約をつけることができる
- 追加する実験点は、最適計画により求められる



緑色の点が既存の実験点、
オレンジ色の点が追加の実験点



例：スクリーニング計画（2水準）の計画を拡張し、I-最適計画により応答曲面計画を作成



90

第3回 実演！実験計画法 ～身近な例で実験計画法を実施してみる～

2023.10.19



Copyright © SAS Institute Inc. All rights reserved.

91

セミナー概要

JMPを利用した実験計画法の実施例

目標

- ・ 第1回、第2回の内容を踏まえ、JMPを実際の実験でどのように活用してくかを知る
- ・ スクリーニング実験 ⇒ 応答曲面による最適化の流れを理解する
- ・ 実験データを効果的に可視化する方法を理解する（要因効果図など）



92

セミナー概要



- 実験の内容や詳細は、セミナー当日に説明
- 実務面を考えたときの要因のスクリーニングについて
- 本実験について、実験の実施手順を包み隠さず説明
 - うまくいったこと
 - うまくいかなかったこと（反省点）
- 第1回、第2回で説明しなかったJMPの有効な機能を説明

この回で説明した内容を文章でまとめたものを後日紹介する

jmp

93

Memo

jmp

94

参考情報



Copyright © SAS Institute Inc. All rights reserved.

95

JMP 17 トライアル版

JMP® トライアル版ダウンロード

数字が並んだ表や静的なグラフだけでは、データに隠された意味を知ることはできません。JMPは、データの本当の姿を探り出す統計解析ソフトウェアとして、長年にわたり世界中の多くの方々にご愛用いただいています。JMPの全機能を30日間試せるトライアル版で、データからさらなる情報を導き出せることを実感してください。

ご注意：
JMPトライアル版は、WindowsまたはmacOSを搭載したパーソナルコンピュータでのみご利用いただけます（システム必要条件）。
スマートフォンやタブレット端末ではご利用いただけませんので、あらかじめご了承ください。

[ダウンロードページ](#)

- 製品版JMPと同機能を、アクティベーション（ライセンス認証）後、30日間試用可能（1回限り）
- Windows版/Macintosh版を用意



96

トレーニング

実験計画法の理論とJMPの利用

日時：12/12(火)、12/13(水)、12/14(木)、12/15(金) 14:00～17:00



本セミナーで説明しなかった事項を詳細に解説、演習

- 交互作用とは？ 交絡とは？
- 完全実施要因計画、一部実施要因計画
- 応答曲面の計画（中心複合、Box-Behnken）
- 直交性とは？
- ブロック化
- カスタム計画の考え方(D-最適について)
- 計画の評価（検出力分析など）
- 拡張計画

■詳細、お申込み

[JMPによる実験計画法 \(Live Webコース\)](#)

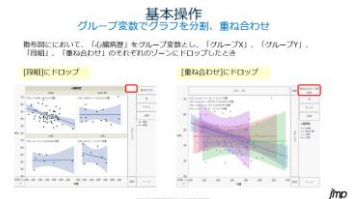
97

今後実施予定のWebセミナー

JMPをマスターしよう グラフビルダー活用編 (全2回)

- 日時：2023年11月7日(火)、11月14日(火) 各日とも15:00～16:00
- ポイント：JMPの「グラフビルダー」は、データを深く探索するのに便利な機能が多数搭載されています。本セミナーでは基本的な使い方から、データを探索するために役立つ便利な機能まで解説します。

●詳細、お申込み



JMP製品を用いた探索的な要因分析と予測 ～サイバール要因探索術～ (全2回)

- 日時：12月7日(木)、12月21日(木) 各日とも14:00～15:30
- ポイント：多くあるパラメータの中で、特性値に影響を及ぼす要因はどれなのか？ その要因はどれぐらい強い効果があるのか？ これらの課題についてJMP製品でアプローチする方法を解説します。

●詳細、お申込み



98

JMP Discovery Summit 2023



詳細、参加お申込み

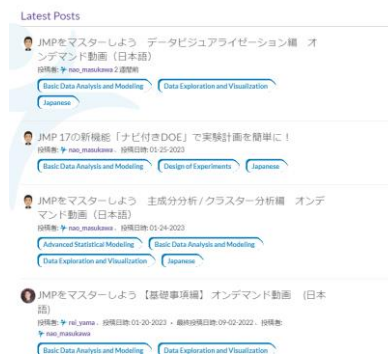
[Discovery Summit Japan 2023 | Discovery Summit](#)



99

JMPをマスターしよう オンデマンド版 JMPを学べる無料動画

- 「JMPをマスターしよう」セミナーのオンデマンド版
- オンデマンド用に短めの動画に再構成
- Tipsや有用な機能の紹介



[JMPをマスターしよう \(日本語版\) セミナー一覧](#)

100

JMPユーザコミュニティのブログ（日本語）

JMPの情報満載のブログサイト

製造業における「同等性検定」の活用 Part1. 平均の同等性検定

作成: Sep 12, 2023 10:36 AM | 最終更新日: Sep 12, 2023 10:35 AM

先日、製造業のお客様向けに、JMPを利用した統計的検定と利用例を解説するWebセミナーを開催しました。品質管理における検定手法の必要性や考え方を説明しましたが、最後に説明した「同等性の検定」に多くのお客様が関心を持ってくださいました。

*このセミナーのオンデマンド版（日本語）をご用意しております。まぶかの欄をもとご確認ください。

セミナー後に投稿したアンケートでは、「実務ではほとんどのケースで同等性検定を実施する」という回答もあり、同じであることを示す必要のあるケースが多い製造業でのニーズがあることを確認できました。

同等性のイメージ



- JMPに関する記事を投稿
 - データ分析例について
 - アピールできる機能について
 - 便利な機能
 - セミナー等のご案内

[JMP User Communityのブログ \(Naohiro Masukawa\)](#)

ブログの購読方法

（新しいブログが投稿されるとメールで案内）

- ①サインインする（SASプロファイルの登録が必要）



- ②左下の「オプション」から「購読」をクリック

