

Design of Experiment: Modern Approach

～この本から学んだ点をいくつかご紹介いたします～

2020年11月9日
東林コンサルティング 細島 章
<https://www.tourinconsulting.com/>

Design of Experiments: A Modern Approach, 1st Edition

Bradley Jones, Douglas C. Montgomery

ISBN: 978-1-119-61119-6 | December 2019 | 272 Pages

E-BOOK

Starting at just \$42.00

PRINT

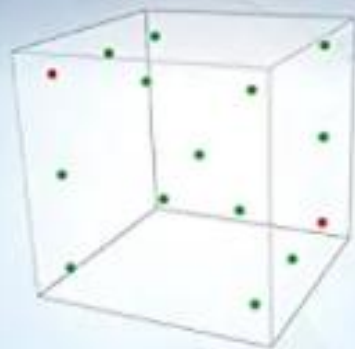
Starting at just \$166.95

- | | |
|--|----------|
| <input type="radio"/> E-Book Rental (120 Days) ⓘ | \$42.00 |
| <input type="radio"/> E-Book Rental (150 Days) ⓘ | \$48.00 |
| <input checked="" type="radio"/> E-Book ⓘ | \$120.00 |

従来の実験計画法の本と違って、ソフトウェア（JMP）の使用を前提として書かれた本。著者のB. JonesはSAS社の'Doctor DOE'、D. C. Montgomeryはアリゾナ州立大教授。従来の実験計画本の解析結果は主に分散分析表であるが、この本はプロファイル・予測値と実測値のプロット・効果の要約・残差プロットなどのJMP解析結果が豊富に示されているので、直感的な理解ができる

DESIGN OF EXPERIMENTS

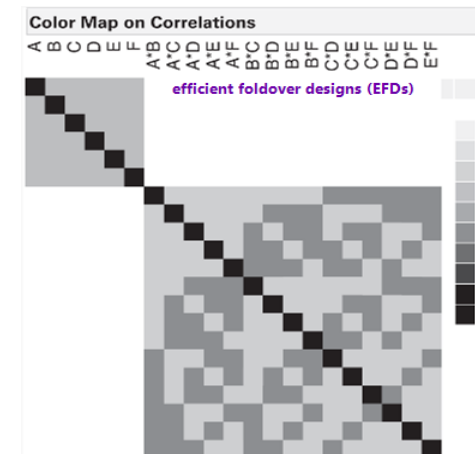
A MODERN APPROACH



WILEY

スクリーニング計画

- 2水準スクリーニング計画
 - レゾリューション III や IV が使える状況は限られる
 - 例1：交互作用がない場合
 - 例2：交互作用を推定する必要がない場合
 - レゾリューション V はラン数が大(8因子で64ラン)
 - 結局どれも実務家向きではない
- 決定的スクリーニング計画 DSD
 - 実験数は因子数 m の2倍程度 ($2m+5$)
 - 主効果は直交し、主効果に交互作用が交絡しない
 - 交互作用間の強い交絡がない
- 連続量主体のスクリーニングなら DSD を推奨
- 歴史的に教科書は直交デザインを重視してきた
 - EFD(右)のような非直交設計が考案されている
 - この特徴は主効果の直交性を犠牲にするかわりに、主効果と交互作用項の交絡がない



Tips

- レゾリューションの数字は何？
 - 交絡関係式の文字数のことだった！
 - $A=BC$ …… 3 個 → レゾリューション III
 - $A=BCD$ …… 4 個 → レゾリューション IV
 - $A=BCDE$ …… 5 個 → レゾリューション V
 - JMP出力が右図の場合
 - 生成ルールは $D=A*B*C$, $E=B*C$
 - 少ない方を選ぶのでこれはレゾリューション IIIになる
- 残差プロットに注目せよ
 - 一定でない分散が発生した場合、変換を適用すると良い場合がある
 - よく使われる変換
 - 平方根変換、対数変換、および逆変換

計画の表示と変更

生成ルールを変更

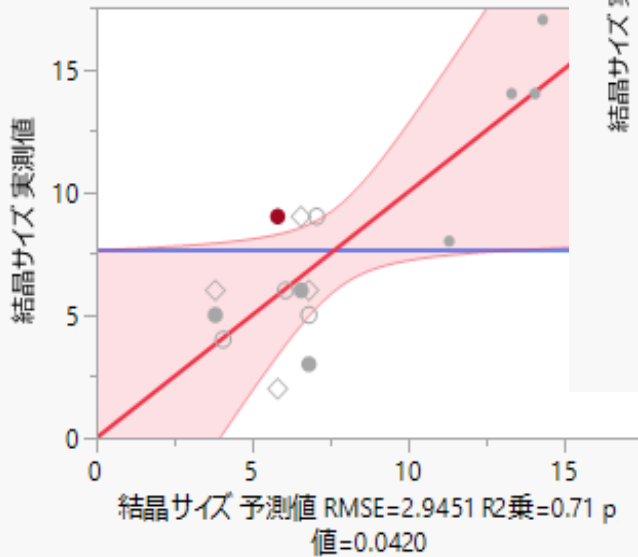
因子	D	E
A	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
B	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
C	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
+/-	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

欠測値の処理に関する考察

	StirringRate (rpm)	Furnace No	結晶サイズ	
▽	1	5	1	8
○	2	5	2	4
●	3	5	3	5
◇	4	5	4	6
○	5	10	1	14
○	6	10	2	5
●	7	10	3	6
◇	8	10	4	9
○	9	15	1	14
○	10	15	2	6

Problem 6.14

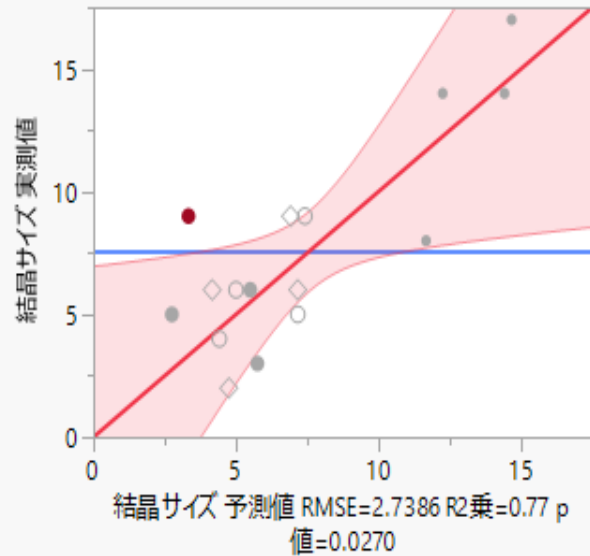
予測値と実測値のプロット



1. 欠測がなかった場合

$R^2 = 0.71$
 RMSE=2.95
 赤点が欠測値

予測値と実測値のプロット



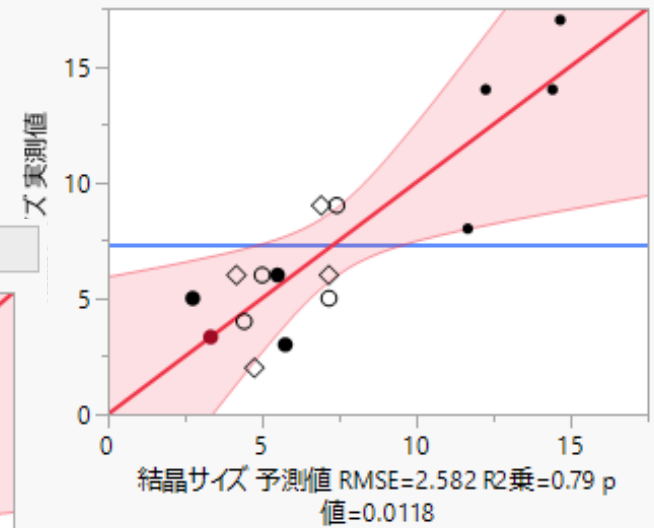
2. 欠測のまま解析した場合

$R^2 = 0.77$
 RMSE=2.74
 赤点が欠測値 (除外)

欠測値が外れ値だった場合には

予測値を代入することで本来よりも良いモデルになってしまう

予測値と実測値のプロット



3. 欠測値に予測値を代入

$R^2 = 0.79$
 RMSE=2.58
 あてはまり・誤差共に最良

検出力分析（7章）

- 繰り返しによる検出力向上
 - 2*2完全実施計画（Table7.1）
 - N=3なら検出力は0.86(OK)
 - N=2、N=1のときは検出力は0.57、0.13に低下する
 - 2^3要因実施計画の場合（Table7.2）
 - N=2なら検出力0.94、N=1のときは検出力は0.18に低下
- 拡張計画による検出力向上
 - デフォオリジナル計画(8ラン)は検出力が低い：0.18（Table7.4）
 - 拡張計画のデフォルト追加8ランにより検出力が向上：0.94
 - 追加8ランを4に変更すると検出力がやや低下する：0.69
 - デフォルト数以下の拡張計画(アンバランス設計)は試す価値がある
 - 主効果と交互作用項との交絡(0.33)が生じることに注意
 - 2乗効果を想定したセンターラン追加による拡張方法もある
- ポイント
 - 実験計画→計画の診断→計画の評価
 - 検出力が0.8程度を確保できていればOK
 - そうでなければ実験の拡張を検討する
 - 繰り返しと拡張計画以外にもBlockによる方法も紹介されている

SPD (分割プロット実験)

- 鋼棒の耐食性実験
 - 変更困難因子(温度：3水準)
 - 変更容易因子(コーティング：4水準)
 - コーティングは温度条件下でランダムに割り振る
 - SPDはランダムブロック設計の特殊なケース
- REML法による解析 (正解)
 - コーティングとコーティング * 温度が有意
 - 炉内温度は有意ではない
- 通常モデルのあてはめによる解析 (誤解)
 - 炉内温度のみが有意

REML法による分散成分推定値

変量効果	分散比	分散成分	標準誤差	95%下側	95%上側	Wald p値	全体に対する百分率
一次単位	9.4118434	1172.1667	982.60166	-753.6972	3098.0305	0.2329	90.396
残差		124.54167	58.709505	58.922814	415.07901		9.604
合計		1296.7083	983.47823	441.11562	13553.071		100.000

固定効果の検定 REML法

要因	パラメータ数	自由度	分母自由度	F値	p値(Prob>F)
炉内温度		2	3	2.7548	0.2093
コーティング		3	9	11.4798	0.0020*
炉内温度*コーティング		6	9	4.3757	0.0241*

効果の要約 通常モデルのあてはめ

要因	対数値	P値
炉内温度	2.592	0.00256
コーティング	0.413	0.38602
炉内温度*コーティング	0.070	0.85180

一次単位	炉内温度	コーティング	腐食耐性
1	360	C1	212
2	370	C2	
3	380	C3	
4		C4	
5			
6			8
1	360	C1	67
2	360	C2	73
3	360	C3	83
4	360	C4	89
5	360	C1	33
6	360	C2	8
7	360	C3	46
8	360	C4	54
9	370	C1	65
10	370	C2	91
11	370	C3	87
12	370	C4	86
13	370	C1	140
14	370	C2	142
15	370	C3	121
16	370	C4	150
17	380	C1	155
18	380	C2	127
19	380	C3	147
20	380	C4	212
21	380	C1	108
22	380	C2	100
23	380	C3	90
24	380	C4	153

変動要因のBlocking(6章)

- Blockingにより応答への影響を排除する
- RCBD (左図)
 - The Randomized Complete Block Design
 - 1 バッチで4圧力の実験(バッチ=ブロック)
 - ブロックサイズ4、ブロック数6
 - D効率 100
 - 平均予測分散 0.38
 - Pressure検出力 0.96
- BIBD (右図)
 - balanced incomplete block designs
 - 1 バッチで3圧力の実験しかできない
 - ブロックサイズ3、ブロック数4に抑えたい
 - RCBDのラン数の1/2
 - D効率 91
 - 平均予測分散 0.73
 - Pressure検出力 0.45
 - 交絡図のように主効果の直交性が失われる
- JMPカスタム計画
 - 「ブロックごとに実験を実施」を選択
 - 因子の役割をブロックからカテゴリーに変えても、あてはめの要約などの統計量は変わらない
 - BIBDで実験数を削減する場合計画の診断で直交性や効率性などを確認する

	Extrusion Pressure	Batch No	Yield
	8500	1	98.2
	8700	2	
	8900	3	
	9100	4	
		5	
		6	78.9
1	8500	1	90.3
2	8500	2	89.2
3	8500	3	98.2
4	8500	5	93.9
5	8500	4	87.4
6	8500	6	97.9
7	8700	1	92.5
8	8700	2	89.5
9	8700	3	90.6
10	8700	5	94.7
11	8700	4	87.0
12	8700	6	95.8
13	8900	1	85.5
14	8900	2	90.8
15	8900	3	89.6
16	8900	5	86.2
17	8900	4	88.0
18	8900	6	93.4
19	9100	1	82.5
20	9100	2	89.5
21	9100	3	85.6
22	9100	5	87.2
23	9100	4	78.9
24	9100	6	90.7

	Pressure	Batch	Y
	8500	1	
	8700	2	
	8900	3	
	9100	4	
1	8500	1	•
2	8500	2	•
3	8500	3	•
4	8500	4	•
5	8700	2	•
6	8700	3	•
7	8900	1	•
8	8900	4	•
9	9100	1	•
10	9100	2	•
11	9100	3	•
12	9100	4	•

