

設計現場のL₁₈交絡問題と近似的リゾリューションIVの成立問題

森技術事務所 森輝雄*
 アルプス電気(株) 貞松伊鶴
 富島技術開発センター 富島明

1. はじめに

L₁₈の交絡を「3水準間の交互作用は、残りの3水準の列に少しずつ部分的に交絡する」^[1]と、また第3列以降を用いれば「2列間の交互作用が別な列の主効果としてのみかけ上振る舞う程度は小さくリゾリューションIVが近似的に実現する。」^[2]とする。しかし設計現場では、空き列が最大効果になる事例、割り付けた制御因子より大きい効果の空き列、割り付け列ごとに異なる要因効果を確認されている。いくつかの交絡に関する現象解析をしたので報告する。

2. 空き列にみる交絡状況

L₁₈に対する宮川^[2]の因子間の交互作用の主効果列への交絡解説は、ともに「リゾリューションIVが近似的に成立するくらい小さい」とし、問題ないという印象を与えていたが、実施例では混乱する大きさがあつた。簡単に確認できるのは空き列効果である。図1、図2は空き列が最大効果であり、図3では、割り付け列以上に大きい空き列が多数出ている。一般的には、全列に制御因子を割り付けるためにこの空き列に出る効果は、制御因子の効果に交絡するために交絡が大きいと正しい水準を選択できない。

解説と実際の違いをシンプルな事例で検証することにし、図中の空き列を数値表示した。

Problem of Resolution IV to main effect with contaminated by interaction effect
 Teruo Mori :Mori consulting office

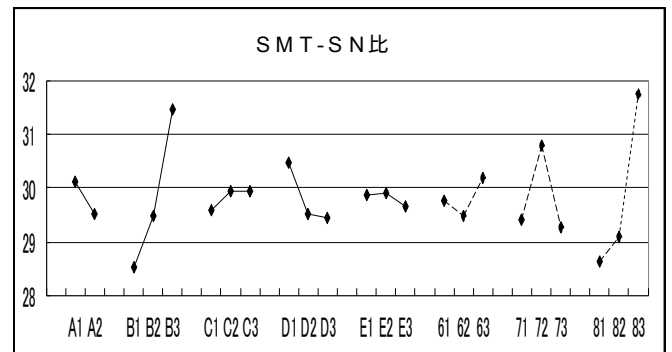


図1 SMT最適化^[3]

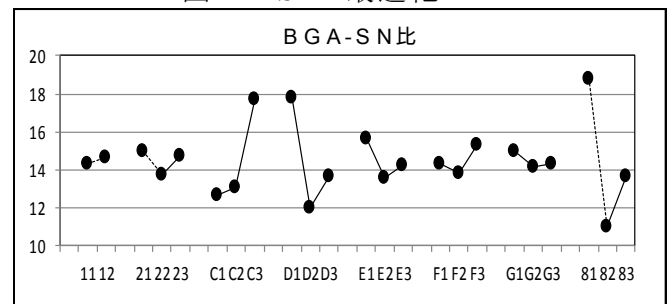


図2 BGA最適化^[4]

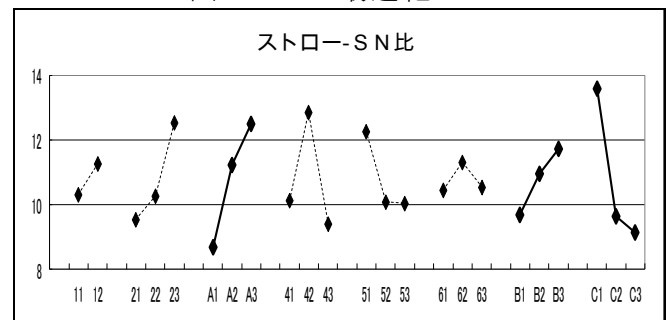


図3 ストロー最適化^[5]

3. L₁₈の2因子間の交絡の大きさ^[6]

2因子間の交絡解析は多数あるが宮川^[2]の分類が一般的で、これを表1に示す。A Bの2元配置例^[6]を表2に示すが、交互作用を徐々に大きくし表2の左上の無小中大で示す。実際にL₁₈の2、3列に割り付けた応答を表3に示す。

表1 因子間の交絡表^[2]

列間	2列	3列	4列	5列	6列	7列	8列	
2	3	-	-	部	部	混	混	混
	4	-	部	-	完	部	部	部
	5	-	部	完	-	部	部	部
	6	-	混	部	部	-	混	混
	7	-	混	部	部	混	-	混
	8	-	混	部	部	混	混	-
3	4	部	-	-	部	部	部	部
	5	部	-	部	-	部	部	部
	6	準部	-	部	部	-	部	部
	7	準部	-	部	部	部	-	部
	8	準部	-	部	部	部	部	-
4	5	完	部	-	-	部	部	部
	6	部	部	-	-	部	部	部
	7	部	部	-	-	部	-	部
	8	部	部	-	部	部	部	-
5	6	部	部	部	-	-	部	部
	7	部	部	部	-	部	-	部
	8	部	部	部	-	部	部	-
6	7	準部	部	部	部	-	-	部
	8	準部	部	部	部	-	部	-
7	8	準部	部	部	部	部	-	-

表3 割り付けと交互作用の大きさ

No	L ₁₈ 割り付け								交互作用の大きさ			
	1	A	B	4	5	6	7	8	無	小	中	大
1	1	1	1	1	1	1	1	1	3.0	2.6	2.2	1.5
2	1	1	2	2	2	2	2	2	2.5	2.5	2.5	2.5
3	1	1	3	3	3	3	3	3	2.0	2.4	2.8	3.6
4	1	2	1	1	2	2	3	3	4.0	4.2	4.4	4.5
5	1	2	2	2	3	3	1	1	3.5	3.5	3.5	3.5
6	1	2	3	3	1	1	2	2	3.0	2.8	2.6	2.5
7	1	3	1	2	1	3	2	3	5.0	6.0	6.6	7.0
8	1	3	2	3	2	1	3	1	4.5	4.5	4.5	4.5
9	1	3	3	1	3	2	1	2	4.0	3.0	2.4	1.8
10	2	1	1	3	3	2	2	1	3.0	2.6	2.2	1.5
11	2	1	2	1	1	3	3	2	2.5	2.5	2.5	2.5
12	2	1	3	2	2	1	1	3	2.0	2.4	2.8	3.6
13	2	2	1	2	3	1	3	2	4.0	4.2	4.4	4.5
14	2	2	2	3	1	2	1	3	3.5	3.5	3.5	3.5
15	2	2	3	1	2	3	2	1	3.0	2.8	2.6	2.5
16	2	3	1	3	2	3	1	2	5.0	6.0	6.6	7.0
17	2	3	2	1	3	1	2	3	4.5	4.5	4.5	4.5
18	2	3	3	2	1	2	3	1	4.0	3.0	2.4	1.8

交絡の最大の大きさ^[2]は、部分交絡で0-1/4、完全交絡で0-1、混合交絡0-1/4、準部分交絡0-1である。

表2 2因子間の交互作用

無	B1	B2	B3	項	変動	寄与率
A1	3	2.5	2	A	6	80
A2	4	3.5	3	B	1.5	20
A3	5	4.5	4	A×B	0	0
小	B1	B2	B3	項	変動	寄与率
A1	2.6	2.5	2.4	A	6	52.17
A2	4.2	3.5	2.8	B	3.5	30.67
A3	6	4.5	3	A×B	2	17.16
中	B1	B2	B3	項	変動	寄与率
A1	2.2	2.5	2.8	A	6	36.1
A2	4.4	3.5	2.6	B	4.9	29.24
A3	6.6	4.5	2.4	A×B	5.8	34.66
大	B1	B2	B3	項	変動	寄与率
A1	1.5	2.5	3.6	A	5.4	23.39
A2	4.5	3.5	2.5	B	4.3	18.73
A3	7	4.5	1.8	A×B	13	57.88

また要因効果図を図4に示す。

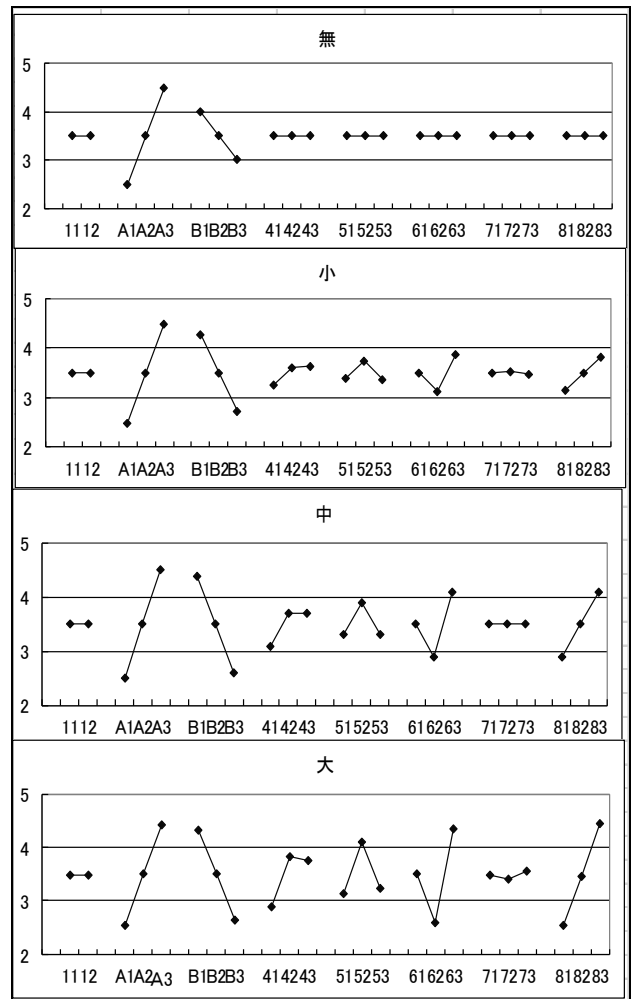


図4 因子A B の他列への交絡状況

図4 から他列(1,4,5,6,7,8)への交絡状況を確認

認できる.この交絡状況から,田口・宮川の記載とは異なった印象を受ける.(大)の8列は割り付け列(A)より大きい.

他因子間に交絡があると,割付け列の位置の選択で要因効果の傾向が変化すると想定できる.図4は2因子間ABの交絡であるが,実際に5因子ABCDEのOTL回路の数値式最適化でこの列位置の依存性を確認する.以下4節に示す.

4. 多因子間の交絡と要因効果

研究対象とするOTL回路は,Subir Ghosh^[7]の第11章に記載されている.本章は,Wu,Mao,Maが担当しており,ばらつき低減をOTL回路で検証している.図5にOTL回路を示す.

図5では外部の直流電源と交流波入力を省略し, $V_{be1}=V_{be3}=0.65V, V_{be2}=0.74V, E_c=12V$ と固定している.数値解析(CAEシミュレーションに該当)のモデルとし使用する.目標は V_m で6Vする.

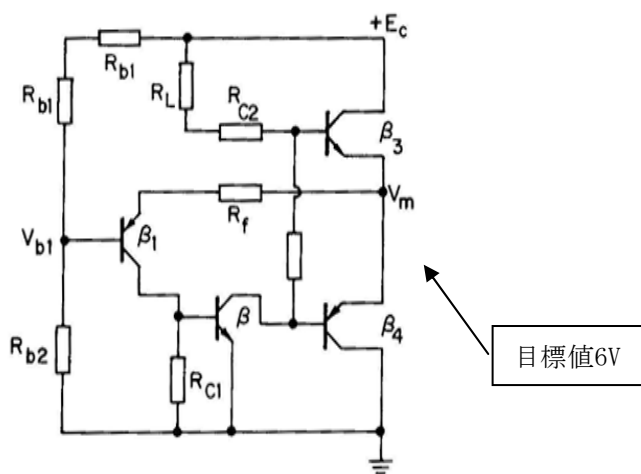


図5 OTL回路と目標値[6V]

4.1.OTL回路の関係式と因子^[8]

図3のOTL回路の V_m を目標値6Vのとし構成因子(素子)の関係式を下記に示す.

$$V_m = (V_{b1} + V_{be1}) \frac{\beta R_0}{\beta R_0 + R_f} + (E_c - V_{be3}) \frac{R_f}{\beta R_0 + R_f} + \frac{V_{be2} R_f \beta R_0}{(\beta R_0 + R_f)^2} \quad (2)$$

$R_{b1}, R_{b2}, R_f, R_{c1}, R_{c2}$ を抵抗, β を増幅率とする.この時の定数関係を以下に示す.

$$V_{b1} = E_c \cdot R_{b2} / (R_{b1} + R_{b2}); R_c = R_{c2} + R_L$$

$$V_{be1} = V_{be3} = 0.65V, V_{be2} = 0.74V, E_c = 12V$$

素子の設計範囲を下記の表4のようにする.

表4 OTL回路の5因子

因子	A: R_{b2}/R_{b1}	B: R_f	C: R_{c2}	D: R_{c1}	E: β	
水準	1	0.215	1	120.00	1	14
	2	0.600	2	1200.00	2	140
	3	1.000	3	12000.00	3	1400

4.2.L₁₈への割り付け列の位置

表4の5因子ABCDEの配列位置を示す.

① : 23456 ② : 24567 ③ : 25678

④ : 34567 ⑤ : 35678 ⑥ : 45678

結果を表5に示す.要因効果を図4に示す.

表5 5因子ABCDEの配列位置

No	ABCDEのL ₁₈ への配列					
	23456	24567	25678	34567	35678	45678
	①	②	③	④	⑤	⑥
1	26.60	26.60	26.60	26.60	26.60	26.59
2	26.58	26.58	26.58	27.54	27.54	27.54
3	26.33	26.33	26.33	28.81	28.81	28.81
4	27.11	26.83	26.86	25.68	25.73	25.73
5	26.86	27.16	20.13	27.16	20.13	20.13
6	20.13	22.57	27.11	22.69	28.68	28.68
7	28.79	30.05	28.45	26.44	25.67	26.83
8	29.01	19.59	34.76	19.37	32.46	34.76
9	35.08	28.48	20.34	28.48	20.34	19.75
10	25.54	22.10	31.30	22.10	31.30	34.34
11	22.07	25.59	25.54	26.78	26.75	25.54
12	31.30	23.61	22.07	26.47	25.04	23.95
13	27.09	23.81	32.79	21.91	29.63	32.79
14	23.83	48.69	27.29	48.69	27.29	28.79
15	25.17	26.79	27.55	28.42	29.01	26.58
16	28.45	35.56	24.92	30.03	21.93	24.92
17	34.76	28.79	26.25	27.29	25.17	23.37
18	20.34	28.97	28.67	28.97	28.67	27.09

図6の①-⑥を比較すると要因傾向が異なり,CEは同じだがABDで最良水準が異なる.

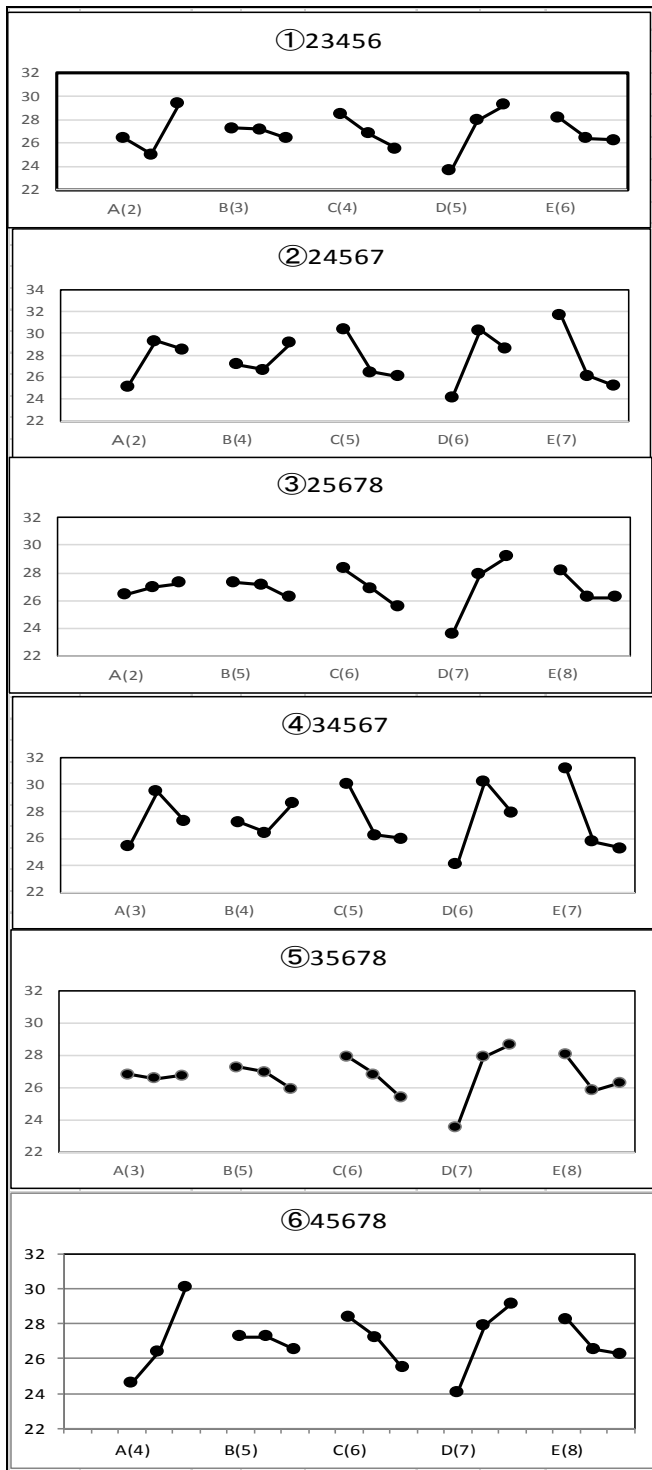


図6 5因子ABCDEの配列位置と要因効果

5.結果とまとめ

田口の「3水準の交互作用は,残りの3水準の列に少しずつ部分的に交絡する」(以上原文),宮川の「交互作用は求めないものの,交互作用の存在が主効果の推定にバイアスを与えることを避けたい」というResolutionIVの配置を近似的に実現するものになっている」(以上原文)

設計現場では,上記内容が成立していないように思える.

1 : 2因子間の交互作用の他列への交絡

L_{18} の因子ABを2・3列に割り付けの交互作用を大きくすると空き列の効果も大きくなり,ついには空き列効果が最大になった.→図4

2 : 要因効果の割付列の依存性

OTL回路の数値例(5因子)シミュレーションで列配置を変更して6組の最適化を実施した.6組ごとに要因効果の傾向が異なり,3因子の最良水準が異なっていた. →図6

6.今後の活動

再現性に関する62%問題^[9]の解決を目指しながらノイズ N_1N_2 の反転問題と最適違い,因子間の交絡問題を回避する方法をグローバルに問いながら,数学的視点からも適切とされる工学的な設計手段を構築したい.

参照文献

- [1]田口:(1976) “第3版:実験計画法” 丸善
- [2]宮川:(2000) “品質を獲得する技術” 日科技連
- [3]大野(2017) ” SMTコネクタの全体最適化FQES2017 No1
- [4]杉山他 (2014) “統計モデルによるホストブリッジのロバストパラメータ設計” QES2014No42
- [5]渡辺義晴 (2013) “はじめてのパラメータ設計” 日科技連
- [6]貞松他(2018) “制御因子の交互作用が要因効果に「与える影響の検証” FQES2018” No34
- [7]JeffWu:Subir Ghosh(1990):[Statistical Design and Analysis of Industrial Experiments] Marcel DEKKER,Inc(USA)
- [8]富島他(2018) “OTL回路における L_{18} のSN比の最適条件列依存性の調査 “FQES2018” No79
- [9] Teruo MORI (2018): “The 62% Problems of SN Ratio and New Conference Matrix for Optimization :To Reduce Experiments and Increase Reliability for Optimizations.”, Proceeding of the pacific Rim Statistical Conference in Korea for Production Engineering 15-20 (Springer)