

# ロバスト設計の第一段階:SN比の最大条件の予測(再現性)精度と62%問題

森技術事務所 森輝雄\*

## 1. はじめに

未然防止も可能とする設計手段として田口により提案された2段階設計がある。この2段階設計は、出力が目標近傍にあるときに静特性の望目特性、または動特性の実験結果からばらつき指標のSN比と平均値指標の感度を計算し、安定性を向上させてから目標値に一致させる方法である。実験の効率化のために直交表の全列に制御因子を割りつけることを前提とし更に制御因子間の交互作用を事前消去するために下記3点を実施することが推奨されていた。

- 1:混合型直交表の採用
- 2:実験生値に対する数値変換の適用
- 3:スライド水準の採用

## 2. 最適条件の確認値からみた現状設計の完成度 1.2.5.6)

仮に再現性が悪くとも、要因効果図から得られた最適条件(b)が直交表内の最良値(a)以上の結果であれば、技術研究に直交表を十分採用できる。そこで直交表実験内のSN比の最良値(a)と要因効果図からの最適条件の確認実験結果(b)との大小関係を比較調査し表1に示す。調査対象はQES2003-2012<sup>1)</sup>である。

2段階設計の第1段階は、SN比の要因効果図からばらつきを最少にする水準組み合わせを選択し確認する。その確認値(b)とSN比の直交表内の最高値(a)を比較した。その結果(a>b)が62%存在しておりSN比が設計として適当ではないと判断できる。この結論に至るデータベースの公開<sup>2)</sup>と原因解析を以下に報告する。

表1 直交表の最良値(a)以下の最適確認値(b)数

データ	望目:動特性:望小		望目:動特性		望目:動特性	
	L <sub>9</sub> -L <sub>18</sub> -L <sub>27</sub> -L <sub>36</sub>		L <sub>9</sub> -L <sub>18</sub> -L <sub>27</sub> -L <sub>36</sub>		L <sub>18</sub>	
直交表OA	全体数	a>b数	全体数	a>b数	全体数	a>b数
QES						
2003	22	12	21	11	21	11
2004	22	18	21	17	20	17
2005	23	11	22	11	24	11
2006	33	24	33	24	32	24
2007	14	9	12	8	11	8
2008	20	9	17	8	16	7
2009	7	6	7	6	7	6
2010	15	8	14	7	14	7
2011	9	6	7	5	7	5
2012	6	3	4	1	4	1
合計	171	106	158	98	156	97
%	100	62.0	100	62.0	100	62.2

表中のOAは、直交表を意味する。

## 2.1. 対象とした直交表実験:

QES2000-2012の2段階設計でSN比の記載がある(表1右)156事例を対象とした。その結果、SN比の59事例の最適条件(b)は直交表内の最良値(a)以上であったが、97事例は直交表の最良値(a)以下であることが判明した。実にSN比の要因効果図からの最適条件(b)は、3事例に2事例が直交表の最良値(a)以下となっていた。

## 2.2. 調査結果と安全なリスク回避方法

現状の2段階設計の完成度を再現性と最適条件との観点から調査した。その結果、1節の1.2.3を実践しても因子間の交互作用が十分に消去できないために再現性が悪く、その要因効果図からの最適条件(b)も直交表の最良値(a)を超えた(a<b)のは38%であり、(a>b)が62%<sup>3,4)</sup>は、全ての技術者を失望させる結果であった。

このような完成度の低い2段階設計を技術研究に適用するなら何らかのリスク回避と安全な方法を併用する必要がある。とりあえずは、直交表内の最良条件(a)と要因効果図を比較しながら固有技術の知見を加味し次の実験計画を立案するほうが真の最適条件に近い結果が得られる。

## 2.3. 代表的な直交表最良値aと確認値bとの分布

図1に代表的な直交表最良値(a)と確認値(b)との分類を示す。図1の横軸は感度(db)で縦軸はSN比(db)である。青黒(小)丸は、L<sub>18</sub>実験のSN比であり、赤(大)丸は、SN比の要因効果図から選択された最適条件の確認値(b)を示す。このとき(a)は、L<sub>18</sub>の最良値である。

左図は、(a<b)となる分布図で(b)SN比の最大値となっている。感度に対しSN比は線形傾向が強い。右側は、(a>b)となる分布図で(b)はL<sub>18</sub>の18個の中にある。その分布は面状、または台形状に近い。この分布形状は、因子間の交互作用が強いためと想定できる。

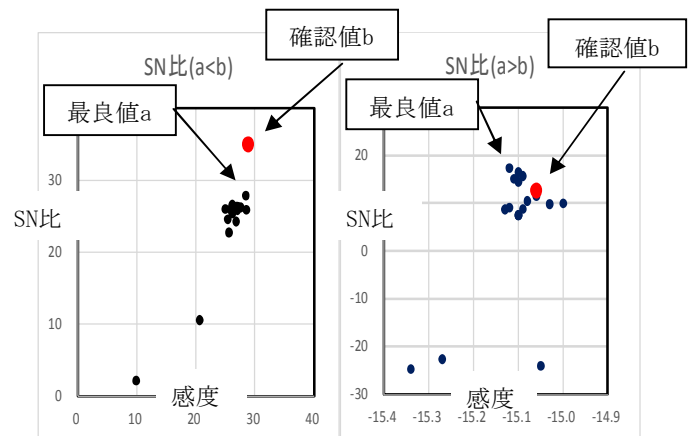


図1 直交表最良値aと確認値bとの比較

### 3. データベースの選定⇒表2 [データベース]

2014年に研究課題したため QES2003-2012の事例を対象とした。実験値全数のSN比と最適確認値が記載された事例を選択した。直交表は、L<sub>9</sub>, L<sub>18</sub>, L<sub>27</sub>, L<sub>36</sub>とした。この集計<sup>1,4,7)</sup>表1の左に、望小除外を中に、L<sub>18</sub>単独を右に示した。QESの年度、実施者、分類、直交表(OA)、課題名、L<sub>18</sub>のSN比の最良値(a)、SN比の要因効果の最大値の水準組合せの確認値(b)とした。差=(b-a)とし、(a<b)なら[\*]とし(a>b)なら確認値の順位を記した。

表2 データベース：QES2003-2012

QES2003						a:SN比	b:SN比	差	b順位
No	実施者	名前	OA	課題	解析	最良値	確認値	b-a	*a<b
14	リコー	現象条件	L18	-ポテンシ	動特性	-15.32	-19.7	-4.38	5
18	リコー	感光紙	L18	ノースケ	動特性	42.25	43.87	1.62	*
24	オリエント	モータ	L18	移動量-時間	動特性	128.55	128.36	-0.19	4
25	タカノ	PP樹脂	L18	しみみ-荷	動特性	-12.57	-10.32	2.245	*
26	アルプス	CAE接点	L18	力-回転	動特性	23.2	23.48	0.28	*
28	タカノ	CAE接点門扉	L18	角度-荷重	動特性	14.56	15.08	0.52	*
31	富士	CAE搬送	L18	位置-たわみ	動特性	21.08	14.07	-7.01	10
34	リコー	CAE搬送	L18	ずれ量	望目	11.836	11.836	0	1
41	新電元	半導体	L18	電流-電圧	動特性	26.99	29.94	2.95	*
48	アイシン	焼結	L18	厚-充填率	標準SN	9.04	8.53	-0.51	3
50	リコー	樹脂延伸	L18	角度-位置	動特性	11.98	9.01	-2.97	5
67	オリエンタル	モータ	L18	電圧-電流	動特性	-5.55	-11.83	-6.28	8
69	マツダ	溶接	L18	荷重-変位	動特性	20.96	30.54	9.58	*
78	いすゞ	穴加工	L18	電力-時間	動特性	15.11	17.89	2.78	*
83	いすゞ	金属加工	L18	応力	動特性	31.71	29.99	-1.72	3
84	エプソン	研削	L18	除去量-時間	動特性	9.85	7.91	-1.94	2
87	森精機	CAEエア	L18	流速-流量	動特性	-18.16	-18.229	-0.07	3
88	みつば	静電塗装	L18	風圧-風速	動特性	51.28	51.425	0.145	*
102	松浦	画像計測	L18	位置決め	動特性	19.666	20.559	0.893	*
QES2004						a:SN比	b:SN比	差	b順位
No	実施者	名前	OA	課題	解析	最良値	確認値	b-a	*a<b
4	リコー	CAE塗装	L18	流速	標準SN	66.3	66.3	0	1
6	三つ葉	CAE塗装	L18	圧	標準SN	43.304	39.05	-4.25	8
13	IHI	メッキ	L18	めっき重量	動特性	28.66	24.21	-4.45	2
15	東海理化	塗装	L18	塗装重量	動特性	16.2	16	-0.2	2
16	三つ葉	静電塗装	L18	膜厚	動特性	28.1	27.7	-0.4	2
18	テラル	粉黛塗装	L18	電圧-時間	動特性	25.2	17	-8.2	6
19	アルプス	半田	L18	マンハッタ	動特性	76.34	74.46	-1.88	6
24	森精機	クランプ	L18	締め付け	望目	11.45	11.45	0	1
25	森精機	MCラムヘッド	L18	移動量	動特性	58.99	61	2.01	1
33	東海理化	ドリル加工	L18	電力-加工	動特性	28.05	26.28	-1.77	4
34	リコー	切削加工	L18	電力-加工	動特性	21.87	17.9	-3.97	9
37	富山高専	切削加工	L18	電力-時間	動特性	9.9	9.86	-0.04	2
60	日産	ステアリング	L18	速度-トルク	動特性	38.03	36.18	-1.85	2
61	積水	樹脂成型	L18	安定度-時間	動特性	39.95	38.01	-1.94	7
62	リコー	鋳造	L18	転写性	動特性	-1.88	-0.0021	1.878	*
70	サンアロイ	鍛造	L18	化学反応	動特性	-0.86	-0.575	0.285	*
73	ゼロックス	現像	L18	電圧-トナ	標準SN	41.65	42.37	0.72	*
QES2005						a:SN比	b:SN比	差	b順位
No	実施者	名前	OA	課題	解析	最良値	確認値	b-a	*a<b
12	アルプス	MOSアン	L18	オペアンプ	動特性	71.17	71.74	0.57	*
16	アルプス	CAE高周波	L18	部品	動特性	63.3	59.17	-4.13	3
20	積水	製造	L18	粒径	動特性	54.37	54.94	0.57	*
21	東亜合成	塗膜	L18	重-押し込	動特性	28.5	28.85	0.35	*
22	積水	成形	L18	肉厚-時間	動特性	56.3	56.6	0.3	*
23	みつば	金属加工	L18	層-位置	動特性	33.52	23.64	-9.88	16
24	東海理化	M&加工	L18	CAE	望小	8.08	9.64	1.56	*
26	日精	CAE成形	L18	型締	望目	-18.56	-17.66	0.9	*
27	旭化成	人口腎臓	L18	ウジン	望目	21.54	21.01	-0.53	3
31	日精	成形	L18	重量-時間	動特性	21.39	18.44	-2.95	7
65	積水	接着	L18	時間-粘着	動特性	28.85	28.86	0.01	*
66	東亜合成	コンクリート	L18	強度-強度	動特性	36.66	38.86	2.2	*
67	三菱	モータ	L18	騒音	望目	24.76	17.6	-7.16	10
86	三菱	モータ	L18	騒音	望目	3.8	0.79	-3.01	3
93	リコー	軸受	L18	圧接	標準SN	-3.8	-3.2	0.6	*
95	リコー	切削	L18	電力-重量	動特性	50.75	51.84	1.09	*
97	群馬センター	鋳造	L18	転写性	動特性	19.94	23.4	3.46	*
99	ノリタケ	切断	L18	電力-切削	動特性	11.6	1.23	-10.4	7
101	マツダ	洗浄	L18	ブラシ	動特性	38.17	34.27	-3.9	2
109	リコー	粉黛塗装	L18	位置-時間	動特性	27.73	26.57	-1.16	3
					動特性	4.651	4.885	0.234	*
					動特性	4.903	4.797	-0.11	2
					動特性	24.37	24.21	-0.16	2
					動特性	41.38	43.65	2.27	*

QES2006						a:SN比	b:SN比	差	b順位
No	実施者	名前	OA	課題	解析	最良値	確認値	b-a	*a<b
14	三菱	直交歯車	L18	歯車	標準SN	40.12	39.36	-0.76	2
15	群馬	振動	L18	固有振動	動特性	9.54	9.3	-0.24	2
17	CAE	AEナット形	L18	応力	動特性	-26.36	-28.99	-2.63	6
18	丸山	送風機	L18	送風	望目	12.5	19.9	7.4	*
19	三菱	放電加工	L18	形状	標準SN	80.3	79.8	-0.5	3
23	いすゞ	風速	L18	凝縮機	標準SN	11.74	9.95	-1.79	4
24	アルプス	レーザー融	L18	溶着	動特性	-33.66	-35.87	-2.21	7
25	積水	管溶接	L18	アーク溶接	動特性	-19.47	-20.18	-0.71	3
29	静岡	接着-アル	L18	エポキシ	動特性	15.76	7.9	-7.86	3
30	静岡	接着-銅	L18	エポキシ	動特性	7.09	5	-2.09	3
31	静岡	超音波	L18	接合	動特性	4.52	0.74	-3.78	3
33	NEC	熱圧着	L12	力-変位	動特性	21.9	21.2	-0.7	2
40	日精	摺動	L18	電力-荷重	動特性	9.82	9.78	-0.04	2
51	アルパイン	サーボ機構	L18	応答波形	標準SN	100.21	100.54	0.33	*
58	マツダ	形スブライ	L18	充填率	標準SN	103.77	103.93	0.16	*
59	いすゞ	溶接-応力	L18	荷重-応力	動特性	4.67	-2.69	-7.36	6
85	サンアロイ	合金被膜	L18	荷重-圧縮	動特性	-5.26	-8.1	-2.84	2
88	リコー	溶射	L18	体積-質量	動特性	32.35	31.4	-0.95	2
89	アルパイン	ねじ締め	L18	トルク-回転角	動特性	36.4	35.3	-1.1	4
91	森精機	振れ止め	L18	変位-変位	望目	47.87	45.5	-2.37	2
92	いすゞ	衝突安全	L18	加速度	標準SN	32.46	22.34	-10.1	14
94	電機大学	電力加工	L18	電力-加工	動特性	-28.72	-27.616	1.101	*
95	新電元	ランプ振動	L18	電力-振動	動特性	42.83	42.95	0.12	*
114	花王	スラリー保	L18	動特性	22.84	18.78	-4.06	3	
119	日産	処方	L18	色変化	動特性	46.2	46.9	0.7	*
121	いすゞ	材料	L18	伸び-強度	標準SN	47.4	51.4	4	*
122	いすゞ	材料	L18	伸び-強度	動特性	8.29	25.59	17.3	*
124	アルプス	半導体	L18	エッチング	動特性	-13	-14.69	-1.69	2
125	三宝	豆腐	L18	粘度-時間	動特性	79.94	71.91	-8.03	2
					動特性	-0.81	-9.27	-8.46	7
					動特性	61.78	61.98	0.2	*
					動特性	-334	-0.449	333.6	2
QES2007						a:SN比	b:SN比	差	b順位
No	実施者	名前	OA	課題	解析	最良値	確認値	b-a	*a<b
11	静岡	超音波接合	L18	荷重	動特性	4.19	2.05	-2.14	2
15	リコー	加工	L18	重量-電力	動特性	12.76	12.26	-0.5	2
43	東亜合成	光接着	L18	接着	標準SN	-12.65	-15.29	-2.64	6
45	マツダ	鋳造	L18	荷重	動特性	35.6	35.6	0	1
47	アイメタル	鋳造	L18	均質	動特性	-37.47	-43.12	-5.65	4
48	東亜合成	樹脂	L18	変色	標準SN	15.66	12.65	-3.01	6
51	帯電気	電子写真	L9	帯電	標準SN	58.38	60.11	1.73	*
80	岩手大学	小型減速	L18	減速機	動特性	23.12	23.67	0.55	*
84	富山高専	金属疲労	L18	疲労	動特性	28.531	35.04	6.509	*
99	群馬センター	円筒成形	L18	3次元成形	動特性	57.79	61.2	3.41	*
102	日立金属	粉末冶金	L18	加圧成形	動特性	34.31	30.27	-4.04	8
					動特性	24.89	24.08	-0.81	6
QES2008						a:SN比	b:SN比	差	b順位
No	実施者	名前	OA	課題	解析	最良値	確認値	b-a	*a<b
3	アルプス	成形	L36	成形	動特性	77.19	78.18	0.99	*
7	アルプス	搬送	L18	搬送	動特性	0.00	0.00	0.00	2
12	アルパイン	計測	L18	測定	動特性	29.43	32	2.57	*
13	コニカ	計測	L18	計測	動特性	9.59	8.8	-0.79	3
19	富山高専	機械	L18	速度	動特性	66.02	66.85	0.83	*
31	鹿児島	レーザー	L18	溶解	動特性	10.45	17.57	7.12	*
37	群馬センター	CAD成形	L18	成形	望目	3.8128	2.79	-1.02	4
44	静岡	超音波接合	L18	接合	動特性	7.242	6.345	-0.9	4
45	アルパイン	半田	L18	抵抗	動特性	2.58	-10.73	-13.3	19
46	静岡	接合	L18	エポキシ	動特性	11.59	11.63	0.04	*
48	アルプス	ダイボンド	L18	接着	動特性	13.4	15.34	1.94	*
50	コニカ	搬送	L18	紙搬送	望目	29.09	27.68	-1.41	3
51	フジノ	CAE移動	L36	精度向上	動特性	34.59	31.76	-2.83	18
80	鹿児島高専	水コプター	L18	計測	動特性	19.3	22.81	3.51	*
90	花王	計測	L18	均一化	動特性	23.48	24.53	1.05	*
93	静岡	防水	L18	防水	動特性	7.33	8.77	1.44	*
147	ニコン	冷却	L18	風速	動特性	13.29	11.48	-1.81	2

QES2009						a:SN比	b:SN比	差	b順位
No	実施者	名前	OA	課題	解析	最良値	確認値	b-a	*:a<b
11	静岡	接合	L18	エポキシ	動特性	2.17	12.08	9.91	*
20	東亜合成	配合	L18	塗料	動特性	30.28	26.4	-3.88	2
24	三菱	ワイパー	L18	ワイパー	動特性	17.75	14.97	-2.78	13
64	アイシン	コンプレッサ	L18	コンプレ	動特性	15.3	14.55	-0.75	4
87	東亜合成	半導体	L18	樹脂	動特性	-19.9	-23.5	-3.6	2
92	群馬センター	成形	L18	成形	動特性	13.13	12.92	-0.21	2
93	市光	成形	L18	成形	動特性	19.03	19.03	0	1
QES2010						a:SN比	b:SN比	差	b順位
No	実施者	名前	OA	課題	解析	最良値	確認値	b-a	*:a<b
8	マツダ	溶接	L18	電流	動特性	41.84	42.06	0.22	*
16	三菱	制御	L18	信号	動特性	48.82	49.75	0.93	*
						38.41	39.34	0.93	*
						25.26	25.81	0.55	*
31	静岡	接着	L18	強度	動特性	22.279	21.25	-1.03	2
32	静岡	接着	L18	強度	動特性	17.59	2.87	-14.7	5
33	静岡	接着	L18	強度	動特性	9.33	4.7	-4.63	3
42	サンアロイ	粉末	L18	反応	動特性	36.67	35.87	-0.8	2
50	群馬	樹脂成形	L18	成形	望目	18.74	18.74	0	1
55	マツダ	組み立て	L18	精度	動特性	-8.71	-6.74	1.97	*
58	富山高専	発光体	L18	発光	動特性	82.1	81.76	-0.34	2
67	アルプス	ブラケット	L18	強度	動特性	-27.1	-26.89	0.21	*
79	アルプス	試験器具	L18	計測	動特性	-12.3	-14.4	-2.1	2
90	富山高専	発光体	L18	発光	動特性	47.88	48.56	0.68	*
QES2011						a:SN比	b:SN比	差	b順位
No	実施者	名前	OA	課題	解析	最良値	確認値	b-a	*:a<b
21	キャンノ	排紙搬送	L18	搬送	動特性	57.5	57.16	-0.34	3
29	コニカ	プラスト	L18	プラスト	望目	23.3	22.44	-0.86	6
77	富山高専	流体変換	L18	流体	動特性	40.6	41.697	1.097	*
84	コニカ	前処理	L18	計測	動特性	9.68	14.43	4.75	*
87	東亜合成	塗料	L18	有害物	動特性	25.4	25.2	-0.2	2
88	丸山	ポンプ	L18	排水量	動特性	17.3	16.97	-0.33	3
96	リコー	塗装	L18	膜厚	動特性	10.01	0.59	-9.42	9
QES2012						a:SN比	b:SN比	差	b順位
No	実施者	名前	OA	課題	解析	最良値	確認値	b-a	*:a<b
34	キャンノ	搬送CST	L18	搬送	望目	26.68	16.16	-10.5	18
					基準SN	35.75	36.03	0.28	*
46	富山高専	発光体	L18	発光	動特性	30.77	33.7	2.93	*
88	コニカ	塑性加工	L18	光透過	動特性	-28.17	-25.75	2.42	*

#### 4. (a>b) (a>b)の差異MT解析と歪度・尖度

S N比の確認値(b)が最良値(a)を超えない原因を解析するためにMT解析をした。正常集団(a<b)を自己診断でMDが4以上の事例を外し、不足分を1996, 2014から2例ずつ補充(表4-1)し12個とした。29個の(a>b)群から最悪の9個選択し異常集団(表5-1)とした。これを表3に示す。基準化した並べ替えた18個のデータ(表4-2, 表5-2)から歪度・尖度を求め図2に示す。

表3 MT解析

QES	正常集団(a<b)	異常集団(a>b)	合計
1996	2	2	4
2004	1	12	13
2006	2	10	12
2008	5	5	10
2014	2	0	2
総和	12	29	41

表4-1 正常集団:(a<b)(1-12)

No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
QES	2008	2008	2006	2004	2004	1996	2004	2014	2014	2006	2004	2008
No	80	48	95	24	22	12	61	77	88	94	4	90
1	7.24	5.96	8.2	11.45	-11.92	0.50	-6.23	9.41	4.33	32.40	43.90	17.14
2	14.22	10.31	47.4	11.05	-11.05	-0.76	-8.70	15.67	10.01	38.20	51.00	17.95
3	13.05	13.4	43.3	10.41	-9.36	-3.15	-11.50	15.10	-2.26	42.00	38.90	23.48
4	14.73	6.92	42.9	11.45	-33.26	-6.44	-6.38	13.95	-1.39	38.90	38.00	20.76
5	8.78	10.88	23.2	11.05	-10.03	-5.03	-5.76	11.36	2.01	44.10	40.10	11.76
6	8.79	5.98	33.3	10.41	-10.34	2.11	-6.87	12.62	-0.84	35.20	61.50	19.09
7	15.90	-0.8	30.3	11.17	-32.04	-5.23	-5.22	8.09	16.09	42.30	55.00	20.92
8	16.30	-0.5	17	10.81	-13.58	-0.83	-3.66	10.33	-0.46	41.00	66.30	22.26
9	14.39	2.46	25.5	11.00	-10.22	2.90	-3.41	7.92	2.60	42.60	30.40	17.47
10	19.31	12.03	20.8	10.95	-20.32	-7.55	-14.40	15.34	6.18	46.20	47.40	14.15
11	16.66	10.9	30	11.32	-20.76	-13.16	-5.43	15.14	-0.26	41.00	35.30	19.71
12	12.49	10.57	40.1	10.70	-10.43	-1.43	-6.45	15.46	0.36	36.50	55.60	19.86
13	16.40	12.98	36.3	11.17	-31.31	-7.19	-6.55	14.22	0.81	44.00	52.10	17.69
14	12.61	3.4	34.1	10.81	-9.60	-12.36	-11.70	12.73	-2.88	43.70	58.10	20.47
15	12.77	9.01	6.8	11.00	-10.26	-4.40	-1.69	9.56	7.47	42.50	39.80	20.52
16	13.73	2.37	41.1	10.19	-20.50	-14.22	-10.80	7.23	6.31	43.40	62.70	17.96
17	10.13	7.93	25	11.32	-15.93	-4.62	-3.46	7.64	-2.03	39.60	36.80	18.80
18	14.30	4.1	13	10.70	-29.18	-0.50	-1.88	7.26	14.03	42.30	55.20	12.89
最適	22.81	15.34	21.90	11.45	-8.89	4.16	-0.02	16.59	25.00	46.90	66.30	26.25
平均10	13.82	7.51	29.86	10.97	-14.51	-3.91	-6.33	11.74	2.10	41.56	47.90	18.95
標準10	1.10	2.68	6.20	0.16	4.50	2.29	1.49	2.35	2.69	1.42	6.78	1.15

表4-2 基準化:(a<b)正常集団:(a<b)(1-12)

No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
QES	2008	2008	2006	2004	2004	1996	2004	2014	2014	2006	2004	2008
No	80	48	95	24	22	12	61	77	88	94	4	90
1	-6.01	-3.10	-3.72	-4.98	-4.17	-4.51	-5.42	-1.92	-1.85	-6.44	-2.58	-6.23
2	-4.60	-2.99	-3.50	-3.59	-3.89	-4.05	-3.61	-1.90	-1.62	-4.47	-1.86	-5.25
3	-4.59	-1.92	-2.72	-3.59	-3.73	-3.70	-3.48	-1.74	-1.54	-3.56	-1.64	-4.16
4	-3.37	-1.88	-2.08	-1.74	-3.26	-1.59	-3.00	-1.62	-1.30	-2.86	-1.46	-1.57
5	-1.21	-1.53	-1.46	-1.73	-1.39	-1.44	-1.59	-1.55	-1.09	-1.37	-1.33	-1.28
6	-1.10	-1.27	-1.08	-1.03	-1.33	-1.11	-1.43	-0.99	-0.95	-1.38	-1.19	-1.09
7	-0.95	-0.58	-0.78	-1.03	-1.29	-0.58	-0.37	-0.93	-0.88	-0.39	-1.15	-0.87
8	-0.70	-0.57	-0.70	-0.14	-0.32	-0.49	-0.15	-0.60	-0.65	-0.39	-0.59	-0.86
9	-0.08	-0.22	0.02	0.18	0.21	-0.31	-0.04	-0.16	-0.48	0.31	-0.07	-0.13
10	0.37	0.16	0.07	0.18	0.58	-0.22	0.06	0.38	-0.03	0.52	0.46	0.12
11	0.44	0.56	0.56	0.51	0.77	0.33	0.38	0.42	0.18	0.52	0.62	0.66
12	0.52	1.05	0.68	0.51	0.91	1.09	0.60	0.94	0.83	0.66	1.05	0.79
13	0.83	1.14	1.04	1.28	0.93	1.35	0.74	1.06	1.52	0.73	1.08	1.32
14	1.90	1.26	1.65	1.28	0.94	1.38	1.79	1.43	1.56	1.29	1.14	1.36
15	2.26	1.27	1.81	2.28	0.95	1.49	1.92	1.45	2.00	1.51	1.50	1.57
16	2.36	1.69	2.10	2.28	1.00	1.93	1.96	1.53	2.94	1.72	2.01	1.71
17	2.59	2.04	2.17	3.10	1.09	2.63	2.98	1.58	4.44	1.79	2.18	2.87
18	5.01	2.20	2.83	3.10	1.14	2.98	3.11	1.67	5.20	3.26	2.71	3.92
MD1-10	0.98	0.98	1.10	1.08	1.09	0.99	0.87	0.86	1.10	1.06	1.05	0.84
MD9-18	1.04	0.78	1.09	1.09	0.68	1.00	1.10	1.05	1.08	0.95	1.10	1.04
歪度	-0.37	-0.34	-0.34	-0.49	-0.89	-0.55	-0.56	-0.10	1.04	-0.98	0.05	-0.78
尖度	-0.12	-1.04	-0.85	-0.35	-0.78	-0.39	-0.29	-1.69	0.25	0.68	-1.22	0.40

表5-1 異常集団:(a>b)(33-41)

No	33	34	35	36	37	38	39	40	41
QES	2008	2004	2004	2006	2006	2004	2008	2004	2006
No	37.00	19.00	18.00	58.00	24.00	6.00	45.00	65.00	89.00
1	<b>2.80</b>	<b>74.59</b>	5.20	-4.07	<b>-35.02</b>	36.59	-44.76	<b>52.37</b>	<b>25.95</b>
2	2.54	65.95	15.40	<b>1.93</b>	<b>-35.27</b>	<b>42.80</b>	-20.59	<b>52.20</b>	<b>29.50</b>
3	2.16	70.14	8.30	-9.72	<b>-35.24</b>	<b>43.13</b>	<b>1.58</b>	<b>50.63</b>	20.27
4	2.40	<b>74.73</b>	6.90	-9.24	-40.96	37.28	-18.43	<b>48.56</b>	<b>24.96</b>
5	<b>3.81</b>	65.79	<b>24.60</b>	-11.20	<b>-33.66</b>	<b>43.30</b>	<b>-6.11</b>	<b>51.67</b>	<b>24.43</b>
6	2.61	68.10	-4.20	-10.04	-36.33	34.93	<b>-6.73</b>	44.04	<b>26.23</b>
7	<b>3.09</b>	56.38	<b>23.10</b>	-6.04	-38.43	38.72	<b>-4.20</b>	<b>48.27</b>	<b>24.68</b>
8	2.17	59.52	4.50	-11.07	-46.57	35.68	-10.91	<b>48.87</b>	<b>22.65</b>
9	2.09	<b>74.70</b>	6.40	-3.19	-37.39	37.50	<b>2.58</b>	<b>48.09</b>	<b>25.79</b>
10	2.12	72.58	12.40	-9.30	-37.03	34.56	-12.72	<b>49.12</b>	<b>24.76</b>
11	<b>2.95</b>	66.38	<b>18.20</b>	-14.16	-36.48	<b>41.50</b>	<b>-5.34</b>	41.88	20.69
12	-1.34	<b>76.34</b>	<b>20.80</b>	-17.25	<b>-35.17</b>	37.22	-28.01	<b>52.72</b>	16.23
13	0.04	73.42	10.70	-9.73	<b>-35.66</b>	<b>40.22</b>	-14.65	<b>49.84</b>	<b>28.24</b>
14	-0.29	63.84	13.10	<b>-0.68</b>	<b>-35.44</b>	33.35	<b>-9.96</b>	<b>49.24</b>	<b>32.46</b>
15	2.68	76.05	16.30	<b>0.16</b>	-37.98	<b>39.33</b>	<b>-7.78</b>	44.97	21.49
16	2.78	48.77	-1.60	<b>-1.00</b>	-36.30	37.66	<b>-6.94</b>	44.50	<b>28.71</b>
17	-1.44	66.63	<b>25.20</b>	-15.04	-36.86	38.45	<b>1.87</b>	47.36	<b>24.71</b>
18	2.46	69.76	-0.90	<b>4.67</b>	-43.30	<b>40.54</b>	-17.46	38.21	20.75
最適	2.79	74.46	17.00	-2.69	-35.87	39.05	-10.73	47.82	22.34
平均10	1.7253	67.705	12.96	-9.266	-37.216	37.6977			

表 5-2 基準化：異常空間：(33-41) (a>b)

No	33	34	35	36	37	38	39	40	41
QES	2008	2004	2004	2006	2006	2004	2008	2004	2006
No	37.00	19.00	18.00	58.00	24.00	6.00	45.00	65.00	89.00
1	-15.22	-6.26	-3.43	-2.84	-11.62	-3.74	-8.63	-6.74	-5.65
2	-14.83	-3.94	-2.85	-2.20	-7.85	-2.84	-4.49	-4.33	-2.91
3	-10.67	-2.99	-2.70	-1.95	-5.16	-2.56	-2.65	-2.91	-2.63
4	-9.36	-1.67	-1.50	-1.10	-2.25	-2.00	-2.12	-2.61	-2.59
5	-1.23	-1.08	-1.35	-1.07	-1.73	-1.32	-1.88	-2.30	-2.09
6	-1.13	-1.03	-1.08	-0.77	-1.05	-0.84	-1.18	-0.73	-1.30
7	-0.96	-0.90	-0.97	-0.68	-0.64	-0.80	-0.71	-0.25	-0.09
8	-0.90	-0.82	-0.66	-0.68	-0.44	-0.64	-0.26	-0.13	0.08
9	0.01	-0.38	-0.13	-0.56	-0.01	-0.51	-0.02	0.06	0.10
10	0.24	0.13	0.25	-0.54	0.17	0.08	0.51	0.26	0.13
11	0.56	0.25	0.40	0.37	0.20	0.27	0.72	0.42	0.27
12	0.81	0.99	0.91	0.94	0.94	0.73	0.77	0.50	0.83
13	1.09	1.24	1.11	1.19	1.19	1.40	0.93	0.76	0.94
14	1.51	1.60	1.53	1.81	1.39	1.64	1.12	1.41	1.13
15	1.59	1.63	2.10	1.91	1.42	2.35	1.40	2.10	2.49
16	2.17	1.64	2.61	2.15	1.50	3.33	2.83	2.45	2.81
17	2.73	2.04	2.95	2.65	1.67	3.58	2.90	2.56	3.35
18	5.60	2.13	3.08	3.44	3.24	3.71	3.08	2.79	5.36
MD1-10	160.45	8.81	0.99	3.30	55.21	5.85	52.72	41.44	4.56
MD9-18	5.35	2.44	4.01	13.09	7.18	14.03	18.46	18.71	13.20
歪度	-1.32	-1.15	-0.06	0.25	-1.79	0.15	-1.43	-1.00	-0.09
尖度	0.62	1.29	-0.94	-0.85	3.16	-0.81	2.90	0.85	0.39

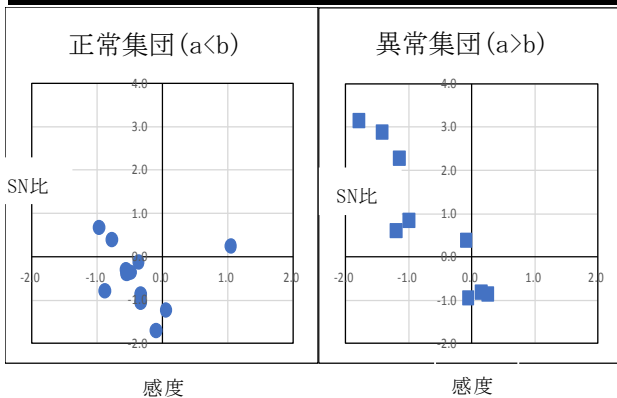


図2. 分布「左：正常集団●，右：異常集団■」

図2の左右の分布に違いがあり，[0, 0]原点に近いほど線形で，乖離すると交互作用が強いと想定できる。

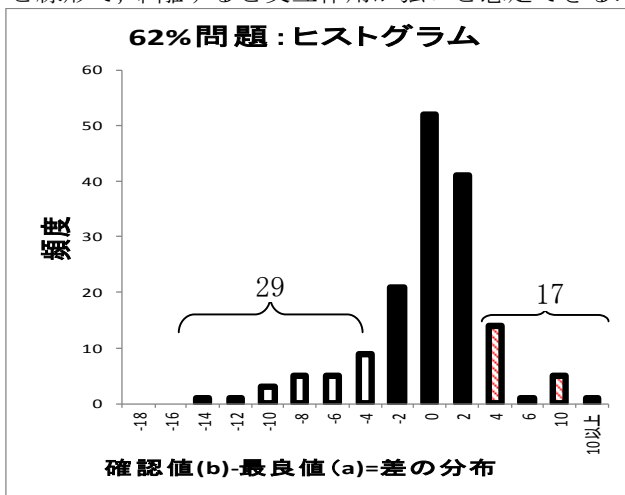


図3 確認値(b)と最良値(a)の差分布

### 5. 最良値aと確認値bの差異の原因解析

図2から  $L_{18}$  のデータ分布に違いがあった。その原因

を明らかにするために表1の右側156個の差の分布を図3に示す。差が4以上の17個，-4以下の29個の合計46個から技術分野を13分類し，想定した交互作用の大小比較を試みた。これを表6に示す。

表6 最良値aと確認値bの差異と交互作用

No	技術分類	差=確認b-最良a		差=確認b-最良a		交互作用
		2db以上	-4db以下	2db以上	-4db以下	
1	計測	4	0	8.7	0.0	小
2	機械機構	3	0	6.5	0.0	
3	光関係	2	0	4.3	0.0	
4	成型	3	4	6.5	8.7	中
5	接合	2	3	4.3	6.5	
6	金属	2	2	4.3	4.3	
7	電気	1	3	2.2	6.5	大
8	鍛造メッキ	0	2	0.0	4.3	
9	塗装	0	5	0.0	10.9	
10	化学材料	0	4	0.0	8.7	
11	はんだ	0	1	0.0	2.2	
12	移動体	0	2	0.0	4.3	
13	切削加工	0	3	0.0	6.5	
全体		46個(事例)		100%		

計測・機構関係の位置（寸法）研究は，線形が成立し交互作用が小さく(a<b)，また原子分子が関係する物性研究は交互作用が大きく(a>b)となると推察された。

### 6. まとめ

ロバスト設計の第一段階の要因効果図のSN比最大値を組み合わせた確認値(b)と直交表最良値(a)を比較した。その結果

- 1：集計結果：(a<b)が38%，(a>b)62%であった。
- 2：原因解析：歪度・尖度から交互作用が原因と判断
- 3：分布形状：線形から乖離すると(a>b)となる。

### 7. 今後の研究

SN比と感度を使用したロバスト設計は，最適条件の推定（再現性）精度はよくない。第1段階のSN比最大化は困難が結論，第2段階は，調整工程の推定精度(PerMIA)を検証する。

### 参考文献

1. 森：「ロバスト設計のSN比で  $L_{18}$  最良値以下となる最適条件の原因探索解析」 QES (2015) No82
2. 森：「ロバスト設計で  $L_{18}$  の最良値以下となる最適条件のSN比分布解析」 QES (2015) No83
3. 森：トヨタ紡織技報 2014 vol08 p6-19
4. 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)
5. 森：「現場の  $L_{18}$  交絡問題と近似的リゾリューションIVの成立問題」 JSQC第117研究要旨 (2018)
6. 森：「事例解析にみる調合ノイズに対する反転応答の分布と原因調査」 JSQC 第 117 研究要旨 (2018)
7. 貞松：62%問題データベース：静岡品質工学研究会 HP：http://www02.jet.ne.jp/~i-sada/