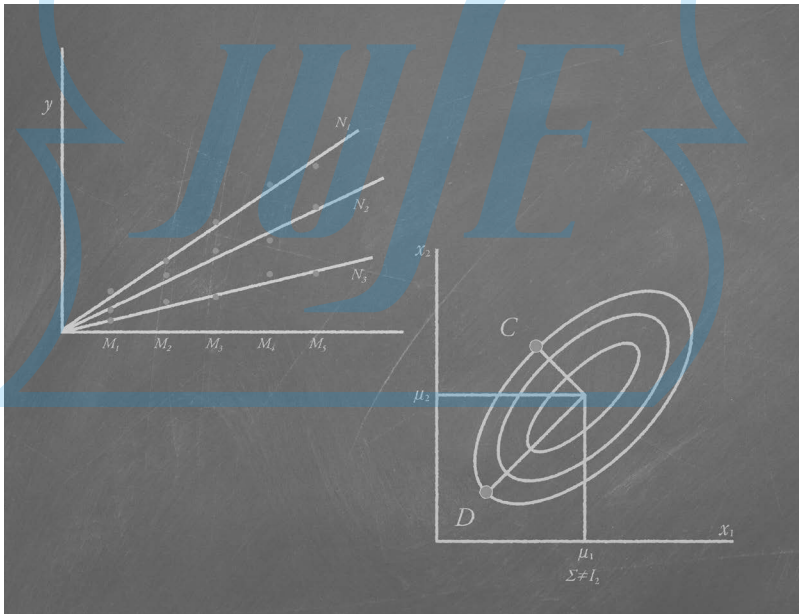


タグチメソッドの 探究 技術者の疑問に答える 100問100答

宮川雅巳・永田靖 [著]



日科技連

まえがき

田口玄一先生がお亡くなりになってから10年余りが経過しました。この間、(一社)品質工学会の地道な努力でタグチメソッドは確実に普及しています。

筆者は30年にわたり、製造業でタグチメソッドの指導をしてきました。その過程で、技術者からタグチメソッドに関するさまざまな質問を受けてきました。初歩的なものもありましたが、なかには学術論文のテーマになった問題提起もいただきました。田口先生は、手法の理屈や理論については詳しい説明はせずに、技術者が使いやすいような説明に専念されていました。それゆえ技術者からいくつかの疑問が出てきたのだと思います。そのようななかで、タグチメソッドに関する「100問100答」問答集のようなものがあれば便利だろうと感じるようになりました。

しかし、タグチメソッドは極めて多岐にわたり、これを一人で扱うのはとても無理だと半ば諦めていました。そこへ今回、早稲田大学教授の永田靖先生のご協力を得られることになったのです。永田先生は、ご高著『統計的品質管理』(朝倉書店)において、タグチメソッドの数理に関する話題を提供するとともに、MTシステムに関して多くの学術論文を発表されています。まさに「鬼に金棒」です。

本書では、狭義のタグチメソッドに限定せずに、田口先生の幅広い業績を対象にしています。田口先生の統計学者としての最高傑作である累積法や精密累積法を取り上げたのは、その現れです。

本書は全6章構成で、第1章「パラメータ設計」、第2章「SN比」、第3章「直交表」、第4章「MTシステム」、第5章「損失関数」、第6章「実験計画法全般」です。関連した質問は近くに配置しました。Q & AのAでは、問題の背景を十分に説明し、実験計画法に関する基礎知識があれば読めるようにしたつもりです。また、例や図を多用し、読者が理解しやすいように努めました。さらに、質問の難易度に応じて星印を付けたので(★：初級、★★：中級、★★★)

★★：上級), 参考にしてください。

本書がタグチメソッドのさらなる普及の一助になれば望外の喜びです。本書で想定している読者層は、製品設計あるいは生産技術に従事している技術者および品質保証部に所属している技術者です。日々生じる品質問題に悪戦苦闘しているこれらの方々にとって、タグチメソッドは天恵になると信じています。

これまで筆者にタグチメソッドを実践する機会を与えてくれた(株)不二越, (株)豊田自動織機, 富士フイルムビジネスイノベーション(株), (株)ブリヂストン, 日産自動車(株), サンデン(株), オムロン(株)の関係各位に感謝の意を表したいと思います。また、神戸大学教授の青木敏先生と東洋大学講師の大久保豪人先生には、草稿を校閲いただき、読者の視点から詳細なコメントをいただきました。本書が少しでも読みやすいものになっているとすれば、それは両先生のお陰です。図表の作成では、事務支援員の渡辺侑子さんの手を煩わせました。本書の出版に際しては日科技連出版社の鈴木兄宏氏、田中延志氏に大変お世話になりました。これらの方々に御礼申し上げます。

2021年12月

宮川 雅巳

本書の構成と読み方

第1章では、タグチメソッドの中核を担うパラメータ設計について述べています。まだパラメータ設計を経験したことのない方は、まず★印のQ & Aに目を通してみてください。パラメータ設計の手順書は既に数多く刊行されていますが、ここでは、例えば誤差因子の外側割付けの意味など、手順書では割愛されている内容を述べています。これらをもとにパラメータ設計に挑んでほしいと思います。パラメータ設計を習得することは、製品設計あるいは生産技術に携わるすべての技術者にとって必須事項だと考えています。また、パラメータ設計の社内講師、社内アドバイザーを務めている方は、★★★印のQ & Aをぜひご覧ください。これらすべての問いに答えられる方は少ないと思います。

第2章では、SN比を扱っています。SN比はともすれば天下りの与えられるので、ここでは、各種SN比の意味を十分に述べました。同時に、通常の統計的方法で使われる検定統計量の多くがSN比として捉えられることを示しました。また、SN比による解析が、誤差因子の影響を受けにくい制御因子の水準があるという交互作用に対して、検出力の高い指向性検定になっていることを、事例を通じて述べました。同時に生データに対するオーソドックスな分散分析を併用することの重要性も示唆しています。

第3章では、直交表について述べています。直交表実験の最適性を示した後、パラメータ設計で標準的に使われる L_{12} や L_{18} の基本的な性質を明らかにしています。 L_{18} 直交表は特性値の最大化を目指すFisher流実験計画法でも有用だと思います。また、和書ではほとんど取り上げられていないシャイニンメソッドによる不良部品探索法やカンファレンス行列を用いた3水準スクリーニング実験についても紹介しています。これらはいずれも実務で有用と考えています。

第4章では、MTシステムについて述べています。MTシステムを理解するには線形代数の知識が不可欠です。そこで最初に、必要最小限の線形代数をまとめました。MTシステムの代表的手法であるMT法では、基本統計量の算出に使った手元にあるサンプルの異常判定の閾値の求め方と、将来のサンプルの閾値の求め方をそれぞれ述べ、これらがいずれもカイ2乗分布にもとづかないことを強調しました。判別分析との違いや主成分分析との関係も明確にしました。さらに、MTシステムのなかでは比較的新しい手法であるRT法やT法についても、その計算原理を示すとともに、その改良法についても述べています。

第5章では、損失関数を取り上げました。損失関数と工程能力指数の関係を述べています。また、損失関数の最大の成果と考えられる、組立品や下位特性の部品の許容差の求め方を述べ、「交差配分は一般に誤り」という重要な結論を導いています。

第6章では、最終章として、実験計画法全般を論じています。統計学者としての田口玄一先生の最高傑作である累積法を、数値例を通して丁寧に説明しています。過度な工程調節によるハンティング現象やそれを防ぐための割引係数法についても述べています。また、入門書ではほとんど触れられていない、自由度の厳密な定義や、データが正規分布に従うとき平方和を母分散で割った量が自由度 $n - 1$ のカイ2乗分布に従うことの証明を与えています。さらに補助実験値があるときの一連の分析法を、田口先生が与えた解析指針にもとづき、実例を通して詳しく説明しています。

目次

まえがき	iii
本書の構成と読み方	v

第1章 パラメータ設計

Q.1★：制御因子、標示因子、誤差因子について説明してください。	1
Q.2★：交互作用について説明してください。	2
Q.3★：制御因子を割り付けた直交表の外側に誤差因子を割り付ける意味を教えてください。	4
Q.4★：望目特性に対する2段階設計法について教えてください。	6
Q.5★：SN比に効かずに平均に効く因子が見つからないときはどうすればよいですか。	6
Q.6★：望小特性、望大特性に対する2段階設計法を教えてください。	6
Q.7★：動特性に対する2段階設計法を教えてください。	9
Q.8★：Fisher流実験計画法とタグチ流実験計画法の違いを教えてください。	10
Q.9★★：パラメータ設計の基本原理である「非線形の応用」について教えてください。	11
Q.10★★★：制御因子が一つの場合のSN比の検定を教えてください。	12
Q.11★★★：システム選択、パラメータ設計、許容差設計で行う実験について教えてください。	14
Q.12★★★：チューニング法について教えてください。	15
Q.13★★★：パラメータ設計の計画段階で制御因子を選定するのは正しいですか。	18
Q.14★★★：基本機能と目的機能の違いを教えてください。	18
Q.15★★★：信号因子の水準数と誤差因子の水準数について教えてください。	19
Q.16★★★：機能窓法で機能窓因子の水準設定はどうすればよいですか。	20
Q.17★★★：機能窓法で計量値あるいは計数値が観測される場合どうすればよいですか。	24
Q.18★★★：動特性アプローチとはどのようなアプローチですか。	29

Q.19 ★：動特性アプローチで比例式と1次式の使い分けを教えてください。	29
Q.20 ★★：2つの制御因子の交互作用が変数変換で消える具体的な数値例を示してください。	30
Q.21 ★★：制御因子を直交表に割り付け、その外側に信号因子と誤差因子を割り付けたときの分散分析について教えてください。	31
Q.22 ★★：理論式があるときのパラメータ設計の手順を教えてください。	33
Q.23 ★：パラメータ設計の実験では、構造模型はないのですか。	37
Q.24 ★：誤差因子の調合について教えてください。	39
Q.25 ★：繰り返しのある直交表実験は合理的ですか。	40
Q.26 ★★：制御因子と誤差因子の交互作用を検出できたのですが、制御因子のどの水準も誤差因子の影響を強く受けます。どうすればよいですか。	42
Q.27 ★★：焼成工程の焼成部品のばらつきを削減するため、焼成前の成型寸法を誤差因子とする実験を行うのは正しいですか。	43
Q.28 ★：パラメータ設計での実験順序はどうすればよいですか。	43
Q.29 ★★：工場実験で誤差要因を因子として水準設定できないときはどうすればよいですか。	44
Q.30 ★★：パラメータ設計でも3因子以上の高次の交互作用は無視してよいのですか。	45
Q.31 ★★：計測特性の選定に原理・原則はあるのですか。	46
Q.32 ★★：誤差因子の効果が強すぎて、誤差因子の影響を受けない条件がありません。どうすればよいですか。	47
Q.33 ★★：制御因子間の交互作用が強いと再現性が得られないのはなぜですか。	52

第2章 SN比

Q.34 ★★：望目特性や動特性のSN比での分子の引き算の意味は何ですか。	57
Q.35 ★：望目特性のSN比は、目標値を m としたとき、 $\gamma = -10 \log_{10} \left\{ \sum_{i=1}^n (y_i - m)^2 / n \right\}$ ではまずいのですか。	58
Q.36 ★：SN比と統計的方法の検定統計量の違いを教えてください。	59
Q.37 ★：SN比をなぜデシベルと呼ぶのですか。	63
Q.38 ★★：2値入出力系で度数が観測される場合の標準SN比の意味	

を教えてください。 ……………	65
Q.39 ★★★：2つの2値入出力系におけるSN比に対する有意差検定を 教えてください。 ……………	67
Q.40 ★★★：上の状況で、2つの系で同じサンプルを用いようと思いま す。どのように解析すればよいですか。 ……………	68
Q.41 ★★★：2値入出力系で度数でなく計量値が観測される場合のSN 比とその検定法を教えてください。 ……………	71
Q.42 ★★：比例式モデルでの平方和 $S_{N \times \beta}$ の意味がよくわかりません。 ……	73
Q.43 ★：外側配置のデータをプロットすると共通の非比例性が見られま した。どうすればよいですか。 ……………	76
Q.44 ★★★：外側配置のデータをプロットすると非比例性が見られ、し かもその非比例性が誤差因子の水準間で異なりました。どうすれば よいですか。 ……………	77
Q.45 ★：望小特性と望大特性のSN比はそれぞれ何を推定しているの ですか。 ……………	79
Q.46 ★★：望小特性や望大特性ではSN比の解析と生データの解析のど ちらがよいですか。 ……………	80
Q.47 ★：Fisher 流実験計画法がばらつき削減の実験には不向きな理由を 教えてください。 ……………	84
Q.48 ★★★：信号因子の値が未知のときのSN比の解析について教えて ください。 ……………	85

第3章 直交表

Q.49 ★★：直交表より効率的な割付けはないのですか。 ……………	87
Q.50 ★★： L_{18} の列の自由度の和は15です。残りの自由度2はどうした のですか。 ……………	89
Q.51 ★★：タグチメソッドでは、直交表に交互作用を割り付けるのは無 駄だとしています。この理由を教えてください。 ……………	89
Q.52 ★：交互作用が主効果に交絡するのを避けるには、どうすればよい ですか。 ……………	91
Q.53 ★★：3水準因子間の交互作用を ab 系と ab^2 系に分解する方法を教 えてください。 ……………	91
Q.54 ★：パラメータ設計でも直交表実験は大綱を張る実験ですか。 ……	92
Q.55 ★：組立品の不良部品を同定するための直交表実験を教えてください。 ……………	93
Q.56 ★：シャイニンメソッドについて教えてください。 ……………	93

Q.57 ★★：カンファレンス行列を使った実験とはどのような実験ですか.
 98

Q.58 ★： L_{12} や L_{18} では2因子間の交互作用は求められないのですか. ...100

Q.59 ★★： L_{12} では、2因子間の交互作用が残り9列に均等に現れる理由
 を教えてください. 100

Q.60 ★： L_{18} での主効果と交互作用の交絡パターンと割付けの指針を教
 えてください. 102

Q.61 ★：内側直交表と外側直交表の直積配置の意味を教えてください.
 103

Q.62 ★： L_{36} に6水準因子を割り付ける方法を教えてください. 105

Q.63 ★： L_{16} 実験で、 $A \times B$ と $B \times C$ が有意になりました。Bの最適条
 件が両者で異なります。どうすればよいですか. 107

Q.64 ★★：線点図と交互作用を割り付けないという方針は矛盾しないの
 ですか. 108

第4章 MT システム

Q.65 ★：MT システムを理解するための数学の最小限の知識を教えてください.
 109

Q.66 ★：多重共線性について教えてください. 116

Q.67 ★：マハラノビスの距離とは何ですか. 121

Q.68 ★：MT 法でマハラノビス距離の2乗を項目数で割る意味は何です
 か. 123

Q.69 ★★：マハラノビス距離の推定量の性質を教えてください. 124

Q.70 ★★：MT 法で、現在得られている単位空間のデータの閾値の設定
 方法を教えてください. 128

Q.71 ★★：MT 法で、将来のデータの閾値の設定方法を教えてください.
 130

Q.72 ★★：マハラノビス距離の2乗と主成分分析との関係を教えてください.
 132

Q.73 ★：MT 法と多変量管理図との違いがわかりません. 134

Q.74 ★：MT 法と判別分析との使い分けがよくわかりません. 134

Q.75 ★★：多重共線性を回避するためのMTA法の根拠を教えてください.
 137

Q.76 ★★：MTA法のアイデアを生かした改良法とはどのような方法です
 か. 141

Q.77 ★★：RT法の計算原理と特徴は何ですか. 144

Q.78 ★★	：RT法の改良法とはどのような方法ですか。	149
Q.79 ★	：誤圧とは何ですか。	150
Q.80 ★★	：T法の計算原理と特徴は何ですか。	153
Q.81 ★★	：T法の計算はどのような根拠にもとづいているのですか。	158
Q.82 ★★	：T法の改良法とはどのような方法ですか。	159
Q.83 ★	：変数の単位の違いに気をつけるとはどういうことですか。	162

第5章 損失関数

Q.84 ★★	：許容差設計でのグレード選択について教えてください。	167
Q.85 ★★	：損失関数と工程能力指数の関係を教えてください。	168
Q.86 ★	：タグチの工程能力指数とは何ですか。	170
Q.87 ★★	：組立品の部品の許容差に交差配分を用いるのは正しいですか。	171

第6章 実験計画法全般

Q.88 ★★	：自由度の厳密な定義を教えてください。	175
Q.89 ★★	：カイ2乗分布, t 分布, F 分布の自由度に関連はありますか。	179
Q.90 ★★	：補助実験値があるときの解析法を教えてください。	184
Q.91 ★★	：ハシティング現象とはどのような現象ですか。	189
Q.92 ★★	：割引係数法について教えてください。	191
Q.93 ★	：「タグチメソッドは記述統計に近い」という意味がよくわかりません。	192
Q.94 ★★	：実験順序をサイコロを振って決めましたが、正しい無作為化ではないと言われました。どこがまずかったのですか。	193
Q.95 ★★	：タグチの累積法とはどのような手法ですか。	194
Q.96 ★★	：タグチの精密累積法とはどのような手法ですか。	197
Q.97 ★	：「繰り返し」の定義を教えてください。	199
Q.98 ★★	： $\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 / \sigma^2$ が自由度 $n-1$ のカイ2乗分布に従うことの証明を教えてください。	200
Q.99 ★	：分散分析のプーリングについて教えてください。	201
Q.100 ★★	：繰り返しのない二元配置の交互作用解析に主成分分析を用いる方法について教えてください。	203

あとがき	205
------	-----

参考文献	206
索引	207



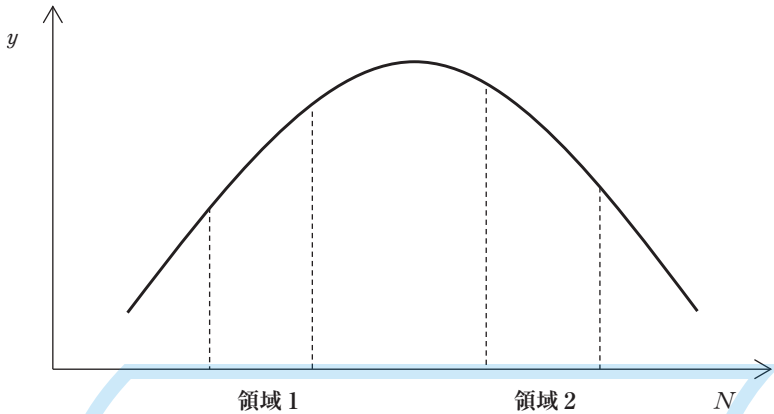


図 24.1 誤差因子の特性への非単調効果

す。このような場合には安易な調合はたいへん危険です。

Q.25★ 弊社では、繰り返しのある直交表実験をよく行います。例えば、研削方法に関する実験では、砥石の粒度や回転数といった制御因子の水準設定に手間がかかっても、一度設定してしまえば、各条件で複数の被削材を研削するのはさほど面倒ではありません。繰り返しデータから SN 比を求めて最適条件を選定しています。このやり方で問題ないですか。それともやはり誤差因子を割り付けたほうがよいですか。

A.25 繰り返しのある直交表実験というのは Fisher 流実験計画法でも取り上げられていました。 L_8 の場合を表 25.1 に示します。 L_8 が 1 次単位で 2 次単位が繰り返しの分割実験なので、分散分析表は表 25.2 のようになります。

さて、品質特性のばらつき低減を目的にするとき、表 25.2 は、的を射ていません。2 次誤差(繰り返し誤差分散)が L_8 の行間で等しいことを前提にしているからです。

表 25.1 繰り返しのある直交表実験データ

No.	A		B		C		D					
	1	2	3	4	5	6	7					
1	1	1	1	1	1	1	1		y_{11}	y_{12}	...	y_{1n}
2	1	1	1	2	2	2	2		y_{21}	y_{22}	...	y_{2n}
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		y_{81}	y_{82}	...	y_{8n}

表 25.2 繰り返しのある L_8 実験データの分散分析表

要因	平方和	自由度	平均平方	F 比
A	S_A	1	V_A	$F_A = V_A / V_{E1}$
B	S_B	1	V_B	$F_B = V_B / V_{E1}$
C	S_C	1	V_C	$F_C = V_C / V_{E1}$
D	S_D	1	V_D	$F_D = V_D / V_{E1}$
$E_{(1)}$	S_{E1}	3	V_{E1}	$F_{E1} = V_{E1} / V_{E2}$
$E_{(2)}$	S_{E2}	$8(n - 1)$	V_{E2}	—

しかし、ばらつき低減の実験計画では、行間でのばらつきの差異と制御因子との関連を発見しようとしています。SQC の原点である \bar{x} -R 管理図の精神に立ち戻れば、行を群として、行間の平均とともにばらつきの違いに着目するのが筋です。ですから、ご質問にあるように、各行で標本 SN 比を算出し、これを制御因子で分散分析するというのは実には的を射たものです。

これは狙いとしてはよいのです。しかし、実際には繰り返し数が相当大きくないと満足な検出力は得られません。分散の違いに関する検定の検出力は悲しいほど低いのです。ばらつきの違いを見るには、 n は 20 程度ほしいのですが、これはいささか無理な要求です。そこで、繰り返しによってばらつきが起る

Q.29★★★ 工場実験で望目特性のパラメータ設計を計画しています。主要な誤差要因は絞り込めているのですが、制御不能で誤差因子として水準設定できません。誤差要因の測定はできます。どうしたらよいですか。

A.29 工場実験では誤差因子の水準設定が難しいケースは多いと思います。そもそも実験で誤差要因が制御可能なら、操業段階でも制御すればよいのですから、この場合は、誤差要因を共変量とした共分散分析をすればよいのです。パラメータ設計では、実験順序はあまりうるさくいわれませんが、この場合は完全無作為化をして、誤差要因によるバイアスを除去する必要があります。

最も簡単な場合として、制御因子が一つで、誤差要因も一つの場合を考えます。繰り返し数を n とします。因子 A の水準数を a とすると、表 29.1 に示すように、品質特性 y と共変量 x が対になって、 an 組観測されます。

誤差要因の変動幅は、誤差因子として意図的に広くとっているわけではないので、それほど大きくないと考えられます。そこで、誤差要因の効果は線形効果と仮定します。すると、データの構造模型は、

$$y_{ij} = \mu_i + \beta_i x_{ij} + \varepsilon_{ij} \quad (29.1)$$

となります。単回帰係数に添え字 i が付いていることに注意してください。このモデルがフルモデルになります。

一方、誤差要因の効果 A の水準間で一定という縮約モデルが、

$$y_{ij} = \mu_i + \beta x_{ij} + \varepsilon_{ij} \quad (29.2)$$

表 29.1 共変量が一つのときの実験データ

A_1	$(x_{11}, y_{11}), (x_{12}, y_{12}), \dots, (x_{1n}, y_{1n})$
A_2	$(x_{21}, y_{21}), (x_{22}, y_{22}), \dots, (x_{2n}, y_{2n})$
\vdots	\vdots
A_a	$(x_{a1}, y_{a1}), (x_{a2}, y_{a2}), \dots, (x_{an}, y_{an})$

確かに、あらかじめ帰無仮説と対立仮説、さらに有意水準を定め、帰無仮説のもとでの検定統計量の分布から有意差判定をするという統計的検定は、タグチメソッドに限らず、品質問題すべてで馴染まないものです。しかし、これに代替する手法がない限り、我々は検定を使うしかないのです。

Q.94★★ 2水準の制御因子の水準比較をするために、繰り返し2回の完全無作為化実験を計画しました。実験順序として、サイコロを振り、偶数ならば A_1 、奇数ならば A_2 と決めました。結果としてサイコロの目が2、4と出たので、 A_1, A_1, A_2, A_2 としました。ところが、実験計画法の先生から、「これでは正しい無作為化になっていない」と言われました。どこがまずかったのですか。

A.94 たしかに、この割付けには実験者の作為は入っていません。サイコロの目に従って忠実に割り付けたのです。しかし、これは正しい無作為化になっていません。理由は次のとおりです。

この場合、実験順序は全部で以下の6通りあります。

- ① A_1, A_1, A_2, A_2
- ② A_1, A_2, A_1, A_2
- ③ A_1, A_2, A_2, A_1
- ④ A_2, A_1, A_1, A_2
- ⑤ A_2, A_1, A_2, A_1
- ⑥ A_2, A_2, A_1, A_1

それぞれが1/6の確率で生じるというのが、正しい無作為化です。ところが、質問者の割付けでは、 A_1, A_1, A_2, A_2 が1/4の確率で生じます。実は、最初が A_1 だった時点で、次の配分割合を1:2に変えなければならなかったのです。しかし、このように毎回配分割合を変えるのは面倒です。次のようにやればよい

●著者紹介

宮川雅巳(みやかわ まさみ)

東京工業大学工学院経営工学系 教授

【略歴】

1957年 生まれ

1979年 東京工業大学工学部卒業

1982年 東京工業大学大学院理工学研究科博士後期課程退学(工学博士)

東京工業大学工学部助手, 東京理科大学理工学部講師・助教授, 東京大学工学部助教授を経て, 1999年より現職

【主な著作】

『品質を獲得する技術』『実験計画法特論』(以上, 日科技連出版社), 『品質管理』『SQC理論と実際』『グラフィカルモデリング』『経営工学の数理〈1〉』『経営工学の数理〈2〉』『統計的因果推論』『分割表の統計解析: 二元表から多元表まで』(以上, 朝倉書店), 『SQCの基本』(日本規格協会), 他

永田 靖(ながた やすし)

早稲田大学創造理工学部経営システム工学科 教授

【略歴】

1957年 生まれ

1985年 大阪大学大学院基礎工学研究科博士後期課程修了(工学博士)

熊本大学工学部専任講師, 岡山大学経済学部助教授, 教授を経て, 1999年より現職

【主な著作】

『入門統計解析法』『統計的方法のしくみ』『入門実験計画法』『SQC教育改革』『統計的方法の考え方を学ぶ』(以上, 日科技連出版社), 『サンプルサイズの決め方』『統計的品質管理』『統計学のための数学入門30講』(以上, 朝倉書店), 『品質管理のための統計手法』(日本経済新聞出版), 他

無断使用をお断りします。日科技連出版社

タグチメソッドの探究
技術者の疑問に答える 100問 100答

2022年1月26日 第1刷発行

著者 宮川雅巳
永田靖
発行人 戸羽節文

検印
省略

発行所 株式会社 日科技連出版社
〒151-0051 東京都渋谷区千駄ヶ谷5-15-5
DSビル
電話 出版 03-5379-1244
営業 03-5379-1238

Printed in Japan

印刷・製本 東港出版印刷

© Masami Miyakawa, Yasushi Nagata 2022

ISBN 978-4-8171-9750-4

URL <https://www.juse-p.co.jp/>

本書の全部または一部を無断でコピー、スキャン、デジタル化などの複製をすることは著作権法上での例外を除き禁じられています。本書を代行業者等の第三者に依頼してスキャンやデジタル化することは、たとえ個人や家庭内での利用でも著作権法違反です。