

よくわかる！ パラメータ設計

**後戻りしない設計ができるぞ！！**

**MOST合同会社**

# 目次 よくわかる！パラメータ設計

まえがき

登場人物

<b>Chapter 1</b>	<b>パラメータ設計概要</b>	P.1~P.10
	1. 基本機能、誤差因子、制御因子とは	
	Chapter 1 まとめ 基本機能、誤差因子、制御因子	
<b>Chapter 2</b>	<b>基本機能、誤差因子、制御因子掘下げ</b>	P.11~P.20
	1. 具体的事例で考えてみる	
	Chapter 2 コーヒーブレイク リードフレームとは、メッキとは パラメータ設計とは、予備実験とは	
<b>Chapter 3</b>	<b>予備実験～直交実験計画</b>	P.21~P.31
	1. 直交実験前の準備段階を考える	
	2. 直交実験とはどんなものか	
<b>Chapter 4</b>	<b>直交実験～確認実験</b>	P.32~P.41
	1. 直交実験結果の解説 SN比、感度とは何か？ 要因効果図の見方及び使い方	
	2. 確認実験の考え方と結果の解説 確認実験はどのように進めるか？ 確認実験評価方法	
	パラメータ体験実験紹介	P.42
<b>PR資料 ①</b>	<b>パラメータ設計体験実験(コマ)</b>	P.43~P.48
<b>PR資料 ②</b>	<b>パラメータ設計体験実験(サイフォン)</b>	P.49~P.53

あとがき

## まえがき

今日の厳しいグローバルな競争社会に勝ち残る為に、開発、設計、評価等、商品開発の最前線で活躍している技術者は連日厳しい闘いを強いられ、神経をすり減らす日々明け暮れている。

この様な厳しい繁忙な日常を送る技術者を救済すべく、田口博士によって考案されたのが品質工学である。

本書では、品質工学のジャンルのうち最も応用頻度の高いパラメータ設計にターゲットを絞り解説することを試みている。

パラメータ設計に関しては今までも多くの著書が発刊され参考書として多くの技術者に利用されているが、パラメータ設計は従来の一般的な考え方とは異なって理解し辛い点が幾つか存在する為に、全くの新人がこのポイントを理解するには困難な部分が存在した。

近い将来、実践の場を控えて活躍を期待される学生や新入社員等の方々にももっと理解しやすいように、本書では登場人物が対話しながら課題解決する形をとっている為にパラメータ設計が、より実践的に分かり易くなるように配慮している。

パラメータ設計に接した直後の著者の経験を振り返りながら、どのように表現すれば初心者でも理解し易いかを最大の狙いとして本書を著しているので、技術者として経験の少ない人でも興味深く読み進んで行く事ができると確信している。

拙著を読んで、一人でも多くの読者がパラメータ設計の本質を汲み取る事ができれば、著者としてこれに優るものはない。

日本いや世界の次の時代を担う有能な若い技術者が、一人でも多く田口先生の思想を受け継いで、豊かな社会を築いていく事を願ってやまない。

# 登場人物



有能な技術者Aさん



口うるさい上司



優しいB先輩



研究所C所長

## Chapter 1 パラメーター設計概要

連日、夜遅くまで頑張っている若い技術者 Aさん



Aさんを責める上司



いつまで、もたもたしてるんだ？君は。まだ、あのクレーム対策も終わっていないんだらう？

他部署の尊敬する知り合いの先輩 Bさんが訪ねてきて



毎日、夜遅くまで頑張っている様子だけど、どんな事を今やっているの？



実は、今なかなか仕事が思い通りにいかず、とても困っているのですヨ

今、置かれている状況を先輩に話し始めた Aさん

新商品の〇〇の部分を担当しているのですが、なかなか製品の品質が安定せずに困っているのです。品質の良い時もあるのですが、何かの拍子に品質が悪化する時があって、全く原因が分からずに、どんな対策を打てばよいのか見当が付きません。

他にも急ぎでやらなければならない仕事をいくつか抱えているのですが、とても手が回らないんです。

上司からは、急かされているのですが、何をやってもうまくいきません。

何か良い方法はないもんですかね？





先日、あるセミナーに参加して、僕も初めて知ったんだけど、君が今困っている事に対してとても役立つ方法がありそうなんだ。セミナーを主催している方とその時、色々話をしてみたんだが、きっとその方法を使えば、君の課題解決に役立つと思うよ。その方は、△△研究所の所長さんなんだけれど、もし良かったら一度お会いしてみないか？

へーどんな方法があるのですか？  
興味ありますね、是非その方を紹介して下さい。  
よろしくお願いします。



次の日に、△△研究所の C所長を訪ねた Aさん



初めまして。私は、  
××株式会社のAと  
申します。

初めまして。Aさんですか？  
私は、Cと申します。  
御社の Bさんから、昨夜お電話を頂いて、お話の概要はお聞きしています。



今、置かれている状況を話し始める Aさん  
じっと、Aさんの話を聞いているC所長



お話の内容は良く分かりました。  
Aさん よく御相談においで下さいました。  
今の貴方にとってつけの方法があります。

それは、「**タグチメソッド**」です。  
「**パラメータ設計**」とも呼ばれています。

パラメータ設計ですか？  
初めて聞く言葉です。  
それは、どんなもの  
なんですか？

**パラメータ設計**とは、  
タグチメソッドの一つで、  
**二段階設計法**とも  
呼ばれています。  
パラメータ設計とは、  
実験を通して設計値を  
決定できる**唯一の方法**  
なんです。



へーっ 面白そうですね。！  
もっと、詳しく教えてください。

分かりました。  
それでは、「**基本機能**」の  
話から始めましょう。



「**基本機能**」ですか？  
「**基本機能**」とパラメータ設計は、  
どんな繋がりがあるのですか？

話を分かり易くする為に、貴方が今取り  
組まれている仕事を例にあげてご説明  
して行きましょう。  
貴方が、今困っていらっしゃる  
「**メッキ品質安定化**」の  
取り組みの詳細をお話して下さいますか？





リードフレームのある一部の必要な部分のみ均一なメッキが形成されるようにしたいのですが、メッキが必要以上に余分に付いたり、必要な部分のメッキの厚さが不均一になったりして、中々メッキの状態が安定しないのです。

商品開発の少量の試作確認段階では安定していて、量産でも問題ないと判断し生産に踏み切ったのですが、いざ量産を始めてみるとメッキ品質が良い時もあれば時々悪い時もある、不安定な状態が続いているのです。色々対策を行っているのですが、思ったような成果が上がりません。

ご説明有難うございます。

期待できる結果が出ずに大変ですね。

それでは、一つ貴方に質問します。

Aさん 貴方が考えているメッキの理想状態とはどんなものですか？



メッキの理想的な姿ですか？……メッキしたい部分に均一にメッキされる事ですかね。

Aさん！ 今貴方がおっしゃったその事が、まさに基本機能なんですよ。

パラメータ設計を進めて行く場合に、真っ先に考えるのが基本機能なんです。



まだ、よくわかりません。

メッキは、付けたい場所に均一について、付けたくない場所には、メッキが一切つかない事が、メッキのあるべき姿ですね。実は、パラメータ設計では、メッキのような原版である基準パターン通りにメッキができる事を「**転写性**」という言い方で表現しています。



転写性とは、基準パターンと同じ様に生成物ができる事と理解してよろしいですか？

全くその通りですよ Aさん！  
他に例えて言えば、金型と成型品の  
関係も同様です。  
成型品は、基本的には金型通りに  
モノができる事が理想の姿であって  
金型という基準(型:パターン)通りに  
成型品ができるという意味で  
転写性と呼ばれているのです。  
と言う事で、メッキの問題は、  
転写性で解く事ができるのです。



転写性で考える事が出来る例は、  
他にはどんなものがありますか？

そうですね。  
他に例を上げると、印刷版と印刷物も  
同様に転写性で考える事ができます。



だんだんと理解してきました。  
メッキも印刷物と同じ様に考える  
事ができるのですね。



その通りですよ Aさん！

でも、どうして基本機能を  
考えなくてはいけないのですか？

それでは、基本機能とは何なのか  
から説明しましょう。

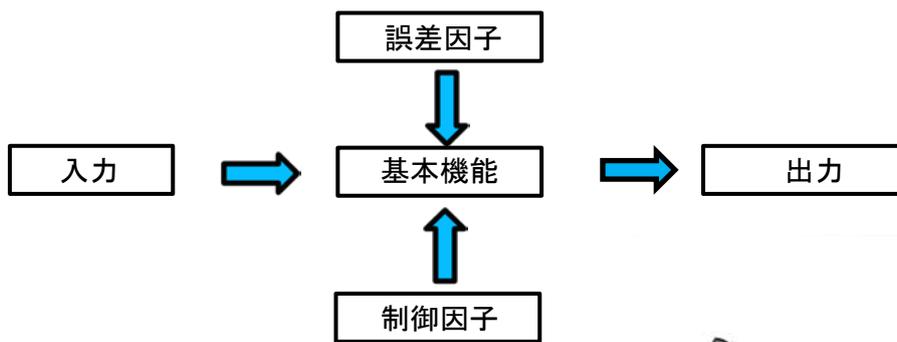
基本機能とは、文字通りその  
対象となるシステム(貴方の場合は、  
課題となるメッキの問題ですが)を  
考える時、一番基になる機能(働き)の  
事で、根幹の技術手段という事ができます。



うーん??

**パラメータ設計**では、この根幹の  
技術手段である基本機能を、その  
システムを考える上で最も大切な  
ものと位置付けて、基本機能から  
思考をスタートさせて行くのです。

## ホワイトボード上に、ブロック図を書く C所長



Aさん こちらを  
ご覧になって下さい。



## ホワイトボード上に描いたブロック図を使いながら説明を始める所長

技術を論じる場合、そこには必ずある  
技術を使って機能を実現させる為の  
技術手段が存在する筈ですね。  
その技術手段が、**基本機能**と言う事になります。  
技術手段(働き)に何らかの形で  
働きかけ(入力を与え)、基本機能の  
働きによって、有益な(期待すべき)  
結果(出力)を得る事になります。  
この基本機能を活用する為の入力と  
出力の横軸の流れに対して**誤差因子**、  
**制御因子**という縦軸の関係が存在します。



誤差因子や制御因子とは何ですか？  
基本機能とどのような関係が  
あるのですか？



はい。分かりました。  
それでは、**誤差因子**から先に説明致しましょう。



誤差因子とは、基本機能に影響を与える要素の事で、扱う人がコントロールできない要素をこの様な言い方で呼んでいます。貴方が今お困りのメッキの課題で表現するなら、メッキが基準パターンの形状通りに転写される事が基本機能であり、その前提の上でメッキが基準パターン通りに転写されるのに影響を与える要素であって、人がコントロールできない要素を「**誤差因子**」と呼んでいます。その要素は制御したくとも出来ないという事になるのですが、メッキの例で言えばそれはどんな要素であると思いますか？



そのように質問されても、今の私にはまだよくわかりません。



それでは、もっと分かり易い例でお話しましょう。洗剤の基本機能は、衣類に付着した汚れを衣類から完全に除去する事ですね。この洗剤の例で誤差因子を考察すると、誤差因子候補として考えられる要素の一つとして、衣類の種類が考えられます。衣類に使用されている繊維は、様々な種類の合成繊維の他、羊毛、木綿、絹といった天然繊維等多くの種類が存在します。

またそれらの繊維で織られた布も多種多様で、下着のような薄ものから、コートやセーターといった厚手の布まで様々ですが、どんな衣類でも汚れが綺麗に洗える機能が要求されますね。洗剤(人間)にとって、どんな衣類でも汚れが綺麗に落ちる事が理想であって、洗剤は衣類の種類を選ぶ事はできません。つまり洗剤は、衣類の種類をコントロールできませんから、洗剤と言う**基本機能**(付着物の除去)にとって、衣類の種類という要素は**誤差因子**となる訳です。



少し分かりかけてきました。

衣類の種類その他にはどんな誤差因子があると思いますか？



まだ、他にも誤差因子はあるのですか？

ええ、まだ他にも誤差因子はありますよ。

一般的に言えば、誤差因子は無数に存在します。コントロールができず、多少なりとも基本機能に影響を及ぼす**誤差因子**は、かなりの種類が存在すると言って間違いありません。



しばらく考え込んでから……

洗浄という基本機能に影響を与え、洗剤から見てコントロールできない要素は……

あっ！ 所長さん  
もしかすると汚れの種類も誤差因子となりませんか？



人体から出る汗などの汚れや、様々な種類の油による汚れの他泥や植物等の自然材料系の汚れなど、多種多様な汚れが存在しますが、洗剤はこの汚れの種類は、選べないのではありませんか？

そうです！ Aさん その通りです。汚れの種類も洗剤にとって**誤差因子**となります。



なるほど。 そういう事ですか 誤差因子の意味がようやく分かり掛けてきました。

良かった。**誤差因子**についてかなり理解が進んできましたね。

**誤差因子**は、パラメータ設計の最大の特徴と言っても過言ではない位パラメータ設計の最も重要な要素の一つです。最も有効な誤差因子を設定できるかどうかは課題解決の最大のカギとなるのです。



次は「**制御因子**」について考えてみましょう。この要素は、誤差因子に比べるととても分かりやすいと思いますよ。

先ほど、誤差因子は基本機能に影響を与えるけれど、コントロールできない要素であると言いましたが、それに対して制御因子は文字通りコントロール可能な要素であり、設計者や課題解決する人が、自ら決定できる要素(因子)を**制御因子**と呼んでいます。

洗剤の例でいうと、水の量や水の温度、洗剤の種類や量など、制御因子も色々な要素が考えられます。



メッキで言えば、メッキ液の種類や量、温度、メッキ通電条件などが制御因子となりそうですね。

その通りですよ Aさん。  
相当理解が進んできましたね。

# 基本機能、誤差因子、制御因子まとめ

## 1. 基本機能

対象となる商品やシステムの持つ根幹の技術手段であり、パラメータ設計では、誤差因子や制御因子を考える前に、基本機能をベースにして、的確な誤差因子、制御因子を選定する。

## 2. 誤差因子(ノイズ)

対象となる商品やシステムの基本機能の出力に影響を及ぼす要素であり、設計者や課題解決者が、コントロールできない因子(要素)。

パラメータ設計では、この誤差因子を両極端に設定する事で極端化を図り、故意にバラツキを与えて実験を行う。

## 3. 制御因子

対象となる商品やシステムの基本機能の出力に影響を及ぼす要素であり、設計者や課題解決者が、コントロール可能な因子(要素)。

パラメータ設計では、誤差因子により故意に与えた上で、バラツキの影響を少なくする様な制御因子を見出す事が、重要な目標(狙い)となる。

それでは話を貴方が今お困りの  
メッキに戻して考えてみましょう。  
基本機能は、メッキ版(基準パターン)に  
対する被メッキ品の「転写性」の問題として  
考えてみましょう。



そうですね。洗剤の例を参考に考えてみます。  
所長さん！メッキ液の新・旧  
(開封直後と使用期限直前)  
は誤差因子となりませんか？



メッキ液は、開封直後の使い始めの  
状況から、工程で定められた使用期限  
である3カ月経過後の交換前まで  
使い続けなければなりません。

交換直後の新しい時はメッキも綺麗に  
付きやすいのですが、メッキ液が古く  
なってくるに連れてメッキの色が  
変わったり、表面が荒れて来る傾向があり  
その都度、今までの経験に基づいて  
メッキ条件を変えているのです。  
またメッキ液が古くなってくると、メッキが  
特定の場所に付きにくくなる傾向が  
みられます。

Aさん 素晴らしいですね。  
良い処に気がつきましたね。  
メッキ液の新・旧はまさにあなたの  
メッキの課題で誤差因子に相当します。  
他に誤差因子として挙げれそうな  
因子はありませんか？



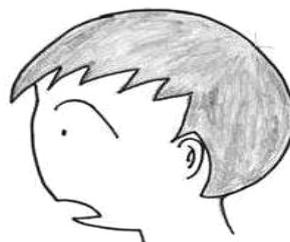
えーっと 他に何かあるかな？



そう言えばメッキを施す対象物である  
リードフレームは、A、B二社からほぼ  
同量ずつ購入しているのですが、  
どうもA社品のリードフレームの方が、  
メッキの付き方という観点で見ると  
不安定な傾向にあるようです。  
個人的には安定性の高いB社品だけに  
して欲しいのですが、二社購買は 弊社の  
購買部門の方針である上に、A社は弊社  
とは昔からの古い取引相手でもあり、  
B社品のリードフレームだけを購入する事は  
簡単にできそうにありません。

そうですか。

貴方がおっしゃる様な会社内部の事情があり、  
二社の対象品を使い続けてゆくという前提が  
あるのであれば、リードフレーム(メッキ対象品)も  
誤差因子となります。



誤差因子、制御因子についてはかなり  
分かってきた気がします。



ところでパラメータ設計と制御因子、  
誤差因子がどんな関係になるのかが  
まだ理解できていません。

分かりました。

貴方の今の疑問に答える為に、  
次に話を進めていきましょう。

パラメータ設計の第一の特徴は、  
バラツキを引起す誤差因子を実験の  
中に積極的に取り入れる点にあります。  
表現を変えれば、大きなバラツキを  
生じるような要素(誤差因子)を故意に  
実験条件に盛り込み、意図的に  
バラツキが大きくなるような実験を行う  
という事になります。





(驚いて) ええっ！  
わざと悪い結果となるような  
実験をするっていう事ですか？

私には、全く理解できません。

Aさん 貴方の頭が混乱するのも  
無理ありません。  
私も初めてパラメータ設計について  
説明を受けた時は、今の貴方と同様  
理解する事ができませんでした。



**パラメータ設計とは、故意にバラツキを  
引起す誤差因子を実験条件の中に  
組み込んだ上で、バラツキを抑え込める  
ような有効な制御因子を与える事で  
誤差因子を除去する事なしに、誤差因子の  
影響を最小にしようとするものに  
他なりません。**



そんな魔法のような事が  
本当にできるのですか？

私には、とても信じられません。



ご安心下さい。  
貴方は既に有望な誤差因子に  
気付いていますので、  
必ず課題は解決できますよ。



本当ですか？  
是非、パラメータ設計の実施方法  
について教えて下さい。

わかりました。

それでは、貴方の取り組まれているメッキの課題についてもう少し詳細を知る必要があります。早い時期に一度現場を見せて下さいますか？



今の問題が解決できるなら、むしろ私のほうからお願いしなければなりません。念の為に上司に報告して承諾を得ます。その上で、お互いに都合を確認してから、おいで頂く日を決めたいと思います。日にちが決まりましたら、後日連絡させていただきます。よろしくお願いします。



数日後、Aさんの会社を訪れた所長  
現場確認及び状況の説明を受けた後、パラメータ設計の使い方について説明を始める。



それでは、まず最も重要な誤差因子の検証方法から始めましょう。パラメータ設計の大きな特色の一つが、実験の中に故意にバラツキを引起す因子である誤差因子を導入するというものです。





誤差因子の果たす役割については、  
以前にもお聞きしましたが  
わざとバラツキを起こす因子を  
実験に取り込むなんて、  
そんな実験をして  
何が分かるのですか？

誤差因子を実験に導入する狙いは、  
主に二つの理由があります。

まず第一には、**誤差因子を導入して  
故意にバラツキを与えた上で、  
バラツキを抑える効果を持つような  
制御因子を見出して、その制御因子の  
働きによって、バラツキを小さくしようとする  
ものなのですが、パラメータ設計にとって  
誤差因子の導入は不可欠なのです。**



誤差因子導入のもう一つの狙いは、  
実験に必要なサンプル数を最低限  
に減らすという事です。

誤差因子の導入によって、バラツキの極端化を  
図る事で、サンプル数を最低限のレベルまで  
少なくできるのです。

偶然誤差の影響を期待して多くのサンプルを  
扱わなくても、誤差因子導入によって最小の  
サンプル数で評価可能となるのです。

パラメータ設計で誤差因子は  
とても重要なんですね。

その通りなんですヨ Aさん

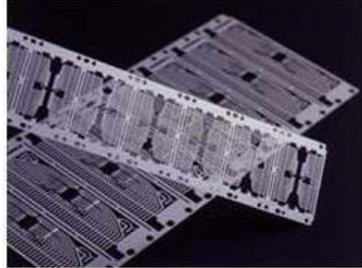
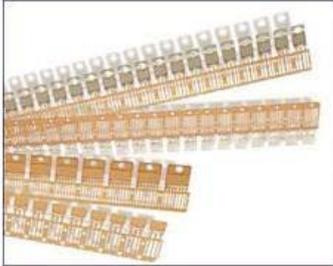


それでは、その有効な誤差因子を  
どのようにして確定させるか  
またメッキの事例で考えてみましょう。

## コーヒーブレイク

### リードフレームとは？

リードフレームとは、半導体の内部配線に用いられる薄板の金属であり、電気・電子部品に幅広く使われている。



出典:大日本印刷(株)電子デバイス事業部ホームページより

### メッキとは？

メッキは、金属の表面処理方法のひとつとして開発された。銅を水銀で擦り銀に似せたところから減金(メッキン)といわれたのが語源といわれます。

メッキは金属の表面に、目的に応じて他の金属を被覆し、下地金属を腐食から保護すると同時に装飾し商品の価値を高めたり、光沢を与えることにより摩擦などにより金属表面に付く傷から地金属を守る役割を果たす。

### パラメータ設計とは？

バラツキの原因となる誤差因子を、予め設計条件の中に組み込んでおいて、その上で設計定数(パラメータ)をある規則(直交表の利用)に基づいて、効率良く実験を行ってバラツキの少ない最適な設計定数を決定する方法。

### 予備実験とは？

パラメータ設計で極めて重要な誤差因子や誤差因子の影響を最小限に抑え込む為の有効な制御因子を見出す事はパラメータ設計を成功に導く為に不可欠である。

直交実験の前に課題解決に必要な誤差因子や制御因子を選定する目的で予備実験を実施する。

その他の予備実験の目的としては、再現性などの実験・評価としての精度検証や、短時間に効率良く評価可能かどうかを事前にチェックする事である。

先程の話の中で、バラツキの原因となる因子としてメッキ液の新・旧と購入先の異なるリードフレームを取り上げて頂きましたが、そのどちらも誤差因子として採用したいとお考えであれば、誤差因子の調合という作業が必要となってきます。またメッキの基本機能である「転写性」を評価する為には、メッキ版(基準パターン)の形状通りにメッキが形成されているかどうかを、定量的かつ的確に計測する必要がでてきます。



**「何をいかにして計るか」**と言う事を先に決定して、その後で調合した誤差因子を導入し実験を進めます。誤差因子の調合とは、複数の因子の二水準の方向を決める訳ですが、出力の大きさが小さくなる方向をN1とし逆に出力が大きくなる方向をN2と表現して、その出力の大きさの方向が同じ方向となるように二水準を決定します。

それでは先に基本機能をどのようにして測定するのかという事からお尋ねしましょう。



わが社では、昔から製造工程でメッキ不良に関して、どのような不良発生数が多いのか詳細なデータを取っていますので、状況は十分に把握しているつもりです。

Aさん 私が知りたいのは、加工不良や不良現象ではありません。基本機能をどのように測るかと言う事です。

基本機能がメッキ版に対する、出来上がったリードフレーム上のメッキの転写性である事はご理解できた事と思いますので、その基本機能をベースに計測方法を考えて頂きたいのです。



転写性を基に計測方法を考えるのですね。  
難しいな??

現場も見せて貰いましたし、今日のところはこれで私は失礼致します。

最初は、不慣れで難しいと思いますが、私がお伝えしたポイントを思い出しながら、職場の皆さんとよく話し合っ、最良の測定方法を決定してみてください。

基本機能をベースに最適な測定方法を考えて最も相応しい誤差因子と、改善効果のありそうな制御因子を選定する事はとても重要な事なのです。



良く分かりました。  
職場の同僚や先輩方とも良く議論して測定方法や誤差因子制御因子を選定します。

測定方法や誤差因子、効果を期待できそうな制御因子が出てきた時点で、効果があいまいで検証が必要な場合には、必ず予備実験を実施して下さい。そこを曖昧にして次の段階(直交実験)に進んでも期待したほどの結果は得られません。

測定方法が決定し誤差因子、制御因子候補となる因子が絞り込まれた段階で、私に連絡していませんか？



分かりました所長さん。  
検討が終わった段階で、報告させていただきますのでその際には、ご指導よろしくお願い致します。

それでは、ご検討結果をお待ちしています。パラメータ設計では、これらの各因子や測定方法を検討する過程が最も重要なステップです。

**この段階での出来・不出来がこれ以降のステップが順調か、困難となるかの分かれ道と言っても過言ではありません。**

十分に議論を尽くして、より良い結果を導いて下さい。期待していますよ。Aさん

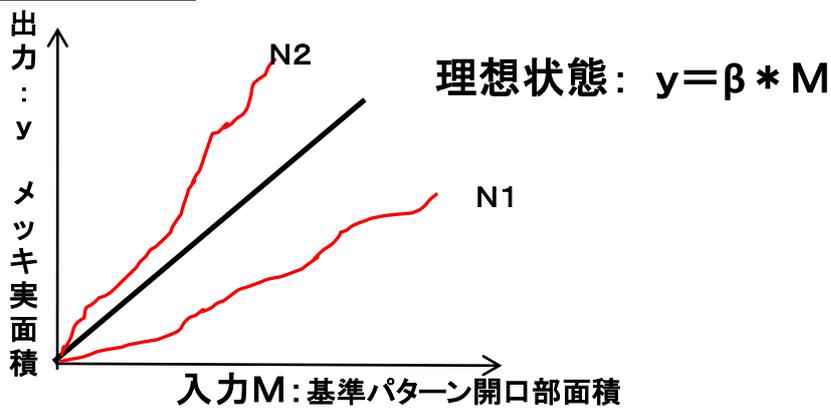


数日後、電話で所長へ検討結果を報告するAさん

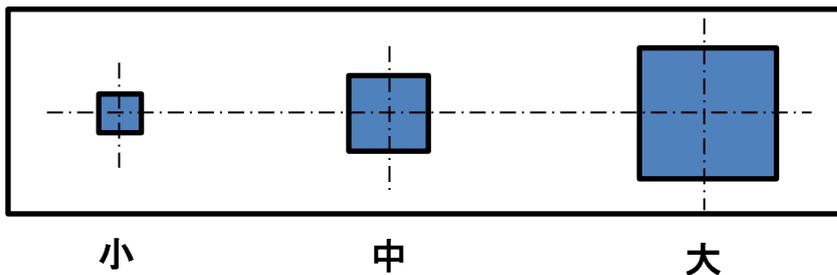
検討結果が出ましたので  
御報告致します。

## Aさんグループの予備実験検討結果

### 基本機能



### メッキ評価用テストパターン



上のメッキ評価用テストパターンにおいて、マスク開部サイズを小から大まで、三通り設定しているのは、パラメータ設計を**動特性**で評価する時に必要であり、入力をこのように幾つかの水準に分けて評価をおこなう。  
この入力に相当する要素(因子)を、**信号因子**と呼ぶ。

### 調合後誤差因子

誤差因子	N1	N2
メッキ液 新旧	交換前	交換後
リードフレーム仕	A社	B社

良くここまでまとめる事ができましたね。  
複数の誤差因子を出力へ及ぼす影響を考慮して  
出力が同じ方向になるように水準を揃える事を  
**「誤差因子の調合」と**呼びます。

ここまできたら、誤差因子の効き具合、制御因子の  
効果を確認する為に予備実験を行って下さい。



了解しました。

それでは、早速予備実験を進めていきます。



予備実験を行うに際して、重要なポイントをお話しておきますので、このポイントに注意して、実験を進めて下さい。



予備実験のポイントですか？

どんな点に注意すれば良いのですか？

予備実験のポイントは大きく二つあります。

まず、**第一点目は、誤差因子の効き具合の確認です。**

出力をバラツカせる因子として、誤差因子を選んだ訳ですから現状条件(基準条件)では誤差因子の影響を受けて、出力が大きく変化しなければなりません。

予備実験で出力が小さくなると予測される誤差因子N1では出力値は小さくなり、出力が大きくなると思われる誤差因子N2では、大きくなる事が確認できなければなりません。

**二点目は、制御因子の効果の確認です。**

現状の制御因子の水準に対して、どちらかに大きく水準条件を変化させてみます。

この時、現状条件で誤差因子の影響を受けてN1、N2の影響により出力値が変化した大きさに対して、制御因子の水準の変化の影響によりN1、N2の差が更に変化するかどうかをチェックします。



**現状条件のN1、N2の差に対して、制御因子の水準を変化させた時にその差が更に変化する事が確認できれば、その制御因子は改善効果が期待できると判断できます。**

以上二点に注意して予備実験を行って下さい。

結果を期待していますよ。頑張ってください。Aさん！

数日後、予備実験の報告を所長に報告するAさん



こんにちは Aさん  
随分、生き活きとしていますが、だいぶ  
実験が進んだようですね。

こんにちは 所長さん。  
予備実験の結果がでましたので、  
報告に参りました。  
ご指導、よろしくお願いします。



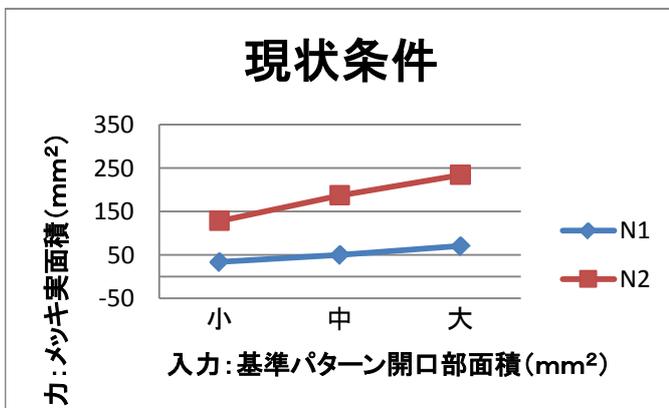
それでは早速ですが、  
結果をご説明致します。



先日、仲間と議論した結果に基づいて  
メッキ液の新・旧とA、B二社のリードフレーム  
を誤差因子として調合し、現状での  
誤差因子の効き具合を確認してみました。

結果は以下のようになり、誤差因子としては  
有効性が確認できたと思いますが、  
いかがでしょうか？

現状条件における誤差因子確認結果



素晴らしい結果が出ましたね。 Aさん  
誤差因子の効果によって、N1、N2の出力の差が  
大きく開いています。  
この様に出力結果に大きな差が出る事が  
とても重要なんですよ。



現状条件では、誤差因子の影響によって出力に開きができる事が必要なんです。



そうなんですよ。Aさん

出力に大きな差が出る事を期待して誤差因子を設定する訳ですから、それが思惑通りに差が出なければ、有効な誤差因子とは言えません。

もし、ここで誤差因子が、期待するような結果でなければ、再度検討し直して、新しい誤差因子を探して下さい。

この作業を中途半端なままで、次に進める事は絶対になさらないで下さい。

**パラメータ設計では、この誤差因子設定が最大のポイントなのです。**



表現を変えるなら、有効な誤差因子設定が次の直交実験以降の実験の良し悪しを決めますので、決して安易な妥協はしないで下さい。

誤差因子をどこまで把握しているかが、その企業や技術者の技術力であると言っても過言ではないのです。

予備実験を実際に行ってみて、さらに所長さんから説明を受けて、誤差因子の大切さが今ようやく理解できたように感じます。

それはよかった。

誤差因子の検証ができましたからもう一息ですよ。



次に制御因子の検証結果について御説明致します。

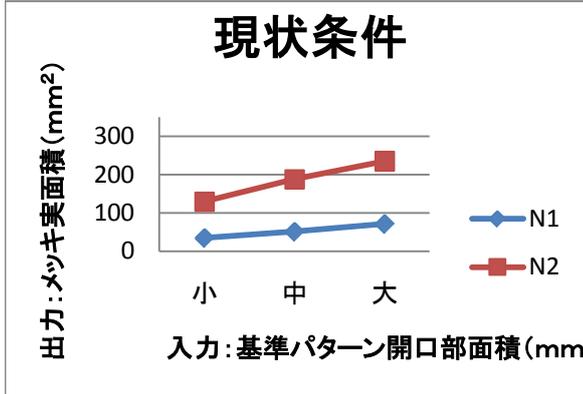
わかりました。

確認された順番に説明をお願いします。

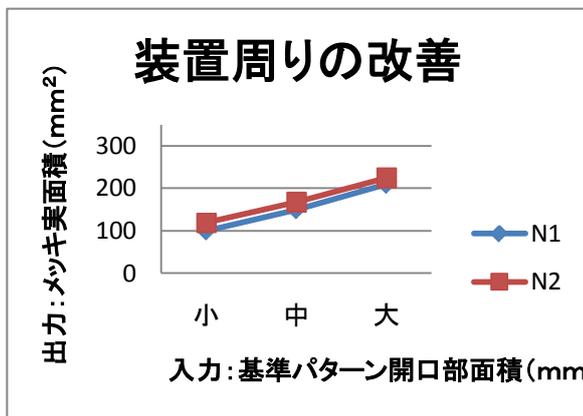




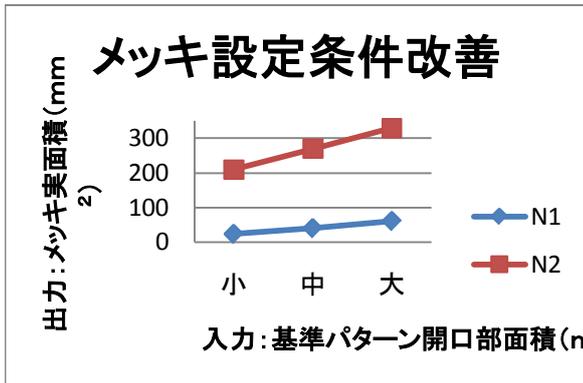
制御因子の効果検証は、所長さんにご指導  
頂いたように改善のコンセプトに従って、  
三つの狙い目で確認してみたところ、  
確認結果は、次の通りとなりました。



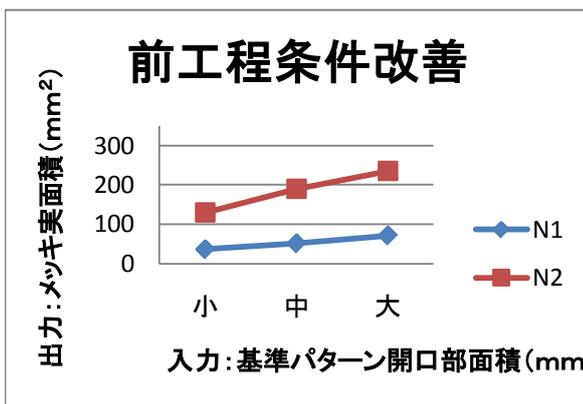
現状条件下では、誤差因子の影響によりN1、N2の出力結果に大きな差が出ている。この事から、誤差因子は十分に機能していると判断できる。



入力に対する出力結果は、現状条件では、大きく開いていたN1、N2が装置周りの制御因子の影響により狭まっている。従って、ここでは制御因子の効果により、誤差因子の影響を抑える効果が期待できるといえる。



この改善コンセプトでは、入力に対する出力結果が、現状条件に対して、縮小せず逆に開いた結果となっている。この制御因子も誤差因子の影響を抑える効果として有効であると判断できる。



この改善コンセプトでは、現状条件と誤差因子の影響による出力の差がほとんど変わらない。このような場合には、誤差因子を抑える効果が期待できない可能性が高いので、十分に技術的検討を行った上で、制御因子の見直しを行う。

## 制御因子の効き具合について説明を受けた所長

制御因子も効果の確認ができましたね。  
素晴らしい結果ですよ。Aさん  
これで安心して次の**直交実験**へ進むことができます。

くどいようですが、とても大事なところですので  
**予備実験**について再度お話させていただきます。  
この予備実験の段階での結果の良し悪しが、  
次の直交実験以降の実験としての良し悪しが  
決定される事は以前お話した通りです。

有効な誤差因子、制御因子を設定する事は非常に  
大切な作業ですので、ここでは安易な妥協や手抜きは  
決してなさないで下さい。  
予備実験を行う重要な狙いとして、もう一つ  
大切なものがあります。  
それは**実験をいかに正確に、しかも可能な限り  
短時間で**行うかと言う事です。



どんなに有効な誤差因子、制御因子を見出す  
事ができても、正確な計測ができていなければ、  
正しい結果を導く事はできませんね。  
言うまでありませんが、**実験結果の再現性を  
確認し、正しく計測が行われているかを確認する  
のが、予備実験のもう一つの大切なチェック  
ポイント**です。

当たり前の事だとおっしゃるかもしれませんが、  
ここも大切な点ですので、念のためにチェックをお願いします。  
あと補足となりますが、**次の直交実験では、相当数の  
実験回数を行いますので、短時間に正確な計測  
評価が可能かどうか**も確認して下さい。  
もし、**短時間で評価できないとなれば、場合によっては  
自分達で新たな計測・評価方法を考案する必要が  
出てくる場合もある**のです。



はい。よく分かりました。  
予備実験の二つ目のポイントは、  
パラメータ設計でなくても大切な事ですよ。  
十分に注意して実験を進めていきます。

予備実験で、素晴らしい結果がでましたので、次のステップである直交実験についてお話を進めて行きます。よろしいですか Aさん。



よろしく申し上げます。所長さん。



パラメータ設計の直交実験では、直交表というある規則性をもった、特殊な表を用いて行います。今回は、制御因子の数も多そうですので、L18と言う2水準と、3水準が複合した直交表を使う事にしましょう。

ホワイトボードを使って直交表の説明を始める所長

**L18**

実験番号	A	B	C	D	E	F	G	H
1	A1	B1	C1	D1	E1	F1	G1	H1
2	A1	B1	C2	D2	E2	F2	G2	H2
3	A1	B1	C3	D3	E3	F3	G3	H3
4	A1	B2	C1	D1	E2	F2	G3	H3
5	A1	B2	C2	D2	E3	F3	G1	H1
6	A1	B2	C3	D3	E1	F1	G2	H2
7	A1	B3	C1	D2	E1	F3	G2	H3
8	A1	B3	C2	D3	E2	F1	G3	H1
9	A1	B3	C3	D1	E3	F2	G1	H2
10	A2	B1	C1	D3	E3	F2	G2	H1
11	A2	B1	C2	D1	E1	F3	G3	H2
12	A2	B1	C3	D2	E2	F1	G1	H3
13	A2	B2	C1	D2	E3	F1	G3	H2
14	A2	B2	C2	D3	E1	F2	G1	H3
15	A2	B2	C3	D1	E2	F3	G2	H1
16	A2	B3	C1	D3	E2	F3	G1	H2
17	A2	B3	C2	D1	E3	F1	G2	H3
18	A2	B3	C3	D2	E1	F2	G3	H1
現状の設定水準	A2	B2	C2	D2	E2	F2	G2	H2

任意のどの二列間をとっても、水準の組合せが同数回ずつ現れる

パラメータ設計では、直交実験を行う時にこのような直交表というものを使います。直交表は、18世紀にヨーロッパで作られてから、各分野で一部の人に使われていましたがパラメータ設計の創始者である、田口玄一先生によって一般の人にも使い易く改良され20世紀後半から、様々な分野の多くの人に使われています。



どうしてパラメータ設計では直交表が使われるのですか。  
所長さん。

それでは先に直交表の使い方から説明しましょう。アルファベットの文字が書かれた、青く色塗りされた一番上の行の部分に、制御因子が当てはめられます。制御因子を直交表に当てはめる事を、「**割付け**」と呼んでいます。次に黄色く色塗りされた、実験番号と書かれた一番左側にある列は、実験の種類を表します。この直交表は「**L18直交表**」とよばれ、18種類の実験を行う直交表です。ちなみに制御因子は、標準的には「L18直交表」では8種類を扱う事ができます。

制御因子と実験番号に囲まれた白枠の部分でアルファベットと数字の両文字で表記された箇所は制御因子の水準を表しています。水準とは、制御因子の具体的な設定条件であり、A列のみ二水準で、残りのB~Hの因子の入る列は三水準が入ります。直交表の特徴は、任意のどの二列の組み合わせを見ても水準の組合せが同数回ずつであるという事です。



この任意の二列間の水準の組合せが同数回ずつ現れるという事はとても重要であり、**少ない実験回数で広い実験空間を推定できる根拠**となっているのです。詳細な理由は、また別の機会にお話したいと思います。その為に、「L18直交表」を使って18種類の実験を行う事で4374回の実験を行ったのと同じ実験空間を推定できるのです。従って、L18直交表で18種類の実験を実施する事が4374回の実験をしたのと同じとなり実験の大幅な効率化につながるのです。



直交表を使う事で、物凄く効率的な  
実験ができるのですね。  
制御因子の割付けについては理解しましたが  
誤差因子はどのようにして割付けるのですか？

### 誤差因子

#### 外側割付け

誤差因子	N1	N2
メッキ液 新旧	交換前	交換後
リードフレー	A社	B社

### 制御因子

L18

実験番号	A	B	C	D	E	F	G	H
1	A1	B1	C1	D1	E1	F1	G1	H1
2	A1	B1	C2	D2	E2	F2	G2	H2
3	A1	B1	C3	D3	E3	F3	G3	H3
4	A1	B2	C1	D1	E2	F2	G3	H3
5	A1	B2	C2	D2	E3	F3	G1	H1
6	A1	B2	C3	D3	E1	F1	G2	H2
7	A1	B3	C1	D2	E1	F3	G2	H3
8	A1	B3	C2	D3	E2	F1	G3	H1
9	A1	B3	C3	D1	E3	F2	G1	H2
10	A2	B1	C1	D3	E3	F2	G2	H1
11	A2	B1	C2	D1	E1	F3	G3	H2
12	A2	B1	C3	D2	E2	F1	G1	H3
13	A2	B2	C1	D2	E3	F1	G3	H2
14	A2	B2	C2	D3	E1	F2	G1	H3
15	A2	B2	C3	D1	E2	F3	G2	H1
16	A2	B3	C1	D3	E2	F3	G1	H2
17	A2	B3	C2	D1	E3	F1	G2	H3
18	A2	B3	C3	D2	E1	F2	G3	H1
現状の 設定水 準	A2	B2	C2	D2	E2	F2	G2	H2

#### 内側割付け

実験回数 = 実験の種類(18) × 誤差因子水準数(2) × 信号数(3)

L18直交表を使った合計実験回数は、入力信号数が  
3であれば、上式より108回となる。

上記の図を描いて説明を始める 所長

Aさん またホワイトボードで説明しましょう。  
制御因子は、先ほどご説明しましたように  
L18直交表に割付けるのですが、誤差因子は  
この直交表には直接割付けられません。  
その為、直交表とは別のところに割付けざるを得ません。  
このホワイトボードに描いたように、調合した  
誤差因子二水準を、直交表の外に割付けます。  
この様な誤差因子の割付け方を、「**外側割付け**」と  
言い、これに対して直交表内に割付けられた  
制御因子を「**内側割付け**」と呼んでいます。



18種類の実験を行うL18直交実験では、入力  
信号数が3水準であれば、総合計で108回の  
実験を行う事になるのです。



実験の具体的な方法について  
良く理解する事ができました。  
有難うございました。  
早速、直交実験に取り  
掛かりたいと思います。

直交実験を行うにあたって、  
あと幾つかつお願いがあります。  
一つ目は、**予備実験でも実施して頂いたのですが  
直交実験でも必ず誤差因子を入れて  
現状条件での実験を実施して頂きたいのです。**  
理由は、確認実験を行う前に詳しくお話しますが  
実験の精度を直交実験の段階でもチェックする  
必要があるからなのです。

二つ目のお願いは、**水準を割付ける際には、  
特に三水準割付けの際には、現状条件を基本的に  
第二水準に設定して、第一水準と第三水準は  
実験が成り立つぎりぎりの水準まで、極力大きく  
条件を広げて設定して頂きたいのです。**



三つ目のお願いは、直交表に割付けた後は  
必ず**実験内容を18種類全部チェックし、  
水準の組合せに無理のない実験となっているか  
どうかを確認して下さい。**  
水準をぎりぎりまで振って実験しようとするから、  
実験として成立しない水準の組合せになる場合が  
時々ありますから注意が必要です。



誤差因子や制御因子は既に分かっていますから  
 もしよろしければ、所長さんがいらっしゃる前で  
 割付けをしてみたいのですが、いかがでしょうか？  
 お時間をもう少し頂きますがよろしいですか？

よろしいですよ。

そのほうが先々無駄も省けそうですし  
 私の都合も全く問題ありませんから、  
 一緒に割付けを進めていきましょうか。



**誤差因子**

**外側割付け**

誤差因子	N1	N2
メッキ液 新旧	交換前	交換後
リードプレー	A社	B社



必ず現状条件  
を実施

水準は可能な限り  
大きく設定

**内側割付け**

**制御因子**

	メッキ液 種類	メッキ液 温度	メッキ液 流量	電極形状	メッキ槽 容量	電流波形	電極位置	前処理 条件
第1水準	A1	B1	C1	D1	E1	F1	G1	H1
第2水準	A2	B2	C2	D2	E2	F2	G2	H2
第3水準	A3	B3	C3	D3	E3	F3	G3	H3
現状水準	A2	B2	C2	D2	E2	F2	G2	H1
単位		°C	A		m <sup>3</sup>			

(注意1): 前処理条件は、実験の都合上第一水準を選択した

(注意2): 実験回数は、現状条件が6回プラスされるので、  
最終的な合計回数は、114回となる。

所長に指導して貰いながら 以上のように割付けられた



## 因子と水準が割付けられた結果



制御因子と水準が割付けられたL18直交表

実験番号	メッキ液種類	メッキ液温度	メッキ液流量	電極形状	メッキ槽容量	電流波形	電極位置	前処理条件
1	A1	B1	C1	D1	E1	F1	G1	H1
2	A1	B1	C2	D2	E2	F2	G1	H2
3	A1	B1	C3	D3	E3	F3	G1	H3
4	A1	B2	C1	D1	E2	F2	G3	H3
5	A1	B2	C2	D2	E3	F3	G1	H1
6	A1	B2	C3	D3	E1	F1	G2	H2
7	A1	B3	C1	D2	E1	F3	G2	H3
8	A1	B3	C2	D3	E2	F1	G3	H1
9	A1	B3	C3	D1	E3	F2	G1	H2
10	A2	B1	C1	D3	E3	F2	G2	H1
11	A2	B1	C2	D1	E1	F3	G3	H2
12	A2	B1	C3	D2	E2	F1	G1	H3
13	A2	B2	C1	D2	E3	F1	G3	H2
14	A2	B2	C2	D3	E1	F2	G1	H3
15	A2	B2	C3	D1	E2	F3	G2	H1
16	A2	B3	C1	D3	E2	F3	G1	H2
17	A2	B3	C2	D1	E3	F1	G2	H3
18	A2	B3	C3	D2	E1	F2	G3	H1
現状条件	A2	B3	C2	D1	E3	F1	G2	H2

3

### 直交実験の際の注意点

(注意①) : ・実験内の水準の組合せは必ず直交表で指定した組合せを守る  
 ・水準の組合せをチェックし、成立しない実験がないか確認。

(注意②) : 実験を実施する順番は変更しても可。

(注意③) : 18種類の直交表で指定された実験の他、現状条件も必ず実施する。



お忙しいのに一緒にお付き合い  
頂きまして有難うございました。  
これで、すぐにも実験に掛れそうです。  
実験を進めながら、分からない点が出  
てくるとは思いますが、その時は  
電話等でご指導頂けませんか？  
よろしくお願い致します。

了解しました。  
分からない点が出てきましたら  
いつでも相談に応じますので、  
遠慮なく連絡して下さい。  
お待ちしておりますよ。  
蛇足ながら、直交実験に入る前に  
一言追加しておきます。

実験の効率から判断してNo. 1から  
No. 18までの実験順序の変更は  
一向に構いませんが、**実験内の水準の  
組合せだけは絶対に変えては いけません。**



理由は、直交表の説明のところでもお話  
しましたように、水準の組合せは直交表の  
配列に従った組合せとなっていますので、  
そこを間違ると、**直交表の規則性が崩れ  
正しい直交実験とならない**からです。  
くれぐれもご注意ください実験を進めて下さい。  
よろしくお願い致します。



はい。わかりました。  
十分に気を付けて間違いの  
ない実験を進めていきます。

直交実験は、この段階では良い結果を  
出すのが目的ではありませんので、  
悪い結果がでてでも決して気になさる  
必要はありません。

**直交実験の目的は、各制御因子が出力に対して、  
どの程度の効果を持つかと言う事です。**



それでは、直交実験の結果を楽しみにお待ちしておりますよ。

## Chapter 4

## 直交実験～確認実験

数日後、直交実験の結果を持って公設試 C所長を訪れたAさん



直交実験の結果が出ましたので、  
報告を兼ねて次のステップへの進む為  
教えを乞いに参りました。  
ご指導よろしくお願い致します。

ようこそ。お待ちしていました。  
直交実験も順調に行ったようで、  
良かったですね。  
早速、結果を聞かせて下さい。



C所長から促されて、結果の説明を始める Aさん

### 直交実験結果 ①

実験番号	メッキ液種類	メッキ液温度	メッキ液流量	電極形状	メッキ槽容量	電流波形	電極位置	前処理条件	SN比 (db)	感度 (db)
1	A1	B1	C1	D1	E1	F1	G1	H1	-49.5	-17.8
2	A1	B1	C2	D2	E2	F2	G2	H2	-55.1	-26.9
3	A1	B1	C3	D3	E3	F3	G3	H3	-49.5	-31.3
4	A1	B2	C1	D1	E2	F2	G3	H1	-48.3	-27.1
5	A1	B2	C2	D2	E3	F3	G1	H1	-54.9	-25.9
6	A1	B2	C3	D3	E1	F1	G2	H2	-52.8	-24.3
7	A1	B2	C1	D2	E1	F3	G2	H1	-47.7	-21.4
8	A1	B2	C2	D3	E2	F1	G3	H1	-51.7	-27.7
9	A1	B2	C3	D1	E3	F2	G3	H2	-52.6	-26.9
10	A2	B1	C1	D3	E3	F2	G2	H1	-48.2	-20.2
11	A2	B1	C2	D1	E1	F3	G3	H2	-56.5	-29.6
12	A2	B1	C3	D2	E2	F1	G1	H3	-51.5	-24.6
13	A2	B2	C3	D2	E3	F1	G1	H2	-47.8	-24.8
14	A2	B2	C2	D3	E1	F2	G1	H3	-58.4	-29.8
15	A2	B2	C2	D1	E2	F3	G2	H1	-54.8	-22.6
16	A2	B2	C1	D3	E2	F3	G1	H2	-48.0	-25.5
17	A2	B2	C2	D1	E3	F1	G2	H3	-61.0	-23.8
18	A2	B2	C3	D2	E1	F2	G3	H1	-48.5	-30.9
現状の水 準	水準2	水準2	水準2	水準2	水準2	水準2	水準2	水準1	-59.5	-25.1

SN比:バラツキを表す指標。数値が大きい程、  
バラツキが小さい事を表す

感度 :出力の大きさを表す指標。  
(本事例では、出力はメッキ実面積)

この様な結果となりましたが、初めての経験ですので  
どのように説明してよいかわかりません。  
すみませんが、言葉の意味から教えて下さい。  
SN比や感度とは何を表しているのですか？

初めてのご経験ですから、ご尤もなことですよね。  
それではパラメータ設計特有の言葉の意味から  
ご説明致しましょう。



**SN比とは、パラメータ設計ではバラツキの  
大きさを表す指標です。**  
単位はデシベルでアルファベットの小文字を  
使い、**db**と表記します。

よろしくお願いします。

SN比が大きい程、バラツキが小さい事を  
表しますので、大部分の場合SN比が大き  
くなるように制御因子の水準を選ぶこととなります。



**感度は出力の大きさを表し、単位はSN比と  
同様にデシベルであり、dbと表記します。**  
感度は、出力の大きさを表しますので、  
今回課題では、メッキ実面積の大きさを表します。



と言いますと、バラツキの程度を表すSN比が  
大きくなる方向と、感度はメッキ実面積ですから  
感度である $\beta$ が1に近づくように、水準を  
決めると良いと言うことになるのですか？

その通りですよ。Aさん。  
SN比はどんな場合でも、大きくなる方向に  
条件を選択する訳ですが、今回のメッキ改善の  
課題では、「基本機能」が転写性で、基準  
パターン開口部面積に対して、メッキ実面積が  
同じになって欲しい訳です。

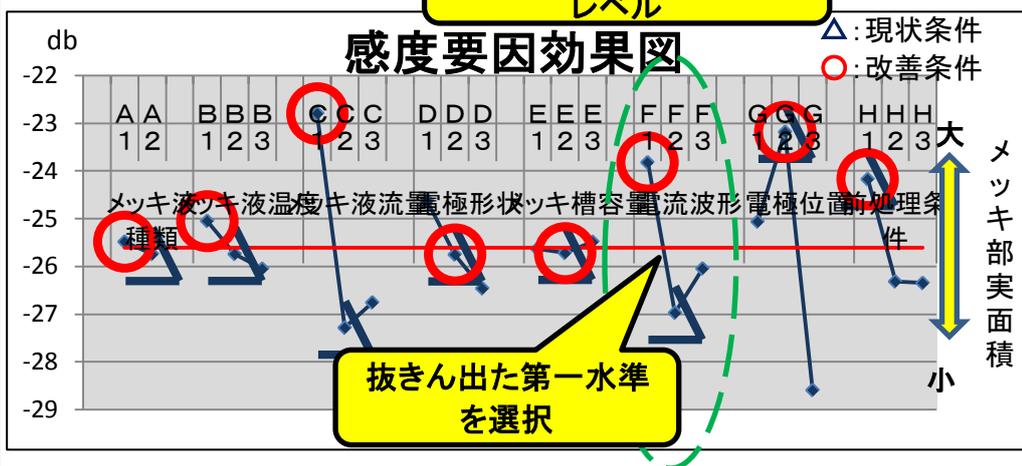
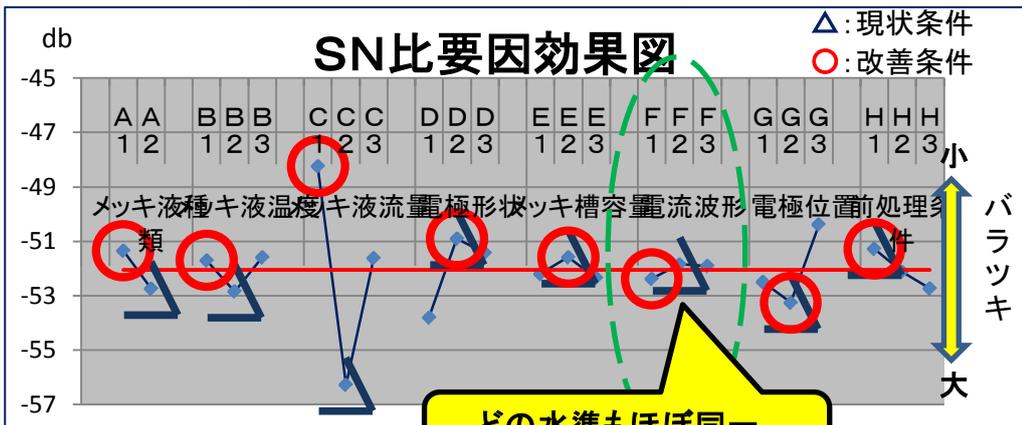


メッキ実面積は、基準パターン開口部面積に  
対して同じになるのが理想であり、開口部  
面積より大きくても、小さくてもよくありません。  
感度( $\beta$ )は1に近づくように選べばよい事になります。

考え方は分かりましたが、具体的にはどのような  
方法で行えば良いのですか？

要因効果図を示しながら説明を始める C所長

直交実験結果 ②



直交実験結果 ③

確認実験メニュー

	メッキ液種類	メッキ液温度	メッキ液流量	電極形状	メッキ槽容量	電流波形	電極位置	前処理条件	SN比(db)	感度(db)	$\beta$	$\sigma$
現状実測	水準2	水準2	水準2	水準2	水準2	水準2	水準2	水準1	-56.37	-24.17	0.06	40.75
現状推定	水準2	水準2	水準2	水準2	水準2	水準2	水準2	水準1	-56.41	-25.28	0.05	36.02
最適推定 (SN比優先)	水準1	水準3	水準1	水準2	水準2	水準2	水準3	水準1	-42.86	-26.25	0.05	6.77
最適推定 (感度)	水準1	水準1	水準1	水準1	水準3	水準1	水準2	水準1	-50.04	-15.32	0.17	54.42
最適推定確認												
最適条件推定	水準1	水準1	水準1	水準2	水準2	水準1	水準2	水準1	-46.38	-16.68	0.15	30.54

現状条件水準: A2,B2,C2,D2,E2,F2,G2,H1

改善条件水準: A1,B1,C1,D2,E2,F1,G2,H1

本データは、教材用に作られたものであり、事実とは異なる事を御断りします。

直交実験を実施すると、このような各制御因子の効果の効き具合を示す**要因効果図**が得られます。

要因効果図もパラメータ設計の特徴の一つであり、この図が得られる事によって技術者は簡単に設定した制御因子のどの水準を選べば良いかを知ることができ、最適な水準選択が可能となるのです。水準を選定する時は、この**要因効果図**という折れ線グラフを見ながら行います。

**SN比は数値が大きい程バラツキが少ない**訳ですから、一般的には数値の大きい方を選択します。



感度は、先ほどもご説明しましたように今回のこのメッキの課題では **$\beta$ が1**となるように選びます。SN比も感度も改善方向に両立する結果であれば無条件に両立する水準を選べば良いのですが、SN比と感度が両立しない制御因子の場合は、この課題が置かれている様々な状況を加味しながら、ご自分達で判断し最良と思われる水準を選択します。

一例を上げるなら、電流波形ではSN比はどの水準でもほぼ同じレベルですが、感度は第一水準が他の水準に対して2db位抜きんでいます。(感度は大きい方の選択がベターとすれば)この場合、感度の大きな第一水準を選択する事で他に大きな問題がなければ水準一を選びます。



**要因効果図の見方と水準の選び方は分かりました。**

改善条件を決定するに当たり、もう一つチェックポイントがありますのでお話しておきます。そのチェックポイントとは、現状条件での推定と実測結果がどれ位近い値となっているかどうかを確認するという事です。





現状条件での推定と実測結果とは、  
どう言う事をおっしゃっているのでしょうか？  
私には全く分かりません。

Aさん 今度はこちらにある確認実験の  
メニューをご覧になって下さい。  
要因効果図を見ながら改善条件となり得そうな  
改善案を幾つか候補として、取り上げて  
このような表にまとめておくと便利です。  
その際に、この表の一番上のところに  
**「現状実測」**と**「現状推定」**とありますね。  
現状実測とは、まさに現状条件で実際に  
計測・評価した結果ですが、現状推定とは  
直交実験を行うと現状条件と同じ制御因子の  
組合せ条件での出力の推定ができるのです。



直交表って面白い事ができるのですね。

実験が正しく行われていて、適正な制御因子が  
選ばれておれば、現状実測と現状推定は  
かなり近い値となりますが、そうでなければ  
両者での数値の違いが大きくなってきます。  
一般的に両者の差は3db程度を適正か  
どうかの目安としています。



3dbと言いますと約1.4倍程度ですね。

Aさん 貴方の直交実験による両者の違いは  
SN比、感度とも1db前後ですから、  
かなり精度良く実験できていると言えます。



良かった。有難うございます。  
しかし、もしその差が3db以上となった  
場合にはどうすればよいのですか？

直交実験の段階でこのような不都合が  
起こらないように、予備実験の段階で実験の  
精度等をチェックする訳ですが、そこでの  
チェック漏れが生じた場合の、次の  
精度検証の機会として位置づけられて  
いますので、量産段階や市場に出て行って  
から不都合が判明するよりは、まだ  
ましであるとは思いませんか？



確かにおっしゃる通りですね。  
その意味でも、予備実験は直交実験以降を  
成功させる為にも非常に大切なステップなんですね。

その通りです。 Aさん。  
それから、3dbという数値はあくまでも  
目安であって、絶対的なものではありません。  
その時の課題やテーマの必要度によって  
変わり得る数値であるという点をご理解  
しておいて下さい。



分かりました。  
有難うございます。 所長さん。  
直交実験が終わったこの段階で実験精度が  
問題とならないように、予備実験で実験精度を  
十分にチェックしておくようにします。

もう一つ考えられるのは、直交実験での  
単純ミスの可能性が挙げられます。  
水準条件の設定間違いや、計測の際の  
単純ミス等です。  
ここで、現状実測と現状推定との間に  
計測値に大きな開きが生じていると  
いうことは、実験に関して何らかの  
異常が発生している訳ですから、  
慌てて次へ進むのではなく、慎重に  
原因究明をなさる事がとても大切で  
あると思っています。



良く分かりました。十分に注意します。  
それからようやく 所長さんがおっしゃった  
直交実験の目的の意味が分かりました。  
因子の効果の度合いを見出す事が  
狙いですから直交実験では、悪い結果が  
出ても気にしなくて良い訳ですね。

その通りですよ Aさん  
直交実験で得られる要因効果図は  
貴重な技術情報となり得ます。  
要因効果図で得られる技術情報を  
基にして議論を重ね、確固たる理論へ  
繋げていく事がとても重要なんですよ。





所長さんのおっしゃる通りですね。  
結果オーライで終わるのではなく、その結果に  
至るには、必ず何らかの理由がある筈ですから  
要因効果図が教えてくれる技術情報から  
真理を掴み取る姿勢はとても重要ですよね。

まったく Aさんのおっしゃる通りです。  
要因効果図から得られた情報を、  
ただその場限りの限定的な情報として  
捉えるのではなく、より多くの技術的場面で  
活用可能な汎用技術として確立する  
ことが、一人一人の技術者やその集団である  
企業の技術レベル向上に繋がるのです。



直交実験の次のステップは何になりますか？  
早く次に進みたいと思います。  
ご指導よろしくお願いします。

次は確認実験というステップに移ります。  
確認実験では、直交実験から得られた  
要因効果図を基にして改善条件を推定し、  
推定通りに改善できるかどうかを確認します。  
確認実験でも現状条件で実験する事を  
忘れないで下さいね。



了解しました。  
現状条件の実験は予備実験を入れると  
3回実験する事になるのですね。

そうなんですよ Aさん。  
面倒臭がらずに必ず実験して下さいね。  
確認実験で行う現状条件での実験は  
「**利得の確認**」という、重要な役割が  
あるからです。  
「利得の確認」については、次回  
確認実験の結果が出た際にお話しましょう。

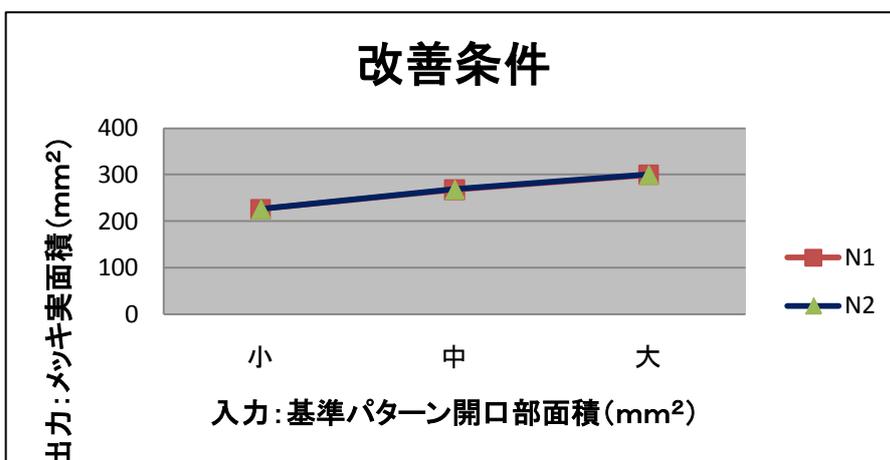
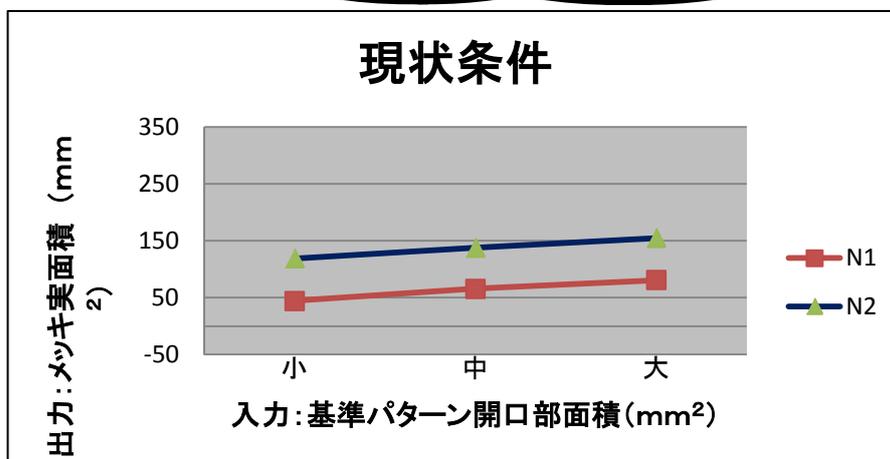


分かりました。現状条件と改善条件の両方の  
実験を行い、結果が出次第報告に参ります。  
次回もご指導よろしくお願いします。

更に数日後、確認実験の結果を持って公設試 C所長を訪れたAさん

### 確認 実験結果

	推定		確認	
	SN比	感度	SN比	感度
現状条件	-56.41	-25.28	-56.37	-24.17
最適条件	-46.38	-16.68	-46.25	-15.79
利 得	10.03	8.60	10.12	8.38



現状条件に対して改善条件では、誤差因子を与えているにもかかわらず、ほとんど出力の差がなく感度も増加した。

報告書を見ながらC所長に説明する Aさん

所長さん 素晴らしい結果が出ましたので  
ご報告させていただきます。

なるほど。これは素晴らしい結果となりましたね。  
良い結果が出て良かったですね。



はい。有難うございます。  
これも、所長さんのご指導のお陰です。  
現状条件と改善条件との両者を見比べてみればSN比も感度も改善されていることは一目瞭然です。  
ただ先日、所長さんがおっしゃっていた「**利得の確認**」についてまだ理解していませんので教えて下さいませんか？

そうですね。分かりました。

「**利得の確認**」もパラメータ設計特有の言葉ですから、確実に記憶に残しておいて下さい。  
「利得の確認」とは、現状条件から改善条件がどの程度改善されたかを確認する為のステップを指します。

前回直交実験が終了して、確認実験へ進む段階でお話しましたが、直交実験を行う事によって、現状条件でも改善条件の場合でも実際には実験していないのに、推定で結果の良し悪しを予測することができるのです。  
その推定に対して、どの程度結果が一致するのかを検証するのが、「**利得の確認**」です。



パラメータ設計では、それぞれの実験の過程で精度のチェックを行うようにしているのですね。

その通りですよ。Aさん。  
人間が介在して行う作業にはミスが必ず付きまとうものです。  
そのミスをなるべく早い段階で知らせるように仕組みでいると言えます。  
「**利得の確認**」はその最終段階のチェックと言う訳です。





今回の、私の行った実験では、  
推定と確認(実測)がかなり近い値と  
なっていますので実験としては、  
問題無いレベルと考えてよろしいのですか？

ええ その通りです。  
SN比も感度も推定に対する確認結果が  
どちらも1db以下となっており、かなり  
近い値となっていますので、この改善条件は  
再現性のある問題無い条件と考えられます。



但し、このままいきなり改善条件を量産に  
導入するのは万が一の場合を考えた時  
危険がない訳でもありませんので、念の為に  
少量試作からスタートさせて、問題無い事を  
確認しながら徐々に扱う数量を増やして下さい。

結果がとても気に入りましたので、実は既に  
少量試作は実施し、確認実験の結果と  
一致するのを確認しているのです。

今までと同じ材料や装置で生産して  
いるのが信じられない位安定しています。

本当に有難うございました。

私にとっても、一緒に仕事をしている

同僚にとっても良い勉強になりました。

これを機に、もっと他にも困っている課題が  
たくさん有りますので、是非パラメータ設計を  
活用して積極的に取り組んでみたいと  
考えています。

これからも、ご指導よろしくお願い致します。

それは良かった。

頑張ってください。

そして、もっと大きな成果へと繋げて下さい。  
パラメータ設計に関するセミナーやコンサルを  
事業として展開している業者も近くにいますので、  
パラメータ設計をもっと詳しくお知りになりたい  
のであれば紹介します。  
必要な時には声を掛けて下さい。



わかりました。  
今後ともよろしくお願い致します。

# MOST所有体験実験紹介

# 体験実験事例①(コマの実験)

## 品質工学体験テキスト コマ回転直交実験

コマがバラツキ無く、安定して長時間回転する為には？

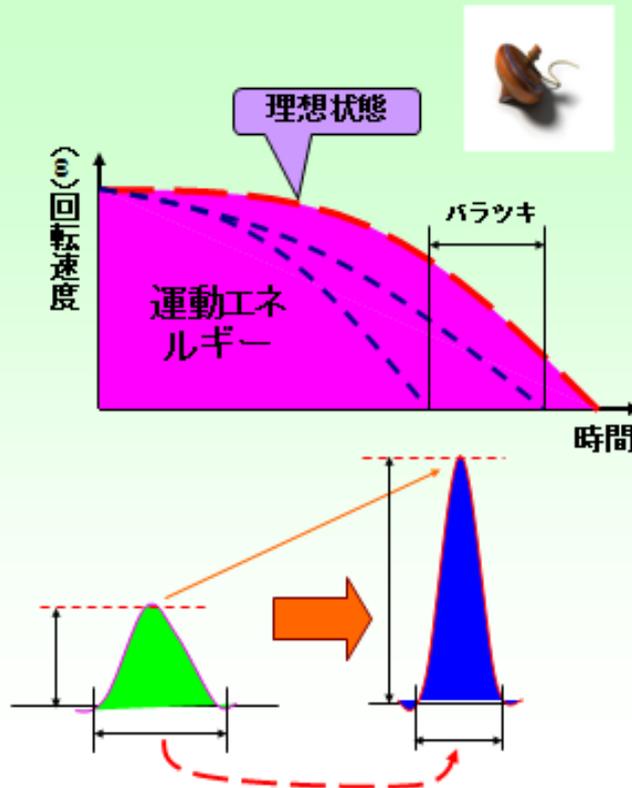


MOST合同会社

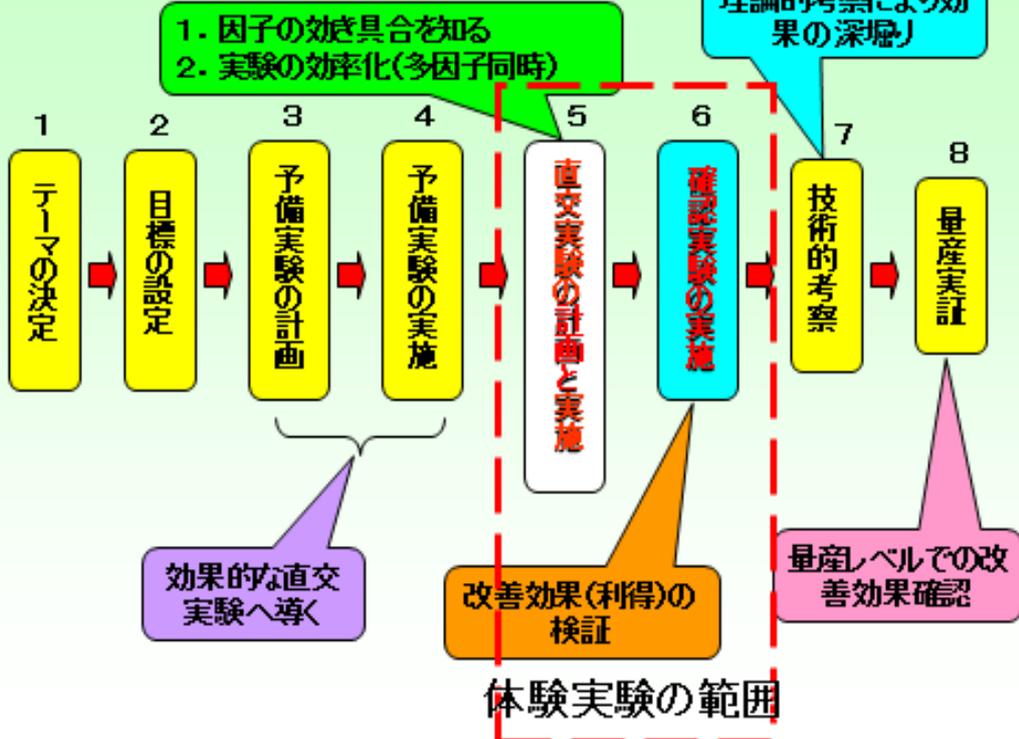
山口 和也(代表)  
浜田 郁郎

### 最適条件の探索

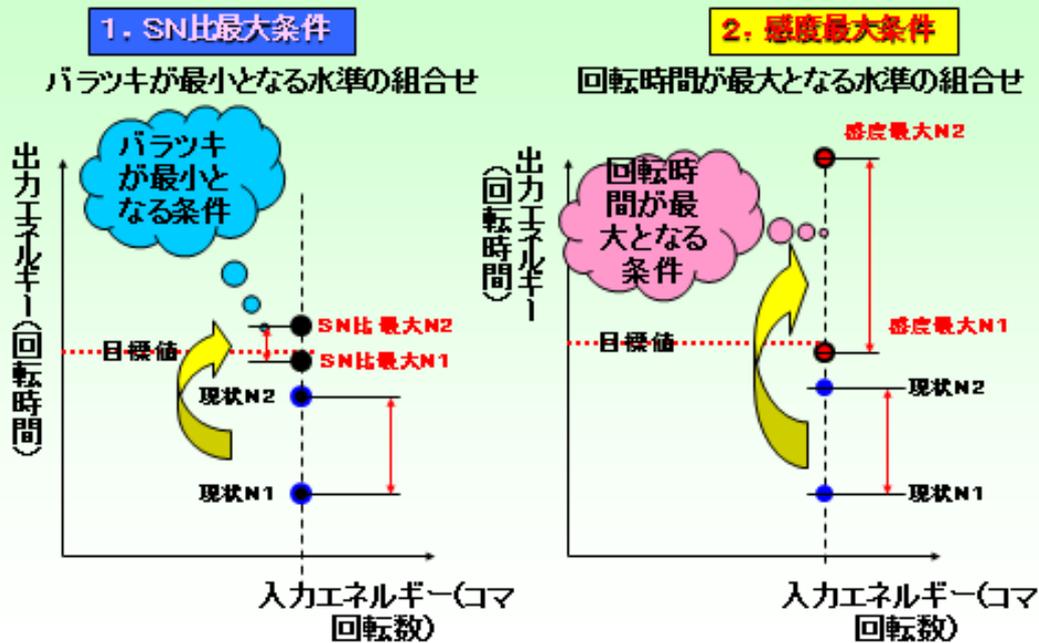
独楽はどうすれば長時間バラツキ無く安定して回るか？



# 品質工学の手順



## 体験実験での目標(狙い)

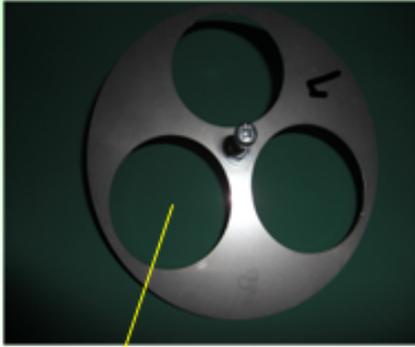


## コマ制御因子及び写真

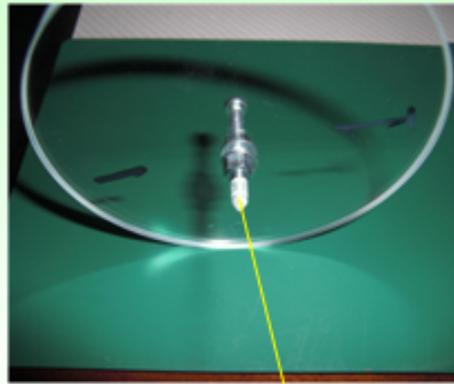
制御因子

① 円板材質

② 潤滑方法



④ 円板軽量穴数



③ 先端形状

## 直交実験 静特性の実験

制御因子選択例

・制御因子：軽量穴数、円板材質等下記4因子を設定

現状の水準

制御因子 水準	先端形状	潤滑方法	軽量穴数	円板材質
第1水準	樹脂被覆	ワックス	0	樹脂
第2水準	金属半球	なし	2	SUS
第3水準	樹脂半球	ろう	3	アルミ

・入力信号……………コマ回転数(角速度) 1信号(2000rpm)

・誤差因子……………回転部接地面



## L9直交実験組合せ表

L9直交実験は、総当たり実験81通り(3<sup>4</sup>-3×3×3×3=81)に相当

実験番号	先端形状	潤滑方法	円板抜き 穴数	円板材質
1	被覆	ワックス	0	樹脂
2	被覆	なし	2	SUS
3	被覆	ろう	3	アルミ
4	金属半球	ワックス	2	アルミ
5	金属半球	なし	3	樹脂
6	金属半球	ろう	0	SUS
7	樹脂半球	ワックス	3	SUS
8	樹脂半球	なし	0	アルミ
9	樹脂半球	ろう	2	樹脂

<b>現状</b>	<b>水準2</b>	<b>水準2</b>	<b>水準2</b>	<b>水準2</b>
-----------	------------	------------	------------	------------

L9直交実験で使用する9種類と及び現状条件(全て水準2)の組合せ、合計10種類のコマを製作し、一定回転数の下で静特性の実験を行う。

## L9直交実験の結果

SN比:バラツキを表す

回転時間の大きさを表す

実験番号	先端形状	潤滑方法	円板抜き 穴数	円板材質	SN比 (db)	感度(db)
1	被覆	ワックス	0	樹脂	14.7	44.94
2	被覆	なし	2	SUS	8.8	41.76
3	被覆	ろう	3	アルミ	14.5	40.71
4	金属半球	ワックス	2	アルミ	15.9	42.12
5	金属半球	なし	3	樹脂	8.0	38.94
6	金属半球	ろう	0	SUS	8.5	44.29
7	樹脂半球	ワックス	3	SUS	15.6	46.22
8	樹脂半球	なし	0	アルミ	4.0	41.15
9	樹脂半球	ろう	2	樹脂	7.7	38.49
現状の水 準	水準2	水準2	水準2	水準2	6.7	40.30

 現状よりSN比改善

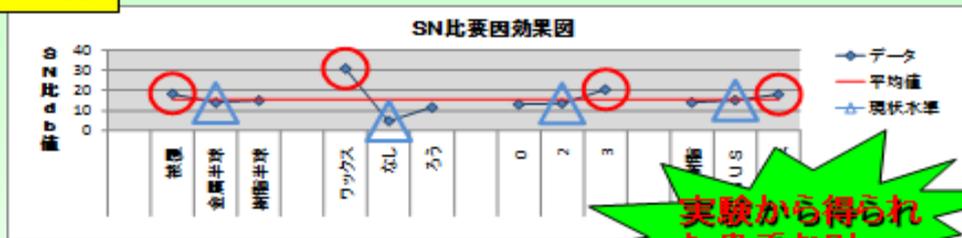
 現状より感度改善

## L9直交実験の結果(要因効果図)

○ : 改善条件  
△ : 現状条件

SN比

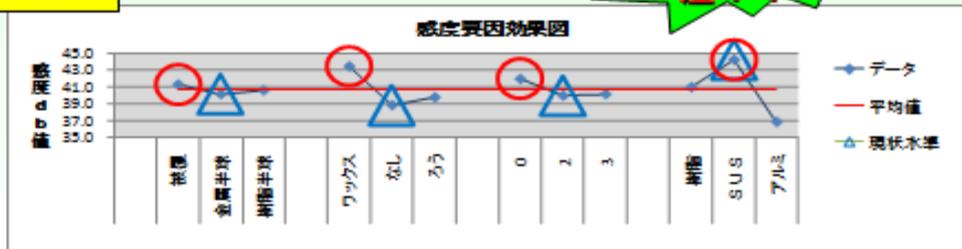
バラツキの大きさを表す



実験から得られた貴重な財産!!

感度

出力の大きさを表す



要因効果図を見ながら改善案の検討を行う

## 確認実験のメニュー及び結果例

実験精度検証

	先端形状	覆膜方法	円板抜き 穴数	円板材質	SN比 (db)	感度 (db)	推定m
現状実測	水準2	水準2	水準2	水準2	6.7	40.3	
現状推定	水準2	水準2	水準2	水準2	6.9	41.1	113.21
最適推定 (SN比最大)	水準2	水準1	水準3	水準3	17.8	43.3	146.04
SN比最大 実測結果					18.3	36.9	
最適推定 (感度最大)	水準2	水準1	水準1	水準2	13.7	47.6	238.54
感度最大 実測結果					11.3	45.5	

±3dbが実験成否判断の目安

### 直交実験の結果

得られた要因効果図を基に確認実験のメニューを作成

- ・現状条件の実測値と推定値の比較(実験の精度検証)
- ・SN比最大と感度最大の改善条件案(メニュー)作成

## 確認実験の結果例

## 利得の再現をチェック

確認実験の後で作成した確認実験メニューに従って複数の改善案となるコマを作ってみる。

SN比・・・推定と実測再現

利得の推定と確認

対数化の理由・・・因子効果の加法性前提

SN比最大の場合の利得確認

	推定		確認	
	SN比	(感度)	SN比	(感度)
現状	6.9	41.1	6.7	40.3
改善	17.8	43.3	18.3	36.9
利得	10.9	2.2	11.6	-3.4

(参考)

db	真値	Ve(分散)	$\sigma$ (標準偏差)
1	1.26	0.79	0.89
3	1.99	0.53	0.73
5	3.16	0.31	0.56
10	10	0.1	0.32
20	100	0.01	0.1

SN比の利得は推定に対し  
ほぼ再現

(参考)感度の利得は約6dbの差

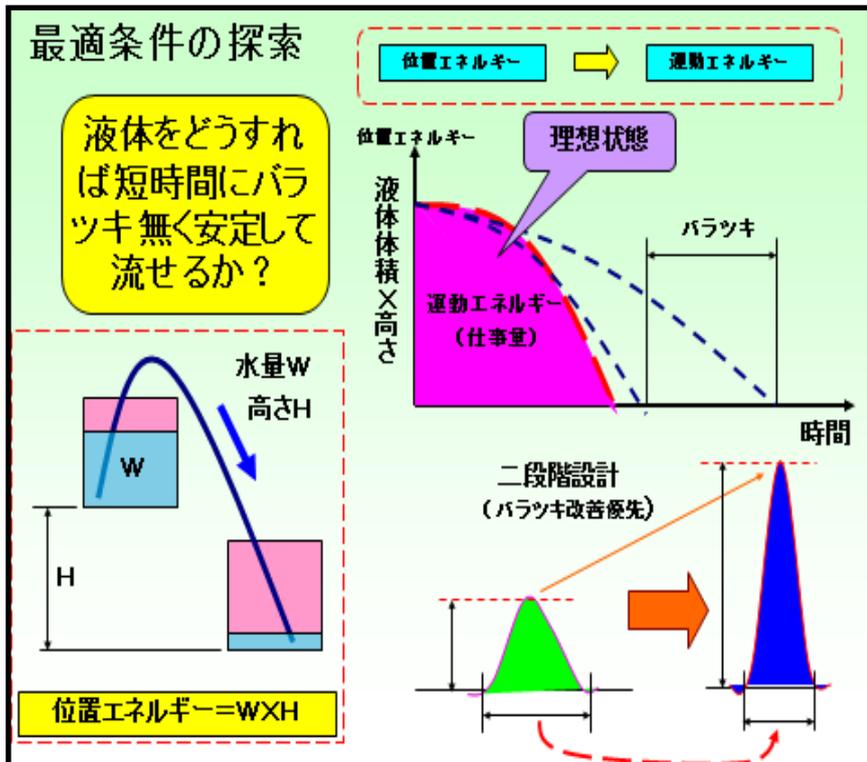
# 体験実験事例②(サイフォン実験)

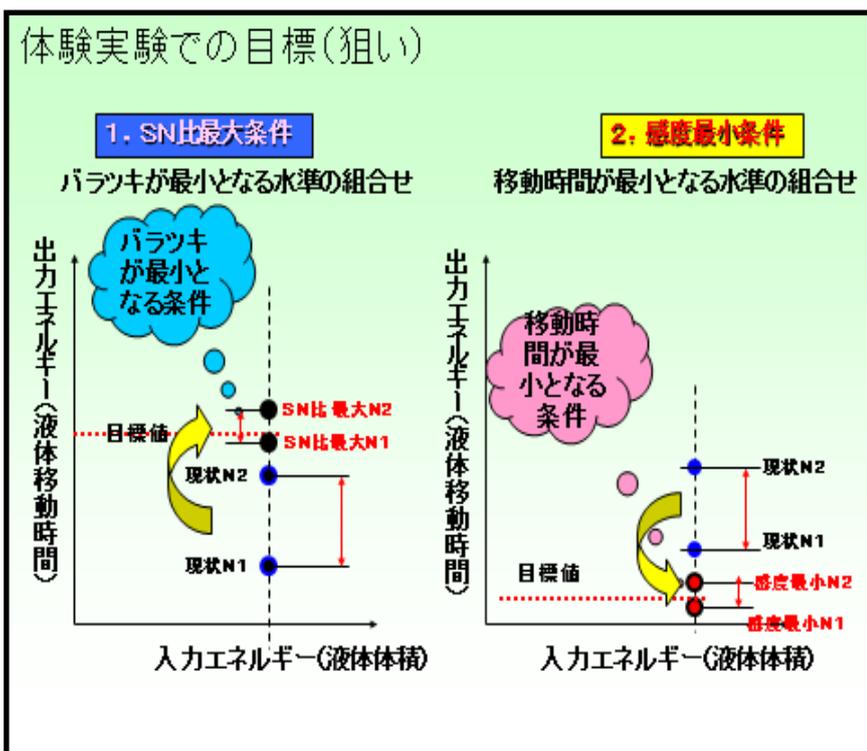
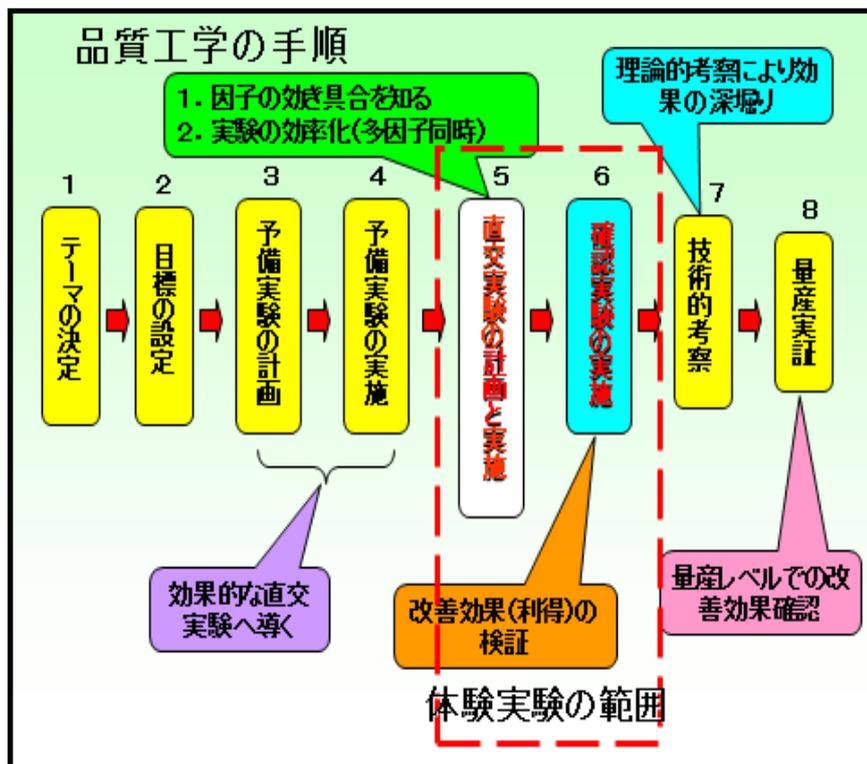
## 品質工学体験テキスト 流体移動直交実験

液体がバラツキ無く、短時間に流れるには？

MOST合同会社

山口 和也(代表)  
浜田 郁郎

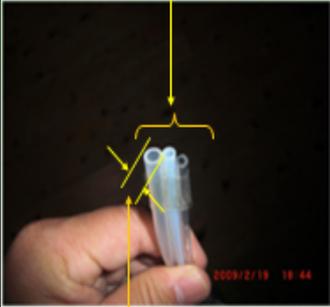




### サイフォン制御因子及び写真

制御因子

② チューブ材質



④ チューブ内径

① 落下高さ



③ チューブ長さ

### 直交実験 静特性の実験

制御因子選択例

・制御因子: 軽量穴数、円板材質等下記4因子を設定 現状の水準

制御因子 水準	落下高さ mm	チューブ材質 mm	チューブ長さ mm	チューブ内径 mm
第1水準	200	シリコン	300	2
第2水準	300	ビニル	500	3
第3水準	400	テフロン	700	4

・入力信号.....液体体積(ml) 1信号(100 ml)

・(必然)誤差因子.....液体粘度



入力: 液体体積

## L9直交実験組合せ表

L9直交実験は、総当たり実験81通り(3<sup>4</sup>=3×3×3×3=81)に相当

実験番号	落下高さ (mm)	チューブ材質	長さ(mm)	内径(mm)
1	200	シリコン	300	2
2	200	ビニル	500	3
3	200	テフロン	700	4
4	300	シリコン	500	4
5	300	ビニル	700	2
6	300	テフロン	300	3
7	400	シリコン	700	3
8	400	ビニル	300	4
9	400	テフロン	500	2

現状	水準1	水準2	水準3	水準1
----	-----	-----	-----	-----

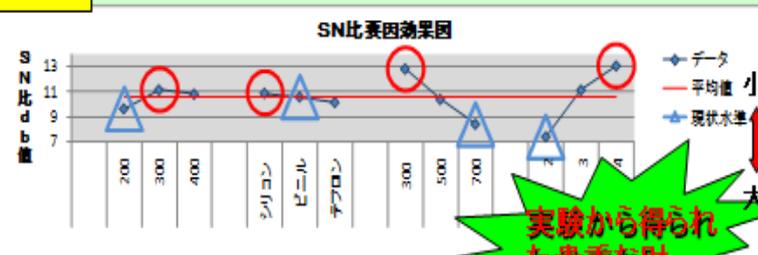
L9直交実験で使用する9種類と及び現状条件(全て水準2)の組合せ、合計10種類のコマを製作し、一定回転数の下で静特性の実験を行う。

## L9直交実験の結果(要因効果図)

○:改善条件

△:現状条件

SN比 パラッキの大きさを表す



感度 出力の大きさを表す



実験から得られた貴重な財産!

要因効果図を見ながら改善案の検討を行う

### 確認実験のメニュー及び結果例

実験精度検証

	落下高さ (mm)		チューブ材 質		SN比 (db)	感度 (db)
	水準1	水準2	長さ(mm)	内径(mm)		
現状実測	水準1	水準2	水準3	水準1	1.7	40.6
現状推定	水準1	水準2	水準3	水準1	4.4	41.7
最適推定 (SN比最大)	水準2	水準1	水準1	水準3	16.3	20.1
SN比最大実測結果					15.7	19.5
最適推定 (感度最小)	水準3	水準3	水準1	水準3	15.3	19.6
感度最小実測結果					16.7	19.3

±3dbが実験成否判断の目安

**直交実験の結果**

得られた要因効果図を基に**確認実験のメニュー**を作成

- ・現状条件の実測値と推定値の比較 (**実験の精度検証**)
- ・SN比最大と感度最大の改善条件案(メニュー)作成

### 確認実験の結果例

利得の再現をチェック

確認実験の後で作成した**確認実験メニュー**に従って複数の改善案となるコマを作ってみる。

SN比...推定と実測再現

利得の推定と確認

対数化の理由...因子効果の加法性前提

(参考)

	推定		確認	
	SN比	(感度)	SN比	(感度)
現状	4.4	41.7	1.7	40.6
改善	16.3	20.1	15.7	19.5
利得	11.9	-21.5	13.9	-21.1

db	真値	Ve(分級)	σ(標準偏差)
1	1.26	0.79	0.89
3	1.99	0.53	0.73
5	3.16	0.31	0.56
10	10	0.1	0.32
20	100	0.01	0.1

SN比の利得は推定に対し実測がほぼ再現

(参考)感度の利得もほぼ再現

## あとがき

筆者が最初に実験計画法に接したのが1970年代初頭であった。

当時の勤務先の関係で中部品質管理協会でのセミナーに参加したのが切っ掛けであった。

当時はまだパソコンは一般的には普及しておらず、電卓がようやく一般に広まり始めてきた時代である。

まだ不慣れな電卓を使って、講師の指導内容に沿って計算するのが精一杯だった事を記憶している。

とても講義の内容を理解したとは言い難い状況の中で出てきた計算結果を見て、狐につままれたような印象とそれまで行ってきた仕事の進め方とは異なる、新しい何かを感じてわくわくした思い出が残っている。

その後時折、実験計画法での二元配置や直交実験を実践してみて、その結果の確かさに素晴らしさを実感してみたものの、結果を導くまでの計算処理の面倒さがあり、十分に活用しているとは言い難い状況が続いていた。

次の出会いは、2002年のパラメータ設計として、実験計画法から発展した形であった。

パラメータ設計に出会った当初は、基本機能の考え方が実に難解で頭を悩ませたのと、誤差因子の考え方が理解できず、当時の同僚達と意見交換し合い、それまで理解に苦しんでいたものが理解できた時の嬉しさと、田口先生によって生み出された素晴らしい考え方に驚嘆した思い出が鮮明に残っている。

現在は高機能のパソコンが身近に利用可能であり、関連ソフトウェアも豊富に出回っていて、筆者が実験計画法に出会った時代と比べると環境的にも雲泥の差がある。

この様な恵まれた環境にあって、不幸にもパラメータ設計と出会う機会がなかった技術者の方々にとって、パラメータ設計との出会いは自己成長の絶好のチャンスである。

このチャンスを最大限に活かして今後の仕事に導入すれば今までの仕事の進め方とは全く異なる新しい視点が開け業務の革新はもとより、技術者自身の革新となる事も過去取り組んで成功を収めた多くの事例が証明している。

パラメータ設計を学び実践する事で飛躍発展する多数の技術者が生まれるのを期待したい。

## 著者略歴

1974年3月 鹿児島工業高等専門学校 機械工学科卒業

1974年4月 豊田工機(現 ジェイテクト)入社

\* 自動車用工作機械開発業務に従事 (大型専用研削盤、産業用ロボット等)

\* 実験計画法を駆使して試作機の性能評価等を実施

1983年7月 九州松下電器(株) 入社

\* 生産技術を中心に生産設備の開発設計、保全業務に携わる

\* 2000年以降全社業務改革活動を推進

\* 全社業務改革活動期間中に概ね1000テーマの品質工学による  
改善を手掛け全て成果に繋げる

2007年10月 MOST社コンサルタントとして現在に至る

## MOST合同会社概要

**MOST**  
Management of Scientific Tool

業務内容

### 科学的手法活用による課題解決支援

(手法：QFD, TRIZ, 品質工学, 多変量解析, 販売分析, 経営品質他)

経営課題解決支援コンサルティング

技術課題解決支援コンサルティング

工場課題解決支援コンサルティング

組織活性化支援コンサルティング

You can get the **MOST** performance  
by **MOST** (Management Of Scientific Tool)  
with **MOST**.

会社住所 〒811-2107 福岡県糟屋郡宇美町とびたけ1丁目19-11

TEL.FAX : 092-932-9701

E-mail : [5wd5yz@bma.biglobe.ne.jp](mailto:5wd5yz@bma.biglobe.ne.jp)

URL : <http://www7b.biglobe.ne.jp/~most/>

初版

2009年10月4日