

## 研究開発における品質工学の活用

Application of Quality Engineering in Research and Development

河田 直樹 Naoki KAWADA

品質工学は、「SN比」、「損失関数」、「直交表」の3つの要素を駆使し、研究開発した技術が市場または後工程で成立するか否かを推し量る評価手法である。研究開発対象の基本的な「機能」を定義し、SN比によって「機能」が誤差や外乱に対してロバスト（頑健）であるかどうかを評価する。

本稿では、研究開発段階での品質工学の活用において必要となる概念を解説するとともに、基本的な品質工学の適用の流れを解説し、これまでの当社における研究開発の品質工学の活用を振り返り、その効果と今後の研究開発での適用における課題を述べる。

### 1 はじめに

品質工学は、「SN比」、「損失関数」、「直交表」の3つの要素を駆使し、研究開発した技術が市場または後工程で成立するか否かを推し量る評価手法である<sup>①</sup>。

具体的には、研究開発対象の基本的な「機能」を定義し、SN比によって、その「機能」が誤差や外乱に対してロバスト（頑健）であるかどうかを評価する。

また、「直交表」との組み合わせによって、ロバスト性の高い設計因子の抽出と、パラメータの決定が容易になる。

本稿では、研究開発段階での品質工学の概念と基本的な適用の流れを解説し、これまでの当社における品質工学の活用状況を振り返り、その効果と今後の課題を述べる。

### 2 品質工学の概要

#### 2.1 全体構成

品質工学の体系を図1に示す。「オフライン品質工学」、「オンライン品質工学」、「MTシステム」の3つの手法で構成されており、オフライン品質工学は研究開発段階で、オンライン品質工学は製造段階で、MT

システムはパターン認識を必要とする段階で活用される。SN比で評価を行なう点が3つの手法に共通する事項である。直交表は主にオフライン品質工学とMTシステムで用いられ、損失関数はオフライン品質工学で主に用いられる。

本稿では、研究開発段階での品質工学の活用を取り上げるため、特にオフライン品質工学に着目し、SN比、直交表の役割と効果をみていくことにする。

#### 2.2 基本機能とSN比

品質工学で扱う「機能」は、品質を達成するためのシステム（技術や機械装置）が持つ本質的な働きとしている。

そして、システムの本래の働きが使用条件や環境条件にどれだけ影響されにくい、あるいはばらつきにくいことを「機能性」と定義している。機能性を「製品やシステムの本래の働きはエネルギー変換である」とした考えに基づいて表現した関数が基本機能である。基本機能は(1)式で表現され、Mはシステムの入力、yはシステムの出力、 $\beta$ は感度である(図2)。なお、基本機能は目的機能と理想機能に大別される。

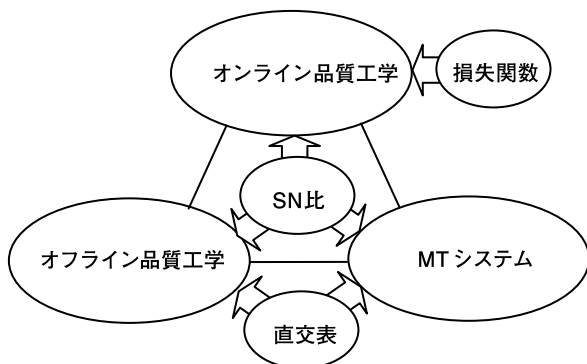


図1 品質工学の体系

$$y = \beta M \dots \dots \dots (1)$$

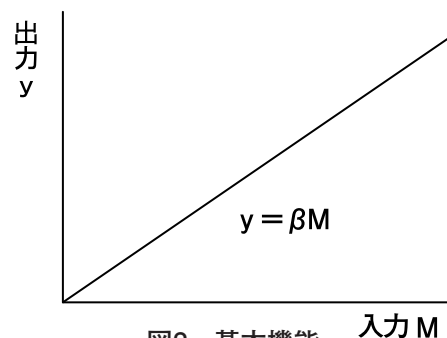


図2 基本機能

目的機能は、目的を達成するためのシステムのはたらかいで顧客の望む製品の機能（品質特性）を指す。

一方、理想機能は、システムの目的機能を実現するための技術的手段となるはたらかいで、ニュートンの法則やオームの法則など科学的な法則を指す。

このため、品質工学の活用例の大半が目的機能を用いている。基本機能を実際の製品やシステムに当てはめると、使用条件によるノイズや外乱などの「ばらつき」の影響を受けるため、実際には(2)式で表現される。

$$y = \beta M + e \dots \dots \dots (2)$$

ここで製品やシステムを関数化して、基本機能を表現すると(3)式になる。(3)式はA, B, C, …を制御因子（設計定数や試験条件）、Mを信号因子（基本機能の入力M）、X, Y, …を誤差因子（制御できないばらつき）とした変数を持つ複雑な関数で示される。

$$y = f(A, B, C, \dots, M, X, Y, \dots) \\ = \beta M + [f(A, B, C, \dots, M, X, Y, \dots) - \beta M] \dots \dots \dots (3)$$

(3)式の第1項は基本機能そのものであるが、第2項は基本機能との差のばらつきを示すことができる。基本機能を評価する場合、(3)式の第1項と第2項を分離して考える必要があるが、第2項の関数が複雑なため、数学的に分離するプロセスが必要となる。これを二乗和の分解といい、概念的には(4)式で表される。S<sub>T</sub>は全変動といい、(3)式に含まれる項の全二乗和でもとめられる。S<sub>β</sub>は比例項の変動といい、S<sub>N×β</sub>は比例項の差の変動という。それぞれ、y=βMによってもとめられる変動である。S<sub>e</sub>は誤差変動といい、偶然誤差とy=βMの非線形性が含まれている。

$$S_T = S_\beta + S_{N \times \beta} + S_e \dots \dots \dots (4)$$

(4)式によって、システムの機能に有用な成分をS<sub>β</sub>、システムの機能に有害な成分をS<sub>N×β</sub>+S<sub>e</sub>と分解することによって、システムの機能y=βMの評価ができる。

品質工学では、有用な成分を分子に、有害な成分を分母とした比をSN比と定義し、基本機能y=βMをSN比で評価することで、システムの機能性評価を行なっている。

一般的に知られているSN比は、電気信号に対するノイズの比であるが、システムに関する概念として、システムに有用な成分を信号、有害な成分をノイズとしている。

ところで基本機能にノイズの概念を当てはめると、

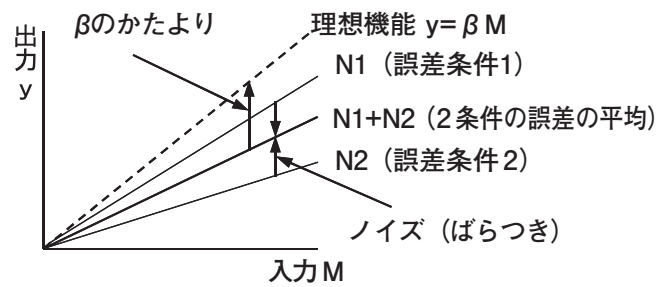


図3 基本機能におけるばらつきとかたより

表1 y=βMに基づいて取得されるデータ

	M1	M2	M3	L
N1	y11	y12	y13	L1
N2	y21	y22	y23	L2

y=βMが複数描かれることになる(図3)。

図3中の破線は理想線であり、3本の実線はばらつきによって変化した結果である。SN比は図3の破線に対する実線との差(かたより)と、実線のばらつきを示す指標となる。

品質工学では、SN比での評価によって図3に示される「ばらつき」を抑え、「かたより」を無くす段階を経てシステムの最適化を行なう。これを2段階設計という。

### 2.3 二乗和の分解

図3に示す基本機能から取得されるデータの例を表1に示す。表1は、信号因子Mが3水準、誤差因子Nが2水準の例である。二乗和の分解を(5)式から(15)式に示す。

有効除数  
 $r = M1^2 + M2^2 + M3^2 \dots \dots \dots (5)$

線形式  
 $L1 = M1y11 + M2y12 + M3y13 \dots \dots \dots (6)$

$L2 = M1y21 + M2y22 + M3y23 \dots \dots \dots (7)$

全変動  
 $S_T = y11^2 + y12^2 + y13^2 + y21^2 + y22^2 + y23^2 \dots \dots \dots (8)$

比例項の変動  
 $S_\beta = (L1 + L2)^2 / (2r) \dots \dots \dots (9)$

比例項の差の変動  
 $S_{N \times \beta} = (L1^2 + L2^2) / r - S_\beta \dots \dots \dots (10)$

誤差変動  
 $S_e = S_T - S_\beta - S_{N \times \beta} \dots \dots \dots (11)$

誤差分散  
 $V_e = S_e / 4 \dots \dots \dots (12)$

総合誤差分散  
 $V_N = (S_{N \times \beta} - S_e) / (1 + 4) \dots \dots \dots (13)$

SN比

$$\eta = 10 \log[(S_{\beta} - V_e)/(2r)] / V_N \dots\dots\dots (14)$$

感度

$$S = 10 \log(S_{\beta} - V_e)/(2r) \dots\dots\dots (15)$$

(5) 式の有効除数は、(9) 式以降の変動や分散の計算をより簡単にするために、単位変化量あたりの信号の変化に換算する値である。(6) 式、(7) 式の線形式は、最小2乗法で原点を通る直線の傾きの推定であり、L1 は誤差因子の条件がN1のときの傾きで、L2 は誤差因子の条件がN2のときの傾きである。(8) 式は、前述した全変動で表1のデータにおける全体の傾向を示しており、全データの二乗和である。(9) 式の比例項の変動は、信号Mを変化させたことによる出力yの変化である。(10) 式の比例項の差の変動は、誤差因子による $y = \beta M$ の傾きの変化である。(11) 式の誤差変動は、誤差因子以外の誤差(偶然誤差や系統誤差)の影響を示す値である。(12) 式は(11)式の分散で、(13) 式は、全体の誤差を示す値である。

そして、これらの値から(14) 式のSN比、(15) 式の感度がもとめられ、機能性の評価指標となる。

## 2. 4 パラメータ設計

品質工学では2段階設計を行なうにあたって、実験の効率化を図るためのツールとして、L<sub>18</sub>直交表を用いる(表2)。

表2の列が実験因子や設計定数などを当てはめる制御因子を示し、表2の行がその組み合わせパターンを示す。L<sub>18</sub>直交表の場合、組み合わせは18通りとなる。

この表では、制御因子Aは、2水準を割り付けることができ、直交表の行番号No.1から9が、A1となり、No.10から18がA2となる。制御因子BからHも同様の見方をし、全体で18通りの組み合わせとなる。

実験の組み合わせを直交表で計画し、図3で示すばらつきを実験条件として、通常は2水準与え、 $y = \beta M$ の基本機能を評価するために、信号因子Mとして通常3水準の入力を与える。これにより、実験数は $2 \times 3 \times 18$ の108通りとなる。108通りの実験データを用いてSN比をもとめ、最終的に2段階設計を経て、ばらつきに対するロバスト性を確保する。

この流れをパラメータ設計と呼び、具体的な手順を図4に示す。直交表で割り付けたパラメータの妥当性はSN比をもとめた後に示される要因効果図と確認実験によって示される。これを再現性という。

## 2. 5 要因効果と最適化

表3は、L<sub>18</sub>直交表に割り付けられる設定定数(制御因子と呼ぶ)の種類と数を示したものである。組み立て品の評価の場合には、8種類の構成部品にそれぞれのよな性能の部品を使えば良いかを評価するために、それぞれの部品に2つまたは3つの水準を設定することができる。

例えば、表3のAという部品にA1という性能を持つ部品とA2という性能を持つ部品のどちらの方が基本機能を発揮するかということを知ることができる。Bという部品の場合には、B1、B2、B3のいずれが基本機能を発揮するかということを知ることができ、以下、C~Hも同様の評価を行なえる。そして、A~Hのそれぞれで最適な水準が選択され、その組み合わせを最適条件とすることができる。その選択は要因効果図によって可能となる。要因効果図の例を図5、6に示す。通常、パラメータ設計によって要因効果図はSN比 $\eta$ と感度Sの2枚が得られる。

表2 L<sub>18</sub>直交表

No.	A	B	C	D	E	F	G	H
1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	2	2	2	2	2	2
3	1	1	3	3	3	3	3	3
4	1	2	1	1	2	2	3	3
5	1	2	2	2	3	3	1	1
6	1	2	3	3	1	1	2	2
7	1	3	1	2	1	3	2	3
8	1	3	2	3	2	1	3	1
9	1	3	3	1	3	2	1	2
10	2	1	1	3	3	2	2	1
11	2	1	2	1	1	3	3	2
12	2	1	3	2	2	1	1	3
13	2	2	1	2	3	1	3	2
14	2	2	2	3	1	2	1	3
15	2	2	3	1	2	3	2	1
16	2	3	1	3	2	3	1	2
17	2	3	2	1	3	1	2	3
18	2	3	3	2	1	2	3	1

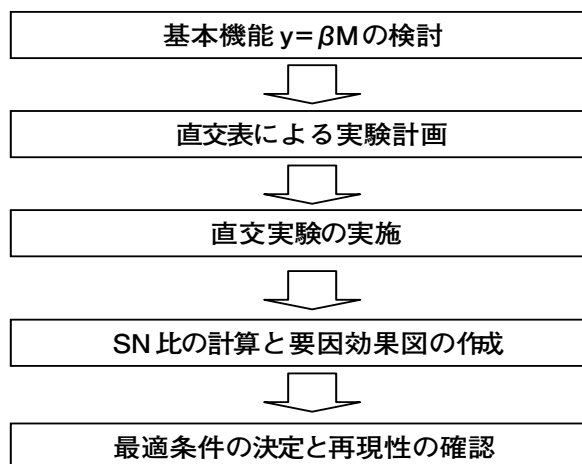


図4 パラメータ設計の手順

表3 L<sub>18</sub>直交表に割り付ける制御因子

制御因子	第1水準	第2水準	第3水準
A :	A1	A2	
B :	B1	B2	B3
C :	C1	C2	C3
D :	D1	D2	D3
E :	E1	E2	E3
F :	F1	F2	F3
G :	G1	G2	G3
H :	H1	H2	H3

表4 再現性の確認 (事例1) (db)

	最適条件	現行条件	利得
推定	50.22	38.52	11.70
確認	48.53	37.78	10.75
差	1.69	0.74	0.95

表5 再現性の確認 (事例2) (db)

	最適条件	現行条件	利得
推定	50.22	38.52	11.70
確認	31.37	37.78	-6.41
差	18.85	0.74	18.11

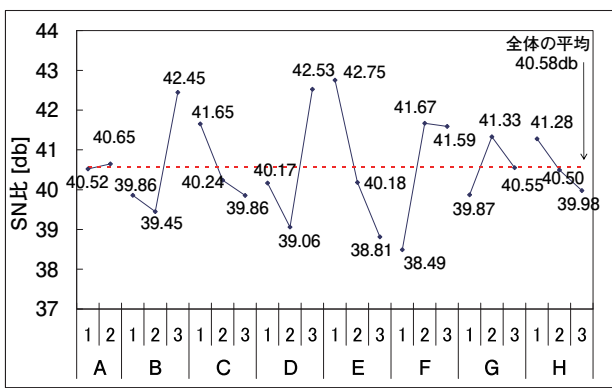


図5 要因効果図 (SN比 $\eta$ )

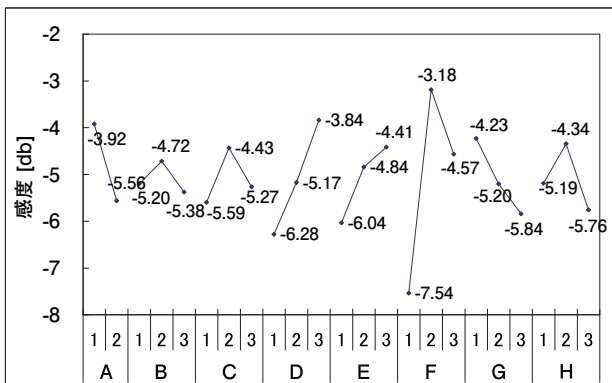


図6 要因効果図 (感度S)

図5, 6は, 表2に示すL<sub>18</sub>直交表によって計画された実験データからもとめたSN比, 感度によって得られる。

ばらつきを抑える過程では, SN比の要因効果図で各因子のSN比の高い水準を選択し, 最適条件とする。図5の例では, A2B3C1D3E1F2G2H1が最適条件となる。新規開発の場合には, 比較条件として最悪条件 (図5からSN比の低い水準を選択してできた条件) を用い, 改善事例の場合には, 現行製品の条件を用いる。

また, かたよりを無くす過程では, 感度の要因効果図が用いられ, 理想機能に近づけるように感度を調整する。

## 2. 6 再現性

パラメータ設計の妥当性評価は再現性の確認によって行なう。図5または6によって選択された最適条件と現行条件 (または最悪条件) を使って, 再度実験を行なう。これを確認実験といい, 実験によって得られたSN比を用いて利得の差をもとめる。利得とは現行条件に対する最適条件の改善度のことである。要因効果図から推定した利得と, 確認実験で得られた利得の差が再現性を示しており, 表4のように, 差が小さければ再現性が十分であり, 表5のように, 差が大きければ再現性は十分ではないと判断する。再現性が十分でない場合には, 実験や計算に何らかの問題があることを示しているため, 再検討する必要がある。

以上の流れで, 製品またはシステムの機能性を評価し, 使用目的, 使用環境に応じた最適化を行なうことができる。

## 3 研究開発への導入状況

当社での品質工学活用の動機は, 研究開発の期間短縮とコスト低減である。当社における主なパラメータ設計の活用事例を以下に示す。

- ・操舵システムのフィードバック制御の最適化<sup>②</sup>
- ・レーザスポット溶接システムの最適化
- ・レーザスポット溶接継手の妥当性評価
- ・抵抗スポット溶接の加圧力制御の最適化

ここに, レーザスポット溶接の事例を2件あげたが, これらは, レーザスポット溶接導入に際して, 外乱に強いレーザ溶接システムの構築と, レーザスポット溶接継手そのものの妥当性評価を行なう目的でパラメータ設計を実施している。

このように, レーザスポット溶接の品質をどのように捉えるかによって, パラメータ設計で取り上げる問題 (すなわち, 目的機能) が異なる場合がある。品質工学では, これをシステム選択といい, パラメータ設計によって全体最適化を達成するために重要となる。

溶接品質の最適化では、まず溶接システムを外乱に対して安定化させ、その上で溶接継手の評価基準（目標）と照合し溶接条件を決定するのが良いと考える。

以下に、レーザスポット溶接システムの最適化とその溶接継手の評価を行なうことで、レーザスポット溶接条件を決定する流れを示す。

### 3. 1 レーザ溶接システムの最適化

レーザ溶接は、被溶接物にレーザビームを照射し、熱エネルギーに変換されることによって、溶融接合する工法である（図7）。レーザ溶接は、熱エネルギーを被溶接物に対して空間的に高密度で与えるため、アーク溶接法などの従来法と比較して局所的に熱エネルギーを与えることとなり、結果として熱ひずみを抑える方法として知られている。

レーザビームを時間的に連続で照射すると、溶接部は連続して形成され、時間的に断続的に（パルス状に）照射すると、溶接部はスポット状に形成される。ビームの照射を時間で制御すると、さまざまな溶接形態を得られるのがレーザ溶接の特徴である。

よって、レーザ溶接形態は時間で制御可能と考え、まずレーザ溶接システムの評価をレーザの連続照射による溶接で評価する。

#### 3. 1. 1 基本機能の決定

レーザ溶接に限らないが、溶接施工方法のエネルギーの入出力を考えると、熱エネルギーが支配的であると考えられる。溶接技術では、入熱量という概念が導入されており、溶接条件決定の際に重要な要素となる。

パラメータ設計では、これを基本機能で表現し、システムへの入力をレーザ溶接システムが被溶接物に与える入熱量とし、出力を被溶接物の溶融熱量と考える。エネルギーの入出力で考える（これを理想機能という）。(16)式の入熱量 $Q_{in}$ に基づき、レーザ出力を固定して溶接速

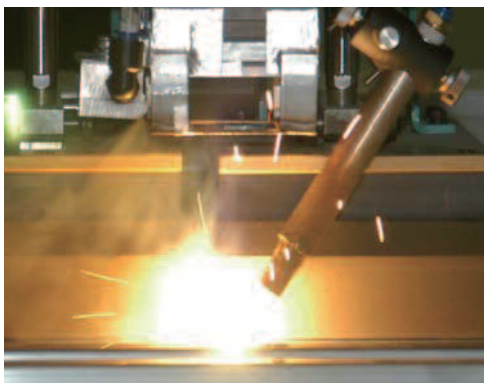


図7 レーザ溶接

度を入力Mとした。

出力 $y$ は、(17)式の溶融熱量 $Q_{melt}$ で、材料物性値が一定であることを考慮し、溶融部の体積と溶接長から求められる溶融断面積とする。溶接断面の例を図8に示す。

$$Q_{in} = (\text{レーザ出力}) / (\text{接合速度}) \dots\dots\dots (16)$$

$$Q_{melt} = (\text{溶融部体積}) \times (\text{材料の比重}) \times (\text{材料の比熱}) \times (\text{材料の融点}) / (\text{溶接長}) \dots\dots\dots (17)$$

以上より、基本機能は図9で示される。ここでは、レーザ溶接の重ね継手を扱うが、その場合の主な外乱はギャップ（被溶接物に生ずる隙間）である。被溶接物間にギャップがあれば、入熱量が被溶接物の溶融熱量に変換される過程でロスが生ずることが想定され、パラメータ設計ではそのロスを抑えるための組み合わせを探索することになる。

上記、基本機能に基づいて、信号因子M（表6）と誤差因子N（表7）を設定した。

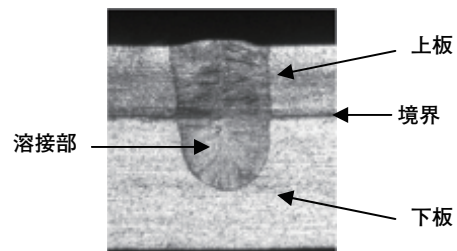


図8 レーザ溶接断面（裏面に貫通しない溶接形態）

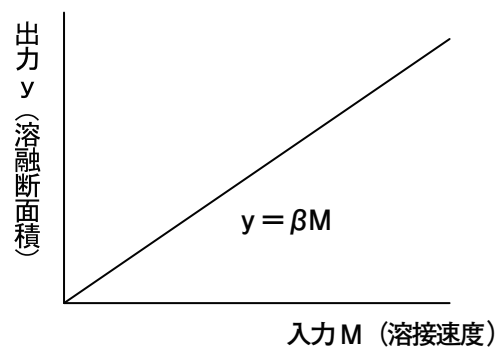


図9 レーザ溶接システムの基本機能

表6 信号因子M

	M1	M2
溶接速度 (m/min)	6.5	7.5

表7 誤差因子N

	N1	N2
ギャップ (mm)	0	0.1

### 3. 1. 2 実験計画と結果

この事例での制御因子は表8で示される。これらのパラメータは、過去の実験経験を考慮した結果、主にレーザー溶接時の被溶接部周辺のガスの制御に関連している(本稿では、このガスを加工ガスと称する)。固有技術の問題を避けるため、本稿では具体的な数値の表記は省略するが、一般的なレーザー溶接の条件選定で用いるパラメータと大きな差は無い。これらの因子を $L_{18}$ に割り付けてパラメータ設計を行なった。実験の組み合わせは $2 \times 2 \times 18 = 72$ 通りとなる。

結果を図10のSN比の要因効果図に示す。D, Eに着目すると、表8で与えた実験条件では、水準1から3に向かって増加または減少の傾向にあるが、要因効果図ではそのような傾向にない。これは、何らかの誤差の影響を受けていることが考えられる。この実験では、誤差因子以外の影響を確認するために、制御因子Hを誤差列として扱っており、図10の因子Hを確認すると、比較的大きな効果が出ていることがわかる。各因子の効果の大小は水準1~3の差の大きさで示される。

表8 制御因子

制御因子	1	2	3
A: 焦点距離 (mm)	200	250	-
B: 加工ガス種類 ( $\alpha+\beta$ )	$\alpha:Ar, \beta:CO_2$	$\alpha:Ar, \beta:O_2$	$\alpha:He, \beta:Ar$
C: 加工ガス $\beta$ 濃度	小	中	大
D: 加工ガス流量 ( $l/min$ )	小	中	大
E: 加工ガスノズル傾斜角	大	中	小
F: 定盤	溝付定盤 A	溝付定盤 B	溝なし定盤
G: デフォーカス量 (mm)	-2.0	$\pm 0$	+2.0
H: 誤差列 e	-	-	-

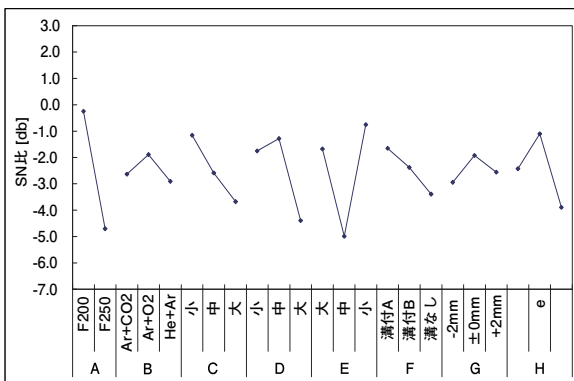


図10 要因効果図 (SN比  $\eta$ )

表9 確認実験結果 (db)

SN比	最適	現行	利得
推定	5.95	4.29	1.66
確認	-0.65	-1.97	1.33
差	-6.59	-6.26	-0.33

### 3. 1. 3 妥当性の確認

パラメータ設計の妥当性確認のため、確認実験を行なった。まず現行条件は、レーザー溶接機メーカーから得た溶接条件A1B1C1D2E1F1G2とし、最適条件は、図10のSN比の要因効果図から各因子のSN比の高い水準を選択し、A1B2C1D2E3F1G2とした。表9の利得の差が0.33と小さく、再現性が高いことを示している。

この結果から、溶接システムの最適化のために熱エネルギーを基本機能とすることが有効であることがわかる。

### 3. 2 レーザスポット溶接継手の評価方法の検討

熱エネルギーの入出力を基本機能としたレーザー溶接システムの最適化によって溶接条件の安定化ができたので、続いて溶接継手の評価方法の検討の例を示す。

ここでは、レーザースポット溶接で作製した溶接継手として、板厚2.0mm同士の重ね継手の評価を行なった。

レーザースポット溶接は、レーザービームの照射を時間的に断続させることによって被溶接物への入熱をさらに減少させ、空間的に散らばせて配置することによって、被溶接物全体の熱ひずみを大幅に減少させる特長がある。

このような特長を製品に生かすため、溶接品質の妥当性確認を品質工学の活用によって実施した。

#### 3. 2. 1 基本機能の決定

溶接継手を構造物におけるシステムとして捉え、変形や荷重の変動に追従する機能を持つと考えられる。

したがって、基本機能は溶接継手の荷重-変位特性が理想機能となり、図11で表現される。レーザースポット溶接の車両構体製造への適用は、抵抗スポット溶接からの置き換えであるため、理想機能は抵抗スポット溶接継手の荷重-変位特性である。荷重-変位特性は、材料によって異なるが、多くの場合非線形であり、 $y=\beta M$ の特性を持つSN比では評価できない。

この場合、理想機能を標準条件N0として評価を行なう標準SN比が適用できる。標準SN比は理想機能が $y=\beta M$ に当てはまらないシステムに対して適用できる概念であり、誤差因子N1とN2が標準条件N0に対してどれだけばらつくかを評価する指標である(表10)。この事例では、標準条件である抵抗スポット溶接の重ね継手の荷重-変位特性をN0とし、レーザースポット溶接の重ね継手の荷重-変位特性をN1とし、被溶接物が0.2mmのギャップを有する場合のレーザースポット溶接の重ね継手の荷重-変位特性をN2としており、溶接試験回数は $2 \times 18 = 36$ 通りとなる。

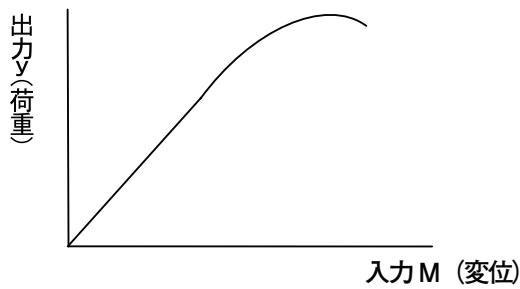


図11 溶接継手の基本機能の概略図

表10 誤差因子

誤差因子	N0	N1	N2
ギャップ	抵抗スポット溶接 (密着)	レーザスポット溶接 (密着)	レーザスポット溶接 (0.2mm)

### 3. 2. 2 実験計画と結果

制御因子は表11となり、一点あたりのナゲットの大きさ、ナゲットの数と配置が主なパラメータである。なお、因子Cは因子Aの水準によって値を変える。A, B, C, G, Hがナゲットの大きさを決める因子であり、D, E, Fがナゲットの数と配置を決める因子である。これらの因子をL<sub>18</sub>直交表に割り付けてパラメータ設計を行なった。その結果を図12に示す。A, B, Hは荷重-変位特性に対して効果が大きく、C, D, E, F, Gは効果が小さい結果となった。この結果は、ナゲットの形成に、レーザ照射条件が大きく寄与していることを示し、ナゲットの点数やナゲットの配置の仕方はその次に考慮する問題であることを示している。

### 3. 2. 3 妥当性の確認

パラメータ設計から得られた結果の妥当性を確認するため、レーザスポット溶接のナゲットの大きさ（面積）と継手強度の関係を引張せん断試験で調べた。確認試験のパターンを表12に示す。なお、試験片の板厚は2.0mmである。

表11 制御因子

制御因子	1	2	3
A : 焦点距離 (mm)	F200	F150	
B : パルス形状	矩形波	台形波	三角波
C : 入熱量 (J)	F150 : 130 F200 : 200	F150 : 150 F200 : 240	F150 : 180 F200 : 280
D : 溶接ピッチ (mm)	3.0	4.0	5.0
E : 溶接列数	1列	2列	3列
F : 溶接列間隔 (mm)	2.0	3.0	4.0
G : 加工ガス	Ar100%	Ar+10%CO <sub>2</sub>	Ar+10%O <sub>2</sub>
H : 焦点位置 (mm)	-2.0	±0	+2.0

ナゲット面積はレーザ照射条件 A, B, G, H に基づいて設定した組み合わせで2水準とし、ナゲットの配置パターンは最も差が出やすい因子となるEを選択して3水準を割り付けた。これは、列数の違いで溶接継手のナゲット数を2倍、3倍にできるためである。

試験片の概要を図13に示す。列数の違いによって、1試験片あたりナゲット点数が8点、16点、24点と変化する。

引張せん断試験の結果を図14に示す。横軸を表12のナゲット面積の総和を接合面積とし、縦軸を引張せん断荷重としている。また、接合面積と引張せん断荷重の相関係数は0.994であり、両者の関連性は高いと考える。

また、図12の要因効果図は引張せん断荷重との関連性を示す結果であり、接合面積に寄与する因子の効果が大きいことを示しているため、図12と図14の関連性は高いので、パラメータ設計による強度評価が可能と考えられる。

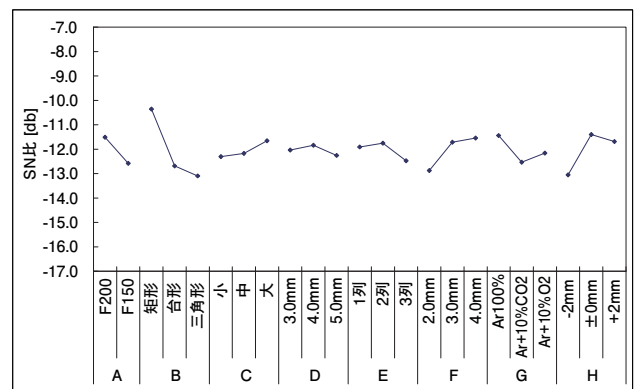


図12 要因効果図 (SN比  $\eta$ )

表12 ナゲット面積と列数による継手強度確認試験

試験片番号	ナゲット面積	列数
1-1	1.1 mm <sup>2</sup>	1
1-2		2
1-3		3
2-1	1.4 mm <sup>2</sup>	1
2-2		2
2-3		3

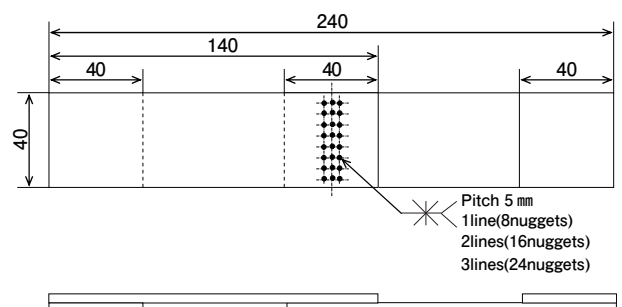


図13 引張せん断試験片

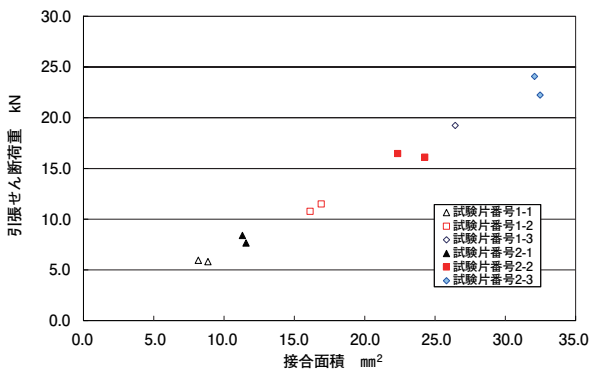


図14 レーザスポット溶接のナゲット面積と強度

#### 4 研究開発における品質工学の効果と課題

実用化に至った研究開発は、その経緯を振り返れば製品出荷までのプロセスの中で最も上流の工程である。そして多くの場合、研究開発コストと時間をできる限り抑えることが要求される。この対策として、パラメータ設計は効果があり、実験検討の手数を減らしている。

また、SN比による再現性の確認や標準SN比による評価は、研究開発対象となる技術の妥当性確認につながり、新規技術の導入を加速する効果がある。

一方、こういったパラメータ設計の研究開発への活用には課題もあり、特にシステム選択と基本機能の検討を誤ると、再現性の悪さでつまづくこととなる。特に、標準SN比の場合には、何を標準条件とするかというところが課題となる。標準条件の検討は基本機能の検討以上に注意が必要な項目でもある。

また、本稿での説明は省くが、実験数の問題で小規模直交表を使用して失敗することがある。通常は、割り付ける因子として2水準と3水準が混在する混合系のL<sub>18</sub>直交表(表3)の使用を推奨しているが、信号因子3水準と誤差因子2水準との組み合わせで総数108回の実験を行なうことになる。この数は実験回数が少ないとは言えず、より小規模な2水準系のL<sub>4</sub>直交表や3水準系のL<sub>9</sub>直交表を用いて失敗する場合がある。これらの表には列間の交互作用によって、再現性が得られにくくなるからである。

#### 5 まとめ

これまでの品質工学適用で、実験数をさらに減らしたい、できるだけ計算を簡単にしたいといった課題が顕在化してきた。

これらの課題は、品質工学の適用上で共通課題であり、品質工学の進歩とともに課題解決方法が検討され、解決の可能性が見えてきた。

まず、実験数の削減は、交互作用の問題を解消した小規模直交表として、混合系のL<sub>12</sub>直交表<sup>(4)</sup>の提案がある

(表13)。この表は、信号因子3水準、誤差因子2水準の場合でも、 $3 \times 2 \times 12 = 72$ 通りとなり、これまでのL<sub>18</sub>直交表の108通りに比べて、大幅に実験数を減らすことができる。

また、計算が複雑な二乗和の分解も、新たな手法<sup>(6)</sup>が検討され、適用されつつある。

今後の品質工学の動向に注意し、目的に適した手法の導入によって、一層の研究開発効率の向上を図りたい。

表13 L<sub>12</sub>混合系直交表

No.	A	B	C	D	E	F
1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	2	2	3	3
3	1	2	1	3	2	3
4	1	2	3	1	3	2
5	1	3	3	2	2	1
6	1	3	2	3	1	2
7	2	1	2	1	3	1
8	2	1	1	2	1	3
9	2	2	2	2	2	2
10	2	2	3	3	1	1
11	2	3	3	1	2	3
12	2	3	1	3	3	2

#### 参考文献

- (1) 矢野宏：「品質工学概論」, 13, (2009), 日本規格協会
- (2) 河田直樹, 他：「品質工学によるトラクタ牽引型無人搬送車の開発」, 東急車輛技報 第51号, 8-14, (2001), 東急車輛製造(株)
- (3) 大塚陽介, 他：「レーザによるステンレス鋼溶接部の評価方法の開発(第2報) - 疲労強度を含めた評価に関する考察 -」, 2007年度精密工学会春季大会 学術講演会論文集, 757-758, (2007), (社) 精密工学会
- (4) 木下康次, 他：「直交表L<sub>12</sub>(2<sup>3</sup>), L<sub>12</sub>(3<sup>4</sup>2<sup>3</sup>)の水準平均を求める修正計算方法」, 第20回品質工学研究発表大会論文集, 78-81, (2012), 品質工学会
- (5) 森輝雄, 他：「非対称べき損失関数に基づくパラメータ設計-2段階設計の理論側面と適用検証」, 第20回品質工学研究発表大会論文集, 58-61, (2012), 品質工学会

#### 著者紹介



河田直樹  
博士(工学)  
生産本部  
技術部(基礎開発) 主査