

経営視点に基づくISOマネジメントシステム規格に準拠した 統計的品質管理手法の研究

Statistical quality control based on ISO management system in business administration

小川 昭・伊藤 利佳
(Akira OGAWA Rika ITO)

【要 約】

本論文は測定システム分析の1つである、測定器の繰返し性と再現性の評価方法としてのゲージR&R (Gauge Repeatability and Producibility) の有効性を述べる。ゲージR&Rでは分散や標準偏差などの統計指標を使用しているが、経営視点からも品質マネジメントシステムであるISO9001に基づいて設立されたIATF (International Automotive Task Force) の中で使用が推奨されている。本論文では、3つの測定チーム、10個の製品が用意され、測定器は定規に決定された。各チームには3人の評価者がいる。まず初めに、各評価者は製品の長さを定規で測定した。10個の製品はランダムに測定され、測定は3回実施された。3人の評価者と10個の製品と3回の測定から90個の測定データが得られた。次に分散分析を行い、評価者、製品、測定ばらつきの標準偏差が推定された。最終的にはゲージR&Rが算出され、測定精度が評価された。経営視点から、ゲージR&Rの結果は3チーム及びチーム内の3人の能力差を表わしている。ここで、もしゲージR&Rの能力が低く、長さ測定が正確に行えないとしたら、測定システムの改善が必要となる。これは重要なマネジメントにおける課題であり、このことについて本論文の最終章において考察することでゲージR&Rの有効性を示した。

キーワード：ゲージR&R, 統計的品質管理, 分散分析, ISO9001, IATF

【Abstract】

This paper describes the effectiveness of Gage Repeatability and Reproducibility, Gage R&R, which is one of the evaluation methods of Measurement System Analysis, MSA. In MSA, many statistical quality control (SQC) methods are recommended. Gage R&R uses statistical indices such as variance and standard deviation. Gage R&R method is introduced in IATF (International Automotive Task Force) standards which was established according to ISO9001. In this paper, three measurement teams were organized, ten products were prepared, and a ruler was decided on as the instrument of measurement. In every team, there were three appraisers. First, in each team, every appraiser measured the length of the products by ruler. The ten products were measured at random, and the measurements were repeated three times. Three appraisers and ten products measured three times produced ninety measurement data for each team. Next, analysis of variance was executed and standard deviation of the appraisers,

products, and measurement variations were estimated. Finally, Gage R&R was calculated and checked to determine whether Gage R&R was adequately accurate. The result of Gage R&R showed the difference of performance among three teams and three appraisers in each team. If Gage R&R is too large or inaccurate to measure the length of the product, it is necessary to improve the measurement system. From a management point of view, that is the most important management issue and discussed in final chapter of this paper..

Keyword : Gage Repeatability and Reproducibility, Statistical Quality Control, analysis of variance, ISO 9001, IATF.

1. はじめに

1. 1 背景

企業の生産活動において、対象を測定し評価する目的は多数存在する。例えば不良品を市場に出荷しないよう製品を測定し品質を評価する。不良品を作らない工程を構築するために工程指標を測定し工程能力を評価する。さらには、工程を改善して不良率を低下させるため、実験を計画し対象を測定してデータを解析する^[5]、等がある。そして測定されたデータは正しいものと仮定している。すなわち測定システムや測定機器に問題がないことを前提としている。

一方、製品を使用する側の消費者にとって、製品の最終検査や商品を取引するとき使用する測定機器は、定期校正されその精度が保証されている必要がある^[1]。また測定機器は計量標準とトレーサビリティがとれている必要がある^[4]。これらの作業は計量法に規定されており、その範囲において消費者は保護されている。しかし企業が工程内で使用する測定機器には法的規制はなく、その管理は企業の自主性に任されている。

そのような状況を踏まえて、国際的な各種マネジメントシステムが整備されてきた。代表的なものに品質マネジメントシステムISO9001がある。この規格の下で多くの企業は自主的に品質保証活動を展開し、その中で品質検査や工程改善を進め、併せて測定機器を自主管理している。

企業が社内にある多数の測定機器を自主管理

する場合、計量標準とのトレーサビリティを確保し定期校正を行うことは容易ではない。このためこれらの定期校正を試験所や校正機関に依頼することがある。この場合、試験所や校正機関はISO/IEC 17025の認定を取得し、企業からの定期校正作業を請け負い、測定器に校正済の認証証明書を添付することがある。

企業は生産活動においてこれらの校正済測定器を使用し、製品、プロセス及びサービスが要求された規格に適合していることを示すことで国際競争力を確保し顧客満足度を高めることができる。その指針となるものにISO/IEC 17065やISO/IEC 17067がある。さらに製品として自動車を対象とした品質マネジメントシステムにIATF 16949がある。これらを表1にまとめた。自動車産業はグローバルに展開されサプライチェーンも含めた市場規模も大きい。またISOに準拠しながら独自に策定した規格も多い。次節では本研究の目的と参照する規格を述べる。

1. 2 本研究の目的

本研究の目的は、ISOマネジメントシステム規格に準拠した統計的品質管理手法を活用して、組織の能力を評価し経営に役立てる方法論を研究することである。今日ではISOマネジメントシステムは多くの企業で採用され、また国際的にもその使用を推奨されることが多い。

自動車産業では、その市場やサプライチェーンの大きさから独自に策定した規格としてIATF 16949がある。これは国際自動車産業特

表1 測定に関係する国際規格の一例

規格名	内容
ISO / IEC 17025: 2017	試験所及び校正機関の能力に関する一般要求事項 General requirements for the competence of testing and calibration laboratories
ISO/IEC 17065: 2012	適合性評価－製品、プロセス及びサービスの認証を行う機関に対する要求事項 Conformity assessment – Requirements for bodies certifying products, processes and services
ISO/IEC 17067:2013	適合性評価－製品認証の基礎及び製品認証スキームのための指針 Conformity assessment – Fundamentals of product certification and guidelines for product certification schemes
IATF 16949:2016	自動車産品質マネジメントシステム規格 自動車産業の生産部品及び関連するサービス部品の組織に対する品質マネジメントシステム要求事項 Automotive Quality management system standard Quality management system requirements for automotive production and relevant service parts organizations

別委員会 (International Automotive Task Force) が定めた品質マネジメントの国際規格である。

その中で、統計的品質管理 (Statistical Quality Control: SQC) の1つである測定システム解析 (Measurement System Analysis: MSA) があり、その手法の1つとしてゲージR&R (Gage Repeatability and Reproducibility: GRR) がある。GageについてMSAでは測定システムと呼ぶ^[7]が本稿では測定器と呼ぶ。そのうえでゲージR&Rとは測定器の繰返し性と再現性を評価する手法とする。この手法を活用し、得られたデータを解析し、経営視点から考察して組織の能力を評価することでその有用性を示すことが本研究の目的である。

1. 3 本研究の特徴

本研究では製造業に携わる9名の評価者及び技術者が3チームに分かれてテストピースを繰

返し測定し、そのデータを統計解析することで測定能力を評価し、さらには経営視点から組織能力を評価した。測定において、測定値そのもの評価ではなく、測定誤差としての繰返し性 (Repeatability) と再現性 (Reproducibility) を評価し活用したことに特徴がある。

繰返し性は併行精度とも呼ばれ比較的容易に計算することができる。一方再現性は、異なる評価者 (Appraiser) が異なる製品を繰返し測定した結果から計算するため計算が複雑になる。さらには、計算の「手続きに誤りがない」こと、多数のデータを解析者の能力に依存せず効率的に解析すること、を目指して統計解析ソフトウェアであるJMP (ジャンプ) を使用した。

一般にこれらのデータや解析結果は企業内の研修や訓練で得られることが多く外部に公表されることは少ない^[6]。そのため、解析に使用したデータは今後の研究に広く利用できるような全て記述した。

2. 材料と方法

2. 1 測定対象

本研究で測定の対象とした材料は、製造ラインで生産される2種類のブロック形状部品 (P1, P2) である。用意した部品は木製の直方体で、長さ l 、幅 w 、厚さ t である。その長さ l を定規を用いて測定した。

P1, P2の製造基準はそれぞれ下記のような。

P1 : 56.0 ± 4.0 cm

P2 : 58.0 ± 2.0 cm

P1, P2とも各製造工程から適当な個数を抜き出し、測定用に準備した。各部品は温度による変化及び経時変化はないとする。

2. 2 測定方法と測定誤差

この部品の長さを測定する測定器は、市販のプラスチック製の定規である。定規の最小目盛りは1mmである。測定者は部品に定規を当てて目視測定する。最小目盛りの1mm以下まで測定するが、これには測定誤差が含まれる。

例えばある測定者がある部品を1回測定し56.5 mmの測定結果を得たとする。このとき測定対象部品的一端は56mmと57mmの目盛り線

の中間に位置していたと考えられる。しかし中間の位置は極めてあいまいで、かつ主観的な判断となる。そのため56.5mmの測定結果に対して、真の値は56.4mmあるいは56.6mmであった可能性もある。すなわち $\pm 0.1\text{mm}$ の測定誤差が生じていた可能性がある。

さらに測定誤差は $\pm 0.1\text{mm}$ ではなく $\pm 0.2\text{mm}$ の可能性もある。あるいは $+0.1\text{mm}$, -0.2mm , または $+0.2\text{mm}$, -0.1mm の可能性もある。このように測定誤差の評価方法は重要であり、数理統計理論では測定誤差は繰返し測定により評価するとされている。

ある1人の測定者がある測定器を使用した時の誤差、すなわち測定精度を測定器 (Gage) の繰返し性 (Repeatability) と呼ぶ。ここで、定規による測定は主観的であることを考慮すれば、測定者が変われば測定値も変わり測定誤差も変わることになる。複数の測定者が同じ測定器を使用した時、測定者に起因する測定誤差、すなわち測定精度を測定器の再現性 (Reproducibility) と呼ぶ。

2. 3 ゲージ R&R

測定器の繰返し性と再現性を経営視点から考えるとき、その測定器が測定する対象のばらつき、すなわち製品のばらつき (Product Variation: PV) と比較して測定器のばらつきがどの程度であるかが重要である。

正確に表現すると、部品を測定するときの全てのばらつき (Total Variation: TV) に対して、測定の繰返し性 (Repeatability) と再現性 (Reproducibility) を評価することになる。前者は測定器 (Equipment) に起因するばらつきとして Equipment Variation (EV), 後者は評価者 (Appraiser) に起因するばらつきとして Appraiser Variation (AV) と表記する。

ここで注意すべきことは、部品にはばらつきがあることである。本研究では、P1は $\pm 4.0\text{cm}$, P2は $\pm 2.0\text{cm}$ の範囲の中で長さばらつきについている。このとき評価者によっては部品によって測定精度が異なること、すなわち部品と評価者の交互作用が存在する可能性がある。例えば本研究の場合、手の小さい女性の評価者は大きな部品を扱い難く、そのため大きな部品では

測定誤差が大きくなり、小さな部品では測定誤差は小さくなる可能性が考えられる。一方、手の大きな男性の評価者は大きな部品の測定誤差は小さくなるが、小さな部品の測定誤差は大きくなる可能性が考えられる。これは評価者 (Appraiser) と製品 (Product) との交互作用 ($A \times P$) として評価する。以上より、ばらつきについては式 (1) の関係を仮定する。

$$TV=EV+AV+A \times P+PV \quad (1)$$

ここでPVは製品のばらつきであり工程能力に関係する。工程能力の改善を指向したものに工程能力分析 (Process Capability Analysis) があり、その目的はPVの改善である。

それとは別に、測定システムの改善を指向した測定システム分析 (Measurement System Analysis) があり、その場合は、 $EV+AV+A \times P$ に注目すべきである。これらの値が測定器の繰返し性と再現性の評価量であり、その値をGRRと表記し式 (2) とする。また式 (1) をGRRで再定義すると式 (3) となる。

$$GRR=EV+AV+A \times P \quad (2)$$

$$TV=GRR+PV \quad (3)$$

2. 4 Gauge R&R による評価方法

IATF16949に準拠したゲージR&Rの評価方法は以下のものである。まず初めに部品を10個用意する。この部品は規格の範囲内でばらつきを大きくする目的で選ぶことが重要である。

次に評価者を3名選任する。評価者も測定作業の初心者、中堅、ベテランと幅広く選ぶことが重要で、技量の違いが少ない同質の評価者を選任しないよう注意が必要である。

その後、各評価者が10個の部品をランダムに3回測定する。具体的には3名から1名選び、10個のサンプルをランダムに1回測定し記録する。2番目の評価者も同様に測定し記録する。3番目の評価者も同様である。これで1回目の測定が終了したら、2回目、3回目の測定も同様に行う。

得られたデータを分散分析^[7]すると表2の

結果が得られる。平方和を自由度で除した値が分散である。分散の期待値の欄に $\sigma_E^2, \sigma_A^2, \sigma_P^2, \sigma_{A \times P}^2$ から構成される数式が記載されている。各項は分散成分とも呼ばれ、数式を解いて各分散成分を求め、その平方根を標準偏差として表3及に示すゲージR&R報告書が作られる。%Gage R&Rの評価基準を表4に示す。ndcは識別可能なカテゴリ数と呼ばれその概要を図1に示す。ndcは5以上であれば測定システムとして問題ないとされている。

2. 5 経営視点からみたGauge R&R

分散分析は実験計画法(Design of Experiment: DOE)^[2]でも使用される代表的な統計手法である。DOEとゲージR&Rの最大の違いはその目的にある。前者は固定効果(fixed effects)の調査^[3]が目的であるのに対し、後者はランダム効果(random effects)の評価が目的である。

固定効果には選択できる水準または最適値が存在する。もし本研究でDOEを行えば、最適な評価者、最適な部品の選択を行う^[5]ことになる。一方ランダム効果は、測定の繰返し、評価者のばらつき、部品のばらつきそれぞれの大きさを相対評価する。すなわちチームの中から優秀な評価者を選抜することが目的ではない。また10個の製品の中から良品を選択することが目的ではない。よってこの方法を「手続きに誤りがない」ように十分配慮したうえで現場評価者に適用すれば組織やチームの能力評価に活用できる。

表2 分散分析表

要因	平方和 S	自由度 ϕ	分散 V	分散の期待値 $E(V)$
評価者	S_A	2	V_A	$\sigma_E^2 + 3\sigma_{A \times P}^2 + 30\sigma_A^2$
部品	S_P	9	V_P	$\sigma_E^2 + 3\sigma_{A \times P}^2 + 9\sigma_P^2$
評価者 ×部品	$S_{A \times P}$	18	$V_{A \times P}$	$\sigma_E^2 + 3\sigma_{A \times P}^2$
繰返し	S_E	60	V_E	σ_E^2
全変動	S_T	89		

表3 分散分析に基づくゲージR&R報告書

項目	標準偏差	計算式
繰返し性	σ_E	
再現性	σ_A	
評価者×部品	$\sigma_{A \times P}$	
GRR	σ_{GRR}	$\sqrt{\sigma_E^2 + \sigma_A^2 + \sigma_{A \times P}^2}$
部品	σ_P	
合計	σ_T	$\sqrt{\sigma_{GRR}^2 + \sigma_P^2}$
%GRR		$100 \times (\sigma_{GRR} / \sigma_T)$
ndc		$1.41 \times (\sigma_P / \sigma_{GRR})$

表4 %Gage R&R の評価基準

基準値	評価
0%~10%	優良
11%~20%	適切
20%~30%	許容できる
30%~	許容できない

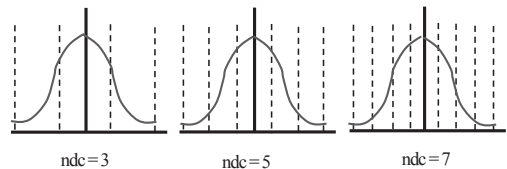


図1 識別可能なカテゴリ数 (ndc)

3. 結果

部品P1をチームF1, F2, F3が測定した結果を表5から表7に示す。その結果及び3回測定時の標準偏差を、評価者(Appraiser No.; AN)と製品番号(Product No.; PN)の2つの変動要因でグラフ化したものが変動性図である。さらにゲージR&R(Gage R&Rと表記)の分析結果を含めて図2から図4に示す。

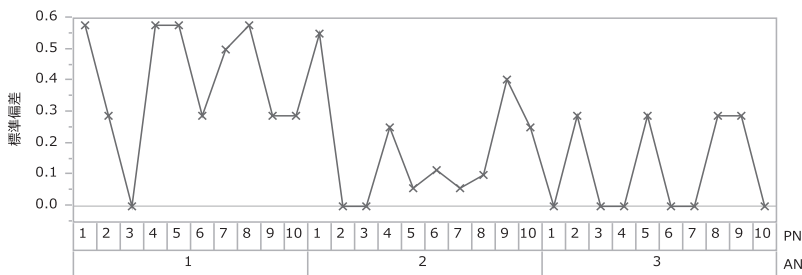
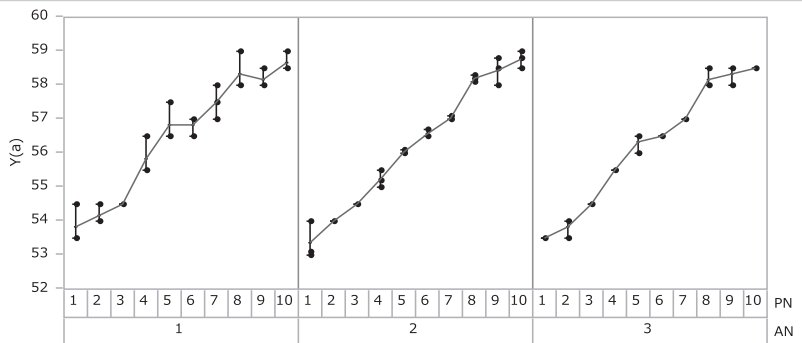
同様に部品P2を測定し分析した結果を表8から表10、図5から図7に示す。変動性図の作成とゲージR&Rの分析はJMPを使用した。人為的な分析の誤りを防ぐため結果はそのまま転写した。

表5 10個の部品 (P1) をチームF1の測定者3名が3回測定した結果

測定者 A	測定回 M	測定値									
		Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅	Y ₆	Y ₇	Y ₈	Y ₉	Y ₁₀
1	1	54.5	54.0	54.5	56.5	57.5	57.0	57.5	58.0	58.0	59.0
	2	53.5	54.5	54.5	55.5	56.5	57.0	58.0	59.0	58.0	58.5
	3	53.5	54.0	54.5	55.5	56.5	56.5	57.0	58.0	58.5	58.5
2	1	54.0	54.0	54.5	55.5	56.1	56.7	57.1	58.3	58.8	59.0
	2	53.0	54.0	54.5	55.0	56.0	56.5	57.0	58.1	58.5	58.8
	3	53.1	54.0	54.5	55.2	56.0	56.5	57.0	58.2	58.0	58.5
3	1	53.5	53.5	54.5	55.5	56.0	56.5	57.0	58.0	58.5	58.5
	2	53.5	54.0	54.5	55.5	56.5	56.5	57.0	58.0	58.0	58.5
	3	53.5	54.0	54.5	55.5	56.5	56.5	57.0	58.5	58.5	58.5

計量値用ゲージ

Y(a)の変動性図



Gauge R&R

要因	変動(6*標準偏差)	変動は6*sqrt(分散)で計算
併行精度 (EV)	1.765552	設備による変動 V(セル内)
再現精度 (AV)	0.833609	判定者による変動 V(AN) + V(AN*PN)
AN	0.529189	V(AN)
AN*PN	0.644098	V(AN*PN)
Gauge R&R (RR)	1.952454	測定による変動 V(セル内) + V(AN) + V(AN*PN)
部品による変動 (PV)	10.014781	部品による変動 V(PN)
合計変動 (TV)	10.203329	合計変動 V(セル内) + V(AN) + V(AN*PN) + V(PN)

6 k
 19.1355 % Gauge R&R = 100*(RR/TV)
 0.19496 部品変動(PV)と測定精度(RR)との比
 7 異なるカテゴリの数 = 1.41(PV/RR)

最後に指定された列PNが、部品の列として使用されています。

Gauge R&Rの分散成分

成分	分散成分	全体に対する%	20 40 60 80
Gauge R&R	0.1058910	3.66	
併行精度	0.0865881	2.99	
再現精度	0.0193029	0.67	
部品対部品	2.7859956	96.34	

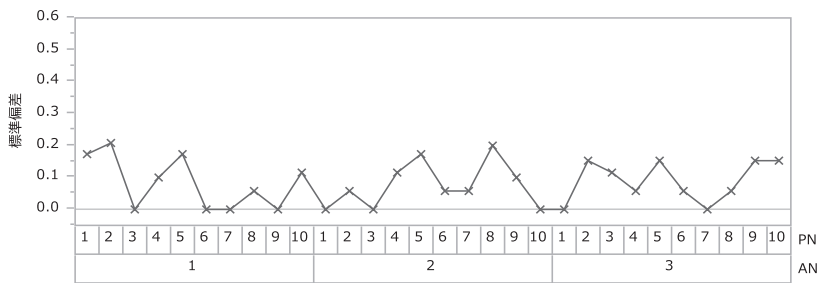
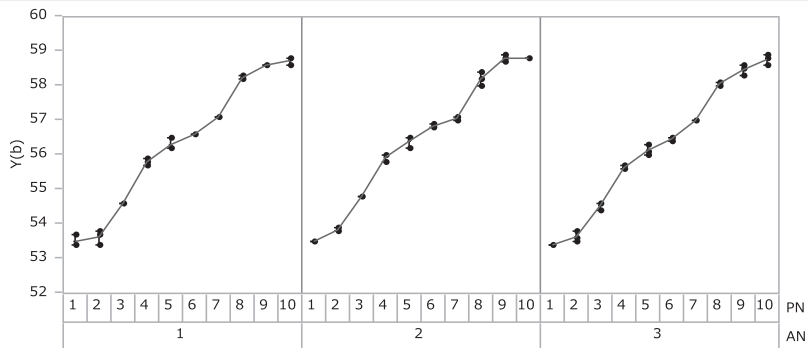
図2 変動性図と Gauge R&R

表6 10個の部品 (P1) をチームF2の測定者3名が3回測定した結果

測定者 A	測定回 M	測定値									
		Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅	Y ₆	Y ₇	Y ₈	Y ₉	Y ₁₀
1	1	53.4	53.8	54.6	55.9	56.5	56.6	57.1	58.3	58.6	58.8
	2	53.4	53.7	54.6	55.8	56.2	56.6	57.1	58.2	58.6	58.8
	3	53.7	53.4	54.6	55.7	56.2	56.6	57.1	58.2	58.6	58.6
2	1	53.5	53.9	54.8	56	56.2	56.8	57.1	58	58.9	58.8
	2	53.5	53.8	54.8	55.8	56.5	56.8	57	58.4	58.7	58.8
	3	53.5	53.8	54.8	56	56.5	56.9	57.1	58.2	58.8	58.8
3	1	53.4	53.6	54.6	55.6	56.1	56.4	57	58	58.3	58.9
	2	53.4	53.5	54.4	55.7	56.3	56.5	57	58.1	58.5	58.6
	3	53.4	53.8	54.6	55.6	56	56.5	57	58.1	58.6	58.8

計量値用ゲージ

Y(b)の変動性図



Gauge R&R

要因	変動(6*標準偏差)	変動は6*sqrt(分散)で計算
併行精度 (EV)	0.648074	設備による変動 V(セル内)
再現精度 (AV)	0.634560	判定者による変動 V(AN) + V(AN*PN)
AN	0.605775	V(AN)
AN*PN	0.188954	V(AN*PN)
Gauge R&R (RR)	0.907010	測定による変動 V(セル内) + V(AN) + V(AN*PN)
部品による変動 (PV)	11.561629	V(PN)
合計変動 (TV)	11.597152	合計変動 V(セル内) + V(AN) + V(AN*PN) + V(PN)

6 k
 7.82097 % Gauge R&R = 100*(RR/TV)
 0.07845 部品変動(PV)と測定精度(RR)との比
 17 異なるカテゴリの数 = 1.41(PV/RR)

最後に指定された列PNが、部品の列として使用されています。

Gauge R&Rの分散成分

成分	分散成分	全体に対する%	20 40 60 80
Gauge R&R	0.0228519	0.61	
併行精度	0.0116667	0.31	
再現精度	0.0111852	0.30	
部品対部品	3.7130905	99.39	

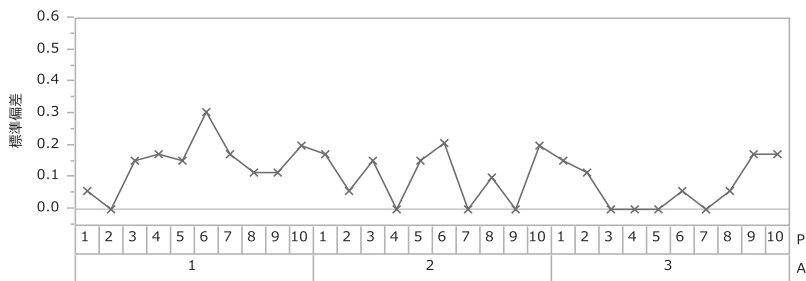
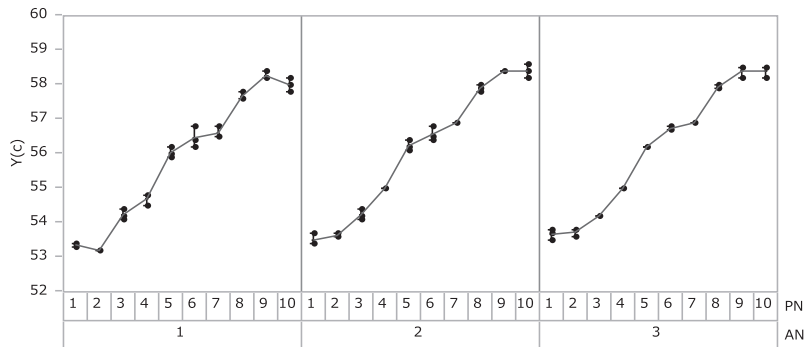
図3 変動性図と Gauge R&R

表7 10個の部品 (P1) をチームF3の測定者3名が3回測定した結果

測定者 A	測定回 M	測定値									
		Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅	Y ₆	Y ₇	Y ₈	Y ₉	Y ₁₀
1	1	53.4	53.2	54.1	54.8	56.2	56.4	56.5	57.6	58.4	58.2
	2	53.3	53.2	54.4	54.8	56	56.8	56.5	57.8	58.2	57.8
	3	53.4	53.2	54.2	54.5	55.9	56.2	56.8	57.6	58.2	58
2	1	53.4	53.7	54.1	55	56.4	56.5	56.9	57.8	58.4	58.2
	2	53.4	53.6	54.2	55	56.1	56.4	56.9	57.9	58.4	58.4
	3	53.7	53.6	54.4	55	56.2	56.8	56.9	58	58.4	58.6
3	1	53.5	53.6	54.2	55	56.2	56.7	56.9	58	58.2	58.5
	2	53.8	53.8	54.2	55	56.2	56.7	56.9	57.9	58.5	58.2
	3	53.7	53.8	54.2	55	56.2	56.8	56.9	57.9	58.5	58.5

計量値用ゲージ

Y(c)の変動性図



Gauge R&R

要因	変動(6*標準偏差)	変動は6*sqrt(分散)で計算
併行精度 (EV)	0.809938	設備による変動 V(セル内)
再現精度 (AV)	0.874833	判定者による変動 V(AN) + V(AN*PN)
AN	0.834355	V(AN)
AN*PN	0.263031	V(AN*PN)
Gauge R&R (RR)	1.192197	測定による変動 V(セル内) + V(AN*PN)
部品による変動 (PV)	11.267041	部品による変動 V(PN)
合計変動 (TV)	11.329941	合計変動 V(セル内) + V(AN) + V(AN*PN) + V(PN)

6 k
 10.5225 % Gauge R&R = 100*(RR/TV)
 0.10581 部品変動(PV)と測定精度(RR)との比
 13 異なるカテゴリの数 = 1.41(PV/RR)
 最後に指定された列PNが、部品の列として使用されています。

Gauge R&Rの分散成分

成分	分散成分	全体に対する%	20 40 60 80
Gauge R&R	0.0394815	1.11	
併行精度	0.0182222	0.51	
再現精度	0.0212593	0.60	
部品対部品	3.5262840	98.89	

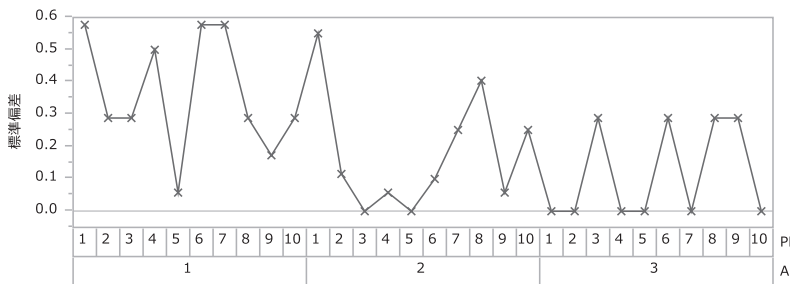
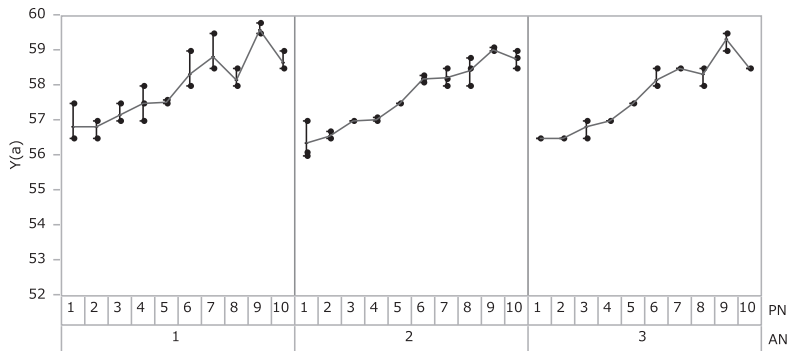
図4 変動性図と Gauge R&R

表8 10個の部品 (P2) をチームF1の測定者3名が3回測定した結果

測定者 A	測定回 M	測定値									
		Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅	Y ₆	Y ₇	Y ₈	Y ₉	Y ₁₀
1	1	57.5	57	57	57.5	57.5	58	59.5	58	59.8	59
	2	56.5	57	57.5	58	57.6	59	58.5	58	59.5	58.5
	3	56.5	56.5	57	57	57.5	58	58.5	58.5	59.5	58.5
2	1	57.0	56.7	57	57.1	57.5	58.3	58.5	58.8	59.1	59
	2	56.0	56.5	57	57	57.5	58.1	58	58.5	59	58.8
	3	56.1	56.5	57	57	57.5	58.2	58.2	58	59	58.5
3	1	56.5	56.5	56.5	57	57.5	58	58.5	58.5	59	58.5
	2	56.5	56.5	57	57	57.5	58	58.5	58	59.5	58.5
	3	56.5	56.5	57	57	57.5	58.5	58.5	58.5	59.5	58.5

計量値用ゲージ

Y(a)の変動性図



Gauge R&R

要因	変動(6*標準偏差)	変動は6*sqrt(分散)で計算
併行精度 (EV)	1.6674084	設備による変動 V(セル内)
再現精度 (AV)	0.6999393	判定者による変動 V(AN) + V(AN*PN)
AN	0.4862074	V(AN)
AN*PN	0.5035051	V(AN*PN)
Gauge R&R (RR)	1.8083600	測定による変動 V(セル内) + V(AN) + V(AN*PN)
部品による変動 (PV)	5.0701137	部品による変動 V(PN)
合計変動 (TV)	5.3829563	合計変動 V(セル内) + V(AN) + V(AN*PN) + V(PN)

6 k
 33.5942 % Gauge R&R = 100*(RR/TV)
 0.35667 部品変動(PV)と測定精度(RR)との比
 3 異なるカテゴリの数 = 1.41(PV/RR)

最後に指定された列PNが、部品の列として使用されています。

Gauge R&Rの分散成分

成分	分散成分	全体に対する%	20 40 60 80
Gauge R&R	0.09083794	11.29	
併行精度	0.07722919	9.59	
再現精度	0.01360875	1.69	
部品対部品	0.71405702	88.71	

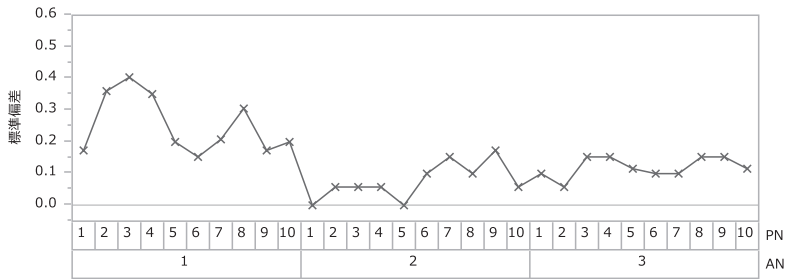
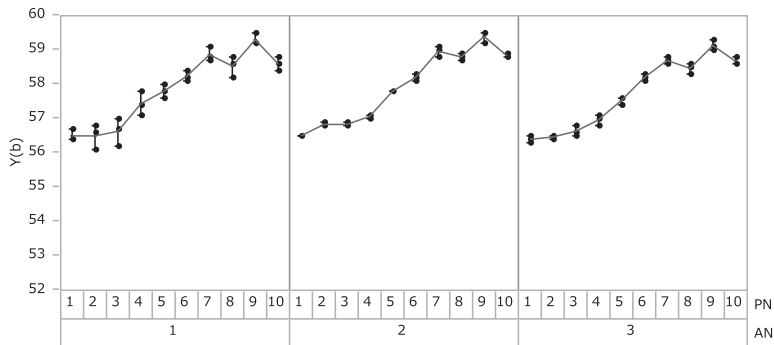
図5 変動性図と Gauge R&R

表9 10個の部品 (P2) をチームF2の測定者3名が3回測定した結果

測定者 A	測定回 M	測定値									
		Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅	Y ₆	Y ₇	Y ₈	Y ₉	Y ₁₀
1	1	56.4	56.8	57	57.1	57.6	58.4	59.1	58.8	59.5	58.4
1	2	56.4	56.6	56.7	57.4	57.8	58.2	58.8	58.2	59.2	58.8
1	3	56.7	56.1	56.2	57.8	58.0	58.1	58.7	58.6	59.2	58.6
2	1	56.5	56.8	56.9	57.1	57.8	58.1	59.1	58.9	59.2	58.8
2	2	56.5	56.8	56.8	57	57.8	58.3	58.8	58.7	59.5	58.9
2	3	56.5	56.9	56.8	57.1	57.8	58.2	59	58.8	59.5	58.8
3	1	56.5	56.4	56.6	56.8	57.6	58.2	58.8	58.3	59.1	58.6
3	2	56.4	56.5	56.5	57.1	57.4	58.1	58.7	58.5	59.3	58.6
3	3	56.3	56.5	56.8	57	57.6	58.3	58.6	58.6	59	58.8

計量値用ゲージ

Y(b)の変動性図



Gauge R&R

要因	変動(6*標準偏差)	変動は6*sqrt(分散)で計算
併行精度 (EV)	1.0714476	設備による変動 V(セル内)
再現精度 (AV)	0.6511528	判定者による変動 V(AN) + V(AN*PN)
AN	0.5855039	V(AN)
AN*PN	0.2849301	V(AN*PN)
Gauge R&R (RR)	1.2537942	測定による変動 V(セル内) + V(AN) + V(AN*PN)
部品による変動 (PV)	6.2286197	部品による変動 V(PN)
合計変動 (TV)	6.3535583	合計変動 V(セル内) + V(AN) + V(AN*PN) + V(PN)

6 k
 19.7337 % Gauge R&R = 100*(RR/TV)
 0.2013 部品変動(PV)と測定精度(RR)との比
 7 異なるカテゴリの数 = 1.41(PV/RR)
 最後に指定された列PNが、部品の列として使用されています。

Gauge R&Rの分散成分

成分	分散成分	全体に対する%	20 40 60 80
Gauge R&R	0.0436667	3.89	
併行精度	0.0318889	2.84	
再現精度	0.0117778	1.05	
部品対部品	1.0776584	96.11	

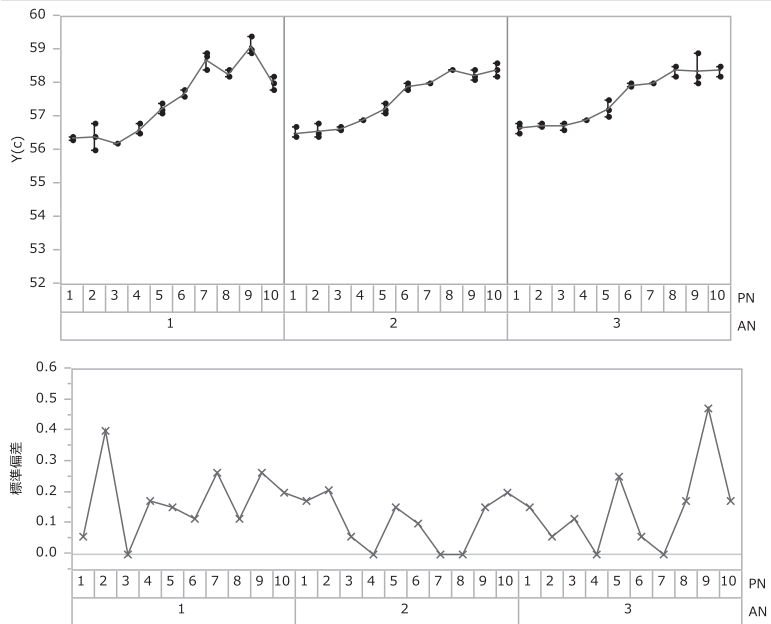
図6 変動性図と Gauge R&R

表10 10個の部品 (P2) をチームF3の測定者3名が3回測定した結果

測定者 A	測定回 M	測定値									
		Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅	Y ₆	Y ₇	Y ₈	Y ₉	Y ₁₀
1	1	56.4	56.4	56.2	56.5	57.1	57.6	58.9	58.4	59.4	58.2
1	2	56.3	56.8	56.2	56.5	57.4	57.8	58.8	58.2	59	57.8
1	3	56.4	56.0	56.2	56.8	57.2	57.6	58.4	58.2	58.9	58
2	1	56.4	56.5	56.7	56.9	57.1	57.8	58.0	58.4	58.4	58.2
2	2	56.4	56.4	56.6	56.9	57.2	57.9	58.0	58.4	58.1	58.4
2	3	56.7	56.8	56.6	56.9	57.4	58.0	58.0	58.4	58.2	58.6
3	1	56.5	56.7	56.6	56.9	57.0	58.0	58.0	58.2	58.2	58.5
3	2	56.8	56.7	56.8	56.9	57.2	57.9	58.0	58.5	58	58.2
3	3	56.7	56.8	56.8	56.9	57.5	57.9	58.0	58.5	58.9	58.5

計量値用ゲージ

Y(c)の変動性図



Gauge R&R

要因	変動(6*標準偏差)	変動は6*sqrt(分散)で計算
併行精度 (EV)	1.0704233	設備による変動 V(セル内)
再現精度 (AV)	1.3021042	判定者による変動 V(AN) + V(AN*PN)
AN	0.3293766	V(AN)
AN*PN	1.2597565	V(AN*PN)
Gauge R&R (RR)	1.6856101	測定による変動 V(セル内) + V(AN) + V(AN*PN)
部品による変動 (PV)	4.5142823	部品による変動 V(PN)
合計変動 (TV)	4.8187162	合計変動 V(セル内) + V(AN) + V(AN*PN) + V(PN)

6 k
 34.9805 % Gauge R&R = 100*(RR/TV)
 0.37339 部品変動(PV)と測定精度(RR)との比
 3 異なるカテゴリの数 = 1.41(PV/RR)
 最後に指定された列PNが、部品の列として使用されています。

Gauge R&Rの分散成分

成分	分散成分	全体に対する%	20406080
Gauge R&R	0.07892448	12.24	
併行精度	0.03182795	4.93	
再現精度	0.04709654	7.30	
部品対部品	0.56607623	87.76	

図7 変動性図と Gauge R&R

4. 解析

4. 1 ゲージR&Rによる解析

図2から図7のGauge R&RにはJMPによる測定器の繰返し性と再現性の解析結果が示されている。その中で繰返し性(Repeatability)は併行精度、再現性(Reproducibility)は再現精度と表記されている。併行精度、再現精度、Gauge R&R、部品による変動は標準偏差×6で算出されている。この標準偏差はGauge R&Rの分散成分の平方根である。分散成分は2乗値であり、測定値と同じ次元にするためその平方根を採用し標準偏差で解析しているところにGauge R&Rの特徴がある。

一方、分散成分表では、全体に対するGauge R&Rと部品変動の合計は100%となる。分散成分による評価と標準偏差による評価にはそれぞれ特徴があるが、Gauge R&Rによる解析では標準偏差を用いることが一般的である。

4. 1. 1 製品P1のゲージR&Rと分散成分

P1の製造基準は2.1節に示したように 56.0 ± 4.0 cmである。そしてこの工程から製造基準の上限から下限までを代表する10個のサンプルを選び、F1, F2, F3の3チームが測定しその解析結果である%Gage R&Rと識別可能なカテゴリの数(number of distinct category)を表11に示す。

%Gage R&RはF1, F2, F3の各チームがそれぞれ19.14, 7.82, 10.52である。表4に示した評価基準に従えば、F2チームの繰返し性と再現性は製品P1の製造工程に対して優良であることが示された。またF1とF3チームの繰返し性と再現性は適切であることも示された。また識別可能なカテゴリの数を表すndcはF1, F2, F3の各チームがそれぞれ7, 17, 13である。ndcは5以上であることが要求されており、3チームともこれを満足している。ndcの値と識別可能なカテゴリの数との概要を図1に示す。

表11 部品P1のゲージR&R

成分	F1	F2	F3
併行精度(EV)	1.766	0.648	0.810
再現精度(AV)	0.834	0.635	0.875
主効果	0.529	0.606	0.834
交互作用	0.644	0.189	0.263
Gage R&R(RR)	1.952	0.907	1.192
部品変動(PV)	10.018	11.562	11.267
合計変動(TV)	10.203	11.597	11.330
%Gage R&R	19.14	7.82	10.52
カテゴリ数(ndc)	7	17	13

表12 部品P1の分散成分

成分	F1	F2	F3
Gage R&R	3.66	0.61	1.11
(併行精度)	(2.99)	(0.31)	(0.51)
(再現精度)	(0.67)	(0.30)	(0.60)
部品	96.34	99.39	98.89
合計	100.00	100.00	100.00

部品P1の分散成分を表12に示す。分散成分の比較では3チームともゲージR&Rは4%以下であり測定に明らか

な問題があるとは言えない。これらの結果を総合すると、チームF2は優良であり、またチームF1とF3も測定能力は適切である。

4. 1. 2 部品P2のゲージR&Rと分散成分

部品P2の製造基準は 58.0 ± 2.0 cmである。部品P1の場合と同様にこの工程から製造基準の上限から下限までを代表する10個のサンプルを選び、F1, F2, F3の3チームが測定した結果からゲージR&Rの解析結果を表11にまとめて示す。

%Gage R&RはF1, F2, F3の各チームがそれぞれ33.59, 19.73, 34.98である。表4に示した評価基準に従えば、F2チームの繰返し性と再現性は部品P2の製造工程に対して適切であるものの、1段階下の許容できるレベルとみることもできる。またF1とF3チームの繰返し性と再現性は部品P2の製造工程に対して許容できないレベルである。またndcはF1, F2, F3の各チームがそれぞれ3, 7, 3であり、5以上が必要であることから、F1とF3の2チームは繰返し性と再現性が要求を満足していないことになる。F2チームはndcが7であることから適切なレベルである。

表13 部品P2のゲージR&R

成分	F1	F2	F3
併行精度 (EV)	1.667	1.071	1.070
再現精度 (AV)	0.700	0.651	1.302
主効果	0.486	0.586	0.329
交互作用	0.504	0.285	1.260
Gage R&R (RR)	1.808	1.254	1.686
部品変動 (PV)	5.070	6.229	4.514
合計変動 (TV)	5.383	6.354	4.819
%Gage R&R	33.59	19.73	34.98
カテゴリ数 (ndc)	3	7	3

表14 部品P2の分散成分(%)

成分	F1	F2	F3
Gage R&R	11.29	3.89	12.24
(併行精度)	(9.59)	(2.84)	(4.93)
(再現精度)	(1.69)	(1.05)	(7.30)
部品	88.71	96.11	87.76
合計	100.00	100.00	100.00

工程が管理されていることを仮定すると、部品の特性値(長さ)は正規分布に従っている。この状況において、ndcが3の場合は製品のばらつき範囲の3等分の領域しか識別できないことになり、測定システムとしては不十分である。ndcが5の場合は十分であるとされている。図1のグラフはこの概要を示している。

部品P2の分散成分を表14に示す。Gage R&RはF1, F2, F3の各チームがそれぞれ11.29%, 3.89%, 12.24%である。%Gage R&Rと比較してF1, F3が許容できないレベル、F2は適切もしくは許容できるレベルとの評価と一致する。

4. 1. 3 部品P1の再現精度の交互作用解析

部品P1についてF1, F2, F3の3チームにおけるGauge R&Rへの影響について解析すると、再現精度の交互作用に差がある。その内容を解析するため交互作用の解析を行った。結果を図8から図10に示す。

F1における交互作用がF2における交互作用より大きいことがグラフの折れ線の交絡具合から明らかである。F3はF1とF2との中間程度であることも概要把握ができる。

4. 1. 4 部品P2の再現精度の交互作用解析

P2についても同様に解析した結果を図11から図13に示す。交互作用は各折れ線の示す値

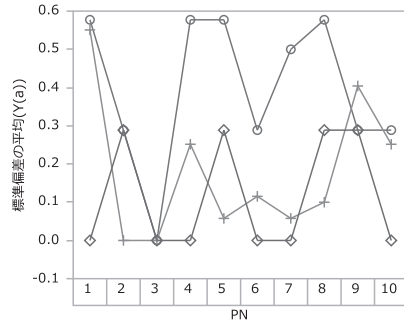


図8 P1のF1における再現精度の交互作用

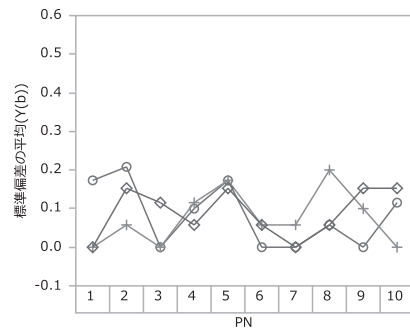


図9 P1のF2における再現精度の交互作用

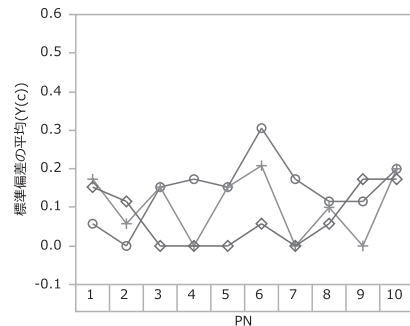


図10 P1のF3における再現精度の交互作用

の大きさではなく、2つの折れ線の交絡の程度と関係がある。図12は図11及び図13と比較して折れ線の交絡がほとんどない。このことからF2における交互作用が3チームの中で最小であることが理解できる。

図11と図13の折れ線の交絡程度を比較すると前者が後者より大きいように見える。しかし表13に示された交互作用の大きさはF1が0.504, F3が1.260である。すなわち、図11より図13の折れ線の交絡が大きいことになる。

交互作用解析はグラフを使用することで直感的に結果を把握できる利点があるが、錯覚も起こしやすい。グラフはあくまでも補助手段であり、分散分析に基づいた定量解析が重要であることを示している。

部品P1とP2の形状は同じで、長さのばらつき範囲が異なるだけであることから、交互作用の大きさはP1とP2で同等である。それゆえに、図8と図11、図9と図12、図10と図13は折れ線グラフが同じ傾向を持つと考えられる。しかし

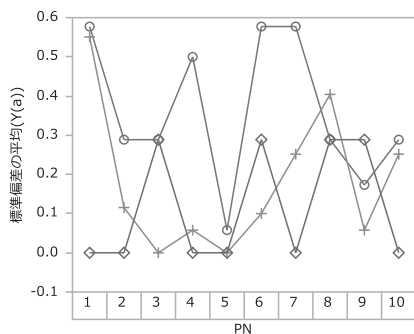


図11 P2のF1における再現精度の交互作用

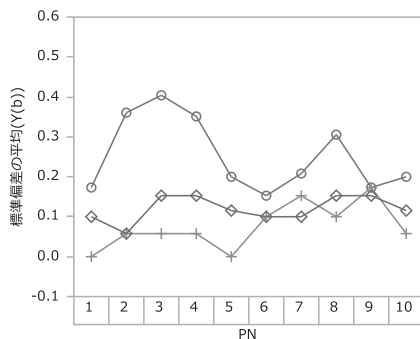


図12 P2のF2における再現精度の交互作用

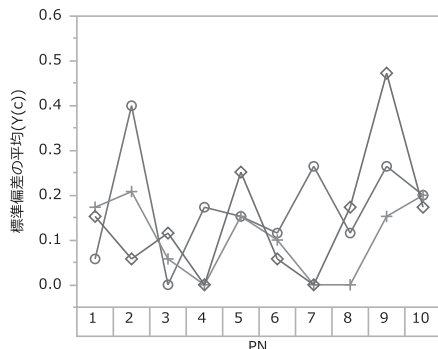


図13 P2のF3における再現精度の交互作用

図12では図9より標準偏差の大きな評価者がいる。このような評価者は長期的にみて再現性に問題がある可能性がある。詳細は考察で述べる。

5. 考察

5. 1 ISO マネジメントシステムと統計的品質管理

Gauge R&Rは評価指標として%GRRとndcを使用している。その意図は、実際の業務を前提に、そこで使用される測定システムを評価し、そこで評価作業を行う評価者に理解し易い配慮がなされている。

第1に、%GRRは部品のばらつきも含めた測定全体のばらつきを基準にした相対評価である。部品のばらつきが大きければ測定精度もそれに応じて適切なものであればよい。いたずらに高い精度を要求していないことは現場重視の表れである。

第2に、ばらつきの評価を分散ではなく標準偏差で行っている。分散分析に象徴されるように統計的品質管理ではばらつきは分散で評価することが一般的である。ゲージR&Rでも分散成分を求め、全体に対する割合を算出しており、補助的な扱いではあるが分散も使用している。しかし%GRRでは分散の平方根である標準偏差を使用している。標準偏差は特性値と同じ次元を持つ統計量であり、統計に不慣れた現場の評価者には分散よりも理解しやすいことが理由として考えられる。

さらに解析の中で示したように、分散成分によるGauge R&Rのばらつき全体に対する割合より、標準偏差を組み合わせた%GRRのほうが大きな値を示している。そのため表4に示した評価基準は4段階の評価が可能となっている。

第3に、ndcを用いて部品のばらつきと測定システムの精度との関係を概要ではあるが可視化している。図1を見れば統計の専門家ではなくても、ndcが大きいほど部品のばらつきを細かく評価できることが容易に理解できる。

以上のように、IATFが定めたマネジメント規格は決して専門家だけのものではなく、現場で評価を行う評価者に受入可能な配慮がなされている。その理由として、基礎部品の製造工程から、アッセンブルと呼ばれる中間組立工程、

最終組み立て工程までの広範な作業工程を世界中のサプライチェーンの中で行う自動車産業界が目指す品質マネジメントの基本方針がある。本研究では紙面の都合で割愛するが、ISO規格に準じたIATF 16949に代表される自動車関連の品質マネジメント規格の中には統計的品質管理を有効活用して改善に結びつける工夫が多くみられる。

5. 2 Gauge R&Rの結果

一般にGauge R&Rは3人の評価者が10個の部品を評価する。しかし本研究では、3人の評価者を1チームとして3チームが参加した。さらには部品についても、ばらつきの大きな部品(P1)を10個と小さな部品(P2)を10個測定した。本研究では3人の評価者をそれぞれ個別に評価するよりも、チームとしての評価を優先的に行った。

Gauge R&Rの結果から、部品P1に対しては3チームとも測定能力は適切であること、部品P2に対してはF2チームの測定能力は適切であるが、F1とF3は許容できないレベルであることを示した。

次節で考察するが、組織能力を評価するとき、各個人を対象とするよりチームを対象とするほうが適切である。さらに4.1.3と4.1.4で実施した交互作用解析であれば、交互作用があることで個人の測定能力、すなわち主効果が顕わになることがない。そのうえでチームごとの優劣を評価すればよい。しかし交互作用がない場合は図12で示したように個人が特定されることになる。

主効果と交互作用を理解するうえでは、解析で示したように個人の比較をする必要はなく、チームの比較をすればよい。そしてチームの優劣が判明すれば個人も含めて改善の方向も定まることになる。

5. 3 組織能力の評価

前節で考察したように、Gauge R&Rを活用すればチームごとの測定能力を客観的に評価することが可能である。客観的とは表4に示す具体的な評価基準が存在することである。そして評価の結果、能力が許容できないレベルであれば

改善を行うことになる。

本研究で示した図12の場合、3人の評価者の1人は明らかに測定能力が低い。このような場合、その1人の作業方法を再確認することが必要である。そしてその再確認をチーム内で自主的に行うことで、組織能力の向上が期待できる。

筆者の一人がかつて実施したGauge R&Rの評価作業の経験から、製造現場のリーダークラスはこの自主的な改善を行う能力がある。ただしその能力を発揮する機会が実際の生産工程では少ない。Gauge R&Rを活用して組織能力を向上する取組みは、経営視点に基づくISOマネジメントシステム規格に準拠したSQC活動の一貫として進める価値がある。

5. 4 統計解析ソフトの活用

本研究では米国SAS社の統計解析ソフトJMPを使用してGauge R&Rの解析とグラフ化を行った。市販された解析ソフトを使用する利点は、解析の精度を担保できることと、それに基づく意思決定の強さにある。

5.2節で示したように、本研究では通常のGauge R&Rより、チーム数で3倍、部品数で2倍、合わせて6倍の処理を行った。また分散分析を前提に標準偏差を求める作業は統計解析ソフトの使用を前提とすべきである。

さらにその結果を測定精度の改善だけでなく、人事も含めた組織能力の向上に使うのであれば、個人の開発した解析ツールでは、恣意的な処理を疑われかねない。

欠点としてはその導入と維持の費用の問題がある。十分な投資対効果がなければ市販のソフトの導入は経営判断から断念せざるを得ない。

5. 5 今後の課題

本来のGauge R&R手法の目的は測定システムの評価である。そしてISOマネジメントシステムに準拠した手法として広く推奨され既に多くの実績がある。そのため「手続きに誤りがない」ければ一定の成果が期待できる。特に製造業のみならず、人材開発も含めたマネジメントの分野で成果を上げれば社会に大きく貢献できる。

しかしそのマネジメント分野での成果は企業内に留まることが多く一般に公開されることは

少ない。経営視点に基づいてISOマネジメントシステム規格に準拠したGauge R&Rを組織能力の維持や向上、開発に応用すること、その成果を広く社会で共有することが今後の課題の1つである。

さらに、Gauge R&Rのような統計的品質管理(Statistical Quality Control: SQC)の手法では難解な統計量の計算が必要である。製造業の管理部門にはSQCの専門家が在籍し現場の要請に応じて「手続きに誤りが無い」ように注意しながら解析を進めることができる。しかし全ての業種でこのような専門家が身近にいることは少ない。そのためISOで推奨されるSQC手法を活用するには、「手続きに誤りが無い」ことを担保できる人材の確保が重要である。これも今後の課題である。

そのうえで、統計解析のツールやプログラムを社内で独自に開発し組織能力の維持向上に向けて準備するか、JMPのような市販の統計開発ソフトを導入するか、経営判断が求められる。測定(Measure)には人(Man)と方法(Method)が関与するため、企業の経営方針が重要となる。

6. おわりに

ISOマネジメントシステム規格に準拠した統計的品質管理の手法を応用した測定システム解析を実施して、1チーム3人から成る3チームの

測定能力を解析した。解析の結果を経営視点から考察し、チームとしての組織能力を把握することが可能であることを示したことで、本研究の有効性を示した。

【引用文献】

- [1] Joint Committee for Guide in Metrology (JCGM) (2008), ISO/IEC Guide 98-3: Guide to the expression of Uncertainty in Measurement (GUM).
- [2] Montgomery, D.C. (2005), Design and Analysis of Experiments (6th ed.), Wiley.
- [3] Myers, R. H., Montgomery, D.C., Anderson-Cool, C. M. (2009), Response Surface Methodology (3rd ed.), Wiley, New York.
- [4] 今井秀孝 編著 (2013), 測定不確かさ評価の最前線—計量計測トレーサビリティと測定結果の信頼性, 日本規格協会.
- [5] 小川昭, 高橋武則 (2019), “実験計画法に基づく超音波回転穴加工の3次元加工形状評価モデル構築と加工メカニズムの解明”, 精密工学会誌, Vol. 85, No. 16, pp455-462.
- [6] 奥野忠一, 片山善三郎, 上郡長昭, 伊東哲二, 入倉則夫, 藤原信夫 (1986), 工業における多変量データの解析, 日科技連.
- [7] 奥原正夫, 加瀬三千雄 (2011), 管理図・SPC・MSA入門, 日科技連.
- [8] 山田秀 (2007), 実験計画法, 日科技連.