

2.5 Gage R&Rによる解析

2.5.1 Gage R&Rとは

Gage R&R (Gage Repeatability and Reproducibility)とは、測定システム分析(MSA: Measurement System Analysis)ともいわれ、測定プロセスを管理または審査するための手法である。

MSAでは、ばらつきの大きさを「変動」という尺度で表し、測定システムのどこに原因があるのか、ばらつきの原因を分解することにより、ばらつきの根本原因を識別しどこを改善すればよいかを判断することを目的としている。測定データのばらつきの原因がわかれば、ばらつきを小さくする措置をとることができる。なお、「MSA第4版スタディガイド」ジャパン・プレクサス(2010)では、ばらつきのことを変動といっているが、ばらつきも変動も同じ意味である。

「Gage(ゲージ)」という言葉は、この手法が計器または測定手法を含めた測定システムの検証を目的としていることに由来している。

また、「MSA」とは、全米自動車産業協会発行の「MSA(Measurement System Analysis)」を指している。「3.1.1 工程とは」において、工程を示す要因として、「サンプリングおよび測定」があることは後述するとおりである(「3.1.1 工程とは」を参照されたい)。品質管理において、データをいろいろ取得するが、測定したデータが信用できるもの、つまりデータに信頼性があることを前提としている。品質特性値を測定して取得したデータの信頼性は測定システムの信頼性でもある。また、同じ測定器を使用して、同じ測定手法をとったとしても測定者が違くと違ったデータが得られるようではデータの信頼性は損なわれてしまう。取得したデータには、製品や部品ごとのばらつき、測定者によるばらつき、測定方法によるばらつきおよび測定器のばらつきなどがあることはよく知られている。この製品や部品以外のばらつきは、通常は「測定誤差」といっている。

これらのばらつきを「繰り返しのばらつきー装置変動 Repeatability」(Equipment Variation :EV)、「再現性(測定者または測定器間)のばらつき Reproducibility」(Appraiser Variation :AV)、「製品・部品などの試料間のばらつき Reproducibility」(Part or Product Variation :PV)に分解して計算する。「くり返しのばらつき」は、データの計測を繰り返し行った時のばらつきを評価するものである。「再現性(測定者の間)のばらつき」とは、同一測定器を使用して複数の測定者が測定したときまたは一人の測定者複数の測定器を使用して測定したことによるばらつきを評価するものである。「部品・試料間のばらつき」とは、試料つまりサンプリングによるばらつきであり、ばらつきがあって当たり前である。「くり返しのばらつき Repeatability」(Equipment Variation :EV)、「再現性(測定者または測定機器間)のばらつき Reproducibility」(Appraiser Variation :AV)および「部品・試料間のばらつき Reproducibility」(Part or Product Variation :PV)については、すべて分散として計算し、「全体のばらつきを Total Variation」(TV)とすると、以下の式(2.1)が成り立つ。

$$EV^2 + AV^2 + PV^2 = TV^2 \quad (2.1)$$

さらに

$$EV^2 + AV^2 = GRR^2 \quad \text{として}$$

$$GRR = \sqrt{(EV^2 + PV^2)}$$

を求める。

そして、TV に対する GRR の割合(%GRRと書く)を求めると、「測定者(または測定器)によるばらつき」、

と「測定を繰り返した時のばらつき」の和が「全体のばらつき(TV)」に対して、どれくらいの割合となるかがわかり、測定システムを評価することができる。「MSA第4版スタディガイド」ジャパン・プレクサス(2010)p.104では、%GRRの値が10%未満であれば「一般に受容れられる測定システムと考えられる」(測定システムとして合格)、10%以上30%未満の時は、「ある適用に対して、受容れられることがある」(条件付き合格)、30%を超えるときは「受容れられないと考えられる」(不合格)と判定している(カッコ内は筆者)。つまり、繰り返し測定したときのばらつきと測定者によるばらつきが10%を超えるようでは測定結果であるデータの信頼性は低いということを意味している。また、PVは部品・試料間のばらつきを評価するものであるため、抽出した試料(サンプル)が母集団を代表していなければならないことから、抽出に当たってはランダムに取り出すよりは恣意的に取り出す方がよいと言われている。それは、抽出したサンプルが均一性が高い、つまりばらつきが小さい場合には、PVの値が小さくなり、TVも小さくなり、%GRRを大きくしてしまうことになるからである。また、部品・試料数は少なくとも10個必要である。

2.5.2 Gage R&Rによる解析例

例題7

規格が長さ50mm(±1.0)のボルト1000本のロットからできるだけばらつきが大きいものを恣意的に10本取り出し、3人の測定者(または測定機)で計測する。計測は3回繰り返すものとする。部品・試料数(n)=10, 測定回数(r)=3, 測定者数(Ap)=3として、Gage R&Rで解析し、TVに対する割合(%)(%R&R)を求めなさい。

手順1 測定したデータを図2.30に示すように入力する。

手順2 測定者毎に3回の計測値の幅、R(A), R(B)およびR(C)を記載する。さらに、各部品・試料の平均を計算する。ここで、計測値の幅とは、各部品・試料について測定者が測定した3個の計測値の最大値と最小値の差である。

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O | P | Q | R | S | |
|----|---|---------------|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|---|---|--|
| 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | 測定者 | X氏 | | | 幅 | Y氏 | | | 幅 | Z氏 | | | 幅 | 各試料の平均 | 計算式 | | | |
| 3 | | 部品・試料No. | 測定回数 | 1 | 2 | 3 | R(A) | 1 | 2 | 3 | R(B) | 1 | 2 | 3 | R(C) | | | | | |
| 4 | | A1 | | 50.51 | 50.58 | 50.41 | 0.17 | 50.41 | 50.31 | 50.39 | 0.10 | 50.12 | 50.15 | 50.11 | 0.04 | 50.33 | AVERAGE(D4:F4,H4:J4,L4:N4) | | | |
| 5 | | A2 | | 45.98 | 46.07 | 45.91 | 0.16 | 45.81 | 45.31 | 45.27 | 0.54 | 44.99 | 45.12 | 44.97 | 0.15 | 45.49 | AVERAGE(D6:F6,H6:J6,L6:N6) | | | |
| 6 | | A3 | | 51.09 | 51.18 | 51.14 | 0.09 | 51.08 | 51.19 | 51.28 | 0.20 | 51.01 | 51.19 | 51.09 | 0.18 | 51.14 | AVERAGE(D8:F8,H8:J8,L8:N8) | | | |
| 7 | | A4 | | 53.12 | 53.31 | 53.12 | 0.19 | 53.31 | 53.11 | 53.12 | 0.20 | 53.11 | 53.12 | 53.19 | 0.08 | 53.17 | AVERAGE(D7:F7,H7:J7,L7:N7) | | | |
| 8 | | A5 | | 49.95 | 50.11 | 50.08 | 0.16 | 50.11 | 49.86 | 49.91 | 0.25 | 49.96 | 49.98 | 50.11 | 0.15 | 50.01 | AVERAGE(D8:F8,H8:J8,L8:N8) | | | |
| 9 | | A6 | | 48.92 | 48.98 | 48.77 | 0.21 | 48.88 | 49.01 | 49.12 | 0.24 | 47.91 | 47.98 | 47.92 | 0.07 | 48.61 | AVERAGE(D9:F9,H9:J9,L9:N9) | | | |
| 10 | | A7 | | 52.12 | 52.09 | 52.21 | 0.12 | 52.29 | 52.19 | 52.11 | 0.18 | 52.13 | 52.12 | 52.01 | 0.12 | 52.14 | AVERAGE(D10:F10,H10:J10,L10:N10) | | | |
| 11 | | A8 | | 52.07 | 52.16 | 52.12 | 0.09 | 52.08 | 52.18 | 52.13 | 0.10 | 52.08 | 52.18 | 52.11 | 0.10 | 52.12 | AVERAGE(D11:F11,H11:J11,L11:N11) | | | |
| 12 | | A9 | | 48.18 | 48.11 | 47.99 | 0.19 | 48.11 | 48.14 | 48.03 | 0.11 | 47.44 | 47.42 | 47.48 | 0.06 | 47.88 | AVERAGE(D12:F12,H12:J12,L12:N12) | | | |
| 13 | | A10 | | 49.47 | 49.51 | 49.57 | 0.1 | 49.45 | 49.41 | 49.43 | 0.04 | 49.49 | 49.53 | 49.45 | 0.08 | 49.48 | AVERAGE(D13:F13,H13:J13,L13:N13) | | | |
| 14 | | 幅の平均 | \bar{R} | | | | 0.15 | | | | 0.20 | | | | 0.10 | | AVERAGE(G4:G13) AVERAGE(K4:K13) AVERAGE(O4:O13) | | | |
| 15 | | 測定者毎のデータの平均 | \bar{X} | 50.16 | | | | 50.10 | | | | 49.85 | | | | AVERAGE(D4:F13) AVERAGE(H4:J13) AVERAGE(L4:N13) | | | | |
| 16 | | 幅の平均の平均 | $\bar{\bar{R}}$ | | | | 0.15 | | | | | | | | | (G14+K14+O14)/3 | | | | |
| 17 | | データの平均の平均 | $\bar{\bar{X}}$ | | | | 50.04 | | | | | | | | | (E15+I15+M15)/3 | | | | |
| 18 | | 各部品・試料の平均の幅 | R_p | | | | 7.68 | | | | | | | | | MAX(P4:P13)-MIN(P4:P13) | | | | |
| 19 | | 測定者毎のデータの平均の幅 | \bar{X}_{diff} | | | | 0.31 | | | | | | | | | MAX(E15:I15,M15)-MIN(E15:I15,M15) | | | | |

図 2.30 測定データ集計表

手順3 幅R(A), R(B)およびR(C)についてそれぞれ10個の値の平均を「幅の平均 \bar{R} 」の欄に記載する

手順4 各測定者の30個のデータの平均を「測定者のデータの平均 \bar{X} 」欄に記載する

手順5 手順3で記入した3個の \bar{R} の平均値を「幅の平均の平均 $\overline{\bar{R}}$ 」の欄に記載する

手順6 手順4で記入した3個の \bar{X} の平均値を「データの平均の平均 $\overline{\bar{X}}$ 」欄に記載する

手順7 各試料の10個の平均の平均値の最大値と最小値の差を「各部品・試料の平均値の幅 R_p 」欄に記載する

手順8 手順4で求めた「測定者のデータの平均 \bar{X} 」欄に記載した3個の平均値の最大値と最小値の差を「測定者毎のデータの平均の幅 \overline{Xdiff} 」欄に記載する

以上の結果をまとめると図 2.31 に示すようになる

| | | |
|---------------|----------------------|-------|
| 測定回数 | r | 3 |
| 測定者数 | A_p | 3 |
| 部品・試料数 | n | 10 |
| 幅の平均の平均 | $\overline{\bar{R}}$ | 0.15 |
| 測定者毎のデータの平均の幅 | \overline{Xdiff} | 0.31 |
| 各部品・試料の平均の幅 | R_p | 7.68 |
| データの平均の平均 | $\overline{\bar{X}}$ | 50.04 |

図 2.31 統計量の整理

| | | | |
|-----------|--------|------------|--------|
| 試行回数 r | K_1 | 部品・試料数 n | K_3 |
| 2 | 0.8862 | 2 | 0.7071 |
| 3 | 0.5908 | 3 | 0.5231 |
| | | 4 | 0.4467 |
| 測定者 A_p | K_2 | 5 | 0.4030 |
| 2 | 0.7071 | 6 | 0.3742 |
| 3 | 0.5231 | 7 | 0.3534 |
| | | 8 | 0.3375 |
| | | 9 | 0.3249 |
| | | 10 | 0.3146 |

図 2.32 係数(「MSA第4版スタディガイド」ジャパン・プレクサス(2010)から転載引用)

以下、「繰り返し性—装置変動(EV)」、「再現性—測定者変動(AV)」、「部品・試料変動(PV)」、繰り返し

し性・再現性(GRR)」、「全変動(TV)」およびTVに対する比率を計算する。計算した結果は、図 2.3.4 に示すとおりとなる。

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>(1)「繰り返し性－装置変動(EV)」</p> $EV = \bar{R} \times K_1$ $= 0.15 \times 0.591$ $= 0.0880$ $EV^2 = 0.00775$ | <p>(4)「繰り返し性・再現性(R&R)」</p> $GRR^2 = EV^2 + AV^2$ $= 0.00775 + 0.02638$ $= 0.034127$ $GRR = 0.1847$ |
| <p>(2)「再現性－測定者変動(AV)」</p> $AV^2 = (\overline{Xdiff} \times K_2)^2 - \frac{EV^2}{n \times r}$ $= (0.31 \times 0.523)^2 - \frac{0.00775}{10 \times 3}$ $= 0.02638$ $AV = 0.16241$ | <p>(5)「全変動(TV)」</p> $TV^2 = EV^2 + AV^2 + PV^2$ $= GRR^2 + PV^2$ $= 0.034127 + 5.83092$ $= 5.8650$ $TV = 2.4218$ |
| <p>(3)「部品・試料変動PV」</p> $PV = R_p \times K_3$ $= 7.68 \times 0.315$ $= 2.4147$ $PV^2 = 5.83092$ | <p>(6)比率</p> $\%EV = 100 \times \frac{EV}{TV}$ $= 100 \times \frac{0.0880}{2.4218} = 3.6(\%)$ $\%AV = 100 \times \frac{AV}{TV}$ $= 100 \times \frac{0.16241}{2.4218} = 6.7(\%)$ $\%GRR = 100 \times \frac{GRR}{TV}$ $= 100 \times \frac{0.18474}{2.4218} = 7.6(\%)$ $\%PV = 100 \times \frac{PV}{TV}$ $= 100 \times \frac{2.41473}{2.4218} = 99.7(\%)$ |

図2. 3. 4 分析結果

2. 5. 3 Gage R&Rによる解析における注意事項

Gage R&Rによる解析を行うときに注意しなければいけないことがある。

1) サンプルングする製品・部品・試料の選択

通常品質管理では、製品や部品の母集団からランダムに選択する方式をとる。サンプルングした製品・部品などを母集団からランダムに抽出すると有意に小さいものや有意に大きいもの(いわゆる、規格はずれ)を抽出することは極めてまれである。試料として抽出した製品や部品のばらつきが小さいとPVの値が小さくなり、全体のばらつきを表すTVも小さくなり、%GRRが大きくなる。Gage R&Rは測定システムのばらつきをとらえることが目的であるからサンプルングした製品・部品の中に規格外れのものが含まれていても構わないのである。母集団の中には有意に小さいものや有意に大きいものがあるので、こういった規格はずれの製品や部品を恣意的にサンプルングするほうがよいのである。

2) Gage R&Rによる解析では、測定システムのばらつきを見るのが目的

Gage R&Rによる解析では、測定システムのばらつきを見るのが目的であるから、繰り返し測定したときのばらつきを示すEVや測定者や測定器によるばらつきを示すAVの値に注目する必要がある。したがって、同じ測定システム(測定器、想定方法、測定者が同じ)を使用するならば、同一母集団からサンプルングしなくてもよく、全く異なった製品や部品を混ぜても構わないことになるし、むしろこの方が測定システムのばらつきを見るという目的に合致しているといえる。

3) 測定者の測定作業に注意

複数の測定者が同じ測定システムを使用し、同じ製品や部品を測定するわけであるから、試験で言うカンニングになっては具合が悪い。どうしても自分の測定結果と他人の測定結果を比較したいのは人情でもあるので、他人の測定結果が分からないようにする必要がある。

4) 繰り返し測定する場合には時間を空ける

同一の測定者が同一の製品や部品を2回または3回測定するのであるが、この動作を連続してやっては具合が悪い。時間を空けて測定する必要があるし、前回測定した結果に左右されないように前回測定した結果が分からないように配慮しなければならない。

参考文献

- 1)「MSA第4版スタディガイド」株式会社ジャパン・プレクサス(2010)
- 2)棟近雅彦、奥原正夫、加瀬三千雄:「管理図・SPC・MSA入門」日科技連(2014)