

(2022-JA-50MP-25)

JMPを用いた測定システム分析 (MSA) の 計画と分析

SAS Institute Japan株式会社
勝村 裕一

JAPAN

DISCOVERY
SUMMIT

EXPLORING DATA
INSPIRING INNOVATION

発表内容

- 対象者
 - 製造業で測定システムの評価を行う人
- 概要
 - 測定システム分析（MSA: Measurement System Analysis）についての紹介
 - 測定システム分析には、偏り、安定性、直線性、ばらつきの評価などがあります
 - 本発表では、測定システムのばらつきを分析するGauge R&R分析やEMP分析について、紹介します
 - また、JMP 17で追加された測定システム分析関連のいくつかの新機能、変更点などについても説明します

JAPAN

DISCOVERY
SUMMIT

EXPLORING DATA
INSPIRING INNOVATION

発表内容

- 概要（測定システム分析の重要性、理想的な測定システムについて）
- 測定システム分析について（Gauge R&R、EMP法）
- 測定システム分析の例
 - 計画
 - 分析、結果の解釈
- JMP 17での主な変更点

JAPAN

DISCOVERY
SUMMIT

EXPLORING DATA
INSPIRING INNOVATION

発表内容

- 概要（測定システム分析の重要性、理想的な測定システムについて）
- 測定システム分析について（Gauge R&R、EMP法）
- 測定システム分析の例
 - 計画
 - 分析、結果の解釈
- JMP 17での主な変更点

JAPAN

DISCOVERY
SUMMIT

EXPLORING DATA
INSPIRING INNOVATION

測定システム分析の重要性

Garbage In, Garbage Out



JAPAN

DISCOVERY
SUMMIT

EXPLORING DATA
INSPIRING INNOVATION

Copyright © SAS Institute Inc. All rights reserved.

jmp

理想的な測定システム



正確でばらつきが少ない



JAPAN

DISCOVERY
SUMMIT

EXPLORING DATA
INSPIRING INNOVATION

発表内容

- 概要（測定システム分析の重要性、理想的な測定システムについて）
- 測定システム分析について（Gauge R&R、EMP法）
- 測定システム分析の例
 - 計画
 - 分析、結果の解釈
- JMP 17での主な変更点

JAPAN

DISCOVERY
SUMMIT

EXPLORING DATA
INSPIRING INNOVATION

測定システム分析

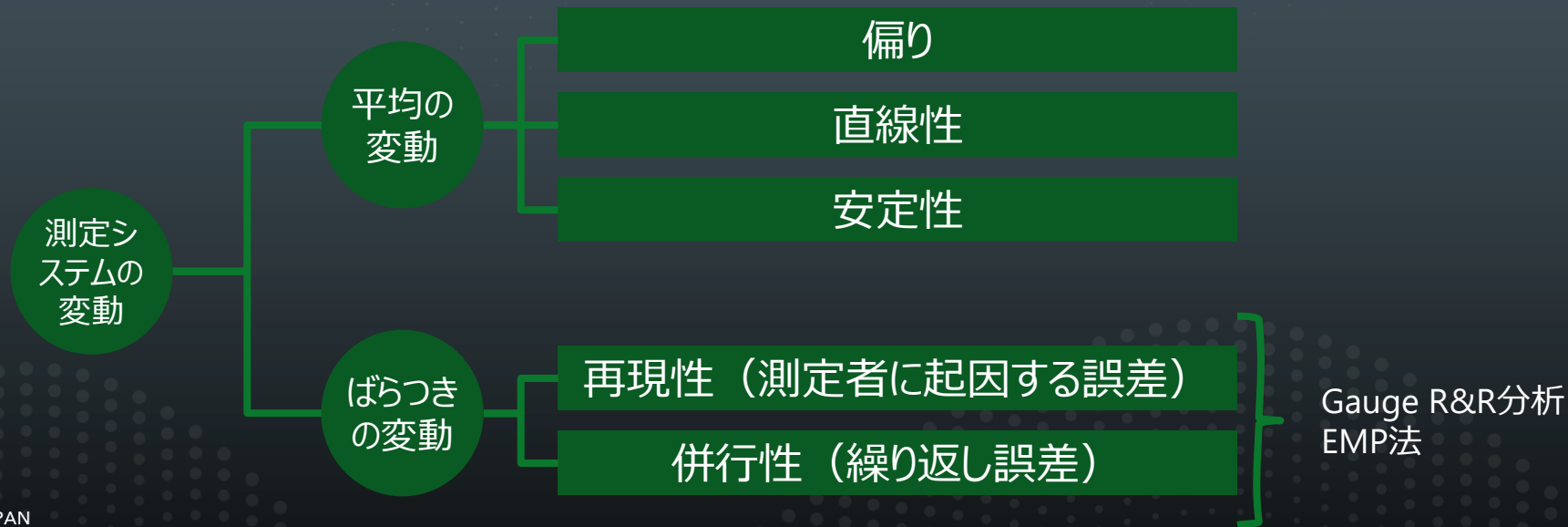
- 測定システム分析とは？
 - 測定システムの測定精度を調べるための手法
- 測定システム分析のゴール
 - 測定システムを使用しても問題ないか、改善が必要か判断する
- いつ使用するか？
 - 製品の品質等を「測定」するとき
 - » 新しい測定システムを導入したとき
 - » 管理図による品質管理をするとき
 - » 重要な決断を伴うような測定をするとき

JAPAN

DISCOVERY
SUMMIT

EXPLORING DATA
INSPIRING INNOVATION

測定システムの変動

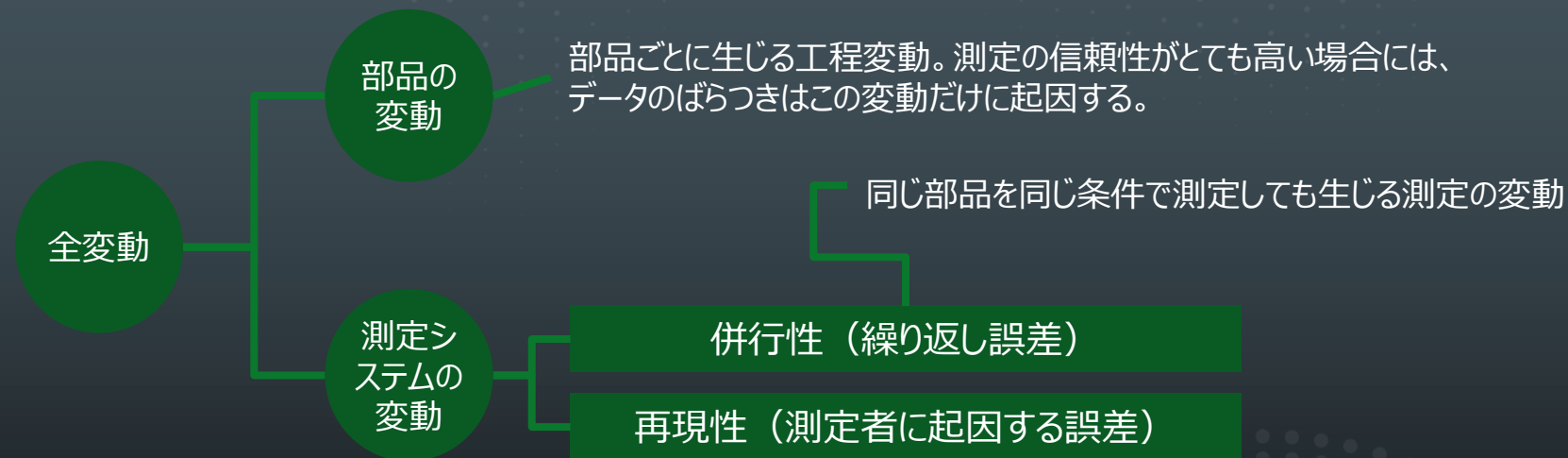


JAPAN

DISCOVERY
SUMMIT

EXPLORING DATA
INSPIRING INNOVATION

Gauge R&R分析とは



% Gage R&R

- 「% Gage R&R」は、測定システムの判断のひとつの指標
- % Gage R&R = 測定システムの変動/全変動
- 10%以下であれば良好と判断（% Gauge R&Rのみで判断するわけではない）

JAPAN

DISCOVERY
SUMMIT

EXPLORING DATA
INSPIRING INNOVATION

EMP法

- 「測定システム分析」プラットフォームで提供されているEMP法は、Donald J. Wheelerの『EMP III Using Imperfect Data』（2006）に基づく手法
- EMP法（Evaluating the Measurement Process: 測定プロセス評価）の結果はグラフが多く、解釈しやすいのが特長
- EMP法では、「級内相関」をひとつの指標としている。
 - 「級内相関」は、測定値の変動全体に対する、部品の寄与率
 - $ICC(\text{級内相関}) = \text{部品の変動} / \text{測定値の変動全体}$
 - 級内相関は大きい方がよい（測定システムのばらつきが小さくなるほど、値は1に近づく）

JAPAN

DISCOVERY
SUMMIT

EXPLORING DATA
INSPIRING INNOVATION

発表内容

- 概要（測定システム分析の重要性、理想的な測定システムについて）
- 測定システム分析について（Gauge R&R、EMP法）
- 測定システム分析の例
 - 計画
 - 分析、結果の解釈
- JMP 17での主な変更点

JAPAN

DISCOVERY
SUMMIT

EXPLORING DATA
INSPIRING INNOVATION

測定システム分析の例



- 測定器により部品の長さを測定
- ばらつきに影響を及ぼすと考えられる要因
 - 測定者
 - 部品
 - 測定者と部品の交互作用
- 測定器による長さの測定は、工程の管理のために使用することができるか？

JAPAN

DISCOVERY
SUMMIT

EXPLORING DATA
INSPIRING INNOVATION

測定システム分析の流れ

実験を計画する

測定を行う

データを
分析する

結果の考察/
改善

JAPAN

DISCOVERY
SUMMIT

EXPLORING DATA
INSPIRING INNOVATION

Copyright © SAS Institute Inc. All rights reserved.

jmp

実験を計画する

- 実験計画(DOE) > 特殊な目的 > 測定システム分析計画
- JMP 16から追加 (JMP 17でも機能拡張されている)
- 例
 - 測定者に起因するばらつきがどれほど生じているかを調べたい
 - 3人の測定者が参加
 - 測定対象として標準的な部品を10個用意
 - それぞれの測定者に各部品を3回ずつ測定

JAPAN

DISCOVERY
SUMMIT

EXPLORING DATA
INSPIRING INNOVATION

計画時の注意点

- 測定対象の部品について
 - 測定対象の部品は、測定値がばらつくように用意する（測定システムをある工程の管理に使用する場合、その工程を代表するように部品を用意）
- 測定対象の順序はできる限り無作為化
 - 測定順序が測定結果に影響することをできる限り減らす
- 同じ部品を最低2回は測定する
 - 繰り返し誤差を推定するため

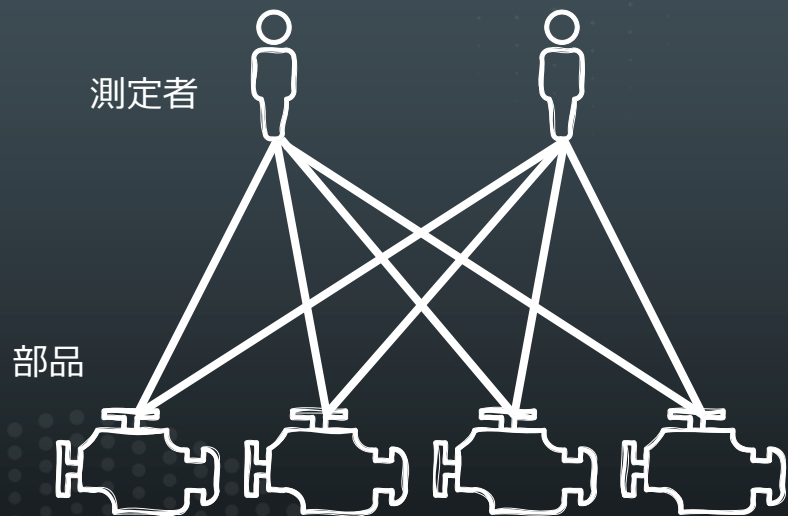
JAPAN

DISCOVERY
SUMMIT

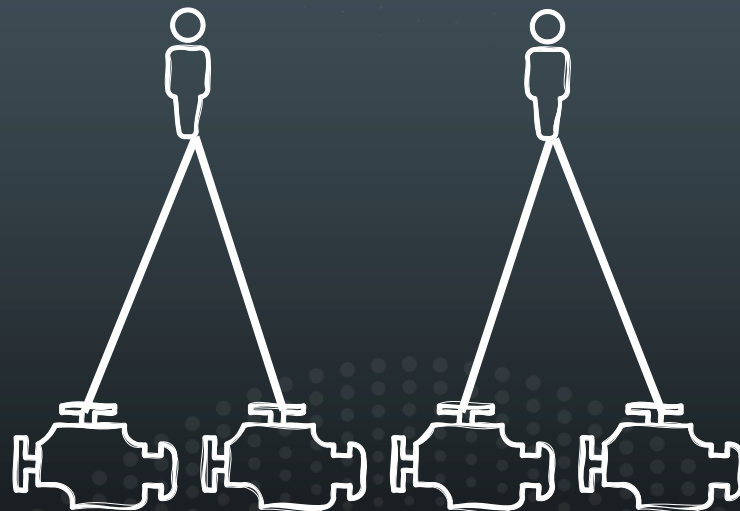
EXPLORING DATA
INSPIRING INNOVATION

交差と枝分かれ

- 交差



- 枝分かれ



JAPAN

DISCOVERY
SUMMIT

EXPLORING DATA
INSPIRING INNOVATION

JMPにおける反復方法のオプション

完全無作為化

- すべての要因の組み合わせが無作為化

実験	部品	測定者	反復
1	L3	L2	1
2	L3	L2	2
3	L3	L1	1
4	L2	L1	1
5	L1	L2	1
6	L2	L2	1
7	L1	L1	1
8	L1	L1	2
9	L2	L2	2

バッチの反復

- 反復内で、1つ目の要因の水準が無作為化
- 1つ目の要因の水準内で、2つ目の要因の水準が無作為化

実験	部品	測定者	反復
1	L1	L2	1
2	L1	L1	1
3	L3	L1	1
4	L3	L2	1
5	L2	L1	1
6	L2	L2	1
7	L3	L2	2
8	L3	L1	2
9	L1	L1	2

簡易な反復

- 1つ目の要因の水準が無作為化
- 1つ目の要因の水準内で、2つ目の要因の水準が無作為化
- 複数回、続けて測定

実験	部品	測定者	反復
1	L3	L2	1
2	L3	L2	2
3	L3	L2	3
4	L3	L1	1
5	L3	L1	2
6	L3	L1	3
7	L2	L1	1
8	L2	L1	2
9	L2	L1	3

JAPAN

DISCOVERY
SUMMIT

EXPLORING DATA
INSPIRING INNOVATION

JMPでの操作

「実験計画(DOE)」 >
「特殊な目的」 >
「測定システム分析計画」

最初の測定に追加して行
う測定の回数を指定。つま
り、反復の回数を“2”にす
ると、合計3回の測定を行
うことになる。

測定システム分析計画

応答

応答の追加 ▼ 削除 応答数...

応答名	目標	下側限界	上側限界	重要度
長さ	なし	非該当	非該当	非該当

因子

因子の追加 N個の因子を追加 1 削除

因子水準の表示

名前	MSA 役割	水準の数	ランダム化
部品	部品	10	はい
測定者	オペレータ	3	はい

反復の回数 2

実験の反復方法

- 完全無作為化
- バッチの反復
- 簡便な反復

JAPAN

DISCOVERY
SUMMIT

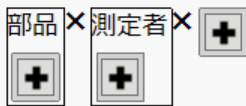
EXPLORING DATA
INSPIRING INNOVATION

JMPでの操作

■ 交差

測定システム分析計画の構造

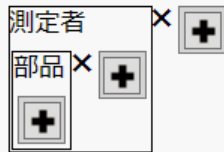
モデルに因子を含めるには、プラス印のアイコンをクリックしてください。ここに指定されない因子は、ここに指定された他のすべての因子と交差されます。ここに因子が1つも指定されない場合、すべての因子がすべて完全に交差されます。



■ 枝分かれ

測定システム分析計画の構造

モデルに因子を含めるには、プラス印のアイコンをクリックしてください。ここに指定されない因子は、ここに指定された他のすべての因子と交差されます。ここに因子が1つも指定されない場合、すべての因子がすべて完全に交差されます。



JAPAN

DISCOVERY
SUMMIT

EXPLORING DATA
INSPIRING INNOVATION

測定時の注意点

- 測定値を他の測定者に見えないようにする
- どの部品を測定しているかを、測定者にわからないようにする
 - 同じ部品を測定していることがわかり、1回目の測定値を覚えていれば、似たような測定値としようとしてしまう可能性がある



発表内容

- 概要（測定システム分析の重要性、理想的な測定システムについて）
- 測定システム分析について（Gauge R&R、EMP法）
- 測定システム分析の例
 - 計画
 - 分析、結果の解釈
- JMP 17での主な変更点

JAPAN

DISCOVERY
SUMMIT

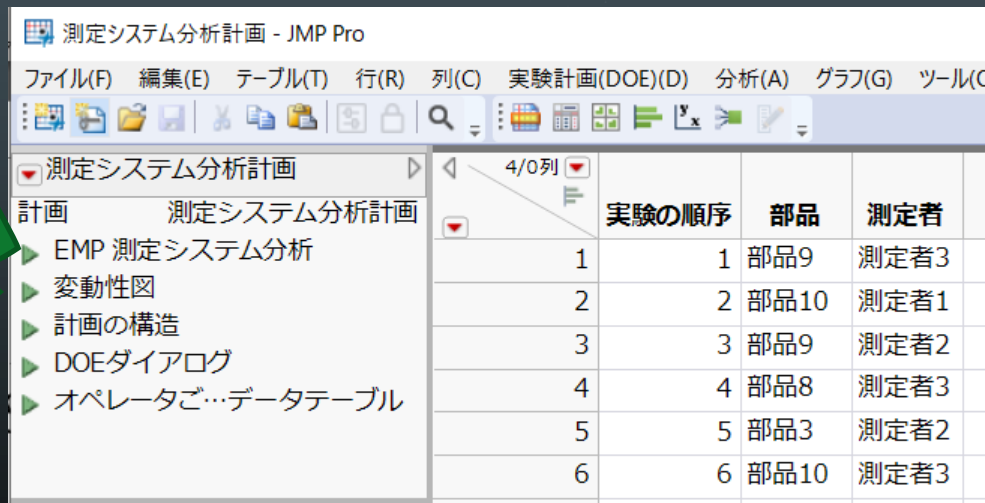
EXPLORING DATA
INSPIRING INNOVATION

分析

計画をJMPで行った場合

EMP法

Gauge R&R



実験の順序	部品	測定者
1	部品9	測定者3
2	部品10	測定者1
3	部品9	測定者2
4	部品8	測定者3
5	部品3	測定者2
6	部品10	測定者3

JAPAN

DISCOVERY
SUMMIT

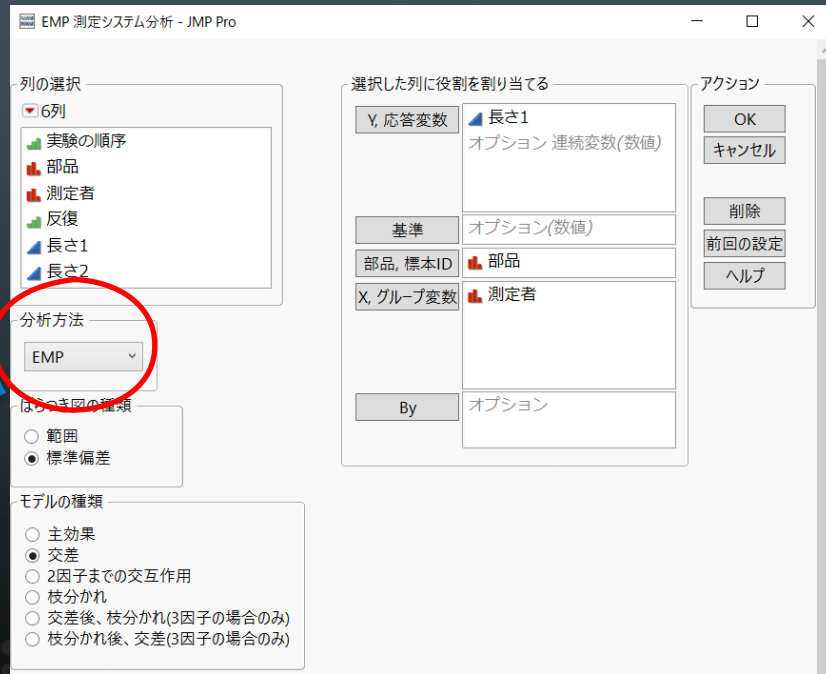
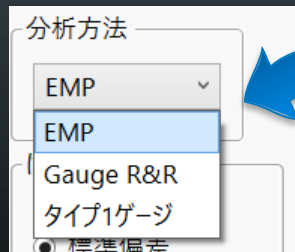
EXPLORING DATA
INSPIRING INNOVATION

分析

分析メニューから起動する場合

「分析」>「品質と工程」
>「測定システム分析」

タイプ1ゲージは、1つの部品を複数回測定して、偏り（バイアス）と繰り返し性を評価。JMP 17の新機能。



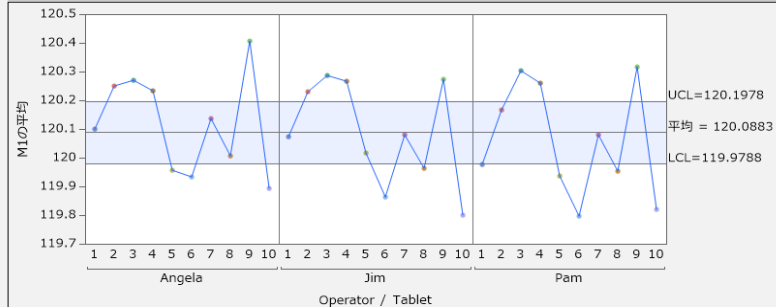
JAPAN

DISCOVERY
SUMMIT

EXPLORING DATA
INSPIRING INNOVATION

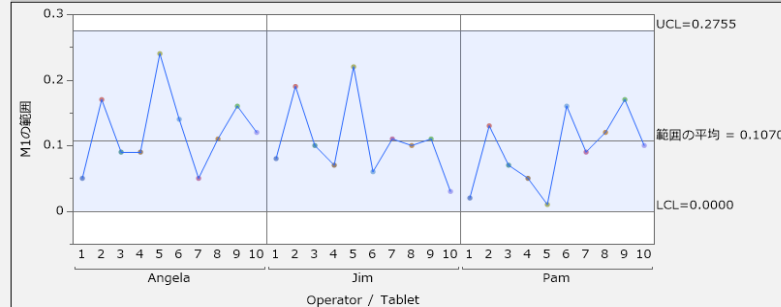
結果の解釈（EMP法について）

平均図



部品の違いを検出することができるかを見るためのグラフ。ほとんどの点が、管理限界線から外にあることが理想的（通常の管理図とは異なる）。

範囲図



繰り返し性を見るためのグラフ。管理限界線内に点が収まっていることが理想的。

JAPAN

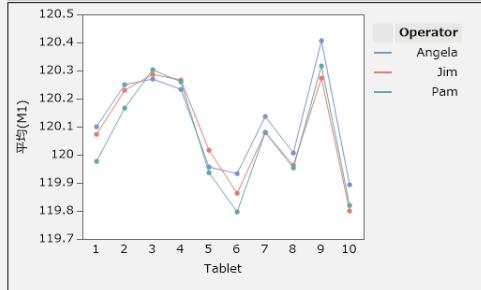
DISCOVERY
SUMMIT

EXPLORING DATA
INSPIRING INNOVATION

結果の解釈 (EMP法について)

平行性図

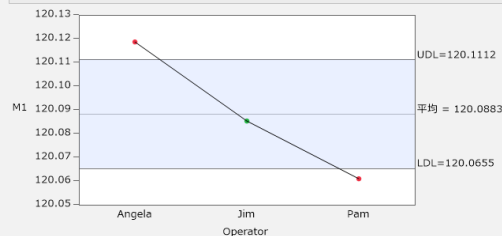
Operator



部品と測定者の間に交互作用がある場合は、測定者ごとに測定方法が異なっているなどの原因が考えられる。

バイアスの比較

平均分析

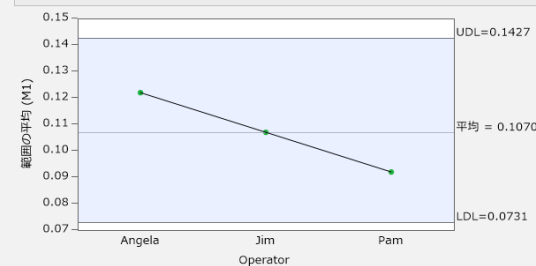


$\alpha = 0.05$

測定者の中で、平均値が低すぎたり、高すぎる人がいないかを見るためのグラフ。グループごとの平均を、全体の平均と比較。

繰り返し誤差の比較

範囲の平均分析



$\alpha = 0.05$

測定者間で、繰り返し誤差に違いがあるかを見るためのグラフ。

結果の解釈 (EMP法について)

工程監視の等級分けについて

等級	級内相関	工程からの信号の減衰	ルール1だけによる検出確率 ※	ルール1~4による検出確率 ※
第1級	0.80 - 1.00	11%より小さい	0.99 - 1.00	1.00
第2級	0.50 - 0.80	11% - 29%	0.88 - 0.99	1.00
第3級	0.20 - 0.50	29% - 55%	0.40 - 0.88	0.92 - 1.00
第4級	0.00 - 0.20	55%より大きい	0.03 - 0.40	0.08 - 0.92

*Wheelerが示した確率。ルール1の確率は、標準偏差の3倍のシフトが起きたときに、10個のサブグループのいずれか1つで警告が生じる確率。4つのルールは、Nelsonのルール1、5、6、2に対応。

級内相関

測定システム分析での級内相関は、変動全体に占める部品による変動の割合。測定の際のばらつきが小さくなるほど、値は1に近づく。

級内相関の値をもとに、測定システムの「等級」(第1級~第4級)が表示される。

測定の有効桁数

要因	値	説明
公算誤差	(PE) 0.0426	1回の測定における誤差の中央値
測定単位の下限	(0.1*PE) 0.0043	測定単位はこの値より小さくすべきではない
最小有効測定単位	(0.22*PE) 0.0094	測定値の間隔はこの値より大きいとより効果的
現在の測定単位	(MI) 0.01	データから推察された測定単位(10のべき乗)
最大有効測定単位	(2.2*PE) 0.0938	この値より小さい測定単位が有効である

対処法: 現状の測定単位を用いる。

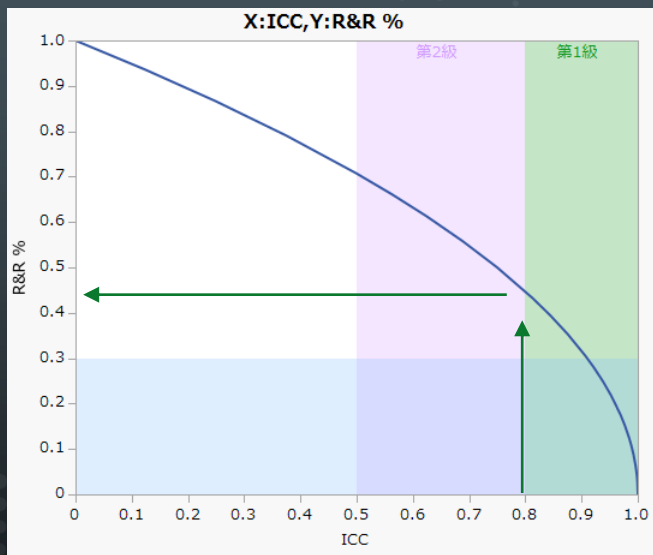
理由: 現状の測定単位0.01は有効です。

測定の有効桁数

有効桁数を増やしたり、逆に減らしたりする必要があるか、または、現在の桁数のままで良いかが表示される。公算誤差をもとに算出される。

「公算誤差」(probable error; 確率誤差、蓋然誤差)は、繰り返し誤差(の絶対値)の中央値

(参考) 級内相関と% Gauge R&Rについて



例えば、級内相関係数が0.8のとき、%Gauge R&Rは約0.45

- EMP法では、全体の分散は、部品による分散と測定による分散に分解
$$\sigma_x^2 = \sigma_p^2 + \sigma_e^2$$
- 級内相関(ρ)は、全体の分散と部品による分散の比
$$\rho = \sigma_p^2 / \sigma_x^2$$
- % Gauge R&Rは、EMP法と同じ記法を用いると、次のように表すことができる
$$\sigma_e^2 / \sigma_x^2$$
- つまり、 $1 - \rho$ は、 $\sqrt{\% \text{ Gauge R\&R}}$

σ_x 全体の変動
 σ_p 部品による変動
 σ_e 測定による変動

発表内容

- 概要（測定システム分析の重要性、理想的な測定システムについて）
- 測定システム分析について（Gauge R&R、EMP法）
- 測定システム分析の例
 - 計画
 - 分析、結果の解釈
- JMP 17での主な変更点

JAPAN

DISCOVERY
SUMMIT

EXPLORING DATA
INSPIRING INNOVATION

JMP 17での主な変更点

- Gauge R&Rのレポートでしか表示されなかったレポートがEMP法でも表示できるようになった
 - 誤分類率
 - AIAGのMSAマニュアル¹に記載されている形式のGauge R&Rレポート
 - 直線性とバイアス（基準の列を指定した場合）

AIAGゲージR&R分析

要因	変動(6*標準偏差)	% 許容範囲	% 工程	変動は6*sqrt(分散)で計算
併行精度 (EV)	0.38246568	38.25	63.74	V(セル内)
再現精度 (AV)	0.17458522	17.46	29.10	V(Operator) + V(Operator*Tablet)
Operator	0.15722595	15.72	26.20	V(Operator)
Operator*Tablet	0.07589466	7.59	12.65	V(Operator*Tablet)
Gauge R&R (RR)	0.42042835	42.04	70.07	V(セル内) + V(Operator) + V(Operator*Tablet)
部品による変動 (PV)	1.05668104	105.67	176.11	V(Tablet)
合計変動 (TV)	1.13724879	113.72	189.54	V(セル内) + V(Operator) + V(Operator*Tablet) + V(Tablet)

要約およびゲージR&Rの統計量

要因	値	定義
シグマに対する乗数	6	
許容下限 (LT)	119.5	
許容上限 (UT)	120.5	
許容範囲 (Tol)	1	UT - LT
履歴 工程シグマ	0.1	
% Gauge R&R	36.969	100*(RR/TV)
精度と許容範囲の比	0.4204	RR/Tol
知覚区分数	3	Floor(Sqrt(2)*(PV/RR))

Gauge R&Rの分散成分

成分	分散成分	全体に対する%	20406080
Gauge R&R	0.00491000	13.67	
併行精度	0.00406333	11.31	
再現精度	0.00084667	2.36	
部品対部品	0.03101597	86.33	

JAPAN



EXPLORING DATA
INSPIRING INNOVATION

¹Automotive Industry Action Group (AIAG) (2010). *Measurement Systems Analysis Reference Manual, 4th edition*. Chrysler, Ford, General Motors Supplier Quality Requirements Task Force

JMP 17での主な変更点

- タイプ1ゲージ分析
 - 同じ部品を同じ条件で測定しても生じる測定の変動、つまり併行精度 (repeatability) とバイアス (参照値からのずれ) を評価するための分析
 - Gauge R&Rと異なり、1人の測定者が1個の部品を繰り返し測定する
 - Gauge R&R分析の前に実施されることがある
 - 繰り返し数は50回 (少なくとも25回) とすることが多い
 - VDA 5に記載されている手法 (VDA:ドイツ自動車工業会)

² VDA 5: Measurement and Inspection Processes. Capability, Planning and Management 3rd edition, VDA, Berlin, 2021

タイプ1ゲージ分析

測定能力の指標

- C_g : 測定値の変動と公差範囲を比べる指標
- C_{gk} : C_g と似ているが、バイアスを考慮した指標
- C_g 、 C_{gk} は大きいほど、測定能力が高いことを意味する。1.33以上が要求されることが多い。



JAPAN

DISCOVERY
SUMMIT

EXPLORING DATA
INSPIRING INNOVATION

まとめ

- 測定システム分析とは、測定システムの測定精度を調べるための手法
- 測定システムのばらつきを分析する手法の1つに、Gauge R&R分析やEMP法がある
- EMP法は、視覚的に結果を解釈できるのが特長
- JMP 17では、測定システム分析のための計画機能の改善、EMP法のレポートの機能追加、タイプ1ゲージ分析の追加など、いくつかの改善点がある

JAPAN

DISCOVERY
SUMMIT

EXPLORING DATA
INSPIRING INNOVATION

JAPAN

DISCOVERY
SUMMIT

EXPLORING DATA
INSPIRING INNOVATION

ご清聴ありがとうございました

