

日科技研 StatWorks/V5 品質工学編製品発表会記念講演

2012年7月27日名古屋地区、2012年8月8日東京地区

新しい品質検査法 – MT法 – (その概念と適用例)

(元) 富士ゼロックス株式会社
立林 和夫

異常(不良)判定システムの問題点

[異常判定システムの例]

[人間ドック]

簡単な検査で健康上の異常を検知



[判定システムの問題点]

- ①病気でないのに異常と判定
- ②病気を見逃してしまう

[火災検知器]

簡単な設備で火災を検知



- ①火事でないのに火事と判定
- ②火事を見逃してしまう



判定問題には、必ず2種類の誤りが伴う

- ①正常を異常と判定してしまう誤り (統計では第1種の誤りという)
- ②異常を見逃してしまう誤り (統計では第2種の誤りという)

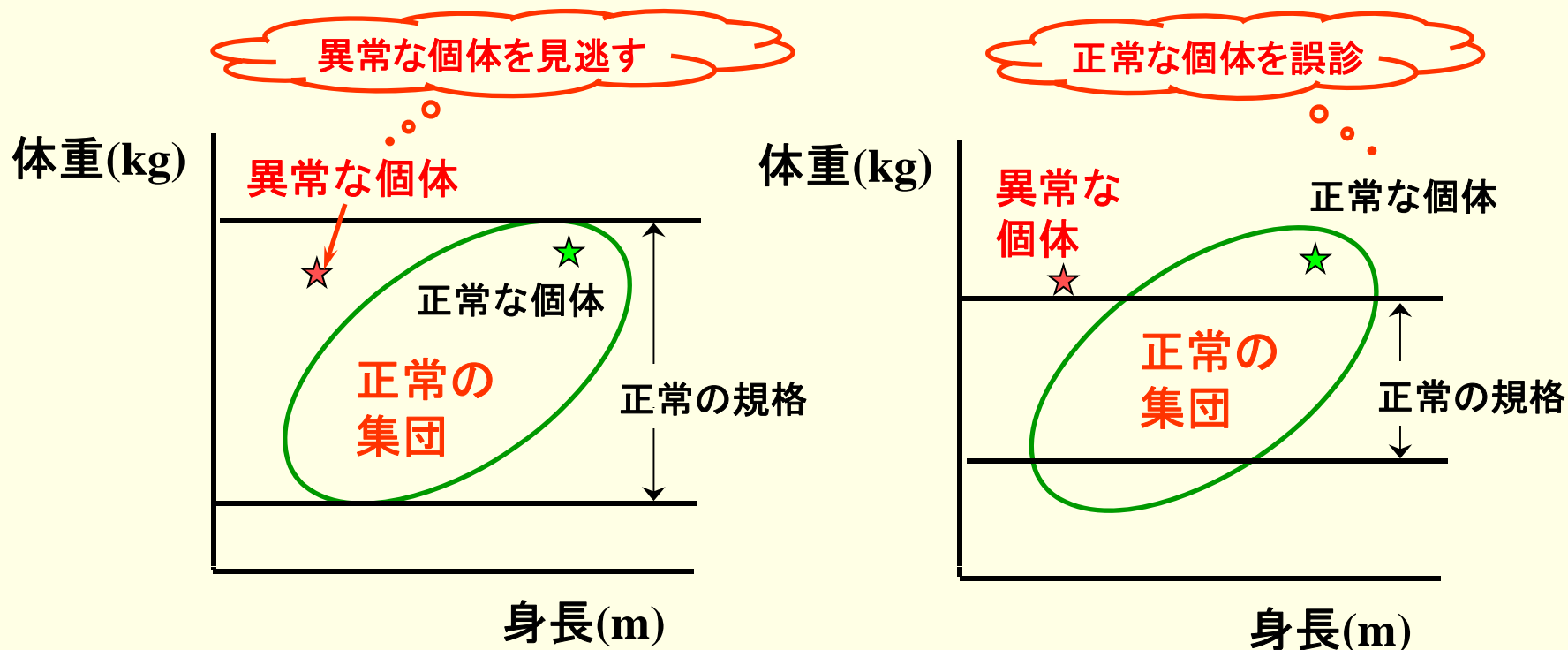
第2種の誤りを減らそうとするので、あまりにも第1種の誤りが多い!

項目ごとの規格による異常(不良)判定の問題点

一般の検査： その個体(状態)が**規格内**にあるのかどうかで判定する

[例] メタボ診断で、体重だけで診断するとしたら??

(人間の体重は、身長との間で相関がある)



BMI 肥満度指数 = 体重 / (身長)² ... 標準体型 : 20~25

身長を考慮に入れている

統計的な異常(不良)判定の問題点

統計的には、その個体(状態)が正常群の中心からどの程度離れているかで判定する

[計測特性]

何を測って判定するか

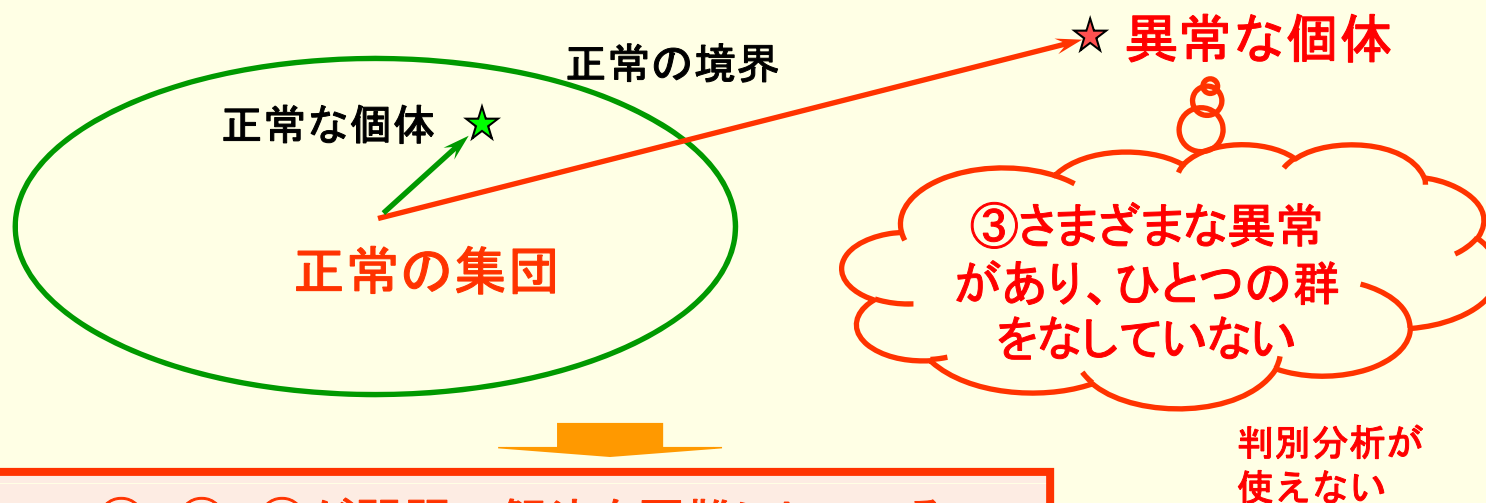
- ①多項目(多特性)である
- ②項目間に相関関係がある

[距離の測度]

正常の中心からの距離をどのように測るか

[判定の閾値]

正常と異常を分ける閾値(境界)の決め方



①、②、③が問題の解決を困難にしている

多変量データの一例(入学試験の得点)

ある学校の入学試験結果を考えてみる。受験者数(サンプル数)は1,280名で、受験科目(特性)は数、英、国、社、物、化の6項目である。

受験者	数学	英語	国語	社会	物理	化学	総合点
1	63	:	:	:	55	:	400
2	51	:	:	:	52	:	650
3	66	:	:	:	55	:	480
4	63	:	:	:	60	:	850
5	:	:	:	:	:	:	:
6	:	:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:	:	:
1280	40	:	:	:	14	:	600

1変量(1特性) の場合の距離の表現

先の入学試験の総合得点(1変量)を考えてみる。

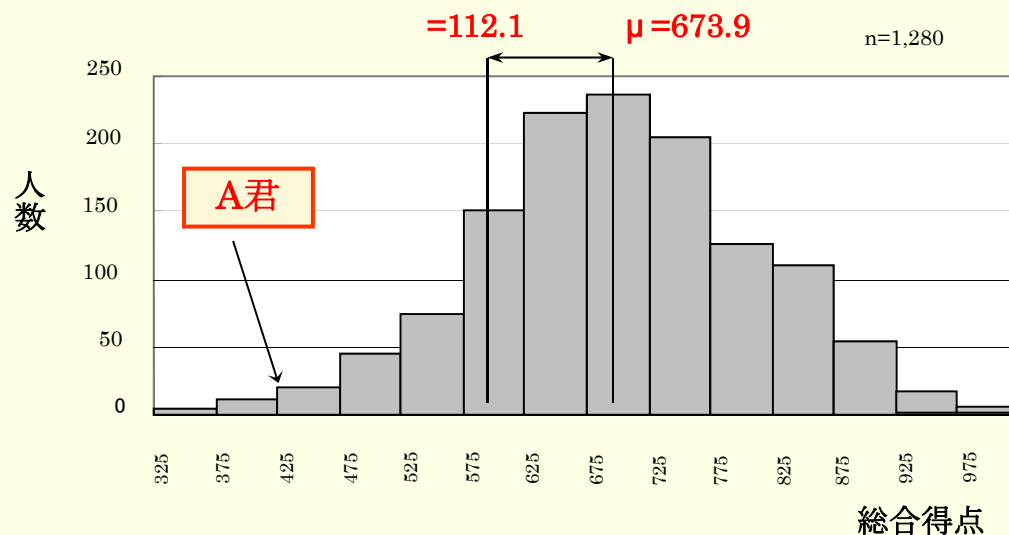
受験者全体1,280名
平均点 $\mu = 673.9$ 点
標準偏差 $\sigma = 112.1$ 点

A君の総合点は400点

A君は全体の中心からどのくらい離れているのか

A君の総合点を**基準化**
(正規化) する

A君は全体の平均よりも
2.44 σ だけ下側にいる
ことがわかる



$$\text{基準化 (正規化)} \quad u = \frac{x_i - \mu}{\sigma}$$

$$u = \frac{400 - 673.9}{112.1} = -2.44$$

u は標準正規分布 $N(0,1^2)$ にしたがう

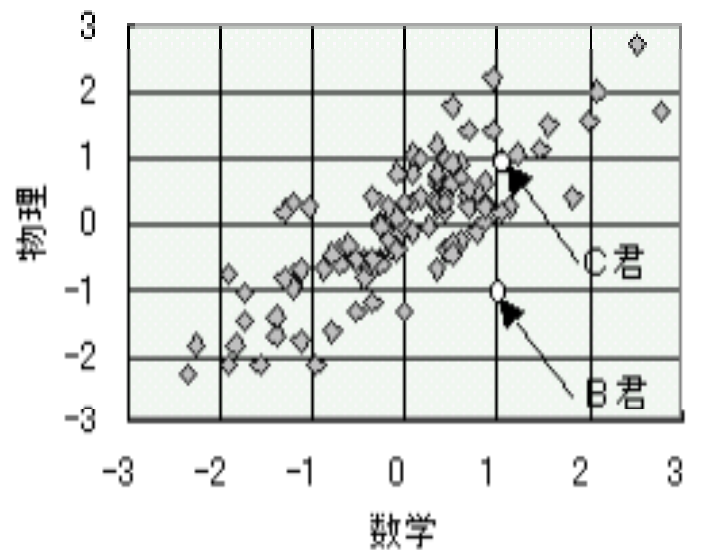
2変量(2特性) の場合の距離の表現

先の入学試験の数学と物理の得点(2変量)を考えてみる。

$$\text{数学の点の基準化} \quad u_1 = \frac{x_{1i} - \mu_1}{\sigma}$$

$$\text{物理の点の基準化} \quad u_2 = \frac{x_{2i} - \mu_2}{\sigma}$$

散布図より数学と物理の得点には相関が見られる。(相関係数 = 0.81)



B君(1, -1)とC君(1, 1)の全体中心(0, 0)からの離れ具合を考えてみる。

ユークリッド距離を考えてみる

$$\text{B君} \quad d^2 = (1-0)^2 + (-1-0)^2 = 2$$

$$d = \sqrt{2}$$

$$\text{C君} \quad d^2 = (1-0)^2 + (1-0)^2 = 2$$

$$d = \sqrt{2}$$

図で見た印象と異なる

B君は集団とは離れている

ユークリッド距離ではうまく表せていない … 相関関係があるため

多次元空間でのマハラノビス距離 (2変量の場合)

マハラノビス距離D → 変量(特性)間に相関関係がある場合の距離の表現

2変量 u_1 、 u_2 の場合のマハラノビス距離Dの2乗

2変量間の相関係数

$$D^2 = [u_1, u_2] \begin{pmatrix} 1 & \\ & 1 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} u_1 \\ u_2 \end{pmatrix} = \frac{u_1^2 - 2 r u_1 u_2 + u_2^2}{1 - r^2}$$

$$\text{B君 } D^2 = \frac{1^2 - 2(0.81)(1)(-1) + (-1)^2}{1 - 0.81^2} = 10.52 \quad D=3.24$$

$$\text{C君 } D^2 = \frac{1^2 - 2(0.81)(1)(1) + (1)^2}{1 - 0.81^2} = 1.05 \quad D=1.02$$

P. C. Maharanobis (1893~1972)

インドの高名な統計学者でインド統計数理研究所の初代所長

mahara→maharaja (大金持ち)

nobis→noble (高貴な一族)

B君はC君よりも
集団の中心から
3倍も離れている

B君は集団とは離れている

多次元空間でのマハラノビス距離 (多変量の場合)

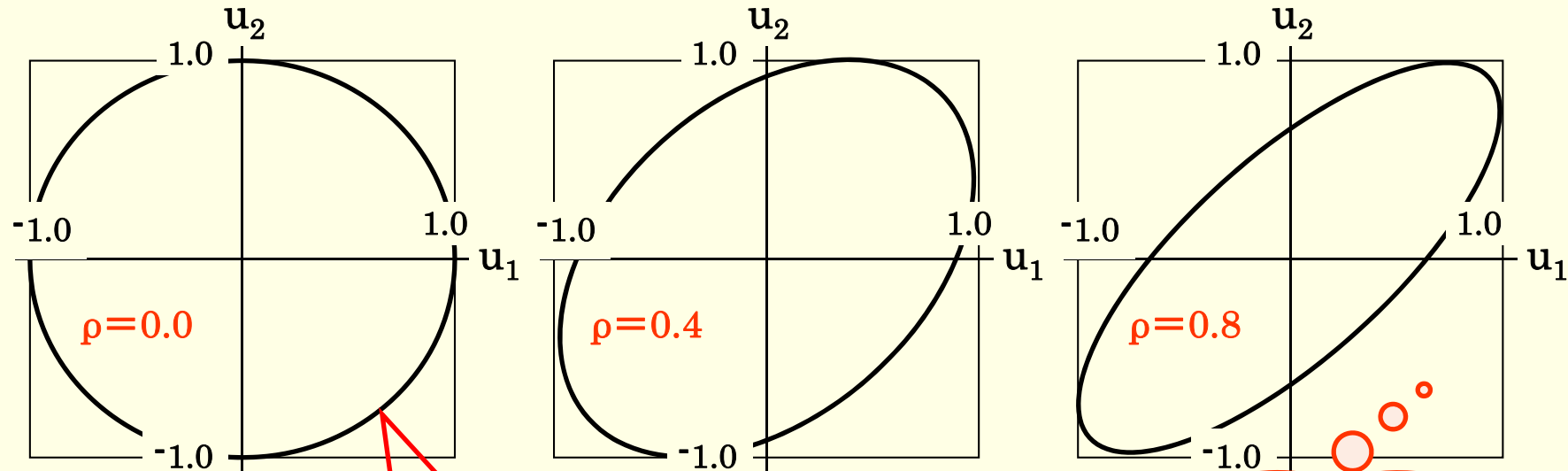
多変量 $u_1, u_2, u_3, \dots, u_k$ の場合のマハラノビス距離 D の2乗

$$\begin{aligned} D_p^2 &= [u_{1p}, u_{2p}, \dots, u_{kp}] \begin{pmatrix} 1 & r_{12} & r_{13} & \dots & r_{1k} \\ r_{21} & 1 & r_{23} & \dots & r_{2k} \\ r_{31} & r_{32} & 1 & \dots & r_{3k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ r_{k1} & r_{k2} & r_{k3} & \dots & 1 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} u_{1p} \\ u_{2p} \\ u_{3p} \\ \vdots \\ u_{kp} \end{pmatrix} \\ &= [u_{1p}, u_{2p}, \dots, u_{kp}] \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1k} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \dots & a_{2k} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & \dots & a_{3k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ a_{k1} & a_{k2} & a_{k3} & \dots & a_{kk} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u_{1p} \\ u_{2p} \\ u_{3p} \\ \vdots \\ u_{kp} \end{pmatrix} \\ &= \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k a_{ij} \times u_{ip} \times u_{jp} \end{aligned}$$

コンピュータでなければ計算できない

ただし、 D_p : p 番目のデータのマハラノビス距離
 r_{ij} : 変量 u_i と u_j のデータから求めた相関係数
 a_{ij} : 相関係数行列の逆行列の成分

相関係数の違いによるマハラノビス距離の変化



$D=1.0$ の
等距離線

項目単独で判定
すると、この部分の
第1種の誤りが増える

変量(項目)間に相関関係があるとき、項目単独での判定は誤判定率
(第1種の誤り)が増加してしまう

MTシステムにおけるマハラ/ビス距離の利用

健康診断データによる肝臓病の判定の例（東京通信病院）

200名の健康人のデータがあった

血液検査16項目＋性別＋年齢

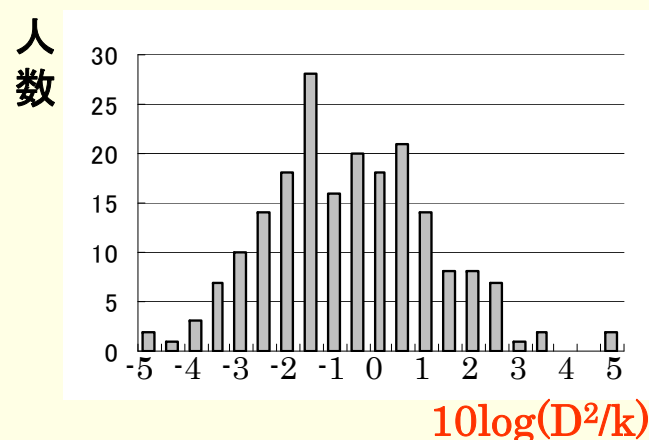
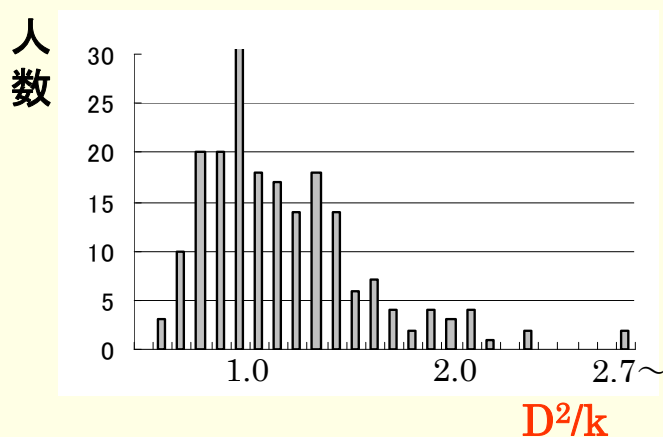
項目ごとに
基準化

200名の
データ

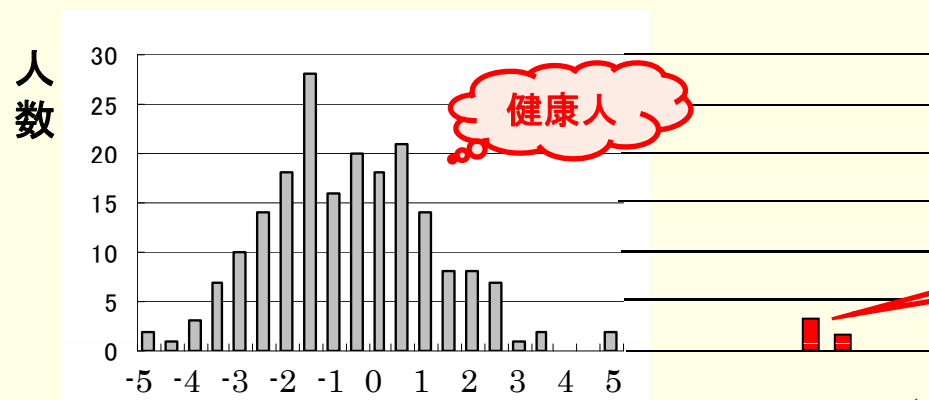
No.	性別	TP	Alb	A/G	ChE	GOT	GPT	LDH	ALP	...
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	...
191	+0.73	-0.34	-0.26	-0.08	-1.18	-0.44	-0.65	-0.06	-0.21	...
192	+0.73	-0.34	+0.51	+0.51	+0.69	+0.90	-0.65	-0.92	-0.21	...
193	+0.73	+1.48	+1.27	+1.27	+1.21	+1.16	+1.29	-0.41	+0.25	...
194	+0.73	+1.48	+1.65	+1.655	-1.21	-0.67	-1.09	-0.68	+0.71	...
195	+0.73	-0.65	+0.51	+0.51	+0.38	-1.36	-0.87	-0.51	-0.34	...
196	-1.36	-0.65	+0.31	+0.13	-0.87	-1.13	-1.30	-1.87	+0.01	...
197	+0.73	+0.04	-0.26	-0.36	+0.48	+1.39	+1.50	+1.57	+0.86	...
198	+0.73	-0.34	-2.16	-2.05	-1.91	-0.67	-0.44	-2.18	+0.45	...
199	+0.73	+0.26	-0.89	+0.89	-0.24	+0.47	+0.43	-0.24	-0.93	...
200	-1.36	-0.65	-1.40	-1.11	+0.04	+0.93	+0.96	+0.96	+1.83	...
平均	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00 ₁₁	0.00

MTシステムにおけるマハラノビス距離の利用

健康人200名の相関係数行列から求めた200名のマハラノビス距離



健康人200名の相関係数行列から求めた肝臓病患者のマハラノビス距離



肝臓病患者のMDは
健康人のMDよりも
はるかに大きい

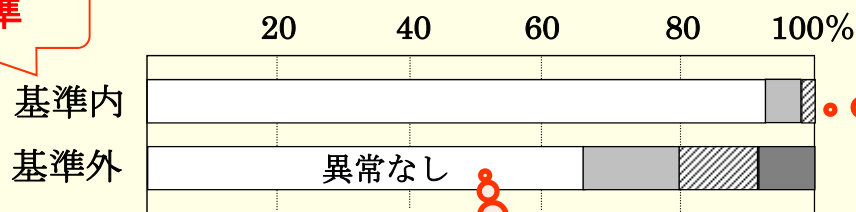
マハラノビス距離を使って
肝臓病の判定ができる

MTシステムにおけるマハラ/ビス距離の利用

[別の検査を受けた95名を判定]

従来の項目別判定結果

項目別基準

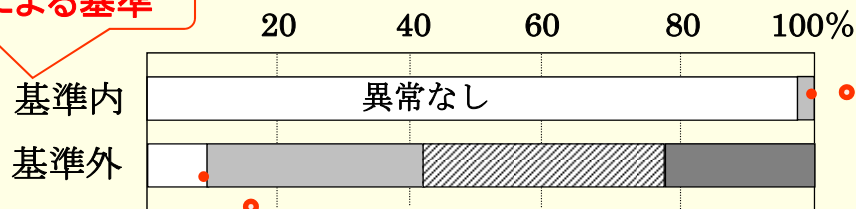


8%の見逃しがある

異常ありの65%が本当は異常なし

健康人200名の相関係数行列からMTシステムで判定

$10\log(D^2/k) > 6$ による基準



要忠告が1.6%

第1種の誤りが10%以下に減少

MTシステムにおける項目選択

測定項目(特性)の中から、判定に役立たない項目や、その項目を使うことでかえって判定精度を低下させるものを除外する。

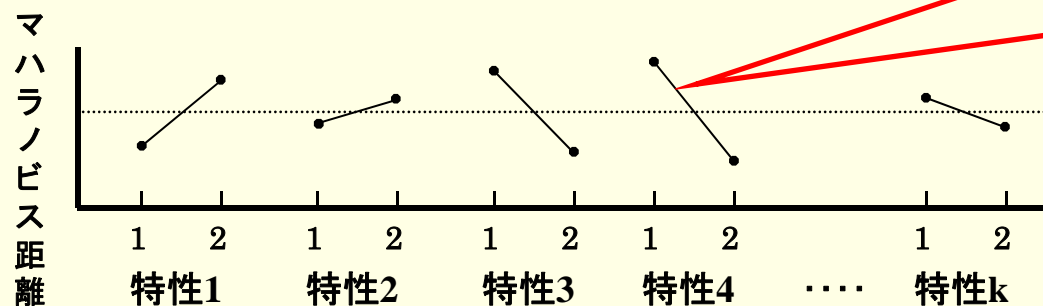


[方法]

数種類の異常を選んで、「その項目を使う/使わない」をパラメータとして、判定に使用する特性のパラメータ設計を行う。



各特性とも、使うを第1水準、使わないを第2水準として、2水準系の直交表にわりつけ、マハラノビス距離の要因効果図を求める。



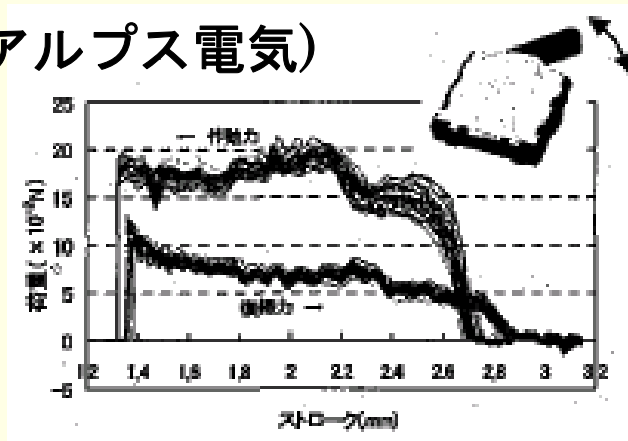
- ①右下がりの効果が小さい特性は判定に有効でない
- ②右上がりの効果が大きい特性は判定精度を落とす

「使わない」とは、はじめからそのデータは除外することを意味する

MTシステムの適用事例-1 マイクロスイッチの出荷検査

MTシステムによるスイッチの出荷検査 (アルプス電気)

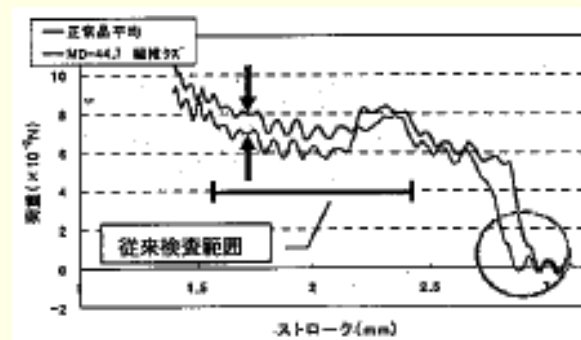
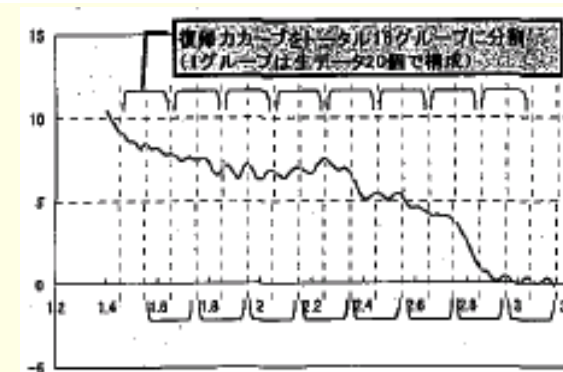
スイッチの出荷検査で作動力と復帰力に関し、ストローク・荷重特性を測定している。両特性とも非線形な特性であり、これまではあるストロークでの荷重を数点選んで判定。



糸くず混入による戻り不良などを見逃し、クレームを発生させていた

[正常品のパターンをもとに不良判定]

図のようにストロークの区間を16区間にグルーピングし、区間内20個のデータによる平均値、標準偏差、変動係数、傾き、望目特性のSN比、動特性のSN比、2乗和、微分特性、最大値、最小値、差などを特性としてMTシステムで判定。データは良品100個のものとした。



糸くず混入による戻り不良なども検出できるようになり、市場クレームが激減

MTシステムの適用事例-2: 自動車レースの自動故障判定

テレメータリングによる自動車レース故障診断(日産自動車)

対象:

1999年ル・マン24時間耐久レース

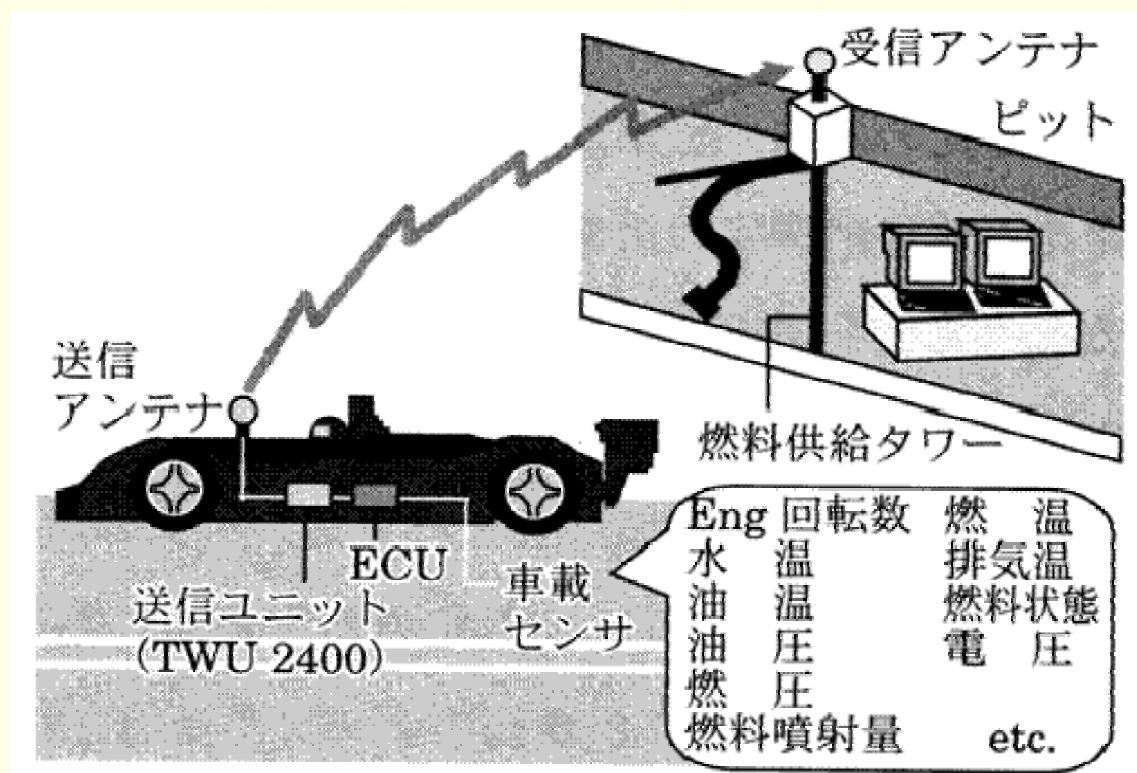
テレメータリングによるレースとは?

課題:

- 迅速な異常検出
- 長時間耐久レース車のデータモニタ
- データ判断ミスを防ぐ

従来:

- 個々のパラメータについて管理限界で管理

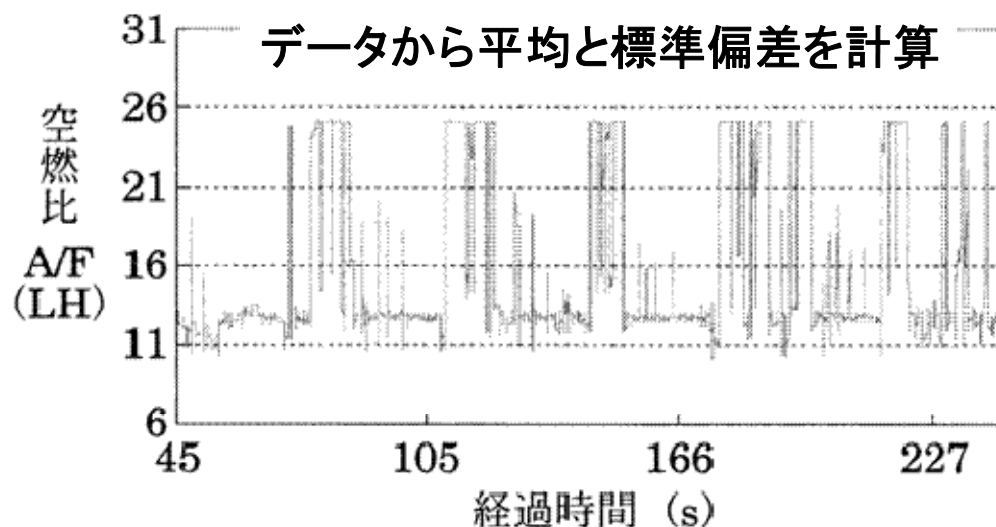


レース中の計測特性と計測データ

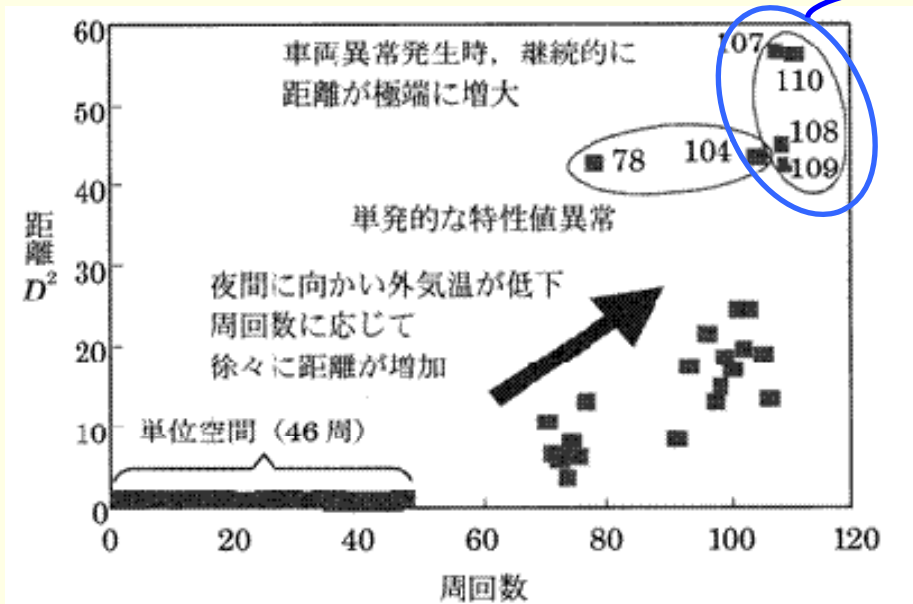
No.	計測特性	No.	計測特性
1	エンジン回転数	21	λコントロール補正係数 (左)
2	スロットル開度	22	λコントロール補正係数 (右)
3	水温 (左)	23	空燃費 (左)
4	水温 (右)	24	空燃費 (右)
5	油温	25	基本噴射パルス幅
6	吸気温	26	点火時期
7	燃温	27	目標空燃費
8	排気温 (左)	28	パワステ診断信号
9	排気温 (右)	29	シフト時目標回転
10	油圧	30	点火エネルギー
11	燃圧	31	デトネーション ALL
12	シフト操作センサ出力	32	デトネーション #1
13	内圧	33	デトネーション #4
14	クランクケース内圧 (前)	34	デトネーション #5
15	クランクケース内圧 (後)	35	デトネーション #2
16	バッテリー電圧	36	デトネーション #7
17	点火進角 (左)	37	デトネーション #6
18	点火進角 (右)	38	デトネーション #3
19	燃料噴射パルス幅 (左)	39	デトネーション #8
20	燃料噴射パルス幅 (右)		

MT法の適用

- 計測特性: 39項目
- サンプルングタイム: 32MH
(1周約230SEC)
- データ数: 7360個
- 1~46周の直線部で単位空間構成
- 全競技過程: 約368周 (24HR)



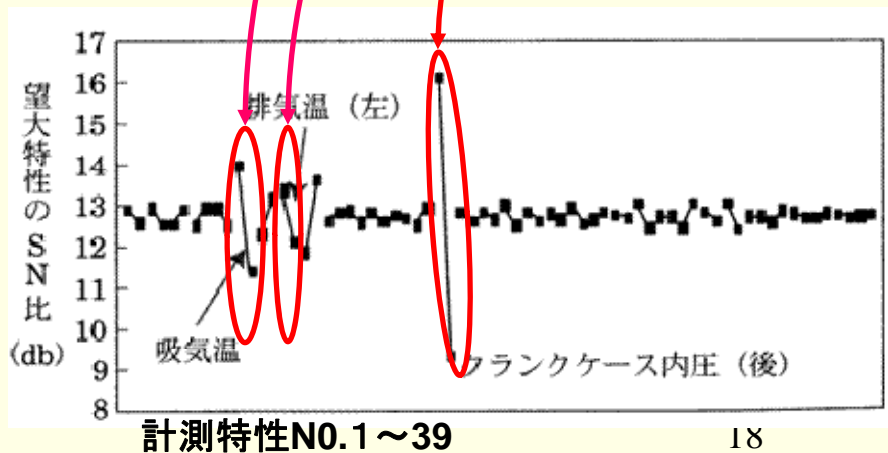
異常検知と原因の特定



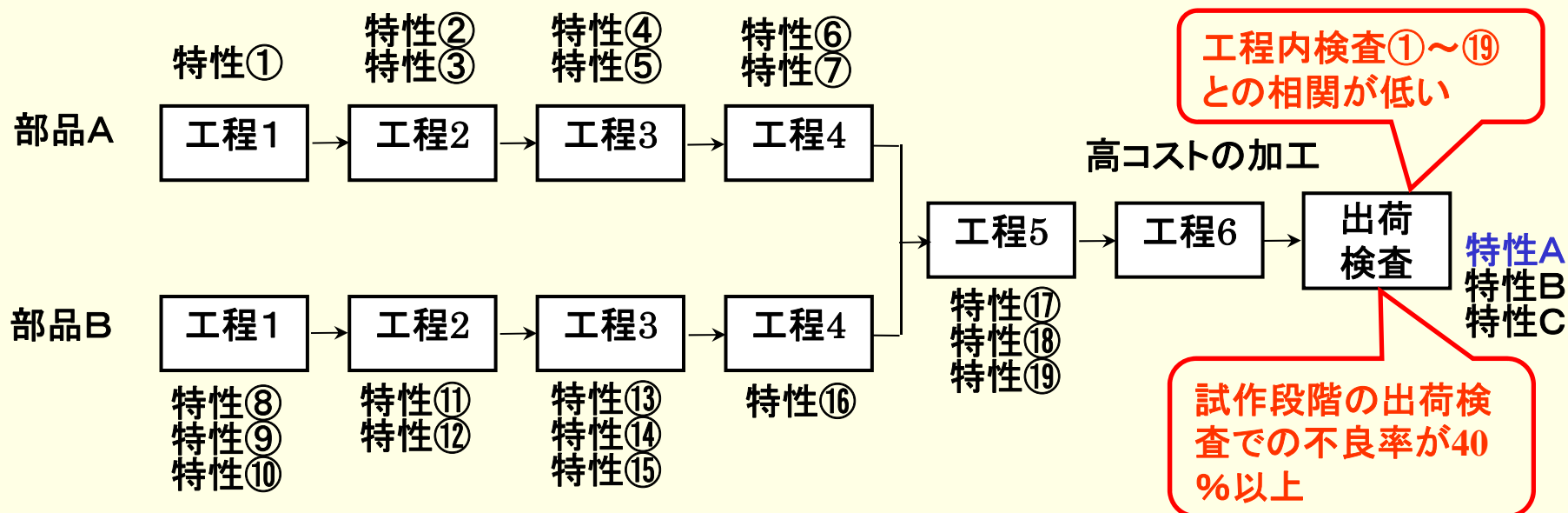
No.	計測特性	周回数					
		78	104	107	108	109	110
5	油温	○	○	○	○	○	○
6	吸気温	○	○	○	○	○	△
8	排気温 (左)	○	○	○	○	○	○
9	排気温 (右)	○	○	○	○	○	○
13	エアボックス内圧	○	△	○	○	○	○
15	クランクケース内圧 (後)	○	○	○	○	○	○
16	バッテリー電圧	○	○	○	○	○	○
19	燃料噴射パルス幅 (左)	○	○	○	○	○	△
21	λコントロール補正係数 (左)	○	○	○	○	○	○
31	デトネーションALL	○	○	○	○	○	○

◎ : 影響大 (効果 1 db 以上) △ : 影響小 (効果 1 db 未満)

距離 D^2 を大きくする因子
78回目、104回目、107回
目・・・110回目・・・に対して、
毎回要因効果図を
作成



MTシステムの適用事例－3 工程内検査による不良予測



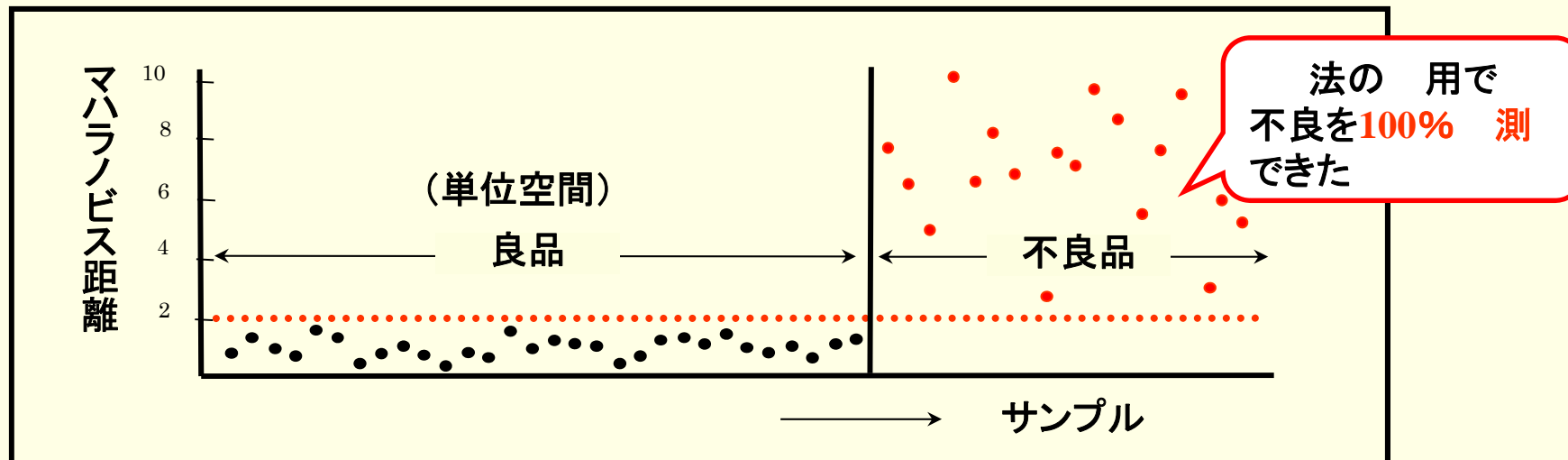
40%ある不良品に、コストの高い工程6の加工を行っている。

工程6以前で不良品を除去したい。

工程内検査項目①～⑱は出荷検査のデータと相関が低く、工程内検査項目の規格が作れない。

工程内検査データによるマハラノビス距離

出荷検査での良品を単位空間にしたマハラノビス距離の計算



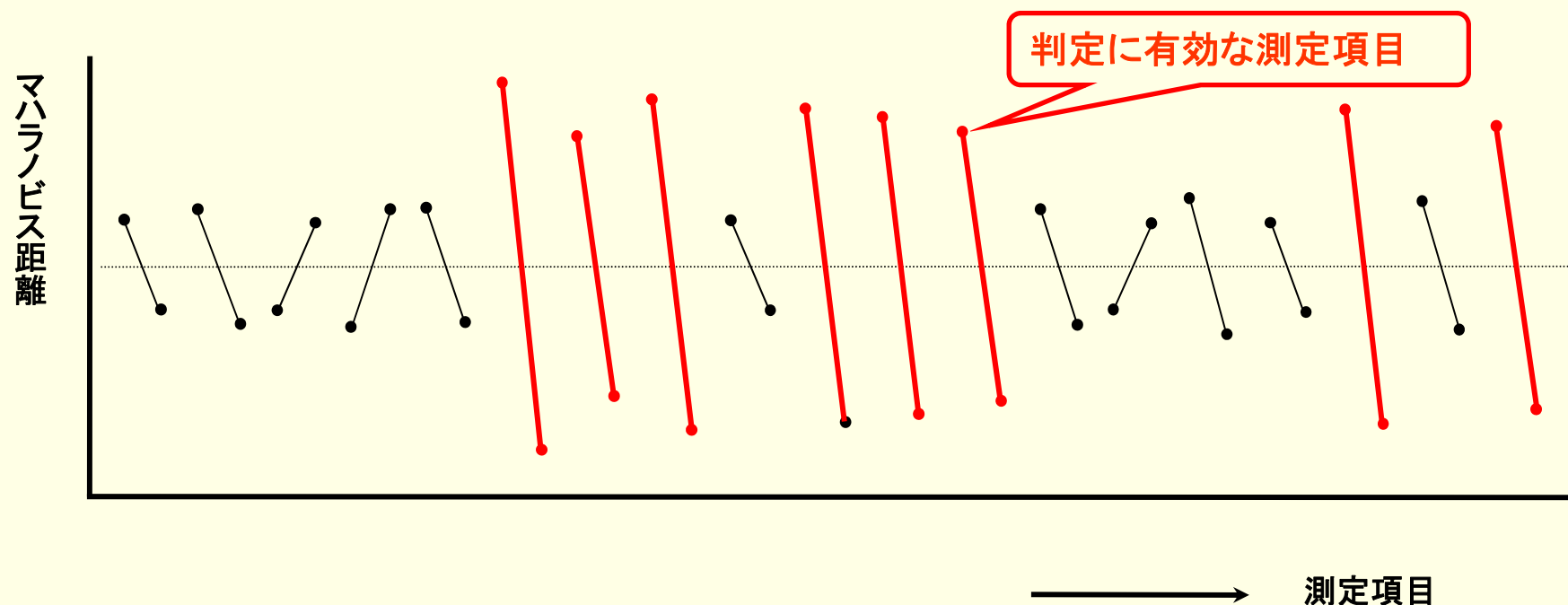
結果

工程内検査項目①～⑱からマハラノビス距離を計算すれば、不良であることを100%予測できる（マハラノビス距離 2）。

不良品をコストの高い工程6の前に除去できる。

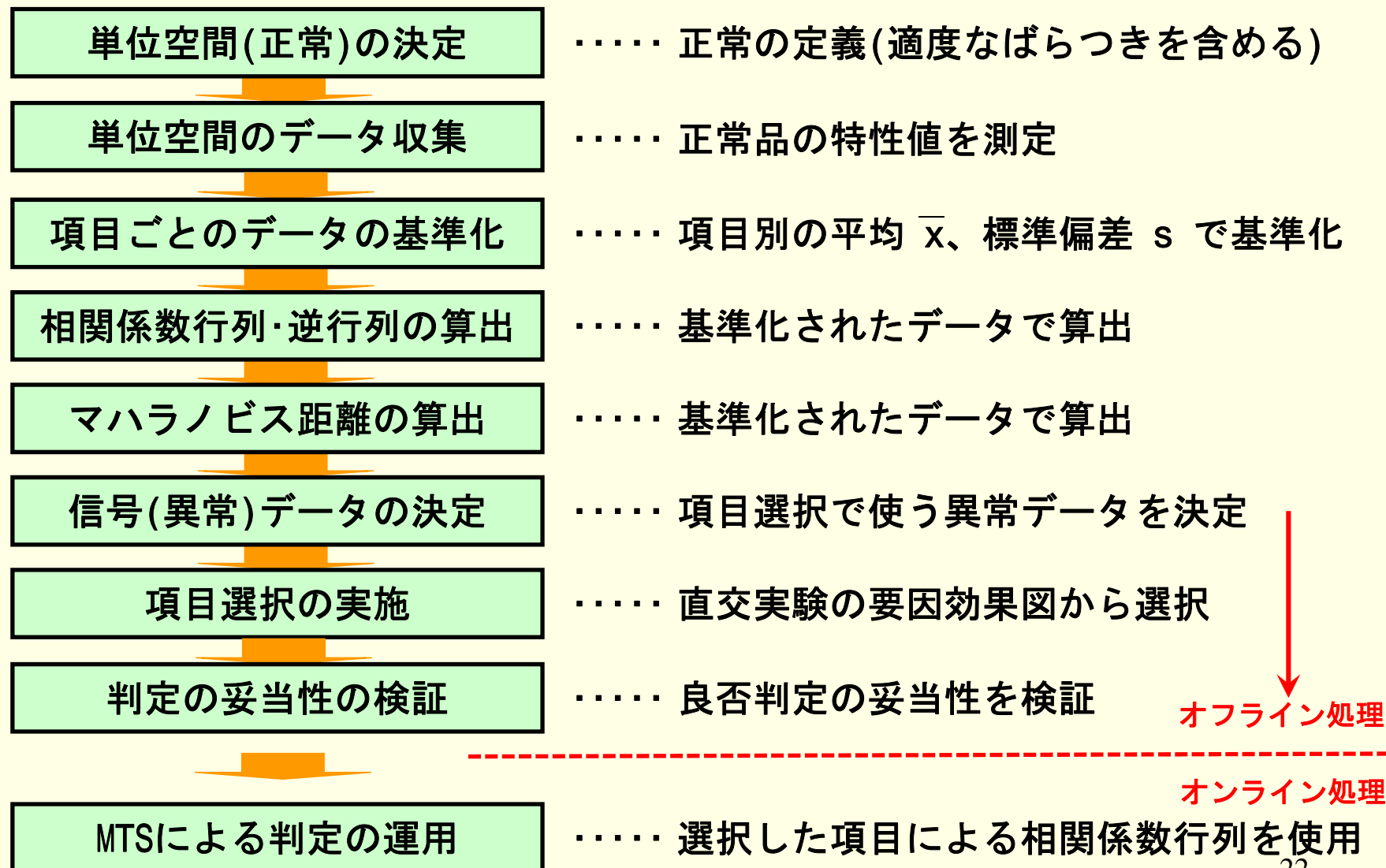
直交表による項目選択

①～⑱の工程内測定項目を1個の因子とえて、直交表に振りかける。第1水準はその項目を「有」とし、第2水準はその項目を「無」とし、直交表の各組合せでマハラノビス距離を計算。



工程の測定項目も決めなければ、良不良の判定がうまくできないことをしている。

MT法の適用手順



その他のMT法適用例(MTシステムの発表は200例を超える)

①検査での適用

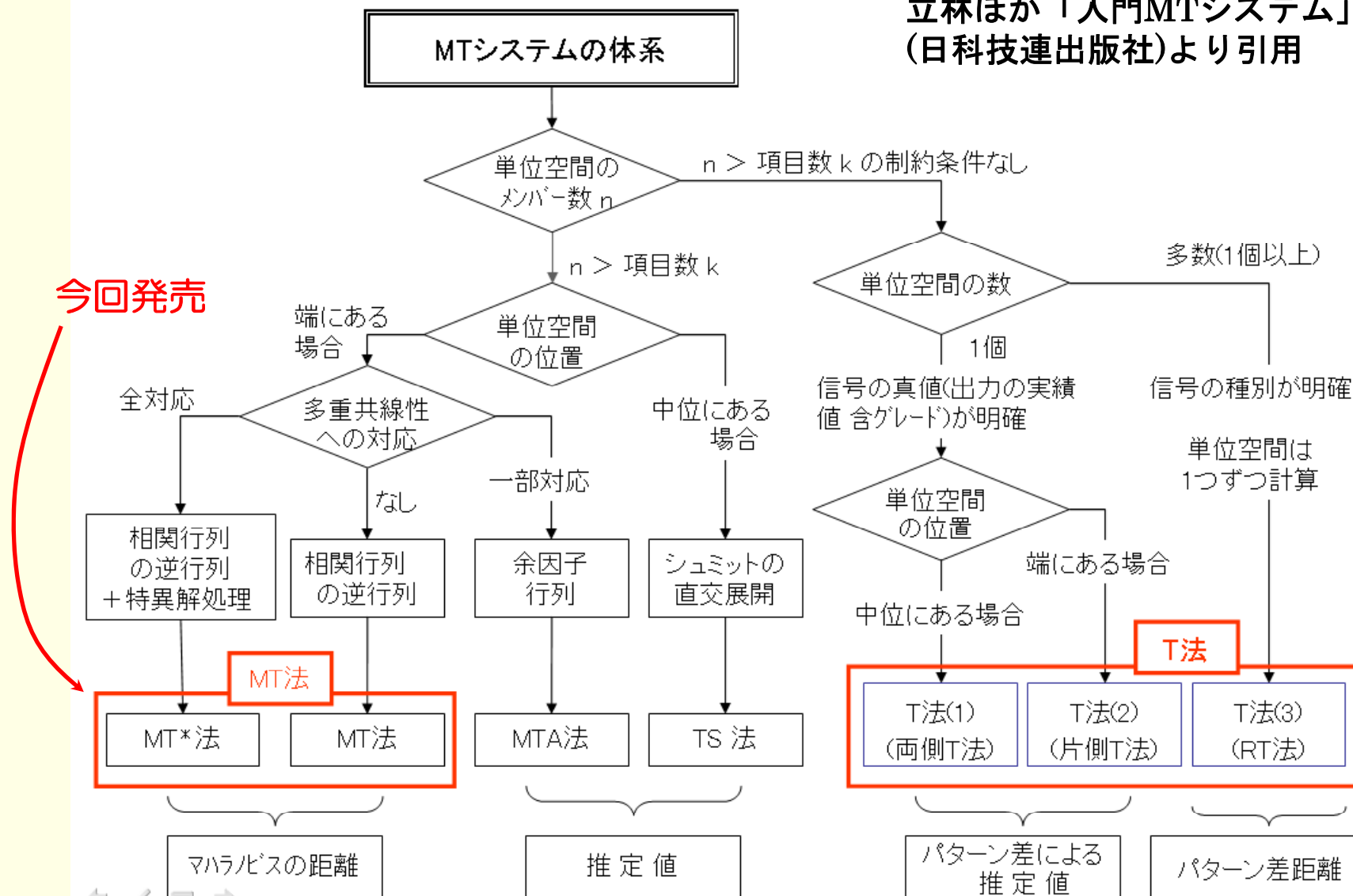
適用分	対象	内
検査	自動車のクラッ クラッ	クラッ の検査で 良品を自動判定 の出 から不
	印 の自動 不良検査	部品に印 した の印 不良(かすれ、 け)を の出 から自動判定

② 器の での適用

適用分	対象	内
人	故障診断	ロ ット 人工 などの故障をシミュレーシ ン・データから診断
加工	加工の 物の 動	物の 動 から特 量を め、正常加工時 の から、物 異常加工を判定
タービン	故障診断	界の6 の 用 スタービンの 動データを インター ットにより リ 、異常を診断

MTシステムの体系

立林ほか「入門MTシステム」
(日科技連出版社)より引用



本著作物は原著作者の許可を得て、株式会社日本科学技術研修所（以下弊社）が掲載しています。本著作物の著作権については、制作した原著作者に帰属します。

原著作者および弊社の許可なく営利・非営利・イントラネットを問わず、本著作物の複製・転用・販売等を禁止します。

所属および役職等は、公開当時のものです。

■公開資料ページ

弊社ウェブページで各種資料をご覧いただけます <http://www.i-juse.co.jp/statistics/jirei/>

■お問い合わせ先

(株)日科技研 数理事業部 パッケージサポート係 <http://www.i-juse.co.jp/statistics/support/contact.html>