

多岐にわたる現象を
モデル化するための方法論の研究
～階層型判別分析による欠陥現象のモデル化～

2018/12/05

パナソニック株式会社

オートモーティブ&インダストリアルシステムズ社

モノづくり・品質強化センター

山田 大介※

清水 貴宏

1. はじめに
2. 背景
3. 事例内容
 3. 1 事例背景
 3. 2 階層型判別分析の活用事例
 3. 3 新たな分析方法の提案と活用事例
4. 効果
5. 最後に

1. はじめに
2. 背景
3. 事例内容
 3. 1 事例背景
 3. 2 階層型判別分析の活用事例
 3. 3 新たな分析方法の提案と活用事例
4. 効果
5. 最後に

1. はじめに

本事例では、製造業にける ppmオーダーの外観不良を早期に改善するため、複数の現象の識別とモデリングの両立を検討した。

技術者は、難しい問題を早期に解決することが求められる

- ・固有技術に基づいた現象の識別と推定
- ・改善に結びつけるための発想力
- ・高度な方法論の活用
⇒高精度な識別・予測 + 技術者が解釈可能なモデリング

IoT、機械学習が得意としている所

統計的品質管理手法が得意としている所

本事例では、製造業にける ppmオーダーの外観不良を早期に改善するため、複数の現象の識別とモデリングの両立を検討した。

表.1 外観不良現象の識別に用いられる統計的方法論の例

統計的方法論	メリット	デメリット
ディープラーニング	多岐にわたる現象を高精度に識別できる	モデル化できるが、対象の現象とモデルを構成する原因因子に技術的意味があるか不明
MT法	多岐にわたる現象を識別できる	多岐にわたる現象の識別が難しい
判別分析	単純な良否判定を識別できる モデル化できる	多岐にわたる現象の識別が難しい

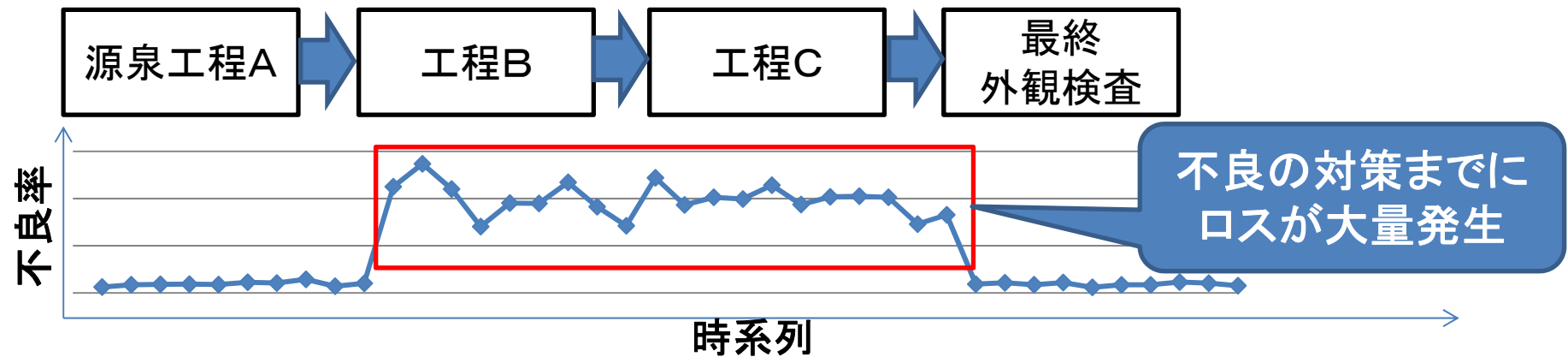
判別分析を応用的に活用し、
複数の現象の層別できないという
デメリットの克服を検討した

1. はじめに
- 2. 背景**
3. 事例内容
 3. 1 事例背景
 3. 2 階層型判別分析の活用事例
 3. 3 新たな分析方法の提案と活用事例
4. 効果
5. 最後に

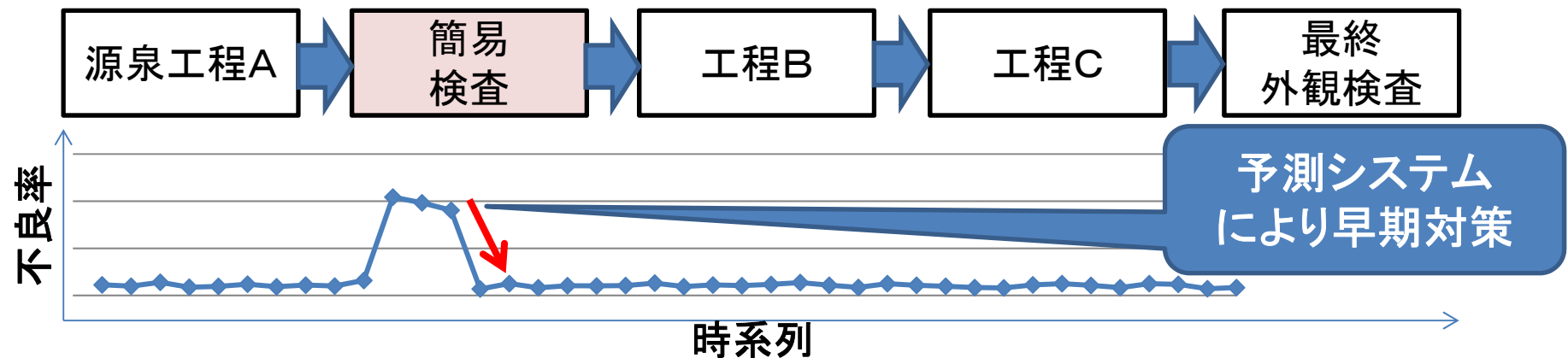
2.1 事例の背景

デバイス系モノづくりの上流に簡易検査を追加し、源泉工程Aに起因する外観不良のモデリングと、予兆管理を狙う

Before



After



2.2【事例1】 1種類の外観不良の原因分析

【事例1】 判別分析による、1種類の外観不良の識別とモデル化
 ⇒ 高い精度で分析でき、モデル式は不良に至る現象と一致する

事例1の説明

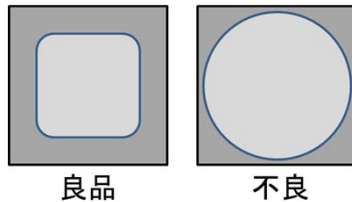


図.1 1種類の不良のイメージ図

表.2 収集データ
 (良品 n=24、不良 n=12)

結果	Ln(因子A)	因子B	因子C
不良	0.470	136	56
不良	0.956	109	206
不良	-0.511	134	49

良品	-1.609	172	35
良品	-1.609	126	96

因子Aについては
対数変換を実施

分析結果

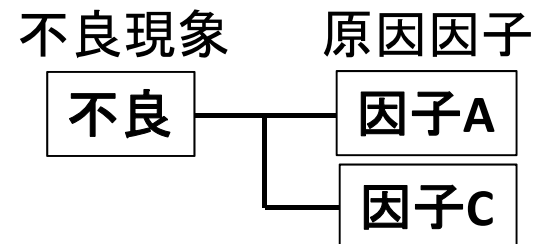
表.3 事例1における判別分析結果

分析方法	誤判別率	F値
判別分析	4.207	因子A: 91.595
		因子B: -
		因子C: 10.743



$$F_1 = 9.436 + 8.036 * \text{因子A} - 0.051 * \text{因子C}$$

$$F_1 \geq 0 \cdots \text{不良}, F_1 < 0 \cdots \text{良品} \quad \text{式(1)}$$



2.3【事例2】 外観不良が複数種類ある場合の原因分析

【事例2】 判別分析による、複数の不良現象の識別とモデル化
 ⇒ 複数の不良現象の識別が難しいという課題がある

事例2の説明

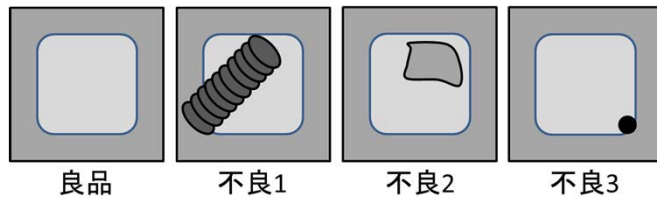


図.2 複数種類の不良のイメージ図

表.4 収集データ
 (良品 n=591、不良 n=228)

結果	Ln(因子A)	因子B	因子C
不良	-0.916	119	117
不良	-0.223	132	16
不良	-0.223	117	62

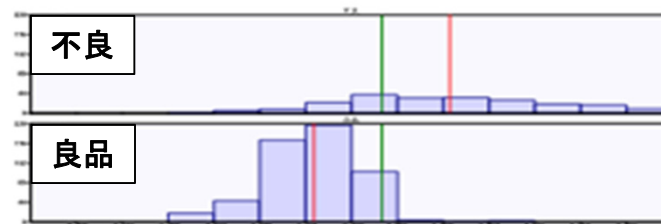


良品	-1.609	58	92
良品	-0.916	66	100

分析結果

表.5 事例1における判別分析結果

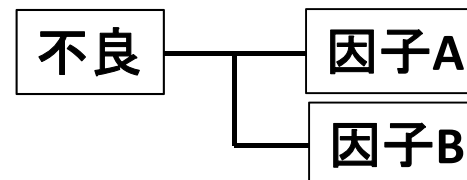
分析方法	誤判別率	F値
判別分析	15.817	因子A: 308.238
		因子B: 116.238
		因子C: -



$$F_1 = -2.668 + 2.428 * \text{因子A} + 0.031 * \text{因子B}$$

$$F_1 \geq 0 \cdots \text{不良}, F_1 < 0 \cdots \text{良品} \quad \text{式(2)}$$

不良現象 原因因子



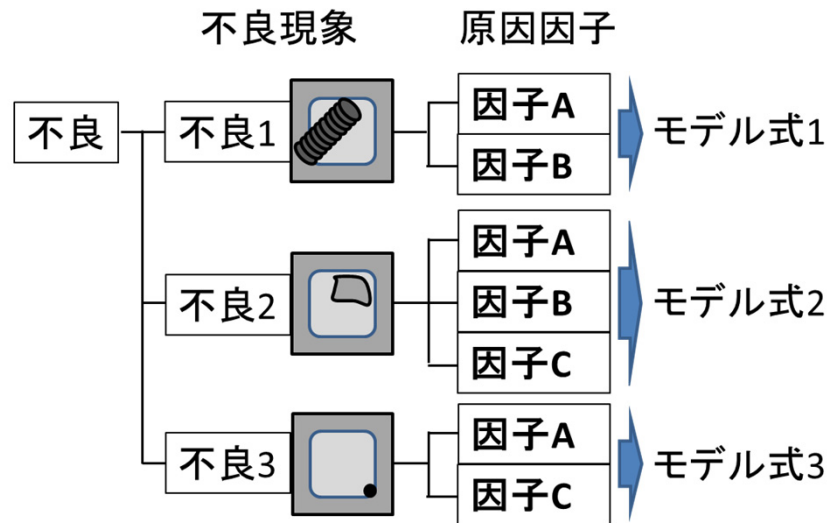
1. はじめに
2. 背景
3. 事例内容
 3. 1 事例背景
 3. 2 階層型判別分析の活用事例
 3. 3 新たな分析方法の提案と活用事例
4. 効果
5. 最後に

3.1 事例背景

不良現象が複数存在し、層別が難しい場合
⇒ 各現象をモデル化するための適切な方法論の検討が必要

事前に不良現象が層別
できる場合

事前に層別することが難しい場合



?

図.3 事例2の不良現象の系統図

- ①不良現象を層別
- ②各層別データを元に、原因因子を推定し、モデル化

不良現象が複数存在し、層別が難しい場合
 ⇒ 検査のアルゴリズムを参考に、識別とモデル化の方法論を検討

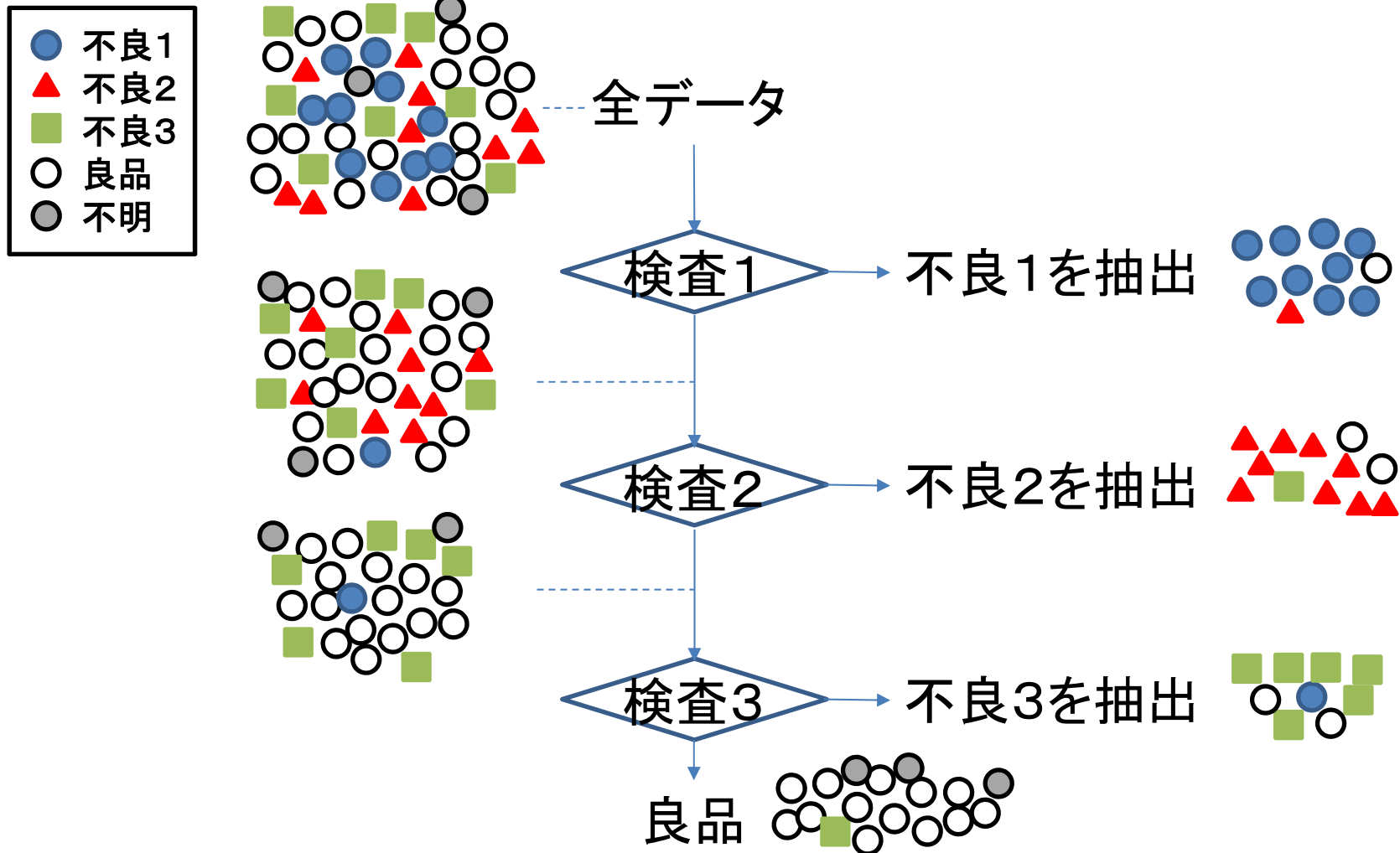


図.4 検査のアルゴリズムのイメージ図

不良現象が複数存在し、層別が難しい場合
⇒ 階層型判別分析を検討

事前に不良現象が層別できる場合

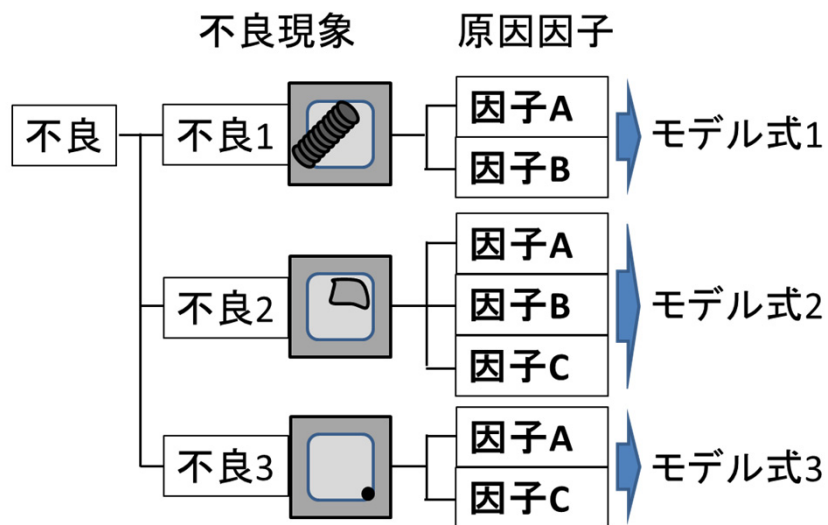


図.3 事例2の不良現象の系統図

- ① 不良現象を段階的に層別
- ② 各層別データを元に、原因因子を推定し、モデル化

事前に層別することが難しい場合

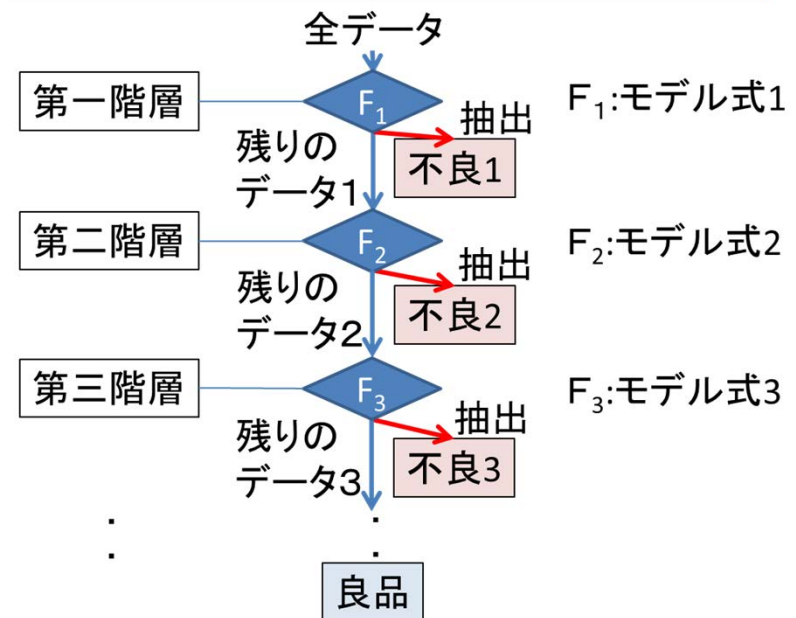


図.5 階層型判別分析の考え方

- ① 階層を設け、段階的に判別分析を実施
- ② 階層ごとのモデル式から不良現象を抽出し、段階的に現象の識別を行う (因子が検出されなくなるまで行う)

3.2 階層型判別分析の活用事例

**【事例2】において、階層型判別分析を実施
⇒ 複数の不良現象を層別でき、各々のモデル化ができた**

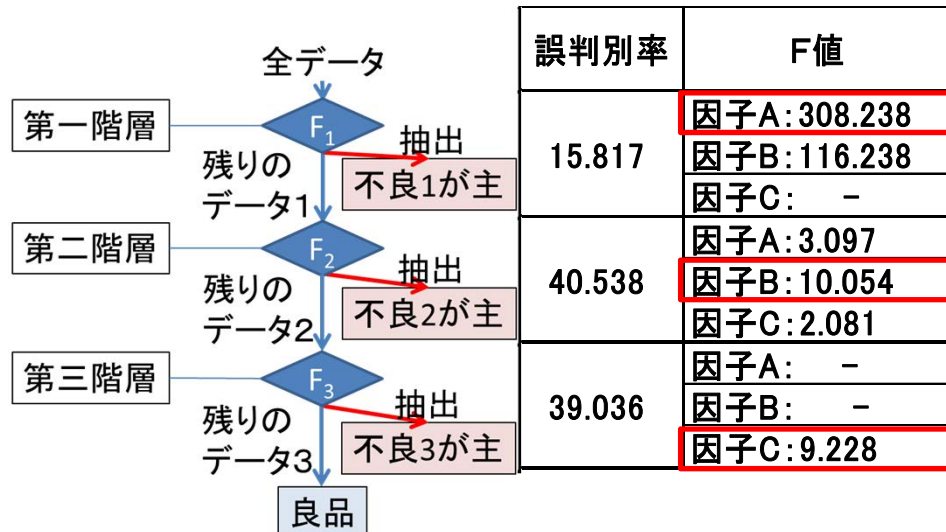


図.6 階層型判別分析結果

$$F_1 = -2.668 + 2.428 * \text{因子A} + 0.031 * \text{因子B} \quad \text{式(3)}$$

$$F_2 = -1.652 + 0.736 * \text{因子A} + 0.015 * \text{因子B} + 0.009 * \text{因子C} \quad \text{式(4)}$$

$$F_3 = 1.994 - 0.023 * \text{因子C} \quad \text{式(5)}$$

$F_k \geq 0 \dots$ 不良,
 $F_k < 0 \dots$ 良品 (k=1,2,3)

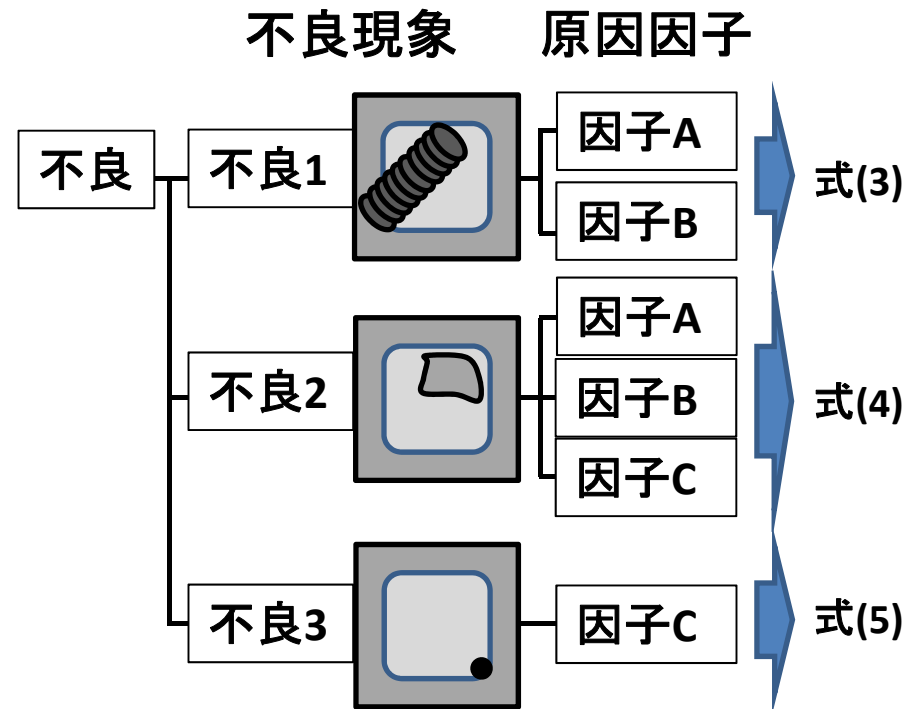


図.7 分析結果を元に考察した系統図

- ・ 複数の不良現象の層別が可能
- ・ 複数の不良現象のモデル化が可能
- ・ 識別精度の向上が問題

階層型判別分析の分析精度の向上を検討
 ⇒ 明確に識別できるデータを、段階的に抽出する方法を検討

階層型判別分析の問題

表.6 階層型判別分析の識別結果

方法論	(n = 228)		(n = 591)	
	不良を正しく 識別した割合	良品を正しく 識別した割合	不良を正しく 識別した割合	良品を正しく 識別した割合
階層型判別分析 第一階層 (通常の判別分析)	73.5%	94.1%	88.9%	56.3%
階層型判別分析 第二階層	94.3%	42.1%		

抽出を行わなかった
良品の識別精度が低い

新たな分析方法の考え方

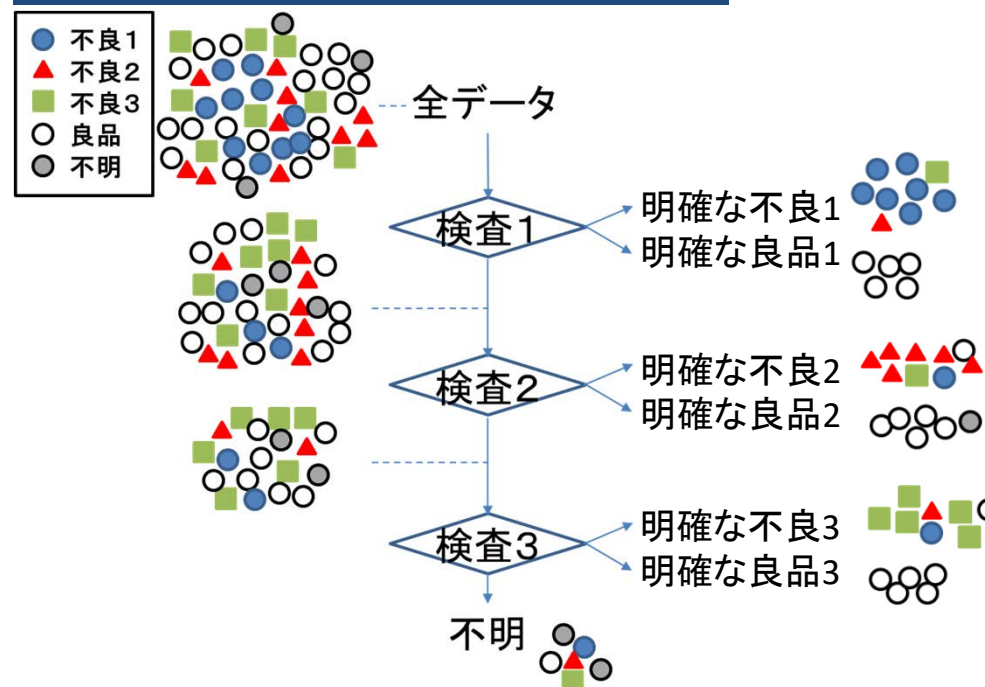


図.8 新たな分析方法の考え方

明確な不良と良品の両方を、
段階的に抽出する

明確に識別できるデータの基準をどう考えるか？
 ⇒ マハラノビスD活用・階層型判別分析を考案

明確に識別できるデータを抽出するイメージ

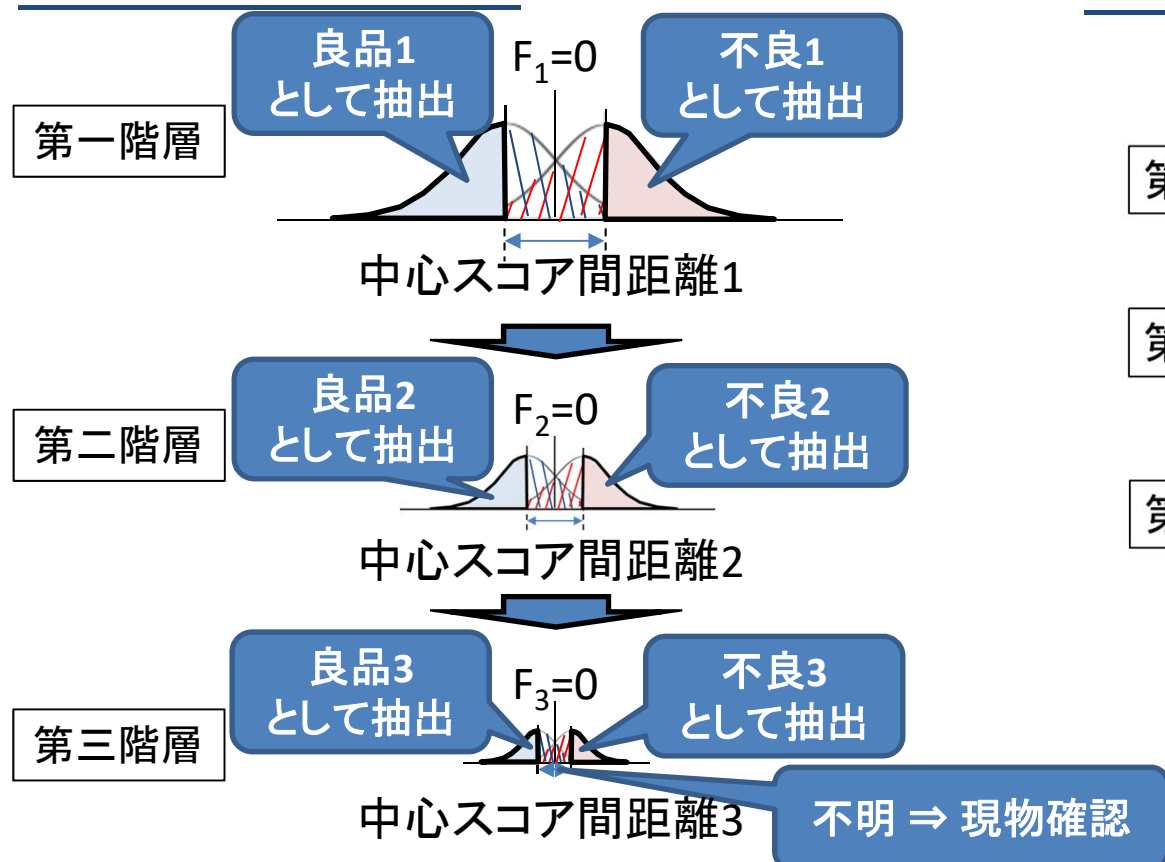


図.9 明確なデータを抽出するイメージ

マハラノビスD活用・階層型判別分析

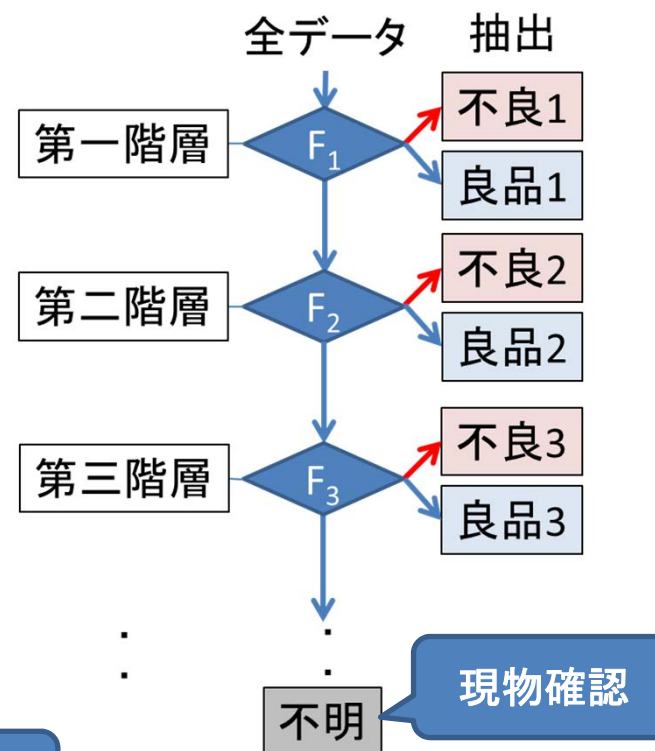


図.10 マハラノビスD参照・階層型判別分析

【事例2】において、マハラノビスD活用・階層型判別分析を実施

No	観測	予測	判別スコア	1:マハラノビス距離	1:確率%	2:マハラノビス距離	2:確率%
1	1:不良	2:良品	-1.172	2.938	23.018	0.594	74.298
2	1:不良	1:不良	0.933	0.382	82.631	2.248	32.494
3	1:不良	1:不良	0.462	0.603	73.955	1.527	46.593
4	1:不良	2:良品	-0.524	1.602	44.880	0.555	75.762
5	1:不良	1:不良	3.701	0.900	63.763	8.302	1.575
6	1:不良	1:不良	0.941	0.400	81.860	2.283	31.941
7	1:不良	1:不良	2.741	0.205	90.238	5.687	5.823
8	1:不良	1:不良	3.065	2.295	31.740	8.426	1.481
9	1:不良	1:不良	0.294	1.135	56.707	1.723	42.246
10	1:不良	1:不良	7.005	6.354	4.171	20.365	0.004
11	1:不良	1:不良	2.888	5.682	5.837	11.459	0.325
12	1:不良	1:不良	3.118	2.847	24.083	9.083	1.066
13	1:不良	1:不良	0.389	5.225	7.336	6.002	4.973
14	1:不良	1:不良	3.045	0.953	62.092	7.043	2.956
15	1:不良	2:良品	-0.046	3.474	17.609	3.382	18.436
16	1:不良	2:良品	-2.510	5.248	7.253	0.227	89.276
17	1:不良	2:良品	-1.456	3.166	20.536	0.254	88.067
18	1:不良	2:良品	-1.488	3.200	20.187	0.225	89.353
19	1:不良	2:良品	-1.868	4.916	8.560	1.179	55.450
20	1:不良	2:良品	-1.901	3.809	14.886	0.008	99.586
21	1:不良	1:不良	0.172	3.847	14.607	4.191	12.304

「StatWorks5を用いた分析手順」
 一般判定、もしくはジャックナイフ判定で
 出力される、下記2点を参照する

- ・サンプル表示画面 ⇒ 観測、判別スコア
 (1:マハラノビス距離と2:マハラノビス距離参照)
- ・スコアのヒストグラム ⇒ 中心スコア

第一階層

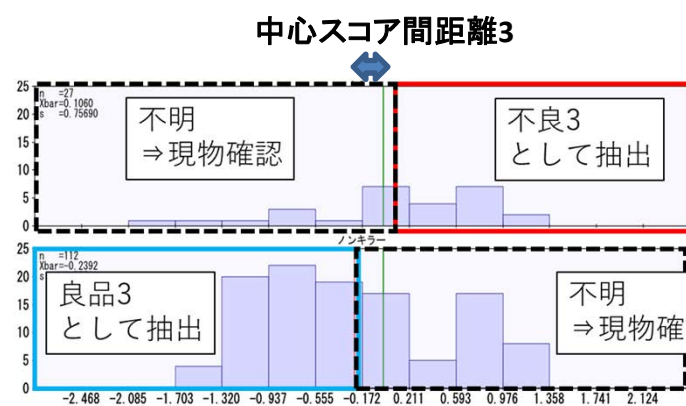
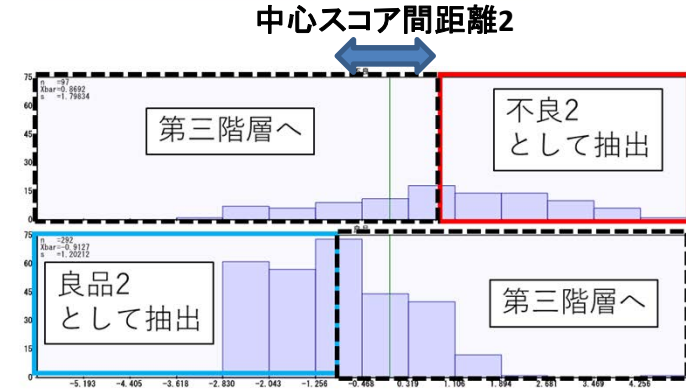
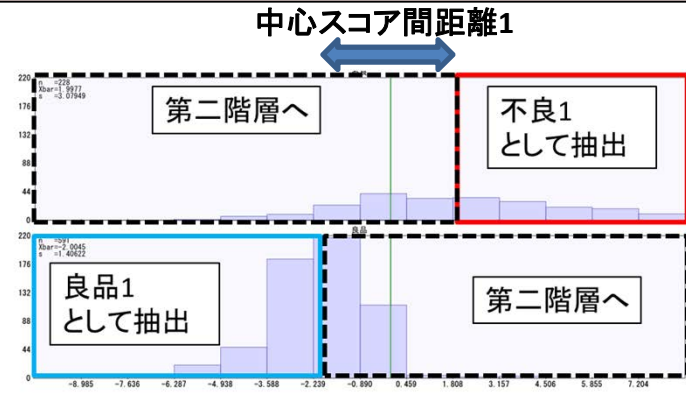
不良:n=228
 良品:n=591

第二階層

不良:n=97
 良品:n=292

第三階層

不良:n=27
 良品:n=112



3.3 新たな分析方法の提案と活用事例

【事例2】において、マハラノビスD活用・階層型判別分析を実施
 ⇒ 複数の不良現象の層別と、妥当なモデル化ができた

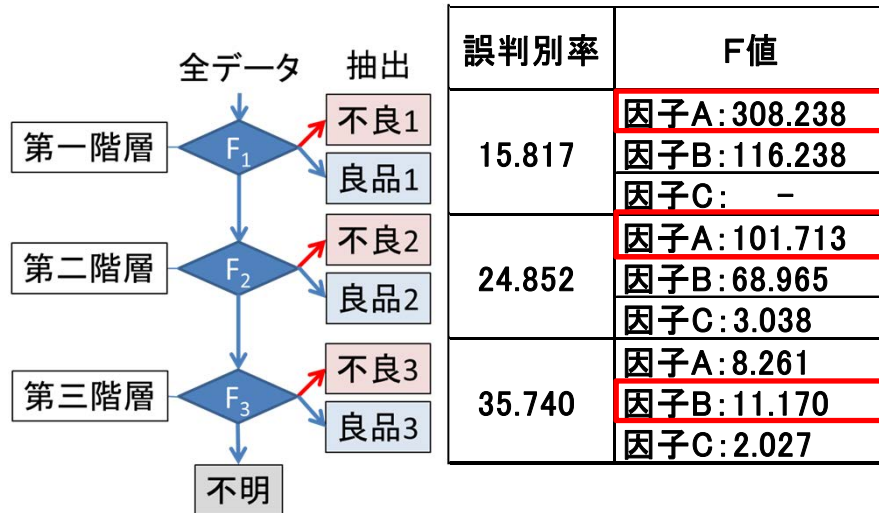


表.7 各方法論における識別精度

方法論	(n = 228)	(n = 591)
	不良を正しく 識別した割合	良品を正しく 識別した割合
判別分析	73.5%	94.1%
階層型判別分析 第三階層	94.3%	42.1%
マハラノビスD活用 階層型判別分析 第三階層	80.1%	89.7%

図.11 マハラノビスD活用・階層型判別分析結果

$$F_1 = -2.668 + 2.428 * \text{因子A} + 0.031 * \text{因子B}$$

式(6)

$$F_2 = -3.780 + 4.732 * \text{因子A} + 0.051 * \text{因子B} + 0.009 * \text{因子C}$$

式(7)

$$F_3 = -5.740 + 6.078 * \text{因子A} + 0.070 * \text{因子B} + 0.013 * \text{因子C}$$

式(8)

$$F_k \geq 0 \cdots \text{不良,}$$

$$F_k < 0 \cdots \text{良品 (k=1,2,3)}$$

- ・複数の不良現象の層別が可能
- ・複数の不良現象のモデル化が可能
- ・識別精度が向上

技術者の推定を裏付けるモデル式
 が得られ、対策の方向性が明確化

1. はじめに
2. 背景
3. 事例内容
 3. 1 事例背景
 3. 2 階層型判別分析の活用事例
 3. 3 新たな分析方法の提案と活用事例
4. 効果
5. 最後に

4. 効果

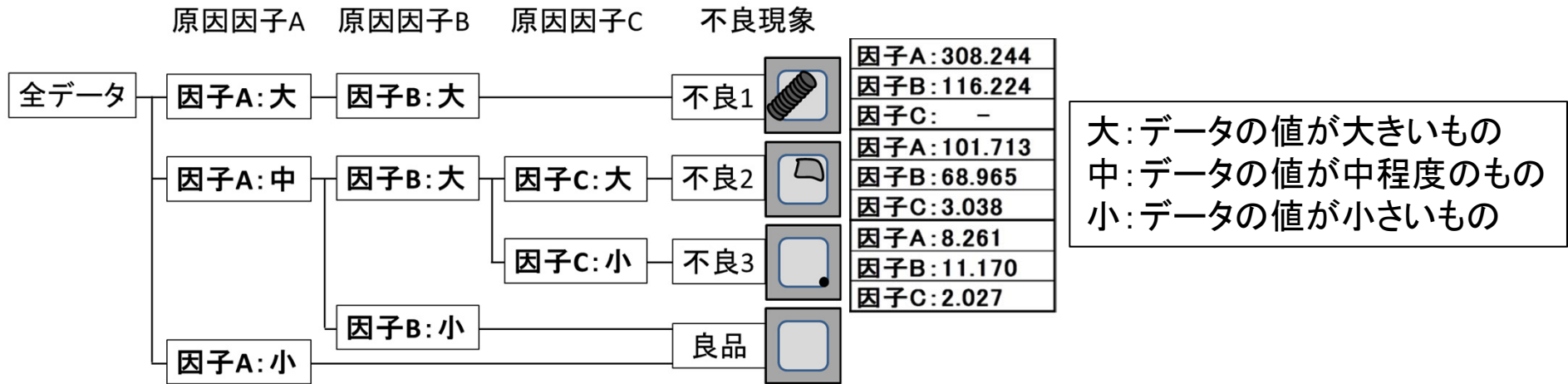


図.12 マハラノビスD活用・階層型判別分析の結果を元に考察した系統図

因子A、因子B、因子Cが複合して、3つに層別される不良が発生すると推測。モデリングにより、早期問題解決が可能となった(改善効果・・・420万円/年)。

5. 最後に

複数の不良現象を識別し、モデル化する方法として、マハラノビスD活用・階層型判別分析を考案。分析精度の向上は今後の課題である。多岐にわたる複雑な現象の因果関係を理解し、問題を早期に解決することに役立てるため、ディープラーニングなどと合わせて活用する。

謝辞

終始、熱心なご指導を頂きました、パナソニック株式会社
清水貴宏様に感謝致します。

また、パナソニック株式会社「実務に活用できる統計的方法論
のあり方を研究する会」にてご指導を頂きました皆様に感謝致します。

ご清聴 ありがとうございます。

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>