

# 判別関数の活用によるトランス特性値判別精度の向上

トランサーブ株式会社

荒木 了

## 1. はじめに

この事例は、現場の管理スタッフが、工程内の問題解決を行うにあたり、初めて StatWorks を使用して解析・改善を行った内容をまとめたものです。従って、解析手法の使い方などに不備な点があるやもしれませんが、ご容赦のほどお願いします。

## 2. 会社概要

名称 ; トランサーブ株式会社  
所在地 ; 富山県中新川郡立山町  
事業内容 ; スイッチングトランスの製作・検査  
取引先 ; スイッチング電源メーカーC社 100%納入(当社はC社の100%出資の子会社)

## 3. 製品および生産工程の概要

当社では、直流安定化電源装置に搭載される「スイッチングトランス」を製作している。

### (1) トランスとは

入力された電圧を指定した電圧に変換する電気部品で、以下の3つの構成要素から作られる。

「ボビン」・・・巻線を巻く筒型のプラスチック材料で、リード線が付いた台座と一体化したものの。

「巻線」・・・細い銅線。ボビンに巻きつける回数によって変換する電圧を変化させる。

「コア」・・・巻線と組み合わせる磁性体。アルファベットの「E」や「I」の形状をした磁石。



写真1 トランス外観



写真2 ボビン, ボビンに巻線をした状態, コア

### (2) 製作工程

トランスの製作工程は、図3.1のように巻線 巻き付け はんだ付け コア組 捺印 含浸 電気試験 外観検査の順になっており、～の工程を中国にある当社の子会社で行い、日本へ輸送の後に～の工程を日本(当社)で実施している。

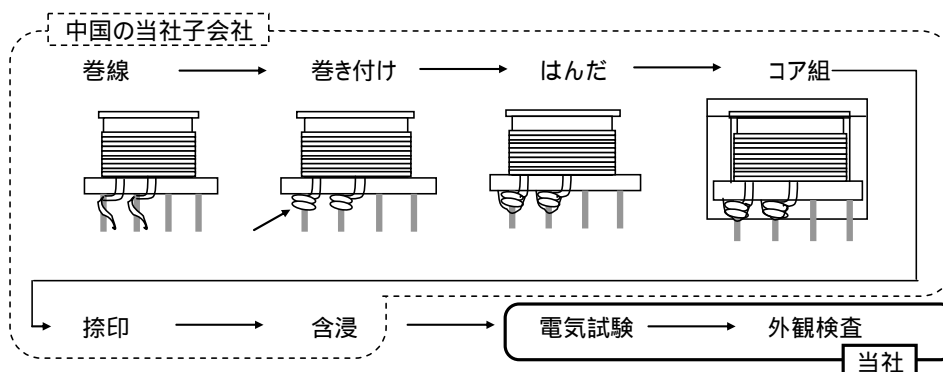


図3.1 トランスの製作工程

#### 4. 解析事例

##### 【ステップ1】: テーマ選定

当社で担っている電気特性試験での機種別不良台数をパレート図で表すと図 4.1 に示すようになり、最も多い「機種 A」の不良低減に取り組むことにした。さらに、この電気特性試験を試験の種類別に分類すると、図 4.2 のパレート図のようになり、「レシオ不良」が全体の約 60% を占めているため、「機種 A のレシオ不良低減」として解析を進める。

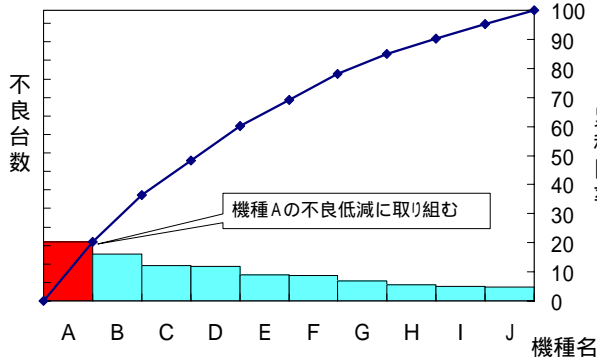


図 4.1 電気不良機種別発生パレート図

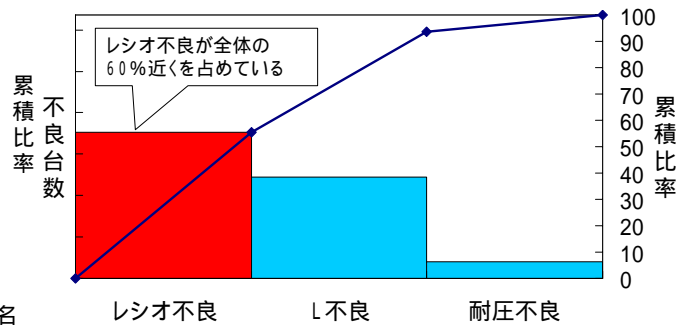


図 4.2 機種「A」電気不良発生内容パレート図

レシオ不良とは

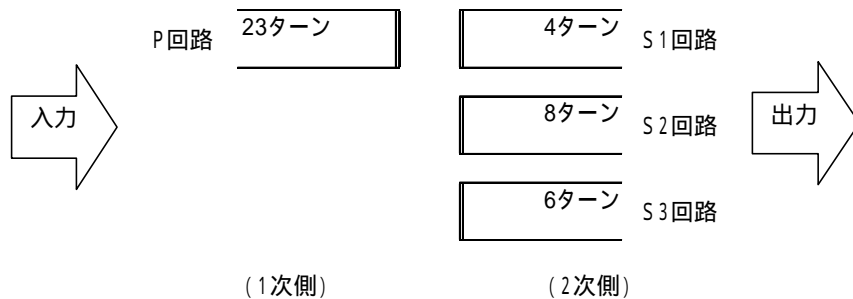
トランスの電気試験項目は次の 3 項目がある。

L 値試験・・・トランスの基本特性値 ( L 値 : インダクタンス ) の試験

レシオ試験・・・各巻線の巻数が正しいか調べる試験

耐圧試験・・・絶縁性 ( 電気を通さない ) が保たれているか調べる試験

レシオ値とは、トランスの 1 次側 ( 入力 ) に一定の電圧を入れ、2 次側 ( 出力 ) に出る電圧との比をとったものであり、この電圧比が各回路の巻数比と比例する関係から、巻数が正しいことを確認するものである。従って、レシオ不良 = 巻数不良を判定しているものである。



(例) S 1 回路のレシオ値は、4 ターン / 23 ターン = 0 . 1 7 3 9

図 4.3 レシオとは

レシオ値は、巻線の巻き方やコアの特性によって理論値どおりの値を示すことはなく、実際の値を測定して中心値を決定し、巻線が 1 ターン増加減した場合の変化量を求め、その内側に位置するように基準を設定している。

( 図 4.4 参照 )

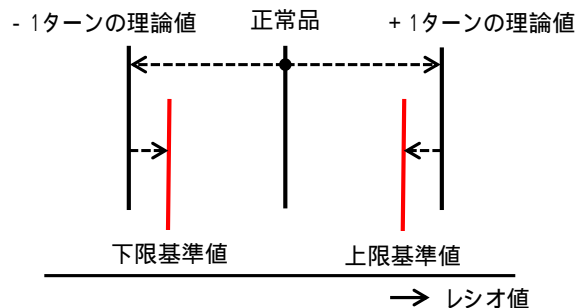


図 4.4 レシオの基準設定

## 【ステップ2】: 現状調査

### (1) 分布の調査

レシオ不良と判定されたものが実際の分布でどこに位置しているか、ヒストグラムで確認を行った。

図 4.5 ~ 4.7 に S1 回路 ~ S3 回路のレシオ値のヒストグラムを示す。

S1 回路, S2 回路は、分布自体が基準上限に偏っており、上限基準を逸脱していることが判る。また、S3 回路は、基準の中心に分布が位置しているが、基準の上限を逸脱していることが判った。

: 不良品の値

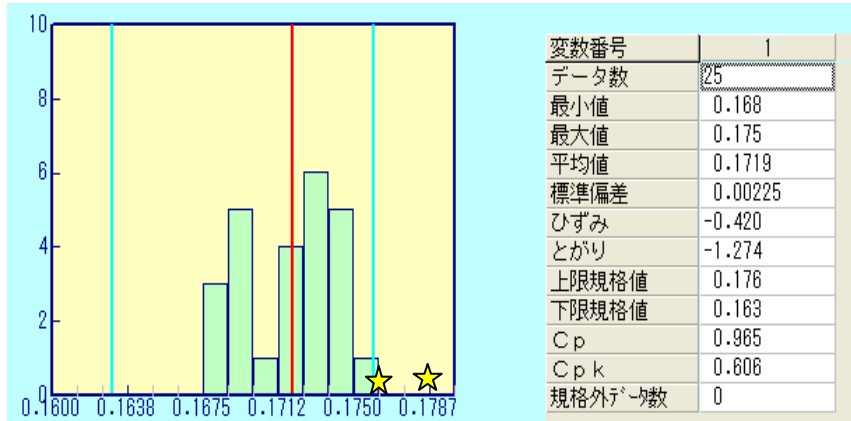


図 4.5 S1 レシオ値分布

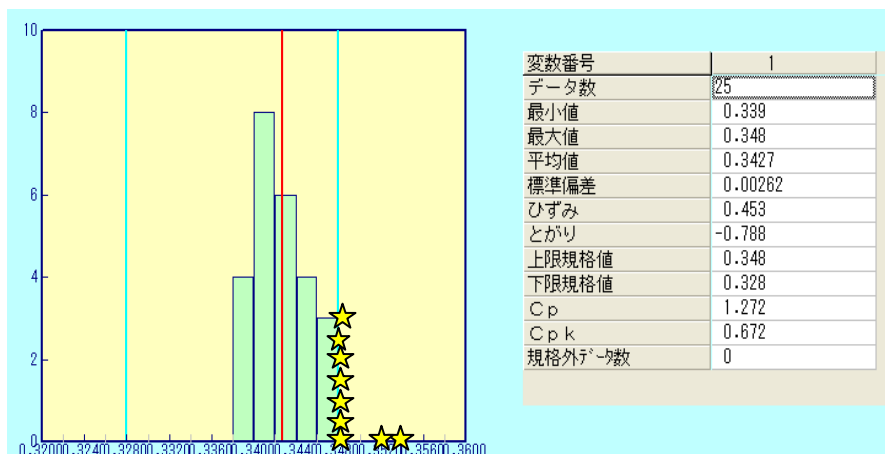


図 4.6 S2 レシオ値分布

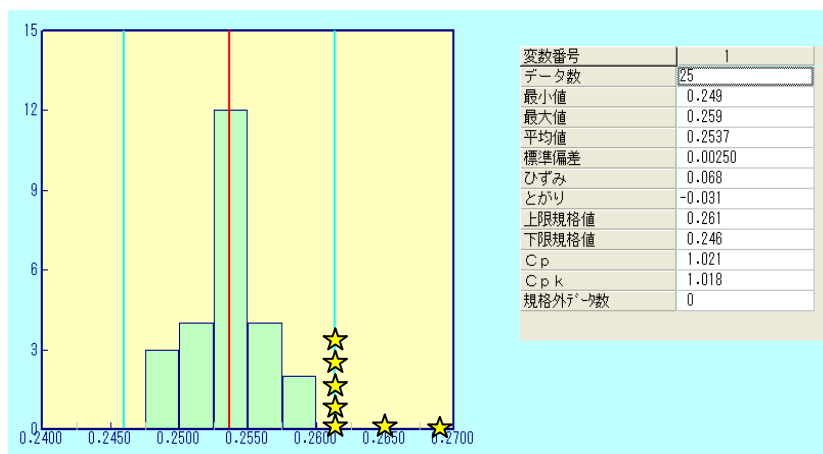


図 4.7 S3 レシオ値分布

(2) レシオ不良品の調査

レシオ不良と判定されたものを分解し、不良判定された回路の巻数を確認すると、全体の約70%が巻数正常であり、「良品」を「不良品」と誤判定していることが判った。

誤判定していることに対しては、判定基準の幅を広げることも1つの是正手段であるが、安易に基準の幅を変更することは、本当の不良品を検出できないリスクを高めてしまうことから、実際に不良サンプルを製作し分布の確認を行うことにする。

【ステップ3】: 解析

(1) 製作サンプル

表4.1に示すように、良品と各回路+1ターン, -1ターンのサンプル各25個を製作し、それぞれの分布を確認した。

表4.1 製作サンプル

	良品	P回路関連		S1回路関連		S2回路関連		S3回路関連	
P回路	正常	+1 ターン	-1 ターン	正常	正常	正常	正常	正常	正常
S1回路	正常	正常	正常	+1 ターン	-1 ターン	正常	正常	正常	正常
S2回路	正常	正常	正常	正常	正常	+1 ターン	-1 ターン	正常	正常
S3回路	正常	正常	正常	正常	正常	正常	正常	+1 ターン	-1 ターン
個数	25個	25個	25個	25個	25個	25個	25個	25個	25個

(2) 分布の検証

S1~S3それぞれの巻数違品のレシオ値のヒストグラムを図4.8~図4.10に示す。

このヒストグラムから判ることとして、以下のことが挙げられる。

それぞれ2次側回路(S1~S3)の巻数違いは正しく判定できている

1次側回路(P)は、いずれの場合も正しい判定ができていないが、S3回路が不良品を判定する割合が一番高い。

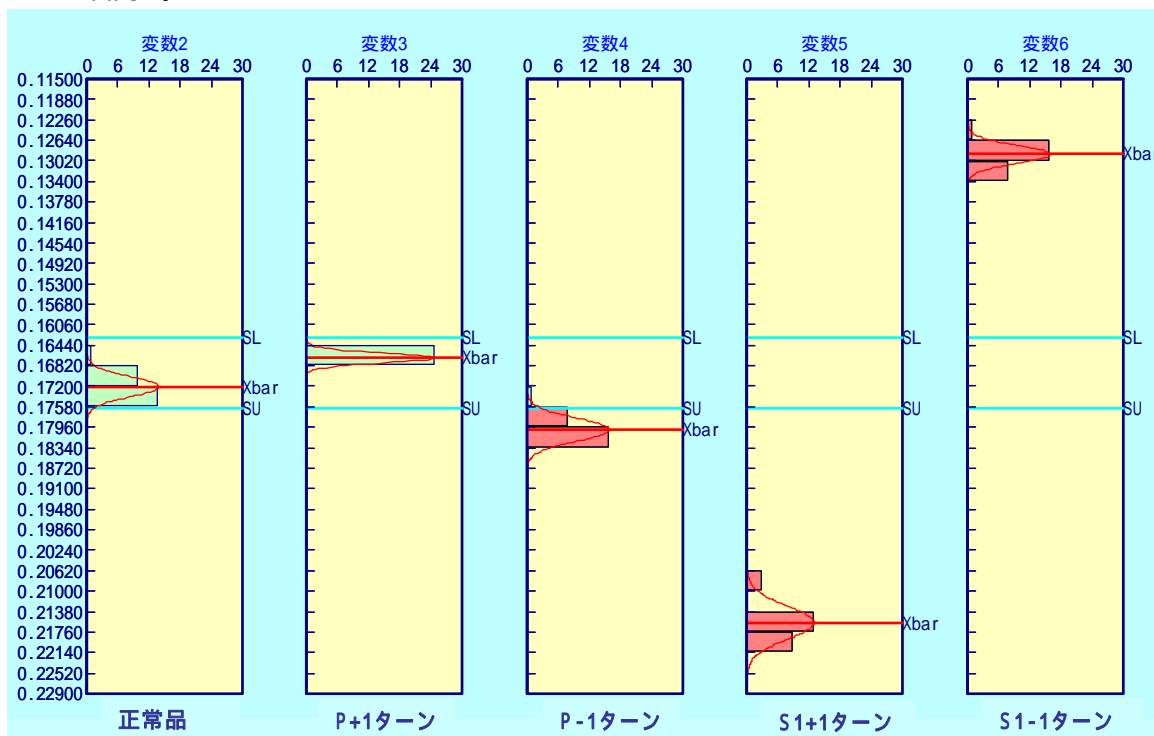


図4.8 巻数違品サンプル S1関連のレシオヒストグラム

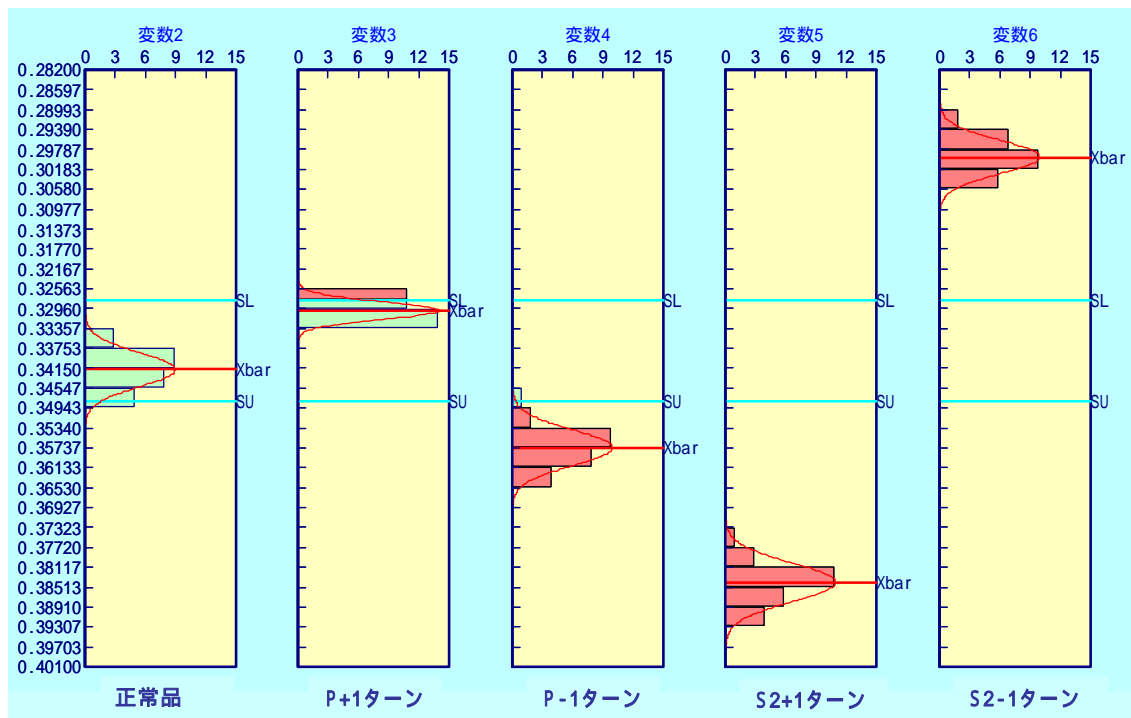


図 4.9 巻数違品サンプル S2 関連のレシオヒストグラム

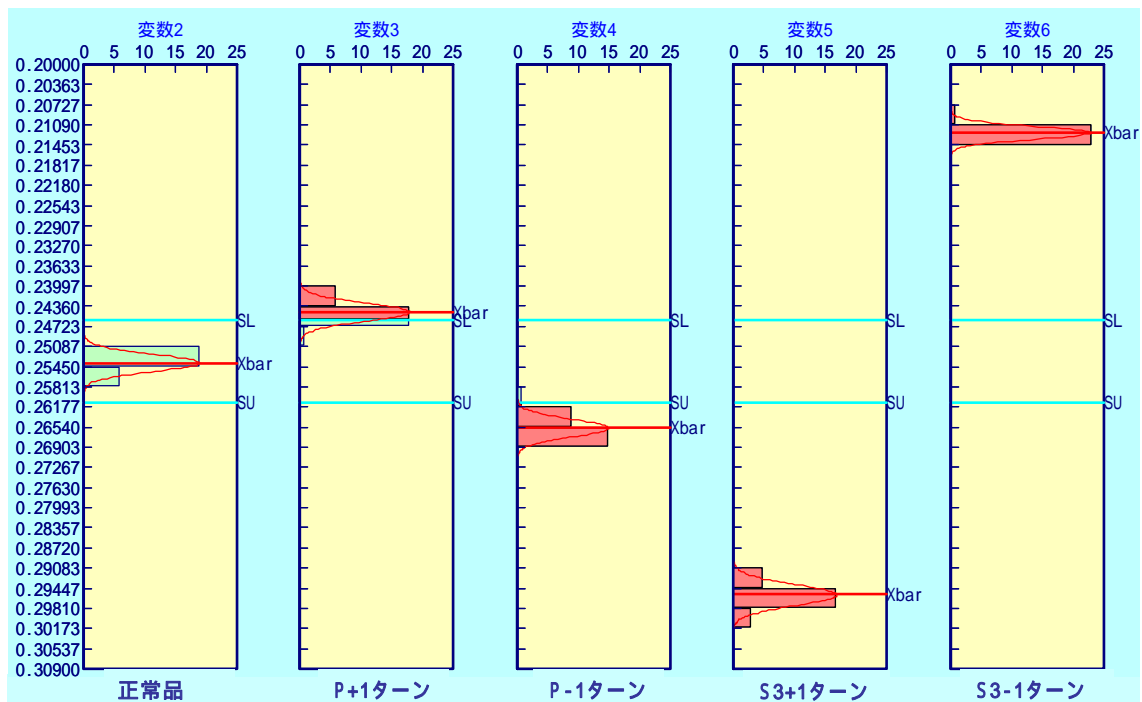


図 4.10 巻数違品サンプル S3 関連のレシオヒストグラム

つまり、P回路の場合、巻数が1ターン違う分布と良品との分布を分離することができず、分布の端に位置した「良品」が「不良品」と判定されたものである。(図4.11 参照)

この対処方法としては、分布のばらつきを抑えることで「良品」と「不良品」の分布を分離する方法が最良であるが、巻線の巻き方や使用するコアはC社からの図面指示で指定されたものであり、自分たちでコントロールできるものではない。

C社に相談したところ「判別分析」という解析手法があることを知り、これが使えないか検討に入った。

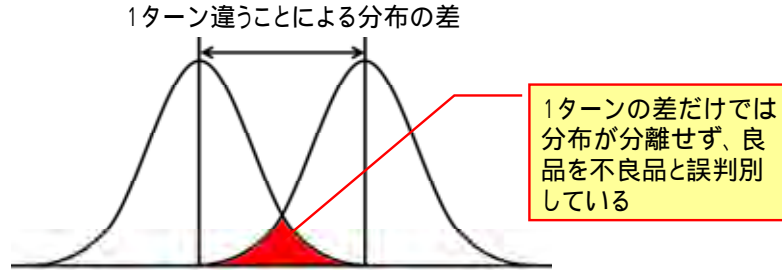


図 4.11 P回路のレシオ値分布イメージ

## 【ステップ4】: 判別分析

### (1) 判別分析の概要

判別分析とは、重回帰分析での目的変数が質的(分類しかできない)なものの場合であり、与えられた説明変数群からそのサンプルがいずれの群に属するか予測する手法である。

図4.12に分析のイメージ図を示す。

X軸(L値), Y軸(レシオ値)それぞれ単独の軸から見たのでは、分布が重なって識別できないが、新たな軸を設けて見ることにより、分布を識別可能にするものである。

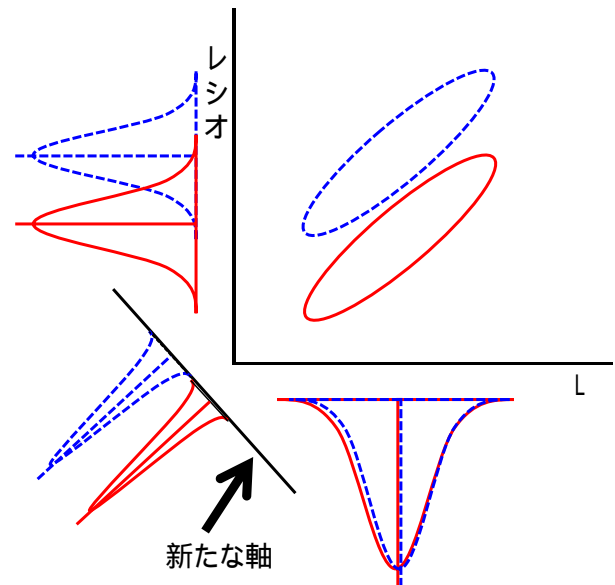


図 4.12 判別分析の考え方のイメージ図

### (2) 実際の解析

実際の判別分析では、「良品」「+1ターンの不良品」、「良品」「-1ターンの不良品」それぞれについて判別分析を実施することで「+1ターンの群」、「良品の群」、「-1ターンの群」の3つの群を判別するという方法を用いた(図4.13参照)。

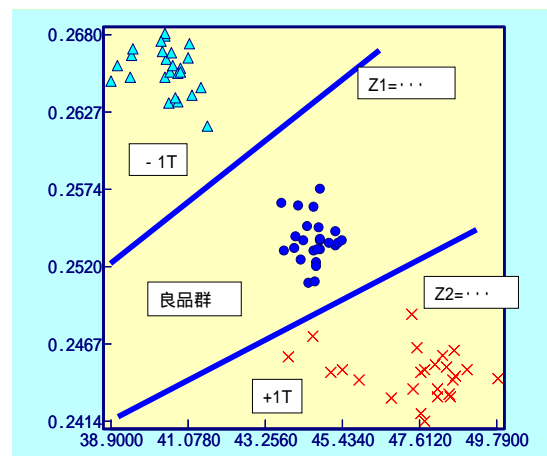


図 4.13 S3 と L 値の散布図

## 「良品」「-1ターン不良品」の判別

サンプルのデータ入力後の変数選択画面である。

F比の最も大きいS3のレシオを選択した後、L値を選択した。ここでF比が2.0を超える変数が無くなったため、変数の選択は終了とした。

		(D) <sup>2</sup>	(D') <sup>2</sup>	(D'') <sup>2</sup>		
	マハラジ距離	-	-	-		
	誤判別率(%)	-	-	-		
vNo.	定数	D <sup>2</sup>	D <sup>2</sup> の差	誤判別率	F比	判別係数
2	L値	49.482	49.482	0.022	593.782	
3	S1レシオ	15.356	15.356	2.504	184.273	
4	S2レシオ	19.564	19.564	1.350	234.771	
5	S3レシオ	55.939	55.939	0.009	671.274	

「良品」「-1ターン不良品」の判別式は、次のようになった。

$$Z1 = 634.235 - 4013.739 \times S3 + 9.589 \times L$$

		(D) <sup>2</sup>	(D') <sup>2</sup>	(D'') <sup>2</sup>		
	マハラジ距離	86.467	82.624	79.234		
	誤判別率(%)	0.000	0.000	0.000		
vNo.	定数	D <sup>2</sup>	D <sup>2</sup> の差	誤判別率	F比	判別係数
IN 2	L値	55.939	-30.527	0.009	22.983	9.589
3	S1レシオ	86.684	0.217	0.000	0.106	
4	S2レシオ	87.249	0.782	0.000	0.381	
IN 5	S3レシオ	49.482	-36.985	0.022	31.217	-4013.739

この判別式では、誤判別率は0%となり、全て良否判定できることが判った。

一般判別・誤判別表			
正答	48	100.00%	
誤答	0	0.00%	
観測/予測	c1	c2	合計
c1	24	0	24
c2	0	24	24
合計	24	24	48

判別式によるスコア(判別得点)のヒストグラムは図4.14のようになり、正しく判定できていることがわかる。

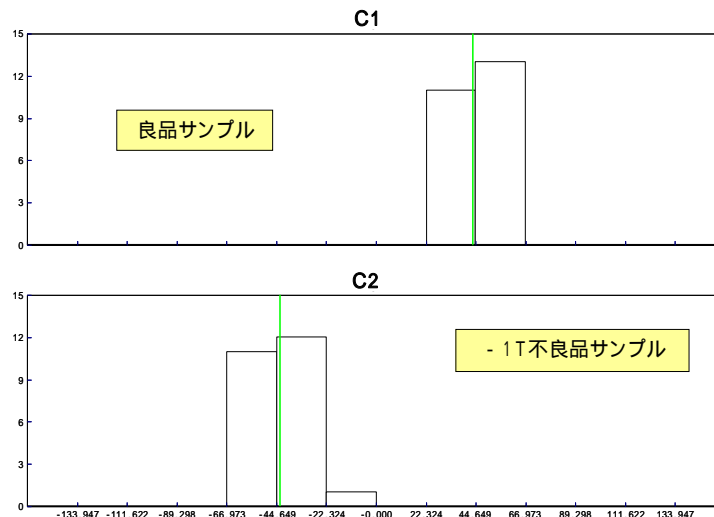


図4.14 「良品」「-1ターン不良品」の判別式によるスコアのヒストグラム



### 「良品」「+1ターン不良品」の判別

と同様にF比の最も大きいS3を変数として選択した後、次に大きいS1を選択したが、この段階でL値もF比の値が3.513と2.0を超えていたので、最終的にはS1, S3, L値の3つの変数を選択して判別分析を行った。

変数	(D') <sup>2</sup>	(D'') <sup>2</sup>	(D''') <sup>2</sup>	F比	判別係数
5 S3 レシオ	33.094	32.308	31.565	0.201	0.248
2 L 値	25.501	2.407	0.145	2.933	-1171.674
3 S1 レシオ	41.448	8.354	0.064	10.180	1340.244
4 S2 レシオ	37.832	4.538	0.108	5.530	3378.187

「良品」「+1ターン不良品」の判別式は、次のようになった。

$$Z2 = -1052.016 - 1.804 \times L + 2096.644 \times S1 + 3129.265 \times S3$$

この判別式での誤判別率は0%にはならず、0.039%の誤判別の可能性を残したことになったが、用いたサンプルでの誤判別率は0%の結果を得た。

変数	(D') <sup>2</sup>	(D'') <sup>2</sup>	(D''') <sup>2</sup>	F比	判別係数
2 L 値	45.083	41.842	38.301	0.039	0.008
3 S1 レシオ	35.501	-9.582	0.145	10.697	2096.644
4 S2 レシオ	45.585	0.502	0.037	0.441	
5 S3 レシオ	21.458	-23.810	1.028	41.083	3129.265

観測/予測	c1	c2	合計
c1	24	0	24
c2	0	24	24
合計	24	24	48

判別式によるスコア（判別得点）のヒストグラムは図4.15のようになり、の「良品」「-1ターン不良品」のヒストグラムより2つの分布が近く判別が難しいことがうかがえる。

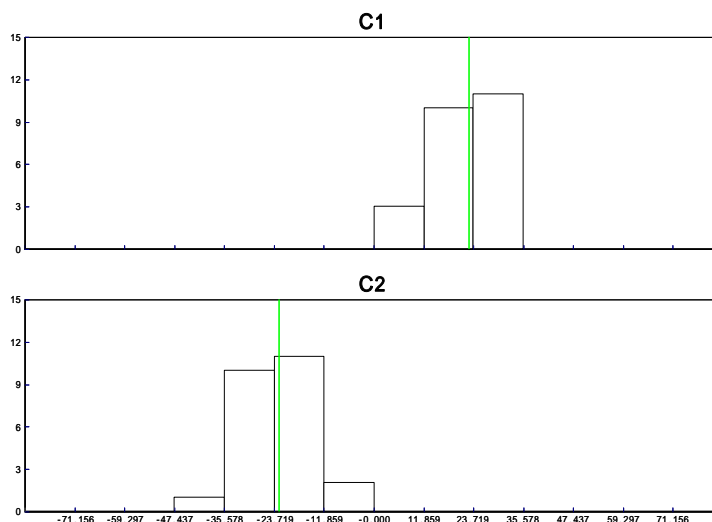


図 4.15 「良品」「+1ターン不良品」の判別式によるスコアのヒストグラム



### (3) 工程への適用と効果

得られた判別式を基に、実際の「良品」「不良品」の散布図にあてはめたものを図 4.16 に示す。この図からも「良品」「+1ターン不良品」の判別が難しいことがうかがえる。

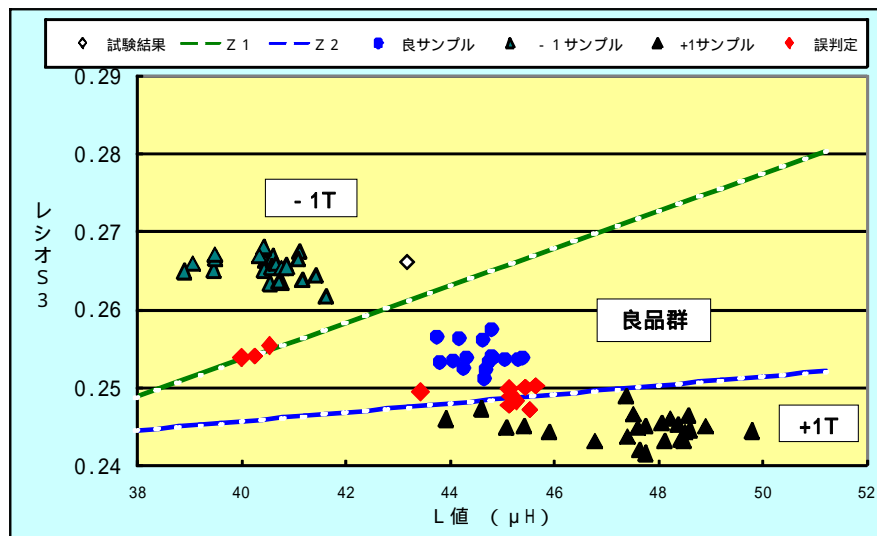


図 4.16 判別式の散布図

この判別式を用いた試験を取り入れたことにより、製品の誤判定率を低減することができた。

判別式は、初期設定以降、量産製品のデータを取り入れてサンプル数を増して更新を行っている。現在、誤判定は皆無となるまでには至っていないが、設定前と比べ誤判定率は約 8.5% 低減している（図 4.17 参照）。

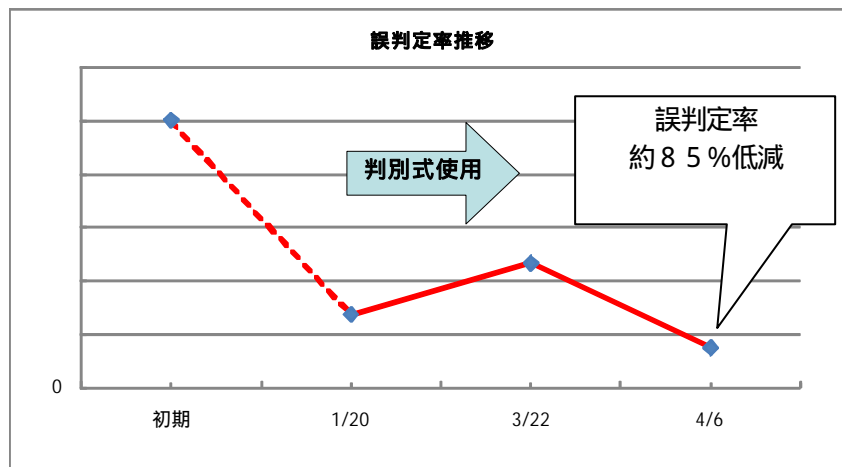


図 4.17 誤判定率推移グラフ

### 4. まとめ

今回の解析により、判別分析がトランスのレシオ試験に大変有効であることが確認できた。しかし、試験工程への判別式の適用においては、以下の課題が残されている。

レシオ値の分布がばらつく要因を付きとめ、それを抑えることで判別式の判定精度を上げる。

良・不良多くのサンプルを必要とするため、少ないサンプルで精度のよい判別式を導き出す方法の検討。

掲載されている著作物の著作権については，制作した当事者に帰属します．

著作者の許可なく営利・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ください <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>