

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5242959号
(P5242959)

(45) 発行日 平成25年7月24日 (2013. 7. 24)

(24) 登録日 平成25年4月12日 (2013. 4. 12)

(51) Int. Cl.	F I
H O 1 L 21/02 (2006. 01)	H O 1 L 21/02 Z
H O 1 L 21/66 (2006. 01)	H O 1 L 21/66 Z
G O 5 B 19/418 (2006. 01)	G O 5 B 19/418 A

請求項の数 8 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2007-182238 (P2007-182238)	(73) 特許権者	000005049
(22) 出願日	平成19年7月11日 (2007. 7. 11)		シャープ株式会社
(65) 公開番号	特開2009-21348 (P2009-21348A)		大阪府大阪市阿倍野区長池町2番2号
(43) 公開日	平成21年1月29日 (2009. 1. 29)	(74) 代理人	100084146
審査請求日	平成21年8月5日 (2009. 8. 5)		弁理士 山崎 宏
		(74) 代理人	100081422
			弁理士 田中 光雄
		(74) 代理人	100122286
			弁理士 仲倉 幸典
		(72) 発明者	一色 昭寿
			大阪府大阪市阿倍野区長池町2番2号
			シャープ株式会社内
		審査官	溝本 安展

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 異常要因特定方法およびシステム、上記異常要因特定方法をコンピュータに実行させるためのプログラム、並びに上記プログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

対象物に対して1つ以上の工程を実行するとともに各対象物についての検査工程を実行するプロセスにおいて不良品発生 of 要因を特定する異常要因特定方法であって、

上記プロセスでは、上記対象物毎にその対象物についてのプロセス実施条件を含む1種以上のプロセスデータと上記検査工程の検査結果とが関連付けて取得され、上記検査結果によってその対象物が良品、不良品のいずれであるかが判定されるようになっており、

複数の上記プロセスデータがなすプロセスデータ群から上記プロセスデータの特徴を表す特徴量を少なくとも1つ抽出し、

上記プロセスデータ群を、上記特徴量を軸として定義される特徴量空間に変換して表し、
上記特徴量空間は上記良品についてのプロセスデータ群の上記変換後の平均値が単一の基準点となるように設定されており、

上記特徴量空間において上記不良品についてのプロセスデータ群のうち所定の関連性をもつもの同士を同一のグループに分類し、

上記分類された各グループ毎に、上記特徴量空間において上記基準点から各不良品についてのプロセスデータが表す点までの距離に寄与している特徴量を抽出し、

上記抽出された特徴量に基づいて、異常要因を特定することを特徴とする異常要因特定方法。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の異常要因特定方法において、

10

20

上記不良品についてのプロセスデータが上記同一のグループに分類されるための上記所定の関連性は、上記特徴量空間における距離が一定値以下であることを特徴とする異常要因特定方法。

【請求項 3】

請求項 1 に記載の異常要因特定方法において、

上記特徴量空間への上記変換は、上記良品についてのプロセスデータ群の平均が 0、かつ標準偏差が 1 となるように規格化して行うことを特徴とする異常要因特定方法。

【請求項 4】

請求項 1 に記載の異常要因特定方法において、

上記プロセスデータ群について主成分分析を行って、得られた主成分を軸として上記特徴量空間を設定することを特徴とする異常要因特定方法。 10

【請求項 5】

請求項 4 に記載の異常要因特定方法において、

上記特徴量空間のうち、上記主成分分析により得られる第 1 主成分と第 2 主成分とを軸として定義される部分空間において、上記不良品についてのプロセスデータ群を上記グループに分類することを特徴とする異常要因特定方法。

【請求項 6】

対象物に対して 1 つ以上の工程を実行するとともに各対象物についての検査工程を実行するプロセスにおいて不良品発生の要因を特定する異常要因特定システムであって、

上記プロセスでは、上記対象物毎にその対象物についてのプロセス実施条件を含む 1 種以上のプロセスデータと上記検査工程の検査結果とが関連付けて取得され、上記検査結果によってその対象物が良品、不良品のいずれであるかが判定されるようになっており、 20

上記対象物毎に上記プロセスデータと上記検査工程での検査結果とを関連付けて記憶する記憶部と、

上記記憶部の記憶内容を用いて、請求項 1 から 5 までのいずれか一つに記載の異常要因特定方法を実行する異常要因特定部とを備えた異常要因特定システム。

【請求項 7】

請求項 1 に記載の異常要因特定方法をコンピュータに実行させるための異常要因特定プログラム。 30

【請求項 8】

請求項 7 に記載の異常要因特定プログラムが記録されたコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は異常要因特定方法およびシステムに関し、より詳しくは、半導体製品の生産プロセスなどの複数の製造工程を有する生産プロセスにおいて不良品が発生した際に、その生産プロセスから取得された製造条件を表すプロセスデータに対して、多変量解析を用いて分析することにより、異常要因を特定する方法およびシステムに関する。

【0002】

また、この発明は、そのような異常要因特定方法をコンピュータに実行させるためのプログラムに関する。 40

【0003】

また、この発明は、そのようなプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体に関する。

【背景技術】

【0004】

製品を大量に生産する製造工程において効率的な生産を行うには、生産された製造品の検査結果または製造品の特性値から製造工程が異常であると診断された際、その要因となるプロセスデータを特定し、特定したプロセスデータを正常な値に設定し直すことにより 50

製造工程を速やかに正常な状態に復帰させることが重要な課題となる。しかし、半導体製造工程のように多くの製造工程を有する場合、異常の要因となり得る製造変数の数は非常に膨大な数となり、品質管理者が製造変数を一々確認することは不可能である。そこで、従来、例えば特許文献1（特表2002-525757号公報）では、統計的プロセス管理のための多次元的方法及びシステム（以下「従来技術」という。）が提案されている。

【0005】

この従来技術では、図8に示すように、まずステップS101で、或るプロセスで観測された、各データの各処理条件を記録したプロセスデータ群について、解析を行うために適した変数となるよう変換を行い、新たな変数を得る（データの変換工程）。この変換は、変数の平均値を0にするなどの、変数のスケールを変換するものである。

10

【0006】

次にステップS102で、変換後のプロセスデータ群を、プロセスで正常な結果が得られた際の「管理範囲内」にあるプロセスデータ群と、プロセスで異常が発生した際の「管理範囲外」にあるプロセスデータ群とに分離する。以下、これらをそれぞれ正常プロセスデータ群、異常プロセスデータ群とする。

【0007】

次にステップS103で、各処理条件を軸とする空間上に、異常プロセスデータ群を写像し、空間中心と前記写像された点とを結ぶベクトルを考える。異常プロセスデータ群の上記ベクトルにおいて、2個のベクトル間における余弦の絶対値を類似度として、階層的上昇分類型の自動分類手法を適用し、異常プロセスデータが集中して分布している方向を抽出する（原因方向を特定）。抽出した方向を原因方向1、原因方向2、…とし、異常プロセスデータをいずれかの原因方向に分類する。

20

【0008】

次にステップS104で、異常プロセスデータについて、各々の異常発生要因を特定するために、次の2つ指標（第1の指標と第2の指標）を算出する。第1の指標は、原因方向における、正常プロセスデータ群の中心から観測点（異常プロセスデータ）までの距離であり、異常プロセスデータ群のベクトルと原因方向のベクトルとのスカラー積として計算される。この第1の指標は、異常プロセスデータがどの原因方向と関連が強いを示す。第2の指標は、正常プロセスデータ群の中心と観測点（異常プロセスデータ）とを結ぶベクトルと各原因方向のベクトルとの間の角近接度であり、2つのベクトルの余弦として求められる。

30

【0009】

そしてステップS105で、上記第1の指標と第2の指標とから、異常プロセスデータ群の各データがどの原因方向、ひいてはどの変数が要因となり異常となったかを分析する（異常要因を特定）。

【特許文献1】特表2002-525757号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

知られているように、半導体製品の生産プロセスのような非常に長く複雑なプロセスでは、プロセスデータ群の項目数が膨大な数となる。

40

【0011】

ここで、上述の従来技術では、プロセスデータ群のデータ項目の数、すなわち変数の数が膨大であるとき、高次元の空間上でデータの方向性のみを用いてデータの分類を行うこととなる。このため、非常に難解で、かつ精度の悪い分類となってしまう。その理由は、高次元空間上では、データの僅かな差であっても、各次元の小さな差が加算されて大きな距離の差となって表れるからである。このような高次元空間でのデータ分類が困難である問題は、球面集中現象として知られている（入門的な解説書（石井健一郎、上田修功、前田英作、村瀬洋 共著、「わかりやすいパターン認識」、オーム社、1998年8月）などを参考にされたい。）。

50

【0012】

このようにデータの分類精度が悪くなると、異常が発生した際のデータを傾向毎にうまく分類できず、複数の異常要因が混在しているとき異常要因を精度良く特定できないという問題が生じる。

【0013】

なお、球面集中現象に対する1つの対策として、多変量解析手法の1種である主成分分析を行って、データの次元を減らした空間で分類を行う手法が挙げられる。しかしながら、半導体製造工程のような非常に長く複雑な生産プロセスでは、プロセスデータ群に主成分分析等の次元圧縮手法を適用しても、例えばその次元数が10以上となる。このため、異常要因の分類精度を十分に上げることが困難である。

10

【0014】

さらに、従来技術では、階層的な分類手法を採用しているため、半導体製造工程のような非常に長く複雑な生産プロセスで得られたプロセスデータ群を解析する場合は、計算ステップが多くなり過ぎるという問題もある。

【0015】

そこで、この発明の課題は、半導体製品の生産プロセスのような非常に長く複雑なプロセスで得られた大規模なプロセスデータ群を対象とする場合であっても、異常が示す傾向を効率良く分類でき、異常要因を精度良く特定できる異常要因特定方法およびシステムを提供することにある。

【0016】

また、この発明の課題は、そのような異常要因特定方法をコンピュータに実行させるためのプログラムを提供することにある。

20

【0017】

また、この発明は、そのようなプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0018】

上記課題を解決するために、この発明の異常要因特定方法は、

対象物に対して1つ以上の工程を実行するとともに各対象物についての検査工程を実行するプロセスにおいて不良品発生 of 要因を特定する異常要因特定方法であって、

30

上記プロセスでは、上記対象物毎にその対象物についてのプロセス実施条件を含む1種以上のプロセスデータと上記検査工程の検査結果とが関連付けて取得され、上記検査結果によってその対象物が良品、不良品のいずれであるかが判定されるようになっており、

複数の上記プロセスデータがなすプロセスデータ群から上記プロセスデータの特徴を表す特徴量を少なくとも1つ抽出し、

上記プロセスデータ群を、上記特徴量を軸として定義される特徴量空間に変換して表し、上記特徴量空間は上記良品についてのプロセスデータ群の上記変換後の平均値が単一の基準点となるように設定されており、

上記特徴量空間において上記不良品についてのプロセスデータ群のうち所定の関連性をもつもの同士を同一のグループに分類し、

40

上記分類された各グループ毎に、上記特徴量空間において上記基準点から各不良品についてのプロセスデータが表す点までの距離に寄与している特徴量を抽出し、

上記抽出された特徴量に基づいて、異常要因を特定することを特徴とする。

【0019】

ここで、「プロセスデータ群」とは、例えば半導体製品の生産プロセスであれば、成膜を実施する条件、アニーリング行う際の温度、時間、レーザー出力などの製造条件、および電氣的な特性などの中間検査のデータなどのプロセスの実施条件を表す全てのデータを含むことができる。

【0020】

この発明の異常要因特定方法によれば、上記特徴量空間において上記不良品についての

50

プロセスデータ群のうち所定の関連性をもつもの同士を同一のグループに分類することによって、プロセスデータ群を異常傾向（つまり異常原因）毎に分類できる。続いて、上記分類された各グループ毎に、上記特徴量空間において上記基準点から各不良品についてのプロセスデータが表す点までの距離に寄与している特徴量を抽出する。上記抽出された特徴量に基づいて、異常要因を特定する。このように、この異常要因特定方法によれば、上記各グループすなわち各異常傾向（異常原因）毎に分類して異常要因特定を行うため、たとえ複数の異常要因が混在していたとしても、精度良く異常要因を特定できる。したがって、半導体製品の生産プロセスのような非常に長く複雑なプロセスで得られた大規模なプロセスデータ群を対象とする場合であっても、異常が示す傾向を効率良く分類でき、異常要因を精度良く特定できる。

10

【0021】

一実施形態の異常要因特定方法では、上記不良品についてのプロセスデータが上記同一のグループに分類されるための上記所定の関連性は、上記特徴量空間における距離が一定値以下であることを特徴とする。

【0022】

この一実施形態の異常要因特定方法では、上記不良品についてのプロセスデータ群のうち上記特徴量空間における距離が近いもの同士が上記同一のグループに分類される。したがって、上記不良品についてのプロセスデータ群を各異常傾向（異常原因）毎に効率良く分類できる。したがって、たとえ複数の異常要因が混在していたとしても、精度良く異常要因を特定できる。

20

【0023】

一実施形態の異常要因特定方法では、上記特徴量空間への上記変換は、上記良品についてのプロセスデータ群の平均が0、かつ標準偏差が1となるように規格化して行うことを特徴とする。

【0024】

この一実施形態の異常要因特定方法では、上記特徴量空間をなす各変数のスケールの違いに左右されることなく、全ての変数を対等に扱い解析することが可能となる。

【0025】

一実施形態の異常要因特定方法では、上記プロセスに含まれる製造工程で得られた製造条件を上記プロセスデータとし、上記製造工程で発生した異常の要因を特定することを特徴とする。

30

【0026】

この一実施形態の異常要因特定方法によれば、製造工程で何らかの異常が発生した際に、製造工程のどの製造条件が異常の発生に寄与していたかを特定することが可能となる。

【0027】

一実施形態の異常要因特定方法では、上記検査工程で得られた検査結果は、上記プロセスの最終の検査工程による製造品全体としての良否と、上記プロセスの中間の検査工程による製造品の特性値の良否とを含むことを特徴とする。

【0028】

この一実施形態の異常要因特定方法によれば、最終検査工程による製造品全体としての良否の原因だけでなく、例えば中間検査工程による製造品の特性値の良否の原因についても、異常原因を特定することができる。

40

【0029】

一実施形態の異常要因特定方法では、上記プロセスは半導体製品の生産プロセスであることを特徴とする。

【0030】

一般的に、半導体製品の生産プロセスは非常に長く複雑なプロセスであるから、得られたプロセスデータ群は大規模なものとなる。この一実施形態の異常要因特定方法によれば、半導体製品の生産プロセスにおいて、異常が示す傾向を効率良く分類でき、異常要因を精度良く特定できる。

50

【0031】

この結果、作業者（メンテナンス担当者を含む。）は、製造品に対して1つ以上の製造工程を実行する生産プロセスにおいて、製造工程の改善を即座に行うことが可能となる。したがって、生産効率の向上が実現される。

【0032】

一実施形態の異常要因特定方法では、上記特徴量空間において上記基準点から各不良品についてのプロセスデータが表す点までの上記距離に寄与している特徴量に基づいて、上記各プロセスデータについて異常要因として疑わしい程度を表す評価指標を算出し、この算出された評価指標に基づいて異常要因候補を提示することを特徴とする。

【0033】

一般的に、半導体製品の生産プロセスは非常に長く複雑なプロセスであるから、1つの異常事象についての異常要因はただ1つであるとは限らず、幾つかの異常要因が作用していることがある。ここで、この一実施形態の異常要因特定方法では、各プロセスデータについて異常要因として疑わしい程度を表す評価指標を算出し、この算出された評価指標に基づいて異常要因候補を提示する。したがって、幾つかの異常要因がそれぞれどの程度異常要因として疑わしいか、という情報をわかりやすく提示することが可能となる。

【0034】

一実施形態の異常要因特定方法では、上記プロセスデータ群について主成分分析を行って、得られた主成分を軸として上記特徴量空間を設定することを特徴とする。

【0035】

一般的に、プロセスデータ群が多くのプロセス変数を含み、プロセス変数間に強い相関関係がある場合、多重共線性のためその後の解析に悪影響が生じる。ここで、この一実施形態の異常要因特定方法では、上記プロセスデータ群について主成分分析を行って、得られた主成分を軸として上記特徴量空間を設定する。したがって、プロセス変数間の相関を考慮した上で特徴量の抽出を行うことが可能となり、上記悪影響を避けることが可能となる。

【0036】

一実施形態の異常要因特定方法では、上記特徴量空間のうち、上記主成分分析により得られる第1主成分と第2主成分とを軸として定義される部分空間において、上記不良品についてのプロセスデータ群を上記グループに分類することを特徴とする。

【0037】

一実施形態の異常要因特定方法では、上記主成分分析により得られる第1主成分と第2主成分とを軸として定義される部分空間、つまり、顕著な特徴量を軸として定義される部分空間において、上記不良品についてのプロセスデータ群をグループ化する。したがって、既述の球面集中現象のような高次元でのデータ分類が困難である問題を回避することが可能となる。

【0038】

一実施形態の異常要因特定方法では、上記不良品についてのプロセスデータ群を上記グループに分類するとき、上記特徴量空間内の2点間の距離を評価指標とする非階層的クラスタリング手法を用いることを特徴とする。

【0039】

一実施形態の異常要因特定方法によれば、上記不良品についてのプロセスデータ群をプロセス実施条件の特徴が近いデータ同士に、つまり各異常傾向（異常原因）毎に効率良く分類できる。

【0040】

一実施形態の異常要因特定方法では、上記特徴量空間において上記基準点から各不良品についてのプロセスデータが表す点までの上記距離への寄与を、各特徴量のホテリングの T^2 統計量への寄与として算出することを特徴とする。

【0041】

この一実施形態の異常要因特定方法によれば、上記距離に寄与しているプロセス変数を

10

20

30

40

50

的確に求めることが可能となる。

【0042】

一実施形態の異常要因特定方法では、上記良品のプロセスデータについての上記特徴量空間上での各特徴量のホテリングの T^2 統計量への寄与と上記不良品のプロセスデータについての上記特徴量空間上での各特徴量のホテリングの T^2 統計量への寄与との間の有意差に基づいて、上記異常要因を特定することを特徴とする。

【0043】

この一実施形態の異常要因特定方法によれば、正規分布に従っていないプロセス変数についても、プロセス正常時とプロセス異常時との間の有意差から、そのプロセス変数のホテリング (Hotelling) の T^2 統計量への寄与、すなわち異常要因候補としての疑わしさを適切に評価することが可能となる。

10

【0044】

一実施形態の異常要因特定方法では、或るプロセスデータを与えるプロセス変数について、上記不良品のプロセスデータについての特徴量空間上での各特徴量のホテリングの T^2 統計量への寄与が所定の閾値に比べて小さい場合、そのプロセス変数を異常要因候補から除外することを特徴とする。

【0045】

この一実施形態の異常要因特定方法によれば、正常時のホテリングの T^2 統計量への寄与が極端に小さいようなプロセス変数の評価値が相対的に高くなってしまう問題を回避することが可能となる。

20

【0046】

この発明の異常要因特定システムは、

対象物に対して1つ以上の工程を実行するとともに各対象物についての検査工程を実行するプロセスにおいて不良品発生の要因を特定する異常要因特定システムであって、

上記プロセスでは、上記対象物毎にその対象物についてのプロセス実施条件を含む1種以上のプロセスデータと上記検査工程の検査結果とが関連付けて取得され、上記検査結果によってその対象物が良品、不良品のいずれであるかが判定されるようになっており、

上記対象物毎に上記プロセスデータと上記検査工程での検査結果とを関連付けて記憶する記憶部と、

上記記憶部の記憶内容を用いて、請求項1から13までのいずれか一つに記載の異常要因特定方法を実行する異常要因特定部とを備える。

30

【0047】

この発明の異常要因特定システムでは、記憶部が、上記対象物毎に上記プロセスデータと上記検査工程の検査結果とを関連付けて記憶する。異常要因特定部は、上記記憶部の記憶内容を用いて、上記異常要因特定方法を実行する。したがって、膨大な数のプロセスデータの中から、異常要因として本来検出すべきプロセスデータを検出でき、不良品発生の要因となっているプロセスデータを精度良く特定できる。

【0048】

この発明の異常要因特定プログラムは、この発明の異常要因特定方法をコンピュータに実行させるためのプログラムである。

40

【0049】

この発明の異常要因特定プログラムによれば、コンピュータに上記発明の異常要因特定方法を実行させることができる。

【0050】

この発明の記録媒体は、上記発明の異常要因特定プログラムが記録されたコンピュータ読み取り可能な記録媒体である。

【0051】

この発明の記録媒体によれば、記録媒体の記録内容をコンピュータに読み取らせることで、上記コンピュータに上記発明の異常要因特定方法を実行させることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

50

【0052】

以下、この発明を図示の実施の形態により詳細に説明する。

【0053】

図7は、半導体生産プロセス100において不良品発生 of 要因を特定するためのこの発明の一実施形態の異常要因特定システム（全体を符号10で示す。）のブロック構成を示している。

【0054】

半導体生産プロセス100は、対象物としての製造品（この例ではウエハ）に対して1つ以上の製造工程A、B、C、…を実行するとともに、製造工程A、B、Cの間に実施される中間検査工程E、および製造工程A、B、C、…を経た後実施される最終検査工程Fを実行するようになっている。この例では、中間検査工程Eは製造品の特性値の良否判定を含み、最終検査工程Fは製造品全体としての最終の良否判定を含む。

【0055】

各製造工程A、B、Cは、生産能力を高めるために、この例では、それぞれその工程を実施可能な複数の製造装置A1、A2、A3；B1、B2、B3；C1、C2、C3によって並行して実施される。同様の観点から、中間検査工程Eは複数の検査装置E1、E2、E3によって実施され、また、最終検査工程Fは複数の検査装置F1、F2、F3によって実施される。なお、この例では簡単のため、各工程を3台の装置で実施するものとしているが、当然ながら、1台で実施しても良いし、2台または4台以上で実施しても良い。

【0056】

この異常要因特定システム10は、記憶部としてのデータベース20と、異常要因特定部30と、この異常要因特定部30に作業者が入力を行うための入力装置50と、この異常要因特定部30による処理結果を表示する表示装置60とを備えている。

【0057】

データベース20は、生産プロセスの各製造工程A、B、C、…から製造品毎にその製造品についての製造条件を含む1種以上のプロセスデータ12を取得するとともに、各検査工程E、Fからその製造品の検査結果（良否判定結果を含む。）を表す検査データ13を取得する。そして、製造品毎に、その製造品についてのプロセスデータ12と検査データ13とを関連付け（ひも付け）して記憶する。データベース20は、例えば公知のハードディスクドライブ装置によって構成される。

【0058】

なお、「プロセスデータ群」とは、この例のように半導体製品の生産プロセスであれば、成膜を実施する条件、アニーリングを行う際の温度、時間、レーザー出力などの製造条件、および電気的な特性などの中間検査のデータなどのプロセスの実施条件を表す全てのデータを含む。

【0059】

異常要因特定部30は、データベース20に蓄積されたプロセスデータ12と検査データ13を用いて後述の異常要因特定方法を実行して、不良品発生 of 要因（異常要因）となっているプロセスデータを特定する。異常要因特定部30は、この例では、ソフトウェア（プログラム）にしたがって演算処理を実行するコンピュータからなる。異常要因特定部30による処理内容や処理結果は、表示装置60へ出力される。

【0060】

表示装置60は、例えばLCD（液晶表示ディスプレイ）またはCRT（陰極線管）からなり、異常要因特定部30が出力した情報を表示する。

【0061】

入力装置50は、例えば公知のキーボードやマウスからなる。

【0062】

作業（メンテナンス担当者を含む。）は、表示装置60に表示された画面を見ながら、異常要因特定部30に対して入力装置50によって処理の実行を指示し、また、処理条

10

20

30

40

50

件を設定することができる。

【0063】

図1は、異常要因特定部30が実行する異常要因特定処理の概略フローを示している。

【0064】

まず、ステップS1では、データベース20から工程データ（プロセスデータ群）を取得する。

【0065】

次に、ステップS2では、プロセスデータ群をなす各プロセスデータが管理範囲内の値であるかどうかに基づいて良品データと不良品データとに分離する。なお、各プロセスデータが管理範囲内の値であるか否かの判定基準は、検査データ13が表す良否判定結果と一致していても良いし、別に定めたものであっても良い。

10

【0066】

この例では、図2に示すようなプロセスデータ群を対象として説明する。図2の横軸は製造品を識別するための識別番号を表し、縦軸は検査工程によって得られた或る特性値Yを表す。この特性値Yが-5から+5までの管理範囲内に入っているときのプロセスデータ群を「良品データ」とし、特性値Yが上記管理範囲から外れたときのプロセスデータ群を「不良品データ」と呼ぶ。

【0067】

次に、図1のステップS3、S4では、得られた良品データ、不良品データによってそれぞれ行列を定める。

20

【0068】

ここで、対象とする全体のプロセスデータ群が作るデータ行列Xを

【数1】

$$X \in \mathcal{R}^{N \times P}$$

とする（ここで、Nはデータ数、Pは変数の数を表す。）。そのうち良品データの行列Xgを

【数2】

$$Xg \in \mathcal{R}^{Ng \times P}$$

30

とする（ここで、Ngは正常な特性のデータ数を表す。）。また、不良品データの行列Xbを

【数3】

$$Xb \in \mathcal{R}^{Nb \times P}$$

とする（ここで、Nbは特性不良となったデータ数を表す）。

【0069】

良品データの行列Xgについて、この行列Xgの各項目について平均値と標準偏差値とを用いて標準化し、得られた規格化行列を

【数4】

$$\overline{Xg}$$

40

とする。不良品データの行列Xbについては、行列Xgの標準化に使用したXgの各項目についての平均値と標準偏差値とを用いて標準化し、得られた規格化行列を

【数5】

$$\overline{Xb}$$

とする。

【0070】

次に、ステップS5では、特徴量空間としての主成分空間を定めるために、主成分分析

50

を行って、特徴量軸としての主成分軸を抽出する。

【0071】

具体的には、次のようにして主成分分析を行う。まず、良品データの規格化行列について、特異値分解を行い次式（数6）を得る。

【数6】

$$\overline{Xg} = USV^T = \begin{bmatrix} U_R & U_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_R & 0 \\ 0 & S_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R & V_0 \end{bmatrix}^T$$

【0072】

上式（数6）において、UとVは直交行列である。Sは対角行列であり、対角要素には特異値 s_r が降順に並ぶ。Rは採用する主成分数である。U_RはUのR列目までを要素とする部分行列、S_RはSのR行R列までを要素とする部分行列、V_RはVのR列目までを要素とする部分行列である。

10

【0073】

次に、ステップS6では、特徴量空間での良品データの座標に相当する主成分得点 Tg_R を、次式（数7）により算出する。

【数7】

$$Tg_R = \overline{Xg}V_R$$

【0074】

一方、ステップS7では、特徴量空間での不良品データの座標に相当する主成分得点 Tb_R を、次式（数8）により算出する。

20

【数8】

$$Tb_R = \overline{Xb}V_R$$

【0075】

上式（数7）、（数8）で算出された行列（主成分得点）において、それぞれ1列目が第1主成分、2列目が第2主成分、…、第R列目が第R主成分となる。

【0076】

さらに、上述のステップS6、S7では、それぞれ上式（数7）、（数8）で算出された主成分得点 Tg_R 、 Tb_R を、図3に例示するように、第1主成分、第2主成分をそれぞれ横軸、縦軸とした主成分空間にプロットする。

30

【0077】

一般的に、プロセスデータ群が多くのプロセス変数を含み、プロセス変数間に強い相関関係がある場合、多重共線性のためその後の解析に悪影響が生じる。ここで、上の例では、プロセスデータ群について主成分分析を行って、得られた主成分を軸として特徴量空間を設定する。したがって、プロセス変数間の相関を考慮した上で特徴量の抽出を行うことが可能となり、上記悪影響を避けることが可能となる。

【0078】

なお、上記特徴量空間としての主成分空間では、良品データの平均値が単一の基準点、つまり、この主成分空間の原点となっている。また、良品データの標準偏差が1となるように規格化しているので、この主成分空間をなす各変数のスケールの違いに左右されことなく、全ての変数を対等に扱い解析することが可能となる。

40

【0079】

図3において、近くにプロットされているデータ同士は、良く似た特徴を持っており同じ要因による特性不良であると推測される。

【0080】

そこで、図1のステップS8では、特徴量空間上にプロットされた点についてクラスタリング（グループ化）を実施する。

【0081】

50

具体的には、この例では、この第1主成分、第2主成分によって張られる部分空間上において、公知の非階層型クラスタリング手法の一つであるk-平均法によってクラスタリング（グループ分け）を実施する。つまり、不良品データのうち主成分空間における距離が近いもの同士を同一のグループに分類する。図3の例では、クラスタリングを実施した結果、不良品データがそれぞれ異常グループ1～4に分類されている。異常グループ1に属する各データは記号●、異常グループ2に属する各データは記号×、異常グループ3に属する各データは記号△、異常グループ4に属する各データは記号+でそれぞれ表されている。

【0082】

このクラスタリングによって、プロセスデータ群を異常傾向（つまり異常原因）毎に分類できる。また、この例では、主成分分析により得られる第1主成分と第2主成分とを軸として定義される部分空間、つまり、顕著な特徴量を軸として定義される部分空間において、不良品データをグループ化する。したがって、既述の球面集中現象のような高次元でのデータ分類が困難である問題を回避することが可能となる。また、この例では、非階層的クラスタリング手法を用いているので、不良品データをプロセス実施条件の特徴が近いデータ同士に、つまり各異常傾向（異常原因）毎に効率良く分類できる。

【0083】

次に、図1のステップS9では、異常要因を特定するために、良品データとの不良品データとの間の有意差を算出する。

【0084】

具体的には、分類された異常グループのそれぞれについて次のような処理を実施する。

【0085】

ここでは、異常グループ1を例にとり、解析を行う。異常グループ1に分類される不良品のプロセスデータの行列 X_b 、主成分得点の行列 T_{b_R} を、それぞれ次式（数9）、（数10）と置き換える。

【数9】

$$X_b \in \mathbb{R}^{Nb \times P}$$

【数10】

$$T_{b_R} \in \mathbb{R}^{Nb \times R}$$

【0086】

主成分得点 T_R の共分散行列 Σ_T は次式（数11）により算出される。

【数11】

$$\Sigma_T = \frac{1}{N-1} T_R^T T_R = \frac{1}{N-1} S_R^2$$

【0087】

ここで、この行列 Σ_T の要素である

【数12】

$$\sigma_{tr}^2$$

を用いて、ホテリングの T^2 統計量は次式（数13）によって算出される。

【数13】

$$T^2 = \sum_{r=1}^R \frac{t_r^2}{\sigma_{tr}^2}$$

【0088】

さらに、第p変数の T^2 統計量への寄与は、

10

20

30

40

【数 1 4】

$$C_p^{[T^2]} = t \Sigma_T^{-1} x_p v_p$$

と定義される。ここで、 t は主成分得点からなるベクトル、つまり T_R の行ベクトルである。

【0 0 8 9】

【数 1 5】

$$\Sigma_T^{-1}$$

は主成分得点の共分散行列 Σ_T の逆行列である。 x_p は

10

【数 1 6】

$$\overline{Xg}$$

の変数 p に関するデータであり、スカラー量である。 v_p は第 p 変数に関する係数ベクトルの転置ベクトルであり、 V_R の p 行と等しい。

【0 0 9 0】

この算出された第 p 変数の T^2 統計量への寄与が、特徴量空間において原点からの距離に対して第 p 変数が寄与している割合となる。

【0 0 9 1】

上記、第 p 変数の T^2 統計量への寄与を算出する操作を、良品データの主成分得点、不良品データの主成分得点を用いて、良品データ・不良品データについてそれぞれ実施する。

20

【0 0 9 2】

次に、行列 Xg の i 番目のデータの第 p 変数についての T^2 統計量への寄与、すなわち良品データについて算出した T^2 統計量への寄与を

【数 1 7】

$$Cg_{ip}^{[T^2]}$$

と表す。この第 p 変数についての T^2 統計量への寄与を Xg の全データについて算出し累計すると、

30

【数 1 8】

$$\sum_{i=1}^{N_g} Cg_{ip}^{[T^2]}$$

となる。さらに、この（数 1 8）を、 Xg の全データ、全変数についての T^2 統計量への寄与の合計で除算して規格化すると、良品データの T^2 統計量への規格化された寄与は、

【数 1 9】

$$\overline{Cg} = \sum_{i=1}^{N_g} Cg_{ip}^{[T^2]} / \sum_{i=1}^{N_g} \sum_{p=1}^P Cg_{ip}^{[T^2]}$$

40

として算出される。

【0 0 9 3】

同様に、行列 Xb の i 番目のデータの第 p 変数についての T^2 統計量への寄与、すなわち不良品データについて算出した T^2 統計量への寄与を

【数 2 0】

$$Cb_{ip}^{[T^2]}$$

と表す。この第 p 変数についての T^2 統計量への寄与を Xb の全データについて算出し累計すると、

【数 2 1】

$$\sum_{i=1}^{Nb} Cb_{ip}^{[T^2]}$$

となる。さらに、この（数 2 1）を、X b の全データ、全変数についての T^2 統計量への寄与の合計で除算して規格化すると、不良品データの T^2 統計量への規格化された寄与は、

【数 2 2】

$$\overline{Cb} = \sum_{i=1}^{Nb} Cb_{ip}^{[T^2]} / \sum_{i=1}^{Nb} \sum_{p=1}^P Cb_{ip}^{[T^2]}$$

10

として算出される。

【0 0 9 4】

このようにして、良品データの T^2 統計量への規格化された寄与（数 1 9）と不良品データの T^2 統計量への規格化された寄与（数 2 2）とを求める。

【0 0 9 5】

このとき、良品データの T^2 統計量への規格化された寄与（数 1 9）と不良品データの T^2 統計量への規格化された寄与（数 2 2）との間の有意差を評価するに当たって、異常時の T^2 統計量への寄与の値が小さい変数は、正常時と異常時の微小な違い（異常値の影響などによる本質的ではないと思われる相違点）を捕らえていると考えられるため、これを除外する。除外するための閾値関数を次式（数 2 3）で与える。

20

【数 2 3】

$$\delta = \begin{cases} 1 & \overline{Cb} > 1/P \\ 0 & \overline{Cb} \leq 1/P \end{cases}$$

【0 0 9 6】

上述の（数 1 9）、（数 2 2）および（数 2 3）を用いて、乖離度指標 I o K（Index of Kairido）を次式（数 2 4）で定義する。

【数 2 4】

$$IoK = \frac{\overline{Cb}}{\overline{Cg}} \cdot \delta$$

30

【0 0 9 7】

この乖離度指標 I o K は、良品データのホテリングの T^2 統計量への寄与と不良品データのホテリングの T^2 統計量への寄与との間の実質的な有意差を表す評価指標である。

【0 0 9 8】

図 4 は、この乖離度指標 I o K をプロセスデータの各項目（パラメータ）について算出し、算出された乖離度指標 I o K の値を用いて降順に並べた例を示している。この図 4 において、乖離度指標 I o K の値が 1 以上になっている項目が異常要因候補となる。乖離度指標 I o K の値が大きな候補ほど異常要因として疑わしい、または異常への寄与が大きいことを表している。

40

【0 0 9 9】

このように、評価指標としての乖離度指標 I o K を算出することで、幾つかの異常要因がそれぞれどの程度異常要因として疑わしいか、という情報を適切に評価でき、わかりやすく提示することが可能となる。

【0 1 0 0】

次に、図 1 のステップ S 1 0 では、乖離度指標 I o K の値が大きかったプロセス変数（パラメータ）を異常要因として特定する。

【0 1 0 1】

図 5 は、図 4 中で異常要因候補として最上位に挙げられているプロセス変数 P 5 につい

50

ての良品・不良品の発生頻度（ヒストグラム）を示している。図5の横軸は、そのプロセス変数P5がとりうる値を表している。この図5からプロセス変数P5が比較的低い値をとっているとき、不良品の発生頻度が高くなっていることが確認される。これにより、図3中で異常グループ1が座標中心（原点）から離れている要因、すなわち異常グループ1の異常要因として、プロセス変数P5の値の低下が特定される。

【0102】

なお、参考のため、図6は上述のグループ化（S8）を行わなかった場合のヒストグラムを、図5に対応して示している。この図6から、グループ化を行わなかった場合、良品製造時と不良品製造時とで有意差が判別しにくく、プロセス変数P5値の低下が異常要因であると判定するのは困難であると言える。

10

【0103】

このように、この異常要因特定方法では、上述のステップS8でクラスタリングされた各グループ毎に、特徴量空間としての主成分空間において原点から各不良品についてのプロセスデータが表す点までの距離に寄与している特徴量を抽出し、この抽出された特徴量に基づいて、異常要因を特定する。つまり、各異常傾向（異常原因）毎に分類して異常要因特定を行うため、たとえ複数の異常要因が混在していたとしても、精度良く異常要因を特定できる。したがって、半導体製品の生産プロセスのような非常に長く複雑なプロセスで得られた大規模なプロセスデータ群を対象とする場合であっても、異常が示す傾向を効率良く分類でき、異常要因を精度良く特定できる。

【0104】

20

なお、上述の異常設備推定方法をコンピュータに実行させるためのプログラムとして構築しても良い。

【0105】

また、そのようなプログラムをCD-ROMなどのコンピュータ読み取り可能な記録媒体に記録して配布できるようにしても良い。上記プログラムを汎用コンピュータにインストールすることで、汎用コンピュータによって上記異常設備推定方法を実行することが可能である。

【産業上の利用可能性】

【0106】

この発明の手法は、半導体製品などの生産プロセスだけでなく、プロセスの実施条件であるプロセスデータ群を得られるすべてのプロセスにおいて利用可能である。プロセスの実施条件であるプロセスデータ群が得られれば本発明を実施することが可能であるので、本発明は、化学、製薬、農産物、製鉄、プラスチック材料、などの製造だけに留まらず、サービスの提供（銀行、保険、コンサルティング）などの幅広い分野において適用可能である。本発明は特に、多くのデータ項目を持つプロセスデータの解析や、複数の異常事象が含まれるプロセスデータの解析において、その利点が発揮される。

30

【図面の簡単な説明】

【0107】

【図1】この発明の一実施形態の異常要因特定方法の概略フローを示す図である。

【図2】プロセスの結果である特性値Yの傾向を示すグラフ図である。

40

【図3】プロセスで異常が発生したときのプロセスデータ群を特徴量空間にプロットして得られた図である。

【図4】上記異常要因特定方法によって採用された評価指標による異常要因候補の抽出結果を示す図である。

【図5】正常時データと異常グループ1についてのヒストグラムを示す図である。

【図6】正常時データと異常時データについてのヒストグラムを示す図である。

【図7】本発明の一実施形態の異常要因特定システムの構成例を示す図である。

【図8】従来技術の分析処理フローを示す図である。

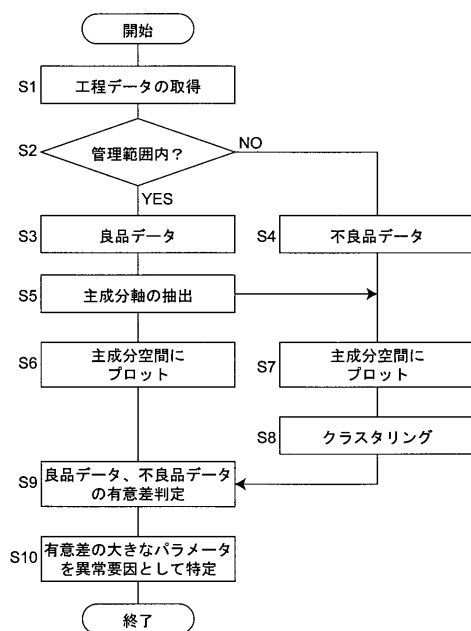
【符号の説明】

【0108】

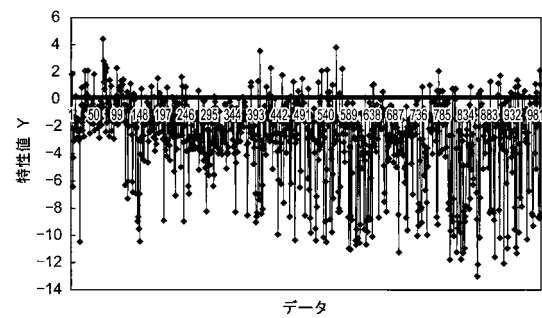
50

- 1 0 異常要因特定システム
- 1 2 プロセスデータ
- 1 3 検査データ
- 2 0 データベース
- 3 0 異常要因特定部

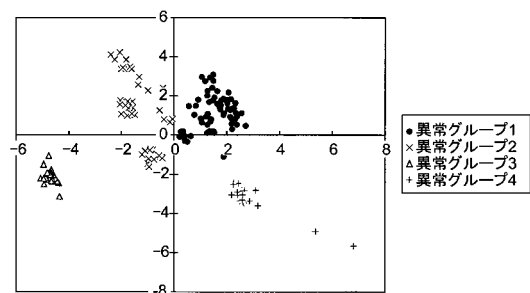
【図 1】



【図 2】



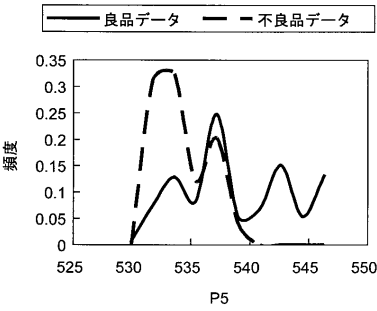
【図 3】



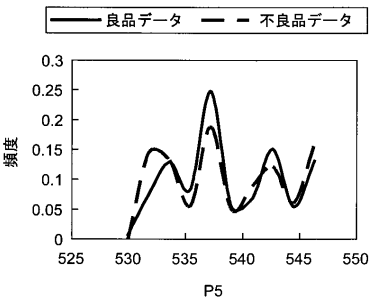
【図 4】

パラメータ	loK
P5	1.78
P15	1.71
P14	1.66
P9	1.57
P16	1.03
P18	0.84
P1	0.00
P2	0.00
P3	0.00
P4	0.00
P6	0.00
P7	0.00
P8	0.00
P10	0.00
P11	0.00
P12	0.00
P13	0.00
P17	0.00

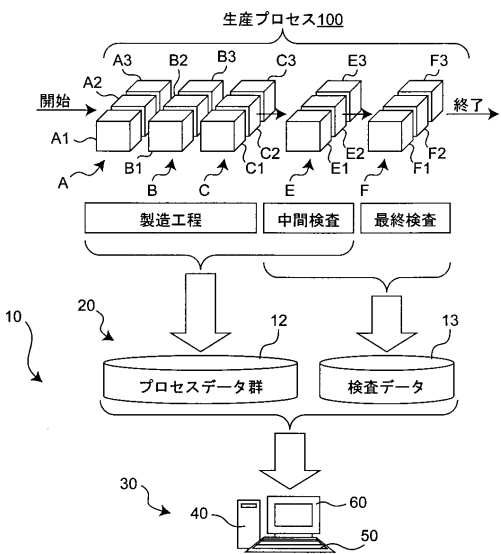
【図 5】



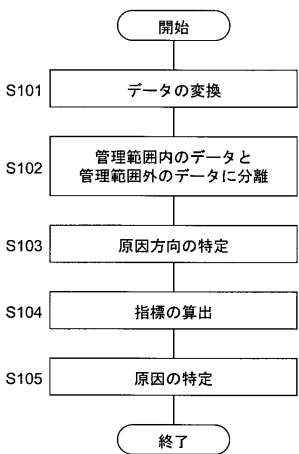
【図 6】



【図 7】



【図 8】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開 2 0 0 3 - 1 1 4 7 1 3 (J P , A)
特開 2 0 0 5 - 1 4 2 4 6 7 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H 0 1 L 2 1 / 0 2
H 0 1 L 2 1 / 6 6
G 0 5 B 1 9 / 4 1 8