

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第5203984号
(P5203984)

(45) 発行日 平成25年6月5日 (2013.6.5)

(24) 登録日 平成25年2月22日 (2013.2.22)

(51) Int.Cl.

F I

GO 1 M 99/00 (2011.01)

GO 1 M 99/00 Z

GO 1 M 15/05 (2006.01)

GO 1 M 15/05

請求項の数 12 (全 85 頁)

(21) 出願番号	特願2009-5125 (P2009-5125)	(73) 特許権者	398055255
(22) 出願日	平成21年1月13日 (2009.1.13)		アー・ファウ・エル・リスト・ゲゼルシャ
(65) 公開番号	特開2009-168812 (P2009-168812A)		フト・ミト・ベシュレンクテル・ハフツン
(43) 公開日	平成21年7月30日 (2009.7.30)		グ
審査請求日	平成21年1月13日 (2009.1.13)		オーストリア国、8020グラーツ、ハン
(31) 優先権主張番号	GM22/2008		スーリストープラッツ、1
(32) 優先日	平成20年1月14日 (2008.1.14)	(74) 代理人	100069556
(33) 優先権主張国	オーストリア (AT)		弁理士 江崎 光史
		(74) 代理人	100111486
			弁理士 鍛冶澤 實
		(72) 発明者	スヴェン・クリスティアン・フリッツ
			ドイツ連邦共和国、63110 ロートガ
			ウ、ローデンシュタインストラッセ、1

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 測定システムの測定データを解析及び評価するための方法及び装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

複数の測定チャンネルを有する測定システムの複数の測定データを解析及び評価するための方法であって、当該方法は、事前設定可能な複数の判断基準のうちの少なくとも1つの判断基準に従って、自由に選択可能な時点に対して且つ自由に選択可能な期間にわたって、前記測定データを評価することを含む当該方法において、

エラー分離段が、前記複数の測定データのエラー検出の全ての個別結果を、関与した測定チャンネルと関連付けて加算し、当該合計から試験変数を算出し、

エラー分類段が、前記試験変数を所定の限界値と比較し、

それぞれの前記測定チャンネルの前記測定データの品質に関する目安を求めることを特徴とする方法。

【請求項 2】

前記未処理データを、時間的に同期して記録し、必要に応じて前記エラー分離段に供給することを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記エラー分離段は、前記未処理データの高周波信号解析を実施することを特徴とする請求項 2 に記載の方法。

【請求項 4】

任意の1つの測定チャンネルの前記測定データの品質に関する現在の目安を、事前設定可能な1つの限界値と比較し、この限界値を下回っていることを表示することを特徴とする

10

20

請求項 1～3 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 5】

前記測定データの品質に関する目安の変遷に関する時系列のログを生成して表示することを特徴とする請求項 1～4 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 6】

前記エラー分離段の現在のステータスを読み取って表示することを特徴とする請求項 1～5 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 7】

測定システムの複数の測定データを解析及び評価するための装置であって、当該装置は、事前設定可能な複数の判断基準に従って、任意の各時点に対して、試験設備の複数の測定チャンネルの前記測定データを評価するためのユニットを有する当該装置において、

前記測定チャンネルの未処理データ用の入力部と、

前記複数の測定データのエラー検出の全ての個別結果を、関与した測定チャンネルと関連付けて加算し、当該合計から試験変数を算出するエラー分離段と、前記試験変数を所定の限界値と比較するエラー分類段とが実装されているユニットと、

それぞれの前記測定チャンネルの前記測定データの品質に関する目安のための出力部と、を有することを特徴とする装置。

【請求項 8】

前記未処理データを時間的に同期して記録するためのリングメモリが、設けられていて且つ前記エラー分離段によって問い合わせるために当該段の入力部に接続されていることを特徴とする請求項 7 に記載の装置。

【請求項 9】

前記未処理データ用の高周波信号解析装置が、前記エラー分離段を有するユニット内に設けられていることを特徴とする請求項 8 に記載の装置。

【請求項 10】

任意の測定チャンネルの前記測定データの品質に関する目安に対する自由に選択可能な 1 つの限界値が記憶されていること、及び

比較ロジックが設けられていて、この比較ロジックは、現在の前記目安を前記限界値と比較してこの限界値を下回ったことを信号化し、この信号が、表示装置を制御することを特徴とする請求項 7～9 のいずれか 1 項に記載の装置。

【請求項 11】

前記測定データの品質に関する目安の変遷に関する時系列のログ用の読み取り可能なメモリ領域が、設けられていることを特徴とする請求項 7～10 のいずれか 1 項に記載の装置。

【請求項 12】

前記エラー分離段の現在のステータス用の可視化部が、設けられていて且つ呼び出し可能であることを特徴とする請求項 7～11 のいずれか 1 項に記載の装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、少なくとも 1 つの測定チャンネルを有する測定システムの測定データを解析及び評価するための方法であって、複数の事前設定可能な判断基準のうちの少なくとも 1 つに従って、自由に選択可能な時点において、及び、自由に選択可能な時間にわたって、測定データを評価することを含む方法に関する。

【背景技術】

【0002】

試験工程における再現性、品質及びコストに関する現代の試験施設に対する要件は、近年、より複雑な課題が与えられることによって一層高まっている。

【0003】

開発時間の短縮の要求に、適用費用の不釣り合いな増大が対峙している。この目標の相

10

20

30

40

50

反は、自由度の絶えざる増大及び測定値の個数の増加に起因している。従って、将来、明らかに、より広範かつ複雑な試験タスクに一層短時間で対処しなければならない。

【0004】

このような状況の変化は、とりわけ、排ガス法の設定規準がますます厳しくなることによって引き起こされる。その結果、内燃機関の制御を行うための、現在のシーケンス制御技術及びフィードバック制御技術の機能数は、それに対応するセンサ及びアクチュエータと共に絶えず増大している。

【0005】

そこで、実装上の課題は、このような状況から生じる自由度を、所定の規制を考慮しながら最適に調整できるようにすることである。

10

【0006】

これらの要件に対して、エンジン製造業者及び駆動装置製造業者の試験施設では、高度な測定方式を普及させることで対処しており、特に統計的な実験計画法（D o E : Design of Experiment）を用いることによって、測定費用を最小限に抑えながら同時にまた最大限有効な実験結果を得ようとしている。

【0007】

技術上の専門的知識と数学的な方式とを組み合わせることによって、D o Eは、特殊な実験計画を介して必要な測定点の低減を実現し、同時にまた有効なモデル構築を行う。それに続く最適化に基づいて、E C Uに対するパラメータ、特性曲線、特性マップのデータ入力が行われる。その際、最適化の結果は、モデルの品質及び測定データの品質に依存する。

20

【0008】

実装者は、自らの専門知識を通じて利用すべきモデルを決定するので、これにより、後のモデル品質に大いに関与する。

【0009】

D o Eにおいて、モデル構築のために利用できる測定データはほんのわずかである。従って、これらのデータに対して、それなりの品質要件を課さなければならないと考えられる。このことがすぐに明らかになるのは、5つの測定値の代わりに3つの測定値から、同じモデル品質を有する2次多項式モデルを構築するような場合である。

【0010】

30

通例、モデル品質及び最適化結果は、誤った測定データに極めて敏感に影響されるので、モデル構築及び最適化の前に測定データを検査することが無条件に必要である。

【0011】

経済的な観点から、測定データ診断は、どのようなテストランにも有意義である。なぜなら、これによって、誤測定を防止すること、あるいは格段に低減することができるからである。誤測定の検出が遅れたり、できなかったりすることによって生じる試験設備での時間の損失は、10%から40%であると推定される。

【0012】

しかし、データ量が大きいので、測定データの客観的かつ自動的な評価が実際に有効であるのは、評価の際に必要なデータ全てに中央集散的にオンラインでアクセスできる場合のみである。

40

【0013】

もう1つの側面は、無人の試験設備運転にある。1つの一貫した診断ツールを用いることで、無人運転又は半無人運転においても、データ収集中に異常があった場合に適切な対応が可能となる。

【0014】

測定データ診断が中央集中化されるだけでなく、パラメータ化可能に構成される場合、あらゆる任意のテストラン及び試料に測定データ診断を利用することができる。

【0015】

エンジン試験設備の診断要件に匹敵する技術システムの診断のためには、別の解決策が

50

提案された。エンジン電子系統の自己診断（OBD）の他に、例えば、さまざまなモデルベースの特殊な試験設備関連の解決策が提示されており、それらの最適化能力が開示されている。

【0016】

OBDに対する要件と測定データ診断に対する要件とは、広い範囲にわたって非常に類似している。CARB（カリフォルニア大気資源局）の法的規定によって、カリフォルニアでは1988年から、車両内において所定のコンポーネントを監視することが法的に要求されることとなった。これらの規制の第1段階（OBD I）は、最初、ECUに接続されている全てのセンサ及びアクチュエータの電氣的な監視のみに関するものであった。故障表示灯MIL（Malfunction Indicator Light）を介して、運転者は、OBD監視され

10

【0017】

1994年からOBD IIが発効した。単一のコンポーネントを監視すること以外に、排ガス関連のシステム全体を監視することが求められることとなった。

【0018】

それ以降、標準化されたプラグ（GST＝汎用外部診断機）による正規化されたデータ転送が、車両内のエラーメモリを読み取るためのフラッシュコードに取って代わる。このインタフェースを介して、エラーコードの他にエラー時間に関する追加的なエンジン運転データが読み取られる。実装における時間コスト全体の約3分の1は、通例、OBDのマッチングに費やされる。OBD機能は、今日、検出、分離及び保存の他に能動的な反応も行われるように構成されている。これらの反応は、部分的にはやはり法律によって規定されている。典型的な例としては、例えば、フェイルセーフの運転モードへ切り替えることがある。工場における修理作業のための情報を収集するために、今日、法的要件を超えて、数多くのシステム監視が実施される。

20

【0019】

OBDの基本機能は、一方では入力信号及び出力信号を監視する機能と、他方では制御機器の通信を管理する機能及びECUの内部機器機能とからなる。入力信号の監視によって、一般的にECUへの接続線、センサへの供給電圧が検査され、可能な妥当性検査が実施される（非特許文献1に基づく表T2.1を参照）。出力信号の監視は、出力信号と終端段との間の電流回路解析によって、又はアクチュエータの機能において生じる特定のシステム作用によって行われる。このために、アクチュエータ監視の分野では、近年、多くのモデルベースのエラー検出法が開発された。

30

【0020】

ECU通信の監視は、今日、実質的にCANバスシステムの管理機構を介して行われる。内部の機能及び構成部材は、始動直後に検査され、その後、運転中には規則的な間隔において検査される。

【0021】

OBDの歴史は、車両診断の重要性が絶えず増してきたことを示している。従ってまた、OBDの基本要件は、適当な可視化とデータ管理とを具備する測定データ診断の模範として利用することもできる。しかし、OBDのエラー診断は、常に、特定のエンジンファミリーにしか適用されない。また、実装中に、エラーのないシステム動作は、モデル、特性曲線、特性値によって決定され、格納される。さらに、周知のシステム環境では、所定の電気回路の、又は適当な信号範囲の、表T2.1に示された検査を行うことができる。

40

【0022】

【表 1】

信号経路	監視
アクセルペダルセンサ	供給電圧及び信号範囲の検査
	冗長信号による妥当性
	ブレーキによる妥当性
クランクシャフト回転速度センサ	信号範囲の検査
	カムシャフト回転速度センサによる妥当性
	時間的变化の検査（動的妥当性）
エンジン温度センサ	信号範囲の検査
	回転速度及びエンジン負荷に応じた論理妥当性
速度信号	信号範囲の検査
	回転速度及びエンジン負荷に応じた論理妥当性
EGRバルブ	短絡及びラインの破断に関する検査
	排ガス再循環フィードバック制御
	バルブ制御に対するシステムの反応の検査
バッテリー電圧	信号範囲の検査
エアマス測定器	供給電圧及び信号範囲の検査
	論理妥当性
空気温度	信号範囲の検査
	論理妥当性

表 T 2. 1 入力信号の監視

【0023】

しかし、OBDとは異なり、エンジン試験設備での測定データ診断は、エミッション関連のコンポーネント又は所定のエンジンだけに限られているわけではない。OBDとは対照的に、測定データ診断は、さまざまなエンジン及び試験に柔軟に利用できねばならない。

【0024】

それに対して、非特許文献2では、内燃機関におけるエラー検出用の信号モデルベース及びプロセスモデルベースの方式を利用するための例が、幾つか選出されて説明されている。これらの方式も、（OBDと同じように）一義的に記述可能な技術システムに係している。

【0025】

信号モデルを利用する場合、一般的に、信号理論の基礎が利用される。例えば、非特許文献3では、回転速度信号から点火失敗を検出するためのFFT（高速フーリエ変換）ベースの方法が説明される。回転信号によって点火失敗を検出するための別の方法として、非特許文献4に、FFTとウェーブレット変換とを用いて、排ガス背圧センサによって点火失敗を検出するための方法が提示される。

【0026】

信号モデルベースのエラー検出とは対照的に、プロセスモデルベースのエラー検出の場合、数学的なプロセスモデルが実際のプロセスと比較される。これは、例えば、非特許文献5に説明されている。パラメータ推定法又は状態変数推定量を用いることが、例えば、非特許文献6に説明されている。

【0027】

モデルベースのアプローチの他に、また、例えば、神経ネットワークの形のブラックボックスモデルが次第によく用いられるようになっている。非特許文献7は、例えば、ディーゼルエンジンのシリンダ圧測定に基づいて、神経ネットワークを用いて噴射量及び噴射時点を圧力信号から再構成できる方法を説明している。非特許文献8及び非特許文献9では、神経ネットワークに基づいた仮想的な煤量センサの実現について説明されている。

【0028】

上述の諸例は、技術的に完全に説明されているシステムあるいは計測されたシステムに

対するエラー診断の利用について述べている。このようなシステムとは対照的に、試験設備における状況は、明らかに一層複雑である。時間上及びコスト上の理由から、このような試験設備を最大限利用することに関心が向けられている。従って、異なった試験タスク又は試験対象によって、しばしば限界条件が切り替えられる。従って、診断システムに対して、データベースのアプローチ又はモデルベースのアプローチは通例用いることができない。なぜなら、一般的に、システム識別のための余地がなくなってしまうからである。

【0029】

他方、現在の試験施設は、自動化のレベルが絶えず進んでおり、工程の流れには秀でた実績を有している。これに関して、図1は、エンジン開発におけるシステム工学の利用ということをテーマにした研究の成果を示している。この研究は、非特許文献10において行われたものである。これから明らかなことは、エンジン開発及びドライブレイン開発の広い範囲において、自動化プロセスの利用が増えていることである。その際、自動化の工程には、無人運転又は半無人運転が伴うことが多い。この事実だけからも、試験設備のための測定データ診断が求められていることが分かる。

【0030】

しかしまた、通常運転時においても、データ量が増し、テストランが複雑化しており、現況では、簡単なオンライン検証でも試験設備の人員によって容易に行うことができないほどである。さらに、試験設備の人員による測定データの検査は、エラー源として人間も含まれ、従って、最適な解決策だと考えることはできない。試験設備のオペレータによって開発されたシステム監視のための解決策は、一般的に非常に専門的であり、従って、専門家によってしか新しいタスクに転用できない。そのため、試験施設全体に利用することは困難である。

【0031】

また、D o Eワークフロー（図2）の例から、未処理データの妥当性検証が、通例、計測の後によく行われることが分かる。自動化システムの限界値監視又はD o Eソフトウェアによって捕捉されないエラーがテストランの間に発生した場合、テストランは、エラーを含んだこれらのデータを有したまま、最後まで実行される。1回のテストランにどうしても数日を要することがあるので、検出されなかったエラーによって、又はセンサの停止によってかなりの時間的な負担及びコストの負担が生じる。

【0032】

優れた測定設備、信号処理における高い品質又は安定した総合システムといった対策を講じることによって、確かに基本的なシステム安定性は改善されるが、しかし、最終的に、収集されたデータの現実の測定品質、信号の質、妥当性が分かるわけではない。

【0033】

しかし、現代の試験設備システムは、既に今日でも、選択された測定値のエラー検出及び限界値監視を行うための幾つかの機構を利用することができる（図3）。これらの機構は、測定値が所定の妥当性範囲の中にあるかどうかを検査する。監視は、一般的に試験設備、試料又は実験に関する限界値を通じて利用者によって当該時のタスクに適合される。

【0034】

D o Eテストランの際、例えば、いわゆる「ハードリミット」が、自動化システムの限界値監視によって監視される。「ハードリミット」によって、試料及び実験装置の動作信頼性が保証されており、限界値の侵害があった場合、一般的にシステムが遮断される（例えば、油圧限界値や回転速度限界値）。それに対して、「ソフトリミット」の監視は、D o Eテストランにおいて行われる。ソフトリミットは、実験室を決定するために、及び、実験ストラテジーを制御するために用いられる。

【0035】

しばしば、限界値監視は、基準値と実際値との比較に関しても用いられる。典型的な例としては、基準点と実際の測定データとの比較がある。このために、所定の基準点における適当な基準値が分かっている特別なデータ状況が用いられる。しかし、この方式では、一般的に、測定データの品質ではなく、エンジン特性が検査される。

【0036】

この方式の基本的な前提は、定常的な運転点において測定技術を用いてプロセス変数を収集すること、及び、それに対応する基準値が存在することである。同様に重要なことは、実際の状態をそれに対応するデータ基準に割り当てることである。限界値監視は、例えば式2.1によって行われる。

【0037】

【数1】

$$\text{基準値} - \text{許容差} \leq \text{実際値} \leq \text{基準値} + \text{許容差} \quad (\text{式} 2 \cdot 1)$$

【0038】

傾向管理（図3、右図）は、特別な種類の限界値監視である。傾向管理は、一般的に緩慢に変化する信号に対して用いられ、例えば、臨界的システム状態に達したことを時間的に同期して検出するために用いられる。試験設備では、この方式は、測定機器の長時間特性（例えば排ガス測定技術）を監視するために、又はエンジン基準点（例えばブローバイ）を解析するために個別に用いられる。

【0039】

限界値監視以外に、大抵の試験設備システムでは、簡単な定式の計算を行うこともできる。この計算から、試験設備のいわゆるオペランドが得られる。この機能は、例えば、燃料消費率又は他の典型的な特性値を計算するために用いられる。これらの変数は、プロセスの質を示す目安として利用され、システム全体の状態を示す重要な指標となる。通常の特

【0040】

また、式の計算によって、簡単な妥当性の検討を行うことができる。典型的な例としては、入レットシュナイダー及びそれに続く、（例えばECUによって）冗長的に求められた入との比較がある。しかし、一般的に、この種の計算は、特別に適合が行われた上での解決策である。

【0041】

試験施設のオペレータあるいはエンジニアに行ったアンケートから、既に、測定データを評価するための幾つかのアプローチが用いられていることが明らかになっている。しかし、このアンケートは、測定データを評価する際、測定データの品質よりもむしろ、エンジン（試料）の評価が重視されていることも明らかにしている。例えば、限界値監視又は基準点管理のための方式が、試料の評価のためだけに用いられることが多い。例外的な場合に、傾向分析又はラムダ比較が実施される。圧力及び温度の判断は、大抵の場合、試験設備の人員の目視によって行われる。さらに、このアンケートは、事前に設定された手順による定期的な妥当性検査は例外的であることを明らかにしている。この分野では、試験設備の人員及び実験エンジニアの能力と経験とに依存しているのである。

【0042】

従って、近年、内燃機関の技術分野では、自動化測定データ診断を実現するためのさまざまなアプローチが考案された。

【0043】

非特許文献11によると、エンジン試験設備用の診断は基本的に3つの機能上の柱に分けられる。その際、注意しなければならないことは、これは厳密に言うとエラー検出のみに関連しており、エラー診断に関してではない。診断とは、エラーの原因を挙げることを意味するからである。

【0044】

機器チェック（柱1）は、センサ診断というレベル（例えばケーブル切断検出）と特殊測定機器の自己診断というレベルとに分かれる。センサ診断（レベル1）は、自動化システムの直接測定可能な信号を用いて行われる。特殊測定機器の自己診断の場合、個々の機器のフィードバック情報が利用される。VDI/VDE 2650（フィールド計装における自己監視及び診断に関する要件）において、測定機器の自己診断及びそれに対応するス

10

20

30

40

50

テータス信号について説明されている。前提条件は、当然、試験設備システムとそれに接続された特殊測定機器との間に十分な通信が行われることである。

【0045】

信号の質という柱（レベル3）は、信号波形と信号特性（例えばノイズ）の統計解析とに関連する。

【0046】

第3の柱（レベル4及び5）は、測定値の妥当性に関連する。解析的及び経験的冗長性を構成することによって、現在の測定値が、ちょうど今設定されている、エンジンの運転点に適合しているかどうかを検査することができる。その際、解析的冗長性の構成は、物理的又は経験的な関連性を通じて行われ、その際、計算値が、直接、測定値と関連付けられる。それに対して、経験的冗長性は、基準点の観測に基づき、その際、現在の測定値は、所定の基準と比較される。

10

【0047】

非特許文献12では、エンジン試験設備における最多エラーの解析が実施され、例えば特許文献1及び特許文献2における測定データ診断に関する一貫したコンセプトが初めて提示された。しかし、このコンセプトは、実質的にはエラー検出の第3の柱（妥当性）にのみ関連しており、信号品質及び機器チェックが等閑視されている。

【0048】

非特許文献12のアプローチでは、全ての必要な測定変数が利用でき、適当なパラメータ化によってシステムにもパラメータとして正しく認識され、割り当てることができることが想定されている。

20

【0049】

エラー検出の他に、エラーを有するチャンネルを識別するためのアルゴリズムも組み入れられ、このアルゴリズムは、実際のエラー原因を診断する際に有効な支援となった。しかし、このアプローチは、拡張が困難であり、比較的複雑で、演算集約型である。さらに、エラー重大度が考慮されない。従って、別個の極値についても、当該の1つの表示が行われるだけである。

【0050】

次に指摘できることは、非特許文献12のアプローチは、化学的及び物理的な関連性に基づいて基本的関連性を解析するには十分に適しているという点である。しかし短所として、開発されたソフトウェアは、特別なインタフェースとの関連でしか利用することができず、また、信号品質の評価が行われないという点がある。

30

【0051】

EU研究プロジェクトAMPA（Automatic Measurement Plausibility and Quality Assurance）において、とりわけ物理学ベースのエラー検出の分野が扱われた。このプロジェクトの目的は、エラー診断の既存の方式を新たに発展させること、及び最適化することであった。特に、応用指向の検査ルールとモデルとを導入し、プロトタイプにおいて汎用的な試験方式と組み合わせることを目的とする。次に、日常検査を試験施設で行うことで、「有効なエンジン試験時間の短縮及び試験コストの削減」並びに「データ品質の改善と検証可能性」という目標が満たされているという証明を付与することが目的である。このために、エラー診断はプロセスとみなされ、このプロセスにおいて、各測定点について複数の測定チャンネルを考慮しながら、モデル値計算、エラー検出及びエラー結果補正という各サブステップが実施された。自動学習型のモデルによる試験を行うために、自動モデル構築とモデル適合とが加えられた。目的は、人の専門知識と自動習得された経験値との間の最大限の相乗効果を可能にするストラテジーを開発することであった。この観点に基づいて、物理学的な構成可能なモデルが、パラメータ推定量又はブラックボックスモデルと全く同じように用いられた。モデリングのためにさまざまな統計的アプローチ及びファジィ論理アプローチが分析され、実装された。それに対して、ブラックボックスモデルは、エラーのないシステム動作を得るための特性マップベースモデルを作ろうとするものである。

40

50

【0052】

上述のアプローチは、エラー検出を、物理的にパラメータ化可能な専門的モジュールと自動的にトレーニングされた神経ネットワークモデルとに結び付けることで、パラメータ化のコストを追加することなく、多くの測定チャンネルを診断に含められるようにすることを目指している。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0053】

【特許文献1】 独国特許出願公開102006048730号明細書

【特許文献2】 独国特許出願公開102005052921号明細書

10

【非特許文献】

【0054】

【非特許文献1】 “Abgastechnik fuer Ottomotoren, Bosch Technische Unterrichtung”, Gelbe Reihe, 2002

【非特許文献2】 “Modellbasierte Fehlererkennung und Diagnose der Einspritzung und Verbrennung von Dieselmotoren”, Frank Kimmich, Dissertation 2003, Technische Universitaet Darmstadt

【非特許文献3】 “Erkennung von Zuendaussetzern und Drehzahlsignalen mit Hilfe eines Frequenzbereichsverfahrens”, von Fuehrer et al., Tagung Elektronik im Kraftfahrzeug, Haus der Technik, Essen

20

【非特許文献4】 “Verbrennungsdiagnose von Ottomotoren mittels Abgasdruck und Zonenstrom”, von M. Willimowski, Shaker Verlag, Aachen

【非特許文献5】 “Detection of instrument malfunctions in control systems”, von R. N. Clark, D.C. Fosth und V.M. Walton, IEEE Transactions on Automatic Control, 1984

【非特許文献6】 “Modellgestuetzte Fehlererkennung und Diagnose am Beispiel eines Kraftfahrzeugaktors”, von T. Pfeufer, Fortschrittberichte VDI, Reihe 8, Nr. 749, VDI-Verlag., 1999

【非特許文献7】 “Modellgestuetzte Fehlererkennung mit Neuronalen Netzen-Ueberwachung von Radaufhaengungen und Diesel-Einspritzanlagen”, von S. Leonhardt, Forschungsberichte, VDI-Reihe 12, Nr. 295, VDI-Verlag Duesseldorf, 1996

30

【非特許文献8】 “Entwicklung und Verifizierung eines neuronalen Netzwerkmodells zur Beschreibung des Verhaltens von PKW-Partikelfiltersystemen in Bezug auf Beladung und Regeneration” von Sven Fritz, Diplomarbeit 2002, Technische Universitaet Darmstadt

【非特許文献9】 “Entwicklung und Applikation eines virtuellen Sensors zur Bestimmung der Beladung von Partikelfiltern” von Christian Landgraf, Dissertation 2005, Technische Universitaet Darmstadt

【非特許文献10】 “Motorsimulation in Echtzeit”, von Timo Combe, Dissertation 2006, technische Universitaet Darmstadt

40

【非特許文献11】 “Visionen zu einem Motorenpruefstand uefuer das 21. Jahrhundert”, von G. Hohenberg, Haus der Technik, Tagung, Essen, 1999

【非特許文献12】 “Konzept und Umsetzung einer Messdatendiagnose an Motorenpruefstaeenden” von Andreas Flohr, Dissertation 2005, Technische Universitaet Darmstadt

【非特許文献13】 “Modellbasierte Methoden fuer die Validierungsphase im Produktentwicklungsprozess mechatronischer Systeme am Beispiel der Antriebsstrangentwicklung”, von Christian Schyr, Dissertation 2006, Universitaet Karlsruhe

【非特許文献14】 “Statistical Methods for Quality Improvement”, von Thomas P. Ryan, Second Edition, Wiley & Son Inc; 2000, ISBN 0-471-19775-0

50

【非特許文献 1 5】“Neue Entwicklungen der statistischen Prozesskontrolle bei korrelierten Daten” von Schone, Dissertation 1997, Universität Ulm

【非特許文献 1 6】“The effect of serial correlation on the performance of CUSUM tests”, von R. Johnson und M. Bagshaw, Technometrics

【非特許文献 1 7】“The use of stochastic models in the interpretation of historical data from sewage treatment plants”, von P. Berthouex, W. Hunter, L. Pallesen und C. Shih, Water Research 10, 1976

【非特許文献 1 8】“Modification of control chart limits in the presence of data correlation”, von A. Vasilopoulos und A. Stamboulis, Journal of Quality Technology, 1978

10

【非特許文献 1 9】“Monitoring sewage treatment plants: Some quality aspects” von P. Berthouex, W. Hunter, L. Pallesen, Journal of Quality Technology 10(4), 1978

【非特許文献 2 0】“Time series modelling for statistical process control” von L. Alwan und H. Roberts, Journal of Business and Economic Statistics 6, 1988

【非特許文献 2 1】“A multivariate and stochastic framework for statistical process control”, von N. F. Hubele bzw. J. B. Keats und N. F. Hubele (Herausgeber), Statistical Process Control in Automated Manufacturing, Marcel Dekker, Inc., New York, NY, 1998

【非特許文献 2 2】“Statistical process control procedures for correlated observations” von T. Harris und W. Ross, Canadian Journal of Chemical Engineering, 1991

20

【非特許文献 2 3】“Introduction to Statistical Quality Control” von D. Montgomery, John Wiley & Sons, New York, NY, 1991

【非特許文献 2 4】“Some statistical process control methods for autocorrelated data”, von D. Montgomery und C. Mastrangelo, Journal of Quality Technology, 1991

【非特許文献 2 5】“Autocorrelated data and SPC” von W. Woodall und F. Faltin, ASQC Statistical Division Newsletter, 1994

【非特許文献 2 6】NIST/SEMATECH, e-Handbook of Statistical Methods

30

【非特許文献 2 7】Richtlinie 91/441/EWG des Rates vom 26. Juni 1991 L242 1 30.8. 1991

【非特許文献 2 8】“Simulation neuronaler Netze”, von A. Zell, Addison Wesley, Longmann Verlag, 1994

【非特許文献 2 9】“Entwicklung und Verifizierung eines dynamischen Beobachtersystems fuer Motorenpruefstaeude”, von E. Maronova, Bachelorarbeit, Darmstadt 2006

【非特許文献 3 0】“Adaptiv-Resonanz-Theorie und Entwicklung eines dynamischen Beobachtersystem zur Motor-Diagnose” von Toma Donchev, Bachelorarbeit, Darmstadt 2007

40

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0055】

従って、本発明の課題は、現代の試験施設に対する高まった要件を満たすこと、及び、エンジン試験設備用の中央集中的な、かつ、一般的に利用可能な測定データ診断を開発することである。従ってまた、本発明の目的は、わずかな費用によって任意の多くの測定チャンネルを同時に監視できる診断システムを開発することである。

【0056】

確實かつ早期のエラー検出の他に、システムは、異なった試験設備、試料又は試験タスクに対して素早く適合させることが可能でなければならない。

50

【0057】

その際、測定値を診断結果と結び付けることは、早期のエラー検出やエラーを有する測定チャンネルの決定と全く同じように重要である。

【0058】

このような観点のもと、中央集中化の課題は、既知ではあるものの試験設備システムにおいて分散されている情報、例えばエンジンタイプ、燃料の種類又は運転モードなどの情報を自動的にまとめ、診断に組み入れることである。

【0059】

試験施設において広く利用するために、技術上の機能性の他に、利用者に受け入れられるということが非常に重要である。すなわち、診断ツールを実現する際、各利用者固有の観点、例えば簡単な操作性や優れた結果表示などといった側面を考慮しなければならない。

10

【0060】

従って、本発明の目的は、コンセプト開発、パラメータ化並びにデータマネージメント及び結果管理という4つのサブ領域に分けられる。

【0061】

コンセプト段階では、中央の診断システムを試験設備システムへどのように統合することができるのか、という点が分析される。次に、選択されたアプローチについて、システムリソース、データアクセス及びシステムセキュリティの点で生じ得る問題点の解析を行わなければならない。

20

【0062】

方式上の観点から、本発明の最も重要な課題は、信号品質と機器チェックとを評価するための方式を開発することである。

【0063】

エラー検出の方式について、必要であれば、適当な承認条件を作成する必要がある。承認条件の検出と制御も、方式開発に含まれている。

【0064】

特に重要であるのは、新しい方式を支障なく既存の診断システムへ組み込めるように、エラー検出を構成することである。同じことが、エラー検出の評価についても当てはまる。エラー検出を評価するための判定ロジックは、確実かつ容易に理解可能な診断説明につながり、エラー原因を特定する際に有用なものでなければならない。

30

【0065】

パラメータ化及びデータマネージメントは、診断システムの取り扱い及び柔軟な利用にとって重要である。時間及び受け入れの点から、パラメータ化コストは、できる限り低く抑えなければならない。

【0066】

監視すべき測定チャンネルの選択の他に、実施可能な方式の自動選択も、利用者による各方式の手動停止と全く同様に重要である。

【0067】

診断データを管理するために、適当なデータマネージメントを設計する必要がある。診断結果の可視化も、データマネージメントに含まれている。結果表示の際、注意すべきことは、利用者が情報を正確に得ることによって、エラー及びそのエラー原因を正しく理解できることである。

40

【0068】

起動の際に注意すべきことは、診断結果を測定データ及び限界条件と共に格納することである。利用者の介入、例えば各エラー検出法の停止といったことも、同様に文書化しなければならない。これにより、測定データを後に評価する際にも、常時、データ品質に関する情報もまた付随することが保証される。

【0069】

上記のサブ課題に対処することによって、試験設備システムの客観的かつ自動的な総合

50

判断が行われる。試験設備の可用性の向上は、試験設備人員の適切な対応によって実現される。代わりに診断システムが自動介入することは、明らかに望ましくない。

【0070】

上記課題に対処することによって、測定データ及び試験設備システムについて、計画立てられた、特定目的用の品質評価が行われる。

【課題を解決するための手段】

【0071】

この課題は、複数の測定チャンネルを有する測定システムの複数の測定データを解析及び評価するための方法であって、当該方法は、事前設定可能な複数の判断基準のうちの少なくとも1つの判断基準に従って、自由に選択可能な時点に対して且つ自由に選択可能な期間にわたって、前記測定データを評価することを含む当該方法において、エラー分離段が、前記複数の測定データのエラー検出の全ての個別結果を、関与した測定チャンネルと関連付けて加算し、当該合計から試験変数を算出し、エラー分類段が、前記試験変数を所定の限界値と比較し、それぞれの前記測定チャンネルの前記測定データの品質に関する目安を求めることによって解決される。

10

さらに、この課題は、測定システムの複数の測定データを解析及び評価するための装置であって、当該装置は、事前設定可能な複数の判断基準に従って、任意の各時点に対して、試験設備の複数の測定チャンネルの前記測定データを評価するためのユニットを有する当該装置において、前記測定チャンネルの未処理データ用の入力部と、前記複数の測定データのエラー検出の全ての個別結果を、関与した測定チャンネルと関連付けて加算し、当該合計から試験変数を算出するエラー分離段と、前記試験変数を所定の限界値と比較するエラー分類段とが実装されているユニットと、それぞれの前記測定チャンネルの前記測定データの品質に関する目安のための出力部と、を有することによって解決される。

20

【0072】

1つの有利な実施形態では、エラー分離段における未処理データをまずエラー検出段に供給することが想定されている。

【0073】

別の実施形態では、データを、エラー分離段での処理の後、エラー分類段の中にあるエラー識別段に供給することが想定されている。

【0074】

有利には、未処理データは時間的に同期して記録され、必要に応じてエラー分離段あるいは該分離段のエラー検出段に供給される。

30

【0075】

その際、有利には、さらに、エラー分離段あるいは該分離段のエラー検出段に、未処理データの高周波信号解析を実施させることも可能である。

【0076】

本発明の別の有利な態様では、本方法は、任意の測定チャンネルの測定データの質に関する現在の目安を、事前設定可能な限界値と比較し、限界値を下回ったことを表示することを特徴とする。

【0077】

いずれの場合も、測定データの質に関する目安の変遷について時系列のログを生成し、表示させることも可能である。

40

【0078】

本発明の1つの好ましい実施形態では、エラー分離段の現在のステータスを読み取り、表示することが想定されている。

【0079】

有利には、静止エラー検出、巡回オンラインエラー検出（ZOF）及び測定同期エラー検出（MSF）という各運転モードが備えられている。

【0080】

その際、特に有利な変化形態では、これらの運転モード、特に巡回オンラインエラー検

50

出（ZDF）と測定同期エラー検出（MSF）とを別個に又は並列に備えておけることが想定されている。

【0081】

測定システムの測定データを解析及び評価するための本装置は、複数の事前設定可能な判断基準に従って各任意の時点において試験設備の少なくとも1つの測定チャンネルの測定データを評価するためのユニットを含んでおり、上述の課題を解決するために、測定チャンネルの未処理データ用の入力部と、エラー分離段及び次にエラー分類段が実装されているユニットと、それぞれのチャンネルの測定データの質に関する目安のための出力部とを有することを特徴とする。

【0082】

有利には、1つの実施形態は、未処理データ用の入力部を有するエラー検出段が、エラー分離段に実装されていることを特徴とする。

【0083】

本発明の別の有利な実施形態では、エラー検出段の出力部が、エラー分類段の中に実装されているエラー検出段の入力部に接続されていることを特徴とする。

【0084】

さらに、未処理データを時間的に同期して記録するためのリングメモリを設け、該リングメモリをエラー分離段の入力部に、あるいは、該分離段のエラー検出段に接続しておくことによって、これらの段による問い合わせを可能にすることもできる。

【0085】

いずれの場合も、エラー分離段あるいは該分離段のエラー検出段を有するユニット内に、未処理データ用の高周波信号解析装置を設けておくことも可能である。

【0086】

本発明の別の実施形態は、任意の測定チャンネルの測定データの質に対する目安として自由に選択可能な限界値が格納されていること、及び、現在の目安を限界値と比較し、限界値を下回ったことを信号化する比較ロジックが備えられており、その際、この信号が好ましくは表示装置を制御することを特徴とする。

【0087】

本発明の別の変化形態では、測定データの質に関する目安の変遷について時系列のログを保存するための読み取り可能なメモリ領域を設けておくことができる。

【0088】

最後に、エラー分離段の現在のステータスの可視化が行え、呼び出し可能であるように構成することもできる。

【0089】

統計的及び物理的な方法を用いることで、エンジン試験設備において測定品質を評価及び文書化するための信号ベースの測定データ診断を開発することに成功した。この方式は、信号品質、妥当性及び機器チェックという部分で構成され、仮想的な機器として試験設備システム Puma Open に実装することができた。その際、信号解析及び機器検査並びに非定常のエラー検出用のアプローチという各分野における方式開発が、作業の肝要な点であった。なぜなら、これらの分野では有用なアプローチが存在しなかったからである。

【0090】

信号品質を評価するために考案された本方法は、統計的な仮説検証を信号対雑音比の解析と組み合わせることによって生まれた。統計的方法は、独立の、かつ正規分布の無作為標本を前提とするので、これらの限界条件を相関分析並びに状況試験及び適合試験によって検査することが必要であった。続いて、信号品質の評価自体は、信号対雑音比、品質管理図によって行われる。最後に、部分的結果の全てが、このために特別に開発されたロジックによって信号品質という総合結果にまとめあげられる。

【0091】

さらに、本発明において、初めて、神経ネットワーク（ARTMAP）に基づいて非定

10

20

30

40

50

常的エラー検出を行うための観察システムを提供し、プロトタイプにおいて実施することができた。これの試行は、模擬的なNEDC排ガステストサイクルによってオフラインで実施された。その際、この観察システムは、新しいデータサンプルを1回提示しただけでこのデータサンプルを学習することができた。類似したサンプルを新たに提示した際、適切な分類が行われ、予想される目標変数の予測において良好な結果を示した。

【0092】

エラー検出の自動総合評価を行うために、エラー検出の結果を、観察された測定信号と結び付けることができる新しい数学ベースの方式が開発された。このために、ある方式がエラーを有する測定チャネルをどの程度良好に識別できるかを決定する特性変数（方式分離強度）を定義しなければならない。推計学と方式分離強度とを組み合わせることによって、エラー分離の結果を導き出す。次に、エラー識別とエラー分類とを組み合わせることによって、デバウンスングアルゴリズムを介して、エラー重大度が一義的に記述された。

10

【0093】

評価ロジックの開発及びエラーデバウンスングの導入によって、分かりやすいエラー表示と文書化とが行われた。これとの関連で特に重要であるのは、検査された測定データのために導入された品質シールである。このシールは、検査された全ての測定データに付される。従って、確実に冗長的なデータ利用が可能となる。さらに、データが検査された手法が、明確かつ再現可能に文書化される。

【0094】

以下において、添付の図面を参照しながら、本発明について詳述する。

20

【図面の簡単な説明】

【0095】

【図1】今日の実装時における自動化レベルの図である。

【図2】実験計画において現在通常用いられている処理手順を模式的に示す。

【図3】通常の限界値管理を模式的に示す。

【図4】本発明に係るデータ診断の流れを示す模式図である。

【図5】本発明に係るデータ診断の主要コンポーネントの模式図である。

【図6】試験設備システムへの測定データ診断の組み込みのコンセプトを示す。

【図7】実際の試験設備システムにおけるオペレーション階層の機能を示す。

【図8】操作階層の機能を示す。

30

【図9】フレームワークにおける試験設備診断の実装に関する図である。

【図10】試験設備診断の論理基本構造を示す。

【図11】アナログ信号及びデジタル信号の典型的な収集レートを示す。

【図12】ターボディーゼルエンジンのテストランにおける典型的な測定点を示す。

【図13】巡回及び測定同期エラー検出用のキャッシュメモリの模式図である。

【図14】結果マネージャを示す。

【図15】可視化のためのピラミッド構造を示す。

【図16】本発明に係るデータ診断の全体的な流れを示す模式図である。

【図17】ロールメモリの図である。

【図18】回転速度例に関する未処理データの処理例を示す図である。

40

【図19】アンチフリーズ方式によるエラー検出の例を示す。

【図20】データ転送の機能不良時における検出の例を示す。

【図21】ある試料での負荷急変時における排ガス温度に関するPT1回帰の結果を含む図である。

【図22】前図と同じ方式であるが、データ量が異なる場合の結果を示す。

【図23】信号品質を評価するためのさまざまな経路を示す模式図である。

【図24】実際の信号対雑音比を得るための、ある試料における定常ステップ測定に関する図である。

【図25】低周波信号解析に関するリアルタイムデータからのデータベースの形成を示す

50

- 【図 2 6】 信号品質を求めるためのロジックを模式的に示す。
- 【図 2 7】 回転速度測定例における平均値品質管理図のグラフである。
- 【図 2 8】 図 2 7 の例に関するデータベースの分布関数を示す。
- 【図 2 9】 ノッキング検出例における中央値比較によるエラー検出に関する図である。
- 【図 3 0】 中央値の算定による運転点変更検出を示す図である。
- 【図 3 1】 ある試料における定常ステップ測定 of グラフである。
- 【図 3 2】 定常ステップ測定中における線形回帰による勾配の算定を示すグラフである。
- 【図 3 3】 図 3 2 の一部分を拡大して示した図である。
- 【図 3 4】 妥当性決定のための温度ツールボックスの構造を模式的に示す。
- 【図 3 5】 ある特定の試料に関する測定点計画を示す図である。 10
- 【図 3 6】 動的運転特性におけるエラー検出の問題点を示すグラフである。
- 【図 3 7】 図 3 4 と類似した図であり、妥当性決定のための圧力ツールボックスの構造を示す。
- 【図 3 8】 C 収支ツールボックス又は排ガスツールボックスを模式的に示す。
- 【図 3 9】 湿度補正の作用に関するグラフである。
- 【図 4 0】 C 収支に対するさまざまなエラーの作用を求めるためのグラフである。
- 【図 4 1】 O₂ 収支ツールボックスを模式的に示す。
- 【図 4 2】 図 4 0 と同じように、O₂ 収支に対するさまざまなエラーの作用を求めるためのグラフである。
- 【図 4 3】 ラムダツールボックスを模式的に示す。 20
- 【図 4 4】 ラムダ決定時におけるさまざまなエラーの作用を求めるためのグラフである。
- 【図 4 5】 試料の冷却曲線を含むグラフである。
- 【図 4 6】 試料の静止時における中央値比較による値の比較を示す。
- 【図 4 7】 排ガス温度の例における時間特性の補償を示すグラフである。
- 【図 4 8】 図 4 7 に関して、個々の局所的な線形モデルの特性値を示す。
- 【図 4 9】 A R T 2 ネットワークの一断面を示す。
- 【図 5 0】 A R T M A P ネットワークの模式図である。
- 【図 5 1】 A R T M A P ネットワークの試行時における N O X 測定データの分散範囲を示す。
- 【図 5 2】 A R T M A P からの基準測定に対する、任意に選出された N E D C サイクルの結果を示す。 30
- 【図 5 3】 本発明に係るエラー分離及びエラー分類の基本コンセプトを示す。
- 【図 5 4】 エラー分離及びエラー分類のための本発明に係るロジック層の基本構造を示す。
- 【図 5 5】 定常ステップ測定によるエラー分離及びエラー分類の例を示す。
- 【図 5 6】 内部データマネージメントの構造及び機能を模式的に示す。
- 【図 5 7】 事象可視化の階層の模式図である。
- 【図 5 8】 図 5 8 a から 5 8 c は、測定データ診断のさまざまなステータスに対する有効な記号を示す。
- 【図 5 9】 診断履歴の表示例である。 40
- 【図 6 0】 図 6 0 a 及び 6 0 b は、結果可視化の第 3 階層に相当するエラー検出の範囲及びステータスに関する図例を示す。
- 【図 6 1】 品質シールによる測定データのマーキング例を示す。
- 【発明を実施するための形態】
- 【0 0 9 6】
- 障害、機能不良又はエラーの早期の検出は、技術上のプロセスの信頼性及びセキュリティにとって主要事項であり、従ってまた、エンジン試験設備でのエラー診断を行う動機付けともなっている。
- 【0 0 9 7】
- 従来技術から、中央集中型測定データ診断の開発について次のような結論を導き出すこ 50

とができる。

【0098】

試験設備システムと外部診断ツールとの間のデータ交換は、今日の従来技術では限られている。なぜなら、利用可能なインタフェースが、とりわけ動作周波数を最大1Hz以下に制限し、通例、試験設備システムの情報に対して限られたアクセスしか許容せず（例えば測定チャネルリスト、運転モード、試料説明など）、従って、測定データ診断に必要な情報全てを提供できるわけではなく、双方向通信を許容せず、所定の運転モードでしか応答しないからである。

【0099】

外部診断ツールは、パーソナルコンピュータ又はノートブックという形の追加的な資源を必要とし、従って、試験設備における複雑さが増大する。

10

【0100】

モデルベースのアプローチは、全般的な試験設備利用には不向きである。なぜなら、試験設備システム全体の数学的なモデル記述は高コストである上に複雑であり、及び／又は、試料又は試験設備構造が、適切なシステム識別を保証するほど十分に長く維持されないからである。

【0101】

測定データ診断の分野についての研究は、わずかな費用で多数の測定変数を自動的に解析できる診断ツールが必要であることを示している。

【0102】

20

上述のアプローチの解析から、問題の解決にあたって、測定データ診断と試験設備システムとの間の協働が必要であると推測される。

【0103】

上述のような考え方と統計的実験計画の利用の絶えざる増加とが、エラー検出をD o EソフトウェアA V L - C a m e o に実装したアプローチが求められる契機であった。このアプローチが選択されたのは、最も普及している試験設備システムとのデータ交換のために必要なインタフェースが、既にC a m e o では利用できたからである。さらに、このソフトウェア内の特別なインタフェースを介して、独自のアルゴリズムを実装することも可能である。

【0104】

30

コンセプト上、このアプローチは、信号ベースの静止エラー検出とオンラインエラー検出とからなっていた。プロジェクト段階では、標準パラメータ以外の入力の利用者によって行われないことが必要であった。

【0105】

静止エラー検出によって、低温の静止したエンジンでのC A M E O テストランに対する待機状態が確認される。このために、簡単な統計的方式、例えば中央値比較や信頼区間が用いられる。

【0106】

静止診断が成功した後、D o E テストラン自体に対する試験設備の承認が行われる。オンラインエラー検出は、テストランによって自動的に開始される。選択された測定変数に従って、計測中の異常がオンライン表示される。

40

【0107】

このアプローチによって、信号ベースの物理的エラー検出の簡単なアルゴリズムをオンラインで利用できた。しかし、実施してみると、上述のこのアプローチは、最適とは呼べないことが明らかとなった。その理由は、用いられたインタフェースが、本来、特定利用者向き実験ストラテジーを統合するためのものであったからである。この事情によって、新たなテストラン毎に実験ストラテジーとエラー検出方式とを結び付ける作業が必要となる。その際、実装のために、特殊なソフトウェア知識が必要である。さらに、C a m e o は、自らデータ収集を行うことができず、従って、試験設備システムのデータにアクセスしなければならない。しかし、このアクセスは、設定された測定モード（平均値測定又は

50

実際値測定)によってのみ行われる。C a m e o 測定の場合は、通例、このモードは平均値測定である。さらに、C a m e o は、試験設備システムにおいて、いわゆる定常ステップ測定(平均値測定)を開始し、最後にステップ測定の平均値を測定値として返してもらう。従って、測定1回当たりの測定データ診断には、ただ1つの測定値しか利用できない。平均値を形成するために用いられるデータ素材にはアクセスすることができない。従って、信号品質を評価するための領域全体が、完全に排除されてしまい、多くの情報が、利用されないまま「廃棄」される。さらに、必要とされる、エラー検出のパラメータ化は、明らかに複雑になった。

【0108】

上記の短所から結論付けられることは、C a m e o 式アプローチは、全般的な試験設備利用には不向きであるということである。肯定的に評価すべき点は、このアプローチによって、オンラインエラー検出が基本的に実行可能であることが示され、構造、パラメータ化、承認条件及び結果表示に関する重要な知見が得られたことである。

10

【0109】

C a m e o 式アプローチの経験値は、オンライン測定データ診断のための新しいアプローチに生かされた。今回、このアプローチは、…との結び付きに基づいている。

【0110】

本書において測定データ診断というとき、それは、エンジン試験設備におけるデータ収集の際に偏差、障害、エラー又は機能不良を検出及び特定するための信号ベースの方法を常に意味するものとする。このためには、計画された特定目的向けの手順が必要であり、この手順は、以下において診断ワークフローと呼ぶ。本発明に係るデータ診断用のスキーマとしての診断ワークフローは、図4から明らかなように、エラー検出、エラー分離、エラー識別及びエラー分類という各ステップからなる。

20

【0111】

診断ワークフローは、試験設備システム P u m a O p e n の統合要素として実施される。その際、アーキテクチャへの必要な介入は、パラメータ化から結果文書化までの一貫したコンセプトを必要とする。

【0112】

総合診断コンセプトに関してこれが意味することは、まず、全ての主要コンポーネントとそれらの相互作用とを定義しなければならないということである。その際、測定データ診断に含まれるのは、例えば、パラメータ化、静止エラー検出、オンラインエラー検出という各コンポーネントであり、これらは、A V L 社の測定同期式試験設備システム P u m a 5 . 5 の各バリエーションを有する。その際、エラー検出方式は、独自のプログラムで実施される。

30

【0113】

このプログラムは、試験設備システムの始動時に自動的に起動され、試験設備システムの対応するサービスに接続される。このために、P u m a は、特別なインタフェース(C A P I)を提供する。このインタフェースを介して、測定データの他に、初めて、試験設備システムからの情報も、最大動作周波数 $f_{A r b e i t} = 1 \text{ Hz}$ で問い合わせ、解析することができる。また、このインタフェースが自動化システムへ情報を伝送できることによって、初めて、診断システムと試験設備システムとの間の双方向通信が可能となった。これにより、診断結果は、例えば、直接、試験設備システムのユーザウインドウに表示することができる。これの利点は、利用者に対して、自らの慣れ親しんだシステム環境で診断情報が表示されるという点である。

40

【0114】

物理的及び論理的アプローチ以外に、初めて、信号品質の評価と簡単な機器チェックとが、エラー検出の固定要素として導入することができた。これの核となったのは、標準偏差と平均値とに関する品質管理図(Q R K)であった。

【0115】

要するに、確かなことは、P u m a 式アプローチによって、オンラインエラー検出のた

50

めの有効なコンセプトが実現できるということである。さらに言及しておくべきことは、このアプローチによって、初めて、測定データ診断を試験施設に広く普及させることが可能となったということである。

【0116】

Puma式アプローチはCameo式アプローチよりも明らかに優れた結果をもたらしたけれども、この場合もインタフェースの性能を短所として挙げなければならない。最大動作周波数 f_{Arbeit} が1Hzであること以外にも、この解決手段の場合、非常に限られた命令範囲しか利用できないという点がある。従って、フィルタリング以前又は高周波信号解析以前の未処理データの妥当性が考慮されない。

【0117】

従って、普及している試験設備システムのいずれもが、測定データ診断システムの要求を満たす、標準化されたインタフェースを提供することができなかった。しかし、この要求を満たすことは、測定データ診断を成功裏に実現するためには不可避である。この測定データ診断は、閉じられたプログラムとして試験設備のパーソナルコンピュータ上又は追加的なコンピュータ上で運用することができる。独自の診断コンピュータを利用する利点は、試験設備のコンピュータに余分なシステム負荷が生じないこと、及び、診断ツールを異なった試験設備に柔軟に利用できることである。

【0118】

外部の解決手段のために、試験設備のコンピュータと診断コンピュータとの間の確実なデータ転送が保証されねばならない。その際、短所として、普及している試験設備システムに対する標準的なインタフェースが存在しない（例えばUSB）という点、及び、コンピュータの追加によって財務コストが嵩むという点がある。

【0119】

測定データ診断を試験設備のコンピュータで行う場合、十分に注意すべきことは、生じたシステム負荷が試験設備の運転を損なわないようにすることである。しかし、試験設備システムへの測定データ診断の統合は、試験設備システムの全ての内部情報にアクセスできるという利点を有する。

【0120】

外的及び内的なアプローチによって、試験設備システムのフレームワーク（ソフトウェアのフレーム構造）に対する新たな要件が生じる。これらの要件は、新しい機能及びインタフェースによって実現しなければならない。それには、試験設備システムのシステム構造に対する基本的な介入が必要であるが、これは、適当な製造業者の支援によってしか実現できない。

【0121】

これらの考え方は、外部インタフェースと内部の解決手段との両者に対するシステム製造業者の支援があって実現できる。

【0122】

しかし、外部インタフェースのために、内部データフローの大部分を外部へ伝えなければならない。このために必要な透明性は、ほとんどの製造業者にとって、企業間競争という点から好ましいものではない。この透明性は、内部の解決手段の場合には不必要である。

【0123】

次に、まず、中央集中型測定データ診断の基本コンセプトが、Puma Openベースで提示され、文書化される。アーキテクチャにおける後からの変更を避けるために、測定データ診断に対する全ての既知の要件を入念に表現することがどうしても必要である。特に注意しなければならないのは、診断範囲、診断深度及び結果編集に関する問い合わせに対する応答である。それに続いて、実行可能性の評価が行われ、このために必要な、システムアーキテクチャの解析が行われる。

【0124】

次に、最新の従来技術によって知られている要件について論じる。これらの要件は、特

10

20

30

40

50

に、検出精度、頑健性及び診断深度、測定データ診断の動作周波数、本発明に係るコンセプトに従った監視範囲、エラー検出の運転モード、測定チャンネルと計算アルゴリズムとの間における割り当て、測定データ診断のパラメータ化に対する要件、可視化コンセプト、結果管理に関するコンセプト、限界条件及び承認条件、並びにデータフローに関する要件、さらにまた、エラー検出あるいは巡回エラー検出、内部データマネジメント、エラー診断の評価に関する要件であり、それらには、重大度の表明を伴うエラー分離及びエラー識別、診断結果の可視化及び／又は文書化、並びに測定データと診断データとの結合が含まれる。

【0125】

エンジン試験設備での測定データ診断という分野におけるこれまでの研究とは対照的に、本発明では、エラー検出方式の最大化の優先度は二次的である。ここでは、エラー検出は、エラー分離又はエラー識別と全く同様に、診断ワークフローの部分的な機能を担っているに過ぎず、測定データ品質の確保と文書化とに貢献するだけである。

【0126】

これとの関連において、主要コンポーネントという概念は、任意の数のサブ機能を利用できる閉じられた機能ユニットを意味する。

【0127】

統合された測定データ診断の基本コンセプトは、主要コンポーネントの2つのグループからなる。第1のグループは、エラー検出、エラー分離、エラー識別及びエラー分類という主要コンポーネントからなり、診断フロー自体を指す。その際、エラー識別とエラー分類とは、エラー識別としてまとめることができる。

【0128】

第2のグループは、周囲環境との通信を担う。これらのコンポーネントは、効率的かつ柔軟に使用するために不可欠である。これらは、必要とされる、利用者とのデータ交換を可能にし、パラメータ化、内部データマネジメント及び結果管理という主要コンポーネントによって実現される。

【0129】

同時にまた、コンセプトの統合を優先することから、主要コンポーネント内における拡張可能な機能構造が要求される。これは、後に新しいエラー検出機能を実装及び評価することを可能にするために重要である。

【0130】

情報科学では、このストラテジーは、汎用プログラミングと呼ばれる。これは、再利用可能なソフトウェアライブラリを開発するための方法と解される。その際、関数は、異なったデータ構造にも用いることができるように、できる限り汎用に設計される。汎用プログラミングにおいて重要なことは、アルゴリズムが一定のデータタイプのために書かれるのではなく、アルゴリズムが、データタイプに対する一定の要件のみを課すことである。汎用モデルは、具体的な状況の特定の対象に対して適合可能である。図5は、それに関するデータフローと各主要コンポーネントの相互作用とを示す。各主要コンポーネント間のインタフェースは、情報が、コード化された形で所定の数値によって転送されるように構成されている。

【0131】

AVL List GmbHのシステムPuma Openを用いて、データフローと必要なインタフェースとが実際の試験設備システムでどのように実現できるかが分析された。このために、まず、Puma Openのシステムアーキテクチャの分析が行われた。Puma Openは、図6に示されたデバイス構造として構成されており、さらにこのデバイス構造は、2つの部分からなる運転システム構造の上に置かれている。

【0132】

その際、プロセス階層は、試験設備と外界との間の情報交換を担う。試料及び負荷ユニットの他に、全てのセンサ、アクチュエータ並びに測定増幅器及び電荷増幅器及び試験設備メカニズムが、この階層に属する。インタフェース階層は、センサと情報処理との間の

10

20

30

40

50

信号変換を行い、さらに、必要に応じて、その他のサブシステムの結合を実施する。

【0133】

オペレーション階層は、図7に示された、試験設備の中心機能を実現し、従って、自動化システムの核となる。これは、例えば、非特許文献13にも説明されている。

【0134】

入／出力階層（I／O階層）は、通例、リアルタイム可能なハードウェア／ソフトウェアプラットフォームに含まれている。その際、インタフェース階層のデジタル化された測定値は、シーケンス制御、フィードバック制御、監視及びデータ保存のためのそれぞれ適当なアルゴリズムによって用意される。ここではまた、例えば、妨害信号の影響を最小限に抑えるためのフィルタ法やデータ整理のための分類法も用いられる。幾つかの測定値（例えばエンジン回転速度や油圧）は、測定値としてだけでなく、フィードバック制御用又は安全機構用の実際値としても利用される。

10

【0135】

他方では、オペレーション階層は、さらに操作階層とも通信を行う。ここでは、利用者によって指定された実験手順がリアルタイムに実施され、その際、手順の個々のステップは、時間制御又はイベント制御することができる。最大のダイナミクスを実現するために、実験手順が信号収集と時間的に同期して実施される。その際、試験設備のフィードバック制御に対する基準値の設定は、利用者によって手動で、又は適当な実験計画を介して自動的に行うことができる。

【0136】

20

操作階層（図8）は、テストラン作成、可視化及び実験管理のための全てのエディタを含む。従って、この階層は、オペレーション階層と管理階層との間の連結部である。

【0137】

管理階層は、一般的に中央のデータバンクに基づいてテストラン及び実験結果をネットワーク化するためのプラットフォームを提供する。この階層は、試験施設における各試験設備のテストラン及び実験結果について試験設備全体にわたる管理を行う役目を担う（ホストシステム）。実験結果を管理する際、今日、ASAM-ODSがしばしば用いられる。ASAM-ODSは、データの解釈、モデル管理用のインタフェース、データ格納、データアクセス及びデータ交換に関する汎用データモデルを定義する。

【0138】

30

各デバイス（機器又はサービス）は、いわゆるリアルタイムシステムインタフェースを介して、リアルタイム部分と非リアルタイム部分とに分けられている。

【0139】

データフローは、センサの場合、プロセス階層から始まり、インタフェース階層を経てリアルタイムフレームに達する。そこで、データは、リアルタイムI/Oハンドラによって受け取られ、以降の処理のためにリアルタイムシステムチャンネルインタフェースによって編集される。

【0140】

リアルタイムフレームにおける個別プロセスは、測定データ診断の実行のためには重要ではないので、これ以上の説明はしない。

40

【0141】

自動システムフレームにおけるデータフローについては、機器（デバイス）とシステムチャンネルとからなるモデルに関して説明する。その際、システムチャンネルは、データチャンネル又は通知チャンネルとして機能することができる。

【0142】

データチャンネルは、物理的な測定変数の値を取得するチャンネルと同等である。このシステムチャンネルは、いわゆるシステム変数（例えばオンライン値、最小値、最大値、平均値）を用いて値を保存する。一方、通知チャンネルは、ステータス情報及び通知情報を含む。

【0143】

50

システム変数には、システムチャンネルのデータ、すなわちデータチャンネル及び通知チャンネルからの情報が含まれる。これらのデータにはシステムチャンネルについて詳しく記述がなされているので、これらのデータは、システムチャンネルの特性と呼ばれる。

【0144】

Puma Openは、これらのシステムチャンネルを複数個生成する。これらには、例えば、1つの標準名を割り当てておくことができる。その際、標準名は、まさに測定チャンネルの名前であって、利用者がチャンネル名だと分かるような名前である。

【0145】

システムチャンネルは、少なくとも1つのシステム変数を持ち、さらに不定個数のシステム変数（最小値、最大値、平均値、標準偏差、フィルタ又はリングメモリ）を有することができる。

10

【0146】

数量は、オンライン変数、例えば名前、タイプ、小数点以下の桁数などの記述である。しかし、数量は、現時の測定値を有してはいない。オンラインシステムの開始時に、実際に用いられた各数量についてシステムチャンネルが生成される。一方、デバイス（機器）は、常時、システムチャンネルを生成することができる。

【0147】

Puma Openの場合、3つの機器グループに分けられる。すなわち、例えば燃料計量器などの測定デバイス、交換可能かつ顧客固有のI/O、いわゆるI/Oデバイス、及び、例えばコントローラ又は定式などの疑似機器（仮想デバイス）に分けられる。

20

【0148】

個々の機器を結合するために、供給者－使用者モデルが用いられる。機器はシステムチャンネルを介して物理的に接続されており、その際、各システムチャンネルは、複数の使用者を有することができるが、供給者は単数でなければならない。

【0149】

統合された測定データ診断にとって本質的な機能は、フィルタリングされていない未処理データにアクセスすることである。フレームワークアーキテクチャによって、Puma Openにおいて、所定のシステムチャンネルについて、オンライン可視化（グラフィック）用及びレコーダ用のリングバッファを設けることができる。この背景には、非リアルタイム運転システムが、常時、リアルタイム運転システムによって中断されるということがある。しかし、データを見るために、リングバッファが必要とされ、これによって、損失なくデータをリアルタイム部から非リアルタイム部へと転送することができる。その際、データは、時間的に同期して記録されるが、表示は時間的に同期しては行われない。

30

【0150】

その際、リングバッファは、「時間軌跡」を記録するミニレコーダに相当する。リングバッファの開始時間は、リアルタイム階層のクロックマスタティックによって決定される。データ収集の時間間隔は一定である。このようにして、時間的に正確に値が記録される。本発明では、このリングバッファが測定データ診断に組み入れられることが想定されている。これによって、初めて、操作されていない未処理測定データの高周波信号解析を実施することが可能となる。

40

【0151】

上述の、Puma Openのアーキテクチャにおいては、測定データの統合が、図6に模式的に示されているように、デバイスを追加して実現される。この理由は、新しいデバイスのために必要なインタフェースが、Pumaには既に存在するか、あるいは容易に付け加えることができるからである。これにより、試験設備の、診断に関連する全てのデータにアクセスすることが可能となる。図9は、システムチャンネルマネージャ、試験設備管理、データ収集又はリミット監視のために必要なフレームワークアクセスがどのようなものであるかを示す。次に、図10も、試験設備システムと測定データ診断部との間のインタフェースとデータフローとを示す。この流れは、パラメータ化に必要な情報を管理階層から読み取ることから始まる。その際、特に重要であるのは、試料データ、テストラン

50

データ、及びシステムで利用可能な測定チャンネルである。

【0152】

エラー検出部は、必要とされる入力情報に関してインタフェース階層と相互的なやり取りをしなければならず、かつ、診断結果の可視化のために、操作階層へアクセスできねばならない。診断結果の文書化も、やはり管理階層へのアクセスを必要とする。

【0153】

基本的な実行可能性の他に、測定データ診断に対する期待度を表現することが、コンセプト開発における重要な点である。すなわち、どのようなエラー及びどの程度の診断深度まで、統合された測定データ診断によってカバーできるか、及びカバーすべきかという問いに答えなければならない。目的は、原則として、使用できない測定結果につながる状態を検知することである。

10

【0154】

その際、重要なことは、試験設備に直接測定された信号が存在するということ、及び、一般的にシステム動作に関する高コストの識別検査を実施することができないということである。これが、エラー検出の信号ベースのアプローチを生む契機となっている。その際、考慮しなければならないことは、エラーとエラーのないシステム動作とは明らかに区別する必要があるという点である。その際、検出できる重大度が、プロセスによって、及び、用いられる方式のポテンシャル又はモデルのポテンシャルによって異なるからである。

【0155】

この重大度の目安は、検出精度である。これは、方式の特性及びパラメータであり、従って、確実に検出できる最小のエラーについての目安である。

20

【0156】

簡略化又は仮定を伴うので、検出精度は、方式の特性とみなさなければならない。なぜなら、これらの仮定及び簡略化のために当該の方式をそれ以上厳密に記述することができないからである。

【0157】

炭素収支における簡略化によって、例えば、最大検出精度は10%になる。すなわち、期待されるシステム動作からの有意な偏差を検出するためには、流入する炭素質質量流量と流出する炭素質質量流量との差は、少なくとも10%はなければならないということである。

30

【0158】

測定データ診断を所定の試験タスクに最適に適合できるように、検出精度はパラメータ化可能でなければならない。従って、利用者は、エラー検出に対する自らの期待度を自分で決定することができる。この理由により、検出精度は、システム特性とみなされるだけでなく、パラメータともみなされる。

【0159】

従って、検出精度は、エラー診断に対する期待度を定量化する重要な特性である。このために、用いられる各エラー検出方式について最大可能検出精度を提示しなければならない。例えば、HC未処理排出において5 ppmの偏差が非妥当又はエラーとして検出できるという期待は、実現することができない。それに対して、動作時温度を有するエンジンにおいて、例えば100℃の排ガス温度を確実に非妥当として検出することは保証されねばならない。

40

【0160】

さらに、エラーという概念とエラー原因あるいはエラー源という概念との間を明確に区別するように注意する必要がある。実際的には、例えば「非測定待機状態」という機器状態は、信号ベースの測定データ診断によって検出されるエラーである。エラー原因は、例えば補助エネルギーの不足（例えばFID用の燃焼ガス）であるかもしれない。しかし、信号ベースのエラー診断は、「排ガス解析非測定待機状態」というエラーから、「FID用の燃焼ガスがない」というエラー原因を導出することはできない。

【0161】

50

この例からすぐに分かるように、信号ベースのエラー検出によって、エラーあるいは当該の測定信号へのエラーの作用を決定することはできる。一方、検出されたエラーからエラー原因を推定することは、ただ例外的な場合にしか可能ではない。しかし、測定データ診断が異常な測定信号を表示することで、利用者は敏感になり、また、この診断は、エラー原因自体を識別する際にも有効なツールとなり得る。

【0162】

しかし、ある種の状況では、以下においてエラー検出の方式との関連で詳述するように、収支の偏差を求めるか、あるいは、排ガス依存の信号又はオペランドと、排ガスに依存しない信号又はオペランドとの間の冗長比較を行うこともできる。後に続く故障樹解析において、個々の場合について、エラー原因を指摘し、例えば、「排ガス測定非妥当」という結論を導き出すこともできる。

10

【0163】

原則として、診断強度は、常に、診断の頑健性と対立する関係にある。頑健性もまたシステム特性であり、このシステム特性は、エラー診断の際、危険性及び障害がある場合の診断説明の信頼性に関係する。診断強度が非常に高く設定されており、信頼区間が狭く、許容差が小さい診断システムは、システムノイズによる有意な差及び偏差をあまり確実に解消できないとしても、頑健性を有すると言える。しかし、その際、エラー通知を生成してはならない。他方、設定があまりにも緩い診断は、有意な差を検出しないこと、又は検出が遅すぎることもある。このような極端なケースがどちらにしろ頻繁に生じる場合、正確な診断結果が得られるという信頼性は失われることになる。診断強度、診断深度及び頑健性という特性については、エラー検出の方式との関連でさらに詳細に論じ、定量化する。

20

【0164】

測定データ診断を利用する際の重要な問題は、データにおける異常をどの程度素早く検出することができ、また検出しなければならないのか、ということである。従って、動作周波数 f_{Arbeit} の決定が、コンセプト開発におけるもう1つの重要な点である。図11には、試験設備で一般的に用いられる、最重要測定変数用サンプリング周波数が示されている。

【0165】

容易に見て取れるように、全ての重要な試験設備測定変数を1Hzから10Hzの範囲でサンプリングすることができる。それよりも高いサンプリング周波数は、一般的に特殊用途のために留保されたままである。同時にまた、測定データ診断によって生じるCPU負荷を考慮しなければならない。

30

【0166】

第3の判断基準として、検出速度を検討することができる。測定データ診断は、システム臨界状態の監視機構としては不向きである。試験装置の安全性又は試料の安全性に係る運転状態は、試験設備システムにおいて適当な管理メカニズムによって監視される。従って、エラー検出時にリアルタイム要求は発生しない。他方、異常は、できる限り素早く検出されるべきである。

【0167】

40

日常の試験設備運転の解析から、測定データ収集は、通例、1Hzで、また耐久試験の場合には部分的に0.1Hzで行われていることが分かっている。従って、通例、全般的な試験設備利用には、1Hzの動作周波数 f_{Arbeit} で十分である。それよりも高い動作周波数は、システム負荷上の理由により拒否される。反復方式のための準備時間と、1Hzという動作周波数とを考慮すると、測定データ診断は、エラー発生から30秒ないし60秒以内にそのエラーを確実に検出することができるべきである。

【0168】

監視範囲に関しては、基本的に、監視すべき測定変数の個数は任意であるべきである。限界値は、ここでは計算コスト、メモリ容量及び試験設備システムのフレームワークによって決まる。図12は、TDI構造の例についての典型的な測定点を示す。これから、エ

50

ンジン試験設備に典型的な測定チャンネルを導出できる。

【0169】

測定データ診断について、エンジンへ流入及びそこから流出する全ての質量流量並びに全ての関連する温度、圧力及び排ガス未処理排出が考慮される。ECU変数又は追加的なラムダ値は、全ての試験設備で利用できるわけではない。質量流量という項目におけるエラー検出及び排ガス解析時におけるエラー検出にとって、これらの変数は特に重要であり、従って、可能な限り考慮するべきである。

【0170】

当該の測定点の一義的な識別のために、パラメータ化において、選択された全ての測定チャンネルにいわゆるマスタークラスが割り当てられる。これらの測定チャンネルは、プログラマリングされたエラー検出アルゴリズムの変数であり、従って、測定変数と計算式とを結び付ける。マスタークラスへの測定変数の分配は、測定変数の位置と種類とに応じて行われる。測定点の位置は、位置0から位置4までの通し番号が付され、対応する物理的変数の略語によって補完される（例えば、T0＝測定点0における温度）。

10

【0171】

本発明の以下の実施形態には、以下のマスタークラスと測定点とが用いられる。

【0172】

【表 2】

マスタークラス	物理量	測定点
T0	温度	周囲温度
T1		H F Mの後／圧縮機の前の空気温度
T2		圧縮機の後／給気冷却器（L L K）の前の空気温度
T2s		給気冷却器の後の空気温度
T3		タービンの前の排ガス温度
T4		タービンの後の排ガス温度
TWE		冷媒温度、エンジン入口
TWA		冷媒温度、エンジン出口
TKRV		燃料温度、供給路
TKKK		燃料温度、戻り紹
TOEL		オイル温度
p0	圧力	周囲圧力
p1		H F Mの後／圧縮機の前 of 空気圧
p2		圧縮機の後／給気冷却器（L L K）の前 of 空気圧
p2s		給気冷却器の後の空気圧
p3		タービンの前の排ガス圧
p4		タービンの後の排ガス圧
pOEL		オイル圧
回転速度	運転点	エンジン回転速度、過給機回転速度、その他の回転速度
トルク		トルク
アルファ		アクセルペダル踏み込み量
HC_v_KAT	排ガス	炭化水素未処理排出
CO_v_KAT		一酸化炭素未処理排出
CO2_v_KAT		二酸化炭素未処理排出
O2_v_KAT		酸素未処理排出
NOX_v_KAT		窒素酸化物未処理排出
NO_v_KAT		一酸化窒素未処理排出
NO2_v_KAT		二酸化窒素未処理排出
ML	質量流量	空気質量流量測定
MB		燃料質量流量測定
MW		冷却水質量流量
ラムダプローブ	E C U	追加したラムダプローブからのラムダ信号
ラムダ E C U		E C Uからのラムダ信号
アルファ E C U		E C Uからの絞り弁の状態
MD_ECU		E C Uからのトルク
ML_ECU		E C Uからの空気質量流量
MB_ECU		E C Uからの燃料質量流量

表 T 4. 1 統合された測定データ診断のマスタークラス

【0173】

定常ステップの測定値は、測定段階の終わりに個々の測定の平均値から得られる。しかし、M S Fを実施できるのは、ステップの開始と終了とが分かっている場合のみである。これらの情報は、試験設備システムから得られる。

【0174】

定常ステップ測定の場合、P u m aはM S Fを独立した仮想測定機器として認識し、解析すべきデータを測定ウィンドウを介して収集する。実現のために、イベントの開始及び終了を周期的に制御する適当なイベントマネージャ（デバイスハンドラ）を開発しなければならなかった。巡回エラー検出及び測定同期エラー検出は、並列的にも個別的にも行うことができる。このために必要な起動は、パラメータ化中に行われる。

【0175】

測定の開始イベント及び終了イベントは、当該の定常ステップ測定の開始時点に P u m aによって中止され、これらのイベントは、イベントマネージャによって傍受されねばならない。これに応じて、イベントマネージャは M S Fを開始又は終了する。システム負荷を最小限にするために、リアルタイムリングメモリの読み取りは、作業工程1つ当たり1回だけ行われる。このために、データは2つに分けられた内部キャッシュメモリにコピーされる(図13)。キャッシュメモリのイベント制御とそれに対応するエラー検出モードの実施とが、図14に示されている。上述した汎用構造によって、ここで、他のマスタークラスを組み込むこともできる。

【0176】

予備調査を通じて、及び、検査エンジニアとの経験の共有を通じて、測定データ診断の際に異なった運転モードに対する必要があることを知ることができた。この理由から、統合された測定データ診断では、静止エラー検出、巡回オンラインエラー検出(Z O F)及び測定同期エラー検出(M S F)という3つの運転モードが利用できる。

【0177】

静止診断では、既にエンジン始動前に簡単なシステム検査が実施される。これにより、例えば、エンジンの動作中には実施できない、温度変数の簡単な比較が可能である。

【0178】

もう1つの重要な点は、実験が開始条件の調整を必要とする場合である。この場合、静止診断が特に有効である。なぜなら、エラーの場合に、必要な限界条件に達するまでの不必要な待ち時間を伴わないからである。静止診断では、エンジン始動前の停止時に利用者が手動によって開始する特別なエラー検出方式が利用できる。これについては、静止診断との関連において、後に詳述する。

【0179】

Z O Fは自明な方式であり、既に上記課題がこれを行う理由である。しかし、Z O Fによるテストランが長時間の場合、それに伴ってデータ量は大きくなる。

【0180】

さらに、巡回エラー検出と測定同期エラー検出とを厳密に区別する理由は、日常の試験設備運転において、(調整段階及び安定化段階の後に測定段階自体を伴う)定常ステップ測定が実施されることが多いからである。M S Fが測定データの解析を行うのは、システムによって定常ステップ測定が開始されたときだけである。その際、透明性及び時間上の理由から、測定中に測定データ診断をデータ収集と同期的に行うのが有利である。さらに、付言しておくべきことは、この運転モードが、試験設備への統合によって初めて可能になったことである。統合前には、測定データ診断のための定常ステップの開始及び終了を「可視化」することはできなかった。

【0181】

巡回エラー検出の場合、及び、測定が起動されなかった場合、リアルタイムリングメモリのデータは、動作周波数で巡回エラー検出のキャッシュメモリへコピーされる。これに対し、「測定開始」というイベントが発生した場合、巡回エラー検出のために、リアルタイムリングメモリの、既に収集されているデータを一部分、測定同期エラー検出のキャッシュメモリへコピーしなければならない。それと全く逆のことが行われるのが、巡回イベントが測定同期エラー検出中に生じた場合である。この場合、終了イベントの場合と全く同じように、両キャッシュメモリへの書き込みが行われる。その際、巡回キャッシュメモリの評価は、それに対応する動作周波数で行われる。一方、測定同期メモリの評価は、常に測定の最後にのみ行われる。

【0182】

妥当性方式の場合、各チャンネルの物理的な意味が重要である。なぜなら、チャンネルは、適当な方式及び計算式と結び付けられねばならないからである。この割り当ては、規準名マッピングと呼ばれ、パラメータ化中に行われる。ここではまず、妥当性検査を実施すべき全てのチャンネルが起動される。次に、各規準名にそれに対応するマスタークラスが割り当てられる。これにより、例えば、規準名 T _ Z y l 1 がマスタークラス T 3 の測定チャ

10

20

30

40

50

ネルであることがシステムに知らされる。規準名マッピングからの情報によって、診断システムは、自動的に全ての実施可能な方式を決定することができる。

【0183】

物理式の計算が正確に行われることを保証するために、チャンネル固有の物理単位を S I 単位系に変換することが有効である。その際、例えば、温度は℃からケルビンに変換される。

【0184】

場合によっては、圧力測定の際、別の変換が必要である。なぜなら、この場合、絶対圧と相対圧又は差圧との両方が生じる可能性があるからである。さらに、圧力は、さまざまな単位、例えば m b a r、h P a、M P A、b a r など で示される。誤りを避けるために、全ての圧力が、絶対圧及び S I 単位のパスカルに換算される。データ変換に必要な情報は、パラメータ化部から得られる。

【0185】

フレームワークにおける適切なインタフェースによって、物理単位に関する情報はまた、直接、規準名テーブルから取り出すこともできる。

【0186】

パラメータ化によって、測定診断データを、任意の試験タスクに適合することができる。その際、特に注意すべき点は、パラメータ化を素早く、分かりやすく、かつ、中央集行的に行うことである。この要件を満たすために、独自のパラメータ化コンセプトが開発された。上述したように、規準名マッピングを通じて測定変数と物理式とを結び付けなければならない。一方、信号解析のためには、チャンネルの物理的意味は重要ではない。なぜなら、この場合は、データに基づいた解析しか行われなければならないからである。ここでは、限界値と確率とが重要である。機器チェックの機能は、特殊測定機器の適当な情報があることを前提条件とする。従って、自由にパラメータ化可能な診断パラメータがなければならず、これによって初めて、特定の要件に診断を適合させることが可能となる。自由パラメータのデータ入力のためには、それに対応する事前設定の他に、利用者との対話も必要であるので、適当なパラメータコンポーネントを統合しなければならない。

【0187】

その際、パラメータ化は、重要な機能、すなわち、試験設備固有の適合を可能にする全てのパラメータへアクセスできるようにするという機能と、全ての診断パラメータに共通に有効である事前設定の仕方を開発するという機能とを有する。試験設備固有の適合のために、以下のパラメータ化グループが形成された。すなわち、規準名管理、静止診断、運転点変更検出、定常動作検出、信号品質、妥当性、アーカイビングというグループである。これらの個々のグループが、見通しを良くし、所望の設定に素早くアクセスすることを可能にする。

【0188】

例えば、規準名管理において、監視すべき測定チャンネル（規準名）の選択が行われる。そのとき、他のグループには、選択されたチャンネルだけが現れる。

【0189】

一方、運転点変更検出の場合又は定常動作検出の場合、所定のシステム動作を表す測定チャンネルを選定することができる。

【0190】

それに対して、信号品質のパラメータ化及び妥当性が、エラー検出の範囲を決定する。その際、自動的に、選択された規準名に基づいて最大限可能な方式範囲が決定される。

【0191】

各パラメータグループについては、さらに、エラー検出の対応機能と共に論じる。

【0192】

最も重要で最も難しい課題の 1 つは、エラー検出の評価と実際のエラーの把握である。これは、診断ワークフローにおいて、エラー分離、エラー識別及びエラー分類という主要コンポーネントに相当する。このために、個々のエラー検出方式とエラー重大度とを考慮

10

20

30

40

50

しながら、汎用出力ロジックを開発しなければならない。これにより、多量の情報によって利用者に過剰な負担がかかることを回避することが保証される。同時にまた、このロジックは、適当な可視化に結び付けられていなければならない。この可視化は、異なった利用者のためのさまざまな情報階層を提供する。これは、図 1 5 に示されたピラミッド構造で実現される。

【0193】

階層 I では、診断の機能ステータス及びエラーステータスに関する情報が表示される。必要に応じて、階層 II において、利用者は診断履歴に関する情報を利用できる。階層 III では、全てのエラー検出機能の現在のステータスを知ることができる。この出力ロジックの場合にも、後から個別機能を組み入れることが可能であるように注意する必要がある。すなわち、個別機能を後から実装するために、エラー検出を評価するための汎用プロセスを開発しなければならない。これらのコンポーネントは、後に、エラー分離及びエラー分類との関連で説明する。

10

【0194】

測定データ診断を円滑に実行するために、目的に合わせたデータ管理が必要である。これは、内部データマネージメントと結果管理自体との両方に関連する。内部データマネージメントは、ミニデータバンクの形で実現される。このデータバンクには、以下のデータグループが含まれる。すなわち、パラメータ化データ、用いられた方式に関する情報、中間結果、エラー通知、利用者の介入というデータグループである。

【0195】

20

これらの情報は、一部が診断の開始時に、一部がオンラインによって、データバンクに書き込まれる。そのとき、各 1 回の診断実行毎の終わりに、エラー分離部及びエラー分類部がデータにアクセスし、オンラインで診断結果を作成する。診断結果は、診断の終わりに、利用者の介入を文書化したものとパラメータと共に特定のファイルに格納される。これらのファイルは、試験設備のデータバンクにおいて適宜参照される。

【0196】

プロセス依存性又は機器依存性の特徴を正しく判断するために、承認条件は、測定データ診断の重要な制御要素である。この例は、燃料計量器への充填や運転点の変更あるいは変動点変更である。さらに、方式固有の要件にも注意しなければならない。例えば、エラー検出の大抵の方式は、定常的な運転点にしか適用されないからである。これは、特に信号解析と妥当性とに当てはまる。個々の承認条件に関する理由付けについても、以下において各方式との関連において説明する。しかし、測定データ診断における重要な承認条件は、定常動作検出、機器承認及び特別承認、例えば低負荷検出やジャンプ検出に関連する。

30

【0197】

上記の事情を考慮して、図 1 6 に示された、診断の全体的な手順が生まれる。試験設備システムのリアルタイム階層において、未処理データは、損失なく、リアルタイム階層から非リアルタイム階層へ転送するためにリングバッファに書き込まれる。リングバッファのサイズは、当該のチャンネルに関して設定された収集周波数に依存する。このパラメータ化は試験設備システムで行われ、測定データパラメータ化には含まれない。しかし、この情報は、適当なインタフェースを介して診断のために利用できる。

40

【0198】

リングバッファは、パラメータ化可能な動作周波数（例えば $f_{Arbeits} = 1 \text{ Hz}$ ）で読み取られ、 n 個の要素を有するデータパケットを形成する。これらのデータパケットは、診断プロセス用の未処理データとして用いられる。例えば、回転速度が 1 kHz のサンプリング周波数 f_{Abtast} で収集される場合、そのデータパケットは $n = 1000$ 個の値からなる。

【0199】

システム性能上の理由からこれらのデータパケットは、従来、一般的に直接、フィルタリング又は平均値形成を通じたデータ整理に送られてしまい、これによって、既に信号品

50

質に関する重要な情報が未使用のまま失われてしまった。しかし、本発明によって、これらのデータは、高周波解析（H F A）を通じて将来解析されることになる。さらに、H F Aによって、この周波数範囲に関して諸方式を用いるためのオプションが生まれる。H F Aの終わりに、チャンネル固有の結果は内部データマネージメントに伝送される。

【0200】

操作を受けていない未処理データパケットは、この時点で試験設備システムのデータ整理に送られる。このデータ整理によって、データパケットはそれぞれ1つの測定値に整理され、この測定値は、長さがパラメータ化可能な動的メモリに格納される。このメモリ素子は、作業の次の工程においてデータベースとみなされる。

【0201】

このデータベースは、ロールメモリ又はシフトレジスタと同様の働きをする。その際、指定長を有するウィンドウが、一定の時系列にわたってシフトされる。これが図17に示されている。ロールメモリの全てのエレメントに書き込みが行われた場合、次の作業ステップにおいて、このリングメモリの内容全体が1エレメント分だけシフトされる。これにより、第1の（もっとも古い）値がメモリからこぼれ、その結果、最後に、データ圧縮によって得られた最新の平均値をロールメモリに書き込むことができる。

【0202】

動作周波数 *f* A r b e i t が1 H zである場合、例えば30個の値からなるメモリ長は、また30秒の観察時間を表す。データベースの内容は、その後の機能、例えば運転点変更検出、定常動作検出又は低周波信号解析（N F A）といった機能の基本データである。

【0203】

幾つかのエラー検出機能にとってプロセス動作における変更時点が正確であることが重要であるので、いわゆる基準変数又は操作量（例えば回転数、モーメント又は点火時点）に関して、運転点変更検出が開発された。この理由は、基準変数の急激な変化が、一般的に、出力変数における数学的に記述可能な応答動作（例えばP T 1動作）を引き起こすからである。時間特性を削除することによって、例えば温度信号の場合、定常動作に至る前に信号解析を始めることができる。このために、モデル化した機能変化を、非線形回帰を用いて決定することができる。これは反復法なので、開始点はできる限り正確に決定しなければならない。

【0204】

各チャンネルの定常動作状態の決定が必要であるのは、利用されるエラー検出機能の多くが、定常運転にしか用いることができないからである。なぜなら、正規分布及び独立が前提条件であるからである。

【0205】

個々のチャンネルに関して定常状態に達している場合、データベースはN F Aにも用いられる。この例が、回転速度の未処理データに関して、図18に示されている。運転点変更検出、定常動作検出及び低周波解析の各結果は、H F Aの結果と同じように、内部データマネージメントへ送られる。

【0206】

定常動作検出の後、監視すべきチャンネルの現在の測定値が、物理的、論理的及び経験的エラー検出機能によって妥当性検査に供給される。妥当性検査の範囲は、利用できる情報及び測定変数に依存する。パラメータ化を通じて、全ての個別機能は、機能プールから選ぶことができる。これらの個別機能は、利用可能な情報を用いて算定できる。ここでも、最後に個々の結果は再び内部データマネージメントへ伝送される。

【0207】

部分的結果の評価は、エラー分離及びエラー識別という主要コンポーネントにおいて行われる。ここでは、部分結果は、互いに結び付けられ、さまざまなロジックブロックを介して、監視すべき測定チャンネルに原因が帰せられる。別のロジックブロックにおいて、エラー重大度の評価が行われる。すなわち、エラーを有する状態又は非妥当状態がどの程度の長さ及びどの程度の明確さで存在したのか、及び、この状態が所定の時間限界値及び限

10

20

30

40

50

界数値を超過しているかどうか決定される。評価の結果、エラー分類は、並べて可視化され、文書化される。

【0208】

文書化の際、特に注意すべきことは、診断結果の他に、パラメータ化による全ての設定及び全ての利用者の反応が、測定データと共に記録され、格納されることである。これにより、診断結果を常時再現することができる。

【0209】

次に、典型例として、統合された測定データ診断の実現のために分析され、実装された個別機能について詳述する。その際、特に、利用時の検出精度、分離強度、自由パラメータ及び限界条件に注目する。

10

【0210】

機器チェックは、最大の分離強度を有する方式に属している。なぜなら、この方式によって、エラーを有するチャンネル又は測定機器の厳密な（100%）識別が、常に行われるからである。その際、検査は、直接的又は間接的、あるいはその両方で行うことができる。

【0211】

直接的な機器チェックの場合、各測定機器が戻り値として供給すべきいわゆるステータスチャンネルが用いられる。VDI/VDE 2650 シート 1 に従って、機器独自のステータス信号は、機器の状態に関する情報を含む。その際、機能不良、保守必要性、機能管理又は仕様外での運転に関する情報が利用される。試験設備システムにおいて、同様に、特別なチャンネルに問い合わせることができ、これらのチャンネルが、特殊測定機器に関する対応する情報を提供する。これらのエラーチャンネル（通知チャンネル）は、測定値と全く同じように、パラメータ化可能なインターバルで問い合わせられ、以下の情報を提供する。

20

【0212】

【表 3】

値	エラーの種類
0	エラー無し
-1	通信タイムアウト
-2	ポートエラー
-3	構文解析エラー
-4	オーバラン

30

【0213】

インタフェース接続のために、Puma との同期に関する問い合わせステータスに問い合わせることができる（0 = Busy / <> 0 ... Not Busy）。

【0214】

例えば、燃料計量器を監視する場合、燃料質量流量を診断のために利用できるのは、燃料計量器が測定モードにあり、エラーを有さないときだけである。燃料計量器が充填モードにある場合、エラー検出を行うべきではない。なぜなら、このモードでは判定ができないからである。これに関連する制御も、機器ステータス及び承認条件を通じて行われる。

40

【0215】

間接的な機器チェックでは、当該の測定機器に関するその他の情報がなく、測定信号しか利用できないことが考慮される。この場合、アンチフリーズ機能といわゆる NaN チェックとが導入される。両方式とも、エラーの場合における所定のデータ特性に関係する。

【0216】

アンチフリーズ機能は、HFA にも NFA にも利用できる。インタフェースを介しての通信が正常である場合、互いに連続する複数の値が厳密に同じである確率は非常に低い。このことが、アンチフリーズ機能の背景である。数学的には、この状況は、標準偏差を通じて検査することができる。なぜなら、技術上のプロセスには、一般的に自然なノイズが付随しており、従って $s \neq 0$ でなければならないからである。逆に、プロセスノイズがデ

50

デジタルによる解決手段によって取り除かれない限り、 $s = 0$ という場合はありそうにない。図19には、これに関して、アンチフリーズ機能によって検出された、不具合のあるラムダプローブの例が示されている。この例は、TDIエンジンの外部ラムダプローブである。従って、エンジンのOBDはこのエラーを検出できない。物理的方式も、この例ではうまくいかない。なぜなら、やはりなお「妥当な」測定値が存在しているからである。従って、このエラーは、アンチフリーズ機能又は特別な統計的アプローチによってしか検出できない。

【0217】

アンチフリーズ機能の場合、パラメータ化可能な個数の、等間隔の収集値について、同一かどうか、あるいは $s \neq 0$ という条件を満たしているかどうかを検査される。 $s = 0$ の場合、当該機器に対するインタフェースがフリーズしていることを意味し、最高優先順位のエラー（機器の機能不良／センサの機能不良）が出力される。

10

【0218】

アンチフリーズ機能とは対照的に、NaN機能の場合、機器エラーが、しばしば、****、1EXPI0又は#####のような「所定のエラー測定値」を返す、ということが利用される。これは、しばしば数字以外の値である。このような値にこの方式の名は由来している（NaN=not a number）。図20は、インデクシングを例にしてこれを示す。ここでは、測定中、データ転送の機能不良を繰り返し確認することができた。

【0219】

NaN機能によって、データベース内のパラメータ化可能な個数の臨界値を超えていないかどうかを検査される。超過している場合、アンチフリーズ機能の場合と同様、優先順位が最も高い機器エラー又はセンサエラーが生じる。この簡単な機能及びわずかな計算コストによって、この方式もHFAとNFAの両方に利用することが可能となる。しかしその際、HFAバージョンの場合、リアルタイムリングバッファがデータベースとして用いられる。パラメータ化においては、NaN値の最大許容個数あるいは同一値の最大許容個数について指定するだけでよい。

20

【0220】

リミットチェックは、HAFにおいて用いられ、典型的な限界値監視に等しい。このために、パラメータ化において、チャンネル固有の限界値が指定される（例えば $HC > 0$ ）。この簡単な機能によって、明確なエラー検出法が存在しない各チャンネル、又は所定の限界値が最初から分かっている各チャンネルを評価することができる。

30

【0221】

例えば、全ての排ガス未処理排出が0よりも大きくなければならないという制限が適用される。また同様に、効率 $\eta_e < 40\%$ に制限することや、検査固有に消費率量 $b_e, m_{in} > 160 g/kWh$ に制限することが可能である。

【0222】

従って、リミットチェックは、機器チェックと同じ分離強度を有する。なぜなら、ここでもエラーと測定チャンネルとの直接的な割り当てが行われるからである。また、これによって、リミットの侵害があった場合、 $p = 1$ である、優先順位の最も高いエラーが出力される。パラメータは、チャンネル固有の最小値及び最大値である。

40

【0223】

試験設備データにとって信号品質の評価が意味することは、これらのデータに、エラー判定及び誤った推定を引き起こす外れ値、許容外のノイズ、ドリフト又はその他の障害が含まれてはいけないということである。信号品質の評価の焦点は、まさに上述のデータ関連の異常にある。目的は、物理的なシステム情報なしに、任意の信号に異常な点を検出することである。

【0224】

その際、信号品質の評価は、信号形式解析、高周波信号解析（HFA）及び低周波信号解析（NFA）という3つの部分に分けられる。この評価の役割は、測定データの中に特殊な機能変化を検出することである。これらの機能変化によって、実際のシステム動作を

50

推定することができる。

【0225】

HFAにおいて、高周波サンプリングされた測定データに対して、信号処理の典型的な方式（例えばFFT）が用いられる。目的は、監視すべきプロセスに関する情報及び該プロセスを示す信号の品質に関する情報を抽出することである。その際、焦点は、デジタル（離散）信号解析にある。

【0226】

NFAは、フィルタリングされた測定データの解析に用いられる。このような測定データは、典型的には試験設備システムに記録され、可視化されるデータのことを意味する。従って、これらのデータは、1Hzから10Hzまでの周波数を有するデータである。

10

【0227】

信号波形の解析の役目は、特徴的な機能変化を検出することによって、観察されたプロセスに関する基本的な説明を行うことである。ここでもまた、データベースが基にされる。

【0228】

測定データ診断において、試験設備及び測定データに関する次のような典型的な信号波形が観測される。例えば、パーマネント（ジャンプ）、飽和／減衰、ドリフト形状、ビート／振動、断続、ランダム又は外れ値有りなどである。しかし、信号波形の明示的な検討は、前記最初の4つの信号波形についてのみ行う。断続、ランダム又は外れ値有りの信号は、信号品質の評価において考慮される。

20

【0229】

ジャンプ形状を伴う事象は、一般的に、いわゆる設定変数又は基準変数においてのみ生じる。DOE利用の場合、このような変数は、ファクタとも呼ばれる。これの例としては、運転点変更や変動点変更がある。

【0230】

同じ運転点における点火時点の変化は、例えば、変動点変更と呼ばれる。

【0231】

数学的には、ジャンプは不連続な事象である。これの記述は難しい。なぜなら、線形回帰のような典型的な識別法は使えないからである。簡単なジャンプ検出又は運転点変更検出については、後に提示する。

30

【0232】

統計的な信号解析のために、ジャンプ検出は特に重要である。これによって非定常的な運転動作が開始されるからである。さらに、ジャンプ検出によって、運転点変更の正確な時点が取得できる。この情報は、反復的な初期値法の場合に開始時点として必要とされる。

【0233】

設定変数の他に、いわゆるレスポンス又は応答変数もある。これらは、基準変数の、ジャンプを伴う変化に対するシステム応答を表す。この動作は、フィードバック技術においては、例えばPT1動作と呼ばれ、下記の微分方程式によって表される。

【0234】

【数2】

$$T \cdot \dot{y}(t) + y(t) = K \cdot u(t) \quad (\text{式5. 1})$$

40

【0235】

時間範囲におけるジャンプ応答は、式5. 1を解くことによって得られる。

【0236】

【数3】

$$y(t) = K(1 - e^{-\lambda t}) + b$$

$$\lambda = \frac{1}{T} \quad (\text{式5. 2})$$

50

【0237】

逆に、上記知識を用いて、データベースからジャンプ応答のパラメータを推定することができる。これは、非線形の初期値問題である。

【0238】

パラメータの算定は、例えばガウス・ニュートン法によって行うことができる。ヤコビ行列を構成するために必要な一次偏導関数は次のようになる。

【0239】

【数4】

$$\frac{\partial y(t)}{\partial K} = 1 \cdot e^{-\lambda t}$$

(式5. 3 a)

10

$$\frac{\partial y(t)}{\partial b} = 1$$

(式5. 3 b)

$$\frac{\partial y(t)}{\partial \lambda} = t \cdot K \cdot e^{-\lambda t}$$

(式5. 3 c)

【0240】

基本となるのは、最小二乗法である。線形回帰の場合と同じように、この場合も以下の剰余式が用いられる。

【0241】

20

【数5】

$$F(x) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m (f_i(x))^2 = \frac{1}{2} \|f(x)\|^2 = \frac{1}{2} f(x)^T f(x)$$

(式5. 4)

【0242】

なお、PT1動作には式5. 2が用いられる。

【0243】

これを解くためには、 $\|f(x)\|$ を最小にしなければならない。当該分野の文献から、下記式

【0244】

30

【数6】

$$(J^T J) h_{gn} = -J^T f \text{ mit } f = \begin{pmatrix} f_1(x) \\ \vdots \\ f_m(x) \end{pmatrix}$$

(式5. 5)

【0245】

から一義的なミニマイザが得られることが分かる。このために、まず、ヤコビ行列Jが算定される。ヤコビ行列は、微分可能関数の微分行列とも呼ばれ、全ての一次偏導関数のm×nの行列である(式5. 3 aから5. 3 c)。置き換えによって、式5. 6と、従ってまた反復式5. 7とが得られる。

40

【0246】

【数7】

$$h_{gn} = -J^T f (J^T J)^{-1}$$

(式5. 6)

【0247】

【数8】

$$x := x + \alpha h_{gn}$$

(式5. 7)

【0248】

典型的なガウス・ニュートン法では $\alpha = 1$ が用いられる。

50

【0249】

各反復ステップについて、ヤコビ行列とベクトル f を、 x の解と共に新たに算定しなければならないので、最大10ステップの後に反復は中断される。

【0250】

正確な開始点の他に、開始値の選択も重要である。このことが、対応する開始値サーチの開発につながった。PT1アプローチのために、開始値が以下のように決定される。すなわち、

$K = \max(\text{データベース}) - \min(\text{データベース})$

$\lambda = 0.05$

$b = \text{データベース}(1)$

10

この推定のための品質判断基準として、決定係数 R^2 が利用される。 $R^2 > 0.8$ なら、良好な推定と言える。

【0251】

図21は、2.2リッター直噴式オットーエンジンにおいて 2000 min^{-1} の負荷急変が生じた事例について、排ガス温度をモデル化するためのPT1アプローチを利用した例を示す。このために、負荷急変後、動作周波数 $f_{\text{Arbeits}} = 1 \text{ Hz}$ によって、10回の反復を伴うガウス・ニュートン法が用いられた。算定されたパラメータ及びそれに関連する決定係数が、表T5.1にまとめられている。

【0252】

【表4】

20

値の個数	パラメータK	パラメータ λ	パラメータb	R^2
5	305.0495	0.1993	324.8798	0.9573
10	207.5942	0.4026	319.3854	0.9626
25	206.8475	0.4007	319.8225	0.9706
50	210.3767	0.3574	323.1316	0.9604

表T5.1 非線形回帰の結果

【0253】

R^2 の上記数値は、それぞれ算出区間にのみ関連する。

【0254】

30

この方式によって定常動作状態がどの程度まで事前算定できるのかが、図21及び図22から見て取れる。これらの図は、T5.1のパラメータを用いて適切に外挿された信号特性を示しており、また、適切な開始値を用いると、PT1モデルが離散区間を記述するのに非常に適していることを証明している。従って、このアプローチは、例えば、温度チャンネルにおける時間特性の補償のために適している。しかし、外挿法は推奨できない。なぜなら、最終値が示されることがなく、また、示された曲線のいずれからも漸近線への移行が正確に示されることもないからである。

【0255】

ドリフトという概念は、一般的に1つの値又はシステム特性が比較的ゆっくりと変化することを意味する。数学的には、ドリフトは、式5.8で示される単純な直線によって表

40

【0256】

【数9】

$$y(t) = a_1 + a_2 \cdot t \quad (\text{式5.8})$$

【0257】

パラメータを推定するためのこの適切な方法は、線形回帰と呼ばれる。パラメータ a_1 及び a_2 は、式5.9及び式5.10によって測定データから算出される。

【0258】

【数 1 0】

$$a_2 = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n t_i y_i - \left(\sum_{i=1}^n t_i \right) \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)}{n \cdot \sum_{i=1}^n t_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n t_i \right)^2} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i y_i - n \bar{t} \bar{y}}{\sum_{i=1}^n t_i^2 - n \bar{t}^2} = \frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2} \quad (\text{式 5. 9})$$

【0 2 5 9】

【数 1 1】

$$a_1 = \frac{\left(\sum_{i=1}^n t_i^2 \right) \left(\sum_{i=1}^n y_i \right) - \left(\sum_{i=1}^n t_i \right) \left(\sum_{i=1}^n t_i y_i \right)}{n \cdot \sum_{i=1}^n t_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n t_i \right)^2} = \bar{y} - a_2 \bar{t} \quad 10$$

(式 5. 1 0)

【0 2 6 0】

回帰直線の算定は迅速かつ簡単に行われるので、この方法は、定常動作の簡単な評価のために非常に適している。従って、この方法は、後述する定常動作検出にも含まれている。

【0 2 6 1】

データベースから振動又はビートの自由パラメータを算定するためにも、非線形回帰の方式を用いることができる。方法としては、高調波振動を式 5. 1 1 に従って設定するか、あるいは式 5. 1 2 に従ってビートを設定する。 20

【0 2 6 2】

【数 1 2】

$$y(t) = \hat{y} \cdot \sin(2\pi f \cdot t + \varphi) \quad (\text{式 5. 1 1})$$

【0 2 6 3】

【数 1 3】

$$y(t) = 2\hat{y} \sin\left(2\pi \frac{f_1 + f_2}{2} t\right) \cdot \cos\left(2\pi \frac{f_1 - f_2}{2} t\right) \quad (\text{式 5. 1 2}) \quad 30$$

【0 2 6 4】

高調波振動は、振幅

【0 2 6 5】

【数 1 4】

$$\hat{y}$$

【0 2 6 6】

と周波数 f 及び位相差 ψ というパラメータによって特徴付けられている。高調波振動とは対照的に、ビートは、類似する周波数を有する 2 つの振動の重ね合わせと解される。振幅の他に、周波数 f_1 及び f_2 を決定する必要がある。その際、簡略化のために、純粹振動であると仮定する。すなわち、正弦波成分の振幅は、余弦波成分と同じであると仮定する 40。しかし、振動モデルの回帰の場合には、ガウス・ニュートン法の無効がしばしば検出された。これは、1 回目の繰り返しループで既に $\text{det}(\mathbf{J}' * \mathbf{J}) = 0$ が生じたからである。

【0 2 6 7】

信号品質の評価は、統合された測定データ診断の中心的な役割の 1 つである。このために必要な信号解析では、時間特性と、潜在的な障害及びノイズ信号に対する有効信号の比とが分析される。デバイスアーキテクチャによって、平均値形成又はフィルタリングによるデータ操作の前にリアルタイムデータを未処理データ解析することが初めて可能になった。未処理測定データへのアクセスによって、信号品質の評価は、図 2 3 に示されているように、高周波信号解析と低周波信号解析とに分かれる。 50

【0268】

測定技術では、通例、収集周波数と動作周波数とは異なる。これは、シャノンのサンプリング定理による。このサンプリング定理が意味することは、連続周波数は、収集周波数 $f_{\text{Erfa ssung}} \geq 2 \times \text{最大 } f_{\text{Arbeit, max}}$ でサンプリングしなければならない、これにより初めて、そこから得られた時間離散的な信号から、情報損失を伴うことなく元の信号を再構成することができるということである。この定理に従わない場合、いわゆるエイリアス効果が生じる可能性がある。

【0269】

チャンネル固有の収集周波数及び動作周波数は、試験設備において利用者によって指定することができる。その際、利用者は、例えば、回転速度信号を $f_{\text{Erfa ssung}} = 1000 \text{ Hz}$ でサンプリングし、一方、システムでは $f_{\text{Arbeit}} = 10 \text{ Hz}$ でのみ表示されるように設定することができる。これにより、システムチャンネルに適当なリングバッファが設けられる。このリングバッファは、高周波信号解析 (HFA) のデータ源である。測定データ診断をデバイスとして統合することによって、これらのデータへのアクセスが可能となっている。その際、「高周波」とは、収集周波数 $\geq 10 \text{ Hz}$ で測定されたデータのことを言う。従って、時間領域及び周波数領域において、統合された測定データ診断のための新たな可能性が開ける。これらの可能性については、高周波信号解析 (HFA) の章でまとめて述べる。基本的に、この章で提示された方式は、当然、低周波信号解析 (NFA) にも用いることができる。

【0270】

従って、HFA と NFA との区別は、実質的には、分析すべきデータベースの区別である。HFA の場合、未処理測定データを基にして、後に、フィルタリング又は平均値形成を通じて、試験設備システムに表示される測定データが生成される。その際、新たなことは、HFA によってこれらの測定データの品質を判定できることである。

【0271】

周波数領域については、例えば、以下のような特性値及び特性関数、すなわち、離散フーリエ変換 (FFT) $y(n)$ 、パワー密度 $S_{yy}(i\omega)$ あるいは自己相関関数 $R_{yy}(\tau)$ を用いることができる。

【0272】

その際、自己相関関数は、最も重要な特性関数である。なぜなら、自己相関関数は、異なった時間シフト t における信号の自分自身との相関を表すからである。時間信号 $x(t)$ について、時間間隔 T_F における $R_{yy}(\tau)$ が式 5. 13 によって算定される。

【0273】

【数 15】

$$R_{yy}(\tau) = \lim_{T_F \rightarrow \infty} \frac{1}{T_F} \int x(t) \cdot x(t+\tau) dt \quad (\text{式 5. 13})$$

【0274】

その際、 R_{yy} は、 $\tau = 0$ においてピークに達する。なぜなら、そのときに、 R_{yy} は、その関数の平均パワーに比例する値となるからである。デジタル信号解析において、自己相関関数は、一般的にパワースペクトル S_{yy} (式 5. 14) の逆フーリエ変換 (iFFT) によって算定される。

【0275】

【数 16】

$$R_{yy}(\tau) = \int S_{yy}(f) \cdot e^{i2\pi f\tau} df \quad (\text{式 5. 14})$$

【0276】

R_{yy} によって、例えば、非常に大きなノイズを含む信号における周期性を識別することができる。しかし、この目的のために、??? の大きな値に関する自己相関関数だけが観察され、 $\tau = 0$ を中心とする範囲は無視される。なぜなら、ここにはとりわけノイズ信

10

20

30

40

50

号の強さに関する情報が含まれているからである。信号対雑音比（S N R）の算定の際は、自己相関関数の正反対の評価が行われる。τ = 0 の場合、パワー信号に関する自己相関関数は、エネルギー信号における二乗平均値あるいは信号エネルギーを表す。この特性は、S N R の算定のために用いられる（式 5. 1 5）。

【 0 2 7 7 】

【数 1 7】

$$SNR = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{S_x}{N_x} \right) \quad (\text{式 5. 1 5})$$

【 0 2 7 8 】

10

その際、S X は、位置 0 におけるノイズなしの自己相関関数を表し（有効信号）、N X は、ノイズピークの高さを表す。これが実際上意味することは、時間信号 x（t）から、まず、フーリエ変換された y（n）が算出され、式 5. 1 6 によってパワースペクトル S y y が算定されるということである。

【 0 2 7 9 】

【数 1 8】

$$S_{yy}(f) = X^*(f) \cdot X(f) = |X(f)|^2 \quad (\text{式 5. 1 6})$$

【 0 2 8 0 】

パワースペクトルの逆フーリエ変換（i F F T）によって、自己相関関数が得られる。次に自己相関関数から、式 5. 1 7 によって S N R を算定することができる。

20

【 0 2 8 1 】

【数 1 9】

$$SNR = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{\frac{1}{N} \sum_{i=2}^N AKF(i)}{AKF(1) - \frac{1}{N} \sum_{i=2}^N AKF(i)} \right) \quad (\text{式 5. 1 7})$$

【 0 2 8 2 】

信号パワーは、一般的に、ノイズパワー又は干渉パワーよりも数桁大きいので、S N R はデシベル（d B）で示される。良質な信号と呼べるには、S N R がどの範囲になければならないか、という点については、関連分野（信号処理及び情報技術）の文献からは得られなかった。例えば、人の言葉を理解可能に伝送するためには、S N R は約 6 d B でなければならない。映像技術において良質な信号と言われるのは、S N R > 6 0 の場合である。これは、有効信号対ノイズ信号の比が 1 0 0 0 0 0 0 / 1 である場合に相当する。図 2 4 には、1 H z 定常ステップ検出の結果の典型例が示されている。S N R についての対応する値が、表 T 5. 2 にまとめられている。

30

【 0 2 8 3 】

【表 5】

時間	0-200s	250-400s	550-650s	700-900s	950-1150s
チャンネル					
回転速度	70.5	70.0	63.8	70.4	70.9
トルク	27.8	47.0	52.8	46.8	27.9
冷媒温度	42.7	45.7	46.6	46.6	45.7
オイル温度	43.0	52.6	43.5	59.6	42.0
排ガス温度	40.2	41.5	59.9	41.1	40.7
空気質量流量	29.1	36.9	44.6	36.1	28.9
平均有効圧力	27.7	46.6	53.9	46.8	27.9
吸気管圧力	73.3	72.7	73.5	72.9	72.8
ラムダ	28.9	36.3	43.0	35.5	28.3
燃料消費率	27.4	41.4	46.2	42.8	28.0

表 T 5. 2 図 2 4 に関する信号対雑音比 [d B]

【0 2 8 4】

表 5. 2 は、分析の結果を非常に良好に再現している。S N R > 5 0 は、ほとんどの試験設備データにおいて、非常にまれにしか現れない。はるかに頻度が高いのは、3 0 d B < S N R < 5 0 d B の範囲の値である。この理由から、ランダムに選択した標本を詳細に分析して、観測された信号の品質が、エンジニアによる解析において良又は不良に分類されるのかどうかを確かめた。それに続いて、その分析結果と上記の S N R 範囲との間で比較が行われた。その平均有効圧力の例を図 2 4 に示す。

【0 2 8 5】

【表 6】

S N R [d B]	平均値 [b a r]	最小 [b a r]	最大 [b a r]	α	α [%]	時間範囲 [s]
27.7	2.07	1.89	2.27	0.08	4.10	0-200
46.6	9.69	9.56	9.80	0.05	0.47	250-400
53.9	19.16	19.06	19.28	0.04	0.20	550-650
46.8	9.72	9.57	9.85	0.05	0.46	700-900
27.9	2.05	1.90	2.23	0.08	4.03	950-1150

表 T 5. 3 S N R に関する比較におけるエンジニアによる信号解析

【0 2 8 6】

低負荷点 (p m e = 2 b a r) の場合に即座に目につくことは、S N R が、高い負荷点の場合よりも明らかに劣っていることである。平均圧力に 4 % の変動がある場合、熟練したエンジニアもそれを不可とみなすであろう。この見方は、また、2 7. 7 d B という比較的小さな S N R についても当てはまる。それに対して、最良点においては、S N R = 5 3. 9 d B であり、2 倍優れた S N R を実現できる。S N R に関するこれらの分析から、測定データ診断について、下記表の限界値が設定される。

【0 2 8 7】

【表 7】

検査	検出強度	許容差
S N R	高	4 0 d B
	中	3 0 d B
	低	2 0 d B

表 T 5. 4 信号対雑音比の臨界値

【0 2 8 8】

時間領域における信号品質を評価するために利用できるもう 1 つのものは、中央値からの偏差である。この解析は、中央値からの偏差を所定の限界値と比較することによって行われる (表 T 5. 5)

【0289】

【表8】

検査	検出強度	許容差
中央値からの偏差	高	$r = 3$
	中	$r = 3.5$
	低	$r = 4$

表5.5 信号対雑音比の臨界値

【0290】

中央値からの偏差は、極めて頑健な散布度であり、観察事例において、個々の値 x とリングバッファの中央値

10

【0291】

【数20】

 $\bar{x}$

【0292】

とから、式5.18に従って算出される。

【0293】

【数21】

$$\bar{D} = \text{Median}\{|x_i - \bar{x}|\} \quad (\text{式5.18})$$

【0294】

試験変数 F は、式5.18を考慮して、次式となる。

20

【0295】

【数22】

$$F = \frac{\bar{D}}{\text{median}(x_i)} \quad (\text{式5.19})$$

【0296】

この変数は、パラメータ化された限界値 r と比較検査される。その際、この試験変数を算定するために、リアルタイム階層からの少なくとも10個の測定値が必要とされる。サンプリング周波数 $f_{\text{abtest}} < 10 \text{ Hz}$ の場合、自動的に保存手続きが開始され、この

手続きによって、当該のサンプリング周波数に応じて、所定の個数 n のデータパッケージが一時的に保存される。これによって、現在のリアルタイムメモリのデータ内容に、先行するデータパッケージのデータを書き込むことができ、その結果、常に十分なリアルタイム標本値が、試験変数の算定のために利用できる。次の条件、すなわち、

30

【0297】

【数23】

$$F > r \quad (\text{式5.20})$$

【0298】

に従って、それに対応するバイナリのエラー登録が行われる。HFAのバイナリ結果を容易に得るために、この2つの提示された方法の一方のみを起動すべきである。本発明においては、式5.17に従った手順が好ましい。これにより、HFAは $p = 1$ という分離強度を有する。なぜなら、当該の信号は、時点 t において $F > r$ あるいは $\text{SNR} > \text{SNR}_{\text{krit}}$ という条件を満たすか、満たさないかのいずれかであるからである。

40

【0299】

HFAとは対照的に、NFAの場合、利用者ベースのアプローチと自動アプローチとの間で選択が可能である。

【0300】

後に説明する利用者固有のアプローチの場合、当該の相対限界値又は絶対限界値の指定は、利用者によってパラメータ化において行われる。一方、同様に後に説明する自動アプローチの方式は、まず第一に、測定データが統計的に異常な値にならないように、逸脱す

50

べきではない限界値を算定するために用いられる。

【0301】

その際、評価は、原則として限界値監視によって行われ、この監視において、統計的な手法を用いて、又は、パラメータ化によって、当該の限界値が決定される。しかし、この種の限界値監視は、上述したリミットチェックと混同すべきではない。リミットチェックと異なり、当該の限界値は、信号解析において、パラメータ化可能な区間 $[t - n, t]$ に対してのみ適用される。

【0302】

NFAの間に、データベースから特性値、限界値又は試験変数が算出される（図25を参照）。それに続いて、データベースの要素が、算定された限界値と比較される。その際、標本の要素が許容限界値を逸脱しているか、及び、許容限界値を逸脱した要素がどれだけあるか、ということが突き止められる。異常値と統計的基本仮定値との個数によって、信号品質を直接的に記述することができる。さらに、監視区間中にプロセス又は当該信号が統計的管理状態にあったかどうかを、決定することができる。

【0303】

ここでもう一度明確に指摘しておくが、統計的信号解析は、ただ数学的に根拠づけられた推定を提供するに過ぎず、物理的妥当性に関する情報を与えるものでは決してない。統計的信号解析は、統計的に見て根拠のある異常性を示す情報を提供するだけである。しかし、利用者が指定した（絶対又は相対）限界値によって、測定原理と当該測定点の物理特性とが考慮される。このためには、適当なパラメータ化以外に、標本値 x_i と限界値との比較を組み入れなければならない。

【0304】

自動信号解析のためには、統計的アプローチが好ましい。これに関連して、標本特性値、代表値、外れ値又はその他の特性変数を決定するための多くの統計的な検定及び方式がある。その際、注意すべきことは、時に統計的限界値が非常に狭く算定され、その結果、これらの限界値を物理的に又は測定技術の観点から実現できないことがある、という点である。しかし、明らかに狭すぎる、又は広すぎる算定限界値は、一般的に、上述の限界条件の侵害に関する指標、又は、信号欠落やインタフェース問題による結果に関する指標である。これは、大抵の場合、当該信号の非常に大きな、又は非常に小さな標準偏差に基づく。

【0305】

絶対限界値及び相対限界値の算定は、中央値、及び、検査に用いられるパラメータ化された閾値を使って行われる。最後の測定データ点 x_i に関する相対偏差 R の算定は、式5.21に従って行われる。

【0306】

【数24】

$$R_{\min} < R = \left| \frac{x_i - \bar{x}}{\bar{x}} \right| < R_{\max} \quad (\text{式5.21})$$

【0307】

この試験変数 R は、中央値

【0308】

【数25】

$\bar{x}$

【0309】

を中心とする利用者指定の相対限界値 $R_{\min}$ 及び $R_{\max}$ （例えば $+/-5\%$ ）と比較検査される。この値が限界値を超えている場合、測定データ点は外れ値としてマーキングされる。

【0310】

絶対偏差 A の算定は、最後の測定データ点 x_i について式5.22に従って行われる。

【0311】

【数26】

$$A_{\min} < A = |x_i - \bar{x}| < A_{\max} \quad (\text{数式5. 22})$$

【0312】

その際、A値は、中央値

【0313】

【数27】

$$\bar{x}$$

【0314】

を中心とする利用者指定の絶対限界値（例えば $+/-5 \text{ min}^{-1}$ ）と比較検査される。この値が限界値を超えているとき、この場合も、測定データ点は外れ値としてマーキングされる。

【0315】

自動的なアプローチとして、特性変数又は限界値を算定するための、さまざまな分布依存性の方式が考えられる。しかし、分布依存性の方式のためには、先立ってまず、対応する分布がもともと存在するかどうかを検査しなければならない。これにより、限界条件、特性変数及び限界値という各ブロックに信号解析を分類することになった。

【0316】

限界条件というブロックでは、現在のデータが、データベースからジャンプ及びドリフトを有していないかどうか、及び、正規分布と統計的独立性とに対する要求が満たされているかどうか解析される。

【0317】

特徴的な特性変数の算定は、特性変数というブロックにおいて行われる。これらの変数は、データベースの統計的な信号対雑音比の目安として用いられる。これにより、観測されたデータパケットの基本品質に関する記述を行うことができる。

【0318】

限界値というブロックは、外れ値検出に用いられる。

【0319】

上述の各ブロックに関する多くの統計的な方式、検定及び特性変数の中から、各範囲について、幾つかの方法が選出され、統合された測定データ診断に対するそれらの方法の適正が解析された。

【0320】

正規分布を調べるために、ジャルク・ベラ検定及びコルモゴロフ・スミルノフ検定が、リリフォースの修正（リリフォース検定）と共に分析された。統計的独立性の検定は、自己相関係数の観測、あるいは、R. A. フィッシャーによる相関性についての仮説検定、及び逐次的な差の分散によって行われる。特性変数の領域では、変動係数、平均二乗偏差、標準誤差、中央値からの偏差が、信号対雑音比の特性値として分析された。限界値による外れ値管理のために、Zスコア検定、グラッブスによる外れ値検定、ナリモフによる外れ値検定及び品質管理図の方式が検討された。上記方式の選択は、実質的に計算コスト及び頑健性に基づいて行われた。

【0321】

計算コストは、1つの試験について新しい変数及び計算がどれだけ必要であるかによって定められる。ある方法が標準偏差又は中央値及び平均値のような変数を用いる場合、この方法を優先すべきである。なぜなら、これらの変数は、常に標準モードで算定されるからである。

【0322】

一方、頑健性は、ある方式が、干渉を受けたデータをどの程度良好に処理できるかを表す。例えば、平均値と中央値との間で選択を行える場合、ここでは常に中央値が用いられる。中央値の方が極値に対する感度が小さいからである。すなわち、中央値は極値に対し

10

20

30

40

50

て頑健性を有する。同様のことが、例えば、平均二乗偏差についても当てはまる。標準偏差と比較して、平均二乗偏差の方がやはり極値に対して頑健性を有している。

【0323】

測定データ診断に対する各方式の適正を客観的に評価できるように、200個以上のランダムに選択された測定ファイルが、評価の基礎として用いられた。これらのデータは、個々の標本についてチャンネル毎にそれぞれ30個の値を用いて分析された。メモリ上及び容量上の理由から、ロールメモリは連続的ではなく、書き込み消去方式によって書き込まれる。

【0324】

正規分布の検査は、さまざまな統計的検定によって行うことができる。本発明においては、ジャルク・ベラ検定及びコルモゴロフ・スミルノフ検定が、リリフォースの修正（リリフォース検定）と共に分析され、それらの、測定データ診断における正規分布の評価のための適正が解析された。

【0325】

関連分野の文献から分かることは、リリフォース検定は、特に標本の大きさが小さい場合に、他の検定以上に正規分布からの偏差を検出するということである。さらに、リリフォース検定は、非常に頑健であるが、しかしまたあまり精密ではないとされている。リリフォース検定とは対照的に、ジャルク・ベラ検定は、分布の形を歪度と尖度の特性値を評価する漸近検定である。両検定の比較のために考慮すべきことは、統計学の文献においては、分析対象のデータが「近似的に正規分布」している場合、正規分布に対する要求が一般的に既に満たされているとみなされる、ということである。

【0326】

最大20000個のチャンネル毎の個別標本を分析することによって明らかになったことは、ジャルク・ベラ検定の検定統計は、非正規分布データにおいて、リリフォース検定の場合よりも、試験変数との相違が著しく大きいということである。従って、帰無仮説は、明らかに「より強く」棄却される（強い判定）。これはまた、近似的な正規分布も排除する。その際、分かったことは、ジャルク・ベラ検定は、両検定の直接的な比較では、リリフォース検定よりも明らかに控えめな判定を行うということである。このことは、測定データ診断のためには、「近似的に正規分布した」という表現からも、全く十分である。これらの理由から、及び幾分計算コストが削減されることから、ジャルク・ベラ検定が、正規分布の評価のために選択された。

【0327】

統計的独立性を評価するために、全部で3つの異なった方法が分析された。自動相関係数（AKK）の評価とは異なり、逐次的な差の分散及びR. A. フィッシャーによる相関検定は仮説検定である。

【0328】

AKKに関する統計的独立性の検査は、データベースのいわゆるラグ1列について行われる。ラグとは、ここでは、値が*i*個分の位置だけシフトされている値列を意味する（自己相関関数又はいわゆるラグ*i*列）。このシフトから、相関係数の決定に関連する2つのデータ列が生じる。データ列の、自分自身との相関であるので、この場合、AKKと呼ばれる。また、AKKは、自己相関関数から数式5. 23に従って正規化することによっても算出できる。

【0329】

【数28】

$$\rho_{xy}(\tau) = \frac{R_{xy}(\tau)}{R_{xy}(0)} \quad (\text{式5. 23})$$

【0330】

関連分野の文献から、独立性の正確な目安として設定される明示的な値を挙げることはできない。しかし、非特許文献14に、自己相関係数AKK = |0. 5|による観測が記載

10

20

30

40

50

されている。さらに、以下の考え方がなされている。すなわち、

$P_{x,y} = 0$ である場合、XとYとは無相関であることを意味する。

$P_{x,y} \neq 0$ かつ $|P_{x,y}| \leq 0.5$ である場合、XとYとは弱い相関性を有することを意味する。

$0.5 < |P_{x,y}| \leq 0.8$ である場合、XとYとは相関性を有することを意味する。

$0.8 < |P_{x,y}| \leq 1$ である場合、XとYとは高い相関性を有することを意味する。

【0331】

測定データ診断における信号解析に関しては、定義によって、独立性を有するために $AKK \leq |0.5|$ が満たされねばならないと定められる。バイナリ結果のみを提供する仮説検定とは対照的に、AKKの観測時、理論的には任意の閾値さえ入力することができる。これにより、利用者は、相関性の程度に関する、より優れた情報が得られる。従って、AKKは、独立性についての定量化可能な判定を提供し、この判定を、利用者は容易に理解し、パラメータ化することができる。AKKの利用を肯定するその他の理由は、試験変数の算定のためにテーブル値を伴う必要がないこと、及び、AKKはまた、この章で説明している

10

【0332】

【数29】

$\bar{x}$

【0333】

品質管理図を補正するためにも用いられることである。

20

【0334】

これらの理由から、統計的独立性の評価は、自己相関係数の算定によって、限界値 $AKK < |0.5|$ に照らして行われる。

【0335】

統計学の重要な道具の1つは、散布度の解析である。これは、標本の変動性又は分布を示す特性変数である。NFAに対しては、標準誤差、平均二乗偏差並びに変動係数及び中央値からの偏差が分析された。

【0336】

その際、変動係数が特に注目された。なぜなら、変動係数の定義は、統計学的に表された信号対雑音比 (SNR_{Statistik}) の逆数に相当するからである。統計学的に定められたSNR_{Statistik}は、測定された信号の標準偏差に対する平均値の比と定義されており、式5.24によって算定される。

30

【0337】

【数30】

$$SNR_{Statistik} = \frac{\bar{x}}{s} \quad (\text{式5.24})$$

【0338】

SNR_{Statistik}がデシベルで表される場合、式5.17を使った場合と同じ値が得られる。ただし、これは、厳密には定常動作点に関してのみ当てはまる。

【0339】

40

【数31】

$$SNR_{Statistik} = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{\bar{x}}{s} \right) \quad (\text{式5.25})$$

【0340】

すなわち、NFAにおいて、及び、定常状態を前提とする場合、式5.25によってSNRを算定できる。平均値と標準偏差とはいずれも標準モードで算定されるので、追加コストは非常にわずかし発生しない。SNR_{Statistik}以外に、他の上記特性値が、同じデータセットを用いて分析された。その際、特性変数による信号品質の評価は、SNR_{Statistik}を含む式5.25に従って行われた。

50

【0341】

【数32】

$$SNR_{Statistik, bin} = \begin{cases} 0 & \text{für } SNR < SNR_{Statistik, krit} \\ 1 & \text{für } SNR \geq SNR_{Statistik, krit} \end{cases}$$

【0342】

HFAの場合と同じ限界値が用いられる。

【0343】

【表9】

検査	検出強度	許容差
SNR _{Statistik}	高	50 dB
	中	30 dB
	低	20 dB

10

【0344】

この判定の根拠は、SNR_{Statistik}の算定のために、HFAの場合と同じ関数を用いることができるということである。従って、自動的に、パラメータ化コストも最小限に抑えられる。同時にまた、より多くの特性変数を用いる場合は、計算コストも増大するであろう。

【0345】

20

限界値のブロックに関しては、代表的な外れ値検定としてナリモフ検定とグラッブス検定とが分析された。一方、信号品質を評価するために、プロセス監視と製品監視とで構成される方法が新たに用いられた。その際、特に注目したのは、品質管理図方式及び Western Electric 社の品質管理、いわゆる WECO ルールであった。

【0346】

品質管理図（Q R K）は、統計的プロセス管理ツールである。これらのツールを用いて、不可避のランダム分散と、プロセス干渉に基づく系統偏差とを区別することが試みられる。品質管理図によってプロセス解析が実施され、それに続いて、観測されたプロセスが、所定の品質特性（例えば平均値）に関してコントロールがなされているかどうか、という問いに答えることができる。その際、Q R Kは、平均値 μ 又は標準偏差 σ が、望ましくない影響によっていつ変化したのかを示すという役目を担う。コントロールされている場合、安定したプロセス又は乱されていないプロセスとも呼ばれ、このプロセスは、「統計的管理」の下にあるという言い方をする。この検討は、本書においては、2つのQ R K、すなわち典型的なシューハートQ R K又は

30

【0347】

【数33】

X管理図

【0348】

とCUSUM-Q R Kとに限定される。

【0349】

40

統計的プロセス管理における標準仮定の1つは、上述した、独立性を有する正規分布のデータが必要であるということである。その際、独立性の方が、正規分布よりも明らかに感受性が高い。

【0350】

Q R Kの機能性に対する、相関性を有するデータの作用については、非特許文献15において詳細に検討されている。導入として、ここでも、このテーマに関する広範な文献を参考にすることができる。しかしここでは、非特許文献16、非特許文献17、非特許文献18、非特許文献19だけを指摘しておく。これらの文献は全て、主にシューハート管理図を扱っている。また、統計的プロセス管理における相関性を有するデータの問題点及び作用について広範な見通しを与える文献は、非特許文献20、非特許文献21、非特許

50

文献 2 2、非特許文献 2 3、非特許文献 2 4、非特許文献 2 5 である。

【0351】

品質管理図を利用する場合、誤警報が観測中にどれくらいの頻度で期待されるべきか、及び、系統誤差、例えば平均値のドリフトがどれほど素早く検出できるのか、を明らかにする必要がある。

【0352】

期待されるエラー通知に関する目安は、通常、A R L (Average Run Length) と呼ばれる平均連長である。A R L は、Q R K において、平均して、1 つの点を管理限界の外で検出するまでに、安定したプロセスの、連続するデータ点をどの程度の長さプロットしなければならないか、を表す。従って、統計的管理下にあるプロセスについては、A R L はできる限り大きいことが望ましい。一方、プロセスが統計的管理下でない場合、A R L はできる限り小さいことが望ましい。なぜなら、これによって、監視している品質特性における変化が、その分素早く検出されるからである。非特許文献 2 6 に、標準化された特性変数 h 及び k を用いてシューハート Q R K 及び C U S U M - Q R K の A R L について算定した値が記載されている。

【0353】

【表 10】

平均値の変化 ($k = 0.5$)	$H\sqrt{n}/\sigma$		シューハート
	4	5	
0	336	930	371
0.25	74.2	140	281.14
0.5	26.6	30	155.22
0.75	13.3	17	81.22
1	8.38	10.4	44
1.5	4.75	5.75	14.97
2	3.34	4.01	6.3
2.5	2.62	3.11	3.24
3	2.19	2.57	2
4	1.71	2.01	1.19

表 T 5. 7 C U S U M - Q R K 及びシューハート Q R K における A R L 値

【0354】

$k = 0.5$ と設定されている場合、平均値の変化は、表 T 5. 7 の第 1 列の値に 0.5 を加えることによって決められる。例えば、 $h = 4$ において平均値が 1σ 変化したことを検出するためには、C U S U M - Q R T の A R L は、 $A R T_{C U S U M} = 8.38$ となる。

【0355】

表 T 5. 7 の最後の列には、同じ平均値偏差に対応する、シューハート Q R K の A R L が記載されている。これは、 $A R L_{S h e w h a r t} = 1/p$ である。ただし、 p は、1 つの点が管理限界から逸脱する確率である。これから明らかになることは、 3σ 限界であり、かつ、正規分布であると仮定した場合、上限 (U C L) を超える確率 p は 0.00135 であり、また、下限 (L C L) を下回る確率 p も 0.00135 である。従って、シューハート Q R K を上回る場合又は下回る場合の $A R L_{S h e w h a r t}$ は $1/0.0027 = 370.37$ に算定される。このことから、プロセスが管理下にある場合、371 個の値につき 1 つのエラー通知が予想されることになる。しかし、平均値が 1σ 上方へ変化すると、管理上限とシフトした平均値との間の差は、(3σ ではなく) 2σ だけになる。標準正規分布の水平部分に関する統計学上の基本事項から、 $z = 2$ の場合、この限界を上回る確率 p は 0.02275 ということになる。このとき、シフトした平均と下限との間の差は 4σ であり、

【0356】

【数 3 4】

$$\bar{x} < -4$$

【0 3 5 7】

の確率 p は 0. 0 0 0 0 3 2 という非常に小さな値であり、無視することができる。従って、 $ARL_{Shewhart}$ は、上記の場合、 $1 / 0. 0 2 2 7 5 = 4 3. 9 6$ であると算定される。

【0 3 5 8】

このことから得られる重要な結論は、シューハート Q R K は大きな変化を認識するために、より適しており、C U S U M - Q R K は小さな変化を検出するために、より適しているということである。そこで、表 5. 7 はまた、この見解に関する損益分岐点関数 h であることを示している。

10

【0 3 5 9】

C U S U M - Q R K は、現在の試験変数 S_{Hi} 及び S_{Lo} を算定するために過去の測定値も考慮する管理図である。その際、基準値からの標本値の偏差が、当該時間にわたって累積される。これにより、小さな系統上のプロセス変化も非常に早期にかつ敏感に検出することができる。C U S U M - Q R K の限界は、当該時間に依存する累積度に応じて決定される。これにより、期待値が上方又は下方へシフトすることが防止されるはずである。このために、各測定値から参照値が差し引かれ、その結果、平均値は 0 を中心に変動する。参照値としては、測定データ診断においては、データベースの平均値が用いられる。C U S U M - Q R K の累積特性値は、式 5. 2 8 によって算定される。

20

【0 3 6 0】

【数 3 5】

$$\begin{aligned} S_{Hi} &= \max\{0, S_{Hi}(i-1) + x_i - \bar{x}_{Databasis} - k\} \\ S_{Lo} &= \max\{0, S_{Lo}(i-1) + \bar{x}_{Databasis} - k - x_i\} \end{aligned} \quad (\text{式 5. 2 6})$$

【0 3 6 1】

ただし、 $S_{Hi}(0) = 0$ 及び $S_{Lo}(0) = 0$ である。

【0 3 6 2】

【数 3 6】

$$S_{Hi}(i-1) + x_i - \bar{x}_{Databasis} - k < 0$$

30

【0 3 6 3】

という結果である場合、 S_{Hi} の現在の C U S U M 値はゼロに設定される。しかし、この値がゼロよりも大きい場合、 S_{Hi} は加算される。 S_{Lo} については、これは、 $S_{Lo} < 0$ の場合に加算され、 $S_{Lo} > 0$ の場合に 0 にリセットされるということを意味する。 S_{Hi} が臨界限界 h を上回る場合、当該プロセスは、その時点から「統計的管理下でない」ということになる。非特許文献 1 4 では、 $h = 5$ 及び $k = 0. 5$ が推奨値として挙げられている。表 T 5. 9 は、これに関する 1 例である。

【0 3 6 4】

【表 1 1】

番号	測定値	S_{HI}	S_{LI}	C u s u m	番号	測定値	S_{HI}	S_{LI}	C u s u m
1	324.93	0	0	-0.07	11	324.63	0.13	0	-0.61
2	324.68	0	0	-0.39	12	325.15	0	0	-0.46
3	324.73	0	0	-0.66	13	328.33	2.83	0	2.87
4	324.35	0	0.15	-1.31	14	327.25	4.58	0	5.12
5	325.35	0	0	-0.96	15	327.83	6.91	0	7.95
6	325.23	0	0	-0.73	16	328.5	9.91	0	11.45
7	324.13	0	0.37	-1.6	17	326.68	11.09	0	13.13
8	324.53	0.03	0	-1.07	18	327.78	13.37	0	15.91
9	325.23	0	0	-0.84	19	326.88	14.75	0	17.79
10	324.6	0	0	-1.24	20	328.35	17.6	0	21.14

表T5. 8 CUSUM-QRKの例

【0 3 6 5】

シューハートQRKは、最も頻繁に用いられる管理図である。この管理図は、単独で、又は、他の管理図と組み合わせて用いることができる。その際、管理図で分析される標本は、個別値であっても、あるいは、大きさ n の標本抽出、すなわちいわゆるサブグループであっても構わない。前者の場合、 $\bar{X}$ 管理図と呼び、後者の場合、

【0 3 6 6】

【数 3 7】

 $\bar{X}$ 管理図

【0 3 6 7】

と呼ぶ。サブグループの観測は、ある程度の減衰効果を有し、個々の極値に対する管理図の感度は低下することになる。以降、本書においてシューハートQRKと言うとき、これは、常に

【0 3 6 8】

【数 3 8】

 $\bar{X}$ 管理図

【0 3 6 9】

を意味する。

【0 3 7 0】

進行中のプロセスにおいて観測される母集団については、一般的に標準偏差も平均値も分かっていないので、これらは、適当な推定量を用いて算定しなければならない。このために、進行中のプロセスから、かなりの数である大きさ n の標本が採取される。非特許文献14から、シューハートQRKの場合、 $n = 4$ から5の少なくとも20個のサブグループが推奨されることが分かる。

【0 3 7 1】

通常、

【0 3 7 2】

【数 3 9】

 $\bar{X}$ 管理図

【0 3 7 3】

は、 s 管理図と組み合わせて用いられる。その際、まず、 s 管理図によって、品質特性の分布（本書においては平均値の分布）を定常的とみなせるかどうかを検査される。このためにまず、各サブグループ i について標準偏差 s_i と平均値

【0 3 7 4】

【数 4 0】

 $\bar{x}_i$

【0 3 7 5】

とが算定される。サブグループ数を m とすると、サブグループ

【0376】

【数41】

 $\bar{s}$

【0377】

の平均標準偏差を式5.27に従って算定できる。

【0378】

【数42】

$$\bar{s} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m s_i \quad (\text{式5.27})$$

10

【0379】

s管理図の管理限界を算定するために、もう1つの値、いわゆる

【0380】

【数43】

 $\bar{s}/c_4$ 統計値

【0381】

が必要となる。

【0382】

【数44】

20

 $\bar{s}/c_4$

【0383】

は、未知の母集団σの標準偏差に対する不偏推定値である。因数 c_4 は、標本の大きさnを考慮して、式5.28によって算出するか、あるいは、文献の表から持ってくることができる。

【0384】

【数45】

$$c_4 = \sqrt{\frac{2}{n-1}} \cdot \frac{\left(\frac{n-1}{2}\right)!}{\left(\frac{n-1}{2}-1\right)!} \quad (\text{式5.28})$$

30

【0385】

【数46】

 $\bar{s}$

【0386】

と c_4 とを用いることで、式5.29a及び式5.29bからs管理図の管理限界を算定できる。

【0387】

【数47】

$$UCL = \bar{s} + 3 \frac{\bar{s}}{c_4} \sqrt{1 - c_4^2} = B_4 \bar{s} \quad (\text{式5.29a})$$

40

【0388】

【数48】

$$LCL = \bar{s} - 3 \frac{\bar{s}}{c_4} \sqrt{1 - c_4^2} = B_3 \bar{s} \quad (\text{式5.29b})$$

【0389】

パラメータ B_3 及び B_4 も文献から持ってくることができる。

【0390】

【数 4 9】

 $\bar{X}$ 管理図

【0 3 9 1】

の管理限界も同じように算定される。式 5. 3 0 によって、まず、母集団

【0 3 9 2】

【数 5 0】

 $\bar{X}$

【0 3 9 3】

が算定される。

【0 3 9 4】

【数 5 1】

$$\bar{\bar{X}} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \bar{X}_i$$

(式 5. 3 0)

10

【0 3 9 5】

限界値は、式 5. 3 1 a 及び式 5. 3 1 b で算定される。

【0 3 9 6】

【数 5 2】

$$UCL = \bar{\bar{X}} + 3 \frac{\bar{s}}{c_4 \sqrt{n}} = \bar{\bar{X}} + A_3 \bar{s}$$

(式 5. 3 1 a)

20

【0 3 9 7】

【数 5 3】

$$LCL = \bar{\bar{X}} - 3 \frac{\bar{s}}{c_4 \sqrt{n}} = \bar{\bar{X}} - A_3 \bar{s}$$

(式 5. 3 1 b)

【0 3 9 8】

パラメータ A_3 も文献から持ってくることができる。

【0 3 9 9】

独立性及び正規分布に関する仮定が大きく侵害された場合、これは、特に相関性を有するデータにおいて、管理限界の誤った算定につながる。非特許文献 1 4 から、相関性を有するデータの場合、 $\bar{s}$ 管理図と

30

【0 4 0 0】

【数 5 4】

 $\bar{X}$ 管理図

【0 4 0 1】

との限界値は、一般的にあまりに小さく設定されることが見て取れる。非特許文献 1 8 では、相関性を有するデータがシューハート Q R K の機能性に対して及ぼす作用について分析されており、この問題に関する解決手段が提示されている。しかし、中央集中型の測定データ診断のためには、これらの解決手段は、補正値を伴うさまざまなグラフを必要とするので、あまりに高コストである。それにもかかわらず、相関性を有するデータにも有効であるように、本発明では、経験的な補正係数が導入された。この補正係数によって、自己相関係数 A K K に応じて、

40

【0 4 0 2】

【数 5 5】

 $\bar{X}$ 管理図

【0 4 0 3】

の管理限界が拡張される。補正限界は、下記の式 5. 3 2 a 及び式 5. 3 2 b によって算定される。

【0 4 0 4】

50

【数 5 6】

$$UCL = \bar{\bar{x}} + 3 \frac{\bar{s}}{c_4 \sqrt{n}} + \frac{1}{1-AKK} \quad (\text{式 5. 3 2 a})$$

【0 4 0 5】

【数 5 7】

$$LCL = \bar{\bar{x}} - 3 \frac{\bar{s}}{c_4 \sqrt{n}} - \frac{1}{1-AKK} \quad (\text{式 5. 3 2 b})$$

【0 4 0 6】

10

補正は、 $A K K > 0.5$ の範囲で実施される。限界があまりに拡張され過ぎないように、 $A K K = A K K_{\max}$ は 0.9 に制限される。

【0 4 0 7】

W E C O ルールは、Western Electric 社の場合、製造プロセスの監視のために開発された。これらのルールは、標本標準偏差 s と $1s$ 、 $2s$ 及び $3s$ に関する重大度限界とに基づいている。これらのルールの背景は、上述のケースの 1 つが発生する確率 p が 0.0027 である場合、正規分布データの際に、観測データの 99.73% が $\pm 3s$ 内にあるので、この確率は偶発的ではなく誤差として評価されるということである。

【0 4 0 8】

20

これらのルールは、以下のように定められている。すなわち、

1. 少なくとも 1 つの値が $3s$ 限界を超える（ゾーン A）。
2. 互いに連続する 3 個の値のうち 2 つが $2s$ 限界を超える（ゾーン B）。
3. 互いに連続する 5 個の値のうち 4 つが $1s$ 限界を超える（ゾーン C）。
4. 互いに連続する 8 個の値が、中心線の一方の側にある。
5. トレンドルールは、互いに連続する 6 個の値が昇順の値又は降順の値であるとき、それらの値がトレンド特性を持つということを意味する。

【0 4 0 9】

個々の方式を対比すると、グラッブス検定と Z スコア検定のみが同じ結果をもたらすこと、及び、比較すると、この両方法が明らかに控えめな結果を出すことが分かる。すなわち、外れ値の検出が少なくなる。一方、

30

【0 4 1 0】

【数 5 8】

 $\bar{\bar{x}} - Q R K$

【0 4 1 1】

と W E C O ルールとを比較した場合に目につくことは、W E C O ルールの方が、

【0 4 1 2】

【数 5 9】

 $\bar{\bar{x}} - Q R K$

【0 4 1 3】

よりも検出頻度が高いことである。この理由はグルーピングにある。W E C O ルールの場合、各値は、減衰されることなく判定に考慮される。

40

【0 4 1 4】

【数 6 0】

 $\bar{\bar{x}} - Q R K$

【0 4 1 5】

の場合、極値は、グルーピングによって弱められる。しかし、W E C O ルールでは、点の連続が重要な役割を担う。従って、限界値ブロックについて、個別の最適な方式を挙げることはできない。ここで考慮すべきことは、上述の全ての方式が、多かれ少なかれ強い分布依存性を有すること、及び、ジャルク・ペラ検定では、同様に多かれ少なかれ強い正規分布を持つ場合が検出されることである。この理由から、外れ値検出のために複数の方式

50

が並行して用いられる。以下の方式を組み合わせることが、極めて的確かつ頑健であることが明らかになっている。

ナリモフ： 検定区間において検出される外れ値が2個である95%レベルでのナリモフ検定

グラッブス： 95%レベルでの帰無仮説 H_0 （外れ値なし）の棄却

QRK： 1つ以上のグループ値が、QRKを逸脱している

Zスコア： 1つ以上の標本値が、 $-3.5 < z < 3.5$ の区間の外にある

後のエラー分離及びエラー検出のために、NFAの個別ブロックから1つのバイナリ結果を生成しなければならない。このために、特別なロジックが開発され、そのロジックが図26に示されている。信号品質のロジックのために、まず、式5.33aから式5.33cが開発され、これらの式によって、個々のバイナリ結果のブロック結果が形成される。

【0416】

【数61】

$$ERB = \frac{Beharrung + Sprung + JBT + AKK}{8} \quad (\text{式5.33a})$$

【0417】

【数62】

$$EKG = \frac{SNR_{Statistik, bin}}{3} \quad (\text{式5.33b})$$

【0418】

【数63】

$$EGW = \frac{N + Grubbs + QRK + Z}{8} \quad (\text{式5.33c})$$

【0419】

これらのブロック結果は、新たに加算され、信号品質の試験変数PGSQと比較される。信号品質領域でエラーを生じない個別方式は、それぞれ定常動作ブロック及び限界値ブロックにおいて実現できないようにPGSQは調節されている。

【0420】

この手順について、短い例を挙げて説明する。測定されたトルクに関するデータベースの評価は、例えば、表5.9に示された結果を提供する。

【0421】

【表12】

限界条件	特性変数	限界値
JBT=0	$SNR_{Statistik}=39.34\text{dB}$	ナリモフ=0
AKK=0	$SNR_{Statistik} < SNR_{Statistik, krit}$	グラッブス=0
定常動作=1	$SNR_{Statistik, bin}=0$	QRK=0
ジャンプ=0		Z検定=0
ブロック結果=0.125	ブロック結果=0	ブロック結果=0
総合結果=0.125+0+0=0.125<0.5⇒信号品質=0		

表T5.9

【0422】

これに関連する品質管理図が図27に示されており、それに関するz変換された分布関数が図28に示されている。その際、図27には、30個の標本値 x_i がMD曲線として示され、QRKのグループ値が x_{bar} 点として示される。UCL及びLCLは、上方管理限界及び下方管理限界を表す。この例ではまた、

【0423】

【数 6 4】

$\bar{x}$ -QRK

【0 4 2 4】

の減衰作用も示されている。 $x_9 < LCL$ 及び $x_{24} < LCL$ であるにもかかわらず、これは、グルーピングによって減衰され、その結果、エラー通知は行われない。

【0 4 2 5】

パラメータ化によって同じ種類の 2 つ以上の測定変数（例えば 4 × 排ガス温度 T_3 ）が選択された場合、各チャンネルについての妥当性関数を個別に算定するかどうか、又は、代表的な変数についてのみ計算を実行するかどうか、について検討する必要がある。

【0 4 2 6】

中央値比較を用いて、関与変数の同一性は、全ての変数から中央値を算定し、この中央値を中心にパラメータ化可能な許容範囲を定めることによって簡単に分析することができる。許容範囲内にある全ての変数に関しては、これらの変数のどれが、以下の妥当性計算のために用いられるかは重要ではない。この手順は、有効性が同じである場合、システム負荷の明らかな低減につながる。

【0 4 2 7】

しかし、中央値比較は、同時にまた能率的なエラー検出方式でもある。これに関連して、図 29 には、2. 2 リッターオットーエンジンにおける排ガス温度シリンダ 1 からシリンダ 4 までの測定が示されている。不具合のある油圧バルブリフタによって、ECU のノッキング検出が起動され、シリンダ 1 について点火時点を遅らせる方向に調整された。それに続いて生じる、排ガス温度の上昇とシリンダ 1 における点火時点の変化とは、中央値比較によるエラー検出につながった。この場合、エラー通知として、 T_3_1 及び ZZP_1 におけるエラーが出力された。それに続くエラー解析によって、「油圧バルブリフタ不良」というエラー原因が特定された。

【0 4 2 8】

最も簡単な場合、試験設備システムは、運転点変更及び変動点変更について正確に明らかにするはずである。しかしまた、この機能を、試験設備システムとは独立して、任意の測定信号に関して用いることができるように、運転点変更検出は、独自の機能として実装される。一般的な表現をすると、この検出は、所定の測定変数におけるジャンプを伴う変化を識別するために用いられ、従って、ジャンプ検出とも呼ぶことができる。

【0 4 2 9】

同じ一連の測定ではあるが、 $t+1$ だけシフトされている 2 つの標本の中央値が、運転点変更の際、互いに明白に異なっているという仮説が、アプローチとして用いられる。しかしまた、この仮説は、変数の、ジャンプを含む変化が、システム動作における重大な変化を引き起こすに違いないということでもある。さらに、実質的にジャンプすることが可能であるのは、設定変数又は基準変数のみであると想定される。この種の変数には、例えば、回転速度、トルク又はアクセルペダル踏み込み量などが含まれ、これらはまた、運転点変更変数とも呼ばれる。点火時点 (ZZP)、 EGR 率又はその他の、 ECU によって調整可能な変数は、ファクタ又は変動変数と呼ばれる。

【0 4 3 0】

ジャンプ検出は、図 30 に模式的に示されているように、互いに対して 1 つの値 ($t+1$) だけシフトされている 2 つのロールメモリによって機能する。両方のロールメモリから中央値が算定される。運転点変更が検出されるのは、式 5. 34 a 又は式 5. 34 b が満たされたちょうどそのときである。

【0 4 3 1】

【数 6 5】

$$\bar{x}_2 > \bar{x}_1 + \text{許容差 (正のジャンプ)} \quad (\text{式 5. 34 a})$$

【0 4 3 2】

10

20

30

40

【数 6 6】

$$\bar{x}_2 < \bar{x}_1 - \text{許容差 (負のジャンプ)} \quad (\text{式 5. 3 4 b})$$

【0 4 3 3】

従ってまた、ジャンプ時点の他に、変化の方向も決定することができる。

【0 4 3 4】

検出されたジャンプには、一般的に「定常動作なし」という状態が伴う。従って、信号解析の上述のロジックブロックにおいて、自動的に信号品質＝1という結果が生成される。形式上、この説明は、全く正確である。なぜなら、この時点において、必要とされる信号品質は生じていないからである。しかし、これが、所望の運転点変更起因すると考えられる場合、ここでは、エラー通知が行われるのではなく、エラー検出が中断される。さらに、運転点変更検出の結果は、同時に、上位の論理ループにおいて承認条件としても用いられる。

10

【0 4 3 5】

図 3 1 は、エンジントルクの、ジャンプを伴う変化が、回転数不変の場合に、さまざまな応答変数、例えば排ガス温度又はオイル温度及び水温に対して、どのように作用するかを示す。基準変数におけるジャンプの検出の他に、信号波形の識別の際、運転点変更検出が決定的な役割を担う。同時にまた、運転点変更を正確に決定することによって、非線形回帰のための開始点及び開始値が得られる。

【0 4 3 6】

20

定常動作検出は、定常的なシステム動作を前提とする全てのサブ機能にとって重要である。これは、特に、信号解析に関する全ての統計的機能に当てはまるが、しかしまた、多くの妥当性方式及び静止診断にも当てはまる。

【0 4 3 7】

その際、選択された各測定チャンネルについて、定常動作が個別に突き止められる。これは、例えば、チャンネル固有の信号解析及び幾つかの妥当性方式にとって重要な承認判断基準である。計算コストを低減できるように、また、定常動作検出は、幾つかの数少ない変数に対してだけ、又は、そのときにプロセス状態全体の指標として用いられる 1 つの変数に対してだけ用いることもできる。排ガス温度、オイル温度又は水温は、この種の変数である。この方法の利用は、それぞれの試験設備状況次第であり、従って、パラメータ化可能に構成されている。

30

【0 4 3 8】

方式上の観点からは、定常動作検出は、勾配に関する設定値／実際値比較である。このために、パラメータ化において各チャンネルについて限界勾配を入力しなければならない。その際、勾配には、準定常的な場合が含まれるべきである。これが意味することは、勾配とは、既に比較的「平ら」であるが、まだ漸近的ではないということである。

【0 4 3 9】

測定データは一般的に確率的特性を示すので、当該の測定信号に対して、適切なデータモデルを作成しなければならない。これに特によく適しているのは回帰モデルであり、とりわけ、線形回帰、ガウス・ニュートン法による非線形回帰、重回帰という 3 つのアプローチである。

40

【0 4 4 0】

線形回帰とは対照的に、非線形回帰及び重回帰の場合、上述の運転点変更検出が必要とされる。運転点変更検出は、回帰アルゴリズムの厳密な開始点を定めるという役割を持つ。なぜなら、そうでない場合、モデル曲線を正確に算定することができず、それに続く勾配比較に誤りが伴うからである。

【0 4 4 1】

上述の各アプローチを試行した結果は、反復法が、非常に敏感であり、1 つの重大な運転点変更の検出に大きく依存するというものであった。さらに、マトリクスを解くための計算コストも無視できない。多記述としてモデル計算式を用いることができるが、しかし

50

、これは、当該アプローチの実施とほとんど効果は変わらない。勾配探索に関しても、線形回帰と比較して利点はない。

【0442】

従って、コストに対して効果が伴っていない。それに対して、線形回帰は、探索する勾配を算定する際、頑健な特性、わずかな計算コスト及び十分な精度という点で優れている。このことは図32にも示されている。従って、統合された測定データ診断における勾配計算のために、線形回帰は特に好適である。さらに分かりやすい図として、図33に、0から140sの範囲が拡大して示されている。その図からよく分かるように、局所的な線形部分モデル(LLM)は、十分な精度で定常動作検出のための測定データ曲線に従っている。

10

【0443】

用いた識別法とは独立して、LLMの算定勾配が、パラメータ化において定められた限界勾配をチャンネル毎に式5.35によって比較される。

【0444】

【数67】

$$\left. \frac{dy}{dt} \right|_{t=t_n} \leq \text{限界勾配} \Rightarrow \text{定常動作に至る} \quad (\text{式5.35})$$

【0445】

「定常動作に至る」という状態と「定常動作に至らない」という状態との間で永久振動することを避けるために、定常動作カウンタが導入された。このカウンタは、1つのチャンネルが「定常動作状態」とであると評価される前に、互いに連続する幾つの反復ステップについて、式5.35が満たされていなければならないのか、を示す。基本設定のために、ここでは5秒という値が提案される。すなわち、当該のチャンネルが、1Hzという動作周波数において、「定常動作状態」と表示されるまでに、5sの間、定常動作状態にあったに違いないということである。このことから生じる遅延は、実際の運転においては副次的な役割しか担わないが、その一方で、利用者に対する情報の質をより良好なものにする。

20

【0446】

妥当性検査の際、物理的なシステム特性が、期待される設定特性と比較される。設定特性の記述は、論理的な関連性及び計算式又はモデルによって行われる。このために、温度、圧力、質量流量及び排ガス排出に関する主要グループが定義され、それらが、当該のツールボックスにまとめられる。ツールボックスは、エラー検出に関する複数の機能を1つの処理ユニットにまとめる機能コレクションを意味する。目的は、優れた検出精度と分離強度とを有する簡単で頑健かつ普遍的な方法を実現することである。

30

【0447】

その際、検出精度は、方式特性でもあり、パラメータでもあるので、確実に検出可能な最小のエラーを示す目安である。ある種の簡略化又は仮定のために、検出精度は方式特性とみなさなければならない。なぜなら、これらの仮定及び簡略化によって、当該の方式についてそれ以上詳細に記述することが不可能になるからである。しかし、利用者が試験タスクに関して検出精度を設定できるので、検出精度はパラメータともみなせる。

40

【0448】

分離強度は、エラー分離におけるエラー検出の自動的評価及び汎用的評価のために導入され、エラーをそのエラーを有する測定チャンネルと関連付けるための、方式の性能と定義される。例えば、 $T_3 > T_2$ という不等式は2つの等価の項を有し、従って分離強度 $p = 0.5$ を有する。機器チェックの方式は、常に分離強度 $p = 1$ を有する。なぜなら、この場合、常に1つのチャンネルのみが観測されるからである。空気質量流量及び燃料質量流量から測定されたラムダ値と算定されたラムダとの比較は、例えば分離強度 $p = 3.3$ を有する。なぜなら、検査の際、3つの等価の情報が用いられるからである。

【0449】

以下において、エラー検出に関する幾つかの関数を提示し、特に頑健性及び分離強度に

50

について検討する。これらの結果は、次にエラー分離及びエラー分類のために用いられる。

【0450】

個々の温度測定点を挙げることによって、位置と従ってまた温度レベルとを推定することができる。このようにして生じる温度のヒエラルキーによって、論理関係が、簡単な不等式を用いて検査できるようになる。これに関して、図34に、温度ツールボックスの構造が、それに関連する入力変数及び出力変数と共に示されている。

【0451】

割り当てを改善するために、及び、システム関連の特殊事項のために、温度ツールボックスの場合、無過給エンジンと、排気ターボ過給機又は圧縮機を有する過給エンジンとの間は区別される。

10

【0452】

無過給エンジンとは異なり、ターボ構造の場合、一般的に給気冷却器の前及び後に測定点を設けることができる。デュアル排気の構成である場合、多くの変数が2倍の個数になる。これが、例えば図35の実際例に示されている。従って、方式及びジョブを実装する際、これらの方式及びジョブも2倍実施できるように注意しなければならない。

【0453】

同じ種類の複数の変数が生じる場合に備えて、上述のマスタークラスが導入された。1つのマスタークラスに複数個の変数が入る場合、計算コストを低減するために第1のステップにおいて当該変数の中央値比較が実施される。当該の全ての変数がこの検定に合格した場合、これらの測定変数は、等価とみなすことができ、第1の変数を代表値として用いて計算することができる。変数が中央値検定に合格しなかった場合、その変数は、異常な変数として検出され、従って、以降の計算では変数として考慮されることはない。個々のマスタークラスへの当該測定個所の割り当ては、パラメータ化中に規準名マッピングにおいて行われる。

20

【0454】

表5.10は、温度ツールボックスがどのような検査で構成されており、これらの検査がどのようなエンジンタイプに適用されるのかを示す。エラー通知を避けるために、温度ツールボックスの方式は、定常運転点においてのみ用いるべきである（承認条件）。これの理由は、例えば、NEEDCサイクルにおけるTDIの排ガス温度特性にある（図36）。容易に分かるように、全サイクル中に、惰行段階によってしばしば $T_4 > T_3$ という状況が生じる。これによって、確かに形式上は正常なエラー検出が行われるであろうが、しかし、このエラー検出は、センサがエラーを有することによって生じたのではなく、運転点が不安定であるために生じている。この理由から、温度ツールボックスの方式は、惰行運転において、及び、非定常運転点においてオフの状態にすべきである。

30

【0455】

分離強度に関して注目すべき点は、全ての不等式が、分離強度 $p = 0.5$ を有することである。水温及びオイル温度の区間検定は、分離強度 $p = 1$ になる。同種の複数の温度を比較する場合は、分離強度 $p = 1/n$ が適用され、その際、 n は関与するチャンネルの個数を表す。

【0456】

40

【表 1 3】

検査	適用
T3>T0	共通
T3>T1	
T 1 = T 0 又は T 1 - T 0 ≤ 1 0	
TWA>TWE	
TKA>TKE	
TÖImin<TÖL<TÖImax	
TWAmin<TWA<TWAmay	
T2>T0	過給エンジン
T2>T1	
T3>T2	給気冷却器を有する過給エンジン
T3>T2s	
T2>T2s	
T2s>T0	
T2s>T1	
T3 _{Zyl1} ≈ T3 _{Zyl2} ≈ ... ≈ T3 _{Zyln}	複数の排ガス温度測定点を有するエンジン
T3>T4	排気ターボ過給機を有する過給エンジン
T4>T0	
T4>T1	
T4>T2	排気ターボ過給機と給気冷却器とを有する過給エンジン
T4>T2s	
T4 _{Bank1} ≈ T4 _{Bank2}	デュアル構成の排気ターボ過給機を有する過給エンジン (例えばV 6、V 8 又はV 1 2)

表 T 5. 10 エンジンタイプに応じた温度ツールボックスのエラー検出方式

【0457】

温度範囲におけるエラー検出の場合と全く同じように、個々の圧力測定点は測定点位置に従って特徴付けられる。これにより、温度ツールボックスの場合と類似したヒエラルキーが生じる。ただし、図 37 に示された圧力ツールボックスの場合、さまざまなエンジンコンセプトの区別は、温度ツールボックスの場合よりもさらに重要である。

【0458】

表 5. 11 は、圧力ツールボックスがどのような検査で構成されており、これらの検査がどのようなエンジンタイプに適用されるのかを示す。その際、圧力ツールボックスの場合も、温度ツールボックスの場合と全く同じ制限事項に注意する必要がある。また、ターボ過給の場合、ある種の負荷範囲に特に注意すべきである。

【0459】

定常運転 ($p_{me} = 1 \text{ bar}$ から) において、過給機は、一般的に常に周囲よりもわずかに高い過圧を供給する。この前提があることによって、圧力 p_0 及び p_1 と給気圧との比較検査を行う各方式が有効となる。この検査は、負荷が小さい場合 ($p_{me} < 1 \text{ bar}$) には中止すべきである。なぜなら、この場合、過給機が絞り弁の働きをする可能性があるからである。これは、特に過給機の軸受位置が低温である場合、及び、これに関連して軸受摩擦がある場合 (「鈍い過給機」) に当てはまる。

【0460】

分離強度に関して注目すべきことは、全ての不等式が分離強度 $p = 0.5$ を有するという点である。オイル圧力の区間検定は、分離強度 $p = 1$ となる。同種の複数の圧力を比較する場合は、分離強度 $p = 1/n$ が適用され、その際、 n は関与するチャンネルの個数を表す。

【0461】

【表 1 4】

検査	適用
P3>p0	共通
P3>p1	
$p_{\text{ÖImin}} < p_{\text{ÖL}} < p_{\text{ÖImax}}$	
P3>p4	排気ターボ過給機を有する過給エンジン
P2>p2s	給気冷却器を有する過給エンジン／ $p_{\text{me}} \geq 1 \text{ bar}$ 及び $T_{\text{ö1}} \geq 60^\circ\text{C}$ の場合のみ
P2>p0	
P2>p1	
$P_{3_{\text{Bank1}}} \approx p_{3_{\text{Bank2}}}$	デュアル排気構成を含む全ての構成物（例えば V 6、V 8 又は V 1 2）
$P_{4_{\text{Bank1}}} \approx p_{4_{\text{Bank2}}}$	デュアル排気構成における排気ターボ過給機を有する過給エンジン （例えば V 6、V 8 又は V 1 2）

10

表 T 5. 1 1 エンジンタイプに応じた圧力ツールボックスのエラー検出方式

【0 4 6 2】

C 収支（炭素収支）は、質量保存の法則に基づいており、原則として、排ガス濃度の妥当性検査にも、空気質量流量及び燃料質量流量の検査にも適している。方式としては、C 収支は、図...に示された排ガスツールボックスに含まれている。

【0 4 6 3】

C 収支においては、エンジン内へ流入及びそこから流出する炭素質質量流量が考慮される。平衡状態（定常運転）のためには、供給される質量流量と排出される質量流量とが、パラメータ化可能な許容差を考慮した上で、等しくなければならない。

20

【0 4 6 4】

C 収支の構成要素は、空気、燃料及びオイルを介してエンジン内へ持ち込まれた炭素質質量流量と、排ガスを介して排出された炭素質質量流量とである。オイルの燃焼によって持ち込まれた C 量は、推定することが難しく、従って、収支では無視される。C 収支に関する許容差を定める際、無視したというこの点も考慮されねばならない。

【0 4 6 5】

さらに、考慮しなければならないことは、排ガス質量流量、排ガスモル質量及び排ガス濃度が常に湿り未処理排ガスに関連するという点である。このことから、どのような排ガス成分を乾式測定し、また、どのような排ガス成分を湿式測定するのかが分かっているという要件、及び、乾式測定した濃度を湿り排ガスに換算しなければならないという要件が生じる。このために、いわゆる湿り補正が必要である。

30

【0 4 6 6】

全ての排ガス計算のために、常に湿り未処理排ガス（排ガス未処理排出、未処理排出）の濃度が用いられる。しかし、排ガス測定の際、機器上の理由から、乾式測定と湿式測定とを区別しなければならない。この事情のために、乾式測定された成分を適当に換算することが必要となる。排ガス分析器の前においてガス冷却器内で冷却される場合、乾式排ガス測定と呼ばれる。このような分析器の場合、燃焼水の凝縮が分析前に起こる。これは、分析器の簡素化につながる。

【0 4 6 7】

湿式排ガス測定の場合、燃焼水の凝縮を防ぐために、当該の分析器（例えば F I D）は十分に加熱される。図 3 9 に、炭素質質量流量の排出例における湿り補正の作用が示されている。補正された質量流量と補正されていない質量流量との差は、約 5. 2 % であり、無視すべきではない。

40

乾式排ガス測定と湿式排ガス測定との間の補正ファクタの計算は、非特許文献 2 7 に従って行われる。このアプローチに従って、補正ファクタは以下のように算定される。

【0 4 6 8】

【数 6 8】

$$t_{\text{corr}} = \left(1 - F_{\text{FH}} \cdot \frac{m_{\text{fuel}}}{m_{\text{air}}} \right) - KW_2 \quad (\text{式A I I I . 1})$$

【 0 4 6 9】

【数 6 9】

$$F_{\text{FH}} = \frac{1,969}{1 + \frac{m_{\text{fuel}}}{m_{\text{air}}}} \quad (\text{式A I I I . 2})$$

10

【 0 4 7 0】

【数 7 0】

$$KW_2 = \frac{1,608 \cdot H_a}{1000 + (1,1608 \cdot H_a)} \quad (\text{式A I I I . 3})$$

【 0 4 7 1】

【数 7 1】

$$H_a = \frac{6,22 \cdot R_a \cdot p_a}{p_s - p_a \cdot R_a \cdot 10^{-2}} \quad (\text{式A I I I . 4})$$

20

【 0 4 7 2】

【数 7 2】

$$p_a = 611,15 \cdot 10^{\frac{7,602 \cdot T}{241,2 + T}} \quad (\text{式A I I I . 5})$$

【 0 4 7 3】

その際、 m_{fuel} は燃料質量流量、 m_{air} は吸入された空気質量流量、 R_a は空気湿度、 P_a は周囲圧力、 T は吸入された空気の温度である。

【 0 4 7 4】

補正ファクタ t_{corr} の算定後、乾きとしてパラメータ化された全ての排ガス成分は 30
、 t_{corr} を用いて、式 A I I I . 6 に従って湿きから湿りへと換算される。

【 0 4 7 5】

【数 7 3】

$$x_{\text{feucht}} = x_{\text{trocken}} \cdot t_{\text{corr}} \quad (\text{式A I I I . 6})$$

【 0 4 7 6】

空気湿度を考慮する場合、理論上、やはり湿り補正を必要とする。しかし、これは、本書においては無視される。

【 0 4 7 7】

湿り補正以外に、空間成分から質量成分への換算もしばしば必要である。排ガス分析器 40
の測定値は、空間成分であり、式 A I I I . 7 によって適当なモル質量を用いて重量成分へ換算することができる。

【 0 4 7 8】

【数 7 4】

$$g_i = r_i \cdot \frac{M_i}{M_{\text{Gemisch}}} \quad (\text{式A I I I . 7})$$

【 0 4 7 9】

個々の成分の質量流量を算定するために、重量成分と総質量流量とを乗算する（式 A I I I . 8）。

50

【0480】

【数75】

$$r_{i, trocken} * \frac{M_i}{M_{Gemisch}} * \dot{m}_{Gemisch} \quad (\text{式A I I I . 8})$$

【0481】

C収支の試験変数自体は、式5.36によって算定される。

【0482】

【数76】

$$ECB = \frac{\dot{m}_{Kohlenstoff, zugef\ddot{u}hrt} - \dot{m}_{Kohlenstoff, abgef\ddot{u}hrt}}{\dot{m}_{Kohlenstoff, zugef\ddot{u}hrt}} \quad (\text{式5.36})$$

10

【0483】

式5.37が満たされない場合、エラーが検出される。

【0484】

【数77】

$$UG \leq ECB \leq OG \quad (\text{式5.37})$$

【0485】

圧力及び温度におけるエラー検出とは異なり、C収支は、原則的に全てのエンジンタイプに用いることができる。負荷が低い場合（ $p_{me} \leq 1 \text{ bar}$ ）、この方式はオフにすべきである。なぜなら、この範囲では、空気質量流量及び燃料質量流量がゼロに接近し、従って、誤通知の恐れが非常に高くなるからである。さらに、考慮すべきことは、通常の排ガス測定技術が、一般的に動的運転用ではないことである。この理由から、C収支は、定常運転点においてのみ用いるべきである。

20

【0486】

簡略化及び無視を伴うことから、並びに、排ガス質量流量測定、空気質量流量測定及び燃料質量流量測定の際の測定精度上の問題から、頑健であるが臨界的なエラー検出を行うために、許容差は、10%未満に選定すべきではない。表T5.12は、検出精度に応じた当該許容差に対する提案例である。

30

【0487】

【表15】

検査	検出強度	許容差
$UG \leq ECB \cdot 100 \leq OG$	高	10%
	中	15%
	低	20%

表T5.12

【0488】

既に上で簡単に言及したように、検出精度の他に、方式の分離強度も重要である。C収支の場合、湿り補正のために、全ての排ガス測定変数（HC、CO、CO₂、O₂、NO_x）と空気及び燃料の質量流量とが、収支に算入される。その際、モル質量、燃料データ及び参入されたラムダが正確であることが前提である。

40

【0489】

全ての変数が等価であると仮定すれば、分離強度 $p = 1 / 7 = 0.14$ となる。この仮定は、当然、支持されない。なぜなら、例えば、ディーゼルエンジンの場合、変数O₂及びCO₂は%レベルであり、HC、CO及びNO_xという変数はppmレベルであるからである。従って、これらの変数の間には10000倍の差がある。このことから推定されることは、HC、CO又はNO_xという変数に大きなエラーがあったとしても、C収支には大きな影響を及ぼさないということである。このような事情を証明するために、2.0 L・TDIにおいてステップ測定を用いて、C収支に対する個々の成分が分析された。測

50

定のために以下の点が設定された。

【0490】

【表16】

回転速度	トルク	ステップ時間
2000 min ⁻¹	50 Nm、100 Nm、150 Nm	300 s

【0491】

この分析において、次々に全てのコンポーネントに50%エラー（測定値×1.5）が印加され、オリジナル測定と比較された。その結果が図40に示されている。

【0492】

図40からまず分かることは、エラーを含んだ測定の場合、流入する炭素質質量流量と流出する炭素質質量流量との間の差が5%から10%であり、従って、最低の検出精度が10%で良いということが証されている。

【0493】

空気質量流量又は燃費質量流量（MLあるいはMB）において、及び、CO₂濃度において、正しい測定値に対する50%エラーは、図39に示されているように、C収支の結果における有意な偏差につながる。一方、変数NO_x、CO、O₂における同様のエラーは、有意な作用を及ぼさない。

【0494】

CO₂排出は、排出される炭素質質量流量の算定のためにのみ用いられるので、人工的な50%エラーは、負のC収支を通して現れる。すなわち、供給される炭素よりも排出される炭素の方が多い。一方、空気質量流量は、収支の正負両面に関与する。しかし、その際、考慮すべきことは、吸入された空気のCO₂濃度（約350 ppm）が、排ガスにおける濃度よりも明らかに低いということである。従ってまた、排出側での作用が、供給側での作用よりも明らかに大きい。これは、負のC収支として現れる。

【0495】

ちょうど逆のことが、燃料質量流量の計算において現れる。この場合、供給される燃料の項による供給側における影響は、排出側よりも明らかに大きい。これは、正のC収支という特徴となる。

【0496】

逆のエラーケースでは、上記特徴は、上述した論拠によって同様に逆になる。偏差が小さくても、この作用は同じであるが、それほど明確には現れない。

【0497】

このことから導出できることは、C収支の分離強度が、質量流量及びCO₂濃度の点で優れていると言えることである。HC、CO、NO_x及びO₂という変数については、分離強度はほぼゼロと言える。COの場合は、まだオットーエンジンとディーゼルエンジンとを区別しなければならない。従って、C収支は、下記のチャンネル固有の分離強度に達する。

【0498】

【表17】

チャンネル	分離強度 p	
	オットー	ディーゼル
HC	0.0001	0.0001
CO	0.25	0.0001
CO ₂	0.25	0.25
O ₂	0.25	0.25
NO _x	0.0001	0.0001
ML	0.25	0.25
MB	0.25	0.25

表T5. 13 C収支のチャンネル固有の分離強度

10

20

30

40

50

【0499】

さらに、C収支から、後のエラー分離及びエラー分類の際に特に有用な特徴も導出できる。これにより、C収支の負の有意な偏差は、空気質量測定又はCO₂測定における正のエラーに関する特徴として利用できる。正の有意な偏差は、燃料質量流量測定における正のエラーに有用である。この場合、正は、測定値が高すぎることを意味する。

【0500】

酸素収支は、上述のC収支と同じアプローチに基づいている。その際、エンジン内に流入する酸素質量流量とそこから流出する酸素質量流量とが差引勘定される。図41は、O₂ツールボックスの構造を示す。

【0501】

O₂収支の試験変数自体(E_{O₂B})は、式5.38に従って算定される。

【0502】

【数78】

$$EO2B = \frac{\dot{m}_{O_2, \text{zugeführt}} - \dot{m}_{O_2, \text{abgeführt}}}{\dot{m}_{O_2, \text{zugeführt}}} \quad (\text{式5.38})$$

【0503】

式5.39が満たされない場合、エラーが検出される。

【0504】

【数79】

$$UG \leq EO2B \leq OG \quad (\text{式5.39})$$

【0505】

C収支と全く同じように、酸素収支も、定常運転のために、及び、 $p_{me} > 1 \text{ bar}$ の場合にのみ用いるべきである。表T5.14は、検出精度に応じた当該許容差に関する提案例である。

【0506】

【表18】

検査	検出強度	許容差
$UG \leq EO2B \cdot 100 \leq OG$	高	10%
	中	15%
	低	20%

表T5.14 O₂収支における検出強度に関する推奨値

【0507】

分離強度の検討のために、前章のシナリオが用いられる。その結果が、図42に示されている。

【0508】

C収支とは対照的に、予想されるように、幾分異なった図となる。空気質量流量と燃料質量流量とに対するエラーの作用は、確かに認められるが、それにもかかわらず、まだ推奨検出閾値を下回っている。一方、O₂チャンネル又はCO₂チャンネルにおける50%エラーによる作用は、明らかに有意である。負の方向に特徴が現れるのは、排出酸素質量流量が「高すぎる」ためであると説明できる。このことから推定されることは、O₂収支の負の有意な偏差は、O₂測定又はCO₂測定における正のエラーの特徴として導出できるということである。

【0509】

従って、O₂収支は、下記のチャンネル固有の分離強度になる。

【0510】

10

20

30

40

【表 19】

チャンネル	分離強度 p	
	オットー	ディーゼル
HC	0.0001	0.0001
CO	0.2	0.0001
CO2	0.2	0.25
O2	0.2	0.25
NOX	0.0001	0.0001
ML	0.2	0.25
MB	0.2	0.25

表 T 5. 15 O₂収支のチャンネル固有の分離強度

10

【0511】

測定データ診断において、さまざまなラムダ値を得ること、あるいは、これらのラムダ値を比較することが可能である。これは、常に、大域的な空気燃料比であり、定常点における供給変数と排出変数との間の関係を表す。図 4 3 は、ラムダ比較の関数全体を概略的に示す。

【0512】

図 4 3 から分かるように、基本的に、それぞれのラムダ値の算定あるいは測定に関する 3 つの情報源、すなわち、測定値としてのラムダ（エンジン自体／車両自体のラムダプローブ（ λ E C U）による E C U のラムダ又は外部プローブ（ λ S o n d e）の測定値としてのラムダ）、空気質量流量と燃料質量流量（ λ L u f t / K r a f t s t o f f）、あるいは、排ガス排出（ λ B r e t t s c h n e i d e r）から算定されたラムダがある。

20

【0513】

ラムダ比較は、実質的に、冗長な変数を比較することによって、排ガス流量及び質量流量におけるエラーを検出するという役割を担う。個々の結果の処理は、ロジックツールボックスで行われる。方式上、ラムダ比較は、質量流量ツールボックスに割り当てられている。

【0514】

ブレットシュナイダーの式に関する計算コストを低減するために、以下の簡略化が行われた。

30

【0515】

パラメータ化において、空気湿度及び周囲温度に関するデータが指定される（例えば $T_{U m g} = 20^{\circ}C$ の際に $\psi = 50\%$ ）。オイル消費量は 0 に設定される。炭素には硫黄が含まれていないと仮定される。排ガスには、化合物 NH_3 、 H_2S 、 H_2 が含まれる濃度は非常に低く、無視できる。 HC 化合物である CH_4 、 CH_3OH 及び $HCHO$ は、 FID によって大部分検出され、残りは無視される。

【0516】

λ B r e t t s c h n e i d e r、 λ L u f t 及び λ S o n d e から、表 T 5. 16 の検査ルールが導出される。算定された λ 値及び／又は測定された λ 値が厳密に同じであることは期待できないので、比較の際、一定の許容差を設けなければならない。このことは

40

【0517】

【数 80】

≡ 記号

【0518】

によって表される。

【0519】

許容差は、パラメータ化可能であり、同時にまた個々の検査ルールの検出精度の指標でもある。

【0520】

50

良好な頑健性と厳密なエラー検出との間の目標の相反を客観的に記述できるように、ブレットシュナイダーの式の簡略化による作用、及び、運転点とさまざまな測定方法とによる作用が分析された。

【0521】

【表20】

検査	適用
$\lambda_{Brettschneider} \cong \lambda_{air/fuel}$	共通
$\lambda_{Brettschneider} \cong \lambda_{ECU}$	
$\lambda_{Brettschneider} \cong \lambda_{Sonde}$	
$\lambda_{air/fuel} \cong \lambda_{Sonde}$	
$\lambda_{air/fuel} \cong \lambda_{ECU}$	
$\lambda_{Sonde} \cong \lambda_{ECU}$	
$0.7 \leq \lambda_{Sonde} \cong \lambda_{ECU} \cong \lambda_{Brettschneider} \leq 1.3$	オットーエンジン
$1.2 \leq \lambda_{Sonde} \cong \lambda_{ECU} \cong \lambda_{Brettschneider} \leq 10$	ディーゼルエンジン

表T5. 16 ラムダ比較におけるエラー検出方式

【0522】

ブレットシュナイダーによる計算の際の簡略化という理由から、及び、空気質量流量及び燃料質量流量の測定時の測定精度上の理由から、頑健であるが臨界的なエラー検出を行うために、許容差は、10%未満に選定すべきではない。表T5. 17は、検出精度に応じた当該許容差に対する提案例である。

【0523】

【表21】

検査	検出強度	許容差
$\lambda_{Brettschneider} \cong \lambda_{air/fuel}$	高	10%
$\lambda_{Brettschneider} \cong \lambda_{ECU}$	中	15%
$\lambda_{Brettschneider} \cong \lambda_{Sonde}$	低	20%
$\lambda_{air/fuel} \cong \lambda_{Sonde}$		
$\lambda_{air/fuel} \cong \lambda_{ECU}$		
$\lambda_{Sonde} \cong \lambda_{ECU}$		

表T5. 17 ラムダ比較における検出強度の推奨値

【0524】

ラムダツールボックスの場合も、圧力ツールボックス及び温度ツールボックスの場合と同じ運転条件及び遮断条件が適用される。すなわち、定常運転点の場合にのみ用いるべきであり、また、各方式は、惰行運転時にはオフにされるということである。

【0525】

λ 検査ルールに関する分離強度の検討は、幾分異なった様相を呈する。

【0526】

【数81】

$$\lambda_{Sonde} \cong \lambda_{ECU}$$

【0527】

という比較は、分離強度 $p = 0.5$ という特徴を有する。なぜなら、等価の測定信号が検査に2つしか含まれないからである。

【0528】

一方、

【0529】

【数82】

$$\lambda_{Luft / Kraftstoff} \cong \lambda_{ECU}$$

【0530】

と

【0531】

10

20

30

40

50

【数 8 3】

$$\lambda_{\text{Luft} / \text{Kraftstoff}} \equiv \lambda_{\text{Sonde}}$$

【0 5 3 2】

という比較では、それぞれ 3 つの等価の測定信号が含まれており、そこから、分離強度 $p = 1 / 3$ が生じる。

【0 5 3 3】

一方、

【0 5 3 4】

【数 8 4】

$$\lambda_{\text{Luft} / \text{Kraftstoff}} \equiv \lambda_{\text{Breitschneider}}$$

10

【0 5 3 5】

及び

【0 5 3 6】

【数 8 5】

$$\lambda_{\text{Breitschneider}} \equiv \lambda_{\text{ECU}}$$

【0 5 3 7】

あるいは

【0 5 3 8】

【数 8 6】

$$\lambda_{\text{Breitschneider}} \equiv \lambda_{\text{Sonde}}$$

20

【0 5 3 9】

に対する方式分離強度は、チャンネル毎に観測されねばならず、表 T 5. 1 8 にまとめられている。

【0 5 4 0】

炭素はオットーエンジンの場合に % で、ディーゼルエンジンの場合に p p m で測定されるので、チャンネル固有の分離強度を決定する際、エンジンの両タイプを区別しなければならない。その際、簡略化のために、オットーエンジンの場合、CO 項が、CO₂、O₂、ML、MB、 λ_{Sonde} 及び λ_{ECU} の各項と同じ重要性を有すると仮定される。NO_X 項は、方式分離強度を決定する際、 $p_{\text{NOX}} = 0.0001$ であるので無視される。ディーゼルエンジンの場合、さらに CO 項も無視される。

30

【0 5 4 1】

方式分離強度の決定について、

【0 5 4 2】

【数 8 7】

$$\lambda_{\text{Luft} / \text{Kraftstoff}} \equiv \lambda_{\text{Sonde}}$$

【0 5 4 3】

という方式例を用いて簡単に説明する。この方式がオットーエンジンに用いられる場合、変数 HC、CO、CO₂、O₂、NO_X 及び λ_{Sonde} が、計算のために必要となる。しかし、HC 及び NO_X は、分離強度の決定に対する影響はわずかであるので無視される。従って、7 つではなく 5 つの等価項だけが、p の決定のために用いられ、分離強度 $p = 1 / 5$ が生じる。

40

【0 5 4 4】

【表 2 2】

	分離強度 p		分離強度 p		分離強度 p	
	オットー	ディーゼル	オットー	ディーゼル	オットー	ディーゼル
HC	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
CO	0.2	0.25	0.0167	0.2	0.0167	0.2
CO2	0.2	0.25	0.0167	0.2	0.0167	0.2
O2	0.2	0.25	0.0167	0.2	0.0167	0.2
NOX	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
ML	0.2	0.25	0.0167	0.2	0.0167	0.2
MB	0.2	0.25	0.0167	0.2	0.0167	0.2

10

表 T 5. 1 8 O 2 収支のチャネル固有の分離強度

【0 5 4 5】

上述した各収支の場合と全く同じように、ラムダ比較の場合も、エラー検出のための適当なエラー特徴が抽出される。図 4 4 から明確に分かるように、空気又は燃料の質量流量測定における重大なエラーは、ラムダ計算における当該の特徴につながる。一方、ブレットシュナイダーによる計算の場合、予想されるように、CO₂ 測定及び O₂ 測定の点でエラーが大きくなる。

【0 5 4 6】

燃料分析によって、主要成分 $c_{\text{Brennstoff}}$ 、 $h_{\text{Brennstoff}}$ 及び $o_{\text{Brennstoff}}$ を決定することができる。これらの成分の合計は、ほぼ 1 でなければならない。パラメータ化において、各燃料に関する規定値を選定するか、又は、現在の値を入力することが可能である。入力時、式 5. 4 0 の条件が満たされているかどうかを検査される。

20

【0 5 4 7】

【数 8 8】

$$0.99 < c_{\text{Brennstoff}} + h_{\text{Brennstoff}} + o_{\text{Brennstoff}} < 1.01$$

(式 5. 4 0)

【0 5 4 8】

さらに、ノーマル、スーパー、スーパープラス及びディーゼルという通常の各燃料に関する複数の燃料分析作業から、主要成分についての最小値及び最大値を参照標準として得ることができた。

30

【0 5 4 9】

【表 2 3】

オットー燃料	
$c_{\text{Brennstoff min}} = 0.8466$	$c_{\text{Brennstoff max}} = 0.8865$
$h_{\text{Brennstoff min}} = 0.1015$	$h_{\text{Brennstoff max}} = 0.136$
$o_{\text{Brennstoff min}} = 0.05$	$o_{\text{Brennstoff max}} = 0.0227$
ディーゼル燃料	
$c_{\text{Brennstoff min}} = 0.8298$	$c_{\text{Brennstoff max}} = 0.8371$
$h_{\text{Brennstoff min}} = 0.127$	$h_{\text{Brennstoff max}} = 0.142$
$o_{\text{Brennstoff min}} = 0$	$o_{\text{Brennstoff max}} = 0.$

40

表 T 5. 1 9 重量測定の燃料主要成分に関する限界値

【0 5 5 0】

これから、式 5. 4 1 による検査が生じる。

【0 5 5 1】

【数 8 9】

$$c, h, o_{\text{Brennstoff min}} \leq c, h, o_{\text{Brennstoff}} \leq c, h, o_{\text{Brennstoff max}}$$

(式 5. 4 1)

【0 5 5 2】

重量測定の成分の他に、燃料分析の際、当然、燃料密度も決定される。その際、当該の燃料に関して以下の限界値が得られた。

【0 5 5 3】

50

【表 2 4】

オットー燃料	
$p_{\min}=730 \text{ kg/m}^3$	$p_{\max}=773 \text{ kg/m}^3$
ディーゼル燃料	
$p_{\min}=829 \text{ kg/m}^3$	$p_{\max}=837 \text{ kg/m}^3$

表 T 5. 2 0 燃料密度に関する限界値

【0 5 5 4】

これから、式 5. 4 2 による燃料密度の検査が生じる。

【0 5 5 5】

10

【数 9 0】

$$\rho_{\text{Kraftstoff,min}} \leq \rho_{\text{Kraftstoff}} \leq \rho_{\text{Kraftstoff,max}} \quad (\text{式 5. 4 2})$$

【0 5 5 6】

ここで注意すべきことは、限界値が推奨値とみなされるということである。なぜなら、限界値は、非常に限られた標本数からしか算出されていないからである。従って、燃料データの観測は、実質的に入力エラーを避けることが意図されている。

【0 5 5 7】

静止診断によって、エンジン及び／又は試験設備におけるエラーは、テストラン開始の前には検出されるべきである。このために、選択されたチャンネルについて、測定データが、パラメータ化可能な時間間隔（例えば 6 0 秒）にわたって収集周波数 1 H z で収集され、簡単なスタートアップチェックにおいて処理される。この時間間隔は、この章で説明した全ての個別関数が関連するデータベースとなる。

20

【0 5 5 8】

適当な方式を用いて、全ての温度がほぼ周囲温度に等しいかどうか、及び、全ての圧力が周囲圧力を中心として変動するかどうかを検査される。さらに、選択された全ての測定チャンネルが存在し、これらのチャンネルが期待通りに測定値を供給するように配慮される。最後の検査によって、選択された測定値全てにドリフト又はノイズが含まれていないかどうか分析される。

【0 5 5 9】

このアプローチを用いる根拠は、全ての測定変数が、十分に長い待機時間の後、周囲との安定した平衡状態に移行するという簡単な事実である。例えば、温度は、周囲温度に接近し、圧力もまた論理上周圍圧力に接近する（図 4 5）。さらに、信号が、期待される信号特性と明確に異なっているかどうかを、既に静止状態において確認することができる。

30

【0 5 6 0】

従って、静止診断が利用可能であるためには、限界値監視、値比較、安定性及び信号品質に関する各関数が用意される必要がある。

【0 5 6 1】

静止状態における限界値検査は、測定変数が、エンジン試験設備において、多少長い待機時間の後、所定の漸近値に接近するという簡単な事実を利用する。圧力の場合、漸近値は一般的に周囲圧力であり、温度の場合、周囲温度である。温度の場合に厳密に注意しなければならないことは、最後の燃焼運転からどれくらいの時間が経過しているか、ということである。なぜなら、構成部品、オイル及び冷却水が、まだ冷却段階にあるかもしれないからである。停止した低温のエンジンである場合、圧力、温度、「排ガス測定値」又は質量流量は、特性限界値の中になければならない。これらは、限界値検査において静止状態で監視される。表 T 5. 2 1 は、限界値監視において分析される典型的な限界値の概観を示す。

40

【0 5 6 2】

【表 2 5】

チャンネルタイプ	単位	最小	最大
回転速度	min ⁻¹	-5	5
トルク	Nm	-5	5
燃料質量流量	Kg/h	-0.01	0.01
空気質量流量	Kg/h	-0.01	0.01
O ₂	Vol-%	20	21.5
CO ₂	Vol-% (ppm)	0.01 (100)	0.04 (400)
圧力	mbar	990	1100
温度	°C	15	40

10

表 T 5. 2 1 静止診断内におけるリミット監視に関する限界値

【0 5 6 3】

温度値は、通常の室温調整に適用される推奨値である。試験タスクに応じて、全く別の温度範囲が必要となるかもしれない（例えば低温室）。

【0 5 6 4】

「静止状態における値比較」という機能は、同種の測定変数が、所定の基準を中心に変動するかどうかを検査する。圧力及び温度が、これの典型的な例である。その際、比較のベースは、事前に設定した値でも、算定された参照値であってもかまわない。

【0 5 6 5】

限界値が事前設定されている場合、同種の全ての測定変数が、パラメータ化可能な許容範囲において、この参照値と比較される。このような限界値は、例えば、測定された周囲温度（ $T_{Umgebung}$ ）であってもよい。その際、全ての観測された温度は、式 5. 4 3 を満たさなければならない。

20

【0 5 6 6】

【数 9 1】

$$T_{Umgebung} - Toleranz \leq T_{prf} \leq T_{Umgebung} + Toleranz \quad (\text{式 5. 4 3})$$

【0 5 6 7】

その際、 T_{prf} は、評価の対象となる温度であり、 $Toleranz$ （許容差）は、利用者がパラメータ化できる許容差である。

30

【0 5 6 8】

参照変数の決定はまた、自動で行うこともできる。しかし、そのためには、同種の、少なくとも 2 つの変数が必要である。この場合、参照変数は、個々の変数から中央値計算を通じて作り出すこともできる。その際、それに続く試験は、上述の通り行われ、その例が図 4 6 に示されている。

【0 5 6 9】

静止状態における値比較は、測定データ診断において実装され、その際、利用者は、自分が参照変数を事前設定したいのか、又は、参照変数がデータから算出されるようにするのかを決定できるように実装される。

【0 5 7 0】

40

安定性の評価は、静止診断において、ドリフト検出と時間特性の補償という 2 つの役割を担う。ドリフト検出のために、チャンネル固有のデータベースの勾配が、簡単な線形回帰によって求められ、パラメータ化可能な限界勾配と比較される。これにより、当該チャンネルが、漸近状態にあるかどうかを確認される。これは、特に温度チャンネルにとって重要である。

【0 5 7 1】

時間特性の補償は、原則として全ての測定チャンネルに利用可能であるが、実質的には温度チャンネルに関係する。この方式では、時間特性は、局所的な線形モデル（LLM）によって補償され、この補償は、適当な r^2 においてモデル値を測定値から差し引くことによって行われる。その結果、ゼロを中心とする、ドリフトのない不偏の信号が得られ（図 4

50

7)、この信号を用いて信号品質の評価を実施することができる。

【0572】

図48には、時間区間 $0\text{ s} < t < 120\text{ s}$ の最初の4つの範囲が、LLMの、対応するモデル式と回帰係数 r^2 と共に示されている。

【0573】

静止状態における信号品質の評価は、既に上述した評価と全く同じように行われる。この場合、データベースとして静止データが用いられる。

【0574】

これまでに述べた全てのエラー検出方式に共通であるのは、これらの方式は定常運転点又は準定常運転点に対してしか用いることができないという点である。従って、ここで、例えばNEDC排ガスサイクルのような非定常的な運転条件におけるエラー検出のためのアプローチを提示する必要がある。

10

【0575】

既に言及したように、モデルベースのエラー検出は、時間上の理由から、一般的に除外される。従って、コストがかからず、テストランに並行してデータサンプルを学習し、次にデータサンプルを再び適切に分類することができる方式を見出さなければならない。この構成は、自己学習観測システムに相当する。

【0576】

解決手段として、ゲイル・カーペンター及びステファン・グロスバークの適応共鳴理論 (ART) が選択された。ARTは、個別モデルではなく、モデルファミリーであり、非監視学習アルゴリズムに属する。

20

【0577】

これらのモデルは、本来、神経ネットワークの弾塑性のジレンマを解決するために開発された。これは、神経ネットワークにおける新しい連合が、そのとき古い連合を忘れることなく、どのように学習されるのか、という問題を意味する。

【0578】

従って、弾塑性のジレンマの解決は、同時にまた、自己学習観測システムの分類問題の解決でもある。学習は、ARTネットワークの場合、緩慢な学習法又は迅速な学習法に従って行うことができる。緩慢な学習の場合、選択されたクラスの重みが、微分方程式を用いて適合される。一方、迅速な学習の場合、この適合は、代数式を用いて決定される。

30

【0579】

観測システムとして使用する場合、迅速モードが用いられる。なぜなら、この場合、学習のために入力サンプルが1回しか提示されないからである。これは、観測システムにとって極めて重要な特性である。これが可能であるためには、既に学習されたサンプルを維持するための高い塑性が必要であるが、しかし同時にまた、この塑性は、既に学習済みのサンプルのあまりに強い変更を防止する。これにより、原則として、各測定を新たなサンプルとして学習でき、一方、将来の測定の基準として用いることができる。基本的に、ARTモデルは、以下のスキーマに従って機能する。すなわち、

1) ネットワークに入力サンプルが印加される。

2) アルゴリズムが、入力サンプルについて検査し、保存されているサンプルとの類似性に応じて、既存のクラスへ分類する。

40

3) 当該入力サンプルを既存のいずれのクラスにも割り当てることができない場合、新しいクラスが生成される。これは、当該入力サンプルに類似したサンプルを保存することによって行われる。

4) 事前設定された許容差を考慮した上で、類似しているサンプルが発見されると、その保存されていたサンプルは少し修正されて、新しいサンプルにさらに近似される。

5) 現在の入力サンプルに類似していない保存されているサンプルは、変更されない。

【0580】

従って、この手順によって、新しいクラスが生成できるので(塑性)、既存のサンプルが現在の入力サンプルに類似していない場合、既存のサンプルを変更する必要がない(安

50

定性)。

【0581】

また、重要であることは、バイナリの入力サンプルと連続的な入力サンプルとに対してARTモデルが存在することである。

【0582】

測定データは連続データであるので、実現するためには、連続入力ベクトル用のARTバージョンだけが検討対象となる。これらの特殊なモデルは、ART2又はART2Aモデルと呼ばれ、典型的なARTモデルを拡張したものである。図49は、ART2ネットワークの模式的な断面図である。

【0583】

入力サンプルは、入力層 F_0 に印加され、次に比較層 F_1 に伝播される。そこで、さまざまなステップにおいて増幅され、正規化される。これは、比較層と検出層 F_2 との間に所定の平衡状態が生じるまでの間、行われる。この制御は、類似パラメータ r とリセットコンポーネントとを介して行われる。 F_1 におけるニューロンはネットワーク属性を表し、一方、 F_2 におけるニューロンはカテゴリ又はクラスを表す。各結合は、比重量で評価される。従って、重み行列は、ARTの長時間メモリとも呼ばれる。

【0584】

ARTネットワークをパラメータ化する際、類似パラメータに特に注意すべきである。類似パラメータは、ネットワークの分類特性に大きな影響を及ぼす。その際、高い値は、細かな記憶を呼び起こす。すなわち、多くの小さなクラスが形成される。一方、低い値は、より高い抽象性を引き起こし、クラスの数はいくつか、その分粗い。

【0585】

ここでは、アルゴリズムの詳細な数学的説明は省き、その代わりに非特許文献28、非特許文献29、非特許文献30を挙げておく。

【0586】

しかし、観察システムの役割は、分類だけでなく、測定値を関連参照値と比較することでもある。このようにすることでしか、観察システムは、監視される目標変数におけるエラーを検出できない。このために、パラメータ化において適当な入力変数及び出力変数を設定しなければならない。その個数は、理論的には無限であるが、システム負荷上の理由から、入出力変数は10個までに限定される。同じことが、原則としてクラス数にも当てはまる。

【0587】

従って、パラメータ化によって、どのデータがネットワークによって関連付けられるべきかが指定される。すなわち、観察システムによって、エラーのないプロセスのために目標変数と応答変数との間に経験的な連合モデルが形成される。この課題のために、ARTの拡張が必要であり、これは、ARTMAP又は予想ART (Predicted ART) と呼ばれる。ARTMAPネットワークの場合、2つのARTネットワークが、1つの結合ネットワーク、いわゆるMAPフィールドと組み合わせられて、監視学習システムになる(図50)。このことから、トレーニングサンプルが、入力ベクトル(目標変数又はファクタ)とそれと関連付けられた出力ベクトル(応答変数)とから構成されていなければならないことになる。

【0588】

その際、ART1、ART2又はART2Aネットワークのどれを用いるのかは重要ではない。本書においては、ART2Aネットワークが用いられた。

【0589】

第1のARTネットワーク(ART^a)は入力ベクトルを処理し、第2のARTネットワーク(ART^b)は結果ベクトルを処理する。両ARTネットワークは、MAPフィールドによって互いに結合されており、従って互いに同期される。

【0590】

既にトレーニングされたARTMAPネットワークの品質を検査するために、入力ベク

10

20

30

40

50

トルがART^aの検出層に印加され、同時にまたART^bの検出層の全ての入力ゼロにされる。ここで、ART^aにおいて、当該入力のための適切なクラスが探索される。

【0591】

起動によって、トレーニング済みのセルが作動された場合、これによって、対応するMAPフィールドセルが起動され、一方、このMAPフィールドセルが、対応する出力を生成する。それに対して、ART^aにおいて、トレーニングされていないセルが起動された場合、その結果として、全てのMAPフィールドセルが起動される。これは、入力が十分に確実に分類できないことを示している。

【0592】

この特性は、特に自動観察システムを制御するのに適している。この時点で、上述のアルゴリズムは、各サンプルに対して実施される。入力サンプルを分類できない場合、このサンプルは自動的にもう一度、トレーニングアルゴリズムを走ることになる。これは、所定の中断基準に至るか、又はトレーニングされた状態に達するまでの間、行われる。

【0593】

自己学習観察システムのベースとしてのARTMAPネットワークの基本的な適正を分析するために、多様なNEDCサイクルが用いられた。評価のために許容されていない偏差を排除するために、これらのサイクルは、まず、互いに比較された。全てのサイクルから、1つのサイクルが参照サンプルとして選択され、そのサンプルが、ARTMAPプロトタイプ(図50)に「測定」として提示された。次に、ネットワークは、残りの他のサイクルで運転された。その際、2つの側面を検査すべきである。すなわち、

- 1) ARTMAPネットワークは、類似サンプルをどの程度良好に分類できるのか?
- 2) 目標変数に関するARTMAPネットワークの予測は、どの程度良好か?

評価のために重要であるのは、分析すべきNEDC測定が、同じエンジン(乗用車用TDIエンジン)に対して、数日にわたって行われたという点である。

【0594】

図51に、その解析例が、NOX未処理排出に関して示されている。容易に分かるように、NOX測定の再現性は比較的良好である。平均して、変動は50ppm未満である。これらのデータによって、ARTMAPネットワークが、非定常的なNEDCサイクル用の基準としてどの程度適しているかが分析された。

【0595】

ARTMAP観察システムに関する分析は、プロトタイプにおいてオフラインで行われた。この分析のために、6個の入力変数と1個の出力変数とを有するARTMAPネットワークが生成された。入力変数としては、回転速度、アクセルペダル踏み込み量、トルク、主燃料噴射の制御開始、主燃料噴射の噴射量、主燃料噴射時間が用いられた。目標変数あるいは出力変数は、NOX未処理排出であった。トレーニング段階において、ネットワークは、上述の方法に従って、任意に選択されたNEDCサイクルによってトレーニングされた(図51の赤線)。この場合、トレーニングとは、当該のデータが、トレーニングされていないネットワークに開始サンプルとして提示されることを意味する。これらのデータは、ネットワークによって分類され、正確な目標変数と関連付けられる必要がある。他のNEDCデータによる検証の場合、まず、現在のサンプルが既知であるか、あるいは、新たにトレーニングされねばならないのかが検査される。既知のサンプルであった場合、現在の測定値と予測されたネットワーク出力との間で比較が行われる。

【0596】

図52に、任意に選択されたNEDCサイクルの、基準測定との比較結果が、例として示されている(他のサイクルの分析も類似した結果になる)。この曲線から分かることは、ネットワーク出力が、実際の測定に良好に従い得るということである。比較的大きな偏差は、NEDCの郊外走行部分と高速走行部分とにおいてのみ見られる。これは、2つのクラスが非常に類似しており、違いがあまりにもわずかであることにある。これは、1750sから2000sの範囲における振動するネットワーク出力から容易に見取れる。モデル及び測定が同じ動的特性を有していることから、動的診断に対してARTM

10

20

30

40

50

A Pネットワークが基本的な適正を持つことが導出できる。ネットワーク出力と測定との間の最大偏差が202 ppm（平均は約25－30 ppm）であり、プロトタイプでも驚くほど良好な結果が得られた。その際、考慮すべきことは、既に測定値が最大50 ppmの範囲で分散していることである。類似ファクタの適合は、ここでは、まだ明らかな最適化可能性を有している。

【0597】

A R T M A Pアプローチは、基本的に、観察システムという形での動的エラー検出のためのベースとして十分に適している。

【0598】

エラー分離として、下記の2つの基本的な要件がある。すなわち、パラメータ化可能な診断強度を考慮した上で、エラーを有する測定変数又は異常な測定変数を確実に通知すること、及び、エラー検出のための将来の方式をエラー分離のアルゴリズムへ自動的に組み入れることができる汎用的な構造であることである。

【0599】

これらの要件を満たすために、適当な評価ロジックが開発された。このロジックは、以下においてロジック層と呼ばれ、図53に模式的に示されている。

【0600】

この開発の際に考慮されたことは、エラー検出のためのチャンネル選択性の方式とチャンネル全体の方式とのいずれもが用いられるということであった。また、巡回エラー検出による個別値エラー検出と、リングメモリ素子という形での時間間隔に関する診断との間が区別された。

【0601】

全ての部分的な情報を正確かつ汎用に解釈できるように、エラー分離のための評価ロジックの構造は、チャンネル選択制のアプローチに基づいている。

【0602】

チャンネル選択制アプローチの場合、複数の入力変数を有するエラー検出方式を、関与するチャンネルに投影する必要がある。当該の方式の結果は、ロジック層に送られ、そこで自動的に評価され、対応する通知のためにさらに処理される。これらの通知は、次に可視化部に送られ、さらにそれと並行してデータ保存部に送られる。

【0603】

エラー分離及びエラー分類というブロックからなるロジック層の構造が、図54に示されている。その際、診断ワークフローを考慮して、エラー検出とエラー分離とが「エラー分離」というブロックに、エラー識別とエラー分類とが「エラー分類」というブロックにまとめられた。

【0604】

エラー分離は、エラー検出の全ての個別結果についてその原因を、関与する測定チャンネルと関連付け、これらの個別結果を加算するという役割を担う。次に個別結果の合計から試験変数が算出され、それが所定の限界値と比較される。これにより、異常な測定チャンネルと異常でない測定チャンネルとが分けられる。従って、当該限界値は、検出精度の目安であり、低、中、高という段階で設定可能である。

【0605】

エラー分離におけるエラー検出の自動的かつ汎用的評価のために、いわゆる方式分離強度（略して分離強度）が導入された。分離強度は、ある方式がエラーを有する測定チャンネルをどの程度良好に識別できるかを定める特性変数である。従って、分離強度は、方式の、エラーを有する測定チャンネルと関連付ける能力を表す。

【0606】

例えば、不等式 $T_3 > T_2$ は2つの等価項を有し、従って分離強度 $p = 0.5$ を有する。機器チェックの方式は、常に、分離強度 $p = 1$ を有する。なぜなら、ここでは常に1つのチャンネルのみが観測されるからである。測定されたラムダ値と、空気質量流量と燃料質

10

20

30

40

50

量流量とから算出されたラムダとの間の比較は、例えば分離強度 $p = 0.33$ を有する。この検査では、3つの等価情報が用いられるからである。

【0607】

エラー分離の際、低い分離強度を有する方式の方が、高い分離強度を有する方式よりも強く働いてはいけないことは自明である。

【0608】

分離強度 $p = 1$ である方式は、一義的な結果を提供するので、それ以上の区別を必要としない。一方、妥当性検査の方式（分離強度 $p < 1$ ）の場合、方式の個数とそれらの方式分離強度とを考慮しなければならない。数学的に見れば、これは、固有の検出確率を有する、ある個数の独立した検査インスタンスが存在することを意味する。結合重みは、従っ

10

【0609】

このためのアプローチとして、「自己非排他事象に関する統計値の一般的加法則（verallgemeinerte Additionssatz der Statistik für sich nicht ausschließende Ereignisse）」が用いられる。これにより、事象 E_i の少なくとも1つが生じる確率は、以下のようになる。

【0610】

【数92】

$$P_{\text{Plausibilität}}(E_1 \cup E_2 \cup \dots \cup E_k) = 1 - \{[1 - P(E_1)] \cdot [1 - P(E_2)] \cdot \dots \cdot [1 - P(E_k)]\}. \quad (\text{式1. 1})$$

20

【0611】

このことから、エラー分離に関して、この法則を用いて、用いられた検査ルールを考慮した上で、所定のチャンネルに対する妥当性検査 $P_{\text{Plausibilität}}$ の検出確率を決定することが可能となる。しかし、この法則が適用できるのは、個別確率を正確に決定できる場合だけである。すなわち、全ての作用因が同じ発生確率を有し、かつ、数学的に対称でなければならない。従って、統計的対称性の推定を許す物理的対称性が必要となる（例えば理想的なサイコロ）。

【0612】

しかし、ラムダ比較又はO2収支を考えてみれば、測定された排ガス濃度に対してこの要件は満たされていない。なぜなら、幾つかの変数は容量%という単位を有し、また、他の変数がppmで測定されるからである。この理由から、幾つかの仮定が行われる。すなわち以下の仮定である。

30

1) ディーゼルエンジンの場合、CO2濃度とO2濃度とが、方式上、質量流量とほぼ同じ作用を及ぼす。

2) オットーエンジンの場合、追加的にCO濃度も考慮しなければならない。従って、変数CO2、O2及びCOは、質量流量と等価とみなされる。

3) 変数HC及びNOXについて、定義上、分離強度 $p = 1/10000$ が指定される。厳密には、ここでも、パラメータ化されたエンジンタイプに従って区別することができ、従って、オットーエンジンの場合はHCとNOXとのみが、ディーゼルエンジンの場合はHC、CO及びNOXが、 $p = 1/10000$ であるとして考慮される。

40

【0613】

試験変数 $t_{\text{Fehlerisolat ion}}$ の算定は、各妥当性方式がバイナリの検査結果 $E_{\text{bin, Methode}}$ を生成するというアプローチに従って行われる。バイナリの方式結果 $E_{\text{bin, Methode}}$ を方式分離強度 P_{Methode} と乗算することによって、方式結果 E_{Methode} が算定される（式1. 2）。

【0614】

【数93】

$$E_{\text{Methode}} = E_{\text{bin, Methode}} \cdot P_{\text{Methode}} \quad (\text{式1. 2})$$

【0615】

次に、全ての実施可能な妥当性方式の結果は、加算されて、妥当性の総確率と乗算され

50

る。これにより、エラー分離のための試験変数が、式 1. 3 によって算定できる。

【0616】

【数94】

$$t_{\text{Fehlerisolation}} = \frac{E_{RA} + E_{SA} + 6 \cdot (E_{GC} + E_{LC}) + E_B + p_{\text{Plausibilität}} \sum E_{\text{Methode}} \cdot p_{\text{Methode}}}{6} \quad (\text{式 1. 3})$$

【0617】

ただし、

E_{RA} = 未処理データ解析

E_{SA} = 1 Hz 信号解析

E_{GC} = リミットチェック

E_B = 定常動作

上記の $6 \cdot (E_{GC} + E_{LC})$ という項は、リミットチェック又は機器チェックにおける1つのエラー通知の際、1つのチャンネルがエラーを有するものとして分離されねばならないことによる。

【0618】

エラー分離における最後の未決定な点として残っているのは、低、中、高という設定の限界値の決定である。このために、1チャンネル当たり、平均4つから5つの妥当性方式が用いられると仮定される。「高」に設定した場合、少なくとも1つの警告が行われる必要があるのは、厳密に、以下の個別結果が存在する場合である（なお、以下において、Rohdatenanalyse は未処理データ解析、Signalanalyse は信号解析、Beharrung は定常動作、Warnung は警告、Gerätecheck は機器チェック、Limitcheck はリミットチェックを意味する）。

【0619】

【数95】

$$\left. \begin{array}{l} p_{\text{Plausibilität}} \geq 0,5 \\ \text{Rohdatenanalyse} = 0 \wedge 1\text{Hz - Signalanalyse} = 0 \wedge \text{Beharrung} = 0 \\ \text{Gerätecheck} = 0 \wedge \text{Limitcheck} = 0 \end{array} \right\} \Rightarrow \text{Warnung}$$

【0620】

「中」という設定の場合、少なくとも下記の場合に警告が行われる。

【0621】

【数96】

$$\left. \begin{array}{l} p_{\text{Plausibilität}} \geq 0,5 \\ 1\text{Hz - Signalanalyse} = 1 \vee \text{Rohdatenanalyse} = 1 \vee \text{Beharrung} = 1 \\ \text{Gerätecheck} = 0 \wedge \text{Limitcheck} = 0 \end{array} \right\} \Rightarrow \text{Warnung}$$

【0622】

「低」という設定の場合に少なくとも1つの警告が発せられるのは、少なくとも以下の個別結果が生じた場合である。

【0623】

【数97】

$$\left. \begin{array}{l} p_{\text{Plausibilität}} \geq 0,5 \\ \text{Rohdatenanalyse} = 1 \wedge \text{Beharrung} = 1 \vee 1\text{Hz - Signalanalyse} = 1 \wedge \text{Beharrung} = 1 \\ \text{Gerätecheck} = 0 \\ \text{Limitcheck} = 0 \end{array} \right\} \Rightarrow \text{Warnung}$$

【0624】

このことから、表 T 1. 1 に示された臨界的な限界値が得られる。

【0625】

10

20

30

40

【表 2 6】

通知	値	低の t_{krit}	中の t_{krit}	高の t_{krit}
チャネルOK	0	$t_{krit} < 0.3$	$t_{krit} < 0.2$	$t_{krit} < 0.05$
チャネル疑義	1	$0.3 < t_{krit} < 0.6$	$0.2 < t_{krit} < 0.4$	$0.05 < t_{krit} < 0.2$
チャネルエラー	2	$t_{krit} \geq 0.6$	$t_{krit} \geq 0.4$	$t_{krit} \geq 0.6$

表 T 1. 1 エラー分離に関する臨界限界値

【0 6 2 6】

エラー分離の結果は、数値（0、1 又は 2）としてエラー分類へ伝えられる。

【0 6 2 7】

測定同期エラー検出の場合にも、原則として、同じ構造が用いられる。唯一の相違は、個別値方式に関して、現在の測定値ではなく、リングメモリの平均値が用いられるという点である。

【0 6 2 8】

エラー分類において、エラー重大度は、デバウンスバッファ EP (Entprellpu f f e r) を用いて評価される。このために、エラー分離のチャネル固有の結果が、パラメータ化可能な長さを有する、同様にチャネル固有の列ベクトルへ書き込まれる。このベクトルは、ソフトウェア側でロールメモリとして構成される。

【0 6 2 9】

デバウンスバッファから、式 1. 4 によって、試験変数 $t_{K l a s s i f i k a t i o n, n}$ が算定され、臨界値 $t_{K l a s s i f i k a t i o n, k r i t}$ と比較される。

【0 6 3 0】

【数 9 8】

$$t_{K l a s s i f i k a t i o n} = \frac{\sum_{i=1}^n EP_i}{2 \cdot n} < t_{K l a s s i f i k a t i o n, k r i t} \quad (\text{式 1. 4})$$

【0 6 3 1】

エラー分離の場合と全く同様に、低、中、高というレベルへの設定が行われる。強度（表 T 1. 2）に応じて、当該チャネルは、エラー無し、有意なエラー有り又は重大なエラー有りに分類され、対応する通知（「OK」、「警告」又は「エラー」）と関連付けられる。

【0 6 3 2】

【表 2 7】

通知	値	低の t_{krit}	中の t_{krit}	高の t_{krit}
チャネルに有意なエラー無し⇒OK	0	$t_{krit} < 0.3$	$t_{krit} < 0.2$	$t_{krit} < 0.1$
チャネルに有意なエラー有り⇒警告	1	$0.3 \leq t_{krit} \leq 0.6$	$0.2 \leq t_{krit} \leq 0.5$	$0.1 \leq t_{krit} \leq 0.3$
チャネルに重大なエラー有り⇒エラー	2	$t_{krit} > 0.6$	$t_{krit} > 0.5$	$t_{krit} > 0.3$

表 T 1. 2 エラー分類に関する臨界限界値

【0 6 3 3】

エラー原因を一般的にそれ以上厳密に特定することは、用いられた、信号ベースのエラー検出アプローチでは不可能である。その理由は、一般的に、測定チャネルから、技術的なシステムコンポーネント内のエラーを直接推定することはできないからである。従って、エラー分類は、自動的に、エラーを有する測定信号についてエラーの大きさとエラーの持続時間とを挙げることに制限される。

【0 6 3 4】

エラー通知を避けるために、エラー分類は、所定の承認条件を通じて迂回することができる。承認条件が満たされていない場合、図 5 4 の「スイッチ」が開かれ、チャネルステータスが、自動的に 3 に設定される。これは、当該のチャネルを検査することができなかったことを意味する。

【0635】

エラー分離及びエラー分類というプロセスについて、定常ステップ測定を例に簡単に説明しておく。その際、評価は、あるときは空気質量流量に対して、あるときは燃料質量流量に対して行われる。

【0636】

この例には、パラメータ化によって指定された下記限界条件が適用される。すなわち、

1) 実施可能な方式

- ・ $\lambda_{\text{Luft} / \text{Kraftstoff}} = \lambda_{\text{Sonde}}$
- ・ $\lambda_{\text{Luft} / \text{Kraftstoff}} = \lambda_{\text{Brett Schneider}}$
- ・ C収支
- ・ O₂収支
- ・ 未処理信号解析
- ・ 1Hz信号品質
- ・ リミットチェック
- ・ 機器チェック

10

2) 許容差

- ・ C収支 = 15 %
- ・ O₂収支 = 10 %
- ・ ラムダ比較 = 10 %

3) 時間

- ・ リングメモリの長さ = 30 s
- ・ デバウンシングメモリ (Entprellungsspeicher) の長さ = 30 s

20

4) 診断強度

- ・ 中

$\lambda_{\text{Luft} / \text{Kraftstoff}} = \lambda_{\text{Sonde}}$ という方式の算定のためには、ラムダプールの測定値及び空気質量流量と燃料質量流量とが必要である。従って、この方式は、空気質量流量あるいは燃料質量流量におけるエラーを検出するための確率 $p = 1/3$ を有する。

【0637】

$\lambda_{\text{Luft} / \text{Kraftstoff}} = \lambda_{\text{Brett Schneider}}$ という方式のためには、空気質量流量と燃料質量流量以外に、CO、CO₂の濃度も考慮される。NO_xは、空気質量流量及び燃料質量流量に関して分離強度 $p = 0.0001$ を有しており、従って無視される。これにより、この方式によって空気質量流量におけるエラーを正確に検出するための確率 $p = 0.25$ が生じる。同じ考え方によって、C収支及びO₂収支についても同様に $p = 0.25$ となる。リミットチェック及び信号解析は、それぞれ $p = 1$ で算入される。従って、妥当性は、全体として次の通りになる。

30

【0638】

【数99】

$$P_{\text{Plausibilit}} = 1 - \left\{ \left[1 - \frac{1}{3} \right] \cdot \left[1 - \frac{1}{6} \right] \cdot \left[1 - \frac{1}{4} \right] \cdot \left[1 - \frac{1}{4} \right] \right\} = 0.6875$$

40

【0639】

【表 2 8】

燃料質量流量に関する計算例				
	840 から 870s	870 から 900s	900 から 930s	930 から 960s
$\lambda_{\text{Luft/Kraftstoff}} = \lambda_{\text{Sonde}}$	0	1	1	0
$\lambda_{\text{Luft/Kraftstoff}} = \lambda_{\text{Brettschneider}}$	0	1	1	0
C 収支	0	1	1	0
O 2 収支	0	1	1	0
定常動作	0	1	0	0
1 H z 信号解析	0	1	0	0
リミットチェック	0	1	1	0
機器チェック	0	0	0	0
未処理信号解析	0	1	0	0
$t_{\text{Fehlerisolation}}$	0	1. 6131	1. 1131	0
分離結果	0	2	2	0
分類結果	OK	エラー	エラー	OK

表 T 1. 3 燃料質量流量に関するエラー検出の結果

【0 6 4 0】

【表 2 9】

空気質量流量に関する計算例				
	840 から 870s	870 から 900s	900 から 930s	930 から 960s
$\lambda_{\text{Luft/Kraftstoff}} = \lambda_{\text{Sonde}}$	0	1	1	0
$\lambda_{\text{Luft/Kraftstoff}} = \lambda_{\text{Brettschneider}}$	0	1	1	0
C 収支	0	1	1	0
O 2 収支	0	1	1	0
定常動作	0	0	0	0
1 H z 信号解析	0	0	0	0
リミットチェック	0	0	0	0
機器チェック	0	0	0	0
未処理信号解析	0	0	0	
$t_{\text{Fehlerisolation}}$	0	0. 1131	0. 1131	0
分離結果	0	0	0	0
分類結果	OK	OK	OK	OK

表 T 6. 4 空気質量流量に関するエラー検出の結果

【0 6 4 1】

診断強度を中から高に変えた場合、空気質量流量については、870 s から 930 s の範囲で警告が生じる。

【0 6 4 2】

このようにして開発された、ロジック層の汎用構造によって、作用変数個数が既知であることによって、及び、同様に方式分離強度が既知であることによって、簡単に新しいエラー検出方式を付け加えることが無制限に可能である。

【0 6 4 3】

前述の諸説明において、内部データマネジメントにしばしば言及した。内部データマネジメントは「ミニデータバンク」であり、この中に、ランタイムに関するさまざまなデータ診断結果が、コード化された形式で中間保存される。これらの部分的結果は、一方ではエラー評価に用いられ、また一方では診断結果の文書化に用いられる。この機能を最適に実現するために、内部データマネジメントは、図 5 6 に示された部門からなる。

【0 6 4 4】

「静的データ」という部門には、パラメータ化中にのみ変更されるデータが含まれる。定数の管理以外に、ここでは例えばマスタークラスの割り当てが解析され、そこから、実施可能な方式が決定される。

【0645】

「可変データ」という部門では、ランタイムに関する利用者の全ての介入の文書化が行われる。診断の開始及び終了の他に、ここでは利用者の全てのアクションが記録される。特に重要であるのは、例えば、エラー検出方式の非アクティブ化及び再非アクティブ化、又はエラー通知への応答である。

【0646】

エラー検出の個々の方式の結果を等速に評価できるように、これらの方式は、一定の時点において、及び、所定のメモリ素子において利用できねばならない。例えば、エラー分離は、チャンネル1つ当たりで使用される方式とそれらの分離強度とに関する情報を必要とする。このデータ管理は、「等間隔オンラインデータ」というブロックで行われる。

10

【0647】

可視化、特にエラー可視化は、測定データ診断の重要な要素である、その際、十分に注意しなければならないことは、エラー及びシステムステータスに関する過多の情報によって利用者に過度の負担をかけないようにすることである。このために、既に上で言及した可視化ピラミッドが、3つの可視化階層によって正確に実現される。これが、図57に示されている。

【0648】

階層Iでは、診断の機能／エラーステータスに関する情報が、一義的な記号によって表示される。好ましくは、このために、三角形と感嘆符との組み合わせが選ばれる。なぜなら、これによって、3つの情報を非常に容易に伝えることができるからである。すなわち

20

1) ボタンが黒いことで（警告用三角形が目立たず見える）、パラメータ化と、それによって実施可能なエラー検出機能とに、目下のところエラーが存在しないことが示される（図58a）。

2) 警告用三角形が持続的に赤く点灯することによって、新たなエラーが試験設備に示される（図58b）。

3) エラーが検出され、このエラーが再び消えた場合、図58cが用いられる。

【0649】

第2の可視化階層（階層II）では、利用者は、診断履歴に関する情報を利用できる（図59を参照）。事象（エラー、警告）がいつ、何度生じたのかを、ログウィンドウを通じて正確に知ることができる。これは、例えば半無人運転又は無人運転の場合に特に重要である。利用者は、かなり長い時間不在であった後に、その時点までに生じた事象について素早く概観できるからである。

30

【0650】

結果可視化の第3の階層は、エラー検出の範囲と現在の状態とを表示する。その際、チャンネルベースの画面と方式ベースの画面とが区別される。

【0651】

両画面（図60aのチャンネル概観と図60bの方式概観）は、複数の下層を有するツリー構造に構成されている。注意すべきことは、両画面において、方式は、ランタイム中に、非アクティブ化し、そして再びアクティブ化することができるという点である。これが有用であるのは、例えば、あるチャンネル又は方式が、現在のテストには重要でないにもかかわらず、絶えずエラーを示しているような場合である。

40

【0652】

測定データ診断において、診断総合結果を得るために重要である全ての情報が文書化される。これには、パラメータ化のデータ、並びに、全ての分類結果、利用者の介入及びシステム通知が含まれる。

【0653】

結果管理のために以下の外部基準が設けられる。

- ・パラメータ化データ
- ・システム通知及び利用者の介入

50

・品質シール

外部基準又は外部属性に関する関連情報は、テスト結果と共に P u m a データバンクに格納される。

【 0 6 5 4 】

品質シールは、その際、直接、測定データと共に格納すべきである。図 6 1 は、MAG I C データバンクを用いた品質シールの実例を示す。この場合、正確なデータに対してマーキングは行われない。すなわち、エラー無しのデータに対する品質シールは、この場合、白い背景である。

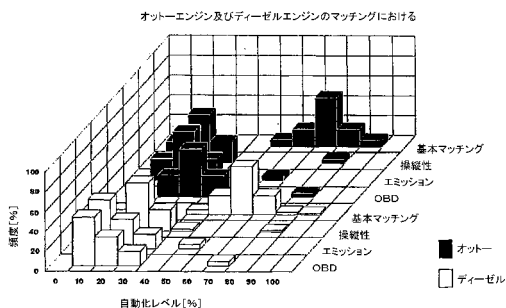
【 0 6 5 5 】

品質シールの導入は、利用者のために一連の利点をもたらす。すなわち、

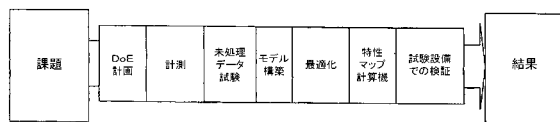
- 1) 品質シールの導入によって、冗長的なデータ利用が、より確実に可能となる。
- 2) 各利用者は、データが検査済みの情報であるかどうかをすぐに知ることができる。
- 3) 品質シールの他に、利用者は、適宜参照することによって、パラメータ化、エラーへの応答などに関する全ての情報を利用することができる。
- 4) D o Eを利用する場合、未処理データの妥当性確認に対する時間コストを明らかに低減できる。

10

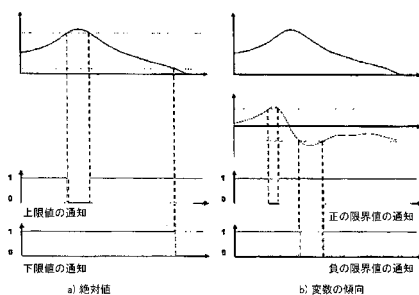
【図 1】



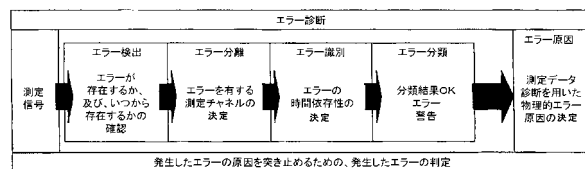
【図 2】



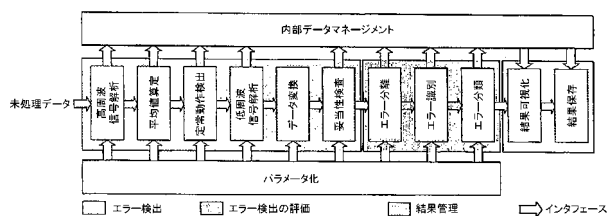
【图 3】



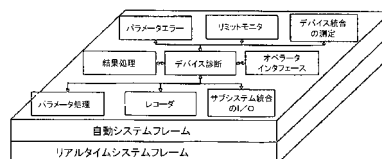
【図 4】



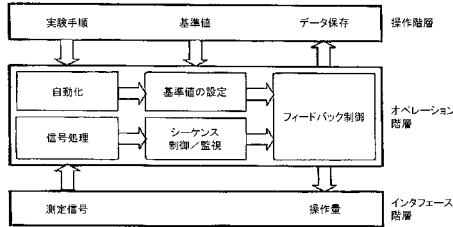
【図 5】



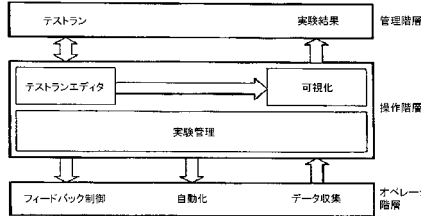
【図 6】



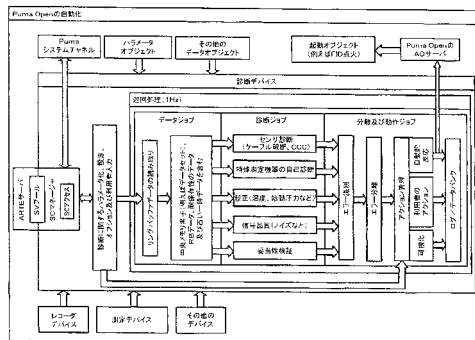
【図 7】



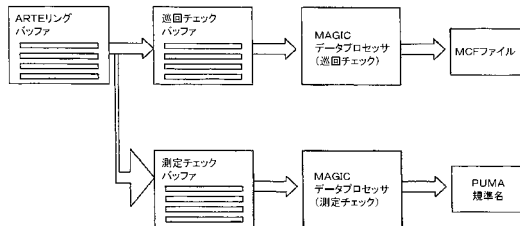
【図 8】



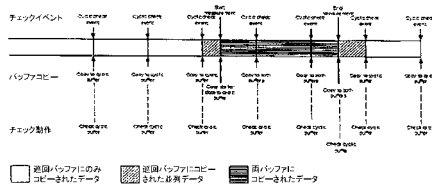
【図 9】



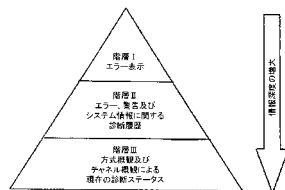
【図 13】



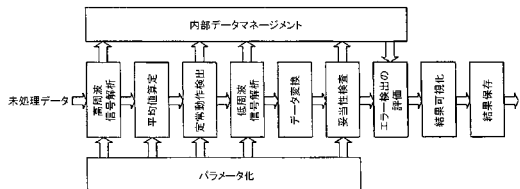
【図 14】



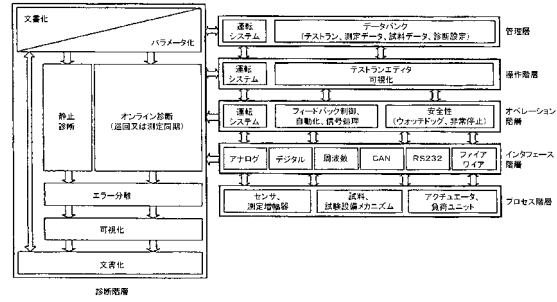
【図 15】



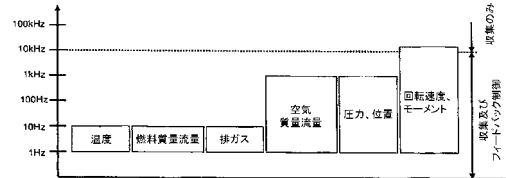
【図 16】



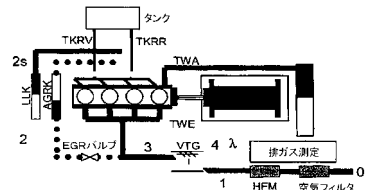
【図 10】



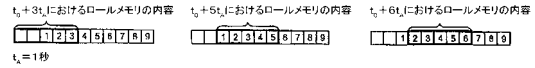
【図 11】



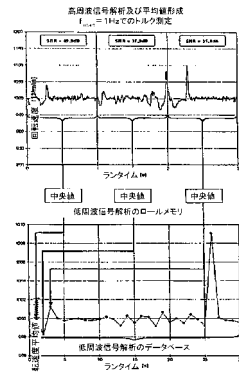
【図 12】



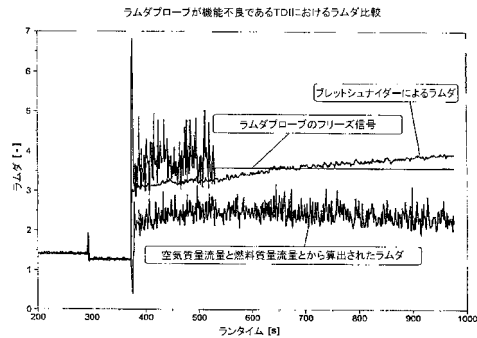
【図 17】



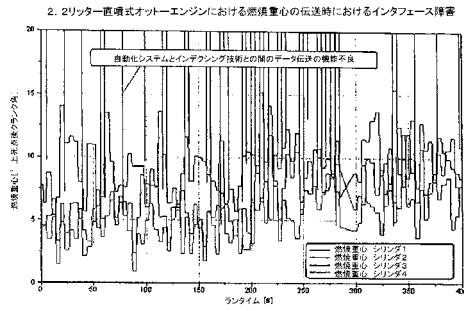
【図 18】



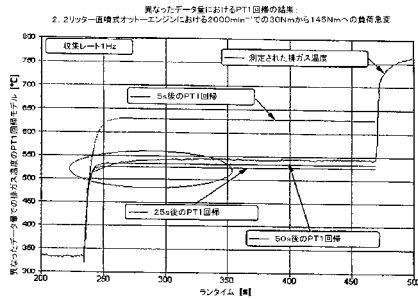
【図 19】



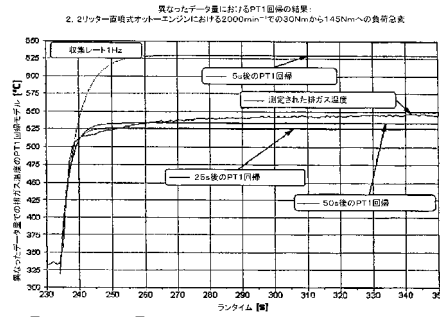
【図 20】



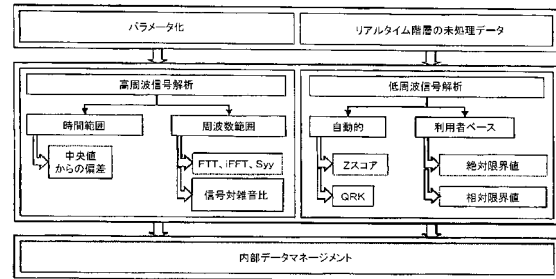
【図 21】



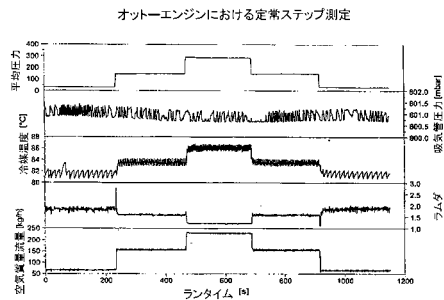
【図 22】



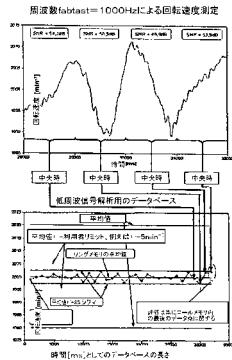
【図 23】



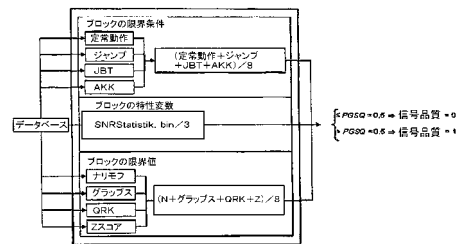
【図 24】



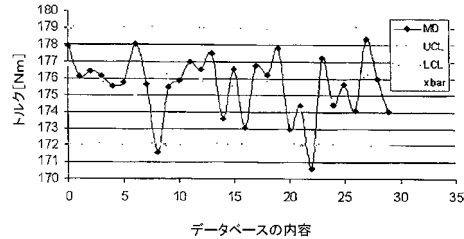
【図 25】



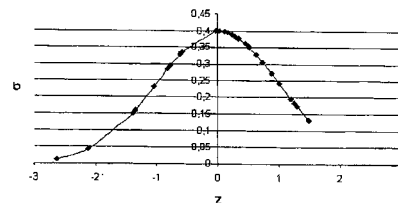
【図 26】



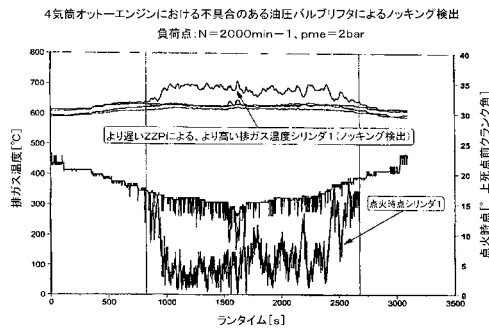
【図 27】



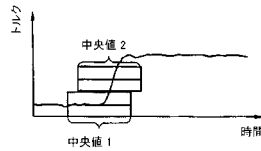
【図 28】



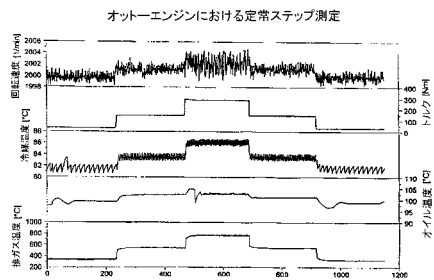
【図 29】



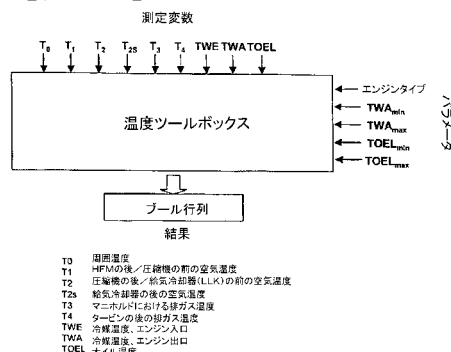
【図 30】



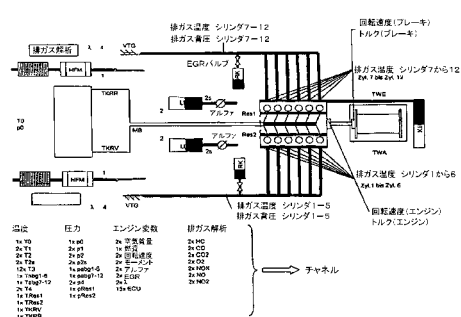
【図 31】



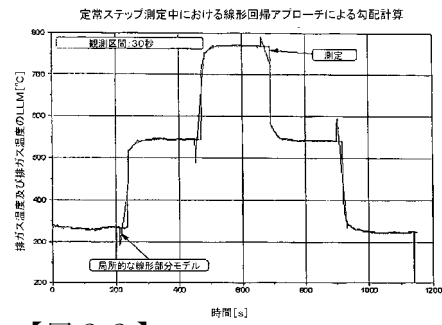
【図 34】



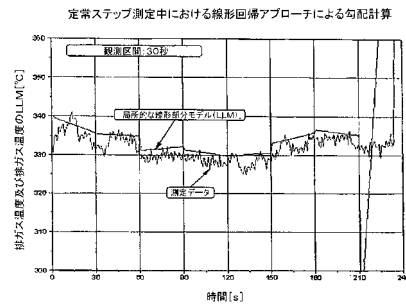
【図 35】



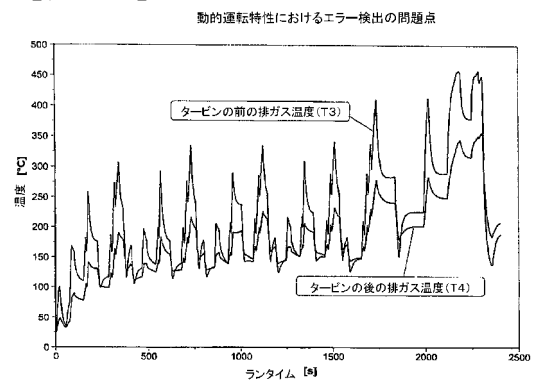
【図 32】



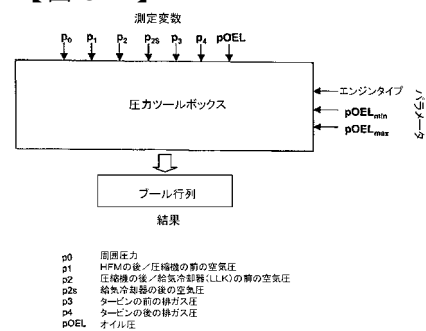
【図 33】



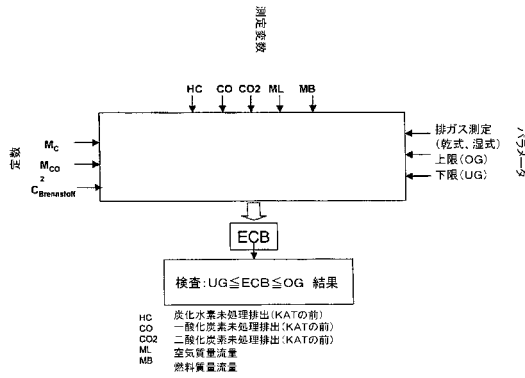
【図 36】



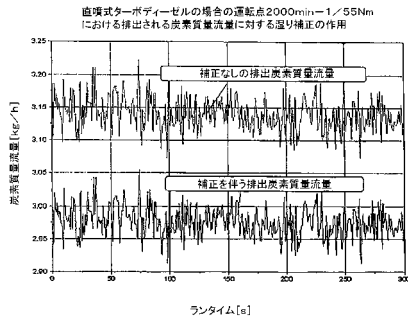
【図 37】



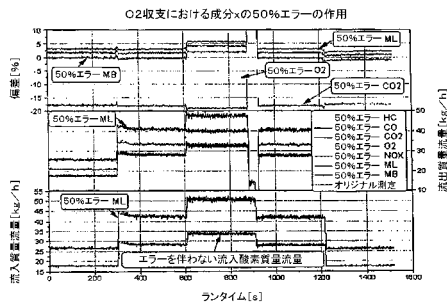
【図 38】



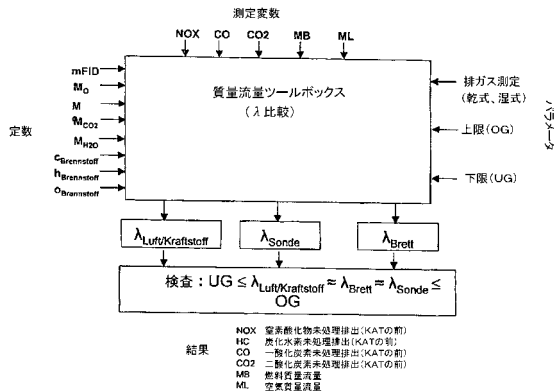
【図 39】



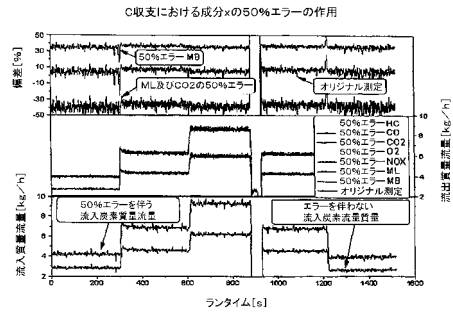
【図 42】



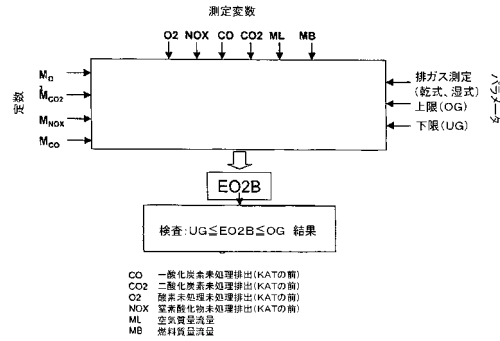
【図 43】



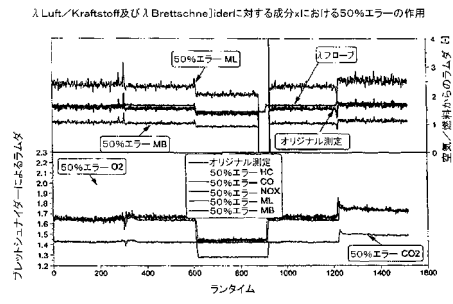
【図 40】



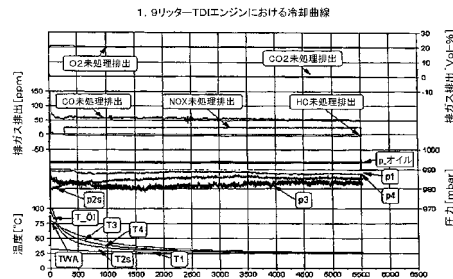
【図 41】



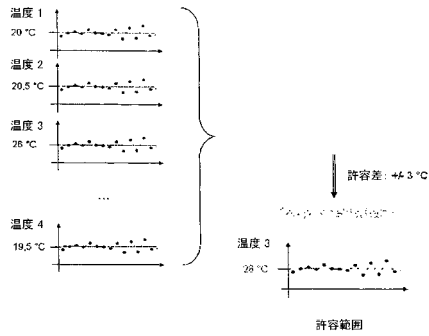
【図 44】



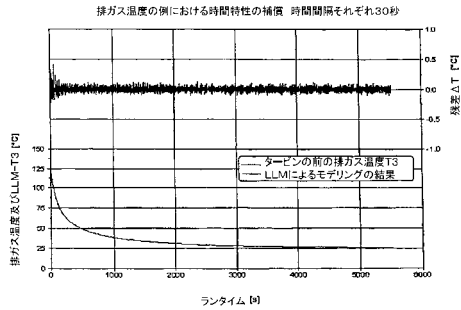
【図 45】



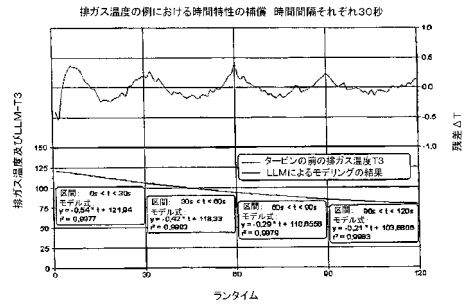
【図 46】



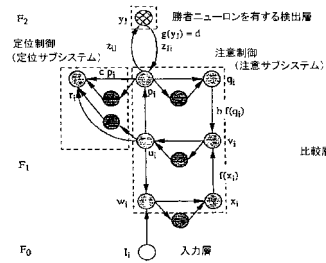
【図 47】



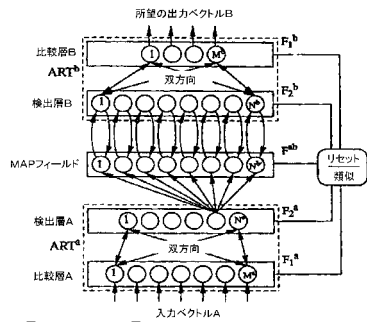
【図 48】



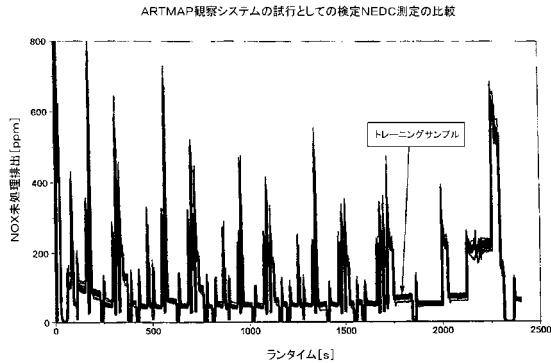
【図 49】



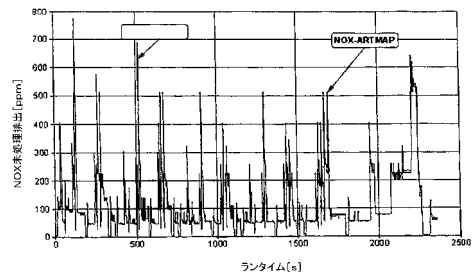
【図 50】



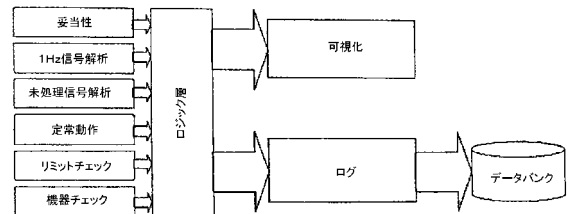
【図 51】



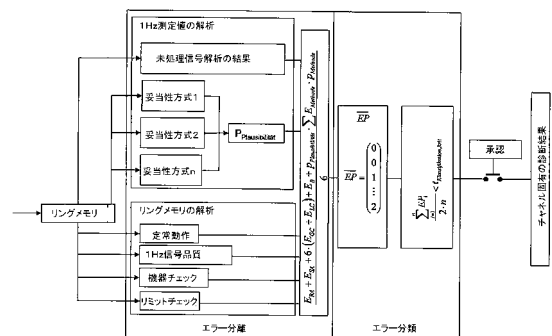
【図 52】



【図 53】

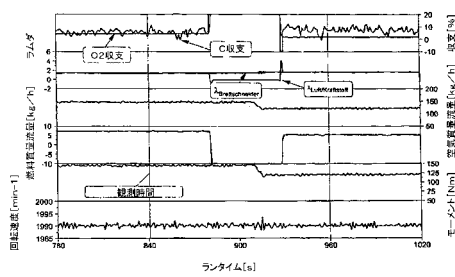


【図 54】

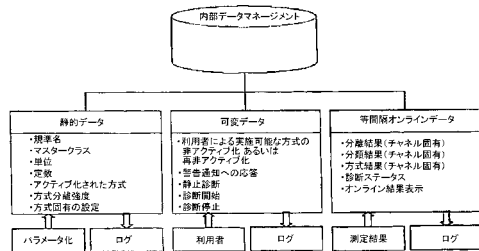


【図 5 5】

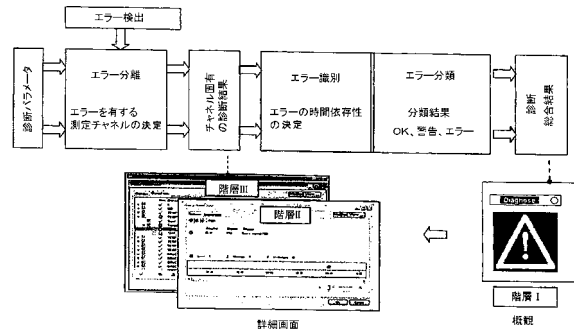
定常ステップ測定を用いたエラー分離及びエラー分類に関する例



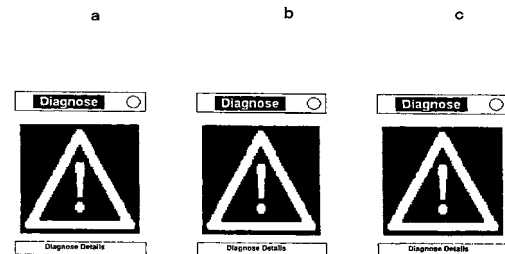
【図 5 6】



【図 5 7】



【图 5 8】

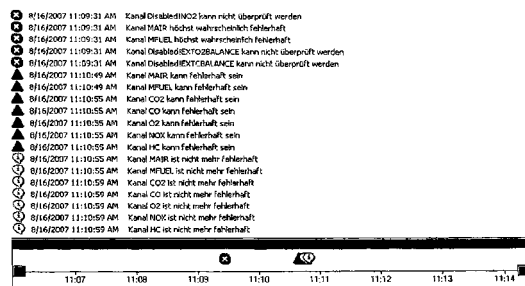


三角形全体が特別目立つ
ようには表示されない！

三角形全体が強調的な赤い色で表示される！

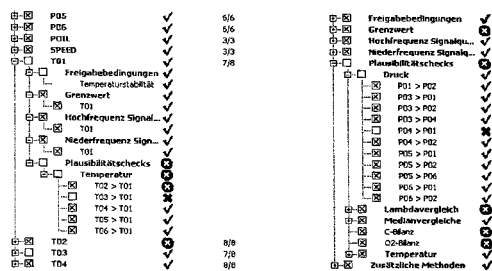
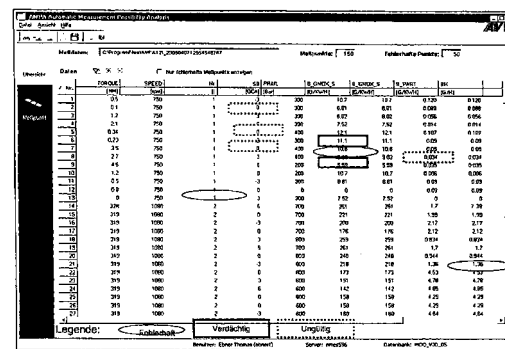
感嘆符だけが強調的な赤い色で表示される！

【図 5 9】



【図 6 0】

【図 6 1】



フロントページの続き

- (72)発明者 トーマス・グンチュニヒ
オーストリア共和国、8043 グラーツ、マリーアグリュナーストラーセ、4
- (72)発明者 マルティン・シュテットナー
オーストリア共和国、8010 グラーツ、シュパルバースバッハガッセ、49
- (72)発明者 マルヴィン・ベルガー
オーストリア共和国、8670 クリークラッハ、ベルクガッセ、8
- (72)発明者 ヴェルナー・フクス
オーストリア共和国、9911 アスリング、ウンターアスリング、72

審査官 福田 裕司

- (56)参考文献 特開平10-115534 (JP, A)
特開平07-294282 (JP, A)
特開2007-064819 (JP, A)
特開2007-310665 (JP, A)
特開2007-107908 (JP, A)
実開平01-120294 (JP, U)
特開2003-013794 (JP, A)
特開2006-154919 (JP, A)
特開2003-106946 (JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G01M 99/00
G01M 15/05