(19)日本国特許庁(JP)　(12)公開特許公報(A)　(11)特許出願公開番号
特開2005-291882
(P2005-291882A)
(43)公開日　平成17年10月20日(2005.10.20)

(51)Int.Cl.[7]	F I		テーマコード（参考）
G21F 9/36	G21F 9/36	511P	
G01K 7/00	G01K 7/00	381L	
G21C 19/32	G21C 19/32	Z	
G21F 5/12	G21F 5/00	E	

審査請求 有　請求項の数 23　ＯＬ　（全 33 頁）

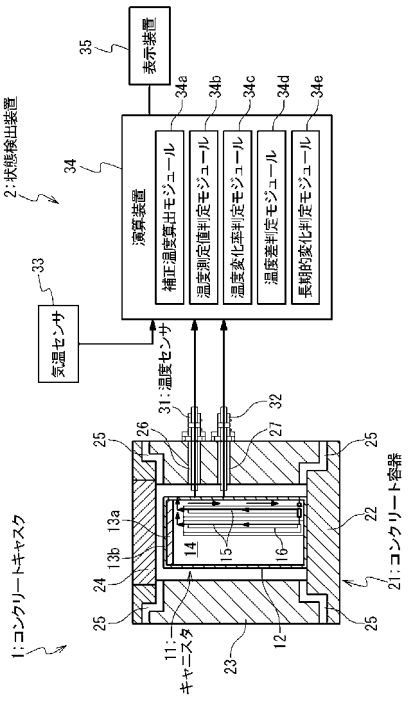
(21)出願番号　特願2004-106548 (P2004-106548)
(22)出願日　平成16年3月31日 (2004.3.31)

(71)出願人　000006208
三菱重工業株式会社
東京都港区港南二丁目１６番５号
(74)代理人　100102864
弁理士　工藤　実
(74)代理人　100117617
弁理士　中尾　圭策
(72)発明者　堀　慎一郎
兵庫県高砂市荒井町新浜２丁目１番１号
三菱重工業株式会社高砂研究所内
(72)発明者　小林　淳一
兵庫県高砂市荒井町新浜２丁目１番１号
三菱重工業株式会社高砂研究所内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】放射性物質容器用状態検出装置，及び放射性物質容器の状態検出方法

(57)【要約】
【課題】　放射性物質を収容する放射性物質容器の密封性の異常を，より確実に検知する技術を提供する。
【解決手段】　本発明による放射性物質容器用の状態検出装置２は，放射性物質を収容するキャニスタ１１の表面温度T_iを取得する温度センサ３１，３２と，気温T_0を測定する気温センサ３３と，演算装置３４とを備えている。演算装置３４は，表面温度T_iに対応する表面温度対応項と，気温T_0の表面温度T_iに対する応答を表す一次遅れ波形に対応する一次遅れ波形対応項とを含む演算式によって補正温度T_{Ci}を算出し，その補正温度T_{Ci}に基づいてキャニスタ１１の異常を検出する。
【選択図】　図１



【特許請求の範囲】
【請求項１】
放射性物質を収容する放射性物質容器の状態量を取得する状態量取得手段と，
気温を測定する気温測定手段と，
前記気温に基づいて前記状態量を補正することによって補正状態量を算出する補正状態量算出手段と，
前記補正状態量に基づいて前記放射性物質容器の異常を検出する異常検出手段
とを備えた
放射性物質容器用状態検出装置。
【請求項２】
前記補正状態量算出手段は，前記状態量に対応する状態量対応項と，前記気温の前記状態量に対する応答を表す応答波形対応項とを含む演算式を用いて前記補正状態量を算出する
放射性物質容器用状態検出装置。
【請求項３】
請求項２に記載の放射性物質容器用状態検出装置において，
前記応答波形対応項は，前記気温の前記状態量に対する応答を一次遅れ要素で表す一次遅れ波形対応項を含む
放射性物質容器用状態検出装置。
【請求項４】
請求項２に記載の放射性物質容器用状態検出装置において，
前記応答波形対応項は，互いに異なる複数の伝達関数に対応する複数の項を含む
放射性物質容器用状態検出装置。
【請求項５】
請求項４に記載の放射性物質容器用状態検出装置において，
前記複数の伝達関数は，互いに異なる時定数を有する一次遅れ要素の伝達関数である
放射性物質容器用状態検出装置。
【請求項６】
請求項１に記載の放射性物質容器用状態検出装置であって，
前記状態量は，前記放射性物質容器の表面温度である
放射性物質容器用状態検出装置。
【請求項７】
請求項１に記載の放射性物質容器用状態検出装置であって，
前記状態量は，前記放射性物質容器の内部の圧力である
放射性物質容器用状態検出装置。
【請求項８】
請求項１に記載の放射性物質容器用状態検出装置であって，
前記補正状態量算出手段は，前記気温に加え，他の放射性物質容器の表面温度に基づいて前記状態量を補正することによって補正状態量を算出する
放射性物質容器用状態検出装置。
【請求項９】
請求項２に記載の放射性物質容器用状態検出装置であって，
前記異常検出手段は，
　前記補正状態量の一定期間における統計量から正常状態領域を設定する正常状態設定手段と，
　前記補正状態量が前記正常状態領域の中にあるか否かに基づいて，前記放射性物質容器の密封性に異常があるか否かを判定する異常判定手段
とを含む
放射性物質容器用状態検出装置。
【請求項１０】

請求項９に記載の放射性物質容器用状態検出装置であって，
前記統計量は，
前記一定期間における前記補正状態量の平均値と，
前記一定期間における前記補正状態量の標準偏差
とを含み，
前記正常状態設定手段は，前記平均値と前記標準偏差とから正常状態領域を設定する
放射性物質容器用状態検出装置。
【請求項１１】
請求項２に記載の放射性物質容器用状態検出装置であって，
前記異常検出手段は，前記補正状態量の時間変化率に基づいて前記放射性物質容器の異常を検出する
放射性物質容器用状態検出装置。
【請求項１２】
請求項１１に記載の放射性物質容器用状態検出装置であって，
前記異常検出手段は，
前記補正状態量の時間変化率の一定期間における統計量から正常状態領域を設定する正常状態設定手段と，
前記時間変化率が前記正常状態領域の中にあるか否かに基づいて，前記放射性物質容器の密封性に異常があるか否かを判定する異常判定手段
とを含む
放射性物質容器用状態検出装置。
【請求項１３】
請求項１２に記載の放射性物質容器用状態検出装置であって，
前記統計量は，
前記一定期間における前記時間変化率の平均値と，
前記一定期間における前記時間変化率の標準偏差
とを含み，
前記正常状態設定手段は，前記平均値と前記標準偏差とから正常状態領域を設定する
放射性物質容器用状態検出装置。
【請求項１４】
請求項２に記載の放射性物質容器用状態検出装置であって，
前記状態量取得手段は，
前記放射性物質容器の第１位置における第１表面温度を取得する第１温度測定器と，
前記放射性物質容器の，前記第１位置と異なる高さの第２位置における第２表面温度を取得する第２温度測定器と，
とを含み，
前記補正状態量算出手段は，前記第１表面温度に対応する第１表面温度対応項と，前記気温の前記第１表面温度に対する応答に対応する応答波形対応項とを含む演算式によって第１補正温度を算出し，且つ，前記第２表面温度に対応する第２表面温度対応項と，前記気温の前記第２表面温度に対する応答に対応する応答波形対応項とを含む演算式によって第２補正温度を算出し，
前記異常検出手段は，前記第１補正温度と前記第２補正温度の温度差に基づいて，前記放射性物質容器の異常を検出する
放射性物質容器状態検出装置。
【請求項１５】
請求項１４に記載の放射性物質容器用状態検出装置であって，
前記異常検出手段は，
前記温度差の一定期間における統計量から正常状態領域を設定する正常状態設定手段と，
前記温度差が前記正常状態領域の中にあるか否かに基づいて，前記放射性物質容器の

密封性に異常があるか否かを判定する異常判定手段
とを含む
放射性物質容器用状態検出装置。
【請求項１６】
請求項１５に記載の放射性物質容器用状態検出装置であって，
前記統計量は，
前記一定期間における前記温度差の平均値である温度差平均値と，
前記一定期間における前記温度差の標準偏差である温度差標準偏差
とを含み，
前記正常状態設定手段は，前記温度差平均値と前記温度差標準偏差とから正常状態領域を設定する
放射性物質容器用状態検出装置。
【請求項１７】
請求項２に記載の放射性物質容器用状態検出装置であって，
前記異常検出手段は，現在の前記補正状態量に対応する現在値と，過去のある時刻における前記補正状態量に対応する過去値との差に基づいて前記放射性物質容器の異常を検出する
放射性物質容器状態検出装置。
【請求項１８】
請求項１７に記載の放射性物質容器用状態検出装置であって，
前記異常検出手段は，
前記補正状態量の基準期間における統計量から正常状態領域を設定する正常状態設定手段と，
前記現在値と前記過去値との差が前記正常状態領域の中にあるか否かに基づいて，前記放射性物質容器の密封性に異常があるか否かを判定する異常判定手段
とを含む
放射性物質容器用状態検出装置。
【請求項１９】
請求項１８に記載の放射性物質容器用状態検出装置であって，
前記統計量は，前記補正状態量の前記基準期間における標準偏差である基準標準偏差を含み，
前記正常状態設定手段は，前記基準標準偏差から正常状態領域を設定する
放射性物質容器用状態検出装置。
【請求項２０】
放射性物質を収容する放射性物質容器の状態量を取得するステップと，
気温を測定するステップと，
前記気温に基づいて前記状態量を補正することによって補正状態量を算出するステップと，
前記補正状態量に基づいて前記放射性物質容器の異常を検出するステップ
とを備えた
放射性物質容器の異常検出方法。
【請求項２１】
請求項２０に記載の放射性物質容器の異常検出方法であって，
前記補正状態量は，前記状態量に対応する状態量対応項と，前記気温の前記状態量に対する応答を表す応答波形対応項とを含む演算式を用いて算出される
放射性物質容器の異常検出方法。
【請求項２２】
放射性物質を収容する放射性物質容器の状態量を取得するステップと，
気温を取得するステップと，
前記気温に基づいて前記状態量を補正することによって補正状態量を算出するステップ

ステップと，
前記補正状態量に基づいて前記放射性物質容器の異常を検出するステップ
とをコンピュータに実行させる
放射性物質容器用異常検出プログラム。
【請求項２３】
請求項２２に記載の放射性物質容器用異常検出プログラムであって，
前記補正状態量は，前記状態量に対応する状態量対応項と，前記気温の前記状態量に対する応答を表す応答波形対応項とを含む演算式を用いて算出される
放射性物質容器用異常検出プログラム。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は，使用済燃料集合体，放射性廃棄物等の放射性物質を収容，輸送，あるいは保存する放射性物質容器の状態を検出する状態検出装置に関する。
【背景技術】
【０００２】
原子炉における燃焼を終えた使用済燃料集合体を安全に長期的に保存する技術は，核燃料サイクルの確立のために重要な技術の一つである。使用済燃料集合体が生成された後，それを再処理施設によって再処理されるまでには，ある程度の時間が必要である。具体的には，使用済燃料集合体は，それが生成された後再処理されるまでに最長で６０年間保存される可能性がある。従って，使用済燃料集合体は，再処理施設によって再処理されるまで長期に安全に保存される必要がある。
【０００３】
使用済燃料集合体を長期間保存する技術として，湿式貯蔵と乾式貯蔵があり，乾式貯蔵にはコンクリートキャスク，金属キャスク，ボールト貯蔵が知られている。コンクリートキャスクは，概略的には，使用済燃料集合体を収容する金属製のキャニスタ（内筒）と，そのキャニスタを収容するコンクリート製の外筒とから構成される。使用済燃料集合体は，キャニスタの内部に形成された密封空間に収容される。金属キャスクは，概略的には，放射性物質を収容する金属製の胴部と，一次蓋と二次蓋とからなる蓋部とから構成される。使用済燃料集合体は，胴部と蓋部とによって形成された密封空間に収容される。一方，ボールト貯蔵とは，使用済燃料集合体を収容する金属製のキャニスタを，除熱，及び放射線遮蔽を考慮した建屋内に高密度に並べる方法である。使用済燃料集合体は，キャニスタの内部に形成された密封空間に収容される。
【０００４】
使用済燃料集合体の保存にあたり考慮すべき事項としては，使用済燃料集合体がＦＰ（核分裂生成物）などの高放射性物質に含まれる放射能及び発熱が挙げられる。キャスク及びキャニスタの主な役割は，使用済燃料集合体の放射能及び発熱を低減することである。使用済燃料集合体の発熱を低減するために，一般的には，以下の３つの技術が採用される。第１に，使用済燃料集合体が局所的に発生する熱を拡散するために，使用済燃料集合体を収容する密封空間（即ち，キャニスタ及び金属キャスクの内部）にはヘリウムガスが封じられる。第２に，使用済み燃料集合体の保存の間，キャスクは冷却される。更に，キャスク自体も発熱に耐えられるように設計される。
【０００５】
加えて，より安全に使用済燃料集合体を保存するために，使用済燃料集合体を収容する密封空間の密封性，即ち，キャスク及びキャニスタの密封性の確認が行われる。密封性を確認する最も有力な手段としては，キャスクから漏れ出る放射線を検出する放射線検出装置及びヘリウムガスのリークを検出するヘリウムリークディテクターが挙げられる。しかし，これらの装置の使用は，使用済燃料集合体を長期的に保存する密封空間の密封性を放射能漏洩のない早期に継続的に確認するためには好適でない。このため，キャスクの密封性を簡便に放射能漏洩のない早期に，且つ，低コストに確認するための装置の開発が求め

られている。
【０００６】
特許文献１は，キャスクの密封性を簡便に，且つ，低コストに確認するためのモニタリング装置を開示している。公知のそのモニタリング装置は，キャスクの温度変化及び圧力変化から，密封性の劣化を検知する。キャスクの密封性の劣化によってヘリウムガスの漏れが発生すると，キャスクの温度及び圧力は異常に低下する。公知のそのモニタリング装置は，この温度及び圧力の異常な低下を検知することにより，キャスクの異常を検出する。温度変化及び圧力変化からキャスクの密封性を確認することは，モニタリング装置を簡素化することを可能にし，キャスクの密封性を簡便に放射能漏洩のない早期に，且つ，低コストに確認するために有効である。
【０００７】
温度変化及び圧力変化からキャスクの密封性を確認するモニタリング装置では，キャスクの密封性の異常の検知の確実性を向上することが重要である。より具体的には，キャスクに微小なリークが発生したときでも，その微小なリークを検知できることが重要である。微小なリークでは，キャスクの時間あたりの温度変化及び圧力変化も小さいから，微小なリークに起因する温度変化及び圧力変化を正確に検知することが重要である。一方で，異常でない温度変化及び圧力変化を，キャスクの密封性の劣化に起因していないと正しく結論付けることも重要である。
【０００８】
このような背景から，放射性物質を収容する放射性物質容器の密封性の異常を，より確実に検知する技術の提供が求められている。
【特許文献１】特開２００２－４８８９８号公報
【発明の開示】
【発明が解決しようとする課題】
【０００９】
本発明の目的は，放射性物質を収容する放射性物質容器の密封性の異常を，より確実に検知する技術を提供することにある。
【課題を解決するための手段】
【００１０】
上記の目的を達成するために，本発明は，以下に述べられる手段を採用する。その手段に含まれる技術的事項には，［特許請求の範囲］の記載と［発明を実施するための最良の形態］の記載との対応関係を明らかにするために，［発明を実施するための最良の形態］で使用される番号・符号が付加されている。但し，付加された番号・符号は，［特許請求の範囲］に記載されている発明の技術的範囲の解釈に用いてはならない。
【００１１】
本発明による放射性物質容器用状態検出装置（２，２’，２”）は，放射性物質を収容する放射性物質容器（１１，３）の状態量（T_i，Ｐ）を取得する状態量取得手段（３１，３２，７１）と，気温（T_0）を測定する気温測定手段（３３，７２）と，気温（T_0）に基づいて状態量（T_i，Ｐ）を補正することによって補正状態量（T_{Ci}，P_C）を算出する補正状態量算出手段（３４ａ，３４ａ’，７３ａ）と，補正状態量（T_{Ci}，P_C）に基づいて放射性物質容器（１１，３）の異常を検出する異常検出手段（３４ｂ－３４ｅ，７３ｂ－７３ｅ）とを備えている。好適な実施形態では，補正状態量（T_{Ci}，P_C）の算出には，状態量（T_i，Ｐ）に対応する状態量対応項と，気温（T_0）の状態量（T_i，Ｐ）に対する応答を表す応答波形対応項とを含む演算式が使用される。状態量（T_i，Ｐ）としては，最も典型的には，放射性物質容器（１１，３）の表面温度及びその内部の圧力が使用される。
【００１２】
かかる状態検出装置（２，２’，２”）は，補正状態量（T_{Ci}，P_C）を用いて放射性物質容器（１１，３）の異常を検出することにより，気温（T_0）に起因する状態量（T_i，Ｐ）の変動に対する影響をキャンセルしながら，放射性物質容器（１１，３）の異

常を検出することができる。これにより，当該状態検出装置（２，２’，２”）は，放射性物質容器の密封性の検知の確実性を向上することができる。

【００１３】

好適には，上記応答波形対応項として，気温の状態量に対する応答を一次遅れ要素で表す一次遅れ波形対応項が使用される。

【００１４】

一層に検知の確実性を向上するためには，応答波形対応項は，互いに異なる伝達関数にそれぞれに対応する複数の項を含むことが好適である。これにより，時定数が異なる構造体の影響を反映した適切な応答波形対応項を生成することができ，従って，放射性物質容器の密封性の検知の確実性を向上することができる。上記応答波形対応項として，一次遅れ波形対応項が使用される場合には，当該応答波形対応項は，時定数が異なる複数の一次遅れ波形にそれぞれに対応する複数の項を含むことが好適である。

【００１５】

特に，ボールト貯蔵が行われる場合には，補正状態量算出手段（３４ａ’）は，気温に加え，他の放射性物質容器の表面温度に基づいて前記状態量を補正することによって補正状態量を算出することが好適である。

【００１６】

異常検出手段（３４ｂ－３４ｅ，７３ｂ－７３ｅ）は，補正状態量（T_{Ci}，P_C）の一定期間における統計量から正常状態領域を設定する正常領域設定手段（３４ｂ，７３ｂ）と，補正状態量（T_{Ci}，P_C）が正常状態領域の中にあるか否かに基づいて，放射性物質容器（１１，３）の密封性に異常があるか否かを判定する異常判定手段（３４ｂ，７３ｂ）とを含むことが好適である。具体的な統計量としては，補正状態量（T_{Ci}，P_C）の一定期間における平均値，該一定期間における補正状態量（T_{Ci}，P_C）の標準偏差，あるいは最大値，最小値，その偏差，尖度，歪度が挙げられる。

【００１７】

また，異常検出手段（３４ｃ，７３ｃ）は，補正状態量（T_{Ci}，P_C）の時間変化率から放射性物質容器（１１，３）の異常を検出することが好適である。この場合，異常検出手段（３４ｃ，７３ｃ）は，時間変化率の一定期間における統計量から正常状態領域を設定する正常領域設定手段（３４ｃ，７３ｃ）と，補正状態量（T_{Ci}，P_C）の時間変化率が正常状態領域の中にあるか否かに基づいて，放射性物質容器（１１，３）の密封性に異常があるか否かを判定する異常判定手段（３４ｃ，７３ｃ）とを含むことが好適である。具体的な統計量としては，補正状態量（T_{Ci}，P_C）の時間変化率の一定期間における平均値である時間変化率平均値，該一定期間における補正状態量（T_{Ci}，P_C）の時間変化率の標準偏差である時間変化率標準偏差，あるいは最大値，最小値，その偏差，尖度，歪度が挙げられる。

【００１８】

状態量取得手段（３１，３２）は，放射性物質容器（１１，３）の第１位置における第１表面温度（T_1）を取得する第１温度測定器（３１），放射性物質容器（１１，３）の，第１位置と異なる高さの第２位置における第２表面温度（T_2）を取得する第２温度測定器（３２）とを備えることがある。この場合，補正状態量算出手段（３４ａ，７３ａ）は，第１表面温度に対応する第１表面温度対応項と，気温（T_0）の第１表面温度（T_1）に対する応答に対応する応答波形対応項とを含む演算式によって第１補正温度（T_{C1}）を算出し，且つ，第２表面温度（T_2）に対応する第２表面温度対応項と，気温（T_0）の第２表面温度（T_2）に対する応答に対応する応答波形対応項とを含む演算式によって第２補正温度（T_{C2}）を算出し，且つ，異常検出手段（３４ｄ）は，第１補正温度（T_{C1}）と第２補正温度（T_{C2}）との温度差から，放射性物質容器（１１，３）の異常を検出することが好適である。この場合，異常検出手段（３４ｄ）は，第１補正温度（T_{C1}）と第２補正温度（T_{C2}）との温度差の一定期間における統計量から，正常状態領域を設定する正常領域設定手段（３４ｄ），該温度差が正常状態領域の中にあるか否かに基づいて，放射性物質容器（１１，３）の密封性に異常があるか否かを判定する異常

判定手段（３４ｄ）とを含むことが好適である。具体的な統計量としては，第１補正温度（T_{C1}）と第２補正温度（T_{C2}）との温度差の，一定期間における平均値である温度差平均値，該一定期間における温度差の標準偏差である温度差標準偏差，あるいは最大値，最小値，その偏差，尖度，歪度が挙げられる。

【００１９】

また，異常検出手段（３４ｅ，７３ｅ）は，現在の補正状態量（T_{Ci}，P_C）に対応する現在値と，過去のある時刻における補正状態量（T_{Ci}，P_C）に対応する過去値との差に基づいて，放射性物質容器（１１，３）の異常を検出することが好適である。この場合，異常検出手段（３４ｅ，７３ｅ）は，現在値と過去値との差の基準期間における統計量から，正常状態領域を設定する正常領域設定手段（３４ｅ，７３ｅ）と，現在値と過去値との差が正常状態領域の中にあるか否かに基づいて，放射性物質容器（１１，３）の密封性に異常があるか否かを判定する異常判定手段（３４ｅ，７３ｅ）とを含むことが好適である。具体的な統計量としては，補正状態量（T_{Ci}，P_C）の基準期間における標準偏差である基準標準偏差，あるいは最大値，最小値，その偏差，尖度，歪度が挙げられる。

【００２０】

他の観点において，本発明による放射性物質容器の異常検出方法は，

放射性物質を収容する放射性物質容器（１１，３）の状態量（T_i，Ｐ）を取得するステップと，

気温（T_0）を測定するステップと，

気温（T_0）に基づいて状態量（T_i，Ｐ）を補正することによって補正状態量（T_{Ci}，P_C）を算出するステップと，

補正状態量（T_{Ci}，P_C）に基づいて放射性物質容器（１１，３）の異常を検出するステップ

とを備えている。好適な実施形態では，補正状態量（T_{Ci}，P_C）は，状態量（T_i，Ｐ）に対応する状態量対応項と，気温（T_0）の状態量（T_i，Ｐ）に対する応答を表す応答波形対応項とを含む演算式を用いて算出される。

【００２１】

更に他の観点において，本発明による放射性物質容器の異常検出プログラムは，

放射性物質を収容する放射性物質容器（１１，３）の状態量（T_i，Ｐ）を取得するステップと，

気温（T_0）を測定するステップと，

気温（T_0）に基づいて状態量（T_i，Ｐ）を補正することによって補正状態量（T_{Ci}，P_C）を算出するステップと，

補正状態量（T_{Ci}，P_C）に基づいて放射性物質容器（１１，３）の異常を検出するステップ

とをコンピュータ（３４，７３）に実行させる。

【発明の効果】

【００２２】

本発明により，放射性物質を収容する放射性物質容器の密封性の検知の確実性が向上される。

【発明を実施するための最良の形態】

【００２３】

第１　実施の第１形態

本発明の実施の第１形態では，コンクリートキャスク１の劣化の発生の有無が，状態検出装置２によって検出される。以下では，状態の検出の対象であるコンクリートキャスク１の構成が説明された後，本実施の形態の状態検出装置２の構成と動作が詳細に説明される。

【００２４】

１．コンクリートキャスクの構成

コンクリートキャスク１は，概略的には，キャニスタ１１と，そのキャニスタ１１を収容するコンクリート容器２１とから構成される。キャニスタ１１は，胴部１２と一次蓋１３ａと二次蓋１３ｂとから構成されている。胴部１２と一次蓋１３ａと二次蓋１３ｂは，いずれも，ステンレス又は炭素鋼で形成されている。胴部１２の上部開口は一次蓋１３ａと二次蓋１３ｂとによって密封され，これにより，キャニスタ１１の内部にはキャビティ１４が形成されている。このキャビティ１４に，使用済燃料集合体１５を収容するバスケット１６が収められる。キャニスタ１１の内部には，使用済燃料集合体１５が局部的に発生する熱を全体に拡散するために，ヘリウムガスが充填されている。使用済燃料集合体１５が熱を発生すると，その近傍のヘリウムガスの温度が上昇する。この温度上昇により，ヘリウムガスが循環され，熱がキャニスタ１１の全体に拡散される。自然循環を利用して熱を拡散するため，キャニスタ１１の上部の温度は高くなり，下部の温度は低くなる。即ち，キャニスタ１１の高さが異なる位置では，その温度が異なる。

【００２５】

コンクリート容器２１は，いずれもコンクリート製の支持体２２と側壁２３と蓋体２４とから構成されている。側壁２３の上部及び下部には空気流通孔２５が形成されている。コンクリートキャスク１を収容する設備内部の空気は空気流通孔２５を通じてキャニスタ１１に流通可能であり，これにより，キャニスタ１１が冷却される。

【００２６】

コンクリート容器２１の側壁２３及び蓋体２４には，これを貫通する検査孔２６，２７がそれぞれに形成されている。後述されるように，検査孔２６，２７は，キャニスタ１１の表面温度を測定するための温度センサを挿入するために使用される。

【００２７】

２．状態検出装置２の構成

状態検出装置２は，温度センサ３１，３２と，気温センサ３３と，演算装置３４と，表示装置３５とを備えている。

【００２８】

温度センサ３１，３２は，キャニスタ１１の表面温度を逐次に測定するために使用される。温度センサ３１，３２は，コンクリート容器２１に設けられた検査孔２６，２７に挿入されてキャニスタ１１の表面に接触するように固定される。温度センサ３１は，キャニスタ１１の上部に接触され，上部の表面温度を測定するために使用される。一方，温度センサ３２は，キャニスタ１１の中央部に接触され，中央部の表面温度を測定するために使用される。温度センサ３１，３２としては，典型的には，熱電対，ペルチェ素子，測温抵抗体，赤外線温度計，放熱温度計が使用され得る。

【００２９】

温度センサ３１，３２が設けられている高さが異なることは，キャニスタ１１の密封性の劣化の検知の上で重要である。キャニスタ１１の高さの異なる２点の温度差は，キャニスタ１１の密封性に異常が発生すると変化するから，高さの異なる２点の温度差は，異常の発生に検知するために使用可能である。温度センサ３１によって測定される表面温度（即ち，キャニスタ１１の上部の表面温度）は，以後，表面温度T_1と記載され，温度センサ３２によって測定される表面温度（即ち，キャニスタ１１の中央部の表面温度）は，以後，表面温度T_2と記載される。特に時刻を特定したい場合には，時刻ｔにおける表面温度T_1，T_2は，それぞれ，T_1（ｔ），T_2（ｔ）と表記される。

【００３０】

気温センサ３３は，コンクリートキャスク１の周囲の気温T_0を測定する。時刻ｔにおける気温T_0は，T_0（ｔ）と表記される。

【００３１】

演算装置３４は，温度センサ３１，３２によって逐次に測定された表面温度T_1，T_2と，気温センサ３３によって逐次に測定された気温T_0とを用いて，キャニスタ１１の異常の有無を検知するコンピュータである。演算装置３４には，補正温度算出モジュール３４ａと，温度測定値判定モジュール３４ｂと，温度変化率判定モジュール３４ｃと，温度

差判定モジュール３４ｄと，長期的変化判定モジュール３４ｅとを含むソフトウェアプログラムがインストールされている。

【００３２】

補正温度算出モジュール３４ａは，表面温度T_1，T_2から補正温度T_{C1}，T_{C2}を算出するプログラムである。ここで補正温度T_{C1}，T_{C2}とは，気温T_0の変化が表面温度T_1，T_2に与える影響をキャンセルするために導入される仮想的な温度である。補正温度T_{C1}，T_{C2}は，表面温度T_1，T_2から，気温T_0の変化による表面温度T_1，T_2の変化に対応する成分を減じることによって得られる。後述されるように，補正温度T_{C1}，T_{C2}の導入は，キャニスタ１１の密封性の状態の検知の確実性を向上するために重要な役割をはたしており，本実施の形態の状態検出装置２の一つの特徴である。

【００３３】

温度測定値判定モジュール３４ｂと，温度変化率判定モジュール３４ｃと，温度差判定モジュール３４ｄと，長期的変化判定モジュール３４ｅとは，補正温度算出モジュール３４ａによって算出された補正温度T_{C1}，T_{C2}を用いて，キャニスタ１１の異常を検知するプログラムである。これらのモジュールは，異なる方法によって，キャニスタ１１の異常を検知する

【００３４】

温度測定値判定モジュール３４ｂは，補正温度T_{C1}，T_{C2}を統計的に処理することによってキャニスタ１１の異常を検知する。キャニスタ１１の表面温度T_1，T_2は，キャニスタ１１の密封性に異常が発生すると変化するから，補正温度T_{C1}，T_{C2}も表面温度T_1，T_2の変化に伴って変化する。温度測定値判定モジュール３４ｂは，この補正温度T_{C1}，T_{C2}の変化を捉えることにより，キャニスタ１１の密封性の異常を検知する。

【００３５】

温度変化率判定モジュール３４ｃは，補正温度T_{C1}，T_{C2}の時間変化率dT_{C1}，dT_{C2}を算出し，この補正温度変化率dT_{C1}，dT_{C2}を統計的に処理することによってキャニスタ１１の異常を検知する。補正温度変化率dT_{C1}，dT_{C2}は，キャニスタ１１の密封性に異常が発生すると変化する。この補正温度変化率dT_{C1}，dT_{C2}の変化を捉えることにより，温度変化率判定モジュール３４ｃは，キャニスタ１１の密封性の異常を検知する。

【００３６】

温度差判定モジュール３４ｄは，補正温度T_{C1}，T_{C2}の差ΔT_C（$=T_{C1}-T_{C2}$）を算出し，この温度差ΔT_Cを統計的に処理することによってキャニスタ１１の異常を検知する。キャニスタ１１の上部の表面温度T_1と中央部の表面温度T_2との温度差は，キャニスタ１１の密封性に異常が発生すると変化するから，補正温度T_{C1}，T_{C2}の温度差ΔT_Cも，キャニスタ１１の密封性に異常が発生すると変化する。温度差判定モジュール３４ｄは，この温度差ΔT_Cの変化を捉えることにより，キャニスタ１１の密封性の異常を検知する。

【００３７】

長期的変化判定モジュール３４ｅは，補正温度T_{C1}，T_{C2}の長期的変化を検出してキャニスタ１１の異常を検知する。具体的には，長期的変化判定モジュール３４ｅは，補正温度T_{C1}，T_{C2}の，過去のある時間の値（過去値）と現在値とを比較することにより，キャニスタ１１の異常を検知する。過去値としては，典型的には，６ヶ月前，１年前の補正温度T_{C1}，T_{C2}が使用される。この長期的変化判定モジュール３４ｅは，キャニスタ１１の微小なリークを検出するためのものである。微小なリークは，キャニスタ１１の内部の圧力を長期間徐々に減少させ，これに伴い，キャニスタ１１の表面温度T_1，T_2及びそれらに対応する補正温度T_{C1}，T_{C2}も徐々に減少させる。この補正温度T_{C1}，T_{C2}の緩やかな低下を捕らえることにより，長期的変化判定モジュール３４ｅは，キャニスタ１１の微小なリークを検知する。

【００３８】

表示装置３５は，演算装置３４による検知結果を表示するために使用される。演算装置３４によって異常が検知されると，その旨が表示装置３５に表示される。

【００３９】

３．キャニスタの状態判定方法

以下では，本実施の形態における，キャニスタ１１の状態判定方法が詳細に説明される。

【００４０】

（１）補正温度の算出

上述されているように，本実施の形態では，表面温度T_1，T_2から，気温T_0の変化による表面温度T_1，T_2の変化に対応する成分を減じて補正温度T_{C1}，T_{C2}を算出し，この補正温度T_{C1}，T_{C2}を用いてキャニスタ１１の状態が判定される；表面温度T_1，T_2をそのままキャニスタの状態の判定に用いるのではない。このような状態判定方法の利点は，キャニスタ１１の表面温度T_1，T_2から，キャニスタ１１の密封性の劣化に起因する成分を分離できることである。気温T_0は，キャニスタ１１の表面温度T_1，T_2に大きな影響を及ぼすから，表面温度T_1，T_2の変化は，純粋に，キャニスタ１１の密封性の劣化によって生じるものではない。この気温T_0の影響を除去することにより，本実施の形態では，キャニスタ１１の密封性の検知の確実性が向上されている。

【００４１】

具体的には，本実施の形態では，気温T_0の変化による表面温度T_1，T_2の変化に対応する成分が，時定数τ_{i1}を有する一つの一次遅れ要素，又は，それぞれ時定数τ_{i1}，τ_{i2}，・・・，τ_{im}を有するｍ個の一次遅れ要素の和であるとして近似され，この近似に基づいて，補正温度T_{C1}，T_{C2}が算出される。

【００４２】

即ち，時刻t_kにおける補正温度$T_{Ci}(t_k)$は，下記式（１）：

$$T_{Ci}(t_k)=T_i(t_k)-\Sigma K_{ij}\cdot T_{\tau ij}(t_k), \quad \cdots(1)$$

によって算出される。ｉは，１，２の任意であり，ｊは，１以上ｍ以下の整数である。$T_{\tau ij}(t_k)$は，気温T_0の表面温度T_iへの応答を表す項であり，時定数τ_jを有する一次遅れ要素によって記述される。K_{ij}は，時定数τ_{ij}を有する一次遅れ要素に対応して定められる補正係数である。$T_{\tau ij}(t_k)$は，下記式（２）：

$$T_{\tau ij}(t_k)=L^{-1}[X_{\tau ij}(s)\cdot T_0(s)]|_{t=t_k}, \quad \cdots(2)$$

で求められる。ただし，$T_0(s)$は，気温$T_0(t)$のラプラス変換である。$X_{\tau ij}(s)$は，気温T_0に対する表面温度T_iの応答のうち時定数がτ_{ij}である一次遅れの成分の伝達関数である。L^{-1}は，逆ラプラス変換を示す記号である。

【００４３】

気温T_0に対する表面温度T_1，T_2の応答を，（一つではなく）ｍ個の一次遅れ要素の和であるとして近似することは，気温T_0の表面温度T_1，T_2への影響をより適正に評価する上で好適である。コンクリートキャスク１は，異なる熱容量を有する複数の部材，即ち，温度変化の時定数が異なる複数の部材で構成される。従って，表面温度T_1，T_2の応答をｍ個の一次遅れ要素の和であるとして近似することは，気温T_0の表面温度T_1，T_2への応答を，より適正に近似することを可能にする。

【００４４】

図２を参照して，気温T_0に対する表面温度T_iの応答の伝達関数$X_{\tau i1}(s)$，$X_{\tau i2}(s)$，・・・の時定数τ_{i1}，τ_{i2}，・・・は，好適には，相関法によって決定される。

【００４５】

具体的には，まず，各時定数τ_{ij}について，伝達関数$X_{Cij}(s)$の算出に使用される期間Π_jが決定される。期間Π_jは，表面温度T_1に対応する伝達関数$X_{1j}(s)$の時定数τ_{1j}と，表面温度T_2に対応する伝達関数$X_{C2j}(s)$の時定数τ_{2j}の決定に共通に使用される。期間Π_jの長さは，評価したい時定数の長さに応じて決定される

；短期の変動を表す時定数を求めたい場合には，期間Π_jの長さは短く取られ，長期の変動を表す時定数を求めたい場合には，期間Π_jの長さは長く取られる。例えば，コンクリート容器２１のように，大きな熱容量を有する部材の影響を表現する時定数を求めるためには，例えば，その長さが７日であるような長い期間Π_jが決定される。キャニスタ１１のように，中程度の熱容量を有する部材の影響を表現する時定数を求めるためには，例えば，その長さが２日であるような中程度の期間Π_jが決定される。

【００４６】

更に，測定された気温T_0（ｔ），表面温度T_1（ｔ），T_2（ｔ）からオフセット成分が除かれた後（ステップＳ０１），白色化フィルタにより，雑音が除去される（ステップＳ０２）。オフセット成分と雑音成分とが除去された気温T_0，表面温度T_1，T_2は，それぞれ，気温T_{f0}（ｔ），表面温度T_{f1}（ｔ），T_{f2}（ｔ）と表記される。

【００４７】

続いて，オフセット成分と雑音成分とが除去された気温T_{f0}（ｔ）と，表面温度T_{fi}（ｔ）との，期間Π_jについての相互相関関数R_{Cij}（τ）が求められる（ステップＳ０３）。

【００４８】

更に，その相互相関関数R_{cij}（τ）から，インパルス応答が求められ（ステップＳ０４），そのインパルス応答を積分することによってステップ応答が求められる（ステップＳ０５）。そのステップ応答を一次遅れ要素として近似することにより，時定数τ_{ij}が算出される（ステップＳ０６）。このような過程で算出された時定数τ_{i1}，τ_{i2}，・・・が一次遅れ波形$T_{\tau i1}$（t_k），$T_{\tau i2}$（t_k），・・・の計算，即ち，時刻t_kの補正温度T_{Ci}（t_k）の算出に使用される。

【００４９】

本質的な問題ではないが，補正温度T_{Ci}をキャニスタ１１の温度を表す指標として有意義な値にするためには，気温T_0の平均値が一次遅れ波形$T_{\tau ij}$（t_k）から減じられることが好適である；即ち，補正温度T_{Ci}（ｋ）は，式（１）を修正して得られる下記式（１’）：

$$T_{Ci}(t_k)=T_i(t_k)-\Sigma K_{ij}\cdot\{T_{\tau ij}(t_k)-\mu_{T0j}\},\quad\cdots(1')$$

によって算出されることが好適である。ここで，μ_{T0j}は，期間Π_jにおける気温T_0の平均値である。平均値μ_{T0j}の代わりに，過去一定期間（例えば１年間）の気温T_0の平均値が使用されることも可能である。これにより，補正温度T_{Ci}は，キャニスタ１１の温度に近い値になる。

【００５０】

本実施の形態では，気温T_0の変化による表面温度T_1，T_2の変化に対応する成分の近似に一次遅れ要素が使用されているが，他の伝達関数が近似に使用されることも可能である。この場合，気温T_0に対する表面温度T_1，T_2の応答を，（一つではなく）ｍ個の係数が異なる伝達関数の和であるとして近似されることが好適である。既述のように，コンクリートキャスク１は，異なる熱容量を有する複数の部材，即ち，温度変化の時定数が異なる複数の部材で構成される。従って，表面温度T_1，T_2の応答を係数が異なる複数の伝達関数の和であるとして近似することは，気温T_0の表面温度T_1，T_2への応答を，より適正に近似することを可能にする。

【００５１】

（２）補正温度を用いた状態判定方法

２－１）当該状態判定方法の概略

図３は，本実施の形態において，補正温度T_{C1}，T_{C2}を用いてキャニスタ１１の状態を判定する方法を示すフローチャートである。

【００５２】

所定の測定時刻になると，温度センサ３１，３２は，キャニスタ１１の上部の表面温度T_1と，キャニスタ１１の中央部の表面温度T_2とを測定し，気温センサ３３は気温T_0

を測定する（ステップＳ１１）。以下では，最新の測定時刻は，時刻t_kと記述され，その時刻t_kにおいて測定された表面温度T_1，T_2は，それぞれ，T_1（t_k），T_2（t_k）と記載される。

【００５３】

続いて，補正温度算出モジュール３４ａにより，表面温度T_1（t_k），T_2（t_k）から，上記式（１）（又は式（１’））を用いて，補正温度T_{C1}（t_k），T_{C2}（t_k）が算出される（ステップＳ１２）。

【００５４】

続いて，ステップＳ１２で算出された補正温度T_{C1}（t_k），T_{C2}（t_k）を用いて，キャニスタ１１の状態が判定される（ステップＳ１３－Ｓ１６）。キャニスタ１１の状態の判定は，上述された４つのモジュール：即ち，温度測定値判定モジュール３４ｂ，温度変化率判定モジュール３４ｃ，温度差判定モジュール３４ｄ，長期的変化判定モジュール３４ｅによって同時的に行われる。上述のとおり，温度測定値判定モジュール３４ｂは，
補正温度T_{C1}，T_{C2}の統計処理によってキャニスタ１１の異常を検知する（ステップＳ１３）。温度変化率判定モジュール３４ｃは，補正温度T_{C1}，T_{C2}の時間変化率である補正温度変化率dT_{C1}，dT_{C2}の統計処理によってキャニスタ１１の異常を検知する（ステップＳ１４）。温度差判定モジュール３４ｄは，補正温度T_{C1}，T_{C2}の温度差ΔT_C（$=T_{C1}-T_{C2}$）の統計処理によってキャニスタ１１の異常を検知する（ステップＳ１５）。長期的変化判定モジュール３４ｅは，補正温度T_{C1}，T_{C2}の長期的変化を検出してキャニスタ１１の異常を検知する（ステップＳ１６）。

【００５５】

ステップＳ１１－Ｓ１６の処理が，測定時刻が到来する毎に行われ，キャニスタ１１の異常の検出が逐次に行われる。

【００５６】

以下では，ステップＳ１３－Ｓ１６で実行される処理が，それぞれに詳細に説明される。

【００５７】

２－２）　補正温度T_{C1}，T_{C2}の統計処理による状態判定

図４は，補正温度T_{C1}，T_{C2}の統計処理によってキャニスタ１１の異常を検知する処理（ステップＳ１３）を示すフローチャートである。当該処理では，測定時刻t_kの直近の一定期間Γ_kにおける補正温度T_{C1}，T_{C2}の平均値μ_{TC1}，μ_{TC2}及び標準偏差σ_{TC1}，σ_{TC2}が算出される（ステップＳ２１，Ｓ２２）。最も典型的には，期間Γ_kは，$t_{k-N} \leqq t \leqq t_{k-1}$なる期間と定められる。ここで，時刻$t_{k-1}$は，測定時刻$t_k$の直前の測定時刻であり，同様に，時刻$t_{k-N}$は，測定時刻$t_k$のＮ回前の測定時刻である。この場合，平均値$\mu_{TC1}$，$\mu_{TC2}$及び標準偏差$\sigma_{TC1}$，$\sigma_{TC2}$は，下記式（３ａ），（３ｂ）で表される。

【数１】

$$\mu_{TCi}=\frac{1}{N}\sum_{p=1}^{N}T_{Ci}(t_{k-p}), \qquad \cdots(3a)$$

$$\sigma_{TCi}=\sqrt{\sum_{p=1}^{N}\left\{T_{Ci}(t_{k-p})\right\}^2-\mu_{TCi}{}^2}, \quad \cdots(3b)$$

例えば，一定期間Γ_kは，その始期である時刻t_{k-N}が測定時刻t_kの２日前になるように設定される。

【００５８】

続いて，ステップＳ２１，Ｓ２２で算出された平均値μ_{TC1}，μ_{TC2}及び標準偏差

σ_{TC1}，σ_{TC2}から，正常温度領域が決定される（ステップＳ２３）。正常温度領域とは，キャニスタ１１が正常と判断される補正温度T_{C1}，T_{C2}の範囲である。本実施の形態では，補正温度T_{C1}，T_{C2}それぞれの正常温度領域R_{TC1}，R_{Tc2}は，

R_{TC1}：$\mu_{TC1}-n\cdot\sigma_{TC1}<T_{C1}<\mu_{TC1}+n\cdot\sigma_{TC1}$，　・・・（４ａ）

R_{TC2}：$\mu_{TC2}-n\cdot\sigma_{TC2}<T_{C2}<\mu_{TC2}+n\cdot\sigma_{TC2}$，　・・・（４ｂ）

と算出される。ｎは，経験的には，２又は３であることが好適である。しかしながら，ｎは，最適な任意の値を取り得る。

【００５９】

留意されるべきことは，補正温度T_{C1}，T_{C2}の平均値及び標準偏差の算出に使用される一定期間Γ_kは，測定時刻が到来する毎にずれていき，従って，正常温度領域も，通常，測定時刻が到来する毎に変化していくことである。例えば，時刻t_kの次の測定時刻t_{k+1}については，期間Γ_{k+1}は，$t_{k-N+1}\leqq t\leqq t_k$なる期間と定められる。従って，次の測定時刻$t_{k+1}$が到来すると，平均値$\mu_{TC1}$，$\mu_{TC2}$及び標準偏差$\sigma_{TC1}$，$\sigma_{TC2}$が新たに算出され，更に，正常温度領域$R_{TC1}$，$R_{TC2}$も新たに決定される。これを明確にするために，必要がある場合には，時刻t_kについて定められた正常温度領域を，それぞれ，R_{TC1}（t_k），R_{TC2}（t_k）と記載することにする。

【００６０】

続いて，温度測定値判定モジュール３４ｂは，補正温度T_{C1}（t_k），T_{C2}（t_k）が，正常温度領域R_{TC1}（t_k），R_{TC2}（t_k）の下限を下回るか否かに応じて，キャニスタ１１が正常か否かを判断する（ステップＳ２４）。具体的には，温度測定値判定モジュール３４ｂは，補正温度T_{C1}，T_{C2}の少なくとも一方が，今回を含めて過去ｍ回連続して正常温度領域の下限を下回る場合に，キャニスタ１１に異常があると判断する；即ち，温度測定値判定モジュール３４ｂは，補正温度T_{C1}，T_{C2}の少なくとも一方が，「０以上ｍ－１以下の任意のｐについて，補正温度T_{Ci}（t_{k-p}）が，正常温度領域R_{TCi}（t_{k-p}）の下限を下回る」という条件を満足する場合，キャニスタ１１の密封性に異常があると判断する。この代わりに，補正温度T_{C1}，T_{C2}の両方が今回を含めて過去ｍ回連続して正常温度領域から外れている場合に，キャニスタ１１に異常があると判断してもよい。一方で，温度測定値判定モジュール３４ｂは，補正温度T_{Ci}（t_k）が正常温度領域R_{TCi}（t_k）の上限を今回を含めて過去ｍ回連続して上回る場合，センサ異常あるいは計測系の異常があると判断する。

【００６１】

キャニスタ１１に異常があると判断した場合，温度測定値判定モジュール３４ｂは，異常が発生した旨を表示装置３５に表示する（ステップＳ２５）。キャニスタ１１が正常であると判断した場合，温度測定値判定モジュール３４ｂは，キャニスタ１１が正常である旨を表示装置３５に表示する（ステップＳ２６）。

【００６２】

図５は，補正温度T_{C1}の統計処理による状態判定方法の具体的事例を示すグラフである。補正温度T_{C1}が逐次に算出され，算出された補正温度T_{C1}を用いて，平均値μ_{TC1}，標準偏差σ_{TC1}が逐次に算出される。この平均値μ_{TC1}，標準偏差σ_{TC1}を用いて，正常温度領域R_{TC1}が逐次に決定される。当該事例では，時刻t_1においてキャニスタ１１に漏れが発生し，内部のガス圧力が低下し始めている。これに応答して，補正温度T_{C1}が急激に低くなり始める。補正温度T_{C1}の変動に伴う正常温度領域R_{TC1}の変化は，緩やかであるため，補正温度T_{C1}は正常温度領域R_{TC1}から外れる。本事例では，時刻t_2において，補正温度T_{C1}が正常温度領域R_{TC1}から外れる。その後，補正温度T_{C1}が正常温度領域R_{TC1}から外れるという事象がｍ回連続して起こると，即ち，補正温度T_{C1}が正常温度領域R_{TC1}から外れる状態がある程度維持されると，温度測定値判定モジュール３４ｂは，キャニスタ１１に漏れが発生したと判断する。

【００６３】
このようにしてキャニスタ１１の密封性を判断することの有効性は，正常温度領域R_{TC1}，R_{Tc2}を逐次に的確に決定できることにある。キャニスタ１１の温度は，その密封性が正常であっても，長期的に保存されている間に徐々に低下していく。これは，ある固定された閾値を決定することによって，キャニスタ１１の表面温度が異常に低下したか否かを判断することが困難であることを意味する。本実施の形態の補正温度T_{C1}，T_{C2}の統計処理による状態判定方法では，一定期間Γ_kにおける正常の範囲の変動，即ち，平均値を中心とする上下$n\cdot\sigma_{TC1}$の間の変動よりも大きな変動が発生した場合に，キャニスタ１１の密封性に異常が発生したと判断される。これにより，キャニスタ１１の密封性の判断基準を動的に的確に決定し，キャニスタ１１の密封性を的確に判断することができる。

【００６４】
２－３）　補正温度変化率dT_{C1}，dT_{C2}の統計処理による状態判定
図６は，補正温度変化率dT_{C1}，dT_{C2}の統計処理によってキャニスタ１１の異常を検知する処理（ステップＳ１４）を示すフローチャートである。当該方法では，時刻t_kについて算出された補正温度T_{C1}，T_{C2}から，時刻t_kにおける補正温度の変化率$dT_{C1}(t_k)$，$dT_{C1}(t_k)$が算出される（ステップＳ３１）。

【００６５】
続いて行われる処理は，補正温度T_{C1}，T_{C2}の代わりに補正温度変化率dT_{C1}，dT_{C2}が使用される点以外，補正温度T_{C1}，T_{C2}の統計処理による状態判定方法で行われる処理と同一である。具体的には，測定時刻t_kの直近の一定期間Γ_kにおける補正温度変化率dT_{C1}，dT_{C2}の平均値μ_{dTC1}，μ_{dTC2}及び標準偏差σ_{dTC1}，σ_{dTC2}が算出される（ステップＳ３２，Ｓ３３）。

【００６６】
続いて，ステップＳ３２，Ｓ３３で算出された平均値μ_{dTC1}，μ_{dTC2}及び標準偏差σ_{dTC1}，σ_{dTC2}から，正常温度変化率領域R_{dTC1}，R_{dTc2}が決定される（ステップＳ３４）。本実施の形態では，補正温度変化率dT_{C1}，dT_{C2}それぞれの正常温度変化率領域R_{dTC1}，R_{dTc2}は，

$R_{dTC1}：\mu_{dTC1}-n\cdot\sigma_{dTC1}<dT_{C1}<\mu_{dTC1}+n\cdot\sigma_{dTC1}$，・・・（５ａ）

$R_{dTC2}：\mu_{dTC2}-n\cdot\sigma_{dTC2}<dT_{C2}<\mu_{TdC2}+n\cdot\sigma_{dTC2}$，・・・（５ｂ）

と決定される。ｎは，例えば，２又は３であることが好適である。しかしながら，ｎは最適な任意の値を取り得る。

【００６７】
続いて，温度変化率判定モジュール３４ｃは，補正温度変化率$dT_{C1}(t_k)$，$dT_{C2}(t_k)$が，正常温度領域$R_{dTC1}(t_k)$，$R_{dTc2}(t_k)$の下限を下回るか否かに応じて，キャニスタ１１が正常か否かを判断する（ステップＳ３５）。具体的には，温度測定値判定モジュール３４ｂは，補正温度変化率dT_{C1}，dT_{C2}の少なくとも一方が，今回を含めて過去ｍ回連続して正常温度領域R_{dTC1}，R_{dTc2}の下限を下回る場合，キャニスタ１１の密封性に異常があると判断する；即ち，温度変化率判定モジュール３４ｃは，補正温度T_{C1}，T_{C2}の少なくとも一方が，「０以上ｍ－１以下の任意のｐについて，補正温度変化率$dT_{Ci}(t_{k-p})$が，正常温度変化率領域$R_{dTCi}(t_{k-p})$の下限を下回る」という条件を満足する場合，キャニスタ１１の密封性に異常があると判断する。その代わりに，温度変化率判定モジュール３４ｃは，補正温度変化率dT_{C1}，dT_{C2}の両方が，今回を含めて過去ｍ回連続して正常温度領域R_{dTC1}，R_{dTc2}から外れている場合，キャニスタ１１の密封性に異常があると判断してもよい。一方で，温度変化率判定モジュール３４ｃは，補正温度変化率$dT_{Ci}(t_k)$が正常温度領域$R_{TCi}(t_k)$の上限を今回を含めて過去ｍ回連続して上回る場合，センサ異常あるいは計測系の異常があると判断する。

【００６８】
キャニスタ１１に異常があると判断した場合，温度変化率判定モジュール３４ｃは，異常が発生した旨を表示装置３５に表示する（ステップＳ３６）。キャニスタ１１が正常であると判断した場合，温度変化率判定モジュール３４ｃは，キャニスタ１１が正常である旨を表示装置３５に表示する（ステップＳ３７）。
【００６９】
図７は，補正温度変化率dT_{C1}の統計処理による状態判定方法の具体的事例を示すグラフである。補正温度変化率dT_{C1}が逐次に算出され，算出された補正温度変化率dT_{C1}を用いて，平均値μ_{dTC1}，標準偏差σ_{dTC1}が逐次に算出される。この平均値μ_{dTC1}，標準偏差σ_{dTC1}を用いて，正常温度変化率領域R_{dTC1}が逐次に決定される。当該事例では，時刻t_3においてキャニスタ１１に漏れが発生し，表面温度T_1が低下し始めている。これに応答して，補正温度T_{C1}が急激に低くなり始め，これに伴い，補正温度変化率dT_{C1}が大きく変化している。補正温度変化率dT_{C1}による正常温度変化率領域R_{dTC1}の変化は，緩やかであるため，補正温度変化率dT_{C1}は正常温度変化率領域R_{dTC1}から外れる。本事例では，時刻t_3において，補正温度変化率T_{C1}が正常温度変化率領域R_{dTC1}から外れる。その後，補正温度変化率dT_{C1}が正常温度変化率領域R_{dTC1}から外れるという事象がｍ回連続して起こると，即ち，補正温度変化率dT_{C1}が正常温度変化率領域R_{dTC1}から外れる状態がある程度維持されると，温度変化率判定モジュール３４ｃは，キャニスタ１１に漏れが発生したと判断する。
【００７０】
補正温度変化率dT_{C1}の統計処理による状態判定方法の有利性は，キャニスタ１１の漏れが発生して以後，キャニスタ１１の異常の検出に要するまでの時間が短いことである。図６から理解されるように，キャニスタ１１の漏れが発生すると，その補正温度変化率dT_{C1}は瞬間的に変化し，速やかに正常温度変化率領域R_{dTC1}から外れる。このため，補正温度変化率dT_{C1}の統計処理による状態判定方法は，短時間でキャニスタ１１の異常を検出することができる。
【００７１】
２－４）　温度差ΔT_C（$=T_{C1}-T_{C2}$）の統計処理による状態判定
図８は，補正温度T_{C1}，T_{C2}の差ΔT_Cの統計処理によってキャニスタ１１の異常を検知する処理（ステップＳ１５）を示すフローチャートである。当該処理では，時刻t_kについて算出された補正温度T_{C1}，T_{C2}から，時刻t_kにおける補正温度T_{C1}，T_{C2}の差ΔT_C（t_k）（$=T_{C1}(t_k)-T_{C2}(t_k)$）が算出される。（ステップＳ４１）。
【００７２】
続いて行われる処理は，補正温度T_{C1}，T_{C2}の代わりに温度差ΔT_Cが使用される点以外，補正温度T_{C1}，T_{C2}の統計処理による状態判定方法で行われる処理と同一である。具体的には，測定時刻t_kの直近の一定期間Γ_kにおける温度差ΔT_Cの平均値$\mu_{\Delta TC}$及び標準偏差$\sigma_{\Delta TC}$が算出される（ステップＳ４２，Ｓ４３）。
【００７３】
続いて，ステップＳ４２，Ｓ４３で算出された平均値$\mu_{\Delta TC}$及び標準偏差$\sigma_{\Delta TC}$から，正常温度差領域$R_{\Delta TC}$が決定される（ステップＳ４４）。本実施の形態では，正常温度差領域$R_{\Delta TC}$は，

$$R_{\Delta TC}：\mu_{\Delta TC}-n\cdot\sigma_{\Delta TC}<\Delta T_C<\mu_{\Delta TC}+n\cdot\sigma_{\Delta TC}，\quad\cdots(6)$$

と決定される。ｎは，経験的には，２又は３であることが好適である。しかしながら，ｎは最適な任意の値を取り得る。
【００７４】
続いて，温度差判定モジュール３４ｄは，温度差ΔT_C（t_k）が，正常温度差領域$R_{\Delta TC}$（t_k）の下限を下回るか否かに応じて，キャニスタ１１が正常か否かを判断する

（ステップＳ４５）。具体的には，温度差判定モジュール３４ｄは，温度差ΔT_Cが，今回を含めて過去ｍ回連続して正常温度差領域$R_{\Delta TC}$の下限を下回る場合，キャニスタ１１の密封性に異常があると判断する；即ち，温度差判定モジュール３４ｄは，温度差ΔT_Cが「０以上ｍ－１以下の任意のｐについて，温度差ΔT_C（t_{k-p}）が，正常温度差領域$R_{\Delta TC}$（t_{k-p}）の下限を下回る」という条件を満足する場合，キャニスタ１１の密封性に異常があると判断する。一方で，温度差判定モジュール３４ｄは，温度差ΔT_C（t_k）が，正常温度差領域$R_{\Delta TC}$（t_k）の上限を今回を含めて過去ｍ回連続して上回る場合，センサ異常あるいは計測系の異常があると判断する。

【００７５】

キャニスタ１１に異常があると判断した場合，温度差判定モジュール３４ｄは，異常が発生した旨を表示装置３５に表示する（ステップＳ４６）。キャニスタ１１が正常であると判断した場合，温度差判定モジュール３４ｄは，キャニスタ１１が正常である旨を表示装置３５に表示する（ステップＳ３７）。なお，以上の温度差の統計処理による状態判定においては，補正前の表面温度T_1，T_2から得られる温度差ΔT（$=T_1-T_2$）を用いることも可能である。また，温度差の統計処理による状態判定においては，単純な固定の閾値との比較によりキャニスタ１１が正常か否かを判断することも可能である。

【００７６】

２－５）　長期的変化の検出による状態判定

図９は，補正温度T_{C1}，T_{C2}の長期的変化の検出によってキャニスタ１１の異常を検知する処理（ステップＳ１６）を示すフローチャートである。

【００７７】

当該処理では，所定の基準期間Γ^Sにおける，補正温度T_{C1}，T_{C2}の標準偏差$\sigma^S{}_{TC1}$，$\sigma^S{}_{TC2}$が算出される（ステップＳ５１）。基準期間Γ^Sとしては，キャニスタ１１の密封性が安定して保たれていると判明している期間が選ばれる。即ち，標準偏差$\sigma^S{}_{TC1}$，$\sigma^S{}_{TC2}$は，キャニスタ１１が安定状態にあるときの補正温度T_{C1}，T_{C2}のバラツキである。基準期間Γ^Sは，固定であることが可能である。例えば，保存が開始された直後の所定の期間が基準期間Γ^Sと定められることが可能である。また，測定時刻t_kから相対的に決定されることも可能である。例えば，時刻t_kの２年前から１年前までの期間が，基準期間Γ^Sとして決定されることも可能である。基準期間Γ^Sが固定である場合には，測定時間の到来毎に，標準偏差$\sigma^S{}_{TC1}$，$\sigma^S{}_{TC2}$が算出される必要はない；標準偏差$\sigma^S{}_{TC1}$，$\sigma^S{}_{TC2}$の算出は，一度行われれば充分である。

【００７８】

続いて，補正温度T_{C1}，T_{C2}から，補正温度の現在値$T^c{}_{C1}$，$T^c{}_{C2}$と過去値$T^p{}_{C1}$，$T^p{}_{C2}$とが決定される（ステップＳ５２）。現在値$T^c{}_{Ci}$とは，最新の測定時刻t_kの補正温度T_{Ci}（t_k）から決定される値であり，過去値$T^p{}_{Ci}$とは，最新の測定時刻t_kから所定の時間τ_{STD}だけ前の測定時刻$t_{k'}$（$=t_k-\tau_{STD}$）の補正温度T_{Ci}（$t_{k'}$）から決定される値である。典型的には，現在の測定時刻t_kから１ヶ月，６ヶ月，１年前，２年前，３年前等の時刻が，時刻$t_{k'}$として選択される。現在値$T^c{}_{Ci}$，過去値$T^p{}_{Ci}$は，それぞれ，補正温度T_{Ci}（t_k），T_{Ci}（$t_{k'}$）そのものであることが可能である。

【００７９】

バラツキの影響をなくすためには，最新に得られるＮ’個の補正温度T_{Ci}の平均値が現在値$T^c{}_{Ci}$として使用され，時刻$t_{k'-N-1}$以降時刻$t_{k'}$までに得られるＮ’個の補正温度T_{Ci}の平均値が過去値$T^p{}_{Ci}$として使用されることが好適である；即ち，現在値$T^c{}_{Ci}$，過去値$T^p{}_{Ci}$は，それぞれ，下記式（７ａ），（７ｂ）：

【数２】

$$T^{c}_{TCi}=\frac{1}{N'}\sum_{p=0}^{N'-1}T_{Ci}(t_{k-p}), \qquad \cdots(7a)$$

$$T^{p}_{TCi}=\frac{1}{N'}\sum_{p=0}^{N'-1}T_{Ci}(t_{k-p}'), \qquad \cdots(7b)$$

によって算出されることが好適である。

【００８０】

続いて，補正温度T_{C1}の現在値T^{c}_{C1}と過去値T^{p}_{C1}との差ΔT^{cp}_{C1}（＝$T^{c}_{C1}-T^{p}_{C1}$）と，補正温度T_{C2}の現在値T^{c}_{C2}と過去値T^{p}_{C2}との差ΔT^{cp}_{C2}（＝$T^{c}_{C2}-T^{p}_{C2}$）が算出される（ステップＳ５３）。

【００８１】

差ΔT^{cp}_{Ci}は，時刻$t_{k'}$から時刻t_kまでの補正温度T_{Ci}の低下分であり，従って，キャニスタ１１に微小なリークがあることを検出するために好適なパラメータである。時間差τ_{STD}（＝$t_k-t_{k'}$）を適切に設定すれば，例えば，τ_{STD}を１ヶ月乃至６ヶ月程度に設定すれば，キャニスタ１１の異常がない場合には，差ΔT^{cp}_{Ci}は０に近い値になることが期待される；１ヶ月乃至６ヶ月程度では，キャニスタ１１の本質的な温度の低下は，ほぼ０であるからである。逆に，図１０に示されているように，差ΔT^{cp}_{Ci}が増大するという現象は，時刻$t_{k'}$から時刻t_kまでに補正温度T_{Ci}が低下していることを示しており，従って，キャニスタ１１に時間差τ_{STD}のオーダーで圧力が減少するような微小なリークがあることを意味している。

【００８２】

長期的変化判定モジュール３４ｅは，ステップＳ５３で算出される差ΔT^{cp}_{C1}，差ΔT^{cp}_{C2}の変化に基づいて，キャニスタ１１の異常の有無を判定する（ステップＳ５４）。具体的には，長期的変化判定モジュール３４ｅは，所定の基準期間Γ^{S}における，補正温度T_{C1}，T_{C2}の標準偏差σ^{S}_{TC1}，σ^{S}_{TC2}から，正常温度差領域R^{cp}_{C1}，R^{cp}_{C2}を決定する。典型的には，長期的変化判定モジュール３４ｅは，正常温度差領域R^{cp}_{C1}，R^{cp}_{C2}を

R^{cp}_{C1}：$-n\cdot\sigma^{S}_{TC1}<\Delta T^{cp}_{C1}<n\cdot\sigma^{S}_{TC1}$，

R^{cp}_{C2}：$-n\cdot\sigma^{S}_{TC2}<\Delta T^{cp}_{C2}<n\cdot\sigma^{S}_{TC2}$，

と決定する。ｎは，経験的には，２又は３であることが好適である。しかしながら，ｎは最適な任意の値を取り得る。そして，長期的変化判定モジュール３４ｅは，差ΔT^{cp}_{C1}，差ΔT^{cp}_{C2}の少なくとも一方が，今回を含めて過去ｍ回連続して正常温度差領域R^{cp}_{C1}，R^{cp}_{C2}の上限を上回る場合，キャニスタ１１の密封性に異常があると判断する；即ち，長期的変化判定モジュール３４ｅは，差ΔT^{cp}_{C1}，差ΔT^{cp}_{C2}の少なくとも一方が，「０以上ｍ－１以下の任意のｐについて，差ΔT^{cp}_{Ci}が，正常温度差領域R^{cp}_{Ci}の上限を上回る」という条件を満足する場合，キャニスタ１１の密封性に異常があると判断する。その代わりに，温度測定値判定モジュール３４ｂは，差ΔT^{cp}_{C1}，差ΔT^{cp}_{C2}の両方が，今回を含めて過去ｍ回連続して正常温度差領域R^{cp}_{C1}，R^{cp}_{C2}の上限を上回る場合，キャニスタ１１の密封性に異常があると判断してもよい。キャニスタ１１に異常があると判断した場合，長期的変化判定モジュール３４ｅは，異常が発生した旨を表示装置３５に表示する（ステップＳ５５）。キャニスタが正常であると判断した場合，長期的変化判定モジュール３４ｅは，キャニスタが正常である旨を表示装置３５に表示する（ステップＳ５６）。

【００８３】

以上に説明された，現在値T^{c}_{Ci}と過去値T^{p}_{Ci}との差ΔT^{cp}_{Ci}に基づくキャ

ニスタ１１の密封性の異常の検知の有利性は，時間τ_{STD}程度の時間をかけてキャニスタ１１の圧力が低下しつづけるような微小なリークを検出できることにある。この利点は，上述された３つの方法では原理的に達成することが困難であり，上記の３つの方法と，長期的変化の検出による状態判定とを併用することは，キャニスタ１１の密封性の異常の検知を，一層に確実にするため好適である。

【００８４】

第２　実施の第２形態

本発明の実施の第２形態では，図１１に示されているように，金属キャスク３の密封性の異常の有無が，状態検出装置２’によって検出される。金属キャスク３とコンクリートキャスク１との大きな違いは，金属キャスク３は，その内部の圧力を測定可能であることである；コンクリートキャスク１のキャニスタ１１は，その構造上の制約から内部の圧力を測定することができないことに留意されたい。圧力が測定可能であることは，金属キャスク３に密封性の異常を検出するために好適である。なぜなら，金属キャスク３の漏れの発生は，そのまま圧力の変化に直接に結びつくからである。このため，本実施の形態では，金属キャスク３の内部の圧力が，その密封性の異常の発生の検出に利用される。

【００８５】

しかしながら，金属キャスク３の圧力もまた，金属キャスク３の周囲の気温T_0の影響を受ける。このため，本実施の形態では，金属キャスク３の圧力から気温T_0の影響を取り除いた仮想的な圧力である補正圧力が算出され，その補正圧力に基づいて，金属キャスク３の密封性の異常の有無が判断される。

【００８６】

以下では，状態の検出の対象である金属キャスク３の構成が説明された後，本実施の形態の状態検出装置２’の構成と動作が詳細に説明される。

【００８７】

１．金属キャスク３の構成

金属キャスク３は，概略的には，胴部６１と，一次蓋６２ａ，二次蓋６２ｂとを備えている。胴部６１と，一次蓋６２ａ，二次蓋６２ｂは，いずれも，ステンレス又は炭素鋼で形成されている。胴部６１の上部開口は，一次蓋６２ａによって密封され，更に，二次蓋６２ｂが一次蓋６２ａを覆うように固定される。胴部６１と一次蓋６２ａとにより，キャビティ６３が形成され，そのキャビティ６３に使用済燃料集合体６４を収容するバスケット６５が収められる。一次蓋６２ａと二次蓋６２ｂとの間には，圧力を緩衝させる空間である圧力障壁６６が形成されている。二次蓋６２ｂは，それを貫通する検査孔６７が設けられている。検査孔６７は，後述されるように，圧力障壁６６の圧力を計測する圧力センサを挿入するための開口である。キャビティ６３と圧力障壁６６にはヘリウムガスが充填されている。ヘリウムガスは，その対流により，使用済燃料集合体６４の発熱をキャビティ６３の全体に拡散する役割を果たす。

【００８８】

２．状態検出装置２’の構成

本実施の形態では，状態検出装置２’は，圧力センサ７１と，気温センサ７２と，演算装置７３と，表示装置７４とを備えている。

【００８９】

圧力センサ７１は，圧力障壁６６の圧力Ｐを逐次に測定するために使用される。圧力センサ７１は，二次蓋６２ｂに設けられた検査孔６７に挿入され，その先端は，圧力障壁６６に到達するように二次蓋６２ｂに固定される。圧力センサ７１と二次蓋６６との間はシール構造によって封じられ，検査孔６７は完全に密封される。時刻ｔにおける圧力障壁６６の圧力Ｐは，Ｐ（ｔ）と表記される。

【００９０】

圧力障壁６６の内部の圧力はどの位置でも一定であるから，（温度センサ３１，３２とは異なり）圧力センサ７１が異なる高さの位置に設けられる必要はない。

【００９１】

気温センサ７２は，金属キャスク１の周囲の気温T_0を測定する。時刻ｔにおける気温T_0は，T_0（ｔ）と表記される。

【００９２】

演算装置７３は，圧力センサ７１によって逐次に測定された圧力Ｐと，気温センサ３３によって逐次に測定された気温T_0とを用いて，金属キャスク３の異常の有無を検知するコンピュータである。演算装置７３には，補正圧力算出モジュール７３ａと，圧力測定値判定モジュール７３ｂと，圧力変化率判定モジュール７３ｃと，長期的変化判定モジュール７３ｅとを含むソフトウェアプログラムがインストールされている。補正圧力算出モジュール７３ａは，圧力Ｐから補正圧力P_Cを算出するプログラムである。圧力測定値判定モジュール７３ｂと，圧力変化率判定モジュール７３ｃと，長期的変化判定モジュール７３ｅとは，補正圧力算出モジュール７３ａによって算出された補正圧力P_Cを用いて，キャニスタ１１の異常を検知するプログラムである。補正圧力P_Cの導入は，キャニスタ１１の密封性の状態の検知の確実性を向上するために重要な役割をはたしており，本実施の形態の状態検出装置２’の一つの特徴である。

【００９３】

補正圧力算出モジュール７３ａ，圧力測定値判定モジュール７３ｂ，圧力変化率判定モジュール７３ｃ，及び長期的変化判定モジュール７３ｅは，それぞれ，補正温度算出モジュール３４ａ，温度測定値判定モジュール３４ｂ，温度変化率判定モジュール３４ｃと，長期的変化判定モジュール３４ｅとに対応する演算を行う；即ち，圧力測定値判定モジュール７３ｂ，圧力変化率判定モジュール７３ｃ，及び長期的変化判定モジュール７３ｅは，表面温度T_iの代わりに圧力Ｐを使用し，補正温度T_{Ci}の代わりに補正圧力P_Cを使用する点以外，温度測定値判定モジュール３４ｂ，温度変化率判定モジュール３４ｃと，長期的変化判定モジュール３４ｅと同様の演算を行う。このような演算が可能であることは，圧力Ｐと温度Ｔとが，近似的に，

$$PV = nRT,$$

の関係にあることを考えれば，当業者には自明的である。

【００９４】

ただし，本実施の形態では，温度差判定モジュール３４ｄに対応するモジュールは設けられない。これは，表面温度とは異なり，金属キャスク３の圧力は，高さの異なる位置でも同一であるからである。

【００９５】

より具体的には，圧力測定値判定モジュール７３ｂは，補正圧力P_Cを統計的に処理することによって金属キャスク３の異常を検知する。金属キャスク３の圧力障壁６６の圧力Ｐは，金属キャスク３の密封性に異常が発生すると変化するから，補正圧力P_Cも圧力Ｐの変化に伴って変化する。圧力測定値判定モジュール７３ｂは，この補正圧力P_Cの変化を捉えることにより，金属キャスク３の密封性の異常を検知する。

【００９６】

圧力変化率判定モジュール７３ｃは，補正圧力P_Cの時間変化率dP_Cを算出し，この補正圧力変化率dP_Cを統計的に処理することによって金属キャスク３の異常を検知する。補正圧力変化率dP_Cは，金属キャスク３の密封性に異常が発生すると変化する。この補正圧力変化率dP_Cの変化を捉えることにより，圧力変化率判定モジュール７３ｃは，金属キャスク３の密封性の異常を検知する。

【００９７】

長期的変化判定モジュール７３ｅは，補正圧力P_Cの長期的変化を検出して金属キャスク３の異常を検知する。具体的には，長期的変化判定モジュール７３ｅは，補正圧力P_Cの，過去のある時間の値（過去値）と現在値とを比較することにより，金属キャスク３の異常を検知する。この長期的変化判定モジュール７３ｅは，金属キャスク３の微小なリークを検出するためのものである。微小なリークは，金属キャスク３の内部の圧力を長期間徐々に減少させ，これに伴い，金属キャスク３の圧力P_C及びそれに対応する補正圧力P_Cも徐々に減少させる。この補正圧力P_Cの緩やかな低下を捕らえることにより，長期的

変化判定モジュール７３ｅは，金属キャスク３の微小なリークを検知する。

【００９８】

表示装置７４は，演算装置７３による検知結果を表示するために使用される。演算装置７３によって異常が検知されると，その旨が表示装置７４に表示される。

【００９９】

３．金属キャスクの状態検出方法

２－１）当該状態判定方法の概略

図１２は，本実施の形態において，補正圧力P_Cを用いて金属キャスク３の状態を判定する方法を示すフローチャートである。

【０１００】

所定の測定時刻になると，圧力センサ７１は，金属キャスク３の圧力障壁６６の圧力Ｐとを測定し，気温センサ７２は，気温T_0を測定する（ステップＳ６１）。以下では，最新の測定時刻t_kにおいて測定された圧力Ｐは，Ｐ（t_k）と記載される。

【０１０１】

続いて，補正圧力算出モジュール７３ａにより，圧力Ｐ（t_k）から，補正圧力P_C（t_k）が算出される（ステップＳ６２）。補正圧力P_Cの算出は，表面温度T_iの代わりに圧力障壁６６の圧力Ｐを使用する点以外，補正温度T_{Ci}の算出と同様にして行われる。具体的には，気温T_0の変化による圧力Ｐの変化に対応する成分が，時定数τ_1を有する一つの一次遅れ要素，又は，それぞれ時定数τ_1，τ_2，・・・，τ_mを有するｍ個の一次遅れ要素の和であるとして近似され，この近似に基づいて，補正圧力P_Cが算出される。

【０１０２】

即ち，時刻t_kにおける補正圧力P_C（t_k）は，下記式（８）：

$$P_C(t_k) = P(t_k) - \Sigma K_j \cdot P_{\tau j}(t_k), \quad \cdots (8)$$

によって算出される。ｊは，１以上ｍ以下の整数である。$P_{\tau j}$（t_k）は，気温T_0の圧力Ｐへの応答を表す項であり，時定数τ_jを有する一次遅れ要素によって記述される。K_jは，時定数τ_jを有する一次遅れ要素に対応して定められる補正係数である。$P_{\tau j}$（t_k）は，下記式（２）：

$$P_{\tau j}(t_k) = L^{-1}[X_{\tau j}(s) \cdot T_0(s)]|_{t=t_k}, \quad \cdots (9)$$

で求められる。ただし，T_0（ｓ）は，気温T_0（ｔ）のラプラス変換であり，X_j（ｓ）は，気温T_0に対する圧力Ｐの応答のうち時定数がτ_jである一次遅れの成分の伝達関数である。L^{-1}は，逆ラプラス変換を示す記号である。図２と同様に，気温T_0に対する圧力Ｐの応答の伝達関数$X_{\tau 1}$（ｓ），$X_{\tau 2}$（ｓ），・・・の時定数τ_1，τ_2，・・・は，好適には，相関法によって決定される。気温T_0に対する圧力Ｐの応答を，（一つではなく）ｍ個の一次遅れ要素の和であるとして近似することは，気温T_0の圧力P_1，T_2への影響をより適正に評価する上で好適である。

【０１０３】

続いて，ステップＳ６２で算出された補正圧力P_C（t_k）を用いて，金属キャスク３の状態が判定される（ステップＳ６３－Ｓ６５）。金属キャスク３の状態の判定は，上述された３つのモジュール：即ち，圧力測定値判定モジュール７３ｂ，圧力変化率判定モジュール７３ｃ，及び長期的変化判定モジュール７３ｅによって同時的に行われる。上述のとおり，圧力測定値判定モジュール７３ｂは，補正圧力P_Cの統計処理によって金属キャスク３の異常を検知する（ステップＳ６３）。圧力変化率判定モジュール７３ｃは，補正圧力P_Cの時間変化率である補正圧力変化率dP_Cの統計処理によって金属キャスク３の異常を検知する（ステップＳ６４）。長期的変化判定モジュール７３ｅは，補正圧力P_Cの長期的変化を検出して金属キャスク３の異常を検知する（ステップＳ６５）。

【０１０４】

ステップＳ６１－Ｓ６５の処理が，測定時刻が到来する毎に行われ，金属キャスク３の異常の検出が逐次に行われる。

【０１０５】

続いて，ステップＳ６３－Ｓ６５で実行される処理が，それぞれに詳細に説明される。

【０１０６】

２－２）　補正圧力P_Cの統計処理による状態判定

図１３は，補正圧力P_Cの統計処理によって金属キャスク３の異常を検知する処理（ステップＳ６３）を示すフローチャートである。補正圧力P_Cの統計処理による金属キャスク３の異常の検知は，補正温度T_{Ci}の代わりに補正圧力P_Cが使用される点以外，補正温度T_{Ci}統計処理によるキャニスタ１１の異常の検知と同様の処理で行われる。

【０１０７】

具体的には，測定時刻t_kの直近の一定期間Γ_kにおける補正圧力P_Cの平均値μ_{PC}及び標準偏差σ_{PC}が算出される（ステップＳ７１，Ｓ７２）。続いて，ステップＳ７１，Ｓ７２で算出された平均値μ_P及び標準偏差σ_{PC}から，正常圧力変化率領域R_{PC}が決定される（ステップＳ７３）。本実施の形態では，補正圧力P_Cの正常圧力領域R_{PC}は，

$$R_{PC}：\mu_{PC}-n\cdot\sigma_{PC}<P_C<\mu_{PC}+n\cdot\sigma_{PC}，\quad\cdots（１０）$$

と決定される。ｎは，経験的には，２又は３であることが好適である。しかしながら，ｎは最適な任意の値を取り得る。

【０１０８】

続いて，圧力測定値判定モジュール７３ｂは，補正圧力P_C（t_k）が，正常圧力領域R_{PC1}（t_k）の下限を下回るか否かに応じて，金属キャスク３が正常か否かを判断する（ステップＳ７４）。具体的には，圧力測定値判定モジュール７３ｂは，補正圧力P_Cが，今回を含めて過去ｍ回連続して正常圧力領域R_{PC}の下限を下回る場合，金属キャスク３の密封性に異常があると判断する。金属キャスク３に異常があると判断した場合，圧力測定値判定モジュール７３ｂは，異常が発生した旨を表示装置７４に表示する（ステップＳ７５）。金属キャスク３が正常であると判断した場合，圧力測定値判定モジュール７３ｂは，金属キャスク３が正常である旨を表示装置７４に表示する（ステップＳ７６）。

【０１０９】

以上の処理により，補正圧力P_Cにおける異常な変化が検出され，異常な変化が発見された場合には，金属キャスク３の密封性に異常が発生したと検知される。

【０１１０】

２－３）　補正圧力変化率dP_Cの統計処理による状態判定

図１４は，補正圧力変化率dP_Cの統計処理によって金属キャスク３の異常を検知する処理（ステップＳ１４）を示すフローチャートである。補正圧力変化率P_Cの統計処理による金属キャスク３の異常の検知は，補正温度T_{Ci}の代わりに補正圧力P_Cが使用される点以外，補正温度変化率dT_{Ci}の統計処理によるキャニスタ１１の異常の検知と同様の処理で行われる。

【０１１１】

具体的には，当該方法では，時刻t_kについて算出された補正圧力P_Cから，時刻t_kにおける補正圧力の変化率dP_Cが算出される（ステップＳ８１）。続いて，測定時刻t_kの直近の一定期間Γ_kにおける補正圧力変化率dP_Cの平均値μ_{dPC}及び標準偏差σ_{dPC}が算出される（ステップＳ８２，Ｓ８３）。続いて，ステップＳ８２，Ｓ８３で算出された平均値μ_{dPC}及び標準偏差σ_{dPC}から，正常圧力変化率領域R_{dPC}が決定される（ステップＳ８４）。本実施の形態では，補正圧力変化率dP_Cの正常圧力変化率領域R_{dPC}は，

$$R_{dPC}：\mu_{dPC}-n\cdot\sigma_{dPC}<P_C<\mu_{dPC}+n\cdot\sigma_{dPC}，\quad\cdots（１１）$$

と決定される。ｎは，経験的には，２又は３であることが好適である。しかしながら，ｎは最適な任意の値を取り得る。

【０１１２】

続いて，圧力変化率判定モジュール７３ｃは，補正圧力変化率dP_C（t_k）が，正常圧力領域R_{dPC}（t_k）の下限を下回るか否かに応じて，金属キャスク３が正常か否か

を判断する（ステップＳ８５）。具体的には，圧力変化率判定モジュール７３ｃは，補正圧力変化率ｄＰ$_C$が，今回を含めて過去ｍ回連続して正常圧力領域Ｒ$_{dP_C}$の下限を下回る場合，金属キャスク３の密封性に異常があると判断する。金属キャスク３に異常があると判断した場合，圧力変化率判定モジュール７３ｃは，異常が発生した旨を表示装置７４に表示する（ステップＳ８６）。金属キャスク３が正常であると判断した場合，圧力変化率判定モジュール７３ｃは，金属キャスク３が正常である旨を表示装置７４に表示する（ステップＳ８７）。

【０１１３】

以上の処理により，補正圧力変化率ｄＰ$_C$における異常な変化が検出され，異常な変化が発見された場合には，金属キャスク３の密封性に異常が発生したと検知される。

【０１１４】

２－５）　長期的変化の検出による状態判定

図１５は，補正圧力Ｐ$_C$の長期的変化の検出によって金属キャスク３の異常を検知する処理（ステップＳ６５）を示すフローチャートである。ステップＳ６５における長期的変化の検出による金属キャスク３の状態判定の処理は，補正温度Ｔ$_{C\,i}$の代わりに補正圧力Ｐ$_C$が使用される点以外，実施の第１形態のステップＳ１６における長期的変化の検出によるキャニスタ１１の状態判定と同様である。

【０１１５】

具体的には，当該処理では，所定の基準期間Γ^{S}における，補正圧力Ｐ$_C$の標準偏差σ$^S{}_{P_C}$が算出される（ステップＳ９１）。基準期間Γ^{S}としては，金属キャスク３の密封性が安定して保たれていると判明している期間，例えば，保存が開始された直後の所定の期間が選ばれる。続いて，補正圧力Ｐ$_C$から，補正圧力の現在値Ｐ$^c{}_C$と過去値Ｐ$^p{}_C$とが決定される（ステップＳ９２）。現在値Ｐ$^c{}_C$とは，最新の測定時刻ｔ$_k$の補正圧力Ｐ$_C$（ｔ$_k$）から決定される値であり，過去値Ｐ$^p{}_C$とは，最新の測定時刻ｔ$_k$から所定の時間τ$_{STD}$だけ前の測定時刻ｔ$_{k'}$（＝ｔ$_k$－τ$_{STD}$）の補正圧力Ｐ$_C$（ｔ$_{k'}$）から決定される値である。現在値Ｐ$^c{}_C$，過去値Ｐ$^p{}_C$は，それぞれ，補正圧力Ｐ$_C$（ｔ$_k$），Ｐ$_C$（ｔ$_{k'}$）そのものであることが可能である。好適には，最新に得られるＮ’個の補正圧力Ｐ$_{C\,i}$の平均値が現在値Ｐ$^c{}_C$として使用され，時刻ｔ$_{k'-N-1}$以降時刻ｔ$_{k'}$までに得られるＮ’個の補正圧力Ｐ$_C$の平均値が過去値Ｐ$^p{}_C$として使用される。続いて，補正圧力Ｐ$_C$の現在値Ｐ$^c{}_{C1}$と過去値Ｐ$^p{}_C$との差ΔＰ$^{cp}{}_C$（＝Ｐ$^c{}_C$－Ｐ$^p{}_C$）が算出される（ステップＳ９３）。長期的変化判定モジュール７３ｅは，ステップＳ９３で算出される差ΔＰ$^{cp}{}_C$の変化に基づいて，金属キャスク３の異常の有無を判定する（ステップＳ９４）。具体的には，長期的変化判定モジュール７３ｅは，所定の基準期間Γ^{S}における，補正圧力Ｐ$_C$の標準偏差σ$^S{}_{P_C}$から，正常圧力差領域Ｒ$^{cp}{}_C$を決定する。典型的には，長期的変化判定モジュール７３ｅは，正常圧力差領域Ｒ$^{cp}{}_C$を

Ｒ$^{cp}{}_C$：ΔＰ$^{cp}{}_C$＜ｎ・σ$^S{}_{P_C}$，　　・・・（１２）

と決定する。ｎは，経験的には，２又は３であることが好適である。しかしながら，ｎは最適な任意の値を取り得る。そして，長期的変化判定モジュール７３ｅは，差ΔＰ$^{cp}{}_C$が，今回を含めて過去ｍ回連続して正常圧力差領域Ｒ$^{cp}{}_C$から外れている場合，金属キャスク３の密封性に異常があると判断する。金属キャスク３に異常があると判断した場合，長期的変化判定モジュール７３ｅは，異常が発生した旨を表示装置７４に表示する（ステップＳ９５）。金属キャスク３が正常であると判断した場合，長期的変化判定モジュール７３ｅは，金属キャスク３が正常である旨を表示装置７４に表示する（ステップＳ９６）。

【０１１６】

以上の処理により，補正圧力Ｐ$_C$における長期的な変化が検出され，異常な変化が発見された場合には，金属キャスク３の密封性に異常が発生したと検知される。

【０１１７】

第３　実施の第３形態

本発明の実施の第３形態では，図１６に示されるボールト貯蔵におけるキャニスタ１１

の劣化の発生の有無が，状態検出装置２”によって検出される。ボールト貯蔵と，キャスク貯蔵との最も重要な相違は，キャニスタ１１の表面温度が，隣接するキャニスタの温度に影響を受けやすい点にある。このため，本実施の形態では，キャニスタ１１の表面温度が，気温のみならず，隣接するキャニスタの表面温度に基づいて補正される。以下では，状態の検出の対象であるキャニスタ１１の構成が説明された後，本実施の形態の状態検出装置２”の構成と動作が詳細に説明される。

【０１１８】

１．キャニスタの構成

実施の第３形態で使用されるキャニスタ１１の構成及び性質は，実施の第１形態のキャニスタ１１と同様である。キャニスタ１１を収容する設備内部の空気は直接キャニスタ１１に流通可能であり，これにより，キャニスタ１１が冷却される。

【０１１９】

２．状態検出装置２”の構成

実施の第３形態の状態検出装置２”は，概略的には，実施の第１形態の状態検出装置２と同様である。状態検出装置２”は，温度センサ３１，３２と，気温センサ３３と，演算装置３４と，表示装置３５とを備えている。温度センサ３１，３２は，それぞれ，キャニスタ１１の上部の表面温度T_1，中央部の表面温度T_2を測定する。気温センサ３３は，キャニスタ１１の周囲の気温T_0を測定する。演算装置３４は，表面温度T_1，T_2及び気温T_0に基づいて，キャニスタ１１の異常を検出する。表示装置３５は，演算装置３４による検知結果を表示するために使用される。演算装置３４によって異常が検知されると，その旨が表示装置３５に表示される。

【０１２０】

本実施の形態では，補正温度算出モジュール３４ａは，気温T_0のみならず，監視の対象であるキャニスタ１１の周囲にあるキャニスタ（以下，「周囲キャニスタ」という。）の表面温度T_aを用いて，補正温度T_{C1}，T_{C2}を算出する。これにより，周囲キャニスタの表面温度T_aがキャニスタ１１の表面温度T_1，T_2に及ぼす影響を排除して，キャニスタ１１の異常を検知することができる。かかる動作の違いを明確にするために，以下では，本実施の形態の補正温度算出モジュール３４ａは，補正温度算出モジュール３４ａ’と記述される。

【０１２１】

残りの温度測定値判定モジュール３４ｂ，温度変化率判定モジュール３４ｃ，温度差判定モジュール３４ｄ，長期的変化判定モジュール３４ｅは実施の第１形態と同一の演算を行う。

【０１２２】

３．キャニスタの状態検出方法

以下では，本実施の形態における，キャニスタ１１の状態判定方法が詳細に説明される。

【０１２３】

（１）補正温度の算出

上述されているように，本実施の形態では，表面温度T_1，T_2から，気温T_0及び周囲キャスクの表面温度T_aの変化による表面温度T_1，T_2の変化に対応する成分を減じて補正温度T_{C1}，T_{C2}を算出し，この補正温度T_{C1}，T_{C2}を用いてキャニスタ１１の状態が判定される；表面温度T_1，T_2をそのままキャニスタの状態の判定に用いるのではない。このような状態判定方法の利点は，キャニスタ１１の表面温度T_1，T_2から，キャニスタ１１の密封性の劣化に起因する成分を分離できることである。気温T_0と周囲キャニスタの表面温度T_aとは，キャニスタ１１の表面温度T_1，T_2に大きな影響を及ぼすから，表面温度T_1，T_2の変化は，純粋に，キャニスタ１１の密封性の劣化によって生じるものではない。この気温T_0，周囲キャニスタの表面温度T_aの影響を除去することにより，本実施の形態では，キャニスタ１１の密封性の検知の確実性が向上されている。

【０１２４】
具体的には，本実施の形態では，補正温度T_{C1}，T_{C2}の算出方法として気温T_0の変化に加えて周囲キャニスタの表面温度T_aの変化による表面温度T_1，T_2の変化に対応する成分が，時定数τ_{i1}を有する一つの一次遅れ要素，又は，それぞれ時定数τ_{i1}，τ_{i2}，・・・，τ_{im}を有するｍ個の一次遅れ要素の和であるとして近似される。
【０１２５】
即ち，時刻t_kにおける補正温度$T_{Ci}(t_k)$は，下記式（１３）：
$$T_{Ci}(t_k)=T_i(t_k)-\Sigma K_{ij}\cdot T_{\tau ij}(t_k), \quad \cdots(13)$$
によって算出される。ｉは，１，２の任意であり，ｊは，１以上ｍ以下の整数である。$T_{\tau ij}(t_k)$は，時定数τ_{ij}を有する一次遅れ要素によって表現される気温T_0及び周囲キャニスタの表面温度T_aの一次遅れ波形であり，K_{ij}は，時定数τ_{ij}を有する一次遅れ要素に対応して定められる補正係数である。$T_{\tau ij}(t_k)$は，下記式（１４）：
$$T_{\tau ij}(t_k)=L^{-1}[X_{\tau ij}(s)\cdot T_0(s)]|_{t=t_k}, \quad \cdots(14)$$
で求められる。ただし，$T_0(s)$は，気温$T_0(t)$あるいは周囲キャスクの表面温度$T_a(t)$のラプラス変換である。$X_{\tau ij}(s)$は，気温T_0，周囲キャスクの表面温度$T_a(t)$に対する表面温度T_iの応答のうち時定数がτ_{ij}である一次遅れの成分の伝達関数である。L^{-1}は，逆ラプラス変換を示す記号である。
【０１２６】
気温T_0，周囲キャスクの表面温度$T_a(t)$に対する表面温度T_1，T_2の応答を，（一つではなく）ｍ個の一次遅れ要素の和であるとして近似することは，気温T_0の表面温度T_1，T_2への影響をより適正に評価する上で好適である。コンクリートキャスク１は，異なる熱容量を有する複数の部材，即ち，温度変化の時定数が異なる複数の部材で構成される。従って，表面温度T_1，T_2の応答をｍ個の一次遅れ要素の和であるとして近似することは，気温T_0の表面温度T_1，T_2への応答を，より適正に近似することを可能にする。
【０１２７】
実施の第１形態と同様に，気温T_0，周囲キャスクの表面温度$T_a(t)$に対する表面温度T_iの応答の伝達関数$X_{\tau i1}(s)$，$X_{\tau i2}(s)$，・・・の時定数τ_{i1}，τ_{i2}，・・・は，好適には，相関法によって決定される。具体的には，実施の第１形態で説明された手法と同様の手法を用いて時定数τ_{ij}が算出され，時定数τ_{i1}，τ_{i2}，・・・を用いて一次遅れ波形$T_{\tau i1}(t_k)$，$T_{\tau i2}(t_k)$，・・・の計算，即ち，時刻t_kの補正温度$T_{Ci}(t_k)$の算出が行われる。
【０１２８】
（２）補正温度を用いた状態判定方法
図１７は，本実施の形態において，補正温度T_{C1}，T_{C2}を用いてキャニスタ１１の状態を判定する方法を示すフローチャートである。
【０１２９】
所定の測定時刻になると，温度センサ３１，３２は，キャニスタ１１の上部の表面温度T_1と，キャニスタ１１の中央部の表面温度T_2とを測定し，温度センサ３３は，気温T_0を測定する（ステップＳ１０１）。以下では，最新の測定時刻は，時刻t_kと記述され，その時刻t_kにおいて測定された表面温度T_1，T_2は，それぞれ，$T_1(t_k)$，$T_2(t_k)$と記載される。
【０１３０】
続いて，補正温度算出モジュール３４ａ’により，表面温度$T_1(t_k)$，$T_2(t_k)$から，上記式（１３）を用いて，補正温度$T_{C1}(t_k)$，$T_{C2}(t_k)$が算出される（ステップＳ１０２）。
【０１３１】
続いて，ステップＳ１０２で算出された補正温度$T_{C1}(t_k)$，$T_{C2}(t_k)$を用

いて，キャニスタ１１の状態が判定される（ステップＳ１０３－Ｓ１０６）。キャニスタ１１の状態の判定は，上述された４つのモジュール：即ち，温度測定値判定モジュール３４ｂ，温度変化率判定モジュール３４ｃ，温度差判定モジュール３４ｄ，長期的変化判定モジュール３４ｅによって同時的に行われる。上述のとおり，本実施の形態において温度測定値判定モジュール３４ｂ，温度変化率判定モジュール３４ｃ，温度差判定モジュール３４ｄ，長期的変化判定モジュール３４ｅが行う演算は，実施の第１形態のそれと同一である，その詳細な説明は行われない。

【図面の簡単な説明】

【０１３２】

【図１】図１は，本発明の実施の第１形態における状態検出装置の構成を示すブロック図である。

【図２】図２は，気温T_0から表面温度T_{Ci}への応答の伝達関数を算出する処理を示すフローチャートである。

【図３】図３は，本実施の形態におけるキャニスタの密封性の異常を検出する処理を示すフローチャートである。

【図４】図４は，本実施の形態において，補正温度の統計処理によってキャニスタの密封性の異常を検出する処理を示すフローチャートである。

【図５】図５は，補正温度の統計処理によるキャニスタの密封性の異常の検出の具体例を示すグラフである。

【図６】図６は，本実施の形態において，補正温度の変化率の統計処理によってキャニスタの密封性の異常を検出する処理を示すフローチャートである。

【図７】図７は，補正温度の変化率の統計処理によるキャニスタの密封性の異常の具体例を示すグラフである。

【図８】図８は，高さが異なる２点について求められた補正温度の差の統計処理によってキャニスタの密封性の異常を検出する処理を示すフローチャートである。

【図９】図９は，長期的な温度変化を検知することによってキャニスタの密封性の異常を検出する処理を示すフローチャートである。

【図１０】図１０は，長期的な温度変化を検知することによるキャニスタの密封性の異常の具体例を示すグラフである。

【図１１】図１１は，本発明の実施の第２形態における状態検出装置の構成を示すブロック図である。

【図１２】図１２は，本実施の形態における金属キャスクの密封性の異常を検出する処理を示すフローチャートである。

【図１３】図１３は，補正圧力の変化率の統計処理によって金属キャスクの密封性の異常を検出する処理を示すフローチャートである。

【図１４】図１４は，補正圧力の変化率の統計処理によって金属キャスクの密封性の異常を検出する処理を示すフローチャートである。

【図１５】図１５は，長期的な圧力変化を検知することによって金属キャスクの密封性の異常を検出する処理を示すフローチャートである。

【図１６】図１６は，本発明の実施の第３形態における状態検出装置の構成を示すブロック図である。

【図１７】図１７は，本実施の形態におけるキャニスタの密封性の異常を検出する処理を示すフローチャートである。

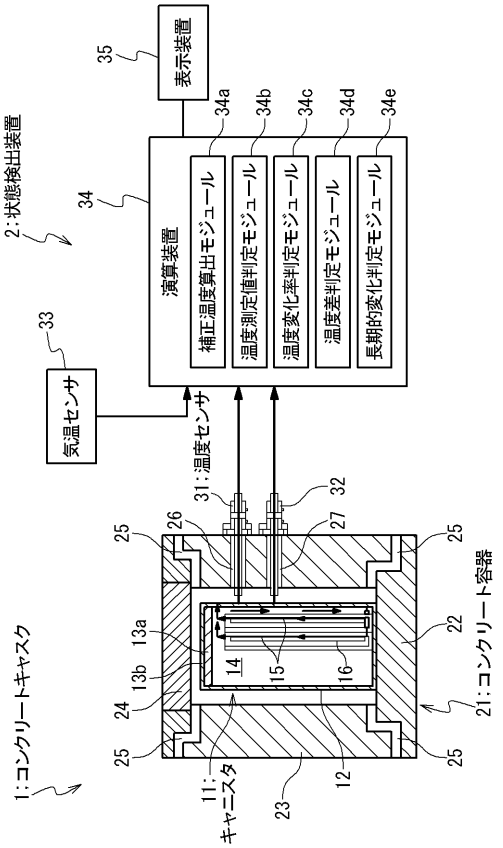
【符号の説明】

【０１３３】

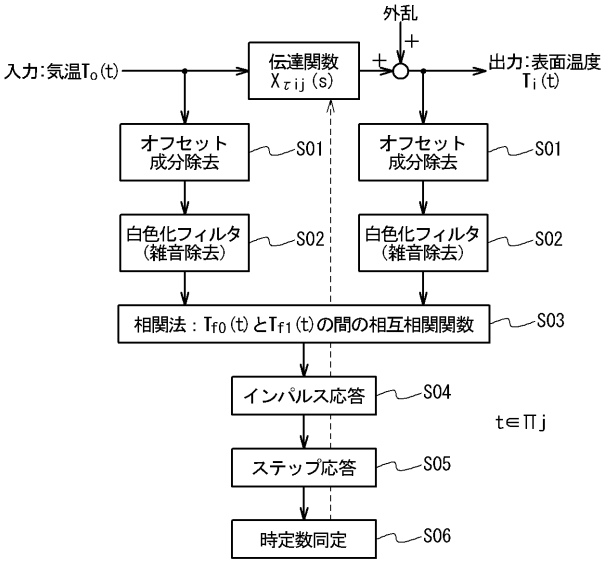
１：コンクリートキャスク
２，２’，２”：状態検出装置
３：金属キャスク
１１：キャニスタ
１２：胴部

１３ａ：一次蓋
１３ｂ：二次蓋
１４：キャビティ
１５：使用済燃料集合体
１６：バスケット
２１：コンクリート容器
２２：支持体
２３：側壁
２４：蓋体
２５：空気流通孔
２６，２７：検査孔
３１，３２：温度センサ
３３：気温センサ
３４：演算装置
３４ａ，３４ａ’：補正温度算出モジュール
３４ｂ：温度測定値判定モジュール
３４ｃ：温度変化率判定モジュール
３４ｄ：温度差判定モジュール
３４ｅ：長期的変化判定モジュール
３５：表示装置
６１：胴部
６２ａ：一次蓋
６２ｂ：二次蓋
６３：キャビティ
６４：使用済燃料集合体
６５：バスケット
６６：圧力障壁
６７：検査孔
７１：圧力センサ
７２：気温センサ
７３：演算装置
７３ａ：補正圧力算出モジュール
７３ｂ：圧力測定値判定モジュール
７３ｃ：圧力変化率判定モジュール
７３ｅ：長期的変化判定モジュール
７４：表示装置

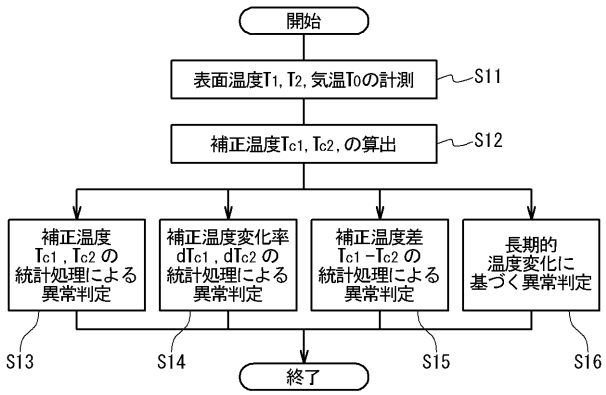
【図１】


表示装置
35
34a
34b
34c
34d
34e
2:状態検出装置
34
演算装置
補正温度算出モジュール
温度測定値判定モジュール
温度変化率判定モジュール
温度差判定モジュール
長期的変化判定モジュール
33
気温センサ
31:温度センサ
32
25
26
27
25
21:コンクリート容器
22
13a
13b
14
15
16
24
25
25
1:コンクリートキャスク
11:
キャニスタ
23
12

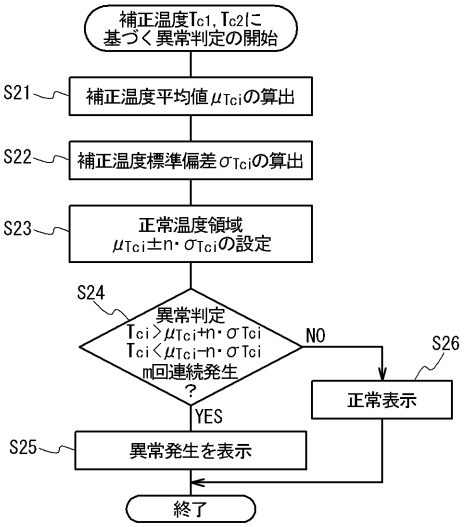
【図２】


外乱
入力:気温To(t)
伝達関数
Xτij(s)
出力:表面温度
Ti(t)
オフセット
成分除去
S01
オフセット
成分除去
S01
白色化フィルタ
(雑音除去)
S02
白色化フィルタ
(雑音除去)
S02
相関法：Tf0(t)とTf1(t)の間の相互相関関数
S03
インパルス応答
S04
t∈Πj
ステップ応答
S05
時定数同定
S06

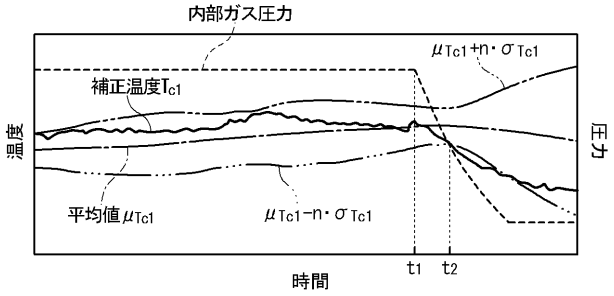
【図３】


開始
表面温度T1, T2, 気温T0の計測
S11
補正温度Tc1, Tc2, の算出
S12
補正温度
Tc1 , Tc2 の
統計処理による
異常判定
補正温度変化率
dTc1 , dTc2 の
統計処理による
異常判定
補正温度差
Tc1 −Tc2 の
統計処理による
異常判定
長期的
温度変化に
基づく異常判定
S13
S14
S15
S16
終了

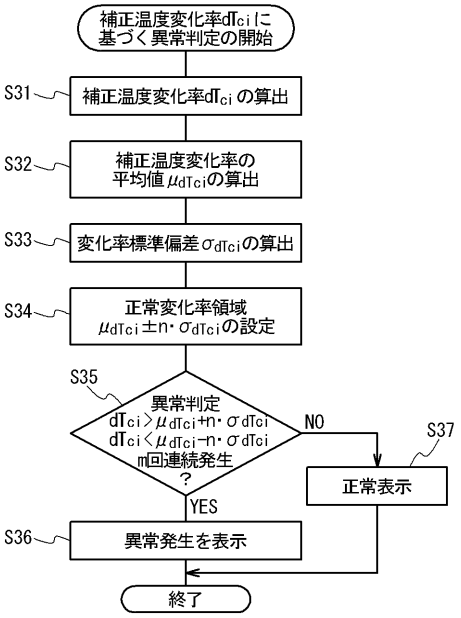
【図４】


補正温度Tc1, Tc2に
基づく異常判定の開始
S21
補正温度平均値μTciの算出
S22
補正温度標準偏差σTciの算出
S23
正常温度領域
μTci±n・σTciの設定
S24
異常判定
Tci＞μTci+n・σTci
Tci＜μTci−n・σTci
m回連続発生
？
NO
S26
正常表示
YES
S25
異常発生を表示
終了

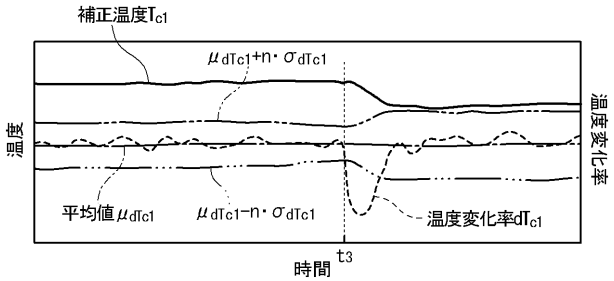
【図５】


内部ガス圧力
$\mu_{Tc1}+n\cdot\sigma_{Tc1}$
補正温度T_{c1}
温度
圧力
平均値μ_{Tc1}
$\mu_{Tc1}-n\cdot\sigma_{Tc1}$
t1
t2
時間

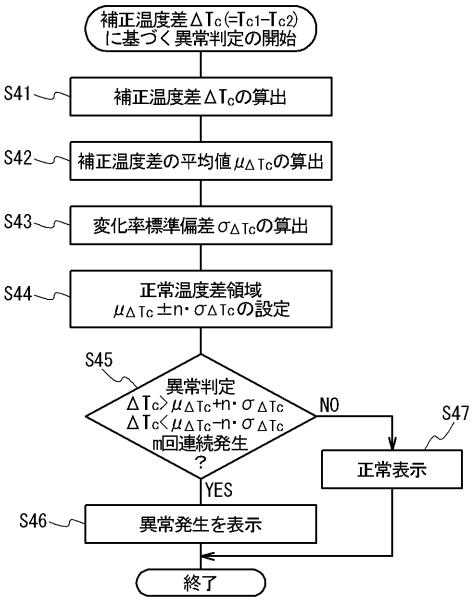
【図６】


補正温度変化率dT_{ci}に基づく異常判定の開始
S31
補正温度変化率dT_{ci}の算出
S32
補正温度変化率の平均値μ_{dTci}の算出
S33
変化率標準偏差σ_{dTci}の算出
S34
正常変化率領域$\mu_{dTci}\pm n\cdot\sigma_{dTci}$の設定
S35
異常判定
$dT_{ci}>\mu_{dTci}+n\cdot\sigma_{dTci}$
$dT_{ci}<\mu_{dTci}-n\cdot\sigma_{dTci}$
m回連続発生
？
NO
S37
正常表示
YES
S36
異常発生を表示
終了

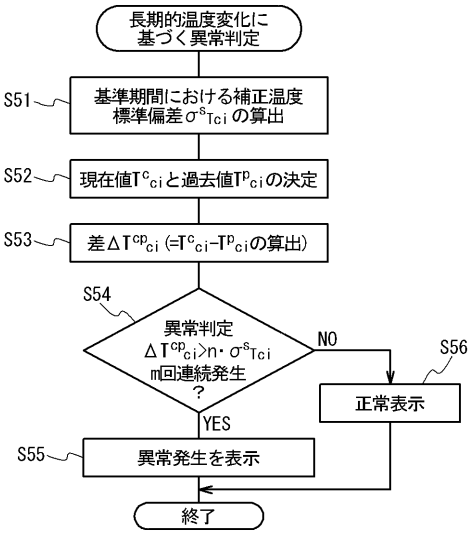
【図７】


補正温度T_{c1}
$\mu_{dTc1}+n\cdot\sigma_{dTc1}$
温度
温度変化率
平均値μ_{dTc1}
$\mu_{dTc1}-n\cdot\sigma_{dTc1}$
温度変化率dT_{c1}
t3
時間

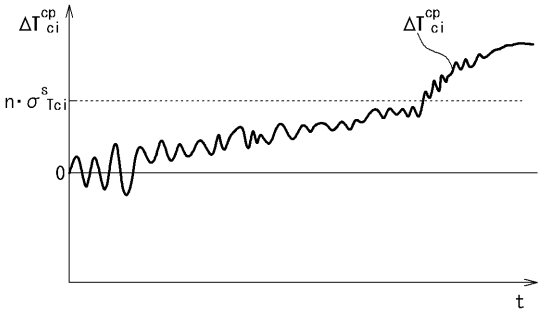
【図８】


補正温度差$\Delta T_c(=T_{c1}-T_{c2})$に基づく異常判定の開始
S41
補正温度差ΔT_cの算出
S42
補正温度差の平均値$\mu_{\Delta Tc}$の算出
S43
変化率標準偏差$\sigma_{\Delta Tc}$の算出
S44
正常温度差領域$\mu_{\Delta Tc}\pm n\cdot\sigma_{\Delta Tc}$の設定
S45
異常判定
$\Delta T_c>\mu_{\Delta Tc}+n\cdot\sigma_{\Delta Tc}$
$\Delta T_c<\mu_{\Delta Tc}-n\cdot\sigma_{\Delta Tc}$
m回連続発生
？
NO
S47
正常表示
YES
S46
異常発生を表示
終了

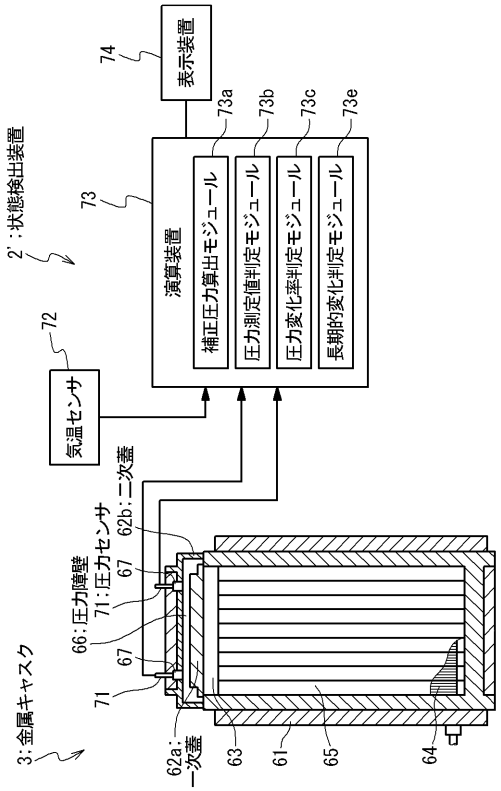
【図９】



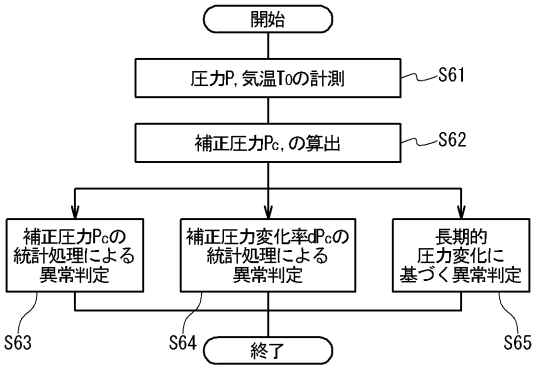
【図１０】



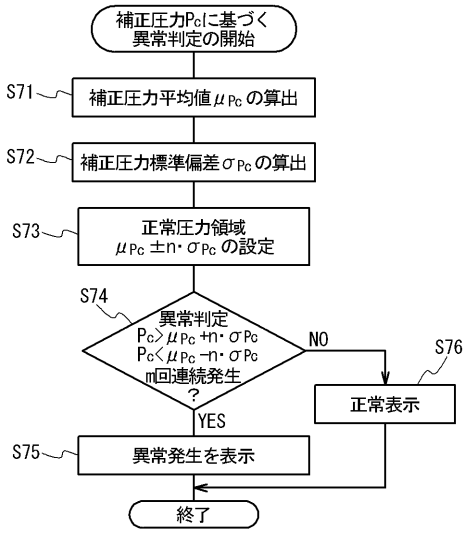
【図１１】



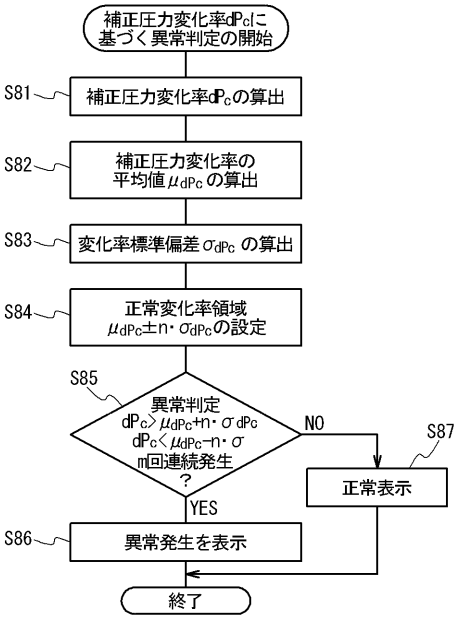
【図１２】



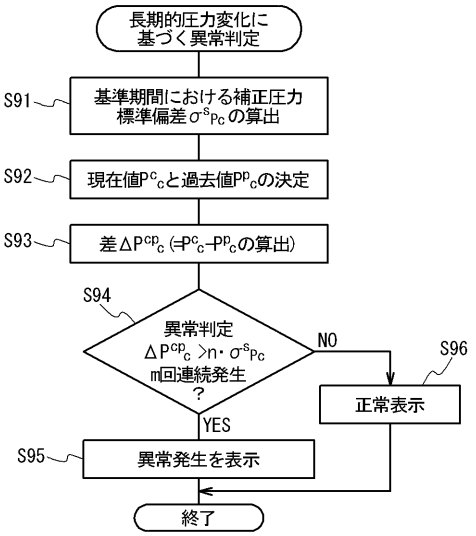
【図１３】



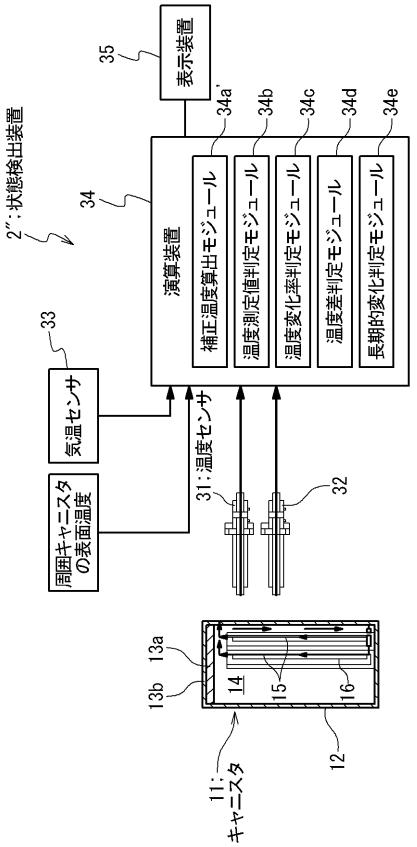
【図１４】



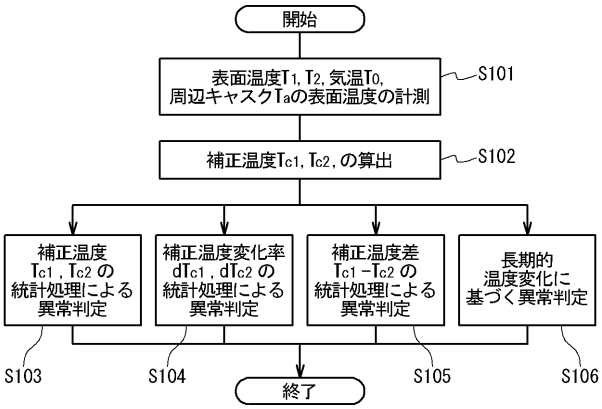
【図１５】



【図１６】



【図１７】


開始
表面温度T1, T2, 気温T0,
周辺キャスクTaの表面温度の計測
S101
補正温度Tc1, Tc2, の算出
S102
補正温度
Tc1 , Tc2 の
統計処理による
異常判定
補正温度変化率
dTc1 , dTc2 の
統計処理による
異常判定
補正温度差
Tc1 −Tc2 の
統計処理による
異常判定
長期的
温度変化に
基づく異常判定
S103
S104
S105
S106
終了

フロントページの続き

(72)発明者　村上　和夫
兵庫県神戸市兵庫区和田崎町一丁目１番１号　三菱重工業株式会社神戸造船所内
(72)発明者　松永　健一
兵庫県神戸市兵庫区和田崎町一丁目１番１号　三菱重工業株式会社神戸造船所内
(72)発明者　阿部　岩司
兵庫県神戸市兵庫区和田崎町一丁目１番１号　三菱重工業株式会社神戸造船所内
(72)発明者　齋藤　雄一
兵庫県神戸市兵庫区和田崎町一丁目１番１号　三菱重工業株式会社神戸造船所内
(72)発明者　入野　光博
東京都港区高輪二丁目１９番１３号　株式会社菱友システム技術内
(72)発明者　浅田　和雄
兵庫県高砂市荒井町新浜２丁目８番１９号　高菱エンジニアリング株式会社内