

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7544863号
(P7544863)

(45)発行日 令和6年9月3日(2024.9.3)

(24)登録日 令和6年8月26日(2024.8.26)

(51)国際特許分類		F I	
G 0 5 B	23/02 (2006.01)	G 0 5 B	23/02 V
G 0 6 N	20/00 (2019.01)	G 0 5 B	23/02 Z
G 0 6 Q	50/04 (2012.01)	G 0 6 N	20/00
G 0 6 Q	10/04 (2023.01)	G 0 6 Q	50/04
G 0 6 Q	10/20 (2023.01)	G 0 6 Q	10/04
請求項の数 11 (全30頁) 最終頁に続く			
(21)出願番号	特願2022-571339(P2022-571339)	(73)特許権者	510337621
(86)(22)出願日	令和3年5月19日(2021.5.19)		タタ コンサルタンシー サービスズ リ
(65)公表番号	特表2023-527187(P2023-527187 A)		ミテッド
(43)公表日	令和5年6月27日(2023.6.27)		TATA Consultancy Se
(86)国際出願番号	PCT/IN2021/050484		r vices Limited
(87)国際公開番号	WO2021/234732		インド国 マハーラシュトラ、ムンバイ
(87)国際公開日	令和3年11月25日(2021.11.25)		4 0 0 0 2 1、ナリマン ポイント、ナ
審査請求日	令和5年1月12日(2023.1.12)		ーマル ビルディング 9階
(31)優先権主張番号	202021021089		Nirmal Building, 9th
(32)優先日	令和2年5月19日(2020.5.19)		Floor, Nariman Poin
(33)優先権主張国・地域又は機関	インド(IN)	(74)代理人	t, Mumbai 4 0 0 0 2 1, Ma
			harashtra, India.
		(72)発明者	スブラマニアン、シヴァクマール
			最終頁に続く

(54)【発明の名称】 製造業のための自己組織化サイバー・フィジカル・システムの開発及び展開のためのシステム及び方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

データ・ソース管理モジュール（101）と、
データ取込モジュール（102）と、
データ同期及び統合モジュール（104）と、
自己監視モジュール（105）と、
自己更新モジュール（103）と、
意思決定モジュール（106）と、
複数の管理モジュール（107）と
を備えた自己組織化システム（100）であって、

産業プラントの監視を、
前記データ・ソース管理モジュール（101）を用いて、前記産業プラントの1つ又は複数のプラント・データ・ソースとの接続を確立することと、
前記データ取込モジュール（102）を用いて、前記産業プラントから産業プラント・データをフェッチすることと、
前記データ同期及び統合モジュール（104）を用いて前記産業プラント・データを前処理することであって、前記データ同期及び統合モジュールは、i）様々なプラントユニット内の滞留時間によるタイム・ラグ、ii）様々なプラントユニット間の輸送に関わる時間、及びセンサの応答時間を考慮することにより前記フェッチされた産業プラント・データと1つ又は複数の非リアルタイム・データ・ソースからのデータとをマージするこ

と、及び予め定義されたデータ標準を満たすように前記産業プラント・データを条件付けることを含む、前処理することと、

前記自己監視モジュール（１０５）を用いて、センサ、アクチュエータ、コントローラ、およびプラント自動化システムから構成される複数の産業コンポーネントのそれぞれの動作が予め定義された範囲外にある場合に、正常範囲からの逸脱であると判断することと、

動作の前記予め定義された正常範囲からの逸脱であるとの前記判断に応答して、少なくとも１つのアクションを推奨することであって、前記アクションは、前記自己監視モジュール（１０５）を用いて、a) 前記産業プラントの最適化、b) 前記複数の産業コンポーネントのうちの少なくとも１つの予知保全、c) 一人又は複数のユーザのためのアラート生成、及びd) 前記産業プラントのパフォーマンスに影響する１つ又は複数の行動モデルの自己更新のうちの１つ又は複数であり、前記推奨された少なくとも１つのアクションは、前記自己更新モジュール（１０３）及び前記意思決定モジュール（１０６）のうちの一方によってトリガされ、前記複数の管理モジュール（１０７）のうちの少なくとも１つによって実行される、少なくとも１つのアクションを推奨することと
によって実行し、

前記自己監視モジュール（１０５）は、
データ品質検証モジュール（２０２）と、
センサ及びアクチュエータ監視モジュール（２０４）と、
ソフト・センサ・モジュール（２０６）と、
データ前処理モジュール（２０８）と、
自己診断モジュール（２１０）と

を備え、前記自己監視モジュールにより、前記逸脱を判断し、前記少なくとも１つのアクションを推奨することは、

前記センサ及びアクチュエータ監視モジュール（２０４）を用いて、前記産業プラント・データの解析を実行することであって、

前記データ品質検証モジュール（２０２）を用いて、前記産業プラント・データの判断された品質がプラント・データの品質の定義された閾値を満たすかどうかを判断することであって、プラント・データの品質の前記定義された閾値を満たさないと判断された前記産業プラント・データの前記品質は、データの悪い品質の例であるとみなされる、判断することと、

データの悪い品質であると判断されたどの例も補償するため、前記ソフト・センサ・モジュール（２０６）を用いて、追加データを生成することと、

前記自己診断モジュール（２１０）によって、自己診断を実行することであって、

パフォーマンスの閾値より下であると判断された前記行動モデルのうちの１つ又は複数のパフォーマンスを、前記１つ又は複数の行動モデルの前記自己更新を実行するためのトリガであると識別すること、

前記産業プラントのパフォーマンスの定義されたベンチマークより下であると判断された前記産業プラントのパフォーマンス・レベルを、前記産業プラントの前記最適化を実行するためのトリガとして識別すること、

前記複数の産業コンポーネントのうちの１つ又は複数が、コンポーネントのパフォーマンスの定義されたベンチマークから逸脱しているとの判断を、前記産業コンポーネントのうちの前記１つ又は複数の前記予知保全を実行するためのトリガとして識別すること、
及び

少なくとも１つのトリガ条件が検出される場合には、前記ユーザに対してアラートが発せられるべきだと識別すること、を含む、自己診断を実行することと、
を含む前記産業プラント・データの解析を実行することを含む、自己組織化システム（１００）。

【請求項２】

前記自己監視モジュール（１０５）は、１つ又は複数の行動モデルの前記自己更新を、

10

20

30

40

50

前記1つ又は複数の行動モデルによって生成される1つ又は複数のモデル予測の品質を判断することと、

前記1つ又は複数の行動モデルのうちの少なくとも1つの前記品質が、行動モデルの品質の閾値より下である場合には、前記1つ又は複数の行動モデルのうちの少なくとも1つを更新する自己学習機構を呼び出すことと

によって推奨する、請求項1に記載のシステム。

【請求項3】

前記1つ又は複数の行動モデルのそれぞれを、

前記産業プラントを監視することによって、前記産業プラントの動きの特性を表すリアルタイム・データを収集することと、

過去の例における前記産業プラントの動きを表すデータを、履歴データとして収集し記憶することと、

前記リアルタイム・データと前記履歴データとを前処理することにより、前処理されたデータを生成することと、

物理ベース又はデータベースのモデルを用いることによって、前記産業プラントの測定不可能なパラメータの値をシミュレートすることと、

前記前処理されたデータと前記シミュレートされたデータとを組み合わせることによって、統合されたデータを生成することと、

前記統合されたデータを用いて、前記1つ又は複数のデータ・モデルのそれぞれを生成することと

によって生成する、請求項1に記載のシステム。

【請求項4】

前記複数の管理モジュールは、センサ管理モジュール、モデル管理モジュール、ワークフロー管理モジュール、及びアルゴリズム管理モジュールのうちの1つ又は複数を用意し、前記複数の管理モジュールは、前記自己監視モジュールからの命令に基づき前記産業プラントを監視するために用いられるセンサと、データ・モデルと、ワークフローと、アルゴリズムとを管理するように構成されている、請求項1に記載のシステム。

【請求項5】

前記ワークフロー管理モジュールは、

ワークフロー・デザイナー・モジュール(602)と、

ワークフロー・トラバーサ・モジュール(604)と、

ノード実行モジュール(606)と、

アルゴリズム実行モジュール(608)と、

ダッシュボード作成モジュール(610)と

を用意し、

前記ワークフロー管理モジュールは、アプリケーションのための1つ又は複数のワークフローを、

前記ワークフロー・デザイナー・モジュール(602)を用いて、ワークフロー・グラフの形式で保存されている少なくとも1つのワークフローを前記アプリケーションのために作成することと、

前記ワークフローを実行することであって、

前記ワークフロー・グラフにおける複数のノードのそれぞれに対し実行すること、

前記ノード実行モジュール(606)によって前記ワークフロー・グラフを横断すること、

前記アルゴリズム実行モジュール(608)によってアルゴリズムを実行すること、及び、

前記ダッシュボード作成モジュール(610)によって、前記アルゴリズムの実行の結果として、複数のアルゴリズム・パラメータの値を表示すること

を含む、前記ワークフローを実行することと

によって生成する、請求項4に記載のシステム。

10

20

30

40

50

【請求項 6】

前記自己組織化システムは、前記自己組織化システムと通信するアプリケーション構成モジュール（４０４）を用い、前記産業プラントとのインタフェースを有し、

前記自己組織化システムは、自己監視モジュール（１０５）を用い、前記産業プラントを監視し、

前記自己組織化システムは、前記自己組織化システムと通信するワークフロー・エンジン（４０６）を用い、前記産業プラントの複数のワークフローを呼び出し、

前記自己組織化システムは、前記自己組織化システムと通信するアナリティクス・エンジン（４０８）を用い、前記ワークフロー・ステップにおいて１つ又は複数のアナリティクス・アルゴリズムを実行し、

前記自己組織化システムは、前記自己組織化システムと通信するユーザ・アプリケーション・モジュール（４０２）を用い、前記ワークフロー実行の結果を表示し、

前記自己組織化システムは、モデル・リポジトリと、ワークフロー・リポジトリと、アルゴリズム・リポジトリと、共通リポジトリとを備え、前記自己組織化システムと通信するメモリ・モジュールに記憶されている複数のデータベースに、前記産業プラントの監視と関連するデータを記憶し、

前記自己組織化システムは、前記自己組織化システムと通信するモデル統合インタフェース・モジュールを用い、１つ又は複数の外部の行動モデルとのインタフェースを有し、

前記自己組織化システムは、前記自己組織化システムと通信する第三者ソフトウェア・インタフェースを用い、１つ又は複数の第三者モジュールとのインタフェースを有し、

前記自己組織化システムは、前記自己組織化システムと通信するアルゴリズム統合インタフェース・モジュールを用い、１つ又は複数の外部のアルゴリズムとのインタフェースを有する、請求項 １ に記載の自己組織化システム（１００）。

【請求項 7】

産業プラントを監視する方法であって、

１つ又は複数のハードウェア・プロセッサを介して、前記産業プラントの複数の産業コンポーネントを監視するステップ（９０２）と、

前記産業プラントの自己監視を実行するステップを含み、前記自己監視が自己診断を含み、前記自己診断が、

前記１つ又は複数のハードウェア・プロセッサを用いて、センサ、アクチュエータ、コントローラ、およびプラント自動化システムから構成される複数の産業コンポーネントのそれぞれの動作が予め定義された範囲外にある場合に、正常範囲の動作からの逸脱と判断するステップ（９１０．a）と、

前記１つ又は複数のハードウェア・プロセッサを介して、前記予め定義された正常範囲の動作からの前記判断された逸脱にตอบสนองして、少なくとも１つのアクションを推奨するステップであって、前記アクションは、a) 前記産業プラントの最適化、b) 前記複数の産業コンポーネントのうちの少なくとも１つの予知保全、c) 一人又は複数のユーザのためのアラート生成、及び d) 前記産業プラントのパフォーマンスに影響する１つ又は複数の行動モデルの自己更新のうちの１つ又は複数である、少なくとも１つのアクションを推奨するステップ（９１０．b）と

を含み、

前記逸脱を判断し、前記自己監視を実行することにより前記少なくとも１つのアクションを推奨するステップは、

前記産業プラントの前記複数の産業コンポーネントのそれぞれから、産業プラント・データを収集するステップ（９０２）と、

データ同期及び統合モジュール（１０４）を用いて前記産業プラント・データを前処理するステップ（９０４）であって、前記データ同期及び統合モジュールは、i) 様々なプラントユニット内の滞留時間によるタイム・ラグ、ii) 様々なプラントユニット間の輸送に関わる時間、及びセンサの応答時間を考慮することにより前記収集された産業プラント・データと１つ又は複数の非リアルタイム・データ・ソースからのデータとをマージす

10

20

30

40

50

ること、及び予め定義されたデータ標準を満たすように、前記産業プラント・データを条件付けることを含む、前記産業プラント・データを前処理するステップ（904）と、
前記産業プラント・データの解析を実行するステップとを含み、前記産業プラント・データの解析を実行するステップが、

前記産業プラント・データの判断された品質が産業プラント・データの品質の定義された閾値を満たすかどうかを判断すること（906）であって、プラント・データの品質の前記定義された閾値を満たさないと判断された前記産業プラント・データの前記品質は、データの悪い品質の例であるとみなされる、判断すること（906）と、

データの悪い品質であると判断されたどの例も補償するため、追加データを生成すること（908）と、

自己診断を実行すること（910）であって、

パフォーマンスの閾値より下であると判断された前記行動モデルのうちの1つ又は複数のパフォーマンスを、前記1つ又は複数の行動モデルの前記自己更新を実行するためのトリガであると識別すること、

前記産業プラントのパフォーマンスの定義されたベンチマークより下であると判断された前記産業プラントのパフォーマンス・レベルを、前記産業プラントの前記最適化を実行するためのトリガとして識別すること、

前記複数の産業コンポーネントのうちの1つ又は複数がコンポーネントのパフォーマンスの定義されたベンチマークから逸脱しているとの判断を、前記複数の産業コンポーネントのうちの1つ又は複数の前記予知保全を実行するためのトリガとして識別すること、
及び

少なくとも1つのトリガ条件が検出される場合には、ユーザに対してアラートが発せられるべきだと識別すること

を含む、自己診断を実行すること（910）

を含む、方法。

【請求項8】

1つ又は複数の行動モデルの前記自己更新を推奨することは、

前記1つ又は複数の行動モデルによって生成される1つ又は複数のモデル予測の品質を判断することと、

前記1つ又は複数の行動モデルの少なくとも1つの前記判断された品質が行動モデルの品質の閾値より下である場合には、前記1つ又は複数の行動モデルのうちの少なくとも1つを更新する自己学習機構を呼び出すことと

を含む、請求項7に記載の方法。

【請求項9】

前記1つ又は複数の行動モデルのそれぞれを生成することは、

前記産業プラントの動きの特性を表すリアルタイム・データを収集することと、

過去の例における前記産業プラントの動きを表すデータを、履歴データとして収集し記憶することと、

前記リアルタイム・データと前記履歴データとを前処理することにより、前処理されたデータを生成することと、

物理ベース又はデータベースのモデルを用いることによって、前記産業プラントの測定不可能なパラメータの値をシミュレートすることと、

前記前処理されたデータと前記シミュレートされたデータとを組み合わせることによって、統合されたデータを生成することと、

前記統合されたデータを用いて、前記1つ又は複数のデータ・モデルのそれぞれを生成することと

を含む、請求項7に記載の方法。

【請求項10】

1つ又は複数のワークフローが、自己監視に基づいて、アプリケーションのために生成され、

10

20

30

40

50

ワークフロー・グラフの形式で保存されている少なくとも1つのワークフローを前記アプリケーションのために作成することと、

前記ワークフローを実行することであって、

前記ワークフロー・グラフにおける複数のノードのそれぞれに対し実行することと、

前記ワークフロー・グラフを横断することと、

アルゴリズムを実行することと、

前記アルゴリズムの実行の結果として、複数のアルゴリズム・パラメータの値を表示することと

を含む、前記ワークフローを実行することと

を含む、請求項7に記載の方法。

10

【請求項11】

コンピュータ可読プログラムが具現化されている非一時的なコンピュータ可読媒体を備えたコンピュータ・プログラム製品であって、計算デバイスにおいて実行されると、前記コンピュータ可読プログラムが、前記計算デバイスに、

1つ又は複数のハードウェア・プロセッサを介して、産業プラントの複数の産業コンポーネントを監視するステップと、

前記産業プラントの自己監視を実行するステップであって、前記自己監視が自己診断を含み、前記自己診断が、

前記1つ又は複数のハードウェア・プロセッサを用いて、複数の産業コンポーネントのいずれの動作も、前記複数の産業コンポーネントのそれぞれの動作が予め定義された範囲外にある場合に、正常範囲の動作からの逸脱と判断するステップと、

20

前記1つ又は複数のハードウェア・プロセッサを介して、前記予め定義された正常範囲の動作からの前記判断された逸脱に応答して、少なくとも1つのアクションを推奨するステップであって、前記アクションは、a) 前記産業プラントの最適化、b) 前記複数の産業コンポーネントのうちの少なくとも1つの予知保全、c) 一人又は複数のユーザのためのアラート生成、及びd) 前記産業プラントのパフォーマンスに影響する1つ又は複数の行動モデルの自己更新のうちの1つ又は複数である、少なくとも1つのアクションを推奨するステップと

を含み、

前記コンピュータ可読プログラムの実行が、

30

前記産業プラントの前記複数の産業コンポーネントのそれぞれから、産業プラント・データを収集するステップと、

データ同期及び統合モジュール(104)を用いて前記産業プラント・データを前処理するステップであって、前記データ同期及び統合モジュールは、i) 様々なプラントユニット内の滞留時間によるタイムラグとii) 様々なプラントユニット間の輸送に関わる時間、及びセンサの応答時間とを考慮することにより前記収集された産業プラント・データと1つ又は複数の非リアルタイム・データ・ソースからのデータとをマージすること、及び予め定義されたデータ標準を満たすように、前記産業プラント・データを条件付けることを含む、前記産業プラント・データを前処理するステップと、

前記産業プラント・データの解析を実行するステップとによって、自己監視を実行することにより、前記逸脱を判断し前記少なくとも1つのアクションを推奨させ、前記産業プラント・データの解析を実行するステップが、

40

前記産業プラント・データの判断された品質が産業プラント・データの品質の定義された閾値を満たすかどうかを判断することであって、プラント・データの品質の前記定義された閾値を満たさないと判断された前記産業プラント・データの前記品質は、データの悪い品質の例であるとみなされる、判断することと、

データの悪い品質であると判断されたどの例も補償するため、追加データを生成することと、

自己診断を実行することであって、

パフォーマンスの閾値より下であると判断された前記行動モデルのうちの1つ又は複

50

数のパフォーマンスを、前記1つ又は複数の行動モデルの前記自己更新を実行するためのトリガであると識別すること、

前記産業プラントのパフォーマンスの定義されたベンチマークより下であると判断された前記産業プラントのパフォーマンス・レベルを、前記産業プラントの前記最適化を実行するためのトリガとして識別すること、

前記複数の産業コンポーネントのうちの1つ又は複数のコンポーネントのパフォーマンスの定義されたベンチマークから逸脱しているとの判断を、前記複数の産業コンポーネントのうちの1つ又は複数の前記予知保全を実行するためのトリガとして識別すること、及び

少なくとも1つのトリガ条件が検出される場合には、ユーザに対してアラートが発せられるべきだと識別することを含む、自己診断を実行することを含む、コンピュータ・プログラム製品。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本出願は、2020年5月19日に出願されたインド仮特許出願第202021021089号に基づく優先権を主張するものである。上述の出願の内容の全体が、参照によって、本明細書に組み込まれる。

【0002】

本明細書における開示は、一般に、産業プラントの監視に関し、より詳細には、製造及びプロセス産業のための自己組織化サイバー・フィジカル・システムの開発及び展開のためのシステム及び方法に関する。

【背景技術】

【0003】

鉱物及び金属、電力、化学物質及び肥料、精製及び石油化学製品、薬品及び医薬、パルプ及び紙、セメント、自動車、半導体、並びに食品加工などの製造及びプロセス産業は、原材料の入手可能性及び品質、生産目標、製品に対する市場の需要、原材料を製品に変換するために用いられる設備又は資産の状態及び健全性、環境条件、排出及び人的安全に関する規制などにおける不確実性又は変化という観点での、多数の課題に直面している。そのような産業プラントを操業する際の効率性及び有効性を改善するためには、それらの課題に対処しなければならないが、これが、全体としての産業プラントと産業プラントに関連する様々なプロセス及びコンポーネントとの連続的な監視が、視野に入る場面である。そのような連続的な監視は、上述した課題のいずれもの時宜を得た診断においても役に立ち、それが今度は、適切な対応／是正措置を取ることを可能にする。しかし、そのような産業プラントの複雑な性質に起因して、産業プラントのパフォーマンスを示す様々なパラメータに関する情報を直接的に測定し収集することは困難である。この問題に対する解決策は、プラントの動きをエミュレートするデジタル・ツインの使用であり、そのデジタル・ツインは、プラントのパフォーマンスを評価するために用いることが可能である。

【0004】

産業プロセス及び／又は設備のデジタル・ツインを構築するためには、それらの行動、任意の事例における状態（動作パフォーマンス、健全性、その他）、制御設定の影響、用いられる成分／原材料、などに関する情報を定量的に捕捉することを可能にする方法を開発することが必須である。システムの設計／パフォーマンス・データを用いて構築されたデジタル・ツインは、対応する産業プロセス及び／又は設備の現在の状態を記述し、（近い）将来における1つ若しくは複数のプロセス又は資産の健全性パラメータの値を予測或いは予想して、その改善のために必要なアクションを推奨することが期待される。機械学習及び深層学習アルゴリズムと、IoTプラットフォームによってサポートされる大量のデータとの出現により、産業は、デジタル・ツイン又は自己組織化サイバー・フィジカル・システム（SOCPS: self-organizing cyber-physical systems）を構築して、産業プラント全体のパフォーマンスを最適化するた

10

20

30

40

50

めの、製造動作のリアルタイム動的最適化及び資産の予知保全スケジュールの開発のためにそれらを展開するように、これらの技術を取り入れている。

【0005】

産業プラントのパフォーマンスがプラントを直接的に監視することにより又はデジタル・ツインを用いることにより判断されるときであっても、プラントのパフォーマンスの低下は理由が異なることがあり得るため、適切な是正措置を取ることが重要である。既存の監視システムの欠点は、既存の監視システムが、監視されている産業プラントのパフォーマンスの判断されたものの低下の背後にあるファクタ又は理由も監視及び識別できない、ということである。理由に特有のアクションをトリガしても、標準的な措置又は手順に従うことでは、産業プラントの検出されたパフォーマンスに関係する問題を完全には解決できない可能性があり得る。既存のプラント監視システムの別の欠点は、パフォーマンスの測定のために要求されるデータを収集する能力に関するものである。任意の所与の時点で、産業プラントにおいて複数のプロセスが用いられ得、それらが相互に作用して、全体的なプラントのパフォーマンスに寄与する。プラント全体にわたるパフォーマンスの監視を行うためには、プロセス、材料、センサ、自動化システム、人員、環境、及び設備に対応するすべてのそのようなパラメータが監視され、それらに対応する値が収集されることが重要である。しかし、産業プラントは、典型的に、複雑なアーキテクチャを有しており、特定のパラメータを監視することは困難なことがあり得る。例えば、溶鉱炉内部の温度は、温度センサを用いて測定するには高すぎることをあり得るし、又は、たとえ測定可能な温度センサが用いられた場合であっても、そのようなセンサは、高い温度レベルに絶えず露出されることによって、損傷を受けることがあり得る。そのようなシナリオでは、既存のプラント監視システムは、望むようにパフォーマンスの監視を行うことができず、そのために、是正措置が取られる効率に影響を与える。既存のシステムの別の短所は、既存のシステムが、プラントから収集されたデータを直接的に処理する場合があるということである。プラントから収集されているデータの品質が十分に正確ではない場合には、そのようなデータを用いたプラント・パフォーマンスの評価／測定の品質もまた悪影響を受ける可能性があり得る。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【文献】インド特許出願番号第IN202021004042号

【文献】インド特許出願番号第IN201921019548号

【文献】インド特許出願番号第IN201921039286号

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0007】

本開示の実施例は、本発明者たちにより従来型のシステムにおいて認識された上述の技術上の課題の1つ又は複数に対する解決策として、技術的改善を提示する。例えば、ある実施例では、自己組織化システムが提供される。この自己組織化システムは、データ・ソース管理モジュールと、データ取込モジュールと、データ同期及び統合モジュールと、自己監視モジュールと、自己更新モジュールと、意思決定モジュールと、複数の管理モジュールとを含む。この自己組織化システムは、製造プラントの監視を行う。産業プラントの監視は、以下のステップを含む。最初に、自己組織化システムが、データ・ソース管理モジュールを用いて、産業プラントの1つ又は複数のプラント・データ・ソースとの接続を確立する。次に、自己組織化システムが、データ取込モジュールを用いて、監視されている産業プラントから、産業プラント・データをフェッチする。更に、産業プラント・データは、データ同期及び統合モジュールを用いて、前処理され、産業プラント・データの前処理は、フェッチされた産業プラント・データと1つ又は複数の非リアルタイム・データ・ソースからのデータとのマージと、予め定義されたデータ標準を満たすような産業プラント・データの条件付けとを含む。次に、自己組織化システムは、自己監視モジュールの

センサ及びアクチュエータ監視モジュールを用いて、産業プラント・データの解析を行う。この解析は、自己監視モジュールのデータ品質検証モジュールを用いて、産業プラント・データの判断された品質がプラント・データの品質の定義された閾値を満たすかどうかを判断することを含む。産業プラント・データの判断された品質がデータ品質の定義された閾値を満たさない場合には、そのプラント・データは、データの悪い品質の例であるとみなされる。データの悪い品質の1つ又は複数のそのような例が検出されると、自己監視モジュールのソフト・センサ・モジュールを用いて、データの悪い品質のその例を補償するために、追加データが生成され、データの悪い品質のその例を補償することは、プラント・データの品質の閾値よりも低い品質を有するデータを、対応するソフト・センサ・データと取り替えることを含み得る。更に、複数のコンポーネントのうちのいずれかのコンポーネントの動作の判断が、複数のコンポーネントのそれぞれの予め定義された正常範囲の動作からの逸脱を示す場合には、自己組織化システムは、自己監視モジュールの自己診断モジュールを用いて自己診断を実行し、これは1つ又は複数のトリガを検出することを含む。自己診断モジュールは、パフォーマンスの閾値より下であると判断された行動モデルのうちの1つ又は複数のパフォーマンスを、その1つ又は複数の行動モデルの自己更新を実行するためのトリガとして識別する。自己診断モジュールは、産業プラントのパフォーマンスの定義されたベンチマークより下であると判断された産業プラントのパフォーマンス・レベルを、その産業プラントの最適化を実行するためのトリガとして識別する。自己診断モジュールは、コンポーネントのパフォーマンスの定義されたベンチマークからの複数のプラント・コンポーネントのうちの1つ又は複数の判断された逸脱を、そのコンポーネントの予知保全を実行するためのトリガとして識別する。自己診断モジュールは、少なくとも1つのトリガ条件が検出される場合には、ユーザがアラートを受けるべきであると識別する。検出されたトリガに基づき、動作の予め定義された正常範囲からの逸脱であるとの判断に応答して、少なくとも1つのアクションが推奨される。このアクションは、a) 産業プラントの最適化、b) 複数のコンポーネントのうちの少なくとも1つの予知保全、c) 一人又は複数のユーザへのアラート生成、及びd) 産業プラントのパフォーマンスに影響する1つ又は複数の行動モデルの自己更新のうちの1つ又は複数である。推奨された少なくとも1つのアクションは、自己更新モジュール及び意思決定モジュールのうちの一方によってトリガされ、複数の管理モジュールのうちの少なくとも1つによって実行される。

【0008】

別の態様では、産業プラントを監視するプロセッサ実装方法が提供される。この方法は、1つ又は複数のハードウェア・プロセッサを介して、製造プラントの複数のコンポーネントを監視することを含む。産業プラントの監視は、以下のステップを含む。最初に、産業プラント・データが、産業プラントの複数のコンポーネントのそれぞれから収集される。次に、産業プラント・データが前処理され、この産業プラント・データの前処理は、予め定義されたデータ標準を満たすように産業プラント・データを条件付けすることを含む。更に、産業プラント・データが解析され、この解析は、産業プラント・データの判断された品質がプラント・データの品質の定義された閾値を満たすかどうかを判断することを含む。プラント・データの品質の定義された閾値を満たさないと判断された、産業プラント・データの品質は、データの悪い品質の例とみなされる。データの悪い品質のそのような例の1つ又は複数の検出される場合には、データの悪い品質であると判断された例を補償するために、ソフト・センサを用いて、追加データが生成される。更に、複数のコンポーネントのいずれかのコンポーネントの判断された動作が、複数のコンポーネントのそれぞれの動作の予め定義された正常範囲からの逸脱を示す場合には、自己診断が実行され、この自己診断は、1つ又は複数のトリガを検出することを含む。パフォーマンスの閾値よりも下であると判断された、行動モデルのうちの1つ又は複数のパフォーマンスは、その1つ又は複数の行動モデルの自己更新を実行するためのトリガとして識別される。産業プラントのパフォーマンスの定義されたベンチマークよりも下であると判断された産業プラントのパフォーマンス・レベルは、その産業プラントの最適化を実行するためのトリガと

して識別される。複数のプラント・コンポーネントのうちの1つ又は複数について、コンポーネントのパフォーマンスの定義されたベンチマークからの逸脱であると判断されると、その逸脱は、1つ又は複数のプラント・コンポーネントの予知保全を実行するためのトリガとして識別される。いずれかのトリガ条件が検出される場合には、それ自体が、ユーザにアラートを与えるためのトリガである。検出されたトリガに基づき、動作の予め定義された正常範囲からの逸脱であると判断されたことに応答して、少なくとも1つのアクションが推奨される。このアクションは、a) 産業プラントの最適化、b) 複数のコンポーネントのうちの少なくとも1つの予知保全、c) 一人又は複数のユーザへのアラート生成、及びd) 産業プラントのパフォーマンスに影響する1つ又は複数の行動モデルの自己更新のうちの1つ又は複数である。

10

【0009】

更に別の態様では、産業プラントを監視するための非一時的コンピュータ可読媒体が提供される。この非一時的コンピュータ可読媒体は、実行されると、プラント監視を行うための以下の方法を1つ又は複数のハードウェア・プロセッサに実行させる複数の命令から構成される。この方法は、1つ又は複数のハードウェア・プロセッサを介して、製造プラントの複数のコンポーネントを監視することを含む。産業プラントの監視は、以下のステップを含む。最初に、産業プラント・データが、産業プラントの複数のコンポーネントのそれぞれから収集される。次に、産業プラント・データが前処理され、この産業プラント・データの前処理は、予め定義されたデータ標準を満たすように産業プラント・データを条件付けすることを含む。更に、産業プラント・データが解析され、この解析は、産業プラント・データの判断された品質がプラント・データの品質の定義された閾値を満たすかどうかを判断することを含む。プラント・データの品質の定義された閾値を満たさないと判断された、産業プラント・データの品質は、データの悪い品質の例とみなされる。データの悪い品質のそのような例の1つ又は複数が検出される場合には、データの悪い品質であると判断された例を補償するために、ソフト・センサを用いて、追加データが生成される。更に、複数のコンポーネントのいずれかのコンポーネントの判断された動作が、複数のコンポーネントのそれぞれの動作の予め定義された正常範囲からの逸脱を示す場合には、自己診断が実行され、この自己診断は、1つ又は複数のトリガを検出することを含む。パフォーマンスの閾値よりも下であると判断された、行動モデルのうちの1つ又は複数のパフォーマンスは、その1つ又は複数の行動モデルの自己更新を実行するためのトリガとして識別される。産業プラントのパフォーマンスの定義されたベンチマークよりも下であると判断された産業プラントのパフォーマンス・レベルは、その産業プラントの最適化を実行するためのトリガとして識別される。複数のプラント・コンポーネントのうちの1つ又は複数について、コンポーネントのパフォーマンスの定義されたベンチマークからの逸脱であると判断されると、その逸脱は、1つ又は複数のプラント・コンポーネントの予知保全を実行するためのトリガとして識別される。いずれかのトリガ条件が検出される場合には、それ自体が、ユーザにアラートを与えるためのトリガである。検出されたトリガに基づき、動作の予め定義された正常範囲からの逸脱であると判断されたことに応答して、少なくとも1つのアクションが推奨される。このアクションは、a) 産業プラントの最適化、b) 複数のコンポーネントのうちの少なくとも1つの予知保全、c) 一人又は複数のユーザへのアラート生成、及びd) 産業プラントのパフォーマンスに影響する1つ又は複数の行動モデルの自己更新のうちの1つ又は複数である。

20

30

40

【0010】

以上の一般的な説明と以下の詳細な説明とは、両者とも例示的及び説明的であるに過ぎず、特許請求の範囲に記載された本発明を限定することはないと理解されるべきである。

【0011】

添付の図面は、本開示に組み入れられてその一部を構成し、例示的な実施例を図解しており、本明細書と共に、開示されている原理を説明するように機能する。

【図面の簡単な説明】

【0012】

50

【図 1】本開示のいくつかの実施例による、自己組織化システムの例示的なアーキテクチャを示す図である。

【図 2】本開示のいくつかの実施例による自己組織化システムの自己監視モジュールのコンポーネントを示す機能ブロック図である。

【図 3】本開示のいくつかの実施例による、図 2 の自己監視モジュールの自己診断モジュールのコンポーネントを示すブロック図である。

【図 4】本開示のいくつかの実施例による、産業プラントの監視を容易にするための、自己組織化システムと監視フレームワークの複数の他のコンポーネントとの相互作用を示す例示的な実装例である。

【図 5】本開示のいくつかの実施例による、図 4 の監視フレームワークのアプリケーション構成モジュールのコンポーネントを示すブロック図である。

10

【図 6】本開示のいくつかの実施例による、図 4 の監視フレームワークのワークフロー・エンジンのコンポーネントを示すブロック図である。

【図 7】本開示のいくつかの実施例による、図 4 の監視フレームワークのモデル統合インタフェース・モジュールのブロック図である。

【図 8】本開示のいくつかの実施例による、図 4 の監視フレームワークのアルゴリズム統合インタフェース・モジュールのブロック図である。

【図 9】本開示のいくつかの実施例による、図 2 の自己監視モジュールを用いた、産業プラントの監視を実行するプロセスに含まれるステップを示す流れ図である。

【図 10】本開示のいくつかの実施例による、図 4 の監視フレームワークの使用の例示的なユース・ケース・シナリオを示す図である。

20

【図 11 a】本開示のいくつかの実施例による、図 1 の自己組織化システムを用いない場合の予測品質を示すグラフ表現である。

【図 11 b】本開示のいくつかの実施例による、図 1 の自己組織化システムを用いる場合の予測品質を示すグラフ表現である。

【発明を実施するための形態】

【0013】

例示的な実施例が、添付の図面を参照して説明される。図面では、参照番号の左端の数字は、その参照番号が最初に現れる図面を識別している。都合のよい場合は常に、同じ参照番号が、同じ又は類似の部分の指すために、図面の全体を通して用いられる。開示されている原理の実例及び特徴が本明細書で説明されるが、修正、適合、及びその他の実装例が、開示されている実施例の範囲から逸脱することなく可能である。

30

【0014】

「産業プラント」（代わりに、「プラント」とも称される）とは、連続的なプロセス・プラント、離散的な製造プラント、又は半離散的連続的なプラントなど、異なるタイプのプラントを意味することが意図されている広義の用語である。例えば、プラントは、鉄鋼プラント、石油精製所、自動車製造プラント、発電プラント、薬剤及び医薬品プラント、医療用デバイス・プラントなどであり得る。プラントは、複数のプラント・コンポーネント又は設備を備え、多くの産業プロセスが、これらのプラント・コンポーネントのうちの 1 つ又は複数によって、プラントが操業中であるどの時点においても、プラントで実行されている。プラントが期待される効率性レベルで実行し、意図された結果を出すためには、プラントを構成するコンポーネントと異なるプロセスとが、望まれる通りに実行しなければならない。これらのコンポーネント及び／又はプロセスのうちのいずれかが意図された通りに実行していない場合、それは、プラントの全体的なスループット及び生産性、生産品質、エネルギー効率性、排出物又は廃棄物又は流出物の放出速度、プラントの利用可能性、設備のメンテナンス・コスト、安全に関係するインシデントの回数など、産業プラントの様々な重要業績評価指標に悪影響を及ぼす可能性があり、プラントが稼働している全体的効率性を低下させる可能性がある。

40

【0015】

適切な監視システムを用いてプラントを監視することにより、プラントのパフォーマンス

50

スの下降を生じさせ得る条件の早期且つ自動的な検出が可能になる。プラントの監視には、コンポーネント及びプロセスと関連する様々なパラメータに関する情報／データ／値の収集と、パフォーマンスに関係するなどの問題でも判断するための、収集されたデータの処理とが含まれる。既存のシステムが直面する1つの課題は、プラントの複雑性のために、特定のパラメータを監視することが困難であるということである。また、プラントのパフォーマンスの下降は、異なる理由によって生じている可能性がある。既存のシステムは、パフォーマンスの下降のための理由を診断できていない。

【0016】

これらの課題に対処するため、本明細書に開示されている方法及びシステムは、全体としてのプラント、又はセンサと、アクチュエータと、コントローラとを含むプラント・コンポーネント及びプラント自動化システムのいずれかのパフォーマンスが所望のパフォーマンス・レベルを満たしていないかどうかを判断する、プラント監視機構を提供し、それに従い、訂正アクションを判断してトリガする。このシステムはまた、物理センサが故障しているか又は機能していないことが判明した場合に、品質データの欠損を、ソフト・センサを通じて一時的又はそれ以外の方法で代替するための手段を提供する。ソフト・センサは、今度は、また、それらのパフォーマンスを確認するため、及び、必要であると判断する場合には、後で説明される自己更新アルゴリズムを介してそれらの行動モデルが更新されることを確認するために、連続的に監視される。一般的な意味で、ソフト・センサは、物理センサ又は計器のデジタル・ツインであり、或いは、測定されないパラメータのためのセンサである。産業プラントの主要要素は、原材料、製品、副産物、廃棄物又は流出物又は放出物、主要及び補助設備、センサ又は計器、プラント自動化システム、産業プラントがその中で動作している環境、並びにプラントを運営している人々である。本明細書に記載されている自己組織化サイバー・フィジカル・システム（SOCPS）は、産業プラントの上述の要素の現状及びパフォーマンスを監視し、それらの行動又はパフォーマンスにおける任意の逸脱の理由を診断し、予測された行動のリアルタイムでの有効化のための重要業績評価指標を予測し、それらの要素並びに全体としての産業プラントの将来の行動及びパフォーマンスを予想し、後で説明されるSOCPSの様々なコンポーネントを通じて、産業プラントの行動とパフォーマンスとをもたらしするための推奨を提供することが期待される。そのようなSOCPSの主要なコンポーネントは、産業プラントの行動モデルである。一般的な意味において、行動モデルは、予測モデル、分類モデル、最適化モデル、又は産業プラントの行動を表すのに用いられる任意の類似のモデルを表し得る。これらのモデルは、それ自体、物理若しくは第1の原理ベースのモデル、統計的若しくは機械学習若しくは深層学習技術を通じて導かれるデータ駆動モデル、ハイブリッド型の物理ベース・プラス・データ駆動モデル、又は物理ベース若しくはデータ駆動モデルを用いても記述不可能な事情若しくは状況のためのファジー論理などの技法を用い得る定量モデルを示し得る。

【0017】

次に図面を参照するが、より具体的には図1～図11bを参照するが、これらの図面では、類似の参照記号は、すべての図面を通じて一貫して対応する特徴を示しており、好適な実施例が示され、これらの実施例は、以下の例示的なシステム及び／又は方法のコンテキストにおいて説明される。

【0018】

図1は、本開示のいくつかの実施例による、自己組織化システムの例示的なアーキテクチャの図解である。自己組織化システム100は、データ・ソース管理モジュール101と、データ取込／インタフェース・モジュール102と、自己更新モジュール103と、データ同期及び統合モジュール104と、自己監視モジュール105と、意思決定モジュール106と、管理モジュール107とを含む。管理モジュール107は、更に、センサ管理モジュール107．aと、モデル管理モジュール107．bと、ワークフロー管理モジュール107．cと、アルゴリズム管理モジュール107．dとを含む。複数の管理モジュール107．a～107．dは、集合的に、管理モジュール107と称される。自己

組織化システム１００は、産業プラントの監視を実行するために、（図４に示されているような）監視フレームワークにおける他のコンポーネントとのインタフェースを有し得る独立のモジュールとして、実装され得る。

【００１９】

自己組織化システム１００は、監視されている産業プラントにおける異なるプロセス及びコンポーネントと関連する様々なパラメータと関係する情報を収集するように構成される。収集され得るデータのいくつかの実例は、これらに限定されることはないが、材料の存在又は関与の認識と、原材料を製品に変換する資産又は設備と、副産物及び破棄物又は放出物と、資産及び動作の状態を測定するのに用いられるセンサと、プラントが動作している環境状態と、プラントを動作させ意思決定を下す人々と、プラントを効率的且つ安全に運転する際に個別の資産又は完全なプラントのレベルでプラント・オペレータ又はエンジニアを助ける自動化システムとである。

【００２０】

データ取込モジュール１０２は、リアルタイム・データと非リアルタイム・データとを、複数のプラント・データ・サーバから受け取る。どのプラントのプラント・データ・サーバも、そのプラントの動きに特有の様々なパラメータに関する情報を記憶し得、この情報は、例えば、材料（原材料、最終製品、中間製品、副産物、固形廃棄物、液体排出物、気体排出物など）の物理的及び化学的特性、プラント動作条件（材料の流速、プラントの特定の設備又は異なる場所における温度及び圧力）、設備の条件（消費電力、流れる電流、スケーリング、ファウリング、振動など）、環境条件（温度、圧力、湿度、風速など）、自動化システムの稼働時間、計器用信号のハートビートなどである。更に、データ・ソース管理モジュール１０１は、プラント・データ・サーバ（「プラント・データ・ソース」とも称される）への接続に関する情報を、データベース４１２に記憶し、１つ又は複数のプラント・データ・サーバとの接続の確立を容易にする。更に、データ同期及び統合モジュール１０４が、様々なユニットの滞留時間に起因するタイム・ラグと、様々なユニットの間での輸送に要する時間と、センサの応答時間とを考慮して、プラントにおけるすべてのプロセス・ユニットからのリアルタイム・データと非リアルタイム・データを同期させてマージする。タイム・ラグ情報は、インド特許出願第ＩＮ２０２０２１００４０４２号に詳述されている機構を用い、自己診断モジュール２１０のタイム・ラグ識別モジュール３１０を用いて判断され得る。更に、マージされたデータは、データベース４１２に記憶される。更に、自己監視モジュール１０５は、ソフト・センサと、資産及びそれらの動作行動の行動モデルと、様々な資産を含むプラントとを監視する。

【００２１】

収集された情報を処理することによって、自己監視モジュール１０５は、個別的にプラント・コンポーネントのそれぞれのパフォーマンス、全体としてのプラントのパフォーマンス、また産業プラントとその様々なコンポーネントとの行動モデルを判断する。それは、物理的な産業プラントとそのデジタル的な対応物との両方を、連続的に監視する。物理プラントの監視は、物理プラントから来るデータを用いて実行され、他方で、デジタル・プラントの監視は、物理プラントの１つ又は複数の行動モデルの予測から来るデータを用いてなされる。更に、コンポーネント・レベルとプラント・レベルとにおいて別々にパフォーマンスを監視することで、もしいくらかでも存在する場合には、コンポーネント・レベルとプラント・レベルとにおけるパフォーマンスの下降を検出することが可能になり、それにより、パフォーマンス訂正アクションが、個別のコンポーネント・レベルでも同様にトリガされることが可能になる。また、プラントの複数のコンポーネントが共に、プラントの異なる「セクション」を構成することもあり得る。あるセクションを形成する異なるコンポーネントからのデータのグループを処理することにより、パフォーマンスの測定／評価が、セクション・レベルでも同様になされることが可能になる。コンポーネントのそれぞれとコンポーネントの全体との予測される／所望のパフォーマンスを表す異なる複数のパラメータ若しくはパラメータの組合せの値又は値の範囲は、データベース４１２に記憶される。自己監視モジュール１０５は、判断されたパフォーマンスと予測されるパフ

10

20

30

40

50

パフォーマンスとを比較して、逸脱を判断する。ある特定の限度までの逸脱が許容され得る場合には、パフォーマンスの閾値が、自己監視モジュール105を用いて構成され得る。判断されたパフォーマンスが所望のパフォーマンスと一致しているか、又は逸脱が逸脱の閾値よりも低い場合には、コンポーネント／プロセスの動きは、動作の「正常範囲」にあるとみなされ得る。いずれかのコンポーネント又はプロセスに関して、判断された逸脱が逸脱の閾値を超える場合には、自己監視モジュール105は、そのコンポーネント／プロセスは動作の正常範囲の外にあると判断する。

【0022】

コンポーネントのうちの少なくとも1つの動作が、動作の定義された正常範囲の外にあることを検出すると、自己監視モジュール105は、自己診断をトリガする。自己診断がトリガされると、自己監視モジュール105の自己診断モジュール210が、判断された逸脱に応答して実行されるべき1つ又は複数のアクションを決定する。自己診断モジュール210は、異なるアクションに対応するトリガを検出するように構成される。ある実施例では、これらのトリガは、構成されているように、異なるパラメータ又はパラメータの組合せの値という観点から、検出され得る。単独で又は組合せとして異なるトリガを形成する異なるパラメータは、図3に示されているように、自己診断モジュール210の適切なコンポーネントを用いて測定され得る。異なるトリガ条件の実例は、下記の通りである。

条件1：先にトリガされた自己最適化の実行が進行中である又は実装されているかどうかをチェックし、はいの場合には、進行中の実行が終了／終結されるまで待機する。進行中の実行が存在しない場合には、自己最適化が、直ちにトリガされる。

条件2：先の最適化が推奨／トリガされたのがいつだったかをチェックする。先の実行から経過した時間が時間の閾値を超えた場合には、自己最適化の実行がトリガされる。そうでない場合には、自己診断モジュール210は、待機し得る。

条件3：パフォーマンス基準のレベルが期待されるレベルを満たしているかどうかをチェックする。そのレベルが期待されるレベルよりも下である場合には、自己最適化の実行がトリガされる。

条件4：監視されているプロセスが定常状態にあるかどうかをチェックして、定常状態にある場合には、自己最適化の実行がトリガされる。

【0023】

同様に、異なるトリガが、これらに限定されることはないが、モデル品質パラメータなどのパラメータの観点から、新たなレジームにフラグが立っているかどうかに基づいて、いずれかの新たな原材料変更が検出されたかどうかに基づいて、などで定義され得る。別の実施例では、トリガは、異なるパラメータ／条件の適切な組合せ（例えば、新たな材料変更及びレジーム・シフト）として定義され得る。

【0024】

パフォーマンスの閾値よりも下であると判断された行動モデルのうちの1つ又は複数のパフォーマンスは、自己診断モジュール210によって、その1つ又は複数の行動モデルの自己更新を実行するためのトリガとして識別される。例えば、行動モデルのうちの1つ又は複数によって生成されている予測が、所望の品質ではない可能性、すなわち、予測の品質が行動モデルの品質の閾値よりも下である可能性があり、その場合には、このモデルは、自己診断モジュール210によって、十分なパフォーマンスを生じないモデルであると解釈され得る。このトリガを識別すると、自己診断モジュール210は、インド特許出願第IN201921019548号に記載されている方法を用いて、1つ又は複数の行動モデルを更新するために自己更新／自己学習機構を実行するように、自己更新モジュール103を呼び出す。自己更新モジュール103は、自己学習モジュール103・aを含む。同様に、産業プラントのパフォーマンスの定義されたベンチマークよりも下であると判断された産業プラントのパフォーマンス・レベルは、自己診断モジュール210によって、産業プラントの最適化を実行するためのトリガとしてみなされ、このシナリオでは、自己診断モジュール210が、プラントの最適化を実行するために、意思決定モジュール106を呼び出す。ある実施例では、プラントがパフォーマンスという観点から定常状態

にあると識別される場合であっても、自己診断モジュール 210 が、プラントの最適化が設定された時間閾値を超える時間期間の間実行されていないと識別する場合には、やはり自己最適化モジュール 106 . b が、自己診断モジュール 210 によってトリガされることがあり得る。同様に、複数のプラント・コンポーネントのうちの 1 つ又は複数のパフォーマンスが、閾値を超えるコンポーネントのパフォーマンスの定義されたベンチマークからの逸脱であると判断されると、その逸脱は、プラント・コンポーネントの予知保全を実行するためのトリガであるとみなされ、このシナリオでは、意思決定モジュール 106 が、自己診断モジュール 210 によって呼び出される。意思決定モジュール 106 は、予知保全モジュール 106 . a と、自己最適化モジュール 106 . b と、オペレータ・ガイダンス・モジュール 106 . c とを含む。自己診断モジュール 210 はまた、トリガされた条件のいずれかが検出される場合には、ユーザへのアラートを生成するように構成され得る。例えば、自己診断モジュール 210 は、1 つ又は複数の予め定義されたタイプのイベントが既に発生している又は予測範囲において発生することが予測されていることを識別し得る。このシナリオでは、自己診断モジュール 210 は、適切なアラートを生成し得、このアラートはまた、イベントに関する情報の特定の量も含み得る。アラートの生成はまた、ユーザ／オペレータを補助するための 1 つ又は複数の推奨を生成することを含み得る。自己更新及び／又は予知保全の間に、意思決定モジュール 106 及び／又は自己更新モジュール 103 は、センサ管理モジュール 107 . a と、モデル管理モジュール 107 . b と、ワークフロー管理モジュール 107 . c と、アルゴリズム管理モジュール 107 . d とを、自己更新モジュール 103 及び意思決定モジュール 106 によって命じられるように、センサ、モデル、ワークフロー、及びアルゴリズムをそれぞれ管理するために、トリガする／呼び出す。

【0025】

プラント及びそのコンポーネントの行動モデルのメンテナンス、並びに行動モデルの自己更新は、それらのパフォーマンスが、プラントとそのコンポーネントとが期待されるレベルで実行することを保証するための所望のレベルに到達するまで反復される。

【0026】

図 2 は、本開示のいくつかの実施例による、自己組織化システム 100 の自己監視モジュール 105 のコンポーネントを示す機能ブロック図である。自己監視モジュール 105 は、データ品質検証モジュール 202 と、センサ及びアクチュエータ監視モジュール 204 と、ソフト・センサ・モジュール 206 と、データ前処理モジュール 208 と、自己診断モジュール 210 とを含む。

【0027】

自己監視モジュール 105 は、複数のレベルで機能するように構成される。最も低いレベルでは、自己監視モジュール 105 は、プロセス変数、アクチュエータ信号、又はコントローラ出力のプラント測定値を、本質的には対応する物理エンティティのデジタル・ツインであるそれらの対応するソフト・センサを用いて監視する。自己監視モジュール 105 は、資産とそれらの動作行動とを監視する。最も高い又は大局的なレベルでは、自己監視モジュール 105 は、完全な産業プラントのパフォーマンスを大局的なレベルで最適化するために、様々な資産と、プラントで行われている動作／プロセスと、材料及びその流れと、プラントが動作する環境と、プラントを動作させる人々／ユーザと、個々の資産又は動作レベルで動作する自動化システムとを備える、完全な産業プラントを監視する。自己監視モジュール 105 は、センサ及び材料レベル並びに大局的な産業プラント・レベルにおいて機能し、すべての他の自己組織化の特徴、すなわち自己診断と自己学習と自己最適化とをリンクさせるという意味で、システム全体を統合させる。自己監視モジュール 105 はまた、それらの予測能力のどのような劣化にも対応する多くのソフト・センサを監視するため、プラント・データ並びに行動モデルの予測を用い、そのような劣化は、例えば、センサの物理的故障、センサの不適切又は頻繁ではない較正、センサの行動モデルの予測能力の劣化などの複数のファクタに起因して生じ得る。

【0028】

自己監視モジュール105は、データ同期及び統合モジュール104から、プラント・データを受け取る。更に、センサ及びアクチュエータ監視モジュール204は、データの特性が、予め定義された受け入れ可能な範囲内にあるかどうかをチェックするため、受け取られたデータを処理する。センサ及びアクチュエータ監視モジュール404は、任意の適切なデータ処理手段を用い得る。データ品質を検証するためにデータの進んだ処理が要求される場合には、センサ及びアクチュエータ監視モジュール204は、多変量解析又は任意の他の類似のデータ処理手段を含む進んだ品質検証を行うデータ品質検証モジュール202を呼び出す。更に、センサ及びアクチュエータ監視モジュール204は、測定されない、非リアルタイムで測定される、測定が困難である可能性がある、又は物理センサが誤作動しているときの、重要な内部プロセス変数に関する情報を取得するため、ソフト・センサ・モジュール206を呼び出すことがある。ソフト・センサ・モジュール206は、行動モデル及び産業プラントから入手可能なデータの助けを得て、そのような変数の値の予測を行う。データ前処理モジュール208は、更に、ギャップ、スパイク（外れ値）、異常などが存在するかどうかを判断するためにデータを処理して、欠けているデータを帰属させ、又は外れ値の除去を実行する。更に、自己診断モジュール210が、産業プラントから受け取られたデータと履歴データとに基づいてプロセスと設備とを監視し、適切なアクションを実行するために異なるモジュールを呼び出す（例えば、意思決定モジュール106及び／又は自己更新モジュール103を呼び出す）。

【0029】

図3は、本開示のいくつかの実施例による、図2の自己監視モジュール105の自己診断モジュールのコンポーネントを示すブロック図である。自己診断モジュール210は、定常状態／非定常状態識別モジュール302、定常状態評価モジュール306、タイム・ラグ識別モジュール310、レジーム・シフト解析モジュール314、原材料識別モジュール318、残存耐用年数（RUL）評価モジュール304、リアルタイム根本原因解析モジュール308、特徴抽出モジュール312、特徴強度評価モジュール316、アラーム診断モジュール320などを含む。自己診断モジュール210は、プロセス状態を監視し、適切なアクションを実行するために異なるモジュールを呼び出す。自己診断モジュール210のコンポーネント／ブロックは、定義されたトリガ条件のタイプに応じて変化し得るということが留意されるべきである。例えば、レジーム・シフト解析モジュール314は、レジーム・シフトに関するいずれかのトリガが検出される場合にのみ、自己診断モジュール210に含まれるべきである。

【0030】

データ前処理モジュール208から受け取られたデータ及び情報に基づき、自己診断モジュール210は、いくつかのアクティビティを実行し、これらのいくつかのアクティビティは、定常状態又は非定常状態という観点でプラントの現状を識別することと、従属変数若しくは1組の従属変数に対する特定の独立プロセス変数又は1組の変数の効果の評価を提供するタイム・ラグを判断すること（製造動作の動態が低速であるとき、例えば、あるプロセスの生産性又はある製品の品質に対する特定の原材料の物理又は化学特性の効果を見るのにどのくらい時間を要するのかが、プラントの最適化及び制御のためにプラント・オペレータによって要求されるワンキー入力の1つであるときには、これは極めて有用である）と、意思決定モジュール又は自己更新モジュールをトリガすべきかどうかを理解するために、プラントの動作のレジームを識別する（インド特許出願第IN201921039286号に記載されている方法を用いて）ことと、ある設備のメンテナンス・アクティビティをいつ実行すべきかの適切な助言をオペレータに提供するために、その設備の健全性又は状態における異常を検出することと、リアルタイムでの根本原因解析を介して、プラント・パフォーマンスの劣化を生じさせている主要ファクタを識別することと、センサからの信号又は時系列データから特徴を抽出することと、プラント・オペレータに見通しを提供するか又は自己組織化システムの行動モデルへの入力として提供するか of どれかのために、これらの抽出された特徴を利用することとを含み得る。自己診断モジュール210は、意思決定モジュール103又は自己更新モジュール106のいずれかをトリ

がすべきかどうかに関する判断を下すためだけでなく、産業プラントが自律的な状態で動作することを助ける重要なデータ及び情報を、意思決定モジュール103及び自己更新モジュール106に提供するためにも、図3に列挙されているようなコンポーネントを用いる。

【0031】

図4は、本開示のいくつかの実施例による、産業プラントの監視を容易にするための、自己組織化システム100と監視フレームワークの複数の他のコンポーネントとの相互作用を示す例示的な実装例である。監視フレームワークは、ユーザ・アプリケーション・モジュール402と、アプリケーション構成モジュール404と、自己組織化システム100と、ワークフロー・エンジン406と、アナリティクス・エンジン408と、データベース412と、モデル・リポジトリと、モデル統合インタフェース・モジュールと、第三者ソフトウェア／コードと、ワークフロー・リポジトリと、アルゴリズム・リポジトリと、アルゴリズム統合インタフェース・モジュールと、第三者機械学習／深層学習／数値アルゴリズムとを含む。

【0032】

自己組織化システム100は、産業プラントの様々なリアルタイム及び非リアルタイムのデータ・ソースからのデータ、並びにアーカイブされている履歴データを取り込み、物理エンティティ、すなわち、資産、ユニット動作又は完全な産業プラントと協力することにより、考察中の物理システム又はプロセスと関係する重要業績評価指標（KPI）の最適化のために、プラント・オペレータ及びエンジニアに、リアルタイムの判断を提供する。

【0033】

監視フレームワークは、プラントの動作状況を改善するため、ほぼリアルタイムでの判断を提供するように、製造業における物理システム又はプロセスの行動をデジタル的に模倣する自己組織化システム100を作成するために用いられる。最初に、観察若しくは監視されなければならない産業プラントの物理システム又はプロセスが、アプリケーション構成モジュール404を介し、監視フレームワークを用いて構成され、構成は、センサ、設備、データ・ソース、モデル、ワークフローなどの資産の観点からなされる。更に、自己組織化システム100は、ワークフロー・リポジトリから適切なワークフローを呼び出すため、実際の産業プラントにおいて、構成されたシステム又はプロセスを監視する。更に、ワークフロー・エンジン406が、呼び出されたワークフローのワークフロー定義を読み出し、各ワークフロー・ステップがアルゴリズム・リポジトリに記憶されていた1つ又は複数のアルゴリズムを含む、ワークフロー・ステップを実行する。ワークフロー・エンジン406は、ワークフロー・ステップで呼び出されるアナリティクス・アルゴリズムを実行するためのアナリティクス・エンジン408を呼び出す。更に、ワークフロー実行の結果が、ユーザ・アプリケーション・モジュール402を通じて、ユーザに表示される。

【0034】

データベース412は、数値のような構造化データと、テキスト、画像、音声及び動画のような非構造化データとを記憶する。更に、データベースは、これらに限定されることはないが、監視フレームワークで動作している複数のサービスによって用いられるデータ、システム100で動作している複数のサービスによって生成されるログ、予め構築されたドメイン知識、複数のプラント・データ・ソースからの生のデータ及び対応する処理済みのデータ、プラント・データから抽出された知識、公的に入手可能なソースから取得された知識、などを含む。プラント・データ・ソースは、これらに限定されることはないが、分散制御システム（DSC：Distributed Control Systems）、ヒストリアン（Historians）、監視制御及びデータ取得システム（SCADA：Supervisory Control and Data Acquisition Systems）、ラボラトリ情報管理システム（LIMS：Laboratory Information Management Systems）、製造実行システム（MES：Manufacturing Execution Systems）、企業リソース計画（ERP：Enterprise Resource Planning）システ

10

20

30

40

50

ム、製造動作管理（MOM：Manufacturing Operations Management）システム、などを含み得る。

【0035】

モデル・リポジトリは、自己組織化システム100によって呼び出される複数のモデルを記憶する。これらのモデルは、コンポーネントの行動を捕捉し、ソフト・センサのためのモデル、最適化モデル、分類モデル、異常検出モデル、原因又は感度モデル、及び関連モデルなどのうちの1つ又は複数を含み得る。モデル・リポジトリはまた、第三者ソフトウェア／コード（物理ベース／機械学習（ML：Machine Learning）／深層学習（DL：Deep Learning）／ハイブリッド型の物理ベース・プラス・データ駆動モデル）も含み得る。モデル統合インタフェース・モジュール116は、外部の機械学習（ML）モデル／物理モデル／ハイブリッド型の物理ベース・プラス・データ駆動モデルが、システム100と共に機能することを可能にする。第三者ソフトウェア／コード（物理ベース／機械学習（ML）／深層学習（DL）／ハイブリッド型の物理ベース・プラス・データ駆動モデル）は、特定のガイドラインに従い、ユーザ入力として受け取られる。ワークフロー・リポジトリは、ワークフロー・エンジン406による実行のためのワークフローに関係するデータを記憶する。アルゴリズム・リポジトリは、第三者機械学習（ML）／深層学習（DL）／数値アルゴリズムを含む、複数の機械学習又は深層学習又は数値アルゴリズムを記憶する。アルゴリズム統合インタフェース・モジュールは、外部の機械学習（ML）／深層学習（DL）／数値アルゴリズムが、システム100と共に機能することを可能にする。第三者機械学習（ML）／深層学習（DL）／数値アルゴリズムは、特定のガイドラインに従い、ユーザ入力として受け取られる。数値アルゴリズムは、製造動作の物理ベース・モデルを解くのに広く用いられる代数方程式、常微分方程式、偏微分方程式、微分代数方程式の組を解くためのアルゴリズムを含み得る。

【0036】

これらに限定されることはないが、機械学習（ML）、深層学習（DL）、転移学習（TL：Transfer Learning）、強化学習（RL：Reinforcement Learning）、及び物理ベース・モデル（PBM：Physics Based Models）など、要求される数の数学又は数値アルゴリズムが、行動モデルを構築し、動作させる／用いるために用いられ得る。必要条件に基づいて、これらのモデルが、産業プラントの行動及びパフォーマンスを捕捉するために、単独で又は組合せて、用いられ得る。加えて、これらの行動モデルによって表される複数の業務上の拘束条件を保持するプラントの生産性を向上させることをユーザが求める際の最適化問題を解くためには、数値最適化アルゴリズムなど、特定の他のアルゴリズムが用いられる。最適化アルゴリズムは、デリバティブ・ベース、非デリバティブ・ベース、確率的、強化学習ベースなどであり得る。同様に、PBMは、線形若しくは非線形の代数方程式又は微分方程式であり得、それらの方程式は、ニュートン・ラフソン法、ルンゲ・クッタ法、有限差分法、又は有限体積法などの適切な数値アルゴリズムを用いて解くことができる。すべてのこれらの数値又はシンボリック・アルゴリズムが、本明細書では、集合的にアルゴリズムと称され、行動モデルを形成するのに用いられ得る。

【0037】

ある実施例では、自己組織化システム100が、以下のステップを実行することによって、行動モデルをリアルタイムで生成し得る。このプロセスでは、自己組織化システム100が、産業プラントを監視することによって、産業プラントの動きの特性を表すリアルタイム・データを収集する。自己組織化システム100はまた、過去の例における産業プラントの動きを表すデータを、履歴データとして収集し記憶する。自己組織化システム100は、リアルタイム・データと履歴データとを前処理することによって、前処理されたデータを生成する。自己組織化システム100は、次に、物理ベース又はデータベースのモデルを用いることによって、産業プラントの測定不可能なパラメータの値をシミュレートする。「測定不可能」という用語は、産業プラントの複雑性に起因してリアルタイムで測定されることが不可能な特定のデータを表し得る。別の実施例では、「測定不可能」と

いう用語は、任意の一時的な技術的欠陥に起因して、ある場合に測定されることが不可能な特定のデータを表し得る。更に、前処理されたデータとシミュレートされたデータとを組み合わせることによって、統合されたデータが生成される。次いで、この統合されたデータが、1つ又は複数のデータ・モデルのそれぞれを生成するために用いられる。上述された異なるタイプのアルゴリズムは、単に例示目的だけのものであって、本明細書に開示されている実施例の範囲を限定することは意図していない、ということが留意されるべきである。必要条件に基づいて、任意の適切なモデルが選ばれて用いられることがある。

【0038】

図5は、本開示のいくつかの実施例による、図4の監視フレームワークのアプリケーション構成モジュールのコンポーネントを示すブロック図である。アプリケーション構成モジュール404は、1つ又は複数のアプリケーション・プログラム・インタフェース（API：Application Program Interfaces）を通じて、観察若しくは監視されなければならない物理システム又はプロセスを構成する。アプリケーション構成モジュール404は、2組のRESTfulアプリケーション・プログラム・インタフェース（API）、すなわち、（i）構成アプリケーション・プログラム・インタフェース（API）502と、（ii）実行サービスAPI 504とを提供する。構成API 502のうちのいくつかは、これらに限定されることはないが、センサ管理API 502a、資産管理API 502b、及びモデル管理API 502cである。同様に、実行サービスAPI 504は、更に、これらに限定されることはないが、監視API 504a、診断API 504b、予測API 504cなどを備える。必要条件に基づき、適切なAPIが用いられ得る。

【0039】

図6は、本開示のいくつかの実施例による、図4の監視フレームワークのワークフロー・エンジン406のコンポーネントを示すブロック図である。ワークフロー・エンジン406は、監視フレームワークをサポートするための新たなアプリケーションのために、新たなワークフローが生成されることを可能にする。図4における監視フレームワークは、基本的な1組のワークフローを用いて作成されるが、新たなアプリケーションの要件を満たすためには、新たなワークフローを連続的に作成する必要性が存在することになる。与えられているアプリケーションのために特定のワークフローを実行することに加え、ワークフロー・エンジン406はまた、監視フレームワークにおいてまだ利用可能でない新たなワークフロー、又は構成されることが不可能な若しくはカスタマイズが容易でない新たなワークフローを作成するのに用いられることが可能である。ワークフロー・エンジン406は、ワークフロー・デザイナー・モジュール602と、ワークフロー・トラバーサ・モジュール604と、ノード実行モジュール606と、アルゴリズム実行モジュール608と、ダッシュボード作成モジュール610とを含む。

【0040】

ワークフロー・エンジン406は、ワークフロー定義を読み出し、ワークフロー・ステップを実行する。最初に、ワークフロー・デザイナー602を用いて、グラフの形式でワークフローが作成され、構成され、保存される。更に、ワークフローが実行され、ワークフローの実行は、ワークフロー・グラフの各ノードの実行を含む。ワークフロー・トラバーサ・モジュール604は、複数のノードのうちの第1のノードから出発して、ワークフロー・グラフを横断する。それは、ノードの構成、作用されるデータ・フレーム、及び実行されるアルゴリズムを用いて、ノード実行モジュール606を呼び出す。更に、ノード実行モジュール606は、アルゴリズムを実行するために、アルゴリズム実行モジュール608を呼び出す。更に、ノード実行モジュール606は、ステータスをダッシュボード作成モジュール610に送り、結果を保存し、その結果は、変換されたデータ、モデル、アルゴリズム・パラメータ、又は知識データベースへの更新という形式であり得る。ダッシュボード作成モジュール610は、結果を生成してユーザに表示するために、視覚化エンジン612と報告エンジン614とを用いることができる。その後、ワークフロー・トラバーサ・モジュール604は、ワークフロー・グラフにおける次のノードに移動し、ワー

クフローにおける全部のノードが実行されるまで、上述したステップが反復される。

【0041】

図7は、本開示のいくつかの実施例による、図4の監視フレームワークのモデル統合インタフェース・モジュールのブロック図である。モデル統合インタフェースは、外部のモデルが自己組織化システム100における既存のモデルと共に実行されることが可能であるように、外部の機械／深層学習又は物理ベースのモデル（実行可能）／ハイブリッド型の物理ベース・プラス・データ駆動モデルの統合を可能にする。外部モデルは、モデル・アップロード・モジュール702を用い、モデル統合インタフェースによる入力として収集される。更に、モデル管理モジュール107・bが、提供されるモデル定義を有効化し、有効であることが判明すれば、モデル定義がモデル・リポジトリに追加される。

10

【0042】

図8は、本開示のいくつかの実施例による、図4の監視フレームワークのアルゴリズム統合インタフェース・モジュールのブロック図である。アルゴリズム統合インタフェースは、必要条件に従って、第三者アルゴリズムが監視フレームワークにおける既存のアルゴリズムと共に実行されることが可能となるように、第三者機械学習（ML）／深層学習（DL）／数値アルゴリズム126の統合を可能にする。第三者アルゴリズムは、アルゴリズム・アップロード・モジュール802を通じ、入力として受け取られ得る。更に、第三者アルゴリズムは、アルゴリズム管理モジュール107・dを用いて有効化され、アルゴリズム・リポジトリに追加される。

【0043】

20

図9は、本開示のいくつかの実施例に従って、図2の自己監視モジュールを用い、産業プラントの監視を実行するプロセスに含まれるステップを示す流れ図である。監視フレームワークの様々なモジュール／コンポーネント、自己組織化システム100を含むコンポーネントのそれ、及び同様に自己監視モジュール105のそれとは、図面のどれにも明示的には示されていないが、1つ又は複数のハードウェア・プロセッサの実装例である。（各ステップにおける特定のモジュールとして表されている）1つ又は複数のハードウェア・プロセッサを用いて実行されると、複数の命令が、産業プラントの監視と本明細書に記載されている関連するアクションとを生じさせる。

【0044】

ステップ902では、自己監視モジュール105が、監視されている産業プラントの複数のコンポーネントのそれぞれから、プラント・データを収集する。ステップ904では、自己監視モジュール105が、入力データが微調整されて更なる処理のために要求される予め定義されたデータ標準を満たすように、適切なデータ処理手段を用いることにより、収集された入力データの条件付けを行う。自己監視モジュール105は、次に、センサ及びアクチュエータ監視モジュール204を用いて、プラント・データの解析を実行する。プラント・データの解析は、以下のステップを含む。ステップ906では、自己監視モジュール105が、産業プラント・データの判断された品質が産業プラント・データの品質の定義された閾値を満たすかどうかを判断する。産業プラント・データの品質の定義された閾値を満たさないと判断された産業プラント・データの品質は、自己監視モジュール105によって、データの悪い品質のデータ例であると解釈され得る。「データの悪い品質の例」という用語は、プラント・データの少なくとも一部が、産業プラント・データの品質の定義された閾値より下の品質を有することを指す。自己監視モジュール105は、ソフト・センサ・モジュール206の一部である複数のソフト・センサを用いて、データの悪い品質と判断されたどの例であっても補償するため、追加データを生成する。データの品質を要求されるように改善した後で、自己監視モジュール105は、次に、プラント・コンポーネントのパフォーマンス・レベルにおいて検出されたどの逸脱にも応答して実行されるアクションを判断するため、ステップ910で、自己診断を実行するために自己診断モジュールをトリガし、次に、自己診断モジュールが、判断されたアクションを実行すべき適切なモジュールを呼び出す。ステップ910・aでは、収集された情報を処理することによって、自己監視モジュール105が、プラント・コンポーネントのそれぞれの

30

40

50

パフォーマンスを別々に判断し、全体としてのプラントのパフォーマンスを判断する。判断されたパフォーマンスと予測されたパフォーマンスとを比較することによって、自己監視モジュール105は、プラント及びプラント・コンポーネントが動作の「正常範囲」の外で動作しているかどうかをチェックして判断し、はいの場合には、ステップ910．bにおいて、実行されるべき1つ又は複数のアクションのためのトリガを識別する。更に、適切なモジュールが、コンポーネント、プロセス及びプラントのパフォーマンスが期待されるレベルになるまで、判断された1つ又は複数のアクションを実行するために呼び出される。様々な実施例では、方法900におけるステップが、示されているのと同じ順序で実行されることがあり得、又は、技術的に実行可能な任意の代替的な順序で実行されることもあり得る。別の実施例では、方法900における1つ又は複数のステップが、削除されることもあり得る。

10

【0045】

図10は、本開示のいくつかの実施例による、図4の監視フレームワークの使用の例示的なユース・ケース・シナリオを示す。

【0046】

その物理ツインを用いる自己組織化システム100の現実の動作機構が、図10に示されている。リアルタイム・データが、産業プラントにおけるデータベースから、監視フレームワーク／サイバー・フィジカル・システムに流れる。サイバー・フィジカル・システムは、リアルタイム・データ並びに履歴データを処理し、自己組織化システム100が作成された範囲及び目的に応じて、資産又はユニット動作又は全体的な産業プラントの動きを向上させるためのリアルタイムの実施可能な推奨を戻す。展開の時点での自己組織化システム100は、展開の時点における必要性に対処する特定の能力を有し得る。しかし、自己組織化システム100は、オフライン解析及びシミュレーションを通じてリアルタイム・データ並びに履歴データにアクセスすることで、どのような将来の必要条件にも対処するため、意思決定能力を強化するように更新されることが可能である。必要条件によって自己組織化システム100をスケーリングするプロセスは、必要に応じて必要なときに手動でトリガされ得、又は（定期的なメンテナンスのような）自動化プロセスでもあり得る。例えば、実行のために比較的長い時間を要する物理ベースのモデルを用いるシミュレーションが、物理ベースのモデルからシミュレートされた又は予想されたデータを提供するように、予め定義された間隔で呼び出されることがあり、物理ベースのモデルからのこのデータは、行動モデルを生成するために、プラントからのリアルタイムのデータと共に用いられ、生成された行動モデルが、次に、プラントのパフォーマンスを判断／評価するために用いられる。シミュレートされたデータはまた、将来における使用のために、対応するリアルタイムのデータと共に、そのプラントの知識ベースにアーカイブされることもあり得る。

20

30

【0047】

図10に示されているように、自己組織化システム100は、任意の産業プラントを監視するために、監視フレームワークの他のコンポーネントと共に展開されることがあり得る。展開されると、自己組織化システム100は、（プラント・データ・ソース及びプラント・サーバなどの）1つ又は複数のデータ・ソースからプラント・データを収集するか、又は適切なセンサを用いて直接測定する。プラント・データを収集した後で、方法900のプロセスが、正常な動きからのどのような逸脱であっても検出し、適切な訂正アクションを検出しトリガするように実行され得る。適切なワークフロー、アルゴリズム、及び他のデータが、本明細書に開示されている実施例に詳説されているように選択され、用いられ得る。これが、以下で説明されるユース・ケース・シナリオにおいて、更に説明される。

40

【0048】

ユース・ケース・シナリオ：焼結プラントと協働する自己組織化システム100の動き

この例示的なユース・ケース・シナリオでは、考察されているプラントは、焼結プラントである。必要条件をよりよく理解するために、焼結プラントの動き（焼結プラントのプ

50

ロセス)が、以下で説明される。

【0049】

焼結プラントのプロセスの説明

鉄鉱石の焼結プロセスの間、サイズの範囲が0.15~10mmの微粉鉄鉱石が、溶剤、固形燃料、及び様々な鉄鋼プラント・リバート(steel plant revert s)と共に、銑鉄の生産のために溶鉱炉の中へ充填されることが可能なサイズ範囲5~40mmの鉄鉱石焼結鉱を形成するように、焼結(又は、融合)される。焼結に用いられる様々な原材料、すなわち微粉鉄鉱石、溶剤、固形燃料、及び鉄鋼プラント・リバートが、焼結の所望の化学的組成に従い、特定の比率でブレンドされ、オープン・ヤードに備蓄される。備蓄は、混合物の化学的及び物理的な均質性を保証するように行われる。典型的には「ベース・ミックス」として知られている原材料の混合物が、備蓄から回収され、焼結プラントに送られる。焼結プラントでは、更に、固形燃料と溶剤とが、焼結の所望の化学的組成を達成するように、ベース・ミックスに加えられる。溶鉱炉には適さない小型の焼結である焼結返鉱及び造粒に役立つ結合剤もまた、ベース・ミックスに加えられる。

【0050】

原材料のこの混合物が、連続的に回転しているドラムに与えられ、ドラムでは、混合と造粒との補助になるように、水が噴霧される。造粒の間、固体の中の微細な粒子が、水と結合剤との存在下で、粗い粒子に付着され、サイズ分布がより狭く平均サイズがより大きな結果的混合物は、「グリーン・ミックス」として知られる。このグリーン・ミックスは、特定の高さ及び幅のベッドの形式の連続的に動いている焼結ストランドに与えられる。このベッドの上面は、グリーン・ミックスに存在する固形燃料の燃焼を開始させるため、点火フードを用いて、1100~1200℃の高温で、点火される。点火は、複数のウインド・ボックスを用いてベッドの上部からベッドの底部に向かう持続吸引器を用いて、維持される。固形燃料の燃焼によって形成される火炎前面は、炉の排出端の近傍で、グリーン・ミックスの底部に到達する。

【0051】

火炎前面の位置が、ウインド・ボックスを通過して流れるオフガスの温度を決定する。焼結完了点(BTP: burn-through point)として知られている最高のオフガス温度は、ストランドにおける焼結プロセスの決定的なインジケータである。それは、ストランド速度、点火フード温度、及び吸引などの変数を操作することによって、厳密に監視され制御される。それはまた、すべてが造粒プロセスによって決定付けられる平均サイズ、多孔性、及び含水量などの多孔性のベッド特性に依存する。焼結の間、グリーン・ミックスは、水分の乾燥、燃料の燃焼、溶剤の焼成、並びに溶融及び凝固など、様々な生理化学的プロセスを経験する。このプロセスの終了時に、グリーン・ミックスは、シンターケーキに変換され、焼結ストランドからクラッシャへ、その後は、強制通風による環状冷却器に排出される。粉碎されたシンターケーキは、冷却器の中における冷却の後で、返鉱として知られている小型の粒子(5mm未満)を除去するために、更に粉碎され、スクリーニングがなされる。典型的には5~40mmという範囲のサイズを有する焼結製品は、コンベア・ベルトを介して溶鉱炉へ運ばれる。

【0052】

技術的問題

多くの焼結プラントにおいて、鉄鉱石と溶剤とは、複数のソースから調達され、複数のソースから調達されることにより、焼結動作と焼結品質とを混乱させるこれらの材料の化学的組成及びサイズ分布の頻繁な変化が生じることになる。しかし、焼結品質は、(4時間~24時間ごとの)定期的のみ入手可能であって、その理由は、焼結のサンプルが、それらの化学的組成、サイズ分布、寒冷強度(タンブラ強度)、及び高温特性(還元粉化性)に関し、実験室において、定期的に収集され解析されるからである。焼結の品質はリアルタイムでは知られないので、焼結の品質を維持するために必要とされるどの訂正アクションも遅延し、焼結品質の広範な変動と焼結プラントの最適未満の動作を引き起こす。この問題に対処するため、プラントの履歴動作データ並びに実験室データを用いた焼結品

質パラメータのための機械学習技術を用いて、予測モデルを開発することが可能である。そのようなモデルは、2～4時間前に、焼結品質を予想することが可能であり、実験室での試験結果を待つ必要なく、焼結品質を維持するようにプラントを調整するために十分な時間をオペレータに与えることになる。例えば、機械学習モデルが、例えば、供給固体の流速、バインダ・パーセンテージ、含水量、ベッドの高さ、ストランド速度、点火条件、吸引、冷却ベッドの高さ、冷却圧力などのプラントの動作データ、並びに、例えば、供給固体のサイズ分布、供給固体の化学的組成、グリーン・ミックスのサイズ分布などの実験室データを用い、焼結のタンブラ強度に対して、開発されることが可能であり、実験室での解析を2～4時間も待機することなく、リアルタイムでタンブラ強度の予測値を得るのに用いられることが可能である。収集されたサンプルの測定値が入手可能になると、対応する予測値との比較も可能である。

10

【0053】

しかし、タンブラ強度のために開発されたものなどの予測モデルは、そのモデルで用いられる入力変数に強く依存しており、入力変数の値が特定の規定された範囲内には、不正確な予測を与え得る。タンブラ強度の場合、このモデルは、点火フードの温度であり、典型的には点火フードの4～6箇所で測定される点火温度に強く依存する。点火フードにおける温度は、典型的には、1100～1250℃の範囲にある。そのような高温であることにより、点火フードに配置された熱電対は、しばしば焼き切れることになり、誤った値（1000℃などの、より低い温度、又は5℃などの非常に低い値）を記録する。これらの誤った値は、次に、タンブラ強度の不正確な予測を生じさせる可能性がある。オペレータは、焼結品質を調整するために、これらの不正確な予測に従って不必要に行動する可能性があり、結果的に、プラントの円滑な動作を妨げることがあり得る。したがって、プラント動作が円滑であり、焼結品質がすべての時点で維持されることを保証するには、リアルタイムにおいてすべての不正確な／誤った測定値を検出し、診断して、修正することが重要である。

20

【0054】

問題への対処

誤った測定値という問題と、品質予測及び焼結プラントのその後の動作に対するその影響とは、本明細書に開示されているシステム及び方法を用いて対処が可能である。誤った点火温度という問題と、タンブラ強度予測へのその影響とを考察すると、センサ及びアクチュエータ監視モジュール204が、表示が1150～1250℃という規定の限度内にあるかどうかをチェックするために、リアルタイムで点火温度を監視する。複数の熱電対のうちの1つが故障していることにより測定値が1150℃よりも低いときには、センサ及びアクチュエータ監視モジュール204は、すべての点火フード温度測定値に關与する先進の多変量データ前処理解析を実行するデータ品質検証モジュール202を呼び出す。この解析から、温度の低下がすべての熱電対を横断して一貫しており、それがプロセスの異常、例えば、バーナへの燃料フロー若しくは燃焼空気フローの低下であり得ることを示唆している場合、又は温度の低下が熱電対のうちの1つに局所化されている場合には、それは、センサの問題であること、例えば熱電対の焼損を示唆し得ると判定する。問題の根本原因が熱電対のうちの1つにおける熱電対の焼損であると識別される場合には、それに従って、オペレータがアラートを受け取る。同時に、（故障した熱電対に対する）点火温度のためのソフト・センサが起動し、タンブラ強度の予測は、不正確な測定値の代わりに、点火温度に關するソフト・センサによる値を用いて継続する。センサのグループやアクチュエータ信号の値が期待されるパターン又は行動モデルによって捕捉された値に従わないときには、類似のアプローチに従うことになる。実際に報告された値が信頼できなくなったときは、すべての測定値、アクチュエータ入力、又はコントローラ信号に対して、ソフト・センサ・モデルが代替し、データが信頼できることが確立されたときには、モデルの品質を確認するために用いられる、ということを見るのが可能である。モデルの予測精度が様々な理由から所望のレベルを逸脱するときには、自己診断モジュール210がトリガされる。

30

40

50

【0055】

自己組織化システム100を用いない場合と用いる場合とにおける、点火温度の傾向とタンブラ強度の予測とが、図11a及び図11bに、それぞれ示されている。本明細書に開示されている機構を用いない場合である図11aから明らかなように、タンブラ強度の予測は、熱電対の故障が原因である不正確な表示に起因して、不正確であると思われる。しかし、熱電対の故障が検出されると、自己組織化システム100はソフト・センサを起動し、ソフト・センサのデータが、故障した熱電対からの不正確なデータを代替する。結果的に、対応する予測は、正確な状態に維持される。これが、図11bに示されている。

【0056】

記載されている説明は、任意の当業者が実施例を作成及び使用できるように、本明細書における主題を説明している。主題の実施例の範囲は、特許請求の範囲によって定義され、当業者が思いつく他の修正を含み得る。そのような他の修正は、特許請求の範囲の文字通りの文言と異ならない類似の要素を有する場合、又は特許請求の範囲の文字通りの文言と実質的ではない差を備えた均等の要素を含む場合には、特許請求の範囲の範囲内であることが意図されている。

【0057】

本明細書における本開示の実施例は、産業プラントの監視という未解決の問題に対処するものである。よって、実施例は、産業プラントのパフォーマンスが動作の定義された正常範囲の外にあるかどうかを判断するための方法及びシステムを提供する。更に、本明細書の実施例は、個別的なプラント・コンポーネント及び全体としてのプラントのパフォーマンスを向上させるために、これらに限定されることはないが、プラントのメンテナンス、行動モデルの自己更新などのアクションをトリガする機構を更に提供する。

【0058】

保護の範囲は、そのようなプログラムと、更に、内部にメッセージを有するコンピュータ可読手段とに拡張され、そのようなコンピュータ可読記憶手段は、サーバ、又はモバイル・デバイス、又は任意の適切なプログラマブル・デバイスにおいてプログラムが実行されたときに、方法の1つ又は複数のステップを実現するためのプログラムコード手段を含むことが理解されるべきである。ハードウェア・デバイスは、例えば、サーバ若しくはパーソナル・コンピュータなど任意の種類のコンピュータ又はこれらの任意の組合せを含む、プログラムされることが可能な、任意の種類のデバイスであり得る。デバイスはまた、例えば、特定用途向け集積回路（ASIC：application-specific integrated circuit）、フィールド・プログラマブル・ゲート・アレイ（FPGA：field-programmable gate array）などの、例えばハードウェア手段であり得るか、又は、例えばASIC及びFPGA、若しくは少なくとも1つのマイクロプロセッサとソフトウェア処理コンポーネントがその中に配置されている少なくとも1つのメモリとなど、ハードウェア手段とソフトウェア手段との組合せであり得る手段を含む場合がある。したがって、これらの手段は、ハードウェア手段とソフトウェア手段との両方を含むことがあり得る。本明細書に記載されている方法の実施例は、ハードウェア及びソフトウェアに実装されることが可能である。デバイスは、また、ソフトウェア手段を含むこともあり得る。代替的に、例えば、複数のCPUを用いて、異なるハードウェア・デバイス上に、実施例が実装されることも可能である。

【0059】

本明細書における実施例は、ハードウェア要素とソフトウェア要素とを含むことがあり得る。ソフトウェアに実装される実施例は、これらに限定されることはないが、ファームウェア、常駐ソフトウェア、マイクロコードなどを含む。本明細書に記載されている様々なコンポーネントによって実行される機能は、他のコンポーネント、又は他のコンポーネントの組合せに実装される場合もあり得る。この説明のために、コンピュータ使用可能媒体又はコンピュータ可読媒体は、命令実行システム、装置、若しくはデバイスによって用いられるプログラムを、又はこれらと接続されて用いられるプログラムを含む、記憶する、通信する、伝播する、又は転送することが可能な任意の装置であり得る。

【0060】

図解されているステップは、示されている例示的な実施例を説明するために与えられており、特定の機能が実行される様態は、継続中の技術的發展によって変更されると予想されるべきである。これらの実例は、本明細書では、限定ではなく例示の目的で提示されている。更に、本明細書では、説明の便宜のために、機能的な構築ブロックの境界が、任意に定義されている。特定された機能とそれらの間の関係とが適切に実行される限り、代替の境界が定義されることも可能である。本明細書に含まれる教示に基づき、（本明細書に記載されているものの均等物、拡張、変形、逸脱などを含む）代替例が、当業者には明らかであろう。そのような代替例は、開示されている実施例の範囲に属する。また、「備える」、「有する」、「包含する」、及び「含む」という単語と、他の類似の形式とは、意味として均等であると意図されており、これらの単語のうちのいずれか1つに続く1つ若しくは複数のアイテムが、そのような1つ若しくは複数のアイテムの排他的な列挙であることは意味せず、又は、列挙されている1つ若しくは複数のアイテムのみに限定されることを意味しないという点で、オープン・エンドである。また、本明細書と添付の特許請求の範囲とにおいて用いられている単数形の「a」、「an」、及び「the」は、コンテキストがそうではないと明確に示唆していない限り、複数形を指す場合を含む。

10

【0061】

更に、1つ又は複数のコンピュータ可読記憶媒体が、本開示との一貫性を有する実施される実施例において用いられ得る。コンピュータ可読記憶媒体とは、プロセッサが読み取ることが可能な情報又はデータが記憶され得る任意のタイプの物理メモリを指す。したがって、コンピュータ可読記憶媒体は、1つ又は複数のプロセッサによって実行されるための命令を記憶し得、この記憶される命令は、本明細書に記載されている実施例との一貫性を有するステップ又は段階を、プロセッサに実行させるための命令を含む。「コンピュータ可読媒体」という用語は、有形なアイテムを含み、且つ搬送波及び過渡信号、すなわち、非一時的なものを除外すると理解されるべきである。その実例としては、ランダム・アクセス・メモリ（RAM：random access memory）、リード・オンリ・メモリ（ROM：read-only memory）、揮発性メモリ、不揮発性メモリ、ハード・ドライブ、CD ROM、DVD、フラッシュ・ドライブ、ディスク、及び任意の他の既知の物理記憶媒体が含まれる。

20

【0062】

本開示と実例とは、単に例示的なものとみなすべきであることが意図されており、開示されている実施例の真の範囲は、以下の特許請求の範囲によって示される。

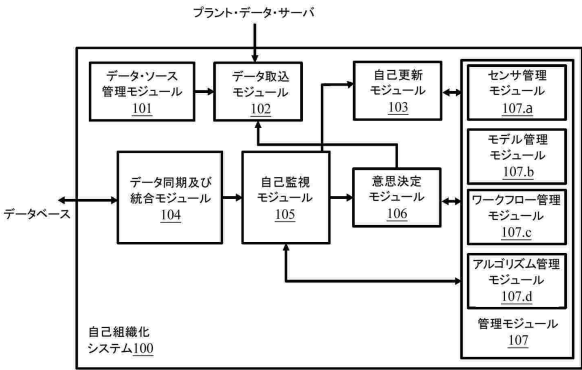
30

40

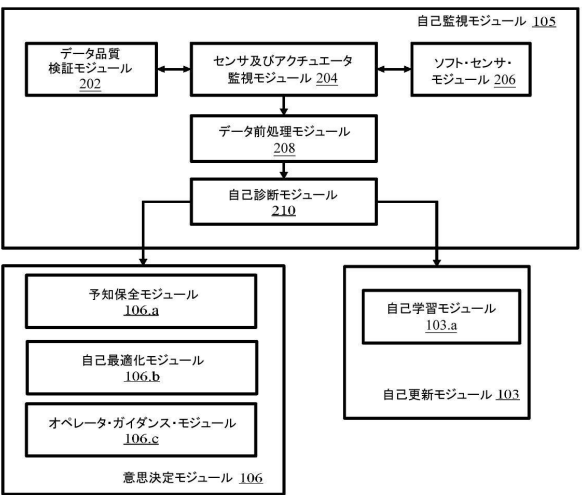
50

【図面】

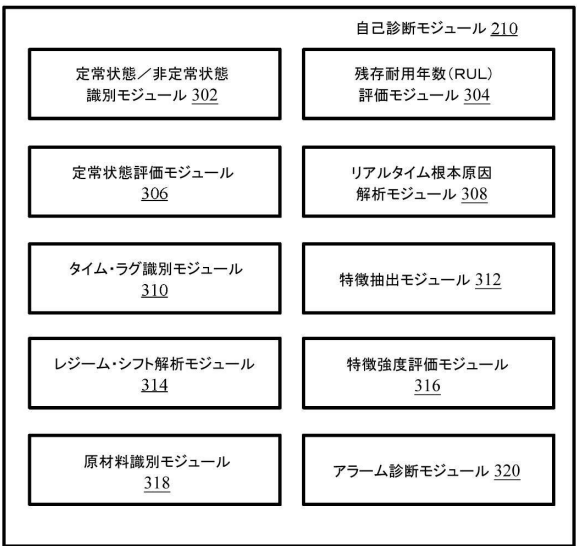
【図 1】



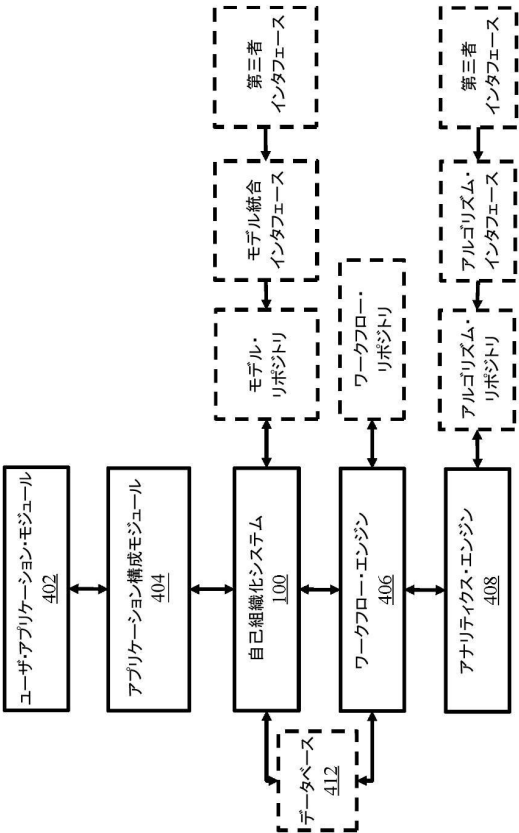
【図 2】



【図 3】



【図 4】



10

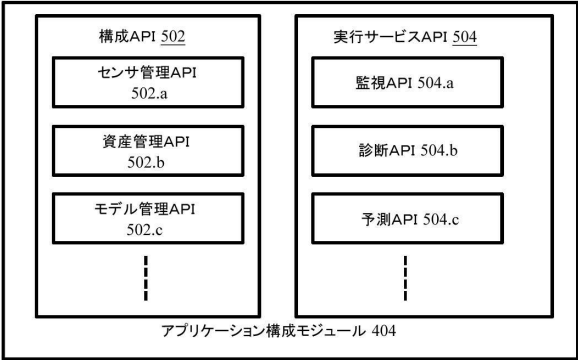
20

30

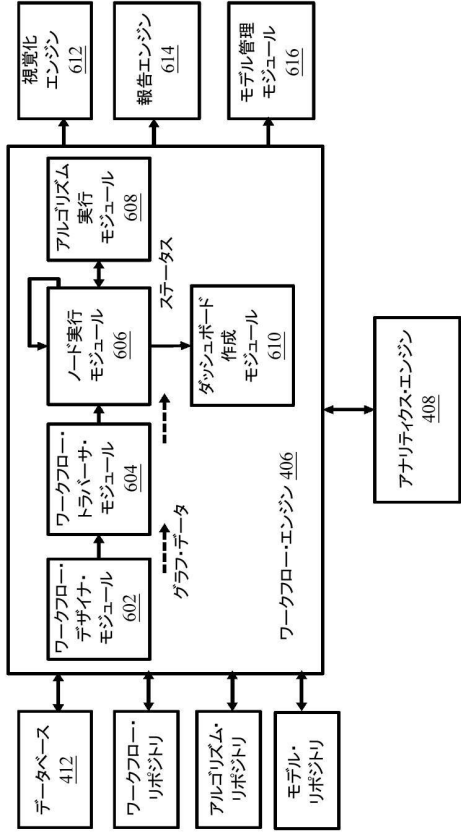
40

50

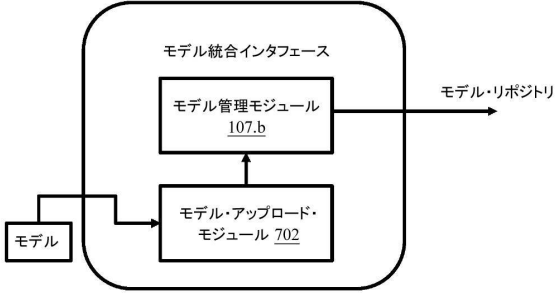
【図 5】



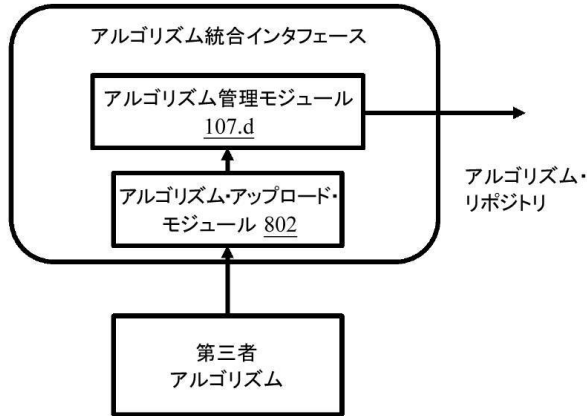
【図 6】



【図 7】



【図 8】



10

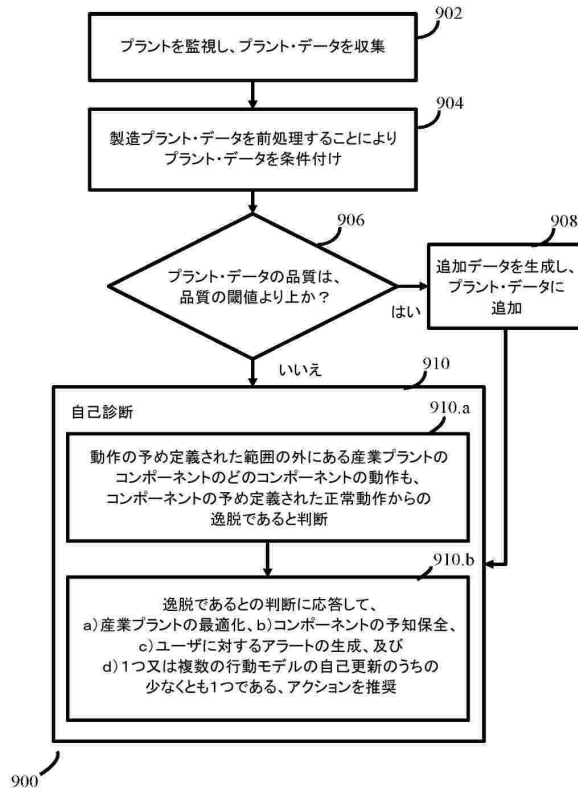
20

30

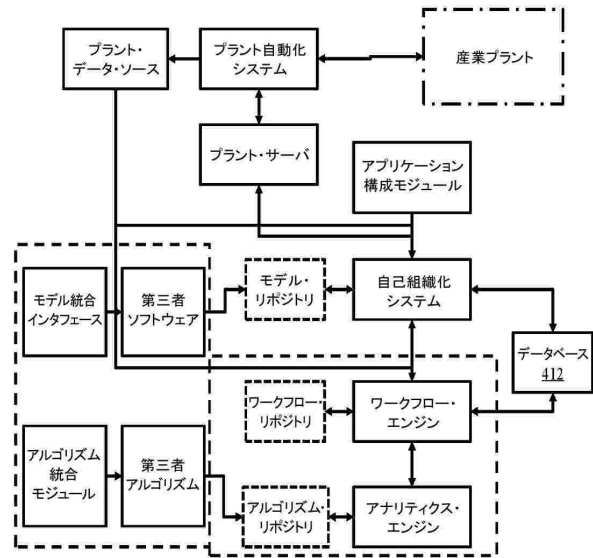
40

50

【図 9】



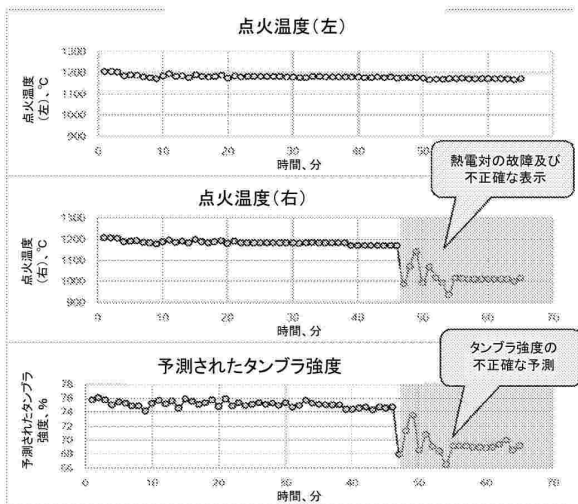
【図 10】



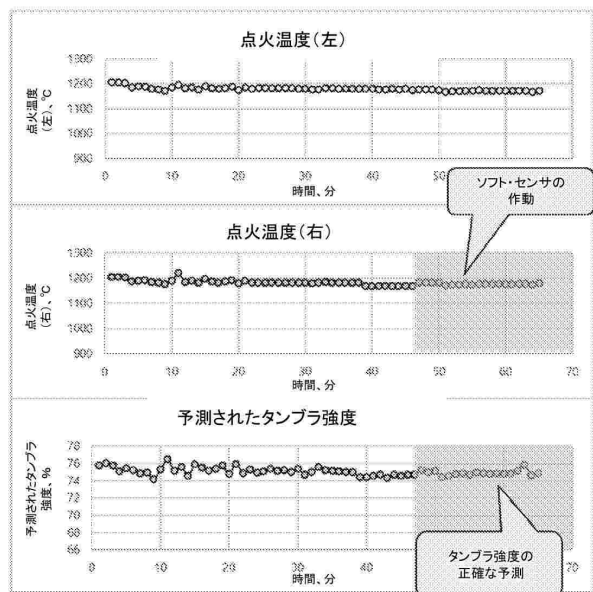
10

20

【図 11 a】



【図 11 b】



30

40

50

フロントページの続き

(51)国際特許分類

F I
G 0 6 Q 10/20

- インド共和国、マハーラシュトラ、プネ 4 1 1 0 1 3、ハダブサール、ハダブサール インダストリアル エステイト、5 4-ビー、タタ リサーチ、デベロップメント アンド デザイン センター、タタ コンサルタンシー サービスズ リミテッド
- (72)発明者
ルンカナ、ヴェンカタラマナ
インド共和国、マハーラシュトラ、プネ 4 1 1 0 1 3、ハダブサール、ハダブサール インダストリアル エステイト、5 4-ビー、タタ リサーチ、デベロップメント アンド デザイン センター、タタ コンサルタンシー サービスズ リミテッド
- (72)発明者
パラメスワラン、サイ プラサド
インド共和国、カルナータカ、バンガロール 5 6 0 1 0 0、エレクトロニック シティ フェーズ トゥー、ホスール ロード、ビルディング 3、4 5-ピー、スィンク キャンパス 4 2、タタ コンサルタンシー サービスズ リミテッド
- (72)発明者
シャー、ニタル
インド共和国、マハーラシュトラ、プネ 4 1 1 0 1 3、ハダブサール、ハダブサール インダストリアル エステイト、5 4-ビー、タタ リサーチ、デベロップメント アンド デザイン センター、タタ コンサルタンシー サービスズ リミテッド
- (72)発明者
マイティ、サンディパン
インド共和国、マハーラシュトラ、プネ 4 1 1 0 1 3、ハダブサール、ハダブサール インダストリアル エステイト、5 4-ビー、タタ リサーチ、デベロップメント アンド デザイン センター、タタ コンサルタンシー サービスズ リミテッド
- (72)発明者
メーロトラ、アナガ ニヒル
インド共和国、マハーラシュトラ、プネ 4 1 1 0 1 3、ハダブサール、ハダブサール インダストリアル エステイト、5 4-ビー、タタ リサーチ、デベロップメント アンド デザイン センター、タタ コンサルタンシー サービスズ リミテッド
- (72)発明者
パドサルギ、モクシャ スニル
インド共和国、マハーラシュトラ、プネ 4 1 1 0 1 3、ハダブサール、ハダブサール インダストリアル エステイト、5 4-ビー、タタ リサーチ、デベロップメント アンド デザイン センター、タタ コンサルタンシー サービスズ リミテッド
- (72)発明者
マナ、ラトナマラ
インド共和国、マハーラシュトラ、プネ 4 1 1 0 1 3、ハダブサール、ハダブサール インダストリアル エステイト、5 4-ビー、タタ リサーチ、デベロップメント アンド デザイン センター、タタ コンサルタンシー サービスズ リミテッド
- (72)発明者
クマール、ラジャン
インド共和国、マハーラシュトラ、プネ 4 1 1 0 1 3、ハダブサール、ハダブサール インダストリアル エステイト、5 4-ビー、タタ リサーチ、デベロップメント アンド デザイン センター、タタ コンサルタンシー サービスズ リミテッド
- (72)発明者
ニスタラ、シリ ハルシャ
インド共和国、マハーラシュトラ、プネ 4 1 1 0 1 3、ハダブサール、ハダブサール インダストリアル エステイト、5 4-ビー、タタ リサーチ、デベロップメント アンド デザイン センター、タタ コンサルタンシー サービスズ リミテッド
- (72)発明者
バーンディヤ、ロハン
インド共和国、マハーラシュトラ、プネ 4 1 1 0 1 3、ハダブサール、ハダブサール インダストリアル エステイト、5 4-ビー、タタ リサーチ、デベロップメント アンド デザイン センター、タタ コンサルタンシー サービスズ リミテッド
- (72)発明者
パリーク、アディティア
インド共和国、マハーラシュトラ、プネ 4 1 1 0 1 3、ハダブサール、ハダブサール インダストリアル エステイト、5 4-ビー、タタ リサーチ、デベロップメント アンド デザイン センター、タタ コンサルタンシー サービスズ リミテッド

-
- (72)発明者 バイカディ、アビシェーク クリシュナムールティ
 インド共和国、カルナータカ、バンガロール 560100、エレクトロニック シティ フェーズ
 トゥー、ホスール ロード、ビルディング 3、45-ピー、スィンク キャンパス 42、タタ コ
 ンサルタンシー サービスズ リミテッド
- (72)発明者 デオハー、アニルディ
 インド共和国、マハーラシュトラ、プネ 411013、ハダプサール、ハダプサール インダスト
 リアル エステイト、54-ピー、タタ リサーチ、デベロップメント アンド デザイン センター
 、タタ コンサルタンシー サービスズ リミテッド
- 審査官 今井 貞雄
- (56)参考文献 特表2005-531826 (JP, A)
 国際公開第2015/045319 (WO, A1)
 特開2014-170552 (JP, A)
 国際公開第2018/229802 (WO, A1)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
 G05B 23/02