(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号

特許第5113127号
(P5113127)

(45)発行日　平成25年1月9日(2013.1.9)　(24)登録日　平成24年10月19日(2012.10.19)

(51)Int.Cl.　　F I
G05B 19/418 (2006.01)　　G05B 19/418 Z
G06Q 50/04 (2012.01)　　G06F 17/60 108

請求項の数 12　(全 21 頁)

(21)出願番号　特願2009-163427(P2009-163427)
(22)出願日　平成21年7月10日(2009.7.10)
(65)公開番号　特開2010-20773(P2010-20773A)
(43)公開日　平成22年1月28日(2010.1.28)
審査請求日　平成24年7月10日(2012.7.10)
(31)優先権主張番号　12/170,577
(32)優先日　平成20年7月10日(2008.7.10)
(33)優先権主張国　米国(US)

早期審査対象出願

(73)特許権者　502096543
パロ・アルト・リサーチ・センター・インコーポレーテッド
Ｐａｌｏ　Ａｌｔｏ　Ｒｅｓｅａｒｃｈ　Ｃｅｎｔｅｒ　Ｉｎｃｏｒｐｏｒａｔｅｄ
アメリカ合衆国、カリフォルニア州　９４３０４、パロ・アルト、コヨーテ・ヒル・ロード　３３３３
(74)代理人　100075258
弁理士　吉田　研二
(74)代理人　100096976
弁理士　石田　純

最終頁に続く

(54)【発明の名称】生産計画を構成するための方法およびシステム

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
生産プラントを操作して１つ以上の生産ゴールを達成するための計画を構成するシステムであって、
少なくとも１つのプロセッサと、
前記少なくとも１つのプロセッサを使用して実行される診断エンジンであって、
以前に実施された計画と、前記プラントからの少なくとも１つの対応する観測と、前記プラントのプラントモデルとに少なくとも部分的に基づいて、現在のプラントコンディションを決定し、
間欠的または持続的な障害を発生させるリソースの識別に関連する少なくとも１つの診断目標に基づいて、ヒューリスティックを定式化し、
前記以前に実施された計画と、前記プラントからの少なくとも１つの対応する観測と、前記プラントモデルとに少なくとも部分的に基づいて、前記プラントの前記現在の状態を表すビリーフモデルを更新する
ことができる診断エンジンと、
前記少なくとも１つのプロセッサを使用して実行され、前記診断エンジンに機能的に結合されるプランナであって、前記ヒューリスティックを使用する部分計画探索を行って、少なくとも１つの生産ゴールを達成すると同時に前記少なくとも１つの診断目標を容易にする、前記プラントで実施される前記計画を構成するプランナと、
を備えることを特徴とするシステム。

【請求項２】
請求項１に記載のシステムにおいて、
前記診断エンジンが、前記現在のプラントコンディションに少なくとも部分的に基づいて、前記ヒューリスティックを定式化する際に、前記プラントにおける複数の障害仮説に対する失敗確率を求めることができる、システム。
【請求項３】
請求項１に記載のシステムにおいて、
前記診断エンジンが、前記現在のプラントコンディションに少なくとも部分的に基づいて、前記ヒューリスティックを上界および下界計画失敗確率ヒューリスティックとして定式化することができる、システム。
【請求項４】
請求項３に記載のシステムにおいて、
前記プランナが、探索空間の刈り込み（プルーニング）を実行して、前記計画の構成する際の前記部分計画探索を加速させることができる、システム。
【請求項５】
請求項３に記載のシステムにおいて、
前記プランナが、ターゲット値Ｔに最も近い計画失敗確率を有する計画を選択的に構成することができる、システム。
【請求項６】
請求項１に記載のシステムであって、
前記プランナが、前記ヒューリスティックに従って部分計画を評価し、前記少なくとも１つの診断目標に基づいて情報提供的な計画を優先的に構成することができる、システム。
【請求項７】
生産プラントを操作して１つ以上の生産ゴールを達成するための計画を構成する方法であって、
少なくとも１つのプロセッサを使用し、以前に実施された計画と、前記プラントからの少なくとも１つの対応する観測と、前記プラントのプラントモデルとに少なくとも部分的に基づいて、現在のプラントコンディションを決定するステップと、
前記少なくとも１つのプロセッサを使用し、間欠的または持続的な障害を発生させるリソースの識別に関連する少なくとも１つの診断目標に基づいて、ヒューリスティックを定式化するステップと、
前記少なくとも１つのプロセッサを使用し、前記以前に実施された計画と、前記プラントからの少なくとも１つの対応する観測と、前記プラントモデルとに少なくとも部分的に基づいて、前記プラントの前記現在の状態を表すビリーフモデルを更新するステップと、
前記少なくとも１つのプロセッサを使用し、前記ヒューリスティックを使用する部分計画探索を実行するステップと、
前記少なくとも１つのプロセッサを使用し、前記部分計画探索に基づいて、少なくとも１つの生産ゴールを達成すると同時に前記少なくとも１つの診断目標を容易にする、前記プラントで実施される前記計画を構成するステップと、
前記少なくとも１つのプロセッサを使用し、アクション失敗確率と前記現在のプラントコンディションとに基づき計画失敗確率を計算するステップと、
前記少なくとも１つのプロセッサを使用し、前記現在のプラントコンディションと前記プラントモデルとに少なくとも部分的に基づいて１つ以上の可能な計画のための情報獲得基準を生成するステップと、
を含み、
前記少なくとも１つのプロセッサが、前記計画失敗確率に少なくとも部分的に基づいて前記ヒューリスティックを定式化し、
前記少なくとも１つのプロセッサが、前記情報獲得基準を使用して前記計画を構成する、

ことを特徴とする方法。
【請求項８】
請求項７に記載の方法において、
前記ヒューリスティックを定式化するステップが、前記現在のプラントコンディションに少なくとも部分的に基づいて、前記プラントにおける複数の障害仮説に対する失敗確率を求めるステップを含む、方法。
【請求項９】
請求項７に記載の方法において、
前記ヒューリスティックが上界および下界計画失敗確率ヒューリスティックとして定式化される、方法。
【請求項１０】
請求項７に記載の方法において、
前記部分計画探索を実行するステップが、前記ヒューリスティックに従って部分計画を評価し、前記少なくとも１つの診断目標に基づいて情報提供的な計画を優先的に構成するステップを含む、方法。
【請求項１１】
請求項１に記載のシステムにおいて、
前記診断エンジンが、前記少なくとも１つの診断目標と部分計画の現在の状態とを使用して前記部分計画探索を実行する、システム。
【請求項１２】
請求項１に記載のシステムにおいて、
前記診断エンジンが、前記現在のプラントコンディションに少なくとも部分的に基づいて、前記ヒューリスティックを定式化する、システム。

【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、生産ゴール（ｐｒｏｄｕｃｔｉｏｎ　ｇｏａｌ）を達成するための、多数のリソースを有するシステムにおける自動診断および生産に関する。
【背景技術】
【０００２】
下記の特許文献１には、複数のモジュールを備え、再構成可能な生産システムのワークフローを自動的に計画しスケジューリングするためのシステムが開示されている。システムは、システムコントローラと、通常及び診断のワークユニットの同時生成を計画する計画機能、通常及び診断のワークユニットの同時生成をスケジューリングするスケジューリング機能を備える。
【先行技術文献】
【特許文献】
【０００３】
【特許文献１】米国特許第７２３３４０５号明細書
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【０００４】
従来の生産システム診断は、生産を停止させて、それに関連するシステム停止時間コストを招くことなく、有用な診断情報を適切に生み出すことが概してできず、したがって、長期システム生産性を達成するにあたって限られた有用性をもつに過ぎない。
【課題を解決するための手段】
【０００５】
本発明は、１つ以上の生産ゴールを達成するために生産プラントを動作させるための計画を構成するためのシステムであって、以前に実施された計画と、前記プラントからの少

なくとも１つの対応する観測と、前記プラントのモデルとに少なくとも部分的に基づいて、現在のプラントコンディションを決定し、少なくとも１つの診断目標に基づいて、ヒューリスティックを定式化するように動作する診断エンジンと、前記ヒューリスティックを使用する部分計画探索を実行して、少なくとも１つの生産ゴールを達成すると同時に前記少なくとも１つの診断目標を容易にする、前記プラントで実施される前記計画を構成するために、前記診断エンジンと動作可能に結合されるプランナとを備える。

【０００６】

また、本発明は、１つ以上の生産ゴールを達成するために生産プラントを動作させるための計画を構成する方法であって、以前に実施された計画と、前記プラントからの少なくとも１つの対応する観測と、前記プラントのモデルとに少なくとも部分的に基づいて、現在のプラントコンディションを決定するステップと、少なくとも１つの診断目標に基づいて、ヒューリスティックを定式化するステップと、前記ヒューリスティックを使用する部分計画探索を実行するステップと、前記部分計画探索に基づいて、少なくとも１つの生産ゴールを達成すると同時に前記少なくとも１つの診断目標を容易にする、前記プラントで実施される計画を構成するステップとを含む。

【０００７】

このように、本発明は、１つ以上の生産ゴールを達成すると同時に診断情報獲得を容易にするように、生産プラントで実施され得る計画を構成するための、システムおよび方法を提供する。計画構成システムは、診断エンジンと、プランナとを備え、診断エンジンは、以前に実施された計画と、プラントからの１つ以上の対応する観測と、プラントのモデルとに少なくとも部分的に基づいて、現在のプラントコンディションを決定する。診断エンジンはさらに、少なくとも１つの診断目標（ｄｉａｇｎｏｓｔｉｃ　ｏｂｊｅｃｔｉｖｅ）に基づいて、ヒューリスティックを定式化するように動作する。

【図面の簡単な説明】

【０００８】

【図１】システムの構成図である。

【図２】図１の生産システム内の例示的なモジュラ印刷システムプラントをさらに詳細に示す図である。

【図３】図１および図２の制御システム内の例示的なプランナおよび診断エンジンをさらに詳細に示す図である。

【図４】生産および診断計画を含む、生産システムのための計画空間（ｐｌａｎ　ｓｐａｃｅ）を示す図である。

【図５】生産システムで実施される計画を構成するための例示的な方法を示す図である。

【図６】Ａ＊探索を使用して、プラントで実施される計画を評価および生成する例示的な方法を示す図である。

【図７】システム状態を開始状態からゴール状態まで遷移させるための可能な計画を示す例示的な状態／アクション図である。

【発明を実施するための形態】

【０００９】

図１～図３は、生産システム６が示されたシステム１を示しており、生産システム６は、生産ジョブ４９をカスタマ４から受け取るプロデューサコンポーネント１０と、プロデューサ１０によってカスタマ４に提供される１つ以上の製品５２を生産するために、１つ以上の計画５４に従って始動および動作させ得る、複数のリソース２１～２４を有するプラント２０とを含み、ここで、製品の「生産」は、製品のパッケージングまたはラッピングを含む、製品、物体などの変形を含むことができる。図１は、生産システムと、プランナ、プラントモデル、診断エンジンを備える例示的なモデルベース制御システムと、オペレータインタフェースを示している。図２は、１つの例示的なプラント２０をさらに詳細に示しており、図３は、例示的なモデルベース制御システム２に関してさらに詳細に示している。プロデューサ１０は、カスタマジョブ４９を満たすために出力製品５２を実際に生産する１つ以上のプラント２０を管理する。プロデューサ１０は、ジョブおよび目標５

１をモデルベース制御システム２の多目標プランナ３０に提供し、生産システム６は、プラント２０で実施される計画５４をプランナ３０から受け取る。ジョブ５１は、生産ゴールおよび診断ゴールの一方または両方を含むことができる。制御システム２はさらに、プラント２０のモデルを有するプラントモデル５０と、ビリーフモデル（ｂｅｌｉｅｆ　ｍｏｄｅｌ）４２を有する診断エンジン４０とを含む。診断エンジン４０は、１つ以上の以前に実施された計画５４、プラント２０からの対応する観測５６、およびモデル５０に基づいて、プラントコンディション推定／更新コンポーネント４４（図３）を介して、現在のプラントコンディション５８を決定および更新する。診断エンジン４０はまた、現在のプラントコンディション５８およびモデル５０に基づいて、１つ以上の可能な計画５４についての予想情報獲得データ７０をプランナ３０に提供する。

【００１０】

モデルベース制御システム２およびそのコンポーネントは、ハードウェア、ソフトウェア、ファームウェア、プログラマブルロジック、またはそれらの組合せとして実施することができ、一体方式または分散方式で実施することができる。可能な一実施では、プランナ３０、診断エンジン４０、およびモデル５０は、ソフトウェアコンポーネントであり、１つ以上のプロセッサ、データストア、メモリなどを含む１つ以上のコンピュータなど、１つ以上のハードウェアプラットフォーム上で動作する、コンピュータ実行可能命令およびコンピュータ可読データを含む、１組のサブコンポーネントまたはオブジェクトとして実施することができる。コンポーネント３０、４０、５０およびそれらのサブコンポーネントは、同一コンピュータ上で動作させることができ、または本明細書で説明される機能および動作を提供するために互いに動作可能に結合された２つ以上の処理コンポーネントにおいて分散方式で動作させることができる。同様に、プロデューサ１０は、単一のシステムコンポーネントにおいて、または多数の相互運用可能なコンポーネントにおいて分散方式で、任意の適切なハードウェア、ソフトウェア、ファームウェア、ロジック、またはそれらの組合せで実施することができる。制御システム２は、デバッグおよびテストをより容易にし、最新モジュールを任意の役割に結び付ける能力を促進し、多数のサーバ、コンピュータ、ハードウェアコンポーネントなどへの動作の分散を容易にするために、モジュラソフトウェアコンポーネント（例えば、モデル５０、プランナ３０、診断エンジン４０、および／またはそれらのサブコンポーネント）を使用して実施することができる。

【００１１】

図１の実施形態は、制御システム２の他のコンポーネントが実施される、コンピュータまたは他のプラットフォームにおいて実施される、任意選択のオペレータインタフェース８も含む。例示的なオペレータインタフェース８は、オペレータ観測５６ａを診断エンジン４０に提供するために、診断エンジン４０に動作可能に結合され、診断エンジン４０は、ある実施ではオペレータ観測５６ａに少なくとも部分的に基づいて、現在のプラントコンディション５８を決定する。さらに、例示的なオペレータインタフェース８は、オペレータが診断ジョブ記述言語８ａを使用して診断ジョブ８ｂを定義することを可能にし、診断エンジン４０は、診断ジョブ６０をプロデューサ１０に提供する。この実施における診断エンジン４０は、１つ以上の自己生成診断ジョブ６０および／またはオペレータ定義診断ジョブ８ｂをプロデューサ１０に選択的に提供するように動作し、それを受けて、プロデューサ１０は、ジョブおよび目標５１をプランナ３０に提供する。

【００１２】

また図２および図３を参照すると、プランナ３０は、少なくとも１つの出力目標３４（図３）、およびプロデューサ１０からの到着ジョブ５１によって指示される生産ゴールに基づいて、プラント２０で実施される１つ以上の計画５４を生産システム６に提供する。プランナ３０は、生産目標３４ａおよび診断目標３４ｂを含む計画５４を構成する際に、ジョブおよび目標５１から導き出された１つ以上の出力目標３４を選択的に考慮する。生産目標３４ａは、生産システム６から取得されたジョブおよび目標５１に従って生成され、それらに従って更新され、診断目標３４ｂは、診断エンジン４０によって提供される現在のプラントコンディション５８および予想情報獲得データ７０から導き出され、それら

に従って更新される。一実施における生産目標３４ａは、生産される製品５２（図１）の順序のスケジューリングに関係することができ、生産の優先順位、在庫の最小化、ならびに大部分はコストおよびカスタマの必要に起因する他の考慮および制約を含むことができる。生産目標３４ａの例は、所定の製品出力ゴール（単純な生産基準）の達成、ならびに単純な時間効率のよい生産、コスト効率のよい生産、および堅牢な生産など、２次的な考慮の達成に関する、計画構成／生成の優先順位付けを含む。例えば、コスト効率のよい生産目標３４ａは、プロデューサ１０から受け取ったジョブ５１によって指示される生産ゴールを満たす計画のうちで最もコスト効率のよい計画５４の構成／生成をもたらす。診断目標３４ｂは、所定の生産関係タスクを実行し、プラント２０の動作における保守および修理コストを最小化し、間欠的または持続的な障害を引き起こすリソース２１～２４を識別するためなどの、生成された計画５４における好ましいアクションシーケンスの決定に関する目標を含むことができる。

【００１３】

制御システム２は、１つ以上の生産目標または診断目標３４を容易にするために、プランナ３０によって選択可能なプラント２０で実施される計画５４を保存するために使用される計画データストアまたはデータベース３６を任意選択で含むことができ、本明細書で使用される計画５４の構成／生成は、１つ以上の事前保存された計画５４をデータストア３６から選択することを含むことができる。プランナ３０は、情報獲得の可能性を改善するために、ジョブ待ち行列を選択的に並べ直すことができる。計画データストア３６は、プランナ３０に組み込まれるものとして示されているが、プランナ３０と動作可能に結合される１つ以上の別個のコンポーネントにおいて提供することができ、プランナ３０は、そこから１つ以上の（全体および／または部分）計画５４を取得することができる。代替として、プランナ３０は、所定の生産目標および／または診断目標３４を容易にするために必要とされる状態およびアクションを決定するために、プラントモデル５０と、プロデューサ１０および診断エンジン４０からの情報とを使用して、必要とされる１つ以上の計画５４を合成（例えば、構成または生成）することができる。

【００１４】

プランナ３０は、プラント２０で実施される計画５４を生成し、提供する。計画５４は、ジョブ５１に従って生産ゴールを達成しながら、１つ以上の生産目標および／または診断目標３４を容易にするための一連のアクションを含み、その中には所定のアクションが１回以上出現し得る。アクションは、例えば、図２に示されるように、所定の基板を開始状態から終了状態までモジュラ印刷システム２０の中を配送するために、プラント２０のモデル５０において定義された状態およびリソース２１～２４に関して取られる。動作中、プランナ３０は、診断目標３４ｂと、診断エンジン４０からの予想情報獲得データ７０とに少なくとも部分的に基づいて、所定の生産ゴールを達成する計画５４を生成または構成する。図示の実施形態におけるプランナ３０は、プラント２０で実施される計画５４を生成する際に、診断エンジン４０からの現在のプラントコンディション５８を評価するゴールベース計画構成コンポーネント３２を含む。コンポーネント３２は、観測５６と、システム障害の原因であることが疑われる１つ以上のプラントコンポーネント２１～２４を指示する現在のプラントコンディション５８とに基づいて、計画５４を構成する際に障害コンポーネント２１～２４またはそれらの組の識別を容易にすることもできる。

【００１５】

また図４を参照すると、これから開示されるインテリジェント計画構成技法は、生産計画１０２および診断計画１０４の両方を含む計画空間１００内における、プラント２０で実施される計画５４の生成を有利に提供する。計画集合１０２および１０４の合併は、（例えば、図３の１つ以上の診断目標３４ｂを容易にすることができる）診断値を有する生産計画１０６を含み、プランナ３０は、診断目標３４ｂに従って有用な診断情報を取得しながら生産ゴールを達成する計画１０６を優先的に構成するために、診断エンジン４０からの情報を有利に利用する。

【００１６】

診断エンジン４０は、プラント２０の現在の状態を表すビリーフモデル４２と、以前の計画５４および対応するプラント観測５６に基づいてプラント２０の現在のコンディションをプランナ３０に提供するコンポーネント４４とを含む。コンポーネント４４はまた、プラント観測５６、プラントモデル５０、および以前に実施された計画５４に従って、ビリーフモデル４２のプラントコンディションを推定し、更新する。インタフェース８からのオペレータ観測５６ａも、コンポーネント４４による現在のプラントコンディションの推定および更新を補足するために使用することができる。推定／更新コンポーネント４４は、プラント２０（図１）の１つ以上のリソース２１～２４または他のコンポーネントの確認されたまたは疑わしいコンディションについてプランナ３０に通知するために、コンディション情報５８を提供する。このコンディション情報５８は、所定の生産ジョブまたはゴール５１を実施するための計画５４を提供する際に、生産目標３４ａおよび診断目標３４ｂに鑑みて、プラントモデル５０からのプラント２０についての情報と一緒に、計画構成コンポーネント３２によって検討することができる。診断エンジン４０は、モデル５０およびビリーフモデル４２に基づいて、予想情報獲得データ７０をプランナ３０に提供するコンポーネント４６も含む。予想情報獲得データ７０は、オペレータインタフェース８からのオペレータ定義診断ジョブ８ｂに鑑みて、任意選択で決定することができる。

【００１７】

図２は、生産システム６における例示的なモジュラ印刷システムプラント２０をさらに詳細に示しており、モジュラ印刷システムプラント２０は、２つの供給源２１ａ、２１ｂの一方から印刷可能なシート基板を提供する材料供給コンポーネント２１と、複数の印刷またはマーキングエンジン２２と、出力仕上げステーション２３と、（図２では点線の円で示される）複数の双方向基板輸送／配送コンポーネント２４を含むモジュラ基板輸送システムと、輸送システム２４と仕上げ２３の間に配置される１つ以上の出力センサ２６と、プラント２０の様々なアクチュエータリソース２１～２４を動作させるための制御信号を提供するコントローラ２８とを含む。例示的な印刷システムプラント２０は、４つの印刷エンジン２２ａ、２２ｂ、２２ｃ、２２ｄを含むが、そのようなマーキングエンジンはいくつ含まれてもよく、また印刷システムプラント２０はさらに、個々の基板シートを供給２１から（双方向両面印刷のために反転されるまたは反転されない）１つ以上のマーキングエンジン２２を介して最終的に所定の印刷ジョブが出力製品５２として提供される出力仕上げステーション２３まで輸送するために、３つの双方向基板輸送経路２５ａ、２５ｂ、２５ｃを有する多経路輸送ハイウェイを、コントローラ２８からの適切な配送信号によって動作可能な輸送コンポーネント２４に提供する。さらに、印刷エンジン２２の各々は、ローカル双方向配送および媒体反転を個別に提供することができ、またコントローラ２８からの信号を介して動作可能な単色または多色印刷エンジンとすることができる。モデルベース制御システム２は、ある実施形態では、プラントコントローラ２８に組み込むことができる。

【００１８】

ここで図１～図３を参照すると、動作中、プランナ３０は、例えば、計画を形成するための一連のアクションの区分的（ｐｉｅｃｅ－ｗｉｓｅ）決定によって、ならびに／または１つ以上の生産目標３４ａおよび診断目標３４ｂに鑑みて到着ジョブ５１から導き出される出力生産ゴールの記述に基づいて、印刷システムプラント２０のコンポーネントリソース２１～２４のための全体もしくは部分計画５４をデータストア３６から取得することによって、計画５４を自動的に生成する。特に、所望の製品５２を生産するために２つ以上の可能な計画５４が使用できる場合など、どのように出力ゴールを達成できるか（例えば、どのように所望の製品５２を作成し、変形し、パッケージし、ラップできるかなど）について、プラント２０が柔軟性を有する場合、診断エンジン４０は、最も情報提供的な観測５６をもたらすことが期待される計画５４を生成するために、プランナ３０の計画構成動作を変更すること、または計画構成動作に影響を及ぼすことができる。構成された計画５４は、この点に関して、（例えば、ジョブ時間の増加、または僅かな品質の低下など）短期生産目標３４ａを損なう計画をもたらすこともあり、またはもたらさないこともあ

るが、それにも関わらず、システムが学習するために、生産を停止させる必要はない。構成された計画５４の実施から獲得される付加的情報は、障害コンポーネントリソース２１～２４に対処するため、効果的な修理／保守をスケジュールするため、および／またはシステム状態をさらに診断するため（例えば、あるシステムリソース２１～２４をセンサ２６によって以前に検出された障害の発生源として確認もしくは除外するため）、プロデューサ１０によって、ならびに／またはプランナ３０および診断エンジン４０によって使用することができる。このようにして、構成された計画５４から収集された情報（例えば、プラント観測５６）は、現在のビリーフモデル４２の正確性をさらに改善するために、推定および更新コンポーネント４４によって使用することができる。

【００１９】

さらに、プラント２０が限定されたセンシング能力しか含まない場合（例えば、印刷エンジン２２の下流の輸送システム２４の出力にのみセンサ２６を有する図２のシステムなど）、パッシブ診断は、システム２０で起こり得るすべての障害を曖昧さなしに識別することができず、それに対して、ダイレクト診断法の試みは、システム休止時間と、生産性の観点からそれに関連するコストをもたらす。他方、本開示の制御システム２は、プラントコンディション５８および／または予想情報獲得７０に従って拡張診断情報を提供する計画５４の構成および実施を介した、インテリジェントオンライン診断の選択的な利用を有利に容易にし、少なくとも１つの診断目標３４ｂおよびプラントコンディション５８に基づいた、プラント２０で実施される１つ以上の専用診断計画５４の生成をさらに有利に容易にすることができ、専用診断計画５４および生産計画５４は、現在のプラントコンディション５８に従い、生産目標および診断目標３４に基づいて、インテリジェントに交互実施される。特に、計画から獲得された情報７０が、将来における生産性の著しい増大、障害リソース２１～２４を識別する能力の増強、または他の長期生産性目標３４ａおよび／もしくは診断目標３４ｂをもたらすことが予想される場合、プランナ３０は、生産停止を伴うエクスプリシット診断計画５４の実施を引き起こすことができる。

【００２０】

さらに、専用診断計画５４を利用しなくても、制御システム２は、生産の最中に本開示のパーベイシブ診断態様によってオンラインで行うことができる診断の範囲を著しく（例えば、システムの純粋にパッシブな診断能力を超えて）拡大し、それによって、停止時間、サービス来訪（ｓｅｒｖｉｃｅ　ｖｉｓｉｔ）の数、および実際にはセンサによる完全なカバーを必要とせず動作するシステム２０内のコンポーネント２１～２４の不要な取替えコストを軽減することによって、診断情報の全体的コストを低下させる。プランナ３０はさらに、プラント２０で実施される計画５４を生成する際に、生産目標３４ａと診断目標３４ｂの間でトレードオフを行う場合、現在のプラントコンディション５８を使用するように動作し、プラント２０の障害リソース２１～２４を分離するにあたって診断を実行する場合、コンディション５８を考慮することもできる。

【００２１】

診断エンジン４０のプラントコンディション推定および更新コンポーネント４４は、限定されたセンサ２６から取り出された観測５６の形の情報から少なくとも部分的に、プラント２０の内部コンポーネント２１～２４のコンディションを推論し、一実施形態では、診断エンジン４０は、プラント２０の個々のリソース２１～２４またはコンポーネントのコンディション（例えば、正常、消耗、故障）および現在の動作状態（例えば、オン、オフ、使用中、空きなど）の両方を表すプラントコンディション５８を構成し、ビリーフモデル４２は、リソースまたはコンポーネント２１～２４のコンディションおよび／または状態の信頼性を表すために、しかるべく更新することができる。プロデューサ１０が１つ以上の計画５４の生産を開始すると、診断エンジン４０は、実施計画５４および対応する観測５６のコピーを（任意のオペレータ入力観測５６ａとともに）受け取る。コンディション推定および更新コンポーネント４４は、内部コンポーネント／リソース２１～２４のコンディション５８を推論および推定するために、プラントモデル５０とともに観測５６、５６ａを使用し、ビリーフモデル４２をしかるべく更新する。推論されたプラントコン

ディション情報５８は、障害中であることが知られている（もしくは高い確率で信じられる）１つ以上のリソース／コンポーネント２１～２４の使用を回避する計画５４を選択的に構成することなどによって、システム２０の生産性を直接的に改善するために、プランナ３０によって使用され、および／またはプロデューサ１０は、障害リソース２１～２４のそのような回避を達成するようにジョブ５１をスケジュールする際に、コンディション情報５８を利用することができる。例示的な診断エンジン４０は、多数の冗長コンポーネント２１～２４に利用負荷を拡散させて、耐久性（ｗｅａｒ）さえ生み出し、または他の長期目標３４を容易にするために、プランナ３０によって使用され得る、診断目標３４ｂを更新するための将来の予測情報も提供する。

【００２２】

さらに、将来の生産性を向上させるため、診断エンジン４０は、様々な可能な生産計画５４の予想情報獲得に関するデータ７０をプランナ３０に提供する。プランナ３０は、それを受けて、最も診断的な（例えば、診断値が最も高い情報をもたらす可能性が最も高い）生産計画５４を構成するために、このデータ７０を使用することができる。このようにして、プランナ３０は、生産中の情報を増大させるために慎重に生成または変更された生産計画５４を使用する（例えば、「診断的」生産計画を使用する）ことによって、アクティブ診断法またはアクティブ監視を実施することができる。一実施では、プロデューサ１０は、要求されたカスタマジョブ４９および診断ジョブ６０を並べたジョブ待ち行列を操作することができ、プロデューサ１０は、コンポーネントコンディション更新５８を診断エンジン４０から受け取る。プロデューサ１０は、カスタマジョブ４９と診断ジョブ６０の間で選択を行うため、生産計画５４において生産効率と診断値とをトレードオフするため、また互いに互換性がある場合、カスタマジョブ４９と専用診断ジョブ６０を合併（例えば交互実施）するためにコンディション５８を使用し、ジョブを合併する場合、それらのスケジューリングは、１つ以上の診断目標および生産目標３４を容易にすることができる。診断エンジン４０は、ある基準に関する計画５４の質の向上を助けるために、予測情報もプランナ３０に提供することができる。

【００２３】

また図５を参照すると、１つ以上の生産ゴールを達成ために、複数のリソース２１～２４を有するプラント２０を備えた生産システム６で実施される計画５４を構成するための、例示的な方法２００が示されている。

【００２４】

２０２において、診断目標３４ｂが受け取られ、２０４において、プラントモデル５０を使用して、以前に実施された計画５４と、プラント２０からの少なくとも１つの対応する観測５６とに少なくとも部分的に基づいて、現在のプラントコンディション５８が決定される。２０６において、現在のプラントコンディション５８と、モデル５０とに基づいて、予想情報獲得データ７０が決定される。プランナ３０は、２０８において、プラントコンディション５８を診断エンジン４０から受け取り、２１０において、生産ジョブおよび目標５１をプロデューサ１０から受け取る。２１２において、プランナ３０は、診断目標３４ｂと、予想情報獲得データ７０とに少なくとも部分的に基づいて、計画５４を構成する。２１４において、プランナ３０は、構成された計画５４を実施のためにプラント２０に送り、２１６において、診断エンジン４０は、計画５４およびプラント観測５６を受け取る。２１８において、診断エンジン４０は、プラントコンディション５８を更新し、また予想情報獲得データ７０を更新し、その後で、さらなるジョブおよび目標５１が提供され、プロセス２００は、２１０から再び上述のように継続される。

【００２５】

２１２における計画構成は、現在のプラントコンディション５８に少なくとも部分的に基づくことができ、現在のプラントコンディション５８に少なくとも部分的に基づいて、生産目標３４ａと診断目標３４ｂの間でトレードオフを行うことを含むことができる。さらに、２１２における計画構成は、現在のプラントコンディション５８に少なくとも部分的に基づいて、プラント２０内の障害リソース２１～２４を分離するために、予測を実行

することを含むことができる。プラント２０で実施される専用診断計画５４は、少なくとも１つの診断目標３４ｂと、診断ジョブ６０、８ｂと、現在のプラントコンディション５８とに少なくとも部分的に基づいて、構成することができ、計画構成は、少なくとも１つの生産目標３４ａと、少なくとも１つの診断目標３４ｂとに基づいて、専用診断および生産計画５４の選択的な交互実施を提供することができる。方法２００はまた、オペレータが診断ジョブ記述言語８ａを使用して診断ジョブ８ｂを定義することを可能にすることと、オペレータ観測５６ａを受け取ることとを含むことができ、２１６における計画選択／生成は、オペレータ観測５６ａに少なくとも部分的に基づいている。

【００２６】

ここで図６および図７を参照すると、一実施形態では、診断生産計画５４を構成する際に、ヒューリスティック探索が、プランナ３０によって利用される。図６は、Ａ＊探索を使用して、プラント２０で実施される計画を評価および構成するための例示的な方法３００を示している。一実施形態では、コンポーネント４４が、プラントコンディションについてビリーフモデル４２内のビリーフを確立および更新し、またプラントモデル５０を更新する。コンポーネント４４は、図６の３０２において、プラント２０における各障害仮説について失敗または障害確率を導き出し、３０４において、ビリーフモデル４２と現在のプラントコンディション５８とに基づいて、上界および下界計画失敗確率ヒューリスティック（ｕｐｐｅｒ　ａｎｄ　ｌｏｗｅｒ　ｐｌａｎ　ｆａｉｌｕｒｅ　ｐｒｏｂａｂｉｌｉｔｙ　ｂｏｕｎｄｉｎｇ　ｈｅｕｒｉｓｔｉｃ）を生成するために、動的プログラミングを利用する。３０６において、プランナ３０は、好ましくはＡ＊探索手法を使用して、最も情報提供的な計画５４を構成するために、ヒューリスティックを使用して部分計画５４を評価する。その後、３０８において、診断エンジン４０は、構成された計画５４と、プラント２０における構成された計画５４の実施から取得された出力観測５６とを使用して、ビリーフモデル４２を更新する。

【００２７】

診断エンジン４０は、システム２０の診断にとって価値ある情報を取り出すために、プランナ３０による探索に入力を有利に提供する。単一持続的障害のための診断値に関して最良の計画５４は、成功または失敗について等しい確率を有する計画である。診断エンジン４０は、プラント２０で実施される計画５４を構成するために部分計画５４を評価する際に、この概念を使用して、プランナ３０による探索を導くためのヒューリスティックを開発する。加えて、計画構成探索は、探索パフォーマンスを改善するために、刈り込み技法を利用することができる。制御システム２は、プランナ３０における効率的なヒューリスティックターゲット探索を使用して、診断エンジン４０におけるモデルベースの確率的推論と、所定の計画５４の実施に関連する情報獲得の分解（ｄｅｃｏｍｐｏｓｉｔｉｏｎ　ｏｆ　ｉｎｆｏｒｍａｔｉｏｎ　ｇａｉｎ）との組合せを通して、プラント２０を制御する際に、効率的なオンラインアクティブまたはパーベイシブ診断を実施する。このアクティブ診断技法では、制御されるシステムプラント２０から取得される診断情報の量および／または品質を最大化または増大させるために、計画５４の形の特定の入力または制御アクションが、診断エンジン４０の助けを借りて、プランナ３０によって構成される。情報生産（アクティブまたはパーベイシブ診断）技法は、生産ゴールを達成する部分計画の組を、潜在的な情報獲得によって構成プロセスにおける任意の所定のポイントにランク付け、プランナ３０は、他の可能な生産目標３４ａおよび診断目標３４ｂに鑑みて、その点に関して最も有望な戦略を選択的に生成するように動作する。

【００２８】

プランナ３０は、計画構成を支援するためのパーベイシブ診断を使用して、基板シートをシステム２０を通して移動させて、所定の印刷ジョブについて要求された出力を生成する（例えば、生産ゴールを満たす）、アクションの列（計画５４）を構成するように動作する。このシステム２０における１つの特定の生産目標３４ａは、印刷エンジン２２のいくつかが故障を起こし、または用紙処理モジュール２４のいくつかが故障もしくは紙詰まりを起こしたとしても、印刷を継続することである。この印刷システム２０では、仕上げ

２３の手前に出力タイプセンサ２６が存在するだけであり、結果として、多くのアクションから成る計画５４は、有益な観測５６が行われ得る前に実施されなければならない。診断エンジン４０は、実施された計画５４および観測５６に一致するように、そのビリーフモデル４２および現在のコンディション５８を更新する。診断エンジン４０は、更新されたコンディション情報５８および予想情報獲得データ７０をプランナ３０に転送する。

【００２９】

例示的なプランナ３０では、計画５４を見出し、構成するために、探索アルゴリズムを利用することができる。モデル５０は、プラントシステム２０を、プラント２０が対応できるすべての可能なアクションＡを有する状態機械として記述する。アクションは、システム状態に関する事前条件および事後条件によって定義される。そのため、アクションは、実行可能であるために、ある状態にあることをシステム２０に要求し、実行された場合、システム状態を変更する。システム２０は、可能なアクションの集合Ａから取り出された一連のアクション$a_1, a_2, \ldots, a_n$から成る計画ｐ（５４）によって制御される。アクションの実行は、システム状態を変化させる可能性があり、アクションが生産計画５４の部分である場合は特に、システム状態の部分は、任意の所与の時間における製品５２の状態を表すことができる。さらに、システム２０の内部制約が、計画５４の集合を、すべての可能な列の部分集合（例えば、上述の図４の計画空間１００）に制限する。さらに、システム２０における所定の計画ｐについてのアクションの実行は、ただ１つの観測可能な計画結果または観測Ｏ（例えば、センサ２６からの観測５６）をもたらすことができる。

【００３０】

観測結果５６の１つのタイプは、異常として定義されて、ａｂ（ｐ）と表記され、その場合、計画５４はその生産ゴールの達成に失敗する。別のタイプは、正常（非異常）結果であって、

$$\neg ab(p)$$

と表記され、その場合、計画５４は関連する生産ゴールを達成する。例示的な制御システム２では、プラント２０についての情報は、ビリーフモデル４２内に構成された、様々な可能な仮説についての診断エンジンのビリーフによって表すことができ、そのような仮説ｈは、例えば、

$$h=[ab(a_1),\neg ab(a_2),\ldots,ab(a_n)]$$

のような、システムアクションの各々に対する異常または正常の割り当てである。単一のプラントリソース／コンポーネントにおける障害の事例（単一障害事例）では、正確に１つのアクションが異常となる。すべてのアクションが正常である状況のための１つの仮説（「障害なし」仮説h_0）を除外した仮説の集合としてH_{sys}を定義すると、すべての仮説は、各アクションへの異常性の割り当ての全体であり、すべては一意的で、相互に排他的（例えば、$\forall h_i, h_j \in H_{sys}, h_i \neq h_j$）である。ビリーフモデル４２内のシステムのビリーフは、仮説空間H_{sys}上の確率分布Ｐｒ（Ｈ）として表すことができ、ビリーフモデル４２は、観測Ｏと計画Ｐが与えられた場合に未知の仮説Ｈに関する事後分布を取得するために、ベイズの公式Ｐｒ（Ｈ｜Ｏ，Ｐ）＝αＰｒ（Ｏ｜Ｈ，Ｐ）Ｐｒ（Ｈ）を使用して、過去の観測５６から、診断エンジン４０によって更新される。

【００３１】

計画ｐは、診断エンジンのビリーフ４２に情報を与える（例えば、その不確実性を低下させる）場合、診断エンジン４０およびプランナ３０によって、情報提供的と見なされ、情報値は、システムビリーフＰｒ（Ｈ）と実施された計画に左右される計画結果Ｉ（Ｈ；Ｏ｜Ｐ＝ｐ）の間の相互情報として測定することができる。この相互情報は、確率分布によって暗示されるエントロピまたは不確実性の観点から定義することができ、一様確率分布は高い不確実性を有し、決定論的分布は低い不確実性を有する。診断的な情報値の文脈では、情報提供的な計画５４は、システムのビリーフ４２の不確実性を低下させ、したがって、予測が困難な結果を有する計画５４は、最も情報提供的であり、一方、成功することが分かっている（または失敗することが分かっている）計画５４の実施は、診断的な情

報獲得をもたらさない。この点に関して、予想情報値に関して計画５４を格付けするために、最適な（例えば「ターゲット」）不確実性Ｔを使用することができ、それによって、診断エンジン４０は、計画５４をしかるべく評価することができ、計画選択／生成に影響を与えて、情報提供的な計画５４を優先的に選択／生成するために、予想情報獲得データ７０をプランナ３０に提供することができる。

【００３２】

持続的な単一障害の場合、結果についての最適な不確実性として、Ｔ＝０．５という値を使用することができ、間欠的障害の場合の不確実性は、例示的な一実施では、約０．３６≦Ｔ≦０．５の範囲内で最大化させることができる。所定量の不確実性Ｔを有する計画５４を見出す際、診断エンジン４０は、所与の計画ｐ＝［a_1，a_2，．．．，a_n］に関連する不確実性を予測するように動作し、計画内の一意的なアクションの集合は、$A_p = U_i \{a_i \in p\}$である。失敗が観測されたと仮定すると、以下の式（１）に示されるように、１つ以上のアクションが異常である場合に、計画５４は異常ａｂ（ｐ）となる。

【００３３】

［数１］

$$(1) \qquad a_i \in A_p \text{について、} ab(a_1) \vee \cdots \vee ab(a_n) \Rightarrow ab(p)$$

ここで、$a_i \in A_p$であり、pは計画である。異常である計画５４のアクションの予測確率は、すべての関連する仮説に割り当てられた確率の関数であり、計画ｐの結果の不確実性に影響を与える仮説の集合は、H_pで表され、以下の式（２）で定義される。

【００３４】

［数２］

$$(2) \qquad H_p = \{h | h \in H_{sys} \text{ かつ } h \Rightarrow ab(a), a \in A_p\}$$

【００３５】

仮説に関する分布と、所定の計画ｐの説明的な仮説の集合H_pが与えられると、計画ｐが失敗する確率を計算することが可能である。すべての仮説$h \in H_p$は、計画ｐ内のものでもある少なくとも１つの異常アクションを含むので、仮説ｈが真であることは、ａｂ（ｐ）を含意する。

【００３６】

［数３］

$$(3) \qquad (h_1 \vee h_2 \vee \cdots \vee h_m) \Leftrightarrow ab(p) \text{ ここで } h_j \in H_p$$

【００３７】

仮説は定義により相互に排他的であるので、計画失敗確率Ｐｒ（ａｂ（ｐ））は、以下の式（４）のように、計画が失敗することを含意する仮説のすべての確率の総和として定義することができる。

【００３８】

［数４］

$$(4) \qquad \Pr(ab(p)) = \sum_{h \in H_p} \Pr(h)$$

【００３９】

情報提供的でもありながら、生産ゴールを達成する計画を見出すため、プランナ３０は、確率Ｔの観点から計画５４を評価し、これと現在のプラントコンディション５８を使用して、正の失敗確率を有しながら、生産ゴールを達成する計画５４を優先的に構成する。短期的には、これはシステム２０の生産性をより低下させる可能性があるが、獲得した情報が、長期的な生産性の向上を可能にする。さらに、プランナ３０は、個々には最も情報

提供的でなくても、一緒にすれば最も情報提供的となり得る、プラント２０で実施される一連の計画５４を構成することができる。

【００４０】

上述したように、本開示の範囲内においては、有用な診断情報をもたらしながら、所定の生産ゴールを達成する適切な計画から区分的選択／生成を行うプランナ３０において、任意の形態の探索が利用できる。すべての可能なアクション列を生成するために、単純な力づく探索が利用でき、以下の式（５）のように、情報提供的でありながら、生産ゴールを達成する計画５４をもたらすために、結果リストをフィルタリングすることができる。

【００４１】

［数５］

$$p^{opt} = \mathrm{argmin}_{\mathrm{achievesGoal}(p)\in\mathcal{P}} |Pr(ab(p)) - T| \quad (5)$$

【００４２】

しかし、計画空間Ｐが非常に大きい場合、リアルタイム制御アプリケーションでは、これは非現実的なこともある。例示的なシステム２で利用される別の可能な手法は、初期状態Ｉから中間状態$Ｓ_{1}$，$Ｓ_{2}$，．．．，$Ｓ_{n}$に進む部分計画の集合$Ｐ_{Ｉ→Ｓ1}$，$Ｐ_{Ｉ→Ｓ2}$，．．．，$Ｐ_{Ｉ→Ｓn}$を使用するＡ＊ターゲット探索を利用することなどによって、構造を共用する計画５４の集合またはファミリをプランナ３０がそれによって考えるヒューリスティックを、診断エンジン４０が確立することである。この手法では、ステップ毎に、プランナ３０は、最良の（例えば、最も情報提供的な）方法で生産ゴールを達成する可能性が最も高くなるよう計画の拡張を試みるために、Ａ＊ターゲット探索を使用する。この点に関して理想的な計画ｐは、システム２０を状態$Ｓ_{n}$にするプレフィックス（ｐｒｅｆｉｘ）$Ｐ_{Ｉ→Ｓn}$で開始し、状態$Ｓ_{n}$からゴール状態Ｇに到るサフィックス（ｓｕｆｆｉｘ）計画$Ｐ_{Ｓn→Ｇ}$を続行する。このＡ＊技法は、診断エンジン４０によって提供されるヒューリスティック関数ｆ（$Ｓ_{n}$）を使用して拡張するために、部分計画$Ｐ_{Ｉ→Ｓn}$を選択し、ヒューリスティック関数ｆ（$Ｓ_{n}$）は、以下の式（６）によって、計画プレフィックス$Ｐ_{Ｉ→Ｓn}$の品質（ｇ（$Ｓ_{n}$）と書かれる）に、サフィックス$Ｐ_{Ｓn→Ｇ}$の予測品質（ｈ（$Ｓ_{n}$）と書かれる）を加算したものとして全経路品質を推定する。

【００４３】

［数６］

$$f(S_n) = g(S_n) + h(S_n) \quad (6)$$

【００４４】

ヒューリスティック関数ｆ（$Ｓ_{n}$）が全計画の真の品質を決して過大に推定しない場合、ヒューリスティックｆ（$Ｓ_{n}$）は、容認可能であると言われ、プランナ３０によるＡ＊ターゲット探索は、最適な計画５４を返すべきである。この点に関して、過少な推定は、不確実性にも関わらず、Ａ＊探索手法を最適なものにし、それによって、品質が高いことが知られている完全な計画にかかわる前に、不確実な計画が探索されることを保証する。結果として、ヒューリスティック関数がより正確になるほど、Ａ＊ターゲット探索は、高度に情報提供的な計画５４により多くの焦点をおく。したがって、示された実施形態では、プランナ３０は、プラントモデル５０におけるシステムアーキテクチャおよびダイナミクスの記述に少なくとも部分的に基づいて、診断エンジン４０によって導き出されたヒューリスティック関数を利用する。

【００４５】

図７は、プラント２０においてシステム状態を開始状態Ｓからゴール状態Ｇまで遷移させるための可能な計画を表す、例示的な状態／アクション図４００を示している。システム状態ノード４０２は、開始状態Ｓ　４０２ｓ、ゴール状態Ｇ　４０２ｇ、およびノード

Ａ～Ｄにそれぞれ対応する４つの中間状態４０２ａ～４０２ｄを含む。この例のための所定の計画５４は、最終的にゴールＧ　４０２ｇに到達する図４００の以下のアクション４０４によって進行する。そのような生産ゴールを満たす１つの可能な計画５４は、図７に示されるように、アクション４０４ｓａ、４０４ａｃ、および４０４ｃｇを通る状態列［Ｓ，Ａ，Ｃ，Ｇ］によってシステムを動かす。説明目的で、この計画５４が、システムリソース２１～２４の１つにおける単一持続的障害に起因する、ノードＡとノードＣの間の障害アクション４０４ａｃ（アクション$a_{A,C}$）によって引き起こされる異常結果をもたらすと仮定すると、診断エンジン４０は、計画５４および結果の障害観測５６から、計画経路沿いのアクション４０４ｓａ、４０４ａｃ、および４０４ｃｇのすべては、（さらなる情報なしに）障害を起こしていることが疑われると決定する。単一持続的障害が仮定されるので、疑わしいアクション｛｛$a_{S,A}$｝，｛$a_{A,C}$｝，｛$a_{C,G}$｝｝に対応する３つの正の確率の仮説が存在する。付加的な情報が存在しない場合、診断エンジン４０は最初、３つの疑わしいアクションに等しい確率｛１／３｝、｛１／３｝、｛１／３｝を割り当てる。

【００４６】

診断エンジン４０は、この例では、図７において右から左にヒューリスティックを構築することによって、任意の計画サフィックスによって計画に与えることができる、不確実性のヒューリスティック境界を構成するために、グラフ構造および確率推定を使用する。特に、例示的な診断エンジン４０は、図７に示されるように、下界および上界［Ｌ，Ｕ］をノード４０２に割り当て、一実施では、これらの境界値は、プランナ３０に送られる。説明的な一例として、図７において状態ＤからゴールＧに到るアクション$a_{D,G}$は、失敗した観測された計画５４の部分ではなく、したがって、候補仮説ではなく、このアクションは、仮定された単一持続的システム障害の発生源であることに関してゼロ確率を有する。結果として、任意のプレフィックス計画５４を延長して、アクション$a_{D,G}$を有する状態Ｄで終わらせても、アクション$a_{D,G}$は異常であることに関してゼロ確率を有するので、延長された計画５４の失敗確率は増加しない。この例では、ＤからＧへの他の可能な計画５４は存在しないので、状態Ｄで終わる任意の計画の上界および下界はともにゼロであり、したがって、図７では、ノードＤは、［０，０］とラベル付けされる。状態Ｂを通過する計画５４は、疑わしいアクション４０４を使用せず、ゼロ下界を有する状態Ｄで終わる、アクション$a_{B,D}$　４０４ｂｄによって完成することができるので、状態Ｂ　４０２ｂも同様に、ゼロの下界を有する。状態Ｂは、状態Ｃ　４０２ｃに到る疑わしくないアクション$a_{B,C}$　４０４ｂｃによって完成することができ、状態Ｃ　４０２ｃは、異常であることに関して１／３の確率を有する上界および下界の両方を有するので、この例の状態Ｂは、１／３の上界を有する。診断エンジン４０は、サフィックスサブ計画が異常である確率の境界を決定するために、この解析を再帰的に継続し、これらを情報獲得データ７０の部分としてプランナ３０に送る。

【００４７】

プランナ３０は、ターゲット確率Ｔを達成する、またはそれに最もよく接近する計画５４を識別し、構成するために、これらの境界を前方Ａ＊ターゲット探索とともに使用する。１つの可能な計画５４は、開始ノードＳ　４０２ｓから開始し、異常であることが観測された計画５４の部分である第１のアクション$a_{S,A}$を含む。アクション$a_{S,A}$　４０４ｓａが部分計画に追加される場合、それ自体が候補であるので、それは失敗の可能性に１／３の確率を追加しなければならない。$a_{S,A}$の後、システム２０は状態Ａにあり、計画５４は、ゴール状態Ｇ　４０２ｇに到達するためにアクション４０４ａｄおよび４０４ｄｇを含むことによって、Ｄを経由して完成することができる。アクション$a_{A,D}$自体は、以前に観測された障害のある計画に含まれないので、異常であることに関してゼロ確率を有する。したがって、ヒューリスティック境界を使用することで、状態ノードＤ　４０２ｄを経由する完成は、異常であることに関してゼロ確率を追加する。ノードＡ　４０２ａから、計画５４は、代替として、最初に観測された計画５４でのように、ノードＣを経由して完成することができる。対応するアクション$a_{A,C}$　４０４ａｃは、１／

３の失敗確率をそのような計画に追加し、ヒューリスティック境界に基づいて、ノードＣ４０２ｃを経由する完成は、異常であることに関して別の１／３の確率を追加しなければならない。

【００４８】

ヒューリスティックは、システム２０を状態ノード列［Ｓ，Ａ，Ｃ，Ｇ］または［Ｓ，Ａ，Ｄ，Ｇ］を経由して動かす可能な計画５４についての全計画異常性確率の予測を可能にする。全計画の下界は、$a_{S,A}$からの１／３と完成$a_{A,D}$、$a_{D,G}$からの０との和によって決定される１／３であり、上界は、$a_{S,A}$からの１／３と$a_{A,C}$、$a_{C,G}$の各々からの１／３との和に等しい３／３である。この計画が［$a_{A,C}$，$a_{C,G}$］経由で計算される場合、確率１となって、全計画５４は失敗し、したがって、そのような計画完成を構成することからは何も学べない。代わりに、計画５４がサフィックス［$a_{A,D}$，$a_{D,G}$］経由で完成される場合、全計画の失敗確率は１／３であり、それは最適な情報提供的確率Ｔ＝０．５により近い。この場合、プランナ３０は、プラント２０で実施される計画５４［Ｓ，Ａ，Ｄ，Ｇ］を構成する。計画５４は、成功しても、または成功しなくてもよく、いずれの場合でも、診断的な観点から何かを学ぶことができる。例えば、計画［Ｓ，Ａ，Ｄ，Ｇ］が失敗した場合、診断エンジン４０は、（単一持続的障害のシナリオを仮定した場合）アクション$a_{S,A}$が失敗アクションであったことを学び、計画５４が成功した場合、エンジン４０は、アクション４０４ｓａを障害容疑ありとして排除することによって、ビリーフモデル４２をさらに改良することができる。

【００４９】

境界の間に任意の所与の値の計画５４が存在することの保証はないことに留意されたい。診断エンジン４０は、すべてのゴール状態から開始してヒューリスティック境界を再帰的に計算し、ゴール状態は空集合のサフィックス計画$p_{G \to G}=\phi$を有し、したがって、$L_G=0$の設定下界と、$U_G=0$の設定上界を有する。新しい各状態S_mについて、診断エンジン４０は、すべての可能な後続状態ＳＵＣ（S_m）の境界と、S_mと後続状態S_nの間の接続アクションa_{S_m,S_n}の失敗確率とに少なくとも部分的に基づいて、対応する境界を計算する。状態S_mの後続状態S_nは、状態S_mから開始する単一ステップで到達し得る任意の状態である。単一障害が仮定される場合、アクションa_{S_m,S_n}を連結することによって計画$p_{I \to S_m}$に追加される失敗確率は、

$$H_{p_{I \to S_m}} \cap H_{a_{S_m,S_n}} = \phi$$

である場合、計画$p_{I \to S_m}$から独立である。診断エンジン４０は、S_mをその直接の後続状態に連結するアクション確率と、これらの後続状態の下界によって、S_mの下界を決定し、診断エンジン４０は、$L_{S_m}=min_{S_n \in SUC(S_m)}[Pr(ab(a_{S_m,S_n}))+L_{S_n}]$と類似した方法である$U_{S_m}=max_{S_n \in SUC(S_m)}[Pr(ab(a_{S_m,S_n}))+U_{S_n}]$で上界を計算する。

【００５０】

プランナ３０による情報提供的生産計画の探索は、初期開始状態Ｓ　４０２ｓから開始し、ゴール状態４０２ｇへと順方向に再帰的に作業する。初期状態Ｓで開始する空計画の異常性確率は、ゼロと最良完成の和である。プランナ３０は、現在の状態までの計画確率と最良完成ルートの異常性確率の和として異常性確率を計算する。プランナ３０は最初は完成について確信がないので、異常性の確率は、下界および上界と、その間の値を含む区間である。結果として、全異常性確率も、以下の式（７）で示される区間である。

【００５１】

［数７］

（７）　$I(p_{I \to S_n})=[Pr(ab(p_{I \to S_n}))+L_{S_n}, Pr(ab(p_{I \to S_n}))+U_{S_n})]$

【００５２】
最も情報提供的な計画５４は、全失敗確率がＴである計画であり、持続的な単一障害が仮定される好ましい実施では、Ｔ＝０．５である。計画の全異常性確率に関する境界を表す区間Ｉ（$p_{I \to S_n}$）が与えられた場合、したがって、プランナ３０は、以下の式（８）に従って、異常性確率がＴにどれだけ近いかを表す区間を構成することができる。
【００５３】
［数８］

$$(8) \quad |T - I(p_{I \to S_n})|$$

【００５４】
式（８）のこの絶対値は、Ｔの周りの範囲を折り畳んでおり、計画５４の推定全異常性確率がターゲット確率Ｔを跨ぐ場合、区間

$$|T - I(p_{I \to S_n})|$$

はゼロを跨ぎ、区間はゼロからＩ（$p_{I \to S_n}$）の絶対最大値にわたる。例示的なプランナ３０は、予想情報獲得データ７０の部分として、診断エンジン４０によって提供される探索ヒューリスティック

$$F(p_{I \to S_n}) = \min(|T - I(p_{I \to S_n})|)$$

を使用するが、ターゲット探索が相対的に高い情報値を有する計画５４を構成することを可能にする他のヒューリスティックも、開示の範囲内で企図されている。例示的な関数Ｆは、いくつかの有利な特性を有する。例えば、予測全計画異常性確率がＬとＵの間に存在する場合、Ｆはゼロである。また、異常性確率が正確にターゲット確率Ｔを達成する計画５４が存在できる。さらに、すべての場合で、Ｆ（$p_{I \to S_n}$）は、状態S_nを通過する任意の最も近い計画が、ターゲット異常性確率Ｔに正確になり得ることを表す。
【００５５】
プランナ３０は、（例えば、プランナ３０、データストア３６、もしくはシステム２内の他のどこか、またはプランナ３０によってアクセス可能な外部データストアに保存された）部分計画の集合全体

$$P = \{p_{I \to S_1}, p_{I \to S_2}, \ldots, p_{I \to S_n}\}$$

から探索することができる。部分計画毎に、プランナ３０は、Ｆ（$p_{I \to S_n}$）を評価し、最低値を用いて計画を拡張する。Ｆ（$p_{I \to S_n}$）は過少推定であるので、この推定を使用するＡ＊探索は、生産ゴールを達成する最も情報提供的な計画を返す。
【００５６】
プランナ３０は、選択的な刈り込みを使用して、ターゲット計画探索の効率を改善することができる。探索ヒューリスティックは、同じ値、すなわちゼロを返すことができ、それは選択を行う際にプランナ３０に僅かなガイダンスしか提供しない。プランナ３０は、探索を集束させることができる。第１の集束手法では、プランナ３０は、探索空間の優勢な部分を刈り込む。例えば、ターゲット値Ｔを跨がない異常性確率区間を有する所定の部分計画Ｉ（$p_{I \to S_n}$）を、プランナ３０によって識別することができる。この区間内の

最良の可能な計画は、ターゲット値Ｔに最も近い、区間の２つの境界の一方の上にある。例えば、

$$L_I(p_{I\to S_n})$$

および

$$U_I(p_{I\to S_n})$$

を異常性確率区間Ｉ（$p_{I\to S_n}$）の下界および上界とする。プランナ３０は、そのような場合、最良計画の値

$$V_{p_{I\to s_n}}$$

を以下の式（９）に従って決定する。

【００５７】

［数９］

$$(9)\qquad V_{p_{I\to s_n}} = \min(|L_{I(p_{I\to s_n})} - T|, |U_{I(p_{I\to s_n})} - T|)$$

【００５８】

計画$P_{I\to S_i}$は、

$$V_{p_{I\to s_i}} < V_{p_{I\to s_j}} \ \wedge \ T \notin I(p_{I\to S_j})$$

である場合、すべての計画$P_{I\to S_j}$より優勢である。プランナ３０は、いくつかの計画または好ましくはすべての優勢な計画をＡ＊探索空間から刈り込む（さらなる考察から除外する）ようにしかるべく動作する。

【００５９】

プランナ３０は、他の集束技法を使用することもできる。ヒューリスティック値は、どの状態ノードが次に拡張されるかを決定するが、２つ以上のノードが同じヒューリスティック値を受け取ることも可能である。したがって、プランナ３０は、規則を利用して、どのノードを最初に拡張すべきかを決定することができる。これに関する１つの適切な規則は、単にノードを無作為に選ぶことである。

開示のこの態様によれば、プランナ３０におけるさらなる改善は、（上記の式（９）の）

$$V_{p_{I\to s_n}}$$

は、プレフィックスとしての部分計画$P_{I\to S_n}$で開始する全計画$P_{I\to G}$についての保証された下界を表すという事実を使用して、実施することができる。上界および下界は実現可能であるが、区間の内点はどれも存在することを保証されない。したがって、プランナ３０は、２つの部分計画のどちらが最も近い実現可能解であるかを決定するために、有利にＶを比較することができる。２つの部分計画がこのパラメータについても同一である

場合、情報獲得は同じであり、したがって、プランナ３０は、失敗する可能性がより低い部分計画を選択し、それによって、短期生産性を促進する。プランナ３０は、順次決定手順において、これら２つの手法を組み合わせることができる。$P_{I \to S1}$および$P_{I \to S2}$が、同じ最小値、すなわち

$$F(p_{I \to S_1}) = F(p_{I \to S_2})$$

を有する２つの部分計画である場合、プランナ３０は、以下の規則リストに基づいて適用する第１の規則を選択することによって、均衡を破ることができる。

【００６０】

1　$V_{p_{I \to S_1}} < V_{p_{I \to S_2}}$ならば$p_{I \to S_1}$を最初に拡張する。

【００６１】

2　$V_{p_{I \to S_1}} > V_{p_{I \to S_2}}$ならば$p_{I \to S_2}$を最初に拡張する。

【００６２】

3　$U_I(p_{I \to S_1}) < U_I(p_{I \to S_2})$ならば$p_{I \to S_1}$を最初に拡張する。

【００６３】

4　$U_I(p_{I \to S_1}) > U_I(p_{I \to S_2})$ならば$p_{I \to S_2}$を最初に拡張する。

【００６４】

5　$L_I(p_{I \to S_1}) < L_I(p_{I \to S_2})$ならば$p_{I \to S_2}$を最初に拡張する。

【００６５】

6　$L_I(p_{I \to S_1}) > L_I(p_{I \to S_2})$ならば$p_{I \to S_1}$を最初に拡張する。

【００６６】

７　それ以外ならば、無作為に選ぶ。

【００６７】

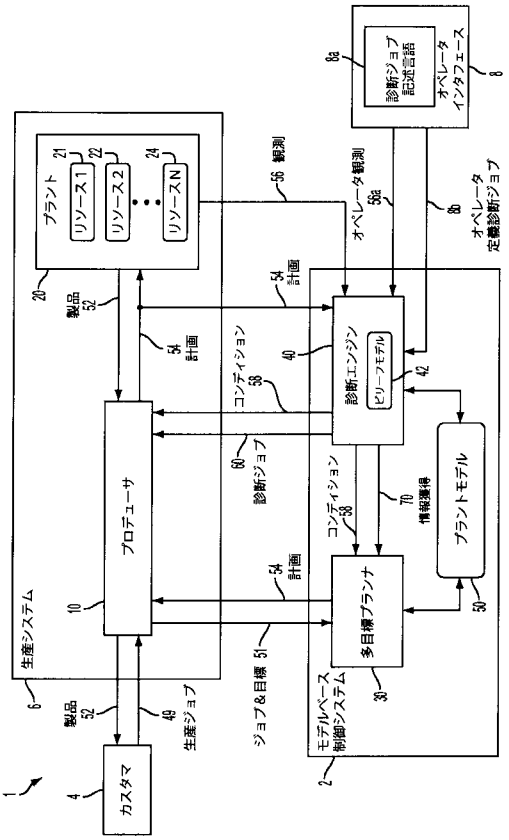
プランナ３０は、生産中に観測された障害の発生源の決定を助けるための計画５４の生成ばかりでなく、コンポーネント３２ｂを介して、プラント２０内の既知の障害リソース２１～２４の選択的回避も容易にすることができる。

【符号の説明】

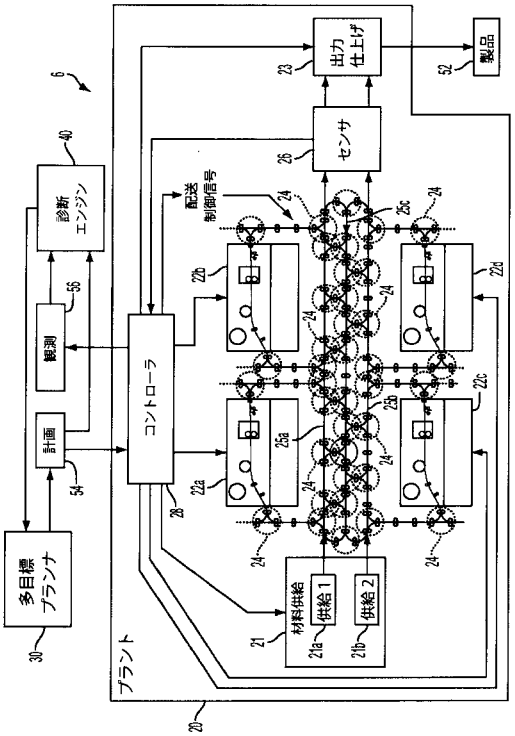
【００６８】

８ｂ　オペレータ定義診断ジョブ、　１０　プロデューサ、　３０　多目標プランナ、　３４ａ　生産目標、　４０　診断エンジン、　５１　ジョブ＆目標、　５２　製品、　６０　診断ジョブ。

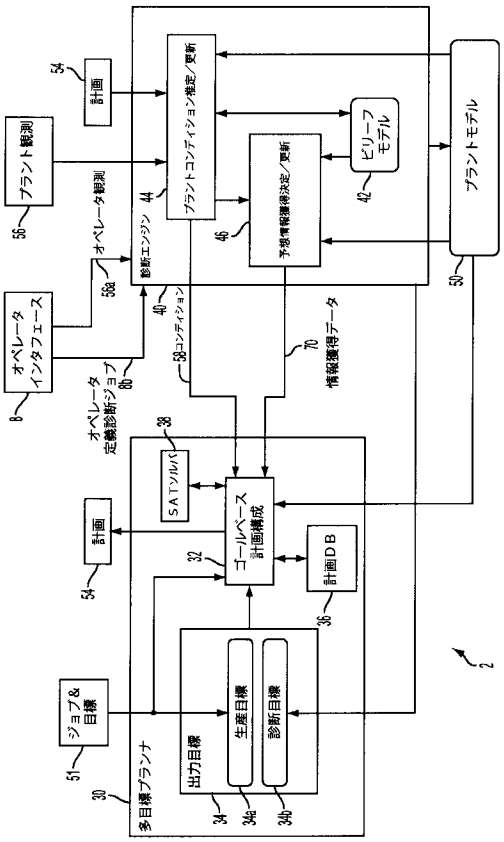
【図１】


生産システム
プラント
リソース1
リソース2
リソースN
製品
プロデューサ
カスタマ
診断エンジン
ビリーフモデル
コンディション
観測
計画
診断ジョブ
生産ジョブ
ジョブ&目標
多目標プランナ
プラントモデル
情報獲得
モデルベース制御システム
オペレータ観測
オペレータ定義診断ジョブ
診断ジョブ記述言語
オペレータインタフェース

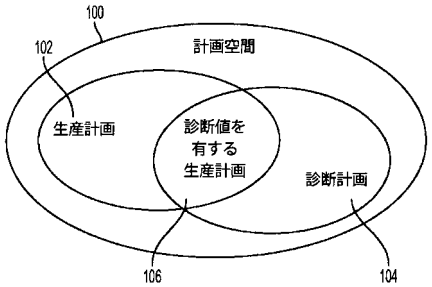
【図２】


プラント
コントローラ
センサ
出力仕上げ
製品
診断エンジン
観測
計画
多目標プランナ
配送制御信号
材料供給
供給1
供給2

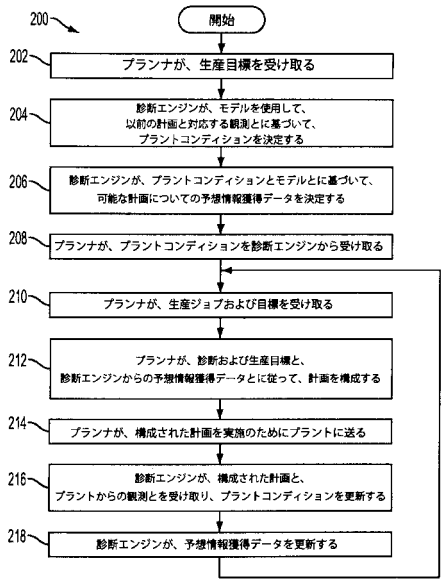
【図３】


プラント観測
計画
オペレータ観測
オペレータインタフェース
オペレータ定義診断ジョブ
診断エンジン
プラントコンディション推定/更新
予想情報獲得決定/更新
ビリーフモデル
プラントモデル
コンディション
情報獲得データ
SATソルバ
ゴールベース計画構成
計画DB
ジョブ&目標
多目標プランナ
出力目標
生産目標
診断目標

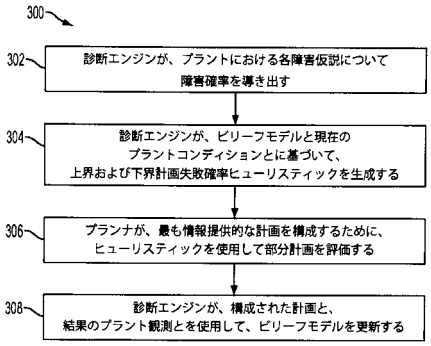
【図４】


計画空間
生産計画
診断値を有する生産計画
診断計画

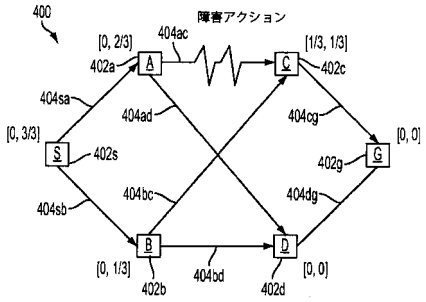
【図５】


200
開始
202
プランナが、生産目標を受け取る
204
診断エンジンが、モデルを使用して、
以前の計画と対応する観測とに基づいて、
プラントコンディションを決定する
206
診断エンジンが、プラントコンディションとモデルとに基づいて、
可能な計画についての予想情報獲得データを決定する
208
プランナが、プラントコンディションを診断エンジンから受け取る
210
プランナが、生産ジョブおよび目標を受け取る
212
プランナが、診断および生産目標と、
診断エンジンからの予想情報獲得データとに従って、計画を構成する
214
プランナが、構成された計画を実施のためにプラントに送る
216
診断エンジンが、構成された計画と、
プラントからの観測とを受け取り、プラントコンディションを更新する
218
診断エンジンが、予想情報獲得データを更新する

【図６】


300
302
診断エンジンが、プラントにおける各障害仮説について
障害確率を導き出す
304
診断エンジンが、ビリーフモデルと現在の
プラントコンディションとに基づいて、
上界および下界計画失敗確率ヒューリスティックを生成する
306
プランナが、最も情報提供的な計画を構成するために、
ヒューリスティックを使用して部分計画を評価する
308
診断エンジンが、構成された計画と、
結果のプラント観測とを使用して、ビリーフモデルを更新する

【図７】


400
障害アクション
[0, 2/3]
404ac
[1/3, 1/3]
402a
A
C
402c
404sa
404ad
404cg
[0, 3/3]
[0, 0]
S
402s
402g
G
404bc
404dg
404sb
B
D
[0, 1/3]
404bd
[0, 0]
402b
402d

フロントページの続き

(72)発明者　ルーカス　クーン
アメリカ合衆国　カリフォルニア　パロ　アルト　アラマンタ　アヴェニュー　４０２０
(72)発明者　ロバート　アール　プライス
アメリカ合衆国　カリフォルニア　パロ　アルト　ウィルキー　ウェイ　４２０５
(72)発明者　ヨハン　デクリアー
アメリカ合衆国　カリフォルニア　ロス　アルトス　パコ　ドライブ　６８５
(72)発明者　ミン　ビン　ドウ
アメリカ合衆国　カリフォルニア　パロ　アルト　エルスウォース　プレイス　７０６
(72)発明者　ロン　ジョウ
アメリカ合衆国　カリフォルニア　クーパーティーノ　スティーブンス　クリーク　ブールバード
２０３５０　アパートメント　＃２０８

審査官　稲垣　浩司

(56)参考文献　特開２００４－１５２２９４（ＪＰ，Ａ）
特開平９－１９０２１９（ＪＰ，Ａ）
特開平８－１５１０２（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｇ０５Ｂ　１９／４１８
Ｇ０６Ｑ　５０／０４