

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6909754号  
(P6909754)

(45) 発行日 令和3年7月28日(2021.7.28)

(24) 登録日 令和3年7月7日(2021.7.7)

(51) Int.Cl. F I  
G O 5 B 13/02 (2006.01) G O 5 B 13/02 J

請求項の数 20 外国語出願 (全 31 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2018-73610 (P2018-73610)                  (22) 出願日 平成30年4月6日 (2018.4.6)                  (65) 公開番号 特開2018-181331 (P2018-181331A)                  (43) 公開日 平成30年11月15日 (2018.11.15)                  審査請求日 令和3年4月2日 (2021.4.2)                  (31) 優先権主張番号 62/484, 681                  (32) 優先日 平成29年4月12日 (2017.4.12)                  (33) 優先権主張国・地域又は機関                  米国 (US)</p> <p>早期審査対象出願</p>	<p>(73) 特許権者 518010511                  ジョンソン コントロールズ テクノロジ                  ー カンパニー                  Johnson Controls Te                  chnology Company                  アメリカ合衆国 ミシガン州 48326                  -2773 オーバーンヒルズ ハイメド                  ウサークル 2875                  (74) 代理人 100083806                  弁理士 三好 秀和                  (74) 代理人 100095500                  弁理士 伊藤 正和                  (74) 代理人 100111235                  弁理士 原 裕子</p> <p style="text-align: right;">最終頁に続く</p>
---	--

(54) 【発明の名称】 制約ハンドリングを伴う極値探索制御システム、方法及び極値探索制御装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

極値探索制御システムであって、  
 ビルディングの可変の状態または条件に影響を与えるように動作可能なプラントと、  
 極値探索制御装置と  
 を含み、  
 前記極値探索制御装置は、  
 前記プラントに制御入力を与え、前記プラントから第1のフィードバックとして性能変数  
 を受信することであって、前記プラントは前記制御入力を使用して前記性能変数に影響を  
 及ぼし、前記性能変数は前記プラントの資源消費量を表すことと、  
 前記プラントから第2のフィードバックとして前記可変の状態または条件の測定値を受信  
 することと、  
 前記測定値にペナルティ関数を適用することによって性能ペナルティを計算することと、  
 前記性能ペナルティにより前記性能変数を修正して修正済み費用関数を生成することと、  
 前記制御入力に対する前記修正済み費用関数の勾配を推定することと、  
 前記制御入力を変調することによって前記修正済み費用関数の前記勾配をゼロに向けて動  
 かすことと  
 を行うように構成され、  
 前記ペナルティ関数は、前記測定値が設定値またはデッド区域よりも大きい場合、前記性  
 能ペナルティは前記測定値が前記設定値またはデッド区域から離れるにつれて増加し、前

10

20

前記測定値が設定値またはデッド区域よりも小さい場合、前記性能ペナルティは前記測定値が前記設定値またはデッド区域から離れるにつれて増加するように構成される、極値探索制御システム。

【請求項2】

前記ペナルティ関数は、前記測定値が前記デッド区域から逸脱する量に基づいて単調増加する、請求項1の極値探索制御システム。

【請求項3】

前記制御入力を変調することは、前記制御入力にディザ信号を適用することを含み、前記極値探索制御装置はさらに、前記ディザ信号により引き起こされる前記測定値の変動を含むように前記デッド区域の範囲を自動的に定めるように構成される、請求項2の極値探索制御システム。

10

【請求項4】

前記ペナルティ関数はデッド区域関数に基づき、前記デッド区域関数は、前記測定値が前記測定値の最小値と前記測定値の最大値との間にあるときゼロ値を有し、前記測定値が前記最小値を下回るとき線形に減少し、前記測定値が前記最大値を上回るとき線形に増加する、請求項1の極値探索制御システム。

【請求項5】

前記極値探索制御装置は、前記測定値に基づいて前記デッド区域関数の値を計算してデッド区域値を生成することと、前記デッド区域値の二乗値または絶対値を計算することとによって前記性能ペナルティを計算するように構成される、請求項4の極値探索制御システム。

20

【請求項6】

前記極値探索制御装置はさらに、前記デッド区域値の前記二乗値または絶対値にスケールパラメータを掛けることによって前記性能ペナルティを計算するように構成される、請求項5の極値探索制御システム。

【請求項7】

前記極値探索制御装置は、前記性能変数に1と前記性能ペナルティとの和を掛けることによって、前記性能ペナルティにより前記性能変数を修正して前記修正済み費用関数を生成するように構成される、請求項1の極値探索制御システム。

30

【請求項8】

前記極値探索制御装置は、ディザ信号により前記制御入力を増大するように構成される、請求項1の極値探索制御システム。

【請求項9】

方法であって、ビルディングの可変の状態または条件に影響を与えるためにプラントを動作させるステップと、前記プラントに制御入力を与え、前記プラントから第1のフィードバックとして性能変数を受信するステップであって、前記プラントは前記制御入力を使用して前記性能変数に影響を及ぼし、前記性能変数は前記プラントの資源消費量を表すステップと、前記プラントから第2のフィードバックとして前記可変の状態または条件の測定値を受信するステップと、前記測定値にペナルティ関数を適用することによって性能ペナルティを計算するステップと、前記性能ペナルティにより前記性能変数を修正して修正済み費用関数を生成するステップと、前記制御入力に対する前記修正済み費用関数の勾配を推定するステップと、

40

50

前記制御入力を変調することによって前記修正済み費用関数の前記勾配をゼロに向けて動かすステップと

を含み、

前記ペナルティ関数は、前記測定値が設定値またはデッド区域よりも大きい場合、前記性能ペナルティは前記測定値が前記設定値またはデッド区域から離れるにつれて増加し、前記測定値が設定値またはデッド区域よりも小さい場合、前記性能ペナルティは前記測定値が前記設定値またはデッド区域から離れるにつれて増加するように構成される、方法。

【請求項 10】

前記ペナルティ関数は、前記測定値が前記デッド区域から逸脱する量に基づいて単調増加する、請求項 9 の方法。

10

【請求項 11】

前記制御入力にディザ信号を適用することと、前記ディザ信号の動作により引き起こされる前記測定値の振動を含むように前記デッド区域を定めることとによって前記デッド区域の範囲を自動的に決定するステップをさらに含む、請求項 10 の方法。

【請求項 12】

前記ペナルティ関数はデッド区域関数に基づき、

前記デッド区域関数は、

前記測定値が最小値と最大値との間にあるときゼロ値を有し、

前記測定値が前記最小値を下回るとき線形に減少し、

前記測定値が前記最大値を上回るとき線形に増加する、請求項 9 の方法。

20

【請求項 13】

前記性能ペナルティを計算するステップは、

前記測定値に基づいて前記デッド区域関数の値を計算することによりデッド区域値を生成するステップと、

前記デッド区域値の二乗値または絶対値を計算するステップと

を含む、請求項 12 の方法。

【請求項 14】

前記性能ペナルティを計算するステップはさらに、前記デッド区域の前記二乗値または絶対値にスケーリングパラメータを掛けるステップを含む、請求項 13 の方法。

【請求項 15】

前記性能ペナルティにより前記性能変数を修正して前記修正済み費用関数を生成するステップは、前記性能変数に 1 と前記性能ペナルティとの和を掛けるステップを含む、請求項 9 の方法。

30

【請求項 16】

ディザ信号により前記制御入力を増大するステップをさらに含む、請求項 9 の方法。

【請求項 17】

極値探索制御装置であって、

性能変数、およびビルディングの可変の状態または条件の測定値を受信するためにプラントに通信可能に結合される制約ハンドラを含み、

前記プラントは、前記極値探索制御装置からの制御入力に応答して前記性能変数および前記測定値に影響を及ぼすように動作可能であり、

40

前記制約ハンドラは、

前記測定値にペナルティ関数を適用することによって性能ペナルティを計算することと、

前記性能ペナルティにより前記性能変数を修正して修正済み費用関数を生成することと、

前記修正済み費用関数を性能勾配プロープに与えることと

を行うように構成され、

前記性能勾配プロープは、前記制御入力に対する前記修正済みの費用関数の勾配を推定し、前記勾配を操作変数アップデートに与えるように構成され、

前記操作変数アップデートは、前記プラントが前記勾配をゼロに向けて動かすための更新済み制御信号を生成するように構成され、

50

前記ペナルティ関数は、前記測定値が設定値またはデッド区域よりも大きい場合、前記性能ペナルティは前記測定値が前記設定値またはデッド区域から離れるにつれて増加し、前記測定値が設定値またはデッド区域よりも小さい場合、前記性能ペナルティは前記測定値が前記設定値またはデッド区域から離れるにつれて増加するように構成される、極値探索制御装置。

【請求項 18】

前記ペナルティ関数は、前記測定値が前記デッド区域から逸脱する量に基づいて単調増加する、請求項 17 の極値探索制御装置。

【請求項 19】

前記操作変数アップデートは、ディザ信号により前記更新済み制御信号を増大するように構成される、請求項 17 の極値探索制御装置。

10

【請求項 20】

前記制約ハンドラは、前記性能変数に 1 と前記性能ペナルティとの和を掛けることによって、前記ペナルティ関数により前記性能変数を修正して前記修正済み費用関数を生成するように構成される、請求項 17 の極値探索制御装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

関連特許出願の相互参照

本願は、参照によりその全開示を本明細書に援用する、2017年4月12日に出願された米国仮特許出願第62/484,681号明細書の優先権の利益を主張する。

20

【背景技術】

【0002】

本開示は、一般に極値探索制御(ESC)システムに関する。ESCとは、特定の性能指数を最適化するためにシステムの未知のおよび/または経時変化する入力を動的に探索することができる自己最適化制御戦略の類である。ESCは、ディザ信号を使用することによる勾配探索の動的実現と見なすことができる。システム動作に僅かな摂動を与え、復調手段を適用することにより、システム入力 $u$ に対するシステム出力 $y$ の勾配を得ることができる。閉ループ系内の負帰還回路を使用することで勾配をゼロに向けて動かすことにより、システム性能の最適化を得ることができる。ESCはモデルに基づかない制御戦略であり、つまりESCがシステムを最適化するために、制御されるシステムのためのモデルが不要であることを意味する。

30

【0003】

ESCは、操作変数に対する費用関数の勾配に関する特性のオンライン推定を概して含む。この勾配測度がゼロである点まで移動するために操作変数を継続的に調節することができる。上限および下限を使用することにより、操作されている変数に制約を適用するのが簡単である。しかし、一定の境界内でESCの動作の影響を受ける他の変数も制約することが望ましい場合がある。ESCの影響を受ける他の変数に制約を適用する問題はESCの枠組み内では扱うのが困難であり得る。

【発明の概要】

40

【課題を解決するための手段】

【0004】

本開示の一実装形態は、ビルディングの可変状態または条件に影響を与えるように動作可能なプラントと極値探索制御装置とを含む極値探索制御システムである。極値探索制御装置は、プラントに制御入力を与え、プラントから第1のフィードバックとして性能変数を受信するように構成される。プラントは、制御入力を使用して性能変数に影響を及ぼす。極値探索制御装置は、プラントから第2のフィードバックとして制約付き変数を受信し、制約付き変数にペナルティ関数を適用することによって性能ペナルティを計算するように構成される。極値探索制御装置は、性能ペナルティを用いて性能変数を修正して修正済みの費用関数を生成し、制御入力に対する修正済みの費用関数の勾配を推定し、制御入力

50

を変調することによって修正済みの費用関数の勾配をゼロに向けて動かすようにさらに構成される。

【0005】

一部の実施形態では、制約付き変数が所定範囲から逸脱する量に基づいてペナルティ関数が単調増加する。一部の実施形態では、極値探索制御装置が所定範囲を決定するようにさらに構成される。

【0006】

一部の実施形態では、ペナルティ関数がデッドバンド関数に基づく。デッドバンド関数は、制約付き変数が制約付き変数の最小値と制約付き変数の最大値との間にあるときゼロ値を有し、制約付き変数が最小値を下回るとき線形に減少し、制約付き変数が最大値を上回るとき線形に増加する。

10

【0007】

一部の実施形態では、制約付き変数に基づいてデッドバンド関数の値を計算してデッドバンド値を生成し、デッドバンド値の二乗値または絶対値を計算することによって性能ペナルティを計算するように極値探索制御装置が構成される。一部の実施形態では、極値探索制御装置がディザ信号を用いて制御入力を増大するように構成される。

【0008】

本開示の別の実施形態は方法である。その方法は、ビルディングの可変状態または条件に影響を与えるためにプラントを動作させるステップと、プラントに制御入力を与え、プラントから第1のフィードバックとして性能変数を受信するステップとを含む。プラントは、制御入力を使用して性能変数に影響を及ぼす。この方法は、プラントから第2のフィードバックとして制約付き変数を受信するステップと、制約付き変数にペナルティ関数を適用することによって性能ペナルティを計算するステップと、性能ペナルティを用いて性能変数を修正して修正済みの費用関数を生成するステップと、制御入力に対する修正済みの費用関数の勾配を推定するステップと、制御入力を変調することによって修正済みの費用関数の勾配をゼロに向けて動かすステップとをさらに含む。

20

【0009】

一部の実施形態では、制約付き変数が所定範囲から逸脱する量に基づいてペナルティ関数が単調増加する。一部の実施形態では、この方法が所定範囲を自動で決定するステップをさらに含む。

30

【0010】

一部の実施形態では、ペナルティ関数がデッドバンド関数に基づく。デッドバンド関数は、制約付き変数が制約付き変数の最小値と制約付き変数の最大値との間にあるときゼロ値を有し、制約付き変数が最小値を下回るとき線形に減少し、制約付き変数が最大値を上回るとき線形に増加する。

【0011】

一部の実施形態では、性能ペナルティを計算するステップが、制約付き変数に基づいてデッドバンド関数の値を計算してデッドバンド値を生成するステップと、デッドバンド値の二乗値または絶対値を計算するステップとを含む。一部の実施形態では、性能ペナルティを計算するステップが、デッドバンドの二乗値または絶対値にスケーリングパラメータを掛けるステップも含む。一部の実施形態では、性能ペナルティを用いて性能変数を修正して修正済みの費用関数を生成するステップが、性能変数に1と性能ペナルティとの和を掛けるステップを含む。

40

【0012】

一部の実施形態では、この方法がディザ信号を用いて制御入力を増大するステップも含む。

【0013】

本開示の別の実施形態は極値探索制御装置である。極値探索制御装置は、性能変数および制約付き変数を受信するためにプラントに通信可能に結合される制約ハンドラを含む。プラントは、極値探索制御装置からの制御入力にตอบสนองして性能変数および制約付き変数に

50

影響を及ぼすように動作可能である。制約ハンドラは、制約付き変数にペナルティ関数を適用することによって性能ペナルティを計算し、性能ペナルティを用いて性能変数を修正して修正済みの費用関数を生成し、修正済みの費用関数を性能勾配プロープに与えるように構成される。性能勾配プロープは、制御入力に対する修正済みの費用関数の勾配を推定し、その勾配を操作変数アップデータに与えるように構成される。操作変数アップデータは、プラントが勾配をゼロに向けて動かすための更新済み信号を生成するように構成される。

【0014】

一部の実施形態では、制約付き変数が所定範囲から逸脱する量に基づいてペナルティ関数が単調増加する。一部の実施形態では、操作変数アップデータが、ディザ信号を用いて更新済み制御信号を増大するように構成される。一部の実施形態では、制約ハンドラが、性能変数に1と性能ペナルティとの和を掛けることにより、ペナルティ関数を用いて性能変数を修正して修正済みの費用関数を生成するように構成される。

10

【0015】

上記の概要は単に例示にすぎず、何ら限定を意図するものではないことを当業者には理解されたい。特許請求の範囲によってのみ定義される、本明細書で述べるデバイスおよび/またはプロセスの他の態様、進歩性のある特徴、および利点は、本明細書で述べる詳細な説明を添付図面と併せて読めば明らかになる。

【図面の簡単な説明】

【0016】

【図1】一部の実施形態による、HVACシステムを備えるビルディングの図である。

【図2】一部の実施形態による、図1のビルディングと共に使用可能なウォーターサイドシステムの概略図である。

【図3】一部の実施形態による、図1のビルディングと共に使用可能なエアサイドシステムの概略図である。

【図4】一部の実施形態による、図1のビルディングを監視し制御するために使用可能なビルディング管理システム(BMS)のブロック図である。

【図5】一部の実施形態による、図1のビルディングを監視し制御するために使用可能な別のBMSのブロック図である。

【図6】一部の実施形態による、プラントに与えられる制御入力に摂動を与えるために周期的ディザ信号を使用する極値探索制御(ESC)システムのブロック図である。

【図7】一部の実施形態による、プラントに与えられる制御入力に摂動を与えるために周期的ディザ信号を使用する別のESCシステムのブロック図である。

【図8】一部の実施形態による、制約ハンドラを有するESCシステムのブロック図である。

【図9】一部の実施形態による、ESC内の制約を扱うためのプロセスの流れ図である。

【図10】一部の実施形態による、制約境界に関するデッドゾーンのグラフである。

【図11】一部の実施形態による、単一の部屋を冷却するシミュレートされた屋上ユニットの略図である。

【図12】一部の実施形態による、給気温度を制御するために使用されるESCアルゴリズム内のペナルティ項なしの、およびペナルティ項ありの給気温度設定値のグラフである。

40

【図13】一部の実施形態による、ESCアルゴリズム内のペナルティ項なしの、およびペナルティ項ありの電力消費量のグラフである。

【図14】一部の実施形態による、図10に示す制御動作に起因する室温応答のグラフである。

【図15】一部の実施形態による、図10に示す制御動作に起因する室内空気の相対的な湿度応答のグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0017】

50

## ビルディングHVACシステムおよびビルディング管理システム

## 【0018】

ここで図1～図5を参照すると、いくつかの実施形態による、本開示のシステムおよび方法を実装することができるいくつかのビルディング管理システム(BMS)およびHVACシステムが示されている。簡潔に要約すると、図1はHVACシステム100を備えるビルディング10を示す。図2は、ビルディング10に供給するために使用可能なウォーターサイドシステム200のブロック図である。図3は、ビルディング10に供給するために使用可能なエアサイドシステム300のブロック図である。図4は、ビルディング10を監視し制御するために使用可能なBMSのブロック図である。図5は、ビルディング10を監視し制御するために使用可能な別のBMSのブロック図である。

10

## 【0019】

## ビルディングおよびHVACシステム

## 【0020】

特に図1を参照すると、ビルディング10の斜視図が示されている。ビルディング10は、BMSによってサービス提供される。BMSは、一般に、ビルディングまたはビルディングエリアの内部または周辺の機器を制御、監視、および管理するように構成されたデバイスのシステムである。BMSは、例えば、HVACシステム、セキュリティシステム、照明システム、火災警報システム、ビルディングの機能もしくはデバイスを管理することが可能な任意の他のシステム、またはそれらの任意の組合せを含むことができる。

20

## 【0021】

ビルディング10にサービス提供するBMSは、HVACシステム100を含む。HVACシステム100は、ビルディング10のための暖房、冷房、換気、または他のサービスを提供するように構成された複数のHVACデバイス(例えば、加熱器、冷却器、エアハンドリングユニット、ポンプ、ファン、熱エネルギー貯蔵装置など)を含み得る。例えば、HVACシステム100は、ウォーターサイドシステム120およびエアサイドシステム130を含むものとして示されている。ウォーターサイドシステム120は、加熱または冷却された流体をエアサイドシステム130のエアハンドリングユニットに提供し得る。エアサイドシステム130は、加熱または冷却された流体を使用して、ビルディング10に提供される気流を加熱または冷却し得る。HVACシステム100で使用され得る例示的なウォーターサイドシステムおよびエアサイドシステムについては、図2～3を参照してより詳細に述べる。

30

## 【0022】

HVACシステム100は、冷却器102、ボイラ104、および屋上エアハンドリングユニット(AHU)106を含むものとして示されている。ウォーターサイドシステム120は、ボイラ104および冷却器102を使用して、作動流体(例えば水やグリコールなど)を加熱または冷却することができ、作動流体をAHU106に循環させ得る。様々な実施形態において、ウォーターサイドシステム120のHVACデバイスは、(図1に示されるように)ビルディング10内もしくは周囲に位置していても、または中央プラント(例えば冷却器プラント、蒸気プラント、熱プラントなど)など場外の位置に位置していてもよい。作動流体は、ビルディング10に暖房が必要とされているか冷房が必要とされているかに応じて、ボイラ104で加熱されるか、または冷却器102で冷却され得る。ボイラ104は、例えば、可燃性材料(例えば天然ガス)を燃焼することによって、または電気加熱要素を使用することによって、循環される流体に熱を加え得る。冷却器102は、循環される流体を、熱交換器(例えば蒸発器)内の別の流体(例えば冷媒)との熱交換関係にして、循環される流体から熱を吸収し得る。冷却器102および/またはボイラ104からの作動流体は、配管108を通してAHU106に輸送され得る。

40

## 【0023】

AHU106は、(例えば冷却コイルおよび/または加熱コイルの一以上のステージを通して)AHU106を通過する気流と作動流体を熱交換関係にすることができる。気流は、例えば外気、ビルディング10内からの還気、またはそれら両方の組合せであっても

50

よい。A H U 1 0 6 は、気流と作動流体との間で熱を伝達して、気流を加熱または冷却し得る。例えば、A H U 1 0 6 は、一以上のファンまたは送風機を含んでもよく、ファンまたは送風機は、作動流体を含む熱交換器の上に、または熱交換器を通して空気を流すように構成される。次いで、作動流体は、配管 1 1 0 を通って冷却器 1 0 2 またはボイラ 1 0 4 に戻り得る。

#### 【 0 0 2 4 】

エアサイドシステム 1 3 0 は、A H U 1 0 6 によって供給される気流（すなわち給気流）を、給気ダクト 1 1 2 を通してビルディング 1 0 に送給し、還気を、ビルディング 1 0 から還気ダクト 1 1 4 を通して A H U 1 0 6 に提供し得る。いくつかの実施形態では、エアサイドシステム 1 3 0 は、複数の可変空気体積（V A V）ユニット 1 1 6 を含む。例えば、エアサイドシステム 1 3 0 は、ビルディング 1 0 の各フロアまたは区域に別個の V A V ユニット 1 1 6 を含むものとして示されている。V A V ユニット 1 1 6 は、ビルディング 1 0 の個々の区域に提供される給気流の量を制御するように動作させることができるダンパまたは他の流量制御要素を含み得る。他の実施形態では、エアサイドシステム 1 3 0 は、中間 V A V ユニット 1 1 6 または他の流量制御要素を使用せずに、（例えば供給ダクト 1 1 2 を通して）ビルディング 1 0 の一以上の区域に給気流を送給する。A H U 1 0 6 は、給気流の属性を測定するように構成された様々なセンサ（例えば温度センサや圧力センサなど）を含み得る。A H U 1 0 6 は、A H U 1 0 6 内および/またはビルディング区域内に位置するセンサからの入力を受信することができ、A H U 1 0 6 を通る給気流の流量、温度、または他の属性を調節して、ビルディング区域に関する設定値条件を実現し得る。

#### 【 0 0 2 5 】

ウォーターサイドシステム

#### 【 0 0 2 6 】

ここで図 2 を参照すると、いくつかの実施形態によるウォーターサイドシステム 2 0 0 のブロック図が示されている。様々な実施形態において、ウォーターサイドシステム 2 0 0 は、H V A C システム 1 0 0 内のウォーターサイドシステム 1 2 0 を補助するか、もしくはそれに置き代わってもよく、または H V A C システム 1 0 0 とは別個に実装されてもよい。H V A C システム 1 0 0 に実装されるとき、ウォーターサイドシステム 2 0 0 は、H V A C システム 1 0 0 内の H V A C デバイスのサブセット（例えばボイラ 1 0 4、冷却器 1 0 2、ポンプ、弁など）を含んでもよく、加熱または冷却された流体を A H U 1 0 6 に供給するように動作し得る。ウォーターサイドシステム 2 0 0 の H V A C デバイスは、ビルディング 1 0 内に（例えばウォーターサイドシステム 1 2 0 の構成要素として）位置しても、中央プラントなど場外の位置に位置してもよい。

#### 【 0 0 2 7 】

図 2 で、ウォーターサイドシステム 2 0 0 は、複数のサブプラント 2 0 2 ~ 2 1 2 を有する中央プラントとして示されている。サブプラント 2 0 2 ~ 2 1 2 は、加熱器サブプラント 2 0 2、熱回収冷却器サブプラント 2 0 4、冷却器サブプラント 2 0 6、冷却塔サブプラント 2 0 8、高温熱エネルギー貯蔵（T E S）サブプラント 2 1 0、および冷熱エネルギー貯蔵（T E S）サブプラント 2 1 2 を含むものとして示されている。サブプラント 2 0 2 ~ 2 1 2 は、公益事業からの資源（例えば水、天然ガス、電気など）を消費して、ビルディングまたはキャンパスの熱エネルギー負荷（例えば温水、冷水、暖房、冷房など）を提供する。例えば、加熱器サブプラント 2 0 2 は、加熱器サブプラント 2 0 2 とビルディング 1 0 との間で温水を循環させる温水ループ 2 1 4 内の水を加熱するように構成され得る。冷却器サブプラント 2 0 6 は、冷却器サブプラント 2 0 6 とビルディング 1 0 との間で冷水を循環させる冷水ループ 2 1 6 内の水を冷却するように構成され得る。熱回収冷却器サブプラント 2 0 4 は、冷水ループ 2 1 6 から温水ループ 2 1 4 に熱を伝達して、温水のための追加加熱および冷水のための追加冷却を可能にするように構成され得る。凝縮器水ループ 2 1 8 が、冷却器サブプラント 2 0 6 内の冷水から熱を吸収し、吸収された熱を冷却塔サブプラント 2 0 8 内に排除するか、または吸収された熱を温水ループ 2 1 4

に伝達し得る。高温TESサブプラント210および低温TESサブプラント212は、その後の使用のために、それぞれ高熱および低熱エネルギーを貯蔵し得る。

【0028】

温水ループ214および冷水ループ216は、ビルディング10の屋上に位置するエアハンドラ（例えばAHU106）に、またはビルディング10の個々のフロアもしくはは区域（例えばVAVユニット116）に、加熱および/または冷却された水を送給し得る。エアハンドラは、水が流れる熱交換器（例えば加熱コイルまたは冷却コイル）に空気を押し通して、空気を加熱または冷却する。加熱または冷却された空気は、ビルディング10の個々の区域に送給されて、ビルディング10の熱エネルギー負荷を提供し得る。次いで、水はサブプラント202~212に戻り、さらなる加熱または冷却を受ける。

10

【0029】

サブプラント202~212は、ビルディングへの循環用の水を加熱および冷却するものとして図示されて述べられているが、熱エネルギー負荷を供給するために水の代わりに、または水に加えて、任意の他のタイプの作動流体（例えばグリコールやCO2など）が使用されてもよいことを理解されたい。他の実施形態では、サブプラント202~212は、中間伝熱流体を必要とせずに、ビルディングまたはキャンパスに加熱および/または冷却を直接提供し得る。ウォーターサイドシステム200に対するこれらおよび他の変形形態も本開示の教示の範囲内にある。

【0030】

サブプラント202~212はそれぞれ、サブプラントの機能を実現しやすくするように構成された様々な機器を含み得る。例えば、加熱器サブプラント202は、温水ループ214内の温水に熱を加えるように構成された複数の加熱要素220（例えばボイラや電気加熱器など）を含むものとして示されている。また、加熱器サブプラント202は、いくつかのポンプ222および224を含むものとして示されており、これらのポンプ222および224は、温水ループ214内で温水を循環させ、個々の加熱要素220を通る温水の流量を制御するように構成される。冷却器サブプラント206は、冷水ループ216内の冷水から熱を除去するように構成された複数の冷却器232を含むものとして示されている。また、冷却器サブプラント206は、いくつかのポンプ234および236を含むものとして示されており、ポンプ234および236は、冷水ループ216内で冷水を循環させ、個々の冷却器232を通る冷水の流量を制御するように構成される。

20

30

【0031】

熱回収冷却器サブプラント204は、冷水ループ216から温水ループ214に熱を伝達するように構成された複数の熱回収熱交換器226（例えば冷蔵回路）を含むものとして示されている。また、熱回収冷却器サブプラント204は、いくつかのポンプ228および230を含むものとして示されており、ポンプ228および230は、熱回収熱交換器226を通して温水および/または冷水を循環させ、個々の熱回収熱交換器226を通る水の流量を制御するように構成される。冷却塔サブプラント208は、凝縮器水ループ218内の凝縮器水から熱を除去するように構成された複数の冷却塔238を含むものとして示されている。また、冷却塔サブプラント208は、いくつかのポンプ240を含むものとして示されており、ポンプ240は、凝縮器水ループ218内で凝縮器水を循環させ、個々の冷却塔238を通る凝縮器水の流量を制御するように構成される。

40

【0032】

高温TESサブプラント210は、後の使用のために温水を貯蔵するように構成された高温TESタンク242を含むものとして示されている。また、高温TESサブプラント210は、一以上のポンプまたは弁を含んでもよく、これらのポンプまたは弁は、高温TESタンク242の内外への温水の流量を制御するように構成される。低温TESサブプラント212は、後の使用のために冷水を貯蔵するように構成された低温TESタンク244を含むものとして示されている。また、低温TESサブプラント212は、一以上のポンプまたは弁を含むこともあり、これらのポンプまたは弁は、低温TESタンク244の内外への冷水の流量を制御するように構成される。

50

## 【 0 0 3 3 】

いくつかの実施形態では、ウォーターサイドシステム 200 内のポンプ（例えばポンプ 222、224、228、230、234、236、および/または 240）またはウォーターサイドシステム 200 内のパイプラインの一以上が、それらに関連付けられた隔離弁を含む。隔離弁は、ウォーターサイドシステム 200 内の流体の流れを制御するために、ポンプと一体化されても、ポンプの上流または下流に位置決めされてもよい。様々な実施形態において、ウォーターサイドシステム 200 は、ウォーターサイドシステム 200 の特定の構成と、ウォーターサイドシステム 200 によって提供される負荷のタイプとに基づいて、より多数、より少数、または異なるタイプのデバイスおよび/またはサブプラントを含むこともある。

10

## 【 0 0 3 4 】

エアサイドシステム

## 【 0 0 3 5 】

ここで図 3 を参照すると、いくつかの実施形態によるエアサイドシステム 300 のブロック図が示されている。様々な実施形態において、エアサイドシステム 300 は、HVAC システム 100 内のエアサイドシステム 130 を補助するか、もしくはそれに置き代わってもよく、または HVAC システム 100 とは別個に実装されてもよい。HVAC システム 100 に実装されるとき、エアサイドシステム 300 は、HVAC システム 100 内の HVAC デバイスのサブセット（例えば AHU 106、VAV ユニット 116、ダクト 112 ~ 114、ファン、ダンパなど）を含んでもよく、ビルディング 10 内または周辺に位置し得る。エアサイドシステム 300 は、ウォーターサイドシステム 200 によって提供される加熱または冷却された流体を使用して、ビルディング 10 に提供される気流を加熱または冷却するように動作し得る。

20

## 【 0 0 3 6 】

図 3 に、エアサイドシステム 300 が、エコマイザ型エアハンドリングユニット（AHU）302 を含むものとして示されている。エコマイザ型 AHU は、加熱または冷却のためにエアハンドリングユニットによって使用される外気および還気の変える。例えば、AHU 302 は、ビルディング区域 306 から還気ダクト 308 を通して還気 304 を受け取ってもよく、給気ダクト 312 を通してビルディング区域 306 に給気 310 を送給してもよい。いくつかの実施形態では、AHU 302 は、ビルディング 10 の屋根に位置する屋上ユニット（例えば図 1 に示される AHU 106）、または還気 304 と外気 314 との両方を受け取るように他の場所に位置決めされた屋上ユニットである。AHU 302 は、混ぜり合せて給気 310 を生成する外気 314 と還気 304 との量を制御するために、排気ダンパ 316、混合ダンパ 318、および外気ダンパ 320 を動作させるように構成され得る。混合ダンパ 318 を通過しない還気 304 は、AHU 302 から排気ダンパ 316 を通して排気 322 として排出され得る。

30

## 【 0 0 3 7 】

各ダンパ 316 ~ 320 は、アクチュエータによって動作することができる。例えば、排気ダンパ 316 はアクチュエータ 324 によって動作することができ、混合ダンパ 318 はアクチュエータ 326 によって動作することができ、外気ダンパ 320 はアクチュエータ 328 によって動作することができる。アクチュエータ 324 ~ 328 は、通信リンク 332 を介して AHU 制御装置 330 と通信し得る。アクチュエータ 324 ~ 328 は、AHU 制御装置 330 から制御信号を受信することができ、AHU 制御装置 330 にフィードバック信号を提供し得る。フィードバック信号は、例えば、現在のアクチュエータまたはダンパ位置の標示、アクチュエータによって及ぼされるトルクまたは力の量、診断情報（例えばアクチュエータ 324 ~ 328 によって実施された診断テストの結果）、ステータス情報、試運転情報、構成設定、較正データ、および/またはアクチュエータ 324 ~ 328 によって収集、記憶、もしくは使用され得る他のタイプの情報もしくはデータを含み得る。AHU 制御装置 330 は、一以上の制御アルゴリズム（例えば、状態ベースアルゴリズム、極値探索制御（ESC）アルゴリズム、比例積分（PI）制御アルゴリズム

40

50

ム、比例積分微分（PID）制御アルゴリズム、モデル予測制御（MPC）アルゴリズム、フィードバック制御アルゴリズムなど）を使用してアクチュエータ324～328を制御するように構成されたエコノマイザ制御装置であってもよい。

【0038】

引き続き図3を参照すると、AHU302は、給気ダクト312内に位置決めされた冷却コイル334、加熱コイル336、およびファン338を含むものとして示されている。ファン338は、給気310を冷却コイル334および/または加熱コイル336に通し、さらに給気310をビルディング区域306に提供するように構成され得る。AHU制御装置330は、通信リンク340を介してファン338と通信して、給気310の流量を制御し得る。いくつかの実施形態では、AHU制御装置330は、ファン338の速度を調整することによって、給気310に加えられる加熱または冷却の量を制御する。

10

【0039】

冷却コイル334は、冷却された流体を、配管342を通してウォーターサイドシステム200から（例えば冷水ループ216から）受け取ることができ、また、冷却された流体を、配管344を通してウォーターサイドシステム200に戻すことができる。冷却コイル334を通る冷却流体の流量を制御するために、配管342または配管344に沿って弁346が位置決めされ得る。いくつかの実施形態では、冷却コイル334は、給気310に加えられる冷却量を調整するために、（例えばAHU制御装置330やBMS制御装置366などによって）独立して作動および作動停止され得る複数ステージの冷却コイルを含む。

20

【0040】

加熱コイル336は、加熱された流体を、配管348を通してウォーターサイドシステム200から（例えば温水ループ214から）受け取ることができ、また、加熱された流体を、配管350を通してウォーターサイドシステム200に戻すことができる。加熱コイル336を通る加熱流体の流量を制御するために、配管348または配管350に沿って弁352が位置決めされ得る。いくつかの実施形態では、加熱コイル336は、給気310に加えられる加熱量を調整するために、（例えばAHU制御装置330やBMS制御装置366などによって）独立して作動および作動停止され得る複数ステージの加熱コイルを含む。

【0041】

弁346および352はそれぞれ、アクチュエータによって制御され得る。例えば、弁346はアクチュエータ354によって制御されてもよく、弁352はアクチュエータ356によって制御されてもよい。アクチュエータ354～356は、通信リンク358～360を介してAHU制御装置330と通信し得る。アクチュエータ354～356は、AHU制御装置330から制御信号を受信することができ、制御装置330にフィードバック信号を提供し得る。いくつかの実施形態では、AHU制御装置330は、給気ダクト312内（例えば冷却コイル334および/または加熱コイル336の下流）に位置決めされた温度センサ362から給気温度の測定値を受信する。また、AHU制御装置330は、ビルディング区域306内に位置する温度センサ364からビルディング区域306の温度の測定値を受信することもある。

30

40

【0042】

いくつかの実施形態では、AHU制御装置330は、アクチュエータ354～356によって弁346および352を操作して、（例えば給気310の設定値温度を実現するため、または設定値温度範囲内で給気310の温度を維持するために）給気310に提供される加熱または冷却の量を調整する。弁346および352の位置は、冷却コイル334または加熱コイル336によって給気310に提供される加熱または冷却の量に影響を及ぼし、所望の給気温度を実現するために消費されるエネルギーの量と関連し得る。AHU330は、コイル334～336を作動もしくは作動停止させること、ファン338の速度を調節すること、またはそれら両方の組合せによって、給気310および/またはビルディング区域306の温度を制御し得る。

50

## 【 0 0 4 3 】

引き続き図 3 を参照すると、エアサイドシステム 3 0 0 は、ビルディング管理システム ( B M S ) 制御装置 3 6 6 およびクライアントデバイス 3 6 8 を含むものとして示されている。 B M S 制御装置 3 6 6 は、システムレベル制御装置として働く一以上のコンピュータシステム ( 例えばサーバ、監視制御装置、サブシステム制御装置など )、アプリケーションもしくはデータサーバ、ヘッドノード、または、エアサイドシステム 3 0 0 用のマスター制御装置、ウォーターサイドシステム 2 0 0、 H V A C システム 1 0 0、および / またはビルディング 1 0 にサービス提供する他の制御可能なシステムを含み得る。 B M S 制御装置 3 6 6 は、複数の下流のビルディングシステムまたはサブシステム ( 例えば H V A C システム 1 0 0、セキュリティシステム、照明システム、ウォーターサイドシステム 2 0 0 など ) と、同様のまたは異なるプロトコル ( 例えば L O N や B A C n e t など ) に従って通信リンク 3 7 0 を介して通信し得る。様々な実施形態において、 A H U 制御装置 3 3 0 と B M S 制御装置 3 6 6 は、 ( 図 3 に示されるように ) 別々であっても、一体化されていてもよい。一体化された実装では、 A H U 制御装置 3 3 0 は、 B M S 制御装置 3 6 6 のプロセッサによって実行されるように構成されたソフトウェアモジュールであってもよい。

10

## 【 0 0 4 4 】

いくつかの実施形態では、 A H U 制御装置 3 3 0 は、 B M S 制御装置 3 6 6 から情報 ( 例えばコマンド、設定値、動作境界など ) を受信し、 B M S 制御装置 3 6 6 に情報 ( 例えば温度測定値、弁またはアクチュエータ位置、動作ステータス、診断など ) を提供する。例えば、 A H U 制御装置 3 3 0 は、温度センサ 3 6 2 ~ 3 6 4 からの温度測定値、機器のオン / オフ状態、機器の動作能力、および / または任意の他の情報を B M S 制御装置 3 6 6 に提供することができ、これらの情報を B M S 制御装置 3 6 6 が使用して、ビルディング区域 3 0 6 内の変動する状態または条件を監視または制御することができる。

20

## 【 0 0 4 5 】

クライアントデバイス 3 6 8 は、 H V A C システム 1 0 0、そのサブシステム、および / またはデバイスを制御、閲覧、または他の形でそれらと対話するための一以上の人間 - 機械インタフェースまたはクライアントインタフェース ( 例えば、グラフィカルユーザインタフェース、報告インタフェース、テキストベースのコンピュータインタフェース、クライアントフェーシングウェブサービス、ウェブクライアントにページを提供するウェブサーバなど ) を含み得る。クライアントデバイス 3 6 8 は、コンピュータワークステーション、クライアント端末、遠隔もしくはローカルインタフェース、または任意の他のタイプのユーザインタフェースデバイスであってもよい。クライアントデバイス 3 6 8 は、固定端末でもモバイルデバイスでもよい。例えば、クライアントデバイス 3 6 8 は、デスクトップコンピュータ、ユーザインタフェースを備えるコンピュータサーバ、ラップトップコンピュータ、タブレット、スマートフォン、 P D A、または任意の他のタイプのモバイルデバイスもしくは非モバイルデバイスであってもよい。クライアントデバイス 3 6 8 は、通信リンク 3 7 2 を介して B M S 制御装置 3 6 6 および / または A H U 制御装置 3 3 0 と通信し得る。

30

## 【 0 0 4 6 】

ビルディング管理システム

40

## 【 0 0 4 7 】

ここで図 4 を参照すると、いくつかの実施形態によるビルディング管理システム ( B M S ) 4 0 0 のブロック図が示されている。 B M S 4 0 0 は、様々なビルディング機能を自動的に監視および制御するためにビルディング 1 0 に実装され得る。 B M S 4 0 0 は、 B M S 制御装置 3 6 6 および複数のビルディングサブシステム 4 2 8 を含むものとして示されている。ビルディングサブシステム 4 2 8 は、ビルディング電気サブシステム 4 3 4、情報通信技術 ( I C T ) サブシステム 4 3 6、セキュリティサブシステム 4 3 8、 H V A C サブシステム 4 4 0、照明サブシステム 4 4 2、エレベータ / エスカレータサブシステム 4 3 2、および火災安全サブシステム 4 3 0 を含むものとして示されている。様々な実

50

施形態において、ビルディングサブシステム 4 2 8 は、より少数の、追加の、または代替のサブシステムを含むことができる。例えば、追加または代替として、ビルディングサブシステム 4 2 8 は、冷蔵サブシステム、広告もしくは標識サブシステム、調理サブシステム、販売サブシステム、プリンタもしくはコピーサービスサブシステム、または、ビルディング 1 0 を監視もしくは制御するために制御可能な機器および/またはセンサを使用する任意の他のタイプのビルディングサブシステムを含み得る。いくつかの実施形態では、ビルディングサブシステム 4 2 8 は、図 2 ~ 3 を参照して述べたように、ウォーターサイドシステム 2 0 0 および/またはエアサイドシステム 3 0 0 を含む。

#### 【 0 0 4 8 】

各ビルディングサブシステム 4 2 8 は、その個々の機能および制御活動を完遂するための多数のデバイス、制御装置、および接続を含み得る。HVACサブシステム 4 4 0 は、図 1 ~ 3 を参照して述べたようなHVACシステム 1 0 0 と同じ構成要素の多くを含み得る。例えば、HVACサブシステム 4 4 0 は、冷却器、ボイラ、多数のエアハンドリングユニット、エコノマイザ、フィールド制御装置、監視制御装置、アクチュエータ、温度センサ、および、ビルディング 1 0 内の温度、湿度、気流、または他の可変条件を制御するための他のデバイスを含み得る。照明サブシステム 4 4 2 は、多数の照明器具、安定器、照明センサ、調光器、または、ビルディング空間に提供される光の量を制御可能に調節するように構成された他のデバイスを含み得る。セキュリティサブシステム 4 3 8 は、人感センサ、ビデオ監視カメラ、デジタルビデオレコーダ、ビデオ処理サーバ、侵入検出デバイス、アクセス制御デバイスおよびサーバ、または他のセキュリティ関連デバイスを含み得る。

#### 【 0 0 4 9 】

引き続き図 4 を参照すると、BMS制御装置 3 6 6 は、通信インタフェース 4 0 7 およびBMSインタフェース 4 0 9 を含むものとして示されている。インタフェース 4 0 7 は、BMS制御装置 3 6 6 と外部アプリケーション（例えば監視および報告アプリケーション 4 2 2、企業管理アプリケーション 4 2 6、遠隔システムおよびアプリケーション 4 4 4、クライアントデバイス 4 4 8 に常駐するアプリケーションなど）との間の通信を容易にして、BMS制御装置 3 6 6 および/またはサブシステム 4 2 8 に対するユーザ制御、監視、および調節を可能にし得る。また、インタフェース 4 0 7 は、BMS制御装置 3 6 6 とクライアントデバイス 4 4 8 との間の通信を容易にし得る。BMSインタフェース 4 0 9 は、BMS制御装置 3 6 6 とビルディングサブシステム 4 2 8（例えばHVAC、照明セキュリティ、エレベータ、配電、ビジネスなど）との間の通信を容易にし得る。

#### 【 0 0 5 0 】

インタフェース 4 0 7、4 0 9 は、ビルディングサブシステム 4 2 8 または他の外部システムもしくはデバイスとのデータ通信を行うための有線もしくは無線通信インタフェース（例えばジャック、アンテナ、送信機、受信機、送受信機、有線端末など）でもよく、またはこれらを含むことができる。様々な実施形態において、インタフェース 4 0 7、4 0 9 を介する通信は、直接的なもの（例えばローカル有線または無線通信）でも、通信ネットワーク 4 4 6（例えばWAN、インターネット、セルラネットワークなど）を介するものでもよい。例えば、インタフェース 4 0 7、4 0 9 は、Ethernet（登録商標）ベースの通信リンクまたはネットワークを介してデータを送受信するためのEthernetカードおよびポートを含むことができる。別の例では、インタフェース 4 0 7、4 0 9 は、無線通信ネットワークを介して通信するためのWi-Fi送受信機を含むことができる。別の例では、インタフェース 4 0 7、4 0 9 の一方または両方は、セルラまたは携帯電話通信送受信機を含み得る。一実施形態では、通信インタフェース 4 0 7 は電力線通信インタフェースであり、BMSインタフェース 4 0 9 はEthernetインタフェースである。他の実施形態では、通信インタフェース 4 0 7 とBMSインタフェース 4 0 9 がどちらもEthernetインタフェースであるか、または同一のEthernetインタフェースである。

#### 【 0 0 5 1 】

10

20

30

40

50

引き続き図4を参照すると、BMS制御装置366は、プロセッサ406およびメモリ408を含む処理回路404を含むものとして示されている。処理回路404は、処理回路404およびその様々な構成要素がインタフェース407、409を介してデータを送受信できるように、BMSインタフェース409および/または通信インタフェース407に通信可能に接続され得る。プロセッサ406は、汎用プロセッサ、特定用途向け集積回路(AASIC)、一つもしくは複数のフィールドプログラマブルゲートアレイ(FPGA)、一群の処理コンポーネント、または他の適切な電子処理コンポーネントとして実装することができる。

#### 【0052】

メモリ408(例えばメモリ、メモリユニット、記憶デバイスなど)は、本願で述べる様々なプロセス、層、およびモジュールを完遂または容易化するためのデータおよび/またはコンピュータコードを記憶するための一以上のデバイス(例えばRAM、ROM、フラッシュメモリ、ハードディスク記憶装置など)を含み得る。メモリ408は、揮発性メモリもしくは不揮発性メモリでもよく、またはこれらを含んでいてもよい。メモリ408は、データベースコンポーネント、オブジェクトコードコンポーネント、スクリプトコンポーネント、または、本願で述べる様々な活動および情報構造をサポートするための任意の他のタイプの情報構造を含み得る。いくつかの実施形態によれば、メモリ408は、処理回路404を介してプロセッサ406に通信可能に接続され、(例えば処理回路404および/またはプロセッサ406によって)本明細書で述べる一以上のプロセスを実行するためのコンピュータコードを含む。

#### 【0053】

いくつかの実施形態では、BMS制御装置366は、単一のコンピュータ(例えば一つのサーバや一つのハウジングなど)内に実装される。様々な他の実施形態では、BMS制御装置366は、(例えば分散された場所に存在することができる)複数のサーバまたはコンピュータにわたって分散されることもある。さらに、図4は、BMS制御装置366の外部に存在するものとしてアプリケーション422および426を示しているが、いくつかの実施形態では、アプリケーション422および426は、BMS制御装置366内(例えばメモリ408内)でホストされることもある。

#### 【0054】

引き続き図4を参照すると、メモリ408は、企業統合層410、自動測定および検証(AM&V)層412、要求応答(DR)層414、故障検出および診断(FDD)層416、統合制御層418、ならびにビルディングサブシステム統合層420を含むものとして示されている。層410~420は、ビルディングサブシステム428および他のデータ源から入力を受信し、入力に基づいてビルディングサブシステム428のための最適な制御アクションを決定し、最適な制御アクションに基づいて制御信号を生成し、生成された制御信号をビルディングサブシステム428に提供するように構成され得る。以下の段落では、BMS400での各層410~420によって実施される全般的な機能のいくつかを述べる。

#### 【0055】

企業統合層410は、様々な企業レベルのアプリケーションをサポートするための情報およびサービスをクライアントまたはローカルアプリケーションに提供するように構成され得る。例えば、企業管理アプリケーション426は、グラフィカルユーザインタフェース(GUI)または多数の企業レベルのビジネスアプリケーション(例えば会計システムやユーザ識別システムなど)にサブシステムスパンニング制御を提供するように構成され得る。企業管理アプリケーション426は、追加または代替として、BMS制御装置366を構成するための構成GUIを提供するように構成されることもある。さらに他の実施形態では、企業管理アプリケーション426は、層410~420と協働して、インタフェース407および/またはBMSインタフェース409で受信された入力に基づいてビルディングパフォーマンス(例えば効率、エネルギー使用量、快適性、または安全性)を最適化することができる。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 5 6 】

ビルディングサブシステム統合層 4 2 0 は、B M S 制御装置 3 6 6 とビルディングサブシステム 4 2 8 との間の通信を管理するように構成され得る。例えば、ビルディングサブシステム統合層 4 2 0 は、ビルディングサブシステム 4 2 8 からセンサデータおよび入力信号を受信し、ビルディングサブシステム 4 2 8 に出力データおよび制御信号を提供し得る。ビルディングサブシステム統合層 4 2 0 は、ビルディングサブシステム 4 2 8 間の通信を管理するように構成されることもある。ビルディングサブシステム統合層 4 2 0 は、複数のマルチベンダ / マルチプロトコルシステムにわたって通信（例えばセンサデータ、入力信号、出力信号など）を変換する。

## 【 0 0 5 7 】

要求応答層 4 1 4 は、ビルディング 1 0 の要求が満たされたことに応答して、資源使用量（例えば電気使用量、天然ガス使用量、水使用量など）および / またはそのような資源使用量の金銭的コストを最適化するように構成され得る。最適化は、時間帯別の価格、削減信号、エネルギー利用可能性、または、公益事業者、分散型エネルギー生成システム 4 2 4、エネルギー貯蔵装置 4 2 7（例えば高温 T E S 2 4 2 や低温 T E S 2 4 4 など）、もしくは他の提供源から受信される他のデータに基づき得る。要求応答層 4 1 4 は、B M S 制御装置 3 6 6 の他の層（例えばビルディングサブシステム統合層 4 2 0 や統合制御層 4 1 8 など）からの入力を受信することもある。他の層から受信される入力は、温度、二酸化炭素レベル、相対湿度レベル、空気質センサ出力、人感センサ出力、部屋スケジュールなどの環境入力またはセンサ入力を含み得る。また、入力は、公益事業からの電気使用量（例えば単位 k W h で表される）、熱負荷測定値、価格情報、予測価格、平滑化価格、削減信号などの入力を含むこともある。

## 【 0 0 5 8 】

いくつかの実施形態によれば、要求応答層 4 1 4 は、受信したデータおよび信号に応答するための制御論理を含む。これらの応答は、統合制御層 4 1 8 内の制御アルゴリズムと通信すること、制御戦略を変更すること、設定値を変更すること、または制御下でビルディング機器もしくはサブシステムを作動 / 作動停止することを含むことができる。また、要求応答層 4 1 4 は、貯蔵されているエネルギーを利用すべき時を決定するように構成された制御論理を含むこともある。例えば、要求応答層 4 1 4 は、ピーク使用時間の開始直前にエネルギー貯蔵装置 4 2 7 からのエネルギーの使用を開始することを決定し得る。

## 【 0 0 5 9 】

いくつかの実施形態では、要求応答層 4 1 4 は、要求（例えば価格、削減信号、要求レベルなど）を表す一以上の入力に基づいて、または要求に基づいて、エネルギーコストを最小にする（例えば自動的に設定値を変更する）制御アクションを能動的に開始するように構成された制御モジュールを含む。いくつかの実施形態では、要求応答層 4 1 4 は、機器モデルを使用して、最適な 1 組の制御アクションを決定する。機器モデルは、例えば、ビルディング機器の様々な組によって行われる入力、出力、および / または機能を記述する熱力学的モデルを含み得る。機器モデルは、ビルディング機器（例えばサブプラントや冷却器アレイなど）または個々のデバイス（例えば個々の冷却器、加熱器、ポンプなど）の集合体を表し得る。

## 【 0 0 6 0 】

さらに、要求応答層 4 1 4 は、一以上の要求応答ポリシー定義（例えばデータベースや X M L ファイルなど）を含む、または利用し得る。ポリシー定義は、（例えばグラフィカルユーザインタフェースを介して）ユーザによって編集または調節することができ、それにより、要求入力に応答して開始される制御アクションは、ユーザの用途に合わせて、所望の快適性レベルに合わせて、特定のビルディング機器に合わせて、または他の事項に基づいて調整され得る。例えば、要求応答ポリシー定義は、特定の要求入力に応答してどの機器がオンまたはオフにされ得るか、システムまたは機器をどれほど長くオフにすべきか、どの設定値を変更できるか、許容できる設定値調節範囲はどの程度か、通常通り予定された設定値に戻るまでに高い要求設定値をどれほど長く保つか、能力の限界にどれほど近

10

20

30

40

50

付くか、どの機器モードを利用するか、エネルギー貯蔵デバイス（例えば熱貯蔵タンクやバッテリーバンクなど）の内外へのエネルギー伝達速度（例えば最高速度、アラーム速度、他の速度限度情報など）、および（例えば燃料電池や電動発電機セットなどを介して）現場でのエネルギー発生を送出する時を指定することができる。

#### 【0061】

統合制御層418は、ビルディングサブシステム統合層420および/または要求応答層414のデータ入力または出力を使用して制御決定を行うように構成され得る。ビルディングサブシステム統合層420によって実現されるサブシステムの統合により、統合制御層418は、サブシステム428の制御活動を統合することができ、それにより、サブシステム428が単一の統合型スーパーシステムとして挙動する。いくつかの実施形態では、統合制御層418は、複数のビルディングサブシステムからの入力および出力を使用する制御論理を含み、個々のサブシステムが単独で提供することができる快適性およびエネルギー節約よりも大きな快適性およびエネルギー節約を提供する。例えば、統合制御層418は、第1のサブシステムからの入力を使用して、第2のサブシステムに関するエネルギー節約制御決定を行うように構成され得る。これらの決定の結果は、ビルディングサブシステム統合層420に通信し返すことができる。

10

#### 【0062】

統合制御層418は、論理的に要求応答層414の下位にあるものとして示されている。統合制御層418は、ビルディングサブシステム428およびそれらそれぞれの制御ループを要求応答層414と共同で制御できるようにすることによって、要求応答層414の有効性を高めるように構成され得る。この構成は、有利には、従来システムに比べて、破壊的な要求応答挙動を減少し得る。例えば、統合制御層418は、冷却される水の温度の設定値（または温度に直接もしくは間接的に影響を及ぼす別の成分）に対する要求応答に基づく上方修正が、ファンエネルギー（または空間を冷却するために使用される他のエネルギー）の増加をもたらさないことを保証するように構成され得る。そのようなファンエネルギーの増加は、ビルディング総エネルギー使用量を、冷却器で保存されているエネルギーよりも大きくしてしまう。

20

#### 【0063】

統合制御層418は、要求応答層414にフィードバックを提供するように構成されてもよく、それにより、要求応答層414は、要求された部分的送電停止が行われている間であっても制約（例えば温度や照明レベルなど）が適切に維持されていることをチェックする。制約には、安全性、機器動作限界およびパフォーマンス、快適性、火災コード、電気コード、エネルギーコードなどに関係する設定値または検知境界が含まれることもある。また、統合制御層418は、論理的に、故障検出および診断層416、ならびに自動測定および検証層412の下位にある。統合制御層418は、複数のビルディングサブシステムからの出力に基づいて、計算された入力（例えば集約）をこれらのより高いレベルの層に提供するように構成され得る。

30

#### 【0064】

自動測定および検証（AM&V）層412は、（例えばAM&V層412、統合制御層418、ビルディングサブシステム統合層420、FDD層416、または他の層によって集約されたデータを使用して）統合制御層418または要求応答層414によって指令された制御戦略が適切に機能していることを検証するように構成され得る。AM&V層412によって行われる計算は、個々のBMSデバイスまたはサブシステムに関するビルディングシステムエネルギーモデルおよび/または機器モデルに基づき得る。例えば、AM&V層412は、モデルに基づいて予測された出力をビルディングサブシステム428からの実際の出力と比較して、モデルの精度を決定し得る。

40

#### 【0065】

故障検出および診断（FDD）層416は、ビルディングサブシステム428およびビルディングサブシステムデバイス（すなわちビルディング機器）に関する継続的な故障検出機能を提供し、要求応答層414および統合制御層418によって使用されるアルゴリ

50

ズムを制御するように構成され得る。FDD層416は、統合制御層418から、直接的に1つもしくは複数のビルディングサブシステムもしくはデバイスから、または別のデータ源から、データ入力を受信し得る。FDD層416は、検出された故障を自動的に診断して応答し得る。検出または診断された故障に対する応答は、ユーザ、メンテナンススケジュールリングシステム、または故障を修理するもしくは故障に対処することを試みるように構成された制御アルゴリズムに警報メッセージを提供することを含み得る。

【0066】

FDD層416は、ビルディングサブシステム統合層420で利用可能な詳細なサブシステム入力を使用して、故障している構成要素または故障の原因（例えば緩いダンパ連係）の具体的な識別を出力するように構成され得る。他の例示的实施形態では、FDD層416は、「故障」イベントを統合制御層418に提供するように構成され、統合制御層418は、受信された故障イベントに応答して制御戦略およびポリシーを実行する。いくつかの実施形態によれば、FDD層416（または統合制御エンジンもしくはビジネスルールエンジンによって実行されるポリシー）は、システムをシャットダウンして、または故障しているデバイスもしくはシステムの周囲での制御活動を指示して、エネルギー浪費を減少させ、機器寿命を延ばし、または適切な制御応答を保証し得る。

【0067】

FDD層416は、様々な異なるシステムデータストア（またはライブデータに関するデータポイント）を記憶する、またはそこにアクセスするように構成され得る。FDD層416は、データストアのうち、あるコンテンツを、機器レベル（例えば特定の冷却器、特定のAHU、特定の端末ユニットなど）での故障を識別するために使用し、他のコンテンツを、構成要素またはサブシステムレベルでの故障を識別するために使用し得る。例えば、ビルディングサブシステム428は、BMS400およびその様々な構成要素のパフォーマンスを示す時間的（すなわち時系列）データを生成し得る。ビルディングサブシステム428によって生成されるデータは、測定値または計算値を含むことがあり、それらの測定値または計算値は、統計的特性を示し、対応するシステムまたはプロセス（例えば温度制御プロセスや流量制御プロセスなど）がその設定値からの誤差に対してどのように挙動しているかに関する情報を提供する。これらのプロセスは、FDD層416によって検査することができ、システムのパフォーマンスが低下し始めた時を明らかにし、より深刻になる前に故障を修理するようにユーザに警報する。

【0068】

次に図5を参照し、一部の实施形態による、別のビルディング管理システム（BMS）500のブロック図が示されている。BMS500は、HVACシステム100、ウォーターサイドシステム200、エアサイドシステム300、ビルディングサブシステム428の装置ならびに他の種類のBMSデバイス（例えば照明機器やセキュリティ機器など）および/またはHVAC機器を監視し制御するために使用することができる。

【0069】

BMS500は、自動機器発見および機器モデル分散を助けるシステムアーキテクチャを提供する。機器発見は、複数の異なる通信バス（例えばシステムバス554、区域バス556～560および564、センサ/アクチュエータバス566など）にわたってBMS500の複数のレベル上で、および複数の異なる通信プロトコルにわたって行われ得る。一部の实施形態では、各通信バスに接続される装置にステータス情報を与えるアクティブノードテーブルを使用して機器発見が実現される。例えば各通信バスは、新たなノードに関する対応するアクティブノードテーブルを監視することによって新たな装置がないかどうかを監視され得る。新たな装置が検出されると、BMS500はユーザ対話なしにその新たな装置と対話（例えば制御信号の送信や装置からのデータの使用）を開始することができる。

【0070】

BMS500内の一部の装置は、機器モデルを使用して自らをネットワークに提示する。機器モデルは、機器のオブジェクト属性、ビュー定義、スケジュール、傾向、および他

10

20

30

40

50

のシステムとの統合に使用される関連する B A C n e t 値オブジェクト（例えばアナログ値、バイナリ値、多状態値など）を定める。B M S 5 0 0 内の一部の装置は自らの機器モデルを記憶する。B M S 5 0 0 内の他の装置は機器モデルを外部に（例えば他の装置内に）記憶する。例えば区域コーディネータ 5 0 8 は、バイパスダンパ 5 2 8 用の機器モデルを記憶することができる。一部の実施形態では、区域コーディネータ 5 0 8 が、バイパスダンパ 5 2 8 または区域バス 5 5 8 上の他の装置用の機器モデルを自動で作成する。自らの区域バスに接続される装置用の機器モデルを他の区域コーディネータも作成することができる。装置の機器モデルは、区域バス上で装置によって明らかにされるデータポイントの種類、装置の種類、および/または他の装置属性に基づいて自動で作成され得る。自動機器発見および機器モデル分散の幾つかの例を以下でより詳細に解説する。

10

**【 0 0 7 1 】**

引き続き図 5 を参照し、B M S 5 0 0 は、システムマネージャ 5 0 2、幾つかの区域コーディネータ 5 0 6、5 0 8、5 1 0、および 5 1 8、ならびに幾つかの区域制御装置 5 2 4、5 3 0、5 3 2、5 3 6、5 4 8、および 5 5 0 を含んで図示されている。システムマネージャ 5 0 2 は、B M S 5 0 0 内のデータポイントを監視し、様々な監視および/または制御アプリケーションに監視した変数を報告することができる。システムマネージャ 5 0 2 は、データ通信リンク 5 7 4（例えば B A C n e t I P、E t h e r n e t、有線通信、無線通信など）を介してクライアントデバイス 5 0 4（例えばユーザデバイス、デスクトップコンピュータ、ラップトップコンピュータ、モバイルデバイスなど）と通信することができる。システムマネージャ 5 0 2 は、データ通信リンク 5 7 4 を介してク

20

**【 0 0 7 2 】**

一部の実施形態では、システムマネージャ 5 0 2 が、システムバス 5 5 4 を介して区域コーディネータ 5 0 6 ~ 5 1 0 および 5 1 8 に接続される。システムマネージャ 5 0 2 は、マスタ/スレーブトークンパッシング（M S T P）プロトコルや他の任意の通信プロトコルを使用し、システムバス 5 5 4 を介して区域コーディネータ 5 0 6 ~ 5 1 0 および 5 1 8 と通信するように構成され得る。システムバス 5 5 4 は、システムマネージャ 5 0 2 を一定体積（C V）屋上ユニット（R T U）5 1 2、入力/出力モジュール（I O M）5 1 4、サーモスタット制御装置 5 1 6（例えば T E C 5 0 0 0 シリーズのサーモスタット制御装置）、およびネットワーク自動化エンジン（N A E）またはサードパーティ制御装置 5 2 0 と接続することもできる。R T U 5 1 2 は、システムマネージャ 5 0 2 と直接通信するように構成することができ、システムバス 5 5 4 に直接接続することができる。中間装置を介して他の R T U がシステムマネージャ 5 0 2 と通信し得る。例えば有線入力 5 6 2 が、システムバス 5 5 4 に接続するサーモスタット制御装置 5 1 6 にサードパーティ R T U 5 4 2 を接続することができる。

30

**【 0 0 7 3 】**

システムマネージャ 5 0 2 は、機器モデルを含む任意の装置にユーザインタフェースを提供し得る。区域コーディネータ 5 0 6 ~ 5 1 0 および 5 1 8 やサーモスタット制御装置 5 1 6 などの装置は、システムバス 5 5 4 を介して自らの機器モデルをシステムマネージャ 5 0 2 に与えることができる。一部の実施形態では、システムマネージャ 5 0 2 が、機器モデルを含まない接続装置（例えば I O M 5 1 4 やサードパーティ制御装置 5 2 0 など）用の機器モデルを自動で作成する。例えばシステムマネージャ 5 0 2 は、装置ツリー要求に応答する任意の装置用の機器モデルを作成し得る。システムマネージャ 5 0 2 が作成する機器モデルはシステムマネージャ 5 0 2 内に記憶され得る。次いでシステムマネージャ 5 0 2 は、システムマネージャ 5 0 2 が作成した機器モデルを使用し、自らの機器モデルを含まない装置にユーザインタフェースを提供し得る。一部の実施形態では、システムマネージャ 5 0 2 がシステムバス 5 5 4 を介して接続される各種の機器のビュー定義を記憶し、機器のためのユーザインタフェースを生成するために記憶済みのビュー定義を使用

40

50

する。

【 0 0 7 4 】

各区域コーディネータ506～510および518は、区域バス556、558、560、および564を介して区域制御装置524、530～532、536、および548～550の一以上と接続され得る。区域コーディネータ506～510および518は、MSTPプロトコルや他の任意の通信プロトコルを使用し、区域バス556～560および564を介して区域制御装置524、530～532、536、および548～550と通信し得る。区域バス556～560および564は、区域コーディネータ506～510および518を可変空気体積(VAV)RTU522および540、切替バイパス(COBP)RTU526および552、バイパスダンパ528および546、PEAK制御装置534および544などの他の種類の装置と接続することもできる。

10

【 0 0 7 5 】

区域コーディネータ506～510および518は、様々な区域化システムを監視しそれらに指令を出すように構成され得る。一部の実施形態では、各区域コーディネータ506～510および518が別々の区域化システムを監視しそれらに指令を出し、別々の区域バスを介して区域化システムに接続される。例えば区域コーディネータ506は、区域バス556を介してVAV RTU522および区域制御装置524に接続され得る。区域コーディネータ508は、区域バス558を介してCOBP RTU526、バイパスダンパ528、COBP区域制御装置530、およびVAV区域制御装置532に接続され得る。区域コーディネータ510は、区域バス560を介してPEAK制御装置534およびVAV区域制御装置536に接続され得る。区域コーディネータ518は、区域バス564を介してPEAK制御装置544、バイパスダンパ546、COBP区域制御装置548、およびVAV区域制御装置550に接続され得る。

20

【 0 0 7 6 】

複数の異なる種類の区域化システム(例えばVAV区域化システムやCOBP区域化システムなど)を扱うように、区域コーディネータ506～510および518の単一のモデルを構成することができる。各区域化システムは、RTU、一以上の区域制御装置、および/またはバイパスダンパを含み得る。例えば区域コーディネータ506および510は、VAV RTU522および540にそれぞれ接続されるVerasys VAVエンジン(VVE)として図示されている。区域コーディネータ506は区域バス556を介してVAV RTU522に直接接続されるのに対し、区域コーディネータ510は、PEAK制御装置534に与えられる有線入力568を介してサードパーティVAV RTU540に接続される。区域コーディネータ508および518は、COBP RTU526および552のそれぞれに接続されるVerasys COBPエンジン(VCE)として図示されている。区域コーディネータ508は、区域バス558を介してCOBP RTU526に直接接続されるのに対し、区域コーディネータ518はPEAK制御装置544に与えられる有線入力570を介してサードパーティCOBP RTU552に接続される。

30

【 0 0 7 7 】

区域制御装置524、530～532、536、および548～550は、センサ/アクチュエータ(SA)バスを介して個々のBMSデバイス(例えばセンサやアクチュエータなど)と通信することができる。例えばVAV区域制御装置536は、SAバス566を介してネットワークセンサ538に接続されて図示されている。区域制御装置536は、MSTPプロトコルや他の任意の通信プロトコルを使用しネットワークセンサ538と通信することができる。図5にはSAバス566を1つしか図示していないが、各区域制御装置524、530～532、536、および548～550は異なるSAバスに接続され得ることを理解すべきである。各SAバスは、区域制御装置を様々なセンサ(例えば温度センサ、湿度センサ、圧力センサ、光センサ、人感センサなど)、アクチュエータ(例えばダンパアクチュエータや弁アクチュエータなど)、および/または他の種類の制御可能機器(例えば冷却器、加熱器、ファン、ポンプなど)と接続することができる。

40

50

## 【 0 0 7 8 】

各区域制御装置 5 2 4、5 3 0 ~ 5 3 2、5 3 6、および 5 4 8 ~ 5 5 0 は、ビルディングの異なる区域を監視し制御するように構成され得る。区域制御装置 5 2 4、5 3 0 ~ 5 3 2、5 3 6、および 5 4 8 ~ 5 5 0 は、自らの S A バスを介して与えられる入出力を使用してビルディングの様々な区域を監視し制御することができる。例えば区域制御装置 5 3 6 は、温度制御アルゴリズム内のフィードバックとして S A バス 5 6 6 を介してネットワークセンサ 5 3 8 から受信される温度入力（例えばビルディングの区域の測定温度）を使用することができる。区域制御装置 5 2 4、5 3 0 ~ 5 3 2、5 3 6、および 5 4 8 ~ 5 5 0 は、様々な種類の制御アルゴリズム（例えば状態ベースアルゴリズム、極値探索制御（E S C）アルゴリズム、比例積分（P I）制御アルゴリズム、比例積分微分（P I D）制御アルゴリズム、モデル予測制御（M P C）アルゴリズム、フィードバック制御アルゴリズムなど）を使用してビルディング 1 0 内のまたはその周囲の可変状態または条件（例えば温度、湿度、気流、照明など）を制御することができる。

10

## 【 0 0 7 9 】

極値探索制御システム

## 【 0 0 8 0 】

ここで図 6 を参照すると、一部の実施形態による、周期的ディザ信号を伴う極値探索制御（E S C）システム 6 0 0 のブロック図が示されている。E S C システム 6 0 0 は、極値探索制御装置 6 0 2 およびプラント 6 0 4 を含んで図示されている。制御理論におけるプラントとは、一のプロセスと一以上の機械的に制御される出力との組合せである。例えばプラント 6 0 4 は、一以上の機械的に制御されるアクチュエータおよび/またはダンパによってビルディング空間内の温度を制御するように構成されるエアハンドリングユニットであり得る。様々な実施形態において、プラント 6 0 4 は冷却器動作プロセス、ダンパ調節プロセス、機械的な冷却プロセス、換気プロセス、冷蔵プロセス、またはプラント 6 0 4 からの出力（即ち性能変数  $y$ ）に影響を及ぼすためにプラント 6 0 4 への入力変数（即ち操作変数  $u$ ）が調節される他の任意のプロセスを含み得る。

20

## 【 0 0 8 1 】

極値探索制御装置 6 0 2 は、極値探索制御理論を使用して操作変数  $u$  を変調する。例えば制御装置 6 0 2 は、性能勾配  $p$  を抽出するために、周期的な（例えば正弦波の）摂動信号またはディザ信号を使用して操作変数  $u$  の値に摂動を与えることができる。操作変数  $u$  は、フィードバック制御ループによって決定され得る性能変数  $u$  の D C 値に周期振動を加えることによって摂動を与えられ得る。性能勾配  $p$  は、操作変数  $u$  に対する性能変数  $y$  の勾配または傾斜を表す。制御装置 6 0 2 は極値探索制御理論を使用して、性能勾配  $p$  をゼロに動かす操作変数  $u$  の値を決定する。

30

## 【 0 0 8 2 】

制御装置 6 0 2 は、入力インタフェース 6 1 0 を介してプラント 6 0 4 からフィードバックとして受信される性能変数  $y$  の測定値または他の標示に基づいて操作変数  $u$  の D C 値を決定することができる。プラント 6 0 4 からの測定値は、これだけに限定されないが、プラント 6 0 4 の状態に関するセンサからの受信情報やシステム内の他の装置に送信される制御信号を含み得る。一部の実施形態では、性能変数  $y$  が弁 3 5 4 ~ 3 5 6 の 1 つの測定位置または観測位置である。他の実施形態では、性能変数  $y$  が電力消費量、ファン速度、ダンパ位置、温度、またはプラント 6 0 4 によって測定されもしくは計算され得る他の任意の変数の測定値または計算量である。性能変数  $y$  は、極値探索制御装置 6 0 2 が極値探索制御技法によって最適化しようとする変数であり得る。性能変数  $y$  は、プラント 6 0 4 によって出力されまたはプラント 6 0 4 において（例えばセンサによって）観測され、入力インタフェース 6 1 0 において極値探索制御装置に与えられ得る。

40

## 【 0 0 8 3 】

入力インタフェース 6 1 0 は、性能勾配 6 1 4 を検出するために性能勾配プローブ 6 1 2 に性能変数  $y$  を与える。性能勾配 6 1 4 は関数  $y = f(u)$  の傾斜を示すことができ、 $y$  はプラント 6 0 4 から受信される性能変数を表し、 $u$  はプラント 6 0 4 に与えられる操

50

作変数を表す。性能勾配 6 1 4 がゼロのとき、性能変数  $y$  は極値（例えば極大または極小）を有する。従って、極値探索制御装置 6 0 2 は、性能勾配 6 1 4 をゼロに動かすことによって性能変数  $y$  の値を最適化することができる。

【 0 0 8 4 】

操作変数アップデート 6 1 6 は、性能勾配 6 1 4 に基づいて更新済みの操作変数  $u$  を作り出す。一部の実施形態では、操作変数アップデート 6 1 6 は、性能勾配 6 1 4 をゼロに動かすための積分器を含む。次いで操作変数アップデート 6 1 6 は、出力インタフェース 6 1 8 を介して更新済みの操作変数  $u$  をプラント 6 0 4 に与える。一部の実施形態では、操作変数  $u$  が、出力インタフェース 6 1 8 を介して制御信号としてダンパ 3 2 4 ~ 3 2 8（図 3）の 1 つまたはダンパ 3 2 4 ~ 3 2 8 に影響を及ぼすアクチュエータに与えられる。プラント 6 0 4 は、操作変数  $u$  を設定値として使用してダンパ 3 2 4 ~ 3 2 8 の位置を調節し、それにより温度が制御された空間に与えられる外気 3 1 4 と還気 3 0 4 との相対的比率を制御することができる。

10

【 0 0 8 5 】

ここで図 7 を参照すると、いくつかの実施形態による、周期的ディザ信号を伴う別の ESC システム 7 0 0 のブロック図が示されている。ESC システム 7 0 0 は、プラント 7 0 4 および極値探索制御装置 7 0 2 を含んで図示されている。制御装置 7 0 2 は、極値探索制御戦略を使用して、プラント 7 0 4 から出力として受信される性能変数  $y$  を最適化する。性能変数  $y$  を最適化することは、 $y$  を最小化すること、 $y$  を最大化すること、設定値を実現するために  $y$  を制御すること、または性能変数  $y$  の値を他の方法で調整することを含み得る。

20

【 0 0 8 6 】

プラント 7 0 4 は、図 6 に関して説明したプラント 6 0 4 と同じまたは同様であり得る。例えばプラント 7 0 4 は、一のプロセスと一以上の機械的に制御される出力との組合せであり得る。一部の実施形態では、プラント 7 0 4 は、一以上の機械的に制御されるアクチュエータおよび/またはダンパによってビルディング空間内の温度を制御するように構成されるエアハンドリングユニットである。他の実施形態では、プラント 7 0 4 は冷却器動作プロセス、ダンパ調節プロセス、機械的な冷却プロセス、換気プロセス、または 1 つもしくは複数の制御入力に基づいて出力を生成する他の任意のプロセスを含み得る。

30

【 0 0 8 7 】

プラント 7 0 4 は、入力ダイナミクス 7 2 2、性能マップ 7 2 4、出力ダイナミクス 7 2 6、および外乱  $d$  の組合せとして数学的に表すことができる。一部の実施形態では、入力ダイナミクス 7 2 2 が線形時不変 (LTI) 入力ダイナミクスであり、出力ダイナミクス 7 2 6 が LTI 出力ダイナミクスである。性能マップ 7 2 4 は、静的非線形性能マップであり得る。外乱  $d$  は、プロセス雑音、測定雑音、またはその両方の組合せを含み得る。図 7 にはプラント 7 0 4 の構成要素を示すが、プラント 7 0 4 の実際の数学モデルは ESC を適用するために知られていなくてもよいことに留意すべきである。

【 0 0 8 8 】

プラント 7 0 4 は、出力インタフェース 7 3 0 を介して極値探索制御装置 7 0 2 から制御入力  $u$ （例えば制御信号や操作変数など）を受信する。入力ダイナミクス 7 2 2 は、制御入力に基づいて関数信号  $x$  を生成するために制御入力  $u$  を使用することができる（例えば  $x = f(u)$ ）。関数信号  $x$  は性能マップ 7 2 4 に渡すことができ、性能マップ 7 2 4 は関数信号に応じて出力信号  $z$  を生成する（即ち  $z = f(x)$ ）。出力信号  $z$  は出力ダイナミクス 7 2 6 を通過させて信号  $z'$  を作り出すことができ、信号  $z'$  は要素 7 2 8 において外乱  $d$  によって修正され、性能変数  $y$  を作り出す（例えば  $y = z' + d$ ）。性能変数  $y$  はプラント 7 0 4 からの出力として与えられ、極値探索制御装置 7 0 2 において受信される。極値探索制御装置 7 0 2 は、性能マップ 7 2 4 の出力  $z$  および/または性能変数  $y$  を最適化する  $x$  および/または  $u$  の値を見つけようとし得る。

40

【 0 0 8 9 】

引き続き図 7 を参照し、極値探索制御装置 7 0 2 は、入力インタフェース 7 3 2 を介し

50

て性能変数  $y$  を受信し、性能変数  $y$  を制御装置 702 内の制御ループ 705 に与えるように図示されている。制御ループ 705 は、高域フィルタ 706、復調要素 708、低域フィルタ 710、インテグレータフィードバック制御装置 712、およびディザ信号要素 714 を含んで図示されている。制御ループ 705 は、ディザ - 復調技法を使用して性能変数  $y$  から性能勾配  $p$  を抽出するように構成され得る。インテグレータフィードバック制御装置 712 は、性能勾配  $p$  を解析し、プラント入力の DC 値（即ち変数  $w$ ）を調節して性能勾配  $p$  をゼロに動かす。

#### 【0090】

ディザ - 復調技法の最初のステップは、ディザ信号生成器 716 およびディザ信号要素 714 によって実行される。ディザ信号生成器 716 は、典型的には正弦波信号である周期的ディザ信号  $v$  を生成する。ディザ信号要素 714 がディザ信号生成器 716 からディザ信号  $v$  を受信し、制御装置 712 からプラント入力の DC 値  $w$  を受信する。ディザ信号要素 714 は、ディザ信号  $v$  をプラント入力の DC 値  $w$  と組み合わせて、プラント 704 に与えられる摂動制御入力  $u$  を生成する（例えば  $u = w + v$ ）。摂動制御入力  $u$  はプラント 704 に与えられ、先に説明したように性能変数  $y$  を生成するためにプラント 704 によって使用される。

#### 【0091】

ディザ - 復調技法の第 2 のステップは、高域フィルタ 706、復調要素 708、および低域フィルタ 710 によって実行される。高域フィルタ 706 は性能変数  $y$  をフィルタにかけて、フィルタ済みの出力を復調要素 708 に与える。復調要素 708 は、フィルタ済みの出力を位相変移 718 が適用されたディザ信号  $v$  と掛けることによって高域フィルタ 706 の出力を復調する。この乗算の DC 値は、制御入力  $u$  に対する性能変数  $y$  の性能勾配  $p$  に比例する。復調要素 708 の出力が低域フィルタ 710 に与えられ、低域フィルタ 710 は性能勾配  $p$ （即ち復調出力の DC 値）を抽出する。次いで性能勾配  $p$  の推定がインテグレータフィードバック制御装置 712 に与えられ、インテグレータフィードバック制御装置 712 は、プラント入力  $u$  の DC 値  $w$  を調節することによって性能勾配の推定  $p$  をゼロに動かす。

#### 【0092】

引き続き図 7 を参照し、極値探索制御装置 702 は増幅器 720 を含んで図示されている。ディザ信号  $v$  の効果がプラント出力  $y$  内で明白であるようディザ信号  $v$  の振幅が十分に大きいように、ディザ信号  $v$  を増幅することが望ましい場合がある。ディザ信号  $v$  の大きい振幅は、制御入力  $u$  の DC 値  $w$  が一定のままでも制御入力  $u$  の大きい変動をもたらす得る。ディザ信号  $v$  の周期的性質により、プラント入力  $u$  内の大きい変動（即ちディザ信号  $v$  によって引き起こされる振動）がプラントオペレータに気付かれることが多々ある。

#### 【0093】

加えて、ESC 戦略が効果的であることを確実にするためにディザ信号  $v$  の周波数を注意深く選択することが望ましい場合がある。例えば、性能変数  $y$  に対するディザ信号  $v$  の効果を向上させるために、プラント 604 の自然周波数  $\omega_n$  に基づいてディザ信号の周波数  $\omega_v$  を選択することが望ましい場合がある。プラント 704 のダイナミクスの知識なしにディザ周波数  $\omega_v$  を適切に選択するのは難解かつ困難であり得る。それらの理由から、周期的なディザ信号  $v$  を使用することは従来の ESC の欠点の 1 つである。

#### 【0094】

ESC システム 700 では、高域フィルタ 706 の出力は以下の式：

高域フィルタの出力： $y - E[y]$

で示すように性能変数  $y$  の値と性能変数  $y$  の期待値との差として表すことができ、変数  $E[y]$  は性能変数  $y$  の期待値である。復調要素 708 によって行われる相互相関の結果（即ち復調要素 708 の出力）は以下の式：

相互相関の結果： $(y - E[y])(v - E[v])$

で示すように、高域フィルタの出力と位相変位されたディザ信号との積として表すこと

10

20

30

40

50

ができ、変数  $E[v]$  はディザ信号  $v$  の期待値である。低域フィルタ 710 の出力は以下の式：

低域フィルタの出力： $E[(y - E[y])(v - E[u])] = \text{Cov}(v, y)$

で示すようにディザ信号  $v$  および性能変数  $y$  の共分散として表すことができ、変数  $E[u]$  は制御入力  $u$  の期待値である。

【0095】

先の式は、ESCシステム 700 が、ディザ信号  $v$  とプラント出力（即ち性能変数  $y$ ）との間の共分散  $\text{Cov}(v, y)$  の推定を生成することを示す。共分散  $\text{Cov}(v, y)$  は、性能勾配  $p$  のプロキシとして ESCシステム 700 内で使用され得る。例えば共分散  $\text{Cov}(v, y)$  は、高域フィルタ 706、復調要素 708、および低域フィルタ 710 によって計算され、フィードバック入力としてインテグレータフィードバック制御装置 712 に与えられ得る。インテグレータフィードバック制御装置 712 は、フィードバック制御ループの一部として共分散  $\text{Cov}(v, y)$  を最小化するために、プラント入力  $u$  の DC 値  $w$  を調節することができる。

【0096】

制約ハンドリングを伴う極値探索制御システム

【0097】

ここで図 8 を参照すると、いくつかの実施形態による、制約ハンドリングを伴う ESCシステム 800 が示されている。ESCシステム 800 は、図 6 の極値探索制御装置 602 のように性能勾配プローブ 612、操作変数アップデータ 616、入力インタフェース 610、および出力インタフェース 618 を含む、極値探索制御装置 802 を含む。しかし、ESCシステム 800 の極値探索制御装置 802 は、プラント 604 の影響を受ける制約付き変数を監視しそれに制約を課すように構成される制約ハンドラ 804 も含む。

【0098】

プラント 604 は、性能変数  $y$  および制約付き変数  $c$  のデータを極値探索制御装置 802 の入力インタフェース 610 に供給するように動作可能である。性能変数  $y$  は、関数  $y = f(u)$  の極値を見つけることによって ESCシステム 800 が最適化しようとする変数であり、上記のように  $u$  はプラント 604 への入力であり、 $f$  は入力  $u$  に対するプラント 604 の動的応答を定める関数である。制約付き変数  $c$  は、プラント 604 によって測定され或いは提供され得るプラント 604 の別の出力である。制約付き変数  $c$  は、性能変数  $y$  の最適化に対して制約を与える。例えば、 $y$  はビルディングの暖房システムの電力消費量であり得るのに対し、 $c$  はビルディング内の屋内気温であり得る。屋内気温  $c$  を考慮しない  $y$  の電力消費量の極値探索は、屋内気温  $c$  を許容レベル未満に低下させる可能性がある。従って ESCシステム 800 は、以下で詳細に説明するように  $y$  に関する極値探索に対して制約を与えるために  $c$  を使用する。

【0099】

制約ハンドラ 804 は、性能変数  $y$  および制約付き変数  $c$  のデータを入力インタフェース 610 から受信する。制約ハンドラ 804 は、 $y$  および  $c$  を使用して修正済みの費用関数  $y'$  を計算する。より具体的には、制約ハンドラ 804 は、

$$y' = y(1 + (c)) \quad \text{式 1}$$

として修正済みの費用関数  $y'$  を計算し、 $y'$  は修正済みの費用関数であり、 $c$  は制約を受ける変数であり、 $(\cdot)$  は  $c$  が制約を破る程度に応じて単調増加するペナルティ関数である。

【0100】

$(c)$  を計算するために、制約ハンドラ 804 はデッド区域の非線形性  $d(\cdot)$  を利用することによって単純な有界制約を実装する。図 10 のグラフ 1000 にデッド区域関数  $d(\cdot)$  を示す。制約付き変数は  $c$  によって横軸 1002 上に示し、デッド区域の出力は  $D$  によって縦軸 1004 上に示す。 $c_{\min}$  および  $c_{\max}$  の値は、変数  $c$  に対する所望の下限および上限に対応する。 $c_{\min}$  と  $c_{\max}$  との間の  $c$  の値において、デッド区域関数  $d(\cdot)$  はゼロである。 $c_{\min}$  および  $c_{\max}$  の値の外では、デッド区域関数  $d$

10

20

30

40

50

( . ) はゼロから離れるように単調傾斜する。

【 0 1 0 1 】

制約ハンドラ 8 0 4 はデッド区域関数  $d ( c )$  の値を計算し、次いで出力  $d ( c )$  を二乗することによって、または絶対値を取ることによって符号 ( 即ち負方向 ) を除去する。その後、制約ハンドラ 8 0 4 は

$$( u ) = d ( c ) ^ 2 \quad \text{式 2}$$

としてペナルティ関数  $( c )$  を計算し、  $( c )$  は境界において強い制約を強制するために大きい値に、または境界において弱い制約を強制するために小さい値に設定することができるスケールパラメータである。

【 0 1 0 2 】

これにより、制約ハンドラ 8 0 4 は修正済みの費用関数  $y ' = y ( 1 + ( c ) )$  を計算する。制約ハンドラ 8 0 4 は、修正済みの費用関数  $y '$  を性能勾配プローブ 6 1 2 に与える。性能勾配プローブ 6 1 2 は、図 6 に関して  $y$  について上記で説明したのと同じまたは同様のやり方で  $y '$  を扱う。それにより性能勾配プローブ 6 1 2 は性能勾配  $p$  を生成し、性能勾配  $p$  は、修正済みの費用関数  $y '$  の性能勾配  $p$  を最小化することに向けてプラント 6 0 4 を制御するための更新済みの操作変数  $u$  を生成するために操作変数アップデート 6 1 6 によって使用される。

【 0 1 0 3 】

ここで図 9 を参照すると、いくつかの実施形態による、制約ハンドリングを伴う極値探索制御のためのプロセス 9 0 0 の流れ図が示されている。プロセス 9 0 0 は、図 8 の極値探索制御装置 8 0 2 によって実行され得る。ステップ 9 0 2 で、例えば図 6 ~ 図 7 に関して上記で説明したように、極値探索制御装置 8 0 2 が入力信号にディザ信号を加える。ステップ 9 0 4 で、この組み合わせさせた入力をプラント 6 0 4 に与えてプラント 6 0 4 を制御する。プラント 6 0 4 は、性能変数  $y$  および制約付き変数  $c$  のデータを生成するために制御された通りに動作する。例えば、 $y$  および  $c$  のデータサンプルは所定の間隔で取ることができる。

【 0 1 0 4 】

ステップ 9 0 6 で、極値探索制御装置 8 0 2 が制約付き変数  $c$  のデータをプラントから受信する。つまり極値探索制御装置 8 0 2 は、特定の時間ステップの  $c$  の値を受信する。ステップ 9 0 8 で、極値探索制御装置 8 0 2 が制約ペナルティ  $( c ) = d ( c ) ^ 2$  を計算する。つまり極値探索制御装置 8 0 2 は、プラントから受信するデータを使用して  $d ( c )$  の値を決定し、その  $d ( c )$  の値を二乗し、その結果をスケールパラメータで掛ける。

【 0 1 0 5 】

ステップ 9 1 0 で、極値探索制御装置 8 0 2 が性能変数  $y$  のデータをプラント 6 0 4 から受信する。つまり極値探索制御装置 8 0 2 は、特定の時間ステップの  $y$  の値を受信する。一部の事例では、プラント 6 0 4 から受信される複数のデータポイントから性能変数  $y$  が計算される ( 例えば  $y$  はプラント 6 0 4 の 2 つの構成要素の組み合わせさせた電力消費量である )。ステップ 9 1 2 で、極値探索制御装置 8 0 2 が、性能変数  $y$  のデータおよびステップ 9 0 8 で計算された  $( c )$  の値に基づいて修正済みの費用関数  $y ' = y ( 1 + ( c ) )$  を計算する。

【 0 1 0 6 】

ステップ 9 1 4 で、極値探索制御装置 8 0 2 が修正済みの費用関数  $y '$  に基づいて性能勾配  $p$  を計算する。従って性能勾配  $p$  は、制約ペナルティ  $( c )$  の影響を捕える。

【 0 1 0 7 】

ステップ 9 1 6 で、極値探索制御装置 8 0 2 が、性能勾配  $p$  を最小化するための更新済み入力信号を生成する。つまり極値探索制御装置 8 0 2 は、修正済みの費用関数  $y '$  の極値に到達するための更新済み入力信号を生成する。次いでプロセス 9 0 0 は、入力信号にディザ信号を加えるステップ 9 0 2 に戻る。これによりプロセス 9 0 0 は、修正済みの費用関数  $y '$  の極値に到達しそれを維持するためのループとして実行され得る。

10

20

30

40

50

## 【0108】

HVACシステム内の制約ハンドリングを伴う極値探索制御

## 【0109】

上記のペナルティ関数の手法は性質上汎用であり、特定の応用に固有のものではない。しかし、この節ではビルディング内で一般に遭遇する或る特定の問題に本方法をどのように適用するのかについて説明する。ESCはHVACシステム、例えば図11の屋上ユニット1100内のエネルギー(または電力)を最小化するためにしばしば使用される。図11に示すこの一例は、ファンの電力と圧縮器の電力との間の最良のトレードオフを見つけることによって電力を最小化するために、屋上ユニット1100内の給気温度の設定値を調節することである。従来のESCアルゴリズムは電力に関して給気温度の最適な設定値を特定するが、このことはルーム制御装置が自らの温度要件または湿度要件を満たせない状況を引き起こし得る。

10

## 【0110】

上記の問題を解決するために、屋上ユニット1100に通信可能に結合されて図11に示されている極値探索制御装置802は、部屋の温度 $T$  および相対湿度の両方に図9の制約ハンドリング法を適用する。ESCの費用関数は

$$y' = y(1 + d_T(T)^2 + d_H(H)^2) \quad \text{式3}$$

のように修正することができ、 $y$ は圧縮器と蒸発器のファンとの組み合わせさった電力であり(この例では凝縮器のファンに関連する電力は考慮しない)(即ち $y = P_{\text{圧縮器}} + P_{\text{蒸発器のファン}}$ )、 $d_T(\cdot)$ および $d_H(\cdot)$ は温度および相対湿度のそれぞれのデッド領域である。これらのデッド領域のそれぞれは制約の狭さを定める上限および下限を有する。一部の実施形態では、給気温度に対するESCディザの動作によって生じる変数の変動を含むのに十分な程制約が少なくとも広い。実際には、これらの制約境界は手動で定めることができ、または自動で推定することができる。

20

## 【0111】

2つのペナルティ項の効果を図12~図15で見ることができ、これらの図面には給気温度設定値、圧縮器と蒸発器のファンとの組み合わせさった電力、室温、および室内空気の相対湿度に関するシミュレーション結果が示されている。図12のグラフ1200は、時間に対する給気温度設定値を示す。図13のグラフ1300は、時間に対する電力を示す。図14のグラフ1400は、時間に対する室温 $T$ を示す。図15のグラフ1500は、時間に対する相対湿度を示す。

30

## 【0112】

これらのシミュレーションでは、屋上ユニット1100によって供給される部屋に一定の冷房負荷をかけた。室温設定値および給気温度設定値は、最初はそれぞれ23と14であった。 $t = 20,000$ 秒から、室温設定値をその値が22.5になるまで線形に減らした。これらの条件下で、屋上ユニット1100は室温設定値を満たすことができなかった(供給ファンがその最高速度に達したが室温は約22.9だった)。 $t = 30,000$ 秒において極値探索制御装置802をオンにした。

## 【0113】

最初のシミュレーションでは、ESCの費用関数が圧縮器と蒸発器のファンとの組み合わせさった電力だけを含むように式3のペナルティ項をゼロに設定した。極値探索制御装置802をオンにしたとき、極値探索制御装置802は給気温度設定値を上げ、それによりファンの電力に影響を及ぼすことなしに(即ちファンの電力は既にその最大値にあったため)、圧縮器の電力を減らすことによって電力を最小化できると判定した。従ってESCは給気温度設定値を15であるその最大許容値にし、室内温度が約23.7の平均値まで上昇した。室内空気の相対湿度は実質的に変化していない。

40

## 【0114】

第2のシミュレーションでは、 $d_T = 1$ および $d_H = 1$ を用いて式3のペナルティ項を使用した。温度および相対湿度に関するデッド領域の下限および上限は自動で推定され、シミュレーションの全体を通して変化する。図12は、ペナルティ項が給気温度設定値を

50

約 10.6 の値まで極値探索制御装置 802 に変えさせることを示す。この動作点において、圧縮器と蒸発器のファンとの組み合わせさせた電力はペナルティ頂なしのときよりも少なく（図 11 参照）、室温はその 22.5 の設定値に到達する。より低い給気温度設定値は、より低い室内空気の相対湿度ももたらす。

【0115】

例示的实施形態の構成

【0116】

様々な例示的实施形態に示したようなシステムおよび方法の構成および配置は、例示的なものにすぎない。本開示ではいくつかの実施形態のみを詳細に述べているが、多くの変更が可能である（例えば、様々な要素のサイズ、寸法、構造、形状、および広さ、パラメータの値、取付け配置、材料の使用、色、向きなど）。例えば、要素の位置が逆にされてもよく、または他の形で変更されてもよく、個々の要素の性質もしくは数または位置が変化または変更されてもよい。従って、そのような変更は全て本開示の範囲内に含まれることが意図される。任意のプロセスまたは方法ステップの順序または並びは、代替実施形態に従って変更されかまたは並べ替えられてもよい。本開示の範囲から逸脱することなく、例示的实施形態の設計、動作条件、および配置について、他の置換、修正、変更、および省略が行われてもよい。

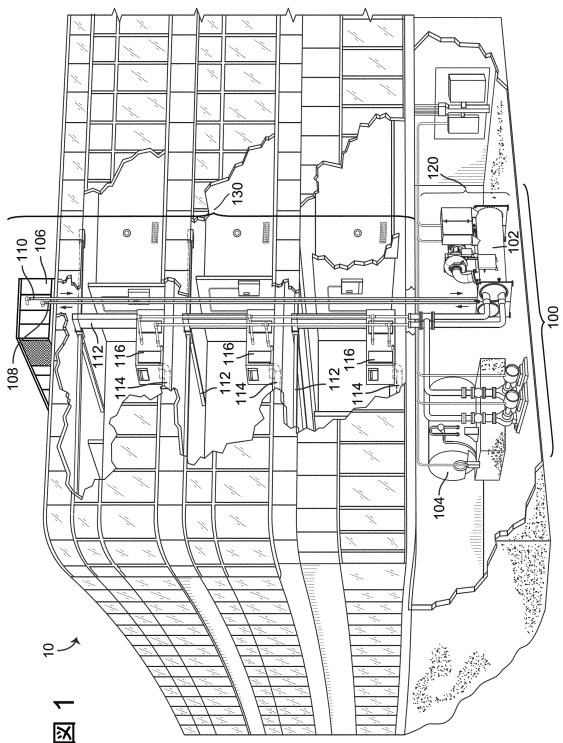
【0117】

本開示は、様々な動作を達成するための方法、システム、および任意の機械可読媒体でのプログラム製品を企図する。本開示の実施形態は、既存のコンピュータプロセッサを使用して実装されても、この目的もしくは別の目的で組み込まれた適切なシステムのための専用コンピュータプロセッサによって実装されても、または有線システムによって実装されてもよい。本開示の範囲内の実施形態は、機械実行可能命令またはデータ構造を担持または記憶するための機械可読媒体を備えるプログラム製品を含む。そのような機械可読媒体は、汎用もしくは専用コンピュータ、またはプロセッサを備える他の機械によってアクセスすることができる任意の利用可能な媒体であってもよい。一例として、そのような機械可読媒体は、RAM、ROM、EPROM、EEPROM、CD-ROM、もしくは他の光ディスク記憶装置、磁気ディスク記憶装置もしくは他の磁気記憶デバイス、または任意の他の媒体を含むことができ、そのような媒体は、機械実行可能命令またはデータ構造の形態での所望のプログラムコードを担持または記憶するために使用することができ、さらに、汎用もしくは専用コンピュータ、またはプロセッサを備える他の機械によってアクセスすることができる。上記の媒体の組合せも機械可読媒体の範囲に含まれる。機械実行可能命令は、例えば、汎用コンピュータ、専用コンピュータ、または専用処理機械に特定の機能もしくは機能群を実施させる命令およびデータを含む。

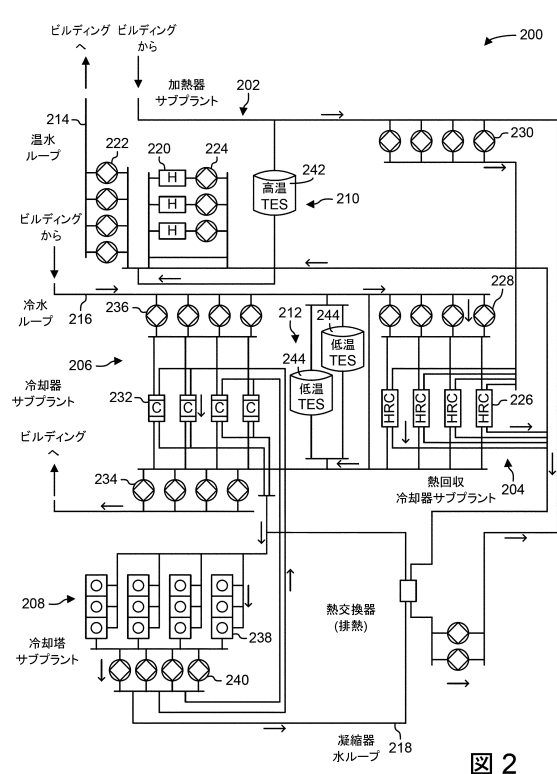
【0118】

図面は方法ステップの特定の順序を示しているが、ステップの順序は図示されるものとは異なってもよい。また、2つ以上のステップが並行して、または一部並行して実施されてもよい。そのような変形形態は、選択されるソフトウェアおよびハードウェアシステム、ならびに設計者の選択に依存する。そのような変形形態は全て本開示の範囲内にある。同様に、ソフトウェア実装は、様々な接続ステップ、処理ステップ、比較ステップ、および決定ステップを達成するために規則ベースの論理および他の論理を備えた標準的なプログラミング技法によって達成することができる。

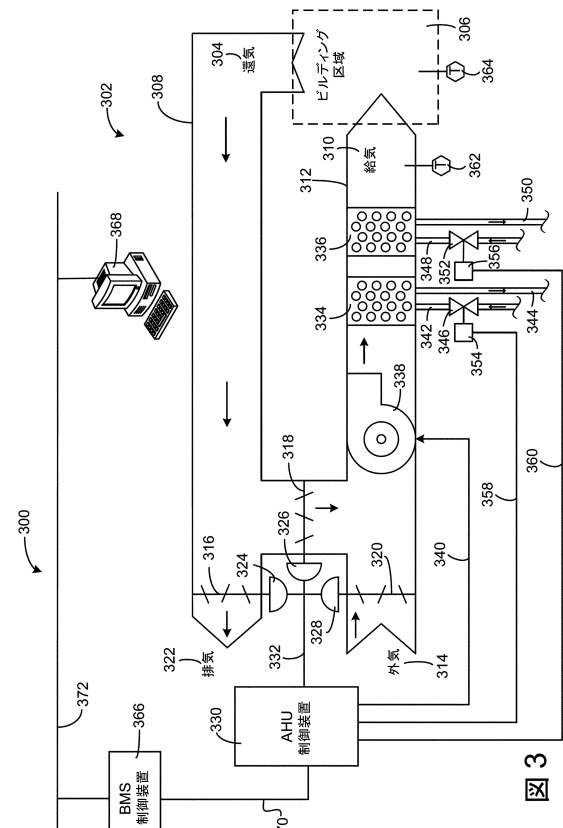
【図1】



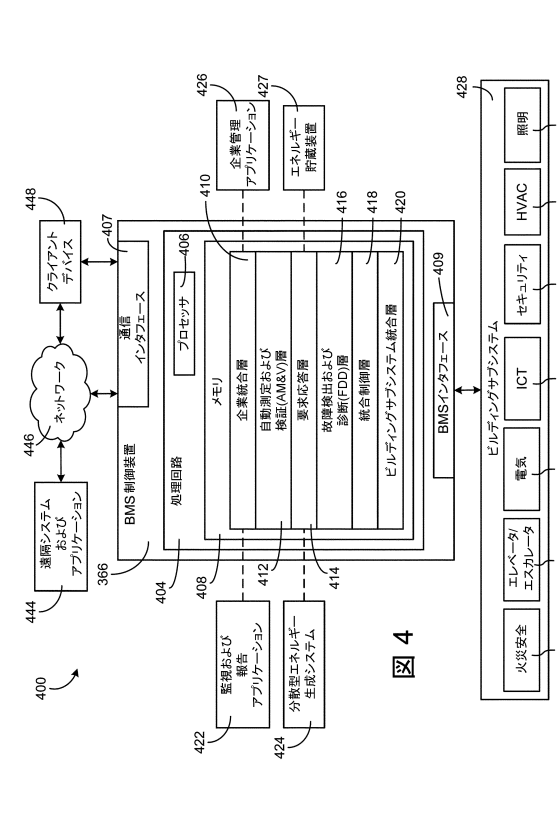
【図2】



【図3】



【図4】



【 図 5 】

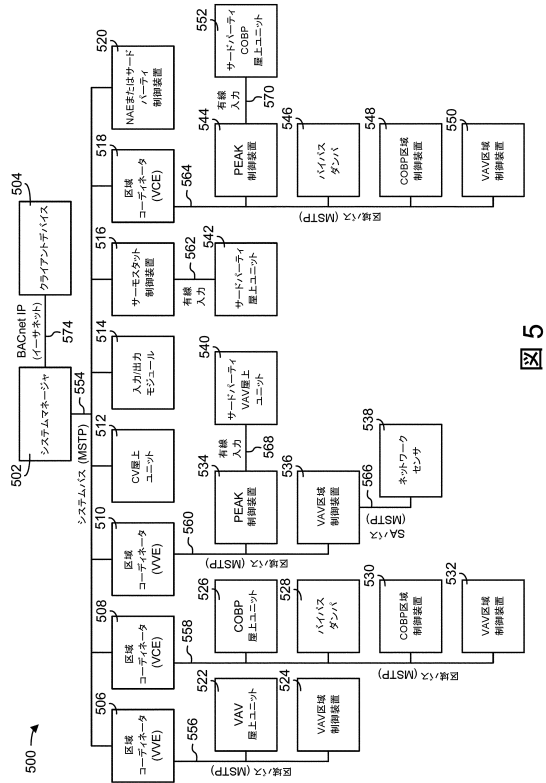


図 5

【 図 6 】

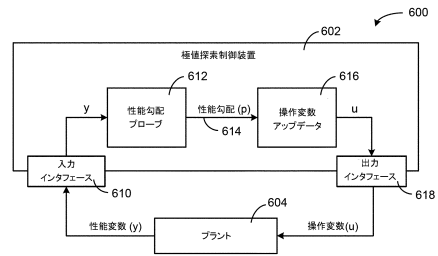


図 6

【 図 7 】

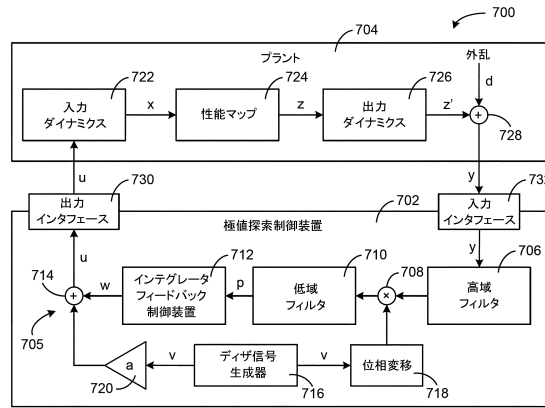


図 7

【 図 8 】

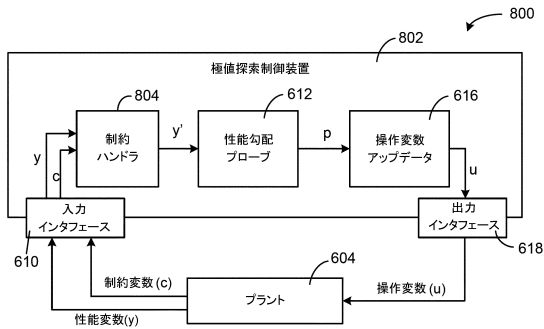


図 8

【 図 9 】

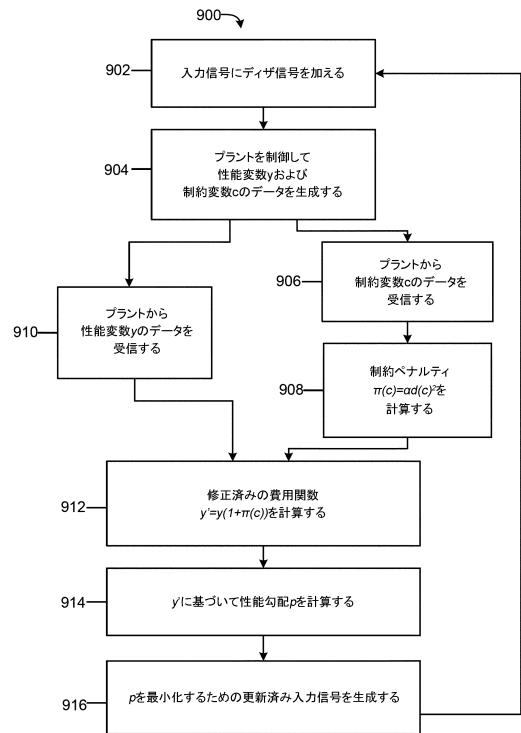
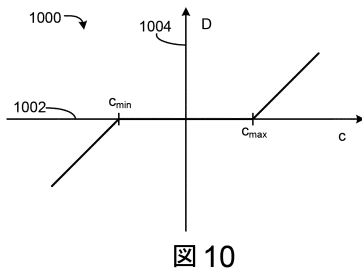
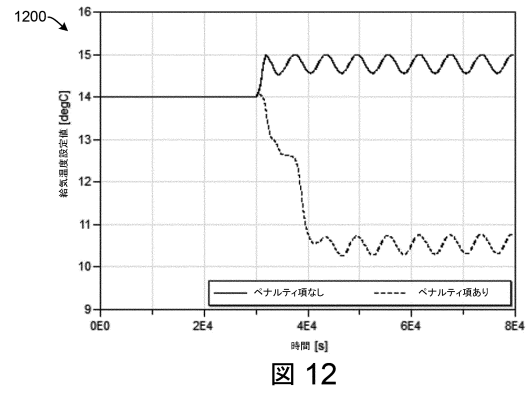


図 9

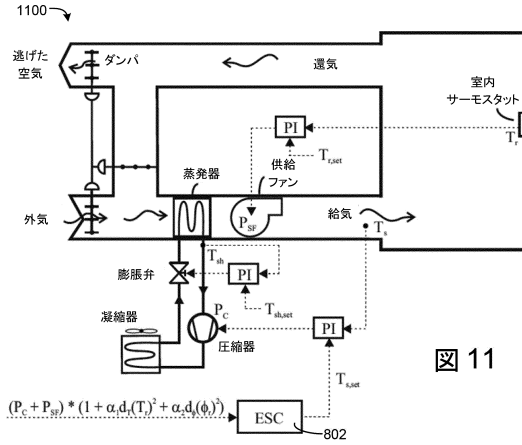
【図10】



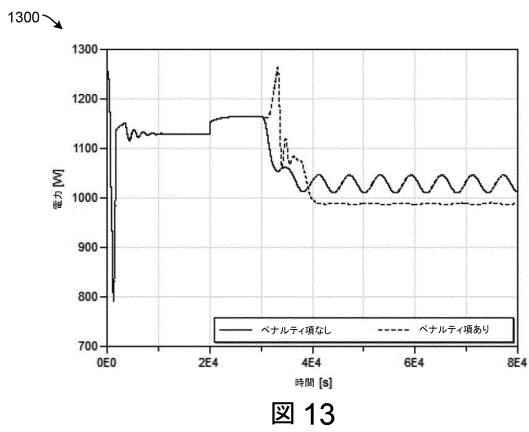
【図12】



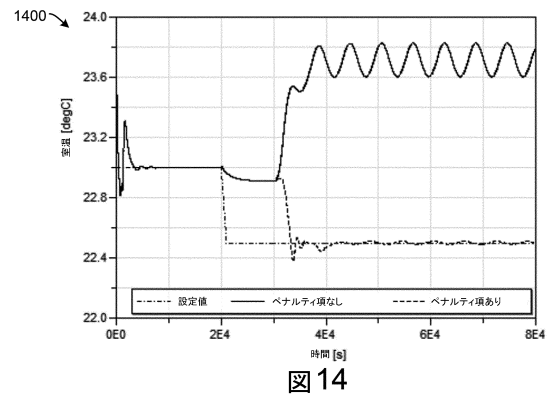
【図11】



【図13】



【図14】



【 図 15 】

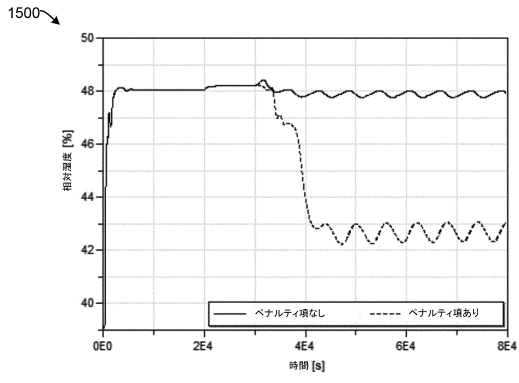


図 15

---

フロントページの続き

(72)発明者 ソールスベリー、 ティモシー アイ、  
アメリカ合衆国 53092 ウィスコンシン州 メクオン ウェスト オーバールック コート  
7046

(72)発明者 ハウス、 ジョン エム、  
カナダ国 エイチ1アール 2ジェイ6 ケベック州 サン-レオナルド リュー ヴィリユー  
9210

審査官 藤崎 詔夫

(56)参考文献 特表2009-518750(JP,A)  
特表2014-534405(JP,A)  
米国特許出願公開第2011/0106328(US,A1)  
米国特許出願公開第2016/0377306(US,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
G05B 13/02