

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7354113号  
(P7354113)

(45)発行日 令和5年10月2日(2023.10.2)

(24)登録日 令和5年9月22日(2023.9.22)

(51)国際特許分類	F I			
F 2 8 F 27/00 (2006.01)	F 2 8 F	27/00	5 1 1 K	
F 2 8 G 9/00 (2006.01)	F 2 8 G	9/00	L	
F 2 8 G 13/00 (2006.01)	F 2 8 F	27/00	5 1 1 D	
	F 2 8 G	13/00	A	

請求項の数 19 (全23頁)

(21)出願番号	特願2020-536916(P2020-536916)	(73)特許権者	515050220 エコラブ ユーエスエイ インク アメリカ合衆国 ミネソタ セイント ポール エコラブ プレイス 1
(86)(22)出願日	平成30年9月13日(2018.9.13)	(74)代理人	110001210 弁理士法人Y K I 国際特許事務所
(65)公表番号	特表2020-534505(P2020-534505 A)	(72)発明者	プラカシュ アヌパム アメリカ合衆国 イリノイ オーロラ ダンロピン サークル 2 6 6 5
(43)公表日	令和2年11月26日(2020.11.26)	(72)発明者	ヒンターロン スティーブン ジェイ アメリカ合衆国 イリノイ エルバーン クローバー ヒル レーン 4 2 ダブリュ 7 9 0
(86)国際出願番号	PCT/US2018/050841	(72)発明者	チェン ハンティン アメリカ合衆国 イリノイ オーロラ メ
(87)国際公開番号	WO2019/060203		最終頁に続く
(87)国際公開日	平成31年3月28日(2019.3.28)		
審査請求日	令和3年9月7日(2021.9.7)		
(31)優先権主張番号	62/560,595		
(32)優先日	平成29年9月19日(2017.9.19)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)		

(54)【発明の名称】 冷却水監視制御システム

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】

冷却水処理を制御する方法であって、  
 少なくとも、熱交換器に入る冷却水流の温度、前記熱交換器を出る前記冷却水流の温度、前記熱交換器に入るプロセス流の温度、および前記熱交換器を出る前記プロセス流の温度を示す複数のセンサからデータを受信することと、  
 前記複数のセンサからの前記受信したデータに基づいて、前記熱交換器の熱伝達効率を決定することと、  
 ある期間にわたって前記熱交換器の熱伝達効率傾向を確立することと、  
 前記熱伝達効率傾向の変化を検出することと、  
 前記熱交換器の前記熱伝達効率傾向の前記検出された変化にตอบสนองして、前記冷却水流への化学添加剤の添加を制御することと、を含む、方法。

【請求項 2】

前記熱伝達効率傾向を確立することが、前記期間にわたって前記熱交換器に対して決定された前記熱伝達効率に一次元曲線を適合することを含み、前記一次元曲線が、勾配を有し、

前記熱伝達効率傾向の変化を検出することが、閾値量以上の前記勾配の変化を決定することを含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記閾値量が、1 パーセント～25 パーセントの範囲である、請求項 2 に記載の方法。

## 【請求項 4】

前記熱交換器の前記熱伝達効率を決定することが、以下の式に従って、前記熱伝達効率を決定することを含み、

## 【数 1】

$$U \text{ 値} : \frac{\dot{m}C_p\Delta T_{\text{water}}}{\Delta T_{LMTD} \times \text{Heat Tr. Area} \times F_t}$$

式中、U 値が、前記熱伝達効率であり、

10

## 【数 2】

$$\dot{m}$$

が、単位時間あたりの前記冷却水流の質量であり、 $C_p$  が、前記冷却水流の比熱であり、

$T_{\text{water}}$  が、前記熱交換器を出る前記冷却水流の前記温度と、前記熱交換器に入る前記冷却水流の前記温度との差であり、 $\text{Heat Tr. Area}$  が、前記熱交換器の表面積量であって、それにわたって熱エネルギーが前記プロセス流と前記冷却水流との間で伝達される、表面積量であり、 $F_t$  が、前記熱交換器の幾何学形状に対応する補正因子であり、

20

## 【数 3】

$$\Delta T_{LMTD}$$

が、前記冷却水流および前記プロセス流が向流方向に流れる場合には、次の式を使用して計算されるか、

## 【数 4】

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(T_{\text{process,in}} - t_{\text{water,out}}) - (T_{\text{process,out}} - t_{\text{water,in}})}{\log_e \frac{T_{\text{process,in}} - t_{\text{water,out}}}{T_{\text{process,out}} - t_{\text{water,in}}}}$$

30

または、前記冷却水流および前記プロセス流が並流方向に流れる場合には、次の式を使用して計算される、対数平均温度差であり、

## 【数 5】

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(T_{\text{process,in}} - t_{\text{water,in}}) - (T_{\text{process,out}} - t_{\text{water,out}})}{\log_e \frac{T_{\text{process,in}} - t_{\text{water,in}}}{T_{\text{process,out}} - t_{\text{water,out}}}}$$

40

式中、 $T_{\text{Process,in}}$  が、前記熱交換器に入る前記プロセス流の前記温度であり、 $T_{\text{Process,out}}$  が、前記熱交換器を出る前記プロセス流の前記温度であり、 $t_{\text{water,in}}$  が、前記熱交換器に入る前記冷却水流の前記温度であり、 $t_{\text{water,out}}$  が、前記熱交換器を出る前記冷却水流の前記温度である、請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 項に記載の方法。

## 【請求項 5】

前記期間が、5 日 ~ 100 日の範囲である、請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 項に記載の方法。

## 【請求項 6】

50

前記熱交換器が清浄化後に供用状態に留置されると、前記期間が開始する、請求項 1 ~ 5 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 7】

前記化学添加剤が、前記熱交換器に入る前記冷却水流を受容する、前記熱交換器の入口の冷却塔上流で注入される、請求項 1 ~ 6 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 8】

前記化学添加剤の添加を制御することが、前記化学添加剤が前記冷却水流に導入される流速を増加させることを含む、請求項 1 ~ 7 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 9】

前記化学添加剤の添加を制御することが、少なくとも前記熱伝達効率傾向が下向き傾向から上向き傾向への変曲を示すまで、前記冷却水流の前記化学添加剤の濃度を増加させることを含む、請求項 1 ~ 8 のいずれか 1 項に記載の方法。

10

【請求項 10】

前記熱伝達効率傾向の前記変化を検出することに対応して、前記冷却水流の流速を増加させることをさらに含む、請求項 1 ~ 9 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 11】

前記冷却水中に存在する汚損のタイプを決定することと、前記決定された汚損のタイプに基づいて、前記化学添加剤を選択することと、をさらに含む、請求項 1 ~ 10 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 12】

前記熱交換器に入る前記冷却水流の前記温度、前記熱交換器を出る前記冷却水流の前記温度、前記熱交換器に入る前記プロセス流の前記温度、および前記熱交換器を出る前記プロセス流の前記温度に対応するデータを平滑化することをさらに含み、

20

前記熱伝達効率を決定することが、平滑化された温度値を使用して前記熱伝達効率を決定することを含む、請求項 1 ~ 11 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 13】

前記化学添加剤が、スケール抑制剤、腐食抑制剤、殺生物剤、およびそれらの組み合わせからなる群から選択される、請求項 1 ~ 12 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 14】

前記複数のセンサからデータを受信することが、前記冷却水流を受容する多数の熱交換器の各々について前記複数のセンサからデータを受信することを含み、

30

前記熱伝達効率を決定することが、前記多数の熱交換器の各々について前記熱伝達効率を決定することを含み、

前記熱伝達効率傾向を確立することが、前記多数の熱交換器の各々について前記熱伝達効率傾向を確立することを含み、

前記熱伝達効率傾向の前記変化を検出することが、前記多数の熱交換器のうちの少なくとも 1 つについて前記熱伝達効率傾向の前記変化を検出することを含み、

前記熱伝達効率傾向の前記変化を検出することが、前記多数の熱交換器の各々について前記熱伝達効率傾向の前記変化を検出することを含み、

前記冷却水流への前記化学添加剤の添加を制御することが、前記多数の熱交換器の各々について前記熱伝達効率傾向で検出された前記変化に対応して、前記冷却水流への前記化学添加剤の添加を制御することを含む、

40

請求項 1 ~ 13 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 15】

前記プロセス流が、前記期間にわたって前記熱伝達効率を低下させる、前記熱交換器内に堆積する汚損材料を含み、前記冷却水流が、前記期間にわたって前記熱伝達効率を低下させる、前記熱交換器内に堆積する汚損材料を含み、前記プロセス流によって堆積した前記汚損材料が、前記期間にわたって前記熱伝達効率を少なくとも 75% 低下させる、請求項 1 ~ 14 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 16】

50

システムであって、  
蒸発冷却により冷却水流の温度を低減する冷却塔と、  
冷却水入口、冷却水出口、プロセス流入口、およびプロセス流出口を有する、熱交換器と、

前記冷却水入口を通して前記熱交換器に入る冷却水流の温度、前記冷却水出口を通して前記熱交換器を出る前記冷却水流の温度、前記プロセス流入口を通して前記熱交換器に入るプロセス流の温度、および前記プロセス流出口を通して前記熱交換器を出る前記プロセス流の温度を測定するように位置決めされた複数のセンサと、

前記冷却水流に化学添加剤を注入するように位置決めされたポンプと、

前記複数のセンサおよび前記ポンプに通信可能に連結され、前記複数のセンサからデータを受信すること、前記複数のセンサからの前記受信したデータに基づいて、前記熱交換器の熱伝達効率を決定すること、ある期間にわたって前記熱交換器の熱伝達効率傾向を確立すること、前記熱伝達効率傾向の変化を検出すること、および前記熱交換器の前記熱伝達効率傾向の前記検出された前記変化にตอบสนองして、前記ポンプを制御すること、を行うように構成された、コントローラと、を備える、システム。

10

#### 【請求項 17】

前記コントローラが、

少なくとも、前記期間にわたって前記熱交換器について決定された前記熱伝達効率に一次元曲線を適合することによって、前記熱伝達効率傾向を確立することであって、前記一次元曲線が、勾配を有する、確立することと、

20

少なくとも、前記勾配の変化が閾値量以上であることを決定した場合に前記熱伝達効率傾向の前記変化が検出されたと特定することと、を行うように構成されている、請求項 16 に記載のシステム。

#### 【請求項 18】

前記コントローラが、少なくとも前記熱伝達効率傾向が下向き傾向から上向き傾向への変曲を示すまで、前記熱交換器の前記熱伝達効率傾向の検出された前記変化にตอบสนองして、前記ポンプを制御することで、前記化学添加剤が前記冷却水流に導入される流速を増加させる、請求項 16 又は 17 に記載のシステム。

#### 【請求項 19】

前記コントローラが、少なくとも前記熱伝達効率傾向が下向き傾向から上向き傾向への変曲を示すまで、少なくとも、前記化学添加剤の添加を制御することによって、冷却水流の前記化学添加剤の濃度を増加させる、請求項 16 ~ 18 のいずれか一項に記載のシステム。

30

#### 【発明の詳細な説明】

#### 【技術分野】

#### 【0001】

#### 関連出願の相互参照

本出願は、2017年9月19日出願の米国仮特許出願第62/560,595号の優先権を主張し、その全体の内容は、参照により本明細書に組み込まれる。

#### 【0002】

本開示は、冷却水システムに関し、より具体的には、冷却水制御システムに関する。

40

#### 【背景技術】

#### 【0003】

水冷却塔は、製油所および化学製品製造プラントに見られるような大容量の熱交換システムで使用される。冷却塔は、冷却塔内の冷却剤の一部を蒸発させることによって、吸収された熱を、循環する水冷却剤から除去するために使用される。残りの冷却材を、ポンプによって塔の基部にあるリザーバまたは汚水槽から抽出し、熱負荷を通じて継続的に供給することができる。かかるシステムでは大量の水が蒸発するため、スケール、スラッジ、またはその他の水汚染物質が時間の経過と共に再循環水中に蓄積することがある。

#### 【0004】

50

再循環する冷却水が接触する表面に汚損が発生する程度を防止または制限するのを助けるために、冷却水に様々な化学物質を添加することができる。化学物質は、水からのミネラルの沈殿を抑制することができ、これは別様に、水と接触する表面にスケーリングを形成し得る。追加的または代替的に、化学物質は、生物汚損源および/または水と接触した表面への腐食生成物の堆積を抑制し得る。

#### 【0005】

典型的な動作環境では、技術者は冷却水システムから冷却水のサンプルを採取し、サンプルの化学分析を実施し得る。技術者は、分析に基づいて、冷却水に添加される化学物質のタイプを調整し得る。多くの場合、技術者は、月に1回または四半期に1回など、限定された基準で冷却水の分析を実施するためだけに施設の現場にいる場合がある。その結果、施設のプロセス条件の変更は、プロセス条件が変更されてからしばらく時間が経過するまで検出されない場合がある。さらに、変更されたプロセス条件に対応するために冷却水の化学的性質が変更された場合でも、かかる変更は、概して、望ましくない冷却水の条件を防止するための予測的な変更ではなく、反動的な変更である。

10

#### 【発明の概要】

#### 【0006】

概して、本開示は、冷却水を監視および制御するための技術およびシステムを対象とする。いくつかの例では、冷却水回路内の冷却水の条件は、内部を通して冷却水が運搬される1つ以上の下流熱伝達ユニットの熱性能を評価することによって間接的に監視および/または制御される。例えば、熱交換ネットワークは、多数の熱交換器に流体的に接続され、多数の熱交換器に冷却水を供給する、1つ以上の冷却塔を含み得る。冷却水は各熱交換器の片側を通過し、冷却されるプロセス流体は並流または向流方向のいずれかで熱交換器の反対側を通過する。

20

#### 【0007】

いくつかの例では、熱交換ネットワーク内の熱交換器のうちの1つ以上の熱性能は、熱交換器を通過するプロセス流および冷却水流の両方の入口および出口の温度を監視することによって監視される。冷却水流および/またはプロセス流の流速など、他のプロセスパラメータを監視することもできる。いずれの場合でも、熱交換器の熱伝達効率に対応するパラメータは、温度データに少なくとも部分的に基づいて決定され得る。熱交換器の熱伝達効率の傾向を確立して、傾向からの将来の逸脱を決定することができる参照を提供することができる。続いて、熱交換器の熱伝達効率を監視し、熱伝達効率の変化を検出することができる。冷却水流に導入される化学添加剤を、熱交換器の熱伝達効率傾向の検出された変化に基づいて、制御することができる。その結果、冷却水の条件によって引き起こされる熱交換器の熱伝達効率の予期しない変化を、早期に検出することができ、熱交換器の性能が大いに制限される時点まで条件が完全に悪化するまで待機するのではなく、化学添加剤の制御を通じて軽減することができる。

30

#### 【0008】

実際には、熱交換器の熱伝達効率は、熱エネルギーが比較的暖かいプロセス流から比較的冷たい冷却水流へと伝達され得る効率に影響を与える様々な因子に基づいて変化し得る。例えば、プロセス蒸気が接触する熱交換器の表面に堆積した汚損は、冷却水流への熱伝達を低減し得る。同様に、冷却水流が接触する熱交換器の表面に堆積した汚損もまた、冷却水流への熱伝達を低減し得る。

40

#### 【0009】

多くのプロセス環境では、プロセス蒸気は、冷却水流よりも汚損しやすい。その結果、熱交換器のプロセス流側への汚損の蓄積は、熱交換器の冷却水流側よりも著しく大きくなる可能性がある。例えば、動作条件によっては、熱交換器のプロセス側への汚損の蓄積により、熱交換器が清浄である（例えば、プロセス側および/または冷却水側への汚損がない）場合と比較して、熱交換器の熱効率性能を75%以上劣化させる場合がある。例えば、熱交換器のプロセス側への汚損の蓄積により、熱交換器の熱効率性能を95%以上劣化させる場合がある。

50

## 【 0 0 1 0 】

プロセス側の汚損が熱交換器の熱効率に及ぼし得る主要な影響にもかかわらず、いくつかの用途では、熱交換器の熱効率が依然として、冷却水側の汚損条件に関する実行可能な洞察を提供し得ることが見出されている。例えば、熱交換器の熱効率傾向の変化（例えば、熱交換器を通過するプロセス流の組成、温度、および/または流速に著しい変化がなかった場合）は、熱交換器の冷却水側への汚損条件に帰属する場合がある。熱交換器の冷却水上流に導入される化学添加剤は、下流で検出される熱交換器の熱効率の変化に基づいて制御され得る。いくつかの用途では、リアルタイムの監視および制御を提供して、熱交換器の熱効率条件の予想外の悪化に対する迅速な応答を促進する。この迅速な介入により、熱交換器が汚損された条件を検出する前に完全に汚損されると達成することができない方法で、次の物理的な清浄まで熱交換器の耐用年数を延ばすことができる。

10

## 【 0 0 1 1 】

一例では、冷却水処理を制御する方法が記載されている。本方法は、少なくとも、熱交換器に入る冷却水流の温度、熱交換器を出る冷却水流の温度、熱交換器に入るプロセス流の温度、および熱交換器を出るプロセス流の温度を示す複数のセンサからデータを受信することを含む。本方法はまた、複数のセンサからの受信したデータに基づいて、熱交換器の熱伝達効率を決定することと、ある期間にわたって熱交換器の熱伝達効率傾向を確立すること、に關与する。本方法はさらに、熱伝達効率傾向の変化を検出することと、熱交換器の熱伝達効率傾向の検出された変化に応答して、冷却水流への化学添加剤の添加を制御すること、に關与する。

20

## 【 0 0 1 2 】

別の例では、冷却塔、熱交換器、複数のセンサ、ポンプ、およびコントローラを含むシステムが記載されている。冷却塔は、蒸発冷却により冷却水流の温度を低減する。熱交換器は、冷却水入口、冷却水出口、プロセス流入口、およびプロセス流出口を有する。複数のセンサは、冷却水入口を通過して熱交換器に入る冷却水流の温度、冷却水出口を通過して熱交換器を出る冷却水流の温度、プロセス流入口を通過して熱交換器に入るプロセス流の温度、およびプロセス流出口を通過して熱交換器を出るプロセス流の温度を測定するように位置決めされている。ポンプは、熱交換器の上流に位置決めされ、冷却水流に化学添加物を注入するように構成されている。コントローラは、複数のセンサおよびポンプに通信可能に連結され、複数のセンサからデータを受信すること、複数のセンサからの受信したデータに基づいて、熱交換器の熱伝達効率を決定すること、ある期間にわたって熱交換器の熱伝達効率傾向を確立すること、熱伝達効率傾向の変化を検出すること、および熱交換器の熱伝達効率傾向の検出された変化に応答して、ポンプを制御すること、を行うように構成されている。

30

## 【 0 0 1 3 】

1つまたは複数の例の詳細が、添付の図面および以下の説明に記載される。他の特徴、目的、および利点は、説明および図面から、ならびに特許請求の範囲から明らかになるであろう。

## 【 図面の簡単な説明 】

## 【 0 0 1 4 】

【 図 1 】 冷却水監視制御システムの一例の概念図である。

40

## 【 0 0 1 5 】

【 図 2 】 図 1 による冷却水監視制御システムを実装することができる多数の熱交換器を含有する熱交換器ネットワークの一例を例示するフロー図である。

## 【 0 0 1 6 】

【 図 3 】 図 1 による冷却水監視制御システムを実装することができるアンモニア製造プロセスの一例を例示するフロー図である。

## 【 0 0 1 7 】

【 図 4 】 熱交換器のフロー流に関する生および平滑化された温度データの例を示す。

【 図 5 】 熱交換器のフロー流に関する生および平滑化された温度データの例を示す。

50

【図 6】熱交換器のフロー流に関する生および平滑化された温度データの例を示す。

【図 7】熱交換器のフロー流に関する生および平滑化された温度データの例を示す。

【0018】

【図 8】図 4 ~ 7 に例示される温度データを提供する熱交換器の冷却水流速データの例を示す。

【0019】

【図 9】図 4 ~ 8 の平滑化された温度データと流速データとを使用して計算された熱伝達係数の例を示すグラフである。

【0020】

【図 10】周期性マーカーを重ねた、図 4 ~ 8 の平滑化された温度データと流速データとを使用して計算された熱伝達係数の例を示すグラフである。

10

【0021】

【図 11】図 8 の流速データに対応する冷却水流の酸化還元電位 (ORP) 値の例を示す。

【0022】

【図 12】別の例示的な熱交換器のフロー流の生および平滑化された温度データの例を示す。

【図 13】別の例示的な熱交換器のフロー流の生および平滑化された温度データの例を示す。

【図 14】別の例示的な熱交換器のフロー流の生および平滑化された温度データの例を示す。

20

【図 15】別の例示的な熱交換器のフロー流の生および平滑化された温度データの例を示す。

【0023】

【図 16】図 12 ~ 15 に例示される温度データを提供する熱交換器の冷却水流速データの例を示す。

【0024】

【図 17】図 12 ~ 16 の平滑化された温度データと流速データとを使用して計算された熱伝達係数の例を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0025】

30

本開示は、概して、1つ以上の比較的暖かい流れとの熱交換に使用される冷却水源への1つ以上の化学剤の添加を制御するためのシステムおよび技術を含む、冷却水監視制御システムを対象とする。冷却水に添加される1つ以上の化学剤は、冷却水と流体接触する熱交換面に汚損が堆積するのを防止するか、またはその程度を最小限に抑えることができる。これにより、制御された冷却水化学物質添加による熱交換ネットワークが実装されている施設の効率を改善することができる。

【0026】

図 1 は、冷却水監視制御システム 100 の一例の概念図である。システム 100 は、冷却塔 102 と、1つ以上の熱交換器 104 と、熱交換ネットワークを通じて再循環される冷却水流に1つ以上の化学剤を導入し得るポンプ 106 と、を含む。動作中、比較的暖かいプロセス流と比較的冷たい冷却水流とを熱交換器 104 に通過させることができる。流体を、熱交換器内の固体壁面によって分離して、流体の混合を防止することができる。熱エネルギーは、比較的暖かいプロセス流から比較的冷たい冷却水流へと伝達され得、その結果、プロセス流の温度の低減、および冷却水流の温度の増加をもたらす。図 1 の例示的なシステムは、例示の目的で単一の熱交換器 104 のみを含むが、本開示の概念を利用する熱交換ネットワークは、冷却水流が直列または並列に通って流れる多数の熱交換器（例えば、各々が熱交換器 104 として構成されていることが記載されている）を含み得る。

40

【0027】

図 1 の例の熱交換器 104 は、冷却水入口 108 と、冷却水出口 110 と、を含む。熱交換器はまた、プロセス流入口 112 と、プロセス流出口 114 と、を含む。冷却水流 1

50

16は、冷却水入口108を通過して熱交換器104に入り、熱交換器内部の1つ以上の分割された経路を通過して流れ、冷却水出口110を通過して熱交換器から出ることができる。同様に、プロセス流118は、プロセス流入口112を通過して熱交換器104に入り、冷却水流から分離された熱交換器内部の1つ以上の分割された経路を通過して流れ、プロセス流出口114を通過して熱交換器を出ることができる。いくつかの構成では、冷却水流およびプロセス流は、熱交換器を通過して並流方向に流れる。他の構成では、プロセス流中の冷却水流は、熱交換器を通過して向流方向に流れる。概して、熱交換器104は、シェルアンドチューブ式熱交換器、プレート式熱交換器、または他のタイプの熱伝達デバイスなど、任意の所望のタイプの熱交換器設計を使用して実装され得る。

#### 【0028】

例示される構成では、冷却水流116は、上流冷却塔102から熱交換器104に送達され、熱交換器を通過した後に冷却塔に再度リサイクルされる。上に示されるように、冷却水流116は、熱交換器104に入る前に1つ以上の熱交換器を通過し、かつ/または冷却塔102に戻る前に熱交換器104を通過した後に1つ以上の熱交換器を通過し得る。冷却塔102では、熱伝達回路を通過して流れる冷却水流に伝達された熱エネルギーを除去し、大気に吐出することができる。例えば、冷却塔102は、冷却水流を空気と直接接触させ、その結果、蒸発冷却により冷却水流の温度の低減をもたらすことができる。冷却水は、熱交換ネットワークから引き出され、熱交換ネットワークを通過する前に、汚水槽またはリザーバに送達され得る。

#### 【0029】

冷却水は、蒸発による水の損失に加えて、熱交換システムから周期的に除去され得る。吐出線120を使用して、システムが動作している間に汚水槽またはリザーバの水の一部を「ブリードオフ」することができるか、または、典型的には、汚水槽の完全な排水である「ブローダウン」を実施することができる。いずれの場合でも、「補給」水線122は、冷却システムに新鮮な水を供給して、蒸発または意図的な投棄による水の損失を補うことができる。

#### 【0030】

実際には、様々な問題が熱交換器の冷却水側からの熱交換器104の熱性能に影響を与え得る。例えば、冷却水が高レベルの固形物（例えば、シルト、破片）を含有する場合、固形物は、熱交換器104を通る冷却水流体経路を部分的にまたは完全に閉塞し得る。一例として、冷却水は、冷却水と接触する熱交換器104の内面に堆積物を形成させ得る。

#### 【0031】

例えば、冷却水の蒸発は、システムを介してリサイクルされる冷却水流中の塩（例えば、カルシウム、ナトリウム、マグネシウム）の濃度につながる可能性がある。これらの塩は、冷却水と接触する熱交換器104の表面にスケリング堆積物を形成し得る。別の例として、冷却水が有機材料および微生物を含有する場合、バイオフィームが冷却水と接触する熱交換器104の表面に堆積し得る。さらに別の例として、例えば、金属成分（例えば、鉄、アルミニウム、および/または亜鉛）の酸化により、冷却水流内で腐食生成物が発生し得る。これらの腐食生成物はまた、冷却水と接触する熱交換器104の表面に堆積し得る。汚損のメカニズムまたは原因とは無関係に、冷却水と接触する熱交換器104の表面にバリア層が蓄積すると、熱交換器を通る熱伝達の効率が低減し得る。

#### 【0032】

熱伝達ネットワークを通過する冷却水流の潜在的な汚損条件を低減または排除するのに助けるために、1つ以上の化学物質を冷却水に添加して、汚損の形成および/または堆積を抑制することができる。図1の構成では、システム100は、化学添加剤リザーバ124に流体接続されたポンプ106を含む。ポンプ106は、冷却水と接触する表面上の汚損の形成および/または堆積を抑制するように選択された1つ以上の化学物質を冷却水に添加するように動作し得る。冷却水に注入され得る化学添加剤の例としては、ポリマー（スケール抑制剤）、ポリリン酸亜鉛、オルトリン酸亜鉛、および/または有機リン酸亜鉛化合物（スケール抑制剤および腐食抑制剤）などの有機リン化合物、ならびに殺生物剤を

10

20

30

40

50

挙げることができるが、これらに限定されない。追加的または代替的に、1つ以上の化学添加剤を冷却水に注入して、冷却水のpHを調整することができる。pH調整化合物の例としては、鉱酸、有機酸、および無機塩基が挙げられる。

#### 【0033】

図1の例示される構成では、ポンプ106は、冷却塔102と熱交換器104との間の冷却水に化学添加剤を添加するものとして例示されている。実際には、化学添加剤は、冷却塔に関連付けられた汚水槽などの任意の好適な場所で冷却水流に導入され得る。さらに、図1のシステム100は、単一の化学添加剤リザーバ124に流体連結された単一のポンプ106を例示しているが、ポンプ106は、異なる化学物質を含有する多数のリザーバと選択的に流体連通し得、かつ/またはシステム100は、各々が冷却水に異なる化学物質を導入するように構成された多数のポンプを含み得る。上に論じられるもののうちのいくつかまたはすべてを含む多数の異なる化学添加剤を提供することによって、冷却水に導入される化学物質のタイプを、冷却水の条件の変化に基づいて、変更することができる。

10

#### 【0034】

システム100の冷却水への化学添加剤の添加を制御するために、熱交換器104の熱性能を監視することができる。熱交換器104の熱性能を監視して、熱エネルギーが比較的暖かいプロセス流から比較的冷たい冷却水流へと伝達される効率を評価することができる。熱交換器104の熱伝達効率は、熱交換器が最初に清浄化されるときに最大になる場合がある。例えば、熱交換器104を、化学的および/または機械的清浄化の実装例を使用して周期的に清浄化して、熱交換器のプロセス側および/または冷却側の汚損を除去し、熱交換器の熱交換表面が清浄であり、実質的にまたは完全に汚損されていないことをもたらしすることができる。供用状態で時間がたつと、熱交換器の熱伝達面のプロセス流側および/または冷却水流側に汚損が蓄積する場合がある。結果として、熱交換器104の熱伝達効率は、ある清浄化から次の清浄化までの供用の過程で悪化することがある。

20

#### 【0035】

熱交換器104の熱伝達効率を監視するのに助けるために、多数のセンサを配備して、熱交換器の異なる動作態様を監視することができる。図1の例では、システム100は、冷却水流116および3つの熱交換器104の温度を測定する温度センサ126と、熱交換器を出る冷却水流の温度を測定する温度センサ128と、を含む。システムはまた、熱交換器104に入るプロセス流118の温度を測定する温度センサ130と、熱交換器を出るプロセス流の温度を測定する温度センサ132と、を含む。温度センサは熱交換器104にすぐ隣接して位置決めされているように模式的に例示されているが、温度センサを、熱交換器から上流または下流の場所に位置決めして、温度センサが、熱交換器に出入りするそれぞれの流れの温度の好適で正確な測定を提供することができる。

30

#### 【0036】

システム100は、熱交換器104の異なる動作パラメータを測定するための追加のおよび/または異なるセンサを含み得る。例えば、システムは、冷却水流116および/またはプロセス流118の流速を測定するための1つ以上のフローセンサを含み得る。例示される例では、システム100は、熱交換器104を出る冷却水流の流速を測定するように位置決めされたフローセンサ134を示す。他の例では、冷却水流116および/またはプロセス流118の流速は、熱交換器を通して運搬される流体の量を示す動作環境内のポンプ速度または他の情報に基づいて決定され得る。システム100で有用に用いられ得る他のセンサとしては、(例えば、熱交換器を横切る冷却水流および/またはプロセス流の差圧を測定するための)圧力センサ、冷却水の酸化還元電位(ORP)を測定するためのORPセンサ、冷却水のpHを測定するためのpHセンサ、および/または冷却水の導電率を測定する導電性センサが挙げられる。

40

#### 【0037】

図1の例のシステム100はまた、コントローラ136を含む。コントローラ136は、システムの全体的な動作を管理するために、システム100のセンサ構成要素および制御可能な構成要素に通信可能に接続され得る。例えば、コントローラ136は、ポンプ1

50

06、冷却水入口温度センサ126、冷却水出口温度センサ128、プロセス流入口温度センサ130、プロセス流出口温度センサ132、およびフローセンサ134に通信可能に接続され得る。

【0038】

コントローラ136は、プロセッサ138と、メモリ140と、を含む。コントローラ136は、図1の例では有線接続として例示されている、有線または無線接続を介して通信可能に接続された構成要素と通信する。コントローラ136から送信され、コントローラによって受信される制御信号は、接続上を進むことができる。メモリ140は、コントローラ136を作動させるためのソフトウェアを記憶し、かつ例えば、温度センサ126、128、130、132、およびフローセンサ134からプロセッサ138によって生成または受信されたデータを記憶することもできる。プロセッサ138は、メモリ140に記憶されたソフトウェアを作動させて、システム100の動作を管理する。

10

【0039】

コントローラ136は、熱交換器104を含有する施設サイトに位置し得る1つ以上のコントローラを使用して実装され得る。コントローラ136は、ネットワーク144を介して1つ以上のリモートコンピューティングデバイス142と通信し得る。例えば、コントローラ136は、地理的に分散したクラウドコンピューティングネットワークと通信することができ、クラウドコンピューティングネットワークは、本開示のコントローラ136に帰属する機能のうちのいずれかまたはすべてを実施し得る。

【0040】

ネットワーク144は、1つのコンピューティングデバイスを別のコンピューティングデバイスに連結して、デバイスと一緒に通信することを可能にするように構成され得る。ネットワーク144を使用可能にして、1つの電子デバイスから別の電子デバイスに情報を通信するために、任意の形態のコンピュータ可読媒体を用いることができる。また、ネットワーク144は、ローカルエリアネットワーク(LAN)、ワイドエリアネットワーク(WAN)に加えて、インターネットなどの無線インターフェースおよび/または有線インターフェース、ならびにユニバーサルシリアルバス(USB)ポート、他の形態のコンピュータ可読媒体、またはそれらの任意の組み合わせなどを介した直接接続を含み得る。異なるアーキテクチャおよびプロトコルに基づくものを含む相互接続されたLANのセットでは、ルーターがLAN間のリンクとして作用し、メッセージが相互に送信されることを可能にすることができる。LAN内の通信リンクとしては、ツイストワイヤペアまたは同軸ケーブルを挙げることができるが、ネットワーク間の通信リンクは、アナログ電話線、フルもしくはフラクショナル専用デジタル線、統合サービスデジタルネットワーク(ISDN)、デジタル加入者線(DSL)、携帯電話リンクおよび衛星リンクを含む無線リンク、または他の通信リンクを利用し得る。さらに、リモートコンピュータおよび他の関連電子デバイスは、モデムおよび一時的な電話リンクを介してLANまたはWANのいずれかにリモートで接続され得る。

20

【0041】

動作中、温度センサ126、128、130、および132は、熱交換器104に出入りするそれぞれの流体流の温度を示すデータを生成することができる。同様に、フローセンサ134は、熱交換器104を出る冷却水の流速を示すデータを生成することができる。コントローラ136は、システム100全体に配備されたセンサからデータを受信し、センサによって生成されたデータを使用して、熱交換器104の熱伝達効率を決定することができる。受信した温度情報および/または流速情報を熱伝達効率値に関連付ける、メモリに格納された情報を参照して、コントローラ136は熱交換器の熱伝達効率値を決定することができる。

40

【0042】

いくつかの例では、コントローラ136は、以下の式(1)を使用して熱交換器104の熱伝達効率を決定することができる。

【数1】

50

$$\text{式1: U値} = \frac{\dot{m}C_p\Delta T_{\text{water}}}{\Delta T_{\text{LMTD}} \times \text{Heat Tr. Area} \times F_t}$$

【0043】

上の式(1)では、U値は、熱伝達効率であり、

【数2】

$\dot{m}$

は、単位時間あたりの冷却水流の質量であり、 $C_p$ は、冷却水流の比熱であり、 $T_{\text{water}}$ は、熱交換器を出る冷却水流の温度と、熱交換器に入る冷却水流の温度との差であり、 $\text{Heat Tr. Area}$ は、熱交換器の表面積量であって、それにわたって熱エネルギーがプロセス流と冷却水流との間で伝達される、表面積量であり、 $F_t$ は、熱交換の幾何学形状に対応する補正因子であり、

【数3】

$\Delta T_{\text{LMTD}}$

は、対数平均温度差である。冷却水流の比熱、熱交換器104の熱伝達面積、および補正因子などのパラメータは、メモリに記憶されてもよいし、かつ/またはメモリに記憶された情報に基づいて計算可能であってもよい。例えば、ユーザは、ユーザ入力デバイスを使用して、冷却水流の比熱(例えば、水の比熱)に対応する情報、および熱交換器104の幾何学形状に対応する特性をコントローラ136のメモリ140に記憶することができる。

【0044】

上の式(1)の対数平均温度差は、下の式(2)または(3)を使用して計算することができる。

【数4】

$$\text{式2: } \Delta T_{\text{LMTD}} = \frac{(T_{\text{process,in}} - t_{\text{water,out}}) - (T_{\text{process,out}} - t_{\text{water,in}})}{\log_e \frac{T_{\text{process,in}} - t_{\text{water,out}}}{T_{\text{process,out}} - t_{\text{water,in}}}}$$

$$\text{式3: } \Delta T_{\text{LMTD}} = \frac{(T_{\text{process,in}} - t_{\text{water,in}}) - (T_{\text{process,out}} - t_{\text{water,out}})}{\log_e \frac{T_{\text{process,in}} - t_{\text{water,in}}}{T_{\text{process,out}} - t_{\text{water,out}}}}$$

【0045】

式(2)は、冷却水流とプロセス流とが向流方向に流れる状況で使用され得る。式(3)は、冷却水流とプロセス流とが並流方向に流れる状況で使用され得る。式(2)および(3)の両方において、 $T_{\text{process,in}}$ は、温度センサ130によって測定される、熱交換器に入るプロセス水流の温度であり、 $T_{\text{process,out}}$ は、温度センサ132によって測定される、熱交換器を出るプロセス流の温度であり、 $t_{\text{water,in}}$ は、温度センサ126によって測定される、熱交換器に入る冷却水流の温度であり、 $t_{\text{water,out}}$ は、温度センサ128によって測定される、熱交換器を出る冷却水流の温度である。

【0046】

コントローラ 136 は、システム 100 内のセンサからデータを受信し、熱交換器 104 の熱伝達効率を連続的にまたは周期的に決定することができる。例えば、コントローラ 136 は、熱交換器 104 の熱伝達効率を、少なくとも 1 時間に 1 回、少なくとも 1 分に 1 回、または少なくとも 1 秒に 1 回など、少なくとも 1 日に 1 回決定し得る。コントローラ 136 が熱交換器 104 の熱伝達効率を計算する頻度は、システム 100 内のセンサのサンプリングレート、コントローラ 136 の処理能力、および/または熱伝達効率計算されるべき頻度を選択するオペレータ入力に応じて変化し得る。

【0047】

実際には、それは、熱交換器 104 が熱交換器の供用間隔中に高いままである（例えば、実質的に一定である）高い熱伝達効率を示す場合、望ましい。しかしながら、実際には、熱交換器 104 の熱伝達効率は、熱交換器のプロセス流側および/または熱交換器の冷却水側に汚損が蓄積するにつれて、時間と共に低下し得る。熱交換器に汚損が蓄積する速度と、熱交換器の熱効率が変化する対応する速度とを監視することによって、熱効率の変化の検出にตอบสนองして、冷却水流への 1 つ以上の化学添加剤の添加を制御するようにポンプ 106 を制御することによって、冷却水側で介入措置をとることができる。

10

【0048】

いくつかの例では、コントローラ 136 は、ある期間にわたって熱交換器 104 の熱伝達効率傾向を確立する。熱伝達効率傾向が確立される期間は、熱交換器が最初に供用状態に留置されたとき（例えば、新しいか、または清浄化後）に開始し得る。これは、熱交換器 104 が汚損される可能性が最も低いときである。代替的に、熱伝達効率傾向が確立される期間は、熱交換器がある期間にわたって供用状態に留置されていた後に開始し得る。例えば、熱伝達効率傾向は、（例えば、ブローダウン後に）冷却水流への変更が行われたとき、および/または熱交換器 104 を通って流れるプロセス流への変更（例えば、温度、圧力、組成の変更）が行われたときに始まることがある。

20

【0049】

熱交換器 104 の熱伝達効率傾向を測定する期間がいつ開始するかに関係なく、コントローラ 136 は、熱伝達効率挙動の統計的に合理的な傾向を提供するのに有効な期間にわたって熱伝達効率を測定し得る。例えば、コントローラ 136 は、少なくとも 10 日、少なくとも 20 日、または少なくとも 30 日など、少なくとも 5 日にわたって、熱交換器 104 の熱伝達効率を測定し得る。いくつかの例では、コントローラ 136 は、10 日～45 日など、5 日～100 日の範囲の期間にわたって、熱交換器 104 の熱伝達効率を測定する。いくつかの例では、コントローラ 136 は、5 日～50 日の範囲の進行期間など、ある特定の先行日数にわたる移動平均として熱伝達効率を測定する。

30

【0050】

コントローラ 136 は、測定期間中に受信したセンサ情報に基づいて熱伝達効率値を生成することができる。コントローラ 136 はさらに、測定期間中に決定された熱伝達効率値について統計的傾向分析を実施して、熱交換器 104 の熱伝達効率の傾向を特定することができる。

【0051】

いくつかの例では、コントローラ 136 は、曲線を、グラフの y 軸にプロットされた熱伝達効率値に適合することができ、対応する測定時間はグラフの x 軸にプロットされる。一例では、曲線は、 $y = m * x + b$  の形式を有する単次元の式（次元式とも呼ばれる）であり、式中、y は、熱伝達効率であり、x は、時間であり、m は、曲線の勾配であり、b は、曲線の切片である。曲線の勾配「m」は、熱交換器 104 の熱伝達効率に対応する傾向として、コントローラ 136 に関連付けられたメモリに記憶され得る。他の例では、より高い次元の多項式曲線がデータに適合し得る。

40

【0052】

いくつかの例では、コントローラ 136 は、熱伝達効率を計算する前に、センサ 126、128、130、および 132 から受信した温度データおよび/またはセンサ 134 から受信した流速データを処理する。例えば、コントローラ 136 は、統計的平滑化アルゴ

50

リズムを使用してデータを平滑化して、データからノイズおよび外れ値を除去することができる。次いで、コントローラ136は、平滑化された温度値を使用して熱伝達効率を決定することができる。代替的に、コントローラ136は、生データの熱伝達効率値を計算し、計算された熱伝達効率値に平滑化アルゴリズムを適用することができる。平滑化されたデータを使用して、後続の傾向分析および変更検出を実施することができる。

**【0053】**

コントローラ136は、システム100内のセンサから測定値を受信し続け、熱伝達効率傾向を確立した後、受信したセンサデータに基づいて熱伝達効率値を生成することができる。コントローラ136は、熱交換器104の熱伝達効率情報を、熱交換器について決定された熱伝達効率傾向と比較し、熱伝達効率傾向に変化があるかどうかを検出することができる。例えば、コントローラ136は、ある測定期間にわたって熱伝達効率傾向を決定し、その傾向を以前に確立された傾向と比較することができる。測定期間は、比較的短く（例えば、1日以下）ても、より長く（例えば、1日以上、1週間以上など）てもよい。コントローラ136が、熱交換器104から受信したデータに基づいて計算された熱伝達効率データに単一次元の式を適合させる用途では、コントローラは、測定期間中の熱伝達効率の勾配を決定することができる。コントローラ136は、測定期間中の熱交換器104の熱伝達効率傾向の勾配を、以前に確立された熱伝達効率傾向の勾配と比較することができる。

10

**【0054】**

コントローラ136は、測定期間中の熱伝達効率傾向が、以前に確立された熱伝達効率傾向と閾値量を超えて異なるかどうかを決定することができる。閾値量は、以前に確立された熱伝達効率値の5%以上、以前に確立された熱伝達効率値の10%以上、以前に確立された熱伝達効率値の25%以上、または以前に確立された熱伝達効率値の50%以上など、以前に確立された熱伝達効率値（例えば、勾配）の1%以上であり得る。例えば、閾値量は、5パーセント～20パーセントなど、以前に確立された熱伝達効率値の1パーセント～25パーセントの範囲であり得る。

20

**【0055】**

熱伝達効率傾向が以前に確立された熱伝達効率傾向から逸脱している場合、測定期間中の熱交換器が以前の動作中よりも早く汚損していることを示し得る。処理せずに放置すると、より急速な破損により熱交換器104の動作効率が低減することがあり、次の予定された清浄化の前に交換器を清浄化するために、費用がかかり計画外のシャットダウンが必要になる可能性がある。

30

**【0056】**

熱伝達効率傾向の検出された変化への積極的な応答を助けるために、コントローラ136は、熱伝達効率傾向の検出された変化に応答して、冷却水への化学添加剤の添加を制御するようにポンプ106を制御することができる。コントローラ136のプロセッサ138は、熱伝達効率傾向の変化を、異なる効率傾向の変化を異なる添加剤制御スキームに係付ける、メモリ140に記憶された1つ以上の閾値と比較することができる。いくつかの例では、コントローラ136は、ポンプ106を起動および/もしくは停止するか、またはポンプ106の速度を増加および/もしくは低下させて、冷却水中の化学添加剤の濃度を調整する。ポンプ106を起動するか、またはポンプ106の動作速度を増加させると、冷却水中の化学添加剤の濃度を増加させることができる。これは、検出された変化が、熱伝達効率傾向が負に逸脱したことを示す場合、つまり、熱交換器104が以前に検出されたものよりも早く汚損されている場合に有用であり得る。ポンプ106を停止するか、またはポンプ106の動作速度を低下させると、冷却水中の化学添加剤の濃度を低下させることができる。これは、検出された変化が、熱伝達効率傾向が正に逸脱したことを示す場合、つまり、熱交換器104が以前に検出されたものよりも緩徐に汚損され、その結果、より少ない添加剤が使用され得る場合に有用であり得る。

40

**【0057】**

冷却水に導入するのに利用可能な多数の異なる化学添加剤がある用途では、コントロー

50

ラ 1 3 6 は、熱伝達効率傾向の検出された変化に基づいて、冷却水に導入されるべき異なる化学添加剤のうちの 1 つ以上を選択し得る。コントローラ 1 3 6 は、1 つ以上の異なる化学添加剤を冷却水流に流体的に連結するバルブ（複数可）および/またはポンプ（複数可）を制御することによって、1 つ以上の異なる化学添加剤を選択し得る。例えば、コントローラ 1 3 6 は、熱伝達効率傾向の検出された変化に基づいて、ならびに任意選択で、冷却水の ORP、pH、および/または導電率など、その他のセンサデータにも基づいて、冷却水に導入される化学添加剤のタイプおよび/または化学添加剤が冷却水に導入される速度を変化させ得る。

#### 【 0 0 5 8 】

いくつかの例では、コントローラ 1 3 6 は、熱交換器 1 0 4 の熱伝達効率傾向が以前に 10  
確立された熱伝達効率傾向と比較して閾値量を超えて低下したことを示す変化を検出することに  
応答して、ポンプ 1 0 6 を起動するか、またはポンプ 1 0 6 の動作速度を増加させる。コントローラ 1 3 6 は、システム 1 0 0 内のセンサからデータを受信し続け、冷却水  
に導入される化学添加剤を調整した後、熱交換器 1 0 4 の熱伝達効率を計算することができる。コントローラ 1 3 6 は、熱伝達効率傾向の変化を検出することに  
応答して化学添加剤に対して行われた変化（例えば、タイプおよび/または速度）に続いて、熱交換器 1 0 4 の熱伝達効率傾向を監視することができる。コントローラ 1 3 6 は、熱伝達効率傾向が  
安定する（例えば、実質的に一定のままである）か、以前に確立された傾向に向かって戻るか、または以前に確立された傾向からさらに逸脱するかを決定することができる。コン  
20  
トラローラ 1 3 6 は、熱伝達効率を監視し続けることに基づいて、冷却水に導入される化学  
添加剤のタイプおよび/または速度をさらに修正するようにシステム 1 0 0 を制御することが  
できる。例えば、コントローラ 1 3 6 は、少なくとも熱交換器 1 0 4 の熱伝達効率傾向  
が変曲点を示すまで、（例えば、ポンプ 1 0 6 を起動するか、またはその速度を増加さ  
せることによって）冷却水中の化学添加剤の量を増加させることができる。変曲点は、熱  
伝達効率の下向き傾向（例えば、汚損の割合が増加していることを示す）から、上向き傾  
向（例えば、汚損の割合が低下していることを示す）への変化に対応し得る。

#### 【 0 0 5 9 】

コントローラ 1 3 6 は、冷却水中の化学添加剤のタイプまたは濃度を変更するためにポ  
ンプ 1 0 6 を制御することに加えて、またはその代わりに、システム 1 0 0 内で様々な異  
30  
なる制御措置を行うことができる。一例として、コントローラ 1 3 6 は、熱交換器の熱伝  
達効率傾向の変化を検出することに応答して、冷却水が熱交換器 1 0 4 を通って流れる速  
度を増加させることができる。例えば、コントローラ 1 3 6 が、熱交換器 1 0 4 の熱伝達  
効率の絶対等級の突然の変化および/または熱伝達効率傾向の著しい低下（例えば、急速  
な汚損を示す）を検出する場合、それは、シルト、破片、またはその他の大きな粒子状物  
質により熱交換器が詰まっていることを示す場合がある。したがって、交換器を通過する  
冷却水の流速を増加させることは、熱交換器内に留まっている粒子状物質を洗い流すのを  
助ける場合がある。コントローラ 1 3 6 は、冷却塔 1 0 2 に関連付けられた汚水槽から熱  
交換器 1 0 4 に冷却水を供給するポンプ（例示せず）を制御して、熱交換器への冷却水の  
供給の流速を制御することができる。

#### 【 0 0 6 0 】

本開示による冷却水監視制御システムは、熱交換流体を使用して、熱交換器を介して 1  
つ以上のプロセス流で熱エネルギーを伝達する任意のプロセスで実装され得る。熱交換器  
1 0 4 の暖かい側を通して流れ得るプロセス流の例としては、原油、原油の誘導体（例  
30  
えば、精製または部分精製原油製品）、およびアンモニア製造プロセスの中間または最終製  
品が挙げられるが、これらに限定されない。熱交換器 1 0 4 の暖かい側を通して流れるプ  
ロセス流は、概して、液相であり得るが、蒸気相および/または気液多相流であり得る。

#### 【 0 0 6 1 】

上記で簡単に述べたように、図 1 は単一の熱交換器のみを含有する例示的な監視制御シ  
ステムを例示しているが、例示的な用途は、直列および/または並列の多数の熱交換器を  
40  
含み得る。図 2 は、本開示による冷却水監視制御システムを実装することができる多数の

10

20

30

40

50

熱交換器を含有する熱交換器ネットワークの一例を例示するフロー図である。この例に示されるように、多数の熱交換器 104A ~ 104D は、冷却塔 102 によって供給される冷却水流に流体的に接続されている。冷却水は、熱交換器 104A および 104B を通って並列に流れ、続いて、冷却塔に戻る前に熱交換器 104C ~ 104E を通って直列に流れる。

#### 【0062】

ネットワーク内に多数の熱交換器がある用途では、熱交換器のうちの 1 つまたは多数（および任意選択で、すべての熱交換器）は、図 1 の熱交換器 104 に関連して記載されるセンサを含むことができる。コントローラ 136 は、センサからデータを受信し、接続された熱交換器の各々について熱伝達効率傾向を決定することができる。コントローラ 136 は、監視されている熱交換器のうちの少なくとも 1 つ、および任意選択で多数の熱伝達効率傾向の変化を検出し、検出された傾向に基づいて冷却水流への化学添加剤の添加を制御することができる。例えば、コントローラ 136 は、ポンプ 106 を制御して、単一の熱交換器の熱伝達効率傾向の変化（例えば、閾値量を超える）を検出すると、冷却水流に導入される化学添加剤のタイプおよび/または量を変更することができる。代替的に、コントローラ 136 は、ポンプ 106 を制御して、複数の熱交換器の熱伝達効率傾向の変化（例えば、閾値量を超える）を検出すると、冷却水流に導入される化学添加剤のタイプおよび/または量を変更することができる。この後者の例では、多数の熱交換器の変更された熱伝達効率傾向の検出は、1 つの特定の熱交換器から誤ったセンサデータを受信するのではなく、汚損条件が実際に変化していることを示すことができる。

10

20

#### 【0063】

図 3 は、アンモニア製造プロセスの一例を例示するフロー図である。例示される例に示されるように、例示的なプロセスは、内部を通して冷却水が運搬され得る複数の冷却熱交換器を含む。これらの例示的な熱交換器のうちの 1 つ以上（例えば、すべて）は、本明細書に記載される技術およびシステム、ならびに熱交換器効率傾向に基づいて制御される冷却水流への化学添加剤を使用して監視され得る。

#### 【0064】

本開示に記載される技術は、少なくとも部分的にハードウェア、ソフトウェア、ファームウェア、またはこれらの任意の組み合わせで実装されてもよい。例えば、記載される技術の様々な態様は、1 つ以上のマイクロプロセッサを含む 1 つ以上のプロセッサ、デジタル信号プロセッサ (DSPs)、特定用途向け集積回路 (ASICs)、フィールドプログラマブルゲートアレイ (FPGAs)、または任意の他の同等の集積もしくは個別論理回路、ならびにそのような構成要素の任意の組み合わせ内で実装されてもよい。「プロセッサ」という用語は、一般に、上記の論理回路のうちのいずれかを単独で、もしくは他の論理回路と組み合わせて、または任意の他の同等の回路を指し得る。ハードウェアを備える制御ユニットもまた、本開示の技術のうちの 1 つ以上を実施し得る。

30

#### 【0065】

そのようなハードウェア、ソフトウェア、およびファームウェアは、本開示に記載される様々な動作および機能を支持するために、同じデバイス内または別々のデバイス内で実装されてもよい。加えて、記載されるユニット、モジュール、または構成要素のいずれも、一緒に、または別個であるが相互運用可能な論理デバイスとして別々に実装されてもよい。モジュールまたはユニットとして異なる特徴を描写することは、異なる機能的態様を強調することを意図し、そのようなモジュールまたはユニットが別個のハードウェアまたはソフトウェア構成要素によって実現されなければならないことを必ずしも暗示するわけではない。むしろ、1 つ以上のモジュールまたはユニットと関連する機能は、別個のハードウェアもしくはソフトウェア構成要素によって実施されてもよく、または共通もしくは別個のハードウェアもしくはソフトウェア構成要素内に統合されてもよい。

40

#### 【0066】

本開示に記載される技術はまた、命令を含有する非一時的コンピュータ可読媒体などのコンピュータ可読媒体で具現化されても、コード化されてもよい。コンピュータ可読記憶

50

媒体内に埋め込まれた、またはコード化された命令は、プログラム可能なプロセッサまたは他のプロセッサに、例えば、命令が実行されるときに方法を実施させてもよい。非一時的コンピュータ可読記憶媒体は、例えば、ランダムアクセスメモリ (RAM)、読み取り専用メモリ (ROM)、プログラマブル読み取り専用メモリ (PROM)、消去可能プログラマブル読み取り専用メモリ (EPROM)、電子的消去可能プログラマブル読み取り専用メモリ (EEPROM)、フラッシュメモリ、ハードディスク、CD-ROM、フロッピーディスク、カセット、磁気媒体、光媒体、または他のコンピュータ可読媒体を含む、揮発性および/または不揮発性メモリの形態を含んでもよい。

【0067】

以下の例は、本開示による冷却水監視制御システムおよび技術に関する追加の詳細を提供し得る。

10

【実施例】

【0068】

実施例1 - アンモニアプラント

アンモニアプラントの熱交換器に温度センサを設置して、熱交換器へのフロー流の入口および出口の温度、ならびに熱交換器の入口を通る冷却水の流速を測定した。熱交換器は、合成ガスを熱交換器の暖かい側またはプロセス側に通過させ、冷却水を熱交換器の冷たい側に通して流した合成ガス冷却器であった。熱交換器は、向流のシェルアンドチューブ式熱交換器であった。合成ガスを、約99,000 lb/hrの標的流速で熱交換器のシェル側に供給し、冷却水を、約1,000,000 lb/hrの標的流速で供給した。

20

【0069】

冷却水を、約80,000ガロン/分の再循環率を有する冷却塔から供給した。冷却塔は、約500,000ガロンの容量を有し、華氏12度の温度差を示した。冷却水は、 $Ca^{2+}$ として0.5 ppmのFRCを示した。冷却水を最初に、35 ppmの濃度で提供された腐食抑制剤 (NaAlco (登録商標) 3DT129)、75 ppmの濃度で提供されたスケール抑制剤 (NaAlco (登録商標) 3DT191)、および10 ppmの濃度で提供された黄色の金属抑制剤 (NaAlco (登録商標) 3DT199) の3つの化学添加剤の組み合わせで制御した。

【0070】

熱交換器からの温度データを、0.1のスパンの局所回帰を使用して平滑化した。図4は、冷却水入口温度 (華氏度) 対時間のグラフであり、生の測定データ200を、平滑化されたデータ202と共に重ねて示している。図5は、冷却水出口温度 (華氏度) 対時間のグラフであり、生の測定データ204を、平滑化されたデータ206と共に重ねて示している。図6は、プロセス流入口温度 (華氏度) 対時間のグラフであり、生の測定データ208を、平滑化されたデータ210と共に重ねて示している。図7は、プロセス流出口温度 (華氏度) 対時間のグラフであり、生の測定データ212を、平滑化されたデータ214と共に重ねて示している。図8は、例示的な期間にわたる冷却水の流速 (毎分ガロン) を示すグラフである。

30

【0071】

熱伝達効率の値および傾向を、熱交換器上に設置された温度センサから生成された平滑化された温度データを使用して計算した。熱伝達効率傾向を使用して、冷却水に導入された化学添加剤を含む冷却水システムを制御した。図9は、例示的な期間にわたる平滑化された温度データを使用して計算された熱伝達係数を示すグラフである。これらのデータの鋭角な谷部は、水の流速が低下したときに対応する。

40

【0072】

図10は、日付の例示的な範囲にわたる受信した温度および流速データに基づいて熱交換器について計算された熱伝達係数を示す。図11は、同じ日付の例示的な範囲にわたる冷却水流の酸化還元電位 (ORP) を示し、これは、冷却水中の化学添加剤の濃度を示す。図10および11のデータは、実験的な分析の5つの期間に区分されている。第1の期間では、熱伝達効率傾向を確立するデータを確立した。データは、熱伝達効率の下向き傾

50

向を示した。第2の期間では、冷却水の流速が増加し、その結果、流速の変化に比例して熱交換器の熱伝達係数が増加した。第3の期間では、熱伝達効率の傾向を監視し、低下することを観察した。

【0073】

熱伝達係数の変化する傾向は、特に第3の期間の終わりに向かって、汚損条件の加速を示した。したがって、介入措置を開始した。冷却水の評価し、微生物の生物汚損が汚損の原因として示唆された。フェーズ4では、殺生物剤の投与量を冷却水に対して増加させ、その結果、熱伝達係数の増加をもたらした。この熱伝達の改善が、熱伝達係数または一部のその他の因子の変化する傾向を検出すると開始される殺生物剤の投与量の増加に応答したかどうかを理解するために、殺生物剤の投与量をフェーズ5で低下させた。データは、熱伝達係数が再び低下したことを示している。

10

実施例2 - ビニルプラント

【0074】

ビニルプラントの熱交換器に温度センサを設置して、熱交換器へのフロー流の入口および出口の温度、ならびに熱交換器の入口を通る冷却水の流速を測定した。熱交換器は、プロピレン流を熱交換器の暖かい側またはプロセス側に通過させ、冷却水を熱交換器の冷たい側に通して流した。熱交換器は、向流のシェルアンドチューブ式熱交換器であった。プロピレンを、約270,000 lb/hrの標的流速で熱交換器のシェル側に供給し、冷却水を、約4,600,000 lb/hrの標的流速で供給した。

【0075】

冷却水を、約85,000ガロン/分の再循環率を有する冷却塔から供給した。冷却塔は、約1,000,000ガロンの容量を有し、華氏10度の温度差を示した。冷却水は、Cl<sub>2</sub>として0.5 ppmのFRCを示した。冷却水を最初に、37 ppmの濃度で提供された腐食抑制剤(Nalco(登録商標)3DT177)、28 ppmの濃度で提供されたスケール抑制剤(Nalco(登録商標)3DT390)、および10 ppmの濃度で提供された黄色の金属抑制剤(Nalco(登録商標)3DT197)の3つの化学添加剤の組み合わせで制御した。

20

【0076】

熱交換器からの温度データを、0.05のスパンの局所回帰を使用して平滑化した。図12は、冷却水入口温度(華氏度)対時間のグラフであり、生の測定データ220を、平滑化されたデータ222と共に重ねて示している。図13は、冷却水出口温度(華氏度)対時間のグラフであり、生の測定データ224を、平滑化されたデータ226と共に重ねて示している。図14は、プロセス流入温度(華氏度)対時間のグラフであり、生の測定データ228を、平滑化されたデータ230と共に重ねて示している。図15は、プロセス流出口温度(華氏度)対時間のグラフであり、生の測定データ232を、平滑化されたデータ234と共に重ねて示している。図16は、例示的な期間にわたる冷却水の流速(毎分ガロン)を示すグラフである。水の流速の段階的な変化を、水の流れの意図的な低下によって引き起こした。

30

【0077】

熱伝達効率の値および傾向を、熱交換器上に設置された温度センサから生成された平滑化された温度データを使用して計算した。熱伝達効率傾向を使用して、冷却水に導入された化学添加剤を含む冷却水システムを制御した。図17は、例示的な期間にわたる平滑化された温度データを使用して計算された熱伝達係数を示すグラフである。

40

【0078】

この例では、測定期間中の熱伝達係数は、実質的に平坦であった。しかしながら、冷却水の流速を観察して、監視期間中に漸進的に低下させた。この挙動の組み合わせは、化学物質の添加だけでは効果的に対処されない、熱交換器内の破片/シルティングを示唆した。むしろ、累積した破片/シルティングを除去するために、熱交換器を洗い流し、かつ/または交換器を清浄化する必要がある。データによるこの結論を、プラントの停電中に、熱交換器を開け、視覚的に検査したときに確認した。

50

【図面】  
【図 1】

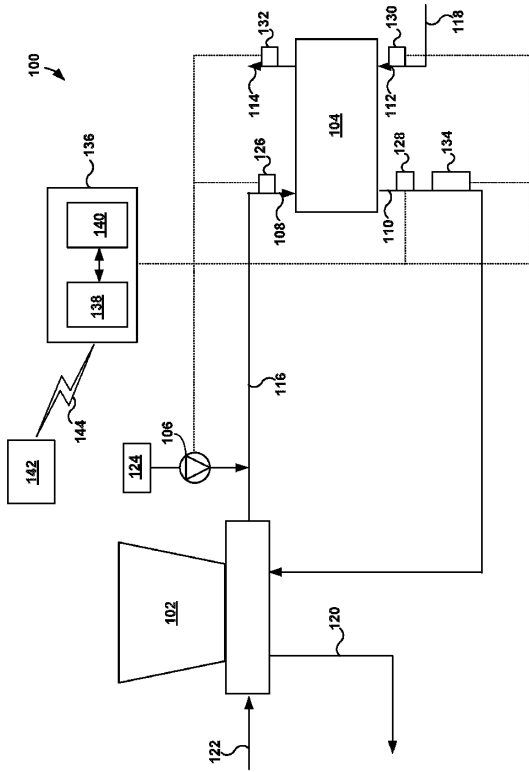
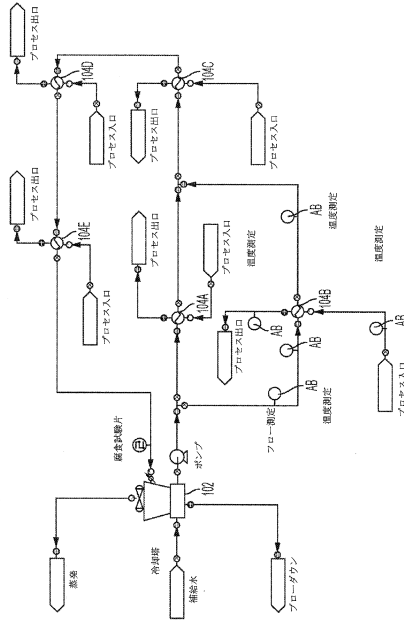


FIG. 1

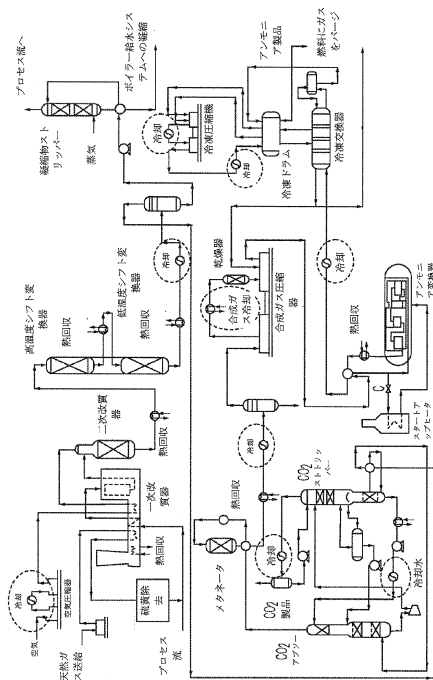
【図 2】



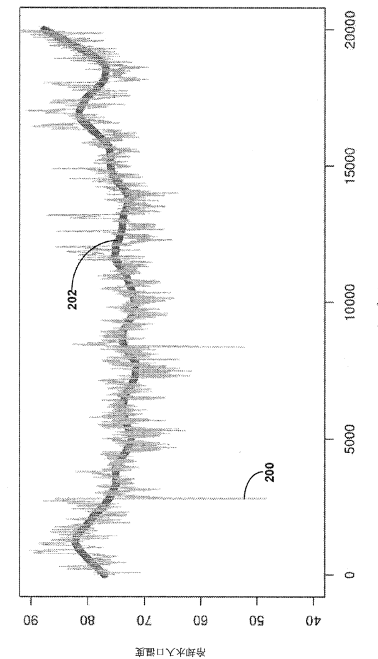
10

20

【図 3】



【図 4】

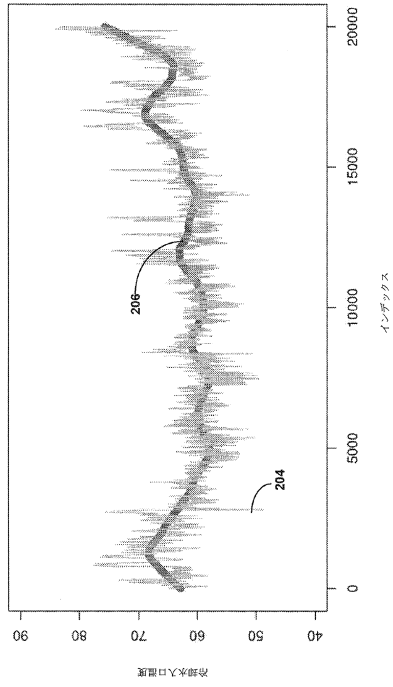


30

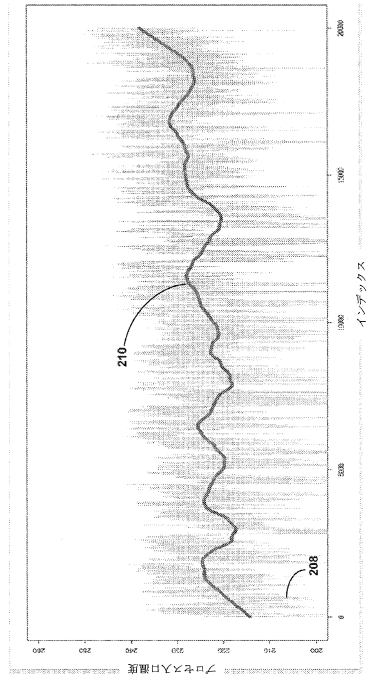
40

50

【図 5】



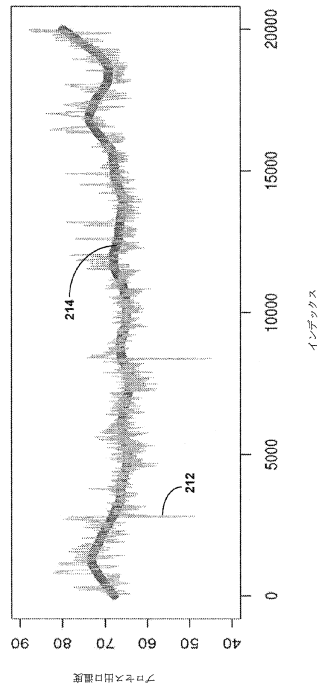
【図 6】



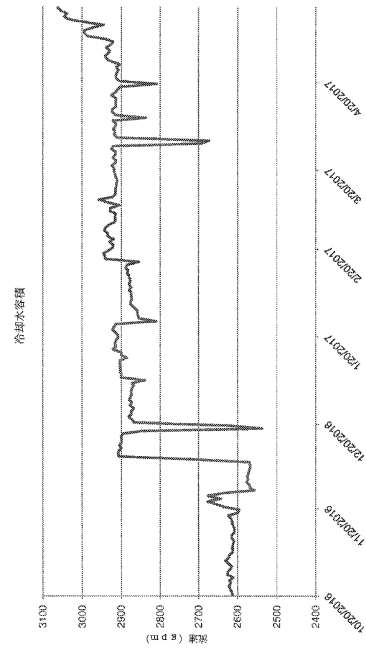
10

20

【図 7】



【図 8】

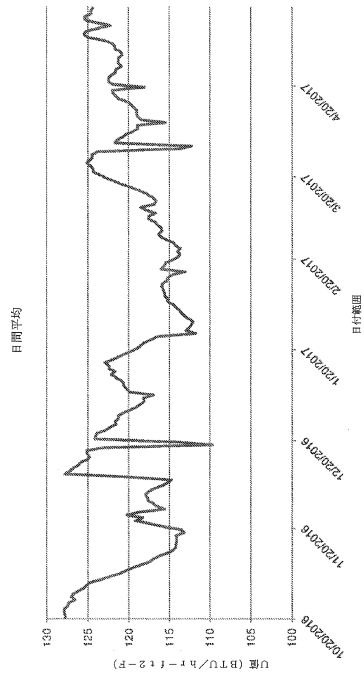


30

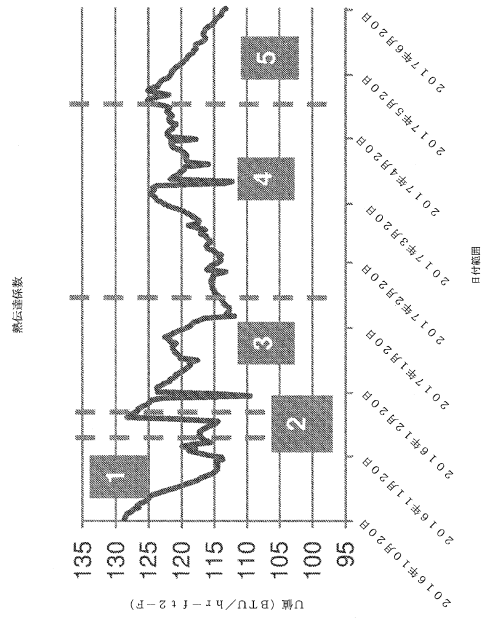
40

50

【図 9】



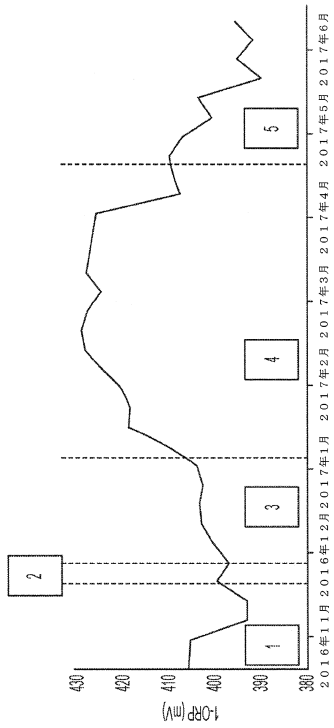
【図 10】



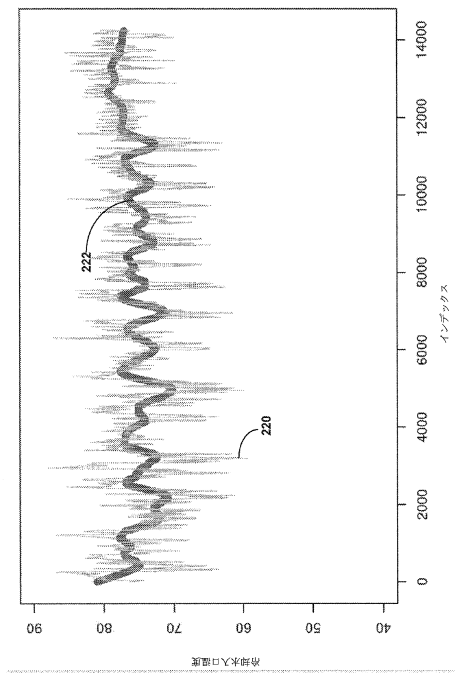
10

20

【図 11】



【図 12】

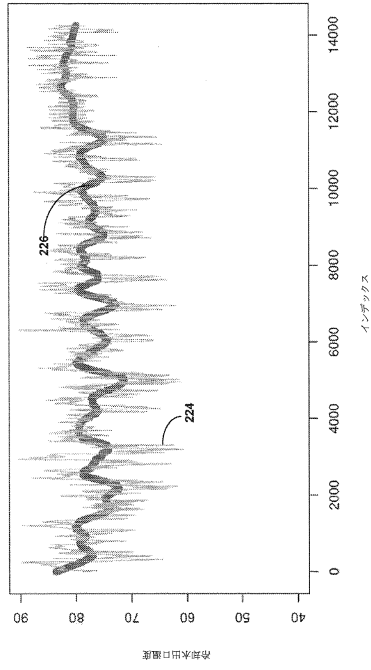


30

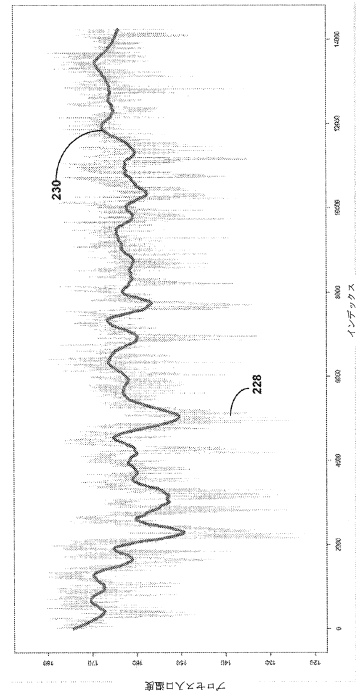
40

50

【図 13】



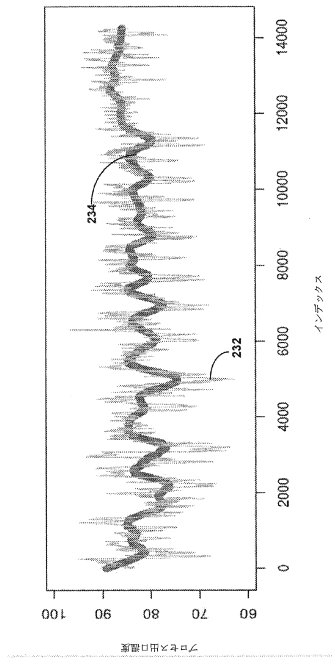
【図 14】



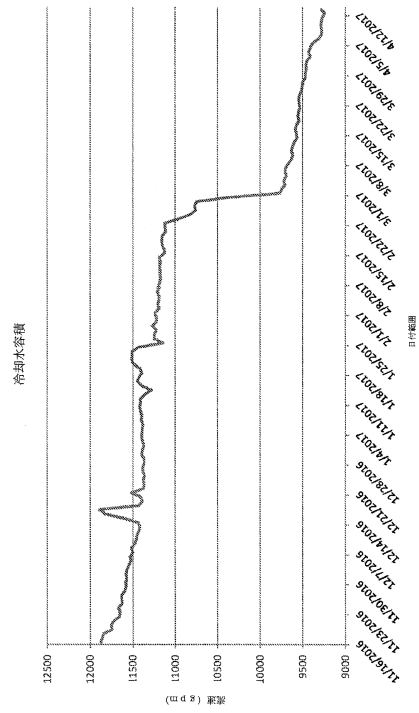
10

20

【図 15】



【図 16】

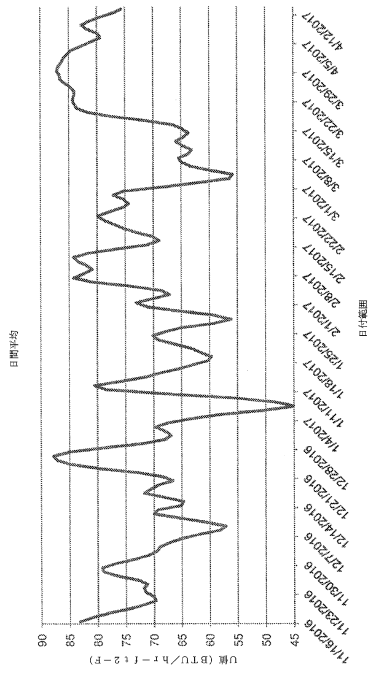


30

40

50

【 図 17 】



10

20

30

40

50

## フロントページの続き

ドーリッジ ドライブ 990

(72)発明者 マイヤー クレイグ

アメリカ合衆国 イリノイ ライル サン パレー ロード 2784

(72)発明者 グッドマン ウォルター エイチ

アメリカ合衆国 イリノイ ライル テリス レーン 2143

(72)発明者 メイヤー ダニエル

アメリカ合衆国 イリノイ ネイパービル レッドスタート ロード 104

審査官 小川 悟史

(56)参考文献 米国特許出願公開第2005/0133211(US, A1)

特開2015-080780(JP, A)

特開平06-330747(JP, A)

特開昭59-015800(JP, A)

特開2006-300404(JP, A)

特開平02-161293(JP, A)

特開2013-015259(JP, A)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

F28F 27/00

F28G 9/00

F28G 13/00