

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5969907号  
(P5969907)

(45) 発行日 平成28年8月17日(2016.8.17)

(24) 登録日 平成28年7月15日(2016.7.15)

(51) Int.Cl. F I  
**F O 4 B 51/00 (2006.01)** F O 4 B 51/00  
**F O 4 B 41/00 (2006.01)** F O 4 B 41/00 Z

請求項の数 3 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2012-260641 (P2012-260641)	(73) 特許権者	000006666
(22) 出願日	平成24年11月29日(2012.11.29)		アズビル株式会社
(65) 公開番号	特開2014-105671 (P2014-105671A)		東京都千代田区丸の内2丁目7番3号
(43) 公開日	平成26年6月9日(2014.6.9)	(74) 代理人	100064621
審査請求日	平成27年9月16日(2015.9.16)		弁理士 山川 政樹
		(74) 代理人	100098394
			弁理士 山川 茂樹
		(72) 発明者	黒澤 敬
			東京都千代田区丸の内2丁目7番3号 アズビル株式会社内
		(72) 発明者	山口 幸博
			東京都千代田区丸の内2丁目7番3号 アズビル株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 運転効率推定装置およびプログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

並列運転される  $n$  ( $n$  は 2 以上の整数) 台のコンプレッサ  $C_i$  ( $i = 1 \sim n$  の整数) について、これらコンプレッサの運転効率を個別に推定する運転効率推定装置であって、

各時間  $t$  における、前記各コンプレッサ  $C_i$  で使用された個々の電力を示す電力使用量  $W_{ti}$  と、これらコンプレッサ  $C_i$  から供給された圧縮空気全体の流量を示す全体流量  $Q_t$  とを収集し、これら電力使用量  $W_{ti}$  と全体流量  $Q_t$  とを当該時間  $t$  のデータ組として記憶部へ格納するデータ収集部と、

前記記憶部に格納されている前記データ組のうちから、前記全体流量  $Q_t$  が減少状態にあるデータ組を対象データ組  $D_t$  として  $m$  個 ( $= n \times 2$ ) 選択し、これら対象データ組  $D_t$  ごとに求めた、当該全体流量  $Q_t$  に関する流量変化率  $\lambda_t$  と、当該全体流量  $Q_t$  および当該電力使用量  $W_{ti}$  と、コンプレッサ  $C_i$  ごとの流量変化率と運転効率との関係を近似する 1 次関数の切片および傾きを示す運転効率特性係数  $a_i$  および  $b_i$  とを用いて、次式

【数 1】

$$Q_t = \sum_{i=1}^n \{(a_i + \lambda_t \times b_i) \times W_{ti}\}$$

に示す当該全体流量  $Q_t$  に関する流量算出式を、対象データ組  $D_t$  ごとに  $m$  個生成し、これら流量算出式を連立方程式として解くことにより、前記運転効率特性係数  $a_i$  および  $b_i$  を計算する係数計算部と、

任意の時間  $x$  における流量変化率  $x$  に、当該コンプレッサ  $C_i$  の運転効率特性係数  $b_i$  を乗算して、当該コンプレッサ  $C_i$  の運転効率特性係数  $a_i$  を加算することにより、当該時間  $x$  におけるコンプレッサ  $C_i$  の運転効率  $U_{x_i}$  を計算する運転効率計算部とを備えることを特徴とする運転効率推定装置。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の運転効率推定装置において、

前記係数計算部は、前記連立方程式の係数行列  $A$  に関する条件数  $(A)$  (Condition Number) を計算して、この条件数  $(A)$  としきい値  $t_h$  とを比較することにより、前記対象データ組  $D_t$  から十分な解精度が得られるか否かを判定し、当該条件数  $(A)$  が当該しきい値  $t_h$  より大きい場合には、当該条件数  $(A)$  が当該しきい値  $t_h$  以下となるまで、当該対象データ組  $D_t$  を構成するデータ組の一部入れ替えを繰り返し行うことを特徴とする運転効率推定装置。

10

【請求項 3】

コンピュータを、請求項 1 または請求項 2 に記載の運転効率推定装置の各部として機能させるためのプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、コンプレッサ制御技術に関し、特に並列運転される複数のコンプレッサについて、コンプレッサの運転効率を個別に推定する運転効率推定技術に関する。

20

【背景技術】

【0002】

工場などの施設では、複数のコンプレッサを用いた圧縮空気供給システムを設け、これらコンプレッサを並列的に運転することにより、空気（あるいは冷媒などの混合ガス）をそれぞれ圧縮し、得られた圧縮空気をタンクで一旦集気した後、ヘッダから施設の各負荷へ分配供給するものとなっている。

【0003】

このような圧縮空気供給システムで消費される電力エネルギーは、設備全体で消費する電力エネルギーのうち、比較的大きな割合を占める。このため、設備の省エネルギーや省  $CO_2$  を考えた場合、圧縮空気供給システムでの省エネルギーや省  $CO_2$ 、すなわち各コンプレッサにおける運転効率の向上が求められる。

30

【0004】

コンプレッサの運転効率は、メーカーから技術資料として提示されているが、この運転効率は、例えば、コンプレッサを最大吐出量で一定時間安定して運転させた定格運転時に得られる最良な値、すなわち定格効率、あるいは吐出量を最大より落とした状態であっても、ある吐出量で一定時間運転した状態、いわゆる定常状態における効率である。したがって、新規なコンプレッサを、常時、ほぼ定格運転させるか流量変化を生じることなく運転することができれば、このような最良の運転効率が得られる。

【0005】

しかし、圧縮空気供給システムでは、負荷側の稼働状況に応じて消費される圧縮空気量が変化するため、コンプレッサの運転状態を調整して、供給する圧縮空気量および空気圧を適切な値に維持する必要がある。このため、コンプレッサの運転状態が変化するような実際の状況では、仕様としてメーカから提示されている効率は得られない。したがって、各コンプレッサが、実際にどのような運転効率で運転されているのか、把握する必要がある。

40

【0006】

また、コンプレッサの運転効率は、運転状態だけでなくコンプレッサの経年変化などによっても低下するため、定期的にメンテナンスを行う必要がある。この際、運転効率の低下が最も大きいコンプレッサから、メンテナンスを行うことにより、圧縮空気供給システム全体の運転効率を早期に改善することができる。したがって、各コンプレッサの運転効

50

率を個別にリアルタイムに把握することが重要となる。

【0007】

また、圧縮空気供給システムでは、圧縮空気の供給圧や流量により測定した負荷の大きさに応じて各コンプレッサの起動/停止させることにより、効率よくコンプレッサを稼働させる台数制御を実施している。この場合、各コンプレッサのうち、運転効率のよいものから順に選択して起動させる方法が、省エネ、省CO<sub>2</sub>を踏まえた台数制御の基本的な考え方となっている。したがって、各コンプレッサの運転効率を個別に把握することが重要となる。

【0008】

従来、このような圧縮空気供給システムにおいて、個々のコンプレッサの運転効率を管理する技術が提案されている（例えば、特許文献1-3など参照）。これらによれば、コンプレッサごとに収集した、当該コンプレッサにおける電力使用量などの供給エネルギー指標に加えて、当該コンプレッサにおける流量データなどの消費エネルギー指標を用いて、個々のコンプレッサにおける運転効率を求めるものとなっている。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0009】

【特許文献1】特開2011-248568号公報

【特許文献2】特開2012-068878号公報

【特許文献3】特開2001-191789号公報

20

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

このような従来技術では、各コンプレッサにおける電力使用量などの供給エネルギー指標に加え、各コンプレッサにおける流量データなどの消費エネルギー指標を用いて、個々のコンプレッサの運転効率を求めるものとなっている。このため、コンプレッサごとに、当該コンプレッサから出力された圧縮空気の流量を測定する流量計などの設備機器が必要となる。したがって、従来技術によれば、コンプレッサの運転効率を求めるためには、コンプレッサごとに設備機器の追加が必要となり、設備コストだけでなく管理コストも必要な上、機器追加のためにコンプレッサを一時停止する必要も生じるという問題点があった。

30

【0011】

本発明はこのような課題を解決するためのものであり、コンプレッサごとに設備機器の追加を必要とすることなく、継続的に運転を続けたままコンプレッサの運転効率を容易に推定できるコンプレッサ効率推定技術を提供することを目的としている。

【課題を解決するための手段】

【0012】

このような目的を達成するために、本発明にかかる運転効率推定装置は、並列運転される $n$  ( $n$ は2以上の整数)台のコンプレッサ $C_i$  ( $i=1\sim n$ の整数)について、これらコンプレッサの運転効率を個別に推定する運転効率推定装置であって、

40

各時間 $t$ における、前記各コンプレッサ $C_i$ で単位時間あたりに使用された個々の電力を示す電力使用量 $W_{ti}$ と、これらコンプレッサ $C_i$ から供給された圧縮空気全体の流量を示す全体流量 $Q_t$ とを収集し、これら電力使用量 $W_{ti}$ と全体流量 $Q_t$ とを当該時間 $t$ のデータ組として記憶部へ格納するデータ収集部と、前記記憶部に格納されている前記データ組のうちから、前記全体流量 $Q_t$ が減少状態にあるデータ組を対象データ組 $D_t$ として $m$ 個 ( $=n \times 2$ ) 選択し、これら対象データ組 $D_t$ ごとに求めた、当該全体流量 $Q_t$ に関する流量変化率 $\dot{Q}_t$ と、当該全体流量 $Q_t$ および当該電力使用量 $W_{ti}$ と、コンプレッサ $C_i$ ごとの流量変化率と運転効率との関係を近似する1次関数の切片および傾きを示す運転効率特性係数 $a_i$ および $b_i$ とを用いて、上記式に示す当該全体流量 $Q_t$ に関する流量算出式を、対象データ組 $D_t$ ごとに $m$ 個生成し、これら流量算出式を連立方程式として

50

解くことにより、前記運転効率特性係数  $a_i$  および  $b_i$  を計算する係数計算部と、任意の時間  $x$  における流量変化率  $x$  に、当該コンプレッサ  $C_i$  の運転効率特性係数  $b_i$  を乗算して、当該コンプレッサ  $C_i$  の運転効率特性係数  $a_i$  を加算することにより、当該時間  $x$  におけるコンプレッサ  $C_i$  の運転効率  $U_{xi}$  を計算する運転効率計算部とを備えている。

【0013】

また、本発明にかかる上記運転効率推定装置の一構成例は、前記係数計算部が、前記連立方程式の係数行列  $A$  に関する条件数  $(A)$  (Condition Number) を計算して、この条件数  $(A)$  としきい値  $t_h$  とを比較することにより、前記対象データ組  $D_t$  から十分な解精度が得られるか否かを判定し、当該条件数  $(A)$  が当該しきい値  $t_h$  より大きい場合には、当該条件数  $(A)$  が当該しきい値  $t_h$  以下となるまで、当該対象データ組  $D_t$  を構成するデータ組の一部入れ替えを繰り返し行うようにしたものである。

10

【0014】

また、本発明にかかるプログラムは、コンピュータを、前述した運転効率推定装置の各部として機能させるためのプログラムである。

【発明の効果】

【0015】

本発明によれば、各コンプレッサの運転効率が、一般的な圧縮空気供給システムに予め設置されている電力計で得られた各コンプレッサの電力使用量と、流量計で得られた全体流量とに基づき計算される。このため、コンプレッサごとに、例えば当該コンプレッサにおける流量データを測定するための流量計などの設備機器の追加を必要とすることなく、各コンプレッサの運転効率を容易に推定することが可能となる。

20

【0016】

また、コンプレッサごとに運転効率が推定できるため、各コンプレッサが、実際にどのような運転効率で運転されているのかを、管理者が容易に把握することができる。これにより、台数制御における運転順序を見直すことができ、省エネルギーや省CO<sub>2</sub>を実現できる。また、各コンプレッサに対するメンテナンスの要否、さらには、どのコンプレッサから順にメンテナンスを実施するかを計画することができるとともに、コンプレッサの交換要否判断にも極めて有用なデータを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】運転効率推定装置の構成を示すブロック図である。

【図2】空気流量の流量変化率に依存する運転効率特性を示すグラフである。

【図3】データ組の構成例である。

【図4】係数データの構成例である。

【図5】運転効率推定装置での係数計算処理を示すフローチャートである。

【図6】運転効率推定装置での運転効率計算処理を示すフローチャートである。

【図7】運転効率の個別表示画面例である。

【図8】運転効率の一覧表示画面例である。

【図9】連立方程式とその解を示すグラフである。

【図10】運転効率推定装置での対象データ組生成処理を示すフローチャートである。

30

40

【発明を実施するための形態】

【0018】

[発明の原理]

まず、本発明の原理について説明する。

$n$  ( $n$  は 2 以上の整数) 台のコンプレッサ  $C_1 \sim C_n$  が並列運転される圧縮空気供給システムにおいて、各コンプレッサ  $C_1 \sim C_n$  の運転効率を、従来の方法で個別に観測して分析した結果、ある特定の時間帯で、運転効率が低下する傾向があることがわかった。また、より詳細に空気流量と運転効率との関係を分析した結果、空気流量が低下している時間帯に、運転効率が低下していることがわかった。

【0019】

50

図2は、空気流量の流量変化率に依存する運転効率特性を示すグラフである。ここでは、横軸が空気流量の変化率 [%] を示し、縦軸が原単位からなるコンプレッサ  $C_i$  ( $i = 1 \sim n$  の整数) の運転効率  $U_i$  [ $m^3 / kWh$ ] を示している。このグラフによれば、流量変化率が0以上の正側領域、すなわち直前時間に比べて空気流量が同じまたは増加している場合、コンプレッサ  $C_i$  の運転効率  $U_i$  はほぼ一定であり、流量変化率が0より小さい負側領域、すなわち直前時間に比べて空気流量が減少した場合、その流量変化率の大きさに応じて運転効率  $U_i$  が低減している。この原因の1つとして、空気流量の減少時には、コンプレッサ  $C_i$  のモータ等主要な電力発生源がそれまでの慣性により回転するため、流量の減少に比べて電力の低下が遅れて応答することが考えられる。

【0020】

10

本発明は、このようなコンプレッサ  $C_i$  における空気流量の流量変化率に依存する運転効率特性のうち、流量変化率が0より小さい負側領域における特性について、1次関数で近似できることに着目したものである。すなわち、時間  $t$  における全体流量  $Q_t$  の流量変化率を  $\lambda_t$  とし、1次関数の切片および傾きをそれぞれ  $a_i$ ,  $b_i$  とした場合、時間  $t$  におけるコンプレッサ  $C_i$  の運転効率  $U_{ti}$  は、次の式(1)で表される。

【数1】

$$U_{ti} = a_i + \lambda_t \times b_i \quad \dots(1)$$

【0021】

また、運転効率特性係数  $a_i$ ,  $b_i$  は、各コンプレッサ  $C_1 \sim C_n$  に固有の値を持つことが観測された。このことから、この1次関数を用いれば、時間  $t$  におけるコンプレッサ  $C_i$  の個別流量  $Q_{ti}$  は、次の式(2)で表される。なお、時間  $t$  における全体流量を  $Q_t$  とし、時間  $t$  から単位時間だけ遡った時間  $t-1$  における全体流量を  $Q_{t-1}$  とし、上記1次関数の切片および傾きをそれぞれ  $a_i$ ,  $b_i$  とした場合、時間  $t$  における  $U_{ti}$  は、次の式(3)で表される。

20

【数2】

$$Q_{ti} = U_{ti} \times W_{ti} = (a_i + \lambda_t \times b_i) \times W_{ti} \quad \dots(2)$$

【数3】

$$\lambda_t = \frac{Q_t - Q_{t-1}}{Q_{t-1}} \quad \dots(3)$$

30

【0022】

したがって、時間  $t$  におけるコンプレッサ  $C_i$  での電力使用量を  $W_{ti}$  とした場合、コンプレッサ  $C_1 \sim C_n$  全体の全体流量  $Q_t$  は、次の式(4)で表される。

【数4】

$$Q_t = \sum_{i=1}^n Q_{ti} = \sum_{i=1}^n \{(a_i + \lambda_t \times b_i) \times W_{ti}\} \quad \dots(4)$$

【0023】

40

ここで、コンプレッサ  $C_i$  が  $n$  台ある場合、 $a_i$ ,  $b_i$  も  $n$  個ずつ存在するため、式(4)を  $m (= n \times 2)$  個分用意すれば、これらを連立方程式として解くことにより、 $a_i$ ,  $b_i$  を求めることができる。

さらに、コンプレッサ  $C_1 \sim C_n$  全体の全体流量  $Q_t$  と各コンプレッサ  $C_i$  の電力使用量  $W_{ti}$  とは、大幅な設備を追加することなく、一般的な圧縮空気供給システム1において、時間  $t$  ごとに容易に測定できる。

【0024】

したがって、本発明は、時間  $t$  ごとに測定した  $Q_t$  と  $W_{ti}$  とのデータ組のうちから、 $Q_t$  が減少状態にある対象データ組  $D_t$  を  $m$  個の取得して、これら  $D_t$  を用いて式(4)からなる流量算出式を  $m$  個生成し、これら流量算出式からなる連立方程式を解くことによ

50

り、 $a_i$ 、 $b_i$ を計算するようにしたものである。

また、この後、任意の時間 $x$ における $Q_x$ 、 $Q_{x-1}$ を式(3)に代入して求めた $x$ と、先に求めた当該コンプレッサ $C_i$ の $a_i$ 、 $b_i$ とを式(1)に代入して、時間 $x$ における各コンプレッサ $C_i$ の運転効率 $U_{xi}$ を求めるようにしたものである。

【0025】

[第1の実施の形態]

次に、図1を参照して、本発明の第1の実施の形態にかかる運転効率推定装置10について説明する。図1は、運転効率推定装置の構成を示すブロック図である。

【0026】

この運転効率推定装置10は、全体としてコントローラ、サーバ装置、パーソナルコンピュータなどの情報処理装置からなり、複数のコンプレッサ $C(C_1 \sim C_n)$ が並列運転される圧縮空気供給システム1から収集した、個々のコンプレッサ $C_1 \sim C_n$ に関する電力使用量 $W_{ti}$  ( $i = 1 \sim n$ の整数)と全体流量 $Q_t$ とに基づいて、個々のコンプレッサ $C_1 \sim C_n$ に関する運転効率を推定する機能を有している。

10

【0027】

図1に示した圧縮空気供給システム1において、供給電力 $P_W$ によりコンプレッサ $C_1 \sim C_n$ を並列運転して得た圧縮空気は、管路2を介してタンク3に一旦集気された後、管路4およびヘッダ5を介して、圧縮空気を消費する加工機などの各負荷6に供給される。これらコンプレッサ $C$ は、コンプレッサ制御部7により、管路4に設けられた流量計4Aで時間 $t$ ごとに測定した圧縮空気の全体流量 $Q_t$ や、ヘッダ5に設けられた圧力計5Aで測定された圧縮空気の気圧 $P_t$ に基づく台数制御により、運転/停止、あるいはロード/アンロードが個別に制御されて、負荷6に対して圧縮空気を安定供給する。

20

【0028】

[運転効率推定装置]

次に、図1を参照して、運転効率推定装置10の構成について説明する。

運転効率推定装置10には、主な機能部として、データ収集部11、操作入力部12、画面表示部13、記憶部14、係数計算部15、および運転効率計算部16が設けられている。

【0029】

データ収集部11は、コンプレッサ $C_i$  ( $i = 1 \sim n$ の整数)ごとに設けられた電力計8 ( $8_1 \sim 8_n$ )で測定された、各時間 $t$ における単位時間あたりに使用された個々の電力を示す電力使用量 $W_{ti}$ と、管路4に設けられた流量計4Aで測定された、これらコンプレッサ $C_i$ から供給された圧縮空気全体の流量を示す全体流量 $Q_t$ とを収集する機能と、これら電力使用量 $W_{ti}$ と全体流量 $Q_t$ とを当該時間 $t$ のデータ組14Aとして記憶部14へ格納する機能とを有している。

30

【0030】

操作入力部12は、キーボードやマウスなどの操作入力装置からなり、オペレータの操作を検出して出力する機能を有している。

画面表示部13は、LCDなどの画面表示装置からなり、運転効率推定のための操作画面や各機能部で得られたデータ画面を表示する機能を有している。

40

【0031】

記憶部14は、ハードディスクや半導体メモリからなり、各機能部での処理に用いる各種の処理データやプログラム14Pを記憶する機能を有している。

プログラム14Pは、コンピュータで実行することにより各機能部を実現するためのプログラムであり、外部装置や記録媒体から読み込まれて、予め記憶部14に格納される。

【0032】

記憶部14で記憶される主な処理データとして、データ組14Aと係数データ14Bがある。

データ組14Aは、データ収集部11により収集された、各時間 $t$ における各コンプレッサ $C_i$ での電力使用量 $W_{ti}$ と全体流量 $Q_t$ との組からなるデータである。

50

図3は、データ組の構成例である。ここでは、データ収集部11で収集された電力使用量 $W_{ti}$ および全体流量 $Q_t$ が時間 $t$ ごとに格納されている。

【0033】

係数データ14Bは、各コンプレッサ $C_i$ の運転効率特性のうち、流量変化率が0より小さい負側領域における特性を近似した1次関数の運転効率特性係数、すなわち切片 $a_i$ および傾き $b_i$ を示すデータである。

図4は係数データの構成例である。ここでは、コンプレッサ $C_i$ ごとに、運転効率特性係数である、切片 $a_i$ および傾き $b_i$ が格納されている。

【0034】

係数計算部15は、記憶部14に格納されているデータ組14Aのうちから、全体流量 $Q_t$ が減少中のデータ組を対象データ組 $D_t$ として $m$ 個( $=n \times 2$ )選択する機能と、これら $D_t$ ごとに、当該 $Q_t$ に関する単位時間当たりの流量変化率 $\dot{Q}_t$ を計算する機能と、これら $D_t$ ごとの $Q_t$ および当該電力使用量 $W_{ti}$ と、コンプレッサ $C_i$ ごとの運転効率特性係数 $a_i$ および $b_i$ を用いて、前述した式(2)の $Q_{ti}$ に関する流量算出式を、 $D_t$ ごとに $m$ 個生成する機能と、これら流量算出式を連立方程式として解くことにより、各コンプレッサ $C_i$ の $a_i$ および $b_i$ を計算する機能とを有している。

10

【0035】

運転効率計算部16は、任意の時間 $x$ におけるコンプレッサ $C_i$ の運転効率 $U_{xi}$ を求める際、前述した式(1)に基づいて、当該時間 $x$ における流量変化率 $\dot{Q}_t$ に、当該コンプレッサ $C_i$ の運転効率特性係数 $b_i$ を乗算して、当該コンプレッサ $C_i$ の運転効率特性係数 $a_i$ を加算することにより、当該 $U_{xi}$ を計算する機能と、得られた $U_{xi}$ を画面表示部13で画面表示する機能とを有している。

20

【0036】

[第1の実施の形態の動作]

次に、本実施の形態にかかる運転効率推定装置10の動作について説明する。

まず、図5を参照して、運転効率推定装置10での係数計算処理について説明する。図5は、運転効率推定装置での係数計算処理を示すフローチャートである。

係数計算部15は、操作入力部12で検出されたオペレータ操作に応じて、あるいは一定時間ごとに、図5の係数計算処理を実行する。なお、係数計算処理にあたって、記憶部14には、データ収集部11により収集された各時間 $t$ におけるデータ組14Aが予め格納されているものとする。

30

【0037】

係数計算部15は、まず、記憶部14のデータ組14Aから、未選択の時間 $t$ におけるデータ組を選択し(ステップ100)、当該データ組の全体流量 $Q_t$ を、例えば時間 $t$ から単位時間分だけ前に測定された全体流量 $Q_{t-1}$ と比較して、 $Q_t$ が減少中であるか確認する(ステップ101)。この場合、流量変化率 $\dot{Q}_t$ を先に計算して、この $\dot{Q}_t$ の正負を確認してもよい。

【0038】

ここで、 $Q_t \geq Q_{t-1}$  ( $\dot{Q}_t \geq 0$ )の場合(ステップ101:NO)、係数計算部15は、ステップ100へ戻って、未選択の時間におけるデータ組を新たに選択する。

40

一方、 $Q_t < Q_{t-1}$  ( $\dot{Q}_t < 0$ )の場合(ステップ101:YES)、係数計算部15は、当該データ組を対象データ組 $D_t$ として抽出し、記憶部14に格納する(ステップ102)。

【0039】

このようにして、係数計算部15は、 $Q_t$ が減少状態にあるデータ組が $D_t$ として、 $m$ 個分抽出されるまで(ステップ103:NO)、繰り返し実行する。

$D_t$ が $m$ 個分だけ抽出された場合(ステップ103:YES)、係数計算部15は、コンプレッサ $C_i$ ごとに、運転効率特性係数 $a_i$ 、 $b_i$ を割り当て(ステップ104)、 $D_t$ ごとに、当該 $Q_t$ に関する単位時間当たりの流量変化率 $\dot{Q}_t$ を、前述した式(3)に基づき計算する(ステップ105)。

50

## 【 0 0 4 0 】

続いて、係数計算部 15 は、 $D t$  ごとの  $Q t$  および  $W t i$  と、コンプレッサ  $C i$  ごとの  $a i$  ,  $b i$  を用いて、前述した式 ( 4 ) の  $Q t$  に関する流量算出式を、 $D t$  ごとに  $m$  個生成する ( ステップ 1 0 6 ) 。

この後、係数計算部 15 は、これら  $m$  個の流量算出式から、前述した式 ( 6 ) のような連立方程式を生成し ( ステップ 1 0 7 ) 、これを解くことにより、各コンプレッサ  $C i$  の  $a i$  および  $b i$  を計算し ( ステップ 1 0 8 ) 、得られた  $a i$  ,  $b i$  を記憶部 14 に係数データ 14 B として格納し ( ステップ 1 0 9 ) 、一連の係数計算処理を終了する。

## 【 0 0 4 1 】

次に、図 6 を参照して、運転効率推定装置 10 での運転効率計算処理について説明する。図 6 は、運転効率推定装置での運転効率計算処理を示すフローチャートである。

運転効率計算部 16 は、操作入力部 12 で検出されたオペレータ操作に応じて、あるいは一定時間ごとに、図 6 の運転効率計算処理を実行する。なお、運転効率計算処理にあたって、記憶部 14 には、係数計算部 15 により計算された各コンプレッサ  $C i$  ごとに、運転効率特性係数  $a i$  ,  $b i$  が係数データ 14 B として格納されているものとする。

## 【 0 0 4 2 】

運転効率計算部 16 は、まず、記憶部 14 のデータ組 14 A を参照して、運転効率対象として指定された任意の時間  $x$  のデータ組から全体流量  $Q x$  を取得し ( ステップ 1 1 0 ) 、前述と同様にして、流量変化率  $\dot{x}$  を計算する ( ステップ 1 1 1 ) 。

## 【 0 0 4 3 】

この後、運転効率計算部 16 は、記憶部 14 の係数データ 14 B から各コンプレッサ  $C i$  の運転効率特性係数  $a i$  ,  $b i$  を取得し、これら  $a i$  ,  $b i$  と流量変化率  $\dot{x}$  とを前述した式 ( 1 ) に代入することにより、時間  $x$  における運転効率  $U x i$  をコンプレッサ  $C i$  ごとに計算する ( ステップ 1 1 2 ) 。

## 【 0 0 4 4 】

また、運転効率計算部 16 は、記憶部 14 に予め格納されている各コンプレッサ  $C i$  の定格効率  $U r i$  を取得し、 $U r i$  から  $U x i$  を減算した値を  $U r i$  で除算することにより、運転効率劣化率  $R x i$  を計算し ( ステップ 1 1 3 ) 、これらを画面表示部 13 で画面表示し ( ステップ 1 1 4 ) 、一連の運転効率計算処理を終了する。

## 【 0 0 4 5 】

図 7 は、運転効率の個別表示画面例である。ここでは、各コンプレッサ  $C 1 \sim C n$  のうちコンプレッサ  $C 1$  に関する、特定の時間  $x$  「 1 1 : 0 0 」における運転効率  $U x 1$  と運転効率特性とが、グラフ表示されており、横軸が流量変化率  $\dot{x}$  を示し、縦軸が運転効率  $U x 1$  ( 原単位 ) を示している。また、グラフには、コンプレッサ  $C 1$  の定格効率  $U r 1$  、定格効率  $U r 1$  を基準とした運転効率  $U x 1$  の劣化率を示す運転効率劣化率  $R x 1$  、運転効率特性係数  $a 1$  からなる最大効率  $U x m a x 1$  、および運転効率特性係数  $b 1$  からなる、単位流量変化率当たりにおける運転効率  $U x 1$  の低下率  $R d x 1$  が、ともに表示されている。

## 【 0 0 4 6 】

この個別表示画面により、管理者は、運転効率  $U x i$  や運転効率劣化率  $R x i$  に基づいて、選択したコンプレッサ  $C i$  が時間  $x$  において、どのような状況で運転されているかを容易に確認することができる。また、最大効率  $U x m a x i$  により、コンプレッサ  $C i$  で得られる最も良い効率を把握できるとともに、低下率  $R d x i$  により、流量変化率  $\dot{x}$  が低下するに連れて、どの程度の割合で運転効率  $U x i$  が低下するのかを詳細に確認することができる。

## 【 0 0 4 7 】

また、図 8 は、運転効率の一覧表示画面例である。ここでは、前述した時間  $x$  における運転効率  $U x i$  、定格効率  $U r i$  、運転効率劣化率  $R x i$  、最大効率  $U x m a x i$  、および低下率  $R d x i$  が、コンプレッサ  $C 1 \sim C n$  ごとに一覧表で表示されている。

この一覧表示画面により、時間  $x$  における各コンプレッサ  $C 1 \sim C n$  に関する運転状況

10

20

30

40

50

および運転効率特性を、容易に確認できるとともに、コンプレッサC<sub>1</sub>～C<sub>n</sub>間で容易に比較することができる。

【0048】

[第1の実施の形態の効果]

このように、本実施の形態は、係数計算部15が、記憶部14に格納されているデータ組14Aのうちから、全体流量Q<sub>t</sub>が減少状態にあるデータ組を対象データ組D<sub>t</sub>としてm個(=n×2)選択し、これら対象データ組D<sub>t</sub>ごとに求めた、当該全体流量Q<sub>t</sub>に関する流量変化率 $\dot{Q}_t$ と、当該全体流量Q<sub>t</sub>および当該電力使用量W<sub>t i</sub>と、コンプレッサC<sub>i</sub>ごとの流量変化率と運転効率との関係を近似する1次関数の切片および傾きを示す運転効率特性係数a<sub>i</sub>およびb<sub>i</sub>とを用いて、当該全体流量Q<sub>t</sub>に関する流量算出式を、対象データ組D<sub>t</sub>ごとにm個生成し、これら流量算出式を連立方程式として解くことにより、運転効率特性係数a<sub>i</sub>およびb<sub>i</sub>を計算し、運転効率計算部16が、任意の時間xにおける流量変化率 $\dot{Q}_x$ に、当該コンプレッサC<sub>i</sub>の運転効率特性係数b<sub>i</sub>を乗算して、当該コンプレッサC<sub>i</sub>の運転効率特性係数a<sub>i</sub>を加算することにより、当該時間xにおけるコンプレッサC<sub>i</sub>の運転効率U<sub>x i</sub>を計算するようにしたものである。

10

【0049】

これにより、各コンプレッサC<sub>i</sub>の運転効率U<sub>x i</sub>が、一般的な圧縮空気供給システム1に予め設置されている電力計8で得られた各コンプレッサC<sub>i</sub>の電力使用量W<sub>x i</sub>と、流量計4Aで得られた全体流量Q<sub>x</sub>とに基づき計算される。このため、コンプレッサC<sub>i</sub>ごとに、例えば当該コンプレッサC<sub>i</sub>における流量データを測定するための流量計などの設備機器の追加を必要とすることなく、各コンプレッサC<sub>i</sub>の運転効率U<sub>x i</sub>を容易に推定することが可能となる。この際、電力計8が設置されていない場合には、コンプレッサC<sub>i</sub>ごとに電力計8の追加が必要となるが、従来のようにコンプレッサC<sub>i</sub>ごとに流量計まで追加する必要はない。

20

【0050】

また、コンプレッサC<sub>1</sub>～C<sub>n</sub>ごとに運転効率が推定できるため、前述の図7や図8に示したような、運転効率の個別表示画面や一覧表示画面により、各コンプレッサC<sub>1</sub>～C<sub>n</sub>が、実際にどのような運転効率で運転されているのかを、管理者が容易に把握することができる。これにより、台数制御における運転順序を見直すことができ、省エネルギーや省CO<sub>2</sub>を実現できる。また、各コンプレッサC<sub>1</sub>～C<sub>n</sub>に対するメンテナンスの要否、さらには、どのコンプレッサC<sub>1</sub>～C<sub>n</sub>から順にメンテナンスを実施するかを計画することができるとともに、コンプレッサC<sub>1</sub>～C<sub>n</sub>の交換要否判断にも極めて有用なデータを提供することができる。

30

【0051】

また、本実施の形態では、図5の係数計算処理および図6の運転効率計算処理について、それぞれオペレータ操作に応じて、あるいは一定時間ごとに実行する場合について説明した。この際、コンプレッサC<sub>1</sub>～C<sub>n</sub>の運転効率特性については、それほど急激に変化するものではないため、係数計算処理については、例えばメンテナンス周期に合わせて、数ヶ月や1年単位自動実行するようにしてもよい。また、運転効率計算処理については、常時、最新の全体流量Q<sub>x</sub>に基づき、一定時間ごとに実行すれば、コンプレッサC<sub>1</sub>～C<sub>n</sub>ごとに最新の運転効率U<sub>x i</sub>を確認することができる。なお、記憶部14に保存されているデータ組14Aに基づいて、過去の任意の時間xにおける全体流量Q<sub>x</sub>から、その時間xにおける運転効率U<sub>x i</sub>を確認することもできる。

40

【0052】

[第2の実施の形態]

次に、本発明の第2の実施の形態にかかる運転効率推定装置10について説明する。

本実施の形態では、係数計算部15における対象データ組の生成について説明する。

【0053】

係数計算部15では、m個の流量算出式を連立方程式として解くことにより、各コンプレッサC<sub>i</sub>の運転効率特性係数a<sub>i</sub>、b<sub>i</sub>を計算している。ここで、コンピュータにおい

50

て連立方程式を解く場合、用いる流量算出式の組合せによっては、所望の計算精度が得られない場合がある。

【 0 0 5 4 】

例えば、時間  $t = 1$  において測定された、コンプレッサ  $C_i$  での電力使用量，全体流量，流量変化率を、それぞれ  $W_{1i}$ ， $Q_{1i}$ ， $\lambda_1$  とし、時間  $t = 2$  において測定されたコンプレッサ  $C_i$  での電力使用量，全体流量，流量変化率を、それぞれ  $W_{2i}$ ， $Q_{2i}$ ， $\lambda_2$  とした場合、これら  $Q_{1i}$ ， $Q_{2i}$  に関する流量計算式は、次の式 (5) で表される。

【数 5】

$$\begin{aligned} Q_{1i} &= a_i \times W_{1i} + (\lambda_1 \times b_i) \times W_{1i} \\ Q_{2i} &= a_i \times W_{2i} + (\lambda_2 \times b_i) \times W_{2i} \end{aligned} \quad \dots(5)$$

【 0 0 5 5 】

また、式 (5) からなる連立方程式を考えた場合、式 (6) のような行列式で表現され、これを解くことによって、未知である運転効率特性係数  $a_i$ ， $b_i$  が得られる。

【数 6】

$$\begin{bmatrix} Q_{1i} \\ Q_{2i} \end{bmatrix} = [A] \begin{bmatrix} a_i \\ b_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_{1i} & \lambda_1 \times W_{1i} \\ W_{2i} & \lambda_2 \times W_{2i} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_i \\ b_i \end{bmatrix} \quad \dots(6)$$

【 0 0 5 6 】

図 9 は、連立方程式とその解を示すグラフであり、横軸が  $a_i$  を示し、縦軸が  $b_i$  を示している。ここでは、式 (5) の流量計算式が平面  $a_i$ ， $b_i$  上に直線  $L_1$ ， $L_2$  として投影されており、式 (6) の連立方程式の解  $S$  が、直線  $L_1$ ， $L_2$  の交点として求められる。

【 0 0 5 7 】

ここで、直線  $L_1$ ， $L_2$  相互間の傾きが大きい場合、すなわち直線  $L_1$ ， $L_2$  の法線ベクトル  $N_1$ ， $N_2$  が大きく異なる場合、直線  $L_1$ ， $L_2$  決定する係数、ここでは、測定データ  $W_{i1}$ ， $\lambda_1 \times W_{i1}$ ， $W_{i2}$ ， $\lambda_2 \times W_{i2}$  を要素とする正方行列からなる係数行列  $A$  に、誤差が含まれていても、直線  $L_1$ ， $L_2$  の交点、すなわち解  $S$  の位置はあまり変化しない。

しかしながら、直線  $L_1$ ， $L_2$  相互間の傾きが極めて小さい場合、すなわち法線ベクトル  $N_1$ ， $N_2$  がほぼ等しい場合、直線  $L_1$ ， $L_2$  決定する係数の誤差により、直線  $L_1$ ， $L_2$  の交点の位置が大きく変化するため、解  $S$  の誤差が大きくなり、解  $S$  の精度が低下する。

【 0 0 5 8 】

また、コンピュータで連立方程式を解く場合、一般に公開されている様々な解析ソフトウェアを利用することが可能であるが、いずれの解析ソフトウェアにおいても、処理時間と解析精度とがトレードオフの関係にあるため、ある程度の処理時間で解計算処理を打ち切ることになる。

したがって、直線  $L_1$ ， $L_2$  相互間の傾きが極めて小さい場合、このような解計算処理の打ち切り程度の違いによっても、直線  $L_1$ ， $L_2$  の交点の位置が大きく変化することになり、解  $S$  の誤差が大きくなる。

【 0 0 5 9 】

本実施の形態は、係数計算部 15 において、対象データ組  $D_t$  から得られる解精度の判定を行うことにより、解  $S$  の感度がある程度低く、測定データや解計算処理の打ち切りの影響を受けにくい対象データ組を選択するようにしたものである。

【 0 0 6 0 】

すなわち、本実施の形態にかかる係数計算部 15 は、このような連立方程式の係数変化に対する解  $S$  の感度を示す指標として、連立方程式の係数行列  $A$  に関する条件数  $(A)$

10

20

30

40

50

(Condition Number) を計算する機能と、この条件数 (A) としきい値  $t_h$  とを比較することにより、対象データ組  $D_t$  から十分な解精度が得られるか否かについて解精度判定を行う機能と、当該条件数 (A) が当該しきい値  $t_h$  より大きい場合には、当該条件数 (A) が当該しきい値  $t_h$  以下となるまで、当該対象データ組  $D_t$  を構成するデータ組の一部入れ替えを繰り返し行う機能とを有している。

【0061】

この際、条件数 (A) については、次の式 (7) に示すように、行列ノルムを用いる公知の計算手法を用いればよい。式 (7) において、 $\|A\|$  は、係数行列 A の行列ノルムであり、 $\|A^{-1}\|$  は、係数行列 A の逆行列  $A^{-1}$  の行列ノルムである。なお、行列ノルムについては、フロベニウス・ノルムや最大ノルム等の様々な計算式が存在するが、これらは

10

お互いに等価性 (同値性) が成立することが照明されている場合がある。このような場合、計算所要時間や得られた運転効率特性係数  $a_i$ ,  $b_i$  のばらつきなどの指標に基づいて、任意の計算式を選択して用いればよい。

【数7】

$$\kappa(A) = \|A\| \cdot \|A^{-1}\| \quad \dots(7)$$

【0062】

また、しきい値  $t_h$  については、対象となる圧縮空気供給システム 1 の構成、さらにはコンプレッサ  $C_1 \sim C_n$  の管理に要求される精度ごとに、固有の最適値が存在すること

20

【0063】

[第2の実施の形態の動作]

次に、図10を参照して、本実施の形態にかかる運転効率推定装置10の動作について説明する。図10は、運転効率推定装置での対象データ組生成処理を示すフローチャートである。

係数計算部15は、前述した図5のステップ107において、図10に示す対象データ

30

組生成処理を実行する。

【0064】

係数計算部15は、まず、図5のステップ106で生成した  $m$  個の流量算出式から、前述した式 (6) のような連立方程式を生成し (ステップ200)、この連立方程式の係数行列 A について、例えば前述した式 (7) に基づいて、条件数 (A) を計算する (ステップ201)。

続いて、係数計算部15は、条件数 (A) と記憶部14に予め設定しておいたしきい値  $t_h$  とを比較する (ステップ202)。

【0065】

ここで、条件数 (A) > しきい値  $t_h$  の場合 (ステップ202: NO)、係数計算部15は、データ組14Aのうちから、対象データ組  $D_t$  として選択していない1つのデータ組を新規データ組として選択する (ステップ203)。この際、新規データ組としては、例えば、データ組14Aのうち、対象データ組  $D_t$  よりも古いもであって、かつ、最も新しいものから順に選択すればよい。これにより、選択済の対象データ組  $D_t$  とは時間的に乖離していないものを新規データ組として選択でき、データ組の入れ替えによる運転効率特性係数  $a_i$ ,  $b_i$  の誤差への影響を最小限に抑えることができる。

40

【0066】

次に、係数計算部15は、対象データ組  $D_t$  のうちから、まだ除外していない1つのデータ組を除外データ組として選択する (ステップ204)。この際、除外データ組としては、例えば、対象データ組  $Q_t$  のうち、まだ除外していないデータ組であって、かつ、最

50

も古いデータ組から順に選択すればよい。

続いて、係数計算部 15 は、この除外データ組を新規データ組と入れ替えた後（ステップ 205）、前述した図 5 のステップ 105 と同様にして、新規データ組の  $Q_t$  に関する単位時間当たりの流量変化率  $\dot{t}$  を、前述した式（3）に基づき計算する（ステップ 206）。

【0067】

この後、係数計算部 15 は、同じくステップ 106 と同様にして、新規データ組の  $Q_t$  および  $W_{ti}$  と、コンプレッサ  $C_i$  ごとの  $a_i$ 、 $b_i$  を用いて、前述した式（2）の  $Q_t$  に関する流量算出式を  $m$  個生成し（ステップ 207）、ステップ 200 へ移行する。

これにより、除外データ組が新規データ組と入れ替えられた新たな対象データ組  $D_t$  について、条件数（A）による対象データ組の解精度判定が、繰り返し行われる。この際、除外データを元に戻した状態から、繰り返し実行することになる。

【0068】

一方、ステップ 202 において、条件数（A）しきい値  $t_h$  の場合（ステップ 202：YES）、係数計算部 15 は、その時点に選択されている対象データ組  $D_t$  で、十分な解精度が得られることが確認されたため、対象データ組生成処理を終了し、図 5 のステップ 108 へ移行して、対象データ組  $D_t$  から生成した連立方程式による、運転効率特性係数  $a_i$ 、 $b_i$  の計算処理を実行する。

【0069】

[第2の実施の形態の効果]

このように、本実施の形態は、係数計算部 15 が、連立方程式の係数行列 A に関する条件数（A）を計算し、この条件数（A）としきい値  $t_h$  との比較することにより、十分な解精度が得られるか否か解精度判定を行い、条件数（A）がしきい値  $t_h$  より大きい場合には、条件数（A）がしきい値  $t_h$  以下となるまで、対象データ組  $D_t$  の入れ替えを繰り返し行うようにしたものである。

【0070】

これにより、データ組 14 A のうちから、十分な解精度が得られる対象データ組  $D_t$  が自動的に選択されて、運転効率特性係数  $a_i$ 、 $b_i$  が計算される。したがって、測定データや解計算処理の打ち切りの影響が低減された、誤差の少ない運転効率特性係数  $a_i$ 、 $b_i$  を得ることができる。

【0071】

[実施の形態の拡張]

以上、実施形態を参照して本発明を説明したが、本発明は上記実施形態に限定されるものではない。本発明の構成や詳細には、本発明のスコープ内で当業者が理解しうる様々な変更をすることができる。また、各実施形態については、矛盾しない範囲で任意に組み合わせ実施することができる。

【0072】

また、各実施の形態において、例えば、係数計算部 15 に対して、複数のデータ組  $D_t$  を渡し、複数の運転効率特性の組  $a_i$ 、 $b_i$  を計算させ、 $a_i$ 、 $b_i$  それぞれの標準偏差等を計算させて要求されるばらつきより小さくなったら、計算を終了するなどしてもよい。

【0073】

また、各実施の形態では、運転効率を推定する対象として、コンプレッサで圧縮空気を生成して負荷へ供給する圧縮空気供給システムを例に説明したが、これに限定されるものではなく、圧縮空気以外、例えば冷媒などの混合ガスを圧縮して負荷へ供給する圧縮ガス供給システムなどの他のシステムにも、前述と同様にして各実施の形態を適用でき、同様の作用効果を得ることができる。

【符号の説明】

【0074】

1 ... 圧縮空気供給システム、 $C_1 \sim C_n$ 、 $C_i$  ... コンプレッサ、2、4 ... 管路、3 ... タ

10

20

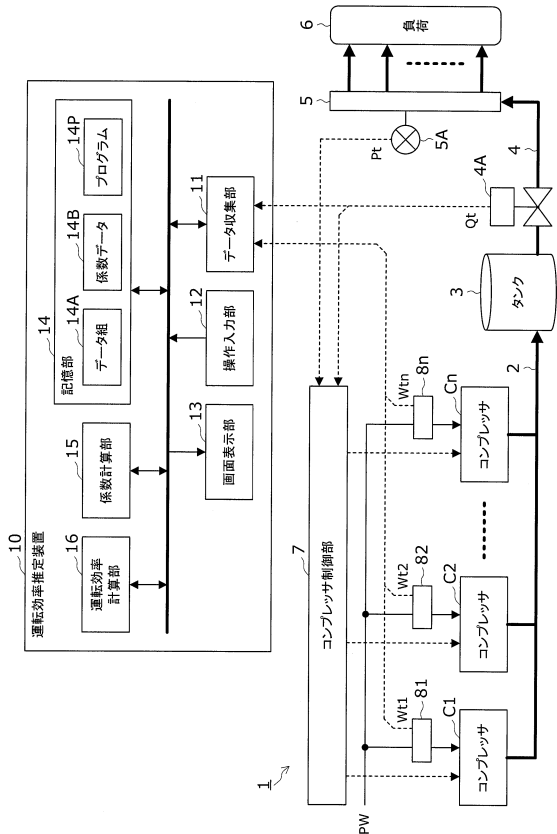
30

40

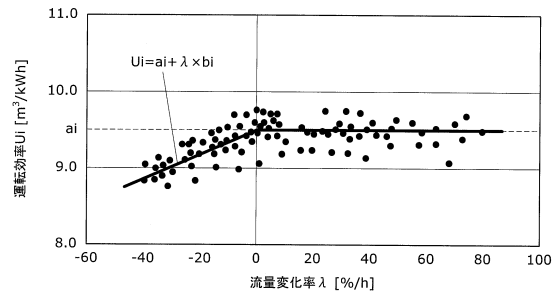
50

ンク、4 A ... 流量計、5 ... ヘッダ、5 A ... 圧力計、6 ... 負荷、7 ... コンプレッサ制御部、8 ( 8 1 ~ 8 n ) ... 電力計、1 0 ... 運転効率推定装置、1 1 ... データ収集部、1 2 ... 操作入力部、1 3 ... 画面表示部、1 4 ... 記憶部、1 4 A ... データ組、1 4 B ... 係数データ、1 4 P ... プログラム、1 5 ... 係数計算部、1 6 ... 運転効率計算部、 $Q_t, Q_x$  ... 全体流量、 $W_{t1} \sim W_{tn}, W_{ti}, W_{xi}$  ... 電力使用量、 $D_t$  ... 対象データ組、 $\lambda_t, \lambda_x$  ... 流量変化率、 $a_i$  ... 運転効率特性係数 ( 切片 )、 $b_i$  ... 運転効率特性係数 ( 傾き )、 $U_{ti}, U_{xi}$  ... 運転効率、 $U_{ri}$  ... 定格効率、 $R_{xi}$  ... 運転効率劣化率、 $U_{xmaxi}$  ... 最大効率、 $R_{dxi}$  ... 低減率、 $S$  ... 解、 $(A)$  ... 条件数、 $t_h$  ... しきい値。

【 図 1 】



【 図 2 】



【 図 3 】

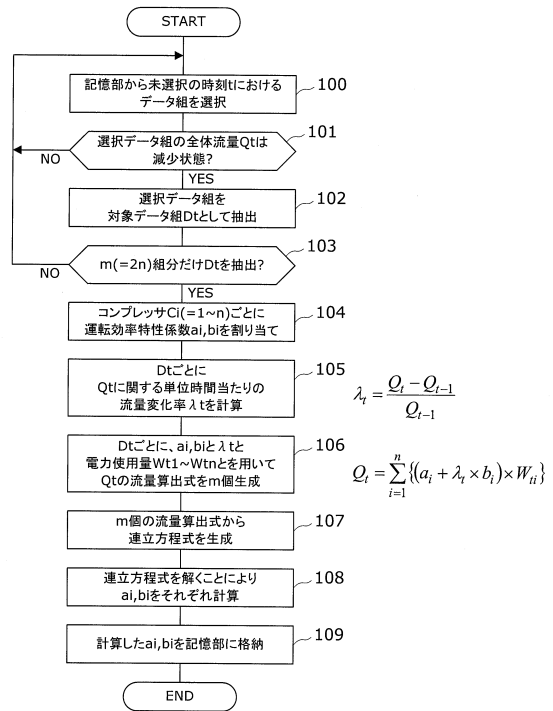
時刻t	全体流量 $Q_t$ [ $m^3$ ]	電力使用量 $W_{ti}$ ( $i=1 \sim n$ ) [kW/h]			
		コンプレッサ1	コンプレッサ2	.....	コンプレッサn
t1	Q1	W11	W12	.....	W1n
t2	Q2	W21	W22	.....	W2n
.....					
tm	Qm	Wm1	Wm2	.....	Wmn

ただし、 $m=2n$

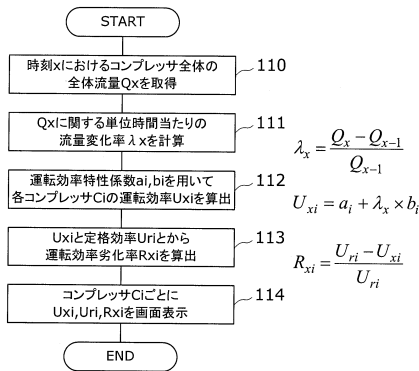
【図4】

コンプレッサ	切片	傾き
コンプレッサ1	a1	b1
コンプレッサ2	a2	b2
	⋮	
コンプレッサn	an	bn

【図5】



【図6】



【図8】

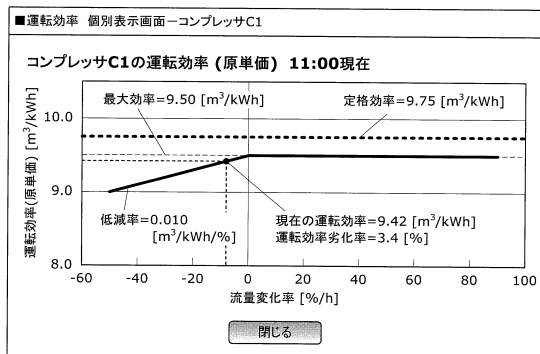
■運転効率 一覧表示画面-コンプレッサC1~Cn

各コンプレッサの運転効率 11:00現在

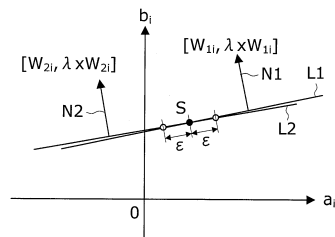
コンプレッサ	運転効率 [m³/kWh]	定格効率 [m³/kWh]	運転効率劣化率 [%]	最大効率 [m³/kWh]	低減率 [m³/%]
コンプレッサC1	9.42	9.75	3.4	9.50	0.010
コンプレッサC2	9.53	10.0	4.7	9.72	0.012
⋮					
コンプレッサCn	8.73	9.0	3.0	8.82	0.008

閉じる

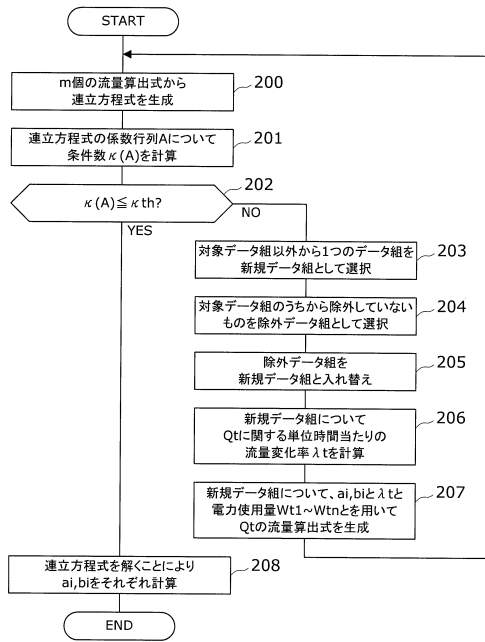
【図7】



【図9】



【図10】



フロントページの続き

(72)発明者 大浦 肇  
東京都千代田区丸の内2丁目7番3号 アズビル株式会社内

審査官 所村 陽一

(56)参考文献 特開2012-67626(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

F04B 51/00

F04B 41/00