

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2009-18272

(P2009-18272A)

(43) 公開日 平成21年1月29日(2009.1.29)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
BO1D 65/00 (2006.01)	BO1D 65/00	4D006
BO1D 53/22 (2006.01)	BO1D 53/22	

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号	特願2007-183848 (P2007-183848)	(71) 出願人	000006105 株式会社明電舎 東京都品川区大崎2丁目1番1号
(22) 出願日	平成19年7月13日 (2007.7.13)	(74) 代理人	100096459 弁理士 橋本 剛
		(74) 代理人	100104938 弁理士 鶴澤 英久
		(72) 発明者	大石 和城 東京都品川区大崎2丁目1番17号 株式会社明電舎内
		Fターム(参考)	4D006 GA41 HA42 KA01 KB24 KE02Q KE04Q KE14P KE14Q KE16P KE28Q MA01 MA03 MC58 PA04 PB18 PB68

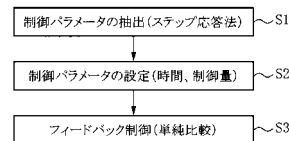
(54) 【発明の名称】 メタン濃度制御方法及び分離濃縮システム

(57) 【要約】

【課題】濃縮メタンガスのメタン濃度を安定維持させると共にPID制御よりも原理が簡単で低価格化を実現させる。

【解決手段】制御部は、バイオガス投入量の変化量とメタン濃度の変化量とから制御量を算出した後に(S1)、バイオガス投入量の変化後のメタン濃度が安定するまでの時間である制御間隔で前記制御量に基づきバイオガス投入量を制御する(S3)。前記制御部は前記制御間隔を初期の制御間隔と初期のバイオガス投入量と初期以後のバイオガス投入量とに基づき補正する。前記制御部は例えば「 $T = T_0 \times (Q_0 / Q)$ 」、 T_0 ：初期に設定された制御間隔、 Q_0 ：初期に設定されたバイオガス投入量、 Q ：初期以後のバイオガス投入量」の演算に基づき制御間隔Tを補正する。

【選択図】図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ガス分離膜を備えバイオガスから濃縮メタンガスを分離する分離濃縮手段と、
この分離濃縮手段へのバイオガスの投入量を調整する流量調節手段と、
前記得られた濃縮メタンガスのメタン濃度を検出する検出手段と、
前記検出されたメタン濃度に基づくバイオガス投入量の制御信号を前記流量調節手段に
供給する制御手段と

によって前記濃縮メタンガスのメタン濃度を制御する方法であって、

前記制御手段は、前記バイオガス投入量の変化量と前記メタン濃度の変化量とから制御
量を算出した後に、前記バイオガス投入量の変化後のメタン濃度が安定するまでの時間で
ある制御間隔で前記制御量に基づきバイオガス投入量を制御すること
を特徴とするメタン濃度制御方法。

10

【請求項 2】

前記制御手段は前記制御間隔を初期の制御間隔と初期のバイオガス投入量と初期以後の
バイオガス投入量とに基づき補正すること
を特徴とする請求項 1 に記載のメタン濃度制御方法。

【請求項 3】

前記制御手段は以下の式の演算に基づき制御間隔 T を補正すること

$$T = T_0 \times (Q_0 / Q)$$

T_0 : 初期に設定された制御間隔

Q_0 : 初期に設定されたバイオガス投入量

Q : 初期以後のバイオガス投入量

を特徴とする請求項 2 に記載のメタン濃度制御方法。

20

【請求項 4】

ガス分離膜を備えバイオガスから濃縮メタンガスを分離する分離濃縮手段と、
この分離濃縮手段へのバイオガスの投入量を調整する流量調節手段と、
前記得られた濃縮メタンガスのメタン濃度を検出する検出手段と、
前記検出されたメタン濃度に基づくバイオガス投入量の制御信号を前記流量調節手段に
供給する制御手段と

を備え、

前記制御手段は、前記バイオガス投入量の変化量と前記メタン濃度の変化量とから制御
量を算出した後に、前記バイオガス投入量の変化後のメタン濃度が安定するまでの時間で
ある制御間隔で前記制御量に基づきバイオガス投入量を制御すること
を特徴とする分離濃縮システム。

30

【請求項 5】

前記制御手段は前記制御間隔を初期の制御間隔と初期のバイオガス投入量と初期以後の
バイオガス投入量とに基づき補正すること
を特徴とする請求項 4 に記載の分離濃縮システム。

【請求項 6】

前記制御手段は以下の式の演算に基づき制御間隔 T を補正すること

$$T = T_0 \times (Q_0 / Q)$$

T_0 : 初期に設定された制御間隔

Q_0 : 初期に設定されたバイオガス投入量

Q : 初期以後のバイオガス投入量

を特徴とする請求項 5 に記載の分離濃縮システム。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明はガス分離機能を有する膜（例えば平膜、中空系）を使用した分離濃縮技術、特
にバイオガス中のメタンを濃縮するための分離濃縮技術に関する。

50

【背景技術】

【0002】

膜モジュールを用いたガス分離濃縮技術においてガス濃度の制御は一般的にフィードバック制御、フィードフォワード制御が適用されている。

【0003】

例えば濃縮ガスのメタン濃度をフィードバック制御する場合、濃縮ガスのメタン濃度を直接計測した後に、ずれを補正する。この制御は装置構成が簡単となるが、瞬時応答が困難となる。

【0004】

一方、フィードフォワード制御は濃縮ガスのメタン濃度がずれる要因を予め計測し、その要因の変化に応じた制御を行う。この制御は瞬時応答が可能であるが、装置構成は複雑となる。

10

【0005】

メタンの分離濃縮システムは比較的応答時間の長い装置構成であり、また特にメタン濃度を高精度に（例えば0.1%以下に）制御させる必要はない。したがって、装置構成の面からフィードバック制御が最適である。

【0006】

図6はフィードバック制御に基づくメタンの分離濃縮システム1の概略説明図である。このシステムと類似したものとして例えば特許文献1に開示されたガス濃縮装置がある。

【0007】

バイオガスは流量調節装置2によって分離膜スタック（膜モジュール）3に供給（投入）される。分離膜スタック3によって濃縮されたメタンガスは背圧弁5によって圧力制御されながらバッファタンク6に移行する。バッファタンク6内のメタンの濃縮ガスはガバナ7を介して系外に移送される。系外に移送されるメタンの濃縮ガスの一部は背圧弁8によって圧力制御されながらメタン濃度計9でのメタン濃度の計測に供される。制御部10は前記メタン濃度の測定値に基づくバイオガスの投入流量の制御信号を流量調節装置2に出力する。流量調節装置2には例えばマスフローコントローラが適用される。

20

【0008】

図7はフィードバック制御におけるバイオガス投入量とメタンの目標濃度の関係を示す。バイオガスのメタン濃度が目標濃度（例えば90%）よりも高い場合はバイオガス投入量を増加させる。一方、バイオガスのメタン濃度が目標濃度（例えば90%）よりも低い場合はバイオガス投入量を減少させる。

30

【0009】

フィードバック制御として代表的なものにはPID制御があり、制御装置の95%以上がこのPID制御である。PID制御はP（比例）、I（積分）、D（微分）の3パラメータからなり、それぞれのパラメータを決定することで各種の制御装置に適用できる。PID制御は非常に一般的であるが、PID制御を行うための専用ハードウェアを準備する必要がある。一般にPID演算を行うためのハードウェアは非常に複雑な計算式、メモリなどのリソースを用いるため、価格が高い場合が多い。これは制御装置全体の価格上昇となるため、低価格化を実現するためには非常に問題となる。

40

【0010】

また、非常に応答時間が長い系（応答時間が数分以上）では通常のPIDパラメータを最適化できない場合が多い。これに対応するため、遅れ時間の項を取り入れたフィードバック制御や、フィードフォワード制御を一部取り入れた複雑な制御となってしまう。

【特許文献1】特開2000-218126

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0011】

本発明は以上の事情に鑑みなされたものでその目的は濃縮メタンガスのメタン濃度を安定維持させると共にPID制御よりも原理が簡単で低価格化を実現できる濃縮メタンガス

50

のメタン濃度制御方法及び分離濃縮システムの提供にある。

【課題を解決するための手段】

【0012】

前記課題を解決するためのメタン濃度制御方法は、ガス分離膜を備えバイオガスから濃縮メタンガスを分離する分離濃縮手段と、この分離濃縮手段へのバイオガスの投入量を調整する流量調節手段と、前記得られた濃縮メタンガスのメタン濃度を検出する検出手段と、前記検出されたメタン濃度に基づくバイオガス投入量の制御信号を前記流量調節手段に供給する制御手段とによって前記濃縮メタンガスのメタン濃度を制御する方法であって、前記制御手段は、前記バイオガス投入量の変化量と前記メタン濃度の変化量とから制御量を算出した後に、前記バイオガス投入量の変化後のメタン濃度が安定するまでの時間である制御間隔で前記制御量に基づきバイオガス投入量を制御する。

10

【0013】

前記課題を解決するための分離濃縮システムは、ガス分離膜を備えバイオガスから濃縮メタンガスを分離する分離濃縮手段と、この分離濃縮手段へのバイオガスの投入量を調整する流量調節手段と、前記得られた濃縮メタンガスのメタン濃度を検出する検出手段と、前記検出されたメタン濃度に基づくバイオガス投入量の制御信号を前記流量調節手段に供給する制御手段とを備え、前記制御手段は、前記バイオガス投入量の変化量と前記メタン濃度の変化量とから制御量を算出した後に、前記バイオガス投入量の変化後のメタン濃度が安定するまでの時間である制御間隔で前記制御量に基づきバイオガス投入量を制御する。

20

【0014】

以上のメタン濃度制御方法及び分離濃縮システムによればバイオガスのメタン濃度の変動に影響を受けることなく濃縮メタンガスのメタン濃度を維持させることができる。また、PID制御が必要でないのでシステム構成が簡素化する。

【0015】

また、前記メタン濃度制御方法及び分離濃縮システムにおいて、前記制御手段は前記制御間隔を初期の制御間隔と初期のバイオガス投入量と初期以後のバイオガス投入量とに基づき補正するようにするとよい。制御間隔にバイオガス投入量の変化分が考慮されるので常に最適な制御間隔を簡単に設定できる。これによりメタン濃度を長時間維持させることができる。具体的に前記制御手段は以下の式の演算に基づき制御間隔Tを補正する。

30

【0016】

$$T = T_0 \times (Q_0 / Q)$$

T_0 ：初期に設定された制御間隔

Q_0 ：初期に設定されたバイオガス投入量

Q ：初期以後のバイオガス投入量

尚、以上のメタン濃度制御方法及び分離濃縮システムに係る制御手段はその機能をコンピュータによって実行させるためにプログラムの態様に構成してもよい。

【発明の効果】

【0017】

したがって、以上の発明によれば濃縮メタンガスのメタン濃度を安定維持させると共にPID制御よりも原理が簡単で低価格化を実現できる。

40

【発明を実施するための最良の形態】

【0018】

図1は発明の実施形態に係る制御方法のフロー図である。

【0019】

本実施形態の制御方法は、基本的に必要な制御パラメータは時間と制御量の二つであり、制御パラメータ抽出工程S1と制御パラメータ設定工程S2とフィードバック制御工程S3とからなる。これらの工程は図6に示された制御部10の機能に組み込まれる。濃縮されるガスはメタンガスであり、制御対象は図6に示された流量調節装置2である。流量調節装置2にはマスフローコントローラ（以下、MFCと称す）が採用されている。

50

【 0 0 2 0 】

1 . 制御パラメータ抽出工程 S 1

濃縮ガスのメタン濃度と目標濃度とのずれを流量調節装置 2 で調節する場合、調節量を予め決めておかなければならない。制御パラメータの設定はステップ応答法を用いて算出する。

【 0 0 2 1 】

図 2 はステップ応答を与えたときのバイオガス投入量 (M F C 設定電圧) と濃縮ガスのメタン濃度の関係を示す。

【 0 0 2 2 】

この関係図によると、予め M F C (エステック社製マスフローコントローラ , 型式 S E C - E 4 0 , 制御ユニット P A C - D 2) の設定電圧 0 . 7 9 2 V を与えたとき、濃縮ガスのメタン濃度は 9 1 % 、流量は約 1 . 3 L / m i n となる。次に、M F C 設定電圧を 0 . 9 9 1 V に設定したとき、約 8 分後に濃縮ガスのメタン濃度は 8 8 . 6 % 、流量は約 1 . 6 L / m i n となった。この結果より、ガス投入量 (M F C 設定電圧) との関係が求まる。

【 0 0 2 3 】

次いで、表 1 に従って制御パラメータを決定する。

【 0 0 2 4 】

【 表 1 】

バイオマス供給量(MFC)の変化(電圧)	$\Delta V=0.199V$
濃度変化	$\Delta C=2.4\%$
精度	$a=0.1\%$
設定パラメータ(制御量)の計算	$\Delta V / \Delta C \times a \doteq 0.008$
設定パラメータ(制御量):10進数	0008 (10進数)
⇒設定パラメータ(制御量):16進数	0008 (16進数)
時間	8分
⇒ (制御間隔)	480 秒
初期設定 (MFC)	200 (16進数)
目標メタン濃度	91.0%

【 0 0 2 5 】

バイオガス供給 (投入) 量 (M F C) の変化 (電圧) $V = 0 . 1 9 9 V$ 、濃度変化 $C = 2 . 4 \%$ 及び精度 $a = 0 . 1 \%$ から制御量を $V / C \times a = 0 . 0 0 8$ とする。これは制御中に濃度がずれた場合に 0 . 0 0 8 V だけ制御量を調整することによって 0 . 1 % ずつずれを補正していくという意味である。制御パラメータの決定に実際に用いた制御部 1 0 (オムロン社製プログラムコントローラ , 型式 S Y S M A C C P M 2 A , 入出力ユニット C P M 1 A - M A D 1 1) はプログラムの関係上、16進法で入力するため、10進法から16進法に変換した内容となっている (0 0 0 8 [1 0 進法] 0 0 0 8 [1 6 進法]) 。

【 0 0 2 6 】

制御間隔は値を変更してから濃度が安定するまでの時間と定義する。図 2 では 8 分 (4 8 0 秒) とする。

【 0 0 2 7 】

初期段階での M F C 設定値 (1 6 進法) は濃縮ガスのメタン濃度が約 9 1 % 付近で安定するときの値を予め測定した値である。

【 0 0 2 8 】

2 . 制御パラメータ設定工程 S 2

10

20

30

40

50

制御パラメータ抽出工程 S 1 で抽出したパラメータ（時間 480 秒、制御量 0.008 V）をシーケンサなどの制御部 10 に入力する。制御部 10 は P I D 制御を行う必要がなく、以下の演算（a）～（c）を行えるものであればよい。

【0029】

（a）基準濃度（例えば 91%）と濃縮ガス濃度（例えば 90%）のずれが判別できること。基準値に対し、高くなっているか、逆に低くなっているかを判断できればよい。

【0030】

（b）基準濃度と濃縮ガス濃度の比較時間を設定できること（例えば 480 秒）。

【0031】

（c）基準濃度と濃縮ガス濃度とのずれによって投入量の制御量（電圧）を設定電圧分だけ調整できること。

10

【0032】

3. フィードバック制御工程 S 3

制御パラメータ設定工程 S 2 で設定したパラメータ（時間 480 秒、制御量 0.008 V）に基づいて基準濃度（例えば 91%）と濃縮ガス濃度（例えば 90%）のずれを単純に比較して制御を行う。

【0033】

例えば、初期時間 0 の時、ガス濃度 91% で安定していたが、480 秒後に濃縮ガス濃度が 90% となった場合、480 秒後に制御量（バイオガス投入量）を 0.008 V だけ減少させて 90.1% にする。次の時間（960 秒後）にはまだ濃度が低いため、0.008 V だけ減少させて 90.2% にする。これを繰り返すことで目標濃度のメタン濃縮ガスを得ることができる。

20

【0034】

以上の S 1 ~ S 3 からなる制御方法を採用することで非常に簡単なシステム構成で濃縮ガスの濃度制御を行える。

【0035】

図 3 は発明の実施形態に係る制御方法をガス分離濃縮システム 1 に適用した場合の濃縮ガス CH_4 濃度（1）とバイオガス投入量（2）とバイオガス CH_4 濃度（3）と濃縮ガス発生量（4）と分離膜スタック温度（5）の経時的変化を示す。分離膜スタック 3 にはポリイミド系（6FDA-6FAP）の分離膜スタック（8 枚積層，有効面積 800 cm^2 ）が採用された。図 3 の特性図からは分離膜スタックには温度依存性、投入されるバイオガスのメタン濃度の依存性が大きく、制御なしの場合、少しの変動に対してメタン濃度が変化することがわかる。これらの変動に対して発明の実施形態に係る制御方法によれば常に一定（91%）のメタンの濃縮ガス濃度が得られることが確認できる。

30

【0036】

図 4 は発明の実施形態に係る制御方法をガス分離濃縮システム 1 に適用した場合の濃縮ガスメタン濃度とバイオガス投入量の経時的変化を示す。この実施例では分離膜スタック 3 に図 3 の実施例に係る分膜スタックとは別の分離膜スタック（ポリイミド系（6FDA-6FAP）の分離膜スタック（10 枚積層，有効面積 1000 cm^2 ））を用いてフィードバック制御を行った。図 4 の特性図によると目標濃度 91% に対して $\pm 0.5\%$ の範囲内で制御できていることが確認できる。目標濃度に対する $\pm 0.5\%$ の範囲は測定器の誤差の影響であり、より精度のよい測定器を用いれば原理的には $\pm 0.1\%$ の範囲で制御できる。

40

【0037】

図 5 は発明の実施形態に係る制御方法を適用してガス分離濃縮を長時間（2500 時間）行った場合の濃縮ガス CH_4 濃度とバイオガス投入量と濃縮ガス発生量の経時的変化を示す。また、表 2 は発明の実施形態に係る制御方法を適用してガス分離濃縮を行った場合の運転開始時（0 ~ 500 時間）と長時間経過後（2000 ~ 2500 時間）における濃縮ガス CH_4 濃度の変動を示す。

【0038】

50

【表 2】

	0～500時間	2000～2500時間
最小値	89.8	89.0
最大値	91.6	92.0
差	1.8	3.0

単位：%

【0039】

10

表 2 に示されたように初期状態では 2 % の変動であったが、経過時間 2000 時間を越えると 3 % も変動する結果となっている。この変動要因は使用したガス分離膜特有の現象である。この実施例で用いたガス分離膜はポリイミド系の分離膜材料であるが、長時間使用するにしたがってガス圧力、バイオガス中の水分などの影響により圧密化及び可塑化が進行する。圧密化及び可塑化はガス分離膜の経時的変化により分離膜表面の硬化及び空隙部の面積減少などによりガス透過量が減少することを言う。圧密化及び可塑化は高分子を用いたガス分離膜では非常に生じやすくある程度の進行はやむをえない現象である。

【0040】

圧密化及び可塑化の進行によりガス分離膜のガス透過量が少なくなると図 2 で抽出した制御パラメータにずれが生ずる。具体的にはガス透過量（二酸化炭素の透過量）が透過しなくなると濃縮ガスのメタン濃度が低くなる。メタン濃度が低くなると図 7 に従って最適投入量を減らしていく。最適投入量を減らすことによって図 2 に示した応答時間が長くなる。応答時間が長くなると、バイオガス投入量を変化させて濃縮ガスのメタン濃度が一定に落ち着く前に次の制御（減らす方向）がかかる。結果としてメタン濃度が不安定になる。このように長時間運転に伴うバイオガス投入量の変化に比例して、メタン濃度が安定するまでの応答時間が変化する。

20

【0041】

そこで、制御部 10 はバイオガス投入量の変化に基づき制御間隔を初期のパラメータから補正する。具体的には以下の式に基づき制御間隔 T を補正する。

【0042】

30

$$T = T_0 \times (Q_0 / Q)$$

T_0 : 初期に設定された制御間隔 [s]

Q_0 : 初期パラメータ設定時のバイオガス投入量 [L / min]

Q : 現在（初期以後）のバイオガス投入量 [L / min]

以上のように制御パラメータのうち、制御間隔にガス投入量の変化分を考慮することによって常に最適な制御間隔を簡単に設定できる。

【図面の簡単な説明】

【0043】

【図 1】 発明の実施形態に係る制御方法のフロー図。

【図 2】 ステップ応答を与えたときのバイオガス投入量（MFC 設定電圧）と濃縮ガスのメタン濃度の関係。

40

【図 3】 発明の実施形態に係る制御方法によって制御した場合の濃縮ガス CH_4 濃度（1）とバイオガス投入量（2）とバイオガス CH_4 濃度（3）と濃縮ガス発生量（4）と分離膜スタック温度（5）の経時的変化。

【図 4】 発明の実施形態に係る制御方法によって制御した場合の濃縮ガスメタン濃度とバイオガス投入量の経時的変化。

【図 5】 発明の実施形態に係る制御方法を適用してガス分離濃縮を長時間行った場合の濃縮ガス CH_4 濃度とバイオガス投入量と濃縮ガス発生量の経時的変化。

【図 6】 フィードバック制御に基づくガス濃度制御の概略説明図。

【図 7】 フィードバック制御におけるバイオガス投入量とメタンの目標濃度との関係。

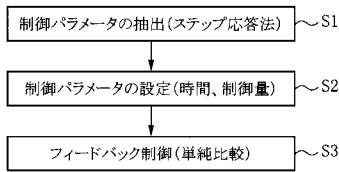
50

【符号の説明】

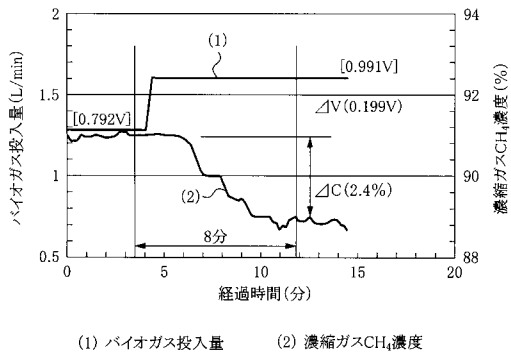
【0044】

- 1 ... 分離濃縮システム
- 2 ... 流量調節装置
- 3 ... 分離膜スタック（膜モジュール）
- 4 ... 真空ポンプ
- 5, 8 ... 背圧弁
- 6 ... パッファタンク
- 7 ... ガバナ
- 9 ... メタン濃度計
- 10 ... 制御部
- S1 ... 制御パラメータ抽出工程
- S2 ... 制御パラメータ設定工程
- S3 ... フィードバック制御工程

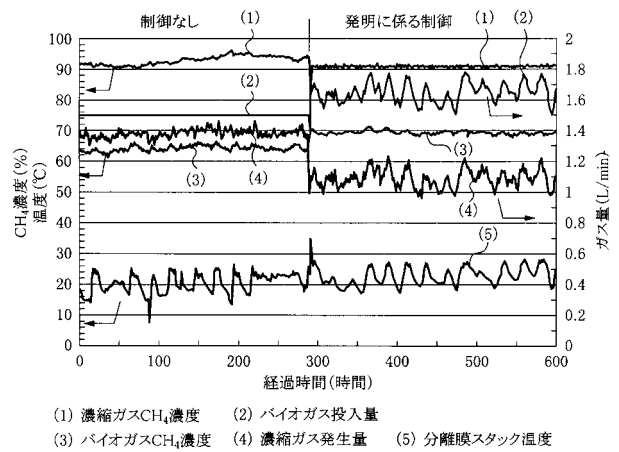
【図1】



【図2】

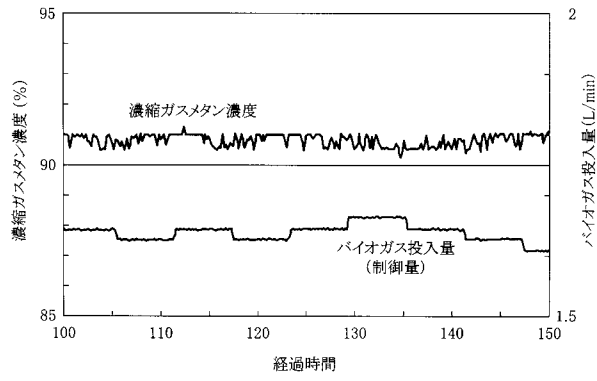


【図3】

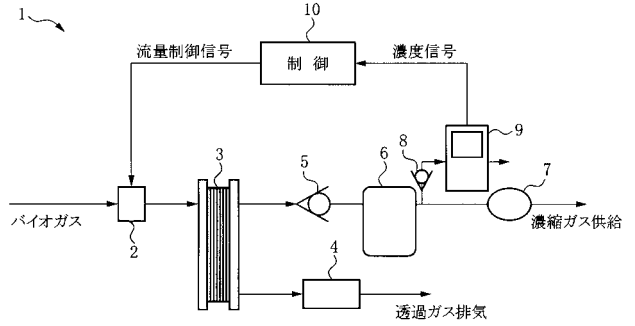


- (1) 濃縮ガスCH₄濃度
- (2) バイオガス投入量
- (3) バイオガスCH₄濃度
- (4) 濃縮ガス発生量
- (5) 分離膜スタック温度

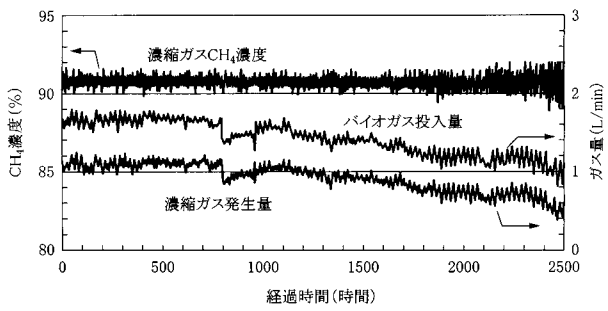
【 図 4 】



【 図 6 】



【 図 5 】



【 図 7 】

