

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局



(43) 国際公開日  
2012年2月9日(09.02.2012)

PCT

(10) 国際公開番号  
WO 2012/017628 A1

- (51) 国際特許分類:  
B01D 61/36 (2006.01) B01D 71/64 (2006.01)  
B01D 71/02 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2011/004306
- (22) 国際出願日: 2011年7月29日(29.07.2011)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願 2010-176499 2010年8月5日(05.08.2010) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 新日鉄エンジニアリング株式会社(NIPPON STEEL ENGINEERING CO., LTD.) [JP/JP]; 〒1418604 東京都品川区大崎1丁目5番1号 大崎センタービル Tokyo (JP). 国立大学法人東京大学(THE UNIVERSITY OF TOKYO) [JP/JP]; 〒1138654 東京都文京区本郷七丁目3番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 木内 崇文 (KIUCHI, Takafumi) [JP/JP]; 〒8048505 福岡県北九州市戸畑区大字中原4-6-59 新日鉄エンジニアリング株式会社内 Fukuoka (JP). 日高 亮太 (HIDAKA, Ryohta) [JP/JP]; 〒8048505 福岡県北九州市戸畑区大字中原4-6-59 新日鉄エ

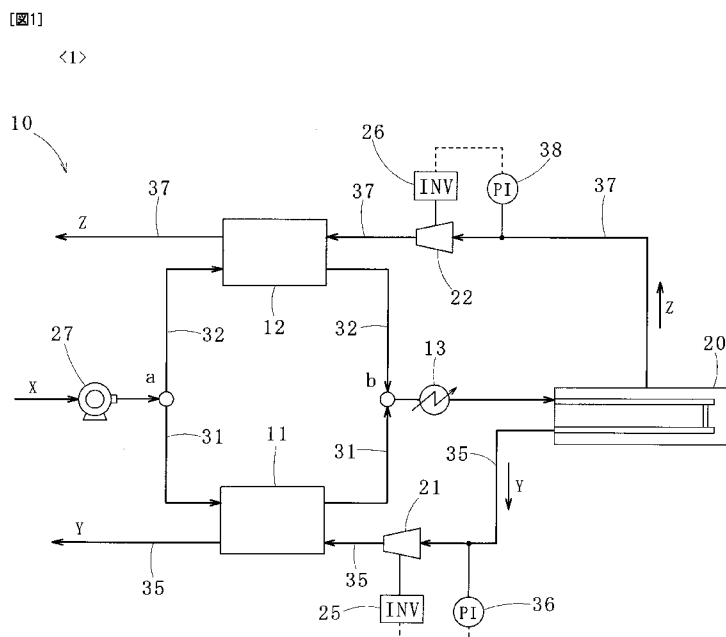
ンジニアリング株式会社内 Fukuoka (JP). 石橋 洋一 (ISHIBASHI, Yoichi) [JP/JP]; 〒8048505 福岡県北九州市戸畑区大字中原4-6-59 新日鉄エンジニアリング株式会社内 Fukuoka (JP). 甘蔗 寂樹 (KANSHA, Yasuki) [JP/JP]; 〒1138654 東京都文京区本郷七丁目3番1号 国立大学法人東京大学内 Tokyo (JP). 堤 敦司 (TSUTSUMI, Atsushi) [JP/JP]; 〒1138654 東京都文京区本郷七丁目3番1号 国立大学法人東京大学内 Tokyo (JP).

- (74) 代理人: 水野 勝文, 外 (MIZUNO, Katsufumi et al.); 〒1000005 東京都千代田区丸の内2丁目2番3号 丸の内仲通りビル 721 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア

[続葉有]

(54) Title: MEMBRANE SEPARATION APPARATUS AND MEMBRANE SEPARATION METHOD

(54) 発明の名称: 膜分離装置及び膜分離方法



(57) Abstract: [Problem] To provide a membrane separation apparatus and a membrane separation method capable of reducing energy consumption. [Solution] A membrane separation apparatus (10) includes: a membrane separator (20) supplied with a fluid (X) containing a component (A) and a component (B) and separating the fluid (X) into a fluid (Y) having a higher concentration of the component (A) than the fluid (X) and a fluid (Z) having a lower concentration of the component (A) than the fluid (X) by using a separation membrane; a first compressor (21) adiabatically compressing the fluid (Y); a first heat exchanger (11) to which the fluid (Y) adiabatically compressed by the first compressor (21) is introduced as a heat source; and a second heat exchanger (12) to which the fluid (Z) is introduced as a heat source. The fluid (X) is divided and conveyed by first and second supply lines (31, 32), the divided fluids (X) are heated by the first and second heat exchangers (11, 12), respectively, then merged and supplied to the membrane separator (20).

(57) 要約:

[続葉有]



(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ  
(AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR,  
GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT,  
NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI  
(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR,  
NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

---

【課題】消費エネルギーを低減することが可能な膜分離装置及び膜分離方法を提供する。【解決手段】成分 A 及び成分 B を含む流体 X が供給され、分離膜を用いて流体 X を成分 A の濃度が流体 X より高い流体 Y と成分 A の濃度が流体 X より低い流体 Z とに分離する膜分離器 20 と、流体 Y を断熱圧縮する第 1 の圧縮機 21 と、第 1 の圧縮機 21 によって断熱圧縮された流体 Y が熱源として導入される第 1 の熱交換器 11 と、流体 Z が熱源として導入される第 2 の熱交換器 12 と、を備えた膜分離装置 10 であって、流体 X は、第 1 及び第 2 の供給ライン 31、32 とに分岐して運ばれ、分岐した該流体 X がそれぞれ第 1 及び第 2 の熱交換器 11、12 によって加熱され、再度合流して膜分離器 20 に供給される。

## 明 細 書

**発明の名称：** 膜分離装置及び膜分離方法

### 技術分野

[0001] 本発明は、分離膜を用いて流体を分離する膜分離装置及び膜分離方法に関する。

### 背景技術

[0002] 特許文献 1 には、単位操作部と、熱交換器と、単位操作部の出力側及び熱交換器の間に設けられた圧縮機とを有する加熱モジュールが記載されている。

単位操作部は、単位操作によって入力流体から生成される出力流体を出力する。出力された出力流体は、圧縮機によって圧縮される。入力流体は、熱交換器によって、圧縮後の出力流体と熱交換される。ここで、単位操作部の一例として、膜分離器が挙げられている。

### 先行技術文献

#### 特許文献

[0003] 特許文献 1：特開 2010-36056 号公報（第 9 頁、図 1（c））

### 発明の概要

#### 発明が解決しようとする課題

[0004] 一般に、膜分離器は、分離膜を透過しない流体及び分離膜を透過する流体の 2 つの流体を出力する。

ところが、特許文献 1 に記載の技術においては、この単位操作部（膜分離器）の出力流体は 1 つのみであり、残りの流体についての言及がなされていない。

本発明は、膜分離器の不透過側と透過側からそれぞれ出る流体 Y、Z を利用して膜分離器に供給される流体 X を加熱し、装置全体の消費エネルギーを低減することが可能な膜分離装置及び膜分離方法を提供することを目的とする。

## 課題を解決するための手段

[0005] 前記目的に沿う第 1 の発明に係る膜分離装置は、成分 A 及び成分 B を含む流体 X が供給され、分離膜を用いて前記流体 X を前記成分 A の濃度が該流体 X より高い流体 Y と前記成分 A の濃度が該流体 X より低い流体 Z とに分離する膜分離器と、

前記膜分離器から出た前記流体 Y を断熱圧縮する第 1 の圧縮機と、

前記第 1 の圧縮機によって断熱圧縮された前記流体 Y が熱源として導入される第 1 の熱交換器と、

前記流体 Z が熱源として導入される第 2 の熱交換器と、を備えた膜分離装置であって、

前記流体 X は、第 1 の供給ラインと第 2 の供給ラインとに分岐して運ばれ、該第 1 及び第 2 の供給ラインによって運ばれた前記流体 X がそれぞれ前記第 1 及び第 2 の熱交換器によって加熱され、再度合流して前記膜分離器に供給される。

[0006] 第 1 の発明に係る膜分離装置において、前記膜分離器と前記第 2 の熱交換器との間に、前記膜分離器から出た前記流体 Z を断熱圧縮する第 2 の圧縮機を更に備え、前記第 2 の圧縮機によって断熱圧縮された前記流体 Z を前記第 2 の熱交換器に導入することができる。

[0007] 前記目的に沿う第 2 の発明に係る膜分離装置は、成分 A 及び成分 B を含む流体 X が供給され、分離膜を用いて前記流体 X を前記成分 A の濃度が該流体 X より高い流体 Y と前記成分 A の濃度が該流体 X より低い流体 Z とに分離する膜分離器と、

前記膜分離器から出た前記流体 Z を断熱圧縮する第 2 の圧縮機と、

前記膜分離器から出た前記流体 Y が熱源として導入される第 1 の熱交換器と、

前記第 2 の圧縮機によって断熱圧縮された前記流体 Z が熱源として導入される第 2 の熱交換器と、を備えた膜分離装置であって、

前記流体 X は、第 1 の供給ラインと第 2 の供給ラインとに分岐して運ばれ

、該第 1 及び第 2 の供給ラインによって運ばれた前記流体 X がそれぞれ前記第 1 及び第 2 の熱交換器によって加熱され、該第 1 の供給ライン及び該第 2 の供給ラインが合流する合流点にて再度合流し、該合流点と前記膜分離器との間に設けられた第 3 の圧縮機によって断熱圧縮され、前記膜分離器に供給される。

[0008] 第 2 の発明に係る膜分離装置において、前記膜分離器と前記第 1 の熱交換器との間に、膨張機を更に備えることができる。

[0009] 第 1 及び第 2 の発明に係る膜分離装置において、前記第 1 の供給ラインを流れる前記流体 X の流量を調節する第 1 のバルブと、

前記第 1 のバルブを操作する制御装置とを更に備え、

前記第 2 の熱交換器により加熱された前記流体 X と、該第 2 の熱交換器に熱源として導入される前記流体 Z との温度差  $\Delta T_2$  が基準値  $T_{S2}$  以上となった場合に、

前記制御装置が、前記温度差  $\Delta T_2$  と前記基準値  $T_{S2}$  との差に基づいて、前記第 1 のバルブの開度を調節し、前記第 2 の熱交換器にて交換される熱量を制御することができる。

[0010] 第 1 及び第 2 の発明に係る膜分離装置において、前記第 2 の供給ラインを流れる前記流体 X の流量を調節する第 2 のバルブを更に備え、

前記第 1 の熱交換器により加熱された前記流体 X と、該第 1 の熱交換器に熱源として導入される前記流体 Y との温度差  $\Delta T_1$  が基準値  $T_{S1}$  以上となった場合に、

前記制御装置が、前記温度差  $\Delta T_1$  と前記基準値  $T_{S1}$  との差に基づいて、前記第 2 のバルブの開度を調節し、前記第 1 の熱交換器にて交換される熱量を制御することができる。

[0011] 第 1 及び第 2 の発明に係る膜分離装置において、前記基準値  $T_{S1}$ 、 $T_{S2}$  は、それぞれ  $2 \sim 50^\circ\text{C}$  であることが好ましい。

[0012] 第 1 及び第 2 の発明に係る膜分離装置において、前記第 2 の圧縮機を駆動するインバータを更に備え、

前記インバータは、前記膜分離器から出た前記流体 Z の圧力が予め決められた範囲に収まるように、前記第 2 の圧縮機の回転数を制御することができる。

[0013] 第 1 及び第 2 の発明に係る膜分離装置において、前記第 1 の供給ライン及び前記第 2 の供給ラインが合流する合流点と前記膜分離器との間に、外部熱源により前記流体 X の温度を調整する第 3 の熱交換器を更に備えてもよい。

[0014] 第 2 の発明に係る膜分離装置において、前記合流点と前記第 3 の圧縮機との間に、該第 3 の圧縮機によって圧縮された前記流体 X を熱源とし、該合流点にて合流した前記流体 X を加熱するスーパーヒータと、前記スーパーヒータによって加熱された該流体 X の温度を調整する冷却器とを更に備え、

前記第 3 の圧縮機に入る前記流体 X が、前記スーパーヒータによって加熱された後、前記冷却器によって温度調整されてもよい。

[0015] 第 2 の発明に係る膜分離装置において、前記スーパーヒータの被加熱流体の入口側と前記被加熱流体を加熱する加熱流体の出口側とを接続することが可能なバイパスラインが設けられ、

該膜分離装置を立ち上げる際に、前記バイパスラインによって前記入口側と前記出口側とが接続され、空気又は不活性ガスが前記スーパーヒータ及び前記第 3 の圧縮機の間で循環することが好ましい。

[0016] 第 1 の発明に係る膜分離装置において、前記膜分離器と前記第 2 の熱交換器との間に、外部蒸気を熱源とする加熱器を更に備え、前記流体 Z が、前記加熱器によって昇温及び昇圧され、昇温及び昇圧された該流体 Z を前記第 2 の熱交換器に導入することができる。

[0017] 第 1 及び第 2 の発明に係る膜分離装置において、前記流体 Y、及び前記流体 Z は、それぞれ気体であり、

前記分離膜は、ゼオライト膜又はポリイミド膜であることが好ましい。

[0018] 第 1 及び第 2 の発明に係る膜分離装置において、前記成分 A がエタノールであり、前記成分 B が水であることが好ましい。

[0019] 前記目的に沿う第 3 の発明に係る膜分離方法は、膜分離器を用いて、成分

A 及び成分 B を含む流体 X を前記成分 A の濃度が該流体 X より高い流体 Y と前記成分 A の濃度が該流体 X より低い流体 Z とに分離する工程  $\alpha$  と、

前記工程  $\alpha$  により分離された前記流体 Y を昇温及び昇圧する工程  $\beta$  と、を含む膜分離方法であって、

前記流体 X が、第 1 の供給ラインと第 2 の供給ラインとに分岐して運ばれ、該第 1 及び第 2 の供給ラインによって運ばれた前記流体 X が、それぞれ前記工程  $\beta$  にて昇温及び昇圧された前記流体 Y 及び前記膜分離器から出た前記流体 Z と熱交換して加熱され、再度合流して前記膜分離器に供給される。

[0020] 第 3 の発明に係る膜分離方法において、前記膜分離器から出た前記流体 Z を昇温及び昇圧する工程  $\gamma$  を更に含み、前記第 2 の供給ラインに分岐された前記流体 X を昇温及び昇圧された前記流体 Z と熱交換して加熱することができる。

[0021] 前記目的に沿う第 4 の発明に係る膜分離方法は、膜分離器を用いて、成分 A 及び成分 B を含む流体 X を前記成分 A の濃度が該流体 X より高い流体 Y と前記成分 A の濃度が該流体 X より低い流体 Z とに分離する工程  $\alpha$  と、

前記工程  $\alpha$  により分離された前記流体 Y を膨張させる工程  $\varepsilon$  と、

前記工程  $\alpha$  により分離された前記流体 Z を昇温及び昇圧する工程  $\gamma$  とを含む膜分離方法であって、

前記流体 X が、第 1 の供給ラインと第 2 の供給ラインとに分岐して運ばれ、該第 1 及び第 2 の供給ラインによって運ばれた前記流体 X が、それぞれ前記工程  $\varepsilon$  にて膨張した前記流体 Y 及び前記工程  $\gamma$  にて昇温及び昇圧された前記流体 Z と熱交換して加熱され、再度合流して断熱圧縮され、前記膜分離器に供給される。

## 発明の効果

[0022] 請求項 1 及び請求項 1 に従属する請求項 2、5～14 記載の膜分離装置においては、並列に設けられた第 1 及び第 2 の熱交換器により、膜分離器から出た流体 Y、Z から熱が回収されるため、本発明の構成をとらない場合よりも消費エネルギーを低減することが可能である。

- [0023] 請求項 3 及び請求項 3 に従属する請求項 4 ～ 14 記載の膜分離装置においては、推進力が増加するので、必要な分離膜の面積を低減することが可能である。
- [0024] 請求項 4 記載の膜分離装置においては、膨張機を設けることにより、膜分離器から出た高圧の流体 Y を低圧にする過程において、膨張エネルギーを動力として回収することが可能である。
- [0025] 請求項 5 ～ 7 記載の膜分離装置においては、バルブを設けるだけで、熱交換器で交換される熱量を流体の温度に基づいて簡単に制御することが可能である。
- [0026] 請求項 8 記載の膜分離装置においては、膜分離器から出た流体 Z の圧力が予め決められた範囲内に維持されるので、推進力を予め決められた範囲内に維持することが可能である。
- [0027] 請求項 9 記載の膜分離装置においては、第 3 の熱交換器が流体 X の供給条件の変動を抑制するため、膜分離装置を安定して運転することが可能である。
- [0028] 請求項 10、11 記載の膜分離装置においては、スーパーヒータにより流体 X が加熱されるので、流体 X が凝縮することがなく、第 3 の圧縮機の損傷を防止することが可能である。
- [0029] 請求項 12 記載の膜分離装置においては、電動機動力を蒸気熱動力で賄うことが可能である。
- [0030] 請求項 15、16 記載の膜分離方法においては、分離された流体 Y、Z から熱が回収されるため本発明の方法をとらない場合よりも消費エネルギーを低減することが可能である。
- [0031] 請求項 17 記載の膜分離方法においては、流体 Y を膨張させる工程  $\varepsilon$  を設けることにより、工程  $\alpha$  を経た高圧の流体 Y を低圧にする過程において、膨張エネルギーを動力として回収することが可能である。

### 図面の簡単な説明

- [0032] [図1] 本発明の第 1 の実施の形態に係る膜分離装置の構成図である。

[図2] 本発明の第2の実施の形態に係る膜分離装置の構成図である。

[図3] 本発明の第3の実施の形態に係る膜分離装置の構成図である。

[図4] 本発明の第4の実施の形態に係る膜分離装置の構成図である。

[図5] 同膜分離装置が有する第3の圧縮機及びスーパーヒータの循環動作を示す説明図である。

[図6] 本発明の第5の実施の形態に係る膜分離装置の構成図である。

[図7] 比較例に係る従来の膜分離装置の構成図である。

[図8] 本発明の実施例1に係る膜分離装置の構成図である。

[図9] 本発明の実施例2に係る膜分離装置の構成図である。

[図10] 本発明の実施例3に係る膜分離装置の構成図である。

### 発明を実施するための形態

[0033] 続いて、添付した図面を参照しつつ、本発明を具体化した実施の形態につき説明し、本発明の理解に供する。但し、本発明の技術的範囲は、以下に説明する実施の形態によって限定されることはない。

図1に示すように、本発明の第1の実施の形態に係る膜分離装置10は、外部より供給されたエタノール（成分Aの一例）と水（成分Bの一例）とが混合されたエタノール混合液をより濃度の高いエタノールと水に分離することができる。この膜分離装置10は、第1の熱交換器11と、第2の熱交換器12と、第3の熱交換器13と、膜分離器20と、第1の圧縮機21と、第2の圧縮機22とを備えている。以下、膜分離器20、第1の圧縮機21、第1の熱交換器11、第2の圧縮機22、第2の熱交換器12、及び第3の熱交換器13の順に説明する。

[0034] 膜分離器20は、ベーパーパーミエーション（蒸気気化）法により、供給されたエタノール混合液の蒸気（以下、単に「エタノール混合蒸気」という。）を、よりエタノール濃度の高い蒸気（流体Yの一例、以下、単に「エタノール蒸気」という。）とよりエタノール濃度の低い蒸気（流体Zの一例、以下、単に「水蒸気」という。）とに分離することができる。例えば、膜分離器20は、エタノール濃度85.7wt%のエタノール混合蒸気を、エタ

ノール濃度 99.5 wt % のエタノール蒸気と、エタノール濃度 13.0 wt % の水蒸気に分離することができる。

膜分離器 20 は、分離膜がケーシングに収納された膜モジュールを複数備えている。この分離膜は、例えばゼオライト膜やポリイミド膜である。分離膜は、水を透過させ易く、エタノールを透過させ難い性質を有している。膜分離器 20 は、この性質を利用するとともに、膜分離器 20 の入口側と出口側の圧力差を推進力として、エタノール混合蒸気からエタノール蒸気と水蒸気とを分離することができる。

[0035] 第 1 の圧縮機 21 は、膜分離器 20 から出たエタノール蒸気を断熱圧縮することができる。第 1 の圧縮機 21 は、インバータ 25 により回転速度が制御される。

[0036] 第 1 の熱交換器 11 は、ポンプ 27 により供給されたエタノール混合液を加熱することができる。加熱されたエタノール混合液は、エタノール混合蒸気となる。第 1 の熱交換器 11 は、第 1 の圧縮機 21 により断熱圧縮されたエタノール蒸気を熱源としている。なお、エタノール混合蒸気及びエタノール混合液は、何れも流体 X の一例である。

[0037] 第 2 の圧縮機 22 は、膜分離器 20 から出た水蒸気を断熱圧縮することができる。第 2 の圧縮機 22 は、インバータ 26 により回転速度が制御される。

[0038] 第 2 の熱交換器 12 は、ポンプ 27 により供給されたエタノール混合液を加熱することができる。加熱されたエタノール混合液は、エタノール混合蒸気となる。第 2 の熱交換器 12 は、第 2 の圧縮機 22 により断熱圧縮された水蒸気を熱源としている。なお、第 1 及び第 2 の熱交換器 11、12 は別体として構成されているが、一体として構成することも可能である。

[0039] 第 3 の熱交換器 13 は、第 1 及び第 2 の熱交換器 11、12 により加熱されたエタノール混合蒸気の温度を調整することができる。第 3 の熱交換器 13 は、図示しない蒸気ラインから供給される外部蒸気（外部熱源の一例）を熱源としている。

[0040] 次に、膜分離装置 10 の動作について説明する。

[0041] エタノール混合液は、ポンプ 27 によって送出され、分岐点 a にて第 1 の供給ライン 31 と第 2 の供給ライン 32 とに分岐して運ばれる。第 1 の供給ライン 31 によって運ばれたエタノール混合液は、第 1 の熱交換器 11 によって加熱される。第 1 の熱交換器 11 によって加熱されたエタノール混合液は、エタノール混合蒸気となって、更に下流に運ばれる。

同様に、第 2 の供給ライン 32 によって運ばれたエタノール混合液は、第 2 の熱交換器 12 によって加熱される。第 2 の熱交換器 12 によって加熱されたエタノール混合液も、エタノール混合蒸気となって、更に下流に運ばれる。

第 1 の供給ライン 31 及び第 2 の供給ライン 32 によってそれぞれ運ばれるエタノール混合蒸気は、合流点 b にて再度合流する。合流したエタノール混合蒸気は、第 3 の熱交換器 13 によって温度調整され、膜分離器 20 に供給される。ここで、第 3 の熱交換器 13 は、エタノール混合蒸気の温度等の供給条件が変動した場合に、この変動を抑制するように作用する。例えば、エタノール混合液の流量が変動し、第 1 及び第 2 の熱交換器 11、12 から出たエタノール混合蒸気の温度が予め設定された温度よりも低下した場合に、第 3 の熱交換器 13 はエタノール混合液の温度を上げるように熱交換量を増加させる。このように、供給されるエタノール混合液の流量が変動する場合であっても、第 3 の熱交換器 13 によって膜分離装置 10 を安定して運転させることが可能となる。また、膜分離装置 10 の立ち上げの際には、第 1 及び第 2 の熱交換器 11、12 によって、エタノール混合液が十分に加熱されないため、第 3 の熱交換器 13 は、その加熱不足分を補うことができ、膜分離装置 10 を安定して運転することができる。

膜分離器 20 に供給されたエタノール混合蒸気は、分離膜によって、エタノール蒸気と水蒸気とに分離される。

[0042] 膜分離器 20 から出たエタノール蒸気は、不透過側ライン 35 によって運ばれ、第 1 の圧縮機 21 によって断熱圧縮される。ここで、第 1 の圧縮機 2

1は、前述のようにインバータ25により駆動される。このインバータ25は、膜分離器20から出たエタノール蒸気の圧力を計測する圧力センサ36の出力値に基づいて動作する。詳細には、インバータ25は、圧力センサ36の出力値がフィードバックされ、エタノール蒸気の圧力が予め決められた範囲内に収まるように、第1の圧縮機21の回転数を制御する。これにより不透過側ライン35の圧力が予め決められた範囲内に維持される。

[0043] 第1の圧縮機21によって断熱圧縮されたエタノール蒸気は、昇温及び昇圧され、第1の熱交換器11に入り、第1の供給ライン31を流れるエタノール混合液と熱交換される。第1の熱交換器11にてエタノール蒸気は凝縮され、濃縮されたエタノール液となる。

[0044] 一方、膜分離器20から出た水蒸気は、透過側ライン37によって運ばれ、第2の圧縮機22によって断熱圧縮される。ここで、第2の圧縮機22は、前述のようにインバータ26により駆動される。このインバータ26は、膜分離器20から出た水蒸気の圧力を計測する圧力センサ38の出力値に基づいて動作する。詳細には、インバータ26は、圧力センサ38の出力値がフィードバックされ、水蒸気の圧力が予め決められた範囲内となるように、第2の圧縮機22の回転数を制御する。これにより透過側ライン37の圧力が予め決められた範囲内に維持される。その結果、膜分離のための推進力が予め決められた範囲内に維持される。

[0045] 第2の圧縮機22によって断熱圧縮された水蒸気は、昇温及び昇圧され、第2の熱交換器12に入り、第2の供給ライン32を流れるエタノール混合液と熱交換される。

[0046] このように、並列に設けられた第1及び第2の熱交換器11、12により、エタノール混合液と膜分離器20を出て圧縮されたエタノール蒸気及び水蒸気とが効率的に熱交換されるので、従来よりも膜分離装置10の消費エネルギーが低減される。なお、第1及び第2の熱交換器11、12を直列に設けて膜分離装置を構成することも可能であるが、第1及び第2の熱交換器11、12を並列に設ける場合よりも熱交換の効率が低下する。そのため、第

1 及び第 2 の熱交換器 1 1、1 2 を並列に設けた本実施の形態の方が好ましい。

[0047] 続いて、本発明の第 2 の実施の形態に係る膜分離装置 4 0 について説明する。第 1 の実施の形態に係る膜分離装置 1 0 と同一の構成要素については、同じ符号を付して詳しい説明を省略する。

[0048] 図 2 に示すように、本実施の形態に係る膜分離装置 4 0 は、膜分離装置 1 0 と比較すると、第 3 の圧縮機 4 3 を更に備えるとともに、第 1 の圧縮機 2 1（並びに第 1 の圧縮機 2 1 に付随する圧力センサ 3 6 及びインバータ 2 5）に代えて膨張機 4 4 を備えている。ただし、膨張機 4 4 は必須ではない。即ち、本実施の形態に係る膜分離装置 4 0 は、第 1 の実施の形態に係る膜分離装置 1 0 から第 1 の圧縮機 2 1（並びに第 1 の圧縮機 2 1 に付随する圧力センサ 3 6 及びインバータ 2 5）を取り外し、膜分離装置 1 0 に第 3 の圧縮機 4 3 を加えたものとすることもできる。

第 3 の圧縮機 4 3 は、合流点 b と膜分離器 2 0 の間であって、第 3 の熱交換器 1 3 の下流側に設けられている。第 3 の圧縮機 4 3 は、第 3 の熱交換器 1 3 から出たエタノール混合蒸気を断熱圧縮することができる。第 3 の圧縮機 4 3 から出たエタノール混合蒸気は、膜分離器 2 0 に導入される。

膨張機 4 4 は、膜分離器 2 0 から出た高圧のエタノール蒸気を低圧にする過程において、膨張エネルギーを動力として回収することができる。

[0049] 次に、膜分離装置 4 0 の動作について説明する。

エタノール混合液は、ポンプ 2 7 によって送出され、分岐点 a にて第 1 の供給ライン 3 1 と第 2 の供給ライン 3 2 とに分岐して運ばれる。第 1 の供給ライン 3 1 によって運ばれたエタノール混合液は、第 1 の熱交換器 1 1 によって加熱される。第 1 の熱交換器 1 1 によって加熱されたエタノール混合液は、エタノール混合蒸気となって、更に下流に運ばれる。

同様に、第 2 の供給ライン 3 2 によって運ばれたエタノール混合液は、第 2 の熱交換器 1 2 によって加熱される。第 2 の熱交換器 1 2 によって加熱されたエタノール混合液も、エタノール混合蒸気となって、更に下流に運ばれ

る。

第1の供給ライン31及び第2の供給ライン32によってそれぞれ運ばれるエタノール混合蒸気は、合流点bにて再度合流する。合流したエタノール混合蒸気は、第3の熱交換器13によって温度調整され、第3の圧縮機43によって断熱圧縮される。断熱圧縮されたエタノール混合蒸気は昇温及び昇圧され、膜分離器20に供給される。

以降の動作は第1の実施の形態に係る膜分離装置10と同様であるので、その説明は省略する。

[0050] このように、膜分離装置40は、第1及び第2の熱交換器11、12と膜分離器20との間に第3の圧縮機43を備えているので、膜分離器20の推進力が増加する。その結果、以下に説明するように、必要な分離膜の面積を低減することができる。

[0051] 一般に、膜分離器20の1次側（入口）と2次側（不透過側出口）の圧力差を推進力（透過駆動力）とする単位膜面積あたりのガスの透過速度 $J$  [ $\text{kmol} \cdot \text{m} / (\text{s} \cdot \text{m}^2)$ ] は、次式で表される。

$$J = P * (p_h - p_l) / \delta \quad \text{式(1)}$$

ここで、 $P$ ：ガス透過係数 [ $\text{kmol} \cdot \text{m} / (\text{s} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kPa})$ ]、 $p_h$ ：1次側圧力（ $\text{kPa}$ ）、 $p_l$ ：2次側圧力（ $\text{kPa}$ ）、 $\delta$ ：膜の有効厚さ（ $\text{m}$ ）である。

従って、膜分離器20に導入される前のエタノール混合蒸気を第3の圧縮機43を用いて昇圧することにより、膜分離器の推進力（ $p_h - p_l$ ）が大きくなり、透過速度 $J$ が大きくなる。従って、透過速度 $J$ が大きくなった分、必要な膜面積を低減することができる。

例えば、2次側圧力 $p_l$ を13  $\text{kPa}$ とし、1次側圧力 $p_h$ を101.3  $\text{kPa}$ から520  $\text{kPa}$ に昇圧した場合の膜透過速度について、式(1)に基づいて試算すると、以下の通りである。

$$J_1 = P * (101.3 - 13) / \delta \quad \text{式(2)}$$

$$J_2 = P * (520 - 13) / \delta \quad \text{式(3)}$$

$$J1/J2 = 5.7 \quad \text{式(4)}$$

ここで、 $J1$ ：1次側圧力 $p_h$ を101.3kPaとした場合のガスの透過速度、 $J2$ ：1次側圧力 $p_h$ を520kPaとした場合のガスの透過速度である。

即ち、透過速度 $J$ は5.7倍になるため、必要な分離膜面積を、5.7分の1に削減することができる。

なお、第3の圧縮機43に代えて、外部蒸気等の熱媒体を用い、エタノール混合蒸気を昇温及び昇圧することも可能である。

[0052] 続いて、本発明の第3の実施の形態に係る膜分離装置50について説明する。第1及び第2の実施の形態に係る膜分離装置10、40と同一の構成要素については、同じ符号を付して詳しい説明を省略する。なお、本実施の形態においては、第2の実施の形態に係る膜分離装置40を基礎として膜分離装置50を構成したが、第1の実施の形態に係る膜分離装置10を基礎として膜分離装置50を構成することも可能である。更に、後述する第4の実施の形態に係る膜分離装置70、或いは第5の実施の形態に係る膜分離装置80を基礎として膜分離装置50を構成することも可能である。

図3に示すように、第1の供給ライン31には、第1のバルブ51が設けられ、第1の供給ライン31を流れるエタノール混合液の流量を増減することができる。なお、第1のバルブ51は、第1の供給ライン31上であれば、第1の熱交換器11の後段に設けられていてもよい。

また、第2の供給ライン32には、第2のバルブ52が設けられ、第2の供給ライン32を流れるエタノール混合液の流量を増減することができる。なお、第2のバルブ52は、第2の供給ライン32上であれば、第2の熱交換器12の後段に設けられていてもよい。

[0053] 更に、第1の供給ライン31の第1の熱交換器11の後段には、第1の温度センサ61が設けられ、第1の熱交換器11により加熱されたエタノール混合蒸気の温度 $T1$ を計測することができる。

第2の供給ライン32の第2の熱交換器12の後段には、第2の温度セン

サ 6 2 が設けられ、第 2 の熱交換器 1 2 により加熱されたエタノール混合蒸気の温度  $T_2$  を計測することができる。

不透過側ライン 3 5 の第 1 の熱交換器 1 1 の入側と膨張機 4 4 の出側との間には、第 3 の温度センサ 6 3 が設けられ、第 1 の熱交換器 1 1 に熱源として導入されるエタノール蒸気の温度  $T_3$  を計測することができる。

透過側ライン 3 7 の第 2 の熱交換器 1 2 の入側と第 2 の圧縮機 2 2 の出側との間には、第 4 の温度センサ 6 4 が設けられ、第 2 の熱交換器 1 2 に熱源として導入される水蒸気の温度  $T_4$  を計測することができる。

制御装置 (CNT) 6 8 は、第 1 ~ 4 の温度センサ 6 1 ~ 6 4 の計測値がそれぞれ入力され、これら計測値に基づいて第 1 及び第 2 のバルブ 5 1、5 2 の開度を調整することができる。

[0054] 次に、この制御装置 6 8 の動作について説明する。

制御装置 6 8 は、第 1 の温度センサ 6 1 と第 3 の温度センサ 6 3 により計測された温度の差  $\Delta T_1 (= T_3 - T_1)$  を監視している。また、制御装置 6 8 は、第 2 の温度センサ 6 2 と第 4 の温度センサ 6 4 により計測された温度の差  $\Delta T_2 (= T_4 - T_2)$  を監視している。

第 1 及び第 2 のバルブ 5 1、5 2 は、温度差  $\Delta T_1$  及び温度差  $\Delta T_2$  がそれぞれ予め設定された基準値  $T_{S1}$ 、 $T_{S2}$  よりも小さい場合には、全開の状態である。この基準値  $T_S$  は、例えば、 $2 \sim 50^\circ\text{C}$  とすることができ、好ましくは  $2 \sim 30^\circ\text{C}$ 、更に好ましくは  $2 \sim 20^\circ\text{C}$  とすることができる。

[0055] ところが、何らかの要因により、温度差  $\Delta T_1$  が基準値  $T_{S1}$  以上になった場合は、第 2 のバルブ 5 2 の開度を小さくし、第 2 の供給ライン 3 2 を流れるエタノール混合液の流量を絞る。そうすると、より多くのエタノール混合液が第 1 の供給ライン 3 1 を流れるようになるため、第 1 の熱交換器 1 1 にてより多くの熱交換がされる。

一方、温度差  $\Delta T_2$  が基準値  $T_{S2}$  以上になった場合は、第 1 のバルブ 5 1 の開度を小さくし、第 1 の供給ライン 3 1 を流れるエタノール混合液の流量を絞る。そうすると、より多くのエタノール混合液が第 2 の供給ライン 3

2を流れるようになるため、第2の熱交換器12にてより多くの熱交換がされる。

温度差 $\Delta T_1$ 及び温度差 $\Delta T_2$ が、それぞれ基準値 $T_{S1}$ 、 $T_{S2}$ 以上となった場合には、それぞれの基準値 $T_{S1}$ 、 $T_{S2}$ からの偏差 $dT_1$ 、 $dT_2$ を求め、偏差 $dT_1$ 及び偏差 $dT_2$ の大きさに基づいて、第1及び第2のバルブ51、52の開度を小さくして、エタノール混合液の流量を調整することができる。具体的には、偏差 $dT_2$ が偏差 $dT_1$ よりも大きい場合は、第1のバルブ51の開度を小さくし、偏差 $dT_2$ が偏差 $dT_1$ 以下となる場合は、第2のバルブ52の開度を小さくして、エタノール混合液の流量を調整することができる。

[0056] このように、制御装置68が、第1の熱交換器11により加熱されたエタノール混合液と第1の熱交換器11に熱源として導入されるエタノール蒸気との温度差 $\Delta T_1$ 、及び第2の熱交換器12により加熱されたエタノール混合液と第2の熱交換器12に熱源として導入される水蒸気との温度差 $\Delta T_2$ に基づいて、第1及び第2のバルブ51、52の開度を調節することにより、第1及び第2の熱交換器11、12にて熱交換される供給エタノールの流量が調整される。その結果、第1及び第2の熱交換器11、12での熱交換量が制御され、エタノール蒸気及び水蒸気の熱エネルギーが有効に利用される。なお、制御装置68は、例えばPI制御により熱交換量を制御することができる。

[0057] 続いて、本発明の第4の実施の形態に係る膜分離装置70について説明する。第1及び第2の実施の形態に係る膜分離装置10、40と同一の構成要素については、同じ符号を付して詳しい説明を省略する。なお、本実施の形態においては、第2の実施の形態に係る膜分離装置40を基礎として膜分離装置70を構成したが、第1の実施の形態に係る膜分離装置10を基礎として膜分離装置70を構成することも可能である。

図4に示すように、膜分離装置70は、第2の実施の形態に係る膜分離装置40の第3の熱交換器13に代えて、スーパーヒータ71を備えている。

また、エタノール混合蒸気の温度を調整するため、スーパーヒータ 7 1 と第 3 の圧縮機 4 3 との間に冷却器 7 4 を備えている。

[0058] 第 1 の供給ライン 3 1 及び第 2 の供給ライン 3 2 によってそれぞれ運ばれるエタノール混合蒸気は、合流点 b にて再度合流する。合流したエタノール混合蒸気は、スーパーヒータ 7 1 によって加熱され、冷却器 7 4 によって温度が調整され、第 3 の圧縮機 4 3 によって断熱圧縮される。断熱圧縮されたエタノール混合蒸気は、昇温及び昇圧され、スーパーヒータ 7 1 の熱源となる。スーパーヒータ 7 1 にて熱交換されたエタノール混合蒸気は、膜分離器 2 0 に供給される。

以降の動作は第 2 の実施の形態に係る膜分離装置 4 0 と同様であるので、その説明は省略する。

[0059] このように、第 3 の圧縮機 4 3 によって断熱圧縮されるエタノール混合蒸気が事前にスーパーヒータ 7 1 にて加熱されるので、第 3 の圧縮機 4 3 の入口又はその内部にてエタノール混合蒸気が凝縮することがない。そのため、第 3 の圧縮機 4 3 が機械的に損傷することを防止できる。更に、第 3 の圧縮機 4 3 により昇温及び昇圧されたエタノール混合蒸気をスーパーヒータ 7 1 の熱源として利用し、エタノール混合蒸気の熱エネルギーをスーパーヒータ 7 1 にて自己循環させることにより、エネルギー損失を抑えることができる。

[0060] ここで、膜分離装置 7 0 には、スーパーヒータ 7 1 の被加熱流体（合流点 b にて合流したエタノール混合蒸気）の入口側と被加熱流体を加熱する加熱流体（第 3 の圧縮機 4 3 によって断熱圧縮されたエタノール混合蒸気）の出口側とを接続することが可能なバイパスライン 7 2 が設けられている。

[0061] バイパスライン 7 2 は、膜分離装置 7 0 の立ち上げの際に使用される。

バイパスライン 7 2 は、定常運転の際には、接続点 e、f にて、合流点 b と膜分離器 2 0 とを接続する第 3 の供給ライン 7 3 から切り離されている。

しかし、バイパスライン 7 2 は、装置立ち上げの際には、接続点 e、f にて第 3 の供給ライン 7 3 に接続される。更に、接続点 e、f にて流体が流れ

る方向が切り替えられ、接続点 f から出発してスーパーヒータ 7 1、冷却器 7 4、第 3 の圧縮機 4 3、スーパーヒータ 7 1、及び接続点 e を経て再び接続点 f へと戻る循環ラインが構成される（図 5 参照）。

循環ラインには、図示しないガス供給口から不活性ガスが充填される。

[0062] 膜分離装置 7 0 の運転開始から予め決められた時間 T が経過するまでは、第 3 の圧縮機 4 3 を動作させて供給された不活性ガスを断熱圧縮する。不活性ガスは昇温及び昇圧され、スーパーヒータ 7 1 の熱源となる。そして、スーパーヒータ 7 1 は熱源となった不活性ガスを加熱し、加熱された不活性ガスは再び第 3 の圧縮機 4 3 に入る。時間 T が経過した後は、バイパスライン 7 2 が切り離され、スーパーヒータ 7 1 の被加熱流体の入口側には、エタノール混合蒸気が流入する。

このように、バイパスライン 7 2 を接続して循環ラインを構成し、第 3 の圧縮機 4 3 を暖機運転することにより、膜分離装置 7 0 の立ち上げの際に第 3 の圧縮機 4 3 の内部の凝縮を防止することができる。その結果、第 3 の圧縮機 4 3 の損傷を防止することができる。

[0063] なお、本実施の形態においては、第 3 の圧縮機 4 3 に対してスーパーヒータ 7 1 が設けられているが、第 1 の圧縮機 2 1 に対して同様にスーパーヒータを設けることも可能である。また、不活性ガスに代えて、常温（10℃～40℃）で凝縮しないガス（例えば、空気）としてもよい。また、合流点 b と接続点 f との間に第 3 の熱交換器 1 3 を設けてもよい。

[0064] 続いて、本発明の第 5 の実施の形態に係る膜分離装置 8 0 について説明する。第 1 の実施の形態に係る膜分離装置 1 0 と同一の構成要素については、同じ符号を付して詳しい説明を省略する。なお、本実施の形態においては、第 1 の実施の形態に係る膜分離装置 1 0 を基礎として膜分離装置 8 0 を構成したが、第 2 の実施の形態に係る膜分離装置 4 0 を基礎として膜分離装置 8 0 を構成することも可能である。更に、第 3 の実施の形態で説明した流量制御を適用することも可能である。

[0065] 図 6 に示すように、本実施の形態に係る膜分離装置 8 0 は、膜分離装置 1

0と比較すると、第2の圧縮機22を省略し、膜分離器20から出た流体Zを断熱圧縮しないで第2の熱交換器12に導入する構成である。この場合、第2の熱交換器12の流体Zの出口側に真空ポンプ81を設置し、膜透過の圧力が膜仕様に応じた圧力（一例として、13kPaA）となるようにする。更に、ポンプ27により第2の熱交換器12に供給するエタノール混合液の温度が、膜分離器20から出た蒸気が凝縮する温度よりも低い温度であることが好ましい。一例として、膜分離器20の透過蒸気の圧力が13kPaAの場合、34℃で凝縮するので、第2の熱交換器12に供給するエタノール混合液の温度を34℃未満（好ましくは25℃）に設定する。このように、第2の熱交換器12の流体Zの出口側に真空ポンプ81を設置すると共に、エタノール混合液の温度を透過蒸気が凝縮する温度よりも低い温度に設定した構成とすれば、潜熱を利用した熱交換を行うことができ、更に第2の熱交換器12において蒸気が凝縮して体積が大幅に減少するので新たに設置した真空ポンプ81の動力を低く抑えることができる。また、凝縮することによって真空ポンプ81に蒸気が直接導入されないので、真空ポンプ81の故障等を防止することが可能である。

[0066] 続いて、膜分離装置80の動作について説明する。

分岐点aにて分岐され、第1の供給ライン31によって移送されるエタノール混合液は、第1の熱交換器11によって加熱される。熱源は、第1の圧縮機21によって断熱圧縮されたエタノール蒸気である。一方、第2の供給ライン32によって移送されるエタノール混合液は、第2の熱交換器12によって加熱される。熱源は、膜分離器20から排出される透過蒸気である。前述したように、透過蒸気を凝縮させることによって、第2の熱交換器21では顕熱と潜熱を利用した熱交換が行われ、不透過側のエタノールと比較して流量が少量となる透過蒸気からも効率的に熱回収が行われる。

[0067] 第1及び第2の熱交換器11、12で加熱されたエタノール混合液は、合流点bで混合され、混合後の温度が所定の設定温度よりも低ければ第3の熱交換器13によって加熱される。所定温度の加熱された供給エタノール蒸気

は、膜仕様に応じた１次側圧力 $p_h$ となっている。そして膜分離器２０に供給されたエタノール蒸気は、濃度が高められたエタノール蒸気と、膜を透過した透過蒸気とに分離されてそれぞれ排出される。エタノール蒸気は、第１の圧縮機２１によって断熱圧縮された後、第１の熱交換器１１に熱源として供給される。一方、透過蒸気は、第２の熱交換器１２に熱源として供給される。

[0068] 上述のように構成された第５の実施の形態においても、他の実施の形態と同様に、装置全体の消費エネルギーを低減することが可能である。なお、他の実施の形態においては、第２の圧縮機２２を配置していることから必ずしもエタノール混合液の温度を $25^{\circ}\text{C}$ に設定しなくともよく、例えば $35^{\circ}\text{C}$ に設定することができる。すなわち、ポンプ２７により供給するエタノール混合液の温度は、限定されない。

## 実施例

[0069] 続いて、実施例に基づいて、前述の第１、第４及び第５の実施の形態に係る膜分離装置１０、７０、８０の効果をより具体的に説明する。

[0070] 従来の膜分離装置９０、第１の実施の形態に係る膜分離装置１０、第４の実施の形態に係る膜分離装置７０、及び第５の実施の形態に係る膜分離装置８０について、それぞれ比較例、実施例１、実施例２及び実施例３として、消費エネルギーをシミュレーションにより求めた。なお、各シミュレーションにおいては、１）膜分離装置に供給されるエタノール混合液、２）膜分離装置から出るエタノール蒸気、及び３）膜分離装置から出る水蒸気について、各流量及び各エタノール濃度の条件を同一とした。即ち、各シミュレーションにおいて、１）膜分離装置に供給されるエタノール混合液の流量は $24.2\text{ kg/h}$ 、エタノール濃度は $85.7\text{ wt\%}$ とした。また、２）膜分離装置から出るエタノール蒸気の流量は $20.4\text{ kg/h}$ 、エタノール濃度は $99.5\text{ wt\%}$ とした。また、３）膜分離装置から出る水蒸気の流量は $3.8\text{ kg/h}$ 、エタノール濃度は $13\text{ wt\%}$ とした。また、分離膜はゼオライト膜（膜面積 $2.4\text{ m}^2$ ）である。圧縮機及び膨張機の断熱効率 $\eta$ は $50\%$ とし

た。

[0071] (比較例)

図 7 に示すように、従来の一般的な膜分離装置 90 においては、ポンプ 91 によって送出されたエタノール混合液が加熱器 92 によって加熱され、エタノール混合蒸気となって膜分離器 93 に供給される。供給されたエタノール混合蒸気は、エタノール蒸気と水蒸気に分離される。膜分離器 93 から出たエタノール蒸気は、膨張機 94 にて膨張し、コンデンサ 95 により冷却される。一方、膜分離器 93 から出た水蒸気は、チラー 96 により冷却され、真空ポンプ 97 によって圧縮され、凝縮する。

この従来の膜分離装置 90 においては、ポンプ 91 及び加熱器 92 によってエネルギーが消費される。なお、真空ポンプ 97 による消費エネルギーは僅かであるため、無視する。また、膨張機 94 によって、エネルギーが回収される。膜分離装置 90 に供給されたエタノール混合液、エタノール混合蒸気、エタノール蒸気、及び水蒸気の状態は、それぞれ図 7 に示す通りである。同図に示す条件の下では、各機器による消費エネルギー（蒸気換算）は以下のようにシミュレーションされた。

(1) ポンプ 91 : 0.044 (kW)

(2) 加熱器 92 :  $8.37 \times 0.366$  (kW)

(3) 膨張機 94 :  $-0.297$  (kW)

従って、消費エネルギー（電力換算）の合計 E1 は、以下の通りである。

$$\begin{aligned} E1 &= (0.044 + 8.37 \times 0.366 - 0.297) \\ &= 2.810 \text{ (kW)} \end{aligned}$$

[0072] (実施例 1)

第 1 の実施の形態に係る膜分離装置 10 においては、ポンプ 27、第 1 の圧縮機 21、及び第 2 の圧縮機 22 によって、エネルギーが消費される。

膜分離装置 10 に供給されたエタノール混合液、エタノール混合蒸気、エタノール蒸気、及び水蒸気の状態は、それぞれ図 8 に示す通りである。同図に示す条件の下では、各機器による消費エネルギー（電力換算）は以下のよ

うにシミュレーションされた。

(1) ポンプ 27 : 0.044 (kW)

(2) 第 1 の圧縮機 21 : 0.220 (kW)

(3) 第 2 の圧縮機 22 : 1.716 (kW)

従って、消費エネルギーの合計 E2 は、以下の通りである。

$$\begin{aligned} E2 &= 0.044 + 0.220 + 1.716 \\ &= 1.980 \text{ (kW)} \end{aligned}$$

本実施例と比較例とを比べると、本実施例の方が、消費エネルギーが大きく低減されることが分かる。

膜分離装置 10 では、第 1 及び第 2 の圧縮機 21、22 を用いてそれぞれエタノール蒸気及び水蒸気を昇温及び昇圧させている。これにより凝縮点を上昇させ、これら蒸気が有する潜熱と顕熱を有効に利用している。

付言すると、膜分離装置 10 では、従来の膜分離装置 90 に必要であったチラー動力も不要となると考えられる。

#### [0073] (実施例 2)

第 4 の実施の形態に係る膜分離装置 70 (定常動作時) においては、ポンプ 27、第 1 の圧縮機 21、第 2 の圧縮機 22、及び第 3 の圧縮機 43 によって、エネルギーが消費される。

膜分離装置 70 に供給されたエタノール混合液、エタノール混合蒸気、エタノール蒸気、及び水蒸気の状態は、それぞれ図 9 に示す通りである。同図に示す条件の下では、各機器による消費エネルギー (電力換算) は以下のよう

(1) ポンプ 27 : 0.044 (kW)

(2) 膨張機 44 : -0.227 (kW)

(3) 第 2 の圧縮機 22 : 0.792 (kW)

(4) 第 3 の圧縮機 43 : 1.949 (kW)

従って、消費エネルギーの合計 E3 は、以下の通りである。

$$E3 = 0.044 - 0.227 + 0.792 + 1.949$$

$$= 2.558 \text{ (kW)}$$

本実施例と比較例とを比べると、本実施例のほうが、消費エネルギーが低いことが分かる。

[0074] (実施例 3)

第 5 の実施の形態に係る膜分離装置 80 においては、ポンプ 27、第 1 の圧縮機 21 によって、エネルギーが消費される。既述した理由により真空ポンプ 81 による消費エネルギーは僅かであるため、無視する。なお、本実施例では、エタノール混合液の温度を 25℃としたことに伴い、熱交換後のエタノール及び透過蒸気（凝縮水）の温度を 30℃にしている。

膜分離装置 80 に供給されたエタノール混合液、エタノール混合蒸気、エタノール蒸気、及び水蒸気の状態は、それぞれ図 10 に示す通りである。同図に示す条件の下では、各機器による消費エネルギー（電力換算）は以下のようにシミュレーションされた。

$$(1) \text{ ポンプ 27 : } 0.044 \text{ (kW)}$$

$$(2) \text{ 第 1 の圧縮機 21 : } 0.331 \text{ (kW)}$$

従って、消費エネルギーの合計 E4 は、以下の通りである。

$$E4 = 0.044 + 0.331$$

$$= 0.375 \text{ (kW)}$$

本実施例と比較例とを比べると、本実施例のほうが、消費エネルギーが低いことが分かる。

[0075] なお、本発明は、前述の実施の形態に限定されるものではなく、本発明の要旨を変更しない範囲での変更は可能である。例えば、前述のそれぞれ実施の形態や変形例の一部又は全部を組み合わせで発明を構成する場合も本発明の技術的範囲に含まれる。

ポンプ 27 は、膜分離装置の一部として設置されてもよいし、膜分離装置の外部に設置されてもよい。

膜分離装置は、エタノールの分離に限らず、半導体工場にて用いられる溶剤（例えば、イソプロパノール）の分離に適用することができる。

膜分離器は、ベーパーパーミエーション法によるものに限らない。液体を気化させて分離するパーベーパーレーション（浸透気化）法によるものであっても、透過側の気体の潜熱を回収し、不透過側の液体の顕熱を回収することで同様に膜分離装置を構成できる。

また、第１の圧縮機２１に代えて、外部蒸気を熱源とする第１の加熱器を備え、エタノール蒸気が第１の加熱器によって昇温及び昇圧されてもよい。更に、第２の圧縮機２２に代えて外部蒸気を熱源とする第２の加熱器を備え、水蒸気が、第２の加熱器によって昇温及び昇圧されてもよい。

### 符号の説明

[0076] １０：膜分離装置、１１：第１の熱交換器、１２：第２の熱交換器、１３：第３の熱交換器、２０：膜分離器、２１：第１の圧縮機、２２：第２の圧縮機、２５、２６：インバータ、２７：ポンプ、３１：第１の供給ライン、３２：第２の供給ライン、３５：不透過側ライン、３６：圧力センサ、３７：透過側ライン、３８：圧力センサ、４０：膜分離装置、４３：第３の圧縮機、４４：膨張機、５０：膜分離装置、５１：第１のバルブ、５２：第２のバルブ、６１：第１の温度センサ、６２：第２の温度センサ、６３：第３の温度センサ、６４：第４の温度センサ、６８：制御装置、７０：膜分離装置、７１：スーパーヒータ、７２：バイパスライン、７３：第３の供給ライン、７４：冷却器、８０：膜分離装置、８１：真空ポンプ、９０：膜分離装置、９１：ポンプ、９２：加熱器、９３：膜分離器、９４：膨張機、９５：コンデンサ、９６：チラー、９７：真空ポンプ

## 請求の範囲

- [請求項1]       成分 A 及び成分 B を含む流体 X が供給され、分離膜を用いて前記流体 X を前記成分 A の濃度が該流体 X より高い流体 Y と前記成分 A の濃度が該流体 X より低い流体 Z とに分離する膜分離器と、
- 前記膜分離器から出た前記流体 Y を断熱圧縮する第 1 の圧縮機と、
- 前記第 1 の圧縮機によって断熱圧縮された前記流体 Y が熱源として導入される第 1 の熱交換器と、
- 前記流体 Z が熱源として導入される第 2 の熱交換器と、を備えた膜分離装置であって、
- 前記流体 X は、第 1 の供給ラインと第 2 の供給ラインとに分岐して運ばれ、該第 1 及び第 2 の供給ラインによって運ばれた前記流体 X がそれぞれ前記第 1 及び第 2 の熱交換器によって加熱され、再度合流して前記膜分離器に供給されることを特徴とする膜分離装置。
- [請求項2]       請求項 1 記載の膜分離装置において、前記膜分離器と前記第 2 の熱交換器との間に、前記膜分離器から出た前記流体 Z を断熱圧縮する第 2 の圧縮機を更に備え、
- 前記第 2 の圧縮機によって断熱圧縮された前記流体 Z を前記第 2 の熱交換器に導入することを特徴とする膜分離装置。
- [請求項3]       成分 A 及び成分 B を含む流体 X が供給され、分離膜を用いて前記流体 X を前記成分 A の濃度が該流体 X より高い流体 Y と前記成分 A の濃度が該流体 X より低い流体 Z とに分離する膜分離器と、
- 前記膜分離器から出た前記流体 Z を断熱圧縮する第 2 の圧縮機と、
- 前記膜分離器から出た前記流体 Y が熱源として導入される第 1 の熱交換器と、
- 前記第 2 の圧縮機によって断熱圧縮された前記流体 Z が熱源として導入される第 2 の熱交換器と、を備えた膜分離装置であって、
- 前記流体 X は、第 1 の供給ラインと第 2 の供給ラインとに分岐して運ばれ、該第 1 及び第 2 の供給ラインによって運ばれた前記流体 X が

それぞれ前記第 1 及び第 2 の熱交換器によって加熱され、該第 1 の供給ライン及び該第 2 の供給ラインが合流する合流点にて再度合流し、該合流点と前記膜分離器との間に設けられた第 3 の圧縮機によって断熱圧縮され、前記膜分離器に供給されることを特徴とする膜分離装置。

[請求項4] 請求項 3 記載の膜分離装置において、前記膜分離器と前記第 1 の熱交換器との間に、膨張機を更に備えたことを特徴とする膜分離装置。

[請求項5] 請求項 1 ～ 4 のいずれか 1 項に記載の膜分離装置において、前記第 1 の供給ラインを流れる前記流体 X の流量を調節する第 1 のバルブと、

前記第 1 のバルブを操作する制御装置とを更に備え、

前記第 2 の熱交換器により加熱された前記流体 X と、該第 2 の熱交換器に熱源として導入される前記流体 Z との温度差  $\Delta T_2$  が基準値  $T_{S2}$  以上となった場合に、

前記制御装置が、前記温度差  $\Delta T_2$  と前記基準値  $T_{S2}$  との差に基づいて、前記第 1 のバルブの開度を調節し、前記第 2 の熱交換器にて交換される熱量を制御することを特徴とする膜分離装置。

[請求項6] 請求項 5 記載の膜分離装置において、前記第 2 の供給ラインを流れる前記流体 X の流量を調節する第 2 のバルブを更に備え、

前記第 1 の熱交換器により加熱された前記流体 X と、該第 1 の熱交換器に熱源として導入される前記流体 Y との温度差  $\Delta T_1$  が基準値  $T_{S1}$  以上となった場合に、

前記制御装置が、前記温度差  $\Delta T_1$  と前記基準値  $T_{S1}$  との差に基づいて、前記第 2 のバルブの開度を調節し、前記第 1 の熱交換器にて交換される熱量を制御することを特徴とする膜分離装置。

[請求項7] 請求項 6 記載の膜分離装置において、前記基準値  $T_{S1}$ 、 $T_{S2}$  は、それぞれ  $2 \sim 50^\circ\text{C}$  であることを特徴とする膜分離装置。

[請求項8] 請求項 2 ～ 4 のいずれか 1 項に記載の膜分離装置において、前記第

2の圧縮機を駆動するインバータを更に備え、

前記インバータは、前記膜分離器から出た前記流体Zの圧力が予め決められた範囲に収まるように、前記第2の圧縮機の回転数を制御することを特徴とする膜分離装置。

[請求項9] 請求項1～8のいずれか1項に記載の膜分離装置において、前記第1の供給ライン及び前記第2の供給ラインが合流する合流点と前記膜分離器との間に、外部熱源により前記流体Xの温度を調整する第3の熱交換器を更に備えたことを特徴とする膜分離装置。

[請求項10] 請求項3記載の膜分離装置において、前記合流点と前記第3の圧縮機との間に、該第3の圧縮機によって圧縮された前記流体Xを熱源とし、該合流点にて合流した前記流体Xを加熱するスーパーヒータと、前記スーパーヒータによって加熱された該流体Xの温度を調整する冷却器とを更に備え、

前記第3の圧縮機に入る前記流体Xが、前記スーパーヒータによって加熱された後、前記冷却器によって温度調整されることを特徴とする膜分離装置。

[請求項11] 請求項10記載の膜分離装置において、前記スーパーヒータの被加熱流体の入口側と前記被加熱流体を加熱する加熱流体の出口側とを接続することが可能なバイパスラインが設けられ、

該膜分離装置を立ち上げる際に、前記バイパスラインによって前記入口側と前記出口側とが接続され、空気又は不活性ガスが前記スーパーヒータ及び前記第3の圧縮機の間で循環することを特徴とする膜分離装置。

[請求項12] 請求項1記載の膜分離装置において、前記膜分離器と前記第2の熱交換器との間に、外部蒸気を熱源とする加熱器を更に備え、

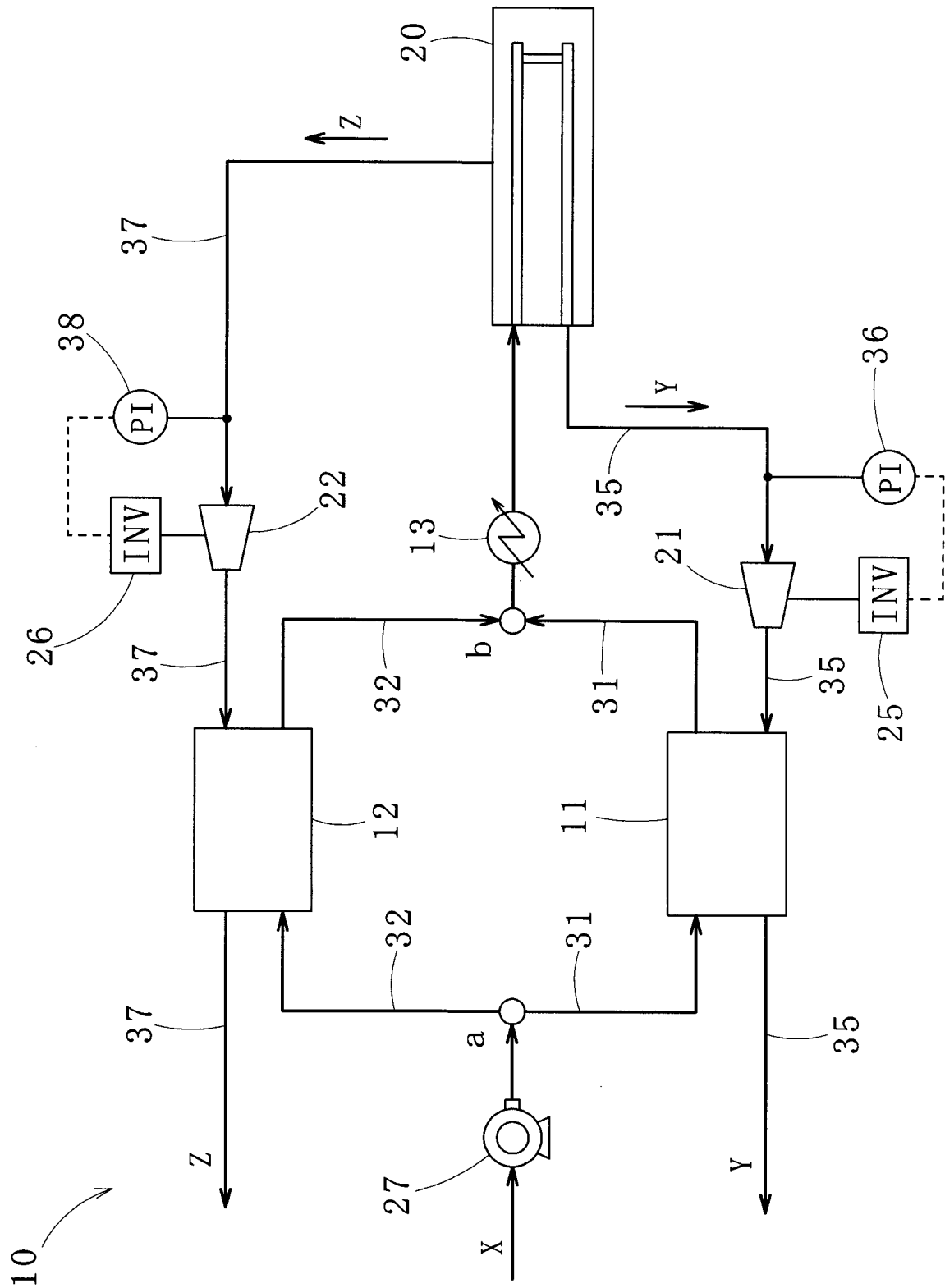
前記流体Zが、前記加熱器によって昇温及び昇圧され、昇温及び昇圧された該流体Zを前記第2の熱交換器に導入することを特徴とする膜分離装置。

- [請求項13]       請求項 1 ～ 1 2 のいずれか 1 項に記載の膜分離装置において、前記流体 Y、及び前記流体 Z は、それぞれ気体であり、  
前記分離膜は、ゼオライト膜又はポリイミド膜であることを特徴とする膜分離装置。
- [請求項14]       請求項 1 3 記載の膜分離装置において、前記成分 A がエタノールであり、前記成分 B が水であることを特徴とする膜分離装置。
- [請求項15]       膜分離器を用いて、成分 A 及び成分 B を含む流体 X を前記成分 A の濃度が該流体 X より高い流体 Y と前記成分 A の濃度が該流体 X より低い流体 Z とに分離する工程  $\alpha$  と、  
前記工程  $\alpha$  により分離された前記流体 Y を昇温及び昇圧する工程  $\beta$  と、を含む膜分離方法であって、  
前記流体 X が、第 1 の供給ラインと第 2 の供給ラインとに分岐して運ばれ、該第 1 及び第 2 の供給ラインによって運ばれた前記流体 X が、それぞれ前記工程  $\beta$  にて昇温及び昇圧された前記流体 Y 及び前記膜分離器から出た前記流体 Z と熱交換して加熱され、再度合流して前記膜分離器に供給されることを特徴とする膜分離方法。
- [請求項16]       請求項 1 5 記載の膜分離方法において、前記膜分離器から出た前記流体 Z を昇温及び昇圧する工程  $\gamma$  を更に含み、前記第 2 の供給ラインに分岐された前記流体 X を昇温及び昇圧された前記流体 Z と熱交換して加熱することを特徴とする膜分離方法。
- [請求項17]       膜分離器を用いて、成分 A 及び成分 B を含む流体 X を前記成分 A の濃度が該流体 X より高い流体 Y と前記成分 A の濃度が該流体 X より低い流体 Z とに分離する工程  $\alpha$  と、  
前記工程  $\alpha$  により分離された前記流体 Y を膨張させる工程  $\varepsilon$  と、  
前記工程  $\alpha$  により分離された前記流体 Z を昇温及び昇圧する工程  $\gamma$  とを含む膜分離方法であって、  
前記流体 X が、第 1 の供給ラインと第 2 の供給ラインとに分岐して運ばれ、該第 1 及び第 2 の供給ラインによって運ばれた前記流体 X が

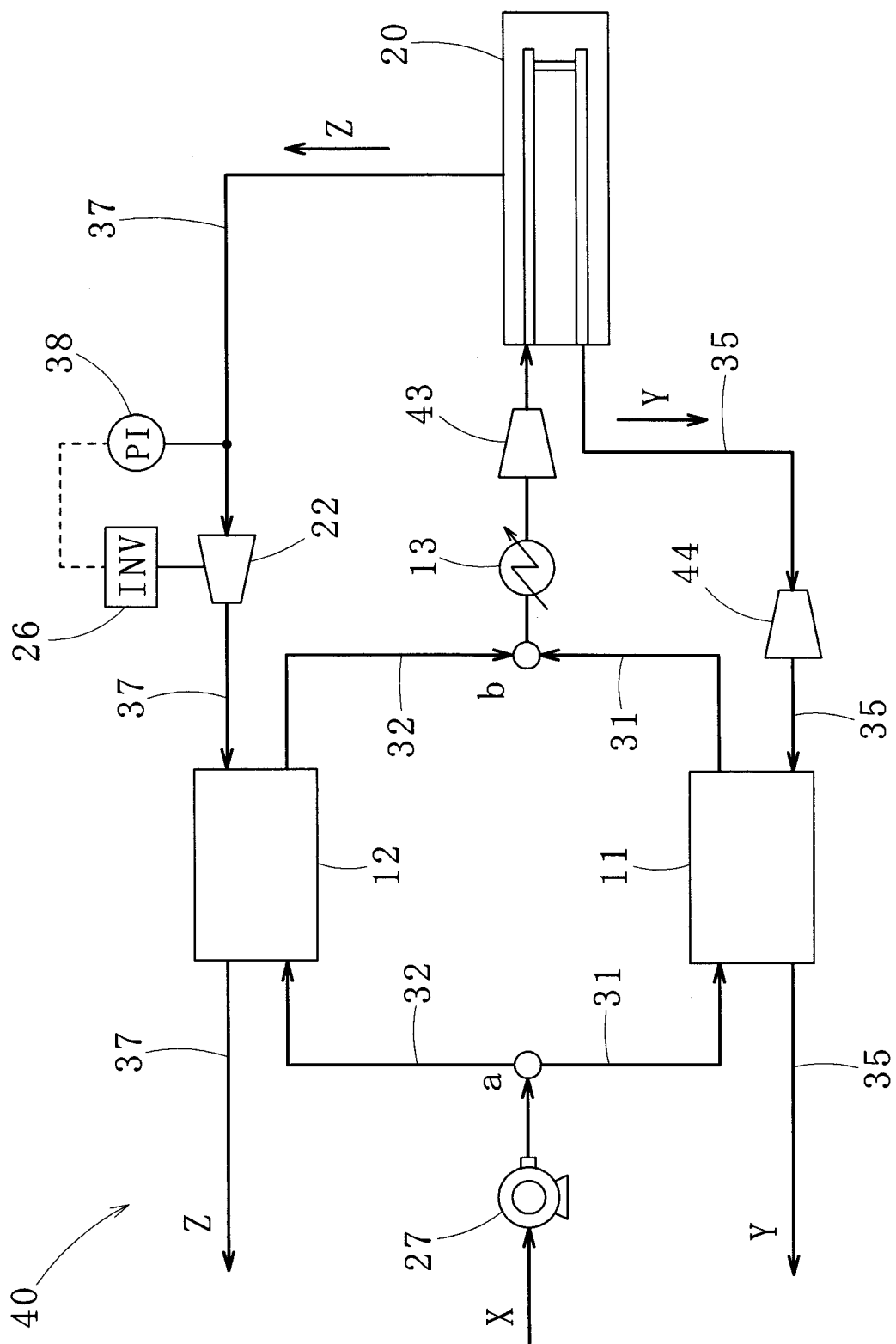
、それぞれ前記工程  $\varepsilon$  にて膨張した前記流体  $Y$  及び前記工程  $\gamma$  にて昇温及び昇圧された前記流体  $Z$  と熱交換して加熱され、再度合流して断熱圧縮され、前記膜分離器に供給されることを特徴とする膜分離方法。

[図1]

&lt;1&gt;

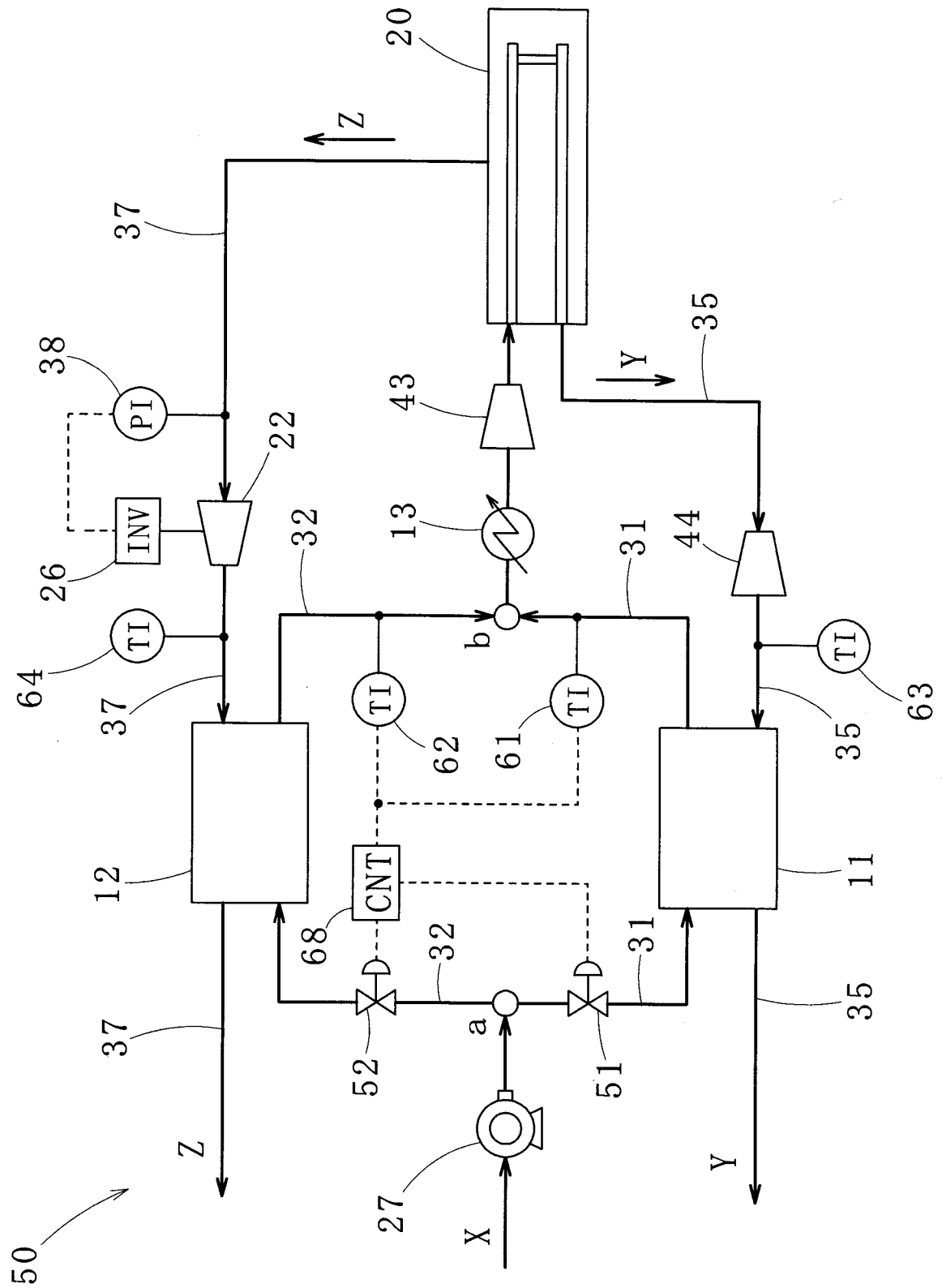


〈2〉



[図3]

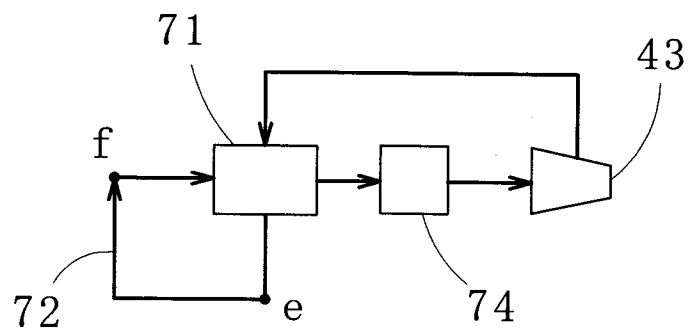
&lt;3&gt;





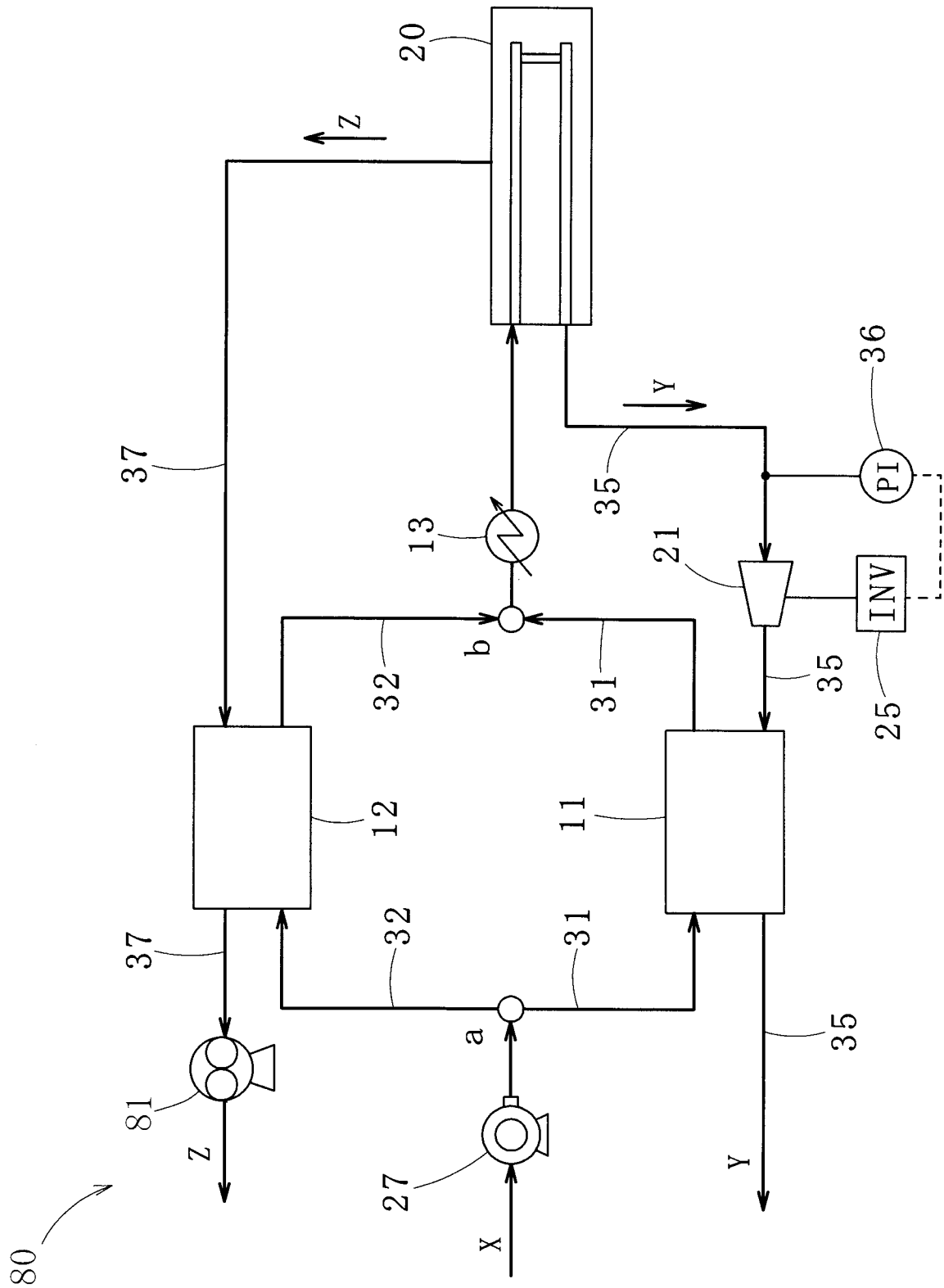
[図5]

&lt;5&gt;

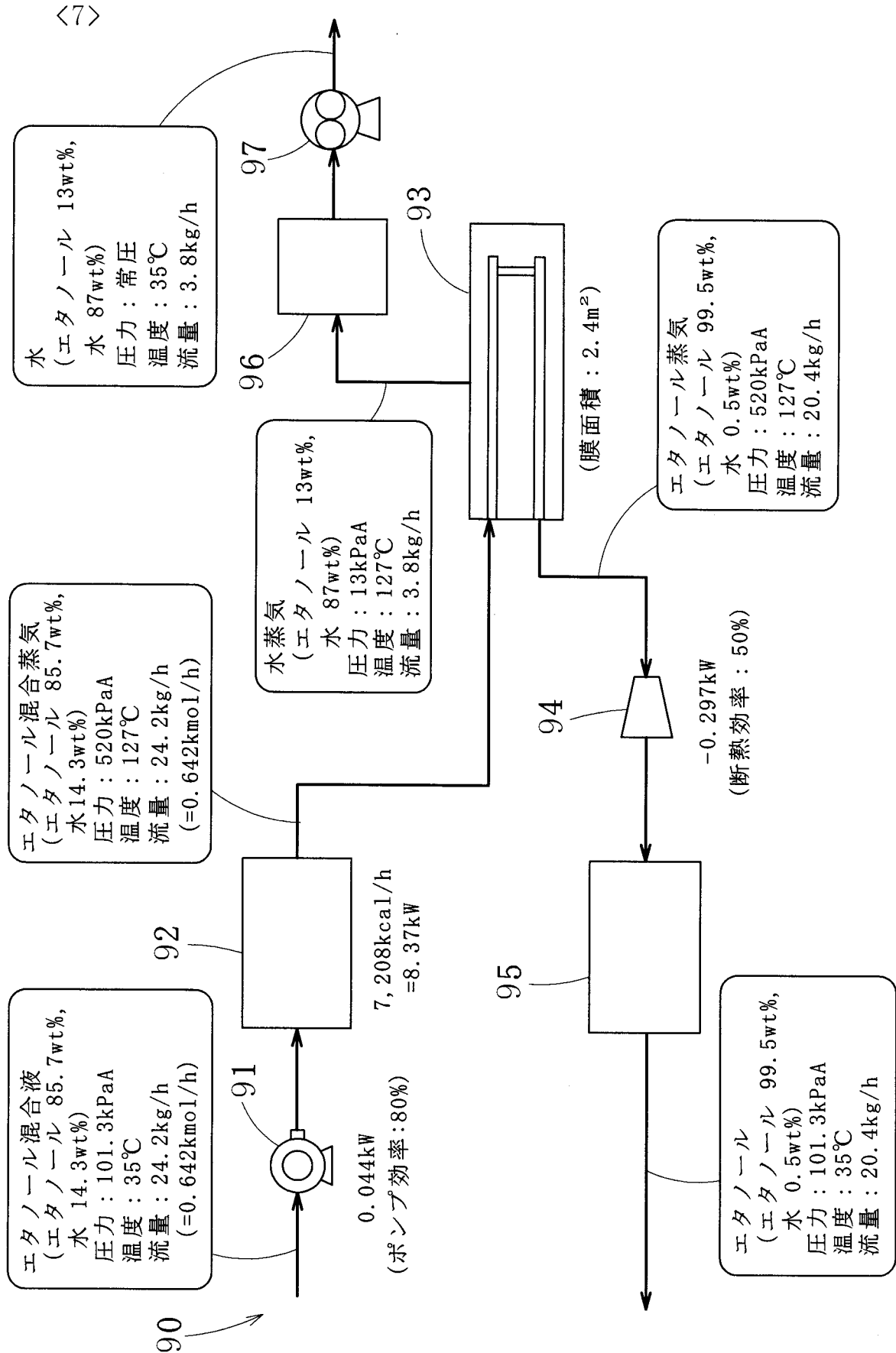


[図6]

&lt;6&gt;

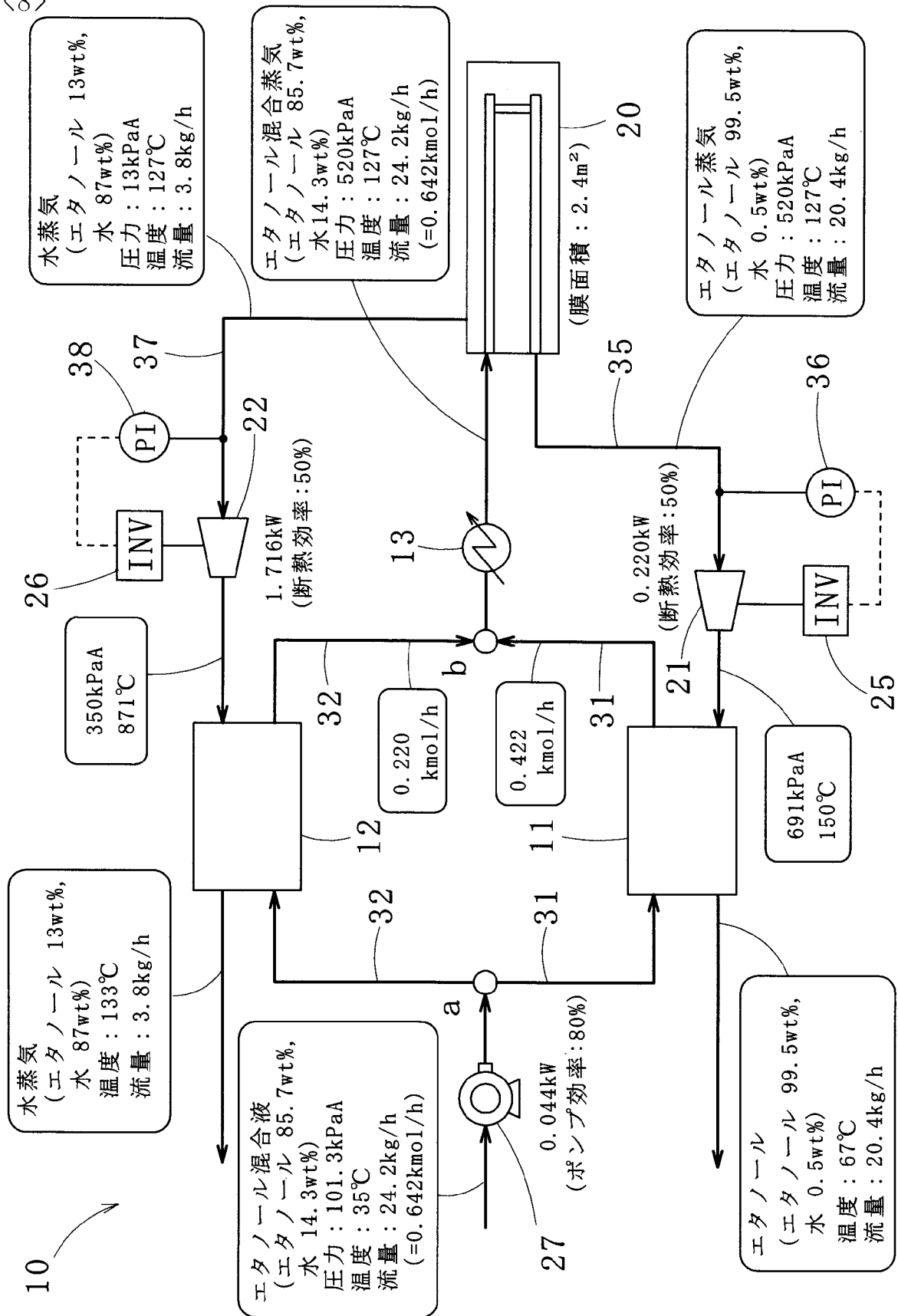


[図7]



[図8]

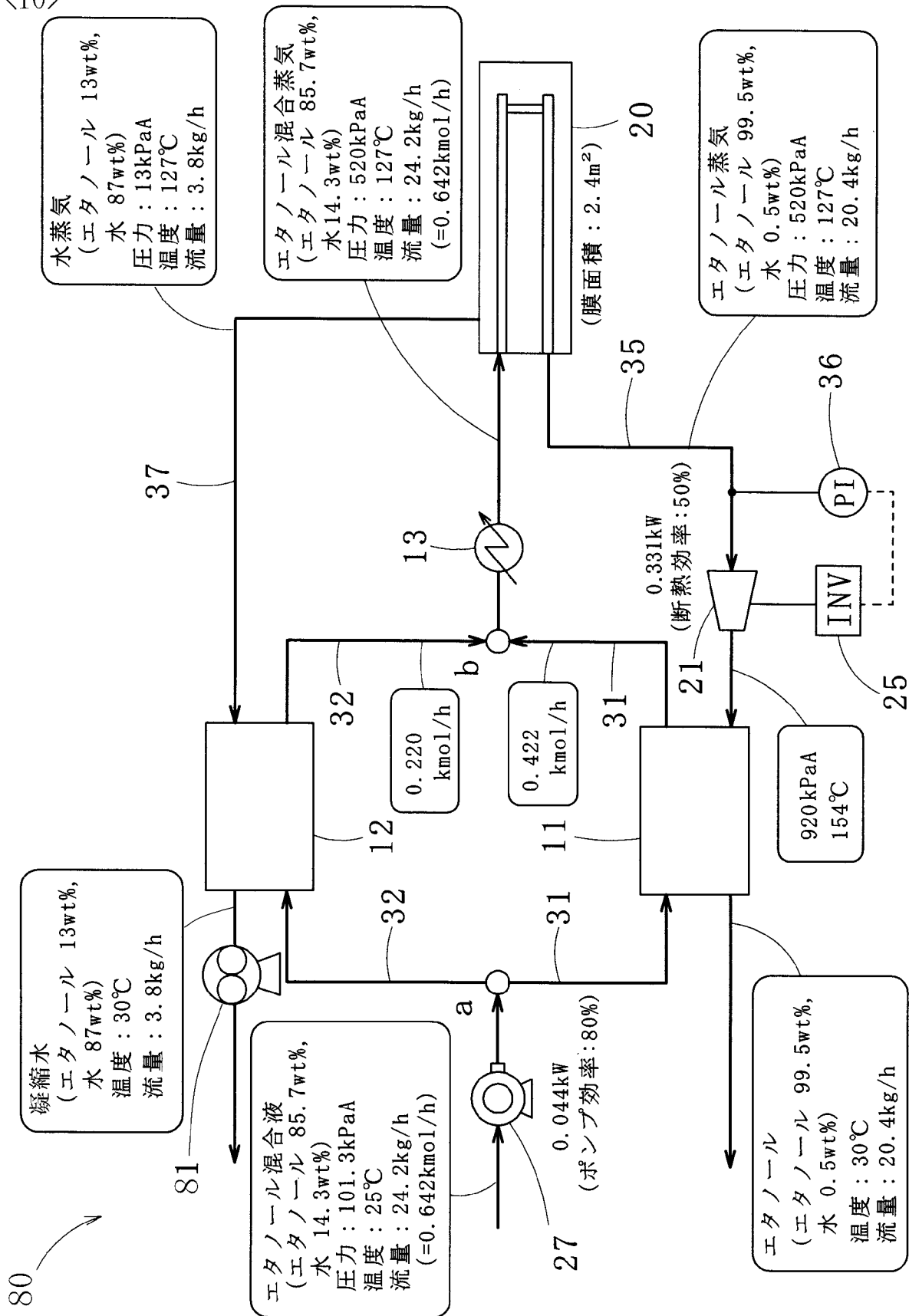
&lt;8&gt;





[図10]

&lt;10&gt;



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/004306

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B01D61/36(2006.01) i, B01D71/02(2006.01) i, B01D71/64(2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

B01D53/22, 61/00-71/82

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2011

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2011 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2011

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

WPI

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                                                  | Relevant to claim No. |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| A         | WO 2009/48335 A1 (EPCON ENERGY & PROCESS CONTROL A/S),<br>16 April 2009 (16.04.2009),<br>claim 1; fig. 2<br>& JP 2011-502960 A & EP 2209541 A<br>& KR 2010-068488 A | 1-17                  |
| A         | JP 2010-36056 A (Chiyoda Corp.),<br>18 February 2010 (18.02.2010),<br>claim 1; fig. 1<br>(Family: none)                                                             | 1-17                  |
| A         | JP 7-227517 A (Nisso Engineering Co., Ltd.),<br>29 August 1995 (29.08.1995),<br>claim 1; fig. 1<br>(Family: none)                                                   | 1-17                  |



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

05 October, 2011 (05.10.11)

Date of mailing of the international search report

25 October, 2011 (25.10.11)

Name and mailing address of the ISA/

Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                 |                                                       |                                                                                                                                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））<br>Int.Cl. B01D61/36(2006.01)i, B01D71/02(2006.01)i, B01D71/64(2006.01)i                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                 |                                                       |                                                                                                                                 |
| B. 調査を行った分野<br>調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））<br>Int.Cl. B01D53/22, 61/00-71/82                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                 |                                                       |                                                                                                                                 |
| 最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの<br><div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div>           日本国実用新案公報<br/>           日本国公開実用新案公報<br/>           日本国実用新案登録公報<br/>           日本国登録実用新案公報         </div> <div>           1 9 2 2 - 1 9 9 6 年<br/>           1 9 7 1 - 2 0 1 1 年<br/>           1 9 9 6 - 2 0 1 1 年<br/>           1 9 9 4 - 2 0 1 1 年         </div> </div>                                                             |                                                                                                                                 |                                                       |                                                                                                                                 |
| 国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）<br>WPI                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                 |                                                       |                                                                                                                                 |
| C. 関連すると認められる文献                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                 |                                                       |                                                                                                                                 |
| 引用文献の<br>カテゴリー*                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示                                                                                               |                                                       | 関連する<br>請求項の番号                                                                                                                  |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | WO 2009/48335 A1 (EPCON ENERGY & PROCESS CONTROL AS) 2009.04.16, 【請求項1】、図2 & JP 2011-502960 A & EP 2209541 A & KR 2010-068488 A |                                                       | 1-17                                                                                                                            |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | JP 2010-36056 A (千代田化工建設株式会社) 2010.02.18, 【請求項1】、図1 (ファミリーなし)                                                                   |                                                       | 1-17                                                                                                                            |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | JP 7-227517 A (日曹エンジニアリング株式会社) 1995.08.29, 【請求項1】、図1 (ファミリーなし)                                                                  |                                                       | 1-17                                                                                                                            |
| <input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                 |                                                       |                                                                                                                                 |
| * 引用文献のカテゴリー<br>「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの<br>「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの<br>「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）<br>「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献<br>「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願日の後に公表された文献<br>「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの<br>「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの<br>「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの<br>「&」 同一パテントファミリー文献 |                                                                                                                                 |                                                       |                                                                                                                                 |
| 国際調査を完了した日<br>0 5 . 1 0 . 2 0 1 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                 | 国際調査報告の発送日<br>2 5 . 1 0 . 2 0 1 1                     |                                                                                                                                 |
| 国際調査機関の名称及びあて先<br>日本国特許庁（I S A / J P）<br>郵便番号100-8915<br>東京都千代田区霞が関三丁目4番3号                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                 | 特許庁審査官（権限のある職員）<br>片山 真紀<br>電話番号 03-3581-1101 内線 3421 | <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">4 D</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">4 5 0 5</div> |