

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公表特許公報 (A)

(11) 特許出願公表番号

特表2012-519591

(P2012-519591A)

(43) 公表日 平成24年8月30日 (2012. 8. 30)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>B O 1 D 53/62 (2006. 01)</b>	B O 1 D 53/34 1 3 5 Z	4 D 0 0 2
<b>B O 1 D 53/14 (2006. 01)</b>	B O 1 D 53/14 1 0 2	4 D 0 0 6
<b>B O 1 D 53/18 (2006. 01)</b>	B O 1 D 53/14 1 0 3	4 D 0 2 0
<b>B O 1 D 61/00 (2006. 01)</b>	B O 1 D 53/18 Z A B A	4 G 0 7 5
<b>B O 1 D 71/32 (2006. 01)</b>	B O 1 D 61/00	
審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 27 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号 特願2011-553969 (P2011-553969)  
 (86) (22) 出願日 平成22年3月9日 (2010. 3. 9)  
 (85) 翻訳文提出日 平成23年11月8日 (2011. 11. 8)  
 (86) 国際出願番号 PCT/N02010/000093  
 (87) 国際公開番号 W02010/104402  
 (87) 国際公開日 平成22年9月16日 (2010. 9. 16)  
 (31) 優先権主張番号 61/158, 593  
 (32) 優先日 平成21年3月9日 (2009. 3. 9)  
 (33) 優先権主張国 米国 (US)  
 (31) 優先権主張番号 20092793  
 (32) 優先日 平成21年7月31日 (2009. 7. 31)  
 (33) 優先権主張国 ノルウェー (NO)

(71) 出願人 511220500  
 ノシュク インスティテュート フォル ル  
 フトフォシュクニング  
 ノルウェー エヌー 2007 キェレル  
 インスティテュートヴァイエン 18  
 (74) 代理人 110000556  
 特許業務法人 有古特許事務所  
 (72) 発明者 クヌドセン, スヴァイン  
 ノルウェー エヌー 2006 レヴァンス  
 タッド クランツヴァイエン 37  
 (72) 発明者 スクミドパウエル, ノルベルト  
 ノルウェー エヌー 1900 フェツンツ  
 フルコレン 55

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ガスを取り出すための方法およびシステム

## (57) 【要約】

ヘンリー法則定数の差が大きいことを利用して、大気と地表水、大気と沈殿物または大気と土壌など、すべての種類のポイントソース (point - source) から目標ガスを取り出す方法およびシステムが開示されている。水の中に溶けるガスの場合、ヘンリー法則定数はたとえば  $N_2$ 、 $O_2$  のような燃焼排ガスの主要成分と比較して  $CO_2$  をより多く溶解する。主な原理は、ガスを溶かし、非溶解部分を逃がし、溶解したガスを液体から取り出すことである。溶解したガスは目標ガスで濃縮されている。前もって決められているレベルの目標ガス濃度に到達するために、さらなるステップを用いることができる。

【選択図】 なし

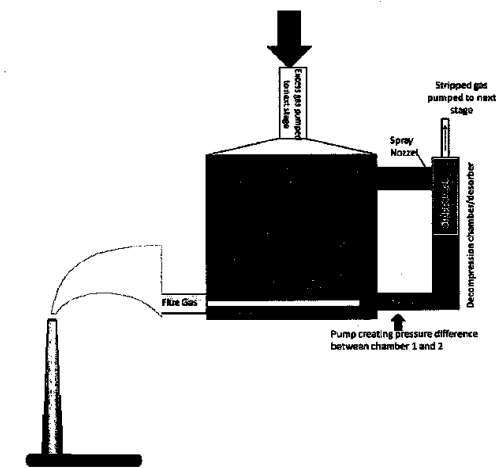


Fig 1

**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

燃焼排ガス混合物中に存在する目標ガスを取り出して濃縮する方法において、

前記燃焼排ガス混合物が、前記目標ガスに対して該燃焼排ガス混合物の中の他のガスよりも高い溶解度を有している液体を含んでいるコンテナの中へ注入されるステップ (i) と、

前記液体から溶解されたガスが取り出され、取り出された該ガスが新しいガス混合物となるステップ (ii) と、

前記新しいガス混合物が、前記目標ガスに対して前記新しいガス混合物の中の他のガスよりも高い溶解度を有している液体を含んでいるコンテナの中へ注入されるステップ (iii) とを有しており、

前記ステップ (ii) および前記ステップ (iii) が、前記新しいガス混合物の中の前記目標ガスの濃度が前記液体の中で前もって決められたレベルになるまで繰り返されることを特徴とする方法。

**【請求項 2】**

前記目標ガスが二酸化炭素であることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

**【請求項 3】**

液体が減圧されるに従って、前記目標ガスが取り出されることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

**【請求項 4】**

前記液体がたとえば海水、塩水、汽水などの水であることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

**【請求項 5】**

前記コンテナのうちの少なくとも 1 つのコンテナ内の圧力が 2 atm を超えることを特徴とする請求項 1 または請求項 2 に記載の方法。

**【請求項 6】**

少なくとも 1 つのコンテナが水中に沈められていることを特徴とする請求項 1 乃至 5 に記載の方法。

**【請求項 7】**

前記溶解プロセスまたは前記取出しプロセスを強化するために、化学薬品の追加、超音波機器、キャビテーションディスクおよび選択膜のうちの一つ以上が用いられることを特徴とする請求項 1 乃至 6 のうちのいずれかに記載の方法。

**【請求項 8】**

前記目標ガス以外のガスが段階的に取り出されることを特徴とする請求項 1 乃至 7 のうちのいずれかに記載の方法。

**【請求項 9】**

前もって決められているレベルの目標ガスを含有している前記液体が深海堆積物へ搬送されることを特徴とする請求項 2 乃至 8 のうちのいずれかに記載の方法。

**【請求項 10】**

前記二酸化炭素が再生可能資源から取り出され、後のステップで、メタノールの如きバイオ燃料を生産するために用いられることを特徴とする請求項 2 乃至 8 のうちのいずれかに記載の方法。

**【請求項 11】**

開放空気内に存在する目標ガスを取り出して濃縮する方法において、

前記開放空気が、前記目標ガスに対して前記開放空気の中の他のガスよりも高い溶解度を有している液体を含んでいるコンテナの中へ注入されるステップ (i) と、

前記液体から溶解されたガスが取り出され、取り出された前記ガスが新しいガス混合物となるステップ (ii) と、

前記新しいガス混合物が、前記目標ガスに対して前記新しいガス混合物の中の他のガスよりも高い溶解度を有している液体を含んでいるコンテナの中へ注入されるステップ (i

10

20

30

40

50

i i ) とを有しており、

前記ステップ i i ) および前記ステップ i i i ) が、前記新しいガス混合物の中の前記目標ガスの濃度が前記液体の中で前もって決められたレベルになるまで繰り返されることを特徴とする方法。

【請求項 1 2】

燃料排ガス混合物の中に存在する目標ガスを取り出して濃縮するシステムにおいて、前記システムが、存在する他のガスよりも前記目標ガスに対して高い溶解度を有している液体を含んでいる複数のコンテナを備えており、

前記複数のコンテナが、結果的に、ガス混合物を前記複数のコンテナ、前記燃料排ガス混合物に供給するための手段、前記コンテナ内の前記ガス混合物を取り出すための手段、取り出された前記目標ガスを搬送するための手段の中へ供給するように構成されていることを特徴とするシステム。

10

【請求項 1 3】

前記液体へ化学薬品が追加されること、超音波機器が使用されること、キャビテーションディスクが使用されること、および選択膜が使用されることのうちの一つ以上を含んでいることを特徴とする請求項 1 2 に記載のシステム。

【請求項 1 4】

少なくとも 1 つのコンテナが水中に沈められていることを特徴とする請求項 1 2 乃至 1 3 に記載のシステム。

【請求項 1 5】

20

前記複数のコンテナが、バラストウォータタンク、貨物タンクおよび燃料タンクのうちの 1 つ以上であることを特徴とする請求項 1 2 乃至 1 4 のうちのいずれかに記載のシステム。

【請求項 1 6】

前記液体が水であり、前記目標ガスが二酸化炭素であることを特徴とする請求項 1 2 乃至 1 5 のうちのいずれかに記載のシステム。

【請求項 1 7】

開放空気の中に存在する目標ガスを取り出して濃縮するシステムにおいて、前記システムが、前記開放空気の中に存在する他のガスよりも前記目標ガスに対して高い溶解度を有している液体を含んでいる複数のコンテナを備えており、

30

前記複数のコンテナが、結果的に、ガス混合物を前記複数のコンテナ、前記複数のコンテナ内の前記ガス混合物を取り出すための手段、取り出された前記目標ガスを搬送するための手段の中へ供給するように構成されていることを特徴とするシステム。

【請求項 1 8】

前記二酸化炭素が再生可能資源から取り出され、後のステップで、メタノールの如きバイオ燃料を生産するために用いられることを特徴とする請求項 1 2 乃至 1 7 のうちのいずれかに記載のシステム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

40

本発明はガスを取り出す技術分野に関するものである。

【背景技術】

【0002】

CO<sub>2</sub> の有効な回収および隔離は人災である地球温暖化を抑制するための次世代の主たる課題である。水素は、将来社会の主たるエネルギー源 / エネルギーの運び手として広く議論されている。ノーベル賞受賞者であるジョージ・オラー (George Olah) は、「石油およびガスが無くなった時：メタノールの経済性 (ウィリー (Wiley)、2006 年)」という論文においてメタノールを優れた (安全性、貯蔵性) 再生可能エネルギーの運び手として使用することを提案している。カーボンニュートラルなメタノールの経済性の前提条件は、メタノールの生産に用いられる CO<sub>2</sub> が空気またはバイオマスか

50

ら取り出されるということである。ただし、移行期では、メタノールの生産に用いられる水素およびエネルギーが化石燃料に由来するものであってもよく、そのプロセスで生産される $\text{CO}_2$ が隔離されるということが必要となる条件である。

#### 【0003】

燃焼排ガスからの $\text{CO}_2$ を取り出すためのプロセスがいくつか開発されているかまたは開発中である。最も有望な方法は、吸収または化学反応により $\text{CO}_2$ を取り除くために、アルカノールアミン、冷却されたアンモニアまたはさまざまな水酸化物溶液のさまざまな水溶液を用いる方法である。吸収物質から $\text{CO}_2$ を取り出し貯蔵するためには、非常に多くの量のエネルギーを必要とし、 $\text{CO}_2$ 回収プロセスを費用のかかるものとしている。

#### 【0004】

$\text{CO}_2$ をヘンリーの法則に従って液体の中に物理的に吸収することができることは周知のことである。サイモン・シャクリー (Simon Shackley) およびクレア・ゴフ (Clair Gough) によって編集された「カーボンの回収およびその貯蔵：総合評価」(アッシュゲート (Asgate)、2006年)では、この参考図書の図3および図4を参照しながらヘンリーの法則の利用が議論されているものの、この方法は、低濃度では費用がかかりすぎるために棄却されている。高濃度では、水ではないなんらかの溶媒を用いることが示唆されている。

#### 【0005】

高圧条件下での水の使用は、アンモニア生産工場での合成ガスの生産の処理で行われている(コール・エー (Kohl A) およびニールセン・アール (Nielsen R.)) ; ガス精製、第5版、ガルフ (Gulf) 出版社、ヒューストン、1997年)。

#### 【0006】

吸収物質として水を用いることによる明白な利点が存在する。水は、安く、無毒であり、精製されたガストリームに対して化合物を新しく加えたりしない。これらのプロセス中において用いられる低温に起因して腐食が生じることはほとんどない。欠点といえば、達成可能な吸収量が比較的少ないため、他の吸収物質(たとえば、アルカノールアミン)と比較して、吸収物質が大量に必要となることである。工業除去(スクラビング)プロセスでは、通常、ガスは、非常に薄い吸収フィルムの大表面上で処理される。水と比較すると、他の吸収物質は、表面張力に対する抵抗が通常低くなっている。 $\text{N}_2$  または  $\text{O}_2$  のような他のガスが水と一緒に吸収されてしまうことは、産業除去技術におけるさらなる欠点である。大量にある排気物中の低濃度 $\text{CO}_2$ の精製を目的とするスクラブ塔を用いた従来のガス精製では、吸収物質として水は一番目の選択肢にはなっていない。

#### 【先行技術文献】

#### 【特許文献】

#### 【0007】

【特許文献1】特開2006-247486号公報

#### 【発明の概要】

#### 【発明が解決しようとする課題】

#### 【0008】

<http://www.co2captureproject.org>にあるラーズ・インゴルフ・エイド&アル (Lars Ingolf Eide&al) による報告書「 $\text{CO}_2$ 回収プロジェクト：フェーズ2：2008年中期のステータス」には、従来技術が要約されている。

#### 【0009】

このプロジェクトでは以下の技術が検討されている：

燃焼時流動接触分解装置 (Oxy-firing Fluidized Catalytic Cracker)

ケミカルループ燃焼 (Chemical Looping Combustion)

水素膜リフォーマ (Hydrogen Membrane Reformer)

膜水性ガスシフト (Membrane Water Gas Reformer)

吸収・強化水性ガスシフト ( Sorption Enhanced Water Gas Shift )

ケミカルループリフォーム ( Chemical Looping Reforming )

単一ステップ炭素除去 ( One Step Decarbonisation )

HyGenSys ( スチーム、メタンリフォーマおよびガスタービン )

これらのすべての技術における炭素回収では、収率およびエネルギー消費の点からコストが高く、場合によっては、アミンの如き環境に対して問題となりうる化学薬品が用いられる場合もあり、また、複雑な工業プロセスが含まれている。

【 0 0 1 0 】

10

したがって、ガスの回収、とくに  $\text{CO}_2$  の回収のための簡単でかつコスト効率の良好な方法およびシステムが必要とされている。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 1 】

本発明は、燃焼排ガス混合物または空気中に存在する目標ガスを取り出して濃縮するための方法およびシステムに関するものである。

【 0 0 1 2 】

燃焼排ガス混合物は、目標ガスに対して当該燃焼排ガス混合物の中の他のガスよりも高い溶解度を有している液体の中へ注入され、溶解されているガスが、液体から放出され、放出されたガスが新しいガス混合物となる。この新しいガス混合物が、目標ガスに対して当該新しいガス混合物の中の他のガスよりも高い溶解度を有している液体を含んでいるコンテナの中へ注入され、次いで、これらのステップが、新しいガス混合物中の目標ガスの濃度が液体の中で前もって決められたレベルになるまで繰り返される。

20

【 0 0 1 3 】

このようにして、燃焼排ガスを大量の水の中に吹き込むことによって、発電所からたとえば  $\text{CO}_2$  を効率的に回収することが可能となる。

【 0 0 1 4 】

燃焼排ガスの組成は  $\text{N}_2$ 、 $\text{O}_2$  および  $\text{CO}_2$  を含んでおり、また、これらのガスは非常に異なる溶解度を水に対して持っている。

【 0 0 1 5 】

30

正常な大気条件および 25 の下では、周辺空気は、約 79 % の  $\text{N}_2$  と、21 % の  $\text{O}_2$  と、0.038 % の  $\text{CO}_2$  とを含んでいる。このような大気に接して平衡状態にある  $1 \text{ m}^3$  水は、約 15 リットルの溶解ガスを含んでおり、その組成は、73 % の  $\text{N}_2$ 、25 % の  $\text{O}_2$ 、1.7 % の  $\text{CO}_2$  である。これらの溶解ガスは、たとえば圧力を下げることにより取り出されて「新しいガス混合物」となり、この混合物が第二のステップで水と接触させられる。この第二のステップでは、 $1 \text{ m}^3$  の水は 27 リットルのガスを含んでおり、その組成は、36.6 % の  $\text{N}_2$ 、16 % の  $\text{O}_2$ 、47.3 % の  $\text{CO}_2$  である。第三のステップでは、5 リットルの  $\text{N}_2$  および約 3 リットルの  $\text{O}_2$  と比べて、360 リットルもの  $\text{CO}_2$  が溶解していることになる。

【 0 0 1 6 】

40

4 % の  $\text{CO}_2$  を含んでいる燃焼排ガスに効果的に晒されている  $1 \text{ m}^3$  の水は、平衡状態では 45 リットルの溶解ガスを含んでいる。第一のステップでの最大  $\text{CO}_2$  濃度は、15 倍である 66 % の  $\text{CO}_2$  となる。

【 0 0 1 7 】

気体の溶解度は水温を下げるに従って高くなる。4 では、水に対する  $\text{CO}_2$  の溶解度は 25 に比べて 2 倍となる。ヘンリーの法則は、数バール ( bar ) の気圧までほとんどのガスに対して有効である。したがって、圧力を 1 バールの上げると、水に溶解するガスの量は 2 倍となる。

【 0 0 1 8 】

このプロセスの主たる原理は以下のとおりである：

50

たとえばキャビテーションにより形成される泡ストリームまたは小さな泡が、ガスと水との接触を効率的なものとし、ガス吸収、乱流デバイスなどの速度および効率を向上させる。用途によっては、それに加えて、スプレー吸収または大きな濡れ表面がさらに適用される場合もある。

溶解していないガスの放出。このガス混合物は後のステップで利用することができる。

たとえば分圧を下げることで、準大気圧を利用すること、超音波を利用すること、ラシリング、ナノ表面もしくはナノ粒子のような広い表面を用いることにより水から溶解ガスを取り出す。分圧を下げることによるガス抜きスピードは、さまざまな割合（速度）をとる。空気に晒されている水の場合、 $N_2$ のガス抜きは $O_2$ よりも速いし、 $O_2$ のガス抜きは $CO_2$ よりも速いものとなる。目標ガスの濃度をさらに濃縮するために、このプロセスを用いることができる。

10

#### 【0019】

ある濃度に到達するまで、このプロセスを連続したステップとして繰り返すことができる。この回収プロセスは、圧力差を利用したものであり、また、超音波、膜、圧力交換器または添加剤のような通常の工業プロセスも利用するようにしてもよい。

#### 【0020】

本発明の利点のうちのいくつかは次のものである：

低価格コンテナ内で水が大量に用いられる。これは、非常に高い精製収率（90%を超える）を目標としたものではない。

通常の工業除去（スクラビング）プロセスで問題となる溶解熱は、ある量のガスが大量の吸収剤に溶かされるような場合には対処がより簡単である。

20

このプロセスでは、さまざまな要件に応じた調製のためのスケールアップまたはスケールダウンを容易に行うことができる。少量廃棄物に適した小規模な装置をプレハブ様式で生産したものを、モジュール方式で結合させて大規模な装置にすることができる。

複数のバイオマス燃焼プロセスから取り出された $CO_2$ については、取り出された $CO_2$ の各量は、その個々のプロセスの効率とは関係なく、気象変動の軽減に対して積極的に貢献するものである。

$CO_2$ は、空気または水（海洋、地表水）から直接に、または、大きなポイントソース（point-sources）、化石燃料エネルギー設備もしくはバイオマスエネルギー設備、主要 $CO_2$ 排出産業の如き工業プロセスからの燃焼排ガスから取り出すことができる。主要 $CO_2$ 排出産業には、たとえばセメント工場、精製所、天然ガス処理所、合成燃料プラント、化石燃料を用いたエネルギー生産所、水素生産工場が含まれる。また、 $CO_2$ は、船舶またはトラックの如き大型移動搬送手段からも取り出すことができる。埋立て地、堆肥化プロセスもしくは発酵プロセスにおいて発生した $CO_2$ は、気相からまたは流出水から取り出すことができる。また、 $CO_2$ は、駐車用ガレージもしくは構想ビルの如き建物または道路のトンネルの換気システムから取り出すことができる。

30

本発明について説明するために $CO_2$ が用いられたが、当業者にとって明らかなように、本発明は、空気または燃焼排ガスの如きガス混合物中の他のガス（たとえば、 $SO_2$ 、 $N_2O$ および $NO_2$ ）に対して、液体（水）中で $CO_2$ と同等のヘンリー法則定数を有するすべてのガスに用いることができる。

40

本発明ほとんどの実施形態において、液体とは水のことであった。しかしながら、既知のスクラビング用の液体、および、添加物を含有した海水の如き水を含む他の液体を用いることもできる。また、この液体は、スプレーの形態を有していてもよいし、または、エアロゾルの形態を有していてもよい。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0021】

【図1】本発明にかかるプロセスを示す概略図である。

【図2】燃焼排ガスがマニホールドまたはキャビティディスクを経由してチャンバ1の中へ吹き込まれ、チャンバを通して上昇し、タンクのトップから取り出されるようになっているシリンダソリューションを示す図である。

50

【図 3】水の中に沈められたループソリューションを示す図である。

【図 4】燃焼排ガスがチャンバの底部の中に圧送されることを示す図である。

【図 5】ポンプが液体をループ内で循環させ、液体が膜に晒され、この膜が水を通さないでガスを通させることを示す図である。

【図 6 a】本発明にかかるシステムが水平に配置された複数のループチャンバであることを示す図である。チャンバの容積は同一のスケールで示されていない。

【図 6 b】本発明にかかるシステムが水平に配置された複数のループチャンバであることを示す図である。チャンバの容積は同一のスケールで示されていない。

【図 7】図 1 ~ 図 5 に記載のさまざまなソリューションをアレイ状に配列させて相互に作用させることができることを示す図である。

10

【図 8】 $\text{CO}_2$  が部分的に取り除かれた燃焼排ガスの再注入を示す図である。

【図 9】上昇する空気泡の速度が下方に向けて流れるストリームによって部分的に相殺されるシステムを示す図である。

【図 10】温度に代えて圧力のみを用いて行なわれる、温度蒸留のように段階的に液体中のさまざまなガスを分離するために用いられる段階的回収を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0022】

ヘンリーの法則は、一定の温度では  $P = k_H \times c$  と書くことができる。この式で、 $p$  が溶質の分圧であり、 $c$  が溶質の濃度であり、 $k_H$  が、圧力を濃度で割った次元を有する定数である。ヘンリーの法則定数として知られている定数は溶質、溶媒および温度に依存する。298 ケルビン (25 ) で水に溶かされたガスに対する  $k_H$  の値 ( $\text{L} \cdot \text{atm} / \text{mol}$  の単位) は次のとおりである。

20

$\text{O}_2$  : 770

$\text{CO}_2$  : 29

$\text{H}_2$  : 1280

$\text{N}_2$  : 1640

$\text{NO}_2$  : 25 ~ 80

$\text{N}_2\text{O}$  : 41

$\text{CH}_4$  : 770

$\text{SO}_2$  : 0.8

30

$\text{H}_2\text{S}$  : 10

理想気体の混合物では、ドルトンの分圧の法則が適用される。この法則は、「ガス状混合物によって生じる全圧はそのガス混合物中の個々の成分の分圧の合計と等しい」と述べている。これは、空気または燃焼排ガスに適用することができる。

【0023】

液体として水を用いた場合、ヘンリーの法則によれば次のことがいえる。「一定の温度では、あるタイプおよび容積の液体に溶かされたあるガスの量はその液体と平衡にあるそのガスの分圧に正比例する。」

$\text{CO}_2$  のヘンリーの法則定数は、空気または燃焼排ガスの中のその他のガスのものよりも一桁小さいので、他のガスよりも比較的多くの  $\text{CO}_2$  が水に溶け、これによって気相から  $\text{CO}_2$  を激減させることとなる。

40

【0024】

厳密に言えば、溶媒が溶解ガスと化学的に反応しない溶液にしかヘンリーの法則を適用することができないにもかかわらず、ほとんどの  $\text{CO}_2$  が溶解分子のままであり、1000 の数の  $\text{CO}_2$  分子のうちの 1 つの分子しか炭酸に変換されないため、ヘンリーの法則を適用することができる。触媒のない状態では、平衡に到達する速度はかなりゆっくりとしたものである。正反応 ( $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$ ) の速度定数は  $0.039 \text{ s}^{-1}$  であり、逆反応 ( $\text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ) の速度定数は  $23 \text{ s}^{-1}$  である。

【0025】

目標ガスが取り出されるガス混合物は、燃焼排ガスであってもよいし、空気であっても

50

よいし、地表水（海洋、湖、川）からまたは土壌、埋め立て地、堆肥化工程／発酵工程のような地表面からの脱ガスであってもよい。

【0026】

ガス発電所からの燃焼排ガスは、主として  $N_2$ 、 $O_2$ 、水蒸気、および 4 % 以内の  $CO_2$  から構成されている。水の中に導入されると、ある時間の後、ガスと液体とが平衡状態になる。ガス混合物中のガスの相対濃度は、それらが水に溶けると変わり、低温では、より多くのガスを溶かすことができる。圧力が 2 倍になると、溶かすことができるガスの量も 2 倍となる。

【0027】

周囲の空気中での  $CO_2$  の混合比は、0.04 % である。周囲の空気に晒されている水に溶かされた  $CO_2$  の混合比は、ヘンリーの法則により 1.7 % である。 $CO_2$  の混合比が 4 % である燃焼排ガスの場合には、上記に対応する  $CO_2$  の混合比は 66 % である。

【0028】

ガスが溶けるための必要条件は、ガス混合物と水との間の接触時間が十分に長いこと、または接触面が十分に広いことである。接触面を増やす現実的な解決策は泡のストリームとしてガスを溶かすことである。流体の動粘性率により、一般的に小さな泡は大きな泡よりもゆっくりと上昇する。泡のサイズは、上昇時にガスが取り入れられるに従って変わる。

【0029】

半径が 0.5 mm 未満の泡の場合、速度は次の式によって推定される：

$$V = 1 / 3 \quad r^2 \quad g / n$$

この式では、 $r$  は泡の半径であり、 $g$  は重力加速度であり、 $n$  は流体の動粘性率である。水の場合、 $0.011 \text{ cm}^2 / \text{s}$  である。

【0030】

大きな泡の場合、ガスと流体との間の境界層内での相互作用のため、式は次のとおりである：

$$v = 1 / 9 \quad r^2 \quad g / n$$

半径が 0.5 cm 以上の泡の場合、泡は平坦になり、粘性はあまり重要ではなくなり、式は次のとおりとなる：

$$v = 2 / 3 \quad \sqrt{r} \quad t \quad (g / R)$$

ここで  $R$  は、泡の球体の頂部の曲率半径である。このような大きな泡の場合、比較的小さな泡がより速く上昇することとなる。

【0031】

次いで、取り入れられるスの量は、泡のサイズ、およびそれらの泡が流体と接触していた時間により求められる。次いで、泡の理想的なサイズを推定するために上述の式が用いられてもよい。

【0032】

吸収チャンバの頂部に到達する空気および燃焼排ガスは、外気中に逃がされてもよいし、海中に逃がされてもよいし、燃焼プロセスに戻されてもよいし、または取り出しプロセスの次のステージに送られてもよい。

【0033】

具体的にいえば、 $CO_2$  は、ガスとして、またはガスを含んでいる水として搬送することができる。次いで、この水は、貯蔵されてもよいし、または工業プロセスで用いられてもよい（深海堆積物、油井、または鉱物炭化プロセスへ圧送される）。

【0034】

溶解プロセスまたは取り除きプロセスを強化するために、液体の表面張力を変える化学添加物が用いられてもよいし、または、超音波機器もしくは選択膜が用いられてもよい。

【0035】

海中では、表面または陸上よりも当然圧力が高く、温度も低いので、海中コンテナが用いられてもよい。また、圧力差を生じさせるのも簡単である。また、コンテナの内外の圧

10

20

30

40

50



力が同程度なので構造物はそれによる恩恵をこうむりうる。たとえば、コンテナを膜から形成し、ループ内に水を循環させ、 $\text{CO}_2$ を回収および排出するようにすることができる。

【0036】

コンテナの構築に加えて、フィヨルド、湖、川、谷または天然の洞窟の如き天然の形成物または水塊も存在していると考えられる。これらに水ループを設置してもよいしまたは水塊それ自体を第一の混合チャンバとして用いてもよい。次いで、減圧チャンバの中へと回収されるようにしてもよい。

【0037】

ガス抜きは、単に分圧を下げることににより開始することができる。また、液体からガスを取り出すための方法は他にもあり、たとえば、構造または化学組成による適切な表面を備えた粒子で攪拌またはシーディング (seed ing) することが挙げられる。ベンチュリまたはキャピテーションチャンバを用いることもできる。これらの方法は、 $\text{CO}_2$ 回収のための他の方法と比較して、エネルギーをほとんど用いない。

【0038】

典型的なガス発電所 (400 MW) では、1年間で100万トンの $\text{CO}_2$ が放出されるだろう。排気物の量は、約 $430 \text{ m}^3 / \text{s}$ であり、4%の $\text{CO}_2$ を含んでいる。 $\text{CO}_2$ を回収するための水の量は、298 Kで、大気圧下で、約 $500 \text{ m}^3 / \text{s}$ になる。これは、大きな水力発電タービンの水流量と同等である。しかしながら、温度を下げかつ圧力を上げることにより、この $500 \text{ m}^3 / \text{s}$ という量を著しく削減することができる。

【0039】

溶解度の高いガスは、溶かすのは簡単だが、回収するのは難しい。また、その逆も正しい。ヘンリーの法則定数の差が大きいガスの溶解プロセス中およびそれらのガスの回収プロセス中、目標ガスに有利に働くように、非平衡状態を用いるようにしてもよい。

【0040】

図1は本発明にかかるプロセスを示す概略図である。このプロセスでは、燃焼排ガスが溶解チャンバの中に導入され、溶解しなかったガスが大気中へ放出されるようになっている。 $\text{CO}_2$ が濃縮されているガスは、貯蔵部へ送られてもよいし、またはさらなる処理工程に送られてもよい。このガストリームは、空気中に換気されてもよいし、燃焼プロセスのために空気流入口に送られてもよいし、または新しい濃縮ユニットの中に送られてもよい。

【0041】

図2には、シリンダソリューションを備えた実施形態が示されている。この実施形態では、燃焼排ガスがチャンバを通して、マニホールドまたはキャピティディスクを経由してチャンバ1の中に吹き込まれ、チャンバ内を上昇し、タンクの頂部から取り出される。このキャピティディスクは、特許出願第EP 2 125 174 A 1号に記載され超音波システム有限公司 (Ultrasonic Systems GmbH) により販売されているものに類似しているものであってもよいし、またはSU 1 240 439 A 1からのものに類似しているものであってもよい。液体はノズルを通して取り出されるようになっている。駆動圧は、ポンプが水をチャンバ2からチャンバ1の中へ圧送してチャンバ2内に低圧を生じさせることにより形成されるようになっている。この低圧は、チャンバ2の中に水を圧送するノズル内の絞りに起因するものである。 $\text{CO}_2$ が濃縮された回収ガスは圧送されて貯蔵される。 $\text{CO}_2$ の含有量が仕様に合っていない場合には、ガスは、さらに濃度を増大させる同様のステップを繰り返すことができる。この構造物は、水に沈めるようにしてもよいし、または、陸上に構築してもよい。

【0042】

図3には、ループソリューションが水の中に沈められた他の実施形態が示されている。液体がループ中を流れており、燃焼排ガスが約20~30mの深さで液体の中へ吹き込まれる。ループは、当該ループ内のわずかに過剰な圧力によって当該ループが膨張するように可撓性のある材料から製造されていることが必要である。この液体は循環するようになしてある。ループはディゾーバ (desorber) を有している。このディゾーバでは

10

20

30

40

50

、圧力が低く、かつガスを放出して貯蔵するためまたはさらなる処理を行うために圧送することができる表面近くまで水を上昇させることにより圧力を下げるようになしてある。

【0043】

図4には、変動圧力を用いることが示されている。燃焼排ガスはチャンバの底部に圧送されている。吸収されなかったガスは、さらなる吸収のために次のステップに移動されてもよいしまたは空気中に放出されてもよい。液体がガス飽和点に達すると、燃焼排ガスが止められ、ポンプを用いてチャンバ内の圧力が下げられ、溶解ガスが放出される。このガスは、貯蔵するために圧送されてもよいし、または、濃度をさらに上げるための同様のステップを繰り返えされるようにしてもよい。次いで、このプロセスが繰り返される。

【0044】

図5には、本発明にかかるプロセスが図1に記載のプロセスに類似している他の実施形態が示されている。違いは、液体を低圧力ゾーンの中に導入することに代えて、ポンプが液体をループの中で循環させ、ガスは通過させるが水は通過させないという膜に液体を晒すようになしてあることである。気相が低圧側となっている。低圧はポンプによって維持されている。

【0045】

図6aには、一連のチャンバを備えているシステムが示されており、このシステムでは、1つのチャンバが、図6bに記載されているように、より低い濃度のチャンバに鉛直方向に沿って接続されている。図6aの断面図に示されているように、チューブは半分が液体で満たされ、半分が燃焼排ガスで満たされている。燃焼排ガスは水と混じり合っている。水は、部分的にガス透過性の膜で覆われている。液体はループを回って流れる。膜の上は、低圧に維持されている。燃焼排ガスはより低いステージに吹き込まれるようになしてある。 $\text{CO}_2$ はさらなる処理工程に圧送され、 $\text{CO}_2$ 含量が低くなっているガスは空気中へ放出される。相互に積み重ねられたチャンバの数は、 $\text{CO}_2$ の目標濃度に応じて決められる。ステージ2およびステージ3のチャンバのサイズは、目標ガスの溶解度が高く、得られる濃度比が大きいいため、約10～50倍程度小さくなる。(図面では、チャンバの容積は同一スケールでは示されていないことに留意されたい)

図7では、相互に作用し合って大量のガスを処理しかつ必要な濃縮を達成するために、図1～図6に記載のさまざまなソリューションをどのようにアレイ状に配設することができるかが示されている。

【0046】

図8では、石炭発電所からの燃焼排ガスが殆どまたは全く $\text{N}_2$ を含んでいないことが示されている。 $\text{CO}_2$ の混合比は16%にもなることがある。酸素で石炭を燃やす発電所では、含有酸素をできる限り活用するために複数回排気をリサイクルすることが多い。リサイクルとリサイクルとの間で燃焼排ガスを処理すると、プラントの効果を増強することができる。というのは、処理チャンバからの排気物は $\text{CO}_2$ の値を下げ、 $\text{O}_2$ レベルを上げるからである。

【0047】

好ましい実施形態では、本発明にかかるシステムは、天然の水塊の中に沈められるかまたは陸上の貯水池に沈められ、多段プロセスを形成するために接続されている複数のコンテナからなっている。これらのコンテナには、通常 $430\text{ m}^3/\text{s}$ の燃焼排ガスを含んでいるパイプラインからの燃焼排ガスが供給されている。

【0048】

他の実施形態では、本発明にかかるシステムは、空気中から $\text{CO}_2$ を取り入れるようになっている。初期ステージでは、寸法が大きくよりコストがかかるので、 $\text{CO}_2$ の取り込みは非効率であるものの、後のステージでは、取り込みを向上することが可能となる。

【0049】

空気から取り込む場合、このプロセスからのいかなる排気物も問題とはならない。

【0050】

10

20

30

40

50

図 9 には、所望の溶解速度およびチャンバサイズを最適化するために、上昇する空気泡の速度が下方に向かうストリームによって部分的に相殺 (counter balanced) されるようになしてあるシステムが示されている。これは、空気中に直接の回収排気ガスを放出する単段式システムである。このデバイスは、先に記載の他のシステムから搬送される前の段階で既に濃縮されているガス混合物 (たとえば、10%を超える  $\text{CO}_2$  濃度) の最終濃縮用の最終ステップとして働きうる。水は、エネルギー消費量が低い循環ポンプによって搬送される。

#### 【0051】

図 10 には多段式回収法が示されている。ガスの溶解度の差のために、異なるガスは異なる圧力で泡を発生するので、これらのガスは、温度蒸留の場合とは異なり圧力降下の差を利用して取り出される。

10

#### 【0052】

他の実施形態では、本発明にかかるシステムは、海水に既に溶けている  $\text{CO}_2$  を取り出すようになしてある。この実施形態は、波力を使用して液圧により駆動されるシステムを含みうる。2つのピストンを有しているコンテナが、水で満たされ、水面の真下に沈められている。波力は最上部のピストンを駆動するために用いられ、第二のピストンは、深いところ、たとえば30mのところにある、 $\text{CO}_2$  濃度が約  $1.5 \text{ g/m}^3$  である水を汲み上げる。次いで、この水は表面とこの深い位置との間を循環する。年間150万の波があつて、波高が1mである場合、これは、ポンプ容積の単位  $\text{m}^3$  当たり2トン以上の  $\text{CO}_2$  に相当する (ノルウェー海の平均は3mである)。ガスは、主として圧力差により取出しが行われ、プロセスの次のステージへと圧送することができる。深いところからの冷水が水面で放出され、その後、 $\text{CO}_2$  が豊富な地表水が再び底まで運ばれる。取出しが行われた空気は、周辺空気の  $\text{O}_2$  含有量よりも約2倍だけ高い  $\text{O}_2$  含有量を有している。この空気がガス発電所によって用いられると、燃焼プロセスはより効率的なものとなる。燃焼排ガスの組成の点から利点が他にもいくつかある。

20

#### 【0053】

他の実施形態では、本発明にかかるシステムは、パイプラインによって搬送された発電所からの排気ガスを沖合の場所に供給するようになしてある。波により動力が供給される液圧式システムは、排気物を圧縮して、その排気物を図9に記載のようなシステムの中へ供給する。また、波により動力が供給される液圧式システムは、逆ストリームの水をガスインジェクションへ圧送する。再生可能エネルギーである波を用いた空気ポンプの一例として、空気を圧縮するために波動エネルギーを用いたものがUS7391127に開示されている。しかしながら、このようなポンプは、再生可能エネルギーを作るように設計されているものの、排気物からの  $\text{CO}_2$  を取り出すようには設計されていない。

30

#### 【0054】

他の実施形態では、フィヨルドの入口が用いられている。フィヨルドは、天然の貯槽であり、入口を横切った圧力の差を用いることができる。

#### 【0055】

燃焼排ガスが、水力電気発電所で用いられている高高度にある貯槽または湖へ圧送されてもよい。次いで、取り出されたガスを含んでいる水が、液圧式タービンに繋がるパイプラインの中に供給される。液圧式タービンでは、水がタービンに当たる動作により  $\text{CO}_2$  が放出される。タービンは、システムの頂部に配設されてもよいので、この場合、ガスは、パイプラインから泡として放出される。1つ以上の中間貯槽が配設され、複数のステージが形成されている。

40

#### 【0056】

海上を航行する船舶にとってとくに役に立つ2つの実施形態では、約13%の  $\text{CO}_2$  を含んでいる燃焼排ガスは、以下のうち1つ以上を用いて、本発明にかかるシステムの中に供給される。

1. バラスト用ウォータタンク。これは、燃焼排ガスからの  $\text{CO}_2$  の取出しを微生物および藻類の削減または死滅と組み合わせる。

50

2.今日の窒素系のシステムに代えて、取り出した $\text{CO}_2$ を炭化水素上のカーペットとして用いることで、貨物および燃料タンクを取り出した $\text{CO}_2$ の貯蔵目的で用いることができる。

【0057】

同一のシステムで、さらに $\text{NO}_x$ および粒状物質を取り出すことができる。搭載されるシステムは、燃料電池向けのメタノールの生産、または水産業でもしくは他の冷却目的のために用いられうるドライアイス（冷凍 $\text{CO}_2$ ）の生産も含むことができる。

【0058】

他の実施形態では、排気物または燃焼排ガスは、数センチメートルの厚さを有する水層を備えたチャンバの中へ供給されるようになしてある。水層は膜上の位置に設けられており、この膜は、テフロン（登録商標）から形成されてもよいし、または $\text{CO}_2$ を選択的に透過させる特殊な膜から形成されてもよい。圧力は膜の水側でより高くなっており、水の中に取り込まれている $\text{CO}_2$ は、膜を透過し、膜の下方にある第二のチャンバ内に放出される。この原理は、水力発電所の貯槽からのパイプ内で用いることができるし、川、潮流に配設される構造物内で用いることができるし、圧力を変更するために波を利用するために用いることができる。このような構造物は、バイオマスの生産、たとえば、成長周期において $\text{CO}_2$ を利用するたとえば藻類または植物と組み合わせることができる。

【0059】

他の実施形態では、本発明にかかるシステムでは、ガスインジェクションのためのベンチュリを備えた1つ以上のパイプが用いられ、また、酸素および窒素が放出または取り除かれる1つ以上の大きなキャビティが用いられている。ここでの原理は、高圧下で $\text{CO}_2$ を注入して、低圧力下でその他のガスを取り除くことである。

【0060】

他の実施形態では、本発明にかかるプロセスに、燃焼排ガスへ噴霧（スプレー）されるエアロゾルの形態をとる液体を用いることが加えられている。滴の形成は、ナノ粒子状物質を用いて制御することができるので、滴のコア部分は前もって決められた形状のナノ粒子である。エアロゾルは、開放空気中またはチムニー内で用いることができる。チムニーの底部では、その圧力は、同一の高度における外部空気よりも低いので、ここでの第一のステップは1 atmよりも低い圧力で実行される。

【0061】

これらの実施形態は、取出しプロセスの1つ以上のステージにおいて、用いることもできるし、また、組み合わせることもできる。

【0062】

本発明を用いるモジュールが小スケールで具象化されており、有用なデータが得られている。リグ（rig）は、直径が約10 cmであり、高さが10 mである鉛直方向に長いチューブである。リグは75リットルの水を含んでいる。リグは、水で満たされ、底部または頂部を開け、圧力を発生させることまたは圧力を維持することができる。ガスを注入するための流入口がチューブの底にある。これは、実験室用のシリンジの80個のニードルチップを備えているデバイスである。これらのシリンジに、異なる濃度の $\text{CO}_2$ を含んだ異なるタイプのガスが供給されている。注入されたガスはチューブを上昇する。上昇中、泡が、圧力差および他の泡との衝突することによりその直径を増大する。泡のサイズは上昇速度を決定する。ガスは、泡の表面を通して水の中に吸収される。リグに充填されている水の中の泡の上昇時間は、30～40 sの間である。泡が頂部に到達すると、ガスは、リサイクルされてもよいし、または、大気中に放出されてもよい。ガスが水に十分な時間晒されると、リグの吸収ステージが終了する。

【0063】

モジュールから、ガスが容易に吸収されること、1分未満晒されると $\text{CO}_2$ 濃度が著しく低くなることが分かっている。しかしながら、 $\text{CO}_2$ ガスを水から取り出すのは難しい。このことは、主として、リグが完全に閉じた状態ではなく、また、圧力スイングを実行することができないという事実によるものである。

10

20

30

40

50

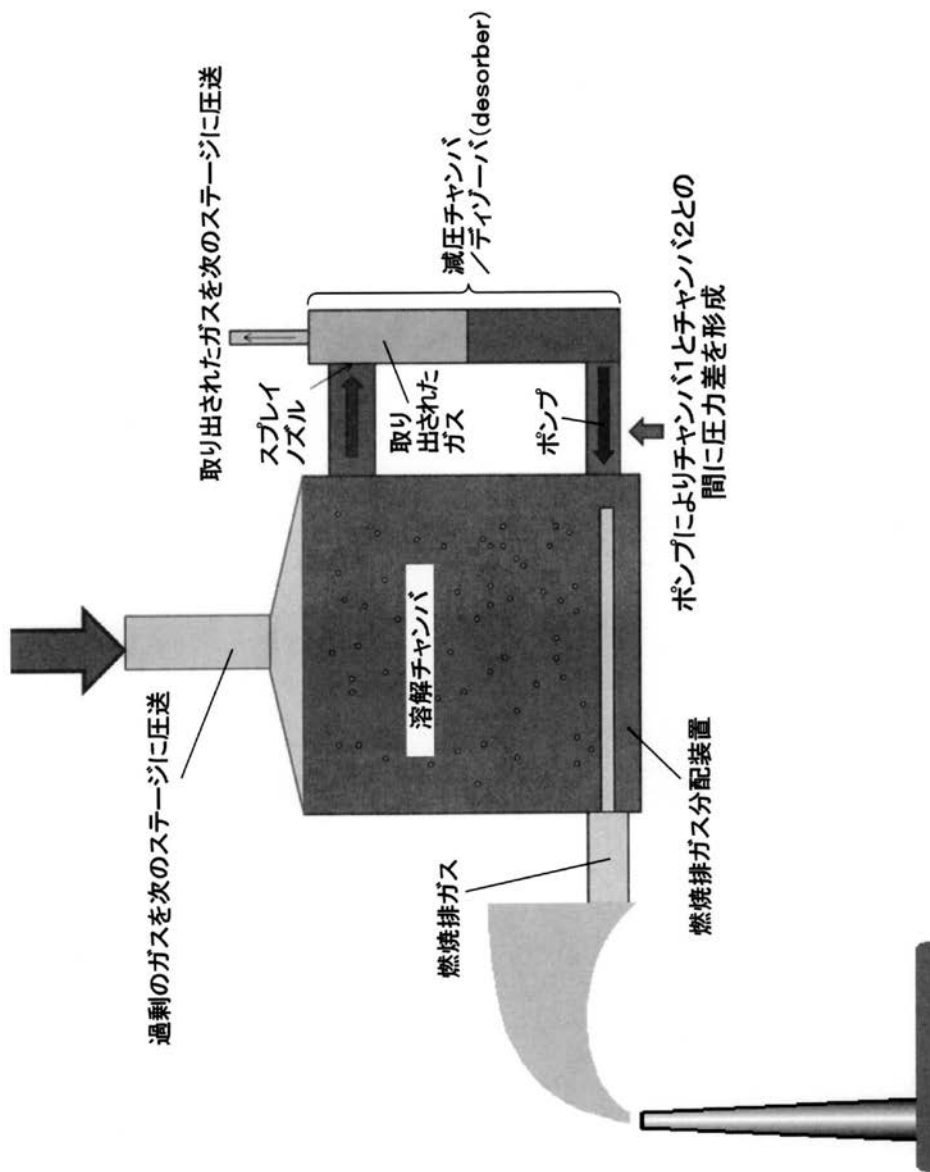
## 【 0 0 6 4 】

ガス抜き速度を向上させるための方法がいくつか実施されている。超音波装置の使用により、水の中に溶解されるガスの理論的な量を定量的に殆ど取り出すことができていることが分かった。初期段階で 4 %であったものが 3 0 %を超える値まで  $\text{CO}_2$  を濃縮することが証明されたことになる ( 3 0 %は測定に用いられたドレーガ管での  $\text{CO}_2$  測定の上限值である )。

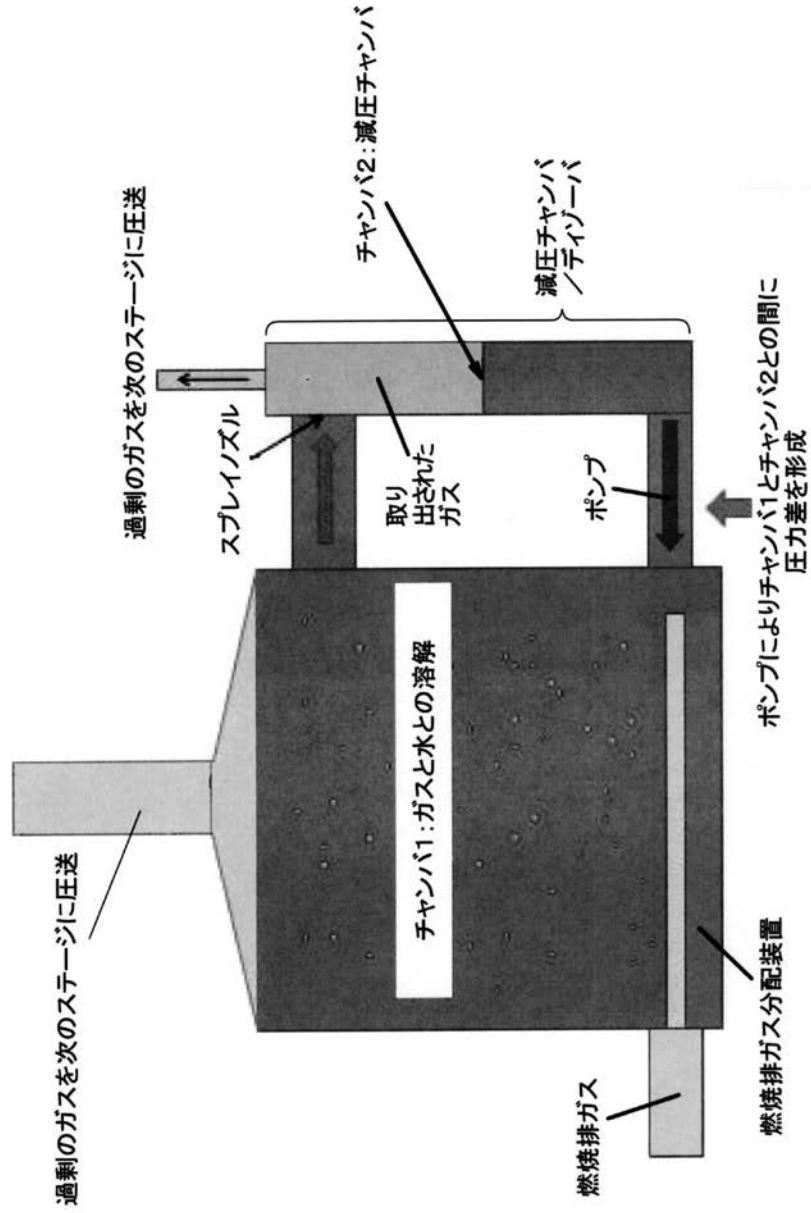
## 【 0 0 6 5 】

ガスの溶解速度は、計算によると、注入面積  $1 \text{ m}^2$  当たり、毎秒約 1 5 リットルのである。この値は、( キャピティディスク注入を使用して ) 何倍もの数字にまで向上させることができるが、この数が、ガス発電所からの 4 2 0 0 0 0 リットル / s の排気物までスケールアップされたとしても、約 6 つのフットボール場の面積を超える注入面積を必要としないだろう。これは、発電所の排気管に近いスペースについて現代のアミンスクラバー技術が必要とする面積に匹敵するものである。3 0 秒という反応時間は非常に大きな泡サイズ ( 4 mm ) についてのものである。4 %の  $\text{CO}_2$  を含んでいるガスは、約 1 分の接触時間の後には 1 %よりもはるかに小さくなった。短い接触時間は、吸収物質として用いなければならない水の総量に正比例するので、チャンバのサイズに正比例することになる。

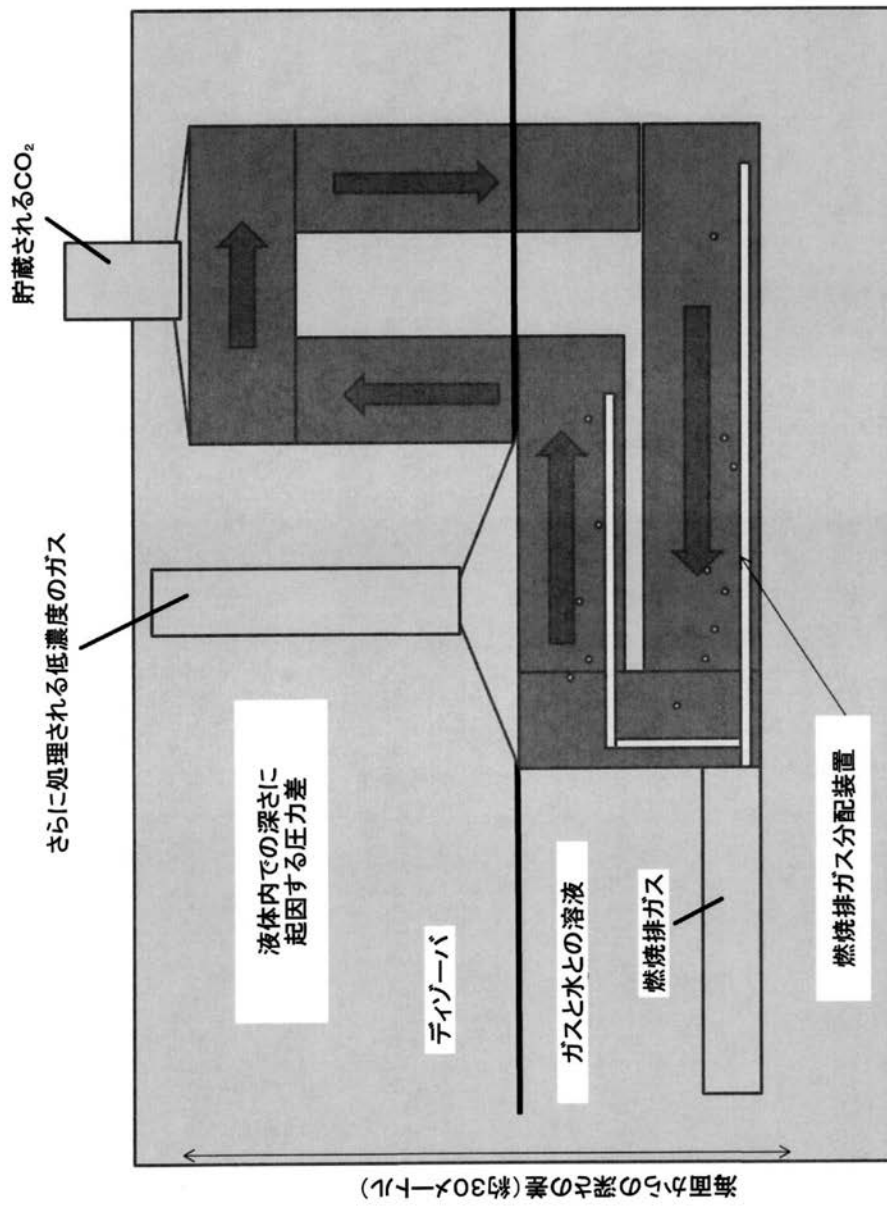
【図 1】



【図 2】

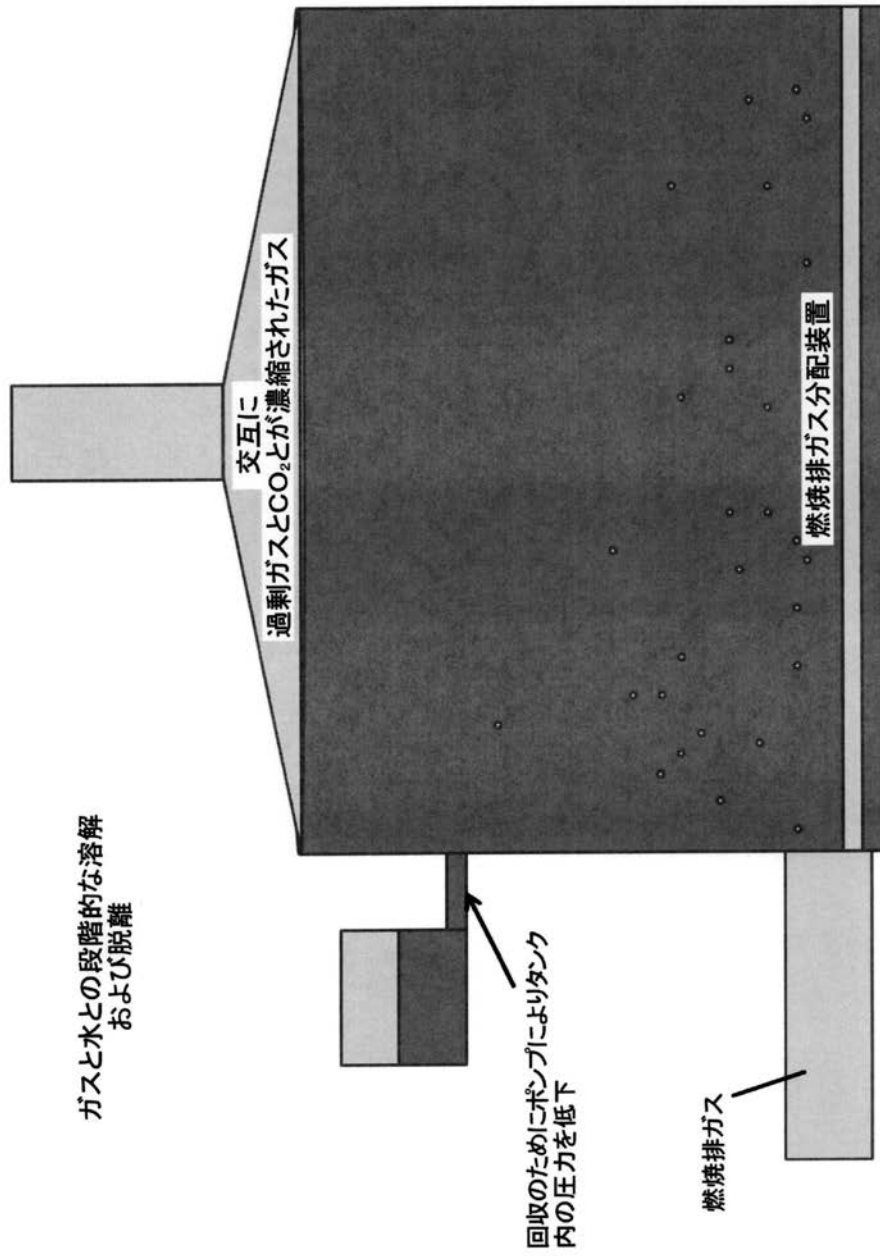


【図 3】

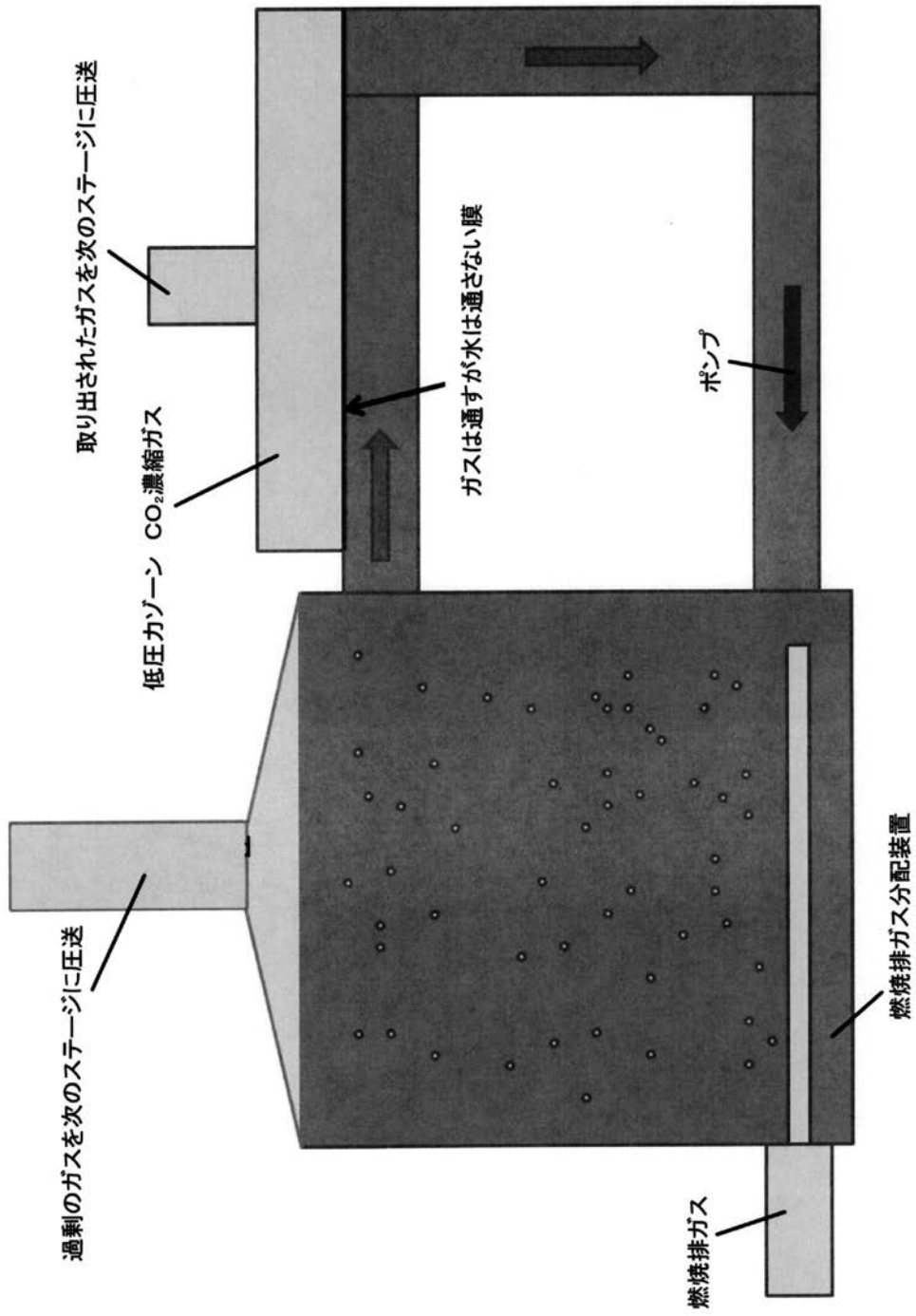




【図 4】



【図 5】



燃焼排ガス流入

ガス

液体

濃縮CO<sub>2</sub>

次のステージに圧送または貯蔵

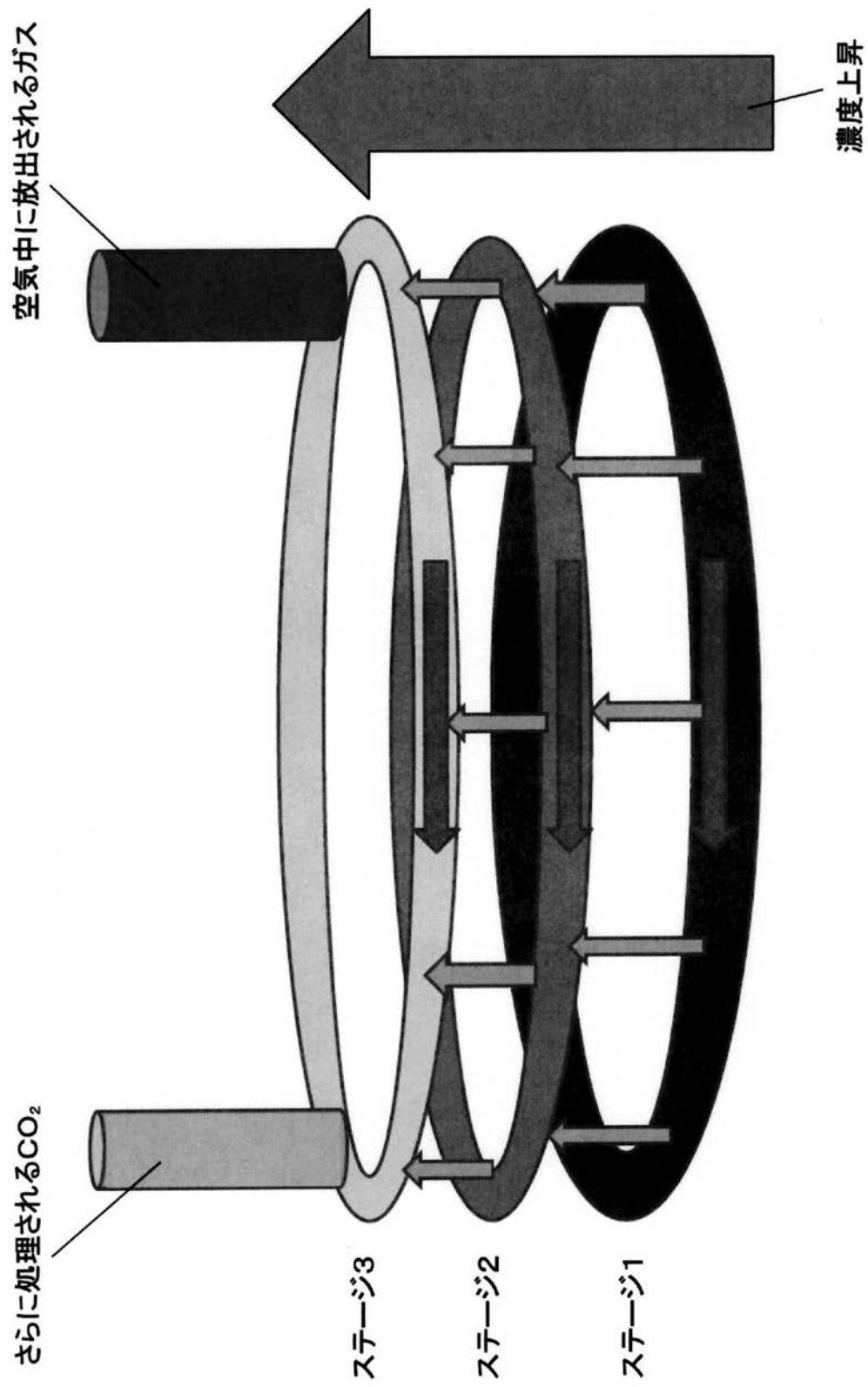
次ステージに放出または次ステージに圧送

膜

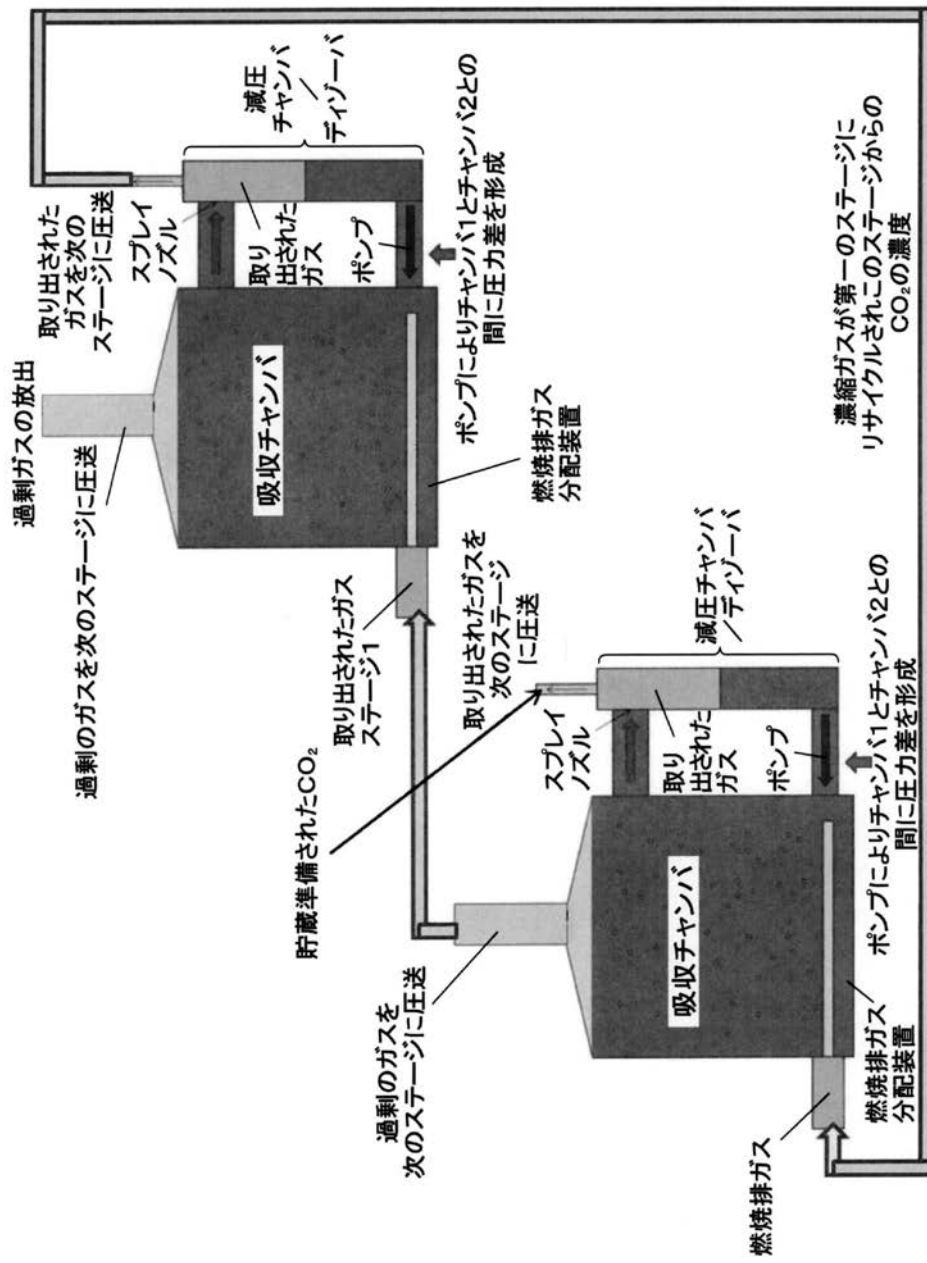
混合

低圧

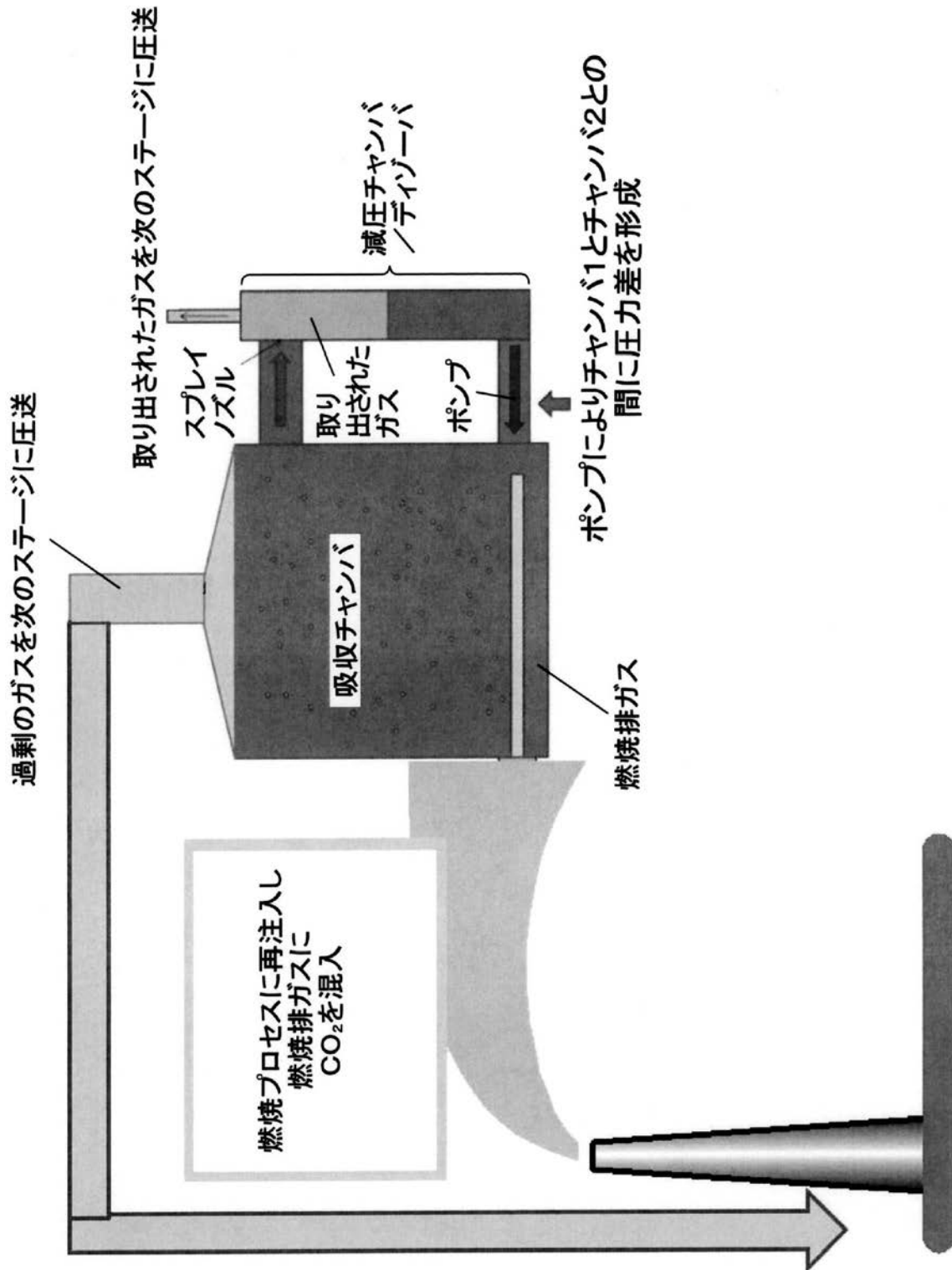
【図 6 b】



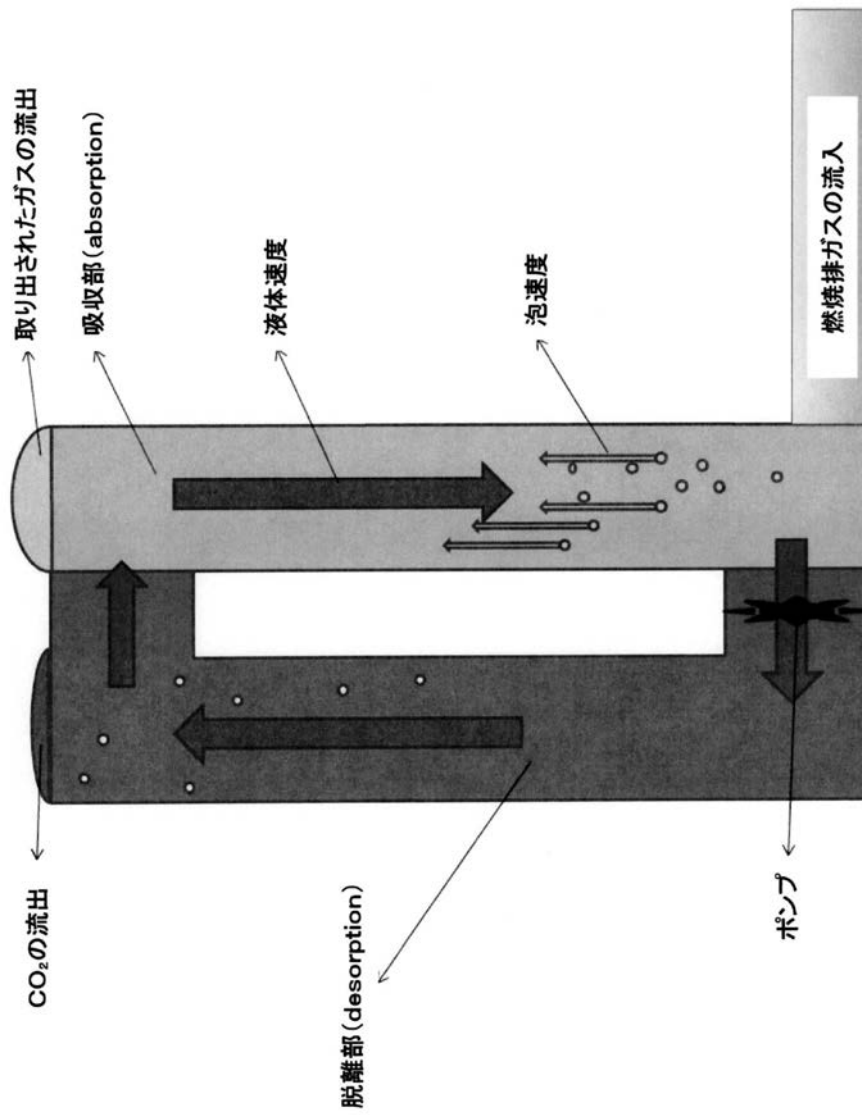
【 図 7 】



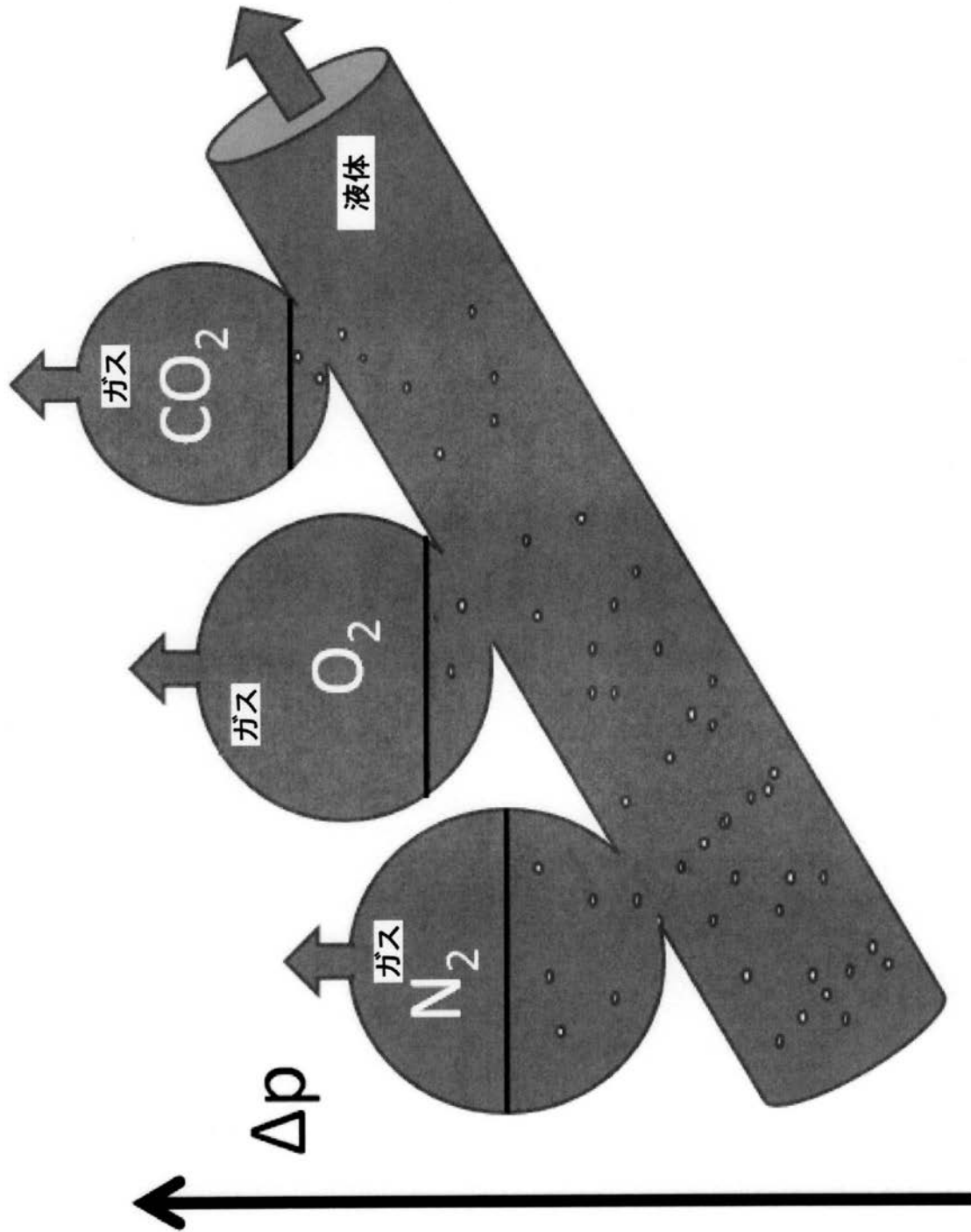
【図 8】



【図 9】



【図 10】





## 【 国際調査報告 】

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.  
PCT/NO2010/000093

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B01D 53/62 (2006.01), B01F 1/00 (2006.01), B01D 53/14 (2006.01)

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)

B01D, B01F

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

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

WPI, EPODOC, PAJ

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2006247486 A (KYUSHU INST OF TECHNOLOGY) 2006.09.21 Abstract; claims 1,3	12 - 18
A		1 - 11

☐ 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  
04/06/2010

Date of mailing of the international search report  
07/06/2010

Name and mailing address of the ISA/  
Nordic Patent Institute  
Høfgesvej Allé 81, DK-2630 Taastrup, Denmark  
Facsimile No. +4543508008

Authorized officer  
Bahr, Linda  
Telephone No. +4722387432 (direct)

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
Information on patent family membersInternational application No.  
**PCT/NO2010/000093**

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
JP 2006247486 A	2006.09.21	NONE	

## フロントページの続き

(51)Int.Cl.		F I		テーマコード ( 参考 )
<b>B 0 1 J 19/00 (2006.01)</b>		B 0 1 D 71/32		
		B 0 1 J 19/00	A	

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), EP(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, SE, SI, SK, SM, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), 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, JP, 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

Fターム(参考) 4D002 AA09 AC01 AC10 BA02 CA01 CA06 DA35 DA36 EA07 FA01  
GA01 GB04  
4D006 GA32 MC28 PB12 PB64 PC80  
4D020 AA03 BA23 BC02 CB01 CB25 DA03 DB04  
4G075 AA04 AA37 BB04 BB05 CA52 CA74 FC02