

Enhancement of Physical Gas Absorption by utilizing Wall Condensation and Microfilm Formation (Condensation and Absorption Experiment of CO₂)

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-03 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/2297/29502

凝縮過程を利用した物理吸収法によるガス分離回収の促進 (CO₂による凝縮吸収実験)

Enhancement of Physical Gas Absorption
 by utilizing Wall Condensation and Mist Formation
 (Condensation and Absorption Experiment of CO₂)

瀧 本 昭* 小 東 宏 次** 松 田 理***
 Akira TAKIMOTO Hirotsugu KOHIGASHI Osamu MATSUDA

*金沢大学大学院自然科学研究科 (920-8667 金沢市小立野2-40-20)
 Kanazawa University, Graduate School of Natural Science and Technology,
 (Kodatsuno 2-40-20, Kanazawa 920-8667)

**三菱重工業㈱ (452-8561 愛知県西春日井郡西枇杷島町旭町3-1)
 Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.
 (Asahi-machi 3-1, Nishibiwajima-cho, Nishikasugai-gun, Aichi 452-8561)

***石川工業高等専門学校 (929-0392 石川県河北郡津幡町)
 Ishikawa National College of Technology, Dept. of Mechanical Engineering,
 (Tsubata, Ishikawa 929-0392)

Summary

High efficiency of gas absorption may be one of the important techniques for protection of global environment. A new concept of gas absorption by utilizing condensation process was proposed which is called "condensate film method", and its proof experiment was conducted with regard to the condensation heat transfer in vertical cooling tube. Theoretical analysis was performed on the critical condition of mist formation in the cooling tube flow and the falling liquid film under the same mass flow rate condition. Comparing between the both analytical results and experimental data, the concept proposed in this paper was identified and the mechanism of the gas absorption through the condensate and the mist droplets was clarified.

Key words: Gas absorption, Condensation process, Mist formation, Mass transfer, Carbon dioxide

1. 緒 言

気体と液体との直接接触により可溶性ガス成分を液中に溶解分離するガス吸収法は、混合ガスからの有用成分の回収あるいは不純物質の除去などを目的に各種工業操作において広く用いられている。近年、地球規模の環境問題に直面し、炭酸ガスをはじめとする環境影響物質の除去・回収や有害汚染物質の処理を

目的にガス吸収の高効率化の要求がますます高まっている。

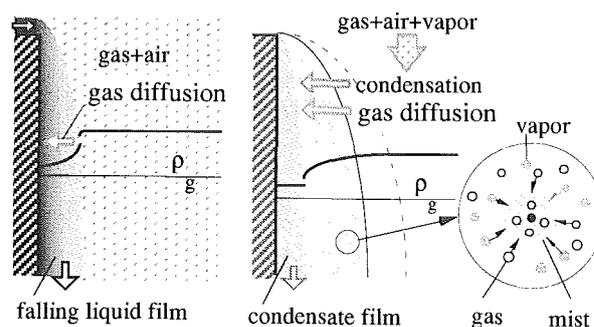
化学反応を伴わない物理的ガス吸収法を対象とした場合、ガス吸収はガス分子の拡散速度が小さい液相内（気相に比して数オーダー小さい）の物質拡散支配となる。そのため、これまで流下液膜法を対象に外部スピーカーによる液膜表面の波状化¹⁾や液膜流の乱流混合

2), さらに噴霧流法による接触表面積の拡大³⁾などによるガス吸収の促進効果についての追究が行われてきている。しかし, 液相内でのガス拡散支配下でのガス吸収ではその促進には限界があると言える。

本研究は, 有害汚染物質 (ガス, 微粒子) と凝縮性気体を含む中低温排ガスを対象に, 冷却面との接触により生ずる凝縮過程を利用して, 液相拡散から気相拡散支配とすることによりガス吸収を促進する, 新たなガス吸収法 (以下凝縮液膜法と称する) の開発を目的とするものである。本報では, まず鉛直冷却円管内のCO₂ガスと水蒸気の混合気流を対象に凝縮吸収実験を行い, 同一液膜質量流量下での流下液膜法との比較により, 提案する本方式のガス分離回収の促進効果について実験的に追求したものである。

記号

C_p	比熱	[J/kg·K]
d	円管内径(=2 r_0)	[m]
d_s	液滴直径	[m]
D	拡散係数	[m ² /s]
h	熱伝達率	[w/m ² K]
h_D	物質伝達率	[m/s]
h_{fs}	凝縮潜熱	[J/kg]
H	ヘンリー定数	[GPa]
k	熱伝導率	[W/mK]
L_c	冷却部長さ	[m]
m	局所物質移動量	[kg/m ² ·s]
M	全物質移動量	[kg/s]
M_{CO_2}, M_{H_2O}	炭酸ガス, 水の分子量	
M_f	流下液量	[kg/s]
P	圧力	[Pa]
Pr	プラントル数	
q	局所熱流束	[W/m ²]
R	ガス定数	[J/kg·K]
R_{CO_2}, R_{H_2O}	炭酸ガス, 水のガス定数	[J/kg·K]
Re_d	管直径を代表長さとするレイノルズ数	
r	半径方向距離	[m]
r_0	円管半径	[m]
Sc	シュミット数	
T	温度	[°C]
U, u	z 方向速度成分	[m/s]



(a) Falling liquid film method (b) Condensate film method

Fig. 1

z	流れ方向距離	[m]
δ	液膜厚さ, 境界層厚さ	[m]
μ	粘性係数	[Pa·s]
ρ	濃度	[kg/m ³]
τ	せん断応力	[Pa]

添字

b	バルク
f	液膜
g	ガス
gc	凝縮液膜へのガス吸収
gf	流下液膜へのガス吸収
gm	凝縮ミストへのガス吸収
gG	気相内のガス
gL	液相内のガス
G	混合ガス
i	界面
in	入口
L	液相
m	平均値, ミスト
out	出口
s	壁面
sat	飽和値
t	温度
v	蒸気
vc	壁面凝縮
vm	凝縮ミスト
z	局所値
0	初期値

2. 凝縮を利用したガス吸収法の提案

本研究で提案する凝縮液膜法を流下液膜法と比較して Fig. 1 に示す。物理的ガス吸収は, 溶解ガスが気相内を拡散移動し, 気液界面で溶

解,引き続き液相内を拡散移動する物質移動現象である。この場合,ガス吸収速度は気液両相での拡散速度および気液界面抵抗によって決定されるが,気相内のガス分子の拡散速度が液相内に比べてはるかに大きく,また界面抵抗も小さいため,その結果としてFig.1(a)に示す流下液膜法の物質移動は一般には液相内ガス拡散律速となる^{*}。これに対して,ガスと凝縮性気体を含む高温の混合気を冷却面と接触させ,凝縮液膜の形成と同時に気流とのガス濃度差によりガス分子を液膜表面へ気相内拡散輸送により吸収させる, Fig.1(b)の凝縮液膜法では,ガス吸収が気相内ガス拡散律速となり,大幅な促進が期待される。すなわち,蒸気凝縮による液膜表面のガス濃度の更新によって気相側での常に高いガス濃度ポテンシャルが維持され,また,ガス吸収と凝縮の速度比が一定で液膜内ガス濃度は一様分布となるため,液相内の拡散輸送は殆ど無視できることによる。また,凝縮過程においては気相中に温度と蒸気濃度場が共存するため,条件によっては熱力学的に不安定な過飽和域が形成され,安定系への移行として気流中に含まれる塵,埃などを核としたミストが発生する。ミストの発生は,ガス吸収に対する吸収表面積の増加とガス分子の拡散距離の短縮などのさらなる二次的促進効果をもたらすことが期待される。

3. 実験装置および方法

凝縮液膜法の特長ならびにその有効性を追究するため,CO₂ガスと水蒸気を含む混合空気流を対象に,鉛直冷却管内での凝縮吸収実験および鉛直管内を流下する液膜へのガス吸収実験を行った。実験装置の概要をFig.2に示す。

凝縮吸収実験では, Fig.2(a)に示すようにヒーター・加湿器で加熱・調湿されたコンプレッサーからの加圧空気と,マスフローコントローラにより流量調整されたガスボンベからの試料ガスが混合室で混合され,上部空気溜まり部を経て試験主要部の試験円管に流入する。試験円管は内径9.09mm,外径9.5mmの銅管で長さ $L_c=424$ mmの冷却部と750mmの助走部からなる。特に,冷却部は液膜の膜状化を達成するために内壁に螺旋溝付の銅管(溝深さ0.14mm,溝数60,ねじれ角18度)を用い,円管外壁には冷却面温度の測定のために線径 $\phi 0.2\mu\text{m}$ のT型熱電対が取り付けられている。また,冷却のために冷凍機からのラインが供給される四つの冷却ジャケットが取り付けられている。

実験は,溶質ガスとしてのCO₂と凝縮性気体としての水蒸気および空気の混合気を供試し,冷却面温度一定 $T_s=3.0^\circ\text{C}$ のもと気流速度,温度,蒸気濃度およびガス濃度をそれぞれ $U_m=2.0\sim 3.0\text{ m/s}$, $T_{in}=50\sim 80^\circ\text{C}$, $\rho_{in}=0.026\sim 0.23\text{ kg/m}^3$

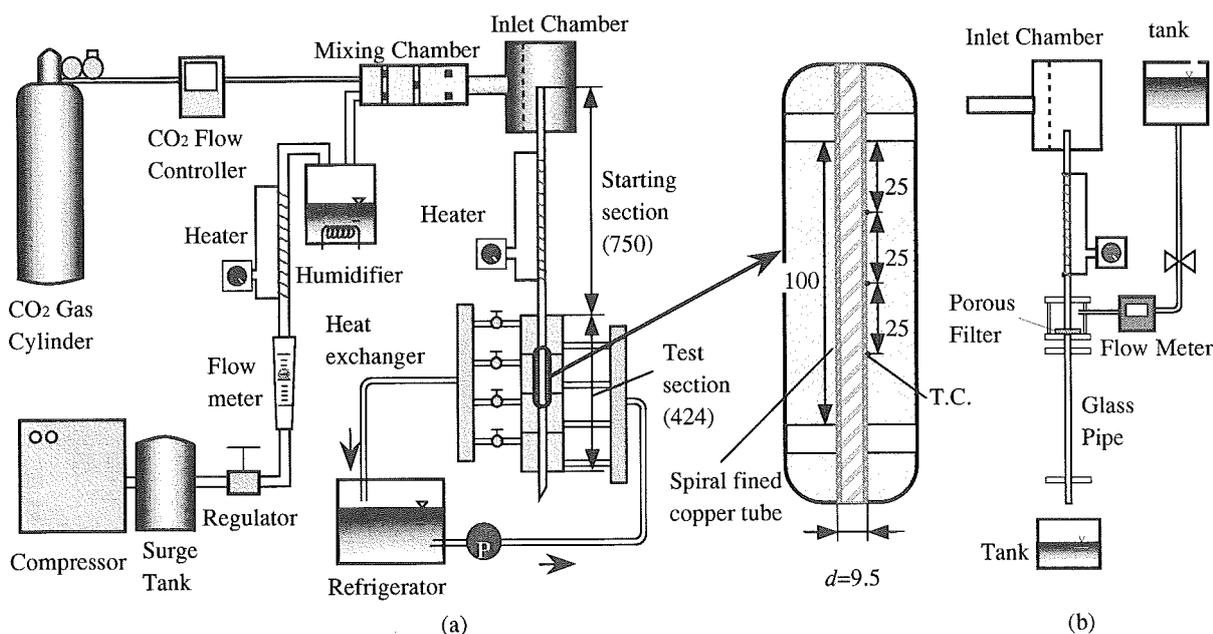


Fig. 2 Experimental apparatus

*物質拡散量については拡散係数のみでなくガス濃度にも関係し,気相ガスの濃度が高い場合には液中拡散律速となることもあるが,ここでの対象は比較的低濃度場を扱う。

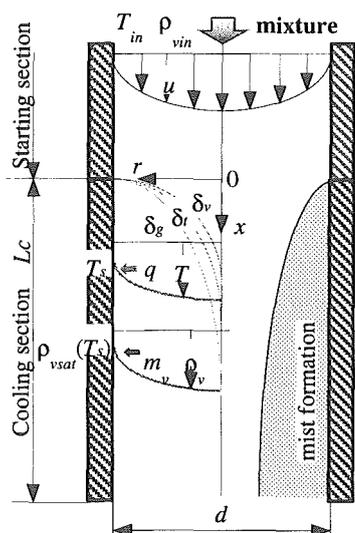


Fig. 3 Physical and Coordinate system

(20 ~ 80%RH), $\rho_{gin}=0.10 \sim 0.50\text{kg/m}^3$ (6 ~ 30vol%)の範囲で種々変化させ、定常状態のもとミスト発生の様相観察、凝縮液量および回収した凝縮液およびミスト中に含まれるガス吸収量についての測定を行ったものである。壁面凝縮液は溶解したガスの離脱を防ぐために氷水に浸した試験管で回収し、凝縮量と採取時間から壁面凝縮速度を算出した。また、凝縮液中のガス濃度については、全有機体炭素計により液中の無機体炭素濃度を測定し二酸化炭素量に換算して求め、求められた凝縮速度と凝縮液中のガス濃度の積により凝縮液膜によるガス吸収速度を算出した。気流中での発生ミスト量については冷却部出口に設置した電気集塵器によりミスト滴を帯電させ回収し、凝縮液膜の場合と同様の方法で発生量とガス吸収速度を求めた。

一方、比較のために行った流下液膜法は、Fig.2(b)に示すように混合ガス供給部、混合部、上部空気溜まり部および試験円管助走部までは凝縮液膜法と同様の装置を用い、冷却部を流下液供給部およびガラス製の試験円管に付け替えたものである。助走部下端に設置される流下液供給部は、一定流量の安定した流下液膜を形成するために円板形の多孔体を取り付け、試験円管には内径9mm、外径10mm、長さ400mmのガラス管を用いた。

実験は、溶質ガスとしてのCO₂と空気の混合気を供試し、流下液膜温度一定 $T_f = 20^\circ\text{C}$ のもと流下液量、気流速度およびガス濃度をそれぞれ

れ $M_f=8 \sim 35 \times 10^{-4} \text{kg/s}$, $U_m=2.0 \sim 3.0 \text{m/s}$, $\rho_{gin}=0.18 \sim 0.91\text{kg/m}^3$ (10 ~ 50vol%)の範囲で種々変化させ、回収した流下液中に含まれるガス吸収量についての測定を行ったものである。

4. 凝縮吸収実験の結果

4. 1 ミストの発生

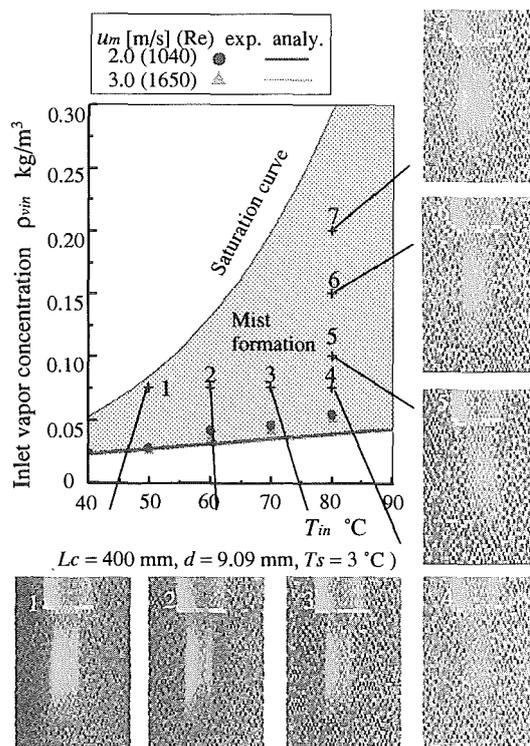


Fig. 4 Condition for mist formation

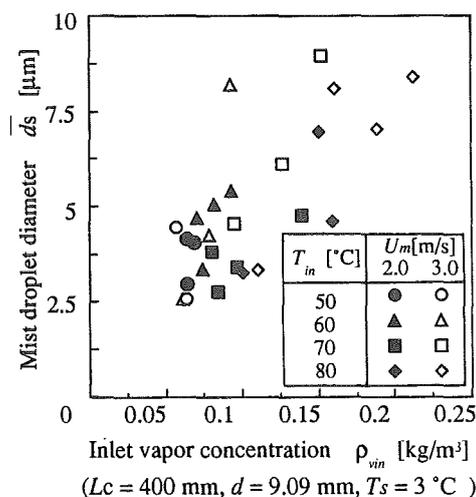


Fig. 5 Mean diameter of mist droplet

本研究で提案する凝縮液膜法においては、前述したように水蒸気の凝縮過程を利用してガス分子を凝縮液内に捕捉するものであり、ガスの分離回収は壁面凝縮速度に強く依存し、同時に気流中におけるミスト発生の効果の期待も大きい。従って、まず、流れが層流で十分発達した鉛直冷却円管内におけるミストの発生条件について解析し、実験と比較検討した。

蒸気濃度 ρ_v が温度に対する平衡蒸気濃度 $\rho_{vsat}(T)$ を超えた過飽和状態において熱的平衡状態への安定化の移行過程としてミストが発生する。凝縮過程でのミストの発生条件は、冷却面上での液膜の存在を無視すると壁面での蒸気濃度 ρ_v と温度に対する平衡蒸気濃度 $\rho_{vsat}(T)$ の勾配の関係として次式で与えられる。

$$\left. \frac{\partial \rho_v}{\partial r} \right|_{r=d/2} \leq \left. \frac{\partial \rho_{vsat}(T)}{\partial r} \right|_{r=d/2} = \frac{\partial \rho_{vsat}}{\partial T} \cdot \left. \frac{\partial T}{\partial r} \right|_{r=d/2} \quad (1)$$

上式に熱・物質移動に対するルイスの相似則の仮定のもと、次の熱および物質伝達率 h_z , h_{Dz} の関係式(2),(3)⁴⁾、および Clapeyron-Clausius の式(4)を代入し整理すると、

$$h_z = -k \left. \frac{\partial T}{\partial r} \right|_{r=d/2} / (T_b - T_s) = 1.077 \frac{k}{d} \left(\text{Re}_d \text{Pr} \frac{d}{z} \right)^{1/3} \quad (2)$$

$$h_{Dz} = -D \left. \frac{\partial \rho_v}{\partial r} \right|_{r=d/2} / (\rho_{vb} - \rho_{vs}) = 1.077 \frac{D}{d} \left(\text{Re}_d \text{Sc} \frac{d}{z} \right)^{1/3} \quad (3)$$

$$\left. \frac{\partial \rho_{vsat}}{\partial T} \right|_{r=d/2} = \frac{h_{fg} \rho_{vs}}{RT_s^2} \quad (4)$$

ここで、 k , D , Pr , Sc , h_{fg} , R は熱伝導率、拡散係数、プラントル数、シュミット数、凝縮潜熱およびガス定数である。

ミスト発生条件は、冷却開始点近傍を対象に考えると、式(2),(3)のバルク温度・濃度を入口の値 T_{in} , ρ_{vin} に置き換えることができ、その結果、次式で与えられる。

$$\frac{(\rho_{vin} - \rho_{vs})}{\rho_{vs}} \cdot \frac{RT_s^2}{h_{fg}(T_{in} - T_s)} \geq \left(\frac{\text{Pr}}{\text{Sc}} \right)^{1/3} \quad (5)$$

長さ L_c の鉛直冷却円管内での壁面凝縮速度は式(3)より、次式となる。

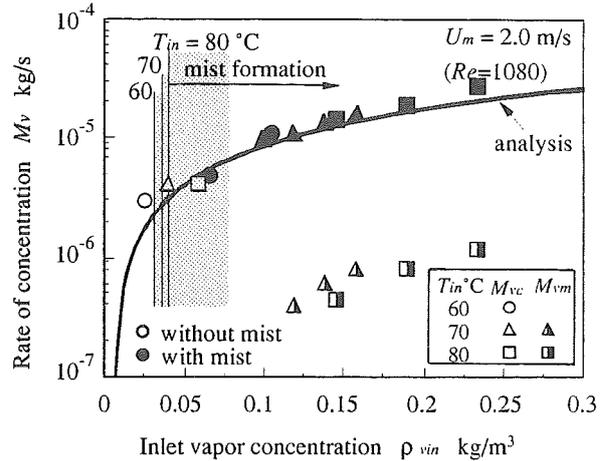


Fig. 6 Rate of vapor condensation

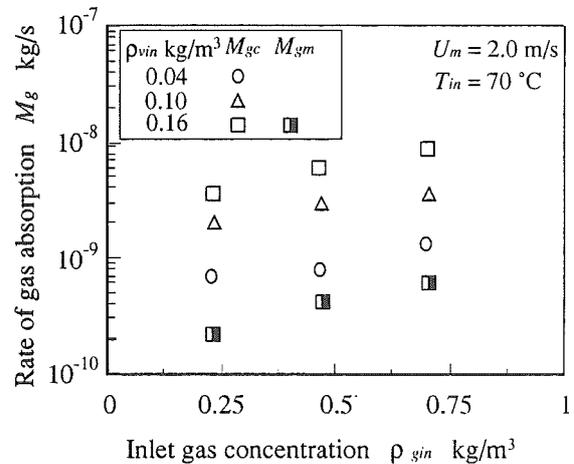


Fig. 7 Rate of gas absorption in condensate film method

$$M = \int_0^{L_c} \pi dm_z dz = \int_0^{L_c} \pi dh_{Dz} (\rho_{vb} - \rho_{vs}) dz = 1.615 \pi D (\rho_{vin} - \rho_{vs}) (\text{Re}_d \text{Sc} \cdot d \cdot L_c^2)^{1/3} \quad (6)$$

Fig.4に、ミスト発生条件を入口蒸気濃度 ρ_{vin} と温度の関係で示す。図中の細線は入口温度に対する飽和蒸気濃度であり、実線は式(5)により求めた解析結果を示し、両者により囲まれた領域が鉛直冷却円管内でのミスト発生可能域を表す。これより、ミスト発生は流速に無関係に温度と蒸気濃度の関係で与えられるが、温度よりむしろ蒸気濃度の依存性が高いことが判る。図中のプロット点はレーザー法による冷却管出口付近でのミスト発生の観察結果であり、解析値とほぼ一致している。また、同図の写真は、平均流速 $u_m = 3\text{m/s}$ の場合についての図中の各条

件でのミスト発生様相の観察結果であり、入口蒸気濃度一定の場合では入口温度が低くなるほど、また、入口温度一定では入口蒸気濃度の増加に伴い、発生ミストがより濃くなる傾向を示す。Fig.5に直接サンプリング法により測定した冷却管出口で平均ミスト滴径の結果を示す。ミストの滴径は、入口蒸気濃度が高く、また入口温度が低いほど大きくなり、観察写真の発生ミストの濃さと対応している。流速に対しては、ばらつきが大きいと全般的に気流速度が速いほど滴径は大きくなる傾向を示している。これについては、円管内に形成される過飽和域の通過時間に対応する滴の成長速度との関係において相反するものであるが、発生ミスト滴の凝縮液膜への付着捕獲および液滴の慣性捕獲によるサンプリング法の測定精度上の問題などのよるものと考えられる。

4. 2 壁面凝縮速度とミスト発生速度

Fig.6に長さ $L_c=0.4\text{m}$ の冷却管全内面に対する壁面凝縮速度 M_{vc} およびミスト発生速度 M_{vm} についての結果を示す。 M_{vc} の実験結果は白印がミスト未発生時で、黒印が発生時を表す。壁面凝縮速度はここでの気流温度範囲では殆ど温度に無関係で、入口蒸気濃度の増加により増加し、ミスト発生条件を含めて管内凝縮速度の解析値〔式(6)〕と良い一致を示している。一方、ミスト発生速度については、蒸気濃度の増加と入口温度の低下に伴い増加する傾向を示す。なお、ミスト発生時における壁面凝縮速度が、ミストの発生を無視した解析値より小さくならず、わずかに大きい値を示すことについては、自然対流および液膜形成により管内の流れが加速され物質伝達が増加すること、および気流中で発生したミストが液膜に捕集されることなどによるものと考えられる。

4. 3 ガス吸収速度

Fig.7に、凝縮液膜へのガス吸収速度 M_{gc} およびミスト滴へのガス吸収速度 M_{gm} を入口蒸気濃度をパラメータに入口ガス濃度との関係で示す。凝縮液膜へのガス吸収速度は、入口ガス濃度の増加に伴い増加し、また、凝縮速度と相似性を有し蒸気濃度の増加に伴い増加する傾向を示す。ミスト滴へのガス吸収速度については、

凝縮液膜と同様に入口ガス濃度の増加に伴い増加する傾向を示す。これら凝縮液膜とミストによるガス吸収速度の比較により、ガス吸収が壁面凝縮液膜への吸収支配となっていることがわかる。なお、ミスト滴へのガス吸収速度が凝縮速度とほぼ比例しているにもかかわらず、期待したほどの効果が得られなかったことについては、冷却壁面上に形成される凝縮液膜と気流中で凝縮するミスト滴の温度差によるものと考えられ、液温の増加は吸収量の低下を招くことになる。

5. 流下液膜法との比較

以上の凝縮液膜法によるガス吸収速度の結果を、流下液膜法と比較し、本方式による促進効果とその有効性について検討した。

5. 1 流下液膜へのガス吸収の解析

冷却円管内を流れる可溶性ガス成分を含む混合気から、管内壁を流下する吸収液（水）へのガス吸収速度についての解析を行った。解析に際し、混合気流は非圧縮性定常流で、管入口では一様な温度、ガス濃度で、十分に発達した層流であるとし、また、壁面を流下する液膜は一樣厚さで波立ちのない層流定常流であり、その流れが遅く慣性力を無視し、また、気流せん断力の影響を無視する。さらに、気液界面でHenryの法則が成立するとし、ガス吸収の溶解熱を無視する等の仮定をおく。基礎式として、液相および気相に対して運動量方程式、物質バランス式および境界条件が次のように与えられる。

(液相)

$$0 = -\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{u_L}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial u_L}{\partial r} \right) + \rho_L \cdot g \quad (7)$$

$$u_L \frac{\partial \rho_{sL}}{\partial r} = D_{sL} \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial \rho_{sL}}{\partial r} \right) \quad (8)$$

(気相)

$$0 = -\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{u_G}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial u_G}{\partial r} \right) + \rho_G \cdot g \quad (9)$$

$$u_G \frac{\partial \rho_{sG}}{\partial r} = D_{sG} \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial \rho_{sG}}{\partial r} \right) \quad (10)$$

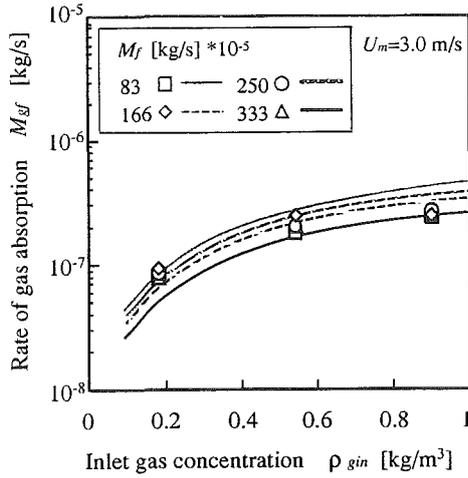


Fig. 8 Rate of gas absorption in falling liquid method

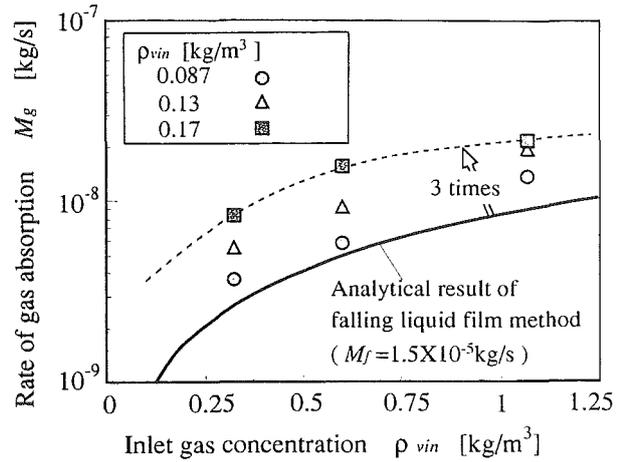
境界条件

$$\begin{aligned}
 z=0, 0 < r < r_o - \delta_f; u_G = u_{G0}, \rho_g = \rho_{g0} \\
 z=0, r_o - \delta_f < r < r_o; u_L = u_{L0}, \rho_g = 0 \\
 r=0, 0 \leq z \leq L; \frac{\partial u_G}{\partial r} = \frac{\partial \rho_g}{\partial r} = 0, \\
 r=r_o, 0 \leq z \leq L; u_L = \frac{\partial \rho_g}{\partial r} = 0 \\
 r=r_o - \delta_f, 0 \leq z \leq L; u_L = u_G, \tau = -\mu \frac{\partial u_L}{\partial r} = 0, \\
 \rho_{gLi} = \frac{\rho_{gGi} \rho_L M_{CO_2} R_{CO_2} T_i}{HM_{CO_2} + (M_{CO_2} - M_{H_2O}) \rho_{gGi} R_{CO_2} T_i}
 \end{aligned} \quad (11)$$

以上の基礎式および境界条件より、液相内および気相内の速度は、次のように求められる。

$$\begin{aligned}
 u_L = \frac{1}{4\mu_L} \left(\rho_L \cdot g + \frac{P_{in} - P_{out}}{L_c} \right) \\
 \left\{ (r_o^2 - r^2) + 2(r_o - \delta_f)^2 (\log(r) - \log(r_o)) \right\} \\
 u_G = 2(u_{Gm} - u_{Li}) \left\{ 1 - \frac{r^2}{(r_o - \delta_f)^2} \right\} + u_{Li}
 \end{aligned} \quad (12)$$

ここで、 C_p , T , U_G , k , D , ρ_v , ρ_g はそれぞれ比熱、温度、気流速度、熱伝導率、拡散係数、蒸気濃度およびガス濃度である。数値解析には陰的差分法を用い、管内のガス濃度分布を前進的に求め、ガス吸収速度を算出した。計算条件



($L_c=400$ mm, $r_o=4$ mm, $U_m=3.0$ m/s, $T_{in}=70$ °C, $T_s=2$ °C)

Fig. 9 Comparison between the condensate film method and the falling liquid film method

は、管寸法 (管長 L , 管径 d), 平均流速 U_m , 入口圧力 P_0 , および入口ガス濃度 ρ_{gin} を凝縮液膜法と同一条件のもと、流下液流量に凝縮液膜法の凝縮量 (壁面凝縮速度 + ミスト発生速度) M_v を、液膜温度に凝縮液膜法の入口温度 T_{in} と壁面温度 T_s の算術平均値をそれぞれ用いている。

$$\begin{aligned}
 M_{gf} = \int_0^{L_c} 2\pi(r_o - \delta_f) m_{g/z} dz \\
 m_{g/z} = \left(-D_{gL} \frac{\partial \rho_{gL}}{\partial r} \right)_{r_o - \delta_f}
 \end{aligned} \quad (13)$$

5. 2 流下液膜法の結果との比較

Fig.8に流下液膜法によるガス吸収速度の実験結果を解析値と比較して示す。液膜流量をパラメータとして入口ガス濃度に対して示す。ガス吸収速度は入口ガス濃度の増加に伴い増加するが、液膜流量には無関係にほぼ一定となっている。後者については、液膜流量が低い場合、液膜中のガス濃度は高くなるが、ガス吸収速度が液膜中のガス濃度と液膜流量の積により与えられるため、結果として液膜流量によらずほぼ同じ値をとるものと言える。実験結果は解析値と比較して若干高い値を示すもののほぼ両者は良く一致していると言える。これより、ここでの解析の妥当性および実験データの有効性が明らかとなる。Fig.9に、ガス吸収速度について凝縮液膜法の実験結果を流下液膜法の解析結果と比較して示す。比較に際しては、凝縮液膜法の

凝縮量（ミスト発生量を含む）と流下液膜法の液膜流量を同一にし、さらに凝縮液膜法の混合気の流入温度と壁面温度の算術平均値を流下液膜温度と等しくしている。実線は液膜流量が $1.5 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$ の場合の流下液膜法の解析値であり、凝縮量がこれと等しい凝縮液膜法の実験結果（□印）と比較している。両者の比較により、凝縮液膜法によるガス吸収速度は、流入ガス濃度に関係なく、常に流下液膜法の約3倍程度大きいものとなっており、これより本方式の有効性が明らかと言える。なお、気相と液相の拡散係数に4オーダーの差があり、この優位性にもかかわらず吸収速度に差が現れてこないのは、流下液膜法において、液膜流量が少ないため形成される液膜厚さが薄く冷却管出口に達するまでに液膜内の濃度が飽和濃度に達してしまうためと考えられる。

6. 結 論

凝縮過程を利用した新たなガス吸収法を提案し、鉛直冷却円管内のCO₂ガスと水蒸気との混合空気流を対象に凝縮吸収実験を行い、同一液膜質量下での流下液膜法との理論的比較により、以下の結論を得た。

- (1)凝縮液膜法におけるガス吸収では、気流中で発生するミストに比べより温度の低い壁面凝縮液膜へのガス吸収が支配的であり、液温の増加により吸収量が低下する。
- (2)凝縮速度に関して、壁面凝縮量はミスト化の影響が小さく、気流速度および入口蒸気濃度の増加に伴い増加する。また、鉛直冷却円管内でのミスト発生条件が明らかにされ、ミスト発生量は入口蒸気濃度の増加、入口温度の低下、および流速の減少により増加する。
- (3)凝縮液膜およびミストへのガス吸収速度は、凝縮速度に依存し壁面凝縮量およびミスト発生量と同様な傾向を示し、また、入口ガス濃度の増加により増加する。
- (4)同一液膜質量下での流下液膜法との比較において、提案した本方式のガス吸収速度は流下液膜法より最大約3倍高い値を示し、これより本方式の有効性が明らかにされた。

文 献

- 1) Higikata, K. et al: Thermal Science & Engineering, 4(1), 65(1996).
- 2) 柴田豊, 萩原良道, 鈴木健二郎: 第29回日本伝熱シンポジウム講演論文集, 611(1992).
- 3) Taniguti, I. and Asano, K.: J. of Chemical Engineering of Japan, 25(5), 614 (1992).
- 4) 甲藤好郎: 「伝熱概論」, p.79, 養賢堂 (1975).