

脱気した水の繊維への浸透性について

松田千可子, 安井裕美, 小野木禎彦

(武庫川女子大学生生活環境学部)

平成6年8月8日受理

Permeability of Deaerated Water into Textile Fibers

Chikako MATSUDA, Hiromi YASUI and Yoshihiko ONOGI

*Faculty of Human Life and Environmental Sciences,
Mukogawa Women's University, Nishionomiya 663*

Physical properties of deaerated water such as permeability into textile fabrics and surface tension were measured carefully using the deaerated water produced by a new technology which uses hollow fibers. No difference in surface tension between aerated and deaerated water was observed. However, the observed permeability of deaerated water into textile fibers was clearly different from that of aerated water. This clear difference may be explained by the dissolution of gaseous molecules confined in tiny voids of fibers in deaerated water.

(Received August 8, 1994)

Keywords: deaerated water 脱気水, aerated water 飽和水, permeability 浸透性, surface tension 表面張力.

1. 緒言

われわれの生活に密接な関わりを持つ水も、その構造については、現在もなお活発な研究が行われている^{1)~5)}。さらに、水と高分子材料との相互作用についても、その重要さの故に古くから研究され、現在、高分子固体材料中に存在する、状態の異なる水が問題となっている^{6)~8)}。

水と高分子、特に水と繊維について多く研究がなされているが、研究に用いられる水の多くは空気を溶存した水で、水に溶解している窒素、酸素や炭酸ガスなどの気体分子の影響については無視されているのが現状である。これは窒素や酸素の溶解度が高々数十ppmとそれほど高くないことによるものと思われる。しかしながら、膜分離技術の最近の進歩により溶存気体を除いた水(脱気水)が容易に得られるようになり⁹⁾、その性質が調べられた結果、脱気水は脱気していない水とかなり異なる性質を示すことが報告されている¹⁰⁾。特に、被服材料を構成する繊維には微細孔を有するものが多く、脱気の効果は大きいことが予測されるので、

高分子材料への水の吸着性能に及ぼす脱気の効果을明らかにすることは重要と考えられる。

そこで、本研究では、微細孔を有する綿の繊維(スライバー)および種々の繊維の布帛の水吸収に及ぼす脱気の効果を詳細に検討し、空気を飽和した水(飽和水)との差異を調べてみることにした。

2. 実験方法

(1) 脱気水の製造

大日本インキ化学工業(株)の脱気モジュール(MJ)に水道水を流し、アスピレーターでモジュールを減圧して脱気水を採取した。この脱気モジュールの概略をFig.1に示した。脱気モジュールは、低分子のみを透過させることができる中空糸を束ねたもので、中空糸内に水道水を通し、中空糸の外側を減圧にすることにより、水中の溶存気体をすばやく取り除くことができる。中空糸内の水道水の流量を少なくし、水道栓をいっぱい開いたアスピレーターで脱気水を採取し、測定まで空気が溶け込まないように注意した。なお、脱気

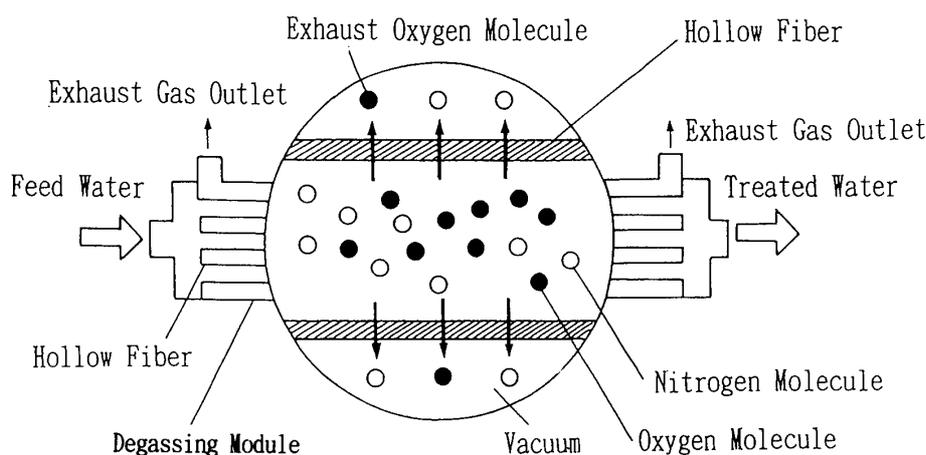


Fig.1. Degassing process through the hollow fiber membrane

水を採取した時の減圧度はいずれの場合も 18 ± 2 mmHg であった。また、測定前後で溶存酸素濃度を測定し、それらの平均値を試料水の溶存酸素濃度とした。なお、脱気水中の溶存気体量を溶存酸素計（柴田科学 DO-2）を用いて測定し、溶存酸素濃度（ppm）として表している。このモジュールでは、条件によって溶存酸素濃度のより少ない水が得られるはずであったが¹¹⁾、水道水の流量を少なくしてもほとんど溶存酸素量に変化しなかった。溶存気体の影響を十分に確認できると考えられたので、少し酸素濃度としては高かったが、通常水道水の酸素濃度のおよそ 10 分の 1 にあたる 1 ppm 前後の水を、この実験では脱気水として使用した。当然、空気中の炭酸ガスも試料の水にとけ込んでいる。そこで、脱気前後で pH を測定したが、pH 5.1 から 6.5 に変化し、炭酸ガスも除去されていることがわかった。

なお、この脱気水に 6 時間以上空気を吹き込み空気の飽和した水（飽和水）を調製した。さらに、脱気水との比較を行うため長時間空気に曝しておいた蒸留水も使用した。

(2) 撥水加工布への浸透性

JIS 撥水試験 A 法（スプレー法）により撥水加工を施した試料布に、脱気水、飽和水および蒸留水で撥水試験を行った¹²⁾。スプレー法では撥水度判定に定量性が欠けるため、バイアスに切り出した 8.5 cm 角の試料布をスプレー試験機に取り付け、水をスプレーした後、布に付着した水を振り落とし、浸透した水の重量を撥水加工布への水の浸透力として評価した¹³⁾。

(3) 木綿繊維の吸水速さ

遠心脱水機の脱水用セルに、脱水の際水を除去でき

るように工夫をし、一定量の木綿スライバー（200 mg）をこのセルに詰め、試料水 2.5 ml を散布し一定時間後に 4,000 rpm（ $2,000 \times g$ の遠心加速度）で脱水を行い、木綿繊維の重量増加より木綿繊維中への試料水の吸水速さを調べた。

(4) 沈降開始時間

試料水を 100 ml ビーカー一杯に満たし、木綿、アセテート、キュブラの各繊維の試料片（2 cm 角）をその水面にそっと浮かべ、試料片が吸水し液面から試料片全体が離れるまでの時間（沈降開始時間）を測定した。

(5) 布片の水中落下速度

硝子シリンダーに試料水を入れ、木綿、アセテート、キュブラの各繊維布帛の試料片（5 mm 角）をその水面にそっと浮かべ、試料片が水面下 5 cm から 15 cm まで沈降するのに要する時間を測定し、平均の水中落下速度を求めた。

(6) 表面張力

島津製作所製デュヌーイ式表面張力計を用い、脱気水、飽和水および蒸留水の表面張力を室温（約 26℃）で測定した。

3. 結果および考察

(1) 試料水の溶存酸素量

大日本インキ化学工業(株)の脱気モジュール（MJ）で採取した脱気水、および、この脱気水に十分空気を吹き込んだ飽和水、さらに、蒸留水の 3 種の試料水について、おのおのの溶存酸素濃度を溶存酸素計（柴田科学 DO-2）で測定した。それらの測定結果を Table 1 に示す。水は種々の気体を溶解することが知

脱気した水の繊維への浸透性について

られているが、化学便覧によれば¹⁴⁾、空気が飽和状態になっている水の酸素濃度は、空気の酸素分圧から計算すると約 8.9 ppm となり、脱気水を空気で飽和させた水の溶存酸素濃度に近いことがわかる。試料水の保存には、気体が溶け込まぬよう特に注意を払い、また、できるだけ各種の測定を速やかに行ったので、測定前後で大きな溶存酸素濃度の変化はみられなかった。

Table 1. Dissolved oxygen in various waters at room temperature (25°C)

	Dissolved oxygen (ppm)
City water	6.5-7.0
Distilled water	6.2-7.0
Deaerated water	0.8-1.6

Table 2. Water permeability into cotton cloths treated by water-proof agent of various concentrations (spray test at 25°C and 65% R. H.)

Concentration of water-proof agent at the finish	Sample code of cotton cloth	Water absorbed per 1 g cloth (g)		B/A (%)
		Distilled water (A)	Deaerated water (B)	
Un-treated	# 1	1.1656	1.2924	110.9
	# 2	1.5631	1.6831	107.7
	# 3	1.4567	1.6147	110.8
	# 4	1.2751	1.4856	116.5
1 %	# 1	0.2016	0.2179	108.1
	# 2	0.0915	0.1182	129.2
	# 3	0.2769	0.3659	132.1
	# 4	0.0538	0.0606	112.6
2 %	# 1	0.0191	0.0209	109.4
	# 2	0.0192	0.0198	103.1
	# 3	0.0376	0.0469	124.7
	# 4	0.0185	0.0195	105.4
4 %	# 1	0.0176	0.0190	108.0
	# 2	0.0109	0.0150	137.6
	# 3	0.0120	0.0146	121.7
	# 4	0.0122	0.0133	109.0
8 %	# 1	0.0132	0.0153	115.9
	# 2	0.0105	0.0117	111.4
	# 3	0.0097	0.0124	127.8
	# 4	0.0059	0.0098	116.1

Dissolved oxygen: distilled water, 6.5 ppm; deaerated water, 0.8 ppm.

(2) 撥水加工布への浸透性

親水性の布帛に水を噴霧すると、水は瞬時に布に吸収されてしまう。吸水が速すぎるために、試料水の浸透性の比較をすることが困難である。そこで、綿布に撥水加工を施し、水の浸透を遅らせて布への試料水の浸透性を比較することにした。撥水加工剤としてパーフルオロアルキルアクリレートのコポリマーである日華化学(株)撥水加工剤 NK ガード (FGN-700) を用い、1% から 8% の加工剤濃度の液に浸漬後、絞り率 80~90% となるように絞り機で絞り、乾燥後 160°C で 3 分間ベーキングを行い、撥水加工布を調製した。これらの撥水加工布は 65% 相対湿度のデシケータ中に一昼夜以上放置し、JIS 撥水試験 A 法 (スプレー法) により脱気水、飽和水および蒸留水を用いて撥水試験を行った。なお、試料布はいずれも日清紡績(株)製の平織木綿 4 種で、# 1, 2 は厚さ 0.245 mm, 織密度 55×27 本/cm, # 3 は厚さ 0.358 mm, 織密度 24×14 本/cm, # 4 は厚さ 0.290 mm, 織密度 52×29 本/cm のものを使用した。また、# 1, 3, 4 はシルケット加工布、# 2 はシルケット加工を施していない布である。

それぞれ 8.5 cm 角の撥水加工試料布をスプレー試験機に取り付け、水をスプレーした後、布に付着した水を振り落とし、浸透した水の重量を秤り、撥水加工布 1 g あたり吸収した水の重量を求めた。これらの測定結果を Table 2 に示した。撥水加工剤濃度が高くなるに従い、布 1 g に浸透する水の量は蒸留水、脱気水いずれの場合も減少しているが、明らかに脱気水の方が蒸留水に比べて浸透する水の量が多く、脱気水の浸透力が平均でおよそ 1.1 倍高かった。

(3) 木綿繊維の吸水速さ

アルカリ洗浄したアメリカ綿スライバー 200 mg に試料水 2.5 ml を散布し、1 分後に遠心脱水機で 4,000 rpm (2,000×g の遠心加速度) の脱水を行い、木綿繊維の重量増加より木綿繊維の試料水吸水速さを調べた。その結果を Table 3 に載せた。データは少しばらついているが、平均値は脱気水の方が値が大きく、木綿繊維中により速く浸透していく結果となっている。この実験は遠心脱水用のセルにスライバーを詰める方法など、実験操作が複雑であり、また、吸水速さの違いも 1% 程度であった。したがって、この測定方法は脱気水と飽和水との差が出にくい方法であることがわかった。

(4) 沈降開始時間

水温 25°C の試料水の水面上に、木綿、アセテート

Table 3. Water absorbability of cotton fibers

Water	Water absorbency (%)				
	Trial 1	Trial 2	Trial 3	Trial 4	Average
Aerated	29.19	27.46	27.44	26.61	27.68
Deaerated	27.96	29.72	26.55	28.04	28.07

Dissolved oxygen: aerated water, 6.8 ppm, deaerated water, 1.5 ppm. Water absorbency (%) = $\{(W_1 - W_0) / W_0\} \times 100$. W_0 : sample weight at 20°C and 65% R. H. W_1 : sample weight after centrifugation.

およびキュブラの各繊維試料片(2 cm 角)をそっと浮かべ、試料片が吸水し、液面から試料片全体が離れるまでの沈降開始時間(単位は秒)を測定した。その結果を Table 4 に示した。この表には布が硝子の側面に触れたりして、測定値が明らかに異常であったものを除いた6回の測定結果の平均値を示している。再生繊維であるキュブラが最も速く吸水し、半合成繊維で親水性のあまり良くないアセテートが、当然ながら最も吸水しにくい結果となっている。試料水である蒸留水の溶存酸素濃度は6.5 ppmで、飽和水は6.2 ppmであり、測定結果はほぼ同じであった。一方、脱気水の溶存酸素濃度は1.4 ppmであり、溶存酸素濃度が低いほど液面から離れる時間が短くなっている。すなわち、脱気水では水が速く布に浸透し、布のみかけの密度が増加したために、液面からより速く離れたと考えられる。ここで、湿式紡糸法で得られたキュブラの場合に、脱気水と空気を飽和した水との違いが大きいのは注目に値する。

(5) 布片の水中落下速度

硝子シリンダー中に試料水を入れ、試料片を沈降させ、水面下5 cmから15 cmまで沈降するに要する時間を測定し、平均の水中落下速度を求めた。なお、この測定では試料水の水温を25°Cに調節している。木綿、アセテート、キュブラの各繊維試料布について、溶存酸素濃度6.2 ppmの飽和水、および、1.4 ppmの脱気水で測定した結果を Table 5 に示した。測定結果はいずれも6回の平均値であり、壁面に衝突したものや、異常に落下速度の速いものは除いた。あまり大きな速度の差はみられないが、脱気水の方がいずれの試料布も落下が速く、よく水が浸透し、試料布のみかけの比重が大きくなっているためと考えられる。そこで、試料布をアスピレーターを用い減圧状態とし、一昼夜水に漬けて十分に水を浸透させた。これらの吸水試料布について、同様の測定を行った結果も Table 5

Table 4. Water permeability test by floating method

Sample	Floating time (s)			Fiber density (g/cm ³)
	Distilled water	Aerated water	Deaerated water	
Cotton	1.58	1.51	1.41	1.54
Acetate	4.91	5.62	4.85	1.32
Cupra	1.29	1.44	0.78	1.5

Sample size: 2×2 cm². Water temperature: 25°C. Dissolved oxygen: distilled water, 6.5 ppm; aerated water, 6.2 ppm; deaerated water, 1.4 ppm.

Table 5. Sink velocity of sample piece in various waters

Sample	Sink velocity (cm/s)		
	In aerated water	In deaerated water	In water
Cotton	2.15	2.21	2.39*
Acetate	1.12	1.22	1.45*
Cupra	2.02	2.12	2.16*

Water temperature: 25°C. Dissolved oxygen: aerated water, 6.2 ppm; deaerated water, 1.4 ppm. *Velocity in both aerated and deaerated waters of cloths completely soaked in deaerated water.

に載せた。長時間減圧状態で水に浸漬させたために、繊維中の気体が除かれ、繊維のみかけの比重が最大値に近くなったと考えられる。それゆえ、吸水試料の水中落下速度は試料水には依存せず非常に大きな値となった。このように試料布の水中での落下速度は試料布のみかけの比重、すなわち、試料布中の空気存在量によって大きく左右されることがわかった。

(6) 表面張力

液体が繊維や布帛に浸透するためには、まず、繊維表面を濡らさねばならない。表面の濡れには表面張力が大きく関わっている。そこで、この研究に用いている試料水の表面張力を、デュヌーイ式表面張力計を使って測定した。試料水の水温は26°Cに調節し、特に、脱気水の場合には空気が脱気水にとけ込み、溶存酸素濃度が変化するのを避けるために、出来る限り素早く測定を行い、さらに、測定ごとに新しい脱気水と交換した。常法に従い、白金リングをガスバーナーで焼き、附着している有機物を酸化分解させて清浄にして表面張力測定を行った。その測定結果を Table 6 に載せ

脱気した水の繊維への浸透性について

Table 6. Surface tension of water measured by du Nouy's method

	Distilled water	Aerated water	Deaerated water (rate (%) for aerated water)
Surface tension (dyn/cm)	71.2	72.5	71.8 (99.0)

Water temperature: 26°C. Dissolved oxygen: distilled water, 6.2 ppm; aerated water, 6.4 ppm; deaerated water, 1.6 ppm.

た。測定に供試した試料水の溶存酸素濃度は、蒸留水で 6.2 ppm, 飽和水で 6.4 ppm, 脱気水で 1.6 ppm であった。この結果より、白金リングが清浄な場合には、測定誤差範囲内で試料水の表面張力が、溶存酸素濃度にはよらないことがわかった。

(7) 布への水浸透の機構

試料水の表面張力測定結果より、脱気水が特別な物理的性質を示すのではないことがわかった。水中に数十 ppm の異物が混入しただけで、バルクな水の性質

が大きく変化することは考えにくい。界面活性剤分子のような水との相互作用の大きなものでも、数十 ppm 程度の濃度では水溶液のバルクな性質は純水とほとんど変わらない。まして、水に溶けにくい気体分子の場合には、バルクな物理的性質の変化は無視できるであろう。表面張力の測定では差が見られなかったが、布への浸透性、布が液面から離れる時間、および、布の水中落下速度には、明らかに有意な差を確認することができた。これらの差は次のような理由により説明することができる。

布への水の浸透は、まず、水が付着し布表面を濡らすことから始まる。すでに気体分子が繊維表面を覆っており、場合によっては、表面に強く引き付けられている分子が存在する。繊維内部に水が浸透するには、これらの表面吸着分子が多少障害となると考えられる。しかし、繊維への浸透水量の差が、湿式紡糸法で紡糸された粗い表面構造を持ったキュブラ繊維に顕著に見られたことから、狭い隙間に閉じ込められた気体状態の分子が水分子と入れ換わっていく過程に差が出たことが、原因と考えられる。Fig.2 にその機構を模式的に示した。A は繊維の微細な孔に空気の飽和した水が浸入しようとしているところであるが、中に空気が充満しているために入り込むことができない。この水には空気が飽和しているため、孔の中の空気を溶かし込むことができないからである。一方、B の脱気水では、孔の中の空気を水の中にどんどん溶かし込むことによって、C のように水が微細な孔の中に容易に入り込んでしまう。この様に、脱気水が空気の飽和した水と大きく違うところは、気体分子を水中に吸収することができることにあると考えられる。

存在する気体の種類による浸透性に及ぼす効果については、特に考察をしなかったが、現在実験を行っている。

4. 要 約

気体分子の溶存量の少ない脱気水を脱気モジュールを使って採取し、親水性である木綿スライバーや種々の繊維布帛を試料として選び、脱気水と空気が飽和している水との、繊維内への浸透性の違いを詳しく調べた。その結果、繊維への浸透速度は、脱気水と空気の飽和した水とでは、明らかに差のあることがわかった。しかし、溶存空気の絶対量が少ないため、表面張力の測定結果から、空気が溶けているかどうかは、水の物性にほとんど影響しないことが確認できた。これらの

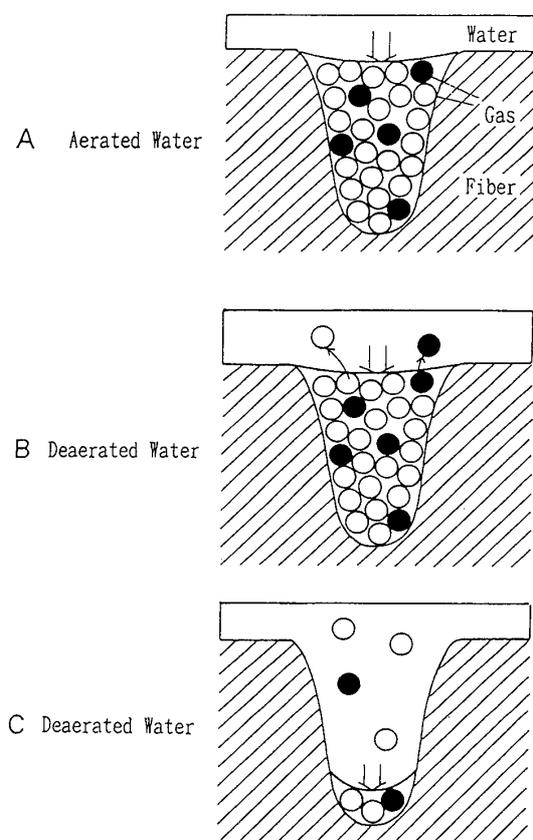


Fig. 2. Mechanism of deaerated water permeation into fibers

実験結果を検討した結果、布などへの浸透性の違いは、ミクロナボイドに閉じ込められた空気を脱気水が吸収することで説明できることがわかった。

本研究を行うにあたって、脱気水製造用脱気モジュールを提供していただいた、大日本インキ化学工業(株)穴沢孝典氏に心から感謝申し上げます。

なお、本研究の一部は日本家政学会関西支部第14回研究発表会(平成4年10月)において発表した。

引用文献

- 1) Nemethy, G. and Scheraga, H. A.: *J. Chem. Phys.*, **36**, 3382~3400 (1983)
- 2) 松下和弘: *ファルマシア*, **28**, 20~22 (1992)
- 3) Ohtomo, N., Tokiwano, K. and Arakawa, K.: *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **57**, 329~333 (1984)
- 4) Derjagin, B. V.: *Discuss. Faraday Soc.*, **42**, 109~119 (1966)
- 5) 佐佐木行美: *化学*, **26**, 1195~1201 (1971)
- 6) Nakamura, K., Hatakeyama, T. and Hatakeyama, H.: *Text. Res. J.*, **53**, 682~688 (1983)
- 7) Nakamura, K., Hatakeyama, T. and Hatakeyama, H.: *Text. Res. J.*, **51**, 608~613 (1981)
- 8) 水谷千代美, 小野木禎彦, 稲垣 博, 佐藤貴哉, 宮本武明: *織学誌*, **48**, 677~681 (1992)
- 9) 穴沢孝典: *日化協月報*, 9号, 12~19 (1991)
- 10) 越智康夫, 本田克久, 山下正純: *化学工学*, **55**, 678~679 (1991)
- 11) 大日本インキ化学工業: *モジュール MJ シリーズ SEPAEL カタログ* (1991)
- 12) 日本規格協会: *JIS 撥水試験 A 法* (1986)
- 13) 中津裕子, 山田玉緒: *武庫川女大家政学部卒業論文* (1992)
- 14) *化学便覧, 基礎編 II*, 丸善, 東京, 621 (1966)