

5. 医療介護施設・プール・温浴施設等で利用される  
循環ろ過機におけるカラム使用の提案

カラムの波状らせん構造に起因する特徴と  
水中におけるその挙動

カラム(単体・層)による不溶性物質除去と  
ろ過性能向上のメカニズム

北日本紡績株式会社  
北陸先端科学技術大学院大学

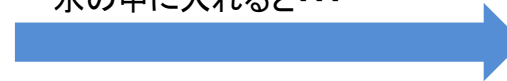
# カラムの波状らせん構造に起因する特徴

—特殊パウダー入りポリエチレン(PE)棒は水に沈むが、カラムは水に浮く—

A図は、特殊パウダー入りPE棒を示す。この円柱(直径12mm)の棒を端から0.5mmの厚みでらせん状に削る(緑色)ことによって、B図のような、波状のらせん構造(ゲノム状)が形作られる。3層程度のらせんが形成されたところで切断され、一つの単体(カラム)が得られる。  
特許登録(第4227887号)



水の中に入れると...

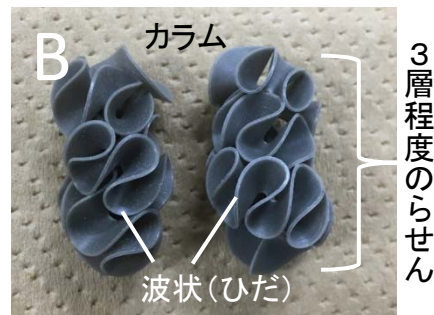


C図のように、沈む。



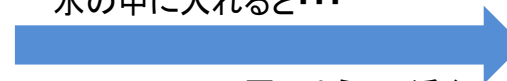
一般に特殊パウダー(セラミックス)とPEの比重はどちらも水のそれより大きい。そのため、水の中に入れると、沈む。

B図は、カラムを示す。長さ22cm(重さ32g)の特殊パウダー入りPE棒(A図)から約40個のカラムを作ることが出来る。1個あたり約0.74g・ひだの数約13枚・全表面積31.8cm<sup>2</sup>(名刺片面の2/3に相当、削る前の約7倍)である。

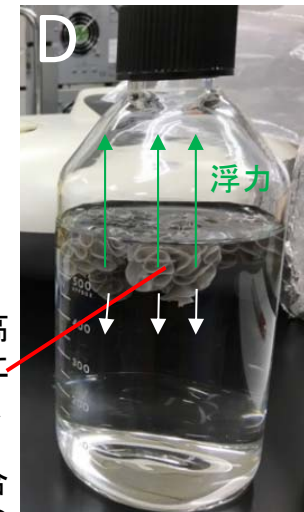


しかし.....

水の中に入れると...



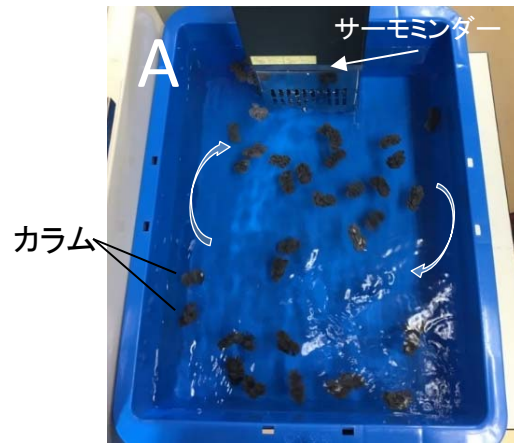
D図のように、浮く。



一般にPEは疎水性である。そのため、水中では、微細な気泡(空気は疎水性が高い)がPEに吸着すると考えられる。カラムの表面積は、PE棒のそれより大きく、そこに吸着する気泡の量もより多い。その結果、上向きにはたらく浮力(図の緑色)がまさり、カラムは浮く。実際、瓶の中の水を十分に脱気すると、沈むものがある。

(一方、カラムの中には脱気しなくても沈むものがある。特殊パウダーを含まない場合に沈む割合が増えること、電子顕微鏡でカラムに微細な凹凸が観察されること(他PDF参照)の2つを考えると、そのような構造もまた気泡の吸着に参与しているだろう。)

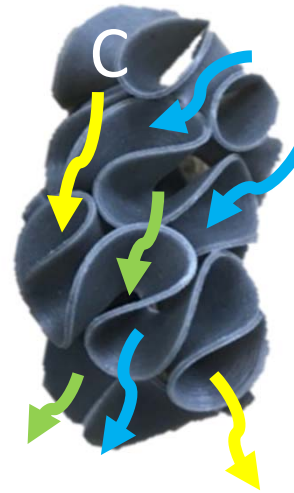
# カラム(単体)と不溶性物質の除去に関する定性実験と考察



A図:カラムが、不溶性物質(ごみ)をトラップするかどうかを確認するために、水槽に水(14L)とカラム(40g)、そして、ほこり・繊維(約0.1g)を入れ、A図のように、サーモミンスターに付属している水流ポンプを用いて、水を循環させた(白矢印)。

循環させている間、水流によって勢いよく移動するカラムやサーモミンスターの近くで動かないカラムが見られた。

B図:2時間後、すべてのカラムを観察すると、ほこりや繊維がトラップされているものがいくつかみられた。そこでは、B図のように、ひだに、ほこりの塊がごみのようにたまっていることが確認された。



C図:カラムがごみを取る仕組みについて「カラムは、波状のらせん構造によって隣接する壁と壁の間に無秩序の隙間をもち、その隙間がサイズも形も不均一なパイプを形成する。そのようなパイプに水が流れ込むとき、その断面積が急激に小さくなること(急縮小管)で縮流が生じることや、反対に広がること(急拡大管)で渦が発生することが考えられる。そのような流れや淀みの中、エッジ部分等に偶然、繊維・ほこりが付着(B図白丸)、さらに他のものが絡みつくなどして成長し、ごみとして認識されるに至ったのだろう」と推察される。

C図内の矢印は水の流れを示している。ここでは3種の流れを表した。緑矢印は、カラムの中央付近の隙間から内部に入り、すぐ下の隙間から外部に出る流れを表す。黄矢印は、左横から内部に入り、右下の隙間から外部に出る。青矢印は、2つの隙間から内部に入り、合流後、下の1つの隙間から外部に出る。カラムの内部では、このような様々な流れやそれに起因する淀みが生じると考えられる。

隙間の大きさから考えて100~500 $\mu\text{m}$ 程度の大きさをもつほこりの塊や不溶性の石鹼かすなどがトラップされる物理的ろ過が可能であるだろう。

# カラム(層)と不溶性物質の除去に関する定性実験と考察

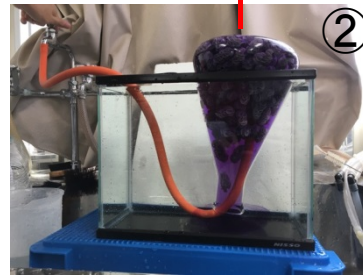
—水槽におけるカラムの使用について—

①不溶性有機物を含む紫に着色した水とカラムを容器に入れ、水槽を水で満たす



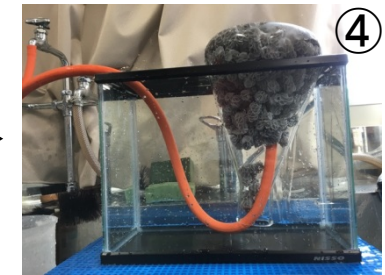
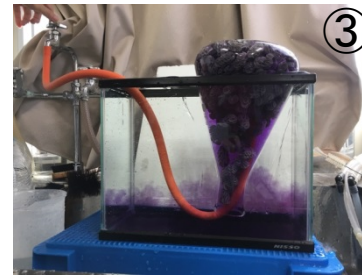
水槽 容器  
(2L三角フラスコ)

浮いたカラムが層を形成する



②容器をひっくり返して空気が入らないように水槽に入れ、容器の下から水道ホースを挿入

③蛇口をひねって水道水を流すと、下から紫色の溶液が出てくる



④水が水槽からあふれ、全体が無色になるまで、10秒程待つ

②' 上からみると



④' 上からみると



不溶性有機物が絡まっている

100~500 $\mu$ mの目開きをもつ篩としての機能

# カラム(層)と不溶性物質の除去に関する定性実験と考察

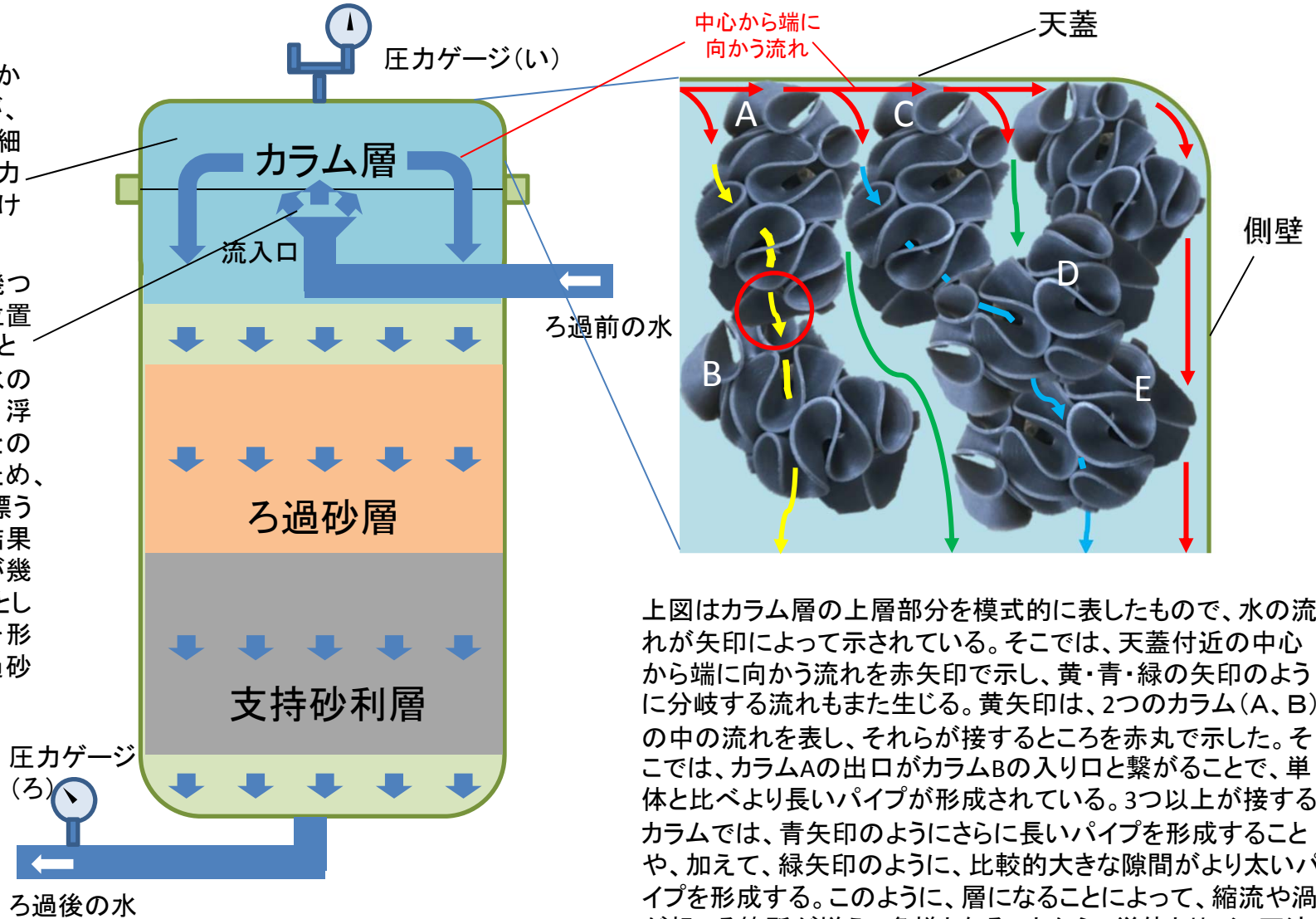
## —循環ろ過機内におけるカラムの使用について—

カラムは、水より僅かに高い密度をもつが、表面に吸着する微細気泡に起因する浮力により天蓋に押し付けられる。

流入口付近では、幾つかのカラム単体の位置が、他のものの位置と置き換わる程度に水の勢いがある。しかし、浮力により他の単体との間に摩擦が生じるため、水流の中で別々に漂うということはない。結果として、カラム単体が幾重にも重なり、全体として、層(カラム層)を形成する(一部はろ過砂の表面に沈む)。

径500 $\mu$ mから2mmの不溶性物質がカラム層にトラップされる。

径25~500 $\mu$ mのものがろ過砂層上部でトラップされる。



上図はカラム層の上層部分を模式的に表したもので、水の流れが矢印によって示されている。そこでは、天蓋付近の中心から端に向かう流れを赤矢印で示し、黄・青・緑の矢印のように分岐する流れもまた生じる。黄矢印は、2つのカラム(A、B)の中の流れを表し、それらが接するところを赤丸で示した。そこでは、カラムAの出口がカラムBの入り口と繋がることで、単体と比べより長いパイプが形成されている。3つ以上が接するカラムでは、青矢印のようにさらに長いパイプを形成することや、加えて、緑矢印のように、比較的大きな隙間がより太いパイプを形成する。このように、層になることによって、縮流や渦が起こる箇所が増え、多様となることから、単体と比べ、不溶性物質をよりトラップしやすくなると考えられる(実際、紫に着色した水を用いた実験(前頁参照)では、天蓋とカラムの間に不溶性物質が多く沈着していた)。

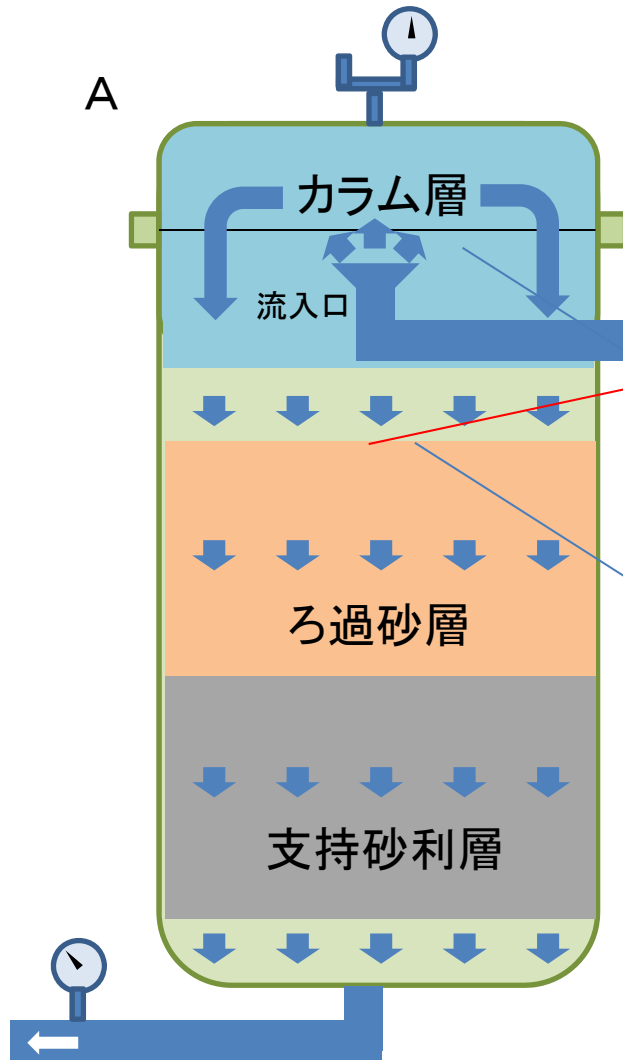
カラム入り循環ろ過機の模式図

# 循環ろ過機内におけるカラムの役割—問題点1の解決

—ろ過性能向上のメカニズム—

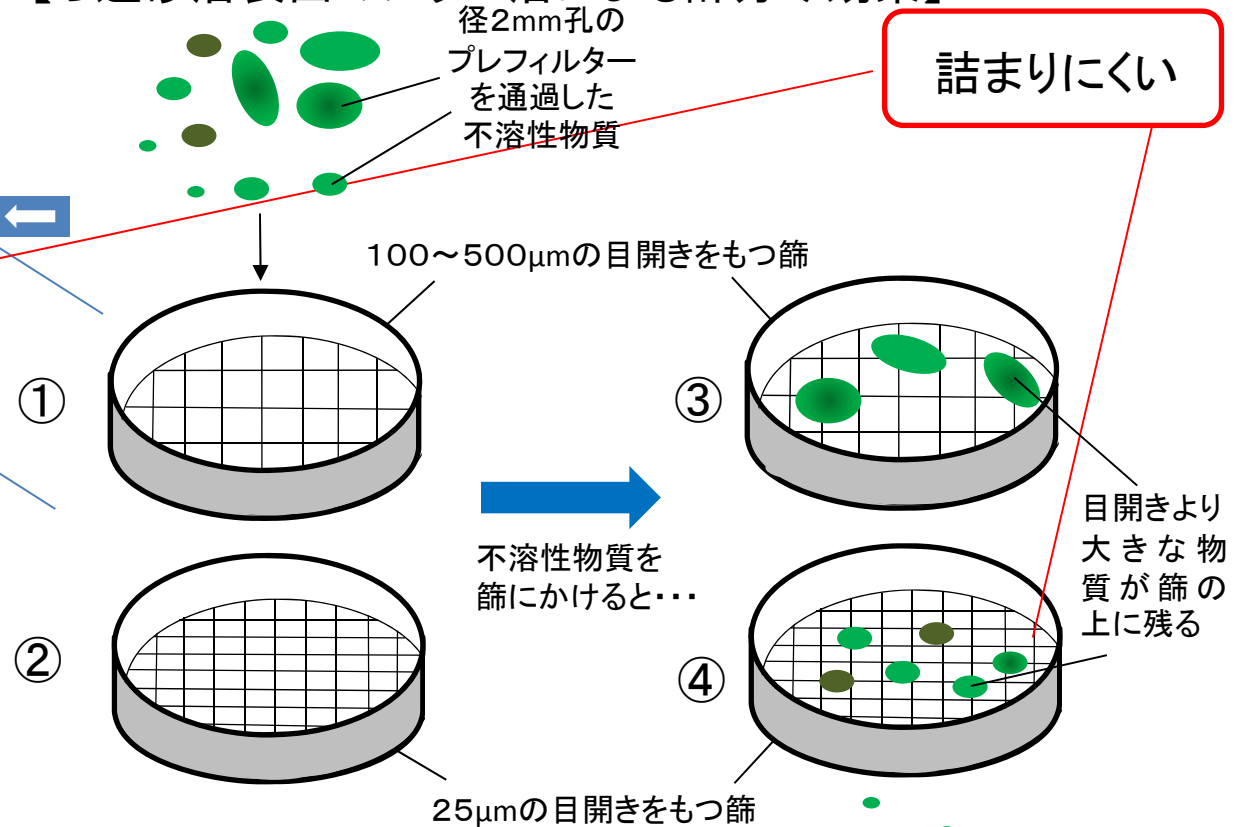
「循環ろ過機の構造と流入する物質の特徴」のPDFを参照

A



カラム入り循環ろ過機の模式図

B【ろ過砂層表面のカラム層による篩分け効果】



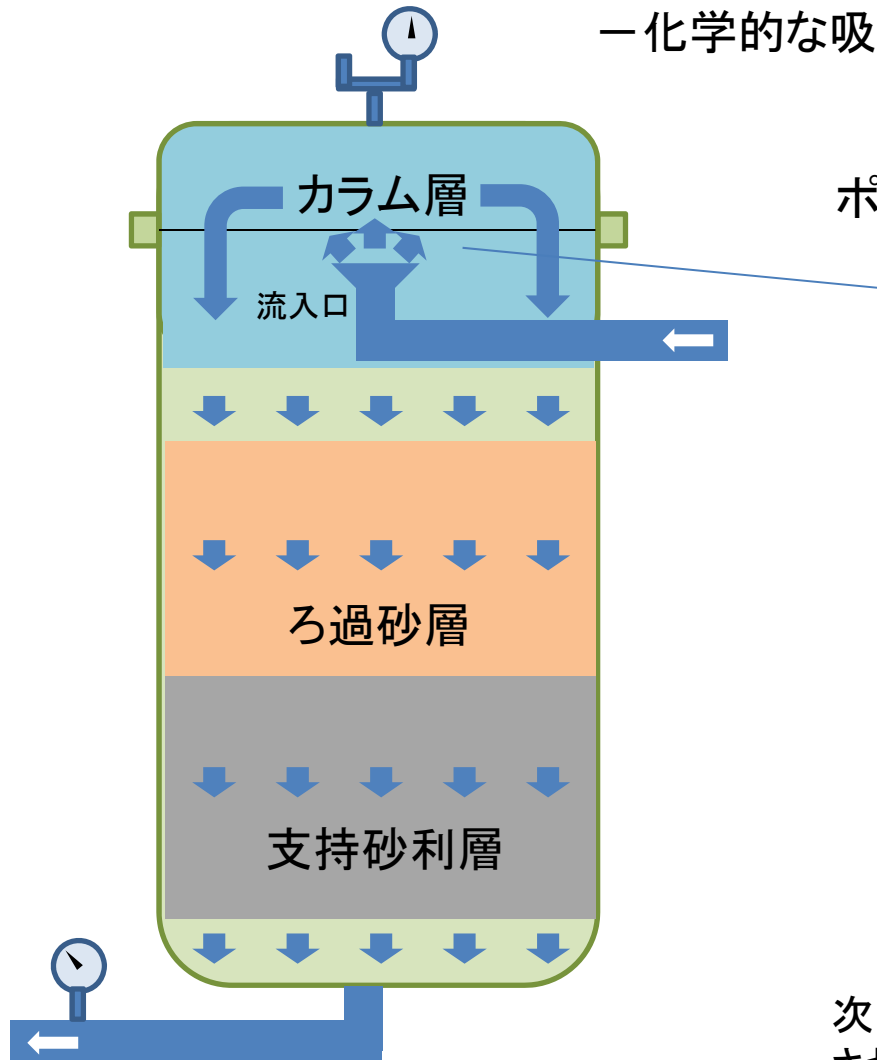
A図はカラム入り循環ろ過機の模式図を示す。このろ過装置は、カラム層とろ過砂層の表面の2つがろ過機能を担う。目開きの異なる2種類の篩を用いてその様子を表したものがB図である。そこでは篩(①、②)によって篩分けを行うと、それぞれの目開きより大きな物質は篩の上に残り、小さなものは通過する。その結果、③と④のようになる。

カラム層が目開きの大きな篩の役割を果たすことによって、ろ過砂層の表面がより詰まりにくいものとなり、ろ過性能が向上する。

# 循環ろ過機内におけるカラムの役割—問題点2の解決

—化学的な吸着に関する考察—

「循環ろ過機の構造と流入する物質の特徴」のPDFを参照



カラム入り循環ろ過機の模式図

## ポリエチレンの疎水的な性質に起因する特徴 —カラムと有機物—

線速度の遅いろ過機内に、疎水性の高いもの（気泡や有機物）を吸着させやすい性質を有するポリエチレンで作られたカラム単体を投入すると、その表面と不溶性の有機物との間に、疎水的な相互作用が生じると考えられ、これをトラップすることが可能と考えられる。従って、不溶性有機物の粒子が循環ろ過機の内部の液層中を漂うことがより抑えられる。

可溶性の有機物に対しては僅かに効果があると予想される。流れ（層流や渦流）のある環境下においてポリエチレン表面に吸着するアルブミン（蛋白質）量は、 $0.4\mu\text{g}/\text{cm}^2$ であると報告されている（日本化学会誌1982, 7, 1241-1245）。カラム一つあたり表面積（ $31.8\text{cm}^2$ ）であり、ろ過機に一万個程度利用されると考えると、約130mgの蛋白質（可溶性有機物）が吸着可能であると計算される。

次の項に、吸着した有機物が次亜塩素酸によって酸化される反応が、カラム表面の金属酸化物触媒によって促進されること、その結果、トリハロメタンなどのハロゲン化有機物の生成が抑制される可能性について記述する。