

# 地層中のコロイド移行速度に関する実験および解析

— ガラスビーズを充填したカラム中のコロイド移行 —

1997年3月

動力炉・核燃料開発事業団  
東海事業所

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせ下さい。

〒319-11 茨城県那珂郡東海村大字村松4-33

動力炉・核燃料開発事業団

東海事業所 技術開発推進部・技術管理室

Enquires about copyright and reproduction should be addressed to:Technology Management Section, Tokai Works, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation, 4-33 O-aza-Muramatsu, Tokai-mura, Naka, Ibaraki-ken, 319-11, Japan

動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation)1997

## 地層中のコロイド移行速度に関する実験および解析

—ガラスビーズを充填したカラム中のコロイド移行—

報 告 者：黒澤 進<sup>1)</sup>，油井三和<sup>2)</sup>

### 要 旨

高レベル放射性廃棄物の地層処分システムの性能評価研究において、地層中における核種の移行を解明することは重要な課題である。近年、コロイド等の微粒子が、放射性核種の移行速度を助長する媒介として働くかもしれないという懸念が強まっている。例えば、Hydrodynamic Chromatography(HDC)理論によれば、バルク水が放物線的な流速分布をもって流れる場合には、コロイドはバルク水の平均移行速度よりも速いと見積られる。したがって、HDC理論に基づけば、地下水中で放射性核種がコロイドに吸着したりあるいは自らがコロイドを形成すると、地層中での核種移行を促進させると考えられる。

そこで本研究では、地層中でのコロイドの移行速度を直接実験に基づいて評価するため、まずは多孔質媒体を模擬したガラスビーズ充填カラム中で、金コロイドおよびラテックス粒子の移行実験を行った。そして、この際コロイドの移行をHDC理論に基づく解析モデルを用いて予測し、この結果をカラム実験の結果と比較した。その結果、多孔質媒体中でのコロイドの移行速度は、HDC理論に基づくモデルによる予測値よりも遅いことが示された。この理由として、コロイドの移行速度は、HDC理論では厳密に考慮されていないコロイド-固相間の相互作用力により固相に吸着されて、遅延されるためと考えられる。

---

1) 三菱マテリアル株式会社

2) 東海事業所 環境技術開発部 地層処分開発室

## **Experimental Studies on Colloid Flow Rate in Geologic Media**

— Colloid Transport through Columns Packed with Glass Beads —

Susumu KUROSAWA<sup>1)</sup> and Mikazu YUI<sup>2)</sup>

### **ABSTRACT**

To evaluate migration behavior of radionuclides in geologic media is one of the most significant issues for the performance assessment of geological disposal system for high level radioactive waste. For performance analysis, effects of micro particles such as colloids on the radionuclides migration should be considered; whether colloids enhance transport of radionuclides in a geologic formation. Based on the theory of Hydrodynamic Chromatography(HDC), the average flow rate of colloids could be faster than that of the bulk water under the condition that the flow profile of bulk water is parabolic. Transport of radionuclides through geologic media could be accelerated when the radionuclides are sorbed on colloids.

In order to investigate the transport behavior of colloids in geologic media, we used a column packed with glass beads as simulated porous geologic media and two types of colloid tracers of gold colloid and latex particle as simulated natural colloids. We compared the flow rate of colloids based on the HDC theory with the results of the column experiments. By this comparison, it is suggested that the flow rate of the colloid in porous geologic media is significantly slower than that predicted based on the HDC. The differences between them was explained by colloid retardation processes due to its sorption on the glass beads,, that it is not strictly described in the HDC theory.

---

1) Mitsubishi Materials Corporation

2) Tokai Works, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation

目 次

1. はじめに -----	1
2. 方法 -----	2
2. 1 試料 -----	2
2. 2 実験方法 -----	3
2. 3 HDC理論に基づくコロイド移行解析 -----	3
3. 結果および考察 -----	6
3. 1 金コロイドの移行 -----	6
3. 2 ラテックス粒子の移行 -----	8
4. まとめ -----	9
参考文献 -----	10

## 図・表・写真 目次

## 図

図 1	実験装置の概略図 -----	1 1
図 2	金コロイドのガラスビーズ充填カラム中の破過曲線 -----	1 2
図 3	試験終了後のガラスビーズ充填カラム中の 金コロイドの濃度プロファイル -----	1 3
図 4	ヨウ素のガラスビーズ充填カラム中の破過曲線 -----	1 4
図 5	HDC理論に基づくコロイド移行のコロイド表面電位依存性 -----	1 5
図 6	HDC理論に基づくコロイド移行の電解質濃度依存性 -----	1 6
図 7	金コロイドとガラスビーズ間の静電的相互作用力 -----	1 7
図 8	ラテックス粒子のガラスビーズ充填カラム中の破過曲線 -----	1 8

表

表 1 試験に供したコロイドおよびガラスビーズの表面電位 ----- 19

写真

写真1 Frensらの報告に従って作製した金コロイド----- 20

写真2 分散剤を加えた金コロイド----- 20

写真3 LiI を加えた金コロイド ----- 20

## 1. はじめに

ガラス固化体から地下水中に溶出した核種は、地層中をイオンの形態で移行する他、一部は地下水中のコロイドに吸着したり、あるいは自らがコロイドを形成して移動する可能性がある[1]。したがって、高レベル放射性廃棄物の地層処分システムの性能評価においては、地層中での核種移行速度に及ぼすコロイドの影響について評価を行うことが必要である。例えば、Hydrodynamic Chromatography(HDC)理論[2]では、水が毛細管や2枚の平面間のような場を流れる場合、その流速分布は中心部で最も速く、壁面で最も遅いといった放物線流を示す。このため、そこにコロイドが存在するとコロイドは中心流に集まりやすく、コロイドの移行速度は水の平均速度と比較して～1.1倍、極端な場合には1.4倍にもなると予測される[3]。したがって、HDC理論に従えば、核種がコロイドに吸着したりまたは自らがコロイドを形成した場合には、核種の移行速度を助長すると考えられる。

しかし、実際の地層では、核種の移行経路となる間隙は、亀裂や鉱物粒子が不規則に存在して直線的なものではない。したがって、地下水はそこを曲がりくねりながら、また鉱物粒子と衝突を繰り返しながら流れるため、擾乱され放物線流を示さないと考えられる。そして、この地下水中にコロイドが存在していれば、コロイドも鉱物粒子と数多く衝突するため、地層中でのコロイド移行は、媒体との相互作用によって遅延される可能性がある。

そこで、本研究では、まずは多孔質媒体中でのコロイドの移行を評価するため、ガラスビーズを充填したカラムを地層に見立ててコロイドの移行実験を行ない、コロイドの移行に及ぼすコロイド-固相間の相互作用の影響について評価を行った。また、本実験でのコロイドの移行速度の実測値は、HDC理論による計算値と比較を行ったので報告する。



## 2. 方法

### 2.1 試料

カラム実験によりコロイドの移行速度を調べた研究は、これまでに数例あるが[4-6]、カラム内に充填された粒子および供されたコロイドは、研究者によっていろいろである。

本実験では、Nagasakiら[6]に従い、カラムにはガラスビーズを充填して多孔質媒体を模擬した。この際、カラム内はできるだけ不均質性をなくし、コロイドの移行経路に対して実験ごとに再現性が得られるよう、粒径および形状が揃ったガラスビーズ(ユニオン社製ソーダライム・シリケートガラス、粒径(直径)100  $\mu\text{m}$ 、比表面積0.071  $\text{m}^2/\text{g}$ )を用いた。充填後のカラムの空隙率は0.45である。

また、試験に供するコロイドには、分散性を容易に調整できることを前提に、金コロイドおよびラテックス粒子を選定した。金コロイドはFrensらの報告に従って、塩化金酸( $\text{HAuCl}_4$ )をクエン酸ナトリウム( $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$ )により還元して得た[7]。そして、得られた粒径(直径)15 nmの金コロイド(濃度100 ppm)は、濃度が高い方が凝集しやすいことから蒸留水で10 ppmの濃度に希釈した。さらに、これに分散剤(エタノール10 wt.%およびpolyoxyethylen hydrogenated castor oil 0.5 wt.%) [8]またはヨウ化リチウム(0.02M LiI)を加えて、固相との静電的吸着性や電解質濃度の互いに異なる3種類のコロイド分散液を作製した。ちなみに、LiIは、バルク水の移行を把握するためのトレーサとしての役割も有している。一方、ラテックス分散液としては、日本合成ゴム(株)より購入した粒径(直径)40 nmのものを100 ppmの濃度で蒸留水中に分散させて、分散剤(0.0035M ラウリル硫酸ナトリウム)[6]を加えたものと加えないものの2種類とした。そして、これらコロイドは、後述する実験方法に従いカラム中を移行させ、コロイドの移行速度に及ぼす分散性の影響について評価した。

表1には、用意した5種類のコロイドおよびカラムに充填したガラスビーズの表面電位(ゼータ電位、電気泳動法および流動電位法により測定)を示す。なお、コロイドおよびガラスビーズは同符号の電荷をもつことから、本実験では、コロイドとガラスビーズ間のクーロン力については無視し得るものと判断した。また、写真1~写真3には、供した金コロイドの分散性を示す透過型電子顕微鏡(TEM)像を示すが、凝集塊の形成は認められなかった。よって、供した金コロイドの粒径は試験前と変わらず、均一なものであるとして試験結果

を評価した。ラテックス粒子については、とくにTEMを用いた観察さえも行わなかったが、きわめて安定であることが知られることから、金コロイドと同様に供した粒子の粒径はいずれも均一なものであるとして試験結果を評価した。

## 2.2 実験方法

実験装置の概略を図1に示す。上述した金コロイドとラテックス粒子が分散する5種類の溶液は、ガラスビーズを充填したカラム中を、Nagasakiら[6]に従い1.5 cm/hの速度で流した。そして、カラムから流出した溶液を36時間ごとに採取し、金コロイドまたはラテックス粒子の濃度を分析し、それぞれのコロイドの破過曲線を求めた。また、バルク水の移行速度を把握するため、LiIを共存する金コロイド分散液については、I<sup>-</sup>についてもその破過曲線を求めた。この際、金コロイドおよびI<sup>-</sup>の濃度分析はICP発光分光法を用いて、またラテックス粒子の濃度分析は可視・紫外分光光度計を用いて行った。

また、固相に捕捉されたコロイドの濃度プロファイルについては、一例として、金コロイドの濃度プロファイルを測定した。金コロイドの濃度分析については、ガラスビーズを王水中で10分間煮沸洗浄したのち、王水中のAu濃度をICP質量分析法より求めることによって測定した。

## 2.3 HDC理論に基づくコロイド移行速度解析

本研究では、HDC理論に対して提唱されているPrieveらのモデル[9]を用いて、ガラスビーズを充填したカラム中でのコロイドの移行速度をバルク水との流速比として算出し、本実験結果との比較を行った。本計算では、ガラスビーズ充填カラム中の移行経路は、毛細管として取り扱うこととした。まず、バルク水の平均流速(cm/sec)は、

$$V_{H_2O} = \frac{\int_0^{R_0} V_z(r) 2\pi r dr}{\int_0^{R_0} 2\pi r dr} \quad (1)$$

で与えられる。ここで、 $V_z(r)$ は管内のバルク水の流速分布を、また $R_0$ は毛細管を想定することにもなう毛細管の半径(cm)を表す。この毛細管の半径は、以下の式で計算される。

$$R_0 = \frac{R\varepsilon}{3(1-\varepsilon)} \quad (2)$$

ここで、 $R$ は充填固相(ガラスビーズ)の直径(cm)を、また $\varepsilon$ は空隙率を表す。

一方、コロイドの平均流速(cm/sec)は次の式より計算される。

$$V_{colloid} = \frac{\int_0^{R_0-R_p} V_z(r) \exp[-W(r)/kT] r dr}{\int_0^{R_0-R_p} \exp[-W(r)/kT] r dr} \quad (3)$$

ここで、 $W(r)$ はコロイドと毛細管壁との間に作用する全相互作用ポテンシャル(erg)を、 $R_p$ はコロイドの半径(cm)を、 $k$ はボルツマン定数( $1.38 \times 10^{-16}$  erg/K)を、 $T$ は絶対温度(K)を表す。

また、コロイドと毛細管壁との間にはたらく全相互作用ポテンシャルは、電気二重層理論による反発力( $W_{DL}$ )と van der Waals 引力( $W_{VDL}$ )で書き表すことができる。

$$W = W_{DL} + W_{VDL} \quad (4)$$

本実験条件では、コロイドとガラスビーズの間にはたらく全相互作用ポテンシャルは、球と平板間にはたらく相互作用とみなすことができる[9]。したがって、球と平板間における電気二重層理論による反発力(erg)は、

$$W_{DL}(h) = 16\varepsilon R_p \left(\frac{kT}{e}\right)^2 \tanh\left(\frac{e\phi_1}{4kT}\right) \tanh\left(\frac{e\phi_2}{4kT}\right) e^{-\kappa h} \quad (5)$$

で表される[9]。ここで、 $e$ は電気素量( $1.6 \times 10^{-19}$  C),  $\epsilon$ は流体の誘電率( $6.96 \times 10^{-12}$  F/cm),  $\kappa$ は電解質の濃度( $\text{cm}^{-1}$ ),  $h$ はコロイドとガラスビーズ間の距離(cm),  $\phi_1, \phi_2$ はコロイドとガラスビーズの表面電位(V)を表わす。

一方、球と平板間にはたらく van der Waals 引力(erg)は、

$$W_{VDL}(h) = -\frac{A}{12} \left( \frac{1}{x} + \frac{1}{x+1} + 2 \ln \frac{x}{x+1} \right) \quad (6)$$

で表される[10]。ここで、 $x = h/2 R_p$ ,  $A$ はHamaker定数(erg)と呼ばれる物質特有の定数であり、次式で求められる。

$$A = (\sqrt{A_{11}} - \sqrt{A_{33}})(\sqrt{A_{22}} - \sqrt{A_{33}}) \quad (7)$$

ここで、 $A_{11}$ ,  $A_{22}$ および $A_{33}$ は、それぞれ水、コロイドおよびガラスビーズに対するHamaker定数である。そこで、本計算では金コロイドの場合を例に、 $A_{11} = 4.38 \times 10^{-13}$  erg[11],  $A_{22} = 6 \times 10^{-13}$  ergおよび $A_{33} = 10 \times 10^{-13}$  erg[6]の値を用いてコロイドおよびバルク水の平均流速を算出し、次式で定義する separation factor(SF)を求めて実験結果との比較を行った。

$$SF = \frac{V_{colloid}}{V_{H_2O}} \quad (8)$$

なお、コロイドのHamaker定数については、金コロイドおよびラテックス粒子とも  $6 \times 10^{-13}$  ergの値が報告されていることから[6, 12], その値を用いることとした。

### 3. 結果および考察

#### 3.1 金コロイドの移行

##### (1) 移行速度

図2には、表1に示した3種類の金コロイドが、ガラスビーズ充填カラムを移行した際の破過曲線を示す。これから、分散剤を加えた場合コロイドは、分散剤を加えない場合よりも移行が速いことが確認された。これは、分散剤が添加されるとコロイドは保護作用[13]が付され、分散剤が添加されていないコロイドと比較して固相との吸着性が抑制される。このため、静電的相互作用の大きさに違いが生じ、コロイドのカラム中の移行速度に差異をもたらしたものと考えられる。また、LiIが添加されたコロイドの移行速度は、さらに遅延されることが確認された。これは、溶液中の電解質濃度が高くなると、そこに存在するコロイドの電気二重層が薄くなり、固相との静電的反発力が低下して、固相壁からコロイドが排斥されにくくなるためと考えられる。

図3には、試験終了後のカラム中のガラスビーズに捕捉された金コロイドの濃度プロファイルを示すが、この結果からもガラスビーズに捕捉された金コロイドは、分散剤を加えたコロイド、加えていないコロイド、そしてLiIが添加されたコロイドの順で捕捉量が高くなっており、上記解釈とよく整合する。

また、図4には、バルク水の移行速度を評価しやすいよう行ったI<sup>-</sup>の破過曲線を示す。その結果、コロイドの移行速度は、I<sup>-</sup>と比較して遅いことが示された。しかしながら、例えばHDC理論では、既述したようにコロイドは固相とあまり衝突せずに移動すると考えられているため、コロイドと固相間の相互作用力はコロイドの移行にあまり影響を与えず、遅延されないと考えられている。

そこで、コロイドと固相間の静電的な相互作用にとくに影響を与えるコロイドの表面電位、およびコロイドが分散する溶液中の電解質濃度をパラメータに、HDC理論からSFについて計算を行った。この結果を、図5(コロイドの表面電位依存性)および図6(電解質濃度依存性)に示す。これから、HDC理論ではコロイドの表面電位の大きさは、コロイドの移行速度にほとんど影響を与えないことがわかる。一方、コロイドが分散する溶液中の電解質濃度は、濃度が高くなるにしたがい、わずかだがコロイドの移行を遅延させる傾向を示した。

しかし、バルク水の移行速度と比較するとコロイドの方が速く、コロイド-固相間の相互作用力の程度に依存してコロイドが遅延される傾向を顕著に示した本実験結果に対して、HDC理論ではその影響は小さいことが示された。これは、コロイドの流速を算出するにあたっては、コロイドと固相間の相互作用力 $W$ を考慮してはいるものの、この $W$ の大きさ次第で計算結果が顕著に変わるほど考慮されていないためと考えられる((3)式および(5)式参照)。

したがって、本実験によれば、地層中でのコロイド移行に及ぼすコロイド-固相間の相互作用力は、HDC理論に代表されるようなコロイド-固相間の相互作用力よりも大きく、その程度によってはコロイドの移行を遅延させると考えられる。

## (2) 電気二重層反発力と van der Waals 引力によるコロイド-固相間相互作用力の影響

前述のように、ガラスビーズを充填したカラム中のコロイドの移行速度は、コロイドとガラスビーズ(固相)間の静電的相互作用力に影響されている。したがって、ここでは実験に供したコロイドのコロイド-固相間の相互作用力を計算し、その大きさの違いが本実験でのコロイドの移行速度と相関があるかを検討した。

コロイドと固相の間にはたらく相互作用の大きさは、(4)式からわかるように、(5)式の電気二重層による反発力と(6)式の van der Waals 引力の総和によって見積られる。そこで、ここでは実験に供した3種類の金コロイドのうち、Frensらの報告に従って作製した金コロイドと、それにLiIを加えて溶液中の電解質濃度を変えて分散させている金コロイドと固相との相互作用力について計算を行った。

図7には、その計算結果を示す。ここで、コロイドと固相間の相互作用力は、その値が負に大きいほど固相との静電的吸着性が大きいことを示す。したがって、Frensらの報告に従って作製したコロイドにおいて、LiIを加えたものとそうでないものとは、前者の方が静電的には固相に吸着しやすいことが推測される。そして、この傾向を実験結果と比較すると、ガラスビーズを充填したカラム中のコロイドの移行速度は、LiIを加えたコロイドの方が加えていないコロイドよりも遅く、固相との相互作用力の大きさと相関のあることがわかる。

なお、本計算の中では、分散剤を加えたコロイドの固相との相互作用力は計算していないが、これは分散剤を加えられたコロイドは粒子表面に保護作用が付されて、電気二重層による反発力と van der Waals 引力から相互作用力が見積れないためである。しかし、このコロイドの固相との静電的吸着性は、保護作用により抑制されていることから、計算した他

のコロイドよりは固相に吸着しにくいと判断される。したがって、上述した2種類のコロイドより分散剤が加えられたコロイドの移行が速いことは、適当であると判断される。

### 3.2 ラテックス粒子の移行

金コロイドのガラスビーズ充填カラム中の移行実験より、コロイドの移行速度は、コロイドと固相間にはたらく静電的な相互作用力と相関性があることが示された。ここでは、ラテックス粒子を用いた同様の実験から、ラテックス粒子の移行速度が金コロイドと同じく、固相との相互作用力に依存するのか確認を行った。

図8には、この際測定した2種類のラテックス粒子の破過曲線を示す。その結果、ラテックス粒子の移行も金コロイドのときと同様に、分散剤を加えて固相との静電的吸着性を抑制した粒子の方が、分散剤が加えられていない粒子よりも移行速度が速いことが確認された。したがって、金コロイドとラテックス粒子を用いた二つの実験結果から、地下水組成と核種を吸着したコロイドの表面電位がわかれば、電気二重層による反発力とvan der Waals 引力からコロイドと固相(岩体)の静電的吸着性の大きさを見積ることができ、これによって核種を吸着したコロイドは、溶質の移行と比較して助長されるか否かを推測できるものと考えられる。

したがって、天然バリア中で核種がコロイドに吸着される場合や自らコロイドを形成する場合は、コロイドと固相間の相互作用力によって、むしろ核種の移行を遅延させる効果が大きいことが推測される。そして、この効果は、不可逆吸着の場合にさらに顕著になると考えられる。

#### 4. まとめ

コロイドの地層中での移行速度を評価するため、ガラスビーズを充填したカラムに対して金コロイドおよびラテックス粒子の移行実験を行った。得られた結果は、コロイドの移行をバルク水の移行よりも一般的に速いと解釈するHDC理論と、コロイドとガラスビーズ表面(固相)の間にはたらく静電的相互作用力に基づいて検討した。結論を以下にまとめる。

- (1) HDC理論では、コロイドは固相とあまり接触せずに移行するため、一般にコロイドは遅延されないと考えられている。しかしながら、本実験結果によれば、コロイドは固相に静電的に吸着されて、その移行は遅延されることが示された。
- (2) 本実験結果では、コロイドの移行速度は、コロイドと固相間にはたらく静電的相互作用力の大きさと相関があることが示された。このことは、例えば、地下水組成と核種を吸着したコロイドの表面電位がわかれば、電気二重層による反発力とvan der Waals引力からコロイドと固相(岩体)の静電的吸着性を見積ることができ、その結果、核種を吸着したコロイドの流速が、溶質の移行と比較して助長されるか否かを推測できるものと考えられる。

なお、今後の課題としては、亀裂媒体中でのコロイドの移行実験を行い、コロイドの移行挙動についての知見を得ることが必要と考えられる。そして、性能評価研究の観点からは、これら実験より確認されたコロイド移行速度を、良好に再現し得るコロイド移行モデルの開発が必要であると考えられる。



## 参考文献

- [ 1] Moulin, et al.: Applied Geochemistry, 1, 179(1992).
- [ 2] Small: J. Colloid Interface Sci., 48, 147(1974).
- [ 3] Bousse, et al.: J. Colloid Interface Sci., 147, 22(1991).
- [ 4] Saltelli, et al.: Nucl. Technol., 67, 245(1984).
- [ 5] Tanaka, et al.: Proc. 1989 Joint Int. Waste Management Conf., Vol.2, 375(1989).
- [ 6] Nagasaki, et al.: J. Nucl. Sci. Technol., 31,143(1994).
- [ 7] Frens, et al.: Nature (London) Phys. Sci., 241, 20(1973).
- [ 8] Ogino, et al.: 18th Int. I.F.S.C. Congr., Italy, B109/272(1995).
- [ 9] Prieve, et al.: J. Colloid Interface Sci., 64, 201(1978).
- [10] Bell, et al.: J. Colloid Interface Sci., 33, 335(1970).
- [11] Visser: Advan. Colloid Interface Sci., 3, 331(1972).
- [12] 日本化学会編: 化学便覧基礎編 改訂 2 版, p.644, 丸善株式会社(1975).
- [13] (例えば)北原, 他: 最新コロイド化学, pp.70-80, 講談社サイエンティフィク(1990).

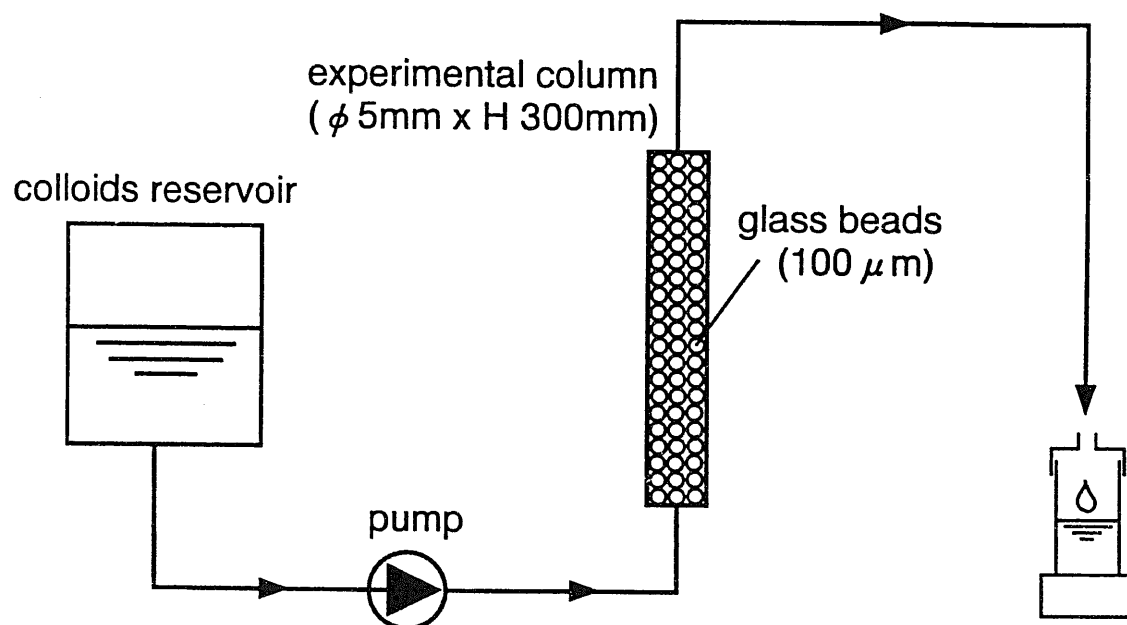


図1 実験装置の概略図

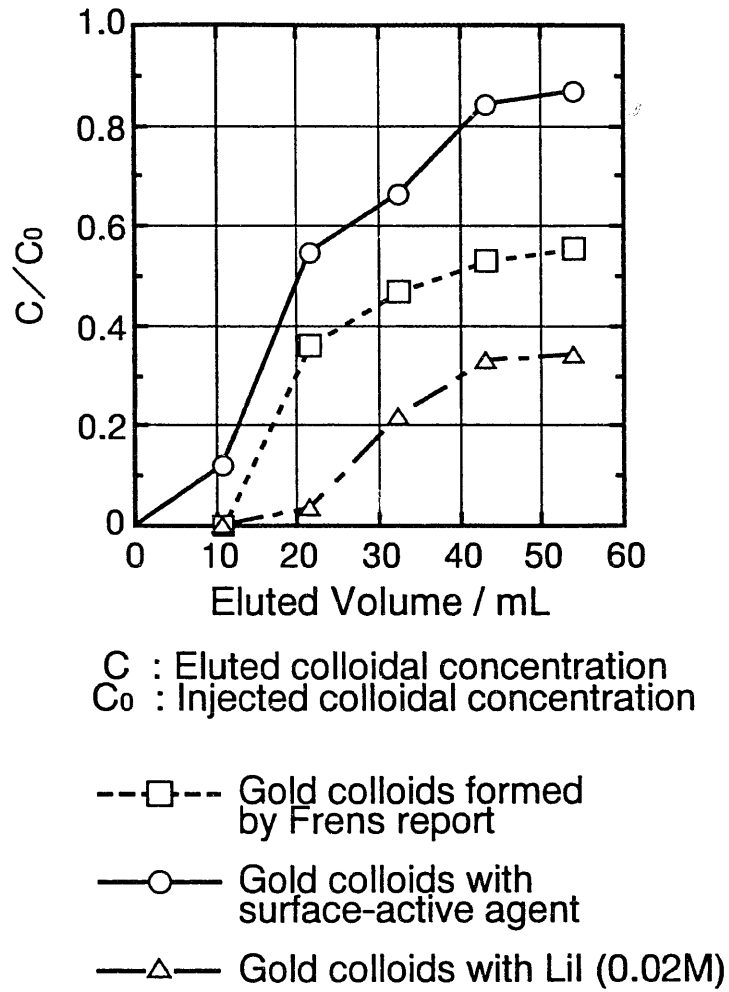


図2 金コロイドのガラスビーズ充填カラム中の破過曲線

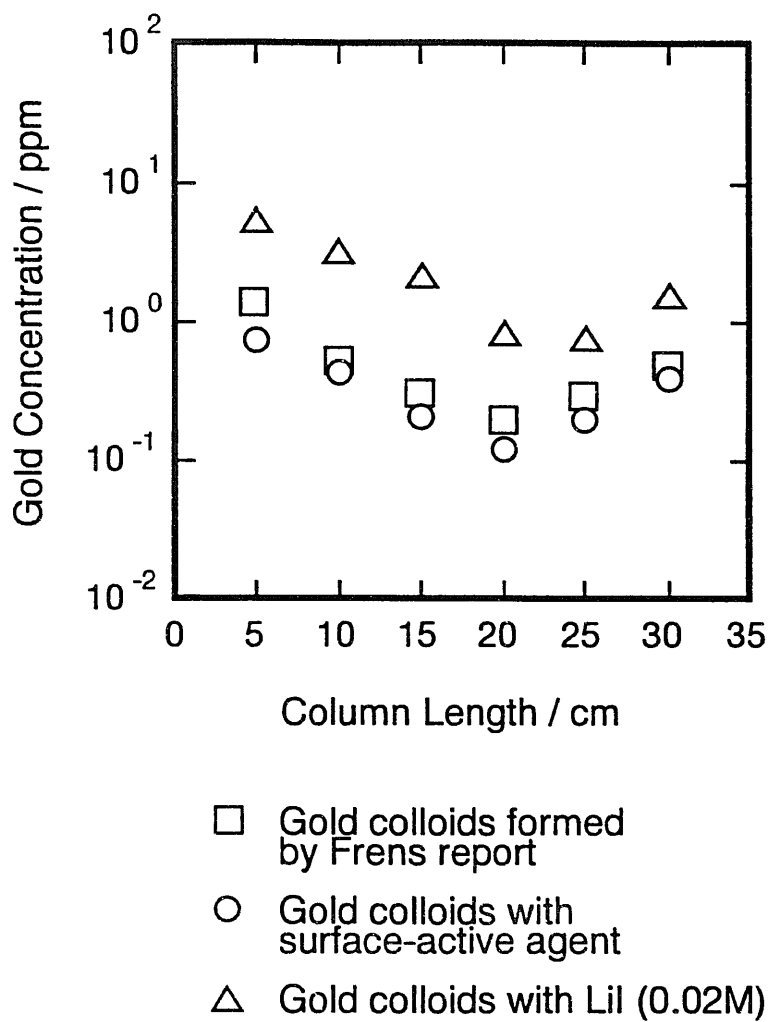


図3 試験終了後ガラスビーズ充填カラム中の金コロイドの濃度プロファイル

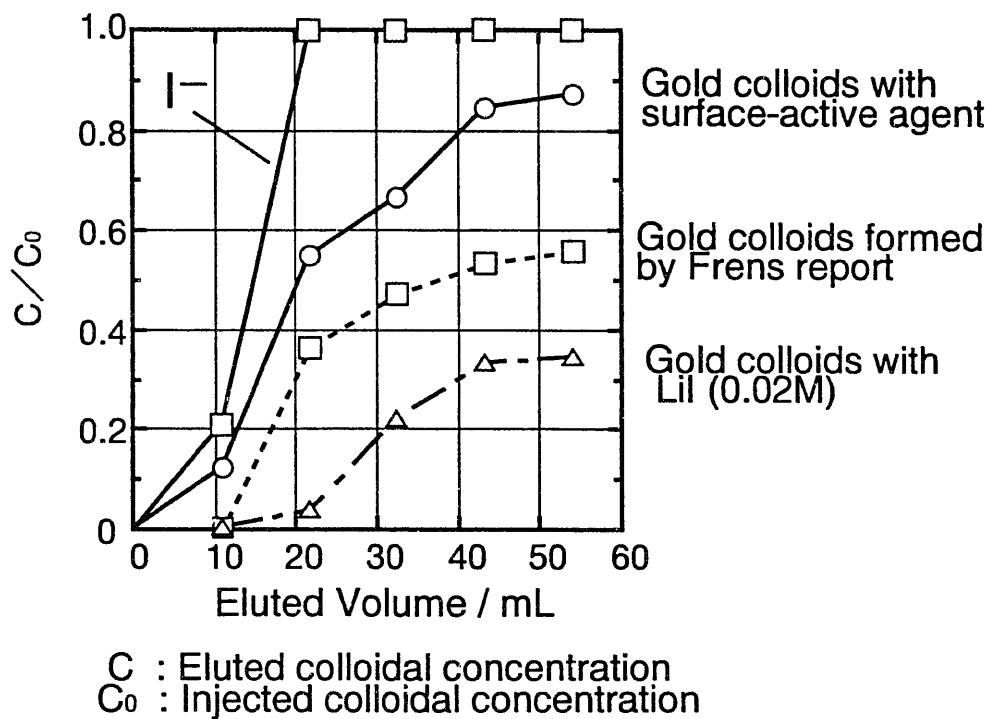


図4 ヨウ素のガラスビーズ充填カラム中の破過曲線  
 なお、金コロイドの破過曲線についても合わせて示す。

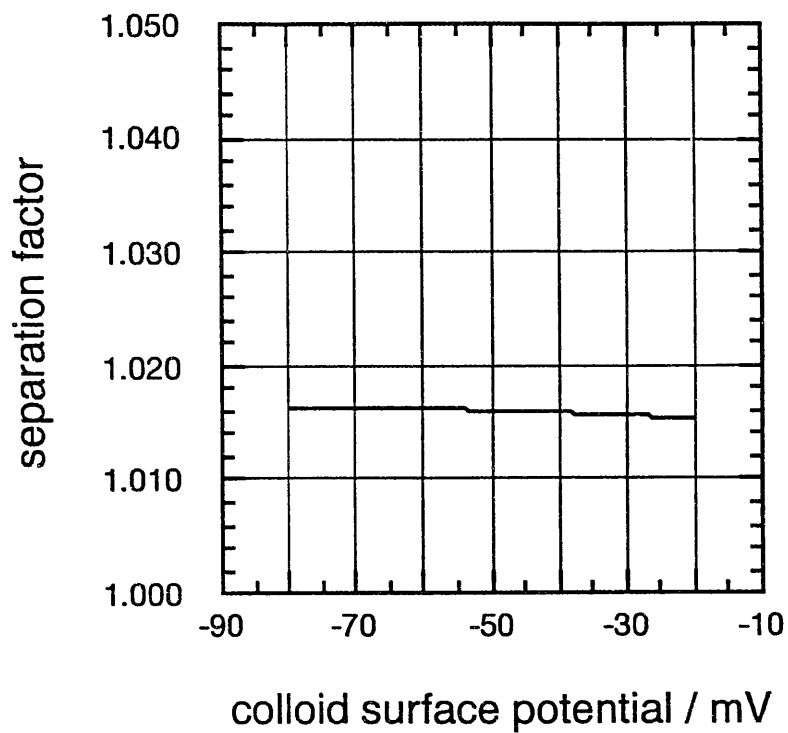


図5 HDC理論に基づくコロイド移行のコロイド表面電位依存性

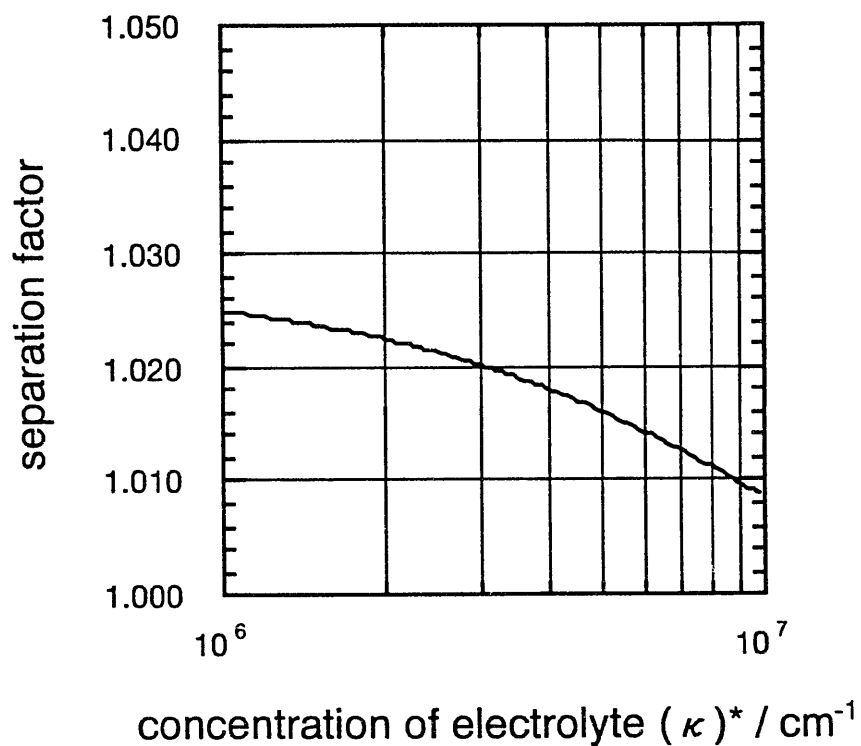


図6 HDC理論に基づくコロイド移行の  
電解質濃度依存性

\*)  $1/\kappa$  : 電気二重層の反発力の及ぶ範囲

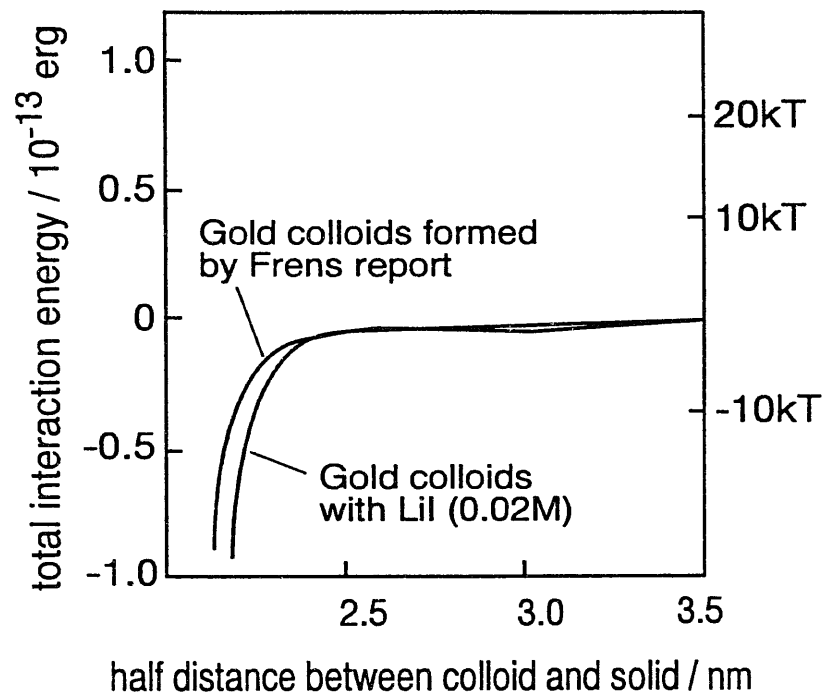


図7 金コロイドとガラスビーズ間の静電的相互作用力



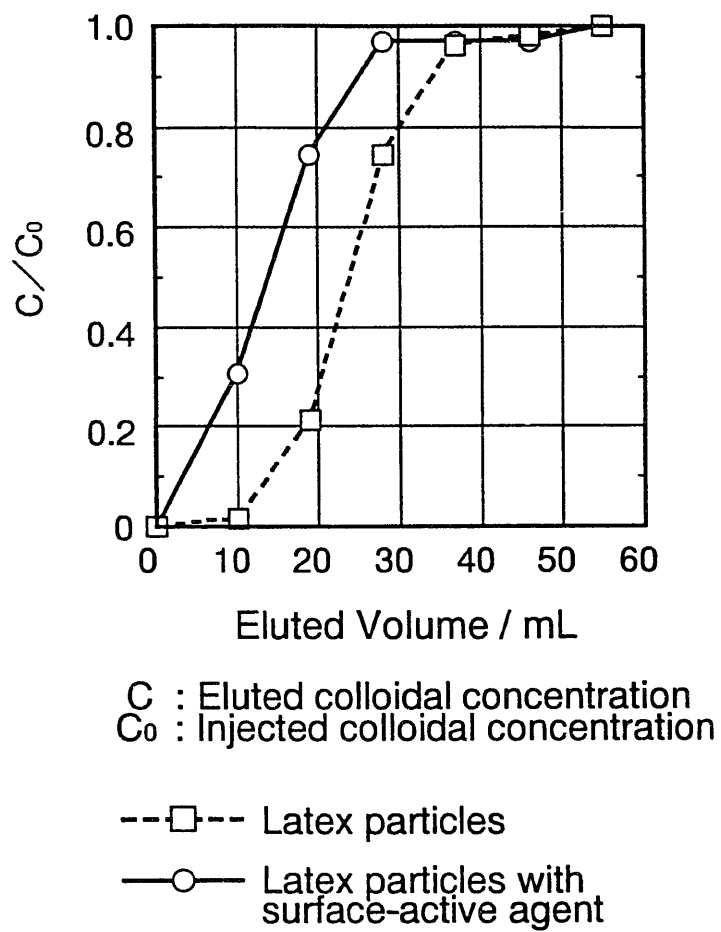


図8 ラテックス粒子のガラスビーズ充填カラム中の破過曲線

表1 試験に供したコロイドおよびガラスビーズの表面電位

	Samples	Zeta potential (mV)
Colloids	(1) Gold colloids formed by Frens report	- 9 5
	(2) Gold colloids with surface-active agent	- 6 1
	(3) Gold colloids with Lil	- 9 2
	(4) Latex particles	- 5 8
	(5) Latex particles with surface-active agent	- 5 5
Glass beads		- 9 0

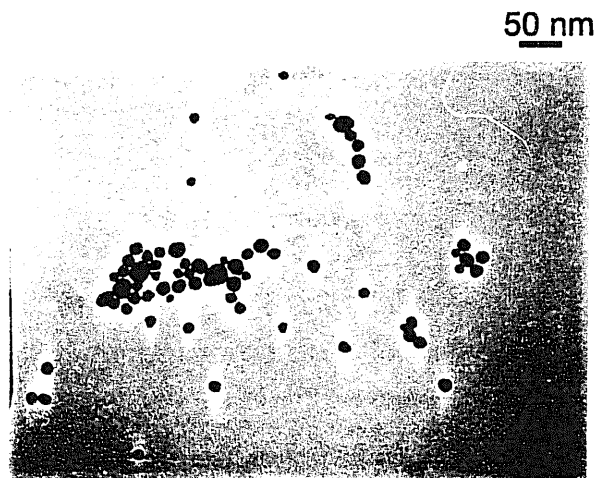


写真1 Frensらの報告に従って作製した金コロイド  
ただし、希釈後（濃度：10 ppm）

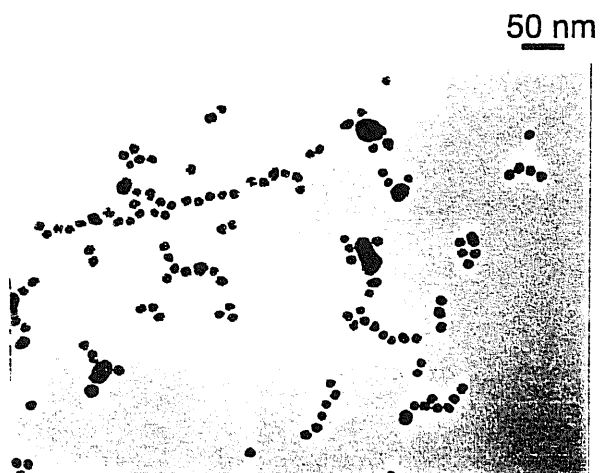


写真2 分散剤を加えた金コロイド

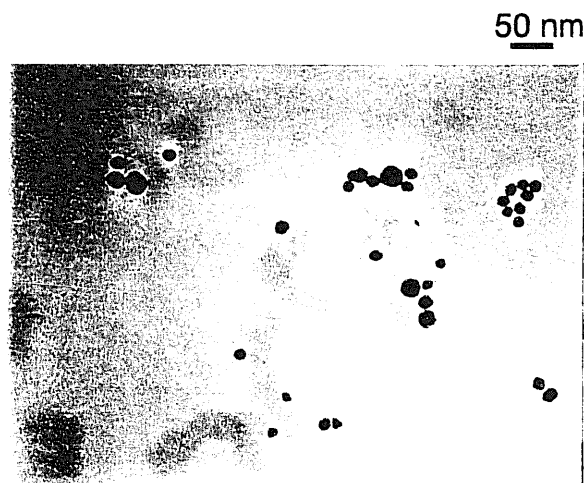


写真3 LiIを加えた金コロイド