を形成することができる¹³⁾ (ハの過程)。この考えは James の内部潜像補力の研究¹²⁾, あるいは West の単結晶臭化銀による現象過程の研究で支持される¹³⁾。著者は、フェノサフラニンの減感とカプリブルー効果の研究の過程で、フェノサフラニンに捕えられた電子が伝導帯へ上り得ることを示した。

(2) イオウ増感をほどこした乳剤をフェノサフラニンで分光増感するには少ない還元性物質で十分である。イオウ増感、電子の潜像形成に有効なエレクトロントラップを臭化銀粒子内に形成すると考えられている⁸⁾。そしてイオウ増感した乳剤では、未後熟乳剤に比べ効率よく潜像が形成され、またできた潜像はより安定である。したがって、イオウ増感をほどこした乳剤では還元増感剤は未後熟乳剤より少量でフェノサフラニンの分光増感が観測される。結局与えられた乳剤において、

電子が潜像を形成する効率
正孔が潜像を破壊する効率

が大きい乳剤ほどテトラエチレンペンタミンは少なくすむということができる。

5・3 還元性物質を添加した臭化銀乳剤のフェノサフラニンによる分光増感の機構

本報告で示したいいくつかの実験の結果、還元性物質を加えた臭化銀乳剤で認められたフェノサフラニンによる分光増感、以下のようにして引き起こされたと考えるのが最も妥当であろう。図7に示されるように、光励起されたフェノサフラニンから臭化銀へは表面単位ヘエネルギーの低い電子が送りこまれる(イの過程)

と同時に、価電子帯へ正孔が送りこまれる(ロの過程)。送りこまれた電子は、表面潜像を形成するほかに、熱エネルギーを得て伝導帯へ上がり(ハの過程)内部潜像をも形成(ニの過程)することができる。一方、臭化銀に送りこまれた正孔は潜像を破壊(ホの過程)する。図7のエネルギー単位の関係から示唆されるように、フェノサフラニンのような色素では、臭化銀へ送りこんだ電子が潜像を形成する効率より正孔が潜像を破壊する効率の方が高いため、通常用いられる条件の下では分光増感が認められない。励起色素から臭化銀へ注入された電子と正孔の作用は、色素にも依存すると同時に臭化銀乳剤の性質にも依存する。臭化銀乳剤を化学増感などの方法により、電子が潜像を形成する効率を高めるか、正孔が潜像を破壊する効率を低下させることにより、フェノサフラニンによる臭化銀乳剤の分光増感が可能になると考えられる。還元性物質の添加によりフェノサフラニンの分光増感が認められたのは後者によるものであり、これにイオウ増感を併用することにより還元増感剤の量が少ない状態でフェノサフラニンの分光増感が観測されるようになったのは前者によるものである。

(昭和44年4月5日、日本化学会第22年会特別講演で一部発表)

本研究に興味を示され、発表を許可された、当社副社長藤沢信氏および足柄研究所長古関靖夫氏に感謝する。本研究に対し、有益な助言をいただいた、足柄研究所主任研究員上田博造氏に感謝の意を表する。

ヨウ化銀表面におけるポリビニルアルコールの吸着と ζ 電位

(昭和44年6月2日受理)

杉浦 正昭・矢部 明^{*1}

懸濁されたヨウ化銀粒子におけるポリビニルアルコール(PVA)の吸着機構をPVAの吸着量と粒子の ζ 電位の測定から研究した。測定には分子量とケン化度(90~100%)の異なる9種のPVA試料を用いた。PVAの等温吸着曲線はPVA-ヨウ化銀ゾル中のPVAの添加濃度と平衡濃度の差から得られた。その平衡濃度はゾルを遠心分離した上澄液のPVA濃度より求め、その濃度はホウ酸およびヨウ素溶液を添加して比色法により決定した。 ζ 電位は限外顕微鏡電気泳動法により測定した。みかけ上Langmuir型を示すPVAの吸着量はPVAの0.05~0.15 g/lの濃度範囲において一定値に達する。その吸着量は分子量によらず、PVAのケン化度とともに増大する。負に荷電された粒子の ζ 電位はPVA濃度の上昇とともに低下し、その低下度は分子量の大きい、ケン化度の低いPVAにおいて著しい。

1 緒 言

ゼラチンにかわる親水性高分子を用いた写真乳剤の研究において、ハロゲン化銀を保護するその高分子物の吸着状態を知ることは重要な課題である。

本研究ではヨウ化銀ゾル中に共存するポリビニルアルコール(PVA)のヨウ化銀に対する吸着量を測定し、それとともに同じ条件でのヨウ化銀ゾルの電気泳動測定を行ない、粒子表面のPVAの吸着状態と ζ 電位の関係を検討した。著者の過去の研究において^{1,2)}、臭化銀に対するPVAの同様な測定を行なったが、その際

の測定条件では粒子の凝集効果が大きく、詳細な検討を加えるための十分な実測値を得るに至らなかった。本研究では凝集が比較的起こり難く、しかも吸着量の測定が十分できる条件のヨウ化銀ゾルを用い、それぞれの測定を行なった。

2 実 験

2・1 PVA 試料

PVAは表1に示した分子量の異なる試料4種とケン化度の異なる試料5種を用いた。

分子量の異なる試料は分子量の差の大きい4種類の試料を得るために、Du Pont社製のElvanol 72-60, Elvanol 70-05(いずれもケン化度99.4%)を分別し、前者よりPVA-I, PVA-II,

*1 Masaaki SUGIURA, Akira YABE 工業技術院東京工業試験所第7部: 神奈川県平塚市平塚新宿。

1) 杉浦正昭, 工化, 68, 1932 (1965)。

2) 杉浦正昭, 工化, 70, 148 (1967)。

表 1 PVA 試料

分子量の異なる PVA		ケン化度の異なる PVA	
試料名	分子量	試料名	ケン化度 (%)
PVA-I	121000	PVA-100	98.8
PVA-II	64000	PVA-96	96.5
PVA-III	29000	PVA-94	94.4
PVA-IV	17000	PVA-92	92.3
		PVA-90	90.6

後者より PVA-III, PVA-IV を得た。すなわちこれらは原試料を水に溶解し、アセトンを加えて PVA を析出させ、3 分割して 1 番目と 3 番目に析出した PVA (2 番目に析出した PVA は他の二つの PVA との分子量差が小さいので測定に用いなかった) をさらに水-アセトンで 2 回溶解析出を繰返して精製したもので、それぞれを乾燥してその水溶液を調製し実験に用いた。各試料の分子量は粘度測定より式 $[\eta] = 8.5 \times 10^{-4} M^{0.62}$ ($[\eta]$: 固有粘度 100 ml/g, M : 分子量) から求めた。

ケン化度の異なる試料はいずれも倉敷レーヨン社提供の PVA で、これらは種々のケン化度を持つように、分子量 77000, ケン化度 98.8% の PVA-100 を氷酢酸-塩酸で再酢化したものである。これら各試料の 2~3g をセロハン膜に包み、5~6 時間電解透析し、さらに一夜自然透析して水に溶解しガラスフィルターでろ過後その溶液を測定に用いた。

これらの PVA 溶液はその 10 ml をとりクロムメッキ板上で乾燥製膜し、これをさらに 100°C で 1 時間真空乾燥して重量を秤り、その濃度を決定した。

2.2 PVA-ヨウ化銀ゾルの調製

200 ml のビーカーに 0.1 mol/l のヨウ化カリウム 11 ml と水 54 ml を入れ、18~22°C でかきまぜながら 0.1 mol/l の硝酸銀 10 ml を滴下してヨウ化銀ゾルを生成させ、これをさらに 25 ml の PVA 溶液に加えて PVA を含むヨウ化銀ゾルを調製した。このゾルの大部分は調製して 10~30 分後遠心分離器により 12000 rpm, 30 分間遠心分離し、その上澄液を次項で述べる PVA の吸着量の測定および電気泳動実験に用いた。

2.3 ヨウ化銀粒子の PVA 吸着量の測定

ヨウ化銀粒子表面の PVA の吸着量はゾル中の PVA の添加濃度と、ゾルを遠心分離しヨウ化銀を沈降させて澄清になった残液中の PVA 濃度 (平衡濃度) の差から算出した。その遠心分離した上澄液中の PVA 濃度は、PVA 溶液にホウ酸、ヨウ素溶液を加えた場合 PVA 濃度に応じて緑~青色に発色する⁴⁾ことを利用して比色法により決定した。すなわち、本研究ではゾルを遠心分離した上澄液 5 ml に 0.5 mol/l のホウ酸溶液 4 ml と 10^{-2} mol/l のヨウ素溶液 (10^{-2} mol/l のヨウ化カリウム溶液に溶解) 1 ml を添加して、これを 25°C の恒温水槽中に 2 時間静置した後光電比色計 (エルマ SN-63 型) で 470 mμ および 660 mμ の光の水に対する透過率を測定して、既知の PVA 濃度の濃度-透過率曲線 (図 1) より上澄液の PVA 濃度を決定した。なお図 1 の検量線

図 1 PVA 溶液のホウ酸、ヨウ素溶液による発色 PVA 濃度と光の透過率の関係

(1): 470 mμ, (2): 660 mμ, —: PVA-I, PVA-II, PVA-100, PVA-96, PVA-94, PVA-92, PVA-90, ---: PVA-III, ----: PVA-IV

上澄液と同じ成分の電解質を含ませるために (電解質の添加によって発色状態が多少異なり、分子量の小さい PVA ほどその影響が大きい)、2.2 項で述べた PVA を加える前のヨウ化銀ゾルを遠心分離して得た上澄液と電解質を含まない PVA 溶液を 3:1 の割合で混合しその濃度調節を行なった。PVA の発色状態は図 1 に示すように、分子量の小さい PVA を除いてほぼ同じである。

2.4 電気泳動測定

PVA ヨウ化銀ゾルを調製して約 1 時間後、それと同成分のゾルを遠心分離した上澄液により 20 倍に希釈し、暗視野法による顕微鏡電気泳動装置 (三田村理研製、泳動部は石英の平板セル)^{*2}を用い、18~22°C の室温中で粒子の電気泳動測定を行なった。電気泳動移動度の算出に必要なゾルの電気比伝導度は同じゾルについて東亜電波工業 CM-1 DB 型電導度計を用い測定を行なった。その他の実験操作は一般の顕微鏡電気泳動法⁶⁾にしたがった。

電気泳動測定によって得た粒子の移動度 (u) の値から、その ζ 電位を次の Henry の式⁶⁾によって計算した。

$$\zeta = 4\pi\eta u / D \cdot f(\kappa a) \quad (1)$$

ここで η は溶媒の粘度, D は誘電定数, $f(\kappa a)$ は粒子半径 a , Debye-Hückel 関数 κ によってきまる Henry の因子である。 η はゾルを遠心分離した上澄液の粘度がほとんど水の粘度に等しいため、多くの場合水の値を用いたが、PVA の濃厚溶液ではその粘度の値によって補正した。 D は水の値を用いた。また a は (ここではヨウ化銀粒子またはその凝集体) PVA-ヨウ化銀ゾルの相対濁度をその希釈直前に測定し、ヨウ化銀粒子の平均半径が 23 mμ で (同成分のヨウ化銀ゾルについて前報⁷⁾で測定した)、ゾルの凝集しない場合の相対濁度が 10% (実験結果の項で示す)であることを基準として、Rayleigh の法則が成立すると仮定し、相対濁度の値から推定した。

*2 この装置は D.R. Briggs の設計による, *In. Eng. Chem. Anal. Ed.*, 12, 703 (1940).

5) 例えば, A. Watanabe, *Bull. Inst. Chem. Res. Kyoto Univ.*, 38, 179 (1960).

6) D.C. Henry, *Proc. Roy. Soc. London*, A 133, 106 (1931).

7) M. Sugiura, E. Fujii, *Bull. Soc. Sci. Phot. Japan*, 17, 41 (1967).

3) 日本化学会編, “実験化学講座 (第 8 巻) 高分子化学上”, 丸善 (1956) p. 151; H. Staudinger, H. Warth, *J. Prakt. Chem.*, 155, 261 (1944).

4) 桜田一郎編, “ポリビニルアルコール”, 高分子学会 (1955) p. 305.

3 実験結果

3.1 ヨウ化銀粒子の PVA 吸着量

PVA-ヨウ化銀ゾル中の PVA の平衡濃度（ゾルを遠心分離した上澄液の PVA 濃度）とヨウ化銀 1g 当りの PVA の吸着量の関係を図 2（分子量の異なる PVA）、図 3（ケン化度の異なる PVA）に示す。これによれば、いずれも PVA 濃度の増加とともに吸着量は増加しある一定濃度で飽和に達する。その飽和吸着量の分子量依存性はほとんど認められないが、ケン化度の異なる PVA ではケン化度が小さいほど飽和吸着量は増大する。図 2、3 に示した PVA 濃度範囲以上では、濃度の増加とともに PVA の

図 2 PVA 平衡濃度とヨウ化銀粒子の PVA 吸着量
(分子量の異なる PVA)

—○—: PVA-I, —△—: PVA-II, —□—: PVA-III, —◇—: PVA-IV

図 3 PVA 平衡濃度とヨウ化銀粒子の PVA 吸着量
(ケン化度の異なる PVA)

—○—: PVA-100, —△—: PVA-96, —□—: PVA-94,
—◇—: PVA-92, —●—: PVA-90

添加量に対する吸着量の割合が減少し、本実験方法では測定誤差が次第に大きくなり正確な吸着量の値を求め難くなるが、0.3～0.5 g/l の PVA 濃度範囲では 0.2 g/l の濃度の吸着量に近い値が得られ、かなりの濃度範囲にわたってこの吸着量の一定値が続くものと推定される。

なおヨウ化銀粒子の凝集効果を無視して一つのヨウ化銀粒子に均等に PVA が吸着していると仮定すれば、粒子の単位表面積当りの吸着量は図 2、3 の右側の縦軸に示した値となる。

3.2 PVA-ヨウ化銀ゾルの電気泳動

PVA-ヨウ化銀ゾル中の PVA の添加濃度とヨウ化銀粒子（またはその凝集体）の電気泳動移動度の関係を図 4（分子量の異なる PVA）、図 5（ケン化度の異なる PVA）に示す。またこれら

図 4 PVA-ヨウ化銀ゾル中の PVA 添加濃度とヨウ化銀粒子の電気泳動移動度（分子量の異なる PVA）

—○—: PVA-I, —△—: PVA-II, —□—: PVA-III, —◇—: PVA-IV

図 5 PVA-ヨウ化銀ゾル中の PVA 添加濃度とヨウ化銀粒子の電気泳動移動度（ケン化度の異なる PVA）

—○—: PVA-100, —△—: PVA-96, —□—: PVA-94,
—◇—: PVA-92, —●—: PVA-90

図 6 PVA-ヨウ化銀ゾル中の PVA 添加濃度とゾルの相対濁度 (分子量の異なる PVA)

—○—: PVA-I, —△—: PVA-II, —□—: PVA-III, —◇—: PVA-IV

図 7 PVA-ヨウ化銀ゾル中の PVA 添加濃度とゾルの相対濁度 (ケン化度の異なる PVA)

—○—: PVA-100, —△—: PVA-96, —□—: PVA-94,
—◇—: PVA-92, —●—: PVA-90

PVA-ヨウ化銀ゾルの PVA 添加濃度とゾルの相対濁度の関係を図 6 (分子の異なる PVA), 図 7 (ケン化度の異なる PVA) に示す。これによれば分子量の高い PVA ほど, またケン化度の低い PVA ほどヨウ化銀粒子の凝集を起こしやすい。図 6 において, 分子量の比較的低い PVA-II, PVA-III, PVA-IV の高い濃度の相対濁度は 10% に一致するが, これらの条件では粒子はほとんど凝集していないと思われる。

図 4, 5 の電気泳動移動度の値より式 (1) によって粒子の ζ 電位を計算し, 図 2, 3 の吸着量を算出するに当って用いた PVA の添加濃度と平衡濃度の関係 (図省略) より PVA 平衡濃度と ζ 電位の関係を求めると, 図 8 (分子量の異なる PVA), 図 9 (ケン化度の異なる PVA) に示す結果が得られる。図 8 では分子量が高いほど ζ 電位は全般に低い値を示し, 図 9 ではケン化度が低いほど, PVA の低い濃度で ζ 電位の低下度が大きい。

なお PVA を含まないヨウ化銀ゾルの粒子の ζ 電位は -68.8 mV である。

4 考 察

ヨウ化銀に対する PVA の吸着量は図 2, 3 に示すように, PVA 濃度の上昇とともに増加し, ある濃度以上で飽和に達する

図 8 PVA-ヨウ化銀ゾル中の PVA 平衡濃度とヨウ化銀粒子の ζ 電位 (分子量の異なる PVA)

—○—: PVA-I, —△—: PVA-II, —□—: PVA-III, —◇—: PVA-IV

図 9 PVA-ヨウ化銀ゾル中の PVA 平衡濃度とヨウ化銀粒子の ζ 電位 (ケン化度の異なる PVA)

—○—: PVA-100, —△—: PVA-96, —□—: PVA-94,
—◇—: PVA-92, —●—: PVA-90

が, ζ 電位もこれに対応してヨウ化銀表面が PVA によっておおわれるにしたがってその値を低下し, 飽和吸着量に達する濃度付近ではその低下度を減少する。これらの挙動からヨウ化銀表面の PVA の飽和吸着は単分子層の吸着と推定される。 ζ 電位が吸着の飽和に達する濃度を過ぎてもなお少しずつ低下するのは, 濃厚溶液におけるヨウ化銀粒子表面の吸着層と分散媒間の粘性あるいは誘電定数の不正確さによるものと考えられる。

PVA の飽和吸着量において, 分子量の異なる PVA 間ではその差がなく, 一方 ζ 電位の PVA 濃度増加による低下度は分子量が高いほど高くなり, それは分子が大きいほど吸着層が厚く, すべり面が外側にずれるためと考えられるので, 分子量が小さいほど分子が縮小された状態で密に表面に吸着すると推定される。なお分子量の最も大きい PVA-I において, 吸着量が他の PVA よりわずかに多くなるのは, 遠心分離の際ヨウ化銀粒子付近の吸着していない PVA 分子を分子相互のからみ合いによって沈降させるためと思われる。ケン化度の異なる PVA では飽和吸着量に差があり, その吸着量の小さいところから飽和に至る過程で, ζ 電位の低下度がケン化度の低いほど大きく, 飽和に達した PVA 濃度で, ζ 電位の差をあまり示さないから, ケン化度の低い PVA

ほど分子相互に圧縮された状態で表面に吸着すると推定される。

固液界面の高分子の吸着はその分子の持つセグメントの一部を固体表面に吸着し、他の部分を溶液側に拡張して吸着層を形成するが、これについては多くの吸着理論式が提出されている。ここでは得られた実験値から吸着セグメント数を評価するために、次の Frisch らの式⁸⁾を適用する。

$$[\theta/\nu \cdot (1-\theta)^\nu] = KC \quad (2)$$

ここで θ は高分子による表面の占有率、 ν は吸着セグメント数、 C は平衡濃度、 K は吸着平衡定数である。この式で $\nu=1$ ならば Langmuir の吸着である。この式を変形して

$$\log \theta/C = \nu \log (1-\theta) + \log \nu K \quad (3)$$

より $\log \theta/C \sim \log (1-\theta)$ の関係を図示すれば直線の勾配として ν が表わされる。図 2, 3 の飽和に達するまでの吸着量の値について、粒子の凝集効果を無視して θ を飽和吸着量に対する各吸着量の割合でとれば、 $\log \theta/C \sim \log (1-\theta)$ の関係は図 10 のようになる。この図において飽和吸着量に近いところでは勾配がやや緩やかになるが、全般として ν は 1.3~1.5 の値を示す (PVA-I と PVA-II, PVA-100 と PVA-96 の直線は重なる)。ただしこの図の PVA 濃度の低いところでは ($(1-\theta)$ の大きい値) 粒子は凝集を起こすから⁸⁾、一部の θ の値については真の平衡状態によるかどうか疑問が残る。凝集効果の大きいところでは、PVA 溶液とヨウ化銀ゾルを混合した瞬間にほとんど粒子の凝集が進むから、PVA の吸着平衡に達するまでに時間がかかるとすれば、 θ の値は図 10 に用いた値より増し、 ν の値も大きくなる。図 2, 3 において凝集効果が大きくなる PVA の平衡濃度範囲を図 6, 7 の濁度の値より求めると、相対濁度 20% 以上 (この範囲では凝集体の容積がもとの粒子の 2 倍以上、すなわち粒子が 2 個以上結合すると推定される) になるのは、PVA-I = 0.017, PVA-II = 0.007, PVA-III = 0.005, PVA-IV = 0.003, PVA-100 = 0.008,

PVA-96~90 = 0.014 (g/l) 以下である。一方、凝集体を形成すればその表面の状態は時間的に変化するから、PVA の吸着は平衡状態とならない。これはζ電位の測定からも知ることができる。すなわち PVA を混合する前のヨウ化銀ゾルをその遠心分離した上澄液で希釈した後 PVA 溶液を加えて凝集の起きない状態で粒子のζ電位を測定すると、分散媒の成分が同じでもそのζ電位は凝集体よりも高くなる (例、PVA-I の濃度 0.003 g/l で凝集体は -42 mV に対し粒子は -50 mV である)。それゆえ凝集体では単位表面積当たり、より多くの PVA を吸着していることになる。したがって凝集効果の大きい条件では正確な θ の値を求めることは難しいので、この点は今後の研究にまたねばならない。

図 10 において式 (3) から求められる吸着セグメント数 ν および吸着平衡定数 K の値を表 2 に示す。ここで PVA はいずれも $\nu=1.3\sim 1.5$ となるが、式 (3) が導びかれる過程で Frisch らが述べているような結合鉤セグメント (anchor segment) によって吸着する⁹⁾ とすれば、PVA は分子量、ケン化度にあまり関係なく 1 分子当たり 1~2 個のセグメントによりヨウ化銀表面に吸着することになる。しかし、 ν の値が 1 (Langmuir 型吸着) に近いということは、PVA 分子は水溶液中で糸まり球形に近い状態にあり⁹⁾、しかも PVA とハロゲン化銀の結合力はあまり強くないと思われるから¹⁰⁾、表面において溶液中の分子形態が大きく変化することなく、糸まり状に近い形態で (結合鉤セグメントによって示されるような形態ではなく、球体が表面に配列するように) 吸着すると考えた方が妥当と思われる。そして $\nu=1$ よりわずかにずれるのは、分子間の相互作用によって多少分子の圧縮、変形が起きていることを示すものと考えられる。

一方、定数 K は表 2 に表 2 Frisch らの式より求めた吸着セグメント数 ν および吸着平衡定数 K の値

PVA 試料名	ν	K (l/g) $\times 10^{-2}$
PVA-I	1.5	4.7
PVA-II	1.5	4.7
PVA-III	1.45	3.5
PVA-IV	1.3	3.0
PVA-100	1.5	4.7
PVA-96	1.5	4.7
PVA-94	1.5	2.9
PVA-92	1.5	1.4
PVA-90	1.5	1.1

脱着速度定数の比で表わされる⁸⁾。そして ν の値が一定ならば、同一ポリマー濃度ではそのポリマーによる表面占有率 (θ) の大きいポリマーほど K の値が大きくなる。ここではある PVA 濃度における θ の値として、飽和吸着量 (Q_m) に対するその濃度での吸着量 (Q) の比率 (Q/Q_m) をとっているから、 ν の値が同じ PVA ではこの比率が K の値を支配する。ただし極めて低い PVA 濃度での吸着 (θ が小さい時) とかなり高い濃度での吸着 (θ が 1 に近い時) では分子間相互作用の差により分子形態が両者で異なることが考えられるので、厳密には θ の値として Q/Q_m をとることには疑問があり、この点もまた今後の課題である。

(昭和 44 年 5 月、日本写真学会春季研究発表会講演)

PVA 試料を提供された倉敷レーヨン株式会社に対し感謝の意を表する。

9) 細野正夫、桜田一郎、高分子化学, 14, 624 (1957); 桜田一郎、細野正夫、高分子化学, 9, 64 (1952).

10) 杉浦正昭、工化, 69, 2056 (1966).

図 10 $\log \theta/C \sim \log (1-\theta)$ の関係

- (a) 分子量の異なる PVA
 —○—: PVA-I, —△—: PVA-II, —□—: PVA-III, —◇—: PVA-IV
 (b) ケン化度の異なる PVA
 —○—: PVA-100, —△—: PVA-96, —□—: PVA-94,
 —◇—: PVA-92, —●—: PVA-90

8) H. L. Frisch, M. Y. Hellman, J. L. Lundberg, *J. Polym. Sci.*, 38, 441 (1959).

*3 Healy, La Mer によれば [T. W. Healy, V. K. La Mer, *J. Colloid Sci.*, 19, 323 (1964)], ポリマーによる疎水懸濁粒子の凝集速度は $\theta=0.5$ において最大になると述べているが、本研究の PVA-ヨウ化銀ゾルにおいても、図 6, 7 の濁度の値が示すように $\theta \approx 0.5$ となるような PVA 濃度において最も凝集し易くなる。