

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2006-299108

(P2006-299108A)

(43) 公開日 平成18年11月2日(2006.11.2)

(51) Int. Cl.			F I			テーマコード (参考)	
<b>C09K</b>	<b>3/00</b>	<b>(2006.01)</b>	C09K	3/00	102	4B022	
<b>A23L</b>	<b>3/36</b>	<b>(2006.01)</b>	A23L	3/36	A	4H020	
<b>C09K</b>	<b>3/18</b>	<b>(2006.01)</b>	C09K	3/18			
<b>C09K</b>	<b>5/00</b>	<b>(2006.01)</b>	C09K	5/00	101		
<b>F25C</b>	<b>1/00</b>	<b>(2006.01)</b>	F25C	1/00	D		
審査請求 未請求 請求項の数 12 O L (全 10 頁)							

(21) 出願番号 特願2005-123711 (P2005-123711)

(22) 出願日 平成17年4月21日 (2005.4.21)

(71) 出願人 000004628

株式会社日本触媒

大阪府大阪市中央区高麗橋4丁目1番1号

(72) 発明者 河原 秀久

大阪府枚方市長尾元町7丁目11-34

(72) 発明者 宮田 隆志

大阪府箕面市稲5丁目15-15

(72) 発明者 富田 高史

大阪府吹田市西御旅町5番8号 株式会社

日本触媒内

Fターム(参考) 4B022 LB01 LJ04

4H020 AA06 AB01

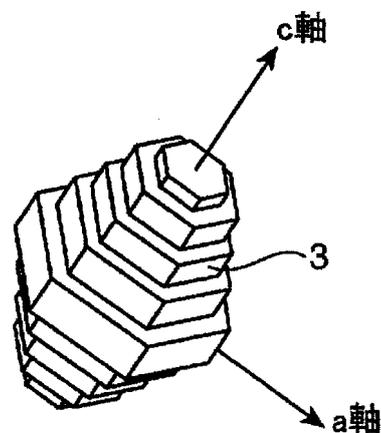
(54) 【発明の名称】 氷結晶成長抑制剤及びその用途

(57) 【要約】

【課題】 不凍タンパク質の不凍活性を利用した種々の用途開発を、不凍タンパク質を使用することなく達成する。

【解決手段】 タンパク質系以外にも不凍活性を有する重合体(例えばポリアクリル酸のアンモニウム塩)が存在することを見つけ、当該物質は濃度10mg/mlの水溶液が非扁平円盤型の氷晶を析出させこと、及び濃度10mg/mlの水溶液が0.020以上の熱ヒステリシスを示すことを明らかにし、この重合体は不凍タンパク質(AFP)に代えて種々の用途に使用できる。

【選択図】 図2-b



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

炭素鎖を主鎖とし、窒素原子を含有する官能基を側鎖に有する重合体を含んでなる氷結晶成長抑制剤。

## 【請求項 2】

前記官能基がアミノ基及びノ又はアンモニウム基である請求項 1 に記載の氷結晶成長抑制剤。

## 【請求項 3】

前記重合体は、非タンパク質系重合体である請求項 1 に記載の氷結晶成長抑制剤。

## 【請求項 4】

氷蓄熱システムの熱媒体に添加するものである請求項 1 ~ 3 に記載の氷結晶成長抑制剤。

10

## 【請求項 5】

請求項 1 ~ 3 のいずれかに記載の重合体を添加した液体を冷却して氷スラリーを生成し、該氷スラリーを輸送することを特徴とする冷熱輸送方法。

## 【請求項 6】

請求項 1 ~ 3 のいずれかに記載の重合体を添加した液体を冷却して氷スラリーを生成し、該氷スラリーの冷熱を保存することを特徴とする冷熱保存方法。

## 【請求項 7】

冷凍食品に添加するものである請求項 1 ~ 3 のいずれかに記載の氷結晶成長抑制剤。

20

## 【請求項 8】

濃度  $10 \text{ mg/ml}$  の水溶液が  $0.020$  以上の熱ヒステリシスを示す重合体であり、該重合体は炭素鎖を主鎖とし、窒素原子を含有する官能基を側鎖に有する重合体を含んでなる氷結晶成長開始温度低下剤。

## 【請求項 9】

氷付着を防止するために付着箇所に散布又は塗布するものである請求項 8 に記載の氷結晶成長開始温度低下剤。

## 【請求項 10】

凍結又は霜害を防止するために地面又は農作物に散布又は塗布するものである請求項 8 に記載の氷結晶成長開始温度低下剤。

30

## 【請求項 11】

濃度  $10 \text{ mg/ml}$  の水溶液が、 $0.020$  以上の熱ヒステリシスを示し、かつ非扁平円盤型の氷晶を析出させる炭素鎖を主鎖とし、窒素原子を含有する官能基を側鎖に有する重合体を含んでなる水の凝固コントロール剤。

## 【請求項 12】

氷点下での生体組織の損傷又は体液の凍結を防止するために生体組織又は体液に注入するものである請求項 11 に記載の氷の凝固コントロール剤。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は合成物質に関するものであり、より詳細には不凍タンパク質が有するような不凍活性を示す物質に関するものである。

40

## 【背景技術】

## 【0002】

不凍タンパク質の不凍活性は、非特許文献 1 にその概略が説明されている。すなわち不凍タンパク質 (Anti-Freeze Protein; AFP と称される場合もある) は、極地に生息する魚、昆虫、植物などに含まれる特殊なタンパク質である。例えば通常の魚類の体液は、 $-0.8$  前後で凍結するのに対して、AFP を体内に有する魚類の体液は  $-2$  以下まで下がっても凍結しないという特徴がある。海水は  $-1.9$  程度で凍ってしまうため、AFP を体内に有する魚類は体液が凍ることなく生息が可能となる。

50

## 【0003】

凝固点の降下は、一般には、凝固点降下温度が溶質のモル濃度と正比例するモル凝固点降下則によって説明されることが多い。しかしAFPのモル濃度と凝固点降下温度とは正比例しない。すなわちAFPは、モル凝固点降下則とは異なる作用で体液の凍結を防止しており、生体内で成長した氷結晶の成長面に特異的に吸着し、氷結晶の成長を阻害することによって体液の凍結を防止している。

## 【0004】

氷結晶の成長について図1、図2-a、図2-bを参照しながらより具体的に説明すると、以下の通りである。図1はAFPが存在しない場合の氷結晶の成長を示す概念図であり、図2-a及び図2-bはAFPが存在する場合の氷結晶の成長の一例を示す概念図である。図1に示すように、一般に氷の最小核が形成されると、この最小核はa軸方向及びc軸方向の両方に成長する。ただしa軸方向の成長速度はc軸方向の成長速度より約100倍程度速いため、円盤状の氷の核(氷結晶)1が形成される。これに対して図2-aに示すように、AFPが存在する場合、氷の最小核ができるとただちにa軸方向の面(プリズム面)に接着又は吸着し、a軸方向の氷の成長を抑止するため、六方晶状の氷結晶2が形成されることとなる。そしてこの六方晶状の氷結晶2は図2-bに示すように、c軸方向に小さな六方柱を積み重ねるようにして成長し、パイラミッド型氷結晶3となる。なおAFPはc軸方向の成長を抑止する場合もあり、このときは六方晶状のまま(図2-a参照)となる。いずれにせよAFPが存在すると、氷結晶が通常(扁平円盤型)とは異なる形態となる。

10

## 【0005】

AFPが有する不凍活性は、前述したような氷結晶形態の変化で特徴づけられるだけでなく、以下のような点でも特徴づけられる。すなわちc軸方向などの結晶成長が抑制されているため、氷結晶同士の合一も抑制される。従って氷結晶の粗大化が抑制されることも不凍活性の一つといえる。

20

## 【0006】

さらに熱ヒステリシスを示すことも不凍活性の一つである。すなわちAFPが溶解した水溶液を過冷却して一度完全に凍結させ、系の温度を徐々に上昇させると融解する。この融解温度(融点)よりも僅かに温度を下げて長時間放置すると、通常であるならば凍結が始まる(すなわち融点と凝固点とは一致する)が、AFPが存在していると凍結は始まらず、さらに温度を下げることによって初めて凍結が始まる。前記融解温度(融点)と、再度の凍結温度(凝固点)との差は熱ヒステリシスと称されており、この熱ヒステリシスがあることも不凍活性の認定要件の一つをなす。

30

## 【0007】

すなわち不凍活性とは、1)氷結晶形態が変化する(非扁平円盤形となる)こと、2)氷結晶の合一が抑制されること、3)熱ヒステリシスがあることを意味する。なお1)氷結晶形態が変化する事、及び2)氷結晶の合一が抑制されることは、いずれも氷結晶の成長が抑制されることが原因となっており同一視することができるため、本明細書では1)氷結晶形態が変化する(非扁平円盤形となり)、2)熱ヒステリシスがあれば、不凍活性があるとする。

## 【0008】

このような不凍活性を有するAFPは、種々の応用開発が研究されている。例えば冷凍食品の品質やきめ(テクスチャー)改善用途(特許文献1~14など)、生体組織及び体液の耐凍性改善用途(特許文献15~17など)、氷蓄熱システム用途(特許文献18など)などの開発が活発である。上記AFP以外にも特願2003-362427号においてポリアクリルアミドの水溶液が氷結晶形態を変化させ、かつ熱ヒステリシスを有するとの開示がある。

40

## 【0009】

【非特許文献1】西村紳一郎,「不凍糖タンパク質の合成 - 不凍魚の秘密をさぐる -」,現代化学,東京化学同人,1999年4月,第337号,第56-62頁

【特許文献1】国際公開第96/39878号パンフレット

50

- 【特許文献2】国際公開第96/11586号パンフレット
- 【特許文献3】国際公開第98/4699号パンフレット
- 【特許文献4】国際公開第98/4147号パンフレット
- 【特許文献5】国際公開第98/4148号パンフレット
- 【特許文献6】特開2000-157195号公報
- 【特許文献7】国際公開第99/37164号パンフレット
- 【特許文献8】国際公開第99/37673号パンフレット
- 【特許文献9】国際公開第00/53025号パンフレット
- 【特許文献10】国際公開第00/53026号パンフレット
- 【特許文献11】国際公開第00/53027号パンフレット
- 【特許文献12】国際公開第00/53028号パンフレット
- 【特許文献13】国際公開第00/53029号パンフレット
- 【特許文献14】国際公開第99/37673号パンフレット
- 【特許文献15】国際公開第91/10361号パンフレット
- 【特許文献16】国際公開第97/36547号パンフレット
- 【特許文献17】国際公開第00/00512号パンフレット
- 【特許文献18】特開平8-75328号明細書
- 【特許文献19】特許第3111219号明細書

10

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

20

【0010】

しかし、不凍タンパク質は極めて高価であり、今のところ100万円/gもする。さらには熱によって変性しやすく、また生体に適用する場合には抗原抗体反応を引き起こす虞もある。

【0011】

なお特許文献19にはポリビニルアルコールを利用した冷熱輸送方法が開示されており、実施例の欄にはポリビニルアルコールを用いると粒状氷結晶が再結晶しないことが示されている。しかし不凍活性の重要な要件である熱ヒステリシスに関してどのような挙動を示すかについては、全く示されていない。

【0012】

本発明は上記の様な事情に着目してなされたものであって、その目的は、不凍タンパク質の不凍活性を利用した種々の用途開発を、不凍タンパク質を使用することなく達成する点にある。

30

【課題を解決するための手段】

【0013】

本発明者らは、前記課題を解決するために鋭意研究を重ねた結果、タンパク質系以外にも不凍活性を有する重合体（例えばポリアクリル酸のアンモニウム塩）が存在することを見つけ、当該物質は濃度10mg/mlの水溶液が非扁平円盤型の氷晶を析出させこと、及び濃度10mg/mlの水溶液が0.020以上の熱ヒステリシスを示すことを明らかにし、本発明を完成した。この重合体は不凍タンパク質（AFP）に代えて種々の用途

40

【0014】

すなわち本発明に係る氷結晶成長抑制剤は、濃度10mg/mlの水溶液が非扁平円盤型の氷晶を析出させる非タンパク質系重合体を含んでなる。この氷結晶成長抑制剤は、氷蓄熱システムの熱媒体に添加することができ、また冷凍食品に添加することができる。

【0015】

また本発明に係る氷結晶成長開始温度低下剤は、濃度10mg/mlの水溶液が0.020以上の熱ヒステリシスを示す非タンパク質系重合体を含んでなる。この氷結晶成長開始温度低下剤は、氷付着を防止するために付着箇所に散布又は塗布することができる。また凍結又は霜害を防止するために地面又は農作物に散布又は塗布することができる。

50

## 【0016】

本発明に係る水の凝固コントロール剤は、濃度10mg/mlの水溶液が、0.020以上の熱ヒステリシスを示し、かつ非扁平円盤型の氷晶を析出させる非タンパク質系重合体を含んでなる。この水の凝固コントロール剤は、氷点下での生体組織の損傷又は体液の凍結を防止するために生体組織又は体液に注入することができる。

## 【0017】

上記非タンパク質系重合体は、例えば、炭素鎖を主鎖とする高分子である。

## 【発明の効果】

## 【0018】

本発明の非タンパク質系重合体は、濃度10mg/mlの水溶液が非扁平円盤型の氷晶を析出させ、また0.020以上の熱ヒステリシスを示すため、不凍タンパク質を使用しなくても、不凍活性を利用した種々の用途に利用できる。

## 【発明を実施するための最良の形態】

## 【0019】

本発明は、不凍活性を示す非タンパク質系重合体に係るものである。当該重合体は、濃度10mg/mlの水溶液としたとき、氷晶形態が変化し（非扁平円盤形となり）、かつ熱ヒステリシスを示す。

## 【0020】

前記氷晶形態の変化とは、より詳細に説明すると、本発明の非タンパク質系重合体を濃度10mg/mlの水溶液として冷却していったとき、図1に示すような扁平円盤状の氷晶1とはならないことを意味する。例えば、図2-aに示すような六方晶状（扁平六角柱状）の氷晶2や、図2-bに示すようなパイラミッド形の氷晶3となる。このように氷晶形態が変化するのは、所定方向〔例えば、a軸方向（プリズム面と直交する方向）、又は前記a軸方向とc軸方向（基底面と直交する方向）の両方向〕の結晶の成長が抑制されているためである。

## 【0021】

また前記熱ヒステリシスは、以下のように定義される温度である。すなわち対象物質を濃度10mg/mlの水溶液とし、当該水溶液を過冷却して一度完全に凍結させ、系の温度を徐々に上昇させて氷を溶かしていき、僅かに氷の結晶が残った段階で（例えば、視野0.1mm×0.1mm当たり、大きさ約0.08~0.1mmの結晶が1個だけ残った段階で）再び徐々に冷却（例えば、冷却速度1/分程度）していき、再び氷晶を成長させる。前記僅かに氷の結晶が残った温度（融点）と、氷晶の再成長が観察され始める温度（凝固点）とを測定し、これらの温度差（融点-凝固点）を求める。前記温度差（融点-凝固点）は必然的に誤差を含むが、前記温度差が0.020以上あるとき、誤差を考慮しても熱ヒステリシスがあるといえる。従って本発明の非タンパク質系重合体とは、前記温度差（融点-凝固点）が0.020以上である物質である。

## 【0022】

上記の熱ヒステリシスの値は大きいほど氷との相互作用が大きいと考えられるので、好ましくは10mg/mlの水溶液を用いて測定した際の値が0.030以上である。

## 【0023】

本発明の非タンパク質系重合体は、例えば、炭素鎖を主鎖とする高分子である。該高分子は、例えば以下に示すような単量体を単独重合もしくは2種以上の単量体を共重合することによって得られる。

## 【0024】

アクリル酸、メタクリル酸等のような不飽和カルボン酸類；アクリル酸メチル等のような不飽和カルボン酸エステル類；アクリルアミド等の不飽和アミド類；アクリル酸アンモニウム等の不飽和カルボキシルアンモニウム塩類；〔2-（アクリロイロキシ）エチル〕アンモニウムクロライドのような不飽和4級アンモニウム塩類；メチルビニルエーテルやエチルビニルエーテル等のビニルエーテル類；酢酸ビニルのようなビニルエステル類；N-ビニルピロリドンのようなN-ビニル化合物；アリルアルコール、メタリルアルコール

10

20

30

40

50

のような不飽和アルコール類；アリルアミンのような不飽和アミン類；2 - アクリルアミド - 2 - メチルプロパンスルホン酸のような不飽和スルホン酸類。

【0025】

また上記高分子を得るための重合方法に関しては特に制限はないが、ラジカル重合が好ましい。

【0026】

上記のような不凍活性（氷晶形態を変化させる性質、及び熱ヒステリシスを示す性質）を有する炭素鎖を主鎖とする高分子は、側鎖に窒素原子を含有する官能基を有する。該官能基の例として、アミノ基又はアンモニウム基等が挙げられる。アミノ基としては、活性水素が残った1級アミノ基、2級アミノ基や3級アミノ基；活性水素がアルキル基によって置換されたアルキルアミノ基；活性水素がアルカノール基によって置換されたアルカノールアミノ基などが例として挙げられる。またアンモニウム基としては、トリメチルアンモニウムクロライド、トリエチルアンモニウムクロライド、トリエチルアンモニウムクロライドなどのアルキル基によって置換されたアンモニウム基；トリヒドロキシルエチルアンモニウムクロライドなどのアルカノール基によって置換されたアンモニウム基； $-CO_2^-NR^1R^2R^3H^+$ （ $R^1$ 、 $R^2$ 、 $R^3$  は水素、アルキル基またはヒドロキシル基で一部置換されたアルキル基を表す）で表されるようなカルボキシルアンモニウム基などが挙げられる。好適なアミノ基/アンモニウム基としては、 $-CO_2^-NH_4^+$  が挙げられる。またそのようなアミノ基及び/又はアンモニウム基を含有する重合体の好適な例としては、ポリアクリル酸アンモニウムなどが挙げられる。

10

20

【0027】

また本発明の重合体の分子量は特に制限がないが、好ましくは重量平均分子量で1,000~1,000,000の範囲である。分子量が1,000より小さいと氷結晶へ吸着した際の被覆面積が小さいので氷結晶成長抑制剤としての効果が小さくなる恐れがあり、また逆に1,000,000より大きいと氷結晶を分散させる効果が小さくなり、むしろ凝集剂的に働く恐れがあるので好ましくない。更に好ましい範囲としては、3,000~500,000である。

【0028】

不凍活性を有する重合体は、当該不凍活性の内容に応じて種々の用途に使用できる。例えば氷晶形態を変化させる性質は、氷結晶成長抑制剤として利用できる。この場合、氷の成長を抑制することによって氷の合一化を抑制できる。前記氷結晶成長抑制剤は、例えば、氷蓄熱システムの熱媒体に添加してもよく、また冷凍食品（例えばアイスクリーム）に添加してもよい。

30

氷蓄熱システム用途に本発明の重合体を利用する方法の一例としては、重合体を添加した液体を冷却して氷スラリーを生成させ、該氷スラリーを配管及びポンプによって所定の場所に輸送することや同様にして得られた氷スラリーを貯蔵することで冷熱を保存することが挙げられる。氷蓄熱システム用途に使用すれば、熱媒体が氷を析出させる際に氷が合一化してシステムが運転不能となることを防止できる。なお氷そのものの量は実質的には変化しないため、システムの蓄熱能力が低下する虞はない。加えて比較的少量で効果があるので、多大な過冷却状態を引き起こさない。さらに本発明の重合体は化学的に安定なので、運転効率を保ったまま長期間の運転が可能である。

40

また、冷凍食品に添加すれば、食品中の氷が合一化して食感が低下するのを防止できる。

【0029】

一方、本発明の重合体が有する、熱ヒステリシスを示す性質は、氷の成長開始温度低下剤として利用できる。氷結晶成長開始温度低下剤は、氷付着を防止するために付着箇所（例えば、飛行機などの翼や電線など）に散布又は塗布してもよく、凍結や霜害を防止するために地面（路面、土壌など）や農作物に散布又は塗布してもよい。本発明の重合体は、金属への腐食性が少なく、また少量添加で有効なために環境への負荷も小さいことが特徴である。

【0030】

50

また氷の成長を抑制する性質と、熱ヒステリシスを示す性質の両方を利用する場合、本発明の重合体は、水の凝固コントロール剤として利用できる。当該水の凝固コントロール剤は、例えば、氷点下での生体組織の損傷又は体液の凍結を防止するために生体組織又は体液に注入することができる。具体的には、養殖魚の耐凍性改善、精子や臓器などの冷凍保存、冷凍手術などに利用できる。本発明の物質は非タンパク質系なので、例えば臓器保存用に用いたとしても抗原抗体反応を引き起こす虞がない。

【実施例】

【0031】

以下、実施例を挙げて本発明をより具体的に説明するが、本発明はもとより下記実施例によって制限を受けるものではなく、前・後記の趣旨に適合し得る範囲で適当に変更を加えて実施することも勿論可能であり、それらはいずれも本発明の技術的範囲に包含される。

10

【0032】

なお以下の実験例では、下記の物質の不凍活性を調べた。

ポリアクリル酸：株式会社日本触媒製、商品名「アクアリックHL-415」、分子量：10,000

ポリアクリル酸ナトリウム：上記1)のポリアクリル酸を30%水酸化ナトリウム水溶液でpH7.0になるまで中和したものである。

ポリエチレンイミン：株式会社日本触媒製、商品名「エポミンSP-200」、分子量：10,000

20

ポリアクリル酸アンモニウム：上記1)のポリアクリル酸を28%アンモニア水(和光純薬工業株式会社製)でpH7.0になるまで中和したものである。

【0033】

実験例

上記各物質の水溶液(濃度10mg/ml)を調製した。この水溶液を温度制御付き凍結ステージ(リンカム社製、LK-600PM)にセットし、-30℃まで冷却して完全に凍結させた後、位相差顕微鏡(倍率100倍)で観察しながら約-1℃まで温度を上げていき(昇温速度100℃/分)、大きさ約0.08~0.1mm程度の氷の単結晶が1つだけ残る状態にした。視野を0.1mm×0.1mmとし(すなわち画面上に該単結晶を拡大表示させ)、この状態からゆっくりと再冷却(冷却速度1℃/分)し、氷の結晶の成長を観察した。単結晶が1つだけ残ったときの温度(融点)と、氷の結晶の成長が観察されたときの温度(凝固点)の差(熱ヒステリシス)を求めた。また上記操作によって成長させた氷の形態も観察した。結果を表1及び図3~図6の位相差顕微鏡写真に示す。図3はポリアクリル酸アンモニウム水溶液中の氷晶を、図4は剤を一切添加しない場合の氷晶を、図5はポリアクリル酸水溶液中の氷晶を、図6はポリアクリル酸ナトリウム水溶液中の氷晶を、図7はポリエチレンイミン水溶液中の氷晶を示す。

30

【0034】

【表1】

	添加剤	熱ヒステリシス(°C)
実施例1	ポリアクリル酸アンモニウム	0.039
比較例1	無添加	0
比較例2	ポリアクリル酸	0.012
比較例3	ポリアクリル酸ナトリウム	0.010
比較例4	ポリエチレンイミン	0.014

40

【0035】

50

表 1 及び図 3 ~ 図 6 から明らかなように、ポリアクリル酸アンモニウムは、酸型であるポリアクリル酸やポリアクリル酸ナトリウムと異なり、氷晶形態を変化させて、しかも熱ヒステリシスを示した。

また表 1 及び図 7 から、主鎖にアミノ基を有するポリエチレンイミンは氷晶形態を変化させることもなく、かつ熱ヒステリシスも小さいことが分かる。

図 3 では非扁平円盤形、図 4 ~ 図 7 では扁平円盤形であることが分かる。

【 0 0 3 6 】

特願 2 0 0 3 - 3 6 2 4 2 7 号の実施例のデータによると、ポリアクリルアミドの熱ヒステリシスは 0 . 0 2 1 であり、本発明のポリアクリル酸アンモニウムの方が大きな熱ヒステリシスを有しているので、氷結晶成長抑制剤として優れていることが分かる。

10

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 3 7 】

【 図 1 】 図 1 は不凍活性を示さない物質の水溶液から析出する氷晶を説明するための概念図である。

【 図 2 - a 】 図 2 - a は不凍活性を示す物質の水溶液から析出する氷晶を説明するための第 1 の概念図である。

【 図 2 - b 】 図 2 - b は不凍活性を示す物質の水溶液から析出する氷晶を説明するための第 2 の概念図である。

【 図 3 】 図 3 はポリアクリル酸アンモニウム水溶液中の氷晶を示す顕微鏡写真図である。

【 図 4 】 図 4 は剤が一切添加されていない場合の氷晶を示す顕微鏡写真図である。

20

【 図 5 】 図 5 はポリアクリル酸水溶液中の氷晶を示す顕微鏡写真図である。

【 図 6 】 図 6 はポリアクリル酸ナトリウム水溶液中の氷晶を示す顕微鏡写真図である。

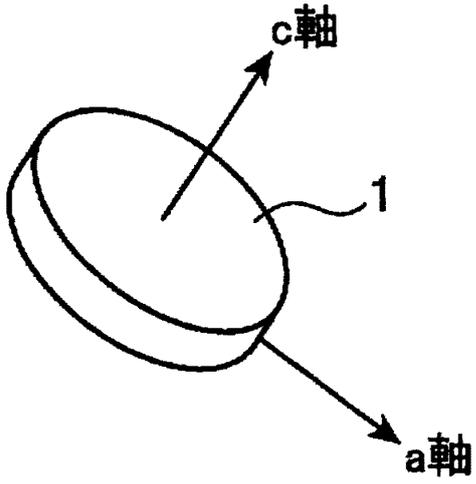
【 図 7 】 図 7 はポリエチレンイミン水溶液中の氷晶を示す顕微鏡写真図である。

【 符号の説明 】

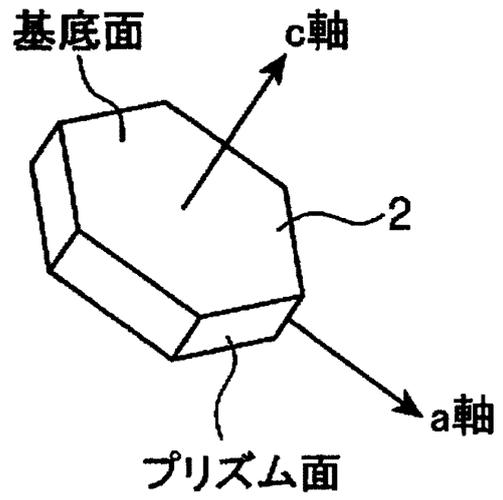
【 0 0 3 8 】

- 1 ... 扁平円盤状氷晶
- 2 ... 六方晶状氷晶
- 3 ... バイピラミッド型氷晶

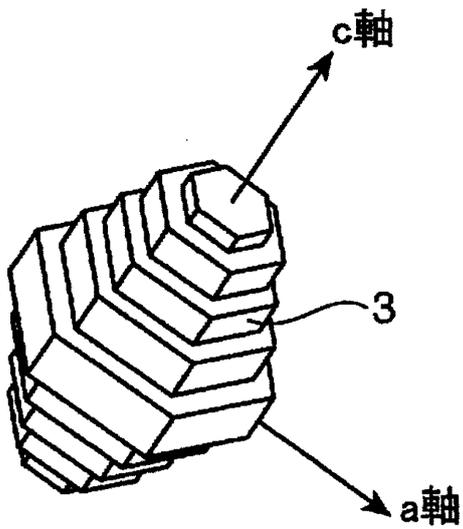
【図1】



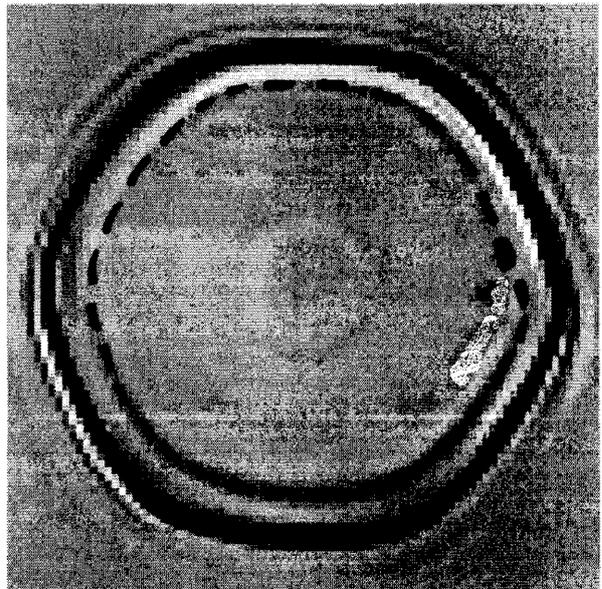
【図2 - a】



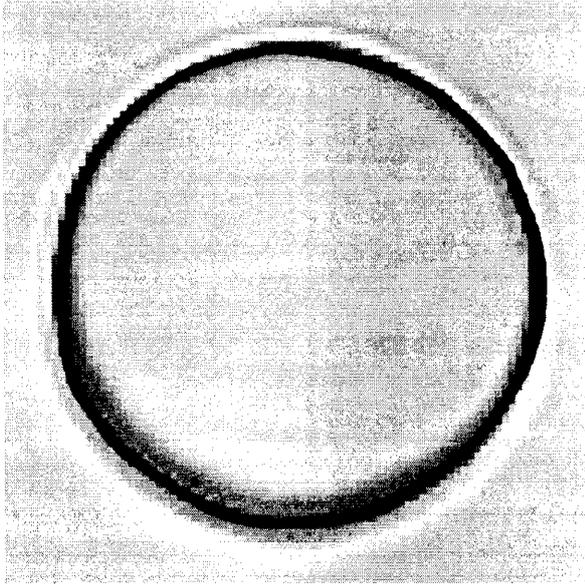
【図2 - b】



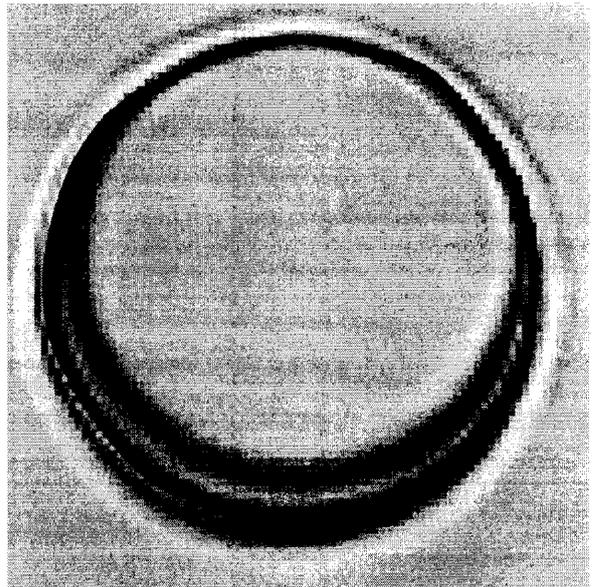
【図3】



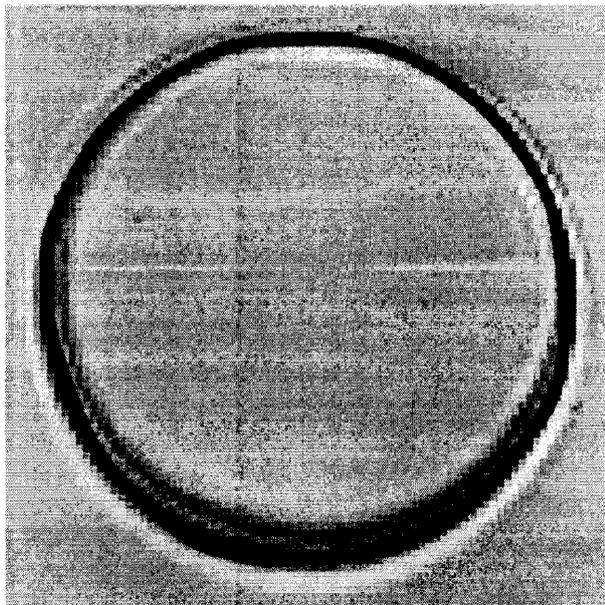
【 図 4 】



【 図 5 】



【 図 6 】



【 図 7 】

