

## 造粒促進材（バインダー）

造粒促進材（バインダー、Binder）は、造粒時に原料粉粒体の凝集を促進させ、粒状化速度を上げ、収率の向上、造粒した粒子の物性（強度、表面形態、耐崩壊性など）を改善する物質である。転動造粒、押出造粒、攪拌造粒等の湿式造粒は肥料原料粉粒体に水などの造粒液体の添加により粉粒体の表面を濡らして、液架橋を形成させることにより粒子に凝集する仕組みであるため、造粒促進材が重要な役割を果たす。一方、ブリケット造粒、熔融造粒等の乾式造粒は分子間力による造粒であるため、造粒促進材の添加は必要がない。

### 一、 造粒促進材の種類

肥料用造粒促進材は次の機能を備える必要がある。

- a. 一定の粘着力
- b. 大きな表面張力
- c. 乾燥後の固架橋の強度が高い
- d. 廉価
- e. 肥料に混入しても作物に害を与えない
- f. 合成有機系のものは生分解性を有する

ほかに粒子の内部充填性、分散性などがあれば、さらに良い。

肥料造粒に常用の造粒促進材は表 1 に示す。

表 1. 肥料造粒によく使用される造粒促進材

種類	品名	使用状態	目的	使用量
無機系	ベントナイト	固体、液体	増粘、増量	5~20%
天然有機系	廃糖蜜	液体	増粘	3~10%
	リグニンスルホン酸塩	液体	増粘	1~3%
	でん粉	液体、固体	増粘	1.5~3%
	コンニャク飛粉	固体、液体	増粘、増量	5~10%
	アルギン酸ナトリウム	液体	増粘	1~3%
合成有機系	CMC (カルボキシメチルセルロース)	液体	増粘	1~3%
	PVA (ポリビニルアルコール)	液体	増粘	1~3%
	PAM (ポリアクリルアミド)	液体	増粘	1~3%

他に石膏、腐植酸ナトリウム等も特殊な肥料造粒に造粒促進材として使用しているが、

特殊なケースであるため、ここでは提起しない。

## 1. ベントナイト (bentonite)

ベントナイトは、海底や湖底に堆積した火山灰や溶岩が変質することで出来上がった粘土鉱物の一種である。粘土鉱物モンモリロナイトを主成分に、石英、 $\alpha$ -クリストバライト、オパールなどの珪酸鉱物を副成分として、長石、マイカ、ゼオライトなどの珪酸塩鉱物、カルサイト、ドロマイト、ジブサムなどの炭酸塩鉱物や硫酸塩鉱物、さらにパイライトなどの硫化鉱物も混ざっている。ベントナイトの特性は、主成分のモンモリロナイトの性質及びその含有量によって決定される。

モンモリロナイト (montmorillonite) は、層状ケイ酸塩鉱物の 1 種で、その結晶構造はケイ酸四面体層-アルミナ八面体層-ケイ酸四面体層の 3 層が積み重なっており、1 枚の結晶は厚さ約 1nm、幅 0.1~1 $\mu$ m という極めて薄い板状になっている。その立体構造は、4 つの酸素を頂点とし、その中央にけい素を有する  $\text{Si}_4\text{O}_6(\text{OH})_4$  の四面体構造がシート状に連なっている。上下にあるけい酸四面体シートの間、6 つの水酸基を頂点とし、その中央にアルミニウムが入り込んだ、 $\text{Al}_2(\text{OH})_6$  の八面体構造のシートが挟まれた 3 層からなるアルミノシリケート層である。アルミナ八面体層の中心原子である Al の一部が 2 価の Mg、Fe に置き替わっているため、結晶が電荷的に歪んで、電荷が不足し、各結晶層自体はマイナスに帯電しているが、結晶層間に  $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  などの陽イオンを吸着されることで電荷不足を中和し、モンモリロナイトは安定状態を保っている (図 1)。これらの陽イオンは、水分子を水和した状態で存在し、他の陽イオン、例えば有機陽イオン等と自由にイオン交換することが可能である。ベントナイトの陽イオン交換性はこれらの陽イオンに由来する。

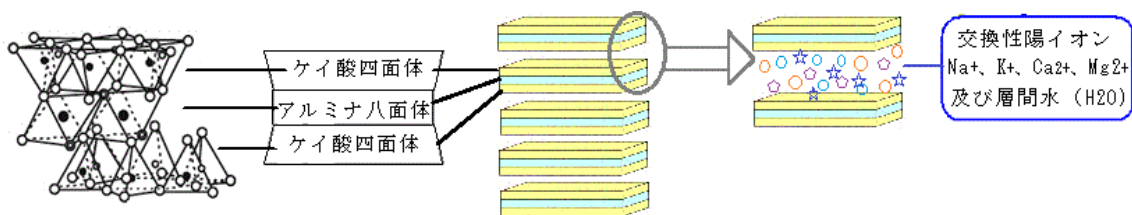


図 1. モンモリロナイトの結晶構造

ベントナイトの陽交換性はモンモリロナイトに含まれる  $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  の 4 種類陽イオンの量と比率に決められる。 $\text{Na}^+$  イオンが主であるベントナイトを Na 型ベントナイトと呼ばれ、水中での膨潤、増粘、分散性が優れている。 $\text{Ca}^{2+}$  イオンが主であるベントナイトを Ca 型ベントナイトと呼ばれ、Na 型ベントナイトより膨潤、増粘、分散性は劣るが、吸着性が優れている。肥料用の造粒促進材には膨潤、増粘、分散性が必要であるため、Na 型ベントナイト、または Ca 型ベントナイトに数%の  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  を加えて、Ca 型を Na 型にした活性化ベントナイトを使う。

ベントナイト水分分散液の粘性は、陽イオン濃度、pH によって大きく影響する。ベントナイト水分分散液に電解質として NaCl を添加した場合及び各濃度の NaCl 水溶液にベントナイトを直接添加した場合の粘度変化を測定した実験結果を図 2 に示す。

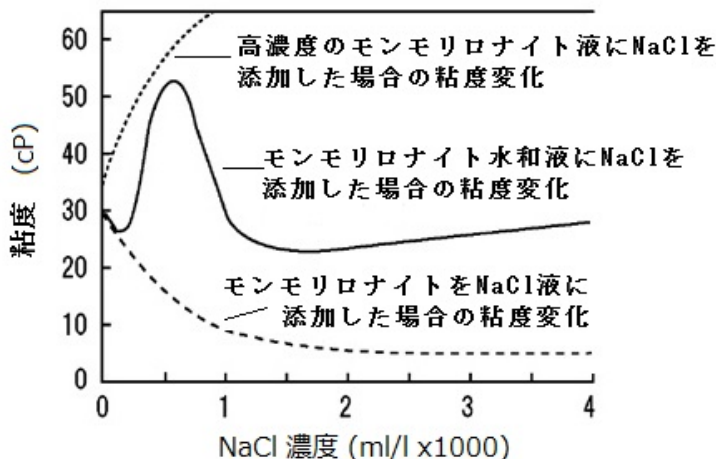


図 2. 塩化ナトリウムがベントナイトスラリーの粘度に及ぼす影響

NaCl 無添加では結晶層面、端面における電気二重層（モンモリロナイトの層電荷と層面に吸着している  $\text{Na}^+$  イオンのような対イオンを併せた層）は十分に発達し、層面一端面結合であるカードハウス構造が形成され、高い粘性を示す。しかし、数  $10\text{mg/l}$  の NaCl 添加により結晶層面、端面の電気二重層は圧縮され、層面一端面の引力及び層面一層面反発力が減少し、その結果、カードハウス構造が崩壊されるため粘性は低下する。数  $100\text{mg/l}$  の NaCl 添加によって結晶層面、端面の電気二重層は更に圧縮され、層面と端面との引力は強められ、再び、層面一端面引力と層面一層面反発力とのバランスによってカードハウス構造を形成しやすくなり、それと同時にファンデアワールス引力による端面一端面結合が形成され、粘性は再び増加する。しかし、更に数  $1000\text{mg/l}$  の NaCl 添加によって層面一層面結合が発達し、またはモンモリロナイトが脱水して結晶粒子数の減少することにより粘性は低下する。このように、予め水和させたベントナイト水分分散液に電解質を添加していくと、上述したような特異な粘性挙動を示す。しかし、各濃度の NaCl 水溶液中にベントナイトを直接添加すると、その粘性は NaCl 濃度の増加とともに急激に低下し、全く増粘性を示さず、モンモリロナイト結晶同士が凝集、沈殿してしまう。

ベントナイト水分分散液の pH を変動した時の粘度変化を図 3 に示す。pH が 7 から 9.5 の範囲で粘度は最も低い。pH が 9.5 から 12 程度に上がるとともに粘度が増加する。一方、pH が 7.5 から 4 程度まで低下すると粘度は増加し、pH4 以下になると逆に粘度は低下する傾向を示す。その理由はモンモリロナイトの結晶端面の等電点は pH7 付近であり、酸性領域では、端面はプラス電荷となるため層面一端面会合は強められます。pH 4 付近の粘度の増加は、結晶層面一端面の会合であるカードハウス構造の形成と考えられる。pH 4 以下での粘度低下は、層間に優先的に吸着される  $\text{H}^+$  イオンによる  $\text{Na}^+$  イオンとのイオン交換によ

る膨潤、分散性の低下によると考える。pH9.5 以上のアルカリ領域では、層面、端面ともにマイナスの電荷になり、層面—層面会合の発達により粘性が増加する。

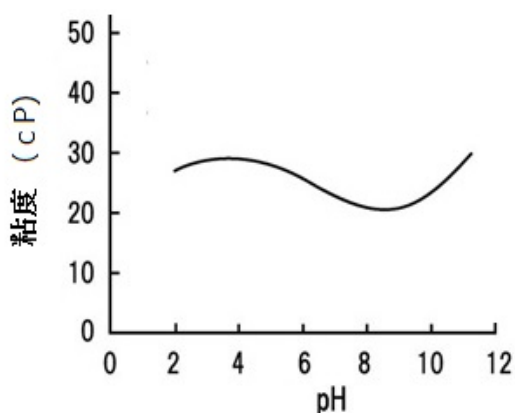


図 3. pH がベントナイトスラリーの粘度に及ぼす影響

農業分野では、ベントナイトは肥料造粒促進材のほか、水田の土壌改良材としても使われる。稲作にとって、適度の浸透量のある水田が好ましく、日浸透量は 20~25mm/day が適当と言われる。漏水が多い水田では、用水が多く入れなければならないため、水温と地温の低下を招き、冷水の害を受けやすくなる。漏水田 1ヘクタールあたりベントナイトを 1~1.5 トン程度施用し、十分に混合、シロカキを行うことにより、水田の漏水が著しく抑制され、水温と地温が 2~4℃高まる。また、肥料の流失も減少し、肥料効果が長続き、肥料施用量が 30~50%を節約することができる。それらの総合結果として水稻の収量は 10~20%増収すると言われている。

農薬を粒剤化するとき粘結材としてベントナイトを使用することにより、粒剤の強度が増加し、粉化の防止に役立つ。また、農薬の粒剤を水田に散布すると、ベントナイトの膨潤、崩壊性を利用して農薬成分が水田中に徐々に放出され、農薬の効果が長続きすることもある。

ベントナイトを造粒促進材とする場合は、粉の状態では肥料原料に混合してから造粒に供することが多いが、水に懸濁する状態で造粒液体として使用することもある。

## 2. 廃糖蜜（モラッセス、molasses）

廃糖蜜は、砂糖を製造する時に発生するものであり、40~60%の糖分が含まれて、ほかにいろんな成分も含んだ粘状で特殊なおおいを有する黒褐色の液体である。廃糖蜜にある残存糖分は、通常の方法では結晶させることが非常に困難であるため、主に発酵工業の原料として、一部は家畜の飼料または肥料の造粒促進材として利用されている。国産廃糖蜜の量が少なく、主に輸入糖蜜に依存している。

廃糖蜜の種類は砂糖の原料と製造過程により次の三つに分けられる。

### (1). サトウキビ糖蜜

サトウキビから砂糖を製造する際に発生したものである。沖縄や鹿児島などが主な産地で、輸入糖蜜もこれである。

(2). てん菜糖蜜

てん菜（砂糖大根）から砂糖を製造する際に発生したものである。北海道が産地である。

(3). 精製糖廃糖蜜

サトウキビからできた粗糖を白砂糖に精製する際に発生したものである。国内の製糖工場から排出する。

廃糖蜜の発生工程は図 4 に示す。

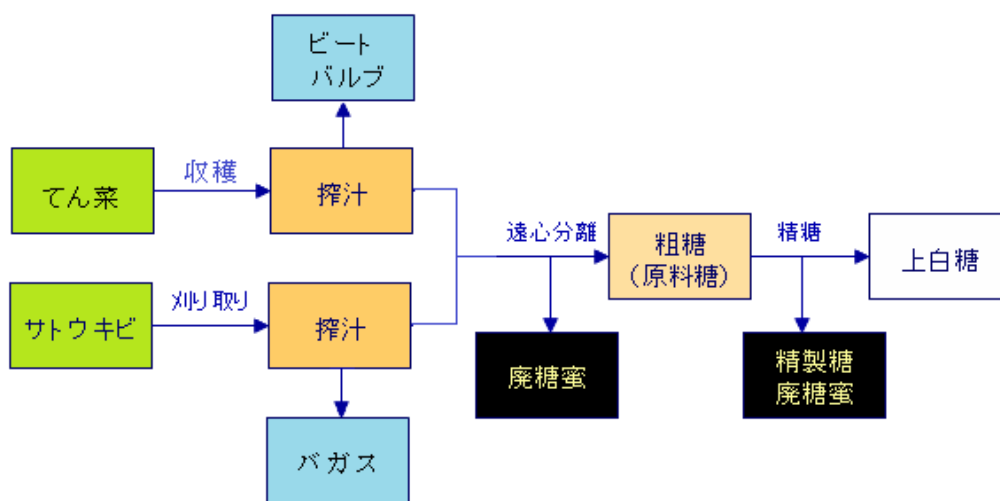


図 4. 廃糖蜜の発生工程

廃糖蜜の成分は糖分、各種窒素有機体、灰分、水分等から成り立っているが、品質の基準として全糖分(Total sugar content)と固形分(Brix)の含有率が重要である。

沖縄産サトウキビ糖蜜の分析結果の 1 例は表 2 に示す。

表 2. 沖縄産サトウキビ廃糖蜜の成分分析表

水分 (%)	灰分 (%)	還元糖 (%)	蔗糖 (%)	全糖分 (%)	粗タンパク質 (%)	アミノ酸性窒素 (%)	アンモニア性窒素 (%)	Brix (固形分) (%)	pH
18.18	14.60	24.42	22.19	45.76	1.09	0.19	0.04	81.2°	4.6

①. 全糖分

廃糖蜜の糖分は蔗糖(Sucrose)と還元糖(Reducing Sugar)の 2 種の糖を含むが、これを合計して全糖分として示す。

通常、サトウキビ糖蜜の全糖分が 40~45%で、てん菜糖蜜と精製糖糖蜜の全糖分が 50%前後である。なお、輸入糖蜜の全糖分が一番高く、約 55%であるため、発酵工業の原料、

家畜の飼料および食品工業に使われる。

## ②. 固形分

廃糖蜜には通常 20%程度の水分を含むが、この水分を除いたものを固形分として示す。固形分は糖分のほか、無機物、粗タンパク質、難分解性の有機物質等から構成される。廃糖蜜が黒褐色を呈するのはカラメルやメラノイジンなど難分解性の有機物を多く含んでいるためである。

廃糖蜜を造粒促進材とする場合は、水で希釈してから造粒溶液として使用する。

## 3. リグニンスルホン酸塩 (lignosulfonate)

リグニン (lignin) は木材など木化した植物体中に存在する芳香族高分子化合物で、木材重量の 20~30%を占める。セルロースなどと結合して存在し、細胞間を接着・固化する役割を果たす。リグニンスルホン酸塩は、製紙工業で亜硫酸法によるパルプ製造工程に木材中のリグニンが亜硫酸と反応して生成した化合物である。製紙廃液である黒液に多く含まれる。

リグニンスルホン酸塩はリグニンのヒドロキシフェニルプロパン構造の側鎖  $\alpha$  位の炭素が開裂してスルホン基 ( $-\text{SO}_3\text{H}$ ) が導入された骨格を有する化合物である。スルホン基の水素イオンが金属陽イオンに代替されたものはリグニンスルホン酸塩となる。その骨格部分の構造は図 5 に示す。金属陽イオンはカルシウム ( $\text{Ca}^{2+}$ )、ナトリウム ( $\text{Na}^+$ )、マグネシウム ( $\text{Mg}^{2+}$ ) 等であるが、カルシウムとナトリウムが一番多いため、通常、リグニンスルホン酸カルシウムとナトリウムの混合塩として販売している。また、需要に応じて、リグニンスルホン酸ナトリウムやリグニンスルホン酸カルシウムに精製した製品もある。

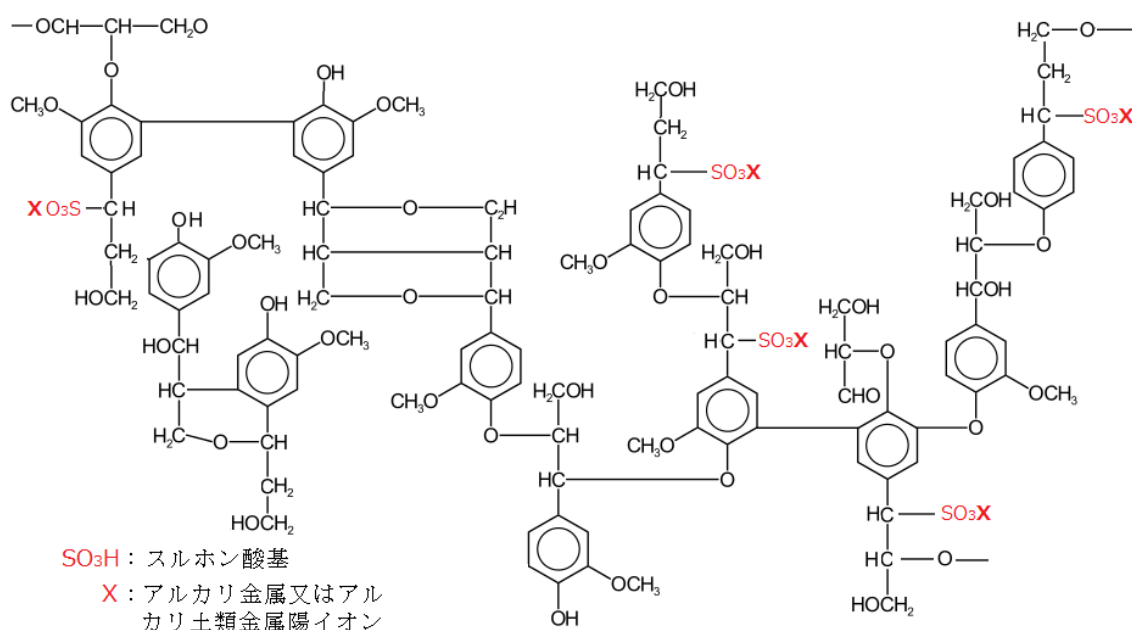


図 5. リグニンスルホン酸塩の分子構造の一部

リグニンスルホン酸塩は高分子物質であり、粘結性を有する。リグニンスルホン酸塩には木材由来の還元性糖類や糖スルホン酸塩も含まれており、その相乗効果により優れた粘着性を発揮する。特にリグニンスルホン酸カルシウムは造粒促進材として非常に優秀である。通常、造粒促進材は、リグニンスルホン酸カルシウム・ナトリウムの混合塩、リグニンスルホン酸カルシウムを使用する。

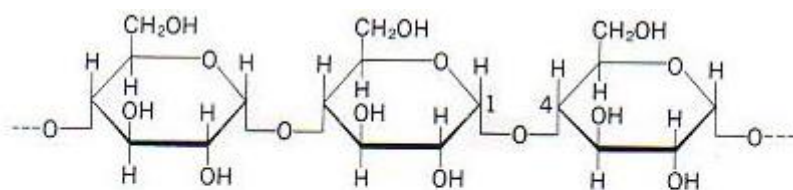
肥料造粒促進材とする場合は、水に溶かした溶液で造粒溶液として使用する。

一方、リグニンスルホン酸塩はスルホン基、カルボキシル基、フェノール性水酸基等の官能基を有するため、その強い親水性とマイナス荷電により、電解質の効用もあり、無機・有機を問わず色んな粒子に化学的または物理的に吸着し、粒子を安定な分散状態にすることができる。この場合、リグニンスルホン酸ナトリウムは分散能力がリグニンスルホン酸カルシウムより優れている。従って、リグニンスルホン酸ナトリウムは染料分散剤、コンクリート分散剤をはじめとする各種分散剤として使用されている。

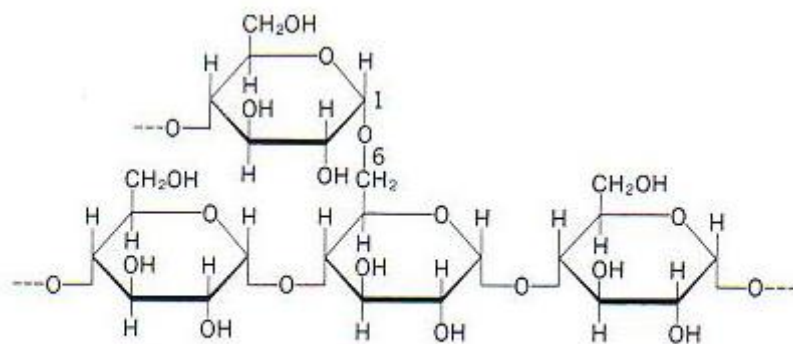
また、リグニンには土壌中の腐植酸の元となるものである。リグニンスルホン酸塩は土壌改良材として土壌物性の改良、土壌微生物の活性化にも役立つ。

#### 4. でん粉 (starch)

でん粉は、多数の $\alpha$ -グルコース（ブドウ糖）分子がグリコシド結合により形成された高分子炭水化物である。植物の種や球根などに多く含まれている。でん粉の構造はグルコースの結合状態によりアミロースとアミロペクチンに分けられる。アミロースは直鎖状の分子で、分子量が比較的小さい。アミロペクチンは枝分かれの多い分子で、分子量が比較的大きい。でん粉の分子構造は図6に示す。



アミロース分子構造



アミロペクチン分子構造

図6. でん粉の分子構造

通常のでん粉は冷水に溶解せず、ただ分散懸濁しているだけで、粘性もなく、しばらく放置すれば沈殿してしまう。このようなでん粉は $\beta$ -でん粉と呼ばれ、造粒促進材には向けない。

$\beta$ -でん粉の水懸濁液を加熱したり、アルカリ処理または塩類処理したりすると、でん粉粒子が膨潤を始め、アミロースやアミロペクチンを構成している糖鎖のミセル構造が壊れて粒子が崩壊して、粘性を持つ透明または半透明のでん粉糊液になる。このような加工処理したでん粉は $\alpha$ -でん粉と呼ばれる。 $\alpha$ -でん粉の特徴は冷水に溶解でき、溶液も粘性がある。しかし、 $\alpha$ -でん粉が溶液の状態を放置して、または溶液を乾燥すれば、 $\beta$ -でん粉に戻して、再び不溶性となる。この現象は $\alpha$ -でん粉の老化と呼ばれる。図7はでん粉の $\alpha$ -化と $\beta$ -化の概略を示す。

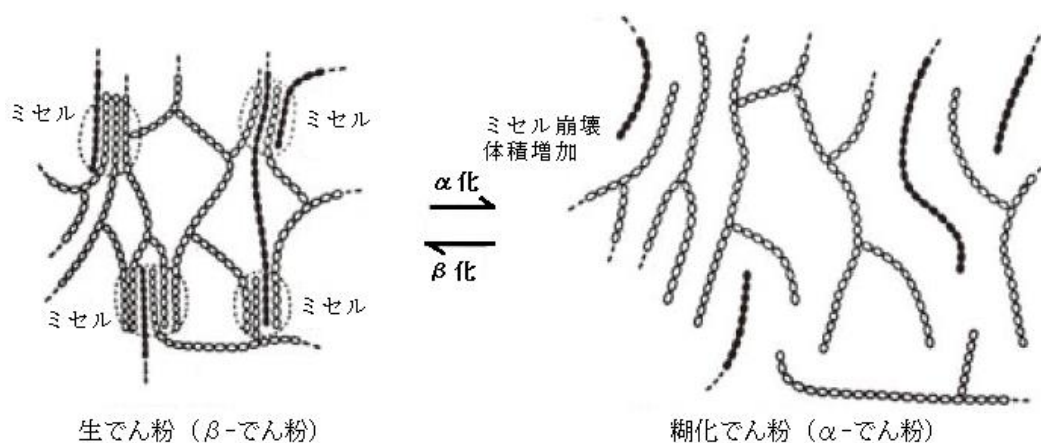


図7. でん粉の $\alpha$ 化と $\beta$ 化の転換概略

造粒促進材としての $\alpha$ -でん粉は、コストの点から廉価のコーンでん粉またはタピオカでん粉を使う。特に $\alpha$ -タピオカでん粉は冷水溶解性がよく、粘度が高く、老化しにくく、造粒促進効果が優れている。肥料造粒促進材とする場合は、水に溶かした溶液の状態です造粒溶液として使用する。

## 5. コンニャク飛粉 (fine powder of Konjac)

コンニャク飛粉（とびこ）は、コンニャク芋を細断後に乾燥した荒粉からコンニャク精粉を製造する工程に生じた副産物である。

コンニャク（蒟蒻）は、*Amorphophallus Konjac K. Koch* という学名をもつサトイモ科の多年草で、その地下球茎部分がコンニャク芋と呼ばれる。コンニャク芋を細断後に乾燥させたものを荒粉といい、これから精粉（せいこ）を製造する過程で生じる副産物がコンニャク飛粉である。精粉の製造方法は、コンニャク芋を洗浄後細断し、これを機械にて火力乾燥させ、チップ状の荒粉にする。この荒粉を粉碎し微細な粉末状にして得たマンナン粒子（グルコマンナンがコンニャク芋の組織中に粒状に蓄積されたもので、乾燥すると非



常に硬い粒子となる)の表面を機械で磨く。磨いた後、エアークレーターにて分級する。密度が高く比重が重い精粉はほとんどグルコマンナン粒子で構成され、回収して製品となる。それ以外の軽い微粒子粉末が飛粉である。荒粉から精粉に精製する際に精粉とほぼ等量の飛粉を副産する。

市販のコンニャク製品は精粉から造られるものである。副産した飛粉には不快なおいところとえぐ味を有し、グルコマンナンが殆ど含まれていないことから、コンニャク製品として用いることはできない。そのため、古くから肥料の造粒促進材、土壌改良剤、緑化工事での法面への種子・苗の粘着剤等として用いられている。

コンニャク飛粉は糖質、タンパク質、灰分から構成される。その成分分析の 1 例を表 3 に示す。

表 3. コンニャク飛び粉の成分分析表

水分	水溶性糖質	不溶性糖質	たんぱく質	脂質	灰分
4%	20~23%	40~42%	17%	5.5%	8.5%

コンニャク飛粉には糖質が約 60%を含んで、その中の不溶性糖質がほとんどでん粉である。飛粉は水に一部しか溶解できず、懸濁液となるが、水を吸収して膨潤した状態では強い粘着性を示す。通常、造粒促進材として使用する場合は、粉の状態では肥料原料に添加してから混練する。

## 6. アルギン酸ナトリウム (sodium alginate)

アルギン酸ナトリウムは、主に褐藻に含まれる多糖類の 1 種で、海藻類のぬるぬるやねばねばがアルギン酸ナトリウムに由来する現象である。

アルギン酸は $\alpha$ -L-グルロン酸と $\beta$ -D-マンヌロン酸が 1,4-グリコシド結合で構成された高分子物質で、そのカルボキシル基に Na イオンが結合したものはアルギン酸ナトリウムである。その構造の一部が図 8 に示す。

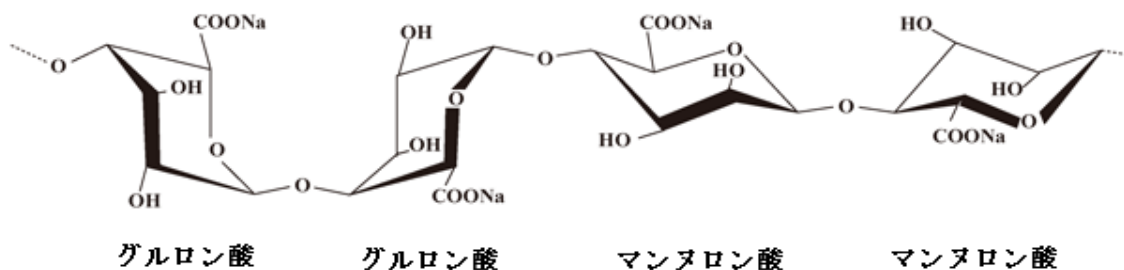


図 8. アルギン酸ナトリウムの分子構造

アルギン酸ナトリウムは冷水と温水によく溶け、粘度の高い溶液となる。この粘度の大小はアルギン酸ナトリウムの分子量（アルギン酸を構成するグルロン酸とマンヌロン酸分

子の重合度) に応じて変化する。概して分子量の大きいものは高い粘度を示す。また、アルギン酸ナトリウム水溶液は天然ハイドロコロイドの中で最もニュートン流体に近い、滑らかな流動性を示す。アルギン酸ナトリウム溶液に Ca イオンを添加するとゲル化する性質を有するため、少量の Ca 塩を組合せることでチクソトロピックな粘性に調整することも可能である。

アルギン酸ナトリウムはこうした多様な粘性特性を有するため、食品の増粘剤、ゲル化剤をはじめ、医薬品の胃粘膜保護剤、歯科印象材、染料の捺染用糊、紙のコーティング剤として幅広く利用されている。

肥料の造粒促進材とする場合は、水に溶かしてから造粒溶液として使用する。但し、値段が高いため、使用することが稀である。

## 7. CMC (カルボキシメチルセルロース、carboxymethyl cellulose)

CMC はセルロースを原料として得られたアニオン系水溶性セルロースの誘導体である。CMC はアルカリを触媒として、セルロースをクロロ酢酸と反応させ、セルロースの骨格を構成するグルコピラノースモノマーのヒドロキシ基の一部にカルボキシメチル基 (-CH<sub>2</sub>-COOH) を結合させたものである。極性のカルボキシル基がセルロースを可溶化し、化学的に反応しやすくなる。なお、CMC ナトリウム塩 (CMC-Na) の形で販売することが多い。CMC-Na の分子構造は図 9 に示す。

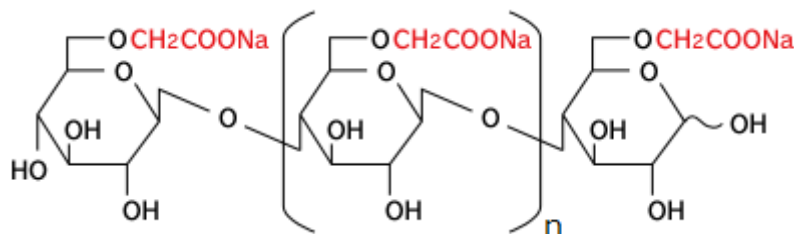


図 9. CMC-Na (カルボキシメチルセルロースナトリウム塩) の分子構造

CMC は無味・無臭な白色粉末または顆粒で、冷水と温水に容易に溶解し、無色透明で粘度の高い溶液が得られる。優れた増粘性・吸水性・保水性を有しており、食品添加物、飼料添加物、化粧品、増粘剤、粘結剤や吸水・保水剤として幅広い用途で利用されている。天然セルロース由来であるため、緩やかな生分解性を有し、かつ、使用後は焼却廃棄が可能なので、環境に極めてやさしい素材である。

CMC の持つ増粘性、吸水性など機能的性質はセルロース構造の置換の度合い、すなわちどの程度のヒドロキシ基上にカルボキシメチル基が置換しているか、およびセルロース骨格構造の鎖長に依存する。概して、カルボキシメチル基の置換数が多いほど、吸水性・保水性が高くなる。セルロース骨格構造の鎖長が長いほど、増粘性が強くなる。

CMC の特徴は、でん粉等天然糊剤に比べ腐食しにくく、生理的に無害、安定性が良い。

また、水に容易に溶け、透明で粘度の高い液体になる。石油系の有機溶媒には不溶である。増粘、乳化・懸濁安定、保水、保護コロイド、粘着などの性能がある。造膜性に優れ、乾燥後に強く透明柔軟なフィルムを形成する。

CMC の主な用途は、食品の増粘剤と乳化分散剤、医薬品・化粧品の保水安定剤と粘度調整剤、繊維産業用の捺染用糊剤、製紙工業の表面サイズ剤、農薬用の水和剤、農水産業の配合飼料バインダー等である。

肥料造粒促進材とする場合は、水に溶かしてから造粒溶液として使用する。優れた造粒促進作用があるが、コストが高いため、廉価のリグニンスルホン酸塩に代われ、使用量が少なくなった。

## 8. PVA（ポリビニルアルコール、polyvinyl alcohol）

PVA は石油由来の合成樹脂の 1 種で、ポリ酢酸ビニル（PVAc）の酢酸基を水酸基に置き換えることで合成する。酢酸基を水酸基に置き換える反応をけん化反応と呼び、PVA 中の酢酸基と水酸基の合計数に対する水酸基の百分率をけん化度で表す。完全けん化、中間けん化、部分けん化があり、そのけん化度が PVA の水溶性、被膜の耐水性等の機能に影響を及ぼす。PVA の分子構造は図 10 に示す。

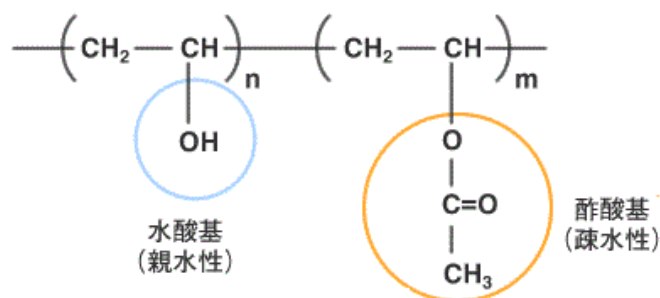


図 10. PVA（ポリビニルアルコールの分子構造）

PVA は白色～淡黄色の粉末で、次の特徴を有する。

- ① 水溶性： 水溶性ポリマーで、水には任意の比率で溶解する。水溶液は適当な粘度を持ち、様々なものに塗工し、乾燥することによって表面皮膜を形成することができる。
- ② 接着性： 粘結性があり、水酸基を持っているため、紙、木材のような親水性の表面を持った物質に対して、強い接着力を示す。
- ③ 化学反応性： 水酸基を持っているため、アセタール化反応やホウ酸、ホウ砂との反応等による改質を行うことができる。
- ④ 皮膜形成性： 造膜性に優れ、フィルムは透明性が高く、高強度、ガスバリア性、防曇性、非帯電性等の優れた特徴がある。
- ⑤ 界面活性能力： 親水性の水酸基と疎水性の酢酸基を持っているため、界面活性能を示し、乳化・分散性に優れている。

⑥ 安定性： DMSO（ジメチルスルホキシド）などの特殊な溶剤と水にしか溶けない。一般の有機溶剤、動植物油、グリースに対しては溶解せず、安定である。高分子化合物で、一般環境下では変質や劣化は起こらないが、湿度の高い環境では微生物にゆっくり分解されることもあり、生分解性高分子物質でもある。

PVA の水溶性、粘度、皮膜強度、吸湿性等の特徴はその重合度とけん化度に大きく影響を受けている。概して重合度が高くなると、水溶性が下がり、粘度が上がり、皮膜強度が高く、吸湿性が低くなる。けん化度が高くなると、同じく水溶性が下がり、粘度が上がり、皮膜強度が高く、吸湿性が低くなる。

PVA の特徴により、接着剤や、粒子・錠剤等の製造過程における結合剤として利用されるほか、その強い親水性を生かして、ポリ酢酸ビニルやアクリル樹脂等を主成分とするエマルション系接着剤を製造する際の乳化剤としても広く用いられている。近年は液晶ディスプレイ用の偏光フィルムの主材料として、需要が急速に伸びている。

肥料造粒促進材とする場合は、PVA を温水に溶かしてから造粒液体として使用する。なお、完全けん化（けん化度 98～99%）、重合度 1700 前後の粘度の高いものが造粒促進材に適する。

## 9. PAM（ポリアクリルアミド、polyacrylamide）

PAM は水溶性合成樹脂の 1 種で、アクリルアミドモノマーから重合されたものである。その分子構造は図 11 に示す。

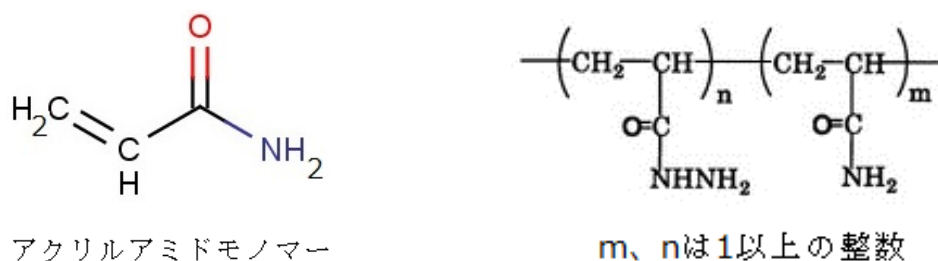


図 11. アクリルアミドモノマーと PAM（ポリアクリルアミド）の分子構造

PAM は反応性に富む酸アミド基（ $-\text{CONH}_2$ ）を有するため、容易に種々の誘導体を作る。また、各種モノマーとの共重合や構造制御も可能である。PAM は冷水と温水に溶け、その水溶液は粘度が高く、親水性があり、紙、木材のような親水性の表面を持った物質に対して、強い接着力を示す。この特徴を生かして、接着剤、紙の紙力増強剤、繊維の加工助剤、洗濯糊、排水処理の沈殿凝集剤等として使われている。また、土壌改良剤として土の団粒化、水の浸透性や保水性、通気性を改良する。微生物による分解することができるため、生分解性が高い。

肥料造粒促進材とする場合は、PAM を 50～60℃の温水に溶かしてから造粒液体として使用する。

## 二、 造粒促進材の選択

化学肥料の多くは水溶性塩類なので、造粒する際に水や造粒液体に対する溶解と析出で、粉粒体の間に液架橋を形成して粒子凝集の原動力となる。りん安（MAP）、過りん酸石灰、重過りん酸石灰等のりん酸系化学肥料は溶液の粘度が高く、特に pH が中性に近づくと、その表面張力や粘度がさらに上昇し、付着力が大きくなり、造粒時に造粒原料の粉粒体間に液架橋の形成を促進して、乾燥によりできた結晶状の固架橋の強度が高く、造粒促進材の役割を果たす。化成肥料の処方にりん安（MAP）、過りん酸石灰、重過りん酸石灰の比率が 20%以上あれば、水だけで強度の高い粒子が造粒できるので、造粒促進材の添加が必要ない。

これに対して、窒素系原料の硫安、尿素や加里系原料の塩化加里、硫酸加里は飽和溶液でも表面張力が比較的小さく、溶液の粘度も低く、凝集した粒子の強度が低いため、それを原料とする化成肥料の造粒には造粒促進材の添加が造粒効率と造粒した粒子の物性の向上に有効である。特に尿素は見かけ密度が低く、粉体としての空隙率が大きく、安息角が小さいため、他の原料と均一に混合することが難しく、飽和溶液の粘度と表面張力も低く、緻密な粒子を形成しにくい。原料に尿素の配合率が 25%を超えた場合は、造粒促進材の使用を勧める。

一方、ようりん、シリカゲル粉等は水溶性のない原料では、造粒促進材を添加しないと造粒が通常不可能である。

造粒促進材の選択は使用原料の種類と配合比率、造粒方法により行う。通常、下記の経験則で造粒促進材を選択する。

### 1. 転動造粒の場合

転動造粒は回転パンまたはロータリーキルンを造粒容器として、造粒液体を使って原料粉粒体を所要サイズの粒子に造粒する方法である。その生産工程は、低速回転するパンまたはロータリーキルンに原料粉粒体を連続に投入して、水または造粒促進材の水溶液を霧状にして吹き付け、粒子が造粒容器の回転に沿って転動しながら別の粒子に衝突し、結合させて大きくなり、最終に所要サイズの粒子に成長する。

転動造粒法を使用する場合は、まず、水溶性の造粒促進材を選択する。製品の色と匂いを要求しない場合は、廉価の蔗糖蜜とリグニンスルホン酸塩を選択する。製品の色と匂いに厳しい制限のある場合は、コストと水溶液の調整配合から  $\alpha$ -でん粉、CMC、PVA、PAM、アルギン酸ナトリウムの順で選択する。

一方、肥料保証成分に余裕のある場合には、ベントナイトを選択することもある。ベントナイトは充填、増量効果もあり、造粒した粒子の外観が良くなる。

### 2. 押出造粒の場合

押出造粒（ペレット造粒）は、原料粉粒体に造粒促進材と水または液体を添加して、混

練機で混合・混練してから、スクリー、プランジャーまたはローラ等を使って、圧力で混練した軟料を強制的に多数の孔を開いている板（スクリーンダイ）を通して、円柱状の形にして、カッターで一定の長さで切断し、粒状にする方法である。

肥料保証成分に余裕のある場合には、造粒工程の簡略化とコスト削減の観点からベントナイトやコンニャク飛粉を優先的に選択する。肥料原料にこれら造粒促進材の粉体を添加して混合・混練をすれば、品質のよい粒子が製造できる。一方、肥料種類により、石膏や腐植酸ナトリウムを造粒促進材として使用することもある。

肥料保証成分に余裕のない場合は、廃糖蜜、リグニンスルホン酸塩を選択する。肥料原料に造粒促進材の水溶液を添加し、混練してから押出造粒する。通常、押出造粒は製品の色や匂いに気にしないから、高価の $\alpha$ -でん粉、CMC、PVA、PAM、アルギン酸ナトリウム等を選択しない。

### 3. 攪拌造粒の場合

攪拌造粒は、原料粉粒体を造粒容器に投入して、回転するブレードで攪拌しながら造粒液体を添加して、原料粉粒体を球形の粒子に凝集させる方法である。

攪拌造粒は原料粉粒体が回転するブレードの攪拌作用により強いせん断力と圧縮力を受けて、混合、切返し、分散を行い、遠心力により造粒容器の内壁に衝突運動等で転動しながら粒子に凝集する過程である。ブレードの回転により粒子が不規則的に転動しながら互いに衝突し凝集して大きくなる。凝集力の弱い粒子がブレードとの衝突または互いに衝突して崩壊するが、碎片が再び凝集して成長する。

攪拌造粒はその造粒過程の特徴から粘着性の高い造粒促進材を選択する必要がある。通常、コストの点からリグニンスルホン酸塩、 $\alpha$ -でん粉、CMC、PVA、PAM、アルギン酸ナトリウムの順で選択する。

## 三、造粒促進材使用上の注意事項

### 1. 造粒促進材の使用量

造粒促進材の使用量は造粒した粒子に必要な粒径と強度を決めて、その強度を満たすように造粒促進材を選択してから実験を通して決定する。概して粘度が高く、親水性と分散性の良い造粒促進材は必要な添加量が少ない。表 1 には各造粒促進材の通常使用量を書いているが、その使用量が肥料原料の種類と配合比率により大きく変動することもあり、実験を繰り返し、所要の粒子強度目標へと合わせることを勧めたい。

### 2. 造粒促進材の添加方法

造粒促進材の種類と造粒方式により、粉体のままで肥料原料に添加する方法と水に溶かしてから造粒液体として使用する方法に大別される。通常、ベントナイトとコンニャク飛粉は粉体のままで添加することが多いが、懸濁液にしてから造粒液体とする場合もある。

CMC、PVA、PAM、アルギン酸ナトリウムは水に溶かしてから造粒液体として使用する。 $\alpha$ -でん粉は通常、水に溶かしてから使用するが、粉体のままで肥料原料に添加してから混合・混練することもある。

造粒方法による造粒促進材の添加方法は、上記「二、造粒促進材の選択」を参照下さい。

### 3. 造粒促進材の水溶液の作り方

造粒促進材を水に溶けて、造粒液体にするにはコツがある。下手にすると、溶液に「ままこ」と呼ばれる未溶解のダマが発生し、造粒促進効果が低下する。

ままこ発生の原因は、造粒促進材が低密度の粉末であるため、表面張力で水に浮く。表面張力の作用で水との接触面積を小さくしようとするため、ある程度の塊単位に割られて、丸いダマが発生する。このダマの表面がわずかに水と混ざり、粘性の高い皮膜ができ、水分の浸透を妨げ、ダマの内部に浸透させない。ダマ内部の粉の間に空気が閉じ込められたため、ダマが軽く液面に浮き、かき混ぜても壊れにくい状態になっている。

造粒促進材を上手く溶解させるには次の事項を参考して行う。

- ①. 造粒促進材の吸湿固結を防ぐため、外気や湿気を遮断して保管する。
- ②. 溶解用水の温度を造粒促進材の最適溶解温度に合わせて制御する。
- ③. 水を強く攪拌しながら、造粒促進材を少しずつ添加する。添加した造粒促進材を沈降させない。攪拌はブレードのついた回転刃などを高回転で攪拌したり、超音波装置を利用したりすると効果的である。
- ④. 攪拌時に溶解槽に造粒促進材が滞留するデットゾーンを作らない。
- ⑤. 水に少量の界面活性剤を添加し、脱泡処理して、造粒促進材への浸透力を高める。
- ⑥. 溶解した造粒促進材の溶液は速やかに使い切る。残った溶液は密封して保管し、表面皮膜の発生を避ける。

上記の事項を注意して溶解を行っても、ままこがよく発生する状況では、下記の解決方法を試してみる。

- ①. 溶解の諸条件（水温、攪拌速度、減圧、投入速度等）を変える。
- ②. 造粒促進材の粒度、銘柄、メーカーを変える。
- ③. 造粒促進材の種類を再選択する。