

## 開発中シリカ製品の紹介

### Silica Products under Development

泉 昌宏，宮部 慎介

Masahiro IZUMI and Shinsuke MIYABE

## はじめに

珪酸ソーダは珪砂 ( $\text{SiO}_2$ ) とソーダ灰 ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) を混合溶解して得られる珪酸ソーダガラス (カレット) を水に溶解させたものであり， $\text{Na}_2\text{O} \cdot m\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  の化学式で表される透明粘性液体である。日本化学工業株式会社 (以下当社) では西淀川工場で珪酸ソーダを製造しており，シリカ製品の多くは珪酸ソーダを原料としている。

川下または派生製品としてコロイダルシリカ，ゼオライト，珪酸カリ，珪酸リチウムなど多種類のシリカ製品を製造販売しており，なかでもコロイダルシリカは一般の負電荷ナトリウム安定型の製品のほかアルカリ種に Li，K，第 4 級アンモニウムを用いた製品や正電荷品も開発している。

筆者らのグループでは，現在幅広く使用されているものから今後応用が期待されるものまで様々な用途に対応すべくコロイダルシリカをはじめとする機能性シリカの開発を行っている。ここではコロイダルシリカと研究開発製品の中からメソポーラスシリカ，マガディアイト，真珠光沢顔料の例を紹介する。

## 1 コロイダルシリカ

液体媒体中に 1・100 nm のシリカ粒子が安定して分散している状態のものをコロイダルシリカという。シリカ粒子は  $\text{SiO}_4$  四面体を基本単位として構成されるので，その表面には常に酸素原子が存在する。このためシリカ粒子の表面電位は負に偏り，周囲の粒子と静電的な反発をすることで分散した状態を保っている。

コロイダルシリカに関する研究は古く，1861 年にグラハム (Graham) により見出されたのが始まりといわれている<sup>1)</sup>。その後，製造法も含めた研究がなされ，現在ではアルコキシド法や水ガラス法 (イオン交換法，解こう法) などの工業的製法が確立，製造されている。当社で

は珪酸ソーダを出発原料とするイオン交換法によりコロイダルシリカ (製品名「シリカドール」) を製造している。イオン交換法は珪酸ソーダをイオン交換して得られる活性シリカを加熱して  $\text{SiO}_2$  の核を発生させ，更に活性シリカを添加して核を成長させる方法で，ビルド・アップと呼ばれる粒子成長法である。

コロイダルシリカの開発では常にゲル化の問題と対面しなければならない。ゲル化は分散していたシリカ粒子が凝集し沈降あるいは流動性を失うことをいい，pH，電解質，アルカリによる影響，有機物の添加などの要因でコロイド溶液中の電荷のバランスが変動することによって起こるとされている。

コロイダルシリカには安定な分散状態を保てる pH 領域があり，pH8・11 付近のアルカリ側を安定領域，pH2・4 付近の酸性側を準安定領域といい，pH11 以上ではシリカ粒子が溶解し始め，pH5・6 付近はもっとも不安定でゲル化が進行する (Fig. 1)。

またコロイダルシリカに少量の電解質を添加するとイオン濃度が上がりゼータ電位の変動により安定化するが，粒子の表面積とアルカリの量に関係したある範囲を超えて過剰に添加するとゲル化する。コロイダルシリカは分散状態を保つための安定化剤として少量のアルカリを必要とするが，これも過剰に添加するとアルカリ金属イオンが粒子表面に吸着して電荷が中和されゲル化を引き起こす。また有機物との混合において，エタノールなどのアルコールにコロイダルシリカを分散させる場合，酸性では安定し，アルカリ性では不安定となることが知られている。

一般に電解質や有機物などの添加は，コロイダルシリカの電荷のバランスが崩れることから安定性を損なうものとされており，製造においてこれらを添加する場合には注意が必要である。ただし，これは一般論であって何らかのブレイクスルーがないと新商品の開発は行き詰まってしまう。

コロイダルシリカの用途は鋳造関係，耐火物関係，製紙関係，無機繊維関係，繊維関係，触媒関係，塗料・接着剤関係，金属表面处理，半導体研磨などがあり，当社のシリカドールはこれらの様々な用途へ対応できるよう各種のグレードを用意している。

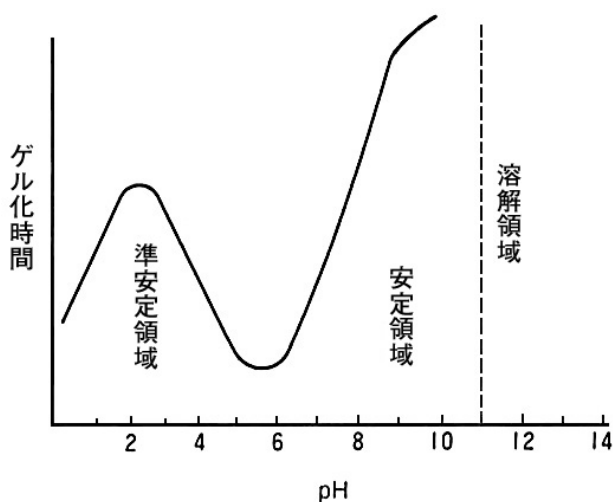


Fig. 1 Relationship between pH and gelling time of colloidal silica.

## 2 メソポーラスシリカ

### 2.1 メソポーラスシリカ

メソポーラスシリカはナノメートル単位の細孔を有するシリカ質多孔体であり，炭化水素やアンモニアの吸着性に優れ，親水性が低いことから活性炭やゼオライト，シリカゲルに代わる材料としてさまざまな用途が期待されている。

1990 年頃，黒田らによりジケイソウ ( $\text{Na}_2\text{Si}_2\text{O}_5$ ) の水和物であるカネマイト ( $\text{NaHSi}_2\text{O}_5$ ) とアルキルトリメチルアンモニウム (ATMA) を組み合わせて FSM と称するメソポーラスシリカが合成された<sup>2)</sup>。カネマイトは  $\text{SiO}_4$  四面体シート一枚で一層を形成する層状珪酸塩であり，ATMA との複合体形成時にシートが波板のように曲がって ATMA を取り囲みメソポアの前駆体が形成される。ATMA/カネマイト複合体の焼成物は 20・40 のメソポアを有することが報告されている<sup>3)</sup>。また，これと同時期に各種珪酸と ATMA の組み合わせによる MCM・41 がモービル社により開発された<sup>4)</sup>。この頃，当社においてもメソポーラスシリカの開発に着手している。

当社ではコロイダルシリカの製造に珪酸ソーダからイオン交換樹脂を用いてナトリウムを除去した活性シリカを使用している。この活性シリカを原料としてメソポーラスシリカを合成すると，触媒活性を低下させるナトリ

ウムが少なく表面積の大きいものを合成できることを見出した。また活性シリカを経由せず，珪酸ソーダを直接原料とすることでイオン交換の手間を省くことができる新製法も開発し，現在は二つの製法による生産が可能となっている。

国内におけるメソポーラスシリカ関連の特許出願件数は現在までにおおよそ 55,000 件，そのうち合成に関するものは 900 件近くに上る。当社からは 10 件のメソポーラスシリカ関連特許を出願している。

### 2.2 SILFAM の製法と特徴

当社のメソポーラスシリカ (製品名「SILFAM」(シルファム)) は常圧 (大気圧) 下での合成が可能であり，特殊な装置を必要とせず工業的生産に有利であることをコンセプトに開発が進められた。珪酸ソーダを出発原料とする製品を SILFAM・A，活性シリカを出発原料とする製品を SILFAM・B と称している。ここでは活性シリカを原料とする SILFAM・B の製法を紹介する。

カチオン性界面活性剤であるアルキルトリメチルアンモニウムクロライド (ATMA/Cl) を所定の濃度となるよう水溶液を調製し，水溶液中の  $\text{Cl}^-$  をアニオン交換により  $\text{OH}^-$  に置換し ATMA/OH 水溶液とする。

活性シリカ ( $\text{SiO}_2$  4%) を ATMA/OH 水溶液に所定のモル比となるように滴下すると同時に  $\text{SiO}_2$  が析出する。このスラリーを 95℃ まで加熱して 2 時間反応させ，ろ過・洗浄・乾燥を経て ATMA/ $\text{SiO}_2$  の複合体を得る。この複合体中の ATMA を焼成して除去するとメソポーラスシリカが得られる。

製造方法の違いによる二つのグレードの性状を Table 1 に示す。特徴として SILFAM・A は高結晶質，SILFAM・B は高多孔質であり SILFAM・A より比表面積，細孔容積ともに大きい。この性状の差は反応系におけるシリカの析出機構の違いによると考えられる。

SILFAM・A のシリカ析出は微妙な pH 調整によるため，シリカが溶液からゆっくりと析出することでシリカと界面活性剤の複合物であるミセルロッドがきれいに生成するので高い結晶性が得られる。このとき析出物には Na が配位すべきサイトが存在しないため Na は反応母液中に取り残されることになり容易に洗浄で除去できる。

一方 SILFAM・B は活性シリカの添加と同時にシリカが析出するため，ミセルロッドが形成される前のアモルファスな状態で析出したものも多く，その結果高比表面積となったと推測される。また原料に活性シリカを使用することで原料に由来する Na がほとんど存在しないため，洗浄工程の大幅な簡略化が可能となる。

Table 1 Properties of SILFAM-A and SILFAM-B.

| Property                                               | SILFAM-A         | SILFAM-B    |
|--------------------------------------------------------|------------------|-------------|
| Characteristics                                        | High crystalline | High porous |
| SiO <sub>2</sub> /%                                    | >99              | >99         |
| Na <sub>2</sub> O /ppm                                 | <50              | <50         |
| Specific surface area /m <sup>2</sup> ·g <sup>-1</sup> | >1000            | >1200       |
| Pore volume /cm <sup>3</sup> ·g <sup>-1</sup>          | >1.00            | >1.20       |
| Pore diameter /nm                                      | 4.0              | 3.5         |
| Thermal stability /°C                                  | 800              | 800         |
| Mean particle diameter /μm                             | 60               | 17          |
| Apparent specific gravity /g·cm <sup>-3</sup>          | 0.14             | 0.11        |
| pH                                                     | 5                | 5           |

SILFAMの吸着等温線を Fig. 2 に示す。測定には Sorptmatic 1800( CARLO ERBA 製 )を使用した。吸着等温線の形は IUPAC により大きく六つに分類され、このうち SILFAM の吸着等温線は、ヒステリシスと呼ばれる吸着と脱着のプロセスが異なる現象が見られる型に属している。

SILFAM は疎水性を持ち低湿度側の水の吸着量が少ない特性を有している。またベンゼンに対する吸着性能も持ち合わせており、表面をシランカップリング剤で疎水化処理することによって高湿度条件での水の吸着を避け、選択的に有機物を吸着させることも可能となる。

窒素吸着法により測定した吸着等温線をもとに算出した細孔分布を Fig. 3 に示す。SILFAM-A、SILFAM-Bともに細孔径 40 付近にピークが認められ、メソポアを

有することがわかる。またピークがシャープなことから細孔径にばらつきがなく均一であることを示している。

走査型電子顕微鏡 S-4800( HITACHI 製 )で SILFAM-A および SILFAM-B の表面の状態を比較すると SILFAM-B は凹凸が大きく、SILFAM-A のような平滑な結晶表面を持たないために比表面積が大きいことがわかる( Fig. 4 )。

Fig. 5 は透過型電子顕微鏡 H-7500( HITACHI 製 )により撮影した SILFAM-A の TEM 写真であるが、SILFAM の特徴ともいべき直径 4 nm の均一な細孔がハニカム状に配列していることがわかる。

SILFAM は当社独自の技術により開発したメソポーラス材料であり、工業的応用に関する研究が期待される。

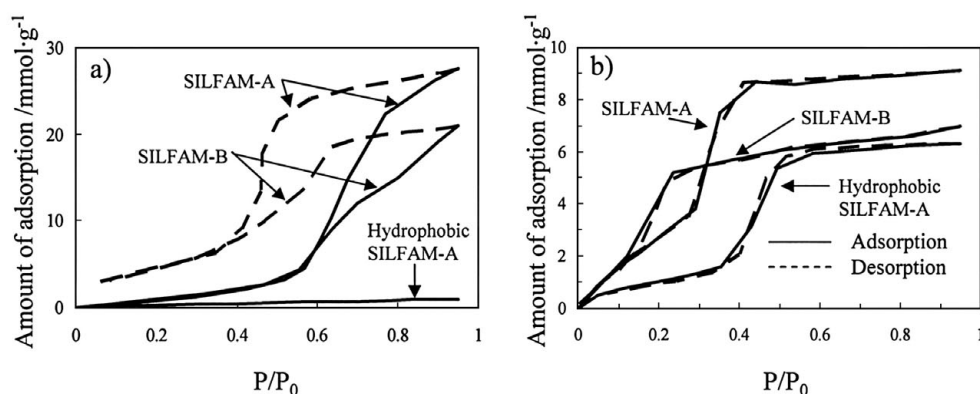


Fig. 2 Adsorption isotherm of a) water, b) benzene on SILFAM-A, SILFAM-B and SILFAM-A obtained hydrophobic treatment.

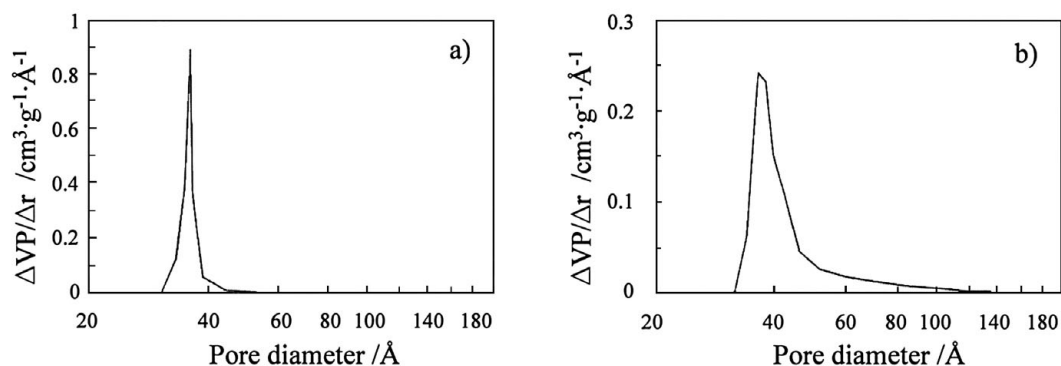


Fig. 3 Pore size distributions of a) SILFAM - A and b) SILFAM - B.

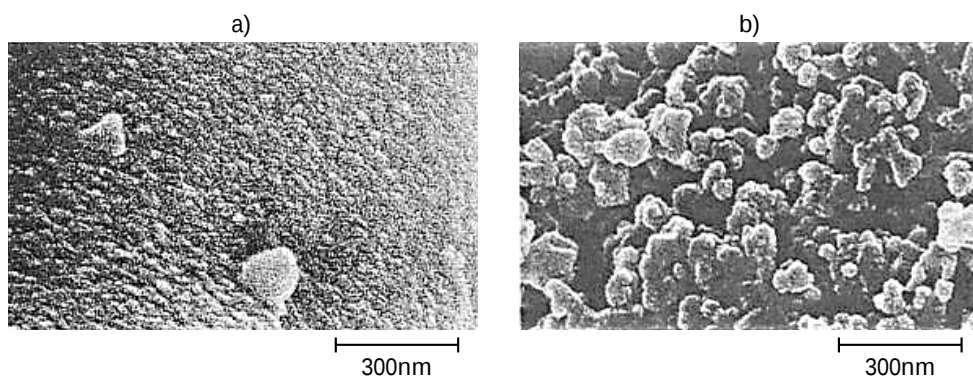


Fig. 4 SEM photographs of a) SILFAM - A and b) SILFAM - B.

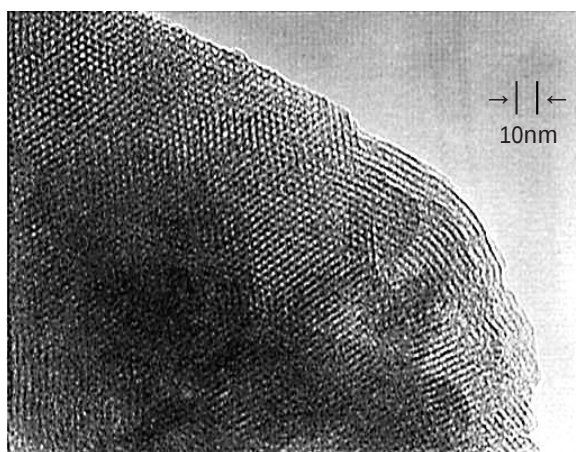


Fig. 5 TEM photograph of SILFAM - A.

### 3 マガディアイト

#### 3.1 マガディアイトと層状粘土鉱物

層状珪酸塩の一つであるマガディアイトはイオン交換による層間への物質の取り込みが可能であることから、ホスト - ゲスト化学の分野で注目される化合物の一つである。層状珪酸塩は層状粘土鉱物と異なり、その構造は $\text{SiO}_4$ 四面体が二次元的に重畳して成る層とそれらに挟まれる中間層により形成される。一層を一枚の四面体シー

トで形成するカネマイトや三枚のシートで形成するマガディアイト、ケニヤイトなどがあり、層自体に電荷を持たず層表面のシラノール基によるわずかなアニオン性によりカチオンを取り込むとされている。

一方、層状粘土鉱物は $\text{SiO}_4$ 四面体シートと $\text{AlO}_6$ の八面体シートで層を形成しており、一層をこれらのシートが1:1あるいは2:1で重なり形成している。この八面体シートのAlの一部がMgなどの二価の金属に置換することにより層がアニオン性を呈し層間にカチオンを取

り込んでいる ( Fig. 6 )。層状粘土鉱物に関する研究報告は多いがマガディライトなどの層状珪酸塩については詳細な研究はなされていない。

当グループでは、イオン交換法でマガディライト層間

に第 4 級アンモニウムを取り込み、さらにテトラエトキシシラン ( 以下、TEOS と略す ) を導入して焼成することによりピラーを形成し、メソポアを有するピラードマガディライトの創製を試みた。

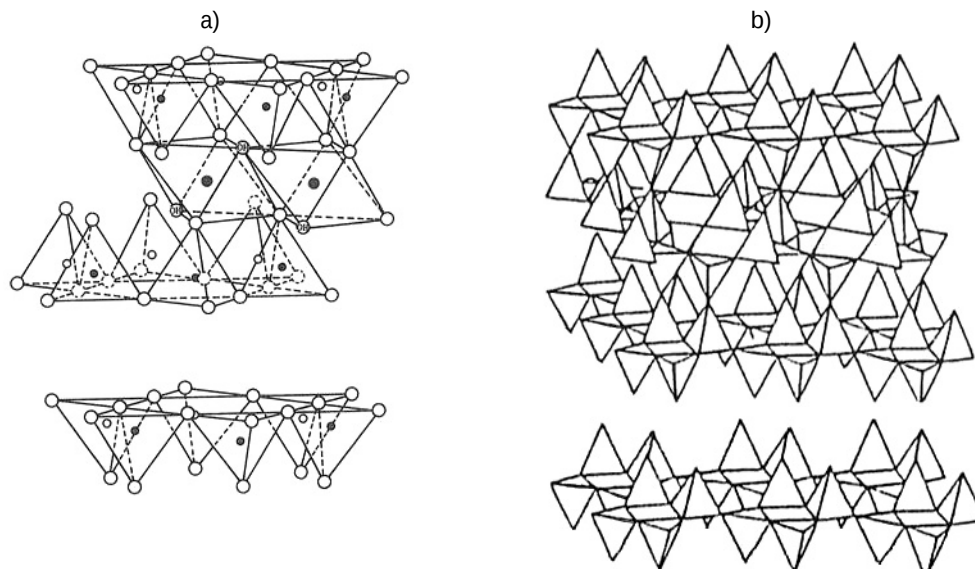


Fig. 6 Layer structure models of a) montmorillonite and b) magadiite.

### 3.2 マガディライトの合成

マガディライトの合成法としては水熱合成法が知られており、関連するすべての実験には自製の水熱合成法 Na 型マガディライトを使用した。マガディライトの合成例を以下に示す。

シリカ源として当社のコロイダルシリカ製品であるシリカドールを使用した。これに NaOH と純水を所定のモ

ル比で混合し、オートクレーブで 150℃、48 時間処理した後、ろ過 - 洗浄 - 乾燥を経て Na 型マガディライトを得た。得られた結晶は鱗片状の結晶が集合して一つのキャベツ状をした外観を有しており ( Fig. 7 )、平均粒子径は 5・10 μm である。XRD の回折パターンから、得られた結晶がマガディライトであることを確認した。

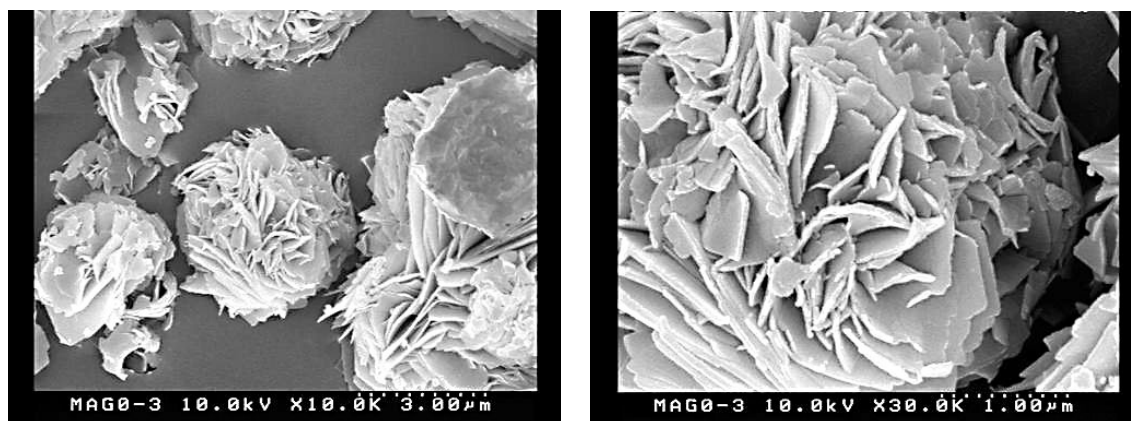


Fig. 7 SEM photographs of magadiite synthesized by hydrothermal method.

### 3.3 第4級アンモニウム/マガディライト複合体の合成

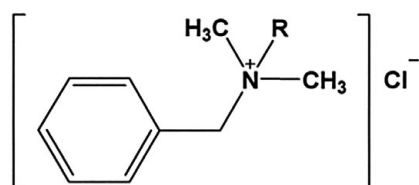
マガディライトの層間に導入するゲスト化合物には塩化ベンザルコニウム，塩化ベンゼトニウム，塩化テトラメチルアンモニウムを用いた( Fig. 8 )。イオン交換処理の概要を以下に示す。

Na 型マガディライトを第4級アンモニウム化合物の水溶液にスラリー濃度 10 % となるよう分散させる。このとき Na 型マガディライトと第4級アンモニウムはモル比 1:1 となるよう調製し，このスラリーを室温で 20 時間攪拌した後，水洗を繰り返し行った。得られたマガディライトケーキを再度第4級アンモニウム化合物水溶液に分散させて同様の操作を行い，イオン交換を合計 2 回行った。これはマガディライト中の Na を 2 回に分けてイオン交換処理することでイオン交換率をより高くするための操作である。その後 110 °C で乾燥し第4級アンモニウム/マガディライト複合体( 以下，マガディライト複

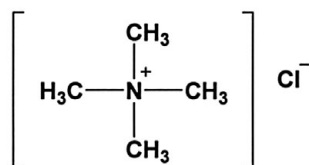
合体と略す )を得た。

X 線回折装置 D8 ADVANCE V( BRUKER 製 )によるマガディライト複合体の X 線回折パターンを Fig. 9 に，合成したマガディライト複合体の層間距離とイオン交換率を Table 2 に示す。イオン交換率は全有機炭素計 TOC - SSM 5000A( 島津製 )で測定したマガディライト複合体の全有機炭素( TOC )濃度とマガディライト中の全 Na が第4級アンモニウムにイオン交換する時の理論 TOC 濃度との割合からもとめている。

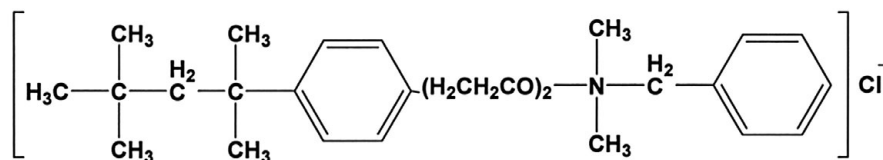
塩化ベンザルコニウム，塩化ベンゼトニウムをゲスト化合物に用いた場合，イオン交換率に差はあるものの層間距離が 1.57 nm から 3.27 nm，3.68 nm にそれぞれ広がっており層間に取り込まれていると考えられる。しかし塩化テトラメチルアンモニウムでは層間距離の変化もなくイオン交換率も低いことからイオン交換反応が進んでいないと考えられる。



**Benzalkonium chloride**



**Tetramethylammonium chloride**



**Benzethonium chloride**

Fig. 8 Quaternary ammonium compounds intercalated in magadiite.

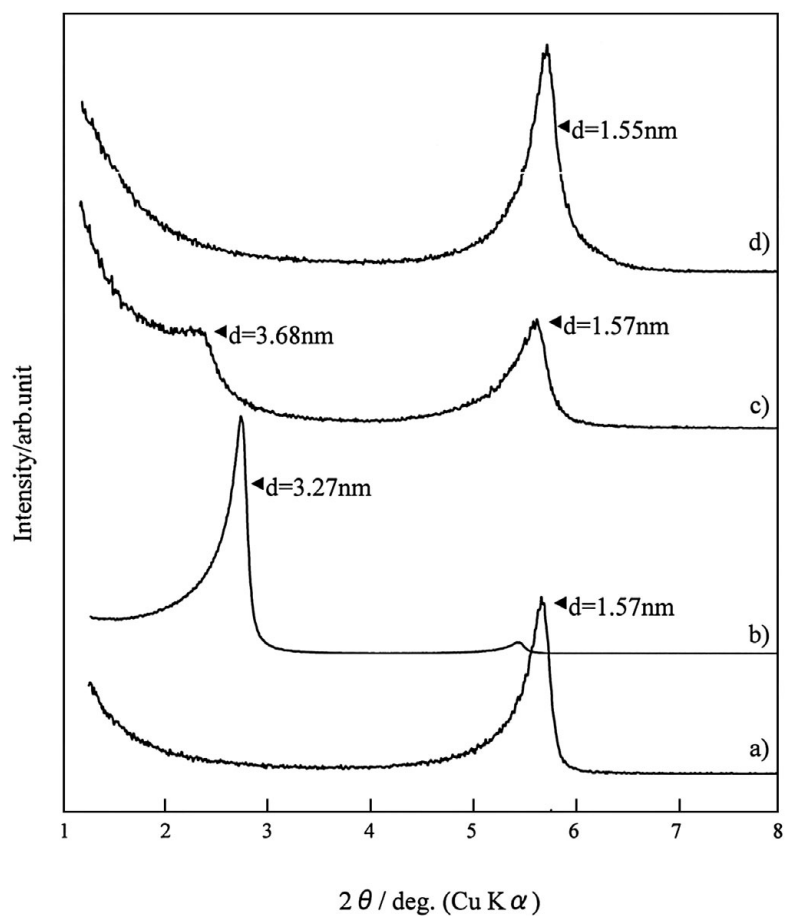


Fig. 9 XRD patterns of solid products a) Na magadiite, b) Benzalkonium /magadiite, c) Benzethonium /magadiite and d) Tetramethylammonium /magadiite.

Table 2 Layer spacing of magadiite and their complexes and percentage of ion-exchange reaction on magadiite.

| Solid products                        | 2theta / degree | $d_{(001)}$ / nm | Percentage of ion-exchange / % |
|---------------------------------------|-----------------|------------------|--------------------------------|
| Sodium magadiite                      | 5.6             | 1.57             | —                              |
| Benzalkonium/magadiite complex        | 2.7             | 3.27             | >100                           |
| Benzethonium/magadiite complex        | 2.4             | 3.68             | 19                             |
| Tetramethylammonium/magadiite complex | 5.7             | 1.55             | 9                              |

### 3.4 ピラードマガディライトの合成

次に以下の手順でマガディライト複合体に TEOS を導入しピラー化を試みた。

イオン交換率の高いベンザルコニウム型マガディライト複合体を純水に分散させ TEOS を添加し室温で 8 時間混合する。その後 110 ℃ で乾燥し層間のベンザルコニウムを 600 ℃ で 8 時間焼成除去し生成物を得る。

Table 3 にピラー形成マガディライトの比表面積と細孔径を示す。Na 型マガディライトに比べてピラードマガディライトの比表面積ははるかに大きく、層間が N<sub>2</sub> 吸着部位として機能していることを示している。Fig. 10 に Sorptmatic 1800( CARLO ERBA 製 )で測定した N<sub>2</sub> 吸着等温線より算出した細孔径分布曲線を示す。ベンザルコニウム型は 20 nm 付近に細孔が存在している結果となった。Na 型のようにピラーのないマガディライトではこのような細孔分布は現れないので、この結果からもピラー形成によりメソポアを有するピラードマガディライトができていることがわかる。ベンザルコニウム以外

でも同様の合成ができ、例えばジアルキルジメチルアンモニウムを用いると 26 nm の細孔を有するものが得られる。層間の第 4 級アンモニウムの種類によってピラードマガディライトの細孔径が異なることから、分子サイズによる細孔径制御の可能性を示唆している。

マガディライト層間における第 4 級アンモニウムの配向は明らかではないが、予想されるピラー化のメカニズムは、層間の親油基を有する第 4 級アンモニウムのまわりへ TEOS が入り込み加水分解を起こして SiO<sub>2</sub> ピラーを形成し、第 4 級アンモニウムを焼成除去することによりピラードマガディライトが生成していると考えられる。

このように第 4 級アンモニウムを使用することでメソポアを有するピラードマガディライトの合成が可能であることがわかった。マガディライトの層状化合物としての基礎的分野あるいはピラー化などの発展的利用に関する研究について、一層の発展を期待したい。

Table 3 Pore size and surface area of pillared magadiite.

| Solid products                            | BET surface area<br>/ m <sup>2</sup> ・g <sup>-1</sup> | Pore volume<br>/ cm <sup>3</sup> ・g <sup>-1</sup> | Pore size<br>/ nm |
|-------------------------------------------|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|-------------------|
| Sodium magadiite                          | 3.31                                                  | -                                                 | -                 |
| Dialkyldimethylammonium/magadiite complex | 177.4                                                 | 0.208                                             | 2.64              |
| Benzalkonium/magadiite complex            | 346.1                                                 | 0.364                                             | 2.09              |

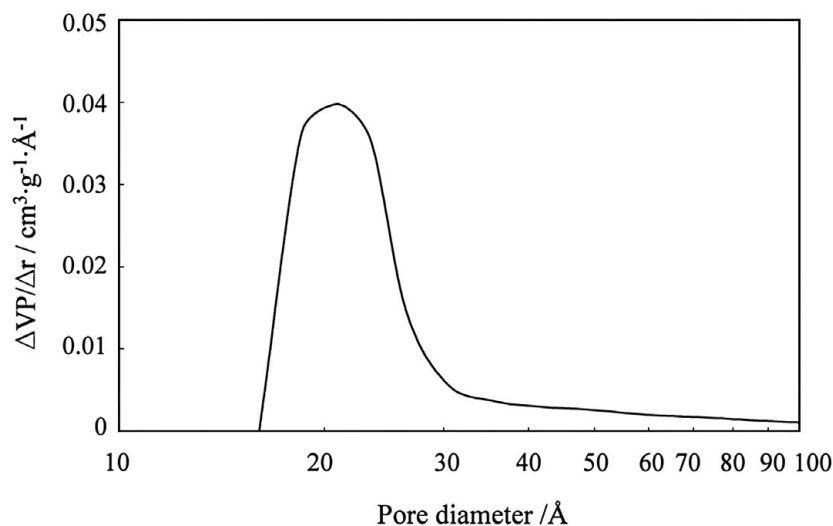


Fig. 10 Pore size distribution of pillared magadiite; calcined solid products prepared by TEOS and benzalkonium /magadiite complex.

## 4 真珠光沢顔料

### 4.1 化粧品と真珠光沢顔料

化粧品にはメーキャップ化粧品，フェーシャル化粧品，ヘア化粧品などその範囲は幅広いが，ファンデーションやアイシャドー，マスカラ，口紅などのいわゆるメーキャップ化粧品などに独特な質感を与えるために配合されている真珠光沢顔料には，従来雲母（マイカ）やタルクなどの薄板状の物質が母材として用いられてきた。真珠光沢顔料は化粧品の目的により用いられる母材を適宜選択し，酸化チタンや酸化鉄などの金属酸化物によるコーティング処理を施すことで真珠光沢を発現させ化粧料に配合されている。

雲母はその性質である劈開性により光輝感が発現しにくい<sup>5)</sup>，表面活性が十分でないなどの問題があり，さらに天然雲母の場合には含まれる不純物がくすみの原因になるため，雲母に代わる母材が求められている<sup>6)</sup>。母材には化粧品に配合したときの光輝感，肌上でのフィット感すなわち表面平滑性，適度な強度と柔軟性などの諸性質を兼ね備えることが要求される。当グループではシリカをベースとする真珠光沢顔料の母材を模索し，酸化チタンや酸化鉄などで母材表面をコーティングして真珠光

沢が得られるか検討している。

### 4.2 板状シリカへのコーティング

Fig.11は原料にコロイダルシリカを使用して作製した板状シリカのSEM写真である。このシリカの形状は板状であるため真珠光沢顔料の母材に適用できる可能性がある。

この板状シリカを純水に分散させて60℃に加熱し，攪拌しながら硫酸チタン水溶液をゆっくり滴下した後，一晩常温で攪拌を続けシリカ表面に酸化チタンをコーティングした。このスラリーをろ過，洗浄した後，純水に再分散させ60℃で酸化チタンのコーティング層を熟成させるため再び硫酸チタン水溶液を添加した。このとき加水分解が進みすぎないように50%硫酸水溶液を同時に添加した。1時間攪拌して熟成し，ろ過，洗浄後110℃で乾燥して生成物を得た。生成物の光沢は少なかったがSEM写真で観察すると表面に酸化チタンと思われる微粒子が付着している（Fig.12）。

コーティング皮膜の酸化チタンには耐久性や耐候性に優れ，高い光輝感が得られるルチル型が指向されるため<sup>6)</sup>，結晶転移のために800-1200℃での加熱処理を施すことが一般的である。筆者らも850℃で加熱処理を施したが，焼成前後で光沢の差異は見られなかった。

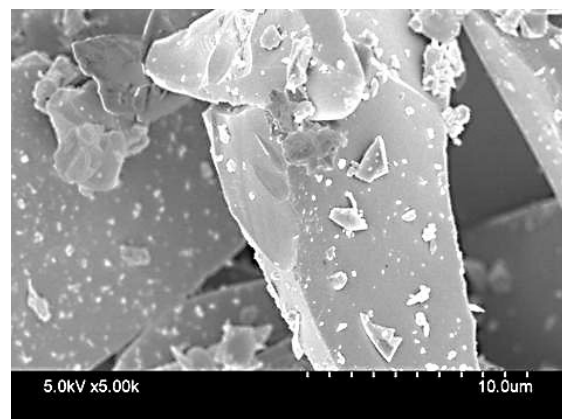
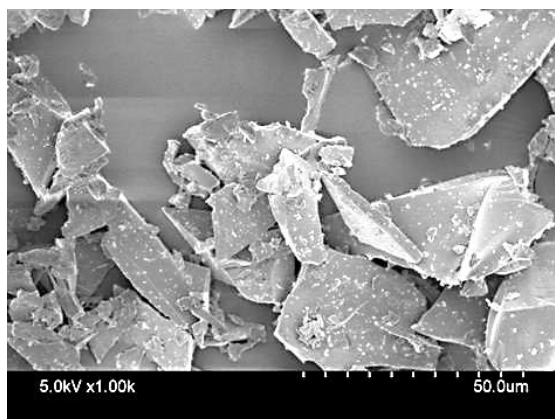


Fig. 11 SEM photographs of laminar silicagel made from colloidal silica.

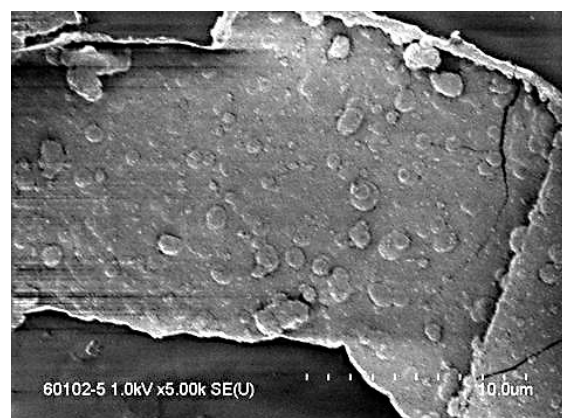
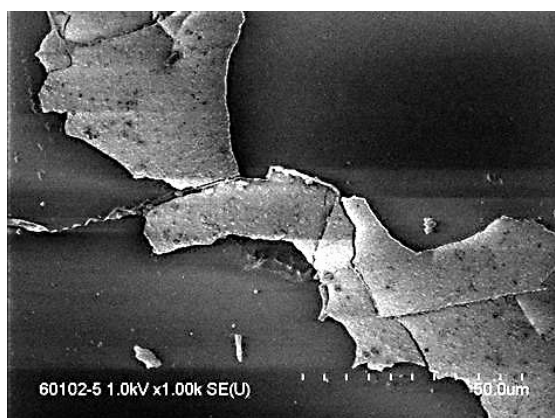


Fig. 12 SEM photographs of titanium coated laminar silicagel.

光沢の色は母材表面にコーティングされる金属酸化物の化学種と膜厚によってさまざまな色調を発現させることができる。チタンだけでなく鉄やコバルト、アルミニウムあるいはそれらを組み合わせたものをコーティング材料として用い、板状シリカ表面へのコーティング方法と同時に色の变化も観察した。ここでは酸化鉄で板状シリカを被覆し、さらに酸化チタンで被覆した例を示す。

板状シリカを純水に分散させたスラリーを 75℃ まで加熱し、1 時間かけて硝酸鉄水溶液を添加した。その後 3 時間熟成を行い常温で一晩攪拌した。このスラリーを 60℃ に加温してから硫酸チタン水溶液を添加し 2 時間熟成の後、ろ過、洗浄し 110℃ で乾燥した。このサンプルを 850℃ で焼成し生成物を得た。

焼成前のサンプルは薄い褐色を帯びているが、光沢は板状シリカと同程度だった。一方焼成後のサンプルは黄色が加わり黄金色に変化し、光沢も板状シリカと比べ光輝感が増していた。焼成によってシリカ表面で酸化鉄と酸化チタンが融着し、またシリカ母材自身の焼結が起ることで光沢と反射干渉色が変化したと考えられる。

雲母に替わる母材の製造方法やより鮮やかな色調発現のためのコーティング方法など多くの技術が提案されているなかで、この結果は板状シリカが母材の一つとして適性を有する材料であることを示唆している。ここでは従来行われている公知技術のコーティング方法をもとに被覆を試みているが、さまざまな色調の光沢顔料を得るためには板状シリカに適したコーティング方法の確立が望まれる。

## おわりに

シリカ化合物は基本的に  $\text{SiO}_4^{4-}$  四面体を構造単位とし、三次元ネットワークにより連なり特有の機能を有する化合物を作り出す。当社においてもこれまで多くのシリカ製品が生み出され、その工業的製法を確立し販売してきた。

SILFAM は製造方法の違いにより、性状の異なる SILFAM-A と SILFAM-B を得ている。この性状の差は合成の際、反応系におけるシリカの析出機構の違いによるものであると推測された。マガディアイトは第 4 級アンモニウムを層間に取り込み、さらにピラー化が可能であることがわかった。SILFAM やピラードマガディアイトはともにメソポア領域に細孔径分布を有する多孔質物質であり、高比表面積と均一な細孔が規則的に配列した構造は材料の用途開発における大きなポイントである。両物質ともに出発原料が珪酸ソーダであること、テンプレートを用いる点では共通しているが、今後生み出され

るであろう新しいシリカ製品の開発には合成条件や反応経路について過去の例や固定化した概念にとらわれない新しい発想が重要である。

マガディアイトについてはピラー化だけでなく層状化合物として、板状シリカは新規な材料として、それぞれ基礎的な研究を積み重ねその特性を生かした応用を期待したい。

## 参考文献

- 1) 永井彰一郎, “新しい工業材料の科学”, 金原出版 (1967)
- 2) T. Yanagisawa, T. Shimizu, K. Kuroda and C. Kato, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, 63, 1535 (1990)
- 3) 福嶋, 稲垣, 黒田, 日本化学会誌, 5, 327 (1995)
- 4) C. T. Kresge, M. E. Leonowicz, W. J. Roth, J. C. Vartuli and J. S. Beck, *Nature*, 359, 710 (1992)
- 5) 堂下和宏 公開特許広報 特開平 6-116507.
- 6) 横井浩司 公開特許広報 特開 2001-11340.

### [ お問合せ先 ]

日本化学工業株式会社 化学品事業本部 研究開発部 第一グループ

〒136-8515 東京都江東区亀戸 9-11-1

TEL : 03-3636-8187

FAX : 03-3636-8193

E-mail: masahiro.izumi@nippon-chem.co.jp

Home Page: <http://www.nippon-chem.co.jp>



著者  
氏名 泉 昌宏  
Masahiro IZUMI  
所属 化学品事業本部  
研究開発部  
第一グループ



著者  
氏名 宮部 慎介  
Shinsuke MIYABE  
所属 化学品事業本部  
研究開発部  
第一グループ