顔料講座 (第1講)

(色材, 55 [5] 328-339. 1982)

顔 料 総 論

熊 野 勇 夫*

1. は じ め に

これから 12 講にわたって顔料講座が連載されることになり、顔料について日常業務に活用できる便覧ないしはデータ集が提供される予定である。講座の開講に当たり、顔料についての理解を深めるために顔料の歴史、定義、分類、性質および用途などについて概観することになった。顔料の化学組成や構造、製造法などについては各論で詳しく述べられるので、ここではすべての顔料に共通な物理的性質に重点を置いて述べることにする。

2. 顔 料 の 歴 史

1879 年、北部スペイン、カンタベリア地方のある洞窟の中で、その地の貴族ソトゥオラの、一緒に連れてきた 5 歳の娘マリアが天井や壁に画かれている動物の絵を見付けた。これがアルタミラ洞窟の絵画で、人類最古の美術といわれる洞窟絵画の発見の第 1 号である。その後フランスやスペインで絵画のある洞窟が次々と発見され、1940 年にはフランスのドルドーニュ地方のラスコー洞窟でも、少年達によって洞窟絵画が見付けられた。これらの絵画には赤、黄、褐色、黒などの色彩で牛、馬、鹿などが画かれ、他に絶滅した野牛やマンモスも画かれていて、これによってこれらの洞窟絵画が旧石器時代後期のものと認められた。絵具としては黒の顔料は木炭を、赤や黄の顔料は鉱石を搗りつぶして粉にし、これを水や動物の脂、樹脂などとといて糊状にして使用したようである¹⁾。

エジプト時代になると辰砂 (HgS)、孔雀石 ($\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$) などの鉱物顔料が加えられたほか、窯業からエジプト青 ($\text{CaO} \cdot \text{CuO} \cdot 4 \text{SiO}_2$)、織物染色から藍 (イン

ジゴ) や茜 (アリザリン) が顔料として使われた。ローマ時代には雄黄 (As_2S_2)、密陀僧 (PbO)、鉛丹 (Pb_3O_4)、鉛白 ($\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2$)、緑青 ($\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$) などの鉱物顔料が加えられると共に、染料を明ばんで沈殿させたり、白堊 (CaCO_3) に吸着させて絵具に使用した。中世には琉璃 ($\text{Na}_3\text{Al}_3\text{Si}_6\text{O}_{24} \cdot \text{S}_2$)、ナポリ黄 ($\text{Pb}(\text{SbO}_3)_2$) が加えられ、オリエントやインドからの染料や、メキシコが征服されるとカーミン (コチニール) がもたらされて顔料として使用された²⁾。

1704 年、ディースバッハはカーミンと明ばん、鉄の塩から赤い顔料を沈殿させようとして偶然に青い顔料を得た。使用したアルカリに動物性の不純物が入っていたためで、この青い顔料は発見した国にちなんでプロシヤ青 (紺青) と呼ばれ、近代顔料の先駆となった³⁾。1778 年にはシェーレがその名を冠した緑の顔料を発明し、次いで亜鉛華 (1781)、コバルトブルー (1799)、黄鉛 (1809)、二酸化チタン (1916) などが発明され工業的に製造された。

1856 年、パーキンはアニリン (実はトルイジンが混入していた) からキニーネを作ろうとして、これも偶然に赤紫色の染料モープを発見し、翌年には工業的に製造した。次いでマゼンタ (1858)、アリザリン (1868) などの染料が発明された。1864 年、グリースはジアゾ化、カップリング反応によるアゾ染料の基礎を作り、19 世紀の終りから今世紀にかけて多くの染料が登場した。代表的なものをあげればバラレッド (1880)、レーキレッド C 及びブリリアントカーミン 6B (1903)、レーキレッド 4R (1905)、ファストエロー (1909)、ジスアゾエロー (1911) などが創製されている。染料、顔料には多くの偶然がからんでいて、1928 年にはフタロシアニンブルーが偶然に発見された。第 2 次大戦後はキナクリドンレッドや建築染料から誘導された顔料など多くの新しい顔料が登場し、Colour Index (1971 年版) に掲載されている顔料の数は 612 の多きに至っている。

ひるがえって、わが国の顔料の歴史についてみると、

昭和 57.2.22 受理

An Overview on the Pigments

Isao KUMANO

* 東洋インキ製造(株)技術研究所

東京都板橋区加賀 1-13-1 (〒173)

縄文時代の遺跡の出土品の中に赤く彩色された土器や、朱や黒の漆を塗った鉢や弓などがあり、顔料としてはべんがら、銀朱や煤が使用されていた⁴⁾。古墳時代の装飾古墳には多彩の壁画が画かれており、中でも、戦後のわが国考古学会の最大の発見の一つとされる高松塚古墳の壁画には、赤色に他ではみられない朱が使用されていて、この古墳が装飾古墳の中の特殊中の特殊な存在とされる特徴の一つになっている。奈良時代になると仏教の伝来とほぼ時を同じくして顔料も渡来し、仏画や寺院の彩色にみられるように色彩美術が著しく発達した。法隆寺金堂の壁画は鉛丹、密陀僧、銀朱、べんがら、黄土、白土、胡粉(当時は鉛白をさす)、岩緑青、岩紺青、金で画かれていた。これらの顔料には国内で産出したものもあり、日本書紀の推古天皇 18 年(610)の条にはじめて墨を作り、持統天皇 6 年(692)には白粉(おしろい)が作られたという記述があり、続日本紀には文武天皇 2 年(698)、同 3 年に近江、伊勢など各地から産出する金青、朱砂、雄黄、緑青などが献上されたことが記されている。また、正倉院には多くの顔料の他に東南アジアから渡来した蘇枋、檳榔子なども貯蔵されていた記録があり、これらは織物の染色に使用されていた⁵⁻⁷⁾。

平安時代には王朝美術の名で呼ばれる絢爛たる文化が隆盛し、これを彩った顔料の量も厩大なものだったと思われるが、種類では奈良時代とほぼ同じであった。室町時代になると商業の中心であった堺地方で、中国から伝習した方法によって顔料の国産が始められた。すなわち、応永 2 年(1395)に鉛丹が、慶長元年間(1596~1623)に朱や白粉が製造され、更に下って享保年間(1716~35)には岡山県吹屋で天然の硫酸鉄を焼いてべんがらが製造された。また、晝笠(1721)の中の晝具之製法秘極伝には鉱物顔料や銀朱の製法と並べて、「燕脂は蛤粉に蘇枋の煎湯を加えて作る」と記されていて、植物由来の顔料も作られていた。パーキンがモーブを製造してから 5 年後の 1862 年には、京都の染色業者がアニリン染料を購入して紫染に使用していたという記録もある。

明治時代になると維新政府の紙幣や公債証書などを印刷していた紙幣寮(現在の大蔵省印刷局)が原料自給のため顔料の研究を始め、これがわが国の顔料工業の先駆となった。すなわち、明治 8 年(1875)に初めて黄鉛を試製し、同 10 年には紺青、亜鉛華、銀朱を製造した。一方、塗料の需要が増大すると共に民間でも顔料の製造が始まり、同 14 年に岩戸顔料が黄鉛を作り、同じ年に光明社(日本ペイントの前身)が亜鉛華、鉛丹を製造したが、この間の事情については本誌 1 月号に詳しく述べられている⁸⁾。その後、顔料製造業者が増加して国産さ

れる顔料も多種になり、明治 40 年にはレーキ顔料も製造された。大正時代に入ると第 1 次大戦により染料、顔料の輸入が杜絶し、これに促進されて染料が国産され、顔料の国産も増大した。これ以後の顔料工業の発達については、本誌に詳しく述べられているので参照して頂きたい⁹⁻¹¹⁾。

3. 顔料の定義と名称

顔料は水や溶剤、油などに不溶の微粒子状の固体で、物を着色するために使用される。同じように色のある染料は主に繊維の染色に使用されるが、水や溶剤に溶解した分子の状態で染色される点において顔料と異なっている。染料でも、本来水や溶剤に不溶性の建築々料の中には顔料として使用されているものもあり、両者の違いは化学構造よりも使用時の物理的状態にある。

顔料という名称が、わが国においていつの頃から使われ始めたかは定かではないが、聖武天皇の時代(724)に中国から渡来して顔の化粧に用いられた物が顔料と呼ばれていたらしく、色料、彩色、絵具などとも呼ばれていた。平安時代の倭名類聚抄には図絵具と称せられて丹砂、朱砂、金青、燕支など 11 種があり、一方染色具としては蘇枋、黄櫨、茜、紫草などがあって、顔料と染料は区別されていた。

英名の pigment はラテン語 pingere(絵を画く、彩色する)の語幹 pig からできた pigmentum に由来するものであり、また、lake という語は、古代人に知られていた染料 lac-dye を粘土類に染付けて不溶性にしたものを呼び、この染料は Lucifer lacca という虫から採られるのでそのように呼ばれ、いずれもサンスクリット語の laksha(10 万)に由来している。

4. 顔料の生産量と輸出入

わが国の顔料の生産量は昭和にはいると数字ははっきりして、代表的なものでは亜鉛華 5,821t(昭元)、鉛丹 4,399t(同)、べんがら 2,789t(同)、紺青 175t(昭4)、黄鉛 1,621t(昭12)、二酸化チタン 1,726t(昭14)、レーキ顔料 554t(昭18)、アゾ顔料 658t(同)などである。生産量は年を経るにつれて増大したが、第2次大戦が始ると共に漸減し、その末期および戦後は生産はまったく停滞した。しかし昭和 22 年になると生産も次第に回復し、以後の代表的な顔料の生産量の推移を表-1、-2 に示した。括弧内の数字は生産量が初めて統計に出た年で、この間における顔料工業の発展の跡が偲ばれる。現在はほとんど使用されていないので表に出ていないが、戦後間もなくでは有機顔料のレーキレッド D

が 52t (昭 23), プリリアントカーミン 3B が 38t (同) 生産されていて主要な赤色顔料であった。

顔料の輸入, 輸出についても時代と共に大きな変遷があり, 輸入品を国産化する形で発達してきたわが国の顔料工業も, 今や世界のトップレベルにあり大量の製品を輸出するに至っている。一方, わが国は有力な顔料の市場として外国の製品の輸入も多く, 特に有機顔料では堅牢度の大きい高価な顔料が輸入されている。代表的な顔料の最近の輸出入統計を表-3 に示す。

表-1 主要無機顔料の生産量の推移
(単位: トン)

顔 料	昭和年	23 (1948)	35 (1960)	45 (1970)	55 (1980)
二酸化チタン		259	52,797	163,472	172,820
亜鉛華		8,139	26,771	56,309	63,497
黄鉛		1,096	5,427	15,814	11,232
ジシクロメート	(25)	30	587	2,315	1,828
鉛丹		858	4,943	13,708	13,250
べんがら (含湿式酸化鉄)		797	11,557	43,984	130,106
カドミウム黄, 赤	(23)	8	280	622	519
モリブデンレッド		47	630	2,689	2,987
酸化クロム		105	1,035	3,908	4,406
紺青		396	1,566	3,187	3,429
群青		57	467	1,407	1,079
沈降性硫酸バリウム		520	3,358	8,032	17,360
カーボンブラック			28,039	295,067	575,180

() 初めて製造された年 日本無機薬品協会資料

表-2 主要有機顔料の生産量の推移
(単位: トン)

顔 料	昭和年	23 (1948)	35 (1960)	45 (1970)	55 (1980)
ファストエロー 10G		3	95	120	136
ファストエロー G		1	49	49	166
ジスアゾエロー	(25)	4	448	1,934	3,550
レーキレッド 4R		21	161	252	222
レーキレッド C		39	496	1,449	1,883
プリリアントカーミン 6B		39	289	1,207	1,920
ウォッチヤングレッド	(27)	1	150	856	1,164
ファストスカイブルー		133	563	296	222
フタロシアニンブルー		2	722	7,006	8,073
フタロシアニングリーン	(26)	12	205	861	1,423

() 初めて製造された年 化成品工業協会資料

5. 顔料の種類と分類

顔料の種類は天然顔料と合成顔料があり, 更に無機, 有機で分けると次のようになる。

表-3 主要顔料の輸出入量 (昭和 55 年)
(単位: トン)

顔 料	輸 出	輸 入
無機顔料		
二酸化チタン	42,418	20,729
亜鉛華	471	4,834
黄鉛	1,274	その他に含まれる
べんがら(含磁性材料)	17,924	2,779
鉛丹, リサージ	62	1,581
酸化クロム	585	2,229
沈降性硫酸バリウム	39	1,976
その他(含紺青, 群青)	5,375	2,158
有機顔料		
顔料色素	9,010	2,060
レーキ顔料	503	74

実用的に重要な合成顔料を化学構造によって分類すると次のとおりである。

無機顔料	
酸化物	亜鉛華, 二酸化チタン, べんがら, 酸化クロム, コバルトブルー, 鉄黒
水酸化物	アルミナホワイト, 黄色酸化鉄
硫化物, セレン化物	硫化亜鉛, 朱, カドミウムエロー, カドミウムレッド
フェロシアン化物	紺青
クロム酸塩	黄鉛, ジシクロメート, モリブデンレッド
硫酸塩	沈降性硫酸バリウム
炭酸塩	沈降性炭酸カルシウム
硅酸塩	含水硅酸塩, 群青
磷酸塩	マンガンバイオレット
炭素	カーボンブラック
金属粉	アルミニウム粉, ブロンズ粉, 亜鉛末

有機顔料

ニトロソ顔料	ナフトールグリーンB
ニトロ顔料	ナフトールエローS
アゾ顔料	
アゾレーキ顔料	リソールレッド, レーキレッドC, ブリリアントカーミン6B, ウォッチャングレッド, ボルドー 10B
不溶性アゾ顔料	ファストエロー, ジスアゾエロー, ピラゾロンオレンジ, パラレッド, レーキレッド 4R, ナフトールレッド
縮合アゾ顔料	クロモフタールエロー, レッド
染付レーキ顔料	
酸性染料レーキ	ピーコックブルーレーキ, アルカリブルーレーキ
塩基性染料レーキ	ローダミンレーキ, メチルバイオレットレーキ, マラカイトグリーンレーキ
フタロシアニン顔料	
	フタロシアニンブルー, ファストスカイブルー, フタロシアニングリーン
縮合多環顔料	
スレン顔料	アントラピリミジエロー, ベリノンオレンジ, ベリレンレッド, チオインジゴレッド, インダントロンブルー
キナクリドン顔料	キナクリドンレッド, キナクリドンバイオレット
ジオキサジン顔料	ジオキサジンバイオレット
イソインドリノン顔料	イソインドリノンエロー

そ の 他

染料樹脂固溶体 星光蛍光顔料

6. 顔 料 の 性 質

顔料には色, 屈折率, 隠ぺい力などの光学的性質, 粒子の大きさや形, 比重, かさ, 分散性などの物理的性質および耐光性, 耐熱性, 耐薬品性, 耐溶剤性などの化学的性質があり, 美しく着色するという顔料の機能を十分に果たすためには, これらの性質において適正な顔料を選び, また, 適切な使い方をしなければならない。これらの性質は顔料の化合物としての化学組成や構造が関係する化学的特性と, 固体粒子としての物理的特性に依

存しているが, 前者については個々の顔料について詳述されるので, ここでは物理的特性を主にして顔料の性質を概観する。

6.1 顔料の粒子と結晶

顔料は微細な粒子の状態でワニスやプラスチックなどに分散されて使用されているが, 顔料の多くの重要な性質が粒子のいろいろな性質に依存している。顔料の粒子はカーボンブラックのように, 大きさが数十nm という非常に微細なものから, 無機顔料の数 μm の大きさのものまでであるが, いずれも微視的には単結晶またはそれに近い結晶子が集って粒子を形成して一次粒子と呼ばれる。一次粒子の形は顔料の特性により, あるいは合成の条件により球状, 立方状, 棒状, 針状, 無定形などになる。顔料は水の中で合成され, あるいは後処理されるものが多く, 大きさや形を調節して作られた一次粒子もその後の工程で, 特に乾燥工程で粒子同士が凝集して二次粒子を形成する。その時, 一次粒子の面と面が付着した固い凝集 (aggregate) や, 粒子の角や稜で付着した軟い凝集 (agglomerate) が生成し, これらが塊となって粉末顔料ができていく (図-1)。このように顔料はいくつかの段階の粒子から成っているが, それぞれの性質や状態が顔料の物理的性質や使用上の適性に大きな影響をもっている。

顔料を結晶の観点からみると無機顔料の多くはイオン性結晶であり, カーボンブラックは共有結合性結晶, 金属顔料は金属結晶である。一方, 有機顔料は平面構造の分子が積重なった配列をとる分子性結晶である。結晶の中におけるイオンや分子の配列は顔料の化学組成や構造, あるいは製造の条件によってきまり, 代表的な顔料の例を図-2に示す。結晶の中のイオンや分子の結合エネルギーはそれらの結合形式によって異なり, イオン性結晶の亜鉛華は964 kcal/mol, 共有網状結晶のシリカは433 kcal/mol, 金属結合のアルミニウム粉は77 kcal/mol

図-1 顔料の粒子と凝集

図-2 顔料の結晶と結合形式

である¹⁵⁾。分子性結晶の有機顔料の場合は結合エネルギーはファンデルワールス力によるものであり、これはたとえば低分子量化合物のメタンの 1.96 kcal/mol にみるようにかなり小さいので、分子量の大きい顔料の場合でも他の結合形式に比べて弱いものである。しかし、キナクリドンレッドやフタロシアニンブルーのように、4ないし 8 kcal/mol の水素結合やキレート結合で幾重にも他の分子と結合しているものでは結晶は非常に安定になり、顔料の耐溶剤性や耐光性などの堅牢性も非常に強くなる。

結晶の中のイオンや分子の配列をみると、硫化亜鉛やカドミウムエローなどの等軸晶系の顔料や、アナターズ形およびルチル形の二酸化チタンなどの正方晶系の顔料では等方性の、あるいはそれに近い配列をしていて結晶

の表面も等方性に近いが、クレーのような層状構造の顔料や、アゾレッド、キナクリドンレッド、フタロシアニンブルーのようにスタッキング構造をとる顔料では、層状面やプリズム面と底面では配列している元素が異なって異方性を示し、粒子の性質にも影響を及ぼしている。

顔料には化学組成や構造が同じでも、二つ以上の異なった結晶形をとるものがあり多形と呼ばれる。代表的な例として二酸化チタンのアナターズ形とルチル形、黄鉛の単斜晶と斜方晶、フタロシアニンブルーの α -, β -, γ 形などがあり、吸収係数や屈折率が異なるので色相や隠ぺい力が異なっている。また、多形の間には可逆的あるいは不可逆的な転移があり、実用的に利用したり、あるいは実用上問題を起こすこともあるので注意が必要である。

6.2 顔料の色

顔料の色は可視部の光を吸収することにより現われるもので、無機顔料では鉄、クロム、モリブデンなどの遷移金属の外殻 d 軌道の電子の状態により、有機顔料では共役二重結合と助色団の系の電子の $\pi \rightarrow \pi^*$ および $n \rightarrow \pi^*$ 遷移により光の吸収が起こる。従って顔料の色は基本的には化学組成や構造によって定まるが、結晶形や粒子の大きさ、形などや粒子の集合の状態によっても微妙に変化するので、これらの性質や状態を適切に調節することが、顔料を作る場合でも、使用する場合でも非常に重要である。特殊な顔料の中で蛍光顔料は吸収したエネルギーを色光として放出するものであり、昼光蛍光顔料では通常の反射光に蛍光が加わるので、それだけ色刺激が大きく鮮かに輝いて見える。真珠光沢顔料は層状構造による光の多重反射により優雅な真珠光沢が現われるもので、層の厚さを調節することにより、干渉色で着色した真珠光沢が得られる。

顔料の色を結晶性の粒子の色として、溶液中の分子の色と比較するとその特性が明確になる。図-3 の化学構造のナフトール顔料 Pigment Red 9 (I) と Pigment Brown 1 (II) は、置換基 R が水素とメトキシ基の違いがあるだけで非極性溶媒の中では可視部の吸収スペクトルはほとんど同じであるが、結晶の状態の顔料の色は I が黄味の赤、II は褐色である。これは分子が平面構造をとることができる溶液の中では I と II に差がないが、結晶の中では II は置換基のメトキシ基の立体障害により分子の平面性が乱され吸収が変化したためである¹⁶⁾。同じようなことが Pigment Red 31 の粒子と溶液についてみられ、また、粒子の吸収スペクトルも無定形から結晶化するのにしたがって変化し、結晶形が異なる多形の間でも異なっている¹⁷⁾。多形の間で色相や屈折率の異なっている例としては、二酸化チタンのアナタース形とルチル形の白色度と隠ぺい力、黄鉛、フタロシアニンブルー、

図-3 Pigment Red 及び Brown の化学構造式

R : H Pigment Red 9

: OCH₃ Pigment Brown 1

キナクリドンレッドとバイオレットの色相の差などが顕著なものである。顔料の多形による色の変化の応用に示温顔料がある。ヨウ化銀水銀 (Ag₂HgI₄) は常温では閃亜鉛鉱形結晶で黄色であるが、50.7°C で立方晶に転移し赤橙色になり、この変化は可逆的で温度の指示に使用される。

顔料の粒子の大きさは色相をはじめ着色力や隠ぺい力、透明性などに大きな影響を及ぼしている。粒子が大きい場合には光の散乱が多くなり上色は浅くなり、底色は黄色顔料では大きい粒子が赤味、小さい粒子が緑味になり、赤色顔料は大きい粒子が青味、小さい粒子が黄味、青色顔料ではそれぞれ赤味と緑味になり、色の鮮明さは小さい粒子の方がすぐれている。光の散乱は粒子の大きさがその顔料の色相の波長に相当するところで最大になるので隠ぺい力が最大で、波長の半分以下になると急速に透明性が増大する¹⁸⁾。着色力は粒子が小さくなるにしたがって増大するが、一方では小さい粒子は凝集や集合を起こしやすくなり、着色力が十分に発揮できないことがある。

顔料の粒子の形が色に及ぼす影響は他に比べて小さいが、体積が一定の球状と軸比が5対1の棒状の粒子では、計算によれば棒状粒子が黄色は赤味に、赤は青味に、青は緑味になり、実際にバットバイオレットの球状と棒状の粒子を調製して、後者の方が青味が大きいことが確かめられた¹⁹⁾。

6.3 屈折率と隠ぺい力ブロンズ

顔料は光の散乱と吸収によって下地を隠ぺいする。散乱はいくつかの因子に依存しているが、白色顔料では屈折率と粒子の大きさが重要な因子である。顔料の屈折率、粒子の大きさと隠ぺい力との関係を表す式がいくつか提唱され、代表的な白色顔料と体質顔料の屈折率とミットンの式で²⁰⁾計算された青、緑、赤の光に対して隠ぺい力が最大になる粒子の大きさを表-4 に示す²¹⁾。

顔料の屈折率は光の波長によって、特に吸収帯の近傍で大きく変化して、短波長側に極小があり、長波長側に

表-4 顔料の屈折率と隠ぺい力の最適粒子の大きさ

顔 料	屈折率 n_D	最適粒子の大きさ (μm)		
		青 (450nm)	緑 (550nm)	赤 (650nm)
二酸化チタン (R)	2.76	0.14	0.19	0.21
(A)	2.554	0.16	0.22	0.23
亜鉛華	2.008	0.28	0.39	0.42
バライト粉	1.637	1.07	1.30	1.36
沈降性炭酸カルシウム	1.486	1.44	1.74	1.84

図-4 フタロシアニンブルーの吸収係数と屈折率

極大がある²²⁾。したがって吸収帯のやや長波長側の光を強く散乱し、これがブロンズの現象となる。たとえばフタロシアニンブルーの可視部の吸収係数と屈折率を図-4に示したが、620 nmの吸収極大に対し660 nmの光を強く屈折し、金属性の赤紫のブロンズをもっている²³⁾。ブロンズはフタロシアニングリーン、レーキレッドCの金色など顔料の色とは補色の関係にある。光の散乱は吸収係数が大きくなるのにしたがって大きくなるので、着色力の大きい顔料はブロンズが出やすく、また、顔料濃度が大きくなるとブロンズも著しくなり、印刷面や塗膜に透明なワニスなどを被覆するとブロンズは著しく減少する。

6.4 顔料の堅牢性

塗装物や印刷物に着色された顔料はその美しい色や光沢をいつまでも保持し、また、塗料の焼付やプラスチックの成形など高温の加工でも変色や変質がなく、樹脂の劣化を促進したりしてはならない。顔料は先に述べたように化学的な化合物として光や熱の作用を受け、水や溶剤に溶解性を示したり、化学薬品と反応することがある。したがってこれらの作用に対する堅牢性は実用上非常に重要であり、用途によって適切な顔料を選ばなければならないが、これらの堅牢性は顔料単独で定まるものでなく、使用されるワニスやプラスチックの性質、他の顔料や添加剤の影響なども考慮しなければならない。

6.4.1 耐光性と耐候性

顔料が吸収した可視部や紫外部の光のエネルギーは、通常は熱として放出されるが、酸化、還元、加水分解などの反応に費されると変質による褪色や変色が起こる。一般に無機顔料は耐光性が強く、有機顔料は弱いものが

図-5 Pigment Yellow 83 の粒子の大きさと耐光性 (熱可塑性アクリル塗料)

多かったが、フタロシアニン顔料や近年開発された新しい化学構造の顔料は耐光性が非常にすぐれている。このように耐光性は基本的には化学構造により定まるが、粒子の大きさも重要な要因であり、大きい粒子の方が小さい粒子より耐光性がすぐれていて、図-5はその例である²⁴⁾。また、塗膜を曝露したときに、塗膜中の顔料の粒子は表面に近い層の小さい粒子から消失してゆくことが観察されている²⁵⁾。耐光性の表示には褪色や変色を元の色との色差や、Kubeluka-MunkのK/S(K:吸収係数、S:散乱係数)の差で表す方法や、染色で使用されているブルースケールの8級法(8級が最高の耐光性)が使用されている。

耐候性は日光の他に雨や霧囲気を含めた自然環境の下での曝露に対する堅牢性で、それだけ条件が酷しくなる。ブリリアントカーミン6Bは耐光性ではAAAジスアゾエローより強いが、水分の影響が加わるとレーキ顔料の特性が現われて弱くなる。耐候性では顔料自身の変化の他に、顔料粒子をとりまく高分子成分を劣化させるものがあり、塗膜のチョーキングやブロンジング、プラスチックの強度の低下などがある。これらは顔料の化学組成や構造に基づいて粒子の表面が関与して起こる変化であるので、後処理による表面改質によって改良されているものがある。

6.4.2 耐熱性

塗料の高温焼付やプラスチックの成形などにおいては顔料の耐熱性が重要になる。無機顔料は一般に耐熱性がすぐれているが水酸化物系のものは弱く、有機顔料では染付レーキやアゾレーキは弱い、フタロシアニン顔料や縮合多環顔料は昇華に対しても安定なほど耐熱性がすぐれている。顔料の反射スペクトルは温度によって多少とも変化するが、常温から100°Cの範囲で温度が上昇すると通常の顔料では主波長が長波長側にシフトする。こ

のシフトはアゾ顔料や黄鉛では大きく、ベンガラ、キナクリドンレッド、フタロシアニンブルーなどでは小さく、実用的に評価される耐熱性と一致する²⁹⁾。

熱による形晶形の可逆的变化については先に述べたが、結晶の成長や不可逆的な転移により色相や着色力が変化することがある。前者の例としては、不溶性アゾ顔料のプラスチック成形時の変色があり、後者の例としてはフタロシアニンブルーの準安定形である α 形結晶の熱による β 形結晶への転移がある。また、ウォッチャングレッド Mn レーキは加熱により結晶水を脱離して黄味に変色し、冷却すると水分を吸収して元の色に復元する。

6.4.3 耐溶剤性, 耐油性, 耐水性

顔料は塗料や印刷インキ、プラスチックなどに使用されるときに溶剤や可塑剤と一緒に使用されることが多く、これらに対し無機顔料は全く影響されることがないが、有機顔料は溶剤や油、可塑剤などに溶解することにより色の泣き出し (bleed) や移行 (migration) などの実用上のトラブルが起こることがある。溶解性は分子量が大きくなると減少するので、縮合アゾ顔料のような大分子量の顔料が開発され、また、結晶の中の結合エネルギーを大きくするために、分子間水素結合やキレート結合を形成する構造や置換基の導入によって耐溶剤性のすぐれた顔料が開発されている。

多くの顔料は水の中で合成され沈殿するので、水には溶けないが、染付レーキやアゾレーキには水に弱いものがあり、錆止顔料は水にわずかに溶解することによって錆止の機能を果たしている。

6.4.4 耐薬品性

顔料は用途によっては酸、アルカリ、石鹼、硫化物、酸化剤、還元剤などの化学薬品と一緒に使用されたり、塗装物や印刷物がこれらの影響を受けることがあり、化

学薬品に対する堅牢性が要求される。耐薬品性も本質的には顔料の化学組成や構造によって定まるものであるが、耐性黄鉛のように表面処理によってかなり改良されたものもあるので、使用条件にあわせて適切な顔料を選ぶことが必要である。

6.5 顔料の表面と表面処理

顔料は非常に微細な粒子から成っているのものでその表面積は非常に大きく、無機顔料で $1\sim 50\text{m}^2/\text{g}$ 、有機顔料で $40\sim 100\text{m}^2/\text{g}$ の比表面積をもち、カーボンブラックではこれが $100\sim 1,000\text{m}^2/\text{g}$ に及ぶものもある。したがって顔料粒子の表面の性質がぬれ、吸着、電荷や分散などの物理的性質や、顔料をとりまく樹脂の変質や分解などの化学的性質に重要な役割を果たしている。

顔料の結晶子の中でイオンや分子は規則正しく配列して、周囲のイオンや分子との間の結合エネルギーによって平衡を保っているが、粒子の表面においては垂直方向に平衡がとれず、ここにあるエネルギーが表面エネルギーあるいは表面張力として、顔料の表面を特性づける重要な性質となる。顔料の表面エネルギーは、表面張力が既知の2種類の極性の異なる液体の蒸気の吸着、あるいは液体と顔料表面との接触角から求めることができる。また、その分散力成分と極性力成分の割合から顔料表面

表-5 無機顔料の表面自由エネルギー
(erg/cm^2)

顔 料	γ_s^d	γ_s^p	γ
二酸化チタン(A)	119	580	699
シリカ	101	664	765
硫酸バリウム	119	642	761
酸化スズ	119	553	672

γ_s^d : 分散力成分, γ_s^p : 極性力成分

表-6 有機顔料の接触角, 表面自由エネルギーおよび極性

顔 料	接 触 角 (deg)		表面自由エネルギー (dynes/cm)			極 性
	水	ヨウ化 メチレン	γ^d	γ^p	γ^*	
インダントロンブルー	40.0	22.5	33.2	30.0	63.2	0.48
ウォッチャングレッド	55.0	41.0	27.8	24.1	51.9	0.46
チオインジゴレッド	65.0	24.0	35.1	16.3	51.4	0.32
イソインドリノンエロー	69.0	34.0	32.2	15.0	47.2	0.32
キナクリドンレッド	70.5	25.0	35.7	13.4	49.1	0.27
レーキレッド 4R	73.0	5.0	39.7	13.3	53.0	0.25
無金属フタロシアニン	70.0	~0	40.1	12.7	52.8	0.24
フタロシアニンブルー	83.0	23.0	40.0	6.9	46.9	0.15
フタロシアニングリーン	87.0	36.0	35.8	6.2	42.0	0.15

$$*\gamma = \gamma^d + \gamma^p$$

の極性を知ることができ、極性も顔料のぬれや吸着などを支配する重要な表面の特性である。いくつかの無機顔料および有機顔料の表面エネルギーと極性を表-5、-6に示したが、無機顔料は表面エネルギーが大きく極性も大きいのに対し、有機顔料は表面エネルギーが小さく極性も小さいものが多い^{27,28)}。

顔料粒子を形成する結晶が異方性の場合、特に結晶が一方方向に成長した針状結晶や二次元に成長した層状構造の場合には、結晶軸の方向によって表面の性質にも違いがあり、後に述べるような複雑な現象が起こることがある。また、顔料によっては合成の条件によって表面に生成する官能基に違いが生じ、したがって表面の性質も異なってくる。たとえば、酸化物や水酸化物系の無機顔料は合成や後処理の条件により、水和や脱水による表面水酸基の分布が異なり、カーボンブラックは不完全燃焼の条件によって表面のカルボキシル基、フェノール性水酸基およびカルボニル基などが異なり、これらの表面官能基によって顔料表面の性質、たとえば酸塩基性、酸化還元性、電荷、吸着などが非常に異なってくる。

顔料の表面の性質は上述のように、あるいは後に述べるぬれや分散などの実用上重要な性質と関係が非常に深いので、表面の性質を変えるための改質処理がいろいろ行なわれている。たとえば、シリカや水酸化アルミニウムなどの酸化物や水酸化物による処理²⁹⁾、松脂や長鎖アルキルアミン、高分子化合物による処理³⁰⁾、顔料のスルホン酸^{31,32)}や塩基性置換基誘導体^{33,34)}による処理、表面の水酸基やカルボキシル基のエーテル化やエステル化などの化学反応を伴う処理^{35,36)}、カルボニル基とアミンの反応によるシフ塩基の生成処理³⁷⁾などがあり、これらの改質処理により顔料表面の性質は著しく変化し、実用的

にも種々のすぐれた効果がもたらされている。

6.6 ぬれと吸着

顔料が水や溶剤、ワニスなどに分散されるときには顔料粒子の表面が、これらの液体によってぬらされることが必要である。固体の表面のぬれやすさの尺度の一つに接触角があり、液体が表面をよくぬらす場合には接触角が小さい。表-6 にみられるように有機顔料は無極性のヨウ化メチレンに対して接触角が小さくてよくぬれ、水に対しては極性の小さい顔料の接触角が大きい。

ぬれやすい顔料の表面に液体が接触すると、表面は自然にぬれて、固体と液体の間に生じた界面エネルギーは減少して熱を放出する。これが湿潤熱で固体表面のぬれやすさの尺度になる。極性の異なる顔料と液体の組合せについての湿潤熱を表-7 に示した³⁸⁾。極性の液体、たとえば水やブタノールは極性の顔料に対して湿潤熱が大きくよくぬらすが、無極性の顔料はあまりぬらさず、一方、トルエンのような無極性の液体は、顔料が極性でも無極性でも湿潤熱の差は極性液体の場合に比べて小さい。

水や溶剤の中にイオンや界面活性剤が含まれていたり、樹脂が溶解しているワニスの中に顔料が分散されると、顔料の表面の特性によってイオンや界面活性剤、樹脂などが吸着され顔料の電荷や分散、集合などに大きな影響を与える。これらのイオンや界面活性剤、樹脂などの顔料表面に対する吸着の形式には、ファンデルワールス力による物理吸着と、酸塩基結合や水素結合による化学吸着があり、後者の方が結合エネルギーが大きくて脱着に対して安定である。

6.7 顔料の電荷

顔料を液体の中に分散し直流の電圧をかけると、顔料

表-7 顔料と液体の湿潤熱 (erg/cm²)

顔 料	水	エチレン グリコール	n-ブタ ノール	MIBK	酢酸ブチル	トルエン
二酸化チタン (R. Cl 法)	-730		-395			-180
シリカ	-610		-320	-270	(-280)	-165
二酸化チタン (R)	-480		-290	-280		-170
黄色酸化鉄	-465			-115		-135
黄鉛	-465					
酸化クロム	-400		-215	-205	-200	-170
鉛丹	-390		-255			-170
カドミウムエロー	-290		-205	-185		-130
ベンガラ	-280	-185	-140	-165	-140	-100
ベリノンオレンジ	-80	-95	-110		-115	-105
ファストエロー	-65 _r	-70 _r				
レーキレッド 4R	-50 _r	-80 _r				
フタロンアニンブルー	-50 _r	-75	-95			-110

が一方の電極へ移動するのが見られることがある。この現象は電気泳動と呼ばれ、液体の中で顔料粒子が電荷をもっていることによって起こるものである。電荷は1) 特定のイオン（電荷決定イオン）の選択的吸着, 2) 表面官能基の解離, 3) 結晶内の元素の同形置換などによって起こる。たとえば、シリカやアルミナ、およびこれらの水酸化物は H^+ や OH^- を吸着して電荷をもち、従って H^+ や OH^- の濃度、すなわち pH によって電荷の大きさと符号が異なり、また、ある pH では電荷が零になるのでこの pH を電荷零点 (point of zero charge) と呼び、顔料の表面の特性値の一つである。2) の例としてはカーボンブラックがあり、表面のカルボキシル基やフェノール性水酸基が解離して負の電荷をもち、3) の例ではクレーの結晶の中の Si^{4+} や Al^{3+} が Mg^{2+} や Zn^{2+} などの低い原子価のカチオンで置換されると正の電荷が不足して負の電荷をもつ。顔料の電荷は粒子の表面に形成される電気二重層における電位 (ζ 電位) で測定され、 ζ 電位は一般に水中における値の方が有機溶剤の中の値より絶対値が大きい。

6.8 顔料の分散性

顔料が塗装や印刷、プラスチックなどに美しい色彩を与え、また、色の均一性や光沢をだすためには塗料や印刷インキ、着色剤の中で所望の微粒子にまで分散され、液状の分散体の中では沈降や色分れなどを起こさないように、安定な分散を保持しなければならない。したがって顔料の分散性には、粒子のワニスによるぬれ、粗粒子の解凝集および分散の安定化が含まれていて、この中のぬれについては既に述べたとおりである。

粉末顔料は乾燥の工程において大なり小なり凝集を起こして粗粒子を形成して、これをワニスなどに分散するためには、ロールミルやボールミルなどにより機械的なエネルギーを加えることが必要である。顔料が少ないエネルギーで容易に分散されるためには固い凝集を起こさないようにすることが必要で、小さすぎる粒子の生成を避け、結晶化をよくして表面エネルギーを小さくすること、松脂や長鎖アルキルアミンなどで表面処理することにより粒子同士の接触を弱くすること、あるいはスプレードライにより多孔性の軟い粒子を形成することなど、顔料の合成や乾燥の条件を調節して、易分散性の顔料が製造されている。また、印刷インキの製造で多く行なわれているフラッシングは、水の中で製造された顔料を乾燥しないで、水性のプレスケーキの状態で油性のワニスと練り合わせ、顔料を水相から油相へ転移させるプロセスで、非常に微粒子の分散が得られる。

液体の中に分散された顔料の粒子は本質的には不安定

図-6 顔料の電荷と粒子間の力

であり、表面エネルギーを低下させようとして粒子同士が集合する。このとき粒子に働く力はファンデルワールス力で、粒子間の距離が小さくなると急激に増大する。もし、粒子が電荷をもっていると電気的な反発力が作用し、電荷の大きさが十分に大きければ引力に打ち勝って粒子の集合を防ぐことができる。DLVO の理論はこの二つの力と粒子の大きさおよび電位の関係を述べたもので、二つの力の和に極大があり、その値が $15 kT$ (k : ボルツマン定数, T : 絶対温度) より大きければ、エネルギー障壁となって粒子の集合を妨げ、安定な分散が保持される (図-6)^{39,40)}。DLVO の理論によれば電荷による分散の安定化は、粒子が大きいときに有利であり、また、水性の分散の方が溶剤系の分散より ζ 電位の絶対値が大きいので効果的である。

顔料の粒子の形が板状や針状などの異方性の場合には、結晶面の特性によって一つの粒子で正と負の電荷をもつ部分が現われ、特異な集合が起こる。たとえば、層状構造をもつクレーは層状面が負、稜が正の電荷をもち、面と稜がクーロン力で引き合って集合を起こしてカードハウス構造を形成し、針状結晶のフタロシアンブルーはプリズム面が正、底面が負の電荷をもっていて上と同様な集合を起こす⁴¹⁾。

顔料粒子の表面に樹脂や高分子化合物が吸着されたり、あるいは表面処理によりこれらによって表面が被覆されていると、立体障害によって粒子同士の接近が妨げられて分散が安定化される。吸着層の立体障害による安定化は粒子が小さい場合に有利であり、通常 $50 \sim 100 \text{ \AA}$

の厚さの吸着層があれば十分である。しかし、吸着層の厚さ、あるいは拡がりは溶剤の性質によって異なり、良溶剤の場合は厚く拡がり、貧溶剤の場合は薄くなる。吸着層の形成が物理吸着によるか化学吸着によるかにしたがって、吸着の強さが異なることは先に述べたが、溶剤が良溶剤の場合や、顔料表面に対して親和性のより大きい添加剤が共存する場合には、吸着層の脱着が起こって分散の安定化が保持されないことがあり、良好な分散の安定化を得るためには、顔料、樹脂、溶剤、添加剤などの適切な選択による処方が必要である^{42,43)}。

7. 顔 料 の 用 途

顔料は定義でも述べたように物を着色するために使用されるもので、多岐にわたる用途をあげれば次のとおりである。

塗料、印刷インキ、プラスチック、ゴム、繊維（顔料
捺染、原液着色、艶消し）、紙、文房具（絵具、クレ
ヨン、墨汁、朱肉、カーボン紙）、化粧品、石鹸、陶
磁器、建材（コンクリート、アスファルト）

代表的な顔料の国内における用途別の使用割合を表-8に示す。

顔料は着色の他にも錆止や防汚などの特殊な機能を果たす用途にも使用されてきたが、科学技術の多様化にしたがって、次にあげる用途にも使用されている。

錆止顔料	鉛丹、ジंकクロメート、シアナミド 鉛、鉛酸カルシウム、塩基性硫酸鉛、 塩基性クロム酸鉛、リン酸亜鉛、モリ ブデンホワイト、ストロンチウムクロ メート、亜鉛末
防汚顔料	亜酸化銅
磁性材料	γ -フェライト、鉄黒
導電材料	カーボンブラック、酸化スズ
光導電材料	亜鉛華、硫化カドミウム、銅フタロン アニン

表-8 主要顔料の用途 (%)

	二酸化チタン	黄鉛	ベンガラ	有機顔料
塗料	56.2	77.8	10.8	21
印刷インキ	13.7	6.2	1.1	50
プラスチック	7.0	15.3	1.0	10
繊維	4.0	—	—	12
その他	19.1	0.7	87.1*	7

* 87.1 の中 79.6 は磁性材料

8. お わ り に

編集委員会から要請のあった項目にしたがって、顔料について概観してきた。顔料の歴史については、これまで記述されることが少ないのでいくらか紙数をさいて、大筋を述べるに止まったが顔料の発展の跡をたどった。顔料の性質についてはここに述べられなかったものもあるが、紙数の関係もあって重要と思われるものにしぼった。全体を通じて、総論ということもあり、また紙数の関係もあって簡単にしか述べられていないので、引用した文献を参照していただければ幸いである。

文 献

- 1) 江上波夫、三浦一郎：“世界の歴史 1 文明のあけぼの” 54 (昭和 54 年)
- 2) H. Kittel: “Pigmente”, 1 (1960)
- 3) A. サトクリップ他、市場泰男訳：“エピソード科学史 I 化学編”, 85 (昭和 52 年)
- 4) 小林行雄：“古代の技術”, 114 (昭和 53 年)
- 5) “絵具染料商工史” (昭和 13 年)
- 6) “印刷インキ工業史” (昭和 30 年)
- 7) “日本無機薬品工業史” (昭和 37 年)
- 8) 多田 繁：色材, 55 [1], 24 (1982)
- 9) 河根 誠：同, 50 [12], 733 (1977)
- 10) 柴崎秀雄：同, 50 [12], 738 (1977)
- 11) 熊野勇夫：同, 50 [12], 742 (1977)
- 12) H. A. Lubs: “The Chemistry of Synthetic Dyes and Pigments”, 626 (1955)
- 13) BASF: “Heliogen Pigmente” 17
- 14) G. Lincke: *Farbe Lack*, 86, 966 (1980)
- 15) メイアン、塩見賢吾他訳：“大学の化学” I, 99 (昭和 56 年)
- 16) D. Kobelt, E. P. Paulus, W. Kunstmann: *Zeits. Kristallogr.*, 139, 15 (1974)
- 17) C. H. Griffiths, A. R. Monahan: *Mol. Cryst. Lig. Cryst.*, 33, 175 (1976)
- 18) W. Lutzkendorf: *Farbe Lack*, 59, 7 (1953)
- 19) R. H. Kienle, C. Maresh: *J. Oil Colour Chem. Assoc.*, 36, 619 (1953)
- 20) P. B. Mitton: *Off. Digest*, 34, 73 (1962)
- 21) T. C. Patton: “Pigment Handbook” III, 292 (1973)
- 22) C. Cooper: *J. Oil Colour Chem. Assoc.*, 31 [339], 343 (1948)
- 23) J. H. Braun: *Off. Digest*, 37, 1623 (1965)
- 24) O. Hafner: *J. Paint Technol.*, 47 [609], 64 (1975)
- 25) K. Merkle, W. Herbst: *Farbe Lack*, 75, 123 (1969)
- 26) K. Hoffmann: *Farbe Lack*, 83, 1067 (1977)
- 27) 江角邦男：顔性物性講座, 24 (1982)
- 28) S. Wu, K. J. Brzozowski: *J. Colloid Interface*

- Sci.*, 37 [4], 686 (1972)
- 29) 鶴田栄一: 色材, 49 [1], 2, [2], 69 (1976)
- 30) 彦坂道通: 同, 52, 635 (1979)
- 31) V. A. Giambalvo (Inmont Corp.): U. S. P. 2, 526, 345 (1950)
- 32) 橋爪 清, 熊野勇夫他 (東洋インキ): 特公昭 39-28, 884
- 33) A. Schoellig 他 (BASF): B. P. 949, 739 (1964)
- 34) W. Black, F. T. Hesselink, A. Topham: *Kolloid Z. für Polymere*, 213 (1-2), 150 (1966)
- 35) 岡崎 進, 菅野 隆: 日化, 1285 (1973)
- 36) 宇津木弘, 西村成興, 加藤哲郎: 日化, 1557 (1972)
- 37) J. Moilliet, D. A. Plant: *J. Oil Colour Chem. Assoc.*, 52, 289 (1969)
- 38) O. J. Schmitz, P.-J. Sell, K. Hamann: *Farbe Lack*, 79, 1049 (1972)
- 39) B. Derjaguin, L. Landau: *Acta Physicochim.*, 14, 633 (1941)
- 40) E. G. W. Verwey, J. Th. G. Overbeek: "Theory of the Stability of Lyophobic Colloids." (1948)
- 41) W. Ditter, D. Horn: *Proc. -Int. Conf. Org. Coat. Sci. Technol.*, 4th 1978, 251
- 42) 北原文雄: 色材, 46, 443 (1973)
- 43) 佐藤達雄: 色材, 47, 385, 465 (1974), 48, 341 (1975)

協賛関係

第1回無機高分子研究会討論会

主催 高分子学会 無機高分子研究会
協賛 色材協会 他

日 時 昭和57年11月1日(月)~2日(火)

会 場 国立教育会館中会議室 (東京都千代田区霞ヶ関3)

内 容 A) 炭素以外の原子 (B, Si, P, S など) を主鎖, 骨格にもつオリゴマーおよびポリマーの合成, 構造, 物性, 利用, B) 無機高分子系材料 (ガラス, 炭素繊維, セラミックスファイバーなど), 機能性無機物質 (各種顔料, 補強性充てん剤, 電子材料, 難燃剤, イオン交換体, 触媒など) およびそれらと有機高分子との複

合体についての基礎, 応用. C) 有機高分子と金属キレート化合物, アイオノマーその他。

講 演 発表 15 分, 討論 5 分, スライド使用

申込要領 締切 6 月 30 日(水)必着

1) 研究題目, 2) 内容 (上記) 200 字程度の要旨 (既発表も可, 3) 研究者名 (講演者に○印), 4) 勤務先, 連絡先, 以上の必用事項を B 5 判用紙に明記しお送り下さい。

予稿集原稿締切 9 月 10 日(金)必着

講演申込者には指定原稿用紙 (1,353 字詰) を送付しますので, 1) 目的, 2) 方法, 3) 結果の順に 2 枚にまとめてお送り下さい。

連絡先 東京都中央区銀座 5-12-8 (〒104) 高分子学会無機高分子研究会係, 本多美月 電話 03 (543) 7858

刊行物紹介

粉体摩耗の対策

橋本建次著

21.5×15.5cm 205 頁 2,600 円

1981 年 5 月 10 日初版発行

日刊工業新聞社刊

摩耗の定義は, 一般に「機械的作用あるいはそれに化学的作用が加わって, 材料表面層からそれを構成していた微小部分が, 連続的にはく離する好ましくない現象」とされている。

また, 「狭義の摩耗」には, 凝着摩耗, 粉体摩耗, 腐食摩耗, 疲労摩耗など知られている。

本書は著者の豊富な経験をベースにしてまとめられているが, 構成を整理すると以下のとおりである。なお, カッコ内には索引語的に内容を挙げておいた。

- 摩耗はどのように生ずるのか (摩耗のあらまし, 材料と粉体の接触, 材料表面層の傷とはく離)
- 耐摩耗材料の種類と特徴 (鋳鋼と鍛鋼, 鋳鉄, 表面硬化処理, 鉱物質鑄造材, 焼結材, 高分子)
- 耐摩耗材料の選び方 (基本扱い, 実例と解説一試験機による摩耗比較・実用機による摩耗比較)
- 摩耗を減らすいろいろな手段 (粉体の付着による固

着粒子をなくすこと, セルフライニング, ゴムとガラスの摩耗特性を知ること一衝突角度の効果一, 接触速度と圧力を低くすること, 摩耗最大の水分量をさけること, 酸素の存在を少なくすること)

著者の本書に対する執筆目的は, 主として「アブレーション・エロージョン摩耗対策」であるが, 前述の内容からわかるように, 摩耗のメカニズム, 耐摩耗材料, 材料の選定, さらに材料選定以外の対策が記述されている。

アブレーション (abrasion) とエロージョン (erosion) は, それぞれつぎの考え方で知られている。

前者は, 相対運動している材料間に粉体が入った場合, 材料層上を材料が摩擦した場合, 粉体内を材料が運動した場合, 粉体層上に材料が衝突した場合などによって生ずる摩耗である。また, 後者は材料に粉体が衝突したときの摩耗をいう。

ところで, これらの諸現象はエキソエレクトロン現象あるいは切削現象, 機械化学的反応などとも関連しており, 塗料・インキ・トナー・プラスチック加工などを扱うときに十分に知っておくことが大切である。

粉体摩耗を扱った成書は非常に少ないように見受けられるので, 本書のように実務をベースとした本は熟読の価値がある。

粉体を扱う研究者・技術者に広く愛読されるであろう。
(小石真純)