

はじめに

クリーン化技術についての入門書は数多くある。いずれも懇切丁寧に解説してある。中には高度な数式を用いて説明されているものもあり有益とは思うが、日頃から数式に慣れていない管理監督者や技術者には分かりにくい場合もあり、現場で直面する色々な問題の解決に対しては、結果的には曖昧な情報しか与えないこともある。一方、クリーン化に従事する方々から寄せられる質問の多くは、

- ①実際に現場で使えるデータを用いた納得のいく説明
- ②微粒子や異物の関係する色々な物理現象の理解に必要な簡潔な解説
- ③クリーン化に関する素朴な疑問とその解説
- ④管理基準の設定に対する判断基準の決め方とその根拠

に関する内容が多いことに気がついた。著者は半導体製造プロセスのクリーン化に従事した経験を持つが、幅広い分野での現場に即したクリーン化の種々の問題に対して、どのようにすればこれらの質問に答えられるか悩ましいことであった。せめて塵埃・異物・ゴミなど微粒子の性質をクリーン化技術の底辺に据えて、共通事項を正しく把握し、原理・原則に従って答えるしか方法がないと言う考えに行きついた。

本書は「データで示す具体的で分かりやすい話」に主眼を置くことで、素朴な疑問の「ナゼ」に対して簡潔な解答と判断の根拠をコメントすることにより、奥深いクリーン化技術の世界と真剣に向かいあうチャンスとなれば嬉しい限りである。また、クリーンルーム、準クリーンルーム、あるいはクリーンルームがなくともクリーン化を目指すときの運用や管理の実践において、何が必要で何をやるべきかの具体的な指針を織り込むように心がけた。これについては、必要に応じて関連する画像や動画を示し解説を加えることで、文章で表現しにくい内容を補完するようにした。

動画は説得力のある解説をするためには必要なツールである。一説では写真一枚で2000文字に相当すると言われているが、動画は文字による表現力を確実に上回り、理解するのに効果的である。しかしながら、動画にばかり頼ると直感では理解できるものの、そこから本質を探り当てるためには、どうしても文章による表現が必要不可欠であることには変わらない。

著者がクリーン化技術に取り組んだ初期の頃は、1995年頃からの半導体産業が急成長したころであった。この時代の前工程（ウェーハプロセス）は、異物・塵埃を減らせば、その分、確実に不良率が低減できる時代であった。その次は、酸・アルカリ・有機溶剤、ゴム・プラスチック類からの可塑剤など、クリーンルームに存在するほとんどの薬液・材料から分子レベルの物質が飛散し製品不良の原因となる分子状汚染にも取り組んだ。このときの汚染防止管理濃度の目安はppm、ppbレベルである。これらはしっかりした表面分

析技術を保有していないと、不良原因の追求や対策が極めて困難な世界である。

次に、2002年頃以降に取り組んだクリーン化技術は、後工程（アセンブリプロセス）であった。このとき、後工程でのクリーン化技術が将来、当たり前となる予感のもと、Class1000～10000（Fed.209D）の導入および定着化に尽力してきた。また、静電気対策においては静電気の本質を追いかけるとともに、現場における対策法や運用管理まで、教育と実践を続けてきた。この時代のクリーン化への取り組みは、関係した経営者・管理者は軽く見ていた。

2005年以降はクリーン化の重要性も再認識され、半導体以外にも電子材料・電子部品産業のほか、塗装分野や医薬・食品分野など、目視レベルの塵埃・異物対策は間違いなく裾野が広がった。本著は目に見える大きさの塵埃・異物対策に主眼を置いたが、この時代に取り組んだ数々のデータをもとに、新たに最近のデータや動画も加えた。更に、現場での管理や指導に関しても、門外漢ながら自論を述べさせていただいた。

本著では、クリーン化技術を正しく理解し実践して貰うために、できるだけ難しい表現を避け、平易で分かりやすく簡潔に執筆した。この趣旨を十分に理解いただいたうえで、自社のラインで活用し展開頂ければ幸甚である。

園田 信夫（筑紫野にて）

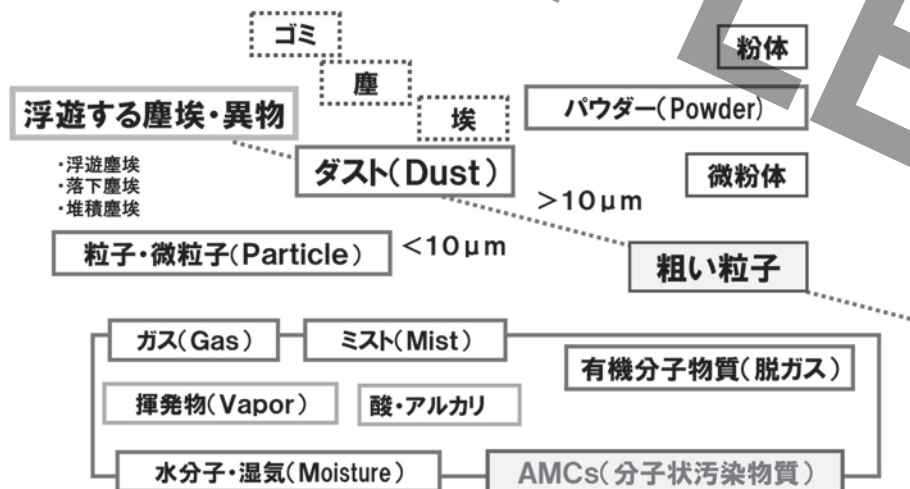
第1章 クリーン化技術の基礎知識

1.1 クリーン化と異物・塵埃

(1) 微粒子と異物の定義

本著で主に扱う粒子の、塵埃・異物・微粒子・粗い粒子について図1に示す。塵埃は空気中に浮遊するものを「浮遊塵埃」、落下するものに対しては「落下塵埃」、堆積したものは「堆積塵埃」と区別することがある。また、 $10\mu\text{m}$ 以上の粒子を粗大粒子 (coarse particles) と言うこともあるが、定義が不明確なので、「粗い粒子」と称することとする。また、日本の法令を調べてみると「粒子状物質」自体の定義は存在しないが、環境基本法に基づく環境省告示¹⁾ (「大気の汚染にかかわる環境基準について」) では、浮遊粒子状物質の定義の中で「浮遊粒子状物質とは、大気中に浮遊する粒子状物質であって (後略)」として間接的に引用されている。粒子状の浮遊物質に対して「粒子の大きさの定義」は示されていないのであって、当然ながら粗大粒子の定義もない。例えば、人体の健康被害から言えば、 $1\mu\text{m}$ 以下のナノ粒子が問題視されるが、この大きさから見たらPM2.5やPM10などの $2.5\mu\text{m}$ や $10\mu\text{m}$ は十分に粗大である。

製造プロセスにおいて、クリーン化技術が何を問題としているのかしばしば疑問を持つ。微粒子が付着しても製品が不良とならなければ、クリーンルームやクリーン化技術の必要性はない。製品は各種材料の構成物であって、製品に必要なものや特性に影響を及ぼすもの (不良の原因物質) は不要物とみなせる。この意味では、製品構成材料以外のものは総



*AMCs(分子状汚染物質): Air borne molecular contaminants

図1. 塵埃・異物の種類

称して「異物」と呼ぶのが最もふさわしい。作業室内では「微粒子対策や粗い粒子対策」が課題であろうが、製品側からみたらすべてにおいて「異物対策」となる。また、無用なものの総称として「ゴミ」という表現が使われるが、これは慣用表現であって、目に見える不要物や不用物を指すことが多いようである。「ゴミ」「塵^{ちり}」「埃^{ほこり}」は無条件に異物として取り扱う。作業室内では主に浮遊粒子を対象としている。これは大きさによって区別されるが、総称してダスト (Dust) と呼ばれ、あえて線引きすると $10\mu\text{m}$ 以上の大きさをパウダー (Powder) と称し「粉体」として取り扱う。金属生成粉は大きさを問わずヒューム (Hume) と呼ばれるが、摩耗金属などの微金属粉 (Metal) とは区別される。また、 $10\mu\text{m}$ 以下は構成成分を問わず粒子・微粒子 (Particle) と表現したが、最近ではこの中に、ガス (Gas)、酸・アルカリ性のミスト (Mist)、主に有機物からの揮発物 (Vapor) も含まれる。

これらは分子状汚染物質 (AMCs: Airborne molecular contaminants) と呼ばれ、1995年以降半導体先端デバイス製造で話題となっている異物である。加えて、水分子・湿気 (Moisture) も異物としてみなす場合もある。

ところで、肉眼で見える大きさにも限界がある。一般には目視では $30\mu\text{m}$ 、異物や粒子としての認識が伴う場合は $50\mu\text{m}$ 、暗視野における集光灯下の場合には散乱光が発生するので $10\mu\text{m}$ が目視限界とされている。異物対策と言っても裸眼で見えない大きさを相手にしていることも多く、作業からの発塵や装置からの発塵に対しても、目視不能な $30\mu\text{m}$ 以下の塵埃をカットできるフィルターが設置されているクリーンルーム機能の必要性が納得できる。だからと言ってこの大きさの塵埃・異物が製品に影響を及ぼさないのなら、クリーンルームや非クリーンルームに拘わらず目視不能な $30\mu\text{m}$ 以下の管理の必要性は薄れる。何をどのレベルまで管理するのかが、現実の問題である。とは言っても管理に必要なコストを最小限に留めるには、闇雲な運用管理は不必要である。製品の要求品質を満足できれば、過度なクリーン化は必要ないのであって、この線引きを潔く決めるためにも、クリーン化の本質に裏打ちされた、現実と適合する本当のクリーン化対策をPolicyとすることが必要である。

次に、粗大粒子について述べる。目視可能な $30\mu\text{m}$ 以上でも十分に粗大粒子と言えるが、見えない大きさの $10\mu\text{m}$ であっても粗大粒子と言う考えもある。つまり、粗大粒子は相対的な表現でしかない。クリーン化技術ではこれらの粒子の全てを取り扱うのが前提となる。一方、小さい粒子であれば「ゴミ」と言う人もいるが、整理・整頓のときに使われる「ゴミ」とは一線を画するのが妥当である。

また、「異物」とは製品として邪魔なもので、製品の機能を損ない不良に結びつく恐れのある場合に用いられる、製品や機能とはまったく異なる物質の総称である。ゴミであれパーティクルであれ、製品に付着すれば異物であり不要なものである。したがって、製品側から見て不良の原因となるものは異物であり、小さなものは微小異物と呼ばれることが多い。