

(3) 塗料・塗装産業分野における取組とは

奴間 伸茂*

1. はじめに

本稿は、本誌「パウダーコーティング」誌、2021年夏季号、秋季号に続く連載第3報である。これまで述べてきたことを本ページの下部にまとめた。

秋季号の繰り返しになるが、塗料・塗装ビジネスに携わる我々にとって何といても最重要かつ緊急を要するものはゴール13である。

ゴール13 気候変動に具体的な対策を



気候変動及びその影響を軽減するための緊急対策を講じる

塗料製造、塗装にはエネルギーが欠かせない。CO₂の排出がないクリーンなエネルギーに切り替えていくことが不可欠である。ゴール7は秋季号には掲げなかったが加えておきたい。

ゴール7 エネルギーをみんなにそしてクリーンに



すべての人々の、安価かつ信頼できる持続可能な近代的エネルギーへのアクセスを確保する

ゴール13で立てた対策、すなわち脱炭素を可能にする塗料・塗装システムは持続可能な生産消費形態が

確保されたものでなければならない。

ゴール12 つくる責任 つかう責任



持続可能な生産消費形態を確保する

ゴール13を確実に達成するには、国においても個々の企業においても。ゴール9の基盤作りが欠かせない

ゴール9 産業と技術革新の基盤を作ろう



強靱（レジリエント）なインフラ構築、包摂的かつ持続可能な産業化の促進及びイノベーションの推進を図る

さらに、強靱（レジリエント）なインフラ構築、包摂的かつ持続可能な産業化の促進及びイノベーションの推進を図るためには、塗料メーカー、塗料原材料の供給メーカー、塗装会社、塗装機メーカー、塗装設備メーカー、もちろん顧客企業との連携、協業が不可欠である。

我々塗料・塗装技術者は、CO₂排出低減のために、
◆硬化温度の低温化
特に粉体塗装系、電着塗装系における硬化温度の低温化

【パウダーコーティング2021年 夏季号】

(1) まずはSDGsを知り尽くそう《SDGs保存版》

- SDGs：持続可能な開発目標とは、2001年に策定されたミレニアム開発目標：MDGsの後継として、2015年9月の国連サミットで採択された「我々の世界を変革する：持続可能な開発のための2030アジェンダ」に記載された2016年から2030年までの国際目標である。
- これにより「持続可能な消費および生産」「天然資源の持続可能な管理」「緊急な気候変動対策」によって地球を破壊から守ると宣言している。
- 塗料・塗装産業に携わる我々にとってSDGsは、**地球を破壊から守るための持続可能な開発目標ととらえるべきだ。決して悠長な目標ではない！**
- このアジェンダは「世界から貧困をなくす」と「持続不能な現在の社会・経済・環境」を変革して「持続可能な社会・経済・環境」を実現するという二つの変革を目標としている。そのために、2030年を期限として、17のゴール、169のターゲット（実施手段含む）、232の指標が示された。これらを記載して《SDGs保存版》とした。

【パウダーコーティング2021年 秋季号】

(2) ビジネスを持続可能にするSDGsを！

- 私自身は、SDGsを塗料、塗装業界にとって最重要課題である気候変動対策を何としても、緊急に打ち立てるために世界各国共通で使える「羅針盤」「道しるべ」として役立たせたいと考えている。
- 塗料・塗装業界の重要なユーザーである自動車メーカーのSDGsに関わる取り組みを先ず紹介した。トヨタ自動車は2021年6月11日、世界の自社工場CO₂の排出を2035年までに実質ゼロにする目標を発表した。高塗着効率化：70%⇒95%、塗装ブースのコンパクトなど具体的達成手段を紹介した。
- 自動車ボディ以外の工業製品（一般工業製品）の塗装仕様について現状及び課題、将来塗装仕様、および塗料の方向性、環境対応技術について紹介した。
- 塗料に不可欠な原材料である添加剤のメーカーはSDGsにどのように取り組んでいるか？ BYKの取り組みを紹介した。

* 塗料塗装技術研究所 代表

- ◆水性2液ウレタン硬化系の高仕上がり化
 - ◆現行の酸エポ硬化系と同等の性能を有する水性1液低温硬化系の開発
 - ◆塗料製造の飛躍的省エネルギー化
- などを、それこそ何十年にもわたって検討を重ねてきた。しかし、まだまだ完成に至っていない。したがって、従来の研究・開発のやり方を抜本的というか革命的に変えなくてはならない。

革命的な手法が人工頭脳：AI、進化したIT技術の活用：DXなのだろう。そのためにはこれまでとは異なる分野の技術者等との協業が不可欠になる。

すなわち、ゴール17である。



パートナーシップで目標を達成しよう
持続可能な開発のための実施手段を強化し、グローバル・パートナーシップを活性化する

協業する相手は国内に限定してはいけない。

以上、復習を終え、この新年号では、我々の現状をしっかりと把握するために不可欠なCO₂排出量の算定について学んでいきたい。

2. カーボンニュートラル実現に向けて

まずは、CO₂排出量の算定について学ぶ

カーボンニュートラルの実現は塗料・塗装ビジネスに関わる各社が懸命に取り組んでいる喫緊の課題である。具体的取り組みに入る前に基本的な事柄を整理しておこう。

(1) CO₂算定時の参考資料⁽¹⁾

環境省、経産省のホームページからサプライチェーン排出量の算定に有用な各種ツール・資料を紹介する。

i) サプライチェーン排出量とは

事業者自らの排出だけでなく、事業活動に関係するあらゆる排出を合計した排出量を指す。つまり、図1に示すように、原材料調達・製造・物流・販売・廃棄など、一連の流れ全体から発生する温室効果ガス排出量のことである。

◆サプライチェーン排出量

= Scope1 排出量 + Scope2 排出量 + Scope3 排出量

Scope1：事業者自らによる温室効果ガスの直接排出（燃料の燃焼、工業プロセス）

Scope2：他社から供給された電気、熱・蒸気の使用に伴う間接排出

Scope3：Scope1、Scope2 以外の間接排出（事業者の活動に関連する他社の排出）

◆GHG プロトコル^(脚注1)のScope3基準では、Scope3を15のカテゴリに分類⁽²⁾

①購入した製品・サービス

原材料の調達、パッケージングの外部委託、消耗品の調達

②資本財

生産設備の増設（複数年にわたり建設・製造されている場合には、建設・製造が終了した最終年に

計上）

③Scope1、Scope2に含まれない燃料及びエネルギー活動

調達している燃料の上流工程（採掘、精製等）

調達している電力の上流工程（発電に使用する燃料の採掘、精製等）

④輸送、配送（上流）

調達物流、横持物流、出荷物流（自社が荷主）

⑤事業から出る廃棄物

廃棄物（有価のものは除く）の自社以外での輸送^(脚注2)、処理

⑥出張

従業員の出張

⑦雇用者の通勤

従業員の通勤

⑧リース資産（上流）

自社が賃借しているリース資産の稼働

（算定・報告・公表制度では、Scope1、2に計上するため、該当なしのケースが大半）

⑨輸送、配送（下流）

出荷輸送（自社が荷主の輸送以降）、倉庫での保管、小売店での販売

⑩販売した製品の加工

事業者による中間製品の加工

⑪販売した製品の使用

使用者による製品の使用

⑫販売した製品の廃棄

使用者による製品の廃棄時の輸送^(脚注3)、処理

⑬リース資産（下流）

自社が賃貸事業者として所有し、他者に賃貸しているリース資産の稼働

⑭フランチャイズ

自社が主宰するフランチャイズの加盟者のScope1、2に該当する活動

⑮投資

株式投資、債券投資、プロジェクトファイナンスなどの運用

その他（任意） 従業員や消費者の日常生活

ii) サプライチェーン排出量の特徴

サプライチェーン上のうち1社が排出量削減すれば、他のサプライチェーン上の各事業者にとって、自社のサプライチェーン排出量が削減されたことになる。

脚注1) GHG プロトコルとは：米国の環境シンクタンク WRI（世界資源研究所）と、持続可能な発展を目指す企業連合体である WBCSD（持続可能な開発のための世界経済人会議）が共催する、マルチステークホルダー方式のパートナーシップである「GHG プロトコル」が主体となって、企業のバリューチェーンにおける排出量の算定や報告の方法を示す「GHG プロトコル Scope3算定報告基準（Corporate Value Chain (Scope3) Accounting and Reporting Standard）」（以下「Scope3基準」）が策定されている。

脚注2) Scope3基準及び基本ガイドラインでは、輸送を任意算定対象としている。

脚注3) Scope3基準及び基本ガイドラインでは、輸送を算定対象外としているが、算定しても構わない。



図1 Scope1、Scope2、Scope3の関係 (図中の①～⑫はScope3のカテゴリ)

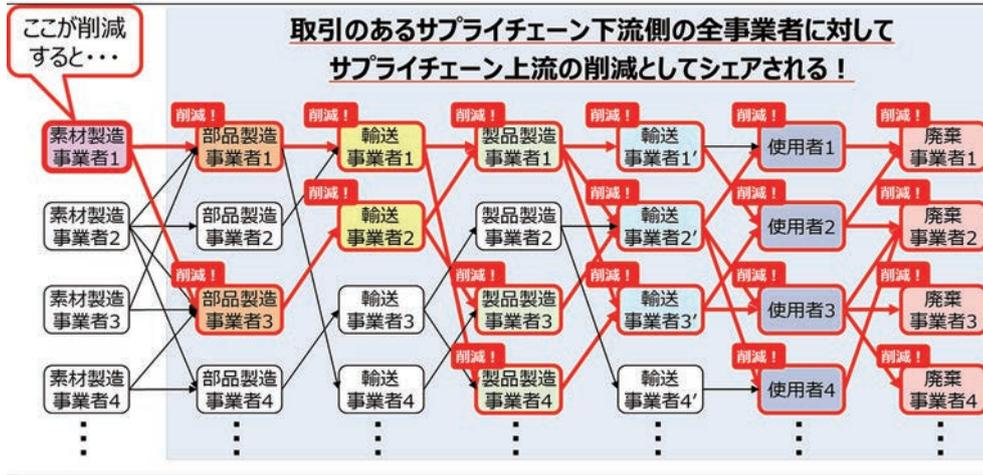


図2 素材製造事業者1 (左上) が排出量を削減したときのイメージ

イメージを、図2に示す。

iii) サプライチェーン排出量を算定するメリット

◆削減対象の特定/削減意識の啓発

サプライチェーン排出量の全体像(総排出量、排出源ごとの排出割合)を把握することで、優先的に削減すべき対象を特定できる。その特徴から長期的な環境負荷削減戦略や事業戦略策定のヒントを導きだすこともできる。

図3には算定に取り組んでいる企業の声も紹介する。

◆他事業者との連携による削減

サプライチェーン上の他事業者と環境活動における連携が強化し、環境負荷低減施策の選択肢が増え、

CO₂削減が進む。また、CSR活動の一貫としてサプライチェーン排出量算定を要請する企業もあるため、新規顧客開拓にも繋がる。図3には算定に取り組んでいる企業の声も紹介する。

◆情報開示

企業の情報開示の一環として、サプライチェーン排出量を統合報告書、WEBサイトなどに掲載することで、環境対応企業としての企業価値を明確にする。サプライチェーン排出量の把握・管理は一つの正式な評価基準として国内外で注目を集めており、グローバルにおいても、投資家等のステークホルダーへの社会的信頼性向上に繋がり、ビジネスチャンスの拡大が期待される。図4には算定に取り組んでいる企業の声も紹介する。

●削減対象の特定/削減意識の啓発
 サプライチェーン排出量の全体像(総排出量、排出源ごとの排出割合)を把握することで、優先的に削減すべき対象を特定できる。その特徴から長期的な環境負荷削減戦略や事業戦略策定のヒントを導きだすこともできる

●他事業者との連携による削減
 サプライチェーン上の他事業者と環境活動における連携が強化し、環境負荷低減施策の選択肢が増え、CO₂削減が進む。また、CSR活動の一貫としてサプライチェーン排出量算定を要請する企業もあるため、新規顧客開拓にも繋がる

算定に取り組んでいる企業の声

取組むべき課題が明確になり、より具体的な削減数値として提示できるようになりました。また、社内外に環境活動に取組む姿勢を示すことで、排出量削減に向けた活動意識を社内で共有しています。

サプライヤーである包装材メーカーに対しフィルム・トレイの軽量化を要請し他結果、軽量化が実現して両メーカーともにCO₂削減が進んでいます。

図3 サプライチェーン排出量算定のメリット (1)

●CSR情報開示
 企業の情報開示の一環として、サプライチェーン排出量をCSR報告書、WEBサイトなどに掲載することで、環境対応企業としての企業価値を明確にする。サプライチェーン排出量の把握・管理は一つの正式な評価基準として国内外で注目を集めており、グローバルにおいても、投資家等のステークホルダーへの社会的信頼性向上に繋がり、ビジネスチャンスの拡大が期待されている

算定に取り組んでいる企業の声

外部からの環境活動調査(CDP等)への対応や、統合報告書での外部公表に活用し、自社の環境活動のPRとして展開しています。

図4 サプライチェーン排出量算定のメリット (2)

iv) サプライチェーン排出量を用いた情報開示/目標設定

事業者自らの排出だけでなく、Scope3を含めたサプライチェーン排出量の算定・削減を求める外部環境が、世界的に形成されている(図5)。

《補足》

CDP：カーボン・ディスクロージャー・プロジェクトとは、機関投資家が連携し、企業に対して気候変動への戦略や具体的な温室効果ガスの排出量に関する公表を求めるプロジェクトのことである。このプロジェクトは2000年に開始し、主要国の時価総額の上位企業に対して、毎年質問表が送付されており、企業側からの回答率も年々高まっている。回答された質問表は基本的には公開され、取組み内容に応じたスコアリングが世界に公表されており、企業価値を測る一つの重要指標となりつつある。日本では、エネルギー管理を目的とした改正省エネ法や関連制度を通じて様々な取組みをしていることから、Scope3についても他国の企業と比べて対応しやすい立場にいると考えられる。

v) サプライチェーン排出量の算定の流れ

サプライチェーン排出量算定は大まかに分けると4つのステップから成る(図6)。

サプライチェーン排出量の算定に必要な資料を図7に掲げる⁽³⁾。

本号では、サプライチェーン排出量算定について基本的な概念から算定のメリット、サプライチェーン排

出量算定・削減が要求される現状について環境省の資料を用いて解説した。サプライチェーン排出量の算定については4つのステップの説明、必要な資料について紹介するとどめた。実際の算定については別の機会に取り上げたい。

(2) CO₂ 排出量の把握の現状

i) 塗料メーカーの現状

一般社団法人日本塗料工業会(以下、日塗工)では毎年、安全環境管理の実績調査を確実に実施している。図8は、CO₂換算エネルギー消費量の推移を示したものである⁽⁴⁾。

調査対象企業：日塗工正会員企業である。

リーマンショック、東日本大震災による塗料生産量減少による影響もあるが、各社の省エネの取り組みによりエネルギー消費量は減少の傾向にある。

図9はCO₂換算エネルギー源の消費割合を示したものである。電力が72%を占めている。東日本大震災が発生した2011年度は60.5%であった。確実に電力への切り替えが進んでいる。

省エネの具体的な取り組みを列記する。

- ・照明設備のLED化
- ・空調設備、コンプレッサー等の省エネ型への更新
- ・未使用照明・機器の電源OFF
- ・エアコンの厳格な温度管理
- ・ハイブリッド自動車への更新

日塗工加盟企業の統合報告書から2社の例を紹介す

- 日経環境経営度調査やCDPなど企業の環境評価では、**Scope3設問が定着**
- CDPやGlobal Reporting Initiative(GRI)では、**Scope3の開示をすることを要求**
- 気候関連財務情報開示タスクフォース(TCFD)最終報告書では、**企業がScope1・2・3の算定結果とその関連リスクについて、自主的な開示をすることを提案**
- Science Based Targets(SBT)では、**Scope3について「野心的」な目標を設定することを要求**

図5 サプライチェーン排出量を用いた情報開示/目標設定

基本ガイドライン	各カテゴリの概要や、基本的な計算式を示したものでカテゴリの中で複数の算定方法が考えられる場合、複数の算定方法を掲載
排出原単位について	排出原単位の考え方や整備方針、使い方、留意点等をまとめたもの。排出原単位データベースの使い方等の詳細を掲載
排出原単位データベース	サプライチェーン排出量算定に使用可能な排出原単位を掲載。「サプライチェーンを通じた組織の温室効果ガス排出等の算定のための排出原単位データベース」には、利用可能な海外の排出原単位データベースの一覧も掲載
算定支援ツール	サプライチェーン排出量算定に活用することができるエクセルファイル。基本ガイドラインにおいて紹介されている全ての算定方法を掲載

図7 サプライチェーン排出量の算定に必要な資料



[出所] サプライチェーン排出量算定の考え方パンフレット 環境省
 (http://www.env.go.jp/earth/ondanka/supply_chain/gvc/files/tools/supply_chain_201711_all.pdf)

図6 サプライチェーン排出量の算定の流れ⁽²⁾

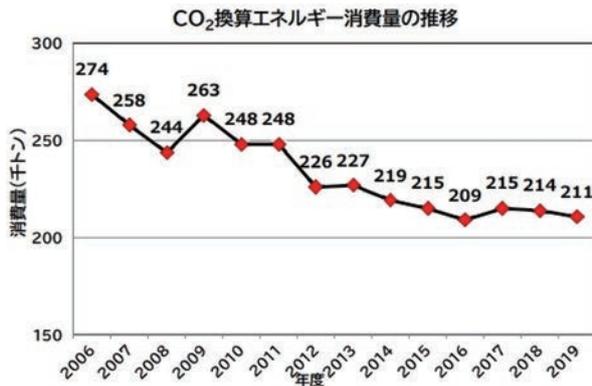


図8 CO₂換算エネルギー消費量の推移

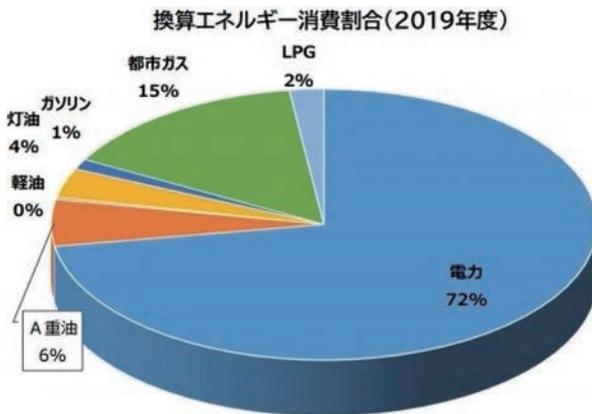


図9 エネルギー源の消費割合 (CO₂換算、調査対象期間：2019年4月1日～2020年3月31日、調査対象企業：日塗工正会員の内78社)

る。

関西ペイント⁽⁵⁾では、温室効果ガス (GHG) の地球温暖化への影響を抑えるために、事業活動のうちエネルギーを最も使用している生産工程について、エネルギーの節約や有効活用を進めており、アレスエコプラン2021で目標を設定している。2020年度のCO₂排出量は、2013年度実績から21.2%減少した。毎年、平均約3%の減少である。生産設備にモニター装置を設置し、生産工程における使用電力量の監視を行い、より効率的な生産方法への見直しに活用している。なお、CO₂以外のGHG排出はなかったとのことである。

電力由来、燃料由来、焼却由来といった要因別CO₂排出量の推移、および生産エネルギー使用量、技術エネルギー使用量、生産部門エネルギー原単位の推移については2021統合報告書を参照していただきたい(著作権考慮、巻末の参考文献にURL明記)。

日本ペイントホールディングス⁽⁶⁾グループは2021年9月、TCFD^(脚注4)による提言(最終報告書)への支持を表明し「株主価値最大化(MSV)」に向けて、気候変動関連施策の充実および情報開示の拡充に努めている。

地球温暖化は日本ペイントホールディングスグ

ループの主要顧客を含めて社会全体が関心を持っており、物理的・規制的なリスクが伴う一方で、戦略的に対応することで事業を拡大するビジネスチャンスとして結び付けることができるとの認識である。具体的には、船舶の燃費を向上させる製品、自動車製造工場でのCO₂削減に寄与する製品、路面の温度上昇を低減する製品の販売拡大などをビジネスチャンスとして捉えている。

2016年から2020年までの燃料による排出量(CO₂換算)の推移、電力による排出量(CO₂換算)の推移、エネルギー使用量(原単位も併記)、および2020年度のスコープ3のグラフを掲載している。2020年度における各スコープの値、全スコープに対する割合は以下の通りであった。

- スコープ1：15,065 tCO₂ 15%
- スコープ2：27,369 tCO₂ 27%
- スコープ3：955,821 tCO₂ 95.8%

自社排出量(スコープ1+スコープ2)のサプライチェーン排出量に占める割合は、4.2%であり、上流+下流の排出量(スコープ3)がサプライチェーン排出量に占める割合95.8%に比べると大変小さいことが分かる。

各グラフについては2021統合報告書を参照していただきたい(著作権考慮、巻末の参考文献にURL明記)。

ii) 顧客の動向

報道各社によれば、2021年6月、塗料・塗装業界の重要顧客であるトヨタ自動車は直接取引する世界の主要部品メーカー(当然塗料メーカーも含まれる)に対し、2021年のCO₂排出量を前年比3%減らすよう求めた。ホンダ技研工業も主要部品会社に排出削減目標を2021年秋までに示すと伝えた。

自動車メーカーは部品の70~80%を取引先から調達して組み立てている。自動車の製造過程全体で脱炭素を進めるには部品メーカーの脱炭素が不可欠である。

1次取引先は2次、3次メーカーから部品や素材を調達している。取引先の裾野が広い自動車大手が脱炭素の動きを強めることで産業界の排出削減に弾みがつくことは間違いない。

本稿をご覧の皆さんは、是非自社のCO₂排出の実態を把握していただきたい。

3. 次回予告

次回、春季号ではSDGsにおけるサーキュラー・エコノミー：CE、およびライフサイクルアセスメント：LCAについて述べていきたい。

サーキュラー・エコノミーは、2015年12月に欧州委員会が発表した「サーキュラーエコノミーパッケージ」で発表された循環経済に関する新しい概念である。

従来の3R政策を物質、資源循環による資源使用の極小化といった環境負荷の抑制を目的とする環境政策に対して、サーキュラー・エコノミーでは、「物質・資源の循環」を通じて新たな経済性をもたらすいわゆ

脚注4) TCFD：気候関連財務情報開示タスクフォース⁽⁷⁾

るビジネスモデルの創出を促す産業政策として打ち出されたことが特徴であり、SDGs 達成のために不可欠な概念だと考える。期待していただきたい。

参考文献

- (1) 環境省：「サプライチェーン排出量算定をはじめの方へ」、https://www.env.go.jp/earth/ondanka/supply_chain/gvc/supply_chain.html
- (2) 環境省：サプライチェーン排出量算定の考え方 パンフレット、http://www.env.go.jp/earth/ondanka/supply_chain/gvc/files/tools/supply_chain_201711_all.pdf
- (3) 環境省：グリーン・バリューチェーンプラットフォーム、http://www.env.go.jp/earth/ondanka/supply_chain/gvc/
- (4) 須貝英生：「(一社) 日本塗料工業会の活動トピックス」、p. 21、(一社) 日本塗料工業会 第 29 回 塗料産業フォーラム、2020 年 12 月 17 日
- (5) 関西ペイント 2021 統合報告書、2021 年 9 月 10 日、<https://www.kansai.co.jp/sustainability/data/>
- (6) 日本ペイントホールディングス 2021 統合報告書、2021 年 9 月 30 日、https://www.nipponpaint-holdings.com/ir/library/annual_report/
- (7) TCFD：気候関連財務情報開示タスクフォース (Task force on Climate related Financial Disclosures) の略で、主要国の財務大臣・中央銀行総裁などで構成される金融システムの安定化を図る国際的組織である、金融安定理事会 (FSB：Financial Stability Board) の下に、2015 年に設置された作業部会。
異常気象などの気候変動の物理的影響や、低炭素経済への急激な移行などが、金融システムの安定を脅かす (リーマンショックのような金融危機を招くなど) 恐れがあるとして、金融セクター (投資家・貸付業者・保険会社など) が、気候関連リスク・チャンスを適切に評価し、投資判断などに活かすための情報開示の在り方について提案としてまとめたものが、TCFD 提言である。2017 年 6 月に最終報告書が公表された後、日本の金融庁、環境省、多くの団体、企業などが提言に賛同している。
https://www.ecohotline.com/tcf_d_compass/

粉じん爆発の最新防護技術と最近の動向

那須 貴司*

1. はじめに

当社は破裂板（ラプチャーディスク）をはじめ圧力安全に関する機器を開発・販売してきた。その中で、爆発にともなう圧力の被害を予防・軽減する機器・装置も幅広く手がけてきた。

可燃性固体材料の取扱量は急速に増加しており、取り扱う固体の微粉化で火災や爆発の可能性が常に存在する。爆発事故は年間5～6件発生しており、このような場所での人命に拘わる事故の防止、プラント機械・装置の損傷による操業停止など直接の被害はもとより、最近では爆発事故によって事業機会そのものを失うことも増えており責任ある企業が真剣に考えなければならぬ課題の一つである。

2. 爆発のメカニズムと爆発防護

粉じん爆発は、基本的に燃焼の3要素（1）可燃性粉じん、（2）酸素、（3）着火源に加え、（4）適切な量と濃度の粉じんが分散・浮遊した状態で存在すると、急速な燃焼（爆燃 Deflagration）が発生する。これが（5）プロセス機器・装置や建物の室内など閉空間で発生すると、結果として生じる圧力上昇で爆発（Explosion）となる。これら“爆発の5要素（可燃物、酸素、着火源、分散・浮遊、閉空間）”のうちの1要素がなくなると爆発（Explosion）は発生しない。これを具体化するのが爆発防護である。

手始めに、取り扱う物質が可燃性かどうかを判断し、物質に固有の爆発特性値を知ることが必要で、なかでも最大爆発圧力 P_{max} (bar)（破壊力の強さ示す）と、爆発指数 K_{st} (bar·m/sec)（爆発の進行速度を現す）を知ることが爆発防護の検討には必須である。ただし、この特性値は粉じんの物性・粒径に依存するので、防護対象となる装置から採取したサンプルで測定することが重要である。この数値をもとに爆発防護（放散、抑制、しゃ断及び封じ込め）の設計を行う。

表1 爆発特性値の例

物質名	平均粒径 (ミクロン)	K_{st} (bar m/sec)	P_{max} (bar)
木粉	29	205	10.5
砂糖	30	138	8.5
瀝青炭	24	129	9.2
コーンスターチ	7	202	10.3
PVC	60	98	8.3

* BS&B セイフティ・システムズ株式会社

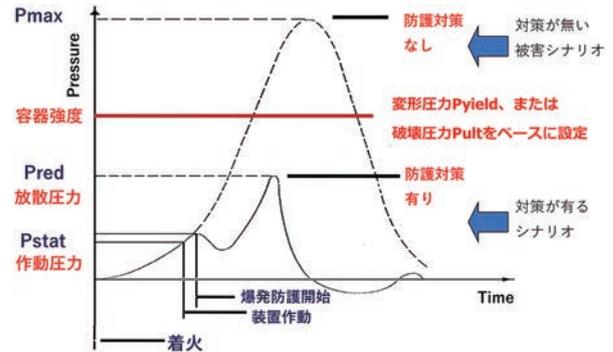


図1 爆発防護対策の概念

爆発防護は、最大爆発圧力 P_{max} に到達しないように爆発圧力を放散圧力 P_{red} (Reduced Pressure) に抑さえ込むことで、装置の強度 (P_{es} : Enclosure Strength) を越えないように制御することである。ここで、装置の強度は、装置が破壊しないことを前提とする破壊圧力 (P_{ult} : Ultimate Strength) とするか、変形させないことを前提とする変形圧力 (P_{yield} : Yield Strength) とするか選択が必要である。

3. 爆発防護技術の動向

近年、一次爆発による被害は大きくなくても、二次、三次と連鎖的に爆発・火災が拡大し大惨事に至るケースが多い。最初の爆発による爆発圧力と爆風が堆積した粉じんを吹き上げ爆発が連鎖することによるもので、一次爆発を封じ込めたり、瞬時に大気開放または抑制し、この連鎖を断ち切るように以下に示す個々の技術、またはそれを組み合わせて、爆発被害を予防・軽減する設計が必要である。

(1) 爆発予防技術

- ・適切な清掃・維持管理
- ・適切な定格・規格の電気器具の使用
- ・不活性化 (Inerting)
- ・耐爆構造 (Containment)
- ・火花検知 (スパーク検知・消火) システム (Spark Detection & Extinguishing)

(2) 爆発防護技術

- ・爆発放散 (Explosion Venting)
- ・フレイムフリー爆発放散 (Flame free Venting)
- ・爆発抑制 (Explosion Suppression)
- ・爆発しゃ断 (Explosion Isolation)

4. 爆発防護技術の詳細

4.1 爆発放散設備（爆発放散ベント）

爆発放散設備は、爆発が発生する恐れのある装置、ダクトなどに意図的に弱い部分を設け、爆発が発生したときに圧力や火炎を安全に大気中に放散させ、装置を破壊から護る爆発防護技術である。

必要面積（適正サイズ）は、爆発放散設備の技術基準（日本：爆発圧力放散設備技術指針（改訂版）NIIS-TR-No.38（2005））、米国：NFPA68、または欧州：EN14491）に従い適合したサイズを選定し、正しく施工・維持管理する必要がある。

必要面積は以下のパラメータを用いて上記のいずれかの技術指針の計算式から求める。

- Kst：可燃物の爆発指数（bar・m/sec）
- Pmax：装置内で発生する最大爆発圧力（bar）
- V：爆発放散設備を設置する装置の容積（m³）
- アスペクト比 L/D：装置の長さとの直径の比
- Pred：爆発放散設備が作動した場合の最大圧力（bar）
- Pstat：静的な圧力で爆発放散設備が作動する圧力（bar）
- 放散ダクトの長さ Lv：爆発圧力を外気に放散させるためのダクトの長さ（m）

破裂板式爆発放散設備には、(1)フラット型単板、(2)ドーム型単板、耐負圧、耐脈動構造、(3)複合（コンポジット）型があり、設置場所に応じた適切な型式を選定できる。

4.2 フレームフリー爆発放散設備（消炎型爆発放散設備）

爆発放散時の火炎は最大 60 m に及ぶ。フレームフリー（消炎型）爆発放散設備は、立地上火炎放出が許されない場合や、屋内における爆発放散で放散用ダクトが長くなる、ダクト設置スペースが取れない、または屋外にアクセスできない場合等の制約下で爆発放散を可能にする。

フレームフリー爆発放散設備は、爆発放散設備に消炎素子（ステンレス製の精細なメッシュの三次元フレームアレスター）を組み合わせている。消炎素子は、火炎を放出しないと同時に高温ガスを内部に封じ込め、外に出さないように設計されている。

必要面積は前述の爆発放散設備と同じ計算式を使用して必要面積を求め、適用するフレームフリー放散設備によって固有のベント効率で除して必要サイズを選

定する。

フレームフリー爆発放散設備には丸型、角型の種類があり目的に応じて選択ができる。

- (1) 丸型 (IQR 型)：火炎、及び未燃粉じんを放散しない、ベント効率：95%
用途：万能型。流動層乾燥機、集じん機など屋内・屋外に設置できる。
- (2) 角型 (R-IQ 型)：火炎を放散しない。ベント効率：87% 以下
用途：屋内・屋外に設置できる。丸型より経済性に優れる。

4.3 爆発抑制システム

爆発抑制システムは、装置内で発生した爆発の圧力波を初期段階で検知し、粉末状の消火抑制剤を高速で噴霧して燃焼を抑制し爆発の進行を阻止する技術である。図2のように、爆発の圧力波は音速（約 300 m/sec）で進行する。一方、火炎はこの段階では 10 m/sec 以下で進行しており、初期段階の爆発を消火剤で消火・抑制する時間が存在する。

爆発抑制システムを集じん機に設置（図3）するには、集じん機本体に爆発を検知する圧力センサーと、集じん機内の火炎を消火抑制する抑制用キャノン、及び集じん機に接続されたダクト内に消火抑制剤を噴射してバリヤを形成し、集じん機から隣接する装置への爆発伝播を防止するシャ断用キャノンから構成される。システム全体の監視・作動はコントロールユニットで行い、作動時にプロセスを停止するなどの通信・信号接続をおこなう。

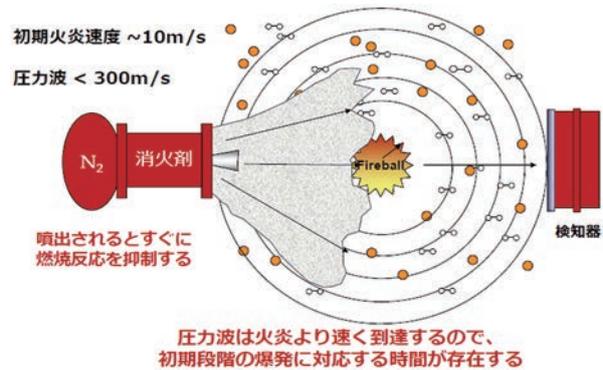


図2 爆発抑制の原理



丸型 (IQR)



角型 (R-IQ)

写真1 フレームフリー爆発放散設備

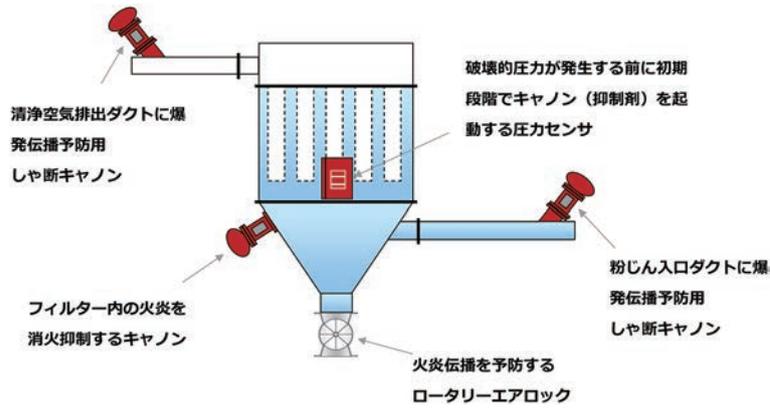


図3 爆発抑制システム（集じん機の設置例）

システムの設計は NFPA69 または EN14373 に準拠して、爆発特性値などから設計する。

4.4 火花検知（スパーク検知・消火）システム

粉体空気搬送ダクトなどに設置した検知器により熱または近赤外光を検知することで粉じん爆発・火災の原因となる火花、燃えさし、高温粒子を検出し、検知器の下流に配管内の流速に応じた位置に設置した消火ユニットでこれらを消火・除去して、爆発や火災の発生を予防する技術である。前項までの爆発防護（被害軽減）対策と併用することで最大限の効果を発揮する。

4.5 爆発しゃ断システム

爆発しゃ断は、発生した爆発が配管やダクト内を伝播して接続された装置で二次爆発や火災の発生を防止することにある。しゃ断システムには、大別すると前出の爆発抑制システムのしゃ断用キャノンを使用する化学式（ケミカル）しゃ断と、機械的にしゃ断をする機械式（メカニカル）がある。どのしゃ断システムも固有の設置距離（爆発が発生する装置からしゃ断機器までの距離）があり正しい位置に設置する必要がある。

- (1) 化学式しゃ断
 - ・爆発抑制システム
- (2) 機械式しゃ断
 - ・フロート式しゃ断システム（VENTEX）

- ・フラップ式しゃ断システム（FLAP）
- ・スライドゲート式しゃ断システム（RSV）
- ・ピンチバルブ式しゃ断システム（IVE）

5. 関連法規

爆発のリスクアセスメントと安全措置の法体系はドイツの鉱山業とスイスの製薬業界から発展してきており、欧州と米国に各々爆発防護の法体系がある。

欧州（EU）では 30 年以上前から ATEX などの規制・法整備が進み、事業主はリスクの分析と、相応した爆発放散、抑制、しゃ断等の安全措置の設置義務がある。

米国は 2007 年夏に NFPA（全米防火協会）の指針（Guideline）が基準（Standard）になり、安全措置の設置が義務化された。また、OSHA（米国労働省



図5 機械式フロート式しゃ断システム（VENTEX）

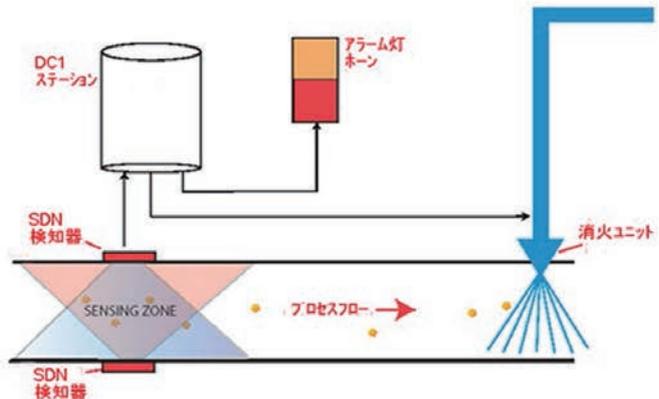
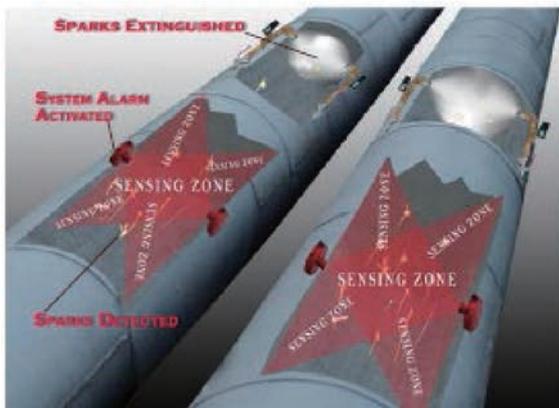


図4 スパーク検知・消火システム

労働安全衛生局)はNFPAとの迎合性をとるためにNational Emphasis Programを発表し、新設または既設のプラント機器・装置への遡及規制に大きな影響が出ている。さらに、NFPA652(2019)で、DHA(Dust Hazard Analysis)としてすべてのプロセスの完全なリスクアセスメントを5年に1回以上実施するよう規定されている。

日本では、「爆発」は厚生労働省の管轄で、従来、乾燥設備への爆発放散設備の設置が義務づけられているが、2006年(平成18年)と2014年(平成26年)の改正で、爆発リスクアセスメントの実施義務が新設された。欧米のような爆発防護に関するプログラムは今後の議論を待つことになる。

6. おわりに

近年、世界的に粉じん爆発に対する理解度が深まり、それに対する研究並びに対策も進んできており、異なる技術を複合して対処することが日常化している。注意深くプロセスを見極め、正常な状態と非正常な状態を理解することが肝要である。非正常な状態において、一般的に最も深刻な爆発事故のリスクが高いのは言うまでもない。

日本の法体系は欧米に比べ進んでいないが、法令にとらわれず欧米の技術を参考に安全への対策を自主的に検討することが重要である。