

三菱マテリアル株式会社四日市工場 高純度多結晶シリコン製造施設  
 爆発火災事故調査報告書【要約版】

1. 序

2014年1月9日に三菱マテリアル(株)四日市工場で爆発火災事故が発生したことを受けて、同年1月17日に事故調査委員会が設置された。事故調査委員会は社外の学識経験者および社内での専門家により構成され、2014年1月22日から同年6月6日までの間計7回、三菱マテリアル(株)四日市工場で開催された。今般、本事故の発生に至る原因等を解明し、再発防止対策の提言をまとめるに至ったことから、本報告書をもって最終報告を行うものとする。

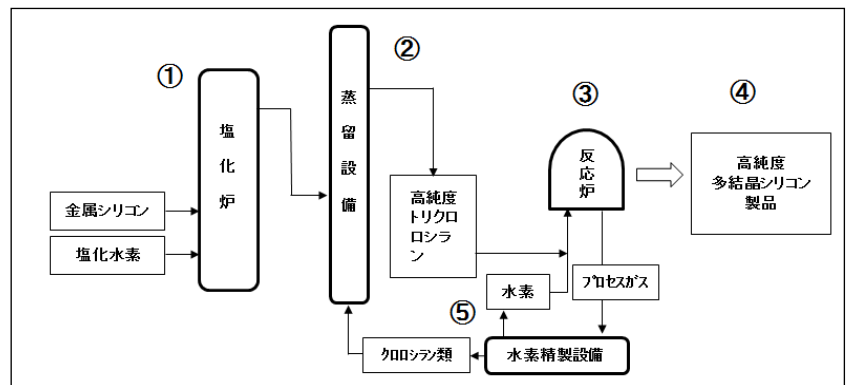
2. 事故の概要

発災事業所	三菱マテリアル(株)四日市工場第1プラント
発災設備	第6水素精製設備の水冷熱交換器
発災日時	2014年1月9日(木)14時5分頃
人的被害	死者5名(同社従業員3名、協力会社従業員2名) 負傷者13名(同社従業員10名、協力会社従業員3名)
物的被害	周辺設備の破損等

3. 発災事業所および発災設備の概要

三菱マテリアル(株)四日市工場では、半導体向けシリコンウェーハの原料として使用される高純度の多結晶シリコンを製造している。

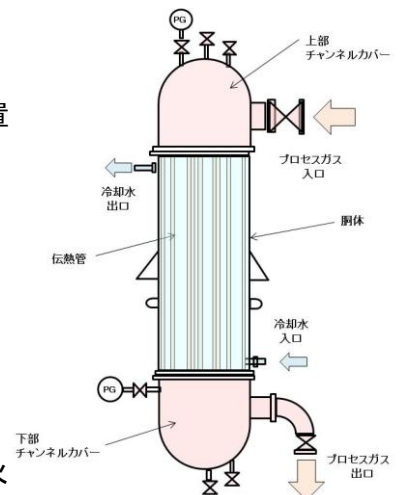
発災した水冷熱交換器は右図⑤の水素精製設備に設置されていた。水冷熱交換器の内部には多数の伝熱管が配置されており、反応炉から排出されるプロセスガスは伝熱管を流れ、外側を逆向きに流れる水で冷却される。



4. 事故の発生状況

4.1. 爆発火災事故に至る経緯

- 2013年11月27日 当該熱交換器を水素精製設備から切り離し、所定の仮置き場へ据え置き。
- 2013年11月28日～ 3日間にわたり、ドライ窒素ブロー処理を実施。
- 2013年12月3～27日 20日間にわたり、加湿窒素ブロー処理を実施。
- 2014年1月6～8日 3日間にわたり、ドライ窒素ブロー処理を実施。
- 2014年1月9日 7:30～11:00 洗い場へ移動、ドライ窒素ブローを実施。  
 11:00～13:00 下部チャンネルカバー開放、洗浄を実施。  
 13:40～ 上部チャンネルカバー開放作業を開始。  
 14:05 上部チャンネルカバーを開放して数秒後に爆発火災が発生。



## 4.2. 爆発火災事故の発生に関する解析

外部の専門家へのヒアリング、外部専門機関による評価、並びに三菱マテリアル(株)による試験等から、次の事項に関する解析を実施した。

### (1) 爆発状況の解析による爆発威力

現場における2つの事象から爆発威力を推定した。

### (2) 発火・爆発原因物質

熱交換器内部に存在するクロロシランポリマー類の加水分解生成物について、その化学構造、発火・爆発危険性を解析した結果、爆発威力の推定範囲にほぼ一致することから、爆発原因物質は、クロロシランポリマー類の加水分解生成物であり、その爆発によりクロロシランポリマー類の分解により生成した可燃性物質が大気中に噴出して燃焼したものと推定される。

### (3) 爆発火災の発生過程

フランジ面で発生した打撃でクロロシランポリマー類の加水分解生成物が発火・爆発

→上部チャンネルカバーが飛翔

→爆風により周辺設備の窓ガラスが破損、内部に残留していたクロロシランポリマー類が飛散

→大気中に噴出した可燃性物質が燃焼してファイアボールを形成。

## 5. FTA 解析による事故要因分析

### 5.1. 直接原因

熱交換器の爆発火災の直接原因は次のとおり特定された。

- (1) クロロシランポリマー類の低温での加水分解により、爆発威力が大きく爆発感度が高い物質が生成された。
- (2) クロロシランポリマー類の加水分解生成物が、乾燥状態で爆発威力および爆発感度が増し、熱交換器チャンネルカバー開放時になんらかの衝撃が発火源となり爆発に至った。
- (3) こうしたクロロシランポリマー類加水分解生成物の発火・爆発危険性や、その生成過程およびクロロシランポリマー類の適正な加湿処理条件について、十分、かつ、正確な公知の科学的情報がないこともあり、適切な安全対策について十分検討することができなかった。

また、人的被害の直接原因として、発火・爆発に伴うチャンネルカバーの飛翔、爆風、並びに火災等により作業者に被害が及び、また、近接者が存在したことが被害規模を拡大させた。

### 5.2. 間接要因

FTA 解析(\*)による原因事象から、直接原因以外の問題点を間接要因として抽出した。

(\*)FTA (Fault Tree Analysis) 解析とは、事故を引き起こした事象について、樹形図を用いて、この事象の要因となる事象というように展開を繰り返し、要因を明らかにする手法である。

#### (1) リスクアセスメント

直接原因物質であるクロロシランポリマー類の加水分解生成物の発火・爆発危険性に関する知見が不足していたことから、管理上の問題点としてクロロシランポリマー類に関するリスクアセスメントが不十分であったことが挙げられる。

#### (2) 熱交換器の安全管理

当該熱交換器内にはクロロシランポリマー類の堆積による閉塞はなかったことを確認しているため、事故との因果関係は認められないが、熱交換器の管理方法について改善が必要である。

#### (3) 作業標準類

直接原因物質に関する知見が不足していたことの結果として、作業標準類にその発火・爆発危険性が十分に反映されていなかった。また、このほか、記載内容について客観性・具体性が欠ける、作業者の経験則に依存するものがあるといった不備が認められた。

#### (4) 教育等

直接原因物質に関する知見が不足していたことの結果として、教育等においてもその発火・爆発危険性が十分に反映されていなかった。また、このほか、作業員への教育やルール順守状況の確認等に不十分な点があった。

## 6. 再発防止対策の提言

再発防止対策に関する提言を述べるとともに、その再発防止対策に対する三菱マテリアル(株)の実施方法や取り組み方針等について、その妥当性を確認した。

### 6.1. 熱交換器整備作業における発災に対する再発防止対策の検討

#### (1) 熱交換器の開放および洗浄方法

- ① クロロシランポリマー類の量を計量し、加水分解処理時間や発生ガス量を算定。不活性ガス封入による安全な状態で整備場へ搬送し据え置き、必要な配管等の接続を行う。
- ② 熱交換器内を満水状態にしながら加水分解を進める。満水後の加水分解時の水温は約 40℃に保ち、適切なデータを計測・監視し、pH と水素濃度から加水分解の終了点を判断する。
- ③ チャンネルカバーの開放は遠隔操作により行う。
- ④ 熱交換器内のクロロシランポリマー類の加水分解生成物を高圧水で洗い流し、湿潤状態のまま排水ピットに排出する。
- ⑤ 排水ピットでは、上澄み部分は既設の排水処理設備で中和処理し外部へ排出する。残渣については、粉碎・微細化した上で中和処理し、安全化された状態で産業廃棄物として排出する。

#### (2) 熱交換器の開放および洗浄施設

開放・洗浄作業の安全性を確保するため、次の機能を有した専用施設を新たに設置する。

- ・万が一の爆発に備えて防護壁を設置する。                      ・安全に排ガス処理ができるようにする。
- ・チャンネルカバーの開放は遠隔で行えるようにする。            ・加水分解の温度制御、監視ができるようにする。

### 6.2. 安全管理の強化

工場の安全性を高めるためのリスク低減対策としての安全管理の強化に関する提言を行った。

#### (1) ハザード抽出とリスクアセスメントによるリスクの低減化

##### ① FTA 解析によるハザード要因のチェックリスト作成と対応

FTA 解析で洗い出したすべてのハザード要因について、具体的な実施項目、実施時期および進捗状況を記載したチェックリストを作成し、適切な対策が講じられていることを確認する。

##### ② 物質、設備および作業のリスクアセスメントの実施

物質に関する新たな知見が得られた場合や設備に変更等があった場合にはリスクアセスメントを実施し、作業の安全性が確保できるよう反映する。また、これらリスクアセスメントは協力会社とも連携して行う。

##### ③ 類似危険物質の取り扱いに関わる残存リスクの低減

過去の災害やヒヤリハット等の事例を解析し、原因物質であるクロロシランポリマー類を取り扱う工程を抽出する。今回調査により得られた新たな知見を基にリスクアセスメントを再度実施し、そのリスク低減策を今後とも継続的に実施していく。なお、製造ラインには、直接原因物質が今回事故と同じ条件・状態となる工程は存在しないことを確認した。

#### (2) 安全衛生マニュアル体系、作業標準類の改善

##### ① 作業標準類の必須記載事項

明確な判断基準の記載がない、経験則等に依存する等の不備を改善するため、作業標準類への記載事項および留意点等を定めた規程を新たに制定する。

##### ② 危険の大きさ(影響度)による作業標準類のレベル分け、リスクアセスメント手順の見直し

危険の大きさ(影響度)が大きい作業については、リスク対応の優先度を低く判定したものであっても、リスクアセスメントを再度実施し、現状の設備、作業、管理の面から安全性を再確認する。具体的には、危険の大きさ(影響度)により作業標準類のレベル分けを行い、これに応じて審査・承認権限者に重みづけをする。

##### ③ 作業標準類の総点検

危険の大きさ(影響度)のレベルが高い順から、順次、作業標準類の総点検を実施し、作業者に教育の上、遵守、徹底させる。また、作業標準類の見直しについては、第三者による確認を受け、必要に応じて再度見直しを行う。

#### ④ 安全管理者の職務

危険作業時等における安全管理者の職務内容や選解任日を明確化し、責任を明確にする。

#### ⑤ ヒヤリハット等のフォローアップ

ヒヤリハット報告活動の活性化を推進するとともに、安全衛生委員会ではヒヤリハット事例等の報告だけでなく、対策の実施状況のフォローアップも実施する。

#### ⑥ 是正措置のフォローアップ体制

今後、重大な事故災害については、是正措置内容の実施状況等を継続的にフォローアップする。

### (3) 再教育

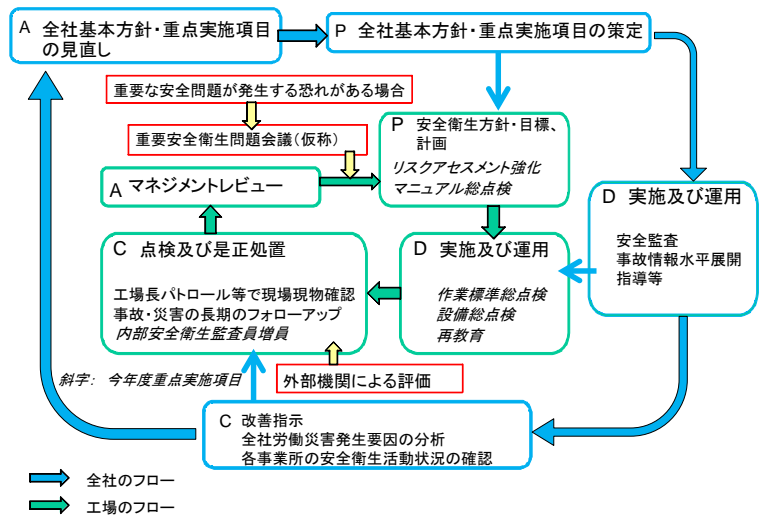
安全管理に係る諸対策を周知徹底し、安全作業の確実な実施を担保するため、社員だけでなく協力会社社員への安全教育を継続的に実施する。

### (4) PDCA による継続的安全管理の強化

右図に示すとおり、三菱マテリアル(株)本社が積極的に関与した安全衛生マネジメントシステムを構築し、PDCA サイクルを回すことにより継続的な改善につなげる。

#### 【三菱マテリアル(株)の安全管理強化】

三菱マテリアル(株)の安全活動について、全社的な労働安全衛生活動の内容とともに、事故後の本社対応として、緊急安全パトロール、危険作業・作業手順書の点検の実施、「安全誓いの日(1月9日)」の制定、安全衛生に係る組織の強化、「新たなゼロ災プロジェクト」の発足、並びに安全に関する監査の強化等を実施してきたことを確認した。



### 6.3. 背景要因の検討と安全文化の醸成

安全に影響を与える可能性のある環境や組織上の課題等を背景要因として検討し、改善策の方向性について提言するとともに、これらに対する三菱マテリアル(株)の取組み方針について確認した。

#### (1) 背景要因の検討

外部機関による工場内関係者へのヒヤリング調査結果により、次の背景要因が抽出された。

##### 安全基盤に関わる背景要因

- ・体系的な教育が不足している。
- ・技術伝承が十分行われていない。

##### 安全文化に関わる背景要因

- ・危険への感性が低い。
- ・外の風が入らず「井の中の蛙」状態である。 ほか

#### (2) 背景要因への対策

本検討結果を踏まえ、長期的な時間軸で改善策を講じていくことが不可欠であると考えられる。

##### ① 体系的な教育の仕組みやカリキュラムの整備

- ・化学的な知識やプロセス、作業標準類等を計画的に教育するための仕組みやカリキュラムの整備
- ・事件事例を踏まえた教育、熟練作業者の経験の伝承、並びに緊急時対応能力の強化策等による計画的な人材育成

##### ② プロセス技術専門部署の設置、本社と工場との連携、外部機関等との連携による安全基盤の強化

##### ③ 工場内組織の見直しによる安全管理機能の強化

##### ④ 継続的改善を行う体制の確立

外部評価等“外の風”を取り入れる仕組みを構築し、安全文化が醸成するよう継続的に改善を進める。

#### (3) 背景要因対策の実施体制

三菱マテリアル(株) 本社の安全衛生部が主導的な役割を担う「四工安全文化再構築プロジェクト」を組織し、PDCA サイクルにより外部機関による評価等を取り入れ、継続的な改善へつなげる。

以上