

旭化成エレクトロニクス株式会社
生産センター第二製造部半導体製造工場
火災事故調査報告書

2021年9月14日

旭化成株式会社

旭化成エレクトロニクス株式会社

目次

1	序	1
1.1	はじめに	
1.2	各委員会および部会の目的と構成	
1.2.1	事故調査委員会	
1.2.2	事故対策委員会	
1.2.3	事故調査部会	
1.2.4	各委員会および部会の開催	
2	事故の概要	4
2.1	発災事業所および推定発災装置	
2.2	発災日時	
2.3	気象状況	
2.4	被害状況	
2.4.1	人的被害	
2.4.2	物的被害	
2.4.3	環境・地域への影響	
2.5	事故後の状況	
3	発災事業所および推定発災装置の概要	7
3.1	発災事業所の概要	
3.2	ウエハ製造工程の概要	
3.3	推定発災製造工程の概要	
3.4	推定発災装置の概要	
3.5	発災事業所の組織体制および運転体制	
3.6	発災事業所の防災内規および防災体制	
4	事故の発生状況	19
4.1	火災に至る過程	
4.1.1	時系列情報	
4.1.2	事故の進展状況	
4.2	火災による人的被害	
4.3	火災による物的被害	
4.3.1	推定発災装置付近および4階クリーンルームの被害状況	
4.3.2	5階の被害状況	
4.3.3	その他の被害状況	

4.4	火災による環境への影響	
4.4.1	塩化水素の検出状況	
4.4.2	ふっ化水素の検出状況	
4.4.3	ダイオキシン類の検出状況	
4.4.4	その他物質の検出状況	
5	火災原因の調査	33
5.1	火災発生点の推定	
5.1.1	目撃証言	
5.1.2	装置運転状況	
5.1.3	装置薬液供給信号の発報	
5.2	出火原因の可能性調査	
5.2.1	推定発災装置付近の現場確認	
5.2.2	装置外要因（放火・火気取扱いや危険物取扱い）	
5.2.3	装置内要因（熱源と電気系統）	
5.2.4	出火原因の特定	
5.3	出火原因の推定	
5.3.1	類似装置調査による推定出火原因の抽出	
5.3.2	電装部材等の難燃性評価	
5.3.3	筐体部材等の難燃性評価	
5.3.4	火災発生における推定原因の絞り込み	
5.4	延焼原因の推定	
5.4.1	クリーンルーム防火区画内の延焼推定	
5.4.2	クリーンルーム防火区画間の延焼推定	
5.4.3	4階と5階の階層間の延焼推定	
5.5	火災発生から延焼に至る推定シナリオ	
6	法令・社内規程の遵守状況	67
6.1	法令の遵守状況	
6.2	社内規程の遵守状況	
7	火災発生の早期検知	69
7.1	火災報知器の設置状況	
7.2	2種光電式煙感知器による検出感度	
7.3	クリーンルームの気流循環機構	
8	初動および初期消火活動	71

9	再発防止策	72
9.1	火災発生防止対策	
9.1.1	電気保安点検の最適化	
9.1.2	装置の筐体部材と電源制御部材の難燃化	
9.2	火災の被害最小化対策	
9.2.1	早期検知システム	
9.2.2	延焼拡大防止	
9.3	その他対策	
9.3.1	情報伝達と地域への連絡	
9.3.2	事故の風化防止、安全意識の向上	
10	おわりに	76

1 序

1.1 はじめに

2020年10月20日(火)16時40分頃、宮崎県延岡市の旭化成エレクトロニクス株式会社(旭化成株式会社の100%子会社)の半導体製造工場(生産センター第二製造部、以下「FAB2半導体製造工場(旭化成マイクロシステム株式会社)」)において、火災事故が発生した。

旭化成エレクトロニクス株式会社(以下、「旭化成エレクトロニクス(株)」)は、火災発生当日の10月20日に火災対策本部(本部長:旭化成エレクトロニクス(株)社長執行役員)を設置し、火災事故の対策業務にあたった。

旭化成株式会社(以下、「旭化成(株)」)および旭化成エレクトロニクス(株)は、本火災事故の原因究明と再発防止策の策定を主な目的として、同年11月6日に旭化成エレクトロニクス(株)生産センター第二製造部半導体製造工場火災事故調査委員会(以下、「事故調査委員会」)および火災事故対策委員会(以下、「事故対策委員会」)ならびに翌年2月4日に火災事故調査部会(以下、「事故調査部会」)を設置した。

事故調査委員会、事故対策委員会および事故調査部会は、約10カ月にわたり、計13回の事故調査委員会、計6回の事故対策委員会および計11回の事故調査部会を開催し、事故現場の検証をはじめ、各種実験データや解析結果、並びに記録類を含む関係書類や証言について検証を行い、本火災事故の原因究明と再発防止策の検討を進めてきた。

その結果、当委員会および部会は、本火災事故における火災原因の特定には至らなかったが、本火災事故の出火原因および延焼原因を推定し、再発防止策をまとめるに至ったことから、本火災事故調査報告書をもって報告を行うものとする。

1.2 各委員会および部会の目的と構成

1.2.1 事故調査委員会

本火災事故の詳細な事実関係の調査および原因究明を主な目的として、旭化成エレクトロニクス(株)社長執行役員を委員長として、以下の構成メンバーからなる事故調査委員会を設置した。

委員長

本多 英司 旭化成エレクトロニクス(株) 代表取締役 社長執行役員

委員

川田 泉 旭化成エレクトロニクス(株) 取締役 常務執行役員 企画管理部長
柴田 佳彦 旭化成エレクトロニクス(株) 生産センター長
荒木 俊司 旭化成エレクトロニクス(株) 生産センター 担当部長

磯崎 晃宏	旭化成エレクトロニクス（株）	生産センター	設備エンジニアリング部長
中島 玲司	旭化成マイクロシステム（株）	代表取締役社長	延岡事業所長
堀江 俊保	旭化成（株）	上席執行役員（総務・法務担当）	
友清 正博	旭化成（株）	上席理事	延岡支社次長
八尋 修二	旭化成（株）	理事	環境安全部長
大野 茂	旭化成（株）	延岡支社	環境安全部長
名井 一展	旭化成（株）	延岡支社	企画管理部 企画グループ長

事務局

徳田 紀子	旭化成エレクトロニクス(株)	企画管理部	法務・コンプライアンス室長
松本 敏明	旭化成エレクトロニクス(株)	企画管理部	事業企画室 生産事業企画グループ長

1.2.2 事故対策委員会

旭化成グループで再発防止に取り組むための全体方針の策定を主な目的として、旭化成（株）副社長執行役員を委員長として、以下の構成メンバーからなる事故対策委員会を設置した。

委員長

高山 茂樹	旭化成（株）	代表取締役	副社長執行役員
-------	--------	-------	---------

委員

本多 英司	旭化成エレクトロニクス(株)	代表取締役	社長執行役員
末次 稔	旭化成（株）	上席執行役員	延岡支社長
河野 龍次	旭化成（株）	上席執行役員	生産技術本部長
川瀬 正嗣	旭化成（株）	上席執行役員	製造統括本部長
岡田 慎一	旭化成（株）	上席理事	生産技術本部 副本部長
友浦 誠一郎	旭化成（株）	上席理事	生産技術本部 設備技術センター長
八尋 修二	旭化成（株）	理事	環境安全部長

1.2.3 事故調査部会

事故調査部会では、2021年2月4日の警察の現場保存解除を受け、事故調査委員会の下部組織として本火災事故の詳細な事実関係の調査および原因究明を行った。構成メンバーは以下の通りとした。

部会長

川田 泉	旭化成エレクトロニクス（株）	取締役	常務執行役員	企画管理部長
------	----------------	-----	--------	--------

部会メンバー

柴田 佳彦	旭化成エレクトロニクス（株）	生産センター長
荒木 俊司	旭化成エレクトロニクス（株）	生産センター 担当部長

磯崎 晃宏	旭化成エレクトロニクス(株)	生産センター	設備エンジニアリング部長
小島 隆	旭化成エレクトロニクス(株)	生産センター	設備エンジニアリング部 生産設備課
中島 玲司	旭化成マイクロシステム(株)	代表取締役社長	延岡事業所長
山本 省三	旭化成マイクロシステム(株)	延岡事業所	ウエハ製造課長
渡邊 弘貴	旭化成マイクロシステム(株)	延岡事業所	環境安全課長
友清 正博	旭化成(株)	上席理事	延岡支社次長
大野 茂	旭化成(株)	延岡支社	環境安全部長
曾根 辰夫	旭化成(株)	環境安全部	保安防災グループ長
名井 一展	旭化成(株)	延岡支社	企画管理部 企画グループ長
金子 和史	旭化成(株)	生産技術本部エンジニアリングセンター	延岡エンジニアリング部
福原 恵	旭化成(株)	生産技術本部エンジニアリングセンター	延岡エンジニアリング部
児島 博	旭化成(株)	生産技術本部エンジニアリングセンター	電気技術部(延岡駐在)
古見 潔和	旭化成(株)	生産技術本部エンジニアリングセンター	電気技術部(延岡駐在)

事務局

徳田 紀子	旭化成エレクトロニクス(株)	企画管理部	法務・コンプライアンス室長
松本 敏明	旭化成エレクトロニクス(株)	企画管理部	事業企画室 生産事業企画グループ長

1.2.4 各委員会および部会の開催

(1) 事故調査委員会の開催

2020年11月6日から2021年6月14日まで、合計13回

(2) 事故対策委員会の開催

2020年11月6日から2021年8月18日まで、合計6回

(3) 事故調査部会の開催

2021年2月4日から2021年5月28日まで、合計11回

2 事故の概要

2.1 発災事業所および推定発災装置

(1) 発災事業所

宮崎県延岡市中川原町 5-4960

旭化成エレクトロニクス株式会社 生産センター 第二製造部

(旭化成マイクロシステム株式会社 延岡事業所)

敷地面積 63,152 m²

建物面積 11,113 m² (FAB2 工場棟部分)

延床面積 41,821 m² (FAB2 工場棟部分)

クリーンルーム 1 階層 (建屋 4 階) 収容人数 43 名

クリーンルーム 2 階層 (建屋 2 階) 収容人数 61 名

建築構造物の名称 旭化成エレクトロニクス株式会社 第二製造部 FAB 棟

建築物構造 鉄骨造

建築物階数 地上 5 階

用途 工場

(2) 推定発災装置

FAB 棟 4 階クリーンルーム内 半導体ウエハ製造エリアにあるチタン除去装置

2.2 発災日時

2020 年 10 月 20 日 (火) 16 時 40 分頃

2.3 気象状況 (発災日の 10 月 20 日から鎮火宣言発出日の 10 月 24 日まで)

日	天気	平均気圧 (hPa)	合計降水 量(mm)	平均気温 (°C)	最高気温 (°C)	最低気温 (°C)	平均湿度 (%)	平均風速 (m/s)	最大風速 (m/s)	最大風速時 の風向	日照 (時間)
20	晴	1020.9	0	16.9	24.3	12.1	71	2.7	4.1	東北東	9.9
21	晴のち雨	1017.4	0	19.3	23.8	11.9	73	2.5	4.1	東南東	3.0
22	雨	1007.9	165	20.7	23.4	17.8	97	1.5	5.2	東	0.0
23	雨のち晴	1006.5	15	16.6	21.6	10.2	77	2.1	6.4	西南西	7.7
24	晴	1012.5	0	14.4	20.5	9.2	60	3.2	6.3	西南西	10.7

(出所) 国土交通省気象庁の過去気象データ検索

2.4 被害状況

本火災事故による被害は、主に火災発生時の火炎および熱風によるものであった。人的、物的被害の状況および環境・地域への影響は以下の通りである。

2.4.1 人的被害

無し

2.4.2 物的被害

FAB2 工場棟の FAB 棟 4 階クリーンルームにあるウエハ製造エリアにおいて、生産装置、仕掛り製品、付帯設備および各種部材等が広範囲に渡って焼損した。FAB 棟 5 階にも延焼し、事務所、ウエハ検査エリアおよびチップ検査エリアにおいて、検査装置、仕掛り製品、付帯設備および各種部材等が広範囲に渡って焼損した。また 5 階屋根が一部崩落し、消火水や雨水等による階下への水損が発生した。FAB 棟 3 階クリーンルーム床下エリアは、4 階クリーンルームで発生した焼損による落下物等の影響が発生した。FAB 棟 2 階クリーンルームへの延焼はないが、消火水や雨水等による水損が発生し、FAB 棟 1 階クリーンルーム床下エリアも同様であった。

2.4.3 環境・地域への影響

16 時 40 分頃に出火を確認した後、16 時 54 分頃に FAB 棟クリーンルーム内における全ての生産装置へのガス類自動供給を遮断し、16 時 56 分頃に薬液自動供給を遮断したため、自動供給ラインからの多量のガス類、薬液の漏洩はなかった。

本火災事故時に発生した異臭の原因は、塩化水素と推定しており、火災発生当時は、許容濃度（参考値：日本産業衛生学会（2020 年））2.0 ppm に対し、敷地境界内西側で最大 0.8 ppm であった。鎮火後は、検出限界 0.1 ppm 未満で推移している。気中における塩化水素の発生理由として、電気ケーブル等の被覆材である塩化ビニル等の燃焼により発生したと推定している。また、FAB 棟 3 階クリーンルーム床下エリアの水溜まりからふっ化水素が検出された。液中におけるふっ化水素の発生理由として、ふっ酸洗浄装置の焼損により、槽内のふっ酸が建屋内の一部の水溜まりで検出されたと推定している。なお、気中におけるふっ化水素濃度は、検出限界 0.1 ppm 未満で推移している。その他の環境への影響として、火災現場でダイオキシン類を確認している。ダイオキシン類の発生理由として、塩化ビニル等の燃焼が要因であると推定している。なお、ダイオキシン類の敷地境界付近の大気および土壌における濃度は、環境基準を満たしており、建屋内排水は外部処理場で処分し、建屋外排水は浄化して排出している。

2.5 事故後の状況

10 月 23 日 9 時 15 分に鎮圧、翌 10 月 24 日 12 時 25 分に鎮火宣言が延岡市消防本部により発出された。その後、警察および消防により、建屋の強度確認等と並行して現場検証が実施された。2021 年 2 月 4 日に警察による現場保存が解除されたが、捜査は継続中である。

旭化成（株）および旭化成エレクトロニクス（株）では、2 月 4 日の現場保存解除を受け、被災工場内

での本火災事故の原因調査を開始した。

現時点では、FAB2 半導体製造工場の復旧の目途は立っていないが、5 階屋根の一部崩落等の損傷が激しく、万が一においての周辺地域の影響を考え、関係各所の了解を得て、瓦礫撤去等の工事を 4 月中旬より開始した。

環境への影響については、引き続き測定および経過観察を続けており、延岡市ならびに延岡保健所へ都度、報告を行っている。周辺地域への影響については、今後も経過を観察するとともに、行政当局、警察および消防のご指導・ご協力を仰ぎながら随時必要な措置を講じていく。

3 発災事業所および推定発災装置の概要

3.1 発災事業所の概要

旭化成エレクトロニクス（株）は、LSI（大規模集積回路）の開発（設計）・生産・販売を行っており、一部製品を発災事業所である FAB2 半導体製造工場で生産している。FAB2 半導体製造工場は、宮崎県延岡市の北部に位置する敷地面積約 63,000 m²の事業所であり、1993 年 10 月操業以来、車載、産機、民生および住設分野におけるオーディオ用半導体 LSI や高周波半導体 LSI 等の半導体製造を行っている。FAB2 半導体製造工場の所在地を図 1 および図 2 に示す。



図 1 FAB2 半導体製造工場の所在地

※国土地理院の地理院地図を加工して作成

出所：国土地理院ウェブサイト (<https://www.gsi.go.jp/>)



図2 FAB2 半導体製造工場の所在地（航空写真）

FAB2 半導体製造工場における主な生産活動は、ウエハ製造工程、ウエハ検査工程およびチップ検査工程があり、クリーンルーム内で半導体ウエハ製造を行っている。クリーンルームは、1階層（建屋1階と2階）と2階層（建屋3階と4階）の2区画あり、クリーンルーム面積は、それぞれ約4500 m²で、清浄度の設計条件は、微小な塵埃が1個/cf以下（0.5 μm以上の粒子を基準とする米国連邦空気清浄度基準209Eでは、Class1相当。0.1 μm以上の粒子を基準とするISO14644-1では、ISO 2相当。cf=立方フィート）で、主な対応する線幅プロセスは、0.18 μm、0.35 μm、0.5 μmである。

火災が発生した場所は、ウエハ製造工程があるクリーンルーム内で、敷地西側に位置するFAB棟4階である。FAB2 半導体製造工場全体概略図を図3、FAB2 半導体製造工場全体写真（航空写真）を図4に示す。

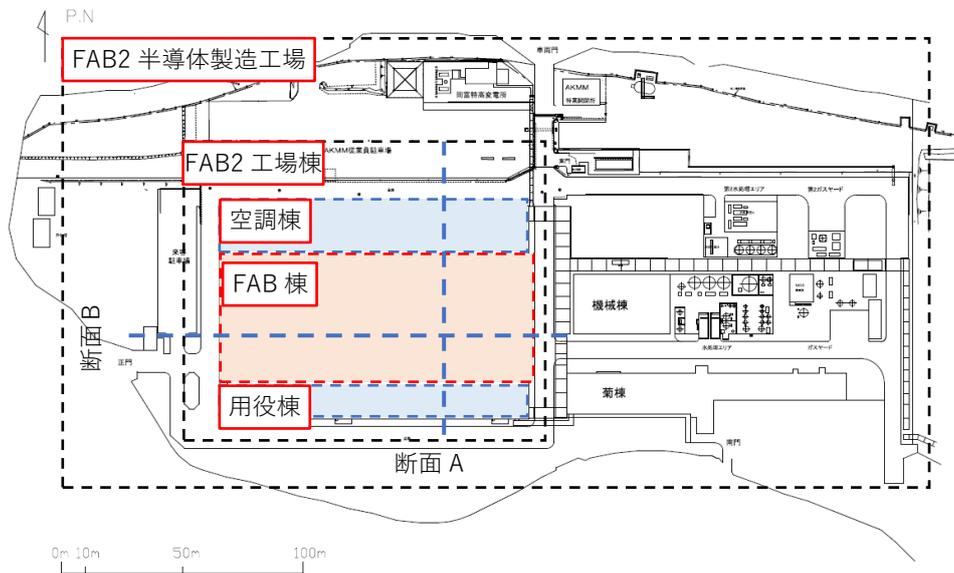


図 3 FAB2 半導体製造工場全体概略図

※赤破線の部分が FAB 棟を示す。

※青破線の部分が図 5 の断面 A と断面 B を示す



図 4 FAB2 半導体製造工場全体写真（航空写真）

※赤破線の部分が FAB 棟を示す。

FAB2 工場棟は、地上 5 階建てで、FAB 棟を含む空調棟と用役棟で構成されており、各々の建物は、エキスパンションで接続されている。建屋 5 階構造の南北断面（断面 A）および東西断面（断面 B）を図

5に示す。

クリーンルームは、1階層（建屋1階と2階）と2階層（建屋3階と4階）の2区画がある。建屋2階と4階には、ウエハ製造工程の生産装置が設置されており、ウエハ製造プロセスを実施する「ウエハ製造エリア」がある。建屋1階と3階には、生産装置の補機や用役設備が付設されている「床下エリア」がある。

ウエハ製造エリアと床下エリアは、グレーチングという硬質の格子状の構造材の床で仕切られており、建築上、吹き抜け扱いとなっている。半導体製造工場のクリーンルーム清浄度を維持するため、ウエハ製造エリア天井の送風ユニットFFU(Fan Filter Unit)と、塵埃などを取り除くためのHEPA(High Efficiency Particulate Air Filter)を通してダウンフロー気流を生成し、グレーチングを介して床下エリアに送風し、塵埃を抑制する構造をとっている。

さらに、建屋2階には製品倉庫、建屋4階と5階に事務所があり、また建屋5階には、主な生産活動エリアとして、ウエハ製造工程で完成したウエハの電気特性検査を実施する「ウエハ検査エリア」と、個片化およびアSEMBリ後のチップの電気特性検査を実施する「チップ検査エリア」がある。

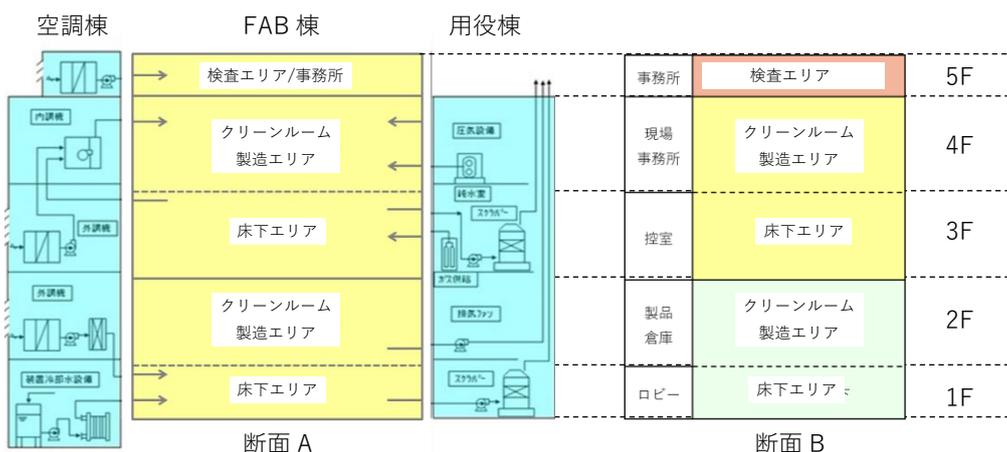


図5 FAB2工場棟断面図

FAB棟4階クリーンルームのウエハ製造エリアを図6に示す。ウエハ製造エリアは、防火区画ごとにAゾーン、Bゾーン、Cゾーン（赤枠表示部）に区分されている。クリーンルーム従業員は、西側正面にあるクリーンルームパネル室（以下、CP室）と呼ばれるクリーンルーム管理事務所で事務業務を行い、クリーンルーム作業時は、更衣室にてクリーン服を着用後、エアシャワー室（紫色表示部）でクリーン服の付着塵埃を除去する。クリーンルームに入室するためにアクセスエリア（赤色表示部）から自動ドアを通り、中央通路（青色表示部）から各ベイ（作業エリア）（緑色表示部）にて生産活動を行う。なお、装置はメンテナンスエリアに設置されており、従業員は、作業エリアより製品取扱いおよび装置の運転を行う。



図6 4階クリーンルームの平面図

- 【a】 発災前の FAB2 工場棟の航空写真
- 【b】 発災前の FAB2 工場棟の写真（西側正面玄関より撮影）※青表示部が4階クリーンルーム
- 【c】 発災前の4階クリーンルームエリアの中央通路写真（西側正面入口より撮影）

3.2 ウェハ製造工程の概要

半導体の製造工程は、半導体ウェハ表面に多数のトランジスタや配線等の電気回路を形成する工程と完成したウェハをダイシングしてチップに切り出し、モールドして組立てる工程に大別される。旭化成エレクトロニクス（株）の FAB2 半導体製造工場では、ウェハ製造とウェハ検査、ならびにチップ検査を

実施している。半導体製造工程の概略図を図7に示す。

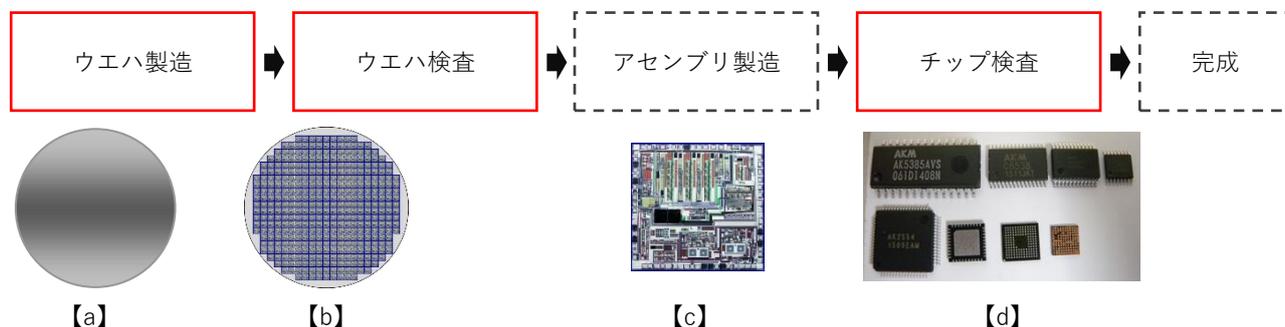


図7 半導体製造工程の概略図

- 【a】 加工前のウエハ基板（例：シリコン基板）
- 【b】 ウエハ製造工程にて回路形成加工したウエハ基板
- 【c】 アセンブリ製造工程にてダイシングして個片化されたチップ
- 【d】 個片化チップをモールド樹脂で封止した完成品

※赤枠実線の「ウエハ製造」、「ウエハ検査」、「チップ検査」を FAB2 工場棟で実施している。

ウエハ製造工程とは、シリコン (Si) 基板等に下記の要素工程を繰り返し実施することで、トランジスタ、抵抗およびキャパシタ等の電気回路からなる素子層を形成した後に配線層の電極配線を形成するプロセスを指す。

- ① 成膜工程：ウエハ基板の上に薄膜を成膜する。
- ② リソグラフィ工程：レジスト塗布・露光・現像を実施し、それぞれの半導体素子パターンをレジストにて形成する。
- ③ エッチング工程：リソグラフィ要素工程で形成したレジストパターンに合わせて、成膜された薄膜をエッチングしてパターンを形成する。
- ④ 酸化拡散工程：ウエハ基板等に不純物を添加して、p 型・n 型半導体領域を形成する。

トランジスタ層の形成フロー概要を図8に示す。配線層の形成フロー概要を図9に示す。

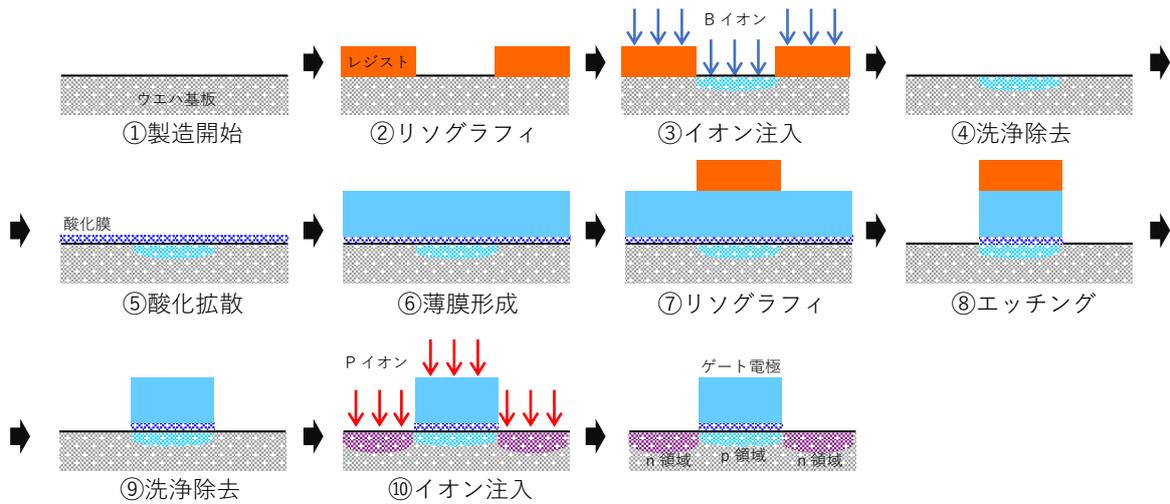


図8 トランジスタ層の形成フロー概要

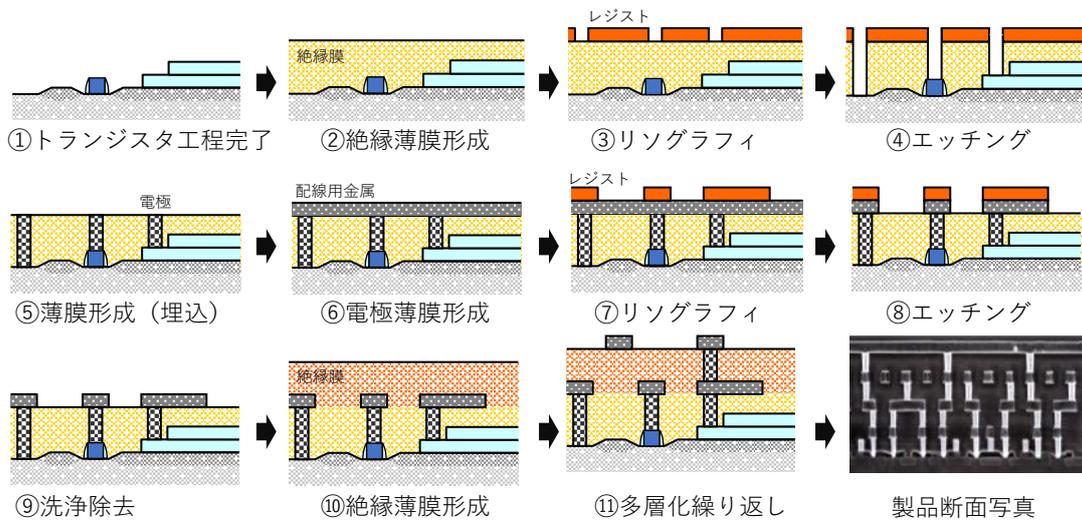


図9 電極配線層の形成フロー概要

3.3 推定発災製造工程の概要

ウエハ製造工程で加工されたトランジスタ、抵抗、キャパシタ等の素子層（図8）と配線層の電極配線工程（図9）の接合部分の抵抗値を下げるために、シリサイドと呼ばれる金属とシリコン(Si)の合金化層を形成する製造工程がある。旭化成エレクトロニクス(株)のFAB2半導体製造工場では、一部製品プロセスにおいて、シリサイドの金属にチタンを使用する。シリサイド工程のプロセスフロー概要を下記に記す（図10）。

- ① 熱酸化膜形成工程にて、選択的シリサイド化のための保護酸化膜を形成する。
- ② リソグラフィ工程、エッチング工程および洗浄工程にて、保護酸化膜のパターンを形成する。
- ③ 薄膜形成工程にて、チタン膜を成膜する。
- ④ 熱拡散工程にて、チタン膜と多結晶シリコン表層上にシリサイド層（合金層）を形成する。
- ⑤ 除去工程にて、シリサイド層が形成されない保護酸化膜上の未反応チタンを除去する。

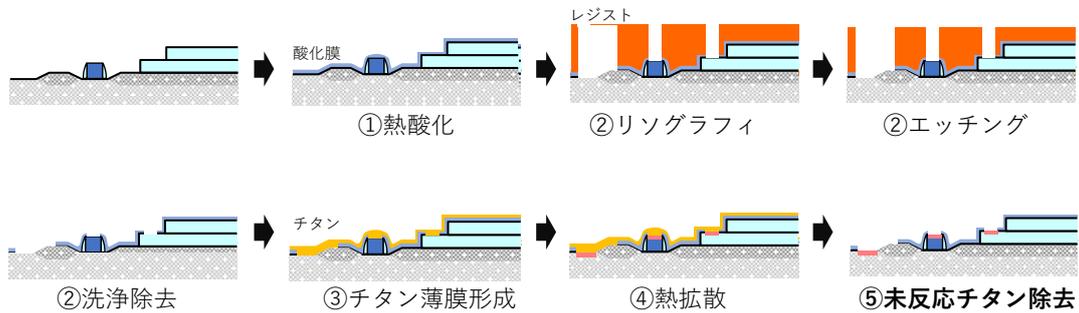


図 10 シリサイド工程のプロセスフロー概要

このうち、「⑤未反応チタン除去」工程の装置から発災した可能性があると推定している（詳細は【5 火災原因の調査】に記述）。未反応チタン除去工程は、水酸化アンモニウム（ NH_4OH ：濃度 29%）：過酸化水素（ H_2O_2 ：濃度 31%）：水（ H_2O ）=1：1：5（体積比）で混合した NH_4OH 濃度 4.5%と H_2O_2 濃度 6.0%の混合水溶液を温度 30 °C一定にして未反応チタンを除去する。その後、180 °Cのヒーターで加温された窒素（ N_2 ）環境下でウエハをスピン乾燥させる。

3.4 推定発災装置の概要

発災装置は、目撃証言および装置薬液供給信号から未反応チタン除去用装置「スプレー式酸・アルカリ洗浄装置（以下、「SF6-3）」であると推定している（詳細は【5 火災原因の調査】に記述）。SF6-3は、FAB棟4階クリーンルームにおけるウエハ製造エリアの1ベイメンテナンスエリアに設置されている。FAB棟4階クリーンルームの推定発災装置付近の装置配置図を図6に示す。1ベイは、クリーンルーム区画Aゾーンの北西側の中央通路入口付近に位置し、SF6-3は、1ベイの入口より約10m奥のベイ奥方向に向かって左側に位置する。

SF6-3は、ウエハ製造工程において、水酸化アンモニウムと過酸化水素の混合水溶液によるチタン除去・洗浄等の処理を行い、純水洗浄およびスピン乾燥を行うための、8インチ（200mm）ウエハ用バッチ式全自動処理装置である。仕様書上では、外形寸法は縦177.8cm・横193.0cm・奥行91.5cm、装置

重量は 1,043kg、本体材質は、外装部が難燃性乳白色ポリプロピレン、フレーム部がステンレススチールの仕様で、主要構成材料は PVC（ポリ塩化ビニル）、PFA（パーフルオロアルコキシアルカン）、PTFE（ポリテトラフルオロエチレン）、PP（ポリプロピレン）および SUS（ステンレス鋼）である。

未反応チタン除去工程における装置動作について述べる。指定されたレシピに従い、装置内のタンクから水酸化アンモニウムと過酸化水素の混合水溶液がポンプによりチャンバ処理室内に供給される。専用キャリア内にウエハを格納したウエハ格納済みキャリアは、自動開閉式のドアよりチャンバ内のローターに装填され、回転させながら薬液をスプレー噴射してチタン除去処理を行う。純水によるリンス処理を行った後、窒素ブローによるスピン乾燥を行い、チタン除去工程を完了させる。SF6-3 の概略図を **図 11** に示す。

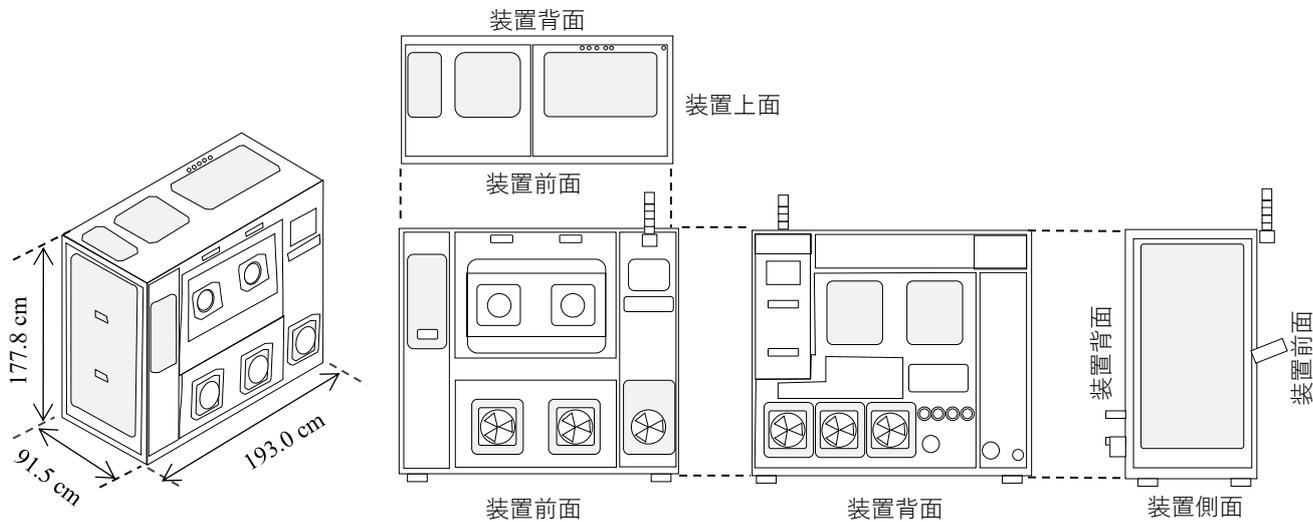


図 11 SF6-3 の概略図

3.5 発災事業所の組織体制および運転体制

旭化成エレクトロニクス(株)生産センター第二製造部は、同社の 100%子会社である旭化成マイクロシステム株式会社に FAB2 半導体製造工場における半導体製造を委託している。FAB2 半導体製造工場における旭化成マイクロシステム株式会社の組織体制およびウエハ製造を担当しているウエハ製造課の組織体制について **図 12** に示す。FAB2 半導体製造工場は、役割に応じて、計 10 課の組織があり、429 名（20 年 9 月時点。請負会社の従業員数除く）が業務に従事している。そのうち、ウエハ製造の運転および装置保全に従事している組織が、ウエハ製造課である。ウエハ製造課では、24 時間連続運転を行うため、A, B, C, D 組の 4 組 3 交替勤務体制を取っており、日勤 47 名、4 組 3 交替 92 名の計 139 名（20 年 9 月時点。請負会社の従業員数除く）が業務に従事している。なお発災日時 10 月 20 日 16 時 40 分頃は、日勤勤務者および B 組勤務者が FAB 棟 4 階クリーンルームのウエハ製造エリアで勤務中であつた。ウエハ製造課では、ウエハ製造課長のもと、4 グループの組織に分かれ、ウエハ製造の運転および装置保全等

の製造関連業務の運営および管理を行っている。

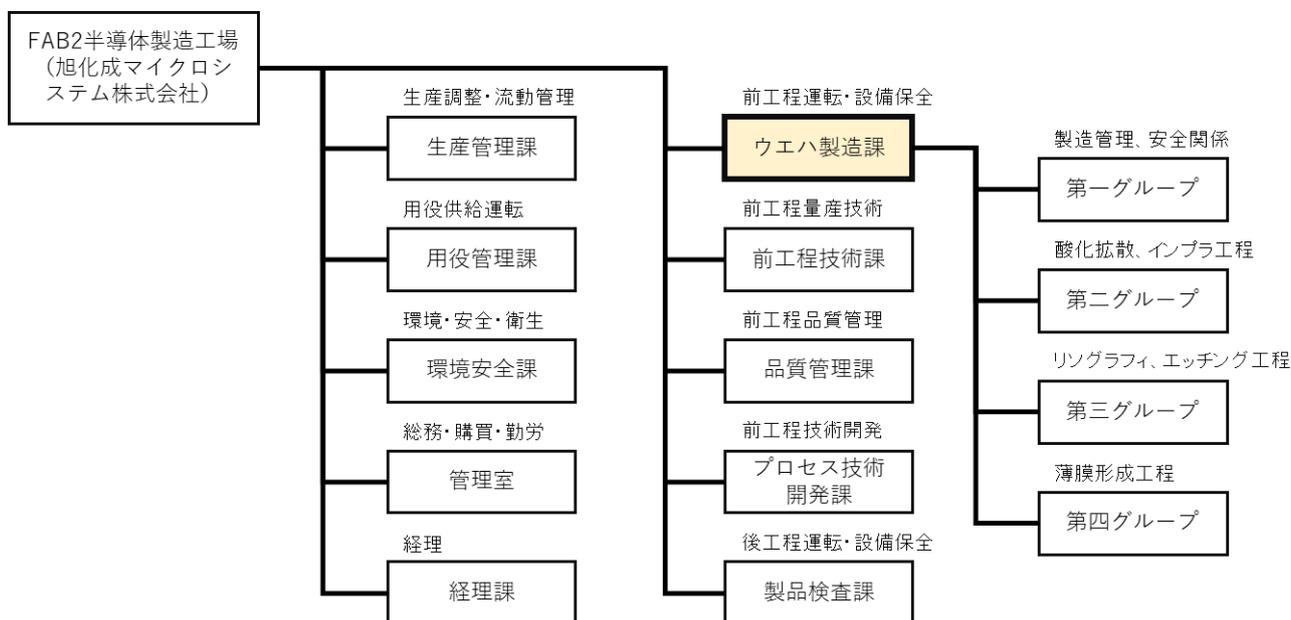


図 12 FAB2 半導体製造工場（旭化成マイクロシステム株式会社）の組織体制およびウエハ製造課の組織体制

3.6 発災事業所の防災内規および防災体制

FAB2 半導体製造工場では、防災活動を効果的に行うために防災内規を策定し、手順を定めている。防災内規の適用範囲は、事業活動および自然災害における環境汚染事故（大気汚染、水質汚濁、悪臭、騒音、振動等によって、人の健康または生活環境に被害が生じること）の発生、産業事故（火災、爆発、その他の事故による人的、物的、環境への被害が生じること）の発生、労働災害（業務に起因して従業員が負傷・健康障害および疾病等の被害を生じること）の発生およびそれぞれの発生の危険性が増大した場合である。本火災事故は、産業事故に該当するため、防災内規に従い、緊急事態発生時の対応および防災活動を遂行することとなっている。

防災内規は、緊急事態への準備、緊急事態発生時の対応、防災活動内容、事後対応に区分されている。代表的な項目について述べる。

緊急事態への準備

- (1) 緊急時通報連絡系統図の維持管理
- (2) 防災本部、自衛消防隊、防災隊の編成
- (3) 当直体制の維持と従業員および協力企業への入門教育
- (4) 防火管理体制の維持と各社内組織への周知徹底

(5) 防災訓練

緊急事態への対応能力を維持向上させるため、防災訓練を下記の実施要領に従い実施。

- ・総合防災訓練（1回／年以上実施）
- ・交代部署の夜間休日防災訓練（組ごとに2回／年以上実施）
- ・初期消火隊の定期消防訓練（分隊ごとに2回／年以上実施）

緊急事態発生時の対応

(1) 発見者の対応（0次通報）

「緊急通報要領」に従って、緊急通報を行う。火災時は、

1. 発見者は大声で周囲の人に知らせ、近くの火災報知機のボタンを押す。
2. 発見者はパネル室へ連絡する。応援者は、近くの消火器で初期消火し（消火器2本まで）消火不能の場合は避難する。
3. パネル室は直ちに消防ホットラインで消防署と警察署に通報する。

(2) 各部課防災隊（地区防災班）の初期活動開始

(3) 場内放送による連絡

(4) 防災班長への連絡

(5) 防災本部員の夜間休日一斉呼出（夜間休日に緊急事態が発生した時）

(6) 課内連絡網による緊急呼出

(7) 社内外関係先への通報連絡

- ・自衛消防隊長は、必要な関係先への連絡を行う。地域住民への影響が懸念される場合は、連絡を確実に実施する。

防災本部活動

(1) 防災本部（自衛消防隊）活動の開始

- ・防災本部（自衛消防隊）活動の開始

(2) 初期消火隊による延焼防止、消火活動

- ・初期消火隊の構成員は、火災報知器、場内放送、緊急呼出等により火災情報を認知したら、発災現場に出動し、公設消防隊到着までの「延焼防止」「消火」活動を遂行する。

(3) 公設消防隊の誘導と技術説明

- ・防災本部初期消火隊および地区防災班は、公設消防隊が到着するまでは、防災活動を遂行し、従業員の安全確保と災害の鎮圧に努める。

・本部長、または自衛消防隊長は、公設消防隊の誘導と技術説明のために本部安全防護隊長を通じ、公設消防隊に「警防計画書（公設消防隊への技術説明資料）」を提示しながら、適切に現場の状況ならびに施設の配置等を説明する。

・公設消防隊到着後は、防災本部、各初期消火隊および各部課防災隊は、公設消防隊の配下に入り、公設消防隊の指示・命令に従う。

防災体制についても同様に防災内規に定められており、各組織の担当、責任と権限および任務について規定している。FAB2 半導体製造工場の本部防災組織図および地区防災組織図を図 13 に示す。

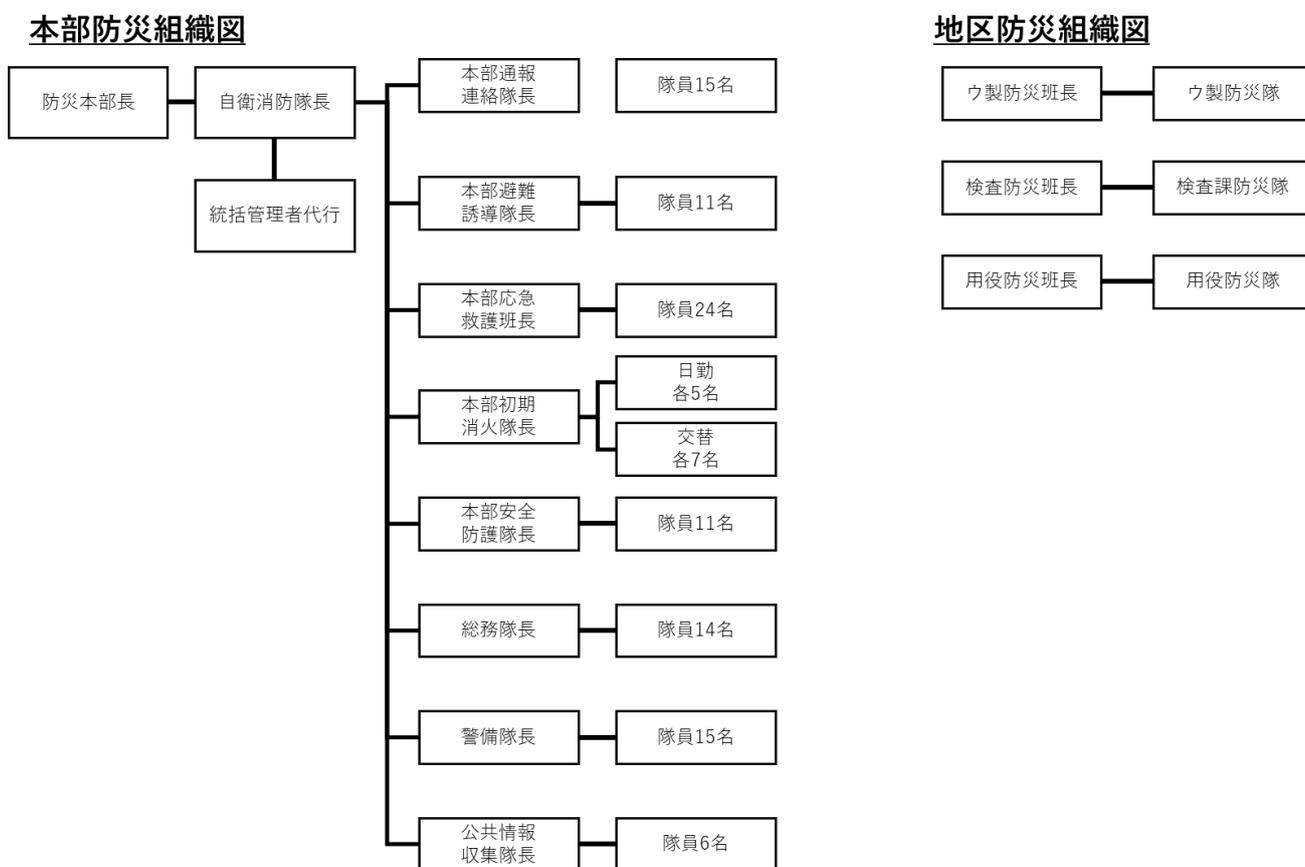


図 13 FAB2 半導体製造工場（旭化成マイクロシステム株式会社）の本部防災組織図および地区防災組織図

4 事故の発生状況

4.1 火災に至る過程

火災に至る過程として、10月19日および20日当時の発災装置の運転状況と、発災から鎮火に至るまでの時系列について述べる。当日、推定発災装置は、工事や保全等は行っておらず、また発災の予知および予見と認知できるような兆候はなかった。火災発生時の時系列情報を下記に示す。なお、時系列情報の時刻は、各管理機器や撮影機器等が示した時刻との誤差を確認し、補正した時刻を表している。

4.1.1 時系列情報

前日からの推定発災装置の運転履歴から、発災および鎮火に至る時系列経緯を下記の表1に示す。

日時	場所	事象	内容
10月19日 23時16分	FAB棟4階 クリーンルーム	作業開始システム入力	SF6-3でのチタン除去工程の開始作業
23時58分	同上	作業終了システム入力	SF6-3でのチタン除去工程の終了作業
10月20日 15時13分	同上	作業開始システム入力	SF6-3でのチタン除去工程の開始作業
15時55分頃	同上	作業終了(推定)	SF6-3でのチタン除去工程終了(推定)。 *システム入力前のため履歴無し
16時39分頃	同上	異常感知	A社員が、4Fクリーンルーム入室のためにクリーン服に着替え、エアシャワー室に入ったときに、異臭を感じた。エアシャワー室を出たときに、異臭が強くなっており、視界にうっすらと白い霧(もや)を感じた。すぐにCP室(クリーンルームパネル室)の職責者に連絡
16時40分頃	同上	出火確認	A社員が、アクセスエリアとクリーンルームエリアの間にある自動ドアの隙間から1ベイメンテナンスエリアでの出火を確認
16時41分頃	同上	ゼロ次通報実行	消防ホットライン(自動連絡ボタンを押す)で0次通報実施
	同上	1次避難指示放送	クリーンルーム内従業員へ1次避難指示
	同上	火報鳴動	1ベイメンテナンスエリアにある2種光電式煙感知器が検知しベル鳴動
	同上	1次避難開始	クリーンルームより退出し、CP室へ一斉避難開始
16時42分頃	FAB棟5階事務所	全館一斉避難指示	ウエハ製造課より報告を受け、環境安全課長より全館一斉屋外避難指示
	工場全体	全員屋外避難開始	避難指示を受け屋外へ全員避難開始
16時43分頃	FAB棟4階CP室	初期消火断念	火勢が大きく、煙と熱が徐々に増しており、初期消火不可と判断
16時48分頃	同上	1次避難完了	CP室にて1次避難点呼完了

日時	場所	事象	内容
16時49分頃	同上	2次避難開始	CP室から屋外へ一斉避難を開始
	同上	公設消防隊到着	4階クリーンルーム入口へ公設消防隊が到着
16時54分頃	機械棟	特殊材料ガス停止	クリーンルーム内全台装置へのガス類供給を遮断
	同上	酸素供給停止	酸素主遮断弁閉
16時55分頃	同上	水素供給停止	水素主遮断弁閉
16時56分頃	同上	薬液供給停止	クリーンルーム内全台装置への薬液供給を遮断
16時57分頃	同上	LPG遮断	LPG主遮断弁閉
16時57分頃	屋外避難場所	公設消防への説明	公設消防の現場指揮本部にて発災場所詳細について説明。公設消防による火災状況確認が継続して行われる。
16時58分頃	FAB2工場棟	火災状況	排煙設備の屋上排煙口から煙の排出を確認
17時00分頃	屋外避難場所	2次避難完了	全従業員の屋外避難が完了（出火確認から20分後）
17時18分頃	FAB棟排煙ダクト	消火活動	FAB棟屋上排煙ダクトへの放水開始
18時51分頃	FAB棟南側	消火活動	FAB棟南側への放水開始
		火災状況	火勢状況が強くなる。公設消防によりFAB棟4階南側からの消火活動を実施するも、熱風と濃煙により4階クリーンルーム状況が把握できず
	FAB2工場棟	消火活動	公設消防による消火活動継続
10月21日 14時20分頃	用役棟の特殊材料ガス保管室	延焼防止活動	モノシラン等の可燃性ガスを有する特殊材料ガス保管室内へ冷却放水
15時05分頃	FAB棟東側	消火活動	FAB棟東側への放水開始
10月22日 01時40分頃	FAB棟屋上南側	火災状況	FAB棟5階および屋上南側より出火を確認（5階への延焼を確認した。）
02時14分頃	FAB棟西側事務所	火災状況	FAB棟5階西側事務所より出火を確認
02時59分頃	FAB棟屋上北側	火災状況	FAB棟5階および屋上北側より出火を確認
		火災状況	公設消防の継続的な消火活動により、火勢状況が弱まる
10月23日 09時15分	FAB2工場棟	公設消防鎮圧宣言	延焼可能性無しとの判断から鎮圧宣言が出される
10月24日 12時25分	FAB2工場棟	公設消防鎮火宣言	棟内24時間温度測定と現場確認により、残火無しとの判断から鎮火宣言が出される

表1 火災発生時の時系列情報

4.1.2 事故の進展状況

(1) 出火状況

10月20日16時40分頃にA社員が、アクセスエリアとクリーンルームエリアの間にある自動ドアの隙間から、1ベイメンテナンスエリアでの出火を確認した。16時41分頃にクリーンルーム横の見学者通路から一次避難時に出火を確認した複数の目撃証言によると、SF6-1もしくはSF6-3の上部から2～3m程度の炎を確認した。クリーンルーム横の見学者通路から確認したときの見学者通路と1ベイメンテナンスエリアにある装置の位置関係および視認状態の再現概略図を図14に示す。

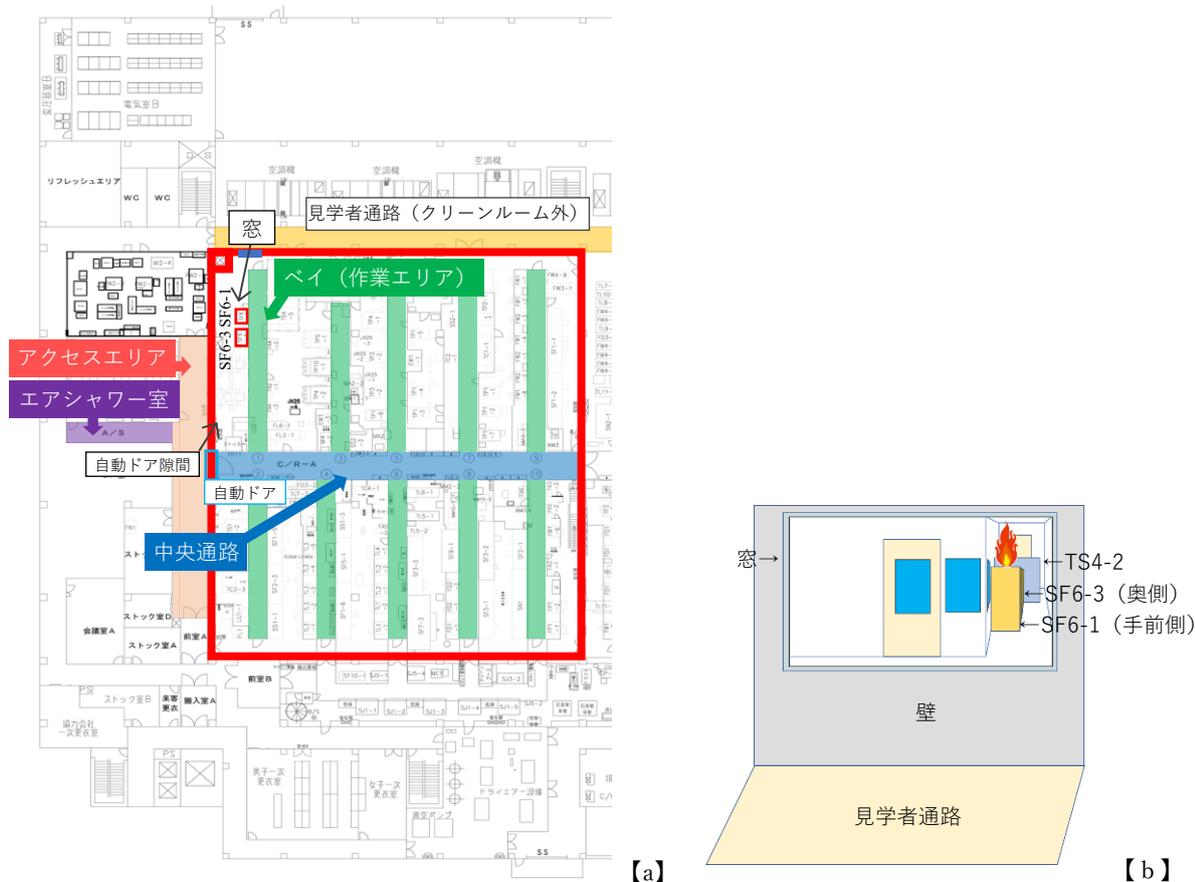


図 14 クリーンルーム横の見学者通路からの目撃証言の概略図

- 【a】 見学者通路と 1 ベイメンテナンスエリアにある装置の位置関係
- 【b】 見学者通路から確認したときの視認状態の再現概略図

(2) 延焼状況 (FAB 棟 4 階クリーンルーム内)

16 時 40 分頃の出火確認以降の延焼状況をクリーンルーム温度履歴より推定した。FAB 棟 4 階クリーンルーム内には計 29 個の温度センサーが設置されており、検出限界温度は 40 °C 付近である。本データを時系列ごとに分析し、可視化した分布図を図 15 に示す。初期値は 23 °C (灰色) とし、最大値を 40 °C (赤色) として表記した。なお、温度が検出限界まで達し、動作不良を起こしたセンサーについては、近傍温度センサーの測定値を利用して補間近似している。センサー間どうしの温度分布については、両端温度センサーの測定値を利用して平滑化して可視化した。出火確認以降の防火区画ごとの温度上昇状況を表 2 に示す。温度履歴より、防火区画内で急速に温度が上昇した可能性がある。詳細については、【5.4 延焼原因の推定】にて述べる。

図番号	日時	ゾーン	経過時間	内容
a	16時40分頃	Aゾーン	出火確認時	温度変化無し。
b	16時43分頃	Aゾーン	出火確認3分後	Aゾーン1ベイで温度上昇を確認。
c	16時45分頃	Aゾーン	出火確認5分後	Aゾーン1ベイ周辺で温度上昇を確認。
d	16時50分頃	Aゾーン	出火確認10分後	Aゾーン1ベイ周辺で40℃以上の温度上昇を確認。
e	17時00分頃	Aゾーン	出火確認20分後	Aゾーン全体で40℃以上の温度上昇を確認。
f	18時00分頃	Bゾーン	出火確認80分後	AゾーンからBゾーンに向かって、温度上昇を確認。
g	19時30分頃	Bゾーン	出火確認170分後	Bゾーン全体で40℃以上の温度上昇を確認。また、Cゾーンで温度上昇を確認。
h	20時32分頃	Cゾーン	出火確認232分後	Cゾーン全体で40℃以上の温度上昇を確認。

表2 出火確認以降の防火区画ごとの温度上昇状況

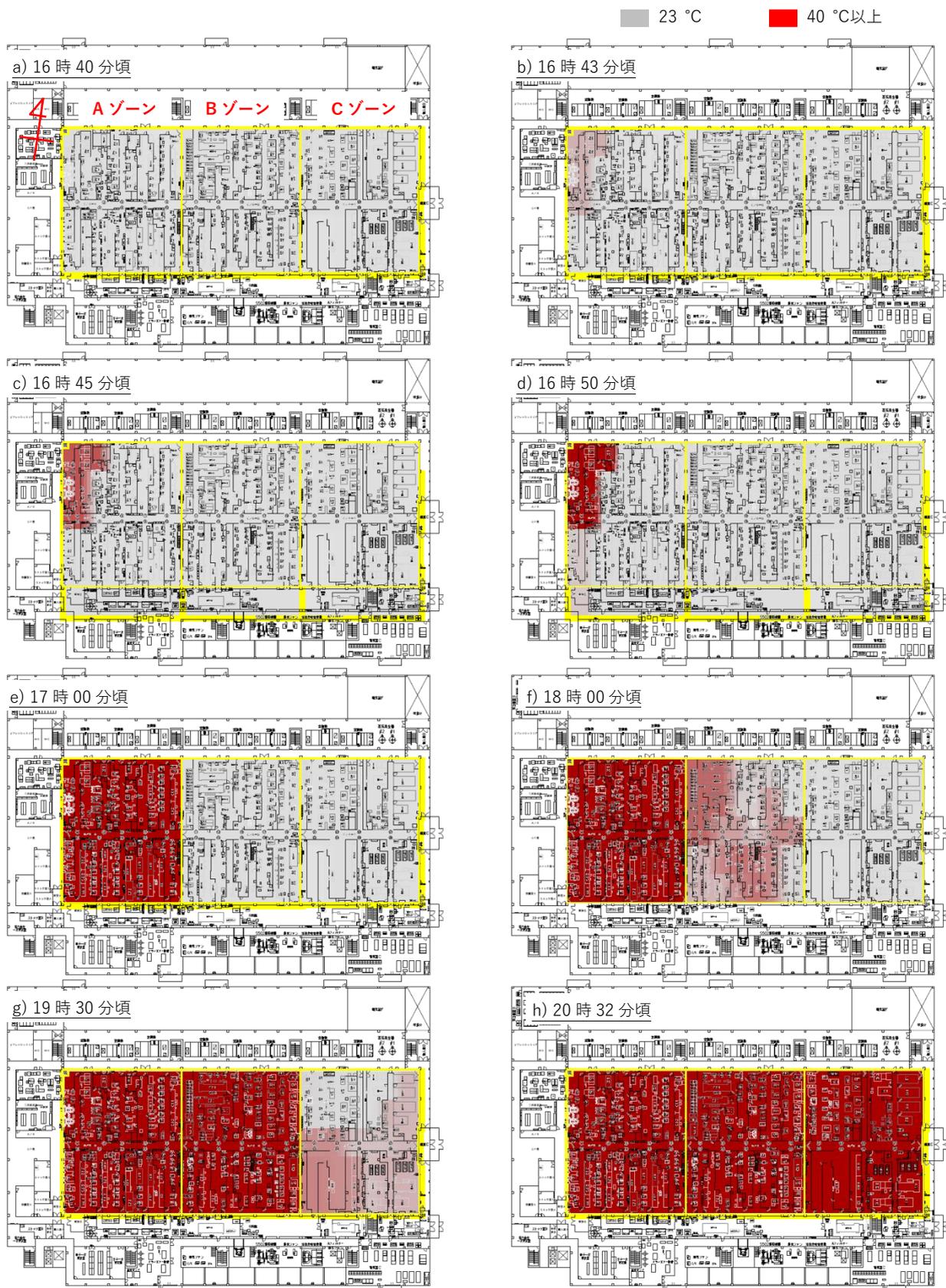


図 15 FAB棟4階クリーンルーム内の温度分布

(3) 延焼状況 (FAB 棟 5 階)

10 月 22 日 01 時 40 分頃に、FAB 棟屋上南側において出火を確認した。その後、02 時 14 分頃に、FAB 棟西側事務所南側に延焼し、事務所北側に燃え広がった。02 時 59 分頃に、FAB 棟屋上北側において出火を確認した。FAB 棟 5 階延焼時の確認写真と時系列関係を **図 16** に示す。



図 16 FAB 棟 5 階延焼時の確認写真と時系列関係

4.2 火災による人的被害

人的被害は発生しなかった。全従業員の避難状況は、下記のとおりである。

16 時 40 分頃に出火確認後、FAB 棟 4 階クリーンルームで勤務していた従業員は、16 時 48 分頃に CP 室にて、一次避難の点呼が完了し、16 時 49 分頃に屋外へ一斉避難を開始した。一方、FAB 棟 4 階クリーンルーム以外で勤務していた他全従業員は、火災発生を受け、16 時 42 分頃に屋外へ全館一斉避難を開始した。全従業員は、17 時 00 分頃に屋外避難場所への 2 次避難が完了した (出火確認から 20 分後)。

4.3 火災による物的被害

FAB2 工場棟の FAB 棟 4 階クリーンルームにあるウエハ製造エリアにおいて、生産装置、仕掛け製品、付帯設備および各種部材等が広範囲に渡って焼損した。FAB 棟 5 階にも延焼し、事務所、ウエハ検査エリアおよびチップ検査エリアにおいて、検査装置、仕掛け製品、付帯設備および各種部材等が広範囲に渡って焼損した。また 5 階屋根が一部崩落し、消火水や雨水等による階下への水損が発生した。なお、工場柵外への延焼しておらず、飛散物等の柵外飛散は確認されなかった。発災前後の FAB2 工場棟の航空写真を **図 17** に示す。



図 17 発災前後の FAB2 半導体製造工場の航空写真

※発災前は 2002 年頃に撮影した画像。発災後は発災直後のドローン画像を 3D 加工した画像

4.3.1 推定発災装置付近および 4 階クリーンルームの被害状況

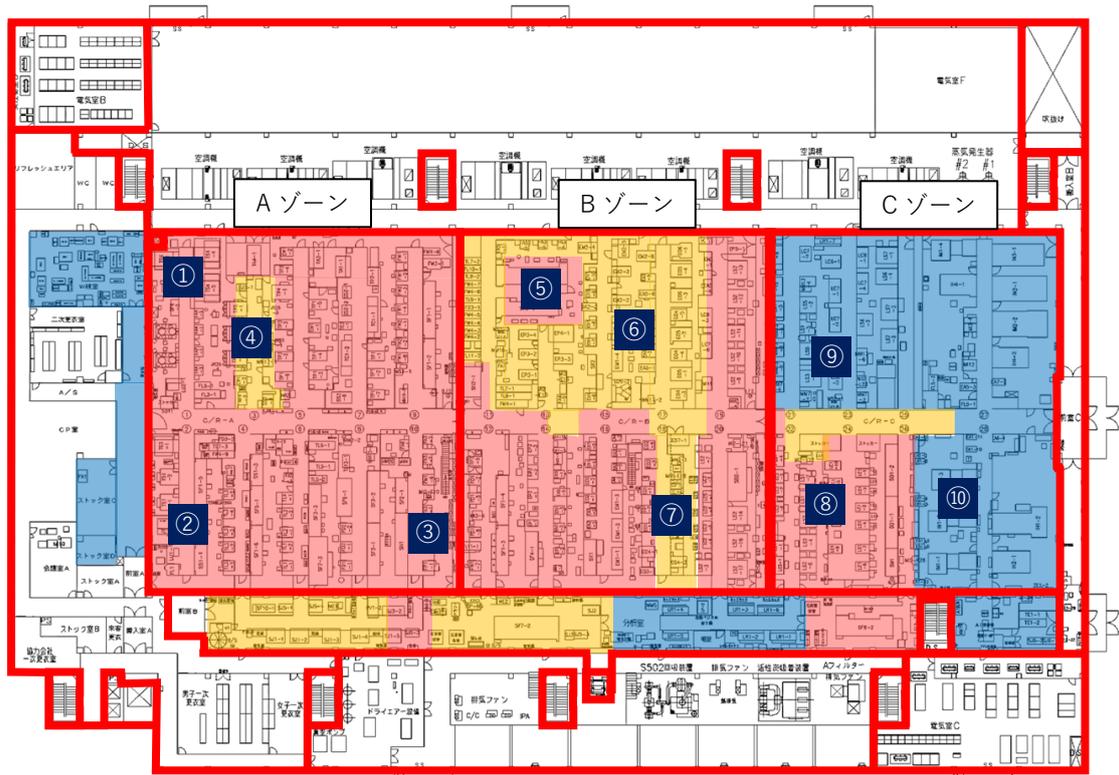
FAB 棟 4 階クリーンルーム 1 ベイメンテナンスエリアにある SF6-3 より発災したと推定しており、ウエハ製造エリアにおいて、生産装置、仕掛り製品、付帯設備および各種部材等が広範囲に渡って焼損した。FAB 棟 4 階クリーンルームの被害状況を図 18 に示す（図 18 に示す現場確認写真は、人の立ち入り可能なエリアは、人が撮影している。一方、人の立ち入りが不可能なエリアは、安全を配慮し、災害用ドローン等で撮影している。）。

防火区画 A ゾーンの被害状況については、室内に清浄化された空気を給気するための、クリーンルーム上部に取り付けられている HEPA を筐体に組込んだ FFU 送風ユニットがグレーチング床面に脱落している。また装置自体の焼損も大きく、一部のグレーチング床面が焼損しており、人の立ち入りができない（被害マップ赤色領域）。FAB 棟 3 階クリーンルーム床下エリアは、4 階クリーンルームで発生した焼損による落下物等の影響が発生した。

防火区画 B ゾーンの被害状況は、約半分のエリアは、A ゾーンと同様に FFU が脱落しており、焼損状況が激しいが、残りのエリアは、FFU が落下しておらず、組み込み HEPA のみ落下している（被害マップ橙色領域）。

防火区画 C ゾーンの被害状況は、一部エリアで立ち入り不可であるものの、HEPA は脱落しておらず、焼損影響が少ない。また装置焼損も小さい（被害マップ青色領域）。

4



■ FFU脱落 装置焼損程度大 一部グレーチング損傷有 (立入不可)
 ■ HEPAのみ落下 装置焼損程度中 (一部立入可能)
 ■ HEPA溶解小 装置焼損程度小 (立入可能)
 防火区画



① 1 ベイ推定発災装置付近の被害状況



① 1 ベイ推定発災装置の床下被害状況 (3階)



① 1 ベイ推定発災装置の床下被害状況 (3階)



② 2 ベイ被害状況



③ 10 ベイ付近被害状況



④ 3 ベイ付近被害状況



⑤ 11 ベイ被害状況



⑥ 15 ベイ被害状況



⑦ 18 ベイ被害状況



⑧ 24 ベイ被害状況



⑨ 23 ベイ被害状況



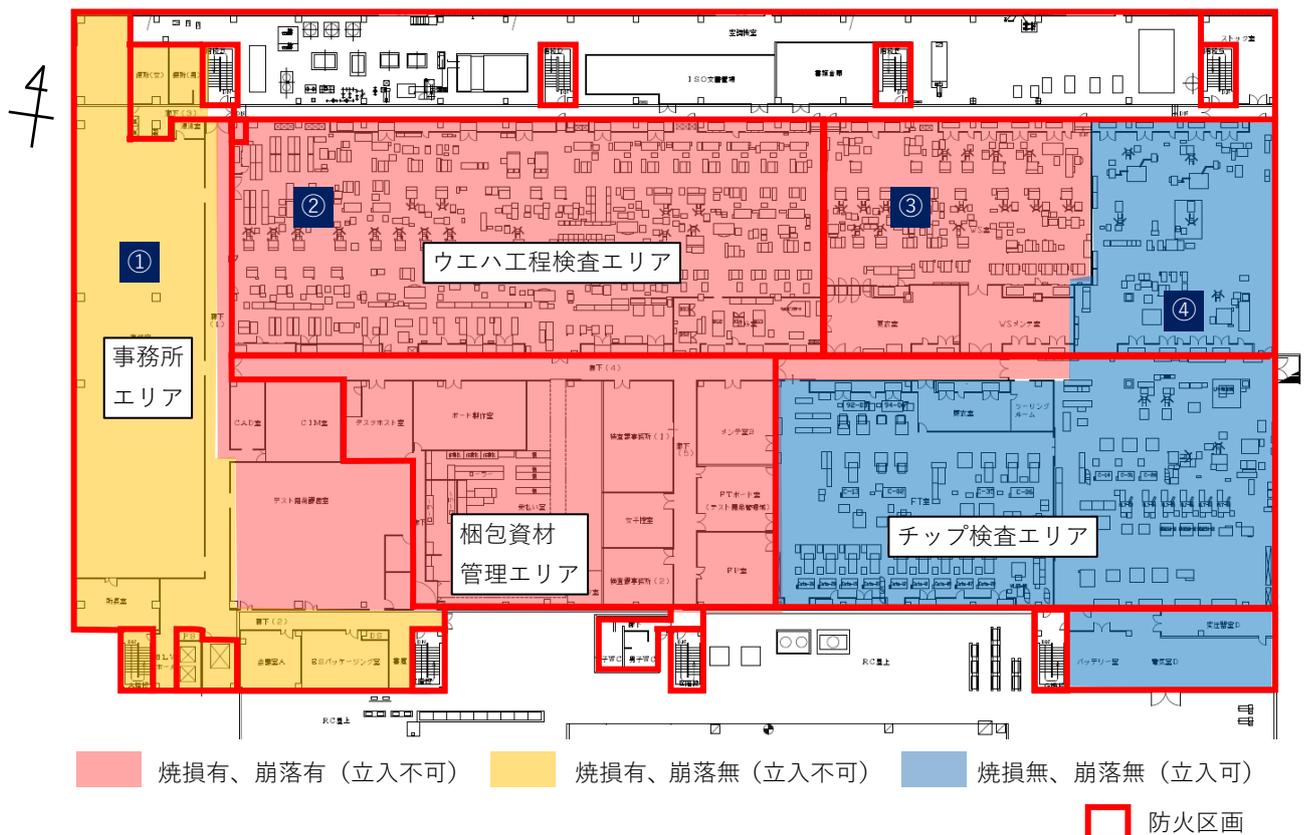
⑩ 28 ベイ被害状況

図 18 FAB 棟 4 階の被害状況

4.3.2 5 階の被害状況

FAB 棟 5 階は、10 月 22 日 01 時 40 分頃に出火を確認した。特に建屋南側、西側、北側の被害が大きく、屋上屋根が一部崩落した。

FAB 棟 5 階の被害状況を図 19 に示す。西側の事務所エリアは、焼損被害が大きいが屋根崩落はなかった（黄色部分）。北側および南側のウエハ工程検査エリアおよび梱包資材管理エリア等は、焼損被害が大きく屋根崩落も発生した（赤色部分）。東側のチップ検査エリアは、大きな焼損被害および屋根崩落は発生しなかった（青色部分）。



①西側の事務所エリア



②北側ウエハ検査



③北側ウエハ検査

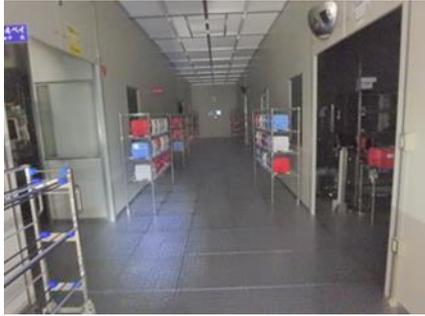


④東側チップウエハ検査

図 19 FAB 棟 5 階の被害状況

4.3.3 その他の被害状況

FAB 棟 2 階クリーンルームでの火災による焼損はなかった。一方、消火水や雨水等による水損が発生した。建屋構造柱の隙間、ならびに FAB 棟、空調棟および用役棟のそれぞれのエキスパンション隙間からの水の流入が確認され、2 階クリーンルーム内設備および装置に錆等の腐食が生じている。1 階クリーンルーム床下も同様の被害状況である。1 階の事務所およびその他施設においても同様に、焼損は発生していないが、消火水および雨水等による水損が発生している。その他被害状況を図 20 に示す。



FAB 棟 2 階クリーンルーム

1 階ロビー

図 20 その他の被害状況

4.4 火災による環境への影響

出火確認から鎮火に至るまでの約 92 時間の火災により、工場の建屋構造物や、装置および関連設備を含む工場内部の生産関連資産が焼損した。16 時 54 分頃に FAB 棟クリーンルーム内における全ての生産装置へのガス類自動供給を遮断し、16 時 56 分頃に薬液自動供給を遮断したため、自動供給ラインからの多量のガス類、薬液の漏洩はなかった。

火災による健康被害の状況として、火災時に近隣住民から異臭および目がしみる等の問い合わせがあった。異臭の原因は、塩化水素と推定している。その他の環境への影響として、FAB 棟 3 階クリーンルーム床下の水溜まりからふっ化水素を検出した。また FAB 棟火災現場において、ダイオキシン類を確認した。

環境への影響については、引き続き測定および経過観察を続けており、延岡市ならびに延岡保健所へ都度、報告を行っている。周辺地域への影響については、今後も経過を観察するとともに、行政当局、警察および消防のご指導・ご協力を仰ぎながら随時必要な措置を講じていく。

4.4.1 塩化水素の検出状況

異臭の原因と推定している塩化水素は、電気ケーブルの被覆材である塩化ビニル（以下、塩ビ）等が燃焼したことにより発生したものと推定している。

塩ビは、耐久性や防火性等から広く利用される汎用性プラスチックで、難燃性という特徴から、ケーブル等の被覆材や装置筐体等に幅広く使用されている。塩ビが燃焼したときの主な燃焼生成成分は、塩化水素、炭素、水、二酸化炭素、一酸化炭素、ダイオキシン類である。塩化水素発生理由として、塩ビは 200 °C 付近で塩化水素の放出現象が生じ、自己触媒による塩化水素が脱離する脱塩化水素化が起こることが挙げられる（塩ビの火災安全；塩ビ工業・環境協会（2020.4.1 発行））。

10 月 21 日 14 時 50 分に FAB2 半導体製造工場屋外西側にて、ガス検知管による気中濃度測定を行った結果、塩化水素濃度は 0.8 ppm であった。人体への影響として、許容濃度（参考値※：日本産業衛生

学会（2020年）は2.0 ppmであり、許容濃度以下であった。なお、10月22日以降の継続的な濃度測定結果は、検出限界0.1 ppm未満であることを確認している。

塩化水素は、無色で腐食性のある不燃性のガスで、むせるような刺激臭がある。日本産業衛生学会「許容濃度の暫定値（2014）の提案理由」によると、人が臭気を感じる濃度は、0.77 ppmと報告されている。今回の火災による工場屋外での測定最大濃度は0.8 ppmと許容濃度以下である一方、人が感じる濃度値を超えたことから、屋外への塩化水素の漏洩が、異臭の原因であったと考えられる。

※許容濃度：作業環境許容濃度の定義として、「労働者が1日8時間、1週間40時間程度、肉体的に激しくない労働強度で有害物質に暴露される場合に、当該有害物質の平均暴露濃度がこの数値以下であれば、ほとんどすべての労働者に健康上の悪い影響が見られないと判断される濃度」として、日本産業衛生学会が勧告した数値

4.4.2 ふっ化水素の検出状況

10月23日20時50分に用役棟2階通路および用役棟3階通路付近の水溜まりの分析を行った結果、ふっ化水素127 mg/l (127 ppm)を検出した。一方、建屋入室前にガス検知管による気中濃度測定を行った結果、ふっ化水素濃度は許容濃度（参考値※：日本産業衛生学会（2020年））3.0 ppmに対し、実測値は検出限界0.1 ppm未満であった。以降2020年12月まで建屋入室前に気中濃度測定を行った結果、ふっ化水素濃度は検出限界0.1 ppm未満であった。液中のふっ化水素発生理由として、FAB棟4階クリーンルームのウエハ製造エリアにて、ウエハ洗浄用にふっ酸を取り扱う工程がある。FAB棟4階クリーンルームでは、ふっ酸を取り扱う装置（洗浄機）計21台設置されているが、全台焼損している。16時54分頃にFAB棟クリーンルーム内における全ての生産装置へのガス類自動供給を遮断し、16時56分頃に薬液自動供給を遮断したが、ふっ酸洗浄装置の焼損により、槽内のふっ酸が建屋内の一部の水溜まりで検出されたと推定している。FAB棟4階クリーンルームの2ベイおよび8ベイ付近に設置しているふっ酸洗浄機の被害状況を図21に示す。



2 ベイ付近の洗浄機



8 ベイ付近の洗浄機

図21 ふっ酸洗浄機の被害状況

4.4.3 ダイオキシン類の検出状況

火災現場において、ダイオキシン類を確認しており、今回の火災では電気ケーブルの被覆材である塩ビ

等が燃焼したことにより発生したものと推定している。

ダイオキシン類は、ポリクロロジベンゾパラジオキシン(PCDD)、ポリクロロジベンゾフラン(PCDF)およびコプラナ-PCBの総称で、炭素で構成されるベンゼン環2つが酸素で結合し、終端に塩素を持つ構造を取る。

ダイオキシン類の発生理由として、塩素含有プラスチック類は、燃焼条件によっては、一部副生成物としてダイオキシン類が発生する。本火災事故では、塩ビを含むケーブル等の被覆材や装置筐体等から、塩ビ製樹脂の燃焼条件によって、ダイオキシン類が発生したと考えられる。

大気でのダイオキシン類の検出状況を表3に示す。ダイオキシン類による大気の汚染に関わる環境基準（人の健康を保護する上で維持されることが望ましい基準）は、ダイオキシン類対策特別措置法により、0.6 pg-TEQ/m³以下（年間平均値）と定められている。本火災事故におけるダイオキシン類による大気の汚染は、環境基準値以下であることを確認している（TEQ：ダイオキシン類の毒性の強さを表す値で、毒性等量。多種のダイオキシン類の毒性をまとめて評価するために、最も毒性が強いものを1として他の毒性の強さを換算し、総和したもの）。

サンプル取得日	結果取得日	測定場所	測定値 (pg-TEQ/m ³)	基準値（年平均） (pg-TEQ/m ³)	
2020年12月1日	2020年12月10日	敷地境界内	東	0.045	0.6以下
			西	0.066	
			南	0.170	
			北	0.320	
2021年3月31日	2021年4月9日	敷地境界内	東	0.110	
			西	0.042	
			南	0.045	
			北	0.053	
2021年5月25日	2021年6月4日	敷地境界内	東	0.063	
			西	0.068	
			南	0.035	
			北	0.085	
2021年6月14日	2021年6月23日	敷地境界内	東	0.130	
			西	0.055	
			南	0.034	
			北	0.090	

表3 大気中でのダイオキシン類の検出状況

土壌でのダイオキシン類の検出状況は、2020年11月13日に敷地境界内の東側・西側・南側の3ヵ所の測定を実施し、東側で17 pg-TEQ/g、西側で27 pg-TEQ/g、南側で15 pg-TEQ/gであった。同環境基準は、1000 pg-TEQ/g以下と定められており、本火災事故におけるダイオキシン類による土壌の汚染は、環境基準値以下であることを確認している。

排水でのダイオキシン類の検出状況は、建屋内において、消火水や雨水等による水損が発生しており、工場敷地内に発生した水溜まり等の排水にダイオキシン類を検出している。

工場建屋外の敷地まわりで発生する雨水等の排水については、道路、側溝、排水管、ピット管等の洗浄を実施した後、浄化装置付設前は、排水を外部の処分場で処分し、浄化装置付設後は、「ダイオキシン類対策特別措置法に基づく廃棄物の最終処分場の維持管理の基準を定める省令」による廃棄物の最終処分場の放流水に係る基準を参考にし、河川放流時に 10 pg-TEQ/L 以下となるように工場敷地内で浄化して排出する検討を進め、2021 年 2 月 25 日より段階的に外部処分場での処分から浄化排出に移行している。

工場建屋内で発生する雨水等の排水については、当該排水を工場敷地外に漏洩しないように、工場建屋内の養生を実施し、工場建屋内に貯まった雨水を敷地内に設置された貯水場に集水し、外部の処分場で処分している。

4.4.4 その他物質の検出状況

ウエハ製造工程で利用されるプロセスガス類は、4 階クリーンルームおよび 2 階クリーンルームでの測定結果から、検出限界未満であることを確認している。火災による薬液漏洩については、工場建屋内に貯まった雨水を汲み上げて、敷地内に設置された貯水場に集水し、外部の処分場で処分することで、外部へ漏洩させない対策を講じている。

5 火災原因の調査

5.1 火災発生点の推定

発災現場での装置確認が困難なため、発災当初の目撃証言、装置運転状況および装置薬液供給信号状況のそれぞれから、火災発生点の特定を試みた。災害用ドローンによる実機確認を行ったが、SF6-1 および SF6-3 は原形を留めていないほど焼失しており、火災発生点の特定には至らなかったものの、各状況証拠から SF6-3 が発災装置である可能性が高いと推定する。発災当初の目撃証言、装置運転状況および装置薬液供給信号状況について、下記に記す。

5.1.1 目撃証言

10月20日16時40分頃にA社員が、アクセスエリアとクリーンルームエリアの間にある自動ドアの隙間から、1ベイメンテナンスエリアでの出火を確認していることから、発災場所はFAB棟4階クリーンルーム内の1ベイメンテナンスエリアである。16時41分頃にクリーンルーム横の見学者通路から一次避難時に出火を確認した従業員4名の目撃証言によると、SF6-1もしくはSF6-3の上部から出火していることを確認できているが、発災装置が断定できる証言は得られなかった。SF6-1およびSF6-3の両装置は未反応チタン除去工程に用いられ、同じ装置メーカーで作製された類似のバッチ式全自動処理装置（スプレー式酸・アルカリ洗浄装置）で、SF6-1は6インチ（150mm）ウエハ用、SF6-3は8インチ（200mm）ウエハである。クリーンルーム横の見学者通路からの目撃証言の概略図を図22に示す。見学者通路からは、SF6-3の手前にSF6-1が設置されている。両装置とも装置高がほぼ同じであり、最も身長の高い目撃者（174cm）（視高約167cm）の証言からでも、どちらの装置から出火していたのかは判断できていない。

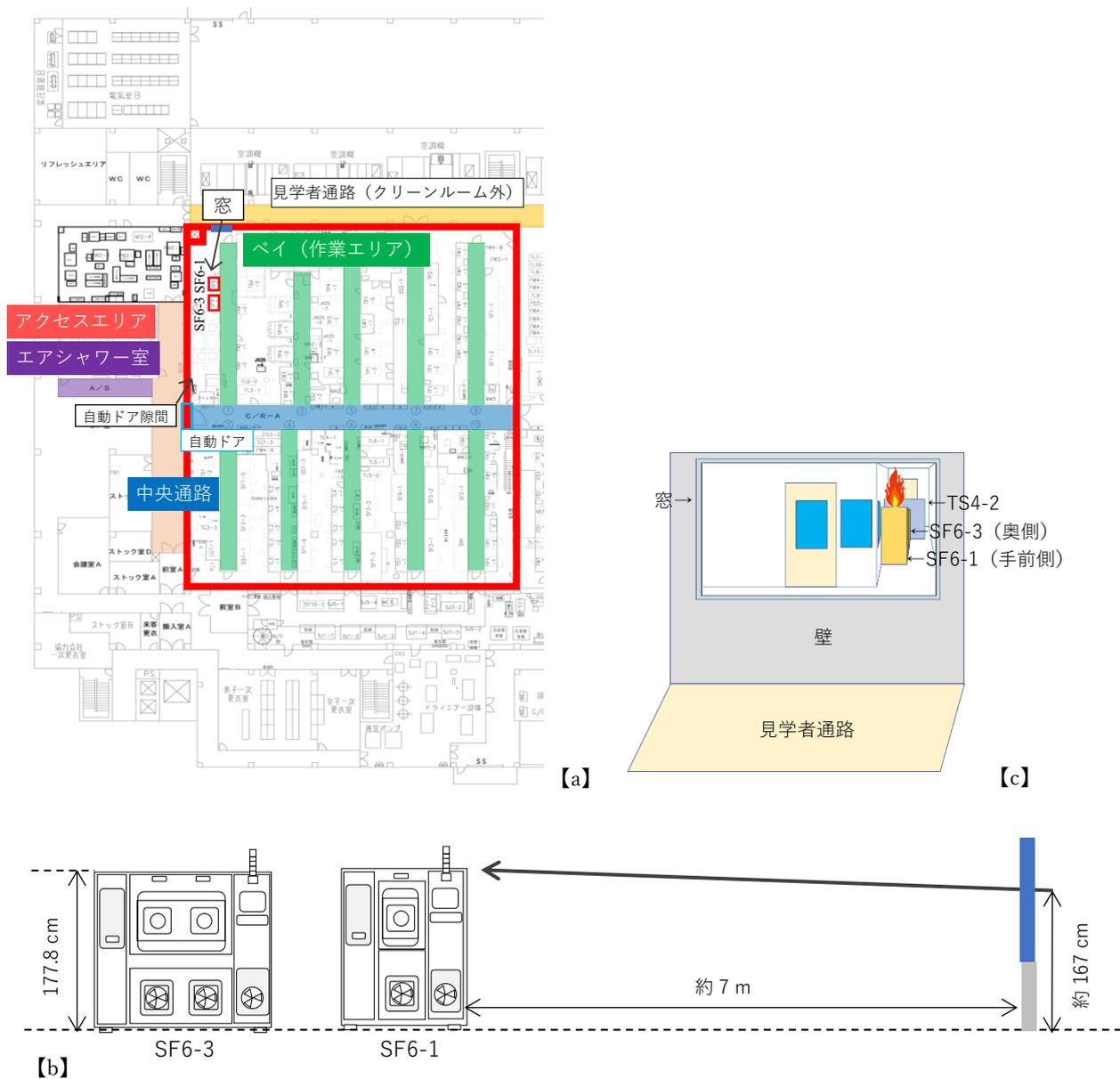


図 22 クリーンルーム横の見学者通路からの目撃証言の概略図

- 【a】 見学者通路と 1 ベイメンテナンスエリアにある装置の位置関係
- 【b】 見学者通路目撃者と装置の位置関係
- 【c】 見学者通路から確認したときの視認状態の再現概略図

5.1.2 装置運転状況

発災当日には SF6-1 および SF6-3 とともに工事や保全等は行っておらず、生産のための運転しか実施していない。SF6-1 は、6 インチウエハを 18 日に 27 枚、19 日に 10 枚、20 日の午前中に 80 枚を処理しており、午後には運転はしていない。一方、SF6-3 は、8 インチウエハを 18 日に 110 枚、19 日に 290 枚、20 日に 50 枚を処理した後、15 時 13 分に 25 枚の作業開始システム入力（履歴入力）を行っている。終

了時刻は、作業終了システム入力が終わっていないため、システム上に履歴が残っていないが、通常処理時間から 15 時 55 分頃に完了していると推定する。なお、当該装置は工場ネットワークに接続していないため、運転終了履歴が自動反映されない。反映には、人が作業終了のシステム入力をする必要があるが、交替勤務入れ替わり直後であり、運転は終了していたが、作業終了システム入力待ちであった。従って、運転履歴から発災時刻近くで運転していたのは SF6-3 であった。

5.1.3 装置薬液供給信号の発報

16 時 39 分頃の人による異常感知以降に、SF6-1 および SF6-3 からの薬液供給信号が、薬液・ガス等のクリーンルーム全体の監視をする分散制御システム(DCS : Distributed Control System) に送られていることが、その後の調査で明らかとなった。

通常の薬液供給信号シーケンスは、水酸化アンモニウムと過酸化水素の混合水溶液用タンクが規定容量以下になり、水酸化アンモニウム用タンクと過酸化水素用タンクから薬液供給され、混合水溶液の調合が行われる。混合調合時において、供給された水酸化アンモニウム用タンクと過酸化水素用タンクのいずれかが規定容量以下になったときに薬液供給信号が発報される。一方、発災時間帯は両装置ともに、水酸化アンモニウムと過酸化水素の混合水溶液を消費する運転をしておらず、また従業員による薬液交換作業も行われていないことから、装置に何らかの異常があり、異常信号として薬液供給信号を発報した可能性がある。

異常信号を出力した可能性として、2つの可能性が挙げられる。1つめは、装置発災時に、装置内薬液タンクが溶融することで薬液が漏洩して規定容量以下となり、薬液供給信号が発報したこと。2つめは、制御基板や配線の短絡が発生し、A 接点信号がオンになったことが挙げられる。A 接点とは、通常電気回路スイッチがオフであるが、特定の動作によりスイッチがオンになり、電気回路が動作する接点機構である。両装置の薬液供給信号の接点機構は、A 接点であることを確認している。

薬液供給信号の発報順は、①16 時 39 分に SF6-3 から発報、その後、②16 時 55 分に SF6-1 から発報している。装置被災の順番と薬液供給信号の順番との関係性を調査するため、薬液供給信号が A 接点機構である装置の発報状況を調査した。FAB 棟 4 階クリーンルーム A ゾーンに設置している薬液使用装置の位置と薬液供給信号の関係を図 23 に示す。現場での装置確認から対象装置は焼損状態が著しいことを確認している。SF6-1 および SF6-3 以外の薬液使用装置においても、薬液供給信号の発報をしていることが確認できている。また【4 事故の発生状況】で述べたとおり、A ゾーンは、1 ベイを起点として温度が上昇しており、徐々に A ゾーン全体に温度が上昇している。装置機構や被災状況から、必ずしも薬液供給信号発報順が延焼順と一致すると述べることはできないが、温度上昇と同様に、対象装置においても、1 ベイを起点として薬液供給信号発報の傾向が確認できる。

薬液供給信号の発報順から、どちらが火災発生点であるか特定はできないが、対象装置との傾向から類推して SF6-3 が、はじめに薬液供給信号を発報したことで、火災発生点である可能性が考えられる。

発災現場での装置確認が困難なため、発災当初の目撃証言、装置運転状況および装置薬液供給信号状況の検証を行い、火災発生点の特定はできなかったが、SF6-3 が火災発生点である可能性が見いだされた。

時間	ベイ	発報順	装置	薬液種類
16時39分	1	①	SF6-3	過酸化水素水
16時40分			SF6-3	アンモニア水
16時55分	1	②	SF6-1	過酸化水素水
16時55分			SF6-1	アンモニア水
18時30分	2	③	TC3-3	IPA
18時52分	2	④	SF1-5	IPA
19時05分	6	⑤	TC4-1	IPA
19時09分	3	⑥	TA4-1	ふっ酸 (HF)
19時16分	8	⑦	SF3-2	硫酸
19時17分	10	⑧	SN1	HF
19時22分	4	⑨	SF1-6	IPA
19時23分	6	⑩	SF3-3	HF
19時25分			SF3-3	アンモニア水
19時25分			SF3-3	過酸化水素水
19時26分	10	⑪	SF2-1	IPA
19時26分	9	⑫	SF1-2	IPA
19時27分	2	⑬	SF2-3	IPA
19時28分	8	⑭	SF3-1	IPA
19時30分	7	⑮	TC1-1	IPA
19時42分	4	⑯	SF5-1	HF
19時51分	9	⑰	SF1-1	アンモニア水

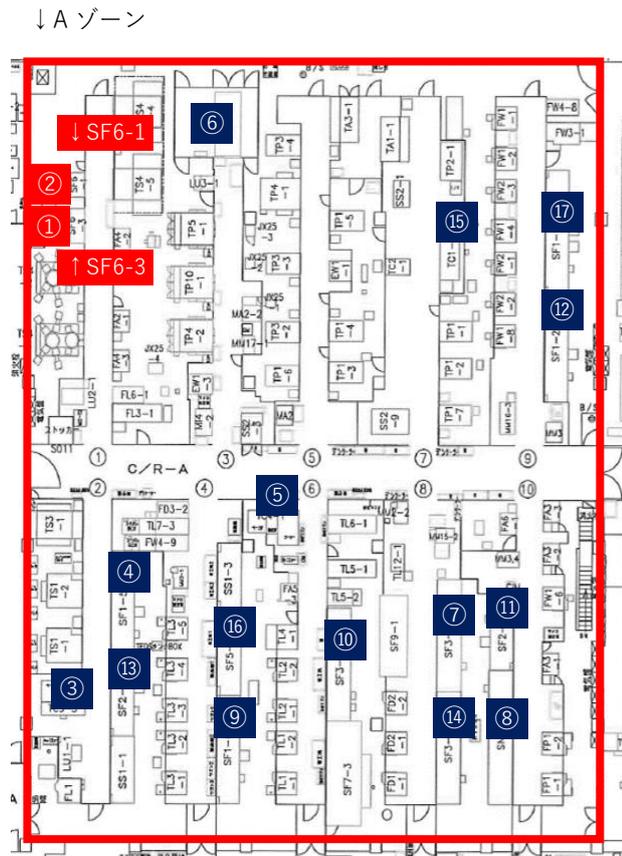


図 23 Aゾーンに設置している薬液使用装置の位置と薬液供給信号の関係

5.2 出火原因の可能性調査

推定発災装置 SF6-3 の出火原因を明らかにするために、装置内要因および装置外要因による出火の調査を行った。装置内要因として、熱源と電気系統からの出火の可能性、装置外要因として、放火・火気取扱いや危険物取扱いによる出火の可能性について調査した。

5.2.1 推定発災装置付近の現場確認

SF6-3 付近は事故後の被害が大きく、人の立ち入りが危険なエリアのため、災害用ドローン等で装置付近の現場確認を行った。SF6-3 は原形を留めていないほど焼失しており、推定発災装置付近の現場確認では、出火原因の推定には至らなかった。推定発災装置付近の現場確認による SF6-3 被害状況について図 24 に示す。



図 24 推定発災装置付近の現場確認による SF6-3 被害状況

5.2.2 装置外要因（放火・火気取扱いや危険物取扱い）

装置外要因として、公益社団法人 東京防災救急協会発行の新火災調査教本〈第一巻、第七巻〉等に基づき、放火・火気取扱いや危険物取扱いによる出火の可能性について調査した。

（1）放火

当日勤務の B 組従業員および日勤勤務従業員のヒアリングから、不審行動などの情報がなかったため、放火の疑いは見いだせていない。また SF6-3 は LAN ネットワーク等に接続しておらず、外部からコントロールできる装置ではないため、セキュリティ欠陥や不正なプログラムによる操作は考えにくい。

（2）火気取扱い

SF6-3 装置の処理機構として、火気を取扱うようなプロセスは存在しない。装置外の火気取扱いとしてタバコ等の火気持ち込みの可能性が挙げられるが、クリーンルームという高い清浄度を要求される場所であること、また作業着衣は、視界部のみが開口したフード付きクリーン服を着用しており、火気持ち込みの疑いは見いだせていない。

（3）危険物取扱い

FAB 棟 4 階クリーンルームは、指定数量の五分の一以上指定数量未満の危険物を貯蔵している少量危険物貯蔵取扱所であり、延岡市火災予防条例第 46 条に基づき、延岡市消防長に届け出をしている。

FAB 棟 4 階クリーンルームでの危険物（IPA、シンナー）の配管経路、乾燥プロセスに使用される薬液 IPA（イソプロピルアルコール）を取扱う洗浄機およびモノシラン（ SiH_4 ）を取扱う装置の位置を図 25 に示す。SF6-3 付近では、IPA 洗浄機やモノシラン取扱い装置ならびに IPA やシンナー供給用配管も干渉しておらず、また出火前に配管や供給装置に異常は見いだされなかったため、危険物からの出火による SF6-3 への延焼は考えにくい。また目撃証言およびクリーンルーム温度の時系列変化から IPA 洗浄機やモノシラン取扱い装置の設置位置からの出火は考えにくい。なお、16 時 54 分頃に FAB 棟クリーンルーム内における全ての生産装置へのガス類自動供給を遮断し、16 時 56 分頃に薬液自動供給を遮断している。

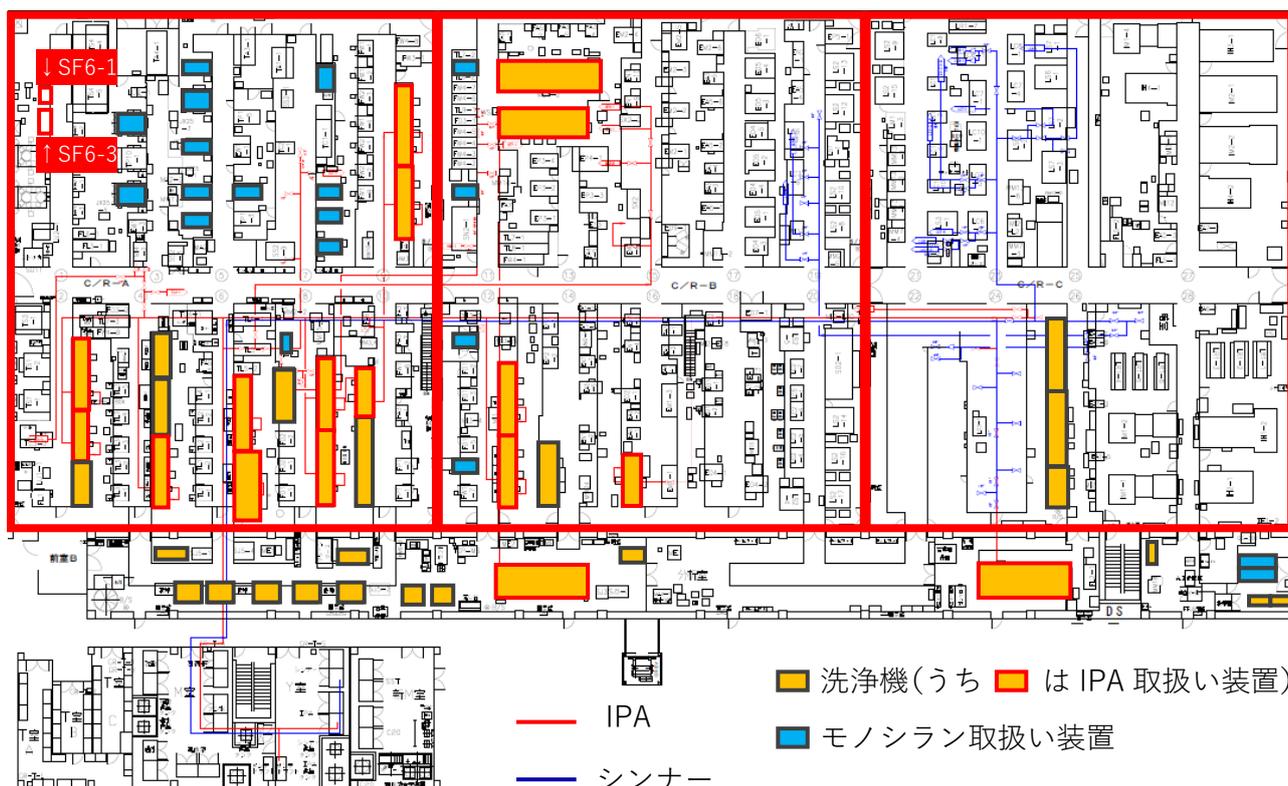


図 25 FAB 棟4階クリーンルームでの危険物（IPA、シンナー）の配管経路、乾燥プロセスに使用される薬液 IPA（イソプロピルアルコール）を取扱う洗浄機およびモノシラン(SiH₄)を取扱う装置の位置

5.2.3 装置内要因（熱源と電気系統）

SF6-3 装置内に出火の可能性のある熱や火が発生するような要因がないか調査した。SF6-3 は、未反応チタンを薬液にて除去する装置であり、製造運転において、火を使用したり、火災が発生するような高温状態にしたりする運転条件は無い。また使用する薬液は、水酸化アンモニウム (NH₄OH：濃度 4.5%) と過酸化水素 (H₂O₂：濃度 6.0%) の混合水溶液であり、危険物に該当するような可燃性・引火性を有するものではない。一方、製造運転時に熱源となる動作箇所が複数存在する。

SF6-3 における熱源箇所と温度・消費電力量を図 26 に示す。SF6-3 の装置機能は大きく 2 つに区分される。装置上部（青枠）が電源制御部となり、製造運転を制御する電気基板類が格納されている。装置下部（赤枠）がプロセス部となり、薬液温度を 30 °C 一定に保つ薬液タンクや、製造処理で使われる回転用モーター、乾燥用の窒素 (N₂) を昇温するためのヒーターが格納されている。

熱源が出火に及ぼす影響について、薬液タンクヒーターは、常時 30 °C の温度を一定に保つように制御されている。窒素 (N₂) ヒーターは、待機時は 110 °C 一定で、運転稼働時は 180 °C 一定となる。薬液タンク、窒素 (N₂) ヒーターのいずれの動作箇所においても、SF6-3 の装置部材の火災発生点となるような高温には至らない。

一方、電氣的負荷量が出火に及ぼす影響は、一般的に電氣的過負荷がかかったり、オンオフを繰り返し

たりする運転の場合、部品の劣化や端子部の緩みが発生する可能性が考えられる。SF6-3の回転用モーター制御では、運転稼働時に最大800 rpmのときに電力量150 W (0.75A)である。窒素(N₂)ヒーター制御では、待機時にヒーターを110 °C、運転稼働時にヒーターを180 °C一定に保つために0 W (0A)と1000 W (5A)でオンオフ制御が発生する。また薬液タンクヒーター制御では、30 °C一定に保つために0 W (0A)と5000 W (25A)でオンオフ制御が発生する。窒素(N₂)ヒーターと薬液タンクヒーター制御機構から、温度制御のオンオフを繰り返すことによる部品の劣化や端子部の緩みが発生する可能性が考えられる。

動作箇所	待機時	稼働時
モーター	0 rpm	最大 800 rpm
	0 W	150 W
N ₂ ヒーター	110 °C	180 °C
	0~1000 W	0~1000 W
薬液タンクヒーター	30 °C	30 °C
	0~5000 W	0~5000 W
電力量 (最大電流値)	0~5450 W (27.25 A)	0~5725 W (28.63 A)

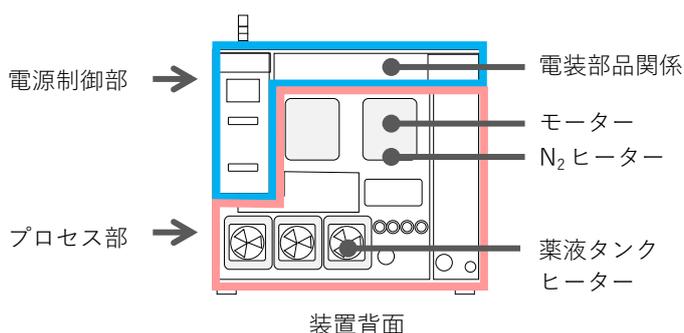


図 26 SF6-3 における熱源箇所と温度・電力量

5.2.4 出火原因の特定

装置外要因として、放火・火気取扱いや危険物取扱いによる出火の可能性について調査したが、いずれの可能性も見いだせていない。一方、装置内要因として、熱源と電気系統からの出火について調査したが、装置仕様を考慮しても通常の運転では、熱源と電気系統からの出火原因の特定に至っていない。温度制御のオンオフを繰り返すことによる部品の劣化や端子部の緩みが発生する可能性があるが、過去の故障履歴から判断しても、出火原因として特定には至らなかった。

5.3 出火原因の推定

装置内要因として、熱源と電気系統からの出火原因について調査したが、装置仕様を考慮しても通常の運転では、原因の特定には至らず、また過去の故障履歴から判断しても、出火原因として特定には至らなかった。関係法令の遵守および社内規程で定められた装置保全は実施しており（詳細は【6 法令・社内規程の遵守状況】に記述）、装置点検、メンテナンス履歴からも異常な点は発覚しておらず、火災発生の原因は見いだせていない。

【5.2 出火原因の可能性調査】で述べた通り、装置外要因による出火が考えにくいことから、装置内要因による出火の可能性が高い。そこで、考えられる出火原因を抽出するために、類似装置である SF6-4 をモデルとして状況を確認し、仮説として電氣的要因 18 ケース、化学的的要因 1 ケースを抽出し、可能

性の高さを検証した。

5.3.1 類似装置調査による推定出火原因の抽出

類似装置 SF6-4 は SF6-3 と同じく、未反応チタン除去用装置（スプレー式酸・アルカリ洗浄装置）であり、8 インチ（200 mm）ウエハ用バッチ式全自動処理装置である。SF6-3 は 1997 年に製造され、当該装置メーカーにて整備済みの中古装置として購入、2002 年に FAB 棟 4 階クリーンルームに設置されたのに対し、SF6-4 は、同じく 1997 年に製造され、同様に整備済みの中古装置として購入、2008 年に FAB 棟 2 階クリーンルームに設置された。両装置とも装置構造が類似しており、納入仕様書上、装置筐体部材も難燃性乳白色ポリプロピレンと一致していることから、内部構造調査および燃焼試験サンプル取得用として SF6-4 を適用し、推定ケースの抽出および検証を行った。

SF6-4 の仕様書、図面および実機確認を実施し、考えられる出火原因として装置構成の電源制御部とプロセス部に区分し、電氣的観点および化学的観点のそれぞれから抽出を行った。各出火想定に対する推定される項目およびシナリオと推定根拠を表 4 に示す。仮説として抽出された電氣的要因 18 ケース、および化学的要因 1 ケースについて、火災に対する安全機構の有無、使用電圧、保全点検の有無、可燃物との距離および電装部材の燃焼試験結果のそれぞれについて検証を行った。

ケース	出火想定	要因	項目	シナリオ	推定根拠
1	電源制御部からの出火	電気	モーター制御基板コンデンサによる発火	長期間使用によりモーターの制御基板(INV 部)にあるコンデンサにおいて、絶縁劣化・静電容量抜けが発生・短絡し、コンデンサーから発火。	<ul style="list-style-type: none"> ・コンデンサは、約 20 年間使用されていたと推定され、経年劣化は考えられる。経年劣化によるコンデンサ絶縁劣化や静電容量抜けによる発火の可能性はある。 ・SF6-4 上部にコンデンサが存在。
2			電磁接触器でのトラッキング現象	電磁接触器部で生じるスパークにより樹脂部がグラファイト化し、トラッキング現象により、電磁開閉器の樹脂部が加熱され発火。	<ul style="list-style-type: none"> ・電磁接触器は、約 20 年間使用していたと推定され、経年劣化は考えられる（以下、約 20 年使用（経年劣化）と記述）。長期間の開閉動作によりトラッキングが発生すると想定。
3			有接点リレー部でのトラッキング現象	有接点リレー部で生じるスパークにより樹脂部がグラファイト化し、トラッキング現象により、リレー部樹脂が発火。	<ul style="list-style-type: none"> ・約 20 年使用（経年劣化）。 ・有接点の開閉動作にて生じるアークにて接点表面が消耗して、接触不良が発生し、アークが大きくなり、アーク発生頻度が多くなる。その結果、トラッキングが発生。
4			ヒーター制御部品の劣化	ヒーター温度制御などに使用されている制御基板部品にある半導体製品やコンデンサ等で絶縁劣化・静電容量抜けが発生・短絡し、周囲樹脂部品やコート類が発火。	<ul style="list-style-type: none"> ・東京消防庁編纂の文献には、ダイオードブリッジのような半導体製品の絶縁劣化による発火事例が収録。 ・基板上の半導体不良となると温度制御、I/L 制御が行えないと想定。 ・約 20 年使用（経年劣化）。
5			ヒーター制御 SSR（無接点リレー）の素子劣化	ヒーター温度制御などに使用されている SSR の素子劣化にて通電破壊が発生。その結果、ヒーターへ電流を流し続け樹脂が過熱され発火。	<ul style="list-style-type: none"> ・SSR の素子劣化にて通電破壊が発生し温度制御及び I/L 作動にも関わらず電流を流し続けヒーターが溶断する可能性がある。 ・約 20 年使用（経年劣化）。
6			SV（電磁弁）のコイルの絶縁劣化	アンモニア水等の供給に使用されている SV（電磁弁）において、コイルの絶縁劣化が発生。コイルが発熱・短絡状態となり昇温し、モールドしている樹脂が発火温度に至り発火。	<ul style="list-style-type: none"> ・約 20 年使用（経年劣化）による SV（電磁弁）のコイルの絶縁劣化にてコイルが発熱・短絡状態となる可能性がある。
7			電源（200V）制御動力系統ケーブルの接触不良/半断線	動力（200V）系統において、電流通過によるヒートサイクルや、装置より発生する振動にて端子が緩み、接触不良や半断線が発生。電線被覆等が昇温され発火温度に至り発火。	<ul style="list-style-type: none"> ・約 20 年使用（経年劣化）による端子部の緩みの可能性がある。

ケース	出火想定	要因	項目	シナリオ	推定根拠
8	電源制御部からの出火	電気	電源 (DC24V) 制御ケーブルの接触不良/半断線	制御系 (DC24V 以下) において、電流通過によるヒートサイクルや、装置より発生する振動にて端子が緩み、接触不良や半断線が発生。電線被覆等が昇温され発火温度に達し発火。	・約 20 年使用 (経年劣化) による端子部の緩みの可能性がある。
9	プロセス部からの出火	電気	N ₂ ヒーター温度センサー故障	N ₂ ヒーター制御の温度検出が故障し、過昇温となり、近接した樹脂や配線コードの温度が上昇、発火温度に達し発火。	・約 20 年使用 (経年劣化) による制御基板の故障の可能性がある。 ・タンクヒーター及び N ₂ ヒーター近傍には、樹脂部・ケーブルが存在しており、加熱すれば熔融・発火の可能性がある。
10			タンクヒーター温度センサー故障	タンクヒーター制御の温度検出が故障し、過昇温となり、近接した樹脂や配線コードの温度が上昇、発火温度に達し発火。	・約 20 年使用 (経年劣化) による制御基板の故障の可能性がある。 ・タンクヒーター及び N ₂ ヒーター近傍には、樹脂部・ケーブルが存在しており、加熱すれば熔融・発火の可能性がある。
11			N ₂ ヒーター制御基板故障	N ₂ ヒーターの制御基板が故障・出力制御不能となり、ヒーター自体が過昇温して周辺の樹脂が発火温度に達し発火。	・約 20 年使用 (経年劣化) による制御基板の故障の可能性がある。 ・タンクヒーター及び N ₂ ヒーター近傍には、樹脂部・ケーブルが存在しており、加熱すれば熔融・発火の可能性がある。
12			タンクヒーター制御基板故障	タンクヒーターの制御基板が故障・出力制御不能となり、タンク内液が蒸発して、ヒーター空焚きの状態が継続。タンク樹脂が発火温度に達し発火。	・約 20 年使用 (経年劣化) による制御基板の故障の可能性がある。 ・タンクヒーター及び N ₂ ヒーター近傍には、樹脂部・ケーブルが存在しており、加熱すれば熔融・発火の可能性がある。
13			タンク液漏洩によるヒーター空焚き	タンクからの液漏洩により液面が低下して、ヒーター空焚きの状態継続。タンク樹脂が発火温度に達し発火。	・プラスチックタンク異常による漏洩。
14	プロセス部電源コード端子部の接触不良/半断線	N ₂ /タンクヒーター電源コード端子部のカシメ部の接合不足や端子金属の腐食により、接触抵抗が増加、高温状態で劣化が進み、発火温度に達し発火。	・文献 (第 62 回全国消防技術者会議資料) に同様な事例報告有り (約 10 年使用した食洗器ヒーターのリード線カシメ強度不足により発火)。		
15	プロセス部電源コード端子部の接触不良/半断線	長期間の振動により、N ₂ /タンクヒーターまたはモーター電源コードの一部が半断線 (または端子緩み) 状態となり、発熱。コード被覆または端子台樹脂の発火温度に達し発火。	・文献 (電気火災の動向と火災事例) に同様な事例報告有り (ドラム型乾燥機の配線が振動により半断線し、発火)。		

ケース	出火想定	要因	項目	シナリオ	推定根拠
16	プロセス部からの出火	電気	電源ケーブル端子部での薬液被液によるトラッキング現象	薬液が少量ずつ漏洩し、N ₂ /タンクヒーターまたはモーター電源コードが被液し、トラッキング現象が発生。放電により徐々に絶縁物がグラファイト化し、樹脂の発火温度に達し発火。	<ul style="list-style-type: none"> 薬液は導電性を有しており、電源接点への漏洩があればトラッキング現象は発生の可能性がある。 配管はねじ込みやカシメ接合が多く、長期間の使用により漏洩の可能性がある。
17			モーターの劣化による層間短絡	モーターの巻線部において、経年劣化により絶縁が低下、層間短絡が発生し発火。	<ul style="list-style-type: none"> 約 20 年使用（経年劣化）による層間短絡の可能性はある。
18			開閉スイッチ部の接触不良	長期間の利用により、ウエハ投入開閉検出スイッチ部において、表面が荒れ、接触不良を起こして、過熱し、周囲の樹脂が発火温度に達し発火。	<ul style="list-style-type: none"> 20 年間使用（経年劣化）による開閉スイッチ部の接触不良の可能性はある。
19	プロセス部からの出火	化学	漏洩アンモニアガスへの引火	<ol style="list-style-type: none"> 配管接続部やタンクなどからアンモニア水が漏洩し、N₂ヒーターに接触し、加熱・蒸発し、装置内にアンモニアガスが充満。結果として、装置内で爆鳴気を形成し、電気的な接点でのスパークまたは静電気によって引火し発火。 アンモニア過水タンクヒーターが故障により、ヒーターが過熱され、タンクやバルブ樹脂が溶融。アンモニア水が連続的にタンクへ供給される状態となり、ヒーターにより加熱、蒸発し、装置内部で爆鳴気を形成。結果として、装置内で爆鳴気を形成し、電気的な接点でのスパークまたは静電気によって引火し、発火。 	<ol style="list-style-type: none"> <ul style="list-style-type: none"> アンモニア配管は、チューブであり、ねじ込み及びカシメ接合が多く、漏洩の可能性がある。長期間使用による樹脂劣化も想定可能。 アンモニア蒸気自体は引火・爆発の可能性はある。 <ul style="list-style-type: none"> 約 20 年使用（経年劣化）によるヒーター制御基板が故障の可能性。 アンモニア蒸気自体は引火・爆発の可能性はある。

表 4 各出火想定に対する推定される項目、シナリオと推定根拠

5.3.2 電装部材等の難燃性評価

電氣的要因 18 ケースにおいて、周囲に火炎があるような高温状態でケーブルや基板等の電装部材が発火するかどうか、また発火後、熱源を与えなくなった際に自己消火性を有するかどうか燃焼試験を行った。

各ケースに該当する部材は、類似装置 SF6-4 の実機から計 14 サンプルを取得した。類似装置 SF6-4 で

のサンプル部材の取得箇所（電装部材燃焼試験）を図 28 に示す。燃焼試験方法は UL94 試験（垂直燃焼性試験）を参考とし、図 27 に示した燃焼試験のサンプル取り付け方法のように、試験サンプルを支持台上部に取り付け、バーナーでサンプル下端（赤印）に 10 秒間ガスバーナーの炎を接炎させる。電装部材は 3 回繰り返し接炎させ、ケーブル類は 5 回繰り返し接炎させた。バーナー火源は、UL94 試験（垂直燃焼性試験）と同様とした。

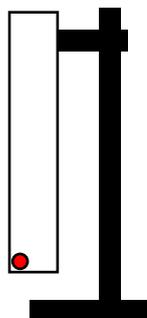


図 27 燃焼試験のサンプル取り付け方法

各サンプルの離炎後の残炎時間（秒）を表 5 に示す。また 2 回目の燃焼試験の残炎状況結果を図 29、図 30、図 31 に示す。

基板関連⑤基板、⑦ブレーカー、⑧SSR（ソリッドステート・リレー：可動接点部分が無く、電子回路で信号を伝え、出力を開閉する無接点リレー）、⑪コンピューター（COM）基板については、バーナー接炎時は発火するが、バーナー離炎時は残炎時間は 0 秒であり、自己消火性がある。一方、③モーター基板、⑭ヒーター端子については、バーナー接炎時は発火し、さらにバーナー離炎時においても、残炎時間は③が 5 秒、⑭が 8 秒となり、自己消火性があるものの、残炎の維持を確認した。また⑭ヒーター端子においては、発火中に樹脂が溶融し、火を保持したまま溶融物が落下する現象を確認した。FT-IR 測定（赤外線吸収スペクトル測定）では、ポリアミドに分類されるナイロン 6 であることを確認している。

ケーブル関連④モーターケーブル、⑥密集位置ケーブル、⑨SSR 二次側ケーブル、⑩COM ケーブル、⑫電磁弁信号ケーブル、⑬ヒーターケーブルについては、いずれの場合においても、バーナー接炎時は発火する。残炎時間は 1 回目から 5 回目までばらつきがあるが、1 秒から 60 秒の間で残炎することを確認し、その後消火した。1 回目では、すぐに消火するものの、継続的に熱源を与えると、離炎後も残炎時間が長くなる傾向があり、発火時間によって自己消火性に影響を与えることを確認した。

項目（秒）	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭
1 回目残炎時間	0	1	0	1	0	0	6	1	0	1	1	0
2 回目残炎時間	5	1	0	1	0	0	3	2	0	1	1	8
3 回目残炎時間	0	6	0	1	0	0	3	60	0	6	1	0
4 回目残炎時間	-	1	-	1	-	-	2	-	-	2	1	-
5 回目残炎時間	-	1	-	1	-	-	2	-	-	49	1	-

表 5 サンプルの離炎後の残炎時間（秒）

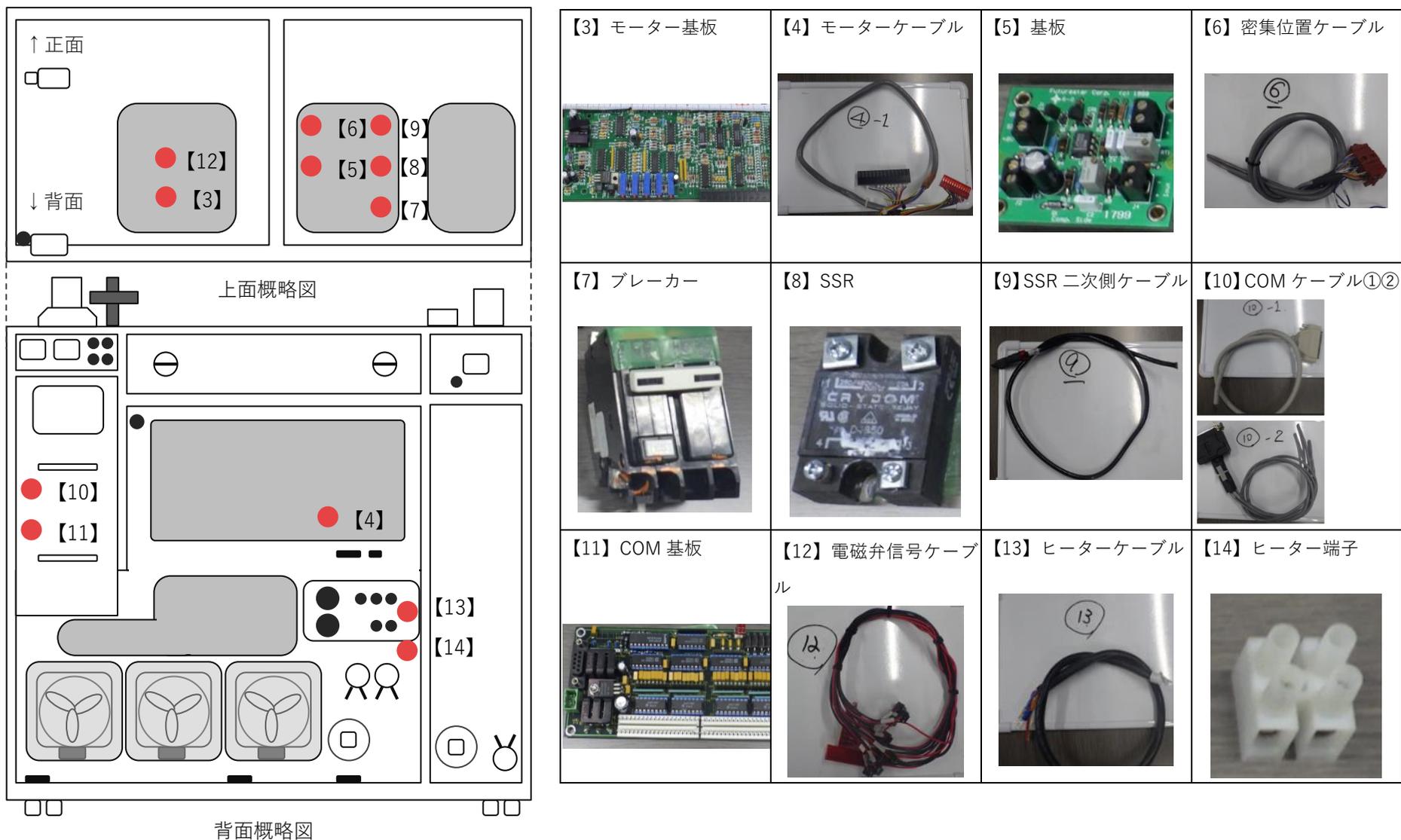


図 28 類似装置 SF6-4 でのサンプル部材の取得箇所（電装部材燃焼試験）

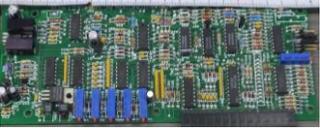
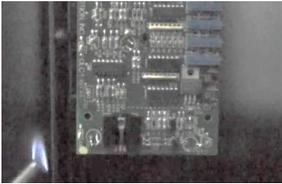
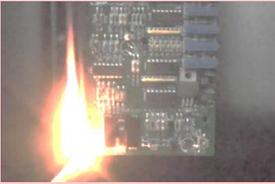
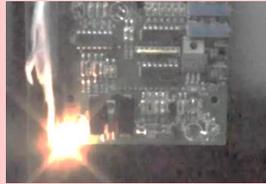
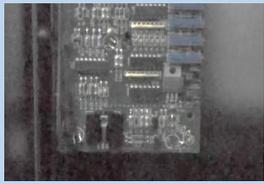
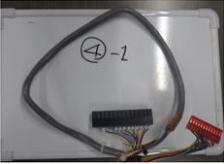
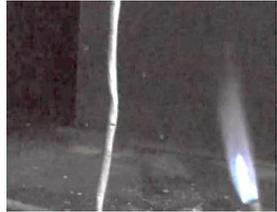
部材	初期	着火時	離炎 2 秒後	離炎 5 秒後	離炎 10 秒後
【3】 モーター基板 					
【4】 モーターケーブル 					
【5】 基板 					
【6】 密集位置ケーブル 					

図 29 2 回目燃焼試験の残炎状況結果

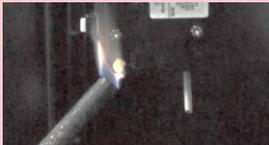
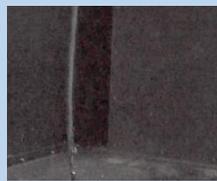
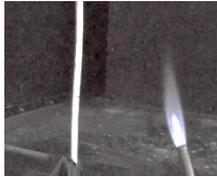
部材	初期	着火時	離炎 2 秒後	離炎 5 秒後	離炎 10 秒後
【7】ブレーカー 					
【8】SSR 					
【9】SSR 二次側ケーブル 					
【10】COM ケーブル①② 					

図 30 2 回目燃焼試験の残炎状況結果

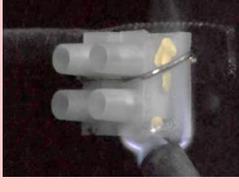
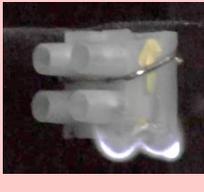
部材	初期	着火時	離炎 2 秒後	離炎 5 秒後	離炎 10 秒後
【11】 COM 基板 					
【12】 電磁弁信号ケーブル 					
【13】 ヒーターケーブル 					
【14】 ヒーター端子 					

図 31 2 回目燃焼試験の残炎状況結果

5.3.3 筐体部材等の難燃性評価

電氣的要因 18 ケースおよび化学的的要因 1 ケースにおいて、ケーブルや基板等の電装部材が発火した場合に、近傍に存在する樹脂に延焼することが想定される。SF6-3 の筐体樹脂は仕様書上、「難燃性乳白色ポリプロピレン」と記述がある。その他複数の樹脂が使用されている可能性があり、類似装置 SF6-4 の実機から計 13 サンプルを取得し、難燃性の有無を調査した。類似装置 SF6-4 でのサンプル部材の取得箇所（筐体部材燃焼試験）を図 32 に示す。

燃焼試験方法は、電装部材等の難燃性評価と同様に、UL94 試験相当とし、サンプルはおおよそ 12 cm × 1.5 cm 程度の短冊状に切断した。樹脂の物性評価は、FT-IR 測定（赤外線吸収スペクトル測定）にて評価、難燃剤添加物有無に関する評価は、 μ XRF（微小部蛍光 X 線分析）および GC/MS（ガスクロマトグラフィー質量分析法）にて評価した。

各サンプル部材の物性評価、燃焼試験評価および難燃剤添加物評価の結果を図 33、図 34、図 35、図 36、図 37 に示す。

(a) モーターカバー、(m) 筐体カバーのような透明色の樹脂は、FT-IR の結果、ポリ塩化ビニル（塩ビ）であることを確認した。塩ビはハロゲン元素を有するため、難燃作用がある。そのため、燃焼試験では、バーナー接炎時は発火するが、バーナー離炎時の残炎時間は 0 秒で自己消火性があり、UL94 試験の V-0 相当の難燃性を有していることを確認した。

一方、筐体カバーや、ヒーター端子台カバーなど装置に多く使われている乳白色樹脂は、FT-IR の結果、ポリプロピレンであることを確認した。難燃剤添加物有無の評価では、難燃性を示す添加剤の存在は確認されなかった。また燃焼試験では、バーナー接炎時は発火し、離炎後も継続して激しく燃焼することを確認した。

ポリプロピレンとは、プロピレンを重合させた熱可塑性樹脂であり、汎用樹脂として利用される。ポリプロピレンの燃焼性は、酸素指数が 18 から 19 であり、可燃性と判断される酸素指数が 22 以下であることから、可燃性樹脂として定義される。推定発災装置 SF6-3 および類似装置 SF6-4 の筐体樹脂は、難燃性を有する乳白色ポリプロピレンと仕様書に記述があったが、実験結果より、類似装置 SF6-4 の筐体樹脂は、ポリプロピレンであることを確認したが、難燃性であることは見いだされなかった。

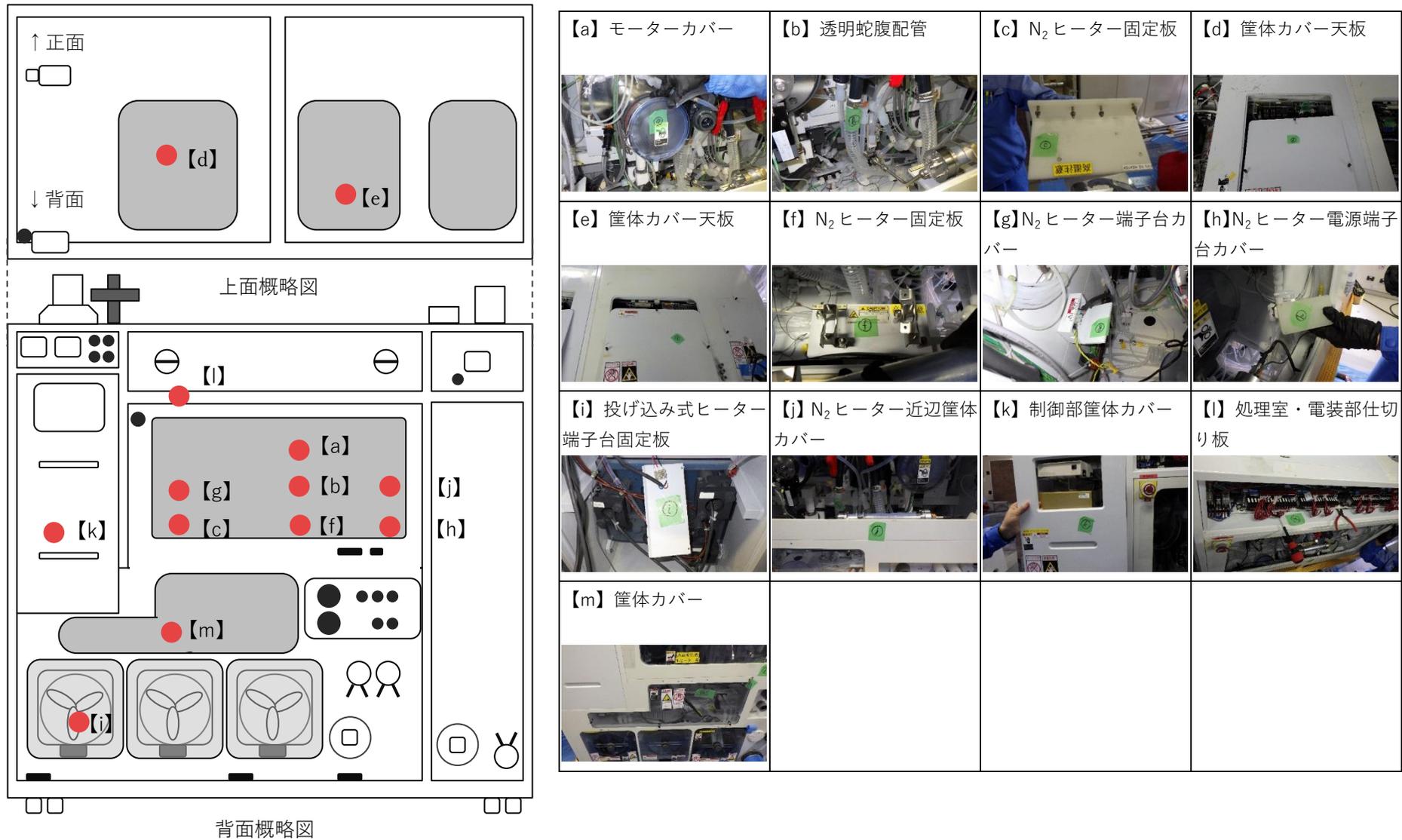


図 32 類似装置 SF6-4 でのサンプル部材の取得箇所（筐体部材燃焼試験）

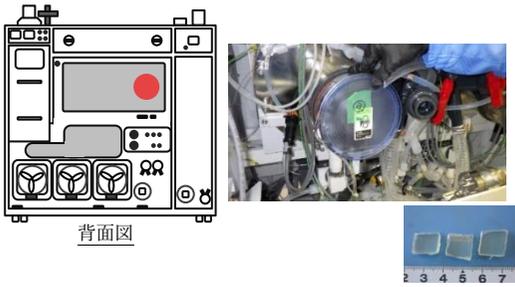
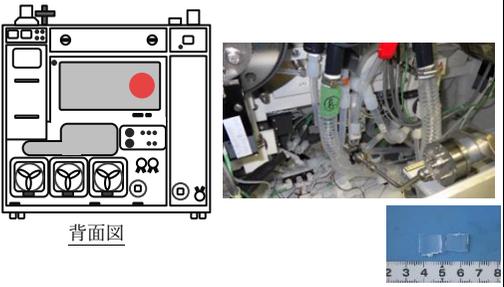
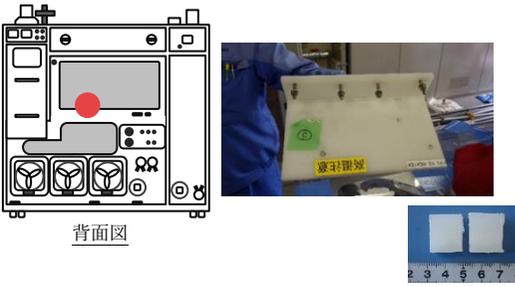
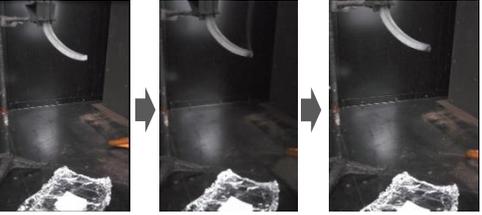
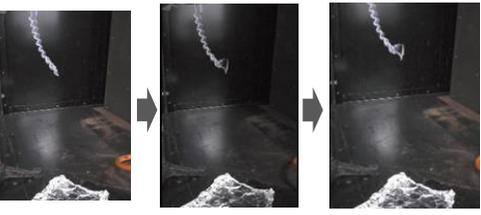
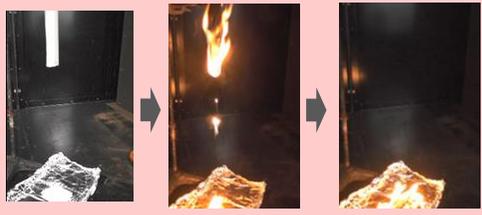
		a. モーターカバー	b. 透明蛇腹配管	c. N ₂ ヒーター固定板 (左)
取得サンプル		 <p>背面図</p> <p>霞透明色</p>	 <p>背面図</p> <p>透明色</p>	 <p>背面図</p> <p>乳白色</p>
樹脂材質		ポリ塩化ビニル	PTFE (ポリテトラフルオロエチレン)	ポリプロピレン
UL94 試験	燃焼状態	 <p>難燃 (N=4)</p>	 <p>難燃 (N=5)</p>	 <p>可燃 (N=5)</p>
	燃焼時間	0 秒	0 秒	30 秒以上
	把持部までの燃焼	無	無	有
	脱脂綿の着火有無	無	無	有
	難燃性規格	V-0 相当	V-0 相当	—
難燃添加物の有無	添加無し	—	添加無し	

図 33 各サンプル部材の物性評価、燃焼試験評価および難燃剤添加物評価の結果

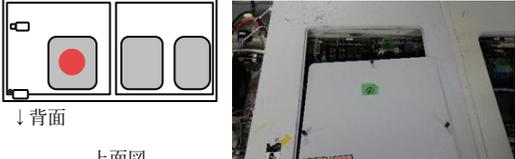
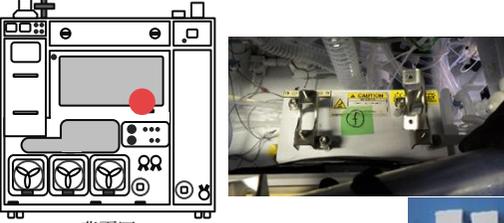
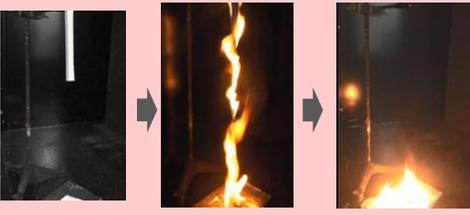
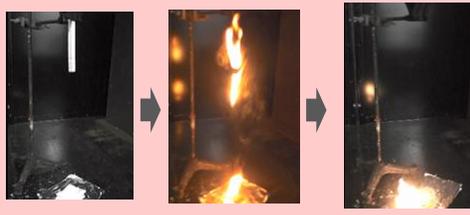
		d. 筐体カバー天板	e. 筐体カバー天板	f. N ₂ ヒーター固定板 (右)
取得サンプル		↑正面  ↓背面  上面図  乳白色	↑正面  ↓背面  上面図  乳白色	 背面図  乳白色
樹脂材質		ポリプロピレン	ポリプロピレン	ポリプロピレン
UL94 試験	燃焼状態	 可燃 (N=5)	 可燃 (N=5)	 可燃 (N=5)
	燃焼時間	30 秒以上	30 秒以上	30 秒以上
	把持部までの燃焼	有	有	有
	脱脂綿の着火有無	有	有	有
	難燃性規格	—	—	—
難燃添加物の有無	添加無し	添加無し	添加無し	

図 34 各サンプル部材の物性評価、燃焼試験評価および難燃剤添加物評価の結果

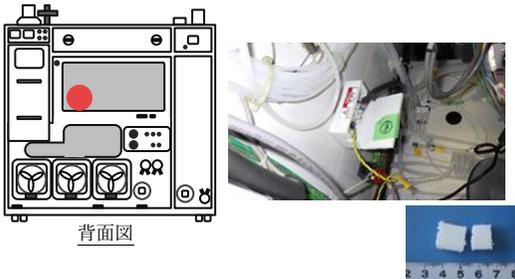
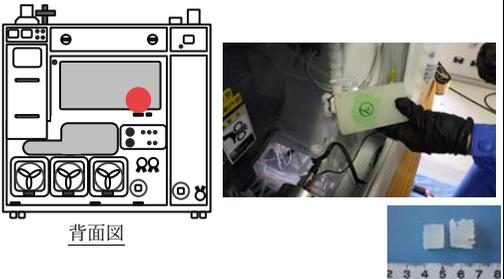
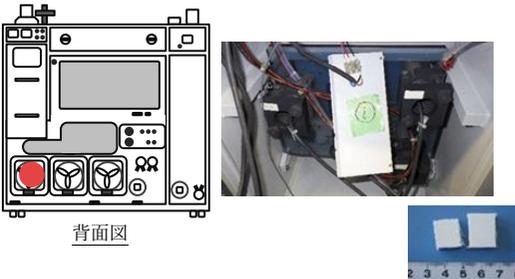
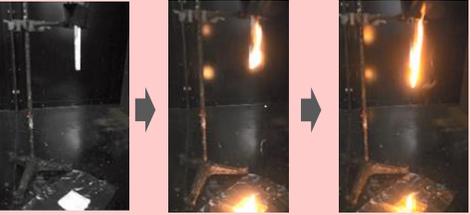
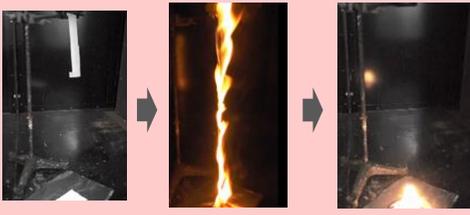
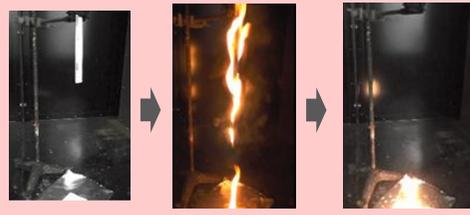
		g. N ₂ ヒーター端子台カバー	h. N ₂ ヒーター電源端子台カバー	i. 投込式ヒーター端子台固定板
取得サンプル		 <p>背面図</p> <p>乳白色</p>	 <p>背面図</p> <p>乳白色</p>	 <p>背面図</p> <p>乳白色</p>
	樹脂材質	ポリプロピレン	ポリプロピレン	ポリプロピレン
UL94 試験	燃焼状態	 <p>可燃 (N=4)</p>	 <p>可燃 (N=5)</p>	 <p>可燃 (N=5)</p>
	燃焼時間	30 秒以上	30 秒以上	30 秒以上
	把持部までの燃焼	有	有	有
	脱脂綿の着火有無	有	有	有
	難燃性規格	—	—	—
難燃添加物の有無	—	—	—	

図 35 各サンプル部材の物性評価、燃焼試験評価および難燃剤添加物評価の結果

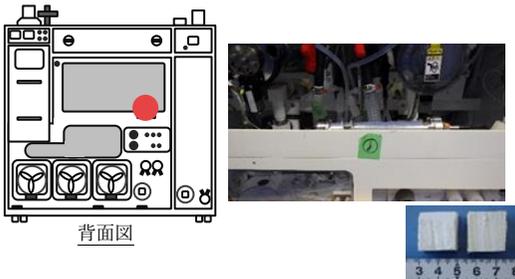
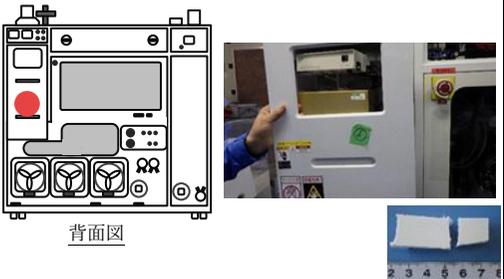
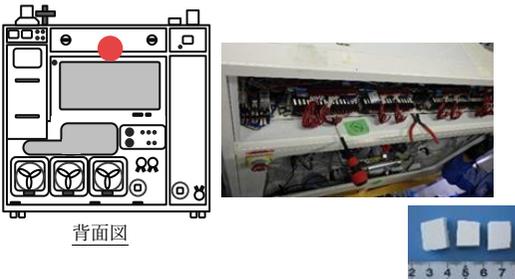
		j. N ₂ ヒーター近辺筐体カバー	k. 制御部筐体カバー	l. 処理室・電装部仕切り板
取得サンプル		 <p>背面図</p> <p>乳白色</p>	 <p>背面図</p> <p>乳白色</p>	 <p>背面図</p> <p>乳白色</p>
	樹脂材質	ポリプロピレン	ポリプロピレン	ポリプロピレン
UL94 試験	燃焼状態	 <p>可燃 (N=3)</p>	 <p>可燃 (N=5)</p>	 <p>可燃 (N=4)</p>
	燃焼時間	30 秒以上	30 秒以上	30 秒以上
	把持部までの燃焼	有	有	有
	脱脂綿の着火有無	有	有	有
	難燃性規格	—	—	—
難燃添加物の有無	添加無し	添加無し	添加無し	

図 36 各サンプル部材の物性評価、燃焼試験評価および難燃剤添加物評価の結果

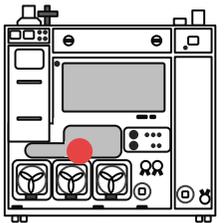
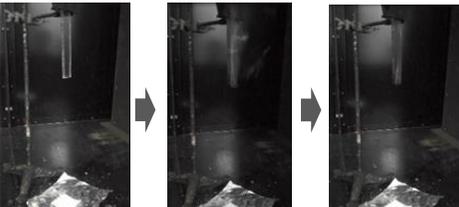
		m. 筐体カバー	
取得サンプル		 背面図	 
		透明色	
樹脂材質		ポリ塩化ビニル	
UL94 試験	燃焼状態	 難燃 (N=4)	
	燃焼時間	0 秒	
	把持部までの燃焼	無	
	脱脂綿の着火有無	無	
	難燃性規格	V-0 相当	
難燃添加物の有無		添加無し	

図 37 各サンプル部材の物性評価、燃焼試験評価および難燃剤添加物評価の結果

5.3.4 火災発生における推定原因の絞り込み

考えられる出火原因を抽出するために、類似装置 SF6-4 をモデルとして状況を確認し、電氣的要因 18 ケースおよび化学的的要因 1 ケースを抽出した。それぞれのケースの検証として、電装部材等の難燃性評価および筐体部材等の難燃性評価を実施し、推定発災装置 SF6-3 が火災発生点として見いだせるか調査した。

電装部材等の難燃性評価では、いずれの部材においても自己消火性は確認できたが、バーナー接炎時は発火したことから、火災発生点となる可能性がある。特に③モーター基板、⑭ヒーター端子については、バーナー離炎時においても、残炎が生じ、⑭ヒーター端子については、火を保持したまま樹脂が溶融する現象が確認できたことから、可燃性樹脂に干渉した場合は、延焼する可能性がある。またケーブル関連は、自己消火性は確認できたが、継続的に熱源を与えると、離炎後も残炎時間が長くなる傾向があることから、延焼経路となる可能性がある。

筐体部材等の難燃性評価では、筐体カバーや、ヒーター端子台カバーなど装置に多く使われている乳白色の樹脂は、ポリプロピレンであった。仕様書上では、「難燃性乳白色ポリプロピレン」と記述されていたが、類似装置 SF6-4 の筐体部材等に難燃剤は添加されておらず、可燃性であることを確認した。

以上の結果から、電装部材で何らかの発火が生じ可燃性樹脂が近接している場合、装置全体に延焼する可能性があることが見いだされた。

これをもとに、抽出された電氣的要因 18 ケースおよび化学的的要因 1 ケースから、推定出火原因の可能性が高いと考えられるケースの絞り込みを行った。電装部材等および筐体部材等の難燃性評価に加え、火災に対する安全機構の有無、使用電圧、保全点検の有無および可燃物との距離の観点から可能性が高いケースを抽出した結果、N₂ヒーター、タンクヒーターに関連するケース 14（プロセス部の電源コード端子部の接合不足による接触不良および半断線）およびケース 15（プロセス部の電源コード端子部の緩みによる接触不良および半断線）が他ケースと比較して可能性が高く、筐体部材のポリプロピレンに延焼した可能性がある。各ケースの絞り込み結果一覧を図 38 と図 39 に示す。

ヒーター端子台からの発火メカニズムとして、下記を推定している。

- ① 装置不稼働時もヒーター温調は継続している中、長期間の通電や装置振動により、端子部カシメ部の接合不足や端子台ネジ部の緩みが発生し、接触不良のリスクが高まる。
- ② 一部のみ接触、半断線または接触・非接触を繰り返す状態になり、通電面積の減少などにより発熱。
- ③ 配線の絶縁被覆が溶融し短絡し発火。または、通電面積減少により、接触部で過熱し、赤熱する。発火温度に到達して発火（亜酸化銅増殖現象含む）。
- ④ 近接する（1-2 cm）中継端子箱（ポリプロピレン製）が出火し端子台ボックスへ延焼拡大。
- ⑤ 周囲のポリプロピレン部に次々に延焼し、装置全体に延焼。装置内には排気による気流、装置外はクリーンエアによる気流があり、火災拡大を早めた可能性がある。

上記メカニズムは検証ができていないため、推定の域を出ないが、同様な端子台からの発火として、東京消防庁内で 2 件の類似例が発生している。東京消防庁監修「新火災調査教本（第 3 巻）」に掲載されている事例では、オイルヒーター内部のオイルをシースヒーターで加熱する暖房器具（1200W）で、ヒーター配線の接続部が緩み、短絡・発火したと推定している。端子台はほぼ同形状、電源容量も同程度であるため、SF6-3 も同様な経緯で火災が発生する可能性は考えられる。

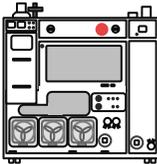
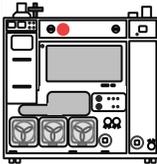
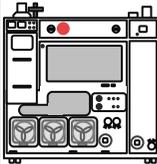
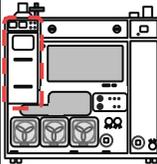
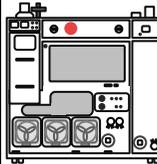
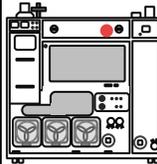
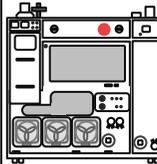
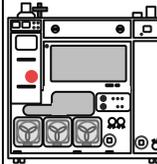
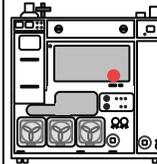
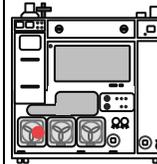
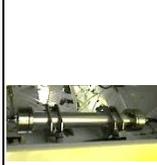
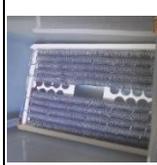
	ケース 1	ケース 2	ケース 3	ケース 4	ケース 5	ケース 6	ケース 7	ケース 8	ケース 9	ケース 10
分類	電氣的要因 (電源制御部)								電氣的要因 (プロセスエリア)	
概要	モーター制御基板 コンデンサによる 発火	電磁接触器でのト ラッキング現象	有接点リレー部 でのトラッキング現 象	ヒーター制御部品 の劣化	ヒーター制御 S S R (無接点リレ ー) の素子劣化	SV (電磁弁) のコ イルの絶縁劣化	電源(200V)制御動 力系統ケーブルの 接触不良/半断線	電源(DC24V)制御 ケーブルの接触不 良/半断線	N ₂ ヒーター温度セ ンサー故障	タンクヒーター温 度センサー故障
可能性事象	コンデンサ絶縁劣 化や静電容量抜け による発火の可能 性	長期間の開閉動作 によるトラッキン グ発生	経年使用による有 接点開閉時のアーク 発生	半導体製品の絶縁 劣化による温度制 御、I/L 制御不良	SSR (無接点リレ ー) の素子劣化に よる通電破壊	電磁弁コイルの絶 縁劣化による発熱・ 短絡	経年使用による端 子部緩み	経年使用による端 子部緩み	経年使用による制 御基板の故障	経年使用による制 御基板の故障
装置箇所										
部品名称	コンデンサ	電磁接触器	有接点リレー	ヒーター制御部品	ヒーター制御 SSR	電磁弁	電磁弁制御部品	系統ケーブル	N ₂ ヒーター	タンクヒーター
写真										
負荷設備	モーター	非常停止用電源開 閉器、ヒーター用 I/L 電磁接触器	制御信号用の有接 点用リレー	制御信号用の基板	N ₂ ヒーター、タン クヒーター	電磁弁	モーター、N ₂ ヒ ーター、タンクヒ ーター	制御部	N ₂ ヒーター	タンクヒーター
火災に対する安全 機構	無し	無し	無し	無し	温度 2 重化	無し	無し	無し	温度 2 重化	温度 2 重化
電圧	AC200V	AC200V	DC24V 以下	DC24V 以下	AC200V	DC24V 以下	AC200V	DC24V 以下	AC200V	AC200V
保全点検	3 年ごとの保安点 検	3 年ごとの保安点 検	3 年ごとの保安点 検	3 年ごとの保安点 検	3 年ごとの保安点 検	3 年ごとの保安点 検	3 年ごとの保安点 検	3 年ごとの保安点 検	定期点検対象外	定期点検対象外
可燃物との距離	筐体 PP に近接 (~10 cm)	筐体 PP に近接 (~10 cm)	筐体 PP に近接 (~10 cm)	近接無し	筐体 PP に近接 (~10 cm)	筐体 PP に近接 (~10 cm)	筐体 PP に近接 (~10 cm)	引廻しにより一部 近接	台座樹脂 PP に近 接 (~2 cm)	近接無し
燃焼試験結果	・難燃性 ・自己消火性	・難燃性 ・自己消火性	・難燃性 ・自己消火性	・難燃性 ・自己消火性	・難燃性 ・自己消火性	・難燃性 ・自己消火性	・難燃性 ・自己消火性	他部材より難燃性、 自己消火性を推定	・難燃 ・自己消火性	タンクは PFA

図 38 各ケースの絞り込み結果一覧

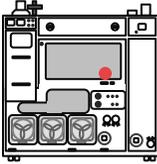
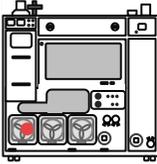
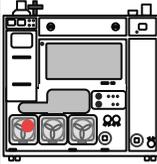
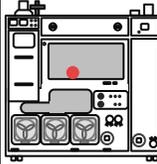
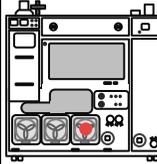
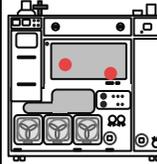
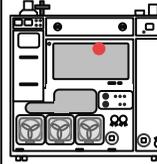
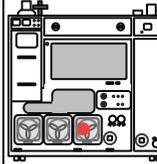
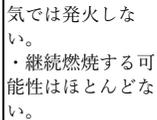
	ケース 11	ケース 12	ケース 13	ケース 14	ケース 15	ケース 16	ケース 17	ケース 18	ケース 19
分類	電氣的要因 (プロセス部)								化学的起因
概要	N ₂ ヒーター制御基板故障	タンクヒーター制御基板故障	タンク液漏洩によるヒーター空焚き	プロセス部電源コード端子部の接触不良/半断線	プロセス部電源コード端子部の接触不良/半断線	電源ケーブル端子部での薬液被液によるトラッキング現象	モーターの劣化による層間短絡	開閉スイッチ部の接触不良	漏洩アンモニアガスへの引火
可能性事象	経年使用による制御基板の故障	経年使用による制御基板の故障	プラスチックタンクからの漏洩	経年使用による接合不足・金属腐食	経年使用による振動等による端子部緩み	薬液の電源接点への漏洩	経年使用による層間短絡	経年使用による接触不良	経年使用によるヒーター制御基板故障
装置箇所								絵挿入	
部品名称	N ₂ ヒーター	タンクヒーター	タンクヒーター	N ₂ ヒーター タンクヒーター	N ₂ ヒーター タンクヒーター	各ケーブル	モーター	開閉スイッチ	アンモニア過水タンク
写真									
負荷設備	N ₂ ヒーター	タンクヒーター	タンクヒーター	N ₂ ヒーター タンクヒーター	N ₂ ヒーター タンクヒーター	N ₂ ヒーター モーター タンクヒーター	モーター	開閉装置	—
火災に対する安全機構	温度 2 重化	温度 2 重化	薬液レベルセンサー	無し	無し	被液防止カバー	過負荷防止	無し	漏洩センサー
電圧	AC200V	AC200V	AC200V	AC200V	AC200V	AC200V	AC200V	DC24V 以下	—
保全点検	定期点検対象外	定期点検対象外	定期点検対象外	定期点検対象外	定期点検対象外	定期点検対象外	定期点検対象外	日常点検項目	定期点検対象外
可燃物との距離	台座樹脂 PP に近接 (~2 cm)	近接無し (タンクは PFA)	近接無し (タンクは PFA)	台座樹脂 PP に近接 (~2 cm)	台座樹脂 PP に近接 (~2 cm)	台座樹脂 PP に近接 (~2 cm)	モーターカバーは PVC	台座樹脂 PP に近接 (~2 cm)	近接無し (タンクは PFA)
燃焼試験結果	・難燃性 ・自己消火性	・難燃性 ・自己消火性	・難燃性 ・自己消火性	・難燃性 ・自己消火性 *端子部溶解	・難燃性 ・自己消火性 *端子部溶解	・難燃性 ・自己消火性	・難燃性 ・自己消火性	—	—

図 39 各ケースの絞り込み結果一覧

5.4 延焼原因の推定

【4.1 火災に至る過程】および【4.3 火災による物的被害】で述べた通り、4階クリーンルームのウエハ製造エリアは、広範囲に渡って焼損した。FAB棟5階にも延焼し、事務所、ウエハ検査およびチップ検査エリアの検査装置、仕掛け製品、付帯設備および各種部材等が広範囲に渡って焼損し、5階屋根が一部崩落した。推定発災装置SF6-3からどのように火災拡大に至ったのか延焼原因についても調査した。災害用ドローン等で装置付近の現場確認やFAB棟4階クリーンルームに存在する可燃物重量および気流影響から延焼原因を推定した。

5.4.1 クリーンルーム防火区画内の延焼推定

【4.1.2 事故の進展状況（2）延焼状況】に述べた通り、16時40分頃の出火確認時から20分後の17時00分頃には防火区画Aゾーンがすべて検出限界40℃以上に達しており、急激に火勢が増したと想定される。4階クリーンルーム1ベイ付近のドローン調査から、クリーンルーム気流制御用のパーティションが原形を留めていないほど焼失しており、クリーンルーム上部に取り付けられているFFUおよびHEPAがグレーチング床面に脱落している。1ベイメンテナンスエリアの推定発災装置付近被害状況を図40に示す。以下、現場確認およびクリーンルーム設計図面から可燃物について調査した。

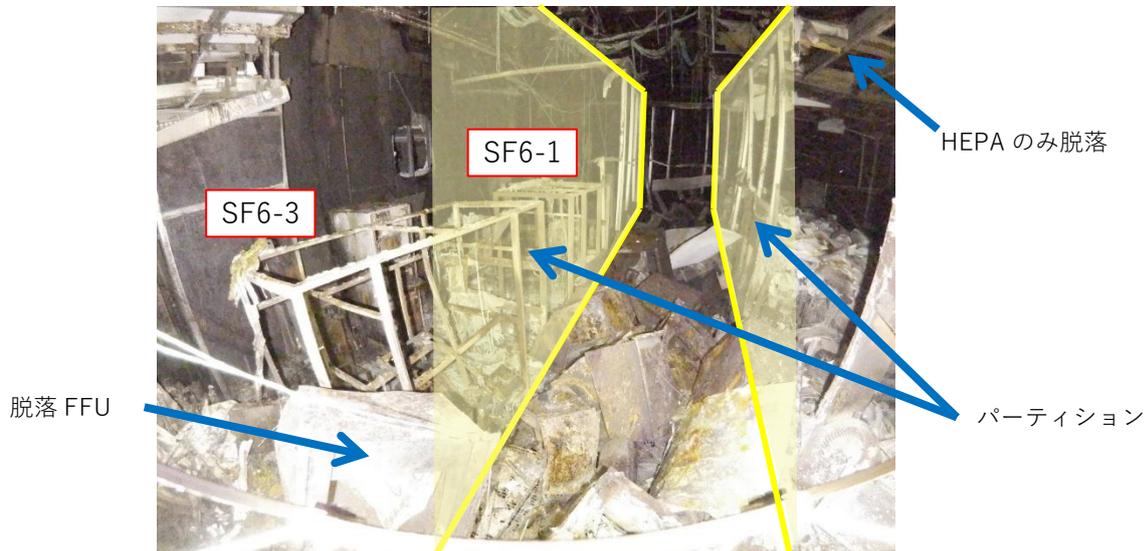


図40 1ベイメンテナンスエリアの推定発災装置付近被害状況

(1) パーティション

パーティションは、クリーンルーム気流制御用の、メンテナンスエリアと作業エリアを区切るための仕切り板である。メンテナンスエリアは上向きの気流、作業エリアは下向きの気流を発生させるため、パーティションで両エリアを区切ることで気流を制御することができる。発災前の1ベイ付近の写真および

クリーンルームの気流制御構造概要図を図 41 に示す。パーティションは、芯材のポリエチレンにアルミをラミネートした構造であるが、ポリエチレンが可燃性樹脂のため、火炎が付近にあった場合は発火し、延焼する。

(2) HEPA (High Efficiency Particulate Air Filter)

HEPA は、内部のろ材 (ガラス繊維) とセパレータ (ポリエチレン被膜のセルロース) を接着剤・シール材 (有機材) にて外枠に取り付けた構造となっており、セパレータおよびシール材が可燃性である。SF6-3 発災後の熱風が気流循環された場合、HEPA 内部が熱風に晒され発火する可能性がある。クリーンルーム上部に取り付けられている FFU は、HEPA を筐体に組込んだ送風ユニットで、クリーンルーム内の現場確認では、被害が大きい箇所は、大部分の FFU が床面に落下している。

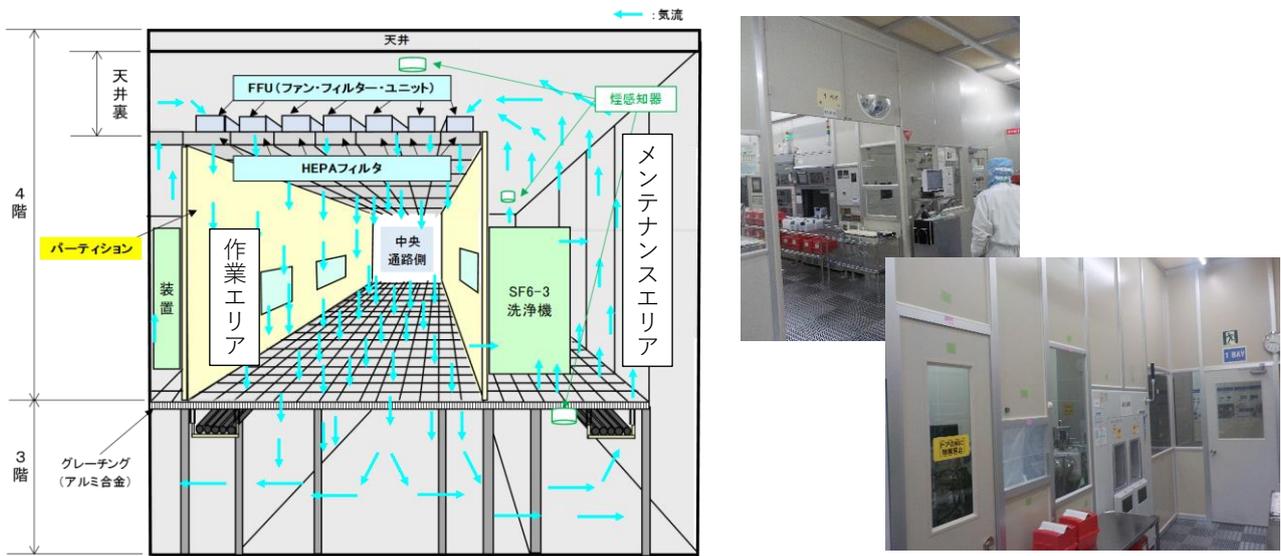


図 41 発災前の 1 ベイ付近の写真およびクリーンルームの気流制御構造概要図

(3) 洗浄機および IPA 薬液

クリーンルーム内の現場確認で、洗浄機付近の被害が甚大であった。洗浄機被害が大きかった理由として、ウエハ製造における洗浄工程の洗浄後乾燥において、IPA 乾燥と呼ばれる乾燥プロセスを適用していることが挙げられる。乾燥に使用される薬液は IPA (イソプロピルアルコール) で可燃性があり、引火点 11.7°C、発火点 460°C である。消防法に定める第 4 類危険物アルコール類に該当する。また対象洗浄機の IPA 乾燥部の筐体はステンレス製であるが、装置外枠の筐体は塩ビで製作されている。塩ビは、自己消火性を有する難燃性樹脂であるが、熱源が存在する場合は、燃焼するため焼損が著しかったと推定する。

以上の結果から FAB 棟 4 階クリーンルームにはいくつかの可燃物が存在しており、延焼原因として考えられる。4 階クリーンルームの推定概算可燃物重量を表 6 に示す。樹脂製装置の多くは、塩ビ製で約

64.9 トン保有していたと推定している。16 時 56 分頃に、クリーンルーム内全装置への薬液自動供給を遮断しているが、装置内および配管内に残存している IPA などのアルコール類は、約 0.2 トン存在したと推定している。また空調用 HEPA は約 5.2 トン、パーティションは約 11.8 トン存在したと推定している。

分類	物質	重量
樹脂製装置	ポリプロピレン 塩化ビニル	約 0.3 ton 約 64.9 ton
危険物	アルコール類 レジスト類 シンナー類 シラン類 その他	約 0.2 ton 約 0.1 ton 約 0.1 ton 約 0.1 ton 約 0.3 ton
空調用 HEPA	セルロース、ポリエチレン、 他（接着剤等の有機材）	約 4.0 ton 約 1.2 ton
気流制御用パーティション	ポリエチレン	約 11.8 ton

表 6 4 階クリーンルームの推定概算可燃物重量

FAB 棟 4 階クリーンルームの被害状況と可燃物設置場所（FFU、パーティション、洗浄機）の位置関係を図 42 に示す。防火区画 A ゾーンの FFU は、洗浄機付近の被害が大きく、大部分のエリアで FFU が脱落している。B ゾーンでは、パーティションと洗浄機が設置されているエリアで FFU の脱落が生じている。C ゾーンでは、パーティションが少ない 23 ベイ付近では、FFU および HEPA の焼損は少ないことを確認している。

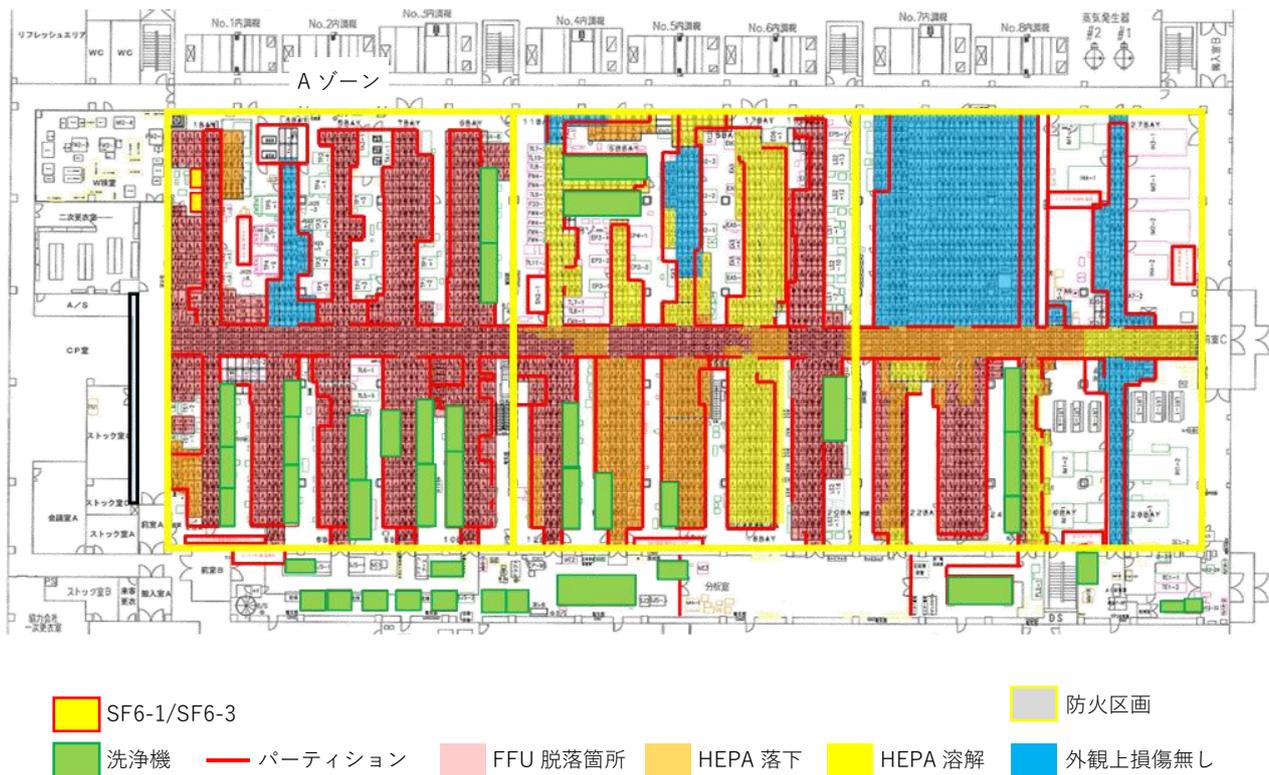


図 42 FAB 棟 4 階クリーンルームの焼損状況と可燃物設置場所 (FFU、パーティション、洗浄機) の位置関係

また短時間で温度が上昇した要因として、クリーンルーム内の気流循環が推定要因として挙げられる。クリーンルーム内の気流循環の模式図を図 43 に示す。一時間あたりのクリーンルーム内の空気循環回数は、約 56 回であり、一時間あたりの外気入れ替わり回数は、約 4 回である。FAB 棟 4 階クリーンルームで採用されている全面ダウンフロー方式や、パーティションで気流を制御するようなスルーザウォール方式のようなクリーン化方式では、火災等が発生した場合に熱風が短時間で循環し、熱風が逃げにくい密閉空間となりやすい。その結果、防火区画内で温度上昇が急速に発生し、IPA への引火や、HEPA およびパーティションへの延焼を引き起こしたと考えられる。

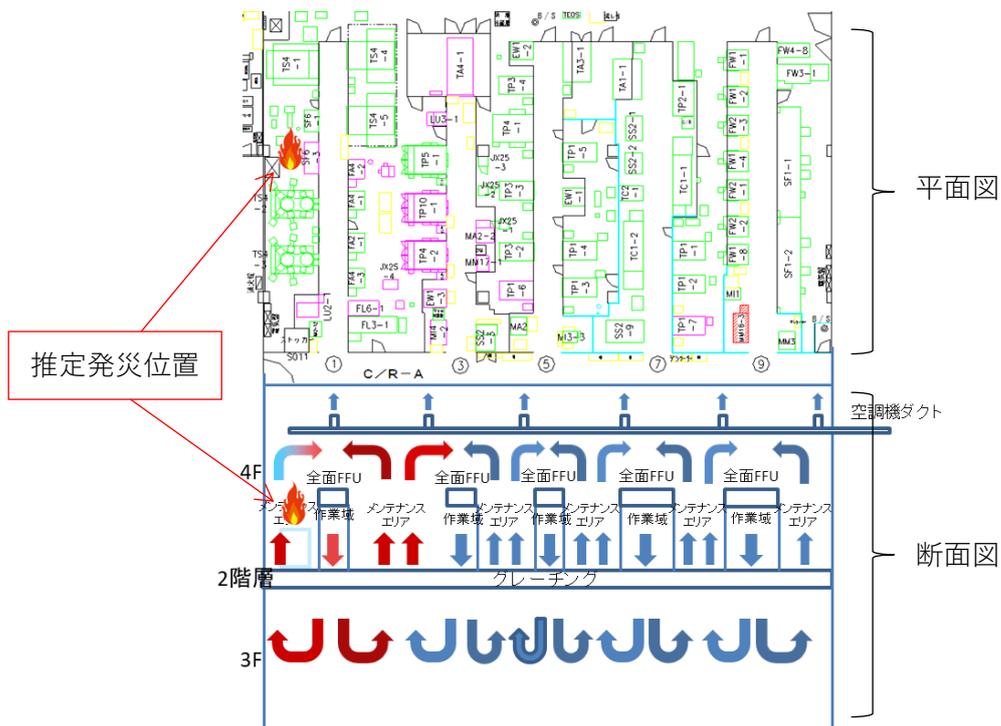


図 43 クリーンルーム内の気流循環の模式図

5.4.2 クリーンルーム防火区画間の延焼推定

図 42 に示すように、被害の大きさは、SF6-3 が設置されている A ゾーンが最も大きく、B ゾーン、C ゾーンの順となる。【4.1.2 事故の進展状況 (2) 延焼状況】での温度履歴では、出火確認後 20 分で防火区画 A ゾーンがすべて 40℃以上に達し、B ゾーンの温度上昇は確認されなかった。防火区画は、繊維混入スラグ石膏板 (厚さ 8 mm) + 石膏板 (厚さ 12 mm) を両壁に持つ準耐火防火区画で耐火時間は 1 時間である。各防火区画間の防火扉は、近傍の煙感知器と連動している。17 時 15 分頃 (出火確認後 35 分)、18 時 00 分頃 (出火確認後 80 分)、18 時 45 分頃 (出火確認後 125 分) の時点でのクリーンルーム温度分布を図 44 に示す。17 時 15 分頃 (出火確認 35 分後) の温度分布より、温度上昇が A ゾーンにて遮断されている。18 時 00 分頃 (出火確認後 80 分) 頃から徐々に B ゾーンの温度が上昇し始めていることから、A ゾーンと B ゾーンの防火区画は、規定耐火時間内 (1 時間) で防火区画および防火扉が機能していたことが確認できる。また、18 時 45 分頃 (出火確認後 125 分) の時点で B ゾーン全体の温度上昇が確認できる。その後の温度分布については、【4.1.2 事故の進展状況 (2) 延焼状況】に示すように 20 時 32 分頃には防火区画 C ゾーン全体が 40℃以上の温度上昇を確認している。

現場確認による防火区画の焼損状況を図 45 に示す。現場確認結果から、B 区画と C 区画の防火区画が焼損しており、耐火時間を越えた火災が発生したことが確認できる。

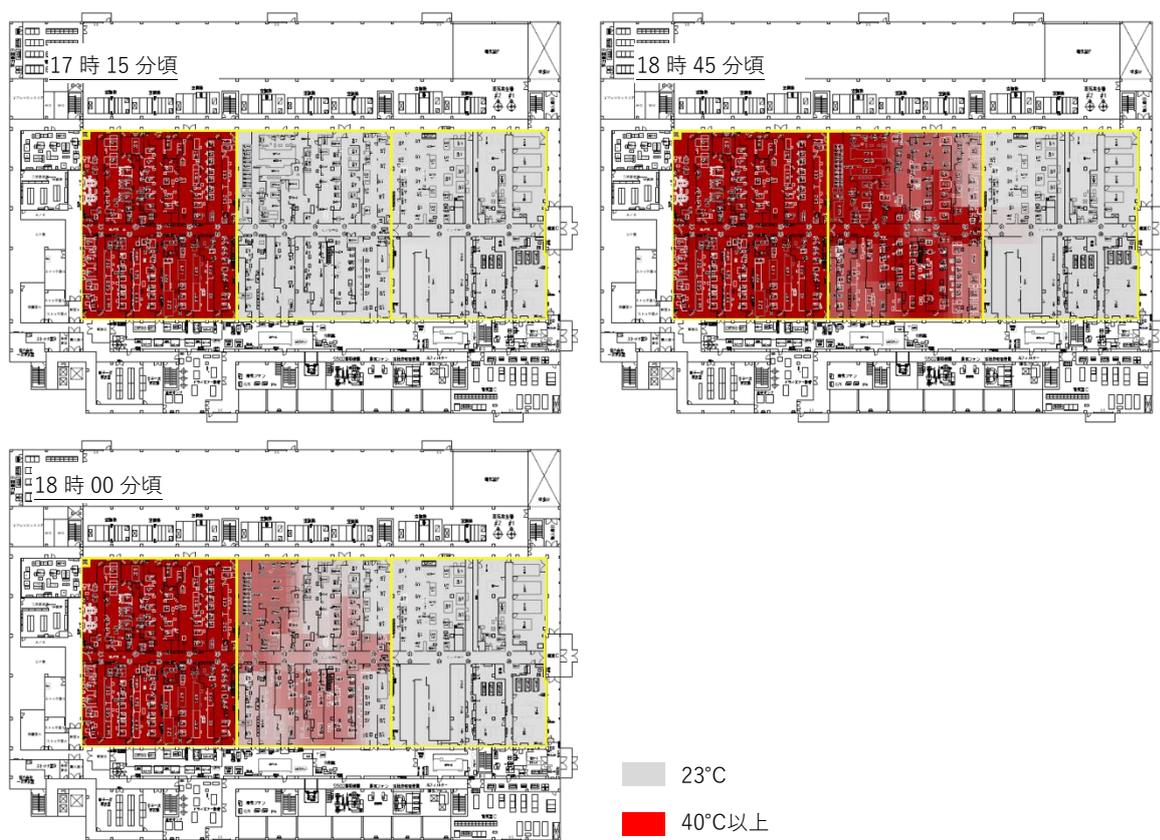


図44 17時15分頃（出火確認後35分）、18時00分頃（出火確認後80分）、18時45分頃（出火確認後125分）時点でのクリーンルーム温度分布



図45 B区間とC区間の防火区画の焼損状況

5.4.3 4階と5階の階層間の延焼推定

10月22日01時40分頃に、FAB棟屋上南側において出火を確認し、02時14分頃に、FAB棟西側事務所の南側に延焼し、02時59分頃に、FAB棟屋上北側において、出火を確認した。4階と5階の階層間の延焼経路として、製品搬送用エレベーター、階段、エレベーターおよび排煙ダクト等の4階と5階がつながる経路を確認したが、いずれの焼損状況からも延焼経路と判断できなかった。

特定には至っていないが、可能性の1つとして、階層間の熱伝導および輻射熱による延焼が考えられる。熱伝導および輻射熱による推定延焼メカニズムは、はじめに出火が確認された5階FAB棟屋上南側直下のFAB棟4階クリーンルームには、IPAを使用する洗浄機を含む計8台が設置されており、最も被害が大きかった場所である。当該場所で発生した熱が天井に伝わった場合、4階と5階の階層間のコンクリート（厚み130mm）が熱せられ、5階床下空間にある電源コードやネットワーク回線等の焼損を介して延焼することが可能性として考えられるが、推定の域を出ていない。

5.5 火災発生から延焼に至る推定シナリオ

本火災事故調査報告書で見いだされた出火原因および延焼原因の推定により、火災発生から延焼に至る推定シナリオを要約する。

(1) 推定発災装置

発災現場での装置確認が困難なため、発災当初の目撃証言、装置運転状況および装置薬液供給信号状況の検証を行い、火災発生点の特定はできなかったが、SF6-3が火災発生点である可能性が見いだされた。

(2) 出火原因の推定

考えられる出火原因を抽出するために、類似装置であるSF6-4をモデルとして状況を確認し、電気的要因18ケース、化学的要因1ケースを抽出し、可能性の高さを検証した。さらに、電気的要因18ケースから、推定出火原因の可能性が高いと考えられるケースの絞り込みを行った。SF6-4の検証結果から、SF6-3においても同様に、端子部の接触不良や半断線により発熱・発火し、筐体部材（ポリプロピレン）が可燃性であったことから、筐体に延焼したと考えられる。本ケースの絞り込みは、仮説から得られたケースに基づく中の絞り込みであり、推定発災装置SF6-3も原形を留めていないほど焼失しているため、あくまでも推定の域を出ない。

(3) クリーンルーム防火区画内の延焼推定

クリーンルーム内の気流循環により、防火区画内で急速に温度が上昇した可能性がある。さらに、FAB棟4階クリーンルームには可燃物が存在していたため、装置内に残留していた少量の薬液、例えば、乾燥プロセスに使用されるIPAの引火や、HEPAおよびパーティション等への延焼を推定している。

(4) クリーンルーム防火区画間の延焼推定

延焼時間と防火区画の焼損状況から、耐火時間を超えた火災が発生したと考えられる。また、温度履歴

からも防火区画は耐火時間（一時間）を超えた延焼が続いたと考えられる。

（５）４階と５階の階層間の延焼推定

４階と５階の階層間の延焼経路として、製品搬送用エレベーター、階段、エレベーターおよび排煙ダクト等の４階と５階がつながる経路を確認したが、いずれの焼損状況からも延焼経路と判断できなかった。なお、特定には至っていないが、可能性の１つとして、FAB棟４階クリーンルームの最も被害が大きかった場所からの階層間の熱伝導および輻射熱により、５階床下空間にある電源コードやネットワーク回線等の焼損を介して延焼することが考えられる。

6 法令・社内規程の遵守状況

火災発生防止および被害最小化の観点から消防法の遵守状況、防火・耐火の観点から建築基準法の遵守状況および事業用電気工作物の保守管理の観点から電気事業法の遵守状況について調査した。それぞれの法令に対しての遵守状況を下記に記す。

6.1 法令の遵守状況

防火管理者の選定および更新等の届出（消防法第8条）：消防法管理者等選任届出台帳にて、いつ誰を選任したかの届出を記録している。

防火対象物使用開始の届出（延岡市火災予防条例第43条）：防火対象物使用開始届出台帳にて、届出受理年月日、許可番号等を記録している。

製造所、貯蔵所又は取扱所の許可（消防法第11条）、少量危険物貯蔵所、取扱所の届出（延岡市火災予防条例第46条）、圧縮アセチレンガス等の貯蔵又は取扱いの届出（消防法第9条の2）、火気使用設備等の設置の届出（延岡市火災予防条例第44条）：危険物施設等届出台帳にて、設備単位、区画室単位で届出を記録している。火災が発生したため、火災エリアでの現物確認はできていないが、別図面、機器リスト等で、容量等が間違いないことを確認している。

消防用設備設置の届出・検査（消防法第17条の3の2）：消防用設備設置届出台帳にて、消防に届出を行い、完成検査が実施済みであることを記録している。なお消火器設置について、A火災（一般火災）としてクリーンミスト消火器を、B火災（油火災）としてCO₂消火器を対象場所から20m以内に設置しており、消火栓については、あらゆる場所から水平距離25m以内になるように設置しており、いずれも消防法要件を満たしていることを確認している。

消防用設備等点検報告（消防法第17条の3の3）：機器点検として適正に配置されているか、更に機器の外観と簡単な操作で判別できる事項を確認している（6か月に1回）。また、総合点検として、実際に作動させて、総合的な機能を確認している（1年に1回）。

(2) 建築基準法の遵守状況

建築確認申請（建築基準法第6条）：最新の建築確認申請は、FAB棟1階・2階クリーンルームの増築で申請しており、検査済証（第375号）を2005年2月23日に受領済。建築物（防火区画など）、建築設備（換気設備、排煙設備、非常用照明設備など）、防火設備（防火戸、防火ダンパー）について検査済み。

特殊建築物の仕上げの確認（建築基準法第35条の2）：FAB棟1階・2階クリーンルームの増築で、検査済証（第375号）受領済み。

(3) 電気事業法の遵守状況

保安規程の制定、届出および遵守（電気事業法第42条）：被災により届出原本は確認できていないが、

2014年7月1日改定後の最新の保安規程を経済産業省九州産業保安監督部に届出している。

保安規程の遵守（電気事業法第42条第4項）：2019年に実施した「SF6-3 電気保安点検記録書」を確認し、保安規程どおりに点検等行われていたことを確認している。

消防法、建築基準法および電気事業法等の関連する法令の遵守状況について調査した結果、対応する届出、申請、点検等が実施されていることを確認している。

6.2 社内規程の遵守状況

FAB2 半導体製造工場において、ウエハ製造工程で取り扱う生産装置の保全業務は、ウエハ製造課にて運営および管理を行っている。生産装置の特徴に合わせて、点検・保守等の管理項目および頻度を社内にて規定している。運営方法は、保全管理システム(MOPS)を利用し、「装置毎」に方針・計画・業務・解析分析・評価を実施し、点検・保守等の管理項目および頻度を設定し、管理運営を行っている。定期点検は、日ごとから年ごとまでの点検頻度を装置ごとに規定している。故障トラブル等で規定された交換等の保守は、予防保全と事後保全に区分しており、定期メンテナンスを行う、または機械・設備の状態を監視し、状態に応じてメンテナンスを行う予防保全と、機械・設備が壊れてからメンテナンスを行う事後保全を装置ごとに規定している。電気の保安点検は、電気事業法に則り、社内にて電気保安項目を規定し、装置の電装部を中心に絶縁測定・緩みチェック触手・変色・損傷の点検と漏電遮断器動作試験を3年に1回の頻度で規定している。直近2019年のSF6-3 電気保安点検では、異常が無いことが確認できている。

推定発災装置であるSF6-3は、日常点検として、1日に1回の頻度で、タンク温度、薬液濃度・流量、装置筐体排気状態を規定し、装置健全性の確認を実施している。保守として、1年に1回の頻度で、薬液循環ポンプの交換を実施している。その他保守については、SF6系故障率が0.13%であり、SF6-3を管理するウエハ製造課第四グループの故障率目標2.4%以下を大きく下回っていること、さらに保安防災上のリスクとして、危険物の取り扱いがない装置であること等から、事後保全方式を採用している。電気保安点検は前述のとおり、社内にて電気保安項目を規定し、3年に1回の頻度でSF6-3電装部の絶縁測定、漏電遮断器動作試験、触手・臭い・外観による電気部品類の変色・緩みの確認を実施している。

推定発災装置であるSF6-3の装置管理状況として、定期点検項目、定期保守項目、電気保安点検項目において、社内規程に基づき管理・運営を実施していることを確認した。

7 火災発生 の 早期検知

初期消火の観点から、火災発生時の早期検知を実現し、初期消火活動を実行することで火災拡大を抑止することができると考えられる。

本火災事故は、10月20日16時39分頃に人による異常感知で出火を確認した。2種光電式煙感知器（受信機：R型アナログ式受信機）が検知したのは、2分後の16時41分頃であり、人による検出のほうがかつた。また、16時40分頃に自動ドア隙間からすでにメンテナンスエリア全体が赤く見えていたことを確認しており、16時41分頃のクリーンルーム横の見学者通路からの出火確認では、すでに高さ2~3mの炎を確認している。この火勢状況から推定すると、人による異常感知よりも前に発災していた可能性がある。

FAB棟4階クリーンルーム内における火災報知器設置状況、当該場所に設置されていた2種光電式煙感知器による検出感度およびクリーンルームの気流循環機構度から、早期検知が困難であった要因について推定した。

7.1 火災報知器の設置状況

FAB棟4階クリーンルームには、FFU上の天井部に2種光電式煙感知器を設置しており、監視面積は消防法施行規則第23条より、75m²あたり1台必要で、設計図面より消防法設置基準を満たしていることを確認している。1ベイメンテナンスエリアにあるSF6-3付近には計2台設置されており、警報履歴から、両方の2種光電式煙感知器が16時41分頃に火災を検知している。またFFU下の作業エリアに2種差動式スポット型感知器（熱感知器）を設置しており、監視面積は同法より、70m²あたり1台必要で、設計図面より設置基準を満たしていることを確認している。SF6-3付近の1ベイ作業エリアには計1台設置されており、警報履歴から16時48分頃に火災を検知している。

7.2 2種光電式煙感知器による検出感度

2種光電式煙感知器の検出感度は、送光器から光を100%出力し、受光器で90%となったときに、煙による減光率10%/mとして表され、減光率10%以上となったときに火災発生を検知する。減光率10%のときの居室状況例を図46に示す。減光率10%のときは、居室内が白く、周囲が見えにくい状態になるが、本火災事故において、16時39分に第一発見者であるA社員が異常を感知した段階では、まず臭いで異常に気付いた。視界はうっすらと白くなっている程度で視界は良好であった。1ベイメンテナンスエリアにあるSF6-3付近の2種光電式煙感知器が検知し、ベルが鳴動したのは、16時41分であることから、2種光電式煙感知器の感度では、早期検知は困難であったと考えられる。



図 46 煙濃度 10%状態の居室状況

7.3 クリーンルームの気流循環機構

一般居室では、煙粒子は天井面で水平方向に広がり滞留するため、早い段階で減光率が 10%以上となり、2 種光電式煙感知器でも早期検知できるが、クリーンルームでは、【5.4 延焼原因の推定】にてクリーンルームの気流循環構造について述べた通り、循環気流が発生する。クリーンルーム気流循環概要および装置と煙感知器の位置関係を図 47 に示す。メンテナンスエリア内では、上向きの気流が発生し、天井付近の空気は、FFU によって吸引され、HEPA フィルタにて清浄化されたのちに、下向きの気流にて作業エリアを通過する。従って、メンテナンスエリアで発煙した場合、発生した煙粒子は、天井に設置してある煙感知器付近で滞留する前に FFU へ吸引され、HEPA により除去されてしまうため、天井付近で滞留し、減光率に達するまで時間を要し、検知が遅れてしまうことが考えられる。

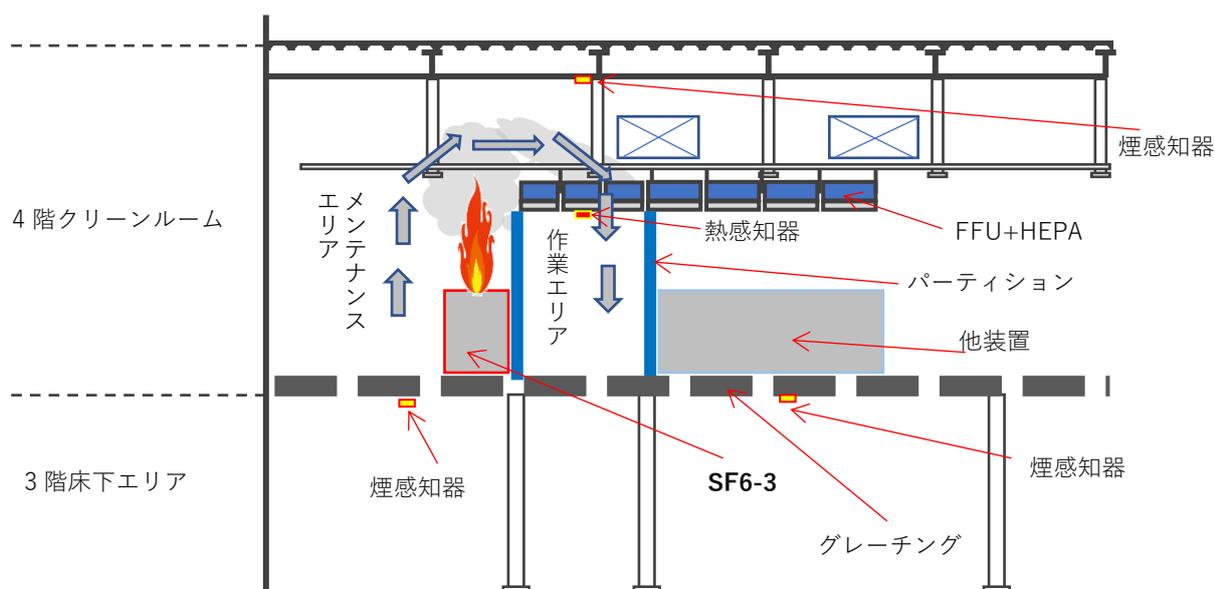


図 47 クリーンルーム気流循環概要および装置と煙感知器の位置関係

8 初動および初期消火活動

FAB2 半導体製造工場の防災内規に定められている緊急事態発生時の対応および防災活動内容に基づき、避難活動および初期消火活動等の初動活動を実施することとしていたが、本火災事故では火勢の状況から初期消火活動が困難であったことが、従業員のヒアリングより明らかとなっている。

16時39分頃にA社員は、4Fクリーンルーム入室のためにクリーン服に着替え、エアシャワー室に入ったときに異臭を感じた。さらに、エアシャワー室からアクセスエリアに出たときに、異臭が強くなっており、視界にうっすらと白い靄を感じ、すぐにCP室のB社員に連絡した。

16時40分頃にA社員は、アクセスエリアとクリーンルーム中央通路の間にある自動ドアの隙間から1ベイメンテナンスエリアでの出火を確認し、16時41分頃にB社員は、クリーンルーム従業員への全員避難を指示、C係長は消防ホットラインで0次通報（直接119番通報すること）を実施した。

一方、A社員とD課長との間で初期消火活動についてやり取りが交わされているが、火勢の状況から、A社員が、初期消火は困難であると回答、またD課長も、16時41分頃から断続的に火災報知器および各種警報器が発報し、安全の観点から、初期消火活動を断念し、避難活動に専念した。ライフゼム（空気ボンベを搭載した自給式呼吸器）を使用しての初期消火活動は実施していない。規程では、「近くの消火器で初期消火し（消火器2本まで）消火不能の場合は避難する」と規定されているが、消火器での初期消火活動を実行することは困難であった。なお事故調査の過程の中で1ベイ付近の室温は、16時40分頃は、23.8℃であったが、7分後の16時47分頃には56.3℃と温度が著しく上昇していることが温度履歴から明らかとなっており、1ベイ付近の火勢が急激に強まっていたと推定している。

避難活動については、16時41分頃から避難を開始し、16時48分頃には、クリーンルームで勤務していた114名全員のCP室への一次避難が完了し、16時49分頃に屋外避難を開始、17時00分頃に屋外避難が完了している。

公設誘導については、防災内規に基づき、16時49分頃に公設消防が現場到着し、公設消防による火災状況確認が開始された。

従業員のヒアリング結果、温度履歴および各種警報器の発報履歴から、人による異常感知と出火確認時点では、すでに火勢が強くなっており、防災訓練で想定している初期消火活動の範囲を超えていたと考えられる。従業員の安全を考慮し、一刻も早く避難させることを第一とした結果、初期消火活動が困難であった。また防災訓練では、初期消火隊を編成し、公設消防隊到着までの間、延焼防止のための消火活動を実行することになっているが、出火確認から9分後の16時49分頃に公設消防が現場到着しているため、防災内規に基づき、公設到着後の支援活動を実施した。

9 再発防止策

本火災事故における火災原因は、特定には至らなかったが、FAB棟4階クリーンルームにあるウエハ製造エリアにあるチタン除去装置（SF6-3）が発災装置であると推定している。出火原因の調査における推定ケースの検証および絞り込みから、SF6-3にて何らかの電氣的不具合に起因する発熱および発火が生じ、周辺部品や部材等から出火したことにより火災が発生したと推定している。

また、本火災事故が、鎮火までに92時間を要した延焼が発生した背景として、発火に対する早期検知が困難であったこと、延焼拡大が早かったことが考えられる。早期検知については、クリーンルームにおける清浄化用の空気循環システムにより、発煙時の煙粒子が滞留せずにHEPAにより除去され、検知が遅れたことが考えられる。延焼拡大については、空気循環システムによる熱風循環と、クリーンルームにある生産装置、付帯設備や原材料等に可燃物が多く存在していたことが考えられる。更に、クリーンルーム特有の気密性の高い建屋構造により、建屋外部からの消火活動が困難であったことも延焼拡大の一因であったと考えられる。

本火災事故における出火原因および延焼原因の推定に基づき、旭化成グループ全体のクリーンルームを対象とした火災発生防止対策、火災の被害最小化対策に取り組んでいく。

9.1 火災発生防止対策

過電流や漏電による電気火災は代表的な電気火災の一例であるが、旭化成グループでは、過負荷保護回路や漏電遮断器等を設置する対策を講じている。推定発災装置であるSF6-3も同機構が設置されていたため、出火原因として考えにくい。従って、出火原因の推定に基づいた、電気機器の電氣的不具合に起因する火災発生防止策が必要である。

本項では、電気保安点検の最適化および装置の筐体部材と電源制御部材の難燃化の観点から火災発生防止対策について述べる。

9.1.1 電気保安点検の最適化

SF6-3の装置管理は、社内規程に基づき点検・保守を実施していたが、結果的に何らかの電氣的不具合に起因する発熱および発火が生じ、周辺部品や部材等から出火したことにより火災が発生したと推定しており、火災発生防止対策として、クリーンルーム内の電気機器における管理項目および頻度を強化する必要がある。装置の筐体と電源制御部の部材選定の火災発生防止対策、後述する被害最小化対策も考慮した上で検討する。例えば、電気保安点検における自主点検の強化として、端子部の増し締め等の点検箇所の強化を実施し、点検項目の最適化を図る。装置構造や仕様等の制約により、対象端子等の目視確認や増し締めが困難な装置の箇所も存在する。その場合は、被害最小化対策を強化する等の他対策と合わせて火災拡大防止を図る。

なお、本再発防止策の推進過程において、クリーンルーム以外の電気機器に対しても、類似の再発防止策を検討する。

9.1.2 装置の筐体部材と電源制御部材の難燃化

電気機器の装置導入時における火災発生防止策として、装置の筐体および電源制御部において、火災発生を抑制するために不燃または難燃の性能を有する部材選定を検討する。製造プロセスおよび装置構造や仕様等の制約により、不燃性部材や難燃性部材の適用が困難な場合は、被害最小化対策を強化する等の他対策と合わせて火災拡大防止を図る。また既存装置については、装置調査から対象装置を選定し、装置導入時と同様の火災発生防止策を検討し、不燃性部材や難燃性部材の適用が困難な場合は、同様の他対策と合わせて火災拡大防止を図る。

9.2 火災の被害最小化対策

本火災事故が、鎮火までに 92 時間を要した延焼が発生した要因として、下記の 3 つが挙げられる。

1 つめは、出火の早期発見が困難であったことが挙げられる。火災報知器として 2 種光電式煙感知器を設置していたが、クリーンルームにおける清浄化用の空気循環システムにより、発煙時の煙粒子が滞留せずに HEPA により除去され、検知が遅れたことが考えられる。

2 つめは、クリーンルームにある生産装置、付帯設備や原材料等に可燃物が多く存在していたことが考えられる。SF6-3 の筐体部材は、「難燃性乳白色ポリプロピレン」と仕様書に記述されており、出火原因調査で使用した SF6-4 も仕様書に同記述がある。出火原因調査の結果から、SF6-4 の筐体部材は難燃性を有しておらず、SF6-3 筐体部材も難燃性を有していなかったと推定している。またクリーンルームにおいて、危険物、HEPA のセパレータやシール材、パーティション芯材等の可燃物が存在しており、延焼拡大の要因になったと推定している。

3 つめは、延焼拡大が早かったことが考えられる。クリーンルームにおける清浄化用の空気循環システムによる空気等の支燃物の循環が生じ、短時間で熱風がクリーンルーム全体に循環され、可燃物へ延焼した可能性がある。そのため、大量の濃煙と熱風が発生し、公設消防による消火活動も困難を極めた。更に、クリーンルーム特有の気密性の高い建屋構造により、建屋外部からの消火活動が困難であったことも延焼拡大の一因であったと考えられる。

初期消火の観点から、火災発生時の早期検知を実現し、初期消火活動を実行することで火災拡大を抑止することができると考えている。

9.2.1 早期検知システム

クリーンルームで火災が発生した場合、消防法に定めた火災報知器や、設置位置および設置数では、出火検知が遅れる可能性があるため、クリーンルームにおける早期検知の観点から対策が必要と考える。

(1) 火災感知器の設置位置および設置数の最適化

クリーンルームのような大きな気流循環が伴うエリアにおいて、清浄度（クリーン度）、循環風量、面積等を考慮した上で、既存の火災報知器の設置位置や設置数の最適化を検討する。なお、クリーンルームの循環構造は、製造内容により要求される清浄度が異なるため、工場ごとに最適化を図る。本検討は、消防法事項も遵守した上で、消防関係各所の意見も参考にしながら進めていく。

(2) 超高感度煙感知器の設置

クリーンルームにおける清浄化用の空気循環システムにより、発煙時の煙粒子が滞留せずに HEPA により除去され、2 種光電式煙感知器では検知が遅れることが考えられる。クリーンルームにおける早期検知の観点から、より感度の高い 1 種光電式煙感知器や、気流影響を受けにくい吸引型散乱光検知方式の超高感度煙感知器の設置を検討する。超高感度煙感知器とは、周辺空気を常時吸引し、精細な検知ができる光学式感知器のことで、煙粒子発生等の環境変化を早期かつ正確に捉えることができる。

(3) 安全監視カメラの設置

クリーンルームにおける区画構造や運転体制を考慮して、人では通常気づきにくいエリアの異常を早期検知するために、カメラやサーモセンサー等の検知システムを導入し、パネル室など遠隔拠点から監視する体制を検討する。

9.2.2 延焼拡大防止

早期検知システムと合わせて、クリーンルームにおける延焼拡大防止の観点から対策が必要と考える。また、クリーンルーム新設時において、設計段階から、スプリンクラー等の遠隔操作可能な消火設備の設置や防火区画部材の強化等を検討する。

(1) 支燃物

延焼拡大防止として、クリーンルームにおける空気等の支燃物の循環および熱風循環の抑制が必要と考える。火災発生時の給排気運転、循環運転、排煙設備稼働に関して、FM 基準（米国拠点の損害保険会社である FM Global 社が中心となって策定した火災防止に関する承認規格）等を参考にして、クリーンルームを保有している工場ごとの状況に応じた基準を策定し、延焼拡大防止を図る。

(2) 可燃物（付帯設備）

クリーンルームにある生産装置、付帯設備や原材料等に可燃物が多く存在していたことが、延焼を拡大させた要因の 1 つと考えられることから、HEPA 等のクリーンルーム付帯設備に関しても、不燃性部材や難燃性部材の使用可否を検討する。

(3) 自衛消防隊による初期消火訓練の強化

本火災事故は、出火確認時点では、すでに火勢が強くなっており、防災訓練で想定している初期消火の範囲を超えていたと考えられ、安全を考慮した結果、初期消火活動が困難であった。旭化成グループの各工場では防災訓練を継続して実施しているが、より実際の火災を想定した取り組みを含めることが必要である。例として、延焼拡大時間や出火場所ごとのシナリオを策定し、避難訓練や初期消火訓練を実施する等を検討する。

今後、従業員教育の強化を行い、消防・地域住民等への的確な情報提供に今後も努め、更なる自衛保安レベル向上に努めていく。

なお、旭化成エレクトロニクス（株）は、FAB2 半導体製造工場の他に、宮崎県延岡市および静岡県富士市の 2 拠点に磁気センサー事業の生産工場を有している。当該工場にもクリーンルームがあるため、

早期に再発防止策を講ずる。

火災発生防止対策における「電気保安点検の最適化」および「装置の筐体と電源制御部材の難燃化」として、従来から点検している箇所に加えて、端子部の増し締め等の点検箇所の強化を実施し、点検項目の最適化を図る。装置構造や仕様等の制約により、対象端子等の目視確認や増し締めが困難な場合は、UL94規格等の難燃性グレードを参考にし、不燃性部材や難燃性部材へ交換することや、端子部交換が困難な場合は、端子部周辺や筐体部材を不燃性部材や難燃性部材へ交換することを、被害最小化対策と合わせて実施する。

火災の被害最小化対策における「早期検知システム」として、気流影響を受けにくく、検知感度の高い超高感度煙感知器を有した検知システムを導入する計画である。

9.3 その他対策

本火災事故における火災発生防止対策および火災の被害最小化対策の今後の詳細検討・推進に加え、本火災事故情報を旭化成グループ全体で共有化し、類似事故の未然防止、発災時の速やかな初動対応および情報提供等が確実に出来るようにしていく。

9.3.1 情報伝達と地域への連絡

本火災事故において、火災発生時のゼロ次通報による公設消防への通報や防災本部設置等、防災訓練どおり実行できたが、地域への情報伝達の観点では、多大なるご心配とご迷惑をおかけした。特に、近隣住民の方々へは、塩化水素と推定される異臭により、不安を増大させてしまった。今後は、事故発生時の状況把握と情報収集に努め、行政および地域住民の方々への情報伝達を徹底する。

9.3.2 事故の風化防止、安全意識の向上

FAB2 半導体製造工場では、防火訓練等の活動に加えて、2017年3月に延岡市消防署との合同防災訓練等も実施するなど、防火意識の向上に努めてきた。しかしながら、本火災事故により、旭化成グループは一層の防災活動の重要性を改めて認識した。本火災事故を重要な教訓とし、保安事故の未然防止・被害拡大防止の徹底と、会社全体の安全に対する意識の向上に努め、今回の火災事故から得られた重要な教訓を風化させず、安全文化醸成に継続していく。

中でも大きな教訓の1つとして、防火設備・消火設備等に代表される消防法や、防火区画の面積や耐火性能に代表される建築基準法等の法的要求事項を遵守していたが、結果的に本火災事故を防ぐことはできなかった。対応として、クリーンルームという空間構造を考慮した上で、電気機器の製造プロセス・使用部材・取り扱い物質等に関するリスクアセスメントを実施し、より厳しいリスクに備えておくことが挙げられる。また、本火災事故では、防火区画は、建築基準法で定められている準耐火構造を有する部材であったが、耐火時間（一時間）を超えたため、防火区画間での延焼が拡大した。

従って、法的要求の遵守は当然であるが、リスクアセスメントから抽出された自主的防火対策を講ずること、および本再発防止策の推進過程において、被害を最小化するための防火区画の材質選定や、スプリンクラー設置等の基準を検討し、保安防災レベルを更に向上させる。

10 おわりに

本火災事故により、近隣住民の皆様、お取引先様、警察・消防をはじめとする関係当局の皆様など、多くの方々に大変なご心配とご迷惑をお掛けしました。ここに改めて皆様に深くお詫び申し上げます。今回の反省を旭化成グループ全体の教訓とし、再発防止策の推進と安全意識の向上に努め、社会からの信頼を得られる企業となるようにグループ一丸となって取り組んでまいります。

最後に、本調査報告書の作成にあたっては、東京理科大学 総合研究院火災科学研究所教授の小林恭一先生より貴重なご助言をいただきました。心から感謝申し上げます。

