2019年6月26日

各 位

会社名　荒川化学工業株式会社
本社所在地　大阪市中央区平野町１丁目３番７号
代表者名　取締役社長　宇根　高司
（コード番号 4968 東証第一部）
問合せ先　取締役経営企画室長　高木　信之
ＴＥＬ(06)6209-8500(代表)

富士工場における爆発・火災事故について（第８報）
事故調査報告書の補足事項について

2017年12月１日に弊社富士工場にて発生した爆発・火災事故につきまして、お亡くなりになった方のご冥福をお祈り申し上げ、ご遺族に対し心よりお悔やみ申し上げます。また、負傷された方、近隣住民の皆様ならびに関係ご当局の皆様、お客様をはじめとする多くの方々に多大なご迷惑、ご心配をおかけしましたことを深くお詫び申し上げます。

今回の事故を受けて2018年11月20日に公表されました事故調査報告書において、その後の調査で記載内容に一部補足事項があり、事故調査委員会より報告を受けましたので、お知らせいたします。

記

対象報告書

2018 年 11 月 20 日（火）発表
「荒川化学工業株式会社　富士工場　印刷インキ用樹脂製造棟　爆発火災事故調査報告書」

補足事項

４．２．１　事故の詳細

【静電気対策状況】 43 ページ

〈補足前〉

まず協力会社の社員の服装については，荒川化学の規定による帯電防止作業服（各自で購入），静電気帯電防止靴（協力会社から支給），ヘルメット，軍手，防じんマスクを着用していた。

協力会社の社員の静電気帯電防止靴と当該製造棟の 1 階の床との絶縁抵抗を 1,000V で測定したところ，最大 $1.6\times10^{7}\Omega$で JIS T8103 の規格（$1.0\times10^{5}\leqq R\leqq1.0\times10^{8}\Omega$）を満たしていた。当該製造棟 1 階の床については接地極との間の抵抗を測定したところ $7.5\times10^{5}\Omega$であった（図 49）。

従って，静電気が発生しても静電気帯電防止靴から床に放電するため，人体の帯電はなかったと判断する。

〈補足後〉

まず当該作業に従事する協力会社の社員の服装については，荒川化学の規定で，帯電防止作業服，静電気帯電防止靴，ヘルメット，軍手，防じんマスクの着用を義務づけている（図 48）。当該作業に従事していた協力会社社員に対する事故後の事情聴取では，規定を守っていた旨の説明を受けた。ただし発災時に着用していた作業着の現物は焼失等のため確認はできていない。

協力会社の社員の静電気帯電防止靴と当該製造棟の 1 階の床との絶縁抵抗を 1,000V で測定したところ，最大 $1.6\times10^{7}\Omega$で JIS T8103 の規格（$1.0\times10^{5}\leqq R\leqq1.0\times10^{8}\Omega$）を満たしていた。当該製造棟 1 階の床については接地極との間の抵抗を測定したところ $7.5\times10^{5}\Omega$であった（図 49）。

帯電防止作業服および静電気帯電防止靴の着用については，本委員会の委員である公益社団法人 産業安全

技術協会 山隈常務理事から，以下の見解が示された。

人体の帯電は帯電防止作業服によって防止又は軽減できないものもあることから，人体の帯電防止は，衣服ではなく，靴と床の導電性による接地によって確保するものであることが静電気専門家の共通認識である。

事故当時、被災した作業者は帯電防止靴を履いていたことが確認されており、作業床は、一般に十分な導電性を有するコンクリート製であることから，作業者の身体は接地状態にあったと考えられる。

したがって，作業者の着衣が帯電防止品でなかったとしても，身体には静電気が蓄積することはほとんどなく，その皮膚から火花放電のような着火性放電が生じた可能性は極めて低い。

以上の見解から，静電気が発生しても静電気帯電防止靴から床に放電するため，人体の帯電はなかったと判断する。

４．２．２ 事故原因の絞り込み

【季節要因について】 58 ページ

〈補足前〉

事故があった 2017 年 12 月 1 日 9 時の気象条件（温度 13.5℃ 湿度 56.4%）であればより帯電しやすかった可能性がある。

〈補足後〉

事故があった 2017 年 12 月 1 日 9 時の気象条件（温度 13.5℃ 湿度 56.4%）であればより帯電しやすかった可能性はあるが，実験結果からは顕著な差は認められず，湿度が低いことによって着火性の放電が発生するほどの電荷密度に達するとは言い切れない。

４．２．２ 事故原因の絞り込み

【過去事例について】 61 ページ

〈補足前〉

また，協力会社の社員の証言から，現場近くに設置されたミスト噴霧器は 2017 年 7 月頃から故障しており事故当日には使用されていなかったが，包装作業前には湿度 60%以上を確認してから作業を開始することになっていたため，作業時には湿度 60%以上が確保されていたと考えられる。

〈補足後〉

また，協力会社の社員の証言から，現場近くに設置されたミスト噴霧器は 2017 年 7 月頃から故障しており事故当日には使用されていなかった。

包装前に湿度 60%以上を確認してから作業を開始することになっていたが，その記録は焼失しており，日常の作業時の湿度が管理できていたか不明である。

当日の包装作業場の湿度の記録はないが，事故当日の朝の富士市消防本部消防防災庁舎の観測データは，事故概要に示すように相対湿度 81.0%（8 時），56.4%（9 時）であった。このことから，包装作業場の湿度は 60%近くあったと考えられる。

一方，本委員会の委員である公益社団法人 産業安全技術協会 山隈常務理事からは，ロジン変性フェノール樹脂の帯電と湿度との関係について以下の見解が示された。

図 62 に示したように，ロジン変性フェノール樹脂の帯電量は湿度の影響を受けにくいことが確認されている。また，一般に，大気中の水分が物体の表面に吸着されると，その物体の表面の電気抵抗が低下して静電気が流れやすくなるが，当該樹脂については，測定によって，その電気抵抗は測定環境の湿度によらずほぼ一定であることが確認されており，これは吸湿性が極めて低いことを意味する。このように，当該樹脂の帯電性は作業環境の湿度の影響を受けにくいものであることから，事故時の湿度の値は本件事故原因に影響を与えるものとは考えにくい。

以上

荒川化学工業株式会社　富士工場

印刷インキ用樹脂製造棟

爆発火災事故調査報告書

２０１９年６月補足

荒川化学工業株式会社　富士工場

印刷インキ用樹脂製造棟　爆発火災事故調査委員会

要　旨

2017 年 12 月 1 日 8 時 25 分，静岡県富士市の荒川化学工業株式会社　富士工場　印刷インキ用樹脂製造棟において，爆発・火災事故が発生し，協力会社および荒川化学従業員の犠牲（死亡者 2 名，重傷者 2 名，軽傷者 11 名の人的被害）を伴う重大な事故となった。また，住民居住地での事故であったため，周辺住民に多大な不安と影響を及ぼした。

当事故の原因究明および再発防止対策を講じるため，2017 年 12 月 3 日に社外委員 4 名，社内委員 4 名からなる，荒川化学工業株式会社　富士工場　印刷インキ用樹脂製造棟　爆発火災事故調査委員会と，その下部組織として事故原因究明チームを発足し，これまで 8 回に渡って委員会を開催し，事故原因および再発防止対策についての議論を重ねてきた。

その結果，今回の爆発・火災事故は，印刷インキ用樹脂製造棟 1 階のロジン変性フェノール樹脂の製品包装作業中，FIBC（＝フレキシブルコンテナ）内でコーン放電が起こり，ロジン変性フェノール樹脂の粉じんに着火したことから始まったと推測される。そして粉じん爆発が起こり，発生した火炎が製造棟内の危険物，可燃物に引火，類焼し，製造棟全体の火災に至る重大事故に発展したものと考えられる。

以上，当事故の直接原因と，その再発防止対策を取りまとめ，荒川化学工業株式会社では対策に取り組んでいるところである。今後，安全文化の醸成にむけて，会社全体で安全に対する意識の向上に取り組んでいくことを強く求める。

目　次

１．序
１．１　はじめに 1
１．２　事故調査員会の構成 1
１．３　事故調査委員会の経緯 2

２．事業所および設備の概要
２．１　事業所の概要 3
２．２　印刷インキ用樹脂製造棟の概要 4
２．２．１　製品概要 4
２．２．２　設備概要 6
２．２．３　プロセス概要 11
２．２．４　取扱物質（可燃物の保管状況） 16
２．２．５　運転体制 20

３．事故概要
３．１　事故概要 22
３．２　被害状況 23
３．３　事故に至った経緯と事故後の状況 26
３．３．１　発災前の状況（当日） 26
３．３．２　発災後の状況（当日） 34
３．３．３　発災後の状況（翌日以降） 34
３．４　消火・救助活動の状況 35

４．事故原因
４．１　事故の調査方法 36
４．２　事故の原因推定 36
４．２．１　事故の詳細 37
４．２．２　事故原因の絞り込み 46
Ａ．原因物質の検証 46
Ｂ．着火源の検証 51
Ｃ．爆発の検証 62
Ｄ．火災の検証 73
４．２．３　着火から爆発火災に至るシナリオの推定と考察 75

５．事故原因の整理
５．１　粉じん爆発およびそれに伴う火災に至った経緯 89
５．２　事故原因の整理 89
５．２．１　物質 89
５．２．２　人 89
５．２．３　設備 90
５．２．４　作業 90

６．再発防止対策
６．１　直接原因に対する是正 92
６．１．１　物質に対する対策 92
６．１．２　人に対する対策 92
６．１．３　設備に対する対策 92
６．１．４　作業に対する対策 93
６．２　関連事項の改善 93
６．２．１　リスクアセスメント 94
６．２．２　協力会社の管理 94
６．２．３　その他の関連事項の改善 94
６．３　今後の課題 95

７．おわりに 96

１．序

１．１　はじめに

2017 年 12 月 1 日 8 時 25 分，静岡県富士市の荒川化学工業株式会社　富士工場　印刷インキ用樹脂製造棟において，爆発・火災事故が発生し，協力会社および荒川化学従業員の犠牲（死亡者 2 名，重傷者 2 名，軽傷者 11 名の人的被害）を伴う重大な事故となった。また，住民居住地での事故であったため，周辺住民に多大な不安と影響を及ぼした。

当事故の原因究明および再発防止対策を講じるため，2017 年 12 月 3 日に荒川化学工業株式会社　富士工場　印刷インキ用樹脂製造棟　爆発火災事故調査委員会を発足した。

当委員会では，現場検証，インタビュー，記録類の確認，再現実験，外部研究機関による爆発・火災シミュレーションなどの結果をもって，これまで 8 回に渡って委員会を開催し，事故原因および再発防止対策についての議論を重ねてきた。その結果，爆発・火災事故に至る直接原因の絞込みができ，再発防止対策を取りまとめるに至ったので，当報告書をもって報告する。

１．２　事故調査委員会の構成

社外委員 4 名，社内委員 4 名を事故調査委員とした。また，検証や実験などを行う事故原因究明チームを下部組織として発足した。

事故調査委員会委員長および委員

委員長	鈴木　和彦	岡山大学 名誉教授 大学院 自然科学研究科 特任教授
委　員	中村　昌允	東京工業大学 環境・社会理工学院 イノベーション科学系・技術経営専門職学位課程 特任教授
	土橋　律	東京大学 大学院 工学系研究科 教授
	山隈　瑞樹	公益社団法人 産業安全技術協会 常務理事
	眞鍋　好輝	荒川化学工業株式会社 専務取締役（代表取締役）
	西川　学	荒川化学工業株式会社 取締役 生産本部長
	橋本　大司	荒川化学工業株式会社 執行役員 生産本部 副本部長
	大島　弘一郎	荒川化学工業株式会社 品質環境保安室 室付部長

事故原因究明チーム

樋口　啓二	荒川化学工業株式会社 生産本部付部長
山本　幸平	荒川化学工業株式会社 生産本部 小名浜工場 副工場長
川瀬　滋	荒川化学工業株式会社 経営企画室　マネージャー
石井　貴紀	荒川化学工業株式会社 生産本部 小名浜工場 保安課長

１．３　事故調査委員会の経緯

現地視察，事故調査委員会開催日および主な審議内容は以下のとおりである。

表１　事故調査委員会開催日および内容

	開催日	開催場所	内容
	2017 年 12 月 3 日（日）		事故調査委員会の発足
	2017 年 12 月 12 日（火）	荒川化学工業株式会社 東京支店	鈴木委員長が東京支店で打ち合わせ
	2017 年 12 月 13 日（水）	荒川化学工業株式会社 富士工場	中村委員が富士工場を視察
	2017 年 12 月 17 日（日）	荒川化学工業株式会社 富士工場	鈴木委員長、土橋委員、山隈委員が富士工場を視察
第 1 回	2017 年 12 月 24 日（日）	荒川化学工業株式会社 富士工場	事故発生の概要、経過、被害状況報告と推定される事故原因
第 2 回	2018 年 1 月 28 日（日）	荒川化学工業株式会社 富士工場	推定される事故原因の検証、爆発規模の推定
第 3 回	2018 年 4 月 22 日（日）	荒川化学工業株式会社 富士工場	推定される事故原因および事故経緯の検証と絞り込み
第 4 回	2018 年 6 月 3 日（日）	荒川化学工業株式会社 富士工場	同上および爆発シミュレーションの状況 運転操作、設備設計の基準類、教育などの要因の検証
第 5 回	2018 年 7 月 22 日（日）	荒川化学工業株式会社 富士工場	検証実験の結果報告 委託実験の結果報告 事故原因の整理
第 6 回	2018 年 9 月 22 日（土）	荒川化学工業株式会社 富士工場	爆発・火災シミュレーション結果／検証実験結果／シナリオとの検証 事故原因の整理 再発防止対策
第 7 回	2018 年 10 月 14 日（日）	荒川化学工業株式会社 富士工場	シナリオと爆発・火災シミュレーションの再検証 事故原因の整理 再発防止対策
第 8 回	2018 年 11 月 4 日（日）	荒川化学工業株式会社 富士工場	事故調査報告書の取りまとめ

※上記以外にも複数回の小打ち合わせを実施した。

２．事業所および設備の概要

２．１　事業所の概要

事業所所在地：荒川化学工業株式会社　富士工場
　　静岡県富士市厚原 366-1

事業内容：富士工場では，敷地面積約 51,000m^2 の中，製紙用薬品・粘接着剤用樹脂・印刷インキ用樹脂などの製品を製造しており，1959 年 12 月の操業開始以来，順次規模を拡大してきた。図 1 に富士工場の全体配置図を示す（青枠内は富士工場の敷地を表す）。富士工場の敷地北側に位置する印刷インキ用樹脂製造棟において，今般の発災事故に関係するロジン変性フェノール樹脂の製造を 1976 年に開始した。その後，1984 年，1988 年に生産能力を増強，2000 年にワニス製品の製造を開始した。当ロジン変性フェノール樹脂やワニスの概要は後述する。

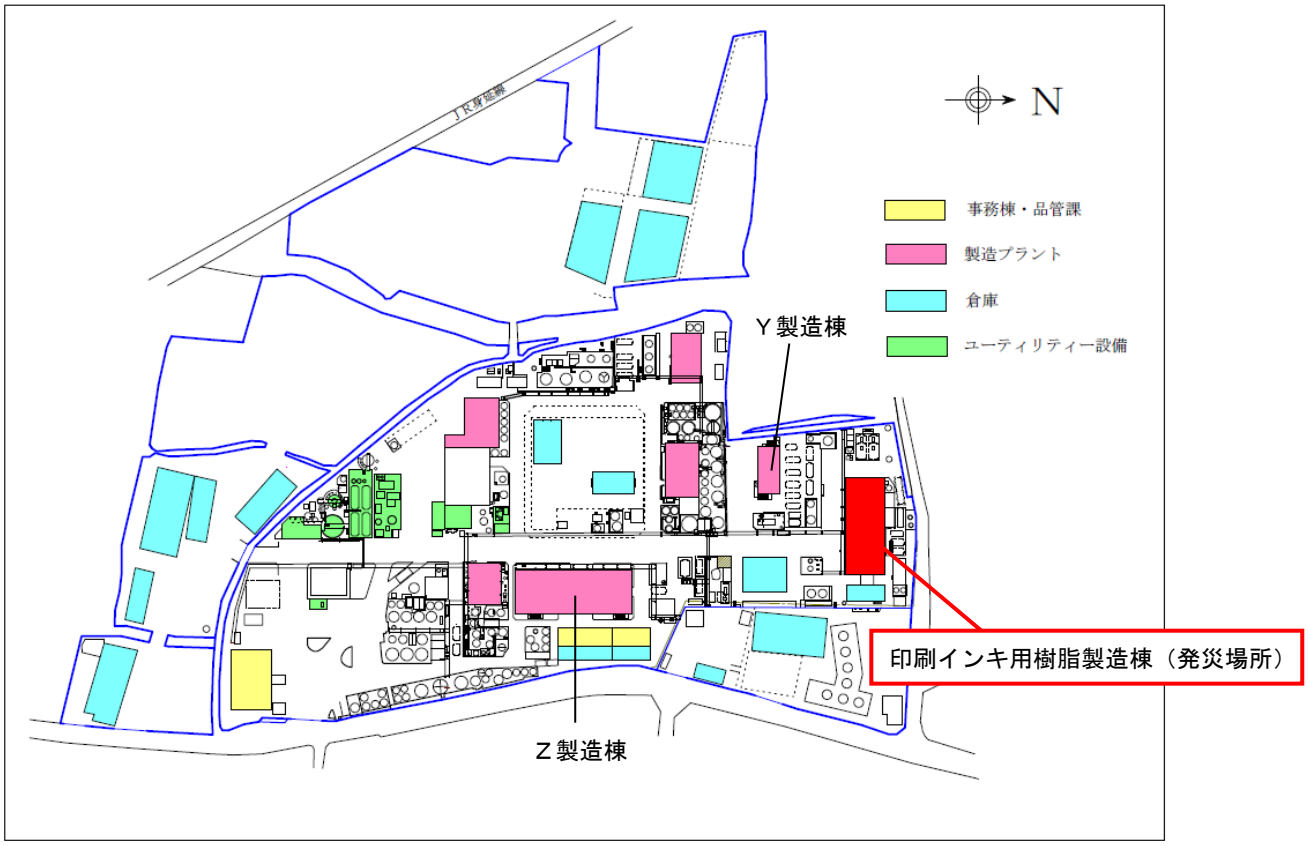


図１　富士工場の全体配置図（青枠内が富士工場の敷地）

２．２　印刷インキ用樹脂製造棟の概要

２．２．１　製品概要

印刷インキ用樹脂製造棟（以下，当該製造棟と略す）では，雑誌や新聞の印刷に使用される平版・新聞インキの主原料であるロジン変性フェノール樹脂，および同樹脂を植物油や高沸点石油系溶剤に溶解した印刷インキ用樹脂ワニス（以下，ワニスと略す）を製造していた。インキメーカーで当ワニスを使用して，または当樹脂を溶解しワニスにして，顔料や添加剤を分散させ，平版・新聞インキが製造される。

当ロジン変性フェノール樹脂は，印刷インキの粘弾性制御が比較的容易である，硬さと柔軟性のバランスがとれた印刷被膜を形成することができる，顔料分散性が良好，比較的安価で幅広い物性制御が可能といった理由から平版・新聞インキ用樹脂として広く使用されている。原料にロジン，アルキルフェノール，ホルムアルデヒド，ポリオールを用いた樹脂であり，フェノール樹脂をロジンで変性したものである。製造法の一例を挙げると，アルキルフェノール／ホルムアルデヒドの縮合物（＝レゾール型フェノール樹脂）とロジンを反応させ，その後にロジンのカルボキシル基とポリオールの水酸基によるエステル化反応で高分子量化する方法があり，得られた樹脂は図 2 のような化学式となる。代表的なロジン変性フェノール樹脂の物性は以下のとおりであり，黄～褐色の消防法指定可燃物可燃性固体類である。荒川化学工業株式会社（以下，荒川化学と略す）では図 3 のように微粉の混じった数 cm 程度のブロック形状として，紙袋やフレキシブルコンテナ（Flexible Intermediate Bulk Container　以下，FIBC と略す）に包装し，販売している。

【代表的なロジン変性フェノール樹脂の物性】

密　度	：1.05g/cm^3（20℃）
引火点	：282℃
軟化点	：174℃
酸　価	：21mgKOH/g
溶解性	：水に不溶，トルエンやキシレンに可溶
危険有害反応	：自己反応性なし

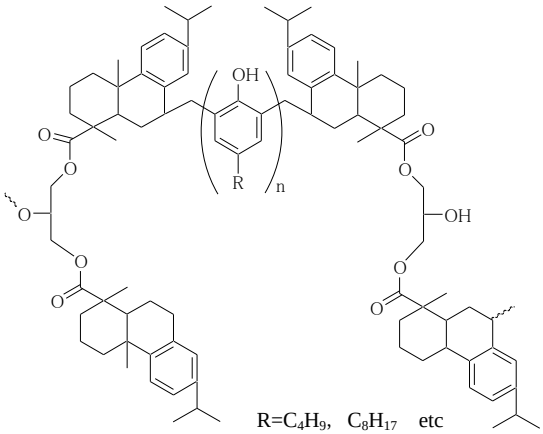


図 2　ロジン変性フェノール樹脂の代表的な化学式

図 3　ロジン変性フェノール樹脂の外観写真

また，ワニスはロジン変性フェノール樹脂を植物油や高沸点石油系溶剤に溶解したものであり，チキソトロピック性を付与するためにアルミニウム有機化合物といった増粘剤を添加する。植物油には大豆油，アマニ油，桐油などがあり，高沸点石油系溶剤は初留点 240℃以上，引火点 108℃以上のナフテン系の炭化水素である。代表的なワニスの物性は以下のとおりであり，黄～褐色の消防法指定可燃物可燃性固体類である。粘ちょうな製品として，タンクローリーにて輸送，またはドラム缶に包装し，販売している。

【代表的なワニスの物性】

密　度	：0.88g/cm^3（100℃）
引火点	：108℃
粘　度	：70Pa･s（コーンプレート型粘度計，25℃）
溶解性	：水に不溶，トルエンやキシレンに可溶
危険有害反応	：自己反応性なし

ロジン：

松から得られる琥珀色，無定形の天然樹脂である。大別すると，松脂を直接立木から集め蒸留して得られるガムロジン，製紙工場でクラフトパルプを作る時に副生する粗トール油を蒸留して得られるトール油ロジン，伐採した松の木の根から抽出して得られるウッドロジンがある。その主成分は，3 つの環構造，共役 2 重結合，カルボキシル基を有するアビエチン酸であり，ロジンは異性体の混合物である。 ロジンの持つこれらの反応性を利用して，多くの誘導体がそれぞれの物性を発揮し，工業用原料として広く産業界で使用されている。

アルキルフェノール：

ブチルフェノール，オクチルフェノールなどといった側鎖炭素数の異なるアルキルフェノールが挙げられる。

ポリオール：

グリセリン，ペンタエリスリトール，トリメチロールプロパンなどといった多価のアルコールが挙げられる。

２．２．２　設備概要

当該製造棟は 4 階建ての構造となっており，発災以前に北西方向から撮影した写真を図 4 に示す。

図 4　発災以前の当該製造棟（北西方向からの撮影）

また，4 方角から見た外観図を図 5 に示す。軽量の壁材が多く使用されており，北側には軽量気泡コンクリート（Autoclaved Lightweight aerated Concrete　以下，ALC と略す）が半分程度使用されていた。北西角の一部はブロックとコンクリートで 2 重壁となっていた。

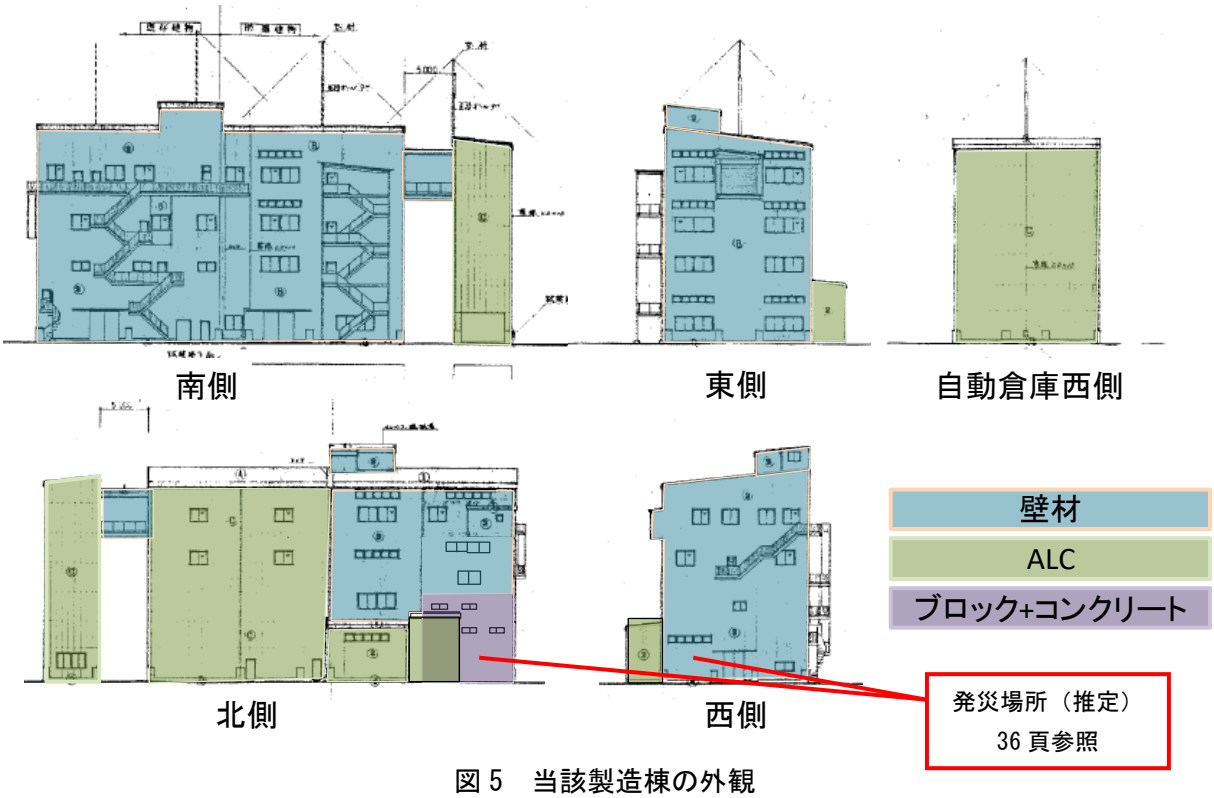


図 5　当該製造棟の外観

4 階の設備配置図を図 6 に示す。4 階北西部には製造状況を監視する計器室があり，その南側には製造工程内のサンプルを測定する測定室，南中央部には電気室があった。ピンク円で着色した部分は製造釜を表しており，製造釜は 6 基あった。そのうち，ロジン変性フェノール樹脂の製造釜が 3 基，フェノール樹脂の製造釜が 2 基稼働しており，フェノール樹脂の製造釜 1 基は休止中であった。4 階には製造釜の上部があり，原料の投入や製造工程内のサンプル採取を行っていた。当該製造棟の東側には 4 階建ての自動倉庫（原料倉庫）があり，4 階のみ当該製造棟と連結された構造となっていた。

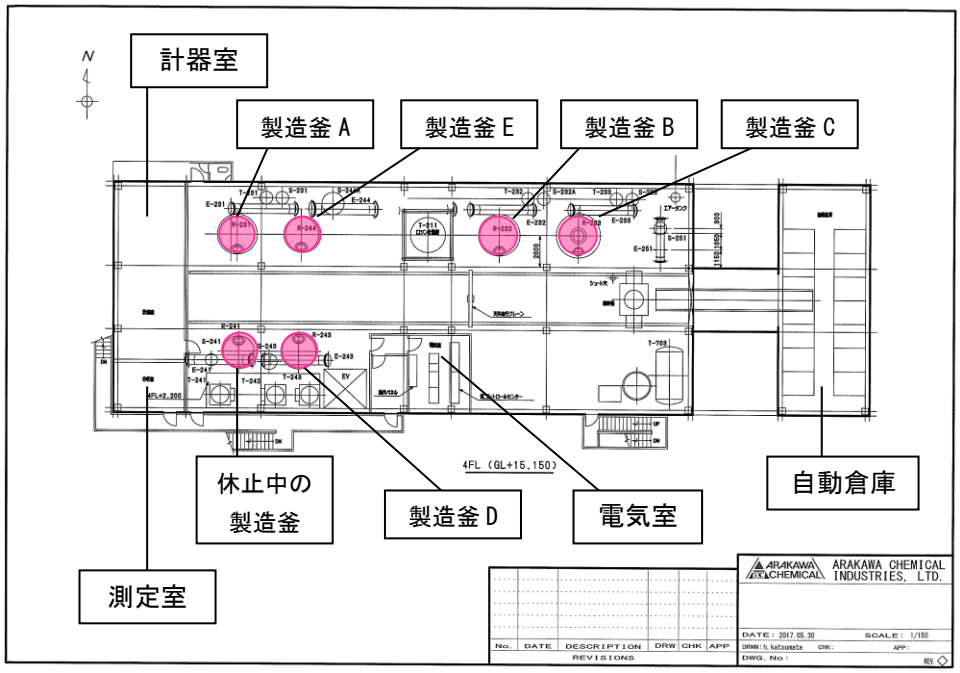


図 6　4 階の設備配置図

3 階の設備配置図を図 7 に示す。3 階には 4 階の製造釜 6 基の下部とろ過設備（図面上，図 7 にはろ過設備が記載できず），およびワニスの製造釜 1 基の上部があった。

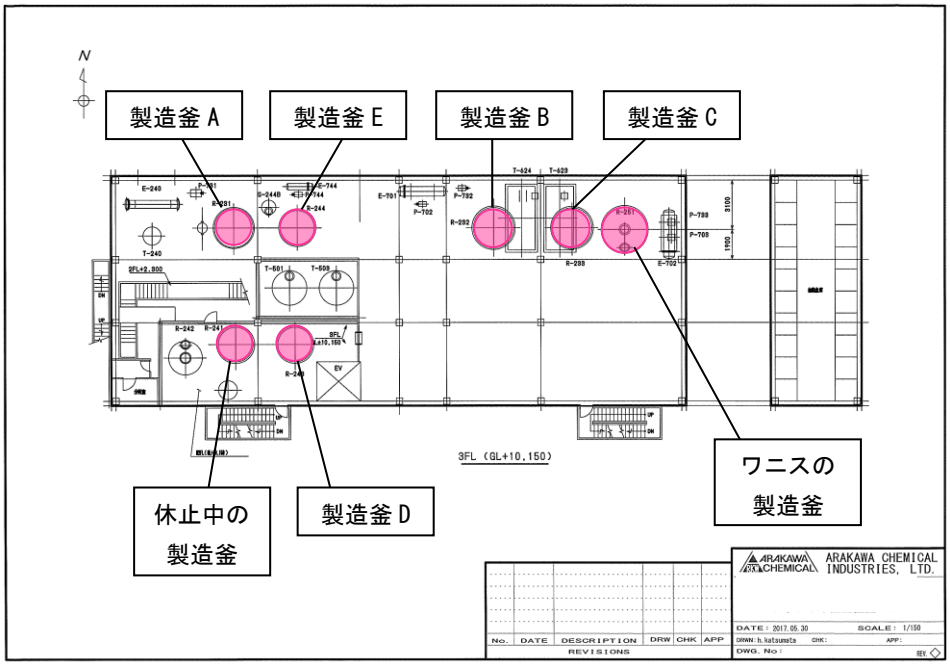


図 7　3 階の設備配置図

2 階の設備配置図を図 8 に示す。2 階にはワニス製造釜 1 基の下部，および北側と南側に固化室と称する，溶融状態の樹脂を空冷にて固化させる部屋があった。各々の固化室は上段と下段があり，上段に流し入れた溶融のロジン変性フェノール樹脂がオーバーフローして下段に流れる仕組みとなっていた。固化室は北固化室（上下段），南固化室（上下段）の計 2 基あった。

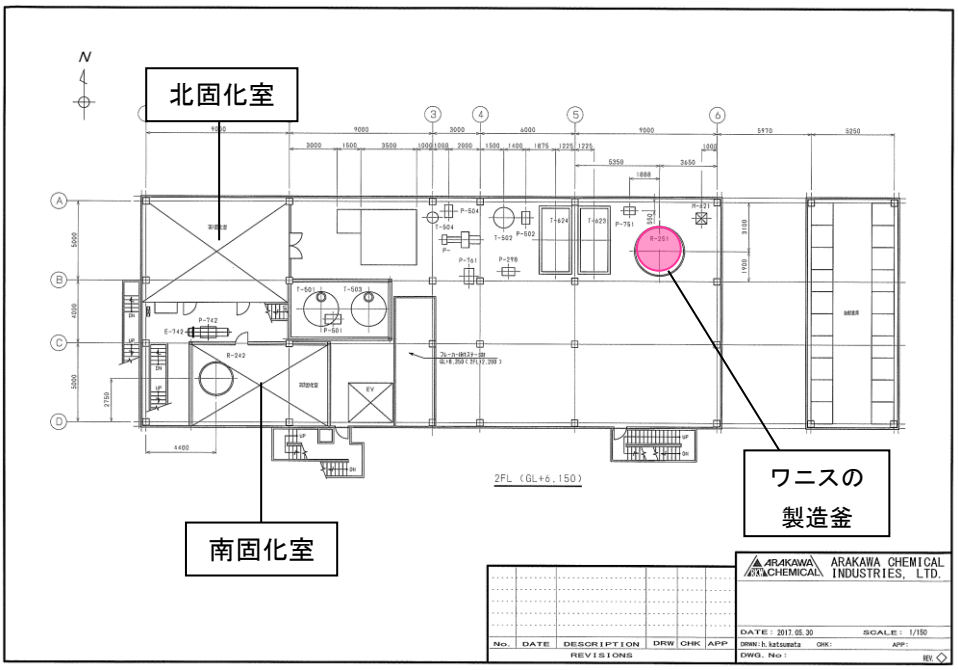


図 8　2 階の設備配置図

1 階の設備配置図を図 9 に示す。1 階北西部には集じん機，その南側には角タンク（レゾール型フェノール樹脂のキシレン溶液を保管）が配置されていた。集じん機の放散口は北側にあり，放散口の正面にはブロックとコンクリートの 2 重壁があった。また，集じん機の南東側には北固化室から送られた固形のロジン変性フェノール樹脂を溜めておく北ホッパーがあり，南西部には南固化室からの南ホッパーが 2 つあった。これらホッパーから FIBC へロジン変性フェノール樹脂の包装作業を行っていた。一方，北東部にはワニスの製造釜のろ過設備があり，ろ過後に屋外のワニスタンクへポンプ移送していた。

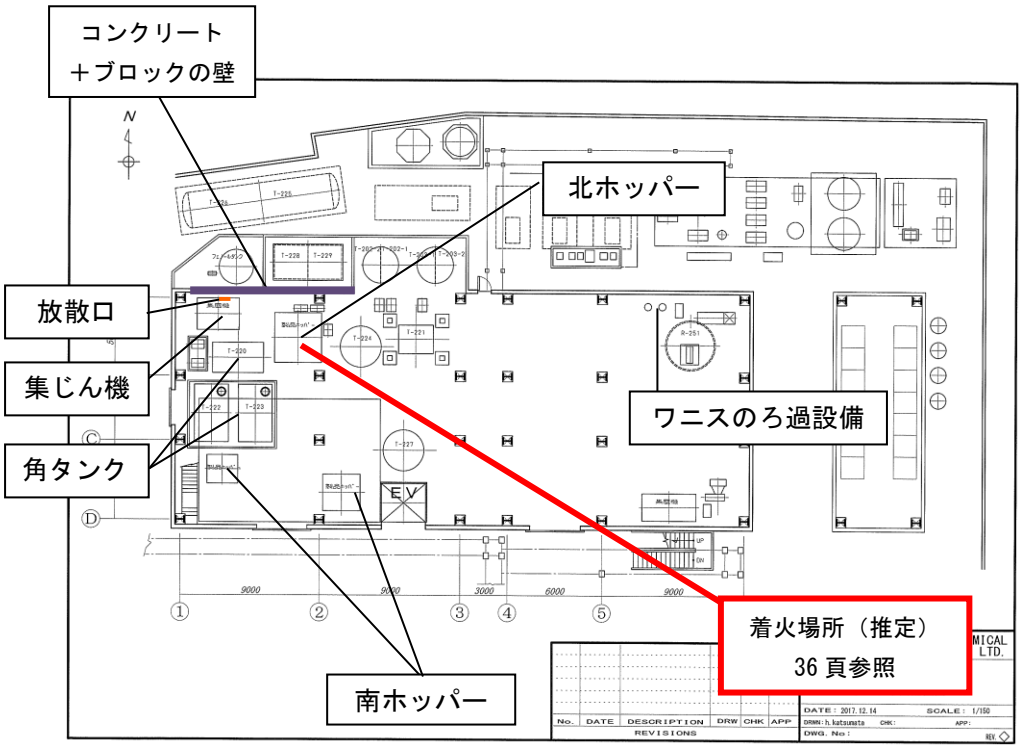


図 9　1 階の設備配置図

２．２．３　プロセス概要

当該製造棟での製造プロセスフローを図 10 に示す。青字原料はタンク保管してある原料であり，配管をとおして製造釜へ投入する。緑字原料はドラム缶または紙袋に保管してあり，製造釜の投入口から荒川化学工業株式会社の社員（以下，荒川化学社員と略す）が投入する。

固形のロジン変性フェノール樹脂を製造する際は，製造釜での反応が終了した溶融状態の樹脂を固化室で冷却・固化し，協力会社の社員が粗砕・解砕した後，包装容器に包装する。図 11 に包装容器のひとつである FIBC の外観写真を添付する。また，ワニスを製造する際は，製造釜で反応終了した溶融状態の樹脂をワニスの製造釜へ移送し，高沸点石油系溶剤や植物油などと混合してワニスを製造し，屋外のワニスタンクにポンプ移送する。

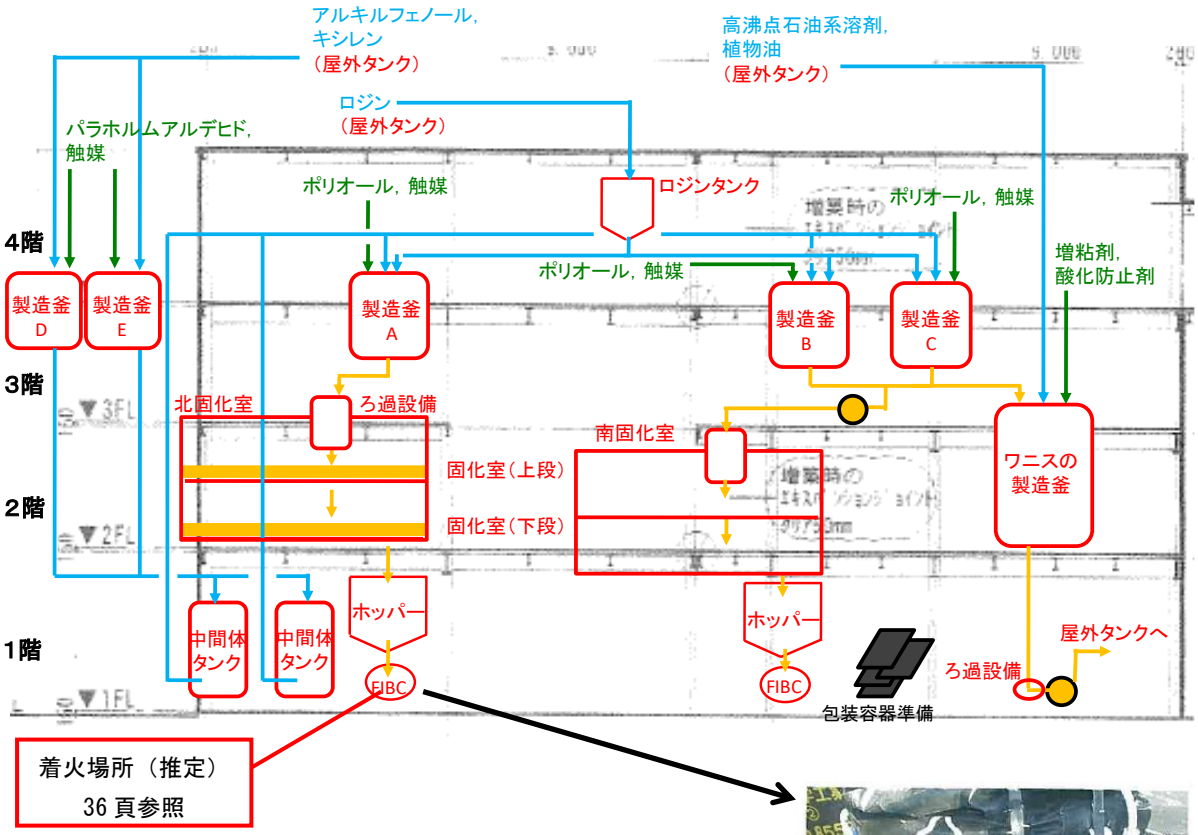


図 10　当該製造棟での製造プロセスフロー

図 11　FIBC の外観写真

ロジン変性フェノール樹脂およびワニスの詳細な製造内容については，図 12～13 に製造ブロックフローを示し，説明する。

ロジン変性フェノール樹脂の製造ブロックフロー

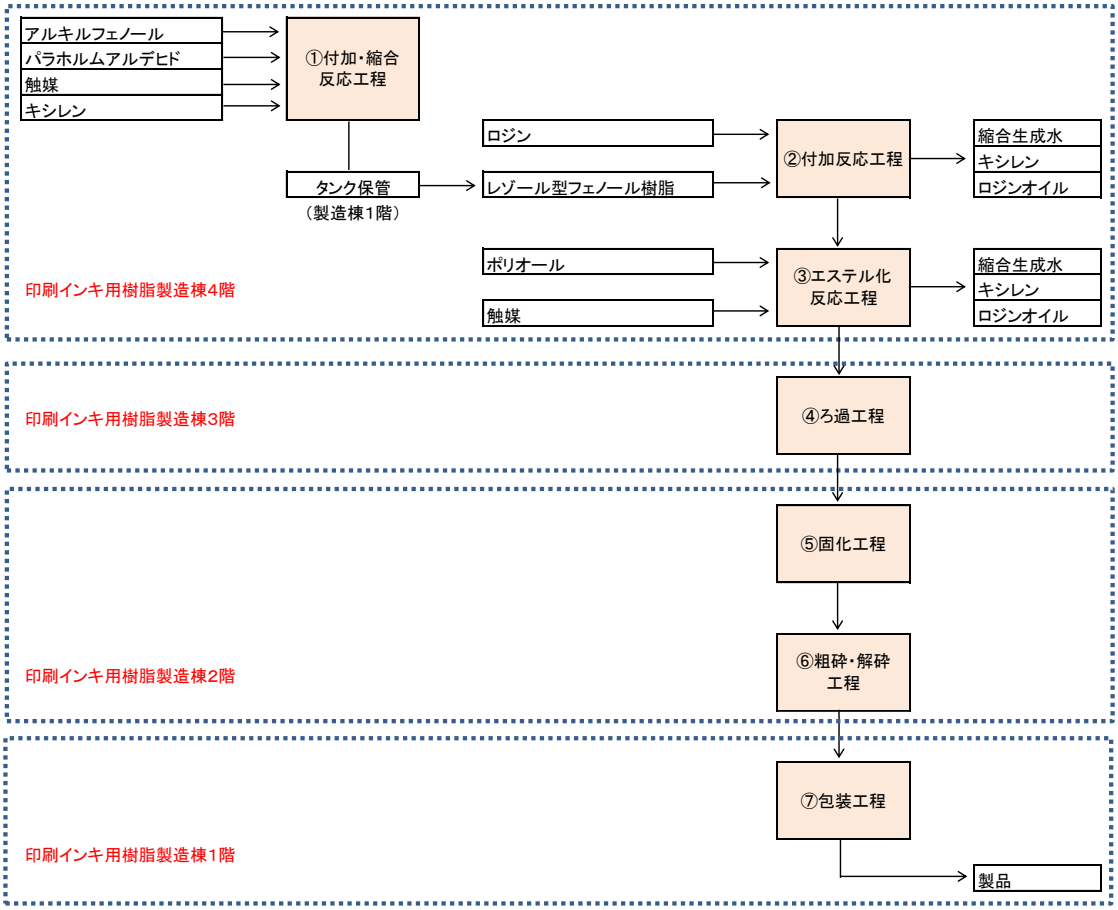


図 12　ロジン変性フェノール樹脂の製造ブロックフロー

①付加・縮合反応工程（作業：荒川化学社員）

4 階の製造釜 D または E に，製造釜の投入口からパラホルムアルデヒドの投入作業，計器室のプラント制御用コンピュータシステム（以下，DCS と略す）によりアルキルフェノール，キシレン，水の投入操作を行う。

混合後，製造釜の投入口から触媒を投入し，100℃で付加・縮合反応させる。当反応は発熱反応であり，DCS による自動制御で温度調節する。

所定時間反応させた後，冷却し，触媒の中和と水層の分離操作を行う。その後，1 階のタンクへ移送・保管する。

②付加反応工程（作業：荒川化学社員）

4 階の製造釜 A または B または C に，計器室の DCS による溶融ロジンの投入操作を行い，投入後に 220～250℃へ昇温する。

その後，①で得たレゾール型フェノール樹脂の投入操作を計器室の DCS により行う。ロジンとレゾール型フェノール樹脂の付加反応は吸熱反応であり，DCS による自動制御で温度調節する。

③エステル化反応工程（作業：荒川化学社員）

4 階の製造釜の投入口からポリオール，触媒を投入し，240～270℃でエステル化反応を行う。ロジンとポリオールのエステル化反応は吸熱反応であり，DCS による自動制御で温度調節する。

所定のタイミングにおいて製造釜からサンプル採取を行い，4 階の測定室で酸価と粘度を測定する。所定の酸価，粘度となったら，計器室の DCS による減圧操作を行う。

④ろ過工程（作業：荒川化学社員）

固化室内に異物がないことを確認した後，2 階の固化室の窓とドアを閉じる。

3 階の製造釜の下のろ過設備に金網を取り付ける。

製造釜の底排弁の開度を調節しながら，溶融状態のロジン変性フェノール樹脂の取り出しを開始し，2 階固化室の上段へ流し入れる。上段が一杯になったら，オーバーフローして下段に流れる。

取り出しが終了したら，底排弁を閉じる。

⑤固化工程（作業：荒川化学社員）

取り出し終了 1 時間後，固化室の窓とドアを開け，固化室送風ブロアーと換気扇の運転を開始し，一晩空冷する。

⑥粗砕・解砕工程（作業：協力会社社員）

固化室内のロジン変性フェノール樹脂の温度が 50℃以下になったら，集じん機を始動し，固化室の集じんダクトのバタフライ弁（排気）を開けて固化室に入室する。

2 階固化室でスコップを使用してロジン変性フェノール樹脂をスクリューコンベアに入れる。ロジン変性フェノール樹脂はスクリューコンベア内で解砕されながら，1 階のホッパーへ移送される。

固化室での粗砕作業が終了したら，バタフライ弁を閉める。

⑦包装工程（作業：協力会社社員）

1 階にて包装に必要な洗浄済みの FIBC を準備する。

ホッパー金属検知器の動作確認を行う。

ホッパー排出口付近の集じんダクトから排気を行う。

包装充填操作担当と補助の 2 名で FIBC をホッパー排出口に取り付ける。

包装充填操作担当が回転型スライド弁を開け，台秤の表示を見ながらロジン変性フェノール樹脂を FIBC に充填する。充填終盤で FIBC をホッパーから取り外し，充填量の微調整を行い，所定量となったら FIBC の充填口を縛る。

包装された FIBC はフォークリフトを用いて屋外へ搬送する。終わったら戻り，繰り返す。

ホッパーからロジン変性フェノール樹脂が排出されなくなったら，エアノッカーでホッパーを叩き，ホッパー壁に残っている樹脂を取り出し，集じんダクトからの排気を終える。

ワニスの製造ブロックフロー

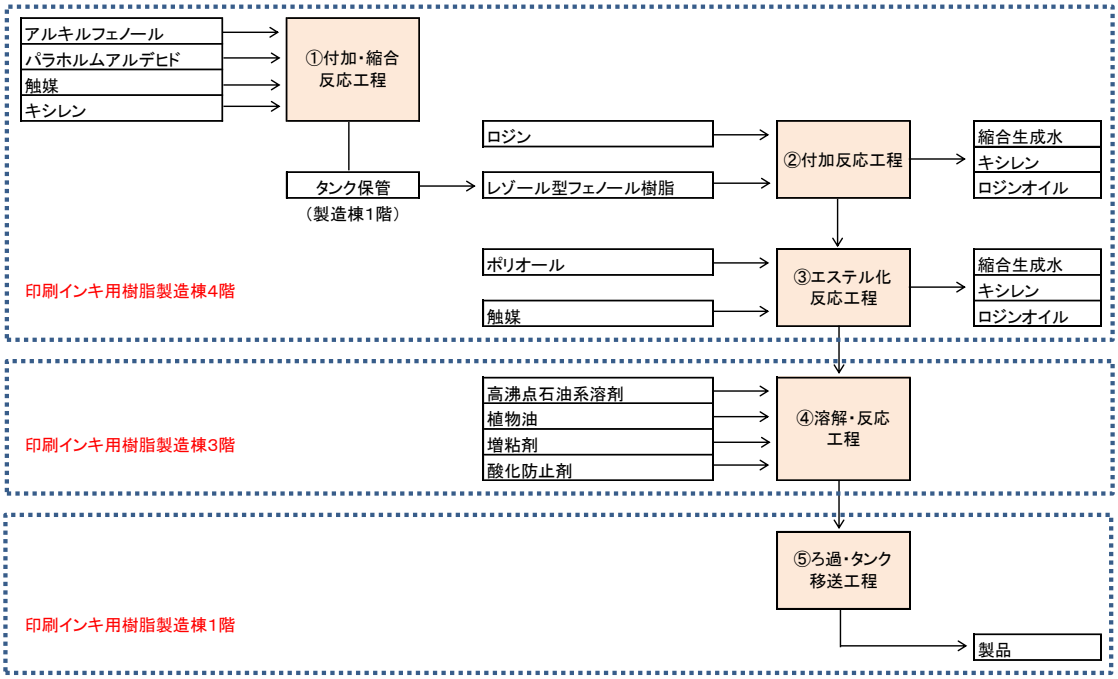


図 13　ワニスの製造ブロックフロー

①付加・縮合反応工程（作業：荒川化学社員）

4 階の製造釜 D または E に，製造釜の投入口からパラホルムアルデヒドの投入作業，計器室の DCS によりアルキルフェノール，キシレン，水の投入操作を行う。

混合後，製造釜の投入口から触媒を投入し，100℃で付加・縮合反応させる。当反応は発熱反応であり，DCS による自動制御で温度調節する。

所定時間反応させた後，冷却し，触媒の中和と水層の分離操作を行う。その後，1 階のタンクへ移送・保管する。

②付加反応工程（作業：荒川化学社員）

4 階の製造釜 A または B または C に，計器室の DCS による溶融ロジンの投入操作を行い，投入後に 220～250℃へ昇温する。

その後，①で得たレゾール型フェノール樹脂の投入操作を計器室の DCS により行う。ロジンとレゾール型フェノール樹脂の付加反応は吸熱反応であり，DCS による自動制御で温度調節する。

③エステル化反応工程（作業：荒川化学社員）

4 階の製造釜の投入口からポリオール，触媒を投入し，240～270℃でエステル化反応を行う。ロジンとポリオールのエステル化反応は吸熱反応であり，DCS による自動制御で温度調節する。

所定のタイミングにおいてサンプル採取を行い，4 階の測定室で酸価と粘度を測定する。所定の酸価，粘度となったら，計器室の DCS による減圧操作を行う。

④溶解・反応工程（作業：荒川化学社員）

3 階のワニスの製造釜へ計器室の DCS による高沸点石油系溶剤の投入操作を行う。

溶融状態のロジン変性フェノール樹脂をワニスの製造釜へ移送し,植物油や増粘剤を投入する。190℃で溶解・反応させた後，冷却し，酸化防止剤を投入する。

その後，高沸点石油系溶剤を追加投入することにより粘度調整を行う。

⑤ろ過・タンク移送工程（作業：荒川化学社員）

1 階のろ過設備に金網を取り付ける。

所定の粘度となったら，屋外のワニスタンクにポンプ移送する。

移送終了後，製造釜の底排弁を閉める。

２．２．４　取扱物質（可燃物の保管状況）

当該製造棟では図 14～17 に記載した物質を取り扱っており，発災時の可燃物の保管状況を階ごとに記載する。（赤字は消防法危険物，青字は非危険物）

4 階の可燃物の保管状況を図 14 に示す。4 階にはドラム缶に包装されたロジン変性フェノール樹脂の原料，小分けした器具洗浄用キシレン（仮置き），アルキド樹脂があった。製造釜内には製造中のロジン変性フェノール樹脂や，反応開始前のフェノール樹脂の原料（アルキルフェノール，ホルムアルデヒド）があった。

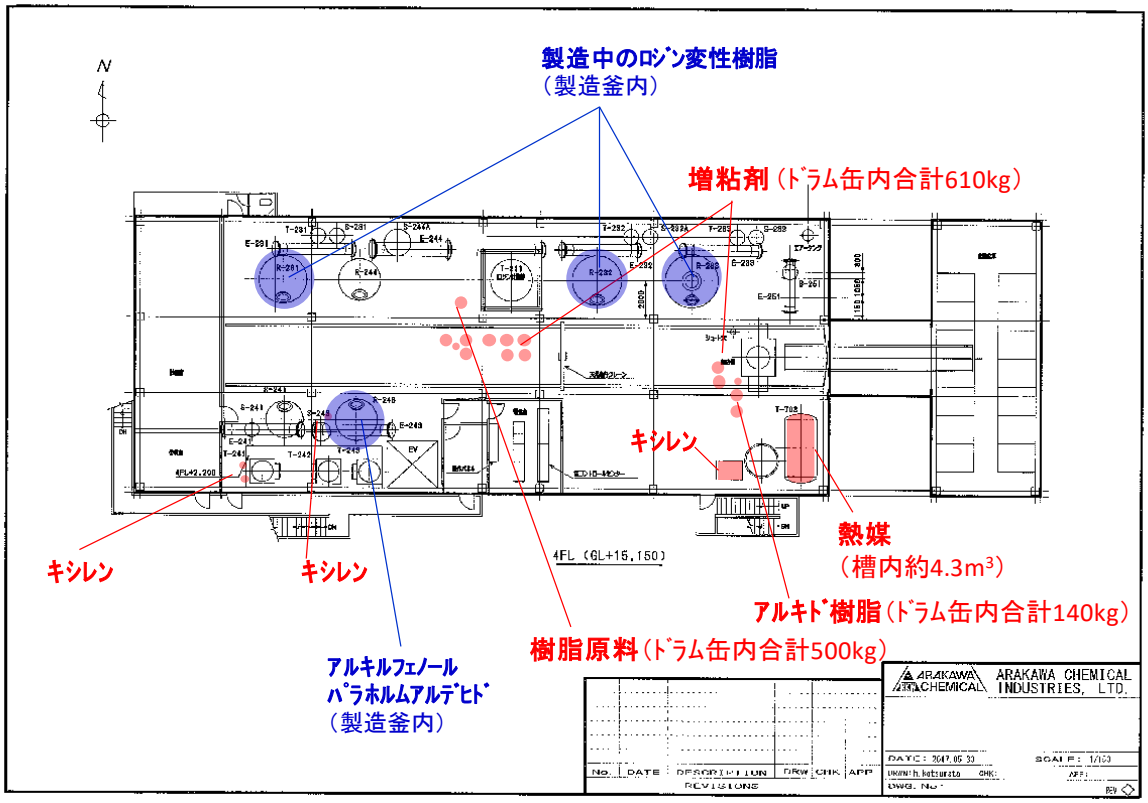


図 14　4 階の可燃物の保管状況

3階の可燃物の保管状況を図15に示す。ワニスの製造釜には投入した高沸点石油系溶剤があり，ワニスの製造釜周辺には紙袋に包装された酸化防止剤や，紙袋に包装されたロジン変性樹脂があった。

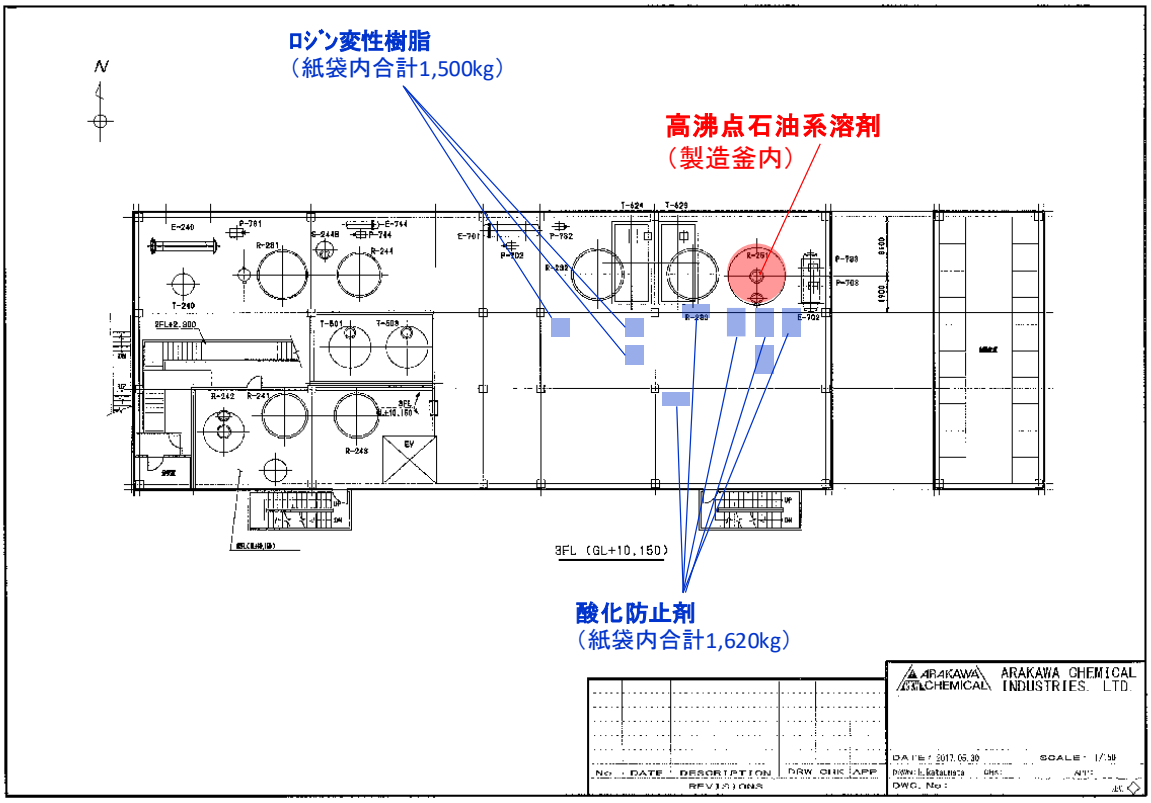


図 15　3 階の可燃物の保管状況

2 階の可燃物の保管状況を図 16 に示す。ワニスの製造釜内には高沸点石油系溶剤があり，回収または廃棄用ドラム缶にはロジン変性フェノール樹脂が入っていた。

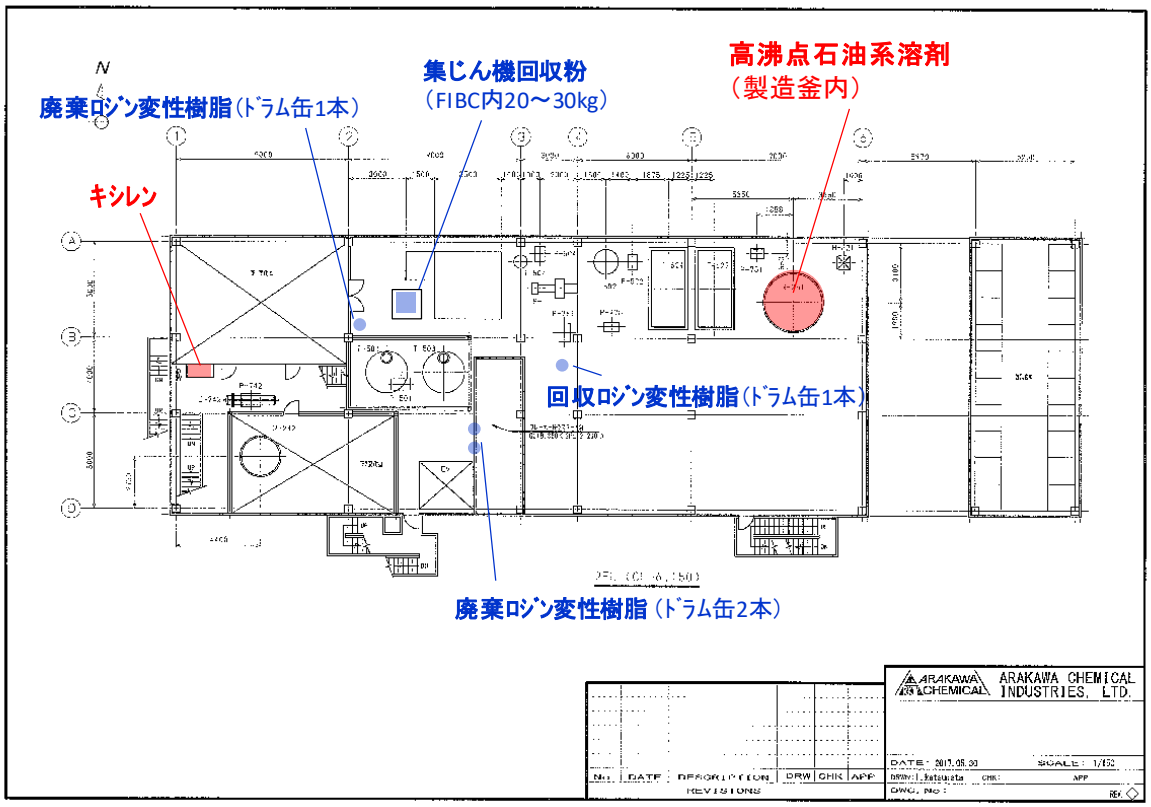


図 16　2 階の可燃物の保管状況

1 階の可燃物の保管状況を図 17 に示す。1 階には原料・中間体のタンク類が多く，西部のタンクには消防法危険物第 4 類第 2 石油類のレゾール型フェノール樹脂のキシレン溶液（図 17 ではレゾール型フェノール樹脂と記載した）が保管されていた。通常，集じん機のすぐ南側のタンクにもレゾール型フェノール樹脂のキシレン溶液が保管してあるが，当品番は廃番となったため，タンク洗浄のためのキシレンが保管されていた。西部の北ホッパー内にはロジン変性フェノール樹脂があり，東部にはワニス製品やワニス製品をろ過した残さが入ったドラム缶があった。また，当該製造棟の 1～4 階には原料などを製造釜に移送するための多くの配管があった。

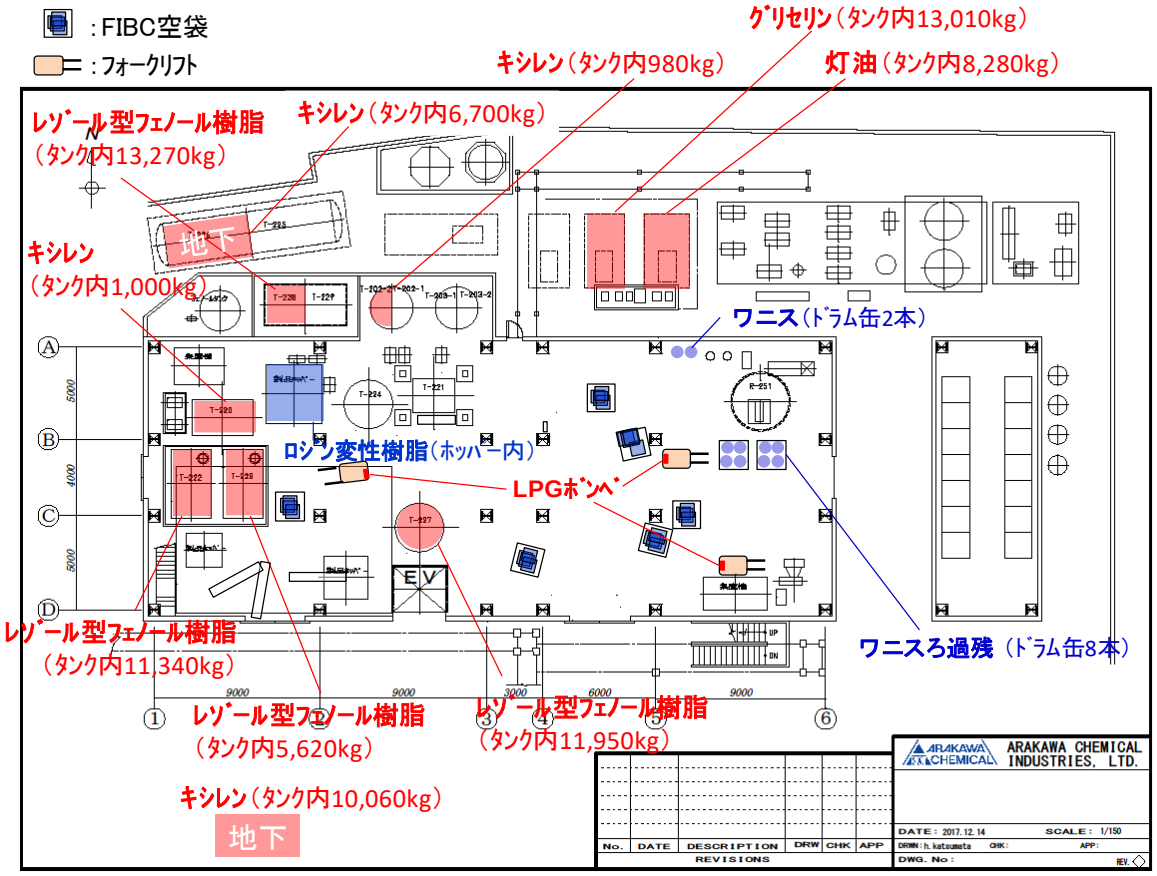


図 17　1 階の可燃物の保管状況

２．２．５　運転体制

富士工場の組織と協力会社への業務委託ルートを図 18 に示す。事務課，製造第一課，製造第二課，保安課，品質管理課があり，当該製造棟の担当は製造第二課第二係であった。製造課長のもと，係長とスタッフがおり，班長や作業員へ製造関係の指示を行っていた。24 時間連続運転を行うため，作業員は 1 班 4 名の三交替制をとっている。具体的には，1 部勤務 7～15 時に 4 名，2 部勤務 15～22 時に 4 名, 3 部勤務 22～7 時に 4 名が勤務しており, 日勤として 7～15 時に 1 名（嘱託），8～16 時に 1 名が勤務していた。

協力会社への業務委託は，事務課が協力会社との契約や包装詰め替え作業依頼（すでに包装された製品を別の大きさの容器に詰め替える作業。どの製品をどれだけ詰め替えするかを依頼）を行い, 製造第二課第二係が当該製造棟での製造品の包装作業依頼（固化室にある製品の包装作業。どの製品をどれだけ包装するかを依頼）を行っていた。

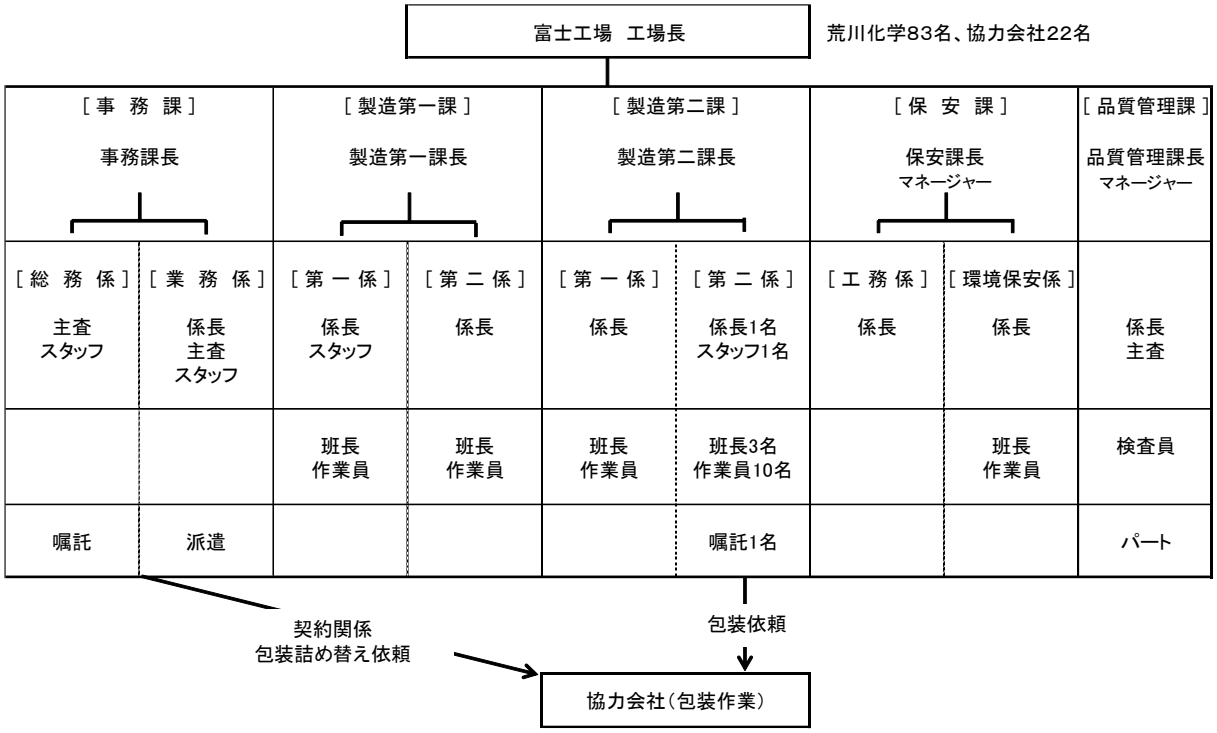


図 18　富士工場の組織と協力会社への業務委託ルート

なお，発災時に当該製造棟で作業していた協力会社社員 6 名，荒川化学社員 6 名の年齢，発災時の作業内容および当該製造棟での経験年数は以下のとおりである。

表 2　当該製造棟内の協力会社社員および荒川化学社員の年齢，作業内容，経験年数

社員	年齢	発災時の作業内容	経験年数
協力会社社員 a	63 歳	指示・監督	28 年
協力会社社員 b	64 歳	包装充填操作 補助	10 年
協力会社社員 c	55 歳	包装充填操作	17 年
協力会社社員 d	33 歳	搬送（フォークリフト運転）	7 年
協力会社社員 e	43 歳	包装容器準備	8 年
協力会社社員 f	28 歳	包装容器準備	5 年
荒川化学社員 g	62 歳	原料準備	32 年
荒川化学社員 h	40 歳	原料準備	21 年
荒川化学社員 i	51 歳	DCS 監視	8 年
荒川化学社員 j	44 歳	DCS 監視	2 年
荒川化学社員 k	32 歳	DCS 監視	14 年
荒川化学社員 l	26 歳	容器洗浄	1 年

３．事故概要

2017 年 12 月 1 日 8 時 25 分，静岡県富士市の荒川化学工業株式会社　富士工場　印刷インキ用樹脂製造棟において，爆発・火災事故が発生し，死亡者 2 名，重傷者 2 名，軽傷者 11 名の人的被害，および製造設備，建物が損壊する物的被害を出した。図 19 には発災時の類焼状況，図 20 には消火活動状況を示す。

図 19　発災時の類焼状況

図 20　消火活動状況

３．１　事故概要

発生日時：2017 年 12 月 1 日（金）8 時 25 分

気象状況：	天候	晴	
	気温	11.3℃（8 時）	13.5℃（9 時）
	相対湿度	81.0％（8 時）	56.4％（9 時）
	平均風速	0m/s（8 時）	4.3m/s（9 時）
	風向	静穏（8 時）	東南東（9 時）
	気圧	1,012hPa（8 時）	1,013hPa（9 時）

（富士市消防本部消防防災庁舎　気象観測システム　12 月 1 日 8 時と 9 時の測定データ）

発生場所：印刷インキ用樹脂製造棟

発生状況：12 月 1 日 8 時 25 分，印刷インキ用樹脂製造棟での製品包装作業中，爆発が起こり，製造棟全体に類焼した。

３．２　被害状況

人的被害：

人的被害は以下のとおりであった。

当該製造棟内で作業

死亡者　2 名　協力会社社員（社員 b，d）

重傷者　2 名　協力会社社員（社員 a，c）

軽傷者　8 名　協力会社社員 2 名（社員 e，f）

荒川化学社員 6 名（社員 g，h，i，j，k，l）

Y 製造棟南側で作業

軽傷者　3 名　運送会社社員 3 名

（Y 製造棟の南側でタンクローリーへの液状製品の充填作業を行っていた）

物的被害：

当該製造棟を中心に甚大な損壊となり，爆風および飛散物による周辺の損壊が一部にあった。

【近隣の被害範囲】

JR 身延線富士－西富士宮間，運転の見合わせがあった（午前 9 時半に運転休止し，13 時 09 分に運転再開）。また，富士工場の周囲 100m では通行が規制された。

近隣では厚原地区，弥生地区，伝法地区において停電があった。また，当該製造棟から周囲約 400m 圏内にて家屋の歪み･壁･窓の破損などがあった。飛散物については，ガラスが周囲約 30m，壁材が北へ約 130m，南へ約 80m，東西へ約 40m 飛散していた。風向きが東南東であったため，北西方向約 420m まで微細なロジン変性フェノール樹脂やすすが飛散していた。

【富士工場場内の損壊状況】

富士工場場内の損壊状況を図 21 に示す。場内では事務所，倉庫，他の製造棟の壁や窓が破損していた。当該製造棟の南側ではキシレン配管が破損・焼損しており，発災時はここから火柱が立っていた。図 21 の①～⑩の損壊状況の写真を図 22～31 に示す。

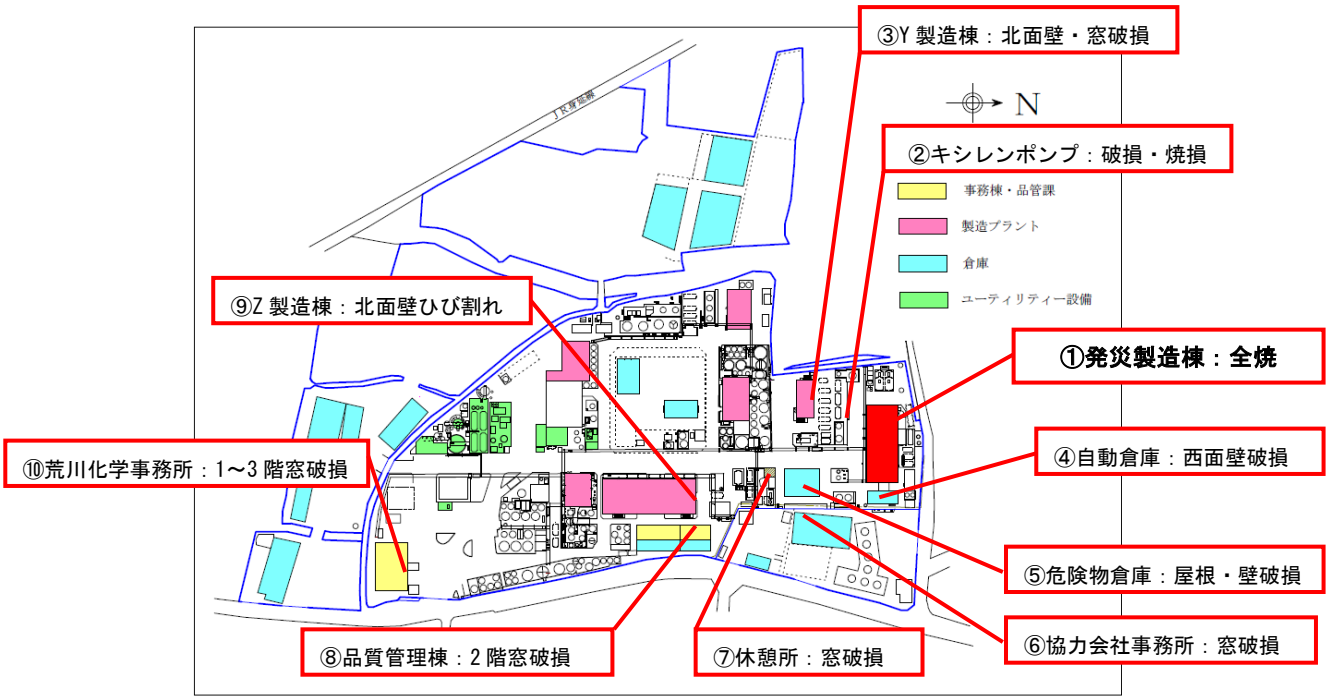


図 21　富士工場場内の損壊状況

図 22　①発災製造棟

図 23　②キシレンポンプ

図 24　③Y 製造棟

図 25　④自動倉庫

図 26　⑤危険物倉庫

図 27　⑥協力会社事務所

図 28　⑦休憩所

図 29　⑧品質管理棟

図 30　⑨Z 製造棟

図 31　⑩荒川化学事務所

【当該製造棟の損壊状況】

当該製造棟の損壊状況を図 32 に示す。当該製造棟の外観は，特に強度の低い壁材部の損壊が激しく，1～3 階の大半の壁材・ALC 部は屋外に向けて吹き飛んでいた（消火時の放水による損壊含む）。また，製造棟の南側・西側・北側の部位が焼損していた。

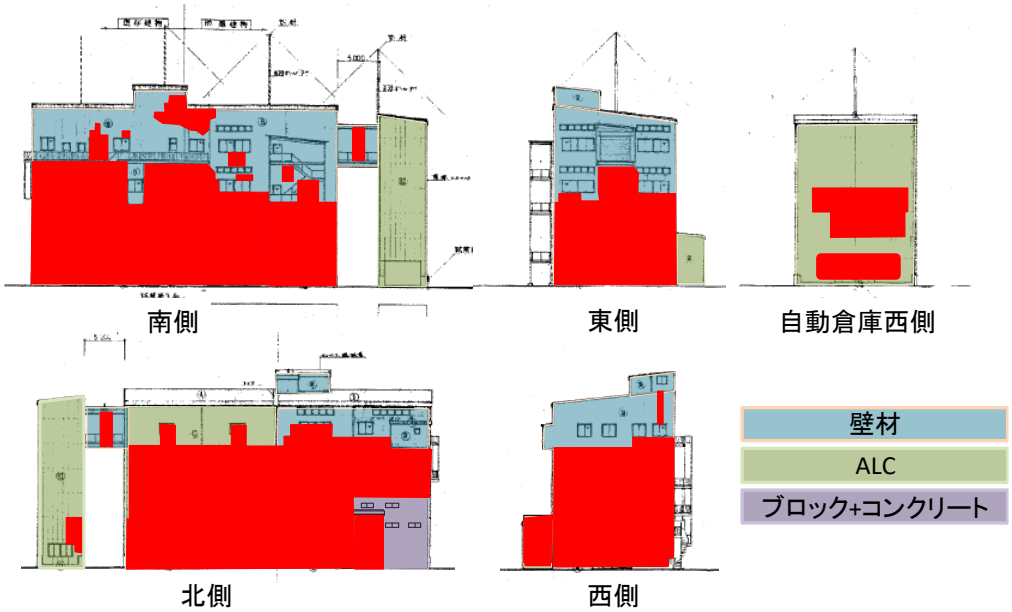


図 32　当該製造棟の損壊状況（損壊箇所：赤色部分）

３．３　事故に至った経緯と事故後の状況

３．３．１　発災前の状況（当日）

2017 年 12 月 1 日（金）

・当日は 4 階に荒川化学社員 6 名，1～2 階に協力会社社員 6 名がいた。

・ロジン変性フェノール樹脂の製造釜 A，B，C，およびワニスの製造釜が稼働していた。

・フェノール樹脂製造釜は空の状態であった。

・北固化室で冷却したロジン変性フェノール樹脂の粗砕作業を開始するところであった。
以下状況については図 33～37 も参照。

【当該製造棟 4 階（荒川化学社員 6 名）】

時刻	作業者	作業内容
6 時 55 分	社員 l	ロジン変性フェノール樹脂の製造釜 C で減圧を開始 （計器室の DCS により制御）
7 時 00 分	社員 j	製造釜 A セパレーター内の有機層と水層を分離するため水抜き開始
	社員 l	ワニスの製造釜で製造が終了し，製品タンクへ移送開始 （計器室の DCS により制御）

7 時 05 分	社員 k	ロジン変性フェノール樹脂の製造釜 B の製造工程内サンプルを採取
7 時 30 分		ワニスの製造釜内の製品移送完了
7 時 35 分	社員 i	ワニスの製造釜へ高沸点石油系溶剤を投入 （計器室の DCS により制御）
	社員 l	南東部のキシレン容器内でろ過設備の金網洗浄
7 時 45 分	社員 j	ロジン変性フェノール樹脂の製造釜 A の製造工程内サンプルを採取し，測定室で測定
8 時 00 分	社員 i	計器室の DCS でロジン変性フェノール樹脂の製造釜 A の温度監視
	社員 g	パラホルムアルデヒド準備
	社員 l	南東部でキシレン容器の洗浄開始
8 時 05 分	社員 h，k	フェノール樹脂の製造釜 D にパラホルムアルデヒドを投入
8 時 15 分	社員 k	フェノール樹脂の製造釜 D にアルキルフェノールを投入開始 （計器室の DCS により制御）
8 時 20 分	社員 i	キシレン容器へ新しいキシレンを投入するためにキシレンポンプを始動（計器室の DCS により制御）

発災時　社員 i，j，k は 4 階の計器室にて運転状態を DCS で監視中
社員 g，h は 4 階中央の北部で原料の準備開始
社員 l は 4 階の南東部で容器洗浄中

以上，ロジン変性フェノール樹脂の製造やワニスの製造に関する反応は作業手順どおりに行われており，また DCS での監視をしており，異常はなかった。

8 時 25 分	1 階で爆発発生
25～27 秒	25 秒：近隣情報より推定 27 秒：富士山空振計（太郎坊，上井出）の震動時刻より算出

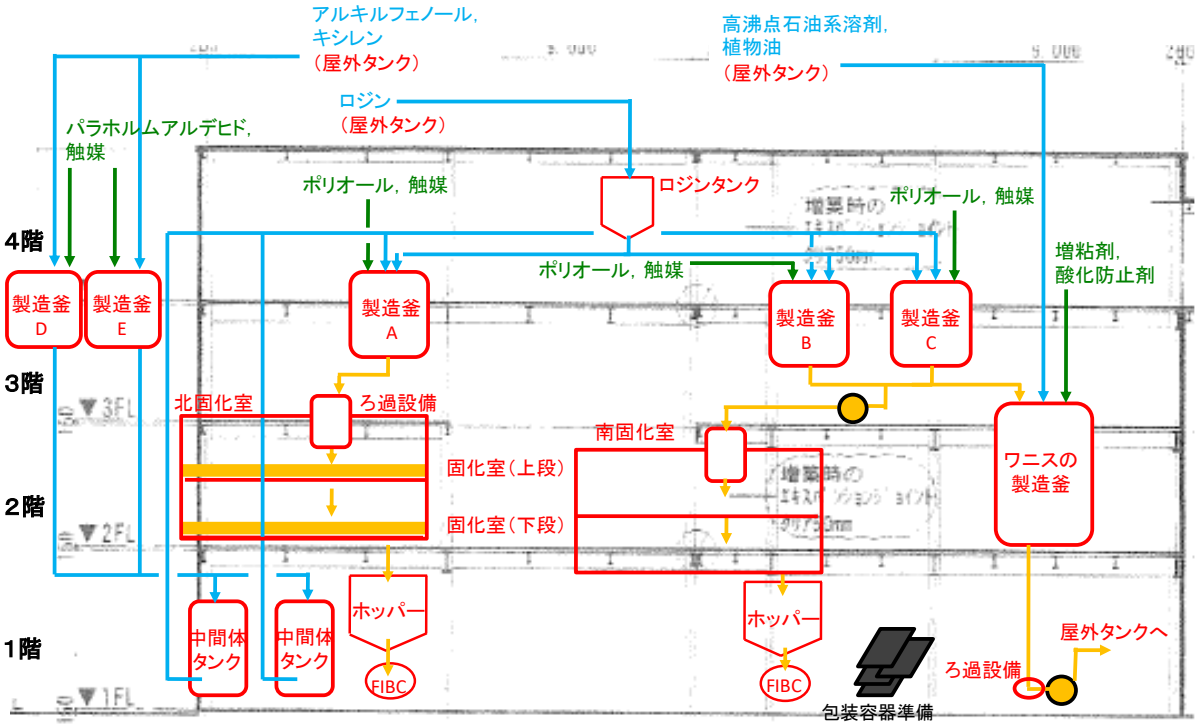


図 33　印刷インキ用樹脂製造棟での製造プロセスフロー

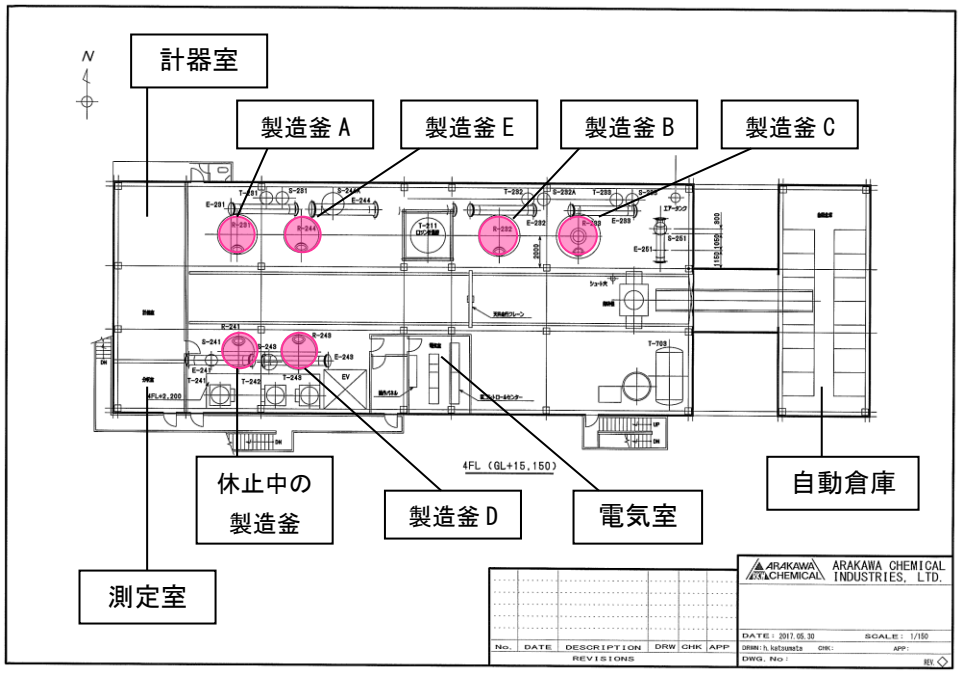


図 34　4 階の設備配置図

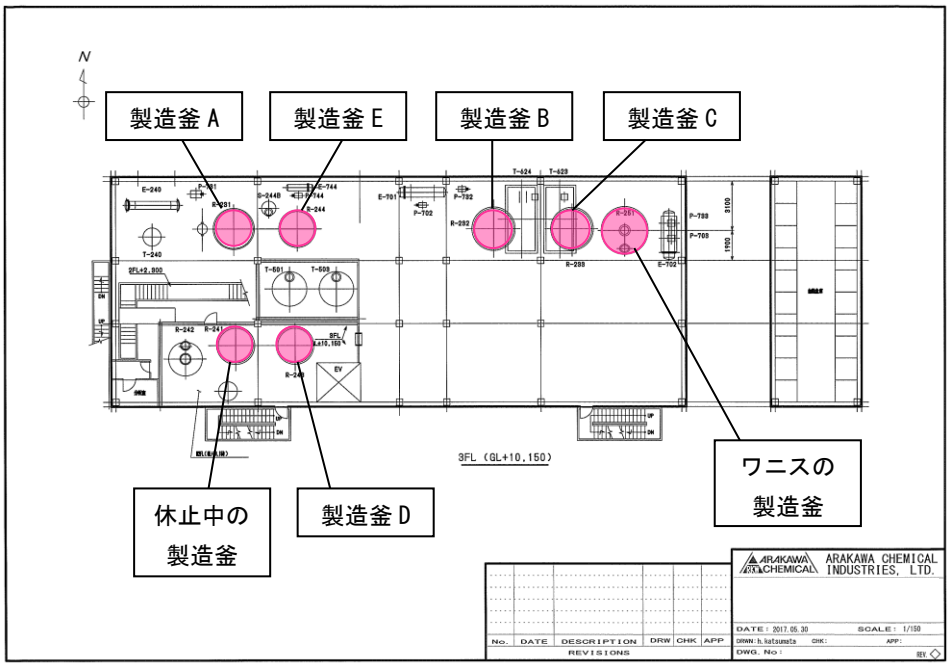


図 35　3 階の設備配置図

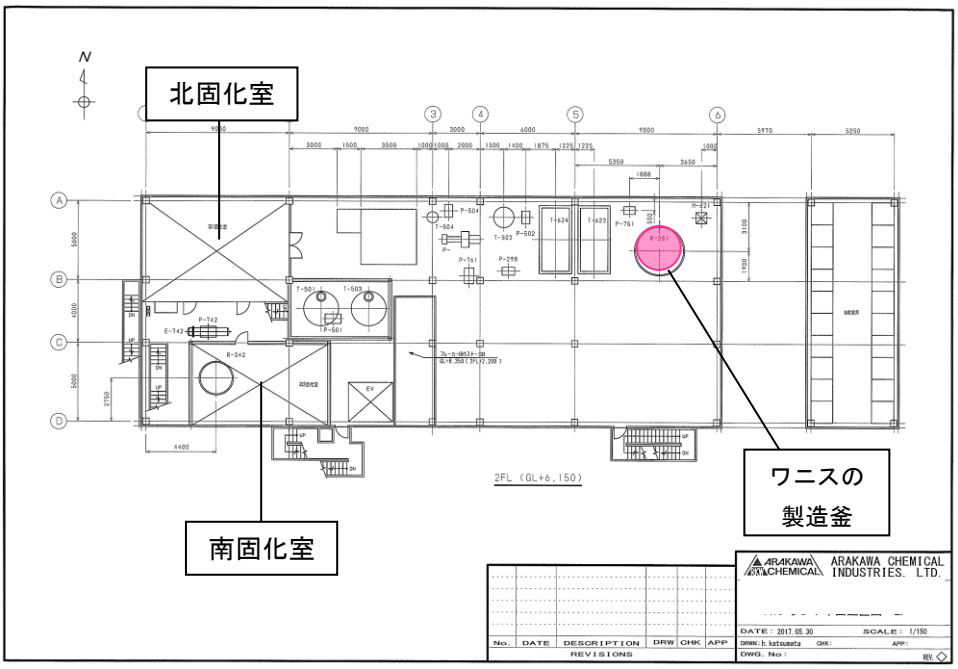


図 36　2 階の設備配置図

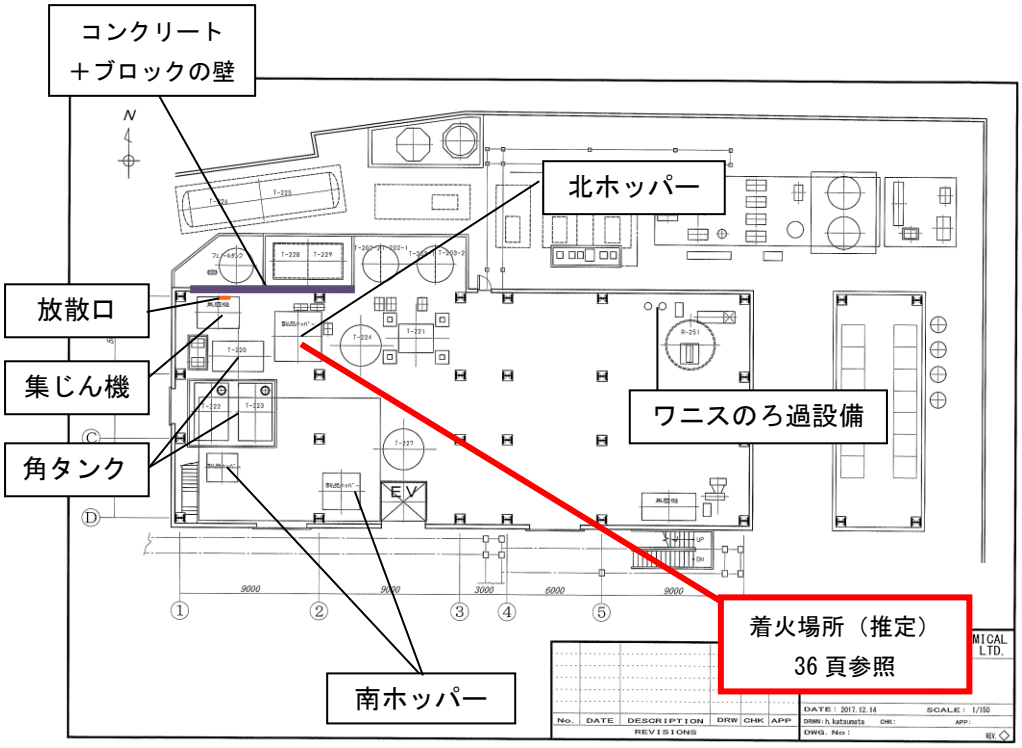


図 37　1 階の設備配置図

【当該製造棟 1～2 階（協力会社社員 6 名）】

時刻	作業者	作業内容
7 時 10 分		集じん機を始動
7 時 30 分	社員 b，c，d	集じんダクトのバタフライ弁を開け， 北固化室上段で固化したロジン変性フェノール樹脂を粗砕し， スクリューコンベアに入れ，ホッパーへ搬送開始
7 時 50 分	同上	北固化室上段の作業が終了し，1 階へ移動
	社員 b，c	ホッパーから FIBC へ包装開始
	社員 d	包装完了した FIBC をフォークリフトで屋外へ移動開始
	社員 a，e，f	他製造棟での作業を終え，当該製造棟へ応援に来た 北固化室下段で固化したロジン変性フェノール樹脂を粗砕し， スクリューコンベアに入れ，ホッパーへ搬送開始
8 時 20 分	社員 a，e，f	北固化室下段の作業が終了し，バタフライ弁を閉め，1 階へ移動

発災時　社員 b，c は FIBC への包装作業
　全 20 個中，13 個目が終了，14 個目の包装を開始
社員 d は包装完了した FIBC をフォークリフトで移動開始
社員 a は現場の指示や監督
社員 e，社員 f は包装容器の準備・整理

以上，包装作業手順どおりに包装作業を行っていた

8 時 25 分　1 階で爆発発生
25～27 秒　25 秒：近隣情報より推定
　27 秒：富士山空振計（太郎坊，上井出）の震動時刻より算出

以上の当該製造棟 4 階の状況と，1～2 階の状況を表 3 にまとめた。

表 3　発災前の状況一覧表（当日）

<table>
<tr><th rowspan="2"></th><th colspan="2">荒川化学社員　作業
（当該製造棟4階）</th><th colspan="4">協力会社社員　作業
（当該製造棟1～2階）</th></tr>
<tr><th>作業先</th><th>作業内容</th><th>作業先</th><th>作業内容</th><th>作業先</th><th>作業内容</th></tr>
<tr><td>6:40</td><td colspan="2">計器室入室（社員j，k，l の3名）</td><td colspan="4" rowspan="6"></td></tr>
<tr><td>6:45</td><td colspan="2">計器室入室（社員i の1名）</td></tr>
<tr><td>6:55</td><td>製造釜C</td><td>減圧開始</td></tr>
<tr><td rowspan="2">7:00</td><td>製造釜A</td><td>セパレータ水抜き</td></tr>
<tr><td>ワニス製造釜</td><td>移送監視</td></tr>
<tr><td>7:05</td><td>製造釜B</td><td>サンプル採取</td></tr>
<tr><td>7:10</td><td colspan="2"></td><td>集じん機</td><td>始動</td><td colspan="2" rowspan="6"></td></tr>
<tr><td>7:30</td><td>ワニス製造釜</td><td>屋外タンクへ移送完了</td><td rowspan="4">北固化室
上段</td><td rowspan="4">粗砕
（社員b，c，d）</td></tr>
<tr><td rowspan="2">7:35</td><td>ワニス製造釜</td><td>高沸点石油系溶剤投入</td></tr>
<tr><td>南東部 キシレン容器</td><td>ろ過設備の金網洗浄</td></tr>
<tr><td>7:45</td><td>製造釜A</td><td>サンプル採取</td></tr>
<tr><td>7:50</td><td colspan="2">計器室入室（社員g，h の2名）</td><td rowspan="7">北ホッパー</td><td rowspan="7">包装
（社員b，c）

フォークリフト
（社員d）</td><td rowspan="4">北固化室
下段</td><td rowspan="4">粗砕
（社員a，e，f）</td></tr>
<tr><td rowspan="3">8:00</td><td>製造釜A</td><td>温度監視</td></tr>
<tr><td>製造釜D</td><td>パラホルムアルデヒド準備</td></tr>
<tr><td>南東部 キシレン容器</td><td>容器洗浄</td></tr>
<tr><td>8:05</td><td>製造釜D</td><td>パラホルムアルデヒド投入</td></tr>
<tr><td>8:15</td><td>製造釜D</td><td>アルキルフェノール投入</td></tr>
<tr><td>8:20</td><td>南東部 キシレン容器</td><td>キシレンポンプを始動
（キシレン容器へ新しいキシレンを投入するため）</td><td>1F中央～
東フロア</td><td>指示・監督
（社員a）

包装容器準備
（社員e，f）</td></tr>
<tr><td>8:25</td><td colspan="2"></td><td colspan="4">爆発発生</td></tr>
</table>

ここで，発災時の当該製造棟内の人員配置を図 38 に示す。1 階では西側から東側に向けて爆発・火災が起こり，協力会社社員 5 名が屋外に避難した。4 階では下層階からの爆発音と同時に，黒煙に包まれたため，荒川化学社員 6 名は手探りで当該製造棟の 4 階を移動し南東側屋外階段を通って避難した。

表 4　当該製造棟内の協力会社社員および荒川化学社員の発災後状況，年齢，作業内容，経験年数

発災後状況	社員	年齢	発災時の作業内容	経験年数
重傷	協力会社社員 a	63 歳	指示・監督	28 年
死亡	協力会社社員 b	64 歳	包装充填操作 補助	10 年
重傷	協力会社社員 c	55 歳	包装充填操作	17 年
死亡	協力会社社員 d	33 歳	搬送（フォークリフト運転）	7 年
軽傷	協力会社社員 e	43 歳	包装容器準備	8 年
軽傷	協力会社社員 f	28 歳	包装容器準備	5 年
軽傷	荒川化学社員 g	62 歳	原料準備	32 年
軽傷	荒川化学社員 h	40 歳	原料準備	21 年
軽傷	荒川化学社員 i	51 歳	DCS 監視	8 年
軽傷	荒川化学社員 j	44 歳	DCS 監視	2 年
軽傷	荒川化学社員 k	32 歳	DCS 監視	14 年
軽傷	荒川化学社員 l	26 歳	容器洗浄	1 年

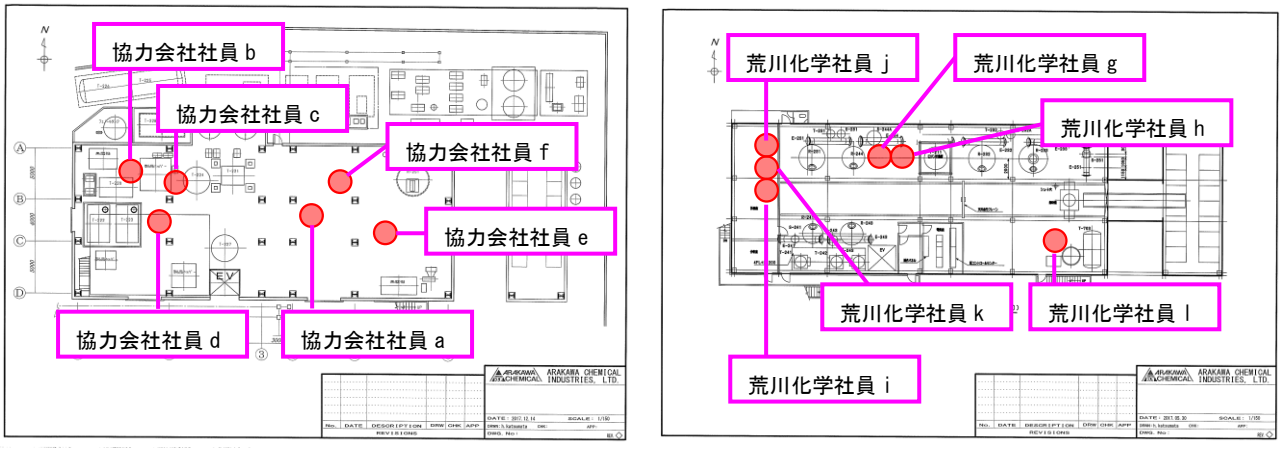


図 38　発災時の当該製造棟内の人員配置図（左：1 階　右：4 階）

３．３．２　発災後の状況（当日）

以下に発災後当日の状況を記載する。消火・救助活動の詳細については３．４に記載した。

8 時 25 分	爆発発生
25～27 秒	25 秒：近隣情報より推定
	27 秒：富士山空振計（太郎坊，上井出）の震動時刻より算出
8 時 25 分 29 秒	富士工場の漏電警報発報
	自動火災報知機発報
8 時 26 分 14 秒	富士山中腹の空振計（上井出観測点）が爆風を観測
35 秒	富士山中腹の空振計（太郎坊観測点）が爆風を観測
8 時 26 分	事務課長より消防署へ連絡
	工場長より本社へ一報
8 時 27 分	富士工場自衛消防隊により初期消火開始
8 時 37 分	公設消防隊入場
8 時 39 分	富士工場事務所前へ負傷者搬送
8 時 56 分	救急車入場
9 時 37 分	富士市が周囲 100m を警戒区域に指定，周辺住民に避難指示
12 時 12 分	避難解除
14 時 09 分	鎮火

３．３．３　発災後の状況（翌日以降）

2017 年 12 月 2 日	警察・消防による事故現場，場内，近隣周辺の検証開始
	事務所捜索開始
3 日	事故調査委員会の発足
	事故原因究明チーム調査開始
12 日	富士労働基準監督署，労働安全衛生総合研究所立ち入り
13 日	事故調査委員 場内視察
15 日	警察・消防による現場検証中断，事務所捜索終了，規制線解除
	（ひととおり検証し，必要に応じて現場検証となった）
17 日	事故調査委員 場内視察
24 日	第 1 回事故調査委員会開催
現状	当該製造棟の解体撤去完了

３．４　消火・救助活動の状況

12 月 1 日 8 時 25 分の事故発生直後の消火，救助活動は以下のとおりである。

爆発音と自動火災報知機の発報を受けて事務課長より 119 番通報（8 時 26 分）すると共に本社への報告を行い，ただちに工場の自衛消防隊による初期消火活動を開始した（8 時 27 分頃）。初期消火活動は近隣の製造棟で勤務していた自衛消防隊員と工場のスタッフの 10 数名が屋外消火栓を用いて，当該製造棟の南側より放水を行った。

この間に当該製造棟の 1 階で作業を行っていた協力会社社員 6 名の内，5 名が屋外に避難し，燃えていた着衣の消火や火傷を水で冷やすなどの応急処置を行った。

自衛消防隊による初期消火開始後，当該製造棟の 4 階で作業を行っていた荒川化学社員 6 名が南東側の屋外階段より屋外に順次避難した（8 時 27～37 分の間）。間もなく公設消防隊が入場し消火活動を開始（8 時 37 分），負傷者全員を工場の事務所前に搬送した（8 時 39 分頃）。

救急車輌が入場し負傷者の手当てを開始（8 時 56 分頃），その後，避難した協力会社の社員 5 名，荒川化学の社員 6 名を救急車輌および救急ヘリコプターにより，富士市内，静岡市内，山梨県，神奈川県の病院へ搬送した。

引き続き 23 台の消防車輌により消火活動が行われ，14 時 09 分に鎮火。この間，富士市は工場から周囲 100m を警戒区域に指定し（9 時 37 分），周辺住民に対して避難指示を出した（12 時 12 分解除）。

避難できなかった協力会社社員 1 名は鎮火後の消防の捜索により，当該製造棟 1 階の包装作業場において遺体で発見された。

４．事故原因

４．１　事故の調査方法

今回の爆発・火災事故の原因究明に向けた検証は，以下の方法で行った。

（１） DCS のデータ，記録類は火災により消失しており，事故当日のプラントおよび装置の挙動，作業員の操作は，荒川化学および協力会社の社員より聴取し把握した。

（２）機器の損傷状況や現場の焼損状況，周辺の被害状況については現場検証を行った。

（３）事故前の設備の状態は，保管文書，図面類，担当課長，担当係長，荒川化学社員，協力会社の社員より聴取し把握した。

（４）事故の事象は公共機関や近隣事業所の情報，データ，荒川化学社員，協力会社の社員の証言から把握した。

（５）発生事象を明確に解析する必要があるものについては，事故調査委員会の事故原因究明チーム，荒川化学社内の技術部門にて技術的検討を行った。また，裏付けとして荒川化学社外の研究機関に委託して技術的検討および数値解析，3 次元シミュレーションを行った。

４．２　事故の原因推定

今回の爆発・火災事故は，近隣情報（図 39）および当該製造棟 1 階東側で作業していた協力会社の社員の「西の方から火炎が迫ってきた。」との証言，当該製造棟 1 階のロジン変性フェノール樹脂の製品包装作業場周辺の機器（製品ホッパー，集じん機，タンク，ダクト，配管類）の損傷が著しい状況，当日のロジン変性フェノール樹脂やワニスの製造に関する反応は作業手順どおり行われており，設備にも異常はなく，製造釜内の原料や製品が燃えずにそのまま残っていたことから，当該製造棟 1 階の製品包装作業場付近で静電気による粉じん爆発が発生し，その火炎が当該製造棟内の危険物，可燃物に引火，類焼し，重大事故に発展したものと考えられる。事故原因の推定の詳細は４．２．２に記載する。

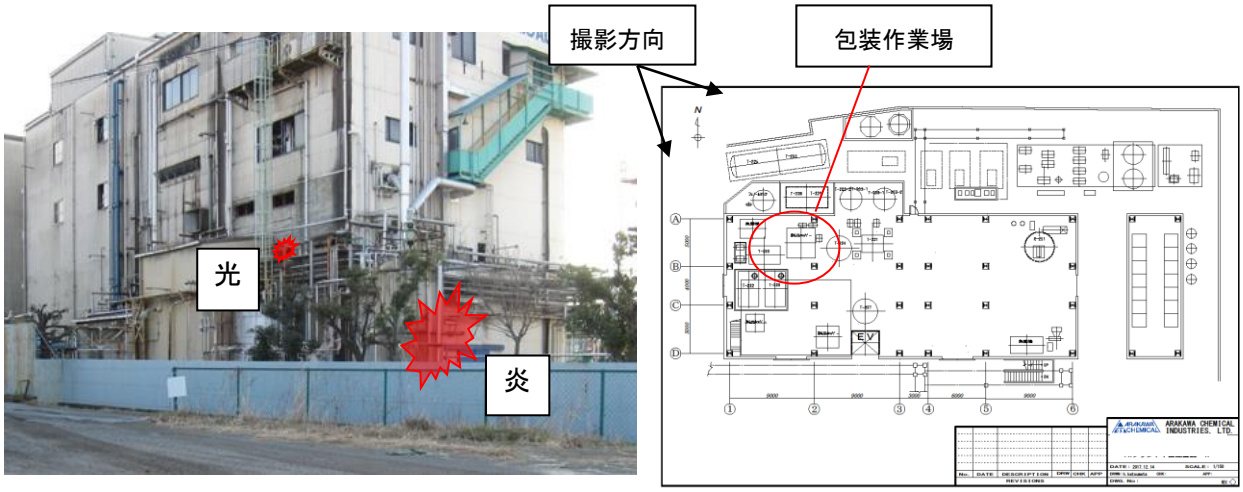


図 39　最初に炎と光が見えた場所（当該製造棟北西方向からの撮影）

４．２．１　事故の詳細

【ロジン変性フェノール樹脂の包装作業場の設備】

包装作業場周辺の設備の状況を図 40，ホッパーを図 41，固化室内部の状況を図 42 に示す。

固化室は反応を終えた溶融状態のロジン変性フェノール樹脂を冷却固化する設備であり，上下 2 段の構造で床には鋼板が張られている。250～265℃の溶融状態の樹脂を固化室に流し入れ，空冷により約 20 時間で 50℃以下まで冷却固化する。1 回の反応で製造した樹脂をおよそ 1/2 ずつ上下段の固化室に流し込み冷却固化する。

上下段固化室の床の中央にはスクリューコンベアが設置されており，スクリューコンベアの先端には解砕機が設けられている。スクリューコンベアには蓋はなく，上部は全面開放の状態で上方に集じんのためのフードが設けられている。スコップにて粗砕した樹脂をスクリューコンベアに投入し，水平方向に搬送後，解砕機にて数 cm 程度の大きさに解砕し，階下のホッパーに貯蔵する。スクリューコンベアの解砕機部分を図 43 に示す。

ホッパーは 1 回の反応で製造した樹脂の約 1/2 の量を貯蔵する容量であり，ホッパーの底部の排出口には回転型スライド弁が設けられている。回転型スライド弁を開くことにより樹脂が排出される。また，ホッパーの排出口には金属検知器が設置されている。

ホッパー下の 1 階床には台秤があり，台秤には鉄鋼製のカバーが載せられており，カバーの上面と床面が同一レベルになるように台秤はピット内に収められている。台秤の上に FIBC を置いて，樹脂を充填，計量する。

包装作業場には集じん機が設置されており，固化室での粗砕・解砕および FIBC への充填操作により発生する樹脂の粉じんを吸引し処理する。集じん機で捕集された粉じんはスクリューフィーダーで集められロータリーバルブにより排出される。

設備の材質は一部を除き，鉄鋼製である。

当該製造棟内の西側の包装作業場の北側と南側には類似のロジン変性フェノール樹脂の固化室および包装設備が 1 基ずつ設置されており，それぞれ北固化室，南固化室と呼んでいた。ロジン変性フェノール樹脂の冷却，粗砕，解砕および包装作業は主に北固化室を使用していた。

なお，図 41～43 は発災前に撮影したものである。

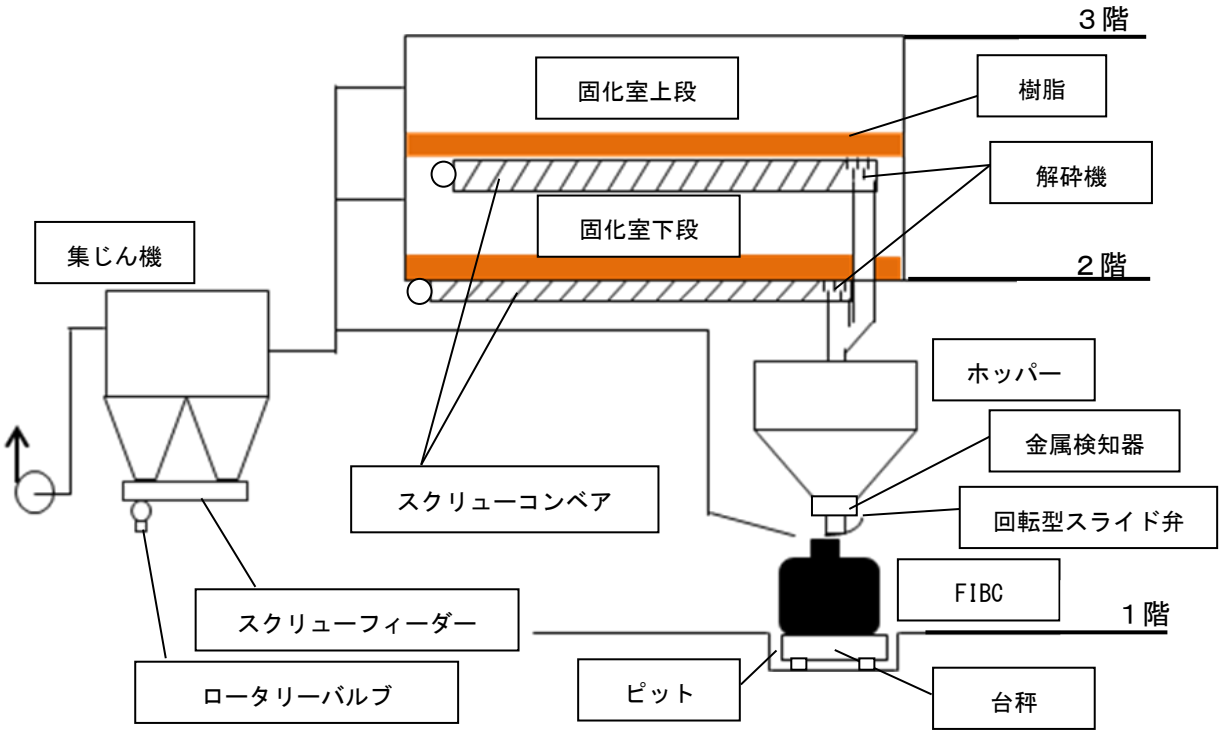


図 40　包装作業場周辺の設備の状況（北固化室）

図 41　北ホッパーの全景（発災前）

図 42　固化室内部の状況（北固化室，発災前）

図 43　スクリューコンベア先端の解砕機（北固化室，発災前）

【ロジン変性フェノール樹脂の包装作業】

固化室内で冷却したロジン変性フェノール樹脂の粗砕，FIBC への包装作業は，協力会社の社員が通常 3 名で実施する。

まず，作業開始前に集じん機を起動し，固化室の集じんダクトのバタフライ弁を開けて，粗砕作業を開始する。粗砕作業は，上段固化室から開始する。

協力会社の社員が 2 階の上段固化室に入り，固化した樹脂をスコップにて粗砕しスクリューコンベアに投入する。樹脂はスクリューコンベアで搬送，解砕されてホッパーに入る。固化室 1 段分の樹脂の粗砕作業の時間は約 30 分である。

固化室 1 段分の樹脂の粗砕を終えると，協力会社の社員は 1 階へ移動し包装作業を開始する。

金属検知器の動作確認を行った後にホッパーに貯蔵した樹脂を FIBC に包装する。事故当日に包装していた FIBC 1 個あたりの充填量は 470kg である。包装作業は充填操作 2 名，FIBC の搬送 1 名の計 3 名で行う。

包装作業は FIBC を台秤に載せ，FIBC の充填口をホッパー排出口の直近まで伸ばし，回転型ス

ライド弁を全開にして一気に約 400kg まで充填する。この際，FIBC の充填口の端を回転型スライド弁とホッパー排出口の間に挟みこんで固定する。さらに FIBC の充填口の反対側の端を集じんダクト（図 41 には集じんダクトも撮影されている）に近づける。

FIBC の設置状況を図 44 に，充填操作の状況を図 45 に，類似の回転型スライド弁を図 46 に示す。なお，図 45 は後日類似の包装設備を用いて包装作業の状況を再現したものである。

回転型スライド弁を全開にした状態で約 400kg まで一気に充填した後（所要時間約 30 秒），回転型スライド弁の開閉操作にて調整し，所定量の 470kg まで充填する。約 400kg から 470kg までの充填操作中は，正確に計量するために FIBC はホッパー排出口から離し，自立させている。充填開始から完了までの所要時間は約 1 分である。充填後は FIBC の充填口を閉じ，フォークリフトにて屋外へ搬出する。

ホッパーに貯蔵できる樹脂の量は 1 回の製造で得た樹脂のおよそ 1/2 であり，先に固化室上段の樹脂の粗砕，解砕，包装を行なった後，同じ協力会社の社員 3 名が上段固化室と同様の手順で下段固化室の樹脂の粗砕，解砕，包装を行う。なお，下段の固化室の粗砕作業が終了したら固化室の集じんダクトのバタフライ弁は閉じる。1 回の製造で得られる樹脂の包装個数は FIBC 約 20 個である。

ロジン変性フェノール樹脂の冷却，粗砕，解砕，包装は通常，北固化室を用いて行われ，事故当日の固化室での粗砕および包装の一連の作業も北固化室と包装設備で実施し，手順どおり行われていた。

事故当日は，北固化室上段の樹脂の包装作業の途中に他のプラントでの作業を終えた協力会社の社員 3 名が応援に入り，北固化室下段の粗砕作業を実施した。先に粗砕した上段固化室の樹脂の包装作業を行いながら下段固化室で粗砕を行うことで作業時間を短縮できることから，応援の協力会社の社員による粗砕作業は以前からしばしば実施されていた。

下段固化室の粗砕作業を終えた応援の協力会社の社員 3 名は，当該製造棟の 1 階の包装場から東へ 10～15m 離れた場所で作業の監督や容器準備を行っていた。包装作業は協力会社の社員 3 名で継続していた。

当該製造棟の東側 1 階にいた協力会社の社員の証言，近隣情報から，爆発は北固化室下段での粗砕作業後，包装作業場付近で発生したと考えられる。また，屋外に搬送された包装済みの FIBC の数から，14 個目の FIBC の充填作業中であったと推定される。

爆発による衝撃と火炎により，包装作業を行っていた 3 名のうち，1 名が死亡，2 名が重傷（うち 1 名は後日死亡），離れた場所で作業していた 3 名のうち，1 名は重傷，2 名が軽傷を負った。

包装作業および監督や容器の準備を行っていた場所，協力会社の社員の位置を図 47 に示す。

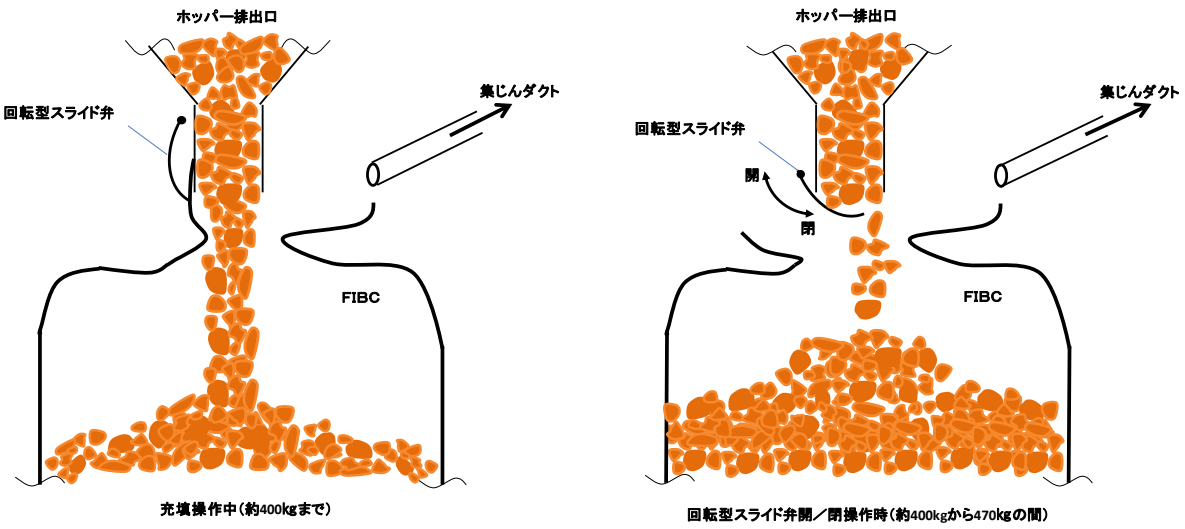


図 44　FIBC の設置状況

図 45　充填操作の状況（類似設備を使用して再現）

図 46　回転型スライド弁（類似品）

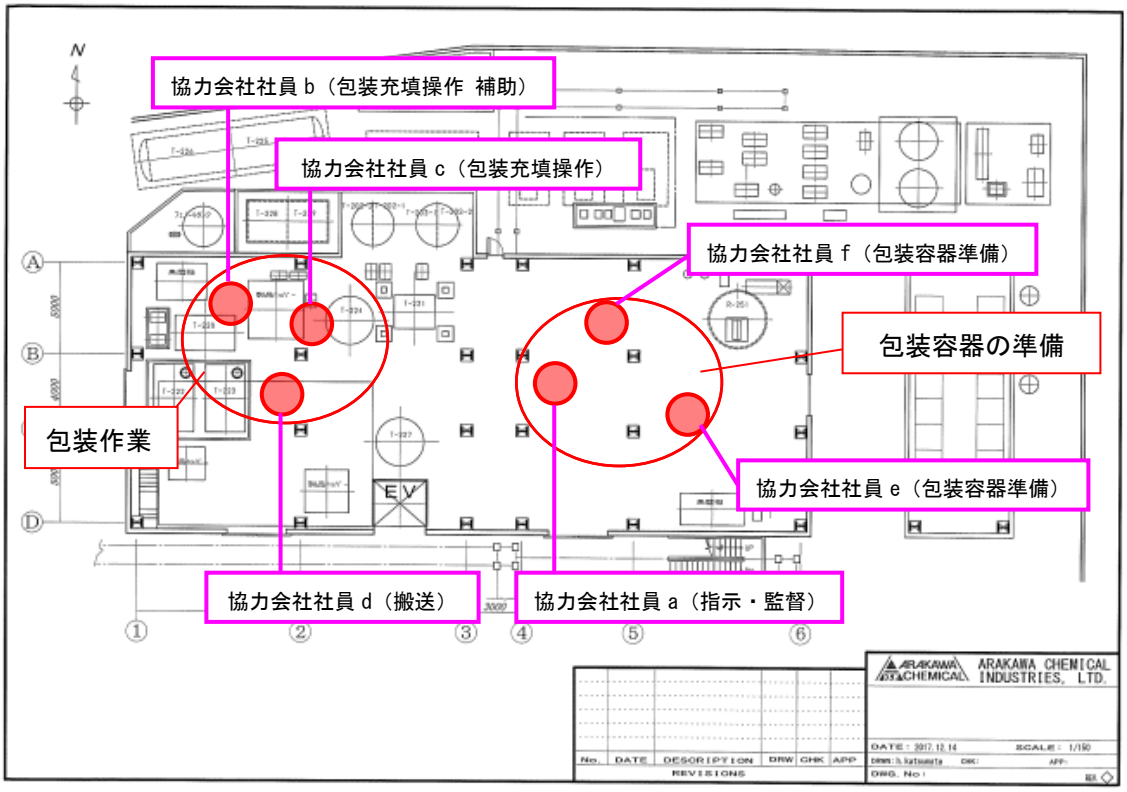


図 47　作業場所と協力会社社員の位置

【静電気対策状況】

発災後の検証となるが，服装・設備の接地状況を調査した。調査結果を表 5 に，調査時の写真を図 48～52 に示す。

まず当該作業に従事する協力会社の社員の服装については，荒川化学の規定で，帯電防止作業服，静電気帯電防止靴，ヘルメット，軍手，防じんマスクの着用を義務づけている（図 48）。当該作業に従事していた協力会社社員に対する事故後の事情聴取では，規定を守っていた旨の説明を受けた。ただし発災時に着用していた作業着の現物は焼失等のため確認はできていない。

協力会社の社員の静電気帯電防止靴と当該製造棟の 1 階の床との絶縁抵抗を 1,000V で測定したところ，最大 1.6×107Ω で JIS T8103 の規格（1.0×105≦R≦1.0×108Ω）を満たしていた。当該製造棟 1 階の床については接地極との間の抵抗を測定したところ 7.5×105Ω であった（図 49）。

帯電防止作業服および静電気帯電防止靴の着用については，本委員会の委員である公益社団法人 産業安全技術協会 山隈常務理事から，以下の見解が示された。

人体の帯電は帯電防止作業服によって防止又は軽減できないものもあることから，人体の帯電防止は，衣服ではなく，靴と床の導電性による接地によって確保するものであることが静電気専門家の共通認識である。

事故当時、被災した作業者は帯電防止靴を履いていたことが確認されており、作業床は、一般に十分な導電性を有するコンクリート製であることから，作業者の身体は接地状態にあったと考えられる。

したがって，作業者の着衣が帯電防止品でなかったとしても，身体には静電気が蓄積することはほとんどなく，その皮膚から火花放電のような着火性放電が生じた可能性は極めて低い。

以上の見解から，静電気が発生しても静電気帯電防止靴から床に放電するため，人体の帯電はなかったと判断する。

次に，ダクトについて接地極との間の抵抗を数箇所測定したところ 0.5～1.2Ω であり（図 50），集じん機本体の接地極との間の抵抗は 0Ω，集じん機のフィルターの金網は 18Ω，フィルターを固定する金属ヨークは 1.4Ω であった（図 51）。なお，集じん機のフィルターはその構造から金網に接触していたと考えられる。また，ホッパー本体の接地極との間の抵抗も 0.8Ω であった。

以上より集じん機ならびにホッパーは接地されていたと考える。

また台秤に鉄鋼板製のカバーが載せられており，そのカバー上面と接地極との間の抵抗を測定したところ 0Ω であり，台秤および鉄鋼板製カバーは接地されていたと判断する（図 52）。

ロジン変性フェノール樹脂の製品の包装には静電気災害防止タイプ C の FIBC を使用しており，FIBC の出荷時にメーカーが測定した接地可能接続点（接地端子）と本体との間の抵抗は $10^{6\sim7}$Ω であった。また，包装作業場には充填操作中に FIBC に接続する接地ケーブル（アースリール）が備えられていた。

しかし，富士工場の包装作業手順書には FIBC に接地ケーブルを接続する手順が記載されておらず，事故後の協力会社社員からの聴取においても，実際の包装作業では接地ケーブルを FIBC に接続せずに，ホッパーに接続して充填作業を行っていた。

470kg の製品を FIBC に充填する作業において，約 400kg 程度までは FIBC の充填口を回転型ス

ライド弁とホッパーの排出口との間に挟んで充填しており，この状態では FIBC はホッパー経由で接地されていた。さらには台秤が接地されており，鉄鋼板製のカバーの上に載せて計量を行うことで，FIBC は台秤経由でも接地される仕組みになっていた。

表 5　接地状況の調査結果（絶縁抵抗および接地極との間の抵抗測定値）

測定項目	測定値[Ω]
協力会社の社員の静電気帯電防止靴と 1 階床との絶縁抵抗	最大 1.6×10^{7}
1 階床と接地極との間の抵抗	7.5×10^{5}
ダクトと接地極との間の抵抗（複数個所）	0.5～1.2
集じん機本体と接地極との間の抵抗	0
集じん機のフィルターの金網と接地極との間の抵抗	18
集じん機ヨークと接地極との間の抵抗	1.4
ホッパーと接地極との間の抵抗	0.8
台秤のカバーと接地極との間の抵抗	0
FIBC の接地可能接続点（接地端子）と本体との間の抵抗（メーカー出荷時の測定値）	$10^{6\sim7}$

図 48　協力会社の社員の服装

図 49　1 階床と接地極の間の抵抗測定の状況

図 50　ダクトと接地極の間の抵抗測定の状況

図 51　集じん機と接地極間の抵抗測定の状況

図 52　台秤と接地極の間の抵抗測定の状況

４．２．２　事故原因の絞り込み

事故に至る重要なポイントをＡ．原因物質，Ｂ．着火源，Ｃ．爆発，Ｄ．火災の４つに分けて整理，検証した。

Ａ．原因物質の検証

当該製造棟の１階および周辺の消防法危険物，可燃物の配置と量を図 53 に示す。図 53 より，事故発生時に当該製造棟の１階の包装作業場周辺には，爆発の可能性がある物質としてはタンクに保管されたキシレンや危険物第４類第２石油類のレゾール型フェノール樹脂のキシレン溶液（図 53 ではレゾール型フェノール樹脂と記載した）は，フォークリフトの燃料であるガソリン/LPG，ロジン変性フェノール樹脂の粉じんがあった。

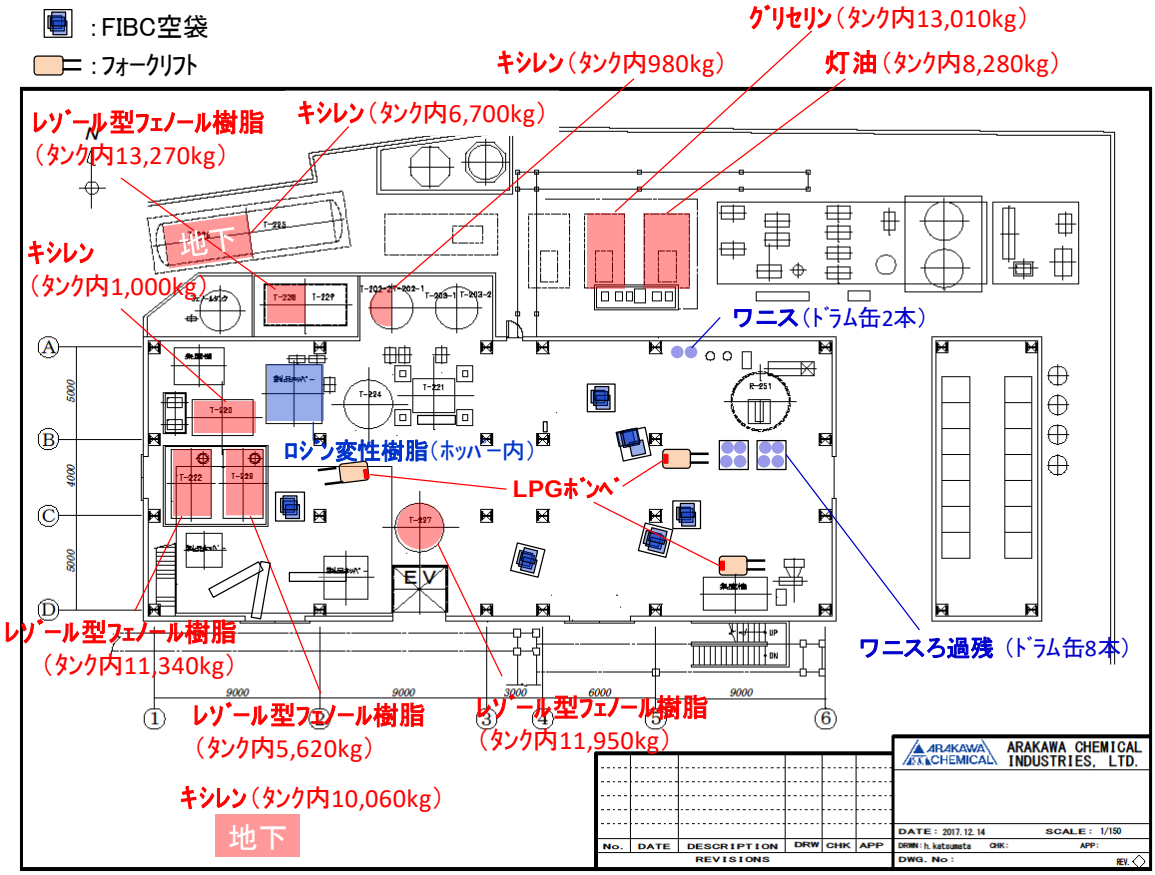


図 53　１階の消防法危険物・可燃物の配置と量

事故前の記録写真（2016 年 11 月撮影）を図 54 に示す。

写真を撮影した 2016 年の 11 月にホッパーの上に堆積した粉じんは除去したが，その後は事故当日まで掃除されていなかった。また，集じん機や包装場周辺のタンク，建物の梁の上などは長期間にわたり粉じんの除去，清掃が行われていなかった。

以上より包装作業場周辺のタンクなどの構築物，機器類，建屋の梁，大口径のダクトの上，タ

ンク間の隙間の床にはロジン変性フェノール樹脂の粉じんが堆積していたと考えられる。

図 54　ロジン変性フェノール樹脂の包装作業場周辺の粉じん堆積状態（2016 年 11 月撮影）
（左：ホッパー上の粉じん　右：タンク間の床の粉じん）

写真より粉じんは少なくとも約 35mm の厚みで堆積していたと考えられる。

また, ダクト上部には図 55 に示すような状態で粉じんが堆積していたと推定する(安息角 25°)。

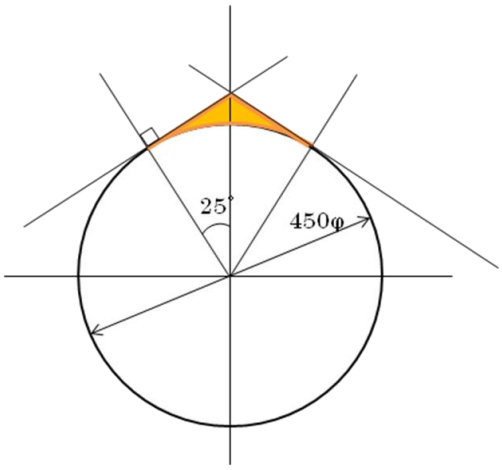


図 55　ダクト上部の粉じん堆積状況

包装作業場周辺の粉じんが堆積していたと思われる位置と推定量を図 56 に示す。

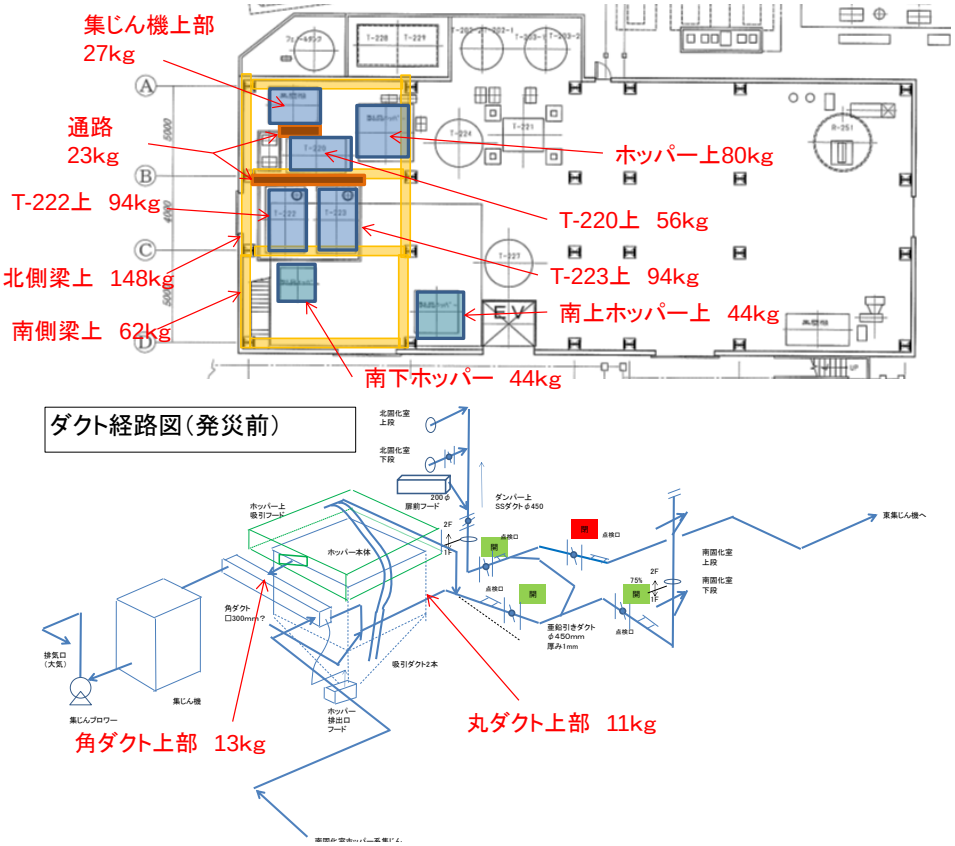


図 56　ロジン変性フェノール樹脂の包装作業場周辺の粉じん堆積位置と推定量

図 56 をまとめると，包装作業場周辺には表 6 に示すとおり，最大約 700kg のロジン変性フェノール樹脂の粉じんが堆積していたと推定される。なお，粉じんの嵩密度は 0.314kg/L（事故前に集じん機より回収していた粉の実測値）として計算した。

表 6　包装作業場周辺の堆積粉じん量（推定）

場所	堆積粉じんの推定量［kg］
ホッパー，集じん機，タンク上	439
ダクト	24
梁	210
タンク間通路	23
計	696

以上より, 当該製造棟 1 階の包装作業場周辺の爆発の原因物質として, キシレン, ガソリン/LPG、ロジン変性フェノール樹脂の粉じんが考えられる。

まず，キシレンおよびレゾール型フェノール樹脂のキシレン溶液を貯蔵していたタンクは蓋が全て閉じられていたこと，配管の接続口に異常はなかったことを事故後の現場検証で確認している。また，当日のロジン変性フェノール樹脂およびワニスの製造に関する反応や作業，設備には異常はなく，タンクに高い温度のキシレンあるいはレゾール型フェノール樹脂のキシレン溶液が入ることはなかった。

キシレンの物性を表 7 に示す。各データは『静電気安全指針 2007，独立行政法人 労働安全衛生総合研究所』から引用した。また，蒸気圧は Antoine の式より算出した。

$$\log P = A - B \div (T + C)$$

P：蒸気圧［kPa］　T：温度[℃]　A，B，C：Antoine 定数

22 頁の気象状況より，キシレンが引火点以上になっていた可能性は低く，仮にキシレンの漏えいがあったとしても，当日の気温と蒸気圧から製造棟 1 階の室内のキシレンガス濃度は 0.5vol% 以下であったと考えられる。

当日の気温 10℃におけるエチルベンゼンの蒸気圧は 0.50kPa であり，大気圧 101.325kPa より大気中におけるエチルベンゼンの濃度は以下のように計算される。

$$0.50 \div 101.325 \times 10^6 = 4935\text{ppm}\ (0.49\text{vol}\%)$$

環境省臭気対策ガイドブックによると臭いが容易に感知できるキシレンの臭気強度 3 は 2ppm の濃度である。したがって，キシレンの漏えいがあれば爆発範囲に至る前に作業員が感知できたはずであるが，協力会社の社員の証言では溶剤臭やガス臭などの異臭はなく，キシレンの漏えいはなかったと考えられる。

表 7　キシレンの物性

	沸点（℃）	蒸気圧（kPa）		爆発範囲（vol%）	引火点（℃）	発火温度（℃）	最小着火エネルギー（mJ）
		20℃	10℃				
o-キシレン	144	0.65	0.34	0.9～6.7	32	463	0.2
m-キシレン	139	0.82	0.43	1.1～7.0	27	527	0.2
p-キシレン	138	0.87	0.46	1.1～7.0	27	528	0.2
エチルベンゼン	136	0.94	0.50	0.8～6.7	21	432	ND

次に，フォークリフトの燃料である LPG，ガソリンの物性を表 8 に示す。各データは『SDS, 液化石油ガスー様式 1，ENEOS グローブ株式会社』,『LP ガスの規格，日本 LP ガス協会』,『静電気安全指針 2007, 独立行政法人 労働安全衛生総合研究所』,『SDS, ENEOS レギュラーガソリン, JXTG エネルギー株式会社』から引用した。

LPG には着臭成分としてメルカプタン類が 50ppm 以下添加されている。環境省臭気対策ガイドブックでは例えばメチルメルカプタンの臭気強度 3 が 0.004ppm であり，LPG として爆発範囲以下の 80ppm の漏えいで感知できる。

$$0.004\text{ppm} \div 50\text{ppm} \times 10^6 = 80\text{ppm}\ (0.008\text{vol}\%)$$

協力会社の社員の証言では溶剤臭やガス臭などの異臭はなく，LPG の漏えいはなかったと考えられる。ガソリンについては引火点以上の雰囲気となっていたが，フォークリフトのガソリンタンクにはキャップがついており，漏えいの可能性は低いと考えられる。

表 8　LPG，ガソリンの物性

		組成（%）	沸点（℃）	蒸気圧（kPa）	爆発範囲（vol%）	引火点（℃）	発火温度（℃）	最小着火エネルギー（mJ）
LPG	プロパン	90<	−42	840(20℃)	2.1〜9.5	−104	450	0.25
	プロピレン		−48	1158(25℃)	2.4〜10.3	−108	455	0.28
	n-ブタン	<10	−0.5	214(21℃)	1.8〜8.4	−60	365	0.25
	イソブタン		−11.7	348	1.8〜8.4	<−56	460	0.52
	硫黄分	<50ppm						
ガソリン		ND	17〜220	50〜93	1〜7	<−40	300	ND

表 9 に，ロジン変性フェノール樹脂の粉じん爆発性試験結果を示す。

樹脂粉①は事故より以前の 2017 年 6 月に当該製造棟 1 階の包装作業場の集じん機より採取した粉じんであり，株式会社　環境衛生研究所にて測定した。樹脂粉②は事故前に当該製造棟 1 階の包装作業場の集じん機より回収し保管されていた粉じんを事故後に株式会社　環境衛生研究所にて測定した。また，樹脂粉③は爆発・火災事故発生時の FIBC へ充填済みの樹脂をすりつぶした粉じんであり，公益社団法人　産業安全技術協会に委託して測定した。いずれのデータからも当該粉じんは粉じん爆発の危険性を有し，着火源があれば粉じん爆発が発生する可能性がある。

表 9　粉じんの爆発性試験結果

	樹脂粉①	樹脂粉②	樹脂粉③
測定年月	2017 年 6 月	2017 年 12 月	2018 年 3 月
測定者	株式会社 環境衛生研究所	株式会社 環境衛生研究所	公益社団法人 産業安全技術協会
前処理	75μm 篩別下	63μm 篩別下	63μm 篩別下
爆発下限濃度（g/m³）	35〜40	40	25
最小着火エネルギー（mJ）	0.3<MIE≦1	MIE≦1	1<MIE<3
最大爆発指数（Kmax，kPa・m/s）	258×10^2	276×10^2	400×10^2
粉じん爆発クラス	St2	St2	St3
最大爆発圧力（kPa）	8.2×10^2	7.8×10^2	−

以上から，爆発の原因物質はロジン変性フェノール樹脂の粉じんであったと考えられる。

B．着火源の検証

（1）着火源の絞り込み

考えられる着火源と可能性を表 10 に示す。

表 10　考えられる着火源と可能性

着火場所	着火源	整合	理由
FIBC	FIBC 内樹脂のコーン放電	○	樹脂への帯電量が多ければ可能性あり
	作業員からの放電	×	作業員は静電気帯電防止靴を着用しており着火性のある放電は発生しない
	FIBC 内樹脂から作業員への放電	×	体積抵抗率の高い樹脂からの放電はブラシ放電であり着火性なし
	台秤の漏電	×	台秤は 100V、FIBC は $10^{6\sim7}$Ω･m であり通電電流は $10^{-5\sim-4}$A となり着火性なし
	FIBC から回転型スライド弁への火花放電	×	計量用の台秤は接地されていたので通常であれば電荷は蓄積されない。また，FIBC と台秤の間が膜状の樹脂により絶縁状態になっていたとすれば膜状樹脂の静電容量が大きいため火花放電を発生するほどの電荷は蓄積されない。よって可能性なし
	回転型スライド弁の打撃による金属火花	×	高速動作する機器ではなく，金属火花は発生しない
ダクト内	金属異物の衝突による金属火花	×	高速動作する機器がなく衝突による金属火花は発生しない
集じん機内	帯電した粉じん雲	×	体積抵抗率の高い樹脂からの放電はブラシ放電であり着火性なし
	スクリューフィーダー異常発熱	×	放熱計算から発火温度に達しない （最大 240℃まで上昇。樹脂引火点 282℃）
	絶縁不良部からの放電	×	集じん機の構造上，着火可能な放電を生じるほどの隙間ができるとは考えにくい

○：可能性あり　×：可能性低い

事故後の現場検証により包装作業を行っていた協力会社の社員は静電気帯電防止靴を着用していたこと，現場周辺のコンクリート床からの接地に問題がなかったことが確認されている。これらのことから包装作業を行っていた協力会社の社員が帯電して着火性のある放電を起こすことはないと考えられる。

事故発生時に充填していたロジン変性フェノール樹脂の体積抵抗率は 10^{14}Ω･m であった。体積抵抗率が高い樹脂からの放電はブラシ放電であり，粉じんへの着火性はない。（IEC 60079-32-1, p.126 参照）

包装作業に用いていた台秤は電源電圧が 100V であった。FIBC の体積抵抗率が $10^{6\sim7}$Ω･m であり，漏電による通電があったとしても通電電流は $10^{-5\sim-4}$A と非常に小さく，粉じんへ着火性のある放電は起こり得ない。

また回転型スライド弁の打撃による金属火花については，包装作業員が手動で操作しており，高速動作していなかったことから，起こり得ない。

金属異物の衝突による金属火花は高速動作する機器がないと発生し得ない。集じん機には吸引

ブロワーが設置されていたが，回収された粉じんとはフィルターによって隔離されており着火性の火花が発生しても粉じんには到達できない。したがって，衝突による金属火花は着火源とはなり得ない。

集じん機排出用スクリューフィーダーのスクリューとケーシングの間で発生し得る摩擦熱については，発熱量から可能性を検証した。

スクリューフィーダーとロータリーバルブを 1 台のモーター（出力 1.5kW）で駆動させていた。仮にモーター出力の半分の 0.75kW でスクリューフィーダーを駆動し，その電力量 0.75kWh が全て熱に変換されたとして

$$Q1 = 0.75 \times 3600 = 2700\text{kJ/h}$$

スクリューフィーダーの表面積は　$A = 0.07\text{m}^2$（スクリューフィーダーの羽根の 1 ピッチ分）

総括伝熱係数は　$U = 167.4\text{kJ/m}^2\cdot\text{h}\cdot℃$として

温度上昇は　$\Delta t = Q1 \div (A \times U) = 2700 \div (0.07 \times 167.4) = 230℃$

※本計算はモーター動力を全て熱量に変換した最大値

当日の気温 10℃を加味すると，最大 240℃までの温度上昇であり，ロジン変性フェノール樹脂の引火点 282℃には到達しないと考えられ，着火源にはなり得ない。

事故現場で使用されていた集じん機には金網で覆われたプリーツ型フィルターが用いられており，固定部（金属ヨーク）と接触して集じん機に静電気を逃がす構造である。取り付け用のネジが緩んでいたとしても，粉じんに対して着火性のある火花放電が生じるほどの隙間ができるとは考えにくい。

FIBC から回転型スライド弁への火花放電のついては以下のように検討した。

＜火花放電の可能性＞

包装作業中に FIBC が接地されない状況になれば, FIBC および内部樹脂の電位は容易に上昇し，空気の絶縁破壊条件（30 kV/cm）に到達すると FIBC と導体との間で放電する。事故当時に使用されていたタイプ C の FIBC は $10^{6\sim7}\Omega$ 程度の抵抗なので, 条件がそろえば着火能力のある火花放電となる可能性が考えられる。なお，粉じんの着火に最適な火花放電の間隙は 4〜7 mm とされており，これより大きくても小さくても着火性は低下することがわかっている。

＜FIBC の接地状態＞

包装場に設置されていた接地ケーブルは FIBC の接地用端子には接続せず，ホッパーに接続されていた（43 頁参照）。包装作業において，充填量 470kg に対して約 400kg に達するまでは，FIBC の充填口を回転型スライド弁に挟んでいた。この状態では FIBC は回転型スライド弁からホッパー経由で電気的に接続されるので接地状態にあったと考えられる。約 400kg 充填した後，正確に 470kg を計量するため，FIBC の充填口を回転型スライド弁から取り外し，残りの 70kg 前後の樹脂を，FIBC 自体を自立させて充填していた（協力会社社員の証言より）。この状態では FIBC とホッパー間の電気的接続は遮断される。（図 57）

充填操作はホッパー下のピット内（コンクリート）に設置された台秤上で行われていた。台秤

の上部には鉄鋼製のカバーがかぶせられており，その上に FIBC を載せて充填操作が行われていた。事故後の調査において，当時使用されていた（事故による消失分を除く）静電気災害防止タイプ C の FIBC の抵抗は全て JIS 規格の上限値の $10^8\Omega$ 未満であり，導通に問題ないことが確認された。

43 頁に示すとおり，現場に残された台秤，あるいは同型機種において台秤のカバー上面と接地極の間の導通に問題ないことが確認されているので，事故当時も台秤のカバー上面の接地には問題がなかった推定される。FIBC は顧客から返却された後に専門業者で洗浄されるため，充填前の FIBC には導通を妨げる汚染物質の付着はなかったと考えられる。また，協力会社社員の証言から，充填作業の合間には，エアブローによる台秤のカバー上面の清掃が行われていたことが分かっており，通常であれば充填中の FIBC は，台秤を経由しても接地されていたはずである。

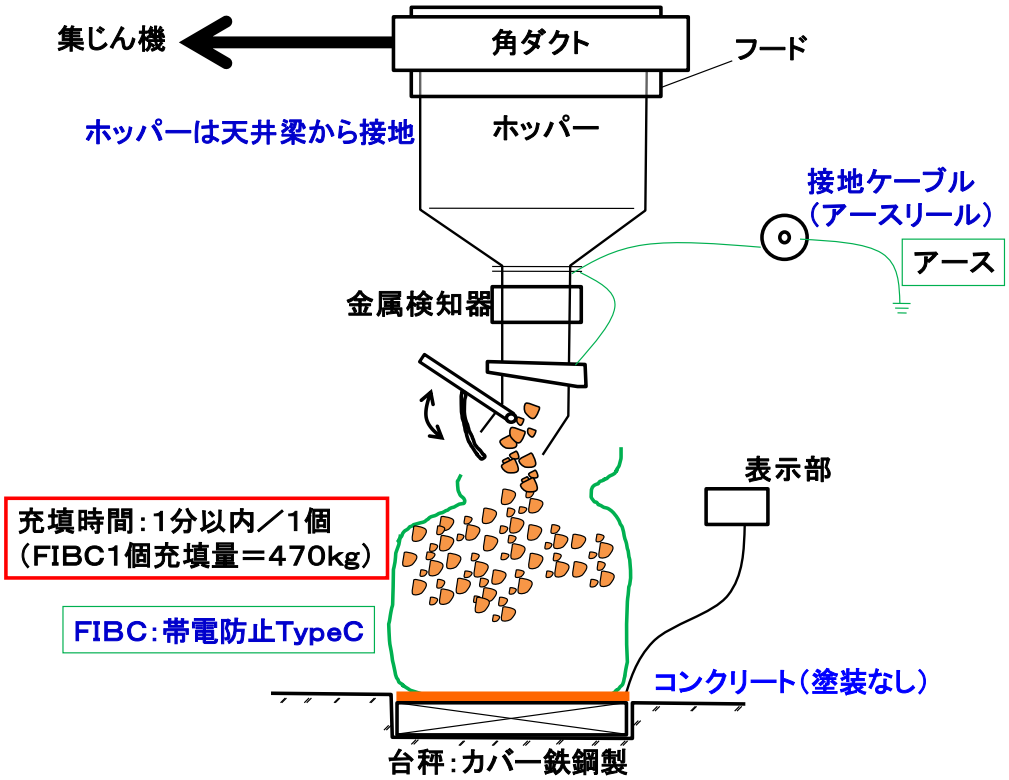


図 57　FIBC 充填の接地状況

しかし，事故前の写真では，台秤のカバー上面の一部には樹脂がこびり付いていた様子（図 58）が見られる。図 59 は事故現場で使用していたものと同じ形式の回転型スライド弁の微粉に対するシール性テストの様子を示したものである。この形式のスライド弁は全閉状態でも小さな隙間があるため，微粉であれば僅かな振動により少しずつ漏れ出ることが分かった。したがって，当時，回転型スライド弁の隙間から微量の粉がこぼれて，やがて台秤のカバー表面を膜状に覆ったものと考えられる。

＜台秤のカバー上面に形成された樹脂膜の影響＞

台秤のカバー上面が樹脂膜（厚さ 0.5 mm）で覆われていたと仮定した場合，FIBC とカバーとの間の静電容量は次のように計算できる。

$$C = (\varepsilon_s \times \varepsilon_0 \times A) \div d \quad [F]$$

ここで，ε_0は真空の誘電率（8.85×10^{-12} F/m），ε_sは樹脂の比誘電率（3 と仮定），A は FIBC の底面積（直径約 1.2 m なので 1.0 m^2 と仮定），d は樹脂層の厚さ（0.5 mm と仮定）である。

これを上式に代入すると FIBC と台秤のカバー上面の間に形成される樹脂膜の静電容量 C は，

$$C = (3 \times 8.85 \times 10^{-12} \times 1.0) \div (0.5 \times 10^{-3}) = 5.3 \times 10^{-8} \quad [F]$$

粉じんへの着火性をもつ火花放電が発生するために必要な FIBC と接地体との間隙を 1 mm とすると, 空気の絶縁破壊電圧 3 kV/mm より FIBC の電位は V=3 kV となる。そのときの電荷 Q は，

$$Q = C \times V$$
$$= (5.3 \times 10^{-8}) \times (3 \times 10^{3}) = 1.6 \times 10^{-4} \quad [C]$$

この条件で FIBC に蓄積される静電エネルギーは

$$0.5 \times Q \times V = 0.5 \times 1.6 \times 10^{-4} \times 3 \times 10^{3} = 240 \quad [mJ]$$

となる。FIBC の抵抗が大きいため，全てが放電エネルギーに費やされるわけではないが，粉じんの最小着火エネルギー（3 mJ 以下）を考慮すると，着火性はあると考えられる。

樹脂の電荷密度 q は，類似の設備で行ったホッパーから FIBC への充填操作の再現実験（荒川化学で実験）では絶対値として 0.055 μC/kg の値が得られた。これを用いると，Q に到達するために必要な樹脂の質量 m は，

$$m = Q \div q$$
$$= 1.6 \times 10^{-4} \div 0.055 \times 10^{-6} = 2.9 \times 10^{3} \quad [kg]$$

つまり，FIBC と台秤のカバー上面の間に樹脂膜が形成された場合，絶縁状態となるので電荷は蓄積するものの，樹脂膜自体の静電容量が大きいため，放電に必要な電荷量を得るには FIBC の許容容量をはるかに上回る量の樹脂を FIBC に充填する必要があると考えられる。

仮に，コーン放電の発生条件とされている樹脂の電荷密度 q = 1.0 μC/kg とすると，

$$m = Q \div q$$
$$= 1.6 \times 10^{-4} \div 1.0 \times 10^{-6} = 160 \quad [kg]$$

となるが，それでも想定される充填量 70 kg よりも 2 倍以上大きい。

以上の検討の結果，たとえ，FIBC が接地不良であったとしても，粉じんに着火するエネルギーをもつ火花放電の発生は困難であったと考えられる。

図 58　台秤上の樹脂粉の状況（一例）

図 59　再現実験における回転型スライド弁の状況

（２）FIBC 内樹脂のコーン放電の検証

＜コーン放電の可能性について＞

コーン放電の発生条件として表 11 に示した条件が知られている(静電気安全指針 2007，労働安全衛生総合研究所技術指針参照)。ここでコーン放電とは，粉粒体をサイロなどに充填するとき，堆積した粉粒体の中央付近から側壁方向に向かって表面に沿って間欠的に発生する放電である。発光は肉眼でも観察でき，粒径が 1mm～10mm のときに起こりやすい。今回の事故では，電荷密度以外はコーン放電の発生条件と合致していたことが分かった。

表 11　コーン放電発生条件と事故当時の状況の整合

コーン放電の発生条件		整合	根拠
粒子径	1mm 以上	○	#13FIBC 中の 20 メッシュ（目開き 0.97mm） 篩下割合　11%
体積抵抗率	10^{10}Ω･m 以上	○	公益社団法人　産業安全技術協会　委託実験結果より 10^{14}Ω･m 以上
電荷密度	1μC/kg 以上	△	再現実験では最大電荷密度 -0.1μC/kg 程度しか検出できなかったが，実工程における条件によっては部分的に±1μC/kg を超える場合がありえる（委託実験結果より）
充填速度	2,000kg/h 以上	○	470kg を 30 秒で充填するとして 56,400kg/h

＜樹脂の帯電性について＞

事故のあった設備は崩壊しており帯電量を測定することができないので，荒川化学の他工場にある同様の設備で図 60 に示した各工程におけるロジン変性フェノール樹脂の帯電量を測定した。工程は粗砕→スクリューコンベア搬送→クラッシャー解砕→ホッパーから FIBC への充填である。測定の結果，クラッシャー解砕工程での帯電はクラッシャーの方式により帯電極性が異なることが分かった。

FIBC に充填される樹脂にはスクリューコンベアやクラッシャーを通過する際に発生した電荷が蓄積されると考えられる。一連の工程での帯電極性が全てマイナスだった場合と，FIBC 充填工程における帯電量を，類似の設備で行った FIBC への充填操作の再現実験で得られた-0.055μC/kg とした場合の積算量を図 60 に合わせて示した。この条件では，事故のあった設備において FIBC に充填された樹脂の電荷密度は約-0.1μC/kg だった可能性がある。

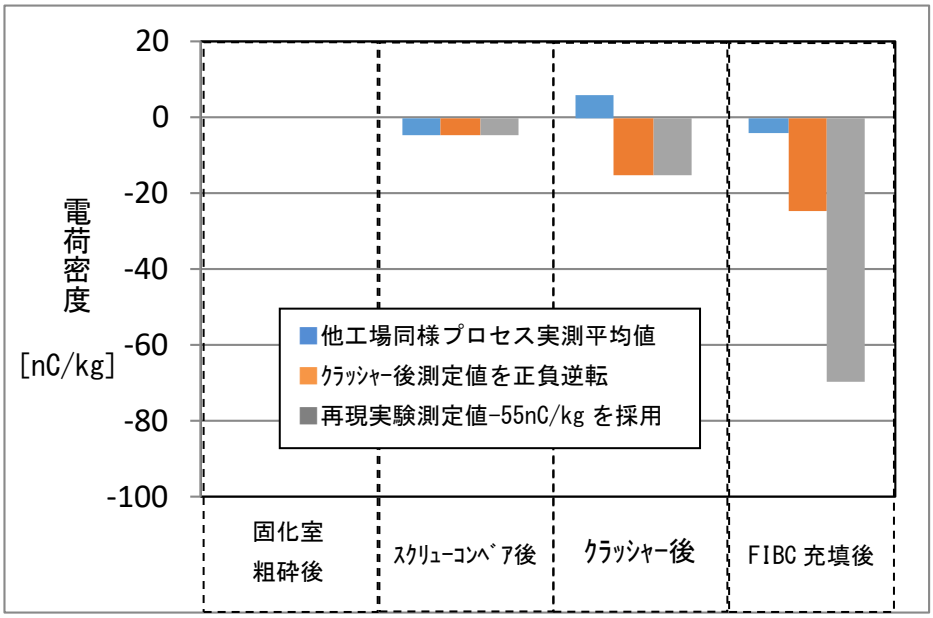


図 60　各工程における電荷の蓄積量予想

＜装置の材質について＞

再現実験で用いた試験用ホッパーはステンレス製（SUS304）であり，当該事故現場のホッパーは鉄鋼製であった。装置材質差の影響を確認するため，公益社団法人　産業安全技術協会でスパウト法による実験を実施した。結果は表 12 に示すとおり，鉄鋼製がステンレス製に比べ 1 割程度電荷密度が高くなった。当該事故現場のホッパーは鉄鋼製であり，試験結果からさらに電荷密度が上昇した可能性がある。なお，実験概要は図 61 に示す。

表 12　材質による電荷量の違い

粒子	スパウトの材質	幾何平均電荷密度（μC/kg）
粗粒	鉄鋼製	-0.33
	ステンレス鋼	-0.25
微粉	鉄鋼製	-1.91
	ステンレス鋼	-1.77

公益社団法人　産業安全技術協会　試験日：2018 年 10 月 11 日

温度：25.4℃，湿度 66%

試料：発災当日に包装していたロジン変性フェノール樹脂

各々5 回試験を行い，幾何平均電荷密度を計算した

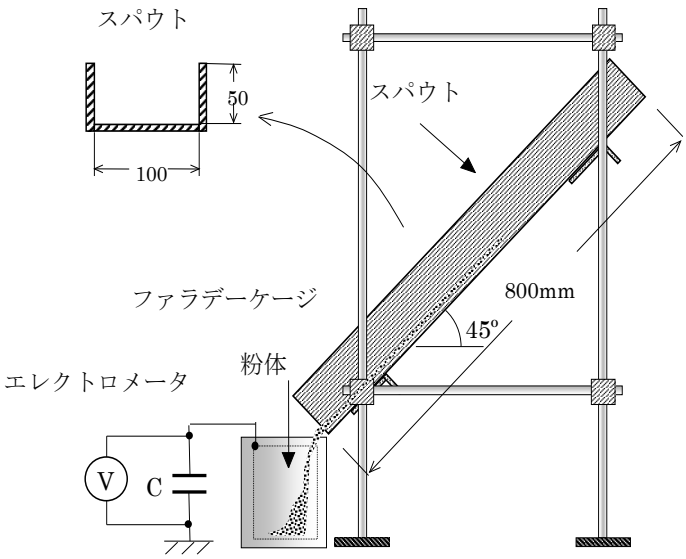


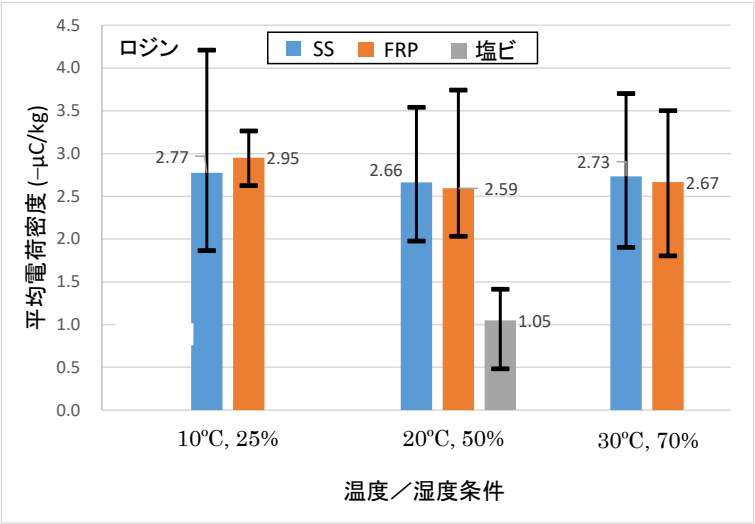
図 61　スパウト法による摩擦帯電試験　概念図
（公益社団法人　産業安全技術協会）

スパウト法による摩擦帯電試験の手順

図 61 に示すホッパーを模したスパウト（樋）上で粉体を滑落させ，その際の摩擦電荷を測定する。スパウトの傾斜角は 45 度を標準とし，一部の試験では 60 度とした。滑落距離は 70cm とした。滑落した粉体をファラデーゲージに入れて電荷量 Q(C)を測定し，この Q を粉体質量 w(kg)で除すことにより電荷密度 q(C/kg)（単位質量あたりの電荷量）を求めた。

＜季節要因について＞

公益社団法人　産業安全技術協会においてスパウト法による摩擦帯電試験を実施した結果を図 62 に示す。季節要因として冬場（温度 10℃，湿度 25%），その他季節（温度 20℃，湿度 50%）、夏場（温度 30℃，湿度 70%）で比較試験を行った結果，幾何平均電荷密度では顕著な差がなかったが，測定値では，冬場条件のときに最大値を観測している。事故があった 2017 年 12 月 1 日 9 時の気象条件（温度 13.5℃　湿度　56.4%）であればより帯電しやすかった可能性はあるが，実験結果からは顕著な差は認められず，湿度が低いことによって着火性の放電が発生するほどの電荷密度に達するとは言い切れない。



棒グラフは幾何平均値を，
バーは測定値の範囲を表す

SS：鉄鋼製

図 62　温度、湿度条件の影響

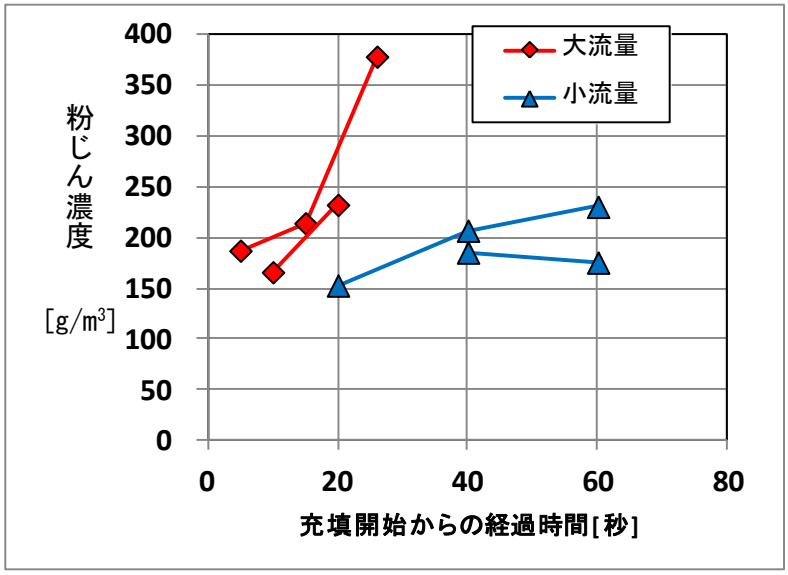
本委員会の委員である公益社団法人 産業安全技術協会 山隈常務理事からは，以下の見解が示された。

産業安全技術協会による FIBC への充填実験においては，最大-0.1μC/kg の電荷密度が得られたが，コーン放電を確認することはできなかった。ただし，実工程における条件（高い摩擦圧力，より微細な粉体の存在）を考慮すれば，FIBC 内部でコーン放電が発生する目安となる 1μC/kg に達することも不可能ではないと推定される。また，コーン放電のエネルギー及び粉じん濃度の確率から推定される充填作業 1 回当たりの爆発の発生確率は 10^{-4} オーダーになる。

（３）FIBC 内の粉じん濃度について

再現実験により充填中の FIBC 内の粉じん濃度は 200～400g/m^3 であることが分かった。また，充填速度が速いほど発生する粉じん濃度が高くなる傾向が見られた（図 63）。当日は熟練作業者が回転型スライド弁を全開にして 30 秒程度で充填していたため，FIBC に約 400kg を充填した時点で FIBC 内部の粉じん濃度は最大値 400 g/m^3 程度まで上昇した可能性が考えられる。

また，公益社団法人　産業安全技術協会に委託した本樹脂の静電気着火試験では，粉じん濃度が高いほど小さなエネルギーで着火することが分かった（図 64）。このことから充填中の FIBC 内は静電気により着火し得る条件にあったと考えられる。



回転型スライド弁
大流量：全開
小流量：半開

図 63　FIBC 充填中の内部粉じん濃度

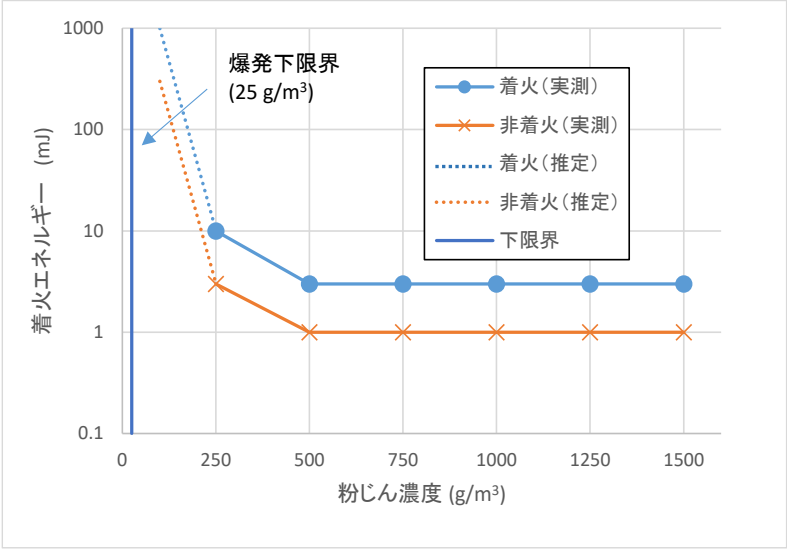


図 64　粉じん濃度ごとの着火エネルギー

（4）過去事例について

2016 年 10 月 23 日に，今般の発災と同一の協力会社の社員が同一の場所で同様の作業を行っている最中に発火した事例があった。当時は，発生した炎により FIBC，内部の樹脂の一部，金属検知器が黒く焦げる程度であり，人的被害はなかった。（図 65）

当時は着火源として回転型スライド弁が閉じる際に生じる打撃による金属火花を想定し，①回転型スライド弁の接触面への砲金板取り付け，②酸素濃度低減のため回転型スライド弁の上部からの窒素吹き付け実施，③ホッパー周辺へのミスト噴霧（湿度上昇）の対策を講じた。（図 66）

打撃による金属火花を想定していたため，窒素吹き付けは FIBC の外部に対して行われた。また先端に装着されたスプレーノズルの口径が極めて絞られ，ごく少ない流量であったため，FIBC 内部の酸素濃度を抑える効果はなかった。また，協力会社の社員の証言から，現場近くに設置されたミスト噴霧器は 2017 年 7 月頃から故障しており事故当日には使用されていなかった。

包装前に湿度 60%以上を確認してから作業を開始することになっていたが，その記録は焼失しており，日常の作業時の湿度が管理できていたか不明である。

当日の包装作業場の湿度の記録はないが，事故当日の朝の富士市消防本部消防防災庁舎の観測データは，事故概要に示すように相対湿度 81.0%（8 時），56.4%（9 時）であった。このことから，包装作業場の湿度は 60%近くあったと考えられる。

一方，本委員会の委員である公益社団法人 産業安全技術協会 山隈常務理事からは，ロジン変性フェノール樹脂の帯電と湿度との関係について以下の見解が示された。

図 62 に示したように, ロジン変性フェノール樹脂の帯電量は湿度の影響を受けにくいことが確認されている。また，一般に，大気中の水分が物体の表面に吸着されると，その物体の表面の電気抵抗が低下して静電気が流れやすくなるが，当該樹脂については，測定によって，その電気抵抗は測定環境の湿度によらずほぼ一定であることが確認されており，これは吸湿性が極めて低いことを意味する。このように，当該樹脂の帯電性は作業環境の湿度の影響を受けにくいものであることから，事故時の湿度の値は本件事故原因に影響を与えるものとは考えにくい。

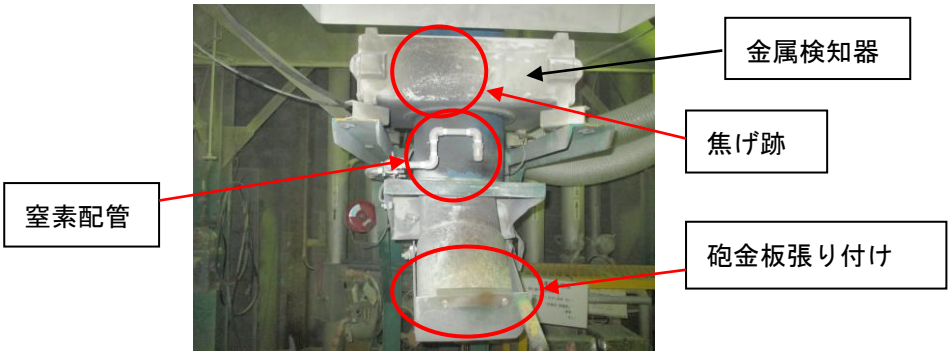


図 65　2016 年 10 月 23 日の発火事例後の回転型スライド弁周辺の様子

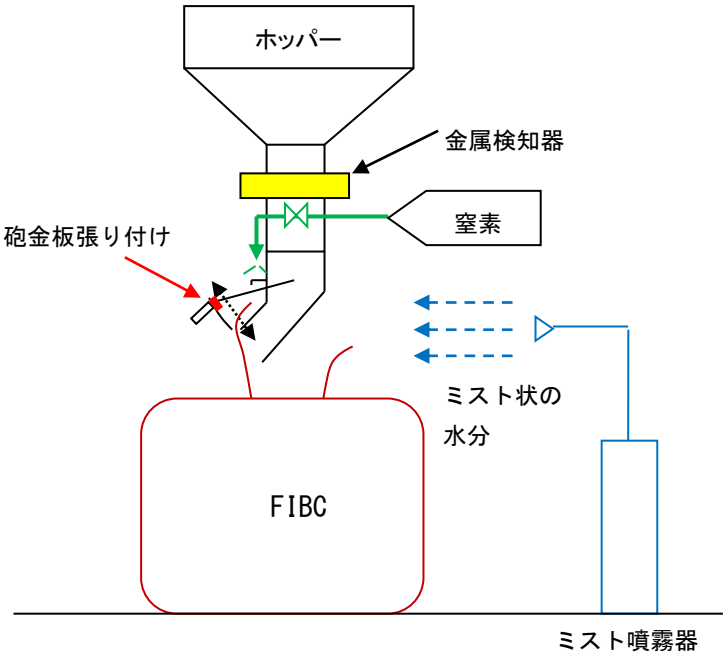


図 66　2016 年 10 月 23 日の発火事例後の対策

以上のことから，着火源として FIBC 内のコーン放電が考えられる。

C．爆発の検証

FIBC 内部あるいは FIBC 充填口付近の粉じんに着火することで，FIBC からは未燃の粉と炎が噴き出したと考えられる。噴き出した炎が，①FIBC あるいはホッパー内部の粉じんに着火し当該製造棟全体の大爆発に繋がった可能性，②FIBC 充填口付近に設置されていた吸引ダクトに吸い込まれて集じん機までダクト中を火炎として伝播して，集じん機内での爆発に繋がった可能性が考えられる。

＜①の可能性について＞

現場に残された充填済みの FIBC の数が 13 個であったことから，ホッパー内部にはまだ 3t 程度の樹脂が残っていたと考えられる。現場に残された充填済みの FIBC に含まれていたそれぞれの粒子割合を図 67 に示す。図 67 中の点線で示したデータは測定値がないため前後のデータから推定したものである。また，FIBC の 1 個目と 2 個目はすでに篩（ふるい）分けした後であったため，0.92mm 篩下収量を測定できなかった。

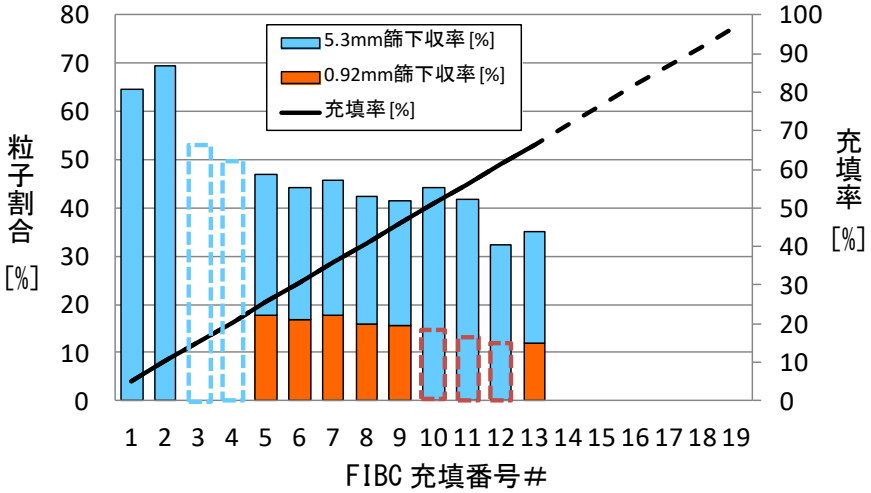


図 67　充填済み FIBC に含まれる粒子の割合

図 67 から，14 個目の FIBC に充填していた時，ホッパー内に残っていた樹脂に含まれる粒子径 0.92mm 以下の小粒子の割合は 2 割程度であったと推定される。ホッパー内ではこれらの小粒子は大きな粒子間を埋めるように存在していたと考えられ, FIBC の内部空間中を火炎が伝播してもホッパー内は粉じんが舞い上がる状態ではなかったと考えられる。

確認のために実施した堆積粉の着火性テストの様子を図 68 に示す。テストは事故前に当該包装作業場の集じん機より回収されていた粉を SUS304 製のトレーに高さ約 1cm，幅約 5cm の帯状に堆積させ，堆積粉による帯の端部を直接ライターの炎で約 5 秒間あぶることで行った。このときのテストでは堆積させた粉は爆発せず, 着火すらしなかった。樹脂粉は加熱されることで溶融し，さらなる加熱により発生する可燃性のガスに火がつくことで燃焼すると考えられる。

同様に，包装作業中であった FIBC 内で充填された製品も小粒子は大きな粒子間を埋めるように存在していたと考えられ，また火炎は上方へ吹き上がることから，FIBC の上部空間または充填口付近で着火しても FIBC の下部の粉じんを舞い上げて爆発に至るとは考えにくい。

ホッパーおよび FIBC 内に含まれる粉の大部分は大きな粒子間に閉じ込められていたので，粉じんとして舞い上がる状態にはなく，着火性は低かったと考えられる。

以上のことから FIBC あるいはホッパー内部の粉じんに着火し当該製造棟全体の大爆発につながった可能性は考えにくい。

図 68　樹脂粉への着火テストの様子

＜②の可能性について＞

ホッパー下に設置された集じんダクト（以下，手元ダクトと略す）の風量から，ダクト中を火炎が伝播する可能性について考察する。

ダクト入口の粉じん濃度が高いほど火炎はダクト内を伝播しやすいと考えられる。例えば，包装作業中に手元ダクトを FIBC の内部に挿入すればダクト内の粉じん濃度は高くなり，より火炎が伝播しやすい条件になると考えられる。しかし，協力会社の社員の証言によると，手元ダクトはホッパー架台に固定されており FIBC の内部に挿入したとは考えにくい。

また，協力会社の社員の証言から，固化室での粗砕・解砕作業終了後は固化室につながる集じんダクトのバタフライ弁（以下，バタフライ弁と略す）を閉にしていたと考えられる。固化室内で作業をしていない時は, FIBC の付近を吸引していた手元ダクトの吸引風量がより多い状態であったと推定される。バタフライ弁の開閉状態とダクト内の粉じん濃度の関係について推算した。

集じん機には風量 330m^3/min（2.94kPa における）のブロワーが使用されていた。集じん機の修理記録から事故当時は集じん機内にある 16 本のフィルターの内の 4 本は逆洗用空気が機能していなかった。集じん機内のフィルターが 12 本だったとして事故当時の吸引風量を以下のように推定した。

フィルターの直径は　330mm

フィルター1 本分の取り付け部分の開口面積は　$0.33^2 \times 3.14 \div 4 = 0.085\ m^2$

フィルター16 本ならば　$0.085 \times 16 = 1.4\ m^2$

フィルター12 本ならば　$0.085 \times 12 = 1.0\ m^2$

フィルター16 本のときの圧力損失を 2.94kPa として，フィルター12 本分の開口面積とブロワーの性能曲線（図 69）から事故当時の集じん機の吸引風量を 234m^3/min と推定した。さらに，集じんダクト径，長さを考慮して手元ダクトの風量を推算した。バタフライ弁が閉のときの推算結果を図 70 に，バタフライ弁が開のときの推算結果を図 71 にそれぞれ示す。図 71 と図 72 より，バタフライ弁が閉のときの手元ダクトの風量は 34m^3/min，バタフライ弁が開のときの手元ダクトの風量は 15m^3/min と推算した。

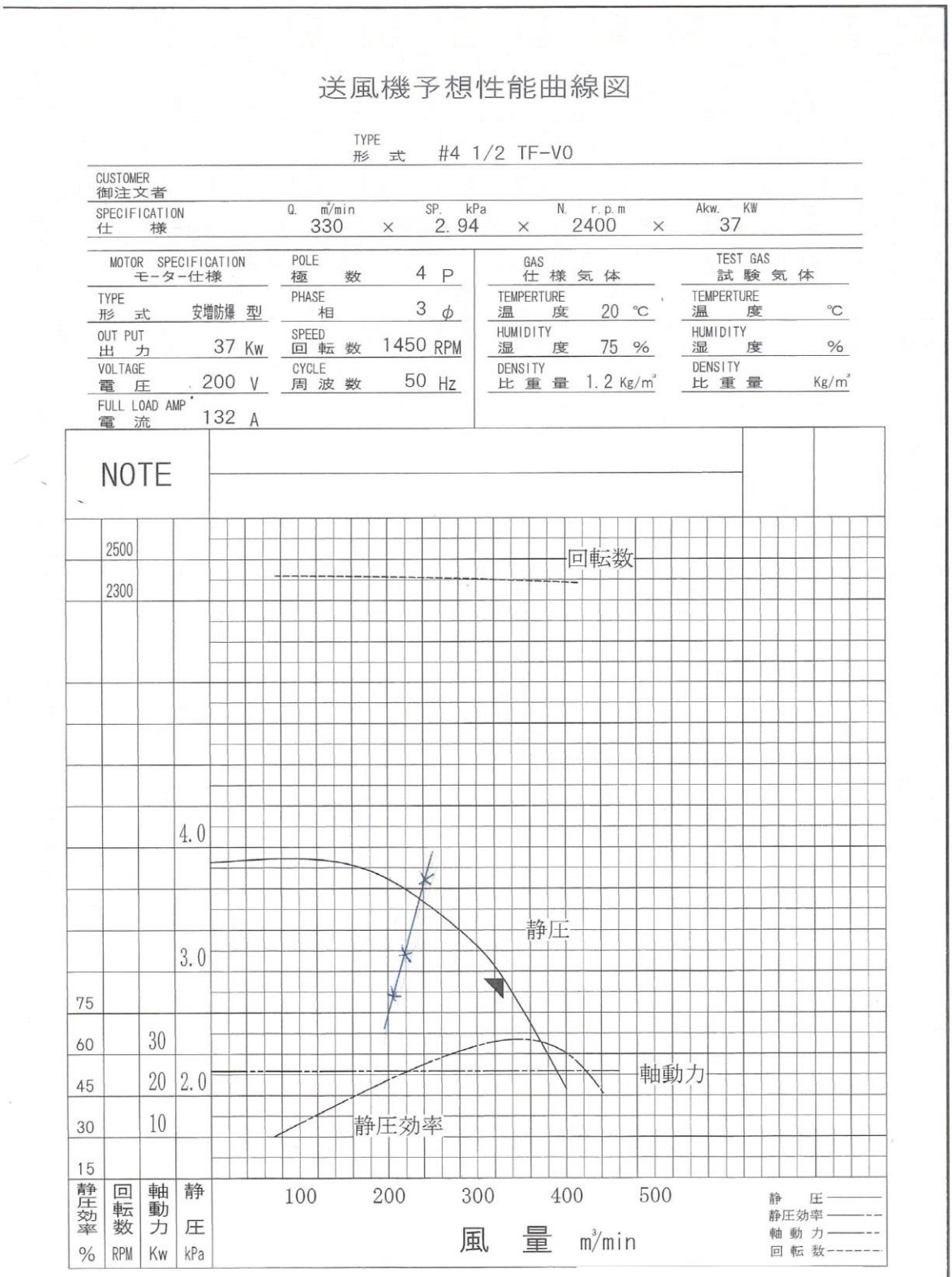
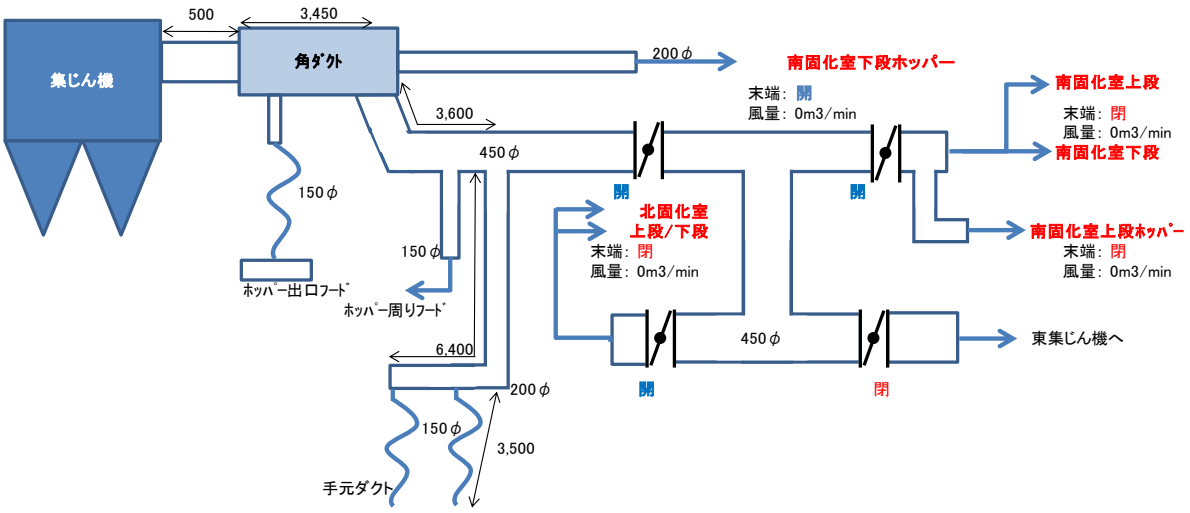


図 69　集じん機ブロワーの性能曲線

ダクト内風速（包装場周辺以外：全閉）



吸引時間	粉量[g]
0.1	15.6
0.2	31.2
0.3	46.8
0.5	78.0
0.000	0.0
0.8	124.8
1.0	156.0

		集じん機	丸ﾀﾞｸﾄ	角ﾀﾞｸﾄ
口径	[mm]	―	450	300□
断面積	[m^2]	―	0.1590	0.09
風量	[m^3/min]	234	234	234
風速	[m/s]	―	24.5	43.3
粉じん濃度	[g/m^3]	40	40	40
通過時間	[s]		0.020	0.080

空気の密度　1.293 kg/m^3
空気の粘度　0.00001772

南固化室下段ﾎｯﾊﾟｰ:		20%
口径	[mm]	200
断面積	[m^2]	0.0063
風量	[m^3/min]	8.0
風速	[m/s]	21.3
粉じん濃度	[g/m^3]	0
北固化室下段ﾎｯﾊﾟｰ出口ﾌｰﾄﾞ：開		
口径	[mm]	150
断面積	[m^2]	0.0177
風量	[m^3/min]	22.6
風速	[m/s]	21.3
粉じん濃度	[g/m^3]	0
メインダクト		
口径	[mm]	450
断面積	[m^2]	0.1590
風量	[m^3/min]	203.4
風速	[m/s]	21.3
粉じん濃度	[g/m^3]	46.0
通過時間	[s]	0.169

Re=699,787

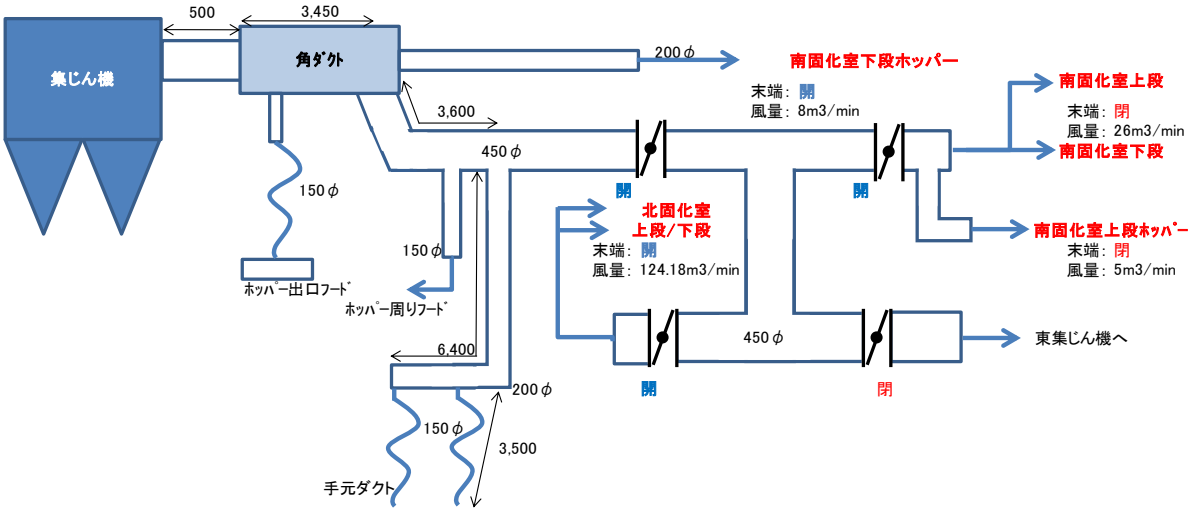
メインダクト：ﾀﾞﾝﾊﾟｰ漏れ		25%
口径	[mm]	450
断面積	[m^2]	0.0398
風量	[m^3/min]	91.0
風速	[m/s]	38.1
粉じん濃度	[g/m^3]	0
ﾎｯﾊﾟｰ周りﾌｰﾄﾞ：開		
口径	[mm]	150
断面積	[m^2]	0.0177
風量	[m^3/min]	40.4
風速	[m/s]	38.1
粉じん濃度	[g/m^3]	0
FIBC包装：開		
口径	[mm]	200
断面積	[m^2]	0.0314
風量	[m^3/min]	71.9
風速	[m/s]	38.1
粉じん濃度	[g/m^3]	130.2
通過時間	[s]	0.168

Re=556,737

手元ダクト①		
口径	[mm]	150
断面積	[m^2]	0.0177
風量	[m^3/min]	36.0
風速	[m/s]	33.9
粉じん濃度	[g/m^3]	260.3
手元ダクト②		
口径	[mm]	150
断面積	[m^2]	0.0177
風量	[m^3/min]	36.0
風速	[m/s]	33.9
粉じん濃度	[g/m^3]	260.3
通過時間	[s]	0.103

図 70　集じんダクトの風量推算（バタフライ弁：閉）

ダクト内風速（北固化室：開）



吸引時間	粉量[g]
0.1	15.6
0.2	31.2
0.3	46.7
0.5	77.9
0.000	0.0
0.8	124.7
1.0	155.8

		集じん機	丸ﾀﾞｸﾄ	角ﾀﾞｸﾄ
口径	[mm]	―	450	300□
断面積	[m^2]	―	0.1590	0.09
風量	[m^3/min]	234	234	234
風速	[m/s]	―	24.5	43.3
粉じん濃度	[g/m^3]	40	40	40
通過時間	[s]		0.020	0.080

空気の密度　1.293 kg/m^3
空気の粘度　0.00001772

南固化室下段ﾎｯﾊﾟｰ:		20%
口径	[mm]	200
断面積	[m^2]	0.0063
風量	[m^3/min]	8.0
風速	[m/s]	21.3
粉じん濃度	[g/m^3]	0
北固化室下段ﾎｯﾊﾟｰ出口ﾌｰﾄﾞ: 開		
口径	[mm]	150
断面積	[m^2]	0.0177
風量	[m^3/min]	22.6
風速	[m/s]	21.3
粉じん濃度	[g/m^3]	0
メインダクト		
口径	[mm]	450
断面積	[m^2]	0.1590
風量	[m^3/min]	203.1
風速	[m/s]	21.3
粉じん濃度	[g/m^3]	46.0
通過時間	[s]	0.169

Re=698,965

メインダクト:ﾀﾞﾝﾊﾟｰ 開		100%
口径	[mm]	450
断面積	[m^2]	0.1590
風量	[m^3/min]	155.2
風速	[m/s]	16.3
粉じん濃度	[g/m^3]	0
ﾎｯﾊﾟｰ周りﾌｰﾄﾞ: 開		
口径	[mm]	150
断面積	[m^2]	0.0177
風量	[m^3/min]	17.2
風速	[m/s]	16.3
粉じん濃度	[g/m^3]	0
FIBC包装: 開		
口径	[mm]	200
断面積	[m^2]	0.0314
風量	[m^3/min]	30.7
風速	[m/s]	16.3
粉じん濃度	[g/m^3]	304.9
通過時間	[s]	0.393

Re=237,384

手元ダクト①		
口径	[mm]	150
断面積	[m^2]	0.0177
風量	[m^3/min]	15.3
風速	[m/s]	14.5
粉じん濃度	[g/m^3]	609.8
手元ダクト②		
口径	[mm]	150
断面積	[m^2]	0.0177
風量	[m^3/min]	15.3
風速	[m/s]	14.5
粉じん濃度	[g/m^3]	609.8
通過時間	[s]	0.242

図 71　集じんダクトの風量推算（バタフライ弁：開）

ダクト内を火炎が伝播する場合，伝播速度が非常に速い圧力波によってダクト内に堆積した粉が巻き上げられる可能性もあるが，単純化のためにダクト内には粉じんの堆積はなかったと仮定した。この場合，ダクト内の粉じん濃度が爆発下限濃度である 40g/m^3 以上（50 頁の表 9 に記載されている数値のうち，最大値を使用）であればダクト内で粉じんの燃焼が継続できると考えられる。粉じんは手元ダクト以外からは吸引されないものとして，口径 450mm のメインダクトにおける粉じん濃度①を 40g/m^3 以上にするために必要な手元ダクト入り口における粉じん濃度②を計算し，表 13 に示した。ここで手元ダクトは 2 本設置されていたので計算式は

粉じん濃度② ＝ メインダクト風量 × 粉じん濃度① ÷ 手元ダクト風量 ÷ 2

とした。

表 13　ダクト内を火炎が伝播するための粉じん濃度

バタフライ弁	メインダクト風量	粉じん濃度①	手元ダクト風量	粉じん濃度②
閉	203 m^3/min	40 g/m^3	34 m^3/min	119 g/m^3
開	203 m^3/min	40 g/m^3	15 m^3/min	271 g/m^3

バタフライ弁が閉の状態のほうが，粉じん濃度②が低い値となった。すなわち，固化室での作業を終えた状態のほうがダクト内を火炎伝播しやすい条件であったと考えられる。

同様の解析は，株式会社　爆発研究所に依頼した爆発解析検討においても実施した。同社における解析は Gexcon 社が開発した粉じん爆発災害事故の解析プログラムである FLACS-DustEx を用いて行われた。計算には当該粉じんの燃焼速度，燃焼熱，元素組成の実測値を用いた。結果を表 14 に示す。

表 14　ダクト内の火炎伝播条件

	風量	風速	入口粉じん濃度　[g/m^3]			
	[m^3/min]	[m/s]	90	115	130	150
バタフライ弁　閉	35	33	×	○	○	○
バタフライ弁　開	15	15	×	×	×	○

集じん機に火炎到達：○、未達：×

同社における解析でも，固化室に接続する集じんダクトのバタフライ弁が閉の状態のほうが，ダクト入口の粉じん濃度がより低い条件で火炎伝播する結果が得られた。また，解析結果からダクト入り口で着火した火炎が集じん機に到達するのに要する時間は約 0.5 秒と推定された。

ダクト入り口の風量を 35m^3/min，粉じん濃度を 115g/m^3 とすれば，ダクト内を火炎が伝播するために必要な粉量は，

$$35 \div 60 \times 0.5 \times 115 = 34\text{g}$$

となり，ダクト内は容易に火炎伝播可能な条件になり得たと考えられる。

以上から, FIBC から噴出した火炎はダクトを通じて集じん機まで伝播した可能性が考えられる。

＜集じん機内の粉じん濃度＞

集じん機内の粉じん濃度は 1 日の包装作業で集じん機により回収される粉量から推定される。

1 日に包装作業で集じん機により回収される粉量は　15～20 kg

1 日に包装される FIBC は　20 個

FIBC 1 個の包装に要する時間を 30 秒とすると，単位時間当たりに回収される粉量は

15～20kg /20 個/30s ＝ 0.025～0.033 kg/s

集じん機内のフィルターに捕集された粉は 10 秒間隔の逆洗用空気で払い落とされていたから，1 回の逆洗用空気で払い落とされる粉量は

0.025～0.033 kg/s × 10s ＝ 0.25～0.33 kg

集じん機の内容量は 6 m^3 であるから，集じん機内の平均粉じん濃度は

0.25～0.33 kg/6 m^3 ＝ 42～55 g/m^3

局所的にはこれよりも高い濃度であったと考えられ，集じん機内は爆発下限濃度である 40g/m^3 以上になっていたと考えられる。

さらに，集じん機の排出用スクリューフィーダーの不良により，集じん機の左側のホッパーには粉じんが排出されずに溜まっていたとの協力会社社員の証言があり，事故後の検証においても左側のホッパーの下部でスクリューフィーダーの羽根が変形していることを視認した。また，左側ホッパーは底部の排出口が鋼板で塞がれていたことが分かった。

スクリューフィーダーの羽根の変形状態と底部から見つかった鋼板を図 72 に示す。

図 72　集じん機左側下部のスクリューフィーダーの羽根の変形と底部を塞いでいた鋼板

これにより集じん機の左側ホッパーには図 73 に示すとおり, 最大で約 170kg の粉じんが溜まっていたと推定する。

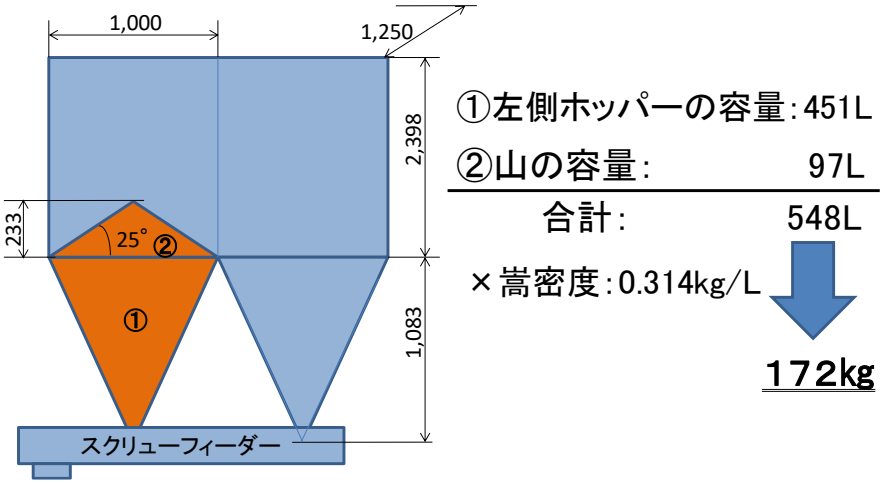


図 73　集じん機のホッパー内に溜まっていた粉じん量の推定

ダクト内を火炎が伝播したのであれば，それに伴い圧力波の伝播も生じたと考えられる。圧力波が集じん機内に突入すれば集じん機のホッパー内に溜まっていた粉が巻き上げられ，集じん機内の粉じん濃度は更に高くなる可能性がある。

以上より集じん機内に火炎があれば着火する可能性が高い。

＜集じん機の破損状況＞

2018 年 9 月 5 日の警察と消防の実況見分にて，集じん機に設置された 3 カ所の放散口に設置されていた破裂板（破裂圧力 0.1MPa）がいずれもなくなっていたことが確認されている。3 枚の破裂板のうちの 2 枚にはアルミ製，1 枚には SUS304 製の板が用いられていた。アルミ製の破裂板は火災による熱で溶けてしまった可能性も考えられるが，SUS304 の融点は約 1400℃と高く，また，周囲の SUS304 製の配管や機器に溶融した形跡が見られないことから，集じん機内での爆発がなければ SUS304 製の破裂板は残存していたはずである。（図 74）

また，集じん機直近の角ダクトが著しく破損していたこと（図 75），集じんダクトの途中に接続されたエルボー部分が吹き飛んでいたことも（図 76），集じん機あるいはダクト内部で圧力上昇があったことを示唆しており，集じん機内で爆発があった可能性が考えられる。

図 74　集じん機の放散口

図 75　角ダクトの残がい

図 76　エルボー部分が外れたダクト

＜爆発発生時刻の推定＞

富士山中腹にある気象庁の太郎坊観測点（当該製造棟から約 21.5km）および上井出観測点（当該製造棟から約 14.9km）に設置された空振計に事故発生時の圧力変動が記録されていた。太郎坊観測点における圧力変動の検知は 8 時 26 分 34.5 秒, 上井出観測点では 8 時 26 分 13.7 秒であった。

2 地点への到達時刻の差から圧力波の到達速度は,

$$(21.5 - 14.9) \div (34.5 - 13.7) = 0.317 \text{ km/s}$$

と計算される。さらに，当該製造棟とそれぞれの観測点の間の距離から，爆発発生時刻は

太郎坊観測点：21.5 ÷ 0.317 ＝ 67.8 秒

8 時 26 分 34.5 秒 － 67.8 秒 ＝ 8 時 25 分 27 秒

上井出観測点：14.9 ÷ 0.317 ＝ 47.0 秒

8 時 26 分 13.7 秒 － 47.0 秒 ＝ 8 時 25 分 27 秒

と推定される。

＜爆発規模の推定＞

空振計の観測データを用いて当該製造棟で発生した爆発規模を以下の①と②の 2 つの方法で計算し，推定した。

<u>計算①</u>

TNO（オランダ応用科学研究機構）の Yellow Book「5.3.2 Methods based on TNT charge blast」に爆発換算距離と最大爆風圧の関係が記載されている。当該製造棟と上述の観測点の距離が長く，ここに記載されたデータはそのままでは適用できないため，遠方における関係式を

$$\log P_S = -1.3 \times \log r^* + 2.5 \quad [1]$$ とした。

r^*：爆発換算距離

P_S：最大爆風圧

太郎坊観測点： $r = 21.5 \times 10^3$ m, $Ps = 4.43 \times 10^{-3}$ kPa

上井手観測点： $r = 14.9 \times 10^3$ m, $Ps = 10.13 \times 10^{-3}$ kPa

式[1]より　太郎坊のデータの場合　$r^* = 5{,}410$

上井出のデータの場合　$r^* = 2{,}870$

$$r^* = \frac{r}{Q_{TNT}^{1/3}} \quad Q：\text{TNT 換算薬量 [kg]} \quad [2]$$

式[2]より　太郎坊　$Q_{TNT} = 63$ kg

上井出　$Q_{TNT} = 140$ kg

と、計算される。

計算②

同様に「粉じん爆発・火災対策（日本粉体工業技術協会 粉じん爆発委員会編，オーム社出版）」のデータから，

$$P_S = 476.2 \times Z^{-1.402} \quad [3]$$

P_S：最大爆風圧 [kPa]

Z：換算距離 [m/kg$^{1/3}$]

太郎坊観測点： $r = 21.5\times10^3$m，$Ps = 4.43\times10^{-3}$ kPa より

$Z = 4560$

上井出観測点： $r = 14.9\times10^3$ m，$Ps = 10.13\times10^{-3}$ kPa より

$Z = 2240$

$Z = r \div Q_{TNT}^{1/3}$　　Q：TNT 換算薬量 [kg]　　[4]　　から

太郎坊観測点：$Q_{TNT} = 105$ kg

上井出観測点：$Q_{TNT} = 296$ kg

と計算される。

以上より，当該製造棟で発生した爆発の大きさはTNT換算薬量として60～300kgと推定される。

D．火災の検証

事故後の状況から，当該製造棟内では 1 階の北ホッパー周辺と 3 階の製造釜 B の底部付近の焼損が著しかったことが分かった。

1 階ではホッパー北側のキシレン溶液の配管（レゾール型フェノール樹脂のキシレン溶液をタンクから製造釜に移送する配管（口径 50A））が破断していた。（図 77）

図 78 は事故後の 1 階集じん機北側の壁の様子である。壁全体に固い付着物があり，分析の結果からグラスウールと同じ組成であることが分かった。これは，1 階の火炎により北固化室の床下の断熱材が溶融したものと考えられる。

図 77　破断したキシレン溶液の配管

図 78　製造棟 1 階集じん機近くの北壁

3 階では製造釜 B の底部周辺の焼損が著しく，加熱用ジャケットにつながる熱媒配管が破断しており，2 階，3 階の床面の広い範囲が黒いタール状の物質で汚れていた（図 79, 80）。分析の結果，黒いタール状物質は当該製造棟で使用されていた熱媒油であることが分かった。（図 81）

図 79　3 階製造釜 B 付近の焼損状況

図 80　熱媒油で汚れた 2 階床面

複数の証言から，事故直後に当該製造棟南側の地下タンク付近で火炎が上がっていたことが分かった。事故後の検証時にキシレンの送液ポンプに付帯する圧力計を接続する配管の破損が確認された。（図 82）

図 81　2，3 階床から採取されたタール状物質

図 82　破損した圧力計配管（キシレンポンプ周辺）

４．２．３　着火から爆発火災に至るシナリオの推定と考察

以上より，着火から当該製造棟全体の火災に至るシナリオを次のように推定した。

１）FIBC 内で着火
２）ダクト内を火炎が伝播
３）集じん機内で一次爆発
４）1 階周辺への粉じんの拡散と二次爆発
５）当該製造棟全体の火災

１）FIBC 内で着火

FIBC での着火源として，FIBC 内でのコーン放電の可能性が考えられる。

公益社団法人 産業安全技術協会に委託した試験結果から，FIBC へ樹脂を充填する際の条件を考慮すればコーン放電の発生条件である 1μC/kg 以上の電荷密度が発生する可能性が示唆された。また，コーン放電のエネルギー及び粉じん濃度の確率から推定される充填作業 1 回当たりの爆発の発生確率は 10^{-4} オーダーと推定された。（59 頁参照）

表 15　コーン放電発生条件と事故当時の状況の整合

コーン放電の発生条件		整合	根拠
粒子径	1mm 以上	○	#13FIBC 中の 20 メッシュ（目開き 0.97mm）篩下割合　11%
体積抵抗率	10^{10}Ω･m 以上	○	公益社団法人　産業安全技術協会　委託実験結果より 10^{14}Ω･m 以上
電荷密度	1μC/kg 以上	△	再現実験では最大電荷密度 -0.1μC/kg 程度しか検出できなかったが，実工程における条件によっては部分的に±1μC/kg を超える場合がありえる（委託実験結果より）
充填速度	2,000kg/h 以上	○	470kg を 30 秒で充填するとして 56,400kg/h

ホッパーから FIBC に樹脂を充填する際，ホッパー底部及びホッパーの排出口との摩擦により樹脂が帯電し，帯電した樹脂が FIBC 内に充填されたと考えられる。FIBC 内で電荷が蓄積され，コーン放電が発生し，FIBC 内部の粉じんに着火したと推測される。

２）ダクト内を火炎が伝播

FIBC 内部あるいは FIBC 充填口付近の粉じんに着火することで，FIBC から未燃の粉と炎が噴き出したと考えられる。この時，噴き出した炎が FIBC 充填口付近に設置されていた吸引ダクト

に吸い込まれて集じん機までダクト中を火炎として伝播し，集じん機内で爆発した可能性が考えられる。

ダクト入口の粉じん濃度が高いほどダクト内を火炎が伝播しやすいと考えられる。例えば，包装作業中に手元ダクトを FIBC の内部に挿入すればダクト内の粉じん濃度は高くなり，より火炎が伝播しやすい条件になると考えられる。しかし，協力会社の社員の証言によると，手元ダクトはホッパー架台に固定されており FIBC の内部に挿入したとは考えにくい。

協力会社の社員の証言から，事故当時は固化室での粗砕・解砕作業を終え，固化室につながるバタフライ弁は閉であったと考えられる。固化室内で作業をしていない時は，FIBC の付近を吸引していた手元ダクトの吸引風量がより多い状態であったと推定される。

また，協力会社の社員の証言では，FIBC への充填作業時に FIBC から発生した粉じんが周囲へ拡散することはなく，発生した粉じんはほぼ全量が手元ダクトに吸引されていたと考えられる。

バタフライ弁の開閉状態とダクト内風量の関係からダクト内を火炎が伝播する条件について考察したところ，バタフライ弁が閉の状態のほうがダクト入口における粉じん濃度が低くても火炎伝播しやすいことが分かった。すなわち，固化室での作業を終えた状態のほうがダクト内を火炎伝播しやすい条件であったと考えられる。

株式会社 爆発研究所に委託した FLACS-DustEx を用いた解析においても同様の結果が得られ，ダクト入り口で着火した火炎が集じん機に到達するのに要する時間は約 0.5 秒と推定された。

ダクト入り口の風量を 35m^3/min，粉じん濃度を 115g/m^3 とすれば，ダクト内を火炎が伝播するために必要な粉量は，

$$35 \div 60 \times 0.5 \times 115 = 34\text{g}$$

となり，ダクト内は容易に火炎伝播可能な条件になり得たと考えられる（68 頁参照）。

以上から, FIBC から噴出した火炎はダクトを通じて集じん機まで伝播した可能性が考えられる。

３）集じん機内での一次爆発

集じん機内の粉じん濃度は 1 日の包装作業で集じん機により回収される粉量から推定され，42～55g/m^3 と計算された（69 頁参照）。爆発下限濃度に近い粉じん濃度であるため静電気による火花で着火する可能性は低いが，集じん機内に火炎があれば着火する可能性が高いと考えられる。

また，事故後の状況から集じん機に設置された 3 カ所の放散口に設置されている破裂板（破裂圧力 0.1MPa）がいずれもなくなっていたことが確認されている。3 枚の破裂板の内の 2 枚にはアルミ製，1 枚には SUS304 製の板が用いられていた。アルミ製の破裂板は火災による熱で溶けてしまった可能性も考えられるが，SUS304 の融点は約 1400℃と高く，周囲の SUS304 製の配管や機器に溶融した形跡が見られないことから，集じん機内での爆発がなければ SUS304 製の破裂板は残存していたはずである（図 83）。加えて，集じん機直近の角ダクトが著しく破損していたこと（図 84），集じんダクトのエルボー部分が吹き飛んでいたことも（図 85），集じん機内部で圧力上昇があったことを示唆しており，集じん機内で爆発があった可能性が高い。

図 83　集じん機の放散口

図 84　角ダクトの残がい

図 85　エルボー部分が外れたダクト

以上のことから，FIBC の充填口から未燃の粉と共に噴出した火炎は，付近に設置されていた集じんダクトに吸い込まれ，吸い込まれた火炎はダクト内を伝播した。集じん機内に到達した火炎は集じん機内の粉じんに着火し，集じん機内で粉じんの燃焼に伴う圧力の上昇が発生した。圧力の上昇に伴い集じん機に直接接続された角ダクトと集じん機に設置された放散口を破裂させたと考えられる。

4）1階周辺への粉じんの拡散と二次爆発

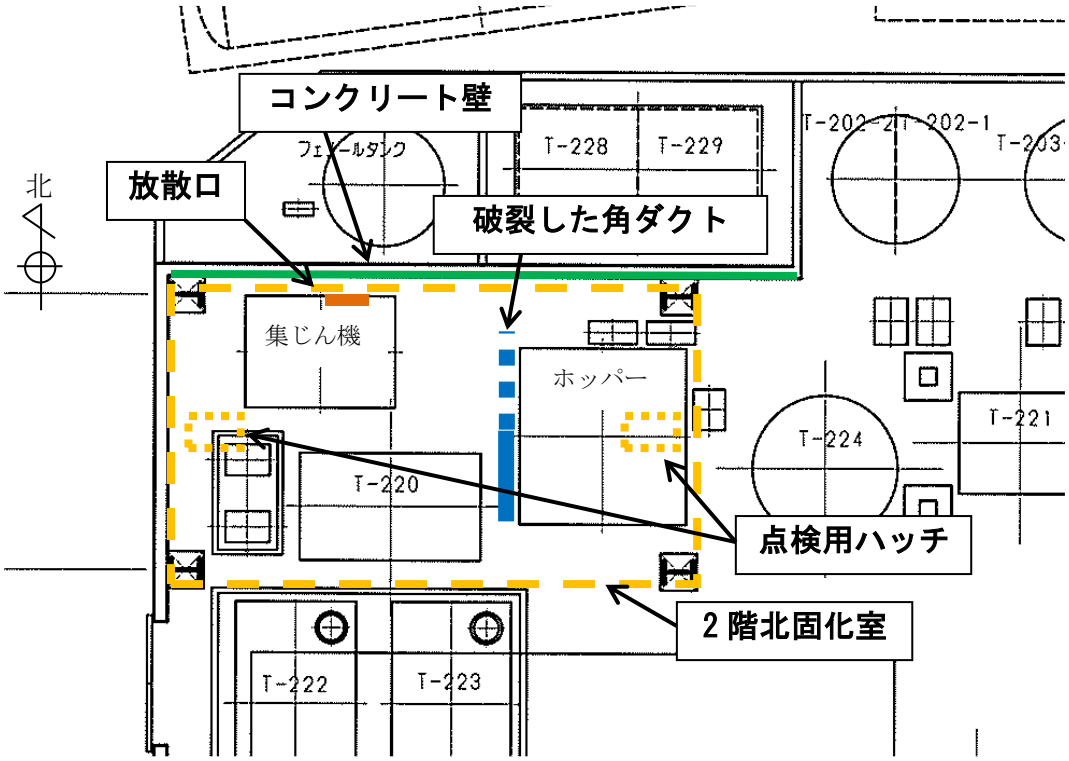


図 86　集じん機放散口と角ダクト，北固化室の位置

図 86 に示すように集じん機は当該製造棟内の北西角に設置されていた。放散口は集じん機の北側に設けられており，北側には強固なコンクリート壁があったことから，放散口から噴き出した爆風は主に東西方向へ広がったと考えられる。また，集じん機に直接接続されていた角ダクトは集じん機の東側に接続されていたことから，破裂した角ダクトから噴出した爆風は主に東方向に拡散したと考えられる。

図 87　ホッパー上に堆積した粉（2016 年 11 月）

図 87 は事故以前のホッパー上部に堆積した粉の写真である。協力会社の社員の証言から，ホッパー天板付近は 2016 年 11 月以降には掃除が行われていなかったこと，集じん機南側にあったタンクの上部は掃除が行われていなかったことが分かった。集じん機から放出された爆風は周囲のタンクやホッパー上に堆積したこれらの粉を巻き上げながら拡散し，舞い上がった粉じんが燃焼することでさらに大きな爆発（二次爆発）につながったと考えられる。

48 頁表 6 より包装作業場周辺に堆積していた粉量を 696kg，集じん機に溜まっていた粉量を 172kg，当該製造棟 1 階の空間容積を 3,169m^3 とすると，堆積した粉の全量が舞い上がった場合の最大粉じん濃度は

$$(696 + 172) \div 3{,}169 \times 1000 \ = \ 274 \ \mathrm{g/m^3}$$

と計算される。これは，集じん機から放出された爆風により巻き上げられた粉じんが燃焼を継続しながら当該製造棟の 1 階全体に拡散していくには充分な濃度であると考えられる。

当該製造棟 1 階西側の壁から火炎が噴き出す際に，北固化室下段の窓が光ったとする近隣からの情報があった（図 88）。このことから集じん機から放出された爆風によりホッパー上に堆積した粉が巻き上げられ，爆発の規模が拡大し火炎とともに爆風が北固化室に吹き上げたと考えられる。北ホッパーのすぐ上の天井には北固化室のスクリューコンベアの点検用ハッチが設けられており，階下で発生した爆風は固化室内へ容易に吹き上げる構造だった。事故後の現場検証において点検用ハッチが開いていることが確認された。

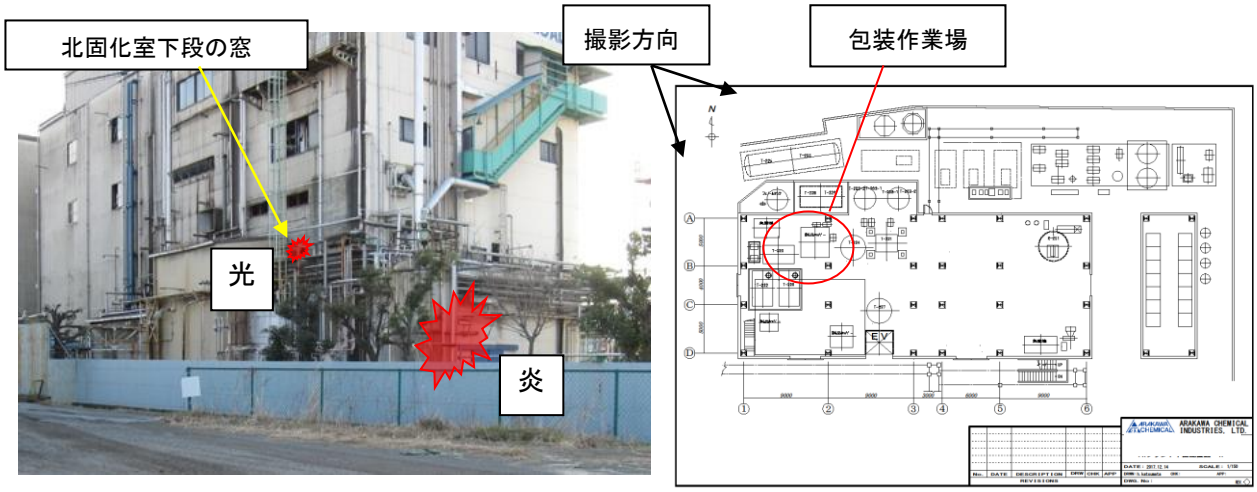


図 88　最初に炎と光が見えた場所（当該製造棟北西方向からの撮影）

FLACS-DustEx による解析では，集じん機内の爆発に伴う角ダクトの破裂によって噴出した爆風は主に東西方向に拡散する結果となった。また，集じん機の放散口破壊によって集じん機と壁の間に噴出した爆風は最大で 45m/s の流速で周囲に拡散し，北固化室内に爆風が吹き上げる様子が再現された。（図 89，90）

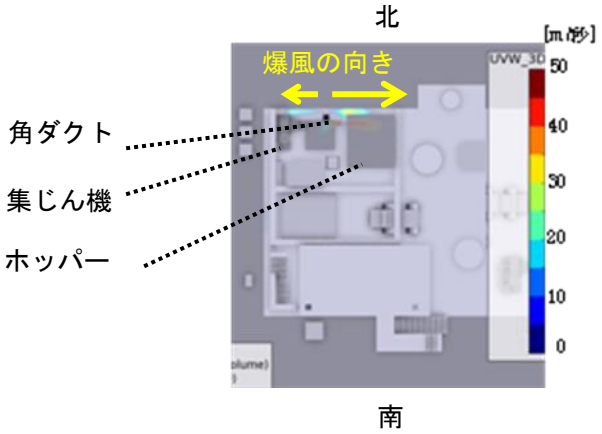


図 89　集じん機周辺の爆風風速の計算結果

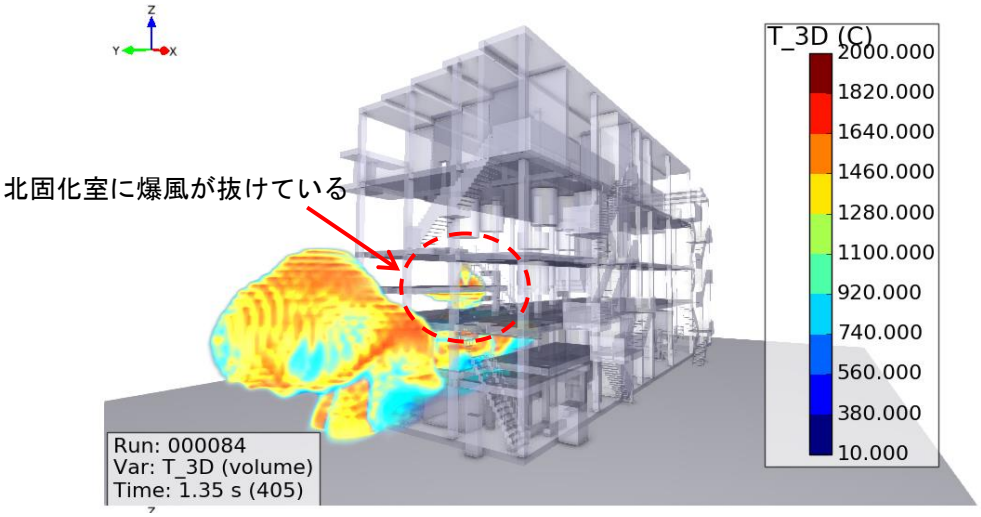


図 90　爆風の広がり状況の解析結果

西に向かった爆風は当該製造棟の西壁を破って外部に噴出した。噴出した爆風により当該製造棟の西側に置いてあった空の 1t コンテナ（Intermediate Bulk Container，樹脂製）が吹き飛ばされた。

爆風は南側にも拡散し，製造棟の出入り口に設置されていた扉や周囲のパレットなどを吹き飛ばした。東に向かった爆風は東側の扉、南面東側の扉も吹き飛ばした。当該製造棟内 1 階の東側で作業していた協力会社社員 e，f が火傷を負ったことから，爆風とともに拡散した火炎は 1 階の東側にまで到達したと考えられる。

図 91 に製造棟周辺の飛散物の状況を示した。

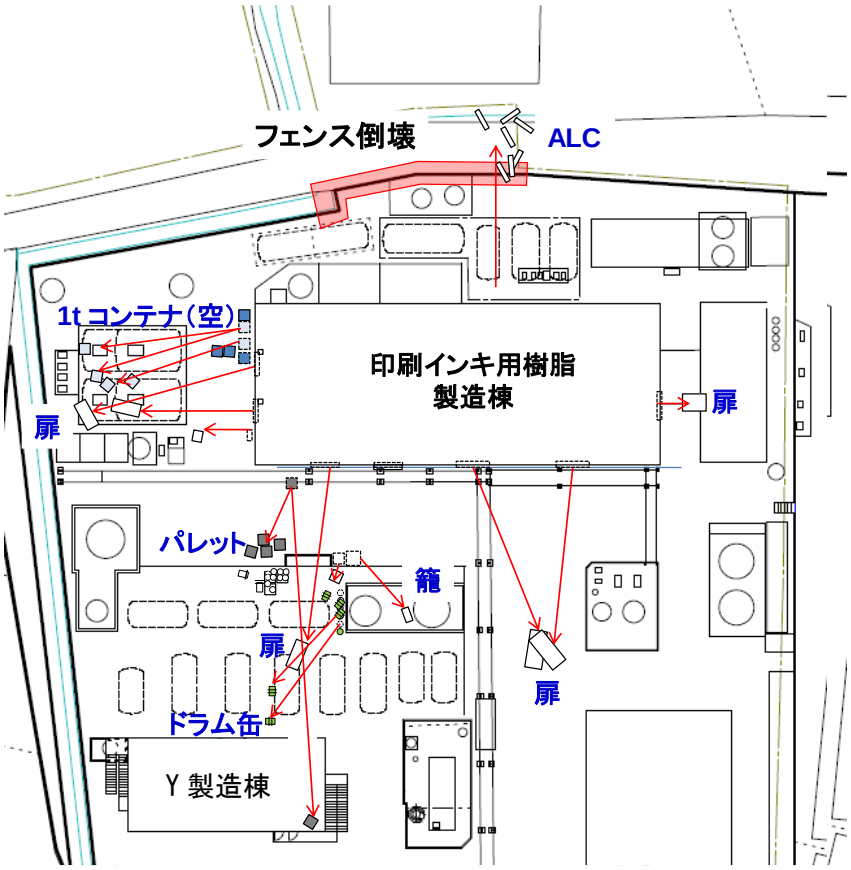


図 91　周辺への飛散状況

1 階天井のスクリューコンベア点検用ハッチから吹き上げた爆風により南固化室西側の壁が崩壊した（図 92）。協力会社社員の証言から事故当時は北固化室の出入り口の扉は開放されており，南固化室の出入り口の扉は閉じられていたことが分かった。南固化室では壁が変形し（図 93），出入り口の扉が吹き飛んだ（図 94）。北固化室では西側の壁が崩壊した以外に圧力によると考えられる壁の変形などは見られなかった。

固化室に達した爆風は 2 階吹き抜け部分を通じて 3 階に達し，当該製造棟内の圧力が上昇することで 2～3 階の外壁が吹き飛んだ。（図 95）

図 92　崩壊した南固化室西壁

図 93　変形した南固化室の東壁

図 94　吹き飛んだ南固化室の扉

図 95　発災後の製造棟北壁

FLACS-DustEx による解析では当該製造棟外西側と南側を中心に爆発に伴う圧力上昇を生じる結果が得られた。西側では 4 階高さにおいても圧力上昇が見られ（図 96），計器室の窓が破れて爆風が吹き込んだとする証言と一致した。また，当該製造棟 1 階の全域と 2 階，3 階の西側において，当該製造棟内の圧力が壁材の破壊設定圧である 4kPa を超える計算結果が得られ，事故後の壁損壊状況とおおよそ一致した。（図 97）

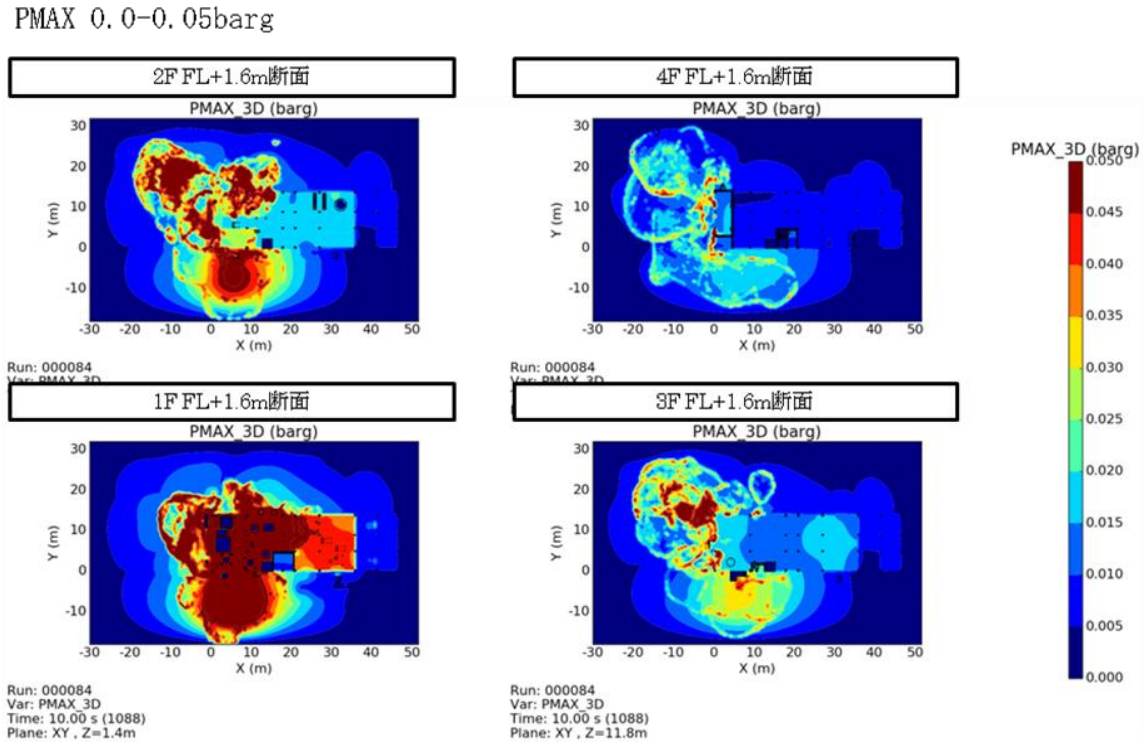
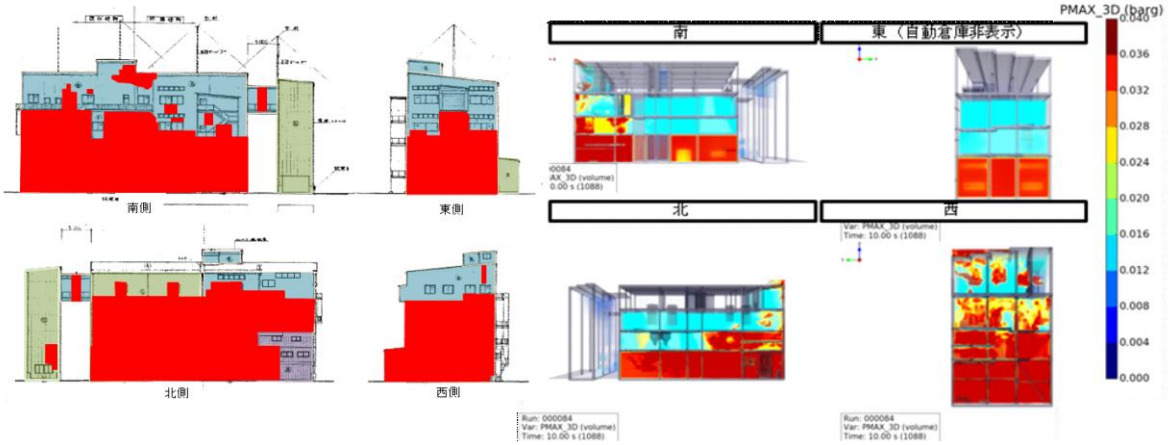


図 96　外壁に作用する力の方向



実際の壁損壊状況（損壊箇所：赤色部分）　　当該製造棟内の最大圧力分布（計算）

図 97　当該製造棟損壊状況と当該製造棟内最大圧力分布（計算）との比較

５）当該製造棟全体の火災

1 階では北ホッパー北側のキシレン溶液の配管（口径 50A）が破断していたことから（図 98），集じん機から噴出した爆風による飛散物によりホッパー北側のキシレン溶液の配管が破断し，配管から漏えいしたキシレン溶液に引火して 1 階西側で火災が発生したと考えられる。

図 98　破断した配管

1 階で発生した火災は 2 階の北固化室に達し，北固化室の床下に設置されていた断熱用グラスウールを溶融させた。溶融したグラスウールは北側の壁を垂れ落ちながら冷えて固まった（図 99）。北固化室を支える梁は火災の熱により強度を失い，自身の重みで北固化室の床面が下がった。（図 100）

図 99　当該製造棟 1 階集じん機近くの北壁

図 100　北固化室状況

床面が下がることでスクリューコンベアのスクリューに歪みが生じて破断し，その一部が北ホッパー上面に落下した（図 101）。ホッパーの脚部も熱により強度を失ったが，ホッパーの南西角と天井が支柱で接続されていたため，ホッパーはこの部分を支点に北側に倒れるように傾いた（図 102）と推測する。事故現場のホッパーは底部に設置されていた回転型スライド弁が外れており，内部には樹脂が入っていなかった。このことから，回転型スライド弁が外れた際にホッパー内部に残っていた固形樹脂が床面にこぼれ落ち，こぼれ落ちた樹脂の一部はホッパー下の台秤が設置されていたピット内に入り（あるいは熱で溶融した樹脂がピット内に入り），一部はキシレンに引火した炎が着火したと考えられる。（図 103）

図 101　北固化室下のホッパー上部

図 102　北固化室下のホッパー

図 103　北ホッパー下の台秤周辺

爆風は火炎と共に 2 階北固化室床面の点検用ハッチから固化室内に吹き上がり，さらに固化室を抜けて 2 階および 3 階に至った。3 階に抜けた爆風に伴う飛散物により製造釜 B のジャケットに繋がる熱媒配管が破断し，漏れ出た熱媒油に引火して周囲に火災が広がったと推定される（図 104）。漏れ出した熱媒油は 2 階にも垂れ落ち火炎が広がった（図 105，106）。事故後は 4 階にあった熱媒膨張タンク内の熱媒油がなくなっていたことから，漏洩した熱媒油は 4.3m^3 程度と推定される。

また，3 階で発生した火災の熱により 3 階の天井を支える梁の強度が低下し，製造釜 C は自身の重みで沈降したと考えられる。（図 107）

荒川化学社員の証言から，4 階は火災による被害はほとんどなかったが，事故後すぐに煙が充満して 4 階で作業をしていた社員は視界を遮られた状態となった。これは 3 階の火災で発生した煙が 4 階に立ちこめたことによると推測される。

図 104　3 階製造釜 B 付近の焼損状況

図 105　熱媒油で汚れた 2 階床面

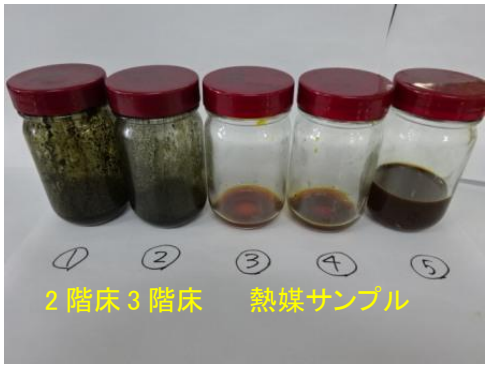


図 106　2，3 階床から採取されたタール状物質

図 107　4 階製造釜 C の沈降の監視状況

爆発直後には当該製造棟南側外にあるキシレン配管から火柱が上がった。（図 108 中の×印）

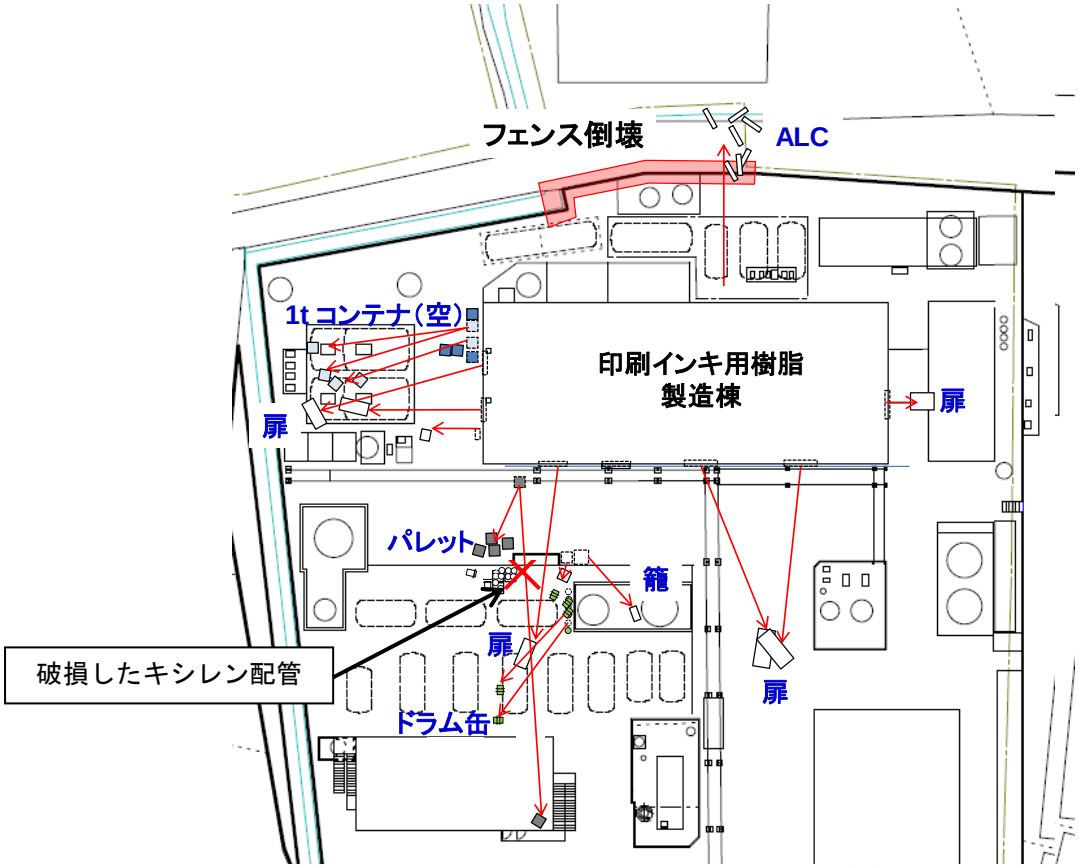


図 108　破損したキシレン配管の位置

事故発生当時は当該製造棟外南の地下タンクから当該製造棟 4 階にキシレンを送液中であった（荒川化学社員の証言）。キシレンは当該製造棟の南側にある地下タンクからポンプを用いて送液されていたが，送液配管途中にあった圧力計につながる配管が折れていた（図 109）。当該製造棟周辺の飛散物の配置から，飛散物により当該製造棟南側の圧力計が折れて配管が破れ，配管内から吹き出したキシレンに引火し，火柱となって燃え上がったと推定される。

図 109　破損した圧力計配管（キシレンポンプ周辺）

５．事故原因の整理

今般の爆発・火災事故は静電気を着火源とする粉じん爆発およびそれに伴う火災と考えられる。以下に事故原因を整理した。

５．１　粉じん爆発およびそれに伴う火災に至った経緯

（１）FIBC 内に粉じん爆発下限濃度以上となる粉じんがあった。
（２）FIBC 内で静電気のコーン放電により，粉じんに着火した。
（３）FIBC 内で着火した粉じんが，ダクトを経由して集じん機まで伝播した。
（４）伝播した火炎により集じん機内で粉じん爆発（一次爆発）が発生した。
（５）集じん機内の一次爆発により，爆発放散口から集じん機内の未燃の粉じんを伴って火炎・爆風が噴出し，製造棟 1 階周辺の堆積粉じんを巻き上げ二次爆発が発生した。
（６）当該製造棟内にあった消防法危険物，可燃物のほか，爆風の影響により破断した配管から漏えいしたキシレン溶液や熱媒油に引火・類焼し，火災が当該製造棟全体に拡大した。

５．２　事故原因の整理

５．２．１　物質

ロジン変性フェノール樹脂の粉じんは静電気が帯電しやすく，粉じん爆発の危険性が高い性質であった。

① 樹脂の体積抵抗率（$10^{14}\Omega m$）が高いため，帯電しやすく電荷が緩和しにくい樹脂であった。
② 最小着火エネルギーが小さく（1mJ＜MIE＜3mJ），着火しやすい粉じんであった。
③ 爆発の激しさをあらわす粉じん爆発クラスが St3 であった。（St3：爆発の激しさが特に大きい粉じん）
④ 樹脂が脆く，粉砕・摩擦により粉が発生しやすかった。

５．２．２　人

荒川化学は長年にわたり粉じんにかかる大きな事故もなく操業し，ロジン変性フェノール樹脂が粉じんになることにより，粉じん爆発をもたらす危険性があることを認識できていなかった。このことから，粉じんに対する安全意識が低下し，静電気や粉じん爆発に関する理解が不足していたため，危険性評価が充分できていなかった。その結果として，以下のような問題が生じていた。

① 荒川化学は粉じんの危険性（着火しやすく、爆発の激しさが特に大きい）について理解が不足していた。事故までに粉じんの爆発危険特性は富士工場にて測定されていたが，爆発事故に繋がる認識がなく，データが荒川化学全社で共有されていなかった。また，過去の発火事例（2016 年 10 月 23 日）の危険性を正しく評価できていなかった。
② 荒川化学は粉じん堆積による火炎伝播や粉じん爆発リスクの認識が不充分であった。

このため，ダクト内，集じん機内，当該製造棟 1 階/2 階の見えないところや手が届かないところに堆積した粉じんを定期的に除去・清掃していなかった。

③ 荒川化学は集じん機が屋内に設置されていることや，爆発放散口のすぐ先に壁があることが大きなリスクであるとの認識がなく，その状態が継続されていた。

５．２．３　設備

静電気や粉じん爆発に対する危険性評価が不充分であったため，設備面の対応も不充分なものがあった。また，既存設備の再評価が不充分で粉じん取扱い設備の再評価，維持管理が充分ではなかった。

① 製品樹脂は固化室で解砕しホッパーに搬送されて，すぐにホッパーから FIBC に包装されるため，帯電した静電気の緩和時間がとれる設備でなかった。

② 固化室からスクリューコンベアにて解砕してホッパーへ落下させる設備で，粉じんが発生しやすかった。また，ホッパーから樹脂を FIBC に充填する際の充填速度を制御できる設備でなく，樹脂の充填速度が速く，粉じんが舞い上がりやすかった。

③ 固化室／包装場所は開放系であり，粉じんが周囲に飛散しやすかった。

④ FIBC 内に舞い上がった多量の粉じんはダクトに吸い込まれるが，ダクトは水平部分が長い，集合ダクトになっているなど粉じんの堆積防止を考慮したレイアウトではなく，ダクト内に粉じんが堆積する構造であった。また集合ダクトになっているため，火炎が各所に伝播しやすかった。

⑤ 集じん機は乾式であり，粉じん爆発の激しさを示すクラスが St3 である粉じんには適合していなかった。

⑥ 集じん機は屋内に設置され，爆発放散口のすぐ先に強固な壁があった。設備の安全性の再評価から既存の粉じん取扱設備が漏れていたため, この状態が改善されなかった。このため，一次爆発による火炎と集じん機内の未燃の粉じんが壁に阻まれて当該製造棟内に噴出して二次爆発が発生し，事故が拡大した。

⑦ 粉じんの排出不良により，集じん機内に粉じんが堆積していた。集じん機は生産設備ではなく副生物を処理する付帯設備であり，包装作業に支障がなかったため，富士工場では集じん機の維持管理が充分にできていなかった。

⑧ 粉じんが堆積する構造物（ホッパー/タンク/梁/ダクトの上部）があり，粉じんの清掃を考慮した構造・配置，設備ではなかった。このため，見えないところや手が届かないところなど各所に粉じんが堆積していた。

５．２．４　作業

粉じん爆発に関しては危険性評価が不充分であったため，作業手順に危険性を低減する手順が抜けるなど作業手順に不備な箇所があった。

① 荒川化学は粉じん飛散による粉じん爆発リスクの認識が不充分で, FIBC への充填速度を規定していなかった。このため，包装作業者は作業効率を高めるために，短時間で

所定の充填を行い，粉じんが舞い上がりやすかった。

② 粉じん堆積による粉じん爆発リスクの認識が不充分で，富士工場は粉じんの清掃に関する基準を規定していなかった。また，粉じんの発生量が多いうえに，見えないところ，手が届かないところの除去・清掃が困難な設備・配置であった。このため，定期的な粉じんの除去・清掃，維持管理ができていなかった。

６．再発防止対策

荒川化学においてかかる事故を二度と発生させないため，以下の再発防止対策を実施することとする。

６．１　直接原因に対する是正

５項に記載した事故原因（物質，人，設備，作業）に対し以下の是正を行う。

６．１．１　物質に対する対策

ロジン変性フェノール樹脂の粉じんは静電気が帯電しやすく，粉じん爆発の危険性が高い性質を持っている。その性質は変更することはできないので，６．１．２～６．１．４項の人，設備，作業に対する対策を確実に実施する。

６．１．２　人（荒川化学および協力会社従業員）に対する対策

荒川化学の幹部職員・従業員ともに，粉じんに対する安全意識が低下し，静電気や粉じん爆発に関する理解が不足していたため，危険性評価が充分できていなかった。このことを解決するために，ロジン変性フェノール樹脂の粉じんは静電気が帯電しやすく，粉じん爆発の危険性が高い性質であることを，取り扱っているすべての人が理解するための教育体制を整え，教育を実施する。そのためには，教育できる専門部署の設置や専任者の確保などを実施する。具体的な教育については，以下について受講者，頻度の計画を立てて実行する。

① 荒川化学は従業員に対し，専門家による静電気および粉じん爆発防止に関するセミナーを定期的に行い，理解させる。

② 静電気および粉じん爆発防止に関するセミナーを受講して，常に新しい情報，知識を習得する。

③ 保安に関する荒川化学の社内会議にて，静電気および粉じん爆発防止の討論の場を設け，静電気および粉じん爆発防止の理解を深める。

６．１．３　設備に対する対策

静電気や粉じん爆発に対する危険性評価が不充分であり，設備面において粉じんの飛散，抑制，除去のための設備に不充分なものがあった。さらに，静電気対策についても不充分であった。これらのことについて以下の対策を実施し再発を防止する。

（１）粉じん対策

１）粉じん飛散

現在の解砕・搬送・包装設備は粉じんの発生が多い。粉じん取扱設備の専門業者も活用し，解砕・搬送・包装工程における粉じんの発生や飛散を抑制する設備とする。

２）粉じん除去

見えないところ，手の届かないところは清掃が困難で，粉じんが堆積していたことが事故拡大の一因となった。粉じんを扱う建物は，見えないところ，手の届かないところはカバーにより密閉化するなど粉じんが堆積しにくい構造を検討し，容易に清掃できる方法（水洗)、設備（防滴仕様）とする。

（２）静電気対策

粉じん取扱設備の専門業者や静電気の専門家も活用し，解砕・搬送・包装工程における静電気の発生を抑制する設備とする。

（３）集じん設備

一次爆発による火炎が伝播し，集じん機内の未燃の粉じんが当該製造棟内に噴出して二次爆発が発生し，事故が拡大し大惨事となった。このことについて再発を防止するために以下の対策を実施する。

① 集じん機は湿式集じん機とする。湿式集じん機内では粉じん雲が形成されないので，集じん機内での着火・粉じん爆発を防止することができる。

② 火炎伝播の危険性の高い集合ダクトは取り止め，個別集じんとする。これによりダクトを経由した多方面への火炎伝播がなくなり，事故拡大を防止することができる。

③ ダクト内での粉じん堆積を防止するため，ダクトは傾斜をつけ極力水平箇所を少なくするとともに，粉じんが沈降しない十分な風速を確保する。また，内部点検口や掃除口を設け，容易に点検・清掃できるようにする。

④ 粉じんを取り扱う設備の維持・管理を確実に行うための手順を規定する。

６．１．４　作業に対する対策

当該作業について，粉じん爆発に関する危険性評価が不充分であり，作業手順に危険性を低減する手順が抜けるなど作業手順に不備な箇所があった。これらのことについて再発を防止するために以下の事項を実施する。さらに，関連する教育の体制を整え実施する。

① 粉じんが堆積する構造物（ホッパー/タンク/梁/ダクトの上部)と集じんダクトを含め，堆積している粉じんを定期的に清掃・除去するよう，粉じんの清掃に関する手順を改定する。なお手順は，粉じん雲を形成する可能性のある方法（エアーブロー，乾燥状態での掃き掃除）は行わないように規定する。

② 充填工程で発生する静電気を確認し，安全な充填速度を手順に規定する。

６．２　関連事項の改善

６．１項に記載した事故の直接原因に対する是正を確実に実施できるようにするため，荒川化学が運用する保安管理システムにおけるリスクアセスメントと協力会社の管理の改善を行う。

６．２．１　リスクアセスメント

保安管理システムにおけるリスクアセスメントの対象と運用に漏れがあったため，以下の①②③を見直す。また，リスクアセスメントを確実に行うため，保安に関する専門部署を新たに設け，専任者を置くなど体制を整える。専任者は専門家も活用して，リスクアセスメントの方法を関係部署に指導する。FMEA や HAZOP などのリスクアセスメント手法を使って，関係部署と漏れなくリスクアセスメントを行う。

① 粉じんが発生する製品群ごとに粉じん爆発の危険性データを測定，共有し，リスクアセスメントの信頼性を高められるようにする。

② 今回得られた粉じん爆発の危険性の知見を，設備，作業のリスクアセスメントに反映する。

③ 既存設備と作業の再評価に漏れがなくなるよう，設備，作業のリスクアセスメント基準を改定する。

６．２．２　協力会社の管理

協力会社の管理において不充分な点があったため保安管理システムを見直す。

（１）協力会社の荒川化学管理部署の再整理

協力会社は富士工場の事務課の管掌となっているが，作業場所である担当製造課も関与しており，双方の責任の所在が不明瞭であった。協力会社の管理部署を明確にする。

（２）協力会社の保安活動の強化

①協力会社のヒヤリハット活動が強化できるようにする。

②リスクアセスメントや危険予知活動を協力会社とともに実施する。

（３）協力会社の定期的な監査実施

作業基準，作業手順が正しく実施されているか，協力会社を定期的に監査する。

６．２．３　その他の関連事項の改善

事故の直接原因に対する是正ではないが，事故調査の中で重要と考えられた静電気対策について改善を行う。

①製造設備のリスク評価を行い，静電気発生・粉じん爆発防止の観点からアース設置の正当性を確認する。さらに集じん機やダクト，FIBC 包装場等，粉じんを取扱う設備におけるアース設備の接地抵抗を年 1 回以上，定期的に測定し，健全な状態を保つ。

②作業者の静電気対策を確実とするため，始業前に静電気チェッカーにて帯電防止安全靴の導電性を確認する。

③富士工場は FIBC タイプ C へのアースの仕方を作業手順に規定していなかったため，包装作業手順に FIBC タイプ C へのアースの仕方を規定する。

６．３　今後の課題

以上，事故調査委員会で当事故の直接原因と，その再発防止対策を取りまとめた。荒川化学は，その対策に取り組んでいるところである。今回の事故の悲惨さを伝えていき，このような事故を二度と起こさない強い意識を持ち続けるための施策も必要である。今後，粉じん爆発の危険性を再評価し再発防止対策を確実に実施すること，安全文化の醸成にむけて，全社の安全に対する意識の向上に取り組んでいくことを荒川化学に強く求める。

７．おわりに

事故調査委員長提言総括

今回の爆発・火災事故は，協力会社および荒川化学従業員の犠牲（死亡者 2 名，重傷者 2 名，軽傷者 11 名の人的被害）を伴う重大な事故であった。また，住民居住地での事故であったため，周辺住民に多大の不安と影響を及ぼした。本事故の原因究明および再発防止対策を講じるために社外委員 4 名，社内委員 4 名で構成する事故調査委員会と，下部組織として事故原因究明チームを発足した。

本事故は，荒川化学工業株式会社 富士工場 印刷インキ用樹脂製造棟において，4 階には荒川化学社員 6 名，1 階には協力会社社員 6 名の計 12 名おり，通常の人員配置において作業を実施していた。作業手順の誤り，設備の故障など顕著な事故原因は見られなかった。事故発災場所では，協力会社社員による手作業であったため，運転記録などの電子記録は全く存在しない中，設備損壊状況，目撃情報，近隣情報等の状況データの分析，各種再現実験，そして必要に応じてのシミュレーションによる検証を実施し，その原因の究明を行った。本報告書では，事故事象の進展状況を分析し，その直接原因と防止のための対策を立案したので報告する。

荒川化学工業株式会社は天然樹脂ロジン(松やに)を主原料とする中間素材メーカーとしては，我が国有数の企業である。しかし，粉じん爆発に関する理解が不十分であったことから，当該施設で取り扱っている物質（ロジン変性フェノール樹脂）が粉じんとなることにより，粉じん爆発をもたらす危険性があることについて認識されていなかった。製造施設における各種の危険性について洗い出し，分析・評価する制度はあり，リスクアセスメントは実施していたが，それにも関わらず粉じん爆発が発生した。事故調査の過程で，粉じん爆発に関してはリスクアセスメントの対象から漏れていたことが判明した。このことから当該設備に対するリスクアセスメントに網羅性が欠けていたことは明確である。そのため，当該製造現場における粉じん爆発の危険性に関する知識が協力会社社員を含む従業員に伝わっていなかった。荒川化学工業株式会社 富士工場 印刷インキ用樹脂製造棟では，製造技術が確立され，長年にわたり大きな事故もなく運転されてきたことから，幹部社員，現場従業員を含め，粉じんに対する安全意識が低下し，静電気や粉じん爆発に関する理解が不足していたため，危険性評価が十分できていなかった。それが今回の事故につながったと言える。荒川化学工業株式会社 富士工場あるいは本社を含む企業全体において，粉じんの危険性を認識し，製造現場における危険性の再評価が強く求められるものである。

二度と同様の事故を起こさないために，ハード・ソフト面での対策を立案しているが，本調査で明らかになった問題点，特に事故要因解析で明らかになったこと，事故に対する対策は，当該製造設備だけではなく，他社にも共通するものがある。類似のロジン誘導体製造設備は勿論，多様な製造施設を運転している業界各社において，本事故報告書から読み取ることのできる種々の要因を参考に，類似事故の防止に役立てて頂くようお願い申し上げ，本事故調査委員会報告のまとめとさせて頂く。

荒川化学工業株式会社 富士工場 印刷インキ用樹脂製造棟　爆発火災事故調査委員会
委員長　鈴木和彦

改訂履歴

No.	年月日	内　容
00	2018.11.20	作　成
01	2019.06.26	その後の調査で記載内容に一部補足事項があり，追記した。 **４．２．１　事故の詳細** **【静電気対策状況】　43 ページ** **〈補足前〉** まず協力会社の社員の服装については，荒川化学の規定による帯電防止作業服（各自で購入），静電気帯電防止靴（協力会社から支給），ヘルメット，軍手，防じんマスクを着用していた。 協力会社の社員の静電気帯電防止靴と当該製造棟の 1 階の床との絶縁抵抗を 1,000V で測定したところ，最大 $1.6\times10^{7}\Omega$ で JIS T8103 の規格（$1.0\times10^{5}\leqq R\leqq1.0\times10^{8}\Omega$）を満たしていた。当該製造棟 1 階の床については接地極との間の抵抗を測定したところ $7.5\times10^{5}\Omega$ であった（図 49）。 従って，静電気が発生しても静電気帯電防止靴から床に放電するため，人体の帯電はなかったと判断する。 **〈補足後〉** まず当該作業に従事する協力会社の社員の服装については，荒川化学の規定で，帯電防止作業服，静電気帯電防止靴，ヘルメット，軍手，防じんマスクの着用を義務づけている（図 48）。当該作業に従事していた協力会社社員に対する事故後の事情聴取では，規定を守っていた旨の説明を受けた。ただし発災時に着用していた作業着の現物は焼失等のため確認はできていない。 協力会社の社員の静電気帯電防止靴と当該製造棟の 1 階の床との絶縁抵抗を 1,000V で測定したところ，最大 $1.6\times10^{7}\Omega$ で JIS T8103 の規格（$1.0\times10^{5}\leqq R\leqq1.0\times10^{8}\Omega$）を満たしていた。当該製造棟 1 階の床については接地極との間の抵抗を測定したところ $7.5\times10^{5}\Omega$ であった（図 49）。 帯電防止作業服および静電気帯電防止靴の着用については，本委員会の委員である公益社団法人 産業安全技術協会 山隈常務理事から，以下の見解が示された。 人体の帯電は帯電防止作業服によって防止又は軽減できないものもあることから，人体の帯電防止は，衣服ではなく，靴と床の導電性による接地によって確保するものであることが静電気専門家の共通認識である。 事故当時、被災した作業者は帯電防止靴を履いていたことが確認されており、作業床は、一般に十分な導電性を有するコンクリート製であることから，作業者の身体は接地状態にあったと考えられる。 したがって，作業者の着衣が帯電防止品でなかったとしても，身体には静電気が蓄積することはほとんどなく，その皮膚から火花放電のような着火性放電が生じた可能性は極めて低い。 以上の見解から，静電気が発生しても静電気帯電防止靴から床に放電するため，人体の帯電はなかったと判断する。

No.	年月日	内　容
		４．２．２　事故原因の絞り込み **【季節要因について】　58 ページ** **〈補足前〉** 事故があった 2017 年 12 月 1 日 9 時の気象条件（温度 13.5℃　湿度　56.4%）であればより帯電しやすかった可能性がある。 **〈補足後〉** 事故があった 2017 年 12 月 1 日 9 時の気象条件（温度 13.5℃　湿度　56.4%）であればより帯電しやすかった可能性はあるが，実験結果からは顕著な差は認められず，湿度が低いことによって着火性の放電が発生するほどの電荷密度に達するとは言い切れない。 **４．２．２　事故原因の絞り込み** **【過去事例について】　61 ページ** **〈補足前〉** また，協力会社の社員の証言から，現場近くに設置されたミスト噴霧器は 2017 年 7 月頃から故障しており事故当日には使用されていなかったが，包装作業前には湿度 60%以上を確認してから作業を開始することになっていたため，作業時には湿度 60%以上が確保されていたと考えられる。 **〈補足後〉** また，協力会社の社員の証言から，現場近くに設置されたミスト噴霧器は 2017 年 7 月頃から故障しており事故当日には使用されていなかった。 包装前に湿度 60%以上を確認してから作業を開始することになっていたが，その記録は焼失しており，日常の作業時の湿度が管理できていたか不明である。 当日の包装作業場の湿度の記録はないが，事故当日の朝の富士市消防本部消防防災庁舎の観測データは，事故概要に示すように相対湿度 81.0%（8 時），56.4%（9 時）であった。このことから，包装作業場の湿度は 60%近くあったと考えられる。 一方，本委員会の委員である公益社団法人 産業安全技術協会 山隈常務理事からは，ロジン変性フェノール樹脂の帯電と湿度との関係について以下の見解が示された。 図 62 に示したように，ロジン変性フェノール樹脂の帯電量は湿度の影響を受けにくいことが確認されている。また，一般に，大気中の水分が物体の表面に吸着されると，その物体の表面の電気抵抗が低下して静電気が流れやすくなるが，当該樹脂については，測定によって，その電気抵抗は測定環境の湿度によらずほぼ一定であることが確認されており，これは吸湿性が極めて低いことを意味する。このように，当該樹脂の帯電性は作業環境の湿度の影響を受けにくいものであることから，事故時の湿度の値は本件事故原因に影響を与えるものとは考えにくい。