

高圧ガス事故概要報告

整理番号 -	事故名称 高純度多結晶シリコン製造施設における熱交換器チャンネルカバーの開放作業中の爆発火災			
事故発生日時 2014-1-9 14時05分頃		事故発生場所 三重県四日市市	事故発生現象 爆発	原因
施設名称 高純度多結晶シリコン製造施設 第6水素精製設備	機器名 水冷熱交換器 (BH-HE-611)	主な材料 SUS304(胴、チャンネルカバー), SUS316L TB-S(伝熱管), SUS316L(管板)		概略の寸法等 本体: Do912mm × L5996mm 伝熱管: Do34mm × L4000mm × 293本
内容物 管側: 非高圧ガス(プロセスガス: H ₂ , HCl, SiCl ₄ , トリクロロシラン等) 胴側: 水		高圧ガス製造能力 非高圧ガス設備	常用圧力 管側: 0.08MPa	常用温度 管側: 40℃~70℃
被害状況 工場における多結晶シリコンの製造経験は40年以上であった。事故が発生した水冷熱交換器(当該熱交換器は新設後約8年経過。第6水素精製設備には、予備を含め3つの水冷熱交換器が設置されている(図3参照)。以下「熱交換器」というのは初めての開放洗浄を行うため、水素精製設備から切り離され、熱交換器内部に堆積したクロロシランポリマー類を加水分解するため、ドライ窒素ブロー、加湿窒素ブローなどを実施した。 平成26年1月9日、熱交換器の下部チャンネルカバーを開放洗浄した後、上部チャンネルカバーを開放したところ、爆発、火災が発生した。 この事故で、死者5名(協力会社2名)、重症1名、中等症2名、軽症10名(協力会社3名)、合計18名が死傷し、熱交換器および周辺設備が破損した。				
事故概要 平成25年11月26日 熱交換器(図4参照)を使用停止し、熱交換器内の冷却水を抜き、プロセスガスを除去するための窒素によるガス置換を実施 平成25年11月27日 熱交換器を製造ラインから切り離し、所定の仮置き場に置く。 平成25年11月28日、29日および12月2日 熱交換器内部に残留するクロロシラン類、塩化水素、水素を排出するため、管側にドライ窒素を流す。 平成25年12月3日から27日(休日を除く20日間) 9時頃から17時頃まで、熱交換器内部に残留するクロロシランポリマー類の表面を加水分解し、開放時および洗浄時の塩化水素、水素の発生を抑制するため、管側に加湿窒素(0.8vol%程度の水分が含まれた窒素)を流す。 平成26年1月6日から8日 加水分解反応で生じた熱交換器内部の塩化水素および水素を排出するため、管側にドライ窒素を流す。 平成26年1月9日 7:30頃 熱交換器の管側にドライ窒素を充てんしバルブを閉止 9:00頃 熱交換器を洗い場へ移動し、固着ボルトによる作業遅延の未然防止のため、上部および下部チャンネルカバーフランジのボルトを交換 9:30頃 上部および下部チャンネルカバーの両方向からドライ窒素ブローを実施 11:00頃 ドライ窒素ブローを実施しながら、下部チャンネルカバーのガス出口L字管を				

<p>取り外しビニール製シートで本体側 L 字管開放部を覆った(図 5①参照)。</p>	
11:30 頃～12:40 頃	<p>ドライ窒素ブローを実施しながら、クレーン車で吊った状態で下部チャンネルカバーの開放を行い(図 5②参照)、常圧水および高圧水で洗浄</p>
13:40 頃	<p>本体側は開放部をビニール製シートで覆いドライ窒素ブローを実施しながら、上部チャンネルカバーのガス入口バルブを取り外した(図 6③参照)。</p>
14:00 頃	<p>クレーン車で吊った状態で上部チャンネルカバーの開放を開始(図 6④参照)</p>
14:05 頃	<p>ドライ窒素ブローを実施しながら、上部チャンネルカバーを開放したところ、数秒後に熱交換器内で爆発火災が発生し、上部チャンネルカバーの飛翔衝突、爆発時の爆風、火球、火炎および熱風などにより 18 名が死傷し、熱交換器および周辺施設が破損した。</p>
14:07	<p>119 番通報、爆発および負傷者の連絡</p>
14:08	<p>119 番通報、救急車の要請</p>
14:10	<p>119 番通報、負傷者確認および火災が収まった旨の連絡</p>
14:19	<p>近隣自治会への連絡</p>
14:21 頃	<p>火災鎮火</p>
<p>事故原因 (直接原因)</p>	
<p>① クロロシランポリマー類の低温での加水分解により、爆発威力が大きく爆発感度が高い物質が生成された。</p>	
<p>② クロロシランポリマー類の加水分解生成物が、乾燥状態で爆発威力および爆発感度が増し、熱交換器チャンネルカバー開放時に何らかの衝撃が発火源となり爆発に至った。</p>	
<p>③ こうしたクロロシランポリマー類の加水分解生成物の発火、爆発危険性や、その生成過程およびクロロシランポリマー類の適正な加湿処理条件について、十分、かつ、正確な公知の化学的情報がなかったこともあり、適切な安全対策について十分検討することができなかった。</p>	
<p>(人的被害の原因)</p>	
<p>④ 複数の作業者が混在していたことに加え、作業の見学、実習を目的とした非作業者が当該熱交換器の周囲に多数存在していたことが被害規模を拡大させた。</p>	
<p>再発防止対策 熱交換器の整備作業における発災に対する再発防止対策の検討</p>	
<p>① クロロシランポリマー類の量を計算し、加水分解処理時間や発生ガス量を算定。不活性ガス封入による安全な状態で整備場へ搬送し据え置き、必要な配管等の接続を行う。</p>	
<p>② 熱交換器内を満水状態にししながら加水分解を進める。満水後の加水分解時の水温は約 40℃に保ち、適切なデータを計測、監視し、pH と水素濃度から加水分解の終了点を判断する。</p>	
<p>③ チャンネルカバーの開放は遠隔操作により行う。</p>	
<p>④ 熱交換器内のクロロシランポリマー類の加水分解生成物を高圧水で洗い出し、湿潤状態のまま排水ピットに排出する。</p>	
<p>安全管理の強化</p>	
<p>① FTA 解析で洗い出したすべてのハザード要因について、具体的な実施項目、実施時期および進捗状況を記載したチェックリストを作成し、適切な対策が講じられていることを確認する。</p>	
<p>② 物質に関する新たな知見が得られた場合や設備に変更があった場合にはリスクア</p>	

セメントを実施し、作業の安全性が確保できるよう反映する。また、これらのリスクアセスメントは協力会社とも連携して行う。

- ③ 過去の災害やヒヤリハット等の事例を解析し、原因物資であるクロシランポリマー類を取り扱う工程を抽出する。今回調査により得られた新たな知見を基にリスクアセスメントを再度実施し、そのリスク低減策を今後とも継続的に実施していく。

安全衛生マニュアル体系、作業標準類の改善

作業者の安全を確保するための措置として、危険作業時等における立ち入り禁止措置や作業者の立ち位置の設定等を安全管理者の職務として明確化する。

教訓

- ① 化学物質は、性状、反応性などに関する公知の化学的情報がない場合が多い。しかし、種々の化学反応が引き起こす事象については、自事業所あるいは他事業所の製造プロセスなどにおいて実際に経験している場合が多いので、これらの経験をハザードの特定に活用することが必要である。
- ② 原材料、最終生成物も含め、中間生成物、副生成物などの取り扱っている化学物質についてリスクアセスメントを行い、運転管理、保安管理、設備管理でリスクを軽減することが重要である。
- ③ 危険作業時における作業者の安全確保のため、作業者の人数、配置についても安全配慮が必要である。

備考

事業所の事故調査委員会

発災事業所において、有識者による7回の事故調査委員会が開催され、事故調査報告書がとりまとめられた。その後も、事故対策のフォローアップとして、平成26年12月25日に第1回のフォローアップが行われ、今後も実施される予定である。

参考文献

三菱マテリアル株式会社四日市工場 高純度多結晶シリコン製造施設 爆発火災事故調査報告書、2014年6月12日、三菱マテリアル株式会社四日市工場 事故調査委員会

関係図面(特記以外は事業所提供)

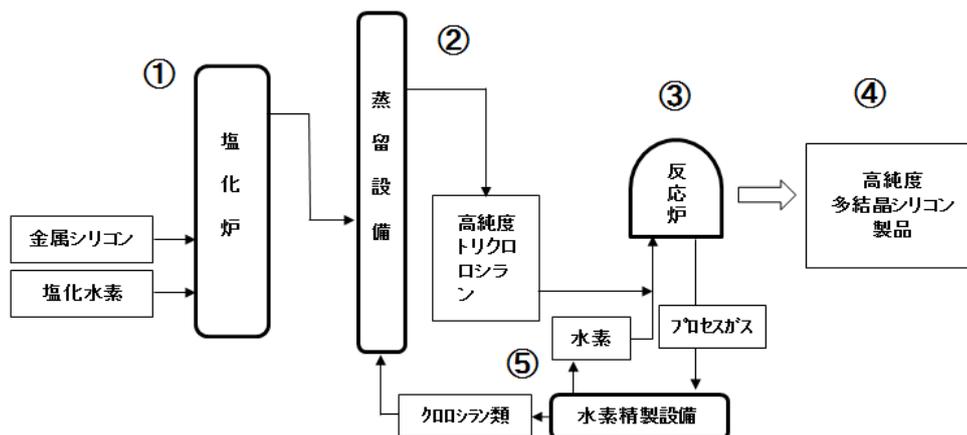
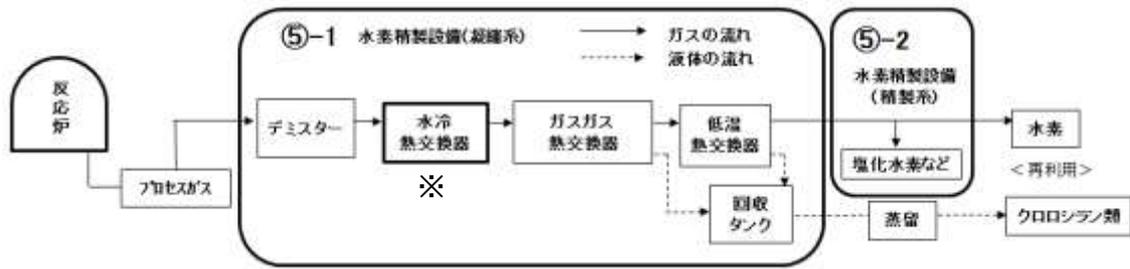
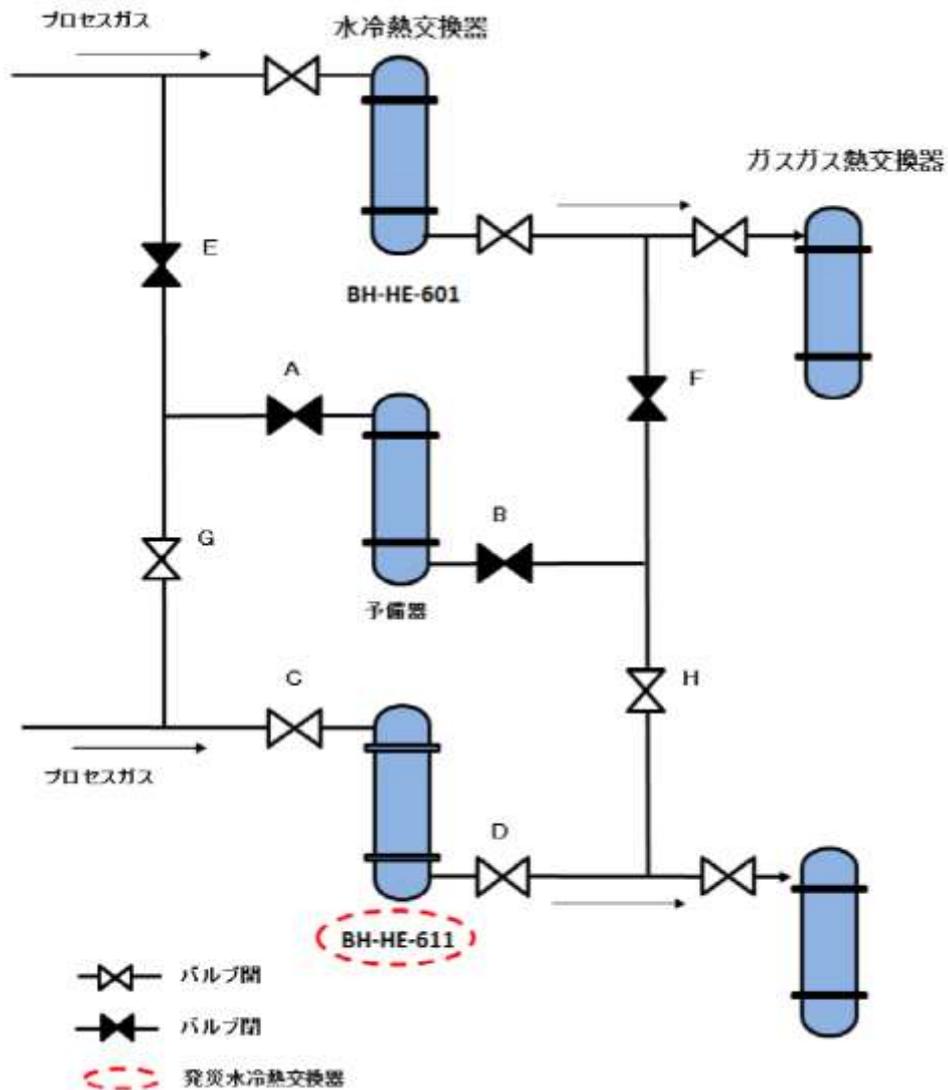


図1 高純度多結晶シリコン製造工程概略図



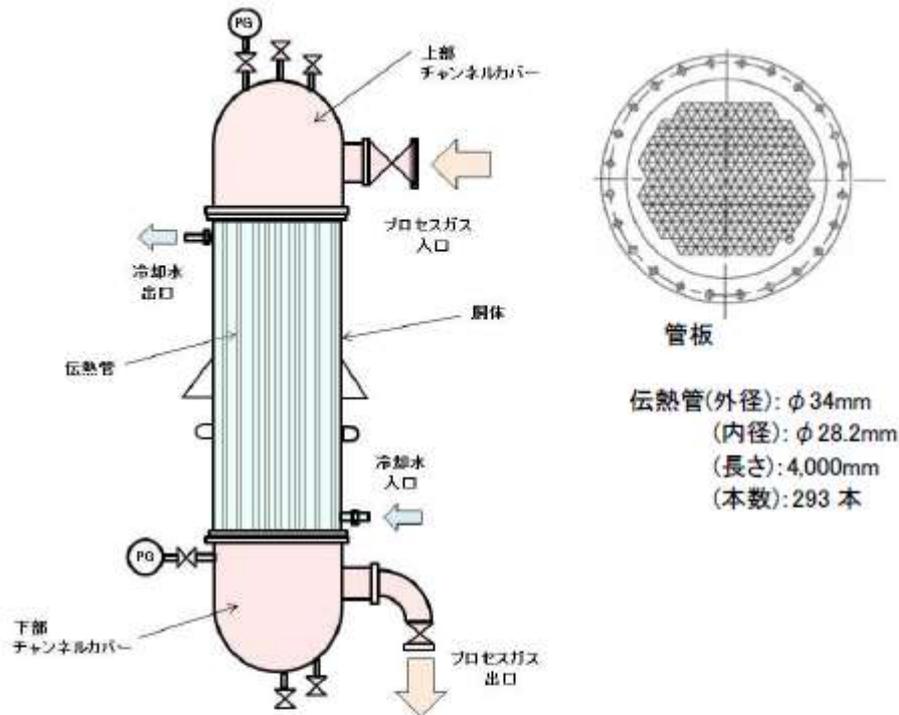
※発災した熱交換器

図2 水素精製工程凝縮系を主体とした水素精製工程概略図
【一部加筆】



発災した熱交換器(BE-HE-611)は、稼働時に使用していた2系統の内の1系統であり、洗浄整備の準備として、予備器の系に切り替え、プロセスガスの排出処理を行った後、製造ラインから完全に取り外した。

図3 水冷熱交換器の系統(稼働時)
【一部加筆】



名称/機器番号	形式	伝熱面積	重量
6B水冷熱交	円筒縦型	101m ²	(空)4800kg
BH-HE-611	多管式	(内径基準)	(運転)6300kg

外形寸法	材質			
	胴	チャンネルカバー	伝熱管	管板
φ912×L5996mm (ノズル含まず)	SUS304	SUS304	SUS316L TB-S	SUS316L

図 4 水冷熱交換器の構造の概略図および仕様

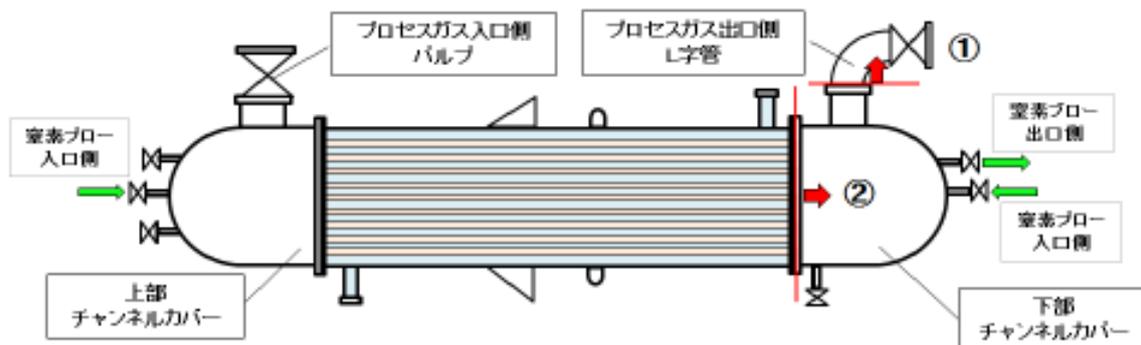


図 5 水冷熱交換器開放時の概略図
 (下部チャンネルカバー開放時)

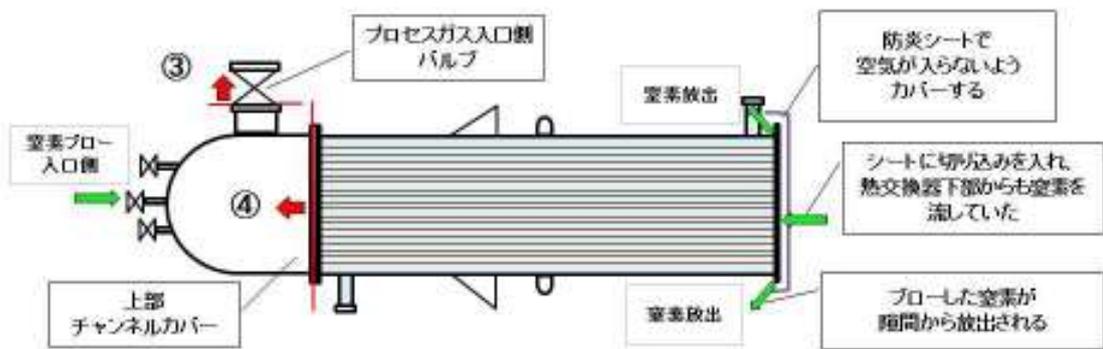


図 6 水冷熱交換器開放時の概略図
(上部チャンネルカバー開放時)



図 7 発災後の水冷熱交換器の状況

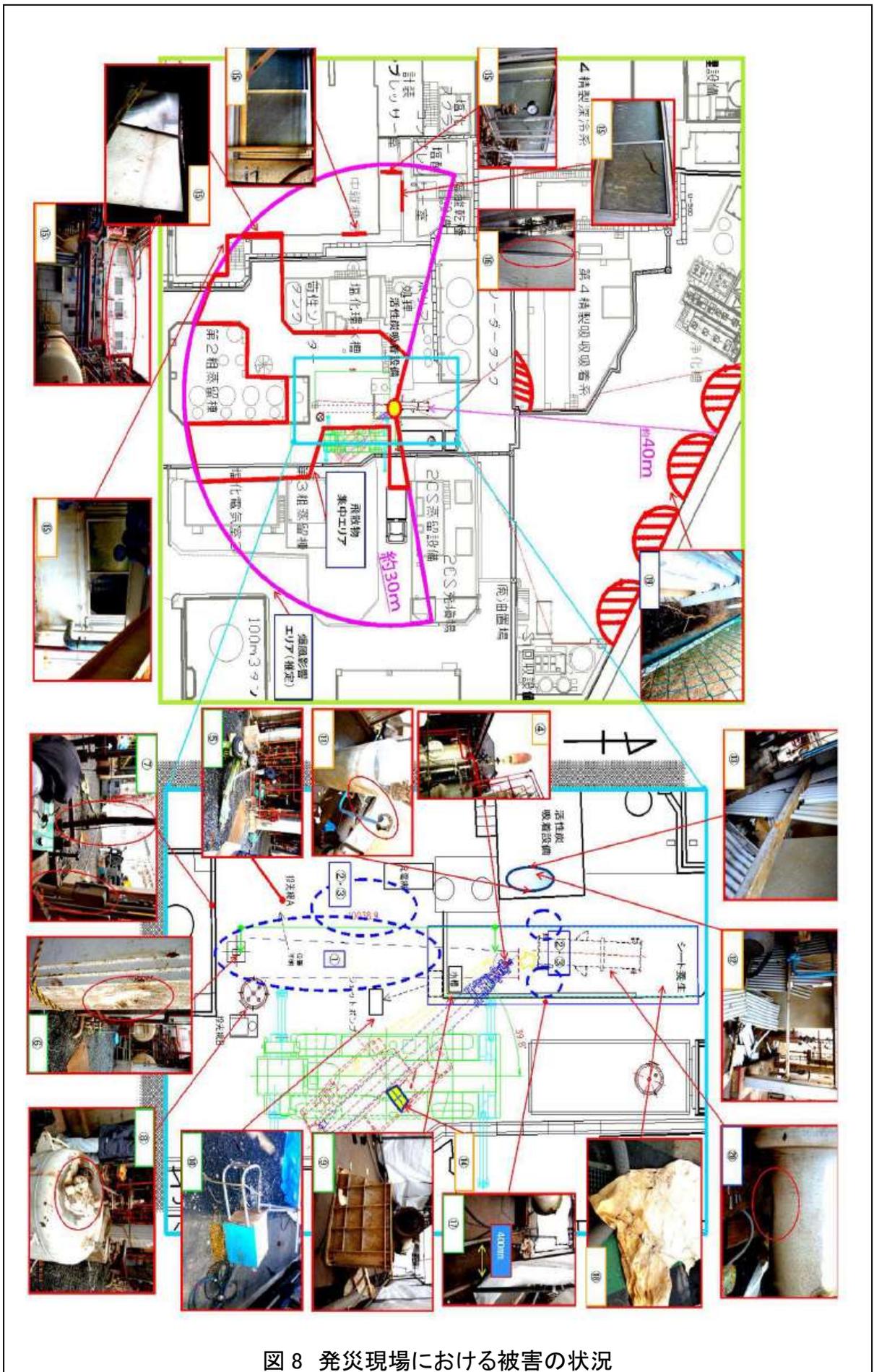


図 8 発災現場における被害の状況