

化学工学基礎

第1回

ガイダンス, 化学工学とは

化学工学とは

- 化学工学を体系的に学ぶ
 - 移動現象・反応工学・分離工学・粉体工学・プロセス制御
- ↓
- 化学プラント
 - 設計・運転・保守

化学プラントでは、化学工学技術者（ケミカルエンジニア）の他に機械，電機，制御系の技術者も働いているが，

プラントの全責任を負うのはケミカルエンジニア

化学工学卒業生の仕事

NO.
112

プラントオペレーター

プラントオペレータの
メインの仕事場は「計器室」
24時間、監視

菊池さんのお話
(real player が必要です。)

計器等でも作業着
万が一の場合は
空気呼吸器を背負い
緊急出動する



アラームが鳴ると
モニター画面上部が
点滅する



DSCと呼ばれるモニター画面
プラント内の圧力や温度は
ここでチェック！

このボタンを押すと
コンマ1℃
コンマ1気圧単位で
プラント内を調節できる

製品は、目に見えないパイプやタンクの中。
五感をフルに使って今日も 安全、ヨシ！

あしたをつかめ平成若者仕事図鑑
©NHK

「2番のバルブを閉めろ！」

化学プラントと安全



環境と安全

- 環境に配慮しないと...じわじわと影響が現れて、元に戻るのに多大な時間とコストがかかる
- 安全を疎(おろそ)かにしていると...突然現れて、人命にかかわる事態が発生する

相次ぐプラント事故

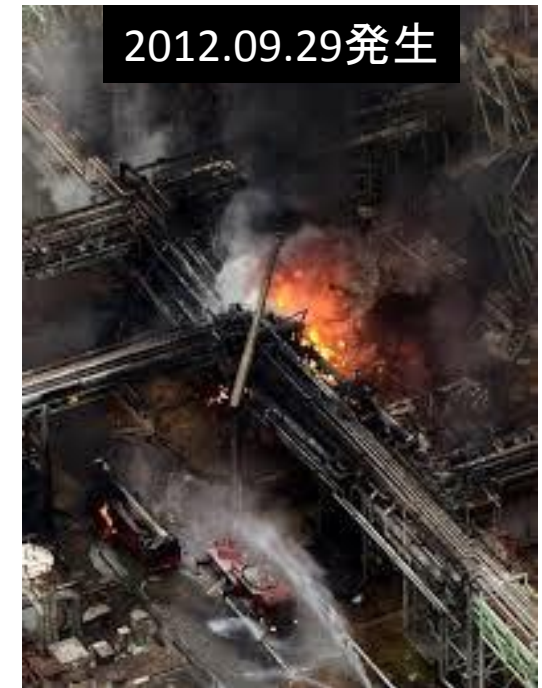
- 2007年問題 熟練のプラントエンジニアが大量退職
- 現場力の低下
- 設備投資の不足



山口県東ソー(1名死亡)



山口県三井化学(1人死亡)

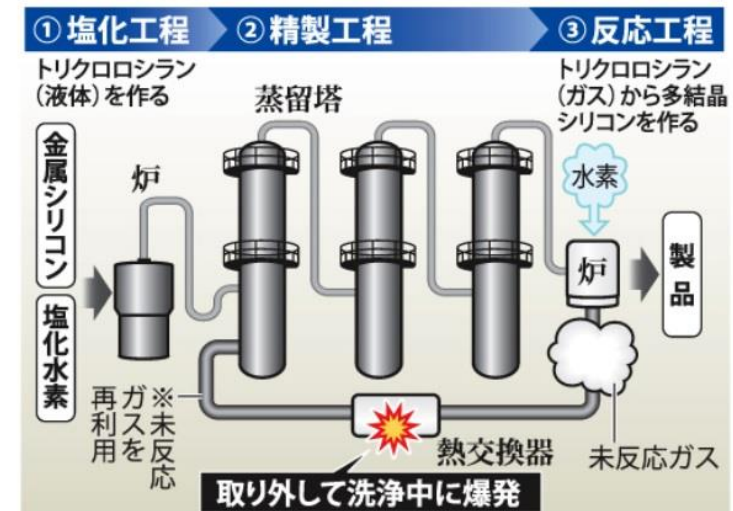


兵庫県日本触媒(1人死亡)⁷

三菱マテリアル5人死亡



多結晶シリコンの製造工程概念図



1枚目/1枚中

多結晶シリコンの製造工程概念図

2014.01.09発生

プラント事故の全責任を負うケミカルエンジニア

化学プラントがどうなっているかは、化学工学を知っている



ケミカルエンジニアしかわからない

ケーススタディー

東ソー爆発事故

東ソー塩ビモノマー製造施設

2011.11.13発生



山口県東ソー(1名死亡)

- 事故概要
3:39 第二塩ビモノマー製造施設の緊急放出弁の故障を発端として、
5:57 プラントを緊急停止した。その後の移液作業中に、HCL(塩化水素)、VCM(塩化ビニルモノマー)が漏洩し、
15:24 塩酸塔還流槽が破裂、爆発し、プラントが大規模火災となり、隣接事業所が損壊し、約24時間後に鎮火
- 事故原因
緊急停止に伴い、塩酸塔の運転温度分布が変動し、塩酸塔の塔頂温度が上昇した。このため、塩酸塔還流槽にHClに加えてVCMが混入し、槽壁の鉄錆とHClの反応で FeCl_3 (塩化鉄(Ⅲ))が生成し、さらに FeCl_3 を触媒として、1,1EDCの生成反応が進行して、反応暴走が起こり、圧力が急激に増大して、塩酸塔還流槽が破裂、着火、爆発に至った。

プラントフロー図

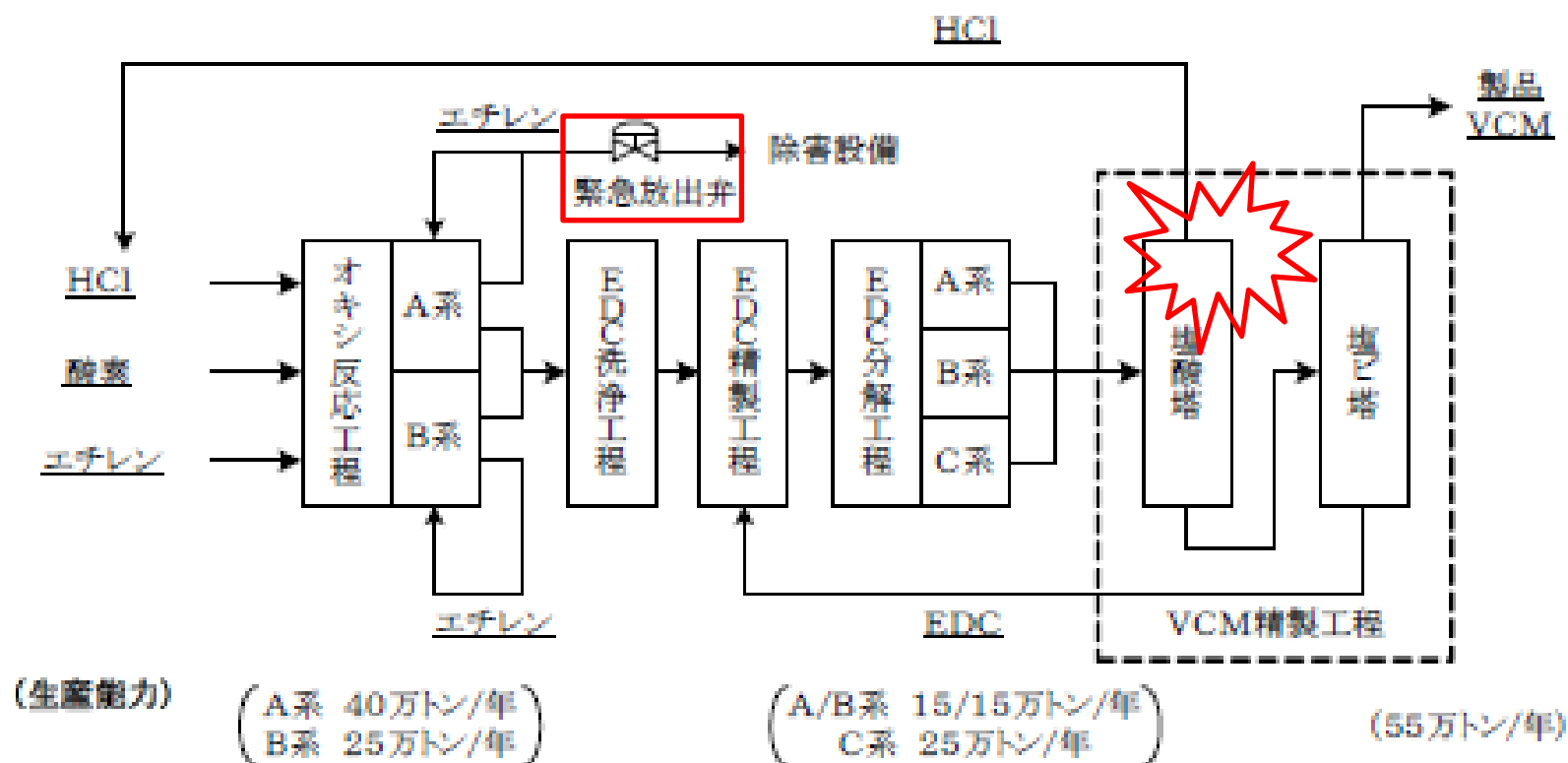


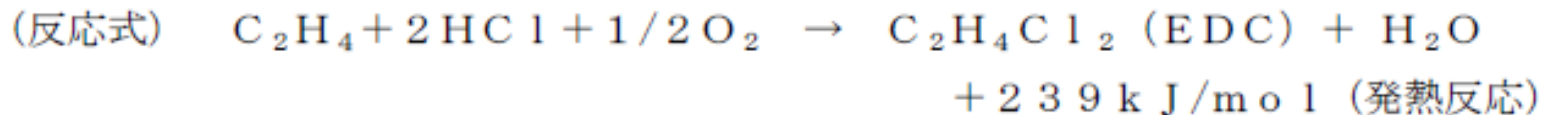
図-3 第二塩化ビニルモノマー製造施設 ブロックフロー

EDC: 1,1-二塩化エタン

オキシ反応工程

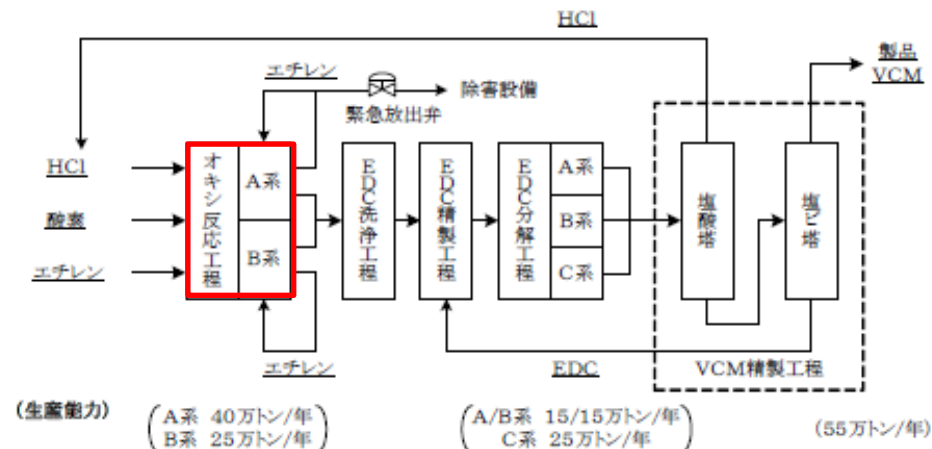
【①オキシ反応工程（A／B系）】（オキシA／B系）

オキシ反応工程では、エチレン（ C_2H_4 ）、HCl、酸素（ O_2 ）を原料とした気相のオキシクロリネーション反応により、1，2－二塩化エタン（EDC） および水（ H_2O ）が生成される。

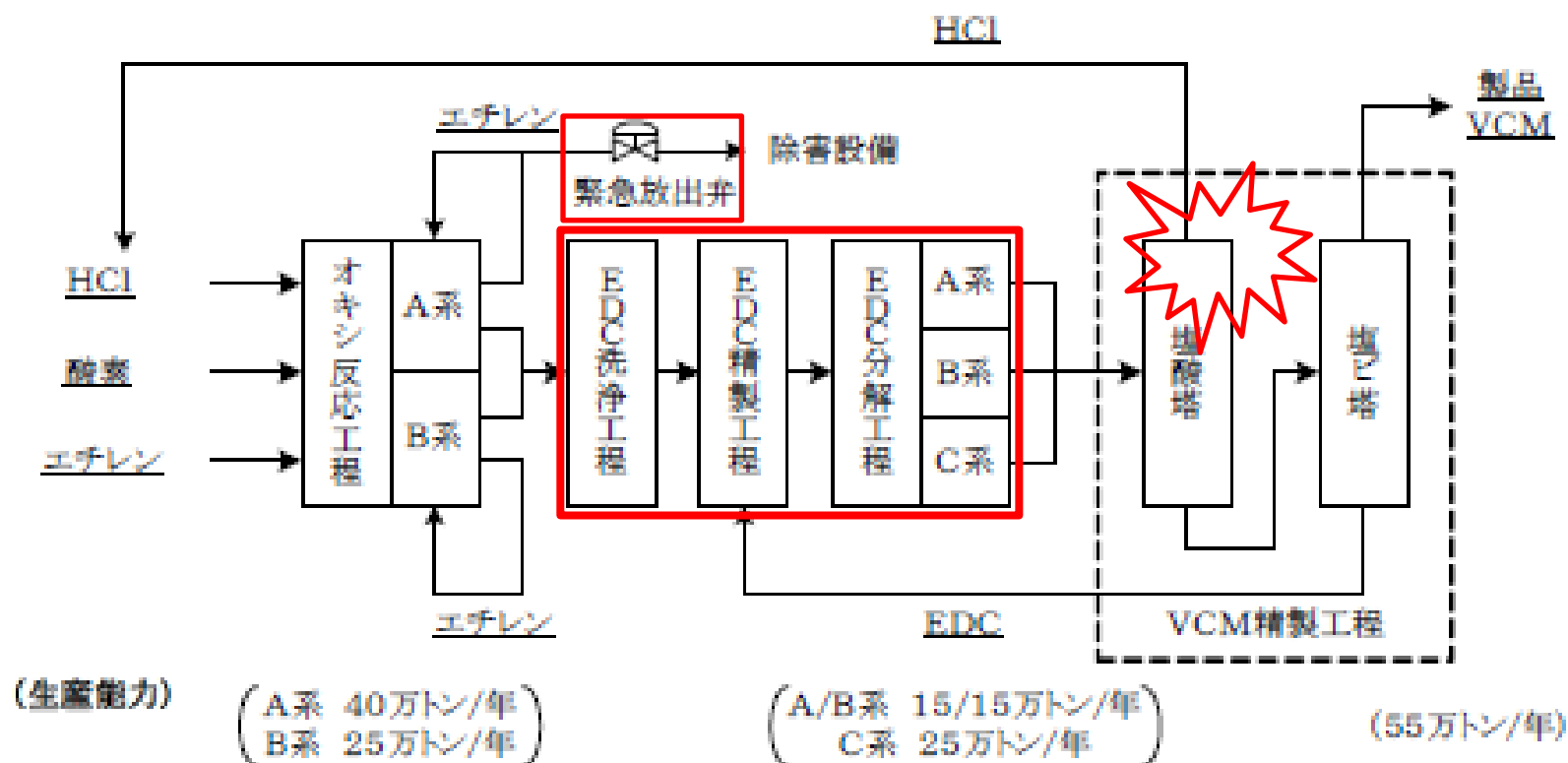


反応温度制御を容易にし、かつ酸素濃度を爆発限界以下に保持するために、エチレンはHClや酸素に比して大過剰に使用され、未反応のエチレンは系内を循環されている。

エチレンリサイクルラインには、停電時に系内の圧力を落とすことを目的として、緊急放出弁が設置されている。



プラントフロー図



図ー 3 第二塩化ビニルモノマー製造施設 ブロックフロー

EDC: 1,1-二塩化エタン

EDC洗浄・精製・分解工程

【②EDC洗浄工程】

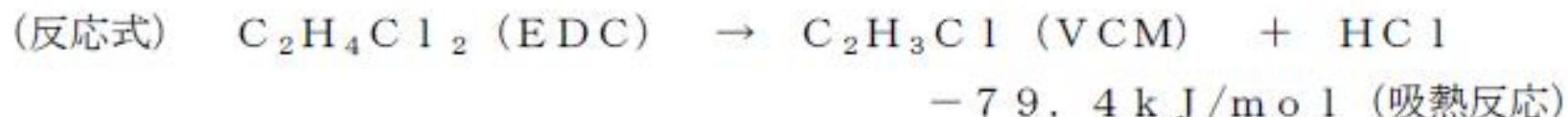
オキシ反応工程で生成されたEDCは、南陽事業所内の別の製造設備においてエチレンと塩素（ Cl_2 ）より合成された直接塩素化EDCと混和、中和洗浄され、粗EDCとしてEDC精製工程に導入される。

【③EDC精製工程】

粗EDCは、EDC精製工程において、水およびオキシ反応工程にて副生した微量のライト分やヘビー分が蒸留分離されて精製EDCとなり、EDC分解工程へ供給される。

【④EDC分解工程（A／B／C系）】（分解炉A／B／C系）

精製EDCは、EDC分解工程でVCMとHClに熱分解される。



生成したVCM、HCl及び未反応のEDCから構成される混合物は冷却され、塩酸塔へ供給される。

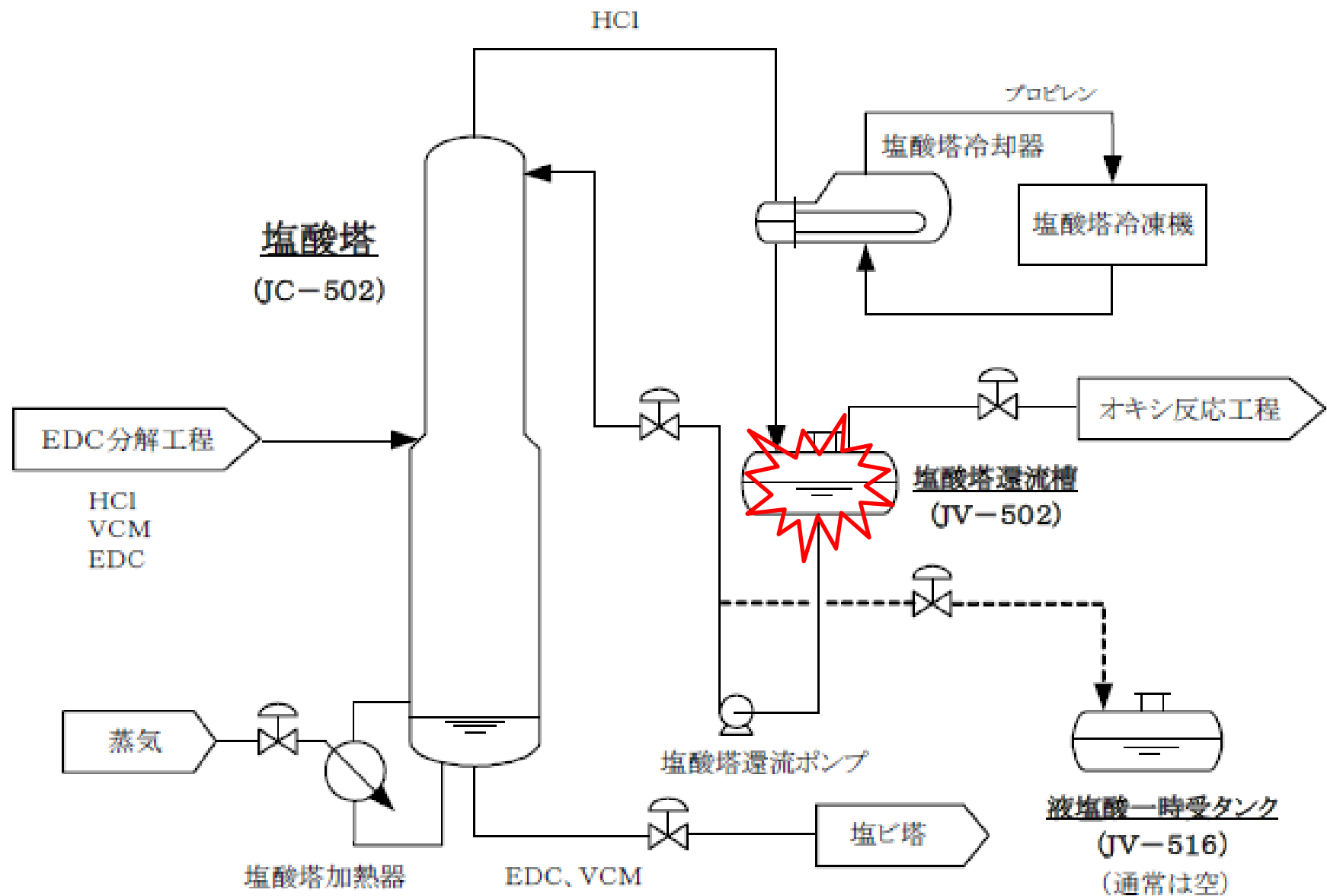
VCM精製工程：塩酸塔

【⑤VCM精製工程】

a) 塩酸塔（JC-502）

塩酸塔では蒸留操作により、EDC分解工程より供給されたVCM、HCl、EDCの混合物の中からHClが蒸留分離される。塩酸塔は50段の棚段塔（塔底側から1段、塔頂が50段）で、塔頂圧力1.2MPaG、塔頂温度-24℃、18段温度80℃、塔底温度100～110℃で運転管理される。

塔下部にある塩酸塔加熱器において、蒸気により加熱され、塔頂からはHClガスが留出し、塩酸塔冷却器で冷却され、一部が凝縮（分縮）される。凝縮されたHCl液は塩酸塔還流槽に溜められ、塩酸塔還流ポンプで塔頂に還流として循環される。HClガスは、オキシ反応工程へ送られて原料として使用される。塔底のEDC、VCM混合液は塩ビ塔へ送液される。



図－４ VCM精製工程 塩酸塔まわりのフローシート

VCM精製工程：塩ビ塔・タンク

b) 塩ビ塔（JC-503）

塩ビ塔では、塩酸塔塔底より供給されたVCMおよびEDCを含む液を蒸留分離し、塩ビ塔塔頂よりVCM、塔底よりEDCが留出される。塩ビ塔塔頂より蒸留分離されたVCMは、製品として出荷設備へ送液される。塩ビ塔の塔底から抜き出されたEDCは、EDC精製工程へリサイクルされる。

c) 液塩酸一時受タンク（JV-516）

液塩酸一時受タンクは、塩酸塔還流槽の還流液を一時的に保管するタンクで、通常は長期停止時の一時受け入れ先として使用される。その他、緊急停止時の一時受け入れ先としても使用される。

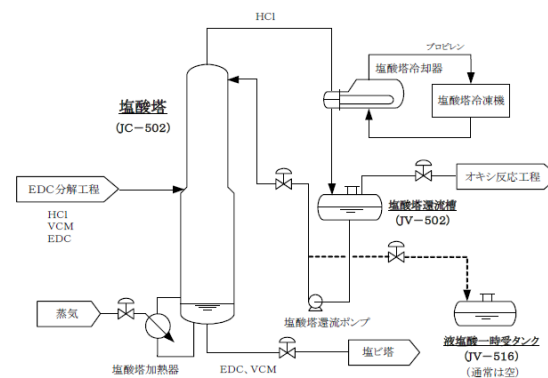


図-4 VCM精製工程 塩酸塔まわりのフローシート

取扱い物質

		塩化ビニルモノマー (VCM)	エチレン	酸素	塩化水素	二塩化エタン (EDC) (1,2-EDC)	プロピレン	1,1-EDC
化学式	-	C_2H_3Cl	C_2H_4	O_2	HCl	$Cl-CH_2CH_2-Cl$	C_3H_6	CH_3CHCl_2
分子量	g/mol	62.5	28.05	32	36.47	98.97	42.1	98.97
密度/比重	-	比重: 0.971 ($-20^{\circ}C$)	蒸気密度比: 0.98 (空気=1)	蒸気密度比: 1.105 (空気=1)	蒸気密度比: 1.30 (空気=1)	密度: 1.253 (g/cm^3) ($20^{\circ}C$)	蒸気密度比: 1.45 (空気=1)	比重: 1.175 ($20^{\circ}C$)
沸点	$^{\circ}C$	-13.8	-104	-183	-84.8	83.5	-47	57.3
融点	$^{\circ}C$	-153.8	-169	-218.8	-114.2	-35.5	-185.25	-96.9
引火点	$^{\circ}C$	-78 (可燃性ガス)	可燃性ガス	(支燃性)	不燃性	13	-107.7 (可燃性ガス)	-17
発火点	$^{\circ}C$	472	425	(支燃性)	不燃性	413	455	458
爆発限界 (空気中)	-	3.6~33vol%	2.7~34.0wt%	(支燃性)	不燃性	6.2~15.9vol%	2.0~11.1vol%	5.6~11.4vol%
許容濃度	ppm	1 (TWA)	200 (TWA)	-	2 (Ceiling limit)	10 (TWA)	500 (TWA)	100 (TWA)
腐食性	-	無	無	水と共存化で金属 の腐食を促進	有	無	無	無
備考	-	製品	原料	原料	原料	原料	冷媒	(副生物)

Phase I 発端事情

1) Phase I 【発端事象】 (3:39～3:52)

オキシ反応工程A系（オキシA系）の緊急放出弁の故障に端を発してオキシA系が停止。

3:39 オキシA系で除害設備行き緊急放出弁（HV110A）（通常 閉、緊急停止時 開）が故障し、オキシA系が稼働しているのに突如 **開** 状態に。

3:52 インターロックが作動してオキシA系が停止。

*オキシ反応：



Phase II 進展事象

2) Phase 2 [進展事象] (3 : 5 3 ~ 5 : 5 6)

プラント全体の約 6 割に相当する大幅なロードダウンを行った際、VCM精製工程の塩酸塔の塔頂温度を適正に管理出来なかったため、塔頂組成が異常となりHC1中にVCMが混入。

3 : 5 3 稼働しているオキシ反応工程B系（オキシB系）で生成するEDC量に合わせるため、分解炉A／B系を停止。 分解炉C系は稼働。

これにより、オキシ反応工程、EDC分解工程の設備の運転負荷は100%から45%まで低下。

* EDC分解反応 :



Phase II 進展事象

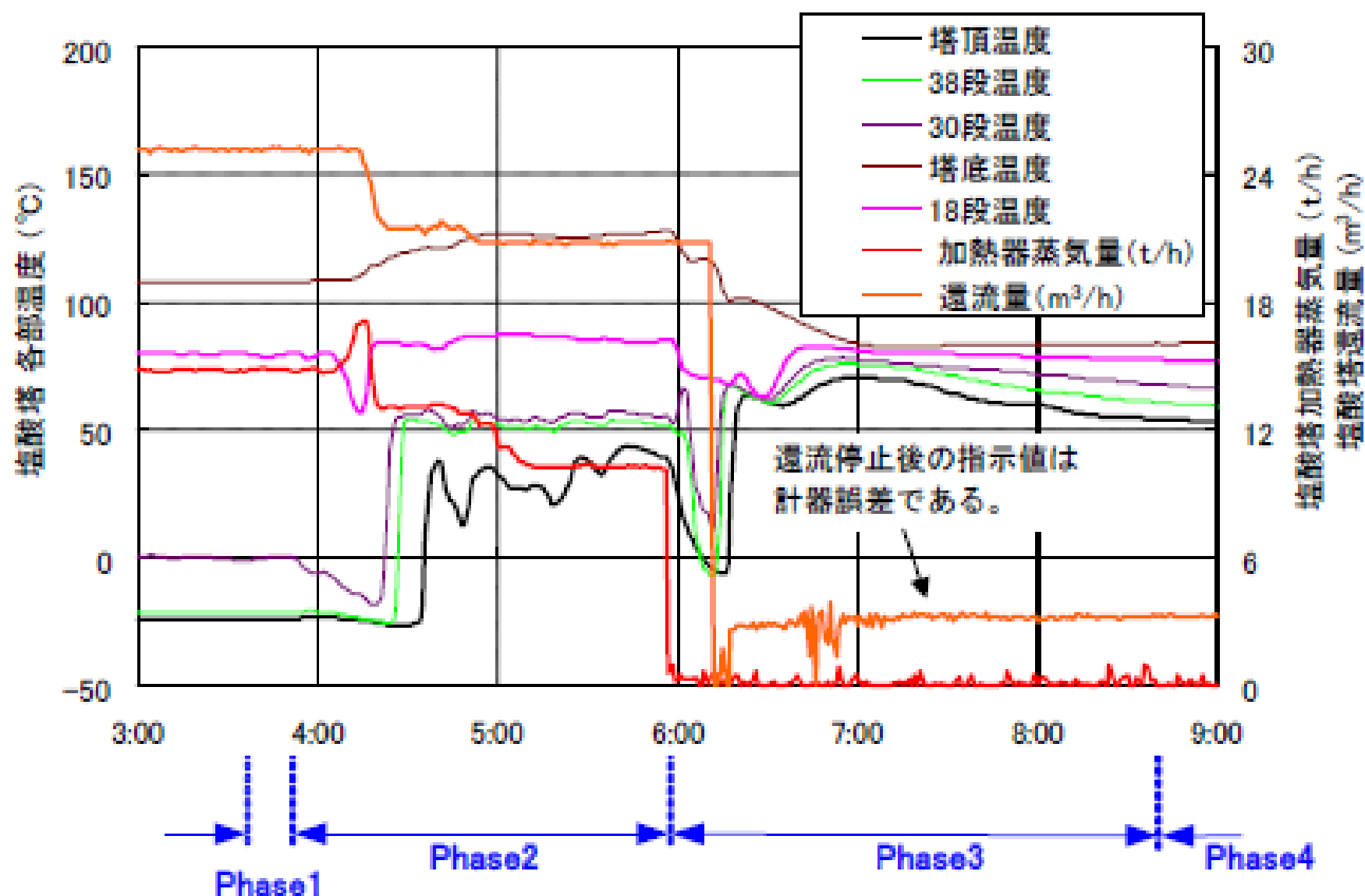
4 : 1 0 頃 分解炉 A / B 系を緊急停止したため、H C l 及び V C M 生成量、未反応の E D C 量が大幅に低下。

これらが供給される塩酸塔の状況が変化し、通常運転では重要とされる塩酸塔中段（1 8 段）の温度が低下。（通常 8 0 ℃ → 5 7 ℃）

1 8 段の温度を 8 0 ℃ に回復させるために、塩酸塔の加熱器蒸気量を増加、還流量を低減。塩酸塔の D C S データを図 - 6 に示す。

（塔頂、塔底の温度も制御すべきことを意識せず。）

4 : 4 0 塩酸塔の調整により、通常 - 2 . 4 ℃ であるべき塩酸塔塔頂（5 0 段）の温度が上昇（3 8 ℃）し、塩酸塔上部、および塩酸塔還流槽に、H C l に加え V C M が混入。（H C l : V C M = 4 0 : 6 0 w t %）



図－6 塩酸塔 各部温度、蒸気量、還流量のDCSデータ

Phase 3 [確定事象]

3) Phase 3 [確定事象] (5 : 57 ~ 8 : 40)

Phase 2 の挙動を要因とし、プラント全工程を緊急停止させた。その後の対応で HC 1 と VCM で通常状態の液面より上昇した塩酸塔還流槽を通常の塩酸塔停止基準に従い、塩酸塔から切り離し。

5 : 57 塩酸塔還流槽に VCM が混入したことにより、オキシ B 系へ供給していた HC 1 中にも VCM が混入。オキシ B 系内の酸素濃度が上昇したため、オキシ B 系を含む製造施設を全停止。

(塩ビ製造部管理職は、塩酸塔還流槽に VCM が混入した可能性を認識したが、1, 1-EDC 生成反応の危険性を想定せず塩酸塔管理基準に基づく停止操作を決定。)

以下、塩酸塔の停止基準に則り操作。

6 : 20 塩酸塔還流ポンプを停止。

8 : 40 塩酸塔冷凍機を停止、HC 1 と VCM で液面が通常状態より上昇した塩酸塔還流槽を塩酸塔と縁切り。(封止)

Phase 4 [終末事象]

4) Phase 4 [終末事象] (8:41~15:24)

その後、塩酸塔還流槽内、および液塩酸一時受タンク内に溜まったHCl、VCMの混合液は触媒となる鉄錆等の存在下で長時間保持され、発熱反応である1, 1-E DCの生成反応が徐々に進行していた。しかし運転関係者はこれに気付かず、また、反応による槽内温度の上昇によりある時点から急激に反応が進行し、内部圧力が異常上昇した。その結果、液塩酸一時受タンクからの可燃物等漏洩、塩酸塔還流槽の破裂と爆発、火災につながった。

- 11:39 塩酸塔還流槽から、液塩酸一時受タンクへの内容液を移液開始。
(この後、塩酸塔還流槽の温度、圧力が少しずつ上昇しているが、製造部員は気が付かず。)
- 15:00頃 液塩酸一時受タンクの圧力上昇を認知し、圧力除去作業を実施。
- 15:15頃 圧力除去作業等を実施中に、液塩酸一時受タンク上部から異音とともに白煙噴出を確認。
- 15:23 塩酸塔還流槽の圧力が2.0MPaG以上に上昇。
(設計圧力: 1.9MPaG)
- 15:24 塩酸塔還流槽が破裂、爆発、炎上。

Phase 1 → Phase 2

Phase 1

3:39~3:52

オキシA系の
緊急放出弁の故障

オキシA系の
インターロック停止

Phase 2

3:53~5:56

分解炉A/B系の緊急停止に
伴う塩酸塔緊急ロードダウン

塩酸塔緊急ロードダウン操作時の
調整不足（塩酸塔塔頂温度上昇）

AND

塩酸塔塔頂におけるガスの組成異常
(塩酸塔塔頂、塩酸塔還流槽のHC 1へのVCM混入)

塩酸塔塔頂におけるガスの組成異常
(塩酸塔塔頂、塩酸塔還流槽のHClへのVCM混入)

Phase 3

5:57~8:40

オキシシス系の原料組成異常
により緊急停止

プラント全停止

塩酸塔還流の停止と還流槽の
縁切り（封止）操作実施

塩酸塔還流槽の
組成異常

Phase 4-1

8:41~15:24

塩酸塔還流槽の温度・圧力上昇

塩酸塔還流槽の破損による
可燃物漏洩・着火（爆発）

塩酸塔還流槽周辺設備の破損
による可燃物漏洩・着火

Phase 4-2

液塩酸一時受タンク
への移液実施

液塩酸一時受タンクの圧力
上昇

液塩酸一時受タンクの圧力上昇
に伴う可燃物漏洩

VCM精製工程の爆発・火災からの延焼に
よる液塩酸一時受タンク漏洩可燃物の着火

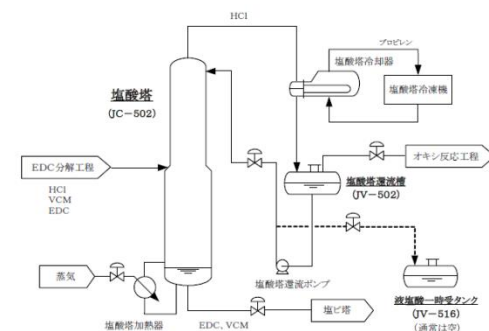


図-4 VCM精製工程 塩酸塔まわりのフローシート

爆発原因を示唆する事実

4-2-2. 爆発原因を示唆する事実

- 1) 爆発による破壊が最も激しい装置が塩酸塔還流槽であり、周辺の装置は、塩酸塔還流槽を中心に飛散、かつ塩酸塔還流槽側がへこみ、破損していた。

(別紙-1、2を参照)

- 2) 塩酸塔還流槽について、破壊後のき裂部分の解析を(株)日鐵テクノリサーチにて実施したところ、内側から膨張して破壊していたことが明らかになった。

塩酸塔還流槽のき裂部の観察結果から、胴板肩部（プラットフォームラグ当板（6ヶ所）の下部）の胴方向のき裂（き裂A）が初めに発生し、南北の鏡板溶接部に到達した時点でこの溶接線に沿ってき裂が進んだ（き裂B）ことがわかった。（図-10）また、き裂Aの断面形状（図-11）等から、胴板が引き伸ばされていることが確認された。



北鏡板



胴板



南鏡板

図-8 塩酸塔還流槽の破壊状況

タンクの破損

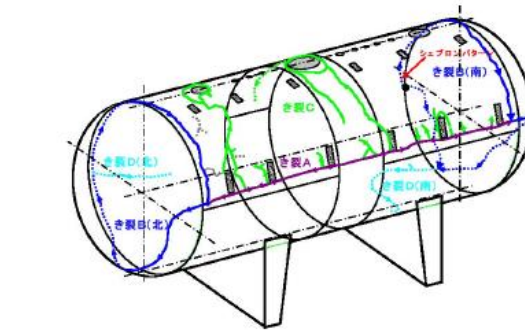


図-11 塩酸塔還流槽
メタルフロー（き裂Aの断面）

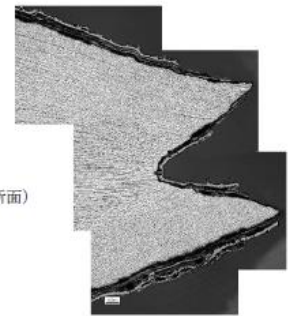


図-9 塩酸塔還流槽の外観（第三塩化ビニルモノマー製造施設の同機器）

図-10 塩酸塔還流槽 き裂進展図

3) 塩酸塔還流槽の内容液を移液した液塩酸一時受タンク内の残液を発災から約1ヶ月後に分析したところ、液相部分の9割以上は1，1-E D Cであった。

表-2 液塩酸一時受タンク内容物分析結果

分析成分	液相	ガス相
1，1-E D C	92 wt%	12 vol%
1，2-E D C	1 wt%	—
V C M	2 wt%	4.1 vol%
H C 1	1.0 g/kg	2.9 mg/l
水分	160 ppm	—

副生成物が大量に
タンク内に存在

1,1-EDC生成原因の調査

4) 1, 1-EDC生成原因の調査のため、実験室におけるモデル反応実験を行い、鉄錆とHClから生成する FeCl_3 を触媒として、HClとVCMから1, 1-EDCが生成することを確認した。

①塩酸塔還流槽、液塩酸一時受タンクの内容物の異常反応に関して、文献調査、ラボ反応実験を行ったところ、VCMもしくはHClが常温で分解反応を起こす可能性は確認できなかったが、VCMとHClから1, 1-EDCが生成する反応については、 FeCl_3 等のルイス酸系の触媒存在下では、容易に起こり得る発熱反応であることが判明した。また、鉄錆成分である Fe_2O_3 、 Fe_3O_4 がHClと反応すると触媒作用を有する FeCl_3 を生成することも判明した。

1,1-EDC生成反応のラボ検討

表-3 1, 1-EDC生成反応のラボ検討

Run No.	1	2	3	JV-502現象解析
触媒 (触媒原料) (Fe ³⁺ 含量 wt%)	Fe ₂ O ₃ (69.9)	Fe ₃ O ₄ (48.2)	FeCl ₃ (34.3)	(鉄錆)
平均粒子径	150 μm	45 μm		
溶解Fe (mg/l)	720	510	258	
反応温度	30℃	30℃	10℃	(30℃)
反応時間	120分	120分	23分	
VCM転化率	66%	51%	86%	
2次反応速度定数 (kmol/ (m ³ ・s))	6.5×10^{-2}	2.8×10^{-2}	3.1×10^{-1}	6.3×10^{-2}

溶媒 : 1, 2-EDC 430ml

仕込み原料 : VCM 13.0g、HCl 10.2g、酸化鉄・触媒 0.5g

酸化鉄添加実験における反応液の外観

Run-1

Fe_2O_3



HClフィード後



120min

Run-2

Fe_3O_4



HClフィード後



3.5 min



6 min



11 min

液の濁りは、溶解度の小さい FeCl_2 の分散によると考えられる。

図-12 酸化鉄添加実験における反応液の外観

鉄錆（さび）

②第一および第三塩化ビニルモノマー製造施設の塩酸塔還流槽（HV-502、KV-502）の内部状況について、定修時の開放検査記録を確認したところ、開放直後は内壁気相部に鉄錆が存在し、定修での開放作業中に内壁は全面的に鉄錆に覆われていた。このことより、第二塩化ビニルモノマー製造施設の塩酸塔還流槽（IV-502）でも、鉄錆が存在していたと推定された。

定修後の第一塩化ビニルモノマー製造施設の塩酸塔還流槽（HV-502）の内壁に付着していた鉄錆を分析した結果、 FeOOH 、 Fe_3O_4 、 FeO が検出された。

図-13

第一塩化ビニルモノマー製造施設

塩酸塔還流槽（HV-502）

平成23年 定修時 開放時の内部状況

停止（0日目）→液抜（1日目）→
窒素置換（2～4日目）→水洗浄（5日目）
→空気置換（6日目）→非破壊検査
→開放（12日目）



塩酸還流塔内の FeCl_3 の存在

③停止中の第三塩化ビニルモノマー製造施設の塩酸塔還流槽（KV-502）の内壁から、 FeCl_3 の存在を確認した。

図-14

第三塩化ビニルモノマー製造施設

塩酸塔還流槽（KV-502）

平成24年2月22日 開放時の内部状況

停止（約3ヶ月） → 窒素置換（7日間）

→ 開放直後



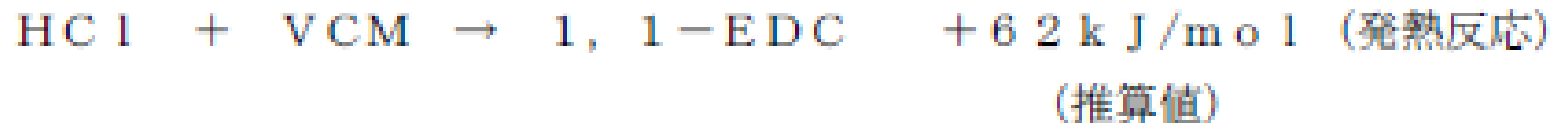
温度上昇⇒圧力上昇

- ④ラボ反応実験で得られた活性化エネルギーを用いた反応速度式では、塩酸塔還流槽内の圧力が2.0 MPa Gとなった段階では、10秒間で5 K（ケルビン）の温度上昇となり、この温度上昇の影響による塩酸塔還流槽内部の圧力挙動を調べると、温度上昇による液密度低下により内容液が膨張して、塩酸塔還流槽及び塩酸塔コンデンサー（J E - 5 0 8）内の気相部が急激に圧縮され、最終的には僅か10秒で10 MPa G以上の圧力上昇に曝されることが推算され、1, 1-E D C生成反応が塩酸塔還流槽破裂の原因となりうることを確認した。

爆発原因の推定

4-2-3. 爆発原因の推定

密閉された塩酸塔還流槽内に存在したHClとVCMが反応し、1, 1-EDCが生成した。



この反応は発熱反応のため温度上昇を伴い、温度上昇に伴い反応速度も指数関数的に大きくなったため、約6時間経過後、槽内の圧力が急上昇し、塩酸塔還流槽を破壊、激しく破裂させた。また、漏洩したVCM、1, 1-EDCが何らかの着火源により着火して爆発した。これらにより、周辺装置類が破壊され火災が拡大したと推定される。

事故原因の推定 Phase 1

4-2-4. 事故原因の推定

1) Phase 1 [発端事象]

オキシ反応工程A系（オキシA系）の緊急放出弁（HV110A）が故障で **開** となり、当該系列がインターロック停止した。

- ①オキシA系の緊急放出弁の故障は、ポジション内部のトルクモータコイルの温度変化による接触不良が原因であった。
- ②当該弁の故障によりオキシ反応工程が緊急停止に至る最重要トラブルに発展することは想定されていなかったため、対処方法についてマニュアルへの記載はなく、事前の危険予知や異常対応の教育・訓練がなされていなかった。

事故原因の推定 Phase 2

オキシA系のインターロック停止および分解炉A/B系の緊急停止により、フル運転から大幅な緊急ロードダウンを実施せざるを得なくなった（100%→45%）。その際、塩酸塔の緊急ロードダウン時の温度制御について、適切な操作ができなかった。

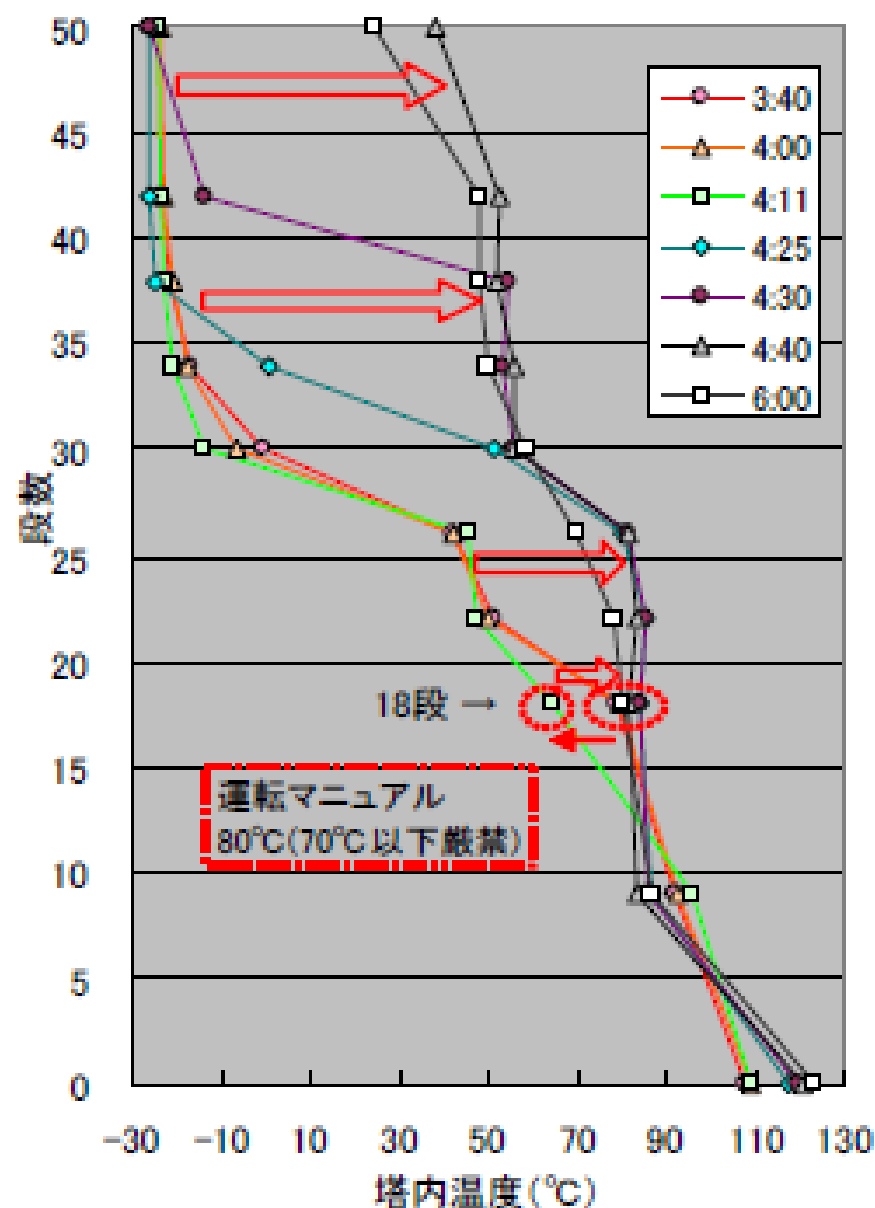
①塩酸塔のロードダウン操作が通常運転時の管理点の1つである18段温度だけに注視したものとなっており、塩酸塔の30段以上の塔中段から塔頂部、および塔底温度は管理基準から外れて上昇した。これは、ロードダウン中に18段温度が低下したため、その対応操作を行い、80℃に回復したことで塩酸塔が安定状態になったと判断して他の設備の安定操作に移行してしまった結果、塩酸塔加熱器の蒸気量をロードダウン時に見合う蒸気量に設定せず、蒸気量過剰な状態で運転を継続したことによる。この時、塔頂温度が通常運転時の管理基準である-24℃から38℃まで上昇し、その結果、塔頂から出てくるガスの組成は、通常HClだけのところが、HCl：40wt%、VCM：60wt%程度になった。

②オキシA系停止時の塩酸塔の対応としては、緊急措置マニュアルに「塩酸塔還流、スチーム（蒸気）量の調整」のみ記載されているだけで、具体的な数値の目安は明記されていなかった。

③本来塩酸塔の運転管理では、塔底、塔頂部の温度管理が重要な項目であるが、塔頂温度（塔頂組成）がオキシ反応工程の緊急停止に直結する最重要管理項目であるという認識が薄かった。

④塩酸塔塔頂温度について重要度認識が低かったため、重要計器が発する異常を確実に認知させる設備となっていなかった。

⑤緊急ロードダウン時を想定したマニュアルの詳細な記述、教育及び対応訓練が不足していた。



図－1 5 塩酸塔温度プロファイルの履歴

Phase 3 [確定事象]

3) Phase 3 [確定事象]

塩酸塔からオキシB系に供給されていたHCl中にVCMが混入したことが原因となって、プラント全工程を緊急停止した。その後の対応でHClとVCMで通常状態の液面より上昇した塩酸塔還流槽を、通常の塩酸塔停止基準に従い、塩酸塔から切り離した。

- ①オキシB系の反応異常によるプラント全停止後、部長、課長、係長が、DCS（プラント制御用コンピューターシステム）上のトレンド（傾向監視）データにて塩酸塔の塔頂温度異常に気付き、塩酸塔還流槽へのVCM混入の可能性を想定したが、1, 1-E DC生成の異常反応に関する知識がなかったため、特別な作業は必要ないと考え、そのまま塩酸塔停止基準に基づく停止操作を指示した。
- ②通常の塩酸塔停止基準に従ったため、塩酸塔還流槽は内部に液化されたHClとVCMが混在した状態となり、液面計の指示値は100%付近を維持したまま、塩酸塔と切り離され、縁切り、封止状態となった。通常管理液面以上となったHCl、VCM混合液が内壁気相部に残存していたFeCl₃と接触した。

Phase 4 [終末事象]

4) Phase 4 [終末事象]

密閉状態で放置した結果、1, 1-E D C生成反応の進行により、塩酸塔還流槽、液塩酸一時受タンク両槽の圧力がある時点から急上昇したため、最終的に塩酸塔還流槽の爆発に至った。

- ①H C l、V C M混合液に対して、鉄錆由来のF e C l₃が触媒となり、1, 1-E D C生成反応が進行した。
- ②1, 1-E D C生成反応について調査、解析が不十分であったため、危険性を認識していなかった。
- ③塩酸塔還流槽の温度、圧力が他からの熱供給なしで、徐々に上昇を始めたが、初期の上昇速度は小さく、運転員はこれに気付かなかった。
- ④塩酸塔還流槽から液塩酸一時受タンクへの内容物の移液により、液塩酸一時受タンクの圧力も他からの熱供給なしで、徐々に上昇を始めたが、初期の上昇速度は小さく、15:00頃に内部圧力高のアラームが発報するまで、運転員はこれに気付かなかった。

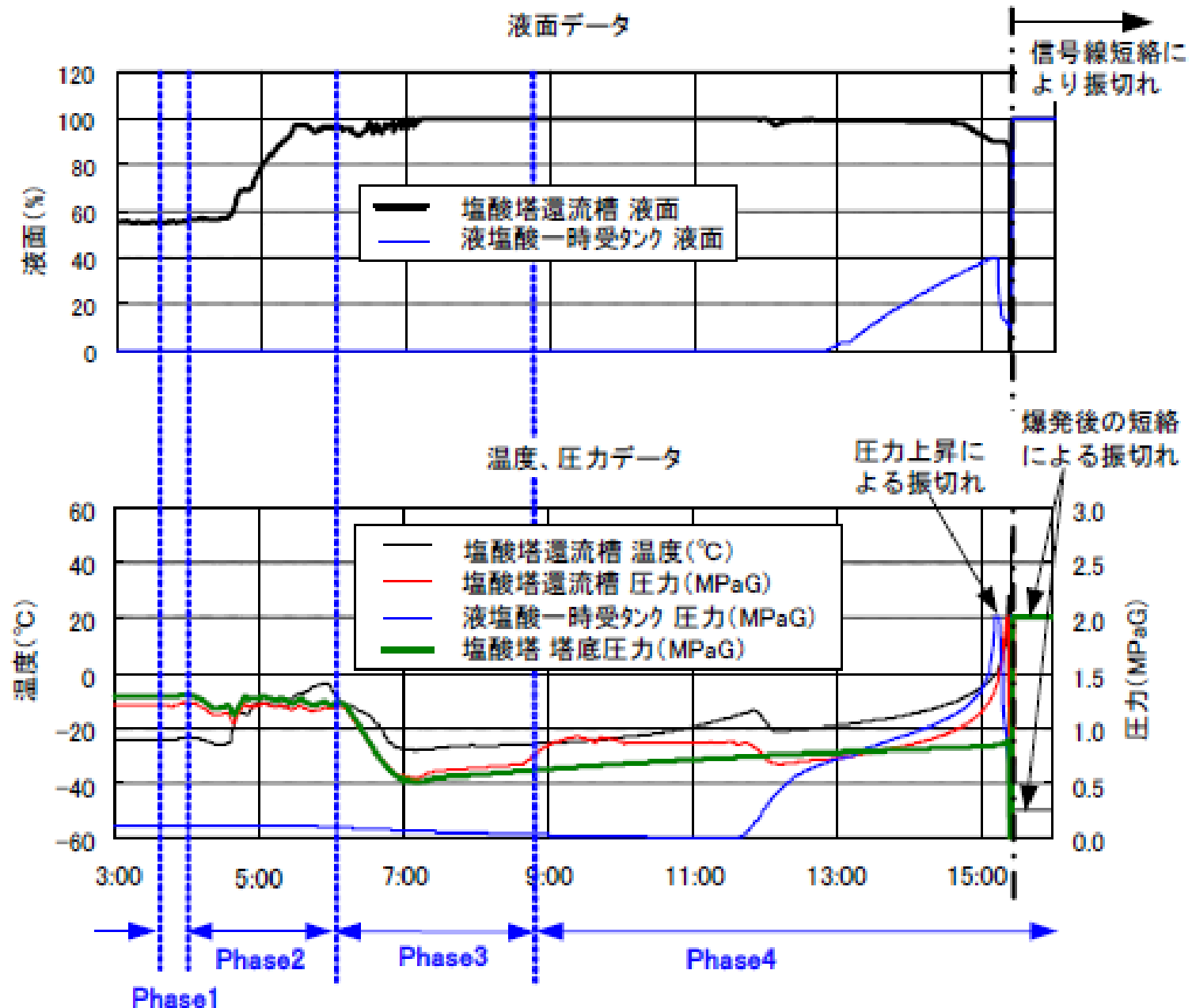
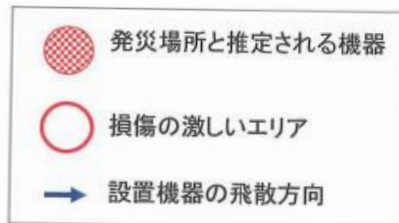
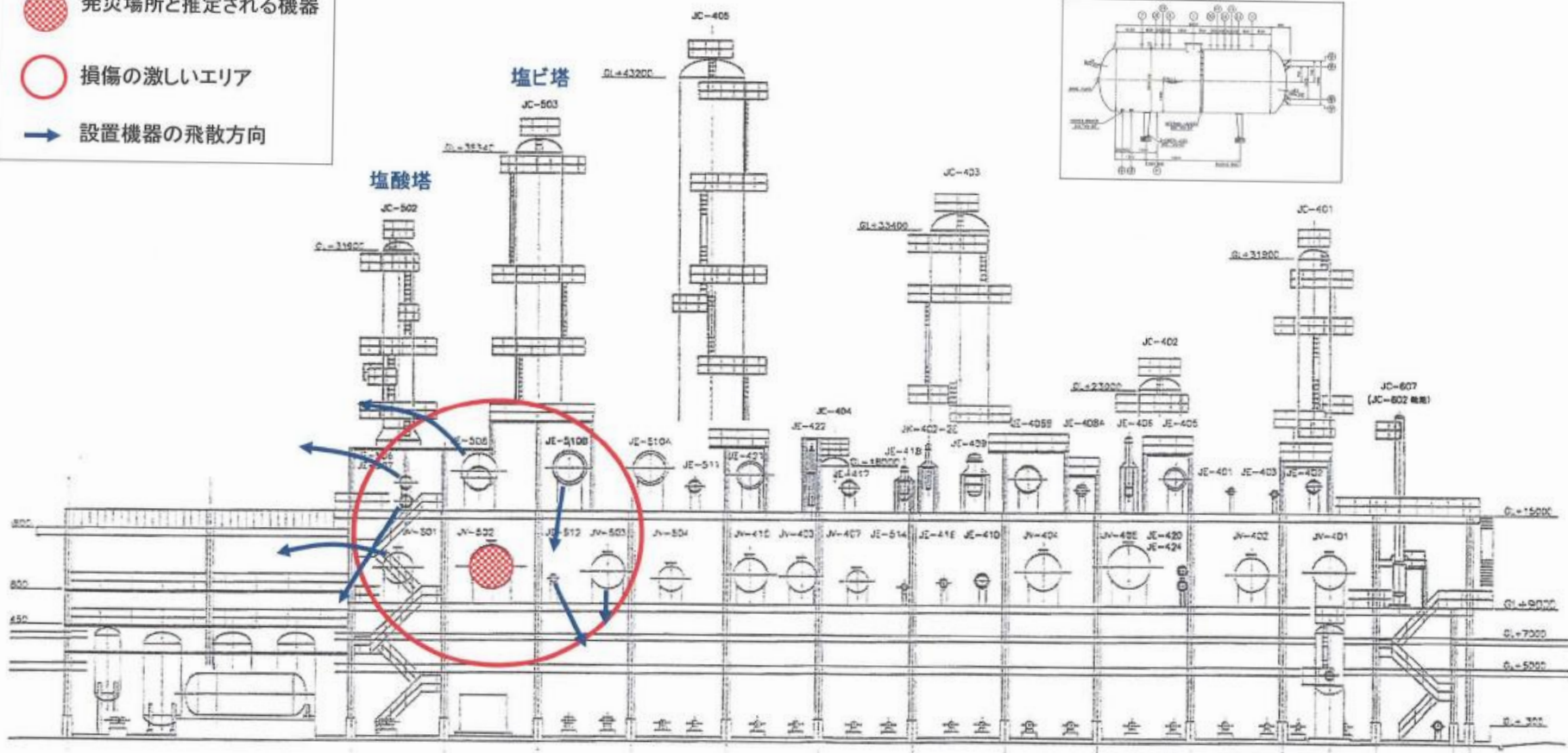
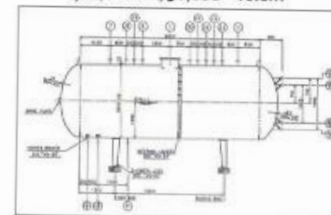


図-16 塩酸塔還流槽、液塩酸一時受タンク 液面、温度、圧力 DCSデータ

発災場所と機器の飛散状況

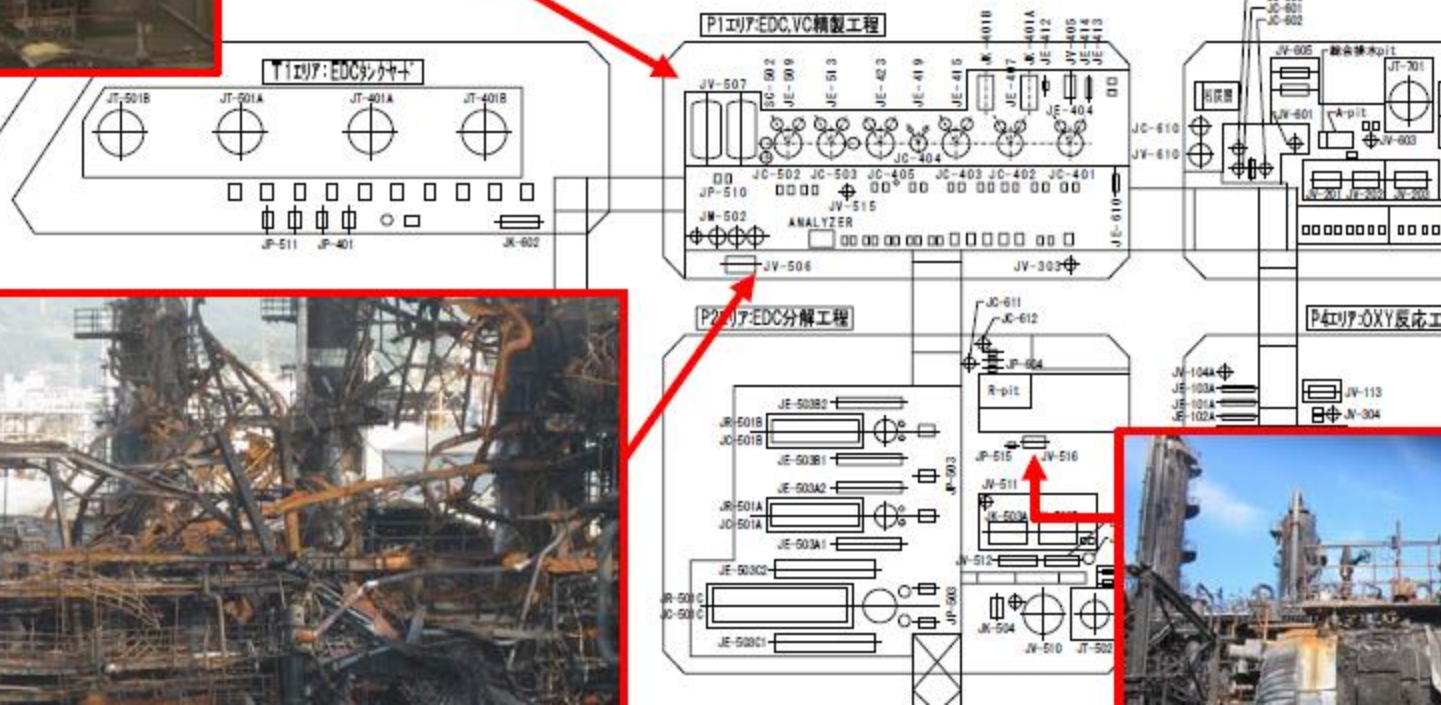
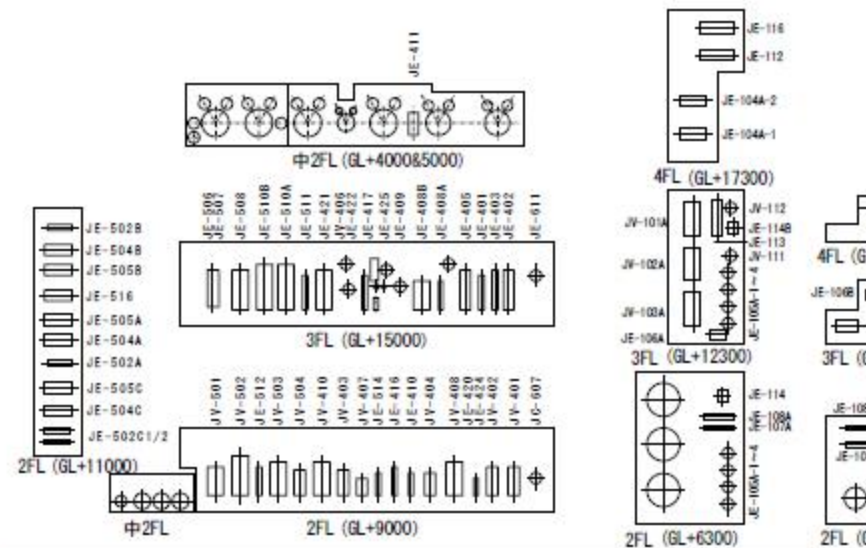


塩酸塔還流槽 (JV-502) 機器図
 $\phi 2,800 \times \text{約} 8,000 \text{ } 46.3\text{m}^3$



JV-502D JV-502C JV-502B JV-502A JP-506 ANALYZER SHER JP-505B JP-505B JP-505B JP-412B JP-405E JP-405E JP-501E JP-501C JP-501A JP-402A JP-510 (JC-603 兼用)
 JP-507B JP-507A JV-505 JP-505A JP-505A JP-412A JP-405A JP-405A JP-501D JP-501B JP-402B JP-301 JP-303

EDC·VCM精製工程損壞狀況



まとめ

- 自分たちの判断が重大事故を防ぐこともできれば引き起こすことにもなる.
- 判断の根拠となるのは化学工学の理解
- リーダーとしての自覚を持つ