

## エチレン製造装置アセチレン水添塔の爆発

【1973年7月7日 山口県徳山市】

古積博（独立行政法人 消防研究所）

小林光夫（東京大学大学院 新領域創成科学研究科）

田村昌三（東京大学大学院 新領域創成科学研究科）

1973年は日本の化学産業にとって特別な年であったかも知れない。春から秋にかけて西から東へと大事故が相次いだ。これはその始まりの事故であった。

1973年7月7日22時13分頃、山口県徳山市の出光石化株式会社の第2エチレン製造装置で大きな爆発火災事故が発生した。平常運転中の同装置は、計器用空気の遮断により緊急停止作業に入っていたが、計器用空気の供給が回復したため緊急停止の数分後に再立ち上げの準備作業を行っていた。その時にエチレン中の微量不純物であるアセチレンを水添する反応塔で暴走反応が起こり、関連配管からガス漏れが起こり爆発炎上した。火災は翌日12時頃漸く鎮圧されたが、プロセスで使用していた冷媒プロピレンの噴出が止まり、完全に火事が終息したのは3.5日経過した11日の午前10時頃である。

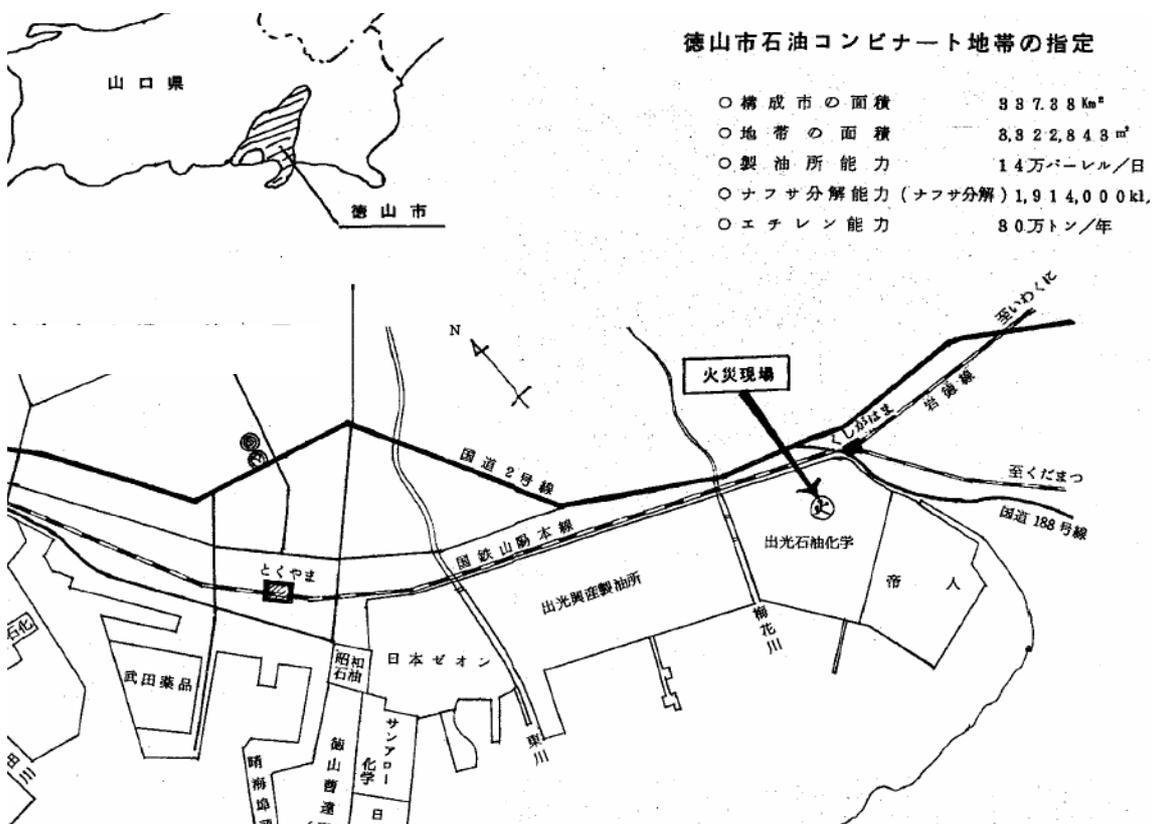


図1 工場周辺図

この事故の人的被害は死亡者 1 名であったが、巨大なエチレン製造装置の約 1/10 が焼損し、当時の金額で直接被害額 25 億円と算定された。復旧費、長期の運転停止による損害などを考えると、さらに巨大な被害になる。さらにエチレン製造装置はコンビナートを形成する各社に配管で原料を供給しており、その停止の影響で少なくとも 8 社の装置が操業停止あるいは生産量の減少を余儀なくされた。

事故の直接の原因は、緊急停止後の再立ち上げ時にアセチレン水添塔に過剰の水素が供給され、本来アセチレンだけが水添されるところが、滞留していたエチレンまで水添されて過剰な発熱を生じたことである。さらに重要なことは、何故計器用空気の供給が停止され、そして、その計器用空気の供給が直ぐに再開されて間もなく、何故水添塔の運転が再開されたかである。この一連の流れの中に、設備管理や教育など化学装置を運転していく上で基本的に重要なことが示されている。

水添：水素分子が解離して生じた水素原子が C=C 二重結合、C≡C 三重結合、C=O 二重結合などの不飽和結合の両端の原子に付加する反応のこと。(以上エッセンシャル化学辞典による。) 水素化というのが正しい。エチレン製造装置の水添については事象欄に記す。

## 1. 事象

日本のエチレン製造装置は、主にナフサを原料とし蒸気と共存させ、管状の分解管を用い 800 前後の高温で熱分解させることに始まる。さらに複雑な精製工程を経て、エチレン、プロピレン等の製品を得ている。エチレン製造装置ブロックフローシートを図 1 に示す。

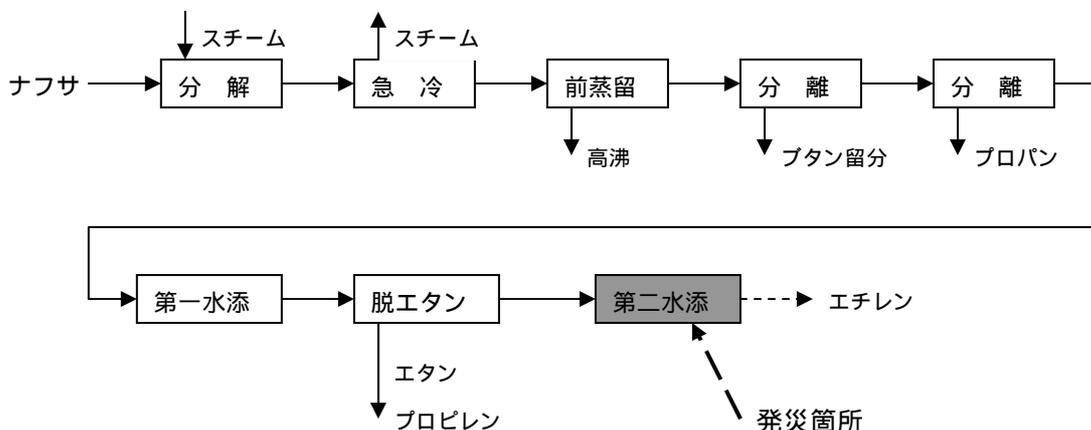


図 2 エチレン製造装置フローシート

ナフサを熱分解するため、生成物には多くの異性体が共存する。エチレンにはエタン、アセチレンが、プロピレンにはプロパン、プロパジエン、プロピンが異性体として得られる。エタン、プロパンのパラフィン分は僅かな沸点差を利用して蒸留でエチレン、プロピレンと分離するが、アセチレン類とジエンは水添してオレフィンに転換することで精製される。

この水添をエチレン主体のC<sub>2</sub>留分に対して行う部分を“アセチレン水添”と言っている。この水添は大きな発熱反応であり、少量のアセチレン以外の共存物は全てエチレンで、条件設定を間違えるとエチレンまで水添されて大きな発熱から最悪の場合はエチレンの発熱分解になる。この水添工程はエチレン製造装置では高温の分解炉と並ぶ最も厄介なセクションである。水添の制御の要点はアセチレン水添に必要・十分な水素だけを供給すること、アセチレン水添の選択率を上げることであり、そのために許容される温度範囲は非常に狭いので、温度制御に細心の注意を払うことなどが挙げられる。

7月7日の夜、突如計器用空気(以下 IA と略す)の供給が停止した。IA は流量調節計などの制御計器の制御用や自動制御弁(以下 CV と略す)の開閉を行う駆動力として使われていた。そのため、装置は自動的に緊急停止になり、各 CV はあらかじめ設定されていた全開か全閉になった。瞬時にして、余剰ガスを燃焼処分するフレアスタックは大きな炎を上げ始めた。

フレアスタック：装置から発生する不要なガスを燃焼処理する設備で、日本では煙突状のものが多い。エチレン製造装置では緊急停止時などで製品にならない大量のガスを発生するので、必要不可欠な安全設備である。

数分後、IA の供給が回復した。原因を調査する一方、運転再開の準備を始めた。計器類が正常に復元してから数分後、アセチレン水添塔へのエチレン流量が低下し、水素ガス量も低下したので、両ガスの制御を自動から手動に切り換え、同時にエチレンの CV を全閉にした。その後水素の CV も閉にした。水添塔中段上部の温度計の指示値が上がったので、温度低下の狙いもあり、別のエチレン装置からエチレン原料ガスを水添塔へ受け入れた。温度が急激に上がったので、水素の CV のブロック弁を完全に閉めた。温度指示計では指示が振り切れて読めず、コンピュータで確認したところ 970 で、その後 750 に下がった。そうこうしている間に、アセチレン水添塔 B 部の出口配管が赤熱し、バルブフランジから漏れたガスに引火した。さらに高温のため配管が破裂し大量に漏れたガスが引火し、爆発・大火災になった。この火事は近くの幾つかの蒸留塔、熱交換器など多くの機器を破壊した。この時直径 60m の大きなファイアボールを発生させた。

火災は翌朝 6 時過ぎに鎮圧されたが、系のプロピレン冷媒の噴出・燃焼が続き 11 日にな

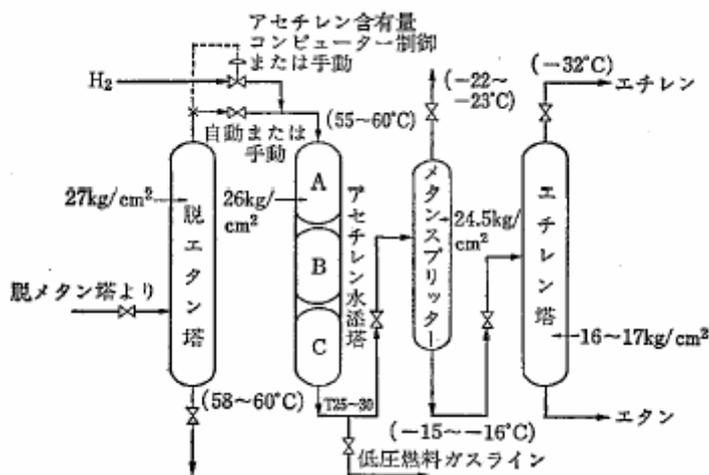


図3 水添塔回り説明図

って漸く鎮火した。

## 2. 経過

18時50分頃、計器室の計器類が一斉に不調になった。制御担当運転員は直ぐに原因は掴めず緊急停止作業に入った。フィールド担当運転員がある分解炉のデコーキングを行うため、作業用空気配管(以下 YA)の6インチバルブを開け、2インチのバルブを閉めに行き、誤って2インチバルブではなく、6インチバルブの近くの4インチ IAバルブを閉めた。そのため、制御計器類が failure position に動き、装置は緊急停止となり、フレアスタックから黒煙が上がった。黒煙に驚いたその運転員は IAバルブを開に戻した。

デコーキング；分解炉の分解管はコークスが生成し、管壁に付着する。それにより分解効率を下げ、差圧上昇をもたらす。付着したコークス分を取り除く作業をデコーキングという。分解炉だけではなく、加熱炉一般に行われる作業で、スチーム - 空気、あるいは窒素 - 空気雰囲気中で燃焼除去することが多い。

Failure position；CV等に供給される IA が遮断された場合、CVは装置が安全になるような開度...全開、全閉、開度維持の何れか...になるように予め設定される。その予め設定された位置を言う。

18時58分頃、計器室では計器が正常に復旧したので、正常運転への整定作業に入った。アセチレン水添塔へのエチレンと水素の供給を始めていたが、エチレン系の圧力バランスの関係でエチレンの供給が停止した。19時2分にアセチレン水添塔へのエチレン供給の調整計器を手動にし、その CV を閉にした。その後、運転員は水素の供給が続いていることに気づき、20時8分に水素供給の CV を閉にした。

21時に、通常の運転温度が約 60 に対し、水添塔 B の中段の温度計は 90 を示していたが、運転員は気が付いていないようだった。21時30分に、水添塔 B 中段温度計は 120 を示した。計器室運転員は異常に気づき、冷却のためエチレンガスを他系統から導入した。同時に必要量の水素が自動操作で供給された。21時38分に、運転員は温度の急上昇に気づき、水素の供給を手動で停止した。

エチレンの供給開始とともに、温度計の指示温度は急上昇を始めた、200 を越えて通常監視している温度記録計をスケールオーバーした。オペレータデスクでは、21時45分に中段温度計は 970 が観測された。22時には中段温度計は 750 に低下したが、下段の温度計は 896 に達していた。

22時過ぎ、水添塔 B 下部の温度が 1000 を超え、出口配管が赤熱し、バルブフランジからガスが漏洩、着火した。22時15分頃、高温で水添塔 B 出口パイプが破壊し、大量に漏洩したガスが爆発し大規模火災を起こした。

以降は延焼と消火活動であり、省略する。

## 3. 原因

IAバルブが誤操作で閉止されたために起こった装置の緊急停止後の再立ち上げ時に、運転員が操作を間違えて、アセチレン水添塔で大量のエチレンが水添され、水添塔は高温になった。その高温でエチレンの接触分解が起こり暴走反応になった。配管が高温に耐えきれずに破裂して大量の高温ガスを放出したと結論付けられた。ガスは高温のため自然発火したと考えられる

水添塔では本来微量のアセチレンだけが選択水添されることを、エチレンの供給が停止された状態で余剰の水素が供給されたため、ほぼ全量を占めるエチレンが水添された。また、この水添には何種類かの金属系触媒が使われるが、用いられていたパラジウム系の水添触媒は400℃以上ではエチレンの発熱分解反応を起こすことが知られていた。

ここで真の原因を考える。一見バルブ開閉を間違えた運転員のヒューマンエラーと水添部分の立ち上げ時に水素だけを供給した計器操作員の判断ミスと、状況判断の誤りからエチレンを隣接装置から導入した判断ミスの重なりで起こったと見られる。実際は、設備設計上の一寸した配慮と運転管理の欠陥、さらに緊急停止時に原因と状況の確認をしないで立ち上げる判断をした装置の本質を理解させていない教育・訓練の不足が真の事故要因であろう。

閉めるべきバルブを間違えて、YAの代わりにIAを停止したことが最初のトリガーである。典型的なヒューマンエラーで片づけることもできる。しかし、ここで考えなければならないのは、何故ヒューマンエラーを起こしたか、防止できなかったのかである。図4に

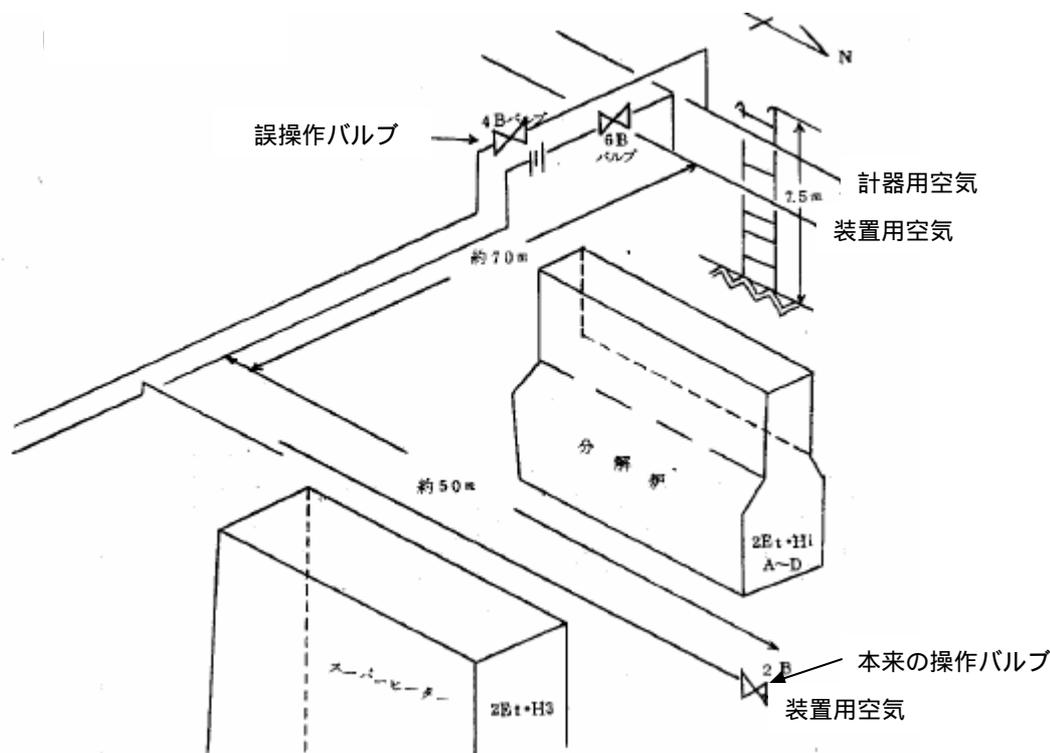


図4 空気配管バルブの配置

関連する配管とバルブの位置を示す。100m 離れたバルブを取り違えた原因は分からないが、設備のあり方や管理の状態についていくつか指摘できる。

先ずバルブの位置であるが、全てラック上に配置されている。エチレン装置のデコーキングは年に何回が行われるので、YA バルブは操作バルブであり本来は操作しやすく確認しやすい場所に設置するのが原則であろう。

次に「何故 IA バルブが閉止されたか」が運転管理面では問題である。IA バルブは運転中には絶対に閉止してはならないバルブである。この様に絶対に開閉してはならないバルブに対しては、運転責任者は開閉禁止の措置を取らなければならない。最低でもバルブの色分けや札掛けをして注意を喚起する。望ましくは、バルブを正しい開閉位置にしたら責任者が立合のもとに封印をすることである。絶対に開閉してはならないバルブとは、開閉位置を逆にしたら装置の安全あるいは制御に重大な影響を与える可能性があるバルブであり、例えば閉にしてはならないバルブとしては、IA 線のバルブ、安全弁の元バルブなどが挙げられる。筆者（小林）が 1966 年新入社員当時に教育されたことの中に、プラントの基本設計図の一つである Piping and Instrument Diagram(P&ID)の中に「バルブに CSO(C)」という記述があり、これが Car Seal Open(Close) の略で開閉禁止バルブには封印をするものだと言われた。

作業指示にも問題があったと推測する。作業責任者は開閉すべバルブを明確に指示し、作業者に復唱させるべきである。この時に閉めるべき 2 インチバルブの位置が違うことを一言注意していたら問題は起こっていないと推測する。

さらに重要なことは、何故急いで再立ち上げを行ったかであろう。エチレン装置に限らず、石油精製や化学工業の装置では IA が停止したときは、装置は自動的に緊急停止となる。その時、全ての CV は全開、全閉かそのままの開度を保持するかあらかじめ設定されている。安全の確保が最優先に設定されているので、エチレン装置では多くの圧力調整弁(PCV)からガスがフレアスタックへ放出される。そのため装置全体の様子は平常運転時とは全く異なっている。圧力バランスは維持できず、温度は全て常温近くに徐々に収束していく。このような装置では、IA が停止している時間が例え数分でも状況の仔細な点検・確認もなしに運転を再開することは行ってはならない。まして、過剰水添を起こせば暴走反応になることが分かっている水添部門で安易に立ち上げるのは行ってはならないことである。

ただ、一度完全に停止すると再スタートに数日必要で、不稼動損が一日何千万円にもなるエチレン装置で可能なら運転停止をしたくないことは心情的には理解できるが、運転担当に装置の本質の理解が不足していた。

#### 4 . 対処

ボイラーを除く工場内の全ての製造装置の緊急停止を行った。発災装置では固定散水設備からの散水、火点と他設備との縁切り、系内の可燃性ガスのフレアスタックへの放出、スチームカーテン、ウオーターカーテンの稼働を行った他、関係機器への窒素導入、およ

び液化ガスの抜き取りなどを行った。

工場内の他プラントは危険物の火災防止上の必要から、運転停止された。また、コンビナートを形成する近隣各社への配管出荷が停止した。

消防では発災装置が民家に近いこともあり、近隣住民の避難も検討されたが避難は必要なしとされた。

## 5. 対策

後日、発災社から報告された文書によると対策は6ページに及んでいる。

本社内に安全対策本部の設置と環境保安室が設置され、工場の環境保安課の強化充実が行われた。

設備面では各種反応設備警報等が強化され、大量に液化ガスを保有する機器類には緊急時に速やかに液化ガスを抜き取るあるいは脱圧ができるように改造が行われた。さらに誤操作防止対策として配管やバルブへの標識、識別などが徹底された。また、防災設備散水、放水設備などが増強された。

人事配置の適正化や教育訓練の徹底が行われ、さらに運転基準類が大幅に改訂された。要するに安全関係のあり方が全面的に見直され、あらゆる方面で強化された。

## 6. 教訓（知識化）

- 1) 安全確保が如何に基本的な教育・訓練に依存しているかが再確認された。
- 2) ヒューマンエラーを起こさないような設計が重要であり、それを補うような管理が重要である。この例では、開閉してはならないバルブは開閉させない管理が必要であり、誤操作を起こさないような設計がされておれば事故にはならなかった。
- 3) 装置は一旦停止すれば、停止前とは状況が変わる。停止していた時間が短くとも停止原因の調査・確認と装置全体の状況確認を行ってから再立ち上げをする必要がある。

## 7. 失敗の影響

- 1) 人的被害は負傷者1名に止まった。
- 2) 物的被害としては、反応塔、蒸留塔など8基使用不能、4基損傷、熱交換器4基全焼、3基損傷など計94基の機器が損傷を受け、ストラクチャー等含めて直接損害額25億円(当時の金額で)と推定された。さらに復旧費、不稼動損などは巨大になった。さらに、工場内他装置を停止した不稼動損などもある。
- 3) 近隣工場にはエチレンその他の原料の供給が不可能になったなどのため、近隣各社で8社12装置が停止または操業短縮を余儀なくされた。

## 8. 後日談

この年に起きた石化関連の複数の事故と翌1974年の瀬戸内海に大量の重油を流した事故

などが引き金になり、昭和 50 年代前半の消防法、高圧ガス法の大改正になり、現在の安全法規に繋がった。

## 9. よもやま話

化学プラントの事故のうち、この事故のように“暴走反応”が原因となっているものが多数ある。暴走反応とは反応による発熱が制御できなくなって起こり、典型的なパターンがいくつかある。それらの一部を紹介する。まず冷却機能が失われることが挙げられる。冷却用熱交換器の詰まり、冷却水の温度上昇、冷却水の停止、攪拌の停止などに起因する例が見られる。攪拌の停止では問題がないものの、攪拌を再開に伴い起こる暴走もある。これは攪拌停止で内容物が 2 相に分離したものが、急激な混合開始に発熱反応が急激に再開されることによる。僅かな反応条件の違いを利用して、全体のごく一部を反応させているものが、組成、温度、流量などの条件が変わったため全体が反応し、暴走反応になる例もある。ここで紹介したエチレン装置の事故がそうであり、硫化金属触媒を用いて選択的な反応を行っているプロセスで還元状態の金属触媒になり暴走した例もある。原料の供給組成では酸化剤を規定以上に投入した暴走反応もある。要するに、温度制御が外れるような操作があれば、暴走反応は起こる可能性を持っている。

### 参考文献

- ・高圧ガス保安協会、I 石油化学(株)T 工場第 2 エチレン製造装置事故調査報告書 昭和 48 年 7 月・28 日(1973)
- ・徳山市消防本部、I 石油化学(株)T 工場第 2 エチレン製造装置火災概要(1973)
- ・北川徹三、計装用空気配管の閉止によるエチレンの漏洩、爆発災害の解析、PAGE166-167(1980)
- ・高圧ガス保安協会、徳山・新南陽及び岩国・大竹コンビナート保安調査報告書、PAGE56-57(1982)
- ・田村昌三、若倉正英、エチレン精製中の爆発・火災、反応危険 -事故事例と解析-、PAGE73(1995)
- ・山口県石油コンビナート等防災本部総合防災診断部会、事故概要、山口県石油コンビナート等防災診断報告書、PAGE155(1984)
- ・労働省安全衛生部安全課、誤操作によるアセチレン水添塔火災事故に係る改善、化学プラントの安全、PAGE285-293(1978)
- ・化学工業協会、事故災害事例 塔槽類、事故災害事例と対策 化学プラントの安全対策技術 4、PAGE251-254(1979)