



保温材下における腐食問題

—その実態と対策—

轟 智 成
(株式会社 トクヤマ)

1. はじめに

我が国における石油・化学コンビナートは、昭和30年の後半から建設され日本の高度成長を支えてきたが、建設後30年以上経過し高齢化が進んでいる。しかし、昨今の経済環境下ではS & B (Scrap & Build) ができる状況にはなく、減価償却が終わっている現プラントの保安を確保するなかで如何に効率的に運転し、海外の大型石油・化学プラントとの競争力を高めて行くかが大きな課題である。

また、我が国は戦後初めてのデフレ経済に突入し、製造業は生き残りをかけ収益改善に取り組んでいる。収益改善策としては、固定費である人件費と並んで設備の修繕費削減が挙げられる。修繕費削減策として各社は、プラントの長期連続運転へ取り組んでいる。そのためには、取扱っている流体、運転条件、使用材料等から設備の劣化・損傷要因の抽出と余寿命評価が必須となるため、各社とも基準を設け運用している。

一方、設備の外表面からの劣化・損傷は、運転条件、保温・保冷材の有無および種類、施工方法、プラントの建設場所等様々な要因により発生場所や発生時期が異なり、設備担当者にとっては悩ましい問題となっている。特に保温材下の腐食は、常時その状態を把握することが困難なため、突発故障に繋がることもある。そこで当社では、保温材下の検査を合理的且つ効果的に行なうために、保温材中のCl⁻含有量と腐食の関係性を調査してきた。

昨今の経済環境下においては、高齢化した設

備の信頼性の向上とコスト削減は、企業存続のための大きな命題となっており、設備管理担当者の果たす役割は益々重要となっている。

本稿では、当社の保温材下の管理状況および損傷事例を紹介し、これまでに取組んできた保温材中のCl⁻含有量の調査結果を踏まえ、保温材下の管理方法について述べる。

2. 保温材下の管理状況と損傷事例

2-1. 保温材下の管理状況

当社では、設備管理標準 (TES: Tokuyama Engineering Standard) により、設計、製作、保全、検査に関する各種の標準を定めている。設備の検査については、定期自主検査標準により周期と内容を決めている。この中で、重要設備については保温材下の検査周期を長年の経験を基にして最長10年としていた。しかし、次のような問題点が挙げられる。

- 1) 部分的な検査で設備全体の腐食状況を把握することは困難である。
- 2) 腐食状態を予測することが難しい。
- 3) 腐食環境の違いにより腐食速度が異なる。
- 4) 保温材下における外面腐食は突発故障に繋がることもある。

実際に、ここ数年保温材下の予期せぬ腐食による損傷を経験している。従って、保温材下における腐食環境を考慮した保温材の更新基準および設備の検査周期・検査箇所の設定が行なえ

るように、保温材下における腐食状況と腐食環境の相関性についての調査と解析を行った。

2-2. 損傷事例

図-1に過去5年間で行った静機器（塔槽、熱交換器、配管等）の検査結果のまとめを示す

が、劣化・損傷要因の中で外的要因（塗装、外装板不良による外面腐食のことを示す）が占める割合が高く、ここ数年は上昇傾向を示している。

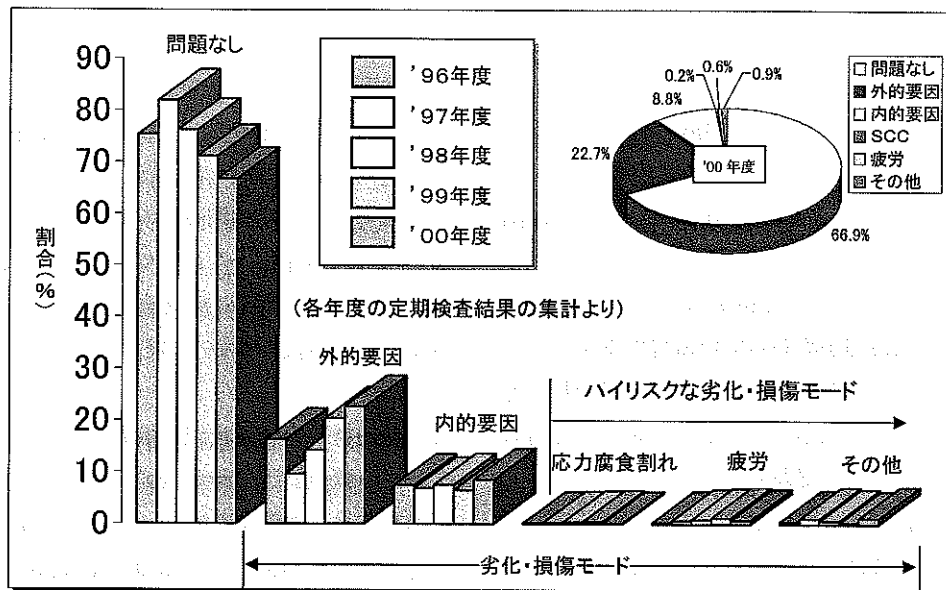


図-1 過去5年間の劣化・損傷モードの内訳

次に、当社で経験した保温材下の損傷事例を3つ紹介する。

1) 損傷事例その1

炭素鋼製横置円筒貯槽の保温材下の検査を10年目に計画していたが、定期検査の3ヶ月前に貯槽上部のノズル付根部が外面腐食により開口し、内容物が微量漏洩したという事例である。運転温度は常温でグラスウール保温材を使用していた。幸い人的被害はなく軽微な変更届を提出し補修を行なった。

現場保全担当者は、貯槽本体の保温板金が健全なので10年目の点検で十分であると判断していた。この事例の教訓としては、『保温板金が健全に見えても、雨水の浸入を完全に防ぐこ

とはできない。そして、貯槽上部ノズル部のように雨水が浸入し易い部位は、本体より腐食し易い。』ということである。設備管理面の対策としては、雨水の浸入防止を強化し、2インチ以下の小口径ノズルをスケジュール番号の大きい厚肉管へ変更した。

2) 損傷事例その2

運転温度が180℃から10℃まで昇降温を繰り返す炭素鋼製吸着塔において、保温材下の腐食が予想以上に進行していたという事例で、ロックウール保温材を使用していた。同時期に建設された蒸留塔（炭素鋼製、運転温度一定、グラスウール保温材使用）に比べ明らかに腐食が進行していた。特に構造上雨水の溜まりやすい部

位が激しく腐食されていた。その原因は、昇降温の繰り返しにより雨水の溜まり易い部分で乾湿繰り返しが起こり、 Cl^- の濃縮と塗装の劣化が促進されたためと考えられた。この事例の教訓としては、『運転温度にサイクルが有り昇降温を繰り返す設備（以下、「昇降温設備」と略す）の保温材下の腐食は、運転温度が一定な設備（以下、「定温設備」と略す）に比べ進行が速い』ということである。設備管理面の対策としては、雨水が溜まらないように構造変更を実施した。また、保温施工後、定期的に保温材中の Cl^- 含有量を測定し、 Cl^- 含有量が許容限界値を越えた保温材は取替えることとした。保温材中の Cl^- 含有量の測定時期、許容限界値については、保温材下の腐食に関する調査結果で後述する。

3) 損傷事例その3

SUS304製の槽上部鏡板の保温材下において応力腐食割れが発生した事例で、6年目の検査で検出された。上部鏡板の溶接線以外は未塗装であり、雨水浸入による保温材（ケイ酸カルシウム保温材とグラスウール保温材）中の Cl^- の濃縮により、応力腐食割れを生じたものである。割れの発生状況からして溶接補修は困難と判断し、更新を行なった。この事例の教訓としては、『オーステナイト系ステンレス鋼製機器の溶接部および加工部等残留応力の高い部位で保温を

行なうものは、全面に塗装を行なう。』ということである。

3. 保温材に含まれる腐食性物質の調査

グラスウール保温材、ロックウール保温材、ケイ酸カルシウム保温材についてメーカーヒヤリング等を行ない、各種保温材を構成する化学成分と未使用時から保温材に含まれている腐食性物質の調査を行った。その結果を表-1、表-2に示す。これら3種類の保温材を構成する化学成分には、分解等により腐食性を示す成分は含まれていなかった。腐食性物質である可溶性ハロゲン ($\text{Cl}^- + \text{F}^-$) 含有量は、保温材の種類によって差があり、ロックウール保温材 < グラスウール保温材 < ケイ酸カルシウム保温材の順に少ない傾向が認められた。但し、銘柄によって保温材中の可溶性ハロゲン含有量を低減させたものがあるため、一概に断定することはできない。例えば、製造工程においてイオン交換水を製造プロセス水として使用し、 Na^+ 等の腐食抑制剤を添加しているものもある。一般的に、腐食性物質である ($\text{Cl}^- + \text{F}^-$) 含有量とオーステナイト系ステンレス鋼の応力腐食割れを抑制する物質である ($\text{Na}^+ + \text{SiO}_3^{2-}$) 含有量は、図-2に示した米国材料試験協会規格 ASTM-C795の許容範囲内になるように管理されている。今後、保温材を購入する際は、可溶性ハロゲン ($\text{Cl}^- + \text{F}^-$) 含有量が明確に管理

表-1 各種保温材中の化学成分

種類	メーカー	原料成分 (%)								
		SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	B_2O_3	Na_2O	K_2O	Fe_2O_3	
グラスウール保温材	A社	60~70	2~4	6~10	2~4	4~6	13~18	<2	<1	
	B社	55~75	1~5	6~12	2~4	0~10	$\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 9~16$			
	C社	未調査								
	D社	未調査								
ロックウール保温材	E社①	40.4	13.2	36.9	6.1	$\text{FeO}, \text{MnO}, \text{TiO}_2$: 微量				
	E社②	35~45	10~20	20~40	4~8					
	F社	40~48	12~13	31~37	4~7	$\text{MnO}, \text{Fe}_2\text{O}_3, \text{TiO}_2, \text{Na}_2\text{O}, \text{K}_2\text{O}, \text{SO}_3$: 微量				
ケイ酸カルシウム保温材	G社	43	1(+ Fe_2O_3)	41	0.4	I.L.: 9.3, 繊維質: 4.6				
	H社①	44	5(+ Fe_2O_3)	34	-	I.L.: 10				
	H社②	43	2(+ Fe_2O_3)	41	-	I.L.: 8				

※ I.L.とはIg Lossの略で強熱減量を示す。

表-2 各種保温材中の可溶性成分

種類	メーカー	可溶性成分 (ppm)				pH
		Cl ⁻	F ⁻	Na ⁺	SiO ₃ ²⁻	
グラスウール 保温材	A社①	30~40	1~2	600~700	30~210	—
	A社②	11	—	2300	3400	10.1
	B社	18	—	1300	3400	9.5
	C社	26	—	870	1900	9.8
	D社	250	—	1700	2500	8.8
ロックウール 保温材	E社①	3	—	25	42	—
	E社②	6	—	Na ⁺ + SiO ₃ ²⁻ = 600		8.3
	E社③	3	1.3	25	42	—
	F社	8	13	19	560	—
ケイ酸カルシウム 保温材	G社	13	—	440	4000	9.8
	H社①	60	<11	1130	3500	8.7
	H社②	70	<11	400	3100	10.4

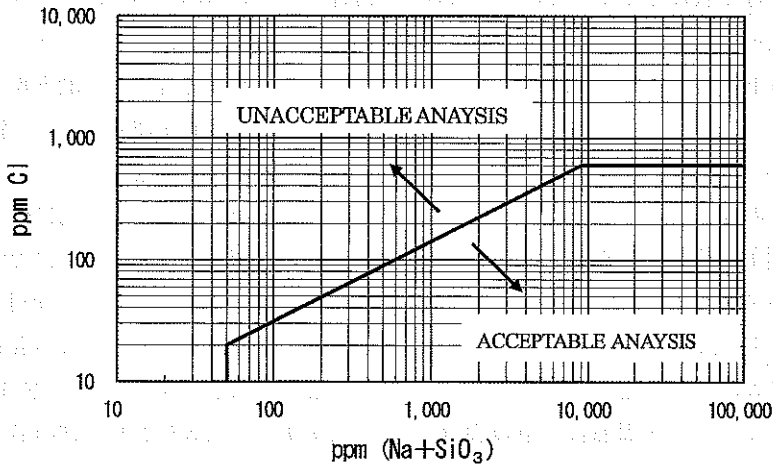


図-2 可溶性Clと (Na+SiO₃) イオン濃度による保温材の使用範囲 (ASTM-C795)

されているものを選定する必要がある。

4. 炭素鋼の保温材下腐食に関する調査

保温材下における腐食環境を考慮した保温材の更新基準および設備の検査周期・検査箇所との決定が行なえるように、保温材下における腐食状況と腐食環境の相関性について調査を行なった。保温材の採取箇所は保温外装板の施工状態と浸入した雨水・塩分の溜まり易さを考慮に入れて選定した。具体的には、保温リング部、塔最下部、槽天井部、上向きL字配管など雨水・塩分が溜まり易い突起部から数十箇所、塔槽本

体側面、垂直配管など雨水・塩分が溜まり難い平坦部から数十箇所採取し、保温材中のCl⁻含有量と含水率を測定した。そして、腐食状況、使用年数、運転条件等を調査し、保温材中のCl⁻含有量と腐食状況の相関性および保温材中のCl⁻含有量の経年変化について整理した。腐食状況は以下に示す5段階で評価した。

- 腐食レベル1：問題なし、部分的に塗装劣化
- 腐食レベル2：塗装劣化、部分的な発錆
- 腐食レベル3：広範囲で塗装劣化、全面発錆
- 腐食レベル4：全面が激しく腐食、局所的な腐食
- 腐食レベル5：激しい局所的な腐食→要補修

調査結果を図-3から図-6に示す。解析は設備の運転温度に着目し、昇降温設備と定温設備に分けて行なった。どちらの設備の場合も腐食レベルとCl⁻含有量の下限界値に相関性が認められた。

ロックウール保温材を使用した昇降温設備の場合、保温材中のCl⁻含有量が140ppmに達すると激しい局所的な腐食が発生する可能性があることが分かった(図-3)。そして、保温材中のCl⁻含有量が140ppmに達する最短年数は、雨水・塩分が溜まり易い突起部で7年、溜まり難い平坦部で17年であると推測された(図-4)。

一方、グラスウール保温材を使用した定温設備の場合、保温材中のCl⁻含有量が3000ppmに達すると激しい局所的な腐食が発生する可能性があることが分かった(図-5)。そして、保温材中のCl⁻含有量が3000ppmに達する最短年数は、雨水・塩分が溜まり易い突起部で12年、

溜まり難い平坦部で21年であると推測された(図-6)。

このように設備の運転条件で保温材中のCl⁻許容限界に大きな差が生じたのは、運転温度が昇降する場合、乾湿繰り返しにより雨水の溜まり易い部位の腐食性が高くなり、昇温時に塗装の劣化も促進されるためと考えられる。

また、保温材の上からビニールを巻いているため浸入した水分が蒸発し難くなっている場合と外装板が損傷しているため雨水が浸入し易くなっている場合、保温材中のCl⁻含有量が同じであっても、含水率が高くなるため保温下の腐食性は大きくなる傾向が認められた。

以上、今回の調査結果から、炭素鋼の保温材下腐食は、設備の構造や運転温度に大きく影響を受けることが分かった。また、オーステナイト系ステンレス鋼の外表面応力腐食割れについても同様に考えることができる。

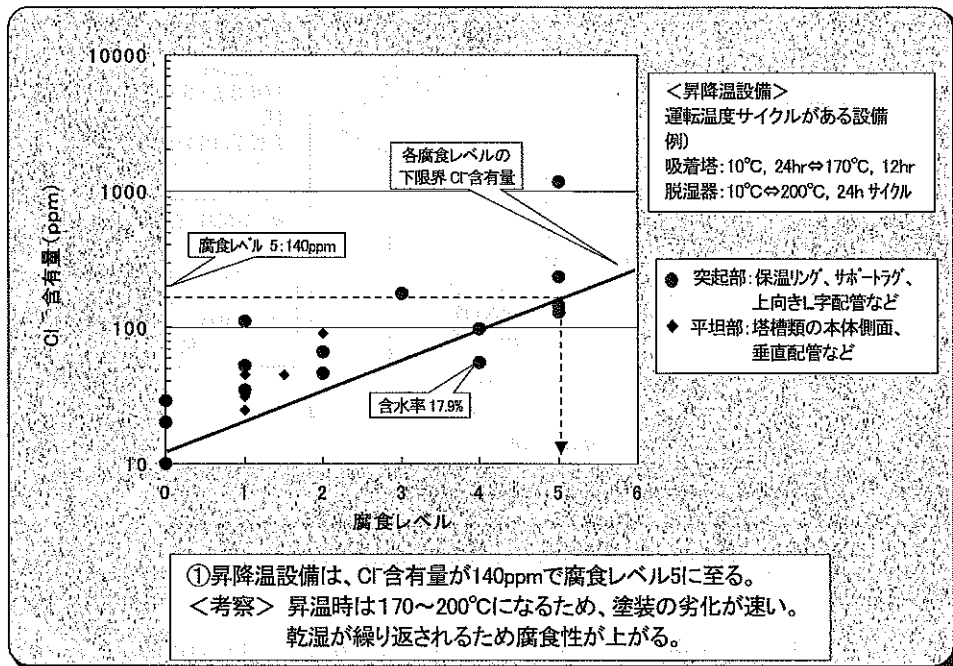


図-3 昇降温設備の保温材中Cl⁻含有量と腐食レベルの相関性

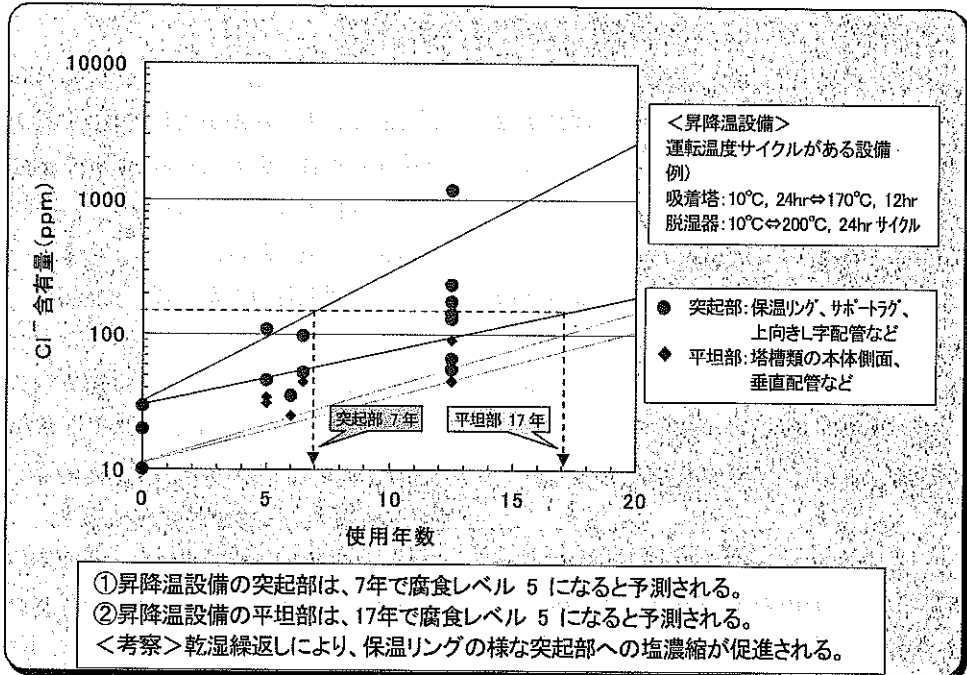


図-4 昇降温設備の保温材中 Cl⁻含有量の経時変化

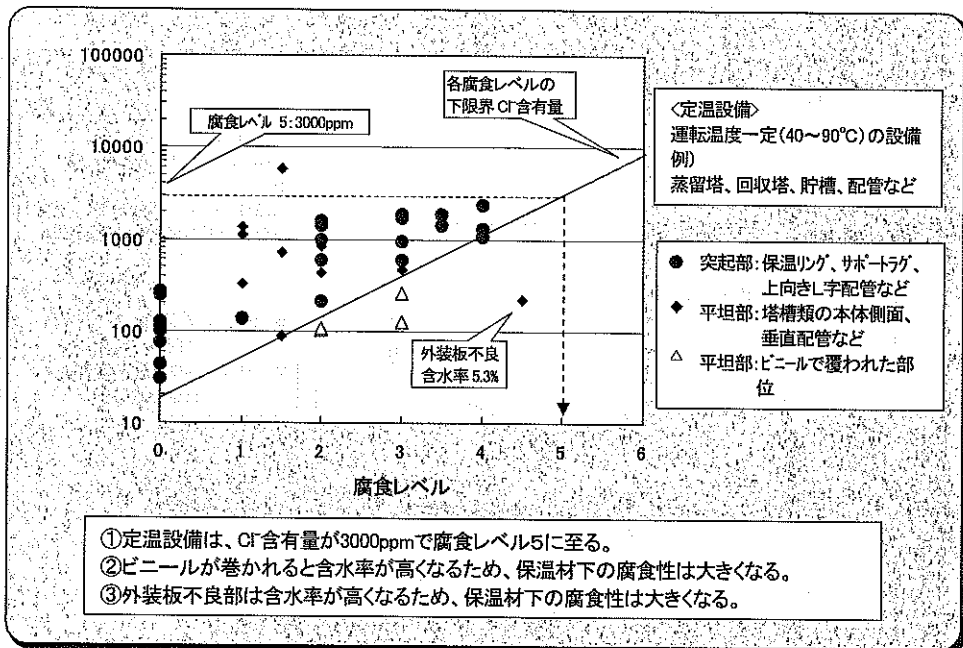
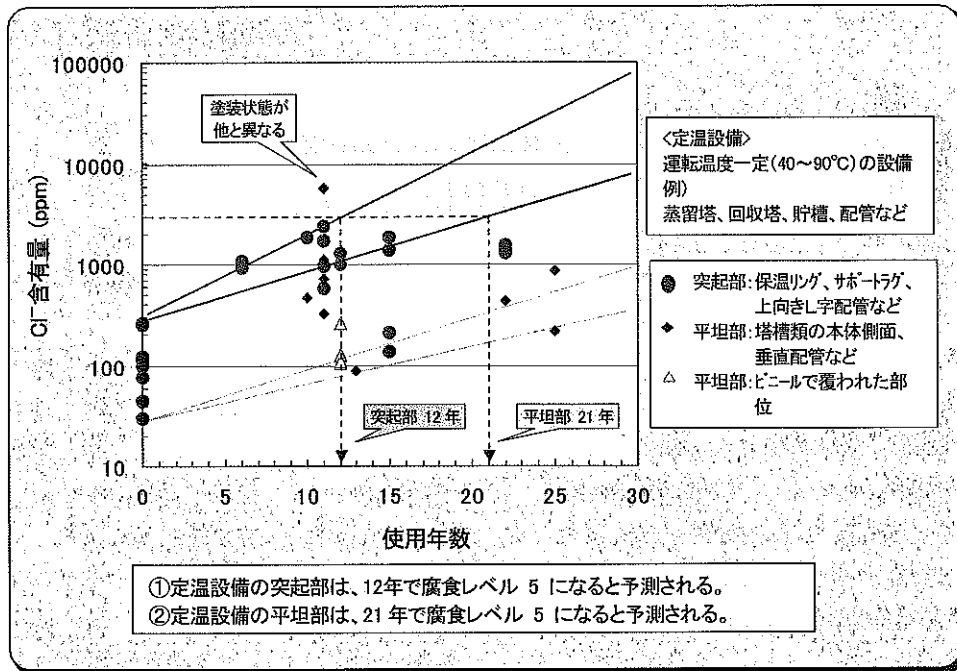


図-5 定温設備の保温材中 Cl⁻含有量と腐食レベルの相関性



図一六 定温設備の保温材中Cl⁻含有量の経時変化

5. 保温材下の管理方法の提言

本稿では、保温材中のCl⁻含有量、運転条件、腐食発生場所、保温施工状態といった腐食環境面から見た保温材下での腐食性について調査を行なった。その結果を踏まえ、保温材下の管理方法について述べる。

- 1) 保温材選定時には、可溶性ハロゲン (Cl⁻ + F⁻) 含有量と (Na⁺ + SiO₃²⁻) 含有量が明確に管理されているものを選定すること。
- 2) 保温材下の検査周期は、昇降温設備と定温設備によって区分すること。
- 3) 保温材下の腐食の評価方法として、保温施工後、突起部は6年、平坦部は12年で保温材中のCl⁻含有量を測定し、Cl⁻許容限界を越えた保温材は取替える。
- 4) 台風等で塩害を受けた場合は、周期を短縮して検査を実施すること。

- 5) 塗装の状態で腐食速度に差異がある。特に、オーステナイト系ステンレス鋼の溶接部および加工部等残留応力が高い部位には塗装を行なうこと。

6. おわりに

最近、高度成長期に建設された危険物設備の老朽化によるトラブルが社会問題になっている。危険物を取扱っている企業として、保安の確保は事業活動の基本であるということを認識し、老朽化設備を合理的かつ効果的に維持管理することが求められる。保安に関する規制が緩和され、インセンティブが与えられるが、一方で企業の責任が問われる。そのためには、我々設備管理を担当する技術者の果たす役割は益々重要になってくる。本稿で述べたことが、長期安定連続運転に少しでも参考になれば幸いである。