防食技術の継承と活用[†] — 終わりのなき腐食問題の克服に向けて —

大久保 勝 夫*

Succession of Corrosion Preventive Technologies and Their Application — To Overcome Never Ending Corrosion Problems —

by

Masao OKUBO*

Key words : Technologic succession, Corrosion preventive technology, Case study, Stress corrosion cracking, Education, Chemical plant

1 緒 言

人類の文明は過去の経験や知見を継承し、その上へ新たな技術を積み重ねることで進歩してきた。そのような流れの中で腐食防食問題をみると、ここでの成果は決して満足できる状況にはない。同じような腐食問題が今も跡を絶たず、その結果、腐食による経済損失は、図1にみるように減るどころか、年々増加の一途をたどっている。かつて、Hoarは英国での腐食損失の調査において、既存の防食技術の活用で損失額の23%は防ぎ得るとした。¹⁾それから30年を経たいま、わが国での化学分野の腐食コストは、依然として、既存の防食技術を駆使することでその25%が節減可能と報告²⁾されており、防ぎ得る腐食損失が減る兆しはない。腐食防食に関する多くの研究活動によって、個々の腐食理論や防食技術は着実な進歩を遂げているのに、防食の実があがってこない理由は、一体、どこにあるのだろうか。…技術継承の不備なのか？、その活用に問題ありか？、あるいは、もっと他にも原因があるのか？。

本報では、優れた要素技術を持ちながら、それを活かしかれない腐食防食活動の問題点について、腐食現場の視点から考察してみたい。なお、腐食現場は多岐にわた

るが、ここでは筆者の主たる活動場であった化学工業での現場を例にすることをお許し願いたい。

2 化学系事業所での腐食問題の現状

主題について考える資料として、化学系事業所で現在、抱えている腐食問題について見ておこう。図2は、中国・四国地域での化学系事業所に、今、工場で問題視している腐食課題の具体例をアンケート³⁾して得た回答(88件)を、対象材料と使用環境で分類して示したものである。図では、腐食専門家の目でみて既存の知見の活用で解決できそうな問題と、そうでないものを分別して表示している。図示するように、既存知見にかかわる問題が41%もあった。回答のうちプロセス条件にかかわる問題は、具体的な条件が開示されていないので一部を除き既存知見とのすりあわせができなかったが、腐食技術者が入ればここでも既存知見で解決できるものは少なくないであろう。調査対象が化学系事業所であったため問題視されている腐食件数は、プロセスがらみのものももっとも多かった。

プロセス内での腐食については関係する要因が多く、このことが今までの経験の安易な転用を難しくしているが、ここを切り開かないと防食技術の現場への展開は計れない。

そこで、既存の防食知見を継承し、これを別の腐食問題に活用していくのに、いま、何が欠けているかについて、まず、考えたい。

3 技術継承にみる起承転結の流れ

技術を継承し、これを応用展開させるのには、図3に示す“起・承・転・結”の流れが重要である。

まず最初に、解決すべき動機や目的(ニーズ)があり(“起”の段階)、次に、これを受けて関連する情報や知見を集めて、整理、加工する(“承”の過程)。こうして収集した情報をニーズに向けて考え合わせ熟成していると、やがて、突然、新しい発想が浮かんでくる(“転”の誕

図1 各国における腐食損失額とその年次推移

[†] 原稿受理 平成14年2月12日 Received Feb. 12, 2002

* 正 会 員 元住友化学工業(株) 〒792-8521 新居浜市惣開町, Sumitomo Chemical Co., LTD., Soubiraki-cho, Niihama, 792-8521

環境項目 材料項目	酸	アルカリ	プロセス条件	冷却水		SCC環境	水素環境	外面環境					流速条件	環境全般	寿命予測・検査	強さ特性 クリープ・疲労等
				淡水	海水			大気海塩 雰囲気	土壌	保温材	燃焼ガス	廃棄物 溶融塩				
ステンレス	γ系	●	○			●●○				●●●					●○○	
	α系		○													
	2相系				●●											
	高合金	○	○○													
炭素鋼・低合金鋼	●		●○	●○	●●●		●	●○	●●●	○○○	○○				●○○ ○○○	○
非鉄金属			○		●		○	○							○○	
塗装・表面処理材	○		○		●			○○○●						○●		
ガラス・GL	●		○											○		
プラスチック														○		
熱交換材料	●		○○	●●●		●									●○	
構造体								○○●								
材料全般		○	○○○ ○○○		○	○	○	○				○○	○			●

- 既存知見に関係する問題
○ 要検討問題

既存知見が活用できる問題の割合： 36件/88件 = 41%

図2 化学系事業所から提起された現場腐食問題と既存防食知見の関連

生)。この発想を最初のニーズに結び付けていけば、問題は解決され、ときには新しいシーズが生まれて、研究は“結”として完成する。

技術の継承とは、こうして生み出された知的産物（シーズ）を、次の問題（ニーズ）へつないで新しい“起”を立ち上げ、その問題の解決をはかる行為といえる。とかく技術継承の位置づけは、図3の流れの“承”の構成要素として、個別的、分断的に見られやすいが、こうした本質からすれば継承技術は、別の“起承転結”サイクルを活性化する技術でなければならず、このためにも別の問題解決（応用展開）に役立つ汎用化のための情報（この種のつなぎ情報を“汎用化情報”と呼ぼう）が付加されていなければならない。

この意味で、技術継承の成否は受け手側よりも送り手側の手腕により大きく依存する。

ところで、“起”の段階で提起されるニーズには矛盾する要求がつきまとうのが常である。例えば、反応の効率化と安全の確保などである。ウラン燃料の溶解効率の追求にのみ目がいって、避けねばならぬ核分裂臨界事故を起してしまった事例などはその好例である。客観的に見

れば信じ難い不可解な出来事であるが、効率化の改善に没頭している現場マンには陥りがちな落とし穴である。

防食問題も安全問題と同じ性格をもつ。両者とも守りの技術であるが故に問題が顕在化しなければ人々はその重要性に気付かない。このために、効率化追求のような結果が目立つ攻めのテーマに目を奪われて、守りへの配慮がおろそかになる。

安全や腐食問題など、守りの課題に取り組むためには図4に示す4つのステップ、4E、すなわち、① Evaluation；事例の解析、整理→② Engineering；工学情報への加工→③ Enforcement；標準化・基準化→④ Education；教育・普及、を手抜きなく着実に実施する必要がある。従来、腐食トラブルの再発を防ぐ切り札として、腐食知識の教育・普及活動が精力的に行われてきたが、これは、4Eの流れでみると、第4段階での活動になる。教育・普及の内容が、①→②→③→④と順を追ってしっかり実施され体系化されているかどうか、いま一度見直す必要があろう。とくに、継承技術のつなぎ役となる汎用化情報がここに組み込まれていることが大切であるが、防食情報の核心ともいえるこの種の情報の発掘と加工こそが、この、①～③のステップで行われるのである。

次章では、このような事例の発掘と加工作業の進め方について、具体的にみていこう。

図3 技術継承とその応用展開における起承転結の流れ

図4 防食活動を進めるための4Eサイクル

4 防食活動の4Eサイクルを進めるために

防食4Eサイクル(図4)を廻す際に考えるべきことは、腐食というものの性格である。腐食という熱力学的必然現象は、材料と環境との攻防の中で、常にその弱点部をついてくる。いうなれば、腐食というテロとの戦いになる。戦いともなれば、その昔、孫子が説いた極意が活きてくる。すなわち、「敵を知り己を知れば、百戦危うからず」と。

腐食という敵の正体については、今や、その性格や発生機構に関してまでも明確に究明され、その対策についても数多くの防食技術が開発されている。そのような知り尽くされた腐食問題が今も跡を絶たないもっとも大きな理由に、腐食テロの攻撃点を事前に予測するという戦略的対策に欠けていることが挙げられる。これまでは己の弱点を知らずに(どこを守るかという重点防御策を講ぜずに)腐食と戦ってきた。多くの優れた防食装備(知見と技術)を持ちながら腐食テロに敗れ続けた(同類の腐食問題を起し続けた)敗因を追求していけば、結局は、ここに行き着くであろう。腐食攻撃に対する己のウィークポイントを見出す努力なしには、防食4Eサイクルは完成しない。ここでいう弱点とは、材料側の問題だけでなく、その使われ方(腐食環境側)にも目を配る必要がある。

以下、化学工場での腐食事例の中から、防食の実を挙げるための教訓を、防食4Eサイクルの流れで見たい。これらを通して、技術を継承し応用展開するのに必要な腐食情報の汎用化のあり方や、それらと防食活動とのかわりについても考える。

4・1 “事例の解析と整理”(Evaluation)の重要性

防食4Eサイクルとは腐食テロに立ち向かうための城郭である。城石を積み上げて城壁を築くように、防食活動でも一つ一つの事例を積み重ねて腐食に備えた砦づくりをしなければならない。堅固な城壁とするためには、良質の基盤石を吟味して集め、しっかり組み合わせる必要があるが、防食活動にも同じことがいえる。

4Eサイクルの第1ステップ、“Evaluation(事例の解析と整理)”とは、まさに城石(現場事例)を吟味して集め、これらを積み上げる工程に当たる。良質の事例(腐食事例だけではなく、健全事例も重要)を現場から掘り起こし、これらを防食という形に組み合わせ、加工する作業である。しかしこの作業の現状は、多くの課題が残されているように感じられる。確かに、現場事例についての報告は従来からも数多く、事例集としても出版されているが、これによっても同類腐食が防止されないのは何故だろうか。

事例調査では、使用条件と腐食との因果関係に迫る情報が必要であるが、今までの報告や出版物では腐食の現象解説に流れており、将来の腐食発生の予測に役立つ情報の発信に成果が少ない。腐食事例の数には不足しないが、腐食にかかわる使用条件の把握が不十分なため折角の事例データが孤立しており、今後に生きるような総合化が果せていない。これには、プロセスにからむ企業機

密、必要な情報への知見や認識不足、あるいは情報入手技術の未熟さなど、いろいろな制約があるが、ここをしっかりと固めないと4Eサイクルの後工程の作業はまさに砂上樓閣を築くだけになる。この意味で、このステップ(腐食事例の調査)にこそ、腰を据えた産学共同の学際的な取り組みが望まれる。その目的は、個々の事例の解決という目先の問題だけではなく、防食4Eサイクルの基盤を固め、将来の腐食問題の解決に資する確かな防食活動体制を築くことにある。現場問題の中には、腐食機構の究明、腐食律速条件の解明、腐食情報の測定・解析に関する知見や技術、腐食センサー技術、これらを総合化した防食技術、そして腐食データベースの構築など、学究的テーマが豊富に埋もれており、大学・研究所の働き場には事欠かない。とくに、現場での腐食を律速している要因を的確に理解し、これに関する情報を現場から取り出す技術や知見をより革新し、普及させることが、腐食根絶に向けての今後の課題となろう。

次に、現場の具体的事例の中で、この工程の重要性和問題の所在について見ていこう。

事例1 表Ⅰ⁴⁾は、オーステナイト系ステンレス鋼のSCC発生件数を環境のCl⁻濃度で分類した結果である。割れ発生を現象的には記録しながら、重要情報であるCl⁻濃度を調べていないものが過半数を占め、腐食事例の初動調査の不十分さを思い知る。残り半分のデータについてSCCへのCl⁻濃度(環境の平均Cl⁻濃度)の関与をみると、両者の間には系統だった相関が見られない。むしろ、0～50ppmという希薄なCl⁻濃度で割れ頻度が高くなっていて、希薄なCl⁻濃度での高い割れ頻度は、このような条件での使用が多いというデータ母集団の特性もあろうが、少なくとも沖合い環境の平均Cl⁻濃度はSCCの律速条件にはなっていない。

では、何がSCCにかかわっているのか? (“起”の発動)

SCC事例を温度別に分類した表Ⅱ⁴⁾をみると、水の沸点近くでの割れが多い。この事実は、水の蒸発によるCl⁻の濃縮の可能性を示唆している (“承”への移行)。この仮説を実証するため事例解析をさらに進め、多くのSCC事故材について、その割れ部位の表面Cl⁻濃度を分析し、使用環境中の平均Cl⁻濃度と比較した。その結果を使用

表Ⅰ オーステナイト系ステンレス鋼のSCC発生とCl⁻濃度の関係

Cl ⁻ 濃度 (ppm)	割れ発生事例数	%
0～50	5	13.9
50～100	2	5.5
100～500	1	2.7
500～1,000	4	11.1
1,000～5,000	2	5.6
5,000以上	2	5.6
数値報告なし	20	55.6
合計	36	100.0

表Ⅱ オーステナイト系ステンレス鋼の SCC 発生と温度の関係

温度範囲, °F (°C)	事例数	%
0~100 (-18~ 38)	8	6.2
100~200 (38~ 93)	31	24.0
200~300 (93~149)	38	29.5
300~400 (149~204)	9	7.1
400~500 (204~260)	1	0.8
500~600 (260~316)	2	1.5
600~700 (316~371)	1	0.8
700 以上 (371 以上)	2	1.5
分類不能	37	28.6
合 計	129	100.0

温度と関係づけて整理すると、図 5⁵⁾ のようになった。この図から、次のことが読み取れよう。

① SCC の発生領域は使用環境の平均 Cl^- 濃度ではなく、金属表面の濃縮 Cl^- 濃度によって支配されている。なお、淡水冷却熱交換チューブのように、使用（伝熱）条件が限定されている用途では、環境の平均 Cl^- 濃度で整理することができる。⁶⁾

② SCC 発生時の Cl^- 限界値は、金属表面の濃縮 Cl^- 濃度で 100ppm である。

③ 温度的には水の蒸発（ Cl^- の濃縮）が活発化する 70°C 以上で SCC が起こりやすい。

④ 使用環境の Cl^- 濃度が最初から高ければ、 Cl^- の濃縮過程が省かれるので常温でも SCC が起こる。図中、常温での SCC 事例は高濃度の塩化物、 Cl^- 36% を含む化成肥料プロアー（材質、SUS316L）での例である。

こうして個々の腐食事例は一つの工学情報にまとめられた。（“転”の誕生）

このような工学情報は、次のような課題や防食知見へ

図 5 オーステナイト系ステンレス鋼の SCC と表面 Cl^- 濃縮度、温度の関係
対象鋼種；SUS304, 304L, 316, 316L

の展開を可能にする。

〔新たな課題〕 腐食性化学種（ここでは Cl^- イオン）の濃縮過程の系統化と定量化。

化学種の濃縮には、加温による溶媒（ここでは水）の蒸発だけではなく、非水溶液環境での分配係数の違いによる水相への腐食成分の濃縮、あるいは隙間部や堆積物のアニオン交換性に起因する濃縮現象^{7), 8)} などもあり、これらの濃縮過程を系統化し定量化して理解することは腐食攻撃への己の弱点部を知り、そこを防御する知見や技術につながる。

〔別の防食知見への展開〕 現場実績としての SCC 発生限界 Cl^- 濃度が見出されたので、この結果を保温断熱材下の SCC（以下、ESCC と略記）の寿命予測に適用した。

調査では、断熱材中の Cl^- 濃度を使用前と割れ発生後で分析し、比較した。図 6⁹⁾ にその結果を示す。使用中に断熱材に濃縮される Cl^- 濃度が一定の限界値を越えると、ESCC の発生につながった。これにより、図中、F のケースのように周囲環境から Cl^- の汚染を受けると、断熱材新材時の Cl^- 濃度に関係なく、 Cl^- の汚染濃度に応じて早期に ESCC を発生させた。この結果は、ESCC の危険度判定に、断熱材中の Cl^- 濃度の監視が有用なことを示唆するものであり、図 5 の整理は ESCC 問題にも展開できる。

事例 2 原発設備を始め、産学併せて多大な研究精力を投入しながら未だに問題が途絶えない SCC 問題について、多方面から検討した結果を技術継承という立場で述べたい。

図 7 に示す GV 法 CO_2 吸収塔（炭素鋼）での割れ事例について、応力面および環境面から掘り下げて調査した。

図 6 現場での断熱材中の Cl^- イオンの経年濃縮と ESCC 発生寿命

割れは溶接部にのみ発生していたので、溶接部の残留応力をX線残留応力測定装置を現場用に改造して実測した。その結果を図8¹⁰⁾に示す。

割れ部位には160MPa以上の引張り残留応力が存在し、それ以下の応力の部位では割れの発生はなかった。このため、残留応力がこの限界値以下になるように局部焼なまし法を検討したが、局部加熱法では避けられない温度急変部に、焼なまし後、高い残留応力が再発生して、応力面からの割れ対策は成功しなかった。ただ、現場のSCC事例に対して残留応力面から具体的な限界値を見出した点で、この結果は継承される価値がある。塔を新作する場合には、この限界値（余裕をみて、例えば100MPa）以下の残留応力となるように塔を全体焼なましするという応用ができるし、また、本講の主題の一つでもある腐食攻撃に対する弱点の発見に応力面から迫れたことでも意義がある。ただ、残留応力限界値は材料と環境が違えば変わるであろうから、SCC対策としての普遍値とはならないが、このような現場実績値を積み重ねていけば、将来、応力面からの防食基準が得られるかもしれない。

次に、環境面から割れ対策を検討した。CO₂の吸収／再生には炭酸カリ水溶液が用いられる。ここでの腐食を律速している環境条件を汎用化して表わすと、電位、pHおよびCO₂濃度であり、これらを盛り込んだpH-電位図を図9¹¹⁾に示す。この図には、炭素鋼の炭酸塩環境での環境割れ（SCCおよび水素脆化割れ）発生電位に関する情報¹²⁾も併記した。現場環境は、CO₂吸収時にはpH10、CO₂を放出した再生時にはpH11を行き来している。

ここで、使用中の塔の電位が判れば環境の腐食性を予測できるので、実装置の電位を計測し、図10¹³⁾の結果を得た。GVプロセスは吸収液に亜硫酸が添加されているので、鋼材中への水素吸収を加速することも考えられる。このため、電位に併せて水素透過量の測定も実施した。水素透過量のモニタリングは大学で開発された手法¹⁴⁾を用いたので、この成果は産学協同の賜物といえる。図10より実機の電位はまさにSCC電位域にあり、ここでの割れはSCCであると判断できる。危惧した水素ぜい化は、防食皮膜となる砒素塩が使用によって生成し、それ以後、水素の透過が激減したのでこの心配は解消した。これより、ここでの環境面からの割れ対策として、系の電位を運転中に計測して塔の電位をSCC領域から外す（電位を下げると水素ぜい化域に入る危険があるので、酸化剤を添加して電位を持ち上げる。図10、矢印）ことが試みられ、以後、割れの発生はなくなった。

この事例での教訓は、腐食を支配している環境情報をしっかり把握することで、その場しのぎではない抜本的な対策が生まれ、また、情報を汎用化することにより、

図 14 50% カセイソーダ配管のカセイ割れの季節変動

図 15 各種金属材料のカセイ割れ領域とカセイソーダ水溶液の凝固点

くなるので、気温の下がる冬期には配管を加温して凍結防止が計られる。現場としては、製品の凍結トラブルは絶対に避けたいため、とかく過剰な加温に走りがちになる。この結果、炭素鋼のカセイ割れ領域にまで温度を高めてしまい、SCC を起こしたと考えられる。ここでの腐食弱点は配管表面の加温部になるので、ここでの過大加温を避ける対策（加温スチームの圧力低減やトレス配管と製品配管のメタルタッチの防止など）を講じて、ここでの割れは根絶できた。

4・2 “工学情報への加工” (Engineering) と留意点

腐食事例を工学情報としてまとめるためには、問題事例（失敗例）だけでなく、成功例（以下、OK データと呼ぼう）も集めねばならない。失敗例の解析を“ネガテクノロジー”とするならば、成功例の発掘とその解析は“ポジテクノロジー”と言ってよい。ここでいう工学情報とはネガテクノロジー (N) とポジテクノロジー (P) との間をつなぐ懸け橋であり、技術継承とはこの橋を使って失敗 (N) から成功 (P) へ移る流れといえる。

腐食事例の工学情報への加工で、もっとも目覚ましい成功例は高温高圧水素侵害に対するネルソン図であるが、この成功の陰には失敗例だけでなく、OK データも丹念に収集した努力を見落としてはならない。まさに、ネガテクノロジーとポジテクノロジーを集大成した成果といえよう。

ところで、成功例の発掘は言うほど容易なことではない。腐食がなければ、現場はそのことに気づかない。さらに、OK データであるという判定にも高度の専門知識と現場経験がいる。これは、人の健康診断に例えれば理解し易い。病気なら診断対象を絞れるが、健康だという証明には広範な調査と経験が要求される。ましてや、もの言わぬ機器相手では、なおさらのことである。このため、OK データの発掘は座して待つだけでは入手できず、腐食技術者自身が現場へ出て、汗を流して掘り出す必要がある。

現場で OK データを発掘して始めて認知できた防食成果の一例を図 16¹⁷⁾ に示す。

この事例は、海水熱交に用いた炭素鋼管と DP-3 二相ステンレス鋼管の経済効果を、使用実績を加味して算出し、比較したものである。新設時のコストは後者が高いが、その優れた耐用実績によって、20 年後には炭素鋼管の場合より 1.7 億円の経済効果を生み出した。この差額は、炭素鋼管での補修、取り替えによる生産機会損失を加えれば、さらに大きな値となるであろう。しかし、このような防食実績も、この調査を行うまでは現場側では気付いていなかった。人の健康と同じように病気（腐食）を起さなければ、健康（防食）の有難さが判らないという宿命を医学も防食工学も共有している。

ここで得られた海水熱交での DP-3 二相ステンレス鋼管の OK データを、別途報告されているこの鋼種の“海水用途、使用可能範囲図¹⁸⁾”に適用すると、図 17 が得られる。

図 16 海水熱交への DP-3 ステンレス鋼の適用とその経済効果

図 17 海水用途での DP-3 ステンレス鋼の使用可能範囲

これよりここでの好成績は、この鋼種の耐食性をもっともよく発揮出来る条件（プロセス温度と海水流速）で使用していたためと判る。そして、この使用条件なら、仮に、もらい錆があったとしても問題のないことを過去の使用実績が教えてくれる。一方、図 17 の工学情報側も、20 年にもおよぶ貴重な使用実績を加えることにより、その中身をさらに充実させることができる。

このように、汎用化情報を盛り込んだ工学情報では、多方面からの情報入力が可能であり、これにより工学情報は、自触媒的にその内容を充実し得る。また逆に、これらの汎用化情報を足場にして、工学情報は横展開（他分野への応用）され、そして縦展開（技術の継承）されていく。

4.3 “標準化・基準化” (Enforcement) と問題点

前の工程でまとめられる工学情報は、いわば、腐食技術者向けの専門的な色彩をもつので、これを広く普及するための標準化作業がある。また、場合によっては、とかく見落とされ易い防食問題への認識を深め、その実施を確実なものとするために、ある程度の強制力をもたせた基準化も必要である。

標準化・基準化の背景にはこうした事情があるので、作成にあたっては、利用者が腐食の専門家ではないことも配慮しておく必要がある。とくに、防食手段が作業の効率化を兼ねている場合には注意が必要である。次の事例はこの典形例といえよう。

事例 4 有機酸製造プロセスで、腐食性が激しく高価な高級材が要求されたケースで、空気吹き込みを行うことでより安価な汎用ステンレス鋼で代替できた。幸か不幸か、この空気添加は製品有機酸の重合防止にも役立ったので、この技術は設備のコストダウンと、製品品質の確保という一石二鳥の役割を果たしてきた。ところで、製品の重合防止は、現場にとっては至上課題であるので、この用途の技術はしっかり継承されたが、防食については、長年、問題なく運転しているとこれが当然という感

覚になり、次世代への継承も途絶えていく。やがて、省エネルギー対策としてこの空気吹き込みの動力削減が取り上げられ、空気に替えて重合防止剤の添加が検討されたが、この時点では空気添加を止めた後の腐食問題を気にする空気は現場からは消えていた。

この事例が示すように、防食技術が機能すればその成果を見ることができないという宿命は、防食技術の継承にとって厄介な問題になる。これを突き破るためにも、防食技術の標準化や基準化は大切な作業となるが、単に結果だけを採り上げるのではなく、そこに至った経緯についても十分、解説しておく必要がある。標準化・基準化の工程は、目立たぬ防食成果をしっかりと顕在化させる見せ場でもある。

ところで、標準化作業では情報を単純化しなければならないが、関連要因の多い腐食問題だけに、これには十分な熟慮がある。真の律速要因を選び出せばよいが、現実的には不可能な場合が多いであろう。この穴を埋めるためにも、標準や基準を制定した背景や関係する知見を分かり易く解説しておく努力を怠ってはならない。

図 18 に、断熱材による ESCC 防止に向けて設けられた断熱材組成に関する諸基準を示した。腐食要因となる断熱材中の Cl⁻濃度と、腐食抑制に働く珪酸ソーダ成分との関係で整理して、ESCC を防止できる断熱材の選定を求めている。ただ、現場の実態は、使用中に周辺環境から Cl⁻汚染を受けることもあり（図 6 参照）、この時には新材の Cl⁻濃度は意味のない情報となる。こうした事態に、別の基準図（例えば、図 6 のような）で対応するのか、あるいは解説を付けて誤解を避けるかは、ケース・バイ・ケースであろうが、心すべきは、標準化や基準化には物事を割り切ってしまう落とし穴もあるという認識である。標準化・基準化に際して、その運用にも十分な配慮が望まれる所以である。

4.4 “教育と普及” (Education) に望むこと

こうして積み上げてきた防食活動の成果は、広く普及できて始めてその目的を果たす。教育と普及活動は今までも精力的に繰り広げられてきた活動の目玉でもあるが、防食活動のアンカーとなるこのステージに望むメッセージで、防食 4E サイクルを締めくくりたい。

図 18 ESCC を防止するための断熱材組成についての諸基準

俚諺に言う。「馬を水場に連れて行くのは容易だが、水を飲ますのは難しい」と…。

この寸言の中に教育問題の核心がある。人（馬も同じだが…）に行動を促すためには、その行動が快感につながるという報酬がいる。報酬なしの行動は苦行になり、快感（満足感や達成感でもよい）につながる行動では苦勞を感じない。最近の脳生理学によると、人の記憶や創造的発想は後者の心理状態で最高に発揮され、前者ではきわめて効率が悪いという。このことは、詰め込みの受験勉強と趣味の世界での活動成果とを比べてみれば明らかであろう。

本論に話を戻せば、これまでの普及を目的とした教育活動で“水を飲みたい”と思わせたであろうか？。単に、水場へ連れて行っただけではなかったか？。反省の要がある。腐食防食の教育内容が、いろいろの職場のニーズに密着し、現場問題の解決に具体的に役立ちそうだと受講者が感じた時、その教育は始めて血の通ったものとなる。しかし、いろいろなニーズを抱えた受講者達それぞれに合った事例を準備しようとしても容易なことではない。このためにも、事例を分解（解析）して他の用途にも再組み立て出来る形（汎用化情報）としておくことが大切である。

「物事を歴史で見る者は賢者であり、経験で見る者は愚者である」という箴言がある。

経験とは、その時の事情の中で起こった突発的、断片的、属人的な出来事に過ぎず、時代や事情が異なれば結果もまた違ってくる。これに対して歴史は、時の流れや時代の背景の中で、出来事の因果関係を深く掘り下げて始めて得られる情報である。ここには、将来に備えて現在を客観的にみる教訓も育っている。防食教育においても、単なる経験（個別的な事例）を語るのではなく、歴史と呼べる深い考察と、将来の予測にもつなげる汎用化された情報をちりばめた語りであって欲しい。このようなコミュニケーションによって、受講者の意欲が刺激され、防食活動の達成感が育っていくことを期待したい。

5 結 言

終わりのなき腐食問題に立ち向かうために、これからのあるべき防食活動について考察した。多くの研究成果や防食技術を持ちながら未だに減らぬ腐食問題の背景には、技術継承のまずさや己の弱点を知らぬまま腐食に対処してきた防食管理体制の不備などがある。

これらの課題について、4E サイクル (Evaluation → Engineering → Enforcement → Education) の立場から、化学工場での腐食事例をもとに今後の活動のあり方を議論した。このうち、とくに力点を置くべきは、Evaluation (事例の解析と整理) の工程であり、今までは、ここでの

折角の教訓がその後に活かしきれていない。同様の腐食問題が跡を絶たない理由である。これには、腐食にかかわる現場情報の把握が十分でないことがあり、これが防食技術の継承と活用を妨げている。今後の防食活動では、まず、この分野に産学併せた学際的な取り組みが必要であろう。腐食現場でのしっかりした情報こそが技術の継承や応用に役立つ工学情報の構築基盤になるからである。このことは医学の歴史からも学ぶことができる。病理解剖による明確な病因や死因の確認とその集積が、いかに医学を進歩させたか。また、病理学や疫学的な手法にも学ぶべきものが多くある。腐食防食という守りの技術は、医学と酷似した性格をもつ。3000年に近い歴史を経て、今日の目覚ましい進歩を遂げた医学分野の歩みに、我々も真剣に学ぶべき時がきている。

参 考 文 献

- 1) T. P. Hoar, "Report of the Committee on Corrosion and Protection", Department of Trade and Industry, (1971) Her Majesty's Stationery office, London.
- 2) 腐食コスト調査委員会, 材料と環境, **50**, 490 (2001).
- 3) (社) 腐食防食協会中国・四国支部腐食損失調査委員会, 材料と環境, **49**, 394 (2000).
- 4) ASTM, "Report on Stress Corrosion Cracking of Austenitic Chromium Nickel Stainless Steels", ASTM STP No.264 (1960) ASTM.
- 5) 大久保勝夫, 防食技術, **30**, 705 (1981).
- 6) 西野知良, 藤崎 衛, 石油学会誌, **13**, 555 (1970).
- 7) 山辺 稔, 鈴木紹夫, 北村義治, 防食技術, **23**, 83 (1974).
- 8) 坂下雅雄, 余村吉則, 佐藤教男, 電気化学, **45**, 165 (1977).
- 9) 大久保勝夫, 防錆管理, **27**, 100 (1983).
- 10) 武川哲也, 石丸 裕, アンモニアと工業, **33**, No.3, 12 (1980).
- 11) 大久保勝夫, 材料と環境, **40**, 115 (1991).
- 12) B. Poulson, Corrosion Sci., **15**, 469 (1975).
- 13) 大久保勝夫, 日本材料学会腐食防食部門委員会研究集会資料, No.16, 11 (1979).
- 14) 吉沢四郎, 鶴田孝雄, 山川宏二, 防食技術, **24**, 511 (1975).
- 15) 大久保勝夫, 三木正義, 住友化学 (特集号), 17 (1978-I).
- 16) 大久保勝夫, 防食技術, **28**, 162 (1979).
- 17) 大久保勝夫, 日本材料学会腐食防食部門委員会資料, **39**, No.215, 52 (2000).
- 18) T. Kudo, H. Miyuki, H. Egashira, 3rd. Asian-Pacific Corrosion Control Conference, (1983).