

わが国の化学分野における 腐食コスト調査から見える現状と今後の課題

細谷 敬三

1. はじめに

(一社)日本防錆技術協会と(公社)腐食防食学会は、ほぼ20年を開けて二度(1974年¹⁾、1997年^{2,3)})に亘って腐食コスト調査をおこなってきた。更に約20年経過した2015年の腐食コストを、過去と同じ手法を用いて調査した^{4,5)}。

本稿では、2020年1月に発刊された「わが国における腐食コスト」調査報告書^{4,5)}の中の化学分野の調査結果を紹介し、そこから見える化学プラントの安全および安定して運転するための材料劣化への対応の現状を分析して、今後の課題を提言する。

2. 2015年の腐食コスト調査の概要

腐食コスト調査は、Uhlig方式およびHoar方式のふたつの方法でおこなった。Uhlig方式は、以下に示す腐食防食用途の製品の生産額やサービスの金額などの直接的な腐食対策費を単純に加算したものである。塗料、めっき等表面処理、耐食材料、防錆剤、防錆油および電気防食の生産額、さらには塗装などの施工費および腐食研究を含む。Hoar方式は各産業分野毎(エネルギー、運輸、建設、化学、金属、機械に今回はじめて航空機分野(運輸分野)と通信分野を加えた)に調査したもので、新設設備投資および運轉費の中の腐食対策費の他に、保全費も積算対象になっている。

図1に過去2回(1974年、1997年)と2015年の調査における、腐食コストの総額(Uhlig法、Hoar法)とGNI(国民総所得)の変化を示す。直近の腐食コスト調査報告書では、わが国の腐

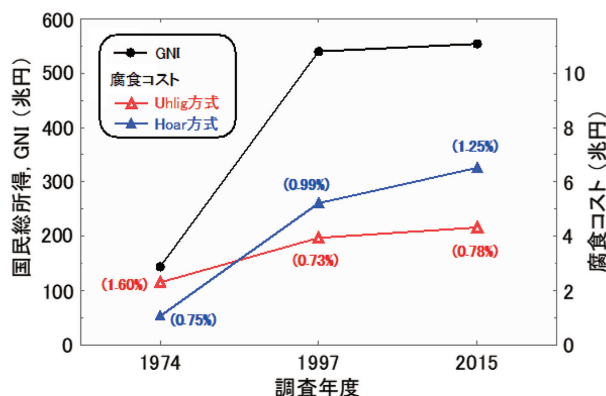


図1 過去2回(1974年、1997年)と2015年の調査における腐食コストの総額(Uhlig法、Hoar法)とGNI(国民総所得)の変化 ()内の数値は腐食コストの対GNI比

食対策の実態は以下のようにまとめられている。

1974年のUhlig方式による腐食コスト調査によってGNPの1.6%の莫大な腐食コストを実感した世代は、この腐食問題の解決へと邁進した。その後を引き継いだ次世代は、蓄積された知識の体系化と普及に取り組み、この20数年間には、多くの教科書、ハンドブック、便覧が刊行され、腐食防食技術の体系化が確立した。これにより、1997年には腐食コストをGNPの0.73%程度にまで低下することができた。それから20年近く経った今回の調査(2015年)では、経済規模(GNI)は前回とほぼ同じレベルで安定期にあり、直接的な腐食対策費を中心に積算されるUhlig方式の結果は、1997年とほぼ同額であった。これに対し、メンテナンス費も積算対象となるHoar方式の結果は0.99%から1.25%に上昇し、腐食対策が更にメンテナンスへ比重を移したことが窺えたとしており、インフラや製造設備の高経年化とメンテナンスの重要性が示された。

3. 化学分野の腐食コスト調査方法

化学分野の腐食コストの調査方法はHoar方式で、過去2回は対象産業の主要各社へのアンケート調査により回答会社の総出荷額を化学分野の工業統計出荷額に割り返し腐食コストを算出した。2015年調査では、数字の絶対値を正



Current Status and Future Issues of Chemical Industry of Japan as Seen From Corrosion Cost Surveys

Keizo HOSOYA

1992年 東北大学 博士(工学)

現在 日本ファインセラミックス(株)技術開発本部 本部長

連絡先: 〒981-3206 宮城県仙台市泉区明通3-10

E-mail hosoya.keizo@japan-fc.co.jp

2022年3月1日受理

確に出すよりは、時代による変化を重点的に見る目的のため、アンケートはおこなわず公表されている統計データ等を用い簡素化した。

財務省の法人企業統計の産業分野別の設備投資を新設設備投資額とし、(公社)プラントメンテナンス協会(JIPM)が毎年おこなっているメンテナンス実態調査報告書⁶⁾の産業分野別に出した保全費から化学分野を抜き出し総補修費用とした。新設設備投資および総補修費用に占める腐食対策費の割合は1997年の各企業へのアンケート調査において、新設設備投資における腐食対策費の割合および補修費に占める腐食対策費の割合を、腐食防食および保全の専門家にヒアリングし決めていた。調査委員による議論の結果、2015年も、それぞれの腐食対策費の割合は大きく変化していないと判断した。具体的には、新設設備の場合は5.5～22.6%(産業小分類で異なり平均で約10%)、補修費の場合は28.8～51.8%(産業小分類で異なり平均で約35%)を腐食対策費の割合とした。腐食対策費総計(腐食コスト)は、新設設備投資額に占める腐食対策費と総補修費に占める腐食対策費の合計額とした。

4. 化学分野の腐食コスト

4.1 調査結果

表1に示すように、2015年の化学分野における腐食コスト

表1 1974年、1997年、2015年の腐食コストの比較

	1974年	1997年	2015年
工業統計製品出荷額 (売上高)/億円	194,000	667,272	1,052,689
新設腐食対策費/億円	950	3,884	3,904
売上高比/%	0.49	0.58	0.37
既設腐食対策費/億円	593	5,918	10,801
売上高比/%	0.31	0.89	1.03
腐食対策費総計 (腐食コスト)/億円	1,543	10,708	14,706
売上高比/%	0.80	1.60	1.40

表2 1997年の腐食コストの調査方法による違い

1997年	工業統計 製品出荷額 /億円	新設腐食対策費 /億円	出荷額比 /%	既設腐食対策費 /億円	出荷額比 /%	腐食対策費総計 (腐食コスト) /億円	出荷額比 /%
前回報告書 調査結果	667,272	3,884	0.58	5,918	0.89	10,708	1.60
2015年調査 方法で再計算	948,808	4,758	0.50	10,824	1.14	15,582	1.64

表3 2015年調査方法を採用した場合の1997年と2015年の腐食コストの比較

	工業統計 製品出荷額 /億円	新設腐食対策費 /億円	出荷額比 /%	既設腐食対策費 /億円	出荷額比 /%	腐食対策費総計 (腐食コスト) /億円	出荷額比 /%
1997年	948,808	4,758	0.50	10,824	1.14	15,582	1.64
2015年	1,052,689	3,904	0.37	10,801	1.03	14,706	1.40

トは14,706億円で、売上高比は1.40%であった。1997年以降2015年まで工業品出荷額は増加傾向にあった。そして、腐食コストも若干増加傾向であったが、出荷額比としては減少していた。

1997年の調査対象の産業分野に比較して、2015年の調査対象産業分野のカバーする範囲が広いことから、今回の調査方法の検証目的で1997年腐食コストを、今回の調査方法で再計算した結果を表2に示す。調査対象が広がり出荷額が増加した分、腐食対策費が増加しているものの、出荷額費はほぼ同じであり、2015年の調査方法は妥当と判断された。そこで、表3に2015年調査方法を採用した場合の1997年と2015年の腐食コストの比較を示す。その結果、売上高は若干増加傾向にあるにもかかわらず、腐食コストは減少傾向にあった。また、新設の設備投資が大きく減少していたが、既設のメンテナンス費用は横ばいであった。わが国の産業全体の評価結果では、2015年の腐食コストは1997年に比較して2015年は横ばいから若干の増加であった結果と比較すると、化学分野は異なる変化をしていた。

4.2 化学分野産業の特徴

財務省の法人企業統計を用いて、化学分野の産業小分類(食品、化学、パルプ紙、石油石炭、繊維、窯業)毎に売上高、設備投資額、固定資産、従業員数およびこれらから求まる各種指標(労働装備率、固定資産回転率など)や日本プラントメンテナンス協会の保全費に関するデータを分析した。その結果、化学分野産業は典型的な装置産業であり、特に石油精製および基礎化学品であるエチレンなどのバルク品ケミカル製造分野では、大型の連続製造設備が少ない従業員で維持管理されており、新設設備投資も最低限で、設備の高経年化が進んでいることを再確認できた。一方、食品および化学分野では、時代のニーズを捉えた新しい製品を生産する設備投資を繰り返しながら売上を伸ばしており、製造設備のスクラップアンドビルドがおこなわれていると考えら

れる。特に、機能性食品およびファインケミカル、機能性材料分野では、製品の付加価値を高めるために、微量な腐食による金属イオンによる汚染基準に対する要求レベルは、年々高くなっている。そのため、高価な耐食材料を使うことも多く、妥当な腐食コストをかけており、更に製品出荷額も横ばいからやや増加しているため、腐食コストは低下していないと考えられる。

JIPMのメンテナンス実態調査報告書⁵⁾のデータから、化学分野における2002年～2016年の保全費の製品出荷額比率の変化を分析したところ、この間ではほぼ横ばいであり、その値は2.8～4% (平均3.3%) であった。組立産業を含めた製造業全体の平均は2～2.5%であるのに対して、化学分野の平均は3.3%であり、可燃性ガスや高温高压の流体を扱う設備の信頼性を確保するために、保全費比率が高い傾向にある。また、化学分野は、一旦腐食による漏洩等があると火災や爆発に至る可能性があり、企業の社会的責任の観点でも、妥当な保全費および腐食コストをかけて、製造装置の信頼性を確保していると考えられる。

4.3 技術進歩の効果

石油産業や化学工業は、一旦事故が起きるとその影響度が大きいので、高压ガス保安法などの法律により設備の維持管理に関して厳しい規制がある。そのため、化学分野においては、産業の発展と共に、内部流体による腐食や材料の経年劣化に関する啓蒙・普及が盛んにおこなわれ、腐食現象の理解や防食技術が確立されてきた。また、検査データや管理手法も高度化しており、例えば、網羅的な管理手法から、技術的にリスクの高い部位を抽出し重点的に検査、補修をおこなう、リスクベース的な管理手法などが使われるようになっていく。

このような腐食防食を含む各種技術の進歩が、腐食コストにどのような影響を与えているのかを考察するための指標として、高压ガス保安協会が作成・公開しているデータベースを用いて、高压ガス関連事故における腐食関連事故比率や重大事故(火災、爆発)比率を分析した。

高压ガス製造事業所事故における腐食関連事故比率を分析したところ、2001年から2008年付近までは腐食関連事故比率は19%であったが徐々に増加傾向にあり、それ以降は50～60%で推移し、2015年は腐食関連事故比率が60%であった。腐食が原因の事故比率は、非常に高いことが明らかになった。この結果からも既設の補修費に占める

腐食対策費の割合を28.8～51.8% (平均: 約35%) としたことは妥当であることを支持するデータと考えられる。化学分野の製造設備の保全の中では腐食対策が重要であることを表している。

一方、製造所事故の一次事象(爆発、火災、漏洩等、破裂等)の分類の中で重大事故である爆発および火災事故数の変化に着目した。表4に製造事業所事故の中の爆発および火災事故件数の推移を整理した。2006年以降製造所における事故件数が急激に増加傾向にある。これは、2001年に経済産業省の事故措置マニュアルの改訂で、事故定義が明確になったことを受けて、事故報告が厳格化し、小規模の漏洩も報告されるようになったためである。注目する爆発・火災の重大事故は、2000～2011年までは徐々に増加し年間10件以上と多かったが、それ以降は徐々に低下しており、2013年以降は年間5件以下となり、軽微な漏洩なども含む報告されている事故の内の1%程度であった。これは、リスクの高い部位や腐食事象が見極められ、それに対して、必要な補修や材質グレードアップなどの腐食対策に必要な保全対策コストがきちんとかけられているため、重大事故が減少してきているのではないと思われる。

4.4 腐食コストの効果と課題

1997年と2015年を比較(表3)すると、工業品出荷額は若干増加している一方で、腐食コストの絶対値はやや低下している。これは腐食対策に関する技術的進歩が腐食コストを低減させる効果を発揮していると考えられる。また、1997年と2015年のプラントの保全での大きな違いは、外面腐食(保温材下腐食(CUIと呼ぶ))の検査および補修である。1997年はCUIが認識されだした時期ではあるが、具体的な保全面での対策は取られていなかった。しかし、2015年では化学分野の多くの会社において、CUI検査および補修がおこなわれている。現状のCUIの対策費の全保全費に対する比率に関して、7事業所(石油精製、石油化学)をヒアリングした結果、5～15%という回答を得た。各製造事業所では、外面腐食のコストを分類しているとのことで、比較的精度の高い結果と判断される。更に、国土交通省データから2015年工事費のインフレ率(1997年比)は約10%であった。従って、2015年の腐食コストからCUI対策費およびインフレ率を割引くと、腐食コストの売上比は1.2% (既設腐食対策費 $\times 0.9 \times 0.9$ を採用した値) となり、内部流体による腐食に対しては1997年より25%ほど効果的な保全がおこな

表4 製造事業所事故の中の爆発および火災事故件数

年	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
事故数/件	32	48	59	65	67	100	150	188	231	270	371	303	288	271	326
爆発火災事故数/件	6	8	18	12	6	18	7	7	18	15	10	6	1	4	3
爆発火災事故比率/%	18.8	16.7	30.5	18.5	9.0	18.0	4.7	3.7	7.8	5.6	2.7	2.0	0.3	1.5	0.9

われるようになったと見積もられる。これは先に述べたように、リスクの高い部位や腐食事象が技術の進歩により見極められ、それに対する保全対策がきちんとなされていることを示しており、同時に重大事故の低減も実現している。

一方、CUIを含む外面腐食は、比較的腐食速度の小さい腐食であるため、設備が高経年化してくると、肉厚の比較的薄い小径の配管からの漏洩などに結びつく腐食現象である。CUI対策の現状は、優先順位をつけて順次網羅的に検査、補修がなされているのが実態であり、高圧ガス事故で報告されている腐食漏洩事故は、高経年化した製造設備において保全の優先順位が低い影響度の小さい部位（対象範囲は広い）での外面腐食を含む腐食速度の小さい腐食事例を多く含んでいると考えられる。高経年化が進んだ設備では、腐食速度の小さい保温材下腐食（CUI）が顕在化し、その効果的な保全技術が求められている。

石油精製装置およびバルク品ケミカルを製造する装置は、高経年化した大型の連続運転装置が多く、設備の集約化が進むにつれて稼働率が非常に高い傾向にある。負荷の高い余裕のない状態で運転されているため、一旦事故があると多くの装置が停止に追い込まれ、間接損失が大きくなる傾向にある。従って、企業としても安全の視点はもちろん経営の視点でも、確実な保全を実現するための技術者、仕組み、費用負担の最適化は、常に考えるべき経営課題と認識されており最適化が進んでいると考えられる。

また、石油精製装置およびバルク品ケミカルを製造する装置は、少ない従業員で製造設備を維持管理している特徴がある。保全に携わる技術者の負荷が高いことから、今後ますます技術基盤を維持する技術者の育成の仕組み、少ない保全技術者で効果的な保全を遂行する仕組み、高度な腐食寿命推定のための腐食モデリング、センシング技術の開発や応用にコストをかける必要があると思われる。

5. おわりに

化学分野の腐食コスト調査の結果、本分野は安全に対す

る責任や国際競争力が問われてきたため、防食技術の進歩を取り込み、リスクの高い部位や腐食事象が見極められ、それに対する保全対策コストの最適化が進んでいると考えられた。その効果として、重大事故も減少してきている。また、ここから見える提言を以下にまとめる。

1) 保全技術者への負荷が高い

技術基盤を維持する技術者の育成の仕組み、少ない保全技術者で効果的な保全を遂行する仕組み、高度な腐食寿命推定のための腐食モデリング、センシング技術の開発や応用にコストをかける必要がある。

2) 設備の負荷が高い

企業としても安全の視点はもちろん経営の視点でも、確実な保全を実現するための技術者、仕組み、費用負担の最適化は、常に考えるべき経営課題と認識され、最適化が進んでいると評価できるが、継続的に経営面での最適化の見直しが必要である。

3) 大型設備の高経年化

石油精製やバルク品ケミカル製造設備は、更新投資が最低限に抑えられ、高経年化が進み、腐食速度の小さい保温材下腐食（CUI）が顕在化し、その効果的な保全技術が求められている。

謝辞

本報告の内容は、日本防錆技術協会、腐食防食学会の許諾を得て「わが国における腐食コスト」報告書、2020年1月発行、日本防錆技術協会、腐食防食学会（2020）から転載している。また、本調査委員である二木崇氏（味の素）、栗原朋之氏（旭化成）、鳥羽和宏氏（出光興産）に深く感謝する。

参考文献

- 1) 腐食損失調査委員会：防食技術, **26**(7), 401-428(1977)
- 2) 腐食コスト調査委員会：わが国の腐食コスト（調査報告書）、日本防錆技術協会、腐食防食協会（2001）
- 3) 腐食コスト調査委員会：材料と環境, **50**(11), 490-512(2001)
- 4) 腐食コスト調査委員会：「わが国における腐食コスト」報告書、日本防錆技術協会、腐食防食学会（2020）
- 5) 腐食コスト調査委員会：材料と環境, **69**, 283-306(2020)
- 6) (公社)日本プラントメンテナンス協会 編：2016年度メンテナンス実態調査報告書（2016）