腐食防食のためのデータベースシステム

佐々木 英次*

* 化学技術研究所

Database Systems for Corrosion Engineering

Hidetsugu Sasaki*

* *National Chemical Laboratory for Industry*

The cost of corrosion is estimated to be a few percent of the Gross National Product, and considerable extent of which could be saved by using existing technology. Corrosion database systems help utilizing existing data and thus contribute to the realization of these cost savings. Forefront of factual databases and expert systems was reviewed. It is expected that better factual databases and good algorithms must be compiled. Knowledge based systems integrated with other application software are very promising.

Key words: corrosion database, factual database, expert systems

1. はじめに

脱工業化社会が言われて久しい。情報技術の進歩は目を見張るものがある。しかし、その脱工業化社会も各種材料から構成される機器、構造物、施設等社会資本の維持管理が出来なければ成立しない。昭和 51 年に行われた腐食損失に関する調査¹⁾によると、我が国における腐食損失額は年間、GNP の 1~2% (昭和 49 年基準で 1 兆 400 億円~2 兆 6000 億円) と見積もられている。昭和 61 年に出された資源調査所「錆対策研究会」の報告²⁾でも、その対策として「腐食防食センター」を設置し、重要任務として、腐食防食知識の普及が挙げられている。さらに米国では NBS が議会で提出した同種の報告³⁾の中で、計量経済学的手法を用いた経済分析を行っており、1975 年ベースで GNP の 4.2% に当たる 700 億ドルの損失があり、その内 15% に当たる 100 億ドルは現用技術の知識の普及で防ぐことができるとしている。そして NACE-NBS の Corrosion Data Program では、防食知識の普及を目指してデータベースの構築を始めている。

腐食防食の研究成果は単に原理が理解できたり、方法が開発されたことだけに止まるのではなく、社会に広く普及してこそ意義を持つ。そのためには発展著しい情報

技術の利用は必須である。特に人工知能 (AI) 技術の一つとして実用化されつつあるエキスパートシステムはまず医療や教育分野で実現しそうである。防食技術がしばしば医療と例えられるように、腐食診断とその対策、材料選択等にはすぐに応用できる手法である。また、現在までに得られた知識を知識工学の手法を用いて記述することにより新たな発見も得られるかもしれない。複雑多岐にわたる材料と環境の組合せからなる腐食現象の研究には今後種々の応用が考えられるであろう。

ここではデータベースの一般について触れ、NACE の *Corrosion*/86, 88 で発表された論文を中心に腐食防食関連のデータベース、エキスパートシステムを概観する。

2. ファクトデータベース

データベースとは一連の情報をその要素に分解し、これを多目的に利用できるように構成したコンピュータ・ファイルと定義される。種々に分類することが可能であろうが、一例として、案内型、ファクト型と分類される。文献検索の際利用する文献データベースのように、文献抄録等の二次情報をファイルにした案内型データベースに対して、ファクトデータベースは、文字、数値、画像に限らず一次情報としての事象をそのままデータベース化したものである。技術の進歩からデータベースは従来の入れられるものを入れるという時代から、必要なもの

* 〒305 茨城県つくば市東 1-1 (1-1, Higashi, Tsukuba, Ibaraki, 305 Japan)

を入れて使う新しい世代へ移って来たという。例えば、新聞の発行に見られるように、記事はまずコンピュータに入力され、編集、発行された後に全文データベースとして使用に供される。記憶容量の制約は無くなってしまったのである。電算写植が普及して、出版される以前に既に計算機可読な情報ができている場合が多く、全文情報をそのままデータベース化しようということが一つの方向となっている。CD-ROM 等に見られる記憶媒体の発達はおフラインのデータベースも可能であり、辞書や地図等の電子出版も始まっている。

ファクトデータベースは数の上では急激に増え、案内型データベースを越えるようになってきたが、その主流はニュース、経済、金融、信用などのビジネス系データベースであるという。科学技術系では気象関係、産業統計関係等が多く、科学技術研究に直接使用できるデータベースは多いとはいえない。科学技術における種々の物性データ等を収集する活動は古くから行われてきたし、それらをデータベース化しようとする動きが大小様々な規模で行われてきた。その中で広く一般からアクセスできる大規模なものとして、昭和 63 年 1 月から JOIS-F オンラインネットワークシステム⁴⁾ が動き出し、化合物辞書⁵⁾、熱物性⁶⁾、質量スペクトル⁷⁾等のデータベースが使えるようになった。さらに、DNA、金属材料強度⁸⁾、結晶構造、化学物質法規等のデータベースが公開準備中であるという。

小野寺¹⁰⁾は科学系ファクトデータベース形成上の問題点として、ビジネス系より需要が限られること以外に次の 3 点を挙げている。

(1) データ作成の困難性

- ① 収集の困難さ (データ源が散在し、非体系的)
- ② 加工・評価に専門的知識が必要

(2) データベースシステムの複雑性

個々のファクトデータによりデータ構造が異なる

(3) 利用形態の多様性

利用が専門的・個別的なため、多様で高度なアプリケーション機能が求められる

上記のデータベースのように明確な物性値等を対象としたものであっても構築は大変であり、また、不特定多数の研究者が種々の目的で利用するとすれば検索システムの開発が重要となる。多様性を極める材料についてもデータベースは種々作成されている⁹⁾が、腐食防食の分野においては (1) 項の作成の困難性は更に高いであろう。しかし、腐食防止を目的とするということで目的志向で整理していけば (3) 項の欠点は消え、潜在的に多数の需要が期待されることと相まって、データベース構築の道は開けるであろう。ファクトデータベースはそれを利用する知識ベースシステムの開発と連係して構築を進

めなければならない。

2.1 腐食防食分野のファクトデータベース

NACE は NBS と共同で腐食データベースの構築を始めており、85 年 6 月にワークショップを開き¹¹⁾、Corrosion/86, 88 で特別セッションを設けている。また、腐食に関する莫大な量のデータの蓄積を持ち、自己の発行する雑誌論文、大会予稿、規格、委員会報告、書籍等 3000 件以上についての案内データベースないし検索システムである NACEIO を作っている¹²⁾。これにより他の汎用の文献検索よりも便利に目的とする論文を探すことができ、またそのハードコピーを手にすることも可能であるとしている。さらに検索システムに改良を加え、エキスパートシステムの如くしていくとのことである¹³⁾。

一方、書籍のデータ集として定評のある“Corrosion Data Survey”の金属編、非金属編 2 巻をソフト化した Cor Sur Vol. 1, 2 を発売している。書籍は金属編で第 6 版 (1985) を重ねる歴史のあるものであるが、これをそのままフロッピーディスクに収め、米国の標準的パソコンである IBM PC, XT, AT で自由に検索することができる。縦軸に温度、横軸に物質の濃度をとったマトリックスの中に当該材料の腐食速度を記号で表すという、書籍と同じ表現形式を用いているが、データベースの特長として、特定の温度濃度範囲で、ある腐食速度を示す材料を直ちに検索する。また、図を拡大したり、カラー化したりすることもあるが、最大の長所はデータの一部訂正、新材料、新環境の追加等の改訂が容易であることとしている¹⁴⁾。しかし、内容的には書籍と変わらないので、人によっては値段も半額で一目瞭然の書籍を選ぶであろう。また、NACE-NBS のデータベース計画では下記のデータも集めていた^{15), 16)}。

- ① 全面腐食に対する等腐食線図
- ② 米国の大気腐食図
- ③ 電位-pH 図
- ④ 孔食、すきま腐食等の局部腐食

発表の段階では図の部分的拡大、重量等ができるだけであったが、今後どのような形に発展され、公開されるのか期待したい。

一方、西独の DECHEMA では書籍のデータ集ではあるが全 12 巻の“Corrosion Handbook”の刊行を開始した¹⁷⁾。年 2 巻ずつ、6 年で完成するという。例えば、第 1 巻では水蒸気、塩素、水酸化カリウム、塩化アルミ、酢酸類、硫酸類、フッ化物類等の物質環境における金属、非金属、無機材料、有機材料の挙動が記述され、原文献に到達できるようになっている。

しかし、腐食研究者にとっては上記のように事実を羅列したデータ集よりは、理論に基づいて導き出されたものの方が安心であろう。材料の熱力学的安定性を熱力学

図1 Fe-S-H₂O系 E-pH 図¹⁸⁾

的物性値から導き出すことは Pourbaix 以来行われて来た。電算機が発達後は電算機で電位-pH 図を書くことも数多く発表された。小玉¹⁸⁾の製作したシステムはパソコンレベルで誰でも電位-pH 図や Ellingham 図等の化学ポテンシャル図を自動作図することを可能にした。図1に示すように物質名、濃度、温度を与えれば、システム内の熱力学データベースから必要とする値を引いてきて、計算の上、図示してくれる。濃度、温度を自由に指定できるということで応用範囲は広い。腐食速度については物性値から直接というわけにはいかないが、例えば、尾崎¹⁹⁾はガルバニック腐食の設計評価システムを作り、自ら実験で求めた腐食速度のデータをデータベース化して、そのシステムの計算の根拠としている。

例えば、大沢²⁰⁾は粒界腐食のコンピューターシミュレーションを精力的に行っているが、シミュレーションと実験結果が一致したら、機構を証明しただけにとどまらずそれを利用したシステムを作ってもらいたい。究極的には物性値データベースのデータからシミュレーションにより腐食速度を推定できることであるが、そのためには腐食反応のコンピューターシミュレーションがもっと盛んにならなければならない。

上記のようにアルゴリズムとデータベースを結び付けるのではなく、データを同じ型式でファイル化し、その多量のデータから帰納的に原理を見出そうという試みがある。Rungta ら²¹⁾は原子力発電所における応力腐食割れ、腐食疲労のデータベース EDEAC を作っており、膨大な数の実験室データをこのシステムによって整理することにより、ASME コードの再評価やメカニズムの解明ができるとしている。日本材料学会では金属材料応力腐食割れ・腐食疲労強度データ集を書籍、テープ両方で出版している。総数 3023 編の公開文献からデータを収集し、データベース化しており、各種の利用が考えられる。

Shtefez²²⁾ は腐食分極曲線のデータバンクを計画しており、既に約 3000 の分極曲線を集め、広く一般にデータの提供を呼びかけている。

Mikhailov ら²³⁾は大気腐食に関するデータベースを構築しようとしている。大気腐食の分野では腐食影響因子と腐食速度の関係について各種の経験式が出されているが、このような式の再評価がデータベースと結び付くことによってなされるかもしれない。

一方、B. J. Moniz ら²⁴⁾は Du Pont 社内に“Rust”と呼ぶシステムを作っており、100 か所を越えるプラントサイトや実験室で行われる腐食試験のデータを統一的に収集、計算、訂正等を行っている。当協会の腐食防食データベース分科会においても委員各社のデータベースの実状を紹介してもらったが、市販のデータベースソフトを利用して何らかの形でデータベースを構築している。しかし、案内型に近いデータベースが多かった。比良²⁵⁾は高温水腐食のデータを集めることを目的としたデータベースシステムを作った。記憶装置の進歩を反映して画像データも直接データベース化している。今後、目的を限定して集め、将来エキスパートシステムにも連動していくことを意識したデータベースが多くなるのであろう。

島²⁶⁾は古くから腐食データのデータベース化の試みを行って来た。最近では画像入力やネットワークまで考えたシステムとし²⁷⁾、大型計算機を中心とするシステムを完成させた。前記の腐食防食データベース分科会においては島を中心に、最近普及著しいパソコン上で動く、腐食防食データ用のデータベースマネジメントシステムの作成を試みたが、まだ道半ばである。共通のデータの入れ物があれば、目的に応じたデータベースを共同で構築できる道が開かれる上に、共同実験等の結果をフロッピーディスクの形で持ち寄り評価することも可能となるであろう。もちろん自分用のデータベース作成にも使える。しかし、多様性極まる腐食現象を網羅するためにどのような仕様にしたら良いのか、規格化することが一番難しい。NACE や ASTM でも種々規格化していこうとする動き²⁸⁾があり、それらも参考にしながら作成して、実際に使ってみる段階にきているのであろう。

3. エクスパートシステム

近年、人工知能ないしエキスパートシステムという情報処理技術が盛んになってきた。コンピュータに人間の脳と同じ働きをさせようということから知能あるいは思考過程の分析が進み、知識工学が生まれ、認知科学が進歩した。そして、知識をことさらに重視し、それを基に推論を進める新しいプログラミング技術が発達してきた。人工知能については既に解説^{29), 30)}もあり、詳しく述べることはしないが、従来の手続中心型のプログラミングではデータ操作の制御を行うアルゴリズムにより、構造のしっかりしたデータを効率良く処理していくのに対し

図2 知識ベース・システムの基本構造

て、この知識型プログラミングでは知識を宣言的に表現し、独立して取り扱い、知識工学に基づく原理により推論させる。図2にあるように推論部は個々の知識とは独立であり、大部分汎用のものを使用できる。推論の方法には一定の法則があり、例えばプロダクション・システムでは知識を IF (A) THEN (B) のルールで表現しておき、A が正しければ B であるとする前向き推論と逆の後向き推論を組み合わせることで結論に達する。また、フレームシステムでは知識をツリー構造で表現しておき、判断させる。人工知能に向くと言われる LISP, PROLOG 等の言語は以前から存在したが、最近、知識を出入れするエディタと一種ないし数種の推論システムを持った推論エンジンを組み合わせた、エキスパートシステム開発用の汎用ツール(シェル)が多く開発され、利用者は自己の持つ知識だけを入れることによりシステムが組めることとなった。各種の知識モジュールの逐次追加、修正が容易にでき、システムを段階的に成長させ、頭を良くしていくことも可能であり、極めて柔軟性に富んでいる。ハードの面でも、大容量と高速のマシンを必要とすることから、ワークステーションクラスで考えられてきたが、パソコンのレベルも向上し、また逆に第5世代コンピュータプロジェクトから新しい逐次形推論マシンも生まれてくる等、構築上の制約は大小あらゆる規模のシステムに対して無くなりつつある。

エキスパートシステムは専門家から獲得された専門知識を利用して推論を行い、複雑な問題を専門家と同程度の能力で解決することを目標とするものであるという。しかし、機械にとって入れられた各知識間の矛盾は発見することはできたとしても、知識を入れるのが人間である限り、それ以上の創造力を発揮することは不可能である。最初の AI システムが化学構造式推定システム DENDRAL であり、MYCIN 等各種医療診断システムに発展していったように、解釈、診断、選択、コンサル

タント等の機能は比較的容易にシステムに組みやすい。腐食分野ではこのような問題が多く、種々のシステム作りが試みられ始めている。

3.1 腐食防食分野のエキスパートシステム

NACE の Corrosion/86, 88 を中心に腐食防食関係のエキスパートシステムを概観してみる。まず関連のシステムを一覧表にすると表1のようになる。参考のため身近にある日本の例も3例加えてある。

英国の Harwell 原子力研究所と NPL は共同で局部腐食を中心とする腐食のコンサルタントシステム ACHILLES⁸¹⁾ を製作した。腐食については素人である技術者を対象としており、予測、診断、教育を目的とする大規模なものである。推論のためのルールベースを持つほかに、データベースを持っており、種々の事象の解説、関連する代表的な公開文献、数値データ、規格、その他の必要な情報が入っており、インフォメーションシステムとなっている。ユーザーの求めに応じて、ルールと推論エンジンにより、該当する情報が引き出されるわけである。腐食分野のようにデータが多様である場合には、多様なままデータベース化し、検索にエキスパートシステムを使うことは非常に有効であろうと考えられる。

ベルギーの Leuven 大学でも大規模なシステムの開発を目指している。EC には ESPRIT 計画という情報産業育成計画があり、1984 年からの 10 年を第1期として 15 億ドル以上の巨費を投じる予定であるという。その一環として腐食分野では Leuven 大学が担当し、ESCORT⁸²⁾ と名付けるシステムを作りつつある。材料選択、防食法、腐食診断とその対策、オンラインの情報センターを目指す大規模なエキスパートシステムであり、その一部の材料選択の部分に Prime⁸⁴⁾ と名付け、200 万米ドルの予算と 30 人年のマンパワーで構築を始めている。既に 4000 以上の知識が入り、88 年 10 月までには完成版を公開する予定とのことである。

上記のような大規模なものだけでなく、用途を限定した小さいシステムも試みられて来た。しかし、86 年の段階では単にエキスパートシステムを作ったというものが多かった。例えば、Schmauch ら⁸⁵⁾ はパソコンで油井環境での腐食診断と石油環境で耐久性を持つエラストマーの選択という 2 つのシステムを試作した。しかし、前者では腐食知識を IF-THEN ルールで書き写すことの困難さとパソコンの容量不足を感じた。さらに後者では容量は充分であったが、知識が不足していた。また、知識の欠陥を見出すことができたという。パソコンの容量の問題は技術がすぐに解決してくれるであろう。エキスパートシステムを作ることにより、我々の知識の欠陥が分かるという指摘は我々にとって重要である。

Pessall ら⁸⁷⁾ は電算機の専門家の助けなしで、PWR の

表 1 腐食防食のエキスパートシステム例

名 称	機 関	ハードウェア	ソフトウェア		内 容	文献
			言 語	シ ェ ル		
ACHILES	Harwell, NPL	DEC VAX 11-780	PROLOG		局部腐食対策全般の腐食コンサルタント	(31)
MENTOR	Harwell				海水腐食に対する材料選択, コンサルタント	(32)
ESCORT	Leuven 大学				大規模な腐食情報システムのプロトタイプ	(33)
PRIME	Leuven 大学	SUN (将来は 386 パソコン)		KEE-3	材料選択 ESCORT の一部分	(34)
	Conoco Inc.	IBM PC	FORTH	EXPERT-3	油井環境での腐食損傷解析 耐油性エラストマーの選択	(35)
	Cabot Co.	IBM PC		Expert Ease	パルプ・製紙業における腐食診断及び材料選択	(36)
	Westinghouse		LISP 方言	Personal Consultant	PWR の配管と支持板の材料選択	(37)
DURCON	NBS	IBM PC	PASCAL		耐久コンクリートの診断	(38)
CPI	Corrpro Co.		Turbo Prolog		カソード防食システムの設計	(39)
COREX	Battelle	XEROX 1121		CSRL	石炭火力の廃煙脱硫装置の腐食診断, 対策, 材料選択	(40)
	U.S. Army CERL		KRL, Prolog	ESP Advisor	材料選択	(41)
	フィンランド技術 研究センター	PC	PASCAL	INSIGHT 2 ₊	予測, 損傷解析, 材料選定 等のプロトタイプ	(42)
COREXYS	Ontario Hydro			EXSYS	発電所のボイラー管の腐食診断	(43)
MOR or LES	Sun Refining & Marketing	DEC	FORTTRAN	OPS 5	製油所のオンラインでの腐食問題のアドバイス	(44)
	E.I. du Pont de Nemours & Co.	IBM PC		INSIGHT 2 ₊	ボイラーの水処理の補助	(45)
	IHI		FORTTRAN	OPS 5	原子力発電所配管の欠陥評価	(46)
	中部電力, 東洋エンジニアリング			OPS-83	電力用復水器の腐食診断	(47)
	大阪府立産業技術 総合研究所	NEC PC 9801	C	創 玄	一般的な腐食診断のプロトタイプ	(48)

配管と支持板の材料選択システムを構築し, 実際に各種合金の組合せの適否をシステムに判断させている。そして, エキスパートシステムを作ることにより, その専門家がいらなくなるのではなく, システムを改良するために必要であり, システムは知識の継承, 伝播, 教育に役立つばかりでなく, 専門家と同じ仕事の繰返しから解放し, 知識が公開の場に出されることにより, 誤りも見出しやすくなる等の長所を指摘している。

2 年後の 88 年になると数が増えたばかりでなく, 内容も変化を見せている。例えば, 開発するシステムに合わせてプログラミングツールを選んでいる。Nicholas³⁹⁾ はカソード防食の CAD システムを目指しており, 100 程度のルールを持つプロトタイプを作り, 教育には役に立つとしているが, カソード防食では計算等が多いため, 既成のシェルより, Turbo Prolog のような言語を直接用いた方が良いとしている。Eugene ら⁴⁰⁾ が指摘し

ているように、防食技術とりわけカソード防食についてはパソコンの応用できる場面が多い。土壌抵抗、迷走電流等の現場データ、価格積算等の経済分析、最近進歩の著しい電位分布のシミュレーションを考慮した設計等モジュール化できそうなシステムが多い。これらのモジュールをすべて包含した実用に耐えるカソード防食のコンピュータ支援設計システムの完成を待ちたい。

Koch ら⁴⁰⁾は自研究所で開発した分類型エキスパートシステム構築支援ツール CSRL が特に診断、選択システムの構築に適するとして、手持ちのデータで廃煙脱硫装置の腐食診断、対策、材料選定システムを作ってみせた。同じ手法を用いれば容易にシステムが組めるとしている。

Kumar ら⁴¹⁾も構築の容易さを考慮して 2 種類の言語を使えるシェル ESP Advisor を選んでいる。

もう一つ言えることは既に手法が成熟した技術についてエキスパートシステムを作り、実用に供していることである。Mayer⁴²⁾は発電所のボイラー管の損傷機構を判断するシステムを既存の EPRI のマニュアルに沿う形で構築している。伏見ら⁴⁷⁾の復水器の腐食診断も既に解決した問題であるという。しかしシステムを組んでみると表記法が難しく、ルール数は 400 に達した。また、この 2 つのシステムは共に錆などの実際の写真をシステムに組みこんでいる。教育的要素を入れるとなると実例を持ってくることが一番速いのであろう。

Loushin⁴⁴⁾は製油所のコンピュータシステムの中にシステムを組み込み、操作パネル上の CRT に直接腐食のアドバイスが出るようにした。コンピュータシステムが FORTRAN で動いているため OPS 5 を FORTRAN に翻訳しているという。

Westcott ら⁵⁰⁾は Harwell でシステム開発してきた経験から腐食の情報システムについて忠告を述べている。その中で構築について、ヒューリスティック (専門家の多少確実さには欠けるがうまいやり方といった経験的) な知識が扱えるため腐食にとって有利であること、知識ベースと他のテキストのデータ、数値データ、数式モデル等を関係付けるソフトを使うべきことなど、このシステムの柔軟性を支持することを述べている。

実用化されてきたといっても専門家にとって目新しい事実がでてくるわけではなく、知識の整理とシステム構築の面倒臭さに比べれば得るものが少ないことも事実であろう。エキスパートシステムは KE (Knowledge Engineer) が専門家から知識を獲得して組み立てるものとされている。しかし、それでは知識のレベルが KE の理解した水準まで下がってしまう。それよりも自分で自分の専門の分野について作ってみたらどうだろう。事実、電算機の専門家の助けなしに作ったとする人々^{37), 42)}

もいる。アルゴリズムを組み立てるより、素人にとってはとっつきやすそうである。シェルも改善されてきたし、パソコン上でもできるようになってきた。システムを組み立てて見れば、どの知識が足りないか問題点が明確になるであろう。

アルゴリズムを用いてシミュレーションによる攻め、知識工学的な攻め、数々の小さいモジュールが確立していけばやがて大きな問題も解決していくであろう。また、知識工学的手法が発達し、予測、設計等の創造性の高い仕事、類推、帰納などコンピュータの苦手な推論ができるようになり、研究手段として使えるようになることも期待したい。

4. おわりに

腐食による金属材料の損失が莫大であり、それは防食知識の普及によりかなり防げる。そのために腐食データベースの構築が有効な手段であること。腐食関連のファクトデータベース、エキスパートシステムの現状を概観し、コンピュータを使ったシミュレーション、知識工学的手法による知識の整理が、新たな知識の獲得や知識の普及に役立ちそうなことを述べた。この方面への努力は研究者にとってはもう一つ気乗りがしないかもしれないが、これからの情報化時代にこのような形での整理はますます必要となるであろうし、払った努力は報われるであろうと信ずる。 (1988 年 8 月 2 日受理)

文 献

- 1) 腐食損失調査委員会: 防食技術, **26**, 401 (1977).
- 2) 科学技術庁資源調査所編: 「身近にあるさびとその対策」, p. 36, 大蔵省印刷局 (1986).
- 3) L. H. Bennett, J. Kruger, R. L. Parker, E. Passaglia, C. Reimann, A. W. Ruff & H. Yakowitz: NBS SP 511-1 (1978).
- 4) 黒澤慎治: 情報管理, **31**, 15 (1988).
- 5) 荒木啓介: 情報管理, **31**, 21 (1988).
- 6) 志村和樹, 阿部篤史: 情報管理, **31**, 41 (1988).
- 7) 岡野恵子, 阿部篤史: 情報管理, **31**, 56 (1988).
- 8) 西島 敏: 日本機械学会誌, **90**, 1296 (1987).
- 9) 例えば, 岩田修一: 日本機械学会誌, **89**, 1335 (1986).
- 10) 小野寺夏生: 第 3 回腐食防食データベース分科会資料, (1986).
- 11) E. D. Verink, J. Kolts, J. Rumble & G. M. Ugiansky: *Mater. Perform.*, **26** [4] 55 (1987).
- 12) N. E. Hamner: Corrosion/86, Paper No. 41, NACE (1986).
- 13) N. E. Hamner: Corrosion/88, Paper No. 122, NACE (1988).
- 14) D. E. Clausen: Corrosion/86, Paper No. 43, NACE (1986).
- 15) D. C. Clausen, G. M. Ugiansky & A. C. Van Orden: "4th Asian-Pacific Corrosion Control

- Conference" Vol. 2, p. 1258, Tokyo (1985).
- 16) G. M. Ugiansky, A. C. Van Orden & D. E. Clausen: Corrosion/86, Paper No. 39, NACE (1986).
  - 17) DECHEMA: "Corrosion Handbook" Vol. 1, VCH Verlag. (1987); Vol. 2 (1988).
  - 18) 小玉俊明: 腐食防食 '88 講演集, p. 42, 腐食防食協会 (1988).
  - 19) 尾崎敏範, 石川雄一, 穂山雅男: 腐食防食 '85, p. 287, 腐食防食協会 (1985).
  - 20) 大沢基明, 池津福治郎: 防食技術, **34**, 331 (1985); 腐食防食 '87, p. 231 (1987); 腐食防食 '88, p. 50 (1988).
  - 21) R. Rungta, H. Mindlin & J. D. Gilman: Corrosion/86 Paper No. 42, NACE (1986); *Mater. Perform.*, **25** [11] 43 (1986).
  - 22) R. Shtefez: *Zashch. Met.*, **23**, 180 (1987).
  - 23) A. A. Mikhailov, M. N. Suloyeva & Yu. N. Mikhailovski: *Zashch. Met.*, **24**, 355 (1988).
  - 24) B. J. Moniz & T. C. Wool: Corrosion/86, Paper No. 40, NACE (1986).
  - 25) 比良康夫, 本田 卓: 腐食防食 '88 講演集, p. 54, 腐食防食協会 (1988).
  - 26) 島 貢, 北村義治, 鈴木紹夫: 防食技術, **30**, 91 (1981).
  - 27) 島 貢, 北村義治, 鈴木紹夫: 防食技術, **36**, 481 (1987).
  - 28) D. B. Anderson: Corrosion/88, Paper No. 119, NACE (1988).
  - 29) 柴田啓一, 篠ヶ谷達司: 防食技術, **37**, 42 (1988).
  - 30) W. Fischer, L. Fohmann & W. Mader: *Werk. u. Korros.*, **38**, 375 (1987).
  - 31) C. Westcott, D. E. Williams, I. F. Croall, S. Patel & J. A. Bernie: Corrosion/86, Paper No. 54, NACE (1986).
  - 32) J. N. Wanklyn & N. J. M. Wilkins: *Br. Corros. J.*, **20**, 161 (1985).
  - 33) W. F. Bogaerts, M. Rijckaert & C. Bettendorf: Corrosion/86, Paper No. 58 NACE (1986).
  - 34) M. J. S. Vancoille, W. F. Bogaerts & M. J. Rijckaert: Corrosion/88, Paper No. 121 NACE (1988).
  - 35) E. H. Schmauch & W. H. Thomason: Corrosion/86, Paper No. 55, NACE (1986).
  - 36) S. E. Marschand, D. C. Carlson & A. I. Asphahani: Corrosion/86, Paper No. 56 NACE (1986).
  - 37) N. Pessall & J. Schreurs: Corrosion/86, Paper No. 57, NACE (1986).
  - 38) J. R. Clifton: Corrosion/86, Paper No. 60, NACE (1986).
  - 39) K. W. Nicholas: Corrosion/88, Paper No. 96, NACE (1988).
  - 40) G. H. Koch & S. C. Rinehart: Corrosion/88, Paper No. 123, NACE (1988).
  - 41) A. Kumar, A. Odeh & T. Wiersema: Corrosion/88, Paper No. 125, NACE (1988).
  - 42) T. Hakkarainen, L. I. Carpén & R.-L. Tuulikki Hakkarainen: Corrosion/88, Paper No. 126, NACE (1988).
  - 43) P. Mayer: Corrosion/88, Paper No. 127, NACE (1988).
  - 44) L. L. Loushin: Corrosion/88, Paper No. 164, NACE (1988).
  - 45) R. A. Leathrum: Corrosion/88, Paper No. 201, NACE (1988).
  - 46) 片岡茂樹, 岡本旦夫: 腐食防食 '87 講演集, p. 223, 腐食防食協会 (1987).
  - 47) 伏見富和, 恩田勝弘, 柴田啓一, 松本桂一, 篠ヶ谷達司: 腐食防食 '88 講演集, p. 58, 腐食防食協会 (1988).
  - 48) 袖岡孝好, 佐藤幸弘, 吉田総夫: 防錆管理, **32**, 48 (1988).
  - 49) E. A. DeCarlo, J. Wagner, Jr. & D. M. Waters: Corrosion/88, Paper No. 112, NACE (1988).
  - 50) C. Westcott & J. N. Wanklyn: Corrosion/88, Paper No. 128, NACE (1988).