

安全、安心とコスト・ダウンを両立させる保全

Reliable Maintenance Management for Safety & Cost Down

(株)イー・アイ・イー研究社 芝尾 紘一 Koichi SHIBAO Member

To cope with the global competition, this paper proposes an emergent cooperative approach for securing safety with cost down in plant maintenance. By sharing & integrating knowledge among companies as to the troubles and injuries of plant facilities, the reliable evaluation & prediction of deterioration of plants is possible. This facilitates to provide agile solution for maintenance through the integration & formulation of knowledge base by acquiring knowledge from various engineering documents such as drawings, specifications, etc.

Keywords: safety with cost down, prediction of deterioration of facilities,KB,drawings

1. 目的及び背景

提供する製品やサービスには品質と提供するために必要なコストが発生する。品質は、顧客が享受するもので、コストは顧客が負担するものである。従って、顧客に提供する品質は出来るだけ高いことが要求されるし、顧客が負担しなければならないコストは出来るだけ低いことが要求される。どのような産業においても、企業の行う製品やサービスを提供する活動はなんらかの意味で経済活動であるので、市場から経済的に支持されない活動を行うことは出来ない。例えば、トヨタ生産システム（TPS）は、需要に合わせて生産する多品種少量生産方式で生産技術の長年の改善追求により高い競争力/収益力成功している。不良品を無くし、在庫や出荷までのリードタイムを最小化することでコストダウンと同時に顧客の多様な好みに合った高品質の製品を生産している。

しかし、一般には品質とコストの関係は、トレードオフ又はバランスの問題と考えられ、品質が良ければコストも高いのが当然とされていた。しかし、自動車の例でも明らかなように、今日では国境の無い自由な市場活動が一般的になり、グローバル化されつつある。そして、価格を決定するのは市場、つまり、顧客とされ、かつてのようにコストに適正利潤を上乗せすると言う考えは許されない。品質が良くてコストは安いのが当然視され、従って品質とコストはトレードオフやバランスという、かつての当然の考え方では対処出来ない。従って、例えば品質の一つと考えられる安全、安心であっても、それを提供するのによりコストがかかる、つまり、顧客に対しより大きな負担を求めることは困難である。安全、安心のためだけに過大な負担を要求

する製品、サービスは、市場競争から脱落すると言っても過言でない。

2. リーン・エンジニアリングへの潮流

TPS は市場に合わせて迅速(agile)に多品種、少量生産を行うために、JIT (Just In Time) による平準化、つまり、部品供給から顧客までの全ての過程で無駄、無理、斑を排除して行うところに特徴がある。そのため、全ての製造過程で不良品率の高い生産の信頼性が要求され、「目に見える化」の方針の下に不良品が発生すると工程を必ず止めて原因を徹底的に追求し、再発防止を図っている。

安全は生産の前提として重視されており、優先的に作業者の危険性、肉体的苦痛を避けるためだけの自動化が推進されている。TPS では実生産量/生産能力の稼働率、可能生産量/生産能力の可動率の違いがある。前者は需要に合わせる必要があり、又、後者は需要に合わせた生産を可能にするために常に 100%が要求される。そのため、安全も保全も、作業者の能力もより高い水準が要求され、結果として社会的な規範から要求される安全性などをはるかに凌駕したものになっている。

TPS では、企業の利益追求つまり、無駄、無理、斑のない生産を追及し、それはそのまま安全性のより高い水準での追及につながっている。ここでは、安全、安心とコスト・ダウンはトレードオフでなく、安全を追及することは利益や利用者の負担を小さくすることにつながっているのである。

このように、品質とコストダウンがそのまま一致するような生産や保全方式が望ましい。その場合、安全のために行った努力が、企業の利益としてリサイクル

連絡先：芝尾紘一、〒1020074 東京都千代田区
九段南 3-7-7 九段南グリーンビル 10F、
(株)イー・アイ・イー研究社、電話 03-5212-3151
e-mail:shibao@aie-res.co.jp

され、安全のための原資として利用される。すると益々、安全性が高まり、それは更に利益が増え、安全のための努力に跳ね返り正にフィードバックされる。

以上のような安全への努力がコストダウンの結果につながる正のフィードバック・リサイクルが自動車工業以外の他の産業では可能ではないのだろうか。ここでは、石油化学、化学、発電などプロセス・プラントの設備保全業務のあり方において、探ってみたい。

3. 設備の信頼性向上によるリスクとコスト削減

3.1 プロセス・プラントのリスクと操業期間

プロセス・プラントは所謂、装置産業であり、特に石油精製、大型化学、原子力・火力発電プラント等の連続プラントでは24時間絶え間なく操業されている。大量の原料やエネルギーを消費し、大量の製品・サービスを提供しているので、需要がタイトな時期にプラントが操業を停止すると莫大な損失を招き、その額は大型石化プラントで1日の停止で3億円、原子力プラントで1億円に達する。これ等のプラントでは停止、再起動に大きなコストがかかるので、出来るだけ長期に連続して安定運転を続けるのが、採算性に非常に関係する。

運転を停止する理由として、設備故障や誤操作による事故で、運転継続が不可能で停止する場合も、又、不幸にして事故が火災、爆発により災害に発展し生産が停止することもある。しかし、一般的に多いのは運転期間を事前に決めておき、定期的に停止し、設備の点検補修する場合である。

従って、このような大型プラントの場合は、故障等による緊急停止や生産能力低下による生産損失を防ぐと同時に、定期運転期間を延ばす、点検補修による定期停止期間の短縮がコストダウンに大きく影響する。

この場合、留意しなければならないのは、運転期間を延ばすと一般に機器や配管、計器など設備の信頼性が低下するという考えである。プロセス・プラントの起動時には設備の初期故障が多く発生するので、運転期間を短縮することは必ずしも全体的な信頼性を向上させることにはならない。これは、起動してから定期的な開放点検、補修のための定期停止までの最適運転期間があるのである。これは、回転機械や配管部品の接合部などに適当な嵌め合いや摺り合せなどの調節

が必要である。しかも、設備の状態は温度、圧力や流体の流動状態などによっても変り、増し締めなど調整する必要がある。

開放して点検したり、更に補修した場合には、開放に伴う問題が派生する。操業時と停止時の温度の違いによる配管表面の結露もその一つだが、保温冷材の材質と結露した水分が結合して高濃度の腐食環境を発生させる。多く発生する配管サポートと配管との間のトラブルはサポートによって固定された配管にかかる熱応力によって発生する力によるものであるが、操業時と停止時の温度差は必ず発生するので防ぐことは難しい。

従って、操業期間を短縮するのは必ずしも設備の信頼性を高めることにはならないのである。一般的には初期故障と減耗や繰り返し応力、腐食などによる設備劣化の2つの要因による信頼性の低下、リスクが総合的に最低になる点が最適な運転期間であろう。

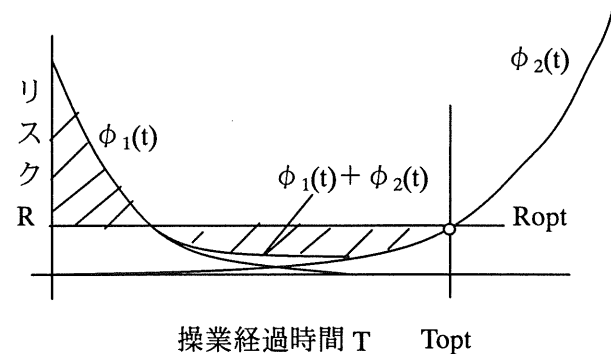


Fig.1 操業期間とリスク

所謂バスタブ曲線と言われるリスク曲線である操業期間 T における平均リスク R は

$$R(T) = \frac{\int_0^T \phi(t) dt}{T} = \frac{\int_0^T \{\phi_1(t) + \phi_2(t)\} dt}{T}$$

但し

$\phi_1(t)$: 初期故障リスク

$\phi_2(t)$: 寿命リスク

である。

3.2 リスクを最小にする最適操業期間

操業期間中のリスクを最小にする、又は少なくとも許容限界以内に抑制することが求められる。ここでは、

まず、平均リスクを最小化することを考えると、最適な操業期間 T_{opt} は

$$T_{opt} = \underset{t}{\text{minimize}} R(t) = \underset{t}{\text{minimize}} \frac{\int_0^t \phi(\tau) d\tau}{t}$$

$$\frac{d}{dT} R(T) = \frac{d}{dT} \left\{ \frac{\int_0^T \{\phi_1(t) + \phi_2(t)\} dt}{T} \right\} =$$

$$= -\frac{\int_0^T \{\phi_1(t) + \phi_2(t)\} dt}{T^2} + \frac{\{\phi_1(T) + \phi_2(T)\}}{T} = 0$$

$$\therefore \frac{\int_0^{T_{opt}} \{\phi_1(t) + \phi_2(t)\} dt}{T_{opt}} = \{\phi_1(T_{opt}) + \phi_2(T_{opt})\}$$

最も、平均リスクが小さくなるのは時間 T までのリスクの平均値と時間 T でのリスク値が一致した点である。従って、初期故障によるリスクの平均との差分が、操業期間の延びによるリスク増加分とが一致した時間が最適な定期運転時間 (T_{opt}) である。

3.3 信頼性向上によるリスクとコストの削減

以上のように、停止し再起動する場合に初期故障が発生する以上、必ず、リスクが最小になる運転期間が存在する。また、化学プラントではプラント再起動時に大きな事故に遭遇する事例が多い。他のプラントでも、社会的なリスクの大きさから、表面化していなくとも再起動時の初期トラブルによるリスクはかなりのものがあると予想される。従って、徒に運転期間を短縮することは反ってリスクが増大することになる。

それで、設備の信頼性を向上させ、定期運転時間を T'_{opt} 延長することで設備の停止再起動の回数を削減し、リスク R'_{opt} を削減することができる。(Fig.2. 参照)

そして運転期間を大きくすることで運転経費も削減することが出来る。コストを削減できるので、更に信頼性を上げ安全を図る活動に投資することが可能になる。つまり、設備の信頼性を向上させることで、リスクの削減とコストダウンを両立させることが出来る。

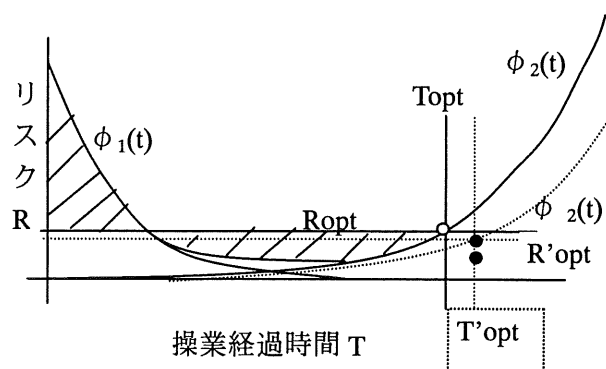


Fig.2 信頼性向上によるリスク削減と操業期間

4. 設備管理の高信頼性化による安全とコスト・ダウンの両立

信頼性の高い設備管理を実施することで、的確に検査したり、開放点検箇所を選定し、検査対象を限定することが可能になる。その結果、運転期間の延長だけでなく、定期停止期間の短縮、検査に要する検査費、人件費の削減によるコスト・ダウンも可能である。このような例として知識処理を採用した配管劣化管理の研究開発について報告する。

4.1 配管劣化予測管理の高信頼性化による安全とコスト・ダウンの両立

プロセス・プラントは流体が錯綜した多くの配管を通じて機器から機器へ輸送される。配管部品が無数に近くあるということもあり、十分な専門的知識を持つ配管劣化の技術者が不足するため、人手での確かな配管管理を行えず、配管関係の事故に至った例も少なくない。

このような、問題点を解決するために、配管劣化に関する検査結果や専門家の知識を劣化知識ベースに蓄積する。それと3次元モデルやアイソメ図の配管データや設計データを知識化し、知識ベース化する。これらの知識を統合して配管部品の劣化程度の予測を行い、設備管理の信頼性を向上させるシステムの研究開発を行っている。(Fig.5 参照)

配管に無数に存在する配管部品はその型式、流体の流れの方向、オリフィス下流であるなどの構造が、その劣化に関連する。そして、部品の材質と流体の種類から可能性のある腐食など劣化モードが決まる。

更に、運転条件、流体の状態、不純物の存在などプロセス条件、劣化条件によって劣化モードに対する過酷さの度合いが配管の構造との関連で決まるのである。

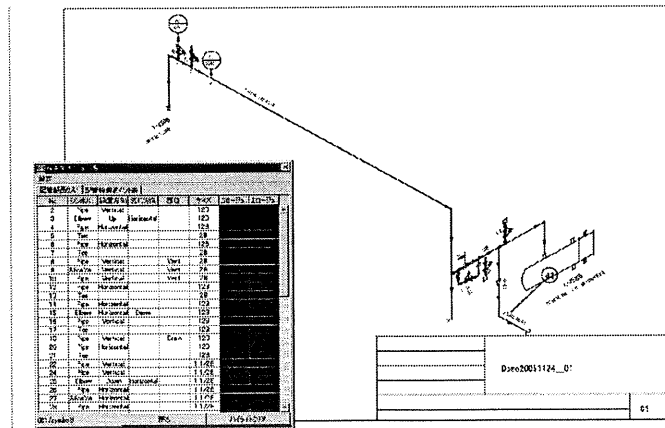


Fig.3 アイソメ図を用いた劣化評価画面例

Fig.3 は配管のエロージョンやコロージョン(腐食)による配管劣化度を予測し、アイソメ図上に表示した例である。Fig.5 に示すように、各配管部品は、3次元モデルやアイソメ図から、その設置方向や流体の流れ方向、及び流体が滞留する部位などの情報を生成する。

これとプロセス条件により、配管劣化に関する熟達者の知見や事例を蓄積した知識ベースを用いて配管部品の劣化モードと劣化度を予測する。(劣化度は相対的なものである)

No.	シンボル	設置方向	流れ方向	部位	サイズ	コロージョ	エロージョ
2	Pipe	Vertical			12B		
3	Elbow	Up	Horizontal		12B		
4	Pipe	Horizontal			12B		
5	Tee				2B		
6	Pipe	Horizontal			12B		
7	Tee				2B		
8	Pipe	Vertical		Vent	2B		
9	SliceVal.	Vertical		Vent	2B		
10	Pipe	Vertical		Vent	2B		
12	Pipe	Horizontal			12B		
13	Tee				2B		
14	Pipe	Horizontal			12B		

Fig.4 配管部品の劣化評価例

Fig.4 は、配管を流れる流体やプロセス条件と、配管部品の部位等の条件から、エロージョンやコロージョンの劣化度を予測し、点数表示したものである。

Fig.5 に配管劣化予測システムの情報の流れを示した。材質と流体の組み合わせから可能な劣化モードが想定できる。

そして、プロセス条件、つまり、流体や、その温度、圧力条件、流体が気体/液体/固体の状態か、と詳細な劣化条件、つまり、流体に腐食物や不純物が含まれるか、などによって発生する配管の劣化の度合いは異なる。

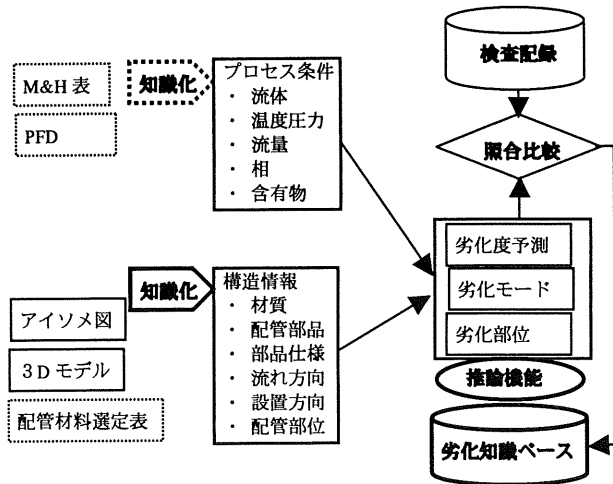


Fig.5 配管劣化管理システムの概要

対象となるアイソメ図や3次元モデルなどに含まれる配管のデータから、配管の構造情報を取り出す。構造情報には配管部品の材質、型式、サイズ、などの仕様、設置方向、流体の流れの方向、オリフィスやバルブの下流にある、流体の滞留部であるなどの部位などである。プロセス条件と構造情報によって、劣化知識ベースを利用することで配管の劣化度を予測することができる。

これは、流体と材質から可能な劣化モードを推定する。劣化知識ベースに蓄積された劣化モードに対応する、配管のオリフィスの下流にある、流体の滞留部であるなどの配管部位、及び配管部品毎に発生可能な配管部品部位の有無を調べる。そして劣化知識ベースに蓄積している配管部品の材質、及びプロセス条件と詳細な劣化条件の関係から該当する配管部品の劣化度を推定するというのが基本機能である。又、過流探傷や超音波探傷器など様々なインライン・インスペクション装置と組み合わせると、より劣化度の予測の精度を上げることが可能である。

4.2 設備管理の高度化による信頼性の向上

配管はその典型であるが設備に関して安全を確立すると同時にコストダウンを実現するには、経済的に信頼性の高い設備劣化予測が実現できるかにかかっている。

る。

このために、重要な鍵と考えられるのは、以下の2つのように必要な情報が獲得できるか、又、予測が迅速にできるように情報を統合することである。

1) 企業間の情報の共有化

企業間の安全、事故、設備の損傷情報の共有化が必要である。安全に関連する事故や設備の損傷などに関する情報で本来、少ないことが望ましいために取得し難い場合が多いが解決する必要がある。

2) 情報の統合化

情報の有効利用と企業内での情報を統合化する。そして、迅速な対応するために、処理しやすい知識に変換する。出来るだけ正確な予測を行うには、広い範囲の様々な形態をした情報を統合し迅速に処理できる必要がある。

5. 企業間の事故、設備の損傷情報の共有化

安全に関連する事故や災害など安全に関わる情報は、企業内だけの情報では不十分である。これは、一つの企業内で十分な事例情報が事故や災害に関してあるほどの、例えば量的に十分な統計が取れるほど発生することは社会的にも一般に許されない。従って、リスク・ベースなど合理的な判断をするためには、一つの企業内だけでは、情報が不足することになる。

決定的な事故、災害が発生した場合には、当該企業は公的に報告する必要がある、又、公的な管轄官庁からの調査がなされ報告されるので当事者以外の外部も、その範囲で知ることが出来る。

しかし、重大な事故、災害に関する情報だけでは、それを防ぐための情報としては、不十分であることは言うまでもない。ハインリッヒの法則ではないが、重大事故が発生するのを抑制するには、それ以前の中小規模のトラブル、更には出来れば発生を阻止したがヒヤリとした兆候についての情報までも共有することが望ましい。

設備の最適保全と言う観点から見れば、更に、事故に至らなくとも腐食など設備の損傷についても、企業間で情報の共有が図られることが望ましい。しかし、屢、これ等の情報は、競争上の企業機密と見做され公開されることは今までは殆ど無い。

しかし、今日の企業間の競争は、より大きなグローバルな競争に打ち克つために適当なグループを作り、その中で共同作業を行い、情報を共有化する部分と、

独自に振舞う部分に分けて行動することが要求されている。

安全とコストダウンを両立させるためには、個々の企業の枠内の情報だけを集めるのでは労力、コスト、時間的に不十分だと考えられる場合がある。従って、

- ・ 有志企業が連合してコンソシアムを造る
- ・ 学会や産業団体が主導する
- ・ 行政が主導する

等で企業間の情報共有を進める必要がある。

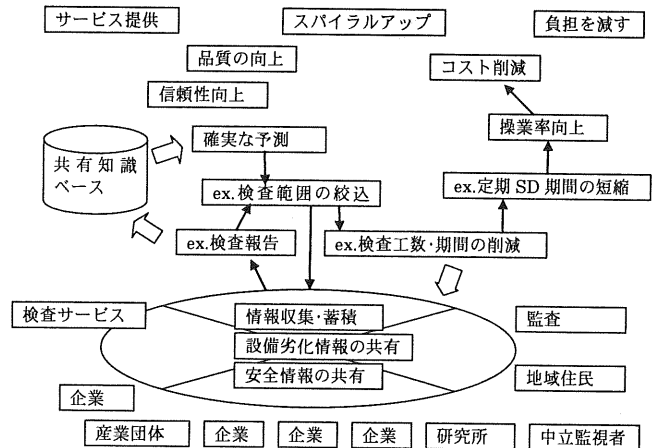


Fig.6 事故・損傷情報の共有

6. 情報の統合化

設備保全で安全とコストダウンを両立させるには、企業が持っている、又は外部から入手しえる情報をフルに活用する。そして、人手、時間を余りかけないで正確に配管など設備の劣化状態を予測できることが出来るかが問題である。このためには、非常に多量の形態の異なった図面、表、標準、数式などに含まれる情報、知識を統合して利用する必要がある。

1) 設備関連図書類

企業には、設備の保全履歴や検査記録、運転ログなど膨大なデータ、記録類がある。これ等を詳細に解析し、吟味を徹底するだけでも安全性を確立するのに非常に有効である。しかし、実際に過去の記録を解析しようとする、設備のフローシートなど図面や機器リスト、配管リストなどスブック類を見る必要がある。

2) 社外情報

他社の事例も非常に重要な情報である。ハインリッヒの法則で示されるように、大規模な災害の前には数十の中規模の事故があり、更には事故になる前にヒヤリとするような予兆が数十とあるからである。

そのため、管轄省庁から他社での事故事例が連絡さ

れると、それと類似の危険箇所が自社の設備にないか、数十人、数百人の技術者を動員して、数日～数週間かけて、自社のプラントの配管計装図を精査する。しかし、実は人の目でフローシートを覗くだけでは、全ての設備の欠陥が発見出来ない。

3) 計算式、ルール、標準

例えば、配管のエロージョンのように配管内の流体の状態や流速が問題になる。簡単な配管内の流体の流速計算ですら、プロセス・フローシートや物質熱収支表、流速計算など設計計算や設計ルール、配管腐食に対する専門知識と共に安全、保安全管理に関する標準などを考慮しなければならない。元々、設備は設計、運転、保全、安全管理などに関する様々な標準類とその運用によってプラントの信頼性が確保されているといっってよい。標準化することで初めて関係者間での技術や情報の共有が可能になる。又、自分の担当以外の外部の知見を採り入れて、より設備の信頼性を高めることが可能になる。

4) 計算と推論機能、手続き処理

しかも、フローシートを見ながら流速計算を全ての配管について行うことは、言わばプラント設計をやり直すようなものになり、膨大な人手と時間、費用を必要とすることになる。

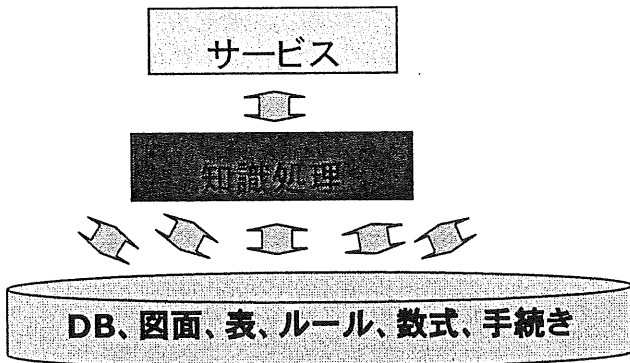


Fig.6 統合知識処理

5) 知識ベース

従って、設備管理者の努力と意欲が前提であるが、それを支援する体制、システムが必要になる。これは、膨大な量の設備関連のフローシートやスペックシートなどの図書類と、その設計に関する計算式を始め様々な設備関連の技術、標準類を熟知し、それを運用するのは個人では要求される時間内に行うのは困難だからである。

このため、知識ベースにフローシートや設備仕様シートなど設備関連の図書類を知識形式に変換を行い、

要求する検索などの多様なサービスを知識処理で実現するようにした。このため、知識も表現できる汎用情報モデル(Generic Information Model)を開発し、これを用いて知識型言語と手続き型言語の両方が処理できるハイブリッド推論エンジンを開発した。

これらを用いて、統合知識処理環境(A2KI:Active Application Knowledge Integration)を構築し、図面や表の知識化、類似災害防止のための危険設備の論理検索、配管劣化管理システムの開発等に利用している[1]。

5. 結語

1) グローバル化に対応した多品種少量生産の組み立て産業では安全性の確立とコストダウンは相反するものでなく、両立させている。

2) プロセス・プラントにおけるリスク発生は初期故障によるものと設備寿命劣化によるリスクの和であり、所謂、バスタブ曲線で示される。そのとき、平均リスクを最低にする最適操業期間が存在することを示した。従って、設備劣化によるリスクを低減させると、操業期間を延長した方が全体の平均リスクが小さくなる。

3) 設備管理の信頼性を上げることで設備の信頼性を向上させ、検査期間の短縮により、検査費用、定期停止期間の短縮によりコストダウンできることを配管劣化管理の例で示した。

4) プラント産業でも、設備管理の信頼性を上げることによって、安全性を向上させると共に、操業期間の延長と、定期停止期間の短縮により、コストダウンを両立させることが可能である。

5) これを実現するために必要な設備劣化予測を行うには、企業間で安全や設備損傷、劣化に関する情報の共有の必要性がある。

6) 又、企業内の図面、スペックや設計、保全、安全標準等に含まれる情報やルールなど大量、広範囲で、多様な形態の情報、知識を統合する必要がある。

謝辞

配管劣化管理システムについて技術指導頂く三菱化学(株) 技術・生産センター マネージャー宮澤正純様および(株)テクノスタッフ 金子武雄会長に感謝致します。

参考文献

- [1] 芝尾紘一, “図面の知識化と安全・保全 保全学会 第回予稿集、保全学、 2006、