

最適化保全

Plant Engineering and Maintenance based on Risk Evaluations
- Strategic Solution for Optimization Maintenance -

オクトシステムズ 玉木 悠二 Yuji TAMAKI Member

This study proposes an innovative system based on risk evaluation and management for plant engineering and maintenance. This system was carried to completion by introducing "Functional Property" to the conventional risk evaluation indexes comprised of "Process Property" and "Equipment Property". This new system is thought to be very useful not only for plant operation to assure better performance and reliability together with realizing minimization of maintenance cost, but also to make good understanding of the technical situation easily for nonprofessional persons in the field of technology audits and in provision for transparency or disclosures.

Keywords : Risk evaluation, Process Property, Functional Property, Equipment Property, Plant Maintenance, Technical Audit.

1. 緒言

時々の設備の状態は、その設備が構想された段階から設計、施工、運転、保全と続けられてきた一連の行為の全てが総和として現れたものであり、メンテナンスはそのような設備を最も安価に運用に支障のない状態に保つことを使命としている。

しかし現状は、その使命を最も安価に果たす上で不可欠の設備寿命の予測が現在のメンテナンス技術では難しく、そのために最近では最大限の成果を得る方策として、徒に無故障を追及するのではなく、その設備に課せられた役割を確実、且つ最も有利、安価に引き出す处方を追求し実行する方法が採られるようになって来た。

それは「絶対」的な健全性の保証を考えてきた従来とは発想を大きく異にし、「全ゆる設備には不確定な故障要因が潜在する」ということを前提として認めた上で、被害の顕在化を極力抑えながら有益な機能のみ

を最大限に引き出していこうとするリスクマネジメントの指向に一致する。

リスクとは、「起こってはならない」ことが「起きてしまう」ことに対する懸念であるから、その発想を実務運営に導入するためには人間が不都合と思う事柄の全てを想起した上で、その大きさを出来るだけ定量化して装置を構成する全ての要素設備の位置づけを評価することが必要になる。

そしてその評価では、従来から用いられてきた「プロセス特性 (Process Property)」と「設備特性 (Equipment Property)」の評価に、「機能特性 (Functional Property)」を加えた3つの評価要素を用いることが必要になり、その導入によって初めて設備管理分野へのリスクマネジメント思想の適用が可能になる。

そしてこのような運営法の導入は、従来は当事者にしか理解が難しかった設備運用の実態を、専門家ではない部外者にも理解できる形で紹介しようとする時の手段としても利用できるのではないかと思われる。

2. リスクの評価

2-1) リスクの成り立ち

設備を作ったのも人、それを利用し有益・無益を判

◆連絡先：玉木 悠二

〒284-0044 四街道市和良比282-76

tel: 043-432-5284 E-mail: tamy@ceres.dti.ne.jp

断するのも人、壊れた場合に困るのも人、どれだけ困るかもそれは人夫々の立場や解釈だから、リスクマネジメントの運営はその殆どが人に係わる問題となる。

リスクとは「起こってはならない」ことが「起きてしまう」ことに対する懸念の大きさだから、そこでは

- ①「起こしてはならない」と言う点に対しては、それが「起きるとどの程度困るか」という被害の大きさが想定され、次に
- ②「起こしてしまう」という点については、それが「起こる可能性がどの程度あるか」ということが推量され、最後に
- ③両者が総合的に勘案されて、リスクの大きさが評価される

ものと思われる。

そしてリスクマネジメントは、このリスクの大きさを許容限度内に抑えるために、必要な対策をたて、その実行を管理することが主旨であり、一方
どの程度困るかは→ 確保すべき信頼性
(Reliability required)

起きる可能性は→ 確保出来ている信頼性
(Reliability available)

と見ることができるから、それを設備管理の場に当て嵌めると、それは設備の運営状態を効果的に

Reliability available. \geq Reliability required
の状態に保つ活動であると云うことができる。

そしてこの時の右辺は、人が不都合と思う不利益や損害の大きさに対する評価だから、その着眼や不利益の大きさは人夫々が持つ固有の価値観で決まる一方、左辺は確保出来ている信頼性、即ち不利益や損害の発生を抑止している設備に対する信頼性の評価で、それは設備技術的な判断で決まってくる。

2-2) リスクの定量評価

以上のことから、設備の生産性を効果的に高めるためには、設備を壊れ難くするための点検整備費や、設備が損傷した時の修復費用だけに着眼するのではなく、設備側に求められている信頼性の大きさをも考慮に入れた総合的な視点からの対応が必要になることが解る。

人が不利益と思う事柄は設備の運用者から見れば経済性であり、一般市民から見れば彼等が受ける利便や不利益であるが、それらの許容限度が何によって判断されるかは夫々の価値観によって決まってくる。

例えば設備の運用者においては発生確率の低さがそ

の指標になるかも知れないが、一般市民の側から見れば時系列的にランダムな発生を前提とする発生確率は成果を結果系で論じる時に用いられる指標で、それを計画系に用いて大きな事故であっても確率が低ければ許容するという発想には馴染んでこない。

この様な事象をどのように理解し効率的な設備運用を目指すかを考えるのが“リスクベースの設備管理”的原点であり、それを可能にするためには上の状態式 $Rel. avail. \geq Rel. req.$ の左右両辺を定量的に評価する技術を持つことが不可欠の条件となる。

そして上式の右辺を「使用上の重要度 (Importance in Use)」、左辺を「設備特性」とする時、それは右辺については“設備側に求める信頼性レベル”に対する、また左辺については従来から寿命予測の問題として扱われてきた“故障に対する設備の耐性レベル”に対する評価技術の確立を意味する。

そしてその評価技術では、次に述べる右辺を構成する「プロセス特性」と「機能特性」に、左辺の「設備特性」を加えた3つの評価が、夫々プロセス設計、基本設計、詳細設計の対応領域に符号する設備管理のための評価の3要素となる。

以下にこれら3要素の定量評価法についてその1例を述べるが、特に「使用上の重要度」の評価については、これ迄設備管理の運営に体系的に反映されてこなかったものなのでその解説も含めて紹介してみる。

(1) 「使用上の重要度」の理解

「使用上の重要度」とは設備が「壊れた時に発生する被害の大きさ」の評価であり、「被害の大きさ」というのはそこで不都合が発生した時に人が蒙る困難の大きさのことである。

そしてその不都合は、それを発生原因にまで遡ると次の2つの発生形態に分類することができる。

- ① 設備が置かれている場の危うさに起因するもの（「プロセス特性」）
- ② 設備が負っている役割の大きさに起因するもの（「機能特性」）

即ち、①の「プロセス特性」は、設備の使用条件に内在する火災や爆発、毒性などの危険性に対する評価であり、②はその設備が機能を停止した時に波及して発生するプロセス的、システム的な危険性に対する評価である。

Fig. 1は、発熱反応装置周りの計装システムの例で

あるが、ここでは原料はFCVで流量を制御されながら反応槽に導入され、反応液はLCVで槽内の液面を一定に保ちながら系外に排出されている。

そして槽内で発生する反応熱は反応槽のジャケットに供給される冷却水によって系外に持ち去られ、その水量はTCVで槽内温度が適正に保たれるように制御されている。

また反応槽の周りには、槽内温度の異常上昇に備えたアラームTAや、温度が危険領域に達した時に緊急に発熱源である原料の流入を遮断するインタロックTSなどの設備も設置されている。

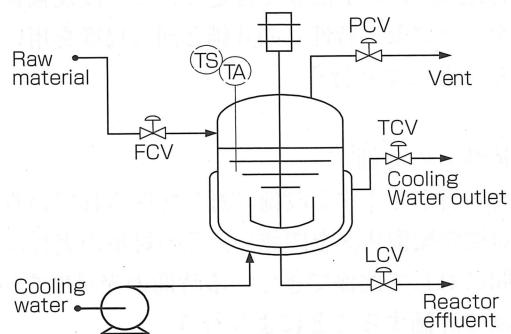


Fig.1 A flow chart around exothermic reactor

この系を例に「使用上の重要度」の成り立ちを見ると、このシステムでは

- ① FCVが故障して発熱源である原料が除熱可能な量以上に流入するか
- ② ポンプが壊れて、又はTCVが故障して冷却水の供給が必要量以下に減少するか

によって除熱が不充分になり、それに伴って反応槽の温度が上昇して格外品が発生し、槽内圧力も上昇して場合によっては反応槽が破壊に至る。

そしてこの温度上昇の原因となる反応熱は、プロセス設計段階でこのプロセスの採用が決定された瞬間に前提として持ち込まれるそのプロセス固有の危険性で、その大きさが「プロセス特性」の評価対象となる。

一方このシステムには、熱バランスの崩れによって発生する被害を防ぐためにTAとTSが配備され、更に図示はされていないが冷却水ポンプには予備機が設置されている。

この様にプロセスに内在する固有の危険性に対して必要な対策を考え、健全なシステムに組み立てるのが基本設計であり、このような領域の出来栄えを評価の対象にするのが「機能特性」になる。

なお付言すると、この様にして組み立てられたシステムを構成する各要素設備が健全に役割を果たすよう、その細部仕様を決定するのが詳細設計で、その出来栄えを評価するのが「設備特性」になる。

そしてその「設備特性」の評価は、使用に供された後は設計段階の出来栄えにメンテナンス段階の出来栄えが付加されながら逐次変転していく。

また設備が持つこのような「機能特性」の評価は、その機能を具現している「設備的な系」に対する評価であるから、冷却水ポンプの例で云えばその評価は、ポンプを駆動するモーターや送水配管など、冷却水系を構成する全ての設備について同一となり、制御系についてもその機能はループとして發揮されているから、その評価はループを構成する制御弁やケーブルなどの全部品に対して同一となる。

(2)「使用上の重要度」の評価

「使用上の重要度」は人が不利な事態に遭遇した時に感ずる不都合の大きさで、その大きさはその発生形態により2つに分けられた「プロセス特性」と「機能特性」の評価の中の最高評点として評価される。

それはこの「使用上の重要度」が確保すべき保全レベルを決定するための評価であり、配慮すべき事項は一般市民側の要求か設備を運用する側の要求かを問わず全て両特性の中に取り込まれて、必要な保全レベルを策定する指標として用いられるからである。

一方、この評価で一般市民が判断の前提として考える不都合は、顧客、社会、個人が受ける生命や財産、利益の喪失、利便、安全、福祉の制限、信用、名誉、榮達など社会的人格の毀損などに対して人が感ずる損害であり、その大きさは人それぞれの感度によって変わる非常に厄介な代物である。

しかし、企業活動の是非を判断するのは一般市民である以上、その判断を避けて通ることは出来ず、それを恣意に流れない適正な判断として求めるためには、評価基準に広く国民の支持を得た倫理感や関係法令、公的な規制等に示される客観的な判断を採用することが必要になるが、現状ではその整備が充分でなくローカルな合議によって決めざるを得ない状況にある。

「プロセス特性」の評価

「設備が壊れた時に発生する直接被害」の大きさで

あり、それは設備が置かれた環境（「場」）が持つ危険性、例えばTable. 1に例示する取扱物質の特性や取扱条件の過酷さが含む危険性の大きさに置き換えることで評価される。

Table.1 Possible hazardous events hidden in environment of facilities installed.
(Examples in case of chemical plant)

Category of hazardous event	Examples of aimed point
Fire / Explosion	Intensity of explosibility, ignitability, oxidative property, inflammability of handling materials
Critical handling	Intensity of press. / temp., amount of accumulation, critical approach to range of explosion, possibility of runaway reaction, critical mixing, etc.
Hazards for human health	Intensity of harmful effect as to toxic, poisonous, cancer-causing of materials, radioactivity, etc.
Environmental disruption	Intensity of conservation duty to keep water / air quality, emission of noise, bad odor, etc.
Harmful effect to production	Intensity of influence affected continuation of operation, quality of products, loss of resources, energy, etc.

「機能特性」の評価

「設備が機能を停止した時に発生する波及被害の大きさ」を、被害の発生が阻止できなかった場合の波及被害の大きさと、被害の波及を阻止するための措置に必要な時間の充足度を夫々「損失性 (Potential Loss)」、「切迫性 (Urgency)」として評価し、両評価を総合化してTable. 2に例示する重大さのイメージに集約することにより評価する。

Table.2 Evaluation Criterion for the Degree of Functional Property z

Evaluation criterion	Total evaluation image of elemental equipment
A (Prevention of spreading)	-Equipment, that serves as the last check to prevent and control the spreading of trouble and to prevent accidents
B (Prevention of accidents)	-Equipment used for an exothermic reaction, like control equipment and emergency alarming equipment
C (Maintenance of the state)	-Equipment used to maintain ordinary operation, like general equipment, control systems, and general alarms
D (Supplementation)	-Auxiliary, supplementary, spare equipment not belonging to Criteria A to C

なおこの時の「損失性」と「切迫性」の集約化は、Fig. 2に例示するようなマトリクスを設定することにより統一的に行なわれる。

		Potential losses			
		A	B	C	D
Urgency	A	A	B	C	D
	B	B	B	C	D
	C	C	C	C	D
	D	D	D	D	D

Intensity grade of "Functional Property"

Fig.2 A sample matrix to evaluate intensity grade of "Functional Property"

「損失性」の評価

ある設備が機能を喪失した時、その影響が波及する設備をHAZOPの手法等で特定し、その波及被害の大きさを「プロセス特性」の評価と同じ尺度を用いて評価することにより行う。

「切迫性」の評価

波及被害が発生する設備に対して採られている被害回避対策の配備状況を確認し、その対策の実行に必要な時間に対して確保できている時間の充足度をFig. 3の認識で評価することにより行う。

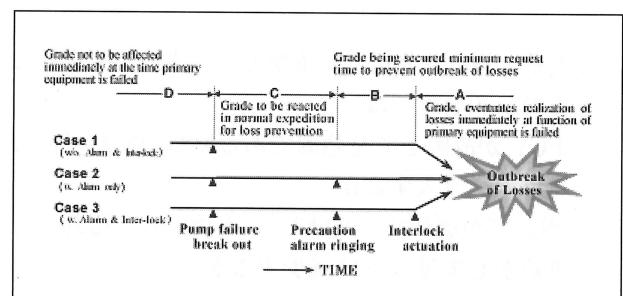


Fig.3 Example of Evaluation of "Functional Property"

(3) 「設備特性」の評価

「設備特性」の評価は、発生確率の低さではなくRel.avail、即ち確保出来ている信頼性の大きさの評価であるから、そこでは設備が故障を起こさずに稼動し得る安定運転時間の長さを知ることが不可欠の条件になるが、寿命予測技術が未成熟な現状ではそれを正確に把握することが殆ど不可能な状態にある。

そのためこの「設備特性」の評価では、精度が高いと云う意味からではなく、その時点の保全レベルで再現でき、入手可能で最も確からしい値と云う意味において、通常はその現場が感じている点検整備の周期を初期値として採用し、その長短を当事者の満足度をも

とに例えばTable.3のような指標にまとめて評価することにより行われる。

Table.3 Sample of evaluation criteria
"Equipment Property"

Evaluation of "Equipment Property"				
Intencity grade	A	B	C	D
Turn around interval of maint. (year)	-1	1~2	2~3	3~

勿論これは1例であり、更に優れた方法があればそれに替えられるべきものであるが、ここでこの方法を示した背景は

- ①寿命や不確実さの定量評価は、状態式 Rel. avail. \geq Rel. req. の両辺を繋ぐ不等号を \gg から \geq に移行させる努力であり、現時点では如何に精緻に評価しても不確定要因の完全な排除は保証できないこと
 - ②その様な曖昧な状況の中においても、装置は運転を続けなければならないこと
 - ③逆に分秒単位まで精緻に寿命が予測できたとしても、経済的な装置運用を考える時には装置を停止して行う保全は年単位であり、精度の追求にも合理性の面から自ずと限度があろうこと
 - ④実際の運営においても安全性の確保は、通常は未だ継続使用が可能かも知れない設備を実績のある範囲内で前倒しに整備することで行われ、不確実さの定量把握は整備周期の延長を意図した経済性の追求努力として行われていること
- などの判断があるからである。

なお「設備特性」の評価では、運営環境がこのような状況であるところに“リスクベースの設備管理”が導入される必然があるが、そのような運営環境を着実に改善するために例えば次項に示すようなリスクベースの設備管理手法が用いられ、初期値として採用された「設備の壊れ易さ」の精度はスパイラルアップ的に改善していくことになる。

3. リスクベースの設備管理

“リスクベースの設備管理”とは、設備の寿命予測精度が充分ではない状況の中で、先に示した設備の運用状態を示す式

Rel.avail. \geq Rel. req.
の左右両辺の関係を、出来るだけ “=” に近い “ \geq ” の状態に安全かつ安定的に近づける対応である。

勿論「安全の確保」だけを考えれば左右両辺の関係は “ \gg ” で良いのであるが、経済性の追求を究極の目的とする生産現場においてはコストの低減と両立させることこそが設備管理の主旨となる。

そしてこの様な両者を両立させる対応は、“リスクベースの設備管理”では横軸に「使用上の重要度」、縦軸に「設備特性」を置いたマトリクス上で、「確保すべき信頼性」と「確保出来ている（筈の）信頼性」を総合的に勘案することによって行なわれる。

Fig.4はこのような目的で作成された「保全管理密度 (Concentration rate of maintenance considerations)」と呼ばれるマトリクスの例で、この様な評価のもとに限られた保全費を各設備に効果的に配分して最大の成果を得る傾斜管理が行なわれる。

		Importance in Use			
		A	B	C	D
Equipment Property	A	2A	A	B	B
	B	A	B	C	C
	C	C	C	C	C
	D	B	C	C	C

Fig.4 A matrix to determine concentration rate of maintenance considerations

また設備の持つ信頼性の精度を事故の発生を抑えながらスパイラルアップ的に改善していくためには、「保全管理密度」のマトリクス上でFig.5のように「使用上の重要度」の評価が低い設備を選んで諸種の改良を試み、好結果を得た対策を「使用上の重要度」の評価が高い設備に逐次展開していく方法が採用される。

また、この種のマトリクスは現在組織や業務分担、専門領域の違いなどで分断されている設備の設計や運転、保全部署などの認識を、所定の製品を最も安価安定に生産するという唯一の最終目的に収斂させるための「トータル最適化」のツールとしても大切になる。

		Importance in Use			
		A	B	C	D
Equipment Property	A	2A ④	A ③	B ②	B ①
	B	A ⑤	B ④	C ③	D ②
	C	B ⑥	C ⑦	D ⑧	D ⑨
	D	B ⑩	C ⑪	D ⑫	D ⑬
		④	③	②	①

Fig.5 Steps to improve maintenance cost without risk increase

Fig.6は機器を設計段階で選定する際の選定指針に活用した例であるが、例えはどうしても回避領域に該当する機器を採用せざるを得ない場合には、作動状況の常時監視や異常発生時の自動停止装置などの設置が義務付けられることになる。

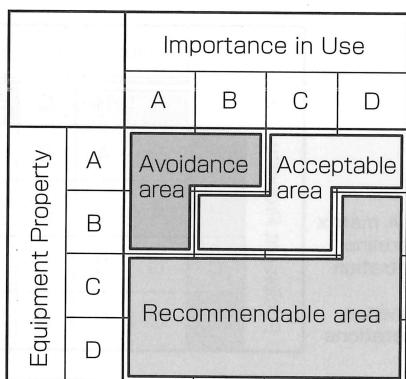


Fig.6 A guide line for model selection of equipment to be installed

4. 結言

設備などの人工物は人間が自然科学領域の知識を利用して得た成果物であり、そこには人間の持つ弱点に由来する色々な不確定要因が含まれている。

そして、その設備が齎す利害を評価するのも人で、その受け止め方もまた設備を運用する事業者とそれを受容する一般市民とでは大きく異なるので、最近では両者の価値観の整合化努力が「透明化」などの言葉によって進められるようになってきた。

そのためこれからのメンテナンスでは、設備の不調や故障が社会や関係者に有害な被害として波及しないよう、その対策を一般市民を含む関係者と共に価値

認識のもとに立案しながら、最も有利な生産活動として組み立てていくことが旧来に増して必要になる。

その具体的な対応の1例が“リスクベースの設備管理”であるが、その導入によって生産現場における設備運用の実態把握が定量的、体系的に可能になり、そのような定量的な実態把握は、単にメンテナンス業務への寄与だけではなく、次の様な面でも効果が期待できるものと思われる。

- (1) 現在分断して行われている設計や運転、保全などの関連業務に共通の判断基準を与え、部分最適化の域を出ない現在の効率化をトータル的な最適化に導く素地を与えること
- (2) 設備の運用実態を自ら把握し管理責任を果たすことが強く求められている昨今の企業経営者や、効率化を求めてアウトソーシング化が進むメンテナンス関係者が、設備の運用実態を定量的に知る際の有用な手段になること
- (3) 情報の開示が広く求められている現状において、設備の運用実態などの技術情報を、専門家ではない市民や関係者に理解できる表現で定量的に提示する方法としても効用が期待できること

なお、この“リスクベースの設備管理”は石油化学装置において実証済みであるが、この考え方はそれ以外の装置産業、更には装置産業以外の各種産業分野に対しても、夫々の分野に応じた評価基準を作ることによって適用が可能であると考えている。

参考文献

- [1]玉木悠二“設備保全の最適化とその手法”、オートメーション、Vol.46,No.11(2001.11).
- [2]玉木悠二“設備運用のトータル最適化(10回連載)”、オートメーション、日刊工業出版プロダクション、Vol.47,No.5～Vol.48,No.2(2002.5～2003.2).
- [3]玉木悠二“ビルメンテナンスの最適化を考える(3回連載)”、設備と管理、オーム社、第38巻第9号～第11号(2004.9～11).

(平成17年7月20日)