

リスクベースの設備管理（１） 最適化保全

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

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 “Equipment Function” 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, Equipment Function, Plant Maintenance, Technical Audit

1. 緒言

その時の設備の状態は、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、メンテナンスとはそのような設備を運用に支障のない状態に最も安価に維持する活動である。

そして正確な設備の寿命予測が困難な現状では、徒に設備の無故障を追及するのではなく、そこでは設備に対して設置目的として求められた性能を最大限に、しかも最も有利、安価に引き出す処方を明らかにし実行することが求められてくる。

それは「絶対」の存在を前提に設備の運用を考えてきた従来の発想とは認識を大きく異にし、全ゆる設備には不確定な要因が内在しているということを前提に、有害なものは排除しつつ有益なもののみを最大限に取り込んでいくリスクマネジメントの認識に重なる。

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 (Equipment Function)」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であるから、そこでは

- ① 「起こってはならない」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 「起こってしまう」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

連絡先：玉木悠二 〒284-0044 四街道市和良比 282-76
電話：043-432-5284、e-mail：tamy@ceres.dti.ne.jp

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制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。

これが効率的な設備運用を目指す“リスクベースの設備管理”の原点となる考えであり、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、次に述べるように右辺は「プロセス特性」と「機能特性」の評価で構成される

から、それに左辺の「設備特性」を加えた3つの評価は、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。

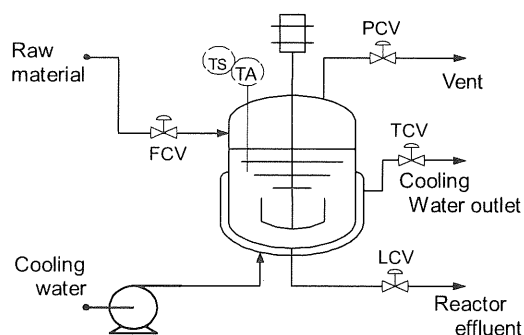


Fig-1 A flow chart around exothermic reactor

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。

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以下に減少するか

によって除熱が不十分になり、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にメンテナンス段階の出来栄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「系」に対する評価であるから、冷却水ポンプの例で言えばその評価は、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発揮されているから、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あり、その不都合は先述のようにその発生形態から「プロセス特性」と「機能特性」に類別される。

またこの評価で評価の対象となる不都合は、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、栄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る。

そしてその大きさは人それぞれの感度で変わるから、評価の基準は被害を発生させる側だけからの判断ではなく、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に基づいて決めることが必要になる。

「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。

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

Table-2 Evaluation Criterion for the Degree of "Equipment Function"

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行なわれる。

		Potential loss			
		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 "Equipment Function"

Fig-2 A sample matrix to evaluate intensity grade of "Equipment Function"

「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。

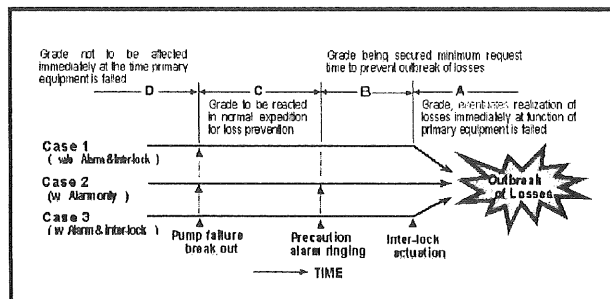


Fig.3 Example of Evaluation of "Equipment Function"

(3) 「設備特性」の評価

「設備特性」の評価は、Rel.avail.、即ち確保出来ている信頼性の大きさの評価である。

そしてその大きさは、設備が故障するまでの安定運転時間の長さによって評価されるが、現状では寿命予測技術が未成熟でそれを正確に予測することが困難な状態にある。

そのためこの「設備特性」の評価では、精度が高いと言う意味からではなく、その時点の設備管理レベルで再現できる入手可能で最も確からしい値と言う意味において、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う。

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

Table-3 Sample of evaluation criteria "Equipment Property"

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されていくことになる。

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

$$\text{Rel.avail.} \approx \text{Rel.req.}$$

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「保安全管理密度 (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われる。

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

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、「保安全管理密度」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

		Importance in Use			
		A	B	C	D
Equipment Property	A	2A ④	A ③	B ②	B ①
	B	A ⑤	A ④	B ③	B ②
	C	B	C	C ④	C ③
	D	B	C	D	D ④

Fig-5 Steps to improve maintenance cost without risk increase

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共通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。

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、例えば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。

		Importance in Use			
		A	B	C	D
Equipment Property	A	Avoidance area		Acceptable area	
	B	Avoidance area		Acceptable area	
	C	Recommendable area			
	D	Recommendable area			

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。

そのためにメンテナンスに対しては、設備が破損したり機能を喪失したりした時の影響の大きさを考慮しつつ、生産活動に最も有利な対応を採ることが求められる。

その具体的な対応が“リスクベースの設備管理”の

導入であり、その導入によって生産現場における設備の運用実態は定量的、体系的に把握できるようになる。

そして、そのようにして実現される体系的で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を期待することができる。

- (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の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)