



# 入門講座

リスクベース工学入門-4

## リスク評価ツール Risk Evaluation Tools

木原重光 (株) ベストマテリア 代表取締役  
Shigemitsu Kihara

### 1 はじめに

前号でリスクを基準として検査やメンテナンス計画の最適化を行うための方法として、リスクベースメンテナンス (RBM: Risk Based Maintenance) 手法が紹介された。RBMは欧米やアジアを初めとして国際的に急速に普及しつつあり、さらに欧米では標準化や規格化が進んでいる。特に米国石油学会 (API) の RP581<sup>1)</sup> (Risk Based Inspection Base Resource Document) は、リスク評価のガイドラインとして、世界的に使われている。国内でも自己責任による保全や維持管理の手法として、今後一般化されると考えられる<sup>2,3)</sup>。RBMの実施には、リスクを評価するツールが必要である。リスク評価ツールには、評価に必要なデータベース、手順を示すガイドラインおよびマニュアルが含まれる。

リスクは構造物 (設備・機器) の破損によってもたらされ、破損の起きやすさ (破損確率) と破損による被害の大きさ (影響度) の積として定義される。ここでは、主に破損の起きやすさ (破損確率) を求めるためのツールについて述べる。

### 2 破損の起きやすさ評価ツール

現存する構造物の多くは、金属材料 (主に鉄鋼) を使って作られている。構造物が安全に運用されるということは、言い換えると破損せずに運用されるということである。構造物の使用中の破損は、構成材料である金属材料固有の損傷機構によるものである。我々が金属材料を構造物として使用してきた歴史は長く、多くの破壊事例を経験し、破損の原因となる損傷機構は解明されているといえる。破損の起きやすさは、それらの損傷機構の起きやすさを評価することである。

損傷機構の起きやすさを評価するには、対象とする構造物に懸念される損傷機構を抽出して、機構別に起きやすさを評価することになる。そのために、損傷機構を網羅した一覧

表、抽出ツールおよび余寿命評価ツールが必要となる。

#### 2.1 金属材料の破損機構一覧表

金属材料の使用中の破損機構は、表1に示すように大別できる。さらに詳細な損傷機構一覧表が (財) エンジニアリング振興協会の「構造物長寿命化高度メンテナンス技術開発」(平成16-18年度)<sup>4)</sup> プロジェクトで開発されており、参考にできる。

#### 2.2 破損機構抽出ガイドライン

表1に示すように破損機構は多数あるが、各破損機構の発生には必須条件があり、メンテナンスの対象となる構造物に実際に発生しうる破損機構は限られたものとなる。使用条件から、懸念される破損機構を抽出 (スクリーニング) すること

表1 金属材料の損傷機構と概要

損傷機構	概要	
疲労	金属材料は静的負荷条件では破壊しない荷重でも、荷重の繰返しによって破壊に至る。これを疲労破壊と呼ぶ。一定の応力 (疲労限) 以下では、疲労は起こらないので、通常、疲労が起こらないような負荷応力になるよう設計されるが、予期せぬ応力集中などによって疲労破壊が起こる。構造材料の破損現象の中で、最も頻度の多い破損機構である。	
腐食	全面腐食	均質な表面に均質な腐食媒体 (化学物質など) が接触し、肉厚が均一に減少する腐食。比較的検知しやすい腐食である。
	局部腐食 (孔食)	表面形状・性状の不連続、腐食媒体の流れの不均一などによって、局部的に腐食が進行するもので、深さ方向への侵食が速く (ピット状)、検知が難しい。
	応力腐食割れ (SCC)	応力の存在下で割れ状に腐食が進行するもので、割れ進展速度が速く、最も危険な腐食現象である。18Cr-8Ni系ステンレス鋼の塩化物イオンによるSCCが最も知られている。
クリープ	金属材料は常温では変形、破壊の発生しない負荷条件でも、一定の温度以上では時間とともに変形が進行し、破壊に至る。これをクリープ (またはクリープ破壊) と呼ぶ。	
エロージョン	流体によって材料表面が削り取られる現象	
磨耗	固体の接触・摺動によって材料表面が削り取られる現象	
材料特性 (冶金的) 劣化を原因とする脆性破壊や腐食	金属材料は高温で拡散によって原子が移動し、組織変化が起こり、材料特性の低下が起こる。材料特性の低下後は、これまでの使用条件でも破損が起きる。例えば、 ・一定期間高温での使用後の靱性の低下 (焼戻し脆化、クリープ脆化、475℃脆化、シグマ相脆化など) による脆性破壊 ・一定期間高温での使用後の耐食性の低下 (鈍敏化など) による腐食損傷	

が可能である。表2に各損傷機構発生の必須条件を示す。使用条件を入れることで、懸念される破損機構を抽出でき、抽出ツールとして利用できる。例えば、温度が常温で、静的負荷条件、環境に流動がなく、腐食性もなければ、損傷劣化の心配はないと判断できる。ただ、通常の大気、雨水などの環境でも緩やかな腐食性を有し、長期間の使用では破損原因となるので、環境の腐食性については、より詳細なスクリーニングが必要となる。

2.3 余寿命算定ガイドライン

腐食およびエロージョンによる減肉、またクリープは、時間とともに一義的に劣化が進行する (trendable) 機構であり、余寿命を時間で算定できる。

腐食による減肉に対する、余寿命算定のガイドラインをAPI581を参考にして以下に紹介する。

- (1) 材質、使用温度および環境が同一の腐食減肉が発生する範囲を定め、その範囲で次の算定を行う。
- (2) 以下の手順で減肉 (腐食) 速度 (Wa) を求める。定期検査などで肉厚が計測されている場合、計測結果から Wa (mm/hr) を求める。

[1回のみ肉厚計測が行われている場合]

Waは以下の式で求められる。

$$Wa = (ti - tm) / T0$$

tm: 計測された肉厚

ti: 初期肉厚 (計測されていない場合は公称肉厚)

T0: 肉厚計測時点での累積運転時間 (hr)

[2回以上肉厚計測が行われている場合]

初期肉厚を含む計測結果 (通常最大減肉値) を時間に対してプロットし平均減肉速度 (Wa) (mm/hr) を求める。(その際、最小2乗法などで整理されることが望ましい。)

[肉厚計測が1回も実施されていない場合]

文献 (腐食ハンドブックなど) および専門家 (経験者) などのデータからの Wr を求める。

API RP581 Appendix Gには、減肉をもたらす腐食

速度 (Wr) の参考にてできるものが多数示されている。例として、塩酸による各種材料の腐食速度を表3のようにまとめることができる。塩酸中での腐食を検討する場合に参考にてできる。

(3) 減肉速度裕度

実構造物における腐食は、種々の要因に依存して大きなばらつきを有する現象と考えられる。

腐食現象そのものが確率的現象であり、さらに環境 (温度を含む) の不均一、変動、材質の不均一、欠陥 (溶接部など) などが、ばらつきを大きくしている要因である。

減肉の進展によって、漏洩、破壊に至るまでの寿命を求める場合、肉厚計測および文献から得られた減肉速度に裕度係数 (安全係数) を掛けて計算する必要がある。裕度係数は、検査の方法および範囲による検査の有効度と検査の回数によって決まる。API581では、検査の有効度を全面減肉 (表4) および部分減肉 (表5)

表3 塩酸 (pH1.5) 中の各種材料の40℃および80℃における腐食速度 (mm/year)

材質	40℃	80℃
炭素鋼	10	25.1
T-80F-831系ステンレス鋼	7.5	17.5
Alloy 825	0.025	1
Alloy 20	0.025	1
Alloy 625	0.025	0.375
Alloy C-276	0.025	0.2
Alloy B-2	0.025	0.05
Alloy 100	0.025	0.75

表4 全面減肉に対する検査有効度レベル

検査有効度レベル	内容例 (開放)	内容例 (非開放)
A 非常に有効	50-100%の領域 (部分的な内容物除去) での、肉厚計測を行う表面観察	50-100%の領域を走査するUT肉厚計測または放射線検査
B 有効	20%程度の領域 (内容物除去せず) での、外部からのUT肉厚計測点を含む観察	20%程度の領域を走査するUT肉厚計測、放射線検査または統計的に有効な点における外部からの肉厚計測
C 多少有効	肉厚計測を行わない	20%程度の領域での外部からのUT肉厚計測
D あまり有効でない	外部からの肉厚計測のみ	いくらかの肉厚計測、記録を行う検査計画システム
E 効果なし	検査せず	いくらかの外部からの肉厚計測、記録を行う検査計画システムが有効

表5 部分減肉に対する検査有効度レベル

検査有効度レベル	内容例 (開放)	内容例 (非開放)
A 非常に有効	100%の領域 (内容物完全除去) での目視検査および肉厚計測	50-100%の領域を走査するUT肉厚計測または放射線検査 検査領域は専門家が特定している
B 有効	100%の領域 (内容物部分的除去であるが、マンホール、フズルなどを含む) での目視検査および肉厚計測	20%程度の領域を走査するUT肉厚計測または放射線検査 検査領域は専門家が特定している
C 多少有効	20%程度の目視検査と肉厚計測	20%程度の領域を走査するUT肉厚計測または放射線検査と肉厚計測 検査領域は専門家が特定している
D あまり有効でない	検査せず	UT肉厚計測または放射線検査 検査部位の選定を専門家が行って、いない
E 効果なし	検査せず	UT肉厚計測 検査部位の選定を専門家が行って、いない

表2 損傷機構発生 の 必須条件

損傷劣化機構	必須条件		
	温度	応力/地盤	環境
疲労	全ての応力	疲労 (振動/衝撃/繰返し、振動などによる)	*2
腐食	全ての温度	*1	酸性性
クリープ	高温 (材料によって異なるが、通常は150-200℃以上)	全ての応力状態	*2
エロージョン	全ての温度	*1	流動
摩耗	全ての温度	固体同士の接触	*2
化学的劣化	高温 (材料によって異なるが、通常は150℃以上)	*1	*2

\*1 負荷応力は不可欠ではない。  
\*2 環境を関係なく発生しうるが、腐食環境で加速されること多い。

の場合に分けて示している。

検査の回数を増やすことで、不確定要因を減らすことができ、減肉速度に対する裕度(安全係数)を小さくすることができる。検査有効度と検査回数による減肉速度裕度の関係を係数(S)として表6に示す。係数の決定には、ベイズの定理<sup>5)</sup>が使われている。

(4) 以下の手順で余寿命(Ln)を算出する。

[検査時に肉厚が計測されている場合]

$$Ln = (tm - tsr) / Wa / S \dots\dots\dots (1)$$

tm: 計測された肉厚

tsr: 必要最小肉厚(圧力、荷重に耐えるに必要な最小肉厚)

[肉厚計測がされていない場合]

各種のデータ源から得られたWrを用いて、余寿命(Ln)は(2)式で求められる。

$$Ln = (ti - Wr \times T1 - tsr) / Wr / S \dots\dots\dots (2)$$

Ti: 初期肉厚(計測されていない場合は公称肉厚)

T1: 現時点での累積運転時間(hr)

この場合、Sは4となる(表6の検査なしに相当)。

## 2.4 発生感受性評価ガイドライン

疲労および応力腐食割れ(SCC)は、発生のために一定の閾(しきい)値があり、時間とともに一義的に劣化が進行するとは限らない(non-trendable)破損機構で、余寿命(時間)の評価が難しいため、発生の感受性(起きやすい、起きにくい)としての評価になる。

塩化物環境におけるSCCの発生感受性を求めるためのフローを図1に示す。機械システム振興協会の委託研究により、(財)エンジニアリング振興協会が実施した「機械システム等のメンテナンス最適化のためのRBM手法の開発に関するフィジビリティスタディ」<sup>6)</sup>で開発されたツールで、国内の石油精製、化学プラントを対象としたステンレス鋼の塩化物応力腐食割れ(SCC)に関するアンケート結果<sup>7,8)</sup>およびAPI581の塩化物SCCテクニカルモジュールを参考にして作成されたものである。

図1では、以下のいずれかの条件が成り立つ場合、感受性係数0として排除する。

- (1) Ni含有量が45%以上の材料
- (2) 塩化物濃度が10ppm未満で濃縮がない環境
- (3) 最高使用温度が50℃以下
- (4) 15年以上使用した後の検査で割れが検出されず、その後同一条件で使用している。

上記に合致しない場合は、以下の条件を確認する。

- (1) 脱気されているか(低酸化性環境)
  - (2) 構造上、流れが停滞する、または気液界面があるか
- pH、材料区分、温度および塩化物イオン濃度に対する5段階(0:なし、1:微、2:小、3:中、4:大)の発生感受性を表7-10で確認できる。ここで、材料区分IはSUS304,316およびそれに準ずるオーステナイト系ステンレス鋼、IIはCr22%以上の2相ステンレス鋼およびNCF800である。

## 2.5 破損確率算定ガイドライン

破損による被害の大きさ(影響度)は、金額、死傷者数、環境影響面積などの数値で表現されるので、破損の起きやす

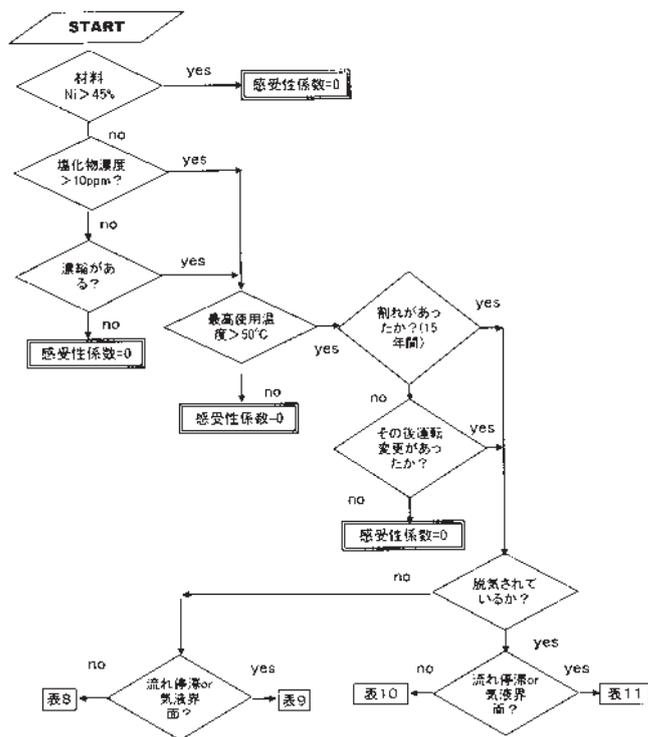


図1 塩化物SCCの感受性評価フロー

表6 検査有効度及び検査回数に対する減肉速度裕度係数(S)

検査回数 検査なし	第1回				第2回				第3回				第4回				第5回				第6回			
	D	C	B	A	D	C	B	A	D	C	B	A	D	C	B	A	D	C	B	A	D	C	B	A
4	3.9	3.8	3.5	2.8	3.9	3.5	2.5	1.6	3.8	3	1.8	1.2	3.7	1.6	1.4	1.2	3.6	2.6	1.2	1.2	3.5	2.5	1.2	1.2

さを確率(数値)で表現すれば、リスクを両者の積で定量的に表現できる。破損確率の算定には2通りの方法が考えられる。

(1) 過去の破損事例データベースを基準にする方法

対象とする設備、機器、部位での損傷事例データベースが存在する場合、一般破損確率として整理することで、それを基準に破損の起こりやすさを算定できる。API581<sup>1)</sup>には、表11に示すように石油精製プラント各機器、部位に一定の大きさの穴が生ずる確率が示されている。石油精製プラントにおける主たる被害は、流体の漏洩によって起こり、被害の大きさは漏洩量によって決まるので、破損によって生ずる穴の大きさが重要となり、穴の大きさごとに破損確率が整理されている。

API581では、定量的な破損の起こりやすさは、機器・部品ごとの一般破損確率に、対象とする機器・部品の状態を示す機器修正係数と管理システム修正係数を掛けることで求められるとしている。ここで、機器修正係数とは、損傷、検査、設計、設備状態、プロセスなどについて、その状態のレベル分けを係数として表示したものである。損傷および検査については、前述したツールを用いて求めた余寿命および発生感受性を係数化して使用することができる。

設計、設備状態、プロセスについては、設備の立地条件(海岸、地震の程度など)、使用した設計基準の信頼性、安全弁の能力、設備の複雑さ(分岐、ノズルなどの数)、使用年数、運転の安定性(起動・停止頻度など)などが因子とされ、管理システム修正係数とは、変更管理、操業手順管理、

表7 塩化物 SCC 発生感受性(脱気なし、流れの滞留および気液界面なしの場合)

材料区分	温度 °C	pH<5				5≤pH<9				9≤pH			
		塩化物イオン濃度 ppm				塩化物イオン濃度 ppm				塩化物イオン濃度 ppm			
		10< ≤100	100< ≤1000	1000< ≤10000	10000<	10< ≤100	100< ≤1000	1000< ≤10000	10000<	10< ≤100	100< ≤1000	1000< ≤10000	10000<
I	50超100以下	1	1	2	2	1	1	1	1	0	0	0	0
	100超150以下	1	2	3	4	1	2	2	2	1	1	1	2
	150超	2	3	4	4	1	2	3	3	1	1	2	2
II	50超100以下	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	100超150以下	1	1	1	2	0	1	1	1	0	0	0	0
	150超	2	2	3	3	1	1	2	2	1	1	1	2

表8 塩化物 SCC 発生感受性(脱気なし、流れの滞留または気液界面ありの場合)

材料区分	温度 °C	pH<5				5≤pH<9				9≤pH			
		塩化物イオン濃度 ppm				塩化物イオン濃度 ppm				塩化物イオン濃度 ppm			
		10< ≤100	100< ≤1000	1000< ≤10000	10000<	10< ≤100	100< ≤1000	1000< ≤10000	10000<	10< ≤100	100< ≤1000	1000< ≤10000	10000<
I	50超100以下	1	2	2	3	1	1	2	2	1	1	1	1
	100超150以下	2	3	3	4	1	2	3	4	1	2	2	2
	150超	2	3	4	4	2	3	4	4	1	2	3	3
II	50超100以下	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	100超150以下	1	1	2	2	1	1	1	2	0	1	1	1
	150超	2	2	3	4	2	2	3	3	1	1	2	2

表9 塩化物 SCC 発生感受性(脱気あり、流れの滞留および気液界面なしの場合)

材料区分	温度 °C	pH<5				5≤pH<9				9≤pH			
		塩化物イオン濃度 ppm				塩化物イオン濃度 ppm				塩化物イオン濃度 ppm			
		10< ≤100	100< ≤1000	1000< ≤10000	10000<	10< ≤100	100< ≤1000	1000< ≤10000	10000<	10< ≤100	100< ≤1000	1000< ≤10000	10000<
I	50超100以下	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	100超150以下	1	2	2	2	1	1	1	2	1	1	1	1
	150超	1	2	3	3	1	1	2	3	1	1	1	2
II	50超100以下	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	100超150以下	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	150超	1	1	2	2	1	1	1	2	0	0	1	1

表10 塩化物 SCC 発生感受性(脱気あり、流れの滞留または気液界面ありの場合)

材料区分	温度 °C	pH<5				5≤pH<9				9≤pH			
		塩化物イオン濃度 ppm				塩化物イオン濃度 ppm				塩化物イオン濃度 ppm			
		10< ≤100	100< ≤1000	1000< ≤10000	10000<	10< ≤100	100< ≤1000	1000< ≤10000	10000<	10< ≤100	100< ≤1000	1000< ≤10000	10000<
I	50超100以下	1	1	2	3	1	1	1	1	0	0	0	0
	100超150以下	1	2	3	4	1	2	2	2	1	1	1	2
	150超	2	3	4	4	1	1	3	3	1	1	2	3
II	50超100以下	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	100超150以下	0	1	1	2	0	1	1	1	0	0	0	0
	150超	2	2	3	3	1	1	2	2	1	1	1	2

安全活動、訓練の有無などが因子となる。これらの優劣を係数化して修正係数とすることができる。

しかし、信頼性ある一般破壊確率の値を得るには、膨大な破損および検査などの保全データを収集し、統計確率的に整理しなければならず、多くのプラント、設備では、一般破壊確率データが存在しないと考えるべきである。従って、多くの場合一般破損確率を用いないで破損の起こりやすさを求める方法が必要となる。

**(2) 経時的破損機構における余寿命予測または感受性評価結果を基準にする方法**

2.1から2.4項で述べた余寿命または感受性を確率として表現する方法は確立されていない。しかし、全ての破損は確率現象であり、分布の形およびばらつきの大きさを仮定することで、破損確率に変換することは可能である。

リスクの半定量的表現に用いる起きやすさのレベル(1-4)と破損確率、余寿命、破損感受性の関係の例を表12に示す。破損確率 $10^{-3}$ (1000基に1基、1000年に1回)、余寿命20年、定期検査10回(定期検査間隔2年と仮定)およびnon-trendable破損の感受性が微(極めて低い)をレベル4(破損が極めて起きにくい)とし、破損確率 $10^{-1}$ (10基に1基、10年に1回)、余寿命4年、定期検査2回(定期検査間隔2年と仮定)およびnon-trendable破損の感受性が大(極めて高い)をレベル1(破損が極めて起きやすい)と定義して、その間のレベルの破損確率、余寿命、破損感受性を求めた。

表11 API581における機器破損一般確率(例)

機器	破損穴の大きさ (インチ)			破断
	1/4	1/2	1	
离心ポンプ	$6 \times 10^{-3}$	$5 \times 10^{-3}$	$1 \times 10^{-3}$	
遠心圧縮機		$1 \times 10^{-3}$	$1 \times 10^{-3}$	
フィルタ	$9 \times 10^{-3}$	$1 \times 10^{-3}$	$5 \times 10^{-3}$	$1 \times 10^{-3}$
熱交換器	$4 \times 10^{-3}$	$1 \times 10^{-3}$	$1 \times 10^{-3}$	$6 \times 10^{-3}$
配管 (8インチ)	$3 \times 10^{-3}$	$3 \times 10^{-3}$	$8 \times 10^{-3}$	$2 \times 10^{-3}$
圧力容器	$4 \times 10^{-3}$	$1 \times 10^{-3}$	$1 \times 10^{-3}$	$6 \times 10^{-3}$
貯蔵タンク (密閉)	$4 \times 10^{-3}$	$1 \times 10^{-3}$	$1 \times 10^{-3}$	$2 \times 10^{-3}$

表12 破損の起きやすさレベルと破損確率、余寿命、破損感受性の関係例

レベル*	破損確率	余寿命		破損感受性
		Year	定検間隔†	
1	$>10^{-1}$	4	2d	大
2	$>10^{-2}$ 又は $10^{-3}$	10	5d, 16d	中
3	$>10^{-3}$ 又は $10^{-4}$	10	5d, 16d	小
4	$<10^{-4}$	20	16d	微

\*1 リスクの半定量的表現における破損の起きやすさのレベルに相当  
\*2 d: 定期検査間隔(year)

**3 被害の大きさ評価ツール**

被害の種類としては、以下の3種類がある。

- (1) 経済的被害 …… 破損によってプラント、設備の操業が止まることによる売上減少、補修の費用など。すべての対象物に共通する被害で、金額で表現できる。
- (2) 人的被害 …… 破損(流出流体の爆発、火災などを含む)によって生ずる人身事故で、工場内外の人間が対象となる。人数、負傷の程度などで表現される。毒性のある物質の流出による人的被害も含まれる。
- (3) 環境への被害 …… 対象範囲で扱われる物質(プロセス流体など)が環境を汚染するものである場合、破損による流出で環境汚染の被害をもたらす。この被害は汚染物質の量(汚染の範囲)と汚染程度の積として表現される。

図2<sup>9)</sup>に示すフローは被害大きさ算定のツールとして使用できる。対象とするプラント、設備において想定される被害を毒性、可燃性、操業損失、人身災害の順に算定することで、最終的に経済性、安全性、環境の3ケースの被害が求められる。

化学プラントや石油精製プラント等においては、環境への被害が重要である。環境への被害の大きさに関しては、毒性および可燃性物質の影響をうけるエリア(面積)を評価することになる。これらの計算に関しては、TNO<sup>10,11)</sup>やAPI581、日本化学工業協会<sup>12)</sup>などの文献を参考に算出することができる。

また、被害の大きさ(影響度)を低減してリスクを小さくすることができる。被害の大きさ算定において、その低減方法の状況を評価して、被害の大きさ(影響度)を算定することが必要となる。図3は、可燃性、爆発性、環境汚染性物質を扱うプラント、設備での漏洩、流出による被害に対する被害低減策を考慮した算定の流れを示す。漏洩を「検知」、「遮断」、「ブローダウン」能力、流出した液体が敷地外に流出しないようにするための防油堤などでの「囲い込み」能力、火災発生の場合の「消火」能力、人的被害低減のための「検知」および「避難」能力を評価して、被害の大きさ算定を行うべきことが示されている。これらの低減因子を係数化することで、被害の大きさ(影響度)評価ツールとして使用できる。

# 4 おわりに

紙面の都合上、すべてのツールを紹介することはできないが、これまでに述べたような方法でツールの作成が可能である。リスクを基準とするメンテナンスでは、それぞれのプラントにおける目的、対象範囲を明確にし、それぞれに適したリスク評価方法、判断基準を定め、専門家の知識を十分に活用して、評価ツールを作成し、関係者の合意を得て、実施することが重要である。本講座が少しでもお役に立てれば幸いである。

## 参考文献

- 1) American Petroleum Institute : Risk-Based Inspection Base Resource Document, API Publication 581, (2000.5)
- 2) 小林英男：高圧ガス製造設備の保安検査方法の制度改正, HPIセミナー第6回圧力容器関連規格の国内外動向, (社)日本高圧力技術協会, (2005年1月27日)
- 3) 神門正雄：高圧ガス保安協会における規格策定プロセスの抜本的見直しについて, HPIセミナー第6回圧力容器関連規格の国内外動向, (社)日本高圧力技術協会, (2005年1月27日)
- 4) 平成18年度戦略的技術開発(構造物長寿命化高度メンテナンス技術開発) 報告書, (財)エンジニアリング振興協会, (2007年3月), 18.
- 5) 酒井信介：リスクベース検査における機器の破損確率データ収集のためのベイズ定理の応用(第二報 ガイドラインの中での利用), 圧力技術, 43(2005)1, 22-27.
- 6) 機械システム等のメンテナンス最適化のためのRBM手法の開発に関するフィジビリティスタディ報告書, (財)機械システム振興協会, 委託先(財)エンジニアリング振興協会, (2005年3月), 75.

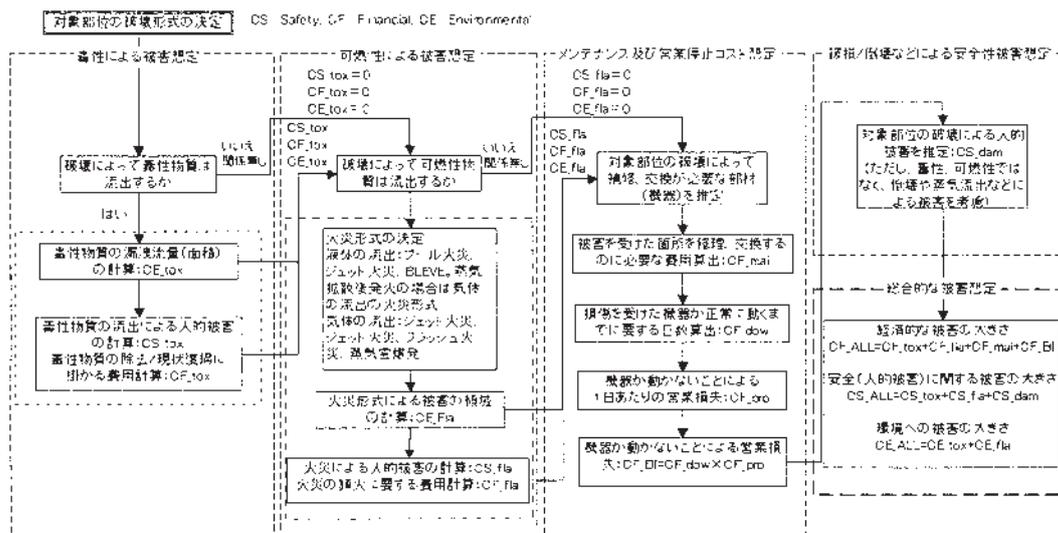


図2 被害の大きさ(影響度)算定フロー

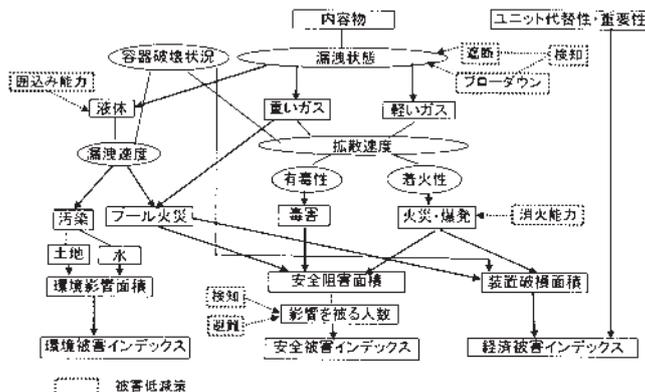


図3 被害の大きさ(影響度)と被害の大きさ低減の算定フロー

- 7) 化学工学会化学装置材料委員会腐食分科会, 塩化物SCC  
対策鋼の使用実績データ集, (1997年4月)
- 8) J.Sakai : SCC of Stainless Steel Heat Exchangers —  
Field Survey by Corrosion Subcommittee of the  
SCEJ, MTIMEETING (1998)
- 9) 機械システム等のメンテナンス最適化のためのRBM手法  
の開発に関するフェージビリティースタディ報告書, (財)  
機械システム振興協会, 委託先 (財) エンジニアリング振  
興協会, (2005年3月), 83.
- 10) Methods for the Determination of Possible Damage  
to People and Objects Resulting from Releases of  
Hazardous Materials, CPR16E, Green Book, 1<sup>st</sup>  
Edition, TNO (The Netherlands Organization of  
Applied Scientific Research), (1992)
- 11) Methods for the calculation of physical effects,  
Yellow Book, 2<sup>nd</sup> Edition, TNO (The Netherlands  
Organization of Applied Scientific Research), (1992)
- 12) Risk Manager, [http://www.chemrisk.org/contents/  
code/riskmanager](http://www.chemrisk.org/contents/code/riskmanager)

(2009年1月20日受付)