

リスクベースの設備管理（3）

技術知識基盤ツールの適用

Application of Plant Technology Knowledge Infrastructure to Plant Engineering and Maintenance

川中技術士事務所	川中 勉	Tsutomu KAWANAKA	Member
	玉木 悠二	Yuji TAMAKI	Member
技術知識基盤構築機構	太田 吉美	Yoshimi OTA	Member
技術知識基盤構築機構	好永 俊昭	Toshiaki YOSHINAGA	Member

Management and maintenance tools are now greatly available for contributing reduction of maintenance cost and time. These tools surely give us much benefit, but are only for maintaining reliabilities of the equipment. Reliability of the plant depends on the design and actual operating conditions. Accordingly, the matter to do first is to consider facilities in the range of the plant life cycle. This brings the result that “process property” and “equipment property” are required besides “equipment function” which has been used for the evaluation index. Because these properties are formed at the designing stage, the beginning of the life cycle, and by applying the equipment function to them, maintenance cost can be reduced cost without risk increasing. To execute this subject, it is strongly required to accumulate information and data, to build up the Technology Knowledge Infrastructure. This paper reports the system and the way of applying the method to the actual plants.

Keywords: Technology knowledge infrastructure, Maintenance, risk evaluation, equipment function, equipment property, Plant

1. 緒言

最近はリスク評価・診断技術・リモートセンシング・診断や保全作業、事故や修理の記録との参照など様々な管理手法や部分最適な保全ツールが提供されている。ところが、設備の保全・管理は、現有設備の故障・事故防止のための信頼性の維持に置かれており、保全が設備全体に占める位置付けが十分明確にされていない。

保全は設備のライフサイクルの一環をなすもので、設計から始まる特性実現を具現化した設備の信頼性を維持するものである。即ち、ライフサイクルを踏まえた設備管理は、設備が持つリスク特性を把握したうえ

で保全の処方を統制すると言う点に於いてこそ意味を持つ。また、結果として得られた知識を設備管理に反映させることにより、設備のリスク低減、保全の効率化へ還元させることが可能になる。

そして、これを実現化するには、リスク情報の透明化と共通認識が必要である。また、現存のリスク評価・診断技術・リモートセンシングなどのツールやそれらによって得られる診断結果、修理の記録データに加え、設備の特性を有機的に評価して知識化し、関係者で容易に利用できる仕組みを作ることが必要で、そのためには、設備管理に知識基盤ツールを導入・活用することが極めて有効な手法になる。

従来の保全を部分最適な戦術的、改善的な性格と考えると、リスクベースの設備管理はそれらを包含して位置づけられる戦略的、改革的な管理手法であり、それ故に保全の担当領域を凌駕した高次元の管理と言える。本論文では、別に提唱された最適化保全のコンセ

連絡先：川中勉、〒284-0045 佐倉市白銀4-14-7

川中技術士事務所

電話：043-485-9123、e-mail：kawanaka_t@mua.biglobe.ne.jp

プトに基づいて、技術知識基盤ツールを活用し、設備管理をどのように実現していくかについて具体的な手法について提言する。

2. 設備管理の機能と知識基盤ツール

2.1 設備管理の位置づけ

設備管理は単独で存在するのではない。設備は決った目的からプロセス構想を経て具体化され、それを実現させるために設計という過程を経て形作られる。設備管理は、そうして作られた設備の機能を目的に沿うように維持していく保全を包含した管理である。そして設備とそれを構成する部分には、設計の結果である固有の特性を全て含んでいるので、その特性を取り込むことで設備管理の基礎情報を把握することが出来る。設備管理を切り口にした特性は次の3つである。

- ① プロセス特性 (Process Property)
設備の使用条件に内在する危険性
- ② 機能特性 (Equipment Function)
設備が機能を停止した時に波及する危険性
- ③ 設備特性 (Equipment Property)
設備が確保できている信頼性

設計の段階で、これらの特性の一部が既に埋め込まれており、結果的に保全業務で確認する設備特性は設備が完成するまでに得られる特性の評価を基に成り立っている。これら特性は、設備のライフサイクルである設計から廃棄に至るまで連綿と連なっており、設備の運転や環境条件によって変化していく。設備の保全は、これらの特徴を理解した上で得られた評価格付けを基に行われるべきであり、それを保全の最適化と称する。さらに、保全の過程で得た知識を還流して特性の見直しを行ない、他設備や設計への水平展開を可能とすることで設備や保全のスパイラルアップが可能になり設備管理のサイクルを実現できる。Fig.1 に設備管理機能の概念を示す。

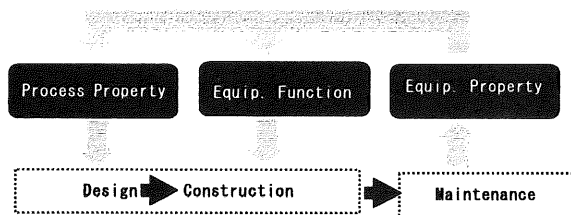


Fig-1 Total optimization scheme of plant management

2.2 最適化設備管理の基本プロセス

最適化設備管理の基本プロセスには次の項目がある。

- ① 顧客が望む設備の信頼性レベル (**R**eliability **R**equired) を定量化するプロセス
設備が負うプロセス条件の要求度、個々の設備が受け持つべき役割を基に信頼性レベル(RR)を定量化して評価、決定する。
- ② 設備が保有している信頼性レベル (**R**eliability **A**vailable) を定量化するプロセス
設備の壊れ易さを定量評価する。対象設備の設備管理実績から個々の設備が保有する実際の信頼性レベル(RA)を推定し決定する。
- ③ 設備が保有している低下した信頼性レベル(RR)の回復方法を明確にするプロセス
対象設備の設備管理実績を整理し、個々の設備が保有する現在の信頼性をもとに再現する方法(設備管理処方)を決定する。
- ④ 保全費の低減化を提案するプロセス
設備に必要な信頼性レベル(RR)と設備が保有している信頼性(RA)を比較、保全費低減に挑戦する対象設備を選定して改良処方を決定する。
- ⑤ 改良処方を類似設備に展開する処方を策定するプロセス
保全費低減への挑戦結果を RR の評価が高い設備にも適用する改良処方を策定し展開する。

①は設計段階で実施される。②は設備運用に入ったあとの実績により確認される。また、③～⑤は個々の設備の信頼性レベル(RR)を最も効果的に維持・復活させるプロセスで、処方を最新化して設備管理に適用し、得られた結果は新しい処方に取り込まれる。また、設備寿命の予測精度の向上に有効な知見を取得して②へ繋げ設備管理を高次元へとスパイラルアップを図っていく(設備寿命予測の推論エンジン)プロセスを以って設備管理のサイクルが形成される。

このように設備管理は基本的に $RA \geq RR$ の認識から始まっているので、従来の RA のアプローチのみでは保全の最適化は到達できないことが認識されよう。保全の最適化には現有設備の信頼性を再現するための設備管理指針、保全費の低減のための運営指針、寿命予測のための推論エンジンが必要である。このため

にはそれら運用の前提となる保安全管理密度へのツールが必要で、それには設備の持つ情報を集積、知識化していくことが必要である。

3. 技術知識基盤

3.1 技術知識基盤の概念

設備を設置し運用・保全していくプロセスで様々な情報やデータが集積される。設備管理に必要な判断をしていく中で、これらの情報やデータは経験や知見を基に知識として加工され判断材料を提供している。従って、形式が電子であるか紙であるかを問わず、図面やリストにある情報やデータだけではなく、情報やデータを統合昇華して作り込んだ知識が特にリスクを意識した設備管理に必要なものとなる。

知識は設備の信頼性レベルを定量化するプロセス設計や基本設計時で使用しているが、図面や図書は設備や検討結果の最終姿を表現したものであって、それを作成するのに必要な配管材料のレーティングや基準等の基礎情報、2.1 で記した特性などは、表現されていない。設備管理では、図面や図書に記された情報やデータと共にそれらを生成するために用いられた基礎情報や特性を統合昇華して得られた広範囲の「知識」を活用することが必要である。このような設備管理のための知識を統合化して蓄積されたものを技術知識基盤 (Technology Knowledge Infrastructure) と称する (Fig-2)。

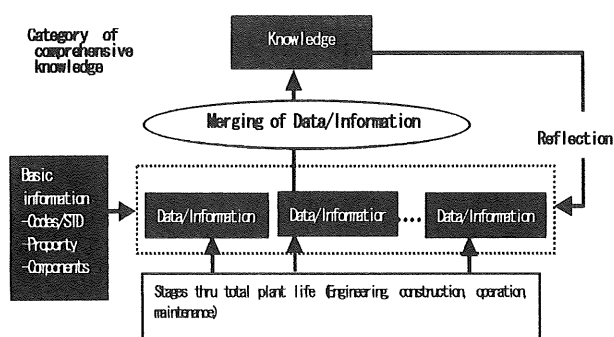


Fig-2 Concept of Knowledge Infrastructure

従って、技術知識基盤が整備できれば、設備の管理は、それを利用することで運転状況や保全のデータなどが容易に照合でき、信頼性の余裕 (RA と RR の差)、クリティカルポイントの抽出、運転条件の変更や、圧

力などの変更などに対する範囲の表示や条件の変更の情報提供が可能になり、後述するリスク評価の判断材料を得ることができる。

各時点で発生する情報・データの一例を挙げる。

- ①設計時点～試運転段階 (必要な設備信頼性レベルの定量化のプロセス)
プロセス情報、設計情報、規格・基準、図面情報、設備情、プロセス・機能特性の評価情報など
- ②運用段階 (実際の設備信頼性レベルの定量化のプロセス)
設備性能、事故・故障に関する予兆データなど
- ③保全段階 (信頼性の再現明確化のプロセス)
整備・復元の処方、劣化実績・変化データなど
- ④評価段階 (保全費低減～改良処方のプロセス)
設備特性・設備管理処方の改訂版

3.2 技術知識基盤ツール

技術知識基盤ツールは、設備の組立を制約自然言語 FNL (Formal Natural Language) の形で表現する知識記述モデル GIM (General Information & Knowledge Model) である。弁 HV001 が配管ラインの一部であり、パイプ PIPE003 に繋がっているという例では；

HV001 is_a_part_of P-S-001

HV001 is_connected_to PIPE003

と表現される。この表現は、弁 HV001 と配管ライン P-S-001、パイプ PIPE003 がオブジェクトであり、is_a_part_of や is_connected_to の表現でそれらの関係を表すオブジェクト指向の言語体系をとっている。そのため、このモデルは設備のどのような内容でも、理論計算式でも表現することが出来る。実際には、データはエクセルなどのリスト、P&I 線図やそれに対応した 3 次元図面からは GIM-XML (eXtensible Markup Language) トランスレータを介して取り込むことが出来る。

そして何より重要なことは GIM/FNL は主語、述語、目的語で構成される意味ネットワークモデルであり、ハード・ソフトに依存しない、即ち陳腐化しないという最大の特徴がある。

Fig-3 は、これらの情報をデータウェアハウスに登録する仕組みを示す。

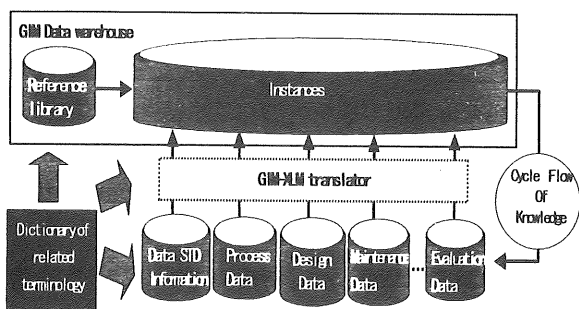


Fig-3 Registration of data and information

また、Fig.4 は GIM データウェアハウスに取り込まれている知識情報を Web を介して提供する仕組みを示したものである。

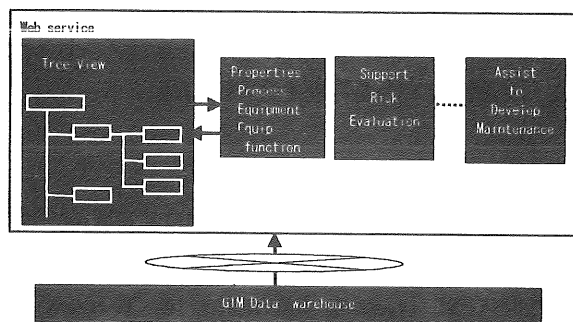


Fig-4 Web View of stored knowledge

3.3 技術知識の登録

予め技術知識を取り込んでおく。都度用意するのは不確定要因を生む原因になるからである。

① 設備の特性を規定する情報

設計が開始される時点で技術情報の取り込みは可能である。設備特有の設計条件や規格・基準さらには取扱う物質の特性などの基礎情報と設備の仕様、P&ID など設計に係って発生したデータを取り込んでおく。また、Table-1 のように設備構成ツリーを準備し、設備の要素単位までのブレイクダウンを行う。ツリーは求める精度の向上に合わせて備蓄・細分化されて行く。

Table-1 Equipment Break down into Parts

Equipment	Stage-1	Stage-2	Stage-3	St	Factor
Pump	Body				Body
	Stationary	Casing			Casing
	Rotating	Parts-General			Rotating parts-general
			Shaft		Shaft
			Impeller		Impeller
		Sealing	Sealing-general		Sealing-general
		Seal ring		Seal ring	

② 3要素の評価基準

設備特性・機能特性・プロセス特性を作成するため

に、評価ベースが必要である。例を示せば；

- ・ 火災爆発危険性
 - 圧力区分 A $\geq 100\text{Mpa}$
 - B $\geq 20\text{Mpa}$. . . D まで
- 温度区分 A $\geq 1,000^\circ\text{C}$
- B $\geq 600^\circ\text{C}$ D まで
- ・ 操作
 - A = 爆発範囲での操作
 - B = 異常時爆発の可能性
 - D まで

これは知識化を進めるに際してのプロシジャであるが判断の基準は人様々であるから、基準の透明化の見地から根拠を明確にするのが望ましいので共通化して登録する。設備は固有の評価を持ち、評価のための基盤情報は客観的な知識として予め準備されるが、評価は当事者毎に異なるのであるから、この評価を決めるに当たっては判断基準は当事者間で予め確認しておくことが望ましい。なお、評価が A,B,C,D 4段階で行われる意味は安易に中間の評価に流れぬようにするための配慮である。また判断のプロセスは後述の知識化のアプローチで説明する。

3.4 知識化のアプローチの表現

判断材料から想定される結果、換言すればその対応策を提供するためのもので、情報を統合昇華して知識化するアプローチを言う。

判り易い例に喩えれば、「風が吹けば桶屋が儲かる」のは因果関係を示す情報ではあるが、例えば腐食が進行すれば（あるいはもっと上流で、このプロセス条件であれば）破壊を引き起こすと言う場合に、どう因果関係が連鎖するのかと言うことを意味する。この場合、

Kaze is a cause of Hokori
 Hokori makes Moujin
 Moujin is a player of Syamisen
 . . .

と言う関係で表される。必要なオブジェクト、アソシエーションの整備と登録によって、表現が可能になり、これを GIM データウェアハウスに登録することで、因果の繋がりを引き出すことが期待される。

4. 実施例

4.1 3要素の評価

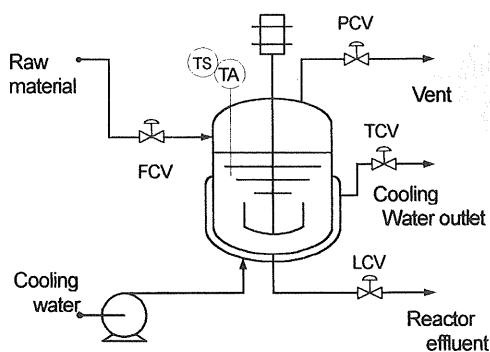


Fig-5 Flow chart around Exothermic reactor

Fig-5 は、エチレンを原料にして発熱反応によりポリエチレンを生成する設備の発熱反応槽まわりを簡単に示したものである。この設備にはプロセスを安全に実行するために各種の装置が装備されており、設備が破壊した場合に高圧のエチレンの取扱に起因して生じる危険性と、設備が機能を喪失したときに発生する波及被害がそれぞれプロセス特性、機能特性として評価される。そしてこれらの不安定要因に対して設備が有している設備自体の信頼性が設備特性として評価される。

(1) 機能特性

例えば、Pumpは反応槽に冷却水を送っているので、Pumpが停まれば反応槽は爆発する。また原料供給のFCVは故障すると除熱能力以上に原料が供給されて反応槽に破壊危険が生じ、製品の品質も確保出来なくなる。この時、Pump(含駆動用モータ)やFCVの損失性は、予め準備されている機器や評価指標を利用して次のTable-2のように評価される。ただし、ここでの評価A~Dは記述のようにこれらの資料から一義的に定まるのではなく、知識化アプローチにより、種々の知識を保有する人間系で評価されることに特徴がある。こうして評価された結果はその設備対象の属性として保存される。

Table-2 Potential Loss Evaluation

Equipment	Potential Loss evaluation									Total Evaluation
	Outbreak	Loss of Productivities				Environmental Damage				
		Continue Run	Output Quality	Resources	Power	Water	Air	Noise	Sanitary	
Pump/Motor	A	A	B	D	D	D	D	D	D	A
FCV	A	A	A	D	D	D	D	D	D	A

また、TAやTSが設置されていれば、たとえ、Pumpが停止しても予備Pumpを駆動することで被害の発生を免れることが可能である。機能特性の評価はこのような理解を含めて行われ、それらは切迫性と損失性を評価するこ

とで実施される。

(2) プロセス特性

プロセス特性の評価は、取扱物質や取扱方法などに係るプロセス固有の危険性の評価で、それらは予め設定された人体有害性、環境阻害性、生産阻害性などに係る危険性の程度の基準で評価することにより行われる。

(3) 設備特性

現状での設備の信頼性の評価である。現状では、そのために検査時の減肉調査などの情報が収集されリスクの大きさや起こり易さの判定に利用されている。このような現有技術によって収集された情報が蓄積され評価に利用できる。

例えば、定期点検で収集した保全データに基づいて推定した平均寿命時間を代用特性として各機器要素に適用されたり、故障原因や各種の採取データ、評価の根拠が技術知識として保存される。

4.2 設備管理への利用

このようにして、全ての要素について各項目の調査を行われ、最終的に3要素のリスク評価として纏められる。次のTable-3は、その纏めの例であり、設備を構成する機器の全てに亘って評価が記載されている。記入項目は、技術知識の入力で記した項目はTree Viewから引き出され、評価結果は作業の情報を保有しているGIMデータウェアハウスから引き出すことにより行われる。

Table-3 Total risk evaluation sheet

Evaluated item	T-105 XY Column	P1105 BTM Pump	E-201 Reboiler	T10-201 TE	T10-201 CV	Remarks
Process Property						
Fire/Explosion						
Material	A	A	A	A	D	
Condition						
Press	D	D	C	C	D	
Temp	D	D	C	D	D	
Operation	D	D	D	D	D	
Storage Qty	D	D	D	D	D	
Hazards for human	D	D	D	D	D	
Environmental	-	-	-	-	-	
Total Evaluation	A	A	A	A	A	
Equipment Property						
Potential Loss						
Productivity						
Cont. Run	B	B	B	B	B	
Quality	C	C	C	C	C	
Resource						

Table-4 は各設備要素毎に作成した保全業務の総括表で、技術知識基盤の情報を要素機器毎に引き出し、規

定のフォーマットに纏めた例である。必要な保全業務がトータル的な認識の下に全て集約され、それらが保全担当だけでなく、関係各部門にも分担する設備管理として過不足なく配分された処方箋になっている。設備運用の評価や点検の処方が記載されていて、Web上で知ることが出来る。

設備評価は、3要素でプロセス特性と機能特性は変わらないが、設備特性は保全経歴により変化していくので常に見直しが必要になり、絶えず最新の状態に維持管理されなければならない。

Table-4 Maintenance Prescription of Equipment

Maintenance Prescription of Equipment (Summary)

Device	Ser. No	Equipment or Device	Rank of Evaluation			CRMC
			Process Property	Equip. Property	Equip. Function	
Routine check & maint	Time between Check		Check sheet No.			
	Decision of Check Cycle	Causes of Breakout	MTBF	Breakout Reason	Repair Work Instruction	
	Remarks :					
Routine Operation	Items to be treated	Intervals	Detail Instruction	Detail Instruction No.		
	Remarks :					
Maintenance Patrol	Items to be followed	Frequency	Specific notable to the equipment	Measures commonly applied		
	Remarks :					

Fig. 6に設備の保安全管理密度を示す。この評価は保全担当責任者が具体的な運用指標を指示するのに使用するもので保全の実績を経て評価を見直し、管理密度(Concentration Rate of Maintenance Consideration)の傾斜配分の指標として利用される。また、そこに示される設備特性の改善ではGIMデータウェアハウスから現存の保全情報と乖離している項目を抽出、改善を図るとともに、評価の低い設備を対象に設備の積極的な改良を図り、改善情報を水平展開することが行われる。このようにして、保全のスパイラル的な改善が行えるようになり、運用実態は客観的情報として経営上層に届けることができる。

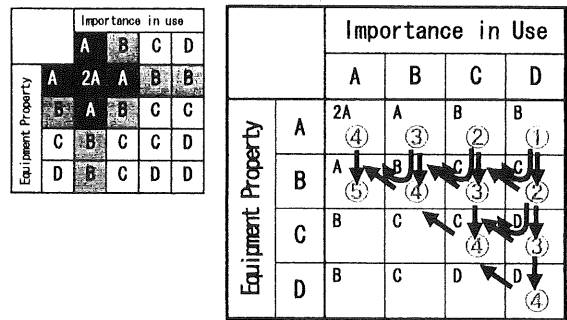


Fig-6 Matrix to determine CRMC and Step to improve maintenance without risk increasing

5. 結言

リスクベースの設備管理は、何処を攻めるかという戦略的な保安全管理である。そのためには、設備や、絶えず変化する保全を源とする膨大な知識をベースにした共通の判断基準に基づく意思決定が必要になる。更にこの成果をフィードバックして、設計での特性の反映や、設備の長期にわたる維持・対策といった課題の決を行ない、最適化保全による低コスト化と信頼性維持を高次元で調和させた全体最適保全への移行が行わなければならない。

リスクベースの設備管理に適用する技術知識基盤ツールは、その汎用性から活用範囲は非常に広いが、最初は設備の特性の把握から初め、運用に馴染みながら徐々に領域を適用拡大していく方法が新しい文化を導入する上で薦められる。

参考文献

- [1] 玉木：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：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：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)
- [4] 好永、太田ほか：仮想企業体ネットワーク、平成13 年度 IMS 研究成果報告会論文集(2001)
- [5] 太田、好永ほか：技術情報基盤のための情報・知識記述モデル、平成13 年度 IMS 研究成果報告会論文集(2001)