



論理的な保全だけが プラントを維持管理できる！

若 槻 茂

日本の製造業は設備と人材の高経年化時代をむかえ、安定操業の実現に極めて困難な状況に直面している。現場の架台基礎や配管周り部品などの劣化状況や壊れてしまってから治す“事後保全”機器の修理件数増加などに、そうした状況が顕在化している。従来の“カン・コツ・度胸”をベースとした属人的な保全を見直し、「論理的な保全」を遂行できる体制と共に、劣化兆候を見逃さない「危機意識を持った風土づくり」が喫緊に必要とされる時代となっている。本稿では、こうした設備管理の実態を調査データから明らかにしながら、局所最適ではない全体最適の総合的な保全マネジメント（MOSMS）について概要を紹介する。

キーワード：設備管理の課題、保全経営、保全マネジメントシステム、論理的な保全、保全ナレッジ

1. 人も設備も“超高経年”時代

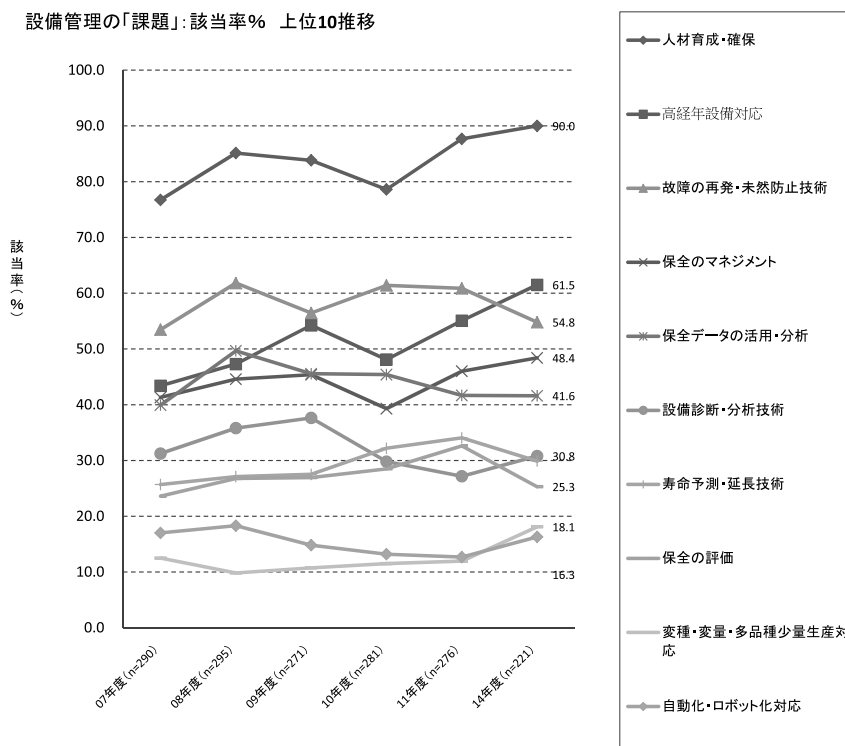
(1) “超高経年”時代の設備管理

石油精製、石油化学などの製造業プラントの問題といえば、「設備と人の高経年化」といえる。

もちろん、古いから悪いという単純な理屈ではないし、人の方もすでに超ベテランたちは卒業されている。

意味するところは、2000年初頭から問題視されていた「設備と人の高経年化」による影響を、未だに解決できていないということなのである。

公益社団法人日本プラントメンテナンス協会では、1992年より「メンテナンス実態調査」を会員企業の事業所対象に行っているが、2014年度の結果から幾つかをまず紹介しようと思う。



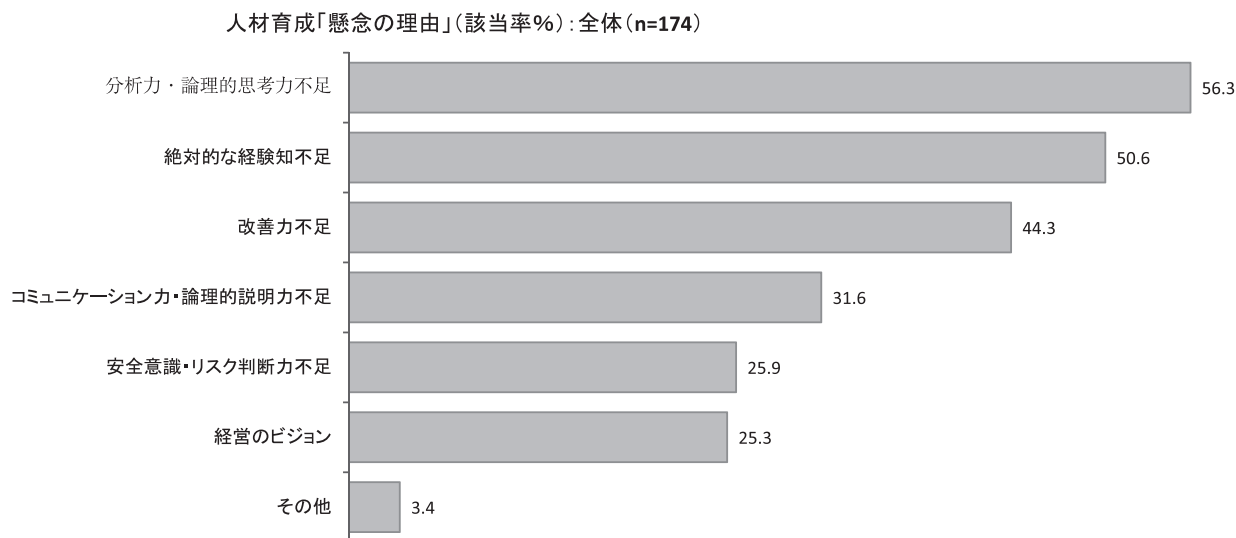
図一 1 設備管理の課題（メンテナンス実態調査）

事業所の「設備管理業務」全体において重要な課題調査を、過去数年にわたって行った結果と合わせて図一1に示す。数値は、母数に対する該当率である。「人材育成・確保」の課題1位は不動であるが、該当率も上がり続けている。また、課題2位、3位が2014年に逆転し、「高経年設備対応」が上昇し続けており、遂に6割を超す該当率に至った。これに伴うように、「保全マネジメント」が上昇している。

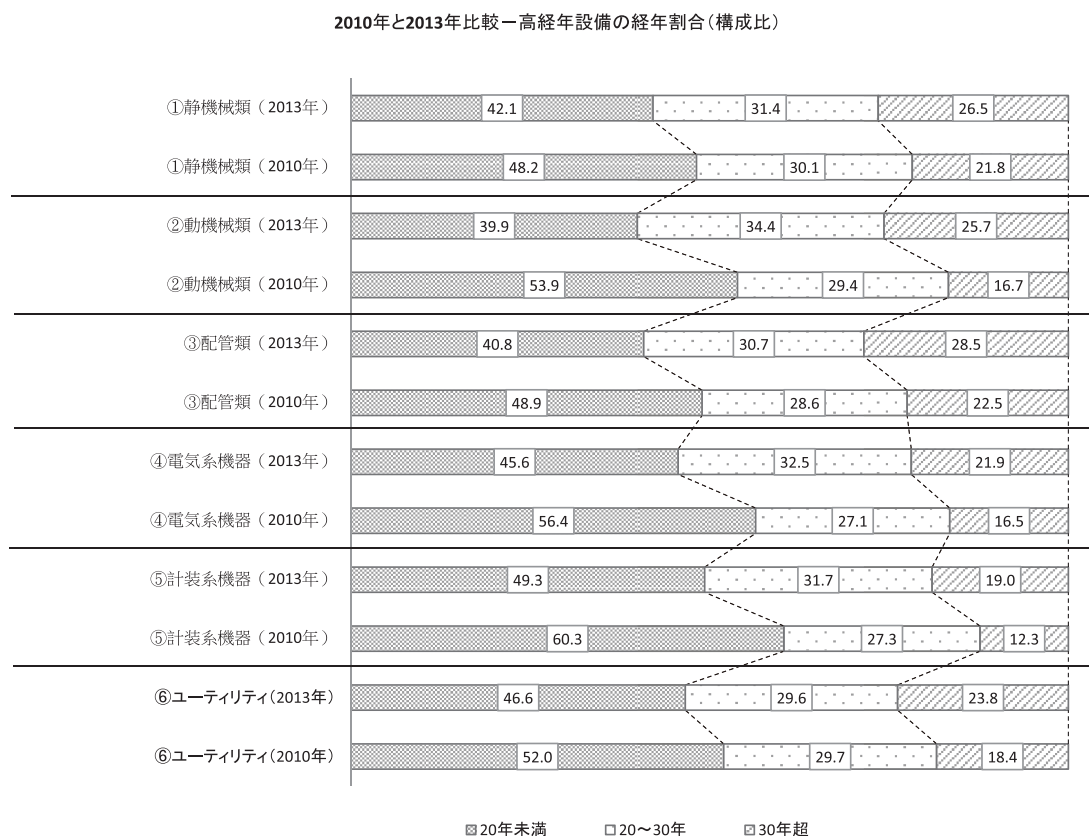
課題第1位であった人材育成状況の全体を概観した

とき、現在の育成状況に不安やあきらめを感じる場合の理由として、経験知不足よりも、「分析力、論理的思考力の不足」が理由としてあげられており（図一2）、これは毎年の傾向である。これが何を意味するであろうか？

続けて、高経年設備の経年割合（構成比）を見てみる（図一3）。すべての機器類で、「20年未満」の割合が減小し、また、「30年超」の割合が増加しており、高経年化がますます進んでいることがわかる。



図一2 人材育成の懸念理由（メンテナンス実態調査）



図一3 高経年設備の現状（メンテナンス実態調査）

高経年設備を使いながら安全・安定生産を維持するために、設備管理／保全への要求が極めて大きくなっているといえる。

2007・2012年問題を契機に、どの企業も人材育成に対して積極的に取り組んできているし、老朽化設備対策として更新投資もここ数年は増加している。ところが、上記データに見られるように“状況の改善”には至っていないのである。

それでは、設備管理がうまくいかないと、どのようなリスクを生じるのだろうか？

事業所の主たる生産プロセス・生産ラインで、何らかの「問題がある」と思われるリスク側面と、その要因として設備管理要因が強い場合をチェックしてもらった調査結果を紹介する。

便宜的に、「問題がある」と回答された該当率（該当すると回答された件数／母数）と、「設備管理要因が強い」と回答された該当率の比を、“設備管理要因比率”として見ると、下記のようにいえる。

〈設備管理要因が非常に大きい〉：70%以上

- ・製品品質：85.6%
- ・防災・産業災害：80.5%
- ・環境・エネルギー：75.8%

〈設備管理要因が比較的大きい〉：50%以上

- ・生産納期：59.7%
- ・生産量：57.0%
- ・労働安全：53.9%

〈設備管理要因は要素の一つ〉：50%以下

- ・生産コスト：49.9%

表－1 設備管理要因比率（メンテナンス実態調査）

影響側面	該当率	該当率レベル
製品品質	85.6	非常に大きい
防災・産業災害	80.5	
環境・エネルギー	75.8	
生産納期	59.7	比較的大きい
生産量	57.0	
労働安全	53.9	
生産コスト	49.9	要素の一つ

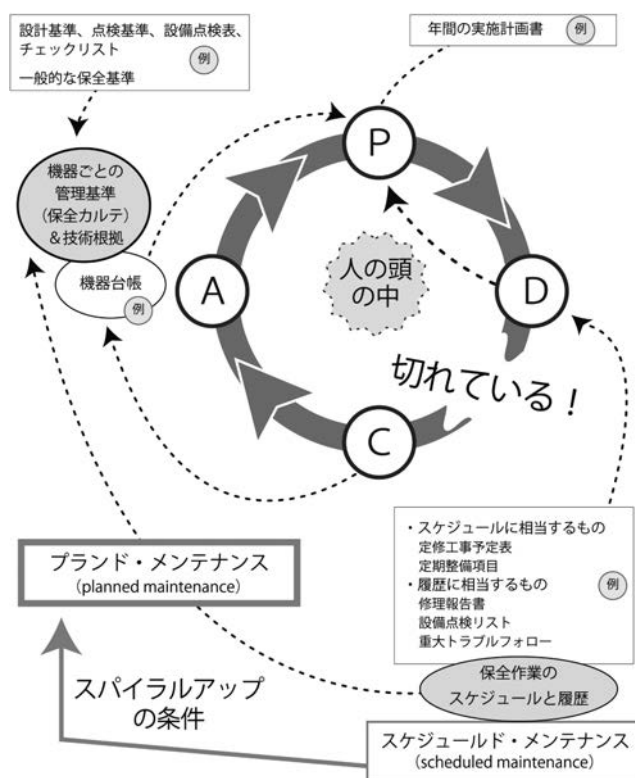
(2) 「論理的な保全」にならない理由

当会が2009年から実施してきた『保全経営力の診断』の結果から見えてきた“日本の共通課題”がある。一言でいうと、日本の保全は管理サイクルPDCAの中で指摘すると、「P（計画）⇔D（実施）」の繰返しで、「C・A（分析評価・反映）」がないのだ。“ない”という用語弊があるが、正確にはベテランのアタマの中にある、外には出てこないということである。

トータルで考える頭脳は、「C・A」から生まれるのである。正確な現状把握から、適切な方法が選択できる。その適切な方法が計画である。したがって、全体の適切性からみれば重要な順番は「C→A→P→D」となり、保全の作業（D）は最後なのだ。保全の仕事を作業というイメージだけの「（保全作業の）スケジュールド・メンテナンス」から、正しい計画主導の「プラント・メンテナンス」に修正していく必要がある。

さて、ではなぜこういう状況かといえ、ベテランが残してきたマニュアルが機能していなかったからといえそうである。ベテランは、自分が“やっていること”をそのまま箇条書き的に残して、マニュアルとしてきたのではないのか？ そこに、「なぜそうしているのか」「それをしなかったらどうなるか」が残されていない。それでは考える手がかりはないわけだから、上記のように残された者たちは「分析力、論理的思考力不足」になるし、業務にバラツキがあって仕事の基本力が低下するわけである。

「管理基準」と計画保全サイクル



図－4 管理サイクルの“切断”

2. 「論理的な保全」の必要性

(1) 配管検査データのモデリング例

「論理的な保全」とは何かを考えるために、配管の外腐食対策を例にとって述べてみたい。

コンビナート等の高経年設備課題の中で、環境要因によってもたらされる設備の外表面腐食は、劣化要因が技術的には明確でありながら、配管等の数が多いということから、管理方法が極めて難しい問題である。そこで、当会では「技術的にも経済的にも最適な対策」であるために、保全に立脚点を置いた外表面腐食対策のガイドラインづくりを目指し、2010年に『外表面腐食対策ガイド』を発行した。

このガイドの中で、研究会参加各社が配管のCUI(保温材下腐食)検査の“生データ”を約1500集めて、分析・モデリングした例が図-5である。極値解析という統計手法を用い、最大値の二重指数分布(極値)

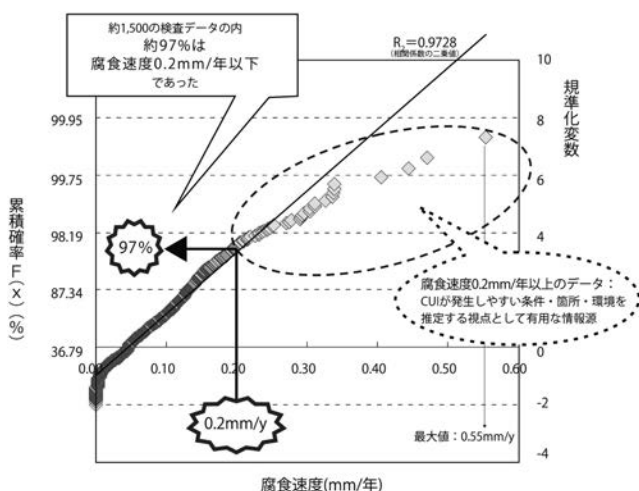


図-5 腐食速度の解析データ

としてプロットした結果で、詳細は当ガイドに譲るが、ここでは以下の2点に注目したい。

- ①配管のCUI検査データ腐食速度の最大値は0.55 mm/年、腐食速度0.2 mm/年は、累積確率の約97%に該当する
- ②集約データの内、0.2 mm/年を超えるものは約40点であった。これらは、実際にCUIが発生しやすい部位の情報として提供できる

つまり、「検査結果」と「運転等の使用条件」を組み合わせて統計的に解析し、コストの膨大にかかるCUI検査が必要な箇所を絞り込むことが可能になるということである。これは、保全ナレッジをもとに“ビッグデータ”を解析し「保全戦略」として有効に活用できるモデルとしたものである。

(2) 総合的に「論理的」とは何か？

さて、配管を中心に起きている外表面腐食問題の中でも、被覆下のCUI対策が最もアタマの痛い問題とあって、各学協会でもその対策が討議・検討されてきた。しかし、論議の中心は被覆を剥がさずにどうやって検査するか等の“個々の専門的な検査技術”に集中することがほとんどであったという。

これに対して当会での議論は、設備ユーザーだけが集結して現状と本音をぶつけ合うことから、検査方法の論議で終わることはなかった。

配管管理においても、当然、設備老朽化の背景が存

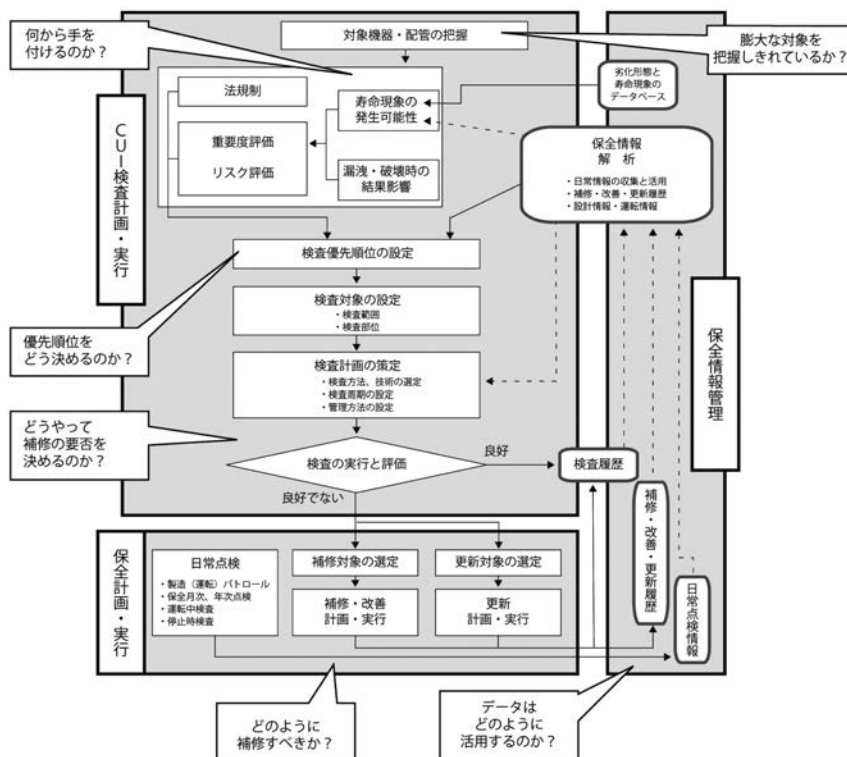


図-6 外表面CUI対策の管理サイクル

在する。純粋な技術上の論議だけでなく、経済性や組織として「対応する人も含めた実際問題の解決」には、より経営的な視点をもって臨まなければならない。すなわち「保全マネジメント」の必要性がここにあり、設備管理課題として認識されていることなのである。

そこで、『外面腐食対策ガイド』ではこうした議論の結果、「効果的な検査」と「検査のあと、どうするか？」にフォーカスした管理サイクルを示した(図—6)。

「なぜ、それをするのか？ それは、どういうことにつながるのか？ 全体はどうなっていくのか？」

総合的に「論理的」なアプローチができるためには、「保全マネジメント」がなくてはならないのである。

3. 「保全経営」の誕生

近年、プラントの事故・火災の増加が問題となっているが、高圧ガス保安協会等のデータによると、その原因の多くが、配管等の劣化によって起きていることが明らかである。

爆発火災のようにリスクが顕在化する現象は、必ず幾つかの複合的な要因が“偶然”重なって起きてくる。一つの要因だけで、ハザードが拡大することは非常に稀である。そのため、ハインリッヒの法則として「顕在化したハザードの下には、ずっと大きなリスクが潜んでいる」とされる。すなわち、起こった災害の背景には、「幾つかの複合的な要因が“偶然”重なる」雰囲気の色濃いということだ。直接的な運転ミスの原因だけでなく、背景にあって複合的な要因となるものに高経年設備そのものや、それによって“想定外”の故障が増加して保全があたふたしている“雰囲気”を課題としてとらえなければいけない。

一方、産業災害だけでなく、トンネル崩落も然り、鉄道関係の管理不全も然りと、社会インフラ関係でも「保全の問題」といえる事象が顕在化している。

当会では、産業リスク対応の意識が強い装置産業を中心に「MOSMS(戦略的保全マネジメントシステム)の構築研究」を続けており、まず仕組み(マネジメント)の標準モデルを示し、コンセプトの普及につとめてきた。また「高経年時代の保全技術研究」として、設備管理の対象数が多い設備のテーマごとに、解決の標準モデルを提案しようとしている。それらの研究に一貫したポリシーは、「保全経営」という概念に示される。

産業界で浸透してきた「保全経営」のコンセプトは、社会インフラに対しても適用できることがわかってきている。

(1) 「保全経営」とは何か

すべてが出来上がった段階で保全が発生するのではなく、たとえば設計がなされたと同時に、すでに保全が発生している。何かが生まれたと同時に、何かがなされたと同時に保全という「機能」は発生する。人体での動き続ける心臓や絶え間ない細胞更新や病原菌対応などと比定できる、その存在をその存在たらしめる機能である。

たとえ「保全の優等生」であっても、経営のマネジメントポリシーの中に「保全」の意識がない場合、やはり担当部門は保全部門だけで、隣のエンジニアリング部門は関係ないという状態になってしまう。そうした企業は、あるときに人災事故を続けて起こしたりしてしまう。「保全」は一部署が限定的に“担当”するものではないのだ。

そこで、「保全経営」とは何かということになる。「保全」が、その企業全体観の中でももっとも最適に成立するように、マネジメントすること。具体的には、人・モノ・カネ・機会(時間)・情報といった資源を配分することである。だから“経営”なのだ。

ここでは、「保全」および「保全経営」の定義を掲げておく。

「保全」：企業の永続的な経営を可能にし、経営者、従業員、顧客、株主などの利害関係者(ステークホルダー)の利益を最大にするために、プラントおよび設備の全ライフサイクル、すなわち①設計、製作、②調達、③施工、試運転、④運転、⑤検査、整備(補修を含む)、⑥廃棄の各段階で期待される機能を保ち、それによってサイト内・外のロス・リスク低減に寄与する役割および組織的機能

「保全経営」：有限である資源を、経営主体およびステークホルダーにとって全体最適であるように資源配分し、設備、機器装置、施設、システム等が全ライフサイクル段階で期待される機能を保つようにマネジメントすることである。その目的は、経済的、社会的、自然環境的等のさまざまな変化に迅速に対応し、経済主体の永続的な経営を可能にすることである。また、これを実現する「計画主導の保全の仕組み」(システム)をMOSMSという。

一般に「計画保全」(システム)と呼ばれる仕組みは、MOSMSの代表的な仕組みといえる。そこで本稿では、「計画保全」を「保全経営」を実現する仕組み(システム)の意味で用いることとする。

(2) 「計画保全」の全体像

「計画保全」のモデルとして表したものが、『保全

利益の最大化

- ②経営と保全が同じ土俵に立ち「保全グランドデザイン」を描く
- ③「計画主導」で保全が実行
- ④経営のPDCA サイクルと保全のPDCA サイクルを連動させる
- ⑤個々の既存技術を資源として活用し、「それら資源の多様性、変化・進歩を、構造を変えずに取り込む」したがって、経営に及ぼす設備保全上のロス・リスクを把握し、有効な低減策をとることが保全の目標となり、成し遂げるには、保全の「仕組み」がつくられなくてはならない。

MOSMS では、経営のPDCA 管理サイクルと保全のPDCA を連動させ、戦略的に保全のグランドデザインを描くことを主眼としている。これを「保全戦略」として示し、「保全戦略」に従って具体的な「保全計画」を策定し、「保全実行」「保全評価」を行う。

管理サイクルのP、D、C、Aの各要素は、おののがサブサイクルを持つ。すなわち、PはPとしてのサブサイクルPDCAを持ち、DはDとしてのサブサイクルPDCAを持っている。

「保全戦略」から始まる企業全体の最適化を導く大きな流れと、管理サイクルP、D、C、Aの各要素がそれらのサブサイクルにおける計画(P)によって導かれる個々の流れという、連動する2つの流れがある。MOSMSにおける「計画主導の保全」とは、この2つの流れによって、戦略的な保全のグランドデザインが描かれることを意味している。

「保全計画」の流れは、図—8のとおりであるが、保全計画作成における「機器別管理基準」に保全の実力が表れてしまうのだ。

図—9、10は、「機器別管理基準」の様式例である。「様式—1」は、対象機器の保全が部位ごとにどのようにしていくかを示す。すなわち、部位の重要度、保全方式およびその内容と周期が記録される。「様式—2」は、なぜそのように保全方式を選択したか、技術的な根拠が記録される。

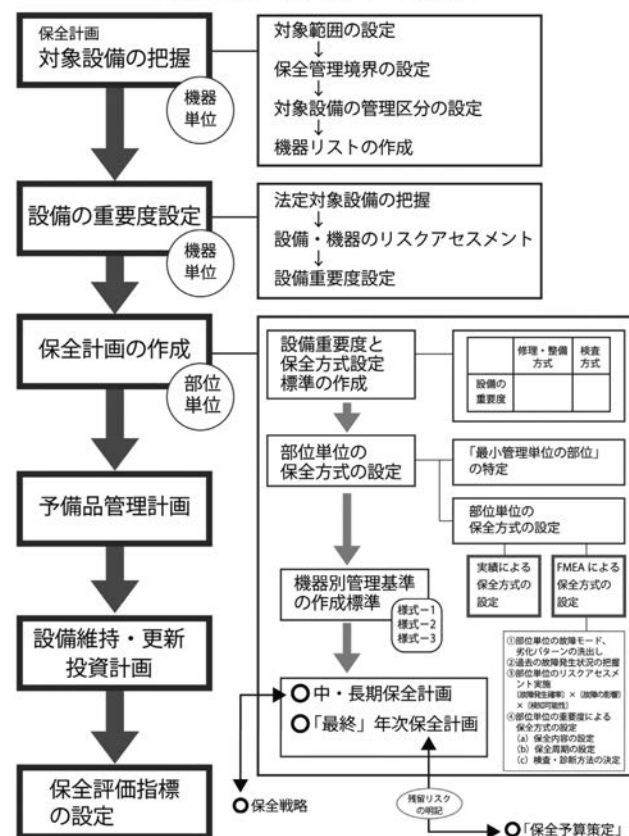
では、どうしてここに保全の実力が表れてしまうのか？ もっともわかりやすい部分として、「保全周期」があげられる。部位ごとの保全周期の決定は、FMECAやRBIなどの技術によってある程度の支援はできるのだが、最終的に「人が判断する（せざるを得ない）もの」という実情がある。すなわち、「わかっている人」でなければ判断できないのだ。

いったん定められた「機器別管理基準」は、その後どうなっていくのか？

「保全実行」の段階で、たとえば改善によって部位の保全周期が変更されたとする。これを受けて、管理基準「様式—1」「様式—2」とも書き換えられることになる。

もし、基準が変わらなかったら、全体としての実力はちっとも上がらなくなってしまう。改善によるスパイラルアップとは、基準の改善があってはじめて成し遂げられるといえる。

「保全計画作成」の流れ



図—8 「保全計画作成」の流れ

機器別管理基準「様式—1」

TAGNo		33C360	重要度	[制定] 年 月 日 / /			
機器名称		No1 圧縮機	S	/	/	/	/

No	部位または補機名	部位重要度	保全方式 (部位)	定期検査・診断		定期修理・整備		日常点検、C o - M o 活動		資料 No.
				内容	周期	内容	周期	内容	周期	
1	圧縮機 本体	S	TBM	・総合検査 (総合オーバーホール)	2Y					
2	ローター	S	TBM	・軸振れ測定 ・腐食検査 ・スケール付着状況検査 ・羽根車カラーチェック	2Y	・ローターク リーニング	2Y	・振動値 (オン ライン)	1/直	
			CBM	・動バランス測定	~					
3	軸受	S	TBM	・表面状態、カ ラーチェック ・脂潤滑	2Y			・振動値 (オン ライン)	1/直	

図—9 「機器別管理基準」の例:「様式—1」

機器別管理基準「様式-2」

TAQNo	33C360	重要度		[制定]	年	月	日	/			
機器名称	No1 圧縮機	S		/				/			

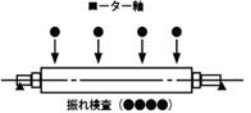
部位または補機名	管理指標	管理基準	備考（基準外れによるトラブル想定等）
ローター	軸振れ	・ローター軸の振れをオーバーホール（O/H）時に測定する ※基準値 5/100mm 以下（メーカー製作時 3/100mm 以下） 測定箇所：6箇所、測定数：4点/1箇所（90°ごと）  振れ検査 (●●●●)	・10/100 以上になると動バランスが狂い振動の原因となる。 取扱では 4/100mm 以上でローター手直しとなっているが、過去の O/H の結果 5/100mm とする ・予備ローターの保管要領 予備ローターのたわみを防ぐため、2 か月に 1 回 180° 回転させること
	動バランス	・バランシングマシンでアンバランス量を測定し、許容範囲であることを確認する ※許容アンバランス量：31.7 (g・cm) 許容アンバランス量 = 635・W/N (g・cm) W：ローター重量 N：回転数	・メーカー取扱では許容アンバランス量は 33.96 (g・cm) 計画回転数：6030r/min (rpm) 計画ローター重量：322.5Kg ・許容アンバランス量 31.7g・cm の根拠 回転数 N：6343r/min ローター重量 W：317Kg (メーカー動バランス検査成績書)

図-10 「機器別管理基準」の例：「様式-2」

(2) ナレッジサイクルが保全の命である

ひところ、技術・技能の伝承問題だけでなく、新規開発能力の向上などの課題を含めて「ナレッジ・マネジメント（知識経営）」というフレーズが流行した。これ以降、個人に秘められた「暗黙知」を組織・グループで活用できる「形式知」に置き換えていく必要性が、技術・技能の伝承問題などにおいて必ず言及されるようになった。

また、IT・システム分野でも「知の連鎖」がブームになった時期があった。「暗黙知」の形式化を求めて、スキル保持者の作業を動画分析などによって解析する手法なども利用されるようになった。

しかし、こと保全業務において、これこそ有効な「知の連鎖」であると言い切れるものがあっただろうか。

上記に「機器別管理基準」に保全の実力が表れてしまうことを述べた。また、「保全実行」の結果を受けて、管理基準「様式-1」「様式-2」（図-9, 10 を再度参照されたい）が書き換えられ、改善によるスパイラルアップが図られることを述べた。

この過程に、故障削減のサイクルと、これらを支える保全情報管理システムがあることは言うまでもない。

故障データを含む「保全実行」のナレッジが、標準的なフォームによって形式化され（保全データ・履歴）、短期では「保全計画」にこれが反映され、中長期では「保全戦略」に反映される。この一連の流れが、「保全のナレッジサイクル」である（図-11）。

すなわち、MOSMS における帳票類は互いに有機的な連鎖を持っており、現場および個人の「暗黙知」を「形式知」に置き換えながら、「保全のナレッジサイクル」を形づくる「仕組み」なのである。

部位ごとの保全周期の決定は“わかっている人”でなければ判断できない——MOSMS の実践こそが“わかっている人”を生み出すと考えている。

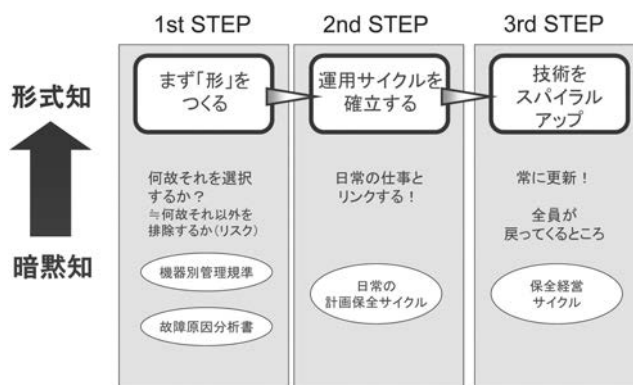


図-11 保全のナレッジサイクル

5. 社会インフラへの「保全経営」コンセプト適用

当会では、2013 年に『強靱な社会インフラのあり方』という小冊子を発刊した。これは、日本能率協会グループとして「保全経営」のコンセプトを社会インフラ管理のあり方に適用する提案だ。あまりに続く社会インフラ系の問題を解決するために、グループとして何とか役に立ちたいと考えたためである。

従来、社会インフラの維持保全を考える際には、道路、河川堤防、水道施設など管理する施設単位ごとにそれぞれ所管する行政の部門等がどうすればよいかを考えてきた。しかし、市民の安全・安心をまもる強靱な社会インフラを考えるには、それぞれの施設の維持保全という視点だけではなく、社会インフラを通してどのようなサービスが市民生活に対して生成されるのかという“機能”に着目して考える必要がある。また、危機管理の視点からは、広域的な地域の安全・安心のために、地域全体の社会システムが健全に機能し、それらが有機的につながって、あたかも生体システムのように環境変化へ柔軟かつ迅速に対応できている必要がある。

しかし、産業界における企業法人やそれらが所有する工場などの施設では、資産や設備に対して「自分のもの」という、いわゆる“オーナーシップ”の意識を比較的持ちやすい状況にあるが、社会インフラは国や地方自治体等が市民から負託された管理の主体者と

なっており、それらが「自分のもの」というよりはむしろ、社会全般が所有している“社会のもの”という意識が強く“オーナーシップ”としての自覚を持ちにくい環境にあると考えられる。たとえば、一本につながった道路一つをとっても、その管理責任は、国や都道府県、市町村等に区分されて重層管理構造となっている。“オーナーシップ”を誰が持つべきかを明確にし、施設情報の共有はもとより、非常時のあり方について平常時から論じておく必要がある。

すなわち、一定の広さを持つエリアにおける社会システムの「全体最適」という視点で、社会インフラの機能を考えることが重要になる。たとえば、都道府県などの広域自治体の長や地方整備局等が、市町村が管理する施設も含め、「系」としての施設管理の主体者となることが考えられる。管理責任の観点からは、電力であれば電力会社や電力事業者がまさに“オーナーシップ”を発揮しているし、水道事業も地方自治体等が一つの事業体として管轄している。しかし、あるエリアにおける市民生活の安全・安心を生み出す社会インフラ「系」という視点に立てば、道路は、社会システムを構成する一つの「部品（または部位）」であり、このことは電力や水道でも同様である。ここで、「系」とは、社会インフラを通して生成されるサービス（機能）で括った単位とする。「運搬・移動」「水・エネルギー供給」「情報流通」「医療対応」などの機能「系」が考えられる。

社会インフラの個々の施設を管理するという視点だけではなく、さまざまな環境変化に対応して「系」としての機能を発揮し続けられる仕組みとなっているかどうか、そのエリアの社会システムが健全な管理サイクルとなっているかどうかのポイントといえる。

社会システムの管理サイクルは、さまざまな大小の管理サイクルが組み合わさってできている（図—12）。社会システム全体の管理サイクルを「レベル1」とすると、それらを構成するサイクルは順次「レベル2」「レベル3」「レベル4」と小さくなっていく。

レベル1 社会システム全体の管理サイクル

レベル2（レベル1を構成する）社会インフラ「系」のサイクル

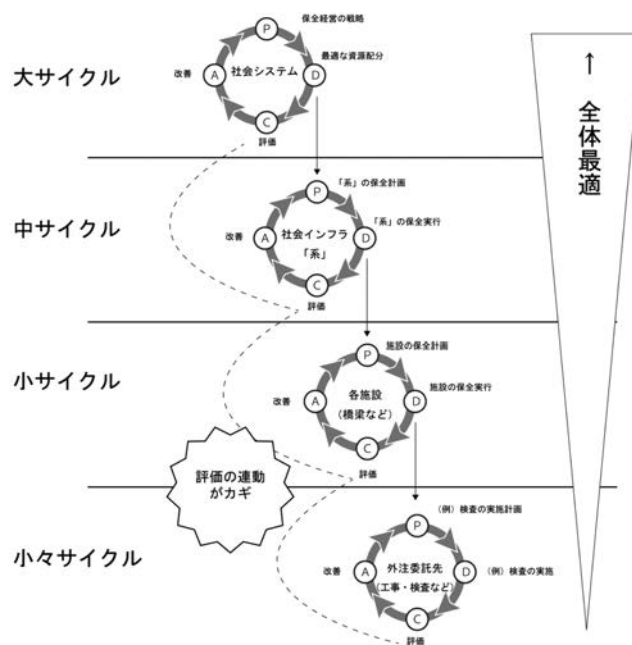
レベル3（レベル2を構成する）社会インフラの各施設（橋梁、道路、下水道など）のサイクル

レベル4（工事や検査などの）外注委託先のサイクル

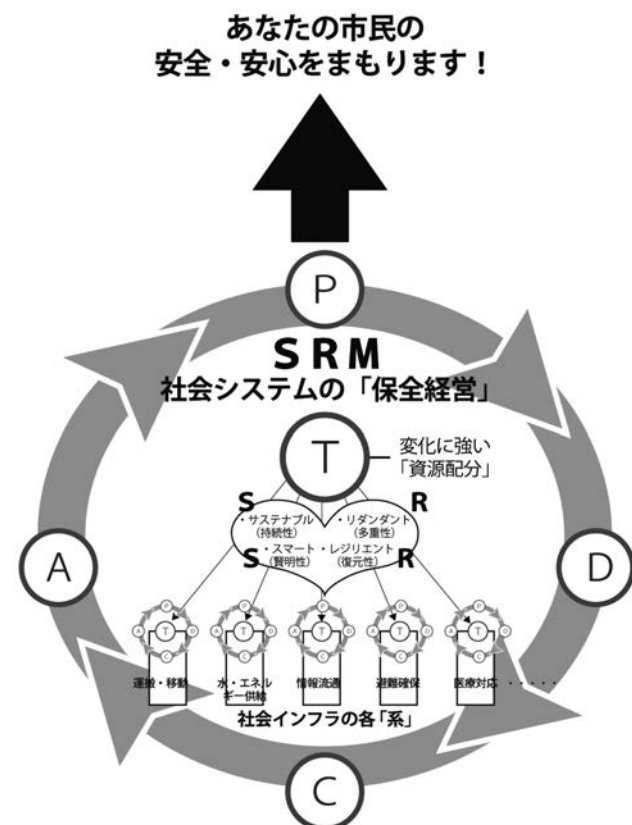
たとえば、ある県に存在する道路の管理には、国や県、市町村など多くの管理の主体が存在する。それら施設の管理の主体ごとの管理サイクルが存在しており、レベル2以上の管理サイクルと連動していないと、

災害時などにサイクルが分断されてしまう可能性が高まる。社会インフラを構成する4段階の管理サイクルが個別に機能することはもちろん、それぞれが連動していることこそが重要である。

また、社会システムおよび構成する各「系」に対して、どのような資源配分がなされているか、また配分



図—12 社会インフラ保全のサイクル運動



図—13 社会システムの「保全経営」とSSRRの視点

したらよいか、1つの「経営体」として見る必要がある。すなわち、社会インフラの各「系」に対する、資源配分の総合的な結果が「全体最適」であるように全体を設計し、執行管理していくことになる。これが社会システムの「保全経営」である。しかし、これには膨大で複合的な管理すべき項目があり、現実的なレベルで管理項目を持たない限りは“お話”で終わってしまう怖れがある。

そこで、「社会システム全体の保全経営」の実現に向けたポイントとなる事項について、管理可能な範囲で簡素化して考える必要があり、次の4つの視点を提案している（図—13）。

〈平常時の視点：2つの「S」〉

① S：持続性（サステイナブル）：

社会インフラの構造や材質的な視点からの耐久性、構造物状態の確認容易性、検査・補修・工事等の作業容易性、安全性、早期に異常を発見する仕組みなど

② S：賢明性（スマート）：

資源配分や社会システムの機能が生み出すサービスのライフサイクルにおける費用対効果、コスト縮減効果など

〈非常時の視点：2つの「R」〉

③ R：多重性（リダンダント）：

別輸送ルートの確保など災害でシステム機能が失われたときの代替え機能、社会的リスクが高い社会インフラの持続性として担保すべき対象など

④ R：復元性（レジリエント）：

緊急部品調達やいわゆるサプライチェーンの復旧性など災害後の早期復旧能力など（ライフラインではとくに重要）

本稿では字数もつきた。MOSMS に関して、当会では MOSMS 専用の Web (<http://www.mosms.jp/>) 等で情報提供をしている。ご参照願えれば幸甚である。

JCMA

〔筆者紹介〕

若槻 茂（わかつき しげる）
（公社）日本プラントメンテナンス協会
調査・研究開発部部长

