年次大会・計装制御セッションA

計装設備と診断技術

―計装設備診断と考え方―

横河エンジニアリングサービス株式会社技術部　澤　山　信　輝

Diagnostic Technology for Instrumentation Equipment

—The concept of the technology—

Nobuteru Sawayama
Yokogawa Engineering Service Corp. Technical Department

With diversification of instrumentation equipment, the more sophisticated maintenance technology is required to keep its reliability high and to minimize its life cycle costs. This report will introduce diagnostic technology which consists of "Environmental analysis", "System deterioration analysis" and "System life time analysis", which aim to maintain good environmental conditions for equipment installed in control rooms, to implement "Condition based maintenance" and to determine equipment's replacement timing.

1. はじめに

製品に対するより高いレベルでの品質要求や生産の効率化，生産設備に対する高度な信頼性，安全性などの要求を実現するためには，生産設備の総合的な機能の向上とその機能を維持するための有効な対策が必要になる。製紙工場においても後者については種々のメンテナンス活動によって実現されているわけであるが，その中で最近特に注目を集めているものに設備診断がある。設備の状態を的確に把握し，その程度に応じて効果的な設備管理を行なうのであるが，診断機器の著しい進歩がそれを支えている。但しここで言う設備診断の対象は生産設備全般というわけではなく一部の機械設備において特徴的な発展を見るに留まっている。

もとより設備診断に対する期待はその機器の重要度に応じて一様な広がりを持っているはずであるが，その中身は診断技術の現状のレベル，コスト，歴史的な経緯などの要因のために不均一なまだら模様になっているというのが現状である。特に計装設備については診断技術の標準化が著しく遅れていると言っても過言ではない。そんな中にあって我々は計装設備のユーザ各位のご要求にお答えする形で計装設備に対する診断技術の確立に独自で取り組んできた。まだ標準化というレベルにはないが一定の成果を得ているので，ここにその考え方と手法の一例を紹介したい。

2. 計装設備診断の目的

それでは計装設備診断を実施する意義はどういうところにあるのであろうか。簡単に言えば「設備の状態を的確に把握することにより，設備の運用がより効果的，効率的に行える」ということであり，その結果，設備の生み出すアウトプットが最大限に高まることになる。このことは例えば運転中の設備に対するメンテナンスの最適化だけでなく，「設備のライフサイクル全体でのプロフィットを最大限に高める」ことを意味する。従って場合によっては設備の廃棄／リプレースという対策をも視野に置くことになる。

具体的な効用については次のようなものがあろう。

(1)　製品品質の向上
(2)　信頼性維持
(3)　安全性の向上
(4)　省資源
(5)　保全費の低減
(6)　点検内容／周期の決定
(7)　劣化度の把握と対策
(8)　リプレース時期の決定

(9)　故障予知

3.　診断の立場で見た計装設備の特徴

計装設備の診断を考える場合にはまず設備そのものの特徴を十分に把握しておく必要がある。計装設備は特に大型の機械設備と対比させて考えた場合次のような特徴を持っている。

(1)　診断対象の多様さ

対象が機械部品であったり，電子部品であったり，機械系と電気系の両要素が緊密な関わりを持って機能している，いわゆるメカトロニクス部品であったりと多種多様であり，診断対象によってそれぞれ診断方法も異なる。従って多くの異なる劣化メカニズムに対する知識が必要である。例えば機械系の部品は一つひとつの目的機能の適合するように設計されるため規格化，標準化のレベルが低く，汎用性がない。一方，電子系の部品は標準化は進んでいるが部品の種類が多いため，それぞれ異なった診断手法が必要となる。

(2)　複雑な精密機械

種々のストレスに対して個々の部品の劣化現象があり，その結果システム全体の信頼性が低下してゆく。ストレスに対する部品の劣化とシステム全体の信頼性の関わりが複雑なので，部品個々の信頼性を全体の信頼性へ繋げてゆく手法が重要になる。

4.　計装設備診断の位置付け

現実の場面において計装設備診断をどのように行い，どう活用してゆくのかということを明らかにしておく必要がある。ここでは診断の形態により，診断がいつどういうタイミングで実施可能かということが非に重要な意味を持つ。**表1**にオンライン診断とオフライン診断という切り口で実用上のいくつかの問題点をまとめてみた。現状は主として技術的な問題からオフライン診断が主流であるが，日々の劣化管理を効果的に行うには巡回点検時などにオンラインで簡易診断ができる手法やツールの開発が必要である。

もう少し別な角度から診断に対する要求をまとめてみたのが**表2**である。やや大づかみな見方をすれば診断の究極の目的は「メンテナンス指針の策定」と「リプレース指針の策定」に要約することができる。前者は「信頼性を保つためにどの部品にどのようなメンテナンスを施すか」ということであり，後者は「どのような状態になればリプレースを考えるか」ということである。着目すべき単位は前者は部品であり，後者はその集合体であるユニットのレベルになる。なぜならば前者は「どの部品が最も早く故障するか」という「劣化スピード」が問題であり，後者は「全体的な老朽度」が問題であるからである。

図1は診断のひとつの具体的のフローを表わしたものである。この図において，主として技術的評価と管理的評価の部分が「診断」に相当する。技術的評価は故障物理を中心とした解析技術が中心であるが，管理的評価とメンテナンスの手法の部分はエンジニアリング的な色彩が強くなる。技術的評価の中の実機器への影響度評価は技術的評価の最後のステップであるばかりでなく，後工程に影響を与える重要な項目のひとつであるが，技術的評価のいちばんキーとなる部分は劣化に関する知識・データの部分である。多くの経験と

表1　診断形態

診断形態	診断のタイミング	適用	長所	短所
オンライン	巡回点検	日々の劣化管理と異常時の迅速な対応	・必要な機器全てを対象にできる ・傾向管理が可能	・現実的な手法が今のところ存在しない
	センサによるオンラインセンシング		・既知の劣化現象・部品にたいして重点的に監視できる ・データ処理が容易	・設計時に組み込み必要 ・対象部品が限られる
オフライン	現地調査	簡易的な劣化状態の把握	・着手が容易	・サンプル診断となる ・簡易な診断しかできない
	引取調査	精密劣化診断 余寿命の推定	・より正確な破壊検査が可能	・サンプル診断となる ・傾向管理が難しい ・専門家による診断が必要

表 2 劣化・寿命評価（対ハードウエア）の目的と評価のポイント

評価目的	対象とする障害	評価項目	評価のポイント	評価方法
メンテナンス指針の策定 信頼性を保つために ・どの部品に着目して ・どのようなメンテナンスを行うか	主として故障	動作信頼性	劣化スピード ・どの部品が最も早く ・どの程度の可能性で故障するか	部品毎の評価点
リプレース指針の策定 ユニットがどのような状態になればリプレースを考えるか	主として保全性(注)の低下	老朽度	全体的なガタ ・どのくらいの多くの数の部品が ・どの程度劣化しているか	ユニット毎の評価点

(注) 保全性には
(1) ハードウエアの属性としての保全性
(2) 周辺条件としての保全性（交換部品の有無等）
が考えられるが，ここでは前者を指す。

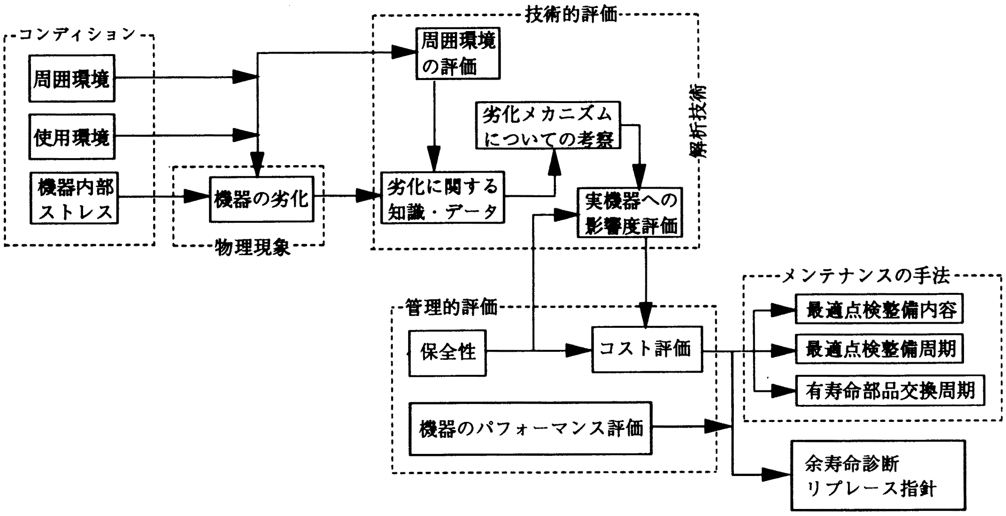

コンディション
周囲環境
使用環境
機器内部ストレス
機器の劣化
物理現象
技術的評価
周囲環境の評価
劣化メカニズムについての考察
劣化に関する知識・データ
実機器への影響度評価
解析技術
管理的評価
保全性
コスト評価
機器のパフォーマンス評価
メンテナンスの手法
最適点検整備内容
最適点検整備周期
有寿命部品交換周期
余寿命診断
リプレース指針

図 1 診断技術の実際

膨大なフィールドデータの蓄積が必要となる。

以上，計装設備診断の基本的な考え方について述べたが，診断のねらいが「稼働信頼性の維持」と「効果的な劣化管理」にあるということを前提として忘れてはならない。

5. 診断の概念

次の診断の仕組みについて説明する。全体の概念を図 2 に示す。ここで目標値とは設備が本来の目的を果すためのあるべき姿，状態検出とはそういう状態（あるべき姿）にあるのかどうかの検出，制御とは目標値と状態とのズレを訂正する動作を表わす。また外部要因とは設備の適正な運用に影響を与えるような要因，例えば設置環境のようなものを表わし，内部要因とは設備自身の持っている属性のうち状態に影響を与えるような要因である。この図では目標値は設備管理についての目標値である。制御可能なのは設備の状態であ

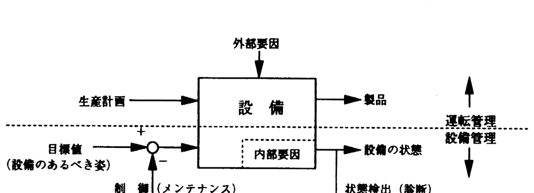

外部要因
生産計画
設備
製品
運転管理
設備管理
+
目標値
(設備のあるべき姿)
−
内部要因
設備の状態
制御 (メンテナンス)
状態検出 (診断)

図 2 診断の概念

り，それを制御することが重要であって，そのための設備診断である。但し診断とは検出するところまでであり制御（狭義のメンテナンス）は含まないので，本稿では設備の状態，内部要因及び外部要因の検出とそれらの評価を診断と呼ぶことにする。

ここで設備の状態，内部要因，外部要因とは何を指すのかもう少し堀り下げて考えてみたい。

＜設備の状態＞

ここでは簡単のために内部要因を設備の状態に含めて説明する。設備の状態には設備の属性としての基本特性，設備の調整状態さらに設備の劣化状態が考えられる。それを図3に示す。

＜外部要因＞

表3に示すように設備の設置環境，使用環境が主要なものであるが，それ以外に設備を取り巻く種々の制約条件がある。

以上述べた要素を把握・解析・評価し，次の制御のステップへつなげてゆくのが診断ということになる。

6. 診断の原理

前項では診断の対象となるいろいろな要素について触れたが，技術的に特に大きな意味を持つのは設備の劣化状態の診断である。

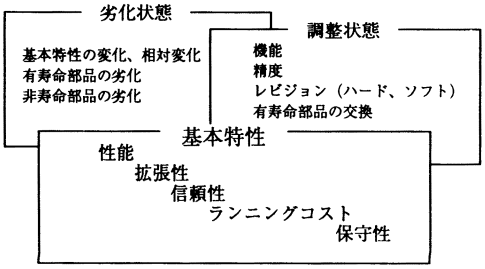


図 3　設備の状態

表 3　外部要因

設置環境	使用環境	設備を取り巻く制約条件
温度	プロセス運転条件	＜保守性＞
湿度	プロセス流体腐食性	保守部品の供給状態
塵埃		
腐食性ガス		保守能力
供給電源		保守費用
接地状態		
磁界		
電界		
静電気		
振動		

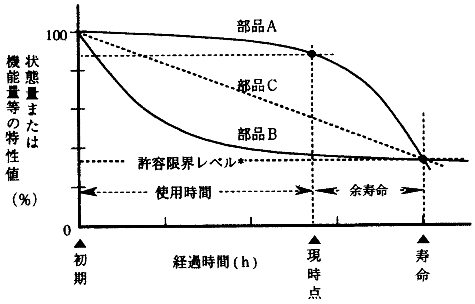


図 4　劣化パターン

図4は機器の一般的な劣化のパターンを示したものである。劣化の検知は状態量あるいは機能量（注参照）が検知可能な領域に入ってきたとき（兆候期），それを何らかの方法を用いて行うことになる。具体的には設備のいろいろな劣化状態を表わすそれぞれのパラメータに対して次の二つの場合が考えられる。

(1)　パラメータが定量的に把握可能な場合
…初期値と現在値の比較
パラメータの時系列変化の把握

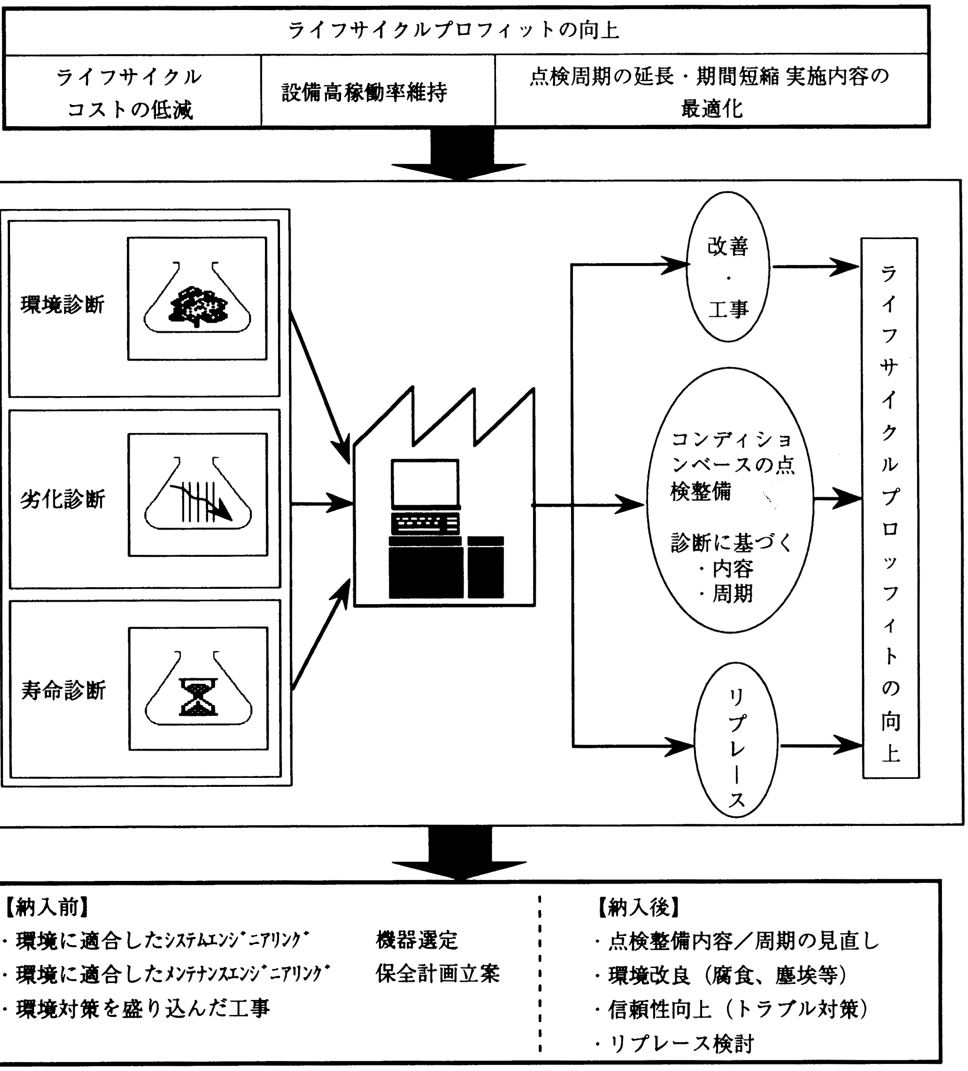
(2)　パラメータの定量化が難しい場合
…代用特性の変化量の把握
定性的評価基準との照合

（注）　状態量：機器，部品が現有している能力，程度など
機能量：機械，部品に要求される働き

7. 計装設備診断の具体例

図5に具体例として当社の計装設備診断について触れる。内容的には**図1**を具体化したものであり，環境診断，劣化診断，寿命診断の3つの診断技術より構成される。劣化診断や寿命診断は診断技術の中核であるが，多くの事例を見ると計装機器の劣化を促進させる要因として周囲環境は無視できない影響力を持っている。この3つの技術を総合して保全費の低減や設備の高稼働率の維持，設備の点検周期の延長・期間の短縮・実施内容の最適化など設備のライフサイクルプロフィットの向上を計った。このような診断技術を中核とした保全システムを当社では「総合保全管理システム BEST (Buildup of users' Engineering & Security Technology)」と呼んでいる。

図6は「保全提案書」と呼ばれているもので計装設備診断の一つの応用例である。従来時間基準保全で実施されていたメンテナンスを状態基準保全に置き換え



ライフサイクルプロフィットの向上		
ライフサイクルコストの低減	設備高稼働率維持	点検周期の延長・期間短縮 実施内容の最適化

環境診断
劣化診断
寿命診断
改善・工事
コンディションベースの点検整備
診断に基づく
・内容
・周期
リプレース
ライフサイクルプロフィットの向上

【納入前】
- 環境に適合したｼｽﾃﾑｴﾝｼﾞﾆｱﾘﾝｸﾞ 機器選定
- 環境に適合したﾒﾝﾃﾅﾝｽｴﾝｼﾞﾆｱﾘﾝｸﾞ 保全計画立案
- 環境対策を盛り込んだ工事

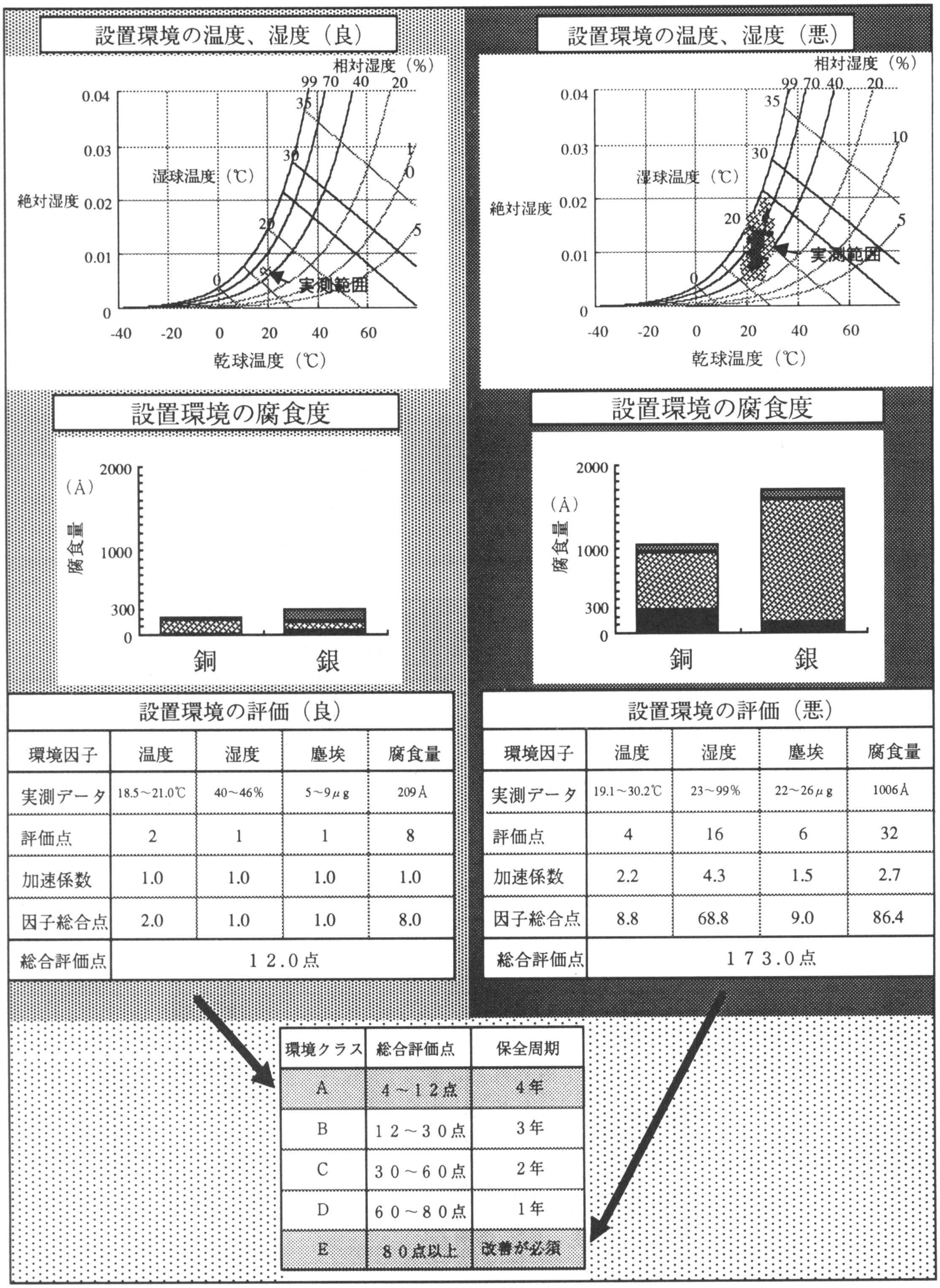
【納入後】
- 点検整備内容／周期の見直し
- 環境改良（腐食、塵埃等）
- 信頼性向上（トラブル対策）
- リプレース検討

1．環境診断
設備をとりまく環境を定量的に把握。その設備が、要求される環境条件に適合しているか否かを診断する。不適合の場合、改善処置（製品の耐環境性、設置環境の整備）を検討。

2．劣化診断
設備の経年劣化状況を把握し、設備を引き続き安定稼働させるための対策を提案・実施する。ここで得られたデータは、寿命予測のためのデータベースとしても活用される。

3．寿命診断
環境診断、劣化診断から得られたデータ及び寿命評価試験から得られたデータに基づき、設備のハードウエアについての寿命診断を行う。この診断結果にさらに設備の性能評価、保守性の評価を加味し、総合判定として、設備のリプレース時期等の判断材料を提供する。

図 5　当社の計装設備診断



設置環境の評価（良）

環境因子	温度	湿度	塵埃	腐食量
実測データ	18.5～21.0℃	40～46%	5～9μg	209Å
評価点	2	1	1	8
加速係数	1.0	1.0	1.0	1.0
因子総合点	2.0	1.0	1.0	8.0
総合評価点	12.0点			

設置環境の評価（悪）

環境因子	温度	湿度	塵埃	腐食量
実測データ	19.1～30.2℃	23～99%	22～26μg	1006Å
評価点	4	16	6	32
加速係数	2.2	4.3	1.5	2.7
因子総合点	8.8	68.8	9.0	86.4
総合評価点	173.0点			

環境クラス	総合評価点	保全周期
A	4～12点	4年
B	12～30点	3年
C	30～60点	2年
D	60～80点	1年
E	80点以上	改善が必須

図6　保全提案書

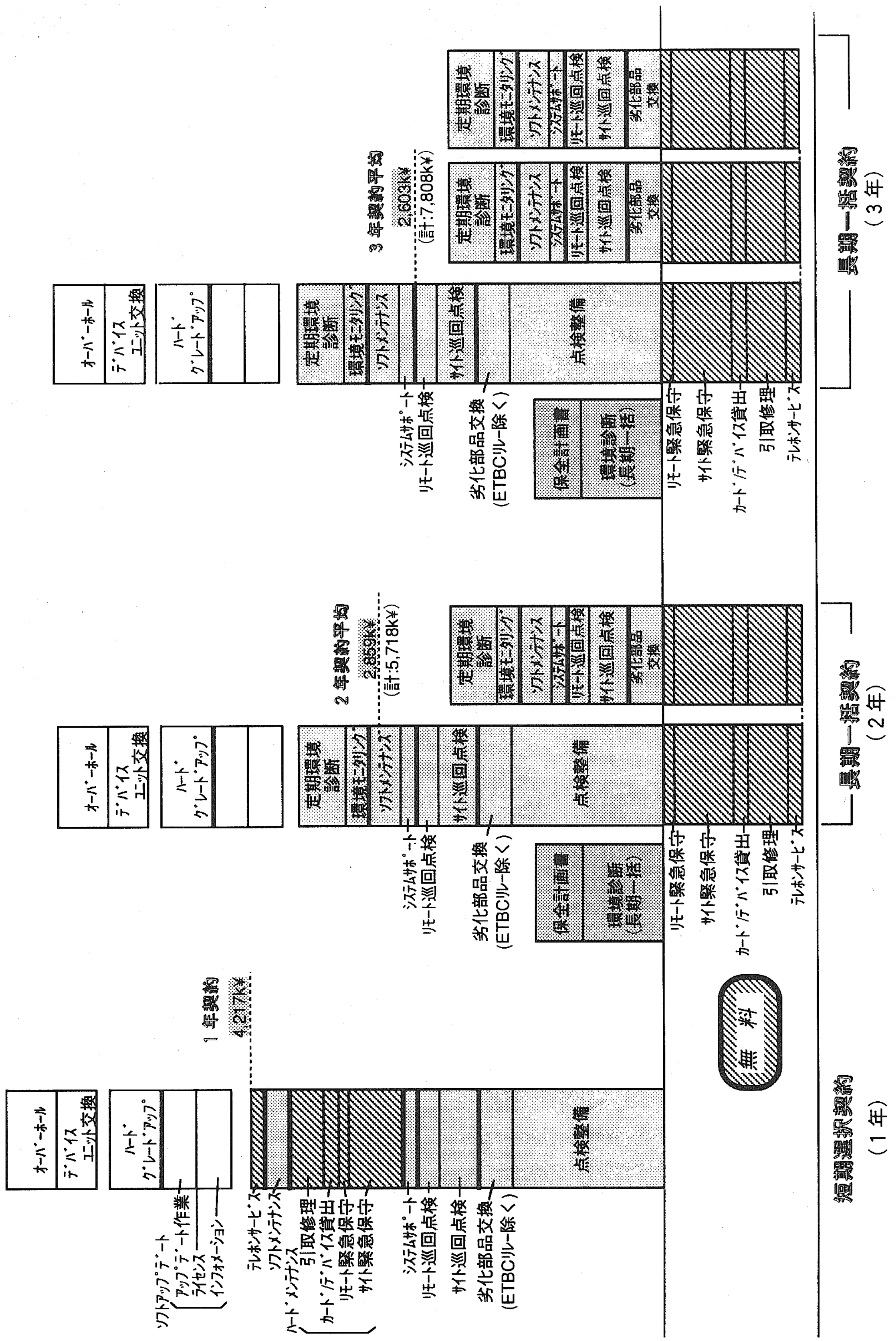


図 7　点検周期の違いによる保全コストの差異のシミュレーション

るための具体的な指標である。計器室内に設置された計装設備に蓄積性のダメージを与える周囲環境としての温度，湿度，浮遊塵埃量およびテストピースとして用いられる銅板に生成する腐食膜厚の4つのパラメータの値により環境条件をクラス分けし，クラスに応じて保全周期を決定するものである。環境条件がよければ保全周期を大幅に延長し，オーバーメンテナンスの防止と保全費の削減が可能である。図7は小規模なDCS（フィールドコントロールステーション2台，オペレータズステーション1台，エンジニアリングステーション1台，プリンタ等）で構成された制御システムで保全周期を延長した場合の保全費の差異のシミュレーションである。コンディションに応じた保全周期の延長を行った場合大幅に保全費用が低減できることが分かる。

8. 今後の課題と展望

以上，計装設備診断の基本的な考え方について紹介してきたが，最後にこれからさらにステップアップするための課題と技術的な展望について少し触れておきたいと思う。

(1) 診断システムの構築

診断をさらに効果的に実施するためには，ストスの予測／評価，劣化の進展パターンの予測および機能故障の予測をさらに精度良く行う必要がある。「劣化に関する知識・データの部分が重要で，多くの経験と膨大なフィールドデータの蓄積が必要である」と述べたが，予測を正確に行うためには劣化モード，劣化要因，劣化メカニズム，劣化モデル，劣化事例などの劣化に関するデータ・知識ベースの構築が必要である。

(2) オンライン診断

今回説明した内容は基本的にオフラインでの診断を想定したものである。計装設備の診断をよりスピーディかつ実効のあるものにするためにはオンライン診断は避けて通れない課題である。オンラインで評価可能な特性値（あるいはそれらの代替特性値）をいかに適切に評価するかということ，劣化生起要因の評価と機器内部で起こる劣化のセンシングがポイントであり，フィールドバスの実用化を背景に特にフィールド機器のオンラインの劣化診断や故障予知に大きな意味を持ってくるものと思われる。

参考資料

1) 設備管理学会資料
2) 澤山：「計装設備と診断技術」実用産業情報