水質自動計測器の更新について*

松 前 鼎 一

1. はじめに

わが国では、昭和33年以降、産業の振興と人口の都市への集中化等に起因する水質汚濁問題の解決を図るために、水質保全法、水質汚濁防止法等の法令が逐次整備された。さらに昭和53年には水質汚濁のとくに著しい東京湾、伊勢湾および瀬戸内海の広域閉鎖性水域に水質総量規制制度が導入され、国を挙げての水質浄化への取り組みがなされてきた。これらの法令に基づき公共用水域や事業場排水口における水質の常時測定が実施されている。

水質の測定には、その測定の目的に応じた各種の測定器が使用されている。例えば公共用水域の常時監視には水質自動モニターが、水質総量規制の汚濁負荷量測定にはCOD計、UV計等の水質計測器が使用されている。これらの計測器は相当長期間使用されてきたとか、事業場における工程の改変等により計測器の更新を考慮しなければならなくなる時期が必ずくるわけである。本稿ではその更新についての種々の問題について述べることにする。

2. 水質計測器更新に当たって検討すべき項目

現在使用している水質計測器を更新するケースとしてどのような場合が考えられるか

- ① 事業場での原材料や工程が変更され、現在使用している計測器の適合性が悪くなった場合
- ② 新たな方式の計測器が出現し、これを採用した方がメリットがある場合
- ③ 経済的な価値判断で更新した方がメリットがある場合

る場合
等である。

①および②のケースでは更新した方がよいとの結論は比較的簡単に得られるのであるが、問題は③のケースである。計測器は長期間使用していると、部品の故障率が高くなり、交換頻度も多くなる。通常では故障しにくい部品が故障し始めると、保守費用およびオーバーホール費用が増大し、遂にはオーバーホールも不可能になってきて、更新が必要になってくる。更新の目安としては、次の図1のような考え方になる。

図において、現在の計測器の残存価格、保守費用、修理費用、オーバーホール等について綿密に計算を行い、図のバランスが左側に傾いたとき、すなわち総合的に見た経済的な価値判断で更新の時期が決まることになる。

3. 水質計測器の保守頻度と年間維持管理費用

使用水質自動計測器の更新を検討する際には、使用中の機器の維持管理の費用が現在どの程度の額になっているかを、正確に把握しておくことが大切である。とくに、機器の故障箇所、頻度、原因の内容によっては、修復費用との関係でオーバーホールするか更新するかを判断する重要な鍵になる。

3.1 機器の保守点検項目と保守頻度

使用中の計測器を正常に稼働させ、かつ信頼性のある測定値を得るために機器の維持管理が大切であることは言を待たない。(社)日本環境技術協会が環境庁の委託で作成した「総量規制用計測器維持管理のためのマニュアル」から、各種機器の保守点検項目および頻度の標準的なモデルを表1に示した(紙面の都合でCOD計について示すことにした)。保守頻度は、毎週、毎月、3カ月および6カ月ごとに分類され、必要な点検項目が記載されている。

3.2 年間維持管理費

各種機器の年間維持管理費の標準的なモデルを表2に示した。このモデルについてもCOD計を例として示した。

機器を稼働させるのに必要な試薬、記録紙、バックリグやチューブ等の消耗品は、一年間に必要な最小限度の量を金額で示し、水道光熱費はそれぞれの消費量

Teiichi Matsumae

昭和18年 京都大学理学部卒業
27年 名古屋工業技術試験所入所
36年 北海道工業開発試験所第2部長
34年 理学博士
45年 東亜電波工業株式会社取締役
54年 日本環境技術協会専務理事

* Renewal of the Instruments for Automatic Measurement of Water Quality, 1990年7月17日受理

表2 年間維持管理費検討表

機 種	年 間 維 持 管 理 費 用	
	(A) 試薬代, 消耗品代他	(B) 管 理 工 数
COD	(1) 試薬を調製する場合 イ. 酸 性 法…… 30～45千円 ロ. 銀 添 加 法……430～645 〃 ハ. アルカリ性…… 32～48 〃 ニ. 各精製水…… 60～90 〃 (2) 試薬を調製したものを利用する場合 イ. 酸 性 法…… 90～135千円 ロ. 銀 添 加 法……490～735 〃 (1 g/1回添加) ハ. アルカリ性……110～165 〃 (3) 消 耗 品 100～250千円 (4) 消 費 電 力 イ. 本 体…… 500～900W ロ. そ の 他……2,000～2,500W (ポンプ750W, クーラ750～1,500W) (5) 水 道 水 …… 5,000～25,000l/月	(1) 毎 週 約5時間 41回 205時間 (2) 1 カ月 約8時間 12回 96時間 (3) 6 カ月 約8時間 2回 16時間 年間管理工数時間 計 317時間 (4) オーバーホール 1～3年に1回 2～3日間 (5) その他試薬を調製する場合はその工数が必要
		(C) オ ー バ ー ホ ール 代
		400～700千円 (特殊パーツの変更は含まず)
	(D) アンケート調査による校正の頻度	備 考
	<p>毎日 (0.9%) 1週間以内に1回 (17.1%) 2週間以内に1回 (16.3%) 1か月以内に1回 (27.0%) 1か月以上に1回 (38.7%)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・維持管理費の試薬代, 消耗品代は(A)に示すように, その対応の仕方により差があるが, 各々方法により固定費として発生する。 ・人件費として発生する管理工数のメーカーの標準例を(B)に示した。 ・管理費の大小は, 各々の事業場での試料の条件や, 人的な条件等で異なる。 ・校正の頻度は, 1ヶ月以内に1回以上が61.3%である。 ・各々の事業場での校正頻度の増加は更新の目安になる。

の大小のみならず, 突発的な変動費の増加傾向からシステム全体を見直し, 機器の改造, 更新の時期等を判断することも大切である。

3.3 使用機器の故障内容

各種機器の主な故障箇所と原因を表3に, また, 稼働率, 故障回数および故障件数の多い項目などを表4に示した。

機器の故障は, データの欠測を誘起し, 部品交換や修理等の作業を伴う。故障箇所と故障回数は稼働率に影響を与える。故障回数が多いと当然稼働率は悪くなるが, その影響度は故障箇所と原因によって異なる。故障原因によっては, 復帰が容易で欠測時間が短くてすむ場合や, 故障部品の交換が容易でも測定状態への復帰に数時間を要する場合もある。そのため故障回数

だけでなく故障箇所と原因の分析も重要である。調査の結果によると故障箇所の上位は, 採水系やサンプリング系によるものが多い。

故障が年間を通じて十数回も発生している場合は, 一つの目安としてシステムの見直しや改良, 更新を検討する時期と言える。

機器の維持管理費の内容を分析した結果に基づき, 経済的なメリット等を勘案して, 機器のオーバーホールや更新を決定した場合, オーバーホール後の保証期間や新規導入機器の保証期間の確認を忘れてはならない。また, 修理用部品の供給期間は, メーカーで当該機器の製造を中止した後7年間であることも記憶しておく必要がある。

表3 最近一年間の主な故障内容

【COD 計の最近一年間の主な故障】

	部 位	主 な 故 障 個 所 と 原 因	件数割合(%)
サンプリング部	採水排水経路	採水ポンプ、ストレーナ、凍結、電磁弁、送水管の詰まり、送水管破損	15.8
	試料調整槽	スラッジの溜り、レベル計腐蝕	0.8
	希釈・洗浄水系	リミットスイッチ、フロート弁	3.9
計料試薬部	計 量 器	電磁弁、レベル計、ポンプ、チューブ亀裂、空気圧低下	13.3
	配管系経路	電磁弁、チューブ劣化、配管の詰まり	7.5
反 応 部	反応槽・攪拌器	試薬注入ノズルの閉塞、ガラス槽の浸食、ドレーンチューブの劣化、攪拌器の摩耗と回転不良、セル汚れ	10.5
	電 極	劣化、液絡部不良、汚れ、塩橋液用チューブ破損、寿命	8.3
	排 出 装 置	電磁弁、減圧ラインの不良、チューブ劣化、配管の詰まり、ピンチバルブ動作不良	4.4
	加 熱 装 置	ヒーター断線、レベル計、温度制御器不良、油漏れパッキン劣化	13.3
計 測 部	シ ー ケ ン ス	タイマー、リレー、IC、スイッチ、プリント板、CPU、I/Oポート	6.1
	滴 定 器	電磁弁、シリンジ、パッキン、機構部エア混入、詰まり	6.9
	ゼロ・スパン校正	終点検出器、精水器劣化、再現性劣化	1.7
	記 録 計	ペン先つまり、チャート送り不良、繰糸切れ、プリント不鮮明	3.1
	そ の 他	試薬タンク、モーター、チューブ、電源回路部（ブレーカ、ヒューズ）その他	4.4

4. 使用機器の保全と耐用年数

水質計測器は、建物や生産設備と同様に長くユーザに溶液を提供する有形固定資産であり、その計測器の信頼性、保全性、経済性などを確保する観点から維持管理が重要である。この維持管理の度合いが、機器の実質的耐用年数を左右すると言っても言い過ぎではない。

4.1 保全の考え方

機器保全の考え方を分類すると下記のように4つに分けられる。

- 予 防 保 全 ……故障しないうちに管理する。
- 事 後 保 全 ……故障してから修理する。
- 改 良 保 全 ……機器の構成材料や部品を改造または更新して体質を改善する。
- 保 全 予 防 ……機器新設の時から保全費のかからない設計にしておく。

水質計測器の維持管理費の一部に故障に係わるものがある。仮に故障が起きたとしても短期間に修理できれば信頼性は回復し、保全性向上が図られる。信頼性や保全性向上のためにはどれだけ費用をかけてもよい

というものではなく、できるだけ費用をかけないように工夫することが望ましく、機器管理においては、信頼性、保全性、経済性の3つに注目する必要がある。

4.2 故障の評価尺度と経済的耐用年数

従来、機器保全効果の尺度として、つぎのような指標がよく用いられている。

故 障 度 数 率 = $\frac{\text{故障件数}}{\text{単位運転時間}}$ ……(信頼性)

故 障 強 度 率 = $\frac{\text{故障休止時間}}{\text{単位運転時間}}$ ……(保全性)

時間単位当り保全費 = $\frac{\text{保全費総額}}{\text{必要運転時間}}$ ……(経済性)

一般に、多くの部品から構成されている機器の故障率の典型的パターンは図2のようになる。機器の長期間使用により、商品価値の維持が困難になるのは摩耗

図2 故障の典型的パターン

表4 故障内容検討表

機種	(a) アンケート調査による稼働率		(b) アンケート調査による最近一年間の故障回数																
COD																			
	(c) アンケート調査による故障件数の割合 (%)		備 考																
	<table><tr><td>採水排水経路</td><td>採水ポンプ, ストレーナ, 凍結, 電磁弁, 送水管の詰まり, 送水管破損</td><td>15.8</td></tr><tr><td>計 量 器</td><td>電磁弁, レベル計, ポンプ, チューブ亀裂, 空気圧低下</td><td>13.3</td></tr><tr><td>加 熱 装 置</td><td>ヒーター断線, レベル計, 温度制御器不良, 油漏れパッキン劣化</td><td>13.3</td></tr><tr><td>反応槽・攪拌器</td><td>試薬注入ノズルの閉塞, ガラス槽の浸食, ドレーンチューブの劣化, 攪拌器の摩耗と回転不良, セル汚れ</td><td>10.5</td></tr><tr><td>電 極</td><td>劣化, 液絡部不良, 汚れ, 塩橋液用チューブ破損, 寿命</td><td>8.3</td></tr></table>		採水排水経路	採水ポンプ, ストレーナ, 凍結, 電磁弁, 送水管の詰まり, 送水管破損	15.8	計 量 器	電磁弁, レベル計, ポンプ, チューブ亀裂, 空気圧低下	13.3	加 熱 装 置	ヒーター断線, レベル計, 温度制御器不良, 油漏れパッキン劣化	13.3	反応槽・攪拌器	試薬注入ノズルの閉塞, ガラス槽の浸食, ドレーンチューブの劣化, 攪拌器の摩耗と回転不良, セル汚れ	10.5	電 極	劣化, 液絡部不良, 汚れ, 塩橋液用チューブ破損, 寿命	8.3	<ul style="list-style-type: none">稼働率90%以上は87.4%, 70%未満2.5%である。故障回数は, 4 回以下が65.4%, 11回以上が10.2%である。故障の内容で, サンプリング系と計量器系で29.1%あり, 通常点検時に重点的に保守して予防することが肝要である。加熱装置部の13.3%の内容については, 予備パーツで対応できる場合とメーカーにサービスを依頼する必要がある場合とがある。メーカー依頼分の故障は稼働率のマイナスとして大きく作用する。システムの見直しや更新の目安としては, 稼働率が90%以下, 故障回数が11回以上発生する場合と考えられる。特に, 故障内容でメーカーにサービスを依頼する事項が増大している場合は, 注意を要する。	
採水排水経路	採水ポンプ, ストレーナ, 凍結, 電磁弁, 送水管の詰まり, 送水管破損	15.8																	
計 量 器	電磁弁, レベル計, ポンプ, チューブ亀裂, 空気圧低下	13.3																	
加 熱 装 置	ヒーター断線, レベル計, 温度制御器不良, 油漏れパッキン劣化	13.3																	
反応槽・攪拌器	試薬注入ノズルの閉塞, ガラス槽の浸食, ドレーンチューブの劣化, 攪拌器の摩耗と回転不良, セル汚れ	10.5																	
電 極	劣化, 液絡部不良, 汚れ, 塩橋液用チューブ破損, 寿命	8.3																	

故障期間に入っているからであり, 機器の老朽化が進んでいることを表している。この期間は予防保全の効果が出ず, これ以上使い続けることは経済的に引き合わない場合が多い。

機器によっては, 使用中の機器よりも信頼性, 保全性, 経済性に富む新製品が出現し, 使用機器が技術的に陳腐化する場合もある。

このように, 機器が老朽化, 陳腐化すれば, その機器は寿命に達したと判断される。このような寿命は経済的耐用年数と呼ばれ, 実質的な機器更新の時期となる。

新たな機器を設備すれば, これは有形減価償却資産に該当するため, 資産の償却義務が生じる。減価償却資産の償却限度額の計算には, 定額法と定率法があり,

いづれかの償却方法を選択することができる。

税法上, 有形減価償却資産はいくつかに分類されており, それぞれの分類毎に耐用年数が明記されている。水質自動計測器は通常「試験機器及び測定機器」に該当し, 耐用年数は5年とされている。

すでに述べた経済的耐用年数と税法上の耐用年数の間には, おのずと相違がある。税法上の耐用年数は機器固有の信頼性, 保全性, 経済性に無関係で, 一定規則に基づく寿命を表している。これに対して経済的耐用年数はこれら3つの管理特性を基準にして決まる実質的寿命である。したがって, 税法上の耐用年数が過ぎた機器でも, まだ信頼性があり, 経済的に引き合うなら充分使用できる。また反対に, 税法上の耐用年数に達していなくても早期に更新する必要性が生じる場

合もあり得る。

5. 機器更新に際しての経済計算

一般に、税法上の耐用年数（水質計測器の場合、通常5年）が経過して、帳簿上の残存価値が減ったというだけでは、現在使用している機器を処分したり、更新することなく、現時点での機能性や経済性等を考慮して、それ以上の年数（経済的耐用年数）使用されている。ある程度の稼働年数が経過すると、老朽化や旧式化等の理由で処分や更新を計画しなければならない。この時、直感的または経験的に更新を決定する場合もあるが、これらの方法では、“更新して経済的に引き合うか”“更新を行わなかった場合の損失額は”等の問題に答えられない。したがって、現機器への継続的に投資する場合と新機器への投資を比較し経済的にどちらが有利であるかなど、総合的な経済性評価を試みることが重要である。

経済性を評価する前に、現在使用している機器の耐用性について、下記のような項目に従い、総合的に診断し経済性評価の基礎にする必要がある。

・現機器の耐用性診断項目

- 1) 運転状況（稼働期間、運転状況等）
- 2) 使用状況（汚れ、損傷等）
- 3) 性能保持（測定値の信頼性、制御系統等）
- 4) 整備、調整および修理の状態（人件費、材料費、周期および1回当りの時間等）
- 5) 安全性（電気、耐薬品性、強度等）
- 6) 技術進歩に伴う機器の陳腐化（旧式化）等である。

更新予定の新機器については、上記の診断項目に対して、現機器より優れていることが基本的条件となる。

5.1 更新への経済評価・分析方法

機器更新に関する経済的な評価・分析方法は

- 1) 資金回収（返済）期間法（何年で元をとるか）
- 2) 原価比較法（どちらがどれだけ安い）
- 3) 投資利益率法（投資額に対する利益率はどれくらいあるか）

の3つに大別される。ここでは原価比較法の一つで一般的によく知られているオールド MAPI (Machierly & Allied Products Institute) 法について紹介する。

オールド MAPI 法は、現機器と新機器の各々に対して総合最小値 (AM: Adverse Minimum) を求め、もし新機器の総合最小値 (AM) が現機器の総合最小値 (AM') より小さい場合には、経済的にはその時点で更新を可とする法である。図3は総合最小値の関係を、図4はオールド MAPI 法による現機器と新機器の比較検討方法（オールド MAPI 法の用い方）を図示した

図3 総合最小値の関係

図4 オールドMAPI法の用い方

ものである。

図3において総合最小値、資本支出および操業劣性はそれぞれ次の内容を示す。

総合最小値：経時的な資本支出と操業劣性の費用の和（総費用）の最小値。

資本支出：機器の価値減少分と投資の利子分で年々定率で減少する。

操業劣性：現機器の働きが新機器に比べて、どの程度劣るかを金額で示したもので年々増加する。

総費用が総合最小値に達するまでの減少期間は経済的な使用期間であるが、この期間を経過して総費用が増加し始めると、更新について考慮し始める必要がある。図5は、現機器と新機器の総合最小値を比較して、更新の是非を示すモデル図である。今、更新について評価した年を0年とすると、この0年ではすでに現機器の総合最小値は増加傾向に入っているから、この時

点では更新予定の新機器の総合最小値(AM)よりも小さく、経済的には更新を否定することになる。しかし、現機器の総合最小値は年々増加し、3年後には新機器の総合最小値を上回ることになり、更新は肯定されることを示す。

経済計算を実施しても、前提条件や数値の取り方を誤っていれば、適切な更新判断はできない。経済計算に際しての注意事項を挙げると次のようになる。

- 1) 経済計算に用いる数値は常に将来の数値である。
- 2) 耐用年数は実際使用可能(物理的・経済的両面において)と考えられる年数(実効耐用年数)を基礎とすること。
- 3) 残存価格は実際売却可能価格とすること。
- 4) 原則として経済計算においては収益税(法人税・事業税)は考慮にいない。
- 5) その他

5.2 具体的な経済計算例

今、現機器の現在の売却可能価格を10万円、一年後の売却可能価格を3万円とすると、その差額は7万円、利率を10%とすると、 $10万円 \times 0.1 = 1万円$ が利息となり、現機器の資本支出は8万円となる。一方、新機器と現機器を比較してみると、直接労務費は新機器に更新した方が現機器を継続使用するよりも50万円、間接費は10万円、修理に要するパーツ代等に関する材料損失は40万円(表5参照)有利になるが、税金および保険料は現機器の方が10万円有利であるとする、現機器の総費用は次のようになる。

資本支出 操業劣性

現機器の総合最小値 = 8万円 + 130万円 = 138万円

図5 現機器と新機器の総合最小値の比較

例えば、新機器の見積り実効耐用年数(n)を7年、購入予定価格(c)を300万円、見積残存価格(s)を15万円、利率(i)を10%とすれば、図9よりMAPI係数は $y=20\%$ となり

新機器の総合最小値(AM) = $c(i+y)$ から AM は90万円となる。

したがって

現機器の総合最小値 138万円 - 新機器の総合最小値 90万円 = 48万円
新機器に更新すれば年間48万円の利益となるため、経済的には更新を可としても良いことになる。

6. おわりに

以上水質自動計測器について更新を検討するに当

表5 現機器の操業劣性

単位: 万円

費	目	新	旧
(収入)	生産増加収入		
	品質向上収入		
(費用)	直接労務費	50	
	間接労務費	10	
	材料損失	40	
	修理費	30	
	動力費	10	
	税金及び保険料		10
計		140	10
現機器の操業劣性			130

図6 オールドMAPIチャート

て考慮すべきことの概略を述べた。これは日本環境技術協会が昭和62年に発行した「水質総量規制における計測器の更新のための手引」を抜粋したものである。本稿が水質計測器の更新をするのに多少とも参考になれば幸いである。なお、上記の手引は協会常務理事有賀喜一ほか技術委員の奥原、田原、中川、野沢の各氏が分担執筆されたものであることを付記して感謝する。

参 考 文 献

- 1) 「総量規制用計測器維持管理のためのマニュアル」, 日本環境技術協会 (昭和58年度).
- 2) 「水質自動計測器の現状に関するアンケート調査報告書」, 日本環境技術協会 (昭和60年3月).
- 3) 中嶋清一「設備と工具」, 日刊工業新聞社.
- 4) 小野幸三「設備保全の実際」, (株)日本能率協会.
- 5) 本庄繁任「昭和61年度法人税の決算調整と申告の手引」, 勤納税協会連合会.
- 6) 古川光「設備計画及び管理」標準化と品質管理, Vol. 38 1985.