

下水道設備の L C C 検討書

平成 15 年 4 月



社団法人東京下水道設備協会

はじめに

平成 13 年度末で全国の下水道の普及率は 63・5% になり、雨水排除、生活環境の向上、公共用水域の水質保全等、下水道の基礎的な役割を着実に達成してきている。環境の世紀と呼ばれている 21 世紀は健全な水循環の確立や良好な水辺環境の形成ため、下水道はますます重要な都市施設として期待されている。そのためには下水道施設を適切に保全して、いつでも機能・能力を十二分に発揮するようにすることが前提となる。

しかし、下水道施設は長期間の使用により老朽化や物理的要因による損耗などで機能・能力に支障が生じる宿命にある。これらの傷害を取り除き、常に機能・能力を適正に維持するためには補修・改良及び再構築工事などの対応が必要である。

一方、社会・経済状況は景気の低迷などで深刻な状況にあり、下水道を取り巻く財政状況は厳しく、かつ少子高齢化、地球温暖化問題、さらに廃棄物問題など解決すべき課題も多い。この対応には環境を配慮しつつ、コスト縮減はもとより、事業の重点的執行で効率的・効果的事業経営や説明責任が強く求められている。

一般的に施設の更新等の判断基準としては物理的要因、機能的要因、経済的要因等がある。物理的要因、機能的要因は容易に判断できる要素である。例えば、磨耗・腐食などで故障した設備は修繕しなければならない。機能・能力を維持している施設の再構築では経済的要因が重要な判断基準となる。これを客観的かつ定量的な判断基準として、また経営感覚を重視した管理手法として、さらに保全管理の適否の指標として、LCC がクローズアップされている。

社団法人東京下水道設備協会は LCC の重要性を鑑み、東京都下水道局の職員の参加を頂き「LCC 検討委員会」を立ち上げて下水道設備の LCC について体系的に整理・検討することにした。その結果、LCC は維持管理データの適切な構築、施設の余寿命の把握、維持管理費の予測など重要な課題の整理に努めた。限られた期間だが、それなりの知見を得ることができました。

本検討書をたたき台として議論をしていただき、LCC が身近なものとして下水道事業執行に積極的に活用され、下水道経営の参考にさせていただければ幸いである。

なお、本検討書の作成にあたり、東京都下水道局をはじめ会員各社のご協力いただいたこと、各種参考文献を活用させていただいたことに深く感謝いたします。

平成 15 年 3 月 社団法人東京下水道設備協会

LCC 検討委員会メンバー

(順不同・敬称略)

委員長	株式会社 日立製作所	柏木 雅彦
委員	東京都下水道局	清水 洋治
委員	株式会社 荏原製作所	石川 安居
委員	栗田工業 株式会社	松村 桓生
委員	三機工業 株式会社	梅沢 昭仁
委員	月島機械 株式会社	落合 隆
委員	株式会社 日立製作所	高田 安啓
委員	株式会社 明電舎	小須田徹夫
委員	社団法人 東京下水道設備協会	内田 眞吾

目 次

第 1 章 下水道設備の寿命	1
1.1 下水道設備の特徴	1
1.2 下水道設備の寿命到達要因	2
1.3 法的耐用年数	3
1.4 メーカー推奨耐用年数	4
1.5 設備機器の劣化と故障	8
1.6 寿命設備の対処方法	11
第 2 章 LCC	12
2.1 LCC の定義	12
2.2 LCC の意義	14
2.3 LCC と LCA	15
2.4 LCC の算定	16
2.5 LCC の計算式	19
2.6 維持管理費の予測技法の概論	27
2.7 LCC システムの提案	27
第 3 章 余寿命の診断技法	30
3.1 余寿命の定義	30
3.2 余寿命の診断技法の現状と課題	36
3.3 現在採用されている診断技法	37
3.4 診断システムの提案	38
第 4 章 LCC の低減策	41
4.1 LCC の低減策概論	41
4.2 建設費の削減	41
4.3 維持管理費の削減	42
4.5 機器の長寿命化	45
第 5 章 LCC の計算実例と考察	46
5.1 資料の収集	46
5.2 計算条件	47
5.3 Aポンプ所雨水ろ格機に事例	47
5.4 LCC からの評価	50
参考文献等	53
資料編	55

第1章 下水道設備の寿命

1.1 下水道設備の特徴

下水道設備は過酷な環境で使用されているが、下水道の公共性により突発的機能停止を避けなければならない。そのためには、設備の設置環境や寿命に対する考え方を理解することが大切である。各設備の特徴は次のとおりである。

1) 機械設備

機械設備には、主に沈砂池機械設備、ポンプ設備、沈殿池機械設備等の水処理設備と、汚泥脱水設備、焼却設備等の汚泥処理設備に分類される。

(1) 水処理設備

沈砂池機械設備、沈殿池機械設備は現場で機能確認ができるものが多く、下水特有な腐食性ガスによる腐食や沈砂による磨耗等が生じ易く寿命は短い。汚水及び雨水ポンプ等の主ポンプは工場で性能把握が可能であるため沈砂等による主要部品の磨耗等の物理的限界は把握しやすい。主ポンプは運転時間にもよるが、40年以上の長期間使用されたものもある。また送風機は取扱物質が空気であるため下水特有の環境影響を受けにくいので、寿命は長い。このため「物理的要因」による寿命の他に、システムの変更等の仕様・能力に対応する「機能的要因」により寿命となる頻度が高くなる。

(2) 汚泥処理設備

汚泥処理設備は取扱物質が汚泥であるため閉鎖、磨耗及び硫化水素等により腐食が生じやすい。水処理設備に比べ予備機がないことで連続使用されるため、どちらかというとも寿命は短い。反面、歴史が浅いので技術進歩は早く、性能や維持管理性の向上ため技術革新が早い。このことは更新において「物理的要因」による寿命の他に、技術革新による「機能的要因」も重要な判断要素とされている場合が多い。

一方、焼却設備は他の設備と異なり高温燃焼なので安全運転を重視して製作されている。炉内はレンガ、キャスト等断熱材は寿命が短い消耗部品として、定期的に取り替えを行ない安全対策に万全を期している。焼却設備は「物理的要因」による寿命の他に、故障発生頻度が高くなり維持管理費が高む等の「経済的要因」も更新に大きな要素となっている。また排ガス規制値の強化等による「社会的要因」による改善も起こり易い。

2) 電気設備

電気設備は下水道設備の中で動脈的役割を持っている重要なもので、常に高い信頼性が求められている。電気設備は他産業とともに発展してきたこともあり、寿命は長い。しかし、軽微な故障でもポンプ所・処理場の機能に支障が出る可能性があるため適切な保全が不可欠である。

(1) 受変電・発電・動力設備

変圧器、遮断器、配電盤、発電機、電動機等の機器は、成熟した技術を使って設計・製作されているので概して耐用年数が長い。各機器の適切な維持管理の実施により法定耐用年数を超えて使用している場合もある。しかし、下水処理施設内での設置環境によっては、湿気や腐食

性ガスによる材料の劣化や絶縁強度の劣化が発生し機器寿命を縮める大きな要因となるため、定期的な点検・診断による保全・補修と適切な環境改善は欠かせない。

専門技術が必要となる設備では、メーカーと保守点検契約を結ぶ等、外部委託等により異常の兆候を早期に発見して、故障の未然防止対策が必要である。

(2) 監視・制御・計測設備

電子回路や情報処理・通信の技術は、技術進歩が急速で、物理的寿命がくる前に機能や性能の劣化により寿命を迎えることが多い。演算スピードや記憶容量の不足、汎用のネットワークにつながらない、あるいは省電力・省スペースの製品の出現による陳腐化による「機能的要因」、新製品の出現にともなう旧シリーズの製造中止や補修部品ストックのサービス停止等、維持管理費が過大となる「経済的要因」で寿命を判断するのが多くなる。

資料1 - 1「制御処理用計算機システムの機能・性能の陳腐化対応例」を、資料1 - 2「水質計器(センサー)の機能・性能の陳腐化対応例」を参照願いたい。

1.2 下水道設備の寿命到達要因

設備は設置したときから劣化が始まり、その機能・能力を使いきったとき廃棄される。これを設備の「寿命」と定義することができる。それらの要因には次のものがある。

1) 物理的要因

使用条件、使用経過年数によって、疲労、磨耗、腐食、絶縁劣化等で機能・性能が低下することを「物理的要因」によるものという。補修、改良により機能・性能の回復はある程度可能であるが、通常の維持・修繕を行っても使用に耐えない状態になることを物理的限界という。次に事例を示す。

- (1) 故障頻度が多くなり設備としての信頼度が低下した。
- (2) 定期的に補修・改良等によっても機能・性能が回復しない。

2) 経済的要因

物理的要因により補修、改良を行う過程で、それに要するコストが増大してきて、やがて再構築や取替えをした方が経済的となることを「経済的要因」という。次に具体的な事例を示す。

- (1) 交換すべき部品のストックがなく、部品製作に過大な費用がかかる。
- (2) 故障頻度が多くなり、過大な補修費が必要となる。

3) 機能的要因

維持管理の省力化、効率化、施設目的の変化等の社会的要請に従前の設備では機能不足により対応できない場合等を「機能的要因」という。この解決には技術革新により高機能の設備によって対応している。次に具体的な事例を示す。

- (1) 新製品・新技術の出現により、そのシステムが陳腐化してしまった。
- (2) 広域運用や無人化等の事業形態の変化に対応できない。

4) 社会的要因

法令の改定、労働環境の変化、環境保全対策等の対応や町づくりへの貢献、災害対策等の要因により、新たな機能・性能が要求される場合を「社会的要因」という。

- (1) 環境基準の強化により環境基準が守れない。
- (2) 労働環境の改善や安全対策の対応に必要なが生じた。
- (3) 既存設備が新技術の設備に比較し、省力化、省エネルギー化等が劣る。

1.3 法的耐用年数

下水道設備は、前項の要因による色々な寿命を考えることができる。耐用年数は一般に物理的要因や経済的要因、その複合要因による寿命の経験値から法的に規定されている。下水道等の公営企業の場合は次の規則等に定められた年数を適用している。

- (1) 「地方公営企業法施行規則別表第二号（有形）、別表第三号（無形）」

本表に掲げられていない有形（無形）固定資産の耐用年数は、本表に規定する耐用年数に準じた耐用年数、又は減価償却資産の耐用年数等に関する省令（昭和40年大蔵省令第15号）別表第一及び別表第二（無形は別表第三）に規定する耐用年数によるものとする。

- (2) 下水道設備において国庫補助対象事業となる場合は、法律により法的耐用年数が規定されている。
- (3) 東京都下水道局では法的耐用年数に準じて下水道局固定資産事務規定に定められている。
なお、各種法定耐用年数は資料1-3を参照願いたい。

1.4 メーカー推奨耐用年数

1) アンケートによる耐用年数

メーカーのアンケート調査による設備の耐用年数の結果は、図1.4.1に示すように、各設備について、実績、推奨値、標準耐用年数の関係わかる。これから次のことがいえる。

- (1) 概ね推奨耐用年数は実績値より短く、標準耐用年数よりも長い。このことは突発的トラブルを避けるため早めに取替え等を意図していることが考えられる。すなわち、下水道設備は予備機の設置、複数系列の運転等により、突発的トラブルを避けるための配慮がされている。メーカー側は下水道設備の重要性を重視して、信頼性も加味して安全サイドで寿命を設定している。
- (2) 主ポンプ設備、蓄電池設備、中央処理装置、遠方監視制御装置等で耐用年数の偏差が大きいのがみられる。これは偏差値の大きい機器が寿命の特定が困難な度合いの尺度となっている。
- (3) 実績値と推奨値の差がマイナスのものは老朽化する前に別の理由、例えば、社会的要因により更新された可能性がある。
- (4) 水処理設備とより過酷な環境（使用条件含む）にある污泥処理設備では寿命の考え方に差異があると思われる。
- (5) 各設備の寿命は資料1-4に示す「主機及び主要部品名」によって図1.4.2に示す、部品寿命に当然左右されていることがわかる。

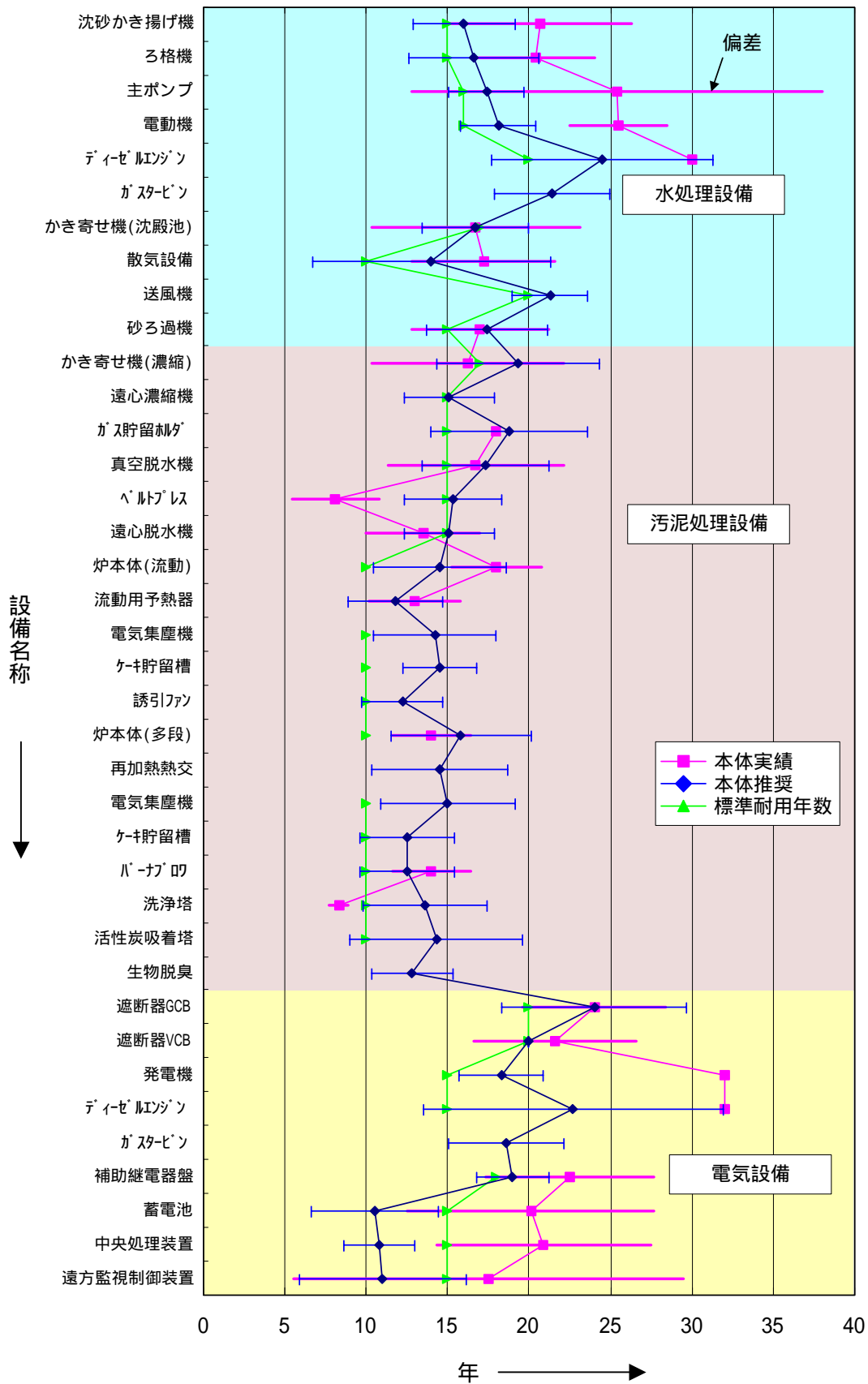


図 1 . 4 . 1 メーカーの耐用年数の例 (本体)

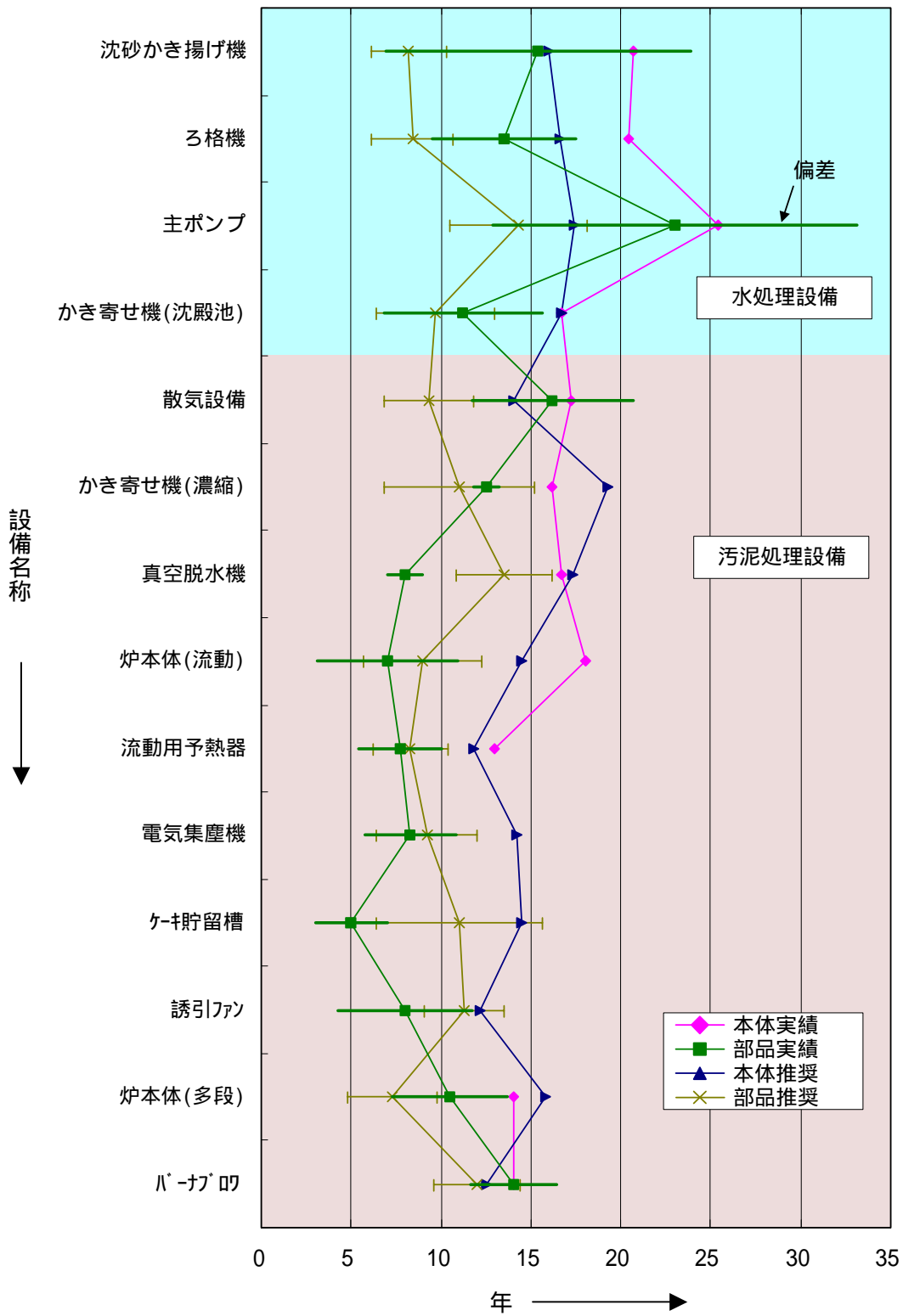


図 1 . 4 . 2 メーカーの耐用年数の例 (部品)

2) 機械設備の設計寿命

機械設備の寿命に影響する要因として、疲労、磨耗、老化（変質、腐食）等に配慮すると同時に保全方法にも力を入れている。

(1) ろ格機の設計寿命例

ろ格機は可動部分と固定部分に分けて、回転・摺動の使用条件にある可動部分は耐磨耗性・腐食性を考慮した材質及び交換可能構造として設計されている。固定部分は交換作業が困難なため磨耗・腐食に対して材質及び鋼板厚に配慮して設計している。これらの関係を表1.4.1に示すように個々の部品寿命に差異があるが、固定部品は全般的に交換困難で補修に際して、その費用及び工事期間を要する部品として15~20年前後を想定している。

表1.4.1 ろ格機の部品と寿命例

部 品 名		材 質	寿 命(年)	備 考	
可 動 部 品	駆動装置（減速機等）		約 15	定期的オーバーホール	
	チェーン	SUS	10~15	要因：磨耗	
	スプロケット	SCS	10~15	要因：磨耗	
	レーキ	本体	SS	約 10	要因：磨耗・腐食
		ガイドローラ	樹脂	6~8	要因：磨耗（消耗品）
	軸・軸受	水中部	SUS	約 10	スプロケットと同時期
駆動部		S-C	10~15	水上部では寿命が長い	
固 定 部 品	スクリーンバー	SS	15~20	5年毎補修塗装	
	フレーム	上部	SS	15~20	5年毎補修塗装
		下部	SS	約 15	5年毎補修塗装
	バックプレート	SS	10~15	5年毎補修塗装	
ガイドレール	高張力	10~15	要因：磨耗		

(2) 主ポンプの設計寿命例

主ポンプは羽根車、ケーシング、主軸、軸受を主要部品として、機能、性能、寿命等を維持するように設計されている。揚水を司る羽根車、ケーシング、主軸は強度、対磨耗性、腐食等を考慮した、材質及び交換可能構造として設計されている。個々の部品寿命は用途、使用条件によって差異があるが、特に接液部で磨耗する箇所は部品交換等で延命化を図っている。汚水、雨水ポンプの一般的な設計寿命は20年程度としている。

3) 電気機器の寿命に影響する要因

電気機器の寿命は熱、湿気とじんあい、振動・衝撃等が大きな要因となるものである。

- (1) 熱は物質の電氣的・物理的・化学的特性を変化させ、電気部品を性能変化させるとともに劣化を促進し故障の原因となる。温度に関する寿命の関係は次のアレニウス則に従うといわれている。さらに電氣的、磁氣的の影響を受ける。

$$L_x = L_0 \times A^{\left(\frac{T_0 - T_a}{10}\right)}$$

- Lx : 推定寿命
- L0 : 最高使用温度での保証寿命
- T0 : 最高使用温度
- Ta : 実使用時の周囲温度
- A : 2 (温度加速係数)

- (2) 湿気とじんあいはじんあいが付着すると、そこに湿気を吸収して電気抵抗が減少して、絶縁不良を起こし誤動作を生じる。また熱の発生に伴って錆が発生する。
- (3) 振動・衝撃は接続部の緩みやハズレを生じて接触不良や断線が発生したり、構造そのものの破壊を起こす。

4) 電気機器の設計寿命例

(1) 電気機器の寿命

電気機器の寿命は一般的に図 1.4.3 に示すようなプロセスを経て決定されている。

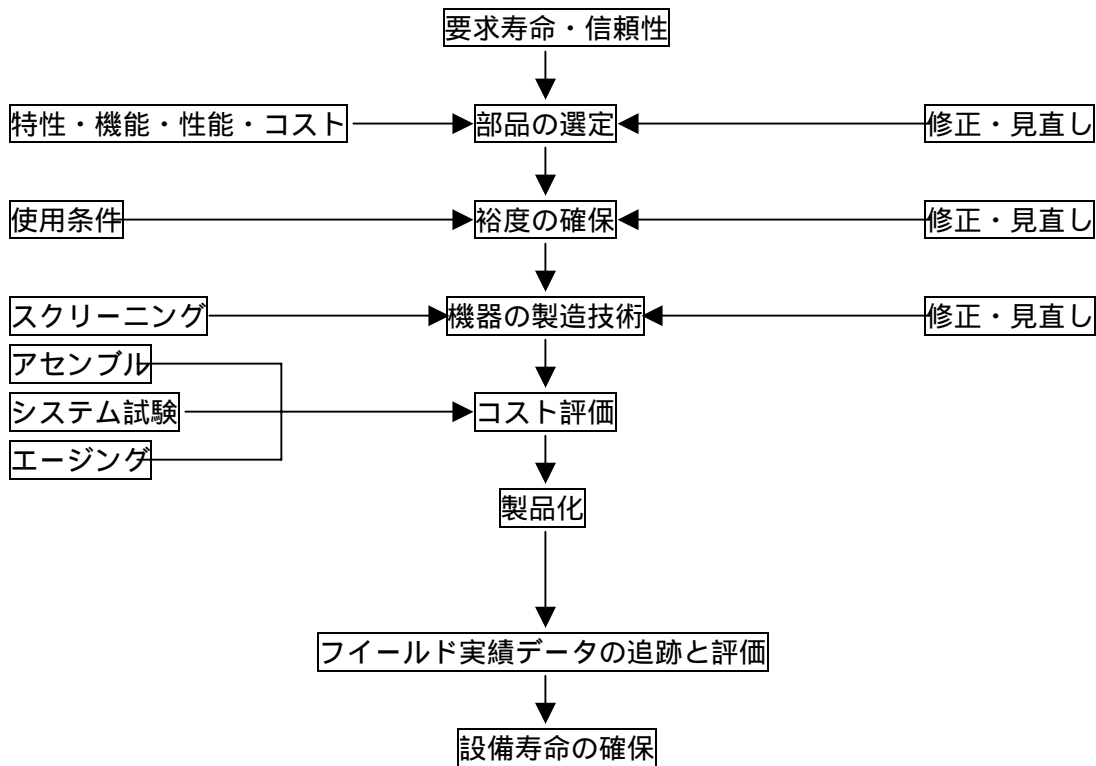


図 1.4.3 電気機器寿命の決定プロセス

- (2) 電気機器は常に所定の機能を維持するためにシステムの寿命を維持することが重要であるが、システムを構成する機器、部品の寿命は各々異なり一元化することが難しいことから、最も長い寿命機器を見極め、適切な保守管理を行ない、各部品を事前に取り替え、常にシステムとして寿命強調を取ることが大切である。

1.5 設備機器の劣化と故障

1) 劣化と故障

設備機器は、一般に使用時間の経過に従い劣化して、初期故障、偶発故障、摩耗故障の順に推移し故障が発生する。その関係を図1.5.1に示す。下水道設備における劣化を考慮する場合も、この曲線（バスタブ曲線）が適用される。

機器等の劣化は、様々な要因により製造時点から徐々に進行し、設計上の許容範囲を超えたときに故障という形で出現する。その中で、劣化による故障は、摩耗故障期に発生するといわれている。また法的耐用年数及び設計寿命は偶発故障期に設定されている。さらにLCCを考慮する場合は磨耗故障期の扱いが大切である。

故障率（ある時点までに動作してきた機器が引き続く単位期間内に故障を起こす割合）及び信頼度（機器が規定条件の下で意図する期間中に規定の機能を遂行する確率）と経過年との関係は図1.5.2の様な関係になり、時間の経過とともに故障率は上昇し、逆に信頼度は低下する。

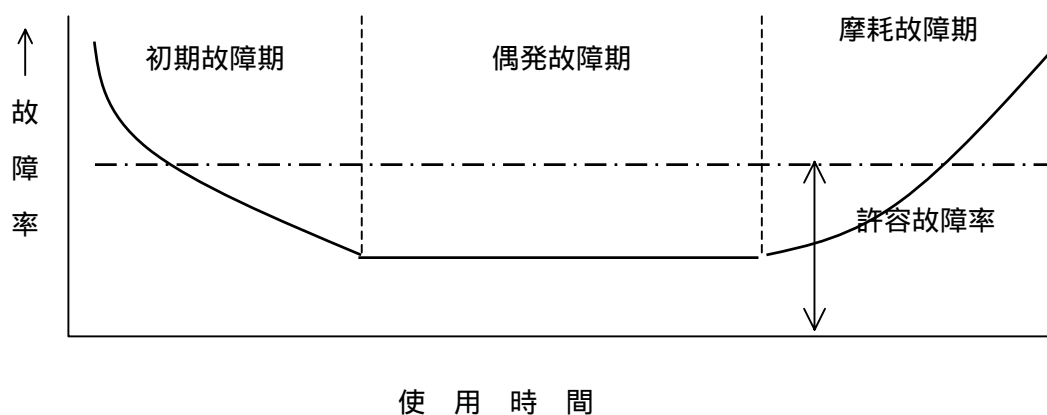


図1.5.1 使用時間と発生する故障

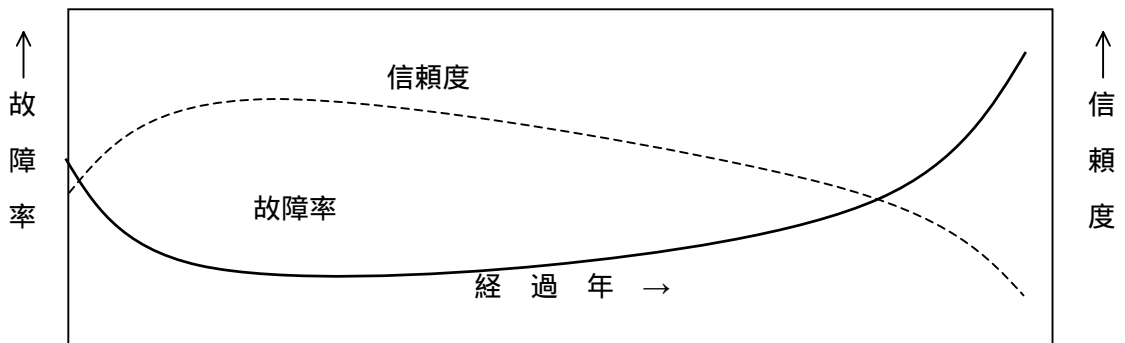


図 1 . 5 . 2 故障率、信頼度と経過年の関係

2) 劣化要因と現象

劣化要因には、機械的、化学的、熱的、環境及びその他の要因があり、その主な現象は次のとおりである。

(1) 機械的要因

回転部、摺動部及び接触部の摩耗。

機械的衝突及び機械的負荷の繰り返しによる疲労（亀裂、破損）。

引張、曲げ、圧縮及びねじれ応力によるひずみ等。

(2) 化学的要因

腐食性ガス等による腐食。

薬品等による酸化、腐食。

(3) 熱的要因（電気的要因含む）

発熱による絶縁物の劣化、変形及び歪み。

過電流並びに電流開閉時のアーク放電による局部的溶融及び溶着等。

冷却不良による温度上昇に伴う溶着等。

サージ電流や磁気の影響による半導体への支障。

(4) 環境要因

温度変化及び凍結等に起因する破壊等。

紫外線及びオゾンによる劣化。

飛砂の付着による摩耗、閉鎖等。

湿気等による絶縁劣化及び腐食等。

(5) その他要因

ネズミ等による食害及び盤内進入によるショート。

鳥、昆虫等の糞及び巣等の付着による腐食等。

3) 設備の劣化形態

設備の劣化形態は図 1.5.1 に示すように初期故障期、偶発故障期、磨耗故障期の 3 つに分類される。

(1) 初期故障期

初期故障期は故障率減少形 (DFR ; Decrease Failure Rate) といわれ時間とともに減少するタイプで電子部品はこれに従うとされている。これを防ぐにはデイレ-テングが有効である。

(2) 偶発故障期

偶発故障期は故障率一定形 (CFR ; Constant Failure Rate) で故障率が時間とは関係なくランダム (偶発) に発生するタイプで寿命は指数分布に従う。構造の複雑な設備ほどこの傾向が強く、この対策は難しく予防保全はあまり効果がない。

(3) 磨耗故障期

磨耗故障期は故障率増加形 (IFR ; Increase Failure Rate) で故障率が時間とともに増加するタイプで、通常の設定はこの傾向にある。寿命は正規分布に従い、この対策には予防保全が効果的である。

図 1.5.3 に示す故障密度関数からも、下水道設備は故障率増加形 (IFR) であるといえる。

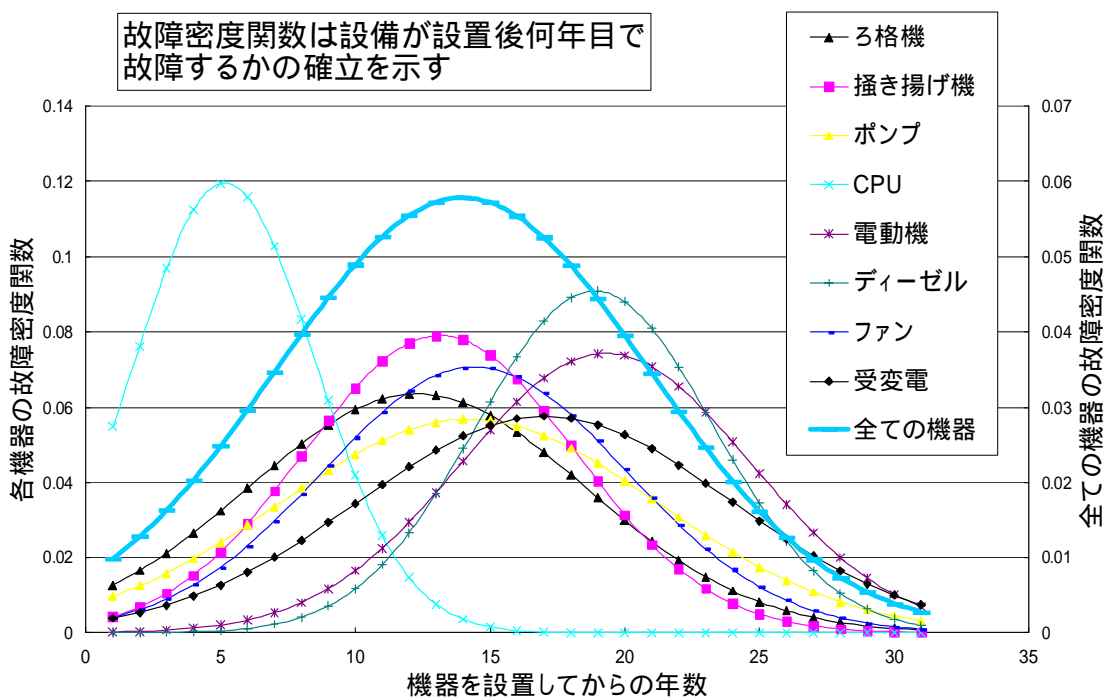


図 1.5.3 故障密度関数

1.6 寿命設備の対処方法

寿命設備の対処方法には補修、改良、更新、再構築等の工事に対応することが一般的である。各項目について、東京都下水道局では、次のように定義している。

1) 補修

補修とは対象となる機器の一部の取替（消耗部品の取替え含む）等を行うことである。設備の劣化がある程度進行すると、故障や破損が生じることになり、補修工事が必要になる。これらを修理し、限りなく元の状態に修復するのが補修工事である。補修工事は、設備の延命に寄与せず、単に能力、寿命を維持するものである。

2) 改良

改良とは、排水区域の拡張等に起因しない、対象となる設備の一部の再建設あるいは取替を行うことである。

設備を一定期間使用し、老朽の程度が進行し耐用年数が近づくと故障発生頻度が増大したり、機能の低下や陳腐化が著しく、補修工事では修復が困難な状況となる。たとえ修復が可能であったとしても多額の費用を必要とする状況となる。このような場合には改良工事により設備の機能回復を行ったほうが、より良い施設造りができる。すなわち、設備の延命化を行ない、耐用年数の延長を図るものである。

3) 更新

更新とは、排水区域の拡張などに起因しない、対象となる設備のすべての再建設、あるいは取替を行うことである。設備を耐用年数を超えて使用し、劣化が設備全体に進行すると、改良工事による延命化よりも、新たな設備に更新した方が投資効果上有利となる。これが設備の経済的寿命であり、設備の更新時期でもある。更新により設備は新たな資産価値を生じ、新たな耐用年数が設定されることになる。

4) 再構築

再構築とは下水道設備の単なる更新や改良を実施するだけでなく、維持管理しやすい下水道システムの転換、都市化による汚水量や雨水流出量の増大に伴う既存施設の能力不足の解消や新たな社会要請に対応した下水道の機能の高水準化を図るものである。あわせて下水道の施設や資源の多目的利用を推進するものである。したがって概念的には、再構築は従来の改良・設置の一部と更新を含むものである。

第2章 LCC

2.1 LCCの定義

LCC（ライフサイクルコスト）の概念は、システムの誕生から廃棄に至るまでの総コストを意味するものと、システムの更新に関わる経済的評価指標を意味する場合の2とおりがある。ここでは、混乱を防ぐため、前者をランニングLCC、後者を更新LCCと呼ぶことにした。

1) ランニングLCC

ランニングLCCの定義も図2.1.2に示すように二とおりある。

- (1) 設備が設置されてから設備そのものの寿命、あるいはプラントの廃棄などにより撤去されるまでの取替部品の費用を含めたトータルメンテナンスコストとして設置後のみを対象とする。これをA方式と仮定する。
- (2) 計画 - 設計 - 建設 - 運用 - 廃棄処分に至るまで、その生涯を通じて必要となる費用を対象とする。これをB方式と仮定する。

その費用には、企画設計費、建設費、運用費（水光熱費等エネルギー）、保全費（清掃、保安費等）、修繕・更新費、廃棄処分費などがある。

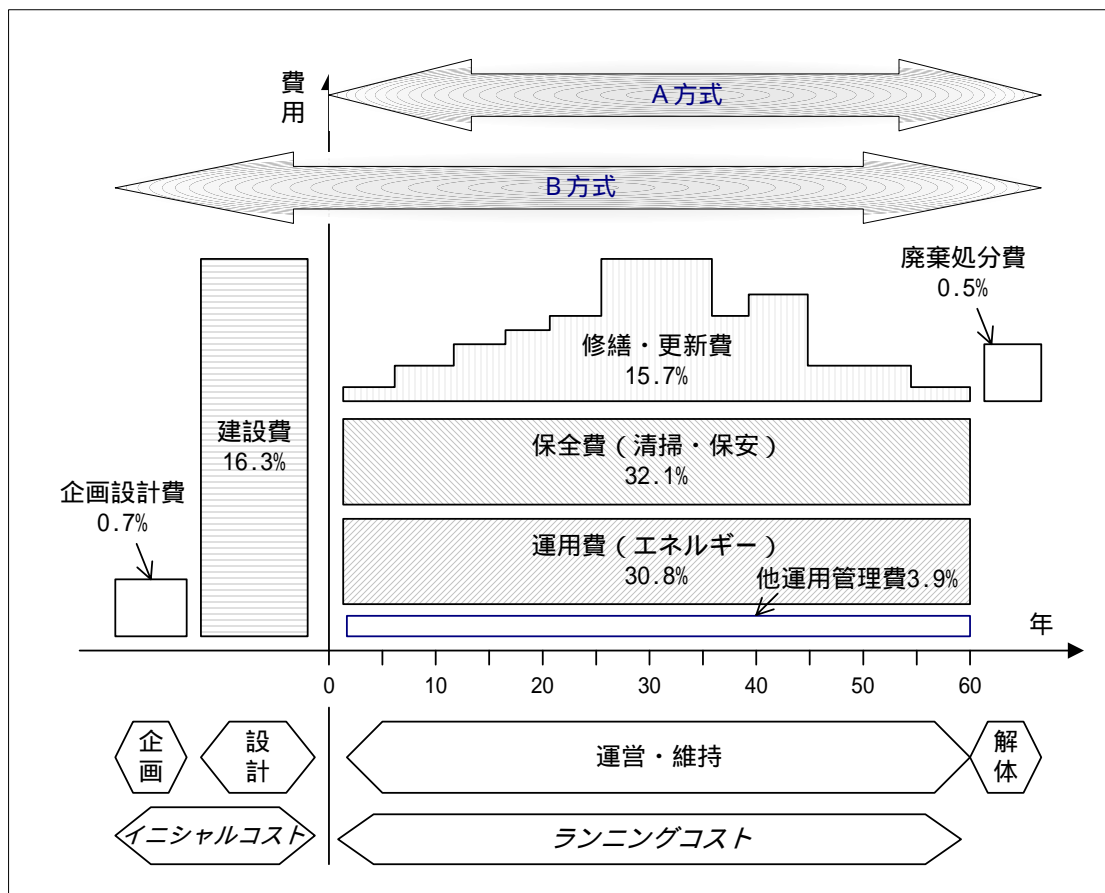


図2.1.1 ランニングLCC

一般に、企画設計や建設費（イニシャルコスト）よりも、建設後にかかる維持管理費（ランニングコスト）が4～5倍にもなるといわれている。

建設費は比較的安価であるが維持管理費が高い、建設費は高いが維持管理費は安いシステムなどV Eを考えると、ここではB方式をランニングLCCと捉える。

2) 更新LCC

更新LCCは下水道設備の更新、又は再構築する時期を経済的な観点から判断する技法として、旧建設省下水道部にて採用された手法である。

その概要は「下水道施設改築・修繕マニュアル(案) 平成10年5月(社)日本下水道協会編」(以下「マニュアル」という。)に示されている。設備の老朽度は、物理的要因、機能的要因及び経済的要因につき個々の設備を評価しする。更新LCCの概念は図2.1.2のとおりである。

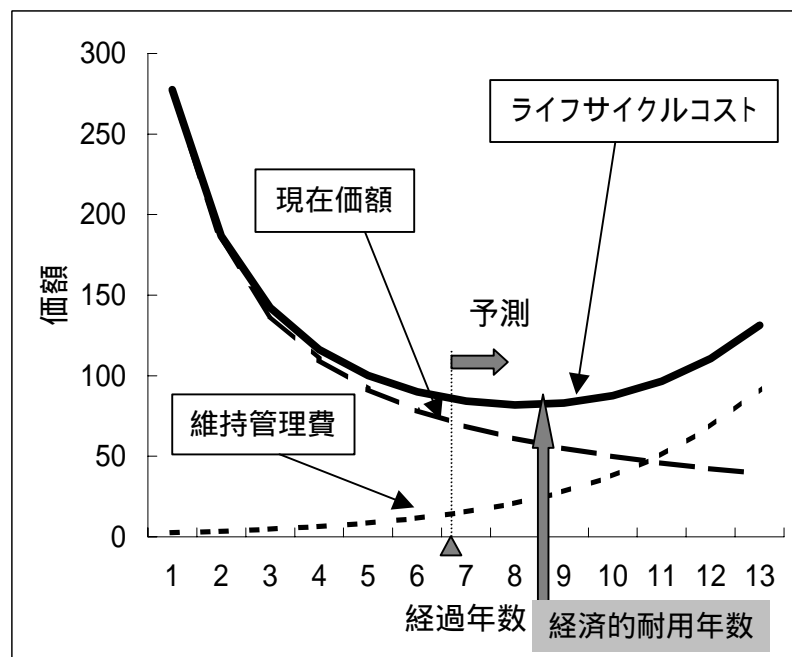


図2.1.2 更新LCCの概念図

(1) 現在価額

現在価額は対象とする設備、又は設備群の減価償却後の金額（図は定率法の例）。

(2) 維持管理費

維持管理費は改良費、補修費等の維持管理に要した費用。

(3) LCC

LCCは現在価額と維持管理費を加算した金額。

(4) 維持管理費の予測

維持管理費の予測は現在時点（図中▲）以降の維持管理費を予測する。現在価額は決められた減価償却法（定額、又は定率）によって将来の価額を算定する。

$$\text{マニュアルでは、維持管理費の予測式：} C = a e^{bt} \quad \log C = \log a + bt \cdots (1)$$

両辺の \log をとると、式(1)の後半のように一次線形の形となり簡単な回帰式のあてはめとなる。ただし、 a, b : 定数、 t : 経過年数。

(5) 経済的耐用年数

経済的耐用年数は LCC の最低時点である。

2.2 LCC の意義

一般に、設備の運用において維持管理費は経年増加傾向にあるが、運転の他に保全にかかる費用と更新にかかる費用を算定して、総合的に経済性を評価することで建設投資の意思決定をコスト評価の面から可能にするのが LCC である。また、施設の体系的な管理保全が適切に行われたかの判断要素にも活用できる。

LCC の意義は、設備寿命の間に発生する総費用を最小化する点にある。建設費はその総費用のごく一部に過ぎないと考えたとき、建設・維持管理の各費用には 建設費は高価だが維持管理費が安価である。建設コストは安価だが維持管理費が高価である。という関係が発生する可能性がある。一般に維持管理コストを下げるためにはより高度な技術を要するため建設コストが高価となる場合が多い。従って、建設費と維持管理費との間にトレードオフ関係が発生し、生涯コスト (LCC) としてどちらが安価であるかを評価する必要がある。

LCC の構成概念を図 2.2.1 に示す。

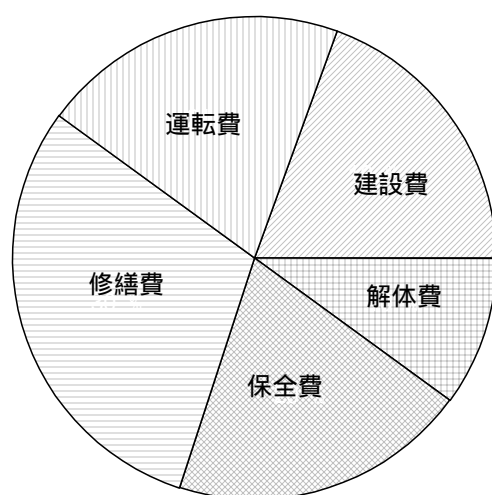


図 2.2.1 LCC 構成概念

LCC からの評価は次のようなことが分析可能である。

維持管理費が経年増加する中で、標準耐用年数における発生費用を LCC として評価がわかれば、その維持管理費の価値を知ることができる。その結果、高価な費用であれば、コスト縮減対策を行うべきか否かの判断根拠とすることができる。

維持管理費に加え、将来発生する解体・廃棄までを含めた費用の将来予測ができれば、寿命がきた時点で、その経済的寿命となるかを考慮し、更新、又は再構築の必要性を判断する根拠となる。

再構築する設備についてはLCC上の評価が行われれば、現時点で有効なシステムが既設備と同様なものであるか、又は新たなシステムを導入するための判断材料とすることが可能である。

1.2で述べたように、設備の寿命は物理的・経済的・機能的・社会的要因から起こるものである。これらはいずれも更新、又は再構築の必要が生じるが、物理的・機能的・社会的要因に対して、経済的要因は明らかな寿命として確定しづらい面がある。LCCによれば経済的な価値基準として、将来予測を含めた判断が可能である。資料2-1に「改築・再構築等の判断要素例」を参照願いたい。

2.3 LCCとLCA

LCCは2.1で述べたとおりであるが、LCA(ライフサイクルアセスメント)は同様な考え方であるが、原料調達から設計、製造、使用、リサイクルそして最終的廃棄処分にわたって、製品のライフサイクル中で使用する資源やエネルギーと製品が搬出する環境負荷を定量的に推定評価して、さらに製品の潜在的な環境影響を評価するものである。分析手法には表2.3.1に示すように目的と範囲の設定、インベントリー分析、インパクト分析、改善分析の4要素から構成される。

表2.3.1 LCAの分析手法

構成要素	内容
目的と範囲の設定	製品の用途、対象とする機能、製品システムの境界等、前提条件を明確にする。
インベントリー分析	製品のライフサイクルの各段階における原料・エネルギーのインプット、排出物のアウトプットの分析・算出を行う。
インパクト分析	インベントリー分析結果を環境負荷として定量的・総合的に分析・評価を行う。
改善分析	インパクト分析の結果を考察して、改善点を分析、具体的な環境負荷低減策のための課題を明確にすること。

地球温暖化防止や廃棄物処分の問題等、環境保全が高まっている状況ではLCAは環境負荷の少ない社会の実現を目指すための評価ツールとして有効な方法である。LCCはLCAのコスト面と考えることもでき、環境コストのより低い製品の指標を与えることで製品、又は生産プロセスの改善、製品選択指標としてのツールと考えることができる。

また最近、東京都下水道局に見られるようにISO14001の取得はもとより環境会計を導入して環境負荷の削減効果を公表しているところが多くなってきている。こうしたことから、ライフサイクル全体からの視点が不可欠になっており、環境だけでなく経済、技術、社会的側面にも焦点を当てたLCM(ライフサイクルマネジメント)という考え方も近年広がってきている。従って、今後LCCを考えていく場合には総合的な検討が重要になってくるだろう。

2.4 LCCの算定

更新LCCはいろいろな算定法が提案されているが、2.1の2)に示すように施設の現在価額(現時点の残存価額)と維持管理費の合計から算出されているのが一般的である。

1) 現在価額の算定

- (1) 現在価額は現時点(年度)における資産価値(帳簿価額)であり、取得価額より該当前年までの減価償却累計額を差し引いたものである。減価償却の方法には定率法と定額法があるが東京都下水道局では定額法を採用している。
- (2) 定額法の減価償却の算定は取得価額の10%を残して、法定耐用年数で除して額を金額で償却する。

2) LCCの維持管理費の項目

- (1) 一般的な維持管理費は施設の運転・維持にかかわる動力費、薬品費、上水使用料金等のユーティリティ経費及び人件費、処理作業費、設備補修費・改良費である。LCCでは次の理由により設備補修費と改良費を対象とする。

施設の維持・向上の方法には第1章で述べているように補修、改良、更新及び再構築工事があるが、更新、再構築はLCCの算定結果から施設の新設、又は取替えの手法なので、既存施設と別に新たな固定資産を生み出すものなのでLCCの算定から除外する。

ユーティリティ経費と人件費は設置当初の施設の性能に左右され原則として表2.4.1に示すように耐用年数の間には一定の費用がかかるが、大きな変化がないとしてLCCの算定から除外する。

表2.4.1 東京都区部処理場の水処理経費の構成比 (単位: %)

項目	平成8年度	平成10年度	平成12年度	平均
人件費	40.6	43.2	41.8	41.9
薬品費	1.8	1.2	1.2	1.4
動力費	27.6	26.7	27.8	27.4
運搬請負費	1.1	1.4	1.1	1.2
その他請負費	26.8	25.4	25.6	25.9
その他	2.1	2.1	2.5	2.2

- (2) 施設の撤去費用はLCCの算定時に考慮すべきである。

3) 対象範囲

- (1) LCCの算定の対象範囲

対象範囲はシステム単位か、単位機器か、あるいは設備郡ごとかが考えられるのが、LCCの良否は維持管理データを時系列に正確かつ適切に保存するかが重要であるので、次の点を考慮することが必要である。

当初の取得価額の整理をどうするかである。すなわち、現在の取得方法では単体機器に分割することが必要であるが、共通機器があるため厳格な分割はできない面もある。

電気設備の監視制御設備はシステムを一つの単体として扱う方が合理的である。

単体機器では維持管理費を算出しても、主ポンプ設備のように所定の期間補修・改良工事が少ないため、維持管理費の予測が正確でない場合もあるので、同一ポンプ所の主ポンプ設備郡で分析するのが好ましい。

LCC は長期間にわたって分析するので当初どのように整理したか、その後の補修、改良費用もそれに合わせる事が大切である。

4) デフレーター

デフレーターとは名目値を実質値に換算するための一種の物価指数である。実質値とは基準年の価額で比較年と同じ数量を買うのに要する金額である。時代の変化に伴い物価の変動が激しい時には LCC の精度をあげるためにはデフレーターを採用すべきであろう。一般的にはデフレーターは採用していない。

(1) デフレーター

デフレーターは基準年の価額で比較年と同じ数量を買うのに要するための係数である。すなわち基準年の価額と比較年の価額が等しければデフレターの値は1である。資料2 - 2「デフレターの例」を参照願いたい。

(2) デフレターの種類

建設工事費デフレーター

ある年度に要した工事額（名目額）を、実際の建設物の価値額（実質額）に換算することを目的とする指数である。表2.4.2に建設工事費デフレターを、図2.4.1に建設工事デフレターの変動差を示す。

個別工事種類のデフレーター

個別工事種類のデフレーター（木造住宅、河川、道路改良等のデフレーター）は、建設工事に投入される資材・価額の変動の変化と利潤等を加重して作成している。これは特に、モデル工事を設定しにくい土木工事については、作成が容易であり、価額のデータも揃っていることから、我が国をはじめ、多くの国で採用されている方法である。

具体的には、工事費を最終単位である資材、労務費等の53の投入項目に分解し、「建設部門産業連関表」及びその基礎統計資料を用いて工事費に占めるウエイトを求め、それぞれに対応する物価指数等をそのウエイトで統合するものである。

総合工事種類のデフレーター

総合工事種類のデフレーター（建設総合、建築総合、住宅総合、公共事業、治水総合、道路総合等のデフレーター）は、 で作成される個別デフレターとその工事に対応する各年度の名目工事額を利用している。

表 2.4.2 建設工事費デフレータ(1995年度基準[平成7年度])

工事種別 年 度	公共事業				下 水 道				工事種別 年 度	公共事業				下 水 道						
	デフレータ		前年度比		デフレータ		前年度比			デフレータ		前年度比		デフレータ		前年度比				
	デフレータ	前年度比	デフレータ	前年度比	デフレータ	前年度比	デフレータ	前年度比		デフレータ	前年度比	デフレータ	前年度比	デフレータ	前年度比					
昭和26年度					14.6			51	59.1	6.9	63.1	7.1								
27					15.7	7.5		52	62.9	6.4	66.3	5.1								
28					16.8	7.0		53	67.6	7.5	70.8	6.8								
29					16.8	0.0		54	74.6	10.4	76.9	8.6								
30					16.9	0.6		55	83.2	11.5	83.9	9.1								
31					18.7	10.7		56	84.9	2.0	84.8	1.1								
32					19.8	5.9		57	84.5	0.5	85.1	0.4								
33					19.2	3.0		58	83.9	0.7	84.9	0.2								
34					19.6	2.1		59	85.3	1.7	86.3	1.6								
35	18.0				20.8	6.1		60	84.2	1.3	85.4	1.0								
36	19.7	9.4			23.1	11.1		61	83.9	0.4	84.5	1.1								
37	20.7	5.1			23.9	3.5		62	85.2	1.5	85.7	1.4								
38	21.3	2.9			24.4	2.1		63	87.0	2.1	87.4	2.0								
39	22.3	4.7			25.2	3.3	平成元年度		91.5	5.2	91.7	4.9								
40	23.1	3.6			26.0	3.2	2		94.9	3.7	94.9	3.5								
41	24.9	7.8			27.7	6.5	3		97.5	2.7	97.7	3.0								
42	27.0	8.4			29.2	5.4	4		99.0	1.5	99.1	1.4								
43	27.9	3.3			30.2	3.4	5		99.1	0.1	99.3	0.2								
44	29.5	5.7			32.4	7.3	6		99.6	0.5	99.7	0.4								
45	31.6	7.1			34.8	7.4	7		100.0	0.4	100.0	0.3								
46	32.4	2.5			35.5	2.0	8		100.0	0.0	100.0	0.0								
47	34.5	6.5			37.6	5.9	9		100.8	0.8	100.8	0.8								
48	43.5	26.1			48.0	27.7	10		99.1	1.7	99.2	1.6								
49	54.5	25.3			58.3	21.5	11		98.1	1.0	98.3	0.9								
50	55.3	1.5			58.9	1.0	12(暫定)		98.5	0.4	98.6	0.3								
							13(暫定)		97.5	1.0	97.7	0.9								

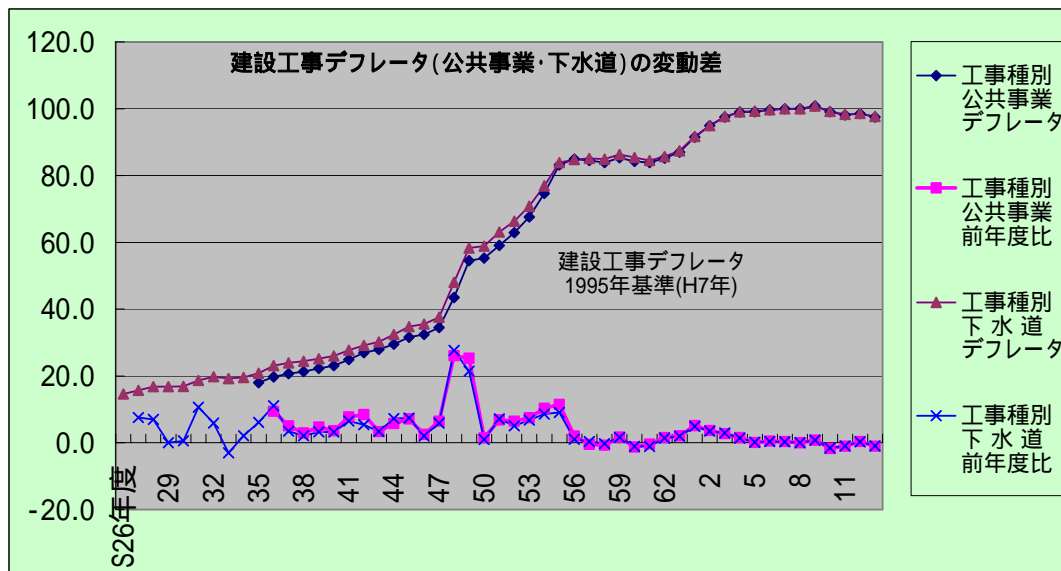


図 2.4.1 建設工事費デフレータの変動差

2.5 LCCの計算式

1) LCCの計算式

(1) (社)日本下水道協会方式

LCCの計算式は(社)日本下水道協会「下水道施設改築・修繕マニュアル」によれば式(2)のように現在価額+維持管理費{維持補修費}の予測から求められる。維持管理費の予測は資料2-3の「維持管理費の計算式」を参照願います。

$$LCC = P / T + Rt / T \dots\dots\dots(2)$$

ただし、 現在価額 = 償却費 = $P / T \dots\dots\dots(3)$

維持管理費 = $Rt / T \dots\dots\dots(4)$

P : 当初価額 = 当初取得価額

T : 経過年数

Rt : 経過年数 T の維持管理費

(2) その他

いろいろの人が提案しているが、佐野茨城大学名誉教授が紹介している宮元均氏(農水省の理整備課長)のLCCの式を次に示す。

$$LCC = P / X + R(X) / X \dots\dots\dots(5)$$

P : 初期建設コスト+廃棄コスト

X : 供用寿命(維持管理の水準、使用状況、環境要因、設計・施工の品質に依存)

R(X) : 供用中の毎年維持管理費の累計

この式からもLCCは維持管理費と供用寿命の推定によって算出できる。

2) 現在価額(残存価額)の計算式

(1) 現在価額 = 取得価額 - 該当前年までの減価償却累計額。

減価償却の方法は、定率法と定額法があり、償却率は耐用年数により税法で定められている。

有形固定資産(定額法): 10% (「地公法規則」第8条第1項)

無形固定資産 : 0% (「地公法規則」第9条第1項)

減価償却の計算は、取得額の10%を残して、耐用年数を除した額を定額で償却している。

償却額(定率法)(M) = P' (その時点の未償却残高) × 定率法の償却率

償却額(定額法)(M) = P (当初価額) × 90% × 定額法の償却率

(2) 計算例

現在価額の計算事例: 5,000,000円の電気品(耐用年数: 5年と仮定)

(定率法)

(定額法)

5年の償却率: 0.369

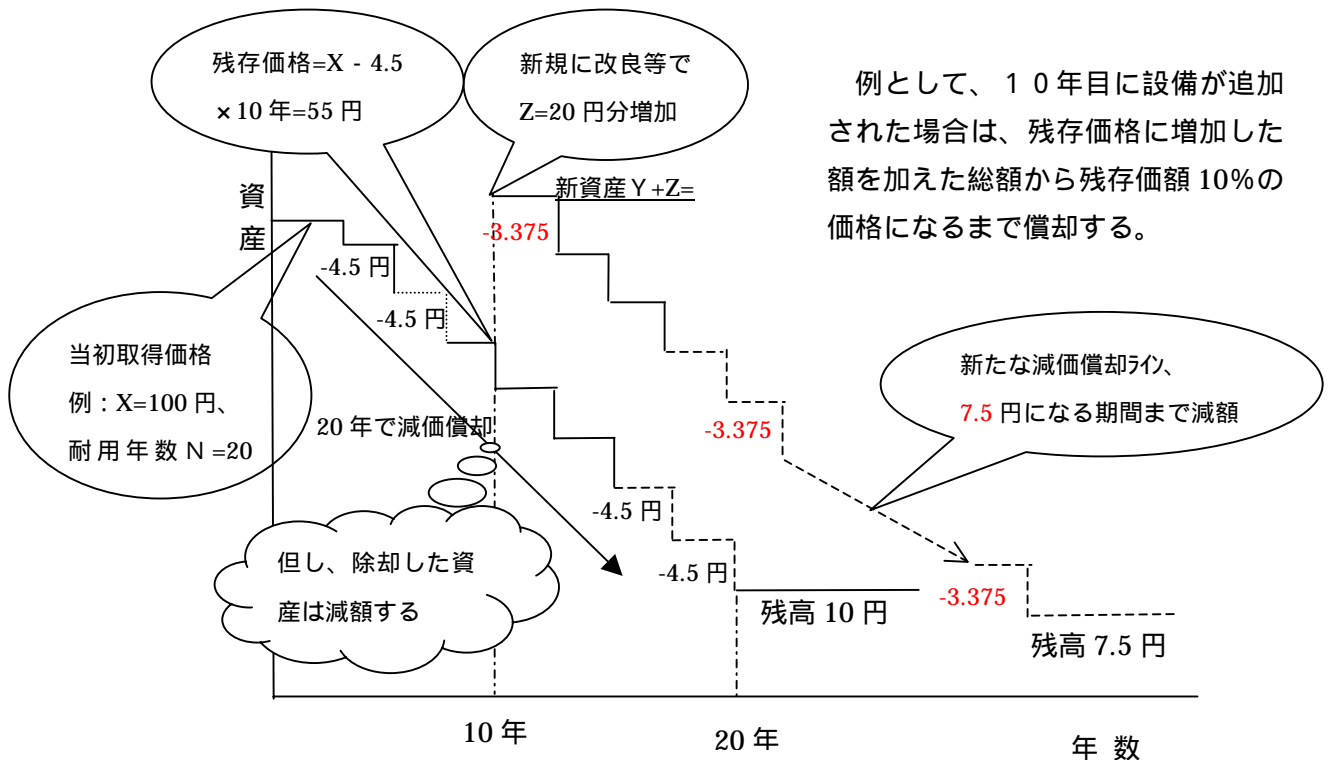
5年の償却率: $0.2 = 1 / 5$

1年目の減価償却額
 $5,000,000 \times 0.369 = 1,845,000$ 円
 2年目の減価償却額
 $(5,000,000 - 1,845,000) \times 0.369$
 $= 1,164,195$ 円
 3年目の減価償却額
 $(5,000,000 - 3,009,195) \times 0.369$
 $= 734,607$ 円
 4年目の減価償却額
 $(5,000,000 - 3,743,802) \times 0.369$
 $= 463,536$ 円
 5年目の減価償却額
 $(5,000,000 - 4,207,339) \times 0.369$
 $= 292,491$ 円
 減価償却額の計：4,499,830 円
 6年目の現在価額
 $5,000,000 - 4,999,828 = 500,172$ 円

1年目の減価償却額
 $5,000,000 \times 0.9 \times 0.2 = 900,000$ 円
 2年目の減価償却額
 $5,000,000 \times 0.9 \times 0.2 = 900,000$ 円
 3年目の減価償却額
 $5,000,000 \times 0.9 \times 0.2 = 900,000$ 円
 4年目の減価償却額
 $5,000,000 \times 0.9 \times 0.2 = 900,000$ 円
 5年目の減価償却額
 $5,000,000 \times 0.9 \times 0.2 = 900,000$ 円
 減価償却額の計：4,500,000
 6年目の現在価額
 $5,000,000 - 4,500,000 = 500,000$ 円

(3) 改良工事費

耐用年数の間に改良工事で資産を増加した場合には、図2.5.1に示すように当初取得価額に増加した額を加えて現在価額を計算する。また維持管理費にも加算する。ただし、大幅な改良工事の場合は工事範囲・工事金額を分析して、その時点でLCC計算の基準年とする。



$$Y_n = X \{ (X - 0.1X) / N \} \times X_n$$

償却率 = 1 / 20 年 = 0.05

ただし、

X : 当初取得価額(円)

Y_n : n年目の残存価額(円)

N : 耐用年数(年)

n : 完成後の経過年数(年)

Z : 第二期工事での取得価額(円)

図 2 . 5 . 1 現在価格の算定法(定額法)

3) 維持管理費の予測式

維持管理費の予測は現在時点以降の維持管理費を予測することである。

(1) 維持管理費の予測式

式(3)の維持管理費には将来の維持管理費も含んでいるので評価時点以降の維持管理費を予測する必要がある。予測式は式(1)に示したように、次のようになる。

$$C = a e^{bt} \dots \dots \dots (6)$$

C : 維持管理費、a, b : 定数、t : 経過年数として、回帰直線の式で表すことができる。対象とする維持管理費には、補修費、保守点検費及び改良費とする。

対象設備の過去の維持管理費より、予測式を推定する。

表 2 . 5 . 2 に示すように各年の変動を除去して維持管理費の傾向を見るため移動平均値(3年ずつ)を求める。

移動平均値を回帰分析して予測値を求める。

しかし、式(5)から求めるのは維持管理データから統計手法で、直接 a、b を算出するが複雑な計算が必要である。今日、資料 2 - 5 に示すように、パソコンで EXCEL のツールを使用して簡単に求めることができる。さらに簡単な方法は資料 2 - 4 「パソコンによる回帰式の算出」の方法で求めても十分活用できる。

4) 維持管理費の事例

維持管理費の事例として、昭和49年から平成4年までの、5ヶ所のポンプ所の設備全体を対象としたデータを次に示す。

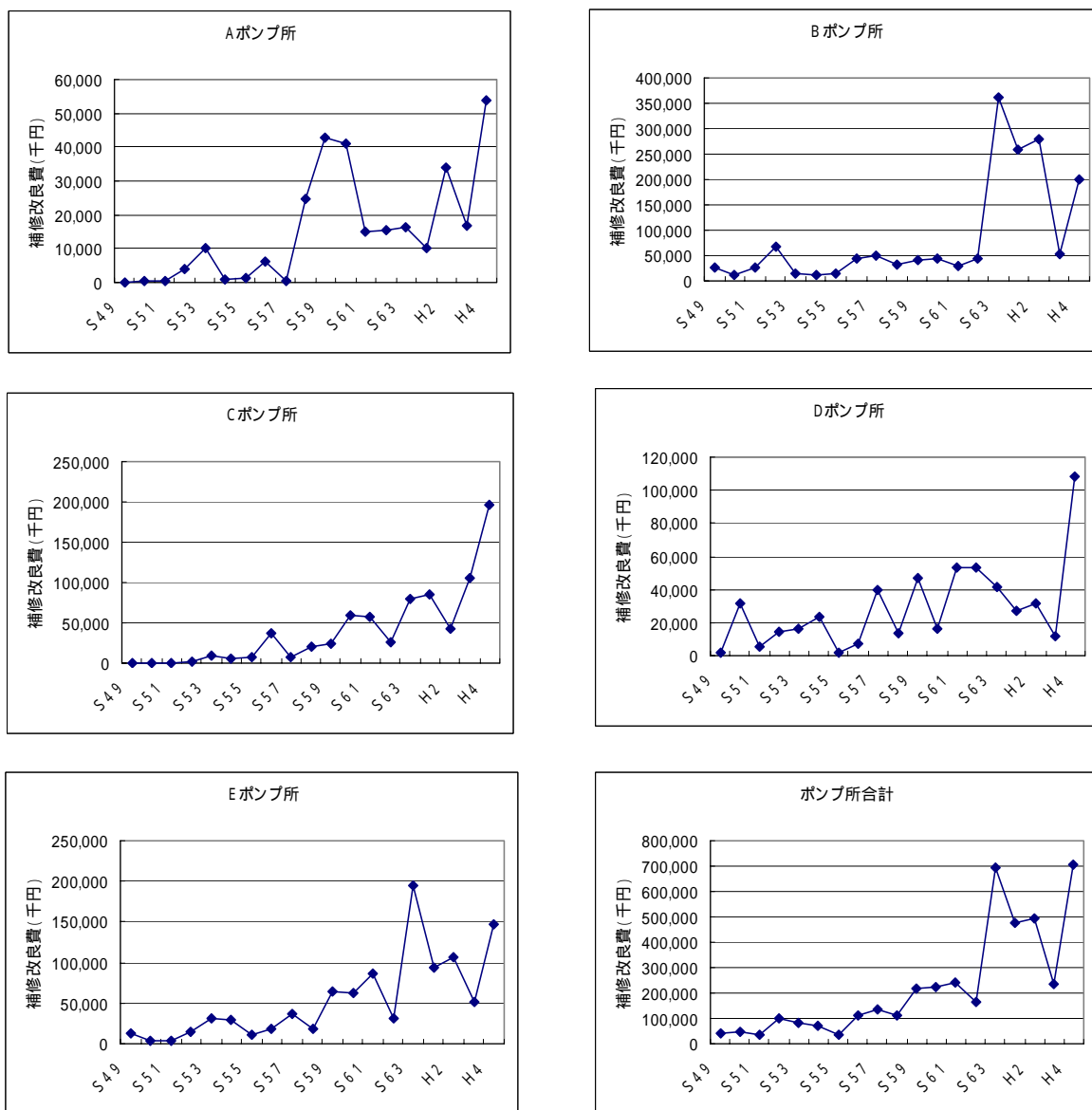


図 2 . 5 . 2 5ヶ所の維持管理費と合計維持管理費 (S49年~H4年)

上図から次のことが分かる。

維持管理費は漸増傾向にあり、5ヶ所のポンプ所合計の傾向は指数的(exponential)である。年度毎にバラツキがある。年度毎のバラツキは、ポンプ所の規模や老朽度によるものと思われる。また、維持管理費の傾向をみるには、移動平均をとることが妥当であろう。

5) 維持管理費の予測

維持管理費の予測として5ヶ所のポンプ所の合計と移動平均値及び維持管理費の実績予測値を表2.5.2に示す。

表2.5.2 維持管理費の移動平均値・実績予測値 (単位:千円)

NO.	維持管理費の移動平均値・実績予測値			
	昭和(S) / 平成(H)	維持管理費の実績	移動平均値	維持管理費の実績予測値
1	S49	41,689	41,689	34,285
2	S50	46,612	44,151	39,971
3	S51	37,113	41,805	46,600
4	S52	101,542	61,756	54,328
5	S53	82,207	73,621	63,339
6	S54	70,474	84,741	73,843
7	S55	37,412	63,364	86,090
8	S56	110,615	72,834	100,367
9	S57	135,590	94,539	117,013
10	S58	109,245	118,483	136,419
11	S59	218,965	154,600	159,044
12	S60	222,606	183,605	185,420
13	S61	241,977	227,849	216,172
14	S62	167,491	210,691	252,023
15	S63	693,607	367,692	293,820
16	H1	474,591	445,230	342,549
17	H2	493,832	554,010	399,359
18	H3	237,774	402,066	465,592
19	H4	707,444	479,683	542,808
20	H5			632,831
21	H6			737,784
23	H7			860,142
24	H8			1,002,794
25	H9			1,169,103
26	H10			1,362,995

(1) 計算根拠

計算結果は次のとおりである。

$$C = ae^{bt} \quad a : 29407.7734 \quad b : 0.1534$$

詳細は資料2-5「維持管理費の予測実例」を参照願います。

(2) 時系列データの予測-1

表2.5.2から、昭和49年を経過年数を1として平成10年間での維持管理費の予測図は2.5.3に示す。

$$\text{予測式} \quad : \quad Y = 29407 \exp(0.1534 t)$$

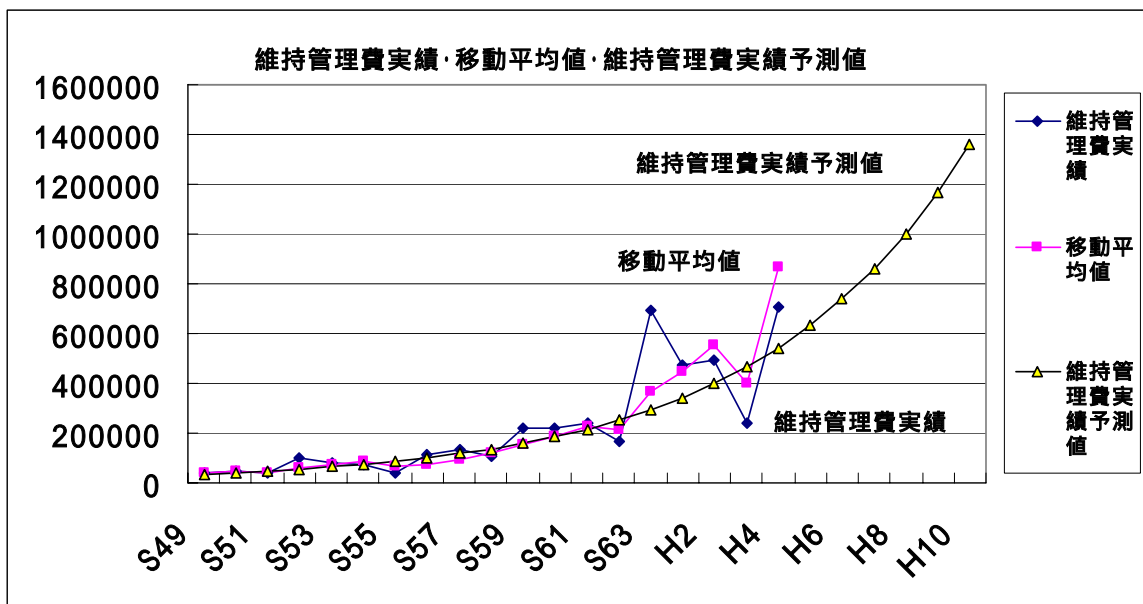


図 2 . 5 . 3 回帰分析結果 (予測) (S55 ~ H4)

(3)時系列データの予測ー 2

予測結果 は 15 年 (S 63) 以降ずれが大きい。15 年から 17 年が特徴的に上昇しているため、この年間をフィットするように、昭和 55 年から平成 10 年をあてはめ維持管理費の予測は図 2 . 5 . 4 で示される。

予測式 : $Y = 30948.8 \exp (0.2489 t)$

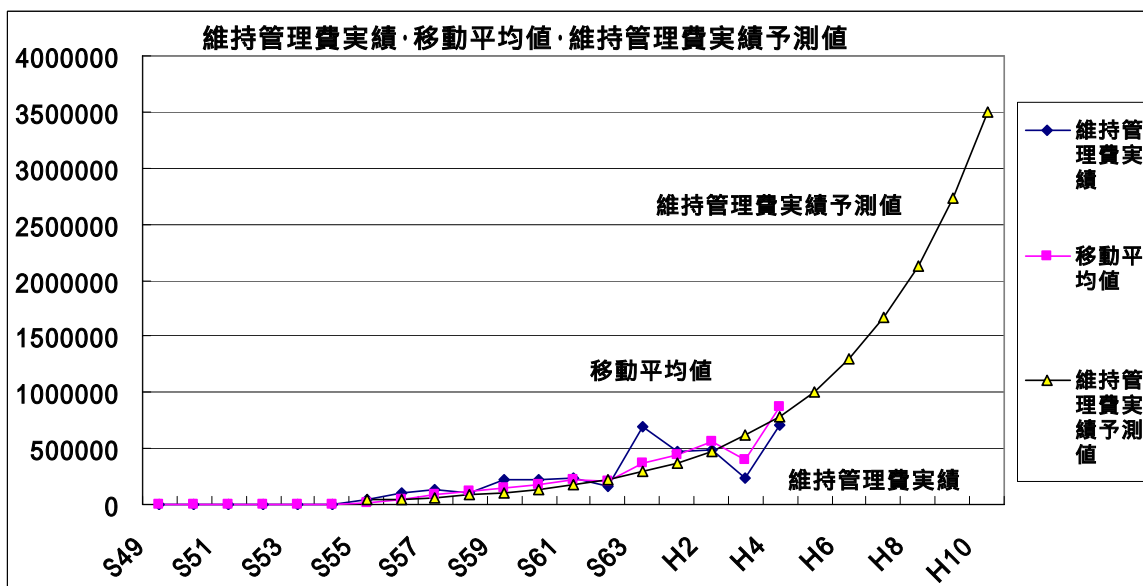


図 2 . 5 . 4 回帰分析結果 (予測) (S49 ~ H4)

予測結果の例を示したが、どのような係数を採用するかは計画者の判断に委ねられる。

また回帰分析の精度はデータの数に大きく左右される。資料 2 - 6 「ベルトプレスの LCC の例」を示す。

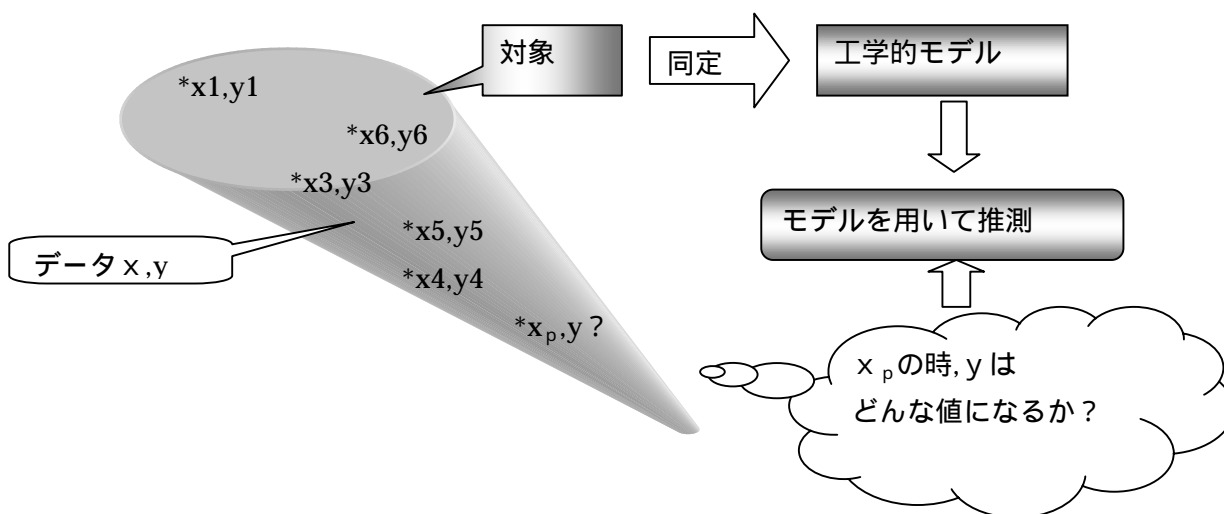
2・6 維持管理費の予測技法の概論

1) 概論

LCC で重要なのは維持管理費の予測である。機器はある時期から劣化・故障等が増大することによって維持管理費が増加することを仮定している。機器によっては増加傾向が異なるので正確に予測できれば LCC の精度は一段と向上する。そのためには多くのデータを蓄積することが重要である。

LCC の計算では維持管理費の過去の実績からモデル（工学的に表現された数式表現）を作成し、そのモデルを用いて今後の維持管理費を予測することが必要である。維持管理費を予測する維持管理費モデルは、いわゆる時系列データである。

維持管理費モデルは、横軸が年（年： X ）、縦軸が維持管理費（円： Y ）で、過去の実績データ（ $X_1 \sim X_n$ 、 $Y_1 \sim Y_n$ ）から、 $Y = f(X)$ のモデルを作成し、 (X_{n+1}) 以降の Y を求めることである。対象とするデータ群から、その対象の特性を工学的に表現し、工学的モデルとする作業を、「同定」と言う。すなわち、ある対象（システムといっても良い）の動き（特性）を知りたい場合、その対象から得られた限りあるデータを用いて、汎用的な工学的モデルが必要となる。工学的モデルを作ることを同定するという。



対象を同定する技法（技術的方法）として、従来から回帰分析が用いられている。近年、知識工学の発達に伴い、従来の技法では対応できなかった複雑な現象のモデル化手法として、多変数回帰をはじめ、ニューラルネットワーク、遺伝子アルゴリズム、カオス分析等が発達しつつある。多変数回帰、ニューラルネットワーク、遺伝子アルゴリズム、カオス分析は資料 2 - 7 を参照願いたい。

2.7 LCC 算定システムの提案

1) 維持管理のデータベース構築の整備

(1) LCC の有効性

LCC の有効性は計算式のインプットデータの精度に左右される。しかし、データは長期間にわたって保存され活用される。従来、LCC を意識してデータベースを構築していないため、データベースの記入が統一されていないため、整理に時間を要するの次のことに留意する。請負金額の単位、着手日と竣工日、工事番号、工事年度等の取り方が統一されていない面が見られる。

データの保管場所に変更があった場合に、そのフォローが十分でないためデータがない場合が見られる。

(2) データベース構築基準

データベースの構築基準は業務の問題点、提言、認識及び構築のステップに従った考え方で行うことが必要である。

業務の問題点とはデータベースの構築に当たって簡単で業務量の増加にならないこと。

提言とは使い易く維持管理の効率化になるものであること。

認識とは共通使用方法、共通フォーマット、共通な機器の固有番号、共通記入方法等を整理すること。

構築とは認識の基に標準フォーマットを作成して、パソコンや図 2.7.1 の例に示すようにネットワーク等を活用してデータベースの共有化を図る。具体的には必要な情報の一元化・共有化、情報検索時間の短縮化、迅速な状況把握のため報告、連絡の充実等である。

(3) 維持管理共通フォーマット

データベース構築には、業務の問題点 提言 認識 構築へのステップに従った考えで、実施する必要がある。表 2.7.1 に維持管理共通フォーマットを示すがこの表は紙面の関係で横を大分小さくしてある。

表 2.7.1 維持管理共通フォーマット

No.	項目	工事		機器固有 コード	完成日	年度	工期	工種					データ 種類名	工事 内容	詳細 内容	請負費	請負者	備考
		件名	番号					建設	改良	補修	簡易 補修	更新						
1																		
2																		
3																		
4																		
5																		
6																		
7																		
8																		
9																		
10																		
11																		
12																		
13																		
14																		
15																		
16																		
17																		
18																		

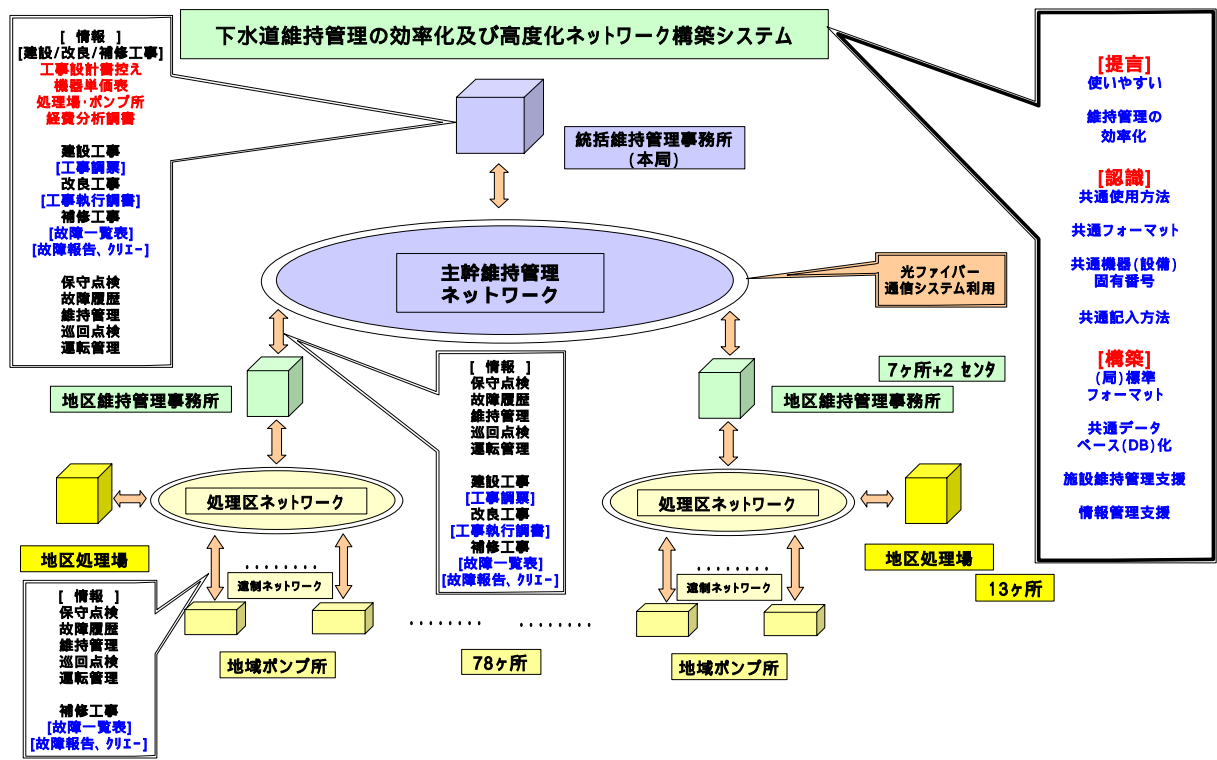


図 2 . 7 . 1 高度化ネットワーク構築の例

2) 維持管理費の課題

新たな追加項目としては環境改善及び保全費用,廃棄物処理費用及び社会的損失費用等が想定される。

(1) 環境改善及び保全費用

環境費用としては臭気、振動、騒音について設備が劣化してきて、これらの値が大きくなった場合は LCC の対象設備の他にこれらの設備の改善費を計上する。

域冷暖房や処理水の再利用等で省エネルギー、温暖化対策に有効な施策は LCC の中でも検討する。具体的方法は今後の課題であるが、環境会計手法との関係を検討すべきであろう。

(2) 廃棄物処理費

機器の撤去費用の計上は既に述べたとところであるが、焼却炉等の大型プラントでは撤去費用が建設費の 10 から 15%に相当するものであるから、何らかの方法で考慮する必要がある。発生材等の廃棄物の処分費用も考慮すべきだろう。

(3) 社会的損失費用

社会的費用の定義は難しいところであるが、工事事務等による損失が考えられる。

3) LCC の簡易的扱い

LCC は改良・再構築工事の経済的要因の判断基準ツールとして有効である。決め手は長期間にわたる維持管理費の実績と予測である。維持管理費は設備が故障磨耗期に増大する。

下水道設備は複雑多岐にわたるため物理的要因、社会的要因等の判断基準が全ての設備に適用できる実践的データや検証が少ない。これを充実することは大切であるが、多くの労力と費用をかけて各種データの収集と分析・加工しなければならないが、設備の改良・再構築の効果的に実施する時期を誤り易い。

例えば、設備の故障・磨耗期に工事費の大小に関わらず補修・改良工事が多くなることは、設備の稼働率が低下するための社会的損失リスクを負う。そこでLCCの意義を十二分に把握した上で、当該設備の取得価額とデータの精度を高めるため図5.4.1に示すように、同一使用条件下の設備群での補修・改良工事費と故障報告を有効に活用して最低限の労力で判断できるように簡易的扱いを提案する。具体的には機械設備と電気設備とでは若干異なるので留意点は次のとおりである。

(1) 機械設備

設備が稼働して、磨耗・腐食現象等が外部に現れ易い機械設備を対象とする。

設備の所得価額の減価償却にあたり、大幅な改良工事を実施した場合は、その年の現在価額を加算して新たにそこから減価償却を行う。

維持管理費は設置後の補修・改良工事費を累計する。その上で当該年度の現在価額と比較して現在価額が維持管理の累計額よりも大きい場合でも故障報告から故障頻度を分析して設備の信頼性等を判断して結論を導く。

(2) 電気設備

電気設備は回転機器や接触器等の他に稼働部分がない静止型機器類が多く内部腐食や劣化、機能低下が発生するが物理的損傷が外部に現れにくく、予備機が少ないので故障するとプロセスの影響が大きい。そのため早めに部品の取り替えや部分的な補修工事に対処して、大幅な改良工事を実施している例が少ない。

本的には機械設備と同様であるが、維持管理費は保守点検費、補修費を重視すると同時に、その回数や重要な部分か致命的な内容化等を分析して判断するのが好ましい。

上記の理由によりLCCになじみにくい機器が多いので標準耐用年数が重要な判断となろう。

第3章 余寿命の診断技法

3.1 余寿命の定義

寿命とは「アイテムが使用開始後、廃棄に至るまでの期間」(JISZ8115)と定義されている。一般に設備は、設置したときから劣化が始まり、その能力を使いきったときに寿命となり廃棄される。設備は、使用年数の経過につれて当初の価値(コスト)が低下する反面、劣化や故障が多くなり、性能を取り戻すために部品交換や部分的な改良が必要となる。改良、補修に要する費用が増大してきて、やがて寿命限界を迎えるが、余寿命を適切に把握できれば経済的効果は大きい。

1) 設備余寿命の考え方

設備の寿命は設備によってバラツキ(分散)があり、平均寿命とバラツキを持ったある母集団から構成される。設備の寿命を更新された時と仮定すると同一設備でも構成内容や環境等により寿命時期は分散する。更新時期の平均値を平均寿命とする。

一方、余寿命とは、今から後何年で寿命を迎えるかを予測するものである。物理的設備寿命に関して東京都下水道局では設備寿命を把握する実務的手段として、設備が更新された実績(経過年数)を採用している。アンケート調査から、メーカーとしての推奨耐用年数、更新設備の使用年数(実績値)の回答を集計して、得られた設備更新のデータを正規分布であらわし、その平均値(μ)と標準偏差値(σ)から約90%の設備が寿命となる時期の $\mu + 1.645\sigma$ を求めて限界寿命としている。

この限界寿命から、正規累積関数(寿命カーブ)より逆引きして求められる値を平均余命として算出する。余寿命は、この平均余命と劣化診断の組合せにより推定されている。

2) 人の余寿命の考え方

現在、生存している人がこの先何歳まで生きられるかの余寿命予測は、現在の年齢から実績データにより統計的に算出した平均余命、現在の老化度(身体機能はその年代の平均に比べてどうか、顕著な劣化はないか、大きな既往症はないかなど)から推定しているものが多い。

$$(\text{余寿命}) = (\text{平均余命}) + X_i$$

X_i : 人の寿命に影響を与える要因、アンケートや診断により把握

平均余命の計算には、生命表の計算法(C.L.Chiangの方法)が用いられる。生命表とは、定期間ある人口集団についての死亡秩序を各種の関数、すなわち、死亡率、生存数、死亡数、定常人口、平均余命等によって示したものである。10万人の出生児が年齢別死亡率に従って次第に減少していき、最終的には0になる。この状態を横軸に年齢、縦軸に生存数をとって示すと図3.1.1の生存数曲線ができる。ここでx歳の人の平均余命は T_x を生存延年数とし、 I_x を生存数とすると T_x/I_x で表すことができる。

また設備余寿命の考え方と人の余寿命の考え方との関連を図3.1.1に示す。

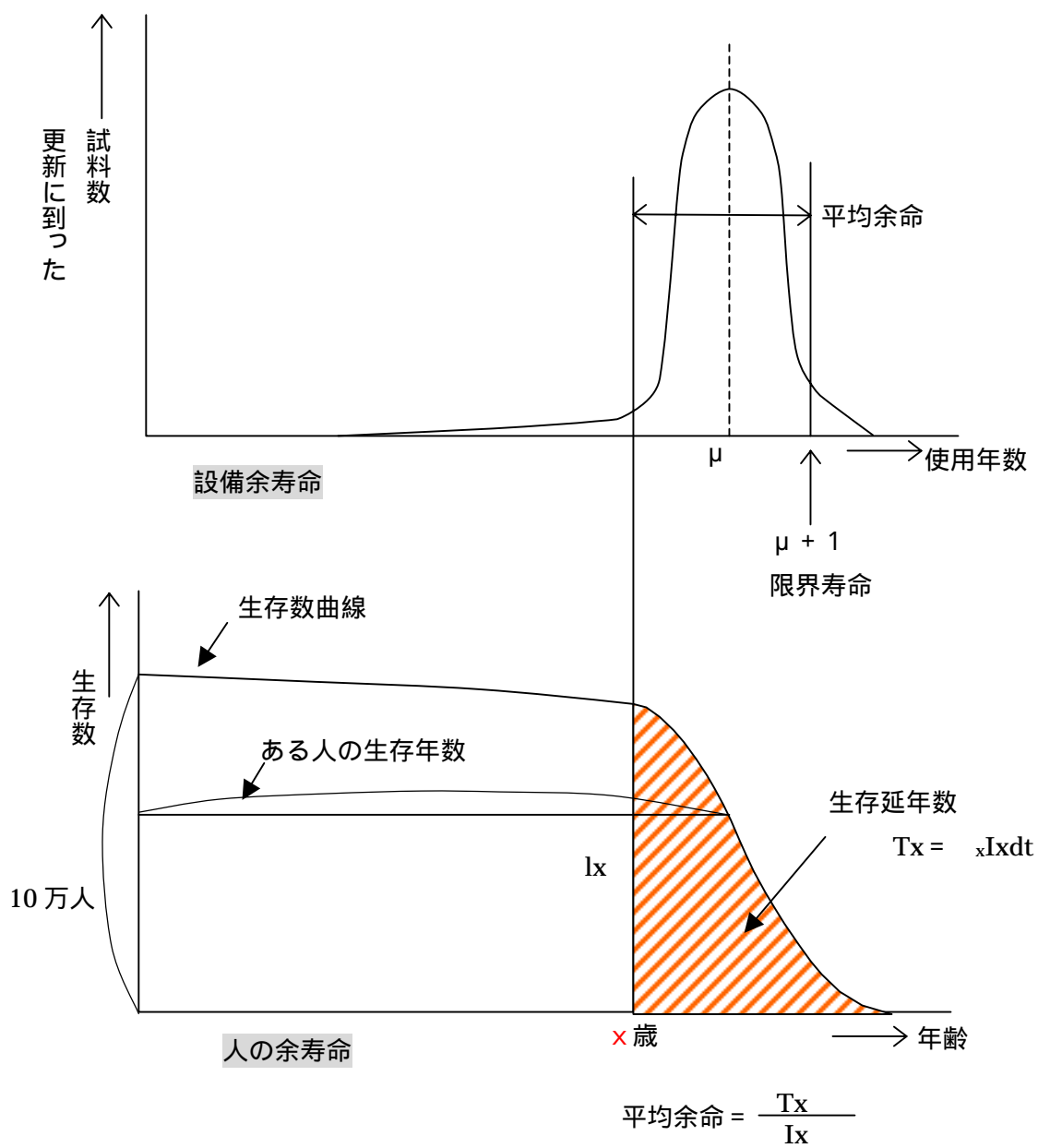


図 3 . 1 . 1 設備余寿命の考え方と人の余寿命の考え方との関連

3) JEMに見る電気設備寿命

(社)日本電機工業会が平成元年9月に発行した「汎用高圧機器の更新推奨時期に関する調査」報告書と平成4年3月に発行した「低圧機器の更新推奨時期に関する調査」報告書では対象機器の更新推奨時期を表3.1.1のとおりとしている。

この更新推奨時期は、機能や性能に対するメーカーの保証値ではなく、通常的环境下で、通常の保守・点検を行って使用した場合に、機器構成材の老朽化等により、新品と交換した方が経済性を含めて一般的に有利と考えられる時期である。

表3.1.1 各機器の更新推奨時期

機 種	更新推奨時期		
高圧交流負荷開閉器 *	屋内用 15年 又は定格負荷電流開閉回数 200回 屋外用 10年 又は定格負荷電流開閉回数 200回 GR付開閉器の制御装置 10年		
断路器 *	手動操作 20年 又は操作回数 1000回 動力操作 20年 又は操作回数 10000回		
避雷器	15年		
交流遮断器 *	20年 又は規定開閉回数		
計器用変成器	15年		
保護継電器	15年		
高圧限流ヒューズ	屋内用 15年 屋外用 10年		
高圧交流電磁接触器 *	15年 又は規定開閉回数		
高圧進相コンデンサ	15年		
直列リアクトル、放電コイル	15年		
高圧配電用変圧器	20年		
配線用遮断器	15年	機器は左記年数で更新を推奨する。 ただし、機器には規格に定める開閉回数等があるので、その場合はその時点が交換時期となる。	
漏電遮断器	15年		
電磁開閉器	交流電磁開閉器	10年	
	電磁接触器	10年	
	コンタクタ型電磁継電器	10年	
低圧進相コンデンサ	10年		

*印を付した開閉器類については、交換可能な部品の最短寿命を表すものではなく、保守・点検状況又は製造者の推奨する部品交換条件に従って、消耗部品、摩耗部品は適宜交換されることを前提としている。

また、長期間保管した予備品は、十分な点検・整備を行ってから使用されることが望ましい。

4) 耐用年数と保全・修繕

下水道機械や電気設備は、使用年数の経過につれて逐次その機能が低下し、やがて通常の保全や修繕を行っても使用に耐えない状態になる。それまでの期間を物理的耐用年数といい、これまでの平均寿命の実績等から各設備や機器ごとに法定耐用年数を決めている。

しかし、個別の設備や機器については各々の使用環境や保全・修繕の実施状況によりその寿命にはバラツキがある。設備・システム・機器は、導入してから物理的耐用年数に至るまでに機能や性能は徐々に低下するが、補修や部分更新を実施してある程度の回復を図りながら使っていく。

余寿命は、適正な使い方、点検や保全・修繕が行われていれば、通常、物理的耐用年数までは期待できる。その間、機能や性能を維持するために定期的に点検や設備診断を行い、必要に応じて部品交換や部分補修を繰り返すが、MTBF (Mean time between failures : 平均故障時間 : 故障から次の故障までの平均時間) を一定以上に保つためには、MTBM (Mean time between maintenace : 平均保守間隔 : 保守する平均間隔) はその周期が次第に短くなっていく。

一方、MTTR (Mean time to repair : 平均修理時間、故障したシステムの修理、復旧にかかる平均時間) は、補用部品がないとか扱える技術者が少なくなっている等の理由で次第に長くなっていく傾向になる。MTBF は長いほど信頼性が高い、また MTTR は短いほど保守性が高いといえる。ちなみに稼働率は MTBF を MTBF と MTTR の和で除すことで求められる。

図3.1.2は、稼働開始後の機械や電気設備の補修や部分更新の一般的な概念を示したものである。設備の信頼性を保ち、実用上支障のない故障率に抑えるために初期段階では基準通りの部分交換や部分補修で済んでいたものが、経過年数とともに部分更新が必要となり、かつ補修・改善の周期も短くなっていることを示している。

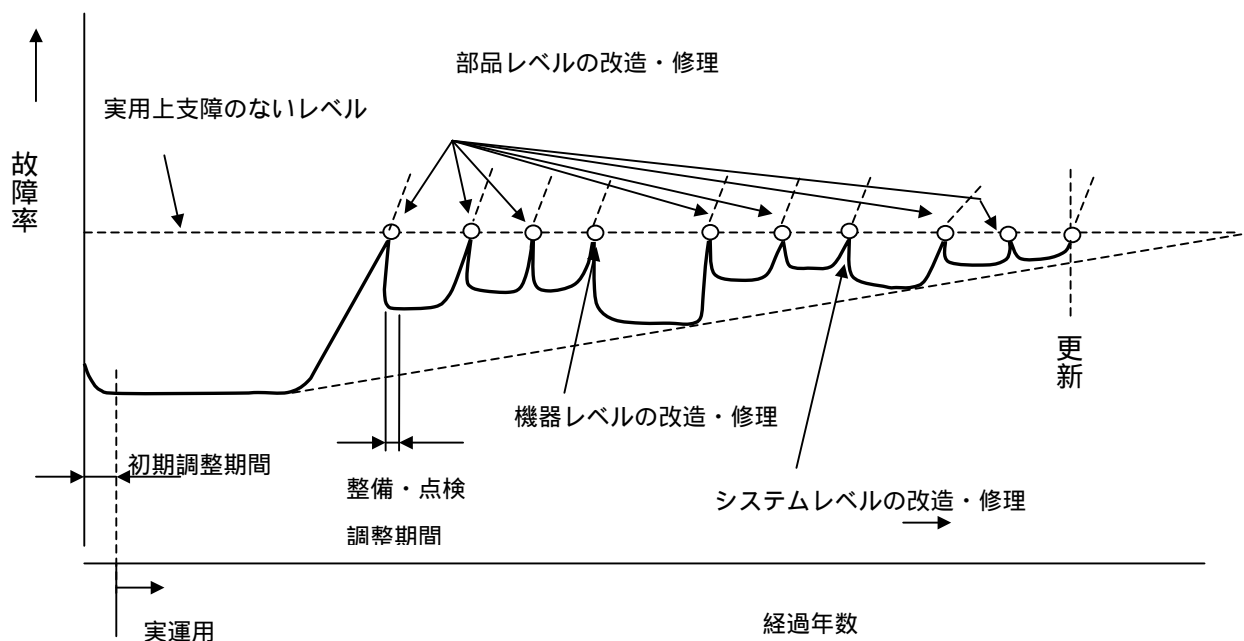


図3.1.2 設備・システム・機器の改造・修理パターン

5) 余寿命診断技術

設備診断技術の基本は損傷評価である。余寿命は、損傷評価により損傷量を求め、その結果を基に運用計画等を考慮して余寿命診断より算出する。各評価手法は高温・高圧用金属部材を対象として研究されており、次のようなものがある。

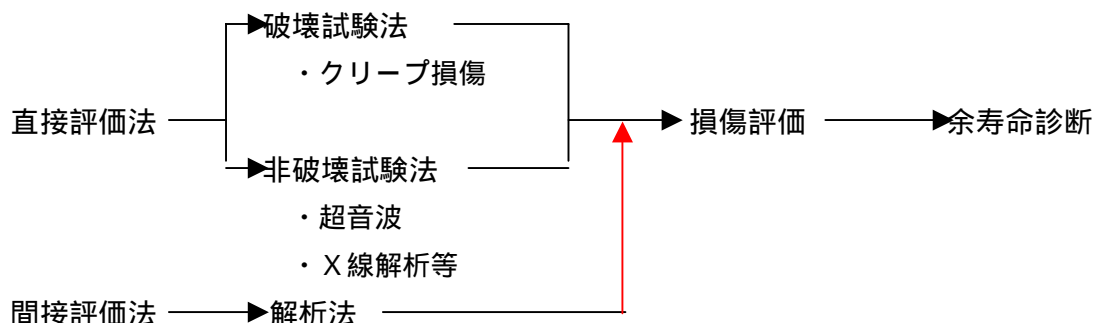


図3.1.3 評価手法

(1) 破壊試験法

実機部材からサンプル（試験片）を採取し、一定の温度・圧力などの試験条件を設定してクリープ破断試験を実施して、一定荷重、又は応力のもとで時間とともに材料の変形が増加する現象のクリープ損傷の余寿命を評価する。

長所：評価時点での損傷状態を高精度に評価できる。

短所：モニタリングが困難で、サンプル採取、サンプル採取後の補修、評価に時間と費用を要する。

(2) 非破壊試験法

超音波、X線解析、探傷試験等により、部材の金属組織や物性値が損傷の進行とともに変化する状態を非破壊的に診断する。クリープあるいは疲労損傷の評価が可能である。

長所：定期実施によるモニタリングが可能で、経済的かつ効率的である。

短所：狭小部、内表面や機器内部への適用が困難である。

(3) 解析法

対象箇所の温度・圧力を有限要素法を用いて解析し、その結果と対象部材のクリープ強度等の材料強度特性から損傷量を計算し、余寿命を評価する。

長所：過去及び将来の運用形態に応じた損傷評価が可能で、損傷の進行度合いに応じた合理的な運用法が決められる。

短所：材料強度特性等の解析用データに関連する誤差発生の可能性があり、解析に費用と時間がかかる。

(4) 余寿命診断の精度

余寿命診断の精度に関して、前述の各手法は図3.1.4に示すように倍・半分(factor of 2)の評価精度が期待できる。したがって、評価値として算出された余寿命の50%値を採用すると安全であり、妥当と考えられる。つまり余寿命が10年と診断された場合、その余寿命推定値は5年から20年の範囲内となる。

この場合、評価余寿命値として、その 50% 値である 2.5 ~ 10 年を採用することになる。結果的に評価余寿命値が実際の余寿命を超えることはなく、安全側の評価が可能である。

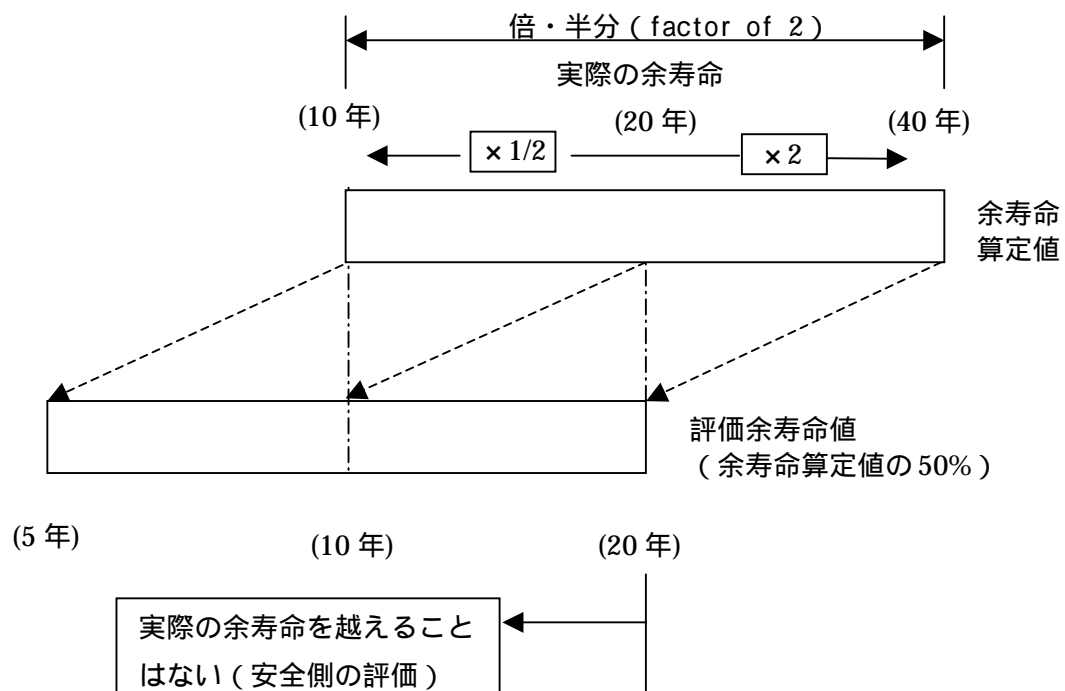


図 3 . 1 . 4 倍・半分法

(5)有限要素法 (F.E.M : Finte element method)

有限要素法は、1950 年代の初め頃から航空機の設計をしていくために開発された。航空機のように実機による試験は莫大な費用と危険を伴うので、「なるべく机上でシミュレーションができないか」という目的とニーズで生まれたものである。

基本的な考え方は、どんなに複雑な形状でも細かく分析すれば簡単な形状の集合体なので、細分化された単純な形状の応力・ひずみなどを求める方程式を使い計算していくというものである。具体的には、マトリックス(行列)を使って何万、何十万という方程式を解いていくため、コンピュータで計算する必要がある。有限要素法で求められるものは、応力・ひずみ・変位・固定振動数・振動モード等となる。

(6)有限要素法の下水道設備への適用

有限要素法による余寿命診断技術は、下水道機械では主に汚水・雨水ポンプや原動機等を対象として亀裂破断等の故障を未然に防止することに主眼をおいて検討されている。金属部材の損傷度を評価することで余寿命を判定している。耐腐食性などで高価な部材を使用している機械が多い中で、前述のような評価精度 2.5 ~ 10 年といった開きは補修コストを押し上げる可能性もあり、実適用までにはまだまだ課題が多い。図 3 . 1 . 5 に応力解析による寿命評価を示す。

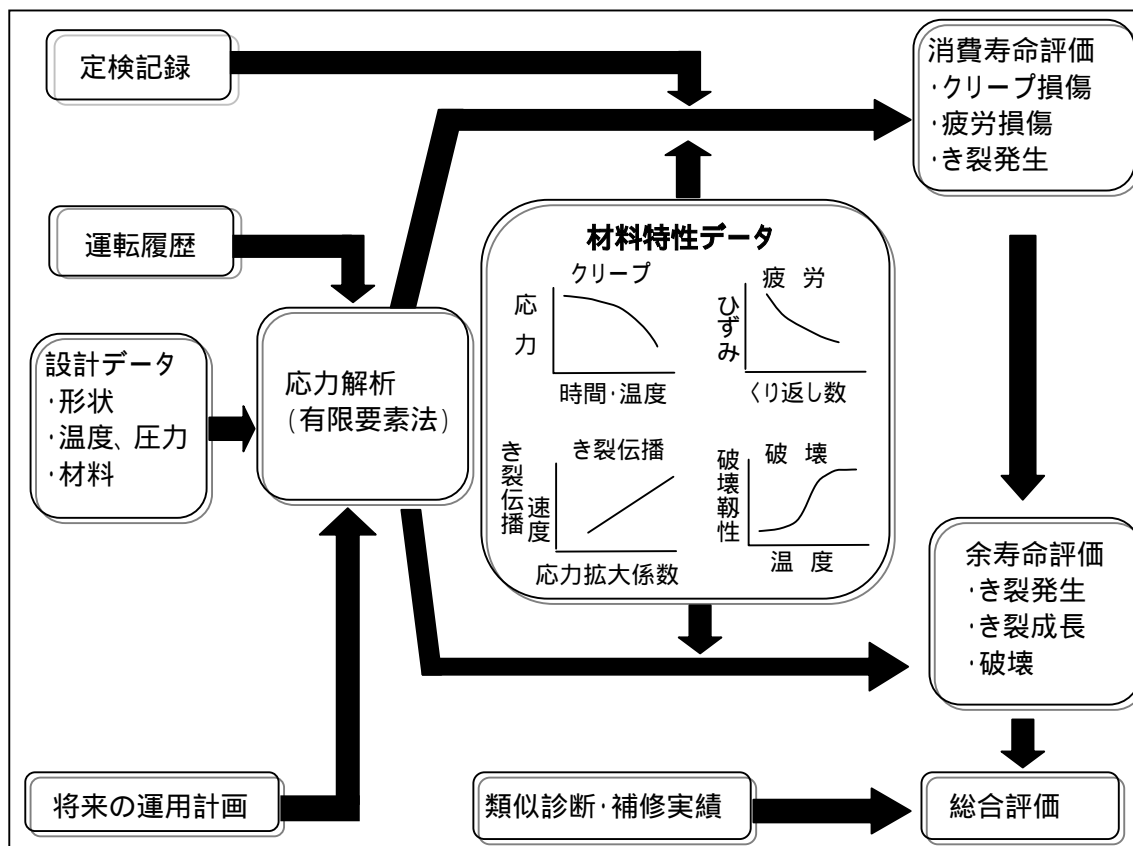


図 3 . 1 . 5 応力解析による寿命評価

3 . 2 余寿命の診断技法の現状と課題

余寿命診断技法は、故障の発生する時期を機器の劣化状態の計測値を基に予測する技術である。余寿命が適切に把握されれば効果は大きい、現在ある診断技法ではその信頼性と費用の関係が大きな課題である。

機械や電気設備についての余寿命診断技法は、蒸気タービン、ボイラー、油入変圧器等の材料の耗や絶縁劣化度合いを計測して診断する等、一部の単独機器についての技術は開発されているが、設備やシステムに関する文献は見いだせない。機械や電気設備の余寿命診断は、一般的には金属組織学的な劣化や損傷のレベルで議論されることが多い。また腐食診断は各材料と腐食形態の進行速度の違いや運転面や環境面が変化していることから難しいとされている。

しかし、ある機器や設備全体の寿命は狭義の余寿命診断による一部分の評価結果からのみから決まるわけではなく、設備の運用や現場での多種・複数のデータによる総合的な診断・評価から決定されるべきものである。

前述の直接評価法や間接評価法の特徴を把握して複数の手法を併用した合理的な評価も場合により必要ではあるが、費用対効果の面では現時点で有利な技法ではない。厳しい使用環境で運転され、限られた要員で維持管理されている下水道の機械や電気設備の余寿命診断は、熟練技術者が目視点検や精密点検で調査した劣化の度合いと標準的な耐用年数から、図 3 . 2 . 1 に示すように余寿命を判定する技法が实际的である。この技法は、東京都下水道局の設備老朽度診断調査で開発され、余寿命を現在の劣化度（チェックリストの項目を数値化したもの）と標準的耐用年数から判定する。

いずれにしても劣化度の評価精度をより上げるためには前述の科学的余寿命診断技術について低コストで、かつ短期間に診断できるような技術開発が望まれる。

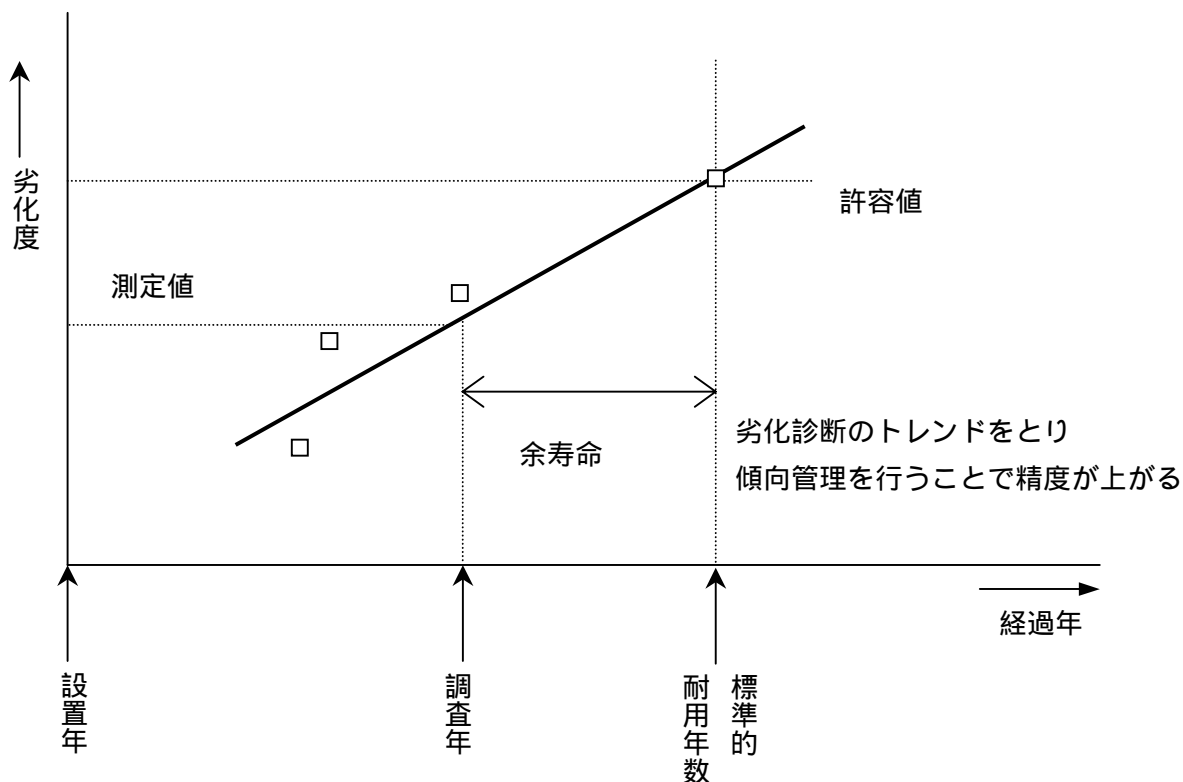


図 3 . 2 . 1 余寿命の概念図

3 . 3 現在採用されている診断技法

既に下水道設備の診断技術として東京都下水道局では次のものが採用されている。

1) ポンプ総合診断システム

概要

吐出圧変動及びポンプ・電動機振動加速度のスペクトル分析結果をもとに、特定周波数成分のレベル卓越度の絶対値及び相対値を評価する。さらに、ポンプの仕様、故障、補修歴などのデータベースを加えて、ポンプ羽根車及び翼端隙間等の異常を診断するシステムである。

コメント

機器を引き上げ分解しないで診断するシステムである。

2) 高圧電動機の絶縁診断

概要

高圧電動機(発電機)のステータコイルの絶縁劣化状況を絶縁層中で発生するコロナを検知する高精度の診断技術である。

コメント

分解することなく診断ができる。

3) 遠心分離機診断システム

概要

振動解析の手法を用いて遠心脱水機・濃縮機の状態監視を行い、異常部位の特定や高速回転部の劣化度合いを容易に、しかも確実に診断する技術である。

コメント

ハンディ測定式は、現場管理用として有効である。

3.4 診断システムの提案

診断技術及び保全技術の進歩は著しいものがある。機器単体での診断システムだけではなく、オンラインに組み込んだものが出現してきている。後者は今後、さらに充実されるであろう。

ここでは、次のような機器単体での診断システムが効果的なものについて提案する。

1) ポンプ性能診断システム

概要

流量計や特別機器を用いず、イエッツメーター(人名をつけたメータ)によって稼働中のポンプの圧力、温度を検出してポンプ効率を測定するポンプの性能診断システムである。

コメント

ポータブルマシン(イエッツメーター)でポンプの性能を把握するものである。

2) ポンプ羽根厚み及びギャップ計測システム

概要

立軸ポンプにおける羽根とケーシングの間隙は、水中軸受の磨耗、吊り上げ台の温度やスラストなどによるシャフトの伸びにより変化する。

このため、運転中の羽根とケーシングの状況を隙間と羽根の厚さ等を実際に計測し、これを管理することは、保全管理上有効な手段である。

コメント

診断システムのセンサ部のメンテナンス性に左右されるが期待が持てる。

3) 無停電電源装置用のバッテリー劣化診断

概要

蓄電池は数十個のセルを直列接続して使用されるが、それらのうち1個でも劣化を生ずると、全体の能力の低下となる。個々のセルの劣化を常時監視することによって、劣化したセルの排除交換を迅速に行い、停電時の安定電力を確保する装置である。

コメント

バッテリーは新品であっても極板破損などの故障劣化を生ずることがあるので、個々のセルの状況を常時診断することは、無停電電源装置のメンテナンスに大変有効である。

4) 小・中形電動機の軸受診断

概要

振動センサによる電動機の振動波形などの分析から、軸受の劣化状況を判断する技術である。

コメント

装置の価格は安いと思われるが、状況を判断するデータの集積のためのノウハウが必要である。

小中形電動機は安価のうえ、予備機が設けられていることが多いが予防保全に有効である。

5) 電気機器設置環境診断

概要

測定ユニットを現地に暴露設置して、温度、湿度、腐食性ガス (SO_2 、 H_2S 、 NO_2 、 Cl_2 、 NH_3) と海塩粒子及び機器の汚損を測定し、環境評価点を算出し、環境の有害度を判定する診断技術である。

コメント

環境の有害度を知ること、現地の管理員の健康管理、設備管理意識の向上に役立てることができる。

6) 塗膜劣化診断

概要

一定面積当たりの塗膜の抵抗を測定することで、塗装の劣化状況を判断する技術である。

コメント

水中構造物など常時目視できない部分の塗装の診断には有効である。

7) スイッチギアの絶縁診断技術

概要

高圧スイッチギア (遮断器、接触器) の絶縁劣化を、開閉時に発生する微弱なもれ電流と超音波から診断する技術である。

コメント

スイッチギアの絶縁劣化を技術的に診断する技術である。

8) 精密診断システム

概要

設備診断の専門家が行っていた、振動波形の信号処理・異常原因判定を全自動で行い、報告書まで作成する、振動診断のトータルシステムである。

コメント

汎用性には、パターン認識のデータが必要である。

9) 運転中の絶縁診断技術

概要

高圧電動機の巻線の劣化診断を電動機運転中に行うことにより、停止中の測定では診断できないスロット内の巻線固定のゆるみによる劣化や、コイルエンド部の絶縁劣化を知ることができるなど、より精度の高い劣化診断が行える技術である。

コメント

重要度の高い主ポンプの電動機などには、精度の高い予防保全が求められるので、結線の切り離しや機器の長時間停止を必要としない本方式は有効と思われる。

10) 計測用サーモグラフィ装置

概要

好感度の赤外線センサを用いた画像表示装置 (一種の ITV カメラ) を用いて通電状態で設備の発熱個所を正確に検知するもので、これによって、導体の接触不良、絶縁体の漏れ電流による発熱部を把握して、電気火災事故を未然に防止することができる。

コメント

圧着端子部の接触不良や電磁開閉器の接点不良に伴う発熱や、コンベヤベルトやVベルトの滑りによる発熱を早期に発見できる。

11) 蓄電池設備の寿命劣化診断技術

概要

蓄電池の1セルごとに規定電流の短時間(500mSec)放電を行わせ、そのとき端子電圧の値を50msecごとにプロットした電圧降下特性グラフから単電池ごとの劣化状態を判定する技術である。

コメント

バッテリーの劣化状況は、セルごとに異なっているのが普通である。常時あるいは定期的に各セルの劣化状態が判定できれば、劣化の著しいものをその都度交換することで、全体を一度に交換する従来の方法に比べて、コストの面で有利である。

12) 異音診断装置

概要

音響センシング技術とパターンマッチング技術で、官能(聴覚)検査を自動化する診断装置である。

コメント

工場製品の官能検査の自動化には、極めて有効であるが、下水道施設の保全検査への適用は多品種であるが期待がもてる。

13) 電動機の状態監視保全支援システム

概要

主要な電動機、発電機などの運転状況を本体に取り付けたセンサーと機側に設置した伝送装置により監視所へ常時伝達するシステムである。監視項目には、温度、振動、絶縁劣化による部分放電などがあり、1ユニット当たり8回線の伝送ができる支援システムである。

コメント

これらの遠方監視は従来も一般的に行われているが、1電動機ごとにユニット化しているところに注目したい。汎用性、メンテナンス性に富むと思われる。

14) 変電所予測保全システム

概要

変圧器を高信頼度状態に維持するため、従来の巡回定期点検に代えて、機器の内部の状態、開閉器、遮断器の劣化状況、避雷器の絶縁劣化などの連続監視して、異常兆候を迅速、的確に警報して、事故を未然に防止する「予測保全」の技術である。

コメント

従来の油温、ガス圧等に加えて、コイルの部分放電や漏れ電流などのセンサーを用いている。

第4章 LCCの低減策

4.1 LCCの低減策概論

LCCは、建設費と維持管理費の合計であり、更新に当たり設置何年後に更新するのが最も経済的であるかを評価するもので、これにより設備の経済的耐用年数が設定される。

コストは企画設計や建設費よりも、建設後にかかる維持管理費が4～5倍にもなるといわれている。したがって、LCCの低減方法には、建設費を低減する方法及び維持管理費を少なくする方法等が考えられる。

建設費は安価であるが維持管理費が高い、あるいは建設費は高いが維持管理費は安いシステムが考えられ、設備建設計画には維持管理費を考慮することが非常に重要なものとなる。LCCの低減の視点からは、これらのコストの低減はもとより、地球温暖化、少子高齢化等の社会的要請に対応するため、環境に配慮した省エネルギー化、省力化（無人化）及び廃棄物処分に配慮した製品等の採用も考えていかなければならない。

例えば、「消費電力を大幅に削減したエアレーションシステム」、「熱効率の高い焼却システム」及び「ITを活用した維持管理システム」等が提案されており、これらの検討にあたり、LCCの視点が重要となる。

4.2 建設費の縮減

LCCの低減には、建設費の縮減とLCAが配慮された機器の採用が必要である。

1) 建設費の直接的コストの低減

建設費の縮減は永遠の課題であり、常に色々な手法で取組まれているところであるが、今後は特に次の項目を適用できるようにシステムを整備する必要がある。

(1) 製作者の標準機器及び汎用機器の採用

下水道設備には1・1で述べているような特徴があるが、一般産業用機器との大きな違いは設置環境の違いであり、機能そのものは大きな違いがないので、維持管理を充実させて運転上のリスクを少なくして汎用機器等を採用してコストを低減する。

(2) 性能発注、入札時VE等の発注方式の改善

現在、発注方法は競争性の確保、談合防止、技術力評価、安値受注防止等のためあらゆる方式が検討されている。しかし、まだ大半は一般仕様書及び特記仕様書で詳細の仕様が規定されており、請負者側の技術力及びコスト縮減の裁量が少ない。総合評価方式、性能発注方式及び入札時VEの導入など請負者が技術力を担保できる方式と、コスト縮減に対するインセンティブが働くような方式を改善することが必要である。

2) LCCを考慮した機器の選定

LCCの低減には建設費の低減が重要な要素になるが、生涯コストの面から機器を選定することが必要である。

(1) 環境に優しい製品

生涯コストを縮減するため処分費も考慮して環境に優しい製品を使用するようにする。例えば、リサイクル・再使用が可能な材料や分解容易な製品とする。

(2) 総合的コストの縮減に寄与する製品

荷重、高さ、設置面積等で土木・建築施設の費用を縮減する機器を選定して、総合的に費用コストの縮減を図る。

(3) ユーティリティ費の少ない製品

水、燃料、薬品、電力等のユーティリティ費の少ない機器及び省力化、ノーメンテナンス機器を選定して維持管理費の縮減を図る。

(4) 再構築を考慮した機器

設備は再構築が不可欠であるので、再構築を考慮した機器の選定や配置により、将来の工事に制約が出ないように考慮して、将来の再構築工事費の縮減をする。例えば、ユニット式で組立や撤去が容易なもの等である。

4.3 維持管理費の削減

1) データベースの充実

運転、故障、整備状況(補修・改良)等のデータの推移をみることで、異常の兆候をいち早く発見できるとともに、設備のウイークポイントを把握することも可能である。従ってデータベースの充実が維持管理費の低減に必要な最小限の条件である。

具体的データとしては表4.3.1に示すように点検・保守、補修・改良、運転、故障等のデータである。重要なことは常にデータの分析をすることである。そのためにはパソコン等IT機器を有効に活用して、いつでも容易に取り出して加工可能な形で長期間にわたり適切に保管することである。長期間にわたりデータを活用するためにはデータ様式等を統一して、データの比較に一元性を持たせる。

補修・改良の記録は、設備の機能及び劣化状態等を定量的に把握するための基礎資料として、可能な限り詳細に記録しておくべきである。測定値等のデータは計測値が許容値に入っていて問題のないものでも、その変化を見ることで、保全における重要な判断材料となる。

表4.3.1 データベースに必要な項目と内容

項目	内容
運転記録	運転日誌、運転条件、運転時間(総運転時間、年平均運転時間、年毎運転時間等)
故障記録	故障部位、故障内容、故障原因、故障発生年月日、修理処置内容
点検・保守記録	日常、定期(精密点検含む)、臨時点検結果、及び外部委託の費用
補修・改良記録	補修・改良内容、補修・改良年月日、交換部品等名称、補修・改良費用
ユーティリティ	使用量及び費用(電力、薬品、水)

2) 予防保全の充実

使用環境の管理と適切な保全は設備の劣化の進行を遅らせることが可能で設備の長寿命化に結びつくものである。良好な使用環境の管理と計画的かつ適切な予防保全は設備の異常を早めに発見できて、それを適切に措置することによって維持管理費の低減及び機能維持に結びつくものである。

(1) 保全方式

設備の保全方式には一般に図4.3.1のように事後保全(BM: Breakdown Maintenance)と予防保全(PM: Preventive Maintenance)に分類される。

事後保全は設備・機器が故障してから運用可能状態に回復するために行う措置である。突発的な故障でも損害が少ない、故障率が非常に低い、点検や診断、又は使用時間による故障の予測が不可能の場合や予期せぬ突発的な故障、予備機を持っている設備には有効である。方法には通常事後保全(PBM: Planned breakdown Maintenance)と緊急保全(EBM: Emergency breakdown Maintenance)に分けられる。

予防保全は設備・機器の使用中的故障を未然に防止し、設備・機器を使用可能状態に維持するために計画的に行うものである。その方法には時間計画保全(TBM: Time Based preventive Maintenance)と状態監視保全(CBM: Condition Based preventive Maintenance)に分類される。

時間計画保全は使用時間を根拠に実施する保全方法であり、故障率が時間とともに増加する故障率増加形に有効である。ただし、この方式は設備を集団として捉え、統計的信頼理論により保全アクションを決定しているため、統計変動に起因する誤差がある。すなわち、過剰な保全になるリスクがある。

状態監視保全は設備診断によって設備の状態を観測して、その観測値に基づいて実施する保全方法であり、予防保全の時期や方法及び予備品の発注時期を決定するため、予防保全活動の信頼性や経済性を大きく改善できる。適用できる設備の割合が多く、かつ複雑な構造の設備に対しては効果大きい。ランダム故障形の設備に対しても適用できる。具体的には日常点検、定期点検、精密点検(設備診断含む)の結果を基に、補修・改良工事等で措置している。

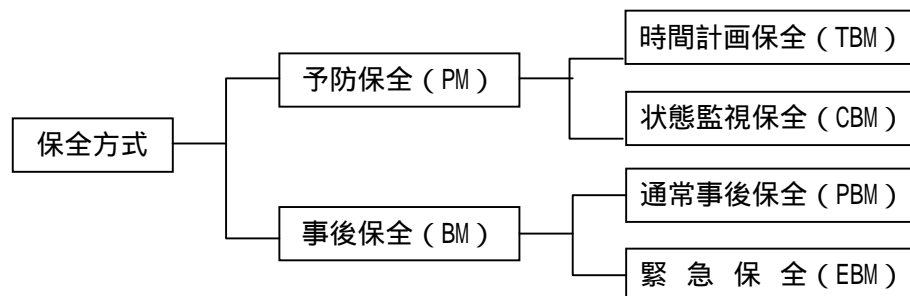


図4.3.1 保全方式

(2) 効果的予防保全

効果的予防保全の実施は設備の信頼性の向上及び長寿命化を図り、維持管理費の縮減を図る。そのための留意事項は次のとおりである。

予防保全には PDCA サイクル、すなわち計画 (Plan)、実施 (Do)、確認 (Check)、行動 (Action) を繰り返し、保全技術の向上に努める。

保全対象設備の原理、特徴、ウィークポイント及び保全のポイントを整理して、保全点検基準及び点検チェックシートの充実を図る。

日常点検での目視点検を重視して異常の早期把握に努める。そのためには点検回数よりも内容の充実に力点を置く。さらに、効果を得るには設備の組立技術及びウィークポイントを十分に把握することと、それ相当の経験が必要なので保全員の人材育成及び能力開発が大切である。目視点検をフォローするためには設備診断技術を活用して判断の客観性を持たせる。さらに保守点検及び運転等のデータの分析からデータの傾向管理から異常現象の早期発見に努める。

設備の異常、故障、事故の考え方を整理する。すなわち、異常は設備・機器が動作しても所定の機能・能力を発揮しない場合や発揮してもメカニカル的に正常状態から変化が生じていること等で故障や事故の前兆となる。故障は一般的にある程度予想ができるものもある。設備の故障を未然に防止するため保護装置がついているが、保護装置は一次原因を検出できないので二次原因で検出していることを理解する。例えば、ポンプの羽根車に異物が詰まった場合、一次原因である異物は検出できないが、過負荷により二次原因の過電流を検出して故障を防いでいる。

事故は一般的に天災、故障等により人身事故やプロセスに重大な影響を及ぼした場合等予期せぬ事態が発生した場合をいい、措置の対応には緊急性が要求される。

異常現象や故障の原因の究明には、あくまでも客観的追及に努力をする同時に、類似の設備に水平展開や設備メーカーに情報を提供して再発防止に努める。

高度の技術を要する電気設備、ガスタービン、主ポンプ等の設備は、乗用車の車検に相当するように計画的にメーカーによる精密点検を行い機能保全に努める。

設備の寿命に影響するじんあい、水分 (湿気) 油分の付着状況にも気を配り、清潔等、常に適切な状態を維持する。また湿気、温度、腐食ガス等設置環境の改善にも配慮する。

テスター、絶縁計等の保全用計測器は常に校正を行ない、適切な状態しておくものとする。

電気設備は技術的に分解が難しいことや技術進歩が早いのでメーカーのデータを参考にする。

資料 4 - 1 に「受変電設備の保守点検について[閉鎖配電盤]」、資料 4 - 2 に「閉鎖配電盤及び内臓部品取替目安」を示すので参照考にして頂きたい。

(3) 補修・改良工事の適切な実施

補修・改良工事の適切な実施は機能維持及び設備の長寿命化のため最善の方法でもある。

適切な実施とは常に次のことを留意して費用対効果を把握する。

設備を常に機能維持するためには補修・改良工事の計画を策定して、毎年ローリングしながら財源の確保を図る。予防保全はややもすると過剰対応となりがちなので留意する。

補修工事は悪いところを修理するもので、どちらかといえば緊急避難的要素が強く、早晚改良工事等の対応が必要なので対象設備の寿命期間を考慮して実施する。

改良工事は事前調査を重視して工事目的を明確にする。工事完了後にはその目的が達成したか

フォローする。

また改良工事を実施する場合は、改良箇所と他の箇所とで機能及び寿命協調が取れているかをチェックする。これを実施することによってバランスの取れた設備の長寿命化が可能となる。改良工事の実施には優先度、緊急度を考慮して改良時期を分散して工事の平準化を図る。

現在価額を上回るような大規模な改良工事はLCCの面から検証も必要だろう。また従来の機能を上回るような新たな新規軸を考え実施する努力をする。

定期的補修・改良工事の間隔が短い場合は部品の改善に工夫する。例えば、ろ格機のローラ材質の耐磨耗化、主ポンプの羽根車の耐磨耗・耐腐食化等である。これは日頃十分に分析すれば同様な案件が改善される可能性がある。

4.4 設備の長寿命化

設備の長寿命化には機器材料を高度化することが必要であるが、現在の法定耐用年数を十分に分析して対応することが求められる。すなわち、必要以上に長寿命化は費用が高むだけでなく、技術進歩の反映機会が少なくなり、技術的に陳腐化した機器を使用することになり、総合的に無駄が生じる可能性がある点も留意する。

1) 効果的予防保全の実施

前項の効果的予防保全に準じて、当初設置した機器の寿命を伸ばす工夫をする。

2) 使用環境の改善

設備の腐食性ガス、湿気等の悪い使用環境は改善を図る。これによって設備の長寿命化と作業環境に貢献できて、効果的予防保全に結びつく面が多い。

3) 長寿命製品の開発

耐腐食性及び対磨耗性材料の使用を図る。

電気設備等複雑な設備にはRAS (Reliability Availability Serviceability : 故障に至る異常検出機能)機能を装備してオンラインで異常検出をできるようにする。

構成部品に寿命協調を図り磨耗しやすい部分は、消耗品扱いとして容易に交換できるようにしてコストを下げるようにする。

性能、機能の向上を図り、LCAの考え方を取り込んだ機器の開発をする。

省資源、省エネルギー、ノーメンテナンス機器の開発をする。

第 5 章 LCC の計算実例と考察

5.1 資料の収集

ここでは東京都下水道局が管理している各種データのうち、LCC 計算に必要な資料名を次に示す。

1) 資料の種類

(1) 主要設備帳票

建設当初からの、建設工事、改良工事、補修工事の明細（主要機器号機毎に請負者、請負金額、工期、製作者、工事概要等）は「主要設備情報システム」として電子データで入力されている。ただし、平成 7 年以前の補修・改良工事請負金額は書類で管理されている。

(2) 機器故障報告書

管理事務所のポンプ所及び処理場で発生した故障を発生順にまとめ、施設管理部に電子データとして報告したものである。これは、故障の措置（直営、簡易補修、請負者対応、次期工事待ち等）の決定以前の詳細な故障報告書である。

(3) 故障一覧

故障一覧は故障報告書の措置決定をした後の表で、主要機器の簡易補修工事(以下「B 請け」という)の内容が記載されている。

(4) 主要機器配置図

主要機器配置図は主要機器の号機配置が把握できる。

(5) 施設概要

施設概要は毎年発行されるもので、設備毎の仕様、設置年度、製作者等が記載されている。これは平成 12 年度から電子データ化されている。

(6) 建設工事の設計書控

設計書控は、昭和 30 年代から保存されている。対象主要機器の建設工事の設計金額及び金額工事内訳が記載されている。

(7) 年度別 B 請け執行一覧表

年度別 B 請け執行一覧表は処理場・ポンプ所毎に B 請けの工期、設計金額、契約金額が記載されている。（「簡易起工整理簿」「簡易処理執行調書」ともいい、各管理事務所等でデータ管理されている。）

(8) 機械設備台帳

機械設備台帳は主要機器の仕様と改良・補修の経緯（工事年月・工事内容・請負者・工事金額）が手書きで記載されている。

(9) 積算基準

東京都下水道局の設備工事積算基準は 20 年以上前のものから保存されているので、機器仕様が確認できれば、建設当初の機器価額が算出できる。

(10) 事業年報

事業年報は年度ごとに東京都下水道局で実施されている事業概要がまとめられている。

5.2 計算条件

LCC の計算及び考察の条件は次のとおりである。

1) 計算条件

東京都下水道局の設備について前項の資料を参考に収集可能な範囲で LCC の考察を行ったものである。ただし、計算を簡易とするため落札率、機器価額、人工の数値等を若干修正して計算した。

2) 資料の電子データ化

東京都下水道局では、資料の電子データ化整理が平成年代から本格化したため、それ以前の資料の収集は時間の制限がある中、極めて困難と思われる。したがって、更新予定施設の LCC 考察には収集可能な資料を用いてある程度の推測を入れて判断しなければならないことを念頭に置く必要がある。

3) 設備群での考察

下水道設備機器において、焼却設備等単体で大規模な機器以外の中小規模機器では、改良・補修工事及び故障の機器の特定が困難であり、かつデータが少ない。このため機器単体の LCC 調査でなく、ある程度のグループ(同一建設年度あるいは数年の建設年度内で設置した機器)として捉えた方が精度は上がるものとする。また、下水道施設の中小規模設備機器の更新は単体でなく運転管理の問題からある程度のグループでの更新となるので、この点からもグループとしての考察で問題はないと考える。

5.3 Aポンプ所雨水ろ格機の事例

1) Aポンプ所の雨水ろ格機の工事、故障経歴

5.1 に示すようにの資料収集(1)(2)(3)(7)(8)(10)より建設当初から最近までの雨水ろ格機に関する工事及び故障状況を表 5.3.1 のように一覧表にまとめる。

表 5.3.1 Aポンプ所の工事・故障経歴

工事完成日 故障発生日	工種等	工事概要及び故障内容
昭和 49 年 6 月	建設工事	請負費：19,570 万円(請負者：A 社) 雨水ろ格機：8 台、ろ格機仕様：幅 1.95m、高さ 5.5m、目幅 50mm 揚砂機 1 台・阻水扉：8 門等 (内：雨水ろ格機関係取得価額：4,400 万円)
昭和 52 年 3 月	建設工事	請負費：9,000 万円(請負者：B 社) 雨水ろ格機：4 台 汚水ろ格機：2 台 (内：雨水ろ格機関係工事費：3,070 万円)
昭和 59 年 3 月	改良工事	請負費：1,280 万円(請負者：C 社) 雨水ろ格機：4 台 改良部位：フェイスプレート・従動軸等

昭和 59 年 12 月	改良工事	請負費:4,890 万円 (請負者: A 社) 雨水ろ格機: 8 台、改良部位: フィ ンスプ 口ット等 汚水ろ格機: 2 台 改良部位: フィ ンスプ 口ット等 (雨水ろ格機関係工事費: 3,912 万円 = 全体工事費 の 8/10 掛けとした。)
平成元年 8 月	故障(1)	雨水ろ格機: 水中部異音発生(直営修理)
平成 2 年 6 月	故障(2)	雨水ろ格機: アタッチメント取付ボルト孔磨耗
平成 3 年 8 月	故障(3)	雨水ろ格機: 過電流検出器故障(直営修理)
平成 3 年 12 月	故障(4)	雨水ろ格機: 間欠運転用タイマ-故障(B 請け)
平成 5 年 8 月	故障(5)	雨水ろ格機: 点検歩廊破損
平成 5 年 3 月	補修工事(1)	請負費: 1,890 万円(請負者: D 社) 雨水ろ格機: 4 台 補修部位: フィ ンスプ 口ット 従動軸等
平成 6 年 3 月	補修工事(2)	請負費: 1,678 万円(請負者: D 社) 雨水ろ格機: 2 台 補修部位: フィ ンスプ 口ット 駆動軸・従動軸等
平成 6 年 5 月	故障(6)	雨水ろ格機: 間欠運転用タイマ-故障(直営修理)
平成 7 年 4 月	故障(7)	雨水ろ格機: 投光器故障(B 請け)
平成 8 年 3 月	補修工事(3)	請負費: 1,000 万円(請負者: D 社) 雨水ろ格機: 2 台 補修部位: フィ ンスプ 口ット 従動軸等

2) 当初取得価額の算出

表 5 . 3 . 1 の建設工事には雨水ろ格機以外の工種が含まれているため、雨水ろ格機の建設当初 (昭和 49 年) と昭和 52 年完成の取得価額を算出する必要がある。このため 5 . 1 の 6) の資料を使い、昭和 48 年度及び昭和 51 年度の工事費から取得価額を次のとおり算出する。なお、考察対象設備は、建設年度の近接している昭和 49 年度と昭和 52 年度の雨水ろ格機 1 2 台を 1 グループとして LCC を検証する。

(1) 昭和 49 年完成の雨水ろ格機取得価額 (設置台数: 8 台)

ろ格機本体価額

据付費

据付費は労力費の内訳の機械工を代表値とし、全体機械工人数と雨水ろ格機据付機械工人数の比を全体労力費に掛けて簡易的に比率で費用を割り出す。

据付費 = 全体労力費 × 雨水ろ格機据付機械工人数 / 全体機械工人数となる。

雨水ろ格機工事の直接工事費

直接工事費 = の機器費と の据付費の合計でなる。

全体工事の直接工事費

間接費

機械器具損料と営繕損料の合計である間接費は雨水ろ格機の直接工事費 と全工事の直接工事費 の比から算出する。間接費 = 全体間接費 × / となる。

諸経費

雨水ろ格機の諸経費は、全体諸経費に前項の / の比を掛けて割り出す。

諸経費 = 全体諸経費 × / となる。

雨水ろ格機の取得価額(8台分)

取得価額は上記の + + の合計に落札率 (アルファ)を掛けたものとなる。

$$\text{取得価額} = (+ +) \times = 44,000,000 \text{ 円。}$$

雨水ろ格機 1台分の取得価額

$$\text{取得価額} = 44,000,000 \text{ 円} / 8 \text{ 台} = 5,500,000 \text{ 円。}$$

(2) 昭和 52 年完成の雨水ろ格機取得価額(雨水 4 台、汚水 2 台)

雨水ろ格機本体機器費

据付費

据付費は労務費の内訳から、全体機械工人数と雨水ろ格機据付機械工人数の比を全体労力費に掛けて簡易的に比率で費用を割り出すとする。なお、ろ格機の据付機械工人数は雨水(4台)と汚水2台)の台数で振り分けた。

$$\text{据付費} = \text{全体労務費} \times \text{雨水ろ格機据付機械工人数} / \text{全体機械工人数} \text{ となる。}$$

雨水ろ格機工事の直接工事費

$$\text{雨水ろ格機工事の直接工事費} = \text{の機器費と の据付費の合計となる。}$$

全体工事の直接工事費

間接費

機械器具損料と営繕損料の合計である間接費は雨水ろ格機の直接工事費 と全体工事の直接工事費 の比から算出する。

$$\text{間接費} = \text{全体間接費} \times / \text{となる。}$$

諸経費

雨水ろ格機の諸経費は、全体諸経費に前項の / の比を掛けて割り出す。

$$\text{諸経費} = \text{全体諸経費} \times / \text{となる。}$$

雨水ろ格機の取得価額(4台分)

取得価額は上記の + + の合計に落札率 α を掛けたものとなる。

$$\text{取得価額} = (+ +) \times \alpha = 30,700,000 \text{ 円となる。}$$

雨水ろ格機 1台分の取得価額

$$\text{取得価額} = 30,700,000 \text{ 円} / 4 \text{ 台} = 7,675,000 \text{ 円となる。}$$

3) 減価償却費の算出

東京都下水道局の雨水ろ格機の耐用年数は 20 年なので、減価償却費は定額法で 20 年目に 10%の残存価額を残して低減する。

$$Y_n = A - \{ (A - 0.1A) / N \} \times n$$

Y_n : n 年目の残存価格 (円) A : 初期取得価額 (円)

N : 耐用年数 (20 年) n : 完成からの年数 (年)

なお、改良工事は設備の機能向上を行うものなので、耐用年数の延長を伴う。したがって、改良工事の完成時点の価額は残存価額(現在価額)に、完成した改良工事費の取得価額を上積みしたものとなる。改良された機器の減価償却は改良工事部分以外は以前からの継続した耐用年数で行ない、改良工事部分は完成時点から 20 年の耐用年数で減価償却を行う。

減価償却した結果の機器の現在価額は両者の和となる。

改良工事により除去された部品の価額の減額は計算が煩雑となるのでここでは省略した。

(1) 昭和 52 年度建設工事時点の雨水ろ格設備価額の計算

昭和 49 年度建設の設備残存価額：4,400 万円×{1 - (0.9/20)×3} = 3,800 万円

昭和 52 年度建設工事費：3,070 万円

昭和 52 年度時点の雨水ろ格設備全体価額：3,800 万円 + 3,070 万円 = 6,870 万円

(2) 昭和 59 年度改良工事時点の雨水ろ格設備価額の計算

昭和 59 年度時点の設備残存価額：4,520 万円

内訳：昭和 49 年度建設の設備残存価額：4,400 万円×{1 - (0.9/20)×10} = 2,420 万円

昭和 52 年度建設の設備残存価額：3,070 万円×{1 - (0.9/20)×7} = 2,100 万円

昭和 59 年度改良工事費：5,192 万円、

内訳：59 年度の改良工事費：1,280 万円

昭和 59 年の改良工事費：4,890 万円×8/10(ろ格機台数70台) = 3,912 万円

昭和 59 年度時点の雨水ろ格設備全体価額：(+) = 9,712 万円

(3) 平成元年度の途中経過時の現在価額算出例

昭和 49 年度建設の設備残存価額：4,400 万円×{1 - (0.9/20)×15} = 1,430 万円

昭和 52 年度建設の設備残存価額：3,070 万円×{1 - (0.9/20)×12} = 1,412 万円

昭和 59 年度改良の設備残存価額：5,192 万円×{1 - (0.9/20)×5} = 4,023 万円

平成元年度時点の雨水ろ格設備全体価額：(+ +) = 6,865 万円

4) 維持管理費の算出

表 5 . 3 . 1 より改良・補修・簡易補修工事費を抽出し、累積した金額を図 5 . 4 . 1 に示す。

5) LCC グラフの作成

2)の当初取得価額、3)の減価償却費及び4)の維持管理費から LCC グラフを作成する。また、表 5 . 3 . 1 より故障発生した件数を表示する。今回の LCC グラフを作成するに当たっては雨水ろ格機 1 台の維持管理データでは LCC の傾向を把握することが難しいので、建設時期の接近している昭和 48 年度と昭和 52 年度の工事で設置した雨水ろ格機 12 台分のグループデータにより、図 5 . 4 . 1 の LCC グラフを作成する。

5 . 4 LCC グラフからの評価

作成した A ポンプ所ろ格機 LCC は図 5 . 4 . 1 に示すように入力データ数が少ないのでプロット線図になり、異質の感じがするが、分かりやすく表示をした。建設当初から 10 年間は適切な維持管理のもとに、補修・改良工事がなかった。実際の下水道設備の LCC を求める場合はデータの数によってはパソコンを使って計算をする必要は少ないと想像できる。図 5 . 4 . 1 から次のことが考察できる。

1) 更新判断基準価額の設定

当該ポンプ所の場合は昭和 49 年度に建設工事その 1 が完成し、3 年目に建設工事その 2 が行なわれたため、当初建設工事が完了してからの 10 年間に補修・改良工事（維持管理費）の計上がなかった。

10 年目の昭和 59 年度に設備の機能向上をさせる改良工事、いわゆる耐用年数の延長を伴う工事が行われ、LCC 計算の判断が可能な機器の当初価額が定まったと考える。この時点の現在価額(減価償却を考慮した価額)を機器の資産価値の最高価額と考えると、更新判断基準価額のひとつとすることができる。

本事例の場合は、昭和 59 年度に執行した改良工事完了時点の現在価額である 9,712 万円が基準価額(資産価値の最高価額)となる。

2) 更新の目安

LCC 曲線の最低価額は図 5.4.1 に示す機器の現在価格と維持管理費を加えた LCC グラフから更新時期を判断すると、最低価格値となる平成 4 年度が該当する。この時点以降の維持管理（次期改良、補修工事）には部品の腐食・磨耗等による故障発生防止のため多額な工事費の必要が予測される。

現在価額と維持管理費との交点は図 5.4.1 のグラフから判断して、減価償却を考慮した現在価額が維持管理費の累計と交差する時点(平成 4 年度/1992 年)、いわゆる累計維持管理費が機器の現在価額を超え時点を更新年の目安と考えても良い。

維持管理費が更新判断基準価額を超えた時点を LCC グラフから見た更新年と考えてもよいと考える。

本例の場合は、平成 8 年度（1996 年）である。これは上記で判断したと同様に次期改良・補修工事には更に多額な工事費の必要が予測されるためである。

3) 判断の妥当性

その 1 工事完成より 15 年目(平成元年)から、故障内容が機械より電気関係が多いのでデータとしてはよくないが、維持管理の手間も増してきている実態からも上記 2)の(図 5.4.1 中の矢印)の更新年の目安時期以降の次期工事は更新工事が妥当であると判断する。

当初建設の機器は平成 6 年度に、その 2 工事の機器は平成 9 年度に法定上の耐用年数（20 年）に達しており、改良工事の部分も平成 16 年度で耐用年数を超える時点となるので、法的な点でも更新工事は問題ないと考える。

なお、本ポンプ所は、建設から 27 年目に当たる平成 13 年度に再構築工事が実施された。

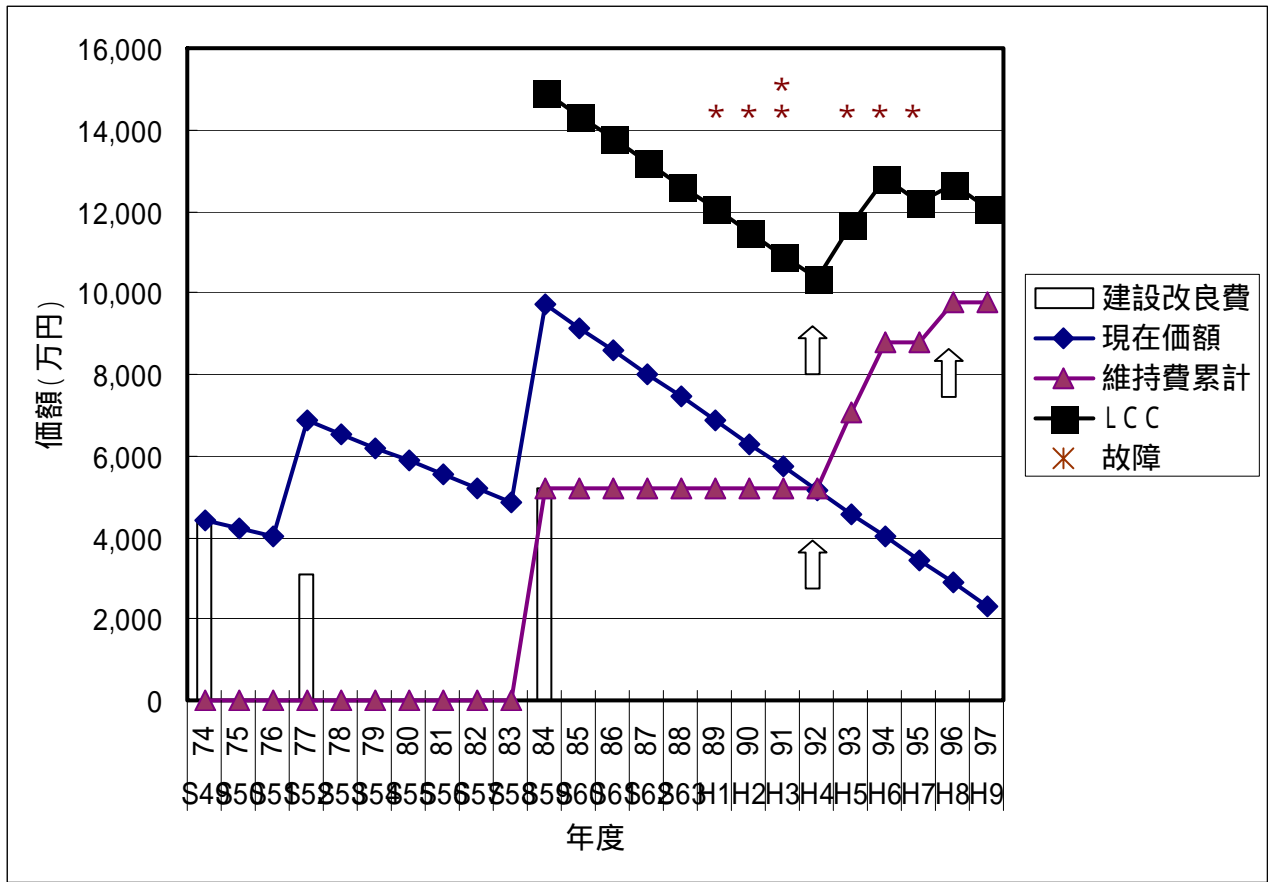


図 5 . 4 . 1 Aポンプ所雨水ろ格機 LCC

参 考 文 献 等

- | | | |
|--|---|-------------|
| 1) 下水道施設改善・修繕マニュアル(案) | (社)日本下水道協会 | 平成 10 年 |
| 2) ポンプ所・処理場設備診断調査その 3 | 東京都下水道局 | 平成 7 年 |
| 3) 農業用施設機械設備更新技術の手引き | (社)農業土木機械化協会 | 平成 13 年 |
| 4) 下水道施設・修繕設計要領(案)
処理場・ポンプ所編 | 日本下水道事業団 | 1991 年 3 月 |
| 5) 伊藤英男他：下水道設備の再構築戦略策定支援技法
(環境システム計測制御学誌第 4 巻第 2 号) | 環境システム計測制御学 | 1999 年 |
| 6) 河川ポンプ更新検討マニュアル | (財)国土開発技術センター | 平成 8 年 |
| 7) 工場電気設備の診断・更新技術
(電気学会技術報告第 8 3 1 号) | 電気学会 | 2000 年 11 月 |
| 8) 水車及びポンプ水車の侵食・壊食・腐食
に関する調査研究報告
(電気学会技術報告第 1 1 3 号) | 電気学会 | 昭和 56 年 6 月 |
| 9) 水力発電設備の現状と診断技術
(電気学会技術報告第 3 0 8 号) | 電気学会 | 1989 年 9 月 |
| 10) 火力発電設備の予防保全と余寿命診断技術
(火力原子力発電 No. 5 2 8) | (社)火力原子力発電技術協会 | 2000 年 9 月 |
| 11) 発電設備の予防保全と余寿命診断
(火力原子力発電 No. 5 2 3) | (社)火力原子力発電技術協会 | 2000 年 4 月 |
| 12) 火力発電所の定期点検指針 | (社)火力原子力発電技術協会 | 平成 9 年 6 月 |
| 13) 排水処理システムの L C C の研究報告書 | 東京大学工学部 | 2000 年 3 月 |
| 14) 藤本総：外部コストを組み入れた建設事業
コストの低減(中間報告) | 国土交通省 | 平成 13 年 |
| 15) 疋田浩一：ライフサイクルアセスメントに
基づく環境影響設計システムの研究 | 国土交通省 | 平成 9 年 4 月 |
| 16) 東京都が管理する社会資本の維持更新額の
将来 | 東京都 | 平成 10 年 |
| 17) 再構築マニュアル(設備編) | 東京都下水道局 | 平成 9 年 |
| 18) 今川博之：プラントの余寿命評価 | (社)日本プラントメンテナンス協会 | 1998 年 |
| 19) 塩見弘：信頼性・保全性の考え方と進め方 | 技術評論社 | 1972 年 3 月 |
| 20) 石塚義高：建築のライフサイクル
マネイジメント | 井上書院 | 1996 年 6 月 |
| 21) ホームページ関係
生命表の作成について(C. L c h i a n g) | http://home.att.ne.jp/star/publichealth/ | |
| 官庁修繕 Q & A | http://www.had.go.jp/hdb/topics/qa/eizen/ans9.htm | |

地球環境問題への会計アプローチ第3回講義

<http://www.hosp.msic.med.osaka-cu.ac.jp/koho/vuniv98/okano03.htm>

地球環境問題への会計アプローチ第7回講義

<http://www.koho.osaka-cu.ac.jp/vuniv98/okano/07.html>

ロジステック再入門(5)

http://www.dis.osaka-sandai.ac.jp/~miki/logi/nyumon_r4.htm

建設コンサルタント委員会平成9年度全国大会

<http://www.jsce.or.jp/kommmmittee/kenc/taikai/-09.html>

資料編

資料編目次

- 資料 1 - 1 制御処理用計算機システムの機能・性能の陳腐化対応例
- 資料 1 - 2 水質計器（センサー）の機能・性能の陳腐化対応例
- 資料 1 - 3 法定耐用年数
- 資料 1 - 4 主機及び主要部品名
- 資料 2 - 1 改築、再構築等の判断要素例
- 資料 2 - 2 デフレータの例
- 資料 2 - 3 維持管理費の計算式
- 資料 2 - 4 パソコンによる回帰式の算出
- 資料 2 - 5 維持管理費の予測事例
- 資料 2 - 6 ベルトプレスの LCC の例
- 資料 2 - 7 予測技法の概論
- 資料 4 - 1 受変電設備の保守点検について
- 資料 4 - 2 閉鎖配電盤及び内蔵部品取替目安

資料 1 - 1 制御処理用計算機システムの機能・性能の陳腐化対応例

NO.	項目 限界の要素	情報処理用計算機	エンタープライズ	周辺機器	ペーパプリンタ/	制御LAN	プロセスコントローラ	備考(推奨値)
		ワークステーション	帳票用プリンタ、 データロガー装置	漢字プリンタ/CHC				
1	物理的な機能・性能が不満足(劣化限界)	電源ユニットの経年劣化 CPU主要部品の経年劣化 (長期間稼働による寿命) ハードディスク装置の経年劣化(機械部品の磨耗)	電源ユニットの経年劣化 CPU主要部品の経年劣化 (長期間稼働による寿命) ハードディスク装置の経年劣化(機械部品の磨耗)	電源ユニットの経年劣化 通信機構部品の経年劣化 (長期間稼働による寿命)	電源ユニットの経年劣化 通信機構部品の経年劣化 (長期間稼働による寿命) 印刷機 機械部品の経年劣化(磨耗による)	通信機構部品の経年劣化 (長期間稼働による寿命)	電源ユニットの経年劣化 CPU主要部品の経年劣化 (長期間稼働による寿命)	磁気ディスク装置は4年周期で交換を推奨する。 ハードディスク装置は磁気テープ装置も4年周期で交換を推奨している。 電源ユニットは10年で交換を推奨している。 キーボード、マウスは4年または打鍵回数1000回以上交換を推奨している。 これは揮度が当初の1/2に低下したときを寿命とする。(24時間通電では一般的に3年から5年程度が目安となる) 工業用プリンタと汎用プリンタでは寿命仕様が異なるので、使い分けが必要である。
2	メンテナンスコスト増大(補修部品や保守点検補修費のコストアップ)/保守サービス可能期限	保守サービス可能期限有り メンテナンス時の交換部品・故障時修理用部品の調達も困難となっており、やむを得ずメンテナンスコストが増大する。	保守サービス可能期限有り メンテナンス時の交換部品・故障時修理用部品の調達も困難となっており、やむを得ずメンテナンスコストが増大する。	保守サービス可能期限が既に切れている製品もある。(稼働5年以上のパソコンなど) メンテナンス時の交換部品・故障時修理用部品の調達も困難となっており、やむを得ずメンテナンスコストが増大する。	保守サービス可能期限有り 保守サービス可能期限切れている製品もある。 メンテナンス時の交換部品・故障時修理用部品の調達も困難となっており、やむを得ずメンテナンスコストが増大する。	保守サービス可能期限有り メンテナンス時の交換部品・故障時修理用部品の調達も困難となっており、やむを得ずメンテナンスコストが増大する。	保守サービス可能期限有り メンテナンス時の交換部品・故障時修理用部品の調達も困難となっており、やむを得ずメンテナンスコストが増大する。	
3	機能、性能の陳腐化	1997年頃の時期を境に業界の主流製品が専用機開発からオープン化(汎用品/市場流通品の活用によるシステムソリューション)に変化しており、機能面の変化はないが、システム構築装置レベル、OSレベルでは変化した。	1997年頃の時期を境に業界の主流製品が専用機開発からオープン化(汎用品/市場流通品の活用によるシステムソリューション)に変化しており、機能面の変化はないが、システム構築装置レベル、OSレベルでは変化した。	OS、ハードウェアのCPUともに激変しており、市場流通品の活用によるシステムソリューションで提案することができる。	OSがUNIXベースの時代には専用プリンタ/専用通信方式であったが、OSがWindowsNT3.51または4.0以降(1997年頃以降)は通品の活用となっており、プリンタの接続にはプリンタドライバというソフトウェアが必須であるが、プリンタドライバは市場流通品製作者メーカーが製作したものを、そのまま工業用計算機に組み込み使用している。	制御LANとしては、従来10Mbpsから現行100Mbpsへと移行するシステム性能(監視操作の応答性)としては変わっていない。(扱うプロセスデータ量とプロセスデータをソフトウェアで転送する周期は変わらないため)。	1997年頃の時期を境に業界の主流製品が専用機開発からオープン化(汎用品/市場流通品の活用によるシステムソリューション)に変化しており、機能面の変化はありますが、システム構築装置レベル、OSレベルでは変化した。機能増設やPOS(ポイントオブセール)増設については、新機種を採用したシステム構成を提案することができる。	

資料 1 - 2 水質計器（センサー）の機能・性能の陳腐化対応例

NO.	項目 限界の要素	流量計	水位計	圧力計	温度計
		<p>配管 電磁流量計 こと 測定流体は導電性であること、即ち純水や雪解け水などは滴さない。(電磁流量計全般、超音波ドップラー式) 電極の材質に留意する 下水の場合常時流速2m～3m以上必要</p>	<p>接触 - 投込み式は腐食液体、海水等の測定時は検出部等接液部の材質を検討する。 接触 - 差圧式は沈殿物の多い液体や比重が一定でない液体(苛性ソーダ等)の必要なものに不適 接触式 - 静電容量は付着物、誘電率の変化の影響を受ける。 非接触 - 超音波式は気泡に弱い。</p>	<p>測定液による接液部材質を検討(塩素のときチタンまたはタンタル等)</p>	<p>測温抵抗体式は抵抗体(白金、サーミスタ)の温度変化に対する精度範囲狭い。200 を超える温度では不適である。 熱電対式は基準接点の温度を一定にする事と補電線が必要である。また、測温接点と基準接点の温度差が大きい程熱起電力が発生するため高温体(1000)の測定に適当である。</p>
2	保守管理上の留意点及びメンテナンスコスト増大	<p>直管部を考慮すること(上流10～15D,下流5D) 点検用足場及び分解スペースの設置を考慮する。 洗浄用水道栓があること 変換器、専用ケーブルは回/年点検</p>	<p>投込み式には吊り上げ用にチェーンまたはロープを使用する。ポンプ井など10mを越える場合は別途引上げ装置も考慮する 防波管を設置する。 点検用足場及び分解スペースの設置を考慮する。</p>	<p>零点校正が容易 ストップ弁、マニホールド弁を設置する。</p>	<p>測温抵抗体による配管内流体温度測定;測温体の配管内挿入長は測温抵抗体管径の15～20倍必要である。設置場所に留意する</p>
3	機能、性能の陳腐化	<p>超音波式流量計は、超音波を吸収する材質の配管には不向きであり、かつ10 年を超える配管では、配管内に空洞(すず)が発生し取付け不可能の場合がある。従って電磁流量計が主体となる。</p>	<p>超音波式は気泡に弱く、設置時はフランジ式が必要である。一方、電波式レベル計は気泡の影響を受けず、塩ビのタンクであればフランジも不要でメンテナンス性に優れる。今後電波式の需要が増える事が考えられる。 ディスプレイサ式は生産中止</p>	<p>腐食性測定物に対しては、ダイヤモンドの材質選定に注意する</p>	<p>測温抵抗体の使用温度は、測温抵抗体および保護管の材質によって決定される</p>
4	校正方法について	<p>変換器 回/年点検必要</p>	<p>センサ近くに基準レベルを設置する。基準レベルが見にくいときは照明設備も必要 基準レベルは水の処理フローに関係するものはTP表示とする。 地盤沈下等でTPIは変動する事に留意する</p>	<p>試験用測定器との置き換えが可能でこれと比較校正する。</p>	<p>試験用測定器との置き換えが可能でこれと比較校正する。</p>

資料 1 - 3 法定耐用年数

設備区分	対象機器	耐用年数（年）			
		財務省令	地方公営企業法 制定耐用年数	下水道協会 標準の耐用年数	下水道局耐用年数
真空脱水設備	真空脱水機 真空ポンプ 消石灰注入 塩鉄注入設備 汚泥供給ポンプ	7	20	15	20 (消石灰・塩鉄注入設備 10)
ベルトプレス脱水設備	ベルトプレス脱水機 薬品注入設備 汚泥供給ポンプ	7	20	15	20 (薬品注入設備 10)
遠心脱水設備	遠心脱水機 薬品注入設備 汚泥供給ポンプ	7	20	15	20 (薬品注入設備 10)
脱臭設備	洗浄塔 活性炭吸着塔 生物脱臭塔 ブローヤ	7	10	10	10
流動焼却設備	焼却炉本体	35 (金属製 10)	20	10	25
	ケキ供給設備 送風機設備 熱交換設備 排ガス処理設備	7			
	煙突	35(金属製 10)	35(金属製 10)	35(金属製 10)	25(内筒 金属 10)
受変電設備	特高 (GCB)	12	20	20	20
	高压 (VCB)		20		
自家発電設備	発電機 原動機 発電機盤	12	15	15 消音器 20 空気圧縮機 燃料ポンプ 燃料タンク	20
動力制御設備	高压 低压 補助継電器盤	12	20	15 コントロ-ルボックス 18 補助継電器盤 回転数制御装置	20
無停電電源装置	蓄電池盤 充電器インバータ盤	6	6	15 (鉛蓄電池 6)	6 (DC 盤、CVCF 含む)
監視制御設備	中央監視盤 中央処理装置 SQC・CTR・ 計装設備	12	20	15 (パソコン 7)	20
				10	
遠方監視制御装置	親局 子局	12	20	9	20 (伝送制御装置 9)

設備区分	対象機器	財務省令 *	地方公営企業法 制定耐用年数	下水道協会 標準的耐用年数	下水道局耐用年数
沈砂池設備	阻水扉	7	30	17(鑄鉄製 25)	20 (搬送設備 17)
	ろ格機 揚砂機 貯留設備 搬送設備		17	15	
ポンプ設備 / 雨水	主ポンプ 電動機	7	20	16	20
	ディゼールエンジン 歯車減速機 吐出弁類 補助機器類			20	
ポンプ設備 / 汚水	主ポンプ 電動機	7	20	16	20
	吐出弁類 補助機器類			20	
送風機設備	ブロ 電動機	7	20	20	20
	潤滑油装置 フィルタ装置			15	
第一沈殿池 設備	汚泥掻寄せ機 スクラム	7	17	17	20
	生汚泥ポンプ			15	
第二沈殿池 設備	汚泥掻寄せ機 スクラム	7	17	17	20
	余剰汚泥ポンプ 返送汚泥ポンプ			15	
曝気槽設備	散気装置	7	20	10	35 (散気板も曝気槽設備に 含む、攪拌装置 20)
砂ろ過設備	砂ろ過機 ポンプ	7	20	15	20
重力濃縮設備	汚泥掻寄せ機 除塵機 しき脱水機	7	17	17	20
	濃縮汚泥引抜ポン プ			15	
遠心濃縮設備	遠心濃縮機	7	20	15	20
	除塵機 しき脱水機			17	
	汚泥供給ポン プ			15	
消化設備	攪拌設備	7	20	10	20 (ガスタンク 30)
	洗浄槽汚泥掻寄 機			17	
	加温用ボイラ 熱交換器			8	
	汚泥循環ポン プ ガス貯留ホ ルダ			15	

財務省令*：減価償却資産の耐用年数等に関する省令

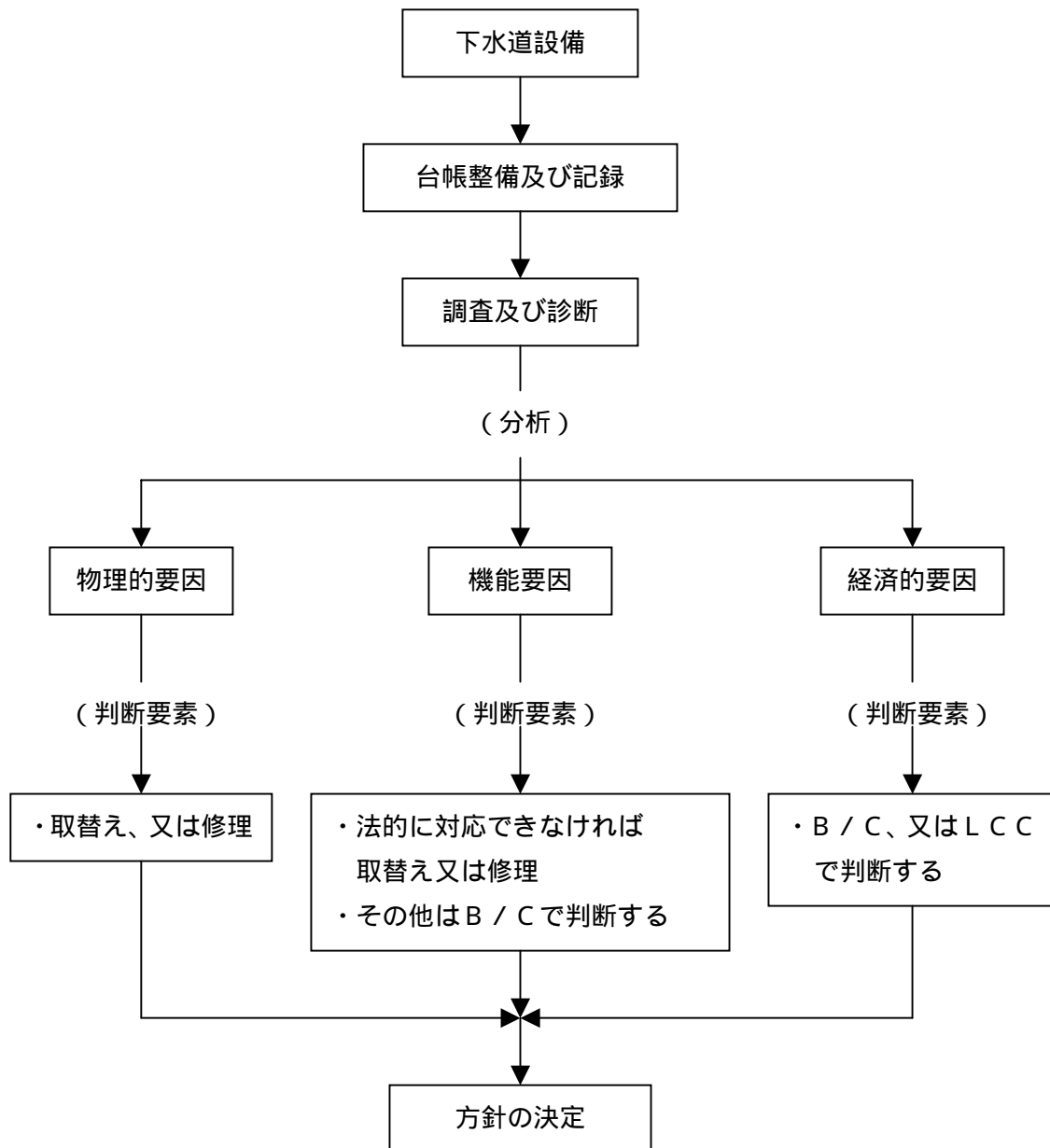
資料 1 - 4 主機及び主要部品名（機械設備）

設備名	主機名	主要部品名
沈殿池設備	沈砂かき揚げ機	バケット
		チェーン・sprocket
	ろ格機	レーキ
		チェーン・sprocket
ポンプ設備	主ポンプ	羽根車
	電動機	固定子
		回転子
	ディーゼルエンジン	ピストン
ガスタービン	タービンロータ	
沈殿池設備	汚泥かき寄せ機	チェーン・sprocket
曝気槽設備	散気設備	散気板（又は管）
送風機設備	送風機	羽根車
濃縮設備	重力式汚泥かき寄せ機	減速装置（サイクロを除いた）
		レーキ
	遠心濃縮機	ボウル（外筒）
		スクリュウシャフト
消化設備	ガス貯留ホルダ	本体（シェル）
脱水設備	真空脱水機	ドラム本体
	ベルトプレス	プレスロール
	遠心脱水機	ボウル（外筒）
スクリュウシャフト		
焼却設備 （流動）	焼却炉本体	耐火レンガ
	流動用予熱器	伝熱管
	電気集塵機	電極
	ケーキ貯留槽	切り出し機
	誘引ファン	インペラ
焼却設備 （多段）	焼却炉本体	耐火レンガ
	再加熱用熱交換器	伝熱管
	電気集塵機	電極
	ケーキ貯留槽	切り出し機
	バーナブロワ	インペラ
脱臭設備	洗浄塔	本体
	活性炭吸着塔	本体
	生物脱臭	本体
砂ろ過設備	砂ろ過器	本体

資料 1 - 4 主機及び主要部品名 (電気設備)

設備名	主機名	主要部品名
受変電設備 (特高)	しゃ断機 (G C B)	接続部 (接触部)
		操作機構
受変電設備 (高圧)	しゃ断機 (V C B)	真空バルブ
		接続部 (接触部)
		操作機構
自家発電設備	発電機	固定子
		回転子
	ディーゼルエンジン	ピストン
	ガスタービン	タービンロータ
動力制御設備	補助継電器盤	補助リレー
無停電電源装置	蓄電池	陽極板
		陰極板
監視制御設備	中央処理装置	C P U部
		ディスク装置
遠方監視制御装置	遠方監視制御装置	C P U部

資料 2 - 1 改築、再構築の判断要素例



注) B / C : 費用対効果

資料 2 - 2 デフレータの例

月々1000円の小遣いを貰っている子供は1箱100円のチョコレートを10箱買うことが出来る。翌年小遣いは2000円に値上げされたが、チョコレートも200円に値上がりしたら、子供は昨年と同じ10箱しか買うことが出来ない。小遣いは2倍に増加したが子供の受ける実質的利益は不変ということで、翌年の2000円というのは前年価格で見ても1000円の価値しかないことになる。

$$\text{デフレータ} = (200 \text{ 円} \times 10 \text{ 箱}) \div (100 \text{ 円} \times 10 \text{ 箱}) = 2$$

資料 2-3 維持管理費の計算式

維持管理費の計算方法としては、(社団)日本下水道協会の下水道施設改築・修繕マニュアル(以下「マニュアル」という。)の維持補修費関数 $f_1(T)$ の設定で求める。

維持補修費関数 $f_1(T)$ の設定

維持補修費関数 $f_1(T)$ の設定

1. 理論式

$$f_1(T) = a * e^{b * T}$$

両辺の対数(自然対数)を取ると

$$\text{Ln}(f_1(T)) = \text{Ln}(a) + b * T$$

ここで $Y = \text{Ln}(f_1(T))$

$$c = \text{Ln}(a)$$

とすれば

$$Y = b * T + c \quad (b, c \text{ は定数}) \quad \dots \quad (1)$$

となり、 Y は T の一次関数となる。

さらに、回帰直線の式は

$$Y = r * \frac{\sigma_Y}{\sigma_T} (T - \bar{T}) + \bar{Y} \quad \dots \quad (2)$$

r : 相関係数 \bar{Y} : Y の平均
 n : データ数 σ_T : T の標準偏差
 \bar{T} : T の平均 σ_Y : Y の標準偏差

ここで(2)式を変形すると

$$Y = r * \frac{\sigma_Y}{\sigma_T} * T + \bar{Y} - r * \frac{\sigma_Y}{\sigma_T} * \bar{T} \quad \dots \quad (3)$$

となり、(1)と(3)より

$$b = r * \frac{\sigma_Y}{\sigma_T}, \quad c = \bar{Y} - r * \frac{\sigma_Y}{\sigma_T} * \bar{T}$$

よって

$$a = e^{\left[\bar{Y} - r * \frac{\sigma_Y}{\sigma_T} * \bar{T} \right]} \quad b = r * \frac{\sigma_Y}{\sigma_T} \text{ となり}$$

$$f_1(T) = e^{\left[\bar{Y} - r * \frac{\sigma_Y}{\sigma_T} * \bar{T} \right]} * e^{\left[r * \frac{\sigma_Y}{\sigma_T} * T \right]} \text{ となる。}$$

資料 2 - 4 パソコンによる回帰式の算出

表1に対する指数グラフ作成方法

①右記表のE1～F23を選択してグラフを作成します

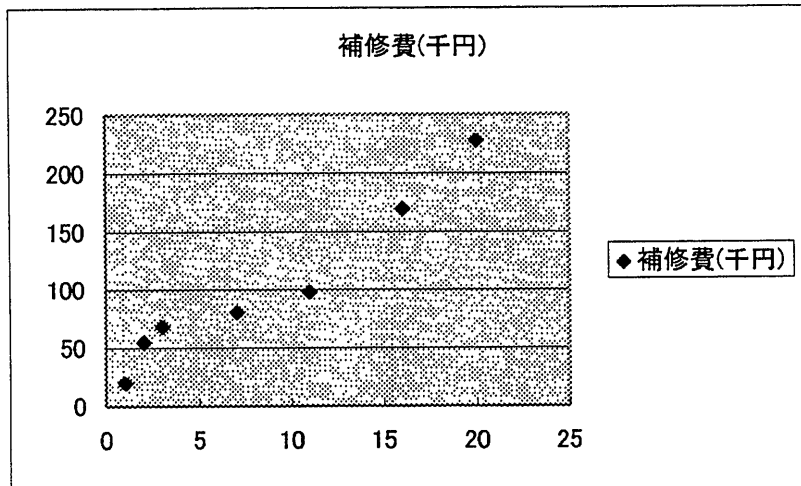
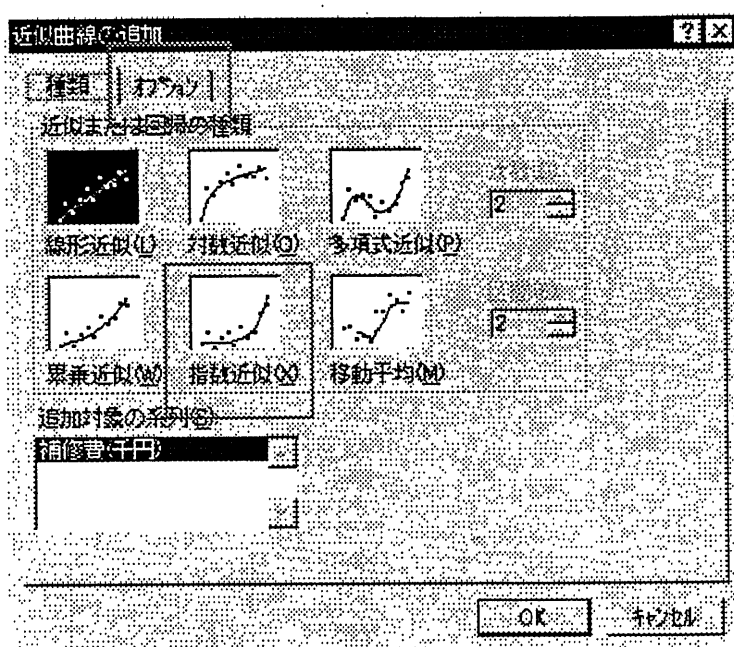


表1

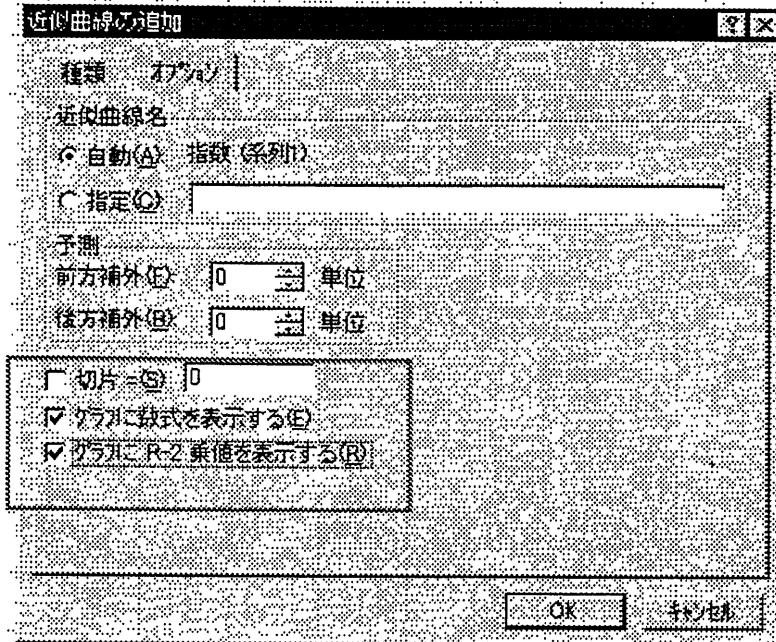
年数	補修費(千円)
1	20
2	55
3	68
4	
5	
6	
7	80
8	
9	
10	
11	98
12	
13	
14	
15	
16	170
17	
18	
19	
20	228

②グラフ内の◆のどれか1つを選択し、右クリックしてメニューを表示させ近似曲線の追加をクリックします。

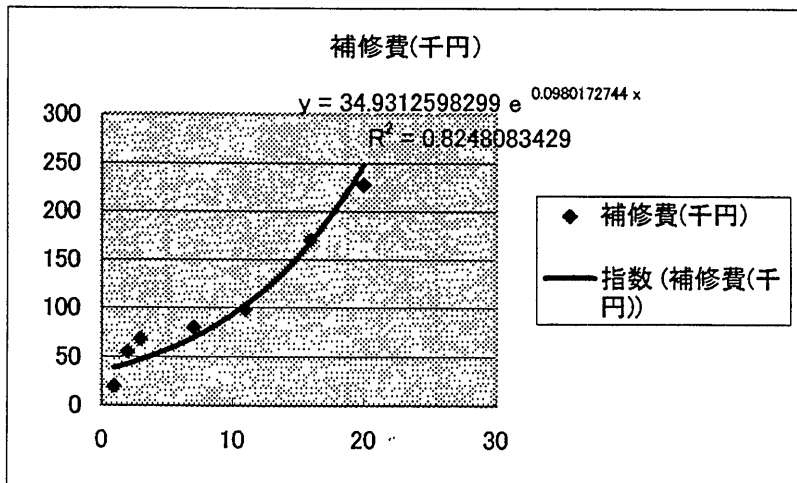
③下記のメニューが出たら、「指数近似(X)」をクリックします。(下記口部)次に「オプション」タブをクリックします。(下記口部)



④下記口部のチェックボックスにチェックを入れ、「OK」ボタンをクリックします。



⑤近似曲線と数式が表示されますので、数式部分を右クリックして「データの書式設定」をクリックします。メニューが表示されたら、「表示形式」タブをクリックして、「データの書式設定」をクリックし、「数値」を選択し、「小数点以下の桁数」を10ぐらいにします。数値を多くすると正確さが増します。

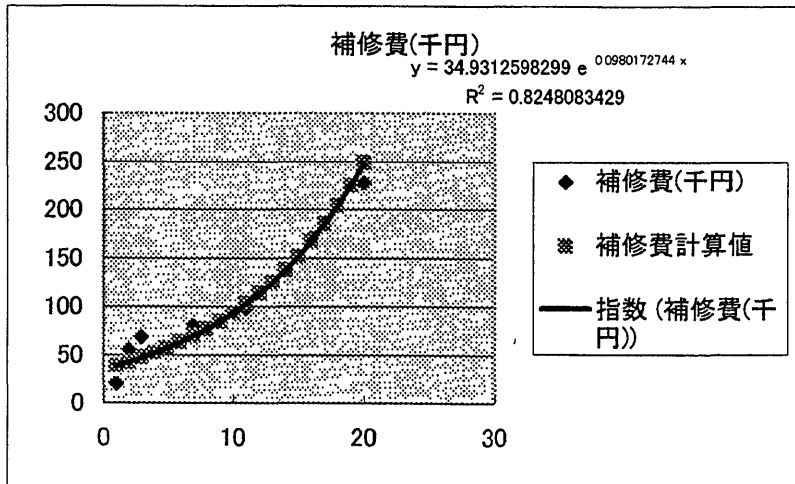


⑥上記グラフに表示された数式に基づいて、式を作成し、必要なところまでコピーします。
 例)下記表の1行目「=34.9312598*EXP(0.09801*A101)」を入力

表1

年数	補修費(千円)	補修費計算値
1	20	38.52826488
2	55	42.49566729
3	68	46.87160826
4		51.69815657
5		57.02171297
6		62.89345628
7	80	69.3698354
8		76.51311198
9		84.391959
10		93.08212096
11	98	102.667142
12		113.2391693
13		124.8998386
14		137.7612514
15		151.947053
16	170	167.5936207
17		184.8513751
18		203.8862264
19		224.8811689
20	228	248.0380408

⑦グラフの範囲を補修費計算値まで広げると計算値を含めたグラフができあがります。

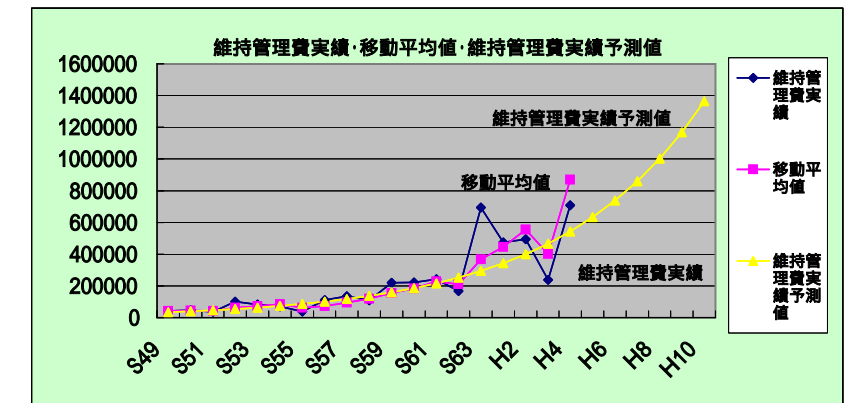
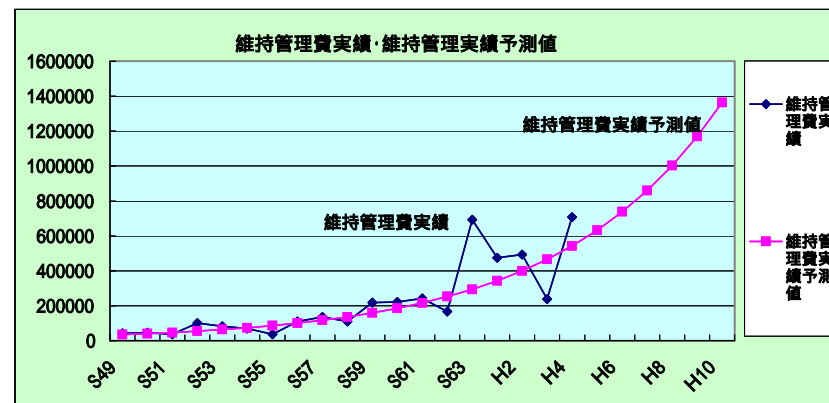
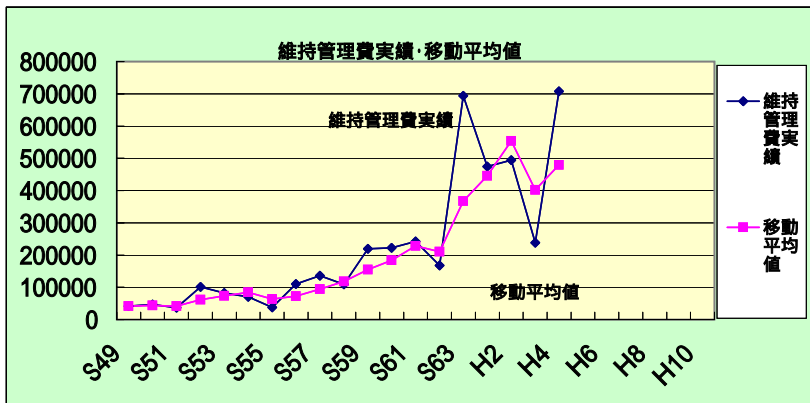
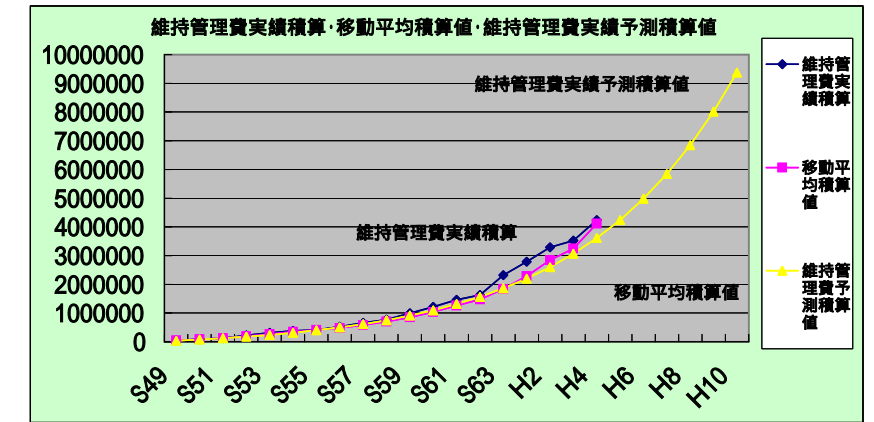


資料2-5 維持管理費の予測事例-1

5ヶ所ポンプ所の維持管理費実績合計による移動平均値及び予測値 (S49年~H4)

A		B		C		D		E		F		G		H		I		J		K		L		M	
グループ	昭和/平成	維持管理費実績	移動平均値	経過年	F=LN(D1)	T=STDEVP(E1:E19)	Y=STDEVP(F1:F19)	T平均	回帰変数X	X=STDEVP(J1:J19)	相関係数	a=EXP(回帰Y平均-相関係数*標準偏差Y/標準偏差T*T平均)	昭和/平成	維持管理費実績	移動平均値	維持管理費実績予測値	昭和/平成	維持管理費実績	移動平均値	維持管理費実績予測値					
1	58.3	S49	41689	1	10.63799	5.48	0.86	10	-1.42	0.86	0.98	S49	41689	41689	34285	S49	41689	41689	34285						
2	58.9	S50	46612	2	10.69536				-1.26			S50	46612	44151	39971	S50	88301	85840	74256						
3	63.1	S51	37113	3	10.64076				-1.10			S51	37113	41805	46600	S51	125414	127644	120856						
4	66.3	S52	101542	4	11.03094				-0.94			S52	101542	61756	54328	S52	226956	189400	175184						
5	70.8	S53	82207	5	11.20668				-0.79			S53	82207	73621	63339	S53	309163	263021	238523						
6	76.9	S54	70474	6	11.34735				-0.63			S54	70474	84741	73843	S54	379637	347762	312366						
7	83.9	S55	37412	7	11.05666				-0.47			S55	37412	63364	86090	S55	417049	411126	398456						
8	84.8	S56	110615	8	11.19593				-0.31			S56	110615	72834	100367	S56	527664	483960	498823						
9	85.1	S57	135590	9	11.45677				-0.16			S57	135590	94539	117013	S57	663254	578499	615836						
10	84.9	S58	109245	10	11.68253				0.00			S58	109245	118483	136419	S58	772499	696982	752255						
11	86.3	S59	218965	11	11.94860				0.16			S59	218965	154600	159044	S59	991464	851582	911299						
12	85.4	S60	222606	12	12.12054				0.31			S60	222606	183605	185420	S60	1214070	1035187	1096719						
13	84.5	S61	241977	13	12.33644				0.47			S61	241977	227849	216172	S61	1456047	1263037	1312891						
14	85.7	S62	167491	14	12.25815				0.63			S62	167491	210691	252023	S62	1623538	1473728	1564914						
15	87.4	S63	693607	15	12.81500				0.79			S63	693607	367692	293820	S63	2317145	1841420	1858734						
16	91.7	H1	474591	16	13.00635				0.94			H1	474591	445230	342549	H1	2791736	2286649	2201282						
17	94.9	H2	493832	17	13.22494				1.10			H2	493832	554010	399359	H2	3285568	2840659	2600642						
18	97.7	H3	237774	18	12.90437				1.26			H3	237774	402066	465592	H3	3523342	3242725	3066233						
19	99.1	H4	707444	19	13.08088				1.42			H4	707444	869083	542808	H4	4230786	4111808	3609042						
20		H5		20								H5			632831	H5			4241873						
21		H6		21								H6			737784	H6			4979656						
22		H7		22								H7			860142	H7			5839798						
23		H8		23								H8			1002794	H8			6842592						
24		H9		24								H9			1169103	H9			8011695						
25		H10		25								H10			1362995	H10			9374690						
26				T平均	Y平均																				
27				=SUM(E1:E19)/E19	=SUM(F1:F19)/F19																				
28				10	11.82																				

修繕費関数R=a*(e(b)*T)
修繕費関数R: a*(e(b)*T)
a: 29407.7734
b: 0.1534

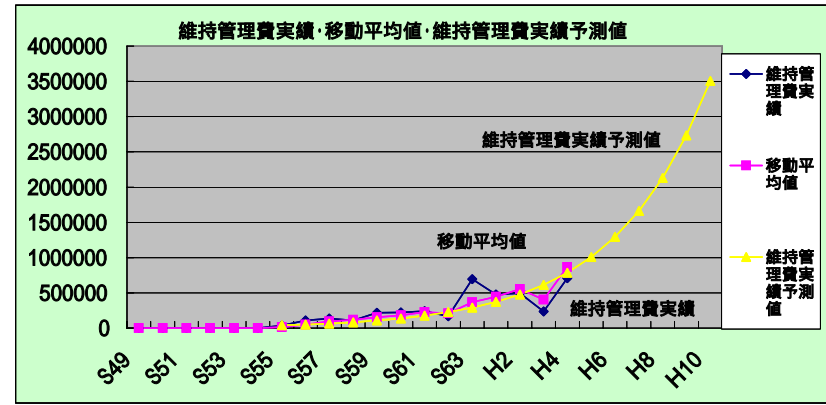
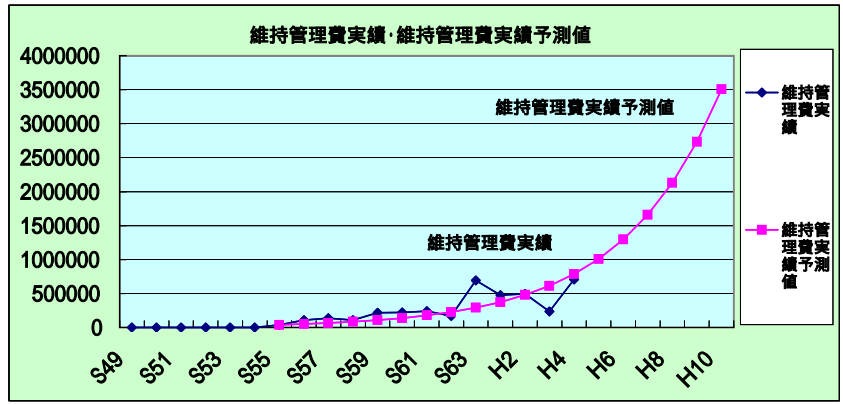
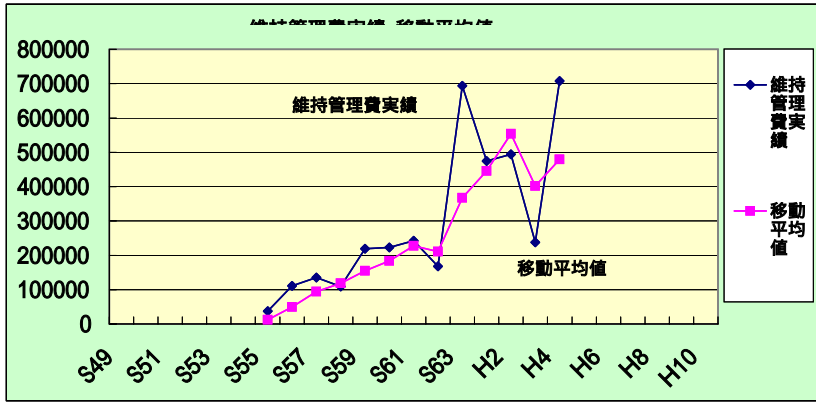
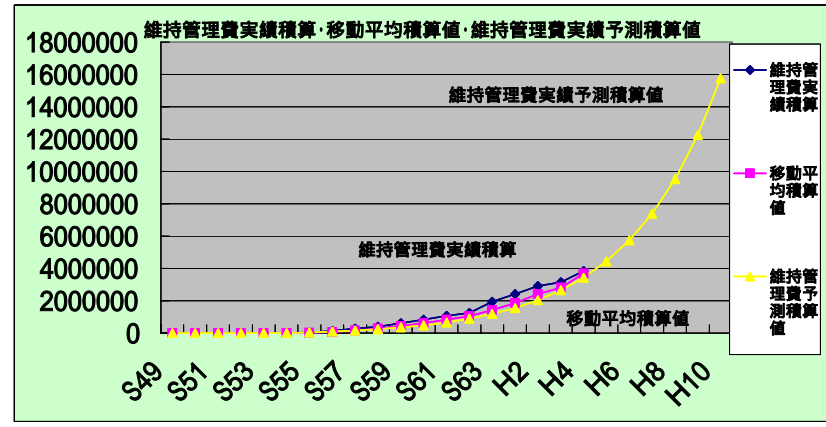


資料2-5 維持管理費の予測事例-2

5ヶ所ポンプ所の維持管理費実績合計による移動平均値及び予測値 (S55年~H4)

A		B		C		D		E		F		G		H		I		J		K		L		M	
デ-グループ	昭和/平成	維持管理費実績	移動平均値	経過年	F=LN(D1)	T=STDEVP(E1:E19)	Y=STDEVP(F1:F19)	T平均	回帰変数X	標準偏差X	相関係数	a=EXP(回帰Y平均-相関係数*標準偏差Y/標準偏差T*T平均)	昭和/平成	維持管理費実績	移動平均値	維持管理費実績予測値	昭和/平成	維持管理費実績積算	移動平均積算値	維持管理費実績予測積算値					
1	58.3	S49											S49	0	0	0	S49	0	0	0					
2	58.9	S50											S50	0	0	0	S50	0	0	0					
3	63.1	S51											S51	0	0	0	S51	0	0	0					
4	66.3	S52											S52	0	0	0	S52	0	0	0					
5	70.8	S53											S53	0	0	0	S53	0	0	0					
6	76.9	S54											S54	0	0	0	S54	0	0	0					
7	83.9	S55	37412	12471	1	9.43113							S55	37412	12471	39696	S55	37412	12471	39696					
8	84.8	S56	110615	49342	2	10.80654							S56	110615	49342	50915	S56	148027	61813	90611					
9	85.1	S57	135590	94539	3	11.45677							S57	135590	94539	65305	S57	283617	156352	155916					
10	84.9	S58	109245	118483	4	11.68253							S58	109245	118483	83762	S58	392862	274835	239678					
11	86.3	S59	218965	154600	5	11.94860							S59	218965	154600	107436	S59	611827	429435	347115					
12	85.4	S60	222606	183605	6	12.12054							S60	222606	183605	137801	S60	834433	613041	484916					
13	84.5	S61	241977	227849	7	12.33644							S61	241977	227849	176748	S61	1076410	840890	661664					
14	85.7	S62	167491	210691	8	12.25815							S62	167491	210691	226702	S62	1243901	1051581	888366					
15	87.4	S63	693607	367692	9	12.81500							S63	693607	367692	290775	S63	1937508	1419273	1179141					
16	91.7	H1	474591	445230	10	13.00635							H1	474591	445230	372957	H1	2412099	1864503	1552098					
17	94.9	H2	493832	554010	11	13.22494							H2	493832	554010	478366	H2	2905931	2418513	2030465					
18	97.7	H3	237774	402066	12	12.90437							H3	237774	402066	613567	H3	3143705	2820578	2644032					
19	99.1	H4	707444	479683	13	13.08088							H4	707444	869083	786980	H4	3851149	3689661	3431012					
20		H5			14								H5			1009405	H5			4440417					
21		H6			15								H6			1294694	H6			5735111					
22		H7			16								H7			1660614	H7			7395725					
23		H8			17								H8			2129954	H8			9525679					
24		H9			18								H9			2731944	H9			12257623					
25		H10			19								H10			3504076	H10			15761699					
26					T平均	Y平均																			
27					=SUM(E1:E19)/E19	=SUM(F1:F19)/F19																			
28					7	12.08																			

修繕費関数R=a*(e(b)*T)
修繕費関数R: a*(e(b)*T)
a: 30948.7330
b: 0.2489

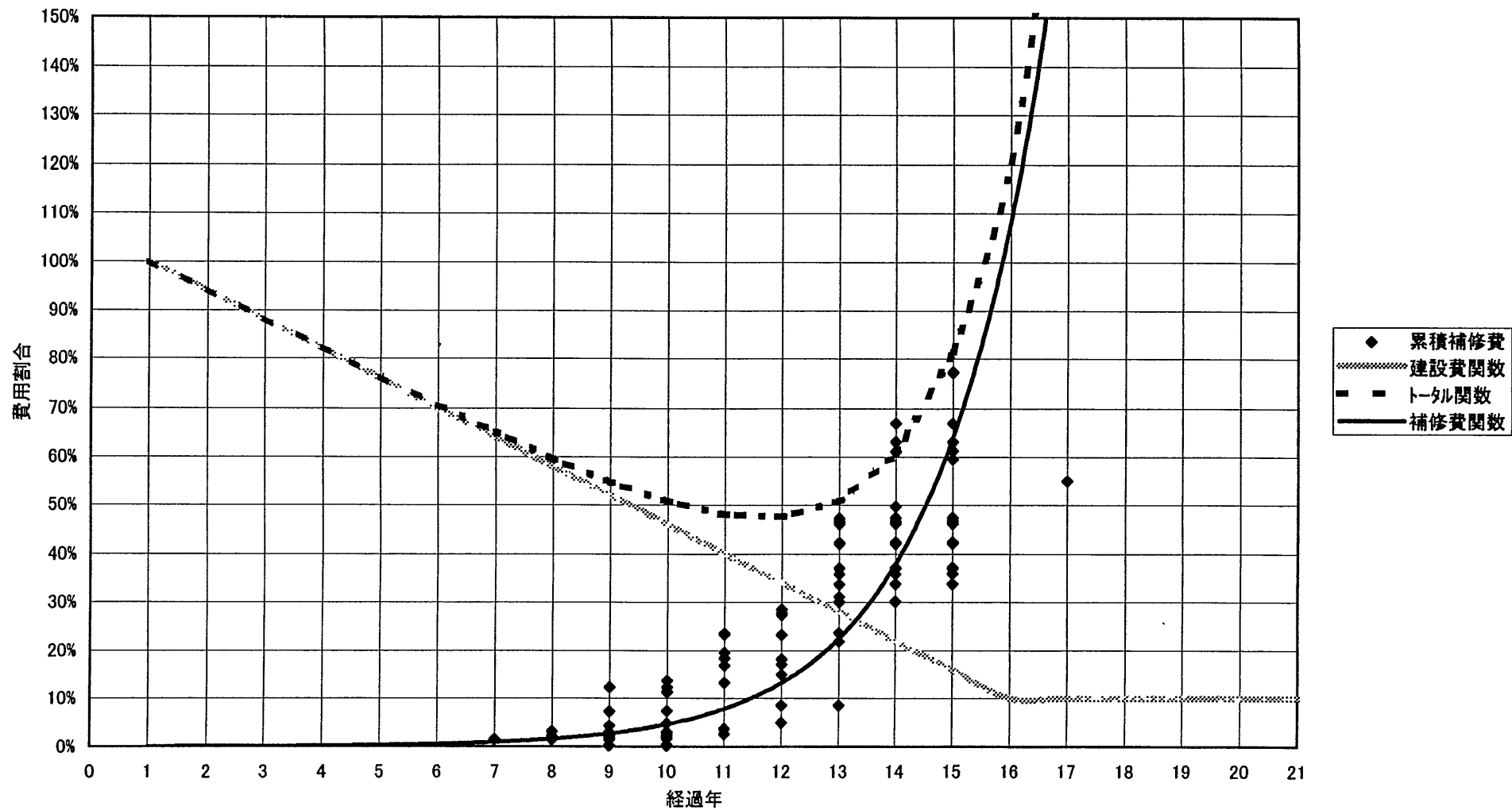


資料2-6 ベルトプレス機のLCC例-1

単位 千円

	整備年度																			
	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99
1号機	0	0	74	28,589	65	0	1,257	0	4,583	53	12,790	0	15,000	42	31	0	10,289	0	0	0
2号機	0	0	0	28,937	65	0	1,257	0	1,174	53	16,382	0	15,000	42	31	0	0	0	0	0
3号機	0	0	0	29,150	65	0	1,257	0	1,091	53	574	984	15,000	31,514	31	0	0	0	0	0
4号機	0	0	0	29,694	65	0	1,257	1,257	948	7,520	0	1,034	15,000	42	31	0	0	0	0	0
5号機	0	0	0	29,150	65	0	0	1,257	406	53	419	20,681	15,000	42	31	0	0	0	0	0
6号機	0	0	709	28,465	65	0	0	1,288	836	53	13,487	2,965	15,000	42	31	0	0	0	0	0
7号機	0	0	0	29,150	65	0	0	1,805	619	53	0	0	15,000	31,514	31	0	0	0	0	0
8号機	0	0	0	29,694	65	0	0	1,257	363	7,520	0	0	15,000	42	23,536	0	0	0	0	0
9号機	0	0	0	3,129	26,086	0	0	0	1,928	53	0	20,288	15,000	42	31	0	0	0	0	0
10号機	0	0	0	3,129	26,086	0	0	0	1,607	53	0	20,213	15,000	42	31	0	0	0	0	0
11号機	0	0	0	2,444	26,086	0	0	0	1,321	53	12,175	1,006	15,000	42	31	0	0	0	0	0
12号機	0	0	0	2,444	26,129	0	0	0	1,514	7,520	0	0	15,000	42	37,757	0	0	0	0	0
13号機	0	0	0	3,129	26,086	0	0	0	129	53	10,510	2,965	15,000	42	31	0	0	0	0	0
14号機	0	0	709	2,444	26,086	0	0	1,177	0	2,737	0	2,965	0	32,827	10,776	0	0	0	0	0
15号機	0	0	0	3,129	26,367	0	0	0	255	53	14,407	0	15,000	42	31	0	0	0	0	0
16号機	0	0	0	2,642	26,129	0	0	0	9,882	53	0	0	15,000	28,571	31	0	0	0	0	0
1号機(累積)	0	0	74	28,663	28,728	28,728	29,985	29,985	34,569	34,622	47,413	47,413	62,413	62,455	62,486	62,486	72,775	72,775	72,775	72,775
2号機(累積)	0	0	0	28,937	29,002	29,002	30,259	30,259	31,434	31,487	47,870	47,870	62,870	62,912	62,943	62,943	62,943	62,943	62,943	62,943
3号機(累積)	0	0	0	29,150	29,215	29,215	30,472	30,472	31,563	31,617	32,190	33,174	48,174	79,688	79,720	79,720	79,720	79,720	79,720	79,720
4号機(累積)	0	0	0	29,694	29,759	29,759	31,016	32,274	33,221	40,741	40,741	41,775	56,775	56,818	56,849	56,849	56,849	56,849	56,849	56,849
5号機(累積)	0	0	0	29,150	29,215	29,215	29,215	30,472	30,878	30,931	31,351	52,032	67,032	67,074	67,106	67,106	67,106	67,106	67,106	67,106
6号機(累積)	0	0	709	29,174	29,239	29,239	29,239	30,527	31,363	31,416	44,903	47,868	62,868	62,911	62,942	62,942	62,942	62,942	62,942	62,942
7号機(累積)	0	0	0	29,150	29,215	29,215	29,215	31,020	31,639	31,693	31,693	31,693	46,693	78,206	78,238	78,238	78,238	78,238	78,238	78,238
8号機(累積)	0	0	0	29,694	29,759	29,759	29,759	31,016	31,379	38,899	38,899	38,899	53,899	53,941	77,477	77,477	77,477	77,477	77,477	77,477
9号機(累積)	0	0	0	3,129	29,215	29,215	29,215	29,215	31,143	31,197	31,197	51,485	66,485	66,527	66,559	66,559	66,559	66,559	66,559	66,559
10号機(累積)	0	0	0	3,129	29,215	29,215	29,215	29,215	30,822	30,875	30,875	51,089	66,089	66,131	66,162	66,162	66,162	66,162	66,162	66,162
11号機(累積)	0	0	0	2,444	28,530	28,530	28,530	28,530	29,852	29,905	42,081	43,087	58,087	58,129	58,160	58,160	58,160	58,160	58,160	58,160
12号機(累積)	0	0	0	2,444	28,573	28,573	28,573	28,573	30,087	37,607	37,607	37,607	52,607	52,649	90,407	90,407	90,407	90,407	90,407	90,407
13号機(累積)	0	0	0	3,129	29,215	29,215	29,215	29,215	29,344	29,397	39,908	42,873	57,873	57,915	57,946	57,946	57,946	57,946	57,946	57,946
14号機(累積)	0	0	709	3,153	29,239	29,239	29,239	30,416	30,416	33,153	33,153	36,118	36,118	68,946	79,721	79,721	79,721	79,721	79,721	79,721
15号機(累積)	0	0	0	3,129	29,496	29,496	29,496	29,496	29,751	29,804	44,212	44,212	59,212	59,254	59,285	59,285	59,285	59,285	59,285	59,285
16号機(累積)	0	0	0	2,642	28,771	28,771	28,771	28,771	38,652	38,706	38,706	38,706	53,706	82,277	82,308	82,308	82,308	82,308	82,308	82,308

資料2-6 ベルトプレスLCC例-2

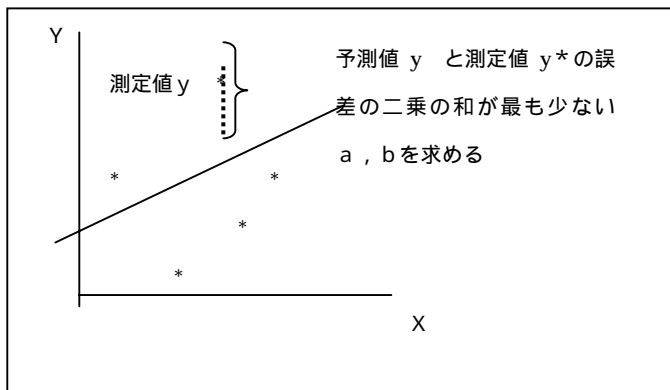


資料 2 - 7 予測技法の概論

1) 多変数回帰

このモデルは汎用的なものである。独立変数 (X_i) と従属変数 (Y_i) から、 $Y = f(X_i)$ を基本は最小二乗法で求めるものである。

簡単な例として、一次線形モデルをあげる。独立変数を X 、従属変数を Y 、 Y の予測値を Y^* としたとき、予測式は $Y^* = aX + b$ の a 、 b を求めるのが、一次線形回帰分析である。この直線式の定数 a 、 b は 最小二乗法 により求めることができる。



最小二乗法とは、測定値とモデルから得られる理論値の差の二乗和が最小となるようなモデルのパラメータを決定する手法のことである。

多変数回帰は独立変数が一つではなく、複数個ある場合のモデルで、多変数回帰分析 (Multiple Regression) と呼ばれ、作成されたモデルを多変数回帰モデルという。

基本は一次線形モデルと同一である。モデルの形は対象により色々であるが、モデル開発者が独立変数と従属変数の関係をグラフなどでプロットし、関係ありそうな独立変数と従属変数の関係を、直感などを用いてモデルの形を決める。

例

多変数一次関数 : $Y^* = a_1 X_1 + a_2 X_2 + \dots + a_n X_n + b$

多変数多次元関数 : $Y^* = a_1 X_1 + b_1 x_1^2 + \dots$

指数関数 : $Y^* = a_1 e^{bx}$

指数関数の例は下水道協会発行の資料に見られる維持管理費の予測モデルであり、両辺の自然対数をとれば一次線形モデルとなる。

両辺の自然対数をとると、

$$\ln(Y^*) = \ln(a_1) + bX \quad \text{となり、一次線形モデルと同じである。}$$

どのような形となっても、数式がなじみ易いため現場でのモデル修正が容易なことが強みである。

2) ニューロ (ニューラルネットワーク)

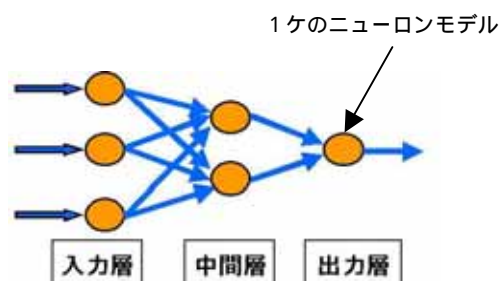
(1) ニューラルネットワークとは、

人間の脳の中には約 140 億個の神経細胞(ニューロン)があり、その神経細胞が互いに結合して、人間の記憶や判断などの精神活動をしている。このような脳の情報処理の方法をコンピュータ上で

行うとするのがニューラルネットである。

(2) ニューラルネットワークの構造と活用

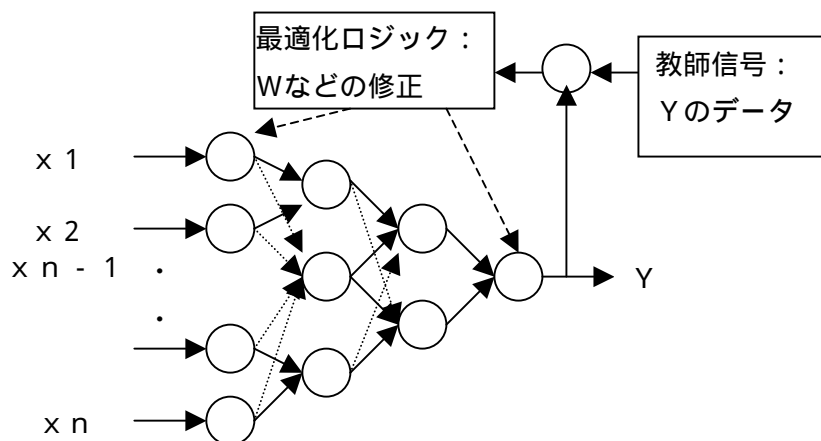
1つのニューロンを下図のようにネットワーク状に構成したものが、ニューラルネットワークである。代表的なニューラルネットワークの構造は下図の様なものである。



(3) 代表的なニューラルネットワークの構造

下水道での適用は雨水ポンプやばっき槽の運転支援等に試行されている。求める出力（例えば流入量） 入力 x_i には a 地点の降雨量、b 地点の降雨量・・・など、適切と思われる独立変数を入れ、過去の流入量実績値を教師信号として与えて、各ニューロンの定数を適正化して、実プロセスの出来るだけ合致するようにする。

維持管理費予測のような、比較的単純な時系列モデルではニューラルネットワークの活用事例はないが、もし適用するとすれば、多変数の場合、以下のようなネットワークが考えられる。



3) 遺伝アルゴリズム (GA: Genetic Algorithms)

遺伝的アルゴリズム (GA) は、1960 年代にジョン・ホランドによって考案されたアルゴリズムで、自然界の進化のメカニズムをコンピュータ上で実現しようというものである。進化論的な考え方に基づいてデータを操作し、最適解探索や学習、推論する手法である。(ある事実をもとにして、他のことをおしはかかると行う。大辞林国語辞典)

プロセスの解明と適切な維持管理を行うため、数学モデルやAIの応用を試みた研究者達は、ニューラルネットワークに続き、新しい概念のGAの活用を試行しはじめた。

新しい概念であるため、先ずGAの概念につき記述する(分かりやすくするため、厳密な理論と

は若干づれる)。

例として、 $Y = aX + b$ の a , b を GA により求める方法を考える。

a, b の値を 4bit ずつで二進法してつなげた 8bit のビット列とするとこれが遺伝子型といい、例えば $a = 5$ 、 $b = 12$ を最初に与える (一般的には乱数を用いて初期値を与える)。

このとき、遺伝子表現は、

0	1	0	1	1	1	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---

 となる。

GA は、進化論的な考え方に基づいてデータを操作すると述べたが、上記の遺伝子 (と考える) を、進化論的に交叉させたり、入れ換えたり、突然変異させたりして次の遺伝子 (次世代遺伝子) を造る。

遺伝子として捉えた a , b を変化させ、変化させた都度、測定値 Y と予測値 y^* (変化させた a , b から計算した Y) を評価し続け、誤差が最も少ない a , b を決定する方法である。下水道への適用では、AO 法における最適運転指針決定の例が報告されている。

4) カオス

カオスは 1961 年ローレンツという気象学者が発見した数学モデルである。天気予報を正確に予測しようとして、コンピュータで 3 回予測したところ、3 回ともまったく違う答えがでたところから疑問は始まったといわれている。

一見、ランダム (でたらめ) に見えるが実は規則性とその裏に隠されている現象 (例えば、降雨と下水流入量の関係) は、今まで予測不可能か、大体当たる統計的予測で我慢していたり、単なるノイズとして片づけられていたが、実は規則性を内包したカオスであることが明らかになりつつある。このような現象は、電気回路の振動、生物の神経系のふるまい、気象現象等、われわれの身の回りにごく一般的に存在している可能性が高い。

このような系を社会的には「複雑系」と呼ぶが、工学的には非線形系と呼ぶ。最近カオスに脚光が集まるようになったのは、カオスの工学的な応用研究が活発化してきたためである。カオスの応用研究は、カオス性を持つと思われる対象を解明してその結果を利用する。ある範囲内で不規則にゆらぐというカオスの特徴を利用して新しい機能を実現する。という 2 つのアプローチがある。前者の例としては、予測・シミュレーション (株式市場、気象、地震、交通渋滞等)、プラント等の故障診断、健康状態の解析・診断等がある。

後者の例としては、大容量記憶・連想記憶・データの高速度検索、パターン認識、ロボットやプラントの制御、CG や音楽などの芸術への応用、家電への応用 (快適性の実現) 等が考えられている。カオス応用はまだ始まったばかりであり、問題点は数多く残っている。現状では応用製品の例は極めて少なく、また、将来本格的なカオス応用が到来するのか不透明な状況にある。しかし、ファジー、ニューラルネットワーク、遺伝的アルゴリズム等と並んで、情報処理に新たな可能性をもたらす技術としての期待は大きい。

上下水道の分野では、明電舎が水道の配水需要予測に適用した事例が発表されている。カオス理論は近代数学であり、ニュートン力学、紙と鉛筆で解を出せる微分方程式や距離空間で語られる線形的世界に生きてきた世代には、なかなか理解しがたい (例えば、位相空間や写像など)。「ゆらぎ」や「フラクタル」と言う言葉は聞いたことがあるが、理解するには相当の努力を必要とする。

資料 4 - 1 受変電設備の保守点検について [閉鎖配電盤] - 1

[H 社の例]

機器名	保 守 の 要 点			点検、交換周期			備 考
	保守の該当部位	トラブルポテンシャル	保守の要点、処置	点 検	部品交換	全体更新	
1 閉鎖配電盤本体 (特高、高圧、低圧)	ベンチレータ、通風口	目づまり 盤内温度上昇 器具劣化	清掃、フィルタ交換	1年毎	フィルタ 交 換 10年	25～30年	屋外設置品は 3～4年毎の補修塗
	主回路、制御ケーブル引込口	小動物、湿気侵入 地絡騒	開口部充填				
	盤内各部及び扉	塵埃、異物侵入大 絶縁不良	清 掃				
	主回路支持絶縁物	汚損、吸湿 トラッキング 閃絡	清 掃				
2 内蔵遮断器 [GCB, ABB, VCB MBB, OCB, ACB]	操作機構部	潤滑油枯渇、発錆 開閉	清掃、潤滑油塗布	普通点検 1年毎	劣化部品 交 換 15年	25～30年	
	遮断部	絶縁抵抗低下、真空度低下 遮断不能	清掃、部品交換 動作確認				
	接触部、締付部	変形、締付不良 過熱	寸法確認、増締	細密点検 3～6年毎			
3 変圧器	乾式	冷却ファン	振動、異常音 過熱	清掃、部品交換	1年毎	冷却ファン用 パリアツク交換 2年	25～30年
		絶縁物表面	汚損、吸湿 トラッキング 閃絡	清掃、コロナ試験 絶縁抵抗測定			
	油入	内部(巻線絶縁物、油)	機械的、電気の強度低下	油中ガス分析、性状分析	1年毎	オイル 10年	25～30年
		本体、付属品	汚損、劣化	清掃、部品交換			
4 負荷開閉器、断路器	操作機構部	潤滑油枯渇 開閉不能	清掃、潤滑油塗布	1年毎	劣化部品 交 換 15年	25～30年	
	絶縁支持部、ロッド	絶縁劣化、トラッキング 閃絡	清 掃				
	遮断部	絶縁抵抗低下 遮断不能	清 掃				
5 高圧限流ヒューズ P T 用ヒューズ	ヒューズリンク(可溶体)	熱的、機械的疲労 エレメント 断線 誤溶断	清 掃 定期的に交換	1年毎	高圧限流 ヒューズ 10年 P T 用 ヒューズ 5年		
6 避雷器	端子表面	汚損、塵埃付着 絶縁不良	清 掃	1年毎		15年	
	避雷器素子	素子経年劣化 性能低下	絶縁抵抗測定				
7 計器用変成器	絶縁物表面 (エポキシ樹脂モールド)	汚損、吸湿 トラッキング 閃絡	清 掃	1年毎		15年	
8 電力用コンデンサ	コンデンサ リアクトル	誘電体の劣化 地絡	油分析、絶縁抵抗 ケースのふくらみ	1年毎		15年	
9 配線用遮断器	ハンドル トリップ、テストボタン	汚損、劣化 固渋 動作不能	動作確認	1年毎		10～15年	

資料4 - 1 受変電設備の保守点検について [閉鎖配電盤] - 2

機器名	保守の要点			点検、交換周期			備考
	保守の該当部位	トラブルポテンシャル	保守の要点、処置	点検	部品交換	全体更新	
10 保護継電器	接点、機構部品	摩耗、損傷、腐食 接触不良 動作齟齬	清掃、チェック	1年毎		1.5年	
	コイル、電解コンデンサ	断線、特性変化 接触不良 誤動作	特性試験				
11 補助リレー	接点	摩耗、損傷、発錆 接触不良 動作不具合	清掃、導通チェック ケース内面のくもり	1年毎		1.5年	
	コイル、コイル端末、端子	断線、劣化 不動作、絶縁不良	コイル抵抗測定				
	ケース	亀裂、破損 塵埃侵入	清掃、交換				
12 操作、切替開閉器	接触部	発錆、腐食 接触不良 過熱	清掃、動作確認	1年毎		1.5年	
	端子	発錆 接触不良	〃				
	ハンドル、取付座	破損劣化 動作固渋	〃				
13 操作制御回路端子台 遮断器二次側端子台	端子	発錆、腐食 接触不良 過熱	清掃、増締	1年毎		1.5年	
	端子間絶縁部	シムラマイグレーション 劣化 動作固渋	清掃、部品交換				
	配線	汚損、劣化 絶縁不良	清掃				

資料 4 - 2 閉鎖配電盤及び内蔵部品取替目安（常規使用状態） - 1

	部 品 名	主な保全内容	主な劣化要因	交換周期(年)	備考	
1	油遮断器 (OCB)	絶縁油	・清掃、潤滑油更新	耐電圧低下	5	
		消弧室	・部分分解を含む精密点検	負荷開 低下および接接触子摩耗	500A 500回	
	小油量 油遮断器 (MOB)	接触子	・開閉試験	劣 化 (固化) 摩 耗 総 合 劣 化	4 ~ 5	
		潤滑油	・絶縁抵抗測定		10000回	
		機構部			20 ~ 25	
2	磁気遮断器 (MBB)	消弧室	・清掃、潤滑油更新	負荷開閉による絶縁低下 および接接触子摩耗	200 ~ 500A 1500回	
		アーク接触子	・部分分解を含む精密点検	絶縁物汚損劣化 劣 化 (固化) 摩 耗 総 合 劣 化	15 ~ 20	
		消弧室用 絶縁吊ボルト 絶縁操作ロッド	・開閉試験		4 ~ 5	
		潤滑油	・絶縁抵抗測定		10000回	
		機構部			20 ~ 25	
3	真空遮断器 (VCB)	真空バルブ	・清掃、潤滑油更新	接点消耗、真空圧力	定格電流 10000回、20年	
		潤滑油	・部分分解を含む精密点検	劣 化 (固化)	4 ~ 5	
		機構部	・開閉試験	摩 耗	10000回	
			・絶縁抵抗測定	総 合 劣 化	20 ~ 25	
4	気中遮断器 (ACB)	消弧室	・清掃、潤滑油更新	負荷開閉による絶縁低下 および接接触子消耗	500A 1000回	
		アーク接触子	・部分分解を含む精密点検	部品摩耗、ダッシュポット 油補給 劣 化 (固化) 摩 耗 総 合 劣 化	ビン、リンク類 油補給4~5	
		過電流引外し装置	・過電流動作試験		4 ~ 5	
		潤滑油	・開閉試験		10000回	
		機構部	・絶縁抵抗測定		20 ~ 25	
5	直流高速度 遮断器	消弧室	・清掃、注油	負荷開閉による絶縁低下 および接接触子消耗	5000A 200回	
		アーク接触子	・部分分解を含む精密点検	ゴ ム 劣 化 汚れ、劣化 密着不具合、発錆 劣 化 (固化) 摩 耗 総 合 劣 化	10	
		可動接触子ストッパ	・過電流動作試験		4 ~ 5	
		ダッシュポット油	・開閉試験		手入 4 ~ 5	
		マグネット面手入	・絶縁抵抗測定		4 ~ 5	
		潤滑油			10000回	
		機構部			20 ~ 25	
6	CT, ZCT	・清掃 ・絶縁抵抗測定	絶縁物汚損 劣 化	15 ~ 20		
7	PT, GPT	同 上	同 上	15 ~ 20		

資料 4 - 2 閉鎖配電盤及び内蔵部品取替目安（常規使用状態） - 2

	部 品 名	主な保全内容	主な劣化要因	交換周期(年)	備考
8	避雷器 (Arr)	・清掃 ・絶縁抵抗測定	分圧抵抗劣化 特性要素劣化	15 ~ 20	
9	進相コンデンサー (SC) サ-ジアップソ-パ用コンデンサ-	・清掃 ・絶縁抵抗測定	誘電体劣化	約15	
10	断路器 (DS)	・清掃, 変色有無 点検 ・絶縁抵抗測定	絶縁物汚損劣化 ピンチ、クリップ部 接触不良	20 ~ 25	
11	負荷開閉器 (L)	同 上	同 上	15 ~ 20	
12	限流ヒューズ (CLF)	・表面清掃	ヒューズエレメント 熱的伸縮による金属疲労	10	
13	PT保護ヒューズ	同 上	同 上	5	
14	主回路導体支持絶縁物 ケーブル支持絶縁物	・清掃 ・絶縁抵抗測定	汚損、劣化	20 ~ 25	
15	ケーブル (盤内)	・清掃、絶縁抵抗測定	水トリー	20 ~ 25	
16	配線用遮断器 漏電ブレーカ (ELCB)	・清掃 ・開閉試験	絶縁物劣化 機構部、接点劣化	15 ~ 20	
17	接触器 (Ctt)	同 上			
18	保護継電器 (Ry)	・リレー、動作特性	コイル絶縁劣化	15 ~ 20	
19	補助電	・清掃 ・シーケンステスト	接触不良	15 ~ 20	
20	サーマルリレー (Th.Ry)	同 上	同 上	15 ~ 20	
21	制御用変圧器	・清掃 ・絶縁抵抗測定	絶縁物劣化	25	
22	指示計器	・清掃	誤差大	15 ~ 20	
23	テスト端子	・清掃	絶縁物劣化	15 ~ 20	
24	スペーサヒータ	・清掃	抵抗体劣化	5 ~ 10	
25	蛍光灯	・清掃	安定器劣化	10 ~ 15	
26	タンプスイッチ 押ボタンスイッチ類	・清掃	絶縁物劣化 接触不良	15 ~ 20	
27	コントロールスイッチ (CS)	・清掃、接点目視点検	同 上	15 ~ 20	
28	端子台、接続用カブラー	・清掃、増縮 変色有無	絶縁物劣化	15 ~ 20	
29	制御電線	・変色有無	絶縁物劣化	20 ~ 25	
30	整流器、電源用コンデンサー	・清掃、目視点検	素子劣化	約15	
31	ケーブル引込口開口部 ふさぎ板 (シ葎)	・目視点検	風化、穴明き	約10	
32	盤間、開口部隔壁	・目視点検	汚損劣化	約20	
33	ドアパッキング	・目視、弾力	劣 化	約10	
34	塗 装 (屋外)	・目視	発 錆	3 ~ 4	
35	ベンチレータ	・清掃	目づまり	20 ~ 25	
36	閉鎖配電盤 (屋外)	・清掃 ・絶縁抵抗測定 (部分的)	総合劣化	20 ~ 25	
37	閉鎖配電盤 (屋内)	・清掃 ・絶縁抵抗測定 (部分的)	総合劣化	25 ~ 30	

下水道設備のLCC検討書

平成15年4月10日 発行

発行者 藤村宏幸

発行所 社団法人東京下水道設備協会

東京都新宿区西新宿1-23-1

Tk新都心ビル

電話(03)3346-3051

本書の著作権は社団法人東京下水道設備協会にあります。

本書の一部または全部を無断で複写、転載、データファイル化することを禁じます。