

Aqua10 研究プロジェクト第一研究委員会

『浄水施設更新シミュレータ』

解説書

財団法人 水道技術研究センター

～ 目 次 ～

1. はじめに	1
2. 浄水施設更新シミュレータの概要と構成	1
3. 入力条件	3
3.1 基本情報	3
3.2 入力情報（1） 現状施設の情報	4
3.3 入力情報（2）－① 更新シナリオの条件	15
3.4 入力情報（2）－② 各シナリオの内容	18
4. シミュレーションの計算式	21
4.1 健全度評価	24
4.2 更新率	24
4.3 故障率	27
4.4 修繕費	28
4.5 （リスク）影響水量	29
4.6 （リスク）損失額	30
4.7 更新費	30
4.8 運転費	32
4.9 高度処理の便益	34
4.10 膜ろ過の便益	35
5. 系列データ集計	35
6. マスターの変更	36
7. シミュレーション例	37

◆用語の説明

1. はじめに

我が国の浄水場の多くは、1960年代の高度成長期に建設されており、50年近く経過した施設の老朽化問題が顕在化しつつある。特に中小規模の自治体においては、更新財源の確保が困難という理由で、更新を先送りしているケースも多々見受けられる。これは更新実施の有無による経済的な比較を容易には行えないことも一因であると考えられる。そこで、本研究では、中小規模の水道事業体を主たる対象として、浄水施設の更新を検討する際の支援ツール『浄水施設更新シミュレータ』を開発し、複数の更新シナリオの比較検討を可能にすることを目的とした。

具体的には、更新シナリオ毎に修繕、更新費用、便益・リスクを金額で比較するシミュレータをMicrosoft Excel (CD版) で作製した。本書はその解説書であるが、シミュレータの操作方法については「浄水施設更新シミュレータ 操作マニュアル」を別冊で作成している。

本シミュレータ (CD、解説書、操作マニュアル) は *Aqua10* 研究プロジェクト「持続可能な水道サービスを目指して」(以後 *Aqua10* プロジェクト) の第一研究委員会における研究成果の一部をとりまとめたものである。

なお、計算結果は実際の金額、数量を表すものではなく更新シナリオの違いをイメージするためのものである。

2. 浄水施設更新シミュレータの概要と構成

アセットマネジメントの観点で浄水施設の更新を検討するツールとして、厚生労働省の「水道事業におけるアセットマネジメントに関する手引きおよび支援ファイル」が知られている。照井らは「浄水場更新計画におけるアセットマネジメントの活用手法の検討」において支援ファイルのより高度な活用方法を提案した¹⁾。浄水施設更新シミュレータでは、これらの考え方を取り入れ、資産の経年化状況、設備の老朽化が原因の故障によるリスクとしての影響水量および影響水量分の損失金額(水道料金の減収と需要者への補償費)の予測、現状の浄水フローと施設規模で更新する場合、将来必要と考えられる浄水フローで更新する場合といったシナリオ毎に、更新費とその後の修繕費、エネルギー、薬品、消耗品、人件費を含む運転費、高度処理や膜ろ過処理による便益を今後50年間に要する費用として提示するものである。

本シミュレータの構成とシミュレーションの流れを図1に示す。基本情報の入力、シナリオに関する情報を入力後にシミュレーションを実行すると、資産の経年化状況、影響水量、損失額、シナリオ毎の修繕費、更新費、運転費、高度処理(高度浄水処理)および膜ろ過処理の便益が計算され、図表として表示される。

なお、本シミュレータを適用できる浄水場の規模(浄水量)は、2,000m³/d以上(原則)、100,000m³/d以下(必須)とする。これは、計算式の基データが2,000~100,000m³/dであったこと、100,000m³/dを大きく超えると、計算結果のいくつかがマイナスの値となるためである。

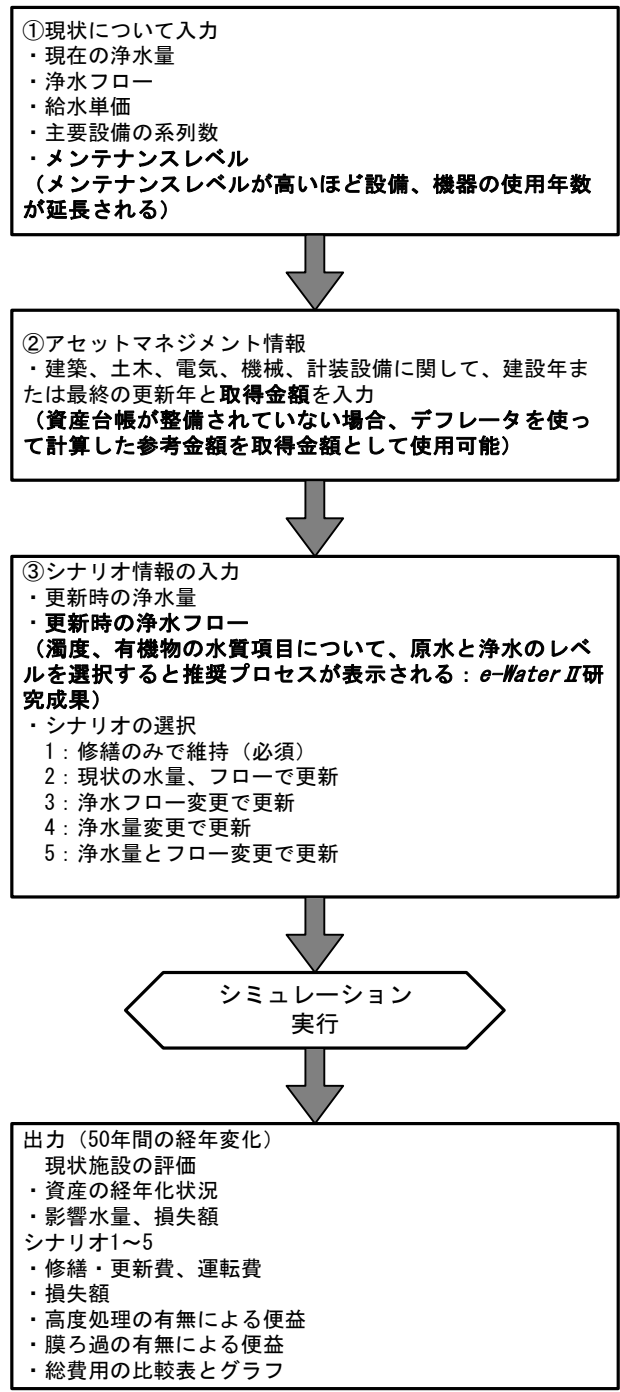


図1 シミュレータの構成

3. 入力条件

基本的に計算式は、既存の資料から引用することとしたが、既存の資料にないものはヒアリングやアンケートのデータを基に作成した。ヒアリングやアンケートでも作成できなかった計算式については、計算結果が常識的な値となるように計算式中の係数を決定した。つまり、シミュレーション結果の一部は、想定値から算出されたものとなっている。

シミュレータにおける入力条件、計算式とその根拠を以下に示す。

3.1 基本情報

基本情報は、本シミュレータの利用者が実施日や対象とした浄水場等を記録するためのもので、シミュレーションの計算には関係しない。実施者が必要に応じて記入する。

入力項目、記載内容、単位等を表1に、入力画面を図2に示す。全ての入力項目が計算に関係しないため、項目毎の解説は省略する。

表1 基本情報

項目	計算式・記載内容	単位	入力の要否 ◎必須;計算に必要 ○任意;計算に影響 △任意;計算に影響せず
作成日	—	—	△
事業体名	—	—	△
所在地	—	—	△
記入者	—	—	△
所属	—	—	△
連絡先	—	—	△

← 戻る
基本情報
次へ →

基本情報

作成日	2011/10/1	日付入力	
事業体名	Aqua10水道		
所在地	〒	都道府県	東京都
	港区虎ノ門		
記入者	水道太郎		
所属			
連絡先	03-000-1111		

← 戻る
次へ →

図2 基本情報の入力画面（入力データは一例）

3.2 入力情報（1） 現状施設の情報

“入力情報（1）”は、現状の浄水施設に関する情報を入力するもので、ほとんどの入力情報がシミュレーション結果に反映される。

入力項目、記載内容、単位等を表2に、入力画面を図3に示す。

表2 入力情報（1）の項目

項目	計算式・記載内容	単位	入力の要否 ◎必須;計算に必要 ○任意;計算に影響 △任意;計算に影響せず
浄水場名	—	—	△
現在の浄水量(日最大)	—	m ³ /d	◎
現在の給水人口	—	人	◎
給水原価	—	円/m ³	◎
原水種類	ダム放流水,ダム水,表流水,湖沼水,伏流水,浅井戸水,深井戸水,湧水,その他	—	△
浄水フロー	滅菌のみ,緩速ろ過,凝集+急速ろ過,(粉末炭)凝集+沈澱+急速ろ過,凝集+沈澱+粒状炭+急速ろ過,(粉末炭)凝集+沈澱+オゾン+粒状炭+急速ろ過,その他から選択	—	◎
粉末炭の有無	有,無	—	◎
主要設備の最小系列数	1,2,3,4,5,6,7,8,9以上	系列	◎
その系列名称	—	—	△
メンテナンスレベル	「表3 メンテナンスレベルスコア評価基準」にて採点 120~600 未入力の場合360で計算 この点数を用いて、設備の法定耐用年数に対する延長係数を算出する(図4、表4参照)	点	○
建築構造物の建設(更新)年	設備分類毎に最後に更新した年、更新していなければ建設年を記入。	(年)	◎
土木構造物の建設(更新)年	系列によって建設(更新)年が大きく異なる場合、系列毎にシミュレーションを行って”系列の集計”を行う。別冊の「浄水施設更新シミュレータ・操作マニュアル」参照。	(年)	◎
電気設備の建設(更新)年	数年違いであれば、いずれかの年に統一してシミュレーションを行うことが望ましい。	(年)	◎
機械設備の建設(更新)年		(年)	◎
計装設備の建設(更新)年		(年)	◎
建築構造物の取得金額	設備分類毎に取得金額を記入。台帳が整備されておらず取得金額が不明な場合、設備分類中の細目毎の集計が困難な場合、参照入力を利用することができる。	千円	◎
土木構造物の取得金額		千円	◎
電気設備の取得金額		千円	◎
機械設備の取得金額		千円	◎
計装設備の取得金額		千円	◎

I. 浄水場の情報

※:入力必須項目

1. 浄水場名	虎ノ門浄水場		
※ 2. 現在の浄水量 (日最大)		15,000	m ³ /d
	更新する場合の浄水量	12,000	m ³ /d
※ 3. 現在の給水人口	?	40,000	人
※ 4. 給水原価	?	180	円/m ³
5. 原水種類	?	ダム水	
※ 6. 浄水フロー	?	凝集+沈澱+急速ろ過	
※ 7. 粉末炭の有無	?	無	
※ 8. 主要設備の最小系列数	?	2	
9. その系列名称	?	沈澱池	
※ 10. メンテナンスレベル	?	480	

入力:次画面『入力情報②』にて行って下さい

メンテナンスレベル
スコア基準を入力する

II. 設備分類毎の情報

ここでの建設(更新)年は、主たる設備、機器を取得した年を入力(選択)して下さい。
また、取得金額は主たる設備、機器他のおおよその金額を入力(台帳からの転記あるいは参照入力)して下さい。

※:入力必須項目

		建設(更新)年	取得金額	
※ 11. 建築構造物	?	1968年	18,337	千円 ◀ 建築参照入力
※ 12. 土木構造物	?	1968年	83,801	千円 ◀ 土木参照入力
※ 13. 電気設備	?	1963年	142,206	千円 ◀ 電気参照入力
※ 14. 機械設備	?	1963(昭和38)	209,503	千円 ◀ 機械参照入力
※ 15. 計装設備	?	1964(昭和39)	4,584	千円 ◀ 計装参照入力
		1965(昭和40)		
		1966(昭和41)		
		1967(昭和42)		
		1968(昭和43)		
		1969(昭和44)		
		1970(昭和45)		

図3 入力情報(1)の入力画面(入力データは一例)

・浄水場名

シミュレーション対象の浄水場名を入力する。

本シミュレータでは、同じ浄水場内の浄水施設であっても、建設年(あるいは最新の更新年)が大きく異なる場合や浄水フロー、設備規模が異なる系列については、別の浄水場(エクセルの別ファイル)として情報入力を行う必要がある。保存するファイル名と浄水場名(実際には系列名)が一致するようにしておく、複数系列の合算を行う際に便利である。例えば、建設年が1965年と1972年の系列がある浄水場の場合、“虎ノ門浄水場1965”、“虎ノ門浄水場1972”などとする。

最終的な更新、修繕、運転、便益、損失費用については、系列の合算を行うことにより浄水場全体の各費用を求めることができる。合算できる系列数(ファイル数)は最大5つまでとなっている。

また、事業体内の複数の浄水場についてシミュレーションを行って、その結果を合算することにより、事業体全体での費用集計を行うことも可能である。

- ・現在の浄水量（日最大）

現状の浄水施設の浄水能力（ m^3/d ）を入力する。

この数値は、浄水フローと併せて設備取得額の参照金額の算出、浄水処理に関する運転費、シミュレーション上で浄水フローを変更した場合の設備費、浄水処理に関する運転費、故障した場合の修繕費の計算に用いられる。

- ・現在の給水人口

現在の給水人口を入力する。

系列毎にシミュレーションを行う場合、系列毎の浄水量で給水人口を按分する。例えば、浄水場全体の給水人口が 60,000 人で浄水量 $10,000\text{m}^3/\text{d}$ と $20,000\text{m}^3/\text{d}$ の 2 系列の場合、給水人口は 20,000 人と 40,000 人となる。

この数値は、浄水施設の設備故障により給水不能となる浄水量を影響水量（想定上の水量）と定義し、影響水量によって発生する損失額（水道料金の減収と需要者への補償費）の計算に用いられる。

- ・給水原価

現在の給水原価を入力する。

系列毎の給水原価を算出するのは困難と思われるので、浄水場としての給水原価を入力する。この数値は、現状の浄水フローでの浄水処理に係わる運転費の計算に用いられる。

- ・原水の種類

系列の違い等を区別するための情報で、シミュレーションの計算には関係しない。実施者が必要に応じて記入する。

- ・（現在の）浄水フロー

「滅菌のみ、緩速ろ過、凝集＋急速ろ過、凝集＋沈澱＋急速ろ過、凝集＋沈澱＋粒状炭＋急速ろ過、凝集＋沈澱＋オゾン＋粒状炭＋急速ろ過、その他」から選択する。複数のプロセスからなる浄水フローについては順不同であるので、プロセスの並びが異なる場合も同じ浄水フローとして選択する。選択する浄水フローに“膜ろ過”プロセスを含んでいないが、膜ろ過を採用している浄水場は比較的新しい浄水場であり、当面更新を検討する必要がないとの考えからである。

現在の浄水量（日最大）と併せて、設備取得額の参照金額の算出、浄水処理に関する運転費、シミュレーション上で浄水量を変更した場合の設備費、浄水処理に関する運転費、故障した場合の修繕費の計算に用いられる。なお、「滅菌のみ、緩速ろ過、その他」のいずれかを選択すると、シナリオ 4（現在の浄水フローで浄水量を変更して更新）は選択不可となる。

- ・粉末炭の有無

浄水フローに付随する項目で「凝集＋沈澱＋急速ろ過」において、粉末炭の注入設備を

有する場合は“有”を選択する。

高度浄水処理の便益計算などに影響することから、水源事故対策としての設備の場合は“無”を選択する。

・主要設備の最小系列数（その名称）

混和池、フロック形成池、沈澱池、ろ過池などの浄水設備のなかで最も少ない設備数を選択（1～9）する。ほとんどの場合、着水井、浄水池は系列数が1となることから除外する。

この数値は、浄水施設の設備故障により給水不能となる浄水量＝影響水量（想定上の水量）の計算に用いられる。設備名称については、単なるメモとなるため省略してもよい。

・メンテナンスレベル

Aqua10プロジェクトにおいて、浄水場の維持管理水準（メンテナンスレベル）と各水道事業体で設定している設備更新基準年数にどのような関係があるか調査することを主な目的として、12浄水場（10水道事業体）を対象に2010年6月16日～7月30日にヒアリングを実施した²⁾。

メンテナンスレベルを評価する方法として、6つの評価項目を設定して、ヒアリング結果を基に採点して数値化した。メンテナンスレベル評価基準を表3に示す。

つぎに、メンテナンスレベルと各設備の使用年数の関係を解析した。メンテナンスレベルスコアと各設備の使用年数の関係を図4に示す。これらの散布図の相関関係から、法定耐用年数に対してどの程度使用年数を延長できるかを表す“延長係数”を表4のように決定した。

なお、メンテナンスレベルスコアが未入力の場合、メンテナンスレベルスコア＝360点（中間点）として、各設備（建築、土木、電気、機械、計装）の延長係数が計算される。

表3 メンテナンスレベルスコア評価基準（スコアは一例）

メンテナンスレベルスコア評価基準		すべて無回答にする	
最も近いと思われる評価レベルをチェックして下さい。全ての評価項目をチェックしないと、評価ポイントは有効となりません。			
評価項目	評価レベル	score	スコア
技術スタッフの充実度	<input type="checkbox"/> 維持管理を行うための技術スタッフが必要十分数確保されている	100	40
	<input type="checkbox"/> 維持管理を行うための技術スタッフがある程度確保されている	80	
	<input checked="" type="checkbox"/> 維持管理を行うための技術スタッフが十分ではない。	40	
	<input type="checkbox"/> 維持管理を行うための技術スタッフが明らかに不足している。	20	
予防保全への取り組み	<input type="checkbox"/> 故障が発生する前に部品交換やオーバーホール等の必要な対応を行っている。	100	80
	<input checked="" type="checkbox"/> どちらかという、故障が発生する前に部品交換やオーバーホール等の必要な対応を行っている。	80	
	<input type="checkbox"/> 事故や故障が発生してから対応がほとんどである。	40	
	<input type="checkbox"/> いつも事故や故障が発生してから対応している。対応が遅れる場合もある。	20	
マニュアルの充実度	<input type="checkbox"/> 施設点検等に必要なマニュアルやチェックシートが充実している。また、内容も適宜更新されている。	100	80
	<input checked="" type="checkbox"/> 施設点検等に必要なマニュアルやチェックシートがあるが、見直しを行う必要を感じている。	80	
	<input type="checkbox"/> 施設点検等に必要なマニュアルを作成中、あるいは作成する必要性を認識している。	40	
	<input type="checkbox"/> 施設点検等に必要なマニュアルがない。どのように作成したらよいかわからない。	20	
点検・修繕履歴の管理	<input type="checkbox"/> 点検・修繕履歴を適切に管理し、過去の履歴から将来の施設整備計画を策定している。	100	80
	<input checked="" type="checkbox"/> 点検・修繕履歴を管理しているが、管理面での課題もある。	80	
	<input type="checkbox"/> 点検・修繕履歴をある程度は管理しているが、過去の履歴で逸散してしまったものも多い。	40	
	<input type="checkbox"/> 点検・修繕履歴を適切に管理していない。過去の履歴もほとんどが逸散している。	20	
更新・修繕等の状況	<input type="checkbox"/> 必要な修繕が確実に行われ、独自の基準に基づき施設が適切に更新されている。	100	80
	<input checked="" type="checkbox"/> 必要に応じて修繕が行われ、施設更新もある程度実施されている。	80	
	<input type="checkbox"/> 必要最低限の修繕が行われ、施設更新の明確な基準もない。	40	
	<input type="checkbox"/> 必要な修繕も先送りされることが多く、法定耐用年数を大きく超えて施設運用がなされている。	20	
更新・修繕等に必要な予算	<input type="checkbox"/> 更新・修繕等に必要な予算が確実に認められている。	100	80
	<input checked="" type="checkbox"/> 更新・修繕等に必要な予算はほぼ認められている。	80	
	<input type="checkbox"/> 更新・修繕に必要な予算は最低限度認められている。	40	
	<input type="checkbox"/> 更新・修繕等に必要な予算がほとんど認められていない。	20	
		評価ポイント	440

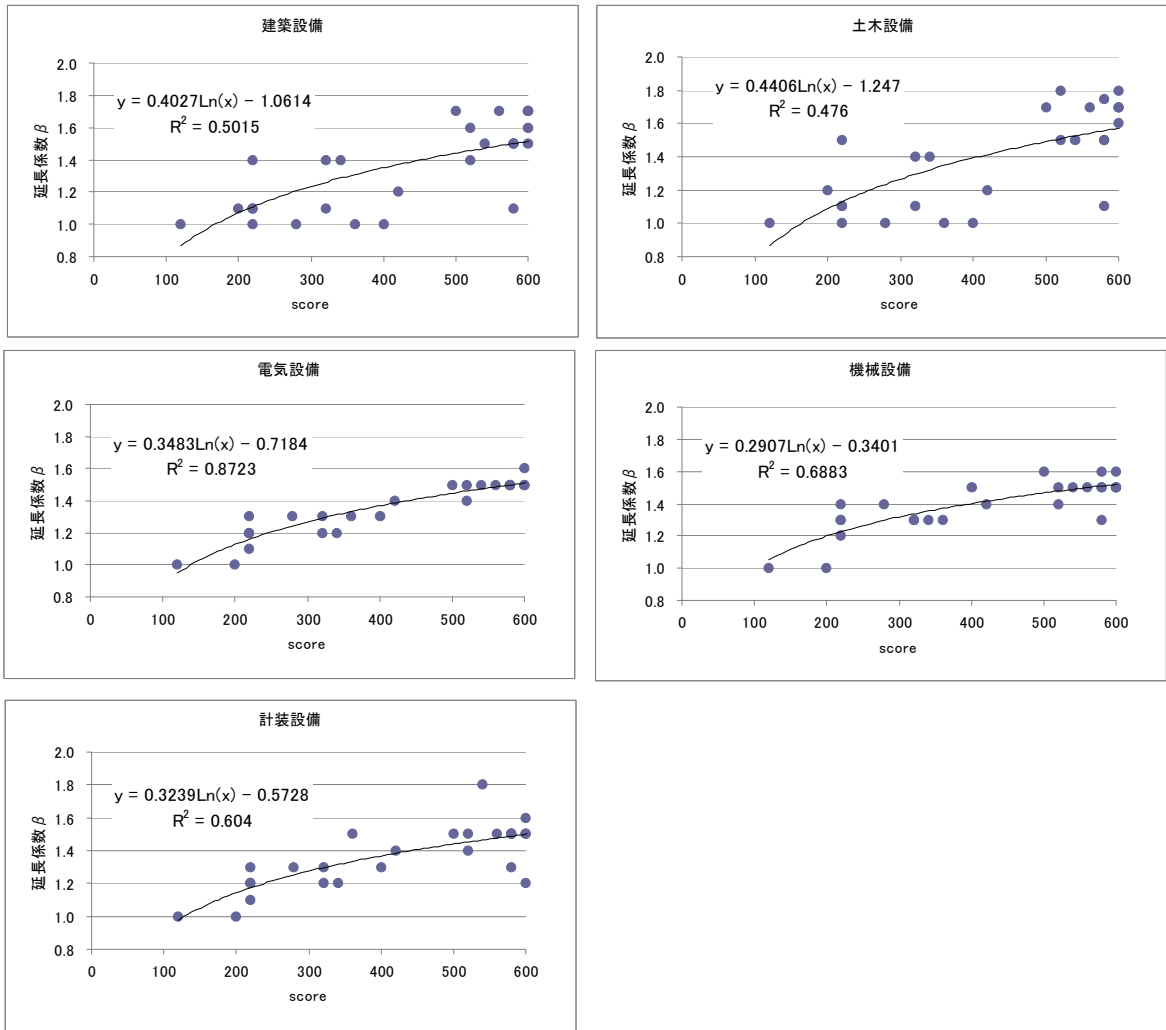


図4 メンテナンスレベルスコアと延長係数の関係

表4 設備の法定耐用年数に対する延長係数 β

建築構造物（設備）	$\beta = 0.4027\text{Ln}(x) - 1.0614$	$x = \text{メンテナンスレベルスコア}$ （表3、図4参照） <i>Aqual0</i> 研究成果（浄水場へのヒアリング）より
土木構造物（設備）	$\beta = 0.4406\text{Ln}(x) - 1.247$	
電気設備	$\beta = 0.3483\text{Ln}(x) - 0.7184$	
機械設備	$\beta = 0.2907\text{Ln}(x) - 0.3401$	
計装設備	$\beta = 0.3239\text{Ln}(x) - 0.5728$	
法定耐用年数（日本水道協会 水道施設更新指針 平成17年5月） 建築構造物 50年、土木構造物 60年、電気設備 20年、機械設備 15年、計装設備 10年		

・建設（更新）年

建設（更新）年として主たる建築構造物、土木構造物、電気設備、機械設備、計装設備の建設年あるいは最新の更新年を各々入力する。

※取得金額よりも先に入力することによって、取得金額を入力するときに参照金額を利用（参考となる金額の表示あるいは参考となる金額を転記）可能となる。

建設（更新）年は、設備の健全度評価、影響水量、損失額、故障時の修繕費、最初の更新年などに影響する。

・取得金額

資産管理台帳を基に入力することを前提としているが、先に“建設（更新）年”を入力しておけば“参照金額”を利用することも可能である。単に、更新シナリオによって、総費用がどの程度変化するかを見たい場合、“参照金額”をそのまま入力すると便利である。

参照金額はシミュレータの入力操作を簡略化するために、シミュレータ内にデータベースとして用意した設備費のことである。参照金額の基となるデータは、*e-Water II*にて実施した浄水場へのアンケート結果を解析したものである。*e-Water II*で得られた浄水フロー毎、浄水量に応じた浄水施設の建設費のデータを、本研究にてさらに解析を進めて、建築、土木、電気、機械、計装設備といった設備分類に費用を算出する計算式を作成した。

参照金額の算出方法を表 5 に、設備分類毎（建築、土木、電気、機械、計装）の金額比率を表 6 に示す。

表 6 の電気設備の金額比率計算式は浄水量に反比例（浄水量が増すほど金額比率が小さくなる）となっている。一方、設備費（建築、土木、電気、機械、計装の更新費の合計）は浄水量が増すほど大きくなるが、金額比率が小さくなる以上には大きくならないケースがある。浄水量 100,000m³/d 以下の条件で、浄水量が増すほど電気設備費（浄水量毎の電気設備比率×設備費）が大きくなる浄水フローの一例（凝集+沈澱+膜ろ過）を図 5 に、浄水量が増すほど電気設備費が小さくなる浄水フローの一例（粉末炭+凝集+沈澱+急速ろ過）を図 6 に示す。

図 6 のように、浄水フローによっては浄水量が増えるほど電気設備費が小さくなることから、計算式に入力される浄水量に上限値を設定した（表 6 備考欄参照）。

建設（更新）年時の金額を現在価値に換算するためのデフレーターを表 7 に、設備費の参照金額の一例を表 8 に示す。なお、デフレーターの基準年は 2000 年であり、2007～2009 年は暫定値となっている。

表 5 設備費の参照金額算出方法

	計算式・条件	根拠・出典
Step1 設備基準金額の設定	基準フローを凝集+沈澱+急速ろ過 とする 基準浄水量を浄水量 20,000m ³ /d としたとき 基準設備費（浄水施設全体の建設費）Cs =159,900 万円	e-Water II研究成果 ³⁾ より 土木基礎、場内の道路、連絡配管を除く浄水施設の設備費
Step2 基準フローでの浄水量補正式	基準フローにおける 浄水量 m ³ /d 当たりの設備比率の変化率 a = (3,201-1,599) ÷ (100,000-20,000) =0.020025 切片 b=3201-a×100,000=1198.5	e-Water II研究成果より
Step3 設備比率の浄水量による補正	浄水フロー-X で浄水量 100,000m ³ /d の設備費率を X ₁₀ 、 浄水量 20,000m ³ /d での設備費率を X ₂ とする 浄水量 m ³ /d 当たりの設備比率の変化率 Ax = (X ₁₀ -X ₂) ÷ (100,000-20,000) 切片 Bx=X ₁₀ -100,000×Ax	e-Water II研究成果より 浄水フロー21 パターンの設備費比率が掲載されている 浄水量 20,000m ³ /d と 100,000m ³ /d の浄水フロー 毎の設備比率は浄水量に応じてほぼ一次比例となる
Step4 基準フローで任意の浄水量での設備費	基準フローで任意の浄水量 Q での設備費（万円）Cs _q =0.020025×Q+1198.5	e-Water II研究成果より 浄水量 20,000m ³ /d と 100,000m ³ /d の浄水フロー 毎の設備比率は浄水量に応じてほぼ一次比例となる
Step5 任意の浄水フロー、浄水量での設備費	浄水フロー-X で浄水量 Q での設備費 Cx _q = (Ax×Q+Bx) × Cs _q	
Step6 設備分類毎の比率	浄水フロー、浄水量によって設備分類毎（建築、土木、電気、機械、計装）の金額比率は表 6 参照	e-Water II研究成果を基に算出した
Step7 取得年の価格	取得年の金額=設備分類毎の金額×デフレータ	※国土交通省ホームページ http://www.mlit.go.jp/tokei_jouhou/chojou/def.htm (2010.6.22)

表 6 浄水フロー毎の設備費率計算式

浄水フロー		分類	採用	備考
-	膜ろ過	土木	0.06	
		建築	0.09	
		電気	$=0.420-0.0012((X-2000)/1000)$	
		機械	$=1.000-その他$	
		計装	0.01	
凝集	膜ろ過	土木	0.08	
		建築	0.09	
		電気	$=0.410-0.0012X$	
		機械	$=1.000-その他$	
		計装	0.01	
凝集+沈澱	急速ろ過	土木	$=1.000-その他$	
		建築	0.04	
		電気	$=0.344-0.0026X$	浄水量>44000の場合、浄水量=44000で計算
		機械	0.47	
		計装	0.01	
粉末炭+凝集+沈澱	急速ろ過	土木	$=1.000-その他$	
		建築	0.07	
		電気	$=0.330-0.0025X$	浄水量>44000の場合、浄水量=44000で計算
		機械	0.47	
		計装	0.01	
凝集+沈澱	膜ろ過	土木	0.11	
		建築	0.08	
		電気	$=0.380-0.0013X$	
		機械	$=1.000-その他$	
		計装	0.01	
粉末炭+凝集+沈澱	膜ろ過	土木	0.12	
		建築	0.09	
		電気	$=0.360-0.0013X$	
		機械	$=1.000-その他$	
		計装	0.01	
凝集	急速ろ過	土木	$=1.000-その他$	
		建築	0.05	
		電気	$=0.410-0.0030X$	浄水量>52000の場合、浄水量=52000で計算
		機械	0.42	
		計装	0.01	

浄水フロー		分類	採用	備考
凝集+沈澱+粒状炭	急速ろ過	土木	$=1.000-その他$	
		建築	0.03	
		電気	$=0.350-0.0027X$	浄水量>44000の場合、浄水量=44000で計算
		機械	0.50	
		計装	0.01	
凝集+沈澱+粒状炭	膜ろ過	土木	$=1.000-その他$	
		建築	0.07	
		電気	$=0.380-0.0018X$	浄水量>84000の場合、浄水量=84000で計算
		機械	0.48	
		計装	0.01	
凝集+沈澱+オゾン+粒状炭	急速ろ過	土木	$=1.000-その他$	
		建築	0.04	
		電気	$=0.380-0.0024X$	浄水量>58000の場合、浄水量=58000で計算
		機械	0.48	
		計装	0.01	
凝集+沈澱+オゾン+粒状炭	膜ろ過	土木	$=1.000-その他$	
		建築	0.07	
		電気	$=0.390-0.0017X$	浄水量>94000の場合、浄水量=94000で計算
		機械	0.48	
		計装	0.01	
粒状炭	膜ろ過	土木	$=1.000-その他$	
		建築	0.07	
		電気	$=0.410-0.0018X$	浄水量>96000の場合、浄水量=96000で計算
		機械	0.48	
		計装	0.01	
凝集+粒状炭	膜ろ過	土木	$=1.000-その他$	
		建築	0.07	
		電気	$=0.410-0.0018X$	浄水量>96000の場合、浄水量=96000で計算
		機械	0.47	
		計装	0.01	
オゾン+粒状炭	膜ろ過	土木	$=1.000-その他$	
		建築	0.07	
		電気	$=0.420-0.0017X$	
		機械	0.47	
		計装	0.01	

※ $X = (\text{浄水量 } \text{m}^3/\text{d}-2000) / 1000$

※2,000 m^3/d 以下は2,000 m^3/d として計算。100,000 m^3/d 超は対象外

※膜ろ過は電気・機械で変動、急速ろ過・粒状炭は土木・電気で変動させる

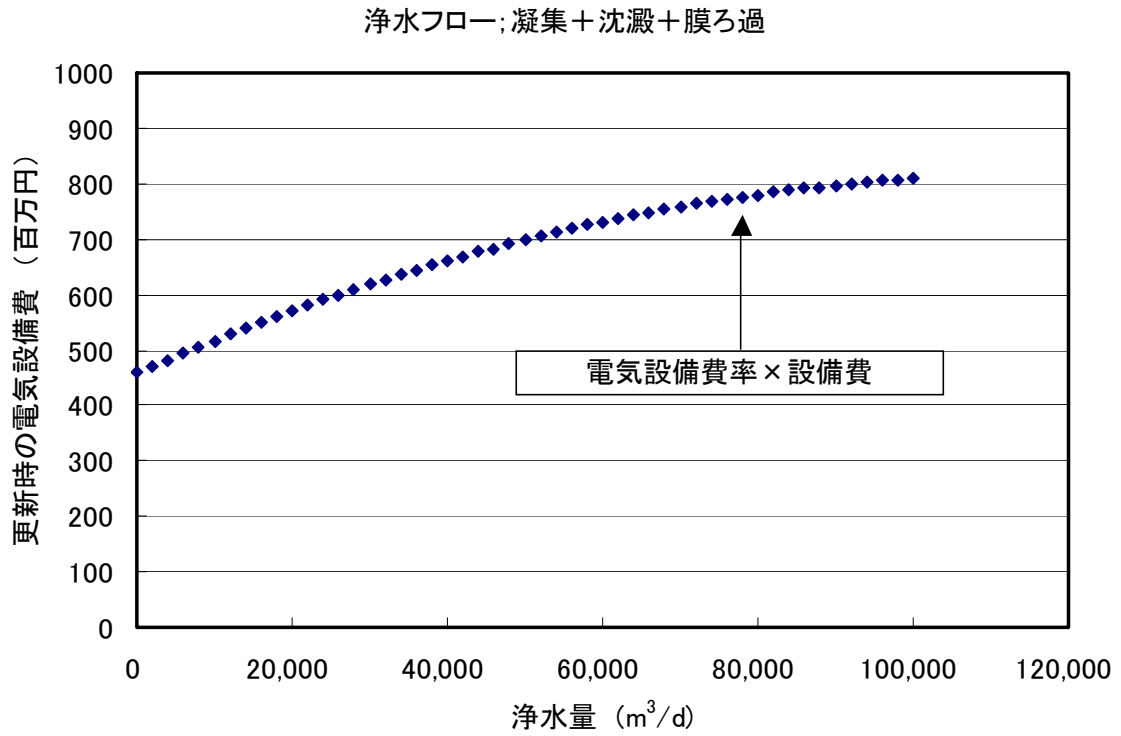


図5 浄水量と電気設備費の関係 (浄水量に電気設備費が比例)

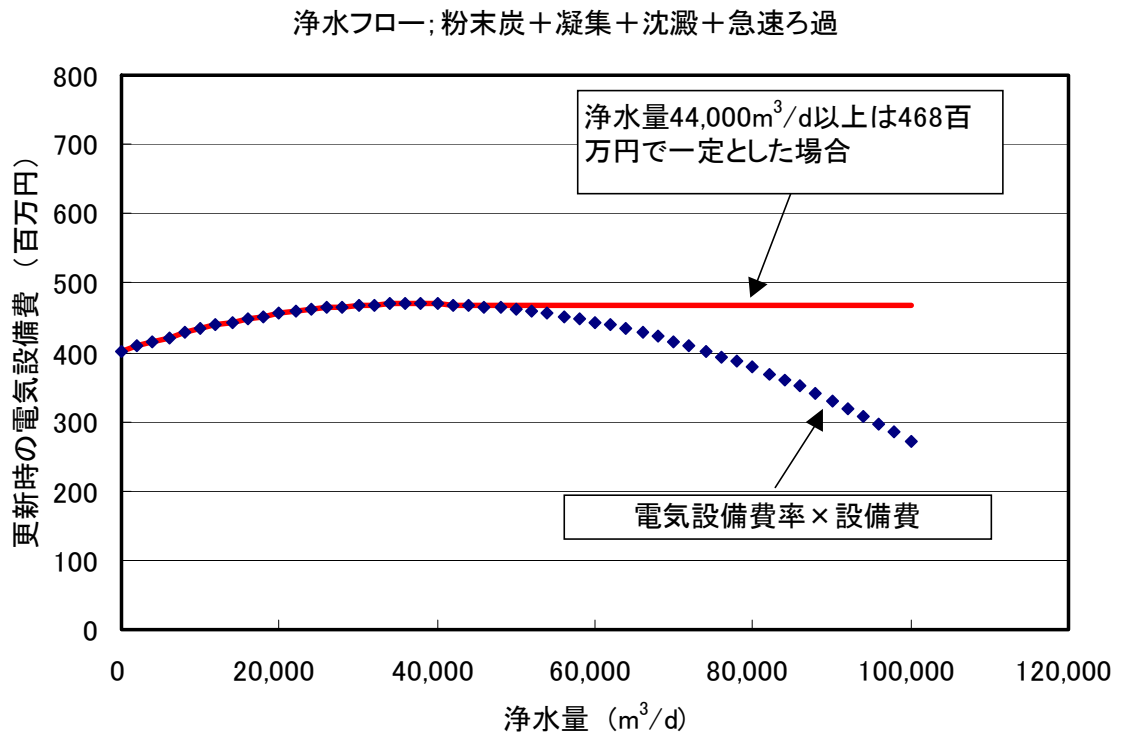


図6 浄水量と電気設備費の関係 (浄水量に電気設備費が比例しない)

表7 デフレーター（基準年2000年）

（年度）	下水道	上工業用水道	（年度）	下水道	上工業用水道
1951年度	14.8	—	1985年度	86.6	89.1
1952年度	15.9	—	1986年度	85.7	88.0
1953年度	17.0	—	1987年度	86.8	88.6
1954年度	17.0	—	1988年度	88.6	90.3
1955年度	17.1	—	1989年度	93.0	94.5
1956年度	18.9	—	1990年度	96.2	97.8
1957年度	20.1	—	1991年度	99.1	100.4
1958年度	19.4	—	1992年度	100.5	101.6
1959年度	19.9	—	1993年度	100.7	101.4
1960年度	21.1	—	1994年度	101.1	101.6
1961年度	23.4	—	1995年度	101.4	101.8
1962年度	24.2	—	1996年度	101.4	101.5
1963年度	24.7	—	1997年度	102.2	102.5
1964年度	25.6	—	1998年度	100.6	100.9
1965年度	26.4	—	1999年度	99.7	99.8
1966年度	28.1	—	2000年度	100.0	100.0
1967年度	29.6	—	2001年度	98.2	98.1
1968年度	30.6	—	2002年度	97.2	97.4
1969年度	32.8	—	2003年度	97.5	98.6
1970年度	35.2	—	2004年度	98.4	100.3
1971年度	36.0	—	2005年度	99.9	102.0
1972年度	38.1	—	2006年度	101.5	103.5
1973年度	48.7	—	2007年度(暫定)	103.4	105.3
1974年度	59.1	—	2008年度(暫定)	106.3	110.0
1975年度	59.7	—	2009年度(暫定)	103.2	106.4
1976年度	64.0	—			
1977年度	67.2	—			
1978年度	71.7	—			
1979年度	78.0	—			
1980年度	85.0	—			
1981年度	86.0	—			
1982年度	86.3	—			
1983年度	86.1	—			
1984年度	87.5	—			

※1951～1984年は上工業用水道の数値が存在しないため、下水道の数値を採用

表 8 設備費参照金額の一例 (浄水量 15,000m³/d の場合)

浄水フロー		相対設備費率 20,000m ³ /d (-)	相対設備費率 100,000m ³ /d (-)	入力浄水量での相 対設備費率(-)	設備費参照金額 (万円)
-	膜ろ過	1.375	1.500	1.367	204,901
凝集	膜ろ過	1.518	1.629	1.511	226,435
凝集沈澱	急速ろ過	1.000	1.000	1.000	149,888
粉末炭・凝集沈殿	急速ろ過	1.196	1.166	1.198	179,588
凝集沈殿	膜ろ過	1.857	2.018	1.847	276,819
粉末炭・凝集沈殿	膜ろ過	2.053	2.185	2.045	306,536
凝集	急速ろ過	0.661	0.611	0.664	99,486
凝集沈澱・粒状炭	急速ろ過	1.589	1.796	1.576	236,248
凝集沈澱・粒状炭	膜ろ過	2.446	2.814	2.423	363,196
凝集沈澱・オゾン・粒状	急速ろ過	2.089	2.388	2.070	310,315
凝集沈澱・オゾン・粒状	膜ろ過	2.946	3.407	2.917	437,264
粒状炭	膜ろ過	1.982	2.296	1.962	294,122
凝集・粒状炭	膜ろ過	2.107	2.425	2.087	312,812
オゾン・粒状炭	膜ろ過	2.464	2.888	2.437	365,346

※相対設備費率：「凝集＋沈澱＋急速ろ過」の設備費（浄水場全体）を 1.0 とした時の比率

3.3 入力情報（2）－① 更新シナリオの条件

ここでは、更新後のシナリオに関する情報を入力するもので、更新時に浄水量および浄水フローを変更するシナリオを選択する場合に必要な情報を入力する。入力情報がシミュレーション結果に反映される。

入力項目、記載内容、単位等を表 9 に、入力画面を図 7 に示す。

表 9 入力情報（2）の項目

	項目	計算式・記載内容	単位	入力の要否 ◎必須；計算に必要 ○任意；計算に影響 △任意；計算に影響せず
浄水量	更新する場合の浄水量(予測値)	-	m ³ /d	○
	◆原水水質(現状ないし将来予測)	現状ないし将来予測の(取水可能として いる)最大値を選択		
原水水質	濁度	1.0度以下、1.0度超～5.0度以下、5.0度 超～800度以下、800度超	度	○
	TOC	2.5mg/L以下、2.5mg/L超～3.5mg/L以下、 3.5mg/L超～8.1mg/L以下、 8.1mg/L超	mg/L	○
	カビ臭	5ng/L以下、5ng/L超～25ng/L以下、 25ng/L超～1000ng/L以下、1000ng/L 超	ng/L	○
	THMFP	0.04mg/L以下、0.04mg/L超～0.07mg/L 以下、0.07mg/L超～0.14mg/L以下、 0.14mg/L超	mg/L	○
	◆浄水水質	目標とする浄水水質		
浄水水質	濁度	(2.0度以下)、0.1度以下、0.01度以下	度	○
	TOC	3.0mg/L以下、1.5mg/L以下、1.0mg/L 以下	mg/L	○
	カビ臭	10ng/L以下、3ng/L以下、1ng/L以下	ng/L	○
	THMFP	0.1mg/L以下、0.04mg/L以下、 0.015mg/L以下	mg/L	○
	◆原水レベル(出力情報)			
原水レベル	濁度	低-1、低、中、高、高高	-	-
	TOC	低-2、低-1、低、中、高、高高	-	-
	カビ臭	低-2、低-1、低、中、高、高高	-	-
	THMFP	低-1、低、中、高、高高	-	-
	◆浄水レベル(出力情報)			
浄水レベル	濁度	水質基準値、レベル1、レベル2	-	-
	TOC	水質基準値、レベル1、レベル2	-	-
	カビ臭	水質基準値、レベル1、レベル2	-	-
	THM	水質基準値、レベル1、レベル2	-	-
	◆推奨プロセス(出力情報)			
推奨プロセス	濁度除去プロセス	不要、凝集＋急速ろ過、膜ろ過、凝集 ＋急速ろ過、凝集＋沈澱＋急速ろ過、 凝集＋沈澱＋膜ろ過	-	-
	有機物除去プロセス	不要、粉末炭、粒状炭、オゾン＋粒状	-	-
	希望フロー	膜ろ過、凝集＋膜ろ過、凝集沈澱＋急 速ろ過、粉末炭＋凝集＋沈澱＋急速ろ 過、凝集沈澱＋膜ろ過、粉末炭＋凝集 ＋沈澱＋膜ろ過、凝集＋急速ろ過、凝 集＋沈澱＋粒状炭＋急速ろ過、凝集＋ 沈澱＋粒状炭＋膜ろ過、凝集＋沈澱＋ オゾン＋粒状炭＋急速ろ過、凝集＋沈 澱＋オゾン＋粒状炭＋膜ろ過、粒状炭 ＋膜ろ過、凝集＋粒状炭＋膜ろ過	-	○

III. 浄水量の情報

16. 更新する場合の浄水量

IV. 推奨浄水プロセスの情報

原水水質、浄水水質は最大値で選択して下さい

	現状の原水水質	将来予想される原水水質	要求される浄水水質
17. 濁度	5.0度超～800度以下	5.0度超～800度以下	0.1度以下
18. TOC	2.5mg/L超～3.5mg/L以下	2.5mg/L超～3.5mg/L以下	1.0mg/L以下
19. カビ臭	5ng/L超～25ng/L以下	5ng/L超～25ng/L以下	3ng/L以下
20. THMFP	0.015mg/L超～0.04mg/L以下	0.015mg/L超～0.04mg/L以下	0.04mg/L以下

※「現状の原水水質」、「将来予想される原水水質」のどちらか一方もしくは「両方」入力して下さい。

プロセス選定

原水レベル(水質が良好な順に) 低-2、低-1、中、高、高高
 浄水レベル(水質が良好な順に) レベル2、レベル1、水質基準

	原水レベル	浄水レベル	推奨プロセス
濁度	高	レベル1	凝集+沈澱+急速ろ過
有機物	TOC	レベル2	粒状炭or(オゾン+粒状炭)
	カビ臭	レベル1	粉末炭or粒状炭or(オゾン+粒状炭)
	THM	低	不要

希望フロー

※「推奨プロセス」を参考に入力下さい

21. 希望フロー

粉末炭平均注入率	<input type="text" value="5"/>	mg/l
粉末炭注入日数	<input type="text" value="120"/>	日/年

現在の浄水フロー	粉末炭の有無
凝集+沈澱+急速ろ過	有

全ての水質項目に対して処理プロセスが不要となった場合、原水が地下水で鉄、マンガンを含むときは希望フロー「凝集+急速ろ過」を選択して下さい。

図7 入力情報(2)の入力画面

・更新する場合の浄水量(日最大)

将来、浄水量の増減が予想される場合、更新する場合の浄水量(m³/d)を入力する。

この数値は、浄水フローあるいは希望フローと併せて設備費の算出、浄水処理に関する運転費、故障した場合の修繕費に用いられる。

・推奨浄水プロセスの情報

濁度、TOC、カビ臭(ジェオスミン+2-MIB)、トリハロメタン生成能(THMFP)について、現状の原水水質ないし将来予想される原水水質レベルを選択する。現状と将来予想される原水水質の両方を選択した場合、推奨プロセスの選定では将来予想される原水水質(原水レベル)が用いられる。

水道技術研究センター主催の研究プロジェクト e-Water II(2005～2007年度実施)にて、原水水質レベルと要求される浄水水質レベルに応じて、適切な浄水プロセスが選定されるシステムが提案されている³⁾。

濁度、TOC、カビ臭(ジェオスミン+2-MIB)、トリハロメタン生成能あるいはトリハロメタン(THMFP/THM)の原水水質レベル(低-2、低-1、低、中、高、高高)と要求される浄水水質レベル(水質基準値、レベル1、レベル2)を入力すると、濁度除去のため

の浄水プロセスと有機物除去のための浄水プロセスが複数選定される。

本シミュレータにおいては、*e-Water II*の研究成果では設定されていない“低-2”（TOCとカビ臭のみ設定）、“低-1”、“高高”が設定されている。

原水レベル“低-2”、“低-1”については、計算式上の問題から設定したもので、原水水質が要求される浄水水質と同じかそれ以下の場合に必要なレベルである。

原水レベル“高高”については、原水レベル“高”を超過する水質についても目安となる浄水プロセスが必要と考え設定した。したがって、“高高”となった場合の“推奨プロセス”は参考として取り扱う。

浄水レベル1は「浄水場で適切に運転管理が行われている場合に達成可能な値」、すなわち我が国のほとんどの浄水場で満足しているレベルとして、水道統計より全浄水場の出口濃度の年間最大値で累積頻度90%の値を参考に設定されている。浄水水質のレベル2は「今後の日本の水道が目指すべき目標値」として、オゾン・活性炭システムにおけるTOC、THM、ジェオスミン、2-MIBの水質項目について、年間最大値の累積頻度50%を基に設定した。

原水レベルの設定は、基本的に浄水レベル1を90%以上達成できる浄水システムにおける原水濃度の最大値あるいは99~90%値となっている。最大値とするか99~90%値とするかは、水質項目毎にデータを詳細に検討して決定した。

推奨プロセスについては、実際の浄水場の浄水フローと原水水質、浄水水質のデータを解析して、原則として各浄水レベルを90%以上達成できる浄水プロセス群を抽出した。

・希望フロー

濁度除去プロセスを列とし、有機物除去プロセスを行とした浄水フロー選定表を用いて、浄水フローを選定することができる。浄水フローを選定するための選定表を表10に示す。

なお、表10には“前ろ過”を含むプロセスが示されているが、本シミュレータでは、浄水フローを選定する際の選択肢を絞り込むため、濁度除去のためプロセス“前ろ過”は選択不可とした。

推奨プロセス、浄水フロー選定表(表10)を参考にして、希望の浄水フローを選択する。希望するフローと現状のフローが一致する場合は選択しない。あるいは、シナリオの選択でシナリオ3とシナリオ5を選択から外す。なお、希望フローを「粉末炭+凝集+沈澱+急速ろ過」あるいは「粉末炭+凝集+沈澱+膜ろ過」とした場合、“平均注入率(mg/L)”、“年間注入日数(日/年)”を入力するセルが出現する。各々未入力の場合、平均注入率10mg/L、年間注入日数365日/年として運転費中の変動費が計算される。

本シミュレータでは、基本的に原水が表流水であることを想定して、4つの水質項目(濁度、TOC、カビ臭、トリハロメタン)を用いて推奨浄水プロセスを選定しているが、原水が地下水の場合でも、除去対象物質が鉄とマンガンのみで、現状の浄水フローが「凝集+沈澱+急速ろ過」であれば、希望フローとして「凝集+急速ろ過」を選択することは可能である。

表 10 浄水フロー選定表

選定対象システム						
※「濁度(列)と有機物(行)の推奨プロセスが交差するセルが推奨フローとなります。参考として希望フローを選択して下さい。」						
濁度	不要	凝集 +急速ろ過	凝集+沈殿 +急速ろ過	膜ろ過	凝集+沈殿 +膜ろ過	凝集+前ろ過 +膜ろ過
有機物	不要	消毒のみ	凝集+急速ろ過	凝集+沈殿 +急速ろ過	膜ろ過	凝集+沈殿 +膜ろ過
凝集	凝集 +急速ろ過	凝集 +急速ろ過	凝集+沈殿 +急速ろ過	凝集+膜ろ過	凝集+沈殿 +膜ろ過	凝集+前ろ過 +膜ろ過
粉末炭	粉末炭+凝集 +沈殿 +急速ろ過 粉末炭 +膜ろ過	粉末炭+凝集 +沈殿 +急速ろ過 粉末炭+凝集 +膜ろ過	粉末炭+凝集 +沈殿 +急速ろ過	粉末炭 +膜ろ過	粉末炭+凝集 +沈殿 +膜ろ過	凝集+前ろ過 +粉末炭 +膜ろ過
粒状炭	粒状炭 +膜ろ過	凝集+沈殿 +粒状炭 +急速ろ過 凝集+粒状炭 +膜ろ過	凝集+沈殿 +粒状炭 +急速ろ過	粒状炭 +膜ろ過	凝集+沈殿 +粒状炭 +膜ろ過	凝集+前ろ過 +粒状炭 +膜ろ過
オゾン+粒状炭	オゾン +粒状炭 +膜ろ過	凝集+沈殿 +オゾン +粒状炭 +急速ろ過	凝集+沈殿+オゾン +粒状炭 +急速ろ過	オゾン +粒状炭 +膜ろ過	凝集+沈殿 +オゾン +粒状炭 +膜ろ過	凝集+沈殿 +オゾン +粒状炭 +膜ろ過

※濁度除去プロセスの「凝集+前ろ過+膜ろ過」列は選択不可

3.4 入力情報 (2) - ② 各シナリオの内容

シナリオの内容を表 11 に、入力画面を図 8 に示す。

表 11 入力情報 (2) シナリオ選択

	項目	計算式・記載内容	単位	入力の要否 ◎必須; 計算に必要 ○任意; 計算に影響 △任意; 計算に影響せず
更新年	現状設備の次回更新年で更新	建設(最終の更新)年から法定耐用年数×延長係数で最初の更新を行い(既に超過している場合は現在の西暦で更新)、以後は法定耐用年数×延長係数で更新	-	どちらかを必ず選択
	任意の年に一斉更新	最初の更新年は2011年~2026年で任意に選択、以後は法定耐用年数×延長係数で更新	-	
シナリオの選択	シナリオ1 更新しない場合(修繕のみで対応)	入力情報(1)での取得金額にて修繕費等を計算	-	◎
	シナリオ2 現状フローで更新、水量は現状と同じ、更新サイクル=法定耐用年数×延長係数(表4参照)	入力情報(1)での取得金額にて修繕費等を計算	-	○
"任意の年に一斉更新"のみ選択可	シナリオ3 希望フローで更新、水量は現状と同じ、更新サイクル=法定耐用年数×延長係数(表4参照)	e-Water II の成果に基づき算出した金額にて修繕費等を計算	-	○
更新する場合の浄水量が現在の浄水量よりも大きい場合 "任意の年に一斉更新"のみ選択可	シナリオ4 現状フローで更新、水量は将来予測、更新サイクル=法定耐用年数×延長係数(表4参照)	入力情報(1)での取得金額にて修繕費等を計算	-	○
"任意の年に一斉更新"のみ選択可	シナリオ5 希望フローで更新、水量は将来予測、更新サイクル=法定耐用年数×延長係数(表4参照)	e-Water II の成果に基づき算出した金額にて修繕費等を計算	-	○

V.シナリオの選択

次回更新年 現状設備の更新時期で更新 任意の年に一斉更新 2011年

<input checked="" type="radio"/> シナリオ1 更新しない場合（修繕のみで対応）	2019年
<input type="checkbox"/> シナリオ2 現状と同じフロー・水量で更新、使用年数はメンテナンスレベルから算出	2020年
<input type="checkbox"/> シナリオ3 希望フローで更新、水量は現状と同じ、使用年数はメンテナンスレベルから算出	2021年
<input type="checkbox"/> シナリオ4 現状のフローで更新、水量は将来予測、使用年数はメンテナンスレベルから算出	2022年
<input type="checkbox"/> シナリオ5 希望フローで更新、水量は将来予測、使用年数はメンテナンスレベルから算出	2023年
	2024年
	2025年
	2026年



図8 シナリオ選択画面

・更新年

“現状設備の更新時期で更新”か“任意の年に一斉更新”を必ず選択する。なお、初期設定は“現状設備の更新時期で更新”となっている。

浄水フローを変更する場合や浄水量を増やす場合、各設備（建築、土木、電気、機械、計装）の耐用年数を基準として順次更新するのは非現実的である。よって、このケースでは“任意の年に一斉更新”のみ選択可能とした。

①現状設備の更新時期で更新を選択した場合

シナリオ2とシナリオ4を選択できるが、シナリオ4については“更新する場合の浄水量”が“現状の浄水量”よりも小さい場合にのみ選択可能である。

更新年周期は、各設備（建築、土木、電気、機械、計装）の使用年数（更新周期）＝法定耐用年数×延長係数（表4参照）で更新と規定した。この時の最初の更新年は以下のとおり。

最初の更新年（西暦）＝建設（更新）年＋法定耐用年数×延長係数

（最初の更新年がシミュレーション実施年よりも前の場合、**最初の更新年＝現在の年**）

シナリオ3、シナリオ5は希望の浄水フロー（現状とは異なる浄水フロー）で更新を実施する場合のシミュレーションであるが、上記のとおり“現状設備の更新時期で更新”は非現実的であることから選択不可となる。シナリオ4で“更新する場合の浄水量”が“現状の浄水量”よりも大きい場合も同様の理由で“現状設備の更新時期で更新”は選択不可となる。

②任意の年に一斉更新を選択した場合

任意の年に全ての設備（建築、土木、電気、機械、計装）を一斉に更新する。

最初の更新年を本シミュレータの作製年である 2011 年から 50 年後までの 2061 年まで選択できるようにした。

なお、シミュレーション実施年から“一斉更新実施年の前々年まで”の間、各設備が「法定耐用年数×延長係数+1年」を超過すると修繕費（表 12 参照）が発生する。“一斉更新実施年の前々年まで”としたのは、一斉更新の場合は計画的に更新するとの前提で、修繕費も計画的なものと考えた。つまり、故障による修繕費ではなく予防保全としての修繕費であり、計画的な修繕費なので更新の前年には修繕費が発生しないとの想定である。

・シナリオの選択

健全度評価、故障率、影響水量、浄水処理に関する費用（修繕費、運転費、損失額）などの用語については、p.21～p.29 および巻末の“用語の説明”を参照のこと。

①シナリオ 1（修繕のみ）

他のシナリオの比較対照となるため、シミュレーションは必ず実行される。

現状の設備を修繕のみで維持した場合の健全度評価、故障率、影響水量、浄水処理に関する費用（修繕費、運転費、損失額）を年単位で計算して、50 年間の総費用を算出する。

②シナリオ 2（現状設備で更新）

現在の浄水フロー、浄水量で設備更新する場合のシミュレーションを行う場合に選択する。

浄水処理に関する費用（修繕費、運転費、損失額）を年単位で計算して、50 年間の総費用を算出する。

③シナリオ 3（希望フローで更新）

希望する浄水フロー（希望フロー）、現在の浄水量でシミュレーションを行う場合に選択する。

浄水処理に関する費用（修繕費、運転費、損失額、高度処理の便益、膜ろ過の便益）を年単位で計算して、50 年間の総費用を算出する。

④シナリオ 4（将来予測浄水量で更新）

現状の浄水フロー、将来予測の浄水量でシミュレーションを行う場合に選択する。

浄水処理に関する費用（修繕費、運転費、損失額）を年単位で計算して、50 年間の総費用を算出する。

入力情報（1）“浄水フロー”の「滅菌のみ、緩速ろ過、その他」については、浄水量と設備費の関係を示すデータを収集できなかったため、浄水量を変数とする設備費計算式を設定することができなかった。したがって、「凝集+急速ろ過、凝集+沈澱+急速ろ過、凝集+沈澱+粒状炭+急速ろ過、凝集+沈澱+オゾン+粒状炭+急速ろ過」のいずれかを選択した場合にのみ、シナリオ 4 は選択可となる。

⑤シナリオ 5（希望フロー&将来予測浄水量で更新）

希望する浄水フロー（希望浄水フロー）、将来予測の浄水量でシミュレーションを行う

場合に選択する。

浄水処理に関する費用（修繕費、運転費、損失額、高度処理の便益、膜ろ過の便益）を年単位で計算して、50年間の総費用を算出する。

なお、健全度評価、故障率、修繕費、運転費、損失額、高度処理の便益、膜ろ過の便益については「4. シミュレーションの計算式」にて詳細を記す。

4. シミュレーションの計算式

シミュレーションに用いた計算式とその根拠を表 12、表 13 に示す。原則として、計算式は文献から引用あるいは本研究 (Aqua10 プロジェクト) におけるアンケートやヒアリング結果を統計的に解析して作成としたが、いくつかの計算式は作成する根拠を得られなかったため想定のものとなった。

表 12 シミュレーションの計算式 (1)

項目	計算式	根拠
健全度評価	まず、取得時の資産額をデフレーターにより現在価値に換算 健全度=設備の経過年数÷法定耐用年数で、健全度が1.0以下なら健全資産、1.0~1.5以下なら経年化資産、1.5より大きければ老朽化資産と判定、健全度毎に現在価値を集計する（今後50年間物価上昇はなしと仮定する）	厚生労働省の「水道事業におけるアセットマネジメントに関する手引きおよび支援ファイル」
更新率	電気設備は正規分布確率 ($\mu=37.3$ 、 $\sigma=8.1$) 機械設備は正規分布確率 ($\mu=36.3$ 、 $\sigma=7.7$) 計装設備は正規分布確率 ($\mu=32.0$ 、 $\sigma=8.6$) $f_x(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right\}$ 更新率 = $\sum f_x(x)$ X=経過年数 ※建築設備、土木設備は統計結果でばらつきが大きい ため対象外とする	Aqua10研究成果
故障率	故障率=各設備の更新率÷延長係数 故障発生年=法定耐用年数×平均延長係数の翌年以降 ※建築設備、土木設備は更新率が計算できないため対象外	過去の研究報告書、文献、ヒアリング、アンケートからも明確な根拠が得られなかったため、適切と思われる計算式を作成した（想定式） 延長係数は表4参照

(表 12 の続き)

項 目	計算式	根 拠
(故障時の) 修繕費	<p>修繕費=故障率×設備費×修繕費補正係数</p> <p>修繕費補正係数の初期値=0.3 (マスターの変更で変更可能)</p> <p>故障時の修繕費発生年 ;</p> <p>法定耐用年数×平均延長係数+1年から更新実施年の前年まで</p> <p>一斉更新時の修繕費発生年 ;</p> <p>法定耐用年数×平均延長係数+1年から更新実施年の前々年まで (一斉更新は計画的な更新であり、予防保全費との考え)</p>	<p>修繕費を計算する式は想定のもの</p> <p>修繕費補正係数は事業体でのケーススタディー結果から初期値 0.3 とした</p>
リスク 影響水量	<p>影響水量=(現在の浄水能力/主要設備最小系列数)×故障率×(1-バックアップ率)</p> <p>バックアップ率=60%</p> <p>※電気設備、計装設備も同様</p>	<p>「浄水場更新計画におけるアセットマネジメントの活用手法の検討」バックアップ率 60% は想定値</p>
リスク 損失額	<p>給水不可となる浄水原価+需要者への補償費を算出</p> <p>損失額=(影響水量×給水原価+影響人口×補償費)×復旧日数</p> <p>影響人口=最大影響水量÷浄水量×給水人口、</p> <p>復旧日数=5d、補償費=7,428 円/人/d</p> <p>最大影響水量=電気、機械、計装要因の影響水量中の最大値</p>	<p>復旧日数は想定値、補償費は「H19 年 水道事業の費用対効果分析マニュアル」より</p>

表 13 シミュレーションの計算式 (2)

シナリオ 1	更新費=0 (更新しないシナリオのため)、修繕費、運転費、損失額を計算、便益=0 (便益の基準となるため) 水量は現状の浄水量
シナリオ 2	更新費、修繕費、運転費、損失額を計算、便益=0 (便益の基準となるため) 水量は現状の浄水量
シナリオ 3	更新費、修繕費、運転費、損失額、便益を計算、便益については現状フローが高度処理 (粉末炭、粒状炭、オゾン+粒状炭) で無い場合に発生、水量は現状の浄水量
シナリオ 4	更新費、修繕費、運転費、損失額を計算、便益=0 (便益の基準となるため) 水量は将来予測の浄水量
シナリオ 5	更新費、修繕費、運転費、損失額、便益を計算、便益については現状フローが高度処理 (粉末炭、粒状炭、オゾン+粒状炭) で無い場合に発生 水量は将来予測の浄水量
共通の計算式	<p>50 年間の費用を計算</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 修繕費 (表 12 参照) ・ 更新費=現在価値での設備費 更新回数=50 年÷ (法定耐用年数×延長係数) ・ 運転費 (浄水処理分) =変動費+人件費 変動費=給水原価×0.1 (H17 年度水道統計全国平均の変動費率) 膜ろ過以外の人件費=給水原価×0.17 (H17 年度水道統計全国平均の人件費率、全てが浄水処理関与分ではないが、分類項目“その他”0.3 中の浄水処理分と相殺されると仮定) 膜ろ過の人件費=膜ろ過以外の人件費×0.8 (想定値) ・ 損失額 (表 12 参照) ・ 便益=高度処理の便益+膜ろ過の便益 (現状フローで採用されているものは計算されない) 高度処理の便益=更新時の浄水量 $m^3/d \div 0.349m^3/d \cdot 人 \times 0.128 \times 33,000 \text{ 円}/人 \cdot 年$ ($0.349m^3/d \cdot 人$; H17 年度水道統計全国平均より) ($0.128 \times 33,000 \text{ 円}/人 \cdot 年$; 東京都東村山浄水場の高度処理導入時の B/C 報告書を参考とした) 膜ろ過の便益=更新時の浄水量 $m^3/d \div 0.349m^3/d \cdot 人 \times 1.5 \times 0.000001 \times 1,000 \text{ 万円}/人/年$ (伊藤禎彦、越後信哉、水の消毒副生成物 を参考とした)

4.1 健全度評価

厚生労働省が公表している「水道事業におけるアセットマネジメントに関する手引きおよび支援ファイル」では、浄水施設を建築構造物、土木構造物、電気設備、機械設備、計装設備に分類している。これらの設備の取得額をデフレータにより現在価値に換算して、さらに各々の設備が法定耐用年数に対してどの程度の年数使用しているかによって、資産価値を評価する。各設備の資産価値を法定耐用年数に対する使用年数で評価したものが健全度となる。

まず、各設備の建設（更新）年と取得額（図 3 参照）をデフレータ（表 7 参照）により現在価値に換算する。

つぎに、各設備の健全度を経過年数と法定耐用年数（表 4 参照）から以下のように判定する。

$$\text{健全度} = \text{経過年数} \div \text{法定耐用年数}$$

で、健全度が 1.0 以下なら健全資産、1.0～1.5 以下なら経年化資産、1.5 より大きければ老朽化資産となる。

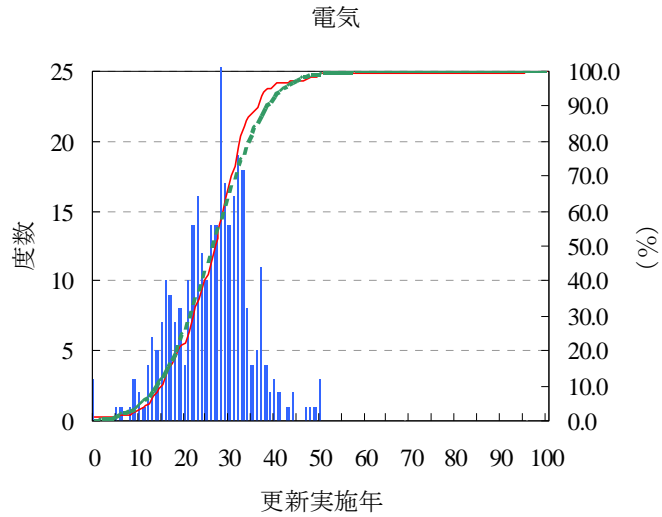
さらに、健全度毎（健全、経年、老朽化）の現在価値を計算する。健全度の評価と健全度毎の現在価値の計算を現在から 50 年後まで繰り返す。

4.2 更新率

ここでの更新率とは、浄水場単位で設備の経過年数に対してどの程度の割合で設備が更新されているかを表すもので、本シミュレータでは更新率を用いて浄水場設備の故障率、設備の故障による修繕費および損失額を計算している。

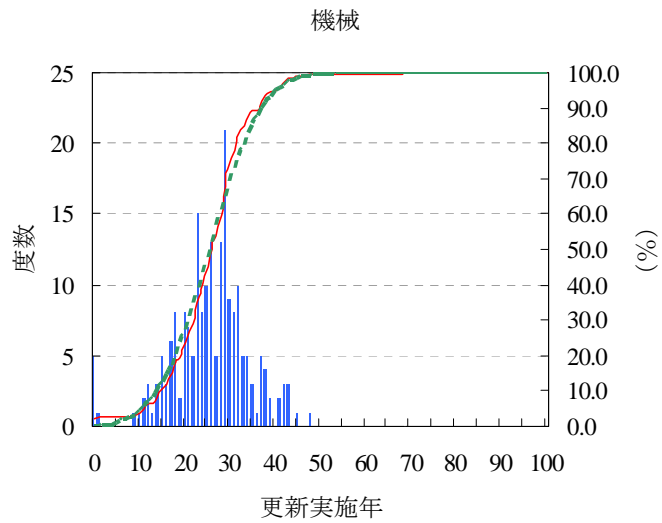
この更新率を求めるため、水道事業体へのアンケートを実施したところ、電気設備、機械設備、計装設備については正規分布確率となることが確認できた²⁾。建築設備、土木設備については、耐用年数が長いこともあり更新実績が少ないため統計処理するためのデータが不十分であった。アンケート結果から得られた電気設備の更新実施年と度数を図 9 に、機械設備の更新実施年と度数を図 10 に、計装設備の更新実施年と度数を図 11 に示す。正規分布確率を用いて経過年毎の更新率を計算した結果を表 14 に示す。

ほとんどの浄水場では、設備の更新年数（実際の使用年数）は法定耐用年数よりも長くなっているが、使用環境、個々の設備、機材の品質とメンテナンスレベル（表 3 参照）が大きく影響していると考えられる。



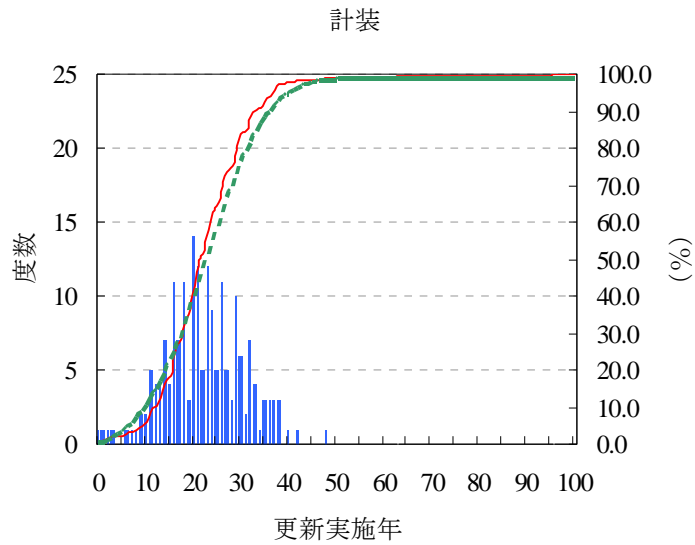
$$f_x(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right\} \quad \mu = 37.3, \sigma = 8.1$$

図9 電気設備 正規分布関数（正規分布：緑破線、調査結果：赤）



$$f_x(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right\} \quad \mu = 36.3, \sigma = 7.7$$

図10 機械設備 正規分布関数（正規分布：緑破線、調査結果：赤）



$$f_x(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right\} \quad \mu = 32, \sigma = 8.6$$

図 11 計装設備 正規分布関数（正規分布：緑破線、調査結果：赤）

表 14 設備の経過年数と更新率

経過年数	電気 更新率%	機械 更新率%	計装 更新率%	経過年数	電気 更新率%	機械 更新率%	計装 更新率%
0	0.1	0.1	0.3	26	49.2	52.4	62.9
1	0.2	0.2	0.7	27	53.4	56.7	66.5
2	0.4	0.3	1.2	28	57.5	61.0	70.0
3	0.6	0.5	1.8	29	61.6	65.2	73.2
4	0.8	0.7	2.5	30	65.5	69.2	76.3
5	1.1	1.0	3.3	31	69.2	72.9	79.1
6	1.5	1.4	4.3	32	72.8	76.4	81.7
7	2.0	1.9	5.5	33	76.1	79.7	84.1
8	2.7	2.5	6.9	34	79.2	82.7	86.3
9	3.4	3.3	8.4	35	82.1	85.3	88.2
10	4.4	4.2	10.2	36	84.7	87.7	89.9
11	5.4	5.4	12.2	37	87.0	89.8	91.4
12	6.7	6.7	14.4	38	89.1	91.6	92.7
13	8.3	8.3	16.8	39	90.9	93.1	93.8
14	10.0	10.2	19.5	40	92.4	94.5	94.7
15	12.0	12.3	22.4	41	93.8	95.6	95.5
16	14.2	14.7	25.6	42	94.9	96.5	96.2
17	16.8	17.4	28.9	43	95.9	97.2	96.8
18	19.5	20.4	32.4	44	96.7	97.8	97.2
19	22.6	23.7	36.0	45	97.4	98.3	97.6
20	25.8	27.3	39.8	46	97.9	98.7	97.9
21	29.4	31.1	43.6	47	98.3	99.0	98.1
22	33.1	35.1	47.5	48	98.7	99.2	98.3
23	36.9	39.3	51.5	49	98.9	99.4	98.5
24	41.0	43.6	55.3	50	99.1	99.5	98.6
25	45.1	48.0	59.2	51	99.3	99.6	98.7

4.3 故障率

ここでの故障率とは、浄水施設のなかの電気設備、機械設備、計装設備が使用年数によって確率的にどの程度故障が発生するのかを表している。ただし、浄水施設において、老朽化が原因の故障事例の報告はなく、ここでの故障率は想定上のものである。

故障率を設定する上で「統計的に更新率がほぼ 100%となっている年数を超過して使用すると故障する可能性がある」ことを前提条件とした。一方で、更新率はメンテナンスレベルによっても変化するはずであるが、アンケートによって得られた更新率（統計上の更新率）の基データにはメンテナンスレベルのデータが加味されていない。そこで、更新率をメンテナンスレベルで決定する延長係数で除した値をその設備の更新率（計算上の更新率）とし、故障率の基データとした。

計算上の更新率＝故障率 となるが、

「故障発生年は法定耐用年数に平均延長係数を乗じて得られる年数の翌年から」

と定義した。

つまり、故障発生年から更新年（＝法定耐用年数×延長係数）までの期間故障が発生することになる。

ここで、平均延長係数とは、表 3 に示したメンテナンススコアレベル評価基準において採点した点数の中間点（メンテナンススコアレベル評価基準は最低点 120 点、最高点 600 点であることから中間点は 360 点となる）での延長係数のことである。表 4 の延長係数の計算式にメンテナンススコアレベル評価基準のスコア 360 点を代入すると、電気、機械、計装の平均延長係数は各々 1.33、1.37、1.33 となる。また、故障発生年＝法定耐用年数×平均延長係数＋1 なので、電気、機械、計装の故障発生年は、各々 28 年（27.6 年を切上）、22 年（21.6 年を切上）、15 年（14.7 年を切上）となる。

したがって、メンテナンスレベルによっては故障発生年よりも先に更新実施（延長係数が平均延長係数以下の場合）となるため故障は発生しないことになる（シナリオ 1 は設備更新しないので必ず故障が発生）。設備分類（電気、機械、計装）、シミュレーション対象の浄水場の延長係数によっても異なるが、メンテナンスレベルが高いほど故障率高くなることになる。

4.4 修繕費

設備の経年劣化による故障による修繕費と予防保全のための修繕費の両方を想定している。

本シミュレータでは、

$$\text{修繕費} = \text{故障率} \times \text{設備の現在価値} \times \text{修繕費補正係数 (初期値 0.3)}$$

と想定した。

設備故障による修繕費（単に修繕費とする）は、“故障率”の説明で述べたように浄水施設の設備故障の事例がないことから、理論式を設定することができない。また、予防保全のための修繕費は実際に発生していると考えられるが、Aqua10プロジェクトのなかではデータを収集することができなかつた。設備故障による修繕費と同様に、上記の想定上の計算式を用いることとした。

ところで、故障率は統計上の更新率をメンテナンスレベルで除したものであることから、メンテナンスレベルが高いほど故障率が低くなり修繕費も安くなる。したがって、更新を行わないシナリオ1においては、必ず故障が発生するためメンテナンスレベルが高いほど修繕費は安くなる。一方、シナリオ2～シナリオ5については、メンテナンスレベルによっては故障が発生する前に設備更新となるため、むしろメンテナンスレベルが高い方が修繕費は高くなる（発生する）ことがある。

修繕費の計算式中に“修繕費補正係数”を加えているが、これは、予防保全としての修繕費実績を基に修繕費の予測が可能な場合、感覚的に計算結果と実情とのずれが大きい場合などに、実績あるいは感覚との差を補正するためのものである。常識的に、修繕費は最大でも設備費の30%との考えから初期値0.3としているが、0.1～1.0の範囲で変更可能である。詳細は「6. マスターの変更」を参照のこと。

更新率、故障率、シナリオ1の修繕費、シナリオ2～シナリオ5の修繕費計算の流れを図12に示す。

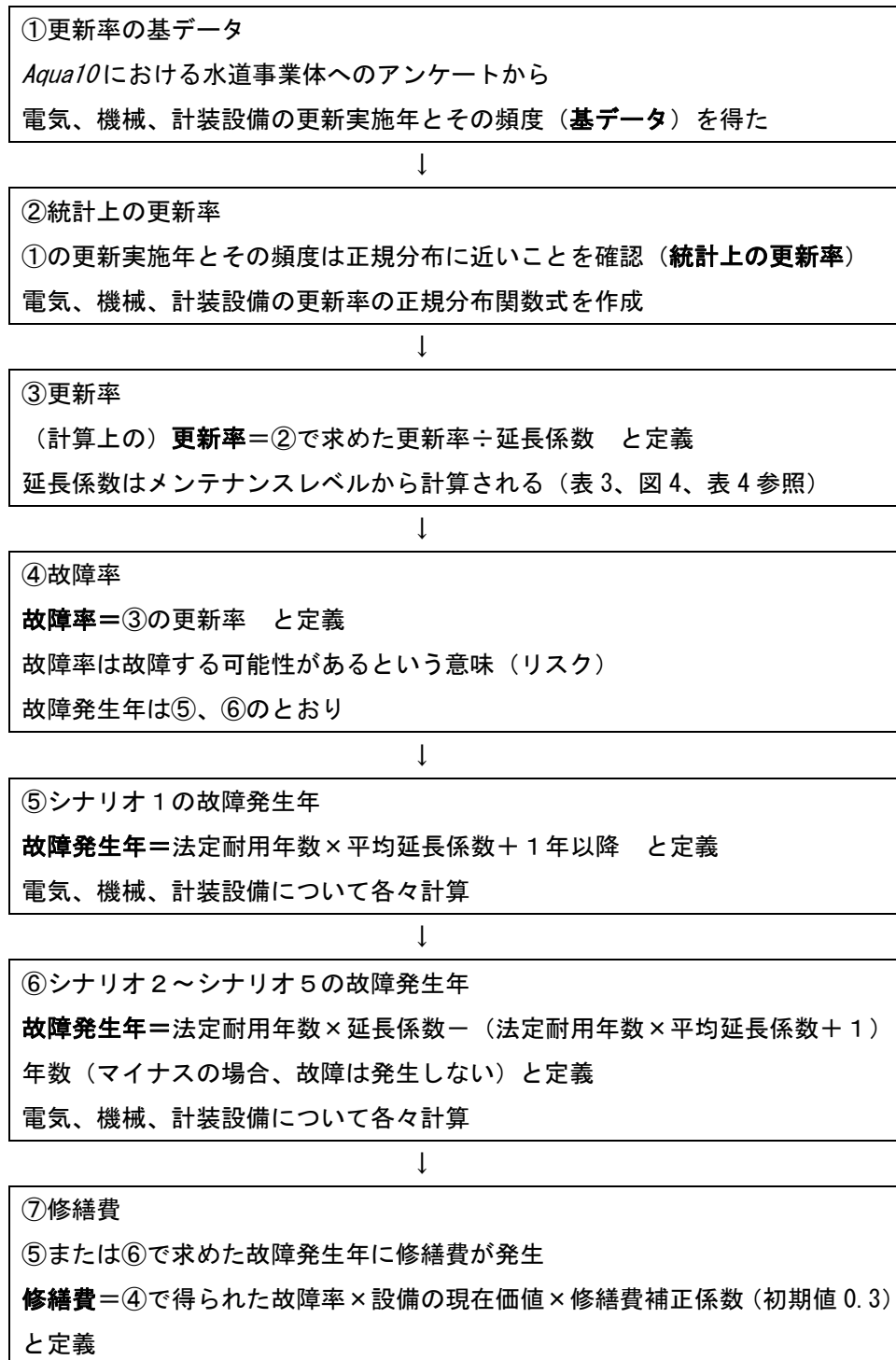


図12 設備更新率から修繕費の計算までの流れ

4.5 （リスク）影響水量

影響水量とは、老朽化による設備故障で給水できなくなる浄水量（ m^3/d ）のことで、老朽化しているからといって必ず発生するものではなく、リスクが生ずるということである。

実際には故障が予測される機器や設備においては、予備機を備える、他の浄水場からのバックアップが得られることなどが考えられる。また、配水池容量と復旧時間などの条件

によっても給水できなくなる浄水量は大きく変化するが、ここでは浄水場内の系列数のみ加味して、

$$\text{影響水量} = (\text{現在の浄水能力} / \text{主要設備最小系列数}) \times \text{故障率} \times (1 - \text{バックアップ率})$$

バックアップ率=60%

と定義した。

4.6 (リスク) 損失額

ここでの損失額は、給水できなくなる浄水量によって生じる料金収入の損失と需要者への補償費の合計金額とした。影響水量と同様、老朽化により必ず発生するものではなく、リスクが生ずるというものである。

影響水量は電気設備、機械設備、計装設備の故障率から計算されるが、仮に全ての設備が同時に故障したとしても、浄水場全体の影響水量が各影響水量の単純合計になるとは考えられない。したがって、損失額算出の基となる影響水量は電気、機械、計装起因の影響水量のなかの最大値（最大影響水量）とした。

なお、需要者への補償費は、需要者が家庭や職場等で水道が使用できなくなった分を他の方法で代替した場合に発生する金額のことである。例えば、家庭での洗濯や入浴の代替としてコインランドリー、銭湯を利用すると仮定して補償単価が算出されている。

$$\text{損失額 (円)} = \text{影響水量 (m}^3/\text{d)} \times \text{給水原価 (円/m}^3) \times \text{復旧日数 (d)}$$
$$+ \text{影響人口 (人)} \times \text{補償費 (円)} \times \text{復旧日数 (d)}$$

$$\text{影響人口} = \text{最大影響水量} \div \text{浄水量} \times \text{給水人口、復旧日数} = 5 \text{ 日}$$

$$\text{補償費} = 7,428 \text{ 円、最大影響水量} = \text{電気、機械、計装要因の影響水量中の最大値}$$

とした。

4.7 更新費

ここでの更新費とは、建築構造物、土木構造物、電気設備、機械設備、計装設備を更地の状態から建設した場合の費用のことで、解体工事費や仮設工事費は更新費には含んでいない。また、土木基礎、施設間の連絡配管などの費用は浄水場の土地形状等によって大きく異なるため除外している。本シミュレータにおいては、

$$\text{更新費} = \text{設備費の現在価値 (取得金額をデフレーターにより換算)}$$

と定義した。

ところで、入力情報(1)の設備の取得金額に参照金額(*e-Water II*で収集したデータを基に算出した設備費)を使用しなかった場合、シナリオ3とシナリオ5(既設の浄水フロ

一とは異なる浄水フローで更新)の更新費がシナリオ2とシナリオ4(現在の浄水フローで更新)と大きく異なる可能性がある。本来、浄水フローが異なるので更新費に差が生じるのは当然であるが、参照金額と資産台帳から入力された金額の前提条件が異なる、地域特性、特殊な機器を使用していることなどが要因である。本シミュレータでは、設備の取得金額が“任意に入力された金額”の場合には、参照金額でのみ計算が可能なシナリオ3、シナリオ5の設備費の補正を行っている。更新時の浄水量における設備費の計算方法と併せて、設備費の計算方法を表15にまとめた。なお、ここでの設備費の補正は建築設備、土木設備、電気設備、機械設備、計装設備の合計額に対して一律で行っており、個々の設備についての補正は行っていない。

表15 設備費の計算方法

入力条件	各シナリオにおける設備費の計算方法
入力情報(1)の浄水フローにて“滅菌のみ”、“緩速ろ過”、“その他”以外を選択(希望フローで選択可能なフローと合致) and 設備費(建築、土木、電気、機械、計装)の取得金額の全てが参照金額 (図3参照)	シナリオ1～5; “参照金額”をデフレーターにて現在価値に換算
入力情報(1)の浄水フローにて“滅菌のみ”、“緩速ろ過”、“その他”以外を選択(希望フローで選択可能なフローと合致) and 設備費(建築、土木、電気、機械、計装)の取得金額の1つ以上が任意に入力された値(参照金額以外の金額が入力されている) (図3参照)	シナリオ1、2; 任意に入力された取得金額をデフレーターにて現在価値に換算 シナリオ3、5; “補正設備費” ^{注1)} で計算 シナリオ4; 更新時の浄水量における設備費を“浄水量比例設備費” ^{注2)} で計算
入力情報(1)の浄水フローにて“滅菌のみ”、“緩速ろ過”、“その他”のいずれかを選択 (必ず、取得金額=任意に入力となる)	シナリオ1、2; 任意に入力された取得金額をデフレーターにて現在価値に換算 シナリオ3、5; “参照金額”をデフレーターにて現在価値に換算 シナリオ4; 更新時の浄水量における設備費を“浄水量比例設備費” ^{注2)} で計算

注1)

参照金額を任意に入力された設備費に応じて補正する

A=任意に入力された（建築、土木、電気、機械、計装）設備取得額を現在価値に換算して合計

B=参照金額の（建築、土木、電気、機械、計装）設備取得額を現在価値に換算して合計

としたとき

補正設備費=希望フローの参照金額×(A÷B)

※希望フローの参照金額の一例を表8に掲載

注2)

各設備（建築、土木、電気、機械、計装）の浄水量比例設備費は、浄水フロー「凝集+沈澱+急速ろ過」における比例係数（2.0025）を用いて以下のように計算する

機械設備の例とするが、他の設備の計算も同様である

浄水量比例機械設備費（万円）=（1+2.0025×機械設備費率×（更新する場合の浄水量－現在の浄水量））
×機械設備取得金額の現在価値（万円）

ここで、機械設備費率=機械設備取得金額の現在価値÷設備費総額の現在価値

4.8 運転費

ここでの運転費とは、浄水処理に関わる変動費と浄水処理に関わる人件費のことである。さらに、変動費については、動力費（電気、燃料）、薬品費、消耗品費に分けられる。

浄水処理に関わる運転費のうち、動力費、薬品費を水道統計から算出することは可能であるが、消耗品費については分類項目その他の中に含まれており、人件費については水道事業全体の人件費となっているため算出は困難である。したがって、想定した値となっているが、運転費に関する係数は水道統計（H17年度）の給水原価とその内訳の全国平均値を参考とした。水道統計（H17年度）の給水原価の構成割合を表16に示す。また、浄水フローが異なることによる運転費の違いは、*e-Water II*にて収集された実データの解析結果から、浄水フロー毎に基準単価との比率を表17のように設定した。表17の浄水フローのなかで“粉末炭”を含むものについては、“粉末炭運転費係数（=粉末炭の注入率×注入日数）”によって変化する。“粉末炭運転費係数”は平均注入率10mg/L、注入日数365d/年の場合1.0としており、例えば、粉末炭注入率5mg/L、注入日数180d/年の場合、“粉末炭運転費係数”=（5/10）×（180/365）=0.247となる。粉末炭の注入率と注入日数の入力は、図6に示したように“入力情報（2）”にて行う。

変動費の係数0.1は水道統計の変動費割合を採用した。膜ろ過以外の人件費は水道統計の人件費割合を採用したが、その他消耗品費中の浄水処理分と浄水処理以外の人件費が相殺されると仮定した。膜ろ過以外の人件費は、原水水質、浄水量が同じ浄水場で膜ろ過を採用すれば、膜ろ過無しの場合よりも人件費が2割削減できると仮定した。

入力情報（1）で必ず現在の給水原価を入力することになっているので、シナリオ1、

シナリオ2、シナリオ4では、この給水原価を用いて運転費を計算する。シナリオ3とシナリオ5は、現在の浄水フローとはフローが異なるため給水原価をそのまま用いることはできない。そこで、基準浄水場「凝集+沈澱+急速ろ過 浄水量 20,000m³/d」での給水原価を“基準給水原価”180円/m³として運転費の計算に用いた。

ところで、“基準給水原価”180円/m³は、水道統計 H17年度の全国平均給水原価172円/m³の1円の桁を切上した値である。したがって、現在の給水原価と180円/m³との差（絶対値）が大きいほど、浄水フローを変更した場合の運転費に差が生じることになる。

例えば、浄水量が同じで、現在の浄水フローが「凝集+沈澱+オゾン+粒状炭+急速ろ過」で給水原価140円/m³、希望の浄水フロー「凝集+沈澱+急速ろ過」とした場合、常識的に運転費は希望フローの方が小さくなるはずであるが、運転費はより浄水プロセスの少ない希望フローの方が大きくなってしまふ。これは、希望フローの給水原価は180円/m³であり、現在の給水原価140円/m³に対して40円/m³高いためである。このように、明らかに希望フローの運転費が適切でない場合、“基準給水原価”180円/m³を変更することにより対応する。この“基準給水原価”の変更方法は「6. マスターの変更」を参照のこと。

（浄水処理に関わる）運転費＝変動費＋人件費

$$= \text{給水原価} \times 0.1 + \text{給水原価} \times 0.17 \text{（膜ろ過以外）}$$

$$= \text{給水原価} \times 0.1 + \text{給水原価} \times 0.17 \times 0.8 \text{（膜ろ過）}$$

表 16 給水原価の内訳の全国平均（日本水道協会 水道統計 H17年度）

項目		構成比率	
人件費		17.2%	
変動費	動力費	3.0%	10.4%
	修繕費	6.9%	
	薬品費	0.5%	
支払利息		12.4%	
減価償却		25.8%	
受水費		17.2%	
その他		17.0%	
給水原価の中央値 172円/m ³			

表 17 浄水フロー毎の基準浄水フローに対する運転費比率（浄水量 15,000m³/d の場合）

浄水フロー		相対運転費率 20,000m ³ /d (-)	相対運転費率 100,000m ³ /d (-)	入力浄水量での相対 運転費率(-)	運転費 (円/m ³)	粉末炭運転係数を加味した運転 費=(薬品+電力+消耗品等+人 件費) (円/m ³)
-	膜ろ過	2.205	1.330	2.369	40.7	65.2
凝集	膜ろ過	2.615	1.702	2.787	48.1	72.6
凝集沈澱	急速ろ過	1.000	1.000	1.000	18.0	48.6
粉末炭・凝集沈澱	急速ろ過	5.128	5.160	5.122	92.3	70.9
凝集沈澱	膜ろ過	2.615	1.755	2.777	48.0	72.5
粉末炭・凝集沈澱	膜ろ過	6.769	5.904	6.931	122.8	95.0
凝集	急速ろ過	0.974	0.957	0.978	17.6	48.2
凝集沈澱・粒状炭	急速ろ過	2.308	2.287	2.312	41.6	72.2
凝集沈澱・粒状炭	膜ろ過	3.949	3.085	4.111	72.0	96.5
凝集沈澱・オゾン・粒状炭	急速ろ過	6.000	3.351	6.497	111.0	141.6
凝集沈澱・オゾン・粒状炭	膜ろ過	5.590	4.096	5.870	102.3	126.8
粒状炭	膜ろ過	3.487	2.660	3.642	63.7	88.2
凝集・粒状炭	膜ろ過	3.897	3.085	4.050	71.1	95.5
オゾン・粒状炭	膜ろ過	5.179	3.670	5.462	94.9	119.4

※相対設備費率：「凝集＋沈澱＋急速ろ過」の運転費（浄水場全体）を 1.0 とした時の比率

4.9 高度処理の便益

高度処理の便益とは、現状の浄水フローにおいて高度浄水処理（粉末炭、粒状炭、オゾン＋粒状炭）が採用されておらず、更新する場合に高度浄水処理を採用した場合に、需要者のうち家庭でボトルウォーターを利用している人がボトルウォーターを購入しなくなったことによって削減された出費とした。

東京都水道局では、東村山浄水場にオゾン＋粒状炭（生物活性炭）の導入を検討する際に実施された「平成 17 年度 高度浄水処理施設等整備事業の評価 東村山浄水場 高度浄水処理施設」を公開している。このなかで、高度浄水処理の採用によって水質改善行動が必要なくなる分を効果（便益）としている。水質改善行動の項目と実施割合を表 18 に示す。

表 18 の効果（便益）のうち、本シミュレータでは、年間一人当たりの費用として算出されている“ボトルウォーター購入”についてのみ便益として採用した。他の二つの便益は、対象となる浄水場の給水区域毎に平均世帯人数を設定する必要があり、入力が煩雑なことから除外した。

$$\text{高度処理の便益 (百万円/年)} = \text{給水人口 (人)} \times 0.128 \times 33,000 \text{ (円/年・人)} \times 10^{-6}$$

$$\text{給水人口 (人)} = \text{浄水量 (m}^3\text{/d)} \div 0.349 \text{ (m}^3\text{/d・人)}$$

0.349 (m³/d・人) は水道使用量の全国平均（平成 17 年度）

表 18 水質改善行動に係わる効果（便益）の算定

水質改善行動	実施割合	単価	対象人口当たり (円/人/年)
煮沸消毒	21.6%	2,400 円/世帯/年	241
浄水器設置	39.5%	6,550 円/世帯/5 年	241
フィルター交換		8,820 円/世帯/年	1,621
ボトルウォーター購入	12.8%	33,000 円/人/年	4,224
<ul style="list-style-type: none"> ・ 東京都東村山浄水場における高度浄水処理施設導入の検討時に行ったアンケート結果 ・ 改善行動対象人口 144 万人、改善行動対象世帯数 67 万世帯（世帯人数 2.15 人） ・ 浄水器設置のうち、マンション等入居時に設置済みの割合を 25%と想定し、その分は実施割合から除外 ・ ボトルウォーターの持ち歩き用途等は実施割合から除外 			

4.10 膜ろ過の便益

膜ろ過の便益とは、緩速ろ過、急速ろ過処理において、浄水中に残留する耐塩素性病原性微生物に起因する健康障害によって失われる経済的損失が、膜ろ過処理によって発生しないことの経済価値と定義した。したがって、現状の浄水フローに膜ろ過が含まれる場合、膜ろ過の便益は発生しない。

ところで、WHO は疾病の健康影響度として Disable-Adjusted Life Year（DALY:障害調整生存年数）を採用している。DALY は健康障害時間（Years Lived with Disability :YLD）と損失余命（Years of Life Lost :YLL）による経済的損失のリスクの和（DALY=YLL+YLD）で表される。クリプトスポリジウム・オーシストが原水中に 1 個/10L の濃度で含まれる場合、通常の浄水処理による除去率は 2log 程度なので、浄水中の濃度は 10^3 個/L となる。この時、1 人当たり年間の健康影響度は 1.5×10^{-6} DALYs となる⁴⁾⁵⁾⁶⁾。これに、健康影響度の経済的価値の原単位を乗じれば膜ろ過の便益を算出できるが、本シミュレータでは日本人の損失余命の原単位 10 百万円/人を用いて、膜ろ過の便益を計算している。

膜ろ過の便益（百万円/年）＝給水人口（人）× 1.5×10^{-6} DALYs × 10（百万円/年・人）

給水人口（人）＝浄水量（ m^3/d ）÷ 0.349（ $m^3/d \cdot$ 人）

0.349（ $m^3/d \cdot$ 人）は水道使用量の全国平均（平成 17 年度）

5. 系列データ集計

入力情報（1）の“浄水場名”で述べたように、本シミュレータでは、同じ浄水場内の浄水施設であっても、建設年（あるいは最新の更新年）が大きく異なる場合や浄水フロー、設備規模が異なる系列については、別の浄水場（エクセルの別ファイル）として情報入力を行う必要がある。

複数の系列データを集計（項目毎に合計）する場合、各系列のシミュレーション結果を別々のファイル名で保存しておき、“系列の集計”を実行すると、表 19 に示すように更新、修繕、運転、便益、損失費用について、合計金額が表示される。合算できる系列数（ファイル数）は、

最大5つとした。

また、水道事業体内の複数の浄水場についてシミュレーションを行って、その結果を合算することにより、水道事業体全体での費用集計を行うことも可能である。以下に手順を示す。

- ①一つの浄水場に関して系列毎にシミュレーションを行い、“系列の集計”を行う。
- ②他の浄水場についても同様の操作を行う。浄水場の数だけ“系列の集計”を行う。
- ③各ファイルの“系列の集計”の“総計（小計1＋小計2）”を別のエクセルファイルのシートに合算する。

表 19 系列データの集計（一例）

シナリオの条件	シナリオ1 (修繕のみ)	シナリオ2 (現状と同じフロー・ 規模で更新)	シナリオ3 (希望フロー・ 同じ規模で更新)	シナリオ4 (現状と同じフロー・ 将来予測規模で更新)	シナリオ5 (希望フロー・ 将来予測規模で更新)	
修繕費	278	0	0	0	0	0 億円
虎ノ門浄水場01	101	0	0	0	0	0
虎ノ門浄水場02	93	0	0	0	0	0
虎ノ門浄水場03	84	0	0	0	0	0
更新費	0	57	92	76	90	90 億円
虎ノ門浄水場01	0	22	26	30	25	25
虎ノ門浄水場02	0	17	29	23	28	28
虎ノ門浄水場03	0	18	38	23	37	37
運転費(人件費込み)	241	241	319	200	267	267 億円
虎ノ門浄水場01	89	89	100	72	80	80
虎ノ門浄水場02	107	107	158	89	131	131
虎ノ門浄水場03	44	44	61	39	55	55
小計1	518	298	411	277	357	357 億円
リスク(損失額)	95	0	0	0	0	0 億円
虎ノ門浄水場01	42	0	0	0	0	0
虎ノ門浄水場02	33	0	0	0	0	0
虎ノ門浄水場03	20	0	0	0	0	0
高度処理による便益	0	0	-133	0	-109	-109 億円
虎ノ門浄水場01	0	0	-61	0	-48	-48
虎ノ門浄水場02	0	0	-73	0	-61	-61
虎ノ門浄水場03	0	0	0	0	0	0
クリプトスポリジウム対策の便益	0	0	-1	0	-0	-0 億円
虎ノ門浄水場01	0	0	0	0	0	0
虎ノ門浄水場02	0	0	0	0	0	0
虎ノ門浄水場03	0	0	-1	0	-0	-0
小計2	95	0	-134	0	-109	-109 億円
総計(小計1＋小計2)	613	298	278	277	248	248 億円

6. マスターの変更

設備費の参照金額（＝更新費）、運転費、修繕費は本シミュレータの“マスター変更”にて補正することができる。

シミュレーション結果をみて、更新費が実情と大きく異なると考えられる場合、マスター変更にて“設備費基準金額”の変更を行う。「II.設備分類毎の情報」で取得額を全て“参照入力”とした場合、シナリオ1～シナリオ5の更新費と修繕費が補正され、取得金額が

一つでも任意の金額の場合、シナリオ3、シナリオ5の更新費と修繕費が補正される。初期値として、基準浄水場「凝集+沈澱+急速ろ過 浄水量 20,000m³/d」の設備費 159,900万円が入力されているが、*e-Water II*にて収集された実データの解析結果から得られた値である。

また、運転費が実情と大きく異なると考えられる場合、マスター変更にて“基準給水原価”、“変動費係数”、“職員労務単価”、“職員数”、“外注労務単価”、“外注者数”の変更を行う。初期値として、基準浄水場「凝集+沈澱+急速ろ過 浄水量 20,000m³/d」での単価、係数が入力されているが、根拠については「4. シミュレーションの計算式“運転費”」を参照のこと。

これらの項目のうち“変動費係数”のみが全シナリオの運転費の計算に反映され、他の項目については、希望フローで更新（現在の浄水フローとは異なるフローで更新）するシナリオ3とシナリオ5の運転費の計算に反映される。

運転費を全シナリオ一斉に修正したい場合、“変動費係数”を変更する。また、希望フローの運転費を修正したい場合（現状のフローとの差が大きすぎると感じる場合）、“基準給水原価”、“職員労務単価”、“職員数”、“外注労務単価”、“外注者数”を変更する。

修繕費に関しては、故障による修繕費と予防保全のための修繕費の両方が考えられるが、ここでは予防保全のための修繕費を補正することを前提としている。予防保全のための修繕費であれば、各事業体で過去の実績あるいは経験的に妥当な金額を推定できると考えられる。シミュレータで算出された修繕費が妥当でないと思われる場合、修繕費補正係数を0.10~1.00（初期値0.3）の範囲で変更する。

7. シミュレーション例

建設年1965年、電気、機械、計装設備の更新を1990年に実施した浄水場（現状の浄水フロー：凝集+沈澱+急速ろ過 浄水量 15,000m³/日）を想定して、更新時（2015年に一斉更新）に高度処理（粉末炭 平均注入率10mg/L×注入日数120日/年）を導入する場合、浄水量を12,000m³/日に減らす場合を含めたシミュレーションを行った。リスク・便益を含まないシミュレーション結果を図13に、リスク・便益を含む結果を図14に示す。

図13のように、修繕のみで浄水施設を維持するよりも、現状のフローで更新を行った方が50年間の総費用は安くなることが示された。また、図14のように、リスク・便益を含む費用で比較すると、高度処理の有無（シナリオ2と3、シナリオ4と5の比較）による総費用に大きな差がないことが分かる。今回提案するシミュレータは浄水施設の更新を検討する際の第1段階として、更新をした方が良いかどうか、異なる処理フロー、施設規模を選択する場合にどの程度の費用がかかるか等について事前の比較検討に用いることを想定した簡易的計算である。従って実際に更新を計画することになった場合には、施設の状態に応じた工事費、建設費などの詳細な計算をする必要がある。

なお、図13、図14はシミュレーション結果を“別ブックへコピー”して作図したものである。シミュレーション結果の別ブックへのコピーについては、「操作マニュアル」を参照のこと。

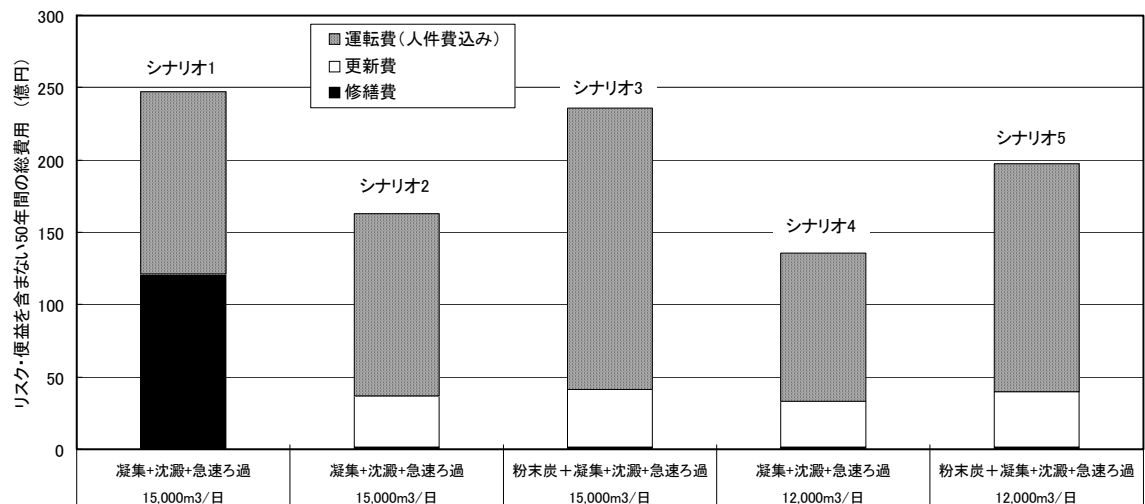


図 13 シナリオ毎の費用比較 (リスク・便益を含まない場合)

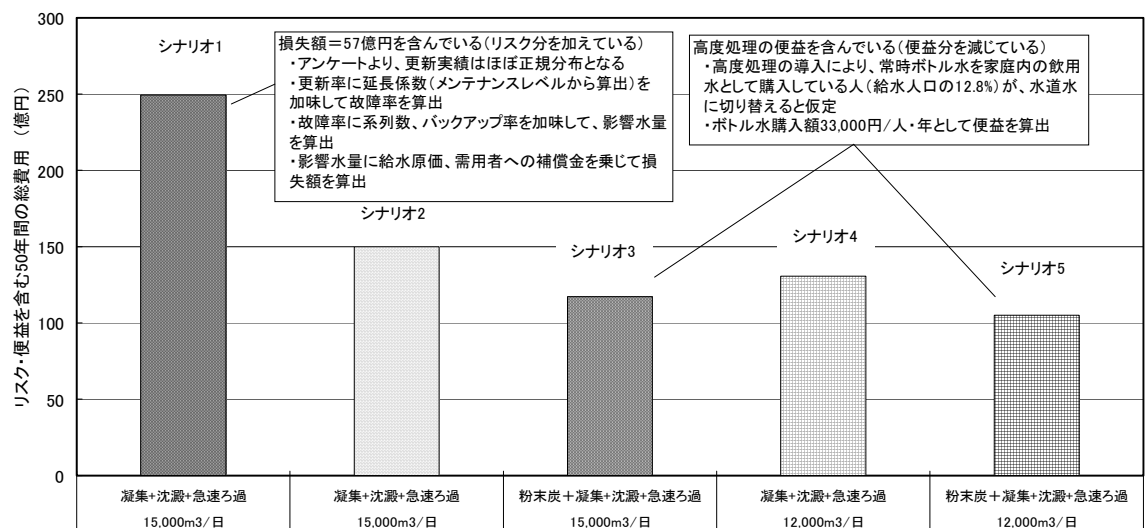


図 14 シナリオ毎の費用比較 (リスク・便益を含む場合)

参考文献

- 1) 照井義秀、松浦博司、青江洋典、伊藤雅喜、浄水施設更新におけるアセットマネジメント活用手法の検討、第 61 回全国水道研究発表会講演集、pp.64-65、平成 22 年 5 月
- 2) 水道技術研究センター 持続可能な水道サービスのための浄水技術に関する研究 (Aqua10) 成果報告書 平成 23 年 4 月
- 3) 水道技術研究センター 安全でおいしい水を目指した高度な浄水処理技術の確立に関する研究 (e-Water II) 報告書 平成 19 年 3 月
- 4) 伊藤禎彦、越後信哉、水の消毒副生成物、pp.14-19、技報堂出版
- 5) 木村昌弘、総合評価指標を用いた次世代へ向けての上下水道システムの再構築に関する研究、2008 年
- 6) 齊藤方正、木村昌弘、伊藤禎彦、DALY による水道水質のリスク評価、第 57 回全国水道研究発表会講演集、pp.716-717、平成 18 年 5 月

【用語の説明】 本文中での記載順

アセットマネジメント	水道におけるアセットマネジメント（資産管理）とは、「水道ビジョンに掲げた持続可能な水道事業を実現するために、中長期的な視点に立ち、水道施設のライフサイクル全体にわたって効率的かつ効果的に水道施設を管理運営する体系化された実践活動」を指す。
浄水量（日最大）	計画一日最大給水量に作業用水などを含む予備力を加算した浄水量（ m^3/d ）。
給水原価	営業費用＋営業外費用から受託工事費、材料及び不要品売却原価、付帯事業費を引いて年間総有収量で割った単価。有収水量 1m^3 当たりの要する費用（ m^3/d ）。浄水処理に関する運転費の計算などに用いているが、浄水処理以外の費用も含まれている。
メンテナンスレベル -評価基準 -スコア	浄水施設の維持管理の程度のこと、大規模浄水場のメンテナンス項目と実施頻度を参考に、人的要素、金銭的要素からなる評価基準を設定した。評価基準を数値（スコア）化してシミュレーションの計算式に用いている。
延長係数	設備を法定耐用年数の何倍の年数まで延長することが可能かを表す係数で、浄水場での実績から設定した。メンテナンスレベルによって係数は変化する。
デフレーター	物価上昇の指数を表すもので、ある設備の価格が基準年で100のとき、過去あるいは未来ではいくつか知ることができる。例えば、2000年を基準年として100万円だった設備が、1980年のデフレーター値80であれば、当時の価格は80万円だったことになる。
参照金額	シミュレータの入力操作を簡略化するために、シミュレータ内にデータベースとして用意した設備費。e-Water IIの浄水場アンケート結果から浄水フロー毎、浄水量に応じた浄水施設の建設費のデータが得られた。そのデータを基に建築、土木、電気、機械、計装設備といった設備分類に費用を算出する計算式を作成した。

相対設備費率	任意の浄水量において、浄水フロー「凝集＋沈澱＋急速ろ過」の設備費（浄水場全体）を 1.0 とし、各浄水フローの設備費の比率を表したもの
相対運転費率	任意の浄水量において、浄水フロー「凝集＋沈澱＋急速ろ過」の運転費（浄水処理分）を 1.0 とし、各浄水フローの運転費の比率を表したもの
浄水フロー毎の設備費率	浄水フロー毎、浄水場規模（浄水量）毎に浄水施設全体の設備費に占める土木、建築、電気、機械、計装設備費の割合が変化する。 <i>e-Water II</i> で収集した実データを基に設備費率の計算式を作成した。
健全度	設備の経過年数を法定耐用年数で除した値が 1.0 以下、1.0 超～1.5 以下、1.5 超かで、順に健全度資産、経年化資産、老朽化資産と分類される。
更新率	浄水場単位で設備の経過年数に対してどの程度の割合で設備が更新されているかを表すもので、本研究にて実施した浄水場へのアンケート結果から、電気、機械、計装設備については、経過年数に対して更新度数が正規分布をとることが確認された。
更新費	建築構造物、土木構造物、電気設備、機械設備、計装設備を更地の状態から建設した場合の費用のことで、解体工事費や仮設工事費は更新費には含んでいない。また、土木基礎、施設間の連絡配管などの費用は浄水場の土地形状等によって大きく異なるため除外している。
浄水量比例設備費	参照金額において、設備費は浄水量に比例するとし、浄水フロー毎に計算式を設定しているが、現在の浄水フローが“滅菌のみ”、“緩速ろ過”、“その他”のいずれかの場合、更新時の浄水量における設備費の算出根拠がない。浄水フロー「凝集＋沈澱＋急速ろ過」の計算式（浄水量に比例）を用いて設備費を計算したものを浄水量比例設備費としている。

運転費	<p>浄水処理に関わる変動費と浄水処理に関わる人件費のこと。変動費については、動力費（電気、燃料）、薬品費、消耗品費に分けられる。給水原価の全国平均参考に変動費と人件費の単価を設定した。</p>
粉末炭運転係数	<p>希望フローで“粉末炭”を含む浄水フローを選択した場合に入力するもので、運転費に占める粉末炭の割合に影響する。粉末炭注入率/10 (mg/L) と注入日数/365 (d/年) の積で、粉末炭注入率が未入力の場合は 10mg/L、注入日数未入力の場合は 365d/年として計算される。</p>
故障率	<p>浄水施設のなかの電気設備、機械設備、計装設備が経過年数によって確率的にどの程度故障が発生するのかを表している。ただし、浄水施設において、老朽化が原因の故障事例の報告はなく、ここでの故障率は想定上のものである。</p>
(故障時の) 修繕費	<p>故障時の修繕費とは、老朽化が原因の故障による修繕費のことで、故障率と同様、浄水施設において、老朽化が原因の故障事例の報告はなく、ここでの修繕費は想定上のものである。</p> <p>次回更新年で“任意の年に一斉更新”を選択した場合は計画的に更新するとの考えから、この場合の修繕費（シナリオ1を除く）は予防保全のための費用とみなす。</p>
修繕費補正係数	<p>修繕費は想定した計算式で算出しているが、実際のデータを有する事業体などで実情に合わせることが可能なように補正係数（初期値 0.3）を組み入れている。マスター変更で変更可能。</p>
(リスク) 影響水量	<p>老朽化による設備故障で給水できなくなる一日当たりの浄水量 (m³/d) のことで、老朽化しているからといって必ず発生するものではない。</p>

(リスク) 損失額	給水できなくなる浄水量によって生じる料金収入の損失と需要者への補償費の合計金額とした。損失額算出の基となる影響水量は電気、機械、計装起因の影響水量中の最大値（最大影響水量）とした。影響水量と同様、老朽化により必ず発生するものではない。
復旧日数	老朽化による設備故障で給水停止となってから修理が完了するまでの日数。損失額の計算において、給水できなくなる浄水量は最大影響水量に復旧日数を乗じたもので、需要者への補償日数＝復旧日数となる。
高度処理の便益	現状の浄水フローにおいて高度浄水処理（粉末炭、粒状炭、オゾン＋粒状炭）が採用されておらず、更新する場合に高度浄水処理を採用した場合、需要者のうち家庭でボトルウォーターを利用している人がボトルウォーターを購入しなくなる費用とした。東京都水道局の調査結果を参考とした。
膜ろ過の便益	緩速ろ過、急速ろ過処理において、浄水中に残留する耐塩素性病原性微生物に起因する健康障害によって失われる経済的損失が、膜ろ過処理によって発生しないことの経済価値とした。

<浄水施設更新シミュレータ作成（シナリオワーキング）メンバー>

指導 伊藤雅喜（国立保健医療科学院）
リーダー 宮ノ下友明（オルガノ株式会社）
川瀬悦郎（新潟市水道局）
吉岡律司（矢巾町上下水道課）
穴戸由範（横浜市水道局）
安原敏和（株式会社石垣）
岡田一也（ヴェオリア・ウォーター・ジャパン株式会社）
山根陽一（月島機械株式会社）
馬場啓輔（日本上下水道設計株式会社）
嶋田朋春（ワセダ技研株式会社）

浄水施設更新シミュレータ解説書

平成 24 年 2 月発行

発行所 （財）水道技術研究センター
〒105-0001 東京都港区虎ノ門 2-8-1
虎ノ門電気ビル 2F
電話 03-3597-0211
FAX 03-3597-0215