

# 下水道施設電気設備の適切な更新方法 に関する共同研究

## 1. 研究目的

わが国の下水道普及率は、平成 20 年度までに 72.7%に達し、普及促進から維持管理の時代へと移行し始めている。同時に、古くから整備された下水道施設では老朽化が進行し、改築更新が緊喫の課題となっている。このため、施設の改築に関わる新たな手法等が整備されつつある。

しかし実際には、財政難等により老朽化設備の更新は進まず、また、改築対象のうち電気設備は、機械設備等と異なる性質を持つため、機械設備の更新に用いられる考え方を適用することは難しい。

その一方、電気設備は、運転管理支援等の新技術により下水道施設の機能向上に大きく寄与してきた。また近年は、職員の高齢化や、省エネ、高度処理等、下水道事業における新たな課題に対応するための技術開発も進んでいる。

そのため、本研究は、課題に応えた高付加価値化を考慮しつつ老朽化設備を効果的に更新する手法を提案し、技術資料にとりまとめることを目的とした。

## 2. 研究体制

本研究は、(株)東芝、(株)日立製作所、三菱電機(株)、(株)明電舎、メタウォーター(株)、(財)下水道新技術推進機構の6者で行った。

## 3. 下水道施設電気設備の概要

### 3.1 電気設備の種類

下水道施設電気設備は、機能によって電力供給設備と計装制御設備に大別される。

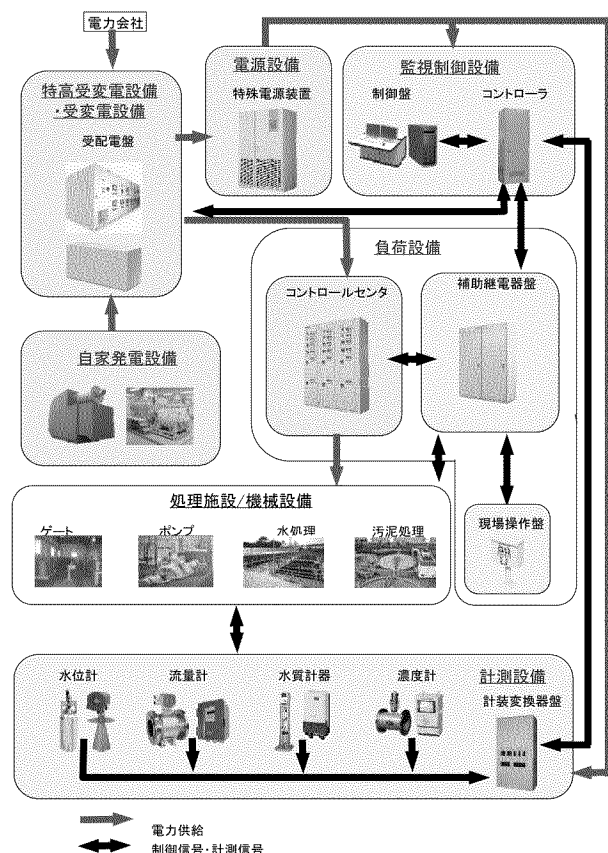
このうち前者は、動作に電源を必要とする機械設備等に対して電力を供給するとともに、ブレーカー操作等により動作を直接制御する。後者は、設備や制御対象(処理量や性状等)の状態を察知して人が確認できるよう操作盤等に表示すると共に、状態に応じて適切な制御を行えるように演算や処理を行う。

ただし両者は分類上、さらに細分化が可能であり、通常は細分化された名称が用いられる。名称と相互関係の例を、それぞれ表-1と図-1に示す。

表-1 電気設備の機能的分類

機能的分類	中分類名称*
電力供給設備	特高受変電設備 受変電設備 自家発電設備 電源設備 負荷設備
計装制御設備	監視制御設備 計測設備

\*平成15年6月19日付け下水道事業課長通知(以下、改築通知という)に基づく一般的な分類名称を記した。



注) 本図では一般的な分類方法と名称を用いたため、改築通知の内容とは必ずしも一致しない。

図一 電気設備のシステム構成例

### 3.2 電気設備の特徴

#### 3.2.1 システム的な関連性の強さ

電気設備は、各々の設備が一体となって機械を動作させ、制御する機能を持っており、単体相互のシステム的な関連性が強い。この点は、揚水、送風等の単独の機能を担う機械設備とは異なる。また、電気設備の故障時の影響はシステム全体へ波及しやすい。したがって、同時に更新する範囲はシステムの範囲にもとづいて決定し、同時に予防保全的な対応が望まれる。

#### 3.2.2 劣化予測の困難さ

電気設備の劣化要因には絶縁劣化や接点抵抗の上昇等があるが、機器点数が多く環境条件の影響も受けるため、劣化傾向の定量的把握が困難な場合が多い。また、劣化が進行した際にも、異音等を伴う機械設備の劣化とは異なり五感により察知することが難しい。したがって、状態監視保全による電気設備の保全や長寿命化は一般に困難であり、このときは

時間計画保全による更新が適当である。

#### 3.2.3 活発な技術開発

電気設備は、施設内の各設備の適切な運転を支える大規模施設であるため、信頼性向上や環境問題等への対応を目的として活発な技術開発が進められている。したがって、既存設備に問題点がある際は、更新時に新技術を用いた製品を導入することが有効な解決手段となる場合がある。

## 4. 研究内容

### 4.1 設備更新の実態と留意すべき点

電気設備の更新方法の検討作業に先立ち、最新の現状を把握するために国内の99自治体にアンケートを実施し、電気設備の更新計画内容や維持管理の実態を調査した。アンケートの回答は55自治体、196処理場から得られた。

また、電気設備の特徴とアンケート調査結果をふまえて、今後の更新計画を適切な内容とするための留意点を検討した。

#### 4.1.1 設備の現状認識

設備を中分類で区別し、既存設備の現状の問題点について集計した。その結果、各設備ともおよそ半数近くで何らかの問題点を抱えているおり、一番の問題点は老朽化であった。その他には、維持管理性や省エネ性の悪さなどが挙げられた。

#### 4.1.2 過去の更新動機

過去の更新事例を対象として当時の更新動機を集計した。その結果、「耐用年数の超過」が大半を占めた。その他には「主要部品の故障・劣化」「部品供給の停止」などが比較的多かった。

また、高付加価値化の検討について集計した結果、いずれの設備においても比率は高かった。検討内容としては、「省エネ化」、「小型化」、「維持管理性向上」など、多くの付加価値についての検討が行われていた。

#### 4.1.3 設備更新時の留意点

電気設備の更新計画時の検討要素には、「設備更新の範囲」「設備更新の時期」「更新時の高付加価値化」がある(図一2)。そこで、下水道施設電気設備の特徴や現状をふまえて、検討時の留意点を整理した。

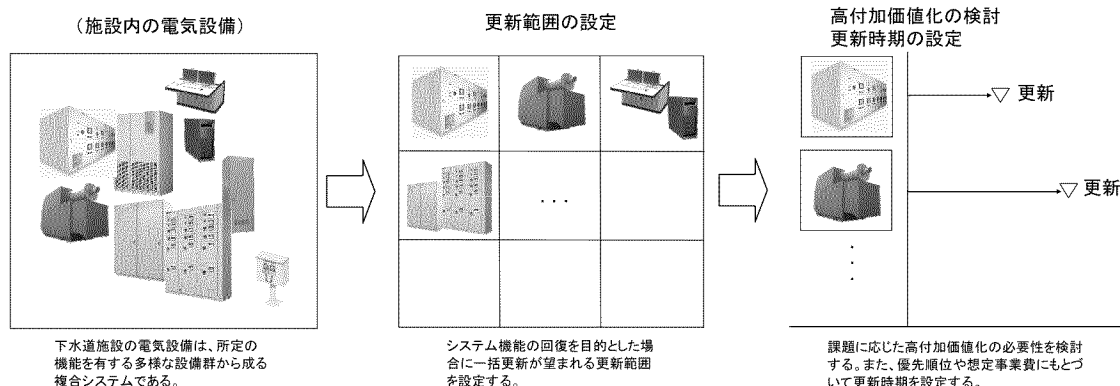


図-2 電気設備の更新計画時の検討要素

(1) 設備更新の範囲

一般に改築更新は、機能の信頼性回復を目的として行われるが、電気設備の場合はシステムの関連性が強いので、設備群のシステム機能を回復させる必要がある。そのため、通常の更新時には一定の設備群を同時に更新することが有効である。

(2) 設備更新の時期

電気設備の劣化を考える際によく用いられるバスタブカーブを、図-3に示す。この図は、縦軸に故障率を採り、ある一定の時間を経過すると故障の確率が高くなることを示している。電気設備においては故障時の影響の大きさを考慮し、特に摩耗故障期に入る前に更新を行う必要がある。また、電気設備の一時的な延命化は可能であるが、長寿命化に該当する対策は蓄電池交換等の例を除き現実的には難しい。

他方、アンケート結果より、半数近くの処理場で設備の老朽化の問題を抱えている状況が伺えた。したがって、下水道施設の機能を維持していくためには、時間計画保全を基本としつつも、故障時の影響の大きさの要素が含まれた「リスク」の概念を取り入れて更新時期の優先順位を適切に設定することも求められる。

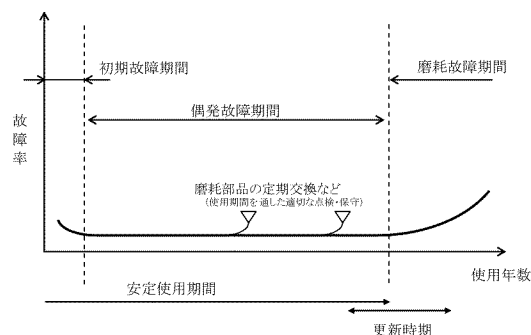


図-3 バスタブカーブ

(3) 更新時の高付加価値化

アンケート結果によると、電気設備の問題点の多くは「老朽化」であったが、次いで維持管理性や操作性等が挙げられている。設備更新は、これらの問題を解決する絶好の機会である。したがって、更新時に問題点を解消できる可能性の有無を適切に判断できるように、最新の高付加価値化製品の動向を把握しておくことが有効である。

4.2 設備更新の範囲

実際にも、下水道施設の電気設備は、設置時期やシステム構成を考慮して複数の小分類機器（改築通知上の区分）を同時に更新される場合が多い。

このことを踏まえ、設備更新の範囲を次の3つに分類した。また、更新範囲の概念を図-5に示す。

4.2.1 最小更新範囲

物理的に交換が可能な範囲を取り替える場合の更新範囲である。最小更新範囲による更新は一時的な更新費用の低減を図るためには有効ではあるが、システムの信頼性維持という観点からすると、必ずしも信頼性が回復するとはいえず、結果的に経済性の点でも劣る場合がある。

4.2.2 最適更新範囲

通常時には同時更新することが望ましい設備群のまとめりである。故障予知の困難性も併せて考慮すると、同一のシステム機能（例えば「受電」「揚砂設備」系の制御）等に寄与している複数の設備を1つの最適更新範囲に含めて同時更新することにより、システム機能を確実に回復させることができる。最適更新範囲の設定例を、図-4に示す。

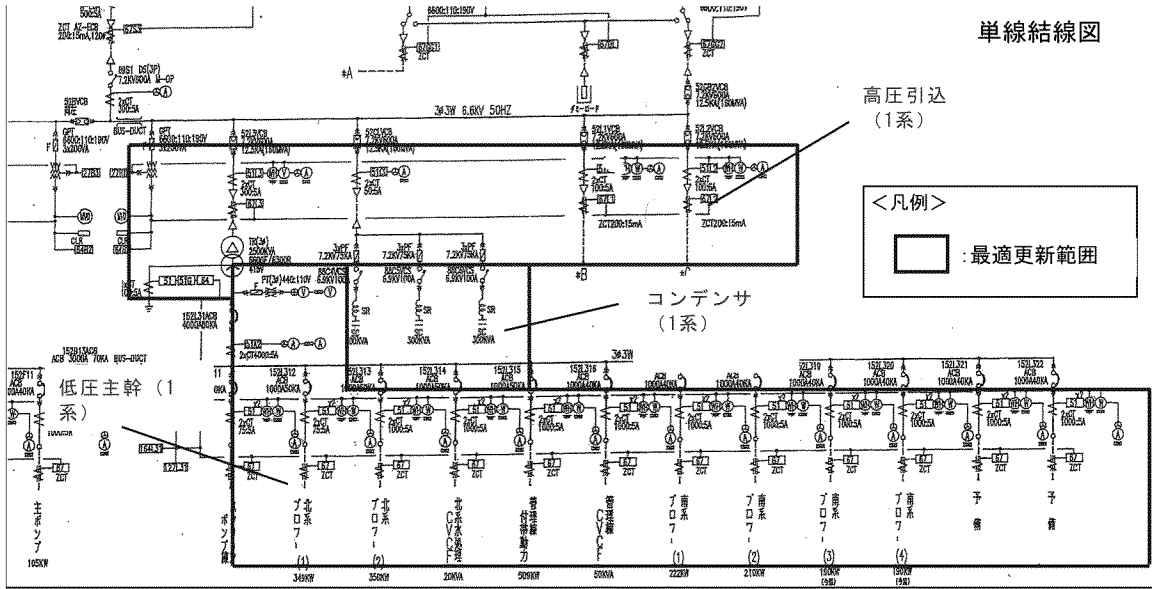


図-4 最適更新範囲の設定例

#### 4.2.3 更新実施単位

設置時期や仮設スペースや設備影響等を考慮し、実際に更新事業を実施する際に同時更新が適切であると判断される更新範囲である。1個の更新実施単位の中には1個または複数の最適更新範囲が含まれる。

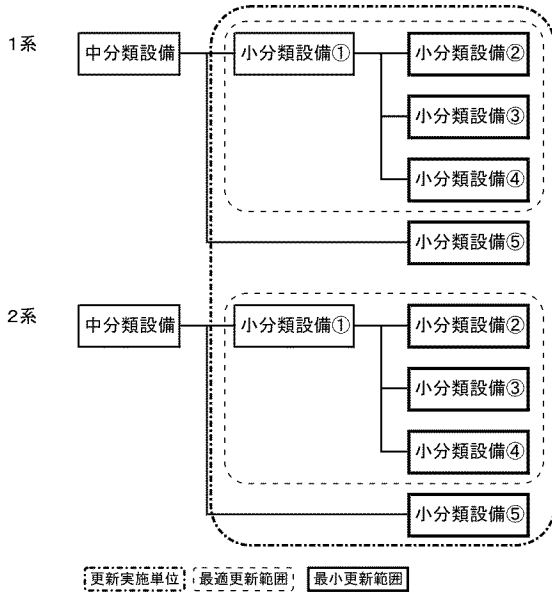


図-5 更新範囲の概念

### 4.3 設備更新の時期

#### 4.3.1 更新時期の設定手順

電気設備は土木や機械等の他設備と深い関連を持つため、下水道事業を適切に実施する一環として、電気設備に関しても長期的な更新計画が必要である。また更新時期が近づいてくると、現状を反映した優先順位

付けや、予算面の制約等も考慮する必要がある。そこで、更新計画の種類として、長期計画、中期計画および事業実施計画の3種類を提示した。

#### 4.3.2 長期計画

年次別の更新事業量と対象設備を大まかに把握することを目的として、目標耐用年数にもとづいて将来20年間程度の更新事業に対し事業実施単位と概略の時期を定める計画である。

アンケート結果より、耐用年数を超えて継続使用している設備が多数存在している状況が伺えたため、各設備に対して「目標耐用年数」を設定する考えを紹介した。目標耐用年数は、実態との整合を考慮して自治体が自ら定める耐用年数であり、支障ない範囲で標準的耐用年数(改築通知)を越えて使用する目標である。

#### 4.3.3 中期計画

中期計画は、長期計画上で直近10年間程度の期間に更新を迎えると想定される設備に対して「更新優先度」を設定し、具体的な実施スケジュールを定める計画である。ここで更新優先度とは、リスク評価を応用して、標準的耐用年数を超えて使用することによる故障リスクの増加を考慮した評価指標であり、故障時の影響の要素を含む。

中期計画の策定フローを、図-6に示す。

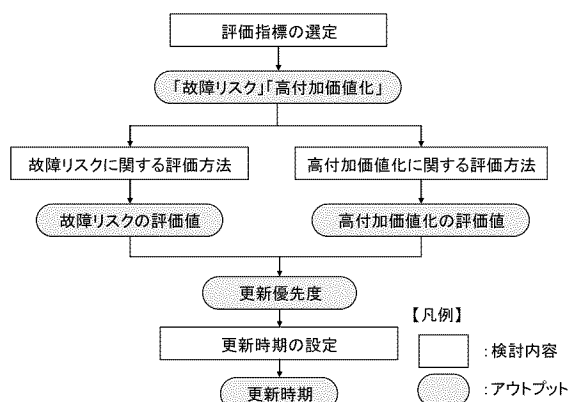


図-6 中期計画の策定フロー

(1) 評価指標の選定

評価指標の選定では、更新優先度の評価に用いるための指標を選定する。

本研究では「故障リスク」と「高付加価値化」を評価指標とした。このとき、更新優先度は両者に対する評価値（後述）の和として表現される。

$$\begin{aligned} & \text{（更新優先度）} \\ & = \text{（故障リスクの評価値）} \\ & + \text{（高付加価値化の評価値）} \end{aligned}$$

(2) 故障リスクに関する評価方法

「リスク」とは一般的に、発生の可能性と被害の大きさの積で表される。本研究では、発生の可能性として「耐用年数経過率」「異常の有無」、被害の大きさとして「故障時の影響」「冗長性」を設定し、各々を点数化した後、次式により故障リスクの評価値を計算する方法を紹介した。

$$\begin{aligned} & \text{（故障リスクの評価値）} \\ & = \{ \text{（耐用年数経過率）} + \text{（異常の有無）} \} \\ & \quad \times \text{（故障時の影響）} \times \text{（冗長性）} \end{aligned}$$

ただし、

$$\begin{aligned} & \text{（耐用年数経過率）} \\ & = \text{（使用年数）} / \text{（標準的耐用年数）} \end{aligned}$$

(3) 高付加価値化に関する評価方法

高付加価値化の動機や要求水準は自治体や対象設備により多様であると思われる。したがって、自治体や施設毎の現状や見通しに応じて、自由に設定することとした。但し、一般的に高付加価値化は更新要因としては支配的でないため、計算用点数の設定時に考慮する必要がある。

(4) 更新時期の設定

中期計画の更新時期の設定は、更新優先度に基づいて、最適更新範囲ごとに行うものとした。さらに、将来予算枠を予め推定した上で1年当たりの事業量がその限度を越えず、かつ年度間の平準化を考慮して設定する必要があることを述べた。

更新優先度の計算に用いる点数の設定例を、表-2で紹介する。

表-2 計算用点数の設定例

耐用年数経過率	異常の有無	故障時の影響
201%~	あり	揚水に支障
181~200%	(異音、絶縁劣化等)	高級処理に支障
161~180%	なし	汚泥処理に支障
141~160%		再生水供給に支障
121~140%	なし	高度処理(再生水以外)に支障
101~120%	あり	制御電源が停電
100%	(二重化等)	自動制御に支障
~99%	高付加価値化	監視制御システムに支障
異常の有無	高機能化が待望される	施設管理に支障
あり(異音、絶縁劣化等)	機会があれば高機能化したし	
なし	現状のままで問題ない	

4.3.4 事業実施計画

更新内容と時期の最終決定を目的とする。対象となる設備は、中期計画上で直近5年間程度の期間に更新を迎える設備とし、予算面の制約等を考慮して更新内容と時期を決定する。

4.4 設備の高付加価値化

下水道施設の電気設備が関係する問題点を整理し、それらに対する解決手段となりうる高付加価値化技術の情報を共同研究各社より入手し、特徴や留意点等を整理して紹介した。主な例を表-3に示す。

表-3 高付加価値化技術の例

目的	設備分類	具体例
操作視認性の向上	監視制御設備	・ユニバーサルデザインを取り入れた監視装置 ・マルチモニタ式監視装置 ・大画面表示装置
保守性の向上	受変電設備・負荷設備 計測設備	・受配電回線改善 ・複合型デジタル保護リレー ・無試薬式残留塩素計 ・電極式アンモニア計
省スペース化(小型軽量化)	受変電設備 受変電設備・負荷設備 監視制御設備	・C-GIS ・ハイブリッド形真空遮断器 ・薄型高圧配電盤 ・中央監視装置の小型化
省スペース化(機能集約化)	負荷設備 監視制御設備	・多機能型コントロールセンタ ・電子化複合機能盤 ・マルチコントローラ ・サーバレス監視制御システム
省エネルギー化(省エネ設備導入)	受変電設備 電動機	・トップランナー変圧器 ・超高効率変圧器 ・高性能省エネモータ ・永久磁石式同期電動機
省エネルギー化(新エネ設備導入)	新エネルギー設備	・高効率太陽光発電パネル ・風力発電システム ・ミニ水力発電機 ・ナトリウム・硫酸電池(NAS電池)
省エネルギー化(運転制御の改善)	負荷設備 計測・監視制御設備 監視制御設備	・低圧インバータ ・直接高圧インバータ ・IGBTセルビウス装置 ・残留塩素制御 ・硝化制御 ・エネルギー計測機器 ・省エネデータ統合管理分析システム
環境性能の向上	受変電設備 全般 監視制御設備	・SF6ガスフリーC-GIS ・SF6ガスフリー高圧配電盤 ・環境対応型変圧器 ・環境配慮型配電盤 ・環境負荷低減型運転支援システム

## 5. 技術資料の構成

技術資料は、本編と資料編から構成される。各編の内容は以下のとおりである。

### 第1章 総則

- 第1節 目的
- 第2節 適用範囲
- 第3節 用語の定義

### 第2章 下水道施設電気設備概論

- 第1節 電気設備の特徴

### 第3章 設備更新の内容

- 第1節 更新内容を検討する際の留意点
- 第2節 更新内容

### 第4章 設備更新の時期

- 第1節 更新時期の設定手順
- 第2節 長期計画
- 第3節 中期計画
- 第4節 事業実施計画

### 第5章 設備更新を支援する技術

- 第1節 高付加価値化技術
- 第2節 更新時期の調整手法

### 資料編

1. アンケート調査結果
2. ケーススタディ① (大規模施設事例)
3. ケーススタディ② (大規模施設事例)
4. ケーススタディ③ (中規模施設事例)
5. ケーススタディ④ (小規模施設事例)
6. 様式集
7. 製品紹介
8. 問い合わせ先

## 6. まとめ

本研究では、下水道電気設備をとりまく現状の課題や電気設備の特性を踏まえて、電気設備の更新計画を作成する際の考え方を検討し、技術資料にとりまとめた。

本格的な改築の時代を迎えつつある中、電気設備の劣化状況の把握の難しさ等の要因もあり、電気設備の更新に関する議論は、それがもつ機能の重要性に比して不足していると考えている。今後各自治体等において電気設備の更新を計画される際に、本技術資料がその一助となることを願う次第である。

#### ●この研究を行ったのは

研究第二部長  
研究第二部副部長  
研究第二部主任研究員  
研究第二部主任研究員  
研究第二部研究員

松島 修  
田之倉 誠  
山崎 恭司  
林 栄樹  
戸田 浩一

#### ●この研究に関するお問い合わせは

研究第二部長  
研究第二部副部長  
研究第二部主任研究員

松島 修  
田之倉 誠  
山崎 恭司