

## 〈研究発表〉

### 下水道施設電気設備の更新方法に関する研究

戸田 浩一<sup>1)</sup>, 山崎 恭司<sup>1)</sup>, 井藤 元暢<sup>1)</sup>, 田之倉 誠<sup>1)</sup>, 坂根 良平<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> 財団法人下水道新技術推進機構 (〒162-0811 東京都新宿区水道町3-1, E-mail: h-toda@jiwet.or.jp)

#### 概要

早くから下水道事業に着手した自治体等では老朽化した施設ストックの増加に伴い、計画的な改築更新が課題となっている。また、休止することのできない下水道施設では、機能を維持しつつ温暖化対策などの高付加価値化を図ることも求められている。しかし、電気設備の改築更新に関する計画手法は未だ整備途上である。そこで本研究では、劣化状態の分かりにくさ等の特性を考慮して更新方法の考え方を整理し、高付加価値化の必要性にも注意を配りながら老朽化設備を効果的に更新する手法を提案した。

キーワード: 更新, 電気設備, 高付加価値化

#### 1. はじめに

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することを目的とした。

#### 2. 下水道施設電気設備の概要

##### 2.1 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)の状態を検知して人が確認できるように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。

ただし通常はさらに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 **Table 1** と **Fig.1** に示す。

**Table 1:** Classification of electrical equipments

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。

##### 2.2 電気設備の特徴

###### (1) システム的な関連性の強さ

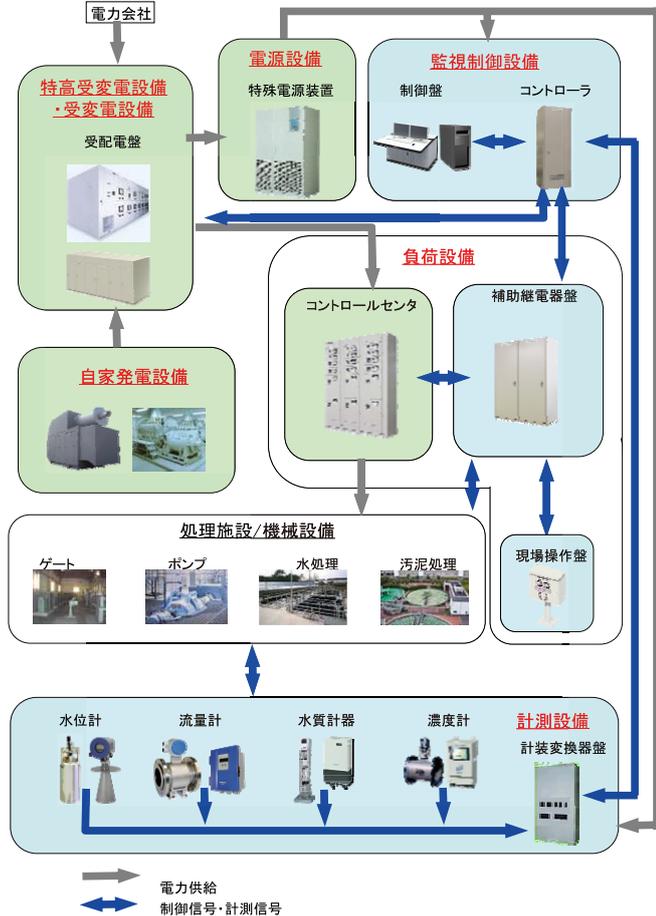
電気設備は、各々の設備が一体となって機械を動作させ、制御する機能を持っており、単体相互のシステム的な関連性が強い。この点は、揚水、送風等の単独の機能を担う機械設備とは異なる。また、電気設備の故障時の影響はシステム全体へ波及しやすい。したがって、同時に更新する範囲はシステムの範囲にもとづいて決定し、同時に予防保全的な対応が望まれる。

###### (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) 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。



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。

Fig. 1: An example of System configuration

3. 研究内容および結果

3.1 電気設備更新の実態把握

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た。アンケートの回答は 55 自治体、196 処理場から得られた。

(1) 設備の現状認識

既存設備の現状の問題点について集計した結果、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 (Fig. 2)。

(2) 更新計画の内容

過去の更新事例を対象として当時の更新動機を集計

した結果、耐用年数の超過が大半を占めた (Fig. 3)。また、高付加価値化の検討実績は、いずれの設備においても比率は高く (Fig. 4)，項目は「省エネ化」, 「小型化」, 「維持管理性向上」などがあつた。

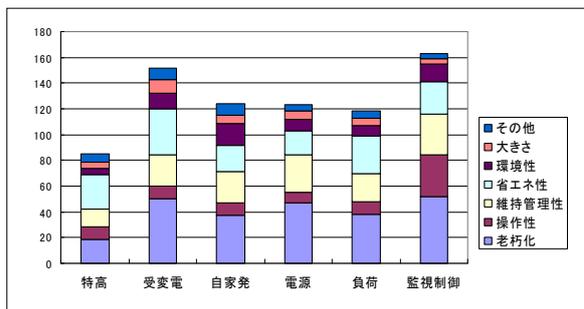


Fig. 2: The problems of current equipments

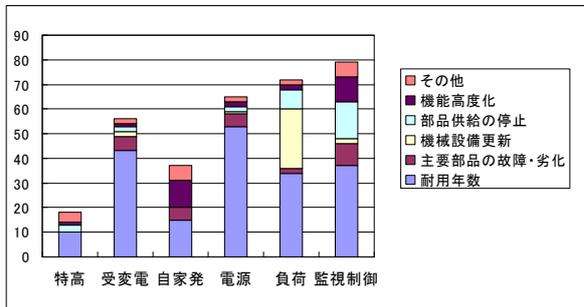


Fig. 3: The motivations of past renewal

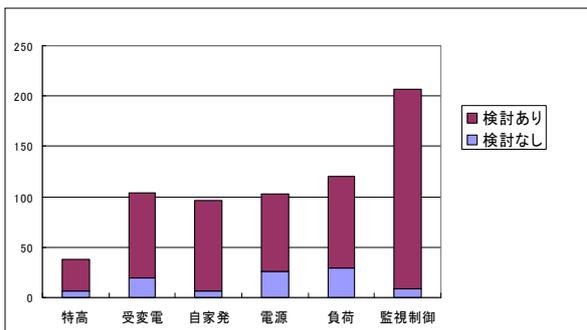


Fig. 4: Value-addition was considered or not as renewal

3.2 更新計画の立案方針

更新計画の立案要素には、「設備更新の範囲」「設備更新の時期」「更新時の仕様（高付加価値化）」の3つがある。本研究では、下水道施設電気設備の特徴と、アンケートの両者をふまえて、更新計画を適切に立案できるような方針を以下のとおりとした。

(1) 設備更新の範囲

施設の改築更新は、機能の信頼性の回復を目的として行われるが、電気設備の場合にはシステムの関連性の強さから、システム全体の信頼性回復に着目すべきことが示唆される。そのためには、一定の設備群を同時に更新することが有効である。本研究では、同時に更新することが望ましい設備群のまとまりとして「最適更新範囲」の概念を提示する。これは、故障予知の

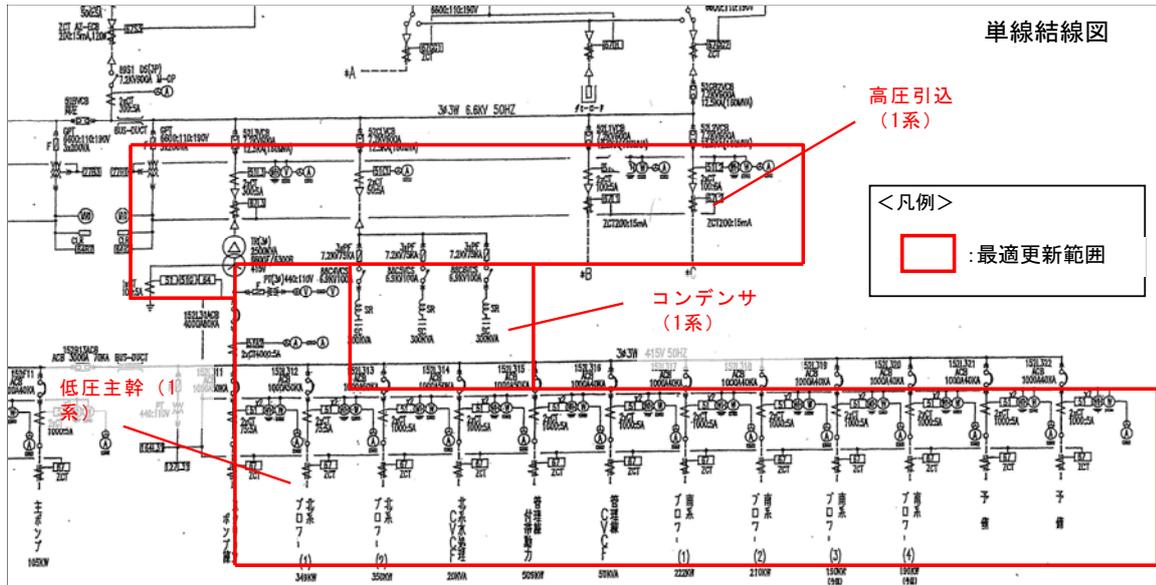


Fig. 5: An example of configured “optimum renewal range”

困難性も併せて考慮し、同一のシステム機能（例えば「受電」「揚砂設備〇系の制御」等）に寄与している複数の設備を同時更新するという考え方である。

(2) 設備更新の時期

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。そのため、各設備に対して「目標耐用年数」と「更新優先度」を設定することを提示した。前者は、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（改築通知で規定）を越えて使用する目標である。後者は、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、故障時の影響の大きさが含まれる。

これらの概念をふまえて、更新時期の判断材料について整理した結果を Table 2 に示す。

Table 2: The criteria to set renewal time

区分	機械設備と 同時に更新	電気設備単独で計画可能	
		目標	更新優先度
判断材料	機械設備の 更新サイクル	耐用年数	更新優先度 想定事業費、予算枠
対象設備 の例	負荷設備, 現場盤等	受変電設備, 監視制御設備, 自家発電設備, 電源設備等	

(3) 更新時の高付加価値化

前述のとおり設備更新は、維持管理性や省エネ性等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する機会を逃さないように、ユーザー側でも最新の高付加価値化製品のラインナップを整理しておくことが有効である。今回は共同研究者の協力を得て、需要が高いと思われる技術を整理した。

(4) 更新計画の立案手順

以上の方針を取り入れた更新計画立案検討フローを、Fig. 6 に示す。範囲・時期・高付加価値化の内容の設定結果にもとづき最終的な計画が立案される。

Table 3: The examples of value-added products

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
	受変電設備・負荷設備	・受配電回線改善 ・複合型デジタル保護リレー
保守性の向上	計測設備	・無試薬式残留塩素計 ・電極式アンモニア計
	受変電設備	・C-GIS
省スペース化 (小型軽量化)	受変電設備・ 負荷設備	・ハイブリッド形真空遮断器 ・薄型高圧配電盤
	監視制御設備	・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	・多機能型コントロールセンタ ・電子化複合機能盤
	監視制御設備	・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	・トップランナー変圧器 ・超高効率変圧器
	電動機	・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)
		負荷設備
省エネルギー化 (運転制御の改善)	計測・監視制御設備	・省エネデータ統合管理分析システム
	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
環境性能の向上	受変電設備	・環境対応型変圧器
	全般 監視制御設備	・環境配慮型配電盤 ・環境負荷低減型運転支援システム

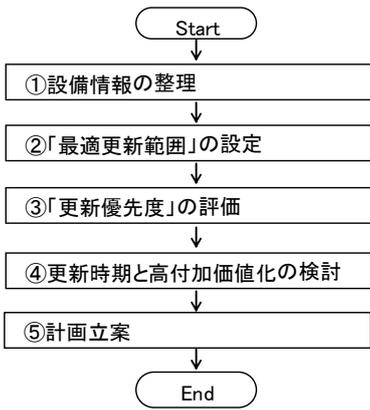


Fig. 6: The Process to set renewal plan

3.3 ケーススタディ

(1) 更新優先度の計算方法の設定

ケーススタディに当たり、更新優先度は「故障リスクの評価値」と「高付加価値化の評価値」の和で計算するとした。更新優先度を用いることにより、膨大な老朽化設備が存在する施設においても、適切に優先順位を設定して設備更新を進めることができると考えられる。今回は、更新優先度の計算方法を次のように設定した。

$$\text{更新優先度} = \{ (a + b) \times c \times d \} + e$$

(各係数の内容は Table 4 を参照)

Table 4: The Constants to calculate renewal priority value

a: 耐用年数経過率		c: 故障時の影響	
201%~	16	揚水に支障	6
181~200%	15	高級処理に支障	5
161~180%	14	汚泥処理に支障	5
141~160%	13	再生水供給に支障	5
121~140%	12	高度処理(再生水以外)に支障	4
101~120%	11	制御電源が停電	3
100%	10	自動制御に支障	2
~99%	1	監視制御システムに支障	2
b: 異常の有無		d: 冗長性	
あり(異音、絶縁劣化等)	10	なし	1
なし	1	あり(二重化等)	0.5
		e: 高付加価値化	
		高機能化が望まれる機会があれば高機能化したい	10
		現状のまま問題ない	0

(2) 最適更新範囲ごとの更新優先度の計算

今回、A市B処理場においてケーススタディを実施した。特高受変電設備および管理棟電気室内の主要な電気設備に対して Fig. 7 の手順を適用し、設備群を「最適更新範囲」へ集約した上で、更新優先度を計算した。

最適更新範囲へ集約する際には、システム機能上の関連性の強さや設備種類等にもとづいて判断した。

最適更新範囲ごとに更新優先度を計算した結果を、Table 5 に示す。

Table 5: Calculated results of renewal priority value

対象設備		最適更新範囲	設置年	更新優先度
小分類		特高GIS	1979	40
断路器、遮断器、変流器、避雷器、変圧器、接地変圧器、計器用変圧器、保護継電器盤、断路器盤、遮断器盤		特高変圧器二次盤	1979	35
断路器盤、遮断器盤		補助継電器盤	1979	63
保護継電器盤		高圧引込(1系)	1988	59
遮断器盤、変流器盤		高圧引込(2系)	1988	10
遮断器盤、変流器盤		低圧主幹(1系)	1988	31
変圧器盤、低圧主幹盤		管理棟CVCF	2007	9
蓄電池盤、充電器盤、インバータ盤、鉛蓄電池		北系水処理CVCF	2007	4
蓄電池盤、充電器盤、インバータ盤、鉛蓄電池		低圧主幹(2系)	1998	10
変圧器盤、低圧主幹盤		照明変圧器	1998	3
変圧器盤		コンデンサ(1系)	1988	10
コンデンサ盤		コンデンサ(2系)	1988	1
コンデンサ盤		その他設備	-	-

(3) 更新計画の作成

つづいて、更新優先度の計算結果が大きいものから順に最適更新範囲を並べ、優先順位を設定した。また、事業の効率性を考慮して、許容される範囲で集約し、「更新実施単位」ごとに区分し直した。

そして、更新実施単位ごとに事業費を算出し、予算枠との比較によって更新時期を決定した。また、具体的な高付加価値化内容を確定させた。その結果を Table 6 に示す。

Table 6: The results of review concerning renewal time and value-addition

対象設備	最適更新範囲	設置年	更新時期			高付加価値化
			優先順位	優先順位(集約)	事業費(百万円)	
特高GIS	1979	3	1	802	2010, 2011	トップランナー変圧器
特高変圧器二次盤	1979	4	1	-	-	薄型高圧配電盤
補助継電器盤	1979	1	-	-	-	複合型デジタル保護リレー
高圧引込(1系)	1988	2	2	175	2012, 2013	薄型高圧配電盤
高圧引込(2系)	1988	7	7	190	2019, 2020	環境配慮型配電盤
低圧主幹(1系)	1988	5	2	-	-	薄型高圧配電盤
管理棟CVCF	2007	9	9	60	2021	環境配慮型配電盤
北系水処理CVCF	2007	9	-	-	-	
低圧主幹(2系)	1998	7	7	-	2019, 2020	
照明変圧器	1998	10	7	-	2020	
コンデンサ(1系)	1988	7	2	-	2012, 2013	
コンデンサ(2系)	1998	12	7	-	2019, 2020	
その他設備	-	-	-	-	-	

4. おわりに

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て方法を提案した。

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、本研究がその一助となることを願う次第である。