

# 下水道主要設備機能診断 に関する研究

## 1. 背景と目的

全国の下水道処理人口普及率は、平成16年度末で68.1%に達しており、普及率の上昇に伴って処理施設のストックは莫大なものになってきている（平成15年度末で1,924カ所〔水処理施設〕）。この莫大な施設を維持し、さらなるレベルアップを目指すためには、老朽化した施設を単に更新するのではなく、物理的な劣化や能力の低下を評価するとともに、最新の技術レベルに照らし、機能性、維持管理性、省エネルギー性、環境負荷削減への貢献度等を検討して計画的に改築を行っていくことが求められている。

本研究は、下水処理場における主要設備の適正かつ効率的な改築に向けた「下水道主要設備機能診断」を実施する場合に必要な技術的事項と、下水処理場の改築事業計画の策定手法を示した技術資料を作成することを目的とした。

## 2. 研究体制

本研究は、(財)下水道新技術推進機構と(株)日水コン、(株)東京設計事務所、オリジナル設計(株)、(株)建設技術研究所、国際水道コンサルタント(株)、(株)三水コンサルタント、中日本建設コンサルタント(株)、日本工営(株)、日本水工設計(株)、日本理水設計(株)、パシフィックコンサルタンツ(株)との12者共同で実施した。

## 3. 主要設備機能診断の概要

### 3.1 特徴

主要設備機能診断は、従来行われていた個々の機器の診断から改築事業の実施へ展開する手法だけでなく、処理状況からみた機能低下要因の把握を目的とした「プロセス機能診断」を行い、設備単位の機能低下を定量評価する「設備機能診断」を併用することで、改築優先度を明確化し、経済性や効率化等の視点を加えて設備改築事業計画を策定する一連の手法を特徴とする。

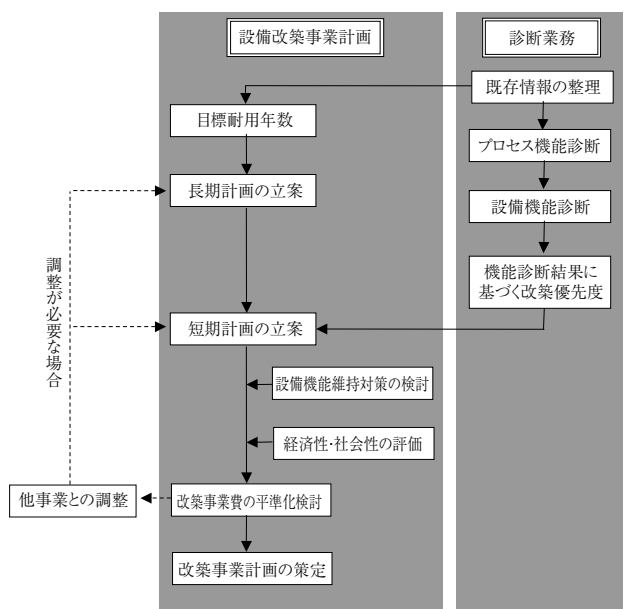


図-1 主要設備機能診断手順

### 3.2 主要設備機能診断の構成

本技術資料は、既存情報の整理からプロセス機能診断、設備機能診断、改築事業計画策定までを一連の手法としてまとめたものである。主要設備機能診断全体の手順を図-1に示す。

## 4. 研究結果

本研究の結果、本手法を用いることにより、改築事業が短期的に集中する状況のなかで、処理場の状況を把握・反映したうえで、設備診断を行い、改築優先度を明らかにし、経済性・社会性等の評価を加味した効率的な事業計画策定が可能となることがわかった。

### 4.1 主要設備機能診断の手順

#### 4.1.1 既存情報の整理

既存情報の整理は、機械・電気設備および処理施設全体に対して行うものとし、設備台帳等の既存資料を基に、処理性能、維持管理状況、診断対象設備の抽出および診断に必要な設備の現況等を把握するものである。表-1に主要設備機能診断に必要な項目(例)を示す。

表-1 主要設備機能診断に必要な項目(例)

施設情報	維持管理情報	その他情報
・施設能力・仕様等 ・設置年度とその内容 ・改築年度とその内容 ・修繕年度とその内容 等	・日常点検記録 ・定期点検記録 ・事故・故障・異常履歴 ・運転履歴 (設備別電力量、薬品使用量) ・改築・修繕履歴 ・水量・水質管理履歴 ・異音、振動、臭気 等	・計画内容・計画変更内容(設計計画値含む) ・年度整備計画(流入水量予測含む) ・下水道法他、関連法令 ・各種の技術基準・指針 ・現在の技術水準 等

#### 4.1.2 目標耐用年数

目標耐用年数は、改築事業計画のなかで標準的耐用年数や各自治体の改築の実態を調査・把握し、機器・設備を取り替えるまでの期間を設定したもので、適正な維持管理を行っていることを前提に次のように考える。

$$\text{目標耐用年数} = \text{標準的耐用年数} \times \alpha$$

ここに、 $\alpha$  : 延命化率

#### 4.1.3 長期計画の立案

主要設備機能診断では、既存情報を基に設備改築の長期計画を立案し、事業の集中時期、事業費の概要を把握する。

- ① 既存情報から設置年度、改築年度を参考に目標耐用年数を設定する。
- ② 目標耐用年数をもとに処理施設全体の長期的な設備改築計画を立案する。
- ③ 計画のスパンは土木建築の改築が予想される50年程度を目安とする。
- ④ 費用の算出方法は処理方式別の費用関数または実績値等を参考として算出する。
- ⑤ 長期計画では、計画期間が長いいため、流入水量実績と未整備面積を考慮した実態的な流入量予測から設備増設計画も配慮する。
- ⑥ 改築事業計画の策定を受け、それを取り込んで長期計画を見直す。

表-2 耐用年数に関するアンケート調査結果

	標準的耐用年数(年)	耐用年数設定値(年)	設定値/標準値
除塵機	15	15~25	1.0~1.7
汚水ポンプ	15	15~50	1.0~3.3
雨水ポンプ	20	20~40	1.0~2.0
送風機	20	20~35	1.0~1.8
散気装置	10	10~25	1.0~2.5
脱水機	15	15~25	1.0~1.7
機械濃縮機	15	15~23	1.0~1.5
焼却炉	10	10~35	1.0~3.5

※アンケート自治体数 12自治体  
 目標耐用年数を設定している自治体 …9自治体  
 目標耐用年数を設定していない自治体 …3自治体

#### 4.1.4 プロセス機能診断

プロセス機能診断は、処理プロセス内の一連の工程が適正に働いているかを診断するものであり、処理場運転データ等を基に機能低下現象の抽出とその要因特定を行う。対象は、曝気プロセス・脱水プロセスのような個別のプロセスから、水処理プロセス・汚泥処理プロセス等の総合的な処理プロセスとなる。

プロセス機能診断は、処理場全体を対象として以下の手順で行う。

##### ① プロセス機能診断項目の整理

各プロセスにおけるプロセス機能診断項目は、プロセスからの出力(処理水質、汚泥量等)、プロセスが能力を発揮するための入力(エネルギー使用量、処理時間等)、副次的な出力(廃熱、排ガス等)等について運転関連データ等からプロセス毎に整理する。

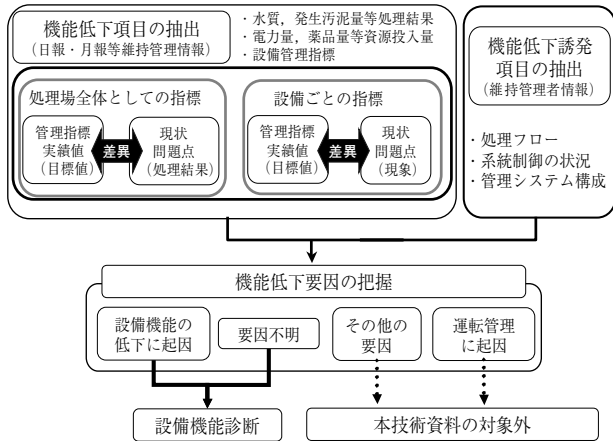
##### ② プロセス機能低下項目の抽出

整理したプロセス機能診断項目に対して、計画値、管理目標値、運転実績平均値等との照合・分析を行い、機能低下項目を抽出する。

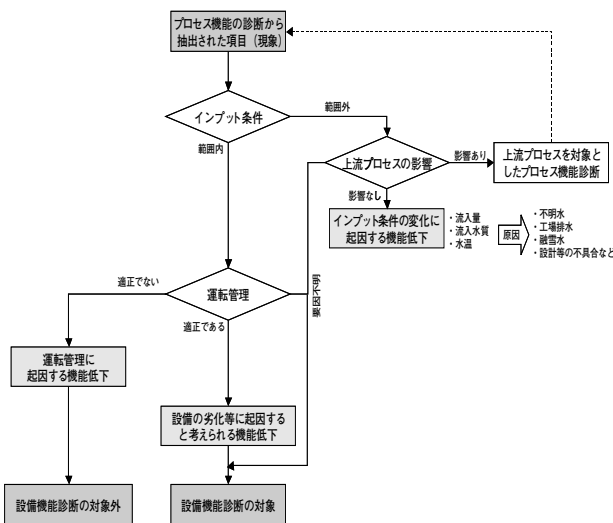
##### ③ プロセス機能低下要因の把握

機能低下項目が抽出された場合、それぞれの要因を

突き止め、これが対象プロセス内設備の機能低下に起因するものと判断された場合は、設備機能診断の対象設備とする。



図一 2 プロセス機能診断のイメージ



図一 3 プロセス機能低下要因把握手順

#### 4.1.5 設備機能診断

設備機能診断は、設備を構成する主要機器について物理診断、機能診断、耐用年数の3つの項目について重み付けを用い、設備機能を定量評価するものであり、以下の手順で行う。

##### (1) 設備機能診断のための機器分類

設備機能診断は、「下水道施設の改築について」(国都下事第77号、平成15年6月19日)の別表に記載されている分類を基本に、号数または系列を考慮した設備をひとつの単位として行う。また、各機器について、機能上の観点から主機、補機等に区分し、これを物理診断評価および耐用年数評価を行う上での最小単位とする。

##### (2) 診断対象設備の抽出

設備機能診断で対象とする設備は、プロセス機能診断において機能低下要因が設備にあることが判明した設備と、短期計画期間の最終年度までに標準的耐用年数を経過する設備とする。なお、目標耐用年数の信頼度が高い自治体においては、目標耐用年数を経過する設備とすることもできる。

##### (3) 設備機能評価の手順

設備機能評価は以下の手順で行い、機能評価値を算定する。

##### ① 診断項目・診断基準の設定

設備機能診断は、物理診断、耐用年数、機能診断の診断毎に、「下水道施設改築・修繕マニュアル(案)―1998年版―」(社日本下水道協会)を参考に、各処理場の特性や維持管理状況等を勘案し、診断項目・診断基準を設定する。

##### ② 診断項目の評価

物理診断、機能診断の診断項目の評価は、診断結果に調査員の個人差が生じにくいこと、感覚的に捉えやすいことなどを考慮して、○、△、×による3段階の評価とする。

##### ③ 重みの設定

診断や機能評価においての評価基準は定性的な判断が多く含まれているため、リスクの相対評価結果を定量化できるように、計画・管理の数理的手法としての階層分析法(AHP: Analytical Hierarchy Process)等も参考にし、以下の項目に対して診断項目や機器の重要性を考慮した「重み付け」を行う。

- ・物理診断項目
- ・主機・補機等の機器の重要度
- ・機能診断項目
- ・物理、耐用年数、機能の各項目

##### ④ 設備機能評価値の算定

機械設備および電気設備に関する設備診断結果の整理と評価には、機械設備診断表または電気設備診断表を用い、評価基準による評価項目の点数化、重み付けを考慮した診断項目毎の評価点算定、設備全体としての総評価の流れで、設備機能評価を数値化する。

- ・物理診断の評価
- ・耐用年数の評価
- ・機能診断の評価
- ・設備診断の総評価

#### 4.1.6 機能診断結果に基づく改築優先度

改築優先度決定にあたっては、設備機能診断で実施する物理診断評価、耐用年数診断評価、機能診断評価およびこれらに基づく設備診断の総評価値(Y)に、

プロセス機能低下の有無による重みを考慮する。

また、施設整備の上位計画に基づき、設備の重要度を考慮した重み付けを行って総合評価を行うことも考えられる。

したがって、最終的な総合評価（Y'）は、次式により算定する。

総合評価（Y'）

$$\begin{aligned}
 &= (\text{設備診断の総評価値 (Y)}) \\
 &\times (\text{プロセス機能診断による重み付け}) \\
 &\times (\text{設備の重要度の重み付け})
 \end{aligned}$$

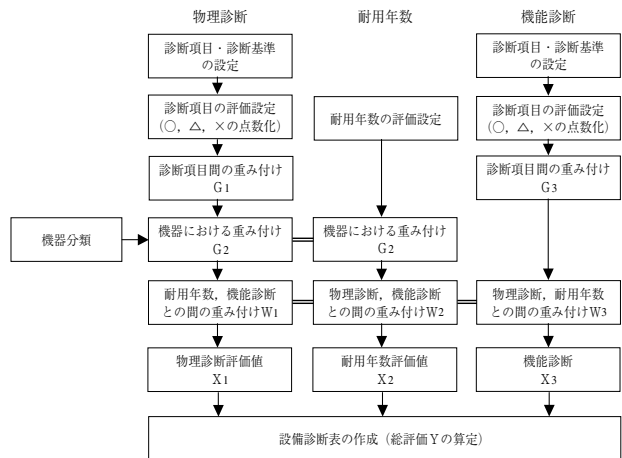


図-4 設備機能診断のイメージ

機器名称		主機		補機1	
項目	重みG1	判定	評価	判定	評価
動作状況	1.0	△	1.0	△	1.0
塗装、 그리스 状況	0.8	△	0.8	○	0.0
錆、腐食	0.8	△	0.8	×	1.6
変形、亀裂、損傷	1.0	×	2.0	×	2.0
各部摩擦	1.0	△	1.0	△	1.0
振動、異音	0.8	△	0.8	△	0.8
評価の平均		1.1	1.1	物理診断の評価値 D <sub>1</sub> (= {1 - (1 - G <sub>1</sub> /2) - (1 - C <sub>2</sub> /2)} × 2)	
重みG2		1.0	0.8		
加重平均Cn		1.07 (C1)	0.85 (C2)		

設置年(西暦)	1968	1968	設備全体の耐用年数の評価値 D <sub>2</sub> (= (E <sub>1</sub> + E <sub>2</sub> ) / n)
調査年(西暦)	2004	2004	
稼働年数	36	36	
標準的耐用年数	20	15	機能診断の評価値 D <sub>3</sub> (= (F1 + F2) / n)
目標耐用年数	30	23	
超過率A	1.80	2.40	
超過率B	1.20	1.57	
判定	2.00	2.00	
評価	2.00 (E1)	1.60 (E2)	

項目	重みG3	判定	評価
力	1.0	△	1 (F1)
高度化安全対策	0.8	×	1.6 (F2)
効率的運用	0.6	△	0.6 (F3)
...	...	...	...

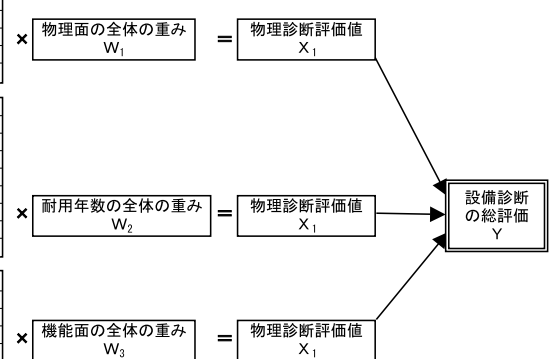


図-5 設備機能診断における機能評価数値化の流れと重み設定

#### 4.1.7 短期計画の立案

短期計画は、プロセス機能診断・設備機能診断結果に基づく改築優先度を基に、直近の5～10年程度について、改築優先順位を反映した設備改築計画を立案する。

改築優先度の高い順に改築対象設備を分配し、年次投資予定額でくくることにより、ある程度の事業費平準化が可能である。

短期計画における事業費は、国や自治体の予算執行につながるため、長期計画に比べ、ある程度の精度を確保する必要がある。したがって、費用関数の使用は原則として行わず、次のような手順で算出する。

- ① 基本設計・詳細設計等の概算事業費を参考にする。
- ② 実績費用等に基づき積み上げにより算出する。

#### 4.1.8 設備機能維持対策の検討

設備改築事業を行う場合には、具体的な設備機能維

持対策方法を下記の項目について検討し、設備改築事業計画に取り込む。

- ① 予備機による機能維持対策の検討
- ② 代替案による機能維持対策の検討
- ③ その他の手法による機能維持対策の検討

#### 4.1.9 経済性・社会性の評価

改築設備の優先度検討等において、新技術の導入効果や経済性比較により、改築設備の機種や改築時期を決定するが、さらに、社会性として、環境負荷削減効果や温室効果ガス排出量を加えて評価を行うこともできる。

#### 4.1.10 改築事業費の平準化検討

下水道事業を継続的に実施するためには、事業費を平準化することが必要であり、この際には、設備改築事業だけでなく、増設事業、高度化事業等との調整を十分に図る。

改築事業費の平準化を行うためには、設備ごとに改築時期の先送りや前倒しを行う必要が生じる。平準化を行う際は、下記の項目について検討する。

#### ① 先送りする場合の検討

一般に、目標耐用年数により長期計画を立案すると、1年目に改築設備が集中する場合がある。そこで、予算や投資可能額に合わせて、改築設備を先送りすることにより改築事業費の平準化を行う。この際には、必要に応じて、他事業との調整を行う。

#### ② 前倒しする場合の検討

多額の維持費がかかる設備は、早めに同機種により改築するか、あるいは新技術を導入して改築するほうが経済的となる場合がある。この判定には、経済診断を行うことが有効である。

経済診断には「ライフサイクルコストによる検討」と「残存価格を考慮した費用比較による検討」があり、検討対象設備の抽出に利用することとし、最終的な判断は個別の検討例を示した。

### 4.1.11 設備改築事業計画の策定

設備改築事業計画は、設備改築短期計画と設備改築長期計画に分けて策定する。

#### ① 設備改築短期計画

設備改築事業短期計画は、直近の5ヵ年程度の範囲で、設備機能診断の結果を踏まえ、設備の重要度・優先度、経済性・社会性の評価等を基に、年度毎の投資可能額や予算に合わせて、事業費の平準化を行い策定する。

なお、計画策定の際には、設備改築事業による処理機能が低下しないよう、十分な対策を行う必要がある。

また、必要に応じて、処理施設の増設計画や高度化計画等を盛り込んで策定するが、実施順位や事業費の平準化等の検討より最適計画を策定する。

#### ② 設備改築長期計画

設備改築長期計画は、概ね20～50年程度の範囲で、設備の目標耐用年数や設備改築短期計画を基に策定する。これは、設備改築短期計画に基づき、先に立案した設備改築長期計画を見直すものである。

また、必要に応じて、処理施設の増設計画や高度化計画等を盛り込んで策定する。

## 5. ケーススタディ結果

### 5.1 ケーススタディ結果

これらの手順の妥当性を検証するため、3処理場を選定してケーススタディを実施した。結果の概要を以

下に示す。

#### (1) A処理場

A処理場では、予防保全を目的として計画的な設備保全を実施しており、設備機能診断結果に大きな差異は見られなかった。処理場の実態に応じて、設備診断表の評価項目を見直す必要があることがわかった。

本ケーススタディでは、以下の5項目を追加することによって、設備診断上の改築優先順位が明確化され、本法の応用性が確認できた。

- ①衛生面 ②操作面 ③省エネ ④緊急対応性  
⑤故障頻度

表-3 A処理場ケーススタディ結果概要

項目	確認事項
プロセス機能診断	・維持管理記録(月報, 年報, 設備台帳)からはプロセス上の問題点が見出せない ・現地調査によりシステマ的な不備による改善事項を抽出
設備機能診断	・計画的設備保全により物理診断結果に差異が生じ難い ・設備機能診断に機械設備の機能診断判定基準項目として5項目追加 ①衛生面, ②操作面, ③省エネ, ④緊急対応性, ⑤故障頻度
優先度検討	・プロセス機能診断で抽出された設備の評価点重み=2 ・その他の設備評価点重み=1として優先度検討 ・提案フローによる優先度検討は有効
事業費平準化	・優先度を反映した年次割により平準化効果発現
経済性・社会性の検討	・雨水ポンプを電動機駆動からガスタービン駆動にした場合の検討を行った結果, 経済性は同等。社会性では, 燃料使用量による温室効果ガスの排出量が多いガスタービン駆動が不利
留意事項	・プロセス機能診断の精度向上のためには維持管理記録不足の解消が必要

#### (2) B処理場

B処理場では、水処理設備における単位処理水量当たりの電力量が年々増加しており、その約7割を送風機設備が占めていることから、送風機・散気装置がプロセス機能低下項目として抽出された。

抽出された設備を優先することにより、明確な平準化が可能となった。また、総機器点数が比較的少ない処理場においては、短期計画の平準化を図ることにより長期的にも平準化されることがわかった。

#### (3) C処理場

C処理場では、汚泥脱水機の改築時期について、機器費、修繕費、汚泥処分費などの合計から見たLCCと、CO<sub>2</sub>による環境負荷で評価した。その結果、遠心脱水機に改築したほうが経済的であることが示された。しかしながら、脱水ケーキのコンポスト化による市民へのアピール度を考慮した結果、施策方針の重みによっては加圧脱水機が有利になることがわかった。重みの

設定にあたっては、将来施策を十分に反映する必要があることが示された。

表一 4 B 処理場ケーススタディ結果概要

項目	確認事項
プロセス機能診断	・水処理電力量の増大（流入負荷は顕著な変化なし）から送風設備の機能低下を推定⇒設備機能診断対象として抽出
設備機能診断	・機械設備では汚水除塵機の更新優先度が最も高い ・送風機設備は優先度2位 ・電気設備は物理および機能診断において特に問題なし
優先度検討	・プロセス機能診断で抽出した設備を差異優先（優先度1位） ・提案フローによる優先度検討は有効
事業費平準化	・優先順位に従い年次配分することで平準化が可能 ・C/Sではピーク更新費の約80%カット達成 ・短期的に平準化することで長期的にも平準化
経済性・社会性の検討	・経済性の検討では汚水ポンプの前倒しは行わないほうが有利。ただし短期計画中に目標耐用年数を迎える、財源に余裕がある、電力量が削減できることより改築を前倒しする
留意事項	・プロセス機能診断の実行性発揮のためには維持管理記録の蓄積と充実が必要

表一 5 C 処理場ケーススタディ結果概要

項目	確認事項
プロセス機能診断	・維持管理記録（月報、年報、設備台帳）から脱水設備（加圧脱水機）の機能低下を確認
設備機能診断	・機械設備では加圧脱水機の更新優先度が最も高い ・耐用年数の重みが高いと耐用年数から優先度が決まりやすいため考慮が必要
優先度検討	・プロセス機能診断で抽出した設備を最優先（優先度1位） ・提案フローによる優先度検討は有効
事業費平準化	・確定計画の上乗せと短期計画年次延伸（5→7年）によりほぼ平準化目標を達成
経済性・社会性の検討	・劣化機器の改築判断には、LCC等の経済性検討が有効 ・社会性の検討では、温室効果ガスの発生量および貨幣価値の換算により環境評価ができる
留意事項	・プロセス機能診断の精度向上のためには維持管理記録不足の解消が必要 ・耐用年数の重み、設備毎の重要度の設定（平準化に利用） ・プロセス機能診断におけるベンチマークの設定

## 6. マニュアル構成

[本 編]

### 第1章 総則

#### 第1節 目的

#### ●この研究を行ったのは

研究第二部長	高橋 隆一
研究第二部総括主任研究員	桐原 隆
研究第二部主任研究員	津田 伸夫
研究第二部研究員	舩岡 秀一
研究第二部研究員	小林 修
研究第二部研究員	仲元寺宣明

#### 第2節 適用範囲

#### 第3節 用語の定義

### 第2章 主要設備機能診断の概要

#### 第1節 主要設備機能診断の特長

#### 第2節 主要設備機能診断の構成

### 第3章 プロセス機能診断

#### 第1節 プロセス機能診断

#### 第2節 プロセス機能診断の手順

#### 第3節 プロセス機能診断項目

#### 第4節 プロセス機能低下項目の抽出

#### 第5節 プロセス機能低下要因の把握

### 第4章 設備機能診断

#### 第1節 設備機能診断の手順

#### 第2節 設備機能診断のための機器分類

#### 第3節 設備機能診断の対象設備

#### 第4節 設備機能評価の手順

#### 第5節 診断項目と診断基準

#### 第6節 診断項目の評価

#### 第7節 「重み」の設定

#### 第8節 設備機能評価

### 第5章 設備の改築優先度決定

#### 第1節 設備機能診断結果に基づく改築優先度

### 第6章 設備改築事業計画

#### 第1節 設備改築事業計画への展開手順

#### 第2節 設備改築計画の立案

#### 第3節 設備機能維持対策の検討

#### 第4節 経済性・社会性の評価

#### 第5節 改築事業費の平準化検討

#### 第6節 設備改築事業計画の策定

#### [資料編]

1. 設備機能診断ケーススタディ
2. 機能診断に用いる帳票等
3. 機械・電気設備の分類と標準的耐用年数
4. 目標耐用年数について
5. ヒアリング・アンケート調査
6. 他事業の取り組み
7. 階層分析法による機器診断項目間の重みの設定について
8. 問い合わせ先

#### ●この研究に関するお問い合わせは

研究第二部長	松浦 将行
研究第二部総括主任研究員	桐原 隆
研究第二部主任研究員	津田 伸夫
研究第二部研究員	小林 修
研究第二部研究員	仲元寺宣明