

現地レポート：持続可能な社会に向けた下水道の進化の最前線

# 赤外線サーモグラフィによる下水道施設の機械・電気設備における状態監視保全への取り組み

赤道麻由・阿部啓和・小泉直紀・田鹿幸徳

## 1. はじめに

川崎市の下水道事業は、昭和6年に川崎駅を中心に浸水対策事業として着手し、昭和36年には神奈川県内で初の下水処理場を稼働させるなど、下水道の整備を積極的に推進してきた。令和3年度末の下水道処理人口普及率は99.5%に達し、ほとんどの市民が下水道サービスを楽しむことができる状況となり、下水道整備の概成に至っている。下水道ストックとしても、管路施設延長約3,154km、水処理施設4箇所、汚泥処理施設1箇所、ポンプ場施設19箇所を有している（図-1）。整備年度の古い施設は、耐用年数を迎え老朽化が進行しているため改築更新を進めているが、今後は昭和後期から平成初期にかけて集中的に整備された施設が耐用年数を迎え、老朽化した施設の急増が見込まれる（表-1,2）。また、当市の人口は、令和12年頃に約160.5万人となりピークを迎え、以降、人口減少による下水道使用料収入の減少が見込まれるため、限られた予算の中で施設・設備の状態把握に基づき、効率的・効果的に改築・修繕・維持管理を実施していく必要がある。このため、より持続可能な事業運営を行えるよう、維持管理手法を状態監視へ移行する一助として、赤外線サーモグラフィによる診断の導入に向けた検証を行った。

表-1 水処理センターの概要

施設名	処理区	排除方式	供用開始年	現有処理能力
入江崎水処理センター	入江崎	合流	S36	369,000 (m <sup>3</sup> /日)
加瀬水処理センター	加瀬	合流	S48	244,800 (m <sup>3</sup> /日)
等々力水処理センター	等々力	分流	S57	300,000 (m <sup>3</sup> /日)
麻生水処理センター	麻生	分流	H01	68,700 (m <sup>3</sup> /日)
入江崎総合スラッジセンター			H07	120 (t・ds/日)

表-2 ポンプ場の概要

ポンプ場名	処理区	供用開始年	ポンプ場名	処理区	供用開始年
六郷	入江崎	S10	加瀬	加瀬	S36
大島		S13	丸子		S37
渡田		S18	天王森		S48
京町		S27	洪川		S50
古市場		S28	江川		S63
観音川		S28	久末		H03
大師河原		S30	蟹ヶ谷	H03	
小向		S31	登戸	等々力	S39
戸手		S42	等々力		S48
踊場		麻生	H03		

## 2. 赤外線サーモグラフィの導入と試行

### 2.1 目的

処理場・ポンプ場の維持管理は、日常・月例等の定期点検で施設・設備の異常の有無の確認とメンテナンスを実施することで予防保全を図りながら、発生する故障・異常に対処することを基本としている。また、状態監視保全と定めた設備に対しては、定期的な調査により劣化状況を定量的に把握し、改築・修繕の判断等に繋げている。しかし、状態把握のために運転の停止やオーバーホールを要する設備は、容易に点検・調査が行えないため、視覚・聴覚等の五感による方法や振動計などの簡易な測定装置を用いた定量的な方法により実施しているが、それでは十分な評価は困難である。そのため、これらの設備は時間計画保全として改築・修繕を行っているものの、故障等による機能停止リスクや維持管理コストの低減に向け、状態監視保全へのシフトが課題となっている。



図-1 水処理センターの位置図

そこで、非破壊・非分解での診断が可能な「赤外線サーモグラフィ」による診断を試行的に導入することで、状態把握が困難な設備の診断や時間計画保全設備を状態監視保全へのシフトに向けた手法としての有効性を検証した（図-2）。



図-2 赤外線サーモグラフィカメラ

## 2.2 赤外線サーモグラフィ診断の概要

赤外線サーモグラフィは、対象物から放出される赤外線放射エネルギーを検出し、見かけの温度に変換して、温度分布を画像表示する装置を用いて測定を行う。設備に劣化や不具合が起こると、その部分にエネルギーロス（損失）が生じ“熱”として現れるため、その熱を測定することにより設備の状態を推測する（図-3）。本診断の特徴は、設備の運転を停止することなく調査を実施し、状態把握が可能となるものである。

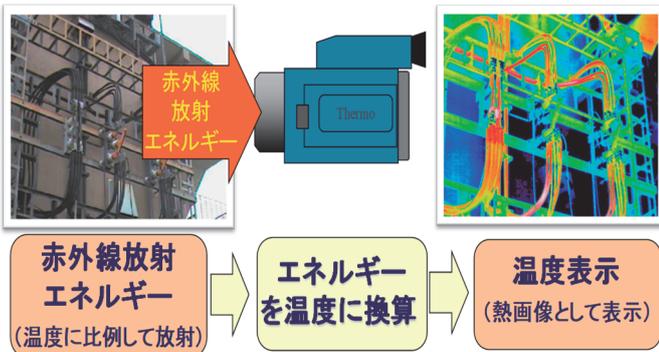


図-3 赤外線サーモグラフィの原理

赤外線サーモグラフィ診断は、設備の劣化等により生じる発熱状態を測定し、表示される温度表示の画像を評価することによって行うものだが、漠然と画像を見るだけではその設備の状態を正確に診断できない。

正確な診断を行うためには、以下の技術と技能が必要となる。

- (1)設備の構造と設備の劣化・故障のメカニズムを理解する。（基礎知識：技術）
- (2)劣化・故障モードを検出し、不具合箇所や原因を特定する。（実践：技能）

(1)の「劣化・故障のメカニズム」とは、各種設備が健全な状態から、全体または部分的な経年劣化による性能やエネルギー効率の低下によるエネルギーロスの発生、設備の構造や環境による機能停止が発生する原因を指している。

(2)の「劣化・故障モード」は、電気設備で言えば、抵抗値・電流値の増加や電流のアンバランス、機械設備で言えば、回転軸部分の損傷や潤滑不良による摩擦抵抗の増加である。表-3に設備ごとの劣化・故障モードを示す。

表-3 機械・電気設備で対象とする劣化・故障モード

分類	劣化・故障モード	事象の例	温度変化の状況
電気設備	端子部の接触抵抗増加（端子の締め付け緩み、酸化被膜形成等）	分電盤または制御盤等で、端子の締め付けの緩みまたは酸化被膜形成による接触抵抗の増加	当該端子の温度が上昇する
	過負荷	電気機器、電気回路等で定格負荷を上回る負荷がかかること等による電流値の定格電流超過	電気機器（電動機、開閉器、遮断器等の電気回路）の温度が上昇する
	負荷アンバランス	三相電源負荷において断線や短絡等による各相間電流差の発生	各相間に温度差が生じる
機械設備（回転機器）	軸受損傷（傷、割れ、摩耗等）	回転機器の軸受部の転動体、内外輪、保持器の傷等の発生により振動、異音が発生	ポンプ、電動機など回転機器の軸受部付近の温度が上昇する
	軸受部潤滑不良	回転機器の軸受部の潤滑油、グリースが過充項または不足	ポンプ、電動機など回転機器の軸受部付近の温度が上昇する

## 3. 赤外線サーモグラフィ診断の検証

### 3.1 診断対象施設と設備

検証する施設は、等々力水処理センターを対象とし、対象設備は、設備の重要度区分（表-4）の重要度「高」の設備を中心に選定し、全2,558設備のうち、608設備、構成する1,393機器で診断を実施した。また、診断は冬季と夏季の2回実施した。

表-4 設備の重要度区分

重要度	設備	内容	管理方法	設備例
高	主機	当該設備の主たる目的を直接達成できる機能を有する機器で、この機器が停止すると、設備機能の停止に直結する重要な機器である。	状態監視保全 もしくは 時間計画保全	電動機 受変電設備
	補機1	主機を運転するために必要な機器で、補機の機能停止が主機の機能停止に直接関与する機器とする。重要度は主機の次位となる。		ベルトコンベヤ 空気圧縮機
低	補機2	主機を運転するために必要な機器であり、補機の機能停止が主機の機能停止に直接関与しないが、設備の総合機能上、必要なものであり、重要度は、補機1の下位となる。	事後保全	逆止弁 燃料ポンプ
	その他補機	主機を運転するために直接必要ではないが、主機の保守管理を行う上で必要となる補機とし、重要度は補機2の下位となる。		消音機 除湿器

### 3.2 診断結果と対応

測定結果は、各設備を構成する部材のJIS温度管理基準を基に最高許容温度及び温度上昇限度を設定し、正常、不適合（監視強化、注意、異常）に分類し、診断を行う（表-5）。

表-5 赤外線サーモグラフィによる診断分類

異常	最高許容温度(℃)以上	温度上昇限度(K)以上
注意	最高許容温度(℃)以下	温度上昇限度(K)以下
	最高許容温度-10(℃)以上	温度上昇限度-10(K)以上
監視強化 (監視)	最高許容温度-10(℃)以下	温度上昇限度-10(K)以下
	最高許容温度-20(℃)以上	温度上昇限度-20(K)以上
正常	最高許容温度-20(℃)以下	温度上昇限度-20(K)以下

診断結果は、「正常」が1,266機器、「不適合」が127機器であった。不適合の内訳は、「監視強化」が90機器、「注意」が22機器、「異常」が15機器となった（表-6）。

表-6 赤外線サーモグラフィによる診断結果

分類	全体数			診断結果			
	診断数			不適合			
	設備数	設備数	機器数	正常(許容)	監視強化	注意	異常
	設備数	設備数	機器数	機器数	機器数	機器数	機器数
機械設備	1,345	267	458	429	26	3	0
電気設備	1,213	341	935	837	64	19	15
合計	2,558	608	1,393	1,266	90	22	15

「異常」と判定された15機器のうち、緊急性を要する6機器については、早急に直営にて必要な処置を実施するとともに、この診断方法によりメンテナンスや改築・修繕工事に繋げられ、故障等による機能停止前に対応が可能であることが確認できた。

また、「監視強化」及び「注意」と判定された機器については、定期的に監視を続けることで、機能停止リスクの低減が図られると考えている。

### 3.3 診断事例と有効性の検証

機械設備の診断結果では、「異常」と判定されたものはなかったが、汚泥ポンプ設備のポンプ本

体にて温度上昇値が「注意」値を確認した事例があった。この不適合（注意）に対しては、測定頻度を高くし監視を強化している（図-4,5）。



図-4 汚泥ポンプ設備

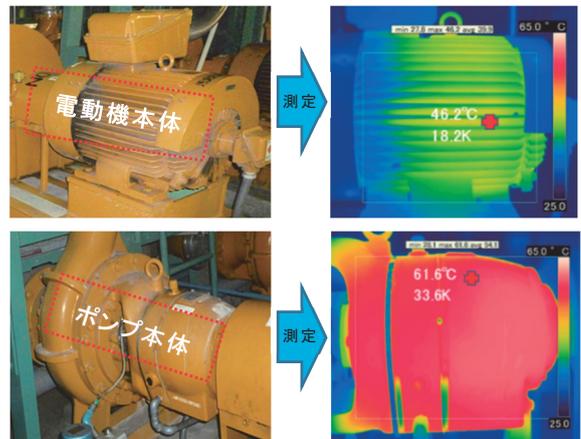


図-5 汚泥ポンプ設備の測定結果

電気設備の診断結果では、建築付帯コントロールセンタの電気室系統排気ファンにおいて、電磁開閉器（MC）主回路T相端子接続部に過大な発熱を確認した事例があった。当該箇所のJIS温度管理基準は、最高許容温度：100℃、温度上昇限度：60Kで、どちらも基準値を超えていたことから「異常」と判定し、メンテナンスを実施した。この状態を放置した場合、コントロールセンタの焼損及び負荷側電動機破損の危険性があった。

当該箇所の目視調査では、異常等が発生していることは分からないことから、今回の検証によって本診断手法の有効性が確認できた（図-6）。

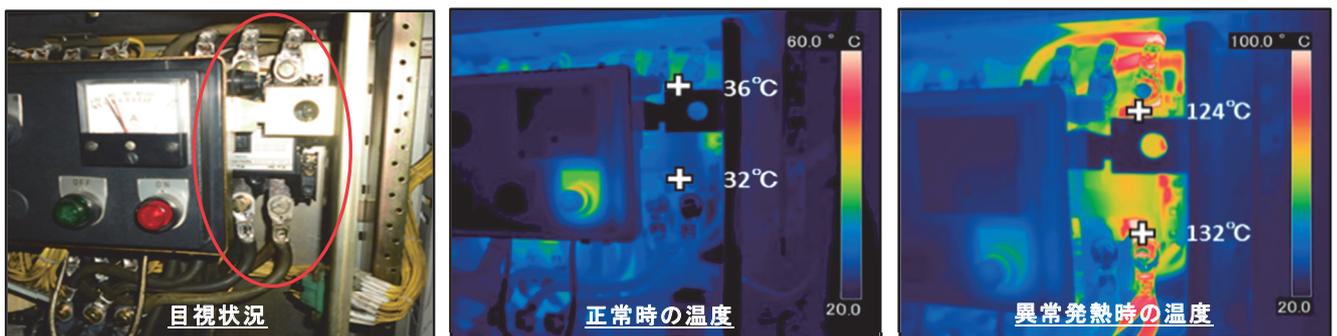


図-6 目視及び赤外線サーモグラフィ診断による異常発熱状況

#### 4. まとめ

今回の検証結果から、赤外線サーモグラフィ診断を適用することで、これまで状態を把握しきれなかった機械・電気設備について、設備を停止することなく定量評価し状態把握ができたことから、機械・電気設備における状態監視保全へ向けた有効な診断手法であることを確認できた。

これにより、これまで時間計画保全としていた設備に対し、赤外線サーモグラフィによる診断の有効性が高い設備については、状態監視保全へのシフトを進めることができ、機能停止リスクの低減や改築・修繕への、より効率的・効果的な投資が可能となることから、施設のリスク管理やコスト削減に寄与するものと考えている。

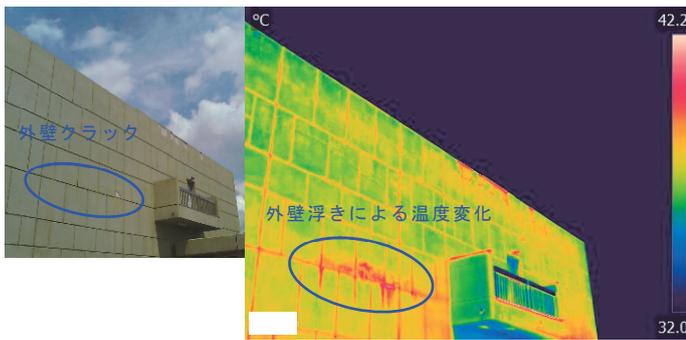


図-7 建築施設への活用例

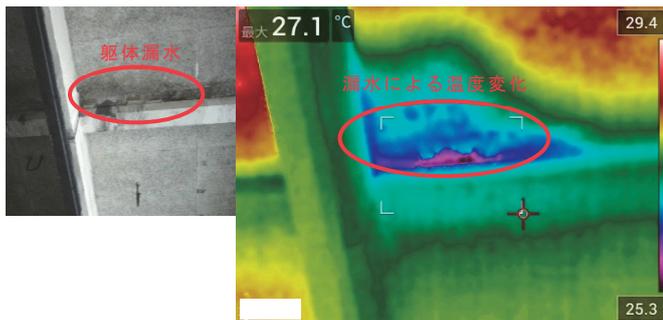


図-8 土木施設への活用例

当市における本診断は始まったばかりであり、現在は診断により「監視強化」及び「注意」と判定されたデータ等の蓄積を進めているところだが、今後は、有効性が高い設備の検証を行うとともに、それらの設備に対し診断結果等の蓄積したデータにより、機械・電気設備の状態推移（健全度推移）を分析・評価することで設備の延命化率について検討し、さらなる投資の効率化を図っていく。

また、土木・建築施設においても、不具合箇所には健全な箇所と比べ温度変化があることから、不具合の早期発見やリスク管理ができるよう本診断を順次試行し有効性を確認するとともに、本診断をより効果的に活用していけるよう、さらに取組みを進めたいと考えている（図-7,8）。

本診断を行う上で重要なことは、通常時の機器の状態を知り測定結果と比較することで、機器の動作に伴う発熱状態の変化を捉えることである。そのため、本診断の継続的な運用には、前述した診断に必要となる技術・技能を維持向上させることが不可欠であり、当市職員の育成と技術継承、今後の導入拡大に伴う実施体制の整備といった運用面についての取組みも進めている。さらに、当市で導入しているアセットマネジメントの取組みと合わせて、PDCAサイクルの中で一つ一つ着実に改善し、最適化していくことで、効率的で持続可能な事業運営に繋げていきたいと考えている。

赤道麻由



川崎市上下水道局下水道部下水道計画課  
担当課長  
AKAMICHI Mayu

阿部啓和



川崎市上下水道局下水道部下水道計画課  
課長補佐  
ABE Hirokazu

小泉直紀



川崎市上下水道局下水道部下水道計画課  
担当係長  
KOIZUMI Naoki

田鹿幸徳



川崎市上下水道局下水道部入江崎水処理センター課長補佐  
TAJIKI Yukinori