

河川砂防技術研究開発【開発成果概要】

	組 織 名（ふりがな）	開 発 代 表 者 名	役 職			
①開発事業者	株式会社東京建設コンサルタント・株式会社東建エンジニアリング共同開発チーム	富家 雄一	環境モニタリング研究所 所長			
②開発経費（単位：万円） ※端数切り捨て。	令和5年度	令和6年度	総 合 計			
	976 万円	802万円	1,778 万円			
③共同開発者氏名（開発代表者以外の開発者の氏名、所属・役職を記入下さい。なお、記入欄が足りない場合は適宜追加下さい。）						
氏 名	所属機関・役職（※令和7年3月現在）					
◎富家 雄一	東京建設コンサルタント環境モニタリング研究所 所長					
勝間田 純一郎	東建エンジニアリング事業統括本部本部長					
河内 敦	東京建設コンサルタント環境防災研究所 所長					
渡邊 明英	東京建設コンサルタント環境防災研究所 かすかべ環境防災研究センター長					
若杉 佳功	東建エンジニアリング製造本部 本部長					
菅野 修平	東建エンジニアリング営業本部主任技師					
遠藤 逸史	東京建設コンサルタント環境モニタリング研究所 上席グループ長					
野谷 靖浩	東京建設コンサルタント環境モニタリング研究所 上席グループ長					
松延 和彦	東京建設コンサルタント環境防災研究所 研究員					
④開発の背景、課題、目的及び開発目標（様式革新-2に記載した開発の目的・目標を簡潔に記入下さい。）						
今後の気候変動の影響を含めた河川環境の把握のため、水温連続データを取得することを目的に河川水温の継続した観測を行うことが必要である。一方で、水温の長期間に及ぶ連続的な観測は、安定的な観測が求められるとともに、その点検やデータ回収など管理コストが課題となる。非接触式水温機器は管理コストの大幅な縮減が期待できる反面、河川では、陸上から水面への斜方向観測、洪水等で変動する流水が対象、降雨や水蒸気等の影響を受ける条件となるため、現状においては連続観測で適用できる観測機器がない。 （目的・目標） (1) 開発の目的 非接触により連続観測が可能であり維持管理が容易な既存技術を活用した非接触式水表面温度連続計測システムの開発及び現地実装するための設計仕様、標準図、メンテナンスマニュアルを作成する。 (2) 開発の目標 1) 令和5年度（昨年度） 東京建設コンサルタントのかすかべ環境防災研究センターの実験水路で接触型水温計との比較を行い、照射角度や適用可能な距離、降雨によるバイアス、水温検知の感度分析等を行い条件の絞り込み、現場における課題を整理する。 2) 令和6年度（今年度） R5 の実験水路での実証結果を踏まえ、実河川における現場実証を実施し、データの解析、精度検証からアルゴリズム検討、設計仕様、維持管理手法等について検討しとりまとめる。 検討項目は以下のとおりである。 ・多摩川（田園調布（上））における現地実証実験による検証（適用範囲、洪水時の観測、影響因子の抽出） ・アルゴリズム（補正式）の検討 ・リアルタイム配信手法 ・標準図等の作成 ・維持管理内容、維持管理費用の検討						
⑤開発成果						
1. 令和5年度成果概要						
放射温度計及び IR カメラによる実験水路における実証を行い、基本性能の確認を行った。接触式のボタン温度計との比較により要求仕様の1つである±2℃の範囲となるか検証した結果、特に水温が低い状況でデータが乖離することが確認された。 課題として気温等との関係、補正するための補正式の検討が必要であることが課題として示され、令和6年度は実河川での実証を行うこととした。なお、測定距離最大約 11mの範囲では水温計角度によるデータのばらつきに大きな差は確認されなかった。						

なお、令和5年度成果に対する評価委員会からのコメントは以下のとおりであり、令和6年度はこれらのコメントを踏まえた上で実河川における実証実験を実施した。

- 理由は不明であるが、放射温度計も IR カメラも精度が不十分であると思われます。
- 汎用性を念頭において、さらなる精度向上を目指してほしい。
- 現地実験の際には、濁度、風速、日射等の影響についても検討されることが望めます。
- 観測データから得られた結果について、 ± 2 度以内収まる傾向が強いなどの考察が記載されていますが、統計分析等を行って客観的に述べた方が良いと思います。
- 複数のセンサを利用した場合のコスト目標を示していただくことが望めます。
- 観測精度に影響を与える要因をリストアップした上で、その重みを要因ごとに明確にいただきたい。
- 既存ツールの性能調査をしたような内容となっており、最終的には多数のデータを用いた補正を考えるような方向 (AI 利用?)になるのでしょうか。

2. 令和6年の成果概要

多摩川における現地実証実験の実施

現地踏査の結果を踏まえ、多摩川の田園調布（上）観測所において昨年度と同様に放射温度計及び IR カメラによる実証実験を行った。比較対象とする接触式の水温計は水位追従式とし、また、水温への影響要因を踏まえ、気温、濁度、湿度の観測も併せて実施した。機器設置状況は以下のとおりである。



図 2.1 機器設置状況

3. 実証実験結果

3.1 非接触式水温計の河川における基本性能と影響因子の想定

全データ、昼間のデータ、夜間のデータともにいずれの機器でも平均値では $\pm 2^{\circ}\text{C}$ の範囲ではあるが、相関図及びヒストグラムに示すとおり、いずれの機器ともに低温時(概ね 10°C 以下)で測定誤差が多く生じ、IR カメラでは 25°C 程度でも測定誤差が発生していることがわかる。影響する要素として濁度、風速、日射の影響の可能性について実証実験をもとに以下の方法で検証を行った(下表参照)。

表 3.1 観測温度への影響因子の想定

影響因子	検証・分析方法
濁 度	水温と同時に濁度の連続観測を行った。濁度と非接触及び接触式水温計の差分の関係を分析した。
風 速	近傍の気象観測所の風速と非接触及び接触式水温計の差分の関係を分析した。
日 射	可視光カメラ、赤外線カメラの画像から日射によるハレーションの有無による水温変化を分析した。

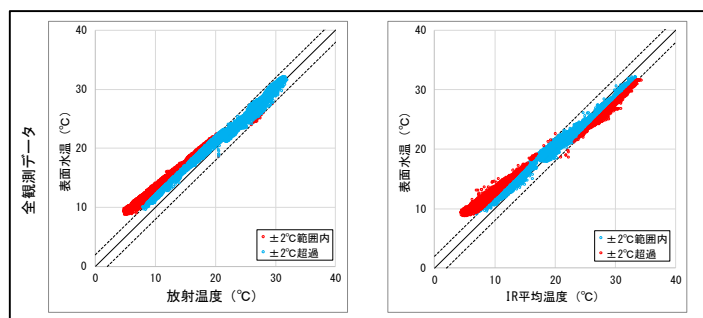


図 3.1 非接触式水温計と実測した表面水温との相関

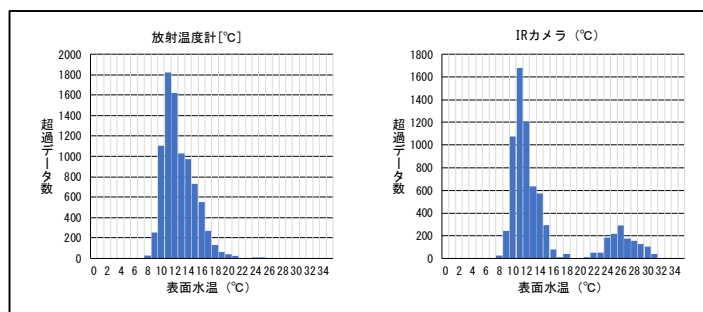


図 3.2 非接触式水温計の $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 超過温度分布

3.2 濁度の影響（洪水時の観測精度を含む）

水温と同時に濁度の連続観測を行った。濁度と非接触及び接触式温度計の差分をみると濁度が高いほど水温の観測精度が良い。観測期間内で最も大きな出水であった8月30日のデータについて分析し、洪水時における機器の適用性について検証した結果、 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 以内の精度で観測ができている。

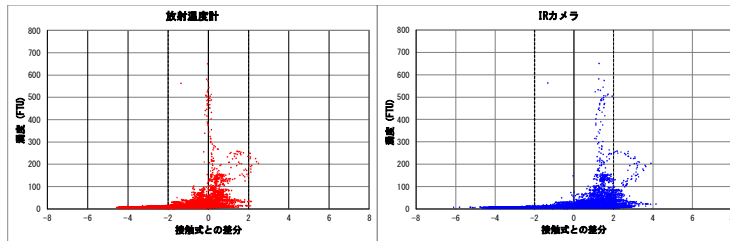


図 3.3 測定誤差と濁度の関係

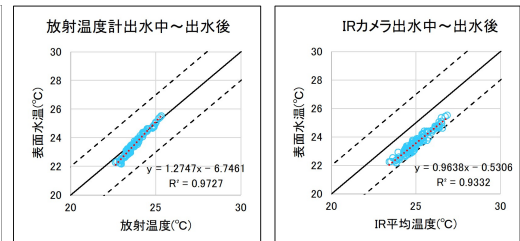


図 3.4 出水時の観測結果

3.3 風の影響について

観測地点近傍の気象庁（羽田）の風速と水温の測定誤差の関係を右図に示す。

風速と測定誤差の間に明確な関係は見られず、風による非接触式水温計の測定誤差への影響はないと推測された。

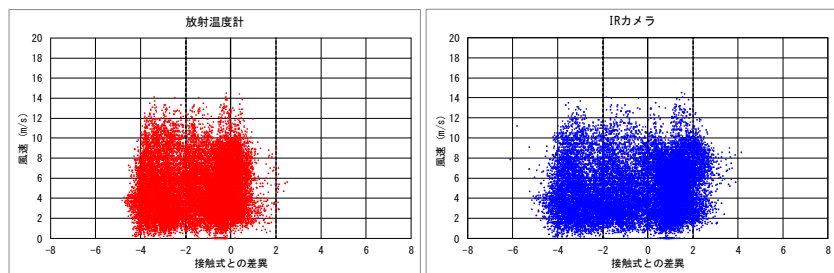


図 3.5 風速と測定誤差の関係

3.4 水面反射の影響

太陽光が強く反射している部分の測定温度が高くなっており、日光の反射の影響が示唆された。機器の設置にあたっては、南向きの設置とならないような工夫が必要であると考えられる。

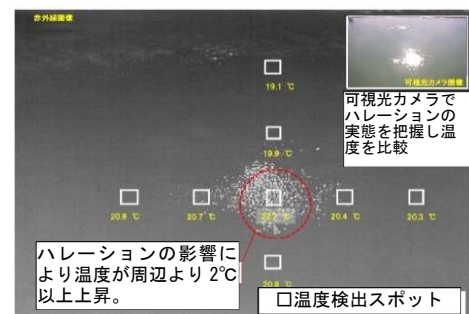


図 3.6 反射の影響

3.5 計測対象範囲について

IRカメラの場合は、画面上の任意の点の水温観測が可能であるが、放射温度計の場合は、一定範囲内の平均温度を算出するため、特に放射温度計の場合は測定対象範囲には陸上部等が入り込むと下図のように観測精度に影響をもたらす。設置時には水位低下時も想定し水面のみ捉えられる設置角度にすることが重要である。

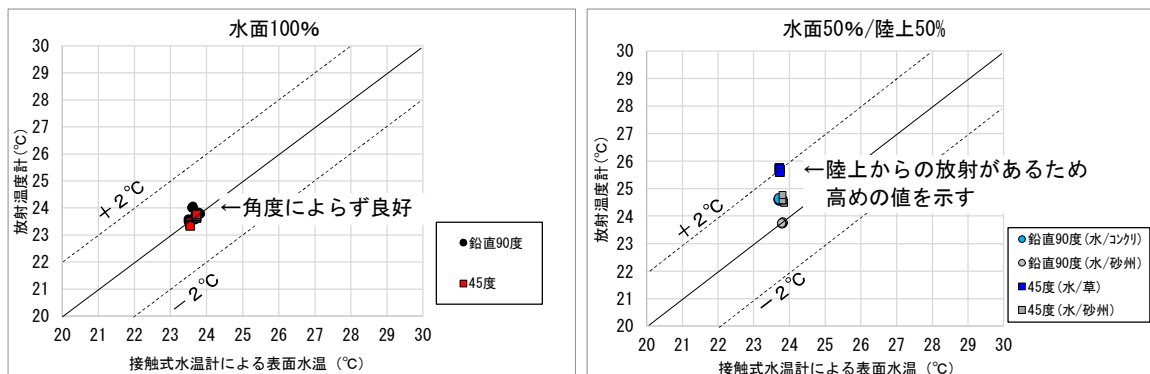


図 3.7 測定対象範囲による測定水温への影響

3.6 計測可能距離

放射温度計は温度計の位置から約 8m～56m の範囲の平均値を計測している。中心点は約 20m で観測ができています。IR カメラでは観測期間中の平均水位から各観測ポイントの距離別の測定誤差を算出すると次図のようになり、今回の計測範囲（最大 36m まで）では、平均値としては±2℃には入るが、距離が長くなるほどばらつきが大きく精度が低下する傾向が認められた。25m 程度までは比較的良好である。

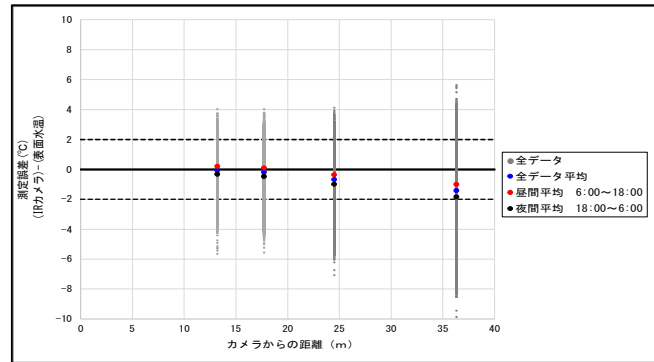


図 3.8 IR カメラの距離と誤差の関係

4. 補正式の検討

非接触機器により観測された水温に最も影響を与えると推測された気温をパラメータにして補正するアルゴリズムを作成した。放射温度計および IR カメラの計測水温とボタン温度計による表面水温の差について、現時刻の気温に関する 1 次式、2 次式で近似する 2 ケースに分けて分析を行った。

表 4.1 補正回帰式の立式分析条件

説明変数	水温と同地点、同時刻の計測気温(℃)
目的変数	- 放射温度計とボタン温度計による表面水温の差 - IR カメラとボタン温度計による表面水温の差
分析ケース	Case1 : 1 次式近似 Case2 : 2 次式近似
回帰方法	Ridge 回帰(Case2 では気温の 2 乗値を独立データとして追加) 正則化項の係数 $\alpha=0.1$
データの正規化	最小最大正規化(気温: -10～40℃、仕様上の測定範囲内)

以上の条件により得られた、Case1 における補正式は下記の通りである。

$$T_{radi} = t_{radi} - 0.1348t_{air} + 3.8631 \quad \text{Eq. 1}$$

$$T_{IR} = t_{IR} - 0.1884t_{air} + 3.8702 \quad \text{Eq. 2}$$

ここに、 T_{radi} : 補正後の放射温度計温度(℃)、 t_{radi} : 補正前の放射温度計温度(℃)、 t_{air} : 現地測定気温(℃)、 T_{IR} : 補正後の IR カメラ温度(℃)、 t_{IR} : 補正前の放射温度計温度(℃)である。

図 4.1 は 1 次式近似 (Case 1) における補正式を立式である。補正前と比較して、標準偏差は 0.67℃以内 ($3\sigma < 2^\circ\text{C}$) の範囲に収まっているが、外れ値に関しては IR カメラで若干 3σ (約 0.26%) の範囲を超える。これに関しては、放射温度計のデータは尖度が負になっているのに対し、IR カメラでは正になっている点からもわかるように、IR カメラのデータの方が正規分布と比較して、若干中心付近と両端の裾野の箇所に分布が集中しやすい傾向による。一方で、±1℃からの外れ率はいずれも 1.5σ (約 13.4%) 以内に収まっている。

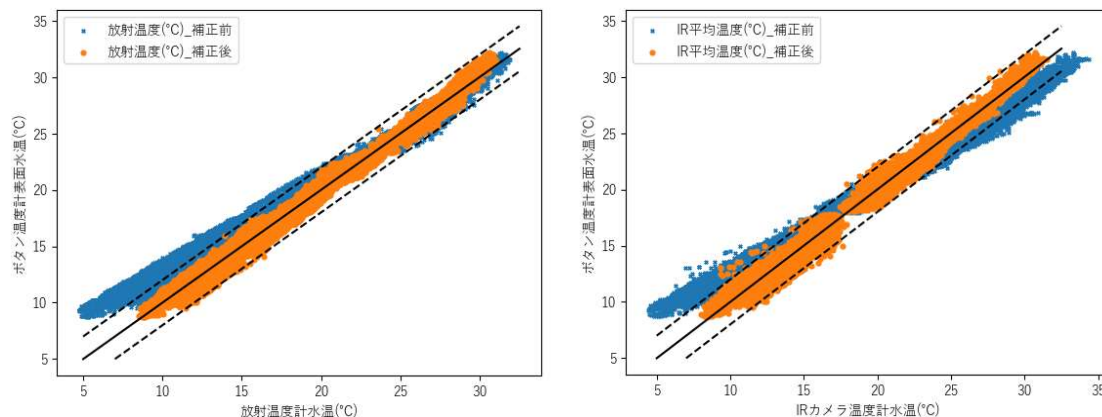


図 4.1 補正前後における散布図の比較 (Case1)

5. リアルタイム配信手法

今回の実証実験にあたっては、リアルタイム配信手法として NETIS 登録されている「わかるくん情報配信サービス (QS-200050-VE)」により行った。

本システムは開発チームである株式会社東京建設コンサルタント及び株式会社東建エンジニアリングの共同開発によるシステムであり、LTE 回線を用いて安価に情報配信ができるシステムである。実証実験では放射温度計及び IR カメラのデータを取り込めるようにシステムを構築し、本システムによりリアルタイム配信が可能で問題なく稼働することを確認した。

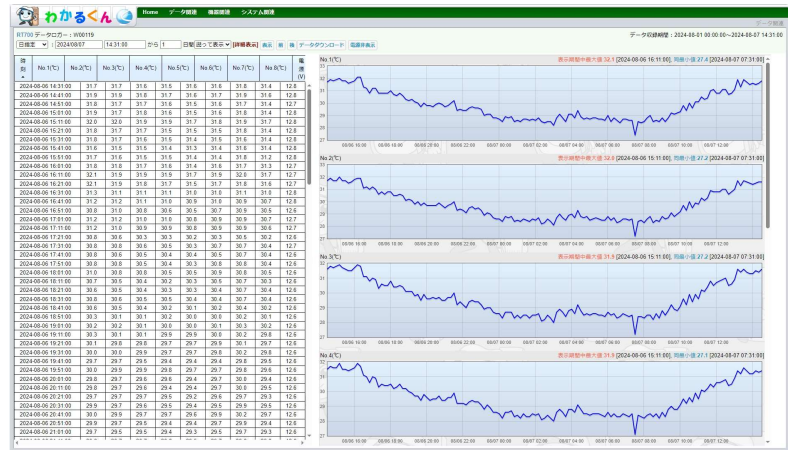


図 5.1 リアルタイム配信のインターフェイス

6. 標準図の作成

機器の設置は電源確保が容易な水位観測局舎に敷設するパターンと橋梁の欄干に設置するパターンの 2 パターンについて作成した。放射温度計の水位局舎への標準構造図、システム図を図 6.1 に示す。

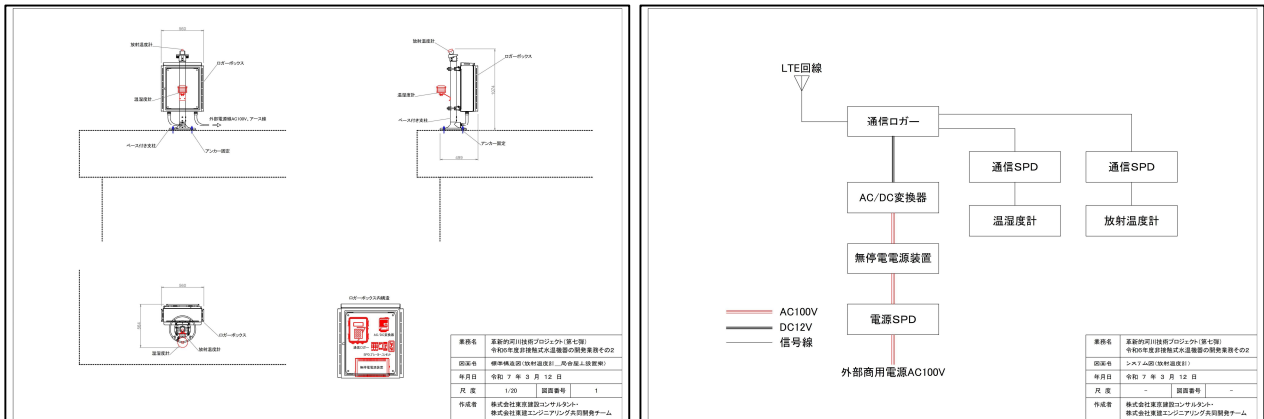


図 6.1 (左; 標準構造図 右; システム図)

7. 維持管理内容について

7.1 点検時期

保守点検の時期は、年 1 回の総合点検を出水期前で水位も比較的低い 5 月に実施する。また維持管理点検については現地実証実験では毎月機器の状況確認等を行ったが、機器の不具合等は確認されなかったため、年 4 回 (3 ヶ月に 1 回) 実施することとする。なお、観測機器に異常等が生じた場合や台風、強風等が発生した場合等、必要に応じて臨時点検を行うものとする。

表 7.1 非接触式水温計の保守点検項目一覧

7.2 点検項目

保守点検の非接触式水温観測機器には機械的な可動部はないが、3 ヶ月点検ではセンサ集光部への飛来物や鳥の糞の付着など外形検査、受信機の向きやシステムの不具合がないか等の点検を行うこととする (右表参照)。

点検項目	点検内容	
	放射温度計	IR カメラ
外形検査	センサ集光部の汚れがないか、外形に顕著な外傷がないか。筐体、配線などの破損、断線等の不具合の有無の確認	センサ集光部の汚れがないか、外形に顕著な外傷がないか。筐体、配線などの破損、断線等の不具合の有無の確認
受信機の向き	センサ部の設置俯角にずれ等がないこと	センサ部の設置俯角にずれ等がないこと
機器の設置	機器の設置角度が変化していないか、設置金具などに緩みがでて振動を生じることはないか	機器の設置角度が変化していないか、設置金具などに緩みがでて振動を生じることはないか
記録媒体の確認	観測データが記録媒体に正しく記録されているか、記録媒体 (HDD) の容量に問題ないか、故障はないか	観測データが記録媒体に正しく記録されているか、記録媒体 (HDD) の容量に問題ないか、故障はないか
動作確認	放射温度計の動作チェック (温度値表示の確認)	可視光・遠赤外線ともに映像が表示されるか
時刻同期	機器の時刻設定の確認	機器の時刻設定の確認

8. 必要コストについて

放射温度計、IR カメラについて局舎屋上に設置した場合、橋梁欄干に設置した場合の機器費を含む設置費用及び維持管理費用について概算費用（直接費）について算出した。局舎へ設置する場合の費用は以下のとおりである。

接触式の水質自動監視装置がおよそ 1,000 万円程度であることに比べ機器コストは非常に安価であり、維持管理も通常の 12 回／年から 4 回／年に減じられることからライフサイクルコストで優位である。

○放射温度計…約 240 万円

○IR カメラ …約 620 万円

9. 今後の留意点

研究成果より、実運用に向けた今後の留意点について以下に示す。

- ・本研究において放射温度計、IR カメラいずれについても今回のリクワイアメントに示される $\pm 2^{\circ}\text{C}$ の測定誤差とするための補正式を開発した。
- ・補正式は、本研究における実験条件から導きだされた気温をパラメータとした式であるが、その係数については機器の個別の特性、観測環境に影響を受ける可能性もあることから実運用に移る前に試験観測を行い、設置する箇所の環境特性にあわせて設定することが望ましい。
- ・非接触水温計については、屋内の使用実績は多数あるが河川での適用性の実証は、今回の革新的プロジェクトが初めてであり、今後の技術革新、知見の蓄積結果をフィードバックし機器性能の更なる向上を行うことが望ましい。

10. 要求事項に対する達成状況

・陸上、橋梁等から非接触による観測が可能な機器	○：2 種の機器で陸上、橋梁からの観測が可能であることを確認
・平常時の表面水温を連続的に計測できる機器	○：現場実証により連続的に計測できることを確認
・使用温度範囲： $-10^{\circ}\text{C}\sim 40^{\circ}\text{C}$	○：本実験で使用した 2 種の機器の仕様温度範囲は放射温度計： $-55^{\circ}\text{C}\sim 80^{\circ}\text{C}$ 、IR カメラ： $-40^{\circ}\text{C}\sim 70^{\circ}\text{C}$ であり範囲内（機器マニュアルより）
・測定温度範囲： $0^{\circ}\text{C}\sim 40^{\circ}\text{C}$	○：本実験で使用した 2 種の機器の測定温度範囲は放射温度計： $-40^{\circ}\text{C}\sim 70^{\circ}\text{C}$ 、IR カメラ： $0^{\circ}\text{C}\sim 160^{\circ}\text{C}$ であり範囲内（機器マニュアルより）
・測定誤差： $\pm 2^{\circ}\text{C}$	○：補正式を適用することにより実測値との誤差が $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 以内になる
・10 分間隔の観測が可能な機器	○：現場実証により 10 分間隔で観測できることを確認
・地点の気温を同時に把握することが可能な機器	○：気温計も併設して観測できるシステムとして標準図を作成
・夜間でも観測が可能である機器	○：現場実証により夜間でも観測できることを確認
・耐雷機能を有するシステム	○：耐雷機能として SPD を設置するシステムとして標準図を作成
・予備電源の確保が可能なシステム	○：予備電源を敷設するシステムとして標準図を作成
・固定式観測で水温及び気温データをインターネット等で送信可能なシステム	○：使用した機器のデータを NETIS 登録技術である「IoT クラウドサービスわかるくん（QS-200050-VE）」で配信できるシステムとした
・面的に取得した観測値から確定値への補正方法	○：補正式を作成した
・維持管理を含めたライフサイクルコストが接触式水温機器より優位であること。	○：接触式の水質自動監視装置に比べ機器コストは非常に安価であり、維持管理も通常の 12 回／年から 4 回／年に減じられることからライフサイクルコストで優位である。