

赤外線測定技術を用いた非接触式河川水温計測システムの開発 および水温補正に関する検討

株式会社東京建設コンサルタント

富家雄一・野谷靖浩・渡邊明英・

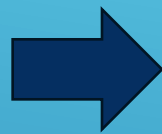
○松延和彦・森田正人

株式会社東建エンジニアリング

若杉佳功・菅野修平

背景・目的

一級河川（直轄管理区間）の水溫観測：
水質調査時の月1回の観測が基本



河川水溫の連続的観測の必要性

非接触式水溫機器：管理コストの大幅な縮減

ただし、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

等の問題⇒連続計測に適したシステムは未開発

(計測技術は既存のものを活用して)

非接触式水表面温度連続計測システムを開発

実証実験に用いた機器、システム

観測機器

①「クリマテック社 精密放射温度計CAP-SI-411」

- ・ 赤外放射温度計の基本原則をそのまま測定するので、温度範囲が広く、消費電力が小さい。広い温度環境に対応が可能。測定対象領域の平均値を出力。

②「FLIR社 FH-SERIES R」

- ・ 赤外線による温度感知を野外でも実現している機種。撮影ポイント毎の温度出力が可能。



放射温度計
クリマテック社 CAP-SI-411



I Rカメラ
FLIR社 FH-SERIES R

実証実験及びデータ解析



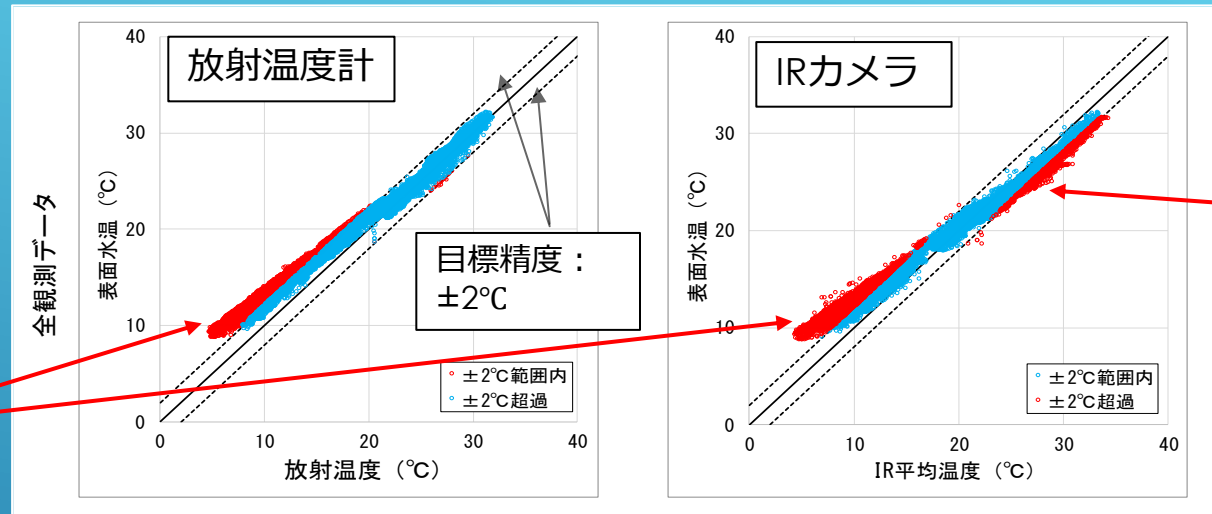
現地実証実験期間：令和6年8月1日～令和7年1月28日



機器設置状況

実証実験結果

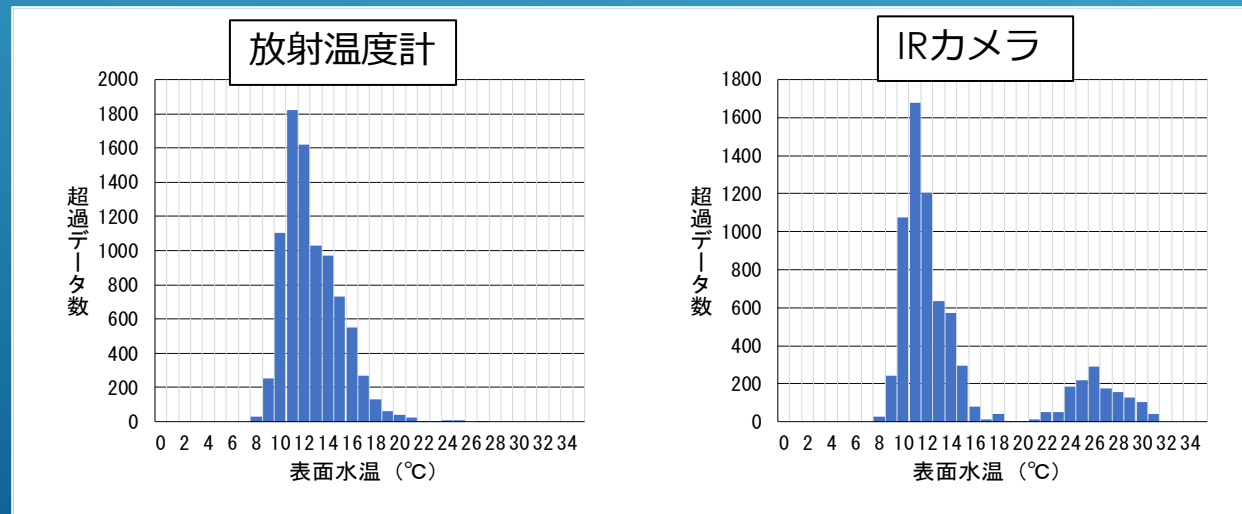
非接触式水温計の河川における基本性能



(IRカメラのみ)
高水温
(25~30°C)

低水温
(10°C前後)

非接触式水温計とボタン型による表面水温との散布図



非接触式水温計の $\pm 2^\circ\text{C}$ 超過温度帯

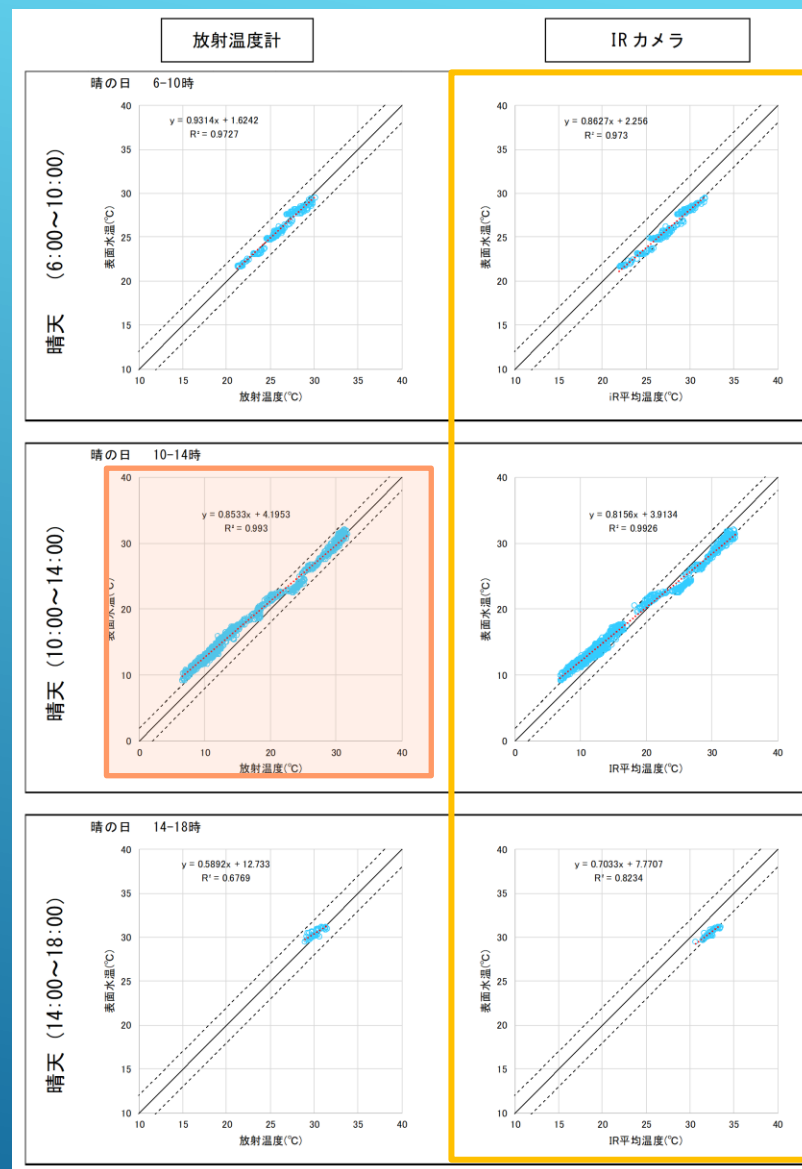
実証実験結果

時間・天候別では、晴天の日中に測定誤差：大

天候・時間帯別相対誤差(ボタン型
水温計との差)平均値

非接触温度計 温度差(°C)		放射温度計	IRカメラ (平均)
晴天	6～10時	0.34	1.48
	10～14時	2.04	1.68
	14～18時	0.41	1.82
曇天	6～10時	0.73	1.1
	10～14時	0.57	1.07
	14～18時	0.06	1.06
雨天	6～10時	0.58	0.84
	10～14時	0.31	1.13
	14～18時	-	-

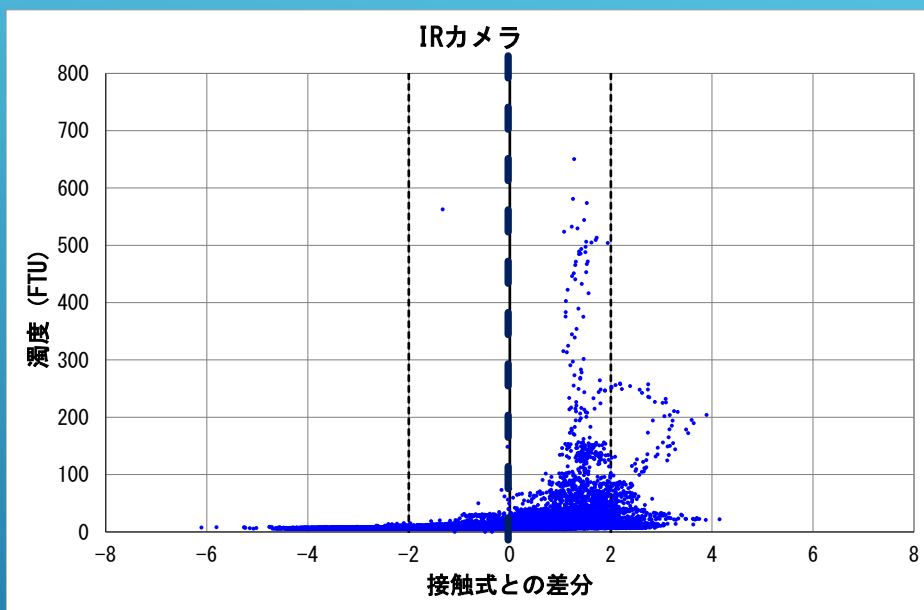
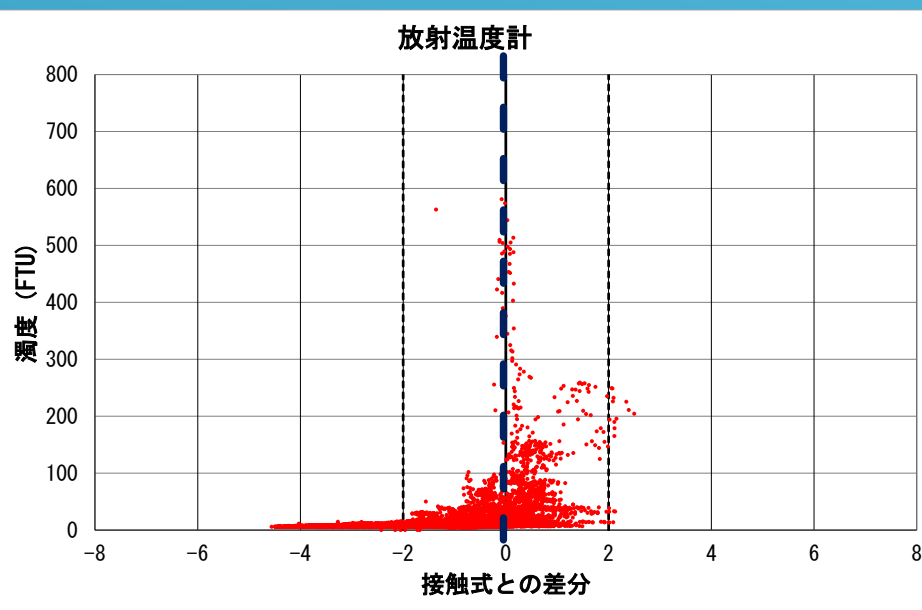
⇒天候の影響も一定程度受ける



晴天時・時間帶別相關

濁りの影響

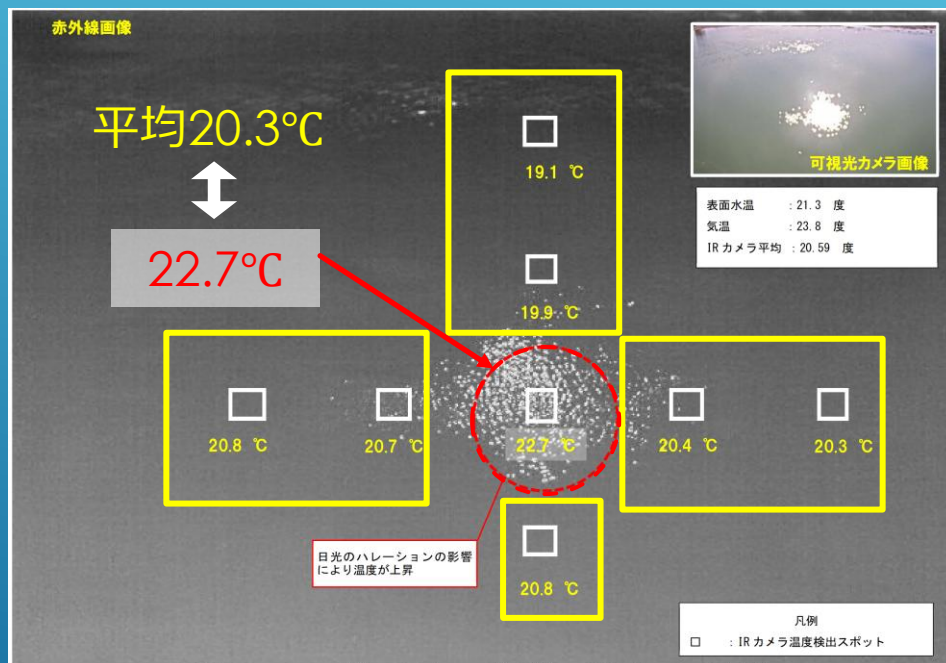
- 放射温度計、IRカメラともに濁度：高⇒ばらつき：小
 - 濁度が高いほど粒子が多く含まれ赤外線放射が多く検出可⇒観測精度が向上すると推測



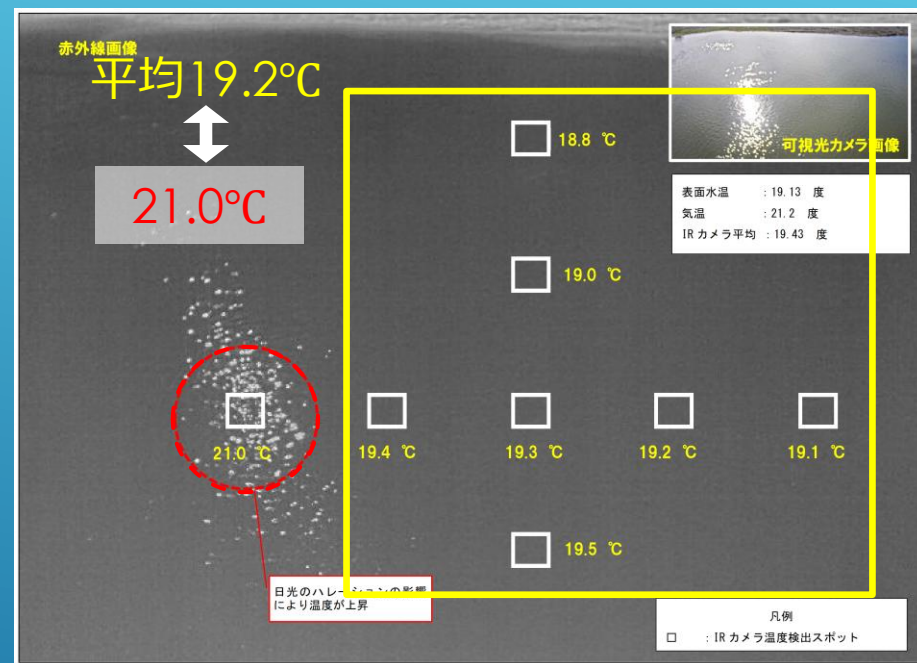
濁度と測定誤差の関係

水面反射（日射）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
 - 南向きの設置とならないような工夫が必要



2024年10月11日14時00分

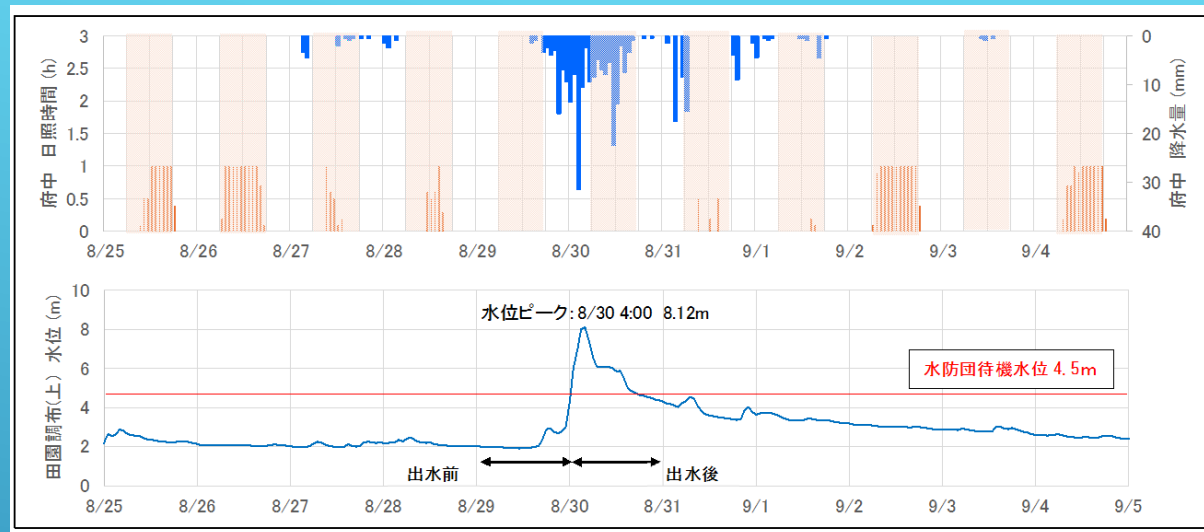


2024年10月30日13時10分

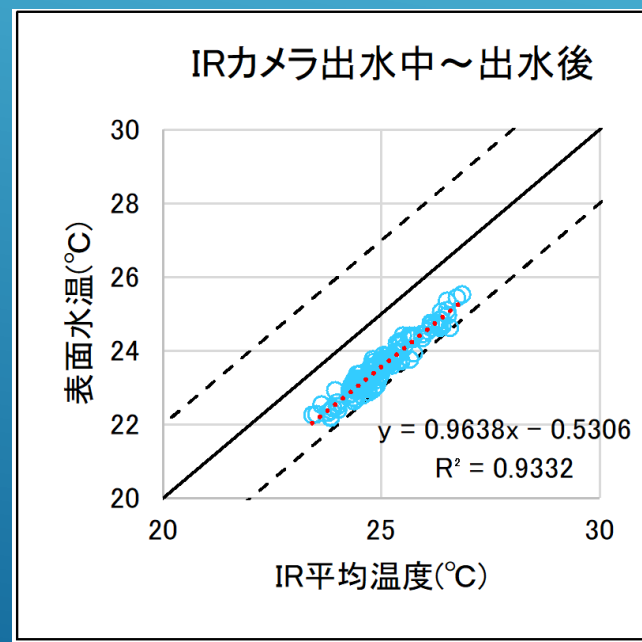
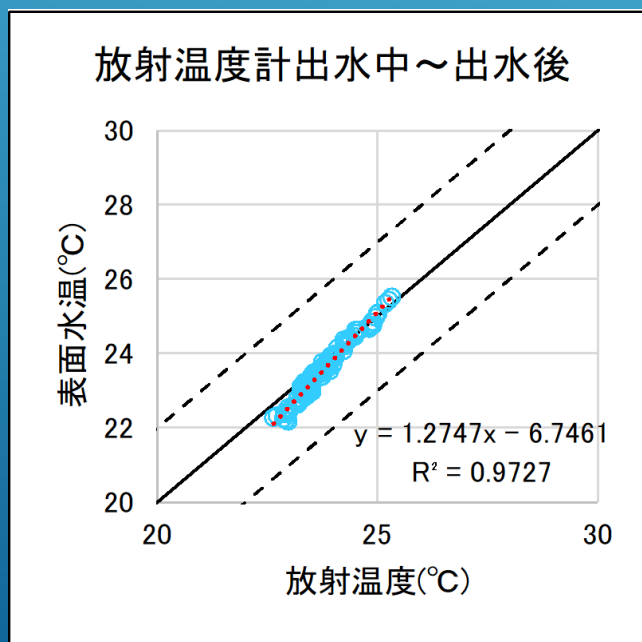
水面反射の影響

洪水時の観測精度

- 観測期間内で最も大きな出水であった8月30日のデータを分析
 - ±2℃以内の精度で観測ができている。

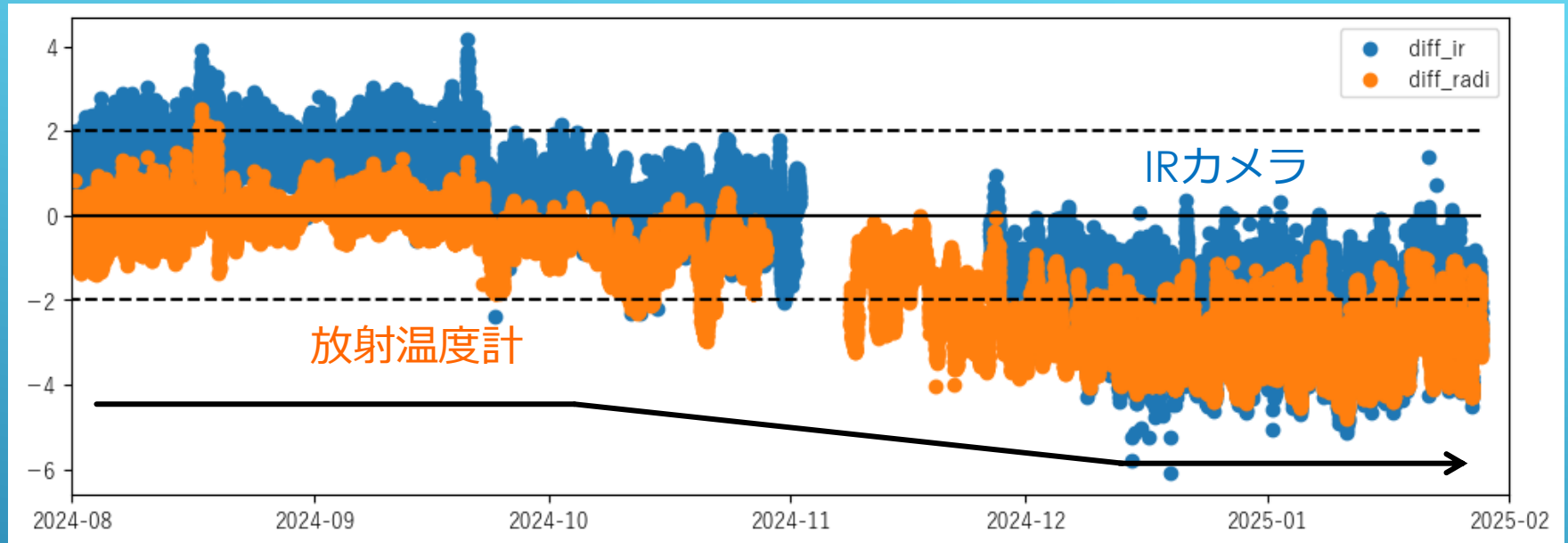


田園調布(上)水位と降水量・日照時間（府中）



放射温度計及びIRカメラの洪水時観測結果

補正式の適用



接触測定との水温差分の時系列データ

(昼夜を問わず、) 9月中旬ぐらいから差分のグラフは右下がりになり、1月くらいで下げ止まる

⇒ 同時計測の気温を用いて、水温を補正できないか？

補正式の適用

補正式

$$T_{radi} = t_{radi} - 0.135t_{air} + 3.86$$

$$T_{IR} = t_{IR} - 0.189t_{air} + 3.87$$

T_{radi} : 補正後の放射温度計温度(°C)

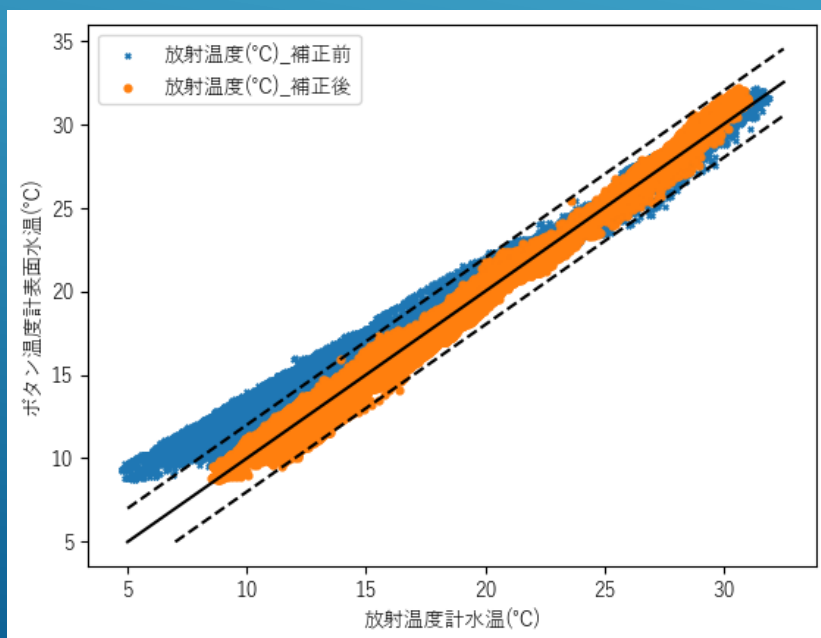
T_{IR} : 補正後のIRカメラ温度計温度(°C)

t_{air} : 現地測定気温(°C)

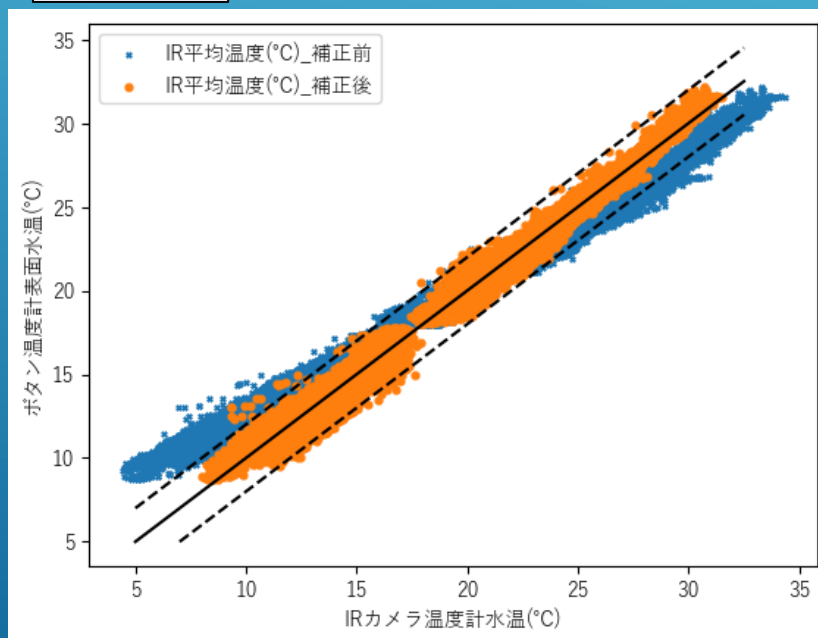
t_{radi} : 補正前の放射温度計温度(°C)

t_{IR} : 補正前のIRカメラ温度計温度(°C)

放射温度計



IRカメラ



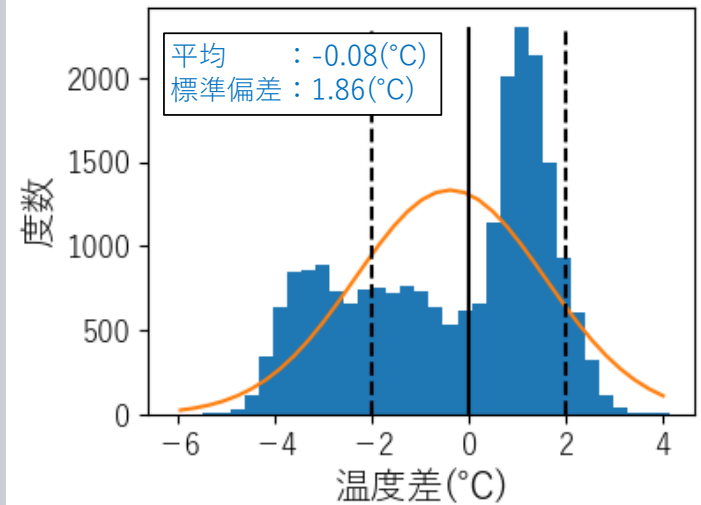
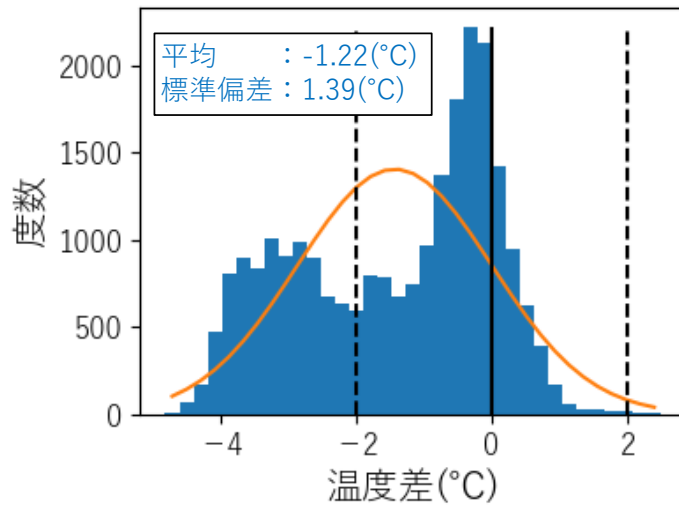
補正前後における散布図の比較

補正式の適用

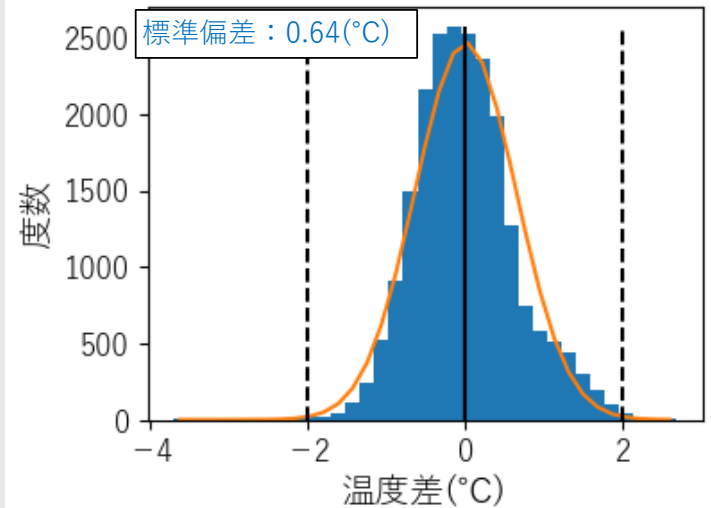
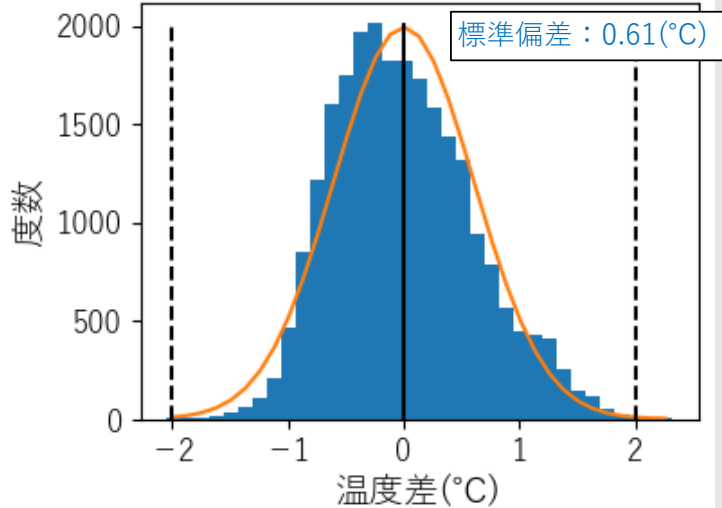
放射温度計

IRカメラ

補正前



補正後



計測システム維持管理の方針とコスト検討

保守点検時期

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、年4回（3カ月に1回）実施することとする。

月	4	5	6	7	8	9		10	11	12	1	2	3
総合点検※1 (年1回)		○											
維持管理点検 (月1回)		○			○				○			○	
臨時点検 (必要に応じ)													

現況での接触式自動監視装置の設置イニシャルコスト：
1000～1500万円程度
かつ、維持管理は1回/月(12回/年)



各観測機器、システムの設置コスト：
放射温度計では約270万円，IRカメラで約570万円



維持管理コスト(↑の通り年4回の定期点検を想定) :
30万円/年程度

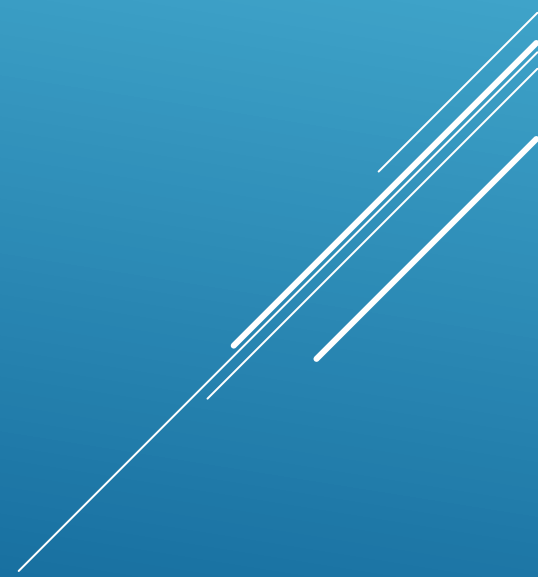


ライフサイクルコスト面での優位性

まとめ

- 放射温度計およびIR カメラという2 種類の非接触の測定機器を用い、陸上および橋梁から水温を連続的に計測可能なシステムを開発した。
- 接触測定(ボタン型温度計)との比較により測定精度の検証を行い、時間帯、天候、濁度や反射光の測定結果への影響について検討した。また、出水期間中においても所定の精度での測定が可能なことを確認した。
- 気温をパラメータとして用いた補正式を適用することにより、 3σ の管理精度の中で $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 以内に収めることが可能となることを確認した。

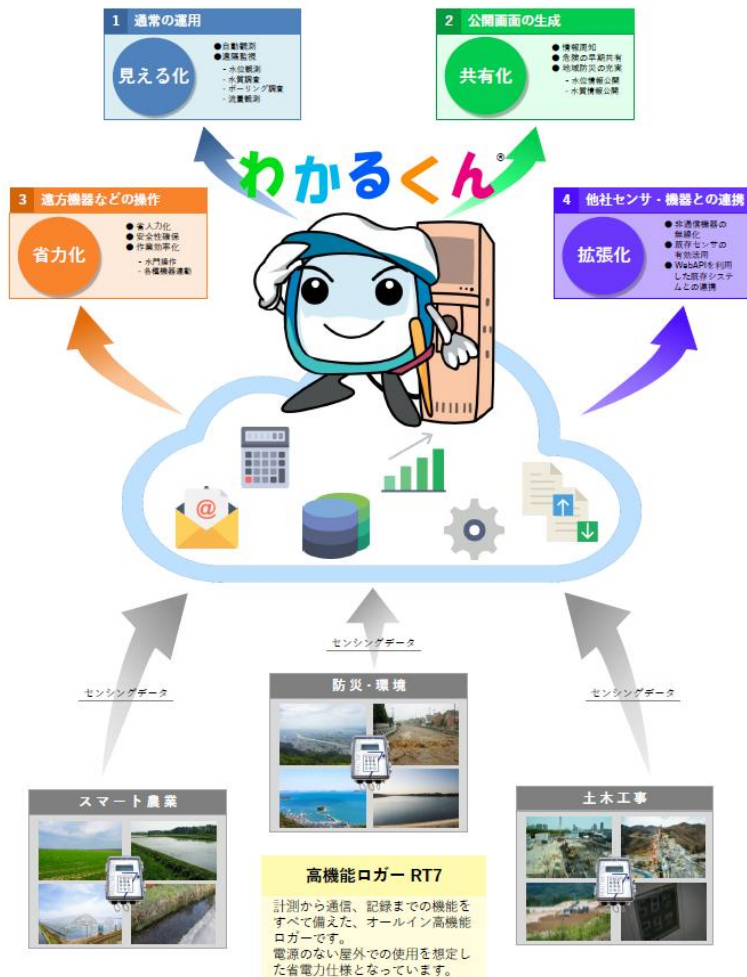
(以下、補足)



システム構成とデータ配信技術の概要

データ配信については共同開発チームである東建エンジニアリングで開発した「IoTクラウドサービスわかるくん (NETIS : QS-200050-A)」を使用した。

■ IoTクラウドサービス わかるくん とは



■ わかるくん の活用事例 ～さまざまな場面で貢献中！～

1 通常の運用

河川・用水路・調整池などの事前防災に

記録的短時間大雨や台風による河川、用水路などの増水を事前に察知し、メール通知や警報で知らせます。静止画による状況把握も同時におこなえます。



【主な導入先】

● 見沼代用水土地改良区 様 (埼玉県) ● 埼玉県建設部 様 (埼玉県)
● 国土交通省中部地方整備局 様

2 公開画面の生成

住民や工事施工者への状況周知を実現

通常のご利用ではデータ閲覧は管理者のみに限られますが、独自の画面を自動生成することで、誰でも閲覧できる形に展開して周知をはかることができます。



【主な導入先】

● 田原市防災局 様 (愛知県) ● 福岡市道路下水道局 様
● 国土交通省中部地方整備局 様 ● 建設工事共同企業体 様

3 遠方機器などの操作

作業の効率化、安全性の確保を図ります

計測値をトリガーにして、遠方の機器を操作します。人の手間を省くことができ、作業の効率化や安全性を確保することができます。



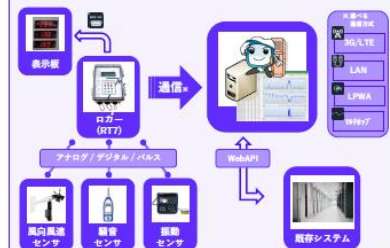
【主な導入先】

● 建設コンサルタント会社 様 (兵庫県) ● 関西地方K市 様
● 建設工事共同企業体 様 (愛知県)

4 他社センサ・機器との連携

遠隔管理や監視装置をすばやく実現

ログに既設の他社センサや表示器を接続することで、かんたんに遠隔管理や監視装置を実現します。

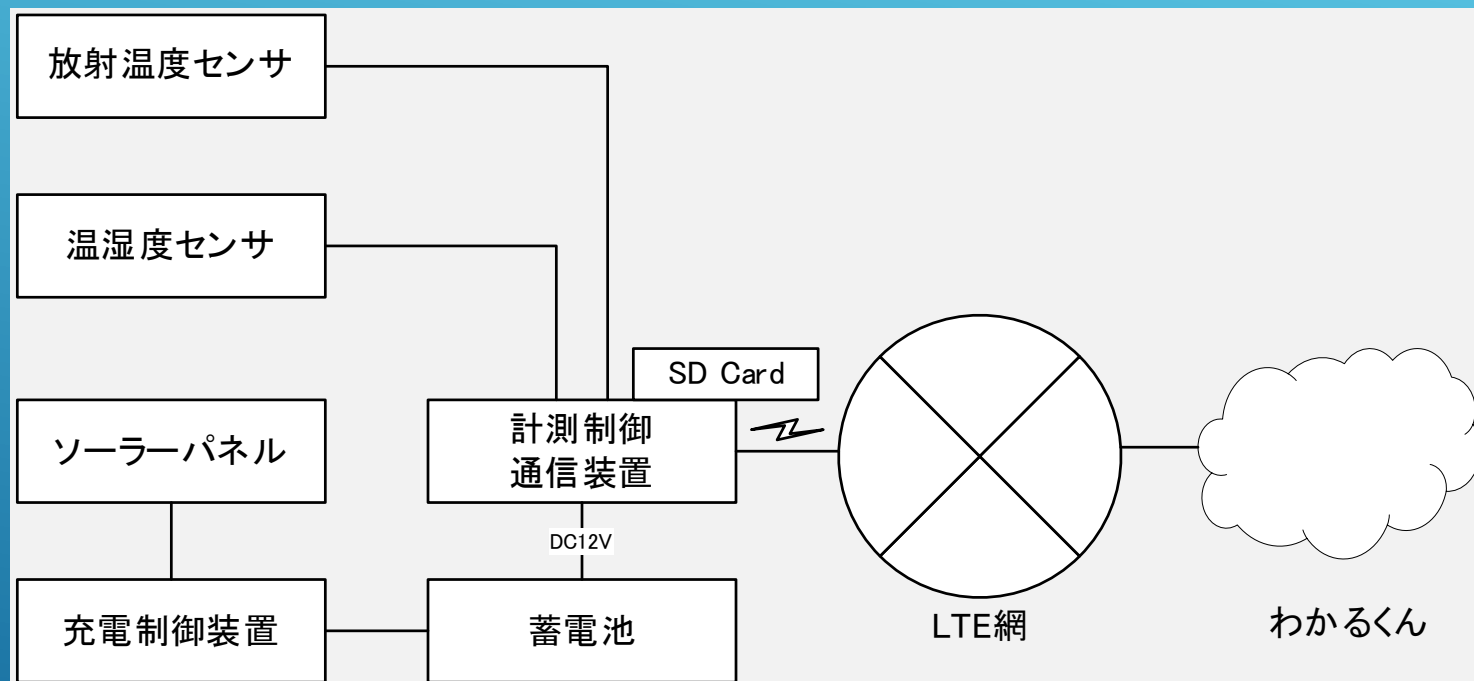


【主な導入先】

● 建設工事共同企業体 様 ● 建設工事共同企業体 様
● 水環境総合コンサルタント会社 様

◆放射温度計

計測制御通信装置は10分毎に放射温度センサより、放射温度、センサ温度、温湿度センサより、気温、湿度を取得、装置内SDカードに保存し、あわせて内蔵通信装置によりLTE網を通してクラウドへアップロードを行う。

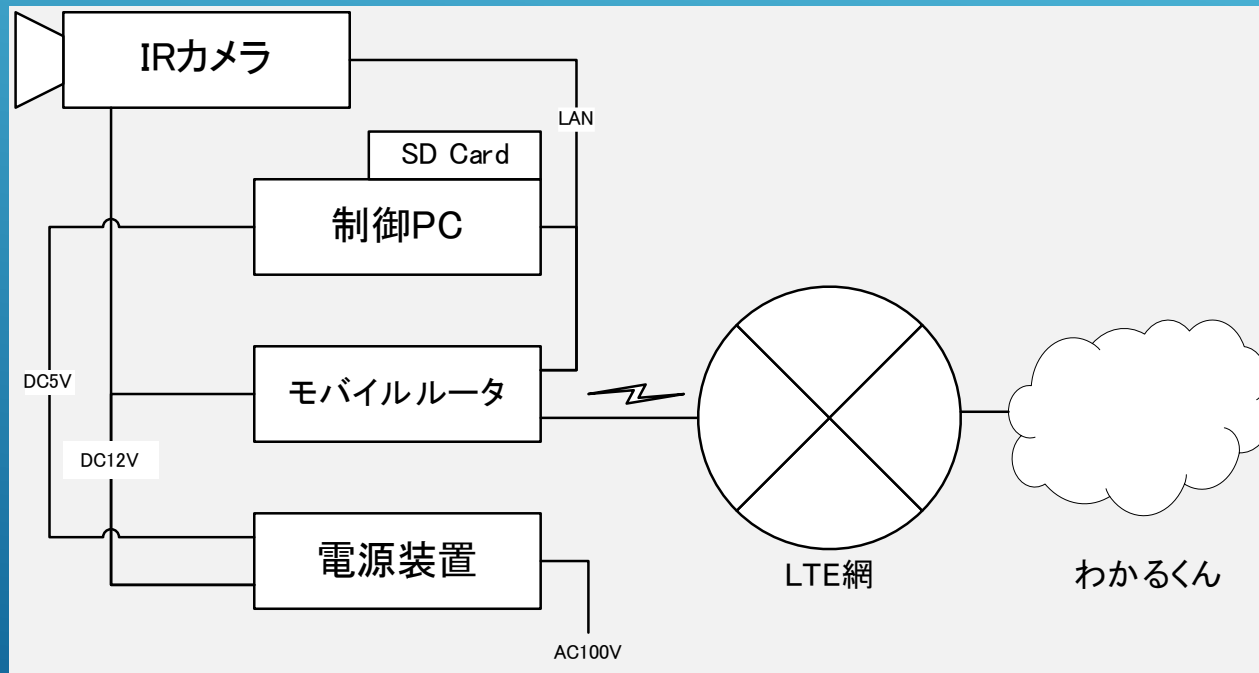


放射温度計のシステム概要

◆IRカメラ

制御PCは10分毎にIRカメラより、固定位置温度計測結果、エリア内最高最低点温度、及び輝度、ならびにIR画像、可視光画像を取得、装置付属SDカードに保存し、あわせてモバイルルーターLTE網を通してクラウドへアップロード（エリア内最高最低点温度、及び輝度以外）を行う。

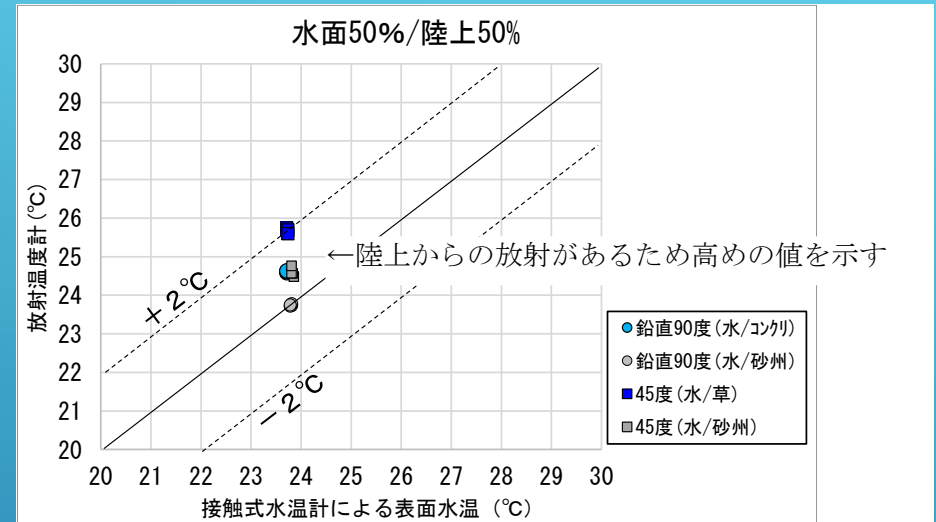
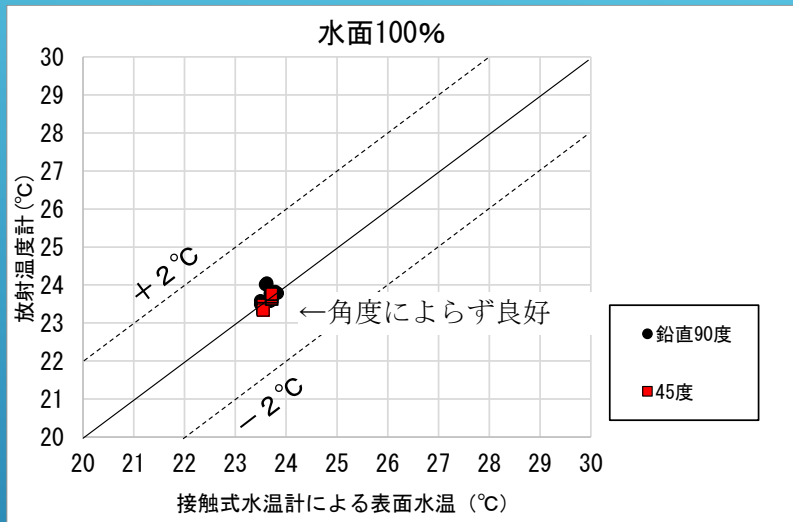
固定位置温度以外の場所の温度をIR画像から求める場合は、計測毎に出力されるエリア内最高最低点温度、及び輝度を使用して輝度温度係数を求め、その係数を利用して画像中任意の位置の輝度情報から温度を求める。



I Rカメラのシステム概要

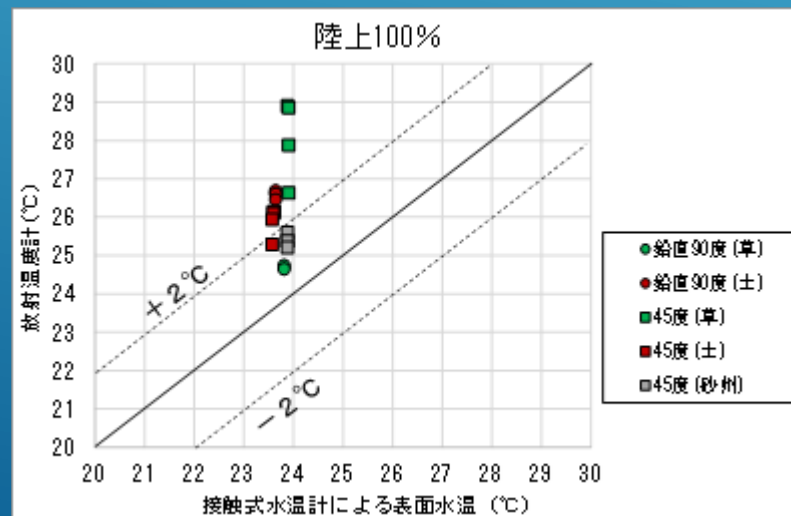
測定対象範囲

- 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。



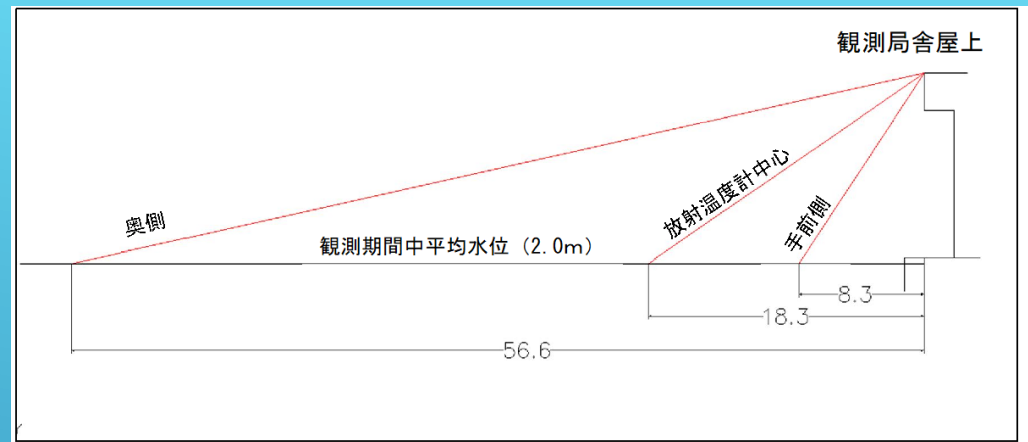
測定対象範囲による測定水温への影響

参考；陸上100%の場合



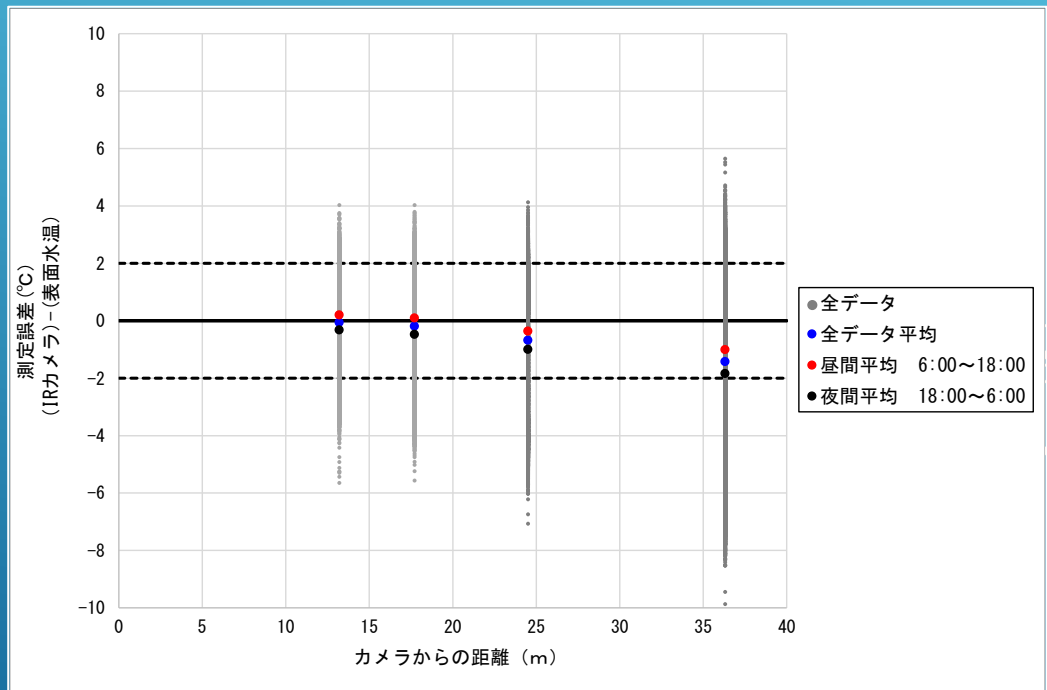
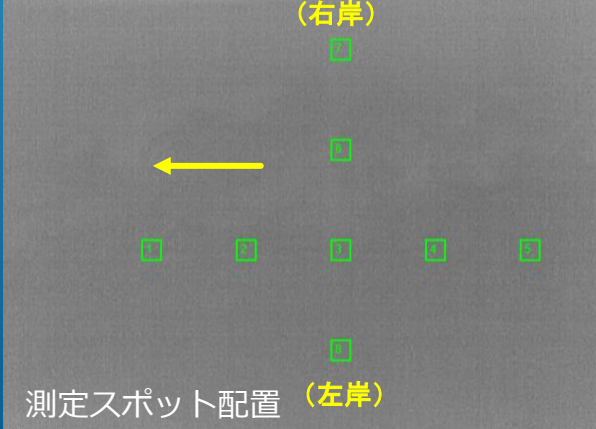
測定可能距離

- 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下図のようになり、今回の計測範囲（最大36mまで）では、平均値としては $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 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。



放射温度計の測定範囲

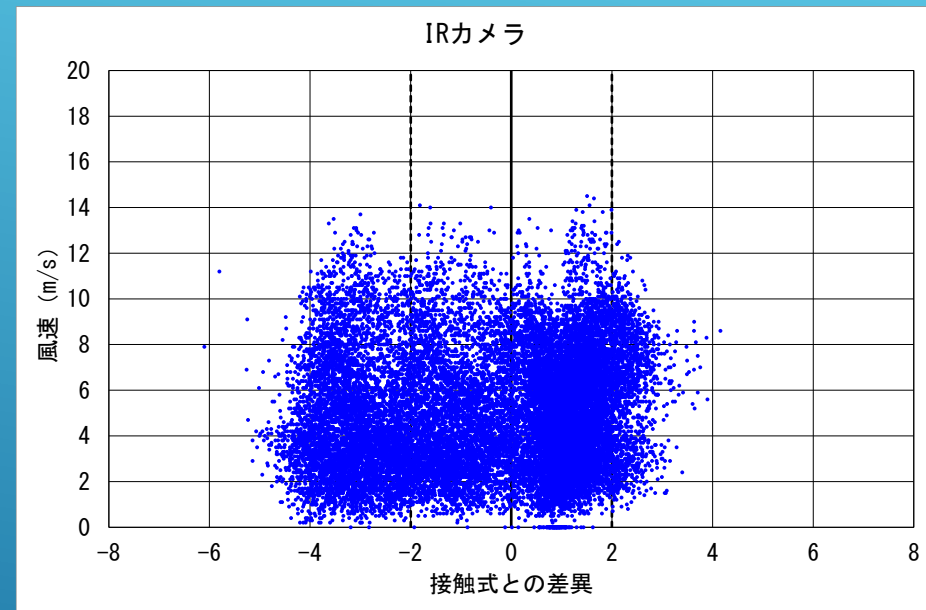
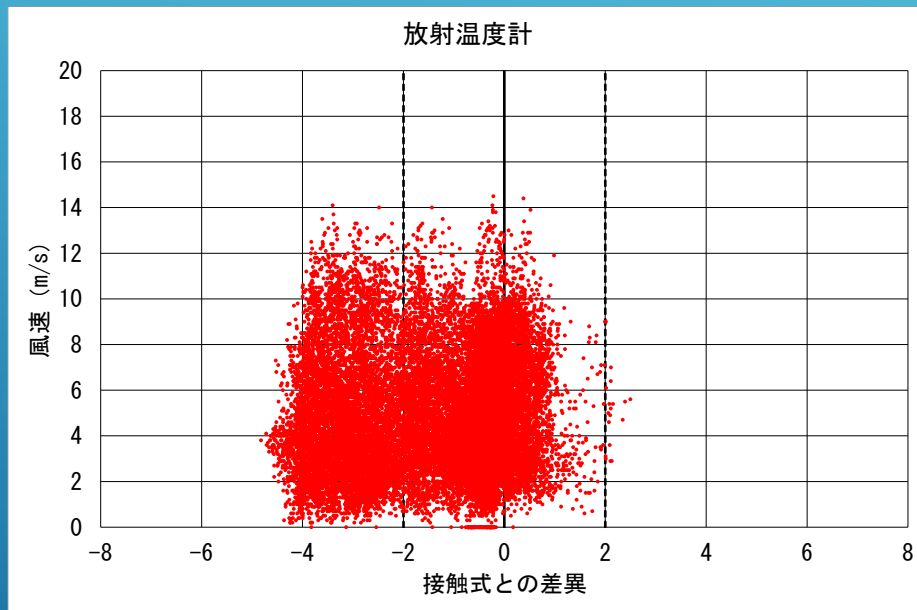
<赤外線画像>



距離別測定誤差

風の影響

- 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した図に示す。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。



風速と測定誤差の関係

補正式の検討

放射温度計、IRカメラともにリクワイヤメントで示される $\pm 2^{\circ}\text{C}$ の精度を超過するデータも散見される結果となったが、今後、実運用に向けては気候変動による影響を捉え生態系への影響等の基礎情報とするためには、いずれも更なる精度向上が必要になる。ここでは、非接触機器により観測された水温のずれは気温との関係が強いため、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。

水温の測定値差分と気温との相関

	現地計測気温	放射温度計_温度差	IRカメラ_温度差
現地計測気温	1.000000	0.906586	0.946157
放射温度計_温度差	0.906586	1.000000	0.977880
IRカメラ_温度差	0.946157	0.977880	1.000000

回帰分析による補正式の立式

それぞれの計測水温とボタン水温計の差について、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。

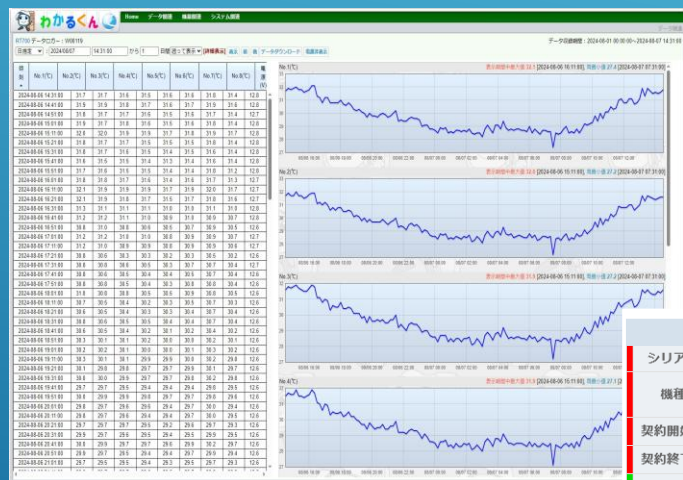
補正回帰式の立式分析条件

説明変数	水温と同地点、同時刻の計測気温($^{\circ}\text{C}$)
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: $-10 \sim 40^{\circ}\text{C}$ 、仕様上の測定範囲内)

リアルタイム配信手法について

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。



さらに、表面水温の補正はリアルタイム表示システム「わかるくん」上で行うことができ、補正一次式係数はシステム内で変更することができる。システムで表示される表面水温は、すべてこの一次式係数を利用して以下の画面のように表示される。

リアルタイム送信画面

個別機器情報						
シリアル	W00119					
機種	RT700 データロガー					
契約開始日	2000-01-01					
契約終了日	2037-12-31					
不達警告(秒)						
すでに計測データが存在する機器の機種を変更すると以前のデータへはアクセスできなくなります ex. 2000-01-01, 2000/01/01 ex. 2000-01-01, 2000/01/01 入力なしは警告機能を使用しないを意味する						
使用	DB名称	識別子	表示名称	Factor A	Factor B	有効桁
☐	dt	dt	日時	1	0	1
☒	wt	wt	No.1(°C)	1	0	1
☒	wt	wt	No.2(°C)	1	0	1
☒	rn	wt	No.3(°C)	1	0	1
☒	ws	wt	No.4(°C)	1	0	1
☒	tb	wt	No.5(°C)	1	0	1
☒	pls	pls	No.6(°C)	1	0	1
☒	c7	c7	No.7(°C)	1	0	1
☒	c8	c8	No.8(°C)	1	0	1
☐	c9	c9	no meas	1	0	1

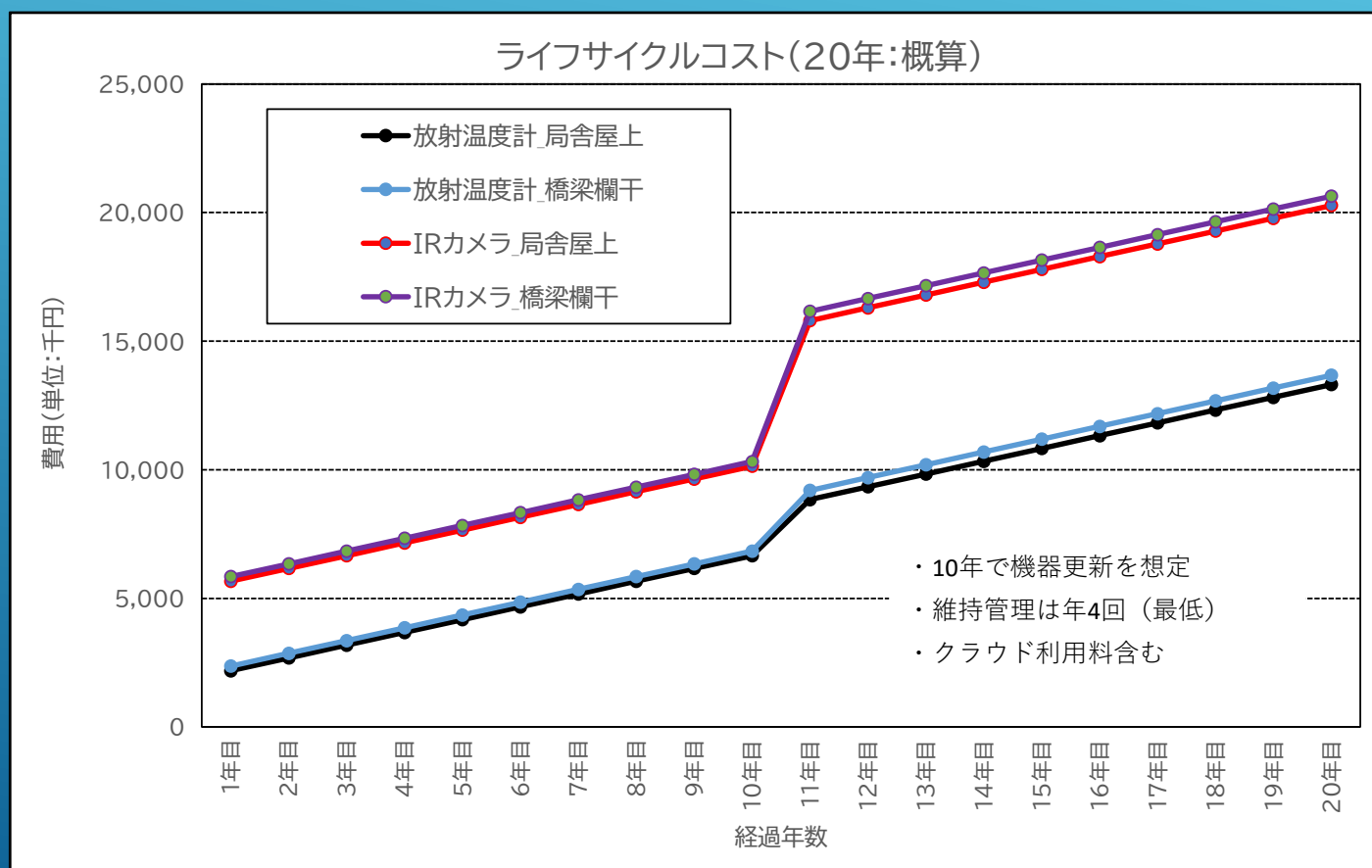
項目設定

使用にチェックを入れない場合、その項目はユーザー画面に現れません
Factorは $y = A \cdot x + B$ 式に適用されます
識別子が別の場合、同一の計測項目とみなされずグラフ表示などで別扱いとなります。
[識別子一覧](#)

必要コスト（標準）について

非接触式水温計の放射温度計とIRカメラを局舎屋上および橋梁欄干に設置し、年4回の定期点検等を行った場合の初期コストは放射温度計で約250万円、IRカメラで約630万円である。

いずれの機器も10年で交換することを前提としたライフサイクルコストは以下のとおりである。



ライフサイクルコスト

- ▶ 河川水質調査要領（案）（令和6年8月 水管理・国土保全局 河川環境課）第Ⅱ章 公共用水域監視のための水質調査,
https://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/kasen/suishitsu/youyou_ref2.pdf