

Roller Assist System の紹介

～温度予測型転圧管理システムの開発と適用事例～

(株)NIPPO 総合技術部 機械開発グループ 梶原 寛

【i-Construction 2.0】

国土交通省では、2040年度までに建設現場の省人化を少なくとも3割、すなわち生産性を1.5倍向上することを目指している

【道路舗装分野】

- ・**施工**や**出来形管理**では、**自動化**や**省力化**が進んでいる
- ・アスファルト舗装の**品質管理**においては、なかなか進んでいない

【アスファルト舗装の品質管理】

- ・アスファルト混合物の**締固め度の確保**は重要な管理項目
- ・締固め度の確保には**施工温度の適切な管理**が必要

【施工温度管理の実際】

- ・時間的、空間的に制約が多い中で行われる（舗装修繕工事が多数）
⇒効率的かつ安全な管理方法が求められている



現場施工温度管理を**自動化**することにより**省人化**を図り、
生産性向上と**安全**な現場管理につなげる

【到着温度】

- ・アスファルト混合物が現場に到着した時に測定する
- ・ダンプトラックの荷台上で測定する



⇒昇降作業に**労力**が必要、転落・墜落の**リスク**

【敷きならし温度】

- ・アスファルトフィニッシャにて敷きならした直後に測定する
- ・敷きならした箇所です測定する



⇒温度センサの**抜き差し**行為、施工の進行とともに**移動**が必要

【転圧温度（初転圧）】

- ・鉄輪ローラでの転圧作業直前で測定する
- ・敷きならした箇所です測定する



【転圧温度（二次転圧）】

- ・タイヤローラでの転圧作業直前で測定する
- ・初転圧された箇所です測定する

⇒転圧機械との**接触**リスク、転圧機械オペレータへの転圧範囲**指示**

⇒課題に対応し、現場温度管理作業の**自動化**を検討する

到着温度の自動化検討



通信機能を有する温度ロガー

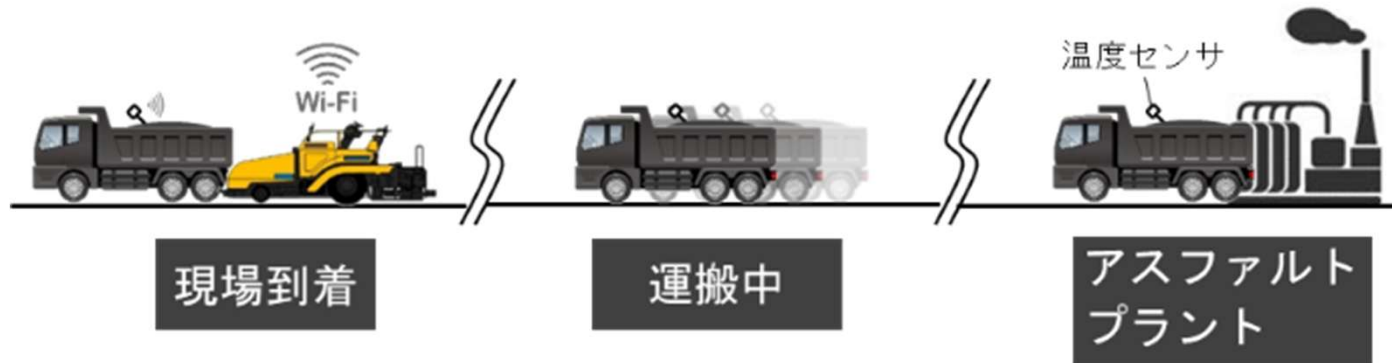


積載時に温度センサの設置

クラウド送信、温度確認

温度記録

温度センサ挿入

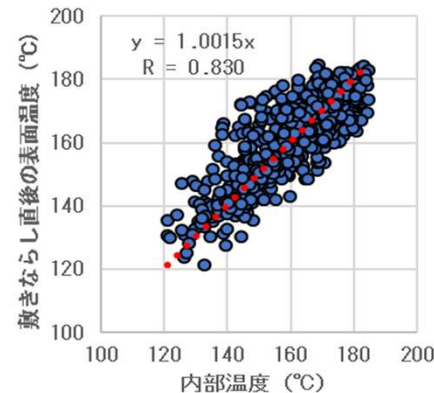


- ・通信機能（Wi-Fi）を有する温度計を使用
- ・アスファルト混合物積載時に温度センサを設置
- ・現場に通信環境（Wi-Fi）を構築

⇒現場到着時に積載～**到着**までのアスファルト混合物の
温度データを自動的に取得できる

【検証】

冬季の舗装現場において、敷きならし直後の表面温度と同一位置の内部温度（敷きならし温度）のデータを750個取得



- ・相関式の傾きは1.0015とほぼ1:1の関係
- ・相関係数は0.830と非常に高い相関

⇒敷きならし直後であれば非接触である放射式の温度センサを用いて、
敷きならし温度取得の自動化が可能と判断できる

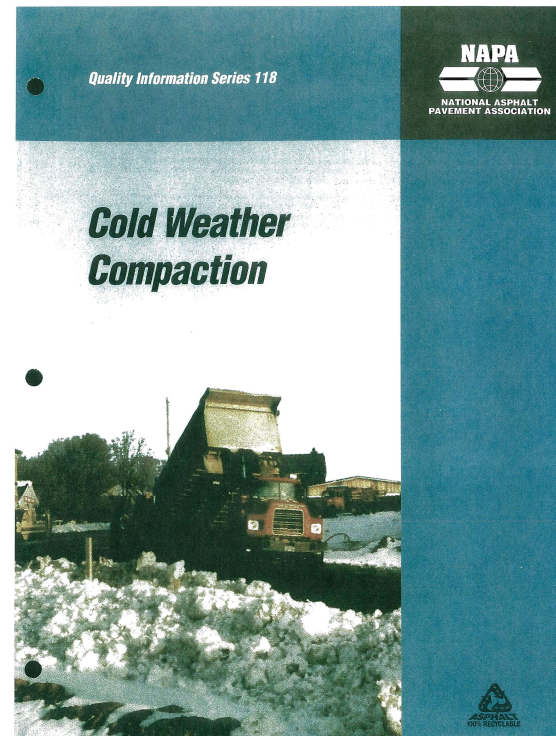


- ・敷きならしから**一定時間が経過**するため、敷きならし**温度と同様の管理は困難**
- ・転圧機械オペレータへの**転圧範囲指示行為**が発生

検討

- ①アスファルト混合物の**内部温度を予測**する
- ②予測には施工時の環境を反映し、
時間経過に伴う**温度低下を算出**する
- ③「②」の情報を転圧機械オペレータと**共有**する

過去の文献を参照



National Asphalt Pavement Association : Cold Weather Compaction , 1998

「アスファルト混合物の**有効な転圧時間**は、敷きならし厚さ、気温および下層の表面温度、混合物の敷きならし温度、風速、太陽光線等によって**増減する**」

⇒応用することにより、アスファルト混合物の敷きならしから一定時間経過後の内部温度が**予測**できるのではないか？



気温・風速・湿度・気圧



下層表面温度



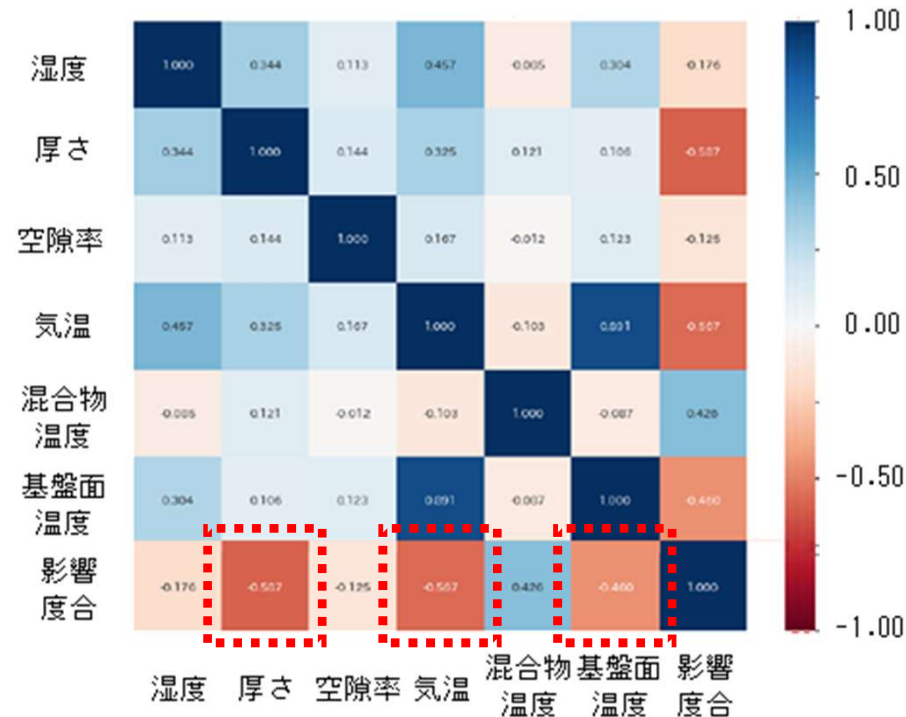
敷きならし表面温度



敷きならし内部温度

- ・2021年9月～2024年12月にかけて現場実証データを約2,300個取得
- ・現場実証データは、敷きならし表面温度と内部温度のほかに7項目（舗装厚、空隙率、下層表面温度、気温、風速、湿度、気圧）を設定
- ・敷きならし直後から1分ごとに内部温度が100℃に低下するまで取得

現場で取得した実証データをAIで解析し、温度変動との関連性を検証



現場実証データの相関関係マップ

- ・舗装厚さが**薄い**ほど温度変化が大きい
- ・気温が**低い**ほど温度変化が大きい
- ・下層表面温度（以下、基盤面温度）が**低い**ほど温度変化が大きい

⇒先の文献の内容が実証された

【指数方程式モデル式】

- ・AI に機械学習させて求めた係数を用いる
- ・係数はおもに、舗装厚さ、合材種ごとに分類される
- ・パラメータを気温、下層表面温度に絞る

$$\text{予測内部温度} = (T_0 - (a + b/2)) \times \text{EXP}(c \times d) + (a + b/2)$$

T_0 : 敷きならし温度、 a : 基盤面温度 (°C)

b : 気温 (°C)、 c : 係数、 d : 経過時間 (分)

【LightGBMモデル式】

- ・現場実証データを教師データとした分析アルゴリズム

予測モデルと5分後の内部温度予測精度

モデル名	真値への当てはまり率 (r2score)	真値とのずれ量 (RMSE)
指数方程式モデル	0.984	2.383
LightGBMモデル	0.998	0.625

⇒どちらのモデル式も高精度に予測できることが確認された

【開発要件】

- ・敷きならし温度と転圧温度を**自動で取得・記録**する
- ・転圧機械のオペレータに転圧範囲を**自動で指示**する
- ・温度管理帳票を**自動で作成**する

⇒ **既存締固め管理システムをベースに開発実施**

【温度予測式について】

- ・現時点においてLightGBMモデル式は**負荷が高く**計算処理に時間を要する

⇒ **指数方程式モデル式を採用することとした**

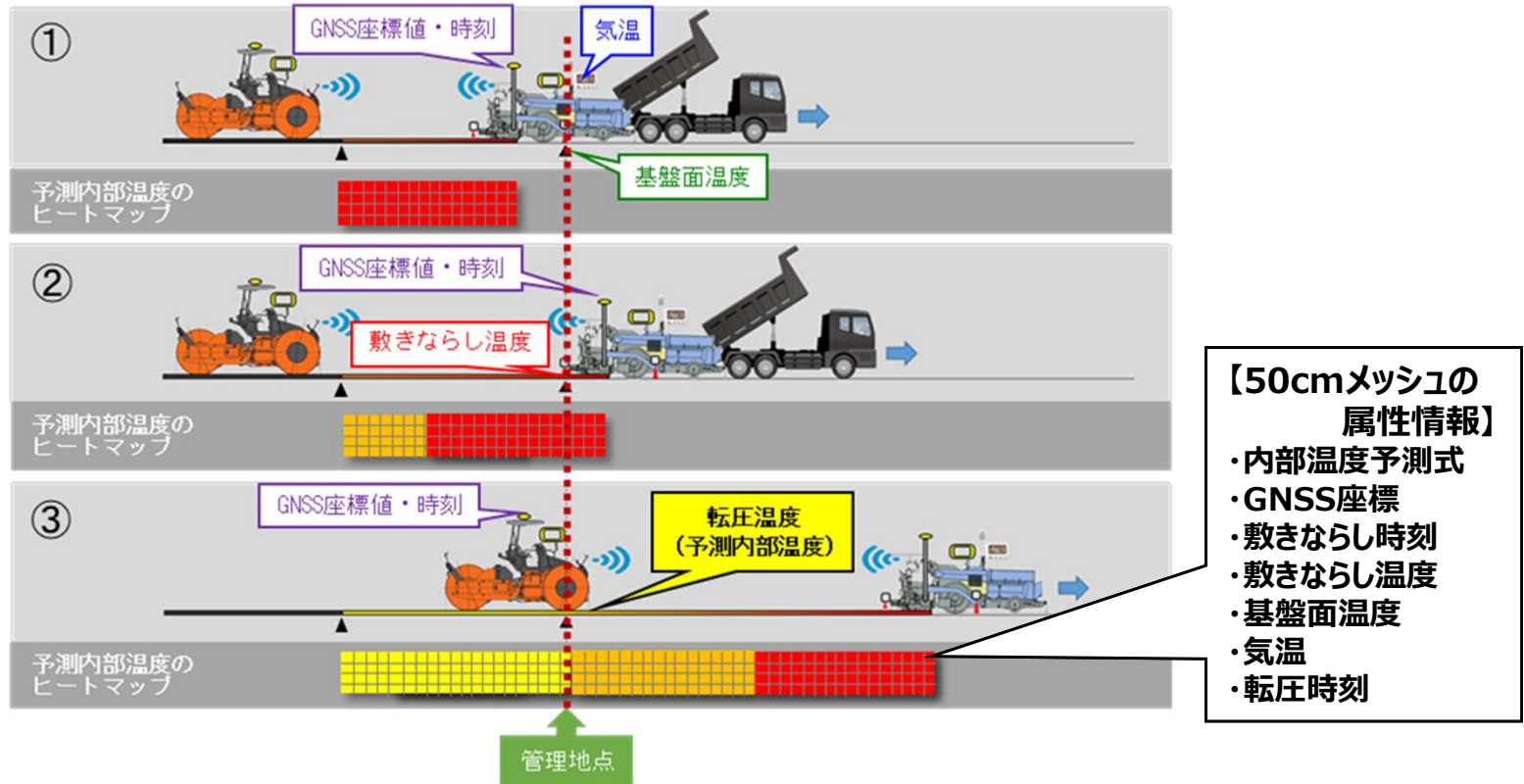
【システム名称について】

- ・転圧（管理）作業を補助するシステム

⇒ **Roller Assist System とした**

Roller Assist Systemの作動イメージ

※アスファルトフィニッシャ
(以下、AF) と転圧機械
には各機器を設置



- ① システム上で施工する大枠のエリアを設定し、50cmメッシュに分割する。
- ② AFが、各種センサで属性情報（GNSS座標、敷きならし時刻、敷きならし温度、基盤面温度、気温）を取得する。
- ③ 取得されたデータは転圧機械に共有され、敷きならし温度は内部温度予測式により時間経過とともに低下し、ヒートマップ色も変化する。
- ④ 転圧機械が、転圧した箇所の予測内部温度を転圧温度として記録する。

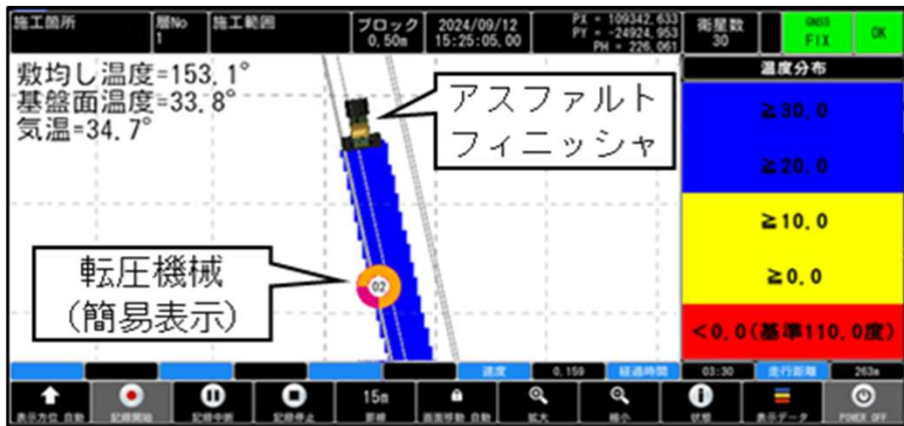
Roller Assist Systemの機器構成とモニタ表示



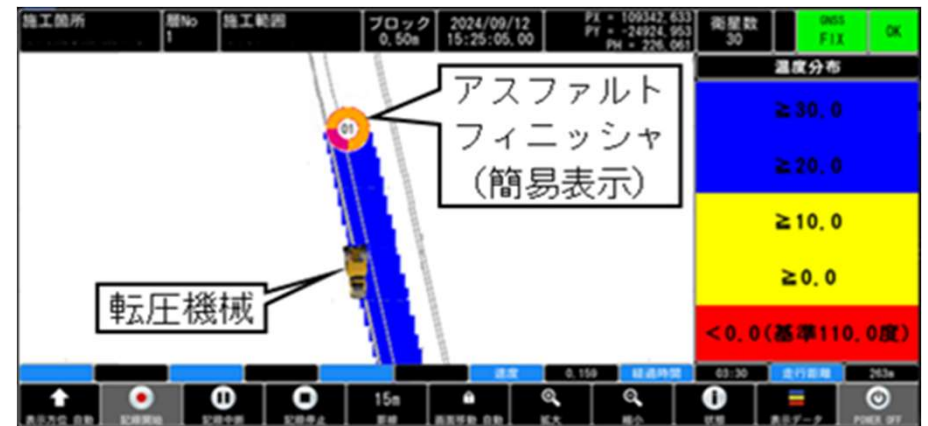
AFに設置する機器の構成



転圧機械に設置する機器の構成



AFのモニタ表示
(敷きならし温度のヒートマップ表示)



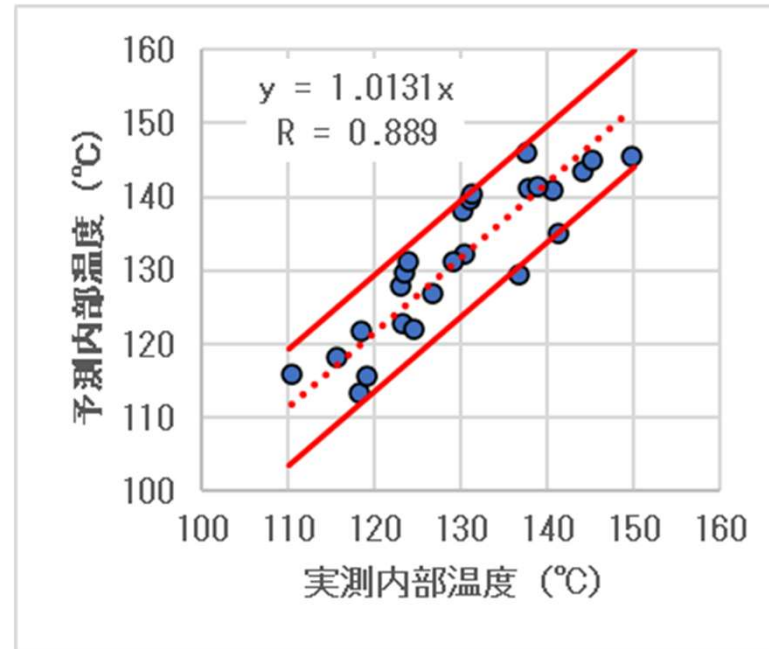
転圧機械のモニタ表示
(予測内部温度のヒートマップ表示)

結果

～実現場における検証～

- ① 予測内部温度と実測内部温度の比較
- ② 転圧範囲の自動指示
- ③ 温度管理帳票と転圧回数管理帳票の自動作成

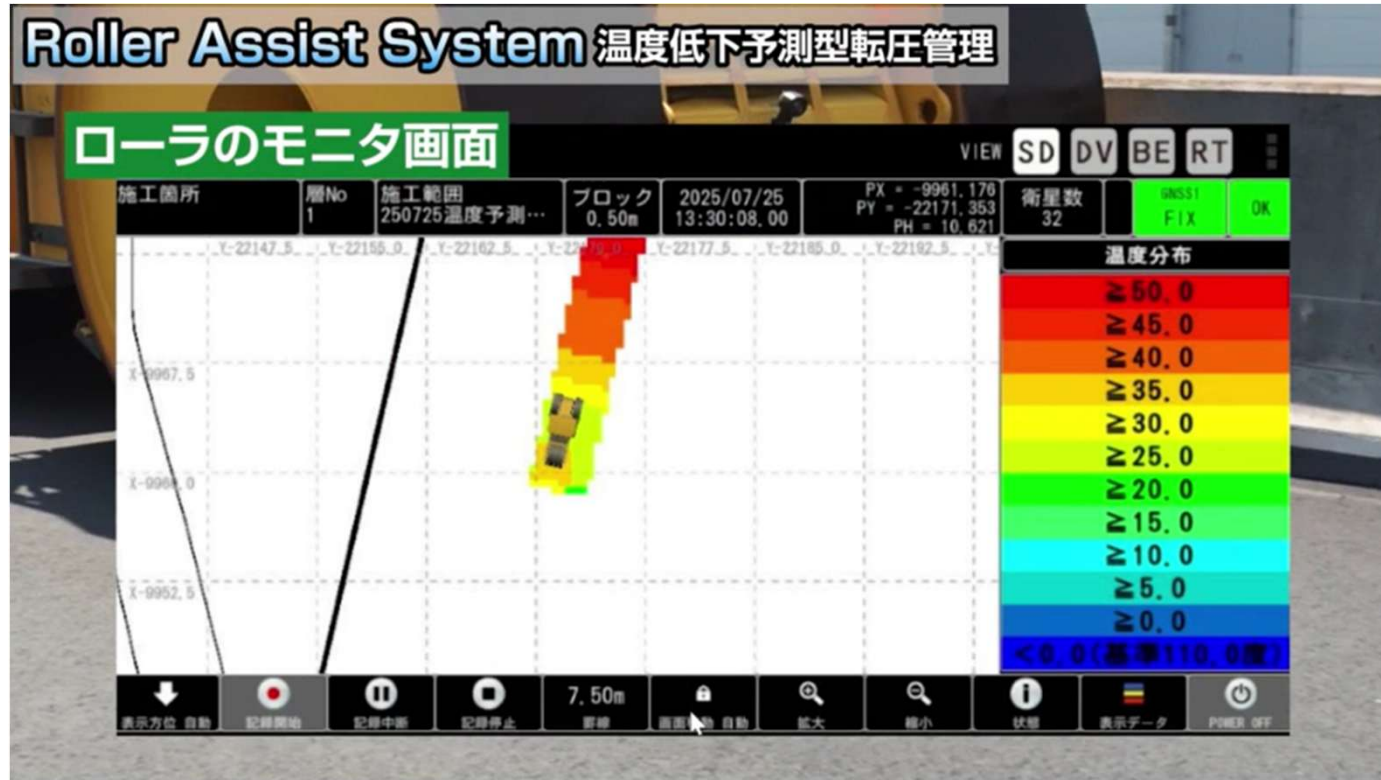
① 予測内部温度と実測内部温度の比較（ダンプ25台分）



- ・相関式の傾きは1.0131と概ね1:1の関係
- ・予測内部温度と実測内部温度との差異は $-7.4 \sim +9.0^{\circ}\text{C}$
- ・平均値は $+1.8^{\circ}\text{C}$ 、標準偏差は 4.7°C

⇒開発したシステムと内部温度予測式の妥当性が確認できた

② 転圧範囲の自動指示



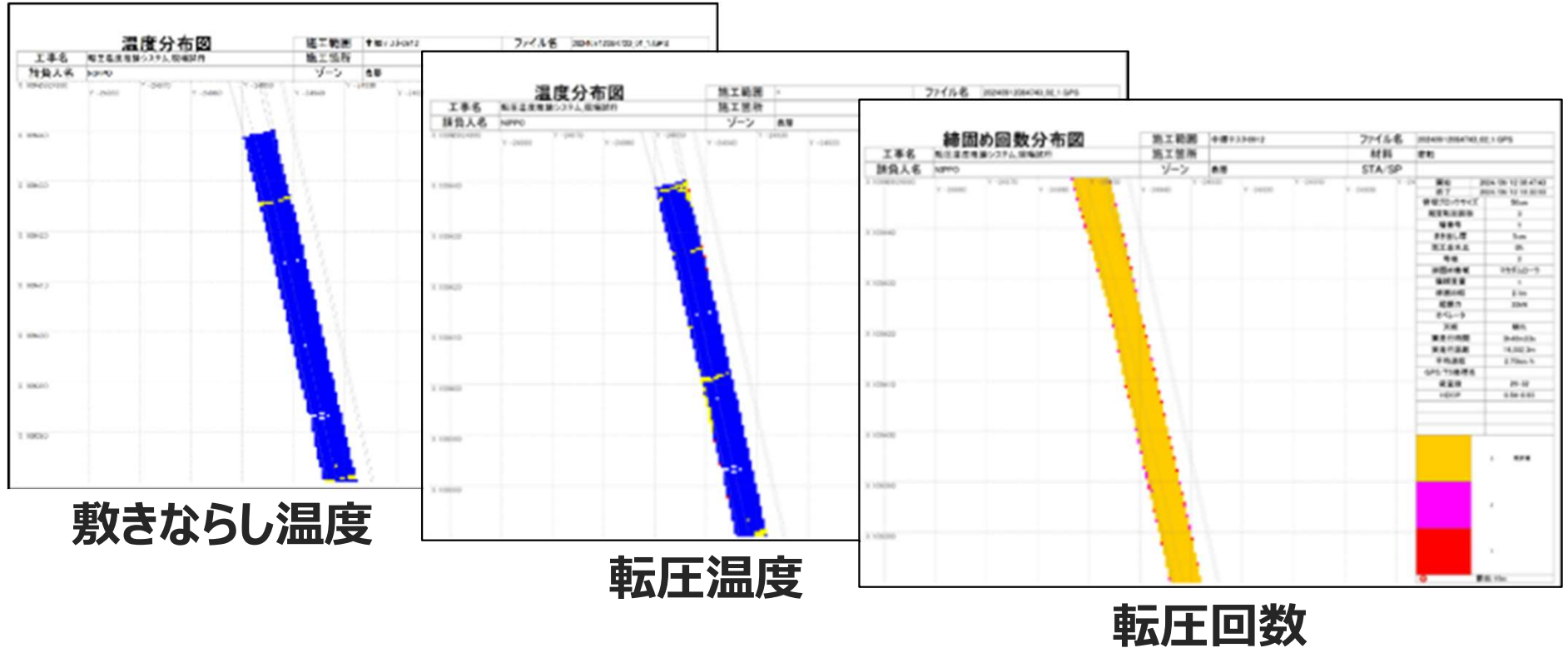
・敷きならし温度（色）が時間の経過とともに変化し、
 転圧を促す温度（警告温度）に低下した箇所が発生する

⇒モニタから警告音の発報と、画面左上に「至急転圧！！」が表示される

⇒転圧機械オペレータに自動で転圧指示ができることを確認できた

※警告音と「至急転圧！！」は転圧が完了すると停止する

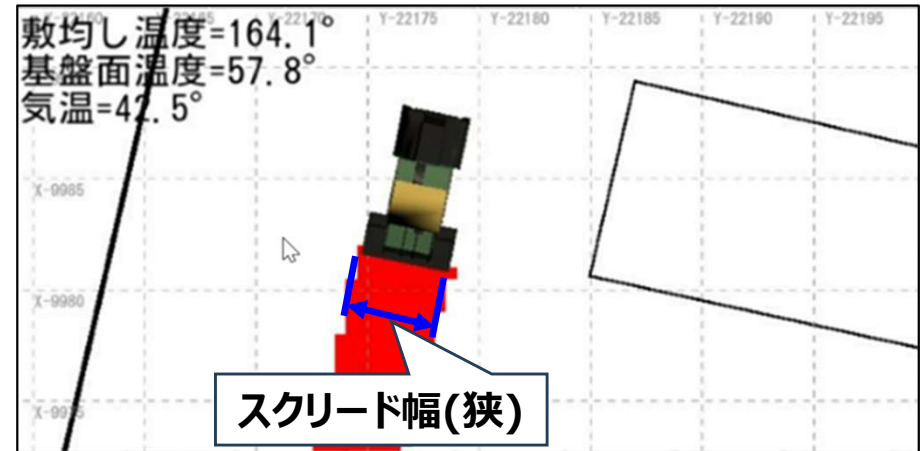
③ 温度管理帳票と転圧回数管理帳票の自動作成



⇒ヒートマップ表示による面的な管理帳票は
自動で作成され、5分程度で出力が可能

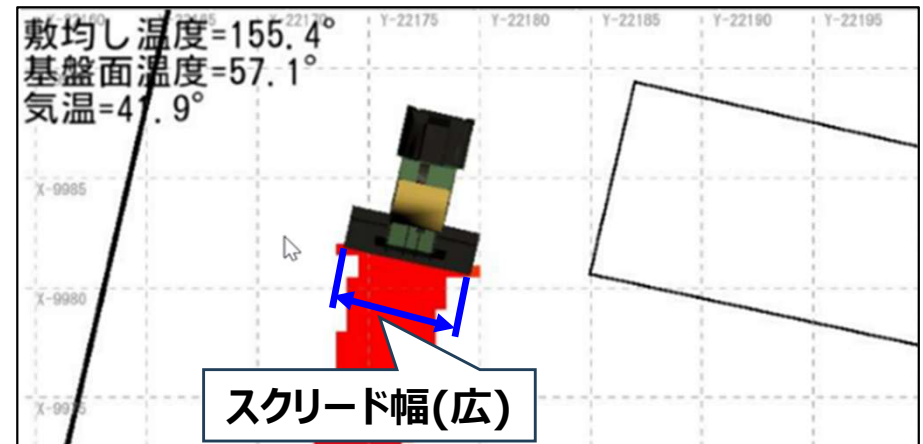
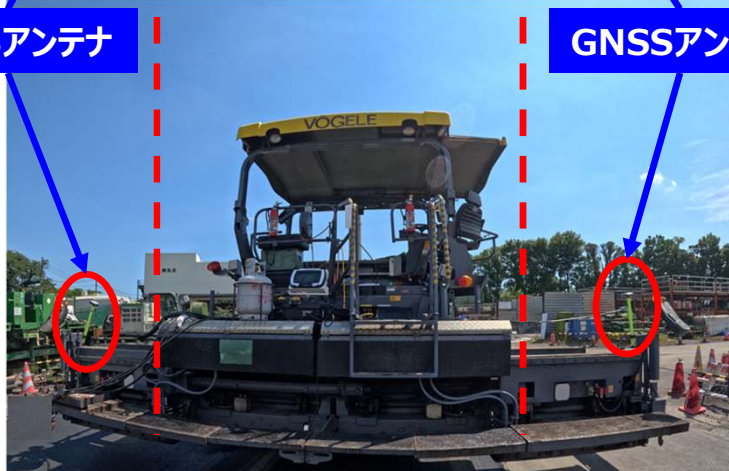
※別途、各メッシュの属性情報をCSVにて出力も可能

システム改良(済み) : 施工幅員変化への対応



GNSSアンテナ

GNSSアンテナ



- ・GNSSアンテナを2個設置し、常時方向認識とリアルタイムで施工幅員変化に対応できるようにした

⇒施工端部の座標も同時に取得できる

⇒**施工履歴**データへの活用も期待される

- ① 敷きならし温度、転圧温度、転圧回数を**自動で取得・記録**でき、**自動で**転圧機械のオペレータに**転圧指示**が行えるため、これに要する管理要員を**省人化**できる (1~2人⇒ゼロ人)
- ② 温度管理帳票と転圧回数管理帳票が**自動で作成**されるため作業終了後の事務所での**作業時間が短縮**され**省力化**できる
- ③ 敷きならし温度と転圧温度のエビデンスを**面的に取得**し、これまで確認できなかった内容が**可視化**できる
(台数毎の点管理⇒連続的な面管理)
- ④ 省人化により重機と人との分離が可能となり、**安全性が向上**する
(接触事故リスク あり⇒接触事故リスク なし)

⇒現場施工温度管理の**自動化**により**省人省力化**が図れ、**生産性向上**と**安全**な現場管理につながった

ご清聴ありがとうございました。

