

# アスファルトフィニッシャ 自動操舵・拡幅システムの 技術紹介



Copyright© Sumitomo Construction Machinery Co., Ltd. All right reserved.

道路機械技術部  
2024年2月22日

1. 開発背景
2. アスファルトフィニッシャーと自動化
3. 舗装作業の現状と課題
4. 自動操舵・拡幅システム概要
  - ・3DMC方式
  - ・ステレオカメラ方式
  - ・制御方式の比較
5. MBDの活用
6. まとめ

社会を取り巻く状況から、下記7項目を社会的要求として定義

- |   |                     |
|---|---------------------|
| 1 | 生産効率の向上             |
| 2 | 熟練技術者・技能者の不足（少子高齢化） |
| 3 | 品質確保・監督検査の重要性の高まり   |
| 4 | 施工現場の安全確保           |
| 5 | 地球温暖化問題対策           |
| 6 | 社会資本の老朽化と維持管理費の増加   |
| 7 | 国内外における競争           |



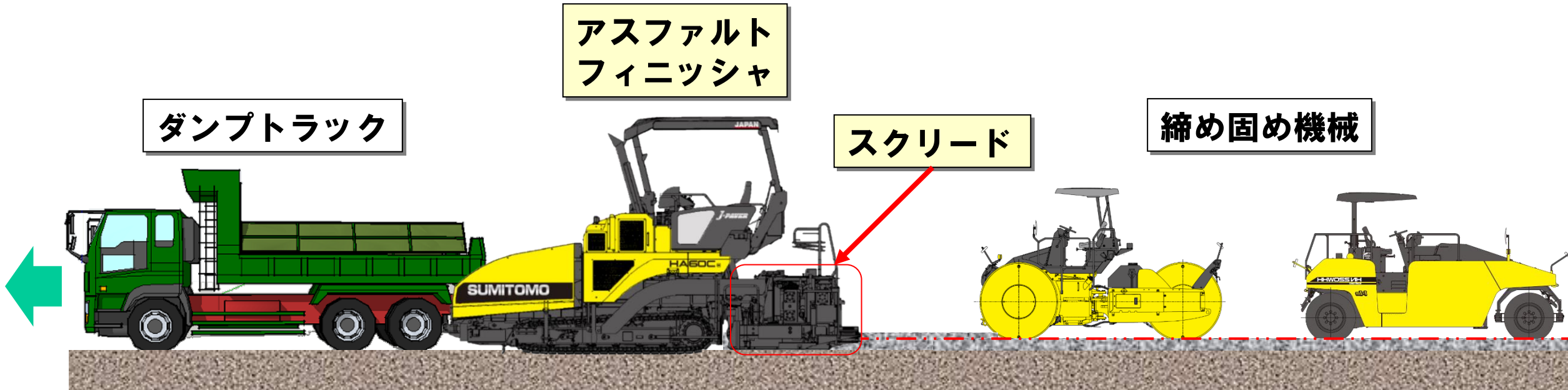
自動化技術を用いる事で、左記の内

1. 生産性向上
2. 熟練技能者不足解消
4. 現場の安全性向上
7. 国内外における競争力強化

に対応する事を目標に開発

● 建設業界の課題に貢献する機械づくりをめざす

## 2、アスファルトフィニッシャと自動化



- 舗装厚さ
- 平坦性
- 密度

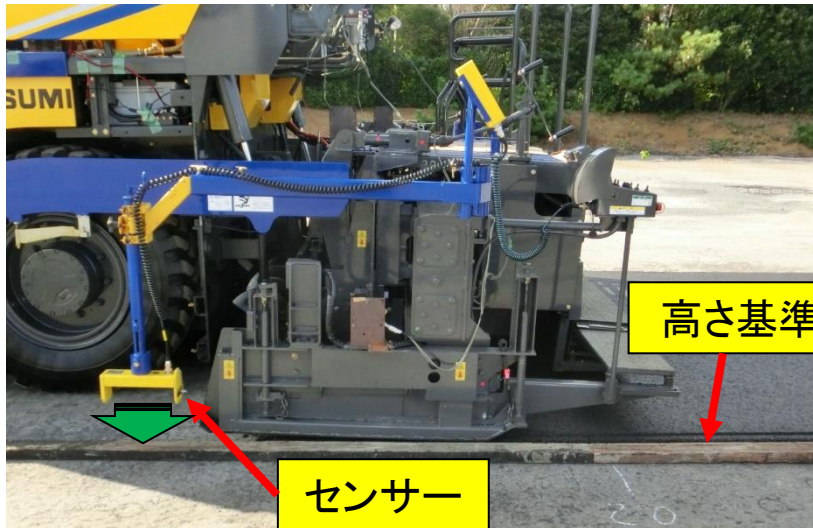
## 2、アスファルトフィニッシャと自動化



# 2、アスファルトフィニッシャーと自動化

アスファルトフィニッシャーにおいては、従来から超音波センサー等を用いた**舗装厚さ自動制御装置**が使用されていた。  
近年では測量機器メーカーから3Dデータをベースとした**舗装厚さ自動制御装置**が発売されており、「i-Construction」への対応として広がりを見せている。

## 従来技術



高さ基準との差をセンサーで検出し、機械側へ電気信号で操作を指令

## 3D-MC

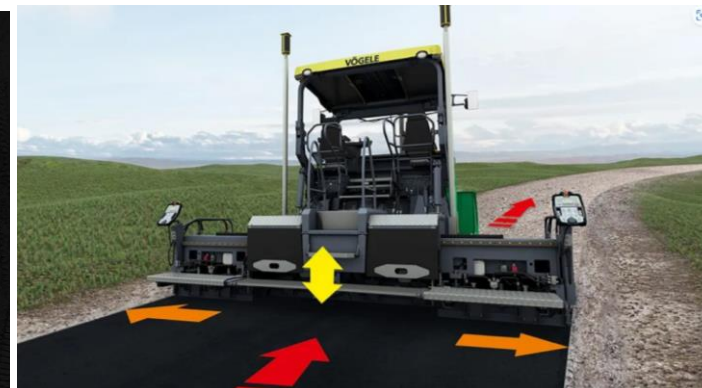
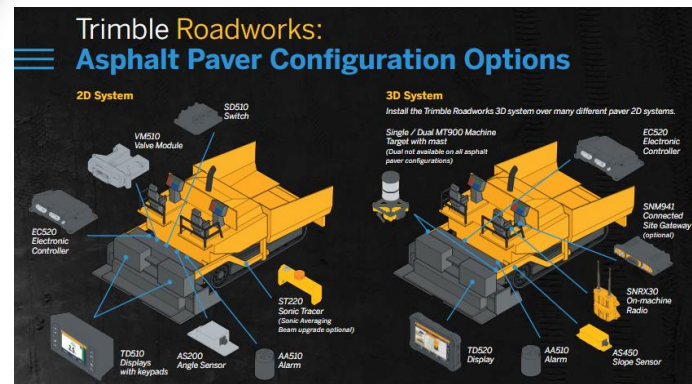


LEICA iCON PAVEの主な特徴

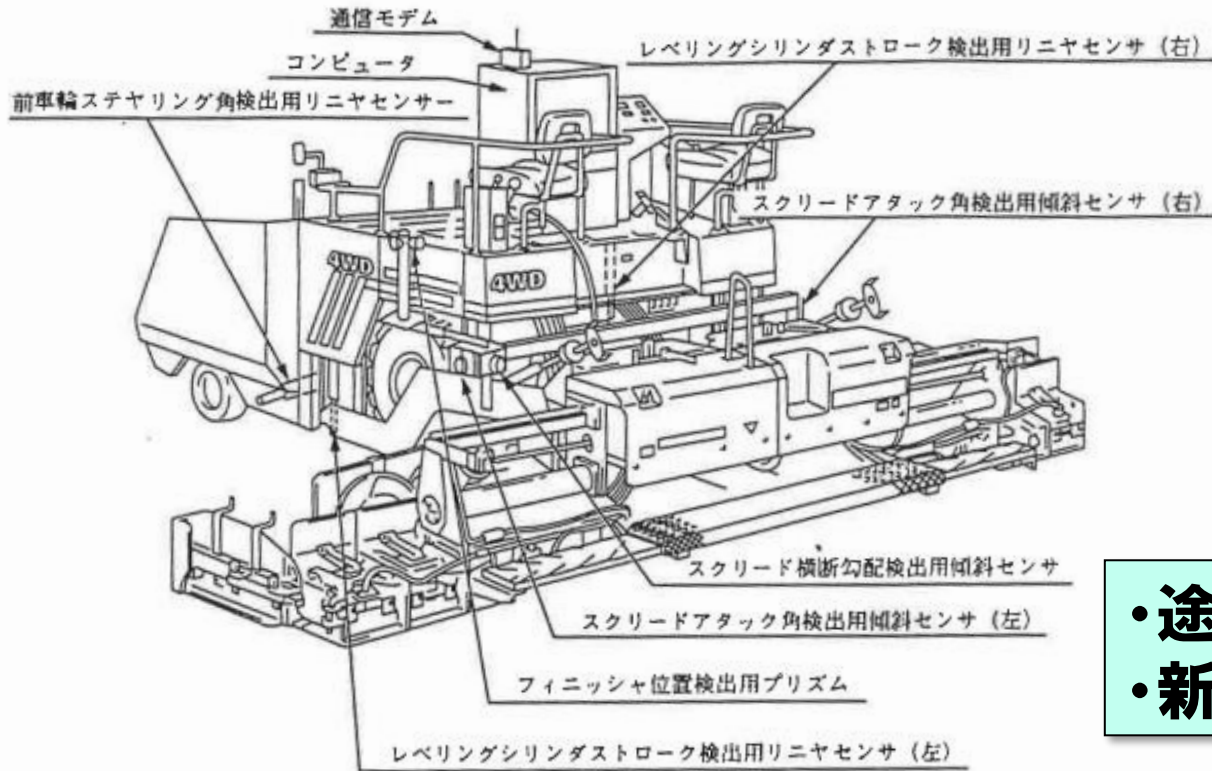
- コストを削減し、プロジェクトにかかる時間を短縮するためのトップソリューション
- 高精度の測量機器にも対応できる多くのセンサー・カメラ・GPS
- Leica Geomatics社との連携、表示、印刷
- 最新のソフトウェア機能による最新の高精度の品質向上
- すべての主要なアスファルト舗装プラントをサポート
- 舗装機とスプレッドをコントロールするi-Constructionバージョン

LEICA iCON PAVEの主な利点

- アスファルト舗装工がリアルタイムでアプローチすれば、すぐに結果を確認
- 最新の測量機器とセンサー・カメラ・GPS
- カメラ・GPSに接続可能なほとんどの主要なアスファルト舗装機
- スプレッドの高精度な設計



## 住友建機の自動化



### 30年近く前に3D-MC装置を開発

\* 機器構成、動作原理は現在のシステムとほぼ同等で  
厚さ制御に加え、**ステアリング**、**伸縮操作**も自動で行う

- 途切れていた技術を現在の機器、技術で再構築
- 新しい技術を取り入れた新規技術の開発

図-1 3次元位置自動制御型フィニッシャ(プロトタイプ)

「舗装における合理化施工技術の開発に関する研究」  
平成8年度共同研究報告書 より抜粋

# 3、舗装作業の現状と課題



**オペレータ:** **機械の操舵**、合材ダンプ受入  
(1人) ホツパ開閉操作、合材撒き出し操作

**アジャストマン:** 舗装厚調整、**スクリード伸縮操作**  
(1人) クラウン調整、段差調整、

**レーキマン:** 舗装端部の成形、(**スクリード伸縮操作**)  
(2人)

**スコップマン:** 舗装不良部への合材運搬・手直し、  
(3~4人) (**スクリード伸縮操作**)

機械周辺には常に7~8人がいる状態で舗装作業が行われており、

- ① 多くの人や車両が機械周囲を行き来しており、機械・周囲への安全配慮が必要
- ② オペレータとアジャストマンは操作装置が多く、習熟に時間がかかる
- ③ 操作が間に合わずレーキマン・スコップマンが補修する場合もある (無駄作業)  
という課題が存在する。



# 3、舗装作業の現状と課題



**オペレータ:** **機械の操舵**、合材ダンプ受入  
(1人) ホツパ開閉操作、合材撒き出し操作

**アジャストマン:** 舗装厚調整、**スクリード伸縮操作**  
(1人) クラウン調整、段差調整、

**レーキマン:** 舗装端部の成形、(**スクリード伸縮操作**)  
(2人)

**スコップマン:** 舗装不良部への合材運搬・手直し、  
(3~4人) (**スクリード伸縮操作**)

- ①オペレータとアジャストマンの作業負担が軽減され、周囲への安全配慮増加へつながる  
また、開放道路側での作業低減も見込まれる
- ②未習熟者が技術習得するまでのアシストとなる、また作業員定着率向上へ
- ③レーキマン・スコップマンが補修等の無駄作業を低減し、本来の作業に集中可能

# 3、舗装作業の現状と課題



**オペレータ:** **機械の操舵**、合材ダンプ受入  
(1人) ホツパ開閉操作、合材撒き出し操作

**アジャストマン:** 舗装厚調整、**スクリード伸縮操作**  
(1人) クラウン調整、段差調整、

**レーキマン:** 舗装端部の成形、(**スクリード伸縮操作**)  
(2人)

**スコップマン:** 舗装不良部への合材運搬・手直し、  
(3~4人) (**スクリード伸縮操作**)

1. 生産性向上
2. 熟練技能者不足解消
4. 現場の安全性向上
7. 国内外における競争力強化

① 3D設計データを用いた高機能車両制御

② 新しい技術を取り入れた車両制御

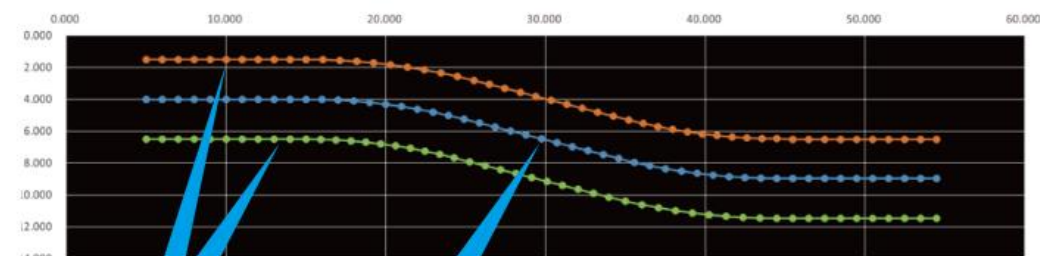
③ MBD(モデルベース開発)の活用

## 3DMCタイプ

住友重機械工業(株)技術研究所  
との共同開発  
対応舗装幅:2.3~6.0m



機械の左右に取り付けた全周囲プリズムの測位データから機械位置を特定し、機械を自動制御します。



舗装左右軌跡データ

走行軌跡データ

機械位置とあらかじめ作成した走行軌跡・舗装端軌跡データとの差分を認識し、目標軌跡データに追従するよう機械を制御します。お客様保有の3DMC測器をそのまま利用できます。(既存の舗装厚制御システムとも連携予定です)

## ②新しい技術を取り入れた車両制御

SUMITOMO

# ステレオカメラタイプ

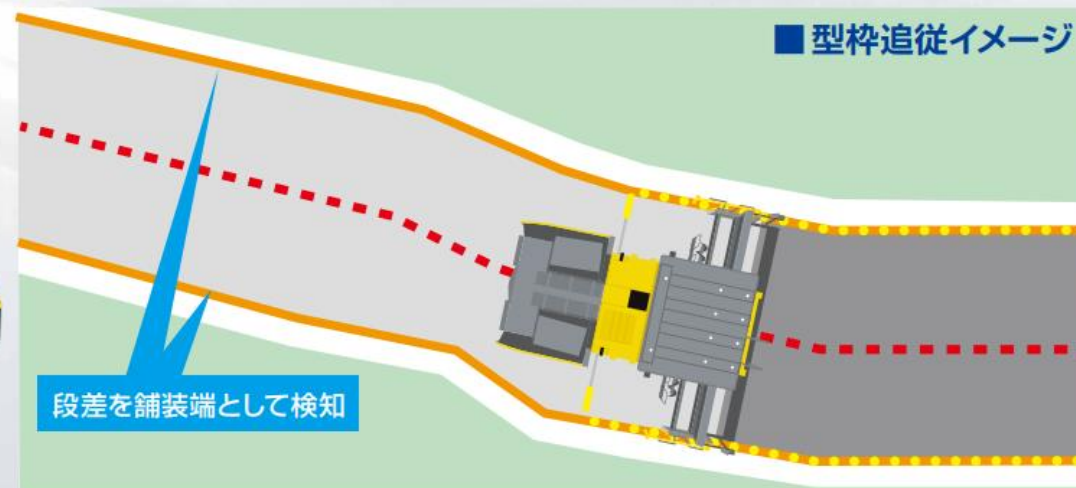


NICHIDO

日本道路(株)様との共同開発  
対応舗装幅:2.9~6.0m

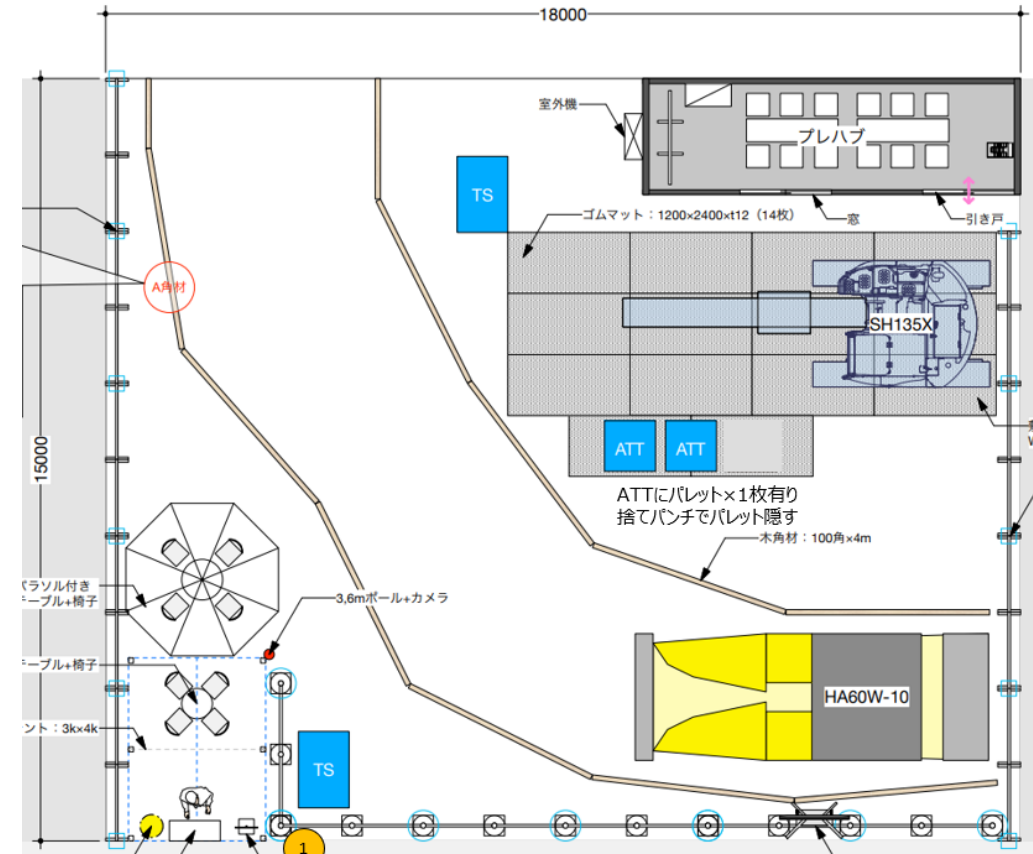


機械左右に取り付けたステレオカメラにより、  
型枠や切削面などの段差を舗装端として検知。  
舗装端を基準にしながら機械を制御します。



機器の取付のみで、設計データの作成等の事前準備は不要。幅広い現場や工法に対応できます。また別途グレードセンサを併用することで、舗装厚の制御にも対応可能です。

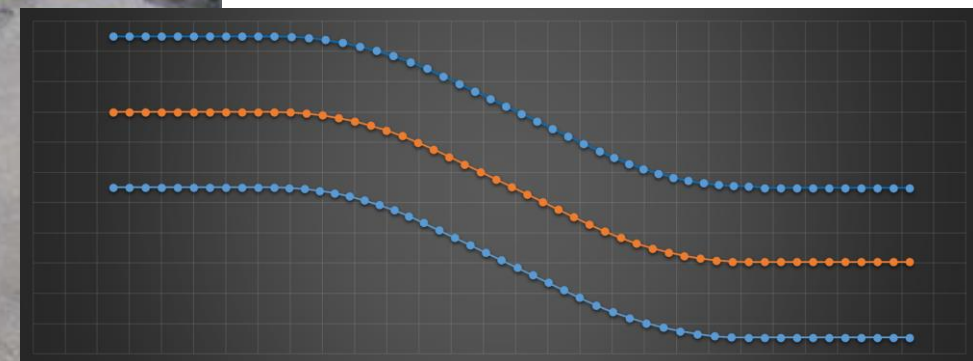
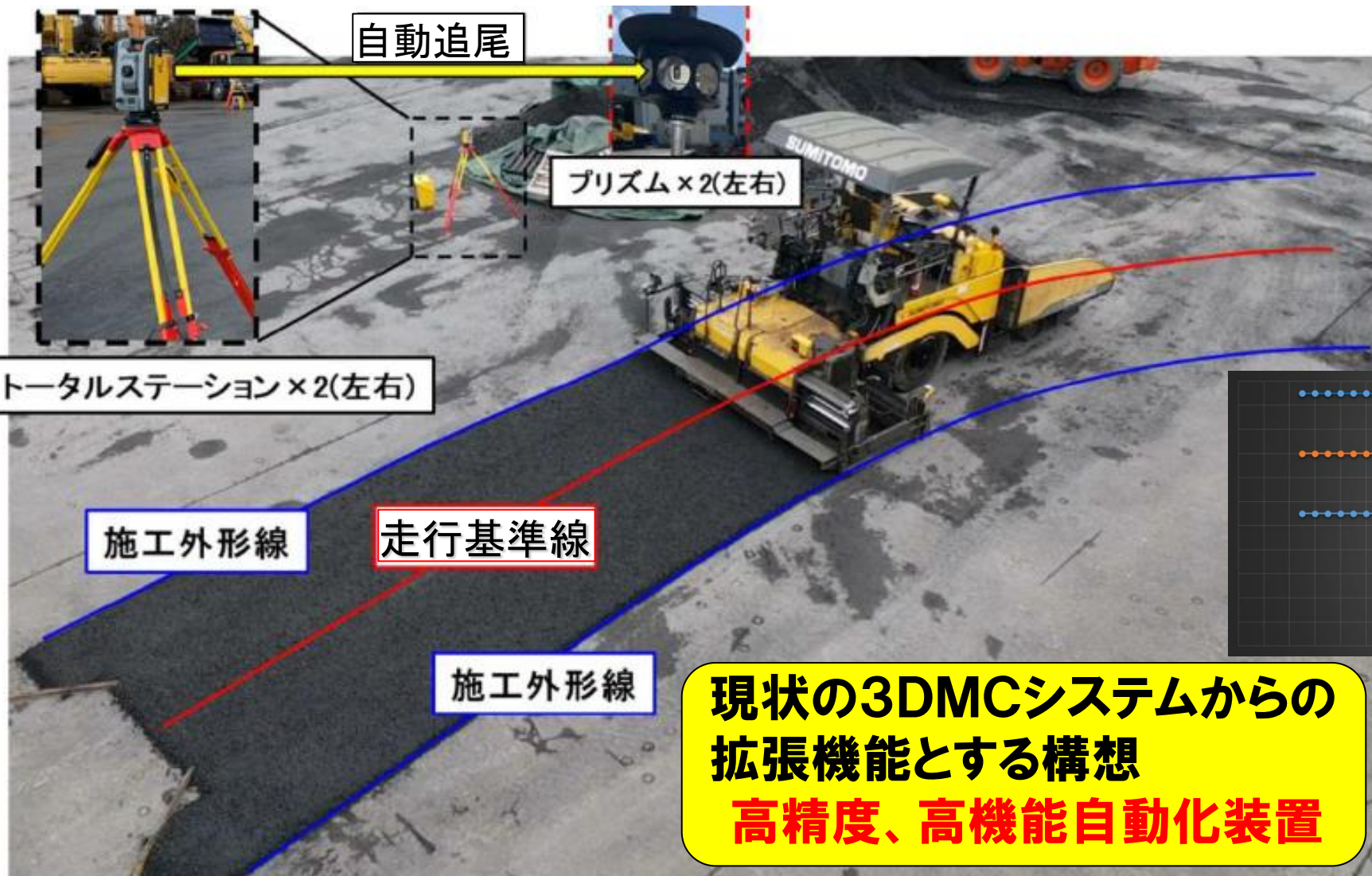
# 展示会でのデモンストレーション



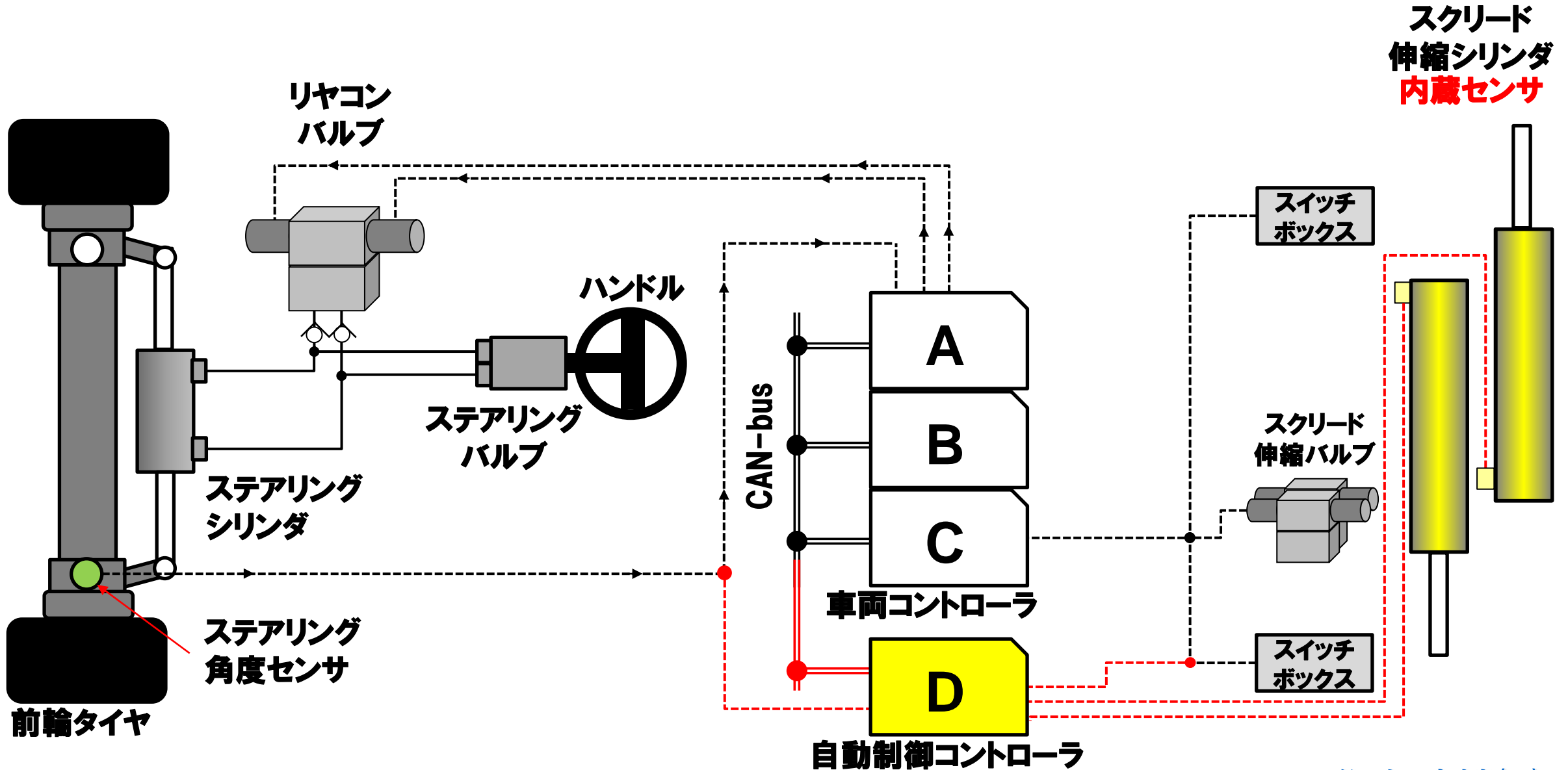
# 3DMC方式の概要紹介

# 4、自動操舵・拡幅システム概要

道路の設計データをベースに走行基準線、施工外形線の目標軌跡データを作成  
測量機器で自車位置を検出し、目標軌跡データに追従する様、ステアリング(操舵)+スクリード幅(伸縮)を制御する。









スクリーンロックセンサ  
(シリンダに内蔵)



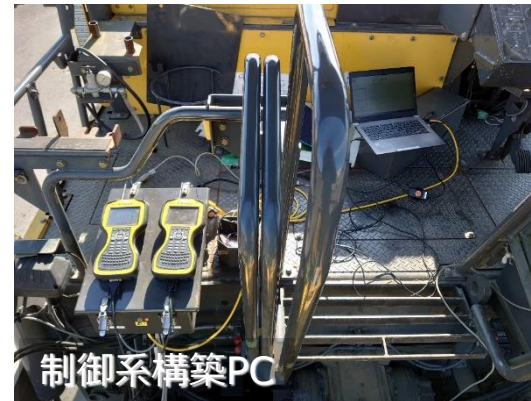
現行機種: HA60W-10



TS計測プリズム



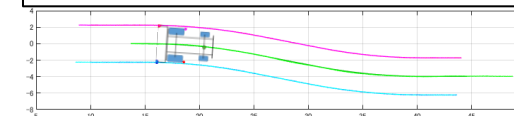
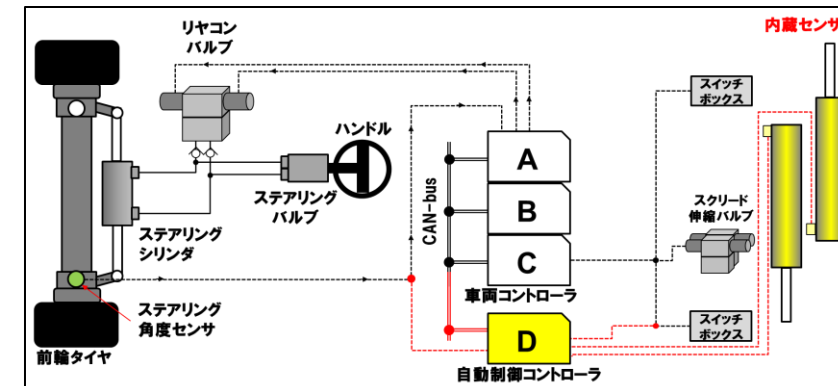
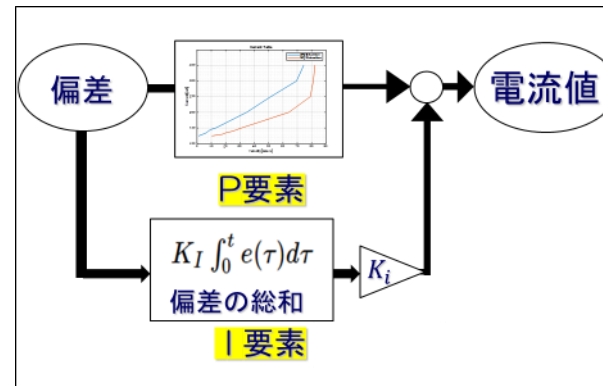
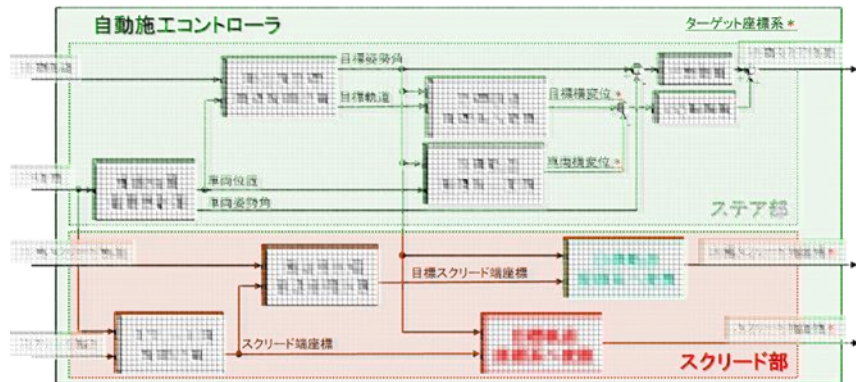
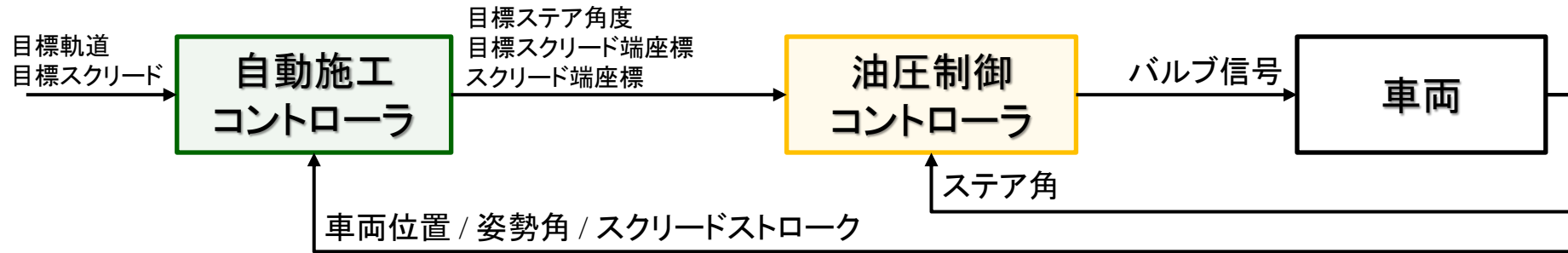
自動制御コントローラ



制御系構築PC



TS計測器本体



目標軌跡データの読み込み



測量機から現在位置座標を取得



制御基準点の位置を算出

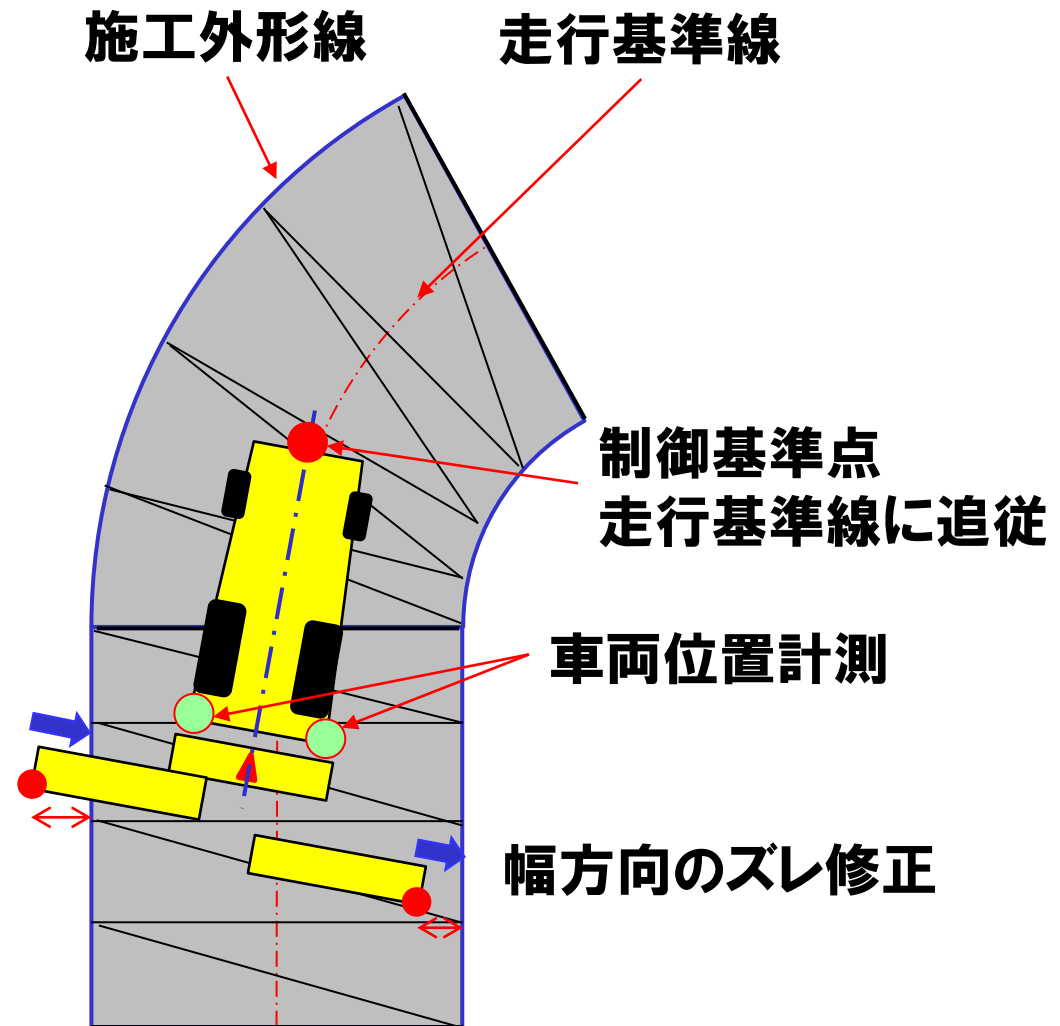
スクリード端の位置を算出



目標と現在位置の偏差を算出



偏差に基づきステアリング指令、スクリード伸縮指令を出力

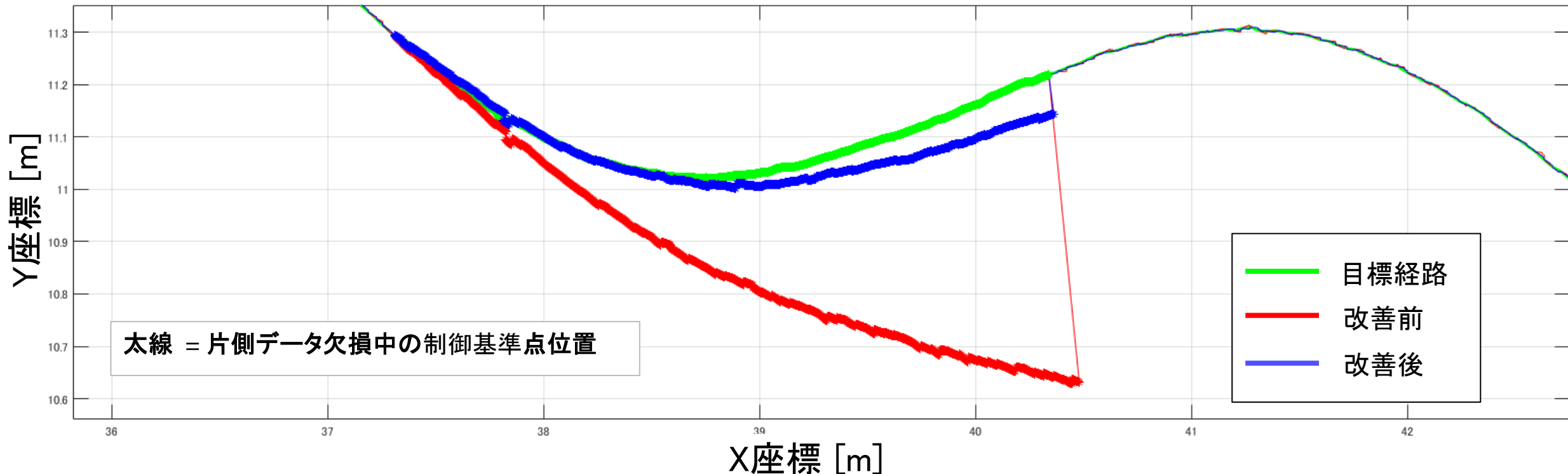


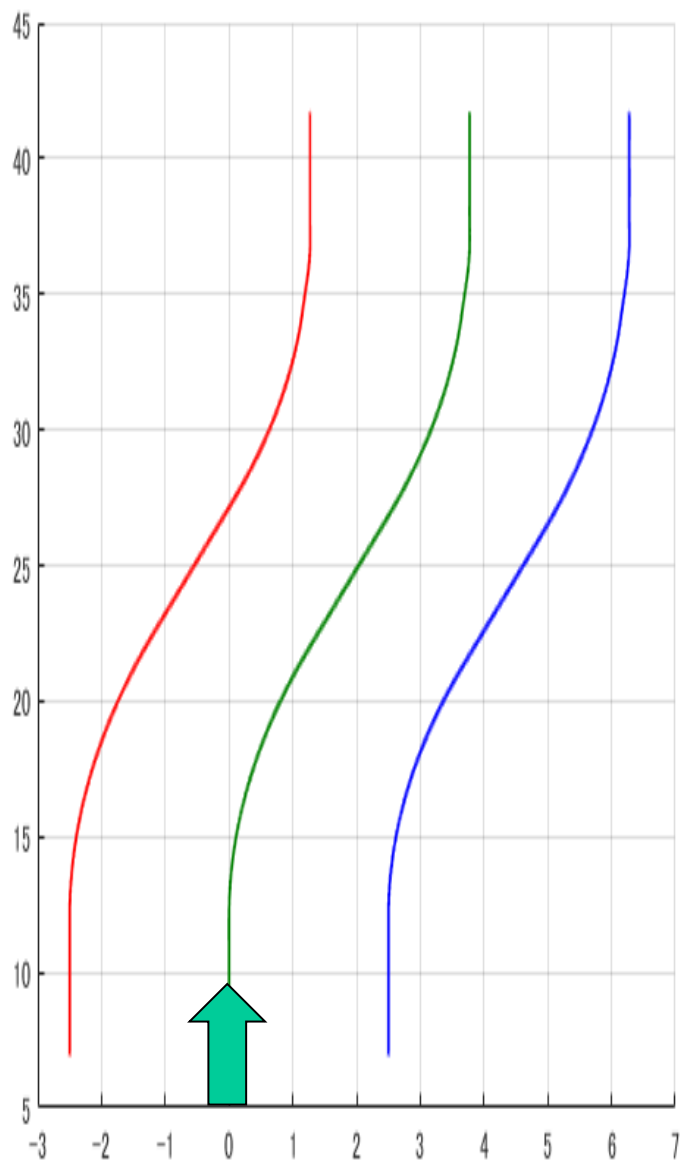
## [自己位置推定機能]

車速センサ、舵角センサから車両の位置等を推定しており、  
測量機データのデータが一時的に途絶えた場合でも大きく目標経路からずれることが無くなる。

(イメージ)

自己位置推定の効果(シミュレーション結果)





目標軌跡データに沿った滑らかな曲線を描く施工が出来ている事を確認した。  
精度の向上、新規機能の追加等を含め商品化に向け開発中。

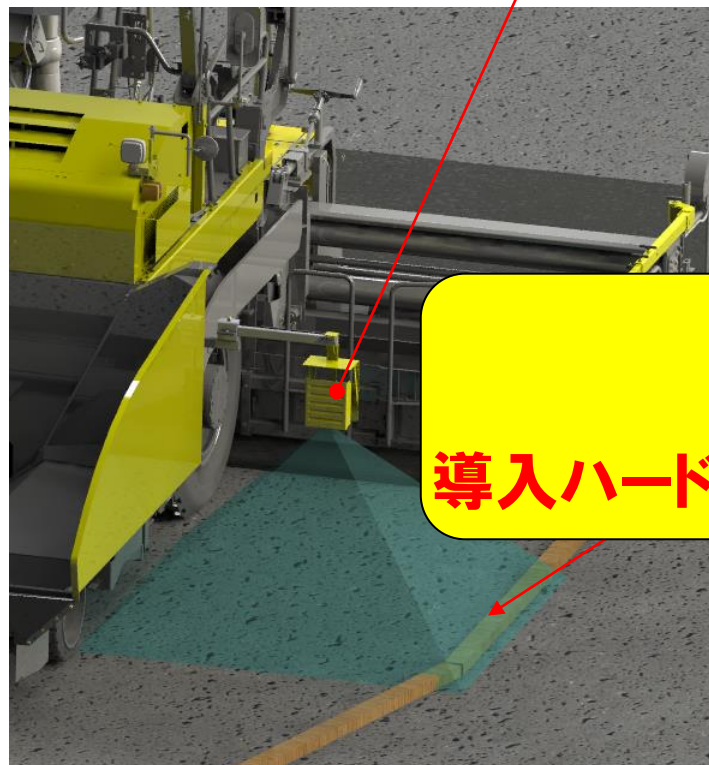
# ステレオカメラ方式の概要紹介

# 4、自動操舵・拡幅システム概要

ステレオカメラの段差検知ソフトは  
日本道路様が開発

国内では型枠を使用する、または切削オーバーレイの現場が殆どである為  
施工端部には段差があり、この段差をステレオカメラにより検知して制御に使用する。  
車両に対する施工範囲がわかるのでステアリング(操舵)+スクリード幅(拡幅)の  
自動制御が可能。

## ステレオカメラ (左右各1個)

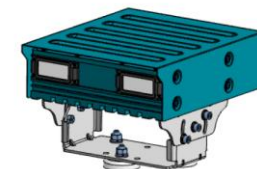


型枠

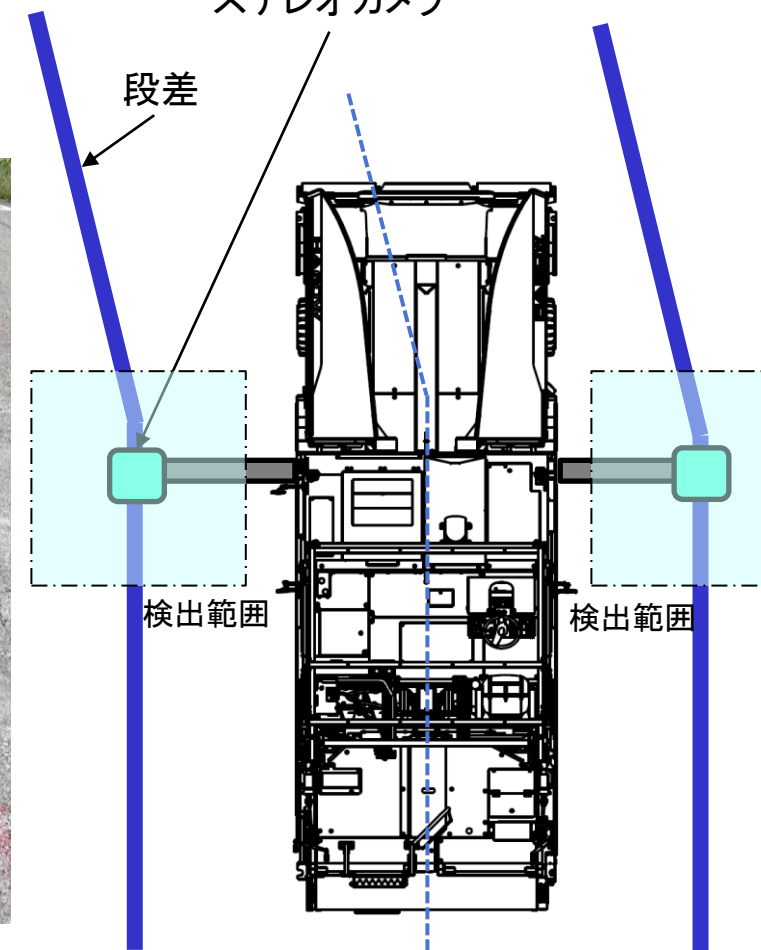


切削面

~~外部機器  
設計データ~~  
導入ハードルの低い自動化装置



ステレオカメラ







屋内試験

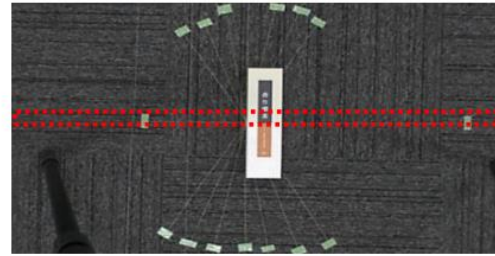


図 7 元画像 (赤枠:測定位置)

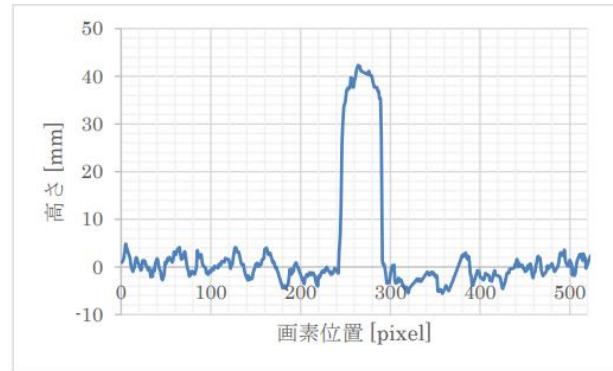


図 8 補正後の高さ情報

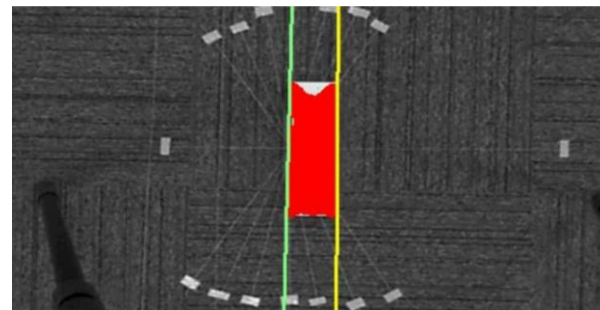


図 12 SIM 結果例 (黄:左組み付け / 緑:右組み付け)

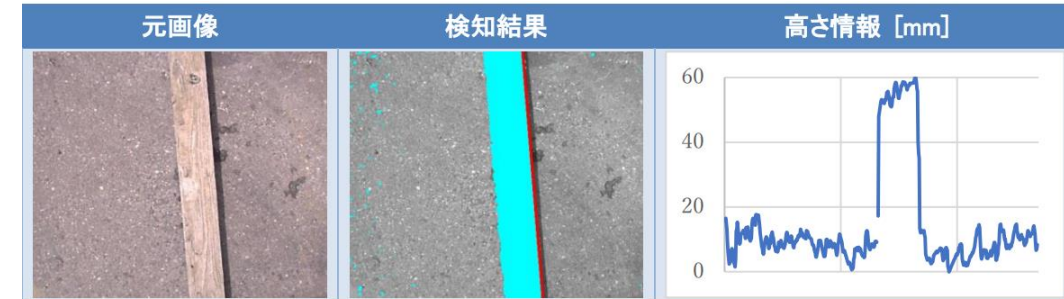


図 15 通常シーン

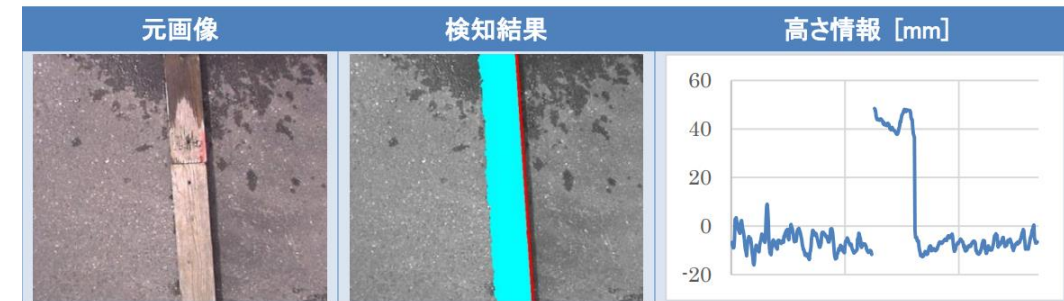
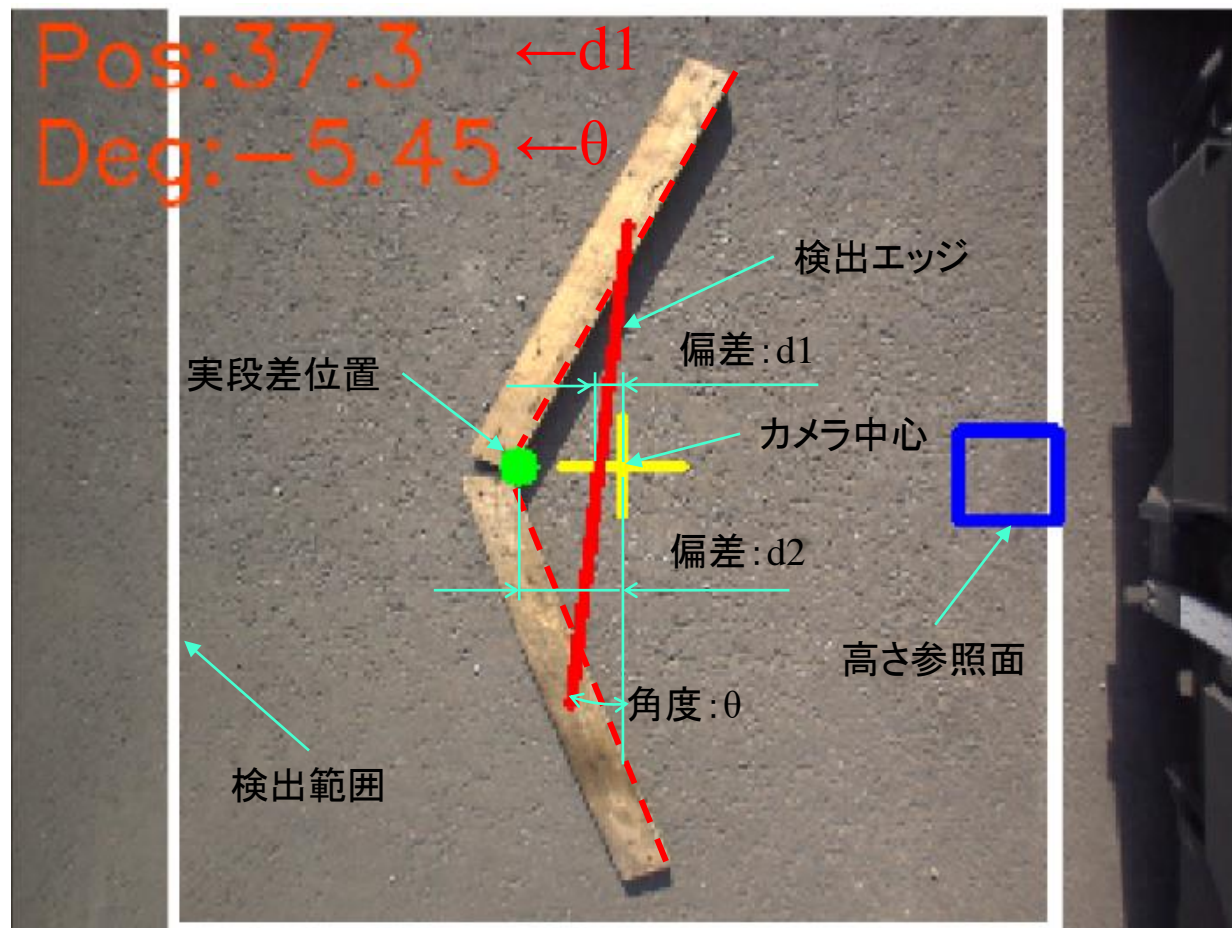


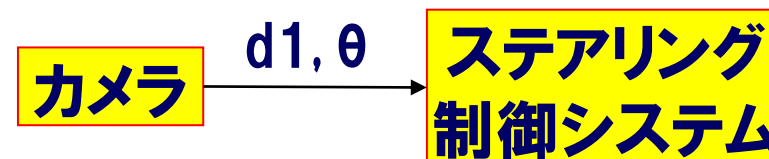
図 16 継ぎ目シーン

実機搭載試験

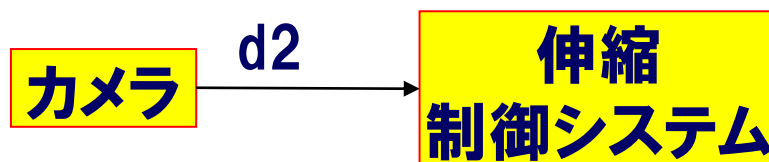


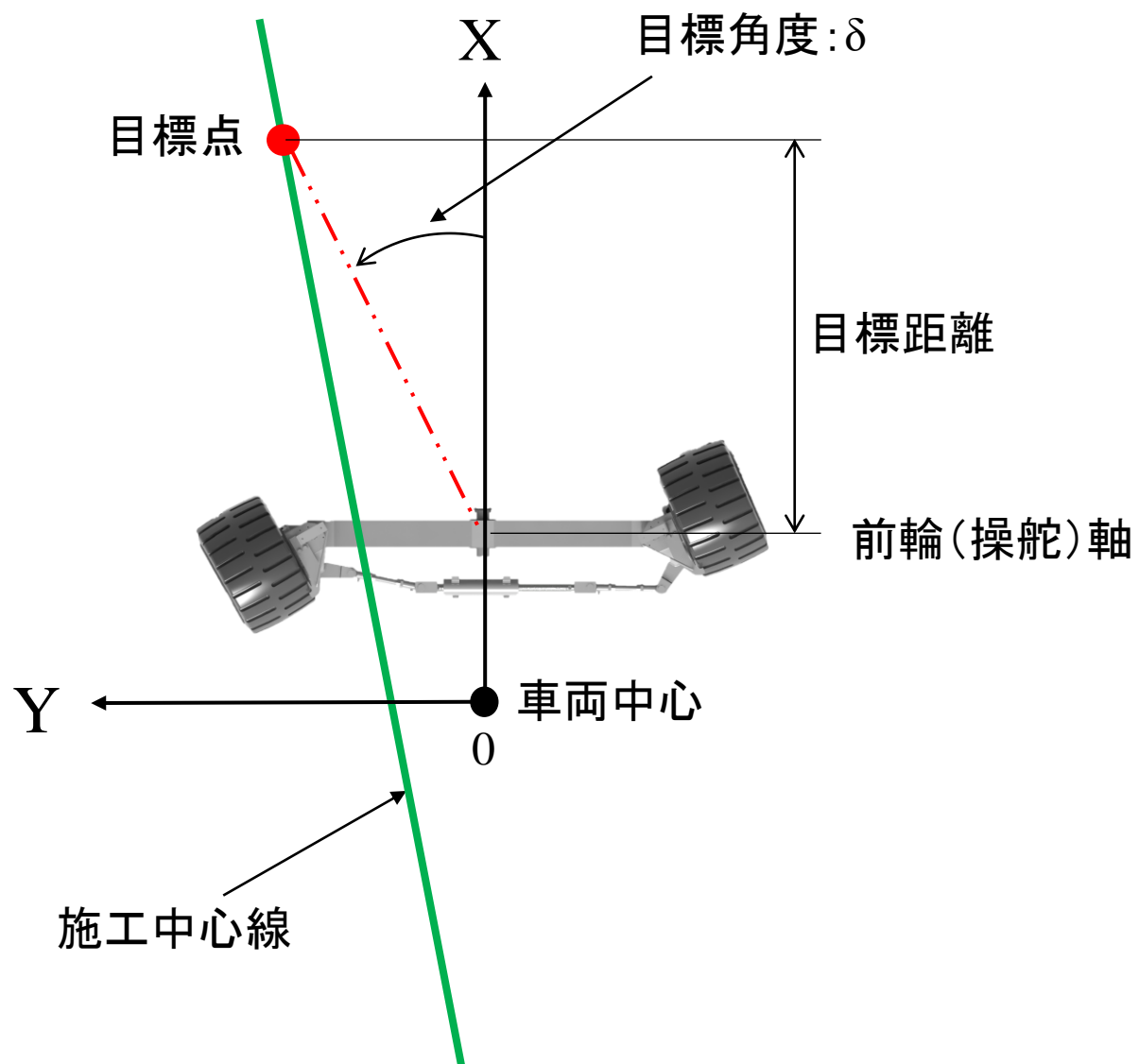
カメラ撮影画像

検出した段差を平均化し1本の直線  
(検出エッジ)として認識  
カメラ中心から検出エッジまでの偏差 $d1$ と  
カメラ(車体)との角度 $\theta$ を  
車両側のステアリング制御システムに出力

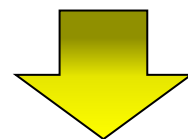


また、カメラ中心軸上の実際の段差位置  
との偏差 $d2$ を伸縮制御システムに出力  
段差位置を記憶し伸縮制御で使用する

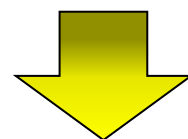




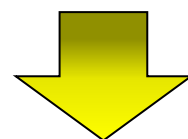
検出エッジから施工中心線を算出



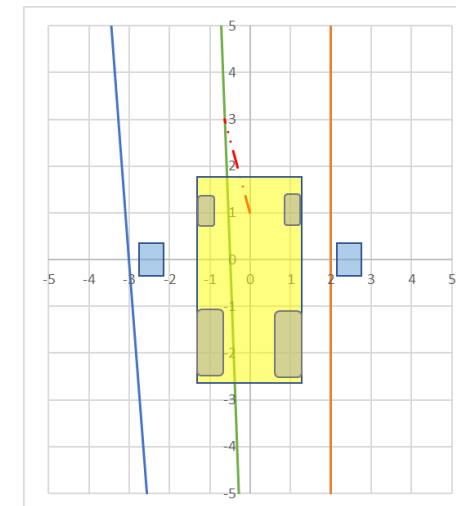
目標点の座標を算出

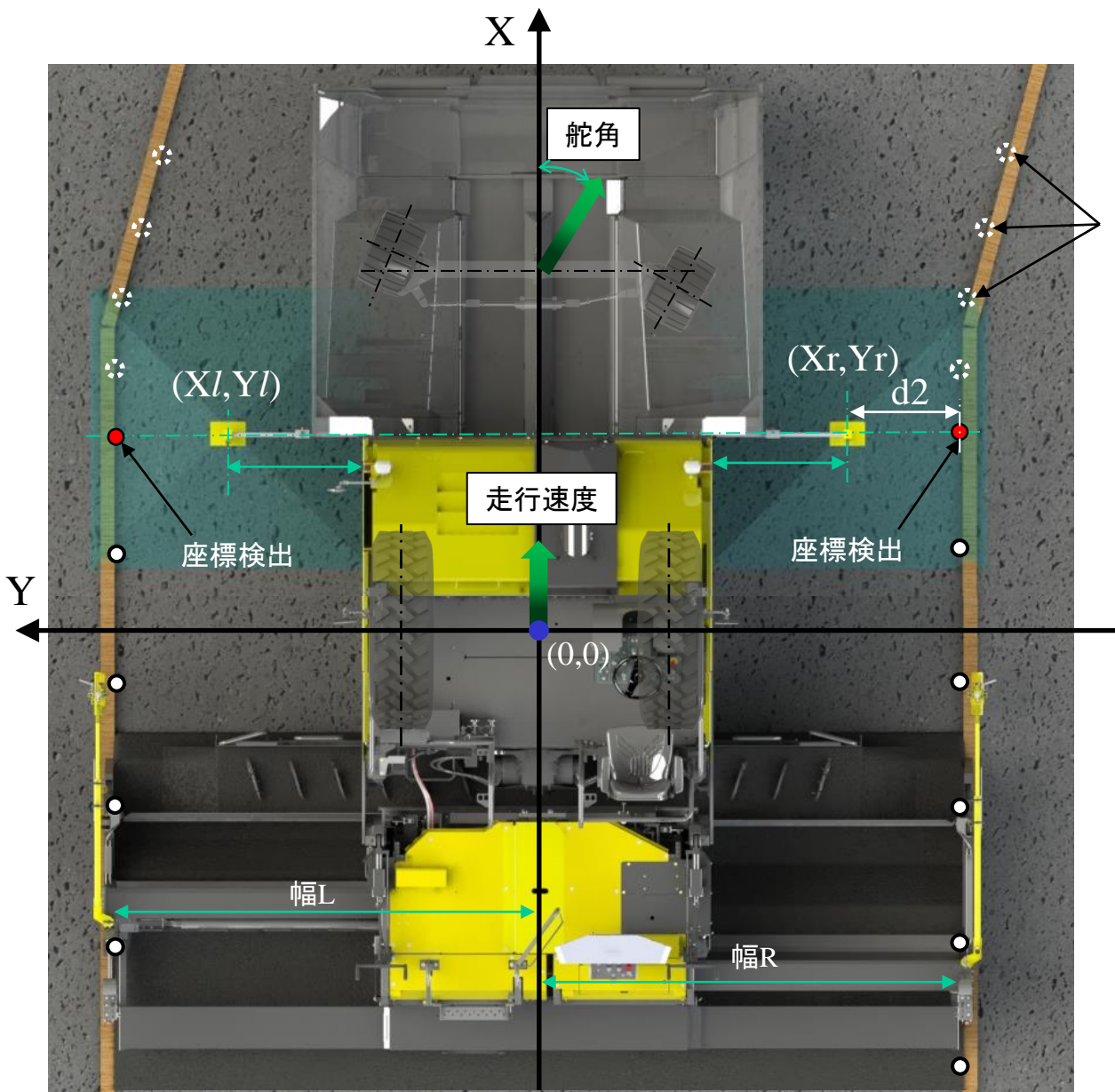


目標角度の計算



進行方向が目標角度になる様、  
舵角を制御  
(車両中心舵角 = 目標角度)





左右段差位置座標を一定間隔毎に記憶する

カメラ中心位置を開始前に入力

カメラ軸上の段差座標検出

舵角、走行速度から車両位置を更新

段差の座標データを記憶

スクリーン目標位置を計算

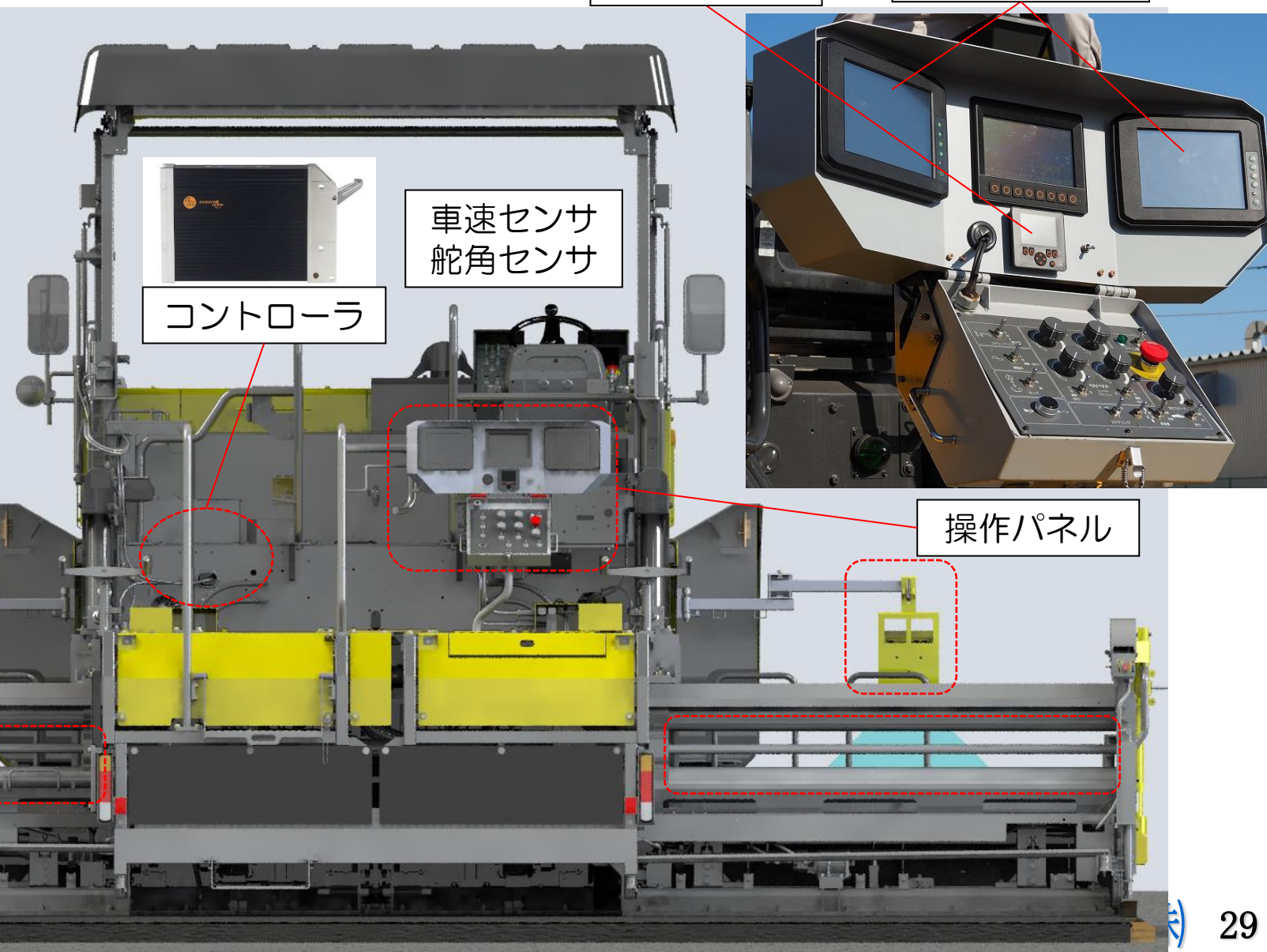
スクリーンを制御

# システム機器構成

SUMITOMO



ステレオカメラ



自動機能用  
サブモニタ

カメラモニタ

車速センサ  
舵角センサ

コントローラ

操作パネル

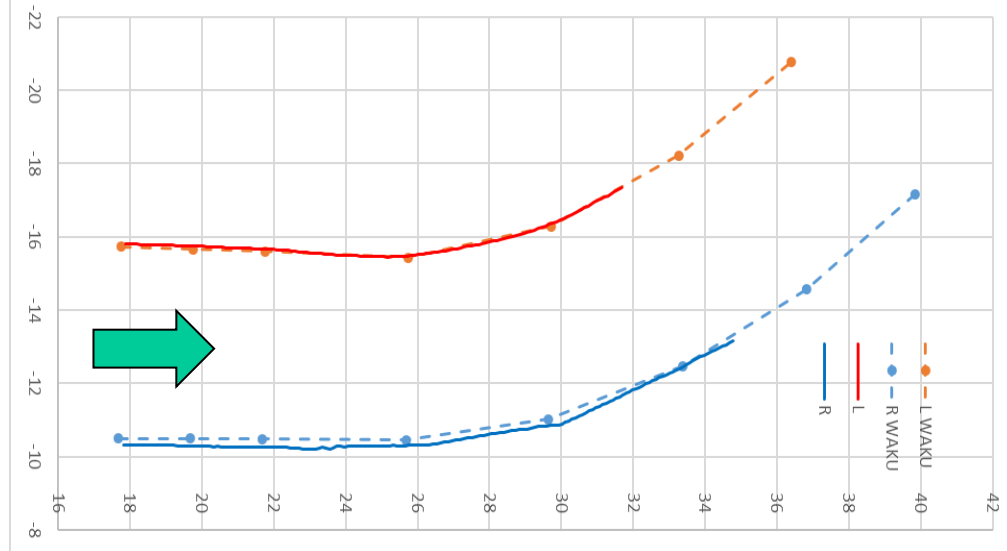
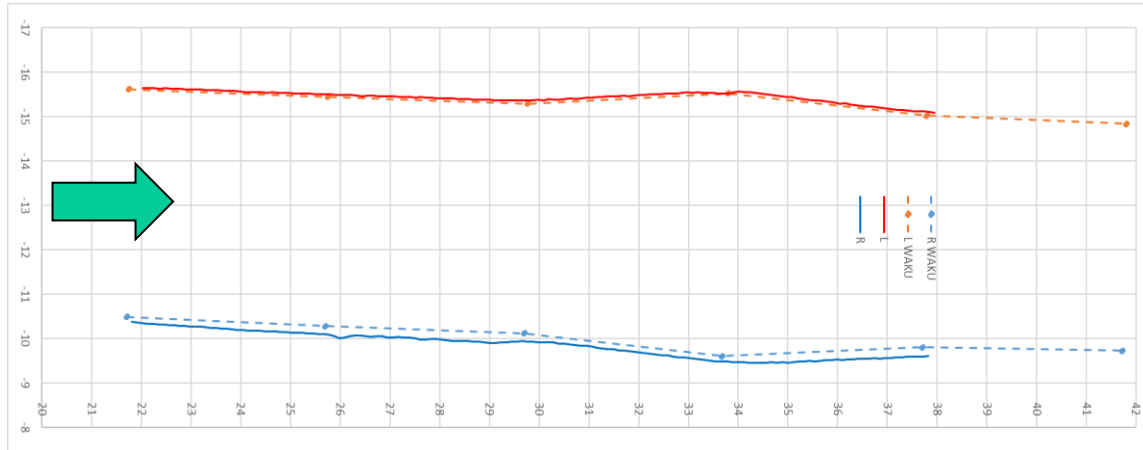
ストロークセンサ  
(シリンダ内臓)



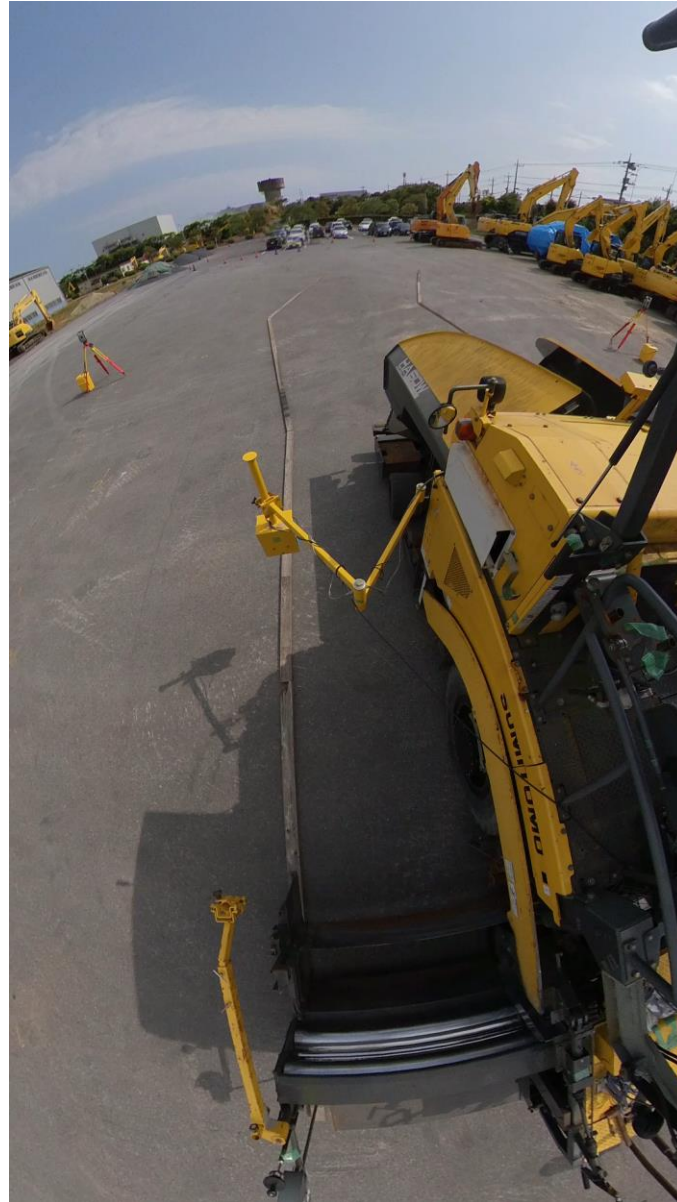
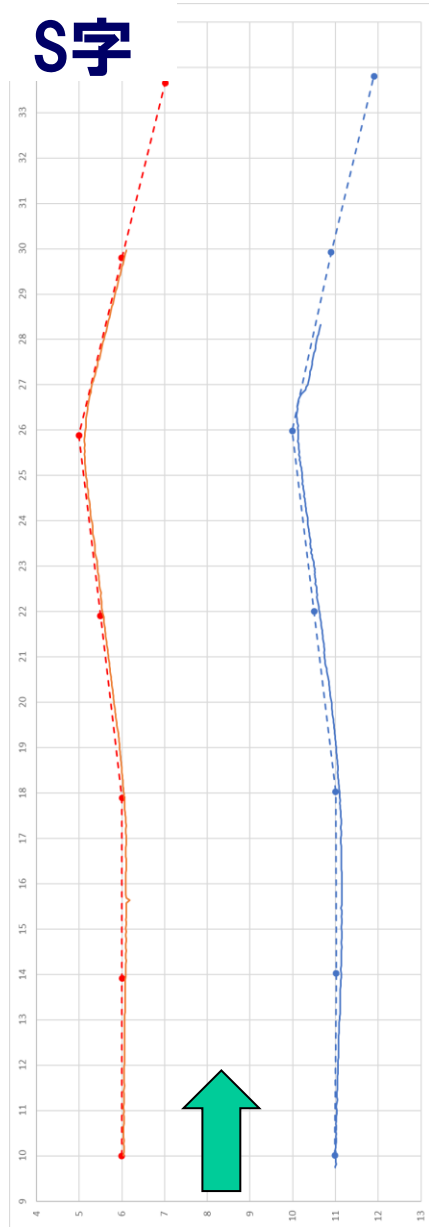
## 直線+拡幅



## カーブ



試験場でのテスト走行と  
シミュレーションを繰り返し  
性能、機能の向上を進め実用の  
めどが立った。





**実現場で試験施工を実施**

**壁面追従、雨水枡回避での有効性の確認を確認。**

**検出された課題**

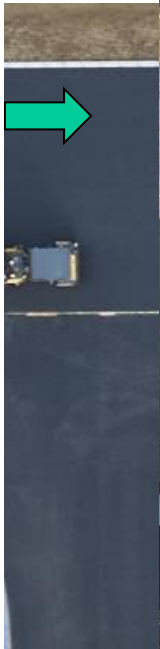
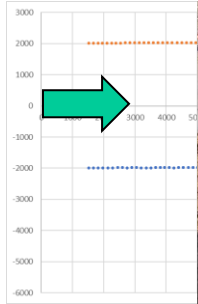
**検出の安定性改善**

**施工時運用上の注意点**



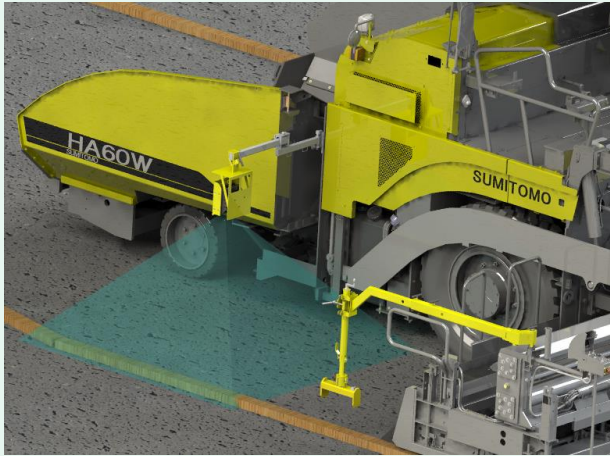


**検出対象、条件の異なる多様な現場での検証を実施中**



空写真

ステレオカメラ方式



長所

- ・価格が比較的安価で導入ハードルが低い
- ・使用方法がシンプルで容易
- ・多くの現場ですぐに使える

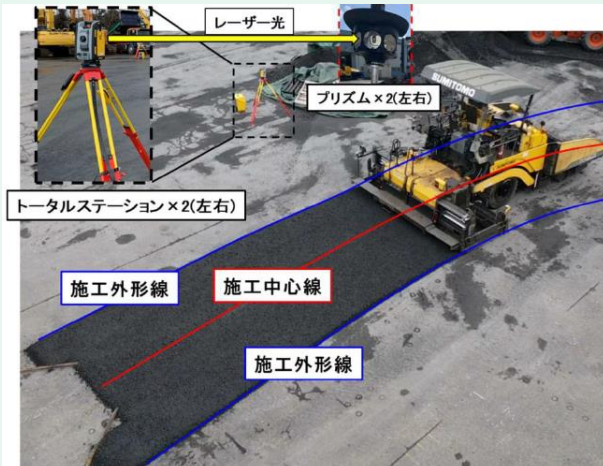
短所

- ・舗装厚自動制御は別のシステムが必要
- ・測地系に基づいたデータは残せない



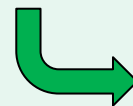
誰でも気軽に始められる敷居の低さ

3DMC方式



- ・将来的には既存の3DMCシステムと連携し舗装厚の自動調整も実現可能
- ・既に測量機器を導入済であればその機器を利用し、本システムが使用可能
- ・測地系に基づいた施工結果を残せる

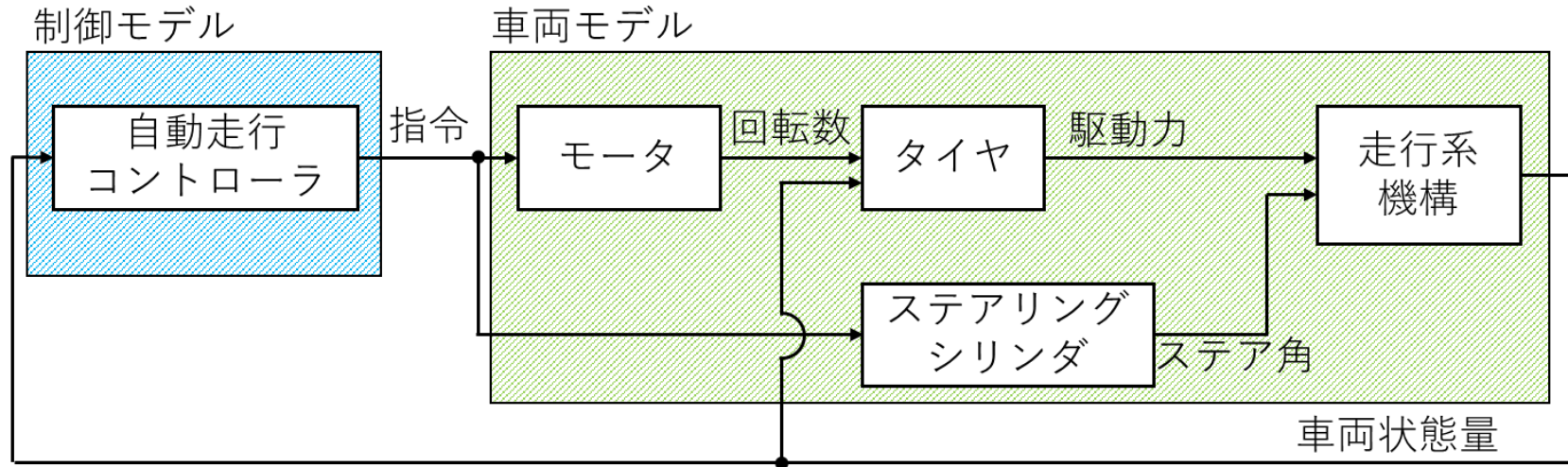
- ・3D測器自体の価格が高く導入ハードルが高い
- ・使用方法が比較的複雑
- ・予め設計データを用意する必要がある



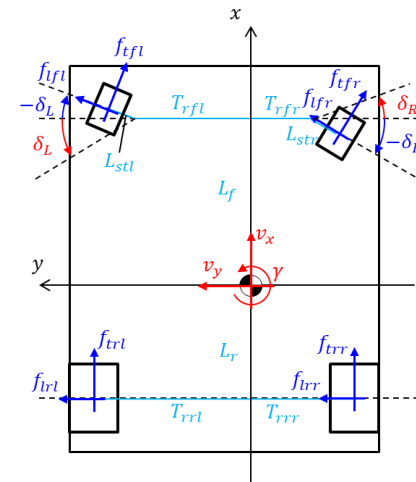
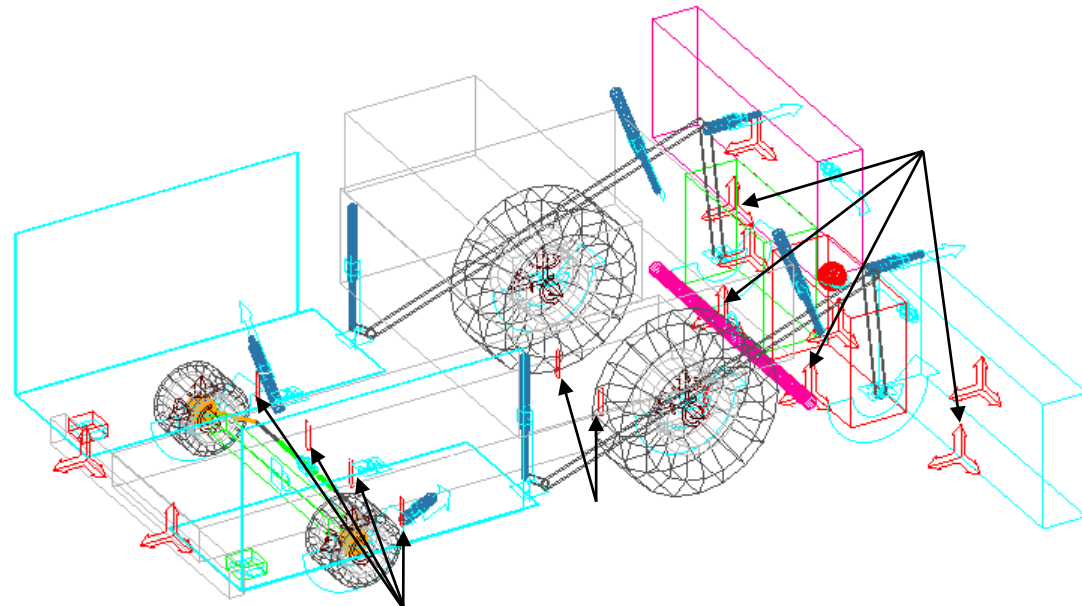
既に3DMC機器を導入済の方より高い舗装精度、機能を求める方

# MBDの活用

# 5、MBDの活用



**制御および実機の動きを  
コンピューター上で再現**



進行方向の運動方程式

$$m(\dot{v}_x - v_y\gamma) = F_t = \sum f_t$$

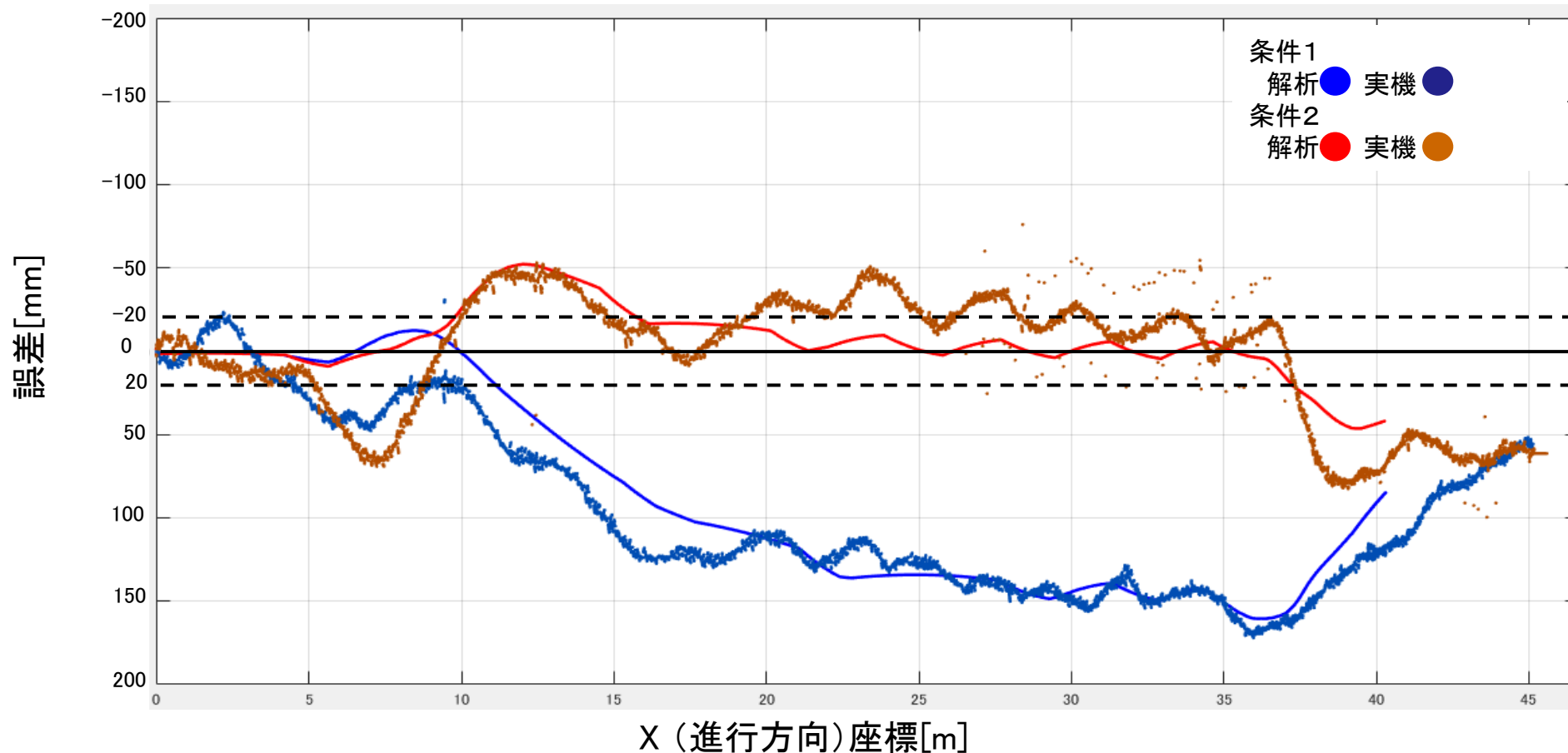
横方向の運動方程式

$$m(\dot{v}_y + v_x\gamma) = F_l = \sum f_l$$

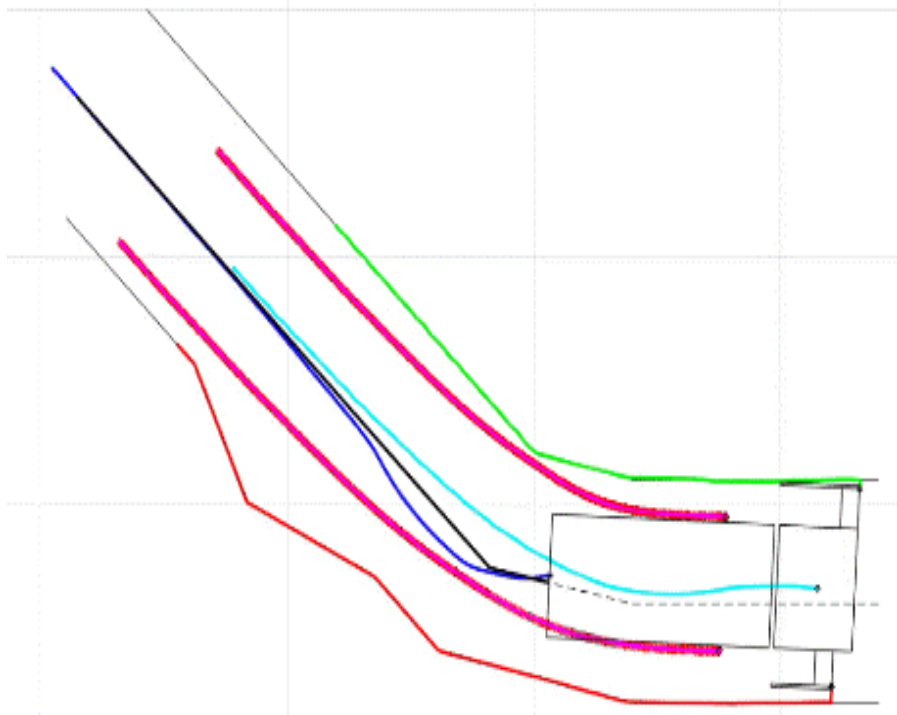
ヨ一軸周りの運動方程式

$$I_z\dot{\gamma} = - (f_{tfl} \cos \delta_L - f_{lfl} \sin \delta_L)(T_{rfl} + L_{stl} \cos \delta_L) \quad \text{左前X} \\ + (f_{tfr} \cos \delta_R - f_{lfr} \sin \delta_R)(T_{rfr} + L_{str} \cos \delta_R) \quad \text{右前X} \\ - T_{rrl} f_{trl} + T_{rrr} f_{trr} \quad \text{左後X 右後X} \\ + (f_{tfl} \sin \delta_L + f_{lfl} \cos \delta_L)(L_f - L_{stl} \sin \delta_L) \quad \text{左前Y} \\ + (f_{tfr} \sin \delta_R + f_{lfr} \cos \delta_R)(L_f + L_{str} \sin \delta_R) \quad \text{右前Y} \\ - L_r f_{lrl} - L_r f_{lrr} \quad \text{左後Y 右後Y}$$

# ③MBDの活用



**実機でテストする事無く多様なパターンを再現したり  
最適な制御を模索する事が可能**



車両挙動シミュレーション



実機挙動

- 建設業界の課題に貢献する機械づくりをめざす
- 開発方針
  - ・ 3D設計データを用いた高機能車両制御（3DMC方式）  
高精度、高機能な自動制御装置  
データの蓄積、施工管理への適応も視野に
  - ・ 新しい技術を取り入れた車両制御（ステレオカメラ方式）  
設計データ不要で導入コスト、取り扱いの煩雑さを抑え  
手軽に使って頂ける、敷居の低い自動化装置
  - ・ MBDの活用  
開発スピードの向上、アジャイルな開発、市場への対応力強化



ご清聴ありがとうございました