こんな分野にも自動化の流れ
コンクリート吹付機の自動化

株式会社ニッコム

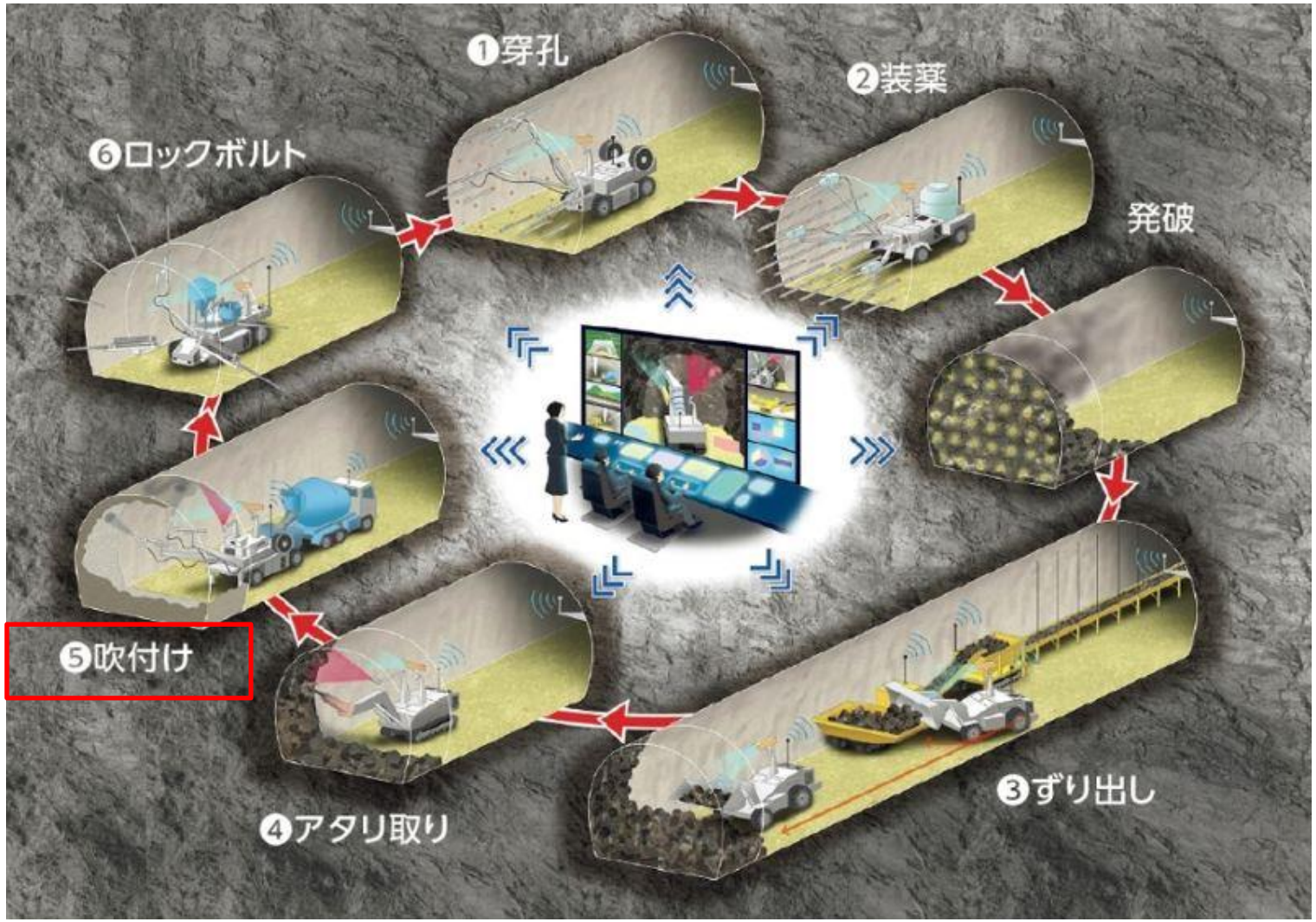
ニッコム紹介

- ソフトウェアの受託開発をやっています。
- 委託先が見つかり難かった（見つからなかった？）案件が多く、内容的には組込的な開発案件が多数。

  今回のお話も正にこのパターン。
- エンドのお客様は研究機関や、研究開発部門が主。
- ハードウェアもデバッグ調査や修正など対応。ハード開発が必要な場合はEMSのパートナー会社さんご紹介。
- 生産管理システムや自社動画配信サービス（今はやって無い）など少しクラウドっぽいこともやったりします。

Copyright(c) 2007-2023 Nickom Limited

トンネルの作り方の一つ
“山岳トンネル工事”



- 他によく聞くのは、
  “シールド工法”。

※左図は鹿島建設「A4CSEL for Tunnel」コンセプト図
https://www.kajima.co.jp/news/press/202106/30c1-j.htm

Copyright(c) 2007-2023 Nickom Limited

コンクリート吹付機

※写真と動画は鹿島建設プレスリリースおよび開発プロジェクトより。
https://www.kajima.co.jp/news/press/202106/30c1-j.htm

Copyright(c) 2007-2023 Nickom Limited

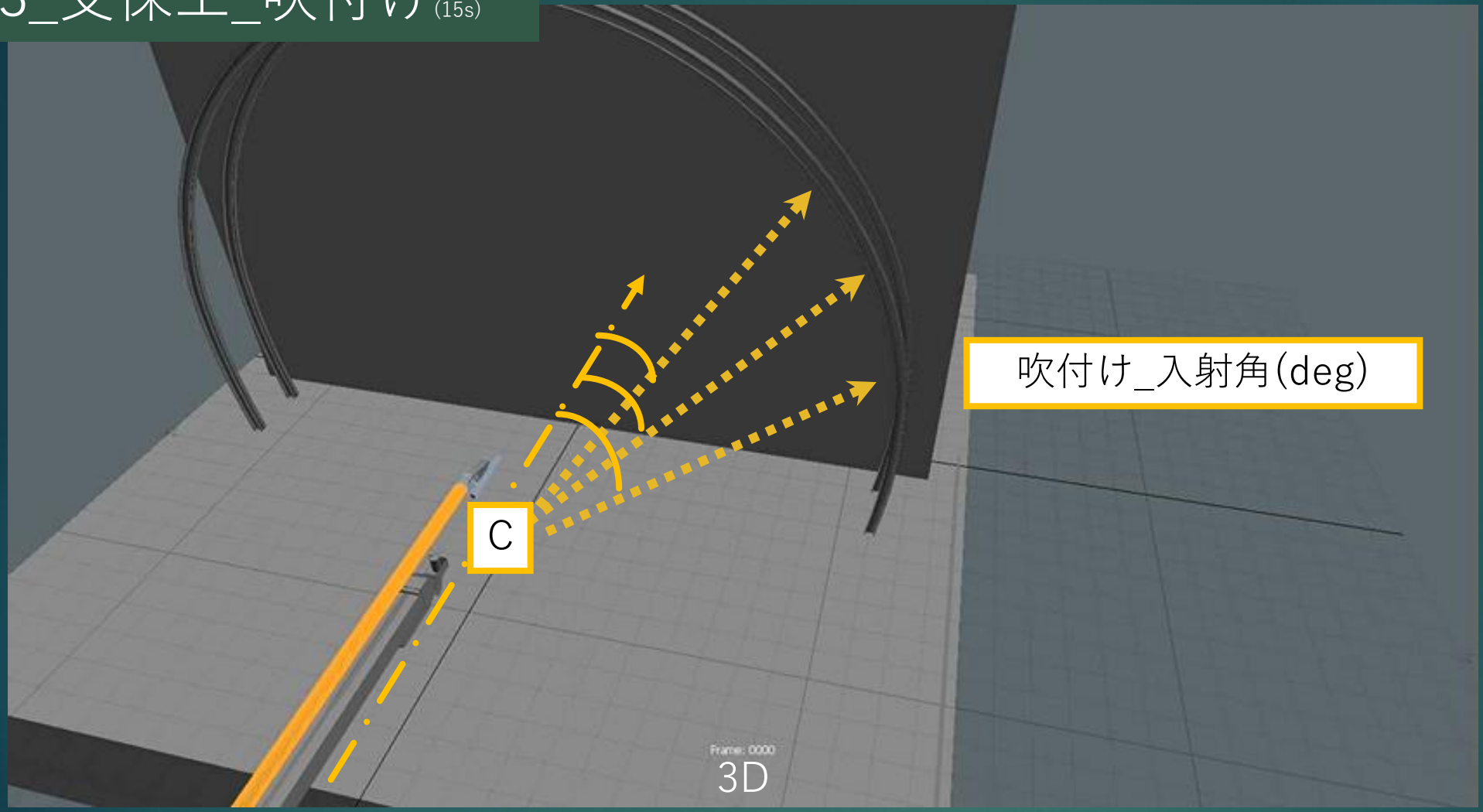
コンクリート吹付けの実際

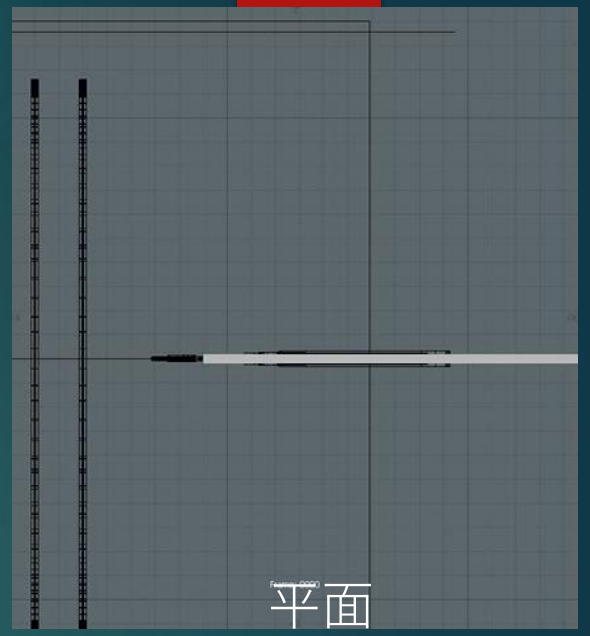
※動画は鹿島建設開発プロジェクトより。

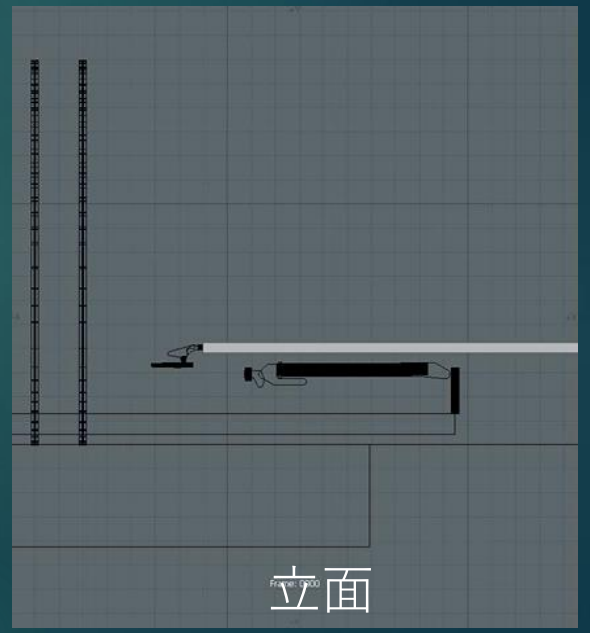
Copyright(c) 2007-2023　Nickom Limited

支保工_吹付け(60s)

3_支保工_吹付け(15s)



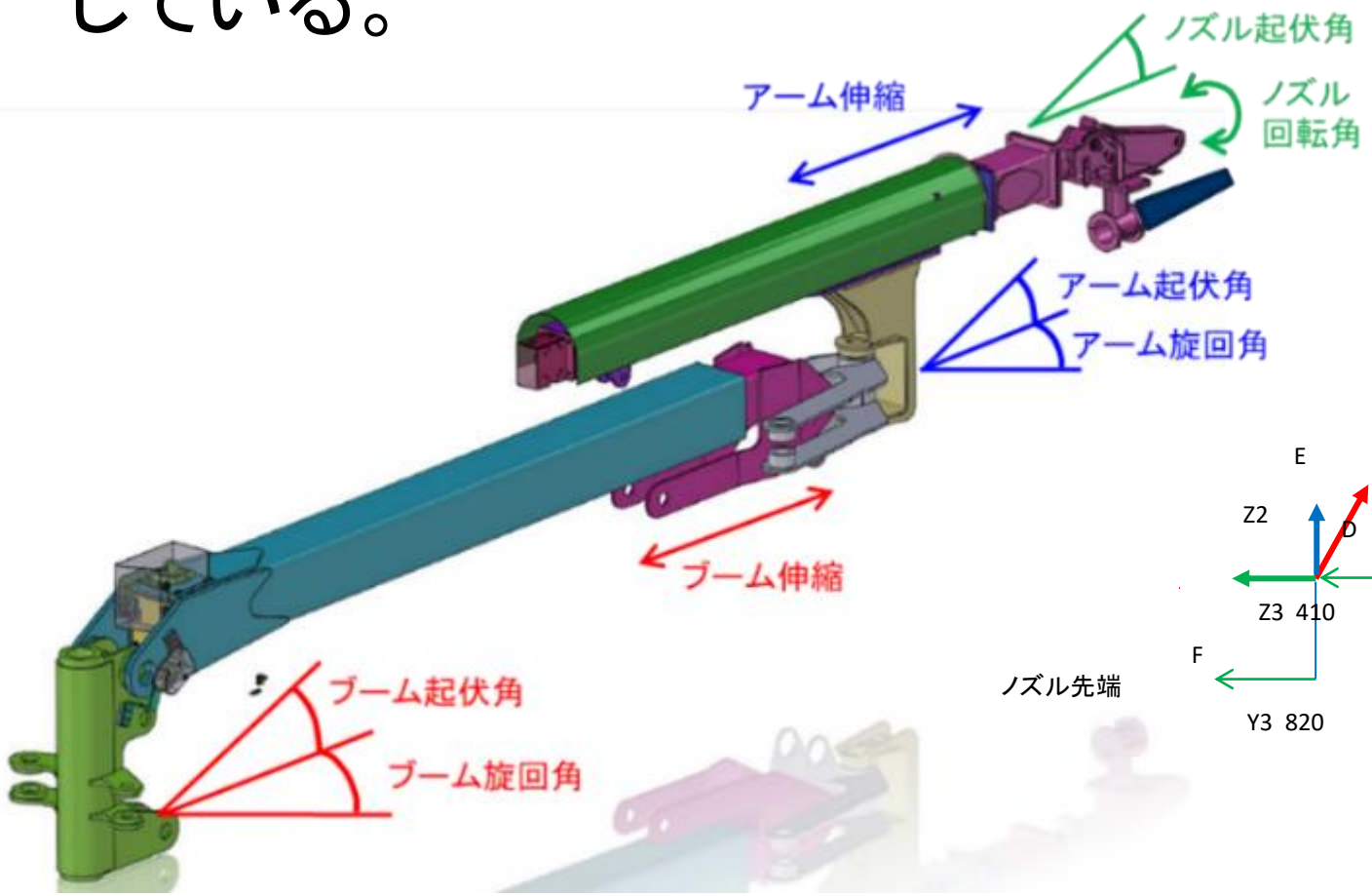


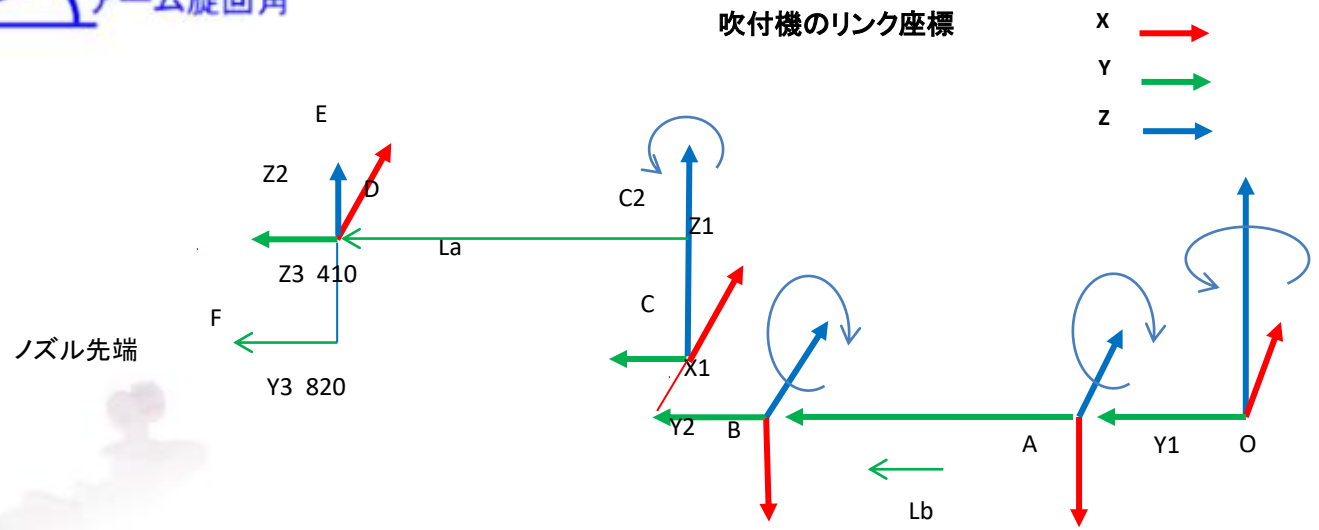


6可動部の位置・速度制御による吹付け
=①ブーム旋回・②起伏・③伸縮、④アーム伸縮・⑤⑥ノズル回転起伏

アームのモデル化

- 産業用ロボットと異なり、既存の（人が使ってる）機械を自動化している。





Copyright(c) 2007-2023 Nickom Limited

アームのモデル式

吹付機のリンクパラメータ 点O～点C、点C2

$$ {}^{i-1}T_i = \begin{pmatrix} C\theta C\alpha & -S\theta & C\theta S\alpha & -aS\theta \\ C\alpha S\theta & C\theta & S\theta S\alpha & aC\theta \\ -S\alpha & 0 & C\alpha & d \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad ① $$

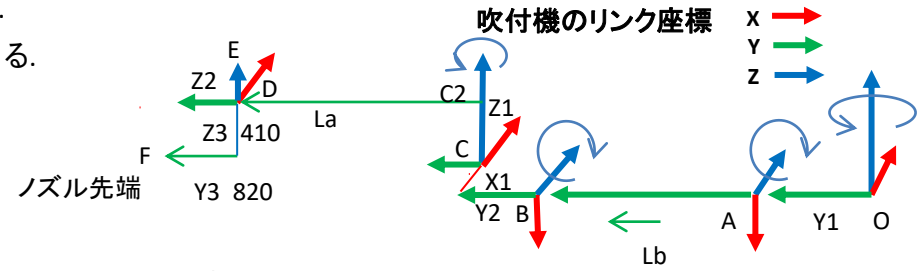
※吹付機に合わせてY軸基準として考察。

1)zi-1軸まわりにθiの回転させ,yi-1軸とyi軸を同方向にする.

2)zi-1軸方向にdiだけ平行移動させ,yi-1軸とyi軸を一致させる.

3)yi軸方向にaiだけ平行移動させる.

4)y軸まわりにαi回転させる.



○点O　ブームスイング軸中心：原点

○点A　ブーム起伏軸中心　①式より

i= 1 ai =Y1 αi =90 di =0 θi=boomSwing(bs)

$$ {}^{0}T_1 = \begin{pmatrix} 0 & -Sbs & Cbs & -Y1Sbs \\ 0 & Cbs & Sbs & Y1Cbs \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} $$

○点B　アーム起伏軸中心　①式より

Lb = L1min + L1

i= 2 ai =Lb αi =0 di =0 θi=boomPitch(bp)

$$ {}^{1}T_2 = \begin{pmatrix} Cbp & -Sbp & 0 & -LbSbp \\ Sbp & Cbp & 0 & LbCbp \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} $$

Bの時にX1ずらすのでdiの移動になり、①が使える。

○点C　アームスイング軸中心　①式より

i= 3 ai = Y2 αi =-90 di =X1 θi=armPitch(ap)

$$ {}^{2}T_3 = \begin{pmatrix} 0 & -Sap & -Cap & -Y2Sap \\ 0 & Cap & -Sap & Y2Cap \\ 1 & 0 & 0 & X1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} $$

※点C2　アームスイング軸中心垂線とアーム中心線の交点）

①式より、

i= 4 ai =0 αi =0 di =Z1 θi=0

$$ {}^{3}T_4 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & Z1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} $$

アームのモデル式

点Oから点Dへの同時変換行列　点Cからの変換行列

Mathmatica 算出式 ${}^0T_3\,{}^3T_4$　S=bs, P=bp, A=ap, X=X1, Y=Y1, W=Y2, L=Lb, M=La, B=as, Z1

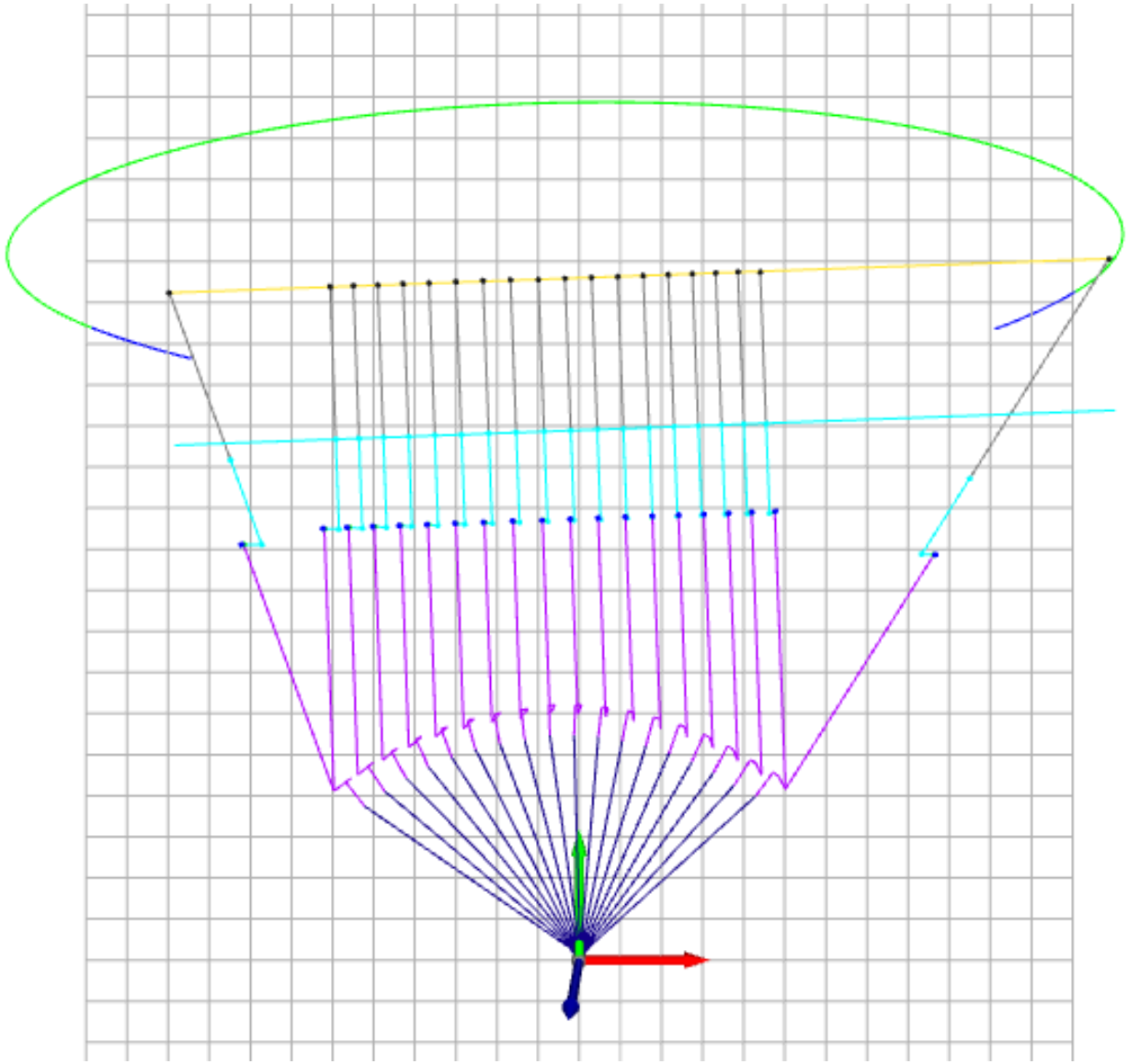
{{cosS, -(cosA cosP sinS) + sinA sinP sinS, cosP sinA sinS + cosA sinP sinS, -(cosP L sinS) - cosA cosP sinS W + sinA sinP sinS W + cosS X - sinS Y}, {sinS, cosA cosP cosS - cosS sinA sinP, -(cosP cosS sinA) - cosA cosS sinP, cosP cosS L + cosA cosP cosS W - cosS sinA sinP W + sinS X + cosS Y}, {0, cosP sinA + cosA sinP, cosA cosP - sinA sinP, L sinP + cosP sinA W + cosA sinP W}, {0, 0, 0, 1}}. {{cosB, -sinB, 0, -M sinB}, {sinB, cosB, 0, M cosB}, {0, 0, 1, Z1}, {0, 0, 0, 1}} =
{{cosB cosS + sinB (-(cosA cosP sinS) + sinA sinP sinS), -(cosS sinB) + cosB (-(cosA cosP sinS) + sinA sinP sinS), cosP sinA sinS + cosA sinP sinS, -(cosS M sinB) - cosP L sinS + cosB M (-(cosA cosP sinS) + sinA sinP sinS) - cosA cosP sinS W + sinA sinP sinS W + cosS X - sinS Y + (cosP sinA sinS + cosA sinP sinS) Z1}, {sinB (cosA cosP cosS - cosS sinA sinP) + cosB sinS, cosB (cosA cosP cosS - cosS sinA sinP) - sinB sinS, -(cosP cosS sinA) - cosA cosS sinP, cosP cosS L + cosB M (cosA cosP cosS - cosS sinA sinP) - M sinB sinS + cosA cosP cosS W - cosS sinA sinP W + sinS X + cosS Y + (-(cosP cosS sinA) - cosA cosS sinP) Z1}, {sinB (cosP sinA + cosA sinP), cosB (cosP sinA + cosA sinP), cosA cosP - sinA sinP, L sinP + cosB M (cosP sinA + cosA sinP) + cosP sinA W + cosA sinP W + (cosA cosP - sinA sinP) Z1}, {0, 0, 0, 1}}

${}^0T_4 = {}^0T_3\,{}^3T_4 =$
{{CasCbs + Sas(-CapCbpSbs + SapSbpSbs), -CbsSas + Cas(-CapCbpSbs + SapSbpSbs), CbpSapSbs + CapSbpSbs, -LaCbsSas - Lb CbpSbs + LaCasSbs(SapSbp - CapCbp) + Y2Sbs(SapSbp - CapCbp) + X1Cbs - Y1Sbs + Z1Sbs(CbpSap + CapSbp)},
{Sas(CapCbpCbs - CbsSapSbp) + CasSbs, CasCbs(CapCbp - SapSbp) - SasSbs, -CbpCbsSap - CapCbsSbp, LbCbpCbs + LaCas(Cap CbpCbs - CbsSapSbp) - LaSasSbs + Y2Cbs(CapCbp - SapSbp) + X1Sbs + Y1Cbs – Z1Cbs(CbpSap + CapSbp)},
{Sas(CbpSap + CapSbp), Cas(CbpSap + CapSbp), CapCbp - SapSbp, LbSbp + LaCas(CbpSap + CapSbp) + Y2(CbpSap + CapSbp) + Z1(CapCbp - SapSbp)}, {0, 0, 0, 1}}
※検算済20200817

D点 = ((- LbCbpSbs - Y1Sbs) - Y2Sbs(CapCbp - SapSbp) + X1Cbs + LaCasSbs(SapSbp - CapCbp) - LaCbsSas + Z1Sbs(CbpSap + CapSbp),
(LbCbpCbs + Y1Cbs) + Y2Cbs(CapCbp - SapSbp) + X1Sbs + LaCasCbs (CapCbp - SapSbp) - LaSasSbs - Z1Cbs(CbpSap + CapSbp),
LbSbp + Y2(CbpSap + CapSbp) + LaCas(CbpSap + CapSbp) + Z1(CapCbp - SapSbp))　③

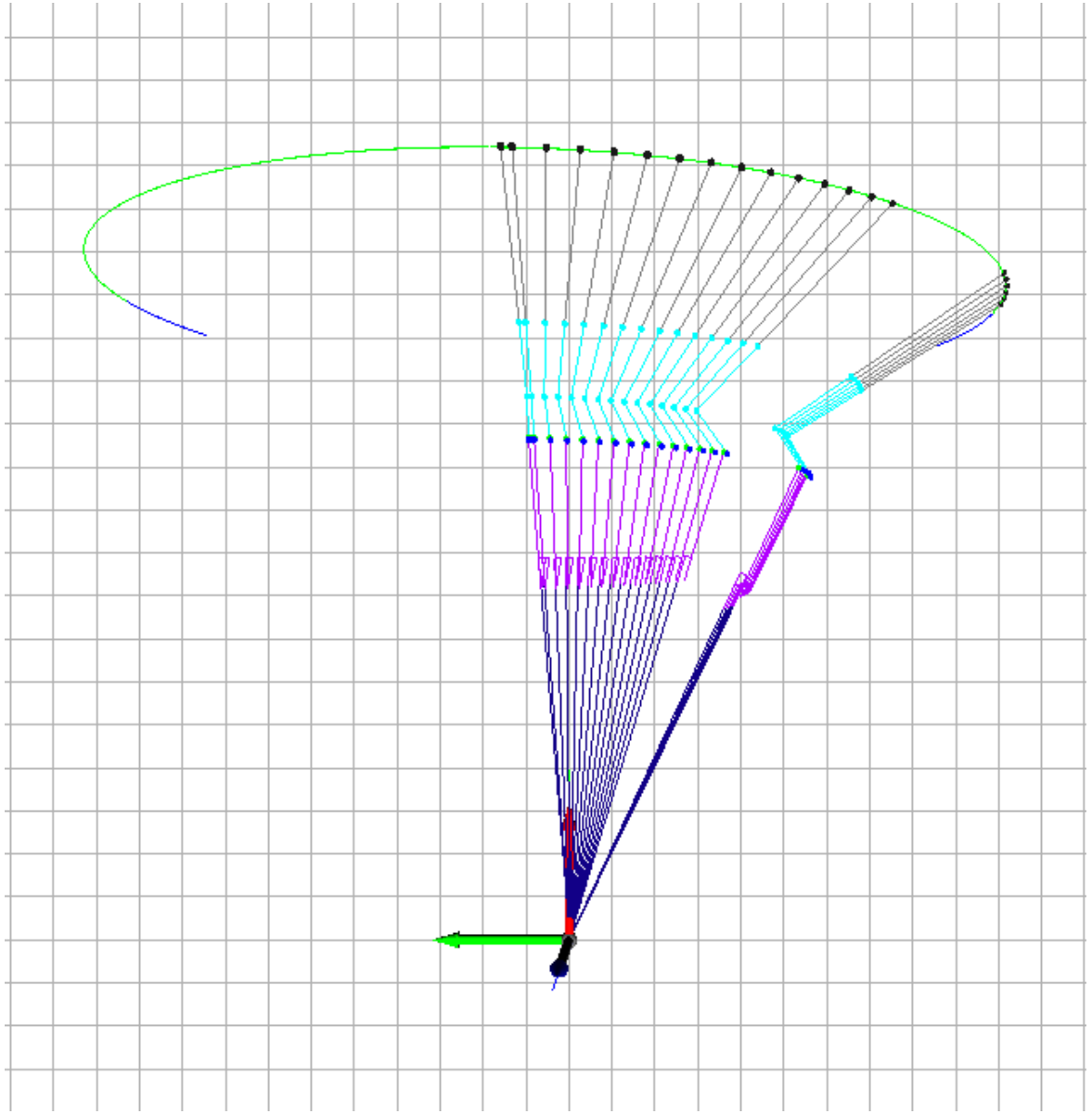
D点 = ((-LbCbp - Y1)Sbs - Y2SbsC(ap+bp) + X1Cbs - LaCasSbsC(ap+bp) - LaCbsSas + Z1SbsS(ap+bp),
(LbCbp + Y1)Cbs + Y2CbsC(ap+bp) + X1Sbs + LaCasCbsC(ap+bp) - LaSasSbs – Z1CbsS(ap+bp),
LbSbp + Y2S(ap+bp) + LaCasS(ap+bp) + Z1C(ap+bp))　④

切羽吹き



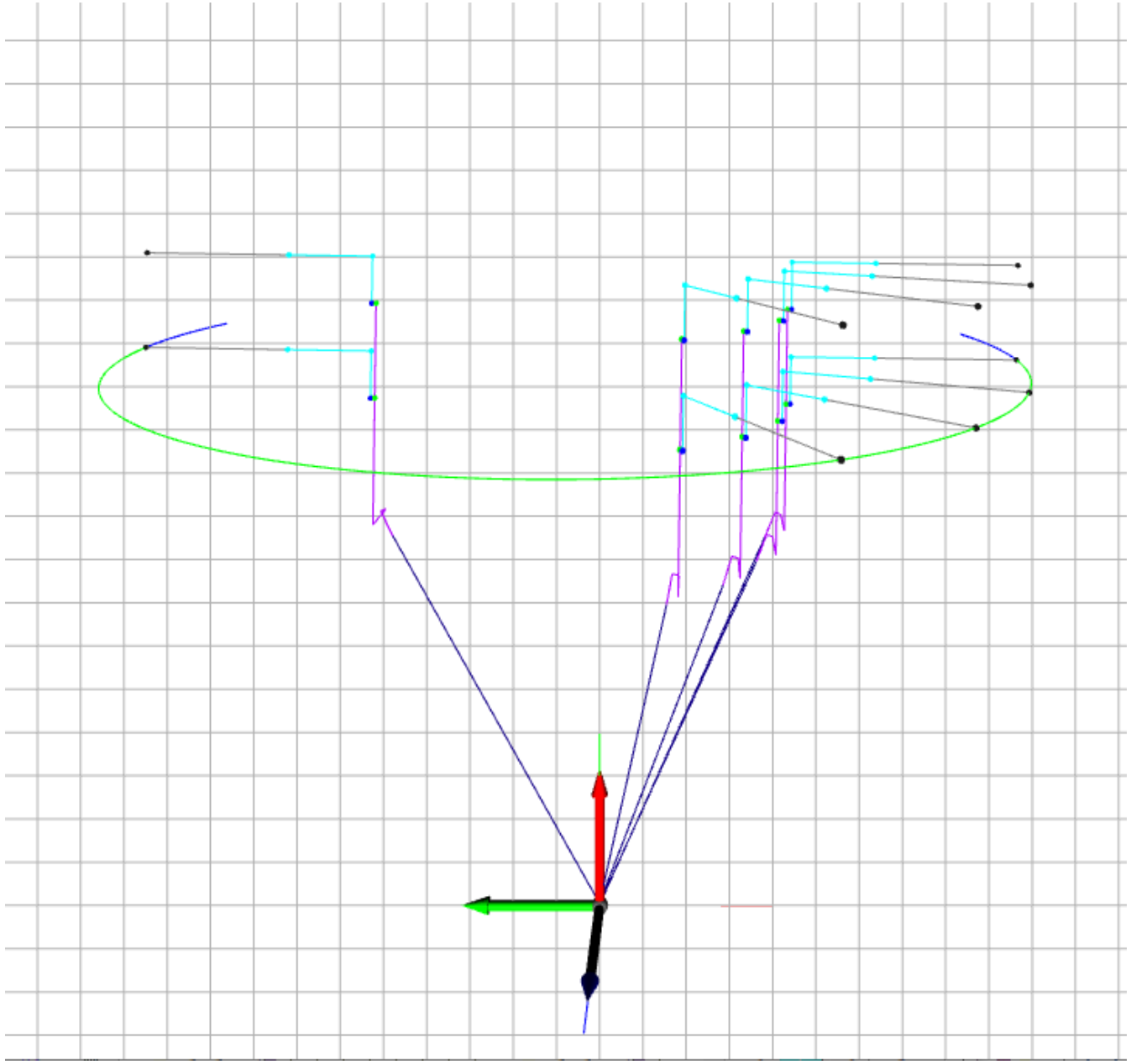
Copyright(c) 2007-2023 Nickom Limited

支保工吹き



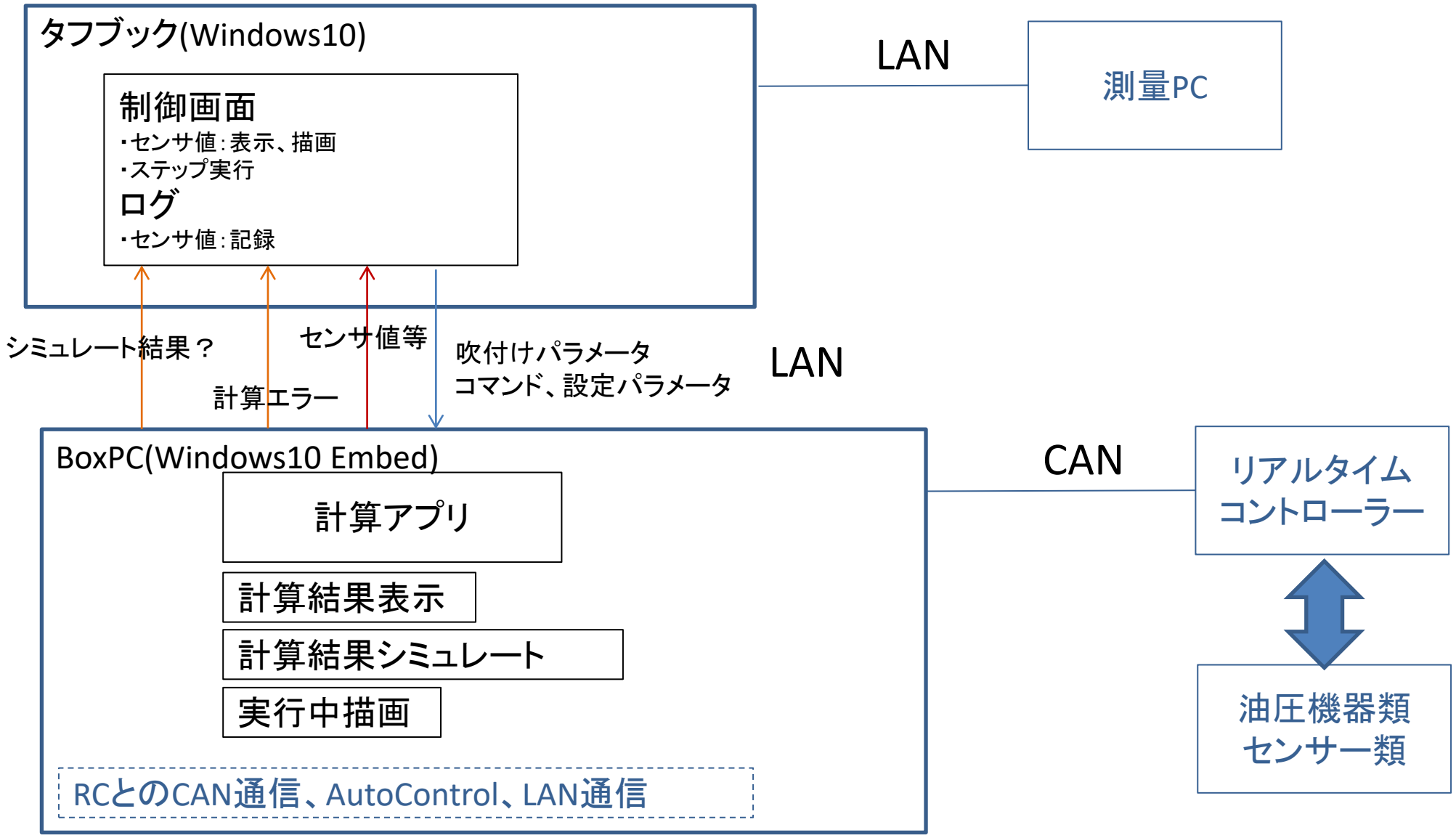
Copyright(c) 2007-2023 Nickom Limited

坑壁吹き



Copyright(c) 2007-2023 Nickom Limited

システム構成


タフブック(Windows10)
制御画面
・センサ値：表示、描画
・ステップ実行
ログ
・センサ値：記録
LAN
測量PC
シミュレート結果？
センサ値等
吹付けパラメータ
コマンド、設定パラメータ
計算エラー
LAN
BoxPC(Windows10 Embed)
計算アプリ
計算結果表示
計算結果シミュレート
実行中描画
RCとのCAN通信、AutoControl、LAN通信
CAN
リアルタイム
コントローラー
油圧機器類
センサー類

現状と将来

- 現在は、山を実際に掘ってトンネルを作る、という実地検証中。
- 実際の現場、地質、地形に対しては、様々な機能調整が発生。
- 事前に予測しきれない歪み、たわみ等も難題。

→ AI的に画像を用いて補正支援などができそう。
（過去には環境が悪くて無理と言われたそうだが。）

- 2本アームの2号機を開発中（次頁）。
- 吹付けコンクリート厚さは規格を満たす必要があるため、どの様なパラメーター（角度、コンクリート圧力他様々な設定）が最適かを予測する、シミュレーションも研究開発中。

→ 実験データが蓄積出来れば、AIやデータ分析による向上が図れそう。

Copyright(c) 2007-2023 Nickom Limited

２号機

- コンクリート吹付けアーム　2本
- エレクター　2本
  支保工を掴んで設置する腕。
- バスケット　2本
  人が乗って、ボルト接合などの高所作業をする。

※画像は鹿島建設プレスリリースより。

Copyright(c) 2007-2023　Nickom Limited