



スマートインフラマネジメントシステムの構築
サブ課題A：革新的な建設生産プロセスの構築

**a-1：建設生産プロセス全体の最適化
を実現する自動施工技術の開発**

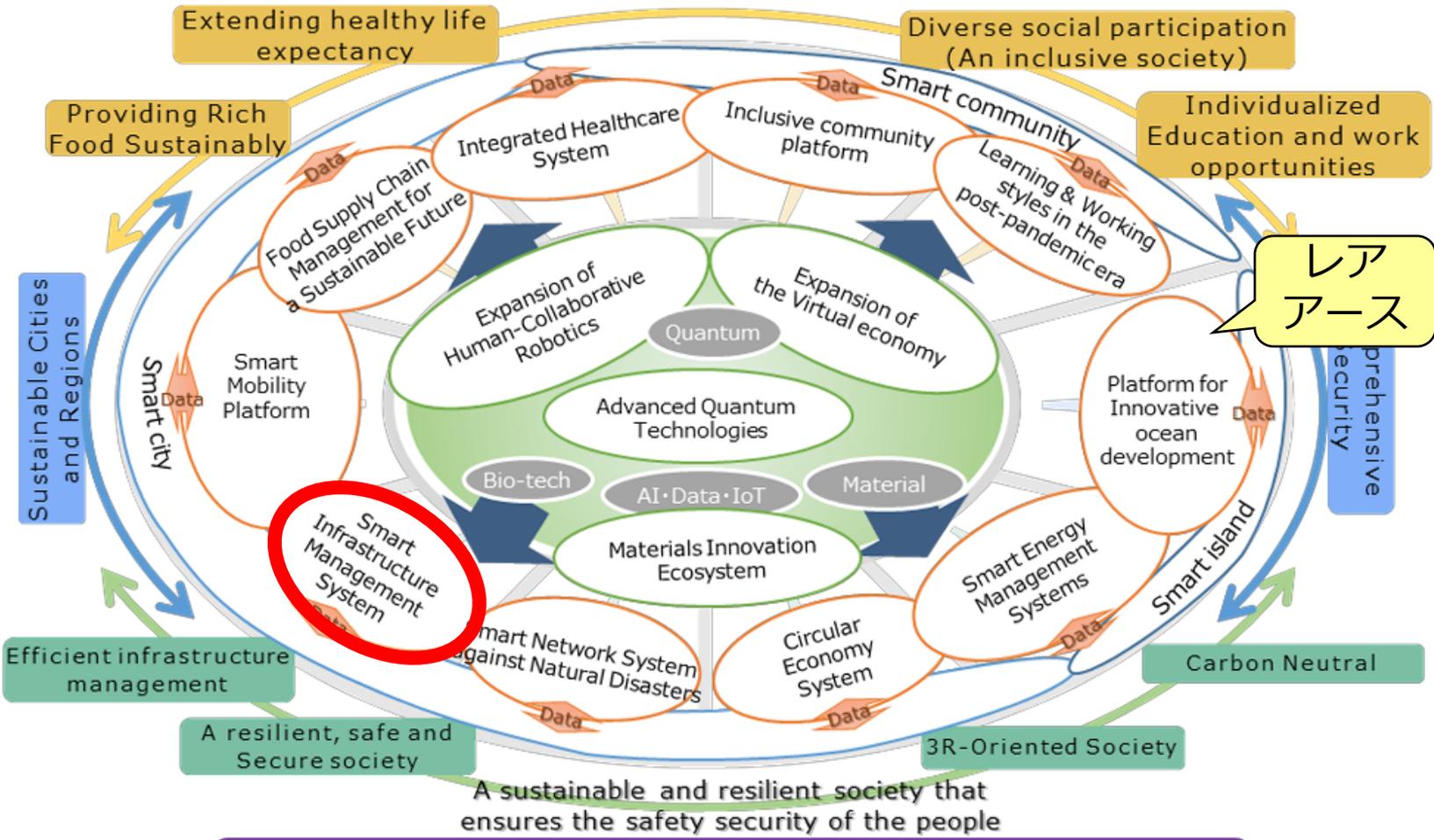
(2025年9月2日発表からのUpdate)

**SIPスマートインフラ サブ課題A 研究開発責任者
筑波大学 システム情報系 永谷圭司**

Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program

Total 14 Theme

A society in which the diverse happiness (well-being) of each individual can be realized



レアアース

A sustainable and resilient society that ensures the safety security of the people

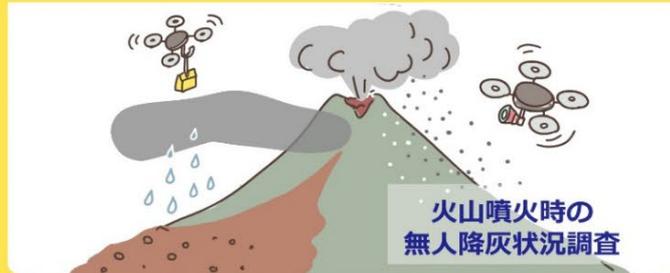
- Across area activities
- Integrated promotion system for Society 5.0
 - Data collaboration between areas (smart city, etc...)
 - Index for well-being, carbon neutral, etc...
 - Convergence of knowledge

<https://www8.cao.go.jp/cstp/english/sipoverview.pdf>

遠隔地より現場の モニタリングと動作指示



a-2: 人力で実施困難個所の施工・計測

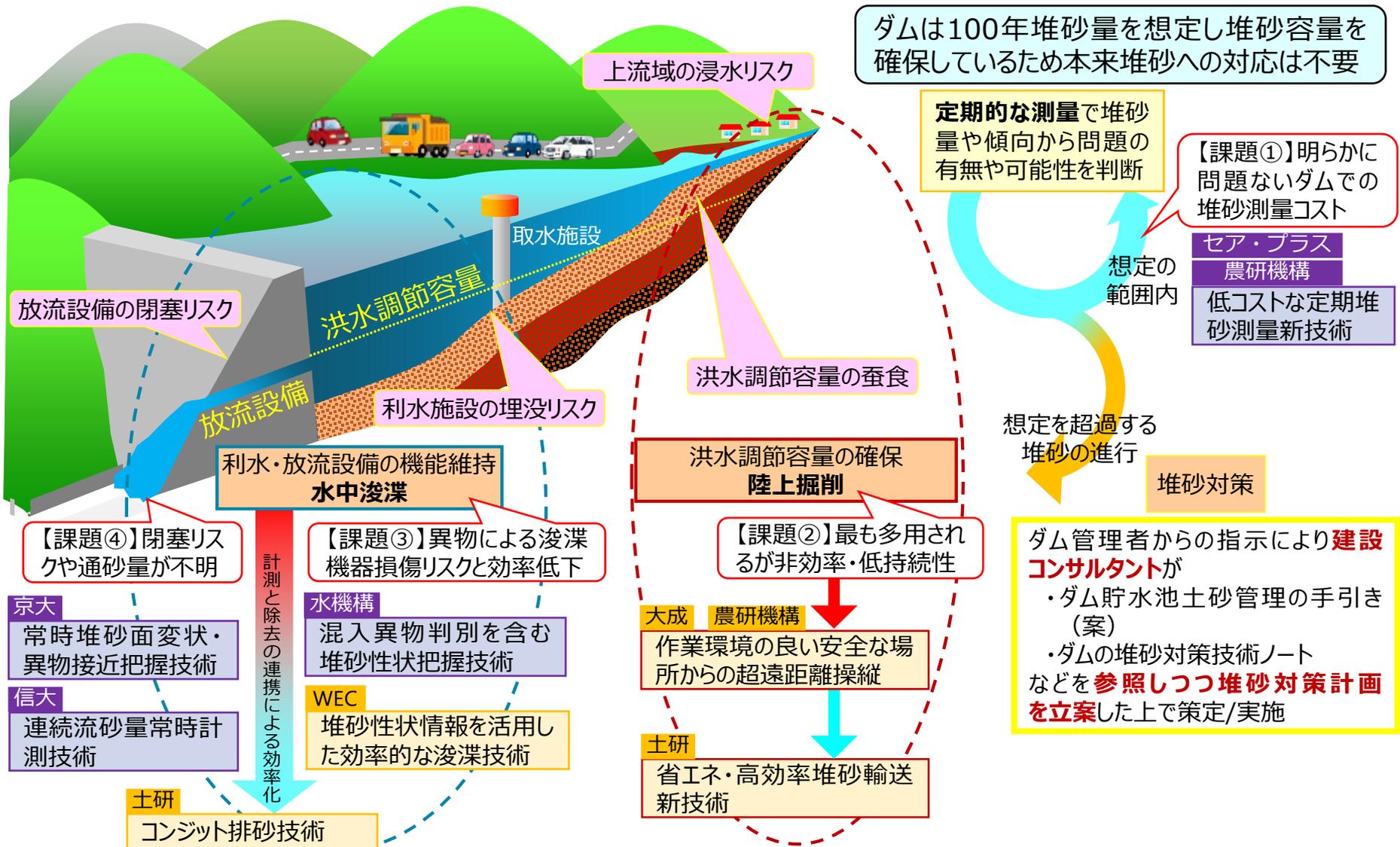


a-3: トンネル掘削の自動化・無人化



a-1: 施工プロセス全体を自動化する技術





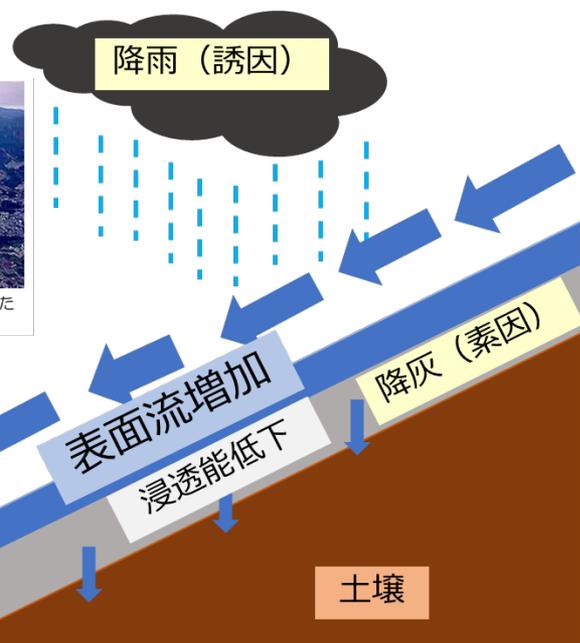
研究テーマ：立入困難区域における降灰後土石流の予測技術の実用化

火山が噴火して灰が斜面を覆うと、降雨が浸透せず表面流が増加し土石流が発生しやすくなるが、噴火中は火口の近くの調査が困難

ミッションを明確にすることで実施体制を再構築

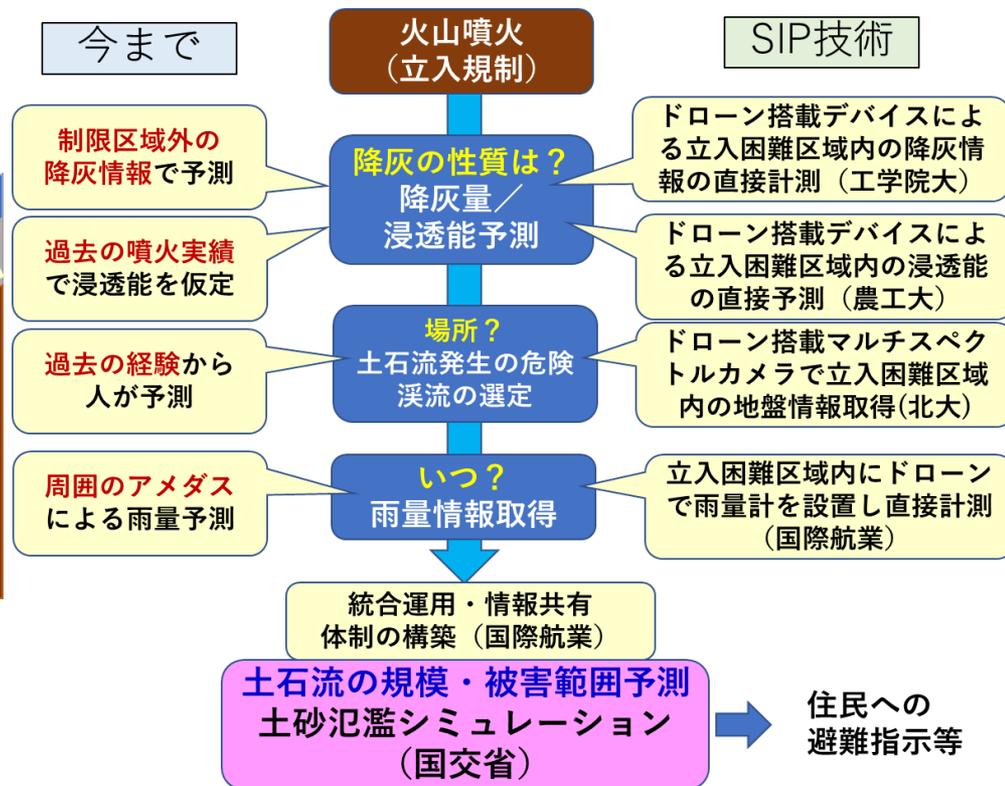


1993年雲仙・普賢岳噴火後に発生した降灰後の土石流（九州地方整備局資料）



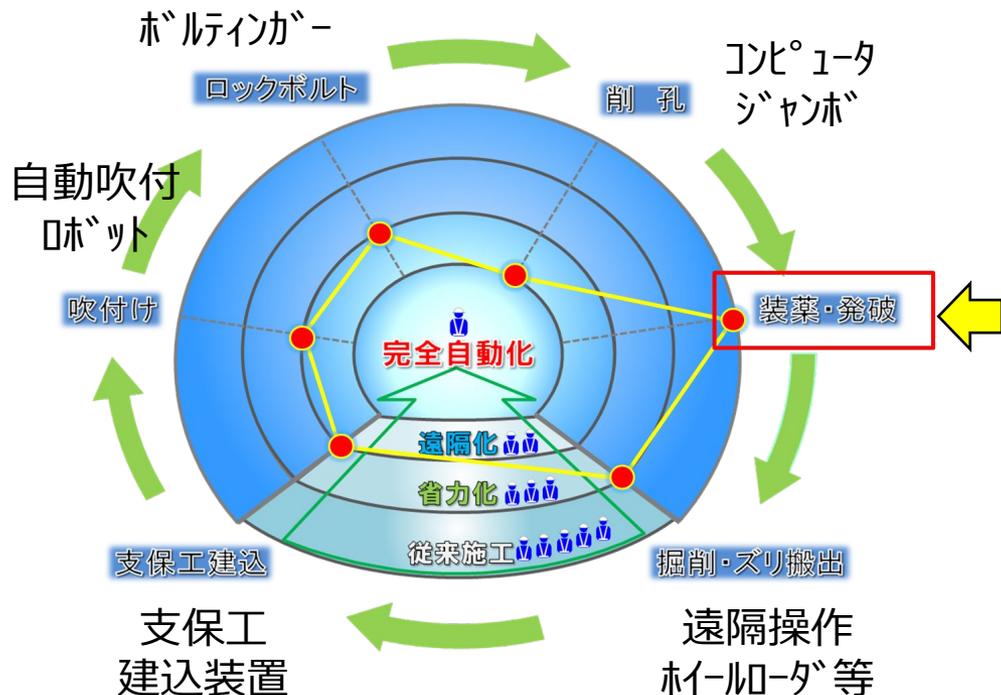
降灰後土石流の発生メカニズム

土石流予測のプロセス



研究開発テーマの重要性と取組み

- 大手ゼネコンを中心に自動化・遠隔化に関する技術開発が進められている中、人力作業が必須となる**発破作業に対する取組みが最後に取り残された課題**。
- 結線作業が不要となり、機械装填に適した**共通規格**に基づく**双方向無線電子雷管システム**の開発（発破前のチェックを必須とする日本の法制度に唯一対応）
- SIP研究開発（協調領域）と機械装填開発（競争領域）の融合

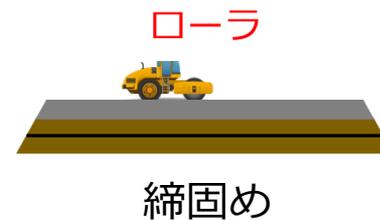
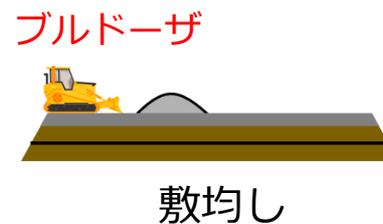
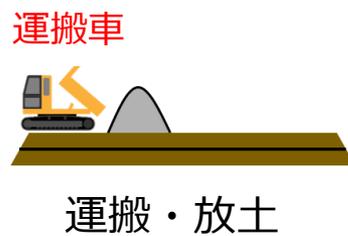


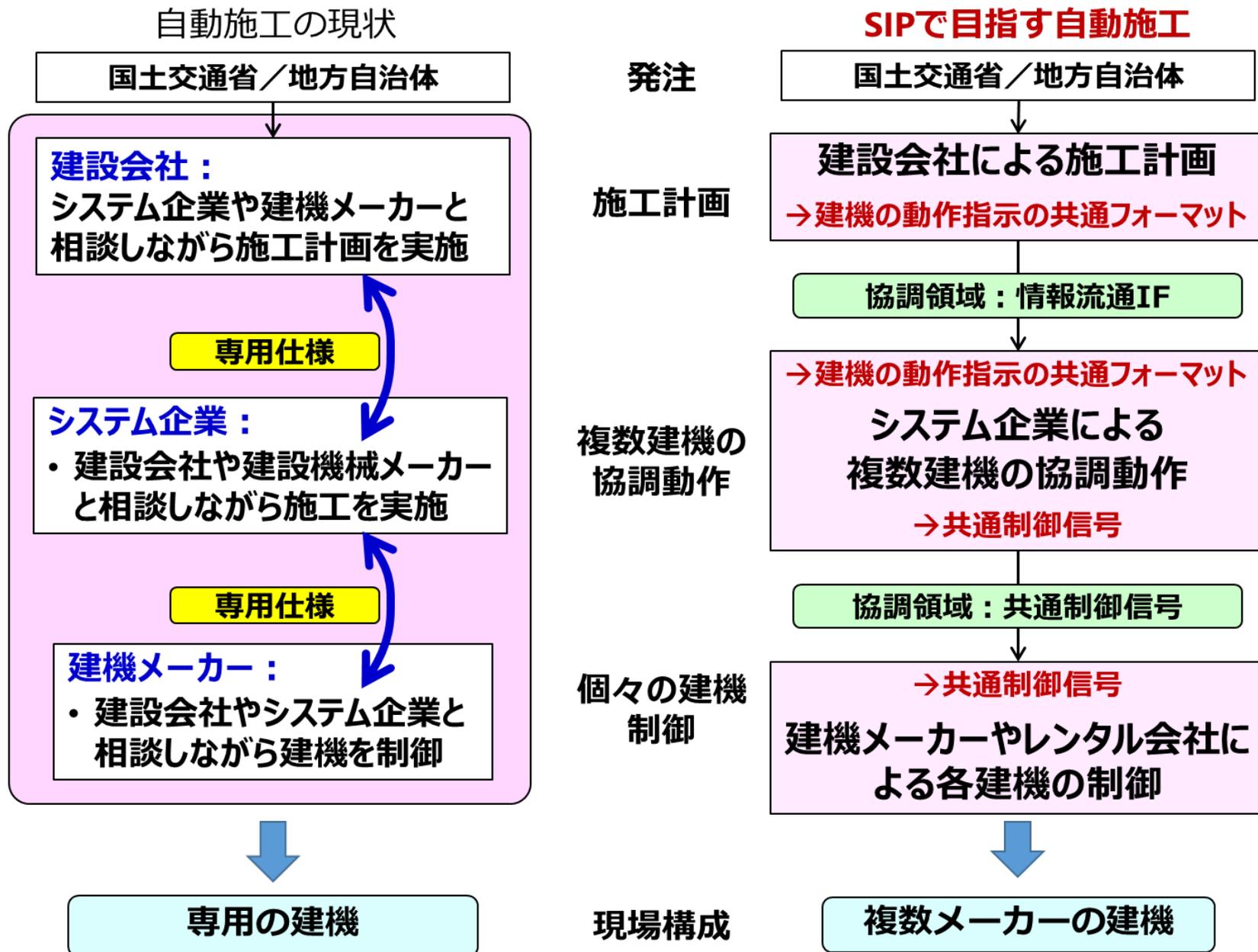
現状：

- 人力による雷管装薬作業と結線作業
- 上記の作業が切羽付近の災害とトンネル施工の機械化を阻害



ICASP (a-1) 自動施工のMotivationと内容

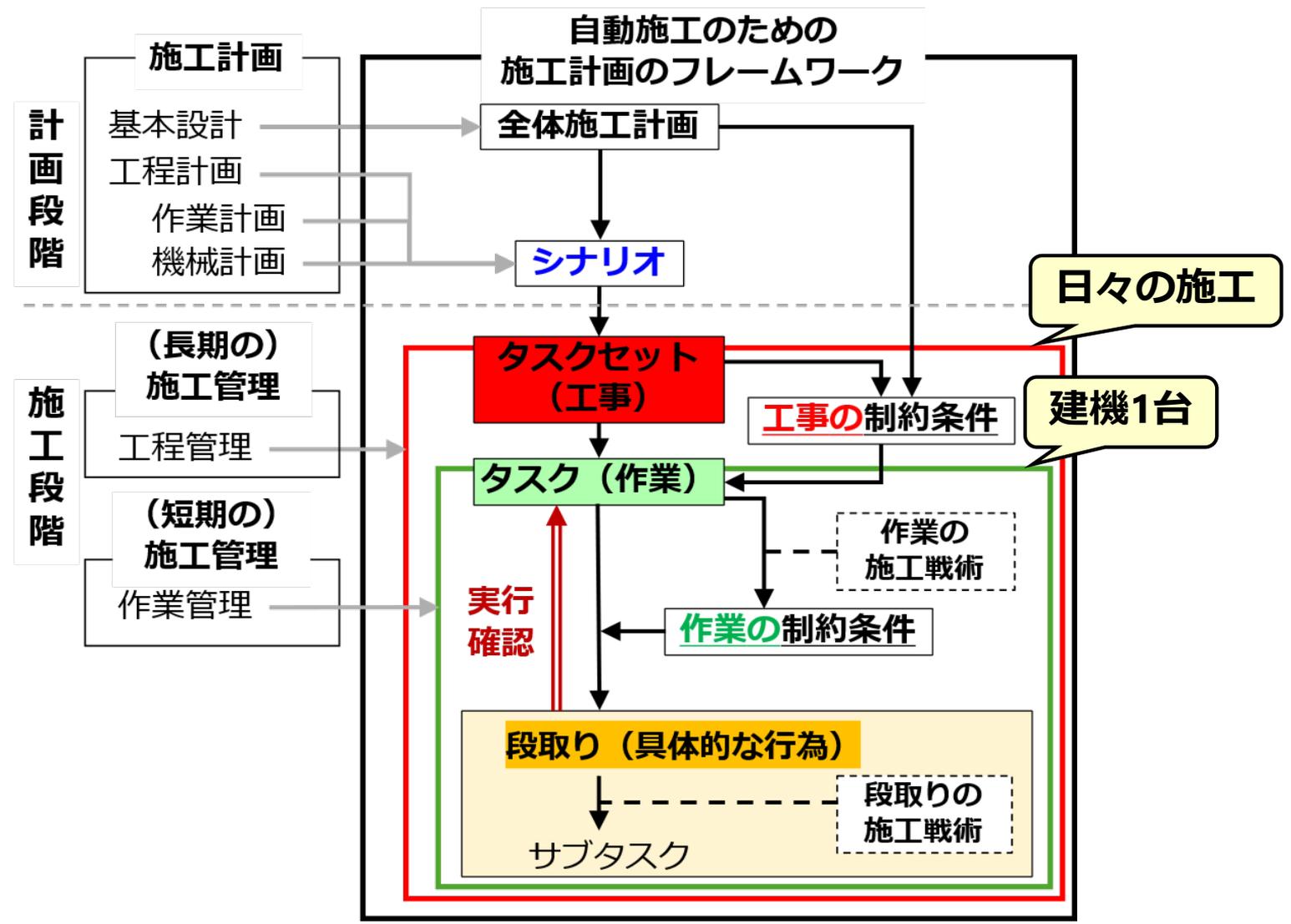






OPERA : Open Platform for Earthwork with Robotics and Autonomy

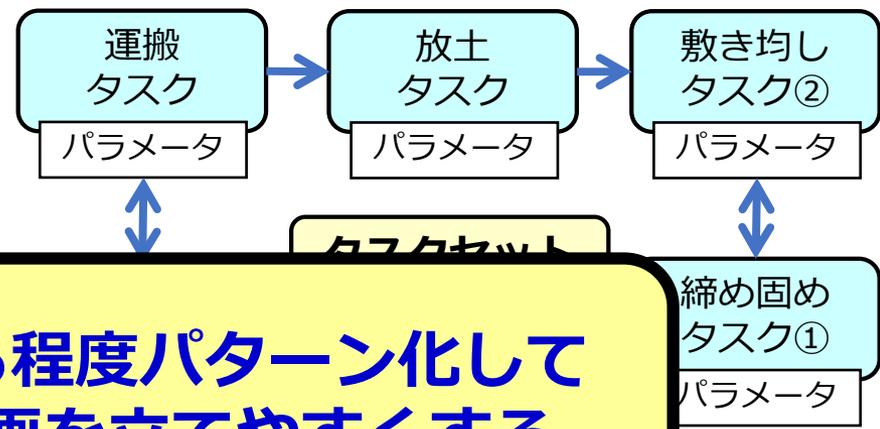




佐野，三谷他，“土工における建設機械の自動施工のためのフレームワークと施工フローに関する基礎的研究”，建設ロボットシンポ，03-7（Oct. 2025）

複雑な土工事は、自動建機の**単純な動作**の組み合わせでできると仮定。

タスク：自動建機の**単純動作**の種類+パラメータ
 タスク列：タスクを実行する手順
(動作指示の共通フォーマット)



**土工事に使う機械をある程度パターン化して
 施工会社さんが施工計画を立てやすくする**

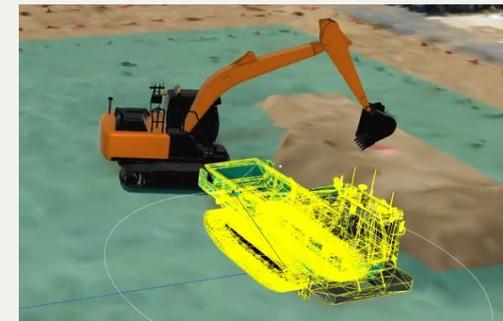
施工計画の**社の競争領域**.
 仕事になる施工計画に集中したい!



成. 各タスクのパラメータは、**施工管理システム**を使って指定。

タスク群

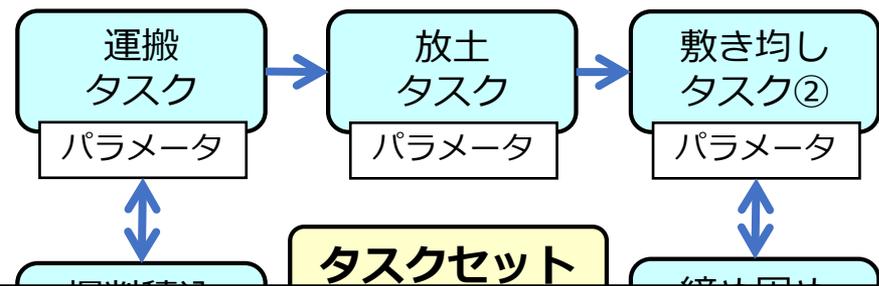
掘削積込 タスク①	掘削積込 タスク②	掘削積込 タスク③	掘削積込 タスク④
締め固め タスク①	締め固め タスク②	締め固め タスク③	運搬 タスク
敷き均し タスク①	敷き均し タスク②	敷き均し タスク③	放土 タスク



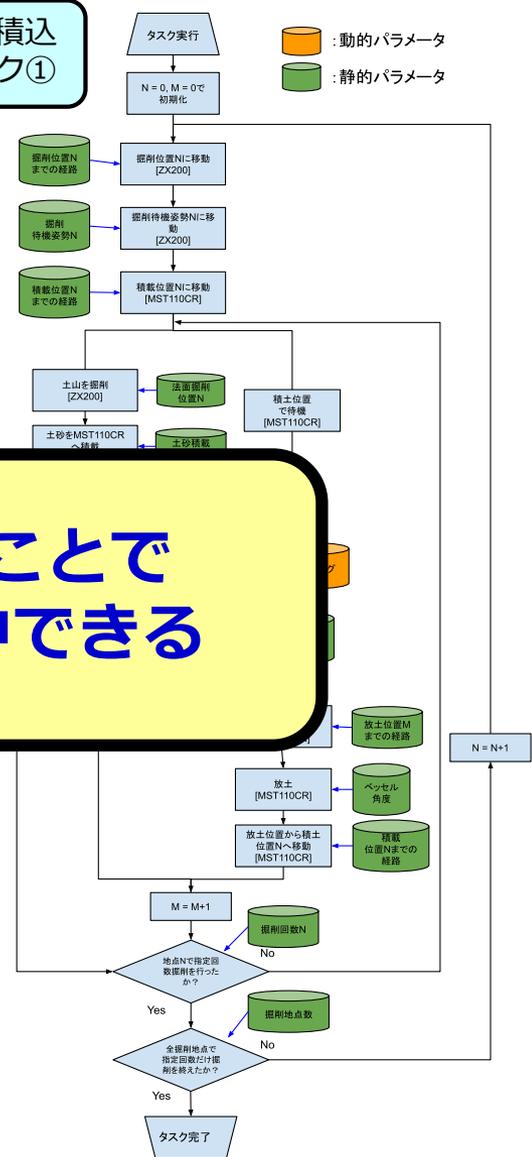
施工管理システム

システム企業の役割：複数台建機の協調制御

日々の施工計画の意図まで分からずとも、各自動建機の制御，協調制御は実行可能。



掘削積込
タスク①



パターン化された動作を定義することでシステム企業さんは動作生成に集中できる

協調制御はシステム企業の競争領域。システム開発に集中したい！

協調制御を実現する制御系を実装。(九州大はBehavior Treeで実装。)動作は、シミュレータで確認。



掘削積込のBehavior Tree (九州大 倉爪PI)



施工計画は**建設会社の競争領域**.
仕事になる施工計画に集中したい!

バックホウの位置, 掘削方法, 土砂の積み込み場所, ダンプトラックの経路, 放土場所, 建機の台数など, 日々の施工に関する計画を実施.



協調制御は**システム企業の競争領域**.
システム開発に集中したい!

センサを用いた掘削位置の決定, バックホウとダンプトラックの協調動作生成, ダンプトラックの走行時の離合動作など, 複数建設機械の協調動作の実現.

SiPで目指す自動施工

国土交通省/地方自治体

建設会社による施工計画

→建機の動作指示の共通フォーマット

協調領域: 情報流通IF

→建機の動作指示の共通フォーマット

システム企業による
複数建機の協調動作

→共通制御信号

協調領域: 共通制御信号

→共通制御信号

建機メーカーやレンタル会社による各建機の制御

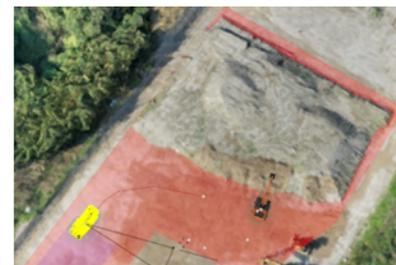
複数メーカーの建機

発注

土工事の体系化（九州大 三谷研）を行い、これを元に**情報流通IF**の仕様を策定（全員）

建設会社
施工管理と計画

情報流通IFに対応した**三次元施工管理システム**（筑波大学）を構築。ここで日々の施工計画を実施し**建機の動作指示共通フォーマット**を出力。



協調領域:情報流通IF

システム企業
複数台建機の制御

オープンな複数台建機の自動制御ソフトウェア・シミュレータを開発（土木研 先端チーム）し、**建機の動作指示共通フォーマット**にしたがって動作する**複数台自動建機動作管理システム**（九州大 倉爪研）を構築。

協調領域:共通制御信号

建機メーカー/レンタル会社
個々の建機制御



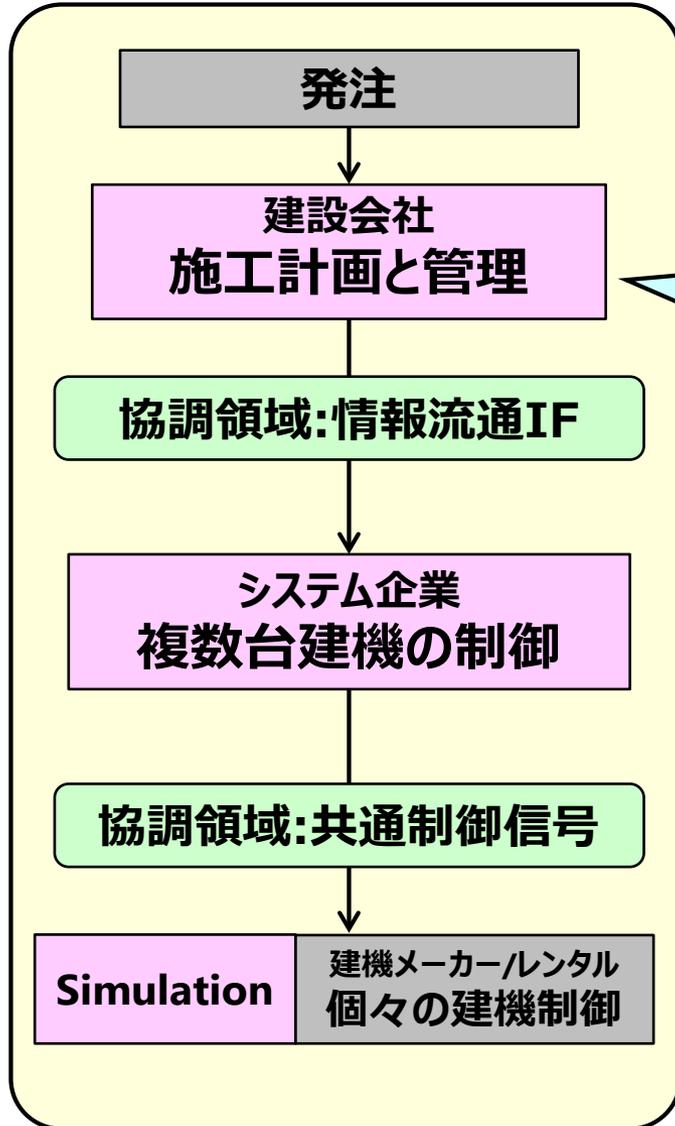
複数メーカーの
建機で現場を構成

模擬フィールドにおける模擬施工の実施を主導（フジタ）し、2つの協調領域を活用した日々の施工計画から**複数建機の動作までの「一気通貫」の施工**を実現。



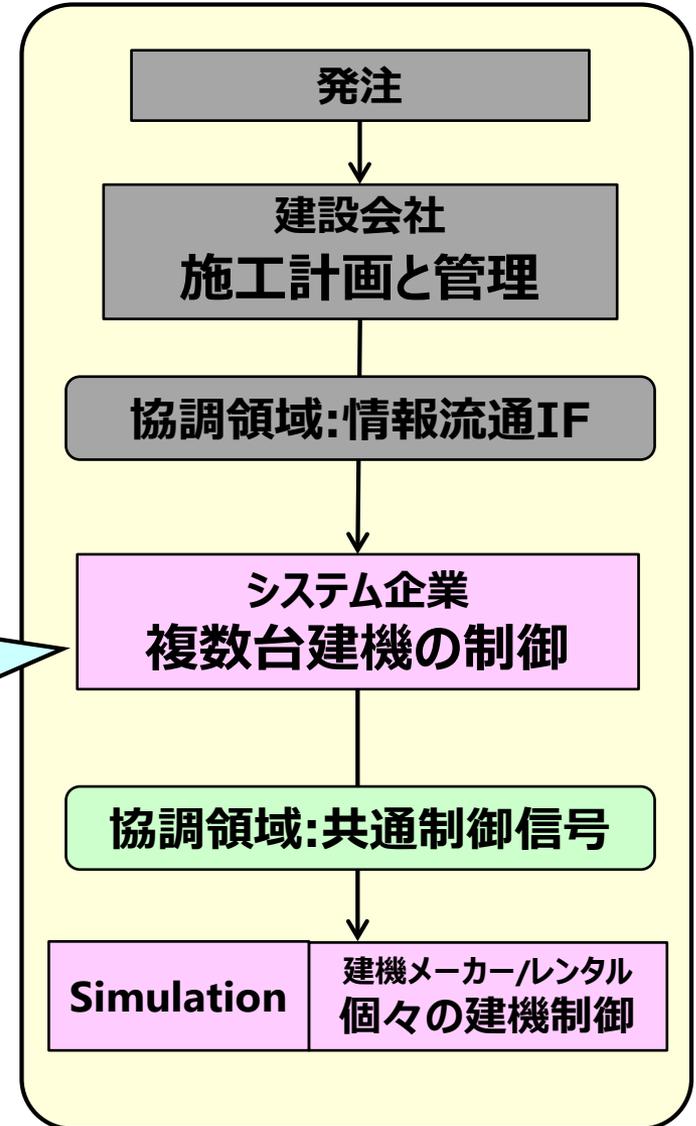
ここまで : 日々の施工計画 → Simulation

DX Field : Simulation → 実機動作

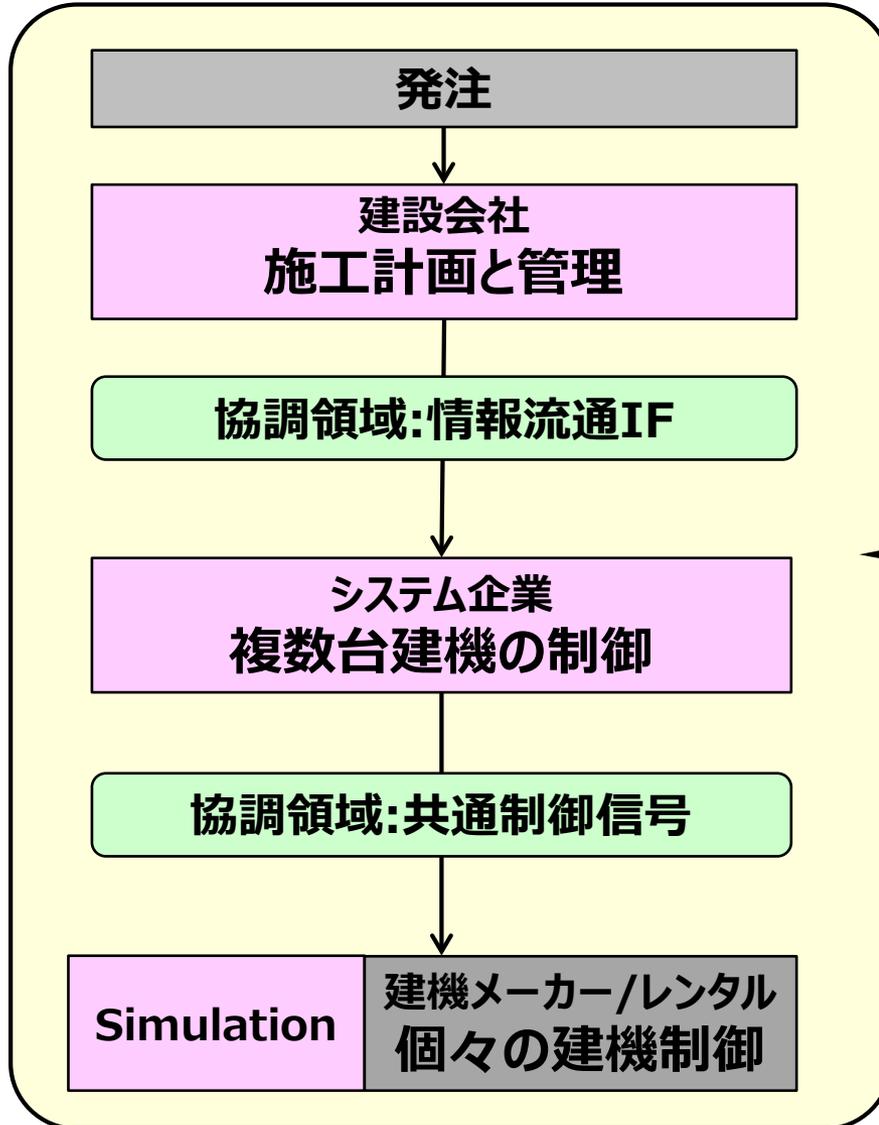


バックホウ1台
ダンプ1台

バックホウ1台
ダンプ2台離合

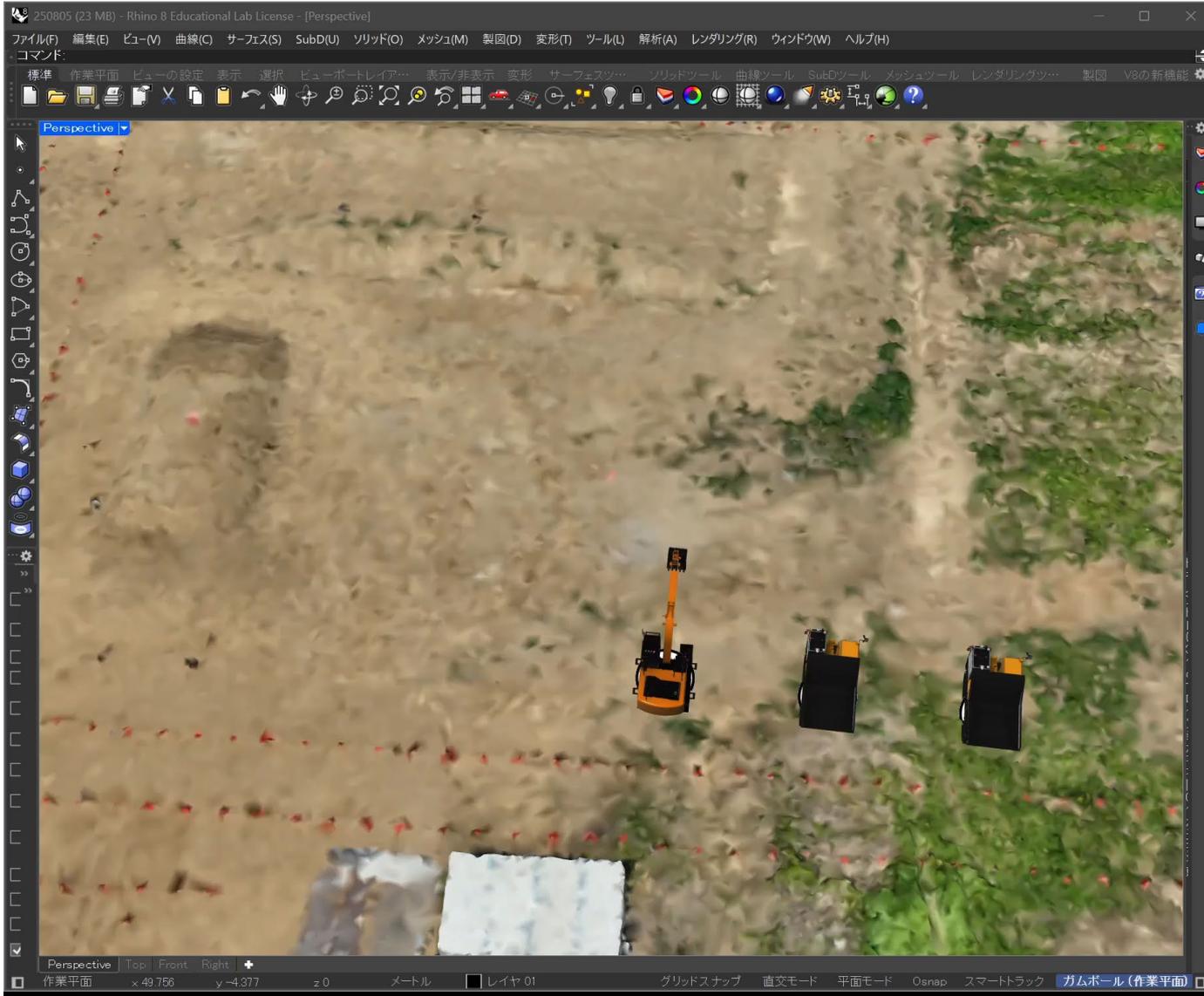


日々の施工計画 → Simulation



バックホウ1台
ダンプ2台離合

開発の現状 (2026年2月) : Construction-CAM



建設システム - オブジェクト管理ツール

プロジェクト | 環境設定 | タスク設定

建設機械設定

ZX200 MST110CR MST110CR	詳細 名称変更 表示切替 条件設定
-------------------------------	----------------------------

追加 削除

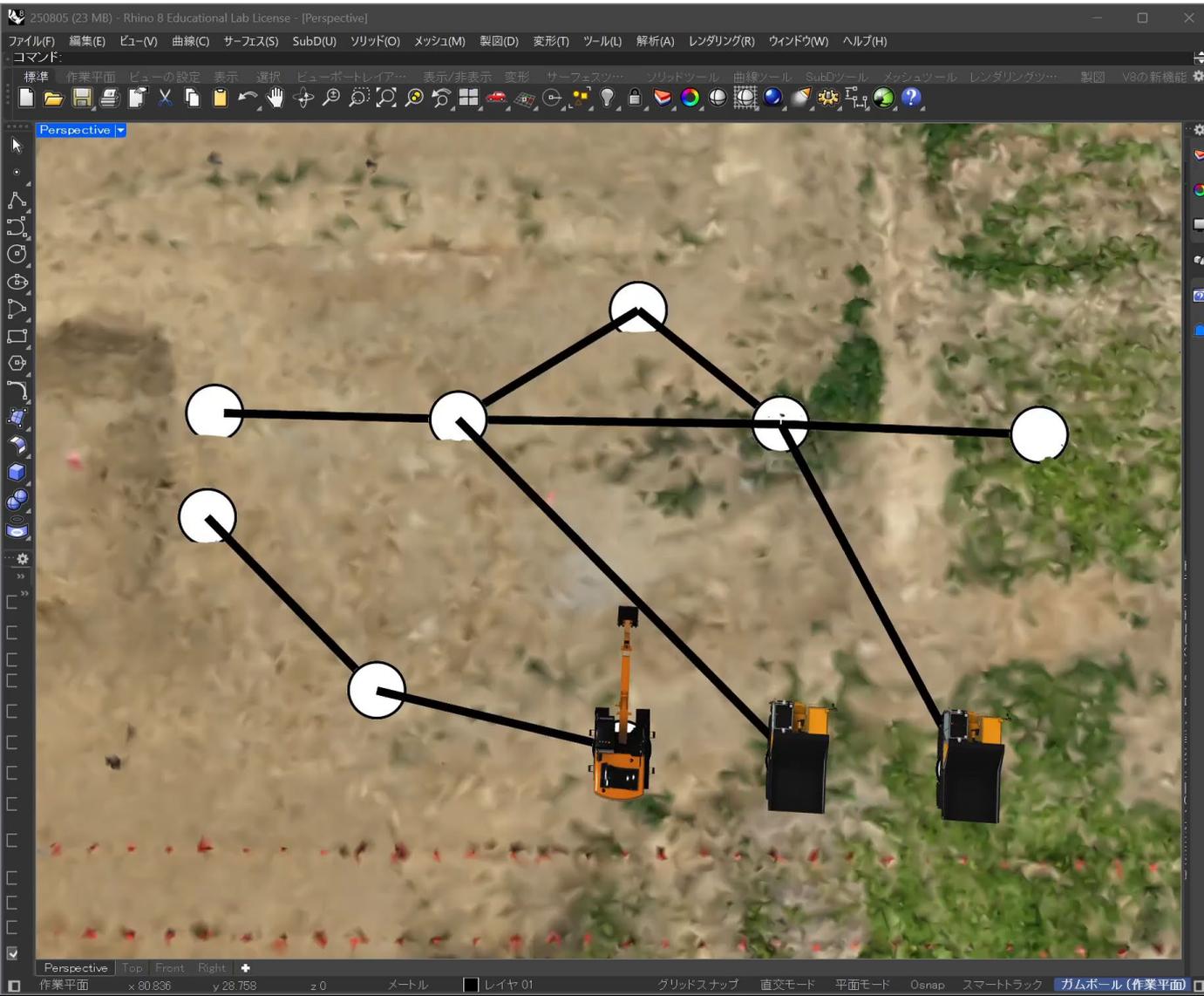
追加 削除

追加

実行条件一覧

タスク一覧

開発の現状 (2026年2月) : Construction-CAM



```
{
# 使用建機と台数.
"machinery": {
  "zx200": 1,
  "ic120": 1
},

# 作業エリアの範囲.
"operational_area": {
  "points": [
    {
      "x": 4.507572999677208,
      "y": 50.680617224878645,
      "z": 0.0
    },
    {
      "x": 14.318572550011174,
      "y": 0.8993107812525692,
      "z": 0.0
    },
    {
      "x": 111.28708894046075,
      "y": 17.784165776805096,
      "z": 0.0
    }
  ],
}
```

```
# マップ.
"nodes": [
  {
    "id": 2700256013616,
    "point": {
      "x": 28.511709607261793,
      "y": 21.13456751499845,
      "z": 0.0
    },
    "label": "main",
    "list": []
  },
  {
    "id": 2700256012320,
    "point": {
      "x": 27.17594468605954,
      "y": 28.00593798058139,
      "z": 0.0
    },
    "label": "main",
    "list": [2700255798656]
  },
}
```

```
# タスク.
"tasks": [
  {
    "id": 2700256013472,
    "task": "ExcavateRelease",
    "parameters": {
      "excavator": "zx200",
      "dump": ["ic120", "mst120cr"],
      "excavator_pose": [
        [-0.9854592030914798, 0.16991220980937394, -0.9854592030914798, 0.16991220980937394],
        [0.0, 0.0, 1.0, 0.0],
        [0.0, 0.0, 0.0, 1.0]
      ],
      "before": [], # 掘削前の地山のハイ
      "after": [], # 掘削後の地山のハイ
      "load_task": 2700256011696
    },
    "node_id": 2700256013616
  },
  {
    "id": 2700256011696,
    "task": "Load",
    "parameters": {
      "backhoe": "zx200",
      "dump": ["ic120"],
      "pose": [
```



ZEX200 車体固定 コックピット視点



MST110CR① 車体固定 斜め後ろ視点



MST110CR② 車体固定 斜め後ろ視点



環境カメラ① 掘削積込の様子



環境カメラ①
環境カメラ②

俯瞰視点



環境カメラ② すれ違いの様子

- **協調領域について**

- 動作指示の共通フォーマット（情報流通インタフェース）
- 共通制御信号

- **「動作はできているが仕事ができない」を解決する試み**

- ⇒ **建設会社**が計画する日々の施工を忠実に実行することができる**共通フォーマット**の活用（今後、多くの建設会社や建機メーカーと議論しながら改良予定。）

- **「自動施工の研究開発が活性化」する仕組み**

- ⇒ **システム企業**が（個別の実装を気にせずに）複数の建機メーカーの建設機械を一つのシステムで扱うことができる**共通制御信号**の活用。（自動建機3台が一つのシステムで動作。）

SIP (第3期) 技術開発

(自動施工に関する)標準化にターゲット

- ・土木施工計画と機械動作計画を繋ぐ情報流通の標準化
- ・建設機械自動化のためのオープンな研究開発環境の構築

狙い・効果

自動建設機械や自動施工システムについて

- 現場適用や普及の促進
- 研究開発の加速
- 他業種からの新規参入

連携



SIP
標準化された自動建設機械や自動
施工システムを
BRIDGE
自動施工コーディネーターによって
現場導入する試行を実施予定

社会実装を推進

BRIDGE 社会実装

(自動施工に関する)人にターゲット

狙い・効果

自動施工コーディネーターを育成することで

「システムはあるが、使いこなせる人がいない」の解消



自動施工導入データベース



自動施工コーディネーター

自動施工技術の実装・普及
(国土省の i-Construction2.0 の推進)

持続可能なインフラの実現



現状

自動施工を導入しようとした場合・・・

工事の関係企業（例）

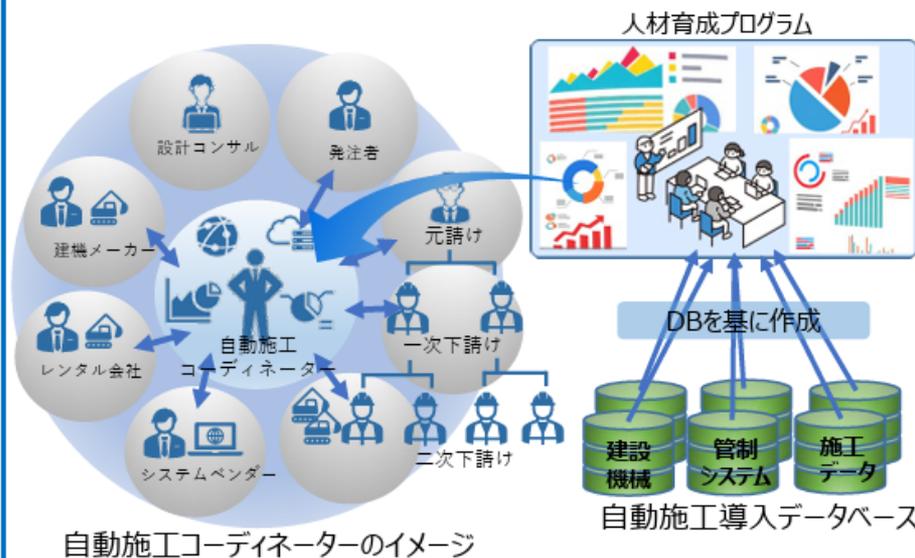


自動施工は通常の建設工事と異なる分野（機械・通信・システム等）の高度な知識・技術が必要であるため、自動建設機械が開発されたとしても、中小の施工業者が工事に導入するには高いハードルがある。

施工・機械・システム・通信等、自動施工に関する横断的な専門知識を持つコーディネーターの役割を担う人材の育成が不可欠

自動施工コーディネーターの育成

- 施工・機械・システム・通信等、自動施工に関する横断的な専門知識を持つコーディネーターの役割を担う人材（**自動施工コーディネーター**）を育成
- 具体的には、自動施工に必要な知識・技能を技術の最新動向を踏まえながら網羅的に調査・整理するとともに、関係企業が社内で人材育成を可能とするための講習等に使用する**人材育成プログラム**を作成する



Bridge : 横断的な専門知識を持つ**コーディネーター**
SIP ICASP : 自動施工を実装する**技術者**の育成
(施工の体系化部分で連携)

②自動施工シミュレータの開発

現状



自動施工が導入可能な箇所は？

導入コストは？

施工効率は？

省人化率は？

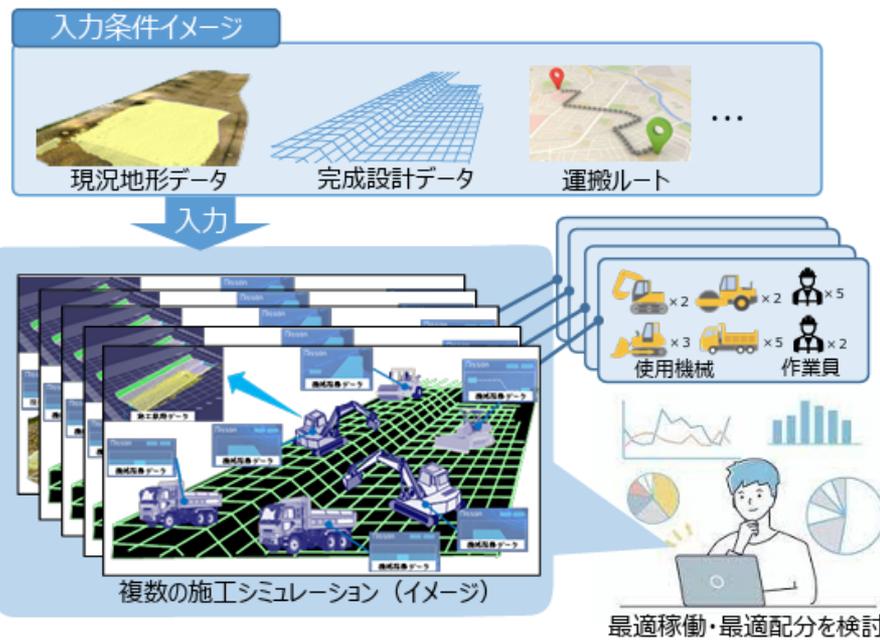
機械台数は？

自動施工を導入した場合のメリット・デメリットを定量的に評価・判断する手段がないため、導入を断念

各工事現場において、施工者が自動施工の導入の検討を容易に行えるツールの開発・提供が必要

自動施工導入シミュレータの開発

各工事現場の施工内容や施工数量、地形条件等の条件を入力することで、従来施工や自動施工に必要な人員、建設機械、費用等を算出可能な「自動施工導入シミュレータ」を開発。



Bridge : 施工者が自動施工**導入の検討**を容易に行えるツール

SIP ICASP : 仮想空間内で**自動施工の実施**を行うツール

③ 自動施工データベースの構築

現 状

自動施工を導入しようとした場合・・・

工事の関係企業（例）

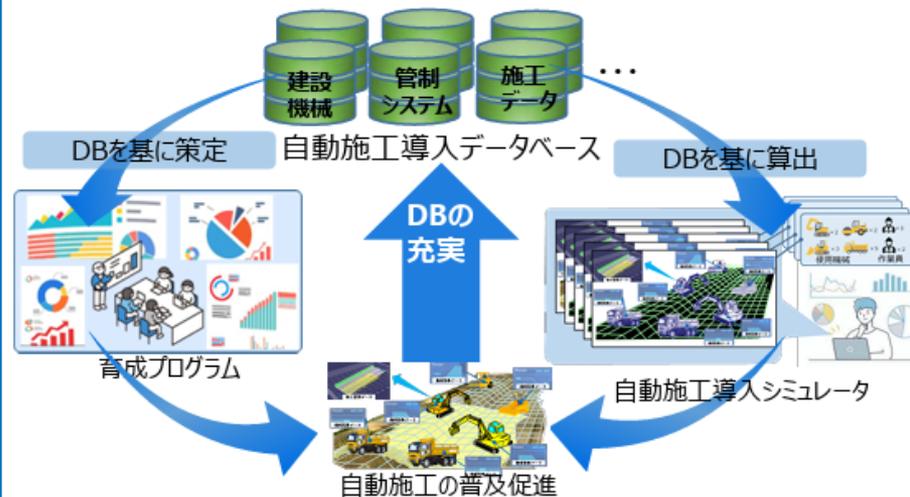


自動施工は通常の建設工事と異なる分野（機械・通信・システム等）の企業が関わっているため、施工者は機械・通信・システム側の情報が、逆に機械・通信・システム分野の担当者は施工者側の情報が、それぞれ得難く、また異なる分野の専門性が無いため技術の優位性等の判断も難しい。

➡ **施工・機械・システム・通信等の情報を一元的に集約し、誰もが容易に情報を取得可能なデータベースの構築が必要**

自動施工導入データベースの構築

- 自動施工の機械やシステム等の情報を一元的に集約し、施工者の誰もが容易に情報を取得可能な**データベースを構築**する
- 「自動施工コーディネーター」の育成に向けたプログラム策定を促進するとともに、「自動施工導入シミュレータ」と連携、データ提供を実施。
- 自動施工が普及促進されることで、データベースが充実・拡充され、育成プログラムの高度化やシミュレータの精度が向上するなど相乗効果が期待される。



Bridge : 施工・自動建設機械・システム・通信設備等の情報を**一元的に集約**

Step1 :

- 土工事の体系化.
- 情報流通IFの原案策定.
- 情報流通IFに対応した施工管理システム
(Construction CAM) Prototype構築.

Step2 :

- 複数台建機の自動制御ソフトウェアならびにシミュレータを開発.
- 上記ソフトウェアを, GitHubにてオープンソースソフトウェアとして公開.

Step3 :

- Step1, Step2で構築した技術を統合.
- 建設会社の施工計画 (**Construction CAM**) で策定した建機の動作指示の共通フォーマットを, 情報流通インタフェースを介して複数台建機の協調動作システム (**ROS-TMS-for-Construction**) に伝え, 共通制御信号を用いて各自動建設機械を制御することで自動施工を実現するという一連の動作を実現する**試行工事を模擬施工現場で実現.**

2025/08
Stage Gate

Step4 :

- 土木学会 建設用ロボット委員会, 日建連 ICT専門部会 意見交換会, 国交省 自動化・自律化協議会, ロボット技術によるフィールド課題解決コンソーシアム等を活用し, 提供材の必要性について業界団体との合意形成を進める.

Step5 :

- 「施工計画～動作指示～自動施工」の試行工事を, 2カ所以上の試験施工現場で実施. **また, 研究協力機関にも技術提供を行い現場実証を推進.** これらの結果を元に建機の動作指示の共通フォーマットの改良を継続的に実施.

Step6 :

- 建機の動作指示の共通フォーマットの素案をJCMAS「一般社団法人日本建設機械施工協会規格」に提出して議論を行い, **規格化を進める.**
- 業界団体が提供材のメリットを認め提供材を使うことを明言.

2028/03
SIP終了時



keiji@ieee.org