

スマートインフラマネジメントシステムの構築



SiP

サブ課題A

「革新的な建設生産プロセスの構築」

研究開発責任者

東京大学 特任教授 永谷 圭司

■ 本発表の目的

サブ課題A「革新的な建設生産プロセスの構築」
(研究内容と目指していること) と、本プロジェクト
に対する**永谷の想い**を紹介。



■ プロジェクト略称

SIP **I**nnovative **C**onstruction **A**nd **S**urveillanc
technology with unmanned machinery **P**roject

→ **SIP-ICASP / SIP-ICAS Project**



コアバリュー（永谷のライフワーク）

工学を用いて実社会問題を解決し，人々の安心に貢献する。

パーパス（プロジェクトの基本理念）

OPENな技術／システムの構築を通じて「建設生産プロセス」の技術開発を**加速**すること。

ミッション（プロジェクトで実施すること）

- 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
- a-2：人力で実施困難な箇所のロボット等による無人自動計測・施工技術の開発
- a-3：トンネル発破等の危険作業の自動化・無人化に係る研究開発

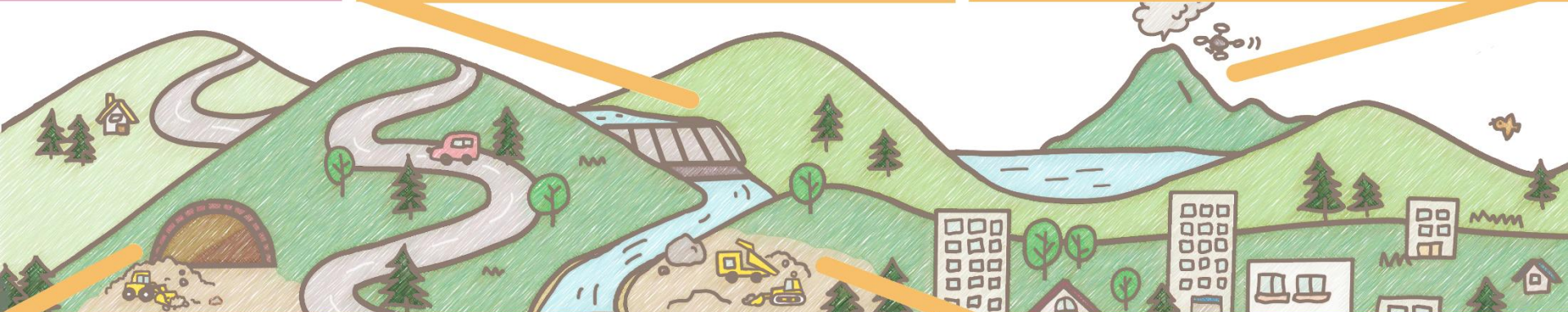
遠隔地より現場の
モニタリングと動作指示



a-2: 人力で実施困難箇所の施工・計測



a-2: 人力で実施困難箇所の施工・計測



a-3: トンネル掘削の自動化・無人化



安全な発破のための
無線電子雷管の実用化

a-1: 施工プロセス全体を自動化する技術



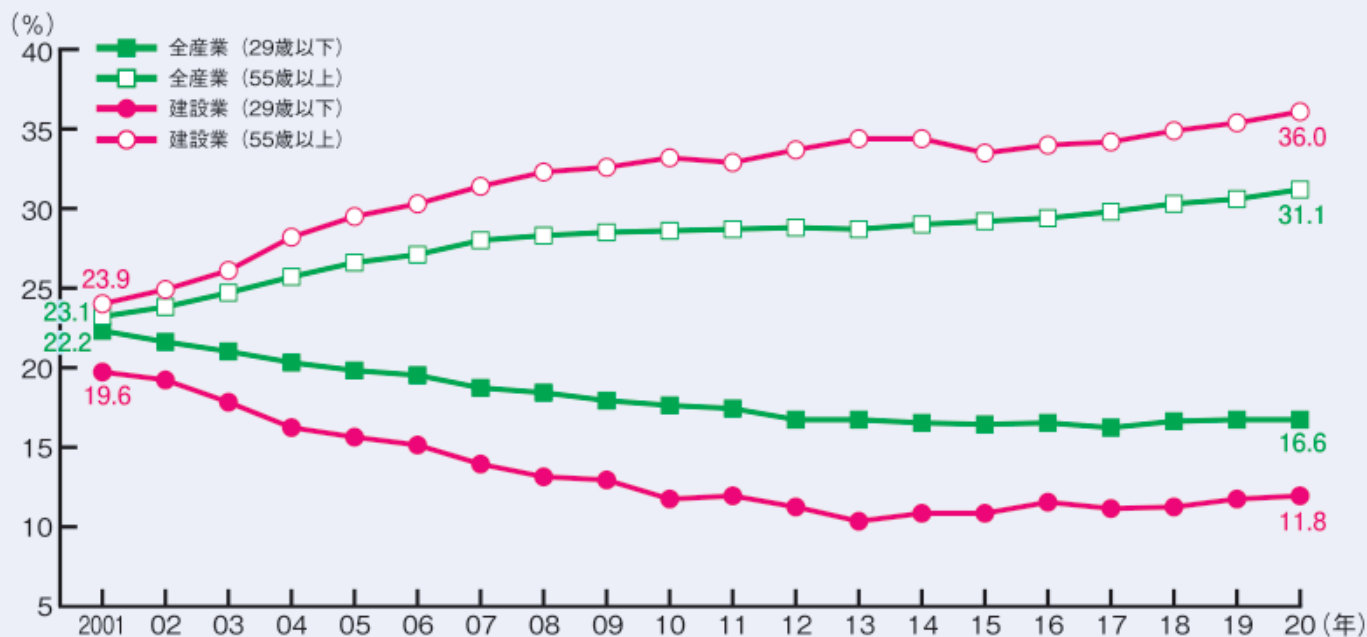
機械の「**自動化・自律化**」により建設現場の飛躍的な**生産性・安全性**を向上

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

社会背景：

建設業界において、高齢化や人口減少による労働力不足の問題を解決するため、自動施工技術のイノベーションは喫緊の課題。

》 建設業就業者の年齢別構成比の推移



資料出所：総務省「労働力調査」

建設業就業者は、2020年には55歳以上が36%、29歳以下が約12%と他産業と比べ高齢化が著しく高くなっている。建設業の生産体制を将来にわたって維持していくためには、若年者の入職促進と定着による円滑な世代交代が不可欠である。

社会背景：

- 「現在の自動施工技術は、動作はできるが**仕事**はできない」
(某ゼネコン現場担当者のつぶやき：人は、様々な情報や経験を活用し、設計から段取り、施工時の臨機応変な対応まで実施。)

→ **仕事ができる建設機械を実現したい。**

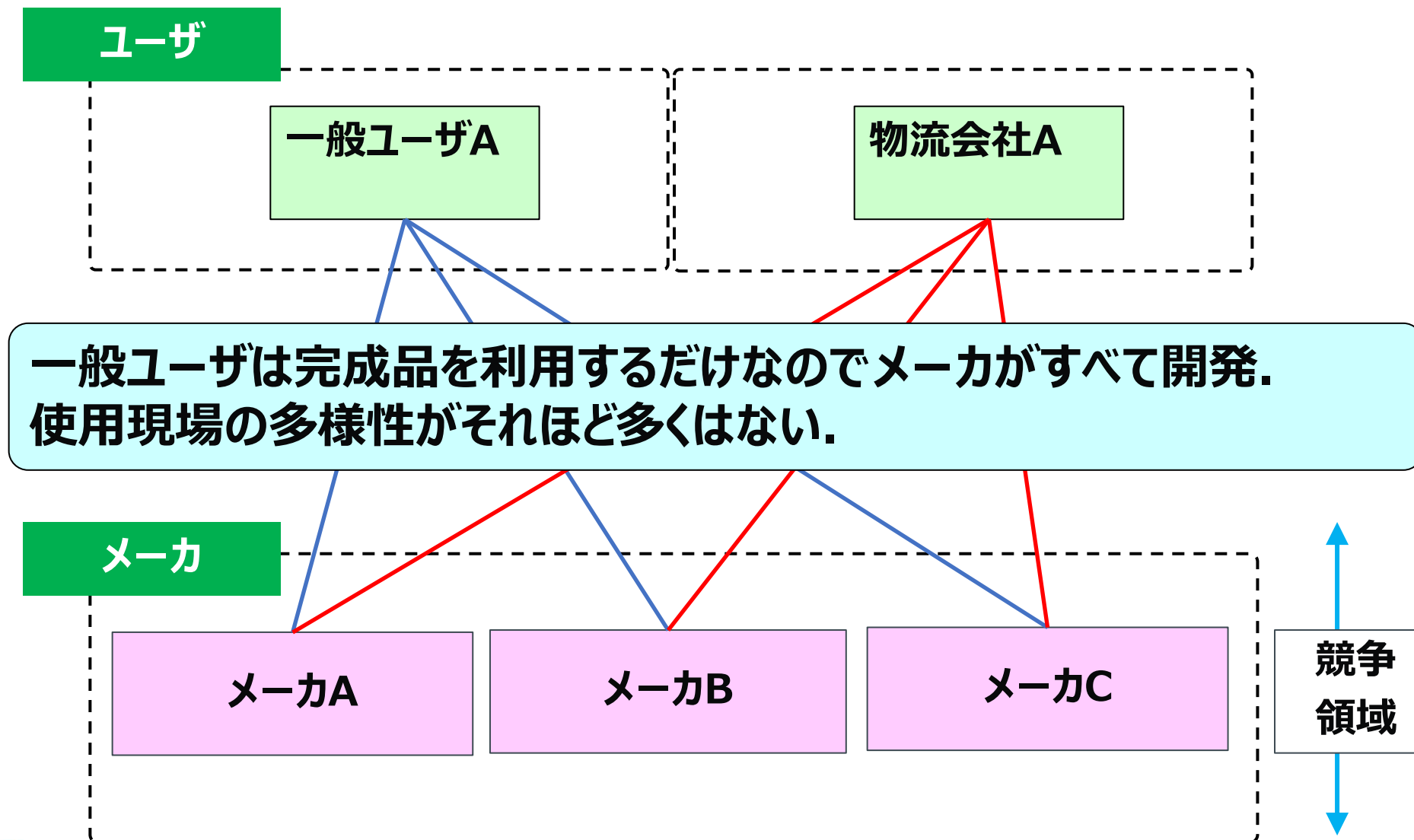


- 現状の研究開発は、大手ゼネコンと関連する企業が開発グループを構成し、その中で実施。開発された技術は開示されず閉じた状態。

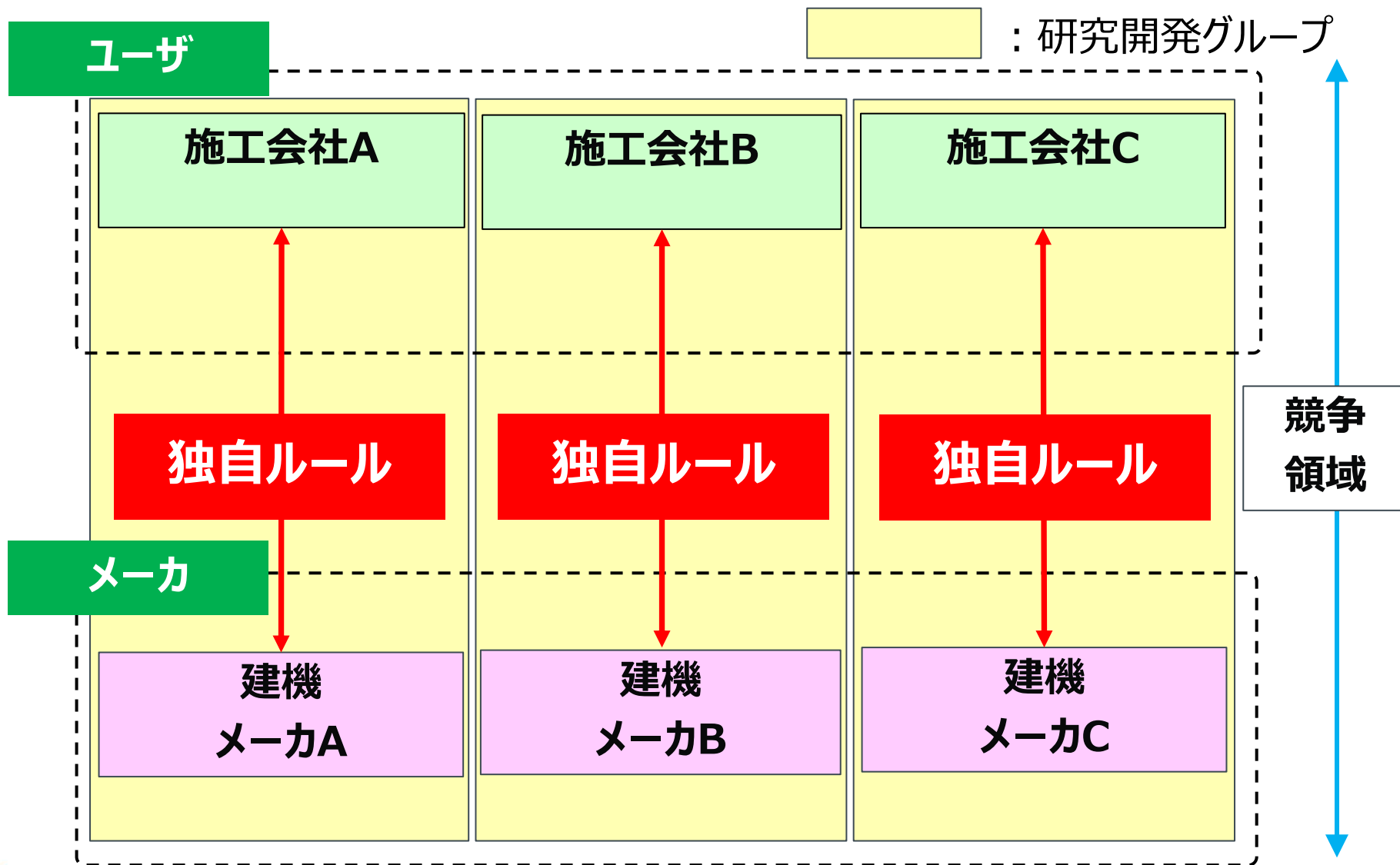
→ **共通ルールを設定し解決したい。**



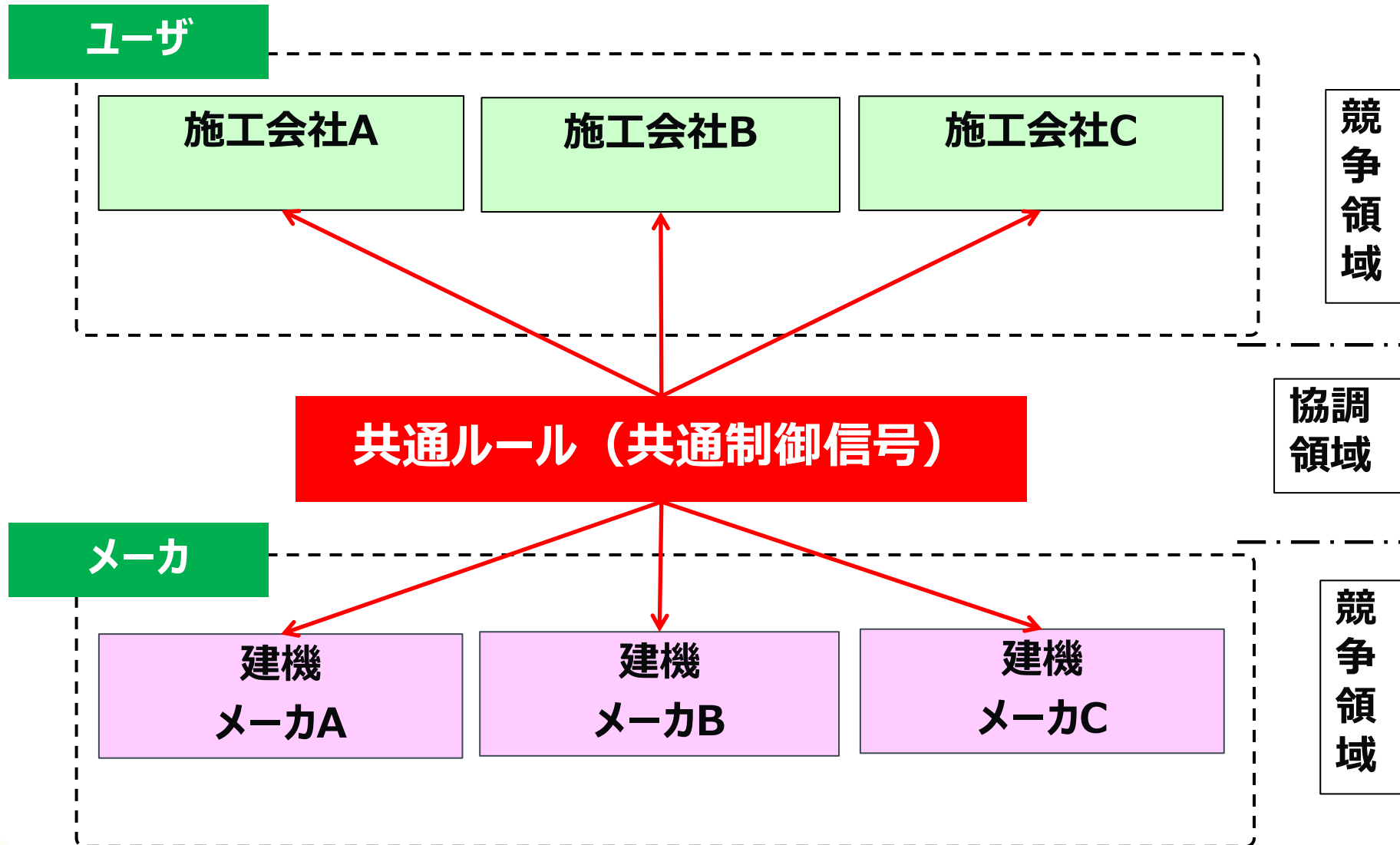
閉じた状態の説明：一般的な開発（例えば自動車）



閉じた状態の説明：自動建機の研究開発の現状



解決の一案：土木研究所 OPERAシステム



(a-1) 自動施工技術の開発の研究背景



3x speed

Camera

soil

team_0@wl 3.60
team_1@bh 1.20

status

team

CD0	stand-by	0.00	team_0
CD1	stand-by	0.00	team_0
CD2	move	1.20	team_1
CD3	move	0.00	team_1

cd 0

cd 3

wl_team

bh_team

Rviz

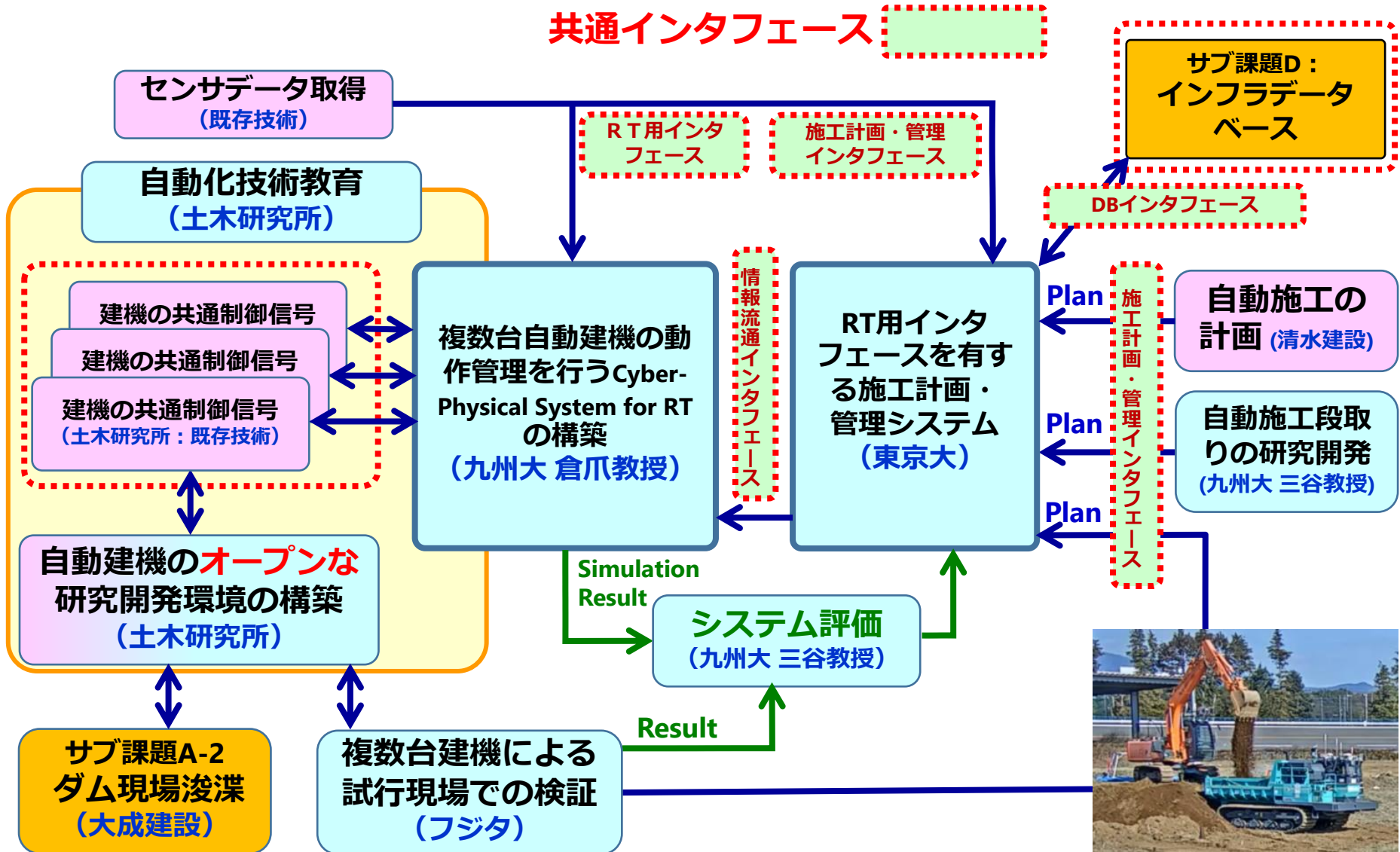
Moonshot 目標3

「動作はできるが仕事はできない」

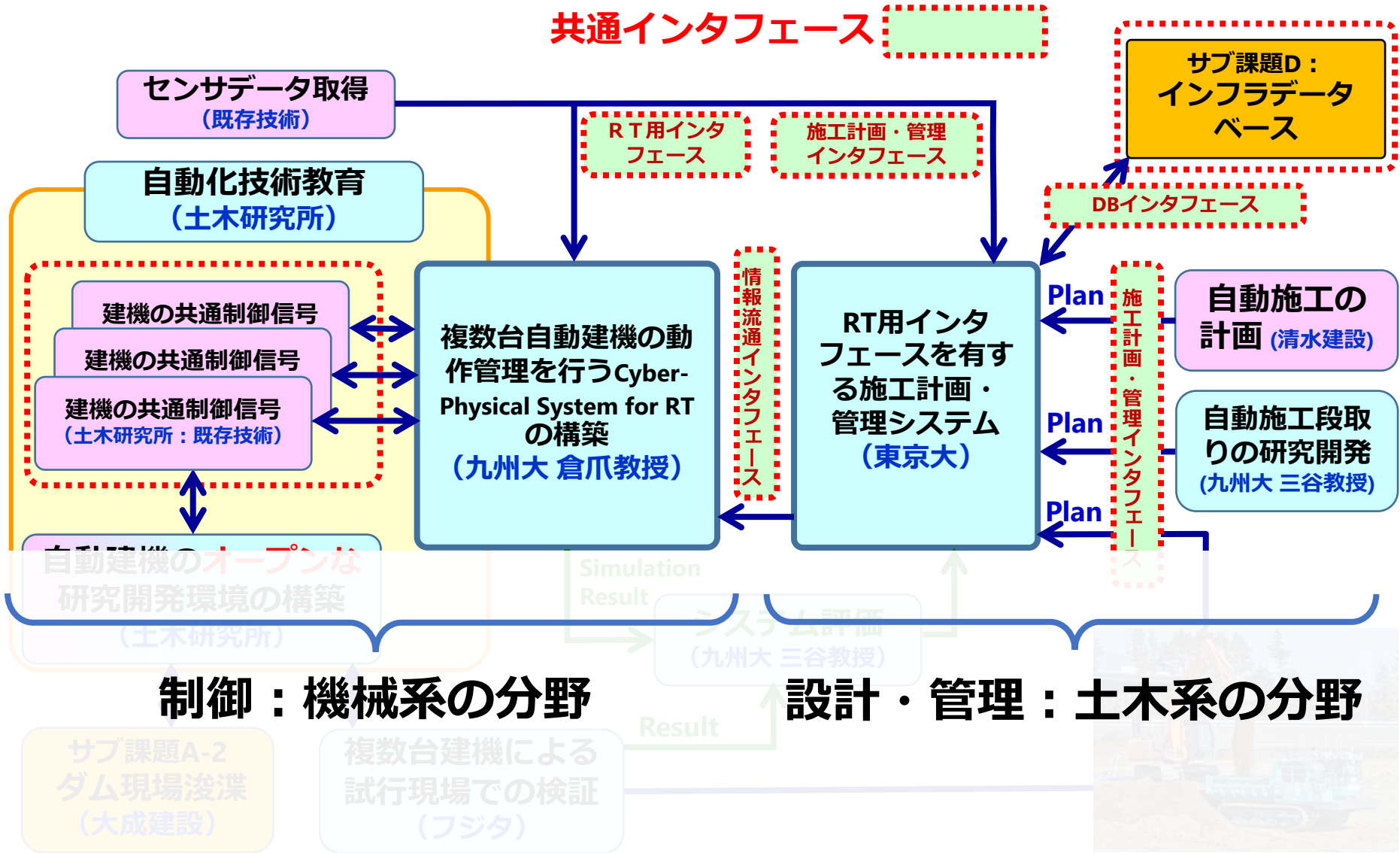
研究目的：

- **Cyber-Physical System**を活用した、**段取りや施工の計画から複数台建設ロボットによる自動施工まで**を実現。
→ **仕事ができる建設機械を実現したい。**
- 自動施工実現のための、サブシステム間の**情報流通インタフェースを共通化**し、技術の相互利用を進めることで、新規企業の参入やイノベーションを促進。
→ **共通ルールを設定し解決したい。**

(a-1) 「自動施工技術の開発」の全体構成



(a-1) 「自動施工技術の開発」の全体構成



(a-1) 研究成果を社会実装するために・・・



SIPでの取組

SIP以外の取組（他機関との連携等による取組）

**【ステージゲート時KPI】
プロトタイプでの試行を1箇所
所行う。**

**全国2箇所において
開発した技術を活用
し、自動施工の現
場試行を行う。**



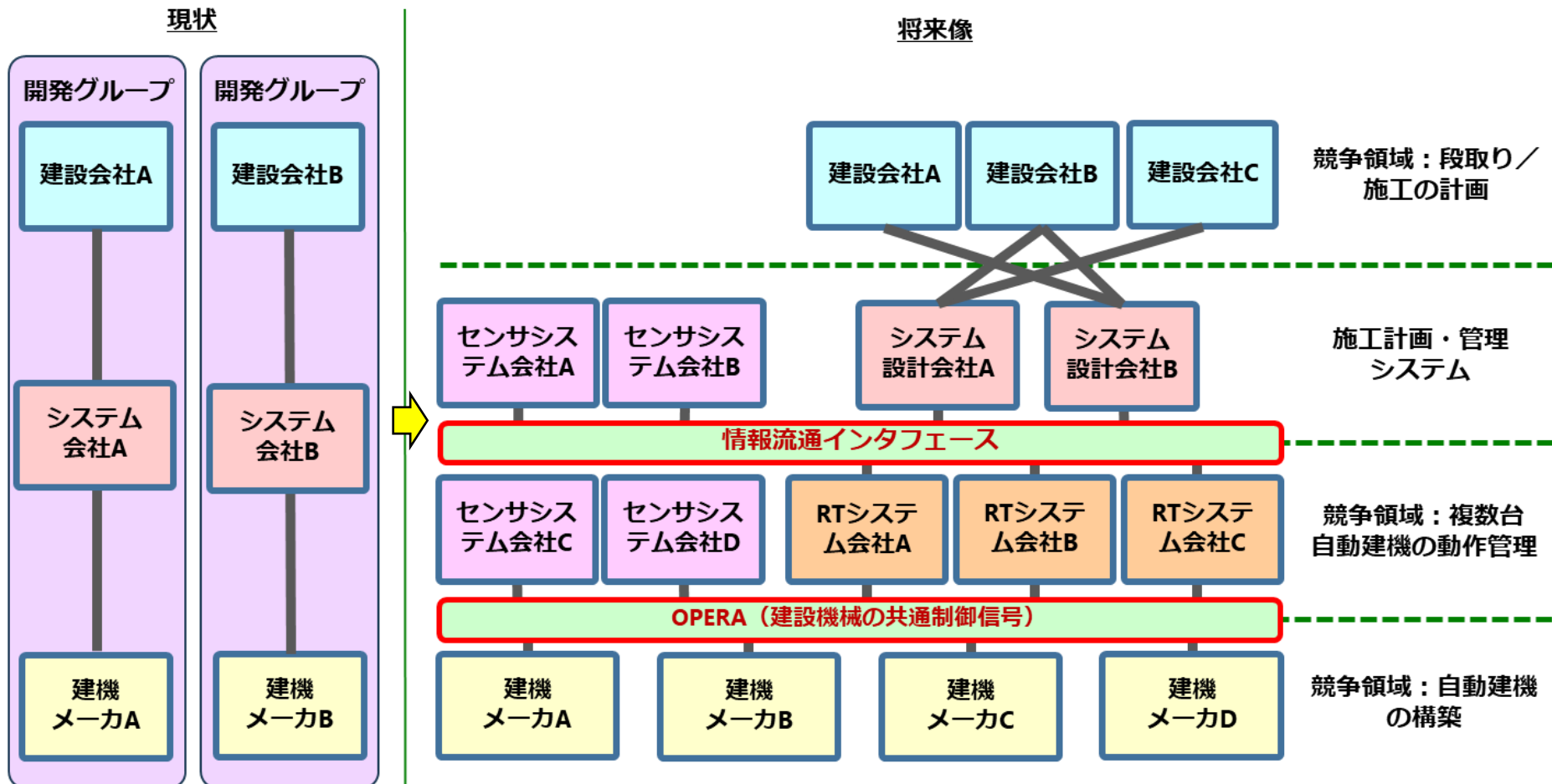
事業：オープンな研究開発環境の公開
→ オープンイノベーションの促進

制度：情報流通インタフェースの公開
→ 国土交通省「建設機械の自動化・自律化協議会」

人材：オンライン学習講座
→ 高度人材育成の推進

社会的受容性：プロジェクト活動や技術の周知
→ 学会発表，ウェブページ，プレスリリース等

(a-1) 研究成果の波及効果



施工や段取りの計画から複数台の建設ロボット制御による**自動施工の実現**とサブシステム間の**情報流通インターフェースの共通化**による開いた研究開発環境が実現

→10年後、Cランク規模の建設工事の20%が利用

a-2 : 人力で実施困難な箇所のロボット等による無人自動計測・施工技術開発

社会背景：

これまで人間が立ち入り直接作業せざるを得なかった**危険な環境**での作業の安全確保と生産性向上が必要。

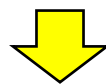
何でも使えるスーパーロボット／スーパー技術ができれば解決？

→ **これを目指すと、使えないロボット／技術になる。**
(ロボット研究あるある。)



「人力で実施困難な環境」を絞り、一点突破で解決を目指す。

→ **まず、その環境で活用されるロボットが開発され役立つ。**



**他の「人力で実施困難な環境」に適用可能な
技術開発に展開**

社会背景：

これまで人間が立ち入り直接作業せざるを得なかった危険な環境での作業の安全確保と生産性向上が必要。



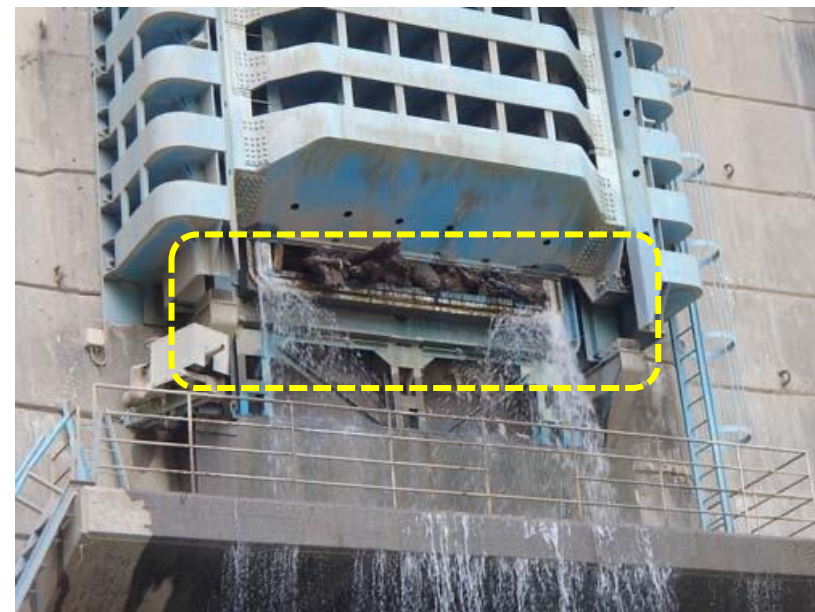
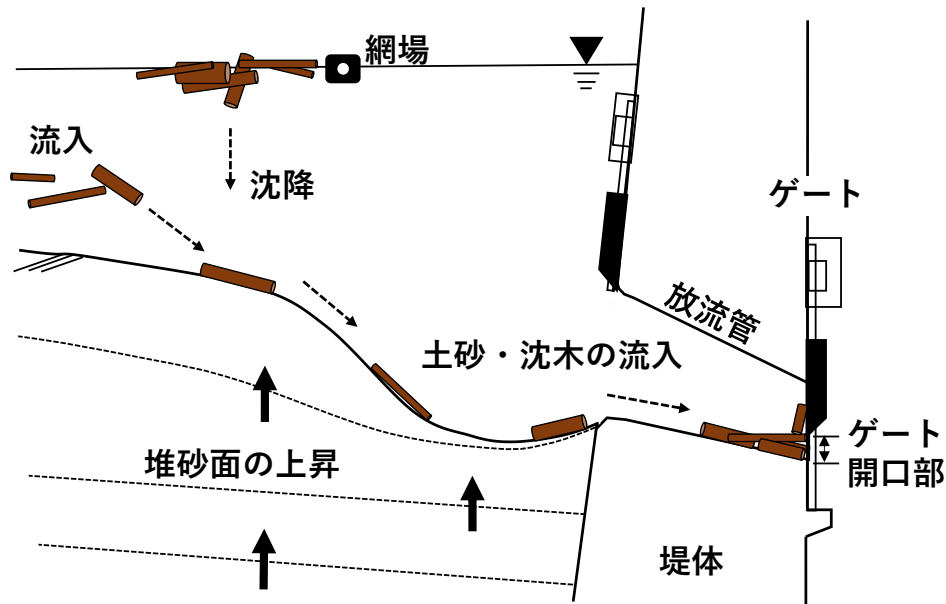
ダム堆砂対策



火山調査

社会背景：

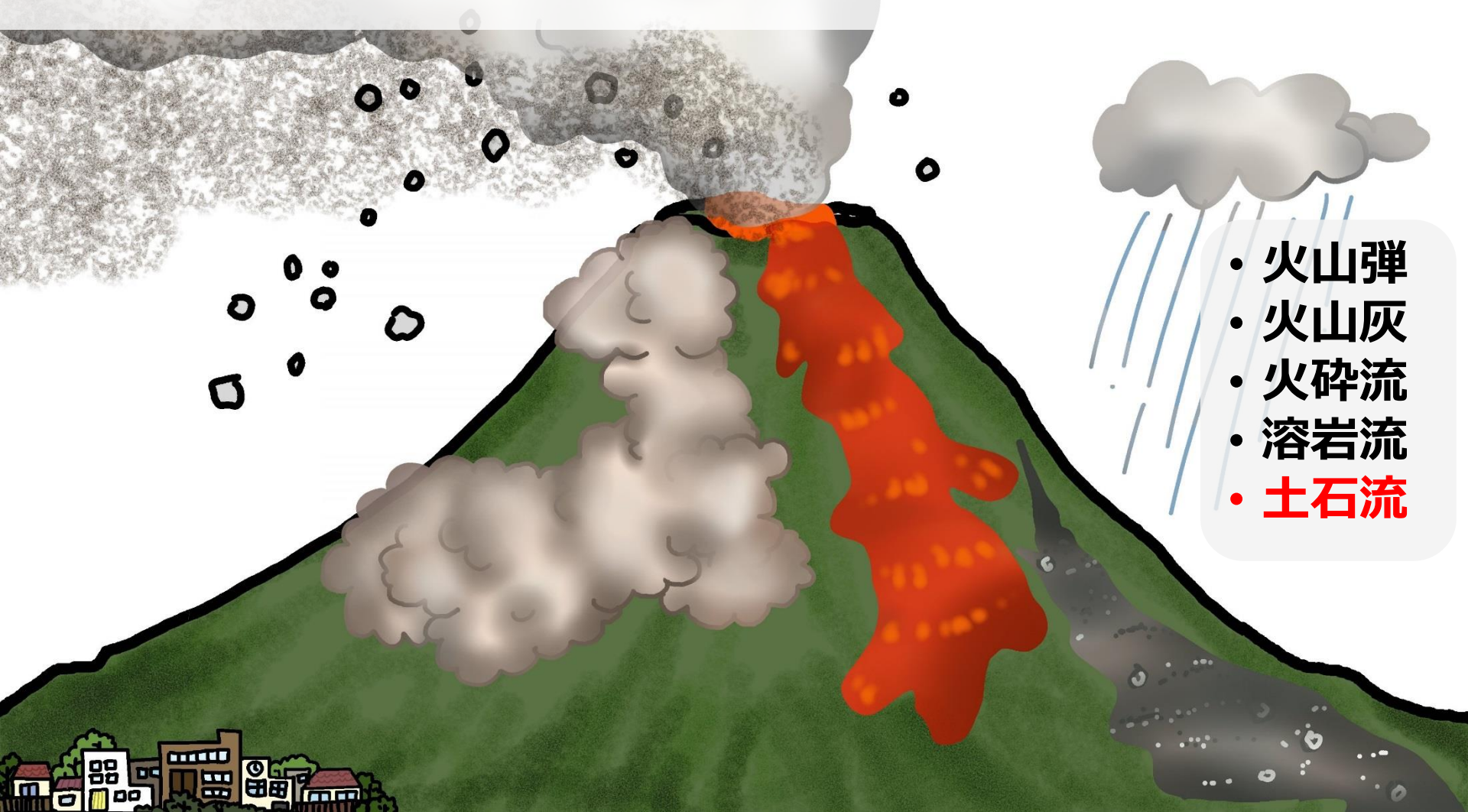
土砂堆積の進行に伴う課題（貯水容量の減少等）が顕在化。
（堆砂把握，浚渫・掘削工事，大深度・高水圧下での水中作業。）



2017年裾花ダムのコンジットゲート閉塞状況
(国土交通省, 2018)

社会背景：

火山噴火時の火口周辺の降灰調査は、土石流予測に必要不可欠。
(ただし浅間山レベル3の噴火で半径4kmは立入制限区域に設定。)



- 火山弾
- 火山灰
- 火砕流
- 溶岩流
- **土石流**

研究目的：

- ・ 実ダム貯水池ならびに火山災害現場を対象に**計測や施工の無人化技術**を確立
 - ・ 人の進入が困難な現場における**作業員の死傷事故の低減**
- **まず「ダム／火山」で活用される無人化技術を開発**



他の「人力で実施困難な環境」に適用可能な
技術開発に展開

研究開発チーム (代表 東京大学 永谷圭司)

a-2: 人力で実施困難な箇所のロボット等による無人自動計測・施工技術開発

(5) 人力で実施困難な箇所の計測や施工を実現する無人化技術の統括 (土木研究所)

(6) ダム堆砂対策における作業用建設機械操縦の遠隔化及び自動化 (大成建設)

(7) ダム堆砂対策における水中掘削・浚渫の遠隔化 (水源地環境センター)

(5) ダム堤体付近の土砂を洪水時に下流に排出する技術 (土木研究所)

(8) 農業用ダムを対象とした低コスト堆砂モニタリング・遠隔浚渫技術 (農研機構)

(9) ダムの土砂管理に関するモニタリング技術の高度化 (京都大学)

(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

協力機関: 国土交通省 河川環境課 流水管理室, 国土交通省 砂防部 砂防計画課 地震・火山砂防室, 国土交通省 関東地方整備局 利根川水系砂防事務所, 気象庁 地震火山部 地震津波監視課 地震津波防災推進室

(13) ドローンを用いた火山噴火時の降灰厚計測機器の実用化 (工学院大)

(14) ドローンを用いた火山噴火時の降灰情報等に関する情報取得技術 (国際航業)

(15) 火山噴火時の土石流発生検知手法の開発及び現地検証 (北海道大学)

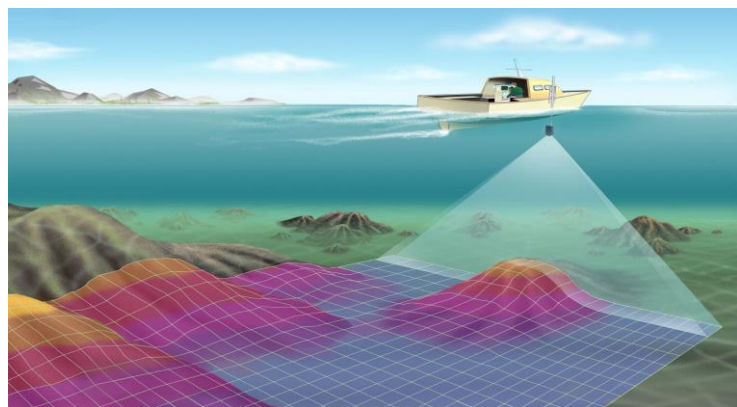
(16) 火山噴火時の降灰の質調査手法の開発及び現地検証 (東京農工大)

(10) ダムにおける3次元堆砂測量技術の遠隔化・自動化 (セアプラス)

(11) ダム貯水池の堆砂性状モニタリング技術 (水資源機構)

(12) ダムにおける流砂量計測技術の高精度化 (信州大学)

(a-2) 「ダム堆砂対策の研究開発」の研究開発



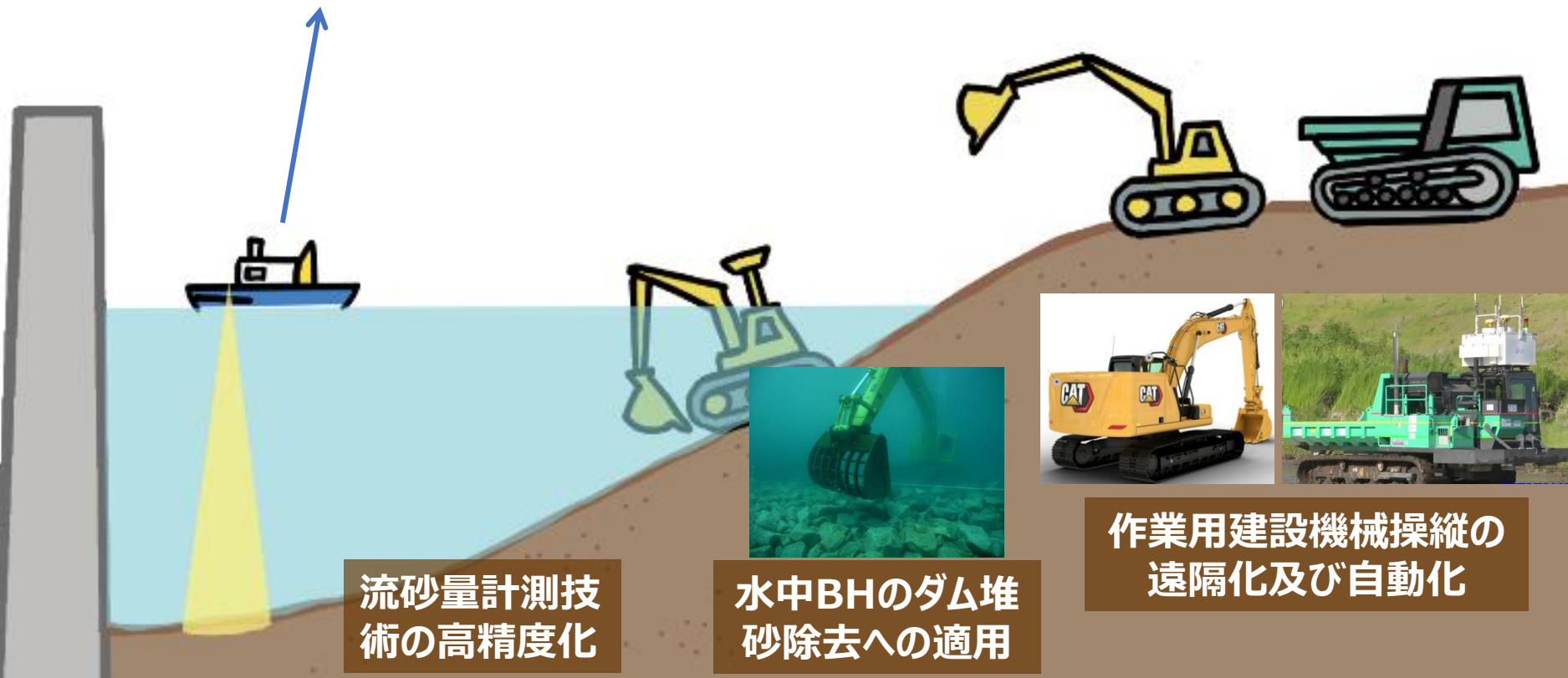
三次元堆砂測量技術の遠隔化・自動化



サイホン効果を用いた
潜行吸引式排砂装置



農業用ダムへの適用



- ダムの土砂管理に関するモニタリング技術の高度化
（京都大学、セア・プラス、水資源機構、信州大学）
→ 3次元堆砂測量技術，流砂量計測技術の低コスト化・高度化
- 作業用建設機械操縦の遠隔化及び自動化（大成建設）
→ 地表での堆砂除去を遠隔操縦／自動制御で実現
- ダム堆砂対策における水中掘削・浚渫の遠隔化
（水源地環境センター）
→ 水中での堆砂除去を遠隔操縦で実現
- ダム堤体付近の土砂を洪水時に下流に排出する技術
（土木研究所 水工チーム）
→ 土砂を浚渫・排出／下流の環境負荷を低減する技術が実現
- 農業用ダムを対象とした低コスト堆砂モニタリング・遠隔浚渫技術
（農研機構）
→ 県営等の中小規模のダムにおいて上記技術を低コストで活用

赤字：取得情報

地形データ
空撮画像

降灰

降雨強度

ドローン活用降灰厚計測
(工学院大学)

技術の開発・検証,
調査計画立案,
マニュアル整備,
説明会・訓練の実施
(国際航業)

降灰範囲

浸透能調査 (東京農工大) / 溪流
内の堆積状況把握 (北海道大学)

保全対象

人力で計測が実施困難な箇所
(立入規制区域)

情報共有プラットフォーム
(降灰情報、土石流発生情報)





技
説

保全対象

(立入規制区域)



**情報共有プラットフォーム
(降灰情報、土石流発生情報)**

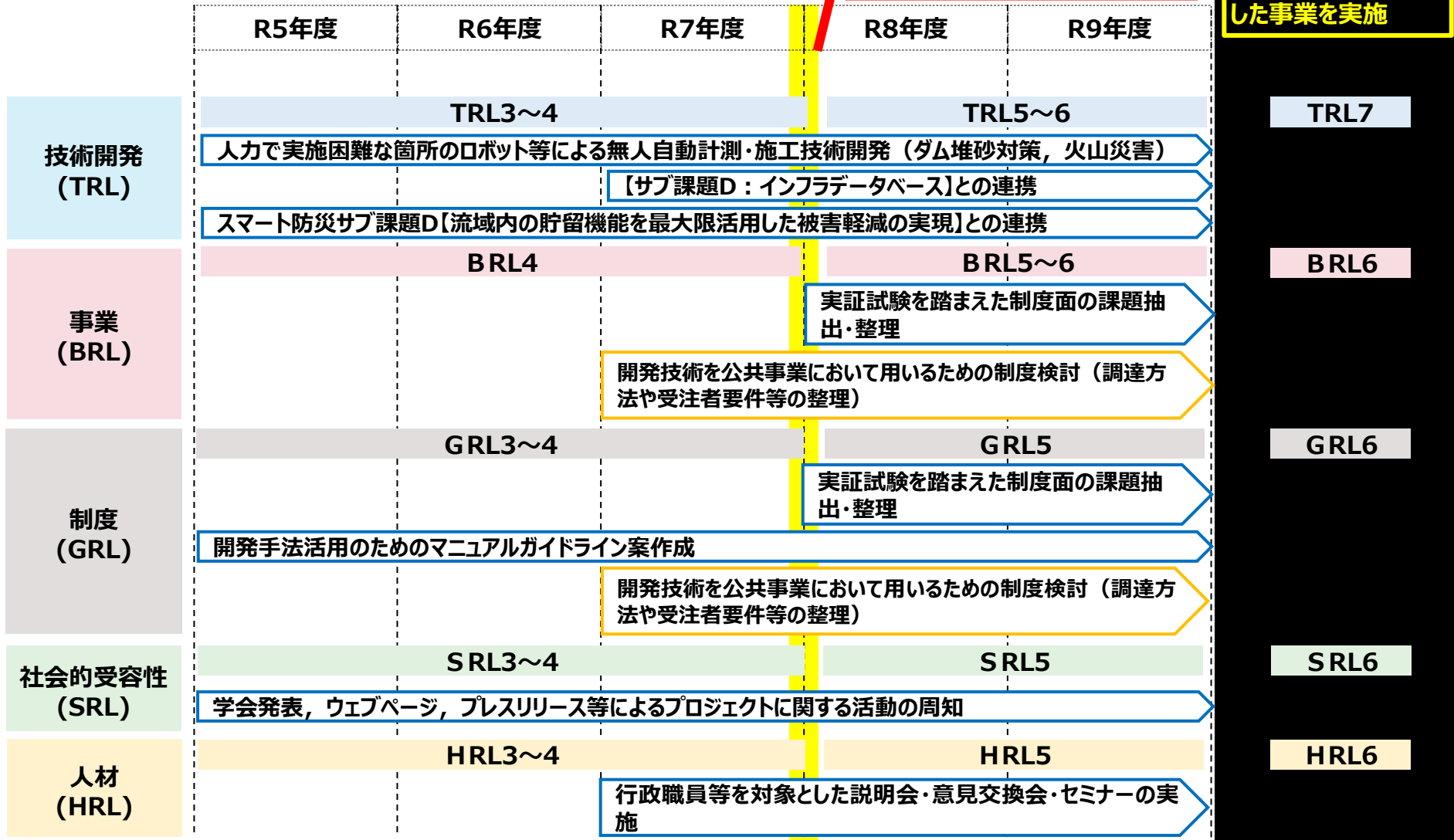
(a-2) 研究成果を社会実装するために・・・



SIPでの取組
SIP以外の取組（他機関との連携等による取組）

【ステージゲート時KPI】
プロトタイプでの試行をダム及び火山それぞれ1箇所で行う。

ダム及び火山それぞれ1～2箇所において開発した技術を活用した事業を実施



- 事業**：堆砂対策事業の中で活用／緊急調査実施の判断材料
→ 人力で実施困難な箇所作業員の安全確保
- 制度**：実証試験を踏まえた制度面の課題抽出・整理
→ 開発技術を公共事業で用いるための制度検討
- 人材**：ダム管理に関わる資格保有者・予定者／地方整備局
や災害協定業者への [研修, 講習, 訓練]
→ マネジメント能力・技術の向上や活用方法の習熟
- 社会的受容性**：プロジェクト活動や技術の周知
→ 学会発表, ウェブページ, プレスリリース等

a-3 : トンネル発破等の危険作業の自動化・ 無人化に係る研究開発

社会背景：

トンネルの掘削技術も危険作業

→ **各社で自動化／遠隔化**が進められている。

穴を空ける



機械による省力化・遠隔化

出典：安藤ハザマホームページより抜粋
(<https://www.ad-hzm.jp/info/2021/20211018.php>)

装薬／結線／点火



人力による作業

出典：鉄建建設ホームページより抜粋
(<https://www.tekken.co.jp/blog/2011/08/post-45.php>)

ずりだし



機械による省力化・遠隔化

出典：鹿島建設ホームページより抜粋
(<https://www.kajima.co.jp/news/press/202106/30c1-j>)

ロックボルト削孔・打設



機械による省力化・遠隔化

出典：大成建設ホームページより抜粋
(https://www.taisei.co.jp/about_wz/wz/2021/211020_8524.htm)

コンクリート吹付け



機械による省力化・遠隔化

出典：鹿島建設ホームページより抜粋
(<https://www.kajima.co.jp/news/press/202106/30c1-j.htm>)

鋼アーチ支保工建込み



機械による省力化・遠隔化

出典：前田建設工業ホームページより抜粋
(<https://www.maeda.co.jp/news/2019/11/18/4998.html>)

社会背景：

トンネルの掘削技術も危険作業

→ **各社で自動化／遠隔化**が進められている。

爆薬の遠隔装填技術は進んでいるが雷管の結線は人手



肌落ちによる被災リスク

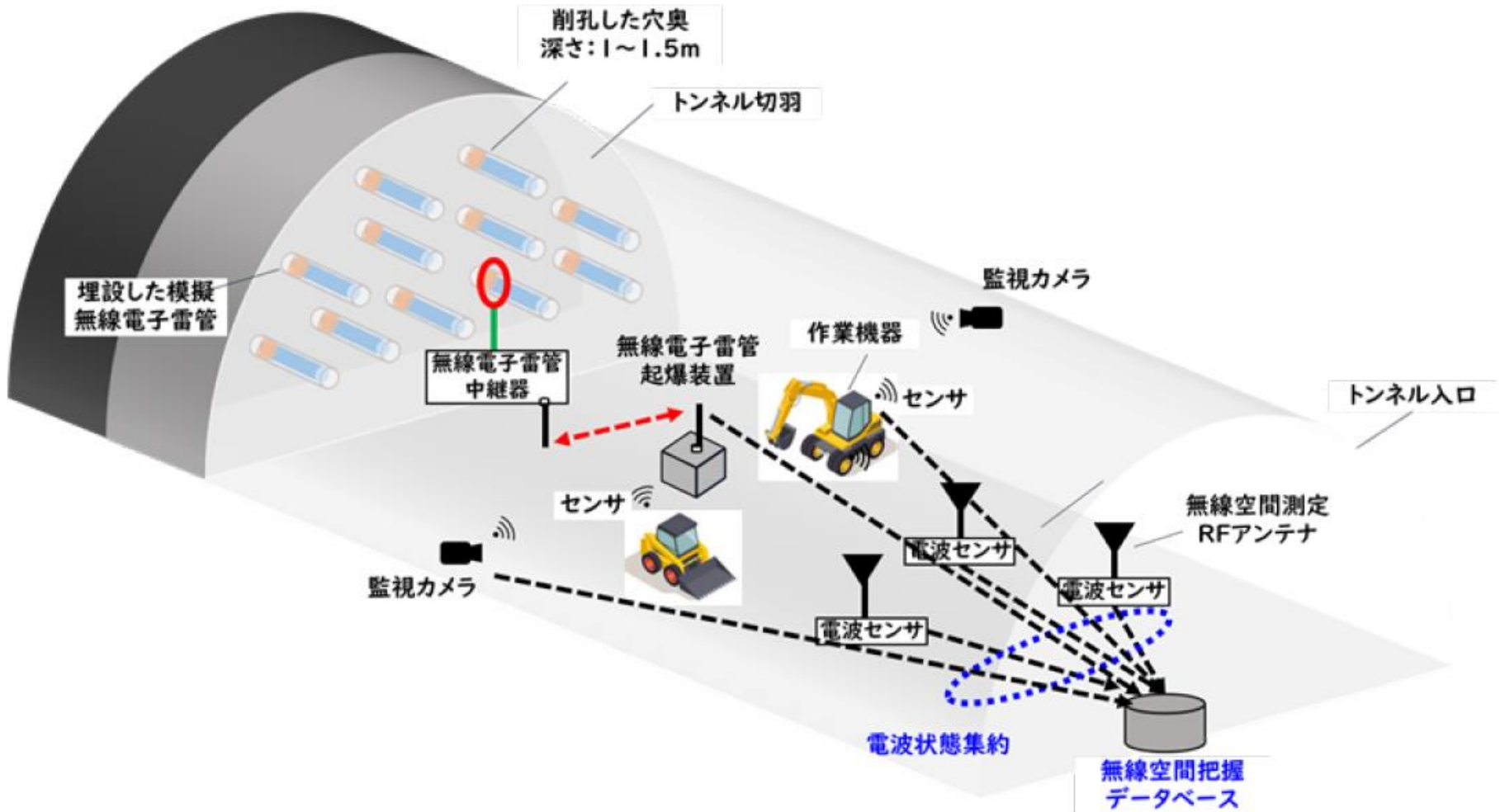
研究目的：

- 安全性・信頼性を確保した**無線電子雷管システム**の開発

→ これですべてトンネル工事で切羽に人が立ち入らない
システムが実現・・・安全を確保！



他の「危険環境」に適用可能な無線電子雷管の
技術開発に展開

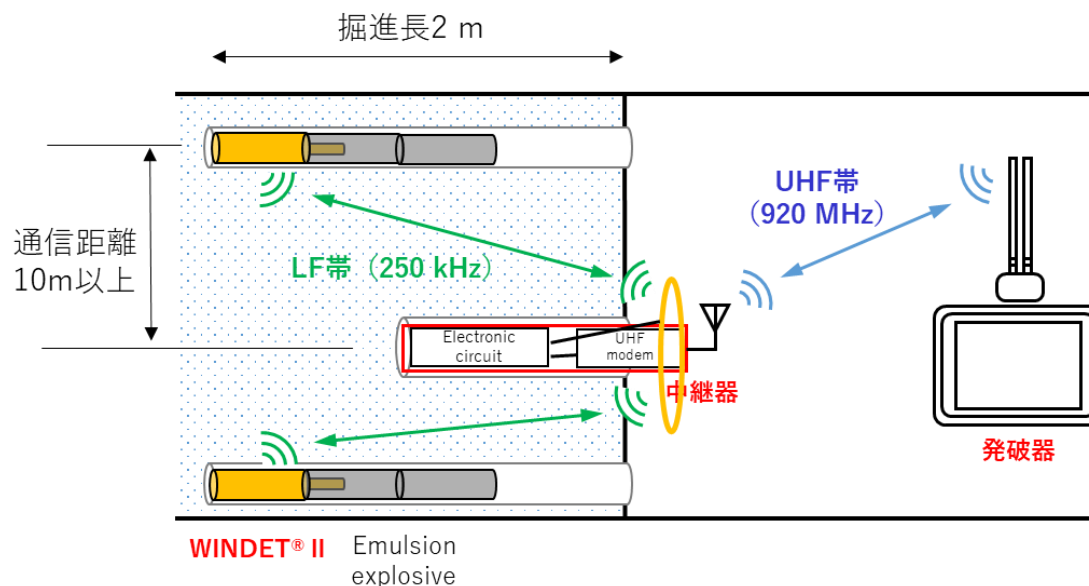


無線技術が鍵（技術だけでなく電波法に関する部分も重要。）

- 無線電子雷管システムの開発／雷管の安全性検証（日油）

- 開発目標 1：雷管の結線が不要な発破システム

- 開発目標 2：雷管と発破器間の双方向通信による不発防止



- 無線電子雷管システムの通信方式の技術開発（電通大）

- LF帯信号（@250kHz）により岩盤の中に埋め込まれた無線電子雷管と発破信号との送受信を実現

- ① 解析で検証：FDTD法（有限差分時間領域法）
- ② 実験で検証：中継器アンテナによる実測

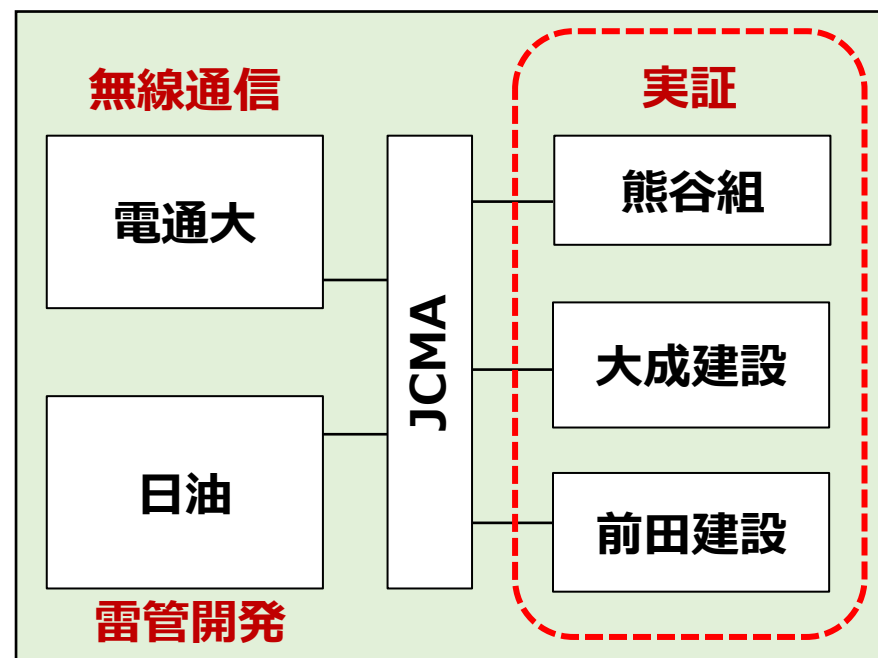
施工会社による無線電子雷管を用いた発破試験

- 無線電子雷管システムとその装填機構について開発（熊谷組）
- 無線電子雷管を用いた発破システムの最適化（大成建設）
- 無線電子雷管を用いた自動装薬システムの検証（前田建設）

全体の取りまとめ

- 無線電子雷管の実験検証・
社会実装
（日本建設機械施工協会）

体制図

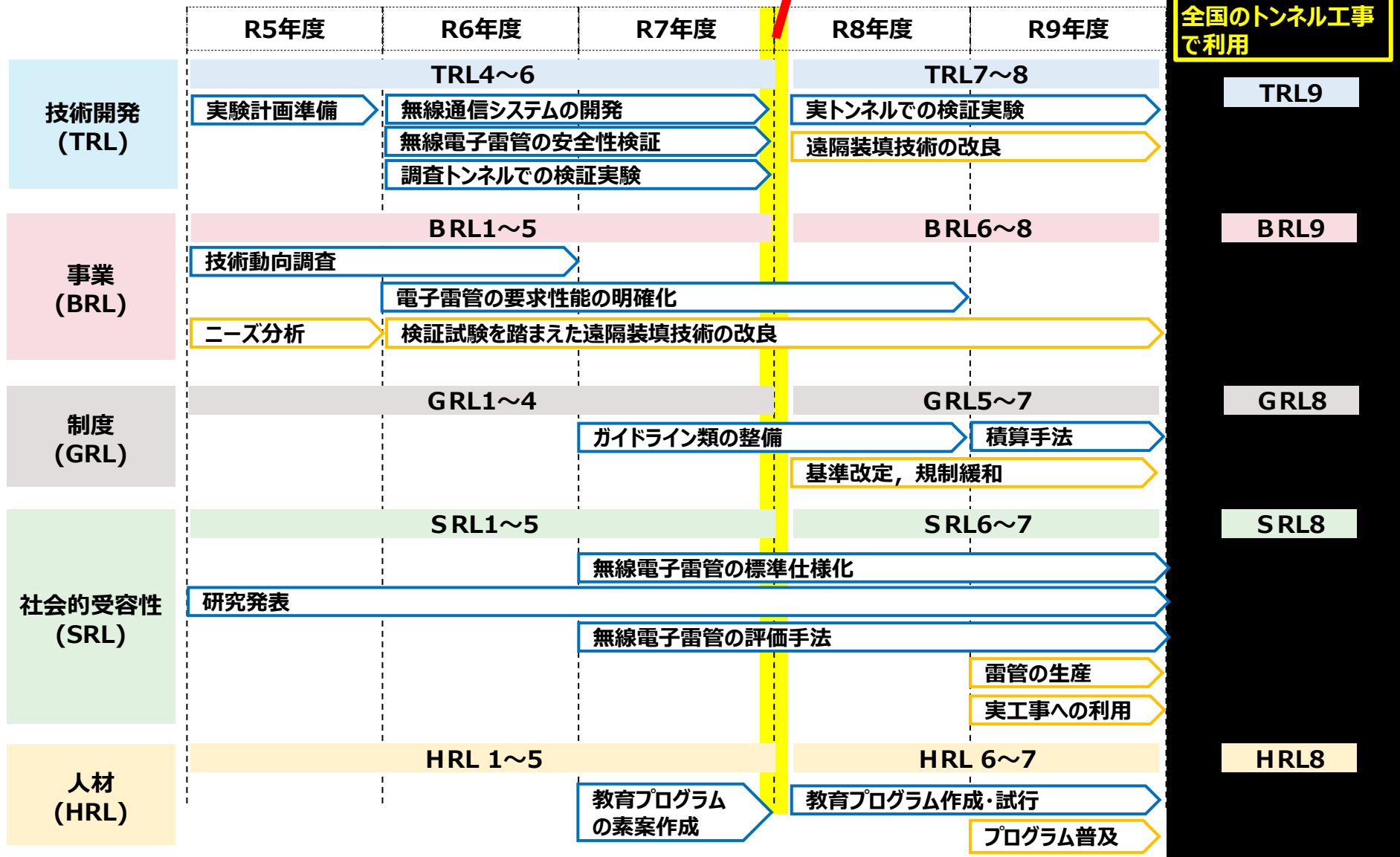


(a-3) 研究成果の社会実装のために・・・



SIPでの取組
SIP以外の取組（他機関との連携等による取組）

【ステージゲート時KPI】調査トンネルにて、実トンネルと同様の環境での実証実験を実施



事業：全国6か所のトンネル現場に適用

→ 無線電子雷管の要求性能の明確化

制度：「トンネル切羽安全技術」に準拠したシステム

国土交通省「新技術導入促進技術制度」に登録

→ 現場で使える技術に仕上げる

人材：施工業者（3社）の技術者が、無線雷管の配備から発破まで実現する技術を習熟

→ 現場で使える技術者を育成

社会的受容性：プロジェクト活動や技術の周知

→ 学会発表，ウェブページ，プレスリリース等

サブ課題内連携：a-1／a-2

a-2「地表／農業ダムの堆砂除去」と a-1「自動施工」との連携
(施工計画や自動建機が取得する動作データ)

サブ課題間連携：スマートインフラ サブ課題D

「インフラデータベースの共通基盤の構築・活用」との連携
(a-1「自動施工」の施工計画や自動建機が取得する動作データ)

課題間連携：スマート防災 サブ課題D

「流域内の貯留機能を最大限活用した被害軽減の実現」との連携
(a-2「ダム現場のモニタリング技術」により取得するダム堆砂データ)

既存のプラットフォームが様々 --- (例) 火山噴火時の降灰調査

- **JVDN (Japan Volcanological Data Network)**
防災科研主導, 気象庁や大学などがデータを提供, 観測データのデータベース)
- **RTHM (Realtime Hazard Map)**
国交省主導, 既存計算結果のデータベースや火山災害のシミュレーション機能
- **PLATEAU (3D都市モデルのオープンデータ化プロジェクト)**
国交省主導, 3D都市モデル, Cesiumベース
- **SIP4D (基盤的防災情報流通ネットワーク)**
内閣府主導, 被害情報の集約

本発表では・・・

サブ課題A「革新的な建設生産プロセスの構築」と本プロジェクトに対する**永谷の想い**を紹介



- 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
- a-2** : 人力で実施困難な箇所ロボット等による無人自動計測・施工技術の開発
- a-3** : トンネル発破等の危険作業の自動化・無人化に係る研究開発