

先端建設技術セミナー

2015.6.22

これからの建設施工を考える



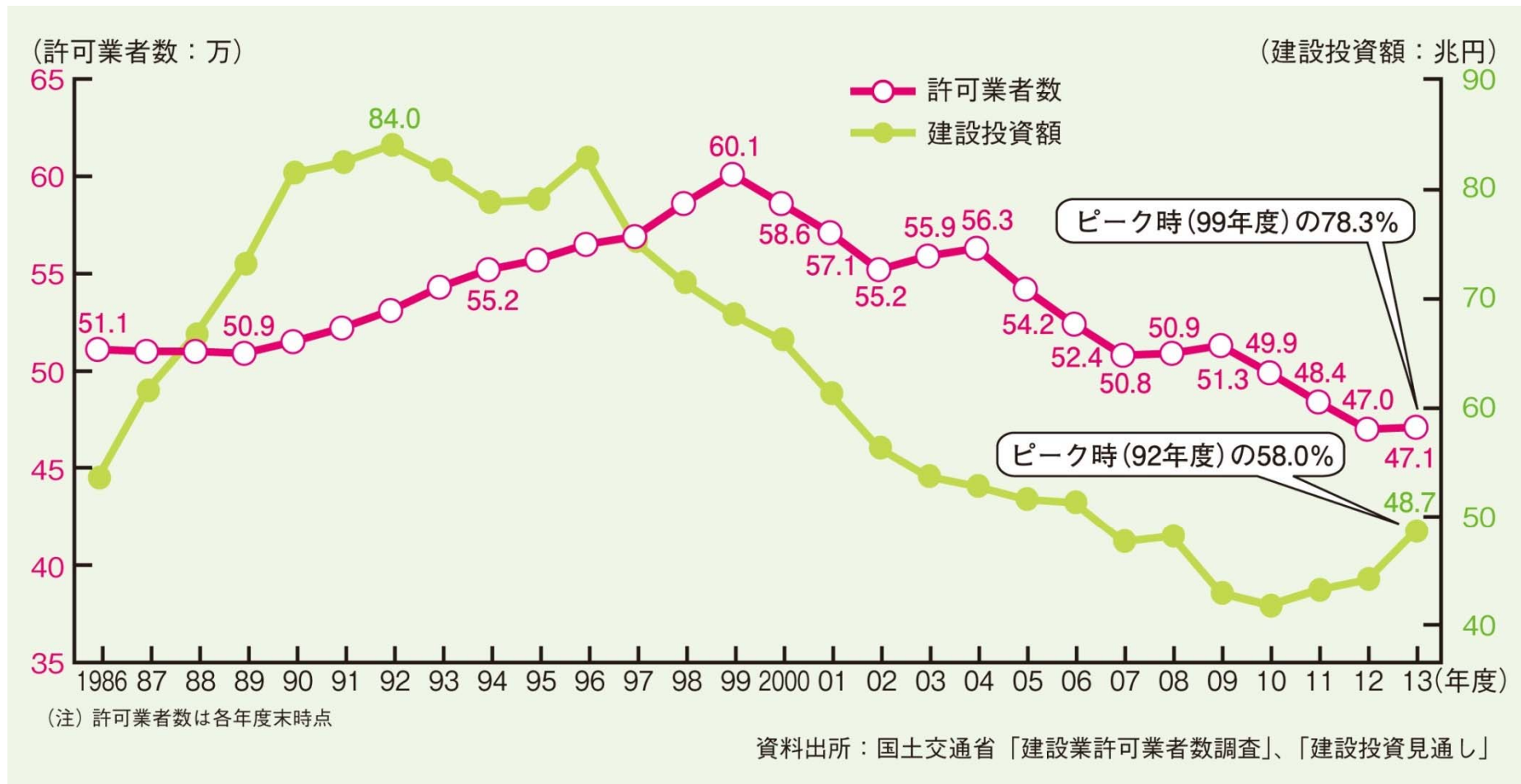
立命館大学 理工学部

建山 和由

**いまから20年後の建設技術は、
大きく変わっているか？**

社会情勢から考えると

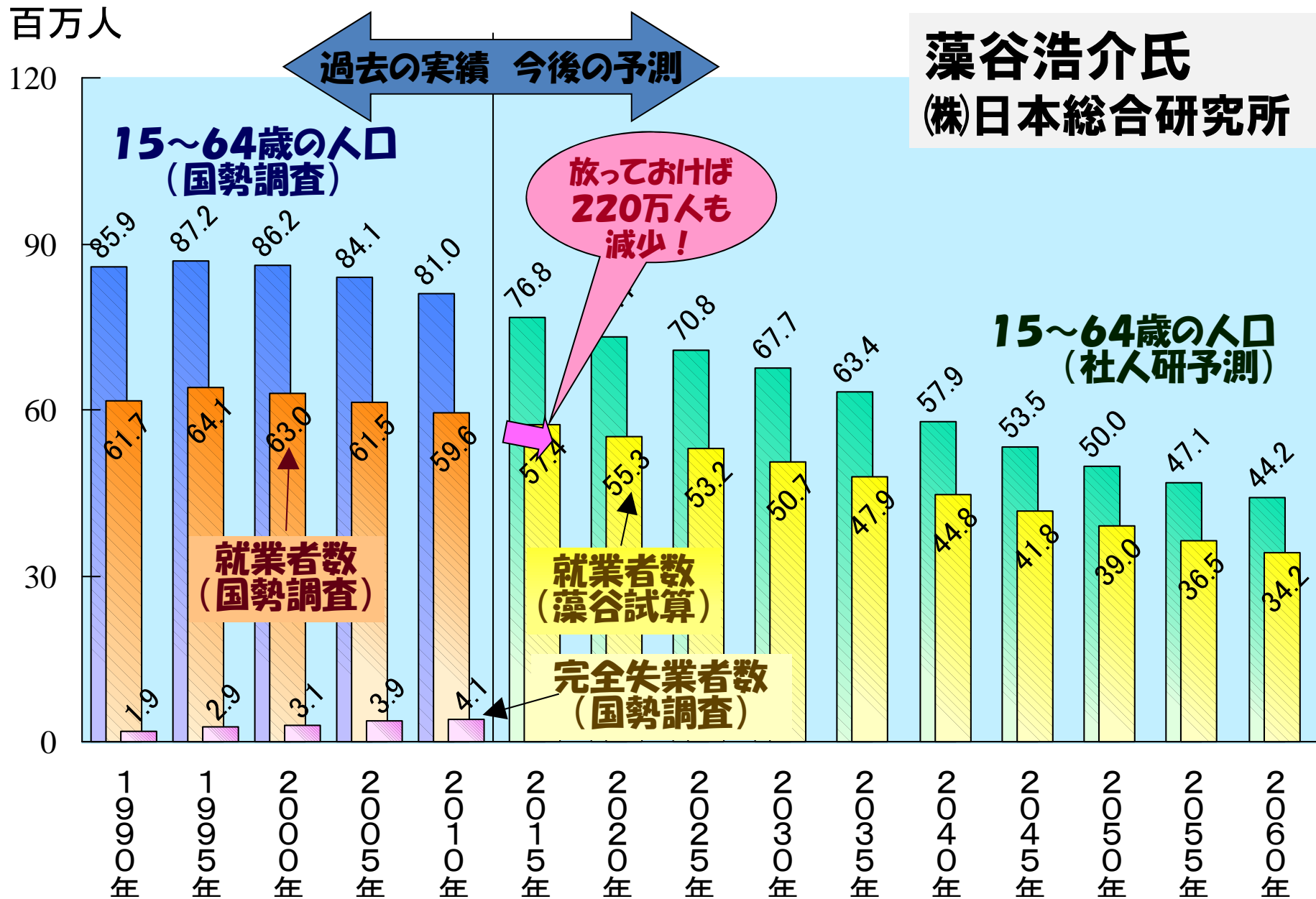
建設投資と建設業者数の推移



就業者人口の減少

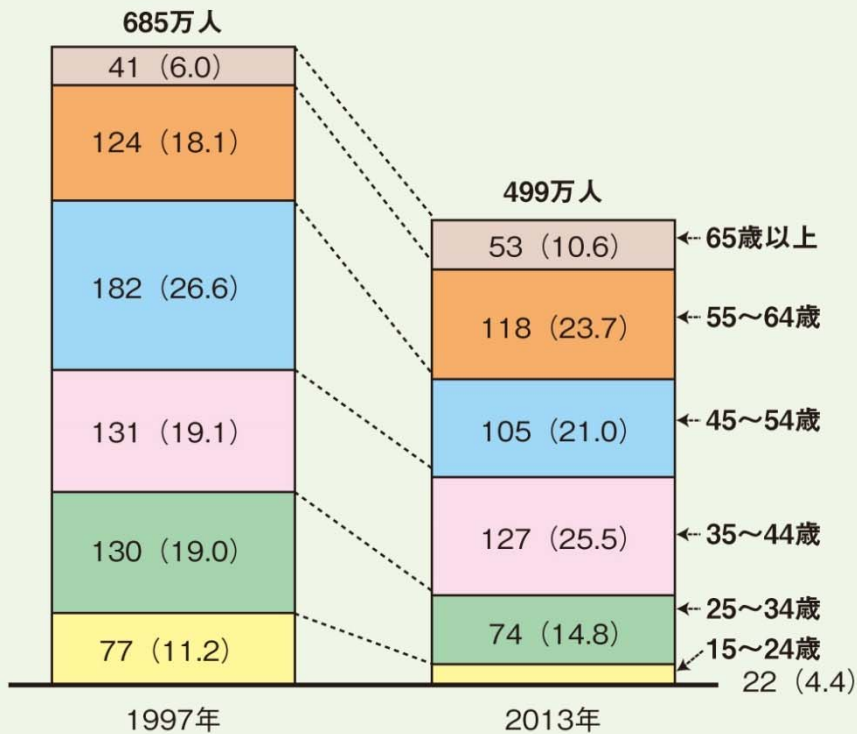
深刻な建設従事者不足

藻谷浩介氏
(株)日本総合研究所

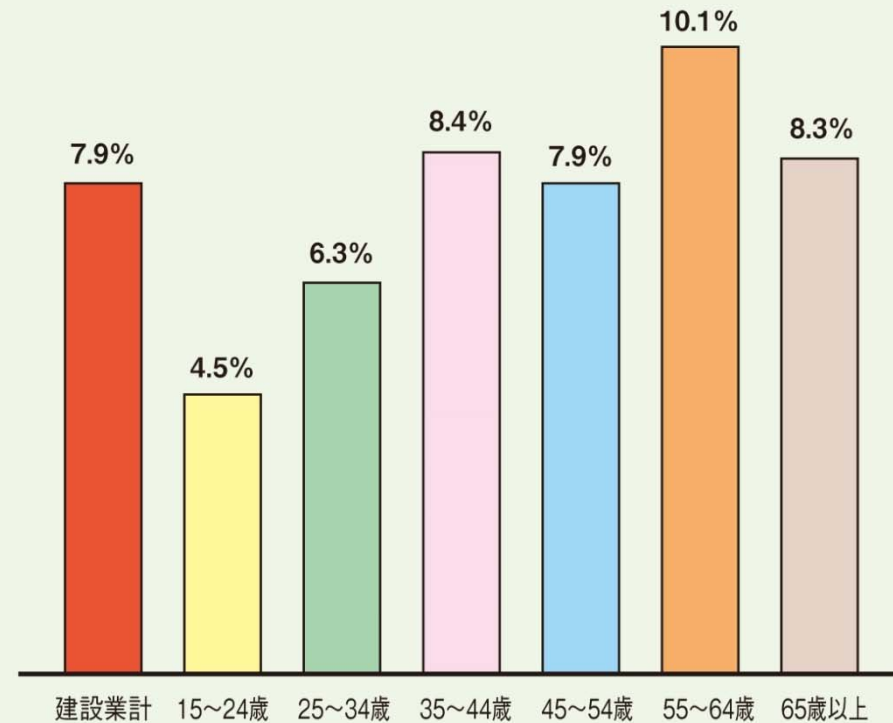


高齢化に起因する建設従事者不足

建設業就業者数の年齢階層別推移



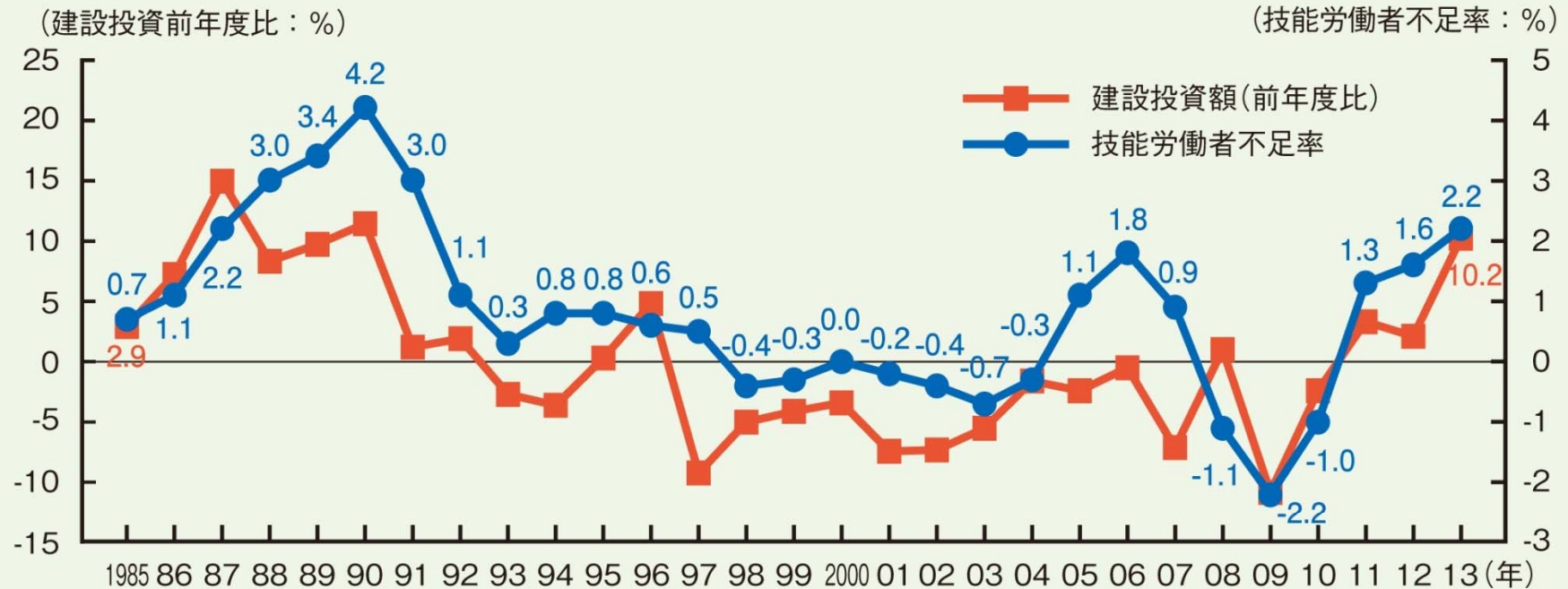
全産業就業者中に占める建設業就業者の割合 (2013年)



(注) () 内は構成比

資料出所：総務省「労働力調査」

深刻化する技能労働者不足



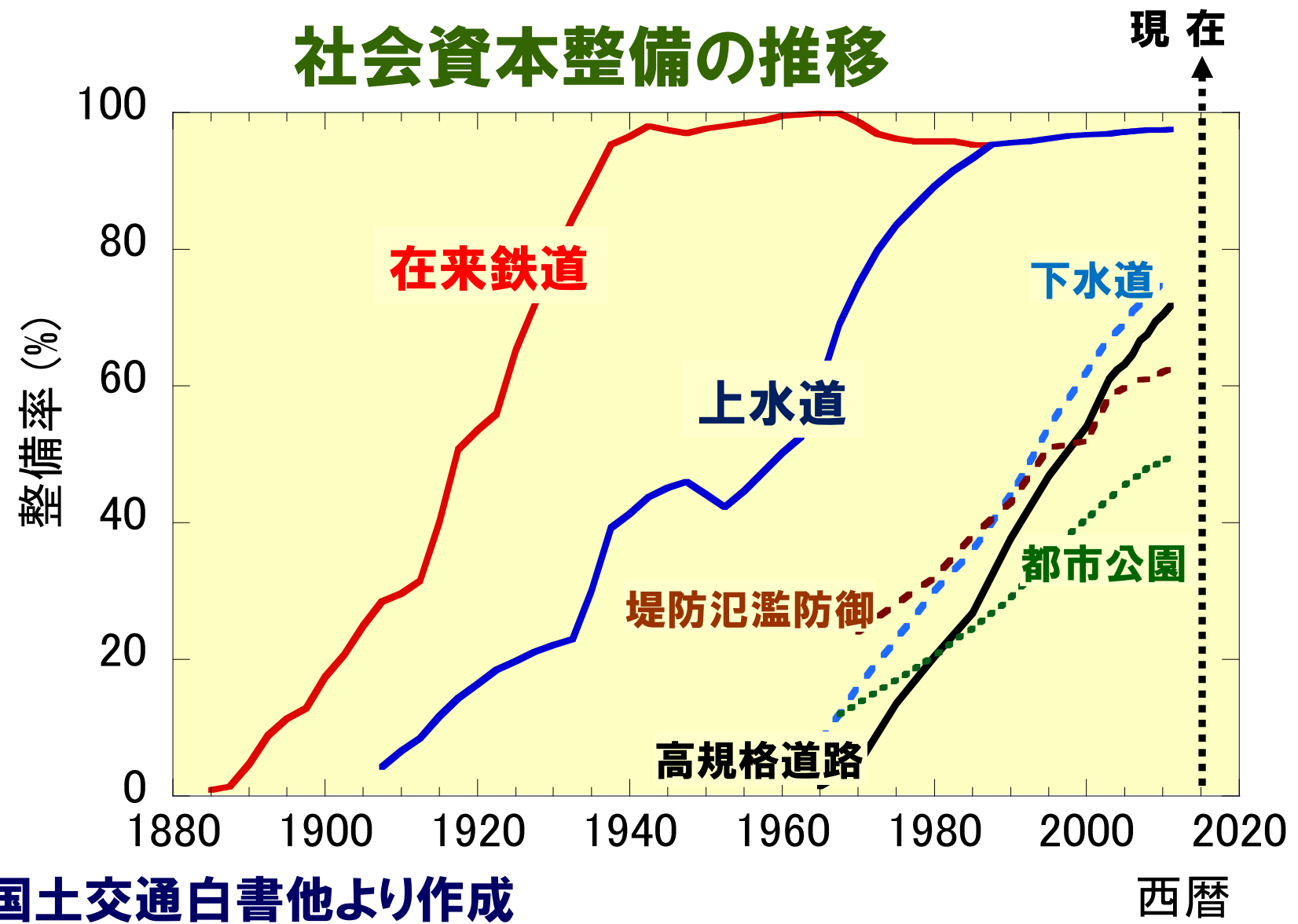
(注) 1. 型わく工（土木・建築）、左官、とび工、鉄筋工（土木・建築）の6職種の技能労働者の不足率を示す。

2. 不足率 = (確保したかったができなかった労働者数 - 確保したが過剰となった労働者数) ÷ (確保している労働者数 + 確保したかったができなかった労働者数) × 100

資料出所：国土交通省「建設労働需給調査」、「建設投資見通し」

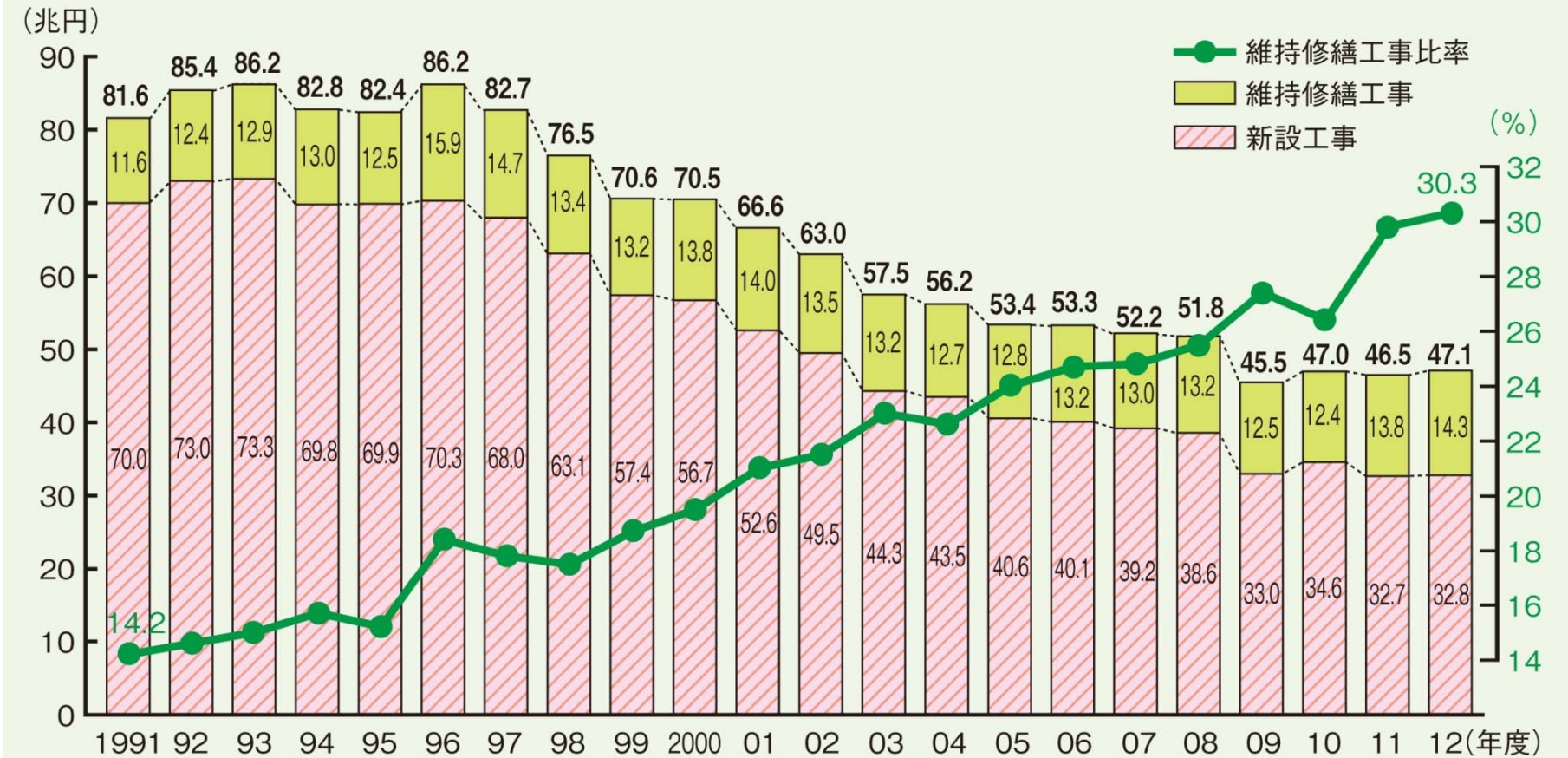
維持管理の視点から

社会資本整備の推移



国土交通白書他より作成

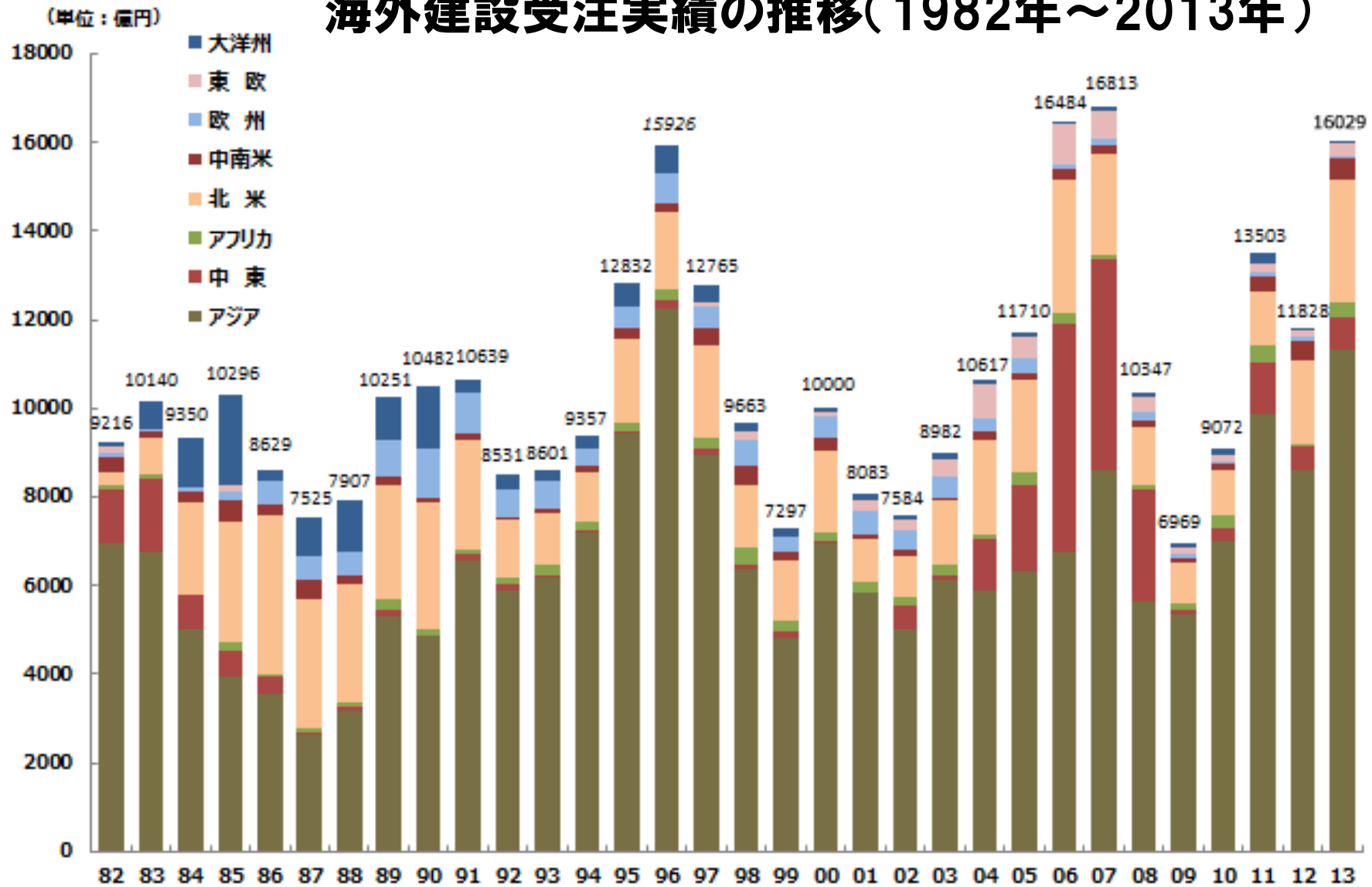
年々増加する維持修繕工事



(注) 1. 金額は元請完成工事高。建設投資（前頁）との水準の相違は両者のカバーする範囲の相違等による。
 2. 維持修繕工事比率＝維持修繕工事完工高／完工高計（いずれも元請分）

資料出所：国土交通省「建設工事施工統計」

海外建設受注実績の推移(1982年～2013年)



建設が変わらなければならない理由

- ✚ 深刻化する建設従事者，熟練技術者不足
- ✚ 限られた予算
- ✚ 維持管理をはじめとするインフラ工事の重要性
- ✚ 産業としてみたときの国際競争力の低迷



- 社会に対し，将来にわたって安定的にインフラを提供していくことのできる体制の構築.
- 「建設産業の海外展開＋海外に日本ブランドの良質のインフラを建設する」ことのできる技術開発.

新しい建設施工に関わる 最近のキーワード

- **情報化施工**
- **CIM** (Construction Information Modeling)
- **建設ロボット**

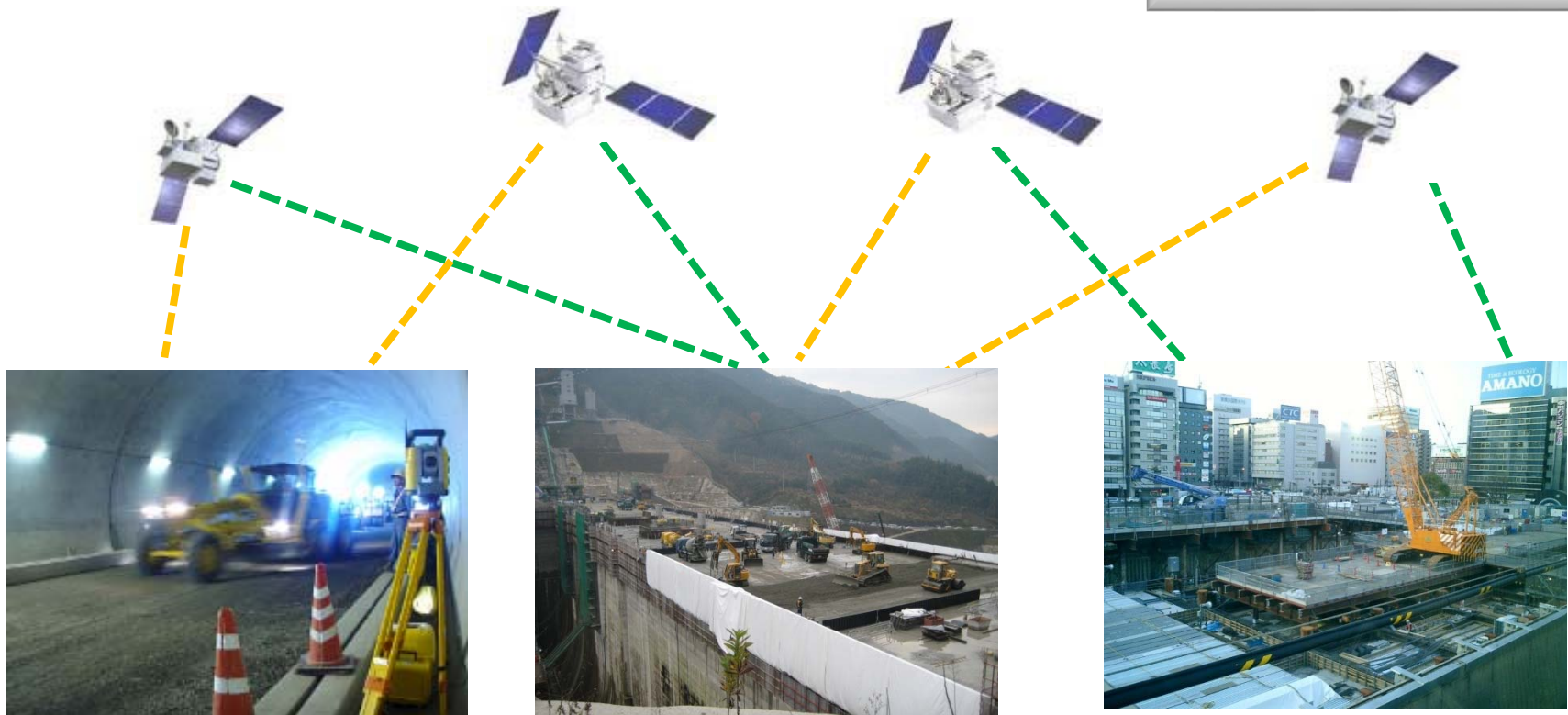
情報化施工

情報化施工とは、

情報・通信技術
(ICT)

道路，ダム，
建築等の施工

施工効率
品質向上
環境負荷低減
etc.



情報化施工 2つの機能

ICTを利用した重機制御の高度化

➡ 操作性の改善と部分的自動化

ICTを利用した技術者判断の高度化

➡ 施工の効率化, 品質の向上

1つ目の機能

ICTを利用した重機制御の高度化

MG:マシンガイダンス

オペレータに操作を補助する情報を提供し、操作性や施工の精度を上げる技術

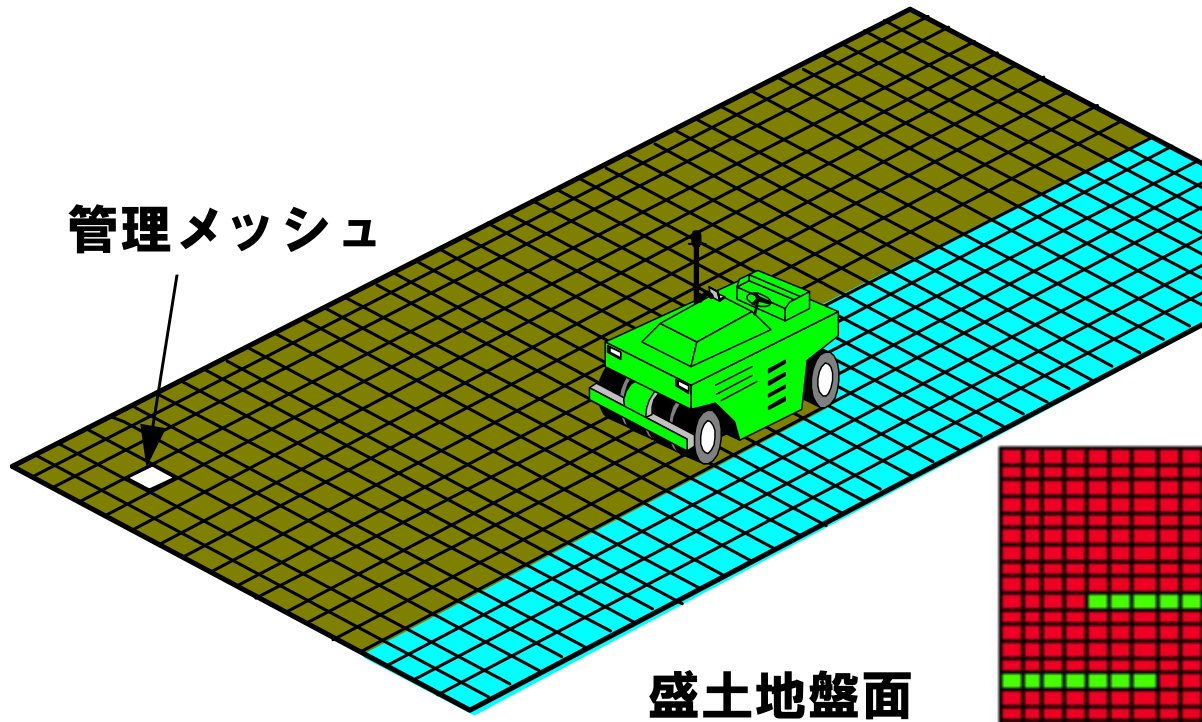
MC:マシンコントロール

マシンの一部を自動制御で動かし、施工の効率や精度を上げる技術



MGの例：GNSSとセンサを用いたバケット操作の補助

MGの例：締固め施工における転圧軌跡管理



- 規定回数以上の締固め
転圧回数5回
- 転圧回数4回以下
-

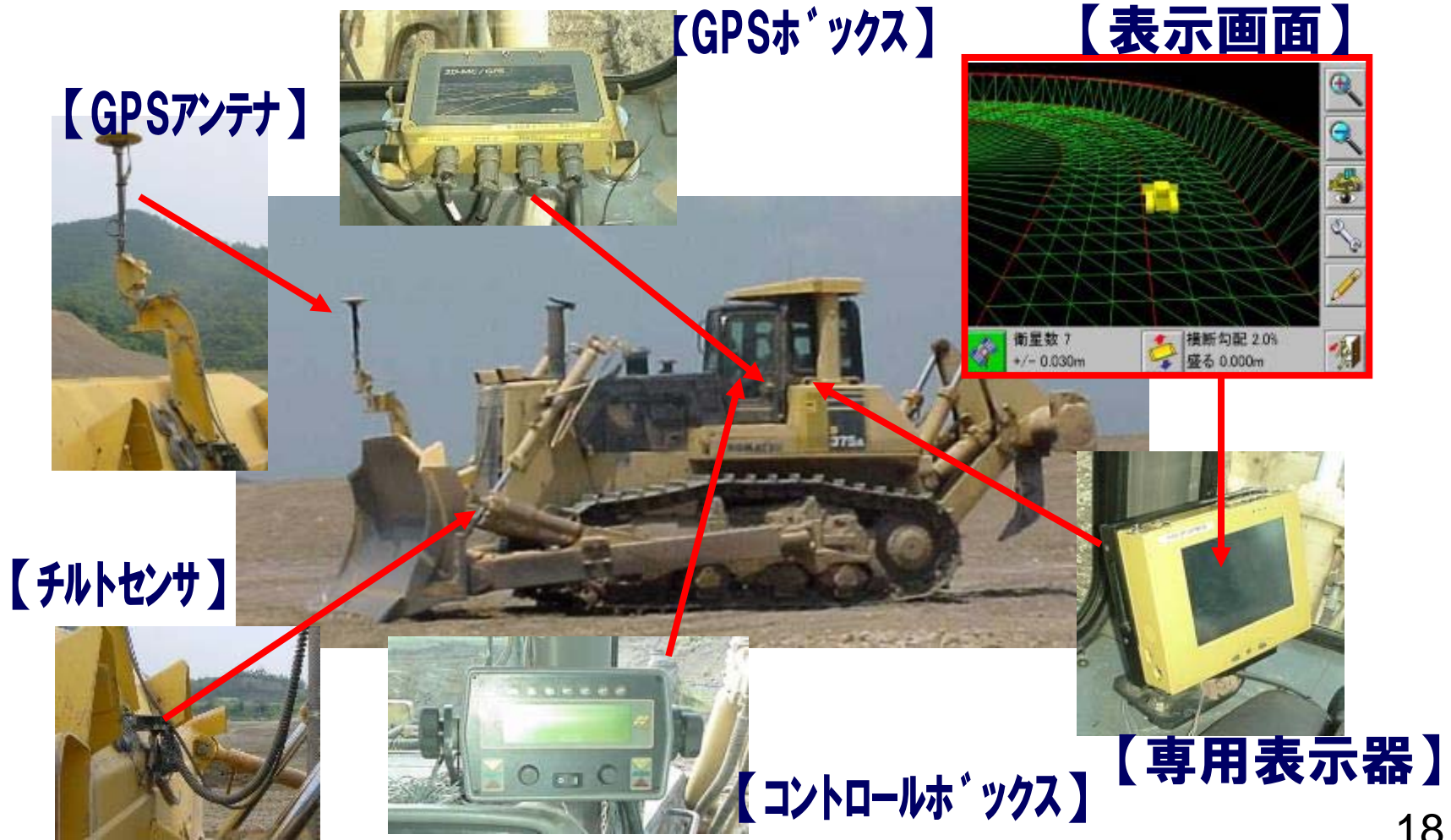
施工管理：品質規定 ➡ 工法規定

確実に所定の転圧回数で
締め固める。



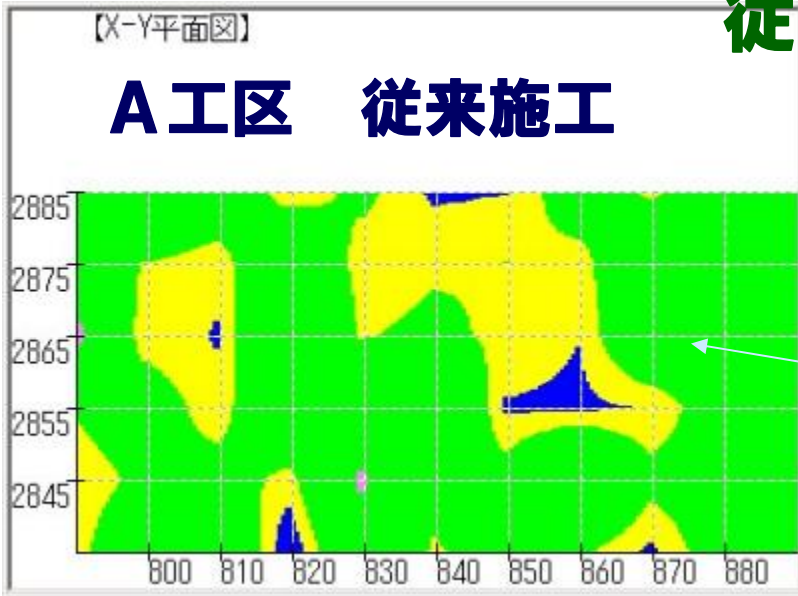
MCの例：ICTを利用した重機制御の高度化

3D-NAVI オートブレードシステム

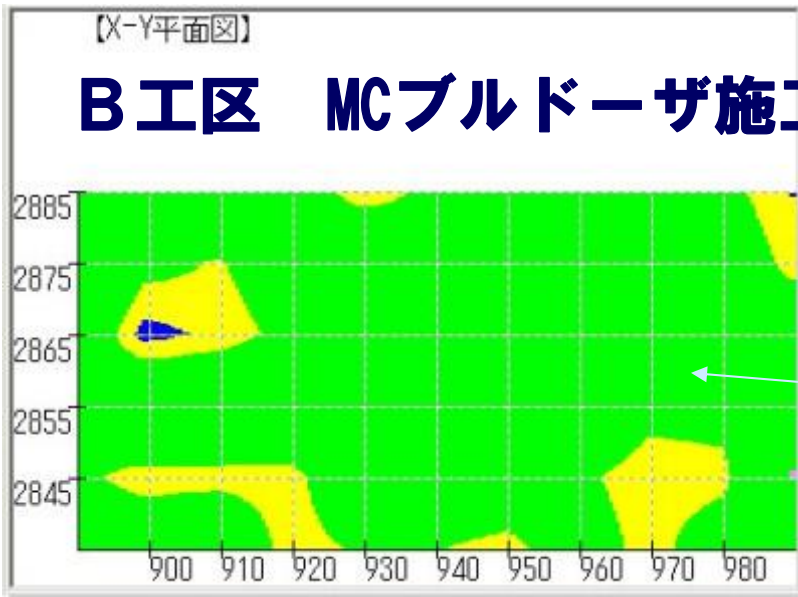
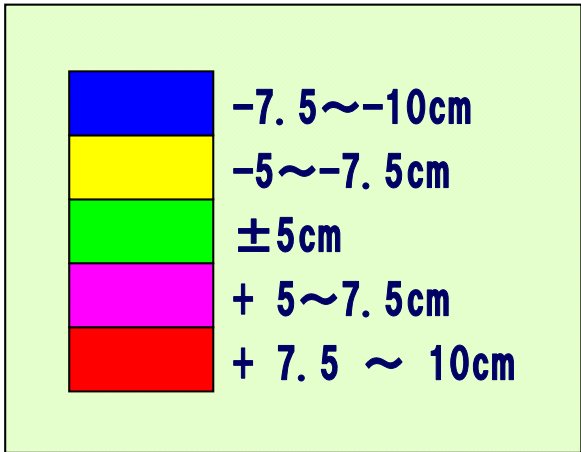


従来工法とMCブルドーザ工法

設計面との誤差等高線

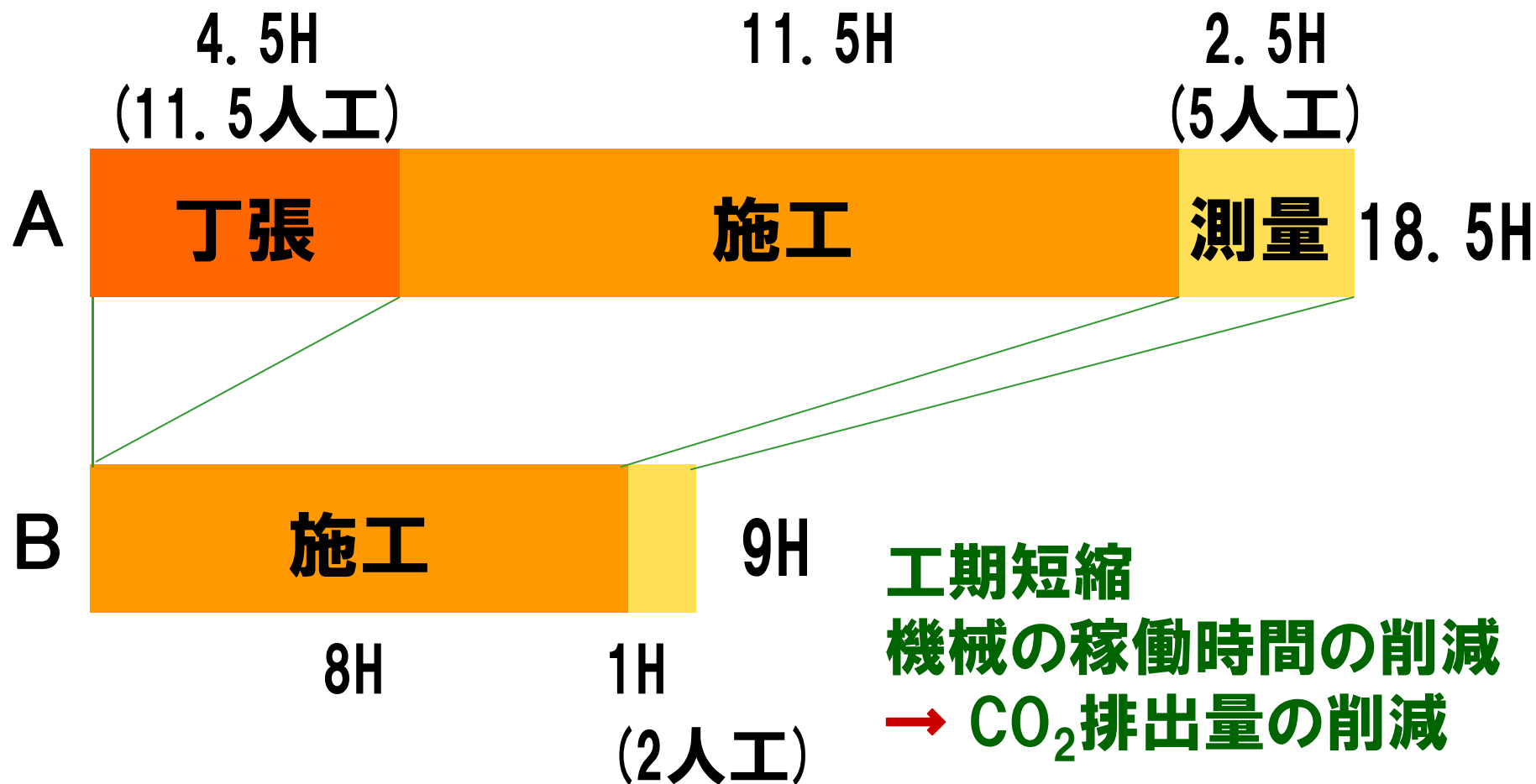


± 5 c m以内の割合
59%



± 5 c m以内の割合
77%

従来工法とMCブルドーザ工法の比較



経産省 / 省エネ建機導入に補助 / 最大300万円

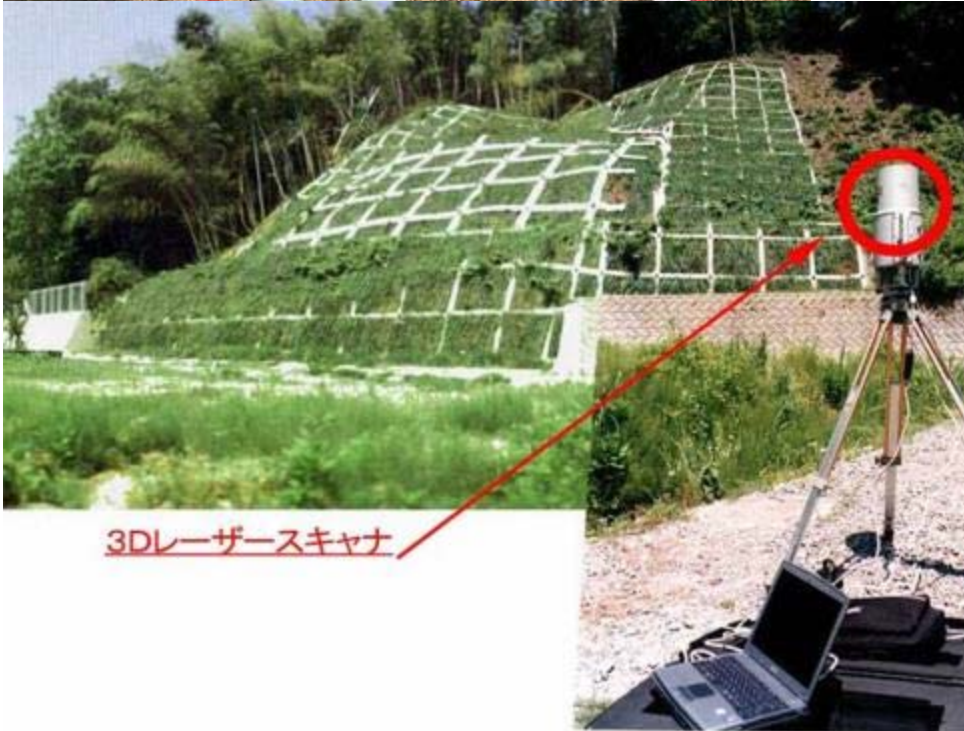
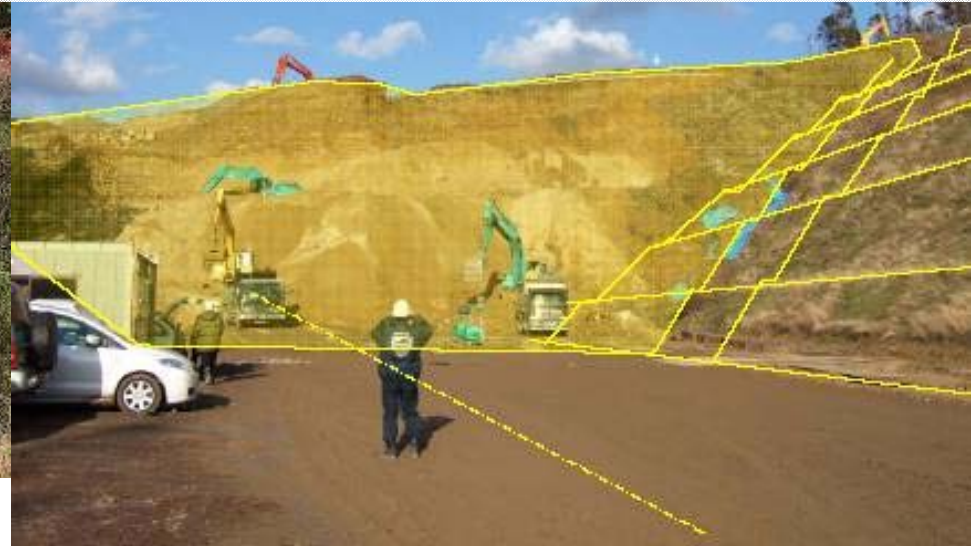
ICTを利用した重機制御の高度化 導入することの利点

- 作業効率と作業精度の向上
- 省力化
- 工事時間の短縮
- 環境負荷軽減の効果
- 丁張り作業の大幅軽減
- 夜間作業も可能

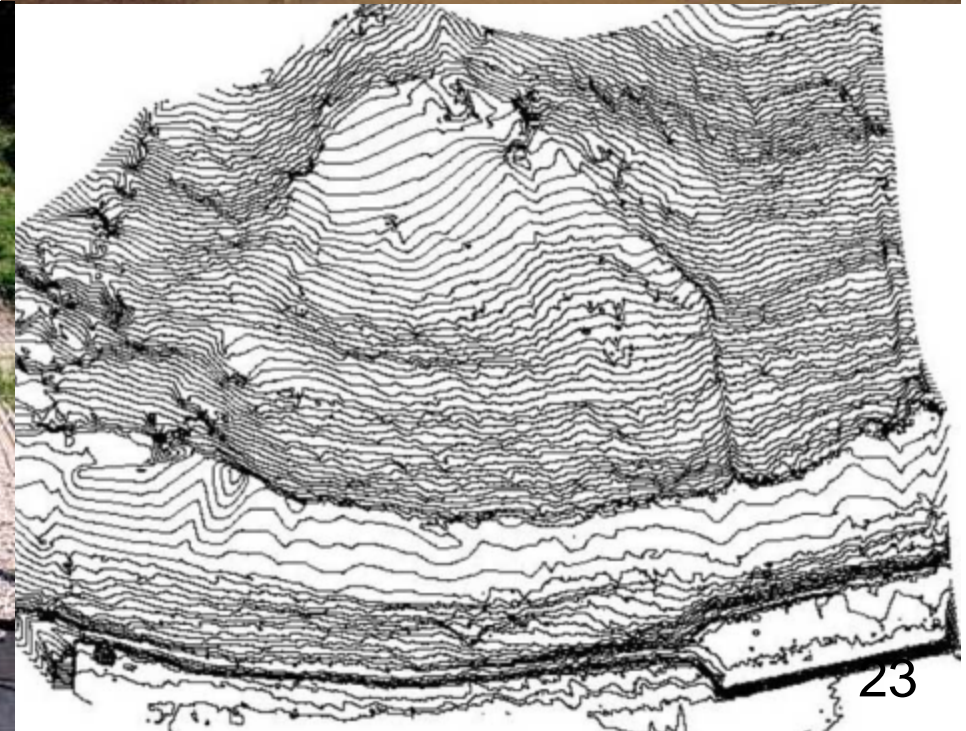
2つ目の機能

**ICTを利用した技術者判断の高度化
施工管理，出来形管理，・・・**

ICTを利用した技術者判断の高度化

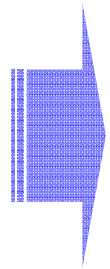


3Dレーザーキャナ



技術者の判断の高度化

- 質の良い正確な情報に基づく



工期の短縮， 構造物の品質の向上，
工事に伴う環境負荷低減

技術者の意志決定支援 ➡ 適切な判断

判断プロセスの記録 ➡ 後進工事の改善

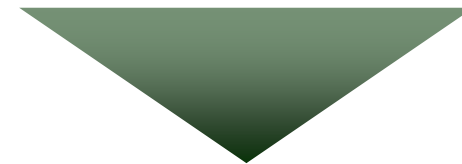
施工の効率化， 品質の向上

★施工の効率化の事例★

大規模土工におけるICTの利用



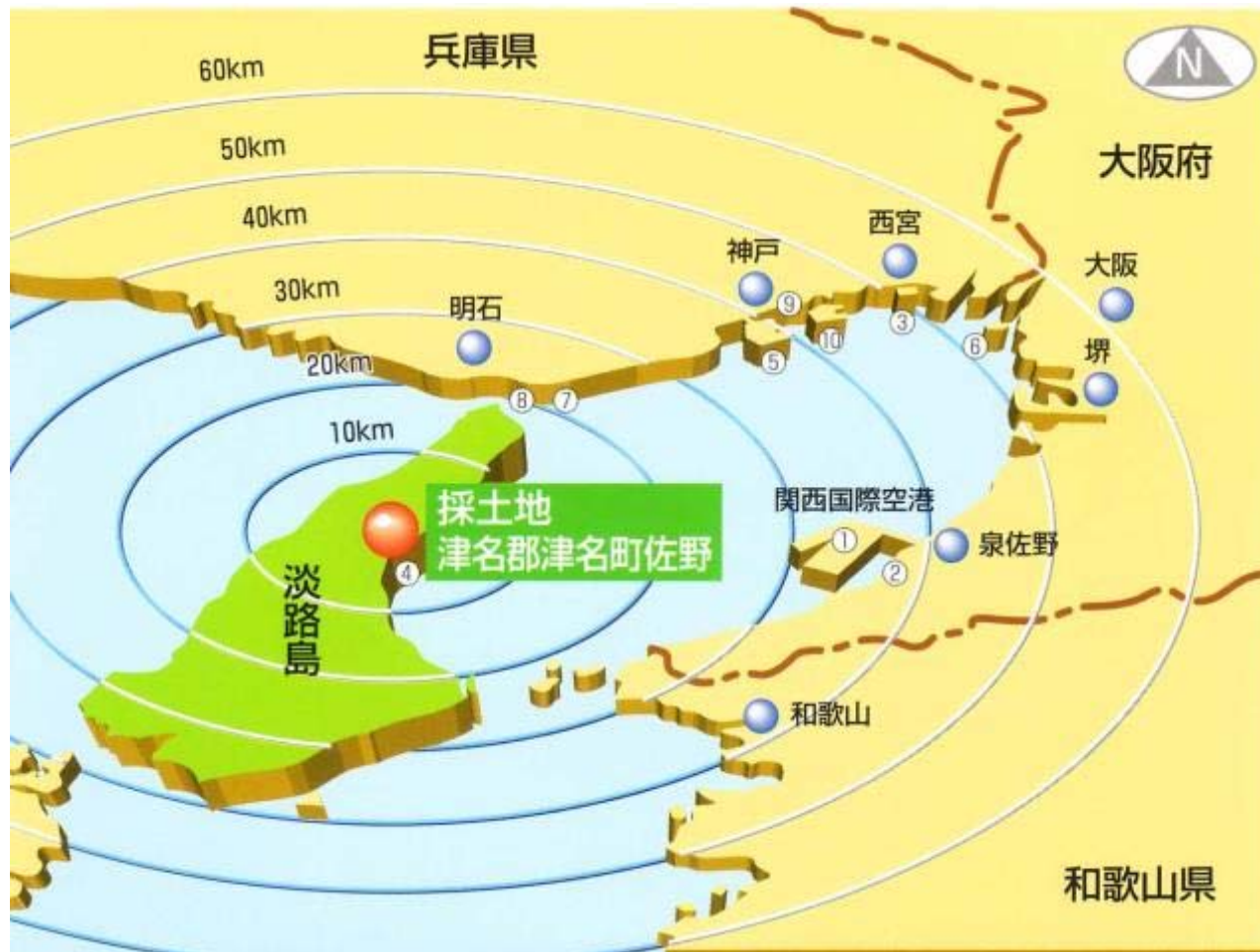
地質, 地形, 機械能力等
に関する綿密な情報



所定の施工量
with 必要最小限の入力

共同研究 立命館大学・ハザマ・ジオスケープ

大規模土工事 現場概要



出荷土量実績

1st Stage

昭和63年～平成11年
2,560万m³

2nd Stage

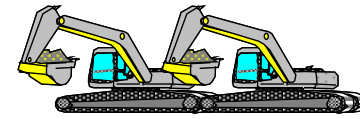
平成11年～平成14年
2,500万m³

施工概要 1

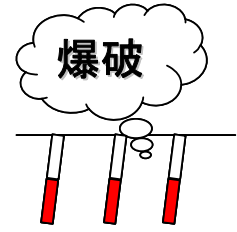
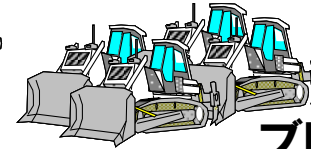


施工概要 2

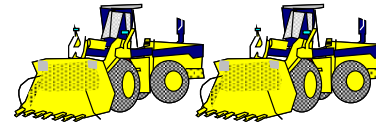
油圧ショベル 2台



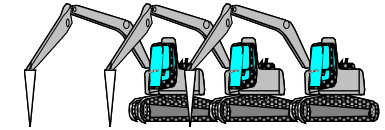
ブルドーザ4台



ホイールローダ 2台



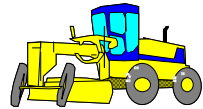
ブレーカー3台



ダンプトラック10台



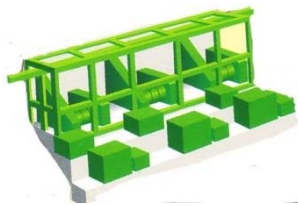
グレーダー1台



約2km

約1km

ジョークラッシャ3基



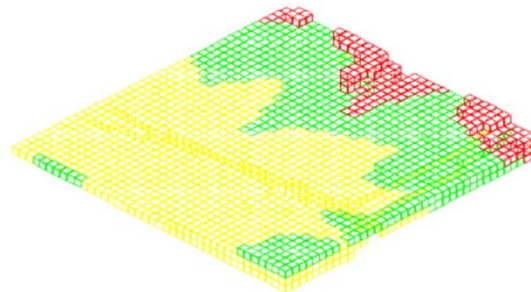
硬岩: 30.4%

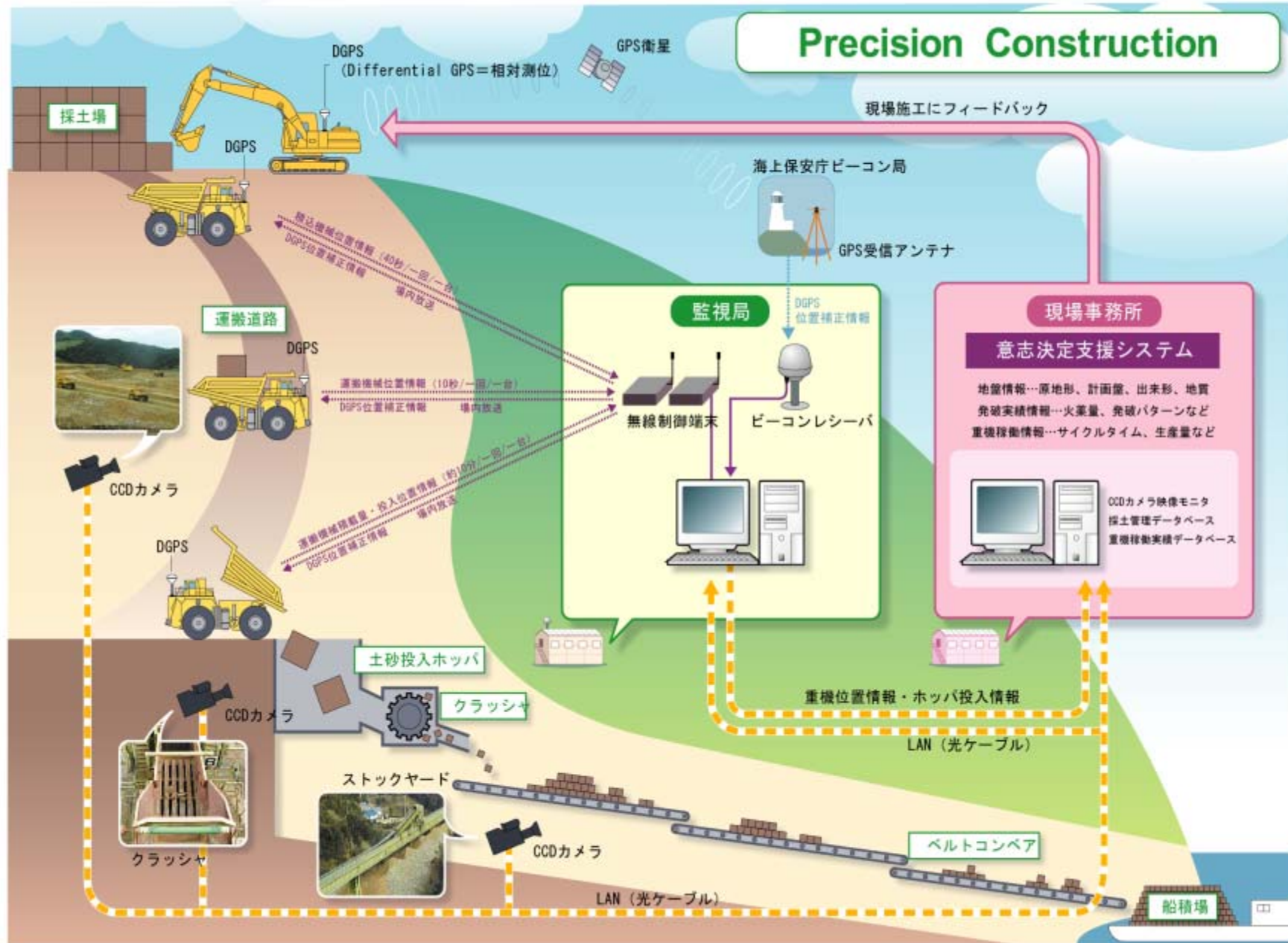
軟岩2: 19.6% (発破)

軟岩1: 31.3% (非発破)

土砂: 18.7%

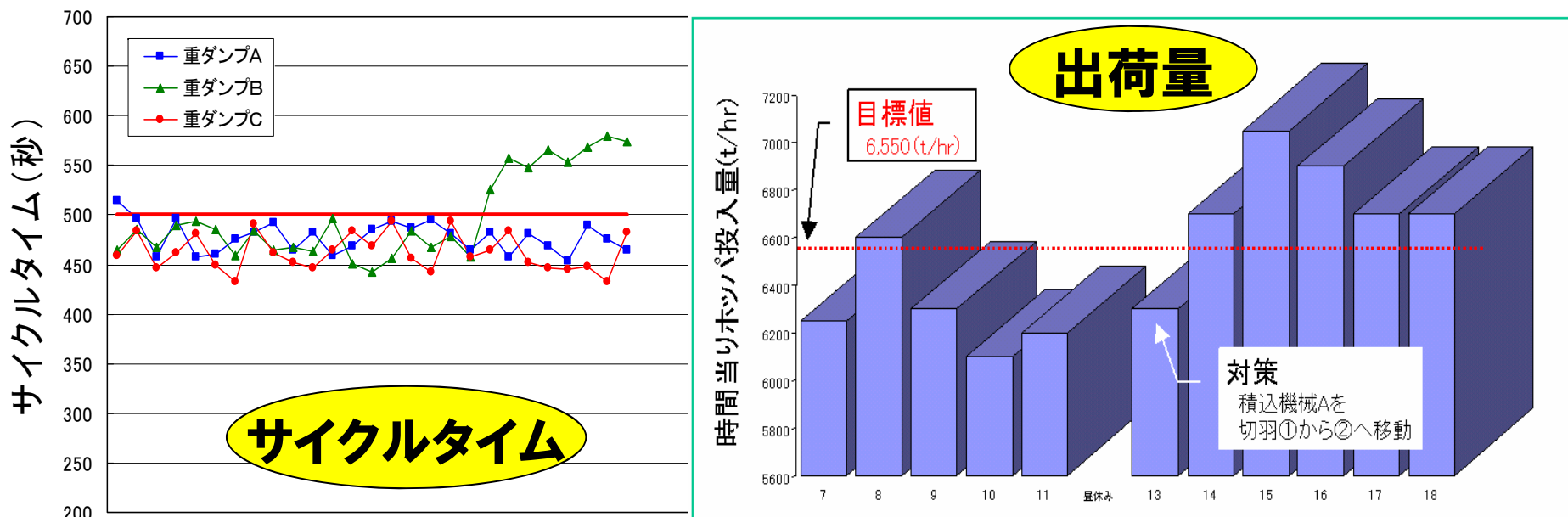
最大4セット





技術者支援型情報分析システム

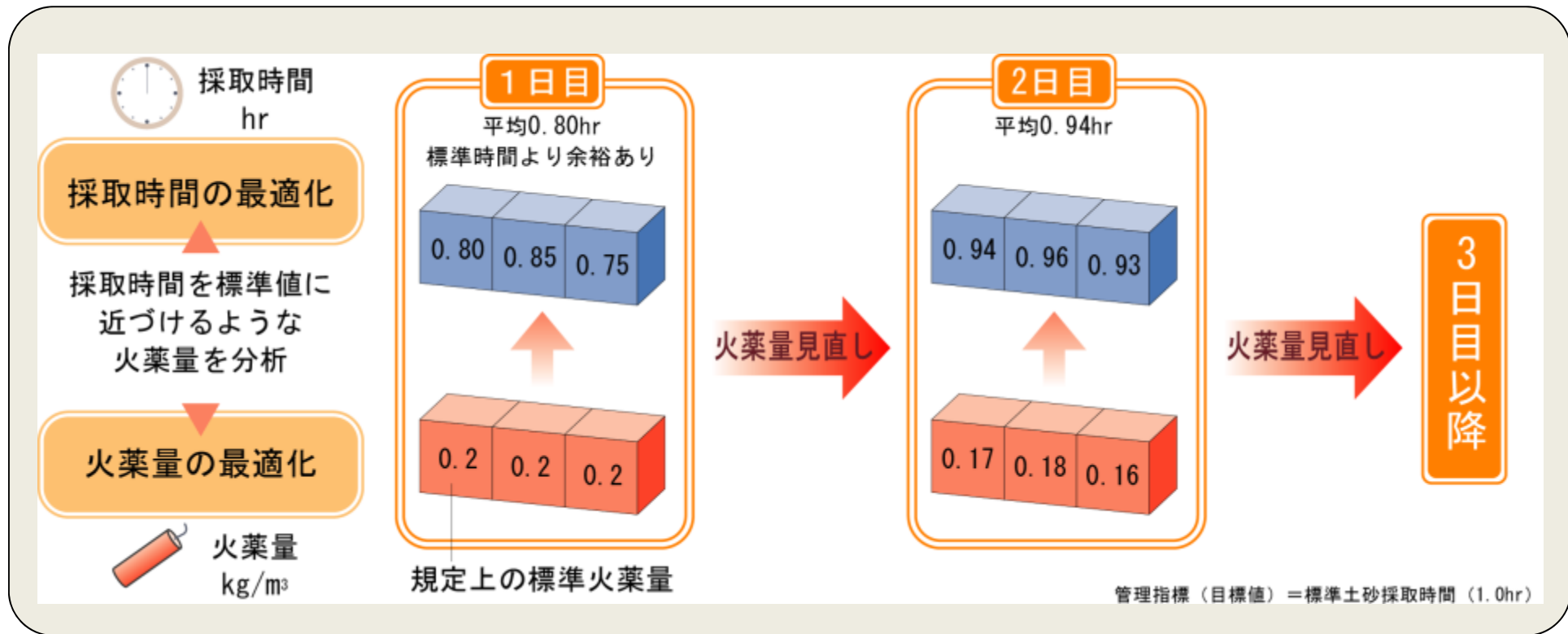
－重機最適配置計画－



重機施工における管理ファクターである「サイクルタイム」や「出荷量」をリアルタイムで計測し、効率化の障害になる要素を抽出。施工方法の迅速な是正措置を取ることが可能となる。

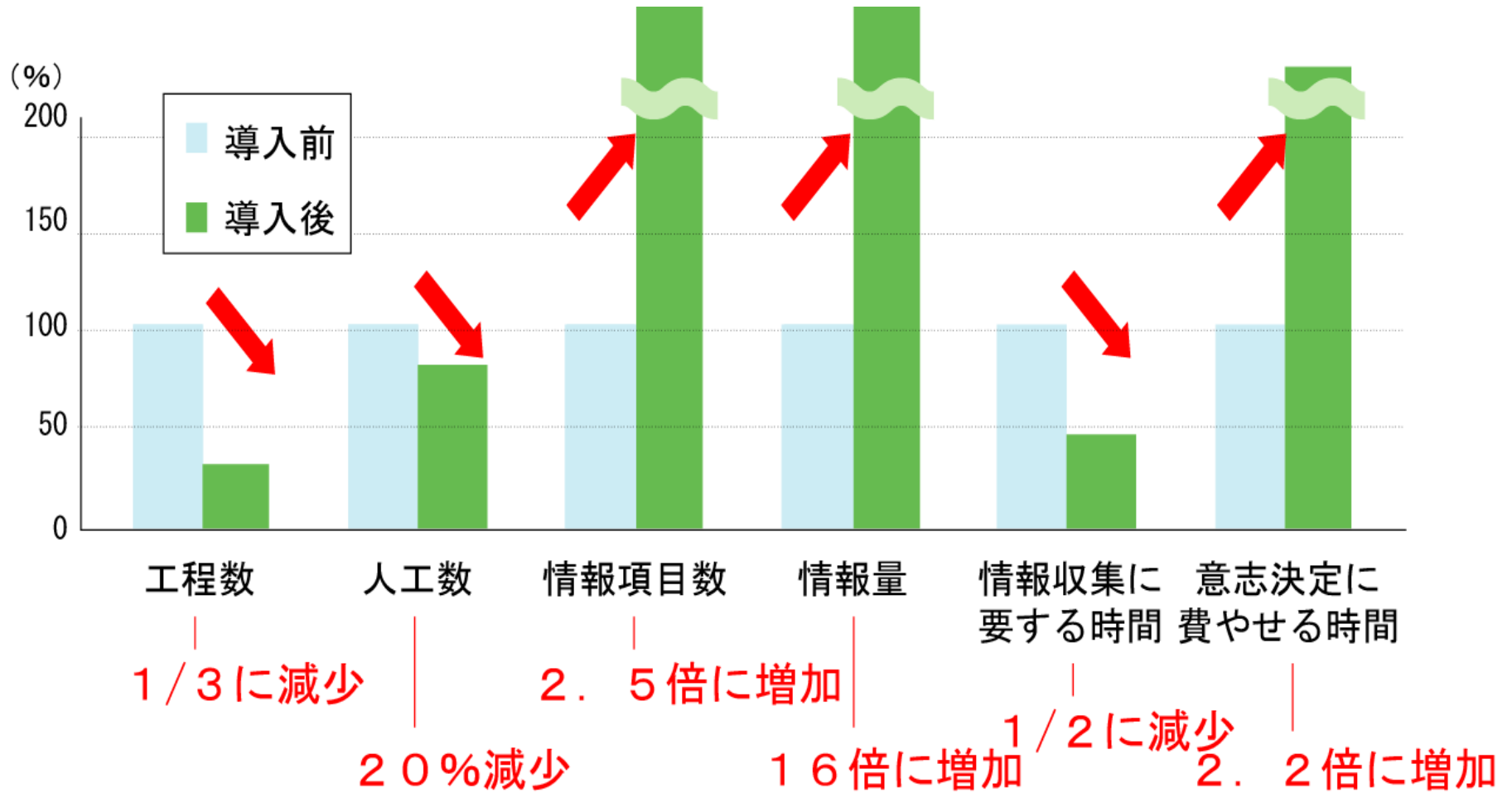
技術者支援型情報分析システム

－火薬量最適管理－



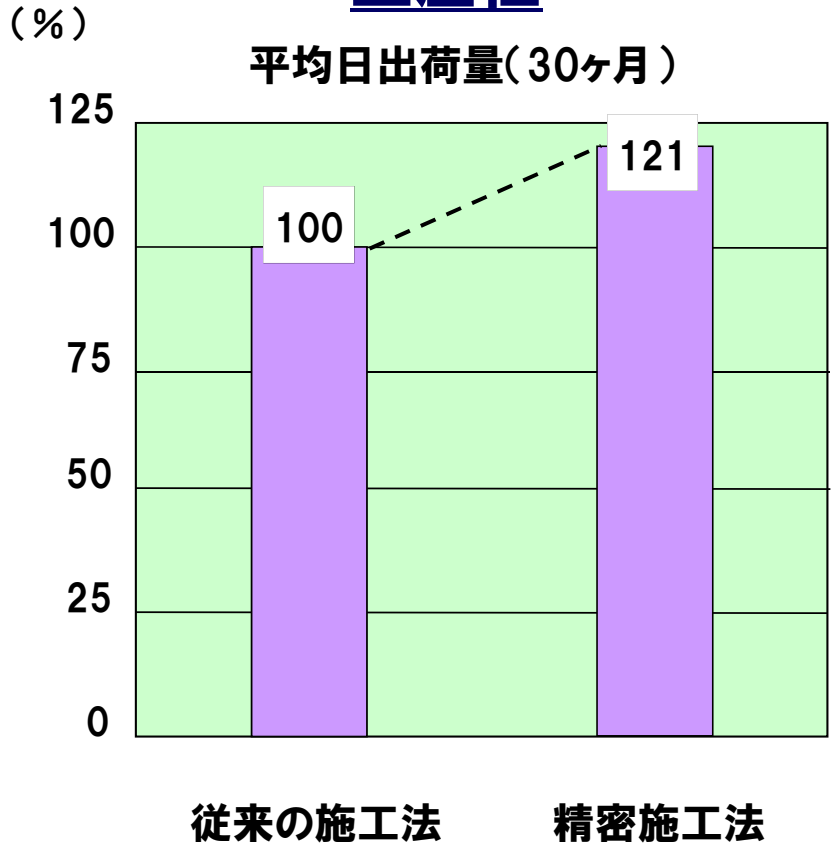
土岩の積込み・運搬時間に関する情報から、岩の破碎性を把握。
火薬量を標準値から調整し、必要以上の火薬量を削減。

精密施工法導入の効果



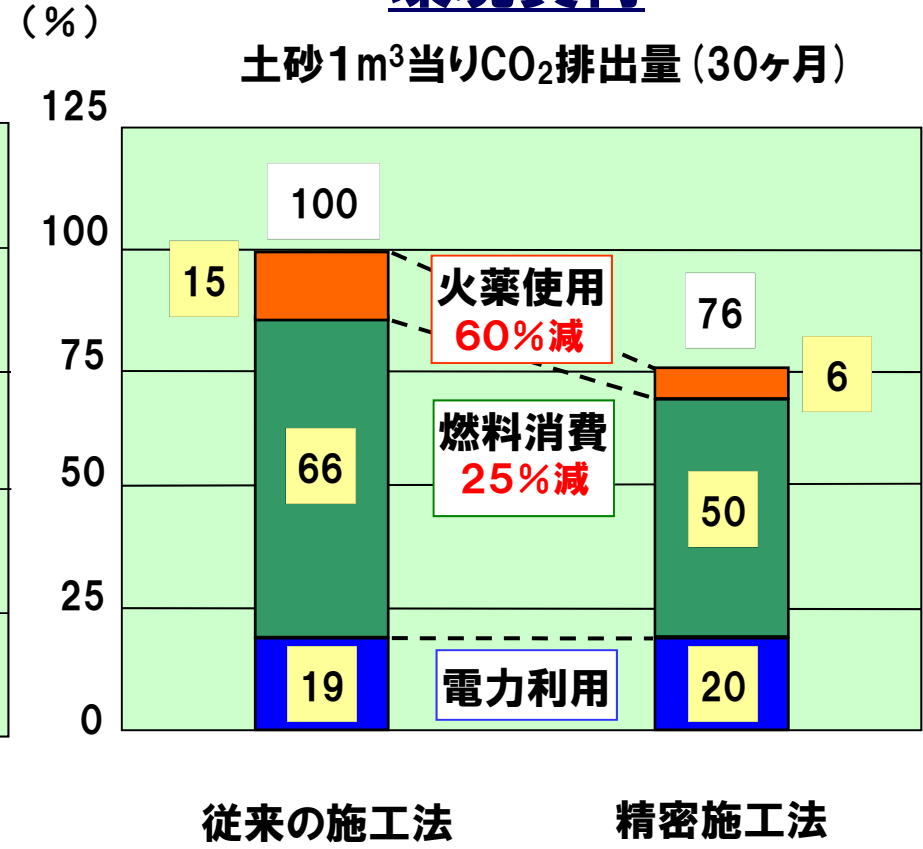
運用と効果

生産性



日出荷量が21%増

環境負荷



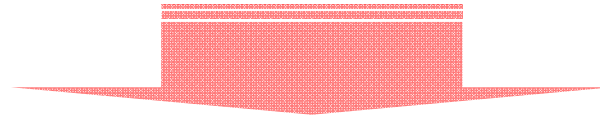
CO₂排出量が24%減

経済性と環境負荷軽減の両立

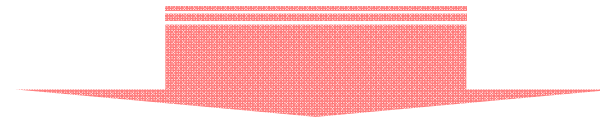
建設工事：不確定要因多い

（天候，地質，オペの技量，・・・）

設計・施工計画では安全側の規準を採用



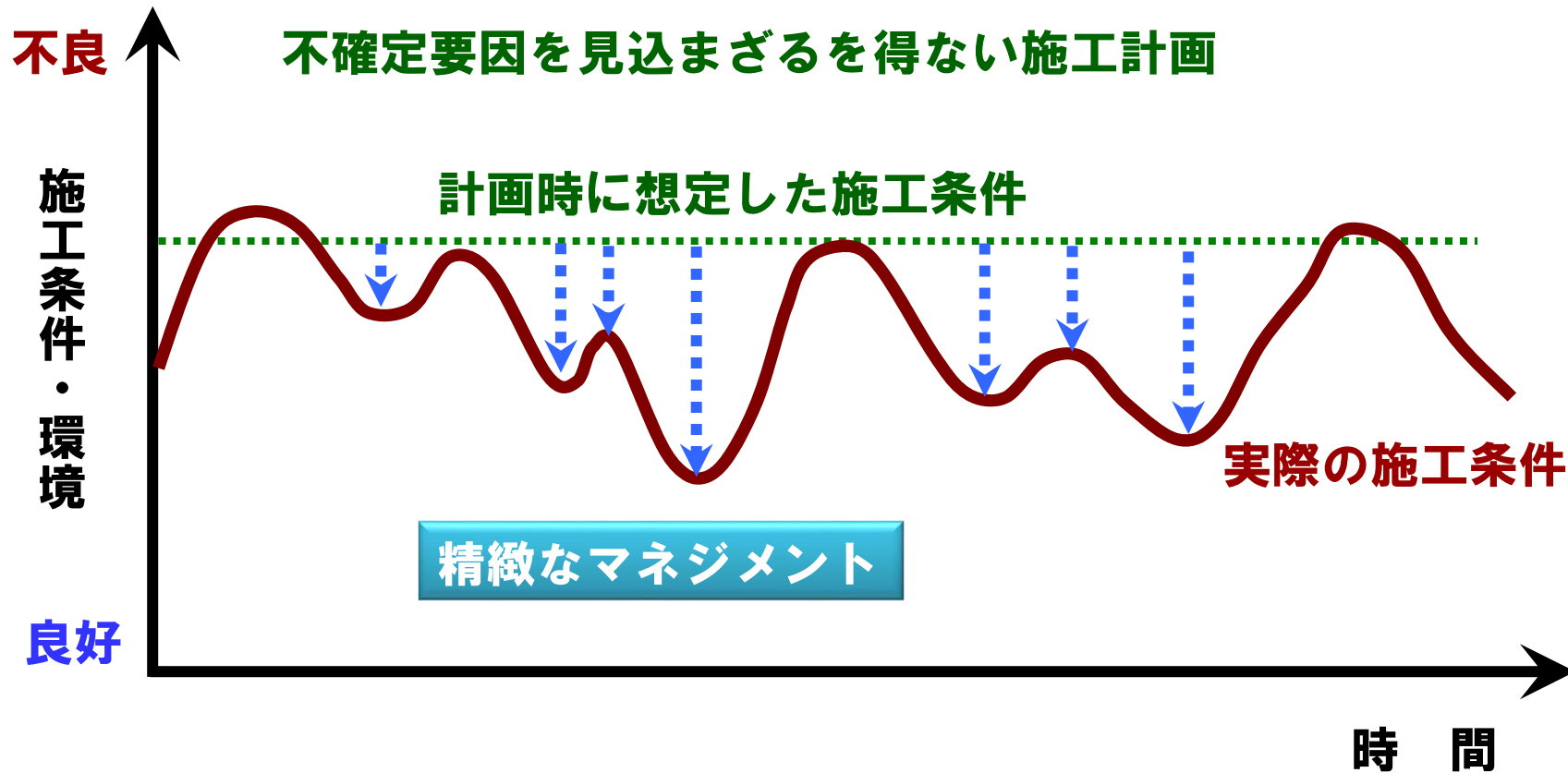
必要以上の資材とエネルギーの投入



規準＋技術者判断による精緻化

無駄の削減・資源の有効利用

情報化施工の導入のメリット



情報化施工による柔軟な対応



不必要なエネルギー, 資材, 労働力の削減

インフラ整備に関わる
設計方法の体系化
施工マニュアルの整備

一律管理

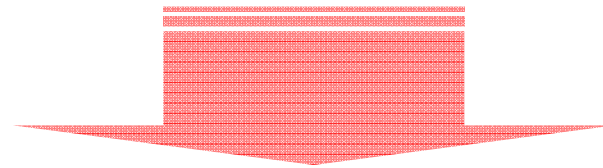


工事の均質化， 管理の容易さ

一方で，不確定要因に起因する無駄
を避けることができない。

インフラ整備

20世紀型：規準の整備による効率化
<一律管理>



21世紀型：技術者判断による精緻化
<個別評価>

無駄の削減・資源の有効利用

ドイツにおける現代の産業革命 Industrie 4.0

✦ 第一次産業革命 18世紀後半.

蒸気機関などによる工場の機械化.

✦ 第二次産業革命 19世紀後半.

電力の活用による大量生産.

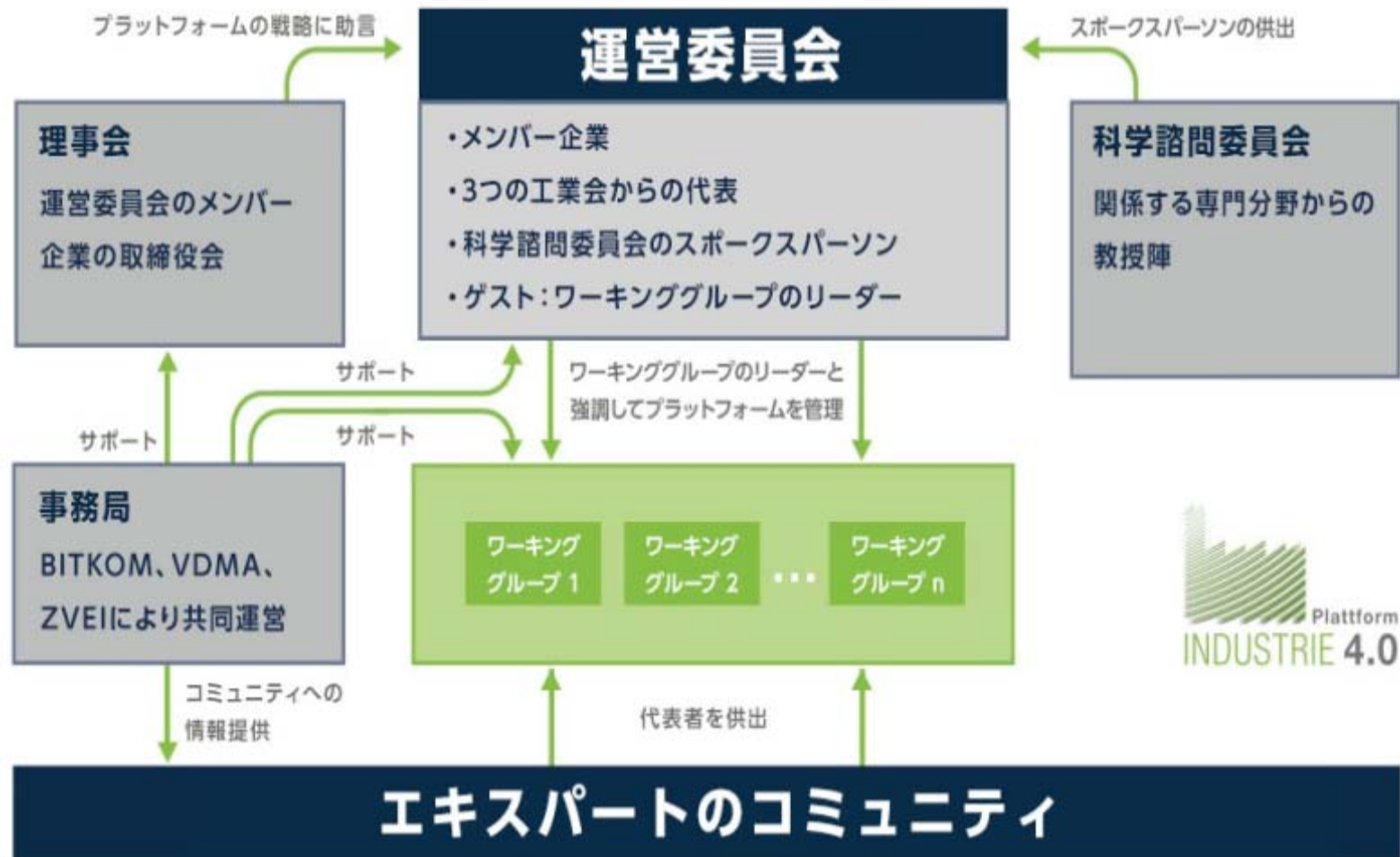
✦ 第三次産業革命 20世紀後半.

電気とITを組み合わせたオートメーション化

✦ 第四次産業革命 現在.

設計や開発, 生産に関連する データを蓄積・分析し, 自律的に動作するようなインテリジェント生産システムによる生産管理.

Industrie 4.0 Platform



(出典: Final report of the Industrie 4.0 Working Group)

CIM (Construction Information Modeling)

CIM (Construction Information Modeling)

建設の一連プロセスを通して関連する情報の共有により、生産性、効率、精度、品質等の向上を図る技術。

企画

基本設計

実施設計

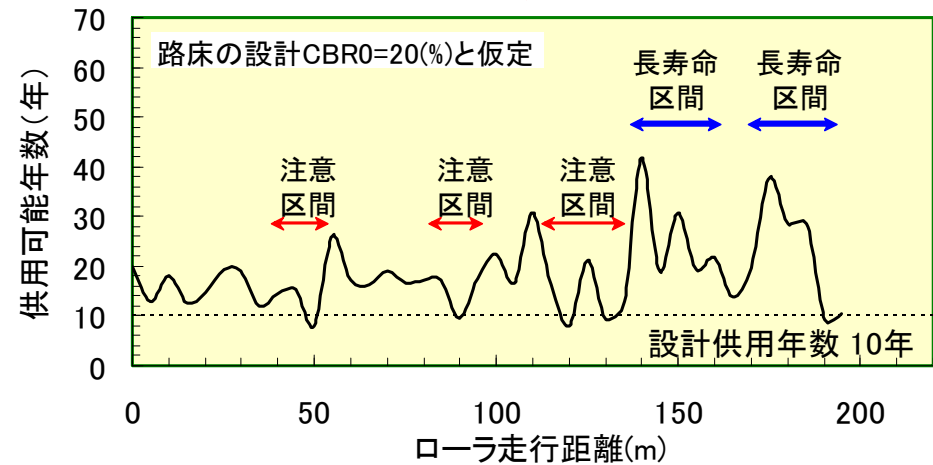
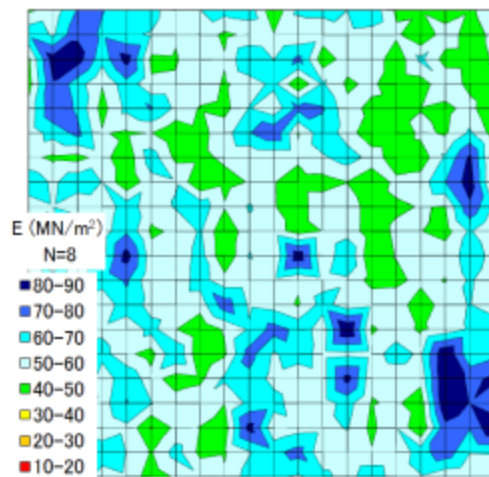
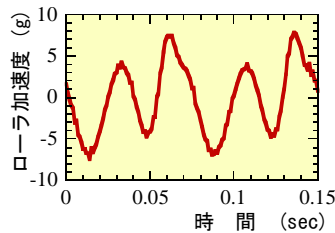
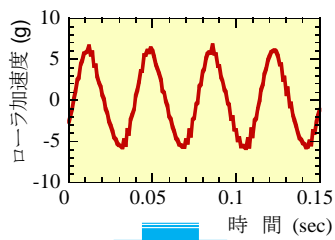
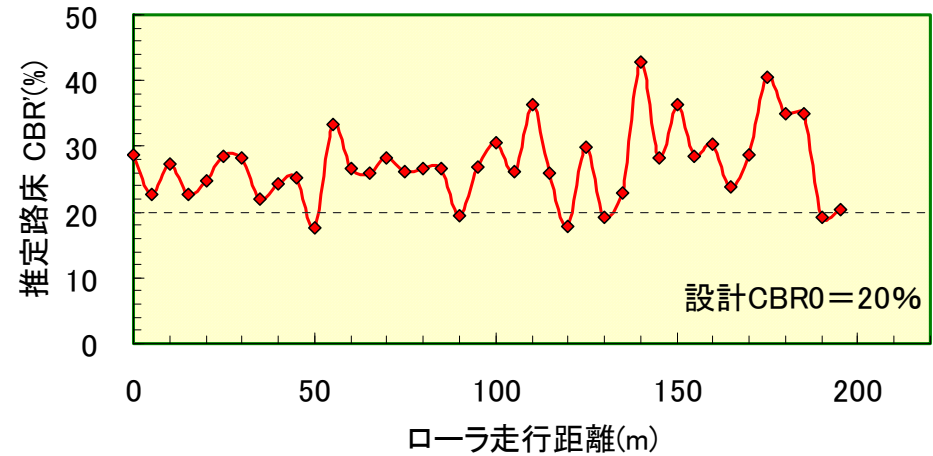
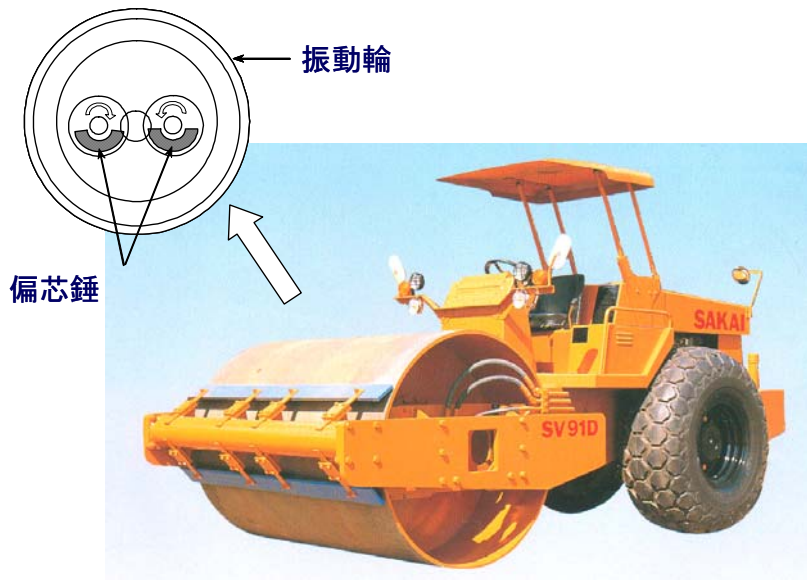
施工

維持管理

- 情報の有効活用（設計の可視化）
- 設計の最適化（整合性の確保）
- 施工の効率化，高度化（情報化施工）
- 構造物情報の一元化，統合化
- 環境性能評価，構造解析等
- 維持管理の効率化，高度化



建設時の施工管理データを利用した維持補修計画



➡ 土の締固め度の評価 (施工管理)

横田聖哉他：道路路床の性能規定化へ対応するための現場管理手法の提案

中小規模の工事におけるCIMの試行事例

- ・工事名：平成26年度庄内川大治築堤工事(愛知県海部郡大治町地先)
- ・工期：平成26年7月17日～平成27年3月27日
- ・発注者：国土交通省中部地方整備局庄内川河川事務所庄内川第一出張所
- ・請負者：可児建設株式会社
- ・工事内容：河川堤防内の樋管構造物撤去に伴う堤体掘削盛土(3,100m³)

油圧ショベルのMG
ローラの転圧軌跡管理
映像用カメラ
静止画像カメラ
3Dデータ管理



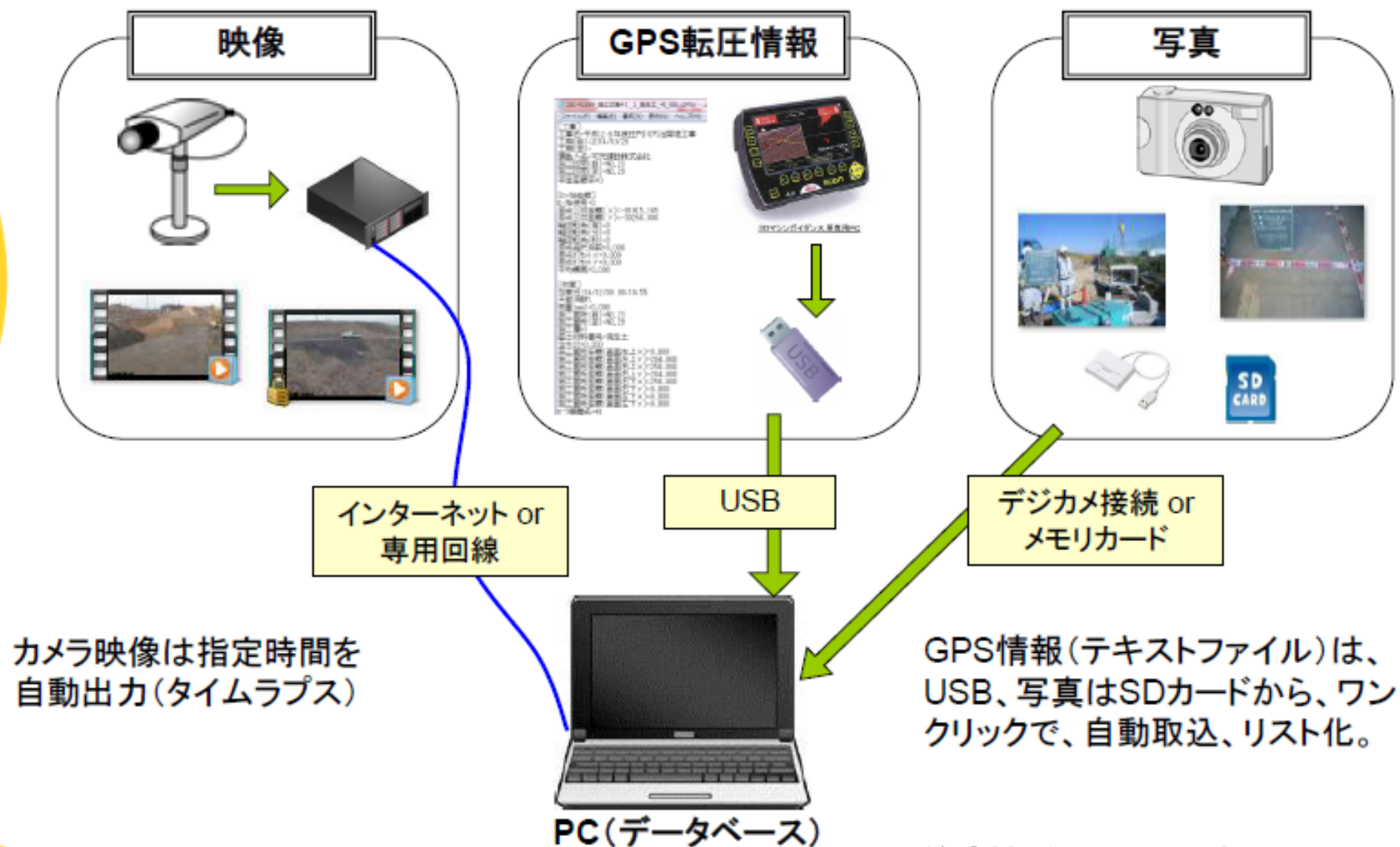
知財集積データベース



動画映像用システム構成



現場情報のデータベースへの書き込み



知財集積データベース（情報検索/一括閲覧）

The screenshot displays a comprehensive construction management dashboard. At the top, there are four main navigation tabs: A (検索情報設定), B (日別施工実績一覧), C (日別工事記録入力), and D (工事現場3D図). The interface is divided into several functional areas:

- Left Panel (A):** A table titled '施工実績表' (Construction Performance Table) showing dates, times, and status indicators.
- Top Center (C):** A data entry form for daily construction records, including date, time, and location.
- Center-Left (D):** A 3D visualization of a construction site, labeled '3D' and '全土留図'.
- Center-Right (E):** A detailed view of soil compaction data, showing '圧入量' (Compaction Amount) and '圧入率' (Compaction Rate) for different soil types.
- Right Side (F, G, L):** A vertical stack of panels including camera controls, an 'アラート画面' (Alert Screen), and a gallery of '工事現場' (Construction Site) photos.
- Bottom Center (H):** A '転圧記録' (Compaction Record) table with columns for work type, worker, amount, and GPS coordinates.
- Bottom Right (I, J, K):** A section for data analysis, including 'カメラ映像再生' (Camera Video Playback), 'GPS軌跡図' (GPS Track Map), and 'GPSグラフ' (GPS Graph).

At the bottom of the interface, there are eight additional navigation buttons labeled E through L, corresponding to the highlighted areas in the screenshot:

- E: 転圧・盛土進捗 (Compaction/Soil Filling Progress)
- F: 定点カメラ映像再生 (Fixed Point Camera Video Playback)
- G: 水位アラート (Water Level Alert)
- H: 転圧作業(GPS)情報 (Compaction Work (GPS) Information)
- I: 転圧作業映像再生 (Compaction Work Video Playback)
- J: 転圧作業GPS軌跡図 (Compaction Work GPS Track Map)
- K: 転圧作業GPSグラフ (Compaction Work GPS Graph)
- L: 工事記録写真 (Construction Record Photos)

知財集積データベース（情報のリスト化・可視化）

取込実体データ

映像(タイムラプス) AVI



写真 JPG



GPS転圧情報 TXT

時刻	緯度	経度	高度	速度	方向
2014/10/10 08:00:00	35.681234	139.761234	100.0	0.0	0.0
2014/10/10 08:00:05	35.681234	139.761234	100.0	0.0	0.0
2014/10/10 08:00:10	35.681234	139.761234	100.0	0.0	0.0
2014/10/10 08:00:15	35.681234	139.761234	100.0	0.0	0.0
2014/10/10 08:00:20	35.681234	139.761234	100.0	0.0	0.0
2014/10/10 08:00:25	35.681234	139.761234	100.0	0.0	0.0
2014/10/10 08:00:30	35.681234	139.761234	100.0	0.0	0.0
2014/10/10 08:00:35	35.681234	139.761234	100.0	0.0	0.0
2014/10/10 08:00:40	35.681234	139.761234	100.0	0.0	0.0
2014/10/10 08:00:45	35.681234	139.761234	100.0	0.0	0.0
2014/10/10 08:00:50	35.681234	139.761234	100.0	0.0	0.0
2014/10/10 08:00:55	35.681234	139.761234	100.0	0.0	0.0
2014/10/10 08:01:00	35.681234	139.761234	100.0	0.0	0.0
2014/10/10 08:01:05	35.681234	139.761234	100.0	0.0	0.0
2014/10/10 08:01:10	35.681234	139.761234	100.0	0.0	0.0
2014/10/10 08:01:15	35.681234	139.761234	100.0	0.0	0.0
2014/10/10 08:01:20	35.681234	139.761234	100.0	0.0	0.0
2014/10/10 08:01:25	35.681234	139.761234	100.0	0.0	0.0
2014/10/10 08:01:30	35.681234	139.761234	100.0	0.0	0.0
2014/10/10 08:01:35	35.681234	139.761234	100.0	0.0	0.0
2014/10/10 08:01:40	35.681234	139.761234	100.0	0.0	0.0
2014/10/10 08:01:45	35.681234	139.761234	100.0	0.0	0.0
2014/10/10 08:01:50	35.681234	139.761234	100.0	0.0	0.0
2014/10/10 08:01:55	35.681234	139.761234	100.0	0.0	0.0
2014/10/10 08:02:00	35.681234	139.761234	100.0	0.0	0.0

自動リスト作成・DB化

ID	ファイル名	撮影日時
0.00	FL_2014001000-2014001000.avi	2014/10/10 08:00:00
0.01	FL_2014001000-2014001000.avi	2014/10/10 08:00:05
0.02	FL_2014001000-2014001000.avi	2014/10/10 08:00:10
0.03	FL_2014001000-2014001000.avi	2014/10/10 08:00:15
0.04	FL_2014001000-2014001000.avi	2014/10/10 08:00:20
0.05	FL_2014001000-2014001000.avi	2014/10/10 08:00:25
0.06	FL_2014001000-2014001000.avi	2014/10/10 08:00:30
0.07	FL_2014001000-2014001000.avi	2014/10/10 08:00:35
0.08	FL_2014001000-2014001000.avi	2014/10/10 08:00:40
0.09	FL_2014001000-2014001000.avi	2014/10/10 08:00:45
0.10	FL_2014001000-2014001000.avi	2014/10/10 08:00:50
0.11	FL_2014001000-2014001000.avi	2014/10/10 08:00:55
0.12	FL_2014001000-2014001000.avi	2014/10/10 08:01:00
0.13	FL_2014001000-2014001000.avi	2014/10/10 08:01:05
0.14	FL_2014001000-2014001000.avi	2014/10/10 08:01:10
0.15	FL_2014001000-2014001000.avi	2014/10/10 08:01:15
0.16	FL_2014001000-2014001000.avi	2014/10/10 08:01:20
0.17	FL_2014001000-2014001000.avi	2014/10/10 08:01:25
0.18	FL_2014001000-2014001000.avi	2014/10/10 08:01:30

ID	ファイル名	撮影日時
10	FL_2014001000-2014001000.avi	2014/10/10 08:00:00
11	FL_2014001000-2014001000.avi	2014/10/10 08:00:05
12	FL_2014001000-2014001000.avi	2014/10/10 08:00:10
13	FL_2014001000-2014001000.avi	2014/10/10 08:00:15
14	FL_2014001000-2014001000.avi	2014/10/10 08:00:20
15	FL_2014001000-2014001000.avi	2014/10/10 08:00:25
16	FL_2014001000-2014001000.avi	2014/10/10 08:00:30
17	FL_2014001000-2014001000.avi	2014/10/10 08:00:35
18	FL_2014001000-2014001000.avi	2014/10/10 08:00:40
19	FL_2014001000-2014001000.avi	2014/10/10 08:00:45
20	FL_2014001000-2014001000.avi	2014/10/10 08:00:50
21	FL_2014001000-2014001000.avi	2014/10/10 08:00:55
22	FL_2014001000-2014001000.avi	2014/10/10 08:01:00
23	FL_2014001000-2014001000.avi	2014/10/10 08:01:05
24	FL_2014001000-2014001000.avi	2014/10/10 08:01:10
25	FL_2014001000-2014001000.avi	2014/10/10 08:01:15
26	FL_2014001000-2014001000.avi	2014/10/10 08:01:20
27	FL_2014001000-2014001000.avi	2014/10/10 08:01:25
28	FL_2014001000-2014001000.avi	2014/10/10 08:01:30

可視化(グラフ・作図)



可児CIMの特徴

① 3Dデータだけではなく、各工程を跨いで施工に関わる多様な情報の共有と活用を狙ったシステム。

② 工事情報のデータベースへの簡易な取り込み。

③ 画像データを利用したCIMの展開可能性。

CIMの課題:後工程で利用には、前工程で取得すべきデータを特定しておかなければならない。→ 画像情報からは、種々の情報を引き出すことが可能。

④ CIMシステムの社員の技術教育での利用。

一人の管理技術者の技能への依存度が高い中小工事。

→ CIMシステムを利用した技術者へのバーチャル教育による経験知の向上。



⑤ 廉価でシンプルなシステムの構築

ベンチャー企業や地方のベンダー、レンタル会社の協力を得て、フリーのソフトウェアを駆使するなどの工夫により廉価でシンプルなシステムの構築を実現。

情報化施工とCIMの関係

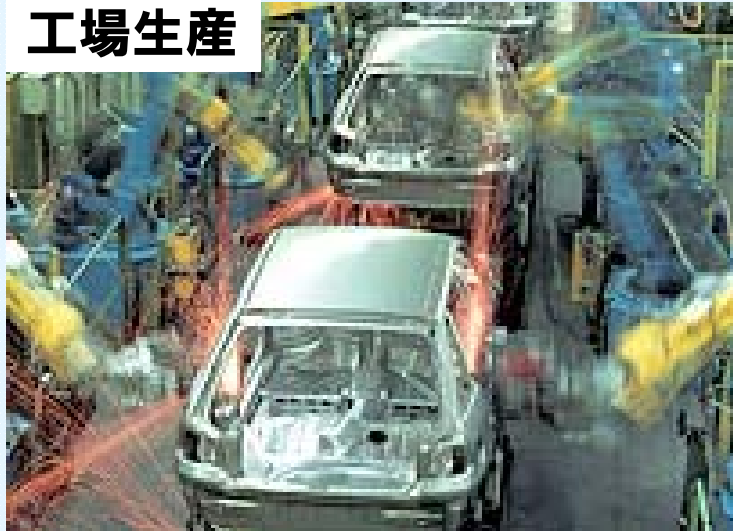


建設ロボット

建設ロボットの特徵

～ファクトリーオートメーションと比較して～

工場生産



- 作業対象物は形や物性が固定
→ 事前に想定可
- 作業環境は屋内で一定している。
→ 不確定要因が少ない。
- ロボットは位置固定で作業できる。
→ 自らが移動する必要がない。

建設現場



- 作業対象物は土砂などの自然物
→ 多種多様で物性の想定が困難
- 作業環境は屋外で一定していない。
→ 不確定で変動する要因が多い。
- 作業対象物の位置は固定。
→ 自らが移動しなければならない。

★状況に応じた高度な判断を行う機能が必要★

建設ロボットの段階的進化

自立型建設ロボット

作業対象物や作業環境・条件への対応も機械が判断して自立的に作業することができる。

判断機能の高度化

無人化施工機械

作業対象物や作業環境・条件への対応は人間が判断し、遠隔、もしくは一部自動化で操作を行う。

制御機能の高度化

建設機械

作業対象物や作業環境・条件への対応は人間が判断し、オペレータが実車で操作を行う。

雲仙普賢岳 砂防事業

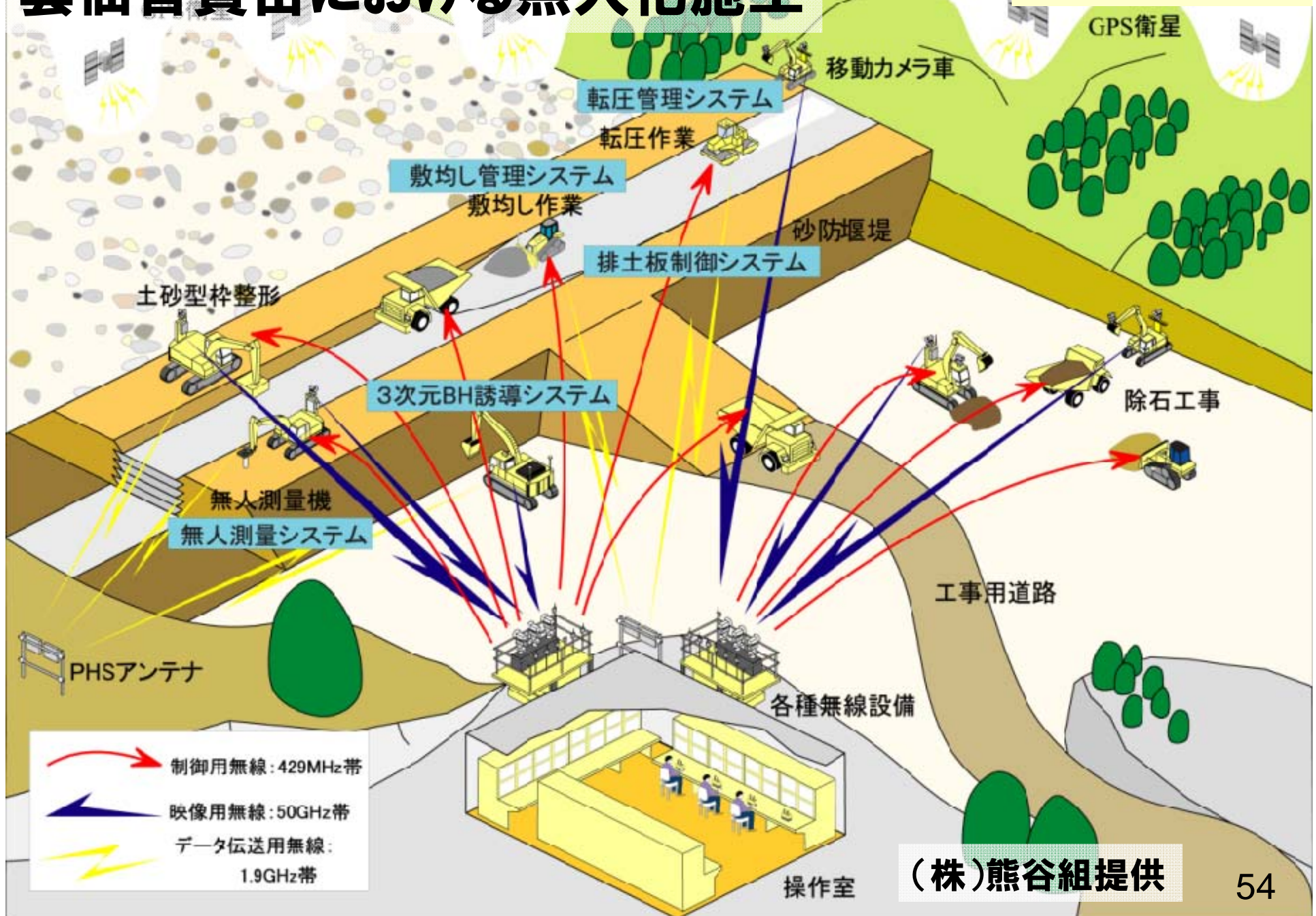
1990年11月 噴火, 1991年2月再噴火, 5月火砕流発生
死者・行方不明者:43名の, 負傷者:9名



国土交通省 九州地方整備局 雲仙復興事務所 HPより

雲仙普賢岳における無人化施工

建設ロボット



遠隔操作による無人化施工



- ✚ 複数制御の電波干渉
- ✚ 遠隔操作における現場状況の把握
- ✚ 想定外の状況への対応
- ✚ 施工効率の低下

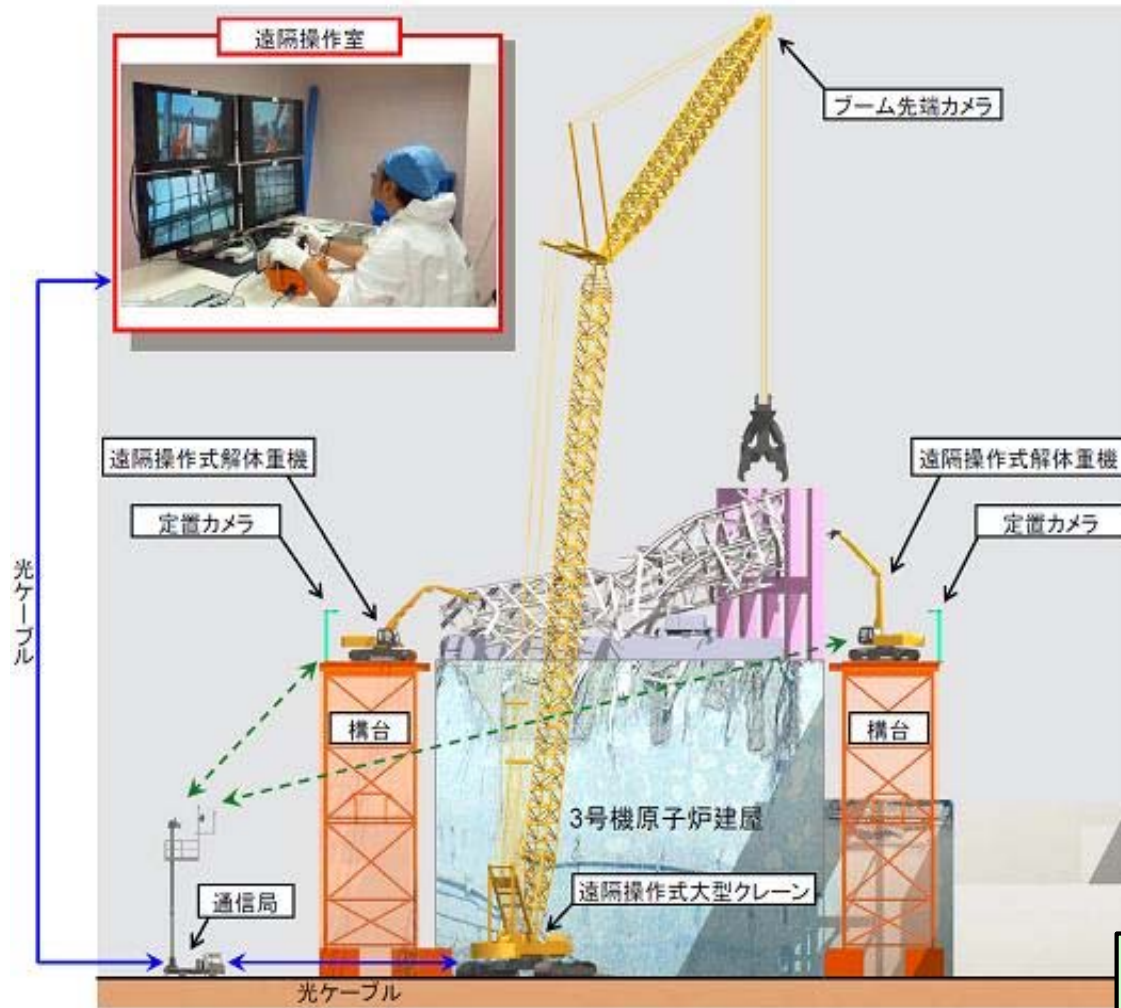
20年にわたる現場での実用的な技術開発の積み重ねが、緊急時に対応することのできる技術を培ってきた。

写真：
国土交通省 九州地方整備局
雲仙復興事務所 HP,
(株)熊谷組より



東日本震災に伴う福島第1原子力発電所事故 冷温停止後の作業 3号炉のガレキ撤去

東京大学
浅間先生提供



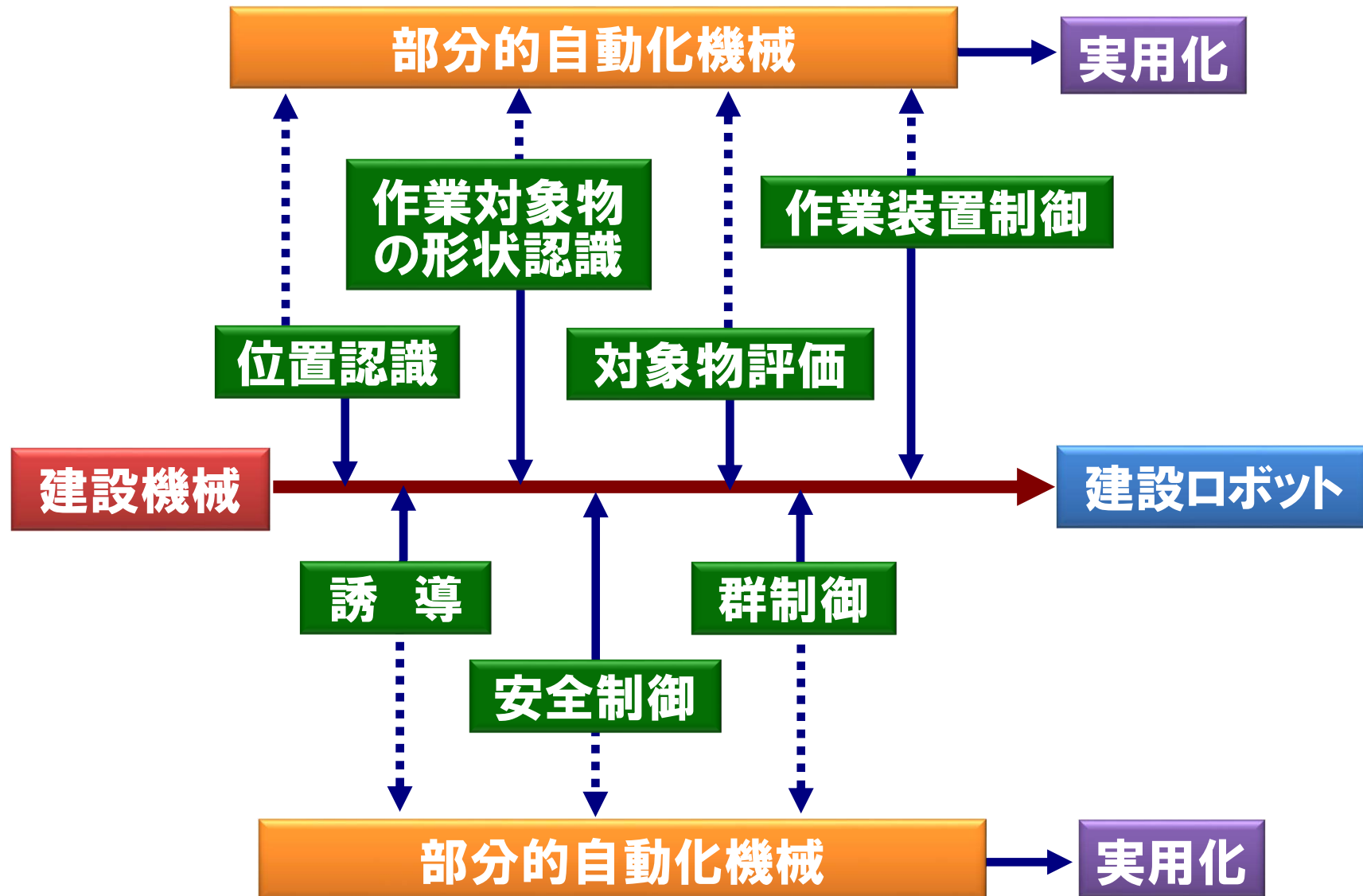
3号機におけるガレキの撤去



地面でのガレキ撤去

実用的技術開発が継続
する仕組みの重要性

建設機械から建設ロボットへの進化のプロセス



遠隔操作＋情報化施工技術 → 効率と精度の改善



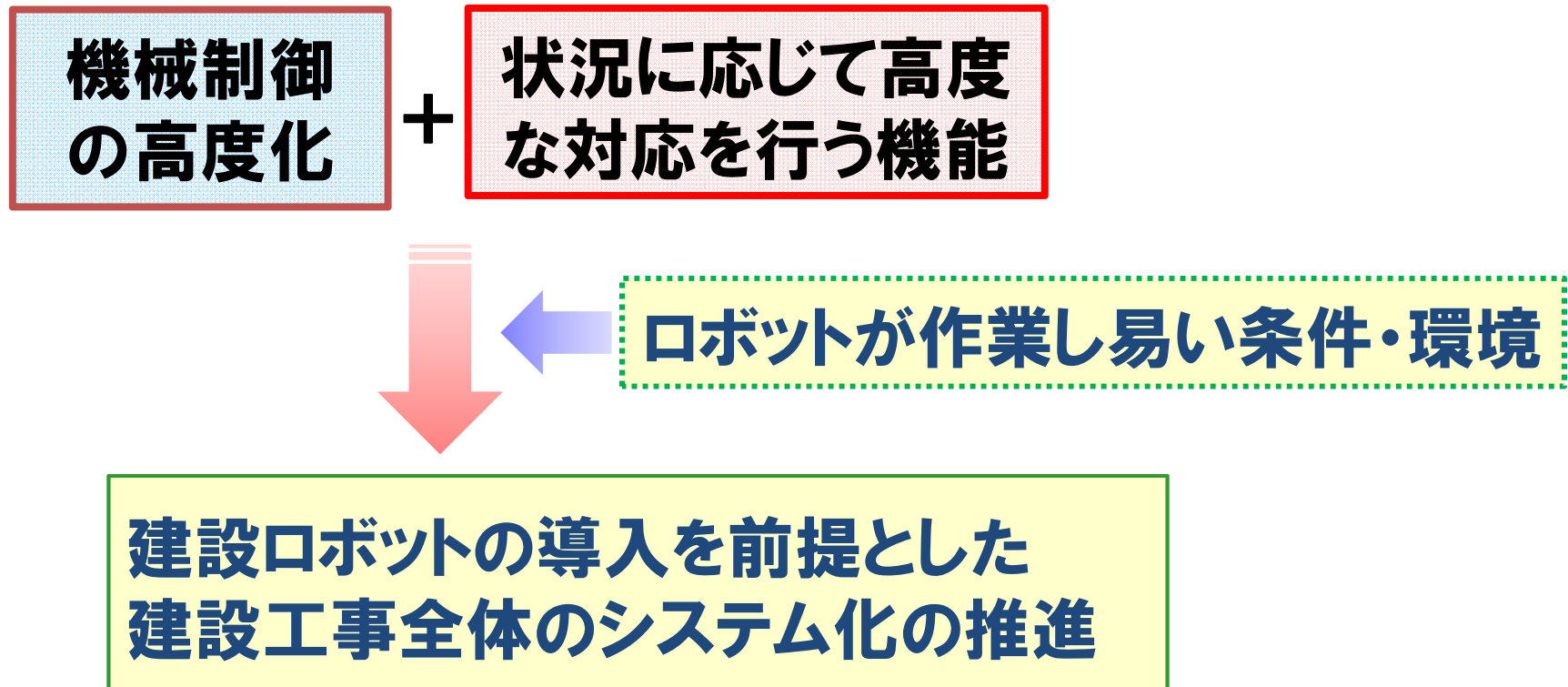
常時設計ラインにバケットを誘導しながら作業を行う

建設ロボット



無人化施工におけるMG,MC技術の利用

建設ロボットの普及促進に向けて



未来の建設施工



CIM

建設ITガイド HPより

建設ロボット



情報化施工

情報化施工, CIM, 建設ロボットは, 全て未来の建設施工の構成要素. それぞれある側面を取り出している.

統合した生産システムの追求.

国土交通省HPより

情報化施工, CIM, 建設ロボットに関し, 特に強調しておきたいこと

- いずれも未来の建設施工の一部。今は、それぞれ、ある側面を切り出して議論している。
→ 統合したシステムとして議論されるべき。
- 従来のインフラの設計や施工の道具として代替的に組み入れるのではなく、新しいツールの活用を前提として設計法や施工法の見直しが必要。
- 普段使いの技術として開発することが重要。
- 機械が優位なところと、人が判断するところを区別して、両方の利点を生かす方策が有用。

ご静聴ありがとうございました。