

建設会社における ロボットの開発

大林組の無人施工化への挑戦

(株)大林組 古屋 弘

本日のプレゼンテーション

- 建設に関わる近年の状況
- 建設ロボットの活用事例と近年の進展
- 建設ロボットの課題の克服
- 災害対応ロボットの開発
- おわりに

建設に関わる近年の状況

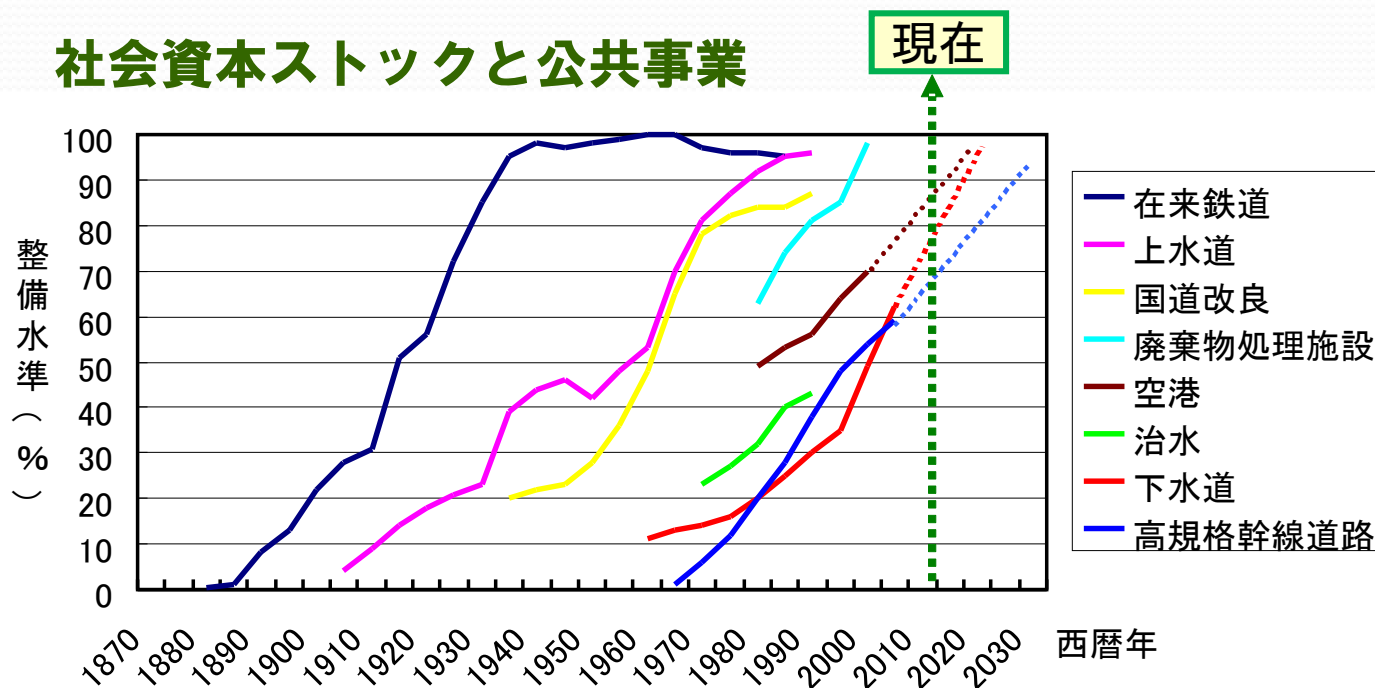
- 社会資本の充足と老朽化
- 労働人口の推移
- 建設における労働者不足
- 近年の自然災害

社会資本 (1)

社会的背景（社会の要求の変化）

➤ 新設からメンテナンスへ

社会資本ストックと公共事業



➤ 社会インフラの整備はほぼ整いつつある

➤ 建設分野でも環境への配慮が必要になってきた：CO₂の抑制・省エネルギー

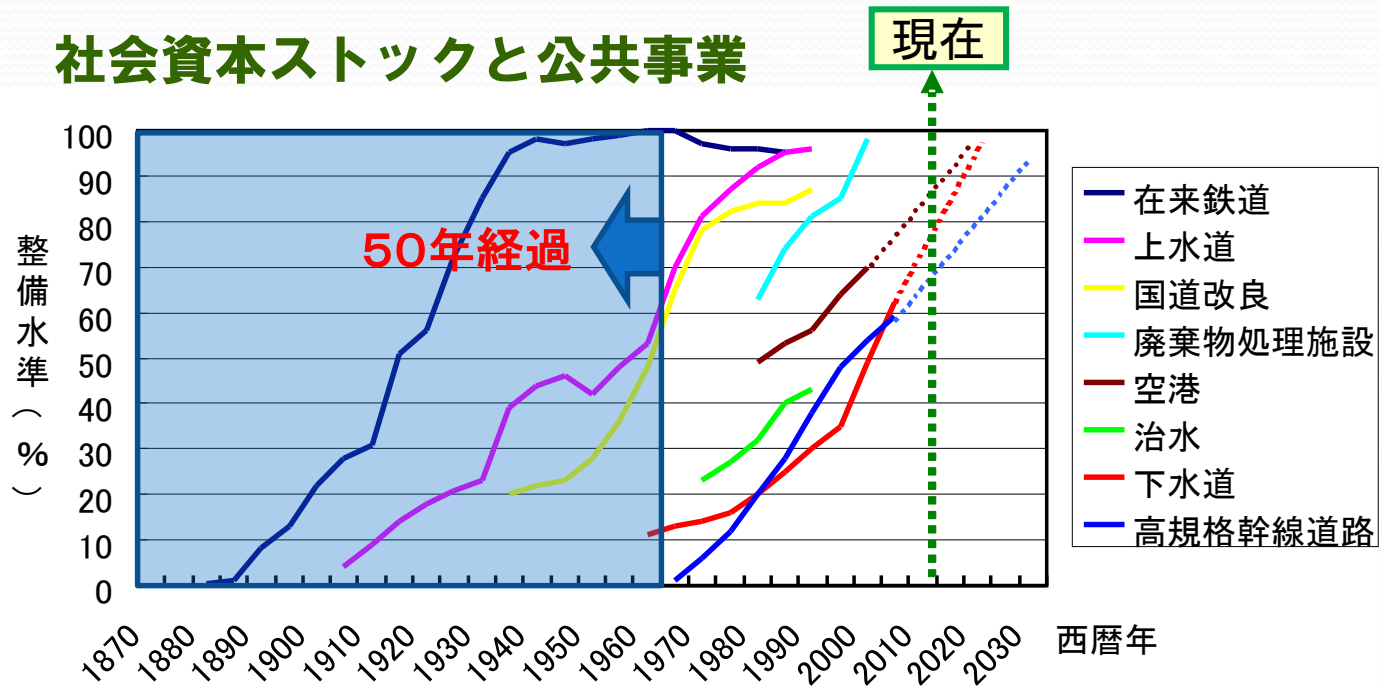
➤ 既設構造物に対する近年の自然災害への対応（復旧／強化）

社会資本 (2)

社会的背景（社会の要求の変化）

➤ 新設からメンテナンスへ

社会資本ストックと公共事業

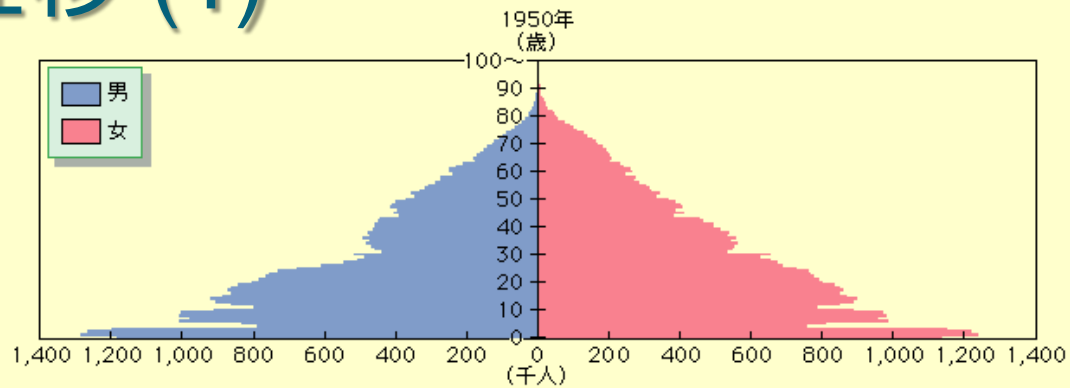


重要なポイント

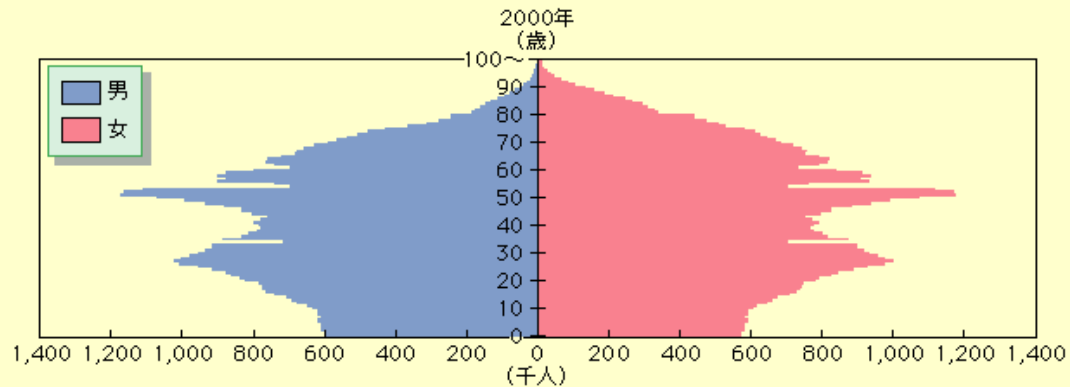
- 社会インフラの整備はほぼ整いつつある . . . しかし
- 土木構造物の耐用年数と言われる「50年」を超える構造物が増加

人口の推移 (1)

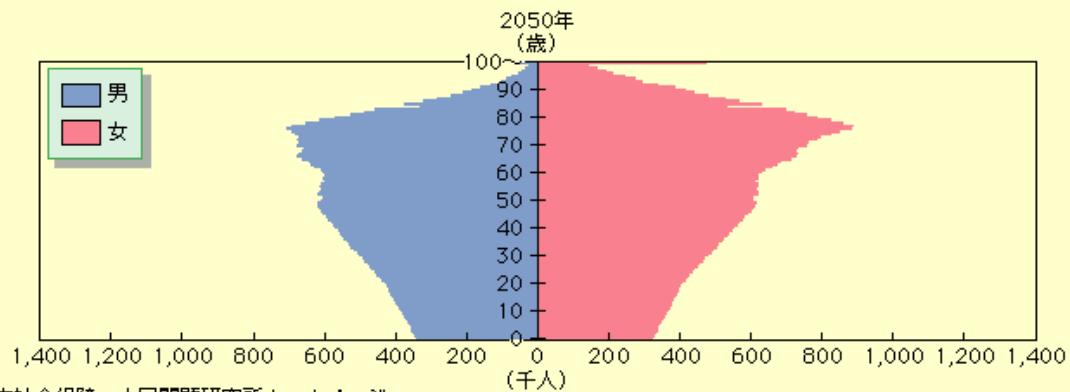
1950



2000

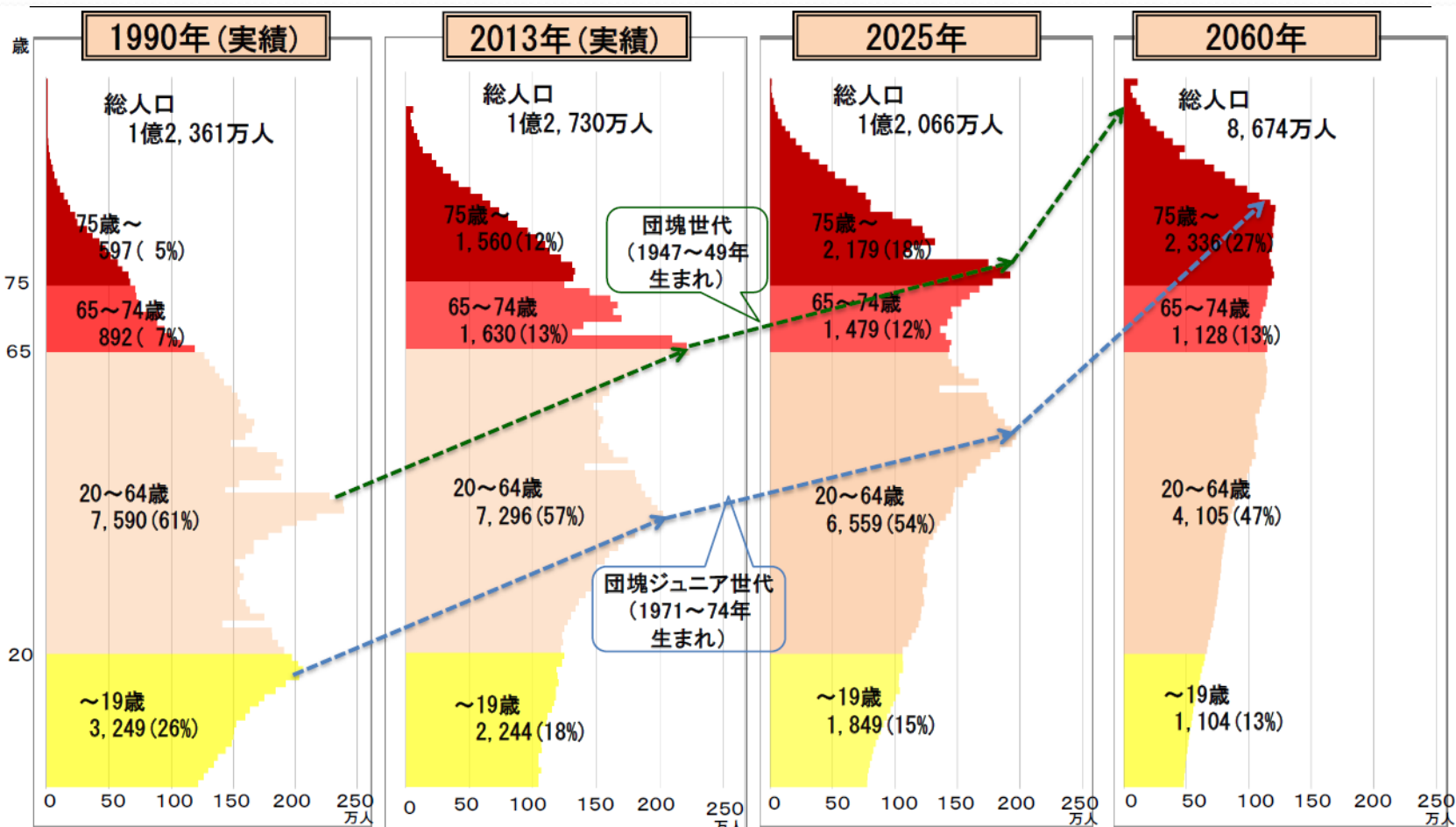


2050



(注) 国立社会保障・人口問題研究所ホームページ

人口の推移 (2)



(出所) 総務省「国勢調査」及び「人口推計」、国立社会保障・人口問題研究所「日本の将来推計人口(平成24年1月推計):出生中位・死亡中位推計」(各年10月1日現在人口)

人口の減少とともに高齢化が加速

建設投資と労働力

建設分野の状況

- 公共投資の低下 → 新設からメンテナンスへ

※ 震災復興等で一時的に持ち直してきたが減速傾向

1992年 : 84兆円



2015年 : 46兆円(名目投資)

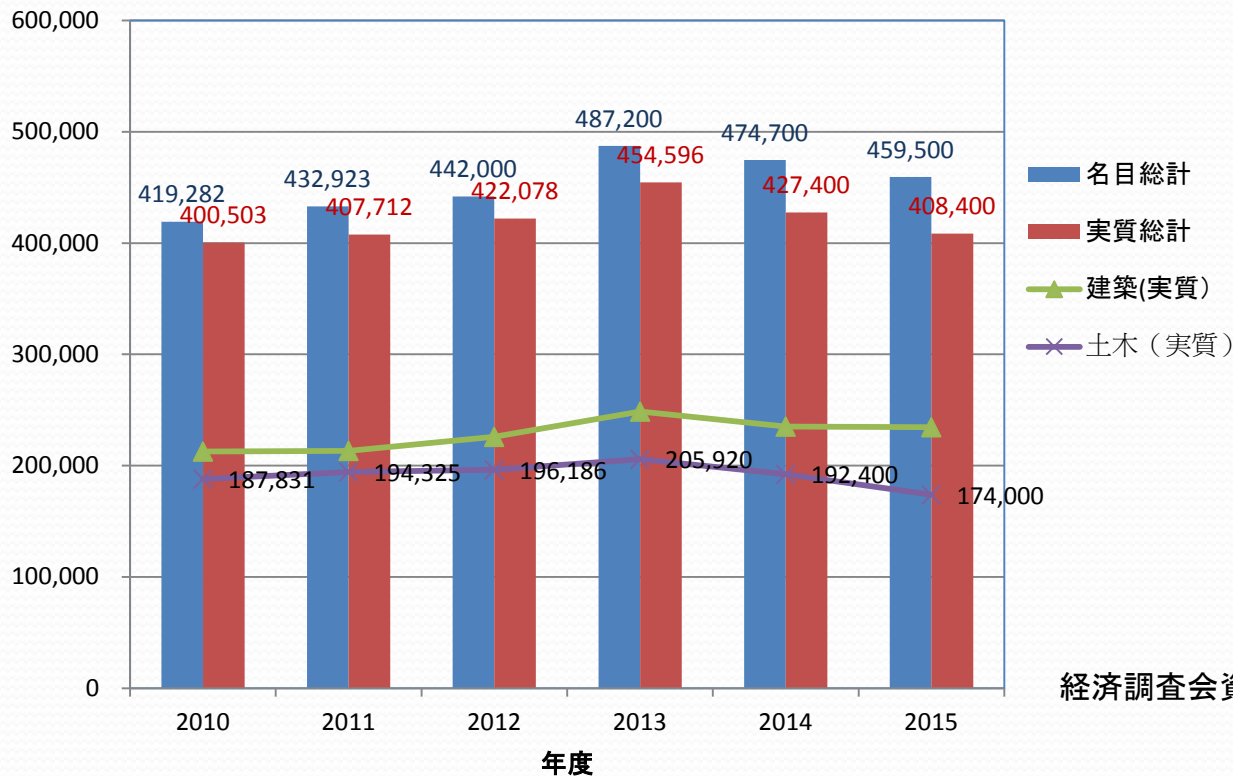
- 労働力の偏り, 不足 → 新しい技術に頼らざるを得ない部分も

※ 若年労働者, 技能工の不足／高齢化

建設投資と労働力

建設投資

単位 億円

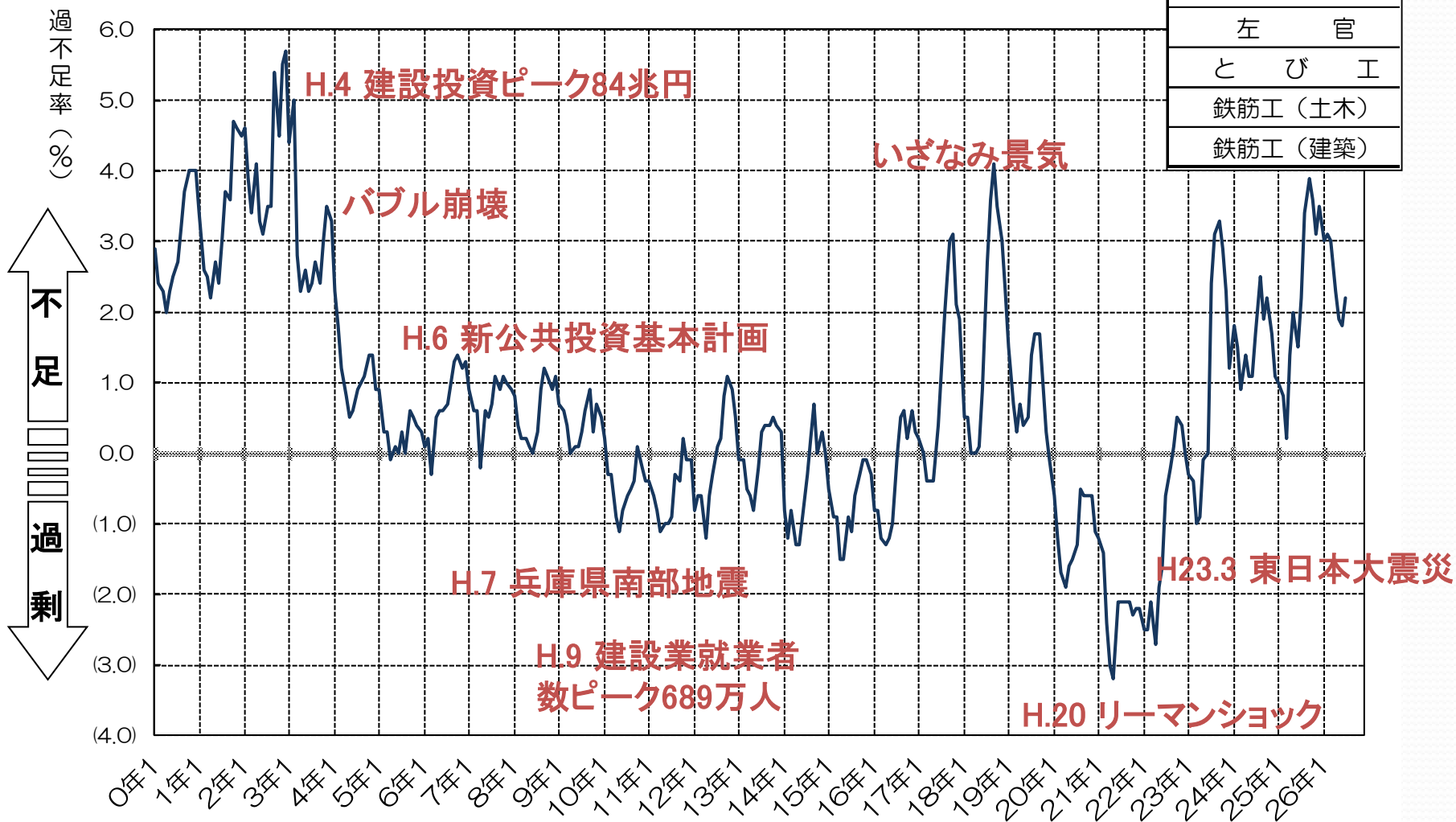


経済調査会資料を基に加筆

- 2015年度は予測
- アベノミクスで持ち直したものの年々低下
- 建設投資のGDP比率はピーク時(1992)17.4% → 9.1%
このうち政府投資は7.0% → 3.4%
- 名目投資と実質投資額の乖離が大きくなってきている : 2015年度は88.9%

労働者の過不足率

建設技能労働者過不足率の推移 (6職種計・全国)



自然災害（建設関連のトピックスも併記）

年	大規模自然災害	建設関連の事項
1992		建設投資ピーク 84兆円 GPSを用いた転圧管理 実用化はじまる
1993	北海道南西沖地震（7月） 平成5年8月豪雨（鹿児島県）（8月）	無人化施工技術の開発（鹿島建設ほか） 無人化施工（試験開始：雲仙）
1994	北海道東方沖地震（10月） 三陸はるか沖地震（12月）	大型土木工事における遠隔制御システム—雲仙普賢岳無人化施工（大成ほか）
1995	兵庫県南部地震（阪神・淡路大震災）（1月）	GPSを用いた土工管理システム開発（大林組ほか）
1996		海外建設受注高史上最高（1兆5926億円）
1997	鹿児島県出水市針原川土石流災害	建設業就業者数ピーク689万人 長野新幹線 開通（10月）
1998	高知豪雨（9月）	本州四国連絡橋 神戸・なるとルート開通（4月）
1999	6.29豪雨災害（福岡・中国地方）（6月）	本州四国連絡橋 おのみち・いまばりルート開通（5月）
2000	有珠山噴火（3月～） 三宅島噴火：全島避難（7月～） 東海豪雨（9月） 鳥取県西部地震（10月）	
2001		雲仙・水無川の導流堤完成 国交省「CALS/ECアクションプログラム」発表
2002		3次元データを用いたマシンコントロール実用化 東北新幹線 八戸延伸（12月）
2003	宮城県北部地震（7月） 十勝沖地震（9月）	国土交通省「TS・GPSを用いた盛土の締固め情報施工管理要領（案）」施行により、土工における情報化施工が進展しはじめる
2004	新潟・福島豪雨／福井豪雨（7月） 新潟県中越地震（10月）	GPSを用いた締固め管理システムの開発（大林組ほか） 九州新幹線 鹿児島ルート開通（3月） 国土地理院 国内1200点のGPSデータを配信サービス開始（7月）
2005		「オフロード法」（特定特殊自動車排出ガスの規制等に関する法律）の公布（5月） 「改正廃棄物処分法」施行 「公共工事事品質確保推進法」施行
2006	平成18年豪雪（日本海側） 平成18年7月豪雨（九州・中部）（7月）	
2007	能登半島地震（3月） 新潟県中越沖地震（7月） 福岡県西方沖地震（9月）	国交省「ICT」の推進、および「情報化施工推進戦略」発表
2008	岩手・宮城内陸地震（6月） 平成20年8月末豪雨（紀伊半島から関東）（8月）	
2009	平成21年7月中国・九州北部豪雨（7月）	
2010	西日本豪雨災害	羽田空港D滑走路（ハイブリッド滑走路）完成（10月） 東北新幹線 青森延伸開通（12月）
2011	東北地方太平洋沖地震（東日本大震災）（3月） 紀伊半島豪雨災害（9月）	九州新幹線 全線開通（3月）
2012	平成24年梅雨前線豪雨（九州から近畿）（7月） 三陸沖地震（12月） 平成24年豪雪（11月～平成25年3月）	国交省 災害用建設機械（無人化施工機械）を全国配備開始 電子基準点にてGLONASSデータの配信開始 新東名高速道路（海老名～豊田）開通（4月） 東京スカイツリー完成（2月）、開業（5月）
2013	平成25年台風26号（大島土石流）（10月）	
2014	伊豆大島近海地震（5月） 平成26年8月豪雨による広島市の土砂災害（8月） 御嶽山噴火（9月）	次世代社会インフラ用ロボットの開発・導入プロジェクト開始

建設分野でのロボット化の必要性

- 社会資本の充足と老朽化
- 労働人口の推移
→ 人口減少と高齢化
- 建設における労働者不足
- 近年の自然災害の激甚化



キーワード

新設からメンテナンス

調査点検・診断技術者

労働力の不足

特に熟練技術者の不足

新しい技術の必要性

危険作業、苦渋作業の回避



建設ロボットの必要性

建設ロボットの活用事例と 近年の進展

- 1969年の富山大橋の復旧工事から 建設ロボットの歴史が始まる
- 1993年の雲仙普賢岳噴火後の復旧工事で無人化施工の技術が進歩
- 災害対応, 調査点検への活用拡大

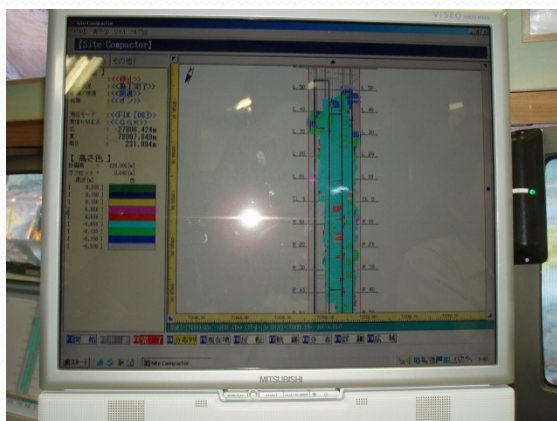
無人化機械施工事例



すべての重機は無人

雲仙普賢岳（除石工）平成6年以降

遠隔操縦システムと遠隔カメラによる施工



重機は無人
コントロールは遠隔操縦で行う

雲仙普賢岳

(株)熊谷組, (株)大本組

無人化機械施工事例：法面施工



次世代社会インフラ用ロボットの開発・導入プロジェクト

平成26年度から、経済産業省(NEDO, SIP), 国土交通省が推進

I 維持管理

① 橋梁

- ・ 近接目視の代替・支援
- ・ 打音検査の代替・支援
- ・ 点検者の移動支援

② トンネル

- ・ 近接目視の代替・支援
- ・ 打音検査の代替・支援
- ・ 点検者の移動支援

③ 水中(ダム, 河川)

- ・ 近接目視の代替・支援
- ・ 堆積物の状況を把握

II 災害対応

④ 災害状況調査

- ・ 災害被害状況の把握
- ・ 土砂等を計測する技術
- ・ 引火性ガス等の情報を取得
- ・ トンネル崩落状況や規模を把握

⑤ 災害応急復旧(土砂災害, 火山災害)

- ・ 土砂崩落等の応急復旧
- ・ 排水作業に応急対応する技術
- ・ 情報伝達する技術

- ・ 社会インフラの老朽化の進行
- ・ 地震・風水害等の災害への備え
- ・ 人口減少・少子高齢化

建設ロボット

- ・ 社会インフラの維持管理
- ・ 災害対応の効果・効率を格段に高める

建設ロボットの課題の克服

- 遠隔操縦による作業効率の低下
- ある程度の熟練が必要
- これらの課題を3次元映像とバーチャル操縦システムで克服

建設ロボット技術の進化と課題

ニーズと開発状況

土木技術:	土工事全般、トンネル・ダム・空港・橋脚など大型施設・構造物の建造、災害復旧工事などが対象
既存の課題:	①生産性の向上 ②施工と施工管理技術の情報化 ③安全性の向上
土木技術分野での自動化・ロボット化への取組:	①土工事やダム工事における情報化施工の開発 ②災害復旧工事における無人化施工技術の開発 ③公的研究機関におけるRT技術の応用研究

建設ロボット(無人化施工)の課題

- ① 高価
- ② 遠隔操縦に伴う物理的要因による施工効率の低下
→ 通信, 画像による操縦 → 伝送容量の制約, 通信速度
- ③ 操縦者の訓練が必要

①, ②の解決策 ➡ バーチャル操縦, 3D映像の活用

大林組のチャレンジ

施工効率の低下，操縦技能の補完

次世代無人化施工技術

- 3D映像の活用
 - バーチャル操縦席
- ➔
- 施工効率の低下を少なくする
操縦を容易に

従来の遠隔操縦では，搭乗型の重機に比較して施工効率は50～60%となっている



施工効率の低下を従来技術に比較して30%改善

ただし，通信容量の増加（遅延など）は課題

次世代無人化施工技術の開発

バックホウ
コンクリート破砕

クローラキャリア

バックホウ
フォークグラップル

固定カメラ

2012年 実証実験状況





3Dカメラ

全方位カメラ

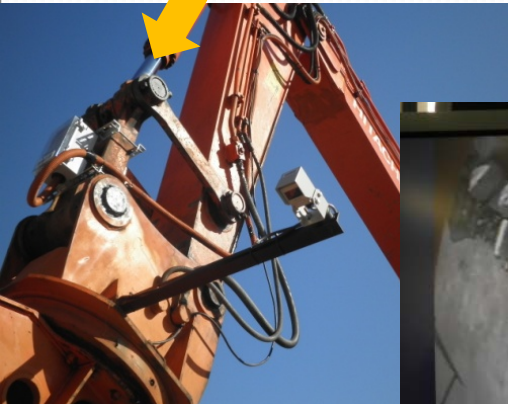
先端カメラ



3Dカメラ



3Dカメラによる画像
(操縦室)



先端カメラ



先端カメラによる画像
(操縦室)



全方位カメラ



全方位カメラによる画像
(操縦室)



無線伝送システム



放射線量計



騒音・振動・傾斜計

様々な計測器
も搭載可能

(1) 3Dモニタ
(ハイビジョン映像)



操作室



コントローラ



(3) 重機周辺の音響
情報の再生装置



(2) 体感装置付運転席



バーチャル操縦席



3Dによるリアルな画像

重機の姿勢(操縦席の体感)を再現

遠隔操縦の効率低下を3Dおよびバーチャル操縦で克服



3D映像あり

3D映像あり・なしの
効率比較実験

5倍速 >>



3D映像なし

災害対応ロボットの開発

- 土砂災害に対応した地盤探査ロボット
- 災害の初動調査を想定 : 人や重機が入っても安全か

大林組のチャレンジ

災害対応(土砂災害における地盤探査ロボット)への挑戦

災害地の初動探査に活用することを想定

土砂災害現場の特有な条件を克服することを目標

- **泥濘地(軟弱な地盤)での走破性能の確保**
- **登坂能力 : 傾斜35度, 段差60cmを走破**
- **安全な場所からの探査 : 2kmの往復を目標に遠隔操縦**
- **ぜい弱な通信インフラにも対応 : 伝送容量・遅延の抑制のため, あえて3Dや高解像度は用いずTORSOシステムによる疑似3次元画像で操縦**
- **遠隔地からの地盤探査 : 表層3mまでのスウェーデン式サウンディングと間隙水圧測定による地盤探査性能**



重機のトラフィカビリティの確認

差異者土砂の性状の把握 → 対策の計画に活用

遠隔搭乗操作によるマルチクローラ型 無人調査ロボットの開発

※ NEDOの助成により開発中

操縦基地

基地局アンテナ

指向性アンテナを採用しアンテナ高を高くすることで見通し区間での通信距離を確保

ヘッドマウントディスプレイ モニタ
HMDの動きに連動してロボットヘッドの回り込みなどの動作を制御

操縦席

(または手持ちリモコン)

GNSSアンテナ

貫入位置のマッピング機能

重機局アンテナ

無指向性アンテナ

走行装置

(株)移動ロボット研究所 レスキューロボット技術に応用勾配に対して横断方向の

トラバース走行可能・段差乗越え可能

1回の充電で連続稼働 3時間 程度の貫入試験を実施
⇒試験数が不足すればバッテリー交換し繰り返し出動
空輪も想定し 総重量を決定
狹隘な搬入経路を想定し形状寸法は 2t車に載る程度



想定対象地盤

対象地盤:崩落土砂全般・冠水箇所所有

段差:50cm程度有

※対象地盤を軟弱地盤に限定することで搭載設備を最小化・軽量化する＝走破性の向上

中継アンテナ

基地局～中継局間
最大通信距離:1.5km

中継局アンテナ

通信障害の回避が必要な場合に設置
設置後上方に伸長しアンテナ高を確保
振り子機構により鉛直性確保

無人調査ロボット

中継局～重機局間
最大通信距離:0.5km

3Dカメラ+6自由度ロボットヘッド

慶應義塾大学 TELESARⅢ技術を応用
6自由度の首振り機構に両眼カメラを取り付け
運動視差による臨場感ある視覚
情報を得る
⇒**俯瞰画像に頼らない遠隔操作**



スウェーデン式サウンディング

(貫入深さ 3m 程度)
・貫入抵抗 (Wsw・Nsw) 測定
・貫入音モニタリング
・土層厚さ測定

間隙水圧計 (貫入深さ 3m 程度)

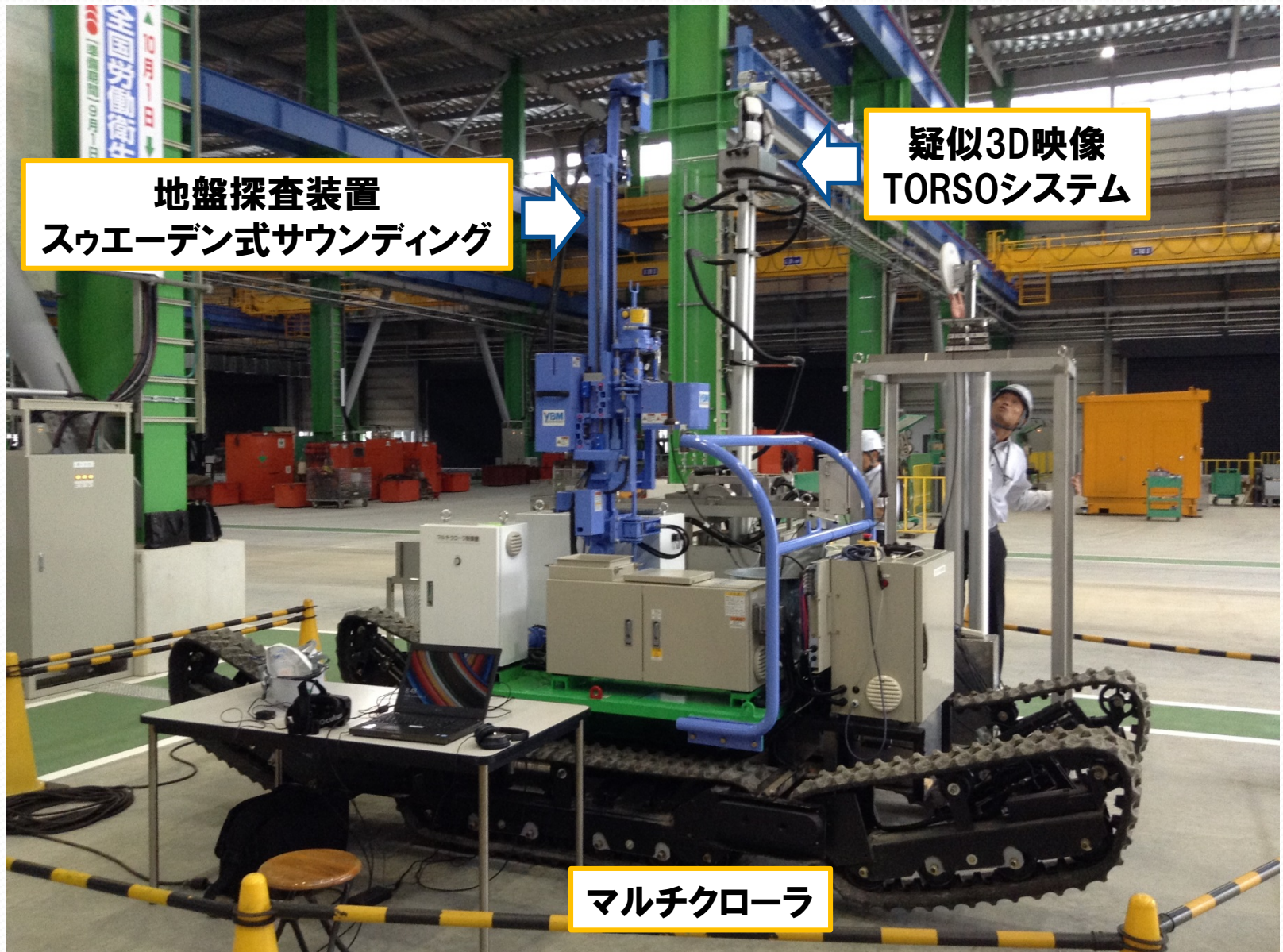
・各土層の間隙水圧測定



遠隔無人貫入装置

貫入・引抜き・回転機構
引抜き不能となった場合は切り離し動作が可能

無人探査ロボット



地盤探査装置
スウェーデン式サウンディング

疑似3D映像
TORSOシステム

マルチクローラ



無人探査ロボット

開発中

遠隔地(2km)から土砂災害地の地盤を探査

ヘッドマウントディスプレイの活用とカメラの連動



限られた伝送容量で最大の効果を狙う
操縦者の視野（頭部の動きにも連動）に対応したカメラの活用

おわりに

まとめ

1. 建設分野でのロボット化は急速に進みつつある
2. 無人化施工や近年ではDRONE(UAV)等も活用機会が増加
3. 背景には作業員不足や災害対応, 社会インフラの維持管理, 災害対応の効果・効率を格段に高める目的がある
4. ロボット化においては, 通信をはじめとして様々な制約があるが, 近年それらを新しい技術で克服しつつある
5. 遠隔操作による建設用ロボットの作業性を向上するためには, オペレータに適切情報を与えることが重要
6. そのための基本データとして, 3次元モデルは重要性を増す
7. 設計図書と機械を繋ぐ「データモデル」は重要度を増す