

ロボット技術を建設現場で活かす

ACTEC 先端建設技術セミナー

2016年6月30日(木) イイノホール

油田信一(ゆた しんいち)

芝浦工業大学 SIT総合研究所 特任教授

自己紹介： 油 田 信 一 （ ゆ た し ん い ち ）



1975年 慶應義塾大学大学院工学研究科(電気工学)修了、工学博士

1975年－1978年 東京農工大学 電子工学科

1978年4月から2012年3月まで 筑波大学

(電子情報工学系、機能工学系、システム情報工学研究科)

この間2004年－2006年 同 理事・副学長 (研究、産学官連携、社会貢献担当)

2012年 芝浦工業大学 教授(特任)

現在 土木研究所招聘研究員、つくば市顧問、富士ソフト(株)社外取締役、

次世代無人化施工技術研究組合理事長、NEDOインフラロボットプロジェクトPLなどを兼任

専門: ロボット工学、移動ロボット、フィールドロボティクス

30年にわたって研究用自律移動ロボットプラットフォーム「山彦」の開発と、
それを用いた自律移動ロボット技術の研究を進めてきた。

(その一環として、)北陽電機の測域センサの開発にも参加。

2007年から、つくばチャレンジを提唱して実施

最近は、ロボット技術の災害対応や構造物のメンテナンスへの適用にも興味を持つ

IEEE Fellow (2000, Robotics & Automation Society)

日本ロボット学会フェロー(2004)

2009年 IROS Harashima Award (IEEE)

2012年 日本ロボット学会 ロボット活用社会貢献賞

2015年 日本機械学会 教育賞

まず、ロボットとロボット技術を考える

- ロボットとは：
 - 人間や動物を参考として、その機能(の一部)を実現する機械
 - センサとアクチュエータ、情報処理系を有する機械
 - ロボット研究者・メーカーが作った機械
 - ロボット技術を用いた機械
- ロボット技術とは：
 - そのための技術

まず、ロボットとロボット技術を考える

「ロボット」に(厳密な)定義はない

➡ 人に「ロボット」と呼ばれると「ロボット」になる

• どのような機械が「ロボット」と呼ばれているか:

- ロボットのイメージの機械
- 今までの機械に出来ないことを実現する機械
- 思い入れを持つことの出来る機械

➤ 夢の機械・開発中の機械

➡ 実現されるとロボットではなくなる

どういう機械ならロボットと言えるか

- 産業用ロボット
- 全自動洗濯機
- パワーシャベル



- 2足歩行機械
- 空を飛ぶ機械



- 人の作業を代替
- 人がやりたくないことを代替

- 自動運転自動車
- 自動掃除機



学術としてのロボット学

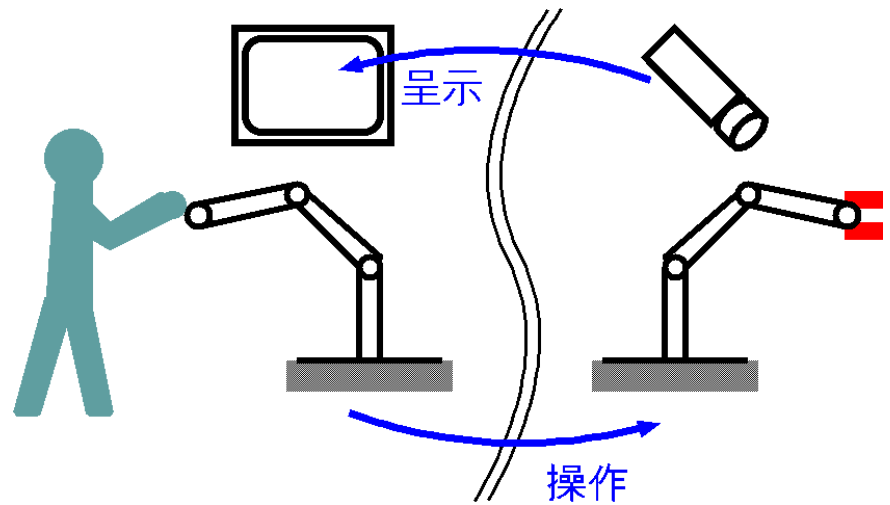
- 基礎科学
 - 人間(の振る舞い)のメカニズム
- 基盤要素技術
 - メカトロニクス／センシング／認識技術／制御技術／(機械の)操作技術／システム構築技術／人に対するサービス技術／マンマシンインタフェース
- 有用なシステムとしてのロボットの設計構築法
 - 作業する機械 — 大出力、精密動作
 - 福祉機器／リハビリテーション
 - 人と機械の関わり方／エンターテインメント

ロボットの技術要素

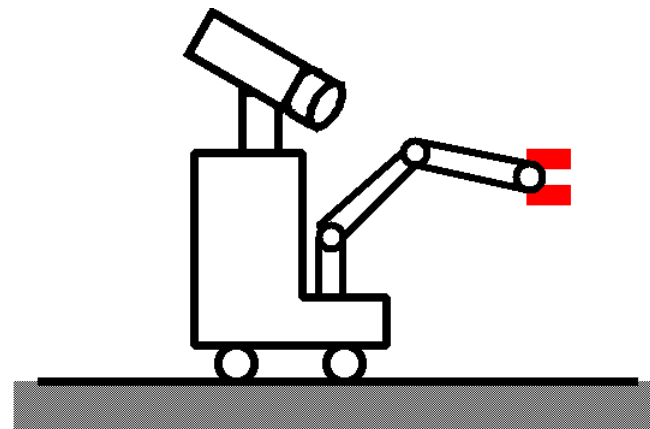
- 動作機能
 - センサ — 環境認識
 - アクチュエータ — 制御
- ロボットの知能
 - Reasoning, 学習
- ヒューマンインターフェイス技術
 - 操作
 - 提示
- 実世界対応技術
 - 物理的制約
 - 実時間で動作を決定し制御
 - 社会的制約
- システムインテグレーション
 - ハードウェアとソフトウェアの実装技術

ロボットの動作制御

- 1: テレオペレーション
- 遠隔制御
- 感覚のフィードバック



- 2: 自律行動
- 自律性、自立性
- 臨機応変な行動

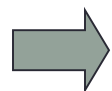


ロボットの働き

物体の操作・

マニピュレーション

<マニピュレータ,アーム>

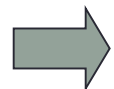


対象物認識、器用な動作



自分自身の移動

<移動ロボット>



環境認識、経路計画



ロボットの稼働領域

- マニピュレータ
 - ほぼロボット自身の大きさ
- 動きながら働く(移動)ロボット
 - 自分自身の大きさの
数百～数千倍

移動ロボットの特徴: **行動・作業空間の大きさ**

動き回って働くロボットの難しさ

作業空間の大きさ

- 環境の多様さと複雑さ
- 環境整備の難しさ
- 正確なモデル作成が不可能
- 時々刻々の変化

センサ／環境認識能力の不足

環境を知り対応する「」との難しさ

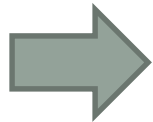
多機能の集積／共働への対処法（設計技術）

ロボット機能のモジュール化

- 多機能ロボットにおける開発やメンテナンスの工数の爆発に対処

- システム開発の手間 = $N * * (2 \sim 3)$

N: ロボットの機能の数



手間を $N * \text{Log}(N)$ まで(?)減らす

- 可能なものは開発を切り分ける

- 必要な機能をあらかじめ準備しておく
- わかりやすい機能ごとに整理（機能分散）
- 切り分けられないものは、分けない

: 切り分けることによる複雑さの拡大を防ぐ

ロボット技術が追求する機能の特徴

✕ 魔法使いの能力 = 20世紀型価値観の成果

- 空を飛ぶ
- くらいところを明るく照らす
- 重いものを運ぶ
- 遠くの状況を見る／遠くの人と話す

○ 人の能力 = ロボット技術が追求する機能

- 歩いてどこかへ行く
- 器用に手を動かして何かを作る
- ものを見て判断する
- 人の気持ちが分かる

ロボット技術が働く領域 (例:作業の機械化の中で)

作業機械の知能化の進化を考える



働くロボットは**矛盾の機械**である

■ **人間の代わりとして:**

人間にできること(普通の機械にできないこと)を代替

- 複雑な作業・色々な作業
- 気の利く・気配りのいる作業
- 細かい指示に従う
- 言われなくてもやる

■ **機械として:**人間にできないことをする

- 重いものを運ぶ
- 精密な作業
- 人の入れないところで働く(高温の中・放射線下・真空中・など)
- 飽きないで繰り返す／文句を言わないで働く

次世代のロボット技術への期待(知能ロボット)

- 複雑な環境内で、複雑な仕事を実現
 - 実世界対応技術
 - (決められた)作業の達成能力
- 簡単な指示でキチンと働く
 - 良いヒューマンインタフェース
 - (ユーザから見た)多目的性、汎用性

役立つ仕事をするロボット

- タスクの実現

- 人間による作業の支援

遠隔地(宇宙・深海)・危険地・マイクロ作業など

ー オペレータ能力のエンハンスメント

- 自動的・自律的なタスクの実現

- 働かないロボット

- 人間へのメンタルなサービスの提供

産業用ロボット

- 用途による分類

- 溶接ロボット
- 組立ロボット
- 搬送ロボット
- 塗装ロボット
- 検査ロボット
- 研磨ロボット
- 洗淨ロボット

- 形状による分類

- 垂直多関節ロボット 多関節ロボットと単純に言った場合はこれを指す事が多い。
- 水平多関節ロボット スカラー型ロボットとも言う。
- 直交ロボット
- パラレルリンクロボット

非工業向けロボット

- 産業用ロボットはIndustrial robotの邦訳である。
- サービス産業などで使われているロボットを産業用ロボットとは区別する

- 建設ロボット

- 農業用ロボット

- 自走式トラクタ、田植機、野菜の収穫ロボットなど

- 酪農用ロボット

(ボックス型のロボットで乳牛の搾乳を自動化する搾乳ロボット、牛舎で餌槽通路に散らばった餌を走行しながら牛側に押し寄せる餌寄せロボットなど)

- サービスロボット

- 医療用ロボット

- 掃除用ロボット ラクリートやルンバ (掃除機)などの家庭用の掃除ロボット

- エフロボクリーンなどの業務用の掃除ロボット

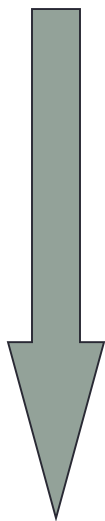
- レスキューロボット

- エンタテインメントロボット (家庭向けと展示用を含む)

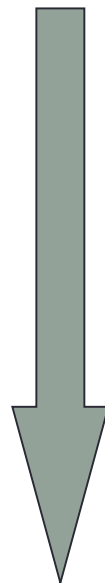
- 家庭用ロボット

ロボットの作業環境

工場から
自然環境・
日常生活
空間へ



- 工場・生産ライン
- 物流ライン
- 建設作業現場
- 農業・林業
- 市街地
- 公共の建物
- 家庭



• 産業用ロボット

工場内

- 工業生産活動をサポート

• フィールドロボット

建設、農業、災害時

- 人の仕事をサポート

• サービスロボット

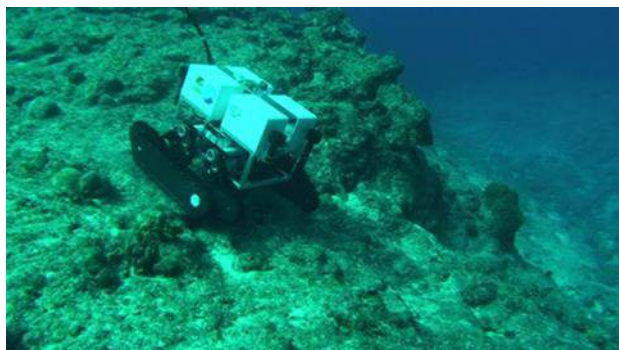
家庭内、一般の生活環境

- 通常的生活をサポート

フィールドロボットの例



農作業ロボット



調査・探査ロボット



建設系現場のロボット

フィールドロボティクスの立場

- (工場から出て)自然環境の中で働くロボットの技術
- 現場で役に立つ調査・作業の実現

- あるがままの(自然な)環境で働くこと
 - ロボットのためには整備が出来ない稼働環境
 - 技術のキーは、作業そのものの難しさより、
対応すべき環境の条件

フィールドで働くロボットに求められること

- 自然な環境で働くこと

実世界問題

- 普通の仕事をする事

実世界への対応:

移動ロボットではとくに重要

実世界問題のためのキー

開発者による

- 環境の理解
- ミッション／タスクの理解

システムのインテグレーション

- 多機能の集積／共働
- インテグレーションのための枠組
(アーキテクチャ)

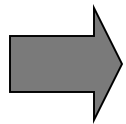
実世界で働くロボットの実現法

一歩ずつの理解

- ミッション／タスクについて
- 環境について

一歩ずつのインテグレーション

(機能と対応可能な環境の追加)



インクリメンタルな開発

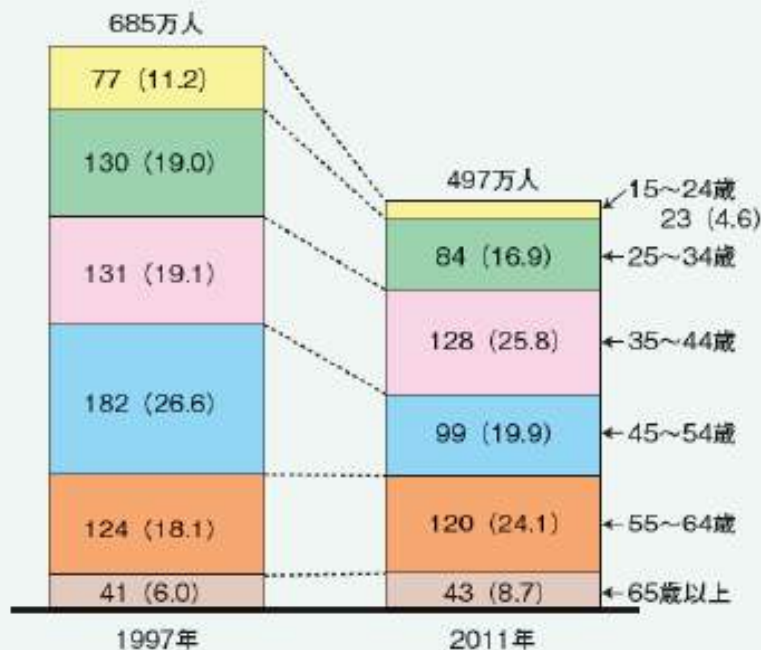
重要なこと:

開発におけるフィードバックサイクルの短さ

建設施工へのロボット技術の導入

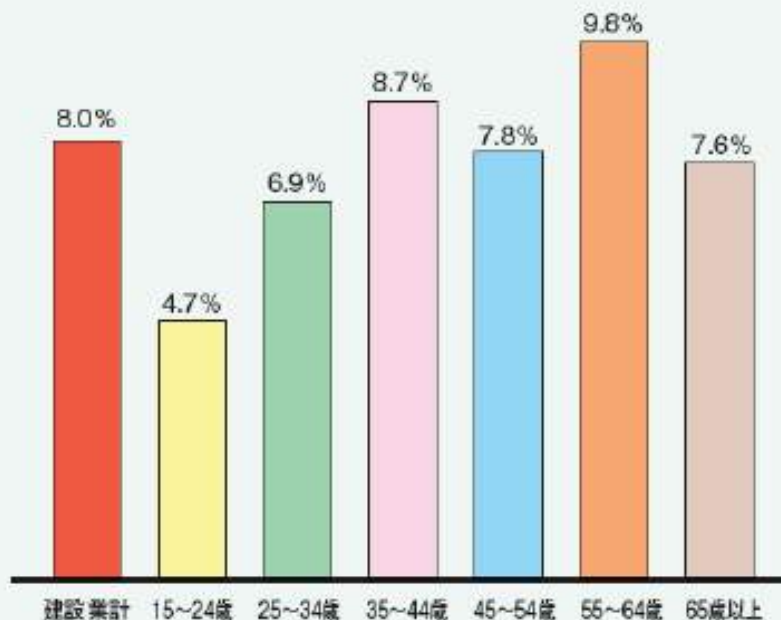
背景：最近の建設施工におけるロボット技術への期待：建設労働者の不足と高齢化

建設業就業者数の年齢階層別推移



(注) 1. () 内は構成比
2. 2011年の値は日建連推計を含む。

全産業就業者中に占める建設業就業者の割合 (2011年)



資料出所：総務省「労働力調査」

就業者の年齢階層別推移と全産業中に占める建設就業者の割合

資料)「建設業ハンドブック2012」
(日本建設業連合会)より

背景：最近のインフラストラクチャにおけるロボット技術への期待

・ 頻発する災害への対応

例：

- ・ 東日本震災(2011)
- ・ 不順な気候の頻発
[台風12号＝紀伊半島豪雨(2011)、鬼怒川の氾濫(2015) など]
- ・ 火山噴火と土石流 [新燃岳(2011)]



背景：最近の建設施工におけるロボット技術への期待

インフラ設備の老朽化への対応 (例)

- 笹子トンネルの天井板落下事故
- 老朽化した橋梁



建設ロボット懇談会(2012)

提言

建設ロボット技術の開発・活用に向けて

～ 災害・老朽化に立ち向かい、建設現場を変える力 ～

平成 25 年 4 月

建設ロボット技術に関する懇談会

目次

はじめに	1
第1章 建設生産システムを巡る現状	2
第1節 建設生産システムを巡る諸情勢・課題	2
第2節 ロボット技術による課題解決の可能性・方向性	3
第2章 建設ロボット技術の活用を巡る状況	5
第1節 建設ロボットに関する国内の取り組みの歴史	5
第2節 国土交通省の技術開発・活用制度と取り組み	6
第3節 情報化施工の現状と推進戦略	8
第4節 無人化施工の現状と課題	9
第5節 最近の災害用ロボットの開発状況	11
第6節 各種団体の提言	12
第3章 建設施工を巡る諸課題に関するニーズ・シーズ調査	14
第1節 ニーズ調査について	14
第2節 シーズ調査について	15
第4章 建設ロボット技術の開発・活用の必要性和目標	17
第1節 建設ロボット技術の必要性	17
第2節 開発・活用の目標	18
第1項 建設施工の生産性・安全性向上のための技術	18
第2項 災害対応のための技術	19
第3項 インフラ老朽化に対応する技術	21
第3節 共通の基盤となる技術の構築	22
第5章 建設ロボット技術の発展と普及のための方策	23
第1節 課題	23
第2節 基本的な考え方	24
第3節 技術開発・活用のスキーム	25
おわりに	28

建設ロボット懇談会 提言の内容

- 建設ロボット技術開発・利用の分野
 1. 建設分野における労働生産性・安全性の向上
 2. 災害に対応した建設施工のシステム（無人化施工など）
 3. インフラのメンテナンスへのロボット技術の導入
- 建設ロボット開発の手法・手順
 - ◆ 実現場・実問題への適用をループに入れた開発
 - ◆ システムの評価と、必要な仕様の明確化、問題点・改良点の発見

建設分野で

ロボット・ロボット技術に期待される役割

- 人に加わる負荷や必要人数を軽減／人が働くための環境整備のコストの削減
- 作業環境の拡大：危険な環境／人が入れない環境（放射線環境下）など
- 作業の精密化・情報化／作業対象の大型化・重量物への対応

キーワード = 維持

- 現在の(科学技術に支えられた)快適な環境の確保・維持こそが**チャレンジ**
- 社会の**インフラ**となっている設備の維持(メンテナンス)
エネルギー網、通信網、輸送網、交通網、原材料製造
- **メンテナンス**技術の重要性と課題
 - 維持の切断(日常に潜む危機)の回避 :
 - インフラ維持のために社会が負担するコストの軽減
- 災害時への対応
 - **二次災害を避けて**状況の調査と応急的復旧

21世紀における技術者のチャレンジ

- 西暦2100年になっても、スイッチを押せば電気がつくか
- 社会のインフラとなっているシステム（電力システムなど）の維持：
 - ものの維持
 - 技術の維持

インフラの維持管理／(自然)災害時の調査・復旧 に対応するロボットの**技術要素**

◆ **アクセス技術**(現場に行く)

- 検査対象や作業現場に機械をアクセスさせる
移動技術(地上、空中、壁面、水中 . . .)
- 人は遠方から監視・操作
- 現地が危険な場合(高所、二時災害の恐れ、放射能など)

◆ **計測・作業技術**(仕事をする)

- 検査・監視のための対象の計測
- 軽作業(計測のため／維持・更新のため)
- 無人で行う(本格的な)作業・施工など

◆ 実環境で実際に役立つ**統合システムの構築**

- ハードウェア、ソフトウェア、制御系、ユーザインタフェースの統合

最近の

災害対応／インフラ維持のためのロボット技術
～ 技術開発と利用に関する国の施策 ～

ロボットを作る vs. ロボットを使う

ロボット新戦略の策定・日本経済再生本部決定



平成27年1月23日
安倍総理は、総理大臣官邸で
第6回ロボット革命実現会議を
開催しました。

会議では、「ロボット新戦略」
について議論され、取りまとめ
が行われました。



平成27年2月10日
「ロボット新戦略」は、
「日本経済再生本部決定」
がなされました。



(首相官邸ホームページより)

ロボット新戦略 Japan's Robot Strategy (2015.1月) —ビジョン・戦略・アクションプラン—

第1部 総論 / 第1章 序章 / 第3節 ロボット革命で目指すこと

第2項 ロボット革命で目指す三つの柱

- ①世界のロボットイノベーション拠点—ロボット創出力の抜本的強化
- ②世界一の**ロボット利活用社会**—ショーケース(ロボットがある日常の実現)

中堅・中小を含めたものづくり、サービス、介護・医療、インフラ・災害対応・建設、農業など幅広い分野で、真に使えるロボットを創り活かすために、ロボットの開発、導入を戦略的に進めるとともに、その前提となるロボットを活かすための環境整備を実施する。

- ③世界をリードするロボット新時代への戦略

ロボットの開発より、利用を重視

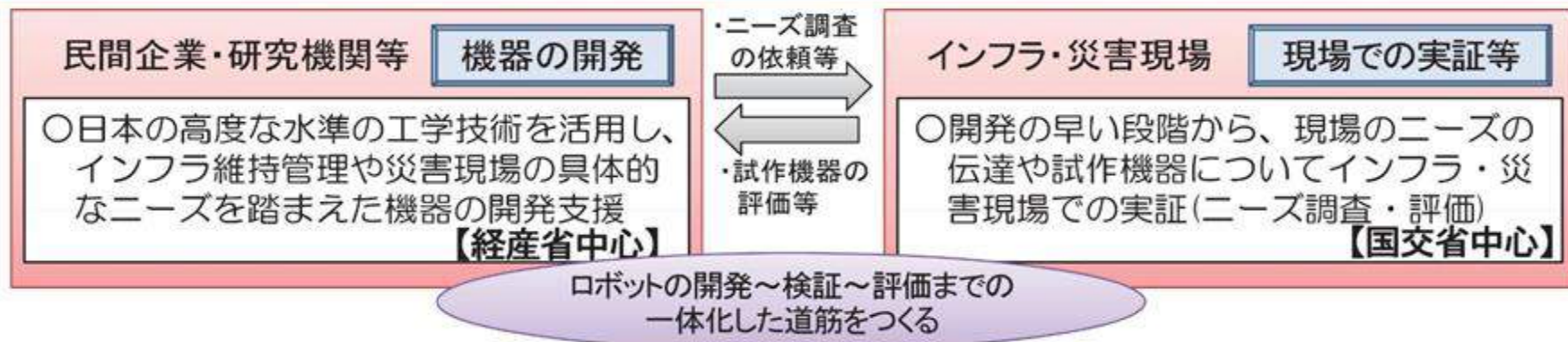
災害対応／インフラ維持のためのロボット技術 ～ 技術開発と利用のアクティビティ

- ◆ 無人化施工＋遠隔調査
 - 大規模崩落(土砂崩れ、土砂ダム) (例えば2011紀伊半島豪雨)
- ◆ 福島第1原子力発電所の安定化／廃炉 (2011～)

- ◆ 国土交通省・経済産業省連携による次世代インフラ用ロボットの開発・導入の促進 (2014～)
 - NEDOインフラロボットプロジェクト
 - 国交省 インフラ用ロボットの現場実証(技術公募に基づく)
- ◆ SIP(戦略的イノベーションプログラム＝内閣府)のインフラ維持管理マネージメント技術 (2014～) (4)ロボット技術

次世代社会インフラ用ロボット開発・導入促進体制

別紙1



次世代社会インフラ用ロボット開発・導入重点分野(平成25年12月25日 国交省・経産省公表)

国土交通省と経済産業省において、重点的に開発支援する分野を特定(平成26年度から開発支援)

(1)維持管理

○橋梁

- ・近接目視の代替ができる装置
- ・打音検査の代替ができる装置
- ・点検者を点検箇所近づける作業台車



○トンネル

- ・近接目視の代替ができる装置
- ・打音検査の代替ができる装置
- ・点検者を点検箇所近づける作業台車



○河川及びダムの中筒所

- ・堆積物の状況を全体像として効率的に把握できる装置
- ・近接目視の代替ができる装置



(2)災害対応

○災害状況調査(土砂崩落、火山災害、トンネル崩落)

- ・土砂崩落及び火山災害現場において、高精細な画像・映像や地形データ等の取得ができる装置
- ・土砂崩落及び火山災害現場において、含水比や透水性等の計測等ができる装置
- ・トンネル崩落において、引火性ガス等に係る情報の取得ができる装置
- ・トンネル崩落において、崩落状態や規模を把握するための高精細な画像・映像等の取得ができる装置



○応急復旧(土砂崩落、火山災害)

- ・応急復旧ができる技術
- ・排水作業の応急対応ができる技術
- ・遠隔・自律制御にかかる情報伝達ができる技術



経済産業省／NEDOの取り組み(2014～)

プロジェクト名: インフラ維持管理・更新等の社会課題対応システム開発プロジェクト

研究開発の目的

- ・高度成長期以降に整備されたインフラは、今後20年で建設後50年以上経過する施設の割合が加速度的に高くなる。適切な維持管理が行われないことにより、インフラの崩壊や機能不全が発生し、人命や社会に影響を及ぼす危惧が高まっている。
- ・我が国のインフラの維持管理・更新に対する主な課題としては、維持管理・更新に対する財政問題と人材・技術不足が考えられる。
- ・本事業では、既存インフラの状態に応じて効果的かつ効率的な維持管理・更新等を図るため、的確にインフラの状態を把握できるモニタリングシステムの技術開発及び維持管理を行うロボット・非破壊検査装置の技術開発を行い、インフラの維持管理・更新等における財政問題及び人材・技術不足の解決に寄与する。

プロジェクトの規模

- ・事業規模(平成26年度) 16.2億円(予定)
- ・実施期間 平成26～30年度(5年間)(予定)

成果適用のイメージ

センシング技術

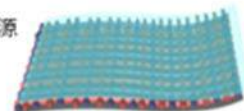
高精度検出部
(振動、変位等)



信号処理
無線通信



自立電源



インフラモニタリングに
最適なセンサ



画像を活用した
イメージング技術

小型化した移動用
ロボットによる点検

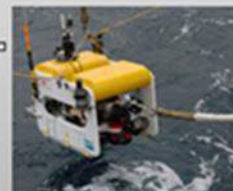
狭隘部



空中



水中



配管内



NEDOインフラ維持管理・更新等の社会課題対応システム 開発プロジェクト（2014～）

NEDO

運営委員会
NEDO、PL、SPL、
有識者

下山SPL

油田PL

油田PL

①インフラ状態モニタリング用センサシステム開発

②イメージング技術を用いたインフラ状態モニタリングシステム開発

③インフラ維持管理用ロボット技術・非破壊センサ装置

アクセス技術(地上の移動)

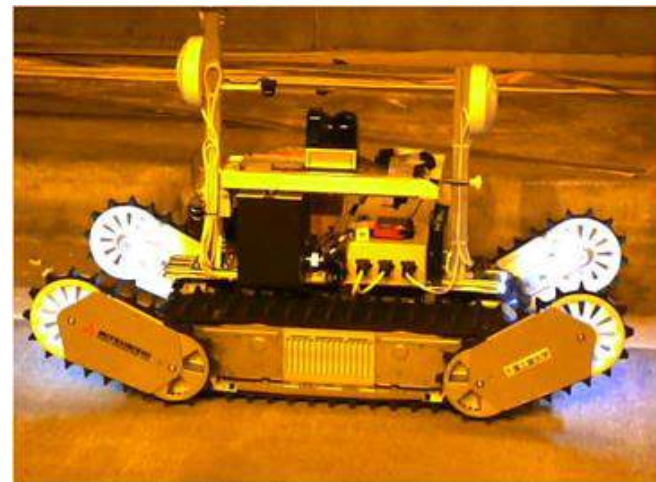
◆不整地移動



コーン指数 $200\text{kN}/\text{m}^2$
未満の軟弱地盤走破

➤ 多自由度クローラ車両
(大林組チーム)

➤ ワーム型メカニズム
(タウ技研チーム)



➤ 多自由度クローラ車両
(三菱重工チーム)



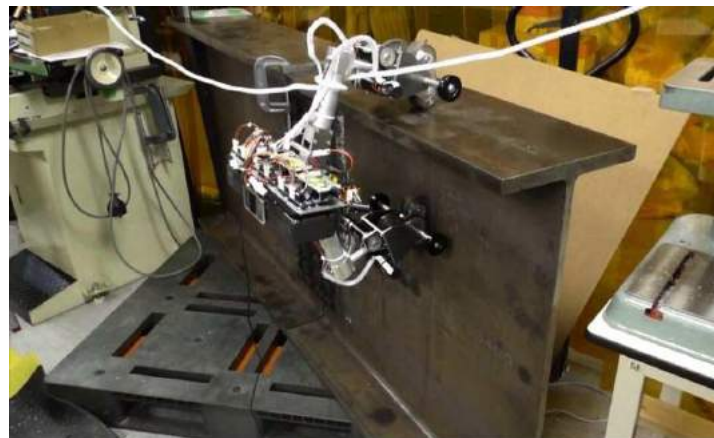
アクセス技術

◆ 壁面・天井面移動



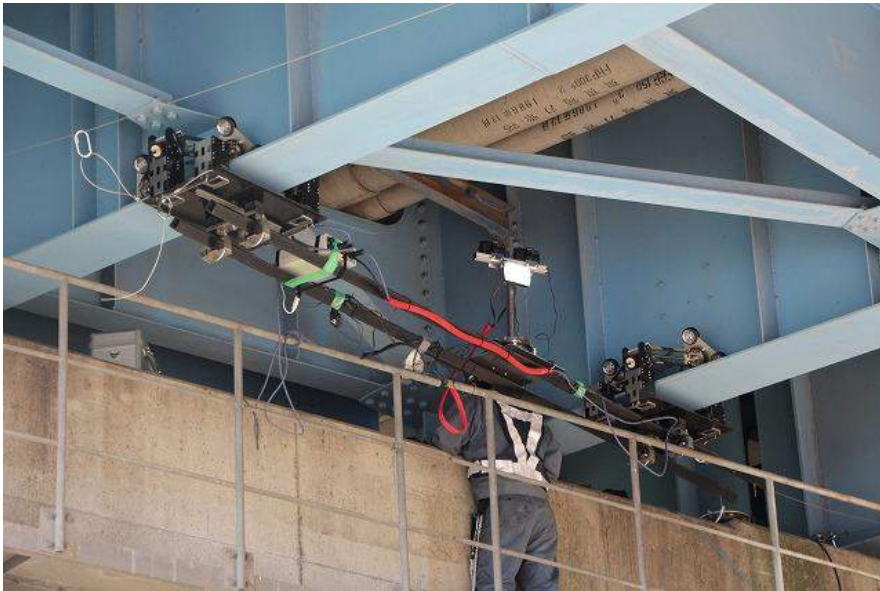
- 真空吸着の利用
(開発設計コンサルタントチーム)

- 磁石による支持
(熊谷組チーム)



アクセス技術

◆ 簡易レールの設置

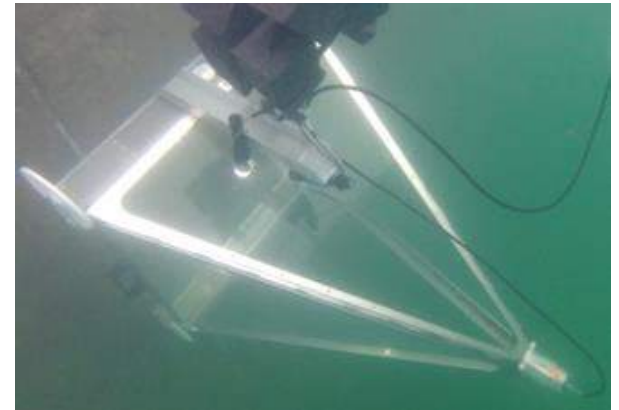
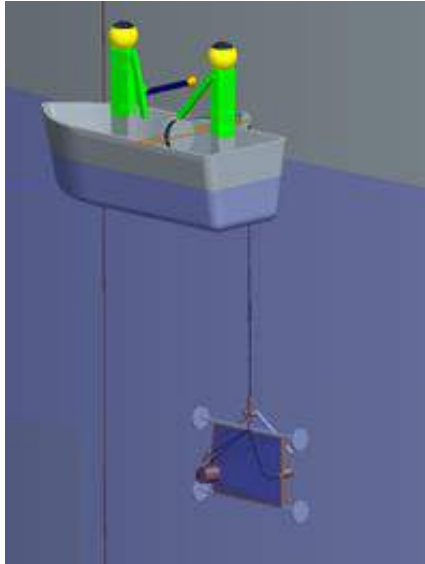


- 橋梁の点検のための移動機構
(富士フイルム/イクシスリサーチ チーム)



ND04-20150115.mp4

◆ アクセス技術(水中:ダム堤体の検査など)



- Anchor Diver5 (ハイボットチーム)
- ROV (Q-I 社チーム)

◆ アクセス技術(空中):マルチロータヘリ(マルチコプタ)

◆ 災害監視・調査における技術的課題

- ペイロード・飛行時間
- 自律飛行(GPSベース)／通信の確保



- 電磁探査器をつり下げたマルチコプタ
(日立製作所チーム)



- マルチコプタ(東北大チーム)

◆ アクセス技術(空中)

マルチコプタによるインフラ点検

- ◆ インフラの点検作業における技術的課題
 - 構造物への近接(橋脚の点検など)
 - 安定した飛行制御(風への対応)
 - 飛行の自動化(自己位置・姿勢の認識)
 - 構造物への接着
 - **安全の確保** ー➤
 ロープによる繫留



- 繫留マルチコプタによる検査
(川田工業チーム)

マルチコプタ
の特徴:
低コスト



インフラの維持管理／(自然)災害時の調査・復旧へ対応するロボットの技術要素

- ◆ アクセス技術(現場に行く)
- ◆ 計測・作業技術(仕事をする)
- ◆ **実環境の現場で実際に役立つ統合システムの構築**
 - ハードウェア、ソフトウェア、制御系、ユーザインタフェースの統合
 - **作る → 現場に適用 → 使う(経験の蓄積) → 改良・改善のサイクルが重要**
 - 運用体制、支援システム、オペレータ育成を含む

本プロジェクトのアプローチ

- ◆ 具体的なニーズの重視し、その具体的問題を解決するシステムを指向 (vs. 汎用システム)
- ◆ 実現場における実証と実ユーザによる評価

建設ロボット:考えるべきこと

- 「作業上困っていること」をロボット技術で解決したい
- ニーズに基づく技術開発（○ ニーズ主導 vs. ✕ シーズ主導）
 - ロボット開発における実問題と実現場の重要さ（三現主義）
 - 個別の問題への適用から
 - 汎用プラットフォームの夢：プラットフォームも現場が育てる
 - 産業用ロボットも成功理由は利用者による開発
- ロボットはお助けマン：でも、呼んでも来るロボットはない
 - ロボットと唱えることによる思考停止を避ける。
- 継続した技術開発の必然性：問題を解決し続けること
 - 使いながら改良
 - バブルや流行は、（一利はあっても）百害がある

インフラ維持・災害対応に関する 社会課題解決のためのシステム開発

- ◆ 現場で数十年にわたって使いつつ課題を解決していく
 - ➡ **息の長い(長期にわたった)現場での使用経験と
評価・改善を通した、統合システム全体の開発こそ重要**
 - 学術的要素の基礎研究ではないが、
短期的なビジネスを追求するものではない
 - 開発終了してから実用開始ではない。
- ➡ **これを前提とした、(実用を研究開発手段と考える)
制度が必要**

- 講演タイトル

- ◆ ロボット技術を建設現場で活かす

ご清聴ありがとうございました

