



シビアアクシデント後の 遠隔計測技術

東京工業大学
工学院 機械系

准教授

遠藤 玄

木倉 宏成

廃止措置に用いられているロボット



https://www.shephardmedia.com/media/images/article/510_packbot_for_news.jpg



<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/8/8b/Robot-Warrior.jpg>



<http://www.furo.org/img/robot/110608-2.JPG>

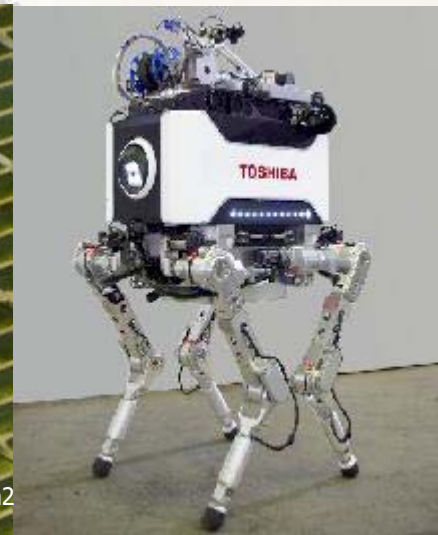


http://photo.tepco.co.jp/library/120417_01/120417_01.JPG

2017/1/20



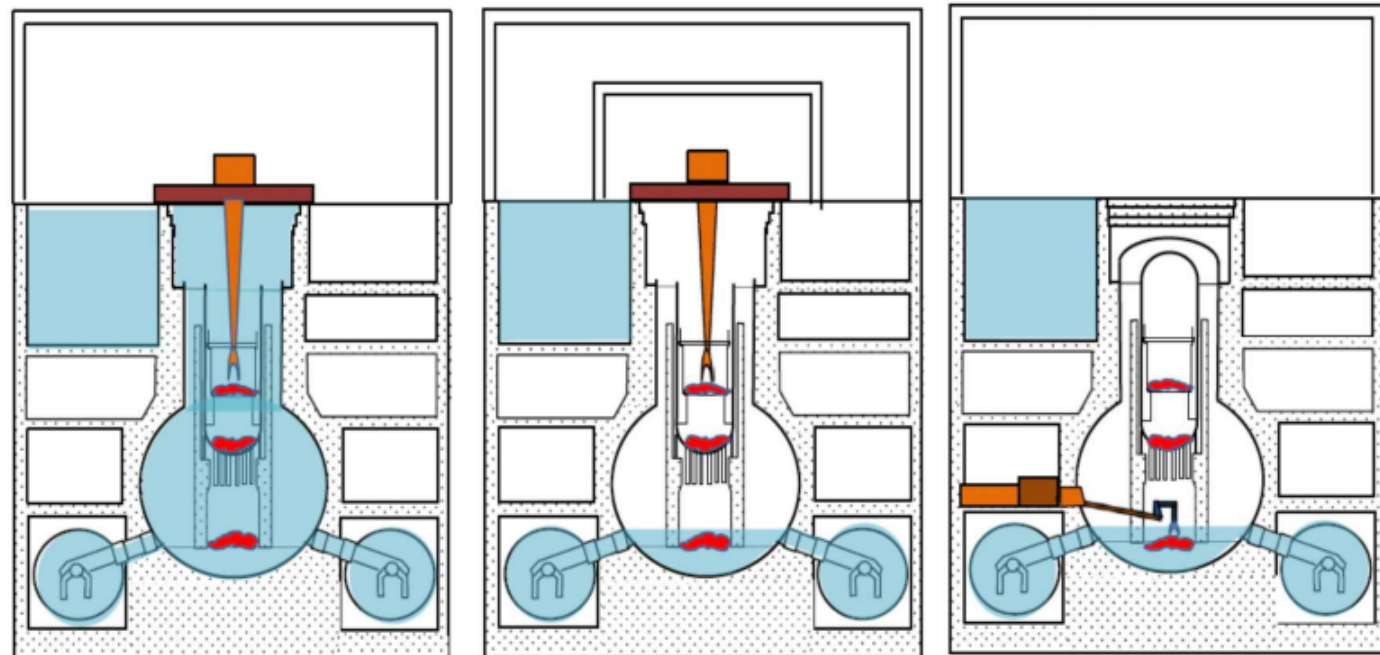
http://itpro.nikkeibp.co.jp/atcl/idg/14/481709/041400083/Fukushima20robot1_500.jpg



<http://www.jgnn.net/ls/2012/11/4-23.html>

燃料デブリの取り出し工法

IRIDシンポジウム 福島第一原子力発電所における廃止措置の現状と課題
2016/8/4 資料より引用



燃料デブリ

完全冠水

部分冠水

部分冠水

取り出し場所

上

上

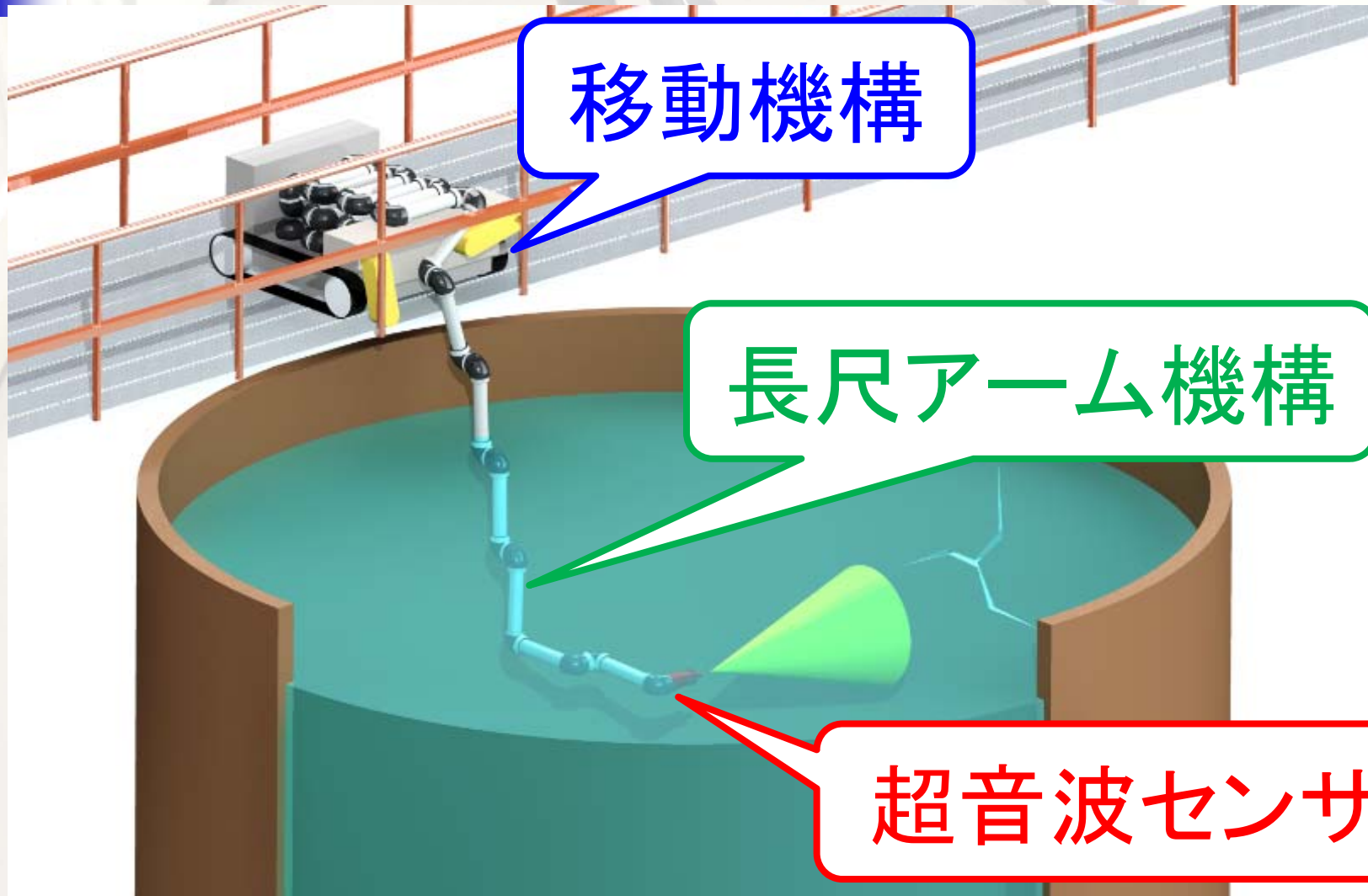
横

課題

止水, 耐震性

放射性ダスト飛散,
放射線遮へい

漏水・流入箇所特定のための 遠隔計測ロボットシステム



研究開発体制

(東工大先導原子力研究所、東工大工学院機械系、
東京医科歯科大)

TMI-2でも用いられた超音波探信計測技術を一步前進させ、**デブリ形状を把握**するとともに、**超音波ドップラー技術**を用いて**汚染水漏洩箇所を特定**するための**ロボット搬送計測システム**を開発し、この搬送計測システムを利用してデブリ特性を同定する技術の構築を目指す。

東工大機械系 : ロボット機構の設計とロボット搬送計測システムの統合開発
東京医科歯科大 : 多関節アームの制御法の開発

東工大先導原子力研の
超音波計測技術

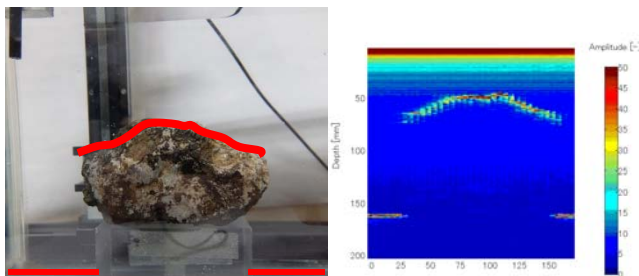


東工大機械系の
ロボット設計技術

東京医科歯科大の
アーム制御技術



**汚染水漏洩
箇所の特定**

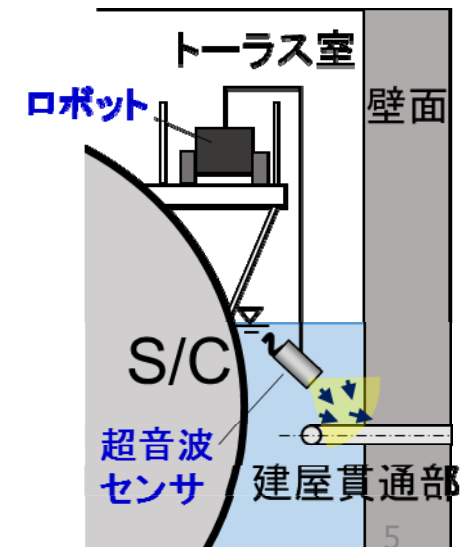


デブリ形状の把握

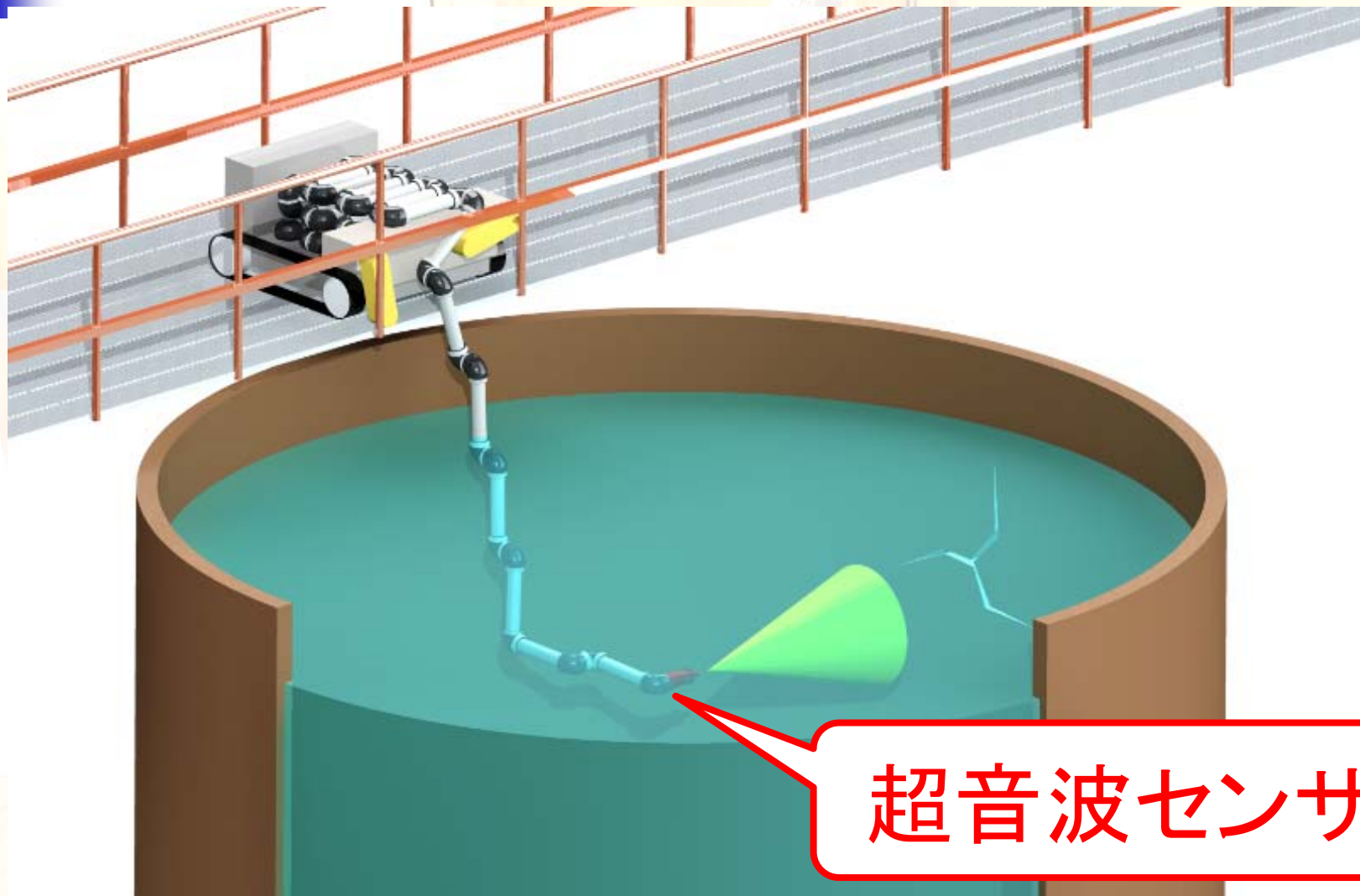
2017/1/20



廃止措置技術・人材育成フォーラム



漏水・流入箇所特定のための 遠隔計測ロボットシステム



超音波流速分布計測法(UVP法)

超音波パルスの送受信を繰り返す
パルスリピーション法

パルスの送受信を繰り返す間に粒子が移動

➡ 受信信号に位相差が発生

測定線方向の
速度成分

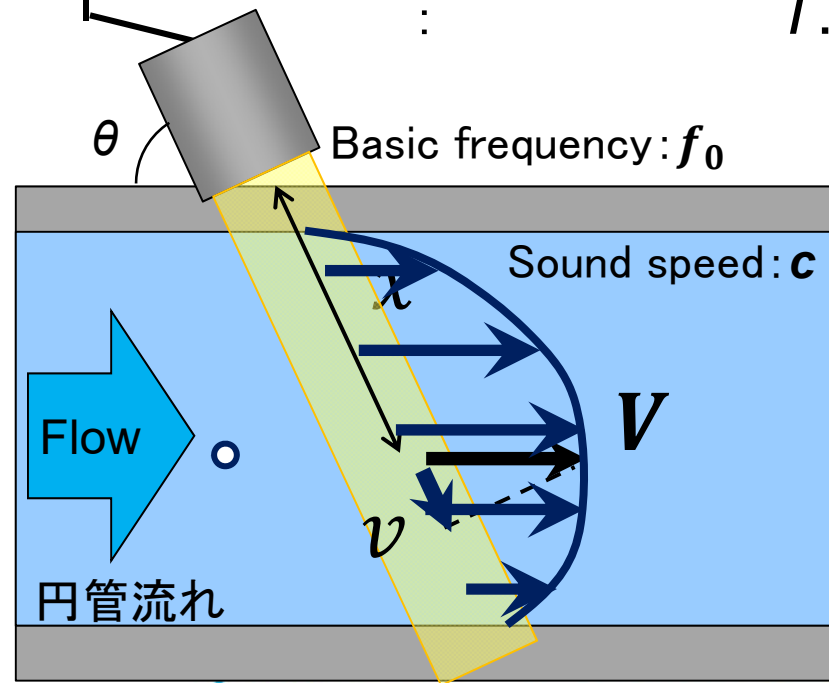
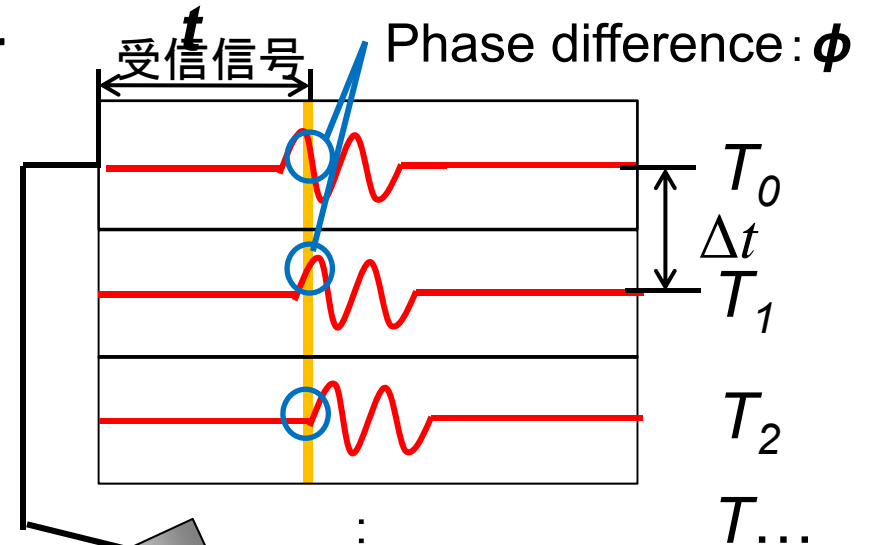
位置

$$v = \frac{c \cdot \phi}{4\pi f_0 \Delta t} \quad x = \frac{ct}{2}$$

c : Sound speed	Δt : Pulse emission interval
ϕ : Phase difference	t : Traveling time
f_0 : Basic frequency	

↓ $V = v / \cos\theta$

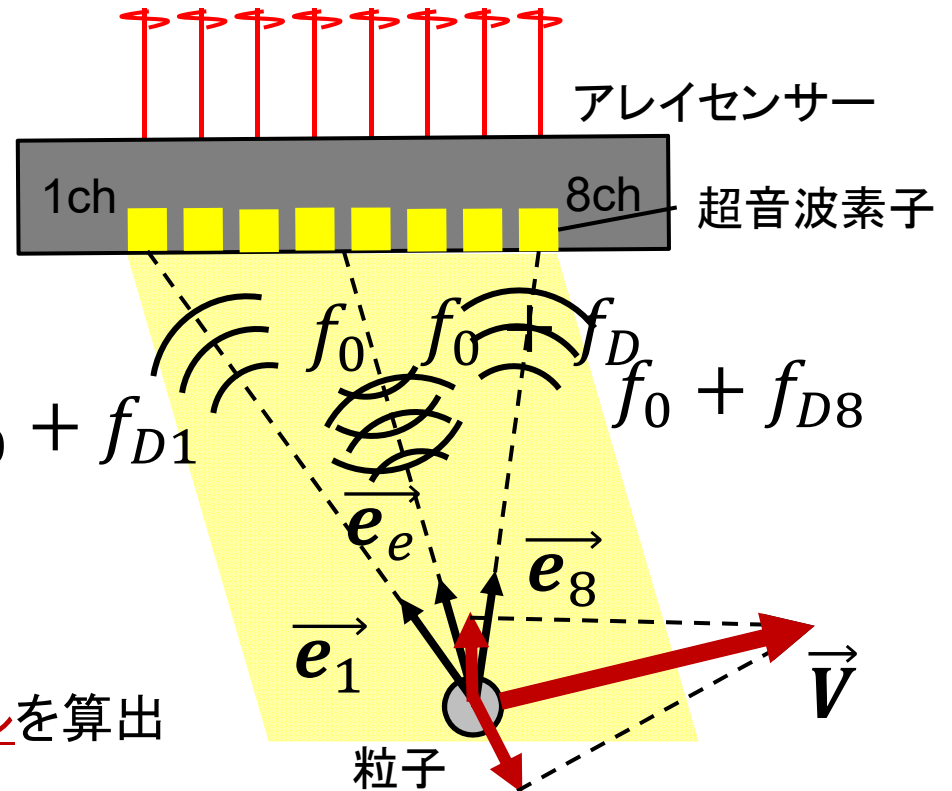
測定線上の速度分布



フェイズドアレイ技術を用いた速度ベクトル算出原理

ドップラー周波数

配列された振動素子からなるアレイセンサーを用い、素子毎に一定の遅延時間をかけて超音波を発信することで、任意の方向に合成波面を作ることが可能



$$\vec{V} = \frac{c}{f_0} \begin{bmatrix} \vec{e}_e + \vec{e}_1 \\ \vec{e}_e + \vec{e}_8 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} f_{D1} \\ f_{D8} \end{bmatrix}$$

一つのセンサーで測定線上の速度ベクトルを算出

+

フェイズドアレイ法で測定線の方法を走査



速度ベクトルのフローマッピング

- f_0 : 中心周波数
- c : 音速
- \vec{e}_i : 単位ベクトル
- f_{D1} : ドップラー周波数
- $\frac{c}{f_0}$: 単位ベクトル
- \vec{V} : 粒子の速度ベクトル

漏水・流入箇所特定のための 遠隔計測ロボットシステム



The Robot for Decommissioning Work

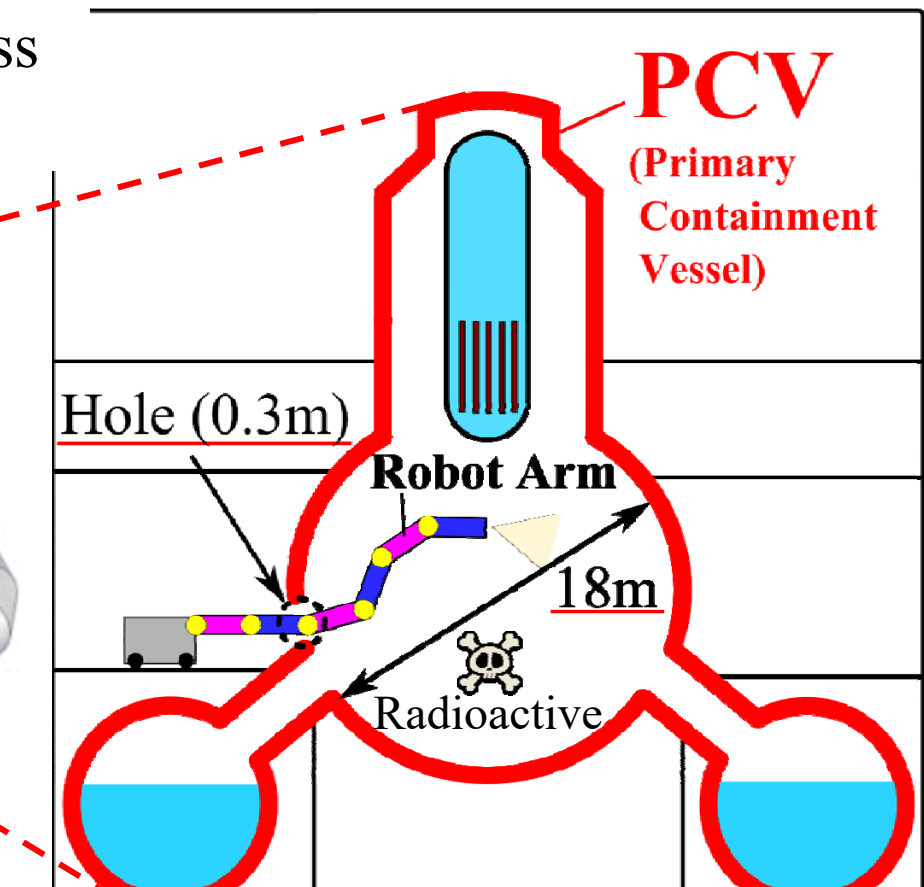
Decommissioning Work in Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant

- ◆ It is radioactive inside PCV
- ◆ Long-reach manipulator can access from outside of PCV



◆ Requirement

- Long-reach
- Slim
- Multi-joint
- Radiation resistance



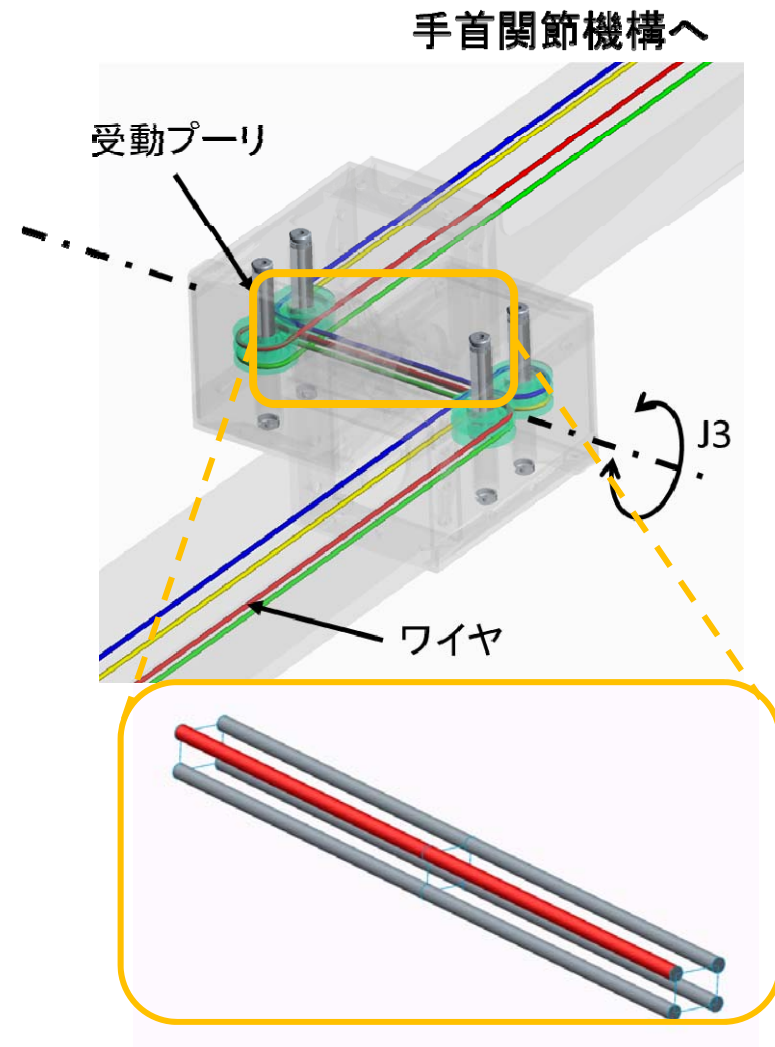
Arm Length	Arm Diameter
14 m	0.3 m

The work in Fukushima Daiichi nuclear power plant

Mini 3D CT-Arm



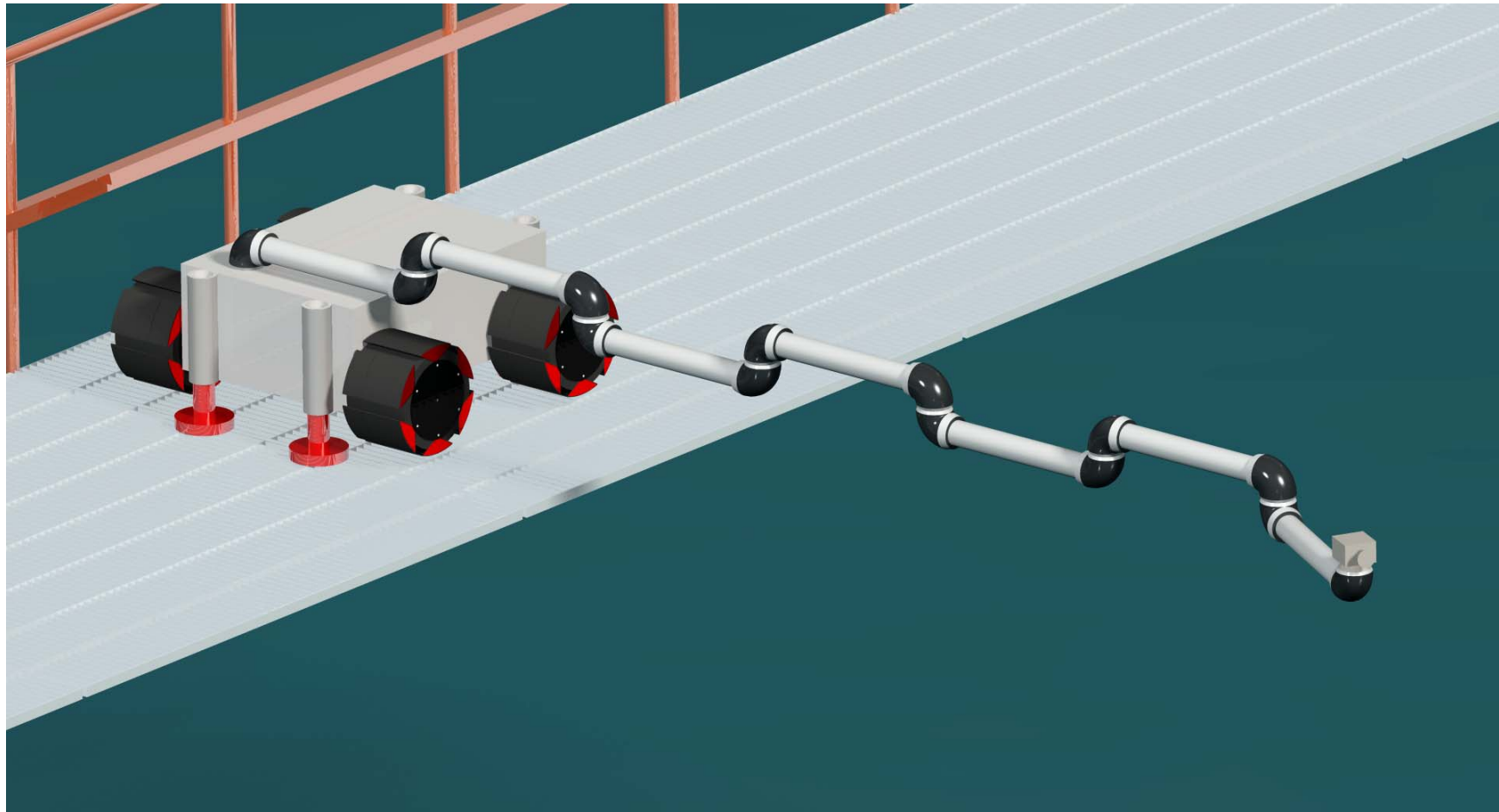
Wire Drive Manipulator RhinoUS-II Arm



Wire Drive Manipulator RhinoUS-II Arm



水平多関節アームへの応用



- **東工大／医科歯科大との共同研究**
- **空気圧／ワイヤ駆動による腹腔鏡手術システム**
 - 微細な手技を実現できる柔軟かつ高精度な手先位置制御
 - ユーザビリティの高い遠隔操作技術



腹腔鏡外科手術用ロボット

漏水・流入箇所特定のための 遠隔計測ロボットシステム

移動機構

不整地移動機構

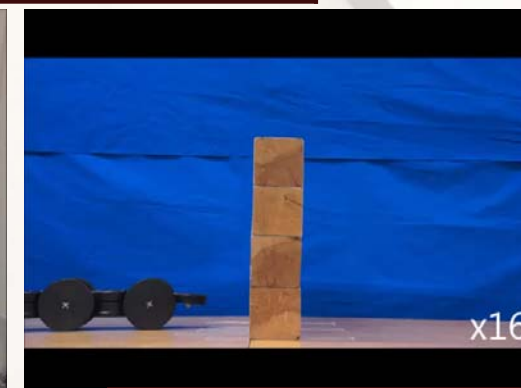
	歩行	クローラ	へビ+車輪
不整地	○	○	○
階段	○	○	×
狭隘地	×	×	○
大型障害物	×	×	○
マニピュレーション	○	○	×



歩行ロボットの例
(SpotMini[1])



クローラロボットの例
(櫻式號[2])

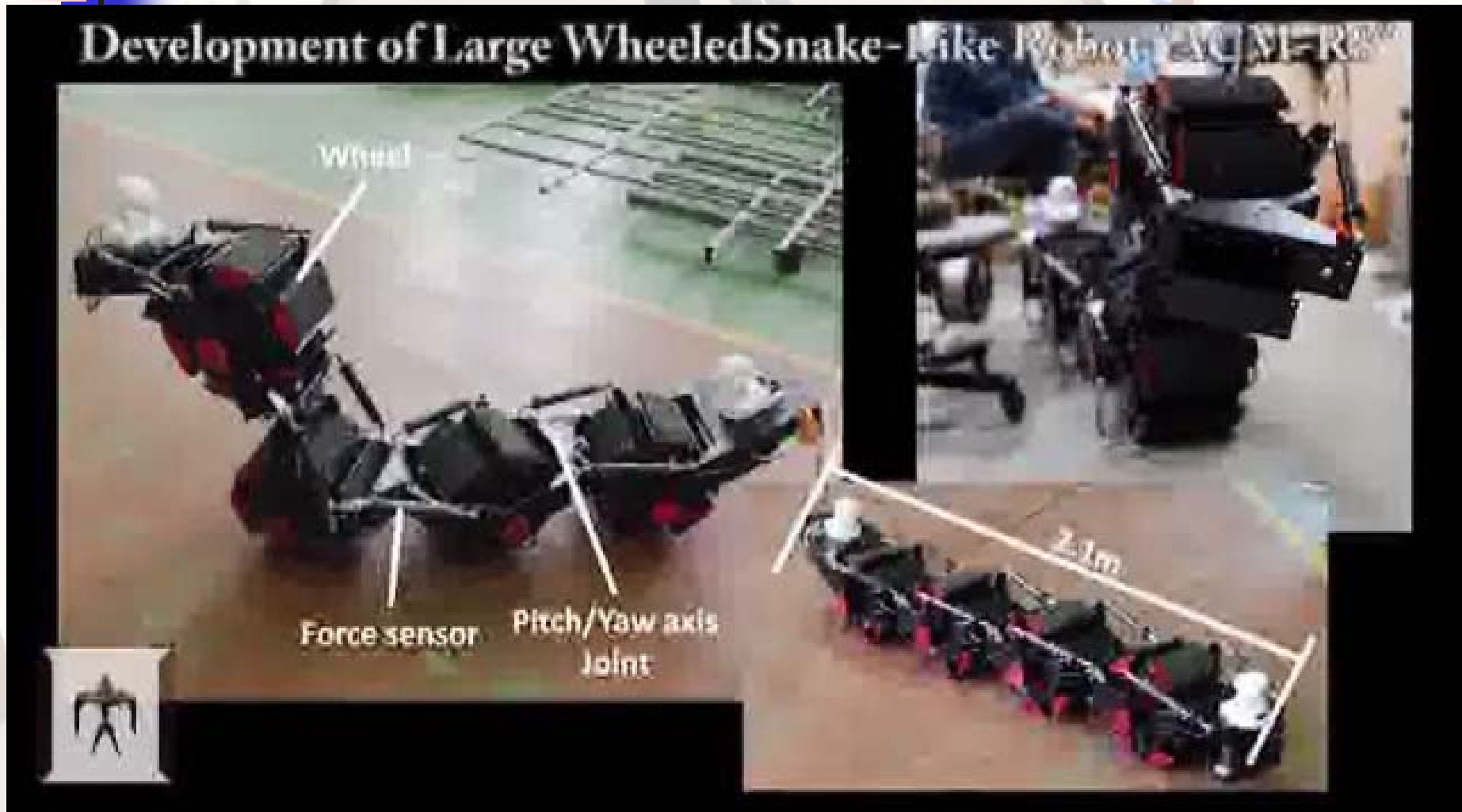


へビ型ロボットの例
(ACM-R4.2[3])

[1] "Introducing SpotMini", <https://www.youtube.com/watch?v=tf7IEVTDjng>
 [2] 古田 貴之, "水陸両用で作業可能な原発ロボット 櫻式號(サクラニゴウ)", <http://www.furo.org/img/robot/sakura2.pdf>

[3] Kouno, Kentarou, Hiroya Yamada, and Shigeo Hirose. "Development of active-joint active-wheel high traversability snake-like robot ACM-R4. 2." J. Robot. Mechatronics 25.3 (2013): 559-566.

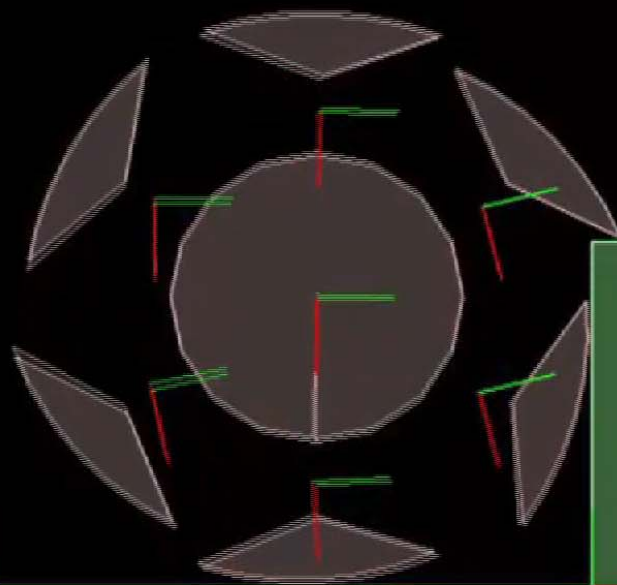
大径能動車輪へビ型ロボット ACM-R8



<https://youtu.be/ykcq1fpY8AU>

車輪型移動機構 (揺動グロウサ機構)

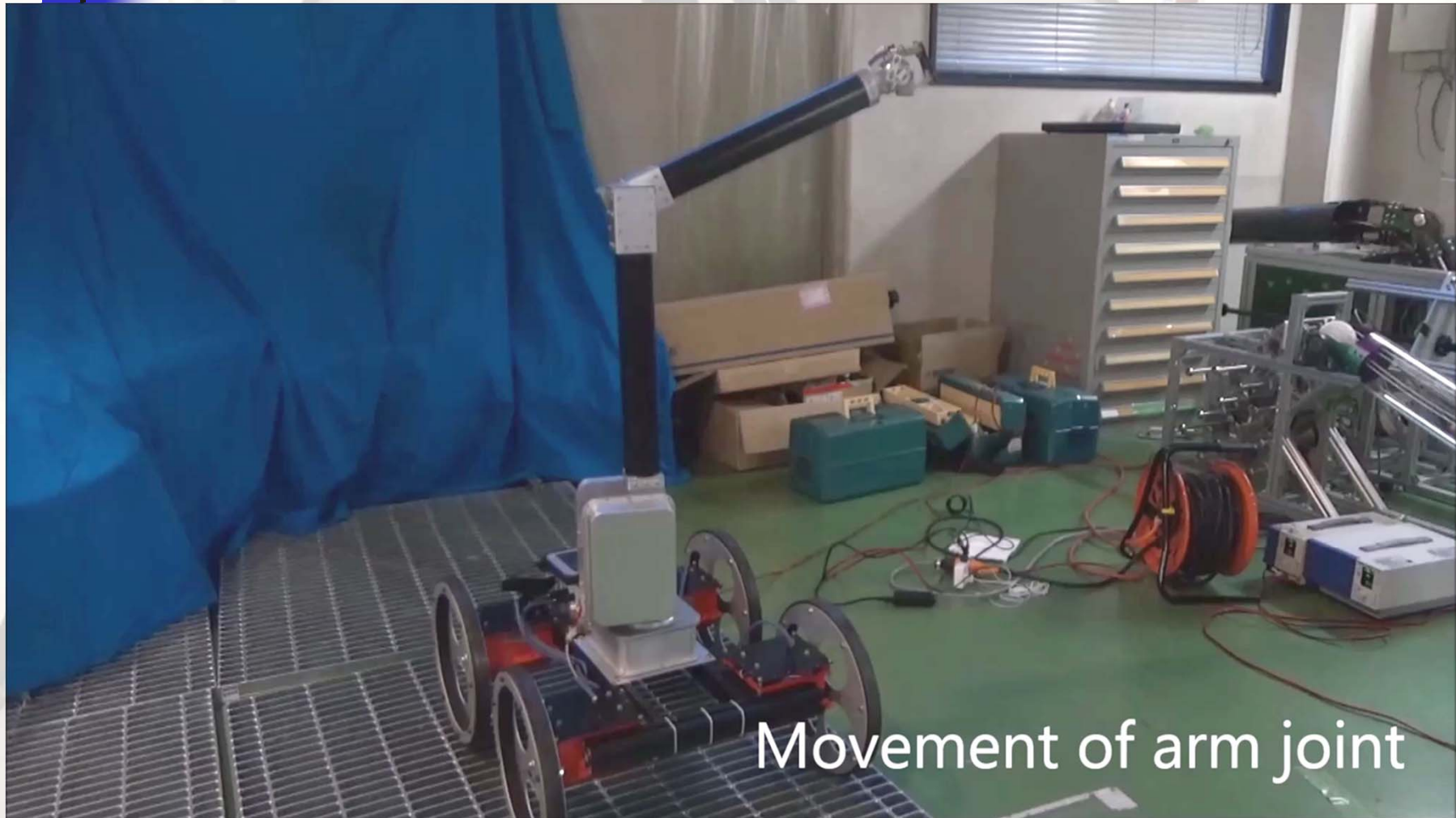
Study of Swing-Grouser Wheel: A Wheel for Climbing High Steps,
even in Low Friction Environment



The Swing-Grouser can climb up the higher step
than its radius...

<https://youtu.be/OEJ7cO8oz2I>

RhinoUS-II

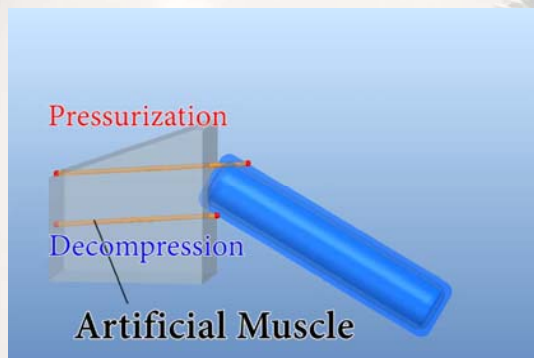
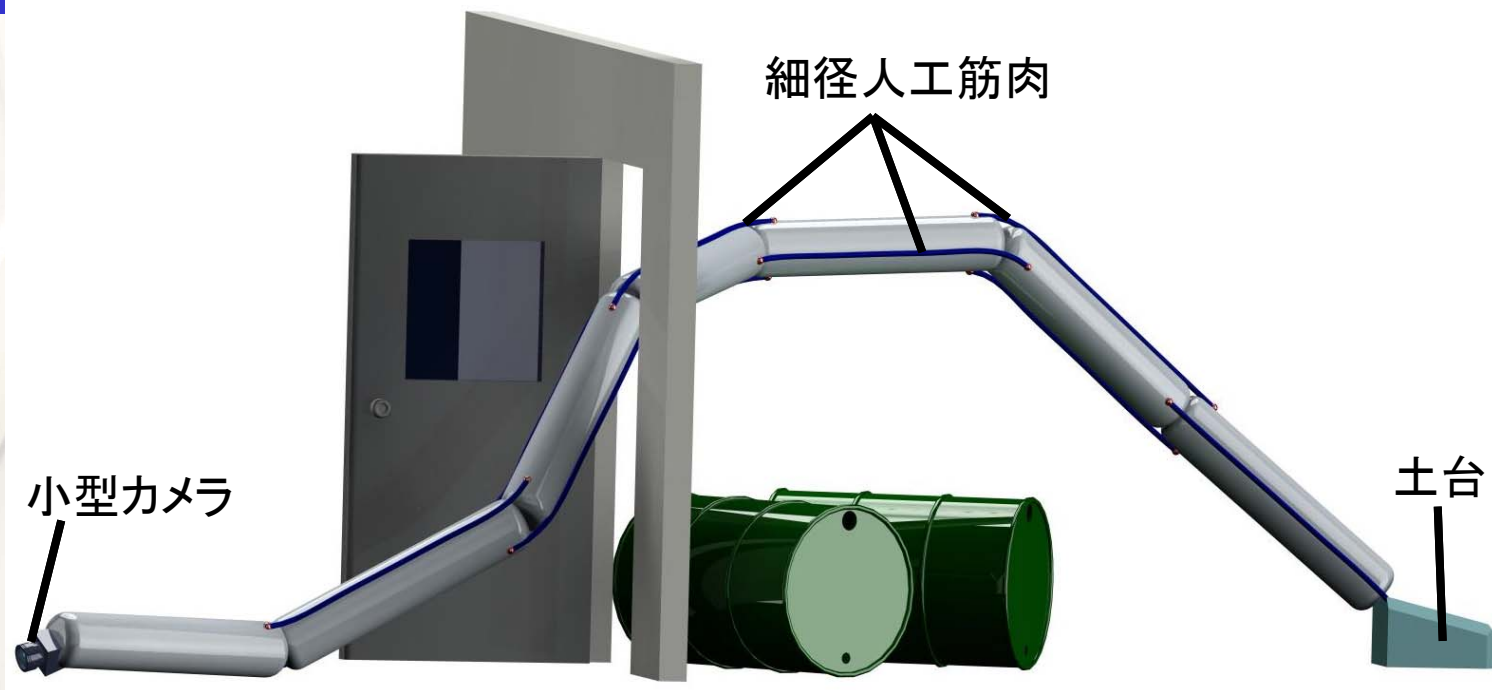




その他のシーズ

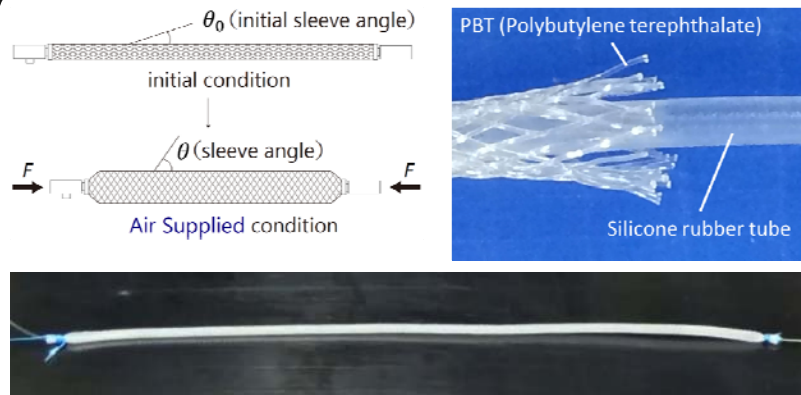
- 本プロジェクト内で行われたものではないが、鈴森遠藤研究室で研究中の廃止措置に応用可能な技術の紹介

バルーン型ジャコメッティアーム



- 細径人工筋肉を用いた拮抗駆動
- 先端に搭載した小型カメラで観察
- 1節1m, この図は7節7m

バルーン型ジャコメッティアーム

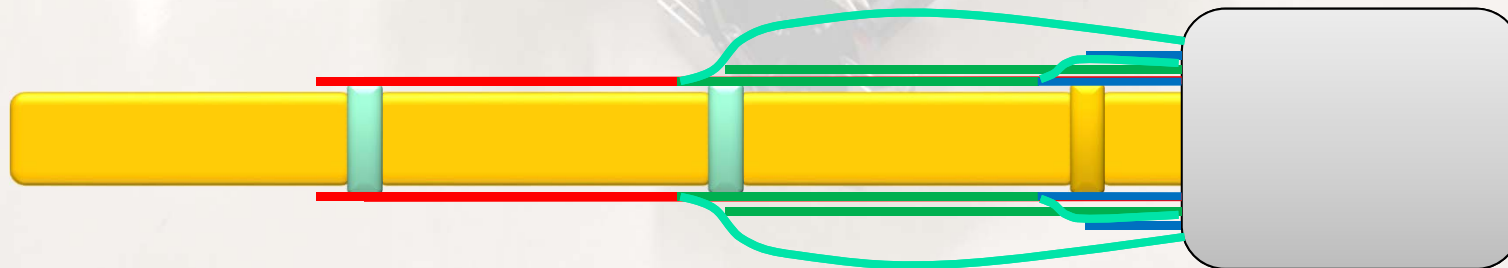


細径人工筋肉



ヘリウムを充填した風船

- 人工筋肉が極めて軽い (1g/m) \Rightarrow ヘリウムの浮力が有効
- 空気圧によって駆動する \Rightarrow アーム基部に力が集中しない
- アームの重さは0g \Rightarrow アーム延長時も出力不足にならない



バルーン型ジャコメッティアーム



<https://youtu.be/INTHRNcyW9w>



まとめ

- シビアアクシデント後の遠隔操作技術の一つとして、流出入箇所特定のための超音波センサ搬送ロボットシステムを紹介した。
- 廃止措置に応用可能な鈴森遠藤研の技術シーズについて紹介した。