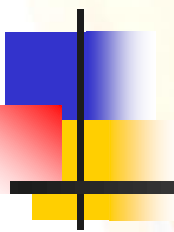




# シビアアクシデント後の 遠隔計測技術



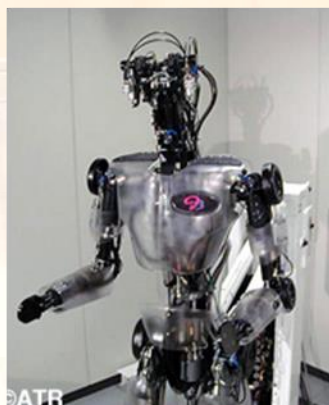
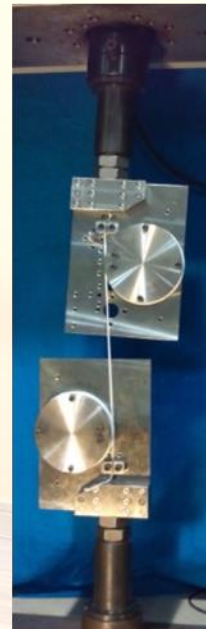
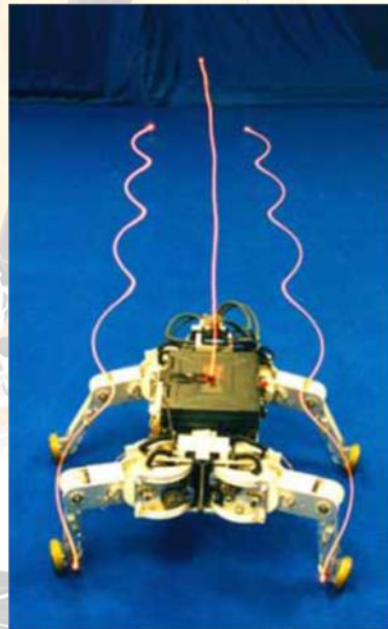
東京工業大学  
機械宇宙システム専攻  
准教授  
遠藤 玄

# 自己紹介



- 東京工業大学理工学研究科機械物理工学専攻 博士課程修了, 博士(工学), 2000.9
- ソニー(株)デジタルクリーチャーズラボラトリー リサーチャー, 2000~2002
- (株)国際電気通信基礎研究所 脳情報研究所 情報科学ヒューマノイドロボット研究室 客員研究員, 2002~2006
- ソニー(株)情報技術研究所リサーチャー, 2006~2007
- 東京工業大学理工学研究科スーパーメカノシステム創造開発センター 産学官連携研究員/特任助教, 2007~2008
- 東京工業大学理工学研究科機械宇宙システム専攻ロボット創造学講座 助教, 2008(金沢工業大学大学院高信頼ものづくり専攻客員准教授)
- 東京医科歯科大学 生体材料工学研究所 准教授 2014
- 東京工業大学理工学研究科機械宇宙システム専攻 准教授 2015~





# 脚車輪複合移動体Roller-Walker





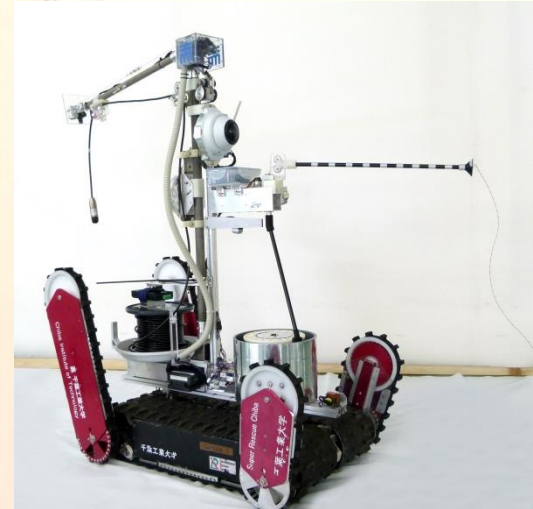
# 廃止措置に用いられているロボット



[https://www.shephardmedia.com/media/images/article/510\\_packbot\\_for\\_news.jpg](https://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](http://photo.tepco.co.jp/library/120417_01/120417_01.JPG)



[http://itpro.nikkeibp.co.jp/atcl/idg/14/481709/041400083/Fukushima20robot1\\_500.jpg](http://itpro.nikkeibp.co.jp/atcl/idg/14/481709/041400083/Fukushima20robot1_500.jpg)



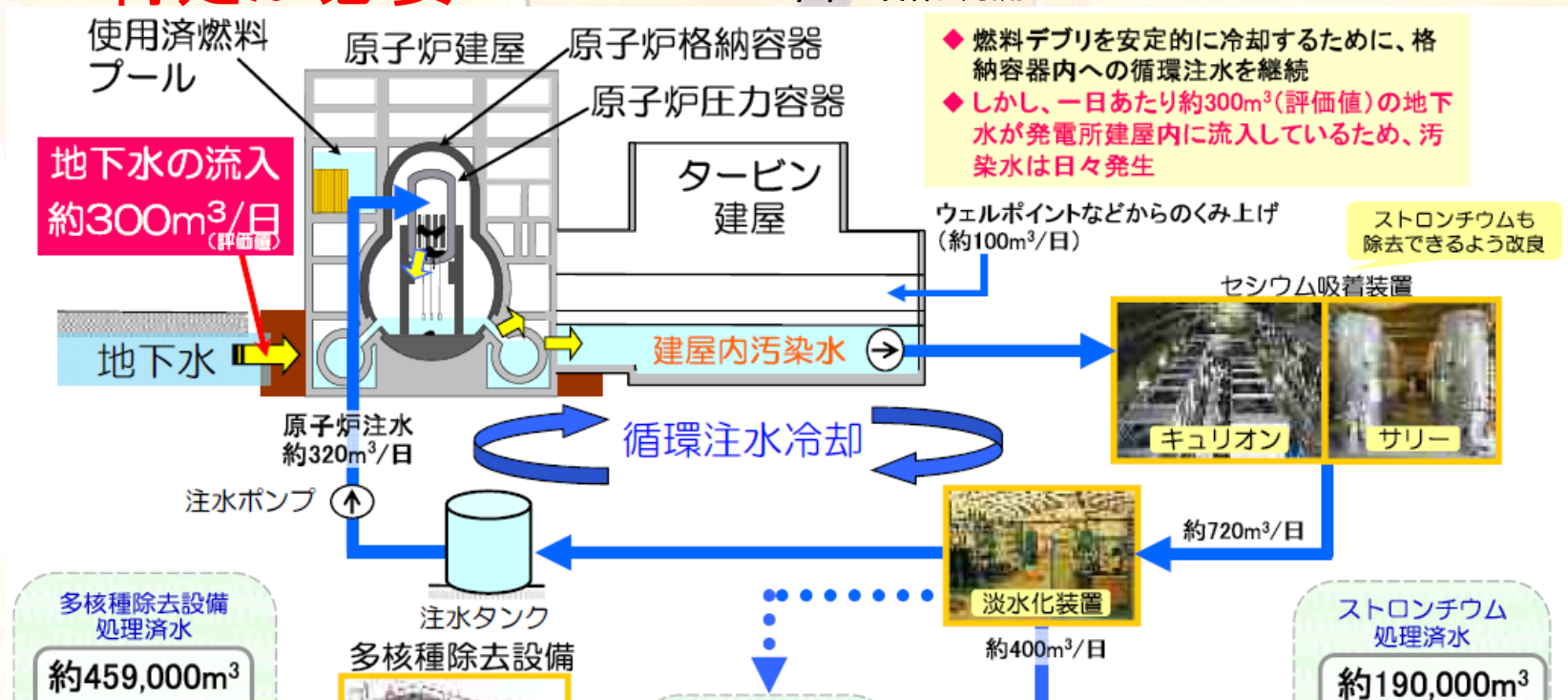
<http://www.jgenn.net/ls/2012/11/4-23.html>

2016/1/22

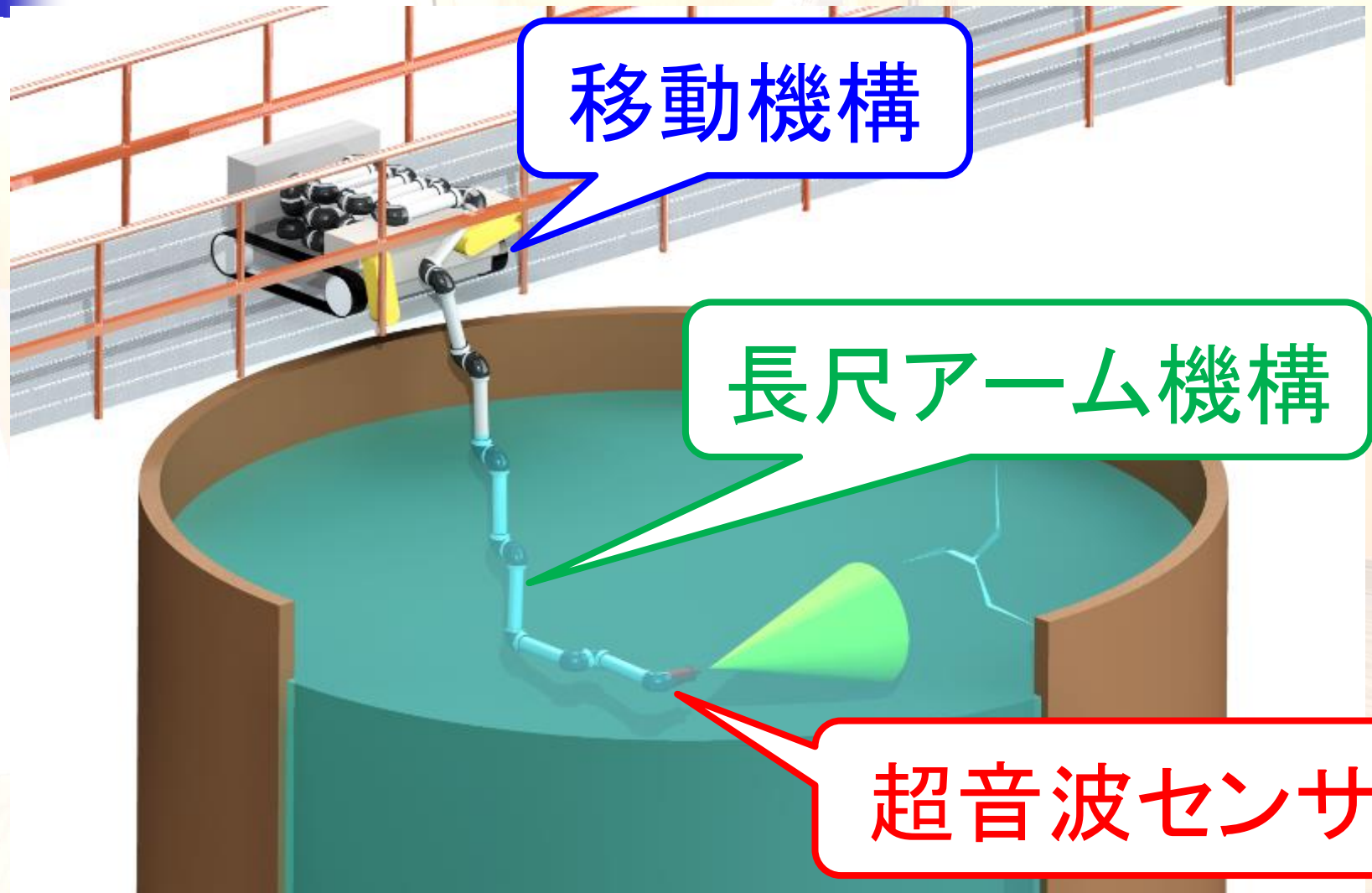
# 汚染水の現状

- 格納容器からの漏水・地下水の流入により約300m<sup>3</sup>/日の汚染水が発生
- 燃料デブリ取り出しのためには**漏水・流入箇所**の**特定が必要**

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  
2015/7/23 資料より引用



# 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

(東工大原子炉研、東工大機械系専攻、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。

**東工大機械系専攻**: 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

東工大原子炉研の  
超音波計測技術

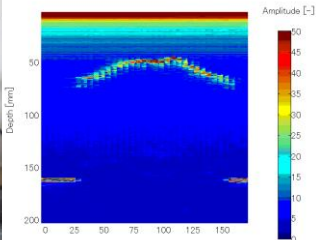


東工大機械系専攻の  
ロボット設計技術

東京医科歯科大の  
アーム制御技術



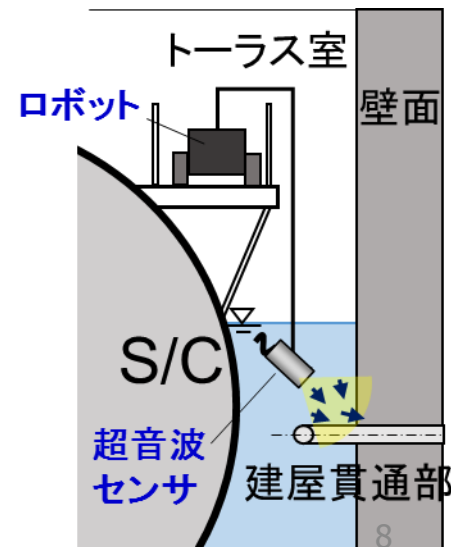
**汚染水漏洩  
箇所の特定**



**デブリ形状の把握**



廃止措置技術・人材育成フォーラム





# 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

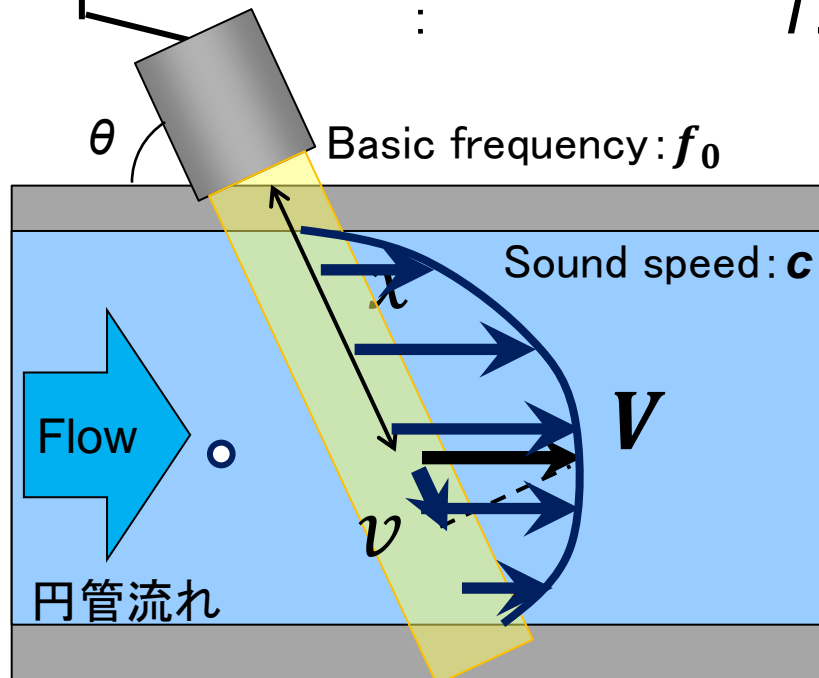
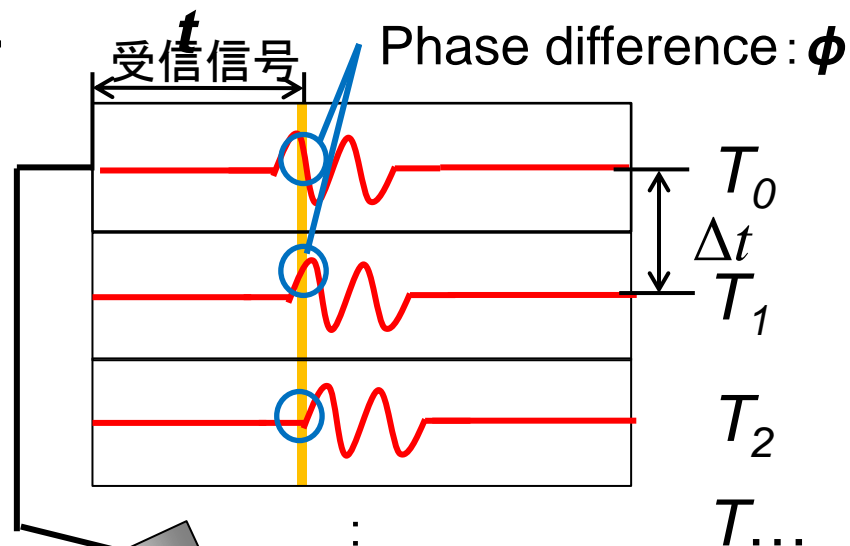
位置

$$v = \frac{c \cdot \phi}{4\pi f_0 \Delta t}$$

$$x = \frac{ct}{2}$$

$c$  : Sound speed       $\Delta t$  : Pulse emission interval  
 $\phi$  : Phase difference       $t$  : Traveling time  
 $f_0$  : Basic frequency

↓  $V = v / \cos\theta$

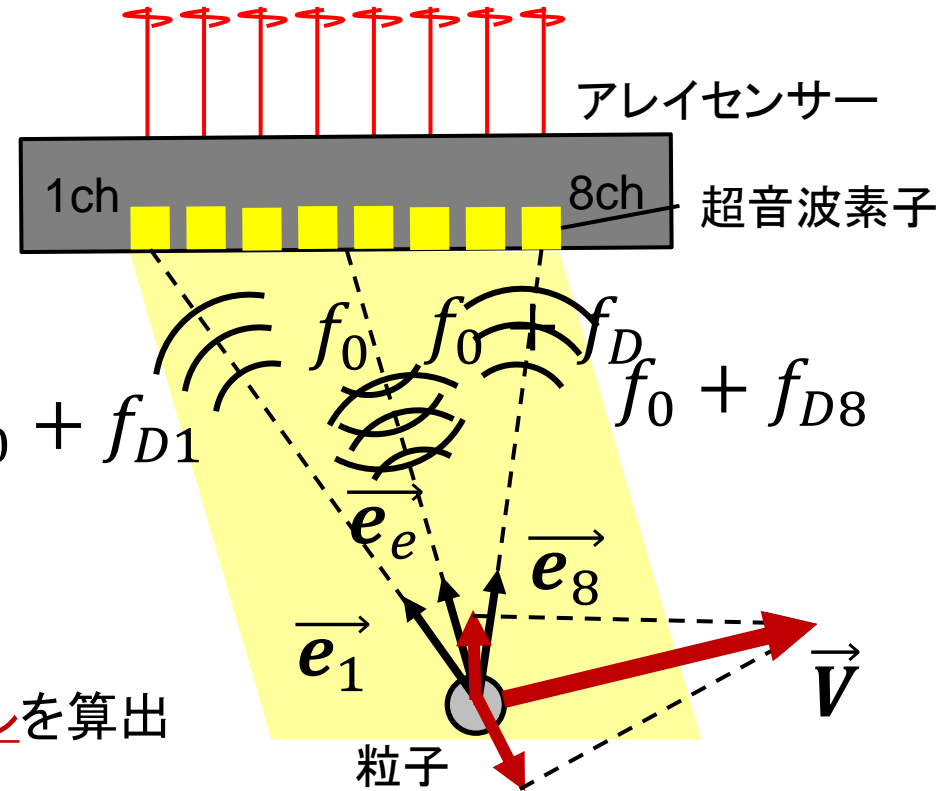


測定線上の速度分布  
 廃止措置技術・人材育成フォーラム

# 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

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

速度ベクトルのフローマッピング

廃止措置技術・人材育成フォーラム

# 超長尺多関節アーム3D CT-Arm



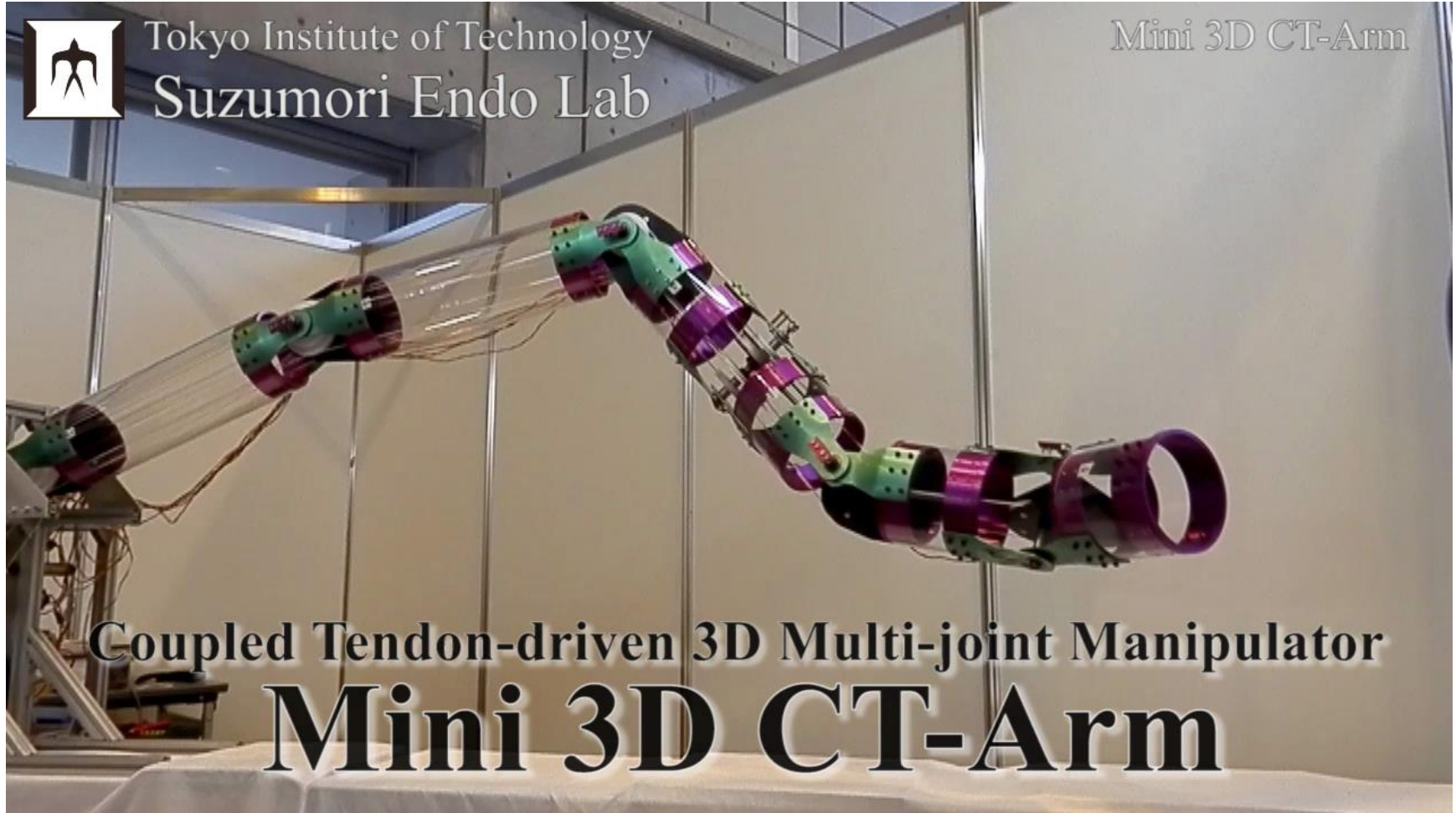


# Mini 3D CT-Arm



Tokyo Institute of Technology  
Suzumori Endo Lab

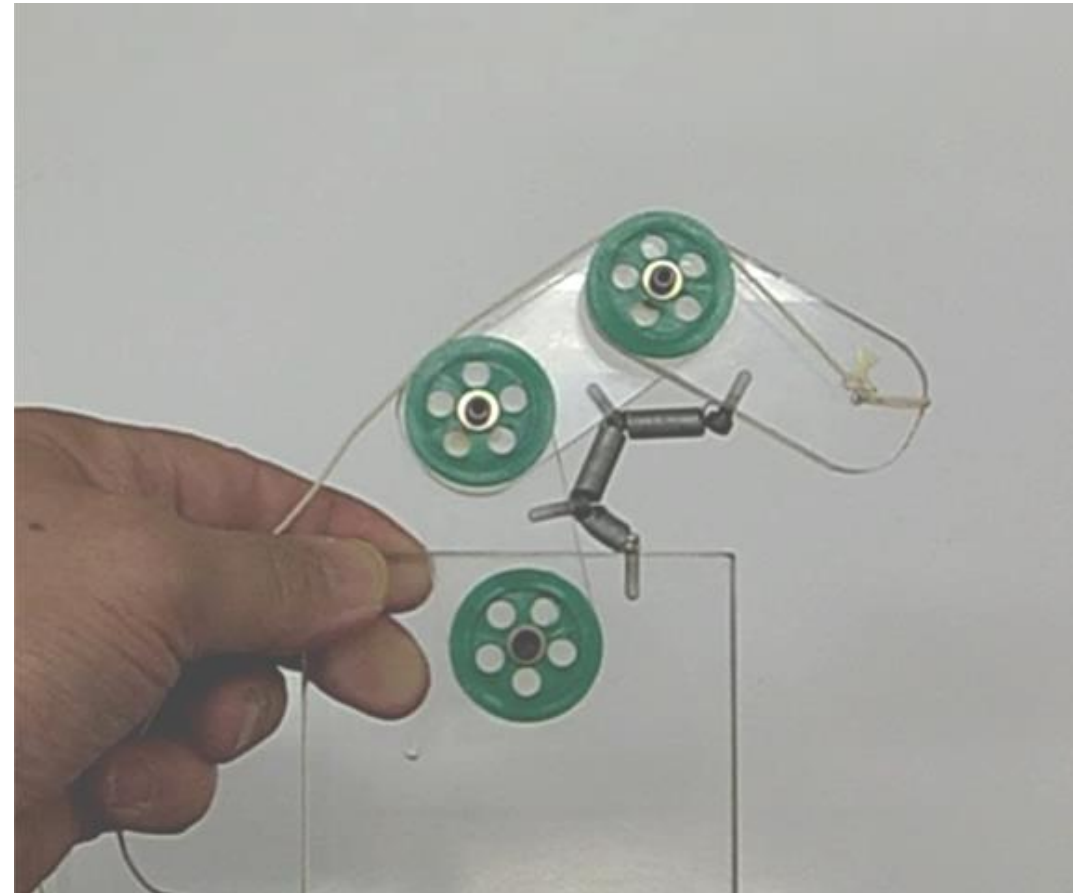
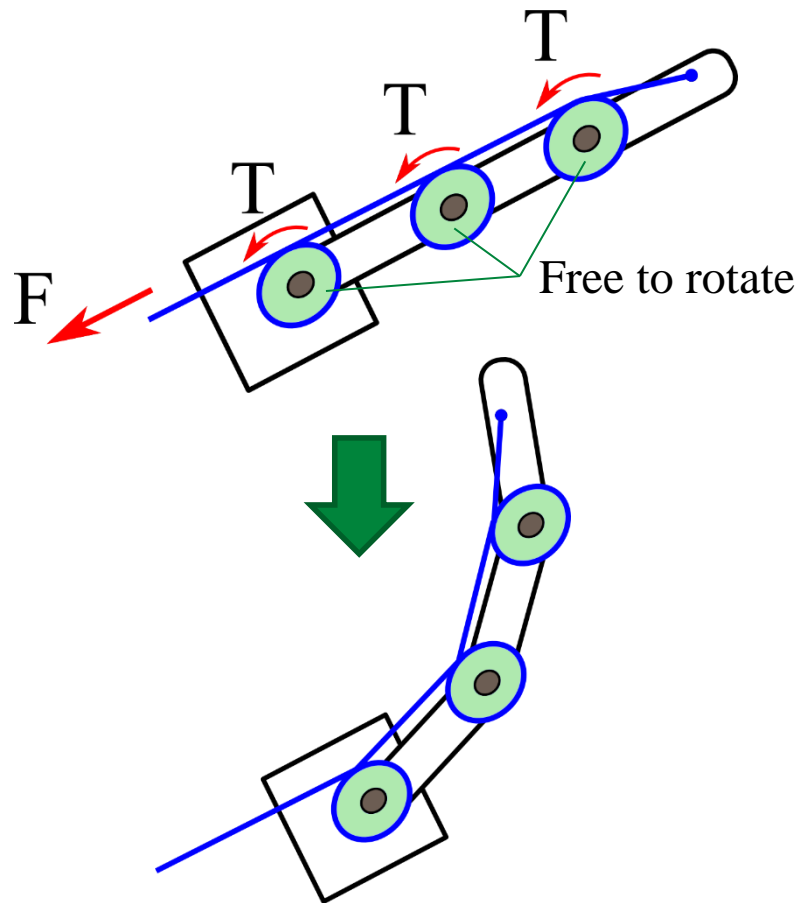
Mini 3D CT-Arm



Coupled Tendon-driven 3D Multi-joint Manipulator  
**Mini 3D CT-Arm**

# The Principle of Coupled Tendon-Driven Mechanism

## Torque Generation by Free Rotating Pulley

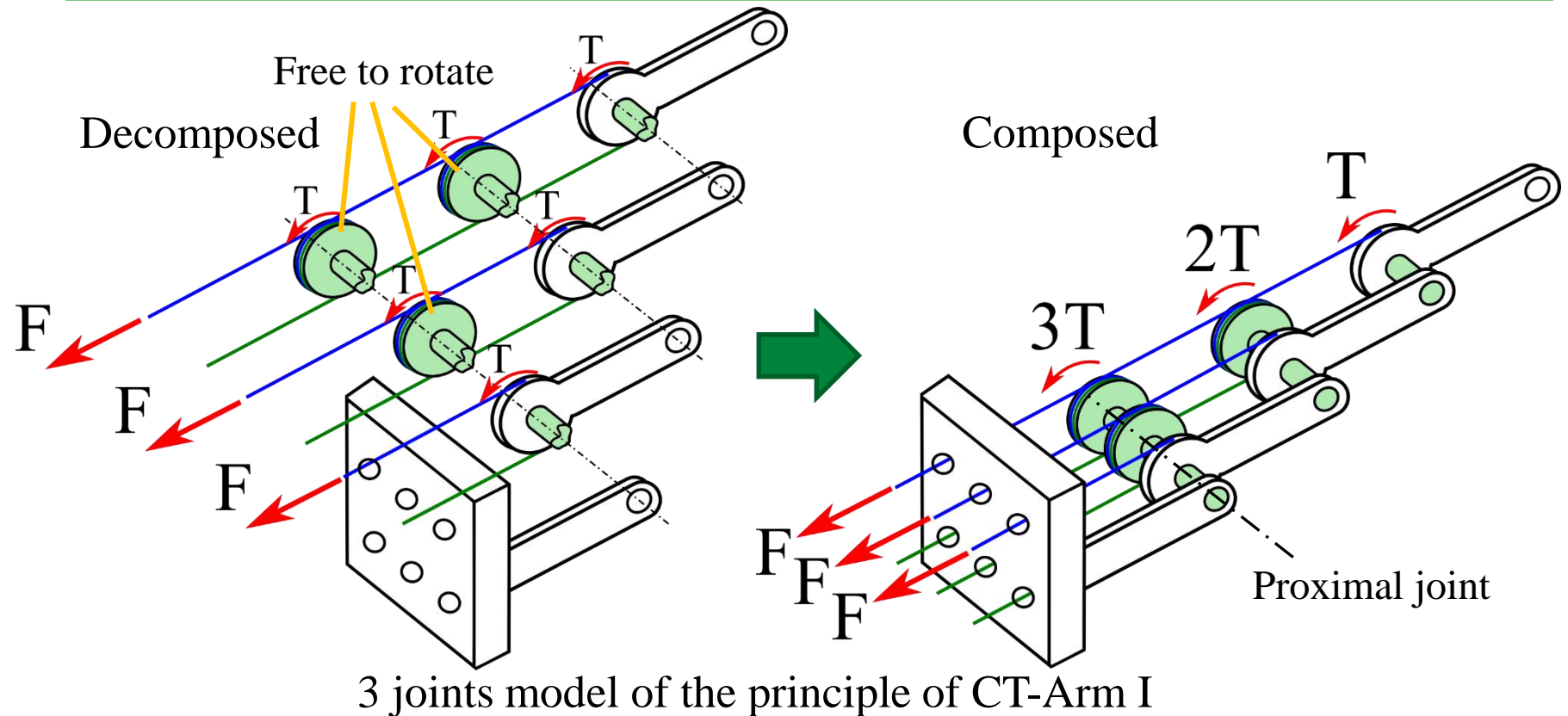


3 joints arm motion by wire and free rotating pulleys

◆ Free rotating pulleys can generate torque in all joints

# The Principle of Coupled Tendon-Driven Mechanism

## 3 Joints Model



- ◆ 3 wire tensions can generate torque in the proximal joint
- ◆ Using this principle, CT-Arm I can generate large torques in the proximal joints to raise long-reach arm



- **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

# 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



This mechanism allow the wheel to climb up  
the higher step than its radius.

# 大径能動車輪へビ型ロボット ACM-R8

## Development of Large Wheeled Snake-Like Robot ACM-R8

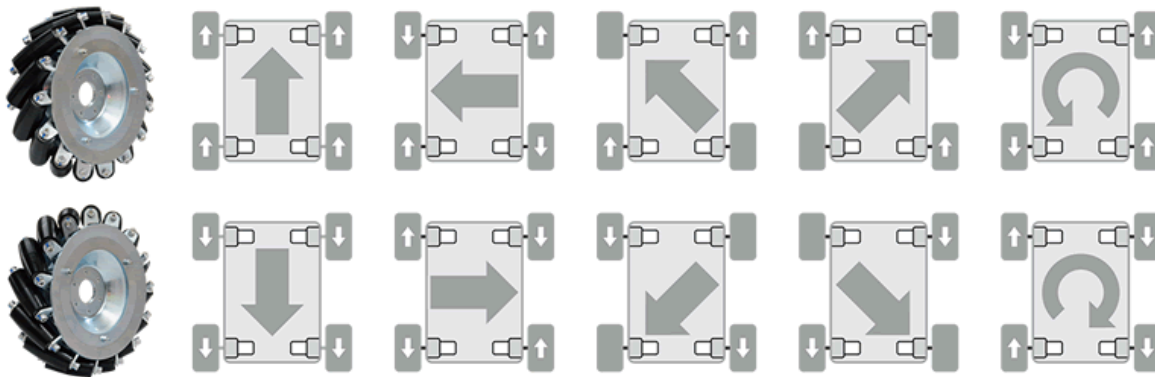
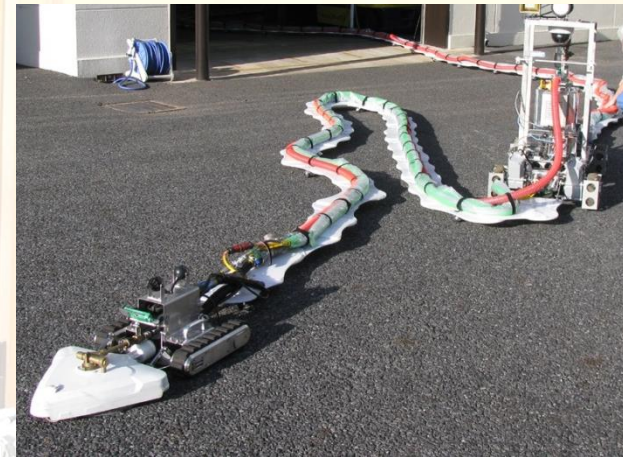




# 車輪型移動機構 (螺旋メカナム車輪)

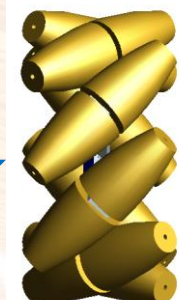
- 全方向移動可能なメカナム車輪は除染ロボットで運用実績がある。
- 横方向での段差踏破性が低い  
→ 平地でのみ運用。

[http://www.atox.co.jp/english/technique/remove\\_wash/](http://www.atox.co.jp/english/technique/remove_wash/)



各車輪の回転方向と、車両の移動方向の関係

回転方向



移動方向

段差

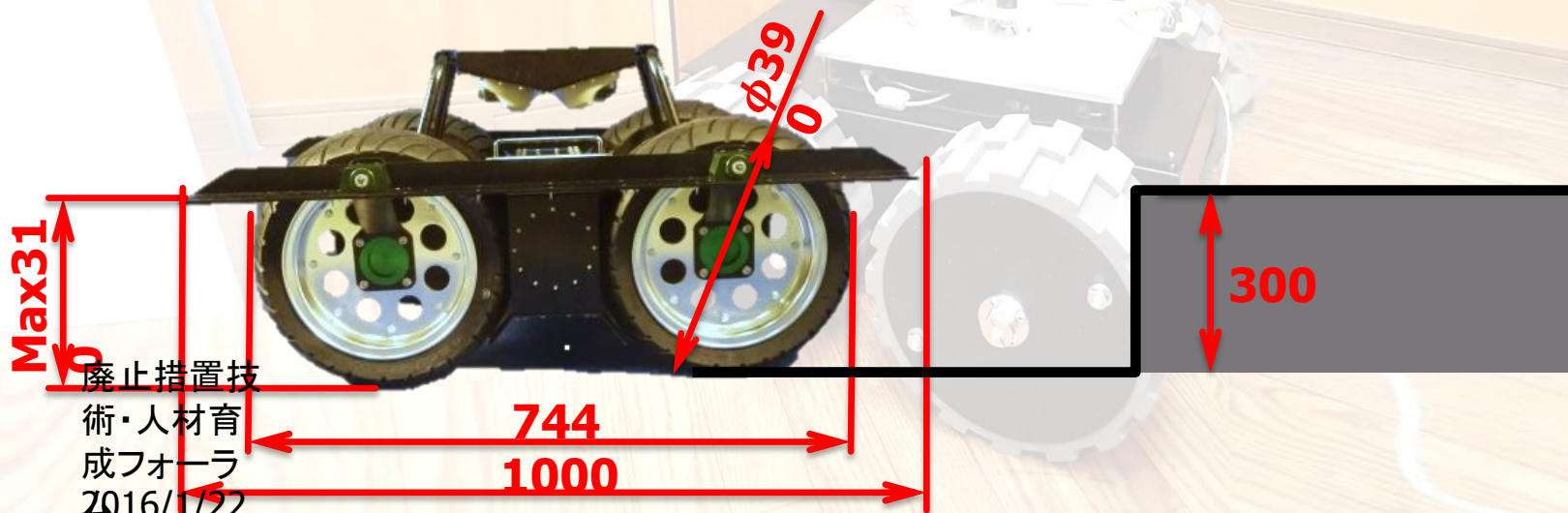
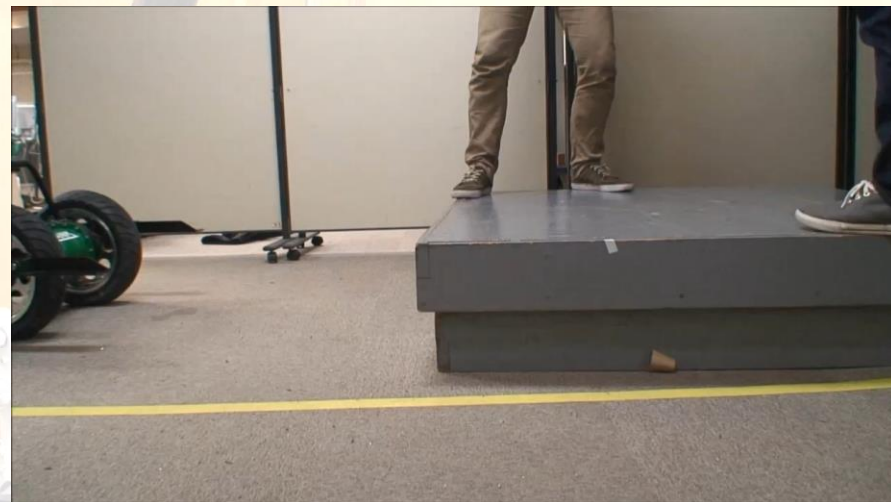
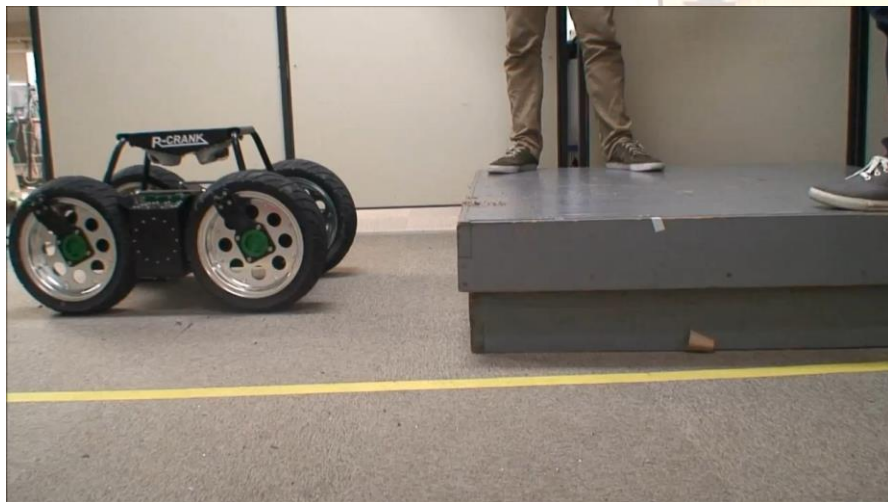
# 車輪型移動機構 (螺旋メカナム車輪)



# クランク脚を持つ車輪型移動ロボット

クランクレッグなし

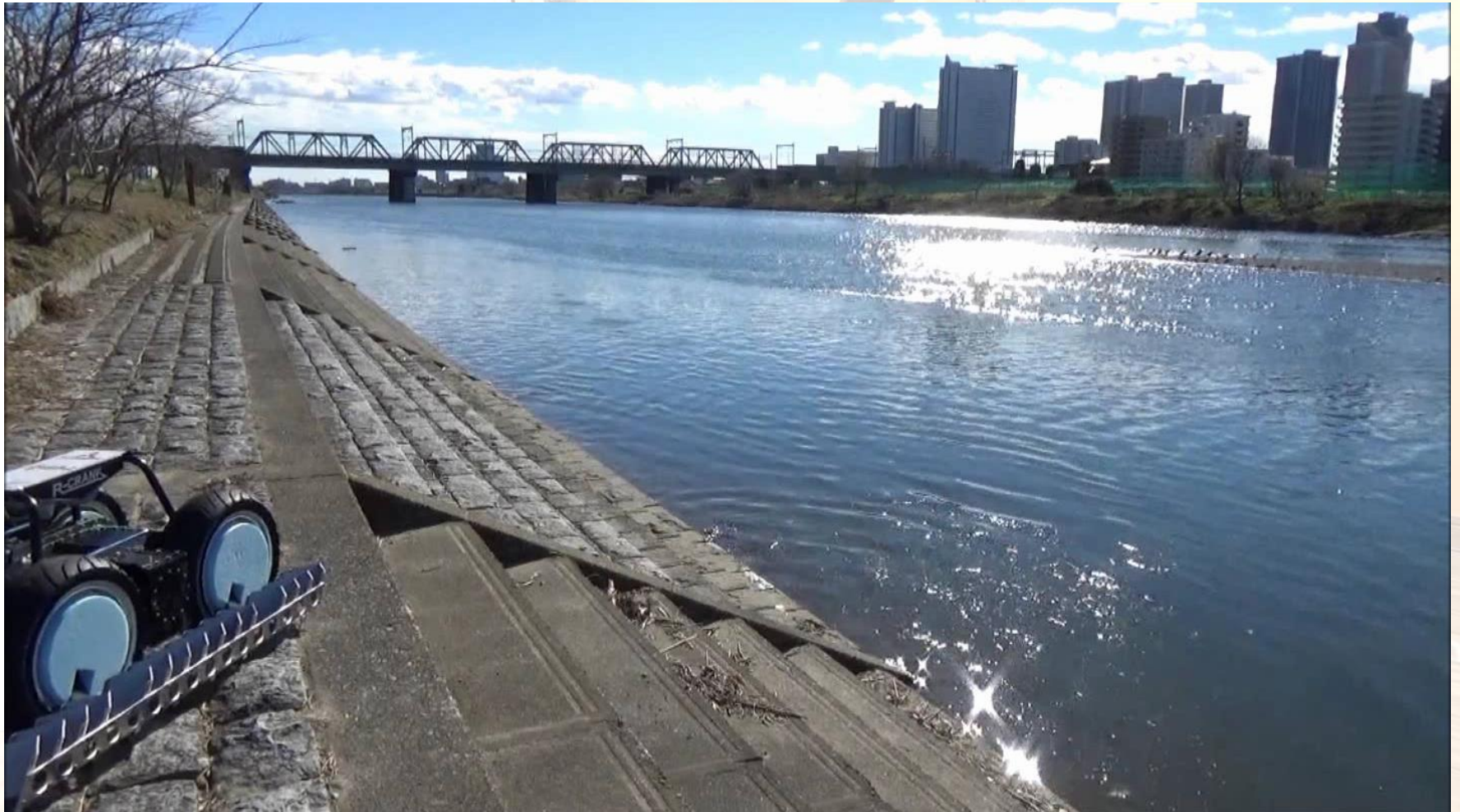
クランクレッグあり



廃止措置技  
術・人材育  
成フォーラ  
2016/1/22

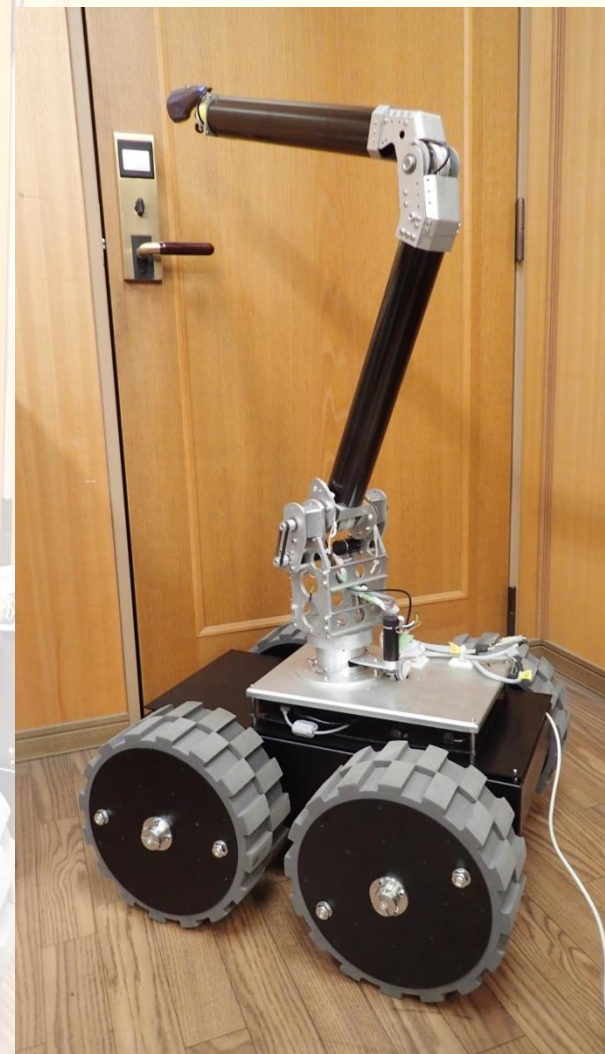


# 水上移動のためのクランク脚 形状の最適化



# シビアアクシデント工学実験

- アーム先端に超音波センサを装備.
- 3自由度アーム+2自由度差動駆動車輪型ロボット
- 有線により遠隔操縦可能
- 各学生がロボットを操作し、水槽内の流速を計測する.





# 原子力緊急事態支援センター

- 福島第一の事故を教訓に，ロボットを用いた対応作業の装備メンテナンス・訓練を行う施設を電気事業連合会が設立。（福井県敦賀）





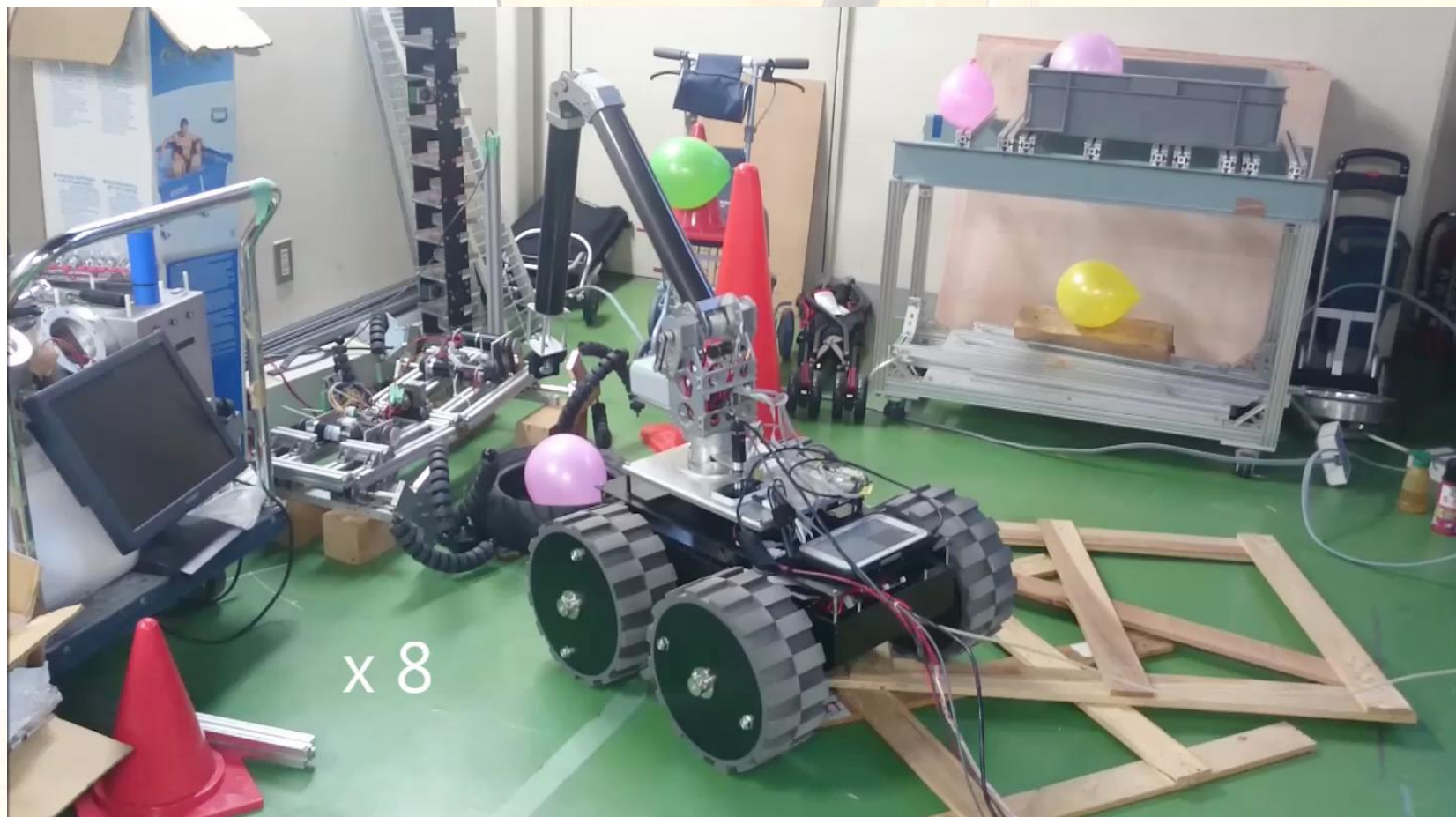
# 講義内容

- ・実験と座学を組み合わせた構成
- ・段階的にロボット操作を習熟出来るカリキュラム
- ・学生一人一人がロボットを操作する時間を確保した

講義回		1コマ	2コマ
第1回	10/8	イントロ・ジビアクシデント工学概論1(座学)	超音波計測基礎(座学)
第2回	10/15	超音波計測技術基礎(実験) 垂直円管流を用いた流速分布計測実験	超音波計測技術基礎(実験) 垂直円管流を用いた流速分布計測実験
第3回	10/22	超音波計測技術応用(実験) 超音波フローマッピング計測	超音波計測技術応用(実験) 超音波フローマッピング計測
第4回	10/29	原発対応ロボット概論(座学)	ロボット制御基礎(座学) アームの順運動学・逆運動学, 関節のPID制御, 車両の制御など
第5回	11/5	ロボットアームの制御(実験) ロボットアームを実際に動かすプログラムをシミュレータ上で作成し, ロボットで動かす。所望の軌道を動かせるようになることが最終目標。	ロボットアームの制御(実験) 左に同じ
第6回	11/12	車両操縦実験(シミュレータ)	車両操縦実験(実機)
第7回	11/19	ジビアクシデント工学概論2(座学)	超音波計測技術応用(座学)
第8回	12/3	ロボットアームと超音波計測技術応用(実験) 超音波フローマッピング計測	ロボットアームと超音波計測技術応用(実験) 超音波フローマッピング計測
第9回	12/10	アーム車両統合遠隔操作実験 車両を動かし, 目的の場所までアプローチし, 次にアームを動かして目的の場所に手先を制御することを目標にする。シミュレータで操作を学んだ後, 実機を動かす。始めは目視により操作を行い, 次に本体やアームに取り付けられたカメラ画像のみを用いてミッションを達成する。	アーム車両統合遠隔操作実験
第10回	12/17	総合実験 アーム・車両・超音波計測をすべて行う実験	総合実験 アーム・車両・超音波計測をすべて行う実験
第11回	12/24	講義のまとめ	講義全体をまとめたプレゼンテーション発表

# 実験の様子

## ■ アーム・車両制御実験（風船割りタスク）



# 実験の様子

- ロボットの操作はカメラ画像のみによって行った



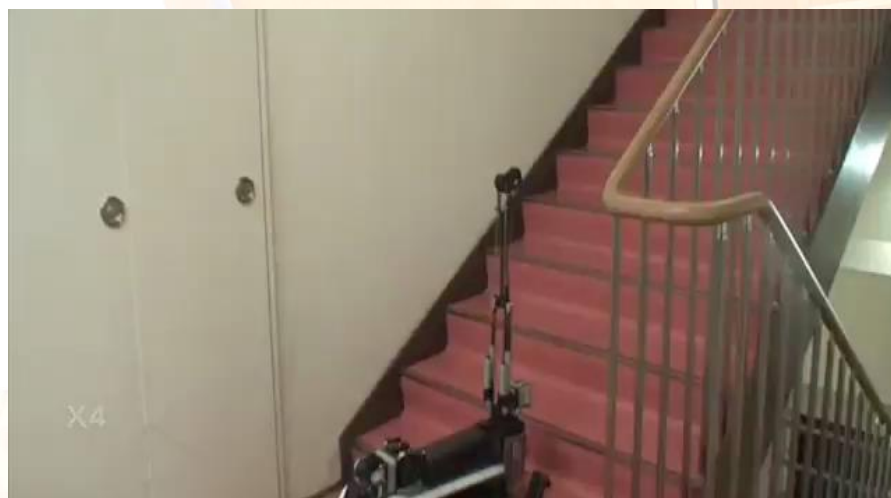
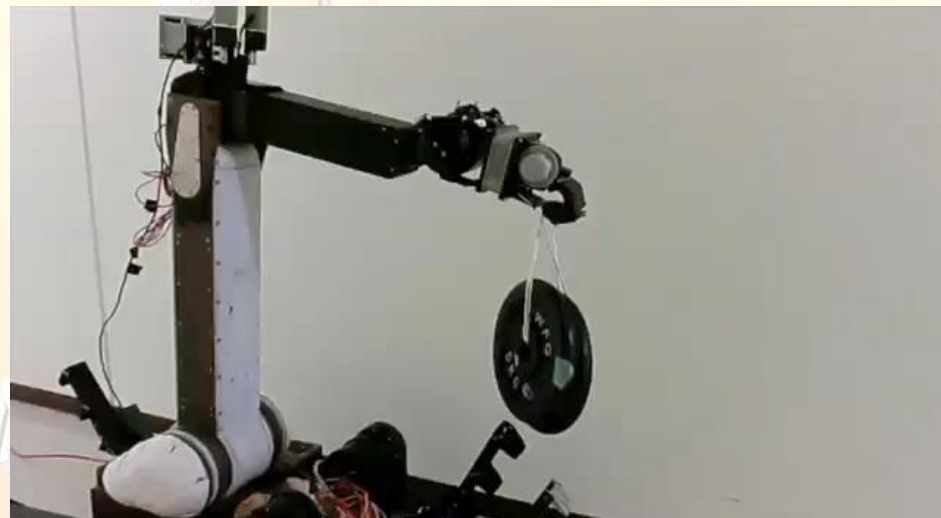


# 実験の様子

- 総合実験(水槽内の流速を計測する課題)



# 災害対応ロボットHelios X







# 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。
- シビアアクシデント工学実験について紹介した。