



# 堀・藤本 研究室

Prof. Horie & Prof. Fujimoto

<https://sites.google.com/edu.k.u-tokyo.ac.jp/hflab>



学部	電気電子工学科	柏
大学院	工学系・電気系工学専攻	
新領域・先端エネルギー工学専攻		

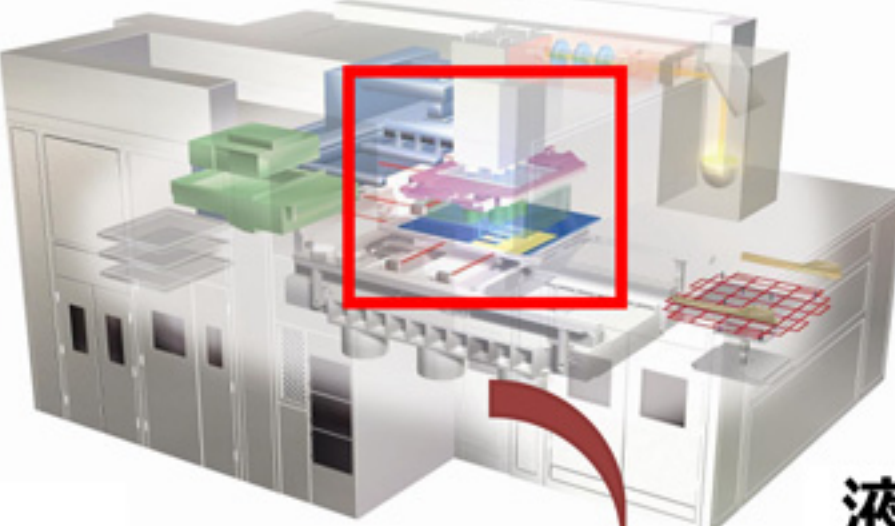
東京大学 柏キャンパス  
新領域基盤棟 7F 7H1, 7H4, 7H6

## ナノスケールサーボ

～数値最適化やデータ駆動型の学習を融合した知的制御の追求～

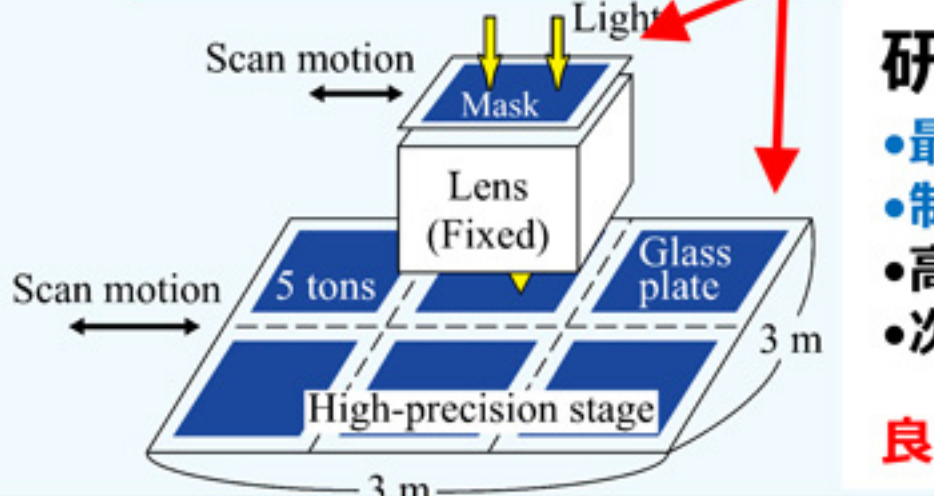
### 液晶露光装置の制御

露光装置の全体図

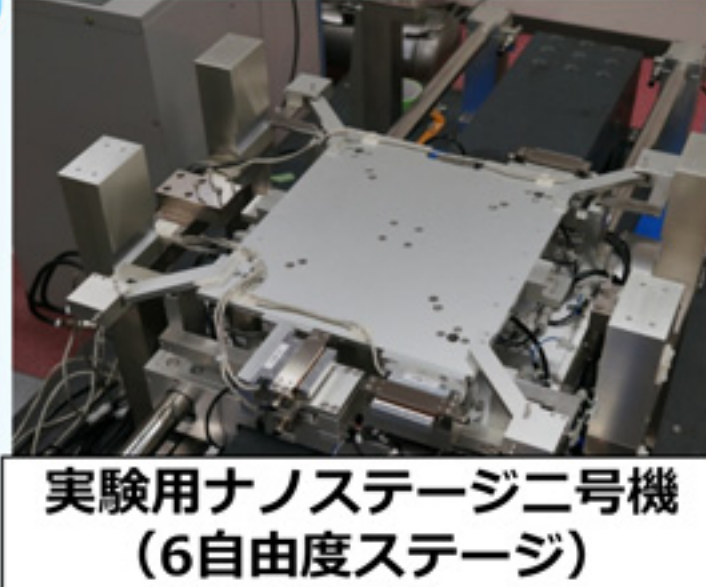


露光原理

ここをナノスケールで制御



実験用超精密ステージ



実験用ナノステージ二号機 (6自由度ステージ)

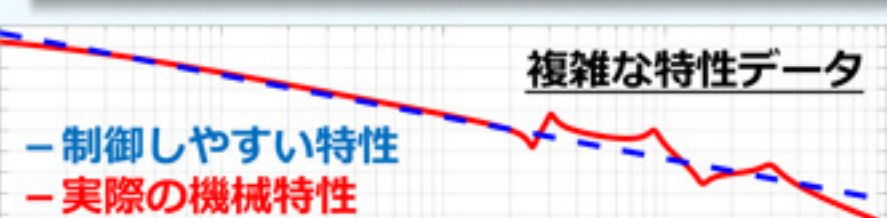
液晶露光装置とは？  
・液晶ディスプレイを作る装置  
・「史上最も精密な機械」と呼ばれ  
位置・姿勢の6自由度の  
ナノスケール制御が必須

研究していること

- ・最適化による制御器の自律設計
- ・制御しづらい機械への完全追従制御
- ・高速・高精度位置決め制御
- ・次世代粗微動ステージの制御

良い研究成果は露光装置に実装！

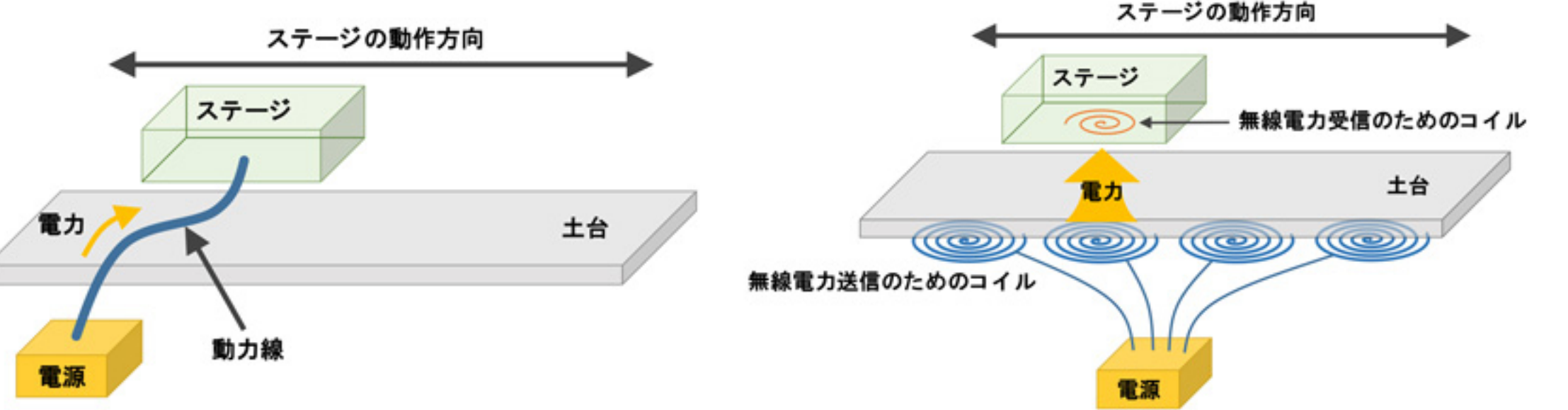
最適化計算による  
機械特性に合った制御器の  
自律設計



完全追従制御：指令に対して  
偏差0で追従する高精度制御



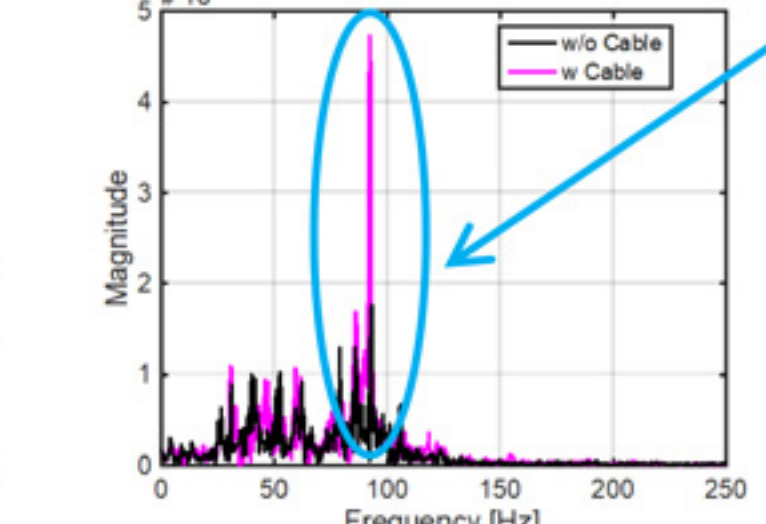
## ワイヤレス給電を用いた精密位置決めステージ



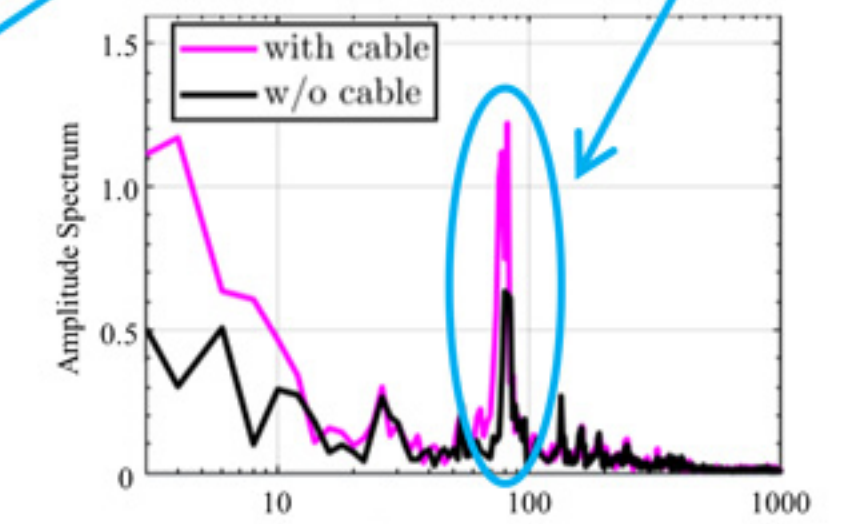
従来の精密位置決めステージ  
精密位置決めステージの長年の課題であるケーブル外乱を大幅に低減！



ワイヤレスステージ実験機



軌道追従誤差の周波数解析結果

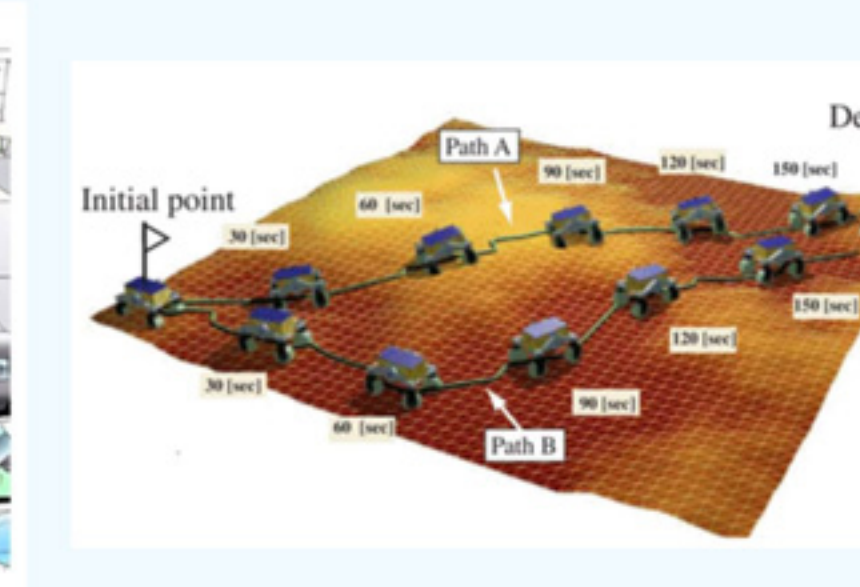


外乱の周波数解析結果

## モビリティの自律制御

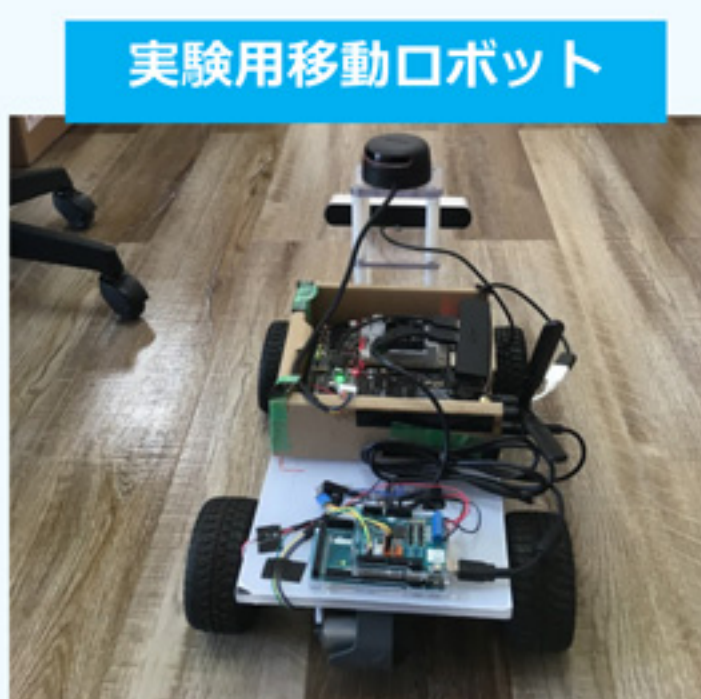
～車体の姿勢をも考慮した軌道の自動生成～

- ・複数の車の自動駐停車への応用
- ・火星や月面で活動するローバーへの適用

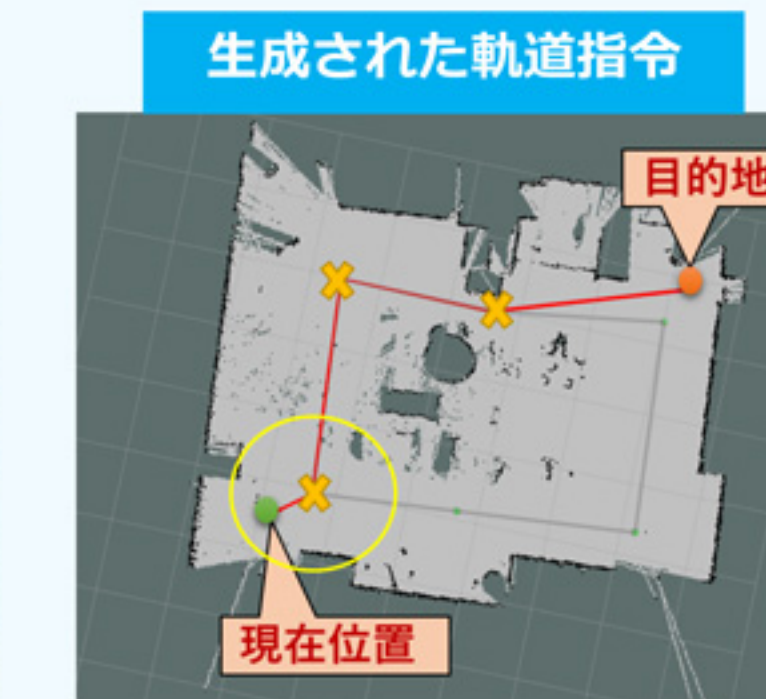


<https://web-japan.org/kidsweb/hitech/automatic>

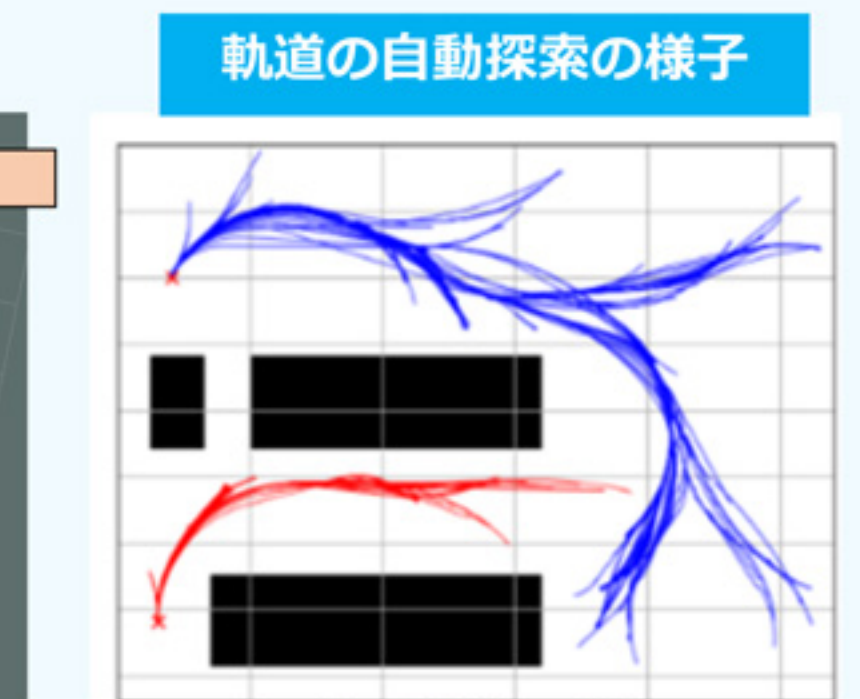
- ・車体姿勢を考慮することで経路上の障害物の実用的な回避が可能
- ・自律的な探索手法(RRT\*)による軌道自動生成
- ・カメラとエンコーダを使ったセンサフュージョンによるマップ生成



実験用移動ロボット



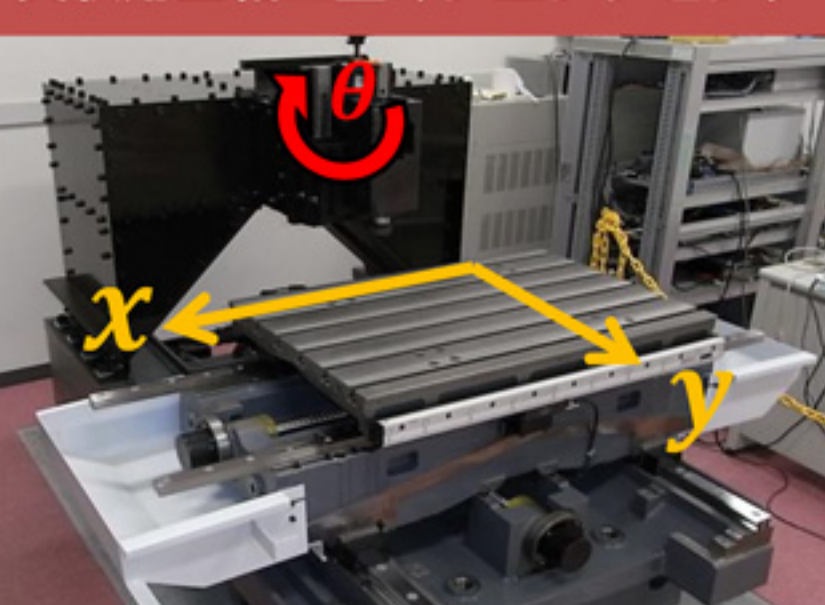
生成された軌道指令



軌道の自動探索の様子

## NC工作機械の制御

実験用三軸立型マシニングセンタ



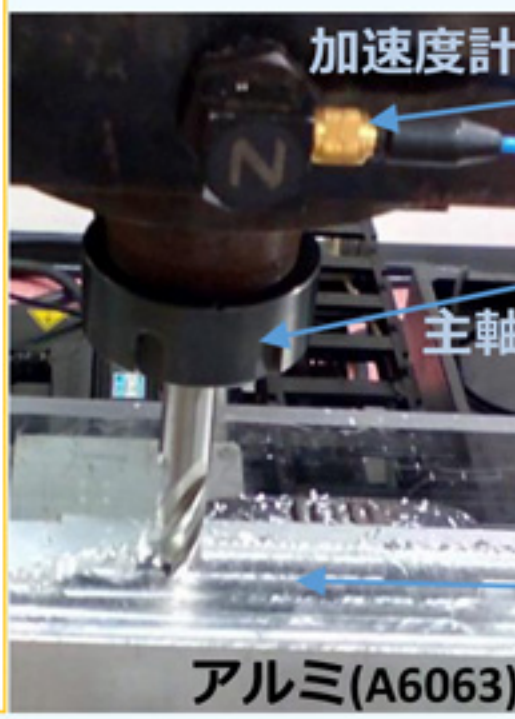
NC工作機械とは？

- ・コンピュータ制御の微細・高性能な加工ができる工作機械
- ・自動車などの機械部品を作り出すことからマザーマシンとも呼ばれる

研究していること

- ・反復学習制御による摩擦補償
- ・びびり振動抑制制御
- ・外乱オブザーバを用いたセンサレス切削力制御

次世代の工作機械の制御技術を研究！



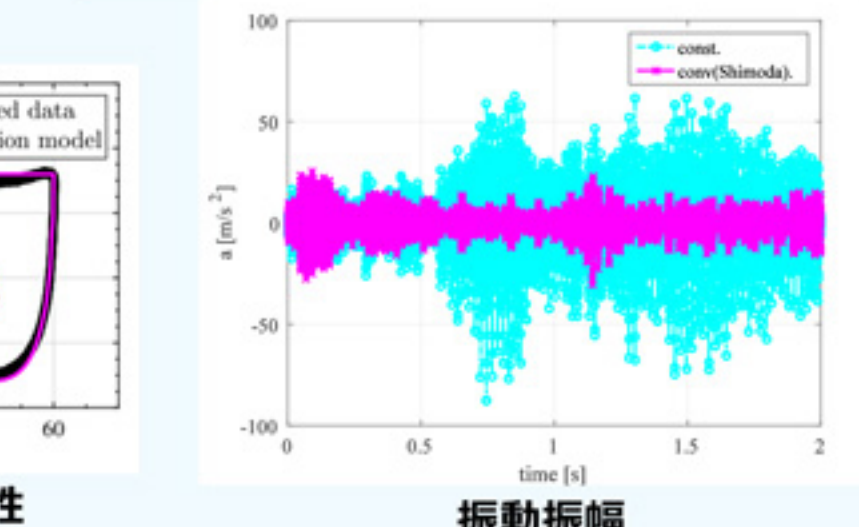
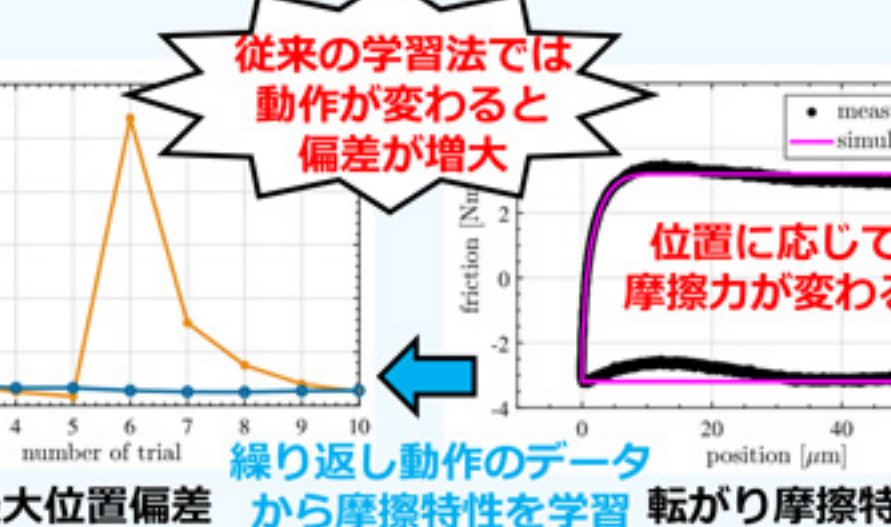
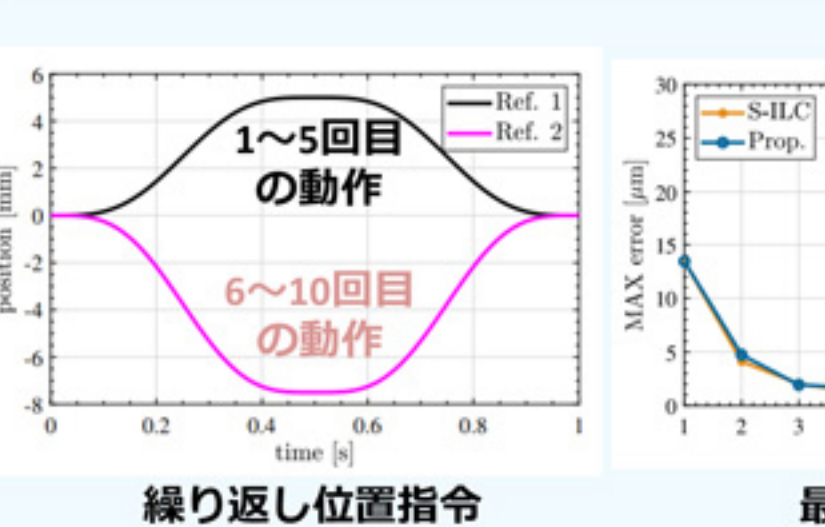
加速度計

主軸

アルミ(A6063)

複雑な摩擦特性を学習し高精度な位置決め性能を実現

工具のびびり振動を自動で抑制



## ロボットサーボ

～最新のセンシング技術を活用したロボットの制御～

### アーム型ロボット・宇宙探査機

～画像情報を基にしたロボットや宇宙機の自律制御～



産業用ロボットのビジュアルサーボ



宇宙機の高速フライバイ探査

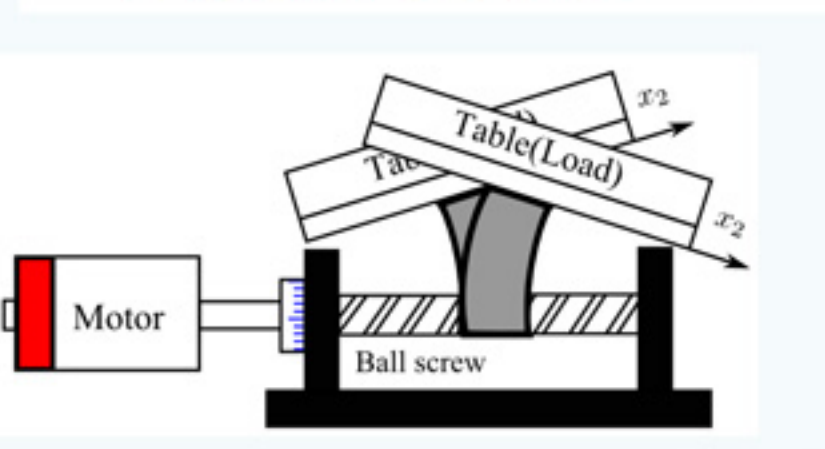
・単眼カメラでロボットの  
手先位置や姿勢を推定

・高速移動する探査機の  
カメラ情報から、小天体  
を正確に追尾

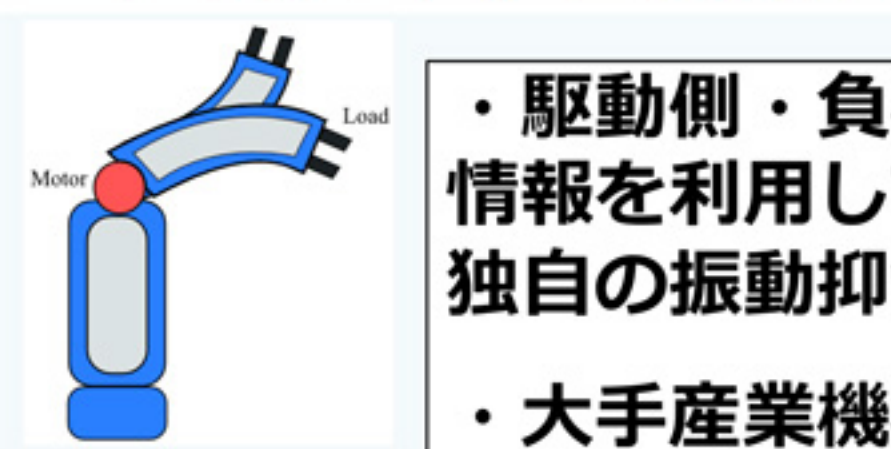
・JAXAと共同研究中

### 2慣性系の制御・ロボットモビリティ応用

～負荷側高分解能エンコーダを用いた、産業機器の高性能化～



ボールねじ駆動ステージ

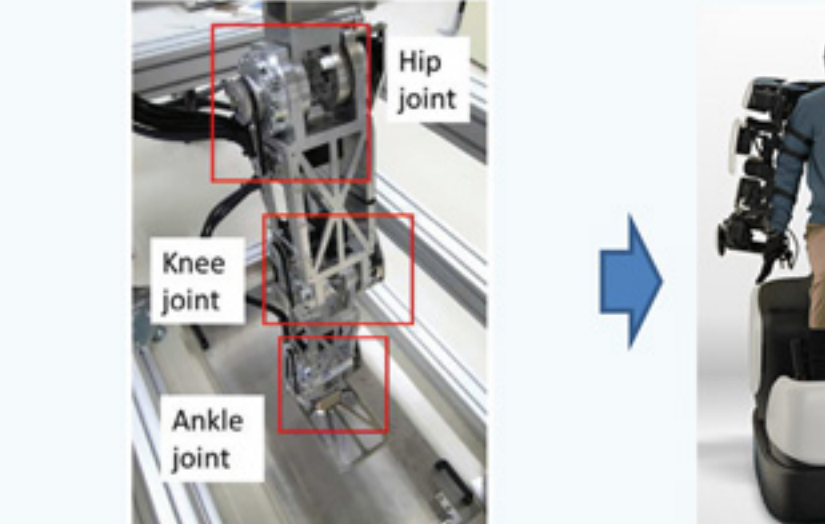


産業用ロボット

・駆動側・負荷側の2つのエンコーダ  
情報を利用して初めて可能となる、  
独自の振動抑制や状態推定を実現

・大手産業機器メーカーと共同研究中

### アバター・ヒューマノイドのための バイラテラルサーボ



足型ロボット



参照：<https://global.toyota.jp/detail/19666327>

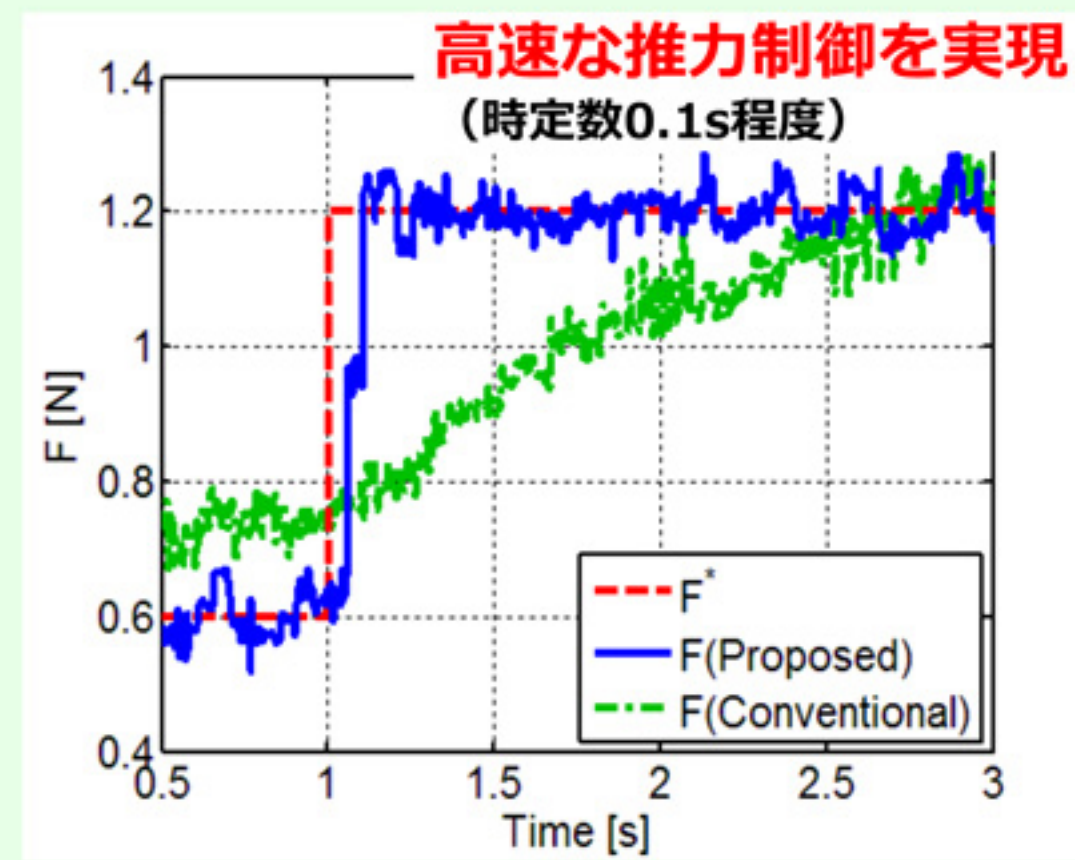
### 車輪型ロボット

段差や凹凸の踏破  
を制御技術で可能  
にする研究

## 電気飛行機

電気飛行機の制御 ～突風でも落ちない飛行機の実現～

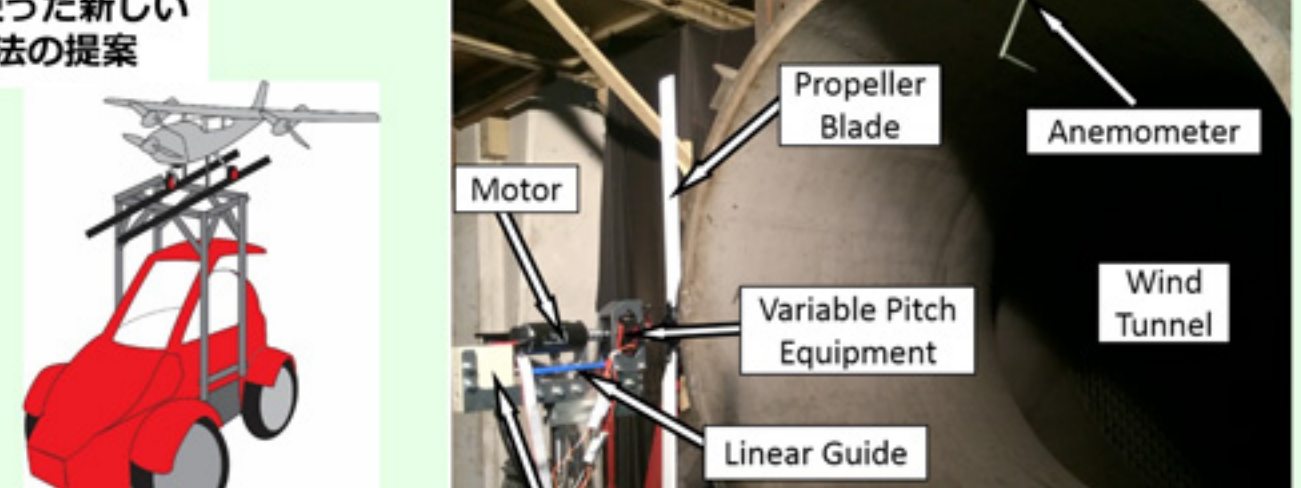
従来の飛行機では不可能だった  
経路・姿勢制御を実現



未来の飛行機のイメージ



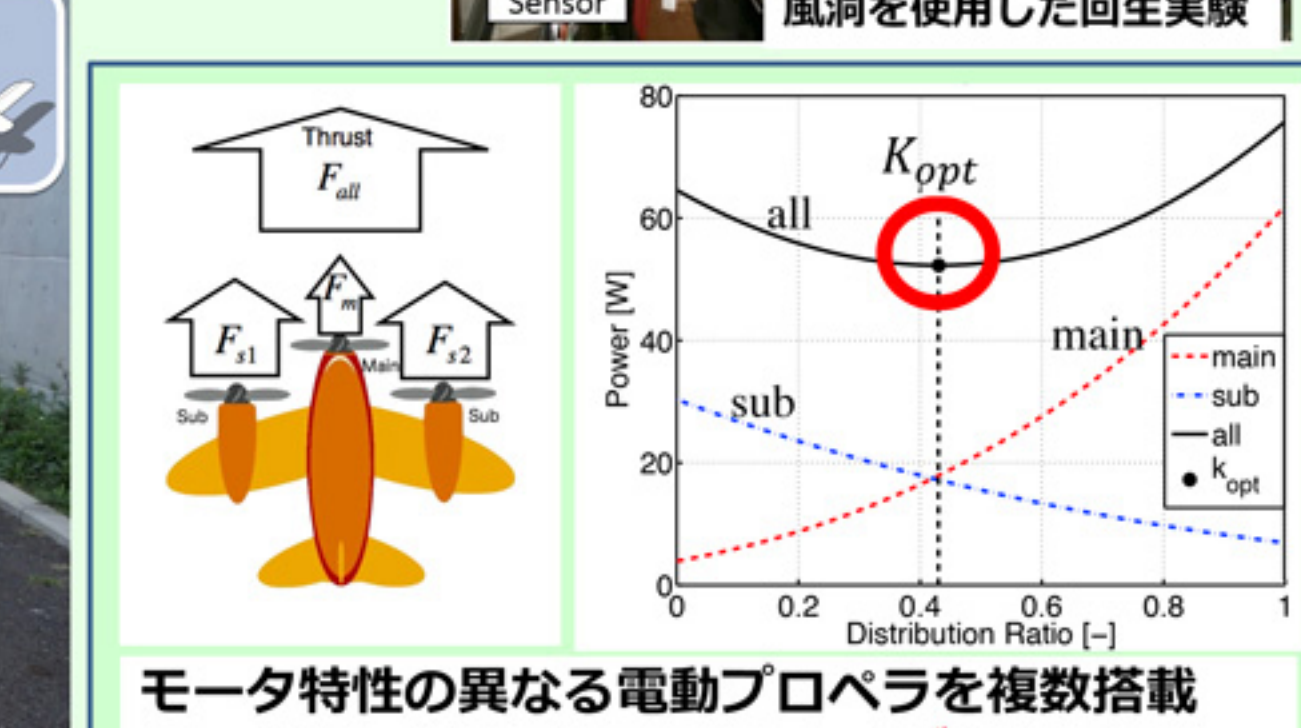
2015年度有人飛行に成功した電気飛行機の機体



EVを使った新しい実験方法の提案



FPEA-1



モータ特性の異なる電動プロペラを複数搭載  
→ 総推力を維持しつつ省エネルギー化を実現！

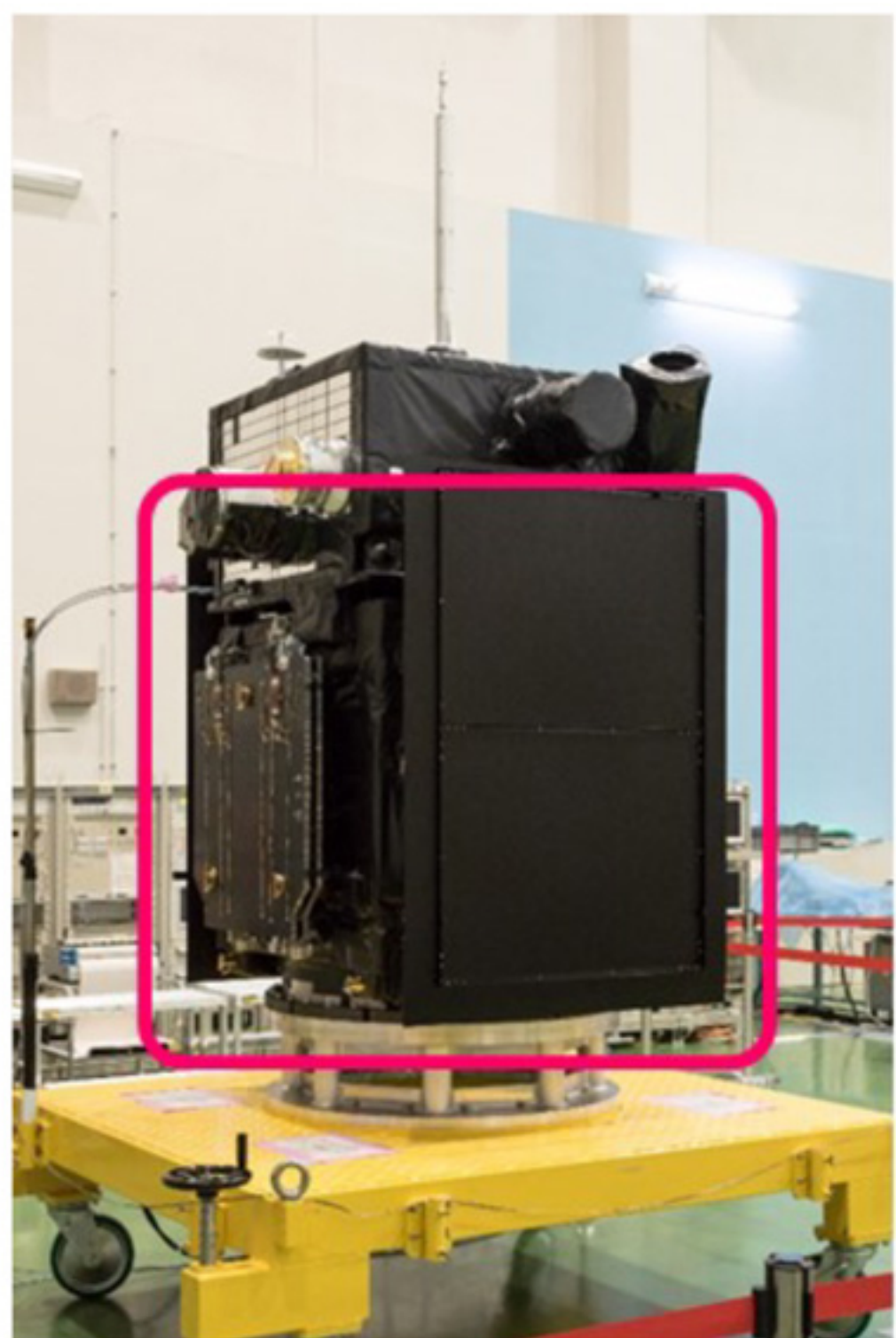
## 研究室のアクティビティ

春には新人の顔合わせを兼ねたお花見・夏にはBBQ・冬にはスキー合宿などを実施することで、研究室メンバ間の交流を促進しています。その結果、研究室全体のチームワークの向上とメンバ同士の信頼関係を醸成することができています。

## 探査機/衛星システムとセンサ信号処理

### Satellite/spacecraft systems and sensor signal processing

福田研究室では、電子工学を背景とする衛星・探査機システムに関わる技術や、レーダーや画像を用いたセンシングのための信号処理技術などについて、実際のプロジェクトに非常に近いところから将来の要素技術まで、幅広く研究を行っています。



### 衛星/探査機のシステム技術・アーキテクチャ

#### Satellite/spacecraft system architecture

福田は科学衛星や探査機(ひさき, あらせ, SLIMなど)のシステム取りまとめ担当としてプロジェクトに深く関わっており、開発現場と研究活動の循環を回しています。搭載計算機やデータネットワークが狭い意味での守備範囲ですが、広くバスアーキテクチャを検討する立場から、宇宙工学委員会のリサーチグループなどを母体として、宇宙研内外の様々な分野の研究者と共同で研究を行っています。

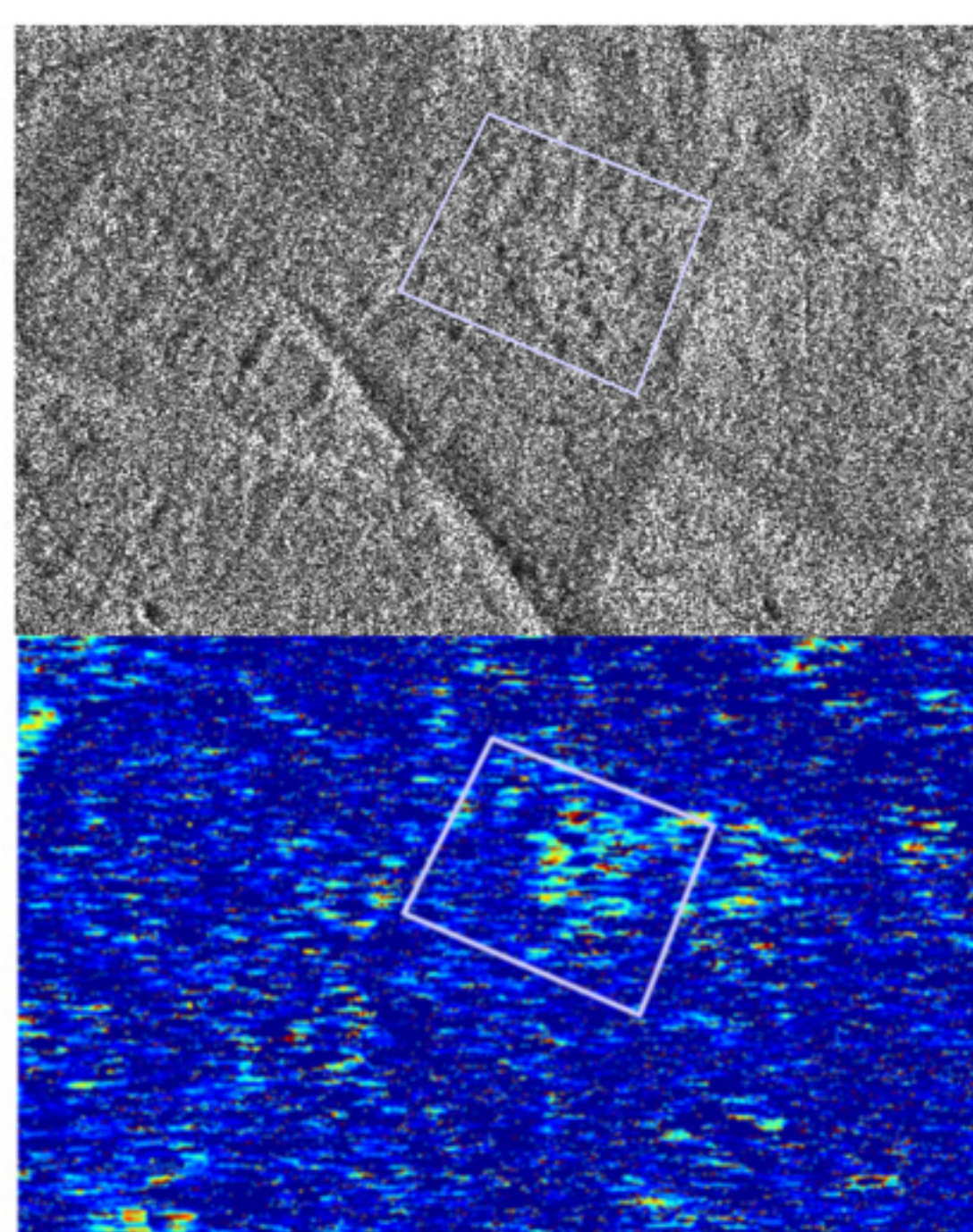
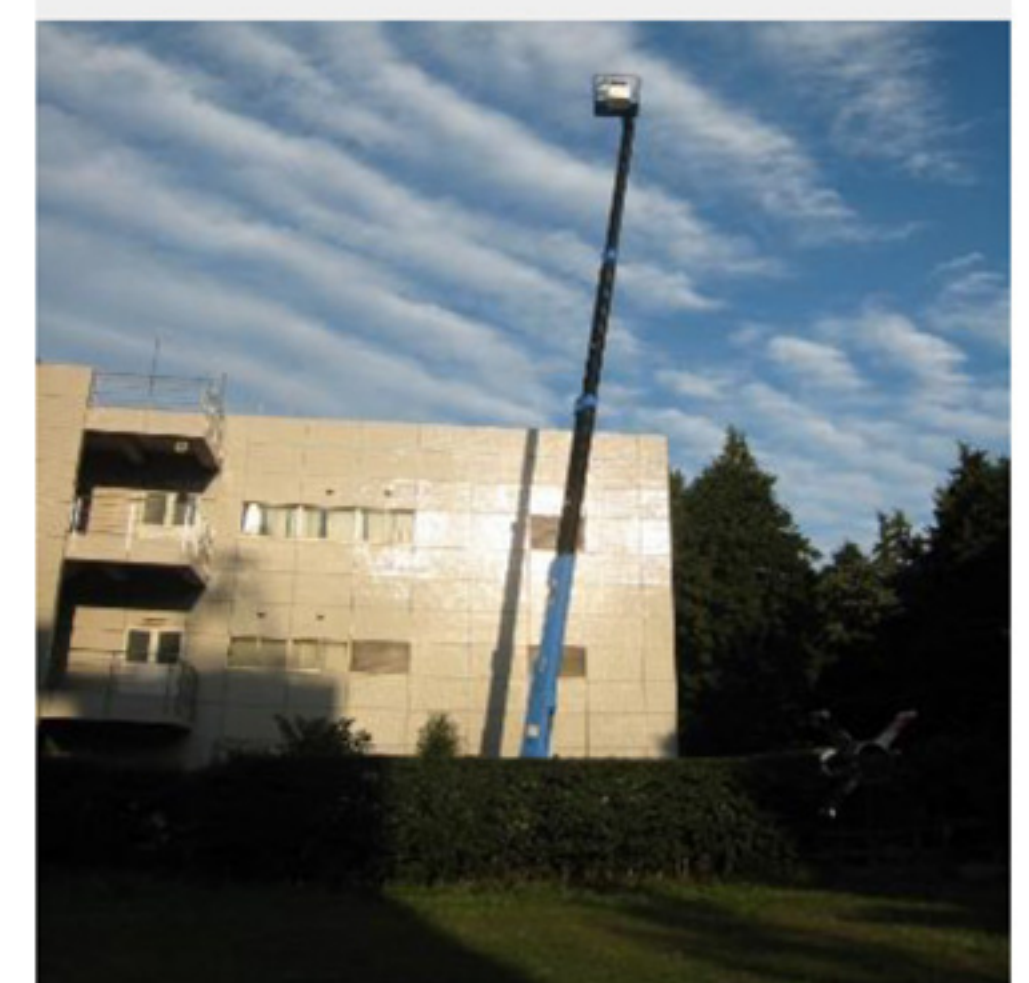
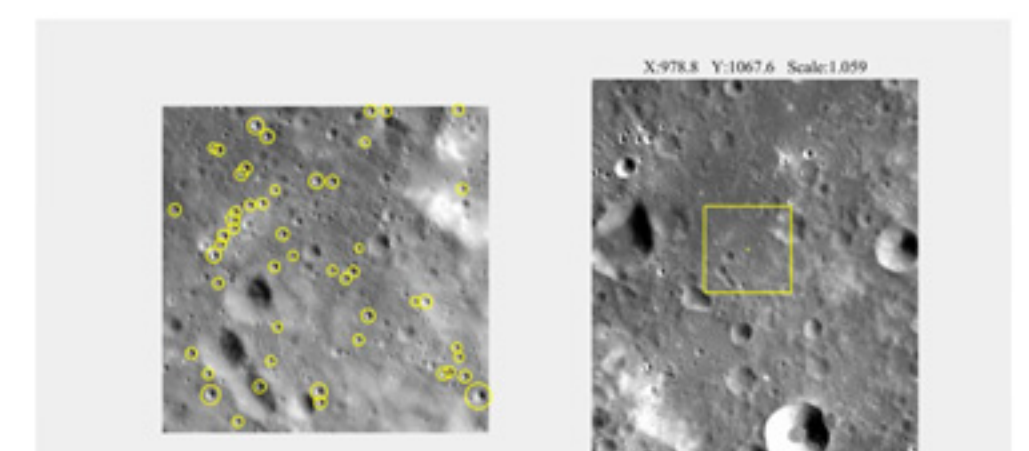
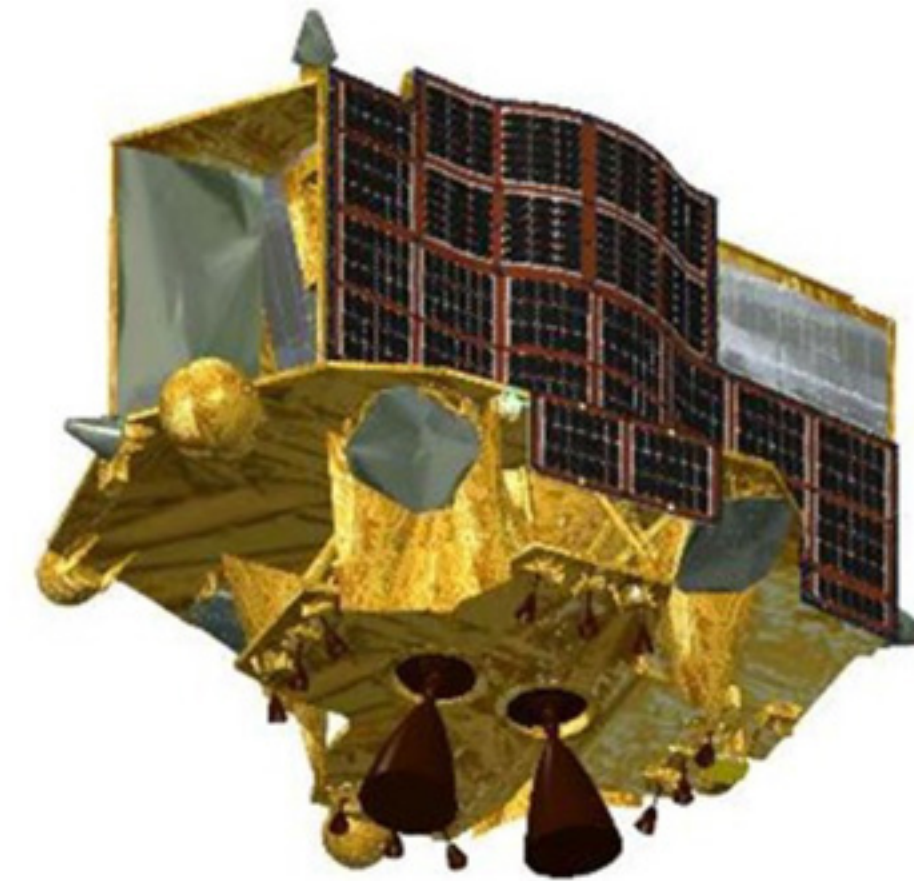
【図】 あらせ衛星とひさき衛星の標準バス (赤枠)

### 月惑星着陸探査機の航法センサ信号処理

#### Signal processing of spacecraft navigation sensors

重力天体へのピンポイント着陸に必要な航法センサの研究を行っています。光学カメラを用いた画像航法については、表面上のランドマーク(クレータなど)を抽出し、データベースとマッチングすることにより、探査機位置を機上で自律的に推定する手法を開発しています。また、着陸レーダについては、広がったビームを有するパルスドップラレーダの速度測定についての研究や、ドップラシミュレータの開発などを行っています。これらの成果は、小型月着陸機SLIMにて実証します。将来に向けては、生物的な機能を再現・模倣するニューロモーフィックなセンサやプロセッサの応用に向けた研究に着手しています。

【図】 SLIMの外観(左)、クレータベースの画像照合航法(右上)、着陸レーダの試験風景(右下)



### マイクロ波リモートセンシング

#### Microwave remote sensing

前身の研究室から継続・一貫して、マイクロ波を用いたリモートセンシング、特に合成開口レーダ(SAR)の研究を行っています。スペックルや非ガウシアン・テクスチャといったレーダ信号の揺らぎに着目し、高分解能システム下でこれらの

揺らぎからターゲット情報を抽出しようとする試みが当研究室の特徴です。また、GPS反射波を用いたリモートセンシングの研究も行っています。

【図】 SAR画像の偏波/空間周波数解析による森林の粗領域の抽出例(左)と同サイトでのグラントゥルス調査の様子(右)



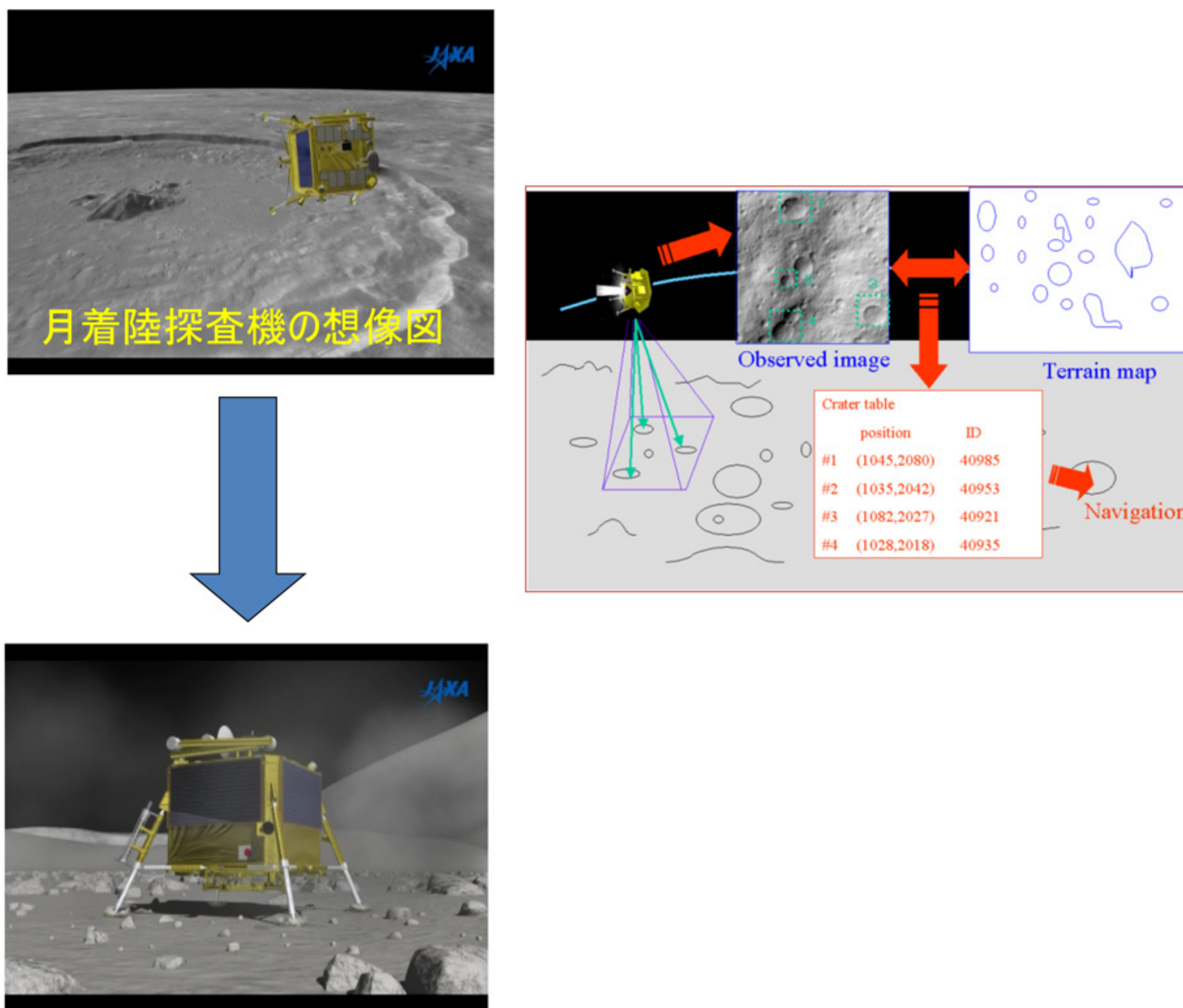
橋本研究室(Prof. Tatsuaki Hashimoto)  
Hashimoto laboratory

URL: <http://www.isas.jaxa.jp/home/hashimoto-lab/>

# 宇宙飛翔体を自在に制御する Spacecraft Control and Optimization

## 画像に基づく探査機の高精度航法誘導技術 Image-based spacecraft navigation

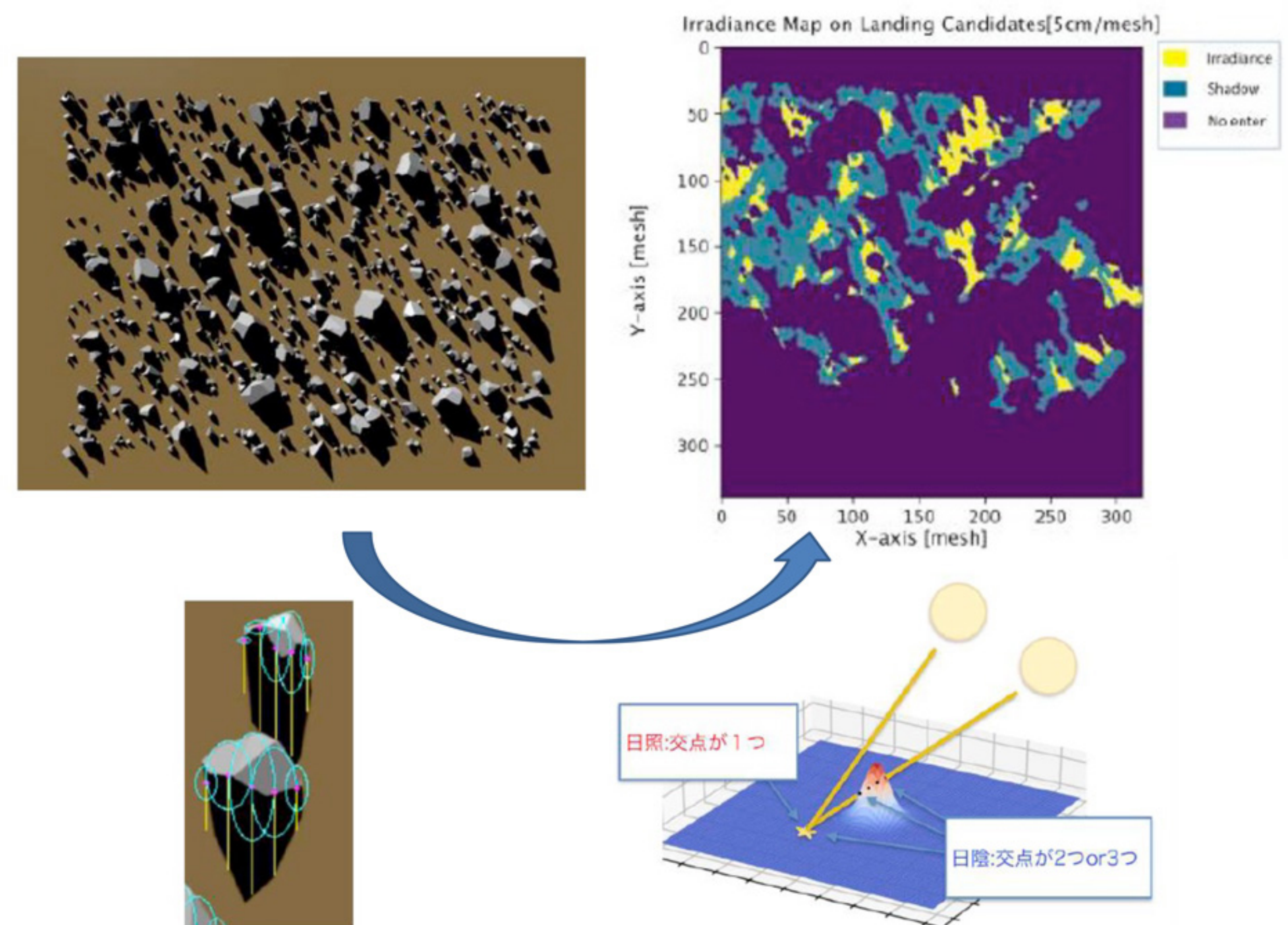
これからの月惑星探査では、探査機が自律的に撮影したクレータなどの特徴地形と地図情報をマッチングさせ、高精度に目標点に誘導するアルゴリズムや障害物を自動的に回避して着陸することが必要となっている。当研究室では、様々な、画像を用いた航法・誘導・制御法の研究を行っている。



## 最適な探査地点、着陸地点の研究 Optimum exploration and landing area

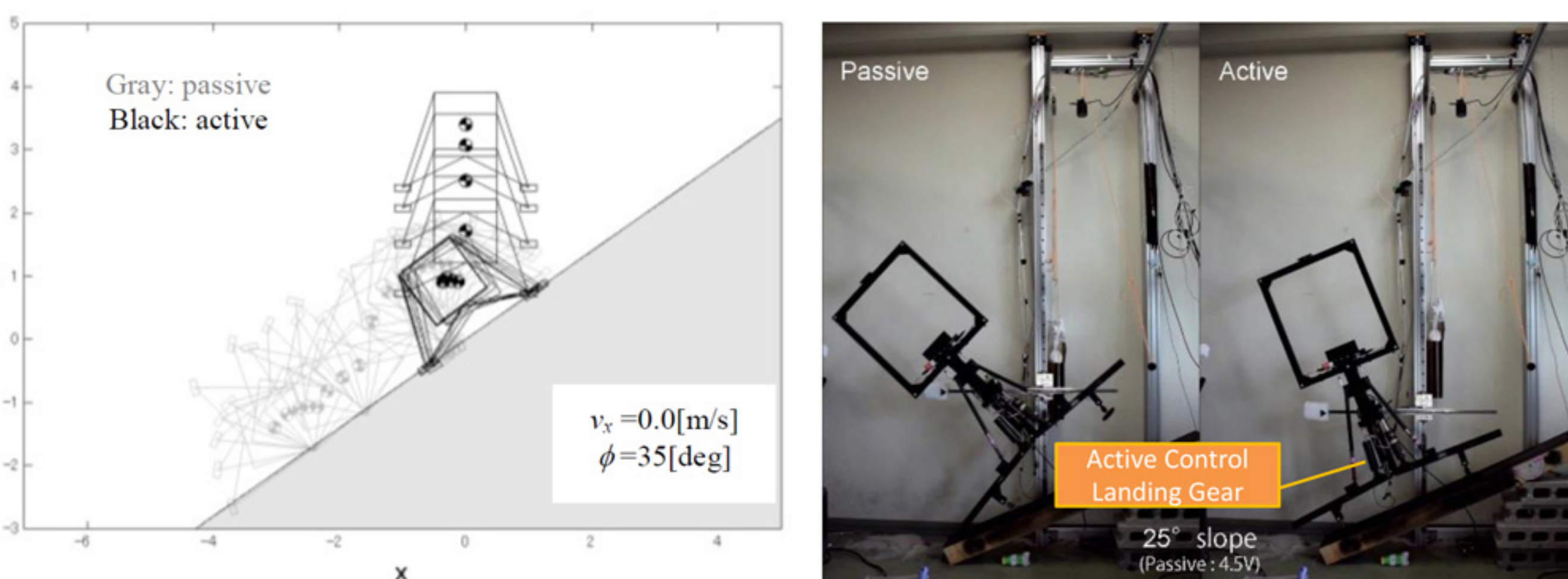
障害物の少ない場所、日照条件の良い場所、科学的に興味のある場所などを画像から抽出し、最適な探査地点、着陸地点を求める研究も行っている。

例えば、惑星表面の岩の形状を複数のガウス分布曲線の重ねあわせで表現し、1枚の画像から将来の陰のできかたを予測して、日照条件の良い着陸地点を求める。



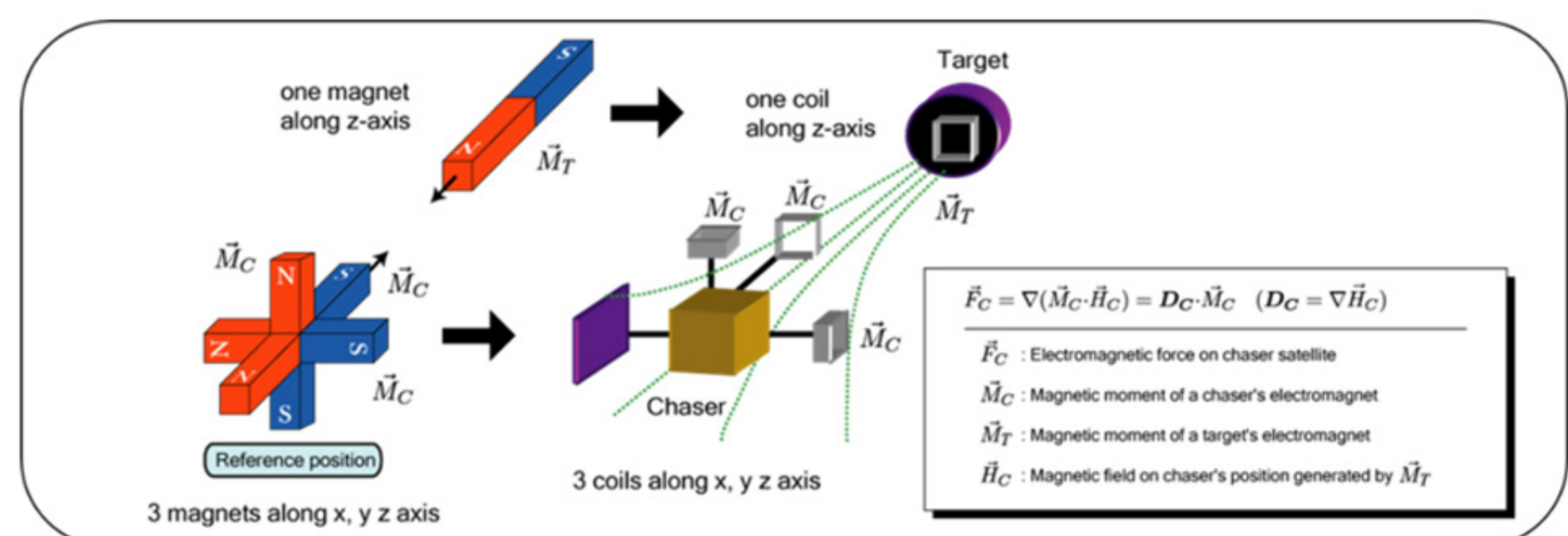
## 探査機の着陸機構・制御の高性能化 Advanced landing mechanism and control

着地時の衝撃を吸収し転倒を防止するため、着陸脚のアクティブ制御、フットパッドの最適化、タッチダウン時の姿勢制御に関する研究をしている。機体の横転を防止し、これまでは着陸不可能とされてきた地形にも探査機を到達させる。



## 電磁力を用いた宇宙機の編隊飛行の研究 Electromagnetic formation flight

複数の人工衛星や惑星探査機を編隊飛行させ、いろいろなミッションを実現するアイデアが提案されているが、相対位置・姿勢を維持するためには制御用の燃料が必要となる。これを電磁力で行うことにより、燃料消費無く相対位置・姿勢を制御する研究を行っている。



## 宇宙機の自律・自動制御

宇宙に関する制御の問題なら何でも研究しています。狭義の「制御」に限らず、システムの最適化なども扱います。信頼性・実績重視の保守的な宇宙開発分野に、学生の斬新なアイデアをもって革新をもたらしたいです。





## 廣瀬和之研究室 (Prof. Kazuyuki Hirose) Space Semiconductor Devices Laboratory

相模原キャンパスA棟 7F 1712  
Sagamihara. A-7F Room 1712

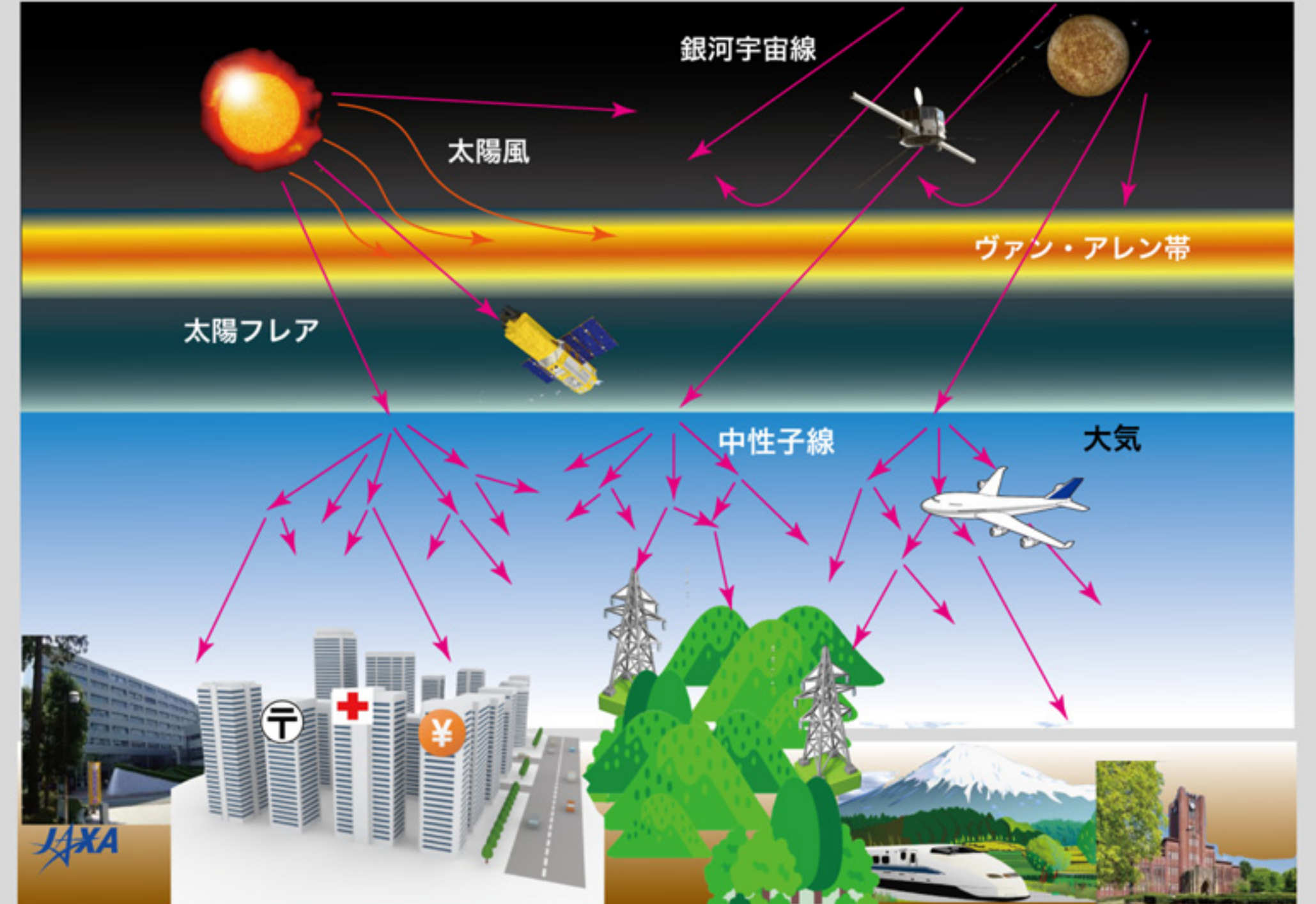
廣瀬研究室では、宇宙環境で使用できるLSIを研究しています。最先端の極微細LSIは、原子1つ1つを数えられるような小さな世界です。1nm(ナノメートル)、すなわち10億分の1メートルという単位がこの世界の尺度です。強い放射線にさらされる宇宙環境で、この極限ナノ世界に起こる物理現象を解き明かし、宇宙科学の発展に貢献する宇宙用LSIを開発することを目指しています。

### IoTネットワーク



衛星は、これからのIoT (Internet of Things) ネットワークの  
リレーノード & センサーノード  
(総務省“宇宙 x ICTに関する懇談会報告書” 2017)

### 宇宙放射線



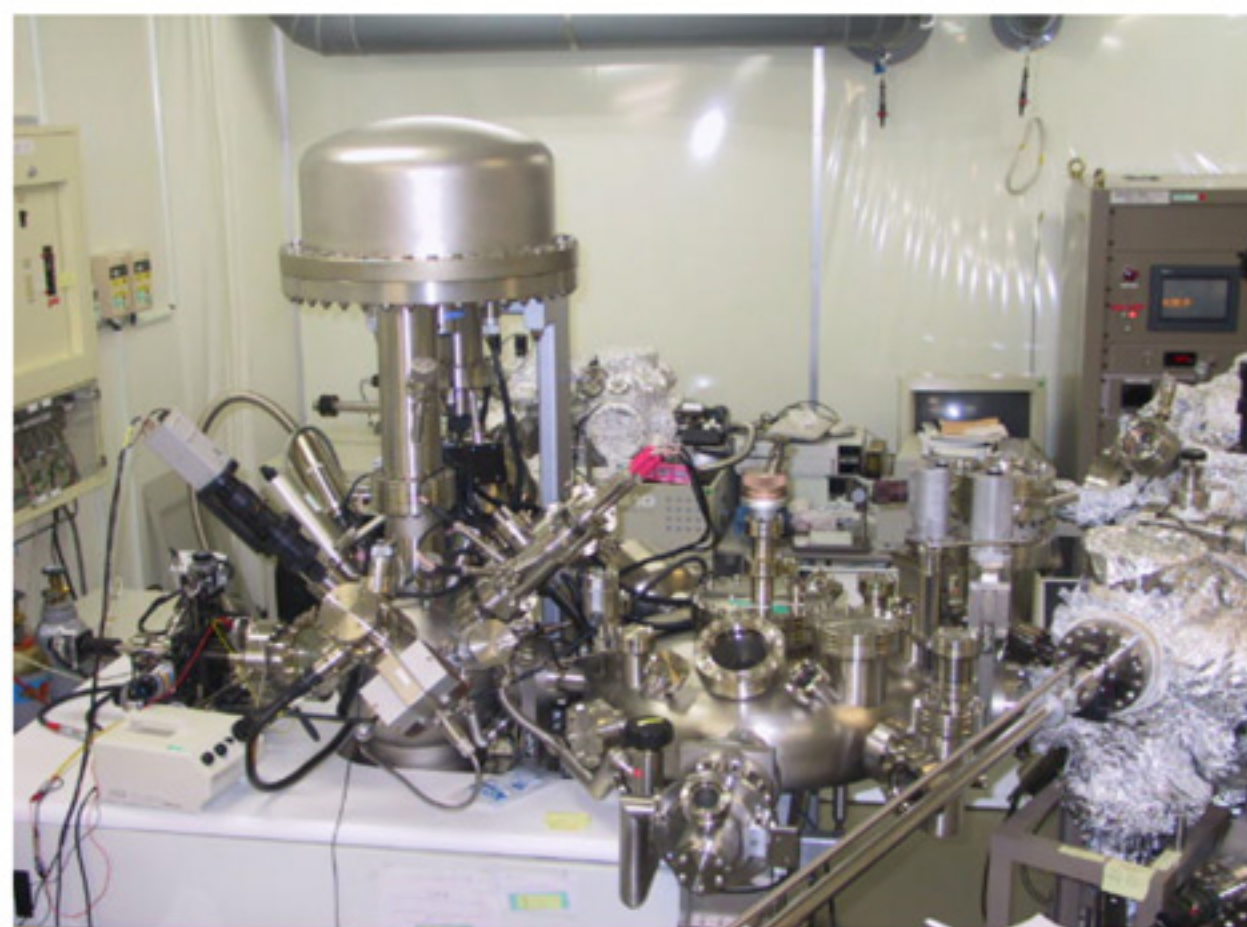
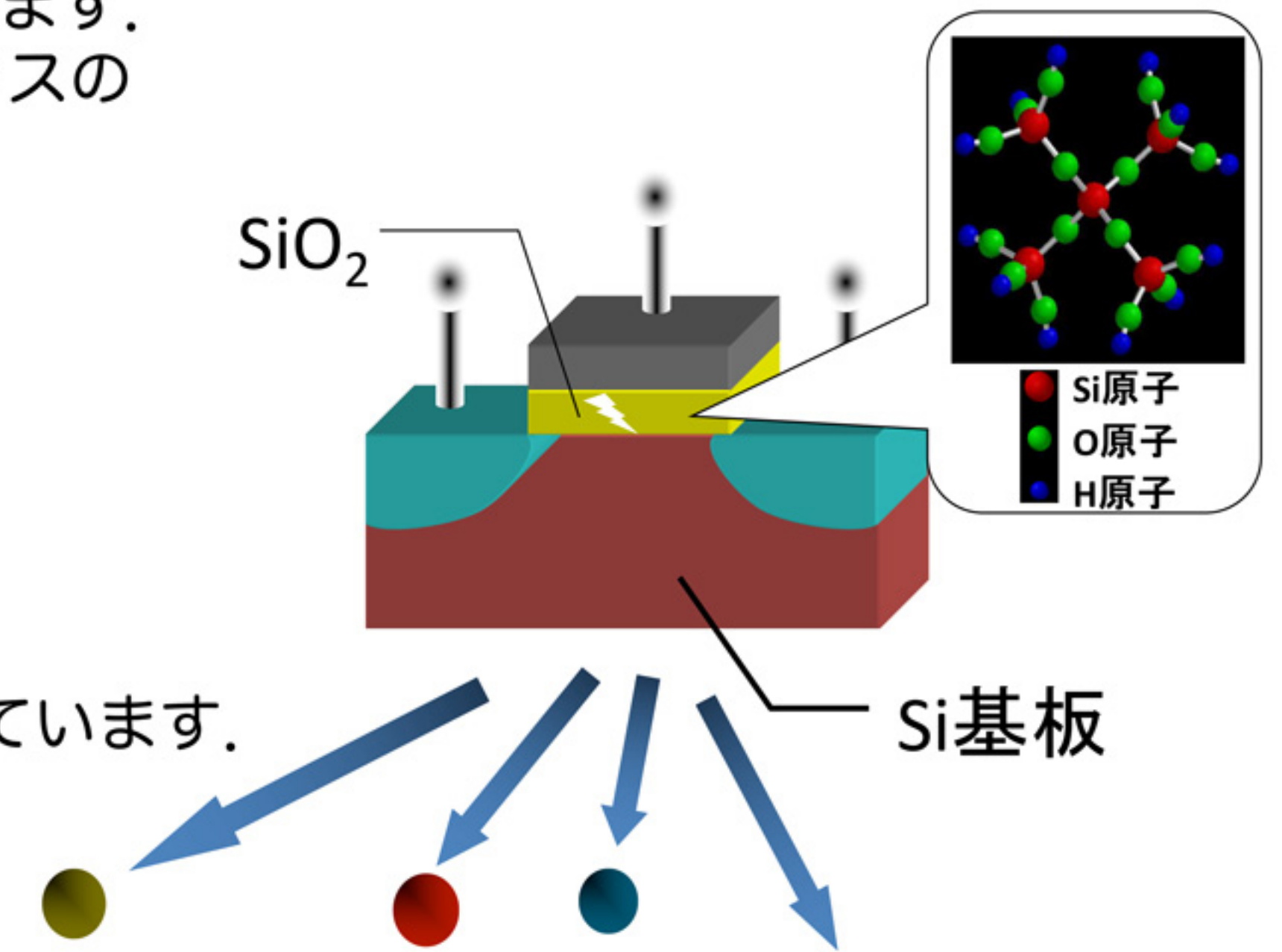
IoTネットワークを支える宇宙と地上の電子デバイスを  
高エネルギー宇宙放射線が貫通  
(応用物理学会誌“宇宙で活躍する半導体デバイス” 2014)

先端的半導体デバイスは、ナノメートルサイズで制御された非常に微細な構造を持ちます。この微細構造が数億個も集積化されたLSI、そしてLSIから構成されるエレクトロニクスの信頼性にとって、宇宙放射線は大きな脅威となっています。

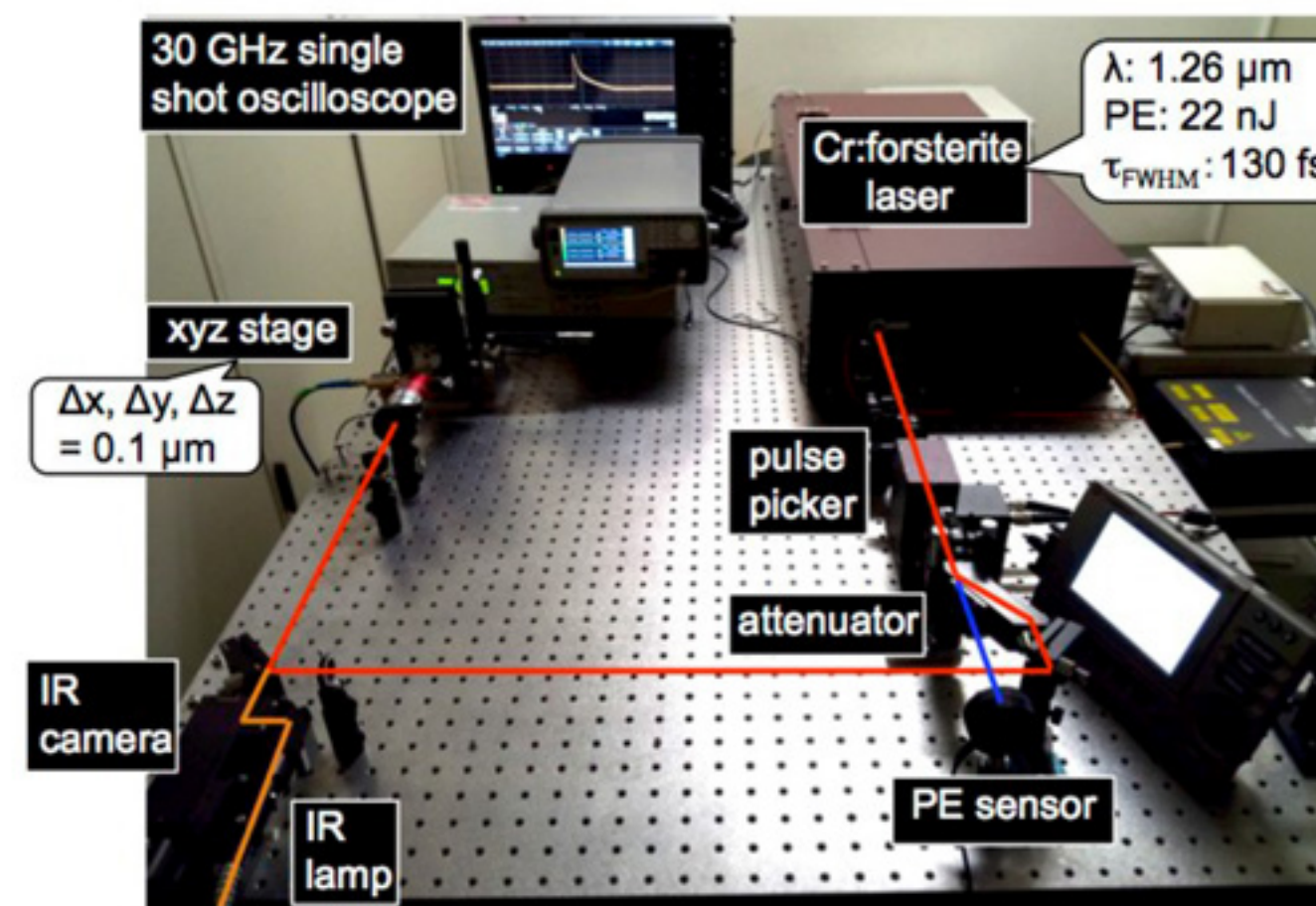
廣瀬研では、宇宙放射線が貫通してもびくともしない強いデバイスを目指して、  
・ナノメートル サイズ デバイスのマテリアルズサイエンス  
・宇宙放射線がデバイスを貫通した瞬間のデバイス物理  
の研究をしています。

また、これらの基礎研究を基に、宇宙飛翔体を自在に操るための宇宙用LSIを開発しています。

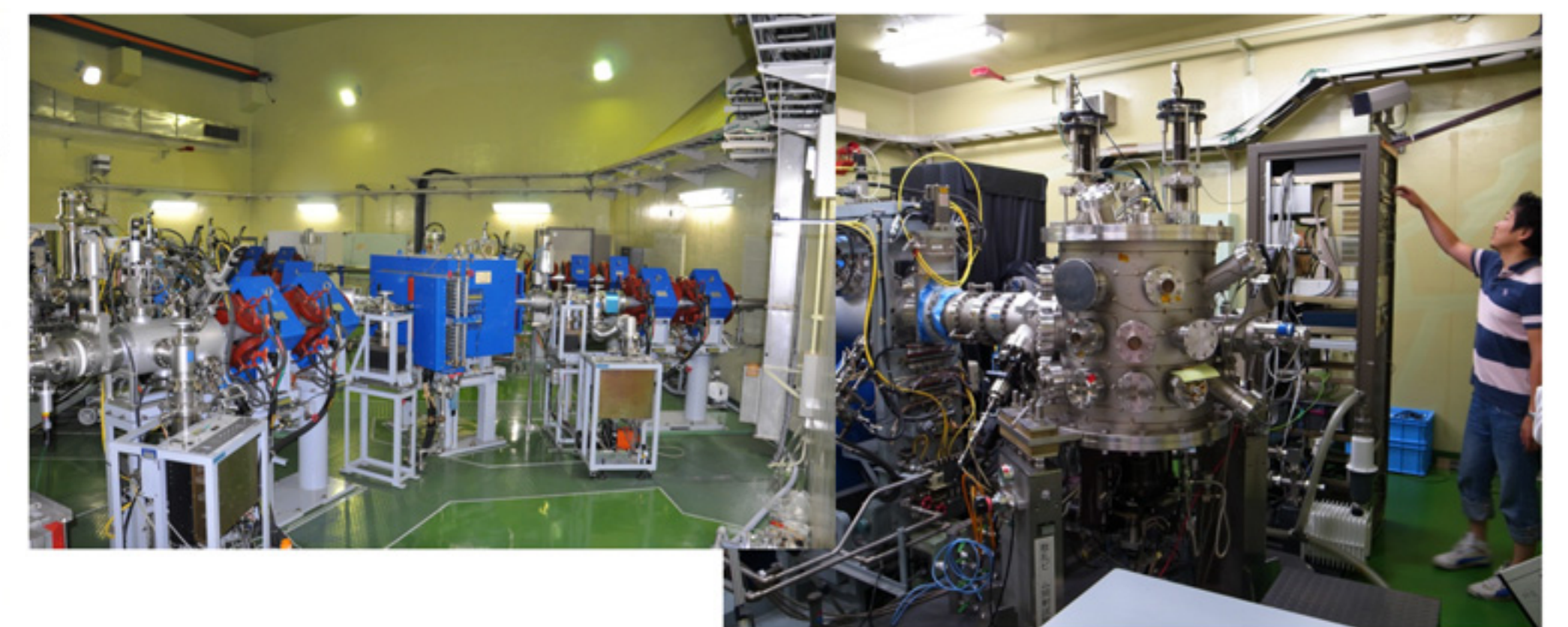
\* 「宇宙と民生に共通的に利用できる耐放射線性集積回路の開発」  
平成24年度 文部科学大臣賞 受賞



高感度X線光電子分光分析装置



赤外フェムト秒パルスレーザーの二光子吸収過程を利用したソフトエラー解析システム



サイクロトロン加速器を利用したソフトエラー解析システム (共同研究/高崎量子応用研究所)

## ナノマテリアルズサイエンス

## 宇宙放射線効果に関するデバイス物理

研究室では次の4つの特徴を持った研究指導をしています。

- 1) 研究課題： 極限環境での使用に耐える宇宙用LSIの研究は、地上用極微細LSIの開発における深刻な信頼性問題を解決することに役立つものです。
- 2) 研究分野： 電子物性・デバイス物理・回路技術まで横断的です。
- 3) 研究フェーズ： 基礎研究から衛星搭載用半導体デバイス開発まで幅広いものです。
- 4) 研究手段： 実験室・大型施設実験から、第一原理計算・デバイスシミュレーションまで多彩です。

本研究室は、テクノロジーやその背後のサイエンスの研究がとても魅力に溢れていることを、実践的に体得させることが教育だと考えています。皆さんがどのようなテーマを選んでも、論文発表や学会発表を通して、社会人として生きていくために必須の好奇心と責任感とリテラシー・表現力を育てたいと思います。



# 堀・藤本 研究室

Prof. Hori & Prof. Fujimoto

<https://sites.google.com/edu.k.u-tokyo.ac.jp/hflab>

学部	電気電子工学科	柏
大学院	工学系・電気系工学専攻	
新領域・先端エネルギー工学専攻		



東京大学 柏キャンパス  
新領域基盤棟 7F 7H1, 7H4, 7H6

## 電気自動車

### 安全でエコな次世代電気自動車の研究

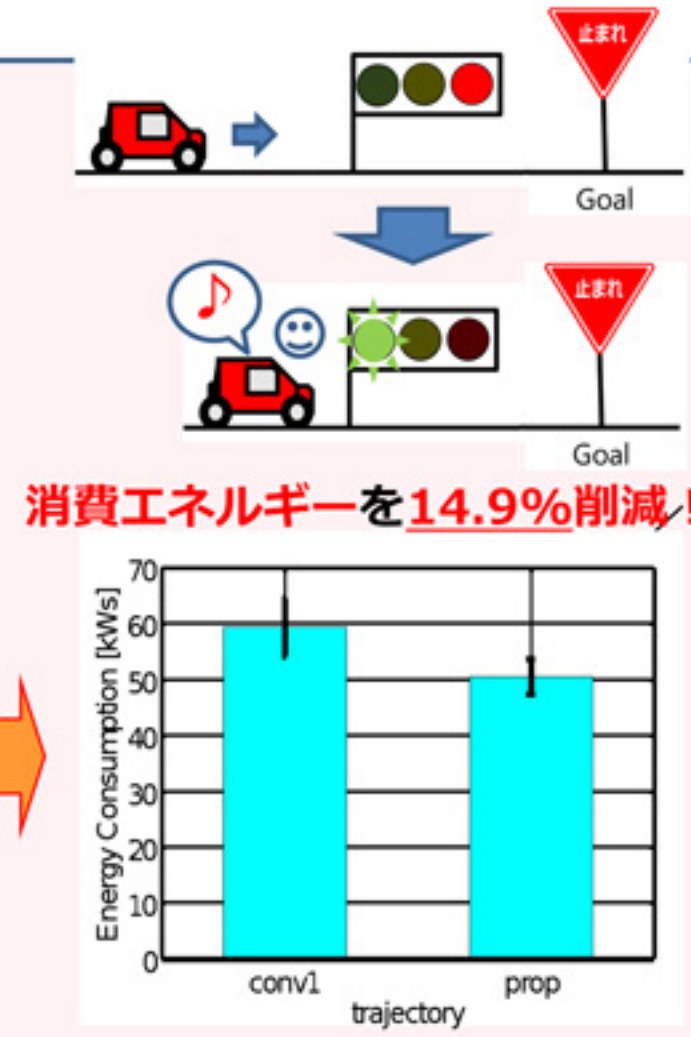
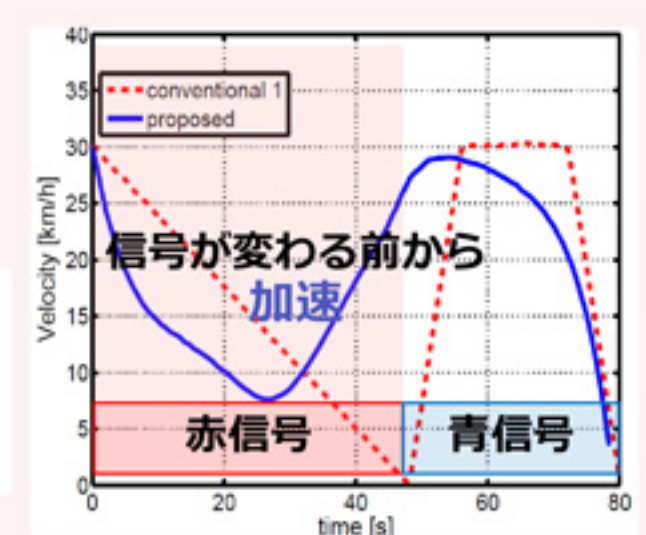
電気自動車の最大の特徴  
⇒モータの高い制御性

- ・高速トルク応答
- ・4輪独立駆動
- ・正確なトルク値把握

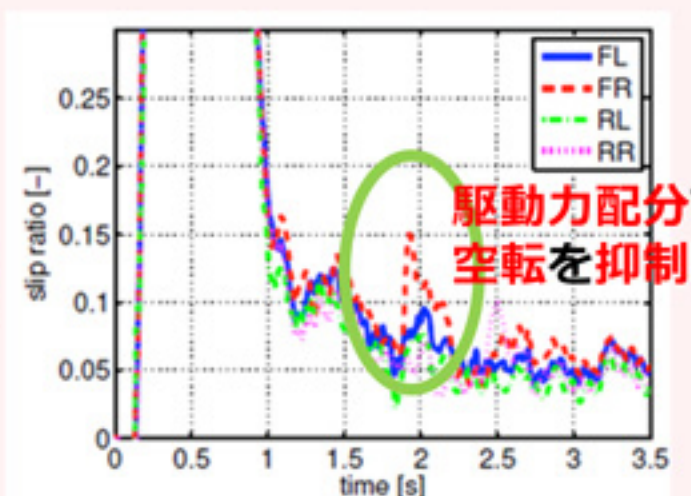
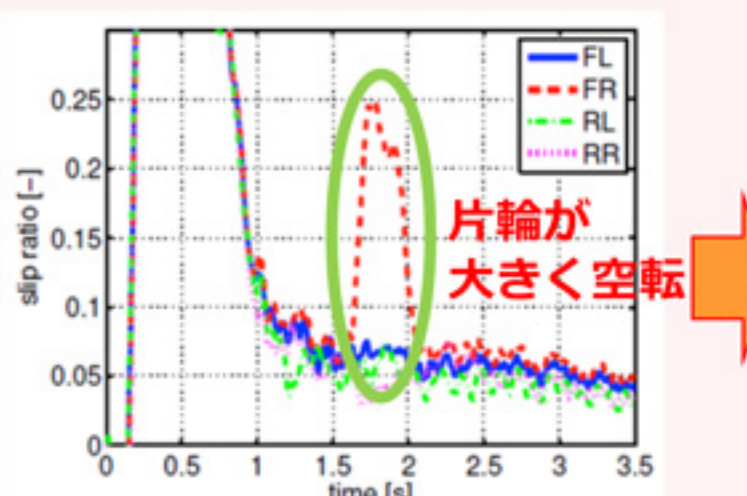
#### 研究テーマ

- ・トラクション制御
- ・旋回時の安定制御
- ・ロール安定化制御
- ・路面状態推定
- ・航続距離延長自動運転
- ・乗り心地向上制御 (ピッチング制御) など

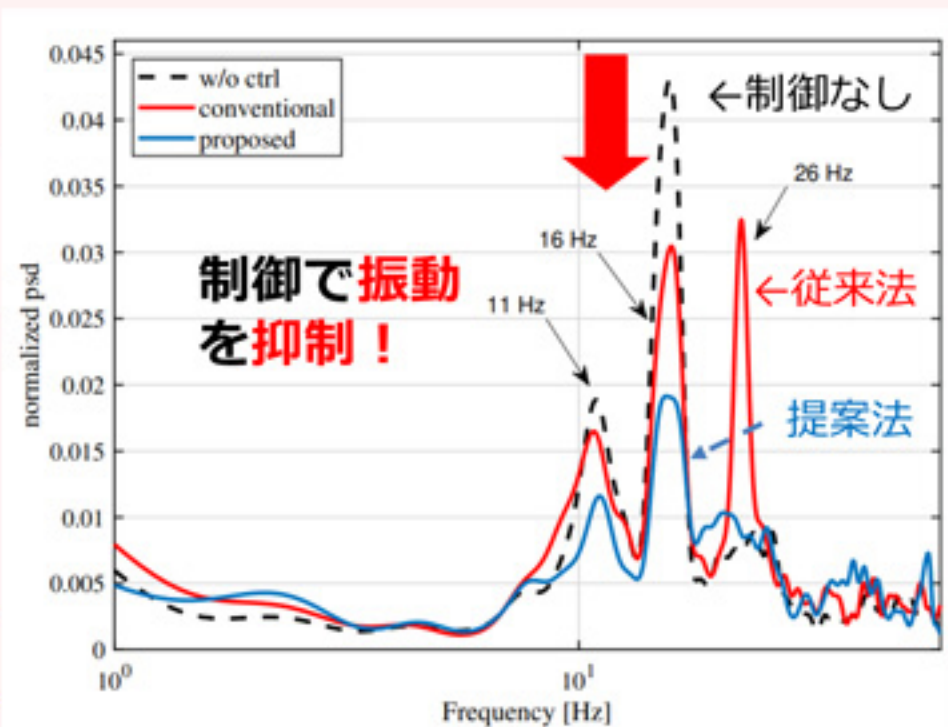
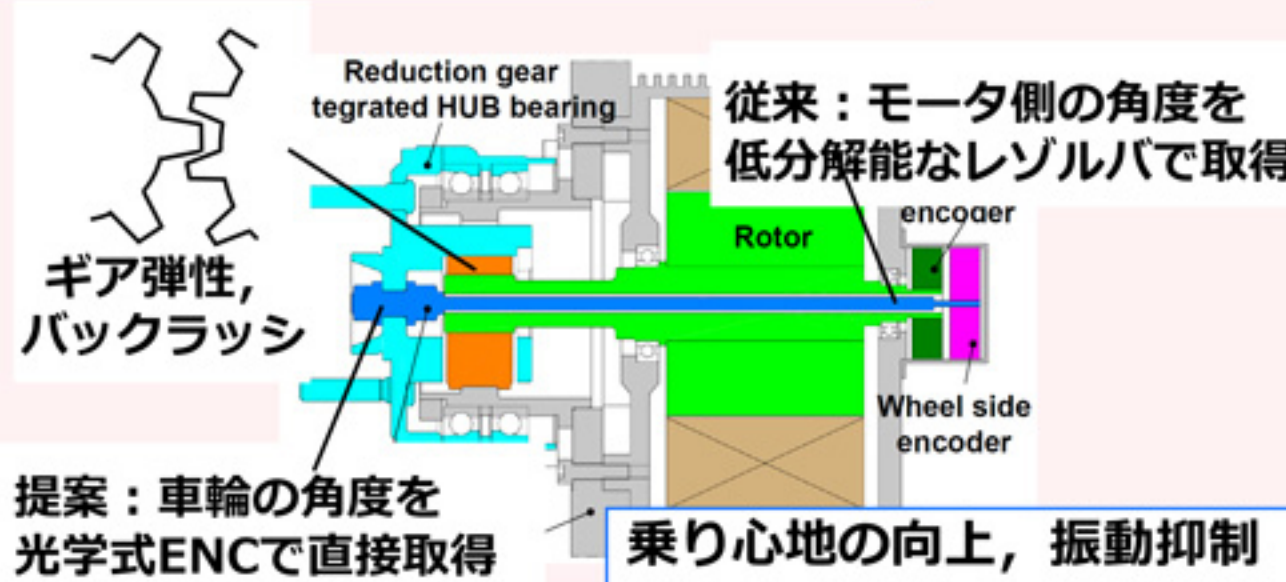
信号情報を考慮した  
航続距離延長自動運転



#### スプリット低μ路での駆動力制御



#### 減速機付きインホイールモータの制御



次世代電気自動車のために航続距離延長自動運転や障害物回避等の車両運動制御について研究しています。

## 実験車両

FPEV-2 Kanon  
(完全オリジナルEV)



ダイレクトドライブ方式  
インホイールモータ

FPEV-5 (最新実験車両)



実験場

共同研究実験車両  
E-Runner 2016 (Tajima EV)



必要に応じて自由に改造ができる車両が充実!

## キャパシタ搭載自動車

### 未来の車

- ・ワイヤレスで充電できる
- ・キャパシタで走る
- ・モータによる運動制御



C-COMS2に搭載されたキャパシタ  
30秒の急速充電で20分走行可能

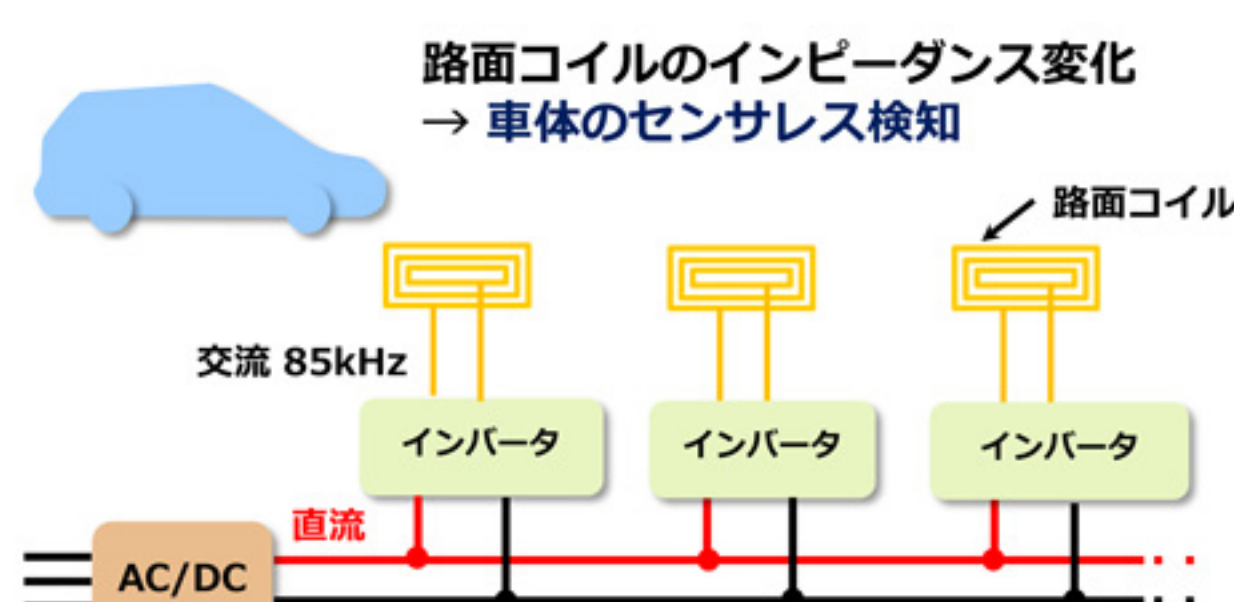
### キャパシタの特徴

1. 高パワー密度→急速充電が可能
2. 電圧計測→エネルギー残量を把握
3. レアメタルレス→地球に優しい

## ワイヤレス給電

### 走行中ワイヤレス給電

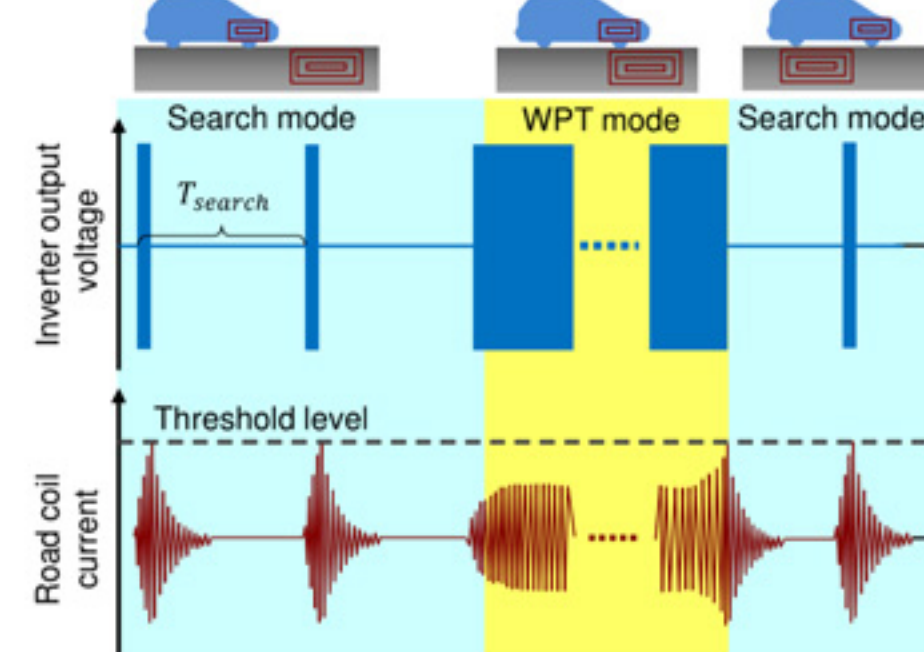
#### 走行中ワイヤレス給電設備



#### 走行中ワイヤレス給電の制御

##### Search mode

1. 路面コイルでパルスをうつ
2. 車体のコイルが近づくとインピーダンスが変化
3. コイル電流が変化し車体を検知
4. WPTモードに切り替え

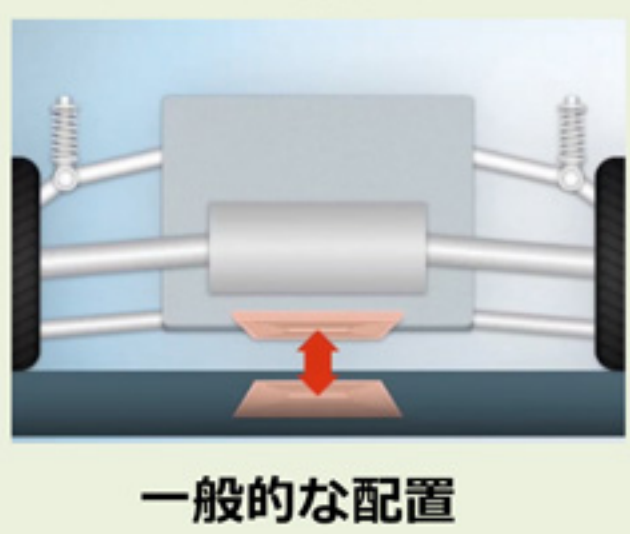


##### WPT mode

1. 電力伝送開始
2. 車体が離れインピーダンス変化
3. サーチモードに切り替え

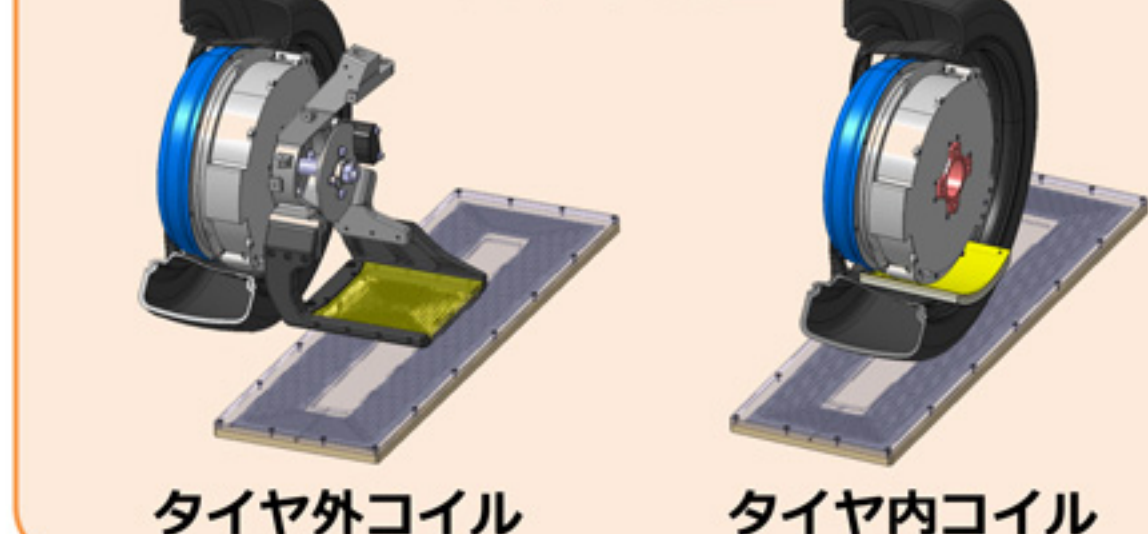
#### 走行中ワイヤレス給電のコイル配置

##### パネ上配置



一般的な配置

##### パネ下配置



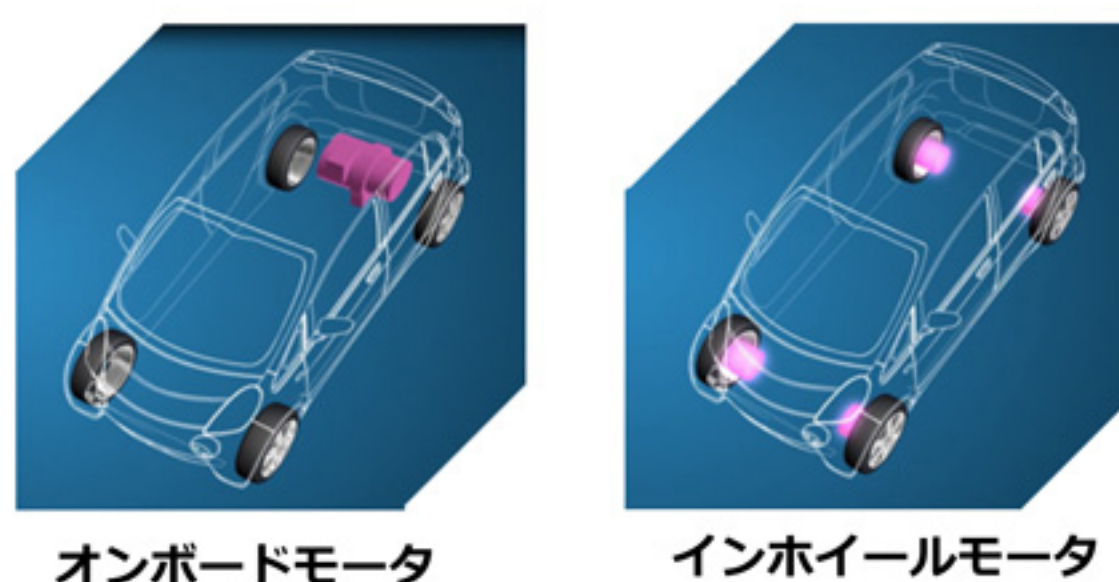
タイヤ外コイル

タイヤ内コイル

- ◆ サスペンションの下に配置 → コイルのエアギャップが一定
- ◆ タイヤ内コイル → 異物のコイル間に入ることを防ぐ & エアギャップ短縮

## ワイヤレスインホイールモータ

インホイールモータ (車輪の中に埋め込まれたモータのこと)



オンボードモータ

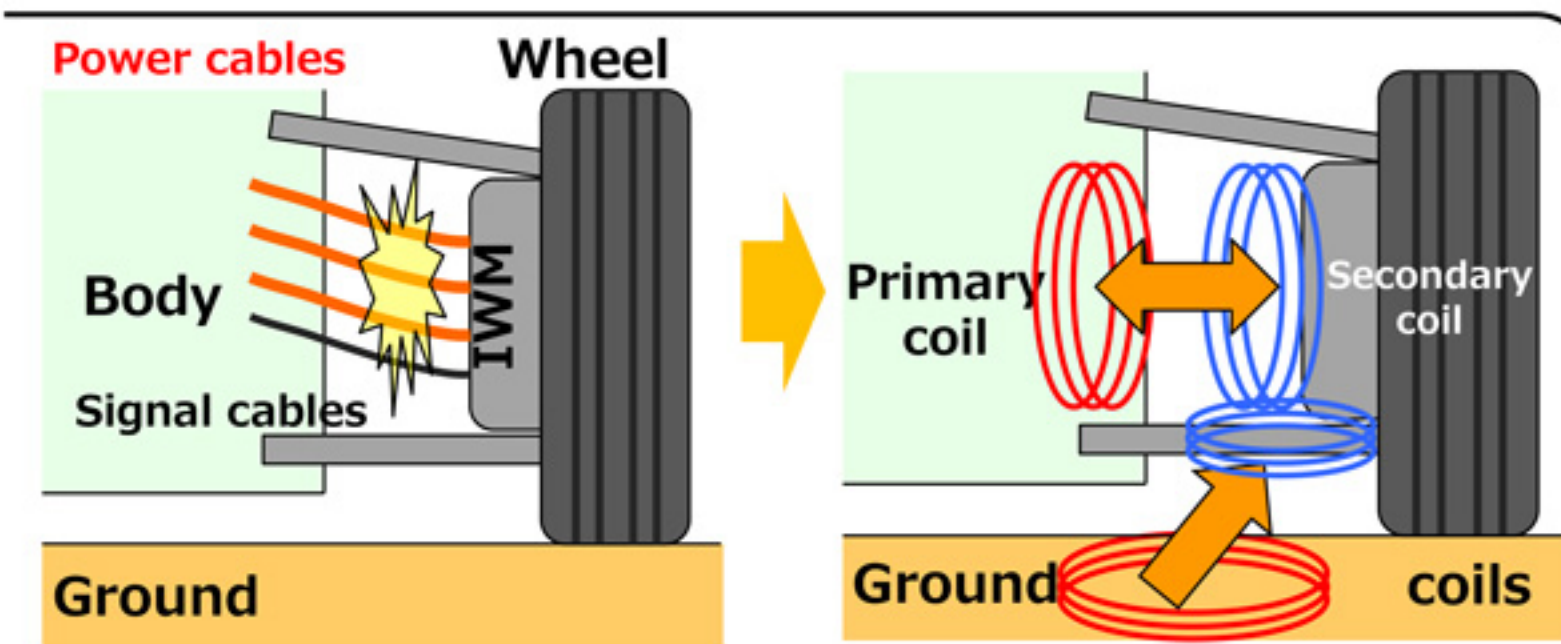
インホイールモータ

インホイールモータのメリット  
軽量化で環境性アップ  
各車輪の独立駆動力制御で安全性アップ

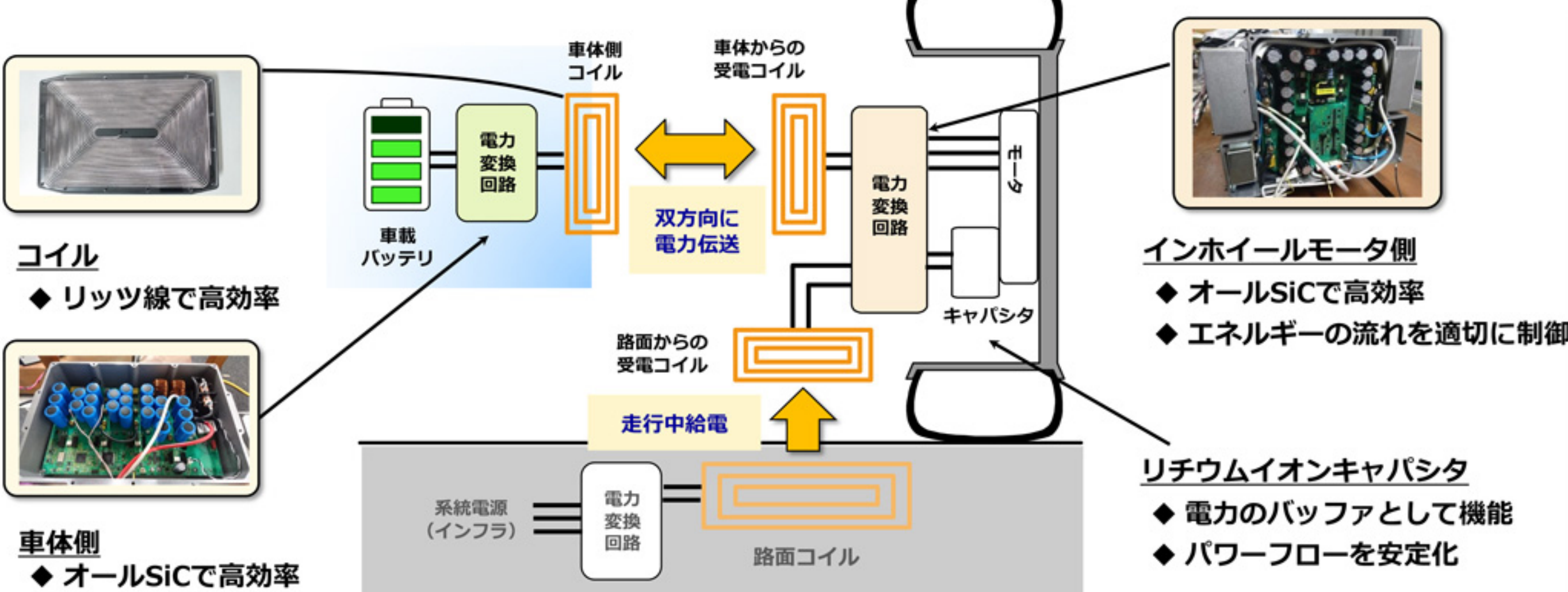
インホイールモータのデメリット  
車体ホイール間のケーブル断線リスク

## ワイヤレスインホイールモータ

車体ホイール間をワイヤレス化  
→断線リスクを解消  
路面コイルからモータへ直接給電  
→高効率な走行中給電が可能



## ワイヤレスインホイールモータの構成



パワーフローの制御 → 高出力・高効率・位置ずれにロバスト

## 制御工学の産業応用

制御工学やパワーエレクトロニクスを応用して、ナノサーボから電気自動車まで様々なテーマを幅広く扱っております。実験機を用いた理論の検証や企業や海外大学との共同研究も精力的に行っており、産業界と非常に近いところで研究しています。



古関研究室(Prof. T. KOSEKI)  
KOSEKI Laboratory

URL: <https://koseki.t.u-tokyo.ac.jp/>

学部 電気電子工学科 本郷  
大学院 工学系・電気系工学専攻

工学部2号館12F123C1 & D1  
Bldg. Eng-2 12F Room 123C1 & D1

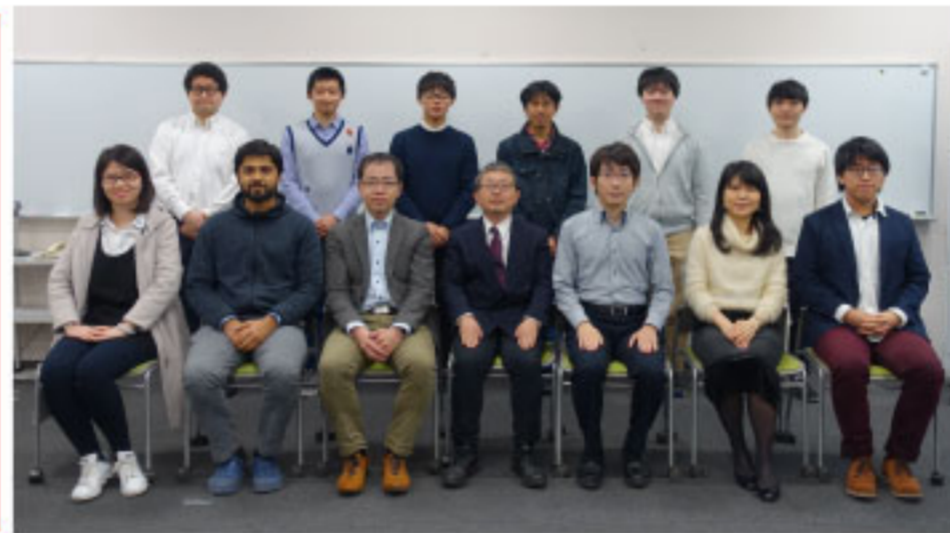
# 運ぶ科学——交通システムと電気駆動制御

## Electrical and Electronic Engineering for Intelligent Transportation Systems

リニアモータ、磁気浮上、電気鉄道のエネルギーマネージメント、自動運転など交通をはじめとする社会システムへの電気駆動、制御工学、数理工学の応用を研究する。エネルギー・制御と情報技術の融合を図り、「応用研究」という性格上、産業界との協力と論理的議論を大切に考え仕事を進める。

### 人材育成

物作りに喜びを見出す人  
自分の知識を生かし社会に貢献したい人  
学ぶことに貪欲な人  
外国人とも積極的に付き合える人  
同僚に意味のある協力ができる人

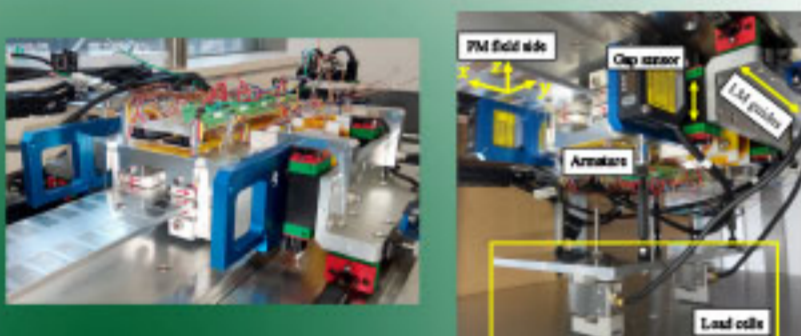


2019年度のメンバー



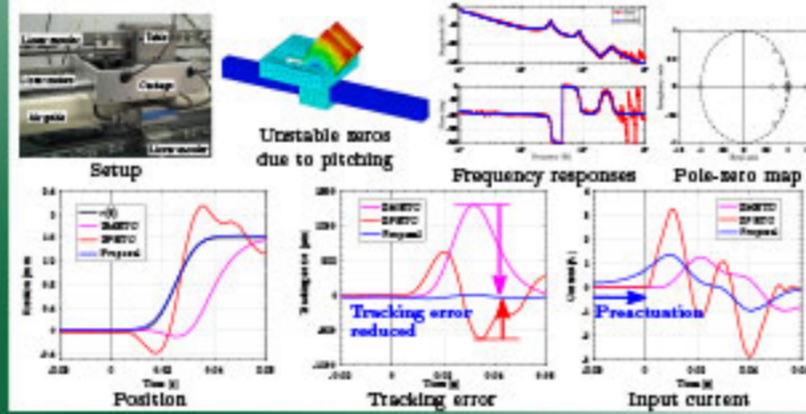
運転整理/鉄道省エネルギー運転  
3大学+JR西日本合同勉強会

### Application of control engineering



Experimental bench of a fully levitated linear synchronous drive

### Advanced Motion Control: Trajectory tracking control for plants with unstable zeros

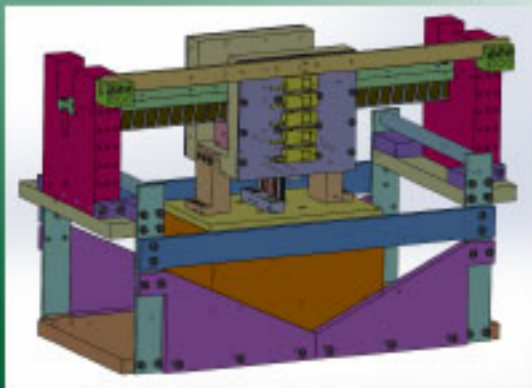


### Analysis, measurement and design of applied electromagnetics



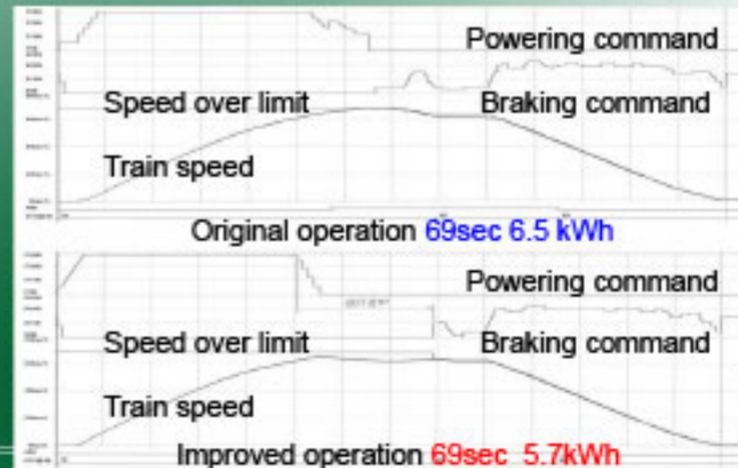
Field test of a dynamic wireless power transfer to a moving car at Saitama University (in cooperation with Prof. Kaneko.)  
Test bench of wireless power transfer (secondary coil and load)

### Disturbance estimation and compensation for non-collocated systems

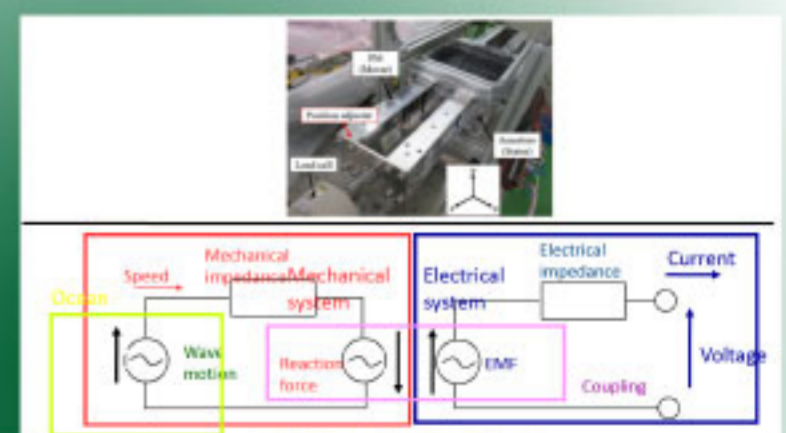


Experimental test bench with height adjustable encoder and non-collocated air actuator

### The best use of regenerative brake and energy-saving vehicle operation



### Desktop linear motor-generator set for emulating ocean power generation



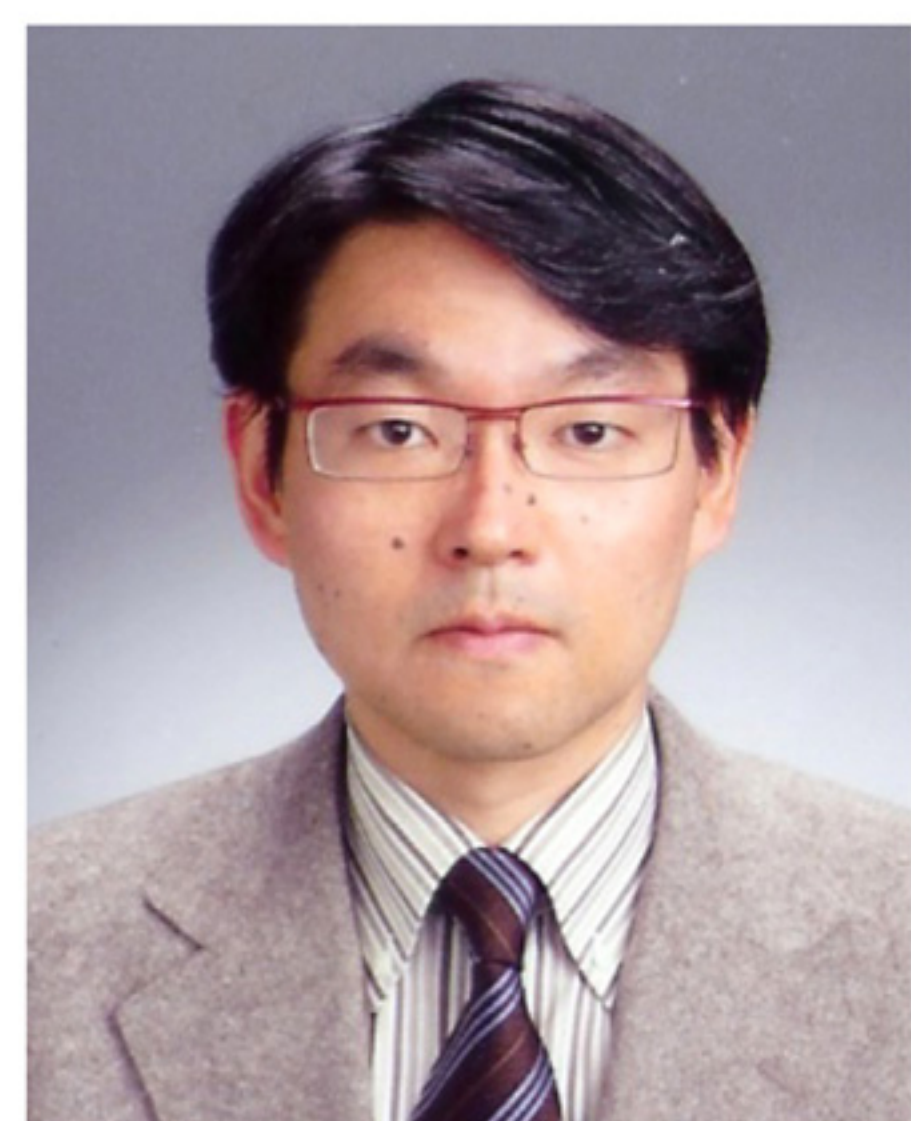
Equivalent circuit of a wave generator



## 交通における電気工学

鉄道事業者や交通関係の公的研究所、内外メーカの技術者と協力しつつ、数理計画と最適化、電磁界解析と回路計算、動的システムのモデル化と制御、運動と電気回路の理論的解析手法を応用し、磁気浮上やリニアモータの設計と運動制御、鉄道のパワーマネージメント、鉄道におけるスケジューリング等を研究しています。

# 探査ロボットで拓く月惑星探査



久保田研究室 (Prof. Takashi Kubota)

Intelligent Space Robotics

研究分野: システム制御, 宇宙分野

研究領域: 宇宙探査ロボティクス, 宇宙用人工知能, 画像理解

URL: [http://robotics.isas.jaxa.jp/kubota\\_lab/](http://robotics.isas.jaxa.jp/kubota_lab/)



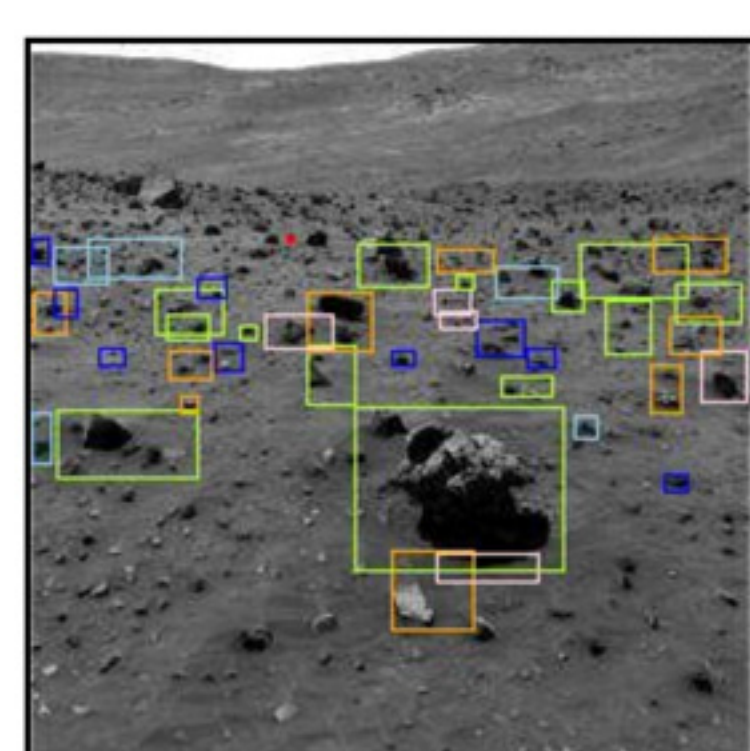
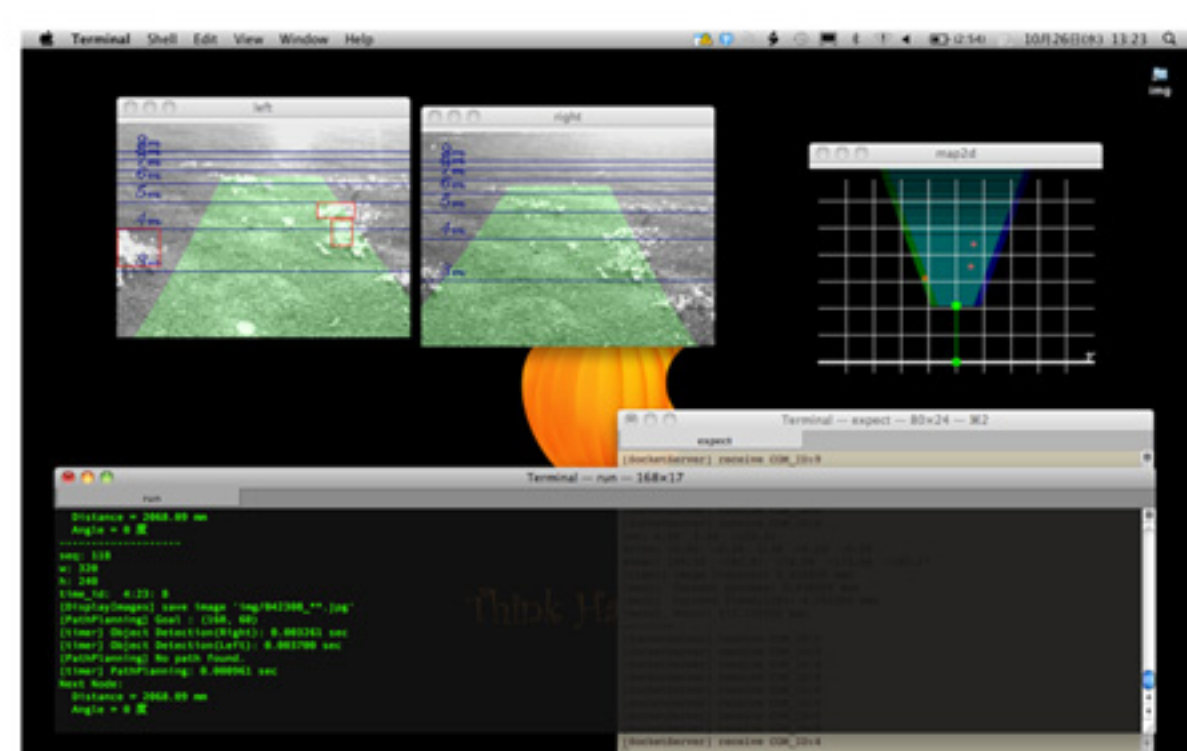
Sagamihara Campus  
Bldg. NewA  
3F Room 1357

Advanced intelligence is strongly required for spacecraft and explorer to land on and explore the surface directly, safely, reliably, and efficiently in deep space such as the moon, planets, small bodies. Kubota Lab is promoting some researches on intelligent explorer for the near future missions, SELENE-series, Hayabusa series, Mars missions, and other exploration missions. Kubota Lab. welcomes graduate students who are interested in intelligence or space robotics in lunar or planetary exploration. You can meet interesting research topics in space missions, and ISAS can provide you attractive and exciting research environment.



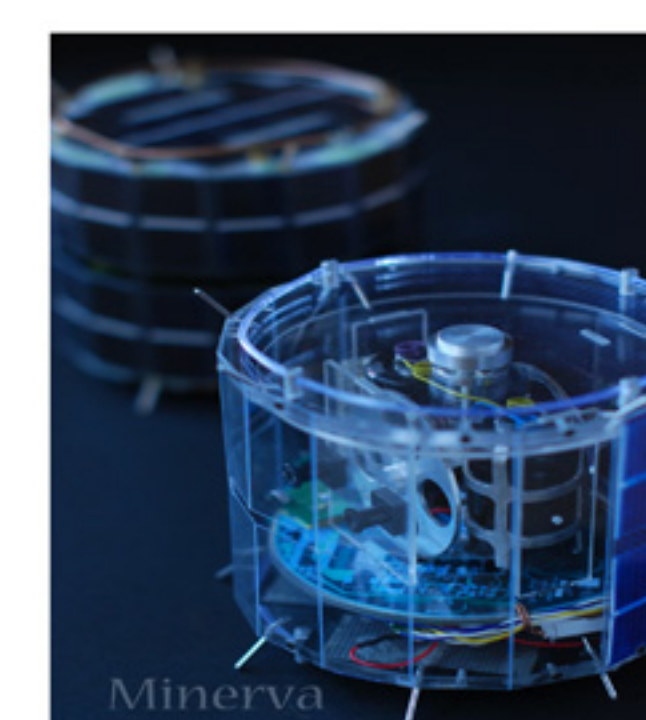
## ロボットビジョンによる環境理解

未知環境である惑星を探査するためのビジョンシステムの研究. 画像処理および環境認識の研究, マップの生成, SLAM, 障害物の抽出方法, 自然地形認識, 画像トラッキングなどの研究.



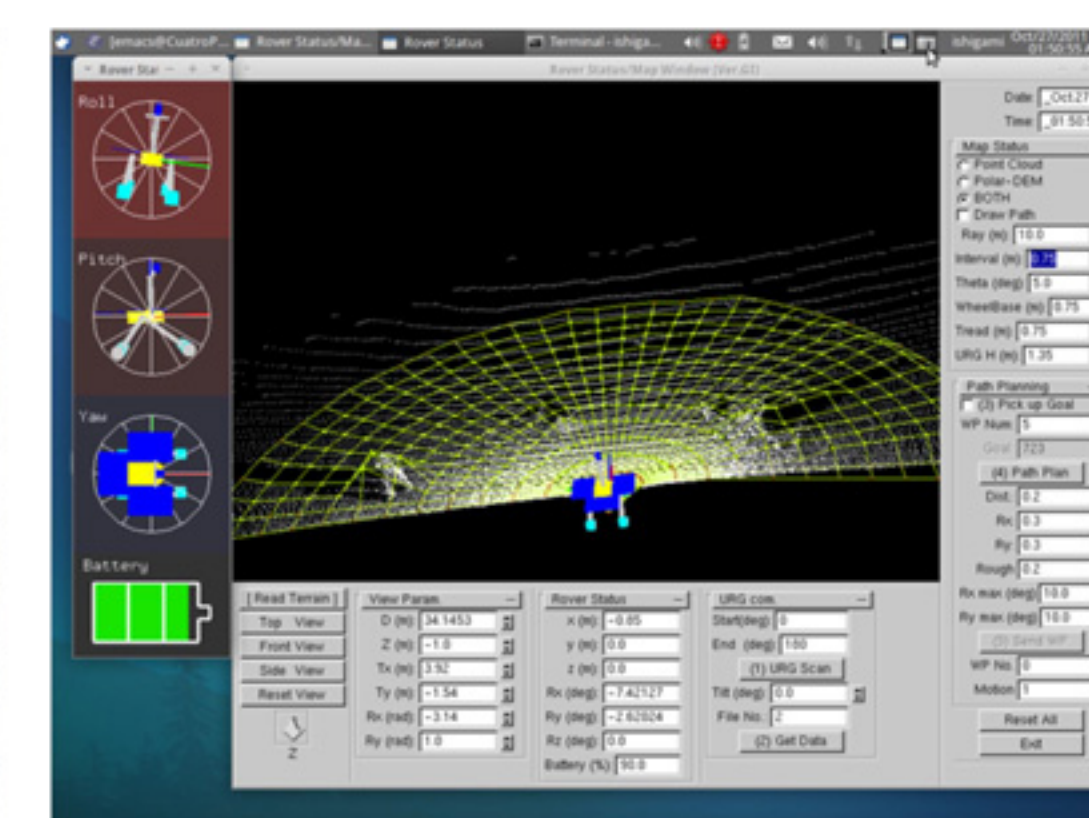
## 月惑星探査ローバの移動メカニズム

未知自然地形において走破性能の高い脚型ロボット, 地中を探査するロボット, 柔軟土壌を走行する車輪型ロボットの移動機構, 微小重力下における新移動メカニズム, 超小型軽量マイクロロボットなどの研究.



## 人工知能搭載自律探査ロボットシステム

未知環境である月, 火星, 小惑星を自律的に移動探査するための人工知能の研究, 経路計画手法, SLAM(地図生成と自己位置推定手法), 行動戦略立案手法, 自己故障診断, 行動学習, 複数ロボットによる協調探査, 群知能などの研究.



## 宇宙探査ロボティクス

当研究室では, 未知環境である月や惑星表面を, 無人探査ロボットが自律的に探査を行うための研究を進めています. 広く宇宙における人工知能・ロボティクスに興味のある学生を歓迎します. 新鮮な研究対象は, 将来ミッションの中にゴロゴロしていて, 覇気と情熱に溢れる学生にとって実に楽しい研究環境を提供しています.