

# 第60回シンポジウム「屋外における自律移動技術」レポート

日時：2010年10月29日（金）10:00～17:30

会場：中央大学駿河台記念館670号室

参加者数：84名

オーガナイザー：小野幸彦（(株)日立製作所）

## はじめに

近年、掃除ロボットや警備ロボットをはじめとした移動ロボットの活躍の場は、屋内から屋外施設、そして市街地へとますます拡大してきています。一方で、屋内に比べると、屋外における広範囲の移動では、移動制御、センシングともに、屋外環境に対する高いロバスト性を求められます。

そこで本シンポジウムでは、屋外自律移動の研究をこれから始めようとする方々や既に研究を進めている方々の一助となるよう、各分野において第一線でご活躍中の先生方をお招きしました。そして、屋外自律移動において必要となる移動制御・センシングの要素技術、実際に屋外自律移動を実現した例とその課題、さらに、産業界での応用例について御講演頂きました。当日は、総勢で84名の参加者があり、盛況なシンポジウムとなりました。

以下に、各講演についてご報告致します。

## 第1話 屋外移動ロボットにおける自律移動技術（総論）

筑波大学の坪内孝司先生に、屋外移動ロボットにおける自律移動技術（総論）について御講演頂きました。

米国におけるアーバンチャレンジや日本におけるつくばチャレンジなど、屋外において移動ロボットを自律走行させる技術は、ロボット研究の分野では次の世代の技術応用として地味ではありますが脚光をあびている分野です。屋外での自律移動ロボット走行は、環境にある対象物や環境変化の多様性が屋内に比べて増加するので、それだけ対処すべき課題も増えます。しかし、対象とする走行環境の性質をよく観察し、使用するセンサの性質をよく吟味することによって、屋外走行を実現するためには何を押さえればよいのかも明らかになってきています。本講演では、先生のおつくばチャレンジへの出場や林道における測位実験などの経験を踏まえ、屋外における自律移動ロボットの走行技術について分かりやすく解説していただきました。

## 第2話 自動車の運動力学と制御

### 第1部 運動方程式

### 第2部 運動性能と制御

日本大学の堀内伸一郎先生に、自動車の運動力学と制御の勘所をわかりやすく体系的に解説していただきました。

第1部では、車両運動の原因となるタイヤ力の発生メカニズム、線形化したタイヤモデルを用いた車両運動モデル（平面2輪モデル）の誘導方法、モデルに含まれるいくつかのパラメタの見積り方法について、順を追ってわかりやすく解説して頂きました。

第2部では平面2輪モデルを用いた運動性能の解析について説明して頂きました。ここでは、車両運動の安定条件、速度の変化に対する定常特性の変化、過渡応答特性・周波数応答特性の評価などに加え、1980年代以降に実用化されたいくつかの運動制御系（4輪操舵制御、直接ヨーモーメント制御、前輪アクティブ制御など）についても、その特徴を説明していただきました。

### **第3話 屋外自律移動のための視覚環境認識**

豊橋技術科学大学の三浦純先生に、屋外自律移動のための視覚環境認識について御講演頂きました。

屋外は人間の生活空間の一部であり、将来の生活支援ロボットにとって屋外を自由に移動できる機能は不可欠です。屋外移動のための機能は、(1)自身の周囲を広く観察して位置を推定し（大域的位置推定）、目的地に向かうためのおよその進行方向を決定する機能、および(2)自身の近傍の状況を認識し、障害物回避や道添い移動などの、安全な移動を実現するための機能の2つに大別できます。本講演では、それぞれについて、これまでの研究事例をご紹介いただきながら解説いただきました。屋外では環境の多様性や変動が屋内に比べて著しいため、それらに対処するためのロバストな手法の実現が鍵となります。

### **第4話 屋外での環境センシング技術を用いた3次元地図生成**

早稲田大学の石川 貴一郎先生に、屋外での環境センシング技術を用いた3次元地図生成について御講演頂きました。

近年、屋外環境における高精度な3次元地図に対するニーズが高まってきており、土木分野やITS、防災など様々な分野での利活用が期待されています。自律移動ロボットに使用されている位置標定技術や環境計測技術は、このような3次元地図を作成するのに必要な技術の一つです。本講演では、これらの自律移動ロボットに使用されているGPS/IMU複合航法装置やレーザレンジファインダなどのセンサを車両に搭載した移動計測車両であるMMS(Mobile Mapping System)について御紹介頂きました。MMSは走行した周囲環境の3次元データを色情報とともに高精度に計測することが可能で、道路管理台帳付図作成のための測量や、トンネル管理、災害被災地の迅速な情報収集などに使用することが可能です。講演ではMMSの概要とその応用事例について御紹介頂きました。

### **第5話 自動車の安全を支える画像認識技術**

株式会社日立製作所の志磨健先生に、自動車の安全を支える画像認識技術について御講演頂きました。

近年、自動車の分野においても環境対応の取り組みが盛んですが、依然として最も重要な課題の1つは「安全」です。事故防止や事故時の被害軽減を目的として、車に様々なセンサを搭載し外界の状態を認識することで、ドライバーへの警報や車両制御を行う予防安全システムの実用化が加速しています。本講演では、予防安全を実現する外界センシング技術について、車載カメラにフォーカスして最近の動向や取り組みを御紹介頂きました。具体的には、走行環境を三次元的に認識するステレオカメラや、ビューカメラの映像を利用した安全支援システム、処理負荷が高い画像認識タスクを車載プラットフォームでリアルタイムに動作させる技術等を御紹介頂きました。



会場の様子



第1話 坪内先生(筑波大学)



第2話 堀内先生(日本大学)



第3話 三浦先生(豊橋技術科学大学)



第4話 石川先生(早稲田大学)



第5話 志磨健先生(日立製作所)

## おわりに

屋外における自律移動では、その環境の多様性から、走行機構・制御、自己位置推定、環境認識などそれぞれにおいて非常に高いロバスト性が求められています。その結果、各々の分野でとても高度な技術レベルが要求され専門性が高まり、同じように屋外自律移動に必要な技術であっても分野が異なれば詳しくは知らないというケースも多くなってきたかと思います。

そこで、屋外自律移動技術を俯瞰する機会を作りたいと考え、本シンポジウムを企画しました。またさらに、本シンポジウムの企画には、ロボット分野の研究者の方々に、屋外での走行に関しては先達の自動車分野の技術を知る機会を作り、両者の技術交流を活発にして頂きたいとの思いもありました。

以上のような様々な思いを凝縮した結果、1日のセミナーとしては多すぎる内容になってしまいましたが、講師の先生方に非常に分かりやすくお話し頂いたおかげで、充実したシンポジウムとなったと考えております。

本シンポジウムで得たものが屋外における自律移動の研究をされている方々にご活用いただければ幸いです。

最後に、ご講演いただいた講師の先生方、会場のご提供と会場運営のサポートを頂きました中央大学の皆様、企業・大学等より多数お集まり頂きました参加者の皆様方にこの場をお借りして御礼申し上げます。

文責 小野 幸彦 (株式会社日立製作所)



## 第 60 回シンポジウム

# 屋外における自律移動技術

日時：2010 年 10 月 29 日(金) 10:00~17:30

会場：中央大学駿河台記念館 670 号室 ([http://www.chuo-u.ac.jp/chuo-u/kinenkan/index\\_j.html](http://www.chuo-u.ac.jp/chuo-u/kinenkan/index_j.html))

アクセス：JR 中央・総武線 御茶ノ水駅下車，徒歩 3 分

([http://www.chuo-u.ac.jp/chuo-u/access/access\\_surugadai\\_j.html](http://www.chuo-u.ac.jp/chuo-u/access/access_surugadai_j.html))

定員：60 名 (定員になり次第締め切ります)

参加費：会員/協賛学会員 8,400 円，学生 (一律) 4,200 円，会員外 12,600 円 (税込)

口上：近年，掃除ロボットや警備ロボットをはじめとした移動ロボットの活躍の場は，屋内から屋外施設，そして市街地へとますます拡大してきています。一方で，屋内に比べると，屋外における広範囲の移動では，移動制御，センシングともに，屋外環境に対する高いロボスタ性を求められます。本セミナーでは，屋外自律移動の研究をこれから始めようとする方々や既に研究を進めている方々の一助となるよう，屋外自律移動において必要となる移動制御・センシングの要素技術，実際に屋外自律移動を実現した例とその課題，さらに，産業界での応用例についてご講演いただきます。

オーガナイザ：小野 幸彦 (株式会社 日立製作所)

Web サイト：「日本ロボット学会主催・共催行事 最新情報」よりご確認ください。

<http://www.rsj.or.jp/events>

### 講演内容

<開会挨拶・講師紹介> 10:00~10:10

#### 第 1 話 屋外移動ロボットにおける自律移動技術 (総論)

10:10~11:10 筑波大学 坪内 孝司

米国におけるアーバンチャレンジや日本におけるつくばチャレンジなど，屋外において移動ロボットを自律走行させる技術は，ロボット研究の分野では次の世代の技術応用として地味ではあるが脚光をあびている分野である。屋外での自律移動ロボット走行は，環境にある対象物や環境変化の多様性が屋内に比べて増加するので，それだけ対処すべき課題も増える。しかし，対象とする走行環境の性質をよく観察し，使用するセンサの性質をよく吟味することによって，屋外走行を実現するためには何を押さえればよいのかも明らかになってきている。本講演では，講演者のつくばチャレンジへの出場や林道における測位実験などの経験を踏まえ，屋外における自律移動ロボットの走行技術を概観する。

#### 第 2 話 自動車の運動力学と制御

日本大学 堀内 伸一郎

本講演では自動車の運動力学と制御の勘所をわかりやすく体系的に解説する。

<1部> 11:10~12:10 運動方程式

第 1 部では，まず車両運動の原因となるタイヤ力の発生メカニズムを説明する。その後，線形化したタイヤモデルを用い，車両運動を剛体の平面運動と見なした線形モデル (平面 2 輪モデル) を誘導する。また，モデルに含まれるいくつかのパラメータの見積り方法についても触れる。

<休憩 (昼食)> 12:10~13:10

<2部> 13:10~14:10 運動性能と制御

第 2 部では平面 2 輪モデルを用いた運動性能の解析について説明する。車両運動の安定条件，速度の変化に対する定常特性の変化，過渡応答特性・周波数応答特性の評価などについて述べる。最後に，1980 年代以降に実

用化されたいくつかの運動制御系 (4 輪操舵制御，直接ヨーモーメント制御，前輪アクティブ制御など) について，その特徴を簡単に説明する。

#### 第 3 話 屋外自律移動のための視覚環境認識

14:10~15:10 豊橋技術科学大学 三浦 純

屋外は人間の生活空間の一部であり，将来の生活支援ロボットにとって屋外を自由に移動できる機能は不可欠である。屋外移動のための機能は，(1)自身の周囲を広く観察して位置を推定し(大域的推定)，目的地に向かうためのおよその進行方向を決定する機能，および(2)自身の近傍の状況を認識し，障害物回避や道添い移動などの，安全な移動を実現するための機能の 2 つに大別できる。本講演では，それぞれについて，これまでの研究事例を紹介しながら解説する。屋外では環境の多様性や変動が屋内に比べて著しいため，それらに対処するためのロボスタな手法の実現が鍵となる。

<休憩> 15:10~15:30

#### 第 4 話 屋外での環境センシング技術を用いた 3 次元地図生成

15:30~16:30 早稲田大学 石川 貴一郎

近年，屋外環境における高精度な 3 次元地図に対するニーズが高まってきており，土木分野や ITS，防災など様々な分野での利活用が期待されている。自律移動ロボットに使用されている位置標定技術や環境計測技術は，このような 3 次元地図を作成するのに必要な技術の一つである。本講演では，これらの自律移動ロボットに使用されている GPS/IMU 複合航法装置やレーザレンジファインダなどのセンサを車両に搭載した移動計測車両である MMS (Mobile Mapping System) について紹介する。MMS は走行した周囲環境の 3 次元データを色情報とともに高精度に計測することが可能であり，道路管理台帳付図作成のための測量や，トンネル管理，災害被災地の迅速な情報収集などに使用することが可能である。講演では MMS の概要とその応用例について紹介する。

#### 第 5 話 自動車の安全を支える画像認識技術

16:30~17:30 日立製作所 志磨 健

近年，自動車の分野においても環境対応の取り組みが盛んであるが，依然として最も重要な課題の 1 つは「安全」である。事故防止や事故時の被害軽減を目的として，車に様々なセンサを搭載し外界の状態を認識することで，ドライバーへの警報や車両制御を行う予防安全システムの実用化が加速している。今回は，予防安全を実現する外界センシング技術について，車載カメラにフォーカスして最近の動向や取り組みを紹介する。具体的には，走行環境を三次元的に認識するステレオカメラや，ビューカメラの映像を利用した安全支援システム，処理負荷が高い画像認識タスクを車載プラットフォームでリアルタイムで動作させる技術等を紹介する。

<閉会挨拶> 17:30 ~ 17:35