

不整地移動ロボティクス

永谷 圭司【編著】

石上 玄也

遠藤 大輔

永岡 健司

遠藤 玄【共著】

程島 竜一

亀川 哲志

田中 基康

コロナ社

まえがき

本書は、不整地移動機構や不整地移動ロボットの制御について体系的に解説するテキストである。特に、この分野の専門的な知識の習得を考える学生や研究者、企業の技術者の方々を対象に構成している。

車輪やクローラ、脚、ヘビ型などのさまざまな不整地移動ロボットの研究は、その形態や環境に合わせて、ロボット研究の黎明期より継続的に行われてきた。しかしながら、これらのトピックについて、ハンドブックなどで個々に触れられることはあっても、『不整地移動ロボット』として体系的に扱ったテキストはこれまで皆無であった。そもそも「不整地」という言葉自体がとても曖昧で、おのおのの分野によって定義がまちまちであったことも、その原因の一つである。

そこで本書では、まず第0章（石上 玄也氏 担当）にて、不整地の幾何学形状と表面構成要素やその規模、ロボットの作業環境に注目し、「不整地の定義および分類」を行った。この定義付けは非常にチャレンジングな試みであり、異論が出てくる可能性もあるが、この章を置くことで「不整地移動」について俯瞰^{ふくかん}することができ、その体系化が可能になったと考えている。

続く第1章（遠藤 大輔氏、永岡 健司氏 担当）では、「車輪型/クローラ型ロボット」について、機構・力学・制御の視点から解説した。第2章（遠藤 玄氏、程島 竜一氏 担当）では、「脚型ロボット」について、脚型ロボットの基礎から、ロボットを構成するハードウェアや計画に基づく運動制御、さらには多様な運動制御法まで解説した。また、第3章（亀川 哲志氏、田中 基康氏 担当）では、「ヘビ型ロボット」に関して、その特徴や運動計画、運動制御について説明し、不整地におけるその動作や、ヘビ型の移動機構が有する問題分析とその解決方法について議論を行った。

いずれの章の執筆者も、各機構や制御に関する研究分野の若手フロントランナーである。そのため、古典的な機構や制御の解説の枠を超えて、最近のトレンドについても触れている。そこで、本書にて興味が深まり、さらに先を学びたいという方は、ぜひ引用・参考文献をご参照いただきたい。また、章や節の終わりごとに、コラムをいくつか挿入した。不整地移動ロボットの研究開発現場で起こりうる諸問題をはじめ、本文に掲載しきれなかったちょっとしたトピックを Tea break 的に掲載している。じつはこんなこぼれ話にこそ、面白さが隠れていると思うので、のんびりご覧いただければ幸いです。

不整地におけるロボット技術の活用は、建設業や農業の自動化、災害対応や宇宙開発などのさまざまな分野で、今後も大きく期待されている。そのため、それらを支える不整地移動に関する研究開発は、これからの未来、ますます重要になっていくだろう。

本書のタイトルである「不整地移動ロボティクス」は、近い未来にそのような学問分野をカバーするワードとなることを期待して命名したものである。じつは本書執筆中の段階では、Google 検索にてわずか4件しかヒットしなかったワードでもある。だが、これから先の未来、「不整地移動ロボティクス」というこのワードがロボット研究に携わる方々にとって、ごく当たり前の聞き慣れたものとなることを期待している。不整地移動ロボティクスの今後のさらなる発展と、これを最大限に活用した「人々の役に立つ技術」が、これからも創造され続けることを心から願う。

2023年10月

編著者 永谷 圭司

目 次

0. 不整地の定義

0.1 不整地の定義と分類	1
0.2 不整地におけるロボットの移動形態	3
0.2.1 不整地とロボットの移動特性	4
0.2.2 不整地におけるロボットの移動不能状態	8
0.3 ま と め	9
引用・参考文献	9

1. 車輪型 / クローラ型ロボット

1.1 車輪型 / クローラ型ロボットの概論	15
1.1.1 概 要	15
1.1.2 ロボットの機構構成	16
1.1.3 移 動 機 構	17
1.1.4 移動機構配置	19
1.1.5 整地・不整地への適用	20
1.2 車輪型 / クローラ型ロボットの整地移動	21
1.2.1 整地走行の基礎力学	21
1.2.2 運動学と制御の基礎理論	23
1.2.3 運動学に基づく経路追従制御	30
1.3 車輪型 / クローラ型ロボットにおける不整地移動の力学	33
1.3.1 不整地走行のための機構と運動学	33
1.3.2 斜面走行の力学	37
1.3.3 段差走行の力学	39
1.3.4 凹凸路・狭隘路走行の力学	46
1.3.5 軟弱地盤走行の力学	47
1.4 車輪型 / クローラ型ロボットによる不整地走行制御	65
1.4.1 各障害現象とその定義	65

1.4.2 各障害現象に対する制御上の戦略	66
1.4.3 不整地走行制御の具体例	68
1.5 ま と め	78
引用・参考文献	78

2. 脚型ロボット

2.1 脚型ロボットの概要	83
2.1.1 脚型ロボットの例	84
2.1.2 脚型ロボットの脚数	85
2.2 脚型ロボットの基礎理論	87
2.2.1 脚型ロボットの用語	87
2.2.2 歩 容	88
2.2.3 静的安定余裕	90
2.2.4 歩 行 速 度	93
2.2.5 静歩行と動歩行	94
2.2.6 動的安定性と ZMP	94
2.3 脚型ロボットの機構・駆動・知覚	97
2.3.1 関 節 配 置	97
2.3.2 関 節 駆 動 系	98
2.3.3 アクチュエータ・減速機	100
2.3.4 関節のバックドライバビリティ	101
2.3.5 直列弾性アクチュエータ	103
2.3.6 重力分離駆動と干渉駆動	104
2.3.7 油 圧 駆 動	107
2.3.8 脚 先 機 構	108
2.3.9 セ ン サ	109
2.4 脚型ロボットの計画に基づく運動制御	112
2.4.1 歩行ロボットのモデル化	112
2.4.2 ZMP を用いた動的トロット歩容	113
2.4.3 関 節 制 御	115
2.4.4 歩行ロボット制御の理想と現実	116
2.4.5 制 御 シ ス テ ム	117
2.4.6 脚先力制御の必要性	118
2.4.7 インピーダンス制御	120

2.4.8	脚先位置制御を基本としたアドミッタンス制御	121
2.4.9	脚支持力フィードフォワード制御	122
2.4.10	スカイフックサスペンション制御	123
2.4.11	歩容制御	124
2.4.12	領域設定法と基準収束型適応歩容	125
2.5	脚型ロボットの多様な制御法	127
2.5.1	ステートマシン	127
2.5.2	中枢パターン生成器	128
2.5.3	ばね式倒立振り制御	131
2.5.4	仮想モデル制御	132
2.5.5	モデル予測制御	133
2.5.6	全身運動制御	137
2.5.7	段差の移動の実装例	140
2.5.8	斜面の移動の実装例	143
2.6	ま と め	144
付録	： 全身運動制御の典型的な制御技術	145
引用・参考文献		150

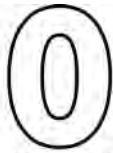
3. ヘビ型ロボット

3.1	ヘビ型ロボットの概要	155
3.1.1	生物のヘビとヘビ型ロボット	155
3.1.2	ヘビ型ロボットの分類と特徴	156
3.1.3	ヘビ型ロボットの推進原理と移動形態	158
3.1.4	ヘビ型ロボットの制御方策	160
3.2	ヘビ型ロボットの運動計画	161
3.2.1	サーペノイド曲線に基づいた横うねり運動	161
3.2.2	曲率微分制御	163
3.2.3	フレネ・セレの3次元曲線表現に基づく形状設計	165
3.2.4	連続曲線に合わせた関節角度の算出	167
3.2.5	単純形状の連結による複雑曲線の表現	167
3.2.6	シフト動作	169
3.3	モデルベース制御	170
3.3.1	車輪による拘束と運動学モデル	171
3.3.2	制御入力	173

3.3.3	先頭の3次元制御	176
3.3.4	段差昇降制御	176
3.3.5	力学モデルとその活用方法	178
3.4	適応的な運動制御	180
3.4.1	CPGを適用した周期運動	180
3.4.2	反射的振る舞いによる障害物利用推進	182
3.5	不整地とヘビ型ロボット	184
3.5.1	動作先導部の選択と目標地点への到達方法	185
3.5.2	不整地における推進力の発生方法	186
3.5.3	不整地における適応方針	187
3.5.4	不整地で生じる問題とその解決方法	188
3.6	実装例	191
3.6.1	クローラゲート	192
3.6.2	螺旋捻転運動をするヘビ型ロボット	195
3.6.3	運動学モデルによる複数面移動	201
3.6.4	能動車輪型の3次元操舵と環境適応	202
3.7	まとめ	206
	引用・参考文献	206

索 引	213
-----	-----

コラム1	不整地移動ロボットのコラム概要	10
コラム2	役に立つロボットを創るために必要なこと	11
コラム3	不整地移動ロボットと熱環境	21
コラム4	電源とバッテリー	34
コラム5	トラフィカビリティ	64
コラム6	ロボットの無線通信	82
コラム7	目立たず地味だが必要不可欠なケーブル・配線	86
コラム8	ハーネスとポッティング処理	111
コラム9	コンビネーション型の機構紹介	149
コラム10	不整地移動ロボットの防塵と防水	162
コラム11	不整地移動ロボットの輸送	179
コラム12	フィールド実験の重要性とその準備	212



不整地の定義

ロボット工学の黎明期から現在に至るまで、多様な作業環境を想定した移動ロボットの研究開発および現場実装が行われてきている。ロボットの代表的な事例として、生産ラインや倉庫、あるいは生活支援、警備や清掃など、省力化・省人化・業務代替を目的としたサービスロボットや、人間が立ち入ることが困難な環境、火山地帯、災害地、プラント、月惑星などにおいて作業を遂行するフィールドロボットなどがある。サービスロボットは、比較的平坦でかつ十分固い素材で構成された路面上を移動する場合がほとんどであり、そのような環境における勾配や段差は、ロボットの移動に著しく影響を与えるほどではない。一方、フィールドロボットが移動する路面は多種多様であり、これらは概して、**不整地** (rough terrain) と呼ばれている。一般的な国語辞典によると、不整地とは「整地されていない地形」と定義されており、また、英英辞典に記載されている rough terrain を意識すれば「非平坦、凹凸があり、表面が石や草木に覆われている地形」と紹介されている。これら不整地は、路面の幾何学形状をはじめ、表面特性や構成要素が多様であり、さらに路面そのものが動的に変動する、あるいは物性そのものが変化する場合もある。

移動ロボットは、人や移動体、障害物を含むロボット周囲の環境認識やロボット自身の位置同定 (自己位置推定) を行いながら、移動すべき経路の生成・計画を実行し、ロボットに課せられた作業やミッションを遂行する必要がある。前述のサービスロボットが移動および作業する環境は、整地された路面や整然と並んだ棚、収納ラックから構成されており、**構造化された環境** (structured environments) と呼ばれる。一方、不整地を移動するフィールドロボットにおいては、^{がれき}瓦礫や砂、段差、非一様な形状が混在する障害物環境、すなわち**非構造化された環境** (unstructured environments) である。よって不整地において安全かつ確実に作業を遂行するためには、移動ロボットの根幹である移動メカニズムそのものの力学現象や制御を解き明かさなければならない。

そこで本書は、不整地環境における移動ロボットの機構や力学、制御を広範に扱うことを主眼としている。本章はその序論として、不整地の幾何学形状や表面構成要素について、ロボットの作業環境とその規模とを関連付けながら分析し、本書で扱う「不整地」を定義する。さらに、移動ロボットの代表的な移動形態として、車輪型、クローラ型、脚型、ヘビ型という四つの形態を取り上げ、これらが一般的に採用される不整地環境とその理由について、ロボットの移動性能を主軸に解説するとともに、各移動形態が直面する移動不能状態についても概説し、次章以降にて扱う力学体系、運動学、制御への導入を行う。

0.1

不整地の定義と分類

ロボットの代表的な作業環境における不整地の特徴を表 0.1 に列挙した。本書では、不整地の主たる特徴として、幾何学形状と表面構成要素に分類している。幾何学形状は、その名のと

表 0.1 作業環境と不整地の特徴, 幾何学形状および表面構成要素

不整地の特徴	作業環境					
	プラント	災害地	建設現場	農林山間地	火山・砂漠	月惑星
幾何学形状	斜面 凹凸	斜面 凹凸	斜面 凹凸 崖	斜面 凹凸 崖	斜面 凹凸 崖	斜面 凹凸 崖
	狭隘 階段・段差	狭隘 階段・段差	狭隘 階段・段差	狭隘 階段・段差	段差	段差
表面構成要素	コンクリート 金属	木材・瓦礫 岩石・砂利 金属・植生 土砂・泥	木材 岩石・砂利 金属・植生 土砂・泥	木材 岩石・砂利 植生 土砂・泥	岩石・砂利 植生 土砂・泥 水・雪	岩石・砂利 土砂
	油・水	油・水・雪	油・水・雪	水・雪		

おり, 形状そのものが水平・平坦ではなく, ロボットの移動を阻害する形状を有しているものである。また, 斜面や崖などロボット本体よりも十分大きなスケールにて不整地形状を呈しているものと, 段差や凹凸地形という, 多くの場合においてロボット本体よりは小さいがロボットの移動機構(例: タイヤ径, 脚先端)に対しては大きい形状に大別される。本章では, それぞれの形状について定量的に定義はしない。しかしながら, 例えば, プラントにおける斜面は緩やかな傾斜通路(スロープ)で構成されているが, 自然地形の斜面は岩石など凹凸形状も混在する斜面であることは容易に想像ができる。よって, 同じ種類の不整地の形状であっても, 人工的であるか, あるいは自然発生したかにより, その具体的な様相が異なることは明白である。

また, 表には, 幾何学形状の表面そのものを構成する要素も列挙している。この表面構成要素は, 木材や瓦礫, 岩石といった構成要素自体は変形しないものの, ロボットの接触に伴ってこれら要素が大きく移動してしまう場合や, 砂や泥のように構成要素となる粒自体は小さいものの, 不整地表面を広範に覆っているため, マクロな視点では構成要素自体が変形してしまう場合などが考えられる。例えば, 瓦礫や岩石が散在する路面をゴムタイヤで走行することを仮定すると, タイヤが接地面において変形しつつ, 瓦礫自体が車両後方へと押し出される場合がある。また, 細かい砂に覆われた地面をタイヤで走行する際には, タイヤによって砂が踏みしめられ, 締め固め変形を生じて^{わだち}轍が生成される。このように, 構成要素の変形については, 移動機構に対する剛性の観点からも考慮する必要がある。また, 雪や氷についても力学的作用によって圧雪あるいは氷解するといった相変化を生じる場合もある。

以上より, 「不整地とは, 幾何学的な形状およびその表面を覆う構成要素や特性によって著しく移動や作業に困難を伴う地形」と定義することができる。ただし, 幾何学形状を示す代表的なパラメータである斜度や凹凸度, あるいは表面構成要素の摩擦係数や路面硬さといった機械的性質のみで不整地を定義することは難しい。なぜならば, 本書の次章以降で扱うように, ロボットの移動機構形状や機械的特性と, これらパラメータが相互に依存してロボットの移動性能を決定しているからである。よって本書では, ロボットが用いられる作業環境に加え, 不整地の規模(あるいは構成要素の大きさ)を軸として, これらの環境がどのような形状・要素か

ら構成されているかという点で、不整地を図 0.1 に示すように定性的に分類した。図より、作業環境の複雑さに伴って不整地の特徴のスケールは小さくなること、また、不整地を構成する特徴は、不整地の規模が大きくなるに従って、幾何学形状から表面構成要素が支配的となるとともに、人工物から自然物へと移行することがわかる。次節では、この分類図を基にロボットの移動形態について論じていく。

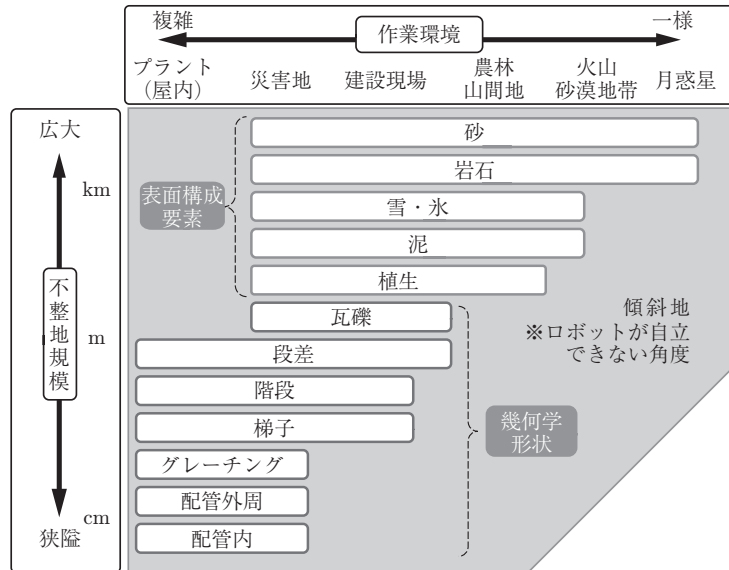


図 0.1 不整地の定義：作業環境と不整地規模、不整地特徴による分類図

0.2 不整地におけるロボットの移動形態

ロボット工学分野では、不整地で作業するロボットの移動形態として、おもに車輪型、クローラ型、脚型、ヘビ型の研究開発がなされており、さまざまな実フィールドへと展開されている。これらの移動形態は、例えば斜度や狭隘^{きょうあい}さといった不整地の特徴、あるいはロボットの転倒やスタックといった移動リスクの最小化の観点に基づいて、それぞれの環境に適したものが選択されてきた。さらに、実際の現場やユースケースにおいてロボットに課せられる作業ニーズに対応可能であること、また移動に要するエネルギー効率やメンテナンス性、耐故障性が十分であることなど、さまざまな観点から移動機構が選択されてきている。しかしながら、表 0.1 や図 0.1 にまとめたような不整地の特徴に対するロボットの移動形態について、その関係を明示的にまとめた事例はほとんどない。

よって本節では、任意の不整地環境に適合するロボットの移動形態について、不整地の幾何学形状、表面構成要素、不整地の規模と作業環境に加え、ロボットの移動特性、起こりうる移動不能状態という点から、上述の四つの移動形態と不整地環境について体系的に解説する。

0.2.1 不整地とロボットの移動特性

図 0.1 にまとめた不整地の分類図上に、各作業環境で頻繁に用いられているロボットの移動形態を図示したものを図 0.2 に示す。図を俯瞰すると、作業環境が一様でかつその規模が大きいかほど車輪型が選択され、作業環境の複雑さに伴ってクローラ型、規模が小さくなるに従って脚型が選択されている。さらには狭隘な作業環境に至ってはヘビ型が用いられている。以下に、これらの選択理由について解説する。

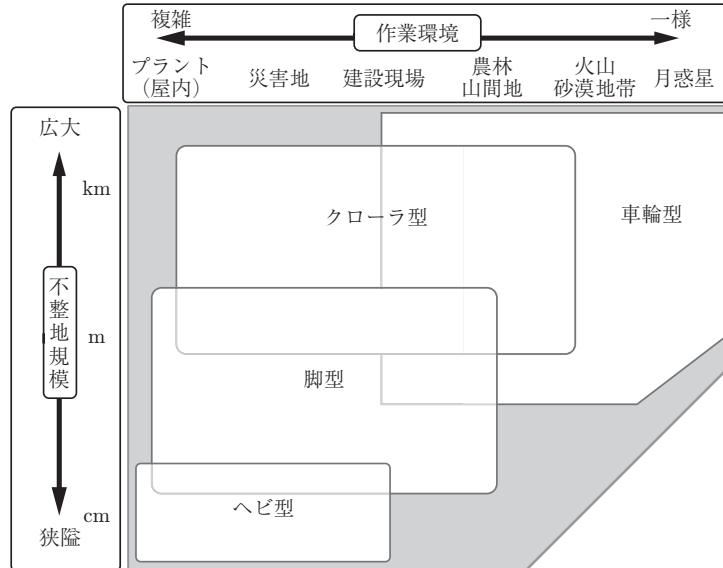


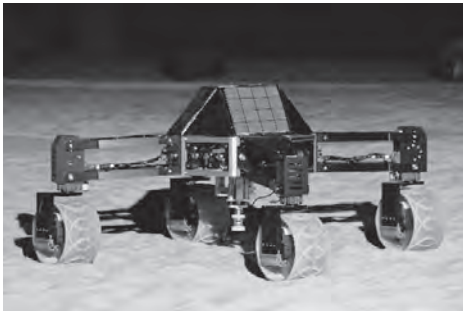
図 0.2 不整地とロボットの移動形態の相関図

〔1〕車輪型 車輪型ロボット (wheeled robot, 図 0.3) は、その名のとおりに、車輪・タイヤによって推進力を得る移動形態である。車輪機構自体は紀元前より物資運搬車両に使用された記録があり、その機構の簡易さに加え、単位入力エネルギー当りの移動可能距離、すなわち走行効率（あるいは燃費）が高いことが長所として挙げられる。一方で、凹凸や段差の走行に適しておらず、静力学の理論的な観点では、車輪の半径以上の段差は乗り越えることができないとされる。また車輪のスリップやスタックに代表されるとおり、一様な地面であっても表面構成要素によっては移動不能状態に陥る危険性がある。スリップ回避のために車輪そのものの形状や表面特性を変える、あるいはタイヤであれば内部の空気を減圧すること（低圧タイヤ）で不整地での走行性能の向上を実現している。以上のような理由から、不整地の幾何学形状が比較的一様であり、かつ広大な環境を長距離移動する形態として車輪型が採用されている。

〔2〕クローラ型 クローラ型ロボット (tracked robot) は、油圧ショベルに代表される建設車両の移動機構に利用されている。履板と呼ばれるクローラシューが連結した機構（履帯）をスプロケットやアイドルに沿って回転させることで接地面での推進力を得ており、無限軌道とも呼称される。図 0.4 に示すとおり、連結された履板部分が不整地面と比較的広い接触面積

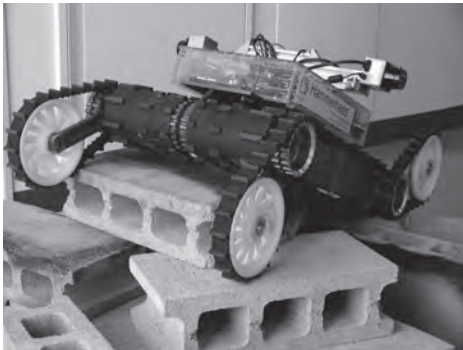


- (a) Cuatro：4輪独立駆動・独立操舵，20°の斜面登坂が可能。パラレルリンクを用いたサスペンション。火山探査や自律移動試験をはじめとしたテストベッド(画像提供：慶應義塾大学)



- (b) M³Rover^{1)†}：本体から等方的に伸展したアクティブサスペンション先端に操舵走行モジュールが配置されており，計12自由度を有する。本体中央には多様なツールを格納できるスペースを有している(画像提供：慶應義塾大学)

図 0.3 車輪型ロボット



- (a) Kenaf²⁾：スキッドステアを可能とする対向クローラを有し，その前後のスプロケットとプーリの外側に計4本の独立駆動サブクローラを有する。ベース投影面の90%以上が履帯に覆われているため，瓦礫上でもスタックしにくい。



- (b) 土工用20t級油圧ショベル：対向配置されたクローラベース上にスイング，ブーム，アーム，バケットの4関節を有する。登坂能力35°，自動施工の研究開発用プラットフォームとして活用できるように，無線通信システムや外部システムからの制御用の信号入出力機を有する形に改造されている(画像提供：土木研究所)

図 0.4 クローラ型ロボット

† 肩付き数字は章末の引用・参考文献の番号を表す。

索引

<p style="text-align: center;">【あ】</p> <p>アッカーマン型ステアリング (Ackerman steering) 28</p> <p>安定余裕 (stability margin) 39, 88</p> <p style="text-align: center;">【い】</p> <p>位相 (relative phase) 88</p> <p style="text-align: center;">【か】</p> <p>仮想脚 (virtual leg) 132</p> <p>仮想モデル制御 (virtual model control) 132</p> <p>干渉駆動 (coupled drive) 104</p> <p style="text-align: center;">【き】</p> <p>軌道計画 (trajectory planning) 24</p> <p>軌道追従 (trajectory following/tracking) 24</p> <p>脚型ロボット (legged robot) 6</p> <p style="text-align: center;">【く】</p> <p>クローラ型ロボット (tracked robot) 4</p> <p>クローラゲート (crawler gait) 192</p> <p style="text-align: center;">【け】</p> <p>経路計画 (path planning) 24</p> <p>経路追従 (path following/tracking) 24</p> <p style="text-align: center;">【こ】</p> <p>構造化された環境 (structured environments) 1</p> <p>後退ホライズン制御 (receding horizon control) 134</p> <p>コーン指数 (cone index) 64</p>	<p style="text-align: center;">【さ】</p> <p>索状能動体 (active cord mechanism) 156</p> <p>サブクローラ (sub-track) 36</p> <p style="text-align: center;">【し】</p> <p>自己位置推定 (localization) 24</p> <p>支持脚 (support leg) 87</p> <p>支持脚多角形 (supporting leg polygon) 88</p> <p>支持脚領域 (supporting leg area) 88</p> <p>車輪型ロボット (wheeled robot) 4</p> <p>周期的歩容 (periodic gait) 87</p> <p>終端コスト (terminal cost) 135</p> <p>自由歩容 (free gait) 87</p> <p>重力分離駆動 (gravitationally decoupled actuation) 104</p> <p style="text-align: center;">【す】</p> <p>ステージコスト (stage cost) 135</p> <p>ステートマシン (state machine) 127</p> <p>スリップ率 (slip ratio) 22</p> <p style="text-align: center;">【せ】</p> <p>正規化エネルギー安定余裕 (normalized energy stability margin) 92</p> <p>ゼロモーメントポイント (zero moment point) 95</p> <p>全身運動制御 (whole body control) 137</p> <p style="text-align: center;">【た】</p> <p>対称アフィン系 (symmetric affine system) 26</p> <p>対称歩容 (symmetric gait) 88</p> <p>縦安定余裕 (longitudinal stability margin) 88</p>	<p style="text-align: center;">【ち】</p> <p>地図作成 (mapping) 24</p> <p>中枢パターン生成器 (central pattern generator) 128</p> <p>直列弾性アクチュエータ (serial elastic actuator) 103</p> <p style="text-align: center;">【て】</p> <p>抵抗力理論 (resistive force theory) 61</p> <p>デューティ比 (duty factor) 88</p> <p>テラメカニクス (terramechanics) 48</p> <p>点接地 (point contact) 112</p> <p style="text-align: center;">【と】</p> <p>トラフィカビリティ (trafficability) 64</p> <p style="text-align: center;">【に】</p> <p>二次計画法 (quadratic programming) 137</p> <p style="text-align: center;">【の】</p> <p>ノンホロノミック拘束 (nonholonomic constraint) 24</p> <p style="text-align: center;">【は】</p> <p>バイシクルモデル (bicycle model) 28</p> <p>バックドライバビリティ (backdrivability) 101</p> <p>ばね式倒立振り子制御 (spring loaded inverted pendulum) 131</p> <p style="text-align: center;">【ひ】</p> <p>引き込み (entrainment) 129</p> <p>非構造化された環境 (unstructured environments) 1</p> <p style="text-align: center;">【ふ】</p> <p>不整地 (rough terrain) 1</p>
--	---	---

【へ】		【も】		レギュラー歩容 (regular gait) 88
ヘビ型ロボット (snake-like robot)	7	モデル化 (modeling)	112	劣駆動システム (underactuated system) 25
ヘビロボット (snake robot)	7	モデル予測制御 (model predictive control)	133	【ろ】
【ほ】		【ゆ】		ロッカーボギーサスペンション機構 (rocker-bogie suspension mechanism) 33
歩容 (gait)	87	遊脚 (swing leg)	87	
【む】		【れ】		
無質量脚 (massless leg)	112	零空間 (null space)	138	

【A】		【N】		【S】	
ACM	156	NE 安定余裕 (NE stability margin)	92	SEA	103
【C】		【P】		SLIP	131
CD	104	Pure-Pursuit 法	32	【V】	
CPG	128	【Q】		VMC	132
【G】		【R】		【W】	
GDA	104	QP	137	WBC	137
【M】				【Z】	
MPC	133	RFT	61	ZMP	95

—— 編著者・著者略歴 ——

- | | |
|---|---|
| 永谷 圭司 (ながたに けいじ) | 石上 玄也 (いしがみ げんや) |
| 1997年 筑波大学大学院工学研究科博士課程修了(電子情報工学専攻), 博士(工学) | 2008年 東北大学大学院工学研究科博士後期課程修了(航空宇宙工学専攻), 博士(工学) |
| 2019年 東京大学特任教授 現在に至る | 2017年 慶應義塾大学准教授 現在に至る |
| 遠藤 大輔 (えんどう だいすけ) | 永岡 健司 (ながおか けんじ) |
| 2017年 東北大学大学院工学研究科博士後期課程修了(航空宇宙工学専攻), 博士(工学) | 2011年 総合研究大学院大学物理科学研究科5年一貫博士課程修了(宇宙科学専攻), 博士(工学) |
| 2023年 国立研究開発法人土木研究所主任研究員 現在に至る | 2023年 九州工業大学教授 現在に至る |
| 遠藤 玄 (えんどう げん) | 程島 竜一 (ほどしま りゅういち) |
| 2000年 東京工業大学大学院理工学研究科博士後期課程修了(機械物理工学専攻), 博士(工学) | 2006年 東京工業大学大学院理工学研究科博士後期課程修了(機械宇宙システム専攻), 博士(工学) |
| 2021年 東京工業大学教授 現在に至る | 2017年 埼玉大学准教授 現在に至る |
| 亀川 哲志 (かめがわ てつし) | 田中 基康 (たなか もとやす) |
| 2004年 東京工業大学大学院総合理工学研究科博士後期課程修了(知能システム科学専攻), 博士(工学) | 2009年 電気通信大学大学院電気通信学研究科博士後期課程修了(知能機械工学専攻), 博士(工学) |
| 2020年 岡山大学准教授 現在に至る | 2020年 電気通信大学教授 現在に至る |

不整地移動ロボティクス

Rough-terrain Mobile Robotics

© K. Nagatani, G. Ishigami, D. Endo, K. Nagaoka, G. Endo, R. Hodoshima, T. Kamegawa, M. Tanaka 2023

2023年12月20日 初版第1刷発行



検印省略

編著者	永谷圭司
著者	石上玄也
	遠藤大輔
	永岡健司
	遠藤玄
	程島竜一
	亀川哲志
	田中基康
発行者	株式会社 コロナ社
	代表者 牛来真也
印刷所	三美印刷株式会社
製本所	有限会社 愛千製本所

112-0011 東京都文京区千石 4-46-10
発行所 株式会社 コロナ社
CORONA PUBLISHING CO., LTD.

Tokyo Japan

振替 00140-8-14844・電話(03)3941-3131(代)

ホームページ <https://www.coronasha.co.jp>

ISBN 978-4-339-04686-1 C3053 Printed in Japan

(西村)



JCOPY <出版者著作権管理機構 委託出版物>

本書の無断複製は著作権法上での例外を除き禁じられています。複製される場合は、そのつど事前に、出版者著作権管理機構(電話 03-5244-5088, FAX 03-5244-5089, e-mail: info@jcopy.or.jp)の許諾を得てください。

本書のコピー、スキャン、デジタル化等の無断複製・転載は著作権法上での例外を除き禁じられています。購入者以外の第三者による本書の電子データ化及び電子書籍化は、いかなる場合も認めていません。落丁・乱丁はお取替えいたします。