



## 目次

### 特集「キネマティクス研究」

「キネマティクス研究」特集について.....	有川敬輔	1
解 説		
工学としてのキネマティクス.....	武田行生	2
逆運動学の数値解法.....	杉原知道	7
数式処理技術の工学設計への応用.....	澤田浩之	14
コンプライアント-パラレルメカニズムの研究.....	小塚裕明	20
剛体折紙メカニズム.....	館 知宏	24
ロボット機構の多様性とキネマティクス.....	有川敬輔	32
[表紙説明] .....	38	
[編集後記] .....	38	

# 論文

複数のマイクロホンアレイによる音源方向情報と人位置情報に基づく音声区間検出および顔の向きの推定の評価

石井カルロス寿憲・エヴァン イアニ・萩田紀博・39

ヘビが示す多様なロコモーション様式の再現を目指した自律分散型ロボット

中島大樹・佐竹冬彦・伊達 央・加納剛史・石黒章夫・45

衝撃的荷重負荷に対する冗長多関節ロボットの安定姿勢と位置決め復帰動作の実現

—— 仮想目標軌道整形休止と微分ゲイン増大による方法 ——

井上貴浩・宮田龍一・佐藤克樹・植田尊大・平井慎一・51

飛行ロボットと小型地表移動ロボットの複合システムによる火山活動区域の無人調査

—— 浅間山における 2014 年フィールド試験 ——

山内元貴・秋山 健・永谷圭司・60

## 複写される方へ

一般社団法人 日本ロボット学会は一般社団法人 学術著作権協会（学著協）に複写に関する権利委託をしていますので、本誌に掲載された著作物を複写したい方は、学著協より許諾を受けて複写して下さい。但し、社団法人 日本複写権センター（学著協より複写に関する権利を再委託）と包括複写許諾契約を締結されている企業の社員による社内利用目的の複写はその必要はありません（※社外頒布用の複写は許諾が必要です）。

権利委託先：一般社団法人 学術著作権協会

〒107-0052 東京都港区赤坂9-6-41 乃木坂ビル3階

電話：03-3475-5618 FAX：03-3475-5619 E-mail：info@jaacc.jp

注意：複写以外の許諾（著作物の転載・翻訳等）は、学著協では扱っていませんので、直接日本ロボット学会へご連絡ください（TEL：03-3812-7594）。

また、アメリカ合衆国において本書を複写したい場合は、次の団体に連絡して下さい。

Copyright Clearance Center, Inc.

222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923 USA

Phone：1-978-750-8400 FAX：1-978-646-8600

## 会誌編集委員会委員

委員長	橋本浩一(東北大)	*金崎朝子(京大)	*十倉征司(芝)	*本田幸夫(大阪工大)
副委員長	山下淳(京大)	*釜道紀浩(京電機大)	*中島康貴(九州大)	*横田諭(佐世保高専)
論文査読委員長	川村貞夫(立命館大)	川村和也(千葉大)	*永谷圭司(北大)	*正宗賢(東京女子医大)
幹事	松野文俊(京大)	*神田崇行(ATR)	*中西弘明(京大)	*松下光次郎(岐阜大)
委員	青木悠祐(沼津高専)	*衣笠哲也(岡山理科大)	永谷直久(八工大)	*丸山央峰(名古屋大)
	*赤木徹也(岡山理科大)	*倉爪亮(九州大)	*新妻実保子(中央大)	*満上育久(大阪大)
	足立勝(安川電機)	*栗栖正充(京電機大)	*野田哲男(三菱電機)	*宮田なつき(産総研)
	*荒井翔悟(北大)	小島弘義(三菱重工)	*橋本健二(早稲田大)	*安田賢一(安川電機)
	*荒井裕彦(産総研)	*小塚裕明(金沢大)	*花鳥直彦(室蘭工大)	*山崎公俊(信州大)
	*有泉亮(名古屋大)	*琴坂信哉(埼玉大)	*林原靖男(千葉工大)	*吉田智章(千葉工大)
	*安藤慶昭(産総研)	*佐藤徳孝(名古屋工業大)	*平井宏明(大阪大)	*吉見卓(芝浦工大)
	*安藤吉伸(芝浦工大)	島圭介(横浜国立大)	深野亮(コマツ)	*羅志偉(神戸大)
	*飯塚浩二郎(信州大)	*菅佑樹(SUGAR SWEET ROBOTICS)	*深谷直樹(都立産業高専)	渡辺義浩(東京大)
	五十嵐洋(京電機大)	*鈴木昭二(公立はこだて未来大)	*福井類(京大)	*は論文査読小委員会委員
	*石上玄也(慶應大)	鈴木聡一郎(北見工大)	藤澤隆介(八工大)	
	*稲垣克彦(東海大)	*鈴木太郎(早稲田大)	船戸徹郎(電気通信大)	
	*入部正継(大阪電通大)	*高野渉(京大)	*堀内悠平(川崎重工業)	
	*岩田拓也(産総研)	*武田行生(東工大)		
	*上野隆雄(東急建設)	*田中完爾(福井大)		
	遠藤央(北大)	田原健二(九州大)		
	*奥川雅之(愛知工大)	*田村雄介(中央大)		
	*尾崎功一(宇都宮大)	辻徳生(九州大)		
	小田嶋成幸(富士通研究所)	*出村公成(金沢工業大)		
	小野幸彦(日立製作所)	土居隆宏(金沢工大)		
	*梶原秀一(室蘭工大)	堂前幸康(三菱電機)		

日本ロボット学会誌(第34巻3号)(税込価格2,700円)

©編集・発行 一般社団法人日本ロボット学会 発行人 細田祐司

〒113-0033 東京都文京区本郷2-19-7 ブルービルディング2F

TEL. 03(3812)7594 FAX. 03(3812)4628

本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

# JOURNAL OF THE ROBOTICS SOCIETY OF JAPAN

April 2016 Vol. 34 No. 3

## CONTENTS

### Special issue “Research in Kinematics”

On special issue “Research in Kinematics” ..... Keisuke Arikawa · 1

#### Reviews

Kinematics for engineering ..... Yukio Takeda · 2  
Numerical solution of inverse kinematics ..... Tomomichi Sugihara · 7  
Application of symbolic computation in engineering design ..... Hiroyuki Sawada · 14  
Studies of compliant-parallel mechanisms ..... Hiroaki Kozuka · 20  
Rigid origami mechanisms ..... Tomohiro Tachi · 24  
Diversity of robotic mechanisms and kinematics ..... Keisuke Arikawa · 32

---

#### Papers

Evaluation of speech interval detection and face orientation estimation based on sound directions by multiple microphone arrays and human positions ..... Carlos T. Ishi · Jani Even · Norihiro Hagita · 39  
Snake-like decentralized-controlled robot that exhibits versatile locomotion patterns ..... Daiki Nakashima · Fuyuhiko Satake · Hisashi Date · Takeshi Kano · Akio Ishiguro · 45  
Realization of stable position and recovery motion of a multi-jointed robotic arm against impulsive load  
— Holding of shaping process of virtual-desired-trajectory and instant increase of differential gains —  
..... Takahiro Inoue · Ryuichi Miyata · Katsuki Sato · Takahiro Ueda · Shinichi Hirai · 51  
Development of volcano observation system that consists of unmanned aerial vehicle and tele-operated unmanned ground vehicle — Field experiment of tele-operated robots in Mt. Asama in 2014 —  
..... Genki Yamauchi · Ken Akiyama · Keiji Nagatani · 60

---

Published by The Robotics Society of Japan

2Fl. Blue Bldg., 2-19-7 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-0033, Japan

TEL. +81-3-3812-7594 FAX. +81-3-3812-4628

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

## 「キネマティクス研究」 特集について

キネマティクスはロボット工学の基礎をなす分野の一つである。しかし、現在、日本のロボットコミュニティにおいて、キネマティクス研究はあまり盛んではないようである。おそらく、キネマティクス研究に対し、「ダイナミクスのサブセットにすぎない」あるいは「今さら研究することは残されていない」というようなネガティブな印象があるためではないかと思われる。このネガティブな印象を少しでも払拭できればと思い本特集を企画した。

本特集は六つの記事によって構成されている。武田先生（東京工業大学）による「工学としてのキネマティクス」では、「市販のシミュレーションソフトウェアがあるのに、キネマティクスについて研究することなどあるのか」という素朴な疑問に対する回答を含め、キネマティクス研究の意義について解説されている。また、パラレル機構の設計、過拘束機構、特異点といった複雑な数式を駆使して議論されることの多い内容が、ほとんど数式を用いることなく、実際の機構開発におけるエピソードなどを交えつつ分かりやすく解説されている。杉原先生（大阪大学）による「逆運動学の数値解法」では、ロボット機構の逆運動学問題の様々な数値解法の要点が解説されている。一般的な方法でロボット機構を設計し制御するためには、まず、逆運動学問題を解かなくてはならない。この意味で逆運動学問題は最も基本的な問題の一つであるが、同時にロボット工学における難問でもあり、解析解を得ることが不可能と数学的に証明される場合もある。本解説においては、様々な手法の解説にとどまらず、筆者の経験に基づくアドバイスなども述べられている。逆運動学問題を数値的に解く際に変参考になるであろう。澤田先生（産業技術総合研究所）による「数式処理技術の工学設計への応用」では、数式処理技術の応用について、リンク機構の可動判定、2本指ロボットの設計などの具体例を用いて解説されている。ロボット工学においては、数式処理は複雑な式の簡略化など数値計算の前処理として使用される場合が多いが、数値計算の前処理を超えた数式処理の威力が分かるであろう。

また、運動学問題の多くは適切な変数変換によって連立代数方程式の形で表現できるため、数式処理は、今後、ますます、キネマティクス研究における重要なツールとなると思われる。小塚先生（金沢大学）による「コンプライアント—パラレルメカニズムの研究」では、コンプライアントメカニズムの特徴、歴史、分類、さらに、コンプライアント関節を組み込んだパラレルメカニズムについて解説されている。コンプライアントメカニズムとは関節の代わりに材料の弾性変形を利用したメカニズムで、ピンセット、和ばさみ、爪切りなどもその一種である。本記事で詳しく解説されているように、高精度、軽量、一体成形可能などの多くの利点を持つため、ロボット機構としても注目されている。本記事で紹介されているコンプライアント関節を組み込んだパラレルメカニズムは、サブミクロンオーダの非常に高い繰り返し精度を実現している。館先生（東京大学）による「剛体折紙メカニズム」では、折紙の数理の基礎から最先端の折紙メカニズムにいたるまで、多種多様な例を挙げながら解説されている。折り線を関節と見なせば想像できるように、折紙の数理とロボット機構のキネマティクスは深く関連している。特に、過拘束機構の解析や設計において、折紙の数理で展開されている理論は大変参考になるであろう。また、本記事で紹介されている様々な折紙メカニズムのロボットへの応用も期待される。有川（神奈川工科大学）による「ロボット機構の多様性とキネマティクス」では、位相構造という基本構造を通して見たロボット機構の多様性について解説されている。位相構造でみると既存のロボット機構のほとんどは一つのクラスに分類されること、このクラスに入らない機構も実現できることなどが説明されている。

本特集を通して、冒頭に述べたようなキネマティクス研究に対するネガティブな印象が少しでも払拭され、さらには、キネマティクス研究の面白さが伝われば幸いである。

（有川敬輔 神奈川工科大学）

## 〔表紙説明〕

今回の特集は、「キネマティクス」なのですが「ロボット学会においては、キネマティクス研究はあまり盛んではないとの印象を受ける」という話を聞いて、少し驚いています。ロボットをデザインする場合、最も重要なポイントの一つが「動き」だからです。

工業製品のデザインは、おおむね静止状態のみを考えてデザインします。玩具や自動車など、「動き」を考えるモノもありますが、多くは単純な「移動」であったり「操作」による変形だったりします。

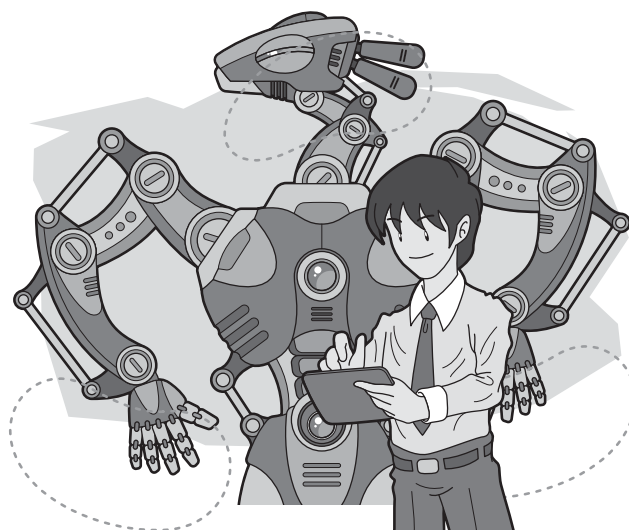
それに対してロボットは「機械が自主的に稼働する」ということを前提にするため、デザインのプロセスが大きく異なります。

そういう意味で、ロボットのキネマティクス研究はロボットデザインにおいても大変重要なジャンルだと思います。

今回は「多自由度機構のキネマティクス」をイメージするようなロボットを描いてみました。

ロボットのキネマティクス研究が、もっともっと深掘りされて、可動域や当たり判定に悩まずデザインできる環境が整うといいのになあ、とこっそり期待しています。

(園山隆輔< T-D-F@T-D-F.jp > T-D-F)



Illustrated by T.Sonoyama

## 編集後記

編集委員就任時、任期中に特集を企画しなくてはならないことを知り、私にそのようなことができるだろうかと不安に思いながらも、真っ先に頭に浮かんだのが「キネマティクス研究」である。キネマティクス研究に対して言われることの多い「ダイナミクスのサブセットにすぎない」あるいは「今さら研究することは残されていない」というようなネガティブな印象を少しでも払拭できればという思いがあった。企画書を書いてはみたものの、編集委員会の会議に持参した資料を提出せずにそのまま持ち帰るということが続いた。1年以上経ったころ、思い切って企画書を編集委員会に提出した。上記のような批判に晒されることを覚悟していたが、驚いたことに、このときいただいた意見は温かく好意的なものばかりであった。驚くと同時に大変励まされた。次に、執筆を依頼する段階で再び悩んだ。執筆を依頼したい方々の名前はすぐに思い浮かんだものの、論文や学会口頭発表を通して一方的に研究内容を知っているだけで、面識のない方がほとんどであった。依頼を先延ばし、これ以上延ばしたら発行に支障が出かねないという段

階になって、ようやく執筆をお願いした。断られて当然と思っていたが、大変ありがたいことに全員の方から快諾の返事をいただいた。武田先生（東京工業大学）による「工学としてのキネマティクス」、杉原先生（大阪大学）による「逆運動学の数値解法」、澤田先生（産業技術総合研究所）による「数式処理技術の工学設計への応用」、小塚先生（金沢大学）による「コンプライアントーパラレルメカニズムの研究」、舘先生（東京大学）による「剛体折紙メカニズム」、いずれもキネマティクス研究における重要なトピックである。執筆していただいた記事を読みながら、私自身、キネマティクス研究に対する印象が変わっていくのを感じた。

最後に、2015年の年末から2016年の年始にかけての大変お忙しい時期に記事を執筆して下さった筆者の皆様、本特集を承認して下さった編集委員会の皆様、表紙をデザインして下さった園山様、私の細かな質問に丁寧に対応して下さいました学会事務局の皆様にご心より感謝申し上げます。

(有川敬輔 神奈川工科大学)