



目次

特集「飛行ロボット研究の最前線Ⅱ」

「飛行ロボット研究の最前線Ⅱ」特集について……………	藤川太郎・大竹 博	1
解 説		
回転翼系ロボティクス……………	野波健蔵	2
我が国の無人航空機の歴史と今後の展望……………	細田慶信	9
JAXAにおける小型無人機の研究開発		
……………	原田賢哉・牧 緑・村岡浩治・佐藤昌之・久保大輔・河野 敬	14
スタビレス無人ヘリコプタの開発……………	中西弘明・佐藤 彰	20
同軸二重反転型ヘリコプタ GEN H-4 無人化挑戦その後……………	柳澤源内	23
自律型無人ヘリコプタの開発のその後……………	森川 泰	26
ICT 農業とリモートセンシング……………	野口 伸	28
小型無人航空機用通信中継モジュールの開発……………	和田昭久・丸山正晃・三浦 龍・小野文枝	31
全自動小型無人機 (UAV) の開発とその後の運用……………	箱島秀昭・植村慎司	34
災害用係留型情報気球システム InfoBalloon ——主な成果と解決すべき課題——		
……………	小野里雅彦	38
産業用無人ヘリコプタの歴史と今後の展開……………	佐藤 彰	41
災害調査用地上／空中複合型ロボットシステム		
……………	谷村和彦・伊豆智幸・神村明哉・植田大造	44
橋梁点検を代替するための受動回転球殻を有するマルチコプタの開発と実橋梁における		
点検性能評価……………	岡田佳都・岡谷貴之	47
農作物を対象にした UAV による時空間アーカイビング……………	延原 肇	51
エンジンドロンの開発……………	中村幹男・大橋俊夫・市川純章・喜多 一・岩瀬将美	55
[会 報]……………		59
[表紙説明／編集後記]……………		60

論文

- 2リンク6筋を有する筋骨格システムにおけるフィードフォワード位置決めのための筋配置条件
越智裕章・木野 仁・田原健二・松谷祐希・61
- むだ時間を含む感覚フィードバックと筋内力フィードフォワードの相補的組み合わせによる
筋骨格アームの位置制御
松谷祐希・田原健二・木野 仁・越智裕章・山本元司・71
- 最小アクチュエータ／センサ実現に基づくシューティングロボット
川上みずほ・金子 真・松尾拓弥・大西公平・81

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 王 碩玉 (高知工科大)	*釜道浩紀 (東京電機大)	土居隆宏 (金沢工大)	*堀内悠平 (川崎重工)
副委員長 橋本浩一 (京北都大)	*川田浩彦 (早稲田大)	堂前幸康 (三菱電機)	*本田幸夫 (大阪工大)
理事 松野文俊 (京大)	*神田浩行 (A.T.R.)	*十倉征司 (東芝)	*榎田諭 (佐世保高専)
論文査読委員長 川村貞夫 (立命館大)	*衣笠哲也 (岡山理科大)	*永谷圭司 (北大)	*松下光次郎 (大阪大)
委員 足立井勝 (安川電機)	*國井康晴 (中央大)	*中西弘明 (京大)	*丸山央峰 (名古屋大)
*荒井翔悟 (東北大)	*倉爪亮 (九州大)	*中坊嘉宏 (産総研)	*満上育久 (大阪大)
*安藤健 (パナソニック)	*栗正充 (京電機大)	永谷直久 (京都産大)	*安田賢一 (安川電機)
*安藤慶昭 (産総研)	*琴坂信哉 (埼玉大)	並木明夫 (千葉大)	*山崎公俊 (信州大)
*安藤吉伸 (芝浦工大)	*小林洋 (早稲田大)	*新妻実保子 (中央大)	*山下淳 (東京大)
*飯塚浩二郎 (信州大)	佐々木大輔 (香川大)	*野田哲男 (三菱電機)	山之内亘 (沼津高専)
*石上玄 (慶應大)	島圭介 (横浜国立大)	*橋本健二 (早稲田大)	*吉田智章 (千葉工大)
*稲垣克彦 (東海大)	*菅佑樹 (SUGAR SWEET ROBOTICS)	*畑尾直孝 (産総研)	*吉見卓 (芝浦工大)
*入部正継 (大阪電通大)	*鈴木昭二 (公立はこだて未来大)	*花鳥直彦 (室蘭工大)	*羅志偉 (神戸大)
*岩田拓也 (産総研)	*鈴木聡一郎 (北見工大)	*林原靖男 (千葉工大)	和田隆広 (立命館大)
*野田隆雄 (京急建設)	*鈴木昌弘 (徳島大)	*深野亮 (コマツ)	*は論文査読小委員会委員
*遠藤玄 (東京医科歯科大)	*武田行生 (東工大)	*福井類 (東京電機大)	
大岡一也 (千葉大)	田崎勇一 (名古屋大)	藤川太郎 (京電機大)	
*岡本淳 (東京女子医大)	*多田隼建 (大阪大)	藤澤隆介 (八戸工大)	
*小川浩平 (大阪大)	*田中英一郎 (芝浦工大)	藤田淳 (三菱重工)	
*小奥雅一 (愛知大)	*田中完爾 (福井通大)		
*尾崎功一 (宇都宮大)	*田中基浩 (名古屋工大)		
小田嶋成幸 (富士通研究所)	*田村雄介 (中央大)		
小野幸彦 (日立製作所)	辻徳生 (九州大)		
*梶原秀一 (室蘭工大)	*出村公成 (金沢工大)		
*金崎朝子 (京大)	*寺林賢司 (静岡大)		

日本ロボット学会誌 (第34巻2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

March 2016 Vol. 34 No. 2

CONTENTS

Special issue “Frontier Research on Flying Robots II”

On special issue “Frontier Research on Flying Robots II”Taro Fujikawa · Hiroshi Ohtake · 1

Reviews

- Rotary wing roboticsKenzo Nonami · 2
- The history and prospects of unmanned aircraft in Japan Yoshinobu Hosoda · 9
- Research and development of small UAS in JAXA
..... Kenya Harada · Midori Maki · Koji Muraoka · Masayuki Sato · Daisuke Kubo · Takashi Kono · 14
- Development of stabilizer-less unmanned helicopterHiroaki Nakanishi · Akira Sato · 20
- GEN H-4 co-axial counter rotational helicopter : a review of recent progress..... Gennai Yanagisawa · 23
- Developments of autonomous unmanned helicopter and subsequent studies..... Yasushi Morikawa · 26
- Remote sensing technology for ICT agriculture..... Noboru Noguchi · 28
- Development of data-relay module for small UAV..... Akihisa Wada · Masaaki Maruyama · Ryu Miura · Fumie Ono · 31
- The development of the small unmanned aerial vehicle and later use..... Hideaki Hakoijima · Shinji Uemura · 34
- InfoBalloon—the captive balloon system for disaster information services
—— Main results and challenges to overcome ——Masahiko Onosato · 38
- The history and future of industrial use unmanned helicopter Akira Sato · 41
- The unmanned ground and aerial compound type robot system for a disaster investigation
..... Kazuhiko Tanimura · Tomoyuki Izu · Akiya Kamimura · Daizou Ueda · 44
- Development of UAV with passive rotating spherical shell for bridge inspection and its evaluation of
inspection capability in real bridges Yoshito Okada · Takayuki Okatani · 47
- Aerial imaging for field crop phenotyping.....Hajime Nobuhara · 51
- Development of combustion-engine-driven drones
.....Mikio Nakamura · Toshio Ohashi · Sumiaki Ichikawa · Hajime Kita · Masami Iwase · 55

Papers

- Muscular arrangement conditions of musculoskeletal system with two joints and six muscles for feedforward position control
..... Hiroaki Ochi · Hitoshi Kino · Kenji Tahara · Yuki Matsutani · 61
- Set-point control for a musculoskeletal system using complementary combination of a sensory feedback including
a time-delay and a muscular internal force feedforward
..... Yuki Matsutani · Kenji Tahara · Hitoshi Kino · Hiroaki Ochi · Motoji Yamamoto · 71
- A shooting robot based on the minimum actuator/sensor realization
..... Mizuho Kawakami · Makoto Kaneko · Takuya Matsuo · Kouhei Ohnishi · 81

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/>

「飛行ロボット研究の最前線Ⅱ」 特集について

2号連続企画である「飛行ロボット研究の最前線Ⅰ・Ⅱ」では、近年その発展が目覚ましい飛行ロボットの分野に関して、固定翼型や回転翼型など様々なタイプの研究開発例や最新の実応用事例を紹介している。2号めの本特集では、ここ数年で急速に普及しているドローンに関する解説記事1件と日本の無人航空機に関する展望記事1件、多様な分野で実用化されている飛行ロボットの応用事例13件をご寄稿いただいた。特に、はじめの10件は2006年11月に発刊された本誌「空中ロボティクス」特集号でもご執筆いただいた方々であり、その後10年での発展や現状などを中心にご紹介いただいた。飛行ロボットを取り巻く環境は劇的な変化を遂げており、それに伴う新たな社会的問題点も浮かび上がってきている。これまでの10年を振り返りつつ今後のますますの発展を期待したい。

千葉大学の野波健蔵先生には、「回転翼系ロボティクス」として近年のドローンのビジネス動向やその利活用、将来の展望などについて述べていただいた。

富士重工業株式会社の細田慶喜氏には、「産業」という視点から日本における無人航空機の歴史や国内外での民間市場予測などを中心にご紹介いただいた。

JAXA 航空技術部門無人機技術研究グループの方々には、「災害監視無人機システム」や「放射線モニタリング小型無人飛行機」などの開発・実証の取り組み、独自に策定された無人機の安全基準などについてご紹介いただいた。

京都大学の中西弘明先生とヤマハ発動機株式会社の佐藤彰氏には、無人ヘリコプタの推力を増加させるための「スタビレス化の実現」に向けて、スタビライザの機能や開発に必要な項目についてご執筆いただいた。

有限会社 GEN CORPORATION の柳澤源内氏には、これまでに開発された同軸二重反転機構による有人ヘリコプタ「GEN H-4」の無人化に向けた取り組みについてご紹介いただいた。

産業技術総合研究所の森川泰氏には、「UAS (Unmanned Aerial System)」やそれを実装した無人ヘリコプタに関して、この10年間の歩みや今後の研究開発についてご執筆いただいた。

北海道大学の野口伸先生には、近年期待が高まっている「ICT (Information and Communication Technology) 農業」に関して、ドローンを利用したリモートセンシングについてご紹介いただいた。

日本電気株式会社の和田昭久氏らには、東日本大震災な

どの広域災害において必要な情報をいち早く伝送するための「災害に強いワイヤレスネットワーク」の研究開発として、無人航空機に搭載可能な小型・軽量のマルチホップ無線中継システムをご紹介いただいた。

フジ・インバック株式会社の箱島秀昭氏と植村慎司氏には、固定翼型の「全自動小型無人機」の開発とその運用について、森林観測や火山観測などの実証試験を中心にご紹介いただいた。

北海道大学の小野里雅彦先生には、広域災害などの被災地における情報の収集・配信・中継機能を提供する災害用係留型情報気球「InroBalloon」についてご紹介いただいた。

ヤマハ発動機株式会社の佐藤彰氏には、「産業用無人ヘリコプタ」に関して、農業散布や観測・計測などの実用例をご紹介いただき、航空法を含めた今後の展望について述べていただいた。

株式会社日立製作所の谷村和彦氏や株式会社エンルートの伊豆智幸氏らには、災害現場における初動調査および情報収集を実現するシステムとして、機動性の高い無人飛行ロボットと地上からの無人車両移動ロボットによる「災害調査用地上／空中複合型ロボットシステム」に関してご紹介いただいた。

東北大学の岡田佳都先生には、飛行ロボットによる災害・インフラ調査の実応用例として、「受動回転球殻を有するマルチコプタ」の構造や特徴およびそれをを用いた橋梁の模擬点検事例とその第三者評価についてご執筆いただいた。

筑波大学の延原肇先生には、UAV (Unmanned Aerial Vehicle) の農業分野への実応用例として、いかによい種(品種)を作るかという「育種」過程での活用について、UAVの利用方法や期待されていることを中心にご紹介いただいた。

中村クリエイティブエンジニアリングの中村幹男氏やインダストリーネットワーク株式会社の大橋俊夫氏らには、現在主流のモータではなくエンジンを用いた「エンジンドローン」についてご紹介いただき、今後の可能性や課題について述べていただいた。

最後に、ご多忙中にもかかわらず執筆をご快諾いただいた著者の皆様に心より感謝申し上げます。また、2号連続となる本特集をご承諾いただいた編集委員会の皆様やご支援いただいた学会事務局の皆様、企画発案のきっかけを与えて下さった岩田拓也氏(「空中ロボティクス」編集者)に感謝申し上げます。

(藤川太郎 東京電機大学, 大竹 博 九州工業大学)

 [表紙説明]

初めて表紙を描かせていただきました。イラストレーターのなばです。

大学では6年間ロボットを作っていました。今もコンピュータグラフィックスという空想を形にする仕事をしております。

私が進路を決めた時点では、実用的なロボットなんてまだまだ空想の域を出ないなあと思っていたのですが、昨今のドローン技術などを見ると、意外と早くロボットは生活に入ってくるのかもしれませんが。

テレビ映像では当たり前のようにドローンが使われ、表紙で描かせていただいたドローンによる配達も特区が設けられ実験が行われるのだとか。未来が近づいているようでワクワクしますね。

表紙では、当たり前前に存在する飛行ロボットというテーマで描かせていただきました。

いまはまだ日常の中に入って来ても物珍しさで話題になるロボットですが、それが生活の一部として入ってくる日を心待ちにしたいと思います。

(なば < twitter.com/naba__ >)



 編集後記

子どものころ、近くの田んぼや河川敷でラジコンの飛行機が飛んでいるのをよく目にしました。最近ではあまり見られなくなった光景ではないでしょうか。飛行ロボットの近年の急速な発展・普及は、それを受け入れるための準備が十分に整っていなかった社会と我々研究者たちに対して大きな問題提起となりました。この特集を組むにあたり、そのバランスの重要性に改めて気づかされています。

「飛行ロボット研究の最前線」の2号めでは、実応用事例として災害現場などでの観測や情報支援、農業など様々な分野で活用されている飛行ロボットをご紹介します。すでにビジネスとして活用されているものや実用化に向けて日々開発が進んでいるものなど、この10年での発展は非常に目覚ましいものがあります。特に、地上と空からの連携により課題解決するという事例が増えてきていると感じます。陸・海・空それぞれの分野のロボットが必要に応じて補い合い、協調作業を行っているという未来もそう遠くはない気がします。そのカギとなるのは、やはり「空」

なのかもしれません。

大人が飛ばすラジコン飛行機やヘリコプタを羨望のまなざしで眺める子ども達。あの景色が今後どのように変わっていくのか、飛行ロボット開発に携わる一研究者としてじっくりと見つめていきたいと思います。

最後に、表紙についてです。10年ぶりの飛行ロボット特集を2号連続で企画するというので、1号めの表紙は2006年の「空中ロボティクス」特集号と同様に園山氏に描いていただきました。続く2号めでは、「その10年後」という意味も込めて、2006年のちょうどその年に大学に入学してロボット工学を学び、今はイラストレーターとしてご活躍のなば氏に描いていただきました（飛行ではなく小型「歩行」ロボットがご専門でしたが）。大変素晴らしい表紙で本誌を飾っていただきありがとうございます。この場をお借りして園山氏となば氏に感謝申し上げます。

(藤川太郎 東京電機大学、大竹 博 九州工業大学)