

令和 5 年 6 月 15 日現在

機関番号：12608

研究種目：新学術領域研究（研究領域提案型）

研究期間：2018～2022

課題番号：18H05468

研究課題名（和文）微細構造を活用した生物のやわらかい飛翔と遊泳の原理解明と実装

研究課題名（英文）Principle elucidation and implementation of soft flight and swimming of organisms using microstructure

研究代表者

田中 博人（Tanaka, Hiroto）

東京工業大学・工学院・准教授

研究者番号：80624725

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 74,900,000円

研究成果の概要（和文）：生物の柔軟な羽ばたき翼による飛行と遊泳のメカニズムを明らかにし、ソフトロボットに実装する方法を研究した。羽ばたきの駆動機構や翼の柔軟性は、効率性と外乱に対する頑健性を向上させることが分かった。例えばペンギンの遊泳では、翼が羽ばたき中に曲げ変形し、推進効率を向上させた。ハチドリやスズメなどのホバリングでは、ロボットモデルを用いた実験により、羽ばたき軸の弾性が効率性を、翼の長軸まわりの弾性が頑健性を向上させることが分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来の飛行機や船舶は、硬い回転翼で推進する。これは広い空間を高速に一定速度で移動するには効率的である。しかし人間が活動する環境は狭く複雑で状況が予期せず変化する。そこでは、生物のように柔らかな身体で俊敏に安全に移動することが重要である。本研究は、その実現に必要な知見を生物に学び、実際にロボットに実装する方法の具体例を提示した点で重要である。また、そのようなソフトロボットを用いることで、生物の力学メカニズムの理解に貢献できる。

研究成果の概要（英文）：The mechanisms of flight and swimming by flexible flapping wings of living organisms were clarified, and methods to implement them in soft robots were studied. The elasticity of the driving mechanism of flapping wings and wings themselves was found to improve efficiency and robustness against disturbances. For example, in forward swimming of penguins, the wings bent and deformed during flapping, improving propulsion efficiency. In hovering hummingbirds and hawkmoths, experiments using robot models showed that elasticity of the flapping axis improved efficiency and elasticity around the long axis of the wing improved robustness.

研究分野：飛行・遊泳生物の流体力学メカニズムと工学応用

キーワード：羽ばたき翼 流体構造連成 飛行ロボット 遊泳ロボット バイオミメティクス バイオメカニクス

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

飛行・遊泳生物の羽ばたきは、俊敏性と外乱への適応性に優れると期待される。従来研究では、生物の運動計測と人工羽ばたき飛行ロボットの実験が行われ、生物の設計の優れた性質が明らかになった。さらに、生物の翼と筋骨格のやわらかい弾性は、俊敏性と外乱への頑健性だけでなく効率性にも重要だと考えられる。しかし、生物の翼・筋骨格構造の相互作用や設計原理およびロボットへの実装方法は未解明で、一般化されていない。また、ロボット分野だけでなく、生物学においても、飛行・遊泳における身体のやわらかさの力学的機能の理解は、生物多様性や適応進化の理解に重要な意味を持つ。

2. 研究の目的

本研究の目的は、飛行生物のしなやかな変形・運動を定量的に計測し、その結果を数値解析モデルに取り込み、流体構造連成メカニズムの原理を解明してロボットへの実装方法を確立することである。それにより、効率と頑健性および俊敏性に優れた空中・水中羽ばたき飛行ロボットを実現する。本領域「ソフトロボット学」における位置付けとしては、変形する身体と外部環境(流体)が接触界面を通じて力学的にどのように相互作用するのか、そしてその相互作用をどのように利用するのか、というソフトロボットの原理のひとつに迫る。

3. 研究の方法

本研究で明らかにすることを以下の5つに分類した。A. 生物とロボットの「しなやかな運動」と「しなやかな変形」の定量的な計測；B. 生物の翼・筋骨格構造の機械特性の計測；C. 数値計算と機械モデル実験による流体構造連成メカニズムの解明；D. サブミリ構造製作技術を用いたソフト構造の実装；E. ソフト飛行・遊泳ロボットの効率性・頑健性・俊敏性の構成論的検証(当初計画から追加)。

主なモデル生物として、羽ばたき翼で空中をホバリングする鳥類のハチドリと昆虫のスズメガ、および羽ばたき翼で水中を推進する鳥類のペンギンを選んだ。

4. 研究成果

ペンギンの遊泳を水族館で水中撮影して世界初の3次元運動解析を行い、羽ばたき中の翼の曲げ変形を計測し、曲げ変形が推進効率を向上することを流体力学計算によって明らかにした(Harada et al., 2021, J. Exp. Biol.) (図1)。さらに左右の翼運動の違いによって旋回するメカニズムを明らかにした(Harada & Tanaka, 2022, J. Exp. Biol.) (上記3のA, C, E)。水族館でペンギン死体の翼の曲げ剛性計測を行い、羽ばたき遊泳中の曲げ変形が受動的であることを示唆した(3. B)。

ペンギンの翼運動を模倣した電動羽ばたきロボットを開発した(図2)。翼運動制御によって大きな流体力や流体力方向変化を生むこと(Shen et al., 2021, IEEE ASME Trans. Mechatron.)や後退角によって推進効率が向上すること(Shen and Tanaka, 2022, Bioinspir. Biomim.)を示した(3. E)。

ペンギンの胴体の毛並みが形成する微小な凹凸をリブレットと見なして、柔軟な模倣リブレットフィルムを実現し、流体抵抗を低減することを流体実験により明らかにした(Saito et al., 2022, Bioinspir. Biomim.) (3. D, E)。

ハチドリの風切羽の曲げ剛性と手首関節の可動性を規範とした大きくねじれる翼を3Dプリントで実現し、電動羽ばたき機構を用いた実験により揚力発生効率が向上することを明らかにした(Fujii et al., 2023, IEEE ICRA) (図3) (3. B, C, D, E)。

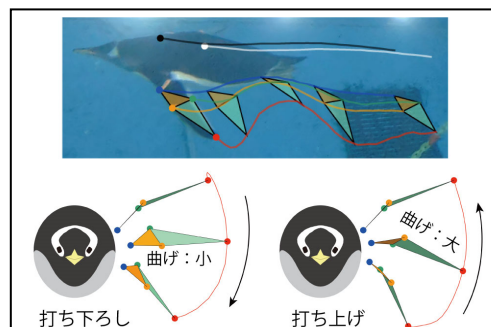


図1 ペンギンの翼変形。

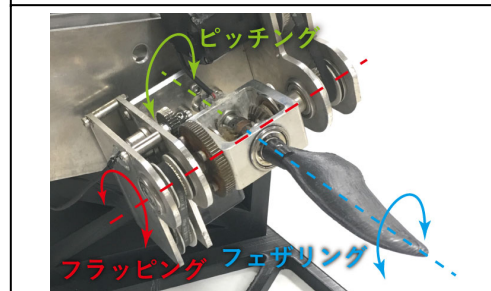


図2 ペンギン模倣羽ばたきロボット。



図3 3Dプリント柔軟翼。翼長 80 mm。

スズメガの胸部の筋骨格を規範とした電動羽ばたき機構を開発し、羽ばたき軸のねじり弾性と翼の幅方向の曲げ弾性が揚力発生効率を向上すること、および翼のフェザリングの曲げ弾性が周囲の風による空気力変動を低減する (i.e., 風の乱れに頑健である) ことを明らかにした (Koizumi et al., 2021, Front. Bioeng. Biotechnol.) (図 4)。ただし、羽ばたき軸のねじり弾性が柔らかいと、頑健性は低下した。また、能動飛翔筋を規範とした冗長な他自由度翼運動制御機構を開発した (Koizumi et al., 2023, J. Biomech. Sci. Eng.) (図 5) (3. C, D, E)。

当初計画には無かった研究の広がりとして、従来型の固定翼飛行体への生物規範柔軟構造を実装した。固定翼の翼面上に、鳥の雨覆羽 (Coverts) を規範とした柔軟な受動フラップアレイを設置し、乱れた気流中における翼の空気力の変動が低減することを明らかにした (Murayama et al., 2021, Front. Bioeng. Biotechnol.) (図 6) (3. C, D, E)。また、鳥類 (猛禽) を規範とした飛行ロボットに、鳥の尾羽を規範とした形態可変尾翼を実装し、尾翼が冗長に空気力・モーメントを制御可能で、効率性や俊敏性などの要求に応じて姿勢制御方法を選択できることを示した (Murayama et al., 2023, J. Biomech. Sci. Eng.)。

これらの研究で分かったソフト身体による効率性と頑健性の向上の基本原理は、流体力に応じたソフト身体の変形が、無駄な流体力と流体力変動を減少させるように作用するというものである (Tanaka et al., 2022, J. Robot. Mechatron.)。また、羽ばたき翼においては、翼の変形が流れの剥離を防いで大きな流体力を生み、俊敏性に寄与する。

以上の本研究は、羽ばたき翼による飛行・遊泳において、生物学研究からロボット工学研究までを網羅して点で、国内外の関連研究群の中で独特な位置を占めている。これにより、生物を規範とした柔らかい構造をロボットに応用することで、効率性・頑健性・俊敏性を向上できることが具体的な実装方法と共に示された。

今後の展望としては、実際に自由飛行・自由遊泳するロボットにおける柔軟構造による効率性・頑健性・俊敏性の実証が期待される。また、今回開発したソフトロボットを活用して、現生生物や絶滅した古生物の力学メカニズムを理解するための研究の実施が期待される

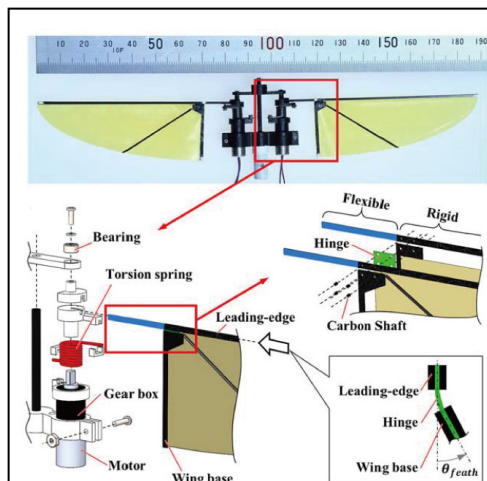


図 4 飛翔昆虫の胸部筋骨格を規範とした弾性構造。

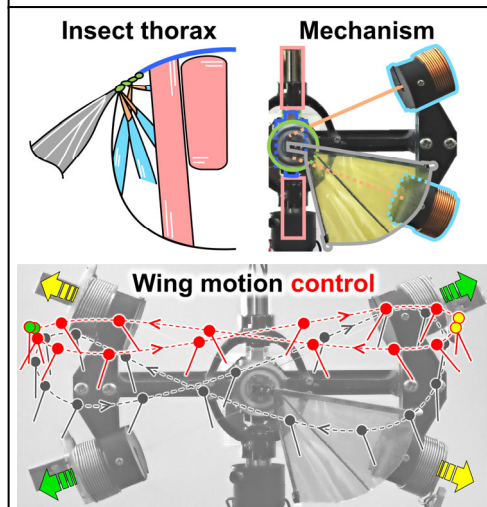


図 5 飛翔昆虫の胸部筋骨格を規範とした冗長多自由度羽ばたき機構。

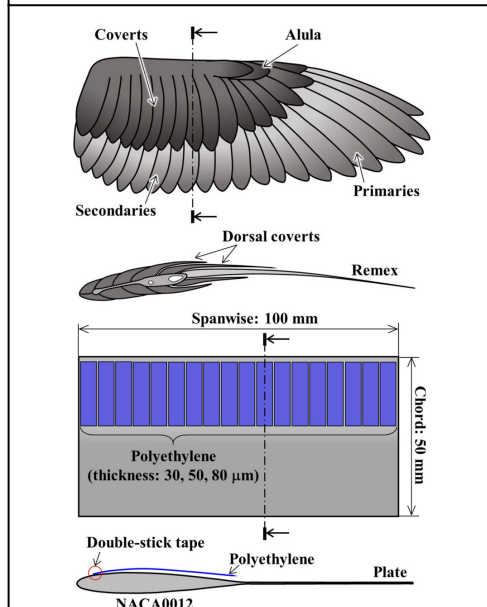


図 6 鳥の翼の雨覆羽を規範とした受動フラップアレイ。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計16件（うち査読付論文 16件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 10件）

1. 著者名 Natsuki Harada, Hiroto Tanaka	4. 巻 225
2. 論文標題 Kinematic and hydrodynamic analyses of turning manoeuvres in penguins: body banking and wing upstroke generate centripetal force	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Experimental Biology	6. 最初と最後の頁 jeb244124
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1242/jeb.244124	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Yayi Shen, Hiroto Tanaka	4. 巻 18
2. 論文標題 Experimental analysis of the sweepback angle effect on the thrust generation of a robotic penguin wing	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Bioinspiration & Biomimetics	6. 最初と最後の頁 026007 ~ 026007
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1748-3190/acb521	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Ryosuke Saito, Takeshi Yamasaki, Hiroto Tanaka	4. 巻 17
2. 論文標題 Fluid drag reduction by penguin-mimetic laser-ablated riblets with yaw angles	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Bioinspiration & Biomimetics	6. 最初と最後の頁 056010 ~ 056010
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1748-3190/ac7f71	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Hiroto Tanaka, Toshiyuki Nakata, Takeshi Yamasaki	4. 巻 34
2. 論文標題 Biomimetic Soft Wings for Soft Robot Science	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Robotics and Mechatronics	6. 最初と最後の頁 223 ~ 226
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20965/jrm.2022.p0223	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Sakito Koizumi, Toshiyuki Nakata, Hao Liu	4. 巻 18
2. 論文標題 Development of a flapping mechanism inspired by the flexible wing-base structure of insects for wing motion control	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Biomechanical Science and Engineering	6. 最初と最後の頁 22-00347
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/jbse.22-00347	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yuta Murayama, Toshiyuki Nakata, Hao Liu	4. 巻 18
2. 論文標題 Aerodynamic performance of a bird-inspired morphing tail	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Biomechanical Science and Engineering	6. 最初と最後の頁 22-00340
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/jbse.22-00340	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 吉田 誠, 阿部 貴晃, 菊地 デイル万次郎, 木下 千尋, 中村 乙水	4. 巻 72
2. 論文標題 飛翔・遊泳する動物の移動におけるエネルギー制約と、形態や移動様式によるコスト節約	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本生態学会誌	6. 最初と最後の頁 95~107
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18960/seitai.72.1_95	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 菊地 デイル万次郎	4. 巻 72
2. 論文標題 生態学としてのバイオメカニクス	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本生態学会誌	6. 最初と最後の頁 55~62
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18960/seitai.72.1_55	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Koizumi Sakito, Nakata Toshiyuki, Liu Hao	4. 巻 9
2. 論文標題 Flexibility Effects of a Flapping Mechanism Inspired by Insect Musculoskeletal System on Flight Performance	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Bioengineering and Biotechnology	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fbioe.2021.612183	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Murayama Yuta, Nakata Toshiyuki, Liu Hao	4. 巻 9
2. 論文標題 Flexible Flaps Inspired by Avian Feathers Can Enhance Aerodynamic Robustness in low Reynolds Number Airfoils	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Bioengineering and Biotechnology	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fbioe.2021.612182	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Harada Natsuki, Oura Takuma, Maeda Masateru, Shen Yayi, Kikuchi Dale M., Tanaka Hiroto	4. 巻 224
2. 論文標題 Kinematics and hydrodynamics analyses of swimming penguins: wing bending improves propulsion performance	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Experimental Biology	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1242/jeb.242140	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 田中博人	4. 巻 40
2. 論文標題 遊泳生物のリブレット構造の流体摩擦力低減効果と模倣	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ながれ : 日本流体力学会誌	6. 最初と最後の頁 279-284
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yayi Shen, Natsuki Harada, Sho Katagiri, and Hiroto Tanaka	4. 巻 26
2. 論文標題 Biomimetic Realization of a Robotic Penguin Wing: Design and Thrust Characteristics	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE/ASME Transactions on Mechatronics	6. 最初と最後の頁 2350 - 2361
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TMECH.2020.3038224	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 田中博人	4. 巻 30
2. 論文標題 ペンギンの羽ばたき遊泳と翼運動模倣ロボット	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 応用数理	6. 最初と最後の頁 18-21
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11540/bjsiam.30.2_18	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 T. Nakata, P. Henningsson, H.-T. Lin, R.J. Bomphrey	4. 巻 23
2. 論文標題 Recent Progress on the flight of dragonflies and damselflies	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Odonatology	6. 最初と最後の頁 41-49
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/13887890.2019.1688502	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 H. Tanaka, G. Li, Y. Uchida, M. Nakamura, T. Ikeda, H. Liu	4. 巻 14
2. 論文標題 Measurement of time-varying kinematics of a dolphin in burst accelerating swimming	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 PLoS ONE	6. 最初と最後の頁 e0210860
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1371/journal.pone.0210860	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計69件（うち招待講演 16件 / うち国際学会 17件）

1. 発表者名 Tomoya Fujii, Jinqiang Dang, Hiroto Tanaka
2. 発表標題 Hummingbird-Bat Hybrid Wing by 3-D Printing
3. 学会等名 2023 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Shotaro Sayama, Koichi Kato, Masanori Katsuki, Yasuhiro Kawashima, Toshihito Kamei, Masahito Natsuhara, Hiroto Tanaka
2. 発表標題 Shark-inspired high-low alternating riblets by inkjet printing of UV-curable ink
3. 学会等名 75th Annual Meeting of the APS Division of Fluid Dynamics (APS DFD 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Jinqiang Dang, Tomoya Fujii, Hiroto Tanaka
2. 発表標題 Design of a hummingbird-mimetic flexible wing with elastic passive feathering rotation limitation mechanism
3. 学会等名 8th International Symposium on Aero Aqua Bio-Mechanisms (ISABMEC 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ryosuke Saito, Takeshi Yamasaki, Hiroto Tanaka
2. 発表標題 Drag reduction effect of penguin-feather-mimetic riblets under variation in flow direction
3. 学会等名 SEB Annual Conference 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 田中博人
2. 発表標題 ペンギンの効率的な水中遊泳への適応
3. 学会等名 日本比較生理生化学会第44回大会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 海野伶司, 田中博人, 野島大貴, 菊地デイル万次郎
2. 発表標題 キングペンギンの遊泳における水かきと尾羽の流体力学研究
3. 学会等名 日本動物行動学会第41回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高松亮太, 吉田瑞希, 岸田宗範, 菊地デイル万次郎, 田中博人
2. 発表標題 ハゼの旋回遊泳における胸鰭の3次元形状計測
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 村山友太, 中田敏是, 劉浩
2. 発表標題 高口バスタドローンの創製に向けた羽根規範フレキシブル風況センサの特性評価
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小泉咲人, 中田敏是, 劉浩
2. 発表標題 昆虫の筋骨格系を規範とした柔軟・冗長な羽ばたき機構の創製
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐山 将太郎, 加藤 弘一, 香月 政徳, 畑中 伸一, 亀井 稔人, 田中 博人
2. 発表標題 ホホジロザメ (Carcharodon Carcharias) の楯鱗を模倣した 2.5D プリントリプレットの抗力低減率の計測
3. 学会等名 日本機械学会第100期流体工学部門講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 齋藤 遼輔, 田中 博人
2. 発表標題 ペンギンの体表を模倣したリプレットの3次元胴体モデルにおける抗力低減効果
3. 学会等名 日本機械学会第100期流体工学部門講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Sakito Koizumi, Toshiyuki Nakata, Hao Liu
2. 発表標題 Aerodynamic performance and control of flapping wings driven by insect-inspired flexible flapping mechanisms
3. 学会等名 SICB Annual Main Meeting 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yuta Murayama, Toshiyuki Nakata, Hao Liu
2. 発表標題 Development of bird-inspired wings with flexible flaps inspired by avian covert feathers for flight robots
3. 学会等名 SICB Annual Main Meeting 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 齋藤遼輔, 山崎剛史, 田中博人
2. 発表標題 ペンギンの羽を模したリプレットのヨー角に対する摩擦抗力低減効果
3. 学会等名 日本機械学会第 99 期流体工学部門講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 原田夏輝, 田中博人
2. 発表標題 ペンギンの旋回遊泳の運動解析と準定常流体力計算
3. 学会等名 第45回エアロ・アクアバイオメカニズム学会講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 野木侃, 田中博人
2. 発表標題 ペンギンの前進遊泳を模倣した羽ばたき翼の流れ場と流体力の計測
3. 学会等名 第45回エアロ・アクアバイオメカニズム学会講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 藤井智矢, 田中博人
2. 発表標題 柔軟なハチドリ規範型羽ばたき翼の流れ場のPIVによる可視化
3. 学会等名 日本機械学会関東支部第28期総会・講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高倉一之進, 原田夏輝, 田中博人
2. 発表標題 ペンギンの旋回遊泳の運動
3. 学会等名 日本機械学会関東支部第28期総会・講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 田中博人
2. 発表標題 ペンギン遊泳のバイオミメティクス
3. 学会等名 NBCIテクノロジー委員会バイオミメティクス分科会講演会(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hiroto Tanaka
2. 発表標題 Penguin-mimetic flapping-wing propulsion
3. 学会等名 AIFIT Interdisciplinary Online Seminar Series of Biocomotion(招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田中博人
2. 発表標題 ペンギンの水中遊泳の推進メカニズム
3. 学会等名 日本機械学会第33回バイオエンジニアリング講演会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田中博人
2. 発表標題 ペンギンの遊泳の流体力学とロボティクス
3. 学会等名 第92回日本動物学会オンライン米子大会 シンポジウムS2「動物学とソフトロボット」（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 菊地デイル万次郎
2. 発表標題 ウミドリの飛行と遊泳の進化生物学と流体力学
3. 学会等名 第92回日本動物学会オンライン米子大会 シンポジウムS2「動物学とソフトロボット」（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hiroto Tanaka
2. 発表標題 Underwater propulsion of penguins with flexible wings
3. 学会等名 The 32nd 2021 International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science (MHS2021)（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 菊地デイル万次郎
2. 発表標題 ペンギンは水かきも使って泳ぐ
3. 学会等名 葛西臨海水族園 一般向け講演会「ペンギンの秘密にせまる 水族園で取り組む最新の研究」(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hirotō Tanaka
2. 発表標題 Penguin-mimetic robotic wing mechanism
3. 学会等名 The Fifth International Symposium on Swarm Behavior and Bio-Inspired Robotics 2022 (SWARM 5th 2022) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 田中博人
2. 発表標題 ペンギンの羽ばたき推進メカニズムの流体力学研究
3. 学会等名 第30回ペンギン会議全国大会(一般公開・オンライン)(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hirotō Tanaka
2. 発表標題 Biomimetic Study of Swimming Penguins
3. 学会等名 The Vietnamese Academic Network in Japan (VANJ 2020) (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田中博人
2. 発表標題 生物の羽ばたき飛翔と遊泳のソフトロボット応用:ハチドリとペンギンに学ぶソフトな羽ばたき翼
3. 学会等名 バーチャルTECHNO-FRONTIER2021冬(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中田敏是
2. 発表標題 飛翔生物を規範としたドローンの高性能化
3. 学会等名 第58回飛行機シンポジウム(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Natsuki Harada, Takuma Oura, Masateru Maeda, Yayi Shen, Dale M. Kikuchi, and Hiroto Tanaka
2. 発表標題 Kinematics and hydrodynamics analyses of flapping-wing swimming in a penguin
3. 学会等名 Society for Integrative and Comparative Biology 2021 Virtual Annual Meeting (SICB 2021)(国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 村山友太, 中田敏是, 劉浩
2. 発表標題 鳥の羽根を規範とした柔軟翼を用いたカイトブレーンの外乱応答特性
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小泉咲人, 中田敏是, 劉浩
2. 発表標題 羽ばたき機構の柔軟性が羽ばたきロボットの飛行性能に及ぼす影響
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 原田夏輝, 大浦琢真, 前田将輝, 菊地デイル万次郎, 田中博人
2. 発表標題 ペンギンの低速直進遊泳時の翼の曲げ変形と迎角への影響
3. 学会等名 日本機械学会第33回バイオエンジニアリング講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐山 将太郎, 加藤 弘一, 香月 政徳, 川嶋 保宏, 亀井 稔人, 田中 博人
2. 発表標題 ホホジロザメ (Carcharodon Carcharias) の楯鱗を模倣したリプレットの流速の変化に対するロバスト性
3. 学会等名 日本機械学会第98期流体工学部門講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 北原 麗, 田中 博人
2. 発表標題 水中遊泳するペンギンの足ヒレの 3 次元運動解析
3. 学会等名 日本機械学会第31回バイオフロンティア講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Sakito Koizumi, Toshiyuki Nakata, Hao Liu
2. 発表標題 Development of flexible flapping mechanism inspired by insect musculoskeletal system
3. 学会等名 Robosoft2019 Workshop (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuta Murayama, Toshiyuki Nakata, Hao Liu
2. 発表標題 Development of flexible wings inspired by avian feathers
3. 学会等名 Robosoft2019 Workshop (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akio Kawahara, Masahiro Aizawa, Takeshi Yamasaki, Hiroto Tanaka
2. 発表標題 Fabrication of a Hummingbird-mimetic Flexible Flapping Wings
3. 学会等名 International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science (MHS 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 片桐翔, 栢菅宏規, 田中博人
2. 発表標題 ペンギン規範型羽ばたき推進機構の翼運動による推力の制御
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Jinqiang Dang, Akio Kawahara, Hiroto Tanaka
2. 発表標題 Design, fabrication, and test of a new control mechanism for a tailless flapping-wing aerial robot
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小泉咲人, 吉田直人, 中田敏是, 劉浩
2. 発表標題 昆虫の筋骨格系を規範とした飛行ロボット用小型柔軟羽ばたき機構の創製
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石橋健太, 廣瀬将輝, 野田龍介, 中田敏是, 劉浩
2. 発表標題 生物の形態・構造を規範とした高性能なドローン用回転翼の創製
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 村山友太, 中田敏是, 劉浩
2. 発表標題 ドローンの高口バラスト化のための鳥規範型柔軟翼の創製
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Jinjiang Dang, Hiroto Tanaka
2. 発表標題 Study on a hummingbird-sized tailless flapping-wing aerial robot capable of pitch, roll, and yaw control
3. 学会等名 第37回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岸根宏明, 山崎剛史, 田中博人
2. 発表標題 ペンギンの胴体の羽を模倣した微小表面構造の抗力低減効果の実験的研究
3. 学会等名 日本機械学会第97期流体工学部門講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小泉咲人, 中田敏是, 劉浩
2. 発表標題 昆虫の筋骨格系を規範とした柔軟羽ばたき飛行ロボットの創製
3. 学会等名 第37回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 村山友太, 中田敏是, 劉浩
2. 発表標題 鳥の羽根を規範とした柔軟構造が翼の外乱応答特性に及ぼす影響
3. 学会等名 日本流体力学会 年会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中田敏是
2. 発表標題 生物を規範とした次世代型ドローンの創製
3. 学会等名 日本ドローンコンソーシアム・フォーラム2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 早川義哉, 田中博人
2. 発表標題 ペンギンの羽ばたき遊泳中の 3 次元翼変形の SCM による計測
3. 学会等名 第32回バイオエンジニアリング講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田中博人
2. 発表標題 ペンギンロボット - 小型で俊敏な水中ドローンを実現する電動羽ばたき翼運動機構
3. 学会等名 JST 東京工業大学 新技術説明会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田谷昌仁, 山崎剛史
2. 発表標題 鳥類の小翼羽形態と生態の関係
3. 学会等名 日本鳥学会2019年度大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 上村英隆, 田中博人
2. 発表標題 タフで柔軟なハチドリ規範型羽ばたき翼の製作
3. 学会等名 第41回エアロ・アクアバイオメカニズム学会講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 片桐翔, 沈雅怡, 田中博人
2. 発表標題 ペンギン規範型羽ばたき推進機構の推力を最大化する迎角振幅と遊泳速度の関係
3. 学会等名 第41回エアロ・アクアバイオメカニズム学会講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hirotō Tanaka
2. 発表標題 Turning maneuver in wing-propelled penguins and its robotics application
3. 学会等名 Aquatic Bio-inspired and Soft Robotics 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 原田夏輝, 大浦琢真, 前田将輝, 菊地デイル万次郎, 田中博人
2. 発表標題 ペンギンの低速直進遊泳時の翼の曲げ変形と迎角への影響
3. 学会等名 日本機械学会第33回バイオエンジニアリング講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 河原暁生, 田中博人, 山崎剛史
2. 発表標題 ハチドリ ¹ の風切羽の曲げ剛性分布を規範とした人工羽ばたき翼
3. 学会等名 日本機械学会 2018 年度年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大浦琢真, 前田将輝, 田中博人
2. 発表標題 ペンギンの羽ばたき遊泳の3次元運動解析
3. 学会等名 日本機械学会 2018 年度年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岸根宏明, 前田将輝, 田中博人, 山崎剛史
2. 発表標題 ペンギンの羽枝構造が持つ摩擦抗力低減効果
3. 学会等名 日本機械学会 2018 年度年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 相澤誠浩, 田中博人, 山崎剛史
2. 発表標題 ハチドリを模倣した小型羽ばたき飛翔体における高性能弾性翼の研究
3. 学会等名 第29回バイオフィロンティア講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山崎剛史, 田中博人, 中田敏是
2. 発表標題 セレーシヨンの進化 フクロウ風切羽の幾何学的形態測定学
3. 学会等名 日本鳥学会2018年度大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 吉田瑞希, 森阪匡通, 安田健太, 藤原克則, 若林郁夫, 櫻井夏子, 田中博人, 大泉宏
2. 発表標題 飼育下におけるイルカ3種の呼吸姿勢に関する研究
3. 学会等名 第66回日本生態学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 菊地デイル万次郎
2. 発表標題 流体力学と動物行動学の間
3. 学会等名 第66回日本生態学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小泉咲人, 吉田直人, 中田敏是, 劉浩
2. 発表標題 昆虫の筋骨格系を規範とした高効率な羽ばたき機構の設計と作製
3. 学会等名 日本機械学会関東支部 第25期総会・講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 H. Tanaka, A. Kawahara, M. Aizawa, and T. Yamasaki
2. 発表標題 Measurement of Flexural Stiffness of Hummingbirds's feathers and its aerodynamic effect in hovering
3. 学会等名 SICB Annual Meeting 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Oura, M. Maeda, and H. Tanaka
2. 発表標題 Three-dimensional wing motions of a diving penguin
3. 学会等名 SICB Annual Meeting 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 D. M. Kikuchi, M. Maeda, K. Shiomi, and H. Tanaka
2. 発表標題 Fluid dynamics function of the rhinoceros auklets' horn in flying and swimming
3. 学会等名 SICB Annual Meeting 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田中博人
2. 発表標題 生物の羽ばたき飛翔と遊泳のソフトロボット応用
3. 学会等名 第98回東京工業大学技術交流セミナー (第8回おおた研究・開発フェア併催) (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田中博人
2. 発表標題 飛行と遊泳のバイオメティクス：ソフトロボットへの応用
3. 学会等名 プラスチック成形加工学会第166回講演会 バイオインスパイアード技術と成形加工～生物模倣から革新的技術へ～（招待講演）
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 公益社団法人日本動物学会（編集）	4. 発行年 2018年
2. 出版社 丸善出版	5. 総ページ数 800
3. 書名 動物学の百科事典	

〔出願〕 計0件

〔取得〕 計1件

産業財産権の名称 羽ばたき動作機構及び羽ばたき動作機構の使用法、並びに、羽ばたき動作機構を用いた推進装置	発明者 田中博人，栢菅宏規	権利者 国立大学法人東京工業大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2018-184512	取得年 2020年	国内・外国の別 国内

〔その他〕

ソフトロボット学の創成 https://softrobot.jp/
--

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	中田 敏是 (Nakata Toshiyuki) (80793190)	千葉大学・大学院工学研究院・准教授 (12501)	
研究分担者	山崎 剛史 (Yamasaki Takeshi) (70390755)	公益財団法人山階鳥類研究所・その他部局等・研究員 (72641)	

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	菊地 デイル万次郎 (Kikuchi Dale Manjiro) (30793343)	東京農業大学・農学部・助教 (32658)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関