

令和 6 年 6 月 3 日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2023

課題番号：21K14341

研究課題名（和文）非線形移動型モデリング法の構築による大変形構造物の高効率な一連解析

研究課題名（英文）Movable-Nonlinearity Modeling for Successive Analyses of Very Flexible Structures

研究代表者

大塚 啓介 (Otsuka, Keisuke)

東北大学・工学研究科・准教授

研究者番号：20881189

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000円

研究成果の概要（和文）：災害・コロナ禍の影響を受け、通信需要はますます増加しており、低高度を数カ月連続飛行することで空の基地局となる衛星航空機の実用化が期待されている。従来航空機と異なり、極軽量柔軟な衛星航空機は静的大変形形状によって周波数特性・動特性が激変する。衛星航空機の早期実現には大変形を考慮した数値モデル（非線形運動方程式）による静解析・周波数解析・動解析という一連の解析が必要になる。非線形性を運動方程式の任意の項に移動させ、静解析・周波数解析・動解析いずれに対しても容易に適用でき、高い解析性能を発揮する【非線形移動型モデリング法】の構築し、その実験実証を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年は旅客機などの翼も細長化・大変形化が進行しているため、提案した解析手法は無人機のみならず、将来の有人機にも有効であり、今後の航空工学分野に大きく貢献する意義がある。高出力発電のための風車ブレードの長大化や炉心探査するためのロボットアームの長尺化が進んでおり、多様な分野で大変形細長構造物の実用化が望まれている。これら異分野の構造物に対しても有効な提案手法は自然エネルギー・防災などの分野でも必要とされる社会的意義がある。

研究成果の概要（英文）：Due to the effects of natural disasters and the COVID-19 pandemic, demand for telecommunications is increasing. High altitude platform station (HAPS) aircraft flying continuously at stratosphere for several months is desired to provide high quality telecommunication. Unlike conventional aircraft, the frequency and dynamic characteristics of the aircraft change drastically due to the large static deformation. To realize the aircraft, a series of analyses will be required, including static analysis, frequency analysis, and dynamic analysis, using a numerical model (nonlinear equation of motion) that takes large deformation into account. In this study, "Moveable-Nonlinearity Modeling" that can be easily applied to the static analysis, frequency analysis, and dynamic analysis was developed. Its accuracy was experimentally validated.

研究分野：航空宇宙工学

キーワード：大変形構造 流体構造連成 空力弾性 非線形有限要素法 風洞実験 マルチボディダイナミクス マルチフィジックス 衛星航空機

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。

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

(1) 研究背景

災害・コロナ禍の影響を受け、通信需要はますます増加しており、低高度を数カ月継続飛行することで空の基地局となる衛星航空機（図1）の実用化が期待されている。従来航空機と異なり、極軽量柔軟な衛星航空機は静的大変形形状によって周波数特性・動特性が激変する。衛星航空機の早期実現には大変形を考慮した数値モデル（非線形運動方程式）による静解析・周波数解析・動解析という一連の解析が必要になる。

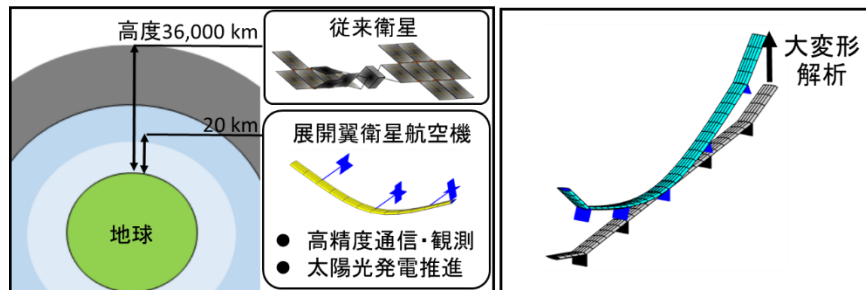


図1 衛星航空機概念図

(2) 研究課題

「大変形解析モデルにおいてあらゆる項に同時出現する非線形性を任意に移動できるか」が学術的な課題である。従来モデルは大変形による非線形性が慣性項、見かけの粘性項、剛性項といったあらゆる箇所と同時に出現する。このため静解析では非線形剛性行列の逆行列計算コスト増、周波数解析では線形化困難、動解析では非線形質量行列の逆行列計算コスト増が発生する。従来研究は未だ「大変形を高精度に表現する」ことに終始しており、「静解析・周波数解析・動解析いずれに対しても高効率計算する」という観点まで及んでいないからである。

2. 研究の目的

非線形性を任意に移動させ、静解析・周波数解析・動解析いずれに対しても容易に適用でき、高い解析性能を発揮する【非線形移動型モデリング法】の構築と実験実証が目的とした。2019年度までに確立したベクトルモデルを基盤に、新たな3つの独自性を導入することで本申請目的である【非線形移動型モデリング法】を構築した。

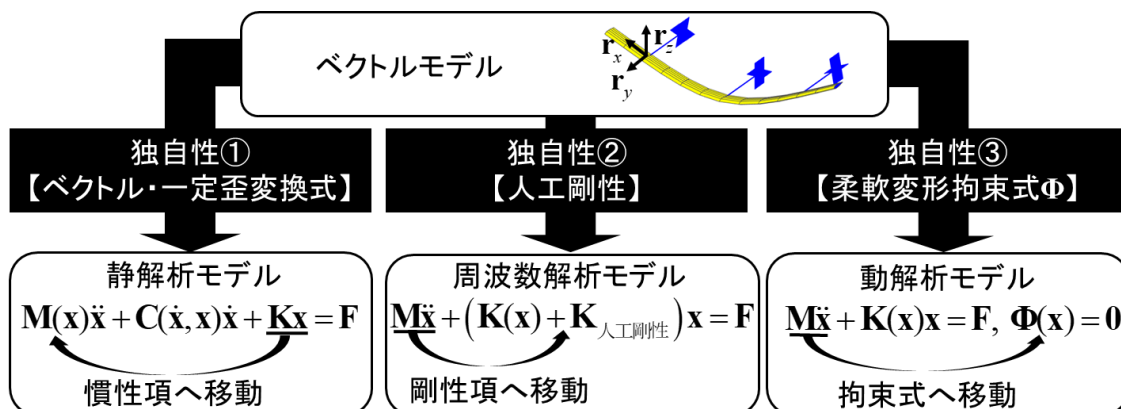


図2 【非線形移動型モデリング】の概念図

3. 研究の方法

図2に示した3つの独自性を導入することで非線形移動型モデリング法を構築し、風洞実験でその解析性能を実証した。

(1) 静解析モデル

衛星航空機の細長形状と幾何学曲線理論との類似性を活用した【ベクトル・歪変換式】を用いることでベクトル変数モデルを歪変数モデルに変換できた。この変換によって静解析で高計算負荷となる剛性項の非線形性を慣性項に移動し、高速に静解析できるようになった。

(2)周波数解析モデル

周波数解析には大変形形状周りでモデルを線形化する必要がある。上述の静解析モデルの剛性項は線形となるものの、非線形慣性項と非線形粘性項の2つが依然として存在するので線形化が難しい。そこで対象構造物にとって非支配的な変形を【人工剛性】として簡易的に表現することで、慣性項の非線形性を剛性項に移動でき、さらに見かけの粘性項も0にできた。

(3)動解析モデル

人工剛性を用いれば動解析で高計算負荷となる質量行列を定数にできる。しかし、繰り返し計算が必要な動解析では人工剛性のチューニングによっては解析が発散し得る。そこで人工剛性の代わりに付与した【柔軟変形拘束式Φ】に非線形性を移動することで高速・安定・チューニング不要な動解析を実現した。

4. 研究成果

静解析，周波数解析，動解析の3つを行った後，風洞実験による実証を行った。

(1) 静解析結果

提案手法を用いて，表1および図3に示す片持ち梁のロールアップを解析した。ロールアップとは片持ち梁の自由端に特定の曲げモーメント（ $\lambda=1.0$ の時）を作用させた際に真円になることが数学的に明らかにされている大変形ベンチマーク問題である。少ない要素分割数で真円を得られるほど，モデルの静解析の性能が高いと言える。図3に示すように僅か1要素分割で真円が得られたことから静解析用モデルの妥当性を示すことができたといえる。

表1 ロールアップ問題における片持ち梁のパラメータ

パラメータ	値	単位
長さ L	3.2	m
断面2次モーメント I	1.333	10^{-8} m^4
ヤング率 E	200	GPa
自由端モーメント M	$\lambda \times 2\pi EI/L$	N/m

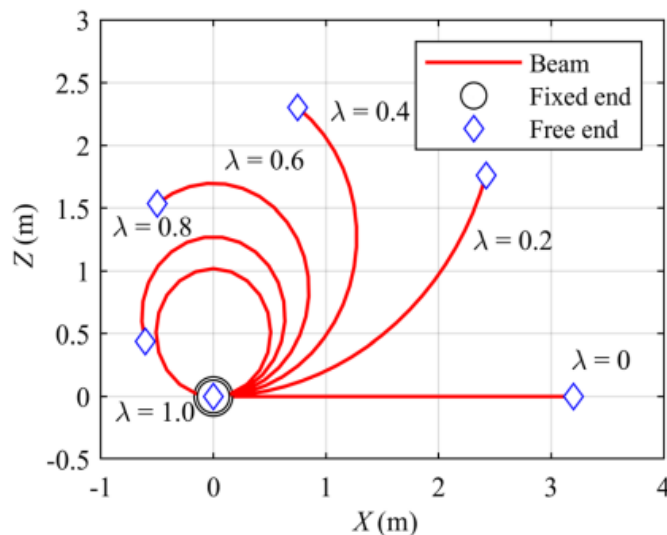


図3 静解析

(2) 周波数解析結果

表2のパラメータを持つベンチマーク片持ち翼の周波数解析(固有振動数の算出)を行った。このベンチマーク翼は翼根から翼端まで一定の断面特性を有する一様な梁と考えることができる。表3に示すように低次の3つの固有振動数が要素分割数を増やす程，解析解に収束したことから周波数解析用モデルの妥当性を示すことができたといえる。

表 2 ベンチマーク翼のパラメータ

パラメータ	値	単位
長さ L	16	m
幅 c	1	m
伸び剛性 EA	1.0×10^7	N
曲げ剛性 EI_{yy}	2.0×10^4	N m ²
曲げ剛性 EI_{zz}	5.0×10^6	N m ²
ねじり剛性 GJ	1.0×10^4	N m ²
断面質量 ρA	0.75	kg/m
回転慣性 ρI_{xx}	0.1	kg m
回転慣性 ρI_{yy}	0.01	kg m
回転慣性 ρI_{zz}	0.09	kg m

表 3 周波数解析結果 (Hz)

要素数	2	3	4	10	20	解析解
1 次曲げ固有振動数	0.357	0.357	0.357	0.357	0.357	0.357
2 次曲げ固有振動数	2.25	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24
1 次ねじり固有振動数	5.07	4.99	4.97	4.94	4.94	4.94

(3) 動解析結果

上述の片持ちベンチマーク翼を時刻 0 s において、表 4 および図 5 に示す流速・重力の影響下においた場合の動的挙動を解析した。流体力の計算には Unsteady Vortex Lattice Method (UVLM)を用いた。UVLM は翼面と後流のみのメッシュ分割を必要とする手法である。簡単の為に UVLM のメッシュ分割は比較的粗くしてある。図 5 は動解析用モデルと Imperial College London が開発している衛星航空機解析フリーソフト SHARPy で得られた自由端たわみの時間履歴を示す。参考の為、静解析用モデルであえて動解析を行った結果もプロットしている。3 者は良好に一致しており、動解析用モデルの妥当性を示すことができたといえる。

表 4 動解析の設定条件

パラメータ	値	単位
空気流速	25	m/s
空気密度	0.0889	kg/m ³
迎角	0	deg
重力加速度	9.8	m/s ²
UVLM スパン方向の翼面分割数	16	-
UVLM コード方向の翼面分割数	4	-
UVLM コード方向の後流分割数	10	-

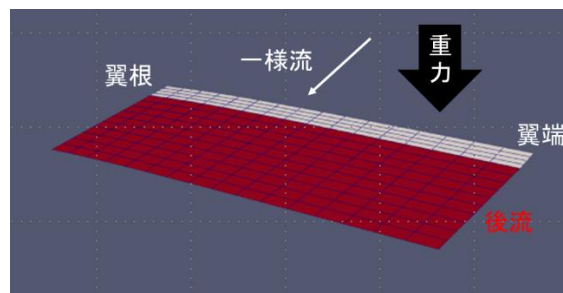


図 4 ベンチマーク翼の動解析

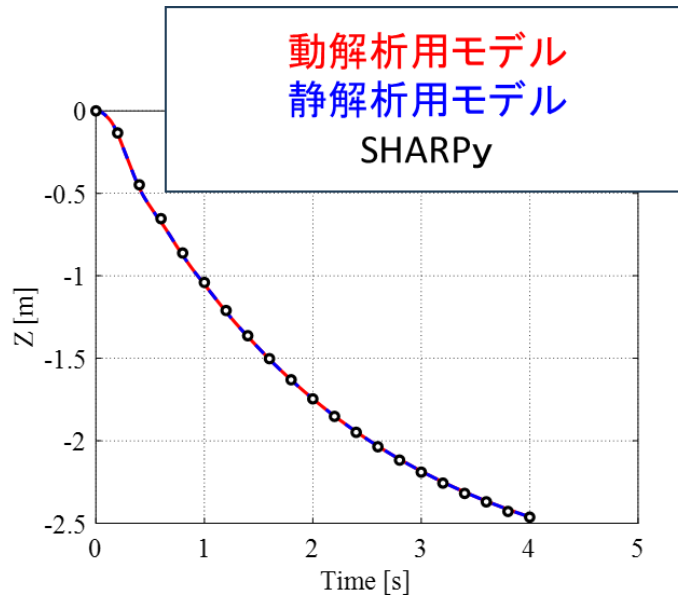


図5 自由端たわみの時間履歴

(4) 風洞実験結果

図6に示すように、風洞開口部に鉛直に配置した平板片持ち翼模型の振動をレーザ変位計で計測した。なお、初期たわみを翼端に貼付したワイヤで与え、このワイヤを焼き切ることで振動を発生させた。図7は翼端たわみの時間履歴を示す。提案手法による解析と実験は良好な一致を示した。

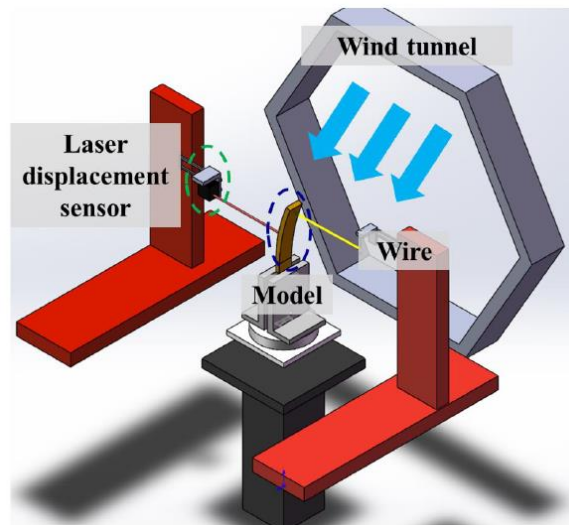


図6 風洞実験の概要

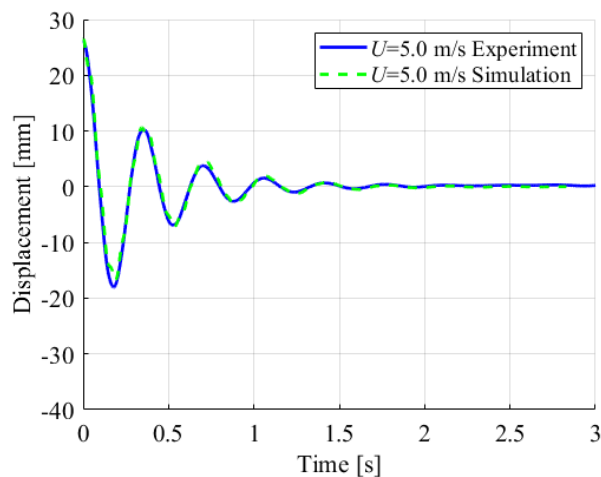


図7 自由端たわみの時間履歴

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 12件／うち国際共著 6件／うちオープンアクセス 10件）

1. 著者名 Otsuka Keisuke, Wang Yinan, Fujita Koji, Nagai Hiroki, Makihara Kanjuro	4. 巻 17
2. 論文標題 Consistent Strain-Based Multifidelity Modeling for Geometrically Nonlinear Beam Structures	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ASME Journal of Computational and Nonlinear Dynamics	6. 最初と最後の頁 111003
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1115/1.4055310	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 該当する
1. 著者名 Otsuka Keisuke, Dong Shuonan, Fujita Koji, Nagai Hiroki, Makihara Kanjuro	4. 巻 538
2. 論文標題 Joint parameters for strain-based geometrically nonlinear beam formulation: Multibody analysis and experiment	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Sound and Vibration	6. 最初と最後の頁 117241 ~ 117241
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jsv.2022.117241	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 Dong Shuonan, Otsuka Keisuke, Makihara Kanjuro	4. 巻 547
2. 論文標題 Hamiltonian formulation with reduced variables for flexible multibody systems under linear constraints: Theory and experiment	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Sound and Vibration	6. 最初と最後の頁 117535 ~ 117535
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jsv.2022.117535	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 Otsuka Keisuke, Dong Shuonan, Kuzuno Ryo, Sugiyama Hiroyuki, Makihara Kanjuro	4. 巻 61
2. 論文標題 Moving Morphable Multi Components Introducing Intent of Designer in Topology Optimization	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 AIAA Journal	6. 最初と最後の頁 1720 ~ 1734
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2514/1.J062210	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 該当する

1. 著者名 Otsuka Keisuke, del Carre Alfonso, Palacios Rafael	4. 巻 59
2. 論文標題 Nonlinear Aeroelastic Analysis of High-Aspect-Ratio Wings with a Low-Order Propeller Model	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 AIAA, Journal of Aircraft	6. 最初と最後の頁 293 ~ 306
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2514/1.C036285	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 該当する

1. 著者名 Otsuka Keisuke, Makihara Kanjuro, Sugiyama Hiroyuki	4. 巻 17
2. 論文標題 Recent Advances in the Absolute Nodal Coordinate Formulation: Literature Review From 2012 to 2020	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Computational and Nonlinear Dynamics	6. 最初と最後の頁 8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1115/1.4054113	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 該当する

1. 著者名 Wang Yinan, Zhao Xiaowei, Palacios Rafael, Otsuka Keisuke	4. 巻 60
2. 論文標題 Aeroelastic Simulation of High-Aspect Ratio Wings with Intermittent Leading-Edge Separation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 AIAA Journal	6. 最初と最後の頁 1769 ~ 1782
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2514/1.J060909	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 Otsuka Keisuke, Wang Yinan, Palacios Rafael, Makihara Kanjuro	4. 巻 60
2. 論文標題 Strain-Based Geometrically Nonlinear Beam Formulation for Rigid/Flexible Multibody Dynamic Analysis	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 AIAA Journal	6. 最初と最後の頁 4954 ~ 4968
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2514/1.J061516	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 該当する

1. 著者名 Kuzuno Ryo, Dong Shuonan, Okada Taiki, Otsuka Keisuke, Makihara Kanjuro	4. 巻 10
2. 論文標題 Dynamics and Energy Analysis of Nonequatorial Space Elevator Using Three-Dimensional Nonlinear Finite Element Method Extended to Noninertial Coordinate System	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 43964 ~ 43980
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ACCESS.2022.3168666	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 Kuzuno Ryo, Dong Shuonan, Takahashi Yuya, Okada Taiki, Xue Cheng, Otsuka Keisuke, Makihara Kanjuro	4. 巻 220
2. 論文標題 High-fidelity flexible multibody model considering torsional deformation for nonequatorial space elevator	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Acta Astronautica	6. 最初と最後の頁 504 ~ 515
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.actaastro.2024.05.008	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 Dong Shuonan, Kuzuno Ryo, Otsuka Keisuke, Makihara Kanjuro	4. 巻 588
2. 論文標題 A novel and efficient Hamiltonian dynamic analysis approach for constraint force determination in flexible multibody systems	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Journal of Sound and Vibration	6. 最初と最後の頁 118517 ~ 118517
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jsv.2024.118517	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 Mori Erina, Matsumoto Yuta, Kawabata Nariyuki, Otsuka Keisuke, Makihara Kanjuro	4. 巻 135
2. 論文標題 Establishment of iterative modeling method for spherical tensegrity structure using rotational symmetry and regular polyhedron configuration	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Mechanics Research Communications	6. 最初と最後の頁 104217 ~ 104217
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.mechrescom.2023.104217	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32件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 19件）

1. 発表者名 大塚 啓介, Dong Shuonan, 槇原 幹十朗
2. 発表標題 プロペラと主翼の空力干渉を考慮した高アスペクト比翼の非線形空力弾性解析
3. 学会等名 第64回構造強度に関する講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Dong Shuonan, 葛野 諒, 岡田 大規, 静野 芳崇, 大塚 啓介, 槇原 幹十朗
2. 発表標題 モデル縮約したハミルトニアン形式の柔軟マルチボディシステム解析
3. 学会等名 日本機械学会2022年度年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 向川大成, Dong Shuonan, 大塚啓介, 槇原幹十朗
2. 発表標題 平板翼のフラッタ解析と圧電素子を用いたフラッタ発電実験
3. 学会等名 日本機械学会東北支部 第58期秋季講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ryo Kuzuno, Shuonan Dong, Yuya Takahashi, Taiki Okada, Yoshitaka Shizuno, Keisuke Otsuka, Kanjuro Makihara
2. 発表標題 Flexible Rotating Multibody Analysis Using Extended NPFEM for NonEquatorial Space Elevator
3. 学会等名 The 6th International Conference on Multibody System Dynamics (IMSD) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 葛野諒, 董鏢男, 高橋侑也, 岡田大規, 静野芳崇, 大塚啓介, 槇原幹十朗
2. 発表標題 非慣性座標系へ拡張した非線形有限要素法による非赤道宇宙エレベータの3次元動解析
3. 学会等名 第66回宇宙科学技術連合講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Shuonan Dong, Taisei Mukogawa, Yushin Hara, Keisuke Otsuka, Boyue Chen, Yu Shi, Yu Jia, Constantinos Soutis, Hiroki Kurita, Fumio Narita, Kanjuro Makihara
2. 発表標題 Investigation of Flutter Velocity and Power Generation with Piezoelectric Film
3. 学会等名 19th International Conference on Flow Dynamics (ICFD2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Keisuke Otsuka, Yinan Wang, Chi Wing Cheng, Shuonan Dong, Koji Fujita, Rafael Palacios, Hiroki Nagai, Kanjuro Makihara
2. 発表標題 Geometrically Nonlinear Beam Model for Slender Multibody Wings
3. 学会等名 19th International Conference on Flow Dynamics (ICFD2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大塚啓介, Dong Shuonan, 葛野諒, 槇原幹十朗
2. 発表標題 航空機・車両・鉄道・エレベータに対する統一的な柔軟マルチボディ解析法の構築
3. 学会等名 第31回 交通・物流部門大会 (TRANSLOG2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Keisuke Otsuka, Shuonan Dong, Ryo Kuzuno, Kanjuro Makihara
2. 発表標題 Analysis-Oriented Moving Morphable Components for Topology Optimization
3. 学会等名 AIAA SciTech 2023 Forum (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 渡辺 聡史, Dong Shuonan, 大塚 啓介, 槇原 幹十朗
2. 発表標題 大変形する展開構造物の構造最適化
3. 学会等名 日本機械学会東北支部 第58期総会・講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 高橋 侑也, 葛野 諒, Dong Shuonan, 岡田 大規, 静野 芳崇, 大塚 啓介, 槇原 幹十朗
2. 発表標題 非線形有限要素法によるテザー構造物の大変形解析
3. 学会等名 日本機械学会東北支部 第58期総会・講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大塚啓介, Dong Shuonan, 槇原幹十朗
2. 発表標題 歪を要素変数とする非線形梁要素の柔軟マルチボディ解析への拡張
3. 学会等名 第63回構造強度に関する講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Keisuke Otsuka, Shuonan Dong, Kanjuro Makihara
2. 発表標題 Absolute Nodal Coordinate Formulations for Aeroelastic Analysis of Next-Generation Aircraft Wings
3. 学会等名 17th International Conference on Multibody Systems, Nonlinear Dynamics, and Control (MSNDC) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 葛野諒, 董鏢男, 廣谷俊輔, 大塚啓介, 槇原幹十朗
2. 発表標題 非赤道宇宙エレベータにおけるテザーの3次元非線形解析
3. 学会等名 日本機械学会東北支部 第57期秋季講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kei Imagawa, Keisuke Otsuka, Yu Jia, Yu Shi, Constantinos Soutis, Hiroki Kurita, Fumio Narita, Kanjuro Makihara
2. 発表標題 Experimental Investigation of Flutter Power Generation with Piezoelectric Film
3. 学会等名 18th International Conference on Flow Dynamics (ICFD2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shunsuke Hirotsu, Shuonan Dong, Ryo Kuzuno, Taiki Okada, Keisuke Otsuka, Kanjuro Makihara
2. 発表標題 New MMC-Based Topology Optimization Method with Curvilinear Representation
3. 学会等名 18th International Conference on Flow Dynamics (ICFD2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Keisuke Otsuka, Shuonan Dong, Yinan Wang, Koji Fujita, Hiroki Nagai, Kanjuro Makihara
2. 発表標題 Nonlinear Aeroelastic Analysis Coupling Unsteady Vortex Lattice Method and Strain-Based Beam Formulation
3. 学会等名 18th International Conference on Flow Dynamics (ICFD2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Keisuke Otsuka, Yinan Wang, Rafael Palacios, Kanjuro Makihara
2. 発表標題 Strain-Based Geometrically Nonlinear Beam Formulation for Multibody Dynamic Analysis
3. 学会等名 AIAA Scitech 2022 Forum (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shuonan Dong, Keisuke Otsuka, Yinan Wang, Koji Fujita, Hiroki Nagai, Kanjuro Makihara
2. 発表標題 Development of Multibody Dynamics Formulation Based on Canonical Theory
3. 学会等名 33rd International Symposium on Space Technology and Science (ISTS2022) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ryo Kuzuno, Shuonan Dong, Yuya Takahashi, Taiki Okada, Yoshitaka Shizuno, Keisuke Otsuka, Kanjuro Makihara
2. 発表標題 Dominant Geometrical Factor in Non-Equatorial Space Elevator Dynamics
3. 学会等名 34th International Symposium on Space Technology and Science (ISTS2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Dong Shuonan, 大塚啓介, 槇原幹十朗
2. 発表標題 ハミルトニアン形式の柔軟マルチボディダイナミクスの低次元化モデリング法と実験実証
3. 学会等名 第65回構造強度に関する講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大塚啓介, Dong Shuonan, 槇原幹十朗
2. 発表標題 幾何学的制約を導入可能なMMC法によるトポロジー最適化
3. 学会等名 第65回構造強度に関する講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Ryo Kuzunoo, Shuonan Dong, Yuya Takahashi, Keisuke Otsuka, Kanjuro Makihara
2. 発表標題 High-Precision Multibody Model for Space Elevator Including Torsional Deformation
3. 学会等名 74th International Astronautical Congress (IAC) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Satoshi Watanabe, Shuonan Dong, Keisuke Otsuka, Kanjuro Makihara
2. 発表標題 Structural Optimization of Flexible Multibody Systems with Deployment Mechanism
3. 学会等名 20th International Conference on Flow Dynamics (ICFD2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Taiki Okada, Shuonan Dong, Ryo Kuzuno, Yuya Takahashi, Yoshitaka Shizuno, Keisuke Otsuka, Kanjuro Makihara
2. 発表標題 State Estimation of Multibody Model Using State Observer Based on Differential Algebraic Equation
3. 学会等名 20th International Conference on Flow Dynamics (ICFD2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Taisei Mukogawa, Shuonan Dong, Yu Jia, Yu Shi, Constantinos Soutis, Hiroki Kurita, Fumio Narita, Keisuke Otsuka, Kanjuro Makihara
2. 発表標題 Flutter Harvester Using Flexible Plates with Piezoelectric Film
3. 学会等名 20th International Conference on Flow Dynamics (ICFD2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yuya Takahashi, Ryo Kuzuno, Shuonan Dong, Taiki Okada, Yoshitaka Shizuno, Keisuke Otsuka, Kanjuro Makihara
2. 発表標題 Arbitrary Lagrangian-Eulerian Non-linear Finite Element Analysis of Tethered Structure with Large Deformation
3. 学会等名 20th International Conference on Flow Dynamics (ICFD2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Keisuke Otsuka, Yoshiaki Abe, Tomoki Yamazaki, Takanori Haga
2. 発表標題 Simulation Framework for Wake-Induced Aeroelastic Phenomena
3. 学会等名 20th International Conference on Flow Dynamics (ICFD2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Keisuke Otsuka, Shuonan Dong, Koji Fujita, Hiroki Nagai, Kanjuro Makihara
2. 発表標題 Aeroelastic Simulation Framework for Membrane Wings
3. 学会等名 20th International Conference on Flow Dynamics (ICFD2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 葛野 諒, Dong Shuonan, 高橋 侑也, 岡田 大規, 大塚 啓介, 槇原幹十朗
2. 発表標題 非赤道宇宙エレベータの3次元動解析の高精度化
3. 学会等名 日本機械学会第32回スペース・エンジニアリング・コンファレンス
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Keisuke Otsuka, Shuonan Dong, Ryo Kuzuno, Hiroyuki Sugiyama, Kanjuro Makihara
2. 発表標題 Moving Morphable Components based on Strain-Based Beam Formulation for Topology Optimization
3. 学会等名 AIAA Scitech 2024 Forum (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 志村 賢人, 向川 大成, 原 勇心, 大塚 啓介, 槇原 幹十朗
2. 発表標題 空力弾性現象による振動エネルギーハーベスティング
3. 学会等名 日本機械学会東北支部 第59期総会・講演会
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

研究室ホームページ

<http://web.tohoku.ac.jp/makihara/www-j/index-j.htm>

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
--	---------------------------	-----------------------	----

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			
米国	The University of Iowa			
英国	Imperial College London	The University of Liverpool		
英国	The University of Manchester	University of Chester	Aston University	