

令和 2 年 6 月 9 日現在

機関番号：14501

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K18924

研究課題名（和文）地上から宇宙に展開する形態可変な大型建造物の構築に関する基幹要素技術

研究課題名（英文）Elemental technology research for seamless development of the large deployment structures with shape-variable function in the ground and the space

研究代表者

向井 洋一（Mukai, Yoichi）

神戸大学・工学研究科・准教授

研究者番号：70252616

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,000,000円

研究成果の概要（和文）：代表的な剛体折紙の手法である「ミウラ折り」を応用した建造物の技術的課題を検討した。建築構造への応用のために、開閉時にパネル同士が干渉しない「改良ヒンジモデル」を提案し、同期展開性と収納性ととともに、パネルが面外から受ける荷重の影響を検討した。宇宙構造への応用のために、パネルの折り線を斜めに切り込み、折り線が一点で交わる機構を提案し、展開挙動の可視化とともに、展開板構造の宇宙実証を目標に機構解析を行った。柔軟で耐久性のあるヒンジ開発のために、炭素繊維強化プラスチック（CFRP）を用い、4Dプリント技術による柔部分と剛部分の接合部製造プロセスを提案し、展開時の変形追従性と耐久性を検証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

折紙の手法は、様々な工業製品の製作技術への応用技法として、世界的にも期待されている。しかしながら、厚みのないシートで可能な造形手法を厚みのあるプレート造形に応用するには、折込時に重なり合う面同士が干渉を起こさない工夫が必要となる。そこで、厚みのあるパネルを用いたミウラ折りを成立させるために、パネル面に対して傾斜するヒンジ線を持つ機構を新たに提案し、その同期展開性、収納性について定量的に示した。さらに、展開板構造の一体形成を想定し、同一材料に局所的な柔軟性を付与する4Dプリント技術の開発を新たに進めた。展開板構造の今後の実用化のために、本研究成果は、重要な貢献と意義を持つものと考えている。

研究成果の概要（英文）：structural construction technology with foldable and deployable mechanisms. Firstly, an improved-type hinge mechanism model is proposed for civil engineering structures. This model is designed to avoid a conflict between panels during motions to change its configurations. Foldable and deployable performance and an out-of-plane action of panels are evaluated through numerical simulations. Secondly, a novel folding mechanism that has slanting folding-line by cutting a panel-edge is proposed for aerospace structures. Visualization of expansion of folded structures and mechanism analyses to expand in outer space are conducted. Thirdly, a 4D-printing method, which is developed as a novel printing process using carbon fiber reinforced plastic (CFRP), is introduced to a joint between the rigid panel and flexible hinge. Deformability and durability of the flexible hinge are examined during deploying motions.

研究分野：建築構造工学

キーワード：展開板構造 展開挙動解析 面外衝撃荷重作用 FEM解析 超小型衛星 宇宙構造 局所可撓性 4Dプリント

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、研究者個人に帰属されます。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

折紙の技法は、趣味や芸術的な側面のみならず、様々な工業製品の製作技術に応用できる技法として、様々な分野での研究が進められている。建築分野では、折板の形状安定性を利用した大規模な建築空間造形への利用がその一例である。また、宇宙太陽光発電システムの超大型建造物の構成要素を宇宙空間で組み立てるために、その作業の効率化と高信頼化を図るための有望な技術として、剛体折紙の技法が着目されている。代表的な剛体折紙手法の「ミウラ折り」は同期展開が可能な機構であり、建造物を構成するパーツとしてミウラ折りを利用できれば、収納性・展開性という機能をもつ新たな構造システム実現への、大きな弾みとなることが期待される。本研究では、展開板構造の実用化に関する問題として、構造システムや施工性、運動機構や形状制御・安定化、変形追従性材料や一体形成などに関するテーマを取り上げ、これらの要素技術に関する課題研究に取り組んだ。

(1) 建築建造物において、可動式の大型板構造を利用するためには、板要素とヒンジ部に所定の剛性と強度を与える必要性から板厚の考慮が必要となる。そこで、運動時にパネル間の干渉を回避することが可能なヒンジ機構を新たに検討するとともに、施工や運搬などを想定し、構造システムの折畳・展開時の同期性、収納性について定量的に検討する必要があると考えられる。

(2) 板要素とヒンジで構成される折板構造要素を建築建造物の外装面材等に使用することを想定し、パネルの面外から作用する外力に対する構造システムの安全性の検討が重要と考えられる。そこで、面外荷重作用を受ける板要素の脆弱破壊性状や、折畳・展開動作に影響しない補強方法などについても検討が必要であると考えられる。

(3) 大型建造物を宇宙で構築するためには、宇宙空間までの輸送の観点から、形態的可変性(折り畳み・展開)が必須である。一般的な折り紙工学では、対象物の厚みが無視できるほど小さいという仮定のもとで、折り線に対する数理モデルが確立されているが、実際の建造物への適用のためには厚みの影響を考慮した折り畳み方法を検討するとともに、同期展開を行うための駆動制御に関する検討が必要であると考えられる。

(4) 炭素繊維強化プラスチック(CFRP)は金属材料と比べて軽量かつ高剛性、高強度な材料であり、宇宙構造部材としても使用されている。宇宙空間での大型構築物建設のためには、「形態的可変性」という機能を備えた CFRP の開発が必要である。このような可動部分と剛体部分とを有する折り畳み CFRP 構造を新規開発するため、柔(ヒンジ) - 剛(パネル)接合部の運動追従性・高耐久化を実現する材料要素技術開発が必要であると考えられる。

2. 研究の目的

(1) 建築建造物における折畳・展開可能な構造システムを提案することを目的とし、厚みのある板要素を用い、折り畳みが可能なミウラ折りの機構を実現するために、Hoberman の特許(Charls Hoberman: Folding structure made of thick hinged sheets, 2010, Patent US77940) を応用した、干渉するヒンジラインを面外にせり出させた「ヒンジせり出しモデル」を提案するとともに、新たなヒンジ機構として、「傾斜ヒンジモデル」を提案する。本研究では、これら改良式ミウラ折り機構の部分要素モデルを用いて、折畳・展開時における挙動の比較検証を行う。

(2) 折板構造は、2次元的な面(板)要素の力学性能により、構造システムの成立要件が決定づけられる。そのため、柱や梁などによる骨組構造と異なり、主要な板要素に面外に生じる荷重作用の評価が重要となる。本研究では、板ガラスを試験体として用い、面外からの衝突作用に対する破壊性状を分析する。さらに板要素の脆弱破壊を回避するため、フィルム材の貼付や挿入による強化法を想定し、その効果について、FEM 解析による検討と分析結果の可視化を行う。

(3) 数十 m から数百 m 規模の大型フェーズドアレイアンテナや、将来の発電電一体型宇宙太陽光発電衛星などの大型宇宙建造物を想定した場合、発電部やアンテナ部は、数十 mm 程度の厚みの板構造として設計する必要がある。また大型宇宙建造物を宇宙空間で展開する場合、少ないアクチュエータによる簡便な展開を検討することが重要である。折り畳みと展開の容易性に対して、ミウラ折りは、折り線が全て直線で構成されている、対角線方向を引張ること(一方方向のアクチュエーション)で、縦・横方向に同時に開く同期展開特性を有する特徴がある。本研究では、ミウラ折りを板構造に適用するための展開板構造の折り線の提案とともに、その設計指針を得ることを第一の目的とする。さらに、アンテナとして機能性には、展開後の形状安定性や平面度の確保が重要になるため、展開板構造の展開後特性の評価を第二の目的とする。

(4) 剛性の高い CFRP 構造を折り畳み可能とするためには、機械的なヒンジ機構を用いて連結する必要があった。これに対して、本研究では 4D プリント技術を新たに開発し、高剛性である CFRP において局所的な可撓性を付与する検討を行う。3D プリントを用いた製造プロセスにおいて構造部材内で曲げ剛性を任意に変化させるような内部形状を採用することで、局所的に可撓性を有する CFRP 平板を製作する。本手法を用いれば、構造部材に機械的なヒンジを用いず、1 プロセスかつ単一構造によって、局所的な可撓性を与えることができる。3D プリントで製造した試験片の繰り返し曲げ試験を実施し、運動追従性と耐久性とについて検討を行う。

3. 研究の方法

(1) ミウラ折りは、平面直交二方向に同時に折畳 - 展開を行う二方向展開機構であり、板要素の厚みによる面同士の干渉を防ぐには、特殊なメカニズムが必要となる。本研究では、ミウラ折りの連続変形性を成立させる新たなヒンジ機構として、「ヒンジせり出しモデル」と「傾斜ヒンジモデル」を新たに提案し、それらの同期展開性、収納性について検証を行う。

ヒンジせり出しモデル

厚みのある素材でも、ヒンジラインを面外にせり出す方式により非干渉化が可能となる（ヒンジせり出しモデル）。図 1-1 の展開図のように、このモデルでは x 軸方向の谷折り側の面からヒンジラインが面外にせり出しており、図 1-2 のように完全に折り畳むことが可能である。一方、x 軸方向に連結するパネル数を増やした場合、パネル数に応じてヒンジラインのパネル面からの離間距離が増大する。また、展開時にはヒンジラインがせり出した分、面外に突起が現れる。

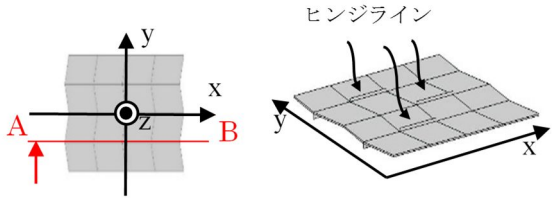


図 1-1 ヒンジせり出しモデルの展開状態

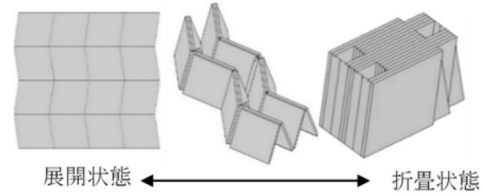


図 1-2 折畳-展開過程の様子

傾斜ヒンジモデル

ヒンジラインをパネル面に対して斜めに配置することにより、干渉を起こさず連続変形可能な機構（傾斜ヒンジモデル）が実現できる。図 1-3 の展開図のように、このモデルは谷折り側にヒンジラインが板厚の分だけせり出している。x 軸方向の全てのヒンジラインは同様に配置され、ヒンジの種類は 1 種類となり、パーツ種類を統一してシステム化することが可能である。図 1-4 のように、蛇腹方向の折り線を挟んだ隣接面同士が、完全に接触するまで折畳むことができる。

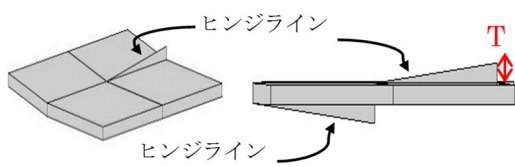


図 1-3 傾斜ヒンジモデルの展開状態

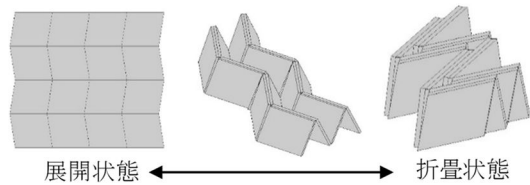


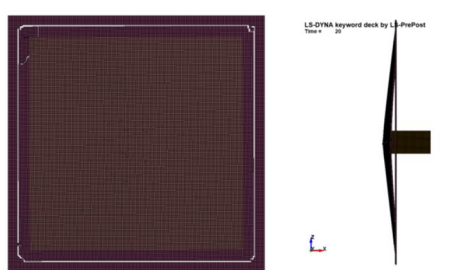
図 1-4 折畳-展開過程の様子

表 1-1 最終折畳状態の比較

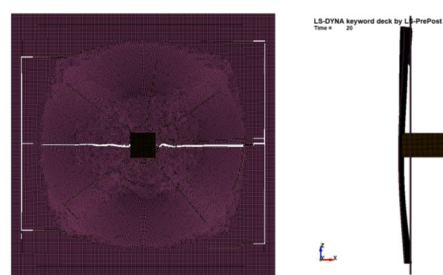
2×6 パターン	2×4 パターン	2×2 パターン	4×2 パターン	6×2 パターン
展開状態				
ヒンジせり出しモデル				
傾斜ヒンジモデル				
パネル数の x 軸方向拡張 ←		2×2 パターン	→ パネル数の y 軸方向拡張	

ひし形の剛体パネルの2つの軸の長さを L とし、板厚を T 、 $L/T=200$ として、パネル角度 ϕ が 84° の場合のヒンジせり出しモデルと傾斜ヒンジモデルの折畳時の収納性を比較する。表 1-1 に 5 パターンのモデルの最終折畳状態を示す。それぞれのパターンの展開時の x 、 y 軸方向長さをそれぞれ $1L_x$ 、 $1L_y$ とした場合の折畳時の各方向長さも併せて示す。 x 軸方向拡張においては、ヒンジせり出しモデルの y 軸方向長さは、パネル数を増やすごとにパネルの厚みの分だけ増加し、ヒンジラインのパネル面からの離間距離も増加する。傾斜ヒンジモデルでは、拡張したパネルが元のパネルの創る空間に入り込んでいくので、 y 軸方向長さは一定である。また、 y 軸方向拡張においては、両モデルとも x 軸方向長さは同程度となる。

(2) 本研究では、フロート板ガラスを試験体として用い、面外への衝突作用を受ける板ガラスの破壊性状について検討するとともに、フィルム材を裏面に貼付した際の破壊挙動の相違を調べた。衝突実験を行うとともに、板ガラスの損傷状態を FEM 解析により再現するため、LS-DYNA による衝突解析を行った。板ガラスモデルの表面には、シェル要素でモデル化したフィルム材を接点拘束により配置し、フィルム材の貼付補強時の衝突解析を試みた。フィルム材を 1 枚全面貼とした場合、板ガラスの周辺固定部とフィルム周縁部との間でひび割れが全周にわたって生じ、ガラス面全体の崩落につながる挙動が再現されている(図 2-1)。一方、フィルム材を上下に分割した 2 分割貼とした場合、フィルムの分割線に沿ってひび割れが生じ、上端と下端側の板ガラス固定部に沿ったひび割れが生じず、実験で観察された破壊状況が再現されている(図 2-2)。



(a) 正面視 (b) 側面視
図 2-1 解析結果 (フィルム材全面貼)



(a) 正面視 (b) 側面視
図 2-2 解析結果 (フィルム材 2 分割貼)

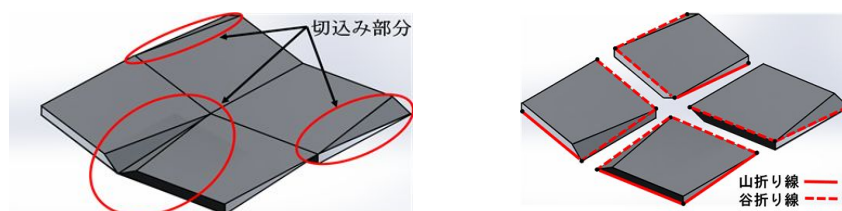


図 3-1 切り込みにより 4 本の折り線が一点で交わり折り畳める場合

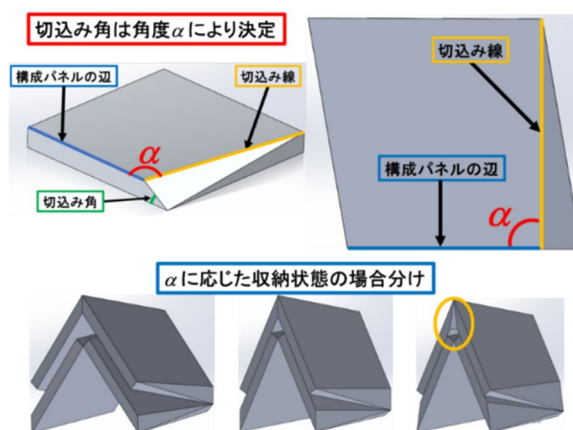


図 3-2 切り込み量と収納状態の関係

(3) ミウラ折りの 3 本の山折り線 (or 谷折り線) と 1 本の谷折り線 (or 山折り線) が 1 点で交差することが折り畳めるための前提条件となる。板材では厚みの影響が無視できないため、山折り線と谷折り線をそのまま板の上面と下面に設定しすると、4 本の折り線が交わらないことから、ミウラ折りでも折り畳むことが不可能となる。本研究では、図 3-1 のように、折り線部を斜めに切り取ることで折り線を板厚方向に傾斜させ、折り線が一点で交わるように工夫した。

図 3-2 のように、切り込み量を決めるパラメータとして角度 α とすると、 α に応じて収納状態も変わる。切り込み量が少ない場合は図 3-2 下段左図のように、収納の途中で板同士が干渉し、隙間ができる。逆に、切り込み量が多すぎる場合には、図 3-2 下段右図の黄棒部のように、板同

土は隙間なく重なるが、切り込み部に隙間ができる。図 3-2 下段中央図のように、 $\alpha = 90^\circ$ の場合に、板厚などの各種寸法に関係なく、最適な状態が達成されることが幾何学的関係から証明される。 $\alpha = 90^\circ$ の関係から、各種寸法に対する収納・展開状態の面積や体積を定式化することができ、例えば 30m 級の大型アンテナを一回の打ち上げで達成するための構成パネル寸法の検討なども可能となる。さらに、展開後の形状安定性や展開挙動についても機構解析により検討した。

(4) 熱溶解フィラメント成形方式の 3D プリントを用いて、局所可撓性を有する CFRP 平板を 3D プリントにより製作した。CFRP としては、短炭素繊維で強化したナイロン樹脂である。CFRP 平板は、剛性の高いソリッド部と、柔軟な可撓部とを組み合わせた形状である(図 4-1)。可撓部が中央に位置するため、中央部で容易に曲げることができる構造となっている。図 4-2 には手で折り曲げた状態の CFRP 平板を示す。ソリッド部は充填率 100% で 3D プリントすることにより、剛性の高い構造とした。形状をコの字型にして可撓部を挟み込むようにすることで、繰り返し曲げ変形によっても可撓部とソリッド部とが分離しないようにした。一方で、可撓部は図 4-1 の中央部のように充填率を下げて井桁構造とすることによって、柔軟性を付与した。切削などの従来製造技術ではこのような CFRP 平板の製作は困難である。

製作した局所的に可撓性を有する CFRP 平板に対して繰り返しの 3 点曲げ試験を実施した。負荷速度は 20 mm/min とし、負荷点の最大変位が 10 mm になるまで荷重を負荷した後、再び変位が 0 mm になるまで除荷するサイクルを 1 サイクルとして、合計 100 サイクルの繰り返し曲げ試験を実施した。繰り返し曲げ試験による負荷除荷に追従して、CFRP 平板は曲げ変形を生じた。繰り返し曲げ試験により得られた各サイクルにおける最大荷重とサイクル数との関係を図 4-3 に示す。なお、同図には井桁構造の配置パラメータを 3 種類に変更したそれぞれの試験片の結果を示す。井桁構造の配置パラメータを変更することで最大荷重が変化しており、可撓部のコンプライアンス設計も可能である。負荷サイクルの初期においては若干の剛性低下が生じているが、その後はサイクル数が増えても最大荷重の低下は生じておらず、繰り返し曲げ変形に対する耐久性を有している。なお、100 サイクルの繰り返し曲げ試験後の試験片は、試験前と比較して目視による差異は無く、損傷はほとんど生じていない。



図 4-1 折り畳み可能な CFRP 平板

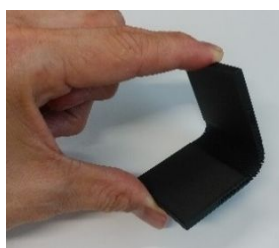


図 4-2 折り曲げの様子

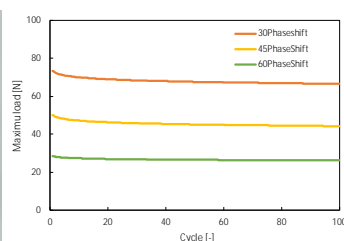


図 4-3 最大荷重の変化

4. 研究成果

(1) 厚みのある板要素を用いたミウラ折りの連続変形性を成立させる非干渉型ヒンジ機構として、ヒンジラインをパネル面に対して斜めに配置した傾斜ヒンジモデルを提案した。この傾斜ヒンジモデルの折畳・展開時の同期性について、スタディモデルでの試験を行うとともに、運動機構の幾何学的定量化を行った。また、機構解析により Hoberman のアイデアを応用したヒンジせり出しモデルとの比較検討を行い、提案モデルの展開性、収納性の特徴を明らかにした。

(2) 構造システムを構成する板要素への面外から荷重作用に対し、板要素が脆弱破壊を起こす可能性とその影響について検討した。衝撃試験により板要素(脆弱材料としてガラス材を使用)の破壊挙動を可視化するとともに、FEM 解析モデルの構築を進めた。フィルム材をガラス表面に貼付することによる補強効果について調べた結果、ガラス面にフィルム材を張付けることについては、破片拡散の抑制には一定の効果は認められるが、補強効果にはフィルム材の強度や接着面の粘着度などが大きく影響することを示した。

(3) 折り線部(ヒンジ部)を斜めに切り取り、折り線を板厚方向に傾斜させる機構を開発し、最適な切り込み量の条件を示すとともに、その定式化による大型展開アンテナの設計例、展開後の平面精度に関する研究成果を示した。大型宇宙構造物の軌道上展開を視野に入れ、ミウラ折りの同期展開における縦・横方向の展開率の相違を考慮し、展開に必要なトルクとの関係を機構解析により明らかにした。さらに、超小型衛星「ひろがり」ミッション部への搭載に向けた展開板構造の開発を目指し、展開板構造の宇宙実証に向けた研究成果を国内・海外の講演会で発表した。

(4) 可動部分と剛体部分の結合部の運動時の変形追従性と耐久性とを実現する新規構造の検証を行った。本研究において開発した、同一材料(CFRP)に局所的な柔軟性を付与する 4D プリント技術を用いて、局所柔軟性を有する高剛性 CFRP 平板を製作し、引張試験及び繰り返し曲げ試験を実施した。その結果、ヒンジ部で柔軟性と耐久性とを有する CFRP による折り畳み構造が実現可能であることを実証した。また、プリントパラメータを変更することで可撓部のコンプライアンスを制御できることを示した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 0件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 向井洋一, 小原博人, 松本真樹, 堀慶朗, 永野康行	4. 巻 1
2. 論文標題 建築用板ガラスの衝撃破壊による被害拡散の低減対策に関する研究	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 2019年度衝撃波シンポジウム論文集	6. 最初と最後の頁 (3B3-3)1-6
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 無
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 向井 洋一, 西田 明美, 濱本 卓司, 竹内 義高, 加納 俊哉	4. 巻 1
2. 論文標題 建築物の耐衝撃設計の考え方と日本建築学会での取組み	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 第12回構造物の衝撃問題に関するシンポジウム論文集	6. 最初と最後の頁 (K1)1-10
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 無
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 松本真樹, 小原博人, 向井洋一, 小原博人, 堀慶朗	4. 巻 1
2. 論文標題 飛来物の衝突作用による板ガラスの破壊と飛散挙動の定量的評価 その2 膜材による衝撃低減効果の検証実験	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 第65回理論応用力学講演会講演論文集	6. 最初と最後の頁 281-282
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 無
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 小原博人, 向井洋一, 小原博人, 松本真樹, 堀慶朗, 永野康行	4. 巻 1
2. 論文標題 飛来物の衝突作用による板ガラスの破壊と飛散挙動の定量的評価 その3 吊布材による衝撃低減効果の解析的検証	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 第65回理論応用力学講演会講演論文集	6. 最初と最後の頁 283-284
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 無
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 -

〔学会発表〕 計14件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Hirotō Kohara, Yoichi Mukai, Masaki Matsumoto, Yoshiro Hori, Yasuyuki Nagano
2. 発表標題 Computer Modeling to Estimate Destructing Behavior of Window Glass Caused by Colliding Objects
3. 学会等名 The 7th Asia-Pacific Congress on Computational Mechanics (APCOM2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 橋本真之介, 勝又暢久, 樋口健
2. 発表標題 大型宇宙構造物の展開挙動解析に関する研究
3. 学会等名 MSC Software 2019 Users Conference
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三好賢彦, 林夏澄, 橋本真之介, 山崎健次, ヘルルション諒, 勝又暢久, 樋口健, 内海政春
2. 発表標題 2Uサイズ超小型衛星「ひろがり」ミッション部の各種試験と開発
3. 学会等名 第63回宇宙科学技術連合講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoichi Mukai, Hirotō Kohara, Yasufumi Kanno, Masaki Matsumoto, Yoshiro Hori, Fumihiko Chiba
2. 発表標題 Quantitative Observation and Computer Simulation of Window Glass Fragment into Pieces and their Scattering due to Collision of Flying Object
3. 学会等名 The 13th World Congress on Computational Mechanics (WCCM 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名	Shinnosuke Hashimoto, Schawn Ryo Herrel, Tomohiro Moroboshi, Kenji Yamazaki, Nobuhisa Katsumata, Ken Higuchi
2. 発表標題	Thick Panel Folding for Developing Microwave-type Planar SSPS
3. 学会等名	Space Development Conference 2018 (ISDC2018), National Space Society (国際学会)
4. 発表年	2018年

1. 発表者名	橋本真之介, 勝又暢久, 樋口健
2. 発表標題	厚板ミウラ折り構造の平面精度に関する研究
3. 学会等名	第62回宇宙科学技術連合講演会, 日本航空宇宙学会
4. 発表年	2018年

1. 発表者名	林 夏澄, 勝又 暢久, 樋口 健, 橋本 真之介, 山崎 健次, ヘレル ショーン 諒, 三好 賢彦, 小木曾 望, 南部 陽介
2. 発表標題	2Uサイズ超小型衛星「ひろがり」の研究・開発状況
3. 学会等名	第27回スペース・エンジニアリング・コンファレンス [SEC'18], 日本機械学会
4. 発表年	2018年

1. 発表者名	大窪聖也, 上田政人
2. 発表標題	シームレスヒンジを有する平板構造の3Dプリント
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	2018年

1. 発表者名 小原博人, 向井洋一, 松本真樹, 菅野康史, 堀 慶朗, 千葉文彦
2. 発表標題 飛来物の衝突作用を受ける板ガラスの破壊挙動に関する研究 その3 FEM 解析モデルの感度検証
3. 学会等名 日本建築学会大会(東北)学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松本真樹, 小原博人, 向井洋一, 堀 慶朗, 千葉文彦
2. 発表標題 飛来物の衝突作用を受ける板ガラスの破壊挙動に関する研究 その4 落下実験による板ガラスの衝撃破壊挙動の定量化
3. 学会等名 日本建築学会大会(東北)学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 伏見晋悟, 向井洋一
2. 発表標題 板要素の厚みを考慮した剛体折紙式の折畳構造に関する一考察 その3 傾斜ヒンジモデルの折り込み機構
3. 学会等名 日本建築学会大会(中国)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 勝又暢久, Muhammad Hafizuddin, 橋本真之介, 樋口健
2. 発表標題 平面板構造の折りたたみ方法と構造剛性
3. 学会等名 第61回宇宙科学技術連合講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 橋本真之介, 勝又暢久, 樋口健
2. 発表標題 平面構造の板厚を考慮した折りたたみ方法の定式化
3. 学会等名 第59回構造強度に関する講演会講演集
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 伏見晋悟, 向井洋一
2. 発表標題 厚みを考慮した四辺形板要素による展開構造に関する研究 その2 連続変形性を成立させる非干渉型ヒンジ機構の開発研究
3. 学会等名 平成29年度日本建築学会近畿支部研究発表会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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	勝又 暢久 (Katsumata Nobuhisa) (60534948)	室蘭工業大学・大学院工学研究科・助教 (10103)	
研究 分担者	上田 政人 (Ueda Masahito) (80434116)	日本大学・理工学部・准教授 (32665)	