

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 11 日現在

機関番号：34428

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560980

研究課題名(和文)生物における膜面展開挙動の力学的合理性評価とその応用

研究課題名(英文)Evaluation and application of mechanical properties of membrane systems in nature

研究代表者

岸本 直子(Kishimoto, Naoko)

摂南大学・理工学部・准教授

研究者番号：60450714

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、生物の膜面展開挙動を3次元で計測し、その仕組みを定量的に評価することから、力学的に合理的な宇宙膜面構造物の設計法へとつなげることであったが、計測装置の開発・調整に時間がかかり、昆虫の羽化の時期に目的とするデータを取得することができなかった。マッチング成功率が低いことが主な原因だが、時々刻々形状だけでなく位置を変える羽化過程の計測が非常に困難であることが明らかとなった。一方、折り畳んだ紙や開花する花などゆっくりとした挙動を示す計測対象物については3次元形状を取得することができた。また、外部での3次元計測にも対応できるようになった。

研究成果の概要(英文)：This study aimed to quantitatively evaluate three dimensional motion of membrane structures in nature including insects eclosion, flapping of bats wings, and so on, and to apply the evaluation to practical design of space membrane structures. However, we had been not able to acquire adequate three dimensional information because it took too much time and cost to develop and adjust three dimensional measuring instruments for an insect's eclosion in which an insect changes not only its shape but also its position. Especially low success rate of image matching was a big issue.

Meanwhile, we succeeded in acquiring three dimensional information of a folded paper and a blooming flower, which are easily set up in the laboratory and change their shapes very slowly. And with our measuring instruments we can deal with three dimensional measuring outside our laboratory.

研究分野：航空宇宙工学

キーワード：三次元計測

1. 研究開始当初の背景

宇宙空間への運搬時に空間および重量的制約の大きい宇宙構造物では、収納効率と重量の観点からインフレーション構造を含む膜面構造物の利用が有効である。これまでリフレクタ、アレイアンテナ、ソーラーセイルなどの様々な膜面宇宙構造物が提案されており、我が国では、小型電力セイル実証機「IKAROS」が2009年6月世界で初めて太陽輻射圧による宇宙空間での加速を確認した。また次世代の太陽発電インフラのひとつとして挙げられる太陽発電衛星も、太陽光発電フィルムの利用などで発電部の薄型化が進むとともに、発電面積に対する厚みを考慮すれば、全体としては膜面構造と考えられる。さらに建設に要する時間やコストの点から言っても展開メカニズムが不可欠となる。

しかし、このような膜面構造物が軌道上で実用に供されるためには、1) 膜面の幾何学的収納方法の開発、2) 展開挙動の制御、および3) 展開後の膜面の安定性、が課題となっており、米国および欧州においても未だ本格的な軌道上膜面構造物は実現していない。

そこで、我々は、昆虫の羽化過程やコウモリの翼膜の展開挙動を観察し、インフレーションチューブと膜面とから構成される複合膜面構造や高伸縮性膜を利用した膜面構造物を提案してきた。とくに昆虫の羽化においては、翅の主要な展開力を提供する翅脈が、展開後の膜面の剛性・強度を補強する構造要素として機能しており、無駄のない合理的な構造システムであると言える。また、提案した複合膜面構造を対象とした数値シミュレーションにおいて、遠心力による展開力とインフレーションチューブの展開力をうまく調整することで、展開挙動が制御可能であることを示した。しかし、これまでの研究は羽化や翅の観察による定性的な評価に留まっており、羽化過程や展開後において本当に合理的な構造かどうかの定量的な評価がないために、着想した人工膜面構造物も定性的なデザインでしかなかった。

2. 研究の目的

本研究では、光学的な手法を用いて生物の膜面展開挙動を非接触で3次元的に計測し、応力やひずみといった力学特性を定量的に評価することで、より実用的な膜面構造物を創成・提案につなげるのが目的である。

3. 研究の方法

研究の方法は、次の4段階に分かれる。

(1) 昆虫の羽化過程の3次元計測

昆虫(おもに蝶類、トンボ類、甲虫類)の羽化過程を、光学的手法(LED光源による格子投影法を用いた高速3次元計測)を用いて3次元計測する。

(2) 羽化後の昆虫の翅の3次元計測

上記の昆虫の羽化後の翅を、同様の光学的手

法を用いて3次元計測する。

(3) 計測データに基づく力学解析

取得した3次元形状データから有限要素モデルを構築し、力学解析をおこなって合理性を評価する。また、実際の翅脈の曲げ試験から物性値を算出して、解析に供する。

(4) 複合膜面構造の設計への適用

力学特性解明によって明らかになった知見を、とくに複合膜面構造における膜面やインフレーションチューブの形状設計に反映させるとともに数値シミュレーションによって検証する。

ここで採用した計測法は、非接触・高精度・高速な計測法が実現可能な格子投影法による光学的計測法で、本研究では、死角をなくすように配置した3台の計測機からの測定データをマッチングさせる計測装置を新たに開発した。

4. 研究成果

(1) 本研究は、これまで目視による観察に基づいていた昆虫の羽化など生物の膜面構造の挙動を、非接触・高精度・高速な光学的3次元計測装置を用いて、定量的に評価することから始まる。そこで、1年目は装置の開発・調整と試験撮影、2年目と3年目は計測データの取得と分析に充てる計画でスタートした。しかし、計測装置の調整、とくにマッチングがうまくいかずに時間と費用を要してしまい、すべての研究の端緒となる昆虫の羽化過程の3次元データの取得まで至らなかった。想定している計測対象物(昆虫の羽化)の3次元計測が予想以上に難しく、計測装置の開発そのものが研究となってしまった。計画立案が不十分であったことは否めないが、時事刻々形状のみならず位置を変える物体を高精度かつ高速に計測する技術は管見によれば確立しておらず、最終的な研究目的である宇宙膜面展開構造物の研究においても重要な研究課題であることが明らかとなった。以下、与えられた研究期間で得られた成果について順に述べる。

(2) 光学的計測法として採用した格子投影法は、プロジェクターから被計測物に投影した格子画像をデジタルカメラで撮影し、その位相を解析することで被計測物の3次元I座標を高精度に計測する画像計測法である。本研究では、格子投影法の中でも、基準面を用いてキャリブレーションを行うことで、カメラとプロジェクターのレンズ収差の影響がない手法を採用した。図1に格子投影法による計測系の概要を示す。基準面には液晶モニターを利用し、液晶モニターをリニアスライダで上下に移動させることで複数の基準面を構成することとした。

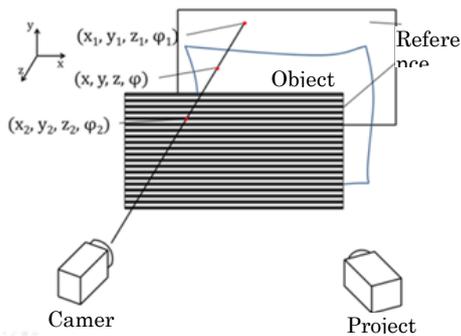


図1 計測原理

本研究では、カメラの死角によって生じる計測不能空間を極力減らすため、カメラとプロジェクターからなる計測系を 120° 毎に3組配置することで、全周を一度に計測できるシステムを構築した。キャリブレーション時に基準面モニタに表示した同じラインを3組のカメラで同時に撮影することで3つの計測系による計測値をマッチング処理する。図2に計測装置の概要を、表1に装置の仕様を示す。



図2 計測装置概略

表1 計測装置の仕様

	Maker/Type	Resolution [pixels]
Camera	SENTECH	640 × 480
Projector	aigo/PT6316L	1024 × 768
Reference Plate	BENQ/G615HD PL	1366 × 768
Motion Stage	SIGMA KOKI/SGSP26-200	Repeatability of positioning: 6um

(3) 膜面の準静的挙動の計測

まず、計測装置の評価のため、A4サイズの上質紙を徐々に変形させて、座屈により生じる準静的な変形を計測した。計測結果をFi図4に示す。裏面以外は死角なく計測できていることがわかる。

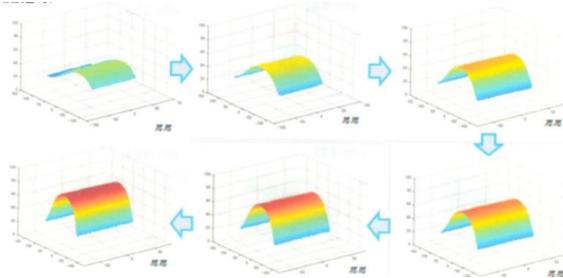


図4 計測結果 (紙の変形)

次に、生物における膜面のゆっくりした動きを計測するため、図5に示すゆりの花の開花を撮影した。開花には約15時間を要した



図5 ゆりの開花 (カサブランカ)

が、7分おきに撮影・計測をおこなった。計測結果をFig.6に示す。花卉が開いていく様子が計測されていることがわかる。

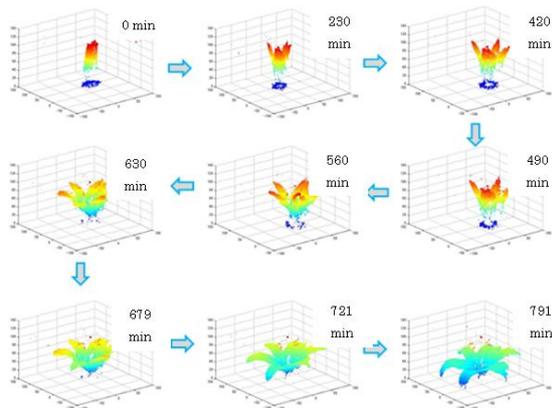


図6 計測結果 (ゆりの開花過程)

(4) マッチングの不具合

上述のようにまずは計測装置の調整を進めたが、3つの計測系の計測結果をマッチングする段階で不具合が多発した。図7に不具合の例を示す。左図では3つの計測結果のマッチングに成功し、紙の折り目がうまく計測

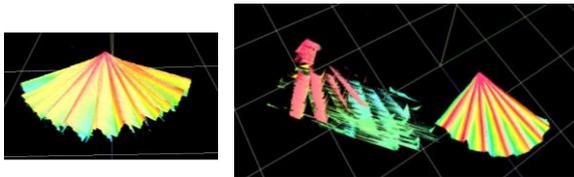


図7 マッチング成功(左) / 失敗(右)

されているのに対して、右図ではマッチングに失敗してうまく計測できていない。

マッチング失敗は、頻繁に発生し、格子幅や基準面間隔などの計測パラメータの調整のみでは対応することができなかった。研究期間のほとんどを費やして、マッチング失敗がおこるパラメータの組み合わせや計測対象物の形状などを探索したが、定量的な結論には至らなかった。現状、基準面に投影した同じ座標ラインを3つのカメラで同時に撮影することでそれぞれの計測空間のマッチングをおこなっているが、その手法に課題があると考えられる。しかし、昆虫の羽化過程では計測対象物である昆虫の形状や姿勢が時々刻々変化するので、計測結果の特徴点を使ってマッチングする例えばICPのような手法よりも、本研究で採用したような計測空間そのものをマッチングする手法が適していると考えられるが、残念ながらマッチング失敗の原因究明にはいたらず、その後の研究に進めなかった。

(5) 可搬型計測装置としての計測結果

本研究で開発した計測装置は、図2に示したように、小型プロジェクターと産業用カメラからなる計測系を3台備えた構成で、分解して比較的容易に組み上げることができる。また、液晶モニターとリニアステージから構成されるキャリブレーション用治具も比較的簡素なため、可搬型計測装置として実験室外での計測もおこなった。城陽市歴史民俗資料館にて城陽市芝ヶ原古墳出土の青銅器を計測した。図8に計測結果の一部を示す。

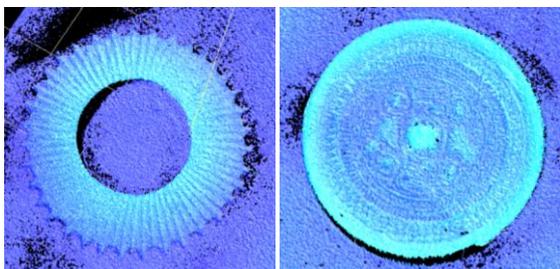


図8 青銅製釧と鏡の3次元計測結果

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計0件)

[学会発表] (計5件)

①小野稜太, 澤田知生, 川西晃太, 岸本直子, 全周形状計測装置による三次元形状計測の例と課題, 平成26年度JSME関西学生卒業研究発表講演会, 2015年3月14日, 京都大学(京都府京都市)

②岸本直子, 樋口健, 藤垣元治, 岩佐貴史, 格子投影法を用いた可搬型計測装置による3次元計測, 第58回宇宙科学技術連合講演会, 2014年11月12日, 長崎ブリックホール(長崎県長崎市)

③岸本直子, 折り畳まれた膜面の展開挙動の3次元形状計測, JSME Dynamics and Design Conference 2014 (D&D2014), 2014年8月29日, 上智大学(東京都千代田区)

④伊丹大地, 中尾耕, 岸本直子, 全周計測装置による植物の3次元形状取得, 第45回応力・ひずみ測定と強度評価シンポジウム, 2014年1月24日, 大阪科学技術センター(大阪府大阪市)

⑤伊丹大地, 中尾耕, 岸本直子, 全周形状計測装置の改良と膜面の三次元計測, 第22回スペースエンジニアリングコンファレンス(SEC'13), 2013年12月20日, 日本大学(東京都千代田区)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岸本直子 (KISHIMOTO, Naoko)

摂南大学・理工学部機械工学科・准教授

研究者番号: 60450714