

# カブトムシの頭角のたわみ試験

## Deflection test of beetle head horn

吉崎 靖紘(東京電機大・学) ○久保田 雄介(東京電機大・学)  
野村 周平(国立科学博物館・動物研究部) 前川 優(東京大学総合研究博物館)  
◎五味 健二(東京電大)

Yasuhiro Yoshizaki, Tokyo Denki University, 5 Senjyu-asahi-cho, Adachi-ku, Tokyo 120-8551

Yusuke Kubota, Tokyo Denki University, 5 Senjyu-asahi-cho, Adachi-ku, Tokyo 120-8551

Shūhei NOMURA, Department of Zoology, National Museum of Nature and Science, Amakubo 4-1-1, Tsukuba, Ibaraki, 305-0005

Yu Maekawa, The University Museum, The University of Tokyo, 7-3-1 Hongo Bunkyo-ku Tokyo, 113-0033

Kenji GOMI, Department of Mechanical Engineering, Tokyo Denki University 5 Senjyu-asahi-cho, Adachi-ku, Tokyo 120-8551

### 1. 緒言および目的

地球温暖化の進行やロシアウクライナ戦争によるエネルギー資源不足により、自動車産業や発電産業では、エネルギーの効率化が求められている。限られた資源で効率的なエネルギー生産や運用をするためには、材料の軽量化や高剛性が求められる。

このような経済や環境、エネルギー問題を解決するための取り組みとして、近年バイオミメティクスという学問が注目されている。これは、地球上の生物や進化の過程で備わった構造や、優れた機能を工学技術により模倣して、我々の生活に取り入れていくもので、例えば、ハチドリを模倣した小型羽ばたき飛行体の開発<sup>(1)</sup>や、蓮の葉の撥水効果により、ヨーグルトが付着しない包装材の開発<sup>(2)</sup>がある。

その中で、カブトムシ(*Trypoxylus dichotomus*)の外殻は魅力的である。カブトムシは、弾性係数の極端に低い体の幼虫から、二度の変態を行い、突然硬い外骨格を獲得する。この外骨格は、図 1 に示すようにキチン繊維の積層構造で構成されている。特に、雄カブトムシの頭角に関しては、中空構造で、餌や雌のとりあいの喧嘩に酷使されても折れることがなく、しかも自身よりもかなり大きい外国産のカブトムシでさえ投げ飛ばすことに耐える非常に優れたもの

である。そのカブトムシの頭角の構造や繊維強化デザインや構造を将来的に建材などに利用できないかを検討する。

カブトムシの頭角がどのような繊維強化で構成されているかは、いまだに研究が進んでいないため、本研究では、頭角に一定の荷重を加えて得たたわみ曲線と FEM 解析で頭角が等方均質であると仮定したたわみ曲線とを比較することでカブトムシの頭角がどのような繊維強化をされているかを検討していた。一昨年までの研究では、解析と実験の結果、頭角は一様な繊維強化がなされていると考えられていたが、昨年ではそれを覆す実験結果得られたため、今回は、頭角のスカンデータより密度分布を検討することによって、頭角がどのような繊維強化をなされているかを観察する。

### 2. 実験装置と測定原理

#### 2.1. 測定装置

頭角の三次元形状データを CT スキャナ (ScanXmate-B100TSS110, コムスキャンテクノ株式会社) で取得した。スキャン解像度は  $37 \mu\text{m}/\text{voxel}$  とした。これにより試験片試験片の連続断面画像の TIF データを得ることができる。

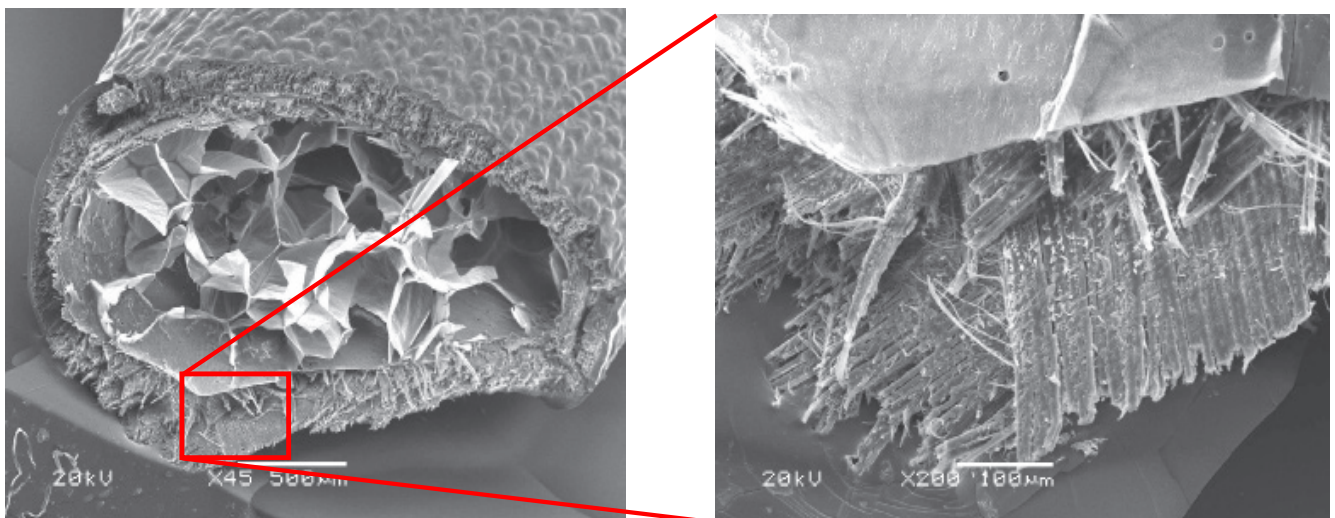


Fig. 1 SEM photographs of fractured surface of a beetle horn<sup>(3)</sup>

### 3. 試験片と解析環境

#### 3.1. 試験片

試験片として解析に用いる頭角を図 2 に示す. この試験片は, 2019 年に作成したもので, 当研究室に保管されていた CT スキャンが可能な状態の試験片のうち最も適していたものを選定した.

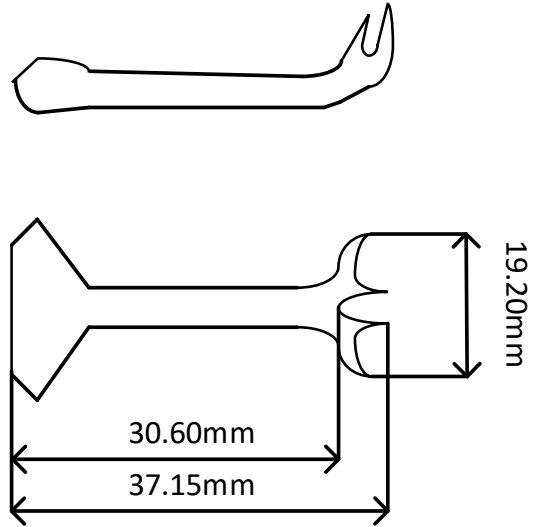


Fig. 2 dimensions of the head horn

#### 3.2. 解析環境

CT データを解析するために, Molcer((有)ホワイトラビット, v.1.8.5)を使用する. このソフトは, CT スキャンで得る TIF データを立体的な 3D モデルデータに変換することができる. Molcer では, 作成するモデルデータのグレイレベルを調整する機能がある. 今回の解析では, 今回の試験片のノイズが最も低減できるように, 図 3 に示すようにグレイスケールの境界値を 35-151 に設定する. これは, CT 画像を 3D モデルに変換する際, モデルに反映する色の上下限の値を示す. これにより, X線をほぼ 100%透過するような空気中の埃などのノイズを除去する. また, 断面の密度は, 本来白と黒の濃淡で表現される. しかし, 今回は Molcer の機能を用いて, わかりやすいようにカラーで表現している. 断面の色が赤に近いほど X 線を透過しにくく密度が高く, 青いほど X 線が透過しやすく密度が低いことを示す.

### 4. 解析結果と考察

#### 4.1. 解析結果

図 4~10 に, molcer で観察できた頭角の断面データを示す. 今回は, 頭角を 6 等分し, 頭角先端から根本側までの断面の画像を 7 枚出力した. 頭角のどの部分の断面かをわかりやすくするために, 頭角全体図に赤線で印を示してある.

まず, 図 4~10 共通の特徴として, 頭角の外側と内側の表面は, 密度の低い青の表示を示している. これは, 頭角の外皮が中空構造である為と考えられる.

次に, 図 4 に注目すると, 主に頭角上側に赤色が広く分布していることがわかる. これは, 頭角内部の繊維の充填密度が高いことを示唆している.

図 4~8 に注目すると, 色分布に顕著な差が無い事から内部の繊維含有率も大きな差が無い事が推測される. 一方, 図 9~10 は全体が青~緑色にシフトしており, 明らかに密度が低下していることから, 繊維含有率が減少していることがうかがえる.

#### 4.2 考察

今回出力した 7 枚の断面図は, 頭角の根本側より先端側の繊維充填率が高いことを示唆している. 繊維が根本から先端まで連続していると仮定すれば, 先端に行くにつれて断面積が狭まるため, キチン繊維の充填率が上昇すると考えれば納得がいく. 工業的には, この場合の根元の強化は断面形状のデザインで担うほうがコストに見合うため, 自然界でもそのような選択が行われた可能性がある. また, 今回は 1 本の試験片のみの検討であり, 他の頭角についての検討ができていないため, 結果の解釈には注意を要する.

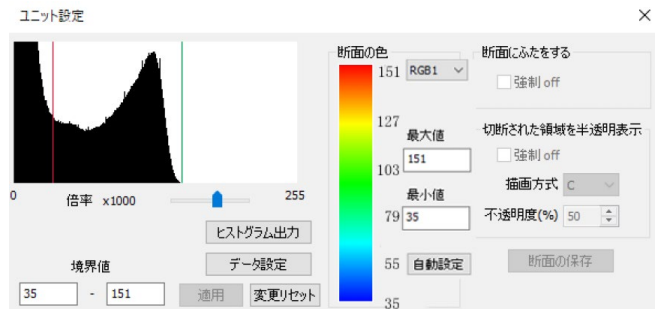


Fig. 3 Unit setting

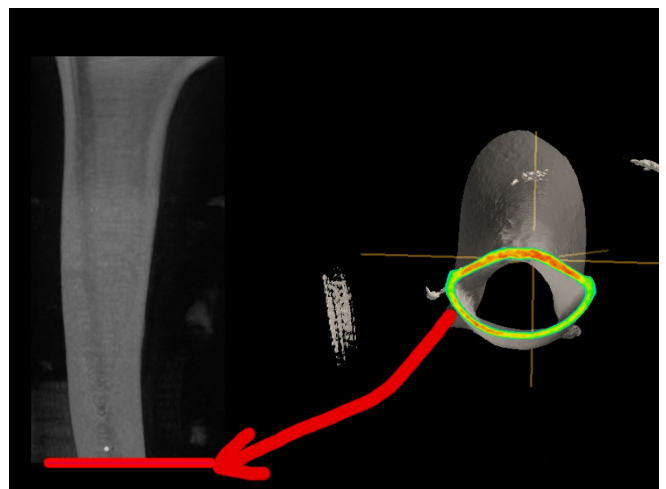


Fig. 4 Cross-sectional view of beetle horn1/7

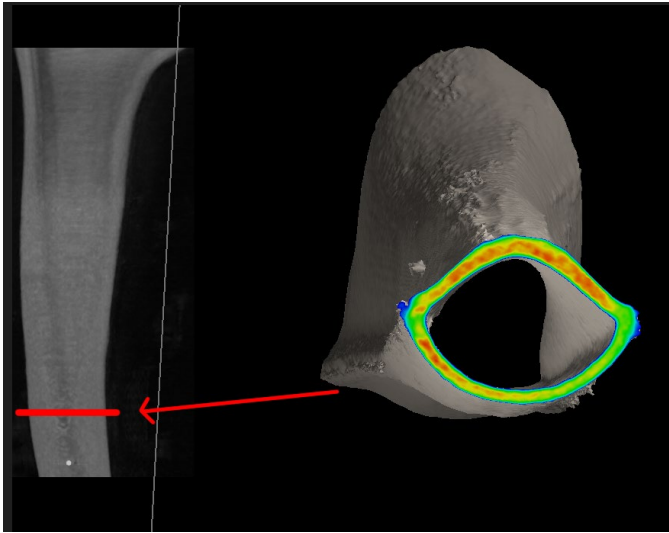


Fig. 5 Cross-sectional view of beetle horn 2/7

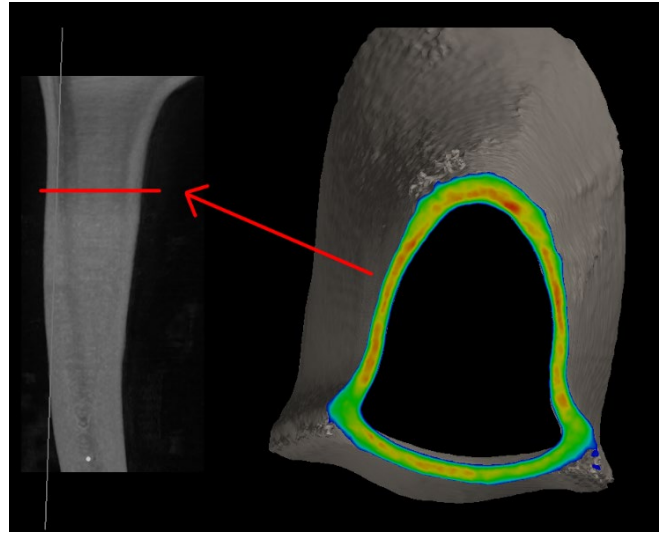


Fig. 8 Cross-sectional view of beetle horn 5/7

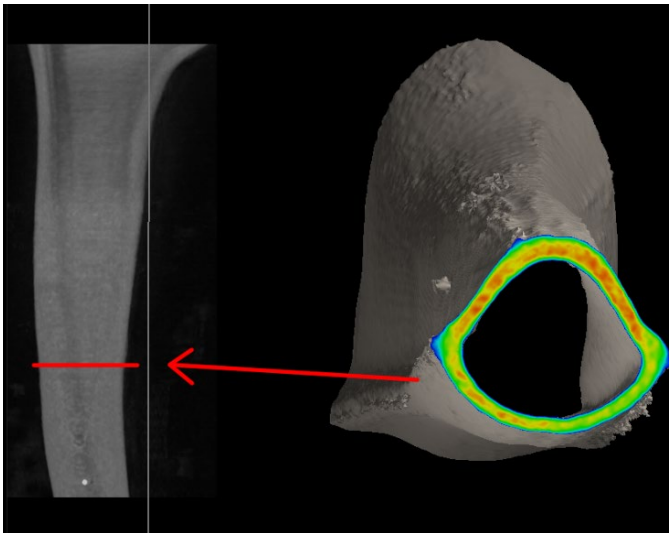


Fig. 6 Cross-sectional view of beetle horn 3/7

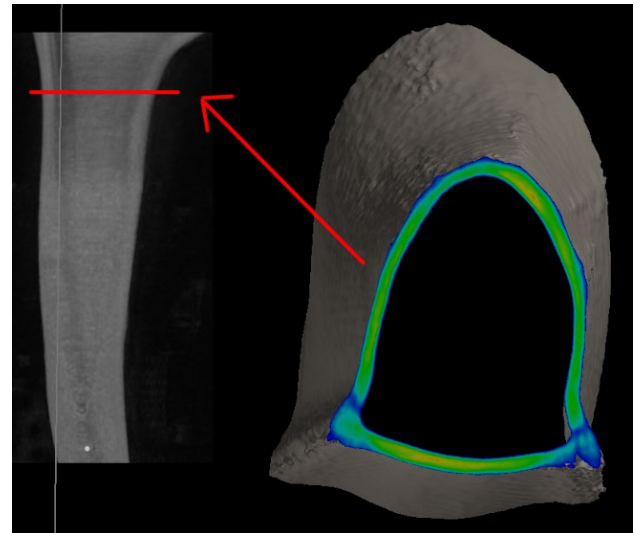


Fig. 9 Cross-sectional view of beetle horn 6/7

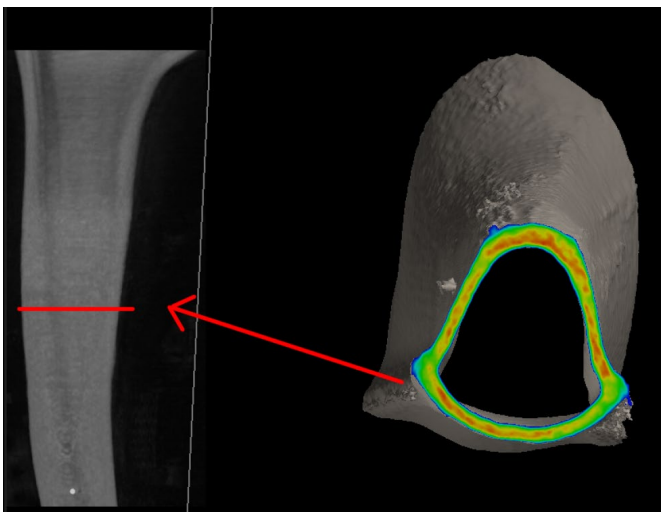


Fig. 7 Cross-sectional view of beetle horn 4/7

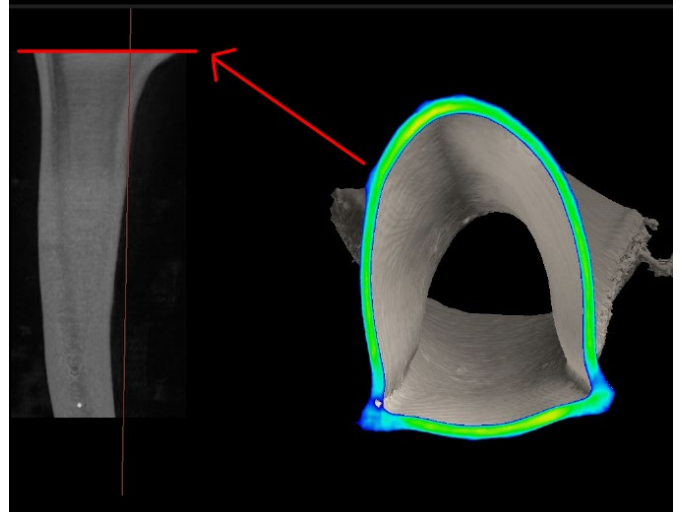


Fig. 10 Cross-sectional view of beetle horn 7/7

## 5. 結論

頭角内部の密度分布を確認し、頭角にどのような繊維強化がなされているかを調べるために、頭角を CT スキャンし、Molcer により断面の分析を行った。分析の結果、頭角は根元に比して先端側のキチン繊維充填率が高いことが示唆された。

## 参考文献

- (1) 相澤誠治 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, バイオフロンティア講演会講演論文集, 2018.
  - (2) 西川浩之, ヨーグルトが付着しない包装材料のはっ水表面の開発, 表面技術, 67 卷(2016)9 号, pp.482-484.
  - (3) 野村周平, カブトムシに宿る「匠」, PEN News Letter, Vol.4, No.10(2014), pp.12-18.
-