

平成 21 年 4 月 10 日現在

研究種目：基盤研究（A）
研究期間：2006 ～ 2009
課題番号：18206014
研究課題名（和文）：
生物の構造・組織の力学的最適性の評価とその構造・材料設計法への応用研究
研究課題名（英文）：
Evaluation of Mechanical Optimality of Structural and Material Composition of Living things and its Application to Structural and Material Design Techniques
研究代表者：
尾田 十八（ODA JUHACHI）
金沢大学・名誉教授
研究者番号：30019749

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学，機械材料・材料力学

キーワード：バイオニックデザイン，バオメカニクス，最適設計，キツツキ，桐，耐衝撃性

1. 研究計画の概要

本研究は、自然・生態系と調和した新しい材料・構造，機器，システム等の創成法を確立することを目的とし，その手段として生物における力学的最適性の例を取り挙げ，それらを分析し，その最適性のメカニズムを明らかにすること，およびそれらを工学へ応用する方法論を確立することにある。

具体的には生物の中でもまず動物に関して，超軽量であるが，力学的に過酷な負荷に耐えている「キツツキ」に注目し，その骨格構造，筋組織が各種運動機能等とどのように関連しているかを実験およびシミュレーション計算手法を用いて精査に分析する。一方植物に関しては，堅牢性（強さと硬さ）では日本の木の中でトップの「黄楊」と，これと対照的な「桐材」に注目し，これら材料の有する特性発現メカニズムを主として実験的に明確にする。これらより前者の研究から各種機器の新しい構造・メカニズム設計法を，一方後者の研究から新しい材料設計法を確立する。前半の2カ年は主として生物における力学的特異性の把握とそのメカニズムの解明を，後半の2カ年はその特異性発現のメカニズムの検証とその工学への応用法の研究を行う計画である。

2. 研究の進捗状況

これまで行って来た研究を年度別に示す。

(1) 平成 18 年度 「キツツキ」と「横楊・桐材」の力学的特異性の把握とその構造・組織分析が中心で，次のことを実施した。

①キツツキのドラミング動作に注目し，まずこの実写データの収集と，その負荷サイクルや動作時における姿勢の把握を行った。次に

実物キツツキの解剖とその頭部の CT 画像撮影を行い，これらより力学解析のための FEM モデルを作成した。

②横楊と桐材からその機械的特性としてのヤング率，引張強さ，密度等の把握を行った。また桐材が耐熱性，不燃性材として利用されている点に注目しそれと杉材との特性比較の燃焼実験を実施した。さらにこれらすべての木材組織の顕微鏡および SEM 観察，化学成分分析を行い，それらから各特性が微視的な組織や成分とどのような関係にあるかを考察した。

(2) 平成 19 年度 前年度に引き続き，次のような研究を実施した。

①キツツキをくちばしから頭部を考慮した簡単な一軸の棒モデルとし，それに種々の応力波形を入力し，その伝ば挙動を FEM により解明した。これよりモデル内に高い引張波の発生を抑える負荷サイクル等の条件のあることを明らかにした。一方ドラミング挙動は木材に対し，キツツキが巣穴を作る，効率的加工法とも考えられるので，それを調べる簡単な FEM モデル解析も試みた。

②横楊と桐材の強さや硬さの相違はそれらの構成成分と微視的組織観察から前者がリグニン成分が多く，しかもそれが細胞壁に厚く分布した高密度材料であることでほぼ説明出来ることが分った。一方，桐材の不燃性については，杉材との比較燃焼実験や成分分析，組織観察から，桐材は導管部が他の木材より集中して大きく，しかもそれらが成長方向に不連続な形態をしていることが大きな理由と予測された。

(3) 平成 20 年度 前2年度で求められた生物の特異性の発現メカニズムをより明確に

することとその工学への応用に関する次のような研究を実施した。

①キツツキのドラミング挙動は、その本体には力学的ダメージが少ないのに、木には反対にダメージが大きい。その理由の解明のため、前年度の FEM モデルを用い解析した。結果としてドラミングのような高サイクルの繰返し負荷は、キツツキには応力波の反射・透過効果から、その引張応力を抑えることが明らかとなり、一方逆にこれが木材のような無限大に近いものでは、高い引張応力場を作ることが分った。

②ドラミング動作の、木材に与える力学的効果、つまりその効率的加工法の工学への応用として、現状の削岩機のコンクリートへの負荷方法の改良を検討した。

③桐材の導管部の不連続性が、その不燃性に影響を与えていることから、桐材をマトリックスと空孔からなる 2 成分系複合材料と考えた。そしてその第 2 相成分の含有率一定の下で、形状や配置の仕方を可変することで、特性を最適化する方法を開発した。

3. 現在までの達成度

本研究の達成度は次のとおりである。

②おおむね順調に進展している。

その理由は、1 の研究計画の所で述べたように前半 2 ヶ年で生物の力学的特異性を把握し、そのメカニズムの解明をめざすことになっていた。これについては「キツツキ」のドラミング挙動について、キツツキ自身の耐衝撃性メカニズムはほぼ明らかになった。また「黄楊・桐」についての強度的な特異性の差異もその構成成分や微視的組織観察から明らかになった。3 年目ではこれらに引き続き、ドラミング挙動が木の加工効果としてどのように作用しているのか、また桐材の不燃性のメカニズムを追求し、これらについても多くの知見を得た。しかもこのような特異性を工学へ応用する後半の研究へのステップも複合材料の最適化プログラムを開発したことで着実に進んでいると思う。

4. 今後の研究の推進方策

これまでの「キツツキ」、「黄楊・桐」の特性解析から、次のことが明らかになっている。

(1)キツツキ自身が耐衝撃性のメカニズムを有していることが分った。

(2)木材が繰返し衝撃負荷で効率的に破損する条件が明らかになった。

(3)黄楊と桐材の強度特性の相違の理由が、その構成材料と細胞組織構造から明らかになった。

(4)桐材の不燃性が、特に他の木材より大きな導管部の、しかも成長方向でそれらが不連続なことによることが分った。

以上の生物の特異性・最適性をこれから具

体的な工学技術へ応用する方法を進める。特に(1)、(2)から、低エネルギーでしかもそれを用いる人が白蟻病、難聴障害等の身体的損傷を伴わない削岩機の開発を進めたい。3 年度の研究では現在用いられている削岩機を対象として、それがコンクリートブロックをいかに破砕するかのメカニズムやその最適条件を明らかにしたが、最終年度はこれに上記の(1)、(2)のメカニズムを応用することを考える。

また(3)、(4)の知見から、いわゆる複合材料の材料組織、特にそれらを構成している第 2、第 3 成分のマトリックス中での配置・分布を任意に制御し、ある目的の特性を最大、最小化するための方法論が望まれる。これについては 3 年度の研究でその基本プログラムを開発しているので、最終年度はその具体的問題への応用を進めたい。

5. 代表的な研究成果

[雑誌論文] (計 18 件)

①尾田十八, 中川茂憲 (他 2 名, 1 番目), 3 次元 DEM による合わせガラスの衝撃貫通破壊解析, 日本機械学会論文集(A), 74 巻, 106-111, 2008, 査読有。

② Kitayama.S., Yamazaki.K., Global Optimization by Generalized Random Tunneling Algorithm, J.Computational Science of Technology, Vol.2, 258-267, 2008, 査読有。

③ Li,P., Oda,J., Flame Retardancy of Paulownia Wood and its Mechanism, J.Material Science, Vol.42, 8544-8550, 2007, 査読有。

④ Sakai,S., Oda,J., Research on the Development of Baseball Pitching Machine Controlling Pitch Type using Neural Network, J.System Design and Dynamics, 682-690, 2007, 査読有。

[学会発表] (計 24 件)

① J.Sakamoto・他, Musculoskeletal Analysis of Spine with Kyphosis Due to Compression Fracture of an Osteoprotic Vertebra, 13th Int.Conf.on Biomedical Engineering, 2008.12.5, Singapore.

②田中千尋, 尾田十八, 坂本二郎, 進化的 CA を用いた複合材料組成の最適化, 第 8 回最適化シンポジウム, 2008.11.27, 東京。

[図書] (計 5 件)

①尾田十八 他, 日本機械学会編 (丸善), 機械工学便覧 基礎編 α 6 (計算力学), 2007 年, 214 ページ。

②尾田十八, 米沢政昭, 培風館, 機械設計工学 2 (システムと設計, 改訂版), 2006, 229 ページ。

[産業財産権 (特許)] (2 件)