

生体機械システムにおけるモデリング, アナリシス, シンセシス



研究室紹介

田中正夫*, 松本健志**, 内藤 尚***

Modeling, Analysis and Synthesis of Mechanical and Biomechanical Systems

Key Words : Mechanical Systems, Biomechanics, Human Dynamics, Optimum Structural Design

生体機械システムグループは、大学院では、基礎工学研究科・機能創成専攻・生体工学領域、学部では、基礎工学部・システム科学科・機械科学コースを担当し、様々な生体システムの構造モデリングとそれに基づくシステム機能のメカニカルアナリシス、ならびに機械構造システムのデザインシンセシスに

関する課題に取り組んでいる。ここではいくつかの具体的な例をオモチャ箱的に紹介する。

1) 顎関節の個体別バイオメカニクス解析

顎関節症においては、関節コンポーネントの力学状態の異常が重要な因子とされているが、関節内の力学状態が十分に解明されているとはいえないのが現状である。また、下顎頭や下顎窩、関節円板などの形状や配置などは個体毎に大きく異なる。そこで、MRI断層像などに基づいて個体毎に顎関節システムの計算力学モデルを構築することで、個体別シミュレーション解析を推進している。これにより、開口にともなう円板の移動や噛みしめに伴う関節円板の応力状態やクリープ変形などを個々の患者毎に定量的にとらえることを可能としている。またこれを、咬合矯正などの処置が関節の状態をどのように改善しうるかの評価などへの展開を進めている。

2) 脊柱胸郭系システムモデリングによる側彎解析

特発性側弯症は、現象論的には脊柱系が側方への彎曲変形を呈する疾患であり、思春期に発症、進行

*Masao TANAKA

1956年3月生

1983年神戸大学大学院自然科学研究科システム科学専攻博士課程修了

現在、大阪大学大学院基礎工学研究科機能創成専攻、教授、学術博士、バイオメカニクス、設計システム

TEL 06-6850-6180

FAX 06-6850-6182

E-mail: tanaka@me.es.osaka-u.ac.jp



** Takeshi MATSUMOTO

1962年12月生

1991年名古屋大学大学院工学研究科航空宇宙工学専攻博士後期課程修了

現在、大阪大学大学院基礎工学研究科機能創成専攻、助教授、博士(工学)、生体医工学、生物流体力学

TEL 06-6850-6181

FAX 06-6850-6182

E-mail: matsu@me.es.osaka-u.ac.jp



*** Hisashi NAITO

1975年2月生

2003年名古屋大学大学院工学研究科航空宇宙工学専攻博士後期課程修了

現在、大阪大学大学院基礎工学研究科機能創成専攻、助手、博士(工学)、リハビリテーション工学、適応構造システム

TEL 06-6850-6183

FAX 06-6850-6182

E-mail: naito@me.es.osaka-u.ac.jp

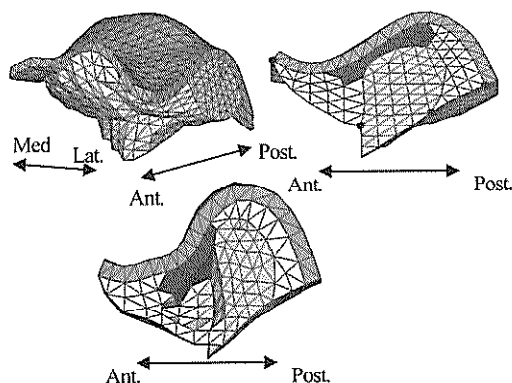


図1 顎関節部の個体別モデリング。上：正常顎関節（右は矢状断），下：復位性関節円板前方転移顎関節（矢状断）。

することより、成長ならびにそれによる力学的不均衡と密接に関わると理解されている。脊柱胸郭系は多数のコンポーネントから構成されており、どのような因子が側方彎曲の機序、進行に関わるかをバイオメカニクスの観点から考察しようと試みている。前後方コンポーネント間の成長不均衡、硬・軟組織間の成長不均衡、体幹筋の左右不均衡、椎骨楔状化などの擾乱がどのような脊柱彎曲・回旋をもたらすのかを、脊柱胸郭系のシステムモデルを用いたシミュレーション解析により、系統的な探索を進めている。これは計算モデルとして再現される側彎を手術的に矯正した場合の力学状態の評価などに通じる。

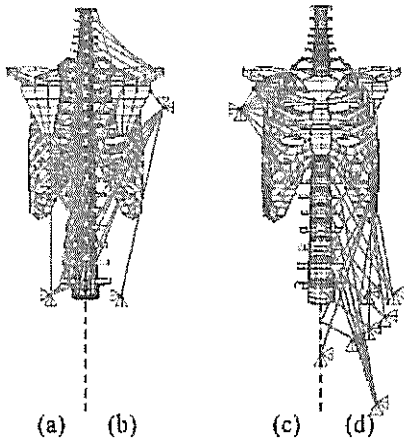


図2 脊柱胸郭系のモデル。体幹筋群、(a)深背筋群、(b)浅背筋群、(c)浅胸筋群、(d)側腹筋群、を含む

3) 骨のマイクロストラクチャと力学環境

骨構造は力学的環境と密接に関係し、その変化に応じた構造形態をもつことが知られており、骨の巨視的な形態や海綿骨の構造形態についてはこれまでに多くの知見が知られている。当グループでは、放

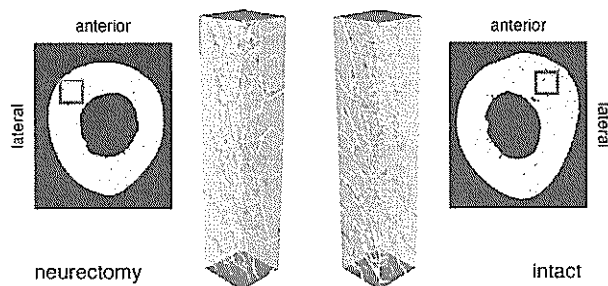


図3 運動低減が皮質骨マイクロストラクチャ(脈管路ネットワーク)に及ぼす影響。右：健常側，左：実験側

射光マイクロCTを利用することで、皮質骨の微細構造について、皮質骨内脈管路ネットワーク構造が成長期にどのように変化するか、また廃用がその構造にどのように影響を及ぼすかなどについて解析を進めている。またこれを皮質骨における微小循環の解析へと展開をはかっているところである。

4) 冠動脈ネットワークモデルに基づく冠循環機能評価

心臓を構成する心筋に血液を供給する冠循環は、新機能を支える重要な役割を果たし、酸素需要に見合った血流の安定的な維持は根本的な問題である。この機能を評価するために冠動脈の分岐ネットワーク構造のシステムモデルを統計学的データに基づいて構築し、血流動態の解析、血流・酸素供給の空間分布評価、筋原性調節の機能解明などに取り組んでいる。また、赤血球の偏向分配性やリポソームヘモグロビンの高流動性に着目し、リポソームヘモグロビン灌流や冠微小動脈狭窄時におけるリポソームヘモグロビン輸血などの効能などについて評価を進めている。

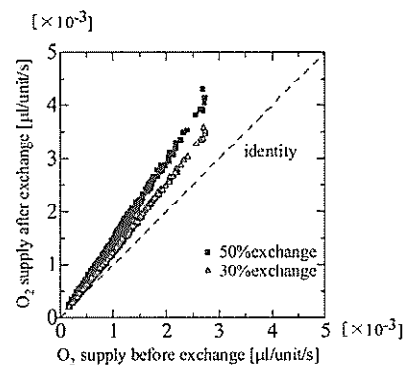


図4 血液ーリポソームヘモグロビン置換による酸素供給能の変化

5) 義足歩行シミュレーションにもとづく義足デザイン

義足は、失われた下肢の一部の機能を補うために用いられているが、さらに性能を向上させることが求められている。義足を着用した人は、人の動作と義足の機械的な挙動とが相互作用する人ー機械システムと考えることができ、義足の本来の性能を評価するには、それらの相互作用を総合的に考慮する必要がある。そこで、義足を着用した人の歩行動作を計算力学的に予測できる歩行シミュレータを開発し、それを応用した計算機支援義足デザインシステムを

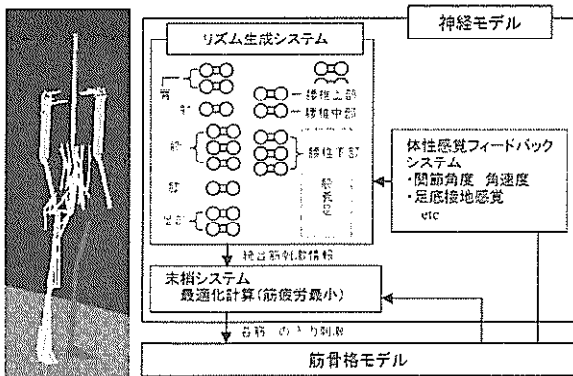


図5 義足歩行シミュレータ 左脚が義足

構築している。また、このシステムを用いて高性能な義足を適切かつ効率的にデザインする手法の確立に取り組んでいる。

6) 材料構造システムの最適設計

複合材料は特性の異なる素材を組み合わせた微細構造により自在な材料特性デザインを可能としている。一方海綿骨は素材(骨梁骨という意味)は単一であるが、骨梁構造という微細構造に応じて多様な力学特性を実現している。当グループでは、負荷(応力)が大きくなると剛性(弾性)が大きく(或いは小さく)なるような可変剛性(弾性)特性を、連続体の微細構造の最適構造設計により達成している。またこれに機能性材料を組み込むことにより、その特性の切

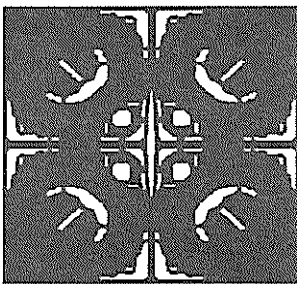


図6 作用する負荷に応じて弾性が変化する連続体構造のユニットセルの最適設計(この例では、横方向圧縮応力が指定値をこえると弾性が上昇する。)

替わり負荷を適応的に変化させる適応可変剛性(弾性)材料構造デザインについても提案している。

7) リンク機構シンセシス・デザインの支援システム化

リンク機構は基本的な機械ユニットであり、その設計には多くの経験が蓄積されている。今日では優れた機構解析ツールが利用可能となっており、解析に基づく設計の基本的枠組みは整っている。しかしながら、デザインプロセスにはシステマティックとは言い難い面が少なくない。ハンドブック的に提供されている代表的なリンク機構を基本に、それをパラメータ化した多様な機構定数と機構曲線を事例ベース化することで、事例探索による機構シンセシスとリンク形状の最適化設計により、所定の機構学運動と動力特性を勘案したリンク機構デザインを支援する方法を提案している。

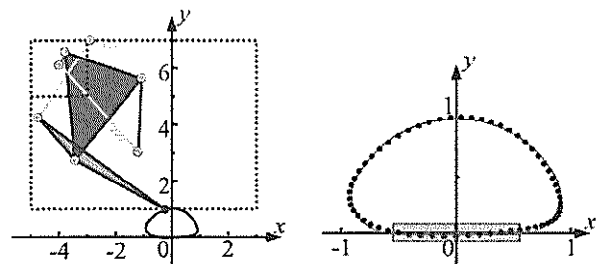


図7 空間的制約条件の下で所定の機構曲線創成と対偶作用力低減を目指したリンク機構のデザイン例

手当たり次第に放り込んだオモチャ箱を隙間からのぞいているように、雑多な断片を羅列した格好であり、ここまでお読みいただいた方々に恐縮するしかない。箱の整理の悪さは、著者Tの責に帰するもので、深くお詫びしたい。ただ、所謂アナリシスとシンセシスが表裏となって、オモチャの外見は異なるがそれぞれが相互に支え合い、それなりのベクトルをなしていると思っていただければ幸いである。

