

氏名	韓 露
所属	システムデザイン研究科 システムデザイン専攻
学位の種類	博士（工学）
学位記番号	シス博 第112号
学位授与の日付	平成30年3月25日
課程・論文の別	学位規則第4条第1項該当
学位論文題名	マルチボディモデルと頭部有限要素モデルによる 頭部外傷事故の再現解析と脳損傷のリスク評価
論文審査委員	主査 教授 青村 茂 委員 教授 久保田直行 委員 教授 新田 収 委員 教授 妹尾 淳史

### 【論文の内容の要旨】

交通事故、スポーツ中の事故や転倒・転落事故などで人間の頭部に何らかの衝撃が加わると、脳には様々な損傷が起きる。その際に発症する脳損傷には脳挫傷や硬膜下血腫に代表される局在性脳損傷、びまん性軸索損傷や脳震盪に代表される脳神経損傷に起因するびまん性脳損傷がある。頭部外傷の診断では CT や MRI の画像には表れない脳神経損傷に起因する顕在化しない病態が見過ごされる場合が多い。脳神経損傷はその後の高次脳機能障害発症の原因となる等、大きな社会問題になっており、外傷性脳損傷に対しては事故の再現による頭部への衝撃負荷の算定と、その結果発症する様々な脳損傷の発症リスクを予測する手法の確立が強く求められている。

そのような社会的な問題を背景として、本申請論文では力学的な手法を基に、医療データを用いて交通事故やスポーツ中の事故、転倒・転落事故の再現を行って頭部損傷の発症メカニズムを解明し、脳震盪、びまん性軸索損傷等の神経損傷の定量的な発症予測を行う。具体的にはマルチボディシステムを用いて頭部損傷を発症した事故の経緯を詳細に再現しその要因の解析を行うと共に、これらの結果をさらに頭部有限要素モデルに適用して、様々な力学パラメータにより脳損傷の発症リスク評価を行う方法を示す。これらの手法を数多くの症例に適用し、その有効性を示す。以下にその詳細を述べる。

第1章では、交通事故、スポーツ中の事故や転倒・転落事故などで発症する外傷性脳損傷について、事故の発生の背景及び死者や負傷者に関する統計データを示して、その発症メカニズムの解明と発症予測の重要性を指摘する。さらに、現在の世界における外傷性脳損傷の研究の状況を概観して、本研究の目的と本論文の構成を述べる。

第2章では様々な頭部外傷について、病理学的な定義と分類を示し、特に局在性脳損傷およびびまん性脳損傷に関して、それぞれの症状が発症に至る経緯を力学的背景を基に詳しく説明する。さらに局在性脳損傷とびまん性軸索損傷が併発する可能性について詳しく論ずる。

第3章では、本論文全体を通して最も重要な基礎となる計算力学に基づく事故の再現手法と、様々な脳損傷の発症シミュレーションの手法について説明する。事故の再現では、ヒト全身数値モデルと様々な環境情報の作成方法や接触条件の設定方法を述べる。これらの全身モデルを用いて事故を再現し、そこで得られた衝突直前の頭部の姿勢や加速度の情報を初期条件として、さらにヒト頭部有限要素モデルに入力して事故時の衝撃による頭蓋内の力学パラメータを詳細に求める方法について述べる。さらにヒト頭部有限要素モデルの構造や作成方法、検証方法について述べる。

第4章では、第3章で説明した手法を実際の頭部損傷を発症した事故に適用して、事故発生時の状況見聞記録、CTやMRI等の画像データおよび医師の診断所見を含む医療データ、スポーツ時の脳振盪事故においては画像情報に基づいて解析を行う。事故に関する医療データは独協医科大学救急救命センター、兵庫県災害医療センター・神戸赤十字病院をはじめとする複数の医療機関、また事故発生時の動画像の記録は全日本柔道連盟と日本大学アメリカンフットボールチームから提供を受けた。提供を受けた合計で1,000件以上の事故情報のうち、頭部外傷に直接関係する約300件のデータを解析の対象とした。医療データによる事故の再現においては、常に必要な情報が揃う場合は少なく、寧ろ不足する情報を如何に補うかが重要であり、本章では試行錯誤を繰り返して、精度の高い事故の再現に至る手法を示すと共に、必須の情報と力学的な予測により補うことのできる情報を詳細に具体的に示した。その結果、初期診療における医療データにより、事故の再現と脳損傷予測の可否の判断ができるようになり、早期の診断支援が可能となった。

第5章では、第4章で行った多くの事故の解析により得られた頭部損傷に関する様々な力学パラメータを基に、頭部損傷におけるそれぞれの症状の発症リスクの評価を行っ

て予防における本手法の有効性を示した。具体例として屋内での転倒事故における絨毯と頭部保護用のヘッドバンドの頭部損傷の防護効果について定量的な評価を行った。脳神経損傷の発症リスクの評価では頭部の並進加速度を中心とする評価、近年その重要性が指摘されている回転加速度を中心とする評価、さらに応力、歪み、歪み速度を用い評価の有効性の検証を行なった。

本章の最後では、現在、および将来にわたって最も深刻な脳損傷の後遺症の一つである高次脳機能傷害について、特に外傷性脳損傷に起因にする高次脳機能障害の発症予測について、交通事故を中心とした症例を基にその有効性について論じた。

第6章では、本論文全体を通しての考察と将来の診断支援の必要性とその実現性について述べる。

7章では、結論と展望を述べる。