

2018年1月24日

「博士学位請求論文」審査報告書

審査委員 (主査) 研究・知財戦略機構 特任教授

氏名 杉原 厚吉 (印)

(副査) 研究・知財戦略機構 特任教授

氏名 萩原 一郎 (印)

(副査) 総合数理学部 専任准教授

氏名 中村 和幸 (印)

(副査) 埼玉工業大学 工学部 教授

氏名 趙 希録 (印)

1 論文提出者 楊 陽

2 論文題名 Research on Collision Safety for Self-Driving and Electric Cars
(和文題) 自動運転車と電気自動車の衝突安全に関する研究

3 論文の構成

本論文の構成は以下の通りである。

- 1 章 Introduction (緒論)
- 2 章 Crash energy absorbing members of the lightweight electrical vehicles by using truss core panel
(トラスコアパネルを使用した軽量電気自動車のエネルギー吸収メンバー)
- 3 章 Crash energy absorbing members of the electrical vehicles by using pairing origami structure
(対称2枚貼り折紙構造を使用した電気自動車のエネルギー吸収メンバー)
- 4 章 Application of vehicle crash technology and origami structures to daily necessities
(自動車の衝突技術と折紙構造の日用品への応用)
- 5 章 Preventive safety for the self-driving vehicles by deep learning
(深層学習による自動運転車の予防安全)
- 6 章 Conclusions and future works (結論と今後の課題)

4 論文の概要

社会を取り巻く環境保全の観点から、内燃機関の自動車は電気自動車に取って替わられることが期待され、高齢者の度重なる運転操作ミスから生じる惨事を減少するためにも、自動運転車の到来が期待されるなど、自動車を取り巻く環境は変わりつつある。しかし、電気自動車や自動運転車になろうとも衝突回避や衝突時の安全性確保の重要性は変わることはない。これら社会からの厳しい要求への対応の間に培われる技術は、時に日用品の安全設計にも好影響を与え、日用品への安全技術適用の努力は、車両の衝突時安全設計の更なる高度化を与えるなど好循環を齎すことを第1章で述べている。第2章では、電気自動車のフロアの平面化からくる剛性強度低下を防ぐための折紙構造による検討、第3章では、現行車のエネルギー吸収材の欠点をカバーする折紙構造の提案、第4章では、車両の衝突技術と折紙構造の特性の安全ヘルメット設計への応用、第5章では予防安全のためのドライバー表情認識技術について述べ、第6章では本論文のまとめと関連する将来展望について述べている。更に詳細は次の通りである。

第1章「Introduction（緒論）」では、本学位論文に関連する、従来の衝突安全の研究、車両の衝突技術に非常に関係の深い日用品の安全技術に関する従来の研究、自動運転レベル2に関連するドライバーの急変を察知する予防安全技術に関する従来の研究について述べている。そして、従来の衝突安全、日用品の安全技術に対し、新たに折紙構造を利用することにより、より優れたものが得られること、予防安全技術については深層学習技術が有効であることから、本学位論文は折紙構造や深層学習を安全技術に適切に適用するためのモデリングとシミュレーション技術を開発し、関連する学術に貢献することが目的であると述べている。

第2章「Crash energy absorbing members of the lightweight electrical vehicles by using truss core panel（トラスコアパネルを使用した軽量電気自動車のエネルギー吸収メンバー）」では、電気自動車の特性に応じた新しいエネルギー吸収構造を提案している。電気自動車では、エンジンがないため軽量で、エンジンのぶら下がるフロア部の地上高をエンジンの高さ分だけ高くする必要もないことからフラットな構造となり、構造強度の観点からは弱くなる方向であり、トラスコアやハニカムコアの利用が有効と考えられる。しかし、トラスコアやハニカムコアを直接用いることは不可で、本章提案の内挿構造なしでは効果がないと述べている。トラスコアあるいはハニカムコアと内挿構造を組み合わせることでサイド衝突のエネルギー吸収量最大の条件の最適化解析を行い、トラスコアと内挿構造の組み合わせ構造の方がハニカムコアと内挿構造を組み合わせた構造より衝突特性が優れていることを示している。

第3章「Crash energy absorbing members of the electrical vehicles by using pairing origami structure（対称2枚貼り折紙構造を使用した電気自動車のエネルギー吸収メンバー）」では、ミウラ折りの3次元版として話題になりつつある鋳-三浦ポリヘドロン(TMP)を、野島によって進められている2枚貼り折り紙として新たに捉え、野島ポリヘドロン(NP)もミウラ折りの3次元版に位置づけられるとし、電気自動車のエネルギー吸収メンバーとしてNPとTMPの有効性が検討されている。NPは全く同じものを向かい合わせに貼り合わせた鏡面对称であるのに対し、TMPは全く同じものを向かい合わせに一段ずらして貼り合わせた映進対称であることを示し、両者には潰れモードの相違があること、特にNP材は衝撃特性が優秀でかつ安価に製造できることも示している。

第4章「Application of vehicle crash technology and origami structures to daily necessities（自動車の衝突技術と折紙構造の日用品への応用）」では、自動車の衝撃検討が日用品の安全検討に有効に

利用できる例として、折畳み安全ヘルメットについて検討している。2011年3月の東日本大震災が一つの契機となり、これまでも増して身の安全を守ろうとする気運が高まり、非常用としてロッカーやランドセルにも入る折畳み安全ヘルメットの重要性を述べている。そこで、作業ヘルメットの安全基準を満たした上で、市販の折畳みヘルメットより小さな箱に入れることのできる最強の安全折畳みヘルメットを開発している。このヘルメットは段ボール材で、蛇腹折りのカバー、反転螺旋折紙構造(RSC)、折紙ハニカムと全て折紙構造からなっている。

第5章「Preventive safety for the self-driving vehicles by deep learning (深層学習による自動運転車の予防安全)」では自動運転レベル2における、人間の操作から自動運転への自動切り替えについて検討している。ドライバーが、これ以上の運転の継続は危険と自覚できる場合は問題ないが、現在事故が多発しているのは自覚なしでの突然のドライバー異変によるものとし、異変の前兆の把握にはドライバーの表情認識の深層学習が有効であることを示している。

第6章「Conclusions and future works (結論と今後の課題)」では、本研究の成果と今後の課題を述べている。

以上を要するに、本研究は、電気自動車など、強度が弱まる方向の自動車車両の衝突安全性の向上に折紙構造が有効であることを示し、また、車両の安全技術と折紙構造を日用品の安全向上に有効に利用できること、予防安全に深層学習が有効であることを関連のモデリング技術とシミュレーション技術を開発して示したものである。

5 論文の特質

本論文は、自動車産業を取り巻く社会情勢を反映すべく、車の電動化、人間操作から自動運転へのパラダイムの変換から生じる衝突安全と予防安全のあり方について議論し、いくつかの対策を提案している。衝突安全については、電気自動車の軽量化とフロア構造の平坦化からくる構造強度の弱体化に警鐘を鳴らし、折紙構造の利用を薦めている。予防安全については、自動運転のレベル2について議論し、人間操作から自動運転に客観的に変換できることが、現在頻繁に生じている高齢者ドライバーなどによる悲惨な交通事故の減少につながるなど極めて社会性のあるテーマを扱っている。エネルギー吸収材としてのフロア構造を検討し、1) 初期ピーク荷重が高くこれが時に乗員に危害を加える、2) 自らの嵩張りのため、自長の70%程度しか変形しない、の二つの欠点を有している現行車のエネルギー吸収メンバーに対し、空間充填の考えから創造されたトラスコア構造がこれらの欠点を緩和することを、モデリングとスプリングバックのシミュレーションも含む極めて高度なシミュレーションに基づいて示している。また、本研究で培った衝突現象や折紙構造のモデリング技術やシミュレーション技術を折畳み安全ヘルメットの設計に適用し、世界最軽量かつ省収納スペースのヘルメットの設計に成功している。予防安全には、深層学習のための効率の良いモデリングの作成方法を創出している。以上、本研究は、モデリングとシミュレーションによる最先端の現象数理学を駆使して有意な結果を得るとともに、今後の課題について整理しており、関連研究に大きく寄与するものである。

6 論文の評価

今後自動車は電気自動車を中心に展開されてゆく様相を呈している。電気自動車の場合、軽量で前部フロア構造は平坦となり、強度に関しては弱くなる方向である。衝突時のエネルギー吸収

材として、フロアなどのパネルの平坦化に対してはトラスコアが有望であること、エネルギー吸収材としてのメンバーに対しては、初期ピーク荷重が大きすぎ、自らの嵩張りのため、70%以上の変形は困難であることから、折紙構造の援用が有利であることを明確にしている。以上、フロアに対しては折紙技術と空間充填理論から得られるトラスコアを軸に検討し、メンバーに対しては、二枚貼り折り紙の NP ポリヘドロンが有効であることを示すなど、電気自動車構造のあるべき方向を与えている。2011年3月11日に起こった東日本大震災以来、俄かに日用品の安全性がクローズアップされランドセルに入るくらい小さく畳めるヘルメットの開発が望まれるという課題に対し、自動車の衝突技術と折紙構造で対応している。予防安全に対しては深層学習を利用すべく必要な学習データを効率よく得るための方法を示している。以上のように、本研究は、新しいモデリング技術とシミュレーション技術を開発して、自動車業界が進むべき安全対策の方向を適切に示したものであり、現象数理学専攻の博士論文として相応しいものである。

7 論文の判定

本学位請求論文は、先端数理科学研究科において必要な研究指導を受けたうえ提出されたものであり、本学学位規程の手続きに従い、審査委員全員による所定の審査及び最終試験に合格したので、博士（数理科学）の学位を授与するに値するものと判定する。

以 上