

機関番号：13903

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2008～2012

課題番号：20560054

研究課題名 (和文) 凝縮媒質中の衝撃波現象に関する数理工学的手法による総合研究

研究課題名 (英文) Applied Mathematical and Engineering Study of Shock Wave Phenomena in Condensed Matters

研究代表者

杉山 勝 (SUGIYAMA MASARU)

名古屋工業大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：20110257

研究分野：工学

科研費の分科・細目：応用物理学・工学基礎

キーワード：衝撃波現象、凝縮媒質、数理工学、非平衡熱・統計力学、非線型波動

1. 研究計画の概要

凝縮媒質 (液体 (実在気体も含む) および固体) 中を伝播する衝撃波に関わる多様な現象を、統一した観点から、数理工学的に研究する。すなわち、以下の研究項目を、理論及びシミュレーション・数値解析により、この順で解析を進める。

- (1) 凝縮媒質中の平面衝撃波を系統的に研究する。特に、波面前後で満たされる必要があるランキン=ユゴニオの関係と、衝撃波面構造を、それぞれ、定量的に解析し、その力学および熱的特性を解明する。波面構造に関しては散逸性が波面構造に及ぼす効果に注目する。
- (2) 衝撃波によって誘起される相転移現象の熱・統計力学的解析を行う。相転移を伴うことによりどのような新しい効果が生まれるのかを明らかにする。
- (3) 複数の非線型波動 (とくに衝撃波と加速度波) の間の相互作用とその安定性の系統的な研究を行う。

2. 研究の進捗状況

得られた主な結果を以下にまとめる。

- (1) 凝縮媒質の基準系として、剛体球系を採りあげ、衝撃波現象の解析を詳細に行った。その結果、ランキン=ユゴニオの関係と衝撃波の安定性について、そして分子の内部自由度の効果について熱・力学的な観点から解析した。また、数値解析により、衝撃波が不安定化する過程を研究した。さらに、衝撃波面構造における不可逆現象の解析手法の開発に取り組んでいる。
- (2) 実在流体系での衝撃波現象の解析を行った。① 剛体球系で得られた結果を基準と

して、実在流体中の衝撃波現象を定量的・系統的に解析した。② 分子間相互作用をもつ系に対して、気体、液体、固体を統一的に取り扱うことにより、衝撃波現象を定量的に明らかにした。特に、相互作用ポテンシャル中のパラメータへの依存性を明確にした。③ 衝撃波不安定化に関する、数値計算と理論との比較を行った。さらに、衝撃波不安定化の過程を数値計算により示した。④ 新奇な衝撃波 (衝撃波の強度が大きくなるにつれて質量密度が減少しながら極限圧縮密度に漸近する衝撃波) が発見された。

- (3) 衝撃波誘起相転移、すなわち、衝撃波面の前後で物質の相が異なる場合のランキン=ユゴニオ関係式を理論的に明らかにし、そのような衝撃波の安定性を明らかにした。ラックス条件を一般化した、リュウ条件による安定判別法を用いた。その結果、従来解析できなかった複雑な衝撃波現象を発見した。
- (4) 研究代表者が構築したモデル系を用いて、結晶性固体における衝撃波の解析を行った。境界での反射時に観測できる固体の破壊について数値計算を行った。
- (5) 凝縮媒質中での衝撃波と加速度波の非線型相互作用を記述する基礎式の導出を行っている。

3. 現在までの達成度

① 当初の計画以上に進展している。

(理由)

研究計画を立案した当初の達成目標に加えて、それ以外のきわめて興味ある新しい結果、たとえば新しい種類の圧縮性衝撃波の発見や衝撃波誘起相転移の予想外の複雑な挙動の発見なども得ることができた。また、理

論と数値計算のそれぞれの結果が非常にうまく連携できており、研究の進展速度が上がった。

4. 今後の研究の推進方策

- (1) これまでに得られた進展を踏まえ、この方向での研究の更なる深化を図る。これにより、興味ある新しい現象の発見が期待できる。
- (2) 新たに発見できたいくつかの結果、たとえば衝撃波誘起相転移など、の更なる研究進展と、その工学的応用の可能性を検討する。
- (3) 研究計画で、残り2年間で行くと予定された課題に本格的に取り組む。すなわち、以下の課題を研究する。①衝撃波面内における不可逆現象の、拡張された熱力学による解析を行う。②実在流体系において、三重点近辺の複雑な衝撃波現象、とくに衝撃波誘起相転移の解析を試みる。③結晶性固体中の衝撃波について、力学特性のみならずその温度特性についても詳細に解析する。また、融解点近傍での特異な現象に注目しつつ、衝撃波による破壊現象についても研究進展を図る。④衝撃波と加速度波の非線型相互作用の研究を行う。
- (4) プロジェクトの最終年においては本研究課題の総合的なまとめと将来展望を行う。そして、それらをまとめた総合報告を作成する。

5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計9件)

- ① S. Taniguchi, A. Mentrelli, T. Ruggeri, M. Sugiyama and N. Zhao: Prediction and simulation of compressive shocks with lower perturbed density for increasing shock strength in real gases, Phys. Rev. E Vol. 82, 036324 (5 pages) (2010). 査読有
- ② Y. Zheng, N. Zhao, T. Ruggeri, M. Sugiyama and S. Taniguchi; Non-polytropic effect on shock-induced phase transitions in a hard-sphere system, Phys. Lett. A Vol. 374, 3315-3318 (2010). 査読有
- ③ S. Taniguchi, A. Mentrelli, N. Zhao, T. Ruggeri and M. Sugiyama: Shock-induced phase transition in systems of hard spheres with internal degrees of freedom, Phys. Rev. E Vol. 81, 066307 (13 pages) (2010). 査読有
- ④ M. Sugiyama, A. Mentrelli and T. Ruggeri: Admissible shock waves and

shock-induced phase transition in a van der Waals fluid, Proceedings of "WASCOM 2009" 15th Conference on Waves and Stability of Continuous Media Vol.15, 270-278 (2010). 査読有

- ⑤ C. Curro, G. Valenti, M. Sugiyama and S. Taniguchi: Propagation of an acceleration wave in layers of isotropic solids at finite temperatures, Wave Motion Vol. 46, 108-121 (2009). 査読有

[学会発表] (計17件)

- ① M. Sugiyama (登壇者 S. Taniguchi). Shock-induced phase transitions and stability of a shock wave in real gases, ISWI Conference 2010: The Shock and High Strain Rate Properties of Matter, 2010年9月8日, Cavendish Laboratory, University of Cambridge, ケンブリッジ、イギリス。
- ② 杉山勝 (登壇者 谷口茂)、実在気体における新しい種類の衝撃波: Compressive upper shock, 日本物理学会、2010年9月25日、大阪府立大学。
- ③ 杉山勝 (登壇者 谷口茂)、剛体球系を基準とした摂動論モデルにおける衝撃波誘起相転移、第20回統計物理学研究会、2009年12月23日、名古屋工業大学。
- ④ 杉山勝 (登壇者 谷口茂)、内部自由度がある剛体球系中を伝播する衝撃波の安定性、日本物理学会、2009年9月28日、熊本大学。
- ⑤ M. Sugiyama (招待講演), Shock waves in real gases, "WASCOM 2009" 15th Conference on Waves and Stability of Continuous Media, 2009年6月29日, パレルモ、イタリア。