The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	Equation-of -state studies under ultra-high pressures with laser induced shock waves
Author(s)	尾崎, 典雅
Citation	大阪大学, 2002, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/43479
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

【21】

氏　　名	尾　崎　典　雅（おざき　のり　まさ）
博士の専攻分野の名称	博　士（工　学）
学　位　記　番　号	第　16994　号
学位授与年月日	平成14年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科精密科学専攻
学　位　論　文　名	Equation-of-state studies under ultra-high pressures with laser induced shock waves （レーザー誘起衝撃波による超高圧力下の状態方程式に関する研究）
論　文　審　査　委　員	（主査） 教　授　片岡　俊彦 （副査） 教　授　青野　正和　　教　授　梅野　正隆　　教　授　遠藤　勝義 教　授　田中　和夫　　教　授　広瀬喜久治　　教　授　森　　勇藏 教　授　森田　瑞穂　　教　授　芳井　熊安　　助教授　中野　元博

論文内容の要旨

本論文は、超高圧力下における物質の状態方程式に関する研究の成果をまとめたものであり、全8章から構成されている。

第1章では、高強度レーザーを用いて高精度な状態方程式計測を行う上で、解決すべき問題を概説し、本研究の意義と各章の位置づけを示した。

第2章と3章では、レーザーによる衝撃波の駆動法と制御について述べた。レーザー誘起衝撃波に要求される空間的定常性と時間的定常性を実現するために、レーザー加速フライヤーによる間接駆動方式（第2章）とレーザービーム平滑化重ね合わせによる直接駆動方式（第3章）を開発し、発生する衝撃波の特性評価を行った。間接駆動方式の空間定常性は極めて良好である反面、定常な衝撃圧縮状態の持続時間は極めて短時間であることが示された。一方、直接駆動方式では、時・空間定常性は共に良好であり、状態方程式実験に適用可能なクオリティを有していることを確認した。

第4章では、レーザー直接駆動方式で深刻な問題となる、X線の輻射による先行加熱について議論した。この問題を緩和する多層ターゲット構造の提案と、緩和層の膜厚最適化を行い、実験によりその有用性を実証した。

第5章と6章では、衝撃波実験計測の高精度化について述べた。速度を従来法に比べてより高精度に計測するため、レーザードップラー干渉法を用いた速度干渉計を構築した。プラスチックに対するユゴニオ計測実験に供して得たデータから、本手法の有用性を確認した（第5章）。また、圧縮率を高精度に計測するために、新しい時間分解型のX線撮像法（半影 Coded aperture imaging 法）を提案し、その原理実証実験を行った。実証実験結果を解析した画像データから、本手法が高い時間・空間分解能特性を持ち、状態方程式計測を行う上で有効な手法であることを明らかにした（第6章）。

第7章では、構築した高精度計測法をテラパスカルの超高圧力の未知領域を狙った状態方程式実験に適用し、その成果について述べた。本レーザー誘起衝撃波実験で再現性良くテラパスカル圧力を生成でき、3種のプラスチックに対してこれまで知られていなかった超高圧力領域のユゴニオデータを高精度に得ることに成功した。実験結果は、従来用いられてきた理論モデルからの予測データと相違することが明白であり、この理論モデルに修正すべき点があることを示した。

第8章はまとめであり、本論文を総括した。　以上

論文審査の結果の要旨

地球・惑星科学や宇宙物理、慣性核融合研究といった、1000万気圧（テラパスカル）を超えるような極限環境下にある系の、熱力学的あるいは流体力学的振る舞いを記述するためには、超高圧力下での状態方程式が必要となる。これまでに、高圧域における状態方程式は、多くの物質について詳細に調べられてはいるが、圧力が100万気圧を超えると、実験データ点数は急激に少なくなる。これは、そのような超高圧力を生成することが技術的に困難であるという単純な理由に起因している。比較的最近になって、高強度レーザーを物質に集光照射すると、物質内部に非常に高い圧力が発生することが確認され、各国で精力的に研究が進み、現在、この方法は1億気圧を達成している数少ない超高圧生成ツールとなっている。しかしながら、レーザーの時間的・空間的なエネルギー高密度性は、同時に実験のスケールを極めて小さくし、その結果、データの精度を低下させる要因となっている。本論文の目的は、高強度レーザーを利用した状態方程式実験の精度を向上させる為の、新しい実験技術の検証と、それらを利用することによって、超高圧力環境での物質の状態方程式パラメータを高精度に取得することにある。本論文の主な成果は次の通りである。

(1)衝撃波圧縮を利用する研究において、最も普遍的であるフライヤー衝突の方法と高強度レーザーを組み合わせた、多層膜構造レーザーフライヤーの有用性を実験的に明らかにしている。この方法では、従来法の速度限界を再現性良く且つ容易に上回ることが示されている。

(2)波面制御されたスムーズなレーザービームを、オフセット集光照射することによって、時間的・空間的定常性の極めて良好な平面衝撃波の生成が実現されている。実現された平面衝撃波は、直径400μmの空間的定常性と2nsの時間的定常性を有していることが実験によって確認され、この方法が状態方程式実験の精度向上に対して有効であることが示されている。

(3)被測定物質のレーザー照射側に、放射X線エネルギーの小さいプラスチックをコートすることによって、レーザー直接照射方式において重要な問題である先行加熱が抑制できることを明らかにしている。衝撃波が物質の裏面に達する際の自発光強度の立ち上がり時間は、プラスチック層を設けていない単層の場合と比較すると、約半分にまで短くなり、この方法によって理想的な矩形の圧力パルス生成が可能であることを明らかにしている。

(4)衝撃波速度や粒子速度という速度パラメータを高精度に計測するために、線状集光型のレーザードップラー速度干渉計を構築し、状態方程式実験に適用することで、2種のプラスチックのユゴニオデータが得られている。ポリイミドに対して70ギガパスカル、重水素化ポリエチレンに対して50ギガパスカルまでのユゴニオ曲線が決定されている。

(5)空間分解能の高い密度計測手法として、X線ストリークカメラを利用したX線半影撮像法を開発している。レーザープラズマをX線光源として、時間分解された半影イメージが初めて得られている。再構成されたX線光源のイメージから、時間分解能25ps、空間分解能1.27μmの性能が確認されている。

(6)以上で述べた実験技術を適用して、3種のプラスチックに対するテラパスカル域の状態方程式データが、世界に先駆けて得られている。重水素化ポリエチレンにおいては0.8テラパスカル、ポリスチレンにおいては2テラパスカルまでのデータが得られ、それら実験結果と広く用いられてきた従来のSESAME状態方程式理論モデルとを比較すると、その理論モデルがこの圧力領域で適用できないことが、初めて明らかにされている。ポリイミドにおいて実現された5テラパスカルの圧力は、低原子番号の物質における最高圧力のデータ点であることが示されている。

以上のように、本論文は、高強度レーザーを利用して高精度に状態方程式パラメータを計測する上での重要課題に対して、解答となる新規な方法や技術の実験的検証を行っている。また、それらを利用して、テラパスカルの平面衝撃波が再現性良く実現され、この圧力領域での広範な状態方程式データを精度良く取得することに成功している。このデータは、従来モデルとは異なる、新しい状態方程式理論モデル構築の必要性を示唆している。慣性核融合ターゲット設計を始めとするコンピュータシミュレーションの研究に、この状態方程式データを反映させることで、より正確な物質の状態量やダイナミクスの記述が可能となる。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。