

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	動的なエネルギー集中における超臨界二酸化炭素の相挙動
Title(English)	Phase behavior of supercritical carbon dioxide in dynamic energy focusing
著者(和文)	牛房裕之
Author(English)	Hiroyuki Ushifusa
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第9766号, 授与年月日:2015年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:因幡 和晃,岸本 喜久雄,ジエリ S.加入,野崎 智洋,大島 修造
Citation(English)	Degree:, Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第9766号, Conferred date:2015/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第		号	学位申請者氏名		牛房 裕之	
論文審査 審査員		氏 名		職 名		氏 名	職 名
	主査	因幡 和晃		准教授	審査員	大島 修造	准教授
	審査員	岸本 喜久雄		教授			
		Jeffrey S. Cross		教授			
		野崎 智洋		教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「Phase behavior of supercritical carbon dioxide in dynamic energy focusing (動的なエネルギー集中における超臨界二酸化炭素の相挙動)」と題し、5 章より構成されている。

第 1 章「Introduction (緒論)」では、超臨界流体の特徴的な物性について工業利用における現状を概説し、本研究の目的を述べている。すなわち、化学反応の促進や、有用物質の抽出、MEMS などにおいて超臨界二酸化炭素の利用が注目されている現状で、現在は大型の装置により高温高压を生成して超臨界状態を維持するため多くのエネルギーが必要とされ、大量生産には適しているものの少量生産や小型の反応装置構築には適しておらず、小規模での生成による超臨界流体の利用に関する研究はほとんど行われていないことを指摘している。そこで、少量生産や超臨界二酸化炭素の活用に向けて、水撃波やパルスレーザでエネルギーを局所的に集中させることで、超臨界二酸化炭素を動的に生成する方法の提案と観察手法の提案、さらには超臨界状態近傍での相挙動を明らかにすることが本論文の目的であると述べている。

第 2 章「Supercritical CO₂ generator using bubble collapse in water hammer (水撃による気泡崩壊を利用した超臨界二酸化炭素の生成)」では、水を充てんした管内に二酸化炭素気泡を設置して衝撃圧縮試験を行い気泡の運動を観測するとともに、数値計算により超臨界二酸化炭素状態をマイクロ秒オーダーで長時間維持するための圧縮条件を見出している。すなわち、水を充てんした鋼製の厚肉円管の底部に、単一の二酸化炭素気泡を設置し、重力で加速したピストンを緩衝材に衝突させることで水撃波を伝播させる実験を行い、気泡内外の圧力履歴の計測を行うことで気泡内の圧力が気泡外よりも高くなることを明らかにするとともに、超臨界二酸化炭素の生成条件を満足することができることを確認した。気泡径が管径に対して十分小さい場合に気泡外の圧力履歴をレイリー・プレセットの式に代入することで、気泡内圧力の計算結果が実測値とよく一致することを示し、さらに超臨界状態が長時間維持される気泡外の圧力振幅と圧縮速度の条件を明らかにしている。

第 3 章「Fast Creation of supercritical CO₂ by photo induced heating of gold nanoparticles (金ナノ粒子の光熱効果を利用した高速な超臨界二酸化炭素の生成)」では、フェムト秒パルスレーザを金ナノ粒子に照射することで発生する光熱効果を利用した超臨界二酸化炭素の生成とその測定手法を提案している。すなわち、金ナノ粒子が吸収放出する熱量を 3 温度モデルを用いて計算し、水と超臨界状態における二酸化炭素の密度などの物性を流体熱物性値プログラム (PROPATH) を用いて算出し、有限要素法 (COMSOL) に物性値を代入することで、水や二酸化炭素内の金ナノ粒子周囲におけるピコ秒オーダーでの超臨界状態の出現挙動についての数値計算を行い、臨界点近傍での温度拡散率が二酸化炭素では大きく低下することで、水の場合と比べて金ナノ粒子周囲に長時間超臨界二酸化炭素が生成されることを明らかにしている。さらに臨界点近傍では金ナノ粒子周囲の屈折率が大きく変化することに着目し、マイクロチャネルを用いたポンプ・プローブ法を提案し、現行のポンプ・プローブ法の測定時間を大幅に短縮するとともに、ピコ秒オーダーの超臨界二酸化炭素の生成を確認する方法の提案を行っている。

第 4 章「Measurement and visualization of supercritical CO₂ in dynamic phase transition (動的な相変化における超臨界二酸化炭素の計測と可視化)」では、超臨界状態近傍における二酸化炭素の相挙動に焦点を当てて、熱対流の有無、系の温度の上昇や下降による相挙動を光学的に観測するとともに数値計算を行っている。すなわち、密閉容器に封入された液体二酸化炭素を、ヒータにより上方もしくは下方から加熱し、高速度カメラでレイリー散乱を観測するとともに計測した温度と圧力から PROPATH により物性値を求めることでミリ秒オーダーの動的な超臨界二酸化炭素の生成を確認している。上方加熱においては対流が発生せず、第 3 章で示した金ナノ粒子周りの超臨界二酸化炭素と同様の相挙動を確認し、下方加熱においては温度と圧力の関係がウィグダムラインに沿って超臨界状態まで上昇すること、特に臨界点近傍において大きな混合現象が発生することを確認している。この混合現象は系を均質化させるため、超臨界二酸化炭素が生成する際に臨界点近傍を通ることで効率的な相変化に寄与する可能性があることを示唆している。

第 5 章「Conclusions and Future Works (総括と今後の展望)」では、本研究で得られた結果を要約するとともに、今後の課題について示している。

以上を要するに本論文は、水撃波やパルスレーザを用いた超臨界二酸化炭素の動的な生成手法を提案するとともに、動的な生成時における二酸化炭素の相挙動と混合現象を明らかにしたもので工学上及び工業上貢献するところが大きい。よって本論文は、博士(工学)の学位論文として十分な価値があるものと認められる。