

含水燃料液滴燃焼の微小重力実験装置開発

日大生産工 ○野村 浩司

1 はじめに

地球温暖化や化石燃料の高騰が差し迫った問題となっており、世界の一次エネルギーの約90%を化石燃料に頼っている現在、燃焼機関の熱効率向上および代替燃料の模索が急務の課題となっている。代替燃料として期待されていたバイオマス燃料も、食料価格高騰の引き金となり、今後の実用化は不透明な状態である。このようなエネルギー情勢を背景に、本研究の提案は、(1)廃棄有機物をエネルギーとして再利用する、(2)廃有機物を超臨界水処理することによって、燃焼性を改善する、(3)超臨界水処理はオンデマンドで行い、燃焼機関の廃熱を超臨界水処理熱源とする、というものである。軽油を燃料とするガスタービン为例とし、燃料の超臨界水処理が熱効率向上、出力増大に有効であること、拡散燃焼時に超臨界水処理燃料中の水蒸気がNO_xおよびすす低減に有効であることを研究成果として示してきた¹⁾。残された課題は、超臨界水処理の小型化と実際の廃有機物への対応、超臨界水処理燃料の燃焼時におけるCOおよびHC排出低減である。超臨界水処理装置の性能向上、具体的には炭化水素の水素変換率向上が達成されれば、HC排出低減は実現できる。

これまでの研究結果を踏まえ、今後の研究方針として、超臨界水処理装置の小型化と未処理炭化水素成分の低減、実廃有機物の超臨界水処理と発生成分の評価、拡散火炎に及ぼす燃料中の水蒸気の影響解明を行う。本報では、拡散火炎に及ぼす水蒸気の影響を実験的に調べるための装置開発について記述する。

水を利用した燃焼改善方法には、燃焼室に水噴霧を行ってNO_x排出低減を図る方法や、油中水滴型エマルジョン燃料を利用したNO_xとすすの排出同時低減を図る方法などがあり、既に実用化されている。本研究で提案している超臨界水処理廃有機物燃料にも超臨界水処理に使用した水の一部が含まれているので、この残留水を積極的に燃焼改善に利用するこ

とを試みる。燃料に含まれている水が燃焼に及ぼす影響を、これまでバーナに保炎された拡散火炎で調べてきた。保炎可能な含水率の上限や燃焼ガス温度と含水率の関係などの知見を得た。しかしながら、バーナの特性が結果に影響を及ぼしているため、さらなる普遍的・基礎的知見を得るためには、水を含む燃料液滴の拡散燃焼実験が必要であると考え、実機の燃焼が高圧力下で行われることを考慮し、実験も高圧雰囲気で行う。単一液滴燃焼は、最も単純な拡散燃焼現象の一つである。燃料蒸気に水蒸気が多く含まれている場合の拡散燃焼に関して球対称一次元の燃焼実験を行い、結果を含水燃料の燃焼解析に利用する。高圧力雰囲気での燃焼は自然対流の影響を強く受けるので、実験は微小重力環境で行う。燃料には、水と分子レベルで混合が可能なアルコール系燃料を使用し、水と沸点が近似する1-プロパノールを第一候補とする。

2 高圧容器

高圧燃焼容器の詳細設計を行い、製作・試験を行った。図1に高圧燃焼容器（常用圧力：5 MPa、内直径：100 mm、高さ：220 mm）の外観を示す。容器軸方向に長い観察窓を有する点が特徴である。このような観察窓を有する高圧容器を設計した経験がこれまでない

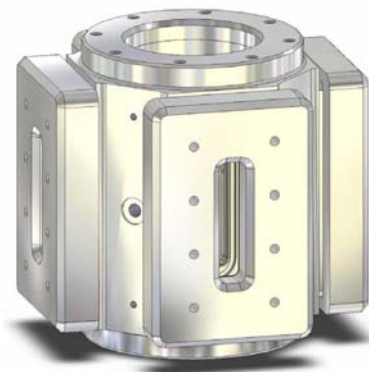


図1 高圧容器。

Development of Experimental Apparatus for Microgravity Experiments on Droplet Combustion of Liquid Fuels Containing Water

Hiroshi NOMURA

ので、容器の変形も考慮した有限要素法により、応力・変形解析を行って安全性を検討し、改良を加えた。その結果、強度を大きく設計することが最も困難な窓ガラスにおいて、安全率6.7（対引張破壊強度）の設計を行うことができた。高压容器の上下にフランジを取り付け、水压テストを行った。常用圧力の2.4倍に相当する12 MPaの水圧を高压容器内部に負荷することにより、容器の耐圧試験を行った。その結果、窓ガラスの破損や容器の変形、水漏れなどの不具合は発生しなかった。

3 単一懸垂液滴実験装置（内部装置）

高压容器内部に設置する内部装置を図2に示す。内部装置は、高温容器、液滴生成装置および液滴移動装置から構成される。（財）電力中央研究所との共同研究「バイオマス燃料液滴の蒸発・着火特性に関する研究」において設計・製作した単一液滴蒸発・燃焼実験用高压容器内部装置を、本研究で製作した高压容器に設置できるように設計変更し、新たに製作した装置である。高压容器上フランジから吊り下げる形で内部装置を高压容器内に設置できる構造になっている。

懸垂線支持部には2本の懸垂線を交差させ、交点に液滴を付着させた。懸垂線として、直径が7 μm のアルミナ・シリカファイバ（ニチビアルフ、（株）ニチビ製）を用いる。高温容器には、液滴の観察用にガラス窓が2対設けられている。高温容器は内容器と外容器の二重構造になっており、両容器の間には断熱材が挿入されている。内容器外周に巻かれた電気シースヒータを用いて昇温および保温を行う。温度制御は、シーケンスの温度制御ユニット、アナログ出力制御器、およびK種熱電対を組み合わせた温度制御装置で行う。K種熱電対の温接点は、実験部である内容器内の液滴設置位置から9 mm水平に離れた位置に設置した。液滴生成装置は、燃料ポンプ、ガラス針およびガラス針移動装置から構成される。燃料ポンプは高压容器外部に設置され、ステンレス管を通して燃料がガラス針に導かれる。ガラス針を前進させて懸垂線の交点に液滴を生成し、後退させて交点に液滴を懸垂させる。燃料ポンプの吐出時間を制御することにより、液滴の直径を0.5 ～0.6 mm の範囲にする。懸垂線が張られた懸垂線支持フレームは、スライダ・クランク機構を採用した液滴移動装置の可動部に取り付けられており、図3のように、懸垂された液滴を液滴生成部上部に設置された高温容器内に移動させることができる。液

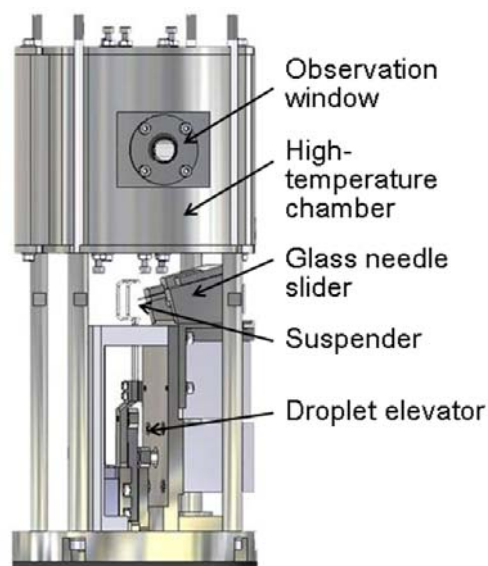


図2 高压容器内部装置。

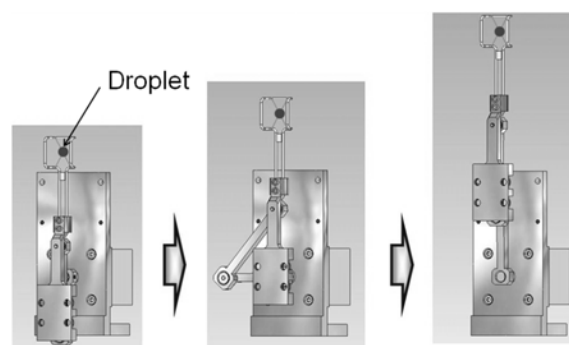


図3 液滴移動装置。

滴の移動に要した時間は、240 ms であった。高温容器に挿入された液滴は、短時間で高温高压の空気に暴露されることにより、自発点火・燃焼すると考えられる。実験においては、液滴が高温高压の空気に暴露されてから点火するまでの経過時間（自発点火遅れ時間）および液滴・火炎直径履歴の計測を行う。

4 まとめ

高压雰囲気における含水燃料液滴燃焼の微小重力実験を行うため、高压容器およびその内部に設置する単一懸垂液滴実験装置を作製した。それぞれの試験を行った結果、装置は計画の性能を示した。今後、高压容器と内部装置を組み合わせ、通常重力環境において液滴の自発点火・燃焼実験を行う予定である。

参考文献

- 1) 熊谷耕一，超臨界水処理された廃有機物を模擬した液滴混在炭化水素燃料の拡散火炎，日本大学大学院修士論文，(2007)。