

乳化燃料液滴燃焼実験の AE 法における評価

日大生産工(院) ○大河内則宏

日大生産工 小幡義彦 山崎博司 森康彦 氏家康成

1. 緒言

燃料に水とアルコールを混入し微量の界面活性剤で乳化し安定化させた乳化燃料は、窒素酸化物や未燃炭化水素の低減化が期待されており、燃焼過程の基礎的研究が数多く行われている。その燃焼過程は、高速度カメラなど視覚的な計測が多く、燃焼エネルギーなどを評価することは容易ではない。Acoustic Emission(以下 AE)は、材料の破壊などひずみエネルギーの開放過程をオンラインで評価できる検出手法であり、動的な非破壊検査手法として工学的に応用されている。

本研究は、燃焼エネルギーの推定が期待されるこのAE計測を乳化燃料液滴の燃焼実験に適用し、従来から行われているビデオカメラによる計測結果などに対応させ、燃焼実験におけるAEの役割について検討した。

2. 実験方法

図1に実験装置の概略を示す。熱処理により先端を約0.5mmに加工した石英線(長さ50mm 直径0.25mm)を厚さ5mm 直径100mmの黄銅製円盤の中心に取り付けた。図2にその円盤の支

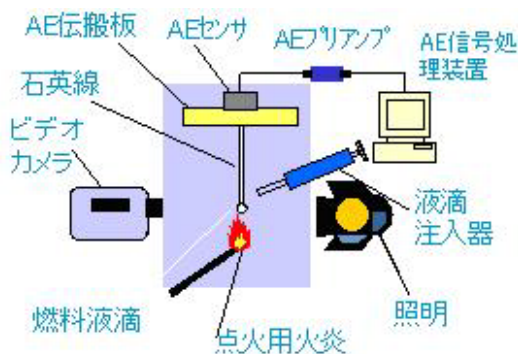


図1 実験装置概要

持台を示す。円盤は下部支持台により垂直に立てられたピンにより3点支持で設置されている。

ベース燃料は n-ヘキサデカン、純水、界面活性剤を(7:3:0.1)に混ぜた乳化燃料を使用し、界面活性剤にはレオドールを使用した。燃焼は、懸垂線の先端に乳化燃料を付着させブタン炎により点火を行った。燃焼過程は通常のビデオで撮影し、以下の述べるAEも同時に計測した。ビデオの撮影速度は30コマ/秒である。

AEは共振周波数130kHzのPAC社製R15センサーを懸垂線取り付け端面の反対側にシリコングリスを介して取り付けた。その信号を増幅率40dBのプリアンプを通し、専用ソフトウェアMISTRAS解析装置で信号処理した。

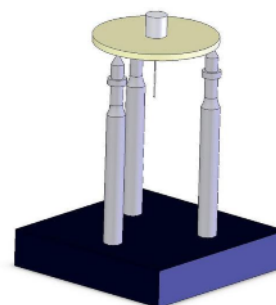


図2 円盤支持台

3. 実験結果

3.1 燃焼の分類

乳化燃料液滴燃焼においてはパフリングとマイクロ爆発が主要な燃焼現象である。パフリングは乳化燃料内部の水が沸騰し乳化燃料を揺らしたり飛び散らせる現象であり、マイクロ爆発は乳化燃料内部の水が沸騰による圧力で油が耐え切れなくなり急激に爆発が起きる現象である。実験では、この二つの燃焼現象をビデオカメラ撮影と

AE 計測からその発生経過と発生割合などを調べた結果、燃焼形態が以下の三種類に分類できることがわかった。

3.1.1(A)マイクロ爆発のみ観察される現象

図3のAE波形から液滴点火後はほとんど AE 波も計測せず最後に大きく爆発している様子がわかる、写真でも液滴にほとんど変化は見られず爆発時には圧力が一気に解放されるため爆発時の波形が後の波形に比べ大きくなる。

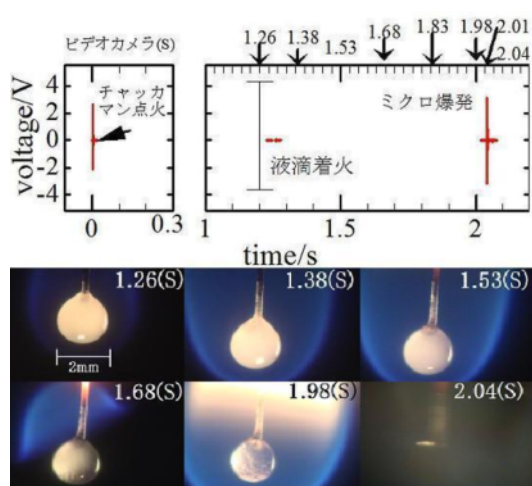


図3 パターンA燃焼現象

3.1.2(B)パフイングとマイクロ爆発が観察される現象

図4の波形は 1.38s から小さな振動を計測しパフイングしている、液滴着火後内部の水分がパフイングして爆発した様子がわかる。写真から 1.50s と 1.56s に見られるように大きく液滴が揺さぶられ内部の水分が沸騰し外に飛び出している様子がわかり最後には爆発している。

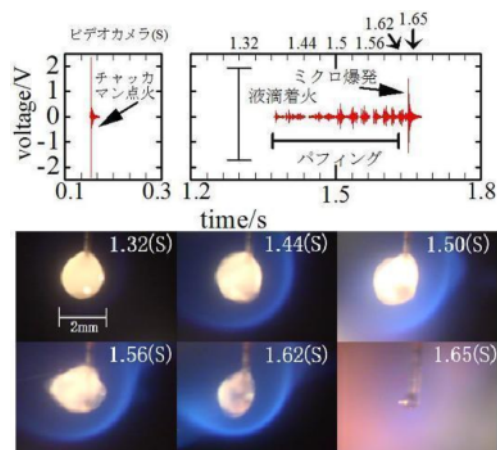


図4 パターンB燃焼現象

3.1.3(C)マイクロ爆発とパフイングが多数観察される現象

図5は液滴着火後内部の水分が沸騰した様子であり、写真でも 0.98s から激しく揺さぶられている。AE 波は細かくパフイングを計測し、最後にマイクロ爆発をしている。図4の AE 波と比べるとかなり細かく振動を計測している事がわかる。写真の 1.16s と 1.22s では液滴が飛び散り、波形は同じような大きさで何回も繰り返されている。

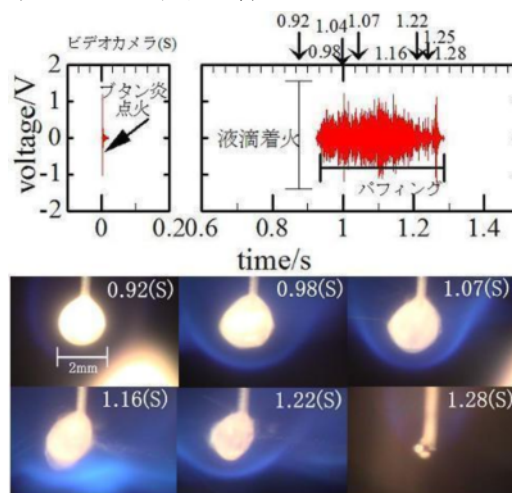


図5 パターンC燃焼現象

3.2 燃焼パターン別の AE 特性

3.2.1 発生時間とAE 振幅

図6は燃焼現象別の AE 最大振幅と燃焼時間をそれぞれ10回計測しグラフに表した図である、パターンAは最大振幅値が大きく、爆発までの間も長い。パターンBは爆発時間が 0.2s~0.4s の間に分布しており最大振幅値は 2V とまとまっている。Cは燃焼時間にばらつきがあり 0.1s~0.4s となっている。

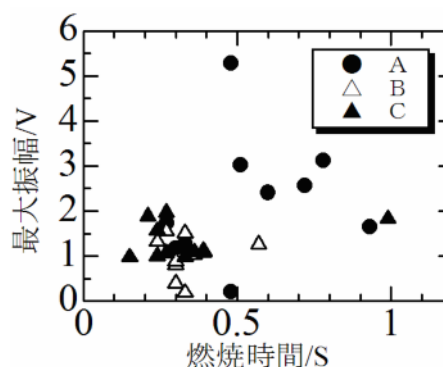
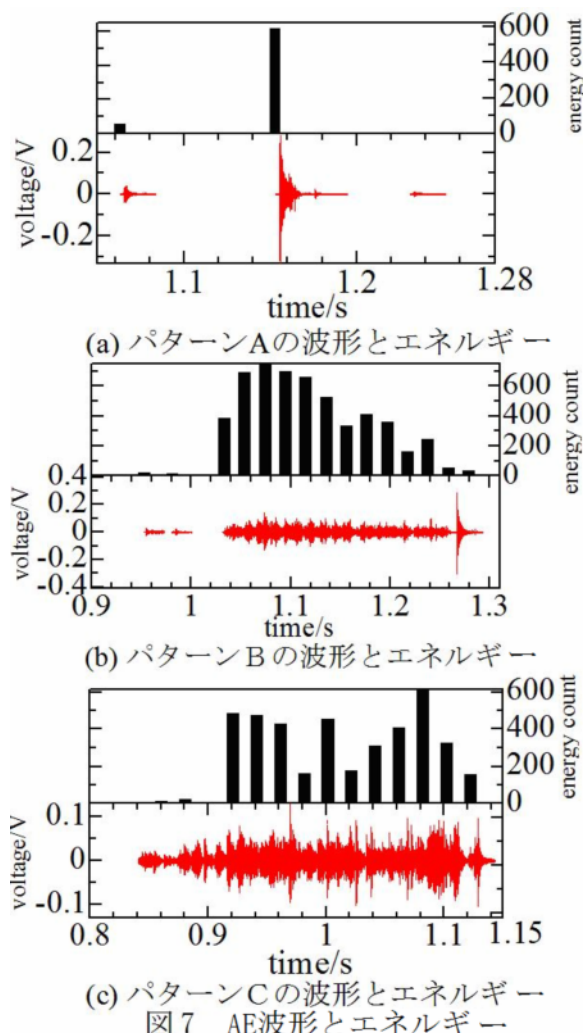


図6 各パターンにおける燃焼時間と最大振幅の関係

3.2.2エネルギー発生特性

液滴燃焼時に得られた波形のエネルギー値を



グラフとした。

図7(a)は液滴点火後マイクロ爆発を起こした波形(パターンA)で、波形とエネルギーを表したグラフであり、波形の最大値でエネルギーの最大値が現れている事がわかる。

(b)は液滴点火後パフイングを起こしてマイクロ爆発した波形(パターンB)であり、1.08秒程でピークエネルギーとなりその後減少している、よって1.08秒程が最も波形がまとまり振幅している事がわかる。

(c)は激しくパフイングしマイクロ爆発した波形(パターンC)で、エネルギーの山が数個あるのが特徴でエネルギー値のピークは1.09秒程で、連続的にエネルギーが解放されている事がわかる。

これらの事からエネルギーが高い所は連続的に懸垂線が揺さぶられAE波を観測している所であり、パフイングを起こすと必ずしも、波形が大きい所がエネルギーの最大とは限らない、よってマイクロ爆発は全体のエネルギーの一部であり、パフイングによって懸垂線が大きく揺さぶられエネルギーが開放されている。

図8はA・B・Cのエネルギーを計測し、横軸はAE事象数、縦軸はエネルギーの合計値を表したグラフである。パフイングが起こるB,Cは振動が多くなるため回数が増える傾向がある。AはAE事象数が少なく、エネルギー値は比較的大きいエネルギーを観測している。BとCのエネルギーは差がみられず6000 Countまでの間に広く分布している。

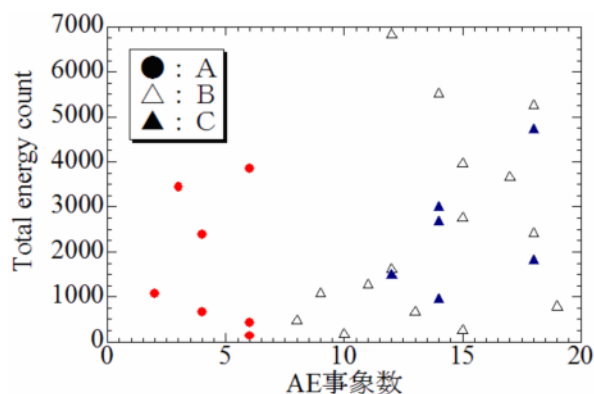


図8 パターンにおける合計エネルギー値とAE事象数

図9はAEの事象数で合計のエネルギーを割った平均の値をグラフにした。これからAはAE計測数が少ないので一つの波形で平均では500~1000 Countの大きい値となっている。B,Cでは500 Countまでに分布していてAと比べると一つのエネルギーが小さい事がわかる。

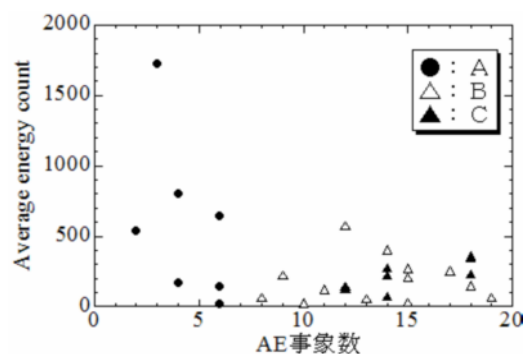


図9 各パターンにおける平均エネルギー値とAE事象数

懸垂線が太い場合

懸垂線を0.75mmとして、液滴燃焼過程の比較、検討を行った。先端を熱処理によって加工し約1mmとした。結果から、0.25mmと違いAE計測回数が多くなりパフイングが起きる現象では50回程を計測した。

図10に0.75mmの波形とエネルギー値のグラフを示す。この様に長い時間燃焼し、波形の振幅が小さいのが特徴である。最大エネルギーはマイクロ爆発時となっている。

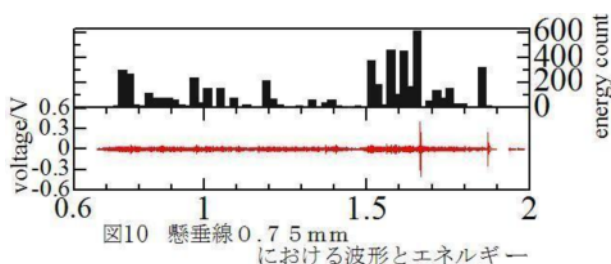


図11の合計のグラフのパターン A は十回程度 AE を計測し 1000 Count 程にまとまっている事がわかる。B,C は計測回数が多く6000Countまでに広く分布している0.25mmと比べてもエネルギーカウントの差は見られない。

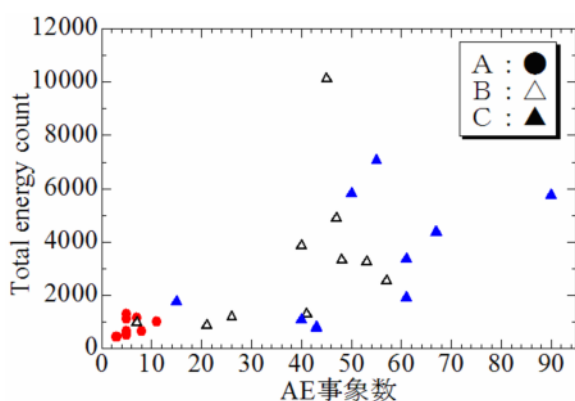


図11 各パターンにおける合計エネルギー値とAE事象数

3.3 周波数発生特性

実験で得られた波形から、周波数解析を行った。図12.13は上部が周波数のグラフで下部がAE波形を表している。図12はボタン火炎点火時に得られた波形で全体的に高周波となっている事がわかり特徴となる周波数がない事がわかる、図13はマイクロ爆発時に得られた波形である、周波数グラフから30kHzに特徴がある。この事から、波

形だけでは判別しにくい、点火の波形とマイクロ爆発の波形を周波数の観察する事で区別が可能となった。

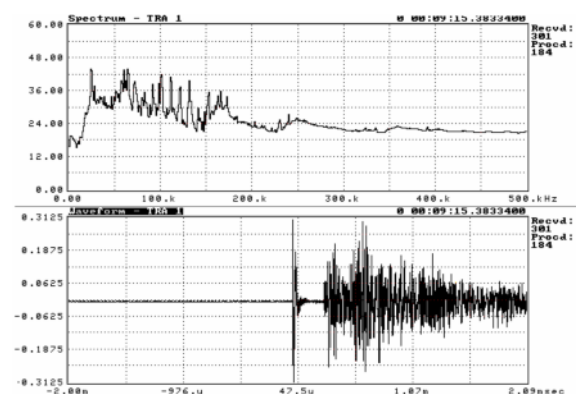


図12 ボタン炎点火時における波形

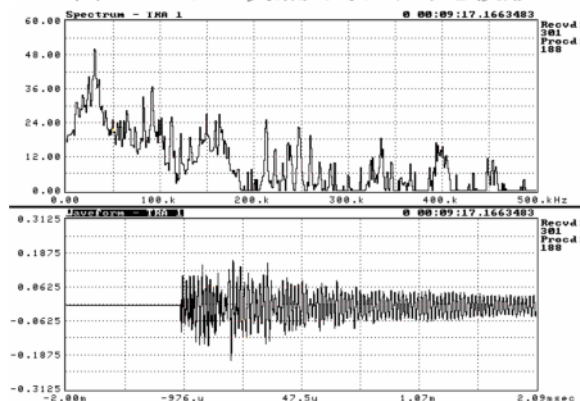


図13 ミクロ爆発時における波形

4. 結言

乳化燃料液滴燃焼実験においてビデオ撮影とAE計測を行い、燃焼現象を3種類に分類することができた。液滴に点火させた後パフイング等の反応が起きずに爆発をする現象、液滴点火後に明確にパフイング等の反応が起きその後マイクロ爆発する現象、液滴点火後激しいパフイング等の反応が起きる現象、これらの現象の分類はビデオ撮影に比べAE法の方が短時間にかつ正確に判別できることがわかった。またAE計測にて波形のエネルギー値の比較を行った結果、パフイング時にもエネルギーを大きく開放している事がわかり、懸垂線0.75mmではAE計測回数が増えたが合計のエネルギー値は変化をしない事がわかった。周波数発生特性を調べた結果AE波形だけでは判別しにくいボタン炎点火とマイクロ爆発時の波形を周波数によって判別する事ができた。