



## 自己発振形流体論理素子による乳化燃料の生成

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2013-11-11 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 大前, 義弘, 木本, 恭司, 尾鷲, 幸男 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="https://doi.org/10.24729/00008039">https://doi.org/10.24729/00008039</a>

# 自己発振形流体論理素子による 乳化燃料の生成\*

## Forming of Emulsified Fuel by Sensitive Oscillator of Fluidics\*

大前 義弘\*\*、木本 恭司\*\*、尾鷲 幸男\*\*  
Yoshihiro OHMAE\*, Kyoji KIMOTO\*, Yukio OWASHI\*

(昭和56年4月15日受理)

### あらまし

乳化燃焼法は、燃焼生成物中の大気汚染物質の抑制に活用されつつある。本研究では、この場合に使用される乳化燃料の生成方法として、自己発振形の流体論理素子を利用することを試みた。その結果、他の乳化器と比較してもきわめて簡便な機構で乳化の目的を十分達成し得ることが明らかになった。

今回は、特に燃料A重油に水10～40%を注入した油中水滴形(w/o)の乳化燃料を生成し、さらに、その乳化燃料に廃油を混合した場合の生成特性と比較検討した<sup>(1)</sup>。

### 1. まえがき

最近、特に石油事情が悪化の傾向にあり、小形燃焼器や大形ボイラ用燃焼器、大形ディーゼル機関など各種機関で使用される燃料は、低質燃料を有効利用する方向に変化しつつある。一方、大気汚染の面からみれば、低質燃料を燃焼させた場合には窒素酸化物や硫黄酸化物、ばいじんの増加はさげられない。これらの大気汚染物質の抑制策の一つとして、乳化燃焼法が注目され、すでに実用化され始めている。しかし、乳化燃料内の水粒子径の大小やその性状が、燃焼中でどのように影響するのかなどの基礎的な研究は乏しく、乳化燃焼法の特徴を十分に生かしているとは言いがたい現状にある。この問題を明確にしていく上で乳化燃料の性状はきわめて重要と思われる。

ところで、乳化燃料の生成には機械式および超音波式等を応用した乳化器がよく用いられている<sup>(2)(3)</sup>。本研究では、柳井田らが提案したコアング効果にもとづく非常に簡単な機構による自己発振形の流体論理素子<sup>(4)</sup>(以下素子という)を乳化器として応用し、これにより生成される乳化燃料の特性を調べた。

乳化燃料の安定性の因子は、一般に水粒子径、界面張力、液の化学的性質、液体内のせん断力の大小などがあげられているが<sup>(5)</sup>、本研究では水粒子径と素子内の圧力変動を中心に検討を加えた。

---

\*：日本機械学会関西支部第56期定期総会講演会(56, 3, 20)発表

\*\* 機械工学科 (Department of Mechanical Engineering)

## 2. 自己発振形流体論理素子

(1) 形状および特性 従来の側壁付着流体論理素子は、制御ノズルをもっているのが普通であるが、当素子は噴出流体自身で制御を行うこと、またノズル流量と発振周波数が流体の粘性に関係なくほぼ比例することが特徴であり、これを確認したのが図1である。つぎに、素子の形状と寸法を図2、表1に示す。この素子では、ノズル上下のすきま  $a$  によって発振周波数が変化するため、ノズル径は  $\phi 3\text{ mm}$  と一定にしノズル上下のすきま  $2a/D$  を 4.5, 6.0, 9.0 と三種類に変えて、それぞれの乳化特性を比較検討した。素子の設計に際して、圧力振巾が大きくなるようにノズル出口より 150 mm の距離にしゃへい板を設置した。素子内の圧力波形の一例を図3に示す。三種類の素子の発振周波数の範囲は、およそ 2 ~ 4 Hz でほぼ周期的な発振が得られる。

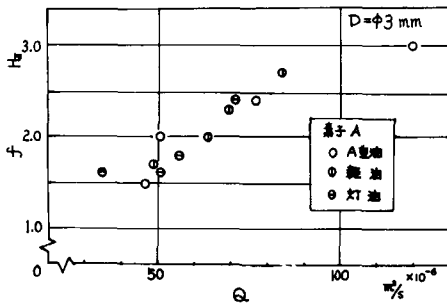


図1 流量と発振周波数

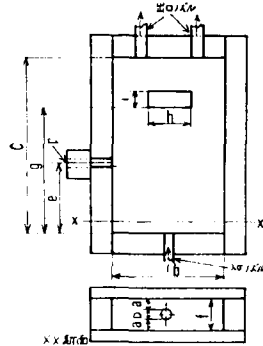


図2 自己発振形流体論理素子の形状

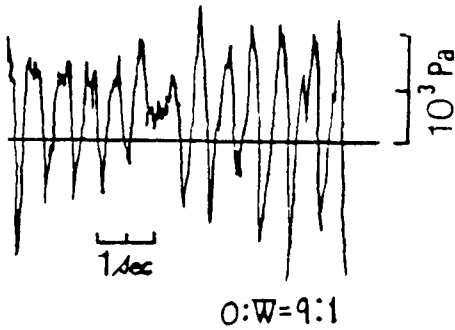


図3 圧力波形

表1 論理素子の形状

記号 素子	b	c	e	f	g	h	i	$\frac{2a}{D}$
A	50	200	50	165	150	20	13	4.5
B	"	"	"	21	"	"	"	6
C	"	"	"	30	150	20	13	9

## 3. 実験装置と方法

乳化燃料はw/o形（油中水滴形）であり、燃料A重油に水を10, 20, 30, 40%（容積割合）添加した。また、廃油を混合した場合の乳化燃料の生成特性も検討した。実験装置を図4に示す。実験方法は、まず燃料を計量し燃料タンクに入れ加圧ポンプにより燃料を循環させ、ヒータ等により燃料温度をおよそ40°Cに保ちながら、水を徐々に添加し乳化燃料を生成した。素子内の圧力はストレインゲージ式の圧力変換器、動歪計、電磁オシログラフで測定し流量も測定する。また、燃料の水粒子の観察は素子出口から乳化燃料の試料を採集し、すばやく顕微鏡により拡大撮影し現像条件をほぼ一定となるように考慮した上、10 $\mu\text{m}$ が5 mmになるまで拡大印画した。また、平均水粒子径  $\bar{d}$  の測定には水粒子個数が300個以上となるようにとり、スケー

ルによりはかった。

乳化燃料の粘性が問題になるため、乳化生成温度は $40^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 2\sim 3^{\circ}\text{C}$ )とした。燃料および乳化燃料の動粘性を図5に示す。図のように粘性は素子の種類に無関係に水添加とともに増加する。また、水無添加の場合に比べて水添加40%の乳化燃料では動粘性はおよそ2倍となった。廃油の場合、水添加の乳化燃料の粘性よりさらに高くなる。

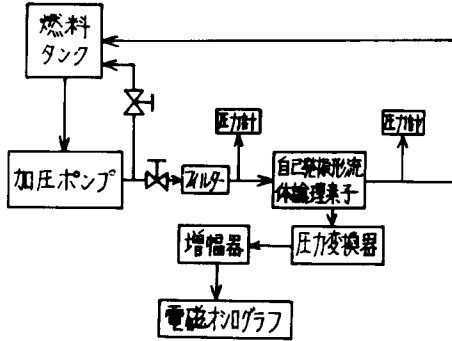


図4 実験装置の概要

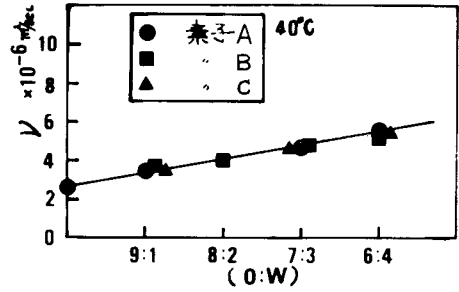


図5 燃料の粘性

#### 4. 実験結果と考察

(1) 燃料A重油と水の乳化燃料 素子A, B, Cにおける乳化燃料の水粒子径 $\bar{d}$  (算術平均粒径)とノズル出口でのRe数の関係を図6に示す。この場合、ノズル噴出速度は $0.06\sim 0.15\text{m/s}$ である。素子AではRe数が大きくなるほど $\bar{d}$ は小さくなる傾向にあり、また水添加量が増すと $\bar{d}$ は大きくなる傾向にある。一方素子A $\rightarrow$ B $\rightarrow$ Cと素子のすきま ( $2a/D$ )が大きくなると水添加量にはあまり影響なく、 $\bar{d}$ は $4\sim 5\mu\text{m}$ となる。

発振周波数に対するRe数の影響は比較的小さいため、これより $\bar{d}$ が小さくなる理由は水平方向の発振作用だけでなく素子B $\rightarrow$ Cへ移るにつれ上下方向の動きが関係していることが考えられる。事実、目視観察によると上下方向の複雑な循環が認められ、三次元的な動きが水粒子と油の界面の状態に局所的な影響を与えることが想像される。以上のことから判断すると発振現象は全体的な攪拌混合に有効と考えられ、三次元的な動きは局所的な部分への効果が強いものと思われる。

図7は水添加割合10, 20, 30, 40%の乳化燃料の顕微鏡写真である。図より素子Aと素子BおよびCを比較すると、素子B, Cではかなり $\bar{d}$ が小さくなっていることがわかる。図8は各実験条件における水粒子径の度数分布である。10%の水添加では $\bar{d}$ は小さい方へ集中し、40%水添加では $\bar{d}$ の大きい方へ広がってくるのがわかる。この理由は水添加量の増加で、水粒子とA重油の界面に変化が生じることや分散相の密度の増加により、乳化が

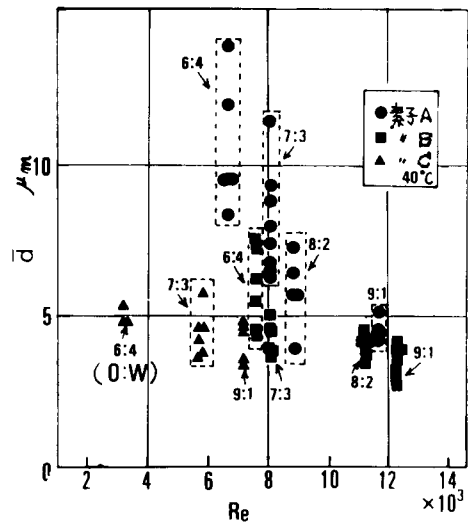


図6 平均粒径とレイノルズ数の関係

より不安定な状態になるためと考えられる。また、図7、図8中の $30\mu\text{m}$ 以上の水粒子径については、試料採集から顕微鏡写真をとるまでの間にプレパラート上で水粒子の界面の変動により、水粒子がより安定な方向へと進み合体を生じたものであることを確認しているの、乳化燃料生成中の乳化状態と多少異なる。

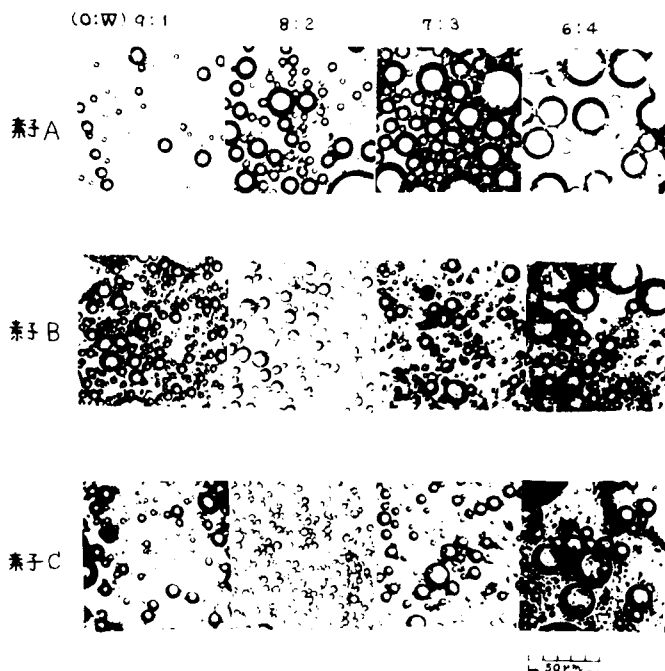


図7 乳化燃料の顕微鏡写真

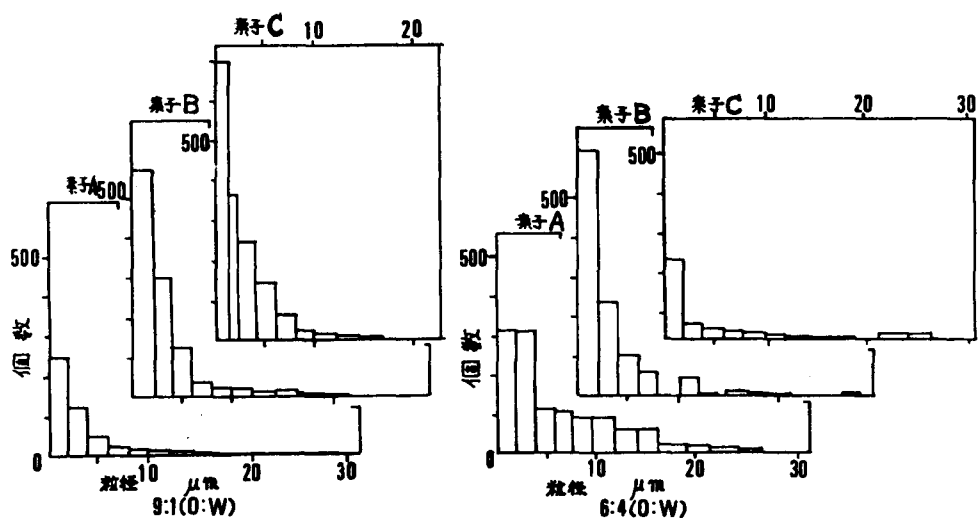


図8 乳化燃料の水粒子径分布

図9は各素子での圧力振巾の実験値を示す。素子内の発振中の圧力振巾( $\Delta P$ )は、図のよう  
にすきま(2a/D)が大きくなるほど小さくなる。また、水添加量が増すとともに $\Delta P$ は減少  
するが、これは乳化燃料の粘性に関係していると思われる。一方、水粒子径 $\bar{d}$ は素子B→Cの  
場合小さくなっていったが、この理由は前述の三次元的な動きによるものと考えられる。

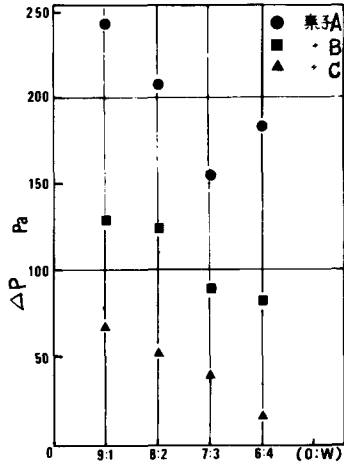


図9 素子の発振圧力振巾

表2 燃料および廃油の性状

油名	C(%)	H(%)	N(%)	S(%)	W(%)
A重油	85.57	13.42	0.14	0.37	0.08
廃油	84.54	13.31	0.10	0.88	0.62
灰分(%)	残留炭素分(%)	発熱量(Kcal/kg)	比重(20℃)	引火点(℃)	
0.003	0.078	11731.3	0.83	84	
0.61	0.96	10838.5	0.88	109	

表3 動粘度

	温度 (℃)	レッド ウッド秒	動粘度 (CST)	動粘度 ×10 <sup>-6</sup> (m <sup>2</sup> /S)
A重油	7	42.5	6.75	6.75
	21	36.7	4.51	4.51
	32	33.4	3.12	3.12
廃油	24	369	91.0	91.0
	42	158	38.6	38.6
	71	61	13.0	13.0

ところで、乳化油の性状を決定する要因は水と油の界面の圧力変動が重要であり、分散相と  
連続相の相対速度に関係し界面の不安定な状態からより安定な方向へ向うことが知られてい  
る<sup>(5)</sup>。これらのことより、乳化燃料の生成には適当なせん断力が存在するはずである。このことは  
発振周波数、圧力振巾が水粒子径に与える影響は比較的小さく、三次元的な動きが支配的では  
ないかとした実験結果とその考察に根拠をあたえるものとする。

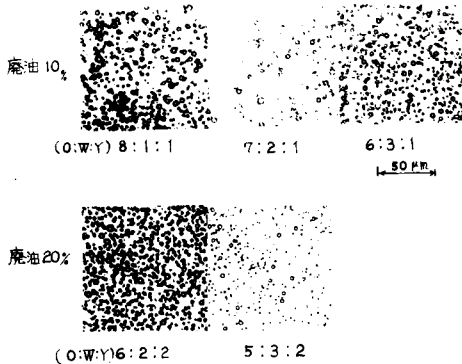


図10 廃油混合の乳化燃料の顕微鏡写真

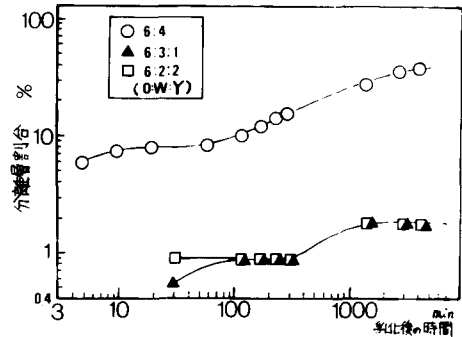


図11 乳化燃料の安定性

## (2) 燃料A重油と水の乳化燃料に廃油を混合した場合

表2はA重油と廃油の性状を示し、表3は動粘度を示す。廃油は主にエンジンオイル、切削油などが混入したもので、発熱量はそれほど変わらないが粘性は大きく異なる。それぞれの場合の乳化燃料の顕微鏡写真を図10に示す。混合割合は燃料A重油：水：廃油の順に示す。

図から明らかのように、廃油を混合することにより平均水粒子径 $\bar{d}$ は $3\mu\text{m}$ 程度になり、廃油を混合しない場合に比較してきわめて小さくなる。廃油混合量を10%から20%に増加してもわずかに $\bar{d}$ が小さくなる程度である。このように水粒子径が小さくなるのは、廃油中に含まれる界面活性物質（たとえば、アスファルテン）が乳化剤の役目を果たす結果と思われる。乳化燃料油の生成時間も実機に適用する場合には重要となるが、実験の結果、約4ℓの乳化燃料を生成するための時間は、A重油と水の場合は約6分間素子内を循環させるとほぼ安定した水粒子径が得られ、廃油を混合した場合はおよそ2分間で安定した。これは各時間ごとに $\bar{d}$ を測定し得られた結果より判定した。

乳化燃料の安定性評価の1方法として、図11に示すように乳化燃料の生成後の経過時間に対する分離した層を容積割合で示す。A重油：水＝6：4と廃油10%および20%混合した場合とを比較すると、廃油を混合しない場合は流動停止すればすぐに10%程度が分離し、その後2日間放置で分離が飽和状態に達するが、廃油混合の場合は4日間放置後でもわずか2%の分離で非常に安定した乳化燃料が生成される。したがって、界面活性物質を添加しないでA重油の乳化燃料を生成する場合は絶えず攪拌混合しなければならないといえる。

図12は、4日間放置後の各位置の乳化状態の顕微鏡写真である。廃油を混合しない水添加40%の乳化燃料の場合、水粒子の重量により沈降分離していることがはっきりとわかる。図中E部は乳化廃液であり、D部は大きい水粒子に小さな水粒子が付着した状態である。また、C部はほぼ均一な粒子径となり、B部では粒子径は小さい。A部ではほとんど水粒子は存在していない。これに対して、10%廃油混合し水添加30%の乳化燃料では、水粒子径が全域にわたって均一でほとんど変化していないようである。

最後に他の乳化器との比較を行う。一般の乳化器では乳化剤を入れた場合の水粒子径はほぼ $3\sim 10\mu\text{m}$ であり、乳化剤を無添加の場合で水粒子径は $10\sim 20\mu\text{m}$ である<sup>(6)(7)(8)(9)</sup>。したがって、本報で示した自己発振形の流体論理素子による乳化燃料の生成が十分目的を達していることがわかる。つぎに圧力損失は文献によると $2\sim 3\text{kgf/cm}^2$ であり<sup>(10)</sup>、当素子は $1.0\sim 2.5\text{kgf/cm}^2$ であり、圧力損失も同程度か若干低くなっている。

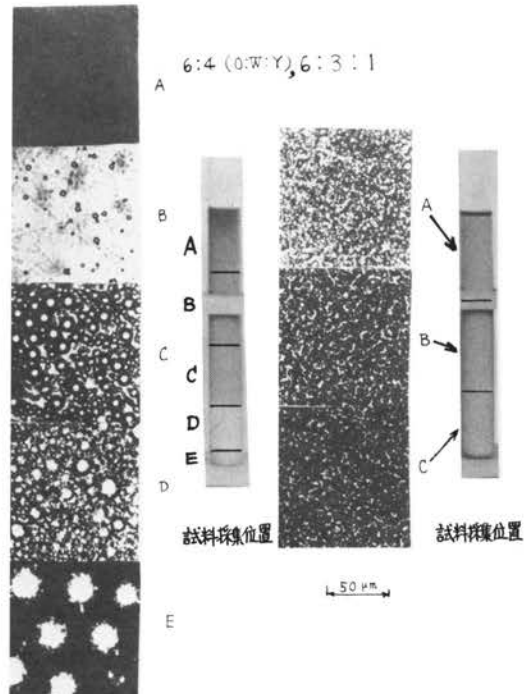


図12 4日間放置後の顕微鏡写真

## 5. ま と め

自己発振形の流体論理素子は、きわめて簡単な機構で乳化器として十分目的を達しうる。また、他の乳化器によって生成された乳化燃料の水粒子径と比較しても同程度かそれ以上の水粒子径の分布が得られた。

一方、素子のすきま ( $2a/D$ ) を変えて実験した結果、乳化燃料の生成因子である発振周波数、圧力振巾の影響は比較的小さく、むしろ水平方向の発振だけでなく上下方向の動きが重要のように考えられた。この動きが乳化燃料内の水粒子と連続相の界面に適度な圧力変動を与え、それによって水粒子径  $\bar{d}$  が小さくなると考えられる。

つぎに、廃油を混合した乳化燃料では水粒子径  $\bar{d}$  が  $3\mu\text{m}$  前後になり、均一な乳化燃料が得られ界面活性剤としての役割だけでなく廃油の有効利用にもつながり、一石二鳥の効果をもつことになる。

今後、素子のノズル径、界面張力の相違などによる乳化特性を明らかにしていく予定である。

以上の実験に助言と協力を頂いた本校柳井田勝哉教授、卒業生山林俊之、井上博支氏に謝意を表します。

## 参 考 文 献

- (1) 大前, 木本, 尾鷲, 機構論, 814-6 (81-3), 104~106
- (2) 池永他 2 名, 省エネルギー, 31-1, (79-1), 87
- (3) 畑中他 3 名, 日本舶用機関学会誌, 15-12 (80-12), 915
- (4) 柳井田, 杉野, 機構論, 710-15, (71-10), 199
- (5) 大山, 化学工学 (II), (64-10), 202, 岩波
- (6) 参考文献(2), 89
- (7) 岩間, 熱管理と公害, 29-12 (77-12), 15
- (8) 井原, 日本舶用機関学会誌, 15-7 (55-7), 483
- (9) 新井他 1 名, 日本燃焼研究会燃焼研究討論会講演要旨, (78-11)
- (10) 参考文献(2), 91