

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 25 日現在

機関番号：24403

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24760173

研究課題名(和文)エチレンを主成分とするバイオマスガスの特性

研究課題名(英文)Detonation properties of gas comprised mainly of ethylene

研究代表者

片岡 秀文(KATAOKA, Hidefumi)

大阪府立大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：10548241

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、全長5534 mm、内径50 mmのデトネーション管を用いて、エチレン/メタン、エチレン/エタン、メタン/エタンおよびエチレン/メタン/エタン混合燃料のデトネーション特性を実験的に調べた。デトネーションの伝播速度はCJ速度とよく一致した。デトネーションのセル幅は燃料の混合割合により変化した。また、数値計算によって得られた反応誘導距離とセル幅の比較を行った。

研究成果の概要(英文)：In this study, the detonation properties of ethylene/methane, ethylene/ethane, methane/ethane, and ethylene/methane/ethane blended fuels were experimentally investigated with detonation tube. The detonation tube had a total length of 5534 mm and an inner diameter of 50 mm. The measured detonation velocities of the blended fuels were very close to the corresponding CJ velocities. The cell width of detonation was varied according to fuel composition. The cell width was compared with the induction zone length.

研究分野：燃焼工学

キーワード：デトネーション セル幅 混合燃料

1. 研究開始当初の背景

再生可能エネルギーは、エネルギー変換装置の製造から、変換、そしてエネルギー利用の全工程で排出される二酸化炭素のうち、化石燃料起源の排出量を減らすことができるため、近年注目されている。また、身近に存在し、枯渇する恐れも少ないことから、エネルギーセキュリティ面でも必要とされている。このような背景から、我々は再生可能エネルギーの一つであるバイオマスガスと、理論熱効率が非常に高いパルスデトネーションエンジン (Pulse Detonation Engine, PDE) に着目した。デトネーションエンジンへの応用を考えると、セル幅の小さい燃料が望まれる。バイオマスを原料とし[1-2]、セル幅の小さい燃料の一つにエチレンが挙げられる。バイオマス由来の燃料は原料および作成方法によっては、複数の炭化水素が含まれた混合燃料となる[1-2]。そのため、デトネーションエンジンの安定作動には、混合燃料のデトネーション特性を調べることが必要となる。

これまでに多くの研究者たちが混合燃料の DDT 距離、伝播速度およびセル幅などのデトネーション特性について研究してきた。デトネーションへの遷移が困難な燃料に、デトネーションへの遷移が容易な燃料を添加することでデトネーションへの遷移を促進することができることが分かっている[3-7]。また、混合燃料においても、デトネーションの伝播速度は CJ 値とよく一致することが示されている[4, 5]。デトネーションのセル幅は燃料の組成により変化することが示されている[5, 8-10]。

一方、一般的な純燃料の場合、デトネーションのセル幅 λ は反応誘導距離 L との間に関係式が成り立つことが明らかになっている[9]。

$$\lambda = AL$$

混合燃料においても反応誘導距離とセル幅の関係について調べられている[5, 8-10]。近年では定数 A を実験式から導き出す手法[11, 12]を用いてセル幅などの導出[13, 14]が行われている。

2. 研究の目的

本研究では、エチレン、メタンおよびエタン混合燃料において、混合割合がデトネーション特性に及ぼす影響を実験的に明らかにする。

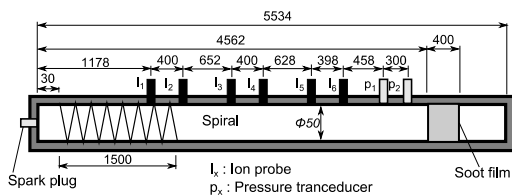


図1 実験装置概略図

3. 研究の方法

実験装置概略図を図1に示す。デトネーション管の内径および全長はそれぞれ 50 mm

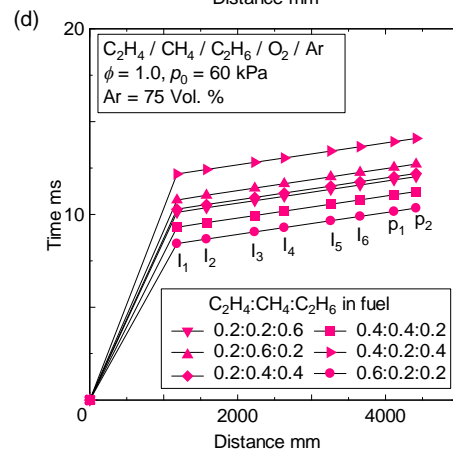
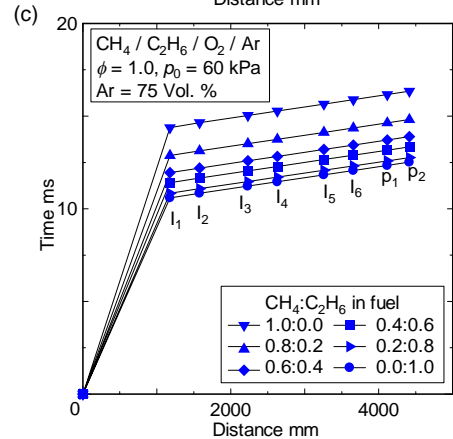
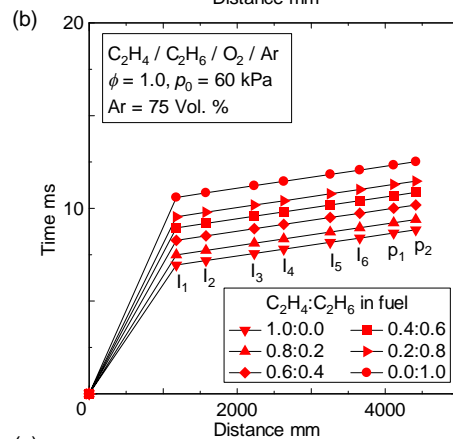
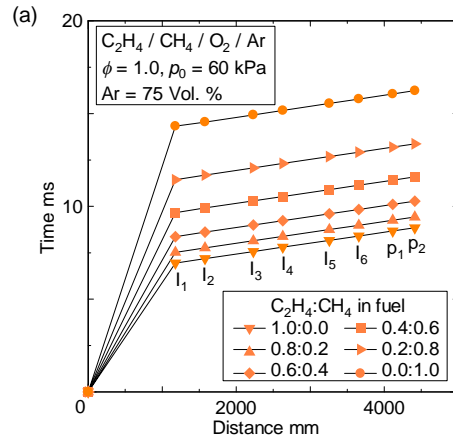


図2 x-t 線図

と 5534 mm である。デフラグレーションからデトネーションへの遷移 (DDT) 促進のために長さ 1500mm, ピッチ 45 mm, プロテクター比 0.44 のシェルキンスパイラルを着火側管端から 30 mm の位置に挿入した。衝撃波面の挙動を把握するために圧電式圧力変換器を 2 つ, 火炎面の挙動把握のためにイオンプローブを 6 つ設置した。セル模様を計測するために, デトネーション管下流部において, すずを塗布した幅 140 mm, 長さ 400 mm, 厚さ 0.3 mm のアルミニウム板を, デトネーション管側壁に沿わせるように挿入した。混合気の着火には自動車用点火プラグを使用した。

混合気の供給では, 所定の混合比になるようマスフローコントローラで各気体の流量を制御し, あらかじめ真空中に排気したデトネーション管に, 10 分以上かけて 60 kPa まで充填した。

供試燃料はエチレン/メタン/エタン混合燃料とし, 混合燃料中の各気体の体積割合は 0 ~ 1 で変化させた。混合燃料/酸素の当量比および混合気中のアルゴンの体積割合はそれぞれ 1 と 75 % に固定した。実験は各条件において 2 回以上行った。

また, 一次元 ZND デトネーションの波面構造の数値計算[15]を行った。反応モデルには Konnov のモデル Release0.4[16]を用いた。反応誘導距離は衝撃波面から Thirnicity が最大となる地点までの距離[12]とした。

4. 研究成果

図 2 に各イオンプローブおよび圧力変換器の信号検出時刻を示す。時刻 0 は管端において火花放電が開始された時刻である。横軸は着火側管端からの距離である。イオンプローブは火炎面, 圧力変換器は衝撃波面の挙動を捕えている。すべての条件において着火側管端から約 1600 mm 以降はほぼ直線的である。これはデトネーションが安定に伝播していることを示唆している。図 3 に着火側管端からの距離と伝播速度の関係を示す。縦軸は伝播速度を CJ 速度で除した値としている。すべての条件において, 最も着火側管端から離れた位置におけるデトネーションの伝播速度は 0.98 ~ 1.0 の範囲であった。つまり, 本実験で得られたデトネーションの伝播速度は CJ 速度とよく一致していた。

図 4 に混合気組成がデトネーションのセル幅に及ぼす影響を示す。図中のエラーバーは評価したセルの最大値と最小値を表し, プロットは平均値を示した。エチレン/メタン混合燃料においては, エチレンの割合が増加するにつれ, セル幅は単調に減少した。エチレン/エタン混合燃料においても, エチレンの割合が増加するのにもないセル幅は減少する傾向であったが, 本実験ではエチレンの割合が 0.8 のときに, セル幅の平均値が最も小さくなった。メタン/エタン混合燃料では, エチレン/メタン混合燃料と同様に, セル幅が小さ

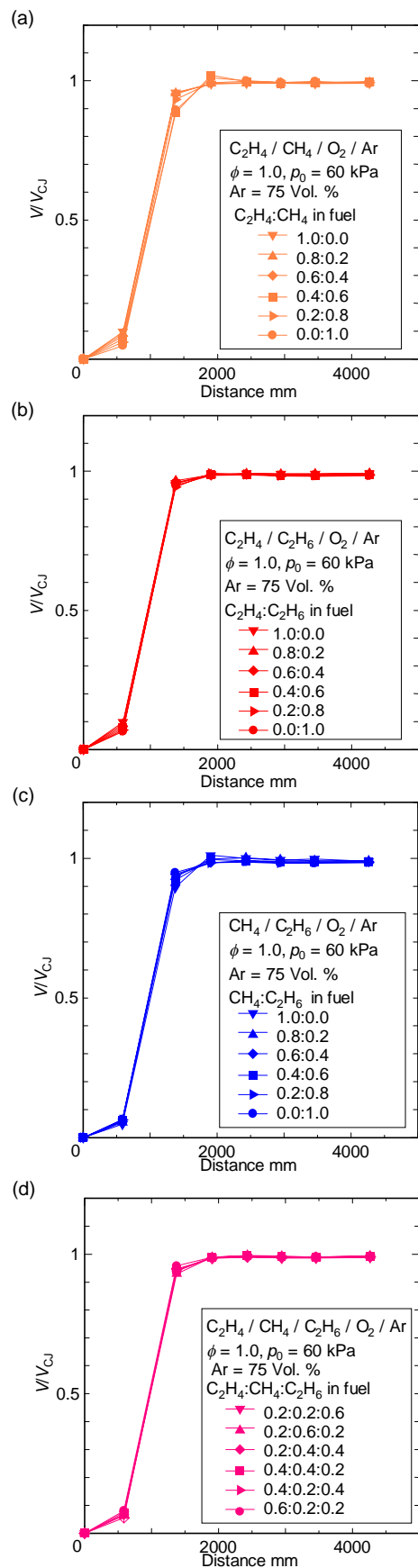


図 3 伝播速度

い燃料の割合が増加するにつれセル幅は小さくなった。エチレン/メタン/エタン混合燃料において, エチレンの割合が同一のとき,

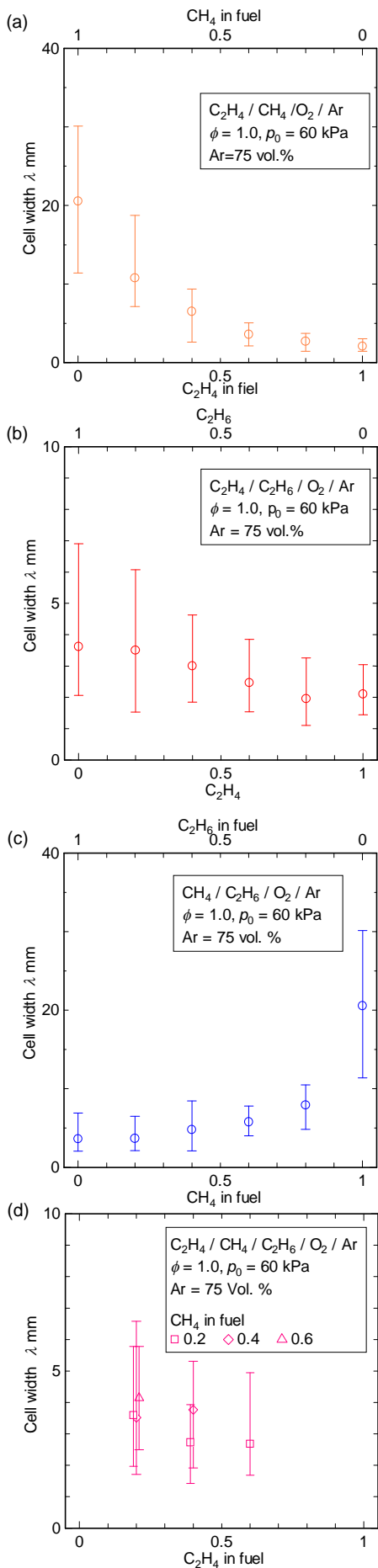


図4 セル幅

メタンの割合が増加するにつれセル幅は増

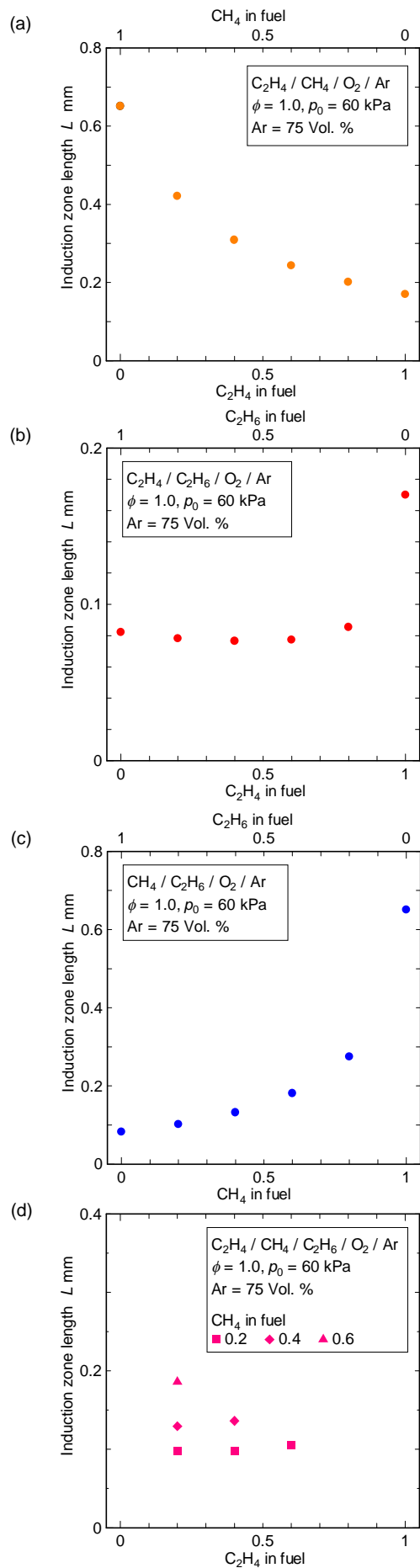


図5 反応誘導距離

加する傾向であった。

図5に一次元ZND detonationの波面構造の数値計算により求めた反応誘導距離を示す。エチレン/メタン混合燃料ではセル幅と同様にエチレンの割合が増加するにつれ、反応誘導距離は単調に減少した。エチレン/エタン混合燃料では、エチレンの割合が0.4のときに最も小さな値となった。メタン/エタン混合燃料ではメタンの割合の増加にともない反応誘導距離は長くなった。エチレン/メタン/エタン混合燃料において、エチレンの割合が同一のとき、メタンの割合が増加するにつれ反応誘導距離は増加した。

以上で引用している文献

1. Ishii, T. and Kadoya, K., J. Japan. Soc. Hort. Sci. 53 (1984), pp. 157-167.
2. Ochiai, S. and Ishii T., Journal of the Japan Institute of Energy, 87 (2008), pp. 744-748 (in Japanese).
3. Bull, D., Elsworth, J. E. and Hooper, G., 34 (1979), pp. 327-330.
4. Takita, K. and Niioaka, T., Shock Waves, 6 (1996), pp.61-66.
5. Ishii, K., Akiyoshi, T., Takada, T. and Murayama, M., Journal of Combustion Society of Japan, 50 (2008), pp. 152-158 (in Japanese).
6. Thomas, G. O., Journal of Hazardous Materials, 163 (2009) pp. 783-794.
7. Cheng, G., Zitoun, R., Bauer, P. and Sarrazin, Y., Aerotecnica Missili & Spazio, Journal of Aerospace Science, Technology and Systems, 91 (2012) pp. 120-128.
8. Austion, J. M. and Shepherd, J. E., Combustion and Flame, 132 (2003), pp. 73-90.
9. Sochet, I., Aminallah, M. and Brossard, J., Shock Waves, 7 (1997), pp. 163-174.
10. Porowski, R. and Teodorczyk A., Journal of Power Technologies, 91, (2011), pp. 130-135.
11. Gavrikov, A. I., Efimenko, A. A. and Dorofeev, S. B.: A model for detonation cell size prediction from chemical kinetics, Combustion and Flame, 120 (2000), pp.19-33.
12. Ng, H. D., Ju, Y. and Lee, J. H. S., International Journal of Hydrogen Energy, 32 (2007) pp. 93-99.
13. Medvedev, S. P., Polenov, A. N., Khomik, S. V. and Gel'fand B. E., Russian Journal of Physical Chemistry B, 4 (2010), pp. 70-74
14. Mevel, R., Javoy, S., Coudoro, K., Dupre, G. and Paillard, C.-E., International Journal of Hydrogen Energy, 37 (2012), pp.698-714.
15. Shepherd, J. E., Prog. Astronaut.

Aeronaut., 106 (1986) pp. 263-293.

16. Konnov, A. A.: Detailed Reaction Mechanism for Small Hydrocarbons Combustion, Release 0.4, (1998).

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 0件)

〔学会発表〕(計 4件)

岡田信嗣, 柴田悟志, 片岡秀文, 瀬川大資, エチレン/メタン/エタン/酸素/アルゴン混合気におけるdetonation特性, 日本機械学会関西支部第90期定時総会講演会, 2015年3月16日, 京都大学桂キャンパス(京都府・京都市)

岡田信嗣, 柴田悟志, 片岡秀文, 瀬川大資, 気体detonationのセル幅に及ぼす初期圧力の影響, 日本機械学会関西支部第89期定時総会講演会, 2014年3月19日, 大阪府立大学中百舌鳥キャンパス(大阪府・堺市)

Hidefumi Kataoka, Ryutaro Numata, Atsuhiko Kawamura, Daisuke Segawa, Koji Fumoto, Kazuhiro Ishii, Detonation Properties of Ethylene/Methane Blended Fuels, The 24th International Colloquium on the Dynamics of Explosions and Reactive Systems, 2013年7月30日, Taipei(Taiwan)

小林雅史, 片岡秀文, 瀬川大資, エチレン/メタン混合燃料におけるdetonationのセルサイズと反応誘導距離の比較, 日本機械学会関西支部第88期定時総会講演会, 2013年3月17日, 大阪工業大学大宮キャンパス(大阪府・大阪市)

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計 0件)

○取得状況(計 0件)

〔その他〕

ホームページ等:

<http://www.me.osakafu-u.ac.jp/combust/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

片岡 秀文 (KATAOKA HIDEFUMI)

大阪府立大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号: 10548241

(2)研究分担者

(3)連携研究者