ISSN 2185-372X

THERMAL ENGINEERING

TED Newsletter on the WEB

日本機械学会熱工学部門ニュースレター
TED Newsletter No.64 September 2011

目　次

1. TED Plaza

『高効率・低環境負荷燃焼技術研究の進展』

- 微量水素添加雰囲気における液体燃料噴霧の定容燃焼実験
  斎藤 寛泰（芝浦工業大学）
- 水素添加がエタノールおよび軽油噴霧火炎の排出ガス特性に及ぼす影響
  渕端 学（近畿大学）
- 高温空気燃焼の安定燃焼限界と NOx 排出特性
  名田 譲（徳島大学）

2. 行事案内

- 部門企画行事案内
- 部門関連行事案内
- 国際会議案内

3. 第 89 期部門組織

4. その他

- 編集後記

TED Plaza

微量水素添加雰囲気における液体燃料噴霧の定容燃焼実験

斎藤 寛泰

芝浦工業大学　准教授
工学部　機械機能工学科
hsaito@sic.shibaura-it.ac.jp

１．はじめに

水素は次世代燃料候補の一つとして期待されているが，社会的普及に際しては，製造，運搬，貯蔵，インフラ整備，および，その利用法について未だ多くの課題がある．また，製造プラントや水素供給ステーション等の水素関連設備における水素漏えい時には，周囲に壊滅的な爆風被害をもたらす爆発事故が発生する可能性があり，万が一に備えた爆発危険性評価と事故対策を含めた検討が必要である[1-4]．しかしながら，他の多くの炭化水素燃料に比べて，①可燃範囲が極めて広い，②燃焼速度が大きい，③わずかの着火エネルギーで火がつく，といった水素の特異な性質（これらは上述した水素ガス漏洩爆発事故を懸念する要因でもある）を積極的に利用することは有用であり，その一つに水素添加燃焼が考えられている．Table 1 に報告例の一部を示したが，水素添加によって炭化水素燃料の燃焼改善を試みた研究が国内外で多数行われている[5-27]．

Table 1 Previous works of hydrogen addition combustion

年	著　者	出　典	主燃料	検証装置，方法	Ref.
1959	Scholte, T.G. et al.	Combustion and Flame	CO, CH_4	軸対称バーナ（実験）	5
1980	廣安，他 3 名	機論（B 編）	灯油，C_3H_8	噴射弁を備えた円筒型燃焼器（実験）	6
1989	Richards, G.A. et al.	Transactions of the ASME	ケロシン	角ﾀﾞクト型燃焼器（実験）	7
1990	Richards, G.A. et al.	Combustion and Flame	ｹﾛｼﾝﾍﾞｰｽの燃料	燃焼モデルの提案と検証	8
1992	小野，他 6 名	航技研報告	ケロシン(RJ-1J)	ロケット燃焼器（実験）	9
1997	山本，他 2 名	燃焼シンポジウム	CH_4	スワール型伸長火炎バーナ（実験）	10
1998	山本，他 2 名	機論（B 編）	CH_4	スワール型伸長火炎バーナ（実験）	11
1998	酒井，石塚	燃焼シンポジウム	C_3H_8, CH_4	対向流二重火炎バーナ（実験） 回転環状火炎バーナ（実験）	12
1999	酒井，石塚	機論（B 編）	C_3H_8, CH_4	回転環状火炎バーナ（実験）	13
2001	酒井，栗本	機論（B 編）	C_3H_8, CH_4	対向流予混合火炎バーナ（実験）	14
2003	Jackson, G.S. et al.	Combustion and Flame	CH_4	対向流バーナ（実験，数値計算）	15
2003	田上，他 3 名	機論（B 編）	CH_4	対向流バーナ（数値計算） 定容燃焼（実験）	16,17
2004	D'Andrea, T. et al.	Hydrogen Energy	ガソリン	2 気筒 4 ストローク SI エンジン（実験）	18
2005	Li, H., et al.	Hydrogen Energy	CH_4, CO	4 ストローク CFR エンジン（実験）	19
2005	川那辺，塩路	機論（B 編）	CH_4, C_3H_8	（数値計算，反応動力学計算）	20
2005	Guo, H. et al.	Proc. of the Combust. Inst.	CH_4	対向流予混合火炎バーナ（数値計算）	21
2007	Pandey, P. et al.	Combustion and Flame	C_2H_2	同軸流バーナ（実験）	22
2009	西，渕端	燃焼シンポジウム	C_2H_5OH(l)，軽油	噴霧バーナ（実験）	23
2009	星野，他 2 名	微粒化シンポジウム	C_2H_5OH(l)	インジェクタを備えた定容燃焼器(実験)	24
2010	Wang, S. et al.	Hydrogen Energy	C_2H_5OH	改良した SI ガソリンエンジン（実験）	25
2010	古市，他 4 名	機論（B 編）	C_2H_5OH(g)	同軸流バーナ（実験）	26
2010	星野，斎藤	燃焼シンポジウム	C_2H_5OH(l)	インジェクタを備えた定容燃焼器(実験)	27

これらの多くは水素添加による燃焼改善効果を確認するために行われたものであるが，水素添加がシステムとして有効に機能するかどうかについては，供給法や添加量等の条件を十分に検討する必要があると考えられる．例えば，LOX-ケロシンロケットの水素混焼実験[9]やガソリンエンジンへの水素添加実験[18]に関する報告によれば，水素添加によって効率がむしろ低下する場合があることや条件によっては燃焼改善の効果がほとんど見られない場合もあり，注意が必要である．

既存燃料，新燃料のいずれにおいても，少量の水素添加によって希薄可燃限界の拡張，燃焼性の改善，低エミッションを同時に実現することができるのであれば，エネルギーの有効利用法として導入する意義は大きいと考えられる．ただし，これまでの研究の多くがガス状燃料に対して実施されたものであり，噴霧状燃料に対して水素添加の効果を調べたものは少なく，実用に供するためには様々な状況を想定したより広範な条件における検討が必要になってくるであろうと思われる．また，最近では実機を用いての検証実験が多数報告されているが，燃焼改善のメカニズムを根本的に理解し，幅広い応用を可能とするためには，市販エンジン等を用いた個々の事例のみならず，ベースとなる基礎的知見も重要である．

本稿では，水素添加による噴霧燃料の着火，燃焼促進効果を調べるために，著者らが室温・低温環境下で行った水素添加雰囲気中におけるエタノール噴霧の定容燃焼実験を紹介する．

２．実験装置および実験方法

Fig.1 に，用いた実験装置の概略を示す．燃焼容器は，内径 110 mm，奥行き 106 mm，容積が約 1000 cm^3 の円筒形状である．容器側面には強化ガラス窓が取り付けてあり，燃え広がる火炎の様子が観測できる．燃焼室内壁には，液体燃料微粒化のための自動車用直噴インジェクタ，スパークプラグ，圧力センサが配置されている．真空ポンプで容器，配管内部を一度真空にした後，分圧法により，乾燥空気と水素を所定の混合比となるように充填する．手動ポンプにより液体燃料（本実験ではエタノールを用いている）に圧力をかけておくと，インジェクタ駆動用ドライバへ入力した TTL 信号により，設定した時間だけ燃料を噴射することができる．燃料噴射開始後，ある遅れ時間（$\Delta\tau$）後にイグナイタを駆動する TTL 信号を送り，点火プラグからの火花放電によって着火させる．$\Delta\tau$を変えることにより，点火時におけるプラグ周りのエタノール噴霧混在混合気の状態が変化する．初期圧を 0.1 MPa とし，上昇する燃焼室内圧力の時間履歴をオシロスコープで記録した．実験条件を Table 2 に示す．低温環境での試験は寒冷地を想定したものである．

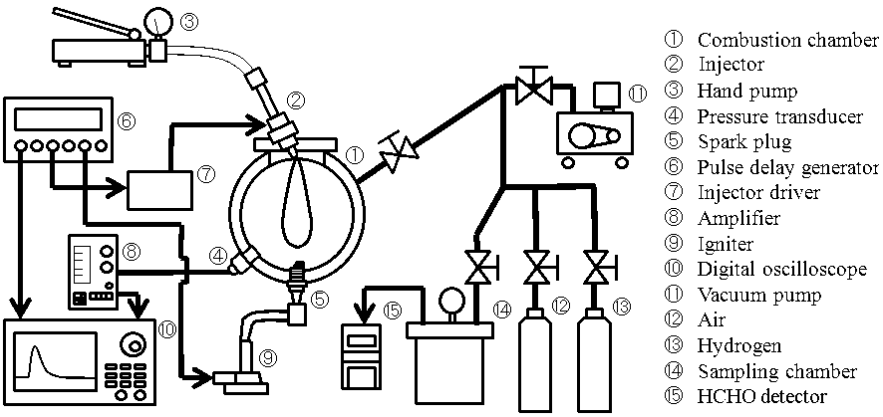


Fig.1 Experimental setup

Table 2 Experimental condition

Hydrogen volume fraction [vol%]	0	2	4	6	8	10
Initial pressure [MPa]	0.1					
Initial temperature [K]	296.15, 240.15					
Injected ethanol [g]	0.07					
Total equivalence ratio (296.15 K)	0.53	0.59	0.66	0.72	0.79	0.86
Total equivalence ratio (240.15 K)	0.43	0.49	0.55	0.61	0.68	0.75
Spark delay ($\Delta\tau$) [ms]	15, 20, 30, 50					

３．実験結果

3.1　着火可能条件への影響

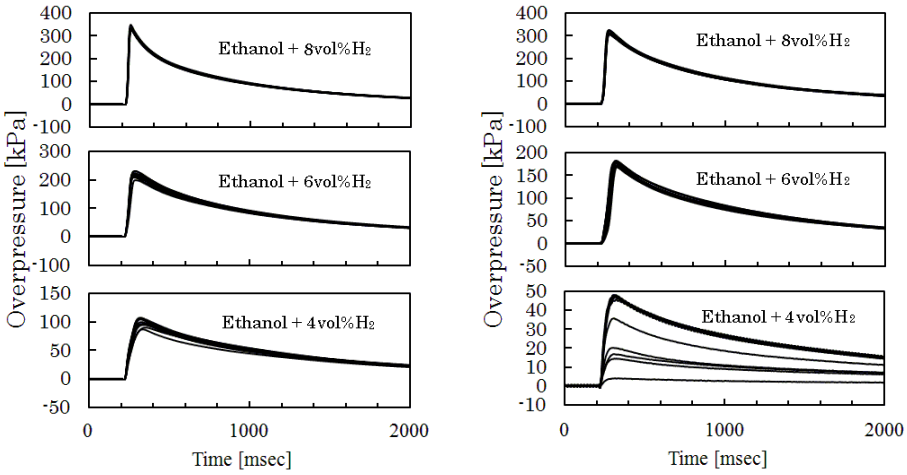
インジェクタ噴射開始後，噴霧先端はおよそ 10 ms 程度で点火プラグ付近に到達する．このため，$\Delta\tau$を 15 ms 以降で数条件設定し，各条件 10 回の着火実験を行った．室温，低温環境における着火実験の結果を Table 3 に示す．着火の可否は，容器内圧力の上昇が認められるかどうかで判断した．表中，◎は 10 回の試行中 10 回とも圧力上昇が確認できたものを示し，以下，5～9 回を○，1～4 回を△，まったく着火できなかったものを×としている．表から明らかなように，水素添加なしの条件では，室温，低温環境とも$\Delta\tau$=20 ms の条件を除いて，着火の成功確率が概ね低い．一方，水素を少量添加した条件では，いずれの温度環境においても，着火可能な条件範囲が広がることがわかる．エタノールは低温始動性の悪さが指摘されているが，少量の水素添加でこれを改善できる可能性がある．

Table 3 Result of ignition test

Room temperature (296.15 K)				
Spark delay ($\Delta\tau$) [ms]	15	20	30	50
Air	×	◎	○	○
Air + H_2 addition (2 vol%)	○	○	◎	◎
Air + H_2 addition (4 vol%)	◎	◎	◎	◎
Low temperature (240.15 K)				
Spark delay ($\Delta\tau$) [ms]	15	20	30	50
Air	×	○	△	×
Air + H_2 addition (2 vol%)	○	○	○	△
Air + H_2 addition (4 vol%)	○	◎	○	△

3.2　水素添加量と燃焼圧力

$\Delta\tau$を 20 ms とした条件で，室温，低温環境のいずれにおいても着火が良好であったため，この条件で燃焼圧力の比較を行った．Fig.2(a), (b)は，それぞれ，室温，低温環境における圧力上昇履歴の比較である．室温，低温環境ともに，水素添加量の増大とともに圧力波形のばらつきが小さくなり，最大圧力が増大することがわかる．ただし，室温環境では 4 vol%の水素添加で効果が現れたのに対し，低温環境下においては，4 vol%程度の水素添加では燃焼改善効果が顕著に出ず，室温よりも添加量を増やす必要があるという結果になった．低温環境ではエタノールの予蒸発量が減少し気相当量比が下がるため，室温よりも低下した燃焼性を改善するのにより多くの水素が必要となったと考えられる．



(a) Room temperature　　(b) Low temperature

Fig.2 Overpressure time histories

さらに水素添加量を増加させ，20 vol%（総括当量比 1.26）とした場合の圧力波形を Fig.3 に示す．波線は水素－空気混合気のみの燃焼圧を示したものであるが，エタノール噴射の有無にかかわらず，ほとんど同じ圧力波形となっている．この場合，結果的に水素－空気予混合気の燃焼を行っただけにすぎず，エタノールを噴射した意味がないことになる．従って，燃焼促進のために，水素添加量を単に増大させればよいというわけではなく，燃焼促進効果を得るのに妥当な添加量が存在すると推測できる．

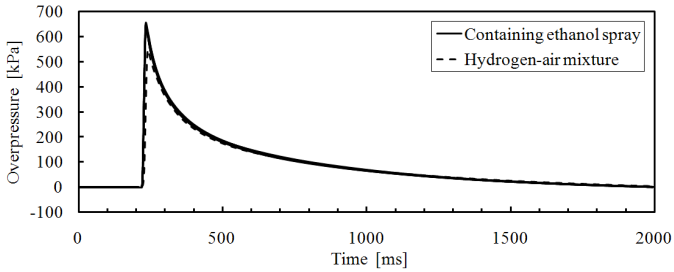


Fig.3 Overpressure time history (room temp., hydrogen addition: 20 vol%)

水素添加量と燃焼圧特性の関連性を見るために，充填した水素－空気混合気のみの圧力特性とエタノール噴射を行った場合の圧力波形から，最大燃焼圧，最大昇圧速度，最大圧力に到達するまでの遅れ時間，圧力波形の時間積分であるインパルス（発生圧力の力積に相当）を求めたものが Fig.4～Fig.7 である．各特性値とも，水素添加量の増大とともに水素－空気予混合気の定容爆燃特性に漸近していくことがみてとれ，水素添加量を単に増加させればよいというわけではないことがわかる．最適な水素添加量に関しては，例えば，確実な着火が可能で，充填した水素－空気混合気のみの特性値，あるいは，水素添加をしない場合の燃焼特性値に対する水素混焼燃焼時の特性値の比が最大（もしくは，すす等の有害排出物質量であれば最小）となる条件とすればよいようにも思われるが，燃焼促進による火炎温度の上昇と NOx 排出がトレードオフの関係にある場合もあり[6, 18, 21, 23]，単純ではない．

燃料噴霧の時空間的不均一性が大きく影響する噴霧燃焼場において，水素添加を行うことによる燃焼促進効果を狙う場合，添加によって噴霧の蒸発過程と噴霧火炎構造がどのように変化するのかを把握しておく必要がある．本実験において水素－空気混合気の燃焼特性と同程度となった水素添加条件では，エタノール噴霧が単に蒸発したのみで燃焼反応にほとんど寄与しなかった可能性があり，水素添加による燃焼反応領域の形成状態と噴霧の蒸発挙動の変化について今後検討することにしている．

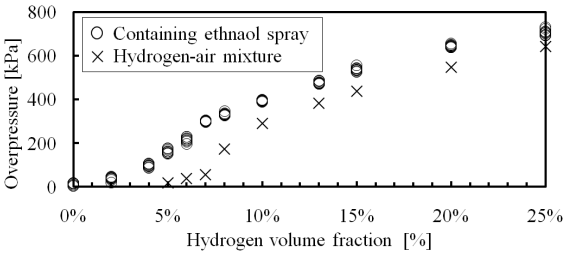


Fig.4 Variations of overpressure with hydrogen concentration

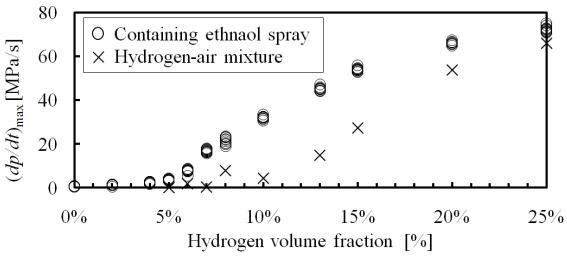


Fig.5 Variations of maximum rate of pressure rise with hydrogen concentration

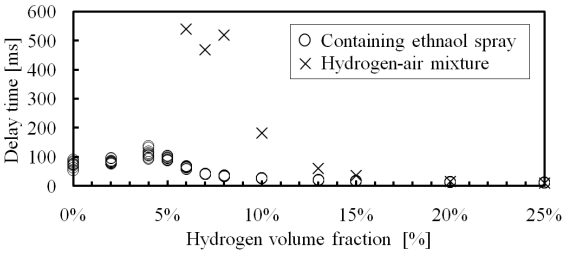


Fig.6 Variations of delay time with hydrogen concentration

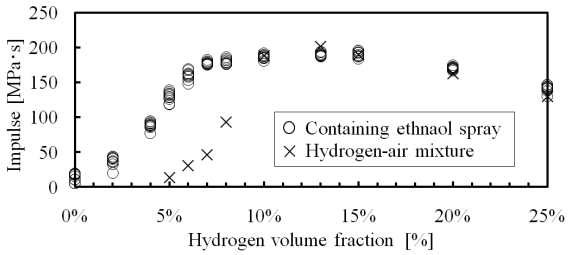


Fig.7 Variations of impulse with hydrogen concentration

４．まとめ

水素添加燃焼法について，国内外の研究状況と著者らの行っている実験研究について紹介してきた．燃料噴霧が混在する状況でも水素添加による着火・燃焼促進効果は確認できたが，噴霧火炎構造の変化にまで踏み込んで行われた研究例が少なく，系統的な理解には至っていないのが現状である．差し迫るエネルギー問題の解決策の一つになり得る可能性を示すことができればと考えている．

謝　辞

本研究の実施にあたり，文部科学省科学研究費(若手研究(B)，H17 -18，課題番号 17760163 および若手研究(B)，H20-21，課題番号 20760131)の支援を受けた．ここに謝意を表す．また，緻密に実験を遂行していただいた芝浦工業大学大学院機械工学専攻の星野昌平君に謝意を表す．

参考文献

1. 水素利用技術集成 Vol.2，エヌ・ティー・エス，pp.259-270，(2005).
2. 月刊エコインダストリー，シーエムシー出版，Vol.9，No.10，pp.51-60，(2004).
3. 斎藤寛泰，大塚輝人，水谷高彰，ほか 7 名，大型ゴム風船を用いた水素‐空気爆燃の野外実験（スケール側に基づく適正混合気体積の評価），日本機械学会論文集（B 編），Vol.73, No.728, pp.1099-1106，(2007).
4. 大塚輝人，斎藤寛泰，吉川典彦，水素‐空気爆燃における火炎伝播速度と爆風圧力のスケール則，日本機械学会論文集（B 編），Vol.76，No.772，pp.2249-2257，(2010).
5. Scholte, T.G. and Vaags, P.B., Combustion and Flame, Vol.3, pp.511-524, (1959).
6. 廣安博之，新井雅隆，角田敏一，養祖次郎，日本機械学会論文集（B 編），Vol.46，No.402，pp.342-353，(1980).
7. Richards, G.A., Sojka, P.E., and Lefebvre, A.H., Transactions of the ASME, Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, Vol.111, pp.84-89, (1989).
8. Richards, G.A. and Sojka, P.E., Combustion and Flame, Vol.79, pp.319-332, (1990).
9. 小野文衛，田村洋，熊川彰長，他 4 名，航空宇宙技術研究所報告，NAL TR-1177, (1992).
10. 山本和弘，丸山昌幸，小沼義昭，第 35 回燃焼シンポジウム講演論文集，pp.161-163，(1997).
11. 山本和弘，丸山昌幸，小沼義昭，日本機械学会論文集（B 編），Vol.64，No.622，pp.1919-1924，(1998).
12. 酒井幸夫，石塚悟，第 36 回燃焼シンポジウム講演論文集，pp.413-415，(1998).
13. 酒井幸夫，石塚悟，日本機械学会論文集（B 編），Vol.65，No.622，pp.3191-3195，(1999).
14. 酒井幸夫，栗本学，日本機械学会論文集（B 編），Vol.67，No.654，pp.529-535，(2001).
15. Jackson, G.S., Sai, R., Plaia, J.M., Boggs, C.M., and Kiger, K.T., Combustion and Flame, Vol.132, pp.503-511, (2003).
16. 田上公俊，後藤晋平，嶋田不美生，浜武俊朗，日本機械学会論文集（B 編），Vol.69，No.677，pp.162-168，(2003).
17. 田上公俊，後藤晋平，嶋田不美生，浜武俊朗，日本機械学会論文集（B 編），Vol.69，No.677，pp.168-176，(2003).
18. D'Andrea, T.D., Henshaw, P.F., and Ting, D.S.-K., International Journal of Hydrogen Energy, Vol.29, pp.1541-1552, (2004).
19. Li, H. and Karim, G.A., International Journal of Hydrogen Energy, Vol.30, pp.1491-1499, (2005).
20. 川那辺洋，塩路昌宏，日本機械学会論文集（B 編），Vol.71，No.704，pp.1177-1182，(2005).
21. Guo, H., Smallwood, G.J., Liu, F., Ju, Y., and Gulder, O.L., Proceedings of the Combsution Institute, Vol.30, pp.303-311, (2005).
22. Pandey, P., Pundir, B.P., and Panigrahi, P.K., Combustion and Flame, Vol.148, pp.249-262, (2007).
23. 西誉幸，渕端学，第 47 回燃焼シンポジウム講演論文集，pp.486-487，(2009).
24. 星野昌平，田中伸吾，斎藤寛泰，第 18 回微粒化シンポジウム講演論文集，pp.197-200，(2009).
25. Wang, S., Ji, C., and Zhang, B., International Journal of Hydrogen Energy, Vol.35, pp.9205-9213, (2010).
26. 古市信治，遠山政利，斎藤寛泰，菅野望，吉川典彦，日本機械学会論文集（B 編），Vol.76，No.765，pp.924-929，(2010).
27. 星野昌平，斎藤寛泰，第 48 回燃焼シンポジウム講演論文集，pp.434-435，(2010).

TED Plaza

水素添加がエタノールおよび軽油噴霧火炎の排出ガス特性に及ぼす影響

渕端　学

近畿大学　准教授
理工学部機械工学科
fuchihata@mech.kindai.ac.jp

1．諸　言

近年の炭酸ガス排出量削減要求の高まりの中，次世代の環境対応エネルギーとして水素が注目されてきた．しかし現在の工業用水素は主に天然ガス改質により製造されており，カーボンニュートラルエネルギーではない．海水を太陽電池から得られた電気により分解して製造するといった，カーボンニュートラルエネルギーとしての水素製造方法も研究開発されているが，化石燃料を代替するほどの量を安定して供給するには到っていない．

しかし水素は燃焼性が良く，他の燃料と混合して燃焼性や着火性を改善する効果が報告されている．燃焼性の悪い燃料への添加剤としての利用法であれば，化石燃料を代替する程の量も必要でなく，また純度も燃料電池用途等よりも低くて済むと考えられるので，カーボンニュートラルエネルギーとしての水素の現実的な利用法と考えられる．

水素添加による燃焼性改善の効果の基礎研究は，メタンやプロパンの予混合燃焼について実験および化学動力学計算による検討が報告されている．山本ら(1)は管状火炎バーナ，酒井ら(2)は対向流バーナ，中原ら(3)は定容燃焼器をそれぞれ用いて検討を行い，水素添加により燃焼速度，希薄可燃範囲が増大するとしている．化学動力学計算では，田上ら(4)が伸長を有するメタン予混合火炎について，川那辺ら(5)がメタンおよびプロパン予混合気の着火遅れ等について検討している．

しかし気体燃料については多くの報告があるものの，液体燃料の燃焼における水素添加の影響についての基礎研究は，星野ら(6)による定容容器内におけるエタノール噴霧燃焼の観察，Mandilas ら(7)によるイソオクタン蒸気の予混合火炎の観察，古市ら(8)によるエタノール蒸気の予混合火炎の観察等ごく少数しか見られない．また，NOx，アルデヒド等の有害燃焼排出ガス成分に対して検証したものもほとんどない．そこで本報では，軽油およびエタノールの噴霧バーナ燃焼時において水素添加が燃焼排出ガス特性におよぼす影響について，EGR の効果も含めて検討した結果を紹介する．

2．実験装置

実験に使用したバーナを Fig. 1 に示す．噴霧の形成には二流体噴射弁（いけうち SETOJet0405）を用いた．火炎を安定させるために噴霧バーナ周囲には水素拡散火炎のパイロットバーナ（流量 $6.67\times10^{-5}m^3/s$）を設けてある．添加水素，模擬 EGR ガスおよび燃焼用空気はあらかじめ混合し，スプレーノズルとパイロットバーナの間に設けられた４つの直径 9.2mm

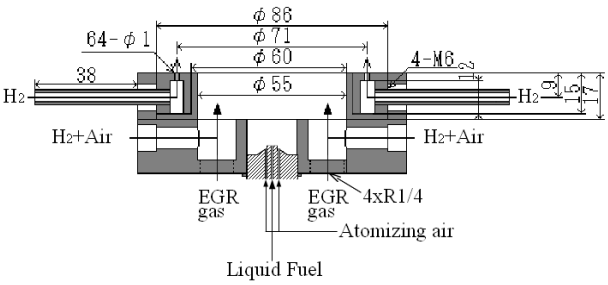


Fig 1. Spray burner

のポート（1/4 管）から供給した．

燃料には軽油およびエタノールを用い，流量はともに $1.13\times10^{-7}m^3/s$ とした．霧化用空気は軽油で $1.51\times10^{-4}m^3/s$，エタノールで $1.31\times10^{-4}m^3/s$ とし，水素も含めた総合空気比を 1.1 一定として残りの空気を燃焼用空気として供給した．模擬 EGR ガスは別体の密閉バーナで水素－空気拡散火炎を形成し，その燃焼ガスに N_2，CO_2 を混合して噴霧バーナの完全燃焼ガスの 20%にあたる量の同一成分ガスを生成し，ポート出口温度約 120℃で供給した．水素添加量は，軽油およびエタノールとの質量比で 2%，4%，6%とした．

排ガス測定は，HC に堀場製作所 MEXA-554J（非分散赤外線吸収法），NOx に堀場製作所 CLA-510SS・ES-C510SS（化学発光法），アセトアルデヒドにガステック検知管（No.92L，92M・GV-100）を使用した． 火炎温度測定には素線径 0.2mm の R タイプ裸熱電対を用いた．輻射等の補正は行っていない．

３．実験結果および考察

3.1　水素添加の影響

軽油およびエタノールの噴霧火炎に水素添加を行った場合の HC，NOx 排出量の変化を Fig. 2, 3 に，エタノールの噴霧火炎に水素添加を行った場合のアセトアルデヒド排出量の変化を Fig.4 に示す．アルデヒド類の測定はホルムアルデヒドについても行ったが，検知管ではほとんど検出されなかった．HC 排出量は軽油，エタノール燃焼時ともに水素添加量が増えるにつれて減少している．このことから，気体燃料への水素添加と同様に，液体燃料においても水素添加により燃焼性が向上したと考えられる．NOx 排出量は軽油，エタノール燃焼時ともに水素添加量が増えるにつれて増加している．火炎温度測定結果によると，水素添加量が多い程火炎最高温度が上昇するとともに最高温度領域も噴霧流上流側へ移動していたことから，水素添加による燃焼性向上によりサーマル NOx が増加したためと考えられる．エタノール燃焼時のアセトアルデヒド排出量については，水素添加量が増えるほど減少している．このことから，水素添加による燃焼性向上は，HC だけでなくアセトアルデヒドの低減にも有効であると言える．

3.2　EGR の影響

軽油およびエタノールの噴霧火炎に水素添加を行った場合，燃焼性の向上により不完全燃焼成分（HC，アセトアルデヒド）の排出量は減少したが，NOx 排出量は増加した．一般に NOx 排出量抑制によく利用される手法として EGR（排気ガス再循環）がある．主に燃焼ガスの比熱増大による火炎温度の低下および酸素濃度低下による燃焼の緩慢化によりサーマル NOx 排出量が減少すると考えられているが，エタノール噴霧火炎に適用するとアセトアルデヒドの排出量が増加する恐れがある．そこで，エタノール噴霧火炎について水素添加と EGR を併用した場合に排出ガスにどのような影響を与えるかを検討した．EGR（EGR 率 20%，120℃）を行った場合の HC，NOx，アセトアルデヒド排出量の変化を Fig. 5～7 に，EGR を行わない場合と行った場合のバーナ中心軸上の温度分布を Fig. 8，9 に示す．これらの結果より，EGR を行うと NOx 排出量は低下するが，HC およびアセトアルデヒド排出量は増加する傾向が見られる．しかし HC およびアセトアルデヒド排出量は EGR を行わない場合と同様に水素添加量に応じて減少するのに対して，NOx 排出量は EGR を行わない場合に比べて水素添加による増加がごくわずかであることが分かる．これは EGR による燃焼性の低下をカバーするのに必要な水素添加（本実験条件では HC 排出量について

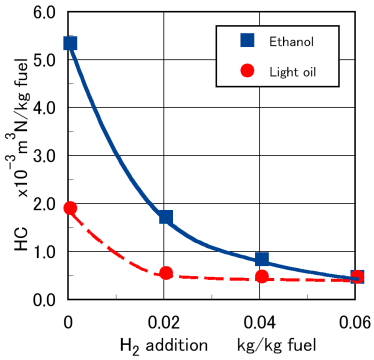


Fig. 2　HC emission

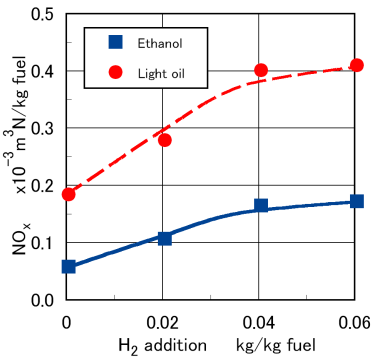


Fig. 3　NOx emission

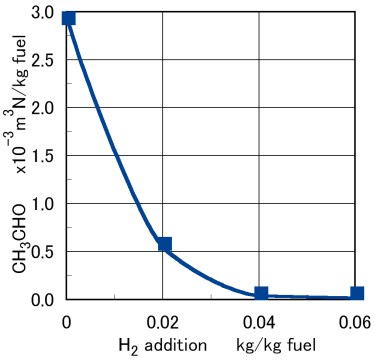


Fig. 4　Acetaldehyde emission

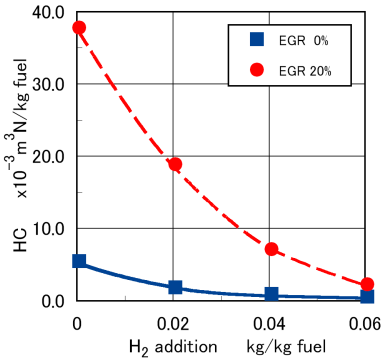


Fig. 5 HC emission with/without EGR

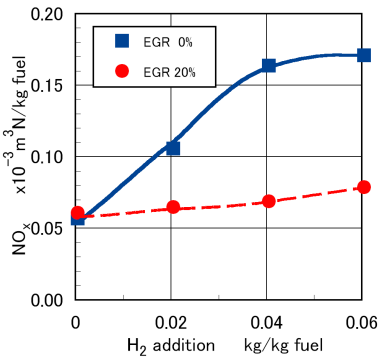


Fig. 6 NOx emission with/without EGR

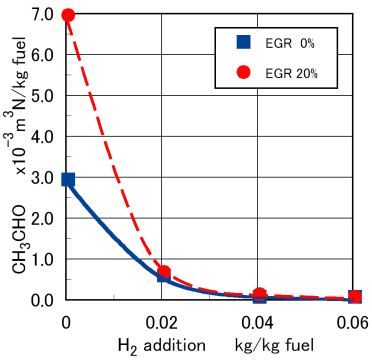


Fig. 7 Acetaldehyde emission with/without EGR

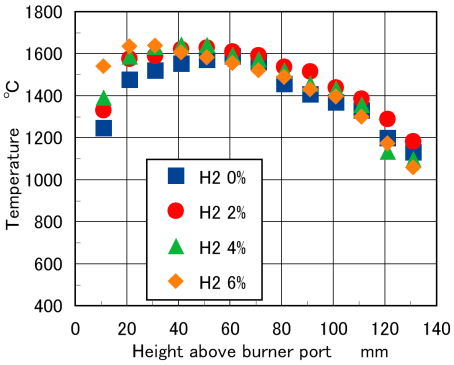


Fig. 8 Temperature profile on the burner axis w/o EGR

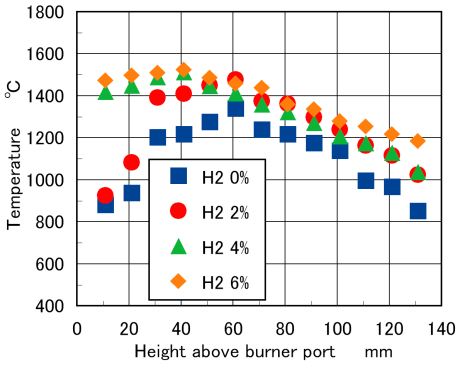


Fig. 9 Temperature profile on the burner axis with EGR

6%，アセトアルデヒドについて 2%程度）による火炎温度の上昇が，EGR の効果による火炎温度の低下よりも小さいため，同程度の燃焼性が，サーマル NOx 生成量が急激に増える 1500℃レベルより低い火炎温度で達成されたためと考えられる．

4．おわりに

水素添加による燃焼性改善は気体燃料だけでなく液体燃料の噴霧燃焼についても有効であると言える．また，アルコール燃料燃焼時のアセトアルデヒド排出量の低減にも有効性が見られたことから，不完全燃焼生成物全般に低減効果が期待できると考えられ，今後，PM 類の排出に対する効果も検証されるべきであると考える．さらに EGR との併用により燃焼性を低下させずにサーマル NOx を低減できる可能性もあり，水素添加の利用法はまだ発展の余地があると考えられる．

謝　辞

本研究の遂行にあたり，近畿大学大学院総合理工学研究科メカニックス系工学専攻学生 西誉幸君に協力いただいた．ここに記して謝意を表する．

参考文献

1) 山本，丸山，小沼，日本機械学会論文集，64-622B，(1998)，pp.1919-1924.
2) 酒井，栗本，日本機械学会論文集，67-654B，(2001)，pp.529-535.
3) 中原，橋本，白砂，月川，日本機械学会論文集，75-760B，(2009)，pp.2550-2557.
4) 田上，後藤，嶋田，浜武，日本機械学会論文集，69-677B，(2003)，pp.169-176.
5) 川那辺，塩路，日本機械学会論文集，71-704B，(2005)，pp.1177-1182.
6) 星野，斎藤，第 48 回燃焼シンポジウム講演論文集，A335，(2010)，pp.434-435.
7) C. Mandilas, M.P. Ormsby, C.G.W. Sheppard, R. Woolley, *Proceedings of the Combustion Institute*, Vol.31, (2007), pp.1443-1450.
8) 古市，遠山，斎藤，菅野，吉川，日本機械学会論文集，76-765B，(2010)，pp.924-929.

TED Plaza

高温空気燃焼の安定燃焼限界と NOx 排出特性

名田　譲

徳島大学　講師
大学院ソシオテクノサイエンス研究部
ynada@eco.tokushima-u.ac.jp

１．はじめに

高温空気燃焼[1]は熱回収による熱効率向上と窒素酸化物（NOx）排出量削減を同時に達成可能な燃焼技術である．高温空気燃焼では，リジェネレイティブバーナー[2]を用いて排ガスから熱回収する．回収された熱量により燃焼用空気を予熱し，熱効率を向上させる．さらに，NOx 排出量を削減するために，炉内既燃ガスによる希釈を積極的に利用する．図 1 に高温空気燃焼で用いられる平行噴流バーナー[1-3]の模式図を示す．平行噴流バーナーでは，燃料ノズルと酸化剤ノズルは離れて設置されている．このため，燃料と酸化剤が混合し始める（図中，Merging Point）までに，燃料噴流と酸化剤噴流は炉内既燃ガスを巻き込みながら発達する．このため，燃料と酸化剤は炉内既燃ガスにより希釈される．図 1 では，この希釈領域を領域 A とする．この結果，燃料濃度と酸素濃度は低下し，NOx 排出量は低下する．高温空気燃焼における反応速度は，希釈により極めて低い値を示す．このため，火炎の輝度は燃焼炉壁面の輝度より低くなり，火炎は目視できなくなる[4][5]．また，火炎温度が低下するため，燃焼炉内では均一な温度分布が得られる．

高温空気燃焼と同様の燃焼方法として，Mild Combustion[6]と Flameless Combustion[4]がある．これら三つの燃焼方法は，自着火温度以上の予熱温度と希釈利用の点で一致している．ただし，Mild Combustion には，燃焼による温度上昇は自着火温度以下であるという条件が課せられる．このため，Mild Combustion は高温空気燃焼の一部とされる[6]．本報では，高温空気燃焼，Mild Combustion および Flameless Combustion を同じ燃焼方法と見なし，「高温空気燃焼」と記述する．

高温空気燃焼における反応速度は極めて低い．すなわちダムケラー数が 1 のオーダーの火炎とされる[7]．このため，高温空気燃焼の火炎構造，NOx 排出特性および燃焼維持機構は，従来の火

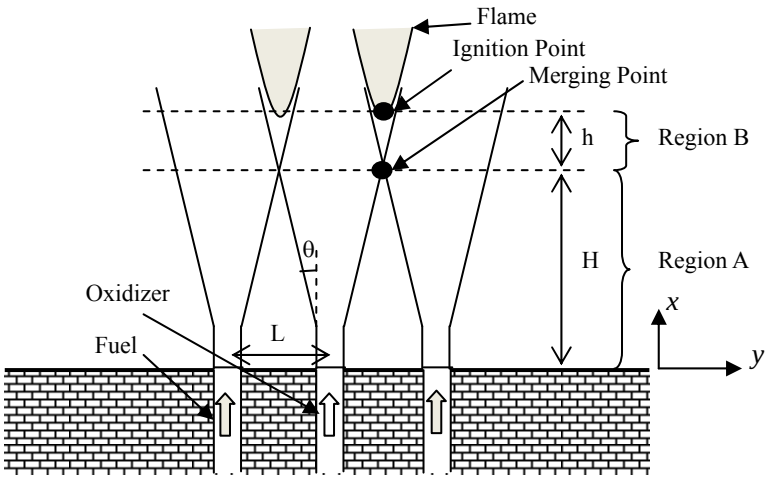


Fig. 1　Schematic of flow field on the parallel jet burner.

炎と大きく異なると考えられる．高温空気燃焼を対象とした研究は，主に四つに分類できる．火炎構造に関する研究，NOx 排出量に関する研究，安定燃焼範囲に関する研究，およびモデリングに関する研究である．火炎構造に関する研究では，静電探針[8][9]や平面レーザー誘起蛍光法[10][11]を用いた反応帯の幅や中間生成物の分布に関する研究が行われている．NOx に関する研究では，浮力，滞留時間および希釈の影響を考慮したスケーリングが試みられている[7][12]．また，近年では安定燃焼範囲に関する研究が行われている[13-15]．さらに，モデリングに関する研究では，高温空気燃焼のシミュレーションにフレームレットモデル[16]，渦消散モデル[17]，CMC モデル[18]の適用が試みられている．

本報では，高温空気燃焼に関する研究から，安定燃焼範囲に関する研究と NOx 排出特性に関する研究について紹介する．火炎構造に関する研究は文献[8-11, 19, 20]を，モデリングに関する研究は文献[16-18]を参考にされたい．

２．安定燃焼範囲に関する研究

高温空気燃焼の安定燃焼範囲は，Katsuki and Hasegawa[21]により酸化剤の酸素濃度と予熱温度を用いて表わされている．また，Wünning and Wünning[4]は炉内既燃ガスによる希釈を考慮し，炉内既燃ガスと混合気の質量比からなる循環率を用いて，安定燃焼範囲を表現している．Plessing ら[20]は Well-Stirred Reactor の火炎構造を仮定し，安定燃焼限界を予測している．一方，Kim ら[14]は，高温空気燃焼は浮き上がり火炎であるとの考えに基づき，浮き上がり高さを予混合火炎モデル(Premixed Flame Model)[22]と大規模混合モデル(Large-Scale Mixing Model)[23]を用いて整理している．また，吹き消え流速と吹き消え時の浮き上がり高さの予測式を提案している．

Choi ら[15]は高温雰囲気におけるプロパン層流浮き上がり火炎を対象として，浮き上がり高さの予測を試みている．プロパンは窒素で希釈されている．プロパンの濃度により，層流浮き上がり火炎は三つに分類される．一つは tribrachial flame 構造を有する浮き上がり火炎である．これは，燃料濃度の高い場合に形成される．また，この場合，予混合火炎モデルにより浮き上がり高さを整理できる．このことから，火炎基部における燃焼速度と混合気流速の釣り合いにより，浮き上がり高さは決定されると考えられる．二つ目は，自着火により形成される，tribrachial flame 構造を有する浮き上がり火炎である．この火炎の場合，tribrachial flame 構造を持ちながら，予混合火炎モデルにより浮き上がり高さを整理できない．Choi らは，浮き上がり高さが着火遅れ時間の関数であるとし，浮き上がり高さを整理している．三つ目は高温空気燃焼状態の層流浮き上がり火炎(Autoignited lifted flame with Mild Combustion)である．図 2 に火炎の直接写真を示す．極めて輝度の低い青い火炎が観察される．Tribrachial flame 構造は見られない．Choi らは，図 2 に示す火炎の浮き上がり高さを，着火遅れ時間を用いて整理している．図 3 はその結果を示している．縦軸は浮き上がり高さ H_L であり，横軸は燃料流速 U_0，着火遅れ時間 $t_{ig,ad}$ の二乗および燃料濃度 $Y_{F,0}$ の積である．U_0 と $t_{ig,ad}$ の増加とともに，浮き上がり高さは高くなる．図 3 の結果から，浮き上がり高さの予測式が提案されている．

Choi らの研究[15]から，高温空気燃焼における浮き上がり高さは着火遅れ時間により整理できる

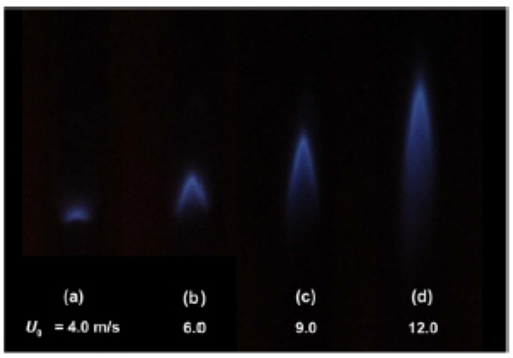


Fig. 2　Direct photographs of lifted flame with Mild combustion[15].

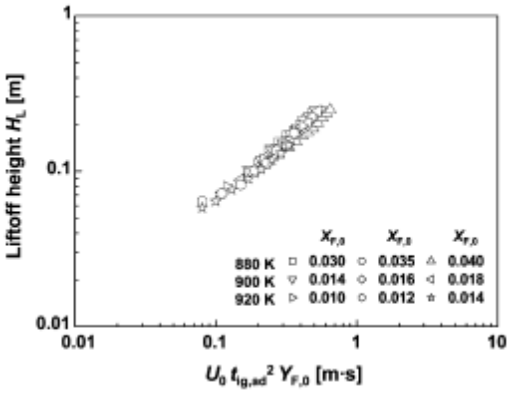


Fig. 3　Liftoff height correlation[15].

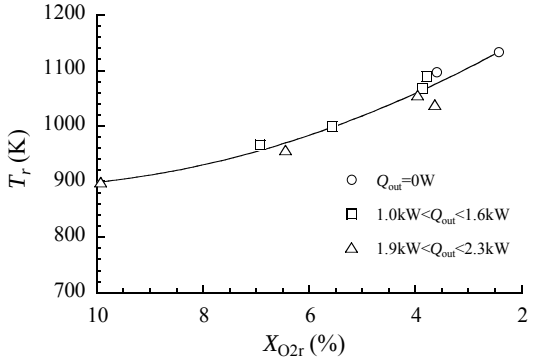


Fig. 4 Stability limit with respect to the temperature and the O_2 concentration in the recirculated burned gas[13].

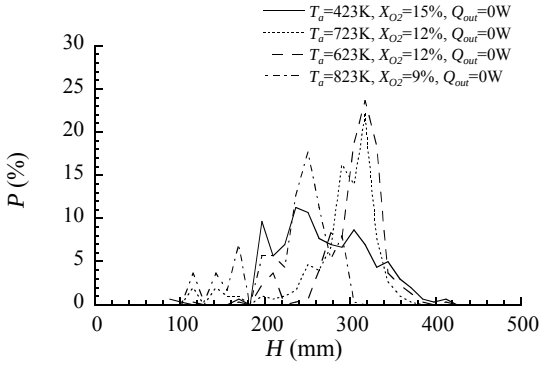


Fig. 5 Histograms of liftoff height under stability limit conditions[13].

と言える．これは，高温空気燃焼が着火により維持されていることを示している．名田ら[13]は，高温空気噴霧燃焼における浮き上がり高さを測定し，安定燃焼限界との関係について検討している．実験で用いた燃焼炉は高さ 1000mm の矩形断面を有する実験炉であり，炉底部には噴霧ノズルを中心とした平行噴流バーナーが設置されている．実験では，酸化剤予熱温度，酸素濃度および水冷管による熱損失量を変化させた．高温空気噴霧燃焼の場合，蒸発した燃料と酸化剤から成る混合気は，循環渦により循環される高温既燃ガスにより着火する．図 4 は，安定燃焼限界の条件における，高温既燃ガスの温度 T_r と酸素濃度 X_{O2r} の関係を示している．安定燃焼限界は，熱損失量に関わらず一つの曲線で表現できる．この曲線より下に位置する条件では，火炎を維持できない．これは，循環される既燃ガスの温度と酸素濃度により安定燃焼限界が決定されることを示している．図 5 は高温空気噴霧燃焼の浮き上がり高さのヒストグラムを示している．図中の条件は，安定燃焼限界の条件である．浮き上がり高さは時間により大きく変動する．しかし，最頻値は 250mm から 300mm となり，一定値を示す．浮き上がり高さが循環渦の大きさより高くなった場合，循環渦は高温既燃ガスをノズル近傍に循環できない．このため，混合気は着火できず，火炎は吹き消える．すなわち，安定燃焼限界は，浮き上がり高さと循環渦の大きさから決定される．循環渦の大きさは，燃焼炉の大きさに強く依存する[24]．名田らの実験では，循環渦は実験条件に関わらず同じ大きさと考えられる．このため，同じ浮き上がり高さで吹き消えに至る．以上の結果から，安定燃焼限界の予測には，浮き上がり高さの予測が重要となる．これには，Choi ら[15]が示したように，着火遅れ時間の推定が必要となる．

図 1 で示したように，燃料と酸化剤は領域 A において既燃ガスにより希釈される．希釈された燃料と酸化剤は混合開始位置から混合し始め，着火遅れ時間後に着火する．このため，着火遅れは領域 A における希釈の影響を強く受ける．この結果，浮き上がり高さは増減すると考えられる．以上のことから，安定燃焼限界の予測には希釈の影響を考慮する必要がある．

３．NOx 排出特性に関する研究

NOx 排出量の低減は高温空気燃焼の利点の一つであり，多くの研究が行われている．Wünning and Wünning[4]は炉内温度と NOx 排出量の関係を，Katsuki and Hasegawa[21]は燃焼室内の燃料ノズル配置と酸化剤予熱温度の影響を明らかにしている．また，酸化剤酸素濃度の影響も多く示されている[5][12]．本報では，Szegö ら[7]によって行われた NOx 排出量のスケーリング則に関する研究について紹介する．Szegö らは図 6 に示す実験炉を用いて NOx 排出量を測定した．酸化剤ノズルを中心に，十字状に燃料ノズルが配置されており，酸化剤ノズルと燃料ノズルの間に排気孔が設置されている．燃料は天然ガスおよび液化石油ガスであり，窒素または二酸化炭素により希釈されている．酸化剤は空気であり，予熱温度は最高 1053K である．

図 7 に炉内温度と滞留時間によりスケーリングされた結果を示す．炉内温度は炉上部における温度である（図 6, reference temperature）．図中の黒シンボルの形状は滞留時間を示している．また青いシンボルは他の研究者による結果である．このスケーリングでは，火炎体積を燃焼炉容積と

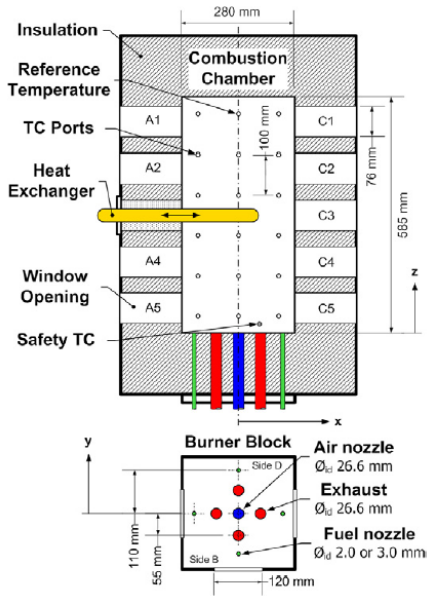


Fig. 6 Schematic of Mild combustion furnace[7].

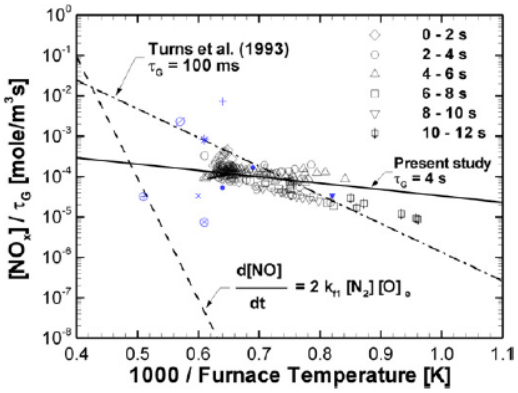


Fig. 7 NOx production rate as a function of furnace temperature[7].

等しいと仮定し滞留時間を求めている．Szegö らは，炉内温度と滞留時間を用いることにより，NOx 排出量を良くスケーリングできるとしている．ただし，そのばらつきは極めて大きい．他の研究者による実験結果と大きくずれているが（図中，青プロット），その原因をバーナー構造の違いとしている．また，図中の破線はゼルドビッチ機構に基づく計算結果を示している．Szegö らによって得られた結果は計算結果より小さい勾配を示す．これは，ゼルドビッチ機構による NOx 生成より温度依存性が低いことを示しており，プロンプト NOx の関与が指摘されている．

Szegö らの実験装置は，燃料ノズルと酸化剤ノズルの間に排気孔が設けられている．このため，既燃ガスは燃料噴流と酸化剤噴流の間を通過し，排気される．これは，燃焼炉内において燃料と酸化剤が既燃ガスにより希釈されることを示している．しかし，Szegö らのスケーリングでは燃焼炉内における希釈の影響を考慮していない．一方，名田ら[12]は，この燃焼炉内の希釈の影響に着目した．図 8 に実験で用いた燃焼炉を示す．酸化剤ノズルを中心として，燃料ノズルが直線上に設置されている．燃料はプロパンである．酸化剤は空気と窒素の混合気であり，予熱温度は最高 1100K である．実験は，酸化剤酸素濃度，予熱温度および燃料ノズルと酸化剤ノズルの間隔を変更することにより行われた．NOx 排出量は，Szegö らと同様に温度と滞留時間を用いてスケー

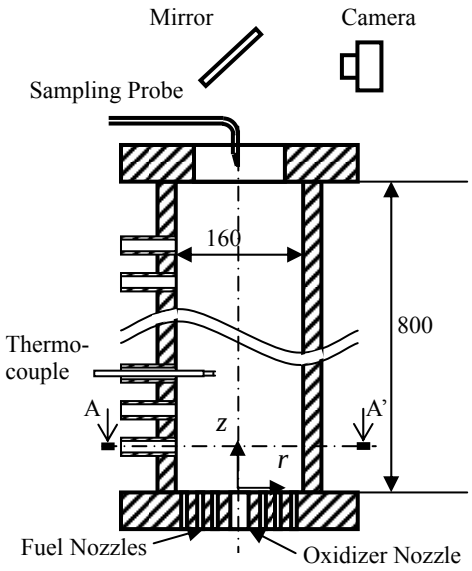


Fig. 8 Schematics of combustion furnace[12].

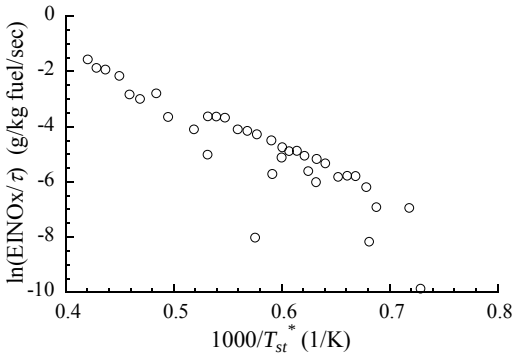


Fig. 9 Relation between the production rate of EINOx and the flame temperature[12].

リングされている．ただし，温度は火炎温度とし，炉内既燃ガスによる希釈の影響を考慮した修正フレームレットモデルにより算出される．また，火炎体積はノズル間隔に比例するとした．図9にスケーリング結果を示す．横軸は火炎温度を，縦軸はEINOxと滞留時間からなるNOxの生成速度である．NOxの生成速度は火炎温度と良い相関を示し，火炎温度の低下とともにNOxの生成速度は減少することがわかる．これは，NOx排出量の低下が希釈による火炎温度の低下に起因することを示している．

上記の議論から，NOxの排出量の予測には炉内規燃ガスによる希釈の影響を明らかにすることが重要となることがわかる．これに加えて，浮き上がり高さの影響を考慮する必要がある．Fujimoriら[25]は高温雰囲気中の浮き上がり火炎の浮き上がり高さと，NOx 排出量の関係を明らかにした．浮き上がり高さが火炎長より高くなった場合，NOx排出量は急激に低下する．これは，混合分率の分布から説明できる．燃料ノズル中心軸上の混合分率分布を考える．火炎はノズルに付着した火炎とする．ノズルからの距離が増加するに従い，混合分率は低下する．この混合分率が量論混合分率となる位置が付着火炎の先端である．よって，ノズル出口から量論混合分率となる位置までの距離が，火炎長となる．火炎長より下流では，混合分率は量論混合分率より低くなる．このため，火炎長より高く浮き上がった場合，浮き上がり火炎の基部には希薄予混合気が形成される．希薄予混合気が燃焼することにより，火炎温度は低下し，NOx排出量は急激に低下する．

高温空気燃焼においても，浮き上がり火炎における希薄予混合気形成の影響は現れると考えられる．Choiら[15]が示したように，着火遅れにより浮き上がり高さが決定されるとする．図1領域A における既燃ガス希釈の影響により着火が遅れる．このため，混合開始位置から下流で火炎は形成される（図中，Ignition Point）．着火遅れが極めて長いと浮き上がり高さは高くなり，希薄予混合気が形成される．また，着火位置までに混合気は既燃ガスにより希釈される．このため，火炎が浮き上がることにより，希釈の影響は強くなる．この結果，NOx排出量は低下すると考えられる．以上のように，NOx排出量には希釈の影響が強く表れる．このため，希釈の影響を予測することが重要となる．

４．まとめ

本報では，高温空気燃焼の安定燃焼限界とNOx排出特性に関する研究を主に解説した．高温空気燃焼の安定燃焼限界とNOx排出特性は，炉内既燃ガスによる希釈の影響を強く受ける．高温空気燃焼の火炎は着火により維持されており，tribranchial flame構造が見られないなど，従来の火炎とはその構造が大きく異なる．安定燃焼限界を予測するには，着火遅れ時間が重要となる．この着火遅れ時間は炉内既燃ガスによる希釈により増減する．高温空気燃焼におけるNOx生成は，希釈により火炎温度が低下することにより，抑制される．また，浮き上がり高さが高くなるほど，希釈の影響が強く表れるため，NOx排出量は低下すると考えられる．このように，炉内既燃ガスによる希釈は，安定燃焼限界やNOx排出特性などの燃焼特性を決定する要因の一つである．燃焼特性に与える希釈の影響の更なる解明が望まれる．

参考文献

(1) Tsuji, H., Gupta, A., Hasegawa, T., Katsuki, M., Kishimoto, K. and Morita, M., High Temperature Air Combustion, CRC Press (2003).

(2) 長谷川敏明，須藤淳，持田晋，“ リジェネレイティブバーナーによる高温空気燃焼 ”，燃焼の科学と技術，Vol. 4 (1997), pp. 225-238.

(3) Szegö, G.G., Dally, B.B. and Nathan, G.J., “Operational Characteristics of a Parallel Jet Mild Combustion Burner System”, *Combustion and Flame*, Vol. 156 (2009), pp. 429-438.

(4) Wünning, J.A. and Wünning, J.G., “Flameless Oxidation to Reduce Thermal NO-Formation”, *Progress in Energy and Combustion Science*, Vol. 23 (1997), pp. 81-94.

(5) Gupta, A., “Thermal Characteristics of Gaseous Fuel Flames Using High Temperature Air”, *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, Vol. 126 (2004), pp. 9-19.

(6) Cavaliere, A. and Joannon, M., “Mild Combustion”, *Progress in Energy and Combustion Science*, Vol. 30 (2004), pp. 329-366.

(7) Szegö, G., Dally, B. and Nathan, G., “Scaling of NOx Emissions from a Laboratory-Scale Mild Combustion Furnace”, *Combustion and Flame*, Vol. 154 (2008), pp. 281-295.

(8) 橋本英樹，古川純一，持田晋，長谷川敏明，“ プロパン・高温低酸素空気非予混合火炎の局所的な反応帯の厚さ ”，日本機械学会論文集 B 編， Vol. 72, No. 717 (2006), pp. 1349-1355.
(9) Yokomori, T, Mochida, S. Araake, T. and Maruta, K, “Electrostatic Probe Measurement in an Industrial Furnace for High-Temperature Air Conditions”, *Combustion and Flame*, Vol.150 (2007), pp.369-379.
(10) Kobayashi, H., Oono, K., Cho, E-S., Hagiwara, H., Ogami, Y. and Niioka, T., “Effects of Turbulence on Flame Structure and NOx Emission of Turbulent Jet Non-Premixed Flames in High-Temperature Air Combustion”, *JSME International Journal*, Series B, Vol. 48, No. 2 (2005), pp. 286-292.
(11) Dally, B.B., Riesmeier, E. and Peters, N., “Effect of Fuel Mixture on Moderate and Intense Low Oxygen Dilution Combustion”, *Combustion and Flame*, Vol 134 (2004), pp.418-431.
(12) 名田譲 ，善万泰朋 ，野田進，“ 高温空気燃焼の NOx 排出特性に対するノズル間隔の影響 ”，日本機械学会論文集 B 編， Vol. 75, No. 757 (2009), pp. 1870-1878.
(13) 名田譲，前川浩規，伊藤高啓，野田進，“ 高温空気噴霧燃焼の安定燃焼限界の解明 ”，燃焼学会誌，掲載決定.
(14) Kim, K.N., Won, S.H. and Chung, S.H., “Characteristics of Turbulent Lifted Flames in Coflow Jets with Initial Temperature Variation”, *Proceedings of the Combustion Institute*, Vol. 31 (2007), pp. 1591-1598.
(15) Choi, B.C., Kim, K.N. and Chung, S.H., “Autoignited Laminar Lifted Flames of Propane in Coflow Jets with Tribrachial Edge and Mild Combustion”, *Combustion and Flame*, Vol. 156 (2009), pp. 396-404.
(16) Coelho, P.j. and Peters, N., “Numerical Simulation of a Mild Combustion Burner”, *Combustion and Flame*, Vol. 124 (2001), pp. 503-518.
(17) Christo, F.C. and Dally, B.B., “Modeling Turbulent Reacting Jets Issuing into a Hot and Diluted Coflow”, *Combustion and Flame*, Vol. 142 (2005), pp. 117-129.
(18) Kim, S.H., Huh, K.Y. and Dally, B., “Conditional Moment Closure Modeling of Turbulent Nonpremixed Combustion in Diluted Hot Coflow”, *Proceedings of the Combustion Institute*, Vol. 30 (2005), pp. 751-757.
(19) Maruta, K., Muso, K., Takeda, K. and Niioka, T., “Reaction Zone Structure in Flameless Combustion”, *Proceedings of the Combustion Institute*, Vol. 28 (2000), pp. 2117-2123.
(20) Plessing, T., Peters, N. and Wünning, J.G., “Laseroptical Investigation of Highly Preheated Combustion with Strong Exhaust Gas Recirculation”, *Proceedings of the Combustion Institute*, Vol. 27 (1998), pp. 3197-3204.
(21) Katsuki, M. and Hasegawa, T., “The Science and Technology of Combustion in Highly Preheated Air”, *Proceedings of the Combustion Institute*, Vol. 27 (1998), pp. 3135-3146.
(22) Kalghatgi, G.T., “Lift-off Heights and Visible Lengths of Vertical Turbulent Jet Diffusion Flames in Still Air”, *Combustion Science and Technology*, Vol. 41 (1984), pp. 17-29.
(23) Broadwell, J.E., Dahm, W.J.A. and Mungal, M.G., “Blowout of Turbulent Diffusion Flames”, *Proceedings of the Combustion Institute*, Vol. 20 (1984), pp. 303-310.
(24) 名田譲，I Gede PARWATHA，福重辰悟，野田進，円筒形燃焼炉内の噴流拡散火炎の燃焼特性に関する研究(第 3 報, NOx 排出特性に対する流れ場の影響), 日本機械学会論文集 B 編, Vol. 74, No. 739 (2008), pp.707-714.
(25) Fujimori, T., Riechaelmann, D. and Sato, J., “Effect of Liftoff on NOx Emission of Turbulent Jet Flame in High-Temperature Coflowing Air”, *Proceedings of the Combustion Institute*, Vol. 27 (1998), pp. 1149-1155.

行事案内

部門企画行事案内

－2013 年度－

● **熱工学コンファレンス 2013**
開催日：2013 年
場　所：弘前大学

● **日本機械学会 2013 年度年次大会**
開催日：2013 年 9 月 8 日(日)～11 日(木)
場　所：岡山大学

－2012 年度－

● **熱工学コンファレンス 2012**
開催日：2012 年
場　所：熊本大学

● 日本機械学会 2012 年度年次大会
開催日：2012 年 9 月 9 日(日)～12 日(水)
場　所：金沢大学

－2011 年度－

● The 8th KSME-JSME Thermal and Fluids Engineering Conference (第 8 回日韓熱流体工学会議)
開催日：2012 年 3 月 18 日(日)～21 日(水)
場　所：Songdo Convensia Cener, Songdo, Incheon, 韓国
講演発表申込期限（アブストラクト付）：2011 年 9 月 15 日
問い合わせ先：JSME 側組織委員長　冨田栄二(岡山大学)、幹事　田部 豊(北海道大学)

● 熱工学コンファレンス 2011
開催日：2011 年 10 月 29 日(土)～30 日(日)
場　所：静岡大学工学部、静岡
委員長：中山 顕(静岡大学)

● 熱工学コンファレンス 2011・プレセミナー「乱流伝熱研究の最先端」
開催日：2011 年 10 月 28 日(金) 13:30～17:00（「熱工学コンファレンス 2011」の前日）
場　所:　静岡大学　浜松キャンパス　佐鳴会館 会議室
申込・問合せ先:　熱工学部門（担当職員：大通千晴）　電話(03)5360-3500

● 日本機械学会 2011 年度年次大会
開催日：2011 年 9 月 11 日(日)～15 日(木)
場　所：東京工業大学
大会委員長：柏木孝夫(東京工業大学)
熱工学部門委員長：長崎孝夫(東京工業大学)

● No. 11-30 講習会 CFD の基礎とノウハウ
開催日：2011 年 5 月 20 日(金)
場　所：日本機械学会　会議室
問い合わせ先：流体工学部門（担当職員：曽根原雅代）電話(03)5360-3502
（流体工学部門・熱工学部門 合同企画）

部門関連行事案内

－2012 年度－

● **第50回燃焼シンポジウム**
開催日：2012 年
場　所：（名古屋）
主　催：日本燃焼学会

● **第49回日本伝熱シンポジウム**
開催日：2012 年
場　所：（富山）
主　催：日本伝熱学会

－2011 年度－

● **第 49 回燃焼シンポジウム**
開催日：2011 年 12 月 5 日(月)～7 日(水)
場　所：慶応義塾大学日吉キャンパス，神奈川県
主　催：日本燃焼学会

● **第 32 回日本熱物性シンポジウム**
開催日：2011 年 11 月 21 日(月)～23 日(水)
場　所：慶応義塾大学日吉キャンパス，神奈川県
主　催：日本熱物性学会

● **可視化情報学会全国講演会(富山 2011)**
開催日：2011 年 9 月 26 日(月)～27 日(火)
場　所：富山国際会議場、富山県
主　催：可視化情報学会

● **日本冷凍空調学会 年次大会**
開催日：2011 年 9 月 14 日(水)～16 日(金)
場　所：東京大学本郷キャンパス，東京都
主　催：日本冷凍空調学会

● **第 30 回混相流シンポジウム**
開催日：2011 年 8 月 6 日(土)～8 日(月)
場　所：京都工芸繊維大学松ヶ崎キャンパス，京都府
主　催：混相流学会

● ASME-JSME-KSME Joind Fluid Engineering Conference 2011
開催日：2011 年 7 月 24 日(日)～29 日(金)
場　所：ACT CITY Congress Center，静岡県
主　催：日本機械学会流体工学部門

● **第 39 回可視化情報シンポジウム**
開催日：2011 年 7 月 18 日(月)～19 日(火)
場　所：工学院大学新宿校舎，東京都
主　催：可視化情報学会

● **第 48 回日本伝熱シンポジウム**
開催日：2011 年 6 月 1 日(水)～3 日(金)
場　所：岡山コンベンションセンター，岡山県
主　催：日本伝熱学会

● **第 45 回空気調和・冷凍連合講演**
開催日：2011 年 4 月 20 日(水)～22 日(金)
場　所：東京海洋大学海洋工学部 85 周年記念会館，東京都
主　催：日本機械学会，空気調和・衛生工学会(幹事学会)，日本冷凍空調学会

国際会議案内

ー2014 年度ー

● The 15th International Heat Transfer Conference (IHTC-15)
開催日：2014年8月10日(日)～16日(土)
開催地：Kyoto International Conference Center, Kyoto, Japan

● The 16th International Symposium on Flow Visualization (ISFV16)
開催日：2014年6月24日(火)～28日(土)
開催地：Okinawa, Japan

ー2012 年度ー

● 15th International Symposium on Flow Visualization (ISFV15)
開催日：2012年6月25日(月)～28日(木)
開催地：Minsk, Belarus

ー2011 年度ー

● 21th National and 10th ISHMT-ASME Heat and Mass Transfer Conference (ISHMT-ASME 2011)
開催日：2011年12月27日(火)～30日(金)
開催地：Chennai, India

● 11th International Conference on Fluid Control, Measurements, and Visualization (FLUCOME 2011)
開催日：2011年12月5日(月)～9日(金)
開催地：Keelung, Taiwan

● International Gas Turbine Congress 2011, Osaka (IGTC'11)
開催日：2011年11月13日(日)～18日(金)
開催地：Osaka, Japan

● 22nd International Symposium on Transport Phenomena (ISTP-22)
開催日：2011年11月8日(火)～11日(金)
開催地：Delft, The Netherlands

● The 6th International Symposium on Advanced Science and Technology in Experimental Mechanics (6th ISEM)
開催日：2011年11月2日(水)～5日(土)
開催地：Sendai, Japan

● Sustainable Thermal Energy Management International Conference (SusTEM 2011)
開催日：2011年10月25日(火)～27日(木)
開催地：Newcastle upon Tyne, UK

● 14th International Topical Meeting on Nuclear Reactor Thermalhydraulics (NURETH-14)
開催日：2011年9月25日(日)～29日(木)
開催地：Ontario, Canada

● The Asian Symposium on Computational Heat Transfer and Fluid Flow
開催日：2011年9月22日(木)～26日(月)
開催地：Kyoto University, Japan

● The 7th International Symposium on Measurement Techniques for Multiphase Flows (ISMTMF2011)
開催日：2011年9月17日(日)～19日(火)
開催地：Tianjin, China

● The 8th Pacific Symposium on Flow Visualization and Image Processing (PSFVIP-8)
開催日：2011年8月21日(日)～25日(木)
開催地：Moscow, Russia

- Seventh International Symposium on Turbulence and Shear Flow Phenomena (TSFP-7)
  開催日：2011年7月28日(木)～31日(日)
  開催地：Ottawa, Canada

- ASME-JSME-KSME Joint Fluids Engineering Conference 2011
  開催日：2011年7月24日(日)～29日(金)
  開催地：ACT CITY Comgress Center, Hamamatsu, Japan

- The 23rd International Colloquim on the Dynamics of Explosions and Reacting Systems (ICDERS 2011)
  開催日：2011年7月24日(日)～29日(金)
  開催地：UC Irvine, CA, USA

- 9th International Symposium on Particle Image Velocimetry
  開催日：2011年7月21日(木)～23日(土)
  開催地：Tsukuba, Japan

- The ASME 2011 Pacific Rim Technical Conference and Exhibition on Packaging and Integration of Electronic and Photonic Systems, MEMS and NEMS (InterPACK2011)
  開催日：2011年7月6日(水)～8日(金)
  開催地：Portland, Oregon, USA

- 10th International Symposium on Experimental and Computational Aerodynamics of Internal Flows (ISAIF10)
  開催日：2011年7月4日(月)～7日(木)
  開催地：Brussels, Belgium

- The 11th Asian Symposium on Visualization
  開催日：2011年6月5日(月)～9日(木)
  開催地：Niigata Convention Center (Toki Messe), Japan

- The First International Symposium on Thermal and Materials Nanoscience and Nanotechnology
  開催日：2011年5月29日(日)～6月3日(金)
  開催地：Antalya, Turkey

- 19th International Conference On Nuclear Engineering (ICONE19)
  開催日：2011年5月16日(月)～19日(木)
  開催地：Makuhari, Chiba, Japan

- The International Conference on Thermal Treatment Technologies & Hazardous Waste Combustors (IT3/HWC-2011)
  開催日：2011年5月10日(火)～13日(金)
  開催地：Jacksonville, FL, USA

第 89 期部門組織

熱工学部門運営委員会

●部門長：
高田 保之　慶應義塾大学

●副部門長：
近久 武美　北海道大学

●幹事：
永井 二郎　福井大学

●部門運営委員：
廣田 光智　室蘭工業大学
小林 秀昭　東北大学
青木 博史　（株）豊田中央研究所
高橋 周平　岐阜大学
近藤 良夫　日本ガイシ（株）
神崎 隆男　大同大学
細川 茂雄　神戸大学
大川 富雄　大阪大学
友田 俊之　関西電力（株）
岩井 裕　京都大学
松本 亮介　関西大学
中原 真也　愛媛大学
出口 祥啓　徳島大学
濱本 芳徳　九州大学
小糸 康志　熊本大学
光武 雄一　佐賀大学
新 隆之　日立製作所
師岡 慎一　早稲田大学
花村 克悟　東京工業大学
上野 一郎　東京理科大学
松野 伸介　（株）IHI
大村 亮　慶應義塾大学
長谷 耕志　東京ガス（株）
村田 章　東京農工大学
稲田 孝明　（独）産業技術総合研究所
津島 将司　東京工業大学
大宮司 啓文　東京大学
中別府 修　明治大学
久野 勝美　（株）東芝
伏信 一慶　東京工業大学

熱工学部門各種委員会委員長＆幹事

● 総務委員会：
委員長：高田 保之　九州大学
幹　事：伏信 一慶　東京工業大学
委　員：菱田 公一　慶應義塾大学
近久 武美　北海道大学
永井 二郎　福井大学
丸田 薫　東北大学
二宮 尚　宇都宮大学
徳本 勉　東京ガス株式会社
稲田 孝明　（独）産業技術総合研究所
安田 俊彦　Hitz 日立造船（株）

● 広報委員会：
委員長：二宮 尚　宇都宮大学
幹　事：川口 達也　東京工業大学
委　員：畠山 友行　富山県立大学
浅岡 龍徳　青山学院大学
巽 和也　京都大学
金田 昌之　大阪府立大学
志村 祐康　東京工業大学
瀬尾 健彦　山口大学

● 年次大会委員会：
委員長：多田 幸生　金沢大学
幹　事：長谷川 雅人　金沢大学

● 熱工学コンファレンス委員会
委員長：富村 寿夫　熊本大学
幹　事：小糸 康志　熊本大学
委　員：川原 顕麿呂　熊本大学
小佐井 博章　東海大学
齊藤 弘順　崇城大学
佐田富 道雄　熊本大学
高田 保之　九州大学
鶴田 隆治　九州工業大学
鳥居 修一　熊本大学
藤原 和人　熊本大学
宗像 瑞恵　熊本大学
吉川 浩行　熊本大学

● 学会賞委員会
委員長：高松 洋　九州大学
幹　事：丸田 薫　東北大学

● 講習会委員会
委員長：鹿園 直毅　東京大学
幹　事：岩井 裕　京都大学
委　員：店橋 護　東京工業大学

● K-J 合同講演会委員会
委員長：冨田 栄二　岡山大学
幹　事：田部 豊　北海道大学
委　員：石塚 勝　富山県立大学
坂下 弘人　北海道大学
堀部 明彦　岡山大学
白樫 了　東京大学
宮崎 康次　九州工業大学
店橋 護　東京工業大学

● 部門賞委員会
委員長：近久 武美　北海道大学
幹　事：永井 二郎　福井大学
委　員：高田 保之　九州大学
菱田 公一　慶應義塾大学

● 年鑑委員会
委員長：吉田 篤正　大阪府立大学
幹　事：松本 亮介　関西大学

● 出版委員会
委員長：花村 克悟　東京工業大学
幹　事：河野 正道　九州大学
委　員：田部豊　北海道大学
奥山正明　山形大学
荒木拓人　横浜国立大学
岩井裕　京都大学
堀部明彦　岡山大学
井上修平　広島大学
中原真也　愛媛大

● A-J 合同会議委員会
委員長：高田 保之　九州大学
幹　事：店橋 護　東京工業大学

● Journal 委員会
委員長：佐藤 勲　東京工業大学
幹　事：中別府 修　明治大学
委　員：
奥山邦人　横浜国立大学
野田進　豊橋技科大学
廣田真史　三重大学
中部主敬　京都大学
冨田栄二　岡山大学
宮良明男　佐賀大学

その他

編集後記

近年では環境問題の観点から，燃焼に替わるエネルギー供給システムの開発が精力的に行われています．しかしながら，大量のエネルギーを安定的に供給可能な燃焼なくしては年々増加するエネルギー需要を満たすことは困難であると考えられます．そこで，64 号の TED Plaza では，編集担当委員の共通分野である燃焼研究をテーマとし，燃焼の高効率・低環境負荷化に有効な技術に関する近年の研究の進展を取り上げました．CO_2 排出量の低減技術としての水素添加燃焼技術について，芝浦工業大学の斎藤先生にその着火特性の面から，近畿大学の渕端先生には排出ガス特性の面からご紹介頂きました．また，NOx 排出量低減に有効な手段の一つである高温空気燃焼に関して名田先生にご紹介頂きました．

最後に，お忙しい中にも関わらず今回の TED Plaza への執筆を快く引き受けていただいた皆様に厚く御礼申し上げます．

（編集担当委員：瀬尾・志村）

第 89 期広報委員会
委員長：　二宮 尚　（宇都宮大学）
幹　事：　川口 達也（東京工業大学）
委　員：　畠山 友行（富山県立大学）
浅岡 龍徳（青山学院大学）
巽 和也　（京都大学）
金田 昌之（大阪府立大学）
志村 祐康（東京工業大学）
瀬尾 健彦（山口大学）

©著作権：2011 一般社団法人 日本機械学会 熱工学部門