

高温空気中での廃棄物低質燃料の燃焼に及ぼす圧力の影響について

棚網, 祐介 / TANAAMI, Yusuke

(発行年 / Year)

2005-03-24

(学位授与年月日 / Date of Granted)

2005-03-24

(学位名 / Degree Name)

修士(工学)

(学位授与機関 / Degree Grantor)

法政大学 (Hosei University)

2004 年度

修士論文

高温空気中での廃棄物低質燃料の燃焼に
及ぼす圧力の影響について

FUNDAMENTAL COMBUSTION ANALYSIS ON SOLID WASTE FUELS
IN HIGH TEMPERATURE AND PRESSURE ATMOSPHERES

指導教授 岡島 敏

法政大学大学院工学研究科機械工学専攻修士課程

棚網 祐介

FUNDAMENTAL COMBUSTION ANALYSIS ON SOLID WASTE FUELS IN HIGH TEMPERATURE AND PRESSURE ATMOSPHERES

By

Yusuke TANAAMI, Graduate Student

Abstract

From the viewpoint of environmental problem and energy saving, it is very significant to achieve the effective use as an energy source of the waste fuels produced from domestic and industrial sector. However, the combustion of waste fuels composed of multi-component substances is very complicated phenomena including unusual features such as cracking, micro-explosion and evolution of vapor pockets and so on. Thus, present experiments have been performed to throw the light on some fundamental characteristics of solid waste fuels in high ambient temperature and pressure, and the most fundamental characteristics of solid waste fuels such as ignition delay, flaming duration and char combustion and the influence of ambient pressure on their waste combustion are examined in details.

The main results are as follows.

- 1) The daughter smaller fuel particles emitted from parent fuel sphere play a significant role of flame development and stabilization even for high ambient pressure.
- 2) The ignition delay decreases with increasing ambient pressure by lower thermal diffusivity.
- 3) The flaming duration and char combustion period also decrease with the increment of ambient pressure due to the promotion of natural convection.
- 4) The temperature of fuel surface during char combustion increases with the increment of ambient pressure.

目次

第一章 緒論	1
1-1 背景	1
1-2 廃棄物焼却廃熱の利用法	2
1-3 廃棄物発電	2
1-4 研究目的	3
第二章 固体廃棄物燃料	4
2-1 固体廃棄物燃料	4
2-2 試料の作成	4
第三章 実験装置および方法	5
3-1 実験条件	5
3-2 実験装置	5
3-3 実験方法	6
第四章 実験結果および考察	7
4-1 燃焼形態	7
4-2 燃焼写真	7
4-3 火炎温度	8
4-4 着火遅れ	9
4-5 有炎燃焼	10
4-6 チャー燃焼	11
4-7 チャー燃焼時の燃料球表面温度	12
第五章 結論	13

参考文献
発表論文
謝辞

第一章 緒論

1-1 背景

日本の家庭及び事業所等から排出されている一般廃棄物の量は、ここ 10 年程、年間約 5000 万トンという値で推移しており、これは 1 人 1 日当たり約 1.1kg を排出している計算となる。その一般廃棄物は約 4%の直接埋め立て、約 17%の破碎・選別などの中間処理及び直接資源化を除いて約 8 割が直接焼却処分されている。国土の小さい日本において、最終処分場の用地確保は難しいものであり最終処分場の残余容量は徐々に減少している。地域によって数年のばらつきがあるものの、残余年数は全国平均で約 13 年となっているため、廃棄物の排出量を減らすことは非常に重要であり、またリサイクル率は上昇している。しかし、廃棄物などの容積の減少に大きく貢献する焼却処分無しには、現在の産業活動及び、生活を維持することはできないのが現状である。

他国の状況を見てみると、アメリカ合衆国は安価な直接埋め立てに依存しているが、施設のコスト問題及び最終処分場の残余年数の問題もあり、回収リサイクル率及び焼却率が増加している。EU においても現在は固形廃棄物の約 7 割が最も安価な埋め立てによって対処されている。しかし、アメリカ合衆国と同様に、埋め立て処分場の残余問題および環境面での問題から、焼却処分に頼らざるを得ない時代が近づいている。しかし、焼却処分時に発生する有害物質による大気汚染を懸念する住民の抵抗は強く、その切り替えは極めて困難な状況にある。

このように世界的にみても廃棄物の焼却処分の必要性は増しているが、そこから発生する有害物質による環境汚染という問題があることが分かる。

1-2 廃棄物焼却廃熱の利用法

廃棄物の焼却の際に発生する熱の有効利用はまず、排ガス冷却水等の温水利用から始まり、現在も温水プール等に利用されている。他の熱の利用法として、発電への利用が普及しだしたのは1980年頃からで、日本においてのごみの焼却はその衛生処理が第一目標であったため、近年まであまり注目されてこなかった。現在、焼却場に廃棄物の焼却熱利用の発電設備を備えているのは、全体の約17%(平成14年度)程度であり、その規模は約130万kWである。ここで、欧米における廃棄物発電の取り組み状況をみると、欧米では従来ごみの有するエネルギーを評価しており、ごみを燃焼させ得られた熱を回収し、その発生電力は、電力会社が買い取る事が義務づけられるところが多い。そのため全焼却処理からの発電設備設置の割合(処理量ベース)である「ごみ発電実施率」はドイツでは100%、アメリカでは90%以上と高く、その値は日本では47%と非常に低い値にある。¹⁾

1-3 廃棄物発電

2005年2月16日に京都議定書が発効されたが、その中で2010年頃の温室効果ガス発生量を基準年である1990年との比で6%低減する目標があり、特にエネルギー起源による二酸化炭素の排出量を、同基準値に対しプラスマイナスゼロに維持すると示されている。そこで、現在廃棄物の焼却の際に捨てられている熱量を回収し、発電に利用すればエネルギー起源の二酸化炭素の排出量を減らすことができる。また、廃棄物発電は1994年に閣議決定された新エネルギー大綱において、その新エネルギーの柱として注目されており、2010年度に417万kWという発電量の目標値が示されている。

廃棄物発電のメリットとしては、まず経済性が挙げられる。それは、焼却炉の規模にも因るものの発電することによって、所内電力をまかなうことができ、さらに余剰電力は電力会社に売電することができるというものである。また、ごみ焼却場は都市などの人口の集中した地域に建設されることが多いため、そこで発電を行えば送電線でのロスも小さく、需要地に密接した電源となることができる。

1-4 研究目的

廃棄物の処理に焼却を用いる事が必要不可欠な現在、廃棄物の焼却処分時に発生する環境汚染及び、排出する温暖化ガス、エネルギーの有効利用の観点から、その焼却時に発生する熱を有効利用することは重要である。

前述の廃棄物発電を行なうことができる施設を増やすことはもちろん、廃棄物の燃焼効率を上げ、焼却により発生する有害物質の排出を抑制することは非常に意義深いものだと考えられ、そのためには多成分、不均質な燃料である廃棄物の燃焼特性を解明することが重要である。この見地から高温・低酸素雰囲気中での燃焼特性の解明について研究が行なわれてきている。

本研究は、この流れの中で新しい高効率燃焼法を探るべく、高温雰囲気環境下で、雰囲気圧力をパラメータとしてその燃焼挙動の変化を考察し、模擬ごみの燃焼特性（着火遅れ、有炎燃焼時間、チャー燃焼時間、チャー燃焼中の燃料球表面温度）を把握するために実験を行なったものである。

第二章 固体廃棄物燃料

2-1 固体廃棄物燃料

本研究では固体廃棄物燃料のモデルとして、都市ごみや RDF(Refuse Derived Fuel)と化学成分が極めて類似している錦鯉のえさを用いた。その化学成分を Table 1 に示す。^{4,5)}その選定理由としては、錦鯉のえさは廃棄物焼却における各研究の実験スケールに対応することができ、さらに都市ごみの平均的なごみ質をシミュレーションする事が可能な燃料であることが挙げられる。

2-2 試料の作成

廃棄物燃料のモデルとして用いられる錦鯉のえさは、まずすり鉢で微細にすり潰され、その粉末に少量の水を混ぜて練り、治具を用いて直径 3mm の球状に成型する。試料を支持するためには直径 0.4mm のシリカ線を用いた。その理由はシリカ線の熱伝導率の低さおよび、高温での安定性の観点からである。球状に成型された錦鯉のえさはその先端に取り付けられ、十分に乾燥させられ試料とする。

第三章 実験装置および方法

3-1 実験条件

本研究では高温、高雰囲気圧力下での廃棄物低質燃料の燃焼特性を解明するために、酸素濃度は21%、雰囲気温度を873kから1273k、雰囲気圧力を0.10MPaから0.70MPaの条件下において実験を行なった。Table.2に本研究で用いた実験条件を示す。

3-2 実験装置

本研究で用いた実験装置の概略図を Fig.1 に示す。実験装置の寸法は850×420×820mmであり、全重量は約250kgである。実験装置は密閉容器、電気炉、エアシリンダー、エアタンク、電気炉の温度コントローラー、電磁弁、高速度デジタルビデオカメラなどにより構成されている。ここで、燃料球はエアシリンダーの先端に取り付けられ、密閉容器の下部に開けられた穴から挿入される。ボルトでエアシリンダーを固定することによって、密閉容器は気密性を保つことが可能となり、高温・高圧雰囲気を実現し、それらが固体廃棄物燃料の燃焼に及ぼす影響を調べることができる。

また、本実験で用いた電気炉を Fig.2 に示す。電気炉の大きさは200×200×200mmの立方体、電気炉内の大きさは110×110×110mmで、発熱体にはカンタル A1 線が使用されている。電気炉の下側面には燃料球を挿入するためのφ18mmの穴があげられており、また側面には燃焼用観察窓としてφ90mmの石英ガラスがはめ込まれている。電気炉内温度は炉壁側面から挿入された白金-白金ロジウム(Pt-Pt·Rh)のR型熱電対により測定され、熱電対により測定された温度は温度コントローラーへフィードバックされ、発熱体への供給電力を調節することによって電気炉内の温度が設定温度に保たれる。電気炉内の温度分布は炉壁部分を除いてほぼ一様である。

3-3 実験方法

Fig.3 に本実験の制御系を示し、以下に実験手順を示す。

- 1) 温度コントローラーを用いて、電気炉内温度を所定の温度に設定し、電気炉内温度が目標温度で安定するのを待つ。
- 2) 燃料球をエアシリンダーの先端に取り付ける。
- 3) エアタンクに 0.5MPa の圧縮空気を充填する。
- 4) エアシリンダーを密閉容器にボルトで取り付け、密閉容器内の圧力を減圧なら真空ポンプ、加圧なら圧縮空気をを用いて所定の圧力に調整する。
- 5) 電磁弁に通電し、エアタンクからエアシリンダーに圧縮空気を供給する。
- 6) エアシリンダーの作用によって、燃料球は電気炉内中心に移動する。
- 7) その様子を密閉容器に取り付けられた観察窓から、高速度デジタルビデオカメラを用いて秒間 100 コマで観察、記録する。
- 8) 燃焼が完結したら電磁弁への通電をやめ、燃料球を電気炉から取り出す。
- 9) 高速度デジタルビデオカメラの映像を二色温度計ソフトウェア「HS-Thermera」を用いてその火炎温度を解析する。

第四章 実験結果および考察

4-1 燃焼形態

まず、高温に保たれた電気炉内に挿入された燃料球の挙動について述べる。燃料球はまず、主に電気炉からの放射伝熱を受けて加熱され、燃料球に含まれている揮発成分を放出しはじめる。その揮発成分は電気炉内の空気に徐々に拡散してゆき、揮発した可燃成分と空気による混合気が形成される。着火可能な混合気が形成されると着火に至り、この燃料球が炉内に挿入されてから着火に至るまでの時間を着火遅れと定義する。その後、その拡散火炎が継続的に存在する期間を有炎燃焼時間と定義する。有炎燃焼の終了後、燃料球に残された固定炭素分の燃焼であるチャー燃焼に移行し、その後灰分を残し、固体廃棄物燃料の燃焼は完結する。高温雰囲気中における固体廃棄物燃料の燃焼は、この3つの形態すなわち気相着火、有炎燃焼、チャー燃焼に分類することができ、その様子を Fig.4 に示す。

4-2 燃焼写真

Fig.5 に雰囲気温度 1273K、雰囲気圧力 0.1MPa(a)、0.4MPa(b)、0.7MPa(c) における燃料球の燃焼の様子を示す。まず、雰囲気圧力 0.1MPa のものをみると有炎燃焼中において、火炎表面に特に輝度の高い部分が現われるのが確認できる。これは、過去に行なわれた微小重力環境下における固体廃棄物燃料の燃焼に関する研究から、飛散粒子の発生によるものであると考えられる。飛散粒子は燃料球内部に含まれる空気などが火炎からの熱により過熱され膨張し、燃料球表面から燃料球から揮発したガスとともに突出される微細な粒子である。^{6, 7, 9)}

次に、0.4MPa、0.7MPa における火炎の写真を見てみると雰囲気圧力の増加に伴って、輝度の高い部分が増していることが確認できる。これはつまり飛散粒子の発生および、揮発成分の不規則な噴出が雰囲気圧力の増大によって増加するということが言える。また、その噴出の不規則さから火炎形状は雰囲気圧力 0.1MPa のものに比べ大きく異なることがわかる。

4-3 火炎温度

高速度デジタルビデオカメラで記録された画像を、二色温度計ソフトウェアを用いて解析され得られた、雰囲気温度 1273k、雰囲気圧力 0.1MPa(a)、0.4MPa(b)、0.7MPa(c)における火炎の温度分布を Fig.6 に示す。まず、雰囲気圧力 0.1MPa のものをみると、着火直後に温度の高い火炎が形成され、その後火炎温度は低下し、ほぼ同様の値を取りながら推移していくことが分かる。しかし、飛散粒子の発生により輝度の高くなった部分 (Fig.5(a)) をみると、その部分の温度は周囲に比べ著しく高くなっているのが確認できる。これは安定した火炎面に、前述の飛散粒子および可燃性ガスが噴出し、火炎面により多くの燃料が局所的に供給され、その燃焼によるものと考えられる。

また、雰囲気圧力の増加に伴って飛散粒子の発生は増えるため、その燃焼による火炎温度の高い部分が増えていることが確認できる (Fig.6(b),(c))。

4-4 着火遅れ

Fig.7 に、雰囲気気圧力に対する着火遅れを雰囲気温度をパラメータとして示す。この図からどの雰囲気温度においても圧力の増加は、着火遅れを減少させることがわかる。雰囲気気圧力の増加は、熱拡散係数（熱伝導率を密度と比熱で除したもの）を減少させるので、燃料球周囲の温度の拡散速度が遅くなり、それによってその周囲では比較的速く高温になるために、このような現象が生ずるものと考えられる。

また、どの雰囲気気圧力においても雰囲気温度の高いものの方が着火遅れが短いこともわかる。これはこの程度の大きさの燃料球ではビオ数 ($Bi=hd/\lambda$) は 0.0025 位と非常に小さく、したがって着火に必要な熱量は、主に電気炉内壁からの放射伝熱により大きく支配的されるため、雰囲気温度の上昇は着火遅れに対し大きく影響するものと考えられる。ここで h は熱伝達係数、 d は燃料球直径及び λ は燃料球の熱伝導率である。

次に、雰囲気気圧力が着火遅れに与える影響を圧力指数を用いて考察する。圧力指数 n は

$$\tau_a/\tau_i=(P_a/P_i)^n$$

と、定義される。⁸⁾ここで、 τ_a は雰囲気気圧力 P_a における着火遅れ、 τ_i は基準圧力 $P_i(0.1\text{MPa})$ における着火遅れである。圧力指数により評価することによって、雰囲気気圧力の増加に伴う着火遅れの減少割合を知ることができる。

Fig.8 に雰囲気気圧力に対する着火遅れの圧力指数を、雰囲気温度をパラメータとして示す。着火遅れの圧力指数はどの雰囲気温度においても負の値を取っており、このことから雰囲気気圧力が着火遅れを減少させる働きを持つということが分かる。このことは、上述のように熱拡散係数の変化を考えれば容易に理解できる。

4-5 有炎燃焼

Fig.9 は雰囲気圧力に対する有炎燃焼時間を雰囲気温度をパラメータとして示したものである。この図から、雰囲気圧力の増加はどの雰囲気温度においても有炎燃焼を減少させる作用を持つことが確認できる。これは、雰囲気圧力の増加は、自然対流を促進させ、火炎への酸素の供給を増加させるためと考えられる。ここで、雰囲気温度 873k において、他の 1073K、1273k のものと比べ有炎燃焼が短いことが確認できるが、これは固体廃棄物燃料の燃焼においては、雰囲気温度 823k 程度が有炎燃焼が維持できるかどうかの限界温度であるため^{2,3)}、この近傍の温度では一部不完全燃焼が生じやすいことや、発生した可燃性ガスが着火せずに発散することなどが考えられ、これによって上述のような現象が起こるものと推定できる。

ここで有炎燃焼時間の圧力依存性について圧力指数を用いて考察する。有炎燃焼時間の圧力指数 n は F_a を雰囲気圧力 P_a における有炎燃焼時間、 F_i を基準圧力 $P_i(0.1\text{MPa})$ における有炎燃焼時間とすれば、

$$F_a/F_i=(P_a/P_i)^n$$

と表すことができる。Fig.10 に雰囲気圧力に対する有炎燃焼の圧力指数を雰囲気温度をパラメータとして示す。この図より有炎燃焼の圧力指数は -0.1 から -0.2 程度で、圧力指数は雰囲気圧力の増加にあまり依存せず、どの雰囲気温度においても大きな変化が見られないことが分かる。このことはこの実験範囲内の圧力では、圧力は燃焼反応にほとんど影響を及ぼさない事が理解できる。

4-6 チャー燃焼

Fig.11 に雰囲気圧力に対するチャー燃焼の継続時間を雰囲気温度をパラメータとして示す。雰囲気圧力の増加はどの雰囲気温度においても、チャー燃焼時間を減少させる。すなわちこれは、雰囲気圧力の増加によって拡散係数は小さくなるにもかかわらず、誘起される自然対流の増加によって燃料球に存在する融点の高い固定炭素（融点：3770 K）に多量の酸素が供給され、固定炭素と酸素の反応が促進されるためと考えられる。

ここで、チャー燃焼の圧力依存性を調べるために、雰囲気圧力に対するチャー燃焼の圧力指数を雰囲気温度をパラメータとして Fig.12 に示す。チャー燃焼の圧力指数 n は S_a を雰囲気圧力 P_a における有炎燃焼時間、 S_i を基準圧力 $P_i(0.1\text{MPa})$ におけるチャー燃焼時間として、

$$S_a/S_i=(P_a/P_i)^n$$

と表すことができる。この図よりチャー燃焼での圧力指数は、各雰囲気温度でみると雰囲気圧力の増加によって、その変化はほとんどみられないことがわかる。

また、一定圧力で雰囲気温度について検討してみると、雰囲気温度が低いほど、どの雰囲気温度においても、圧力指数は小さくなる。すなわち圧力の影響を大きく受ける事になる。しかし、この理由は空気の粘性の増加の影響も考えられるが、今後、さらに検討していかなければならない課題である。

4-7 チャー燃焼時の燃料球表面温度

Fig.13 に、雰囲気温度 1273k における、チャー燃焼が開始されてからの時間に対するチャー燃焼中の燃料球表面温度を、雰囲気圧力をパラメータとして示す。ここで、雰囲気圧力 0.3MPa 以上のものをみると、チャー燃焼が始まってすぐに急激な温度上昇が生じていることが確認できる。これは雰囲気圧力の増加により自然対流によって多くの酸素が燃料球表面に供給され、その結果燃料球内の固定炭素分の反応は促進される。このことによりチャー燃焼時の燃料球の表面温度は著しく上昇して、チャー燃焼、すなわち表面燃焼の形態に変化を生じさせ、酸素が直接燃料球表面に拡散する、いわゆる気孔拡散から、燃料球表面での一酸化炭素の拡散火炎を持つ燃焼形態に移行したためと考えられる。¹⁰⁾

第五章 結論

本研究は廃棄物のエネルギーとしての有効利用の観点から、廃棄物の基本的な燃焼特性を調べることを目的としたものである。特に、ここでは高雰囲気圧力環境下において実験を行ない、雰囲気圧力が固体廃棄物の燃焼に与える影響について詳細に調べたものである。以下に本実験によって得られた結果を示す。

- 1) 高雰囲気圧力下においても、燃料球から突出する飛散粒子が火炎の発達や安定性に影響を与える。
- 2) 雰囲気圧力の増加は熱拡散係数を減少させ、着火遅れは短くなる。
- 3) 圧力の増加による自然対流の増加の影響は、有炎燃焼時間およびチャー燃焼時間を減少させる。
- 4) チャー燃焼中においては雰囲気圧力の増加に伴い固定炭素の燃焼反応が促進され、燃料表面温度は上昇し、一酸化炭素の反応も 0.3MPa 以上でみられる。
- 5) 雰囲気圧力が廃棄物燃料の燃焼に及ぼす影響は小さく、燃焼反応を大きく変える要素とはなりにくい。

参考文献

- 1) エネルギー総合工学研究所、廃棄物発電（その４）、エネルギー総合工学研究所
- 2) Yasuhiro Takayama, Yusuke Tanaami, Akiko Okajima and Satoshi Okajima: Fundamental Characteristics on Waste Fuel Combustion in High Temperature Atmosphere, XVIII National Conference on IC Engine and Combustion, pp495-500 (2003.12)
- 3) 高山靖宏、岡島明子、渡邊雅志、川上忠重、岡島敏：高温・低酸素濃霧雰囲気中での廃棄物低質燃料の燃焼安定領域の決定に関する研究、第40回燃焼シンポジウム講演論文集、pp53-54 (2002.12)
- 4) HiCOT（高温空気燃焼技術基盤研究プロジェクト、N E D O）、2000年第3WG委員会資料（株式会社 神戸製鋼所）
- 5) 加藤 淳也、高温空気中での廃棄物起因の固体低質燃料の燃焼に関する研究、平成13年度法政大学大学院工学研究科機械工学専攻 修士論文（2002.3）
- 6) 風岡 邦英、微小重力観察を用いての固体廃棄物燃料の燃焼挙動に関する研究、平成14年度法政大学大学院工学研究科機械工学専攻修士論文(2003.3)
- 7) 高橋 勇介、微小重力法による高温空気中での廃棄物起因の低質燃料の燃焼に関する研究、平成12年度法政大学大学院工学研究科機械工学専攻 修士論文、(2001.3)
- 8) 棚網祐介、岡島明子、岡島敏：高温空気中での廃棄物低質燃料の燃焼に及ぼす水分・雰囲気圧力の影響について、第42回燃焼シンポジウム講演論文集、pp.439-440 (2004-12)
- 9) Yusuke TANAAMI, Akiko OKAJIMA, Satoshi OKAJIMA: 30th International symposium on combustion, pp-430 (2004.7)
- 10) 水谷幸夫、燃焼工学第2版、森北出版株式会社

発表論文

- 1) 棚網祐介、岡島明子、高山靖宏、岡島敏：高温・低酸素雰囲気中での廃棄物低質燃料燃焼に及ぼす燃料水分含有量の影響について、日本機械学会山梨講演会・講演会講演論文集 No.030-4、pp67-68 (2003.10)
- 2) Yasuhiro Takayama, Yuusuke Tanaami, Akiko Okajima and Satoshi Okajima: Fundamental Characteristics on Waste Fuel Combustion in High Temperature Atmosphere, XVIII National Conference on IC Engine and Combustion, pp495-500 (2003.12)
- 3) Yusuke TANAAMI, Akiko OKAJIMA, Satoshi OKAJIMA: COMBUSTION CHARACTERISTICS ON SOLID WASTE FUELS BURNING IN HIGH TEMPERATURE AND LOW OXYGEN ATMOSPHERE, 30th International symposium on combustion, pp-430 (2004.7)
- 4) 棚網祐介、岡島明子、岡島敏：高温空気中での廃棄物低質燃料の燃焼に及ぼす水分・雰囲気圧力の影響について、第42回燃焼シンポジウム講演論文集、pp.439-440 (2004-12)
- 5) 藤井直人、棚網祐介、岡島明子、岡島敏：高温空気中での廃棄物低質燃料の燃焼に及ぼす雰囲気圧力の影響について、日本機械学会山梨講演会・講演会講演論文集 NO.040-4, pp63-64 (2004.10)
- 6) 岡島明子、棚網祐介、高山靖宏、岡島敏：微小重力環境での固体低質燃料の燃焼観察、Space Utilization Research, Vol.20, pp.206-209 (2004.1)
- 7) Naoto Fujii, Yusuke Tanaami, Akiko Okajima, Satoshi Okajima: Combustion Study on Solid Waste Fuels Burning in High Pressure and Temperature Atmosphere, The 6th KSME-JSME Thermal & Fluids Engineering Conference (2005.3) 発表予定

謝辞

本研究を行うにあたり、終始ご指導・ご鞭撻頂きました岡島敏教授ならびに川上忠重教授に深く感謝し、御礼申し上げます。また、実験を行うにあたり、並々ならぬご尽力を賜りました中央工作室の島貫氏ならびに石井氏に深く感謝し御礼申し上げます。そして、ご助言を頂きました熱工学研究室の諸先輩方、院生の皆様に深く感謝致します。

平成 17 年 2 月
法政大学大学院工学研究科機械工学専攻
棚網 祐介

Table 1 Composition of solid waste fuel

Item	Unit	Town waste	Solid waste fuels A	RDF	Materials components of solid waste fuels							
					Paper	Wood	Cotton	DF	PE	PET	PVC	
Analysis of chemical elements	C	dry wt%	45.5	45.51	47.1	39.9	50.7	53.2	48.4	84.6	62.5	44.89
	H	dry wt%	7.0	6.43	6.0	5.4	6	5.2	6.7	14.1	4.2	5.7
	N	dry wt%	1.0	6.8	0.9	0.1	0.1	0.2	4.8	0.1	0	0.03
	S	dry wt%	0.0	0.42	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.02	0	0.15
	Cl	dry wt%	0.6	0.43	0.7	0.1	0.1	0.1	0.6	0.02	0	46.5
	O	dry wt%	29.8	32.16	34.6	41.6	43	40.9	33.1	1.3	33.3	2.63
	Total		86.1	91.75	100	87.2	100	99.7	93.8	100	100	99.9
Industrial analysis	Water	%	49.5	7.14		1.1	1.8	2.1	0.7	—	—	—
	Ash	dry wt%	13.9	8.36	10.6	12.7	0.3	0.7	6.3	—	—	—
	Combustible	dry wt%	86.1	91.64		87.3	99.7	99.3	93.7	—	—	—
	Volatile	dry wt%	—	76.13		76.8	87.5	89.7	78	—	—	—
	Carbon	dry wt%	—	15.51		10.6	12.1	9.6	15.7	—	—	—
Low calorific value	KJ/kg-wet		8740	16620		14000	17500	18000	18900	—	—	—
	KJ/kg-dry		19850	18100		14190	17870	18440	19050	—	—	—

Table 2 Experimental condition

Ambient temperature	873 ~ 1273 [k]
Ambient pressure	0.1 ~ 0.7 [MPa]
Oxygen concentration	21% (volume)
Test fuel	Food of Nishiki-koi
Fuel figure, size	Shpere, 3mm in diameter
Observation	High speed digital video camera

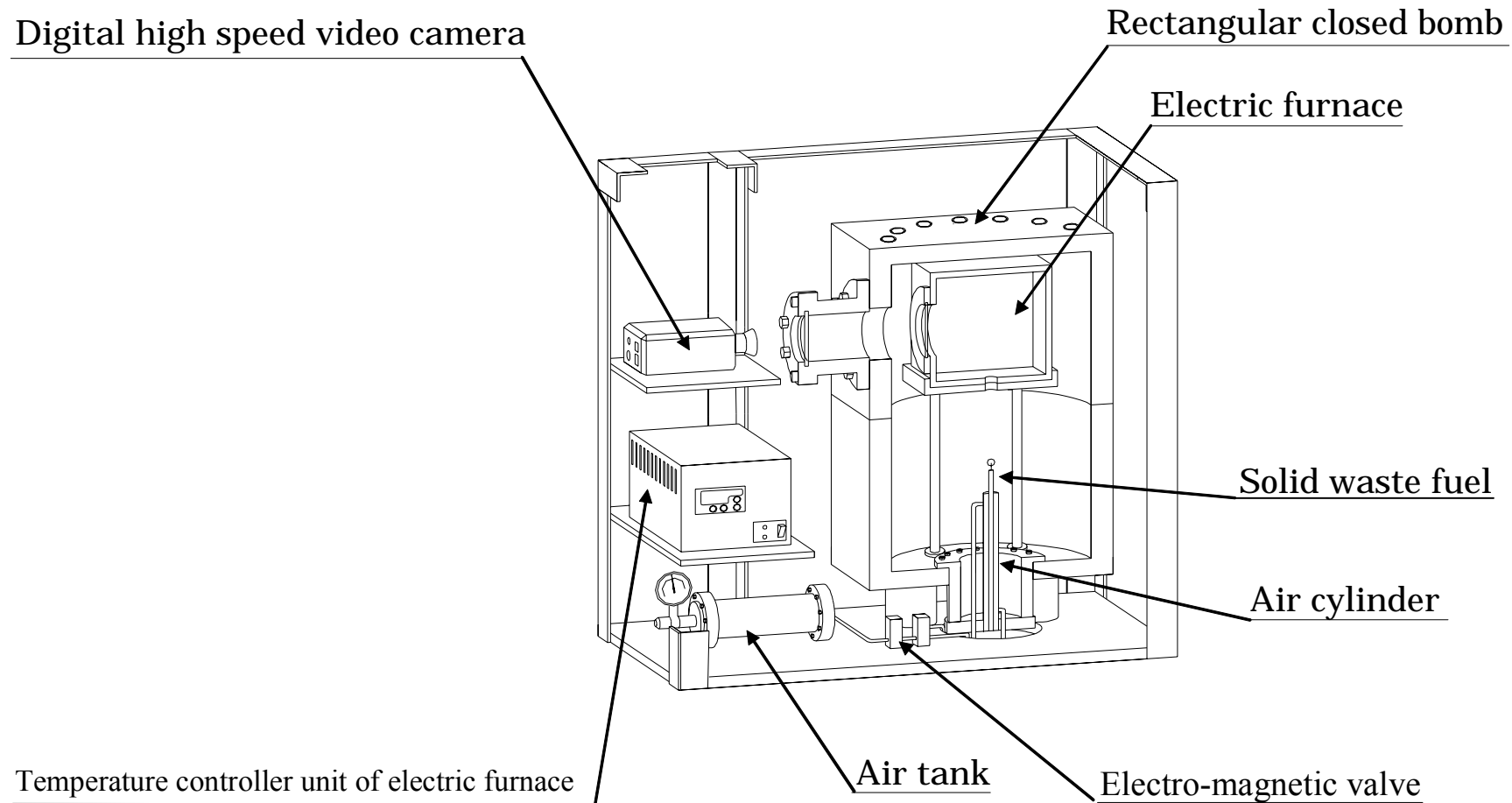


Fig.1 Experimental assembly

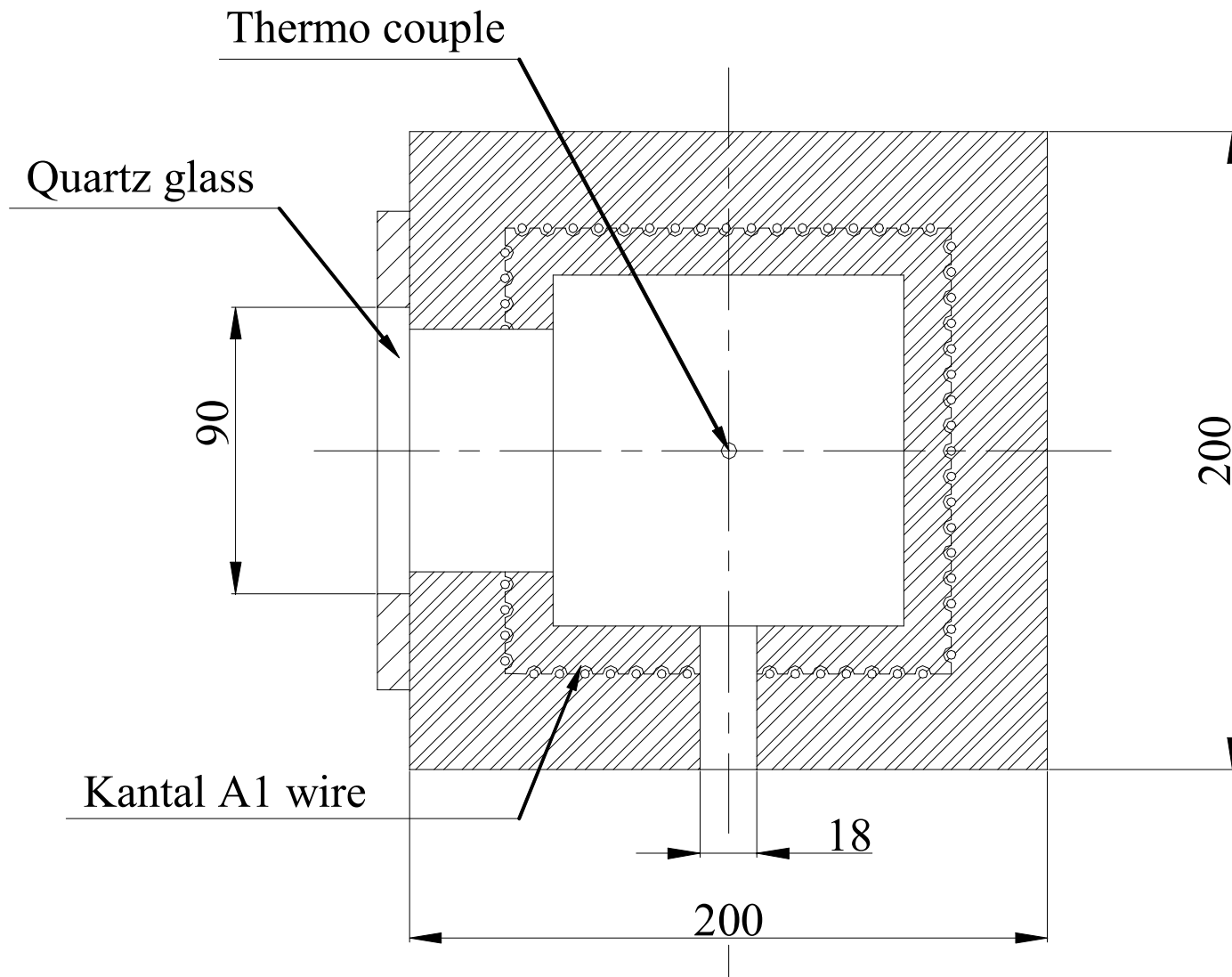


Fig.2 Electric furnace

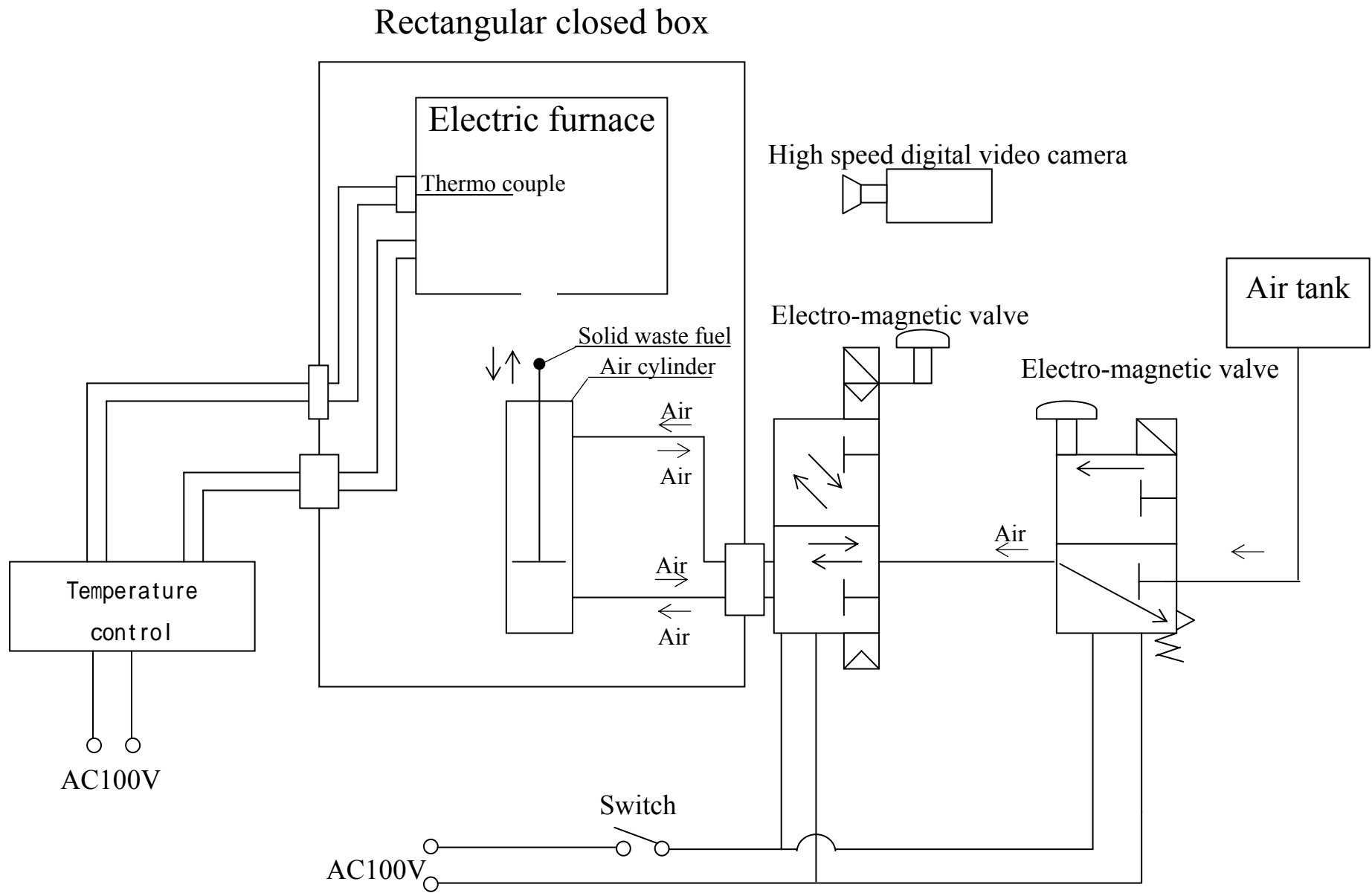


Fig.3 Block diagram of control system



Ignition

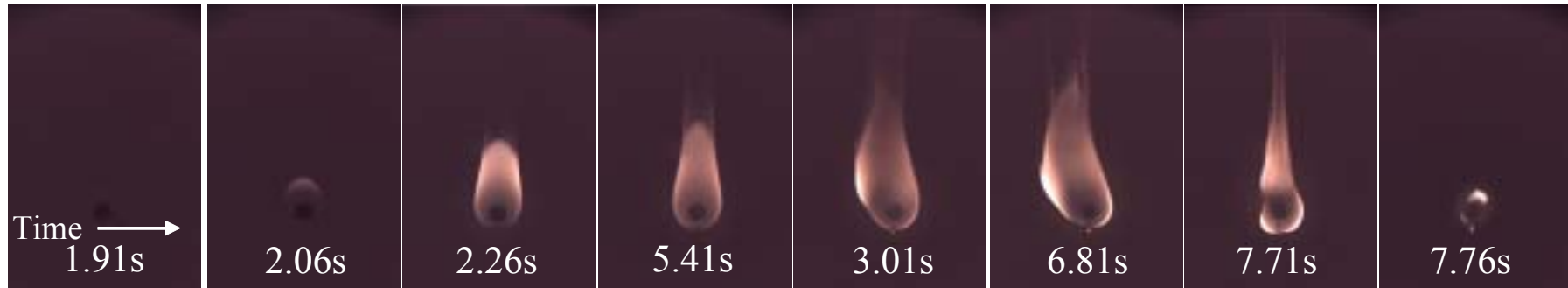


Combustion with flame



Char combustion

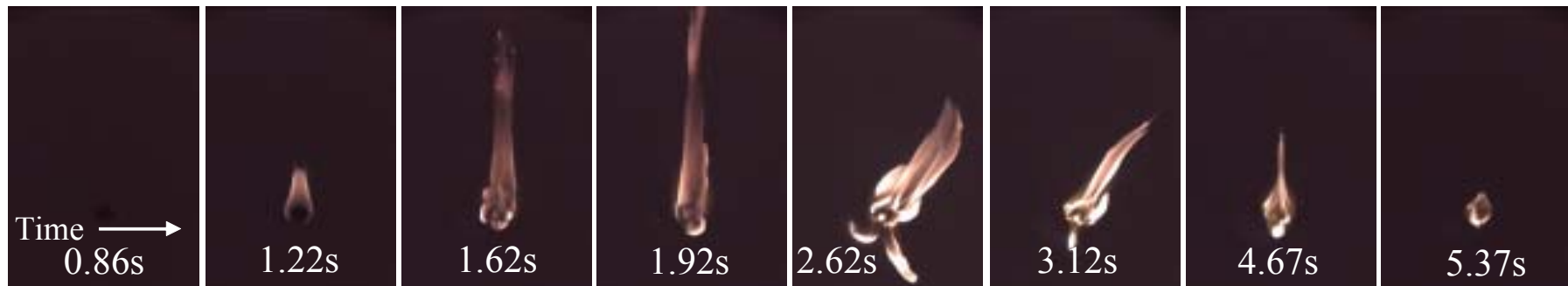
Fig.4 Combustion phases of solid waste fuel



(a) Ambient temperature 1273k, Ambient pressure 0.1MPa

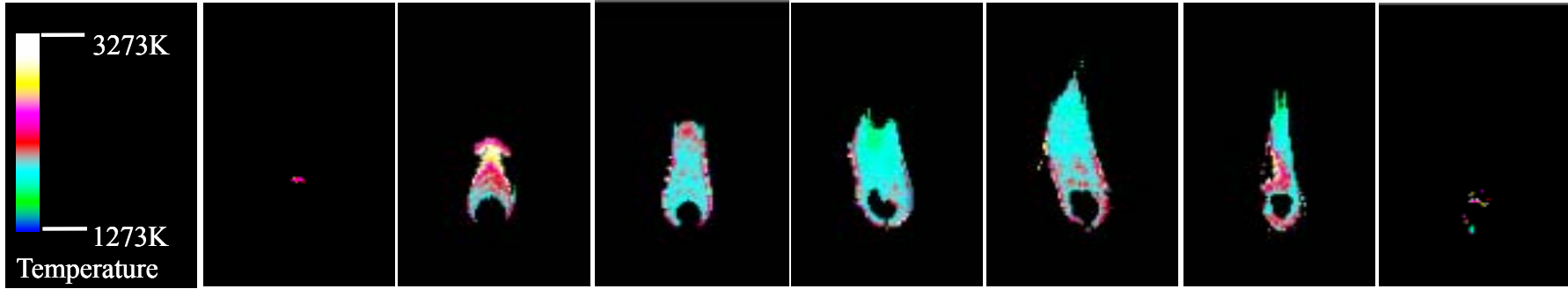


(b) Ambient temperature 1273k, Ambient pressure 0.4MPa

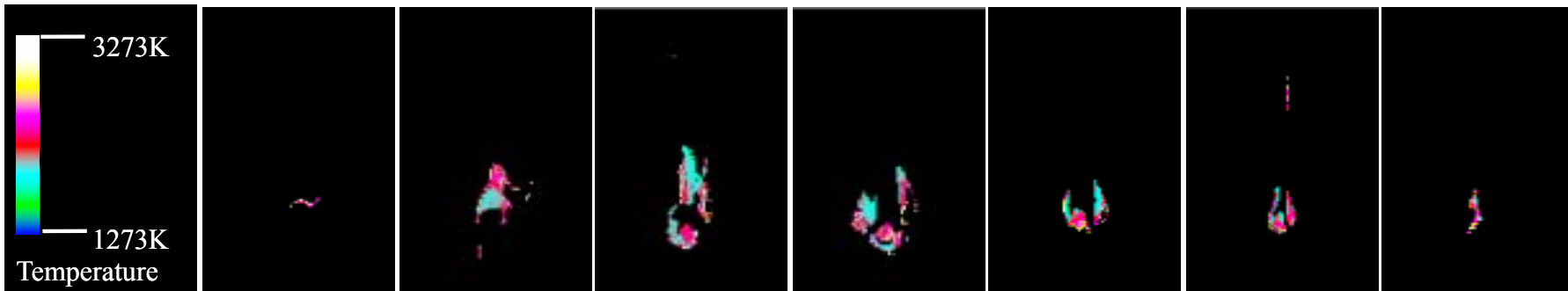


(c) Ambient temperature 1273k, Ambient pressure 0.7MPa

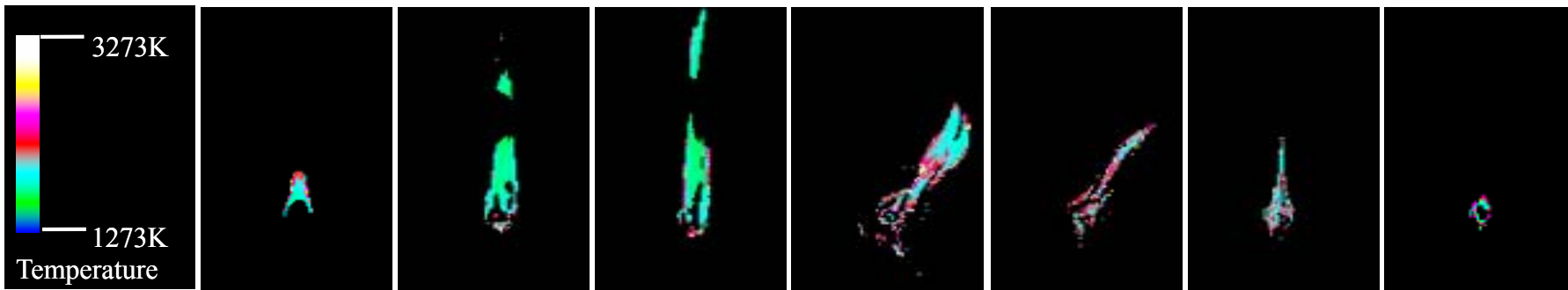
Fig. 5 Direct photographs of solid waste fuel burning in high temperature atmosphere



(a) Ambient temperature 1273k, Ambient pressure 0.1MPa



(b) Ambient temperature 1273k, Ambient pressure 0.4MPa



(c) Ambient temperature 1273k, Ambient pressure 0.7MPa

Fig. 6 Temperature distribution of flame surface

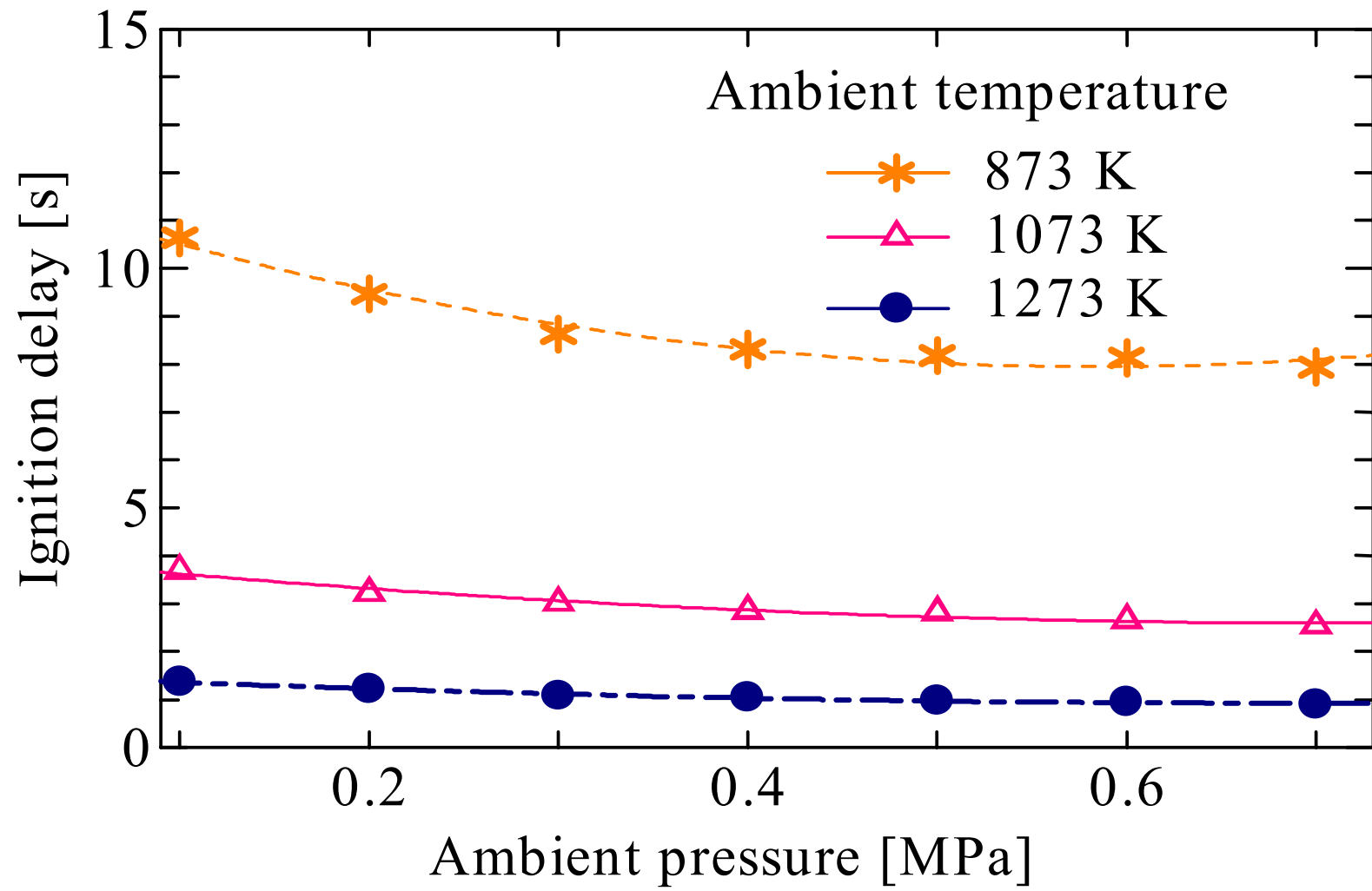


Fig.7 Ignition delay

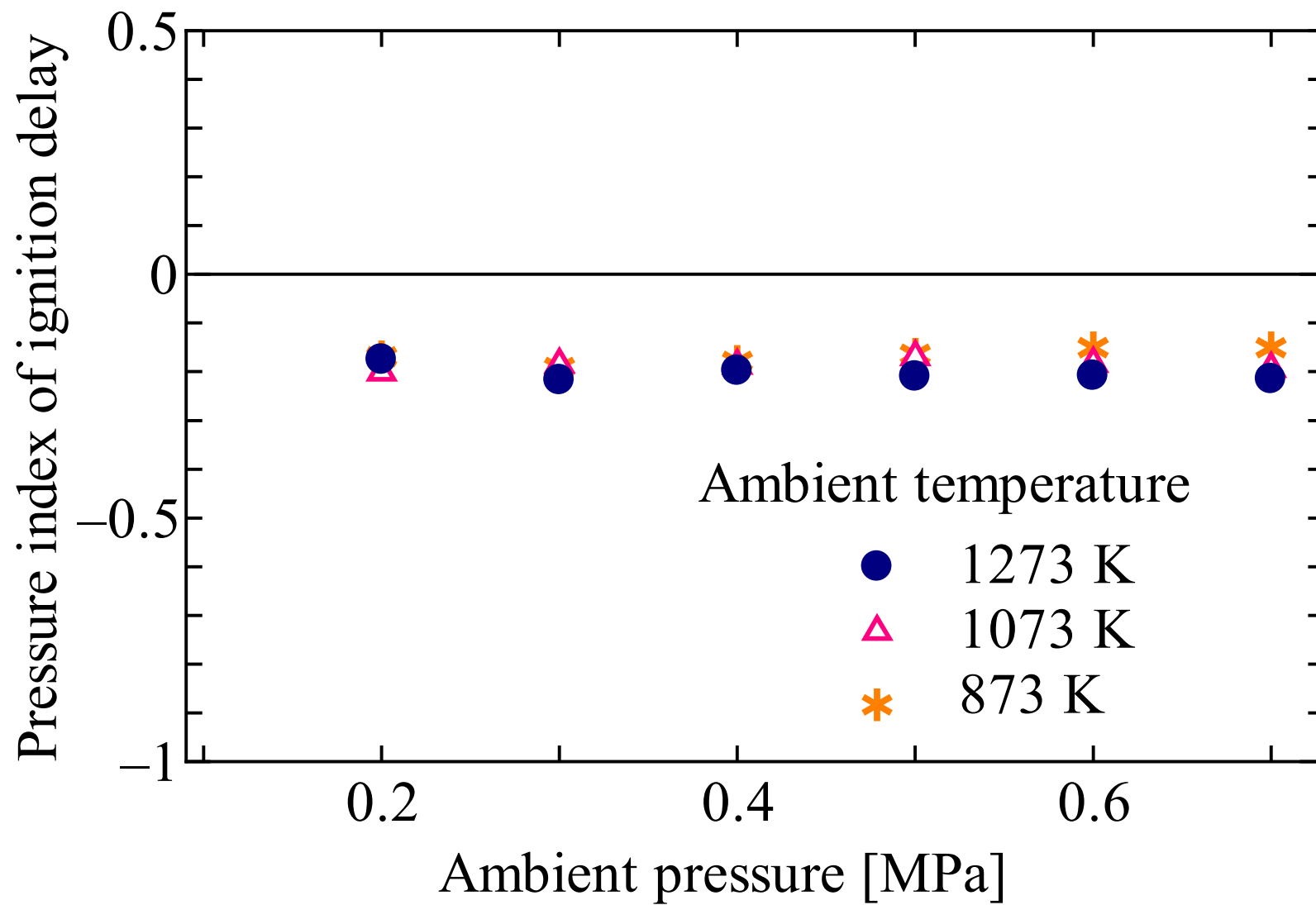


Fig.8 Pressure index of ignition delay

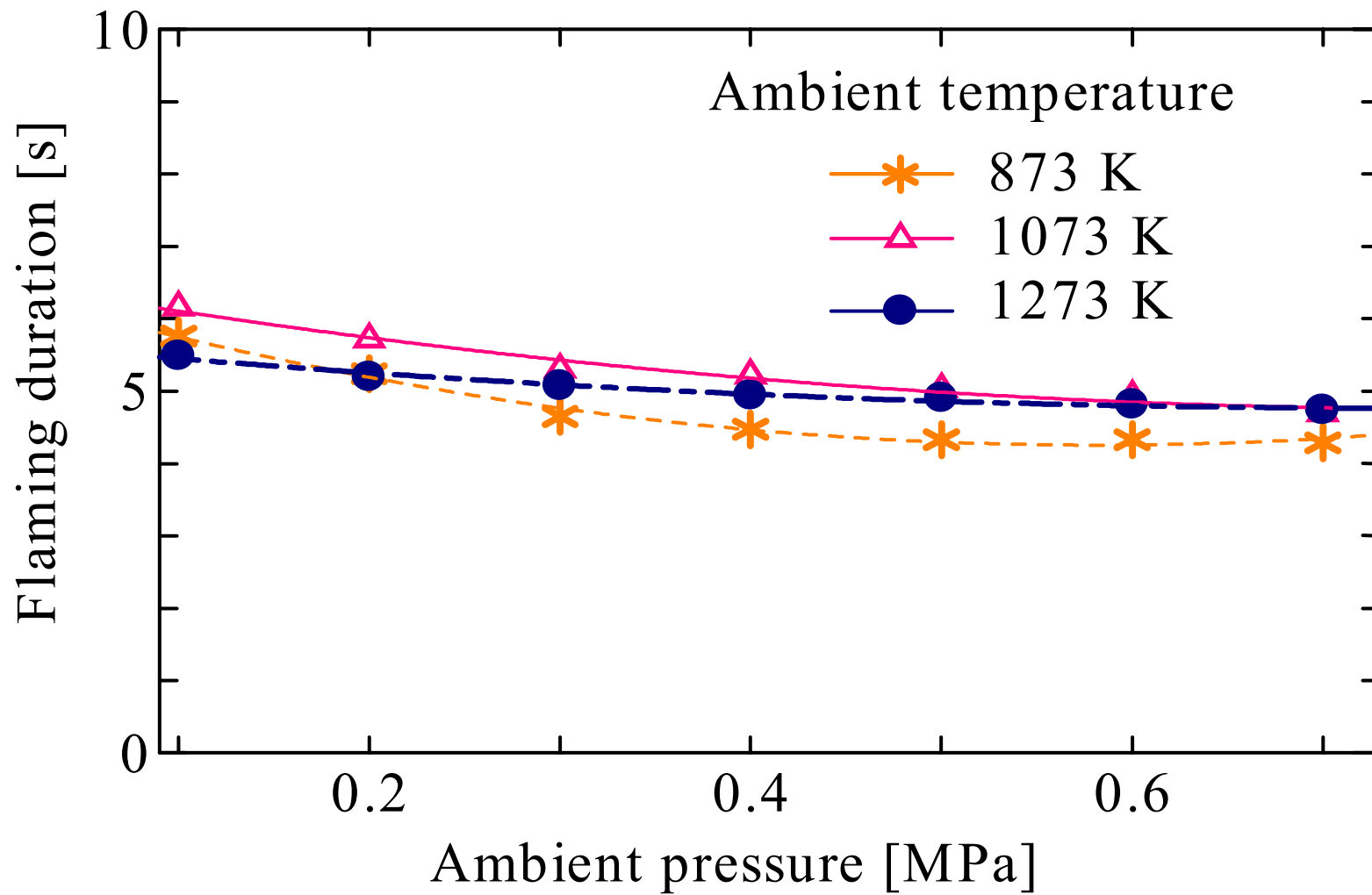


Fig.9 Flaming duration

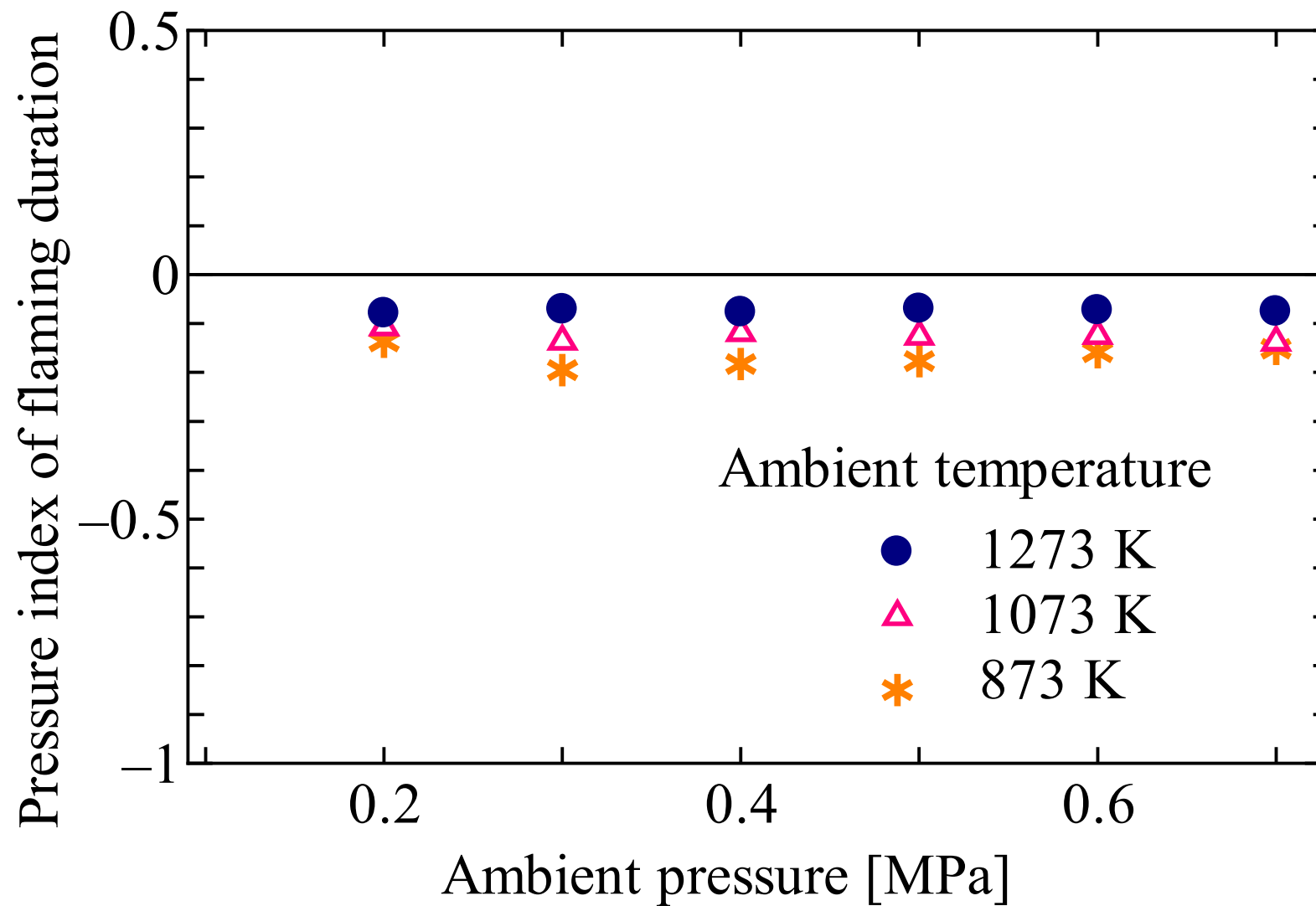


Fig.10 Pressure index of flaming duration

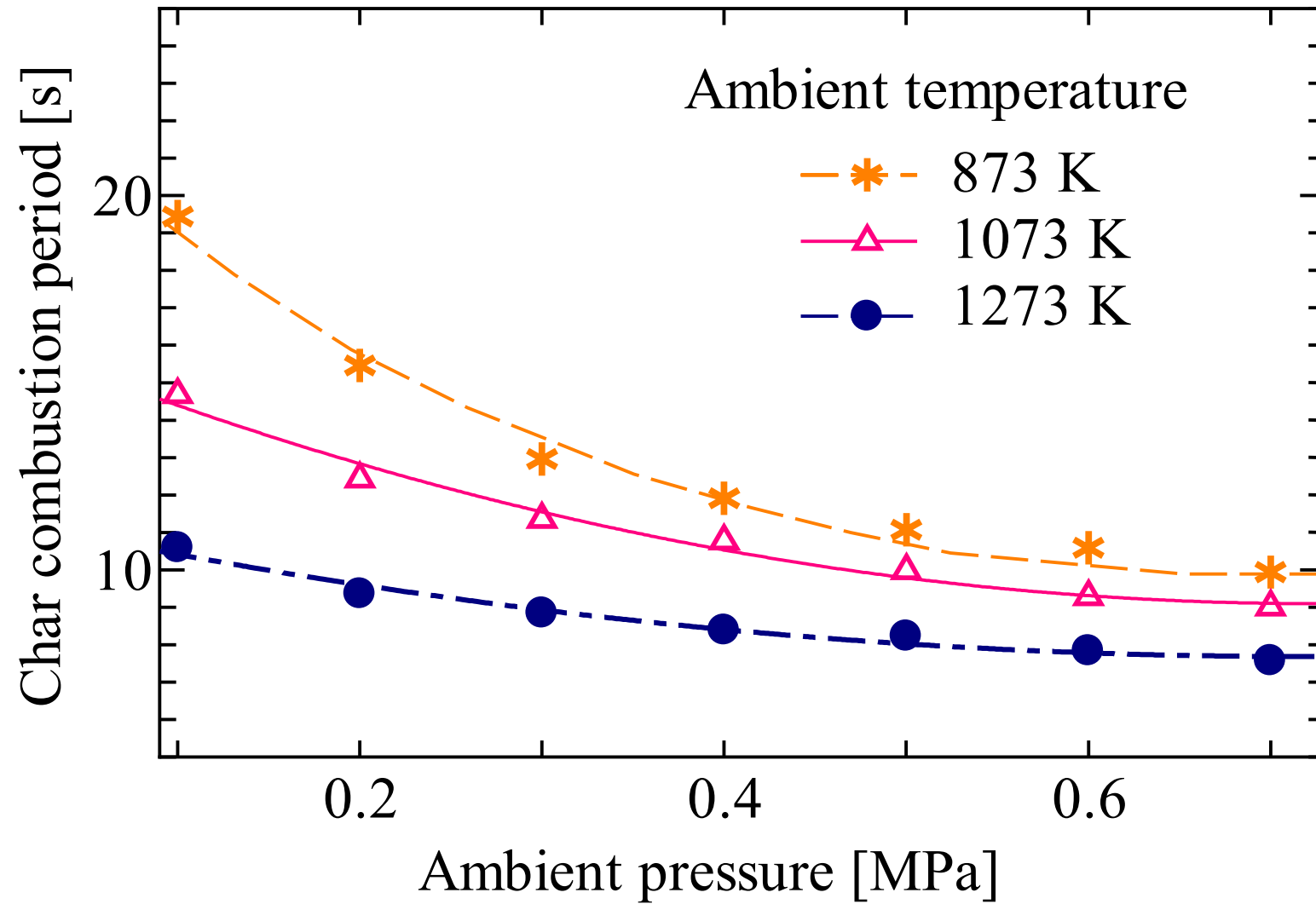


Fig.11 Char combustion period

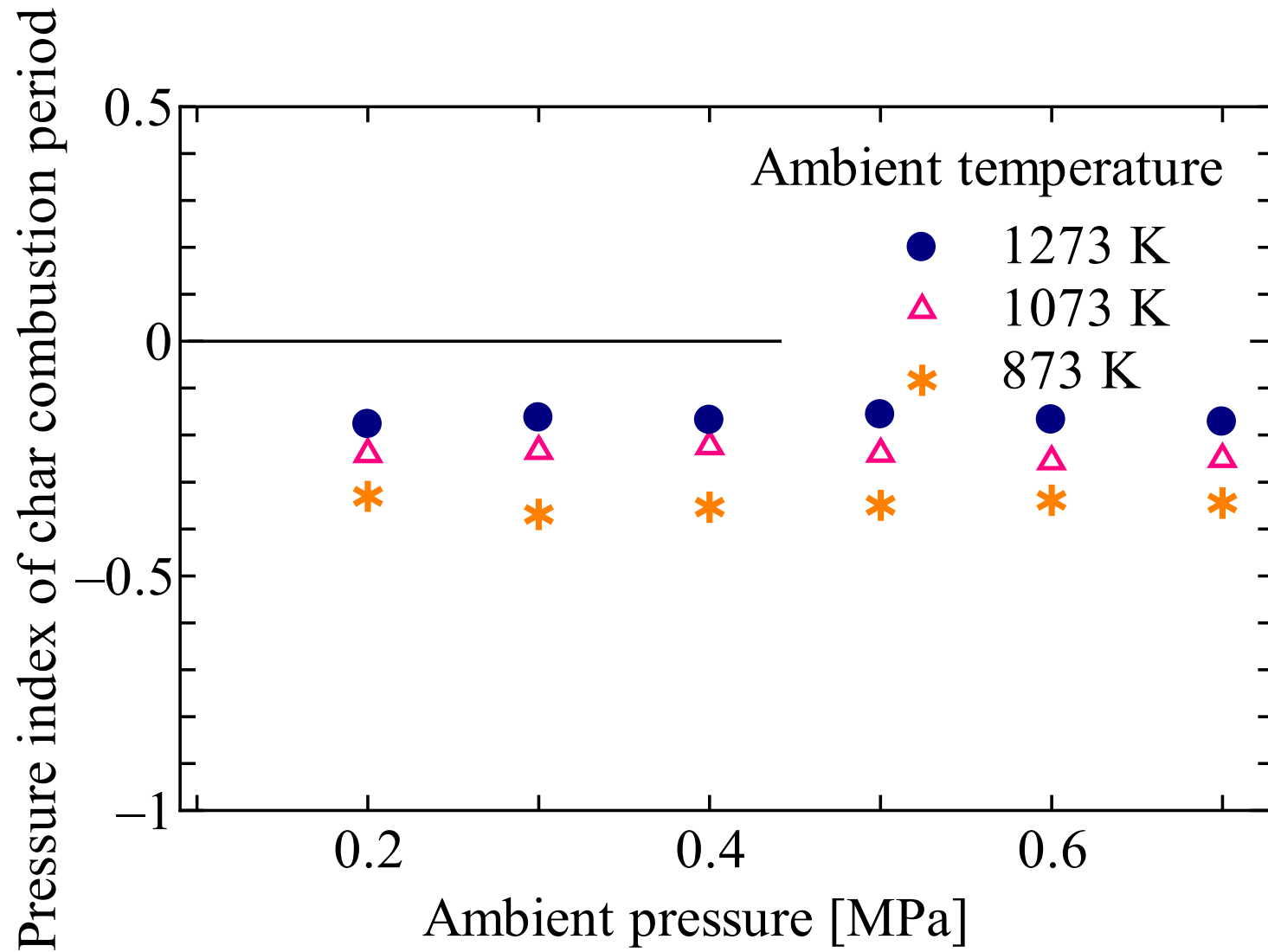


Fig.12 Pressure index of char combustion period

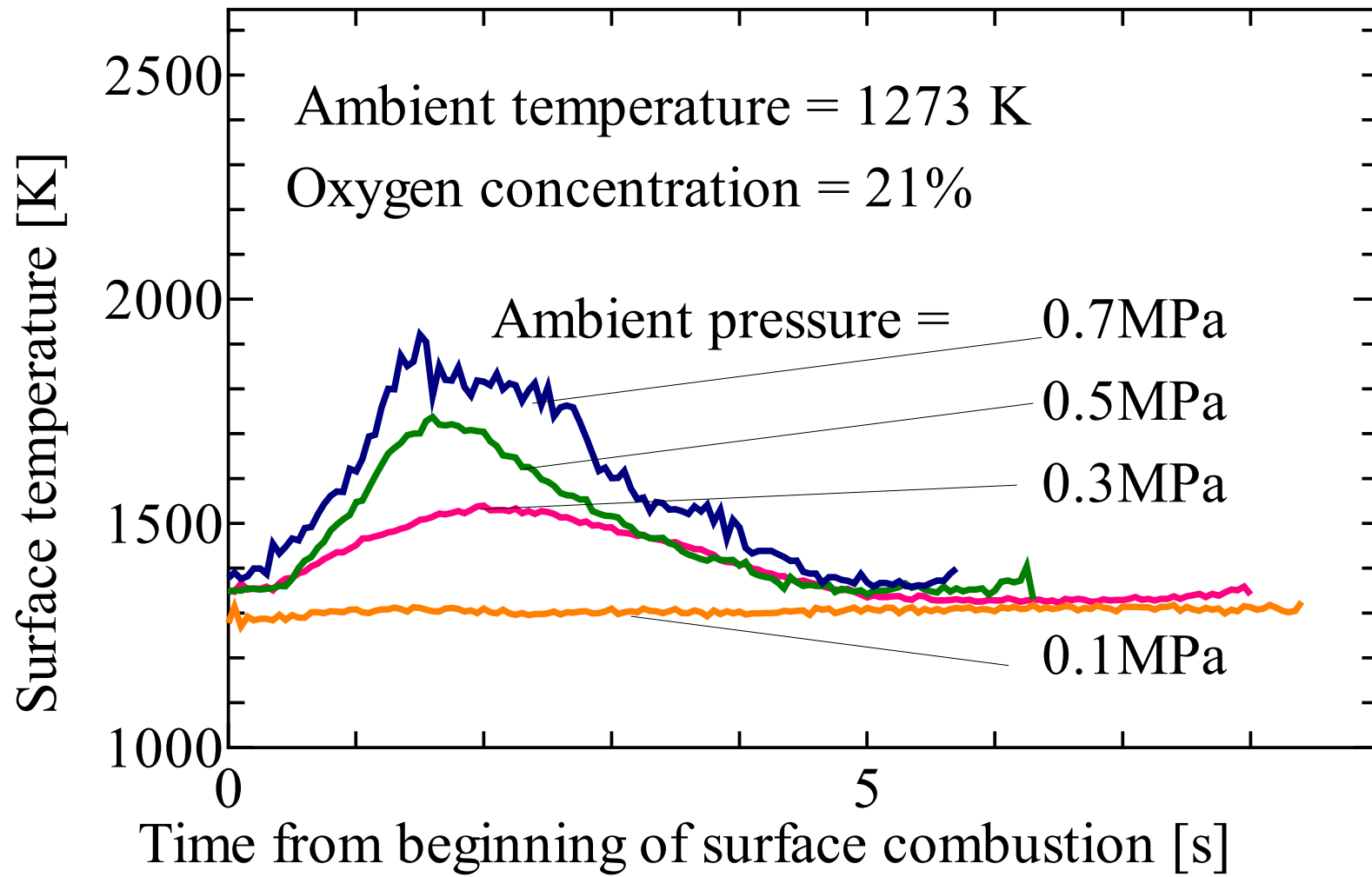


Fig.13 Temperature profile of fuel surface at char combustion