

研究成果報告書

研 究 題 目		塩分を含んだ発泡ポリスチレン廃棄物の脱塩・減容化後のサーマルリサイクル	実 施 年 度 2018～2019 年度
代 表 研 究 者	所 属	大島商船高等専門学校 商船学科	
	氏 名	川 原 秀 夫	印
1. 研究の目的・背景 我々は海岸漂着したゴミの中の大半を占めているポリスチレンに注目し、廃油を使った減容化に取り組んでいる。この方法により、塩分が付着したポリスチレンを廃油にて減容化することにより、表面に付着していた塩分が廃油に吸収され、当初の 1/50 に減容化させることに成功した。今後は、この減容化された発泡ポリスチレンのサーマル・リサイクル化を検討する必要がある。サーマル・リサイクルは、発泡ポリスチレンを燃料として燃焼させることによって発生する熱エネルギーを利用するものである。このリサイクル手法は、発泡ポリスチレンの微粉工程・粉砕工程を除けば、手法そのものが最終処理に相当するという特徴を有し、商・工業用燃料として利用した場合は、化石燃料使用量の著しい節減効果も有し、エネルギーの再利用により環境保全に繋がる。またリサイクル後に残る固形廃棄物（灰分など）が極めて少ない。しかし、燃料として使用する際には、燃料性状、燃焼特性、排気ガス特性等を把握することが非常に重要となる。 プラスチック等の廃棄物の燃焼に関しては、火力発電用燃料として取り扱う研究が行われ、基本となる廃棄プラスチックの微粉砕技術、スラリー化技術および燃焼技術についての基礎的な研究が既に行われている。これらの研究では、粉末燃焼の方がスラリー燃焼方式に比べ技術的課題が少なく、実用に近いという報告がなされている。また高温の炉内において 300 μm 程度の比較的粗い粒子が使用されており、粉体燃焼の主流である微粉体燃焼と比較して非常に良好な燃え切り特性が得られている。しかし炉内ではなく、バーナ単独で粒子を燃焼させることに関しては、報告例が少なく、不明な点が多い。そのため、幅広い分野でサーマル・リサイクルを行うためには、バーナ内における粒子燃焼特性について調査する必要がある。 本研究では、減容化された発泡ポリスチレン粒子を助燃料として用いたときのサーマル・リサイクルにおける有効性を明らかにするため、燃焼器内の熱分解による粒子挙動と燃焼特性について検討した。			

2. 研究成果及び考察（申請時の計画に対する達成度合を織込む）

図 1 はノズル火炎当量比 ϕ_n を変化させたときの火炎の直接写真を示す。図は、それぞれ $\phi_n=0.4, 0.8, 1.0$ および $\phi_n=1.2$ の場合であり、火炎を側面から撮影したものである。ノズル火炎に関して、プロパンの下限可燃限界当量比以下の $\phi_n=0.4$ の場合には明確なノズル火炎は形成されないが、 $\phi_n=0.8, 1.2$ の場合は、中心軸周りにノズル火炎の発光が確認でき、 $\phi_n=1.0$ でバーナ内部での発光が最も強くなる。また ϕ_n の増加に伴い青炎の発光領域が下流方向に長くなっていることがわかる。特に $\phi_n=1.2$ 以上の過濃条件では、バーナ下流部に過剰燃料の乱流拡散燃焼領域が観察される。以上の火炎観察から、 ϕ_n の増加に伴いバーナ出口下流部の高温領域が広がる一方で、中心軸付近の酸素濃度は低下すると考えられる。

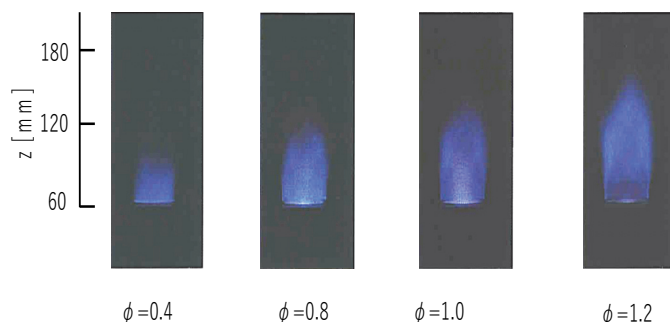


Fig. 1 Direct photograph of the flame by changing the equivalence ratio

図 2 にノズル当量比 ϕ_n を変化させた場合の中心軸を含む断面における時間平均温度分布、および酸素濃度分布を示す。図 2 は、それぞれ $\phi_n=0.4, 0.8, 1.0, 1.2$ の場合である。左側に温度分布を、右側に酸素濃度分布を示す。なお、両分布の比較を容易にするために温度分布を反転して示した。図 2 の温度分布によれば、ノズル火炎の影響により中心軸付近で最高温度となり、中心軸から遠ざかるにつれて温度が

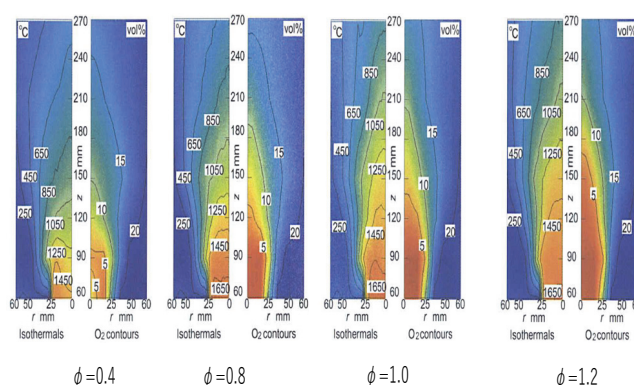


Fig. 2 Time-averaged temperature distribution (left side) and oxygen concentration distribution (right side) by

徐々に低下することがわかる。また、 $\phi_n=0.4\sim 1.0$ の範囲までは、 ϕ_n の増加に伴い全体的に高温領域が広がる。 $\phi_n=1.6$ の過濃条件になると、バーナ出口付近の火炎温度が低下するが、過剰プロパンの拡散燃焼に起因してバーナ下流部の高温領域が $\phi_n=1.0$ の場合より広がる。このことから、温度条件だけを考えると $\phi_n=1.0$ 付近が最適な条件であると考えられる。同様に図 2 の右側に示す断面酸素濃度分布を見ると、中心軸付近で低く、中心軸から半径方向に遠ざかるにつれて大気中の酸素濃度である 21% の値に漸近する。また、 ϕ_n の増加に伴い、低酸素濃度領域が下流および半径方向に広がることがわかる。ここで図 2 において、温度が 1050°C 以上で酸素濃度が 10% 未満の領域を半楕円と見なし、その長径（軸方向長さに対応）を L_c 、短径（半径方向長さに対応）を R_c と定義する。これらの値を図から読み取ると、 $\phi_n=0.4$ では $(L_c, R_c) = (120\text{mm}, 25\text{mm})$ であるのに対して $\phi_n=1.2$ では $(L_c, R_c) = (180\text{mm}, 33\text{mm})$

となり、ノズル火炎当量比の増加に伴い、半楕円領域も増加することが伺える。

そこでこれらの対応関係に基づいて、以下の実験的考察では 1050°C 以上の温度と 10% 以下の酸素濃度を高温酸化性領域の目安とし、発泡ポリスチレン粉末の燃焼挙動を観察する。はじめに、それぞれ質量メディアン直径 $dm=89.7$ および $145\mu\text{m}$ の場合における発泡ポリスチレン粉末燃焼時の火炎の直接写真を図 3 および図 4 に示す。図の左側から順に発泡ポリスチレン粉末供給量は $m_p=4.0, 8.0, 12\text{g/min}$ である。火炎の色彩を見ると、図 3 および図 4 共に図 4 で示した高温酸化性領域に対応した部分で非常に強い輝炎部が観察されており、良好な燃焼が行われていると考えられる。次に図 3 から、 $dm=89.7\mu\text{m}$ の場合の発泡ポリスチレン粉末の軌跡を見ると、高温酸化性領域を通過した下流部において発泡ポリスチレン粉末の軌跡はほとんど観察されず良好な熱分解・ガス化特性が得られていることがわかる。それに対

して、図 4 に示した $dm=145\mu\text{m}$ の場合には、下流部において多数の筋状の粒子軌跡が確認される。これに関しては、粉末中の $200\mu\text{m}$ 程度の粗大な発泡ポリスチレン粒子が熱分解・ガス化しつくさないまま低温の大気中へ飛散するためであると考えられる。

以上から、高温酸化性領域を通過する発泡ポリスチレン粉末は熱分解に伴うガス化・燃焼を伴って非常に強く発光し、発泡ポリスチレンのガス化による激しい拡散燃焼が進行していると推察される。

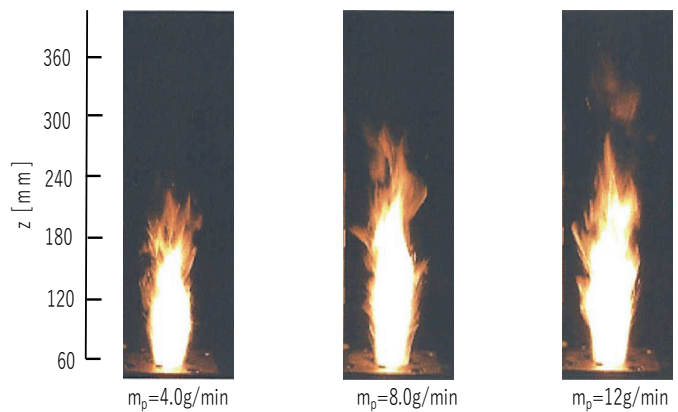


Fig.3 Direct photograph of flames during combustion of expanded polystyrene powder with

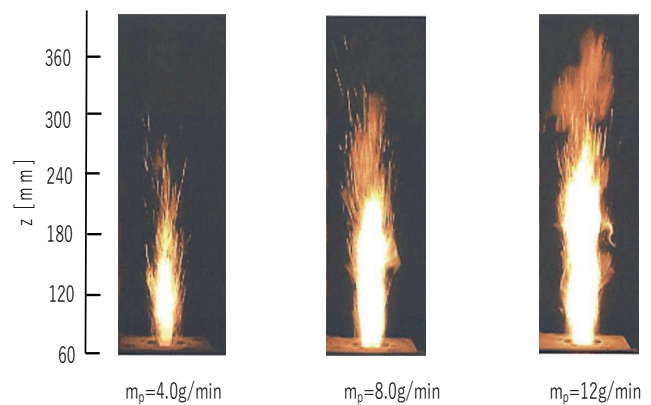


Fig.4 Direct photograph of flames during combustion of expanded polystyrene powder with

3. 経費の使用状況（申請時の計画に対する実績を記述）

※（）内の金額は申請時の値

➤ 設備備品費

- ・ 燃焼器の製作・加工費：（46 万円） 42 万円，・ データレコーダ：（50 万円） 45 万円
- ・ 実験用架台：（10 万円） 0 円

➤ 消耗品費

- ・ 配管部品：（15 万円） 7 万円，・ 排ガス分析用センサー：（5 万円） 4.5 万円，
- ・ 熱電対：（5 万円） 0 円，・ 電子部品：（3 万円） 0.9 万円

➤ 印刷費

- ・ 論文投稿料：（7 万円） 6.6 万円

➤ 旅費

- ・ 学会・打ち合わせ（山口-東京：3 回，山口-神戸：1 回）：（19 万円） 14 万円

➤ 謝礼金

- ・ 研究補助：（10 万円） 0 円

4. 将来展望（今後の発展性、実用化の見込み等について記述）

本研究では、環状火炎バーナを用いて高温酸化性領域を形成し、その領域に発泡ポリスチレン粉末を供給したときの燃焼特性を調査した結果、発泡ポリスチレン粉末燃焼の火炎挙動観察により、高温酸化性領域を通過する微細な粒子は容易に発泡ポリスチレン粉末の熱分解によるガス化により気相燃焼することを確認した。

しかし、発泡ポリスチレン粉末燃焼による酸素濃度分布の変化から火炎中の固形残留粒子の定量化については不明であるため、今後は酸素濃度分布と固形残留粒子の相関関係について調査を行う予定である。

5. 成果の発表（学会での発表、学術誌への投稿等を記載。予定を含む）

➤ 学会発表

- ・ 川原秀夫，発泡ポリスチレン粒子吹き込み混入による燃焼器内の粒子挙動と燃焼特性，第 89 回（2019 年）マリンエンジニアリング学術講演会（2019）

➤ 学術誌への投稿

- ・ 川原秀夫，福畑晴也，減容化した発泡ポリスチレン粒子の吹き込み混入が燃焼特性および未燃残留粒子に与える影響，日本マリンエンジニアリング学会誌，55(2)，179-185 (2020)