水分を多量に含む低発熱量物質の燃焼促進*

吉澤善男^{*1}, 越後亮三^{*1}
鈴木浩之^{*2}, サマロン チャクチャイ^{*3}Combustion Augmentation of Poorly Combustible Materials
with High Water ContentsYoshio YOSHIZAWA, Ryozo ECHIGO,
Hiroyuki SUZUKI, and Sumrerng JUGJAI

This study was undertaken as part of an effort for effective treatment of wastes and utilization of their energy. It is an application of the spectacular advantages of porous media to energy conversion and transport, which has already been successfully applied to the combustion augmentation of extremely low calorific gases and solid poor combustibles with high ash contents. The combustion characteristics of combustibles with high water contents have been discussed extensively and also examined by subsequent experiments. Mixtures of wheat flour and water were used as the test fuels. Experimental results show that the unaided combustion of fuels with up to 65 % water content has been realized in these experiments; the apparent heating value of which was 3.51 MJ/kg (839 kcal/kg).

Key Words: Combustion, Low Calorific Material, Waste Treatment, Porous Medium, Energy Conversion, Thermal Radiation

1. ま え が き

燃焼排出物からエネルギーを回収して未燃物を予熱する, いわゆるエネルギー再循環による燃焼促進法⁽¹⁾は発熱量が小さい物質の燃焼促進法として極めて有効であり, 主に希薄混合気の可燃限界の拡張法として種々の方法が試みられてきた^{(2)~(6)}が, なかでも, 多孔性固体で作られたふく射変換体⁽⁷⁾を応用した研究⁽⁶⁾ではエネルギー循環の促進と同時に燃焼領域の断熱が実現されるので良い結果が得られている。さらに, 灰分を多量に含む低発熱量物質の場合でも燃焼により発生するエネルギーの大部分が気相燃焼排出物により持ち去られるので, 気相燃焼排出物からのエネルギー回収を行うと極めて発熱量が低い物質の自力燃焼も可能になることがすでに報告されている⁽⁸⁾。このエネルギー循環による燃焼促進法を応用すると産業および民生の各種廃棄物の焼却処理に要するエネルギーが軽減できるばかりでなく, さらにこれらを燃料としてその保有

するエネルギーの有効利用を図ることも可能になるものと期待されるが, 一般に発熱量の低い廃棄物は水分を多量に含んでいる場合が多い。本報告はふく射変換体を応用した燃焼器を水分を多量に含む低発熱量物質に適用し, その燃焼特性を調べた結果である。

記 号

H_{ul} : 低発熱量 MJ/kg {kcal/kg}

L_c : 燃焼負荷 kw

m : 空気過剰率

T : 温度 °C (T_{ad} : 理論燃焼温度, T_s : 排気温度, T_{hi1}, T_{hi2} : 供給空気温度, T_{ho1}, T_{ho2} : 熱交換器出口温度, T_i : 上流側多孔性固体上流面温度, T_o : 下流側多孔性固体下流面温度, T_{p1} : 下流側多孔性固体燃焼室面温度, T_{p2} : 上流側多孔性固体燃焼室面温度)

Y_w : 試料の水分含有量 (質量%)

2. 水分を多量に含む低発熱量物質の
特徴ならびに実験用試料の性状

水分を多量に含む代表的な廃棄物である下水道汚泥の場合には乾燥すると発熱量は 10 MJ/kg 以上であるが採取後の通常の処理状態では 70~80 % の水分と固

* 昭和 61 年 5 月 29 日 第 23 回日本伝熱シンポジウムにおいて講演, 原稿受付 昭和 61 年 10 月 15 日。

^{*1} 正員, 東京工業大学工学部 (〒152 東京都目黒区大岡山 2-12-1)。

^{*2} 学生員, 東京工業大学大学院 (現在三菱重工業(株))。

^{*3} 東京工業大学大学院。

形分の10~30%程度の灰分を含んでいて、その低発熱量は0.4~1.3 MJ/kg程度になる⁽⁹⁾。これらの値は採取された場所および時により変動して再現性のある試料を入手することが困難であるので、本研究では成分がほぼ一定で入手の容易な試料として小麦粉を選び、これに水を加えて実験に用いた。小麦粉の元素分析結果を表1、文献による標準組成⁽¹⁰⁾を表2に示す。小麦粉はでん粉だけでなく10%程度のたん白質と3%程度の脂肪を含むが窒素、硫黄および灰分の含有量は極めて少なく、表1の元素数の比からも、また、熱量的にも良い精度で $\{C_6H_{10}O_5 \cdot H_2O\}_n$ により近似できる。小麦粉の低発熱量は14.57 MJ/kg (3480 kcal/kg)であり、上記の化学式 $\{C_6H_{10}O_5 \cdot H_2O\}$ 当りに換算すると2.625 MJ/mol (626.9 kcal/mol)となり、その生成熱は-1.190 MJ/mol (-284.2 kcal/mol)である。なお、汚泥には灰分が含まれているが水分含有量が多く蒸発した水蒸気の熱容量が大きいので燃焼排出物の持ち去るエネルギーに対する灰分の寄与は無視し得る程度であり、熱量的には本試料による結果に近いものと考えられる。小麦粉を酸化雰囲気中で加熱すると、まず吸着水の脱水が起こり、次いで熱分解し、ガス化した可燃性分と残留固形分の燃焼がこれに続く。その熱重量分析結果を図1に示す⁽¹¹⁾。分析は空気中で行われ、昇温速度は20 K/minである。昇温を開始すると

表1 小麦粉の元素分析

Element	C	H	N	S	O
Weight %	39.15	6.59	1.26	0.42	52.18
g atom/kg flour	32.60	65.38	0.90	0.13	32.61
Atomic ratio	1	2.01	0.03	0.00	1.00

表2 小麦粉の標準組成

Composition	Starch	Protein	Fat	Water	Ash
Weight %	75.2	10.1	3.3	10.0	1.4

図1 小麦粉の熱重量分析

間もなく吸着水の脱水が始まり、これが約140°Cまで続く。その後しばらくは一定値を保ち、300°C前後の30 K程度の間に質量が半分以下に減少しているが、これが熱分解に対応すると考えられる。本研究では熱分解生成物の分析を行っていないが、セルロースの熱分解生成物の分析結果⁽¹²⁾から推定すると、CO、CO₂およびCH₄、C₂H₆などの低級炭化水素を放出しているものと考えられる。さらに、これらの質量バランスから推定するとこの熱分解の過程は小さな発熱を伴うものと考えられる。空気中で分析を行っているので300°C以上での質量減少を熱分解と残留固形成分の燃焼に区別することは困難であるが、後者が主体であると考えられる。

この小麦粉に水を加えた試料の低発熱量と理論燃焼温度を図2に示す。ここで、横軸の Y_w は水分含有量(質量%)を、縦軸の H_{wi} は低発熱量を表す。右側に示した縦軸の T_{ad} は理論燃焼温度を表し、空気過剰率 m をパラメータとして $m=1.0, 1.2, 1.4$ に対する値を示す。図2から水分が85.7%で発熱量が零になるがこれは汚泥に近い値である。ここに示される理論燃焼温度を低発熱量に対して表し、希薄混合気⁽²⁾⁻⁽⁶⁾の研究に主として用いられたメタン-空気混合気や、灰分を多量に含む低発熱量物質⁽⁸⁾の研究に用いられた石炭・砂混合物-空気系と比較すると水分を多量に含む物質の燃焼性が良く理解できる。これを図3に示す。メタン-空気混合気系は希薄混合気の燃焼であるが、混合気から燃焼に必要な空気を差引き、余剰の空気により可燃成分が希釈された低発熱量気体と考え、その気体1 kg当たりの低発熱量を横軸として図3に示してある。ここで、空気過剰率にはそれぞれの系で実験を行う場合の代表的な値を用いた。従来、メタン-空気混合気系で自力燃焼が確認されている限界はメタン濃度1%⁽²⁾であり、その低発熱量は0.309 MJ/kg (73.8 kcal/kg)、理論燃焼温度は294°Cである(図3中の白丸)。また、

図2 小麦粉・水混合物の低発熱量と理論燃焼温度

石炭・砂混合物-空気系で得られた限界は石炭含有率 5% であり⁽⁸⁾, その低発熱量は 1.345 MJ/kg {321.3 kcal/kg}, 理論燃焼温度は 761 °C である。図 3 から, 水分を多量に含む物質の場合には単位質量当たりの発熱量が同じでも理論燃焼温度が低く, 燃焼しにくいことがわかる。石炭・砂混合物と比較すると希薄混合気の限界のほうのはるかに低温であるが, これは酸素が十分に存在する均質系であり燃料と酸化剤の混合などの過程が容易であることも関係している。また, 水分を多量に含む場合には放出される多量の水蒸気のため酸素濃度が低くなること, および蒸発の潜熱のためにエネルギーを吸収しても乾燥過程が終了しないうちは低温に保たれ隣接領域の温度が上昇しにくいことによりさらに燃焼性が悪くなると考えられる。

このように水分を多量に含む低発熱量物質の場合でも回収したエネルギーによりあらかじめ乾燥させると上記石炭・砂系よりはるかに高い発熱量になり, 燃焼排出ガスと未燃汚泥を直接接触させて乾燥する多段燃焼器では低発熱量 1.68 MJ/kg の汚泥の自然処理を実用化しているが⁽¹³⁾, この場合には 100 °C 程度で蒸発した水分はその段階で除去されて燃焼領域を通過しないので, 含有水分の乾燥に十分な発熱量 (理論燃焼温度が乾燥過程終了温度以上) であれば燃焼領域内最高温度は図 2 に示される値よりはるかに高くすることが可能である。

しかしながら, 水分を多量に含む廃棄物はほとんどの場合に同時に有機物を多量に含んでおり, これを乾燥する際に排出される水蒸気は強い悪臭などを伴い, 改めてその処理に多量のエネルギーを消費することになるので, 本研究ではすべての成分を燃焼領域に導いてエネルギー循環により理論燃焼温度より高い温度を経て有機物を分解・完全燃焼させることを前提とした。なお, 本燃焼器はいかなる外部熱交換器とも組合せることが可能であるので, 乾燥過程の排出物に問題がな

図 3 各種混合物の低発熱量と理論燃焼温度

ければ多段燃焼器の燃焼領域に用いることも可能であり, その場合には燃焼領域入口状態で本報告に示すような低い発熱量の物質まで自力燃焼が可能になる。

3. 実験装置および実験方法

実験装置の概略を図 4 に示す。燃焼室は直径 350 mm, 高さ 500 mm の円筒形で, 内面には厚さ 25 mm のセラミックウールが内張りされている。燃焼室の両端には 16 メッシュの耐熱鋼製金網 20 枚を向ねて作った多孔性固体が設置されていて, 両者の間でエネルギー循環が形成されるとともに, 燃焼室内に強いふく射場を形成する。また, 下側の (上流側の) 多孔性固体は残留固形成分の燃焼に対する火格子の役割もつ。燃焼室上部の多孔性固体の中央には内径 60 mm の燃料供給管があり, その上端には外壁を水冷された内径 3 mm のノズルが設けられている。試料は容積形ポンプにより一定速度で送られ, その供給量はポンプに取付けた回転計により測定される。燃焼用空気はほぼ等しく二つの流路に分けられ, それぞれ浮子面積式流量計により計量されてから, 一方は下側の多孔性固体で予熱されて燃焼室に入り, 他方は燃焼室側面から直接供給されて燃焼室内をかくはんする。空気を分けずにすべて多孔性固体を通して供給すると実験条件にもよるがその流速は 50 cm/s 程度であって, 熱分解生成気体との混合および固相燃焼領域への拡散が悪く燃焼負荷を上げることが困難であり, 本燃焼器では側壁から供給される空気による燃焼室内のかくはんは極めて重要である。下流側 (上側) の多孔性固体の下流には外径 22.5 mm のステンレス製パイプ 2 本をそれぞれらせ

図 4 実験用燃焼器

ん状に7段巻いた空気予熱用の対流形熱交換器が設けられていて外部熱循環を形成する。熱交換器の伝熱面積はそれぞれ0.54, 0.46 m²である。本研究のように多量に水分を含む試料の場合には未燃成分の熱容量に対する空気の寄与はあまり大きくなく、熱量的な効果のみ考えると外部熱交換器の効果はあまり大きくないと考えられるので、外部熱交換器を用いない実験も行い比較した。供給された試料は燃焼室内で乾燥・予熱され燃焼するが、その伝熱の機構が主に多孔性固体ふく射変換体の効果によるふく射伝熱であるので高温の燃焼領域と低温の未乾燥領域が燃焼室内で直接影響し合う必要がなく共存できることが本燃焼器の特徴である。

燃焼器の温度測定にはインコネルシース径1.6 mmのアルメル・クロメル熱電対を用いた。測定位置は図4に小さな丸印で示されているが、これらは排気温度(T_e)1点、下流側多孔性固体下流面(T_o)4点、下流側多孔性固体燃焼室面(T_{p1})8点、上流側多孔性固体燃焼室面(T_{p2})3点、上流側多孔性固体上流面(T_i)1点、熱交換器出口温度(T_{ho1}, T_{ho2})各1点、供給空気温度(T_{hi1}, T_{hi2})各1点、合計21点である。これらの温度および燃料供給ポンプの回転数は打点記録計で8 sごとに記録される。さらに、1 minごとにA-D変換されてパーソナルコンピュータに送られ、条件変更のたびにキーボードから入力される空気流量や燃焼器予熱時の都市ガス流量とともに画面に表示され、さらに、複数の熱電対で測定された温度の平均処理や燃焼負荷、空気過剰率などの計算処理をしてフロッピーディスクに記録される。

実験にあたっては、まず都市ガスで炉内を予熱した後試料の供給を開始するが、始めのうちは試料が乾燥されるだけであり炉内温度は低下し、その後、最初に投入された試料の熱分解、燃焼が開始すると炉内温度が上昇し始め、かつ、空気不足になる。そこで、炉内の温度を監視しながら空気を増加するとともに都市ガスを絞って停止し、その後最低1 h以上連続して燃焼している場合を可燃であるとし、温度などの測定値には最後の20 min間の平均を用いた。

4. 実験結果および考察

4.1 燃焼状態および可燃限界 小麦粉の主成分はでん粉であるので燃焼室内に試料が投入されると最初は流動性をもっているが温度が上昇するとでん粉が変質して流動性を失うので、試料は燃焼室中央に柱状に積み上がり、投入されたばかりの試料はその表面を流れ落ちながら加熱されて途中で固まる。放置すると

ますます高く積み上がって試料供給管をふさいでしまうので定期的にこれを突き崩す装置が設けられている。突き崩された試料はさらに加熱されて熱分解し、残された固形分はそのまま燃焼する。この間、中央には新しい試料が柱状にたい積し、負荷が大きい場合や水分含有量が多く燃えにくい試料の場合には柱状たい積物の周囲に崩された試料がいくつも燃えきらない状態で存在する。このように、中央に柱状にたい積した試料が存在してそこでは主として試料の乾燥が進み、その周囲で崩れた試料の熱分解と固相燃焼が進行し、同時に、気相中では熱分解生成ガスの燃焼が進行している状態が本燃焼器の定常時の状態である。そのため燃焼器内の温度はその時点の発熱量、すなわち、その時点で存在する気相および固相可燃性分の存在量と炉内の空気の流動状態に依存して変動し、空気過剰率が高すぎると試料が乾燥すると急激に燃焼してしまい温度変動が大きくなり、一方、低すぎると未燃成分を放出して燃焼効率が低下する。空気過剰率の最適値は内部の流動状態にも依存するので実験にあたっては炉内各部の温度を常に監視しながら空気過剰率を微妙に調節した。したがって、以下に示す実験結果で空気過剰率の値は1.1~1.2の範囲で変化し統一されていない。

実験は外部熱交換器を用いた場合と用いない場合についてそれぞれ燃焼負荷および水分含有率を系統的に変化させて行い、炉内各部の温度分布測定と自力燃焼が維持されるか否かの検討を行った。自力による燃焼が維持された限界を図5に示す。図5で三角印は外部熱交換器を用いない場合、丸印は用いた場合を表し、白抜きの記号は自力燃焼が維持された条件を示し、黒い記号は維持されなかった条件を示す。自力燃焼が維

図5 自力燃焼限界

持てなかった条件では温度変動を繰返しているうちに大きな変動が発生して消火に至っているが、実用規模の大きな炉では熱容量が大きく内部が平均化されるので限界がさらに広がるものと期待される。

外部熱交換器を用いない場合には負荷が 11 kW の場合に水分含有率 58 % まで燃焼が維持され、これより負荷が高い場合にも低い場合にもより低い水分含有率が限界であった。水分含有率 58 % の試料の低発熱量は 4.70 MJ/kg {1 124 kcal/kg} であり、空気過剰率が 1.15 の場合の理論燃焼温度は 1 071°C である。ここで得られた限界は、気体燃料の場合⁽²⁾と同様に、燃焼負荷が低下すると発熱量に比較して相対的に熱損失が増大して炉内温度が下がることにより現れる低負荷側の限界と、燃焼負荷が上昇すると流速が増大し反応時間が減少して燃焼効率が低下する結果現れる高負荷側の限界により決定されたものと考えられるが、本燃焼器内の燃焼は拡散燃焼が主体であると考えられ、ここでいう反応時間は主として燃料と酸化剤の混合過程に支配されると考えられる。

一方、外部熱交換器を用いた場合には水分含有率 65 % まで燃焼が維持された。なお、図 5 に結果が示されている負荷より大きな負荷の実験は空気供給系の限界のために行えなかったが高負荷側の限界を確認することができなかったが、熱交換器を用いない場合と比較すると低負荷側の限界も高負荷側の限界もかなり拡張されている。外部熱交換器を用いた場合にも限界の決定は実質的に同様な機構によるものと考えられ、上限拡張のための反応時間の短縮に関しては、本燃焼器内には約 100°C で発生する水蒸気、約 300°C で発生する気相熱分解生成物、固相燃焼が進行している残留固形分および上流側多孔性固体を通して予熱されたのちに供給される空気と側壁から直接供給される空気が

存在するが、気相熱分解生成物が燃焼するためには高温の酸化剤と混合する必要がある、外部熱交換器を用いた場合には直接供給される空気も予熱されて高温で供給されることが強く影響しているものと考えられる。水分含有率 65 % の試料の低発熱量は 3.51 MJ/kg {839 kcal/kg} であり、これは実用規模の流動床で実現されている自然限界 3.77 MJ/kg {900 kcal/kg}⁽¹³⁾を上回る値であり、空気過剰率が 1.15 の場合の理論燃焼温度は 899°C である。また、燃焼負荷を体積負荷率に換算すると最大 351 kW/m³ で、これは乾式微粉炭ボイラ⁽¹⁵⁾より大きな値である。

4.2 炉内温度分布 外部熱交換器のない場合の炉内温度分布の一例として、水分含有量 54 % の結果を図 6 に示す。図 6 中の T_{p1} , T_o , T_{p2} , T_e の測定位置は図 4 に示されている。 T_{p2} は不規則な変化を示しているが、これは上流側の多孔性固体が不均質性の強い固相燃焼領域に接しているためである。下流側の多孔性固体の燃焼室側温度 T_{p1} は多孔性固体による顕熱・ふく射エネルギー変換を考えるうえで最も重要な温度であり、その測定にはシース径 1.6 mm の熱電対を用いている。多孔性固体として用いた金網の素線径は 0.7 mm であり、熱電対のほうが太いので測定値は多孔性固体の温度よりやや低い値を示すと考えられるがその補正は行わなかった。図 6 では、燃焼負荷の増加とともに温度が単調に上昇しているが、これは熱損失が相対的に減少するためと考えられる。他の水分含有量の結果もほぼ同様である。下流側の多孔性固体に流入する気体の温度は炉内の燃焼温度に相当するが、その温度を従来の研究における熱的構造の解析⁽¹⁴⁾と同様な方法により、本実験の流量などの条件を用いて計算すると T_{p1} より 100°C 程度高い値と見積もられる。外部

図 6 炉内の温度分布 I
(水分含有率 54 %, 外部熱交換器なし)

図 7 炉内の温度分布 II
(水分含有率による変化, 外部熱交換器なし)

図 8 炉内の温度分布III
(水分含有率 65%, 外部熱交換器あり)

図 9 外部熱交換器の温度

熱交換器を用いない実験で限界の水分含有量が最も大きかった燃焼負荷 (11 kW) における炉内温度を図 6 などから内挿して図 7 に示す。図 7 では水分含有量が増加するとわずかながら温度が低下し、限界付近では急激に低下していることがわかる。

一方、図 8 には外部熱交換器を用いた場合の一例として水分含有量 65% の場合の炉内温度分布を示し、図 9 にはその場合の空気予熱温度を示す。ここで T_{ho} 、 T_{hi} は、それぞれ、空気予熱器の出口温度および予熱空気の燃焼器入口温度を表すが、供給空気は空気予熱器になる前に二つに分けられていて、やや異なる値を示すので、図 9 に示される値は両空気の混合平均温度である。また、 T_{ho} 、 T_{hi} の差は熱交換器出口から燃焼器入口までの配管途中での熱損失である。外部熱交換器により回収された熱量を T_{hi} から見積もると、負荷によって変化するが燃焼熱の 40~50% が回収されていることがわかる。図 8 では燃焼負荷に対して多孔性固体の温度が単調に増加しており、これは熱損失の相対的減少によるものとも考えられるが、外部熱交換器を用いた場合の限界付近では燃焼状態の変動幅が大きいため再現性はあまり良くない。この変動は水分含有量がこれより低い 64% と 63% のほうが大きく、65% の場合より温度が低い実験点もいくつか見られるが単純平均ではほぼ一定の値を示しており、水分含有量による差はほとんど見られなかった。

水分含有量が 65% の試料の理論燃焼温度は空気過剰率が 1.15 の場合 899°C であるが、図 8 では固体温度 (T_{p1}) でもこれより十分に高い値を示しており、エネルギー循環の効果が良く表されている。なお、 T_{p1} と炉内燃焼温度との差は水蒸気の増加により気体流量が増加しているので、わずかながら、外部熱交換器を用いない場合より小さくなる。

5. あとがき

本研究で試作した実験用燃焼器では水分含有量が 65% の場合まで自力による燃焼が可能であった。この場合の試料の低発熱量は 3.51 MJ/kg、空気過剰率が 1.15 の場合、理論燃焼温度は 899°C、気相中の酸素濃度は 11.9% である。この値は通常の処理による汚泥の値には届かないが、在来の燃焼技術と比較すると極めて高い値である。また、この値は水分含有率約 60% まで脱水した汚泥と同程度であり、通常の機械的脱水に加えて行うべき脱水過程の動力は大幅に減少することが可能になる。

本研究は一部文部省科学研究費補助金 (61040027) により行われたものであることを記して謝意を表す。

文 献

- (1) Weinberg, F. J., *Nature*, **233**-5317 (1971), 239.
- (2) Jones, A. R., ほか 2 名, *Proc. R. Soc., Ser. A*, **360**-1700 (1978), 97.
- (3) Kawamura, T., ほか 2 名, *ASME-JSME Thermal Eng. Joint Conf. Proc. Hawaii*, **4**, (1983), 93.
- (4) Kotani, Y. and Takeno, T., *Proc. 19th Symp. (Int.), Combust.*, (1982), 1503.
- (5) Khoshnoodi, M., *Combust. Flame*, **33** (1978), 11.
- (6) Echigo, R., ほか 3 名, 文献 (3) の 99 ページ.
- (7) 越後, 機論, **48**-435, B (昭 57), 2315.
- (8) 吉澤・ほか 3 名, 機論, **52**-476, B (昭 61), 1940.
- (9) 手島, エネルギーレビュー, (昭 58-3), 2.
- (10) 日本化学会編, 化学便覧応用編, 改定 3 版 (昭 55), 1287, 丸善.
- (11) 高井 (東京水産大学), 私信, (昭 60).
- (12) Yoshizawa, Y. and Kubota, H., *Proc. 19th Symp. (Int.) Combust.*, (1982), 787.
- (13) 伊東, 機学, 126 回講習会教材, (昭 59), 37.
- (14) 吉澤・ほか 4 名, 機論, **51**-466, B (昭 60), 1908.
- (15) 日本機械学会編, 機械工学便覧 (B 6), (昭 61), 21.

討 論

〔質問〕 広瀬 靖夫〔日本ファーマス工業(株)〕

ふく射変換体を応用した燃焼器を試作し、水分を多量に含む固体の低発熱量物質焼却に利用しており、時代の要求にこたえる研究と思うが1~2質問させていただく。

(1) 固体燃焼においては、一部固体粒子が飛散する場合がある。特に下水道汚泥については低溶融点灰分も多量に含まれており、それらがふく射変換体(多孔性固体)を通過するときに目づまりを起こさせることが考えられる。何か解決方法があるか。

(2) 下水道汚泥を直接炉に投入するのではなく、水分の蒸発過程と乾燥固体の燃焼過程とに分けてトータルで汚泥の焼却を考えると、自力による燃焼限界が大幅に広がる(付1)。今後の研究方向について何かアイデアがあったらコメントいただけたら幸いである。

〔回答〕 (1) 実用規模の炉で水分を多量に含有する廃棄物を焼却する場合には腐食の問題からもセラミック多孔体を用いる必要があると考えているが、さ

らに、灰分を多量に含む場合には目の粗いものを用いて、スートフロアのようなもので定期的に吹く必要があると考える。さらに、灰分の取出しには上流側多孔性固体の代わりに充てん床または流動床を用いて、それらを部分的に循環させることにより取り出すことが可能である。なお、目の粗い多孔体を使用する場合には一般に吸収係数が小さいので多孔性固体を厚くする必要がある。

(2) 本文(2章、最終段落)にも書いてあるが、本燃焼器は他のいかなる外部熱交換器と組合せて用いることも可能であり、例えば、外部熱交換器として燃焼ガスを利用した乾燥器を用いる場合には乾燥後の状態で外部熱交換器のない場合の限界、すなわち水分含有量が58%の試料まで自力燃焼が可能であることを意味する。

(付1) 広瀬靖夫・間裕幸, 化工論文集, 9-5 (昭58), 583.