

京都大学工学部 正員 工博 岩井重久
 日立造船(株) 正員 ○春山 鴻
 京都大学工学部 学生員 高月 紘

1. 序 (モデル実験の意義)

すでに発表された¹⁾ごみ集塊の同一性と²⁾ごみの可燃分がほぼセルロース($C_6H_{10}O_5$)^{3,4)}と考えたこと
 から²⁾, 筆者等ヨリは共同研究者の一人はごみ集塊を紙片あるいは小球状の紙塊集塊と代替してモデル
 実験を行ひうにこれが可能と知り, その結果について, 2, 3発表^{3,4)}した。このモデルをさらに単純化し
 て, 紙片の薄片について移動速度の測定を行ないその結果について考察した。モデル実験の成立が
 可能なことについて簡単に述べる。ごみと工学的に取り扱う場合に表わされる量——これを「焼却炉で
 燃焼させた場合の焼却率——とせし, x_i ($i=1, 2, \dots$) をごみ集塊の水分量, 灰分量等のある体積
 の集塊に属し計測の容易な特性値 (この計測は一般には集塊から適当量のごみをサンプリングする
 ことにより行ひ, g_j ($j=1, 2, \dots$) を通風速度, ごみ集塊中の空気温度, 炉型, ストーク形式, ヨ
 リはごみ層厚さのよう, 外的な条件により与えられる特性値, z_k ($k=1, 2, \dots$) をごみ中の各物
 体の幾何学的特性値, ヨリはそれらの物理化学的特性値, ヨリは化学工学で Mass を取り扱うような
 場合の特性値, これをば, 各物体の寸法・形状・周囲ガスとの接触表面積・各物体内部の物質拡散係
 数, 等とせしこれと, $X = \{x_1, x_2, \dots\}$, $Y = \{y_1, y_2, \dots\}$, $Z = \{z_1, z_2, \dots\}$ と X, Y
 , Z とそれらの連続的, ヨリは離散的な変数 (炉型, ストーク型式のような数値で表現し難いもの
 は, それが与える効果も有効な射面積, おしくは効果度のような適当に代替した変数) 等の集合と
 する。この中から, c に影響を与える要素のみを選んで, $X \supset x$, $Y \supset y$, $Z \supset z$ なる集合を
 作ると, c は当然

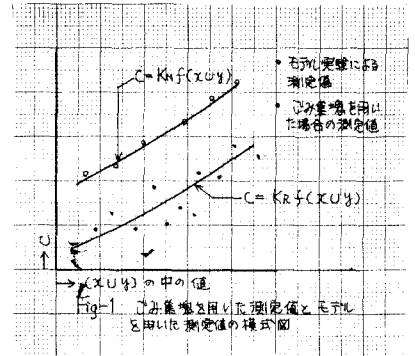
$$c = F(x \cup y \cup z) \quad \text{--- (1)}$$

と表わすことができようが, $z_k \in Z$ を測定することは事実上不可能である。しかしながら, このうち
 , 都市ごみについて数種のみについて実験・計測を数百例以上行ないそれについて検討すればこそ

$$c = g(z)f(x \cup y) \quad \text{--- (2)}$$

と表わしてよいことがわかり, しかも $g(z)$ を代えて適当な一定値 K_R (有次元ヨリは無次元数)
 (2) 式を近似的に成立させて得ることがわかつた。ヨリ $(g(z)/K_R - 1) = \varepsilon$ とおくと, 集塊の体
 積が大きくなるほど $\varepsilon \rightarrow 0$ となると推定することができよう。すなわち $(x \cup y)$ に属する変
 数が常化するほど c の値は数倍乃至数十倍変化があるが, $|\varepsilon|$ の値は集塊の体積が 1 m^3 程度のとき
 焼却率, 乾燥率等ではほとんどの場合 0.15 以下であり, 実験装置等で取り扱う $0.1 \sim 0.01 \text{ m}^3$ 程度の
 体積の場合にはほぼ 0.3 以下である。この $g(z)$ が K_R で代替できるといふことは, ごみの中のつ
 の集塊を形成する場合, それ等の集塊に含みうる各々の物体を作る z_k は非常に異なっているように見
 えようが, 集塊となるほど平均化されて, 各集塊の $g(z)$ がある値に近くなるということを示すものであ
 る。いま, 紙片, 紙片小球のようなるものでごみ集塊のモデルを作ることを考える。この場合研究者
 が任意に $g(z)$ を確定し得る (必要は正確で), したがって $c = K_R f(x \cup y)$ が成立するよう

は関係がある場合は、モデルを用いて実験を行なうことにより $C = K_M f(x, y)$ を求めることができ、 $f(x, y)$ の関数形を求めることが容易になる。 K_R はゴミ集場中の各物体について定める $g(z)$ の平均値と看做すのものであり、ゴミ集場中の z_i とモデルの z_i とは異なることから K_R と K_M は一般に異なる。図-1を用いて説明すると、 K_M は $g(z)$ を平均化したものであるから、 (x, y) 中のいくつかの変数を変化させて、 C の値を求めれば、図中の黒点のように $C = K_R f(x, y)$ とはかなり異なる値をとって分散し、しかるにモデル実験においては、より属する要素を確定するところから C の測定値は、 $C = K_M f(x, y)$ に極めて近く分布すると推察され、 $f(x, y)$ の形を決定することが容易であろう。このモデル実験は化学工学等で行なわれるモデル実験と異なる意義をもつ。すなわち、他の場合は $g(z)$ の関数形の決定も重要なことであり、 z_i 等の変化を研究して、実用に供しようとする目的を持つ研究が多いのに対し、ゴミの場合は $f(x, y)$ の関数形の決定が有効でないことであり、 K_R の決定はあくまでゴミ集場を用いて行なわなければならない。



ゴミの場合のモデル実験は $f(x, y)$ の決定を容易にするばかりでなく、通常、実際のゴミ集場を用いた実験においては z_i を任意にかつ大いの範囲に変化させることは困難であるのに対し、モデル実験においてはそれが容易であるという利点がある。

実際の焼却炉等の設計にあたっては、 $g(z)$ は当然の如く一定値として取り扱われ、前述した「ゴミ集場の同一性」によって、それはよいのであるが、こゝで述べたような理由から実際のゴミを用いて $f(x, y)$ を決定するのは、非常に労力を伴うために、 $y_i \in y$ の値を定まれば、炉型・ストーク形式などで変えなければならぬ場合もあり、 $f(x, y)$ について充分研究されておらず、 $g(z)$ を一定値とみなすためのトラブルは、ほかに多いであろう。また、 $f(x, y)$ の関数形が未知のために起る実際の炉のトラブルは枚挙にいとまがない。例として焼却炉の設計の場合について述べると、通常ある範囲の $z_i \in z$ と $y_i \in y$ (炉型・ストーク形式の変更は困難な形式によることが多い) について経験的に、たとえば「焼却率」を知って炉床面積等の炉のディメンジョンを決定して設計するため、未経験範囲で z_i , y_i が変化した場合、すなわち水分の過少、過大、または炉形式等の変更の場合、燃焼量不足、重油消費量の予想以上の過大、または過剰燃焼によるストーク・炉のあるいはその付属設備損傷などのトラブルは大方かなりどの焼却炉でも起るであろう。

2. 火移り速度

ゴミが炉内に侵入すると、工面が着火し、着火面が下方に進行し始める。その速度を火移り速度と呼ぶ。着火した面は可燃分は分解して一部はゴミ層上の方の空間で燃焼するが、一部は固体相として残り固体燃焼相を形成する。固体燃焼層内のガス化速度を求め、固体燃焼層の{(重量)/(体積)}とこの中の炭素分比を用いれば、燃焼終了後の進行速度に換算出来る。これによって $(L_B - L_G)$ (図-2)

を求めると燃焼層の厚さが求まる。この燃焼層の厚さは炉内温度の関数である。すなわち、 $(L_p - L_q)$ の大小によって、適当な通風速度が得られる。可成り通風速度が過少なときは、黒煙が発生し、過大になると火が消える。これは U_p と U_q によって、単位面積の火床で燃焼させる量にある制限があることを意味し、それが炉床面積の過小・過大は必ずしもトラブルの原因となる。炉床面積の過小によって予想されるトラブルは、燃却量不足、灰中未燃分の過大、すなわち炉床の過大によるトラブルは、黒煙の発生、炉床に余剰を生ずることによる炉内温度の低下である。

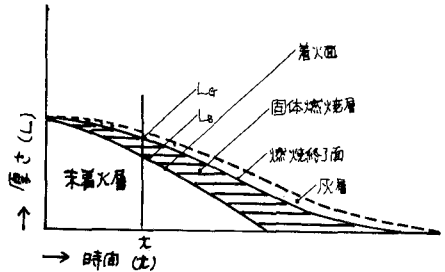


Fig-2 ゴミ燃焼の様相

下すのは、炉床が炉室周りに熱を強く受けることによる炉床の熱損傷等である。これから炉の燃却率に関係する因子の中、火移り速度に比例する $f(x, y)$ を紙片および煙草を用いて行おうことに報告する。

3. 紙片の火移り速度

実験の方法とその結果：(水分の影響) 0.1mm 径のアルメルクロメル熱電対を埋込んで紙片を作成し、垂直に保持した。アルメルクロメル線は、増幅器を通してオシログラフに接続し、着火線の進行に伴って紙片内の温度変化を記録した。紙片には 4cm の直方形に整形し 1cm 間隔の寸法線を引き、着火線の進行を $1/6\text{sec}$ 毎に写真と撮影した。着火と同時に試料紙片から切断した紙片の重量を測り、完全に乾燥させて、試料紙片の水分を測定した。火移り速度は着火線移動距離と時間を写真を使用して求めた。金原⁹⁾が報告しているように、紙片の厚さで火移り速度の絶対値は変わるが、水分5%の場合の火移り速度を1として、水分の変化に伴う火移り速度の変化の比を示すと、図-3のようになる。 (x, y) の中の水分の変化に対する $f(x, y)$ の変化は同一の関数の形をとると考えてよい。参考のために、かなり異なる目的で研究されたものの、W. L. Flow¹⁰⁾ 他、すなわち H. E. Anderson¹¹⁾ 等が、木片の火移り速度について研究しているが、その結果を本報のように換算して同図に記入すると、(図-3の○および×) 水分の火移り速度に対する影響は同一であることがわかり、これはセルロース性物質に共通した性質であることがわかる。

すなわち高月¹²⁾が、紙片の小球を用いた筒内で燃焼させ火移り速度を求めたが、その結果を同様の換算を行って同図に記入する(図-3の△)同一の線上になり、連続燃焼物モデルとして連続物質を使用して関数形を定めることが出来ることを意味している。本実験で求めた紙片内の温度分布の一例を図-4に示す。図の原点は着火線が熱電対先端を通過したとき、オシログラフに電流を流して記録した。

(通風速度の影響) 煙草“ハニー”の中の通風速度を変化させて火移り速度の影響を求めた。実験方法については省略し、結果のみを図-5に示す。

(着火温度等) 燃焼進行中に示ける紙片中の水分の蒸発温度、可燃分の分解が起る温度、紙片の着火温度を求めた。紙片の細粉を作り、示差熱天秤で測定した結果を図-6に示す。

3. 結 語

こゝではセルロース物質の燃焼について、モデル実験が可能であることを述べたが、実際の“

み集場の火移り速度に対する水分の影響を図-3に示す。以上述べた図3の他、2, 3の因子が影響するところが実験で確かめられている。送入空気の影響については、乾燥速度を求めれば、そのことによって計算が可能である。この2つはモデル研究と実験炉についての測定とが相まって、 $f(x, y)$ の形についての知識を増し、現在の実験炉におけるトラブルの解消にこの研究が役立つことを望んでいる。また以上述べたこと以外の研究の結果は、この数学的考察については講演時に述べる。

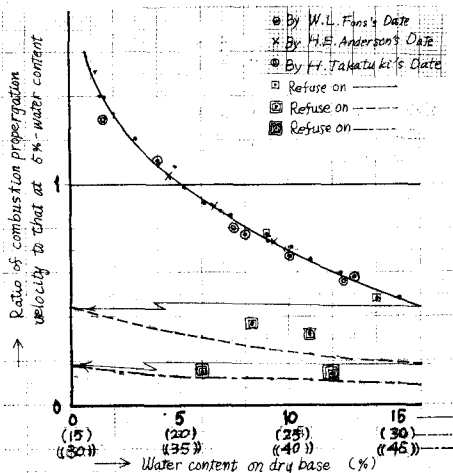


Figure 3. Variation of propagation velocity versus variation of water content

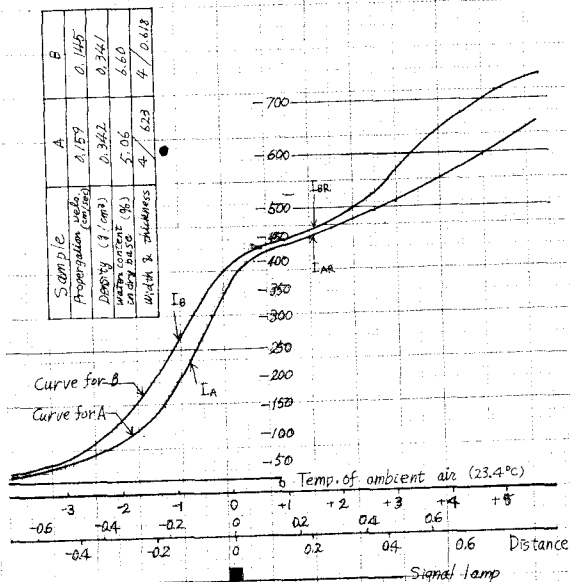


Fig-4 Temperature history of an inner point of

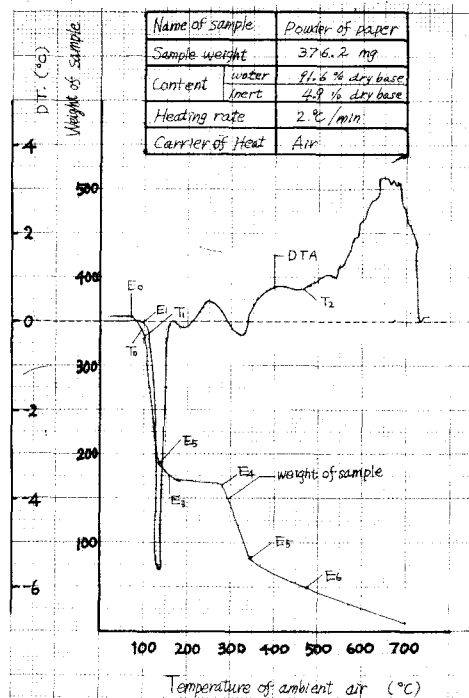


Figure-6 TGA & DTA of wet sample

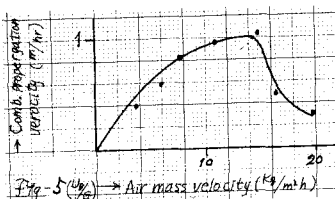


Fig-5 (kg/m²h) → Air mass velocity (kg/m²h)

(参考文献)

- 1); 岩井・春山
土学会講演概要,
20回II-161

- 2); 岩井・春山等; 土学会講演概要, 22回, II-171
- 3); 春山; 日立造船研究報告書, 技研1186, '66
- 4); 岩井・春山等; 土学会講演概要, 22回, II-172
- 5); 岩井・春山; 京大工研彙報 No.30, pp35, '66
- 6); Kimbara, T. et al; Comb. & Flame 10, No1 pp29, '66
- 7); Fong, W. L. 8th Symp. on Comb pp 860, '63
- 8); Anderson, H.E et al; 10th Symp. on Comb. pp 1009, '65
- 9); 高田; 京大大学院修士論文, 昭和42年