

京都大学工学部 正会員 平岡正勝  
 京都大学工学部 学生員 〇片柳健一

1. まえがき

現在、都市ごみの処理法としては、焼却処理法が主流を占めるに至っているが、大気汚染、残さからの有害物質の溶出等の二次公害の問題、エネルギー回収の不経済性が指摘されている。そこで、最近では都市ごみ中有機物を無酸素および低酸素雰囲気下で熱分解し、生成ガス、生成油を蓄積可能な燃料として回収し、しかも二次公害の低減を計る熱分解処理プロセスが研究されている。本研究では、多くの熱分解処理プロセスのうち、熱分解溶融処理プロセスを対象として、プロセスの中心となる熱分解溶融炉廻りの物質、熱収支モデルを提案し、都市ごみ組成、操作条件の熱分解生成物に与える影響を検討した。

2. 物質、熱収支モデル

本研究で対象とする熱分解溶融炉は、石炭のガス化などに使用される立型移動床炉と同型である。都市ごみは炉頂から投入され、炉内を降下するにしたがって乾燥、熱分解し、炉底部では生成したチャー、助燃料を燃焼させ、その燃焼熱により都市ごみ中の灰分を溶融スラグ化し、安定な残さを生成するものである。生成ガスはそのまま燃焼処理されるか、タール、水分を除去した後、燃料として使用される。現在開発研究されている熱分解溶融炉にはS社<sup>1)</sup>とU社<sup>2)</sup>の2種類のものがある。前者は、助燃料としてコークスを使用し、高純度酸素(PSA)と空気を混合して酸素を供給している。また、運転の安定化のために生成スラグの一部と石灰を都市ごみと共に供給している。後者は、助燃料としてLNGおよびプロパンガスを使用し、高純度酸素(PSA)を供給している。本研究では、炉内の反応機構、反応速度を考慮せず、定常時に単位時間当りに反応した物質がどれだけ生成物に転化したかという炉内でのNet-Reactionを考え、2つの形式の熱分解溶融炉に使用できる炉廻りの単位時間当り( $hr$ )の物質、熱収支モデルを提案した。熱分解溶融炉は、主に都市ごみの乾燥、熱分解が起こるゾーン(炉上部の大部分を占める)と、熱分解反応により生成するチャー、助燃料(コークスおよび助燃料ガス)のガス化、燃焼反応と灰分の溶融が起こる炉底部ハース上のゾーンに分けて考えることができる。そこで、物質、熱収支は、この2つのゾーン(乾燥・熱分解ゾーン、燃焼・溶融ゾーンと呼ぶ)においてそれぞれ考慮した。図1に、熱分解溶融炉の概略と、本研究で考慮した物質収支項を示す。

(i) 乾燥・熱分解ゾーンの物質収支

乾燥・熱分解ゾーンの物質収支を計算するには、このゾーンでの都市ごみ中水分の蒸発量、可燃分の熱分解反応生成物量を計算する必要がある。本研究では、熱分解生成物として  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $H_2$ ,  $CH_4$ ,  $C_2H_4$ ,  $C_2H_6$ ,  $C_2H_2$  のガス、タール、酢酸、水分、チャーの11種類の物質を仮定して、都市ごみ中各元素(C, H, O)の生成物への分布、元素収支を考慮して各生成物量 $X_i$ (%)を計算した。また、計算に必要な各元素の生成物への分布率は、ペンテスケールのレトルト炉における熱分解実験値を整理して求めた。炉の各生成物量 $F_i^1$ (%)は、上記のように計算した各生成物量 $X_i$ (%)を、燃焼・溶融ゾーンから乾燥・熱分解ゾーンへ流入するガス、水分量 $F_i^2$ (%)に加えて計算した。

(ii) 燃焼・溶融ゾーンの物質収支

燃焼溶融ゾーンには上部の乾燥・溶融ゾーンからチャー、コークス、石灰、灰分(循環スラグ)が移行し、可燃分は用口から供給される酸素と反応して、

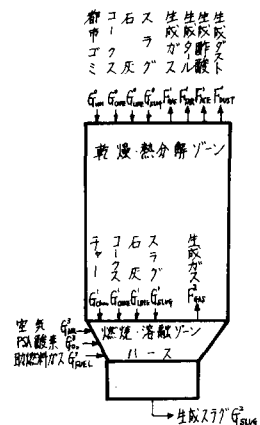


図-1 熱分解溶融炉の概略図

燃焼反応、各種ガス化反応が起こると考えられる。本研究では、このゾーンの生成ガスを  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $H_2$ ,  $H_2O$ ,  $O_2$ ,  $N_2$  と考え、また、このゾーンの温度は非常に高く各反応速度が速いため、ゾーン出口ガス組成は化学平衡に達していると仮定して、元素収支(C, H, O, N)と、 $CO + H_2O \rightleftharpoons CO_2 + H_2$ ,  $CO + \frac{1}{2}O_2 \rightleftharpoons CO_2$  反応の化学平衡式よりゾーン出口ガス量  $F_2$  (%) を計算した。また、生成スラグ量は都中ごみ中灰分、コース中灰分、循環スラグ、生石灰(石灰の熱分解により生ずる)の合計量とした。

(iii) 熱収支

各ゾーンの熱収支は、反応熱、熱損失を考慮し、生成物の顕熱、潜熱、発熱量、温度を計算した。計算に必要な各物質の比熱、化学平衡定数は温度の関数となつたので、物質収支式と連立して計算を行なった。

3. 計算結果

表1にS社のパイロットプラント実験結果<sup>1)</sup>と、計算結果を示す。この結果を見ると、生成ガス組成はよく一致しており、このモデルが有効であると考えられる。図2に、実験と同じ都中ごみ組成における、コース供給量

(%)と必要酸素量(%)の関係を計算した結果を示す(燃焼溶融ゾーン出口温度1700~1800°Cの場合)。この結果から、コース量が増加すれば必要酸素量は増加し、また、同じコース量では酸素濃度が高いほど少ない酸素量で済むことがわかる。しかし、酸素濃度が高すぎると(40%)、燃焼溶融ゾーン出口ガス温度は高くなり、溶融条件は良くなるが、炉出口温度は上がらず必要コース量も減少しない。その結果、酸素濃度25~35%で運転すべきであると考えられる。表2に酸素濃度30%の条件における都中ごみ組成変化(含水率40, 55, 70%)させた場合の、コース量、酸素量、生成ガス発熱量の計算結果を示す。この結果、含水率が高いほど、必要コース量は増加し、生成ガス発熱量は低下することがわかる。しかし、必要酸素量はそれほど増加しない。また、コース量の変動に対して、生成ガス発熱量の変動は少ないことがわかる。さらに、この表で示したコース量以下で

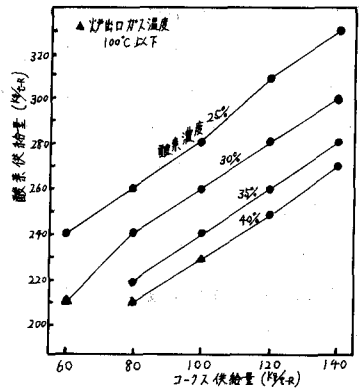


図2 コース供給量と酸素供給量の関係

表2 都中ごみ組成と操作条件、ガス発熱量の関係

も、供給酸素量を上げれば運転できる(ただし燃焼溶融ゾーン出口ガス温度は上昇し、ガス発熱量は減少する)ことがわかった。このことは、生成ガスを直接燃焼処理する場合には、ガス発熱量を犠牲にして、コース量を下げたことも可能であることを示唆している。

都中ごみ組成 (%)	コース量 (%)	酸素量 (%)	ガス発熱量 (10 <sup>6</sup> kcal/hr)
含水率 70 可燃率 20	120 ~ 140	260 ~ 280	985 ~ 1033
含水率 55 可燃率 30	90 ~ 110	240 ~ 260	1193 ~ 1226
含水率 40 可燃率 40	60 ~ 90	230 ~ 260	1319 ~ 1352

表1 熱分解溶融炉実験結果と物質、熱収支の計算結果

S社パイロットプラント実験条件	生成ガス組成実験結果	物質収支計算結果 (%)		熱収支計算結果 (10 <sup>6</sup> kcal/hr)	
		Input	Output	Input	Output
都中ごみ供給量 0.8~1.0 t/hr	N <sub>2</sub> : 47.3 % CH <sub>4</sub> : 10.3 %	都中ごみ供給量 332	生成ガス量 1070	供給物顕熱 0.00	生成ガス発熱量 9.87
空気供給量 640~700 t/hr	CO: 21.3 % CH <sub>4</sub> : 1.6 %	都中ごみ灰分供給量 186	生成水分量 549	都中ごみ発熱量 17.26	9% 酢酸・9% Si 発熱量 5.65
高純度酸素供給量 110~140 t/hr	CO <sub>2</sub> : 18.8 % C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> : 0.7 %	都中ごみ水分供給量 482	生成ガス量 43	コース発熱量 5.51	生成物顕熱 0.89
酸素濃度 30 %	ガス発熱量 1216 kcal/kg	コース供給量 80	生成酢酸量 16	熱風顕熱 0.33	水分潜熱 3.20
コース供給量 70~80 %	生成ガス組成計算結果	石灰供給量 110	生成ガス量 28	熱風潜熱 0.05	石灰分解熱 0.47
石灰供給量 110~120 t/hr	N <sub>2</sub> 47.1 % CH <sub>4</sub> 1.6 %	循環スラグ供給量 300	生成スラグ量 546	ガス温度 (°C)	スラグ溶解熱 0.19
循環スラグ供給量 200~300 t/hr	CO 20.5 % CH <sub>4</sub> 0.6 %	空気供給量 654		燃焼溶融ゾーン出口ガス温度 1732	スラグ顕熱 2.20
	CO <sub>2</sub> 19.0 % C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> 0.1 %	高純度酸素供給量 108		炉出口ガス温度 254	熱損失 0.68
	H <sub>2</sub> 11.1 % C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> 0.1 %				
	ガス発熱量 1240 kcal/kg				

参考文献 1) Ozawa, M., "Development of Solid Waste Disposal System with Pyrolysis and Melting," ACS National Meeting, Washington, D.C., (1979)  
 2) Masuda, T., "Perox System Demonstration Test" on Simulated Japanese Refuse," ACS National Meeting, Washington, D.C., (1979)  
 3) Heitman, D.A., "Batch Retort Pyrolysis of Solid Municipal Wastes," Environmental Science & Technology, Vol. 2, No. 11, (1968)  
 4) Keiser, E.R., and Friedman, S.B., "The Pyrolysis of Refuse Components," Construction, May (1968)