

廃棄物処理等科学研究費補助金 総合研究報告書概要版

研究課題名・研究番号 = 小規模処理場における高効率ガス発電を可能とする熱分解 - ガス改質技術の開発

国庫補助金精算所要額 (円) = 4,921,000

研究期間 (西暦) = 2004-2006

研究年度 (西暦) = 2004-2005

代表研究者名 = 姫野修司 (長岡技術科学大学)

共同研究者名 = 藤田昌一 (長岡技術科学大学)

研究目的 = 日本で排出される一般廃棄物は年間約 5,000 万トンであり、廃棄物のエネルギー転換利用は、処分場不足対策、循環型社会構築のいずれの観点からも喫緊の課題である。一般廃棄物の約 8 割が焼却処分されており、大型処理施設 (処理量 200 トン/日以上) では一部が発電を行っているが発電効率は 20% と低く、また、9 割を占める中小規模処理施設では従来型の蒸気タービンによる廃棄物発電では発電効率が低い。このため現在の技術では経済性の確保が難しいことから殆ど発電が行われていないのが現状である。

このような中、先進型の廃棄物処理技術として、中小規模の処理施設でも高効率発電が可能な熱分解 - ガス改質技術が注目されている。本研究では、この熱分解 - ガス改質型発電技術において最適運転条件の決定や安定処理を可能にするために、熱分解条件が回収ガス組成へ与える影響を定量的に把握し、高い熱量を回収可能な条件の検討を行うことと、熱分解ガス改質の反応過程をモデル化し、様々な熱分解条件での回収ガス組成の予測が可能な熱分解 - ガス改質モデルを構築し検討することを目的として研究を行った。

研究方法 = 本研究は大きく分けて ベンチスケールの熱分解炉を用いた熱分解 - ガス改質実験と 熱分解 - ガス改質モデルの構築に分かれる。

熱分解 - ガス改質基礎特性実験

実験では、熱分解炉において温度や改質剤 (酸素 (O_2)、水蒸気 (H_2O)) 投入量を変化させて回収ガスに与える影響の把握を行った。熱分解原料にはごみ質の違いの影響を

避けるため組成が比較的均一な下水汚泥（乾燥）を用いた。実験条件は熱分解温度を 400～700 とし、雰囲気は 窒素のみ、 窒素+酸素、 窒素+水蒸気、 窒素+水蒸気+酸素で熱分解実験を行った。酸素の投入は O_2/C （投入酸素量/試料中の炭素量）で 0.07～0.20mol/mol、水蒸気の投入は H_2O/C （投入水蒸気量/試料中の炭素量）で 0.14～0.48mol/mol で実験を行った。熱分解条件の違いによる熱分解生成物への影響について熱分解ガスの組成、熱分解ガスの低位発熱量、原料の単位重量あたりの回収熱量から把握を行った。

熱分解 - ガス改質モデルの構築

昇温および定温条件での熱分解過程において、一般廃棄物の組成から従来の熱分解条件（温度、時間）における、熱分解残渣発生量を予測可能なモデルを構築した。さらに、本モデルをガス間の反応を考慮したものに拡張するために、炉内の反応を 熱分解、部分燃焼・ガス化、 ガス改質に分け、各反応における物質収支の定式化を行い、温度や改質剤投入が回収ガス組成に与える影響を予測可能なモデルの検討を行った。構築したモデルによりガス生成シミュレーションを行い、熱分解 - ガス改質において原料から発生した物質が素反応に伴ってどのような反応過程を示すか検討した。

結果と考察 =

熱分解ガス改質実験

・熱分解温度条件の影響

熱分解ガスは、二酸化炭素、一酸化炭素、水素、メタンの順に多く発生した。これは下水汚泥中に含まれている酸素との反応によるものと考えられる。また水素の発生が他のガスに対して遅れる結果となった。これは有機物中の水素は比較的結合力が強いためだと考えられる。400、500、600、700 で実験を行った結果、熱分解温度が高いときエチレンやエタンなど炭化水素類の増加が見られた。これは生成されたタール等の比較的大きな分子が活発に低分子化されたと考えられる。また、温度が高くなるのに伴い、熱分解ガス発生ピークが早くなり、生成ガス量、低位発熱量、熱分解原料の単位重量当たりの回収熱量のすべてにおいて高温の条件ほど高くなる結果となった。700 でガス量は約 4200mol/kg-sludge、低位発熱量は約 5000kcal/Nm³ で、単位重量当たりの回収熱量は約 470kcal/kg-sludge となった。

・酸素投入の影響

熱分解温度 600、酸素投入量 O_2/C を 0.07、0.10、0.11、0.13、0.20 mol/mol で実験を行った。酸素の投入により可燃分の部分燃焼が促進され二酸化炭素と一酸化炭素の生成が増加し、熱分解速度が早くなることが分かった。これは水素及び炭化水素類のピークが早くなったことから言える。さらに酸素投入の効果として部分燃焼により炉内温度が 100 程

度上昇し、これが熱分解反応の促進に大きく寄与していると考えられる。酸素投入量の違いで比較すると、酸素投入量 0.07mol/mol では顕著な改質効果は見られず、酸素投入量 0.20mol/mol では熱分解反応よりも部分燃焼反応が進み、熱分解ガスのおよそ大半を二酸化炭素が占めて発熱量が低下した。酸素投入量が 0.11~0.13mol/mol で効率的な酸素改質ができる結果となり、600 で酸素投入量が 0.11mol/mol のとき原料の単位重量当たりの回収熱量が約 400kcal/kg-sludge で、窒素のみ条件の場合の約 280kcal/kg-sludge から 40%増加する結果となった。

・酸素および水蒸気投入の影響

熱分解温度が 600、酸素投入量 O_2/C が 0.13mol/mol において水蒸気の投入量 H_2O/C を 0.14、0.26、0.48mol/mol で実験を行った。水蒸気を投入することで、水素および一酸化炭素が、酸素の投入終了時まで発生することが確認された。これは水蒸気投入による水性ガス化反応により、チャー（固定炭素）及びタールがガス化し水素および一酸化炭素の発生に寄与したと考えられる。また水蒸気のみ投入では顕著な改質効果は現れず、酸素と同時に投入することで炉内の熱分解温度が上昇し水性ガス化反応に必要な熱エネルギーが得られることが分かった。さらに水蒸気の投入効果として目視により熱分解ガス中のタールの発生が抑制されていることが確認できた。600、酸素投入量 0.13mol/mol で熱分解では、原料の単位重量当たりの回収熱量は約 280kcal/kg-sludge だったのに対し、さらに水蒸気の投入を行うことで回収熱量の増加効果があり、水蒸気投入量 0.26mol/mol の場合で最も高く、原料の単位重量当たりの回収熱量は約 360kcal/kg-sludge になり約 80kcal/kg-sludge 上昇した。

一連の熱分解 - ガス改質実験の結果から、熱分解温度 600、酸素投入量 0.11mol/mol、水蒸気投入量が 0.26mol/mol において効率的に熱量回収が行えると示唆され、単位重量当たり約 480kcal/kg-sludge の回収が見込める。

熱分解 - ガス改質モデルの構築

一般廃棄物の組成を代表的な化学物質に置き換えて各代表物質の反応速度解析の結果から得られる各熱重量曲線を重量割合で加算し一般廃棄物の熱重量曲線を表現する熱分解モデルを構築し、いくつかのごみ固形燃料 (RDF) の代表物質組成で残渣発生量のシミュレーションを行った結果、熱分解実験による結果とほぼ一致し、様々な組成に対する一般廃棄物の熱分解残渣発生量の違いを表現可能となった。さらに、本モデルをガス間の反応を考慮したものへと拡張するために、ガス間の反応の物質収支を定式化し、ガス生成シミュレーションを行った。改質剤を投入することによって、反応開始直後に二酸化炭素と水蒸気が改質剤を投入しない場合に比較して約 3 倍生成された。これは投入した酸素のチャーや熱分解ガスとの部分燃焼反応を起こしたことによるものである。酸素消費後は、水素や一酸化炭素の割合が増加した。これは熱分解ガス中のメタンやエチレンが、投入および部分燃焼により発生した水蒸気や二酸化炭素と改質反応を起こし、水素

や一酸化炭素に低分子化されたことによるものである。したがって部分燃焼では反応熱による温度上昇の効果だけでなく、水蒸気や二酸化炭素の生成によって改質反応を促進させる効果があることが分かった。しかし改質反応で水蒸気や二酸化炭素と反応するメタンやエチレンその他の炭化水素が消費されると、それに伴い水蒸気や二酸化炭素の消費も低下し、余分に残存する結果となり、改質剤の過剰な供給は発熱量に寄与しない水蒸気や二酸化炭素の余分な生成を招き、熱分解ガスの発熱量低下に繋がることが分かった。

結論 = 熱分解 - ガス改質実験の結果から改質剤の効果と適した分解条件について下記の点が明らかになった。具体的には、

- ・窒素雰囲気での熱分解において熱分解温度の影響を評価した結果、高温になるほど熱分解ガスの低位発熱量および原料の単位重量当たりの回収熱量は高くなった。
- ・酸素の投入で部分燃焼により炉内温度が 100 程度上昇するため、熱分解ガスの発生量が全体的に向上し熱分解速度も速くなる。しかし過剰に投入すると二酸化炭素の割合が増し発熱量の低下につながる。
- ・水蒸気を投入することにより水性ガス化反応が起こり、水素および一酸化炭素の発生が有利となる。またタールの分解効果もある。
- ・熱分解 - ガス改質実験の結果から熱分解温度 600、酸素投入量 0.11mol/mol、水蒸気投入量が 0.26mol/mol において効率的に熱量回収が行えると示唆され、原料の単位重量当たり約 480kcal/kg-sludge の回収が可能である。

熱分解 ガス改質モデルの検討を行った結果、以下のような成果を得た。

- ・熱分解過程において、定温下での熱分解モデルを用いることで、様々な一般廃棄物の組成から熱分解の反応速度を予測し、生成される揮発分と不揮発分の質量割合の時間による推移を予測可能となった。
- ・ガス成分の反応のモデルを作成することで、酸素や水蒸気の投入効果を予測可能となった。本モデルを用いてシミュレーションを行った結果、炉内の反応過程の再現が可能になり、改質剤の投入効果をより明確にすることができた。酸素の投入で部分燃焼が瞬時に支配的に進み、水蒸気と二酸化炭素が生成され、酸素消費後の改質反応に寄与していることが分かった。しかし、水蒸気と二酸化炭素は反応する炭化水素類に対して多く発生させても、炭化水素類の消費後に余分に残存することが分かった。