



Title	ごみ層からの窒素分放出挙動を考慮したNOX予測モデルを含むごみ焼却炉の数値解析手法に関する研究
Author(s)	白石, 裕司
Citation	大阪大学, 2017, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/67144
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏 名 （ 白 石 裕 司 ）

論文題名

ごみ層からの窒素分放出挙動を考慮した NO_x 予測モデルを含むごみ焼却炉の数値解析手法に関する研究

論文内容の要旨

本研究ではストーカ式ごみ焼却炉（ストーカ炉）におけるごみ層燃焼と、上部の空間の燃焼現象、および炉内の NO_x 生成・消費を表現可能な三次元の数値解析モデルを構築することを目的とした。本数値解析モデルは、ごみを構成する物質ごとの熱分解速度およびFuel-Nの放出挙動の差異を考慮可能なものとして、気相におけるFuel- NO_x の生成および消費を詳細化学反応機構により予測するモデルである。また、実用的な開発・設計に利用できる計算負荷とすることを目的に数値解析モデルを構築した。

第1章では、世界的な温室効果ガス排出低減の潮流と我が国のエネルギーを取り巻く環境から、ごみ発電の有用性とその発電効率向上の方策としての低 NO_x 燃焼技術の意義について述べた。また、ごみ焼却炉内で生じる各過程における NO_x 生成について先行研究で得られている知見を示し、各過程の現象を表現可能なごみ焼却炉の三次元数値解析モデルの重要性を述べ、本研究の目的を明確にした。

第2章では、ごみの熱分解過程におけるごみに含まれる窒素分の放出挙動を明らかにすることを目的に熱重量分析試験、熱重量分析とフーリエ変換赤外分光分析を組み合わせた熱分解ガス分析試験、バッチ式熱分解試験の3種類の試験を行い、熱分解速度をモデル化するとともに、熱分解ガス中の窒素含有成分の同定、および熱分解中の窒素分のチャー、タール、ガスへの転換率について、実験および考察を行った。

第3章では、ストーカ式ごみ焼却炉でのFuel- NO_x の生成および消費を適切に表現可能な気相詳細化学反応機構を選定することを目的に、モデル化したごみ熱分解ガスを用いて一次元に簡略化された平面火炎中の化学種濃度分布の光学計測および素反応解析を行った。適切な気相詳細化学反応機構を選定することで、 NO_x 濃度および中間生成物の挙動を表現できることを明らかにした。またFuel-Nとして NH_3 とホルムアミドのいずれを用いても NO_x 生成挙動に大きな差がないことを実験的に示した。

第4章では、Fuel- NO_x の生成および消費に及ぼす燃料組成の化学反応に対する影響を把握するとともに、Fuel- NO_x の生成挙動を表現するために必要な化学種を特定することを目的に、ストーカ式ごみ焼却炉内の燃焼を一次元に単純化して気相詳細化学反応機構を適用した解析的な検討および考察を行った。焼却炉内におけるごみの熱分解の進行度に応じた濃度分布があると考えられる H_2/CO モル比、および乾燥段中に濃度分布があると考えられる $\text{H}_2\text{O}/\text{CO}_2$ モル比を上昇させることで一次燃焼領域におけるFuel-Nの NO_x への転換率を低減でき、二次燃焼領域での温度上昇を抑制することで全領域での NO_x への転換率を顕著に低減できることを示した。また、 H_2/CO モル比および $\text{H}_2\text{O}/\text{CO}_2$ モル比の上昇による NH_3 から NO_x へ至る反応経路の変化を考察することでFuel- NO_x 低減のメカニズムを明らかにし、Fuel- NO_x の生成挙動を表現するために必要な化学種を特定した。

第5章では、ストーカ式ごみ焼却炉の数値解析にごみ層モデルを適用し、さらに NO_x 生成・消費を広範な条件で表現するために詳細化学反応機構を適用した数値解析モデルを構築した。このモデルでは、計算負荷の上昇を極力抑制できる方法で第4章までに明らかにした詳細化学反応機構に関する知見を反映した。また、小型ストーカ炉の試験結果と比較し、数値解析モデルの有効性を示した。

第6章には本論文の結論をまとめた。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (白石 裕司)			
論文審査担当者	(職) 氏 名		
	主 査	教 授	赤松 史光
	副 査	教 授	芝原 正彦
	副 査	教 授	津島 将司

論文審査の結果の要旨

ごみを焼却する際に発生するエネルギーを用いたごみ発電は比較的安定した電力の供給が可能とされており、地域の分散型エネルギー施設としての役割が期待されている。ごみを焼却する際に発生する窒素酸化物 (NO_x) を触媒により脱硝する工程ではボイラーで回収したエネルギーの一部が消費されており、焼却時に発生する NO_x を低減することは環境負荷低減のみならず発電効率向上にも貢献できる。本研究では低 NO_x に対応した焼却炉の設計・開発の効率化やコスト低減に資するツールとして、ストーカ式ごみ焼却炉 (ストーカ炉) におけるごみ層燃焼と、上部の空間の気相燃焼現象、および炉内の NO_x 生成・消費を表現可能な三次元の数値解析モデルが構築されている。本研究で得られた知見を以下に記す。

- (1) ごみに含まれる物質の内、特に Fuel- NO_x への影響が大きいと考えられるちゅう芥、布、木・竹・ワラについて熱重量分析を行い、熱分解速度式が作成された。また、TG-FTIR による分析や独自の熱分解試験を行うことで、ごみに含まれる窒素分は熱分解中に NH_3 やタールとして放出され、特にタールの成分は Formamide や Caprolactam であること、ならびにこれらの物質への転換率を明らかにした。
- (2) 単純化された火炎を対象に、レーザー誘起蛍光法 (LIF 法) による中間生成物の計測と素反応解析を行い、ごみ焼却炉の熱分解ガスの燃焼における NO_x の生成を定性的に評価できる詳細化学反応機構を明らかにした。また、 NH_3 を用いた場合と Formamide を用いた場合とでは、中間生成物や NO_x の生成に大きな差がないことを LIF 法の結果から明らかにした。数値解析においては Formamide を含む熱分解ガスの燃焼も、 NH_3 を含む詳細化学反応で表現可能であることが示された。
- (3) ごみの熱分解の進行度に応じて焼却炉内に濃度分布があると考えられる H_2/CO モル比、 $\text{H}_2\text{O}/\text{CO}_2$ モル比を大きくすることで Fuel-N の NO_x への転換率を顕著に低減できることを示した。また、Fuel-N から NO_x へ至る反応経路を明らかにして、 H_2/CO モル比、 $\text{H}_2\text{O}/\text{CO}_2$ モル比が変化した場合の反応経路への影響が考察された。
- (4) ストーカ炉の数値解析にごみ層モデルを適用し、さらに NO_x 生成・消費予測の適用範囲を拡大するために詳細化学反応機構を適用した数値解析モデルを構築した。この数値解析モデルでは Fuel- NO_x の生成経路に関する知見を活かして、計算負荷の上昇を極力抑制できる手法を用いて NO_x の生成および消費を表現した。また、小型ストーカ炉での試験結果と比較することで、構築した数値解析モデルの有効性が示された。

以上のように、本研究ではストーカ式ごみ焼却炉 (ストーカ炉) におけるごみ層燃焼と、上部の空間の気相燃焼現象、および炉内の NO_x 生成・消費を表現可能な三次元の数値解析モデルが構築され、その有効性の検証が行われている。構築されたモデルは低 NO_x に対応したごみ焼却炉の設計や開発に有効なツールとなることが期待され、燃焼工学の進展ならびにごみ焼却炉の設計・開発に貢献するところが大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。