

## 論文名

都市ごみ焼却炉の排ガス急冷法によるダイオキシン類  
の生成抑制に関する研究

## 氏名

生産科学研究科  
久保田 英士

## 論文内容の要旨

都市ごみ焼却炉ガス中のダイオキシン類(PCDD と PCDF の総称)は 150~400°Cで大部分が生成される。通常焼却炉で行われている抑制法は高温加熱による熱分解が主体である。しかしながら高温ガスを大気へ放出するために約 200°Cの低温ガスとするので、その温度降下時にダイオキシン類が再合成される。例えばある焼却炉の排ガスボイラの節炭器出口でダイオキシン類濃度は 1.0( $\text{ngTEQ}/\text{m}^3\text{N}$ )であったが、節炭器出口と同温度に 2 秒保つ間に 6.6( $\text{ngTEQ}/\text{m}^3$ )になり、6 倍以上に増加している。この降温時の再合成を防ぐため、ダイオキシン類の再合成に必要な時間内に急速に冷却すればダイオキシン類の生成は抑制されることになる。従ってこの再合成抑制にはダイオキシン類の生成速度論と高温ガス冷却論を検討する必要がある。ガス急冷を実現するための冷却法として本論文ではスプレイ水噴射と Joule-Thomson 効果及び断熱膨張を研究した。以上のダイオキシン類生成速度論及び高温ガス冷却論を総合して、計算プログラムを作成して、実焼却炉のデータを用いてシミュレーションを行った。以下各章について記述する。

1 章.ではダイオキシン類の生成抑制対策を立てるため、長崎県下の 10 焼却プラントの実態調査を行った。150t/d 焼却炉プラントの排ガスボイラ出口でダイオキシン類 1( $\text{ngTEQ}/\text{m}^3\text{N}$ )が 2 秒後に 300°Cのガス中で 6.6( $\text{ngTEQ}/\text{m}^3\text{N}$ )と再合成により増加した。電気集塵機は小さな飛灰の除去が困難なため、ダイオキシン類の抑制効果は少なかった。2 章では.排ガス中のダイオキシン類の生成速度に関する調査と解析をおこなった。Shaub と Tsang はダイオキシン類は主として飛灰上の前駆体とガス中の前駆体が、灰上に存在している触媒の作用を受けて反応生成するとし、更にアレニウスの式を用いて生成速度論を構築した。Dickson は飛灰のサンプルと、 $^{13}\text{C}$ -ペンタクロフェノール及び  $\text{N}_2$  ガスを 300°C に加熱しダイオキシン類の生成実験を行った。その結果ダイオキシン類は 150~400°Cで生成される事を始めて示した。実験に際しては精密に機器や使用したサンプルを洗浄して不純物が混入することを防いでいる。Altwicker は Shaub,Dickson 等の 4 段階説を実焼却炉の状況を観測したデータにより係数を修正した。筆者はこの Altwicker の 4 段階説を基本として計算プログラムを書き、シミュレーションを行った。Stanmore は DeNovo 説を取りガス中の塩酸が有機物と衝突反応し、ダイオキシン類が生成するとした。ダイオキシン類の生成量は塩酸分子の衝突回数よるとした。又焼却炉出口に熱交換器を設置してガスを急冷し熱交換器前後のダイオキシン類を計測し、ガス急冷によりダイオキシン類が急減することを確認し時間に対するダイオキシン類の減少を示すクーリングファクタ  $\beta$  (K/s) を導入した。

3 章では排ガスの急冷法に関する調査と解析をおこなった。スプレー水噴射に関しては小林、甲藤、水谷の研究を取り上げた。同一入力値を3者の式に代入して誤差を調べたが100%水滴が蒸発する時間は水谷の式が最短であった。(2%短い)。計算プログラムには水谷の式が Longwell が熱力学により理論的に導いた蒸発係数  $C_e$  を用い、又蒸発開始までの理論式も簡潔であり優れていると判断し採用した。スプレー水以外のガス冷却法として Joule-Thomson 効果及び断熱膨張による方法を検討した。急冷速度と降下温度は十分であるが、高温高圧の特殊設計のガス圧縮機が必要である。

4 章では排ガス冷却によるダイオキシン類生成抑制論に関する理論を提案した。燃焼ガス中の飛灰(直径  $0.8 \mu\text{m}$ )の伝熱係数の算出は  $Nu=2$  が成立した場合、The Lumped Capacitance Method により、 $400^\circ\text{C}$ の灰を  $300^\circ\text{C}$ のガス中に投入したと言う条件で、冷却時間を求めたら  $0.0000001\text{sec}$  となった。従ってガスと飛灰の冷却速度はほぼ等しいと考えられる。又ガス及び灰の化学的性質について述べた。

5 章ではプログラム作成前の手計算による予備検討を行った。プログラム作成上の基本やネックになる困難な計算を主として検討した。計算モデルの設定、所要スプレー水量の計算、水滴蒸発開始温度の計算(これは水滴平衡温度の計算であり  $80^\circ\text{C}$ となった)、蒸発開始までの時間、水滴蒸発完了迄の時間、水蒸気とガスの混合物の比熱はそれぞれのモル分率を求め計算を行った。

6 章では排ガス冷却法によるダイオキシン類抑制計算プログラムを作成した。ダイオキシン類生成速度は Altwicker の4段階生成説により、伝熱論は水谷の理論により、スプレー水の蒸発量の計算は水滴直径減少の二乗に比例すると言う経験則を応用した。又計算プログラムは Excel に組み込み、実焼却炉のデータを入力してシミュレーションを行った。

7 章ダイオキシン類生成抑制プログラムによるシミュレーション結果を記した。Altwicker の場合、横軸にガス温度、縦軸にダイオキシン類量を取り、水滴径  $dsp(\mu\text{m})$ 毎にプロットすると、ダイオキシン類量は中高の釣鐘状となり  $350^\circ\text{C}$ で最大となる。又このグラフからダイオキシン類抑制率  $\eta(\%)$ を求めた。Stanmore の場合、水滴径が大きくなるほどダイオキシン類量が減少する事になり、Altwicker の場合と逆になったので、Altwicker の結果を採用する事とした。更に焼却炉の燃焼空気量の減少など運転状況をシミュレーションにより検討し、ダイオキシン類量を抑制できる方法など焼却炉の運転指針を示す事が出来た。

都市ごみ焼却炉の場合、ごみの元素分析が判明すれば、燃焼空気量、燃焼ガス量、燃焼ガス温度を計算によって正確に求める事が可能であり、「Excel 計算プログラム」を使用して、生成するダイオキシン類量のシミュレーションを既設及び新設ごみ焼却炉について実施出来る事になり、其の成果は大きいと考えている。

8 章結論 都市ごみ焼却炉のダイオキシン類の理論的生成機構を明らかにするため、Shabu, Altwicker 及び Stanmore 等の論文を検討し、ダイオキシン類の生成速度論と水谷、Longwell によるスプレー水滴蒸発冷却理論を検討し、両者を総合してダイオキシン類生成速度論を構築し、Excel で計算プログラムを作成し、ガス温度および水滴径毎にシミュレーションを行い、その結果、筆者はダイオキシン類生成抑制率  $\eta$  カーブを作成した。

