

## 学位論文題名

ごみ埋立地から発生する地球温暖化ガスの制御に  
関する基礎的研究

## 学位論文内容の要旨

廃棄物処分場は人々の生活や事業活動から発生する廃棄物処理の最終段階に位置する重要な施設である。その施設の必要性については万人が認めるが、自分の近くの土地に設置されると反対する方が現実である。さて、日本における廃棄物問題の直接的原因は廃棄物処分場の立地難にある。それを解消するために、1)環境保全技術の完成と、2)付近住民に価値のある施設とすることが急がれる。

そのための研究の一つとして埋立ガスの制御がある。埋立ガスは炭酸ガス・メタンガスなどからなり、これらのガスは地球温暖化ガスであると同時に、メタンガスは火災や爆発の原因となる。埋立中は周辺住民や作業員への危険なガスとなり、埋立終了後の跡地利用時には高度な利用を阻害する。

そこで、本研究では、埋立地から流出するガス量の測定方法を確立し、各種の実埋立地における炭酸ガスとメタンガス流出量などを詳細に測定し、埋立地のガス流出特性などを示した。また、ごみ層内に設置されたガス抜き管に圧力勾配でガスが流れる場合のごみ層内の圧力分布、流速分布を計算する方法を開発し、ガス抜き管の集ガス率や覆土下の圧力に影響する因子を数値計算により明らかにした。この結果から実埋立地における流出ガスを制御するためのガス抜き管の設計法を提案した。

以下に本研究の内容をまとめる。

第1章では、本論文の背景としていままでの研究について説明し、研究の目的・意義について触れ、最後に本論文の構成について述べた。

第2章では、実埋立処分場のどの場所からどのようなレベルのガス流出があるのかを解明することにした。研究対象地は混合ごみを埋立しているH埋立地(第I期:埋立終了後12年,第II期:埋立終了後4年,第III期:埋立中)と焼却残渣,不燃ごみを埋立中の4つの実埋立地で、ガス抜き管からのガス発生量,覆土やごみ層表面からのフラックス,埋立内のガス濃度や温度分布などを2年間にわたって測定をした。

測定結果から次のことが得られた。①混合ごみ埋立地では埋立年数が長いとガス発生が弱くなり、ガス発生分布に場所的な偏りができる。②埋立地から流出するガスの大部分は、ガス抜き管と覆土表面から流出する。③ガス抜き管からのガス発生量は数倍の幅で変動する。④覆土からのフラックスは時間により、場所により、オーダー的に変化する。⑤焼却灰主体の埋立地では、メタンガスの発生が見られず、また、炭酸ガス発生も混合ごみ埋立地よりもオーダー的に少なかった。⑥ガス発生が弱くなると、覆土内のメタンガス、炭酸ガス濃度が少なくなり、酸素や窒素の浸入が見られる。

第3章では、ガス量とフラックスの測定誤差について検討を行った。

その結果、ガス抜き管におけるガス量測定については、①埋立地表面の覆土が  $K_s/L_s=10^{-16} \text{ m}$  以

下の大きな抵抗をもつときには、流量測定に伴って圧損の生じる流量計を用いても正確に測定することができる。しかし、 $K_g/L_g=10^{-16}$  m より大きい覆土で被されている場合は、熱線流速計のような圧損のない測定法によらねばならない。②圧損のない熱線風速計を用いてガス流量を測定する時にも、次の誤差があるので補正を行う必要がある。ガスの熱特性( $\rho C_p/k$ )の補正が必要である。また、中心速度 $u_{max}$ のみを測定しそれから平均流速 $u_{ave}$ を求めるときには、 $u_{ave}/u_{max}$ がRe数の関係となり、補正する必要がある。これらの補正には、ガス組成の測定が不可欠である。また、③チャンバー法による表面フラックスの測定については、チャンバー法によるフラックス測定をするときに、高さ10~30 cm程度の密閉型チャンバーを用いて圧力差によって生じるフラックスを測定する場合には、覆土透気係数/覆土深さ( $K_g/\Delta z$ )が $10^{-12}$  m程度まで大きくなると短時間でチャンバー内の圧力が飽和してしまうので正確なフラックスを測定することができない。④微生物(メタン酸化菌)によるメタン酸化反応が覆土からのフラックスに影響すると推測され、メタンフラックスが $10^{-5}$  mol/(m<sup>2</sup>·s)以下になると影響を受け、小さくなる。

第4章では、ガス発生圧によって流れる埋立ガスをガス抜き管で集ガスする場合についてガス流れの計算法を示し、この計算法を用いてガス抜き管の設計因子に対する影響について検討した。

その結果から次のことが得られた。①ガス発生や透気係数に分布がある場合、任意のガス抜き管形状・任意の透気係数分布に対して、ごみ層内の圧力及び流速分布を計算するコンパートメントモデル計算法を示した。②ガス抜き管を設計する時の制御目標は、集ガス率と覆土下の最大圧力であり、 $GL_z \leq$  覆土からの拡散フラックスでは、ガス抜き管を設置しても効果的な集ガスは期待できない。③集ガス率 $\eta$ と覆土下最大無次元圧力 $\overline{\Delta P}_{max}$ に対する影響の大きな因子は覆土透気係数/ごみ層透気係数( $K_g/K_g$ )とガス抜き管の距離/ごみ層の深さ( $L_x/L_z$ )である。④水平に敷設される中間覆土と水平即日覆土は集ガス率と覆土下最大圧力に影響しない。⑤鉛直即日覆土は集ガス率と覆土下最大圧力に大きく影響する。従って、即日覆土の透気係数は極力、大きくすべきである。⑥ガス抜き管が浸出水集排水管と兼用されている場合には、そうでない場合と比べて(1- $\eta$ )と $\overline{\Delta P}_{max}$ は約1/5になる。

第5章では、第4章の成果に基づいてガス抜き管をどのように設計すればよいかについて述べる。

①中間覆土や即日覆土については、水平方向に敷設される覆土の影響はないが、鉛直方向に敷設される即日覆土の影響は大きく、即日覆土の透気係数 $K_{gd}$ /ごみ層の透気係数 $K_g$ は約10以下であることが集ガス率を高め、圧力を低く制御するために必要である。②独立に鉛直方向にごみ層底部までガス抜き管が設置される場合、及び鉛直ガス抜き管がごみ層底部の浸出水集排水管に接続される場合について、設計に用いるのに便利な線図を作成し、使用例と共に示した。③最終覆土が難透気性膜を用いて作られる場合については、覆土下最大圧のみが制御目標値になるが、その場合の設計のための線図を作成し、使用例と共に示した。④ガス発生が微弱になり、ガス発生量 $G \cdot L_z$ が覆土からのガス拡散による漏出量 $q_c$ とほぼ同じオーダーになる時には、設計法が前述の場合と異なるが、それについて補正法を示した。⑤鉛直ガス抜き管の上端を横引き水平管で接続する場合についても、極端に大きな面積のガスを集めようとしない限り、本設計法が適用可能である。

第6章では、本研究の総括である。

以上のように、廃棄物埋立地における地球温暖化ガスについて、流出ガス量の測定方法を確立し、炭酸ガスとメタンガス流出量の詳解なデータと流出特性などを示すとともに、これらのガスを制御するためのガス抜き管の設計法を提案した。

# 学位論文審査の要旨

主 査 教 授 田 中 信 壽  
副 査 教 授 高 桑 哲 男  
副 査 教 授 太 田 幸 雄

## 学位論文題名

### ごみ埋立地から発生する地球温暖化ガスの制御に 関する基礎的研究

ごみ埋立地はごみ処理の最終段階に位置する重要な施設であるが、環境保全に関して多くの問題を抱えている。その解決のためには埋立地による環境汚染を可能な限り早期になくすることが大切である。

本論文は、このような点から、ごみ埋立地における地球温暖化ガスの制御に関する基礎的な研究に取り組んでいる。その主な結果は次の点に要約できる。

1) 埋立地特性の異なる4つの実埋立地でガス抜き管や埋立地表面から流出するガス量などを2年間にわたって測定し、①混合ごみ埋立地では埋立年数が長いとガス発生が弱くなり、ガス発生分布に場所的な偏りができる。②流出するガスの多くはガス抜き管から流出する。③ガス抜き管からのガス流出量や覆土からのフラックスは時間により、場所により、オーダー的に変化する。④焼却灰主体の埋立地では、メタンガスの発生が見られず、炭酸ガス発生も混合ごみ埋立地よりもオーダー的に少ない。などの結果を得ている。

2) ガス流出量とフラックスの測定誤差について検討を行い、①覆土透気係数 $K_s$ /覆土厚さ $L_s > 10^{-10}$  mである場合は熱線流速計のような圧損のない測定法によってガス流出量を測定しなければならない。②圧損のない熱線風速計を用いて測定する時にも、ガス組成を用いた補正を行なう必要がある。③高さ10~30 cm程度の密閉型チャンバーを用いてフラックスを測定する場合には、 $K_s/L_s$ が $10^{-12}$  m程度まで大きくなると正確なフラックスを測定できない。④覆土中でメタン酸化反応があると、 $10^{-5}$  mol/(m<sup>2</sup>・s)以下のメタンフラックスで測定フラックスが発生フラックスよりも小さく計測される。などの結果を得ている。

3) ガス発生圧によって流れる埋立ガスをガス抜き管で集ガスする場合について、①ごみ層内の圧力及び流速分布を計算するコンパートメントモデル計算法を開発した。②ガス抜き管を設計する時の制御目標は集ガス率( $\eta$ )と覆土下最大圧力( $\Delta P_{max}$ )であり、(ガス発生速度 $G$ ) $\times$ (ごみ層深さ $L_z$ ) $\leq$ 覆土の拡散フラックス $q_c$ の時は、ガス抜き管を設置しても効果的な集ガスは期待できない。③ $\eta$ と $\Delta P_{max}$ に大きく影響する因子は覆土透気係数 $K_s$ /ごみ層透気係数 $K_x$ とガス抜き管の距離の半分 $L_x$ /ごみ層深さ $L_z$ である。④鉛直即日覆土は $\eta$ や $\Delta P_{max}$ に大きく影響する。⑤ガス抜き管が浸出水集排水管と兼用される場合には、そうでない場合と比べて $(1-\eta)$ と $\Delta P_{max}$ は約1/5になる。などの結果を得ている。

4) ガス抜き管の設計理論を提案している。つまり、①即日覆土透気係数/ごみ層透気係数は約10以上であることが必要である。②独立にごみ層底部まで整形ガス抜き管が設置される場合、及び整形ガス抜き管がごみ層底部の浸出水集排水管に接続される場合について、設計に便利な線図を作成した。③埋立地表面が難透気性膜で被われる場合の設計線図を作成した。④ガス発生が微弱( $G \cdot L_z \div q_c$ )である時の設計の補正法を示した。

これを要するに、著者は、ごみ埋立地における地球温暖化ガスについて、流出ガス量の測定方法を確立し、異なった条件の埋立地における炭酸ガスとメタンガス流出量測定値を示すとともに、これらのガスを制御するためのガス抜き管の設計理論を提案したものであり、廃棄物工学、環境工学に貢献するところ大なるものがある。

よって、著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。