

B-16. 地球温暖化抑制のための汚水・廃棄物処理処分システムの確立と評価に関する研究

- (1) 汚水・廃棄物の処理処分に伴う温室効果ガス発生量、有効利用可能エネルギー量、リサイクル可能資源量の評価と解析に関する研究
- ③ 埋立地からのメタンガス回収・有効利用に関する研究

研究代表者 国立環境研究所 稲森 悠平

(委託先) 東北学院工学部 遠藤 銀朗

平成4～6年度合計予算額 6,516千円
(平成6年度予算額 2,311千円)

[要旨] 地球温暖化の主要な原因ガスの一つであるメタンを含むガスを大量に発生する廃棄物埋立地は、温暖化ガスの発生源として無視することができないと考えられる。本分担研究の目的の一つは、廃棄物埋立地から発生するメタンおよび二酸化炭素の発生ポテンシャルを定量的に評価することである。さらに、温暖化への効果が等モルあたり二酸化炭素の20倍以上といわれるメタンを、廃棄物から回収可能なエネルギー資源として有効に利用した後に二酸化炭素として大気にもどすことによる、温室効果ガスの実質的な発生削減量を評価することを目的とした。また、廃棄物埋立地から発生するメタンの有効利用によって達成されると考えられる化石エネルギー資源の温存効果についても検討した。

本分担研究は3年間に亘ってなされ、初年度である平成4年度においては、従来の分析データに基づいて一般廃棄物の組成を模擬した人工モデルごみを作成し、嫌気生発酵による廃棄物のガス化のための条件について回分実験を、また従来の埋立地から発生するメタン等の温室効果ガスの発生ポテンシャルについて埋立地を模擬した室内規模のカラム実験を行った。平成5年度には、室内規模カラム実験によって廃棄物埋立地から発生するメタンを有効に利用することを目的として、発生量を増大させるための新しい廃棄物埋立方式について検討した。また、従来方式の埋立地と比較して発生するメタンのエネルギー資源としての有効利用の可能性について調査した。最終年度である平成6年度における研究では、コントロールされることがなく回収されることがなかった従来型の廃棄物埋立地から発生するメタンを、前年度までの研究によって明らかになった埋立工法および埋立地管理方法によって回収し、それを代替エネルギー資源として有効に利用した場合のエネルギー回収可能量と、結果的に達成可能な地球温暖化の削減効果について解析的に評価した。

[キーワード] 温暖化防止、廃棄物埋立地、メタン、回収、有効利用

1. 序

都市や事業所から排出される廃棄物および廃水には、それらが処理・処分される過程において地球温暖化の主要な原因ガスである二酸化炭素とメタンを産出する。これは主として廃棄物や廃水中に炭素化合物である有機物を多量に含んでいることによるが、廃棄物の処理が元素の循環の原理にしたがってリザーバーとしての大気や海洋水に炭素を還流することを基本にしているため回避できない問題である。都市や産業事業から排出される廃棄物すなわち「ごみ」は、通常わが国においては收拾され破碎や焼却などの中間処理を経た後に、埋め立てによって最終処分されている。このなかの焼却処理の採用は現在のところわが国特有の理由によるもので、世界的にみれば条件がわが国に似ているごく一部の国を除いて一般化された廃棄物の処理方式とはなっていない。より一般的には、生ごみを含む廃棄物は焼却処理されることなく処分されるが、この場合には処分場において微生物による有機物の分解が進行し、前述のようなメタンと二酸化炭素の発生が顕著にみられ地球温暖化の原因の一つになっていると考えられる。

水分を多量に含んだ家庭生ごみや汚泥等の廃棄物の焼却処理においては、実質的な回収エネルギー量（低位発熱量）が限定されるため、たとえ廃棄物を処理するといった第一義的な目的があるとはいえ、それによって排出される二酸化炭素量あたりの獲得できるエネルギー量は化石燃料等に比較して少ない。逆に、前述の微生物によってなされる廃棄物の嫌気性発酵によって低位発熱量の高いメタンをガスとして大量に発生するという事は、廃棄物の含水量によって左右されずに廃棄物中のエネルギーを高効率で分離し回収することが可能であることを示すものである。しかし、廃棄物の嫌気性発酵によるエネルギーガスの回収は適切な方式と管理のもとになされなければ利用価値の低いものにならざるをえないだけでなく、温暖化ガスの大量発生源として危惧されるようになることがこれまで廃棄物埋立処分場の実際の姿であることも事実である。したがって、グローバルな廃棄物の処理・処分に伴う温暖化ガスの排出を検討するにあたっては、廃棄物の量的把握と処理・処分の方式、さらに発生するガスの温暖化への寄与の割合と回収エネルギー量、および処理方式の適正化による温暖化に対する寄与の削減の程度を評価することが重要と考えられる。

平成4年度から平成6年度になされた本研究においては、「埋立地からのメタンガス回収・有効利用に関する研究」を分担研究課題として、廃棄物埋立地におけるメタン・二酸化炭素の発生ポテンシャルを知るための研究と、回収可能エネルギー量の推定および発生メタンのエネルギー利用の結果として達成される地球温暖化の防止効果の定量的評価について検討を行ってきた。平成4年度においては報告されている分析データに基づいて廃棄物の組成を模擬した人工ごみを作成し、嫌気性発酵によるガス発生の条件について基礎的な実験研究を行った。さらに、廃棄物埋立地を模擬した埋立地カラム実験装置を用いて、従来の廃棄物埋立工法によって埋め立てられた廃棄物からのメタンと二酸化炭素発生の進

行過程について調査した。平成5年度においては、発生メタンのエネルギー利用の可能性を調査することを目的として、ガス発生と回収にとって有効な新しい埋立工法と埋立地管理方法に関して埋立地カラム実験を行った。最終年度である平成6年度においては、コントロールされることがなく回収されることがなかった従来型の廃棄物埋立地から発生するメタンを、前年度までの研究によって明らかになった埋立工法および埋立地管理方法によって回収し、それを代替エネルギー資源として有効に利用した場合のエネルギー回収可能量と、結果的に達成可能な地球温暖化の削減効果について解析的に評価した。

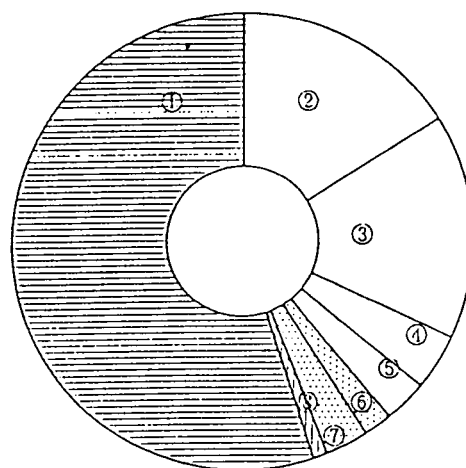
本報告書では、平成6年度終了研究として全研究期間（平成4年度～平成6年度）に行った（1）廃棄物埋立地において発生する温暖化ガスの発生量の把握、（2）エネルギー資源ガスの回収のための最適埋立方式の検討、（3）最適化埋立地におけるメタンの発生速度と回収可能ガス量の評価、（4）回収ガスの有効利用による電力エネルギー獲得量の推定、および（5）埋立地から発生するメタンを燃料利用することによって達成される地球温暖化の防止効果、について研究結果を総括し報告する。

2. メタン回収と有効利用を目的とする廃棄物埋立方式と埋立地の管理方法に関する研究

報告されている一般廃棄物の組成に基づいて図-1に示した人工ごみを作成し、これを以下に示す各実験研究に用いた。まずこのモデルごみが嫌氣的に分解する際に発生するメタンと二酸化炭素の量と、それらの発生速度がごみ質および嫌気性発酵の条件によってどのように変化するかについて、回分実験によって以下のような条件で実験を行った。

200 mLの広口ビンにモデルごみを25 gを入れ、これに以下の緩衝液または栄養素添加液を加え、窒素ガスでヘッドスペースガスをパージした後、サンプリングポート他を設けたゴム栓によって封じ、15℃、20℃、25℃、30℃、35℃でインキュベートして発生するガス量およびガス成分を測定した。

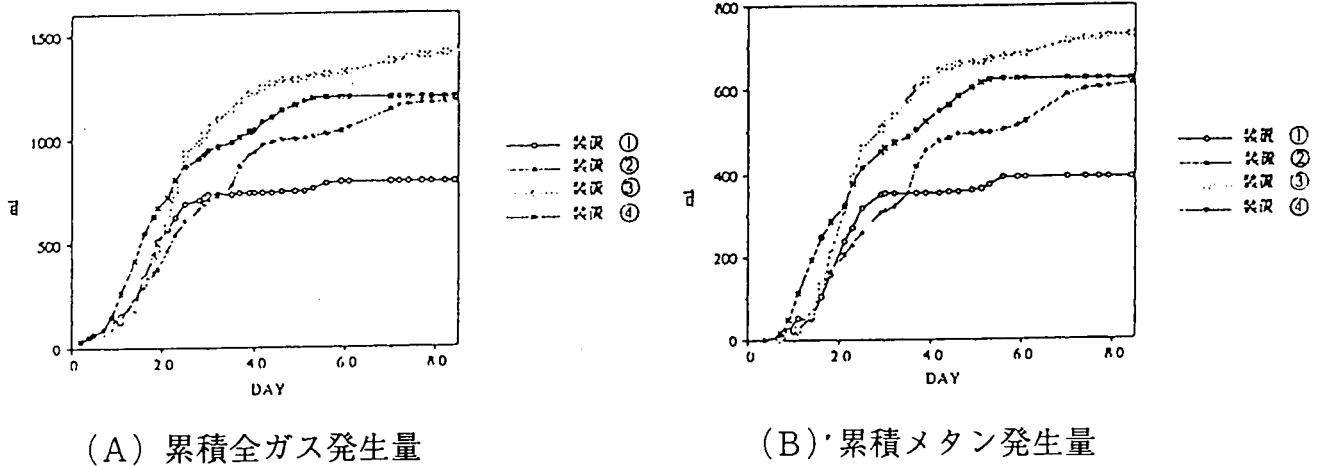
- 1) 100 mLの純水
- 2) 100 mLのリン酸緩衝液(pH 7.3)
- 3) 0.1 gの酵母エキスを加えた
100 mLの純水



(人工ごみの成分率)
 ① 含水率：55.0%、② 紙粉末：15.8%、
 ③ 赤玉土：15.8%、④ 酵母粉末：4.5%、
 ⑤ 発酵鶏粉：3.2%、⑥ 魚粉：2.2%、
 ⑦ 石灰：2.3%、⑧ 消化下水汚泥：1.3%
 図-1 本研究で用いた人工ごみの組成
 (成分率は乾燥重量ベース、有機物含率 26.4%)

4) 0.1 g の酵母エキスを加えた 100 mL のリン酸緩衝液 (pH 7.3)

上記回分実験によって得られた 25 g のモデルごみから発生した全ガス量およびメタン量は図-2 に示すとおりであった。これらの図から知られるように、発生する全ガス量およびメタン量は、栄養素としての酵母エキスを添加することによって、また嫌気性発酵の進行が阻害されないようにごみの pH 低下を抑制する (緩衝能力を増強する) ことによって、大幅に増大することが知られた。また、データとして図示していないが、15°C ではガスの発生が微量であり特にメタンの発生が殆どみられなかったのに対して、25°C 以上ではガス発生が顕著にみられるようになり、行った実験範囲では 35°C において最も多くのガス (メタンを含む) の発生がみられた



(装置 ①) ; 100mL の純水中での発酵、装置 ②) ; 100mL のリン酸緩衝液中での発酵、装置 ③) ; 1 に酵母エキスを添加、装置 ④) ; 2 に酵母エキスを添加)

図-2 回分発酵実験における人工モデルごみからのガス発生の経日変化

以上の埋立地からのガス発生のポテンシャルと発生のための条件についての基礎実験の結果を踏まえて、図-3 に示した実際の埋立地を想定した模擬埋立地カラム実験装置 (アクリル樹脂製、2種類) を用いて、従来の埋立工法によって埋め立てられたごみからのメタンおよび二酸化炭素の発生と、発生におよぼす埋立地方法の影響について研究を行った。

埋立地カラム実験装置として、ステンレス網によって 4 段に分割したカラムに合計 16 kg の前述の人工モデルごみを充填したものを 4 カラム用いた。これらのうちのひとつ (カラム No.1) では、カラム底部にエアーポンプによって空気を送り、好気性埋立地を模擬した実験を行った。他の三つの埋立地カラム実験装置 (カラム No.2、カラム No.3 およ

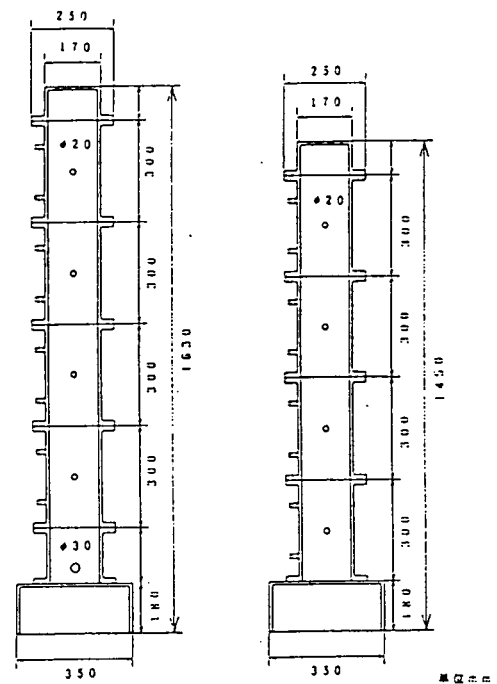
びカラムNo.4)は完全密閉式として、嫌気性埋立地を模擬した実験に用いた。また、後者の内の二つ(カラムNo.3およびカラムNo.4)の内部にはカラム上部に降雨条件を与えるための散水装置を設け純水を散水した。これら3つの埋立地カラム実験装置は恒温室の中に組み立てることによって常時30℃に維持し、発生するガス量およびガス成分濃度の測定を行った。

これらの模擬埋立地カラム実験によって得られた結果は以下のとおりである。好気性埋立地を模擬したカラムNo.3では、実験期間全体をとおして検出されたガス成分は空気成分以外には二酸化炭素のみで、メタンの発生は認められなかった。また、このカラムの充填ごみには実験開始後25日め頃から担子菌類(キノコ類)が活発に増殖

しはじめ、引続き小昆虫(主にミバエ類)が大量に発生する現象がみられた。このカラムでは約100日経過した時点において充填ごみ容積が初期の約半分程度まで減少し、ごみ中の有機物の無機化による安定化が急速になされたものと考えられる。有機物の好気的な生物分解においては、有機物の炭素は主として二酸化炭素ガスとして大気中に放散されることが考えられるため、このような有機物の急速な分解に伴って大量の二酸化炭素が発生しガスとして放出されたものと考えられる。

埋立地の表面からの雨水浸透等による水の混入を遮断することを想定した完全密閉型の嫌気性埋立地カラム(カラムNo.2)による実験においては、メタン、二酸化炭素および微量の水素ガスの生成が認められた。しかし、図-4に示したようにこの埋立地カラム実験においては初期を除いて実測できるだけのガス発生はみられなかった。したがって、嫌気性埋立地が完全密閉型で外部から水分の供給を受けない状態で半乾燥状態が維持される場合には、ごみの嫌気的な生物分解が進みにくくきわめて緩慢に安定化がなされ、利用可能なメタンの回収は実質的には困難であると考えられる。

埋立地への雨水浸透を考慮した嫌気性埋立地カラム実験装置(カラムNo.3)においては、図-5に実験結果を示したように実験開始20日め頃から顕著なガスの発生がみられた。また、この初期の発生ガスの大部分は二酸化炭素でありこの状態は約60日経過するまで続き、その後にメタンの発生がみられるようになった。このことから、埋立地内におけるごみの嫌気性発酵は、おそらく酸発酵が先行しそれに伴って二酸化炭素および水素等を発生する時期と、その後のメタン発酵細菌の増殖等をまっけて発酵分解がさらに進む時期



(模擬埋立地カラム実験装置 No.1)

(模擬埋立地カラム実験装置 No.2, No.3, および No.4)

図-3 埋立地カラム実験装置

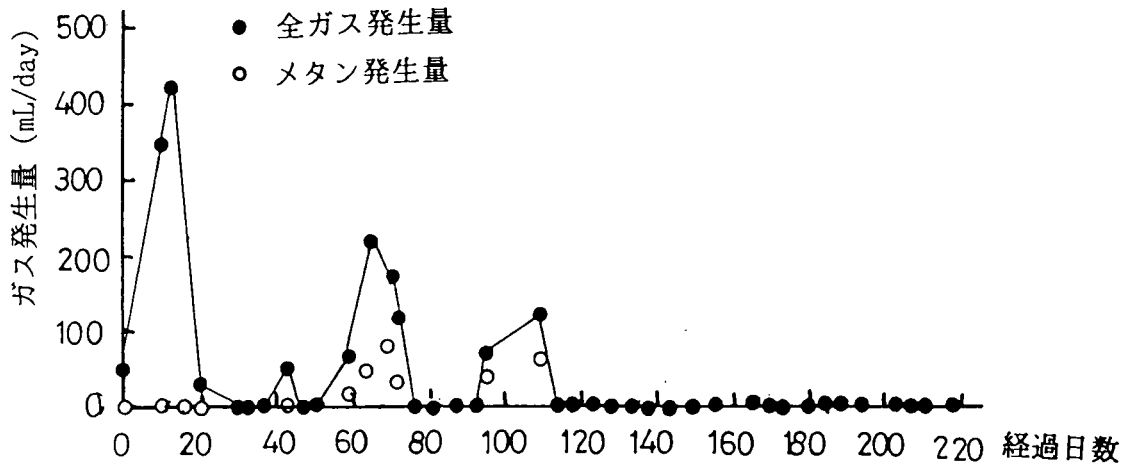


図-4 水分非供給型嫌気性埋立カラムにおけるガス発生の経日変化

との2段階プロセスよりなるものと考えられる。降雨としてカラム上部より供給した水はカラム底部に溜るようになるが、これ引き抜かなかつた場合浸出水がカラム高さの約4/5に達した時期に発生ガス量が急に減少した。これは埋立ごみ間隙に充満した水によって発生するガスの放散移動が不十分となり、何らかの発酵阻害を引き起こしたことによるものと考えられる。その後浸出水の水位をカラム高さ1/2になるように引抜き上部からの散水供給を停止することによって再びガス発生が徐々に回復し、メタンの発生も増加して全発生ガス量の40-45%を占めるに至った。以上のことから、エネルギー資源として廃棄物埋立地から発生するメタンを回収し有効に利用とする場合には、嫌気性発酵を順調に進行させるための適切な浸出水の水位の制御が必要であると考えられる。

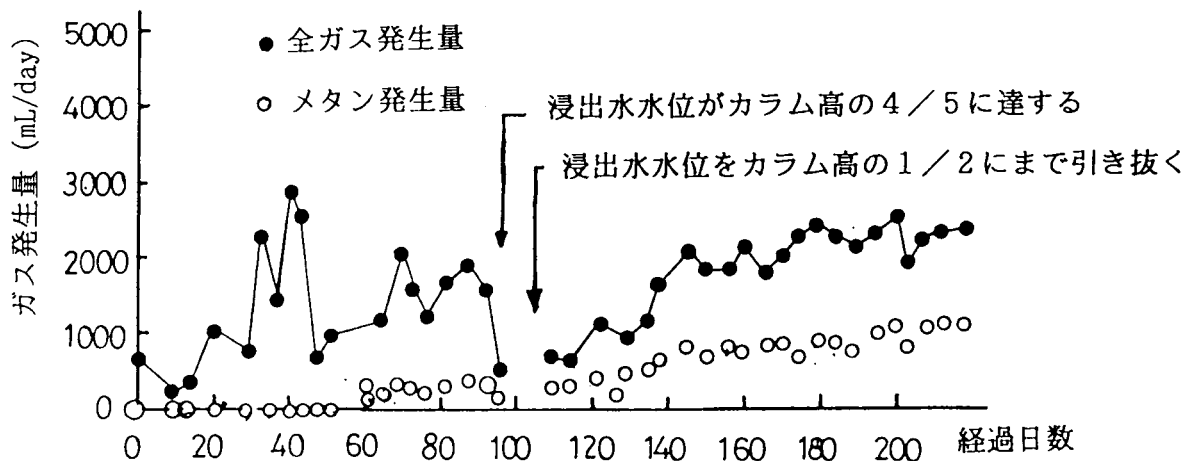


図-5 雨水供給型嫌気性埋立カラムにおけるガス発生の経日変化

カラムNo.3と同様に埋立地カラムに雨水を供給する嫌気性埋立地を模擬した埋立地カラム実験装置(カラムNo.4)からのガス発生についても、図-6に示したように初期においては二酸化炭素の発生が先行し、約65日経過後頃からメタンの生成が開始した。この実験においては、浸出水水位がカラム高さの約1/3に達した40日めからカラム底部

に溜った浸出水をポンプを用いてカラム上部に導き散水する、いわゆる浸出水カラム内循環方式を採用した。循環率は一日あたりの供給雨水量の10倍、最終的に貯留された浸出水量に対しては一日あたりその約1/5を汲み上げカラム上部から散水した。図-6に示されるように浸出水循環開始後のガス発生量の増加が顕著にみられ、特にメタンが次第に活発に発生するようになることが知られた。浸出水位がカラム高さの約3/5となった80日めから外部からの水の供給を停止し浸出水の内部循環のみを行ったが、実験を終了した180日めまで高いレベルでのガス発生がなされメタンの濃度も45-47%と高くかつ安定していた。したがって、浸出水を埋立地内で循環することを取り入れた嫌気性埋立方式は埋立地の嫌気性微生物群の活性を最適化し、効率的なメタン生成とその有効利用をはかるうえで効果のある新しい埋立方法と管理方法として提案できる。また、浸出水の水質分析を行わなかったため定量的に述べることはできないが、浸出水中の有機物の多くは発生するメタンに分解され除去されたものと考えられ、この方式を採用することによって埋立地からの浸出水処理の効果をあわせて期待できるものと考えられる。

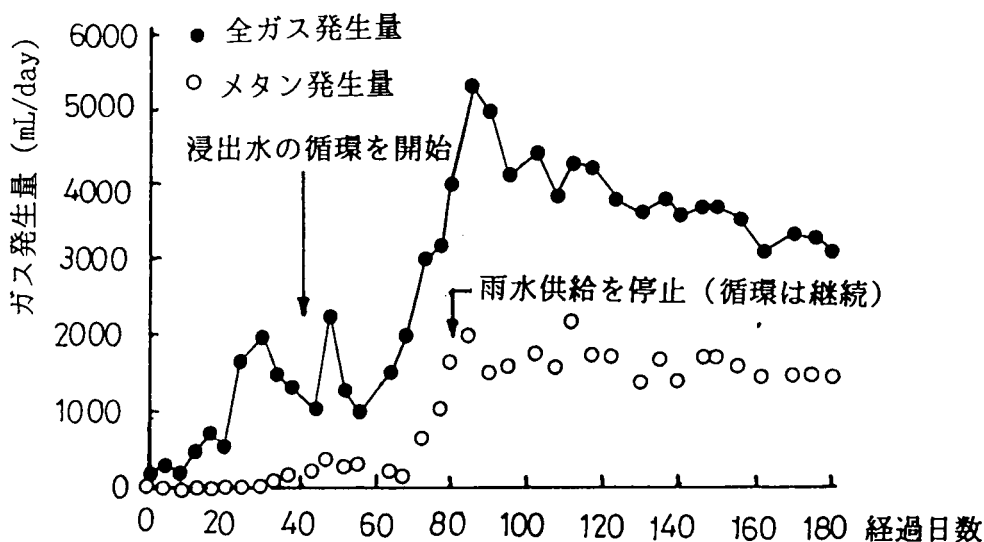


図-6 浸出水循環型嫌気性埋立カラムにおけるガス発生の経日変化

3. 固形廃棄物（ごみ）から発生するガスによる地球温暖化の評価

先進国および発展途上国を含む全世界において発生し收拾されるごみの量は統計データが未整備であるため非常に概略的にしか見積もることができないが、大雑把に500g/日・人程度である（先進国では750g-1000g/日・人）として大きな誤差はないものと考えることができる。これを世界の人口を56億人として計算すると、一日あたり280万トンのごみが発生し收拾され処分されていることになる。したがって、全世界におけるごみの年間発生量は約10.2億トンということになる。ごみの有機物含量につい

ても、各国の経済状況やその他の地域特性によって一概にいえずまた世界的な統計データが未整備であるため推定で求めるしかないが、これもごみの発生源におけるものとして概略的にみて30-70%、平均的には50%程度として大きな誤差はないと仮定できるものとする。また、ごみの有機物中の炭素含量は炭水化物を中心に考えて重量比で40%であると仮定すると、この收拾ごみに含まれる有機物の燃焼や分解によって有機物の炭素が全量二酸化炭素に変換した場合の二酸化炭素の発生量は、炭素量で表示し他場合に年間約2.04億トン (2.04×10^{14} g) と見積もることができる。このようなごみから発生する二酸化炭素の量は、地球全体における年間の二酸化炭素発生量として約60億トン (6×10^{15} g) と推定されている数値を採用すれば、この全体の二酸化炭素の発生量の3.4%に相当することになる。

ごみが嫌氣的に分解する場合には二酸化炭素だけではなくメタンをも発生する。その発生比率は、埋め立てられたごみの有機物が完全な嫌氣性分解をうける場合にはもっとも一般的な糖質系ごみの場合で体積比で二酸化炭素同じと考えられる。したがって、このような完全なごみのメタン発酵がおこるとすると年間あたり1.3億トン (1.3×10^{14} g) のメタンがごみから発生することになる。地球上におけるメタンの全発生量は多くの研究者によって様々な試算結果が報告されているが、それらから推定される平均的な値は約5億トン/年 (5×10^{14} g) となる。したがって、廃棄物から発生する可能性のあるメタンの量は地球上で発生する全メタン量の26%に相当することになる。ごみは好氣的にも分解されまた燃焼によっても処理されているので、この場合には二酸化炭素として放出されることから実際のメタンとしての放出はこれよりも少ないと考えられる。しかしながら、このようなオーダーでのメタンの発生は無視できないくらい多いものであることと、メタンが温室効果ガスとして二酸化炭素の約30倍の赤外線吸収効果をもつことからいって、廃棄物から発生するメタンは温暖化要因としてけっして小さくはないとみなすことができる。

メタンによる地球温暖化への寄与率は全体の約20%前後といわれており、二酸化炭素のそれは全体の60%程度であろうといわれている。上記の完全嫌氣のメタン発酵が廃棄物について生ずるとした場合の発生ガスの温暖化全体への寄与率は、二酸化炭素が廃棄物から発生する全ガス発生量の1/2を占めるので $(0.034 \times 1/2) \times 60\%$ となり、メタンは前記のとおり $0.26 \times 20\%$ となり、最悪の場合には両者をあわせて寄与率として6%以上に達する可能性をもっているといえる。

4. 廃棄物埋立地から回収可能なメタン量とエネルギー回収に伴う化石燃料消費削減等の評価に関する研究

固形廃棄物（ごみ）から発生するガスは、前述のように地球温暖化に無視できない寄与

率をもち、特に発生するメタンによる寄与が大きい。一方メタンは、これを効果的に回収できればエネルギー資源として利用することが可能であるだけでなく、これを一旦燃料として利用した後に二酸化炭素として放出することによって、その温暖化寄与率はメタンとして放出した場合に見積もられる約6%から約2%へと大幅に減少すると試算できる。また、このメタンのエネルギー利用によって化石燃料の消費の削減が可能になる効果も期待できると考えられる。従来コントロールされることがなく回収されることがなかった廃棄物埋立地から発生するメタンを、本研究の前段において明らかになった埋立工法および埋立地管理方法によって回収し、それを代替エネルギー資源として有効に利用した場合のエネルギー回収可能量と、結果的に達成可能な地球温暖化の削減効果および化石燃料の節約効果について解析的に評価した。

4. 1 解析条件

本研究においては一定の規模の嫌気性想定埋立地と埋立条件を設定し、埋立地カラム実験によって求められたガス発生データを適用することによって、廃棄物埋立地から発生するメタンをガスエンジンによって電気エネルギーに変換して有効利用することを想定した際の回収エネルギー量について以下の解析条件に基づいてシミュレーションを行った。

1) 想定埋立地の構造と埋立条件

- ・ 図-7に示した仮想の埋立地から発生するガスを回収し利用するものとする。
- ・ 廃棄物埋立条件は3mごみを埋め立てた後に0.5mの覆土を行い、これを6層埋め立てるものとし、埋立深さを合計21mとする。
- ・ 1層の埋め立てには60日を要するものとし、埋立直後からガスは発生するが最終的に一定の発生速度に到達して安定するのは360日後からとする。

2) 埋立地浸出水の埋立地内循環の条件

- ・ 循環なしに埋立地全高の1/2まで浸出水を貯留した状態を維持する（非循環型埋立地）。
- ・ 埋立地全高の1/2まで貯留された浸出水を0.2/日で埋立地内を上下循環する（5日で一巡するような循環を行う）（循環型埋立地）。埋立地内の空隙率を0.38と仮定する。

3) 埋立ごみからのガス発生の条件

- ・ 非循環型嫌気性埋立地カラム実験（図-5）において得られたガス発生速度（全ガス） $0.1057\text{m}^3/\text{日} \cdot \text{埋立ごみ}\text{m}^3$

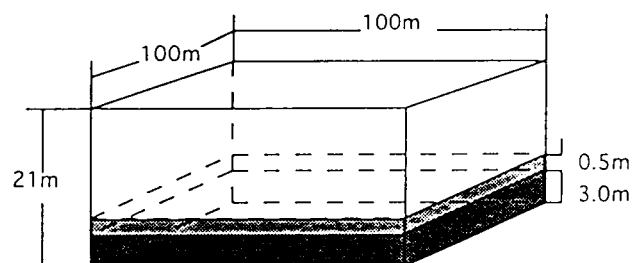


図-7 シミュレーション解析のために想定した埋立地

(メタン) $0.0465\text{m}^3/\text{日} \cdot \text{埋立ごみ}\text{m}^3$

・浸出水循環型嫌気性埋立地カラム実験 (図-6) において得られたガス発生速度

(全ガス) $0.1523\text{m}^3/\text{日} \cdot \text{埋立ごみ}\text{m}^3$

(メタン) $0.0716\text{m}^3/\text{日} \cdot \text{埋立ごみ}\text{m}^3$

- ・上記カラム実験装置で実測できたガス発生速度はきわめて理想的な条件のもとでのものとし、実規模の想定埋立地 (図-7) におけるガス発生速度は安定した時点でこれらの $1/10$ 、 $2/10$ 、 $3/10$ 、 $4/10$ 、 $5/10$ の速度になるものとする。
- ・埋立有機物のうち嫌氣的に分解しうるものは90%、有機物の主成分は糖質系とし等モルの二酸化炭素およびメタンに分解するものとする、有機物 1kg から 0.7Nm^3 のガスが最終的に発生するものとする。
- ・浸出水循環型嫌気性埋立地での浸出水の循環開始は、全層の埋立が完了した時点からとし、それ以前は浸出水非循環型埋立地におけるガス発生と同じ速度でガスが発生するものとする。

4) 埋立廃棄物の全重量と有機物含量

- ・埋立廃棄物のみかけの比重を 0.755 と仮定し、想定する埋立地には $136,000$ トンの廃棄物が埋め立てられるものとする。
- ・廃棄物単位重量あたりの有機物含量は 26% とする。

5) メタンガスエンジン、および発電条件

- ・メタンの発熱量； $8550\text{kcal}/\text{Nm}^3$ メタン
- ・ガスエンジン・発電機による発電効率； 発電のみのエネルギー変換とし他に熱回収など (いわゆるコジェネレーション) を行わないと仮定して、エネルギー変換効率を 30% とすると、

$$\text{回収電力量} = 1.2\text{kWh}/\text{Nm}^3 \text{メタン}$$

6) 浸出水循環のための消費電力量

- ・モータ効率 80% 、ポンプ効率および管路ロスを考慮した揚水のエネルギー効率 65% とし、浸出水の揚水量を 2) の条件から求めた場合 $7980\text{m}^3/\text{日}$ 、揚水高さを全埋立地高さの $1/2 = 10.5\text{m}$ とすると、

$$\text{浸出水循環のための消費電力量} = 285\text{kWh}/\text{日}$$

4. 2 解析結果

4. 1 の解析条件のもとで解析計算を行った結果は、以下のとおりである。

(1) 廃棄物埋立開始後の想定埋立地での全ガス (二酸化炭素とメタンを含む) 発生経過

浸出水非循環型の前記の想定した埋立地において、埋立後から安定するまでに発生するガスの発生速度（一日あたりの発生量）についてのシミュレーション結果は図-8に示すとおりである。最終安定状態でのガス発生速度は、埋立地カラム実験で得られた値を理想条件下でのものとしてごみ中の単位有機物量あたりその10%、20%、30%、40%、50%になるものとして求めた。これと同じガス発生速度について、浸出水循環型の仮想埋立地においては図-9に示す計算結果を得た。

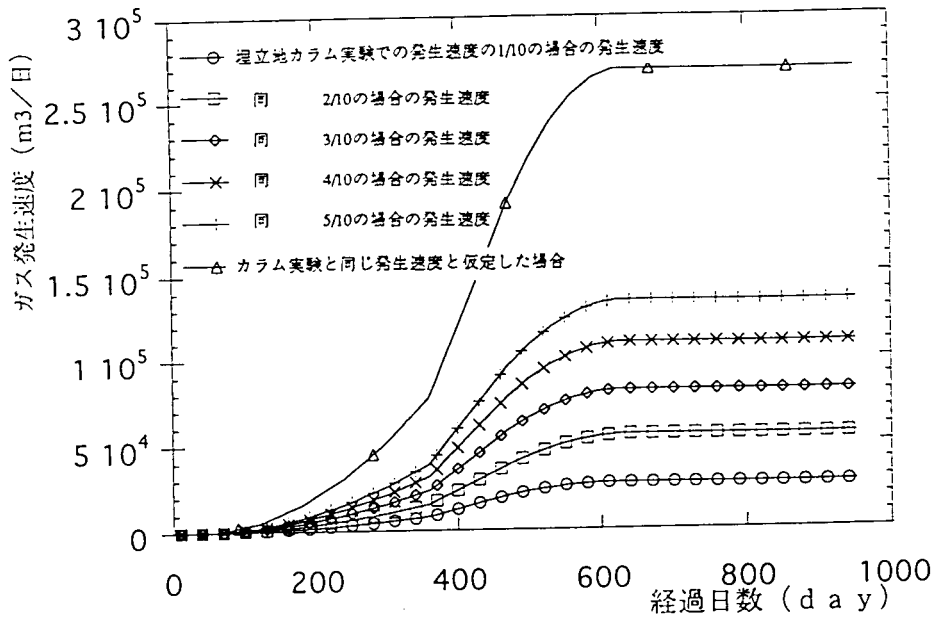


図-8 浸出水を循環する嫌気性想定埋立地におけるガス発生速度

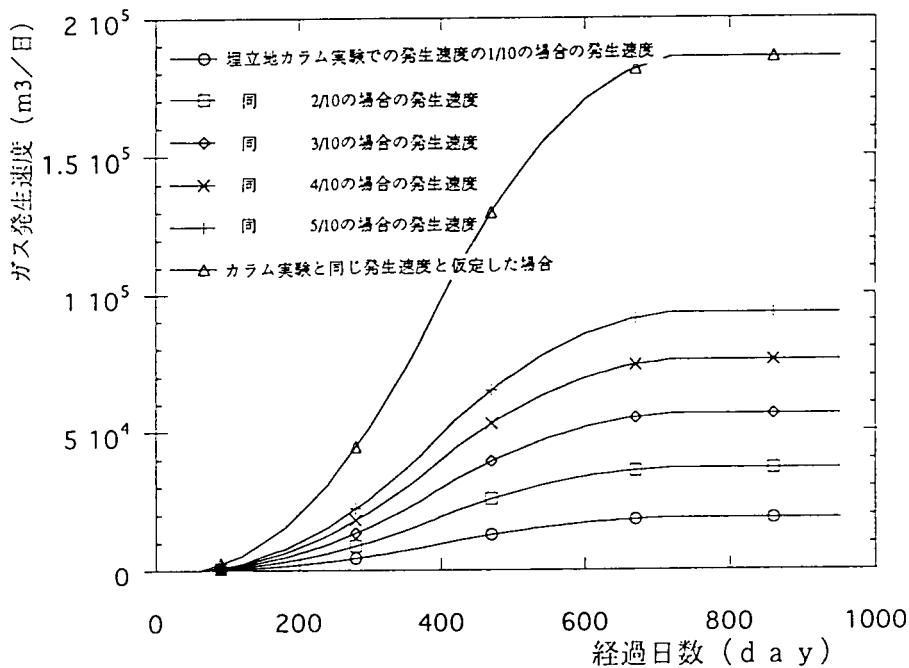


図-9 浸出水を循環しない嫌気性想定埋立地におけるガス発生速度

(2) 総ガス発生量とガス発生継続期間

前述の仮定から求められるこれらの想定埋立地から発生する総ガス発生量は 27.9 Mm^3 ($\text{Mm}^3=10^6\text{m}^3$)となる。また、これらの埋立地から発生するガスを用いて発電等を行いエネルギー回収を行うのはガス発生が安定期に至ってからとすると、浸出水非循環型埋立地から発生するガスとして有効利用できるガス量は、理想的状態の10% (0.1) の発生速度でガスが生成されるとする条件下では 27.3 Mm^3 (内メタン含量44%) と求まる。仮に安定期に至った後は全てのガスが発生するまで同一速度で発生が継続するものとする、この場合のガス発生安定期の継続期間は39.3年となる。以下同様にして、浸出水非循環型埋立地において理想状態 (完全に管理されかつ温度が 30°C に保たれた場合) のガス発生速度の0.3, 0.5 の速度でガスが発生するとした場合の安定してガスが発生し発電等のエネルギー回収が可能な期間は、それぞれ12.5年および7.1年となる。また、浸出水循環型埋立地においては、同様に計算した場合理想状態でのガス発生速度の0.1, 0.3, 0.5の発生速度でガス (メタン含量47%) が生成するとする条件下で、それぞれ 27.2年、8.6年、5.0年となる。

(3) 発生ガスを利用した発電によって回収可能なエネルギー量

4. 1に示した解析条件5) および6) に基づいて求めた埋立地から発生するガスを用いた発電によるエネルギー回収量は、表-1 (a) および (b) に示すとおりである。

表-1 想定した埋立地から発生するガスによるガスエンジン・発電による発電量

(a) 浸出水循環型埋立地における発電量と実質利用可能電力量

想定ガス発生速度 ($\text{m}^3/\text{日}$)	一日あたりの総発電量 (kwh)	一日あたりの利用可能電力量 (kwh)	利用可能総電力量 (kwh)
(1/10) 2750	1550	1260	12600000
(3/10) 8250	4650	4370	13800000
(5/10) 13700	7754	7470	13500000

(b) 浸出水非循環型埋立地における発電量と実質利用可能電力量

想定ガス発生速度 ($\text{m}^3/\text{日}$)	一日あたりの総発電量 (kwh)	一日あたりの利用可能電力量 (kwh)	利用可能総電力量 (kwh)
(1/10) 1900	1000	1000	14400000
(2/10) 5710	3020	3020	13600000
(5/10) 9520	5030	5030	13100000

(4) 電力回収利用による石油換算した化石燃料消費削減効果

重油 1 L あたりの発熱量は約 10 Mcal である。また、メタンを燃焼した場合の発熱量は $8.55 \text{ Mcal} / \text{Nm}^3$ メタンであるため、単純に計算して 1 m^3 のメタンは燃料として 0.855 L の重油に相当する。想定した廃棄物埋立地から発生するメタンは利用可能な総量として約 12 Mm^3 であることから、これを単純に化石燃料としての重油に換算すれば 10.3 ML (10300 m^3) となる。重油焚商業発電における電力へのエネルギー変換効率が廃棄物埋立地から発生するメタンを燃料とするガスエンジンによる発電効率の 1.5 倍の 45% であるとする、電力収量を基準にして換算した化石燃料としての重油等量は 6870 m^3 となる。この分が、想定した埋立地から発生するメタンの燃料としての利用による化石燃料消費の削減効果と算定できる。しかし、これは単位エネルギー生産のための人件費および機械設備費その他の所要経費を重油焚商業発電と同じと仮定した場合の概算削減量であるため、厳密にはさらに詳細に諸要因の効果を換算した削減効果の算定が必要と考えられる。

5. 結論

本研究は、従来の廃棄物埋立地から発生するメタン等の温室効果ガスの発生ポテンシャルを明らかにすること、および廃棄物埋立地から発生するメタン等の温暖化ガスの発生を抑制しかつエネルギー資源としてより有効に利用することを目的としてなされた。

本研究を通して得られた主な結論は以下のとおりである。

- 1) 廃棄物からの嫌気性発酵による二酸化炭素およびメタンの生成は、発酵廃棄物の pH、栄養素の存在および温度によって変化する。
- 2) 空気が供給される好気性埋立地においてはメタンの発生はみられず、埋立有機物の大部分は最終的に二酸化炭素に変換されて大気中に放出される。
- 3) 水分を供給しない嫌気性埋立地においては廃棄物の発酵分解はきわめて緩慢で、有効利用できる程度のメタンは生成されない。
- 4) 雨水浸透等によって浸出水が一定程度貯留される嫌気性埋立地では多量のメタンが発生する。しかし浸出水水位が高くなりすぎるとガス発生速度が減少するため、メタンの回収によるエネルギー資源としての利用を考える場合には、浸出水水位の適切な管理が必要である。
- 5) 埋立地内浸出水の汲み上げと散布循環によって埋立地における嫌気性発酵による廃棄物の分解とガス発生速度を約 1.4 倍に増大することができる。

- 6) 世界中で廃棄物から発生する可能性のあるメタンの量は地球上で発生する全メタン量の26%に相当すると見積もられる。
- 7) 廃棄物の嫌気性分解からの発生する二酸化炭素とメタンの地球温暖化全体への寄与率は、最悪の場合全体の約6%に達する可能性がある。
- 8) 嫌気性埋立地から発生するメタンを燃料として利用して二酸化炭素に変換して放出することによって、7)における全温暖化に対する寄与率は約2%までに削減することができると考えられる。
- 9) 十分に管理された100m×100m×深さ21mを想定した嫌気性埋立地から発生する有効利用できるガス量は、シュミレーションの結果25から27.3Mm³（内メタン含量44から47%）となる。また、ガス発生が安定状態に達するまでは1.7から2年がかかり、ガス発生安定期の継続期間は想定するガス発生速度によって異なり計算上5から39.3年と考えられる。
- 10) 9)で想定した廃棄物埋立地から発生するメタンは利用可能な総量として約12Mm³であることから、これを単純に化石燃料としての重油に換算すれば10.3ML（10300m³）となり、発生メタンの有効利用によって相当量の化石燃料の消費が削減される。

6. 研究発表の状況

- 1) 遠藤銀朗：ごみ埋立地のガス田化に関する研究、テクノ財団情報誌(1993)
- 2) 久保田、高橋、遠藤：都市ごみ埋立地からのメタン生成に関する基礎的研究、土木学会東北支部技術研究発表会(1993)