

B-41 わが国の下水汚泥処理施設における 未利用木質資源活用ポテンシャルの試算

○増田 貴則^{1*}・永島 めぐみ¹・細井 由彦¹

¹鳥取大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻（〒680-8552鳥取市湖山町南4-101）

* E-mail: masuda@sse.tottori-u.ac.jp

1. はじめに

木質系バイオマスのうち未利用資源である林地残材や剪定枝を化石燃料の代替として活用することによって、化石エネルギー資源の保護や地域の森林環境の再生につながると思われる。ここでは、下水道施設に導入し得る新エネルギーとして、木質系バイオマスに着目し、汚泥の乾燥や焼却工程において活用するシステムについて、このシステムの導入可能性を検討するための基礎資料を提供することを目的とし、本システムを導入したと仮定した場合の効果について計算した。

2. 試算方法

(1) 化石燃料、温室効果ガス、燃料費の削減量

平成19年度版下水道統計を用いて、汚泥乾燥施設、焼却施設における処理汚泥量と使用燃料量を整理したうえで、木質燃料を乾燥工程の燃料として利用するケースと、焼却工程の補助燃料として混焼するケースを想定した。

乾燥工程のケースでは、使用燃料量のうち化石燃料使用量を熱量換算した上で、その熱量に相当する木質資源を投入し化石燃料を完全代替すると仮定し、木質燃料導入ポテンシャルおよび化石燃料の削減量を計算した。このとき、消化ガスを用いている場合はそのまま消化ガスの利用を継続するとし、化石燃料のみを代替すると設定している。ここでは、木質資源は含水率50%、熱量2,863kcal/kg-wetのチップの状態を用いることと仮定し、木質燃料導入ポテンシャルを求めた。

焼却工程のケースでは、多摩川上流水再生センターの値を参考に、従来燃料の95%の熱量に相当する木質チップを投入し、従来燃料の50%の燃料が削減されるとして、木質燃料導入ポテンシャルおよび燃料の削減量を計算した。ただし、削減される燃料については、消化ガスを用いている場合はそのまま消化ガスの利用を継続するとし化石燃料のみが優先的に削減されると設定している。なお、化石燃料内での削減の優先順位は考慮せずに、使用

している化石燃料種類ごとに一定の割合（＝削減相当熱量から計算される割合）が削減されるとした。

これらの施設のうち、燃料の使用実績が記録されていない施設、および、燃料のうち消化ガスの熱量割合が95%を超える施設については、計算対象から外した。

さらに、この削減燃料量に各種燃料の二酸化炭素排出係数、あるいは燃料の購入単価をかけ、処理場において削減される温室効果ガスの量および化石燃料購入費用を求めた。

(2) 未利用木質資源導入ポテンシャル、調達費用の算定

木質燃料の原料としての木質系資源には、林地残材、製材廃材、建築廃材、剪定枝などがあげられる。製材廃材や建築廃材については、利活用が進み需給が逼迫してきている。このような状況で下水道施設が用いる木質燃料の原料にこれらを求めることは、さらなる需要の増加と市場における木質燃料価格の高騰を招くことから、木質燃料利用者の不利益、木質燃料利用事業者の業績悪化を招く恐れがある。また、燃料の安定供給という観点からしても供給に余裕のある資源を用いることが望ましい。

そこで、下水道施設において利用する木質燃料の原料として、未利用木質系資源、すなわち林地残材を用いることを仮定し、その利用による森林資源導入ポテンシャルとして、前述の木質燃料（木質チップ）導入ポテンシャルに加えて、林地残材導入ポテンシャル、手入れ必要森林面積を計算することとした。

林地残材導入ポテンシャルおよび手入れ必要森林面積については、下水道における木質燃料導入ポテンシャル全量の原料を林地残材とするとし、その際に必要な林地残材量、および、その林地残材を森林から入手するとして、入手するために手入れ可能な、すなわち、手入れ必要森林面積を求めた。ここでは林地残材の含水率を50%、文献値（北海道2009）よりかさ密度を0.69t-wet/m³と仮定した。一方、森林からの林地残材の搬出可能量と

して、井内（2006）のヒアリングに基づいた設定を参考に、森林の材積量に対する間伐強度を30%、作業道に運ばれた上で林端に放置される残材を間伐材積の6%とした。また、わが国の人工林の総面積と総蓄積量（総材積）（林野庁2009）より、人工林1haあたりの材積量は256m³/haである。これらの値より、人工林の間伐により搬出可能な林地残材量を4.61m³/haと設定した。ここでは、木質燃料の原料である林地残材は間伐の際に入手するとし、この数値を用いて、燃料原料として必要な林地残材を入手するために間伐としての手入れが必要（可能）となる森林面積を求めることとした。

なお、木質燃料はチップの状態でチップ製造業者により搬入されると考え、木質チップの原料調達費用やチップの製造費用、運搬費用は考慮しないこととした。調達コストは高くなるものの、林地残材を原料としたチップを購入することを前提として、チップの購入単価を10,000円/t-wetから30,000円/t-wetの範囲を設定することとした。

3. 結果

(1) 温室効果ガス、燃料費削減ポテンシャル

乾燥機、焼却炉において使用される燃料のうち消化ガスを除いた燃料の全量、あるいは一定割合が木質チップ燃料に代替されるとして計算し、削減される燃料量（熱量換算）、温室効果ガス排出量、削減される燃料分の費用（木質燃料の購入費用は考慮していない）を求めた。対象となる154施設の合計で、日本全体で削減される温室効果ガス排出量は、126千t-CO₂/年、削減される燃料費用は3,290百万円/年と計算された。平成17年度のわが国の下水道事業全体からの温室効果ガス排出量6.8百万t-CO₂/年（国土交通省2009）のうち、1.9%程度を削減できるポテンシャルが存在していることがわかった。

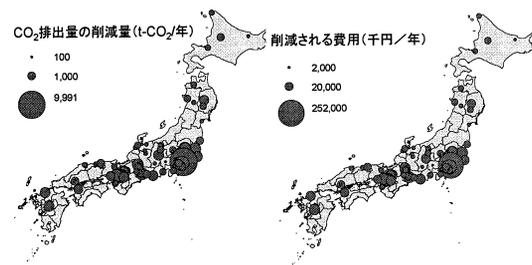


図1 焼却施設の温室効果ガス削減量・削減費用

図1に焼却施設別の温室効果ガス削減量、削減費用を示す。焼却施設1施設あたりの温室効果ガス削減量は、平均845t-CO₂/年/施設、0.71t-CO₂/年/施設～9,991t-CO₂/年/施設の範囲にあると計算された。削減費用は、平均21.8百万円/年、20.7千円/年～252百万円/年の範囲にあると計算された。なお、乾燥施設1施設あたりの温室効果ガス削減

量は、平均702t-CO₂/年/施設、0.85t-CO₂/年/施設～8,914t-CO₂/年/施設の範囲にあり、削減費用は、平均19.3百万円/年、24.8千円/年～261百万円/年の範囲にあると計算された。

(2) 木質系資源導入ポテンシャル

施設において化石燃料の全量あるいは一部を木質燃料に代替した場合に必要なとされる木質資源量およびそれにより手入れ必要となる森林間伐面積、木質燃料購入額を計算した結果、乾燥施設、焼却施設を合計して、わが国全体で293千t/年の木質資源燃料の導入ポテンシャルがあると推定された。このときの森林間伐必要面積は92,300ha/年、木質燃料購入金額2,930～8,800百万円/年となった（木質チップ単価を10,000円～30,000円で計算）。図2に1施設あたりの木質資源導入ポテンシャルおよび手入れ必要森林面積を示す。

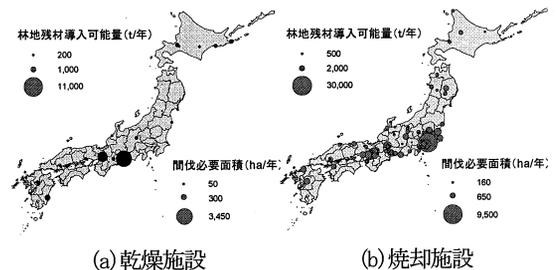


図2 乾燥施設・焼却施設の林地残材導入可能量・手入れ必要森林面積

「バイオマス・ニッポン総合戦略」によると、わが国の林地残材の年間発生量は約370万t/年でそのほとんどが未利用とされており、林野庁（2009）の資料では人工林森林面積は2006年度末時点で1,035万haとされている。したがって、仮に本検討のように下水污泥乾燥施設、焼却施設の燃料を林地残材でまかなったとすると、わが国の林地残材発生量の約7.9%を利用できることとなる。また、50年に1度程度の頻度で間伐を実施すると想定したとしても十分な資源量が存在することになる。なお、現状では年間のわが国の森林間伐実績は平成19年度実績で民有林、国有林あわせて52.1万ha/年（林野庁2009）とされている。政府が林業を振興し、間伐面積を今以上に増やす政策をとった場合にはさらに多くの未利用木質資源が発生することになると思われる。

ところで、木質資源購入金額は2,930～8,800百万円/年であり、削減される化石燃料による費用削減が前述したとおり3,289百万円/年であることから、化石燃料の代わりに木質燃料を利用した方が燃料に係る費用が低減されるかどうかは、化石燃料、木質燃料の単価次第となる。本検討は、2007年度の化石燃料の実績販売価格に基づいたものであったが、この設定であれば木質燃料の単価が

乾燥施設の場合は22,000円/ha以下、焼却施設の場合は11,000円/ha以下であれば燃料に係る経費が削減される方に働くということが示された。

(3) 供給ポテンシャルを考慮した温室効果ガス削減量、木質資源利用量

別途、林地残材の需要を各市町村内の林地残材の供給可能量により満たすことができるかどうか検討したところ、乾燥施設、焼却施設が存在する市町村それぞれ26施設（25市町村）、128施設（111市町村）のうち、各市町村内の林地残材の供給可能量が木質燃料としての需要を上回る市町村数、つまり、現状で自地域内の林地残材のみで安定供給が見込まれる市町村数は、乾燥施設の場合7施設（6市町村）、焼却施設の場合12施設（11市町村）のみであった。よって、ここでは供給ポテンシャル以上は林地残材を供給できないと仮定し、各施設における温室効果ガス削減量、木質資源利用量、およびそれにより手入れ可能（必要）となる森林間伐面積を算定した。

ここでは供給ポテンシャルがほとんどない地域に立地している施設は対象から外している。その結果、乾燥施設、焼却施設の合計100施設で、日本全体で削減される温室効果ガス排出量は、82千t-CO₂/年と計算された。木質資源燃料の需要は17.0千t/年、そのために必要な森林間伐面積は5,350ha/年となった。わが国の下水道施設全体からの温室効果ガス排出量6.8百万t-CO₂/年（国土交通省2009）のうち、0.12%程度を削減できるポテンシャルが存在していることがわかった。木質燃料の供給可能量を考慮しない場合とくらべて、93%程度の減少となった。

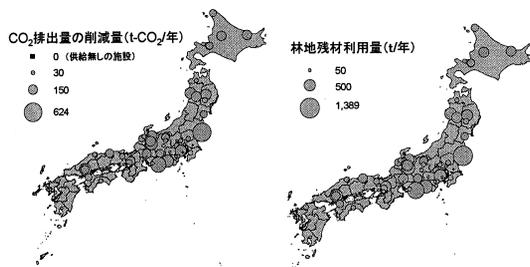


図3 供給ポテンシャルを考慮した焼却施設の温室効果ガス削減量・木質資源利用量

図3に処理施設別の温室効果ガス削減量、木質資源利用量の分布図を示す。乾燥施設1施設あたりの温室効果ガス削減量は、平均63t-CO₂/年/施設、144t-CO₂/年/施設～196t-CO₂/年/施設の範囲にあると計算された。焼却施設1施設あたりの温室効果ガス削減量は、平均87t-CO₂/年/施設、0.71t-CO₂/年/施設～624t-CO₂/年/施設の範囲にあると計算された。供給可能量を考慮しない場合とくらべて、平均値、最大値ともに大幅な減少となった。これは、大規模な下水道施設は平野部や都市部にあり、その施設が

立地する市町村内に利用できる林地残材量が極端に少ないことを反映した結果である。

4. まとめ

既存および現在検討中の下水道施設における木質系バイオマス利用事例を文献調査等により整理するとともに、下水道統計等を用いて、下水污泥処理施設ごとの木質系バイオマスの活用ポテンシャルを推定し、そのことにより手入れ可能になる森林面積と、下水污泥処理施設において削減される化石燃料使用量および温室効果ガス排出量を推定した。本検討で得られた知見を以下にまとめる。

1) 乾燥施設、焼却施設の消化ガス以外の燃料を代替した場合の燃料による温室効果ガス削減量の合計は、126千t-CO₂/年であり、これはわが国の下水道分野全体の排出量の約1.9%に相当する。未利用木質資源の供給ポテンシャルを考慮した場合には、82千t-CO₂/年であり、これはわが国の下水道分野全体の排出量の0.12%程度に相当する。

2) 乾燥施設、焼却施設の消化ガス以外の燃料を代替した場合の林地残材導入可能量の合計は、293千t/年であり、それにより手入れ必要な森林面積の合計は、92,300ha/年である。これはわが国の林地残材発生量、人工林森林面積のそれぞれ7.9%、0.89%に相当する。未利用木質資源の供給ポテンシャルを考慮した場合には、それぞれ17.0千t/年、5,350ha/年であり、これはわが国の林地残材利用可能量、森林面積のそれぞれ0.4%、0.05%に相当する。

なお、本試算では、林地残材の供給範囲を下水道施設が立地する当該市町村内だけに限定して検討を行ったため、削減可能な温室効果ガスは、污泥焼却、乾燥施設の燃料代替による削減ポテンシャルを大幅に下回った。現実には、林地残材の収集を当該市町村だけに限定する必要はないと考えられる。また、剪定枝等の未利用木質資源を利用することも可能と考えられる。今後は当該市町村だけに限らず林地残材や剪定枝等の未利用木質資源を収集できる範囲を見極めたうえで検討を行う必要がある。

謝辞：本研究の一部は、JST、CRESTの補助および土木学会環境工学委員会下水道施設を核とした再生可能型都市システムの構築に関する調査検討小委員会において実施した。記して謝意を表す。

参考文献：

- 井内正直（2006），林地残材を用いたバイオマスエネルギー事業の成否性評価，電力中央研究所報告
- 国土交通省（2009），下水道における地球温暖化防止推進計画策定の手引き，資料編
- 北海道（2009），平成20年度林地残材の効率的な集荷システムづくりモデル事業報告書
- 林野庁（2009），参考付表，森林・林業白書平成21年版