

下水汚泥焼却炉の排熱で乾燥した剪定枝廃材と 下水汚泥の混焼による補助燃料削減効果の算定

桜井 健介¹・重村 浩之¹

¹国立研究開発法人土木研究所 先端材料資源研究センター (〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6)

E-mail : recycle@pwri.go.jp

下水汚泥焼却炉における排熱を活用した剪定枝廃材の補助燃料利用システムの実用性の検討に資するため、50t/d の下水汚泥焼却炉を想定し、2 種類の外気条件を設定して、白煙防止空気の利用可能量と、それによる乾燥可能な剪定枝量を算出し、それらを下水汚泥と混焼することによる化石燃料削減量を算定した。外気条件が気温 5℃、湿度 50% の時、乾燥可能な剪定枝の供給速度は 399 kg-dry/h であり、化石燃料削減効果は 6930 MJ/h と算定された。外気条件が、気温 0℃、湿度 100% の時、乾燥可能な材料の供給速度は 293 kg-dry/h であり、化石燃料削減効果は 5090 MJ/h と算定された。

Key Words: Sewage sludge incinerator, Fossil fuel, Wood chip, Forced drying, Climate change

1. はじめに

都市域における道路、河川、公園などの公物管理のため膨大な樹木の管理が行われている。道路の管理では、植樹帯及び中央分離帯の植栽の繁茂により建築限界内に障害が発生することを防止するとともに、通行車両からの視認性の確保や沿道環境の向上等のため、剪定が行われている¹⁾。河川の管理では、洪水流下阻害による流下能力の低下、樹木群と堤防間の流速を増加させることによる堤防の損傷、あるいは洪水による樹木の流木化等を防ぐため、伐開が行われている²⁾。全国における道路、河川、公園の管理における剪定枝及び伐開された樹木の廃材の発生量は、乾燥重量で年間 57 万トンと推計されている³⁾。また、地域によっては家庭から発生する剪定枝も公物管理に由来する剪定枝に匹敵する量が発生していると推計されている³⁾。

これら道路、河川、公園の管理に由来する剪定枝や伐開された樹木の廃材、家庭から発生した剪定枝(以下、「剪定枝廃材」と呼ぶ)の燃焼時に放出される二酸化炭素は、植物が成長する過程で光合成により大気中から吸収されたものであり、大気中の二酸化炭素を増加させない「カーボンニュートラル」と呼ばれる特性を有するバイオマスである⁴⁾。これらを化石燃料に代替して利用することは、枯渇が危惧される化石燃料の使用量を抑え、温室効果ガスの排出

を削減できる。現状、これらの一部は、チップ化や堆肥化されているが、焼却処分も多い。例えば千葉県では、剪定枝廃材の 76% がエネルギー利用の無い焼却処分であると推計されている⁵⁾。

一般的に、バイオマスは「広く薄く」存在しているため、その活用に当たっては経済性の向上が重要であり、そのためには効率的な収集システムの確立等が重要とされている⁴⁾。しかし、剪定枝廃材は、収集システムが確立しており、利用しやすいバイオマスであると考えられる。また、剪定枝廃材が有効利用されにくい背景には、近くに有効利用施設がなかったり、地方公共団体間の越境が必要であったりすることが考えられ、有効利用の選択肢を増やすことが有効利用の促進に繋がると考えられる。

剪定枝廃材の有望な有効利用先として、都市域に多く存在する下水汚泥焼却炉における補助燃料としての利用が考えられる。下水汚泥焼却炉は、下水を処理することで生じた下水汚泥の減量化、安定化のため、下水汚泥を焼却する炉である⁶⁾。補助燃料とは、含水率が高く燃焼が困難な下水汚泥の燃焼を補助するものであり、化石燃料が多く使われている。下水汚泥焼却炉が、有望であると考えられる理由は、化石燃料の消費施設であることに加えて、幾つかある。剪定枝廃材の発生源は都市域であり、地理的に近傍である可能性が高いこと、剪定枝廃材がほぼ通年で発生するのに対し、下水汚泥焼却炉は、点検期

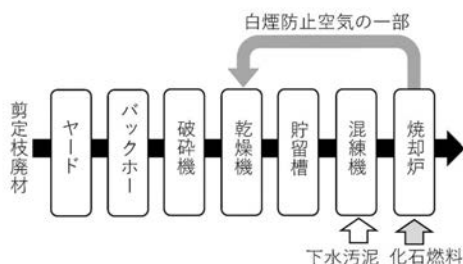


図-1 剪定枝廃材の補助燃料利用システムにおける剪定枝廃材のフロー

間を除き、ほぼ通年で稼働すること、焼却しなければならない下水汚泥量は膨大で、補助燃料を多量に要すること、などである。

木質チップを下水汚泥焼却炉において補助燃料として利用することについて、技術的には、土木研究所は、共同研究により、平成 17-20 年に、混合装置、圧送ポンプ等を用いた実証試験において、汚泥と木質チップ等を予め混合してから、下水汚泥焼却炉へ投入して焼却でき、化石燃料消費量を低減できることを実証した^{7),8)}。また、木質を下水汚泥と混焼させると、熱分解後のチャーが砂層内に残存し安定して燃焼するため、汚泥専焼で生じる砂層内温度の急激な低下を防止する長所がある⁹⁾。しかしながら、木質チップを下水汚泥焼却炉で利用する事例は少なく、東京都¹⁰⁾において導入された程度である。

土木研究所の過去の調査¹¹⁾によると剪定枝の含水率は、平均で 50% 程度であり、補助燃料として活用する際は、乾燥して利用するのが望ましいと考えられる。一方で、処理能力 50 t/d の下水汚泥焼却炉から、中・低温排熱は年間約 3PJ 程度発生しているが、排熱温度が低く用途が限られること等から大半が利用されずにいる¹²⁾。この中で、白煙防止空気の余剰分は、剪定枝廃材の乾燥熱源として利用可能であると考えられる。白煙防止空気とは、500-550℃の下水汚泥焼却炉の排ガスを 250-350℃まで冷却させるために熱交換された熱風で、煙突内にて排ガスと混合させることにより白煙防止に利用される⁶⁾。白煙防止空気の温度は 350℃¹²⁾程度であり、白煙の防止に必要な熱量以上の熱を大気中へ放出しており、一部が利用可能とされている^{13),14)}。

本稿では、下水汚泥焼却炉における排熱を活用した剪定枝廃材の補助燃料利用システムについて、実用性の検討に資するため、まず、現状の下水汚泥焼却炉における白煙防止空気の利用可能量を算出し、それで乾燥可能な剪定枝廃材の量を算出した。そして、その剪定枝廃材を補助燃料として利用した時の化石燃料削減量を算定した。下水汚泥焼却炉は、処

理能力 50t/d 規模を想定した。なお、本稿における含水率は、特に記述の無い場合は、材料の湿潤重量に占める水分重量の割合（湿量基準）で表した。

本稿における剪定枝廃材の補助燃料利用システムのフローは、図-1 に示したとおり、ヤードに収集された剪定枝廃材を、バックホーで破砕機に投入してチップ化し、下水汚泥焼却炉の近傍で白煙防止空気を用いた乾燥機で乾燥させ、貯留槽において短時間貯留後、混練機を用いて下水汚泥と混練し、下水汚泥焼却炉へ投入することを想定した。なお、白煙防止空気は貯留せずに、乾燥機の稼働時のみ、発生している白煙防止空気の一部を使用することとした。

2. 方法

(1) 白煙防止空気の利用可能量の算出

生じた白煙防止空気のうち、白煙の防止に必要な量を引いた余剰分は、他の目的に利用可能であり、これを白煙防止空気の利用可能量として算出した。白煙は、排気ガス中の水蒸気が凝縮したものであり、白煙防止空気と排ガスが混合されて煙突から排出され、外気温度まで温度が低下する過程で、絶対湿度が飽和水蒸気量よりも低ければ白煙は生じない。このことから、飽和水蒸気曲線を描いたグラフを用いて、白煙の発生の有無を判定することができる^{15),16)}。白煙を防止する条件として想定する外気温度及び湿度は、白煙を防止する条件として、外気温度 5℃、湿度 50% 程度が一般的である¹⁷⁾とされていることから、「外気温度 5℃、湿度 50%」（以下、「外気条件 A」と呼ぶ）と、冬季のより厳しい条件を想定した「外気温度 0℃、湿度 100%」（以下、「外気条件 B」と呼ぶ）の 2 種類の外気条件を設定して、白煙防止空気の利用可能量を試算した。

排ガスと製造された白煙防止空気 a% を混合した時の計算条件を図-2 に示した。白煙防止空気は、下水汚泥焼却炉の排ガスを冷却させるため、白煙防止熱交換器を通じて 1.8GJ/h¹²⁾が外気と熱交換されて 350℃まで昇温し、製造されるものとした。絶対湿度は外気と等しく、外気条件 A、B において、それぞれ、2.7、3.8 g/kg-DG（乾きガス重量）とした。この白煙防止空気の比エンタルピーは 358 kJ/kg-DG であることから、白煙防止空気の製造量は 5030 kg-DG/h と設定した。排煙処理後の排ガス量は、文献¹⁸⁾の計算方法に従って 4280 kg-DG/h と設定した。ここで、焼却炉の空気比は、流動焼却炉で一般的な 1.30⁶⁾とし、排煙処理後の燃焼排ガスの温度は 40℃¹²⁾とし、下水汚泥の組成は文献¹⁹⁾の値を用いた。

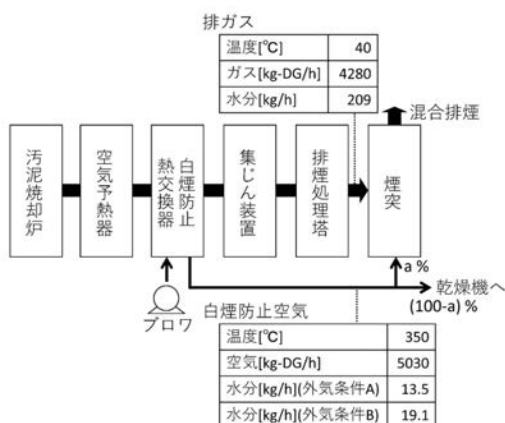


図-2 排ガスと白煙防止空気の混合条件

表-1 外気条件別の乾燥用熱風の設定温度と絶対湿度

外気条件			乾燥用熱風	
名称	温度 [°C]	絶対湿度 [g/kg-DG] (相対湿度)	温度 [°C]	絶対湿度 [g/kg-DG]
A	5	2.7 (50%)	100	2.7
B	0	3.8 (100%)		3.8

排ガスと白煙防止空気は、煙突内において標準気圧下で混合されるものとし、それらの混合気体（以下、「混合排煙」と呼ぶ）の温度 T_M [K]を、エネルギー保存則を用いて式（1）から計算した。

$$C_{pa}(T_M - T_a) + C_{pw}(T_M - T_w) + \frac{a}{100} (C_{pa}(T_M - T_a) + C_{pw}(T_M - T_w)) = 0 \quad (1)$$

ここで、式中の下付きの a, b, c, d は、それぞれ、排ガス中の乾きガス、排ガス中の水分、白煙防止空気中の乾き空気、白煙防止空気中の水分を表す。 $C_{a, b, c, d}$: 定圧モル熱容量 [J / (mol · K)], $n_{a, b, c, d}$: 物質質量 [mol / h], $T_{a, b, c, d}$: 温度 [K], a : 白煙防止空気の利用率 [%] を表す。 C_a 及び C_c は、30 J / (mol · K), C_b 及び C_d は、33 J / (mol · K) として計算した。なお、物質質量は、各成分の重量を分子量で除したものである。

(2) 白煙防止空気乾燥可能な剪定枝廃材量の算出

外気条件 A, B において、下水汚泥焼却炉における白煙防止空気を熱源とした際に、連続式熱風乾燥機により乾燥可能な剪定枝廃材量を算出した。乾燥機に供給される熱量は、製造された白煙防止空気の熱量 1.8 GJ / h に、前節で算出された利用可能な割合を乗じて計算した。利用可能な白煙防止空気を外気と混合して標準気圧、温度 100℃ で利用することを想定した。その熱風の絶対湿度は外気と同等とした（表-1 参照）。乾燥機は、バンドによる材料移送型の

対流伝熱乾燥機を用いることとし、文献²⁰⁾から、熱効率（＝乾燥に使用される熱量/乾燥機に供給される熱量）は 0.5 と設定した。剪定枝廃材の含水率は、乾燥開始時 50%、乾燥終了時 20% と設定した。乾燥に使用される熱量 Q [J / h] と乾燥可能な材料の供給速度 F_S [kg / h] の関係は、湿球温度において全ての水分が蒸発するものとして、概算で以下の式（2）²⁰⁾で示される。

$$Q = F_S \left\{ (C_s + W_1 C_L)(T_w - T_{M1}) + (W_1 - W_2)(\Delta h_v)_w + (C_s + W_2 C_L)(T_{M2} - T_w) \right\} \quad (2)$$

ここで、 C_s : 材料の比熱容量（=1250 [J / (kg · K)]²¹⁾）、 W_1 : 乾燥開始時の平均含水率 [kg / kg-dry], C_L : 水の比熱容量（=4200 [J / (kg · K)]）、 T_w : 湿球温度 [K], T_{M1} : 乾燥開始時の材料温度 [K]（外気温と同じ）、 W_2 : 乾燥終了時の平均含水率 [kg / kg-dry], $(\Delta h_v)_w$: 湿球温度 T_w における蒸発潜熱 [J / kg], T_{M2} : 乾燥終了時の材料温度 [K]（熱風温度と同じ）を示した。式（2）中の含水率は、材料の乾燥重量に占める水分重量の割合（乾量基準）である。湿球温度 T_w は、湿度図表²²⁾から求めた。湿球温度 T_w における蒸発潜熱 $(\Delta h_v)_w$ は、文献²⁰⁾の式（3）から求めた。

$$(\Delta h_v)_w = 2500 - 2.44(T_w - 273) \quad (3)$$

(3) 剪定枝廃材の混焼による化石燃料削減量の算定

外気条件 A, B において、白煙防止空気乾燥可能な剪定枝廃材を利用した際の、下水汚泥焼却炉における化石燃料削減量を算定した。化石燃料削減量は、その低位発熱量が、投入した剪定枝廃材の低位発熱量と等しいものとして計算した。剪定枝廃材の高位発熱量、水素含量は、土木研究所の調査¹¹⁾における剪定枝の平均から、19.2 MJ / kg-dry, 0.059 kg-H / kg-dry とした。低位発熱量 LHV_{wet} [MJ / kg-wet] は、文献²³⁾から以下の式（4）、（5）で計算した。

$$LHV_{wet} = HHV_{wet} - 2.44[9H(1 - M_w) + M_w] \quad (4)$$

$$HHV_{wet} = HHV_{dry}(1 - M_w) \quad (5)$$

ここで、 HHV_{wet} : 高位発熱量 [MJ / kg-wet], H : 水素含量 [kg-H / kg-dry], M_w : 含水率, HHV_{dry} : 高位発熱量 [MJ / kg-dry] である。

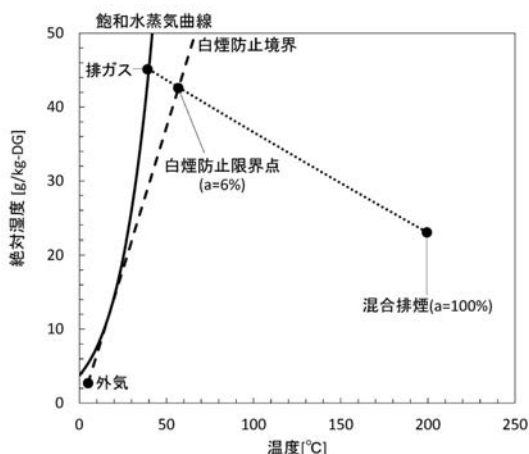


図-3 飽和水蒸気曲線（実線）と外気条件 A における白煙防止境界（破線）と混合排煙（点線）から求めた白煙防止境界点

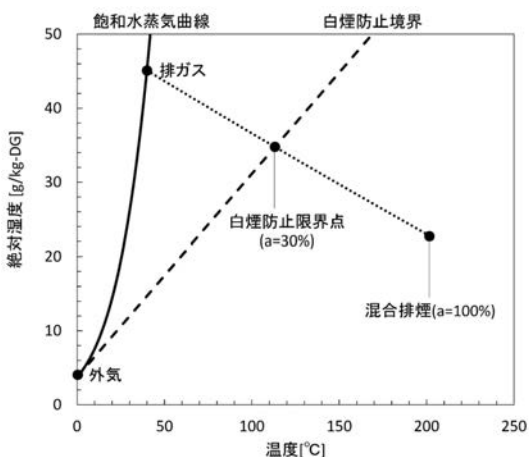


図-4 飽和水蒸気曲線（実線）と外気条件 B における白煙防止境界（破線）と混合排煙（点線）から求めた白煙防止境界点

表-2 式（1）において余剰空気利用率を求めた際の各成分の物質量及び温度

外気条件	A	B
n_a [kmol/h]	149	149
n_b [kmol/h]	12	12
n_c [kmol/h]	175	175
n_d [kmol/h]	0.8	1.1
T_a [K]	313	313
T_b [K]	313	313
T_c [K]	623	623
T_d [K]	623	623

3. 結果と考察

(1) 白煙防止空気の利用可能量の算出

混合排煙が、外気条件まで温度及び絶対湿度が低下しても、白煙を防止可能な条件（以下、「白煙防止境界点」と呼ぶ）を算出するため、外気条件 A, B における、飽和水蒸気曲線、白煙防止境界、混合排煙 ($a=0-100\%$) の温度及び絶対湿度を図-3, 図-4 に示した。白煙防止境界とは、外気条件を表す点を通る飽和水蒸気曲線の接線（図中の破線）で表される。白煙防止境界点は、その白煙防止境界と、混合排煙 ($a=0-100\%$) の直線（図中の点線）の交点から求められる。外気条件 A の時、白煙が防止されるのは、混合排煙が温度 59°C 以上、絶対湿度 42g/kg-DG 以下の時であった。この条件を満たすのは、式（1）から、表-2 の値を用いて、白煙防止空気の利用率 6% 以上の時であり、利用可能量は残りの 94% と試算された。外気条件 B の時、白煙が防止されるのは、混合排煙の温度 116°C 以上、絶対湿度 34g/kg-DG 以下の時であった。白煙防止空気の利用率は、30% 以上の時であり、白煙防止空気の利用可能量は 70% であった。

(2) 白煙防止空気乾燥可能な剪定枝廃材量の算出

外気条件 A, B において、湿球温度は $32, 33^\circ\text{C}$ で、蒸発潜熱は式（3）より共に 2420 kJ/kg であった。乾燥に使用される熱量 Q は、外気条件 A, B において、それぞれ、 $0.85 (=1.8 \times 0.94 \times 0.5)\text{ GJ/h}$, $0.63 (=1.8 \times 0.7 \times 0.5)\text{ GJ/h}$ であった。乾燥可能な材料の供給速度（式（2）の F_s ）は、表-3 の値を用いて式（2）から計算して、外気条件 A, B において、それぞれ、 399 kg-dry/h , 293 kg-dry/h であり、乾燥機が週 5 日、1 日につき 7 時間稼働する場合、1 週間あたり、それぞれ、 14.0 t-dry , 10.3 t-dry であった。地方公共団体における剪定枝廃材の発生量は、冬季は秋季の半分程度となる事例もあるが²⁴⁾、年間を通じて同量の剪定枝廃材を搬入するものと見なした。剪定枝廃材の年間発生量を地方公共団体の面積で除して、一般に $60\text{ kg-wet/(d} \cdot \text{km}^2)$ 程度²⁵⁾であり、剪定枝廃材の含水率を 50% とし、1 週間あたりでは、 $210 (=60 \times 0.5 \times 7)\text{ kg-dry/km}^2$ である。このことから、本節の剪定枝廃材の乾燥可能量は、外気条件 A, B において、それぞれ、 $66.5 (=14.0/210 \times 1000)\text{ km}^2$, $48.8 (=10.3/210 \times 1000)\text{ km}^2$ の地域から 1 週間に発生する剪定枝廃材の量に相当した。

表-3 式 (2) において乾燥可能な材料の供給速度を求めた際の含水率及び温度

外気条件	A	B
W_1 [kg/kg-dry]	1.00	1.00
W_2 [kg/kg-dry]	0.25	0.25
T_w [K]	305	306
T_{M1} [K]	278	273
T_{M2} [K]	373	373

(3) 剪定枝廃材の混焼による化石燃料削減量の算定

計算の結果、含水率 20% の乾燥された剪定枝廃材の低位発熱量は、13.9 MJ/kg-wet であった。乾燥された剪定枝廃材を、前節で計算されたとおり、399 kg-dry/h、又は、293 kg-dry/h で供給する時、化石燃料の削減効果は、それぞれ、6930 (=399/0.8 × 13.9) MJ/h、5090 (=293/0.8 × 13.9) MJ/h であった。なお、剪定枝廃材に含まれる灰が、熱を系外へ持ち出すこととなるが、剪定枝の灰分は平均で約 5%⁽¹¹⁾ であり、持ち出し熱量は、灰分の比熱 0.84 kJ/(kg・℃)、温度 850℃ と仮定する時、剪定枝廃材の発熱量の 0.2% (=0.05 × 850 × 0.84/13.9 × 0.8/1000) であり、算定結果への影響が少ないことからカットオフした。

乾燥機が週 5 日、1 日につき 7 時間稼働する場合、外気条件 A、B における、化石燃料削減量は、それぞれ、1 週間あたり 243 GJ、178 GJ となった。これは A 重油 (低位発熱量 37.1 MJ/L⁽²⁶⁾) にして、6550L、4800L に相当した。従来型の下水汚泥焼却炉において直接脱水汚泥を焼却する時の補助燃料消費量の平均は、593 MJ/t⁽²⁵⁾ であり、処理能力 50t/d の下水汚泥焼却炉において、1 週間あたり 208 GJ 消費される。剪定枝廃材を活用することにより削減可能な化石燃料は、外気条件 A、B において、従来消費されていた補助燃料の、それぞれ、117%、86% に相当した。なお、今回の検討では化石燃料代替効率 (=削減された化石燃料の低位発熱量/投入した剪定枝廃材の低位発熱量) を考慮しなかったが、実際の利用においては、考慮が必要な可能性が考えられ、留意が必要である。

本稿で想定した剪定枝廃材の補助燃料利用システムにおいて追加的に生じる化石燃料消費の中で、大きなものは、破碎工程のバックホーと破碎機である。文献⁽²⁷⁾によると、バックホーと破碎機で、軽油が 0.033 L/kg-dry 消費される。軽油の低位発熱量は 35.8 MJ/L⁽²⁶⁾ であるので、外気条件 A、B において乾燥可能な剪定枝廃材を、チップ化するのに、週 5 日、1 日につき 7 時間稼働する場合、それぞれ、1 週間あ

たり 16.3 GJ、11.9 GJ 要する。これらを加味しても、剪定枝廃材の補助燃料利用システムは、十分な化石燃料削減効果が期待された。

4. 結論

本稿では、下水汚泥焼却炉における排熱を活用した剪定枝廃材の補助燃料利用システムの実用性の検討に資するため、2 種類の外気条件を設定して、白煙防止空気の利用可能量と、乾燥可能な剪定枝廃材の量を算出し、それらを下水汚泥と混焼することによる化石燃料削減量を算定した。得られた結論は、以下の通りである。

- 1) 外気条件 A (気温 5℃、相対湿度 50%) の時、白煙防止空気の 6% を排ガスと混合すれば白煙が防止され、利用可能量は残りの 94% と試算された。外気条件 B (気温 0℃、相対湿度 100%) の時、白煙防止空気の利用可能量は 70% であった。
- 2) 外気条件 A、B において、処理能力 50t/d の下水汚泥焼却炉の白煙防止空気の利用可能量で乾燥可能な材料の供給速度は、乾燥重量で、それぞれ、399 kg/h、293 kg/h と算定された。下水汚泥と混焼することによる化石燃料の削減効果は、それぞれ、6930 MJ/h、5090 MJ/h と算定された。
- 3) 処理能力 50t/d の下水汚泥焼却炉において、乾燥機が週 5 日、1 日につき 7 時間稼働する場合、剪定枝廃材を活用することにより削減可能な補助燃料は、外気条件 A、B において、それぞれ、従来消費されていた補助燃料の、117%、86% に相当した。

参考文献

- 1) 国土交通省：国が管理する一般国道及び高速自動車国道の維持管理基準 (案) 平成 25 年 4 月策定、http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/pdf/iji1_1.pdf (参照：2018.5.18)、2013。
- 2) 国土交通省：国土交通省 河川砂防技術基準 維持管理編 (河川編) 平成 27 年 3 月改定、http://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/gijutsu/gijutsukijunn/ijikanri/kase_n/pdf/gijutsukijun.pdf (参照：2018.5.18)、2015。
- 3) 国土交通省国土技術政策総合研究所：都市由来植物廃材のエネルギー利用手法等に関する技術資料、<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn0845pdf/ks0845.pdf> (参照：2018.5.18)、2015。
- 4) 閣議決定：バイオマス活用推進基本計画 平成 28 年 9 月改定、<http://www.maff.go.jp/j/press/shokusan/bioi/attach>

- h/pdf/160916-1.pdf (参照：2018. 5. 18), 2016.
- 5) 千葉県循環型社会推進課：千葉県バイオマス活用推進計画中間とりまとめ 平成 27 年 9 月発行, <https://www.pref.chiba.lg.jp/shigen/biomass/documents/h2709matome.pdf> (参照：2018. 5. 18), 2015.
 - 6) 社団法人日本下水道協会：第 4 章 污泥処理 第 7 節 污泥焼却, 下水道施設計画・設計指針と解説 後編 2009 年版, pp.413-429, 2009.
 - 7) 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構：平成 17-19 年度成果報告書「都市バイオマス収集システムを活用するためのエネルギー転換要素研究開発」, 2008.
 - 8) 独立行政法人土木研究所, 独立行政法人産業技術総合研究所, 月島機械株式会社, 三機工業株式会社：高含水バイオマスの熱化学的エネルギー直接変換技術に関する共同研究報告書, 2011.
 - 9) 村上高広, 鈴木善三, 長沢英和, 山本隆文, 小関多賀美, 廣瀬 均, 落 修一：過給式流動炉における下水污泥の基礎燃焼特性, 高温学会誌, 34, 4, pp.166-170, 2008.
 - 10) 吉井鎮英, 岩瀬哲人, 本田 圭：多摩川上流水再生センターにおける木質系バイオマス混合焼却の初期運転経過について, 東京都下水道局技術調査年報, pp. 163-167, http://www.gesui.metro.tokyo.jp/business/pdf/3-1-1_2010.pdf (参照：2018. 5. 18), 2011.
 - 11) 独立行政法人土木研究所：草木系バイオマスの組成分析データ集, 土木研究所資料第 4095 号, <https://www.pwri.go.jp/team/recycling/pwri4095a.pdf> (参照：2018. 5. 22), 2008.
 - 12) 資源のみち委員会：資源のみちの実現に向けて 報告書, p. 30, <http://www.mlit.go.jp/common/000038167.pdf> (参照：2018. 5. 18), 2007.
 - 13) 三島俊一：複数熱源に対する温度差発電技術の適応に関する研究, 博士論文 (佐賀大学), 2016.
 - 14) 国土交通省国土技術政策総合研究所：B-DASH プロジェクト No. 4 廃熱利用型低コスト下水汚泥固形燃料化技術導入ガイドライン(案), 国総研資料 第 803 号, <http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn0803pdf/ks0803.pdf> (参照：2018. 5. 18), 2014.
 - 15) 大高誠, 姚金海：大型工業用節水機能付き冷却塔, エバラ時報, pp.20-22, 2017.
 - 16) 伊藤 章：身のまわりの化学工学 煙突の煙は CO₂ ? (2018. 8. 24 受付)
 - ー白煙防止のはなしー, 化学工学, 75, 7, p.474, 2011.
 - 17) 環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課：廃棄物処理施設の発注仕様書作成の手引き(標準発注仕様書及びその解説)エネルギー回収推進施設編 ごみ焼却施設 (第 2 版), https://www.env.go.jp/recycle/waste/3r_network/7_misc/man_wtfspec/1-1_hrf.pdf (参照：2018. 5. 18), 2013.
 - 18) 公益社団法人全国都市清掃会議：ごみ処理施設整備の計画・設計要領 2017 改訂版, 2017.
 - 19) 建設省都市局下水道部, 日本下水道事業団：污泥焼却炉の省エネルギー化に関する調査報告書, 1988.
 - 20) 中村正明, 立元雄治：第 8 章 乾燥機の設計, 初歩から学ぶ乾燥技術第 2 版－基礎と実践－, pp.120-147, 2013.
 - 21) 独立行政法人森林総合研究所：木質ペレット成型機構の解明, 森林総合研究所 交付金プロジェクト研究成果集 28, p.16, <https://www.ffpri.affrc.go.jp/pubs/koufufu-pro/documents/seikasyu28.pdf> (参照：2018. 5. 18), 2010.
 - 22) 公益社団法人化学工学会：改定七版 化学工学便覧, p. 325, 2011.
 - 23) 公益社団法人化学工学会, 一般社団法人日本エネルギー学会：バイオマスプロセスハンドブック, p.76, 2012.
 - 24) 町田市環境資源部資源循環課：2016 年度剪定枝搬入量及びたい肥搬出量実績, 町田市ホームページ, https://www.city.machida.tokyo.jp/kurashi/kankyo/gomi/shiryo/s_hisetu/new_senteisi_sigenka_centar.files/CMS2016nendozisseki.pdf (参照：2018. 7. 9), 発行年不明.
 - 25) 国立研究開発法人土木研究所：河川事業等に由来するバイオマスの下水処理場内利用に関する研究, 平成 28 年度下水道関係調査研究年次報告書, 土木研究所資料第 4370 号, pp.27-35, 2018.
 - 26) 環境省：オフセット・クレジット (J-VÉR) 制度における温室効果ガス算定用デフォルト値一覧 Ver. 5.0 (平成 26 年 7 月 10 日版), http://offset.env.go.jp/document/j-ver/default_list.pdf (参照：2018. 5. 18), 2014.
 - 27) 藤原宣夫：植栽樹木の二酸化炭素固定量からみた都市緑化施策の評価に関する研究, 博士論文 (千葉大学), 2005.

ESTIMATION OF REDUCTION IN FOSSIL FUEL USAGE BY CO-INCINERATION OF SEWAGE SLUDGE AND DRIED PRUNED BRANCHES USING EXHAUST HEAT FROM A SLUDGE INCINERATOR

Kensuke SAKURAI, Hiroyuki SHIGEMURA

Most of the sewage sludge in Japan is incinerated to reduce the disposal volume, and it consumes a large amount of fossil fuels because of its high moisture content. On the other hand, pruned branches obtained from tree maintenance in public spaces, such as parks and the sides of roads and rivers, are poorly utilized. To evaluate the practicability of a new system comprising a wood chip dryer, using exhaust heat from a sludge incinerator, and a co-incinerator of sewage sludge and dried wood chip, specifically pruned branches, the fossil fuel reduction achieved by using this system was estimated by the following procedure. Firstly, the available rate of exhaust heat from the sludge incinerator was estimated. Secondly, the drying capacity of the dryer, using the available exhaust heat from the sludge incinerator (capacity, 50 t/ d), was calculated. Finally, the reduction in fossil fuel use achieved by supplying wood chip from dried pruned branches to the sewage incinerator was estimated. As a result of these estimations, in the case of an ambient temperature of 5°C and a relative humidity of 50%, the drying capacity was 399 kg-dry/ h and the reduction in fossil fuel usage was 6930 MJ/ h. In the case of an ambient temperature of 0°C and a relative humidity of 100%, the drying capacity was 293 kg-dry/ h and the reduction in fossil fuel usage was 5090 MJ/ h.