

都市公園における木質バイオマスを活用したガス化発電技術の導入可能性に関する研究

Research on the Feasibility of Gasification Power Generation from Woody Biomass in Urban Parks

曾根 直幸* 山岸 裕* 栗原 正夫* 大場 龍夫** 河野 良彦** 根本 泰行***

Naoyuki SONE Yutaka YAMAGISHI Masao KURIHARA Tatsuo OHBA Yoshihiko KAWANO Yasuyuki NEMOTO

Abstract: In order to construct the low-carbon city and secure self-sufficient energy at the time of disaster, it is required to introduce power generation facilities using woody biomass in urban parks. So we verified the feasibility of gasification power generation, which is one of small scale power generation systems, by a demonstration experiment adopting Showa Kinen Park as the model. In consequence it is clear that we can make charcoal which has a good storage quality of cut branches and deforestation trees etc. and generate electric power with the charcoal at relatively high efficiency, producing little tar which is an unfavorable byproduct of gasification power generation. On the other hand, it is suggested that the reduction effect of waste disposal cost for woody biomass is most important from the viewpoint of profitability, and the better method for shredding the woody biomass into chips is able to increase the efficiency of the power generation system. Hereafter a study on the Lifecycle effect of gasification power generation in urban parks on the basis of the available supply of woody biomass not only in a park but also in the whole urban area is needed.

Keywords: Urban parks, Woody biomass, Renewable energy, Gasification Power generation, CO₂ reduction

キーワード: 都市公園, 木質バイオマス, 再生可能エネルギー, ガス化発電, CO₂削減

1. はじめに

低炭素型都市の構築が求められるなか、公園緑地から発生する剪定枝等を再生可能エネルギーとして活用することが CO₂ 排出量削減策の一つに位置付けられている¹⁾。特に東日本大震災により発生した大規模停電を受け、災害時にライフライン復旧までの電力を自立的に確保する重要性が再認識され、避難施設の機能を持つ都市公園への木質バイオマス発電の導入が期待されている²⁾。

これまで都市公園で発生する木質バイオマスは堆肥やチップ舗装材料等として利活用が進められ、例えば国営公園では約 47,000 m³の植物廃材のうち約 90%が堆肥化またはチップ化されている³⁾。一方、エネルギー利用に関してはボイラーによる熱利用などの事例はあるが発電技術の導入は進んでいない⁴⁾。熱としての利活用がエネルギーのロスが少なく望ましいこと⁵⁾や、多様な木質バイオマスが薄く広く発生し土地利用が稠密な都市に適した小規模発電技術の開発が進んでいないこと²⁾が原因と考えられる。

そこで本研究では、都市公園に適した小規模発電システムとしてガス化発電技術に着目し、国営昭和記念公園をモデルに実証実験を行い、その導入可能性を評価した。評価軸としては、剪定枝等による小規模ガス化発電自体が実用化されていないため技術的

な可能性や課題の検証を第一に行った。さらに実験結果をもとに、バイオマス利用の4つの評価として今井⁶⁾が示している項目のうち、環境・社会貢献以外のエネルギー収支、経営収支(コスト)及び温室効果ガス削減の観点に着目し導入効果を試算した。都市公園における木質バイオマスのエネルギー利用は、都市緑化樹木による CO₂ の吸収固定とともに低炭素社会における緑地計画の一側面である。本研究は公園管理者の立場から個別の公園への木質バイオマス発電の導入検討を前提に行っているが、低炭素型都市の構築という新たな社会的ニーズに対応した緑地計画の立案にも寄与することが期待される。

バイオマス発電システム(図-1)の中には、現在主に採用されている直接燃焼-水蒸気タービン発電とメタン発酵-ガスエンジン発電の他に熱化学的変換によるガス化発電がある⁷⁾。ガス化発電は、乾燥バイオマスから可燃性ガスを発生させる際のエネルギー効率が約 70%、エンジン発電機の効率が約 30%と高いことから、小規模なシステムでも 20%の発電効率が得られることとされている⁸⁾が、配管閉塞や機器トラブルの原因となるタールの抑制・除去・利用技術、ガス化原料調整のための効率的なバイオマス粉碎技術等が課題となり実用化には至っていない⁹⁾。本研究では、ガス化発電の課題であるタールを抑制する効果が期待できること、また木炭に生物学的に安定で腐敗も起きず長期保存可能という特徴がある¹⁰⁾ことから、刈草や落葉を除く剪定枝・伐採木等を炭化し、木炭を原料としたガス化発電を行う方法を採用した。

2. 研究の方法

(1) 検討のモデルとした公園

本研究では国営昭和記念公園(以下、昭和記念公園)をモデルとした(図-2)。昭和記念公園は1983年以降順次開園され2012年末時点で約165haの大規模公園であり、毎年大量の木質バイオマスが発生しているが、現在エネルギー利用は行われていない。

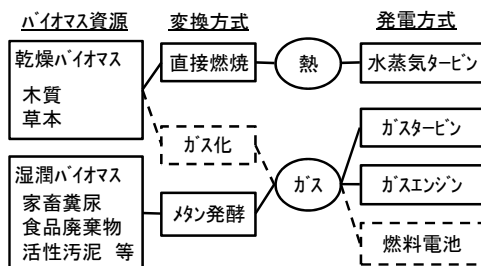


図-1 バイオマス発電システムの類型

※河本⁹⁾をもとに作成。破線で示した技術は実用に至っていない(ガス化は実証段階、燃料電池は将来的に期待される技術)とされている。

*国土交通省国土技術政策総合研究所 **株式会社森のエネルギー研究所 ***足利工業大学工学部

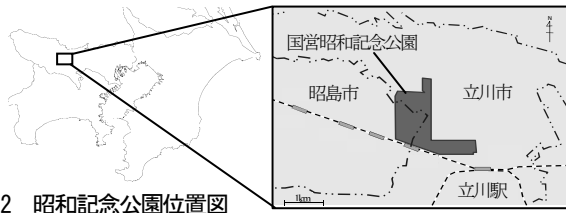


図-2 昭和記念公園位置図

(2) 木質バイオマス発生量等の把握

国土交通省の公表資料¹¹⁾をもとに直近3ヶ年の木質バイオマス発生量 (m³/yr) の平均値を算出した。また、園内に保管されていた木質バイオマスのサンプリング調査を行い、かさ比重 (wet-t/m³) 及び含水率 (%) を求め、年間発生量 (dry-t/yr) を推定した。サンプリング調査は、まずトラック3台分の木質バイオマスを抽出し試料A~Cとし、それぞれの重量をトラックスケール (宝計機製作所製RM-10T) で、体積をトラック荷台の容積として測定した。次に、試料毎に含水率を赤外線水分計 (ケツト科学研究所製FD-600) で測定した。また、評価の基となるデータとして発熱量を燃研式自動ボンベ熱量計 (島津製作所製CA-4AJ) で測定した。

寺田ら¹²⁾は、都市郊外部で低炭素に資する緑地計画を展開するにあたっては様々なセクター間の連携が不可欠であると指摘している。そこで、行政機関同士で連携しやすいと考えられる国及び地方自治体が立川市域及び昭島市域で収集している木質バイオマスを対象として、剪定枝等の回収を行っている担当部局からの聞き取り等により昭和記念公園周辺で発生が見込まれる剪定枝等の賦存量 (dry-t/yr) を推定した¹⁶⁾。

(3) 木質バイオマスをを用いた発電実験

大小様々な剪定枝、伐採木等をスムーズに処理するため、木質バイオマスを一旦破碎 (チップ化) したうえで炭化を行った。チップ化には、圧縮、せん断、切断、衝撃の4つの機構があり、今回用いた破碎機は写真-1に示すせん断タイプのもの (デュラテック社製 3010T) である。製造されたチップについては、土の粒度試験 (JIS A 1204) で用いられるふるいのうち、2, 4.75, 9.5, 19, 26.5mmの5種類を用いてふるい分けし、粒度分布を測定した。

炭化は写真-2に示す炭化炉で行い、製造した木炭については、廃棄物燃料成分分析法 (JIS Z 7302) により灰分の割合を、石炭分析法 (JIS M 8812) により固定炭素及び揮発分の割合を測定し、含水率を赤外線水分計 (ケツト科学研究所製FD-600) で、発熱量を燃研式自動ボンベ熱量計 (島津製作所製CA-4AJ) で測定した。

ガス化は写真-3に示すガス化炉で行い、生成した熱分解ガスについては、ガスクロマトグラフィー質量分析法 (JIS K 0123) により成分を測定し、発熱量に換算した。また、副産物であるターールの濃度をMilne et al.¹³⁾を参考に測定した。

発電は自動車用ガソリンエンジンと誘導電動機を直結したガス発電機 (写真-4) により発電し、電力測定機 (日置電機製クランプオンパワーハイテスタ 3169) により電力を測定した。

(4) 実験結果を基にした試算

木質バイオマスのサンプルを用いた発電実験により得られたデータをもとにフローを整理し、エネルギー収支を評価した。さらに、ガス化発電を導入した場合に見込まれる効果について試算し、導入可能性を考察した。

なお今回の試算では木質バイオマスの収集・運搬に係るコストやその作業で発生するCO₂排出量を考慮していない。活用を想定した木質バイオマスは、既に行政機関により経常的に収集・運搬・処理されているもので、エネルギー利用は行われていない。ガス化発電を導入した際に前後の工程で作業量やエネルギー消費が増える可能性のある影響は運搬経路の変更のみであり、それも収集範囲である立川市域及び昭島市域にまたがって位置する昭和記念公園への運搬であるため、大きな増大は想定されないと仮定した。



写真-1 使用した破碎機



写真-2 実験用炭化炉



写真-3 実験用ガス化炉

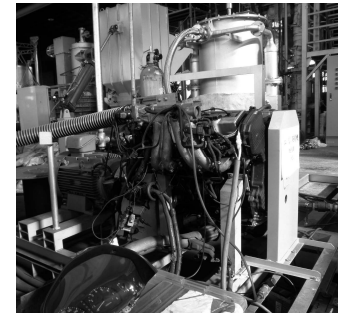


写真-4 実験用ガス発電機

3. 結果及び考察

(1) 木質バイオマス発生量等について

昭和記念公園における木質バイオマス発生量については、表-1のとおりであった。年度によって変動はあるが、平成15年度の発生量も同程度であったことから妥当と考えた。表-1の1,105 m³/yrとサンプリング調査で求めた乾燥重量 (表-2) により、昭和記念公園における年間の木質バイオマス発生量は、204.4 dry-t/yrと推定された。なお、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (以下、NEDO) による公園剪定枝賦存量の原単位1.15 dry-t/ha・yr¹⁵⁾をもとに昭和記念公園の剪定枝発生量を推定すると190.0 dry-t/yrとなり、既往の知見ともほぼ整合するものであった。また、サンプリングした木質バイオマスの低位発熱量は、含水率50%で15.3 MJ/dry-kgであった。

公園周辺で発生が見込まれる木質バイオマスについては、表-3のとおり推定された¹⁶⁾。これらをすべて昭和記念公園における発電に利用できるかは不明であるが、把握可能な最大の賦存量として活用を想定することとした。

(2) 木質バイオマスをを用いた発電実験

1) 木質バイオマスのチップ化

チップの粒度分布は表-4のとおりであり、全体の6割程度が4.75mmのふるいを通過する微細なものであった。この粒度特性は、後にガス化での操業上の問題の原因となっており、木質バイオマスをガス化に適した粒度に破碎する技術がガス化発電の課題の一つであることが改めて示された。

表-1 昭和記念公園における木質バイオマス発生量

	H15	H20	H21	H22	H20~H22平均
剪定枝等 (m ³ /yr)	1,130	1,500	1,000	815	1,105
開園面積 (ha)	148.7	162.5	162.5	165.3	163

※H15については秋山¹⁴⁾を、H20~H22については国土交通省の公表資料¹¹⁾を引用。

表-2 昭和記念公園で発生した木質バイオマスの乾燥重量

	重量 (t)	体積 (m ³)	かさ比重 (t/m ³)	含水率 (%)	乾燥重量 (dry-t/m ³)
試料A	13.360	42.386	0.315	44.9	0.174
試料B	11.145	36.461	0.306	43.7	0.172
試料C	14.695	42.386	0.347	40.6	0.206
加重平均			0.324	42.9	0.185

表一-3 周辺も含めた木質バイオマス発生量推計値 (dry-t/yr)

	国交省	東京都	立川市	昭島市	合計
公園	204.4	3.0	215.0	32.4	454.8
道路	7.5	3.9	22.6	26.0	60.0
家庭	-	-	370.3	-	370.3
合計	211.9	6.9	607.9	58.4	885.1

表一-4 チップの粒度分布

ふるいの目開き (mm)	通過重量百分率 (%)
26.50	100.00
19.00	98.79
9.50	82.57
4.75	60.64
2.00	37.94



写真一-5 チップ化後の剪定枝

2) チップの炭化

炭化は計14回行い、炭化の程度を示す歩留まり(木炭重量/投入チップ重量)の平均値は0.317、木炭の含水率の平均値は9.21%であった。炭化歩留まりと製造した木炭の組成(水分を除く)の関係は図一-3のとおりであり、歩留まりを下げれば揮発分の割合が小さくなり、逆に灰分の割合は大きくなること、また固定炭素の割合は歩留まり0.3近辺の時に最大になることが示唆された。

3) 木炭によるガス化発電

剪定枝等を原料とした木炭をすべて用いてガス化発電を行ったところ、ガス化炉内に詰まりが発生してしまったため、目開き5mmのふるいに留まる木炭に限定して利用した。ガス化発電に用いた木炭については、当初供給量から炉内残量と排気口前に設置したサイクロンでの捕集量を減じて実際に消費した量を測定した。結果は表一-5に示すとおりであった。

ガス化発電のメリットは、土地利用が稠密な都市に適した小型のシステムでも高効率が見込まれることであり、今回の実験結果でも吉川¹⁶⁾が想定している約20%と同等の効率で発電を行うことができた。また、ガス化発電の実用化に向けた課題となっているタールについては、一般にガス化炉(今回使用した形式と同じアップドラフト炉)で生成したガス中のタール濃度が30~150g/Nm³とされている¹⁷⁾のに対し、本研究では780mg/Nm³と抑えることができており、タールによる配管閉塞や機器トラブルの頻度が抑制されることで作業上の効率性向上が見込まれる結果となった。

(3) 実験結果を基にした試算

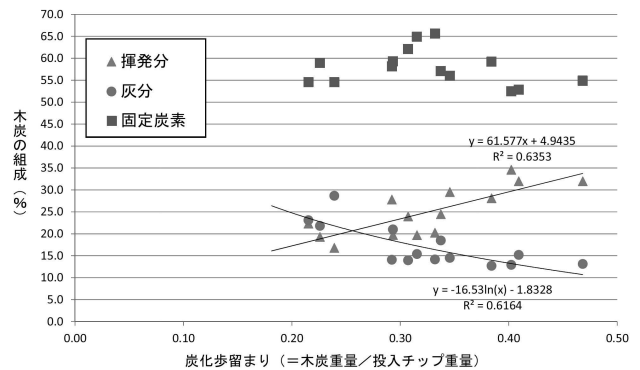
1) 物質フロー及びエネルギーフローの整理

稼働時間の長い2013年1月9日のガス化発電実験結果を用いて、これまでの測定で得られた含水率、発熱量から、木質バイオマスを原料としたガス化発電における物質フロー及びエネルギーフローを整理した(図一-4)。実験用設備より1回り大きい規模(木炭消費量8.31dry-kg/h→17.16dry-kg/h)を想定すると、ガス化炉及び発電機を1時間稼働させることで135.3dry-kgの木質バイオマスの処理を行い19.8kWhの発電を行うことが可能である。規模については、1日当たり6時間稼働と仮定し園内で発生する木質バイオマス(204.4dry-t/yr)を処理するために年間250日間、土日祝日を除きほぼ毎日稼働する体制を想定し設定したものである。

実際には、剪定枝等を雨の当たらない屋根の下などに保管しておき、比較的規模の大きい破砕機及び炭化炉を定期的に稼働し木炭を貯蔵しつつ、必要に応じてガス化発電を行う作業体制が想定され、剪定枝等の乾燥の程度によっては効率性の向上も見込まれる。

2) 木質バイオマス発生量に対応した導入効果の検討

表一-3の木質バイオマス発生量と図一-4のエネルギー収支を元に年間発電量を想定し、経営収支(コスト)の観点から電力料金及び処理費用の削減効果、温室効果ガス削減の観点からCO₂排出量削減効果を試算した(表一-6)。なお、設備稼働電力として2.0kWを見込み、供給可能電力の原単位は17.8kWとした。



図一-3 炭化の程度と木炭の組成の関係

表一-5 ガス化発電実験の結果

日付		2013/1/9	2013/1/22
稼働時間	(min)	244	196
炭消費量	(dry-kg)	33.78	29.60
時間当たり炭消費量	(dry-kg/h)	8.31	9.06
供給炭低位発熱量	(MJ/dry-kg)	25.04	25.05
消費熱量	(MJ)	845.85	741.54
生成ガス熱量	(MJ)	548.44	442.72
冷ガス効率(炭~ガス)	(%)	64.84	59.70
発電出力	(MJ)	140.04	121.68
発電効率(ガス~電力)	(%)	25.53	27.48
発電効率(炭~電力)	(%)	16.56	16.41
タール濃度	(mg/Nm ³)	-	780.00

フロー	含水率 (%)	重量		発熱量	
		(wet-kg)	(dry-kg)	(MJ/dry-kg)	(MJ)
剪定枝等	50.0	270.7	135.3	15.30	2,070.5
破砕機 ^{※1}					
チップ	50.0	108.3	54.1	15.30	828.2
炭化炉					
木炭	9.21	18.90	17.16	25.04	429.7
ガス化炉 ^{※2}					
熱分解ガス					278.4
ガス発電機 ^{※2}					
電力					71.0

(19.8kWh)

図一-4 ガス化発電における物質フロー及びエネルギーフロー (ガス化炉・ガス発電機の稼働時間1時間当たり)

※1 破砕後5mm未満のチップを振り分け40%に減量すると想定した。(表一-4)
 ※2 木炭の発熱量、冷ガス効率、発電効率は、2013/1/9の結果を採用した。(表一-5)

表一-6 木質バイオマス発生量を踏まえた発電量・効果の試算

	原単位(/h)	試算値(/yr)	
		ケース1 園内発生量を 全て利用	ケース2 周辺発生量 を含めて利用
剪定枝等の処理量 ^{※1}	(dry-t)	0.135	204.4
	(wet-t)	0.271	358.0
供給可能電力	(kWh)	17.8	26,951
電力料金削減効果 ^{※2}	(円)	282	426,627
処理費用削減効果 ^{※3}	(円)	5,400	3,270,400
CO ₂ 排出量削減効果 ^{※4}	(kg-CO ₂)	8,241	12,478.1
	(円)	24	36,062

※1 図一-4の剪定枝等の1時間当たり処理量を原単位とし、昭和記念公園において発生する木質バイオマスについては含水率42.9%、周辺から発生する木質バイオマスについては含水率50.0%として試算した。
 ※2 東京電力HP¹⁸⁾の業務用電力(契約電力500kw以上)電気料金より、夏季16.65円/kWh及びその他季15.55円/kWhを月数で按分し、15.83円/kWhとした。
 ※3 環境省資料¹⁹⁾より市町村における剪定枝・伐採木の処理費用の大半が10円/wet-kg~30円/wet-kgであることから原単位を20円/wet-kgとし、各ケースの試算にあたっては木質バイオマス処理量の40%分の処理費用が削減されるものとした。
 ※4 温室効果ガス排出量算定・報告・公表制度HP²⁰⁾より東京電力の原単位(0.463kg-CO₂/kWh)を引用した。貨幣価値換算は、国土交通省²¹⁾より2,890円/t-CO₂を引用した。

ケース1は昭和記念公園の園内で発生する木質バイオマスすべてを利用した場合、ケース2は周辺の公園や道路、立川市が回収している家庭等からの剪定枝を含めて利用した場合とした。

各種効果の中では処理費用削減効果が大きいものの、チップ舗装材料や堆肥化材料等として活用されているため、実際には現れない効果である。電力料金削減効果やCO₂排出量削減効果も、特にケース2の場合においては大きく見積もることができるが、一連の施設整備に係るイニシャルコスト、設備の稼働やメンテナンスに係る人件費も含めたランニングコストを見込むと採算のとれる事業とすることは難しいと思われる。メタン発酵によるバイオマスのエネルギー利用システムを評価した研究²⁰⁾においても、従来発生していた廃棄物処理費用の削減が最も大きな効果であると指摘されているのと同様に、都市公園における剪定枝等を活用したガス化発電の導入を検討するにあたっては、経営収支(コスト)の観点からは処理費用の削減が重要な要素である。

4. おわりに

本研究では、昭和記念公園をモデルとし、都市公園における木質バイオマスを活用したガス化発電技術について実証実験を行い、その導入可能性を検証した。結果として、都市公園の剪定枝等を用いて貯蔵性の高い木炭を製造しガス化発電を行うことは技術的に可能であり、一定程度のエネルギー効率を見込めることが明らかとなった。一方で、導入効果を貨幣価値に換算し費用対効果を分析すると、園内で発生する木質バイオマス処理費用が発生していない限り正の効果を見込むことが難しいことも示唆された。また、導入効果の向上に資する技術として、剪定枝等をガス化発電の原料に適した形態(微細なものが少ないチップ等)とする破砕技術が重要であることも示された。

本研究の成果のうち明らかにされた値については、昭和記念公園の特性や実験設備に依存したものであるが、ガス化発電の効率や課題、各種導入効果の相対的な関係については、都市公園における木質バイオマス発電の特徴を示したものであるといえる。

本研究は、都市公園へのガス化発電技術の導入可能性の技術的検証や一定の仮定に基づく導入効果の試算に主眼を置いているが、今後は、行政機関に限らず地域全体での木質バイオマスの賦存量や有効利用可能量を踏まえ、施設の整備や維持管理、木質バイオマスの収集・運搬に要するコスト、低炭素都市づくりの普及啓発といった環境・社会貢献面での効果等を含めたライフサイクルでの評価に着目し、都市公園における木質バイオマス発電技術の実用可能性について研究を進めていく必要がある。

謝辞: 本研究を行うにあたり、東京工業大学の吉川邦夫教授、千葉大学の中込秀樹教授、東京大学の横張真教授に御助言をいただきました。また、国土交通省関東地方整備局国営昭和記念公園事務所、昭和記念公園管理センター、立川市役所、昭島市役所の御担当者には、資料の提供などの御協力をいただきました。ここに記して謝意を表します。

補注及び引用文献

- 1) 国土交通省都市・地域整備局: 低炭素都市づくりガイドライン: 国土交通省ホームページ<http://www.mlit.go.jp/toshi/city_plan/teitanso.html>, 2013.03.28更新, 2013.09.17参照
- 2) 曾根直幸・山岸裕・栗原正夫(2013): 都市における再生可能エネルギー活用の推進-都市の植物廃材の利用-: 土木技術資料55(1), 12-15
- 3) 柳原季明(2005): 公園緑地における緑のリサイクルの動向: 資源環境対策41(5), 2-7
- 4) 例えば万博記念公園(大阪府吹田市)においては、園内で発生した木質バイオマスの熱利用とあわせて、スターリングエンジンによる発電(出力1kw程度)が行われているが、発電を主目的としたエネルギー利用の

- 取り組みは、都市公園ではほとんど行われていない。
- 5) 三浦秀一(2008): バイオマスを中心とした再生可能エネルギーによるカーボンニュートラルなまちづくり: 地域開発2008.6, 25-28
 - 6) 今井伸治(2013): バイオマス利用の概論, 一般社団法人日本有機資源協会編著「バイオマス活用ハンドブック-バイオマス事業化成功のために-»: 株式会社環境新聞社, 62pp, 2-63に所収
 - 7) 河本晴雄(2011): バイオマス発電システムの設計, 吉川邦夫・森塚秀人監修「バイオマスを利用した発電技術」: シーエムシー出版, 11pp, 3-13に所収
 - 8) 吉川邦夫(2011): バイオマスの低カロリーガス化と分散型発電, 吉川邦夫・森塚秀人監修「バイオマスを利用した発電技術」: シーエムシー出版, 14pp, 74-87に所収
 - 9) バイオマス活用推進会議: バイオマス事業化戦略: 農林水産省ホームページ<<http://www.maff.go.jp/j/press/shokusan/bioi/120906.html>>, 2012.09.06更新, 2013.09.17参照
 - 10) 林順一(2012): 炭化, 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共編「バイオマスプロセスハンドブック」: オーム社, 7pp, 286-292に所収
 - 11) 国土交通省都市局(2012): 国営公園再生可能エネルギー実証事業説明書(別添資料4国営公園における植物廃材の発生量), 1pp
 - 12) 寺田徹・横張真・田中伸彦(2009): 大都市郊外部における緑地管理及び木質バイオマス利用によるCO₂固定量/排出量の推定: ランドスケープ研究72(5), 723-726
 - 13) T. A. Milne, N. Abatzoglou and R. J. Evans (1998): Biomass Gasifier "Tars" Their Nature, Formation, and Conversion: National Renewable Energy Laboratory, 204pp
 - 14) 秋山義典(2005): 国営昭和記念公園におけるみどりのリサイクル事情資源環境対策41(5), 18-21
 - 15) 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構: バイオマス賦存量・有効利用可能量の推計: <<http://apl1.infoc.nedo.go.jp/biomass/index.html>>, 2011.3.31更新, 2012.7.17参照
 - 16) 国交省が管理する道路、東京都が管理する公園及び道路については、NEDOによる原単位¹⁵⁾をもとに推計した。立川市及び昭島市が管理する公園及び道路については各市役所の担当部局への聞き取りによって得られた年間発生量をもとに、含水率50%と仮定して推計した。また立川市においては家庭等から排出される剪定枝等を可燃ごみとは別に回収しており、担当部局への聞き取りによって得られた年間発生量をもとに含水率50%と仮定して推計した。
 - 17) P. Quaak, H. Knoef and H. E. Stassen (1999): Energy from biomass - a review of combustion and gasification technologies- (World Bank Technical Paper): The World Bank, 99pp
 - 18) 東京電力: 業務用電力(契約電力500kW以上): 東京電力ホームページ, <<http://www.tepco.co.jp/e-rates/corporate/charge/charge07-j.html>>, 2013.09.18更新, 2013.09.18参照
 - 19) 環境省(2006): 中央環境審議会廃棄物・リサイクル部会廃棄物の区分等に関する専門委員会(第1回)資料3木くずの現状について: 環境省ホームページ, <<http://www.env.go.jp/council/former2013/03haiki/y0312-01.html>>, 2013.07.16更新, 2013.08.20参照
 - 20) 環境省: 平成23年度の電気事業者ごとの実排出係数・調整後排出係数等の公表について(お知らせ): 環境省ホームページ, <<http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=15912>>, 2012.11.06更新, 2013.08.20参照
 - 21) 国土交通省: 公共事業評価の費用便益分析に関する技術指針(共通編): 国土交通省ホームページ<<http://www.mlit.go.jp/tec/hyouka/public/090601/0906012.html>>, 2013.04.19更新, 2013.9.20参照
 - 22) 山口奈保実・浦出俊和・上南木昭春(2012): 八木バイオエコロジーセンターにおけるバイオガス化施設の実態とその評価に関する研究: ランドスケープ研究75(5), 683-686