

12.6 公共事業由来バイオマスの資源化・利用技術に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 18～平 20

担当チーム：材料地盤研究グループ（リサイクル）

研究担当者：岡本誠一郎、落 修一、山下洋正、

宮本豊尚、桜井健介

【要旨】

国土交通省管轄の公共事業からは、毎年定期的に大量のバイオマスが発生している。本研究は、これらを資源と位置付け、安全性を確保しつつ積極的な利用推進に繋げることを目的に、バイオマスインベントリーシステム開発のための基礎調査や微量有害物質試験方法の開発を行うとともに、資源化技術や利用技術に関する開発実験を行った。その結果、バイオマスインベントリー情報を整備するとともに、バイオマス中に含まれる可能性のある微量有害物質の試験方法を開発した。また、エネルギー変換技術（過給式流動炉）とバイオガスエンジンはほぼ実用化レベルのシステムを構築し、緑化基盤用ピートモス代替開発品は現地への試験施工を行った。

キーワード：バイオマス、公共緑地、エネルギー、ガスエンジン、微量有害物質

1. はじめに

地球温暖化対策、エネルギー対策に大きく貢献することからバイオマス利用が世界的に注目され、我が国においても積極的な取り組みが期待されている。国土交通省管轄の公共事業からは毎年定期的に大量のバイオマスが発生しており、これを資源化してその利用に繋げて行くことが重要であり、そのための施策やその基礎となる利用技術を確認していく必要がある。

2. 研究の目的

本研究は、未利用の草木系バイオマスの利用促進を目的として大きく3つに区分される。第1は、バイオマスを資源管理するインベントリーシステムの開発であり、そのためのデータ収集とシステム検討を行う。第2はバイオマスの安全性に係わるものであり、微量有害物質に関する情報収集と試験方法の開発を行う。第3は資源化・利用技術に関するものであり、エネルギー変換技術と大量炭化技術およびバイオガスエンジンの開発を行うとともに、緑化基盤用ピートモス代替開発品の現地適用評価研究を行う。

3. 研究内容

3.1 バイオマスインベントリーシステム

緑地や樹木の管理における年間の除草や剪定の時期や回数は、管理者により現地の社会的、自然的環境状況、管理費用等を勘案して決定されている。緑

地・樹木管理により発生する除草・剪定枝葉を資源として位置付けるデータ・情報整備は行われていない。このために、国土交通省管轄（内閣府沖縄総合事務局所管事業を含む。以下同じ。）の全国の公共緑地の除草・剪定の実施状況を調査した。また、平成19年度に引き続き、緑地・樹木管理によって実際に発生した草木系バイオマス試料の組成を調査した。これらの結果から緑地や樹木の管理により発生する除草・剪定枝葉のエネルギー賦存量を推算した。

3.1.1 調査方法

緑地・樹木の除草・剪定の実施状況調査は、国土交通省北海道開発局、同省各地方整備局、内閣府沖縄総合事務局の道路、河川、公園、ダム事務所を対象に、アンケート調査により各事務所の管理する緑地・樹木の平成19年度の除草・剪定の実施状況を調べた。

緑地・樹木管理によって実際に発生した草木系バイオマス試料の組成の調査は、実際の緑地の草木類は複数種が混在することに配慮し、10河川事務所および14国道事務所、その他2緑地（土木研究所内緑地、下水処理場内緑地）より、通常の維持管理作業で発生する刈草と同様の組成となるよう、複数種が混合された145試料を採取し、調査を行った。分析項目は含水率、強熱減量、高位発熱量、主要構成元素（炭素、水素、窒素、硫黄、酸素）とした。

国土交通省管轄の緑地管理から発生する除草・剪定物のエネルギー賦存量の推算にあたっては、発生

表-1. 国土交通省管轄の地域別緑地・樹木管理量

種別	単位	北海道	東北	関東	北陸	中部	近畿	中国	四国	九州	沖縄	全国
緑地	km ²	103	43	82	25	28	25	19	10	24	1	361
高木	万本	9	3	10	4	8	11	2	4	3	5	61
単独植え中低木	万本	19	6	6	55	34	7	25	36	3	2	193
寄せ植え中低木	km ²	0.1	0.5	1.7	0.2	0.9	1.2	0.3	0.9	1.1	0.2	7.1

量、含水率、発熱量が必要である。しかしながら、全発生量の重量は、発生量が容量で管理されていたり、一部存置され計量されなかったりするため、把握されていない。また、各除草・剪定枝葉の含水率や発熱量が測定されることは少ない。そのため、国土交通省管轄の緑地・樹木管理により発生する除草物および剪定物のエネルギー賦存量 E (J/year)は、以下の式によって計算した。

$$E = A \times W \times \frac{100 - w}{100} \times h \quad \dots (1)$$

ここで、 A は1年あたりの除草面積(m²)または剪定量(本またはm²)とし、 W は1年間の単位面積(除草面積または剪定量)あたりの除草物または剪定物の回収時の平均重量(g/m²/yearまたはg/本/year)とし、 w は回収された除草物または剪定物の平均含水率(%)とし、 h は、除草物または剪定物の乾燥重量あたり的高位発熱量(J/g)とした。1年あたりの除草面積または剪定量は、アンケート調査により各事務所の管理する緑地・樹木における平成19年度の除草・剪定実績を用いた。除草物の回収時の重量及び含水率は、除草物の大半が数日乾燥後に回収されていることを踏まえ、2日以上後に回収されたデータを基にした。剪定物の回収時の重量及び含水率は、剪定物の大半が即日回収されていることを踏まえ、即日回収されたデータを元にした。また、除草物または剪定物の発熱量は昨年度調査¹⁾から、刈草 17,800kJ/kg-dry 及び剪定枝葉 19,300kJ/kg-dry とした。

3.1.2 調査結果

緑地・樹木の除草・剪定の実施状況調査は、109 国道事務所、102 河川事務所、17 公園事務所、25 ダム事務所からアンケートの回答を得た。アンケートに回答した事務所の定期的な除草を要する緑地の合計は、約 360km²であり、そのうち、河川事業が約 290 km²、道路事業が約 60 km²であった。地域別の結果を表-1 に示した。1年間の除草の回数は、1回/年の地区数が全地区数の30%、2回/年の地区数が48%であり、3回/年の地区数が13%であった。平成19年度ののべ除草面積は、650km²であった。定期的な除草を要する緑地のほとんどが年1回以上除草さ

れていた。

また、定期的な剪定を要する樹木の合計は、高木(高さ3m以上)約60万本、単独植えの中低木が約200万本、寄せ植えの中低木の表面積は、約7km²であり、それぞれの8割以上が道路事業によるものであった。地域別の結果を表-1に示した。平成19年度ののべ剪定量は、高木約26万本、単独植えの中低木が約24万本、寄せ植えの中低木の表面積は、約5km²であり、全樹木が毎年剪定されるわけではない。

地域毎ののべ除草および剪定の実施日数の季節毎の割合は、全体として、除草の実施日は、7~9月に多く、1~3月に少なかった。剪定の実施日は、刈草同様に7~9月に多く、1~3月に少なかったが、刈草と比較すると1~3月の実施も多く、季節的な偏りが少なかった。

また、本アンケートの結果から、賦存量推算にあたって必要となる2日以上存置後回収された除草物の単位面積あたりの平均年間発生重量を計算した。2日以上存置後に回収された除草物の回収時重量のヒストグラムを図-1に示した。ヒストグラム作成にあたっては、除草面積の大半を占める河川事業由来のデータを用いることとし、条件に該当した109工区のデータを抽出した。条件は、①重量と面積が記載されている、②記載されている重量の内訳に剪定枝や他の工区の除草物などの重量が含まれていない、③対象地区の面積が100m²以上である、④対象工区のうち9割以上の面積が2日以上存置後回収されて

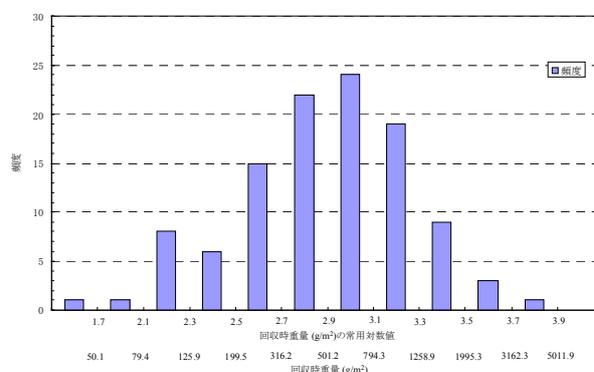


図-1. 2日以上存置後に回収された109除草物の回収時重量のヒストグラム

いる、とした。1年間のうち複数回除草作業が行われている工区は、全ての除草回の合計重量を用いた。このヒストグラムは、正規分布よりも対数正規分布に近かった。この2日以上存置後に回収された109除草物の回収時重量の相加平均値は、667(g/m²/year)であった。

剪定物については、高木、中低木(単独植え)、中低木(寄せ植え)に分け、単位剪定量(本数又は表面積)あたりの剪定物の平均重量を計算した。計算にあたっては、条件に該当したデータを抽出した。条件は、①剪定量(本数または表面積)と剪定物の重量が記載されている、②記載されている重量の内訳に他の試料の重量が含まれていない、③剪定量が一定量以上である(高木:10本、中低木(単独植え):10本、中低木(寄せ植え):100m²)、④対象工区のうち9割以上の剪定量が即日回収されている、とした。データ数は、高木50工区、中低木(単独植え)11工区、中低木(寄せ植え)29工区であった。即日回収された単位剪定量(本数又は表面積)あたりの剪定物の平均重量は、高木61.8kg/本、中低木(単独植え)10.2kg/本、中低木(寄せ植え)1.5kg/m²であった。

緑地・樹木管理によって実際に発生した草木系バイオマス試料の組成の調査における、145試料の乾燥重量あたりの高位発熱量は、最大値は20,390kJ/kg、最小値は12,220kJ/kg、中央値は17,460kJ/kg、相加平均値17,315kJ/kgであった。

本調査における全試料145試料(河川事業に由来する86試料、道路事業に由来する46試料)の回収時の含水率の測定の結果、河川管理に由来する試料と道路管理に由来する試料の含水率は、異なる傾向を示した。河川管理に由来する試料の含水率は、最大値は77.5%、最小値は8.7%、相加平均値は33.8%であった。道路管理に由来する試料の含水率は、最大値は82.3%、最小値は24.4%、相加平均値は63.2%

であった。除草・剪定物は、軽量の方が運搬しやすく、乾燥させた方が望ましい。しかしながら、道路管理に由来する除草・剪定物は、存置できる空間が少なく通行への支障が生じやすいことから、即日回収が行われることが多いため、河川管理に由来する試料と比較して含水率が高かったと考えられる。草本及び木本(小枝・葉)の伐採時の含水率は、それぞれ67-73%、58-62%程度であり¹⁾、草本の方が木本(小枝・葉)よりも高い傾向がある。河川管理に由来する除草・剪定物は、道路管理に由来する除草・剪定物に比べ、草本の割合が高かったが、含水率は低い傾向にあることから、回収された試料の含水率は、試料の草本及び木本(小枝・葉)の構成比よりも、除草・剪定から回収までの行程の方が影響が大きいと考えられた。

本調査における全試料145試料のうち、試料の回収された状況が明らかで、伐採直後に回収された試料および数日間存置させるなどして乾燥後に回収された試料の含水率の分析の結果、伐採直後に回収された試料の含水率の相加平均値は62.5%であった。また、乾燥後回収された試料の含水率の相加平均値は26.6%であった。

地域毎の特性を検討するため、本調査における全試料145試料を地域別に分類した。試料数は、北海道33試料、東北地方8試料、関東地方22試料、北陸地方8試料、中部地方13試料、近畿地方9試料、中国地方4試料、四国地方38試料、九州地方10試料であった。各地域の年間平均気温と試料中の窒素、炭素、水素、硫黄、酸素含有率、C/N比、熱量およびそれらと年間平均気温との相関係数を表-2に示した。年間平均気温は、気象庁気象統計情報の平成19年の各地方整備局の所在地のデータを用いた。各地域の試料の平均窒素含有率、平均炭素含有率、平均C/N比と年間平均気温との相関係数は、-0.89、0.73、0.83と強い相関がみられた。

表-2. 各地域の年間平均気温と試料中の窒素、炭素、水素、硫黄、酸素含有率・C/N比・熱量およびそれらと年間平均気温との相関係数

	北海道	東北	関東	北陸	中部	近畿	中国	四国	九州	年間平均気温との相関係数
年間平均気温 (°C)	9.4	13.1	15.4	14.4	16.6	17.6	17.0	17.3	18.0	1.00
平均窒素含有率 (%)	1.7	1.4	1.4	1.3	1.3	1.1	1.4	1.1	1.0	-0.89
平均炭素含有率 (%)	46.0	46.2	46.4	46.1	46.5	47.7	47.5	47.0	46.7	0.73
平均水素含有率 (%)	5.4	5.4	5.4	5.4	5.5	5.5	5.6	5.5	5.4	0.40
平均硫黄含有率 (%)	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	-0.05
平均酸素含有率 (%)	39.7	39.7	40.2	41.7	39.4	40.5	41.1	40.8	42.0	0.47
平均C/N比 (-)	29.2	35.5	37.9	38.0	37.8	44.0	35.2	45.7	46.2	0.83
平均熱量 (kJ/kg)	17213	17278	17467	17208	17412	16710	17948	17356	17442	0.14

国土交通省管轄の緑地・樹木管理から発生する除草物・剪定物のエネルギー賦存量は、式(1)より、3.1PJ/year、0.21PJ/yearであった。除草物と剪定物の合計では、3.4PJ/year ($=3.4 \times 10^{15}$ J/year)であった。この熱量は、A 重油 8.6×10^7 L に相当した。A 重油の熱量は、 39.1 MJ/L^2)とした。地域別の国土交通省管轄の緑地・樹木管理から発生する除草物・剪定物のエネルギー賦存量を図-2 に示した。

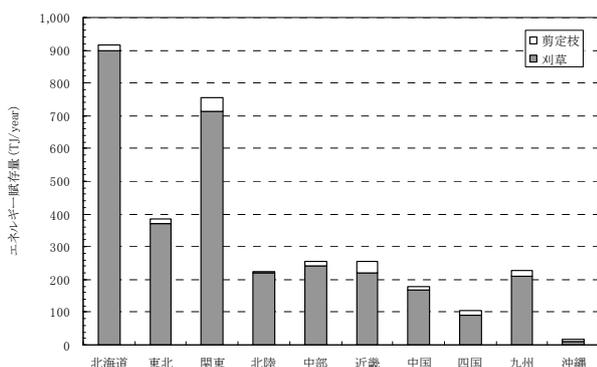


図-2. 推算された地域別の国土交通省及び内閣府沖縄総合事務局管轄の緑地・樹木管理から発生する除草物・剪定物のエネルギー賦存量

3. 2 微量有害物質の試験方法の開発

3. 2. 1 刈草等の農薬等に関する分析法の検討

刈り草等のリサイクル資材に含まれる可能性のある微量有害物質を把握するために、含有量の分析方法の検討および実態調査を行った。国土交通省地方整備局の河川および道路事務所より入手した刈草試料 10 検体について、殺菌剤等の農薬 42 種類の含有量を、ガスクロマトグラフィー質量分析計 (GC/MS) により分析した。

結果は表-3 に示す通りであり、分析法の回収率(添加回収試料検出濃度/添加濃度)は 49.5%~153.4%であり、ng/g オーダーの検出下限値が得られており、GC/MS を用いる本分析法は、スクリーニング目的に

実用可能であると考えられた。

調査対象農薬は GC/MS で分析可能な比較的親水性が低い物質であるが、全て検出下限値未満であったことから、刈草試料中にこれらの農薬が含まれている可能性は低く、リサイクル由来の環境影響の可能性も低いと考えられた。

3. 2. 2 下水汚泥中の抗菌剤等に関する生物試験方法の検討

下水汚泥中に抗菌剤等が含有されている場合があることが分かっており、これらの物質が土壌中で生物へどのように移行するかを把握するために、シマミミズを用いた曝露試験を行った。下水汚泥より検出されることがある抗菌剤等 11 物質を 4 段階の異なる濃度(無添加、0.1mg/kg、1mg/kg、10mg/kg)で添加した人工土壌を用いて、シマミミズを 10 週間にわたり飼育して体組織中の抗菌剤等の濃度変化を調査した。人工土壌およびミミズ体組織中の抗菌剤等は、試料より超音波抽出を行い、高速液体クロマトグラフタンデム型質量分析計 (LC/MS/MS) を用いて分析した。

試験結果として、曝露したシマミミズ 160 検体中で死亡は 1 検体のみであったことから、個体の生死レベルをエンドポイントと考えた場合の急性毒性は見られなかった。これは、一般にシマミミズは重金属や化学物質毒性への耐性が比較的大きいとされていることに合致する結果である。

体組織への移行については、例として図-3 に日用品由来の抗菌剤トリクロカルバンの結果を示す。トリクロカルバンは人工土壌中で 10 週間残存し、ミミズ体組織へも移行して濃度が同レベルとなった。一方でメチルパラベン、人工土壌中で速やかに分解し、ミミズ体組織中の濃度もほとんど上昇しなかった。他の物質についてもそれぞれ異なった挙動が見られ、物質特性に応じて土壌中での挙動および生物への移行の度合いが異なるものと考えられたが、高

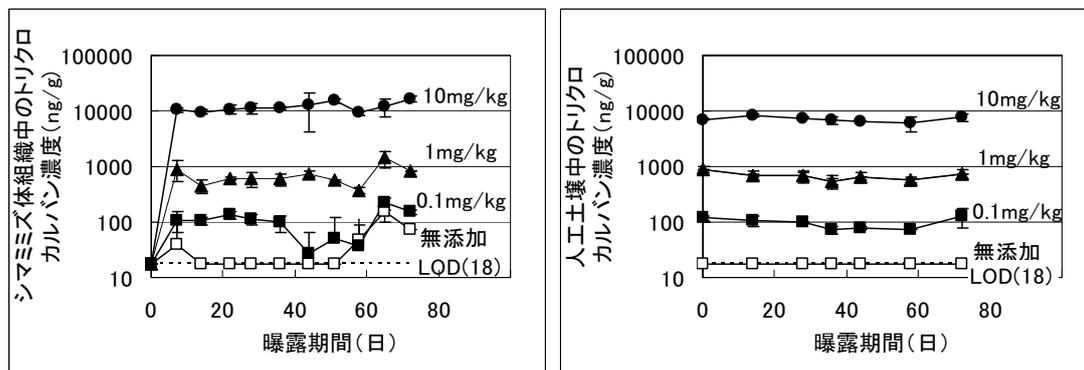


図-3. 抗菌剤等の生物曝露試験の結果(トリクロカルバンの例)

度に生物濃縮される物質はなかった。

シマミミズは入手および飼育管理が容易であり、これを用いた曝露試験は、物質特性に応じた挙動の違いを把握することが可能であることから、リサイクル資材由来の微量有害物質の土壌生物への影響把握に有効な試験方法と言える。

ただし、試験が容易とはいえ、試験生物の準備および試験の実施に相当の労力および期間を要することから、より迅速に結果が得られる方法も必要である。超音波抽出およびLC/MS/MS・GC/MS分析の場

合は、より迅速に含有濃度を把握することができ、物質によってはそれがそのまま生物影響濃度と考えることができる。

従って、まずはスクリーニング試験として、LC/MS/MS・GC/MS等による分析を行い、高濃度に検出された物質について追加検討が必要と判断した場合は、シマミミズ等を用いた生物曝露試験を実施するという、2段階の試験方法が合理的と考えられ、本研究では、その両方の手法を開発することができた。

表-3. 刈り草試料中の殺菌剤等農薬の分析結果

ID	農薬番号	物質名	用途	添加回収試験結果 回収率(%)	CV	検出下限値 LOD(ng/g)	10検体中 検出率(%)
1	54	Isoprocab (MIPC)	殺虫剤	80	6.0	5.3	0
2	12	Fenobucarb (BPMC)	殺虫剤	89	3.7	23.4	0
3	100	Trifluralin	除草剤	95	5.2	49.1	0
4	43	Benfluralin	除草剤	78.0	5.7	34.2	0
5	66	Dimethoate	殺虫剤	116.3	5.0	15.0	0
6	63	Atrazine	除草剤	69.1	7.7	23.3	0
7	6	Diazinon oxon	殺虫剤	129.2	11.6	21.1	0
8	6	Diazinon	殺虫剤	86.6	1.0	22.0	0
9	10	Propyzamide	除草剤	86.1	6.3	65.3	0
10	50	Pyroquilon	殺菌剤	65.6	6.6	43.9	0
11	81	Disulfoton	殺虫剤	74	18.9	108.7	0
12	38	Terbucarb	除草剤	95	7.8	34.2	0
13	7	Fenitrothion oxon	殺虫剤	85.0	10.3	109.1	0
14	59	Bromobutide	除草剤	75.5	6.9	17.3	0
15	47	Alachlor	除草剤	84.8	7.2	7.9	0
16	37	Dithiopyr	除草剤	74.0	6.7	36.3	0
17	34	Metalaxyl	殺菌剤	74.0	7.0	212.8	0
18	7	Fenitrothion	殺虫剤	84.6	3.5	91.3	0
19	83	Esprocarb	除草剤	77.6	5.4	31.5	0
20	73	Malathion	殺虫剤	77.2	4.7	36.4	0
21	3	Thiobencarb	除草剤	120.9	2.6	68.3	0
22	22	Isofenphos oxon	殺虫剤	131.1	20.9	66.3	0
23	22	Isofenphos	殺虫剤	102.5	15.8	118.7	0
24	46	Methyldymron	除草剤	74.4	9.5	93.4	0
25	79	Phenthoate	殺虫剤	93.0	8.4	310.3	0
26	78	Dimepiperate	除草剤	77.1	10.3	79.9	0
27	57	Methidathion	殺虫剤	83.9	6.3	34.1	0
28	69	α-Endosulfan (I)	殺虫剤	49.5	4.9	44.5	0
29	41	Butamifos	除草剤	84.4	6.6	45.8	0
30	32	Flutolanil	殺菌剤	101.8	9.8	71.8	0
31	53	Pretilachlor	除草剤	79.3	11.3	104.7	0
32	8	Isoprothiolane	殺菌剤・殺虫剤	81.8	7.7	78.8	0
33	80	Buprofezin	殺虫剤	76.7	5.8	90.9	0
34	69	β-Endosulfan (II)	殺虫剤	72.1	8.1	196.3	0
35	49	Edifenphos(EDDP)	殺菌剤	132.9	10.2	100.0	0
36	69	Endosulfan - sulphate	殺虫剤	68.0	6.3	126.7	0
37	56	Thenylchlor	除草剤	116.2	17.1	49.6	0
38	40	Pyributycarb	除草剤	153.4	12.6	81.1	0
39	26	Iprodione	殺菌剤	112.0	8.4	369.7	0
40	88	Piperophos	除草剤	128.8	13.6	322.8	0
41	62	Anilofos	除草剤	146.1	13.1	87.8	0
42	101	Cafenstrole	除草剤	119.2	14.3	128.8	0

農薬番号:厚生労働省水質管理目標設定項目15の対象農薬リストにおける番号
検出率:10検体中の検出下限値以上の検体数の割合(%)

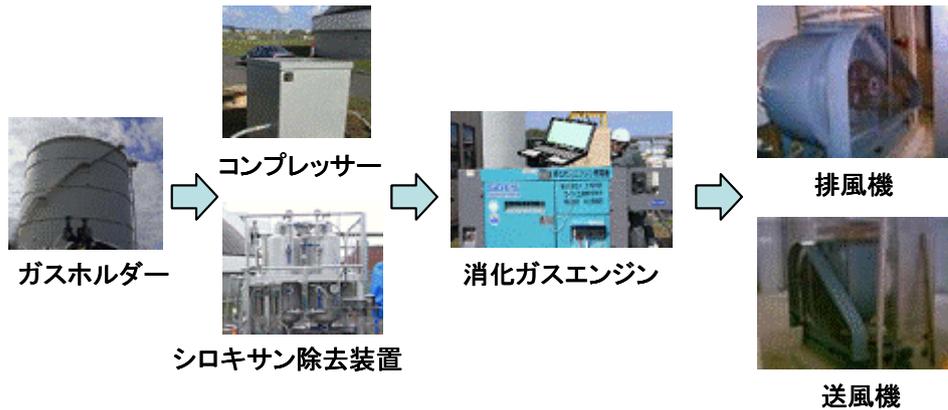


図-4. 長期連続稼働実験フロー

3.3 資源化・利用技術

3.3.1 バイオガスエンジンの開発

バイオガスエンジンの開発は、ライト工業株式会社と株式会社井上政商店との共同研究「消化ガスエンジン動力システムの開発」として行ったものである³⁾。平成20年度は、函館湾浄化センターにおいて実ガスを用いた長期連続稼働実験を行った(図-4)。

実験はCH₄濃度58.3 v/v-%のバイオガスを用い、10月9日～11月19日まで約40日間の連続稼働を行った。ガスは0.4MPaで供給し、ガスエンジンで発電した電力(200V-約10A)は浄化センター内の消化槽に設置された排風機(1.5kw)・送風機(2.2kw)の電源として使用した。実験期間中の稼働時間と日平均の供給電力・電圧・周

波数の推移を図-5、6に示す。実験期間中、電圧、周波数ともに人為的な要因を除き安定していた。11月19日は気温は急激な低下し、ガス供給管内が凍結して燃料の供給が止まった結果、エンジンは停止した(図-7)。

本実験での発電効率は、改造後の最大出力約25kwに対して1.5kwと発電量が少ないため、3%程度に留まった。

また、図-8に示すように、安定時における電圧は232.3～173.1Vであり、これは「電力品質確保に係る系統連系技術要件ガイドライン」⁴⁾に示されている202±20Vの基準値の幅を超えており、現状では系統連系することができない。発電量の小さい本システムでは、無理に系統連系するよりも多少の電圧変動を許容する機器に直接電力供給を行うほうが望ましいことが分かった。

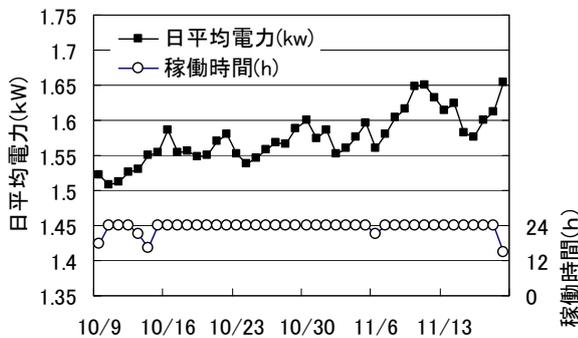


図-5. 稼働時間と日平均電力の推移

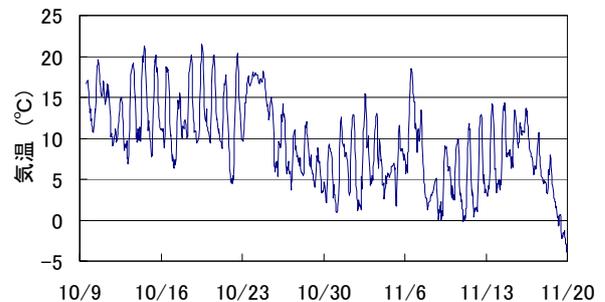


図-7. アメダスでの気温の観測結果(北斗)⁵⁾

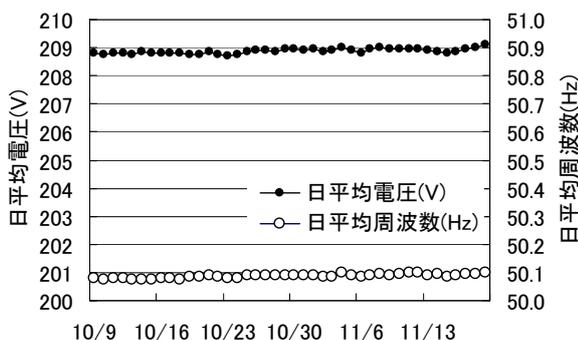


図-6. 日平均電圧と周波数の推移

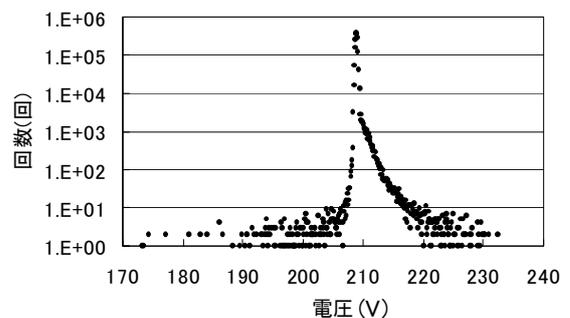


図-8. 長期連続試験で観測された電圧の頻度分布

3.3.2 緑化基盤用ピートモス代替開発品の現地適用評価

これまでに土木研究所では、東興建設株式会社、日本植生株式会社、ライト工業株式会社との共同研究により、木質系廃棄物に蒸煮爆砕処理を施すことによりピートモスの代替材料として法面緑化資材へ利用する工法（以下、「本工法」という）を開発してきた⁶⁾。本工法を、国土交通省九州地方整備局嘉瀬川ダム工事事務所の協力を得て、道路建設工事の法面に適用し、本工法の施工性、植生基盤の耐久性、植物の生育性を調査した。

1) 施工方法

調査にあたっては、裸地状態での生育基盤の耐久性を確認するため、植物が生長するまでに時間が十分と取れるよう、しばらくは発芽が少ないと考えられる10月下旬頃に施工することとした。施工場所は、道路建設工事の南西向き勾配1:1.2の法面100m²とし、金網設置後、植生基盤の吹き付けを行うこととした。吹き付け材の配合条件は、過去の実験⁶⁾を参考に、表4のとおりとした。蒸煮爆砕物は、嘉瀬川ダム建設工事に伴って生じたイヌシデ、シイ・カン類、クロキ、ヤマハゼ、クヌギ、コナラ、スギ等の抜根材を破砕機で5cm程度に破砕したチップに、2.5MPaの蒸気によって3分間蒸煮後、爆砕した（写真-1参照）。種子は、嘉瀬川ダム工事事務所で既施工区の発育が良好なことを踏まえ、従来と同様、メドハギ、ヨモギ、イタドリ、ススキ、グリーピングレッドフェスクとした。吹き付けには、一般的な吹付ノズルの口径42mmの湿式吹付け機を使用した。蒸煮爆砕物、バーク堆肥、肥料、中和剤は事前に配合・梱包し現場へ搬入した。吹付厚さは5cmとした。吹き付けの際には、吹付ノズルは、原則としてその先端が、吹付面にほぼ直角になるように保持し、上部より下部へ一回仕上げとし、むらなく所定の厚さに均一に仕上げることとした。



写真-1. 蒸煮爆砕処理物



写真-2. 施工時の状況



写真-3. 施工完了時の状況

表-4. 生育基盤材の配合条件(仕上がり1m³あたり)

材料	蒸煮爆砕物	バーク堆肥	肥料	接合剤	中和剤	種子
単位	L	L	L	kg	kg	-
配合量	850	850	170	0.85	0.85	有り

2) 追跡調査方法

施工後の追跡調査として生育基盤材の理化学試験および生育した植生を調査した。生育基盤材の理化学試験では、pH、水分含有率、電気伝導率、C/N比、水溶性有機酸（酢酸、プロピオン酸）、土壌硬度指数を測定

した。pH、水分含有率、電気伝導率、C/N比は、肥料分析法⁷⁾に従った。水溶性酢酸は、植生基盤材25g（湿润重量）に超純水500mLを加え、20℃の恒温室にて120rpmで1時間浸漬し、メンブレンフィルター（孔径0.2μm）によるろ過を行い、ろ液をイオンクロマトグラフ（IC20 Ion Chromatograph、Dionex Corporation）により測定した。生育した植生については、品種、本数、高さ、緑被率を調査した。調査は、平成20年10月28日（施工直後）、平成20年11月28日（31日経過）、平成21年1月29日（92日経過）に実施した。

3) 施工結果

施工時の状況および施工完了時の状況を写真-2、3に示す。吹き付け作業については、作業者によると、生育基盤材が比較的細かく均質であるため、ムラがでにくく、作業性は良かったとのことであった。また、今回使用したノズル径では植生基盤材がノズルに詰まることなく作業できた。

4) 追跡調査結果

生育基盤の組成の分析結果を表-5に示す。92日目の調査時には、雨天であったため、水分含有率は高かった。有機酸は、酢酸とプロピオン酸が検出された。酢酸およびプロピオン酸は、31日目には、減少していた。酢酸をはじめとする有機酸は低分子であるため、屋外においては微生物によって分解が進行する⁸⁾ためと思われる。また、pHは、蒸着爆砕物単独では3程度となるが、中和剤をはじめとする資材と混合した生育基盤材の吹き付け時のpHは、5.7であった。31日経過時では、ややアルカリ性となった。高濃度の有機酸や低pHは、植物の生育を阻害するが、吹き付け後、時間を経ることによって、生育に適した条件に近づいたと言える。また、本生育基盤材の物性は、未分解チップを主原料とした生育基盤材と比較して、やわらかく、保水性が高く、植物の生育に適した性質を示した。

生育基盤材の発芽密度の結果を表-6に示す。31日目の調査時には種子からの発芽が確認された。メドハギやクリーピングレッドフェスクは、31～92日目の間に凍上によって枯死したものと考えられる。

期間中の降雨によって生育基盤材が大きく流出することは無く、耐久性に問題は見られなかった。施工区では凍上が起きることもあったが、生育基盤材の外見に大きな影響は見られなかった。法面緑化は植物の生

表-5. 生育基盤材の理化学性と経時変化

分析項目	単位	0日目	31日目	92日目
pH	(-)	5.7	7.7	7.5
水分含有率	(%)	58	46	68
電気伝導率	(mS/cm)	3.1	0.75	0.76
C/N比	(-)	48	42	43
酢酸	(mg/L)	1690	37	42
プロピオン酸	(mg/L)	30.1	0.6	1.8

表-6. 生育基盤材の発芽密度

種	単位	0日目	31日目	92日目
メドハギ	(本/m ²)	0	10	0
ヨモギ	(本/m ²)	0	0	0
イタドリ	(本/m ²)	0	0	0
ススキ	(本/m ²)	0	0	0
クリーピングレッドフェスク	(本/m ²)	0	1	3

育により、法面の安定と土壌の侵食防止効果を期待しているが、植物がまばらで侵食防止効果を有するまで生長していない状態が5ヶ月程度と、比較的長期間であっても、耐侵食性を有していることが示された。

4. まとめ

本研究の結果、以下の知見が得られた。

バイオマスインベントリーシステム整備により、以下の成果を得た。

- 1) 国土交通省管轄の地域別緑地・樹木管理量および平成19年度の作業実績が明らかとなった。
- 2) 2日以上存置後に回収された除草物の回収時重量の相加平均値は、667(g/m²/year)であった。また、即日回収された単位剪定量(本数又は表面積)あたりの剪定物の平均重量は、高木61.8kg/本、中低木(単独植え)10.2kg/本、中低木(寄せ植え)1.5kg/m²であった。
- 3) 草木系バイオマス145試料の乾燥重量あたりの高発熱量の相加平均値は17,315kJ/kgであった。
- 4) 国土交通省管轄の緑地・樹木管理から発生する除草物および剪定物のエネルギー賦存量は、3.1PJ/year、0.17PJ/yearと推算された。除草物と剪定物の合計では、3.3PJ/year(=3.3×10¹⁵J/year)と推算された。この熱量は、A重油8.5×10⁷Lに相当した。

微量有害物質の試験方法の開発により、以下の成果を得た。

- 1) 公共緑地管理から発生するバイオマスである刈草中に含まれる可能性のある微量有害物質(殺菌剤等農薬)のGC/MSによる試験方法を開発した。
- 2) 実試料中からは殺菌剤等農薬は検出されなかった。
- 3) シمامミズを用いた生物暴露試験により、バイオマスを堆肥化した場合に含まれる可能性のある微量有害物質について土壌生物への影響を考慮した試験方法を開発した。

バイオガスエンジンの開発により、以下の成果を得た。

- 1) 実際のバイオガスを用いたエンジン稼働実験を行い、40日間の安定稼働を確認するとともにエンジンの特性を把握した。
- 2) 40日間にわたり処理場内の実施設へ電力を供給したが、人為的要因および気温低下による凍結の影響を除き安定していた。
- 3) 運転安定時における電圧の変動幅が大きいため系統連系することができない。発電量の小さい本システムでは、無理に系統連系するよりも多少の電圧変動を許容する機器に直接電力供給を行うことが望ましい。

緑化基盤用ピートモス代替開発品の現地適用評価により、以下の成果を得た。

- 1) 緑化基盤用ピートモス代替開発品を現地適用した。
- 2) 生育基盤材が比較的細かく均質であるため、ムラがでにくく、作業性は良好だった。
- 3) 生育基盤材の理化学性は、吹き付け後、時間を経ることによって、生育に適した条件に近づいた。
- 4) 31日目の調査時には種子からの発芽が確認された。
- 5) 植物がまばらで侵食防止効果を有するまで、凍上や降雪があったが、生育基盤材に支障は見られなかった。

なお、国土交通省及び内閣府沖縄総合事務局管轄事務所の緑地・樹木の除草・剪定の実施状況調査は、国土交通省総合政策局事業総括調整官室と共同で実施した。

謝辞

バイオガスエンジンの実証実験には、北海道庁、北海道函館土木現業所、函館湾流域下水道事務組合の関係各位に協力頂いた。

緑化基盤用ピートモス代替開発品の現地適用評価の施工にあたっては、嘉瀬川ダム工事事務所より協力を得た。追跡調査にあたっては、日本植生株式会社、ライト工業株式会社より協力を得た。ここに記して、謝意を表す。

参考文献

- 1) 独立行政法人土木研究所、平成 19 年度下水道関係調査研究年次報告書集、土木研究所資料第 4123 号、平成 21 年 1 月
- 2) 経済産業省資源エネルギー庁・総合エネルギー統計検討会事務局、2005 年度以降適用する標準発熱量の検討結果と改訂値について、平成 19 年 5 月
- 3) 宮本豊尚、岡本誠一郎、落修一、バイオガスエンジン発電システムの開発、土木技術資料、第 51 巻、第 1 号、pp.59、2009
- 4) 資源エネルギー庁、電力品質確保に係る系統連系技術要件ガイドライン、平成 16 年 10 月
- 5) 気象庁 気象統計情報
<http://www.jma.go.jp/jma/menu/report.html>
- 6) 牧 孝憲、高橋 徳、舛田 智江、根本 健児、落 修一、木質爆砕物の法面緑化資材としての利用、土木学会論文集G、Vol. 62, No. 2、pp.220-228、2006.
- 7) 農林水産省農業環境技術研究所、肥料分析法（1992 年版）、財団法人日本肥料検定協会発行

8) 河田弘：パーク（樹皮）堆肥 製造・利用の理論と実際、博友社発行、1981.

TECHNOLOGIES AND SYSTEMS TO EFFECTIVELY USE BIOMASS RESOURCES PRODUCED BY THE MAINTENANCE OF PUBLIC GREEN SITES

Abstract : Maintaining public green sites produces large quantities of biomass resources in the form of waste wood and grass. The aims of this study are the formation of an inventory system and the development of effective biomass resource use technologies. Biomass inventory data were collected from chemical analysis and questionnaires. Three experiments were carried out to develop an energy conversion system, biogas-engine system, and micro organic-pollutant analysis methods.

Key words: biomass, public green sites, energy, gas-engine, micro organic-pollutants