

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、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・利用に繋げて行くことが重要であり、そのための具体的な施策・技術を提供していく必要がある。

2. 研究内容

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った。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った。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った。

2. 1 バイオマスインベントリーシステム

草地・緑地の管理における年間の刈り草の時期や回数、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。緑地管理から発生する刈り草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、各種データを収集・

整備した。

2.1.1 刈草発生量フィールド調査

刈草の発生量を調査するため、緑地に試験フィールドを設定し調査した。

1) 調査方法

刈草発生量フィールド調査は、北海道長万部町の下水道終末処理場と土木研究所の敷地内に試験フィールドを設定した。各フィールドには年間に1回刈り、2回刈り、3回刈りを行う3つの試験区を併設して設け、それぞれ道南地方や関東地方で行われている刈り草時期に合わせて草刈りを実施した。草刈りは肩掛け式刈払い機で行い、全量を回収、重量を測定した。試験区の大きさは、長万部町下水道終末処理場フィールドが6.5m×20m×3区、独立行政法人土木研究所フィールドが3.3m×23.7m×3区である。

2) 調査結果

刈り草回数と発生量の関係を長万部町下水道終末処理場フィールドの結果を図-1に、土木研究所フィールドの結果を図-2に示す。ここで、2つのフィールドには緑地管理上の特徴として、前者が毎年3回の除草が行われているのに対して後者は年1回のみ除草となっていることがあり、このために、前者は3回刈り緑地管理に馴染んだ安定した植生のもとでの結果であり、後者は2回や3回刈りの経験がない1回刈り管理に馴染んでいる植生のもとでの結果といえる。

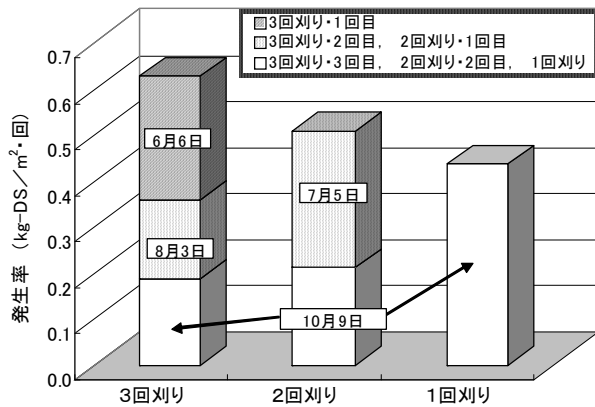


図-1. 長万部町フィールドにおける
刈草回数と発生量の関係

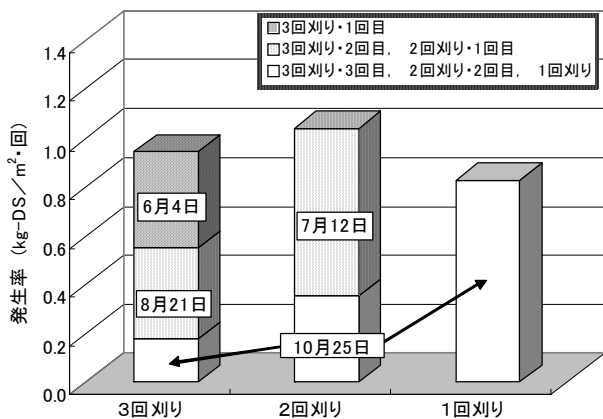


図-2. 土木研究所フィールドにおける
刈草回数と発生量の関係

2.1.2 公共緑地・樹木の植物の種毎の組成調査

エネルギー資源、無機物資源さらにプロセスの制御や開発の基礎データを整備するために各種の草木類バイオマスを採取して、組成・性状を分析した。

1) 調査方法

草木類は、北海道から九州までの国直轄の10河川と11国道、北海道南部陣屋川、長万部終末処理場敷地ならびに土木研究所構内から、83種98検体を採取した。採取した試料は、水分と強熱減量を測定するとともに、風乾して粗粉碎、微粉碎を施し、高位発熱量のほかN、C、H、S、Oなどの主要構成元素からCa、K、Mg、Na、P、Si、Fe、B、Al、Mn、Zn、Sr、Ba、Cr、Ni、Cu、Mo、Co、Pb、Li、V、Cd、As、Se、Sn、Be、Ag、In、Sb、Te、Tl、Uを分析した。

2) 調査結果

83種98試料の水分、強熱減量、高位発熱量及び各元素の分析結果をとりまとめた²⁾。草木類バイオマスの資源化を検討する際の伐採時における生資材の値としては中央値から±10%の範囲内にある表-1に示す値を用いてよいものと思われた。

表-1. 草木類の資源化検討のための代表的な値

	水分 (%-全重)	強熱減量 (%-乾重)	高位発熱量 (kJ/kg-乾重)
草本	67~73	91~93	17,500~18,100
木本(木幹)	48~52	91~97	18,700~19,100
木本(小枝・葉)	58~62	89~94	19,000~19,600

2.1.3 公共緑地・樹木の除草・剪定による実試料の組成調査

実際の緑地の草木類は複数種が混在することに配慮し、北海道から九州まで、河川事務所および国道事務所等の堤防法面や道路法面より、複数種が混合された145試料を採取し、調査を行った。

1) 調査方法

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、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。

2) 調査結果

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、相加平均値は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調査では、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、即日の収集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、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、

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

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調査の結果、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%であり、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。

2.1.4 公共緑地の除草・剪定実施状況調査

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、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。

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。

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 (m^2) または剪定量 (本または m^3) 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 ($g/m^2/year$ 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の高位発熱量 (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元にした。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基にした。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。

表-3. 集計された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

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-3 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-3 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。

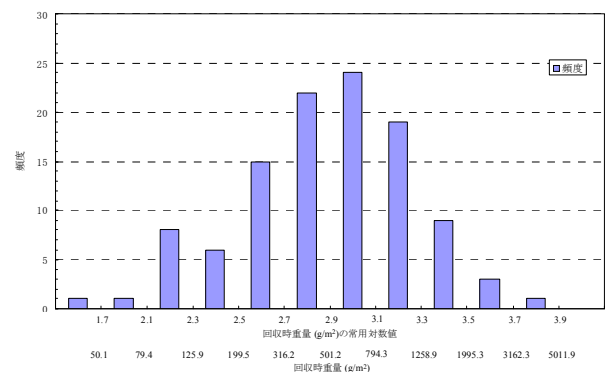


図-3. 2 日以上存置後に回収された 109 除草物の回収時重量のヒストグラム

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 (=3.4×10¹⁵J/year) であった。この熱量は、A 重油 8.6×10⁷L に相当した。A 重油の熱量は、39.1 MJ/L² 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4に示した。

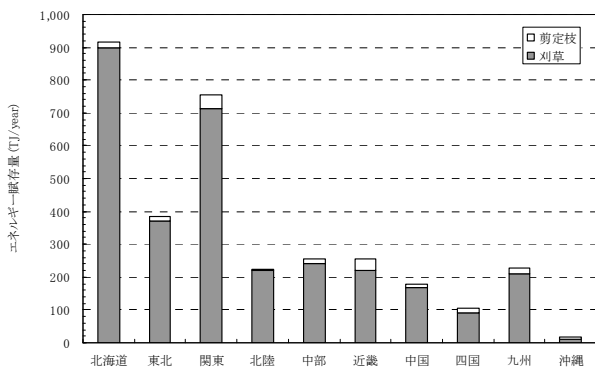


図4. 推算された地域別の国土交通省管轄の緑地・樹木管理から発生する除草・剪定物のエネルギー賦存量

2. 2 微量有害物質の試験方法の開発

2. 2. 1 刈草等の農薬等に関する分析法の検討

刈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 65 種類の含有量を、高速液体クロマトグラフータンデム型質量分析計 (LC/MS/MS) (対象 23 物質) およびガスクロマトグラフ質量分析計 (GC/MS) (対象 42 物質) により分析した。

結果は表-4 および表-5 に示す通りであり、分析法(添加回収試料検出濃度/添加濃度)の回収率は LC/MS/MS で 25.3%~132%、GC/MS で 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、LC/MS/MS および 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、LC/MS/MS で分析可能な親水性の高い物質から GC/MS で分析可能な比較的親水性が低い物質まで含んでいるが、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。

2. 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ー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-5 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-4. 刈り草試料中の殺菌剤等農薬の分析結果 (LC/MS/MS 分析)

ID	農薬 番号	物質名	用途	添加回収試験結果		検出下限値 LOD(ng/g)	10検体中 検出率(%)
				回収率(%)	CV		
1	36	asulam	除草剤	124	1.3	11.5	0
2	74	methomyl	殺虫剤	128	1.4	11.5	0
3	87	tricyclazole	殺菌剤	101	4.0	1.9	0
4	82	probenazole	殺菌剤	86.5	1.2	0.0	0
5	55	thiophanate-methyl	殺菌剤	84.2	2.6	5.1	0
6	96	thiodicarb	殺虫剤	39.1	1.5	31.6	0
7	18	carbofuran	殺虫剤	80.2	1.4	9.1	0
8	48	carbaryl	殺虫剤	79.5	7.3	8.7	0
9	1	thiram(thiuram)	殺菌剤	41.8	12.5	7.3	0
10	68	diuron	除草剤	45.5	8.4	12.1	0
11	86	bensulfuron-methyl	除草剤	126	3.4	9.9	0
12	95	flazasulfuron	除草剤	132	6.3	5.4	0
13	98	siduron	除草剤	49.4	8.0	7.6	0
14	90	azoxystrobin	殺菌剤	77.6	4.4	7.6	0
15	84	daimuron(dymron)	除草剤	64.1	4.3	8.4	0
16	26	iprodione	殺菌剤	36.2	18.3	27.1	0
17	58	carpropamid	殺菌剤	35.1	8.0	4.7	0
18	42	bensulide	除草剤	36.4	7.1	44.6	0
19	17	bentazone	除草剤	61.2	1.3	4.0	0
20	94	halosulfuron-methyl	除草剤	60.2	13.7	5.9	0
21	19	2,4-D	除草剤	25.3	16.5	5.2	0
22	20	triclopyr	除草剤	35.8	5.7	11.7	0
23	45	mecoprop	除草剤	40.5	15.9	2.6	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(%)

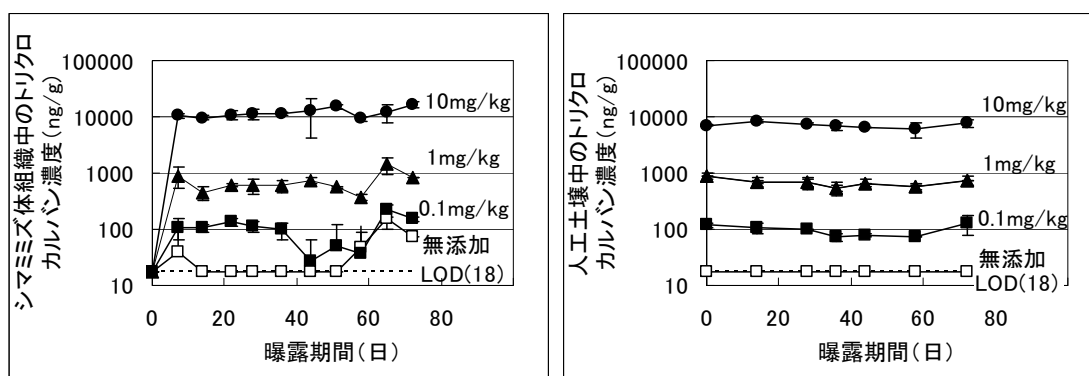


図-5. 抗菌剤等の生物曝露試験の結果(トリクロカルバンの例)

表-5. 刈り草試料中の殺菌剤等農薬の分析結果 (GC/MS 分析)

ID	農薬 番号	物質名	用途	添加回収試験結果		検出下限値	10検体中
				回収率 (%)	CV	LOD(ng/g)	検出率(%)
1	54	Isoproc carb (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(%)

2.3 資源化・利用技術

2.3.1 エネルギー変換技術の開発

下水汚泥の従来の焼却炉に替わる新しい省・創エネルギー型の焼却炉を開発した。また、現在利用の進んでいない草木系バイオマスと下水汚泥の混合焼却によるエネルギー変換も可能なシステムとして開発を行った。本研究は、独立行政法人産業技術総合研究所と月島機械株式会社ならびに三機工業株式会社との共同研究「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研究」により実施した。また、その実用化を目指して、平成17年3月より、これらの共同研究者と独立行政法人新エネルギー・産業技術総合研究機構(NEDO)との間において共同研究「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技術開発」を実施した。

1) 開発技術の基本的構成

今回開発した過給式(加圧)流動炉技術³⁾の基本的な構成及びフローを図-6に示す。下水汚泥または下水汚泥と草木との混合物は定量フィーダから流動炉に供給され、約0.2MPa(ゲージ圧)の圧力下で燃焼される。そこで発生した燃焼ガスは流動炉に供給するための空気予熱器を経て集塵装置に送られ燃焼残渣の灰分が回収される。除塵され高温高压の状態を維持した燃焼ガスは過給機に送られ、ファンを100,000rpmほどに高速回転させて圧縮空気を産する。得られた圧縮空気は流動炉に対して流動床の維持と燃焼に必要な分が空気予熱器を介して送られる。余剰となった圧縮空気は他に有効利用される。過給機を稼動したのちの燃焼ガスは従来の焼却設備と同様に白煙防止予熱器および排煙処理塔を介して大気放出される。

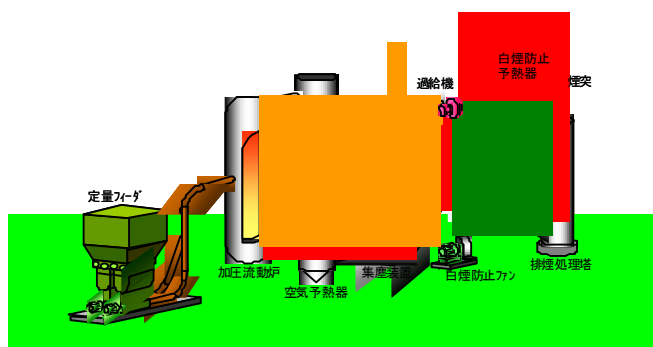


図-6. 開発技術の設備構成及びフロー

2) 開発技術の特徴

(1) 加圧燃焼の特徴

通常よりも圧力が高い場での燃焼は、例えば燃料の炭素と空気中の酸素の接触距離が通常よりも近づき、酸素と炭素の関係が高密度になっている。この効果は大きく2

つあり、ひとつは、燃焼速度が高まることであり、これは安定した燃焼をもたらす、具体には炉の燃焼制御がし易くなる効果がある。他の1つは、高温高压の燃焼ガスが発生することである。これは、開発抽出できるエネルギー量が大きくなることを意味する。具体的効果としては、従来の汚泥焼却では実現できない炉に投入する汚泥中の水分を高温高压蒸気として取り出せることにあり、そのエネルギーを動力に変えられる。

加圧状態の大きさ0.2MPaは、炉構造材の強度を考慮した実用的な耐圧構造と、そこから得られる高温高压ガスを動力に変換する機器の関係から決定された。動力変換機には過給機が選ばれた。過給機は乗用車から大型船舶用のエンジンまで幅広く採用され、実績ある汎用機器として流通していることから安価に導入、装備できる。

これによる装置上の特徴として次が挙げられ、従来の流動床式よりもコンパクトな燃焼システムとなる。

- ① 炉の容積が従来の1/3となり、更新に際しての配置、施工が容易となる。また、炉表面からの放熱量も少なくなり熱効率が高まる。
- ② 過給機が圧縮空気を生産することから従来装備していた流動ブロワが不要となる。
- ③ 炉から過給機までのラインの内圧が高く維持されているために、従来、円滑な燃焼維持のために装備されていた誘引ファンが不要となる。
- ④ 前述の汚泥中水分が動力として利用できるために、過給機で生産される圧縮空気に炉供給用以外に余剰が生じる。これを他の用途とすることができる。例えば、水処理施設のエアレーションタンクに供給することなどが考えられる。

3) 実証研究

開発技術の性能を検証するために、実証用のプラントを北海道長万部町長万部終末処理場内に設置して、実際の下水の脱水汚泥や各種のバイオマスを用いた燃焼実験を行った。

(1) 実証プラントの概要

実証プラントの構成及びフローを図-7に示す。また、加圧流動炉本体の概観と過給機を写真-1に示す。加圧流動炉は処理能力:180kg・脱水汚泥/hで設計され、大きさは外径:1,200mm(内径:700mm)、高さ:9,200mmである。流動媒体として珪砂5号と4号の混合物が流動部分の初期量として530kg封入された。また、炉内温度をモニターするために、流動用分散管の中心線(0mm)から炉頂方向に温度センサーを砂層温度(1):300mm、砂層温度(2):600mm、砂層温度(3):1,300mm、FB(フリーボード)温度(1):3,000mm)、FB温度(2):4,600mm、FB温度

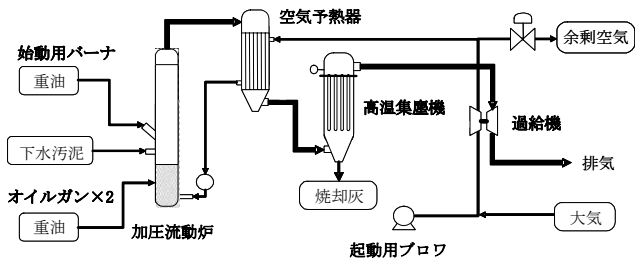
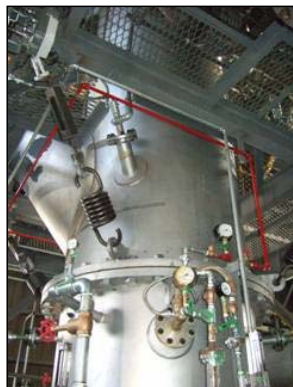


図-7. 実証プラントの構成及びフロー



(加圧流動炉本体)



(過給機)

写真-1. 実証プラントの加圧流動炉本体と過給器

(3) 6,800mm の 6 点に装備している。

過給機は、小型船舶用のものを適用した。大きさは外径:約 250mm、重量:約 10kg ほどである。

(2) 下水汚泥専焼実験

下水汚泥は高含水で粘性が高いために、加圧炉内への密封投入が容易であり、常に安定した燃焼を示した。一例として、水分:86.1%、強熱減量:87.2%-dry、高位発熱量:20,300kJ/kg-dry の脱水汚泥を用いた燃焼実験における炉内燃焼状況のモニター結果を図-8 に示す。いずれの指示値も非常に安定したものである。

実験では低負荷運転や負荷変動運転等を行い、いずれにおいても良好な燃焼成績を示すことを確認した。ま

表-6. 実施した下水汚泥とバイオマスの混燃実験

日付	バイオマス種類	供給量(kg/h)		混焼DS比 汚泥:バイオマス	焼却時間
		汚泥	バイオマス		
7月4日	枯草	184.2	31.8	0.9 : 1	6h
7月5日	枯草	181.3	14.4	2.1 : 1	6.5h
7月19日	チップ	180.8	27.5	1.5 : 1	7h
7月20日	チップ	185.0	49.5	0.7 : 1	7h
8月23日	チップ	176.3	35.7	1 : 1	24h
9月5日	パーク	181.0	20.9	1.2 : 1	6h
9月6日	刈草	186.4	27.7	1.7 : 1	8h
10月17日	イタドリ	148.6	43.9	1.5 : 1	7h
10月18日	パーク	73.4	28.6	0.5 : 1	7h
11月14日	干草	159.7	28.4	1 : 1	12h
11月29日	チップ	157.8	~73.5	~0.45 : 1	12h

た、自動立ち上げ運転法についても検討し、効果を確認した。

(3) 下水汚泥と草木系バイオマスの混焼実験

草木系バイオマス(以下、単に「バイオマス」という)は、その形状から投入に際して空隙ができる粗な性状であることから、加圧状態にある炉への投入方法について綿密な検討を必要とした。木質系はチップ化することにより汚泥と馴染み易くなり円滑に投入できるものであったが、草本系は破碎する必要があった。このために加圧流動炉投入に適した破碎機としてカッティングナイフ付ダブルミキシングスクルー式破碎機を選定適用し、良好な投入を確認した。

下水汚泥とバイオマスの混燃実験は表-6 に示すケースを実施し、いずれも良好な成績を得た。

(4) エネルギー効率

実証プラント実験から得られたデータをもとに、投入エネルギーが圧縮空気の動力エネルギー(圧力エクセルギー)に変わった変換率を求めた結果、高温集塵機以降のプロセスの規模が大きかったために過給機入口温度が低くなったことが起因して、汚泥専焼時で 6.9%、バイオマスとの混焼時で 5.4%と低い転換率であった。実験デー

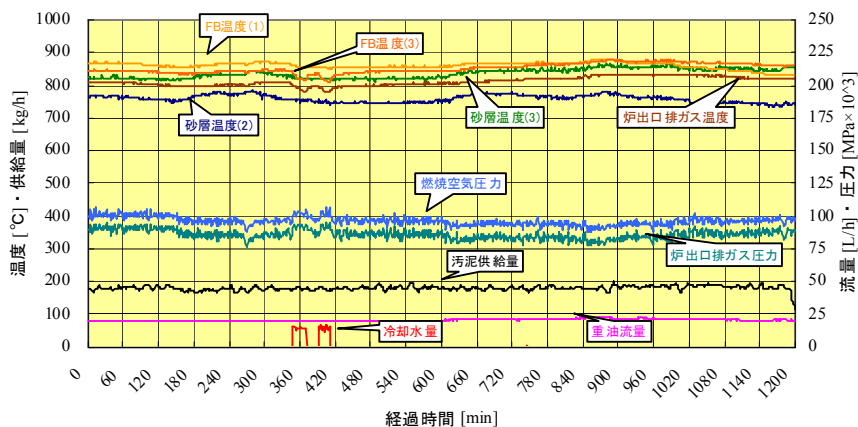


図-8. 下水汚泥専焼時の炉内燃焼指示値のモニター一例

タをもとに実用機の平均的な規模である 100t-脱水汚泥/日の規模について試算した結果、汚泥専焼時で 12.5%、バイオマスとの混焼時で 15%の結果が得られた。この約 1/4 相当が余剰圧縮空気分と試算された。

また、実用規模:100t-脱水汚泥/日における従来の流動床炉の消費電力:355kW に対して開発技術では 168kW の削減が可能と試算され、40%以上の省エネルギーが達成できるものと思われた。

(5) 排ガス性状

下水汚泥には窒素分が多く含まれているために、焼却処理では酸化態窒素の発生が重要視される。特に近年は地球温暖化ガスである N_2O の発生を抑制するための高温燃焼に取り組まれている。

汚泥専焼実験において最も高い温度を示したフリーボード温度(FB 温度(2))と排ガス中の N_2O 濃度の関係を図-9 に示す。これらを汚泥中の窒素からの転換率で表すと 0.3~3.0%(gN- N_2O /gN-汚泥)となり、通常の流動床炉に比べて濃度ともに非常に小さい値である。これは、高密度燃焼による速い燃焼速度がもたらす安定した高温領域の形成によるものと考えられる。また、これらの値はバイオマスが混合投入されると更に低減した。他の排ガス規制項目も問題となるような排出はなく、本開発技術は環境負荷の低い燃焼が得られていた。

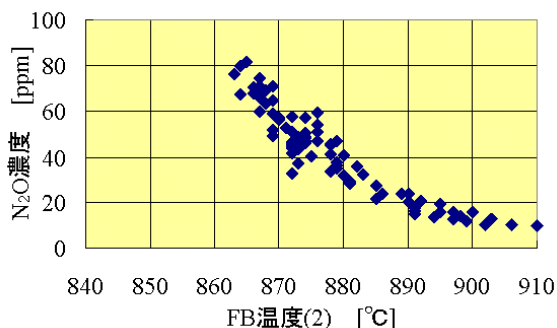


図-9. 汚泥専焼時のフリーボード温度(FB 温度(2))と排ガス中 N_2O 濃度の関係

2.3.2 バイオガスエンジンの開発

バイオガスの利用促進に向けて、従来よりも小型かつ廉価なバイオガス発電機を初めとする汎用性の高い動力システムを開発した。本技術の開発は、ライト工業株式会社・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」により実施した⁴⁾。

1) バイオガス発電機の概要

本共同研究で開発したガスエンジンは、市販のディーゼル発電機(デンヨー社製 DCA-60ESH)を改造し、バイオガスを精製してメタン濃度を高めることなく運



写真-2. 開発した消化ガスエンジン発電機

表-7. DCA-60ESH の基本スペック

型 式			DCA-60ESH		
交流発電機			ディーゼルエンジン		
周 波 数	50Hz	60Hz	名称	日野W04D-TG	
出力	三相(3線X4線)	50KVA	60KVA	形式	直接噴射式・過給器付
	単相(3線)	28.9KVA	34.6KVA	気筒数・内径×行程	4・104mm x 118mm
電圧	三相(3線X4線)	200V	220V	総排気量	4.009cc
	単相(3線)	100V/200V	110V/220V	定格出力	57.4KW
電 流	144A	157A	定格回転数	1500/1800 rpm	
力率	三相(3線X4線)	0.8(遅れ)		燃料	軽油
	単相(3線)	-		燃料タンク容量	125L
励磁方式	ブラシレス(AVR付)		燃料消費量	50%負荷6.3L/h 75%負荷10.6L/h 50%負荷7.9L/h 75%負荷11.6L/h	
極 数	4		冷却水容量	12.2L	
単相出力	電圧	100V	110V	潤滑油量	16.5L
	出力	7.5KVAx2		バッテリー-x個	80D26Rx2
全長x全幅x全高			2050mm x 880mm x 1250mm		
乾燥質量(整備質量)			1,240kg(1,380kg)		
騒 音 値	7mdB(A)		61dB/64dB(無負荷時7m四方平均値)		
	LwA dB		92dB(音響レベル) 無負荷定格回転(60Hz)時		
排出ガス対策指定機			第2次排出ガス対策型建設機械		

転することができるようにしたものである(写真-2、表-7)。

2) 基礎実験

CH_4 ・ CO_2 混合ガスを使用して安定した発電が可能となるように、エンジン本体を調整し、土木研究所内で動作確認を行った。燃料として使用したガスは工業用の CH_4 ガスと CO_2 ガスを混合したものを使用した。また、長時間運転の耐久性についても調査を行った。

実験の結果、 CH_4 ガスの濃度が 45 v/v-%でもエンジンが稼動することを確認し、 CH_4 濃度が約 60 v/v-%のバイオガスの燃料利用が十分可能であると判断された。また 24h 間程度の連続運転も可能であることを確認した。

3) 実証実験

(1) バイオガス供給圧による稼動実験

バイオガスエンジンを山形県鶴岡市浄化センターに設置し、脱水・脱硫・脱シロキサン処理がなされた同センターのバイオガスを用いて稼動実験を行った。発生しているバイオガス中の平均 CH_4 濃度は 60.3 v/v-%

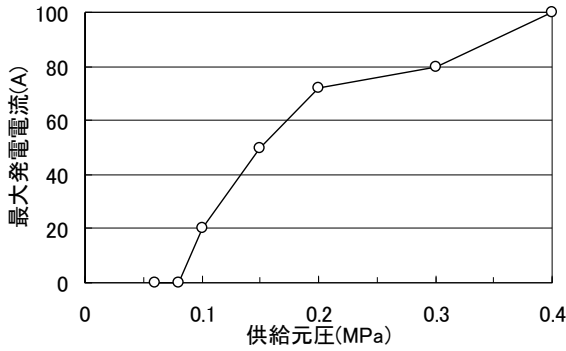


図-10. 供給ガスの元圧と最大発電電流

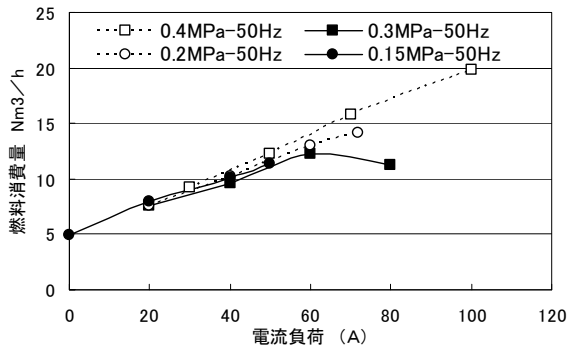


図-11. 電流負荷と燃料消費量

であった。

図-10 に供給ガスの元圧と、発電できた最大の電力値を示す。周波数は 50Hz、電圧は 200V である。0.4 ~ 0.06MPa までのいずれの元圧条件下でも、エンジンは始動することができた。しかし、元圧が 0.1MPa 未満では、発電のために回転数を高めるとエンジンが停止した。元圧が 0.2MPa 以下では発電電流はガスの供給量によって制限されており、0.3MPa 以上では排気ガス温度の上限値によって制限されていた。

電流負荷と燃料消費量の関係は図-11 のように一次関数で示される。電流を流していない時でもエンジンの駆動の為に燃料を約 5Nm³/h で消費している。エネルギー効率（消費燃料ガスの熱量に対する発電電力量の比）は、今回の実験では最高で 20% を超えていた。

(2) 長期連続稼働実験

次の段階として、システムの耐久性を確認するため長期連続稼働実験を実施した。バイオガスエンジンを北海道函館湾浄化センターに設置し、約 40 日間にわたり同センターで発生しているバイオガス（CH₄ 濃度：58.3 v/v-%）を用いた稼働実験を行った。燃料ガスはシリカゲル及び活性炭によってガス中の水分及びシロキサンを除去したバイオガスで、0.4 MPa に加圧してエンジンに供給した。ガスエンジンで発電した電力は三相交流の 200v-約 10A であり、浄化センター内の消化

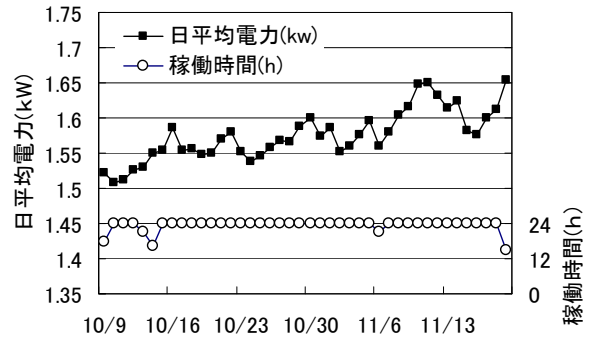


図-12. 日平均供給電力の推移と稼働時間

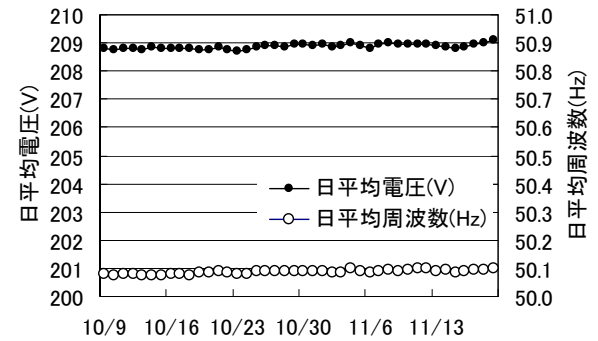


図-13. 日平均電圧と周波数の推移

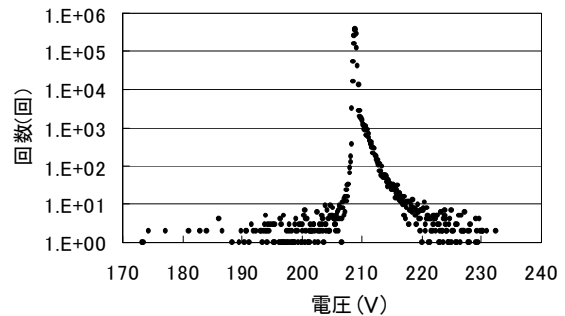


図-14. 実験期間中に観測された全電圧の頻度分布

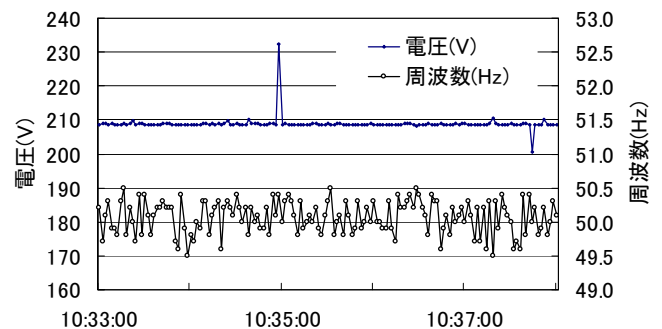


図-15. 2秒毎の電圧・周波数の変動の一例
11/2(電圧最高値観測時前後)

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。

人為的な要因を除くと、安定して電力を供給することができており、電圧、周波数も安定している(図-12、

13)。本実験での発電効率は、供給電流が 10A と定格発電量と比べて少ないため、3%程度であった。

一方、2 秒毎での変動を見ると、運転安定時においても電圧は232.3～173.1Vで変動しており(図-14、15)、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」⁵⁾に示されている $202\pm 20V$ の基準値の幅を超えていることから、そのままでは系統連系ができないことがわかった。

2.3.3 大量炭化技術の開発

これまでの研究結果から、草本類の炭化は 300°C よりも低い条件で行う方が効果的であろうとの示唆を得ている。この知見に基づいて炭化炉・装置の具体化について検討した。条件は、原料が一度に大量に集積される生の刈草であること、炭化に際しては乾燥物である必要があること、炭化の過程で発生するタール分の対策が十分に取れることの大きく3つである。検討結果を図-16 に示す。構造的、機械的要因も含めて更に検討を重ねる必要がある。また、含水率が低い場合には、短時間で炭化可能であり、本プロジェクトで調査された緑地管理刈草の実態調査から、河川事業による刈草は、道路事業と比較して低く、炭化時間が短く済むことが期待される。

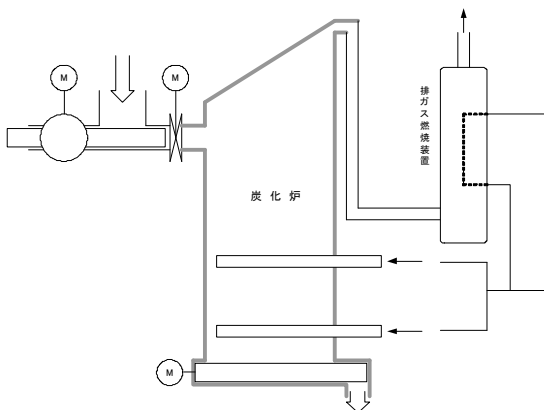


図-16. 炭化装置の検討結果の概要図

2.3.4 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協同研究により、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、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。



写真-3. 蒸煮爆砕処理物



写真-4. 施工時の状況



写真-5. 施工完了時の状況

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に取れるよう、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 100m^2 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-8 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・カシ類、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-3参照)。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、グリーン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、吹付面には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にした。

表-8. 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(湿潤重量)に超純水500mLを加え、20°C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-4、5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

生育基盤材の組成の分析結果を表-9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、蒸煮爆砕物単独では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-10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。メドハギやグリーン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。

表-9. 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-10. 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
グリーンピングレッドフェスク	(本/m ²)	0	1	3

3. まとめ

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) 刈草発生量フィールド調査では、北海道長万部町で $0.4\sim 0.6\text{kg-dry/m}^2$ 、土木研究所つくば中央研究所で $0.6\sim 1.0\text{kg-dry/m}^2$ であった。
- 2) 公共緑地・樹木の植物の種毎の組成について、83種 98 試料の水分、強熱減量、高位発熱量及び各元素が明らかとなった。
- 3) 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。
- 4) 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、 $667(\text{g/m}^2/\text{year})$ 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/m^2 であった。
- 5) 草根系バイオマス 145 試料の乾燥重量あたりの高位発熱量は、最大値は $20,390\text{kJ/kg}$ であり、最小値は $12,220\text{kJ/kg}$ であり、相加平均値は $17,315\text{kJ/kg}$ であった。
- 6) 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 ($=3.3\times 10^{15}\text{J/year}$) と推算された。この熱量は、A 重油 $8.5\times 10^7\text{L}$ 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 LC/MS/MS・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) シマミ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。

エネルギー変換技術の開発により、以下の成果を得た。

- 1) 開発技術は燃焼排ガスによって過給機を駆動して圧縮空気を取り出し、その圧縮空気を燃焼空気として炉に供給するという加圧流動炉と過給機を組み合わせたシステムであるが、このシステムが問題なく稼働することが確認できた。
- 2) 下水汚泥専焼、下水汚泥とバイオマスとの混焼にお

いても、各部温度や圧力に大きな変動はなく、安定運転が行える。

- 3) 開発技術は排ガス中の N_2O 発生が抑制され、他の排ガス項目を考慮しても従来炉にみられない環境負荷の低い技術といえる。
- 4) 平均的な実用規模:100t/日における圧縮空気生産のためのエネルギー変換効率は $12\sim 15\%$ と見積もられた。

バイオガスエンジンの開発により、以下の成果を得た。

- 1) バイオガスの利用促進のため、バイオガス発電機を初めとする汎用性の高い廉価な動力システムを開発した。
- 2) 開発したシステムは、バイオガスを精製してメタン濃度を高めることなく運転することが可能で、今回の試作機における最大電力供給能力は約 25kW であり、その時のエネルギー効率は最高で 20% を超えていた。
- 3) 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。
- 4) 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。

大量炭化技術の開発により、以下の成果を得た。

- 1) 大量炭化装置・システムの概略設計を行った。

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、エネルギー変換技術の開発およびバイオマスインベントリーシステムの整備の一部は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)と三機工業株式会社、月島機械株式会社、独立行政法人土木研究所並びに独立行政法人産業技術総合研究所による

共同研究「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技術開発」により実施した。

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

エネルギー変換技術の開発の実証実験には北海道庁と長万部町の多大なご支援とご協力得た。また、開発は共同研究機関関係者の支援を頂くとともに、8名の有識者からなる技術委員会を設けて助言を仰いだ。

バイオガスエンジンの実証実験には、鶴岡市並びに北海道庁、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。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) 山本隆文、小関多賀美、落修一、村上高広、下水汚泥とバイオマスの加圧流動燃焼によるエネルギー回収、日本エネルギー学会・三部会合同シンポジウム講演集、pp.15～20、2007
- 4) 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
- 5) 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
- 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