

東部スラッジセンター 汚泥焼却におけるバイオマス燃料利用調査

1. はじめに

下水処理過程から出た汚泥は99%程度の水分と1%程度の固形分から構成されているが、有機物を豊富に含んでいるため腐敗しやすく、全量が遅滞なく処理されなければならない。汚泥処理における代表的な工程としては、濃縮、脱水および焼却などが挙げられる。中でも「焼却」は汚泥の減容化と安定化を目的とした重要な工程であるが、反面、エネルギー消費が他の処理工程と比較して大きく、かつ化石燃料を使用した場合は温室効果ガスを多量に排出する面も併せ持っている。そのため、汚泥焼却における改善や効率化は、汚泥処理の重要な課題となっている。

札幌市東部スラッジセンター（以下「東部SC」という）では、含水率75%程度の脱水汚泥を予め乾燥せずに直接焼却することが可能な循環式流動焼却炉を用いて焼却を行っている。脱水汚泥は可燃分を多量に含んでいるが、汚泥自体の水分が多いため、補助燃料として重油を使用している。その使用量は令和元年度実績で474,936L/年（助燃用のみ）となっており、二酸化炭素排出量は1,286.9 t/年（換算値）となる。従って、汚泥焼却については重油調達費用だけでなく環境負荷に関わる点からも重油使用量の削減が求められている。

本調査では、重油に代わる補助燃料として公園や街路樹から発生した余剰枝葉等を、チップ状に破碎した「剪定枝チップ」をバイオマス燃料として利用し、脱水汚泥との混合焼却（以下「混焼」という）させることで、重油使用量の削減に繋がる可能性を見出せないか調査した。

2. 調査の概要

1) 東部スラッジセンターの施設概要

表-1に東部SCの施設概要を示す。当施設は、札幌市内中心部を流れる豊平川の右岸地区の3つの下水処理施設（豊平川、厚別および東部水再生プラザ）から発生する下水汚泥を圧送管により集約し、濃縮、脱水および焼却の一連の汚泥処理を行う集中処理施設である。表-2に東部SCの処理概況を示す。

表-1 東部SCの施設概要

濃縮タンク（重力式）	1,021 m ³ × 4 槽
遠心脱水機	50 m ³ /h × 3 台
ケーキ貯留ホッパ	400 m ³ × 2 基
汚泥焼却炉	150 t/日 × 2 基

表-2 東部SCの処理概況（令和元年度実績）

受入	汚泥量	7,305 m ³ /日
	固形物量	54.1 t/日
脱水	汚泥量	194.4 t/日
	高分子凝集剤注入率	0.32 %
	含水率	75.0 %
	強熱減量	88.8 %
焼却	焼却量（スクリーンかす含む）	187.7 t/日
	重油使用量（助燃用）	1,301 L/日
	原単位（焼却量/重油使用量）	6.93 L/t

図-1 に東部SCで使用している循環式流動焼却炉の概要図を、表-3 に1号汚泥焼却炉の仕様をそれぞれ示す。焼却原理としては、流動媒体として高温（790℃～890℃）の珪砂を炉内で循環させ、ここに脱水汚泥を投入することで瞬時に分解・乾燥・ガス化・焼却するものである。灰分は上昇する排ガスと共に炉から排出され、珪砂はサイクロンにより回収されて再び熱媒として使用される。

本方式の特徴としては、脱水汚泥の予備乾燥が不要で、汚泥性状の変化にも対応しやすく、し渣（以下「スクリーンかす」という）との混焼が可能なことである。

2) 焼却物

写真-1 に脱水汚泥を示す。脱水汚泥は、濃縮タンクで3%程度の濃度に濃縮した汚泥を高分子凝集剤と共に遠心脱水機内で攪拌することにより瞬時にフロック化したものを、遠心力によって固液分離したものである。

今回の調査での含水率は76%程度、低位発熱量は約17,600kJ/dry-kgである。写真-2 に剪定枝チップ（一般財団法人札幌市環境事業公社から試験用に提供）を示す。剪定枝チップは公園や街路樹から発生した余剰枝葉等を、長さ45mm程度のチップ状に破碎したものである。含水率は45%程度、低位発熱量は18,000kJ/dry-kgである。

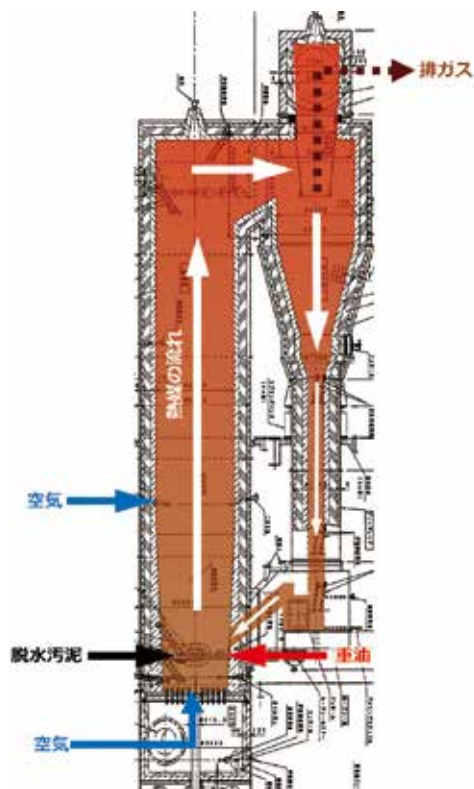


図-1 循環式流動焼却炉

表-3 1号汚泥焼却炉の仕様

形式	循環式流動焼却炉
炉内温度	790～890℃
定格焼却量	150 t/日
焼却物	脱水汚泥（含水率76%）
混焼物	スクリーンかす （定格焼却量に対して5%）
空塔速度	5 m/s
補助燃料	A 重油
流動物質	天然珪砂



写真-1 脱水汚泥



写真-2 剪定枝チップ

3) 試験概要

本調査は、東部SCの現有設備で脱水汚泥と剪定枝チップの混焼可能性を確認するものであり、設備改造や新設を考慮していない条件での混焼試験とした。かつ現状で調達可能な剪定枝チップのハンドリング性や混焼適応性を把握するため、特段の前処理や加工を施したり、大きく変質させたりすることなく受入れ時の状態のまま使用する。試験の流れとしては下記のとおりである。

① 搬送試験

剪定枝チップを焼却炉に投入する際に使用することとなる、スクリーンかす供給設備の能力把握を行った。

② 混焼試験

1号焼却炉における剪定枝チップ投入可能量の確認および混焼状況の把握を行った。併せて排ガス分析等を実施した。

3. 試験方法

1) 搬送試験

図-2に、東部SCの脱水汚泥・スクリーンかすの焼却炉への投入ラインを示す。東部SCには剪定枝チップを焼却炉へ投入するための専用設備が無いいため、スクリーンかす供給設備を代用することとなる。剪定枝チップ供給の流れとしては複数の設備と工程を経ることとなるため、剪定枝チップがスクリーンかす供給設備に与える影響やハンドリング性（切出・搬送能力、設備内での閉塞しやすさなど）を予め把握する必要がある。そのため、混焼試験に先立って剪定枝チップ供給設備の能力把握のための搬送試験を行った。

図に示されるように、脱水汚泥とスクリーンかすは、脱水汚泥供給ラインとスクリーンかす供給ラインをそれぞれ経由して搬送され、混合機で混合された後、焼却炉へ投入されて混焼される。

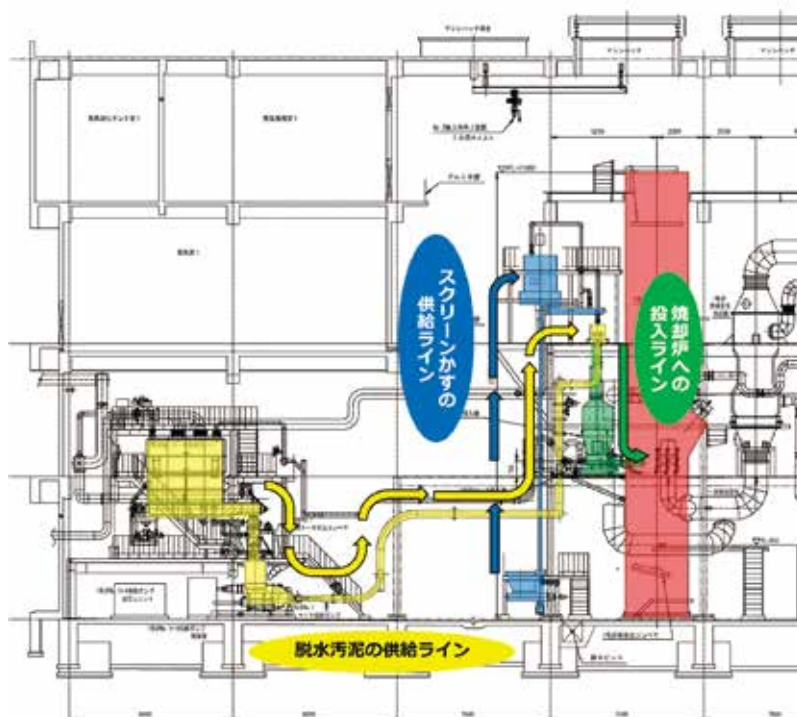


図-2 脱水汚泥とスクリーンかすの焼却炉への投入ライン

図-3に剪定枝チップの供給方法を示す。剪定枝チップの受入から焼却炉への供給の流れとしては、下記のとおりである。

- ① スクリーンかす搬送用コンテナに剪定枝チップを投入する。
- ② 搬送用コンテナを切出機ホッパに設置する。
- ③ 切出した剪定枝チップを搬送コンベヤでスクリーンかすホッパに搬送する。
- ④ スクリーンかすホッパ内に貯留する。
- ⑤ 剪定枝チップを切出コンベヤで切出す。
- ⑥ スクリーンかす混合機で脱水汚泥と混合する。
- ⑦ 混合物をケーキ投入機へ投入する。

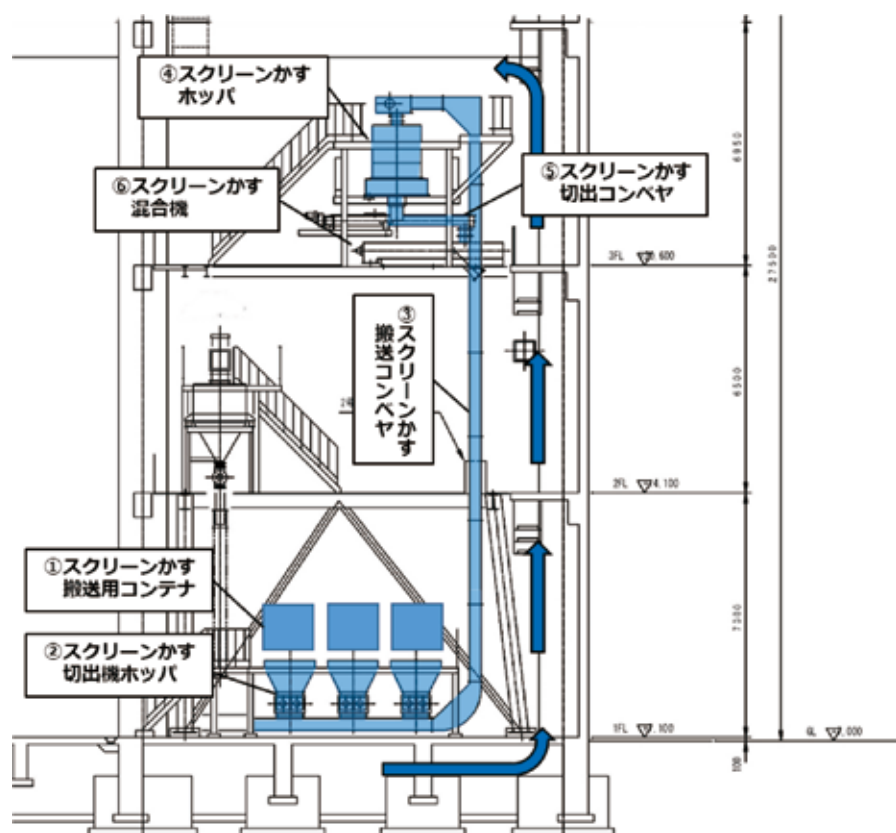


図-3 剪定枝チップの供給方法

2) 混焼試験

混焼試験には1号焼却炉を用いた。混焼試験では(1)の搬送試験で得られた知見を基に、実際の運用を想定した際の剪定枝チップ投入量を決定した。これに併せて排ガス測定などの各種の分析等に加え、連続運転時における課題の抽出を行った。

4. 試験結果

1) 搬送試験

搬送試験では、剪定枝チップのハンドリングの低さ、とりわけ切出不良の改善が課題となった。剪定枝チップはアスペクト比（長辺と短辺の比率）で8：1以上と大きく、見掛比重が0.2程度と小さい。すなわち、剪定枝チップを自重によって流動させることは困難であり、反対に切出における過トルクや閉塞を生じさせやすく、切出不良に陥りやすい。そのため、現場作業者による常時監視が必要となった。各設備における状況を以下に記す。

① スクリーンかすコンテナ

写真－3に剪定枝チップの受入状況を示す。今回の調査では剪定枝チップを少量（全量で2 t程度）使用することから荷姿はフレコンバッグ（重量約200kg）とした。**写真－4**にスクリーンかすの専用コンテナ（以下「コンテナ」という）を示す。コンテナ容積は0.78m³である。**写真－5**にフレコンバッグからコンテナへの投入作業を示す。フレコンバッグ底部にはφ500の排出口が設けられているが、剪定枝チップが閉塞してここから排出されなかったため、フレコンバッグ底部全体を裁断してコンテナに投入した。**写真－6**にコンテナへの投入状況を示す。



写真－3 剪定枝チップ受入れ状況



写真－4 スクリーンかすコンテナ



写真－5 フレコンバッグからの投入作業



写真－6 コンテナへの投入状況

② スクリーンかす切出機ホッパ

写真-7にスクリーンかす切出機ホッパ（以下「切出機」という）を示す。写真-8に切出機のスクリーコンベヤを示す。切出機には2軸の無軸スクリーコンベヤ（以下「①あるいは②」という）が設けられており、これらが同一方向に回転することにより剪定枝チップを切出し、搬送コンベヤに移動する役割を担っている。写真-9に切出機への投入状況を示す。



写真-7 スクリーンかす切出機ホッパ



写真-8 スクリューコンベヤ



写真-9 切出機への投入状況



写真-10 過トルク発生時

スクリーコンベヤを2軸同時に稼働した場合、①は安定した切出しを行えるが②では過トルクが頻発（最多で5分間に1回程度の割合で発生）することが判明した。なお、この時の剪定枝チップ切出量は145.7kg/hであった。写真-10に過トルク発生時の状況を示す。スクリーコンベヤ上にはわずかな量の剪定枝チップしかないが、過トルクを生じていることが分かる。これは切出機排出口の構造上、②側の剪定枝チップが排出されずに圧縮されて閉塞しやすくなるため、結果として過トルクに至ったものと考えられる。

このため、上記の過トルク対策として①のみを稼働させたところ、2軸同時での切出量145.7kg/hに対して約22%増の178.7kg/hに増加した。また、過トルクを発生させることなく、結果として作業性が向上することが分かった。ただし、1軸運転では切出が偏るため、切出機シュート内に堆積した剪定枝チップの流動性も低下しており、シュート内でブリッジになりやすくなることが判明した。写真-11にブリッジ発生状況を示す。



写真-11 ブリッジ発生状況



写真-12 ブリッジ解消作業状況

上記のブリッジ対策として、切出機シュート内部に堆積している剪定枝チップを、現場作業員が定期的に掘削してスクリーコンベヤに落とすことが必要となった。写真-12にブリッジ解消作業状況を示す。

過トルク対策およびブリッジ対策を行った結果、切出機1台分で約200kgの剪定枝チップの切出しを1時間程度で完了できることが確認できた。ただし、先述の①スクリーコンベヤのみの運転においても、剪定枝チップが高圧密の場合は過トルクが生じることがあった。表-4に切出機における切出状況を示す。

表-4 切出機における切出状況

稼働スクリーコンベヤ	切出量 (kg/h)	①過トルク (回)	②過トルク (回)
①②同時切出	145.7	0	4
①のみ切出し	178.7	0	0
①のみ+ブリッジ解消	206.5	1	0

なお、当初はコンテナ3台分までの切出機能力を確認する予定であったが、想定よりも過トルクが生じやすく、かつ切出量が少なかったため、掘削作業および状態監視に長時間にわたって多くの人手を割かなければならず、今回の調査ではコンテナ1台分で検証を終えることとした。

③ スクリーンかす搬送コンベヤ

写真-13および写真-14にスクリーンかす搬送コンベヤ（以下「搬送コンベヤ」という）での剪定枝チップ搬送状況を示す。焼却棟1階の切出機から切出された剪定枝チップは、搬送コンベヤで3階のスクリーンかすホッパに搬送されるが、搬送状況に特段の異常等は認められなかった。これは、搬送コンベヤの能力（6.0m³/h）に対して剪定枝チップの切出量（1.0m³/h）が少ないため、過トルクやブリッジを生じさせなかったものと考えられる。



写真-13 搬送状況（1階コンベヤ）



写真-14 搬送状況（3階コンベヤ）

④ スクリーンかすホッパ

写真-15にスクリーンかすホッパ（以下「ホッパ」という）を示す。切出機、搬送コンベヤを経た剪定枝チップはホッパ（スクリーンかす比重：800kg/m³、有効容量3.5m³）に投入され、ここから少量ずつ切出されて、後に脱水汚泥と混合される。写真-16にホッパ内のサークルフィーダを示す。ホッパ底部にはサークルフィーダ（十字の切出し羽）が設けられており、これらが円周方向に回転することにより剪定枝チップを中心から外周へと切出す役割を担っている。写真-17にホッパへの投入状況を示す。



写真-15 スクリーンかすホッパ



写真-16 サークルフィーダ



写真-17 ホッパ内への投入状況



写真-18 満載時のホッパ内

剪定枝チップはスクリーンかすと比較して、比重が小さいために流動性に乏しく、ホッパ内で鋭角な山状に堆積することから、警報発報（HH=1.75m）前に満載となり、最大重量で700kg程度までしか補充できないことが判明した。そのため、補充時および切出時においてホッパ内の剪定枝チップの堆積状況や形状変化について監視が必要となった。写真-18に満載時のホッパ内を示す。

表-5にホッパにおける切出状況を示す。ホッパではサークルフィーダの設定切出量を変更することで、剪定枝チップの切出量を変更できる。図-4にサークルフィーダの設定切出量と実切出量の関係を示す。設定切出量と実切出量は概ね比例関係を示すが、実切出量は設定切出量に対して小さいことが明らかとなった。これは、剪定枝チップの比重が小さいため、サークルフィーダ上で供回りし、切出され難いことが主因と推察される。とりわけ、ホッパ内の剪定枝チップ重量が少ない場合は同一の設定切出量の場合においても、実切出量が減少する場合や完全に切出せなくなる場合が生じることが分かった。そのため、剪定枝チップは混焼物としての供給量のコントロールが難しく、サークルフィーダを用いて安定した供給を行うためには切出機からの常時供給が必要なことが判明した。

表-5 ホッパにおける切出状況

設定切出量 (t/h)	実切出量 (t/h)	ホッパ内重量 (t/h)
0.03	0	0.56
0.06	0.05	0.71
0.06	0	0.08
0.065	0.05	0.53
0.09	0.07	0.67
0.12	0.07	0.53
0.15	0.09	0.47
0.15	0.11	0.58
0.18	0	0.10
0.18	0.09	0.30

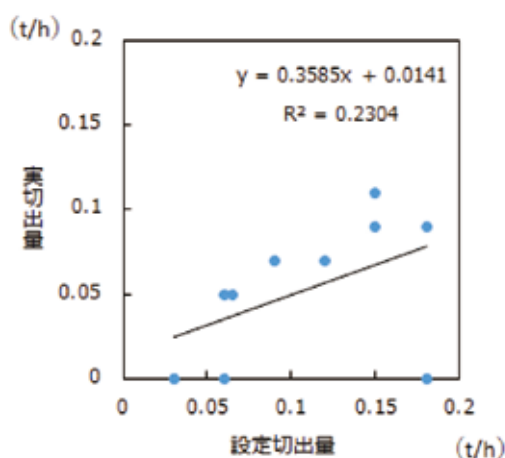


図-4 設定切出量と実切出量の関係

⑤ スクリーンかす切出コンベヤ

写真-19にスクリーンかす切出コンベヤ（以下「切出コンベヤ」という）を示す。写真-20に剪定枝チップ排出状況を示す。切出コンベヤには無軸スクリーコンベヤが設けられており、これが回転することによりホッパから供給された剪定枝チップを切出し、スクリーンかす混合機に移送する役割を担っている。サークルフィーダの切出量を多く設定した際に、後段のスクリーンかす切出コンベヤ投入口で落下しきれず、多少の剪定枝チップの持ち越しが見られたが、全般的に搬送状況に異常は認められなかった。



写真-19 スクリーンかす切出コンベヤ



写真-20 剪定枝チップ排出状況

⑥ スクリーンかす混合機

写真-21にスクリーンかす混合機（以下「混合機」という）を示す。写真-22に混焼試験時における脱水汚泥と剪定枝チップの混合状況を示す。混合機には2軸パドルシャフトが設けられており、これらが互いに反対方向に回転することにより供給された脱水汚泥と剪定枝チップを混合し、ケーキ投入機に移送する役割を担っている。混合機については、剪定枝チップとの混合状況に異常は認められなかった。



写真-21 スクリーンかす混合機



写真-22 混合状況（混焼試験時）

2) 混焼試験

写真-23にケーキ投入機のホッパでの混合物堆積状況を示す。脱水汚泥と剪定枝チップの混合物は、投入機ホッパでの堆積不良や投入機での切出不良に至ることなく、良好に処理されることが確認できた。

写真-24に1号焼却炉を示す。今回の調査では脱水汚泥焼却量150 t/dを継続した状況で混焼試験を行った。混焼について特段の問題は生じず、課題である剪定枝チップの混焼を比較的安定した状況の下で行えることが分かった。



写真-23 混合物堆積状況



写真-24 1号焼却炉

① 剪定枝チップ切出量と重油使用量の関係

表-6に剪定枝チップ切出量と重油使用量の関係を示す。本調査では日々変化する汚泥性状に応じて、自燃傾向にある脱水汚泥を焼却する場合は剪定枝チップ切出量を少なく(0.3 t/h)、反対に難燃で重油使用量が多い脱水汚泥を焼却する場合は剪定枝チップ切出量をできるだけ多く(0.7 t/hや0.9 t/h)した。いずれの場合においても、混焼試験前後の重油使用量と比較して、混焼中は重油使用量の削減を図ることが可能であることが分かった。

また、スクリーンかすとの重油削減量比較では、スクリーンかす切出量が0.3 t/hと剪定枝チップ切出量0.5~0.7 t/hでほぼ同程度の重油削減が可能となることが分かった。これは剪定枝チップの比重がスクリーンかすと比較して小さく(スクリーンかす0.7:剪定枝チップ0.2)、発熱量も低い(スクリーンかす24,000kJ/dry-kg:剪定枝チップ18,000kJ/dry-kg)ことが影響しているも

表-6 剪定枝チップ切出量と重油使用量の関係

剪定枝チップ 設定切出量 (t/h)	重油使用量				脱水汚泥性状		
	試験前平均 (L/h)	混焼中平均 (L/h)	試験後平均 (L/h)	削減量平均 (L/h)	含水率 (%)	強熱減量 (%)	燃焼性
0.03	12.6	0.8	0.3	5.7	76.1	85.1	自燃
0.05	34.0	20.4	35.3	14.3	76.7	87.4	通常
0.07	35.0	42.9	78.0	13.6	75.3	79.4	難燃
0.09	74.0	33.8	47.0	26.7	77.3	85.6	難燃
スクリーンかす0.03	68.4	53.0	-	15.4	77.5	79.1	難燃

のと考えられる。すなわち、スクリーンかすと同程度の重油削減を行うためには、スクリーンかす量の2倍程度の剪定枝チップ量が必要なことが判明した。ただし、今回調査の4日分のデータ数では重油削減可能量の推定は不可能であることから、具体的な推定を行うためには追加調査によるデータ収集および解析が必要と考えられる。

図-5から図-8に剪定枝チップ切出量と重油使用量の関係を示す。グラフ中の塗りつぶしが剪定枝チップの投入期間である。剪定枝チップを投入しても即時に重油使用量が低下傾向を示さず、約2時間後に使用量が下がり始めることが明らかとなった。すなわち、燃料としての応答性は炉内に直接供給される重油ほど高くない。また、強熱減量の極端に低い難燃性の脱水汚泥を焼却する際は多量の剪定枝チップ投入が必要ではあるが、重油削減効果が顕著に発揮されることが明らかとなった。また、参考として図-9にスクリーンかす切出量と重油使用量の関係を示す。



図-5 切出量30kg/hにおける重油使用量



図-6 切出量50kg/hにおける重油使用量



図-7 切出量70kg/hにおける重油使用量



図-8 切出量90kg/hにおける重油使用量

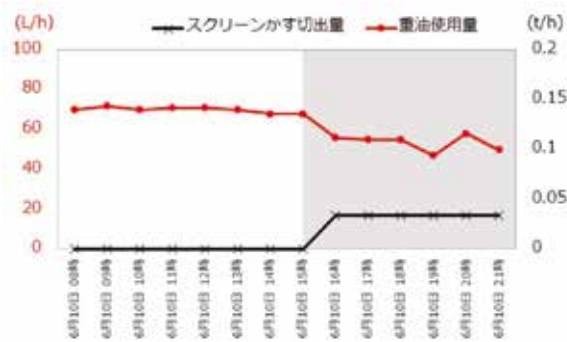


図-9 スクリーンかす切出量30kg/hにおける重油使用量

② 剪定枝チップ切出量と炉内温度の関係

図-10から図-13に剪定枝チップ切出量と炉内温度の関係を示す。図に示されるように、剪定枝チップの投入に伴って、炉内の温度が著しく上昇・低下することは確認されなかった。なお、切出量30kg/hおよび切出量90kg/hの剪定枝チップ投入期間において、炉底温度等に多少の変動が見られるが、剪定枝チップの投入量は脱水汚泥投入量に対して最大で1.4%程度であるため、これらはそれぞれ自燃あるいは難燃性の脱水汚泥の性状による影響が大きいものと考えられる。



図-10 切出量30kg/hにおける炉内温度



図-11 切出量50kg/hにおける炉内温度



図-12 切出量70kg/hにおける炉内温度



図-13 切出量90kg/hにおける炉内温度

③ 剪定枝チップ切出量と空気量の関係

図-14から図-17に剪定枝チップ切出量と各種空気量の関係を示す。図に示されるように、剪定枝チップの投入に伴って誘引ファン出口排ガス量が著しく増減したり、炉冷空気風量を大きく増減させる必要があることは確認されなかった。また、砂循環に関するプッシング・ボトム空気量もそれぞれ大幅に風量を変更せずとも、安定した運転を継続できることが明らかとなった。

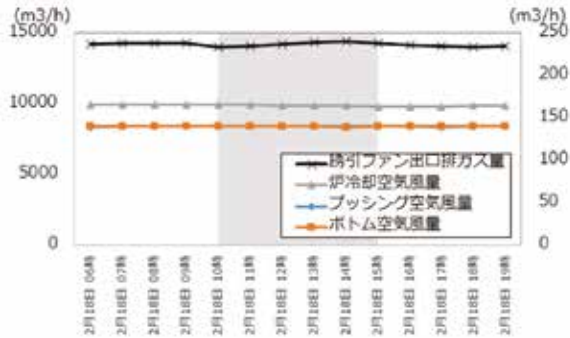


図-14 切出量30kg/hにおける各種空気量

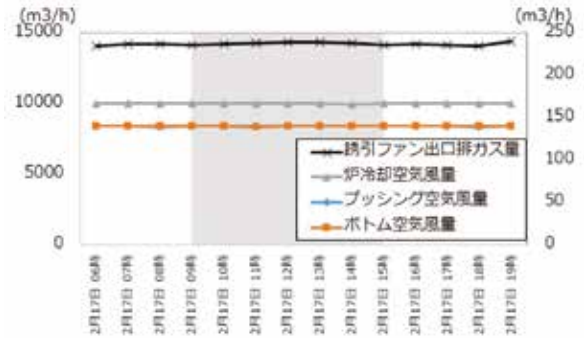


図-15 切出量50kg/hにおける各種空気量

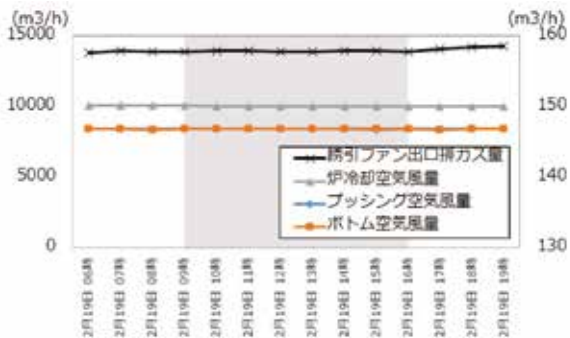


図-16 切出量70kg/hにおける各種空気量

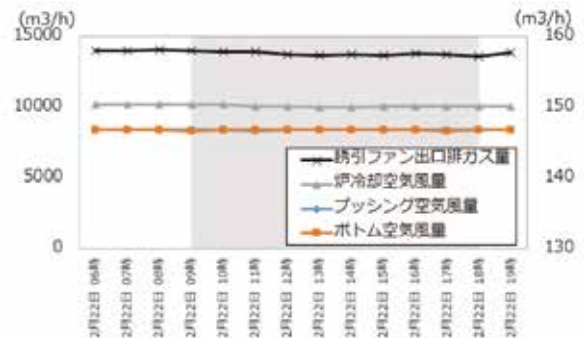


図-17 切出量90kg/hにおける各種空気量

④ 剪定枝チップ投入量と焼却灰発生量の関係

表-7に剪定枝チップ切出量と焼却灰発生量の関係を示す。表より、切出量が多い場合に混焼試験前後の灰発生量と比較して、混焼中の灰発生量が増える傾向にあるわけではなく、切出量が少ない場合においても灰発生量が多いことが分かる。これは剪定枝チップの投入に起因するものではなく、汚泥性状によるものと考えられる。すなわち、本調査での最大90kg/h（脱水汚泥への混入率1.4%程度）のような投入量では灰発生量にほとんど影響しないことが明らかとなった。

表-7 剪定枝チップ切出量と焼却灰発生量の関係

剪定枝チップ 設定切出量 (t/h)	焼却灰発生量			脱水汚泥性状		
	試験前平均 (t/h)	混焼中平均 (t/h)	試験後平均 (t/h)	含水率 (%)	強熱減量 (%)	可燃性
0.3	0.22	0.25	0.27	76.1	85.1	自燃
0.5	0.17	0.17	0.18	76.7	87.4	通常
0.7	0.32	0.32	0.30	75.3	79.4	難燃
0.9	0.20	0.23	0.19	77.3	85.6	難燃

図-18から図-21に剪定枝チップ切出量と焼却灰発生量（灰ホッパ重量値）の関係を示す。なお、切出量30kg/hおよび切出量70kg/hの剪定枝チップ投入期間において、灰ホッパ重量が急激な低下を示しているが、これは焼却灰搬出を行ったことによるものであり異常低下ではない。



図-18 切出量30kg/hにおける焼却灰発生量



図-19 切出量50kg/hにおける焼却灰発生量



図-20 切出量70kg/hにおける焼却灰発生量

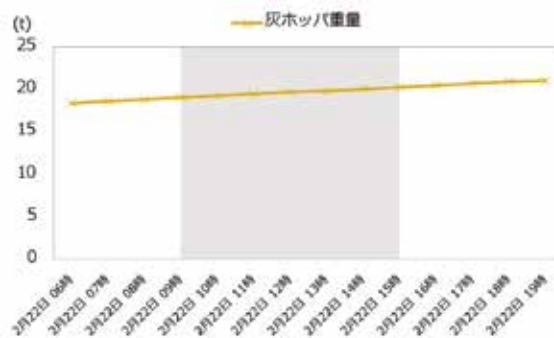


図-21 切出量90kg/hにおける焼却灰発生量

⑤ 剪定枝チップ投入量とばい煙の関係

表-8に剪定枝チップ切出量とばい煙類測定結果の関係を示す。表より、脱水汚泥と剪定枝チップを混焼しても、ばい煙類の排出基準値を満足することが分かった。すなわち、剪定枝チップは排ガス中のばい煙類に大きな影響を与えないことが明らかとなった。

表-8 剪定枝チップ投入量とばい煙類測定結果

剪定枝チップ 設定切出量 (t/h)	ばいじん	硫酸酸化物	窒素酸化物	塩化水素	全水銀 (ガス+粒子)
	(g/m ³)	(m ³ /h)	(ppm)	(mg/m ³)	(μg/m ³)
	基準値	基準値	基準値	基準値	基準値
	0.04以下	7.66~8.13以下	250以下	700以下	50以下
0.3	<0.005	0.21	<10	<15	2.1
0.5	<0.005	0.20	<10	<15	2.5
0.7	<0.005	0.17	<10	<15	1.6
0.9	<0.005	0.19	<10	<15	1.7

また、参考として図-22から図-25に1号焼却炉の排ガス分析計でのばい煙類濃度モニタリング結果を示す。図に示されるように、ばい煙類の濃度値が急激な上昇を示しておらず、剪定枝チップを投入しても安定した運転を継続できることが明らかとなった。

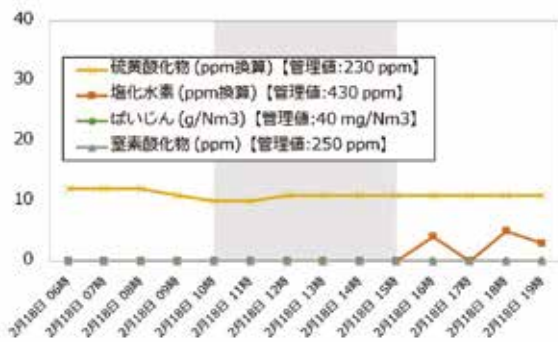


図-22 切出量30kg/hにおけるばい煙類濃度

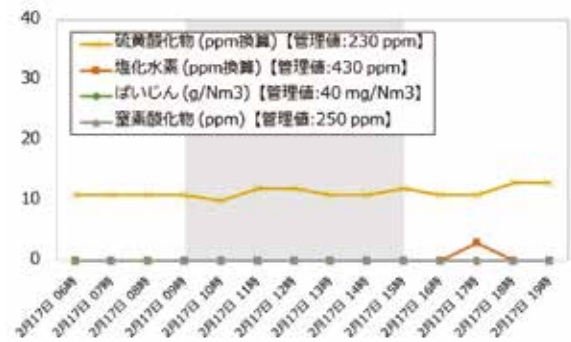


図-23 切出量50kg/hにおけるばい煙類濃度

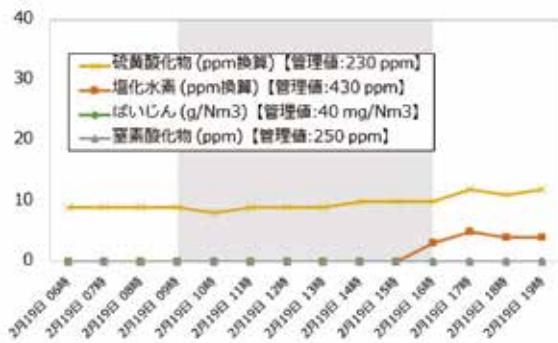


図-24 切出量70kg/hにおけるばい煙類濃度

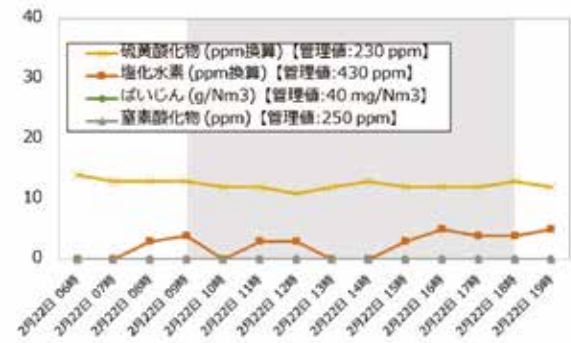


図-25 切出量90kg/hにおけるばい煙類濃度

⑥ 剪定枝チップ投入量と焼却排水濃度の関係

表-9に剪定枝チップ切出量と焼却排水濃度の測定結果の関係を示す。表より、脱水汚泥と剪定枝チップを混焼しても、焼却排水の基準値を満足することが分かった。すなわち、剪定枝チップは焼却排水に大きな影響を与えないことが明らかとなった。

表-9 剪定枝チップ投入量と焼却排水濃度の測定結果

剪定枝チップ 設定切出量 (t/h)	総水銀 (mg/L)	ヒ素 (mg/L)	亜鉛 (mg/L)	鉛 (mg/L)	カドミウム (mg/L)	全シアン (mg/L)
	基準値 0.005	基準値 0.1	基準値 2.0	基準値 0.1	基準値 0.03	基準値 1.0
0.3	0.0026	<0.01	<0.1	<0.01	<0.003	0.21
0.5	0.0036	<0.01	<0.1	<0.01	<0.003	0.19
0.7	0.0026	<0.01	<0.1	<0.01	<0.003	0.39
0.9	0.0026	<0.01	<0.1	<0.01	<0.003	0.43

3) 分析結果等

① 発熱量等

表-10に脱水汚泥と剪定枝チップの低位発熱量等の測定結果を示す。今回の調査で用いた脱水汚泥の低位発熱量平均は17,625kJ/dry-kgであり、剪定枝チップの低位発熱量は18,000kJ/dry-kgとほぼ同等であった。

表-10 脱水汚泥と剪定枝チップの低位発熱量等の測定結果

採取日	脱水汚泥			剪定枝チップ	
	低位発熱量 (kJ/dry-kg)	炉投入含水率 (%)	強熱減量 (%)	低位発熱量 (kJ/dry-kg)	含水率 (%)
2月17日	16,700	76.7	87.4	18,000	45.9
2月18日	17,500	76.1	85.1	18,000	42.9
2月19日	18,200	75.3	79.4	18,000	67.0
2月22日	18,100	77.3	85.6	18,000	45.4
平均値	17,625	76.4	84.0	18,000	50.3

② 循環砂成分・粒径

図-26から図-29に循環砂の成分推移を示す。図-30に混焼試験期間中の循環砂の成分推移を示す。循環砂に含まれるリンはその割合が多いほど、焼却炉でのリンカ生成リスクが高くなる。剪定枝チップには植物由来のリン分が含まれると予想されるため、今回の調査で試験開始前後の五酸化リンを比較したところ、試験後に低下傾向を示すことが分かった。これは試験期間中に無機分の多い汚泥が流入したことで汚泥有機物中に含まれるリンが希釈されたことにより、循環砂中のリンが低下傾向を示したものと考えられる。

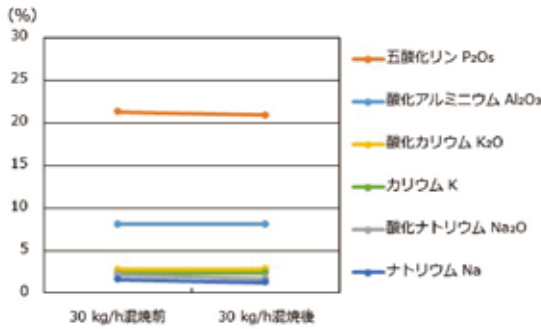


図-26 切出量30kg/hにおける循環砂成分比較

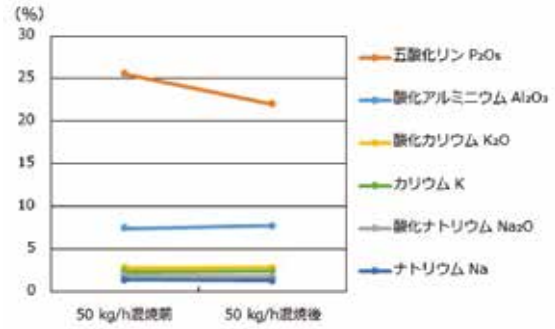


図-27 切出量50kg/hにおける循環砂成分比較

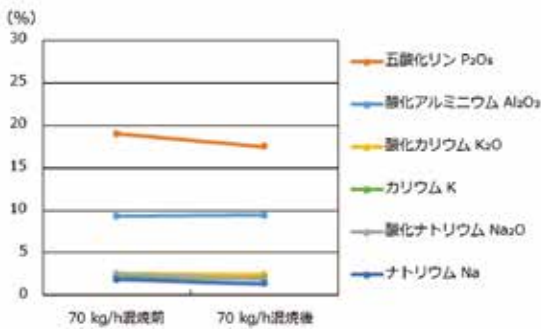


図-28 切出量70kg/hにおける循環砂成分比較

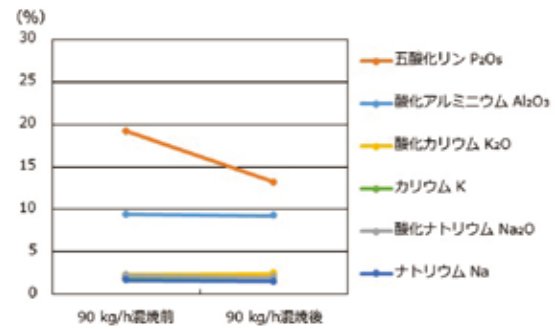


図-29 切出量90kg/hにおける循環砂成分比較

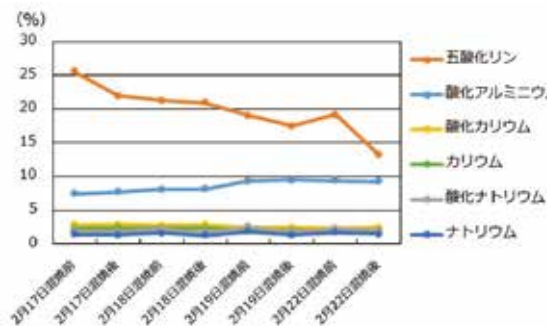


図-30 混焼試験期間中の循環砂成分の推移

図-31から図-34に循環砂の粒径変化を示す。図-35に循環砂粒径変化の推移を示す。クリンカ生成要因であるリンは循環砂に付着・成長して粒径を大きくさせることが分かっている。今回の調査では、混焼試験期間が短いことが要因の一つと考えられるが、そのような傾向は確認できなかった。ただし、平均径（50%径）で新砂より試験時のほうが小さいことが示された。これは汚泥によって持ち込まれた無機分の影響と考えられる。

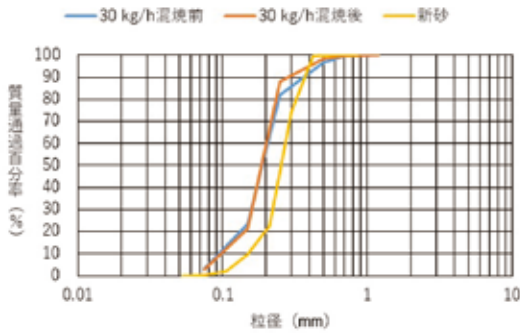


図-31 切出量30kg/hにおける循環砂粒径変化

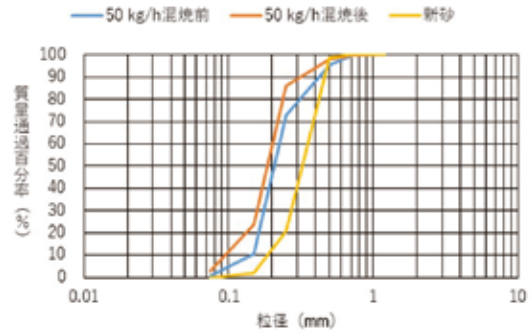


図-32 切出量50kg/hにおける循環砂粒径変化

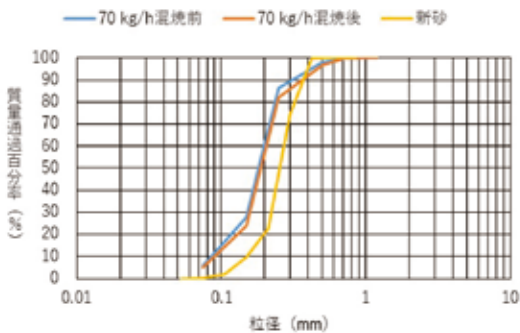


図-33 切出量70kg/hにおける循環砂粒径変化

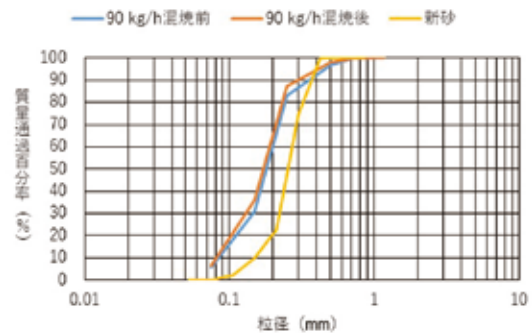


図-34 切出量90kg/hにおける循環砂粒径変化

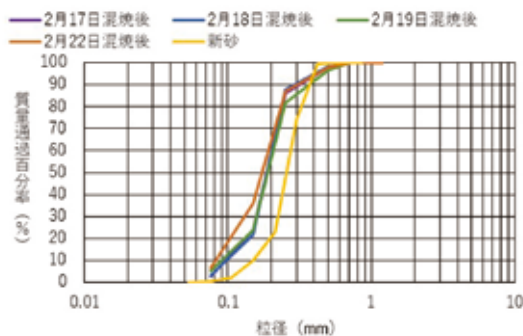


図-35 循環砂粒径変化の推移

5. 運用上の課題

剪定枝チップを混焼物として運用した場合の問題としては以下が挙げられる。

1) 剪定枝チップのハンドリングが悪い

今回調査では剪定枝チップの切出・移送についてスクリーンかす用の設備を使用した。剪定枝チップ専用設備による切出・移送ではないため下記の問題が判明した。

① スクリーンかす切出機

剪定枝チップのアスペクト比（長辺と短辺の比率）が大きく比重が軽いため、シュート内でブリッジしやすく、過トルクによる設備停止に至りやすい

② スクリーンかすホッパ

剪定枝チップの比重が軽いため、スクリーンかすホッパ内の嵩が少なければ即時切出不良に陥りやすく、切出量が安定しない

2) スクリーンかすと比較して燃焼性が低い

下水由来の油脂分が多く含まれるスクリーンかすに比して、剪定枝チップは生木に近い性状を有している。双方の重油削減効果を比較すると下記の問題が判明した。

① スクリーンかすと比較して比重が軽く（スクリーンかす0.7：剪定枝チップ0.2）、発熱量も低い（スクリーンかす24,000kJ/dry-kg：剪定枝チップ18,000kJ/dry-kg）

② スクリーンかすホッパ（容量3.5m³）には、スクリーンかすを2.5 t 程度まで補充できるが、剪定枝チップは比重が軽いため0.7 t 程度が最大補充量となり、追加供給が無い場合は6～7時間程度しかもたない

3) 長期保管性が未知

今回調査の検討事項には含まれていないが長期保管方法について検討すると、剪定枝チップは生木を破碎したものであるため、高温多湿の環境では変質・発酵しやすく、最悪の場合は自然発火に至る可能性がある。

上記の諸問題解決の方策案を以下のように提案する。

1) ハンドリングの悪さの改善

① スクリーンかす切出機

・ハード面での整備事項

剪定枝チップ（長さ45mm）をウッドチップパー等でさらに微細化することによってアスペクト比を小さくし、スクリーンかす切出機過トルクの発生可能性を抑制するとともに、シュート部でのブリッジ発生可能性も低減させる




ただし、安定した切出が確認できるようになるまで当面は、現場での復旧・監視のための人員配置が不可欠（参考：スクリーンかすオペレートは1名、剪定枝チップは4名必須）

② スクリーンかすホッパ

・ソフト面での整備事項

切出しについてデータの蓄積および解析が必要

・ハード面での整備事項

設備改造が必要（現状のサークルフィーダ形状は放射状の十字（—36参照）であるが、これを回転方向に対して後退角を与えた形状（—37、—38参照）に変更する

ことで、比重の軽い剪定枝チップでも排出が促されやすくなると考えられる)



図-36 十字型サークル
フィーダ (現状)



図-37 後退角あり①



図-38 後退角あり②

2) 燃焼性の悪さの改善

・ソフト面

現用設備を使用する場合は切出・搬送を継続する必要があるが先述のように現場での復旧・監視のための人員が必須

・ハード面

スクリーンかすと同等の重油削減効果を得るためには剪定枝チップを重量にして3倍程度の量(スクリーンかす0.03 t/h:剪定枝チップ0.1 t/h)が必要となることから、スクリーンかすホッパ容量増などの設備増強が必要

3) 長期保存性の改善

・ソフト面

長期にわたって使用・保管するためには取扱マニュアルの策定が別途必要

・ハード面

専用保管場所・設備、消火設備、監視設備等の新設が必要

6. まとめ

本調査では、重油に代わる補助燃料として剪定枝チップをバイオマス燃料として利用し、脱水汚泥と混焼させることで、重油使用量の削減に繋がる可能性を見出せないか調査した。以下に得られた知見を記す。

- ① 剪定枝チップと脱水汚泥の混合焼却は可能である。また、焼却炉内での混焼状況については温度・風量ともに特段の問題はないことが分かった。なお、排ガス・焼却排水濃度等も排出基準値内であった。
- ② 剪定枝チップには重油削減効果があることが示唆された。ただし、剪定枝チップを投入しても即時に重油使用量が低下傾向を示さず、約2時間後に使用量が下がり始めることが明らかとなった。すなわち、燃料としての応答性は炉内に直接供給される重油ほど高くはない。また、スクリーンかすに比較して比重および発熱量が低いことからスクリーンかすと同程度の重油削減効果を得るためには、スクリーンかすよりも投入量を多くする必要があることが判明した。
- ③ 剪定枝チップは比重が小さいため流動性に乏しい。かつ設備内でブリッジしやすく、設定切出量に対して実切出量が少ない。そのため、現用スクリーンかす設備における剪定枝チップの利用については、ハンドリングの低さ、とりわけ切出不良の改善が課題となる。剪定枝チップをさらに破碎して細かくするなどの工夫や、安定した切出に向けたデータ収集などのソフト面の改善と、専用設備の設置や改修などのハード面の改善が必要と考えられる。