

平成25年度  
環境研究総合推進費補助金 次世代事業  
総合技術開発報告書

浄水発生土（天日ケーキ）の園芸資材へのリサイクル  
技術に関する研究  
3J122004

平成26年3月

岡山市水道局 仲原 龍吾

補助事業名 環境研究総合推進費補助金次世代事業(平成24年度～平成25年度)

所管 環境省

総事業費 88,158,457円(平成24年度～平成25年度の総計)

国庫補助金 23,653,000円(平成24年度～平成25年度の総計)

研究課題名 浄水発生土(天日ケーキ)の園芸資材へのリサイクル技術に関する研究  
(3J122004)

研究事業期間 平成24年6月8日～平成26年3月31日

研究代表者名 仲原龍吾(岡山市水道局)

## 目次

環境研究総合推進費補助金 次世代事業 総合技術開発報告書概要	5
1. 事業の目的	21
1) 浄水発生土の特徴	21
2) 浄水発生土のリサイクルを取り巻く環境と課題	21
3) 事業の目的	22
2. 開発した技術の詳細	23
1) 木質ペレットバーナ乾燥装置開発	23
(1) 技術的課題の検討	23
(2) 技術的課題	29
(3) 技術的課題の解決方法	29
(4) 技術的課題解決の評価	34
2) リサイクル製品化プラントの開発	39
(1) 技術的課題	39
(2) 技術的課題の解決方法	40
(3) 技術的課題解決法の評価と考察	53
3) ビジネスモデル開発	59
(1) 現状の把握	59
(2) 方針	59
(3) 技術的課題	60
(4) 技術的課題の解決方法	60
(5) 解決方法の評価	64
4) 灯油バーナ乾燥装置による基礎実験と実験結果	65
5) リサイクル製品化プラント開発実験と実験結果	68
6) 自動運転制御の検証実験	74
7) 重金属等の含有量および溶出試験結果（岡山県エコ製品認定基準：土壤環境分析試験）	75
8) 脱水ケーキ販売実績調査結果	78
3. 実証施設の設置場所等	84
1) 設置場所付近の状況	84
2) 建屋の状況	84
3) 製品化プラント設置の状況	85
4) リサイクル製品	86
4. 開発した技術がもたらす効果	87
1) 浄水発生土リサイクル事業のコスト削減	87
5. まとめ	88
1) 総括	88

2) 技術波及による環境政策への貢献.....	89
3) リサイクル事業の本格運用.....	91
4) 今後の課題.....	91
7. 英文概要.....	93
8. 研究発表.....	94
9. 知的財産権の取得状況.....	97
10. 特許.....	98
1) 浄水発生土用木質ペレットバーナ乾燥装置およびその運転制御方法.....	98
2) 浄水発生土の処理計画システム、および浄水発生土の処理計画プログラム.....	100

## 環境研究総合推進費補助金 次世代事業 総合技術開発報告書概要

- 1) 研究課題名：浄水発生土（天日ケーキ）の園芸資材へのリサイクル技術に関する研究  
研究番号：3J122004
- 2) 総事業費：88,158,457円（平成24年度～平成25年度の総計）
- 3) 国庫補助金：23,653,000円（平成24年度～平成25年度の総計）
- 4) 研究期間：平成24年6月8日～平成26年3月31日
- 5) 研究代表者名：仲原龍吾（岡山市水道局）

### 6) 事業の目的

水道事業において、河川の表流水を浄水処理して飲料水を製造する事業体においては浄水処理を行う浄水場で河川の濁質に由来する汚泥が発生する。汚泥を固液分離により脱水し、浄水発生土を生成する方法としては脱水機による機械的な脱水方法と天日乾燥床による太陽光蒸発による乾燥方法が主流である。岡山市水道局では、脱水機による浄水発生土（以下、脱水ケーキ）と天日乾燥床による浄水発生土（以下、天日ケーキ）を製造している。

脱水ケーキは、均一形状で種子混入も少ないため農業利用が可能であり、中間処理施設における産業廃棄物処分の処分価格が安価で有価物販売も可能である。一方、天日ケーキは、農業利用においても処分価格が高価となる。その理由として天日ケーキは形状が大きく、不均一であり、リサイクル製品の保管性低下を引き起こす含水率も不均一であることが挙げられる。また、屋外での長時間にわたる天日による固液分離を行うプロセスから、雑草種子などの不純物の混入や微生物（カビ）発生の確率が高いことも理由の一つである。

岡山市水道局では、処分コストを抑制するため処分価格が高価な天日ケーキ処分（500t/年）を自己保有最終処分場へ処分してきた。しかし、自己保有最終処分場の残存容量も少なくなってきたこと、およびリサイクル率を向上させる環境的な方針により平成22年度から中間処理施設への高価な産業廃棄物処分に切り替えた。これにより運搬処分費が約600万円/年から約1000万円/年へ上昇した。

本事業目的は、天日ケーキの運搬処分費を削減し、販売を行うための課題となる形状の不均一、種子発芽可能性、カビ発生に対して破碎と乾燥処理によるリサイクル製品化プラントの効率性および環境性を踏まえて開発することである。また、老朽化している脱水ケーキ製造設備の更新を視野に入れて、脱水ケーキのリサイクル製品化への開発技術の適用も検討する。さらに、もう1つの目的は、天日ケーキリサイクル製品販売のチャンネルを開発し、販売のチャンネルが機能しない時のリスク分散も考慮して、現状の市民販売および処分の2つのチャンネルにリサイクル製品販売のチャンネルを加えた3つのチャンネルを持つビジネスモデルの構築とビジネスモデルの効率的運用手法を開発することである。

## 7) 開発した技術の詳細

### (1) 木質ペレットバーナ乾燥装置の開発 (H24 開発および評価、H25 評価)

#### ① 開発方針

袋詰めリサイクル製品の保管性を低下させる不均一な含水率および雑草種子の発芽やカビの発生を抑制するために環境負荷が少ない木質ペレットを燃料とする木質ペレットバーナ乾燥装置を開発し、主として天日ケーキを乾燥する。

#### ② 技術的課題

- I) 袋詰めリサイクル製品の保管性を低下させる不均一な含水率および雑草種子の発芽やカビの発生を抑制する温度制御システム開発
- II) 木質ペレットの遅い燃焼速度によるバーナ出口温度の不安定性を解決する木質ペレットバーナ乾燥装置の開発
- III) 安全のために乾燥機内圧を一定にする圧力制御システム
- IV) 天日ケーキの年間発生量 500t を 160 日程度で乾燥処理できる性能を持つ木質ペレットバーナ乾燥装置の開発
- V) 灯油バーナ乾燥装置と同等の熱効率をもつ、木質ペレットバーナ乾燥装置の開発

#### ③ 技術的課題の解決方法 (特許出願)

技術的課題を解決する制御の仕組みを検討し、その仕組みを実現する木質ペレットバーナ乾燥システムを開発した。

##### I) 木質ペレットバーナ乾燥装置制御の仕組み

制御因子と制御目標の指標との関係を把握するために灯油バーナ乾燥装置による基礎実験を行った結果を表. 1 に示す。排ガス温度、乾燥後物温度、投入熱量および含水率は、深い関係があることがわかる。乾燥後物温度と関係がある排気ガス温度は、投入熱量により制御される。投入熱量は、ペレット供給量により制御されるためペレットを供給する電動機の回転数を可変させることで最終的に乾燥後物温度を 80℃以上にコントロールすることとした。乾燥後物温度の基準となる温度は、園芸土製造企業にヒアリングを行い、種子発芽抑制となる 80℃とした。

表. 1 指標の関係把握のための基礎実験結果

[初期含水率 42%、天日ケーキ投入量 180 kg/h]

	乾燥機出口排ガス 温度 80℃	乾燥機出口排ガス 温度 100℃	乾燥機出口排ガス 温度 120℃
投入熱量 kcal/h	73,008	108,108	143,208
乾燥後物温度 °C	85	120	195
含水率 %	7.7	4.7	1.3

図. 1 に技術的課題〈7〉－(1)－②－I)～III)〉を解決する木質ペレットバーナ乾燥装置の制御フローを示す。

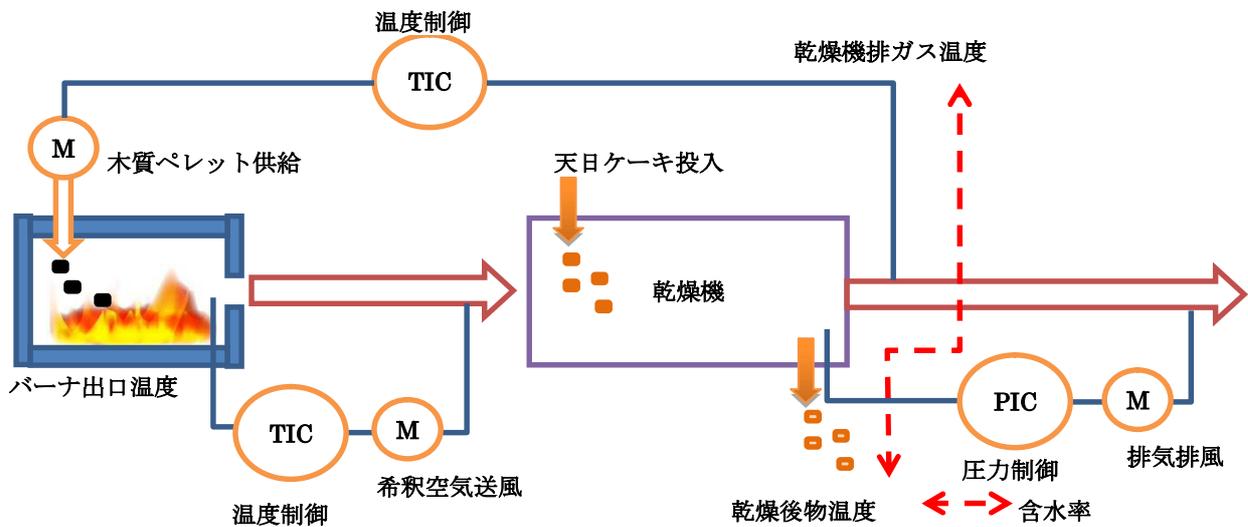


図. 1 木質ペレットバーナ乾燥装置の制御フロー

バーナ出口温度を一定にするためにセラミック炉内で木質ペレットを燃焼蓄熱し、その熱量を希釈空気送風量により制御することとした。また、希釈空気の送風とマルチサイクロン集塵機の排風のバランスを取り、安全を確保するために乾燥機内圧力を一定にする制御を行うこととした。

## II) 木質ペレットバーナ乾燥装置

木質ペレットバーナ乾燥装置の構成機器は、木質ペレットバーナ、ドラム回転式乾燥機およびマルチサイクロン集塵機である。発生量 500t/年の天日ケーキを 160 日程度で処理するため木質ペレットバーナ乾燥装置に要求される能力は 300 kg/h である。灯油バーナ乾燥機を用いた基礎実験において必要能力に相当する実験条件は、含水率 42%—供給量 360 kg—排ガス温度 120℃—投入熱量 134, 789kcal/h であり、この実験における乾燥後物温度は 100℃であった。この実験の伝熱容量係数が 3200 であることから次式を用いて必要投入熱量は 72, 228kcal/h となる。

$$Q=ha \times V \times (tg-tm)$$

Q : 投入熱量、ha : 伝熱容量係数、V : 乾燥機容積、tg : 熱風温度、tm : 原材料温度  
含水率が高い脱水ケーキへの適用と基準となる乾燥後物温度 80℃を考慮して、技術的課題〈7〉－(1)－②－IV)〉を達成する性能を 100, 000kcal/h とした。



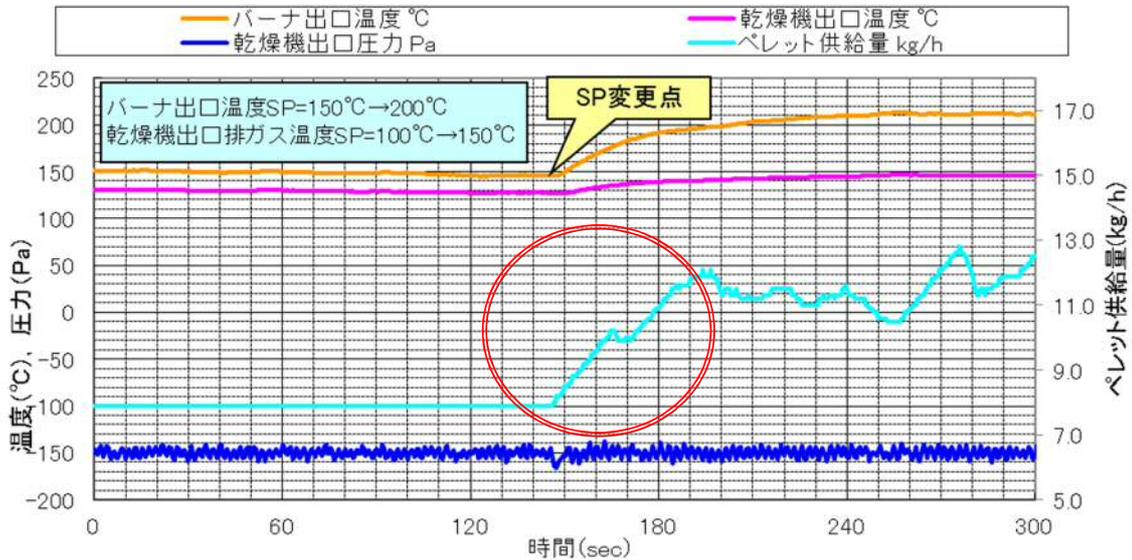
写真. 1 木質ペレットバーナ

#### ④ 解決方法の評価

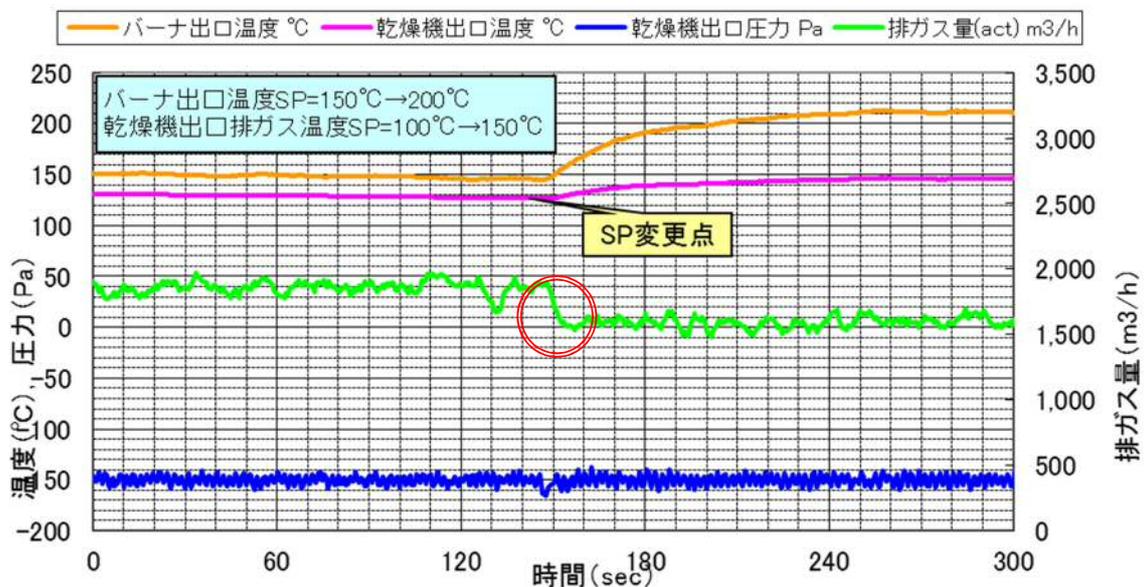
##### I) 木質ペレットバーナ乾燥装置の制御性評価

木質ペレットの燃焼速度は遅いため制御の応答性は悪い可能性がある。技術的課題〈7) - (1)-②- I) ~ III)〉の解決方法を評価するためにバーナ出口温度設定値と乾燥機出口排ガス温度設定値を同時に変化させて制御性と温度応答性を確認した。

立ち上がり



グラフ.1 立ち上がり応答とペレット供給量変化



グラフ.2 立ち上がり応答と希釈空気量の変化

ペレット供給量の制御と希釈空気量の制御で設定値変更に対応してバーナ出口温度および乾燥機出口温度は、2~3分で応答を示すことが確認できた。図. 1の制御フローは、燃焼速度が遅い木質ペレットの課題を解決していることが検証できた。

## II) 木質ペレットバーナおよび乾燥機の性能評価

木質ペレットバーナの性能は、燃焼実験により木質ペレット使用量を計測して性能を検証したところ、木質ペレット最大供給量 30.5 kg/h で 130,000kcal/h の出力が可能であることが検証された。

伝熱容量係数指標の観点から、設置したリサイクル製品化プラントの処理能力は、天日ケーキ 460 kg/h 程度、脱水ケーキ 100 kg/h 程度と推定される。

リサイクル製品化の主たる対象物である天日ケーキに関しては、伝熱容量係数における評価で十分な処理能力を持つことを確認できた。しかし、乾燥後物温度 80℃以上という基準を考慮すれば、開発実験の結果から天日ケーキで 300 kg/h 程度、脱水ケーキに関しては実質適用できないと考えられる。脱水ケーキに関しては、乾燥基準の検討および木質ペレットバーナ乾燥装置のスケールアップが必要となる。

## III) 木質ペレットバーナ乾燥装置の熱効率評価

天日ケーキを乾燥する時、灯油バーナを用いた基礎実験における乾燥装置の熱効率は、供給量 360 kg/h、排気ガス温度設定 120℃の条件で 64%であった。開発実験結果から算定した木質ペレットバーナ乾燥装置の熱効率は、供給量 400 kg/h、排ガス温度設定 150℃の条件で 58%となり、灯油バーナより少し小さいもののほぼ同等の熱効率を持つことが判明した。

灯油バーナを用いた乾燥装置では、排ガス温度が高い時、後段の集塵機耐熱温度の制約により冷却空気を吹き込む仕組みであり、排ガス温度設定を高くすれば熱効率が下がった。一方、木質ペレットバーナ乾燥装置では、セラミック炉に蓄積された熱量を希釈空気で調整する仕組みであり、排ガス温度設定による影響は見られなかった。

## (2) リサイクル製品化プラントの開発 (H24 プラント開発、H25 自動制御開発および評価)

### ①開発方針

天日ケーキのリサイクル製品を販売するためには、破碎による粒径分布の制御および品質を満たす乾燥による温度処理が必要である。平成 22 年度に粒径分布を制御する破碎機を開発し、平成 24 年度に品質を満たす温度制御が可能な木質ペレットバーナ乾燥装置を開発した。これら破碎機と木質ペレットバーナ乾燥装置をコンベアで連結することにより組み合わせリサイクル製品化プラントを開発する。

### ② 技術的課題

- I) 種子発芽抑制および土壌消毒を目的として、効率的なリサイクル製品化プラントの設置。
- II) H 2 4 年度に乾燥機への投入装置として有軸スクリーフィーダーを設置したが、投入する天日ケーキの含水率が不安定であるとスクリーンに天日ケーキが詰まる。このため安定的に天日ケーキを投入する投入装置を開発すること
- III) プラントの運用においては、製造の安定かつ安全な運転が容易行える自動運転システムがあれば効率的であることから、自動運転システムを開発すること。
- IV) 破碎機および袋詰め機は、粉じんを発生することから防止措置の構築をすること。

## ②技術的課題の解決方法

### I) リサイクル製品化プラントと構成機器

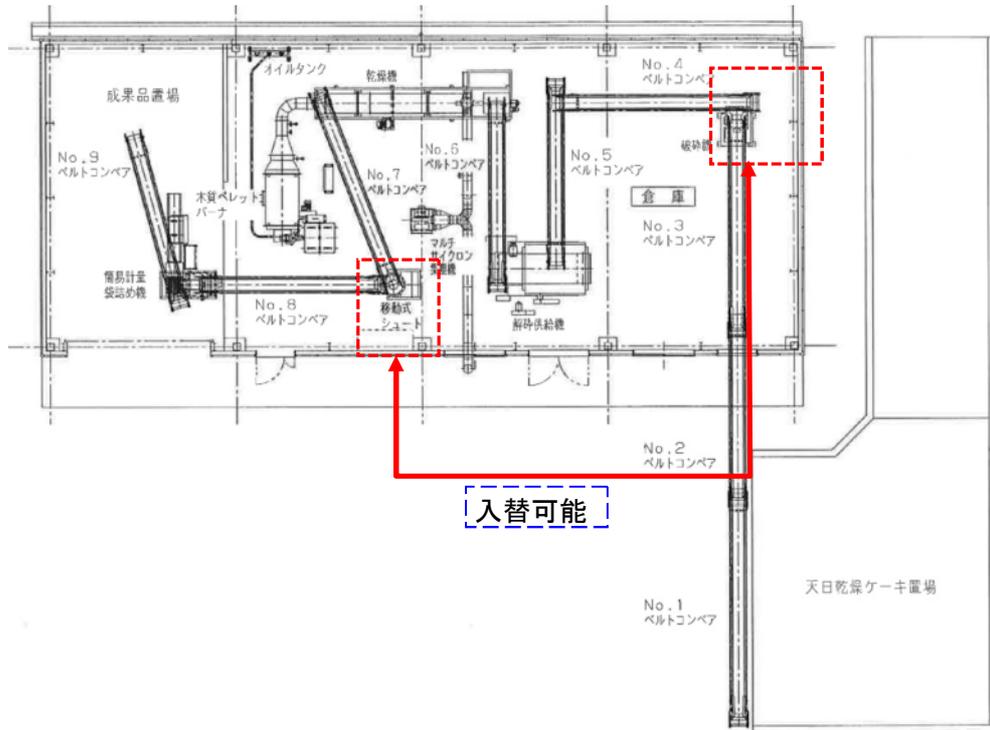


図.2 リサイクル製品化プラント

リサイクル製品化プラントの工程配置に関しては、粒径が大きい天日ケーキ（三野）および含水率が高い脱水ケーキへの適用も考慮して、破碎工程→乾燥工程および乾燥工程→破碎工程の2つの配置が可能ないように破碎機を可動式とする。

リサイクル製品化プラントを構成する主要器機とその特徴を以下に示す。

#### a) 破碎機能付き定量供給機

排出時に前カッターと柵カッターで大粒の天日ケーキを破碎する機能、キャタピラ速度調整による定量供給機能およびホッパーによるストック機能を持った定量供給機である。破碎機能および定量供給機能により木質ペレットバーナ乾燥装置への天日ケーキの安定供給を図る。また、ストック機能により処理を平準化する。

#### b) 天日投入フィーダー

木質ペレットバーナ乾燥装置を構成するドラム回転式乾燥機へ安定的に天日ケーキを搬送する機能を持ったフィーダーを開発した。含水率が高く、粘性が強い脱水ケーキの搬送も考慮して無軸スクリーを採用したインバータによる乾燥機への投入量制御を行う。

#### c) 木質ペレットバーナ乾燥装置

平成24年度に開発した木質ペレットバーナ、ドラム回転式乾燥機およびマルチサイクロン集塵機からなる装置である。〈7〉-(1)参照) 供給量および含水率に合わせて設定した乾燥後物温度になるよう、乾燥機出口排ガス温度を木質ペレット供給量、希釈空気量および排気風量により制御する。この制御により種子発芽抑制と含水率低下による保管性向上を達成する。

## II) リサイクル製品化プラントの自動運転システム

乾燥機へ天日ケーキを投入するフィーダーは開発実験において不具合の発生確率が高かった。このことから投入量を演算により制御する方法で乾燥後物温度および投入量を設定することとし、木質ペレットバーナ乾燥システムの温度制御方法としては排ガス温度設定値を演算する制御方法を採用した。この方法では、供給量を設定することから生産量を算定しやすいが、排ガス温度設定値が可変するため、製品品質に影響を与える可能性がある。しかし、開発実験では、安定した制御性が確認できており、問題は少ないと考える。図. 3 にシステムフローを示す。

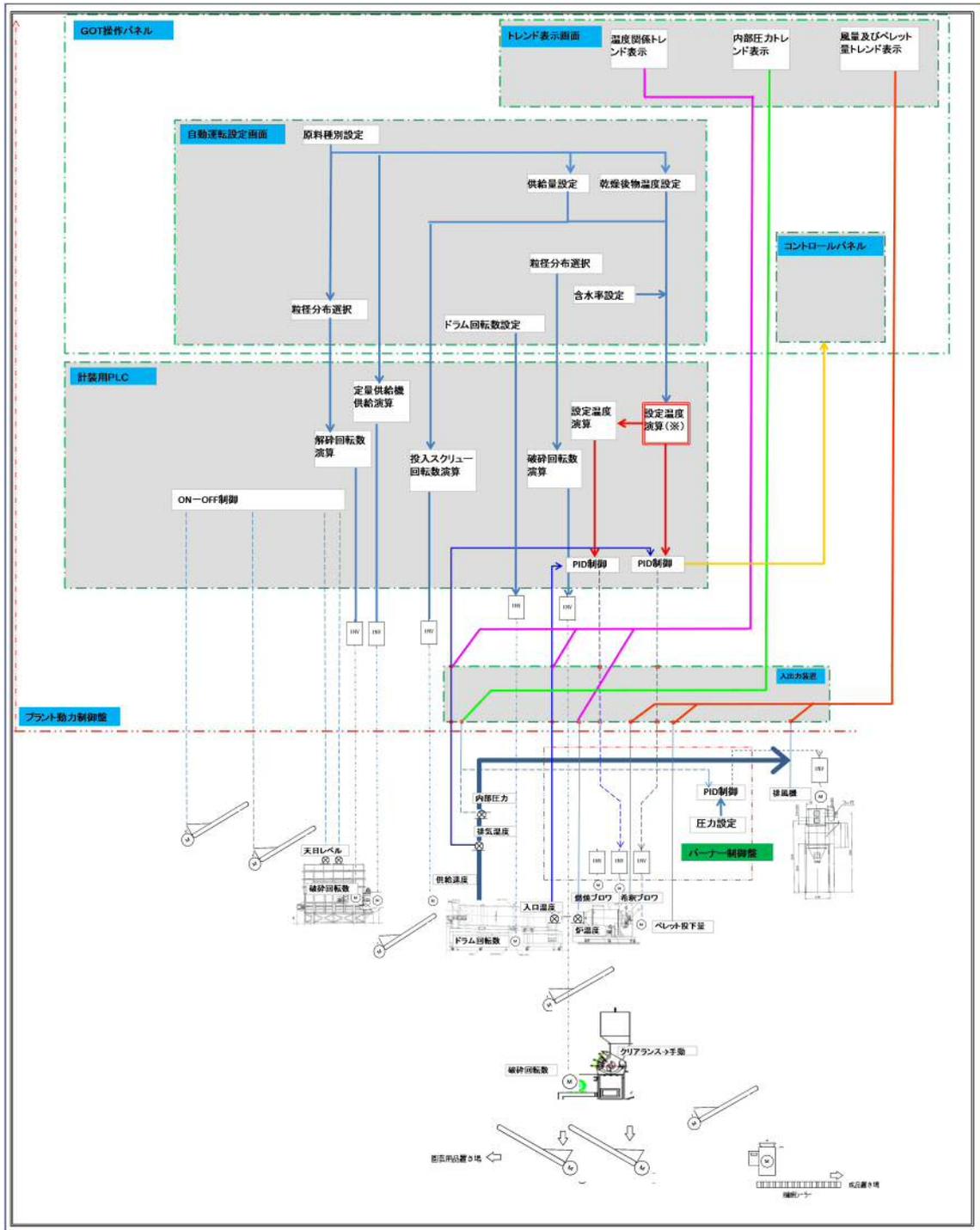


図. 3 自動運転システムフロー

a) リサイクル製品化プラントのシーケンスおよびフェールセーフ

安全、かつ、安定した運転を行うための自動運転手順およびフェールセーフ機能を以下に示す。

ア)自動起動手順

起動時には原材料がプラントに滞留しないように下流側（袋詰め機）から順番に起動する。

イ)自動停止手順

停止時には同様の理由から上流側から順番に停止する。

ウ)ストック機能の上限による停止と運転

プラントのストック機能の上限を検知すると検知したストック機能を持つプラント機器より上流の機器を停止し、下流のプラント機器による処理で上限検知が自動解除されれば上流プラント機器を下流から自動復帰する。

エ)異常時制御

- ・木質ペレットバーナ乾燥装置以外のプラント機器に異常が生じた場合は、起動立ち上がりが遅い木質ペレットバーナ装置を除いたプラント機器を全停止する。
- ・プラント制御盤および木質ペレットバーナ乾燥装置に非常停止をかけた時にはプラントを全停止する。

b)自動運転の仕組み

プラント制御盤内に制御設定インターフェイス機能、プラント運転監視機能、プラント計装表示機能を持った GOT (グラフィカルタッチパネル) を設置し、制御においては、制御設定画面から設定した数値を用いて計装 PLC 内でプラント機器への設定値を演算し、リサイクル製品化プラントの構成機器および PLC 内の PID 調節計に設定値をセットする仕組みとした。(図. 3)

c)自動運転の方法

各プラント機器の制御装置の自動運転方法は以下である。

定量供給機の解砕のためのインバータおよび定量供給機のためのインバータには、実験から算定した原料種別ごとの供給量設定による周波数演算式を用いてフィードフォワード制御を行う。

乾燥機へ天日ケーキを投入するインバータにも、同様に開発実験から算定した原料種別ごとの供給量設定による周波数演算式を用いてフィードフォワード制御を行う。

木質ペレットバーナ乾燥装置の温度制御は排ガス温度設定値 (SV) になるように排ガス温度測定値 (PV) を制御するような PID 制御を行うが、SV 値の設定を設定乾燥後物温度の設定値になるよう含水率と供給量設定入力による演算により実施する。バーナ出口温度設定は、排ガス温度 SV を演算式で演算して設定する。

演算式は、開発実験の測定データを 1 次近似式化した実験式を作成して使用する。バーナ出口温度設定は 2 次近似式を用いる。

#### IV) 局所排気装置

労働安全衛生法粉じん障害防止規則による局所排気システムとして破碎機の下部排出口に囲い式フード、袋詰め機には外付け式フードを写真のように設置した。



写真.2 排出口囲い式フード



写真.3 排出口外付け式フード

### ③ 解決方法の評価

#### I) リサイクル製品の評価

##### a) リサイクル製品の農業利用評価

天日ケーキリサイクル製品の安全性に関しては、岡山県のエコ製品認定基準である土壌分析試験の含有量試験と溶出試験を行った。

表. 2 土壌分析試験項目

土壌含有量試験	総水銀、カドミウム、鉛、六価クロム、砒素、シアン、セレン、ほう素、ふっ素
土壌溶出試験	アルキル水銀、総水銀、カドミウム、鉛、有機リン、六価クロム、砒素、シアン、ポリ塩化ビフェニル、トリクロロエチレン、テトラクロロエチレン、ジクロロメタン、四塩化炭素、1,2-ジクロロエタン、1,1-ジクロロエチレン、シス-1,2-ジクロロエチレン、1,1,1-トリクロロエタン、1,1,2-トリクロロエタン、1,3-ジクロロプロペン、ベンゼン、チウラム、シマジン、チオベンカルブ、セレン、ほう素、ふっ素

含有量に関しては、ヒ素およびその化合物 (5 mg/kg)、フッ素およびその化合物 (390 mg/kg) が含有していることが分かった。他の項目については定量限界測定値以下であった。溶出試験については、含有が認められたヒ素およびその化合物、フッ素およびその化合物も含めて測定値は定量限界以下であった。(P75~77 分析試験結果)

表. 3 から農業用土壌としての適合性を評価する指標として選定した pH、腐植、全窒素に関して適合範囲内であることが分かった。事業化対象とする天日ケーキ (旭東) のリサイクル製品の農業利用性は高いと考えられる。

表. 3 農業利用指標分析値  
[400kg/h,排ガス温度 150℃] (P71 開発実験結果)

	天日ケーキ (旭東)	天日ケーキ (三野)	脱水ケーキ
pH	6.4	6.2	6.5
腐植	7.6%	3.6%	5.9%
全窒素	0.32%	0.16%	0.28%
粒径分布 900rpm	X ≤ 4 mm : 92.9% 4 mm ≤ X ≤ 9 mm : 6.7% X ≤ 9 mm : 0.4%	X ≤ 4 mm : 98.3% 4 mm ≤ X ≤ 9 mm : 1.5% X ≤ 9 mm : 0.2%	

また、脱水ケーキおよび天日ケーキ (旭東) を原料としたリサイクル製品は、化学的には温度の影響はほとんど受けず、物理的にも農業利用可能な粒径になっていると考えられる。天日ケーキ (三野) も農業利用は可能であるが施肥の工夫や土壌改良材と混合して使用することが望ましいと考えられる。また、天日ケーキ (三野) に関しては原料の状態から農業利用指標の数値が悪いため、固液分離プロセスの運用を改善する必要がある。

#### b) 保管性評価

リサイクル製品は袋詰め製品であり、含水率が高く、熱処理をしていない状態で保管するとカビが発生する。販売においては長期の保管も考えられることから温度処理による保管効果を実験結果 (P72 開発実験分析結果) から以下のように分析した。

- ・天日ケーキ (旭東) は、熱処理により一般細菌は 94% 除去されている。天日ケーキ (旭東) の含水率は、23% (90℃) から 11% (150℃) であり、カビ発生環境条件である 40% 以上の含水率を大きく下回っている。
- ・脱水ケーキの熱処理による一般細菌除去率は 99.6% である。脱水ケーキの含水率は 52% (90℃) から 30% (150℃) であり排ガス温度 90℃ 処理の時はカビ発生環境条件は満たさない。しかし、脱水ケーキの一般細菌除去率は 99.6% であることから排ガス温度 90℃ 設定でも保管性は良好であると推測される。

#### c) 発芽抑制効果の評価検討

天日ケーキ原料の発芽抑制の基準として乾燥後物温度を 80℃ で処理することを基準に設定した。今回のリサイクル製品化プラントにおいては、対象となる天日ケーキを基準である乾燥後物温度 80℃ で処理すると上限処理能力は 300 kg/h であり、原材料段階で高含水率の脱水ケーキの上限処理能力は推定 50 kg/h となり、実質脱水ケーキの乾燥には適用できない。(P70 開発実験測定結果) 文献等の調査によれば 80℃ という温度は種子死滅の温度と認識されており、また、温度も 50℃ ~ 80℃ と範囲が広い。脱水ケーキに関しては、固液分離プロセスから雑草種子混入の可能性が低い理由により、水道事業体の先進事例においては含水率 40% 以下の乾燥という基準を取っている。平成 26 年度にリサイクル製品を用いた栽培試験を行い、種子発芽抑制効果について検討する。

## ②リサイクル製品プラントの評価

### I) プラント処理能力の評価

プラント処理能力は、品質指標である種子発芽抑制効果がボトルネックとなるが、本事業が対象とする天日ケーキ（旭東）に関しては、発芽抑制を重視し乾燥後物温度を 80℃設定にしても計画プラント能力である 0.3t/h（300 kg/h）は処理可能と判断できる。

### II) リサイクル製品の製造コストの評価

製造コストを以下のように算定した。袋については、販売する企業が持ち込むため単価に含めていない。また、人件費も除外して考える。

#### a) 製造コスト計算

##### ア) 天日ケーキ（旭東）の1袋あたりの製造コスト

開発実験結果（乾燥後物温度 75℃）から生産量設定における電力単価を計算すると 34 円/kWh であった。よって、1袋あたりの製造コストは、 $0.9 \text{ kg/袋} \times 51 \text{ 円/kg} + 0.8 \text{ kWh/袋} \times 34 \text{ 円/kWh} = 73 \text{ 円/袋}$ と推定される。単価は生産量によって変化する。

##### イ) 脱水ケーキの1袋あたりの製造コスト

開発実験結果（乾燥後物含水率 42%）から1袋あたりの製造コストは、 $3.9 \text{ kg/袋} \times 51 \text{ 円/kg} + 3.8 \text{ kWh/袋} \times 34 \text{ 円/kWh} = 328 \text{ 円/袋}$ と推定される。

販売価格設定において 328 円/袋の設定は実質不可能であるため、開発設置したリサイクル製品化プラントでの脱水ケーキの製品化は現実的でない判断できる

### III) プラント自動運転の評価

脱水ケーキは固液分離プロセスが機械的であるため含水率の変化も 60%~65%とほぼ均一である。一方、天日ケーキは固液分離プロセスが屋外露天の天日乾燥床であるため、雨などの天候により含水率が大きく変化する。含水率が変化すれば、乾燥処理において木質ペレットバーナ能力の上限により含水率変化に対する供給量が決まる。また、農業利用性、保管性、種子発芽抑制は乾燥後物温度が重要となる。このためリサイクル製品化プラント自動制御においては、測定した含水率と生産したい製品に対する供給量を任意に設定するとともに制御目標である乾燥後物温度を設定すると、演算によりプラント構成機器の設定が決定され自動運転する仕組みを採用した。木質ペレットバーナ乾燥装置に関しては、計測値をフィードバックして演算による設定値を一定に制御する仕組みである。自動運転システムの検証試験を行った結果、設定乾燥後物温度に実際の乾燥後物温度が誤差 10%程度（P74 検証実験結果）で追従することが確認された。

## (3) 浄水発生土リサイクルビジネスモデルの開発 (H25)

### ①開発方針

リサイクル製品化プラントで製造される天日ケーキリサイクル製品（袋詰め）を販売するチャンネルとして現在、実施している市民販売の顧客のヒアリング調査を行った結果、潜在需要があることが判明した。このため地産地消のチャンネルで販売を実施するモデルを構築する。地産地

消では、製品の移動距離が短いため運搬によるCO<sub>2</sub>排出量を抑制することができる。また、市民販売および処分のメリットとデメリットを活かしてリスク分散も行える浄水発生土に関するリサイクル事業チャンネルとして、天日ケーキリサイクル製品販売チャンネル、市民販売チャンネル、処分チャンネルの3つのチャンネルによる処理計画を効率的に行う手法を開発する。

## ②技術的課題

- I) リサイクル製品を販売する新規チャンネルは、浄水場→運搬→小売店である。また、リサイクル製品製造過程で排出される木質ペレット焼却灰の販売チャンネルは、浄水場→運搬→ペレット工場である。さらに、リサイクル製品製造ではペレット工場→運搬→浄水場という木質ペレットの購入チャンネルが発生する。リサイクル製品販売とペレット購入に伴う運搬過程を出来るだけ共有することで低環境負荷かつ高利益設定の運用が行える。このためビジネスモデル構築における技術的課題は、運搬を共有するビジネスモデルの開発である。
- II) 方針によりリスク分散を考慮して、リサイクル製品を販売する販売チャンネルを市民販売チャンネルおよび処分チャンネルからなる現状のモデルに付加した場合、技術的課題は、3つのチャンネルを効率的に運用する方法が課題である。

## (4) 技術的課題の解決方法

### ① リサイクル事業ビジネスモデル

方針により技術的課題〈7〉－(3)－②－I)を解決する販売モデルを構築する。現状に天日ケーキリサイクル販売チャンネルを付加して図.4のモデルを構築する。

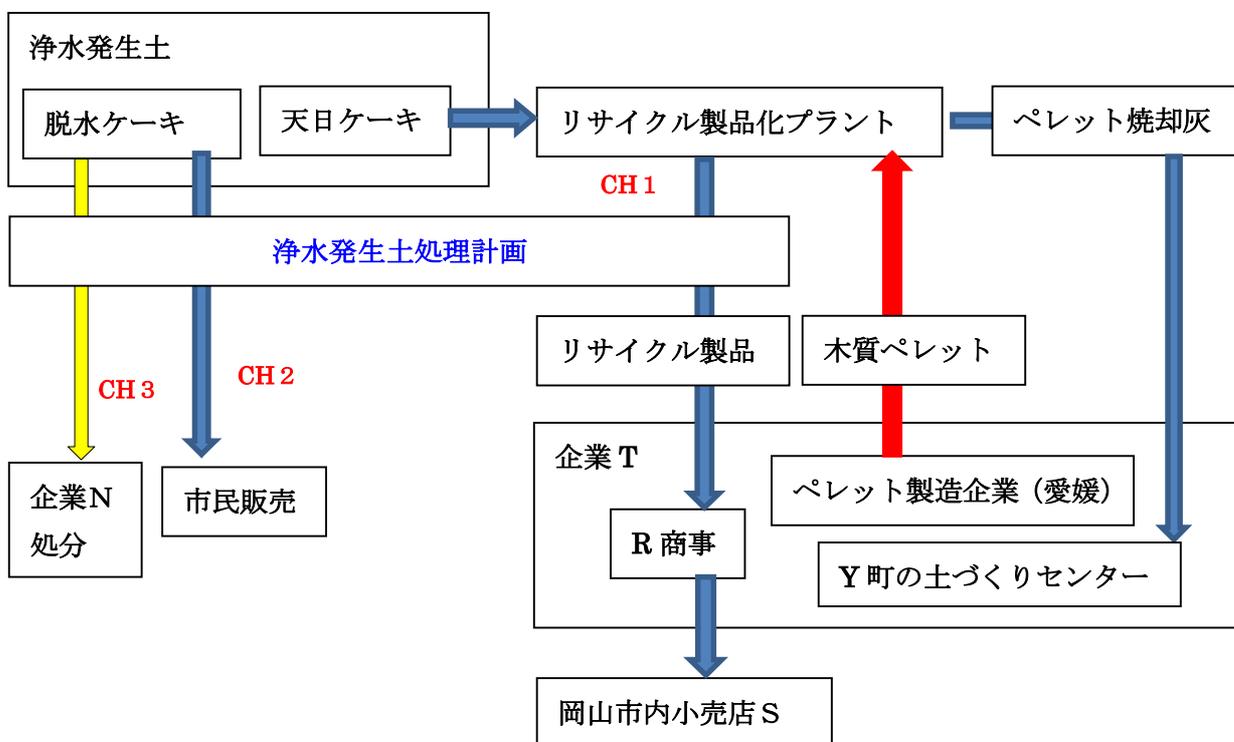


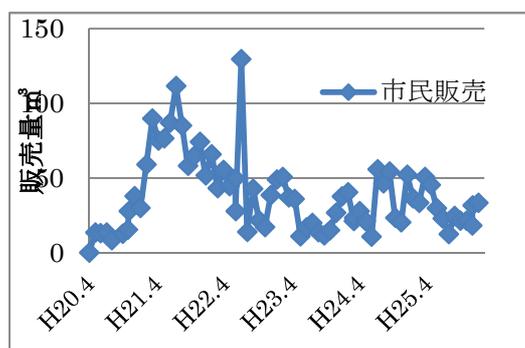
図.4 浄水発生土リサイクル事業ビジネスモデル

方針に沿って地産地消のモデルとするとともに天日ケキリサイクル製品製造から小売販売までの運搬を共有するために木質ペレットを運搬して旭東浄水場まで来た運搬車にリサイクル製品およびペレット焼却灰を積載して、リサイクル製品は、岡山市内でR商事が展開する小売店グループに運搬し、ペレット焼却灰は企業Tと共同出資でペレット製造を行うY町の土づくりセンターで堆肥化する。3つのチャンネルへの配分および販売価格を上手く計画することでビジネスモデルを効率的に運用することが可能である。

② 浄水発生土処理計画システムおよびプログラム開発

I) 販売チャンネルの販売実績分析および考察

市民販売実績(以下グラフ.3)は、変動が大きく、販売サイドで予測できない販売である。コスト面を考察すると浄水場での現地販売は袋等も市民が持参で来るため、手間がかからず販売価格は安価であるにもかかわらず利益率は良い。



グラフ.3 市民販売実績の推移

一方で、産業廃棄物処分は、受け皿が大きく、計画的に大量の処分が可能である。しかし、コスト面では、運搬費 (3800 円/t) および処分費 (7500 円/t) がかかり利益はない。

リサイクル製品の販売について考察すると地産地消で販売を展開するため、市場が小さく売れない時と売れる時の生産調整が必要と推測される。一方で企業を通しての販売であり、生産調整は小さいと考えられる。このため販売量変動はあるが小さいと考えられる。コスト面では、販売価格は市民販売と比較して高価に設定できるが、製品化プラントによる手間、電力量、燃料代がかかるため、利益率は少ない。もしくは、企業Tとの交渉により利益が上がらないケースも想定される。

II) 浄水発生土処理計画手順の開発

市民販売は、実績から変動が大きく、利益率が高く、リサイクル製品販売は、変動は小さく、利益率が低いと推測される。この特性を用いて、技術的課題 7) - (3) - ②-II) の解決方法として最小分散法による処分も含めた処理計画手順を図. 5 に示す。

図.4 および 5 において企業Tへのリサイクル製品販売をCH1、市民販売をCH2、企業Nへの処分をCH3とする。特徴は最小分散を用いた以下のステップである。

S6ステップでCH1の配分比をA、CH2の配分比を1-Aとし、配分比Aの設定可能範囲を1-



図.5 処理計画手順

M2/T1以上M1/T1以下で算出する。

S7ステップで配分比Aに対して、CH1およびCH2の処理実績から次式で分散を演算する。

$$Var(XY) = A^2Var(X) + B^2Var(Y) + 2ABCov(XY) \quad \dots(1)$$

ここで、Var(X)は、過去のチャンネルCH1における処理実績量の分散、Var(Y)は、過去のチャンネルCH2における処理実績量の分散、Cov(XY)は、過去のチャンネルCH1における処理実績量およびチャンネルCH2における処理実績量の共分散である。

S8ステップでは配分比Aの設定可能範囲において、Var(XY)が最も小さくなるときの配分比Aを設定する。そして配分比Aに基づいて、チャンネルCH1の割当量およびチャンネルCH2の割当量を設定する。

このようにVar(XY)を設定することによって、チャンネルCH1およびチャンネルCH2の処理実績量の変動を小さくすることができる。チャンネルCH1およびチャンネルCH2の処理実績量の変動が小さくなることによって、割当量と処理実績量の差が小さくなる。これにより、CH1の準備工程に投入される費用、およびCH2の準備工程に投入される費用を削減する。

## (5) 解決方法の評価

### I) リサイクル製品販売モデルの検証

企業Tと協議し、リサイクル製品の試験販売を以下の条件で設定し実施した。

#### a) 試験販売条件

- ・企業Tへの卸価格は、製造コスト算定から73円/袋（袋代除く）であるが、交渉の結果、67円/袋（袋代除く）で設定した。
- ・岡山市内の小売店Sでの販売価格は、企業Tと小売店Sが協議して設定価格を298円/袋とした。
- ・岡山市水道局が脱水ケーキの袋販売を行っているデザイン袋は、熱処理を行っていない脱水ケーキを取り扱っているため差別化を図り設定価格が相違しても需要者から苦情が来ないようにデザインを変更して試験販売を行う。（P86 写真.3-5 参照）

#### b) 試験販売結果

試験販売の結果、設定価格298円/袋で販売が可能であった。このことから正規販売においては製造コスト73円以上で設定する。しかし、岡山市内での1店舗あたりの販売数量は少なく、少数店舗での販売では生産調整が必要なことが判明した。また、市内店舗による試験販売より郊外における販売の方が需要があると推測される。R商社の小売店Sは岡山県内に10店舗あることから、今後、企業Tと協議して郊外での販売に関して試験を継続していく。また、地産地消のための販売促進方法を検討していく。

## 8) 開発した技術がもたらす効果

### (1) 浄水発生土リサイクル事業の費用対効果

リサイクル製品化プラント運転を外部委託で考える場合、運転費については水道事業区分ではなく、リサイクル事業区分として取り扱う。この場合、開発検証実験からリサイクル製品化プラントの運転に必要な人員は、自動運転システムによることから普通作業員2人(単価14,700円/日)で十分であり、年間天日ケーキ発生量500tをプラント処理能力3.2t/日で処理するため、かかる日数が約160日となり運転委託費は約4,586,400円/年(税抜)となる。

再任用制度による人材調達を行った場合、人件費が水道事業区分となり、見た目には費用対効果が3.16であることから効果的に見える。委託の場合では費用対効果が1.125(年間950,000円のコスト削減)となる。しかし、設定した15年間の総計では、運転を委託した方が56,000,000円程度安価となる。これは再任用制度が平成26年度から改正になり、管理職で退職する人を再雇用する際の費用算定が変わったことによる。今後は、再任用制度から退職延長などの制度変更が考えられるため、安価で弾力性のある対策である運転委託を採用する予定である。運転委託による事業運営においても現状よりは効果があると判断される。また、表.4による試算は、試験販売時の製造原価である73円/袋で設定しており、需要家に好評であれば73円/袋以上の設定価格も可能である。採用する表.4の費用対効果は、プロモーションなどの販売促進の影響を大きく受けると考えられる。このため本格運用においては、本開発で連携した企業と協定を締結し、継続的な協力を維持していくことが重要である。

以下にリサイクル製品化プラントの運転委託を15年の間、実施した時の費用対効果を示す。

表.4 費用対効果分析(委託:消費税8%)

費用		効果		
項目	金額	項目	金額	
水道事業区分	①リサイクル製品化プラント建設費	①天日ケーキ運搬削減費 3800円/t×15年×500t	30,780,000	
	建屋築造費:15年換算	9,350,754	②天日ケーキ処分費 7500円/t×15年×500t	60,750,000
	プラント建設費	45,166,189	小計	91,530,000
	研究開発費	10,639,000	③リサイクル製品販売収益	
	環境研究総合推進費補助金	-23,653,000	年間販売袋:30000袋	35,478,000
	計	41,502,943	販売単価:73円/袋	
リサイクル事業区分	②運転委託 15年		小計	35,478,000
	運転委託費	72,679,680		
	小計	72,679,680		
	③動力費 15年			
	木質ペレット	25,777,440		
	電力使用量	14,400,000		
小計	40,177,440			
計	112,857,120	計	127,008,000	
総計	154,360,063		127,008,000	
効果/費用			1.12538757	

## 9) 環境政策への貢献

本研究開発の成果であるリサイクル製品製造技術を用いれば、河川水を浄水処理する水道事業体で発生する浄水発生土を小さな環境影響でリサイクル製品に変換し、社会にリサイクル製品を循環することが以下の理由により可能であると考えられる。

(1) 開発したリサイクル製品化プラントは、天日ケーキの製品化において有効であることが検証された。

(2) リサイクル製品化プラントを構成する乾燥設備には開発した木質ペレットバーナ乾燥装置を用いたことで環境影響を軽減可能であることもわかった。

(3) 含水率が高い脱水ケーキへの適用は木質ペレットバーナ乾燥装置のスケールアップを行えば適用可能であることもわかった。

運用においては、リスク分散を方針として処分チャンネル、市民販売チャンネルおよび企業への販売チャンネルを開発し、処理計画システムおよびプログラムを用いて行うという技術により、最も効率的な運用も可能である。

開発した技術の波及およびリサイクル製品販売促進に重点を置いた連携協定をリサイクル製品化プラントで特許出願している企業 S および H、事業ビジネスモデルで特許出願している企業 T と締結し連携を図っていく予定である。

## 1 0) 開発した技術の事業化の可能性

### (1) リサイクル事業の本格運用

生産効率が良い天日ケーキ（旭東 350t・三野 150t）の年間発生量 500t を対象として平成 26 年度からリサイクル製品の本格製造を行う予定である。プラントの運転体制は、実質の費用対効果が高い運転委託により実施予定であり、リサイクル製品の販売はリサイクル製品袋を 500～1200 袋/月で生産予定である。

### (2) 今後の課題

天日ケーキ製品化の課題である粒径と混入種子の発芽抑制について開発した乾燥工程および破碎工程を持つリサイクル製品化プラントにより、効率的に販売可能なリサイクル製品製造が行えることが分かった。また、地産地消をコンセプトとした岡山市内小売店 S においても高価格での販売が可能であることが分かった。今後の課題は以下である。

#### ①リサイクル製品化プラントの自動運転の精度向上

天日ケーキを対象とした自動運転において、品質評価指標である乾燥後物温度の設定値と測定値で 10%の誤差がある。本格運用を行いながらソフト面の改善を行っていく。

#### ②リサイクル製品の品質基準

発芽抑制を行える乾燥後物温度の妥当性についてリサイクル製品を用いた栽培試験を平成 26 年度に実施して発芽抑制効果を検討する。

#### ③脱水ケーキ製品化の方針

脱水ケーキは種子混入の可能性が少ないことから、乾燥基準について検討するとともに脱水機更新に合わせてプラントのスケールアップについて検討する。

#### ④リサイクル製品の販売

構築した岡山市内の R 商事関連の小売店 S のみの販売では需要が小さい。平成 26 年度においては、地産地消のための販売促進方法を検討するとともに岡山県内の小売店 S グループへの販売拡大および企業 T の農業関連のグループ企業による県外での販売等も検討する。

## 1. 事業の目的

### 1) 浄水発生土の特徴

浄水発生土は、河川の表流水に含まれる濁質の浄水処理により発生する汚泥を固液分離した脱水ケーキと天日により自然に固液分離した天日ケーキに大別される。(図. 1-1)

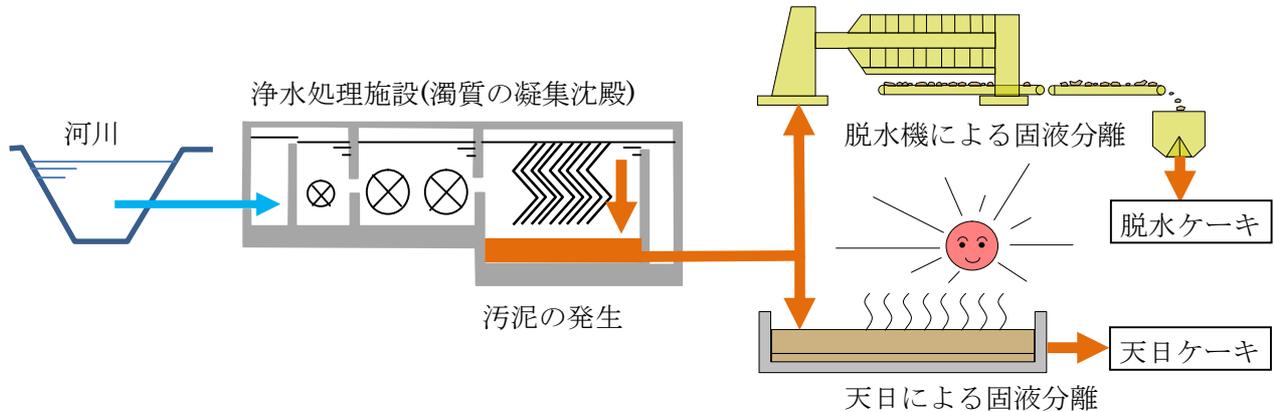


図. 1-1 浄水処理による浄水発生土の製造フロー

脱水ケーキの特徴は圧搾処理により短時間処理されることから形状が均一であり、保管性低下を引き起こす含水率も一定であることである。一方、天日ケーキの特徴は形状が大きく、不均一であり、含水率も不均一なことである。また、天日ケーキは屋外で長時間かけて固液分離することから雑草種子など不純物が混入しやすく、微生物発生の確率も高くなる。脱水ケーキおよび天日ケーキの共通の性質として乾燥すれば軽い物質であることと再含水しても泥状化しないことが挙げられる。



写真. 1-1 脱水ケーキ



写真. 1-2 天日ケーキ

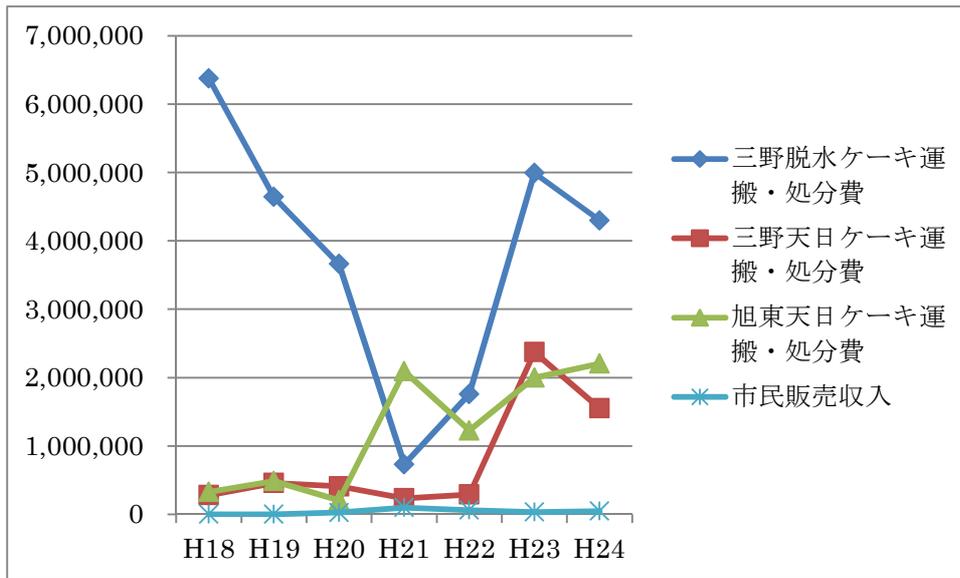
天日ケーキの問題点は、粒径が大きく、雑草種子や微生物の影響を受けているということである。

### 2) 浄水発生土のリサイクルを取り巻く環境と課題

水道事業から発生する浄水発生土のリサイクルにおいて都市部の大規模事業者は、施設設置コストは高いが、施設設置スペースや浄水発生土の販売を考慮して脱水機による汚泥処理を選択し、乾燥処理により有価物販売をPFI事業で実施する傾向にある。一方で小規模から中核規模の事業者は、設置コストの面から天日乾燥による汚泥処理を選択しているところがほとんどであり、処分費を払って産業廃棄物処分を行っている。

現在、岡山市水道局では、脱水機による脱水ケーキ製造と天日乾燥床による天日ケーキ製造を併用しており、脱水ケーキ製造工程では乾燥処理を実施していないことから発生量の一部は、市民販売により有価販売しているが、多くの脱水ケーキおよび天日ケーキは処分費を払って中間処理業者へ産業廃棄物処分をしている。

平成18年度～平成24年度の浄水発生土運搬処分費の推移をグラフ. 1-1 に示す。



グラフ. 1-1 ケーキ毎の運搬処分費の推移

三野脱水ケーキ運搬処分費の変動は大きい。これは、平成20年から三野脱水ケーキを対象とした市民販売開始によるものである。旭東天日ケーキについては平成21年から、三野天日ケーキについては平成23年度から運搬処分費が増額になっている。この理由は、自己所有最終処分場への処分から環境面を考量して中間処理施設への産業廃棄物処分に切り替えたことによるものである。

自己保有処分場に天日ケーキを処分していた平成19年度では、全体運搬処分費が600万円程度であったが、運搬処分費削減に有利な市民販売の販売促進は難しく、環境配慮した現状の処分チャンネルとなった平成23年以降では、年間1000万円程度の費用がかかっている。リサイクル事業に関する課題は、環境に配慮して自己保有処分場へ処分を行わず、運搬処分コストを削減することである。

### 3) 事業の目的

自己保有処分場への処分を行わないことを維持し、運搬処分コストを削減する施策として以下が考えられる。

- ① 脱水ケーキにフォーカスし、大都市が選択するようにPFI事業で事業費を削減する。
- ② 天日ケーキにフォーカスし、リサイクル製品を製造し、処分から販売に切り替えることで運搬処分費を削減する。

PFI事業化を選択すると事業費用が大きく、意思決定が困難であると同時に市民販売によるコスト削減という利点も失われる。また、天日ケーキのリサイクル製品化では、製品化技術開発と販路開拓が必要となるが、PFI事業化より費用はかからない。財政支出を抑え、現状の利点を生かし、天日ケーキのリサイクル製品化による販売を選択した。主として天日ケーキを対象とし、効率的、かつ、安定的にリサイクル製品化するための技術開発を行う。しかし、脱水ケーキを製造する脱水機設備は昭和48年設置で数年の間には更新予定があることから脱水ケーキのリサイクル製品化への適用も可能な技術を検討する。

また、リサイクル製品の販売チャンネルを構築するとともに販売チャンネルが機能しない時のリスク分散も踏まえて既存の市民販売および処分の2つのチャンネルとリサイクル製品販売のチャンネルを合わせたビジネスモデルを構築し、3つのチャンネルの効率的な運用手法を開発する。

## 2. 開発した技術の詳細

事業目的である浄水発生土リサイクルにおけるコスト縮減と効率的な運用を達成するための開発課題は、リサイクル製品化プラントの環境性を高め、ランニングコストを低減する木質ペレットバーナ乾燥装置開発、リサイクル製品化プラントの運転効率を高める自動運転制御システム開発および環境性を高め、効率的にリサイクル事業を行うためのビジネスモデル開発である。1) 木質ペレットバーナ乾燥装置開発、2) リサイクル製品化プラント開発、3) 浄水発生土リサイクルビジネスモデル開発の技術の詳細を以下に示す。

### 1) 木質ペレットバーナ乾燥装置開発

#### (1) 技術的課題の検討

##### ①バーナ燃料の検討

リサイクル製品化プラントが種子発芽抑制機能および土壌消毒機能を発揮するためには乾燥処理を行うことが必要である。乾燥処理には、低環境負荷、低ランニングコストおよびプラントの効率的な運用のために温度制御性の良い乾燥設備が求められる。乾燥処理の燃料としてガス、灯油および木質ペレットを選択し、各燃料に対応する乾燥設備の低環境負荷、コスト、温度制御性を比較検討する。

表. 2-1 燃料に対応するランニングコスト、CO<sub>2</sub> 排出量および温度制御性  
[1t の天日ケーキを乾燥後 80℃に処理]

	エネルギー使用量 含水率 70%-1t-20℃→乾燥後物温度 80℃	ランニング コスト	CO <sub>2</sub> 排出量	温度制御性
ガスバーナ(プロパン)	395,600kcal/22,200kcal/m <sup>3</sup> =17.8 m <sup>3</sup>	17.8 m <sup>3</sup> /h×600円/m <sup>3</sup> =10,680円	3.00 kg-CO <sub>2</sub> /kg×17.8 m <sup>3</sup> ×1.992 kg/m <sup>3</sup> =106.4 kg-CO <sub>2</sub>	燃焼速度が速く、ON—OFF 制御など容易な制御法が適用可能。
石油類(灯油バーナ)	395,600kcal/10,400kcal/kg=38 kg/0.79=48.1L	48.1L/h×112円/L=5,387円	2.49 kg-CO <sub>2</sub> /L×48.1L=119.8 kg-CO <sub>2</sub>	燃焼速度が速く、ON—OFF 制御など容易な制御法が適用可能。
木質ペレットバーナ	395,600kcal/4,300kcal/kg=92 kg	92 kg×50円/kg=4,600円	カーボンニュートラル 0	燃焼速度が遅く、開発が必要。

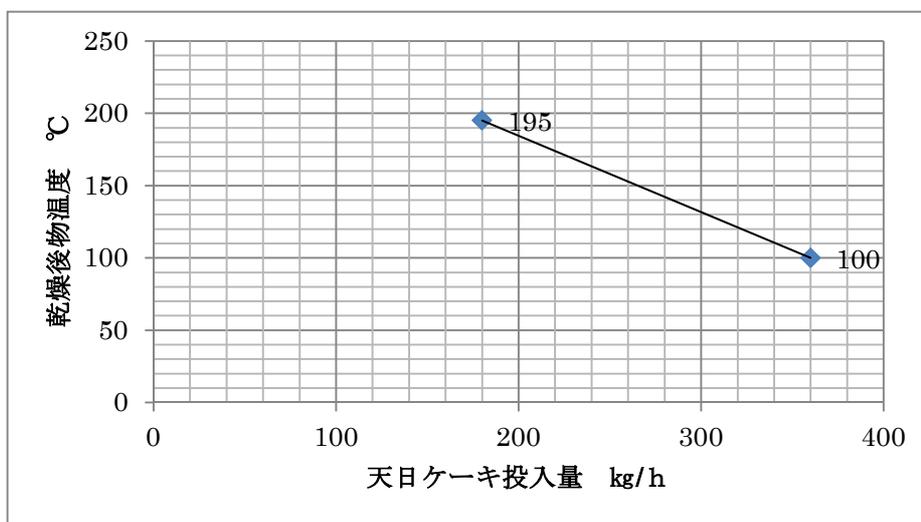
表. 2-1 の比較から CO<sub>2</sub> 排出量およびランニングコストでは、木質ペレットが優れている。このことから開発においては、低環境負荷と低ランニングコストを優先し、木質ペレットバーナ乾燥装置を開発する。技術的課題はデメリットである温度制御性となる。

## ②制御システムの検討

種子発芽抑制機能および土壌消毒機能は、温度によって達成されるため開発する木質ペレットバーナ乾燥装置のどんな制御目標をどんな制御因子でコントロールするかの仕組み（システム）を把握することが求められる。この仕組みを把握するために、天日ケーキを対象として灯油バーナ乾燥装置による基礎実験を行った。以下に実験結果の分析と把握した関係について示す。

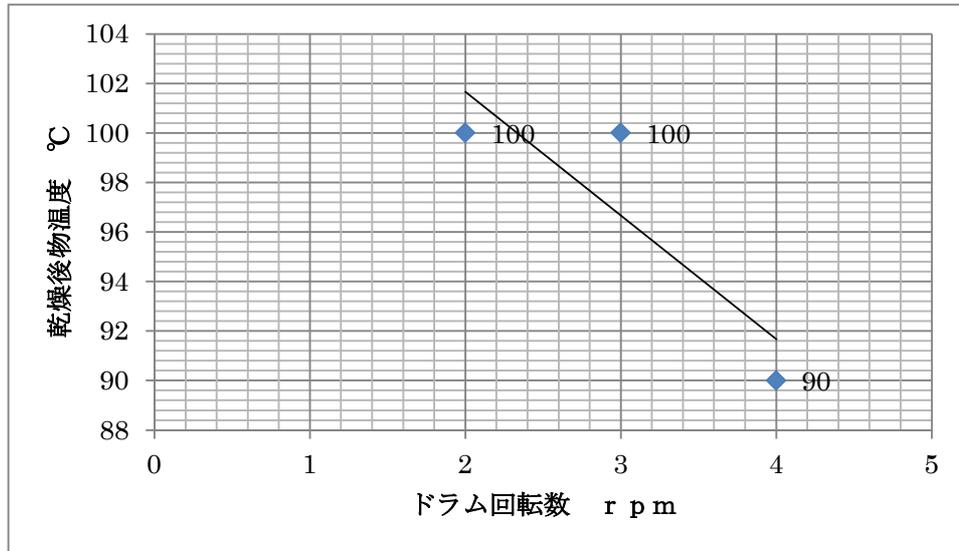
基礎実験では、灯油バーナ乾燥装置の排ガス温度設定による灯油供給の ON-OFF 制御を行う装置を用い、排ガス温度設定は乾燥後物温度および含水率と深い相関を持つことを想定して実験を計画した。また、乾燥に影響を与えると考えられる滞留時間に関係する供給量とドラム回転数も変化させてデータ収集することとした。実験結果（P65～67 基礎実験）の分析を以下に示す。

### I) 天日ケーキ投入量の変化およびドラム回転数変化による乾燥後物温度の影響



グラフ. 2-1 天日ケーキ投入量に対する乾燥後物温度の変化  
(ドラム回転数 2rpm、乾燥機出口排ガス温度 120°C)

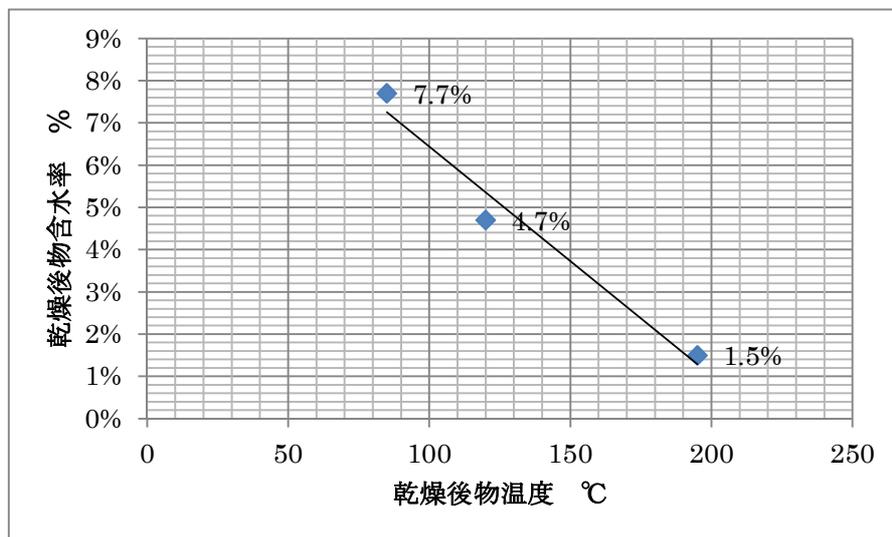
天日ケーキ投入量が 180 kg/h では、乾燥後物温度が 195°C となり、天日ケーキ投入量が 360 kg/h では乾燥後物温度が 100°C となった。グラフ 1 より天日ケーキ投入量と乾燥後物温度の相関は高いと推測される。このことから天日ケーキ投入量の変化は乾燥後物温度へ大きな影響を与えると考えられる。よって、天日ケーキ投入量は乾燥後物温度を制御するため重要な制御因子であり、主な制御因子として選定する。



グラフ. 2-2 ドラム回転数に対する乾燥後物温度の変化  
(天日ケーキ投入量 360 kg/h、乾燥機出口排ガス温度 120°C)

ドラム回転数の可変は 1rpm ずつと小さく、その変化により乾燥後物温度は大きく変化せず、相関も 0.86 と比較的低い。このことからドラム回転数の変化は乾燥後物温度へ大きな影響を与えていないと判断される。よって、ドラム回転数は乾燥後物温度を制御するため重要な制御因子でないと考えられ、主な制御因子とせず調整用の制御因子とする。

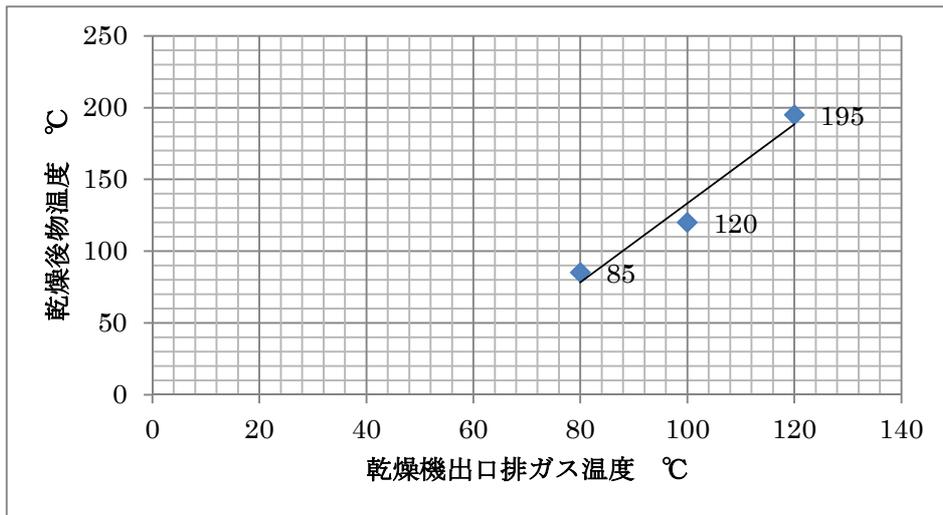
## II) 乾燥後物温度と含水率の関係性



グラフ. 2-3 乾燥後物温度と含水率の関係  
(天日ケーキ投入量 180 kg/h、ドラム回転数 2rpm)

乾燥後物温度が高くなると乾燥後物含水率が低くなり、相関は 0.9823 であることから乾燥後物温度と乾燥後物含水率との相関性が高いと判断される。つまり、乾燥後物温度を制御すれば含水率も制御可能と考えられる。

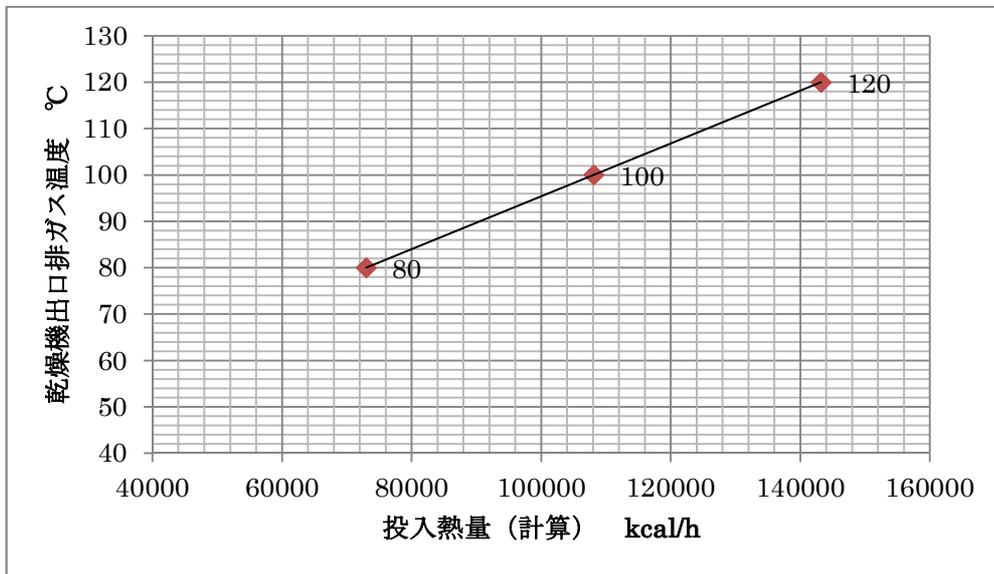
### III) 乾燥後物温度と乾燥機出口排ガス温度の関係性



グラフ. 2-4 乾燥機出口排ガス温度と乾燥後物温度の関係  
(天日ケーキ投入量 180 kg/h、ドラム回転数 2rpm)

乾燥機出口排ガス温度を高く設定して運転すれば乾燥後物温度も高くなり、相関は 0.984 であることから乾燥機出口排ガス温度と乾燥後物温度との相関性が高いと判断される。乾燥後物温度を計測するレーザー放射温度計は高価で計測も困難であることから被制御因子として乾燥機出口排ガス温度を選定する。

### IV) 乾燥機出口排ガス温度と投入熱量の関係



グラフ. 2-5 乾燥機出口排ガス温度と投入熱量の関係  
(天日ケーキ投入量 180 kg/h、ドラム回転数 2rpm)

天日ケーキ投入量が一定の中で、投入熱量を増すと高い相関で乾燥機出口排ガス温度が上昇する。よって、乾燥機出口排ガス温度が投入熱量で制御できると判断できる。

③ 木質ペレットバーナおよび乾燥機能力の検討

乾燥装置は、天日ケーキ 300 kg/h の投入原料の乾燥後物温度を 80℃以上で処理する能力が必要である。投入原料である天日ケーキ 300 kg/h の処理能力を設定したのは、発生する天日ケーキ約 500t/年を 1 日に 8 時間稼働として約 200 日で処理するためである。

以下に灯油バーナ乾燥装置を用いて行った基礎実験の結果から実験に用いた装置の伝熱容量係数 ha を次式から求める。

$$ha = Q / [V \times (tg - tm)] \text{-----A}$$

Q : 投入熱量 kJ/h

V : 乾燥機容量 m<sup>3</sup>

tg : 熱風温度 ℃

tm : 原材料温度 ℃

表. 2-2 基礎実験における伝熱容量係数[含水率 42%]

	天日ケーキ供給量 180 kg	天日ケーキ供給量 360 kg
投入熱量 kcal/h	108, 108	143, 208
乾燥機容量 m <sup>3</sup> φ 750×4500 mm	1. 99	1. 99
材料温度 ℃	30	30
排ガス温度℃	100	120
乾燥後物温度℃	120	195
伝熱容量係数 ha kJ/hr・℃・m <sup>3</sup>	3309	3410

伝熱容量係数は供給量が増えれば小さくなり、排ガス温度が上がれば大きくなる傾向がみられた。実用化を踏まえたリサイクル製品化プラントでは 300 kg/h の天日ケーキを乾燥後に 80℃以上に処理する想定から 360 kg/h の時の伝熱容量係数を参考に 3200 を用いて検討することとした。

リサイクル製品化プラントの乾燥機は建屋内への配置となるため、その容量はスペースによる制約がかかり φ 500×4000 mm の乾燥機を配置する計画から必要な木質ペレットバーナの性能は A 式を変形した以下の式より求めると 72, 228kcal/h となる。

$$Q = ha \times V \times (tg - tm) \text{-----B}$$

$$= 3200 \times 0. 79 \times (150 - 30) / 4. 2$$

$$= 72, 228 \text{kcal/h}$$

排ガスの上限温度はマルチサイクロン集塵機の性能から 150℃であるため tg を 150℃とした。また、室温は 30℃で設定した。

ここでリサイクル製品化プラントにおいては実験対象の浄水発生土として含水率が 60%程度の脱水ケーキを実験対象とするため含水率が大きくなれば伝熱容量係数も大きくなると推測して実験伝熱容量係数 3200 に含水率比 60/42=1. 43 を乗じた伝熱容量係数 4570 を用いて木質ペレットバーナ性能を B 式から算定すると 103, 151kcal/h となる。

$$Q = 4570 \times 0. 79 \times (150 - 30) / 4. 2$$

$$= 103, 151 \text{kcal/h}$$

木質ペレットバーナの製品化を考量して定格性能 100, 000kcal/h の木質ペレットバーナを開発することとした。

#### ④乾燥装置熱効率の検討

灯油バーナによる基礎実験における熱収支と熱効率の計算を以下に示す。

##### 【条件】

絶乾状態の試料の比熱	0.5 kcal/kg・°C	理論空気量	11.52 Nm <sup>3</sup> /kg
初期試料温度(≒室温)	30 °C	理論排ガス量(乾き)	11.08 Nm <sup>3</sup> /kg
		理論排ガス量(湿り)	12.53 Nm <sup>3</sup> /kg

##### 【実測データ】

run No.	ドラム回転数 rpm	処理量 kg/h	乾燥機出口 排ガス温度 °C	乾燥機出口 試料温度 °C	乾燥前 試料含水率 wt%	乾燥後 試料含水率 wt%	灯油消費量 kg/h	乾燥機出口 O <sub>2</sub> 濃度 vol%	乾燥機出口 CO <sub>2</sub> 濃度 vol%
run 1	2	180	100	120	42.0	4.7	※1 10.40	18.1	2.0
run 2	2	180	80	85	42.0	7.7	7.02	18.7	1.6
run 3	2	180	120	195	42.0	1.5	13.77	18.3	1.9
run 4	2	360	120	100	42.0	10.1	12.96	18.0	2.1
run 5	3	180	80	80	38.6	9.2	6.15	18.2	1.9
run 6	4	360	120	90	45.2	12.0	15.27	18.1	2.0
run 7	3	360	120	100	45.2	8.6	14.40	18.0	2.1

※1 灯油消費量未測定のためrun2とrun3の平均値とした。

##### 【計算①】

run No.	絶乾試料 kg/h	乾燥前 水分量 kg/h	乾燥後 水分量 kg/h	蒸発水分量 kg/h	試料持出し 熱量 kcal/h	蒸発に 必要な熱量 kcal/h	投入熱量 (低位) kcal/h
run 1	104.4	75.6	5.1	70.5	5,161	42,975	108,108
run 2	104.4	75.6	8.7	66.9	3,350	40,803	73,008
run 3	104.4	75.6	1.6	74.0	8,875	45,146	143,208
run 4	208.8	151.2	23.5	127.7	8,950	77,923	134,784
run 5	110.5	69.5	11.2	58.3	3,323	35,552	63,960
run 6	197.3	162.7	26.9	135.8	7,533	82,849	158,808
run 7	197.3	162.7	18.6	144.2	8,204	87,936	149,760

##### 【計算②】

run No.	空気過剰率	乾き排ガス量 (バーナ) Nm <sup>3</sup> /h	バーナ排ガス中 水分量 Nm <sup>3</sup> /h	湿り排ガス量 (バーナ) Nm <sup>3</sup> /h	バーナ排ガス 持出し熱量 kcal/h	乾燥機出口 排ガス損失 kcal/h	ドラム 放散熱量 kcal/h	乾燥機出口 水分濃度 vol%	乾燥機出口 湿り排ガス量 Nm <sup>3</sup> /h
run 1	7.2	863	15	878	19,352	62,328	45,780	10.6	965
run 2	9.1	735	10	745	11,741	52,544	20,464	11.3	829
run 3	7.8	1,228	20	1,248	35,372	80,518	62,690	8.4	1,340
run 4	7.0	1,039	19	1,058	30,000	107,922	26,862	14.6	1,217
run 5	7.5	529	9	538	8,467	44,019	19,941	13.3	610
run 6	7.2	1,267	22	1,289	36,550	119,400	39,408	13.1	1,458
run 7	7.0	1,155	21	1,176	33,333	121,269	28,491	14.8	1,355

注) 乾燥機出口試料温度が100°C以上の場合も便宜上水として熱量を求めた。

水の顕熱+潜熱は、610kcal/kg(一定)とした。

バーナ排ガスの比熱は0.315kcal/Nm<sup>3</sup>・°C(一定)とした。

バーナのON/OFF、試料の含水率のバラツキ等の影響があるため、概略計算とします。

run No.		入熱		出熱		仕事		熱効率	放熱比	伝熱容量係数
		入熱(バーナ)		放熱	排ガス熱損失	蒸発	試料持出し熱			
run 1	天日180kg-100°C ドラム回転数2rpm	108,108		45,780	62,328	42,975	5,161	44.53%	42.35%	3309
run 2	天日180kg-80°C ドラム回転数2rpm	73,008		20,464	52,544	40,803	3,350	60.48%	28.03%	3129
run 3	天日180kg-120°C ドラム回転数2rpm	143,208		62,690	80,518	45,146	8,875	37.72%	43.78%	3410
run 4	天日360kg-120°C ドラム回転数2rpm	134,784		26,862	107,922	77,923	8,950	64.45%	19.93%	3209
run 5	天日180kg-80°C ドラム回転数3rpm	63,960		19,941	44,019	35,552	3,323	60.78%	31.18%	2741
run 6	天日360kg-120°C ドラム回転数4rpm	158,808		39,408	119,400	82,849	7,533	56.91%	24.82%	3781
run 7	天日360kg-120°C ドラム回転数3rpm	149,760		28,491	121,269	87,936	8,204	64.20%	19.02%	3566

排気ガス温度が高くなれば熱効率が低くなる傾向がある。これは、灯油バーナの瞬時発熱量が大きいこと、冷却風を送風する実験装置の仕組みによるものと考えられる。実験に用いた灯油バーナ乾燥装置の熱効率は、供給量 360 kg/h、排気ガス温度設定 120°Cで 64%であった。

(2) 技術的課題

バーナ燃料、制御システム、バーナ性能および乾燥装置の熱効率の検討から技術的課題は以下となる。

- ① 木質ペレットの燃焼速度が遅い特性から技術的課題は、応答性のよい温度制御システム開発となる。
- ② 技術的課題の検討で把握した制御因子の関係を踏まえて、温度を制御するシステムを開発すること。
- ③ 技術的課題は、余裕を見て、木質ペレットバーナ能力が 100,000kcal/h である木質ペレットバーナと乾燥機φ500×4000 からなる木質ペレットバーナ乾燥装置を開発すること。
- ④ 技術的課題は、木質ペレットバーナの熱効率が約 60%となるような木質ペレット乾燥装置を開発することである。

(3) 技術的課題の解決方法

①木質ペレットバーナ乾燥装置制御システム

a)種子発芽抑制機能や土壌消毒機能を達成するための温度制御の仕組み〈技術的課題2-1) — (2) — ②)、b)遅い燃焼速度という特性を踏まえて安定した熱量を取り出す温度制御の仕組み〈技術的課題2-1) — (2) — ①)、c)安全のためにb)の仕組みに必要な希釈空気量と集塵のための排風量をバランスさせる圧力制御の仕組みを組み合わせたシステムの構築であり、図. 2-1 に木質ペレットバーナ乾燥装置のシステムを示す。

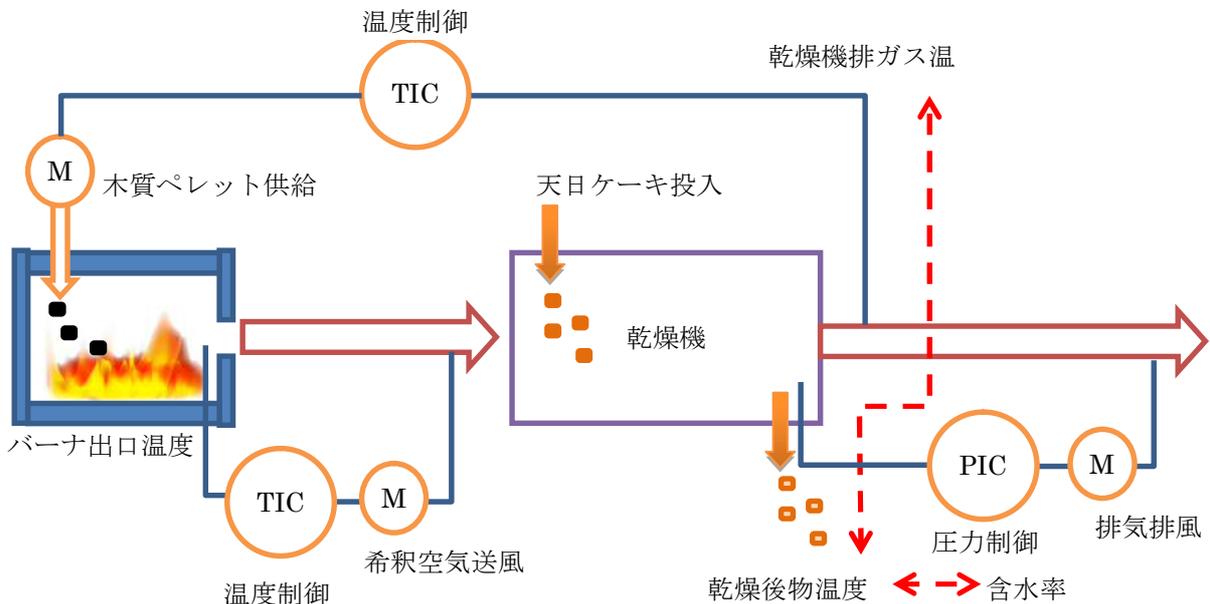


図. 2-1 木質ペレットバーナ乾燥装置制御システム

種子発芽抑制や土壌消毒を達成するための制御の仕組みとして乾燥後物温度および含水率と相関が高い、乾燥機排ガス温度を木質ペレット供給量により制御することとした。また、木質ペレットの特徴である遅い燃焼速度によるバーナ出口の温度を安定させるためセラミック炉から発生

する高熱を希釈空気量で制御することとした。さらに、乾燥炉の圧力上昇を防ぐため、集塵機能を持つマルチサイクロン排風機の風量を炉内圧力が一定になるように制御することとした。

②制御システムのシミュレーション（事前評価）

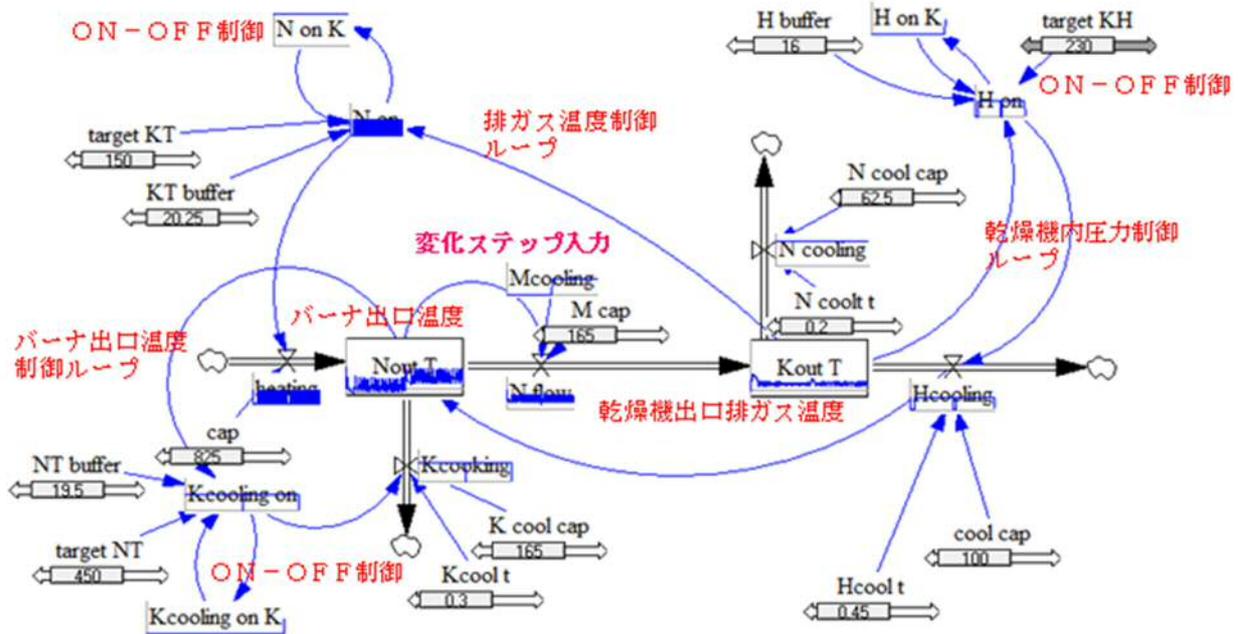


図. 2-2 制御システムのシミュレーション

開発の手戻りをしないようにするため木質ペレットバーナ乾燥装置を製造建設する前に検討した制御システム(図. 2-1)が期待どおりの機能を示すかどうかをシミュレーションした。(図. 2-2) 動的シミュレーションツール (V e n s i m) を用いて木質ペレットバーナ乾燥装置をモデル化した。ツールにはP I D制御のユニットがないため、排ガス温度制御、バーナ出口温度制御および乾燥機内圧力制御のフィードバック制御において設定値によるON-OFF制御をするモデルとした。

含水率変化や供給量変化に対応するステップ入力 that 上方に変化したとき、バーナ出口温度は上がるが、乾燥機出口温度は一定に制御されることが確認できた。また、温度応答性も悪くないことも確認した。

シミュレーションの結果から図. 2-1 の制御システムを実現する木質ペレットバーナ乾燥装置 (図. 2-3) を開発した。

木質ペレットバーナ乾燥装置は、木質ペレットバーナ、ドラム回転式乾燥機、マルチサイクロン集塵機で構成する。

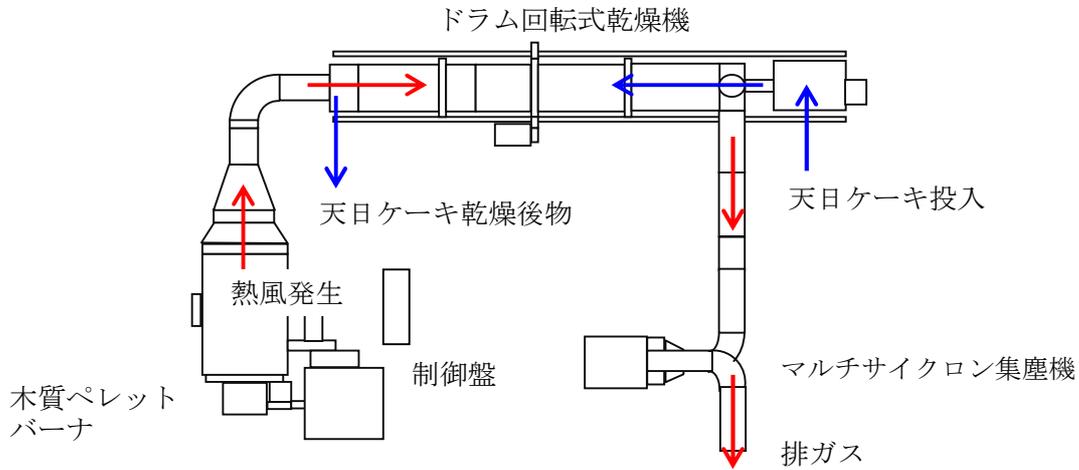


図. 2-3 木質ペレット乾燥装置

### ③木質ペレットバーナ乾燥装置構成機器

木質ペレットバーナ乾燥装置の構成機器は以下のとおりである。

#### I) ドラム回転式乾燥機

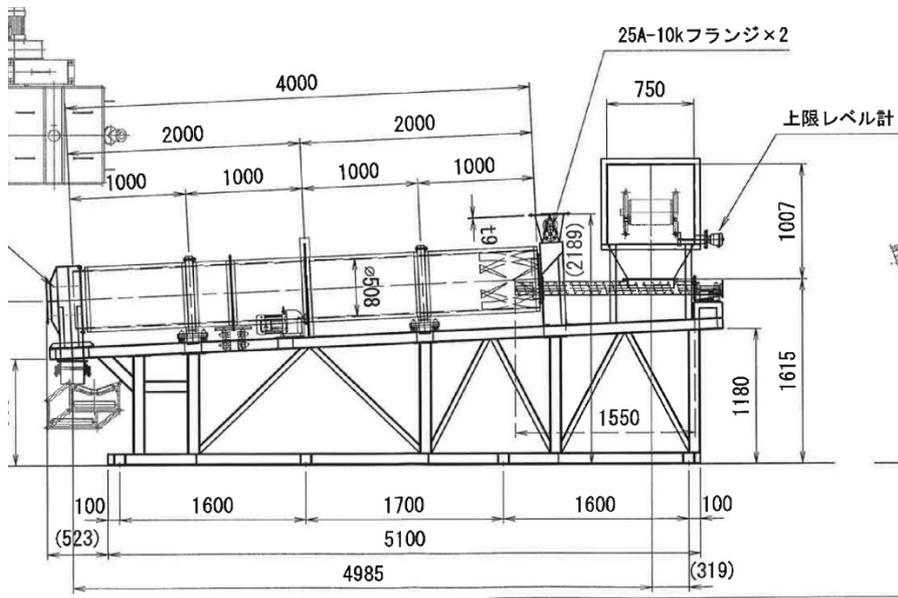


図. 2-4 ドラム回転式乾燥機 (直接乾燥)

基礎実験の結果から算出した伝熱容量係数の検討から  $\phi 500 \times L 4000$  のサイズのドラム回転式乾燥機を作成した。また、乾燥後物温度を制御するためには木質ペレットバーナの希釈送風とマルチサイクロン集塵の排気送風の影響をできる限り排除することが必要であるため乾燥機からの乾燥物排出口をダンパー構造として密閉性を確保した。

## II) マルチサイクロン集塵機

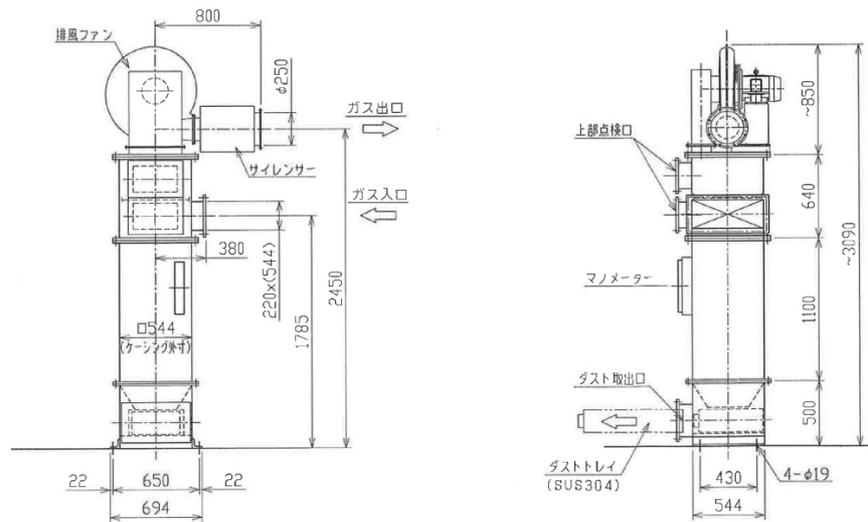


図. 2-5 マルチサイクロン集塵機

ドラム回転式乾燥機により天日ケーキの直接乾燥を行うため、粉じんの発生が予想された。フィルタータイプの集塵機とマルチサイクロン集塵機を比較検討した。フィルタータイプの集塵機は集塵性能が良いが、定期的なフィルター取替が必要であり維持管理面がデメリットとなる。また、今回の木質ペレット乾燥装置は、図. 2-1 に示すように温度制御と圧力制御を行うように希釈空気送風機と連動して動作させるため、フィルター目詰まりによる損失等に影響なく風量をコントロールできるマルチサイクロン集塵機を選定した。

Ⅲ) 木質ペレットバーナ

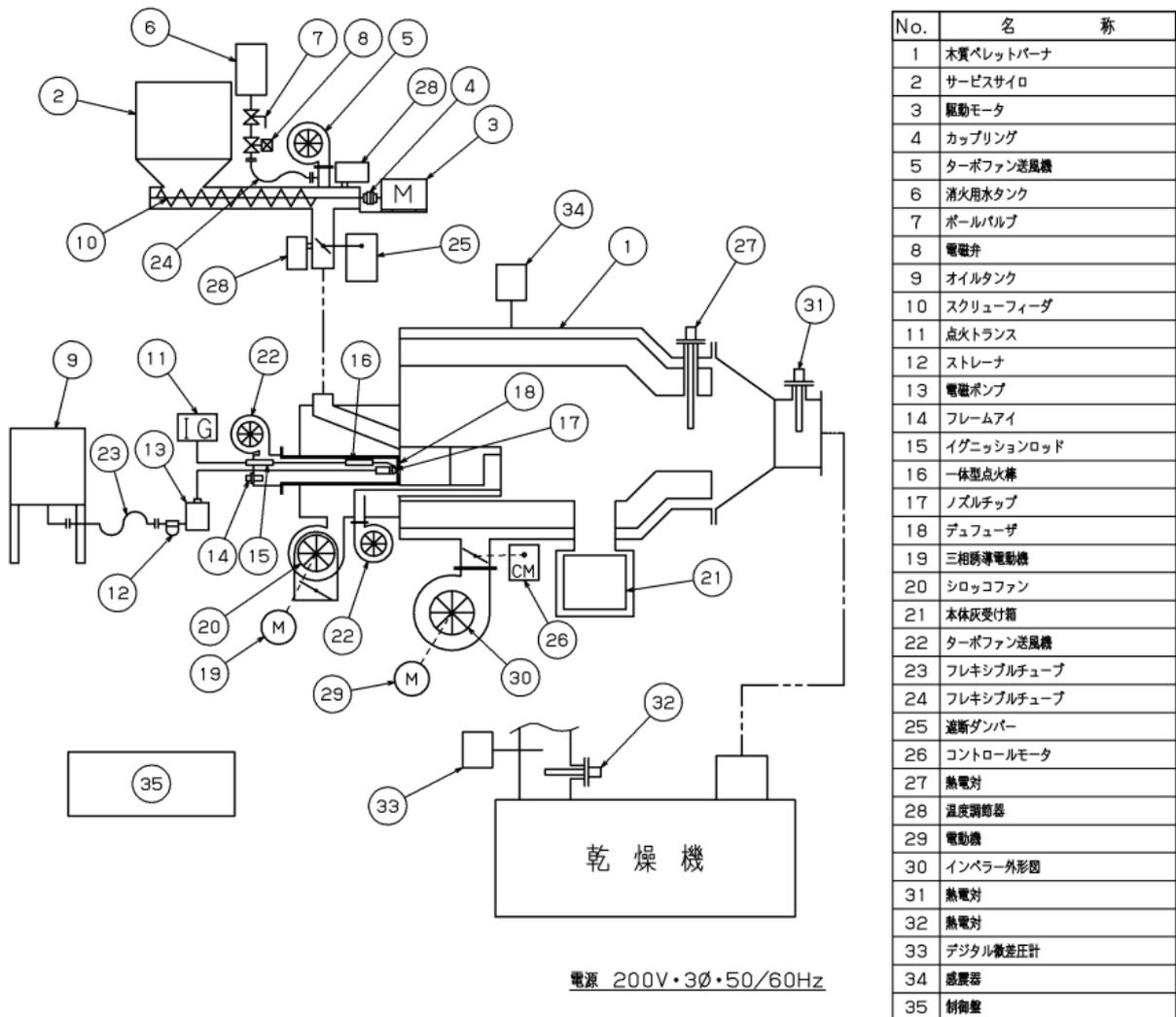


図.2-6 木質ペレットバーナ

(技術的課題 2-1) — (2) — ③) を解決する木質ペレットバーナ (100,000kcal/h) を図.2-6 に示す。主な構成機器は以下である。

- a) 制御システムを実現する要素機器
  - ・木質ペレットの燃焼熱を蓄積するセラミック炉
  - ・制御を行う計装用 PLC (プラント制御盤内)
  - ・木質ペレット供給量を制御するためのインバータ
- b) 起動のための要素機器
  - ・着火用灯油バーナのための装置 (オイルタンク、点火トランスなど)
- c) 安全装置の要素機器
  - ・木質ペレットサイロへの逆火を防止する装置および逆火を検知した時、消火を行う消火用水タンク
  - ・地震を感知して燃焼を停止するための感震器
  - ・失火を赤外線感知して燃焼を停止するフレームアイ

- ・着火に灯油を使用するため爆発防止対策としてプレパージと終了パージを行うシーケンス運転

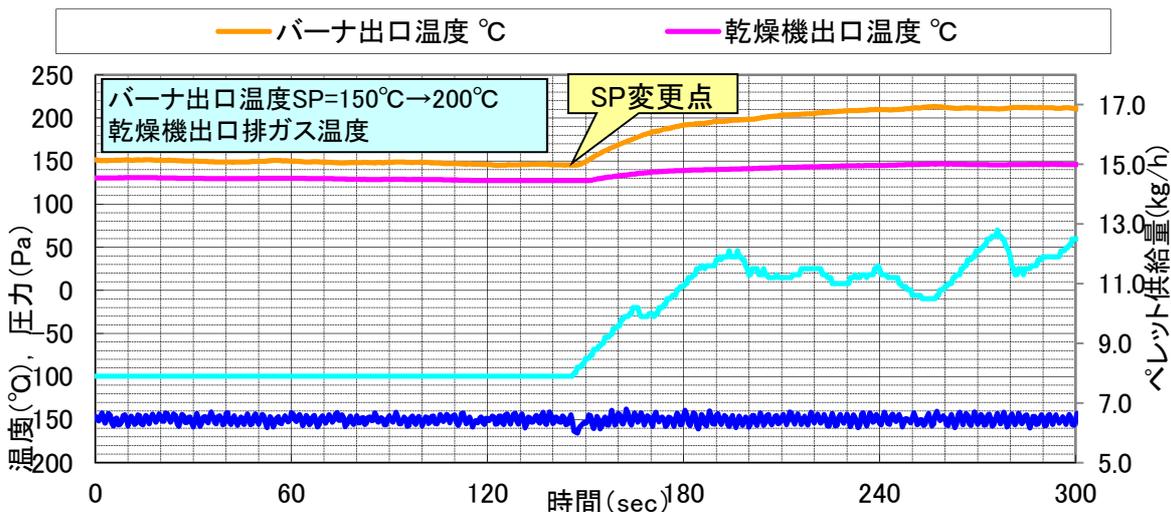
(4) 技術的課題解決の評価

技術的課題〈2-1〉- (2) -① (応答性) および技術的課題〈2-1〉- (2) -② (制御性) を解決する制御システムの評価として木質ペレットバーナ乾燥装置の制御応答性試験をおこなった。また、技術的課題〈2-1〉- (2) -③ (性能) 達成の評価として燃焼試験を行い、技術的課題〈2-1〉- (2) -④ (熱効率) 達成の評価は、リサイクル製品化プラント開発実験 (P72 開発試験; 含水率) のデータを用いて行った。

① 木質ペレットバーナ乾燥装置の温度制御の応答性評価

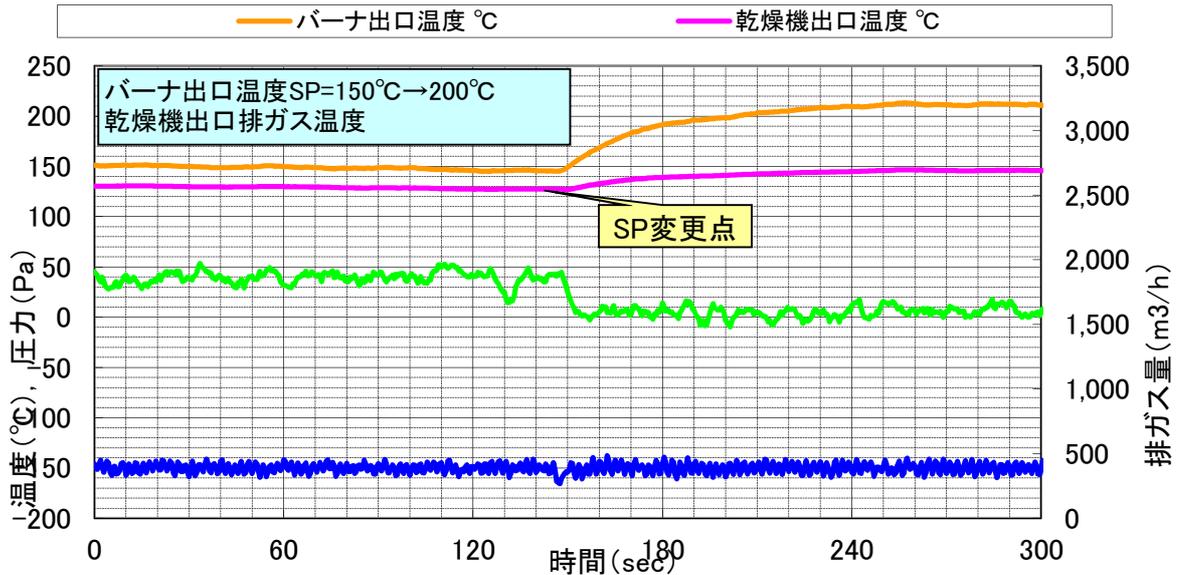
バーナ出口温度を一定に保つ機能と排ガス温度を一定に保つ機能を総合的に検証するために応答性を指標として実験を行った。実験方法は、木質ペレットバーナ乾燥装置において、乾燥機出口排ガス温度および木質ペレットバーナ出口温度 (以下、バーナー出口温度) の制御目標値 (SP) を同時に変化させることで疑似ステップ入力を与えて制御システムの応答を確認した。なお、乾燥システムの温度応答性を確認するため、実際の天日ケーキは投入していない。

I) 制御性および応答性の検証試験結果



グラフ. 2-6 ステップ入力に対する制御因子および被制御因子の立ち上がり応答①

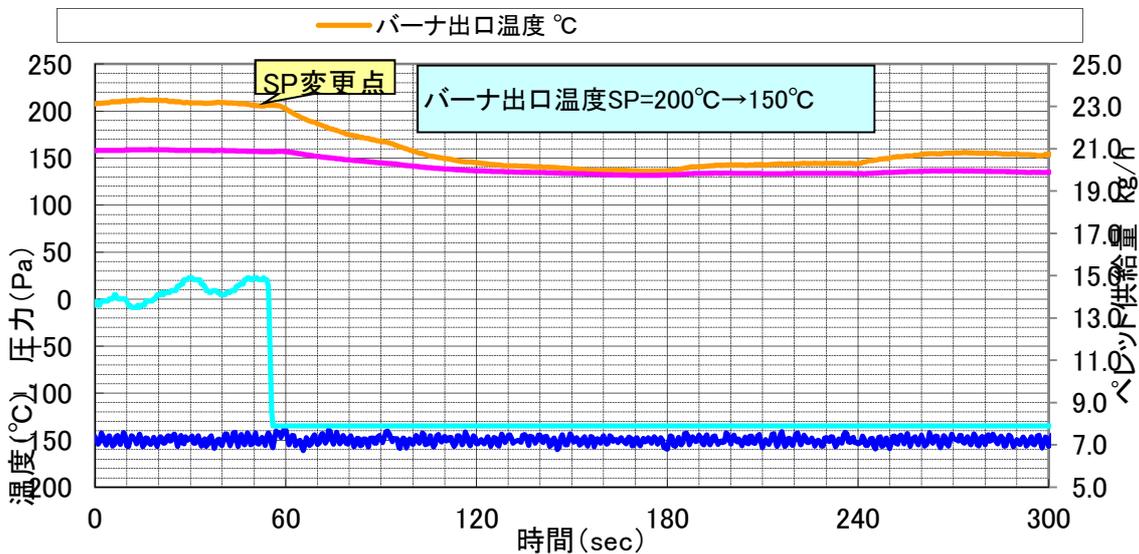
バーナ出口温度と乾燥機出口排ガス温度の SP を上方に同時に変化させた時、ペレット供給量が増えることによりバーナ出口温度が上がり、ゆっくりと乾燥機出口排ガス温度が上昇して SP に収束している。応答時間はバーナ出口温度および乾燥機出口排ガス温度とも 120 秒 (2 分) 程度である。乾燥機出口温度の設定値が 100°C であるにもかかわらず、130°C 以下にならない理由としては、実際の天日ケーキを投入していないため、水分の蒸発潜熱による温度降下がなく、乾燥機の放熱損失による温度降下だけのためである。



グラフ. 2-7 ステップ入力に対する制御因子および被制御因子の立ち上がり応答①

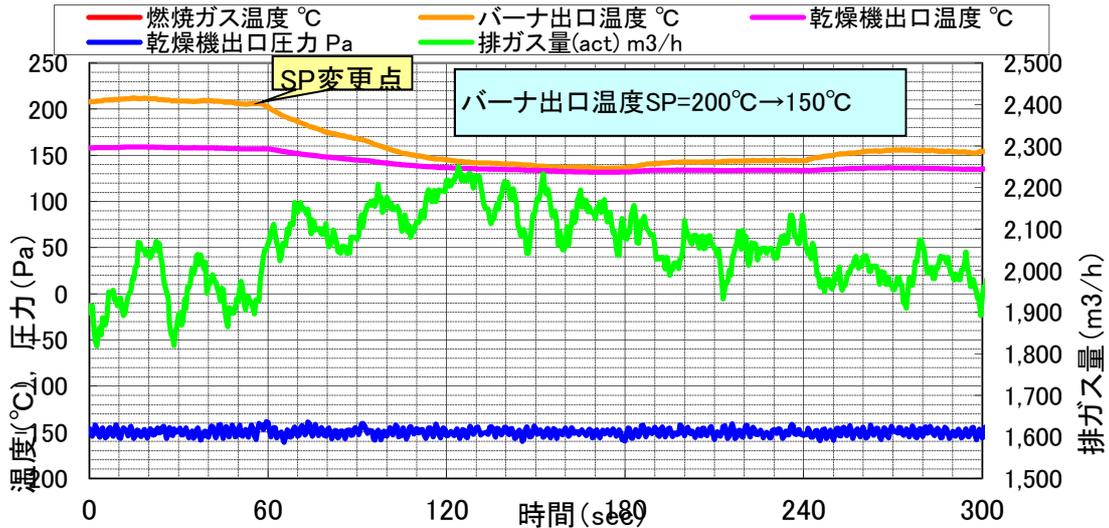
バーナ出口温度と乾燥機出口排ガス温度の SP を上方に同時に変化させた時の排ガス量の応答は、10 秒程度と速い。木質ペレット供給と希釈空気送風によるバーナ出口温度と乾燥機出口温度の制御性が確認され、応答性もいいことから技術的課題 I) および II) の解決方法は妥当と評価される。

以下に立下り疑似ステップ入力を与えた時の検討を示す。



グラフ. 2-8 ステップ入力に対する制御因子および被制御因子の立ち下り応答①

バーナ出口温度と乾燥機出口排ガス温度の SP を下方に同時に変化させた時、ペレット供給量が下限値での供給になり、バーナ出口温度が下がり、ゆっくりと乾燥機出口排ガス温度が降下して 130°C に収束している。応答時間は 60 秒 (1 分) 程度である。乾燥機出口排ガス温度 SP を 150°C → 100°C で変化させたにもかかわらず、実際には 150°C → 130°C の応答となった理由は、前述と同様、実際の天日ケーキを投入していないため、水分の蒸発潜熱による温度降下がなく、乾燥機の放熱損失による温度降下だけのためである。



グラフ. 2-9 ステップ入力に対する制御因子および被制御因子の立ち下がり応答②

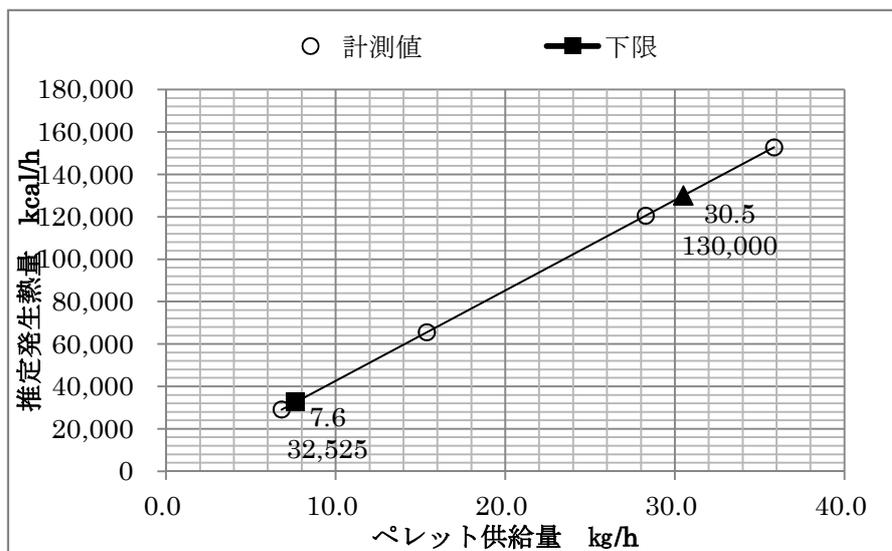
バーナ出口温度と乾燥機出口排ガス温度の SP を下方に同時に変化させた時の排ガス量は多くなる。これは、バーナ出口温度を下げるために希釈空気量を増したためである。

立ち上がり応答と同様に木質ペレット供給と希釈空気送風によるバーナ出口温度と乾燥機出口温度の制御性が確認され、応答性もよいことから技術的課題〈2-1〉—(2)—①および〈2-1〉—(2)—②の解決方法は妥当と評価される。

② 木質ペレットバーナおよび乾燥機の性能評価

I) 木質ペレットバーナ性能

開発した木質ペレットバーナにおいて技術的課題〈2-1〉—(2)—③を達成する木質ペレットバーナであることを検証するために燃焼時の木質ペレット供給量について実際に重量を測定し求めた。最大ペレット供給量は、木質ペレットバーナの最大燃焼量から決定した。また、最小ペレット供給量は、燃焼実験において失火が発生しない条件により決定した。



グラフ. 2-10 木質ペレットバーナ発生熱量

使用する木質ペレットの低位発熱量が 4,260kcal/kg であるので、木質ペレットバーナの最大供給量は、30.5kg/h (130,000÷4,260) とした。また、供給量が 7.6kg/h 以上であればペレット単独燃焼時において失火が起こらないため、最小供給量を 7.6kg/h とした。製造した木質ペレットバーナの性能は妥当であることが確認できた。

II) 乾燥機の性能

開発実験の結果から各条件における伝熱容量係数を算出すると表. 2-3 となる。

表. 2-3 開発実験における伝熱容量係数[天日含水率 30%、脱水含水率 60.6%]

	天日ケーキ供給量 200 kg/h			脱水ケーキ供給量 100 kg/h		
投入熱量 kcal/h	50,643	100,566	108,513	47,773	79,825	101,891
乾燥機容量 m <sup>3</sup> φ 500×4000 mm	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79
材料温度 °C	30	30	30	30	30	30
排ガス温度 °C	90	120	150	90	120	150
乾燥後物温度 °C	45	61	89	44	51	60
伝熱容量係数 ha kJ/hr・°C・m <sup>3</sup>	4545	6017	4869	4233	4715	4572
	天日ケーキ供給量 400 kg/h			脱水ケーキ供給量 200 kg/h		
投入熱量 kcal/h	50,247	97,753	117,194	39,992	76,690	86,357
乾燥機容量 m <sup>3</sup> φ 500×4000 mm	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79
材料温度 °C	30	30	30	30	30	30
排ガス温度 °C	90	120	150	90	120	150
乾燥後物温度 °C	38	54	75	37	47	54
伝熱容量係数 ha kJ/hr・°C・m <sup>3</sup>	4509	5848	5259	3583	4588	3875

伝熱容量係数は供給量が増えれば小さくなり、排ガス温度が上がれば大きくなる傾向がみられる。設定した伝熱容量係数 4570 に対し、天日ケーキは供給量 200 kg/h、400 kg/h において +13%の誤差であった。また、脱水ケーキは供給量 100 kg/h において-1%の誤差であり、供給量 200 kg/h において-13%の誤差があった。伝熱容量係数指標の観点から設置したリサイクル製品化プラントの処理能力は、天日ケーキ 460 kg/h 程度、脱水ケーキ 100 kg/h 程度と推定される。

リサイクル製品化の主たる対象物である天日ケーキに関しては伝熱容量係数における評価では十分な処理能力を持つ。しかし、乾燥後物温度 80°C以上という基準を考慮すれば、天日ケーキで 300 kg/h 程度、脱水ケーキに関しては実質適用できないと考えられる。脱水ケーキに関しては木質ペレットバーナ乾燥装置のスケールアップが必要となる。

③ 木質ペレットバーナ乾燥システムの熱効率評価

開発実験 (P70 開発実験結果) の代表的な実験 No を熱収支の観点から分析し、実験 No ごとの熱効率を求めたものを以下に示す。

【条件】	
絶乾状態の試料の比熱	0.5 kcal/kg・°C
初期試料温度(室温)	30 °C
空気の比熱(@室温)	0.309 kcal/Nm <sup>3</sup> ・K

【実測データ】

管理No.	処理量 kg/h	乾燥機出口 排ガス温度 °C	乾燥機出口 試料温度 °C	乾燥前 試料含水率 wt%	乾燥後 試料含水率 wt%	投入熱量 (低位) kcal/h	乾燥機出口 排ガス量 Nm <sup>3</sup> /h
7	100	90	44	60.6	51.6	47,773	1,225
9	100	120	51	60.6	39.5	79,825	1,488
11	100	150	60	60.6	29.7	101,891	1,384
13	200	90	37	60.6	51.9	39,922	1,236
15	200	119	47	60.6	46.1	76,690	1,413
17	200	150	54	60.6	42.1	86,357	1,232
19	200	90	45	30.0	24.4	50,643	1,221
21	200	121	61	30.0	16.3	100,566	1,484
23	200	148	89	30.0	11.8	108,513	1,182
25	400	90	38	30.0	23.4	50,247	1,235
27	400	119	54	30.0	15.0	97,753	1,484
29	400	145	75	30.0	10.8	117,194	1,302

【計算①】

管理No.	絶乾試料 kg/h	乾燥前 水分量 kg/h	乾燥後 水分量 kg/h	蒸発水分量 kg/h	蒸発水分量 Nm <sup>3</sup> /h	蒸発に 必要な熱量 kcal/h	試料持出し 熱量 kcal/h	燃焼空気量 + 希釈空気量 Nm <sup>3</sup> /h	空気 持込熱量 kcal/h
7	39.4	60.6	42.0	18.6	23.1	11,343	852	1,194	11,068
9	39.4	60.6	25.7	34.9	43.4	21,274	931	1,432	13,275
11	39.4	60.6	16.6	44.0	54.7	26,812	1,076	1,313	12,172
13	78.8	121.2	85.0	36.2	45.0	22,067	871	1,185	10,985
15	78.8	121.2	67.4	53.8	67.0	32,820	1,784	1,334	12,366
17	78.8	121.2	57.3	63.9	79.5	38,981	2,292	1,138	10,549
19	140.0	60.0	45.2	14.8	18.4	9,037	1,693	1,195	11,078
21	140.0	60.0	27.3	32.7	40.7	19,969	3,044	1,427	13,228
23	140.0	60.0	18.7	41.3	51.4	25,175	5,244	1,114	10,327
25	280.0	120.0	85.5	34.5	42.9	21,023	1,714	1,184	10,976
27	280.0	120.0	49.4	70.6	87.8	43,059	4,546	1,381	12,802
29	280.0	120.0	33.9	86.1	107.1	52,520	7,895	1,177	10,911

【計算②】

管理No.	乾燥機入口 排ガス量 Nm <sup>3</sup> /h	乾燥機入口 水分濃度 %-wet	乾燥機入口 水分量 Nm <sup>3</sup> /h	乾燥機出口 水分量 Nm <sup>3</sup> /h	乾燥機出口 水分濃度 %-wet	乾燥機出口 排ガス比熱 kcal/Nm <sup>3</sup> ・K	乾燥機出口 排ガス熱量 kcal/h	乾燥機出口 排ガス損失 kcal/h	ドラム 放散熱量 kcal/h
7	1,202	0.66	7.9	31.1	2.54	0.313	34,508	23,440	23,482
9	1,445	0.92	13.3	56.7	3.81	0.315	56,246	42,972	35,922
11	1,329	1.28	17.0	71.7	5.18	0.316	65,602	53,430	47,385
13	1,191	0.56	6.7	51.7	4.18	0.314	34,929	23,944	15,107
15	1,346	0.95	12.8	79.7	5.64	0.316	53,134	40,768	34,138
17	1,152	1.25	14.4	93.9	7.62	0.318	58,766	48,217	35,848
19	1,203	0.70	8.4	26.9	2.20	0.313	34,396	23,318	25,632
21	1,443	1.16	16.7	57.5	3.87	0.315	56,563	43,334	54,187
23	1,131	1.61	18.2	69.6	5.89	0.318	55,630	45,303	57,966
25	1,192	0.70	8.3	51.2	4.15	0.314	34,901	23,925	24,608
27	1,396	1.17	16.3	104.2	7.02	0.317	55,981	43,179	50,028
29	1,195	1.64	19.6	126.7	9.73	0.319	60,224	49,313	59,986

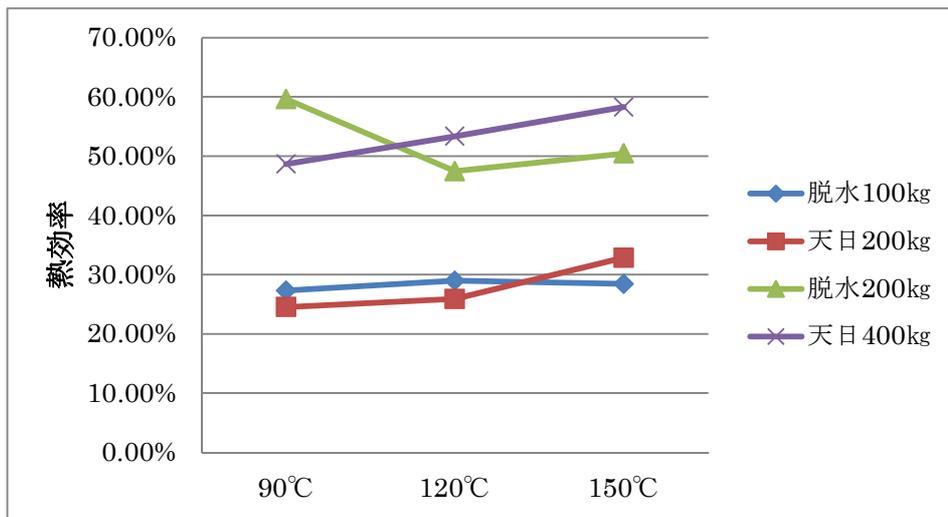
注) 乾燥機出口試料温度が100°C以上の場合も便宜上水として熱量を求めた。  
水の顕熱+潜熱は、610kcal/kg(一定)とした。  
実験終了直前の10分間平均による概略値とする。

熱効率の算定

管理No.	ドラム回転数rpm	入熱		出熱		仕事		熱効率	伝熱容量係数
		入熱(バーナ)	空気持込熱量	放熱	排ガス熱損失	蒸発	試料持出し熱		
7	脱水:100kg-90°C	47,773	11,068	23,482	23,440	11,343	852	27.31%	4233
9	脱水:100kg-120°C	79,825	13,275	35,922	42,972	21,274	931	28.98%	4715
11	脱水:100kg-150°C	101,891	12,172	47,385	53,430	26,812	1,076	28.43%	4572
13	脱水:200kg-90°C	39,922	10,985	15,107	23,944	22,067	871	59.64%	3583
15	脱水:200kg-120°C	76,690	12,366	34,138	40,768	32,820	1,784	47.45%	4588
17	脱水:200kg-150°C	86,357	10,549	35,848	48,217	38,981	2,292	50.45%	3875
19	天日:200kg-90°C	50,643	11,078	25,632	23,318	9,037	1,693	24.53%	4545
21	天日:200kg-120°C	100,566	13,228	54,187	43,334	19,969	3,044	25.91%	6017
23	天日:200kg-150°C	108,513	10,327	57,966	45,303	25,175	5,244	32.86%	4869
25	天日:400kg-90°C	50,247	10,976	24,608	23,925	21,023	1,714	48.66%	4509
27	天日:400kg-120°C	97,753	12,802	50,028	43,179	43,059	4,546	53.35%	5848
29	天日:400kg-150°C	117,194	10,911	59,986	49,313	52,520	7,895	58.29%	5259

供給量が少ない時(脱水ケーキ:100 kg/h、天日ケーキ:200 kg/h)は、放熱割合が多くなり、熱効率は25%~35%程度である。この理由は、木質ペレットバーナの失火を防ぐ投入熱量

が 32,000kcal/h 以上の運転しかできないことに起因すると考えられる。供給量が多い時（脱水ケーキ：200 kg/h、天日ケーキ：400 kg/h）は、放熱割合が減少し、熱効率は 50%～60%程度となる。（グラフ.2-11）



グラフ.2-11 供給量および排ガス温度による熱効率

課題検討のために行った基礎実験における灯油バーナの熱効率が供給量 360 kg/h、排気ガス温度設定 120°Cで 64%であったことからほぼ技術的課題〈2-1〉—(2)—④〉を達成する木質ペレットバーナ乾燥装置が実現できたと考えられる。

## 2) リサイクル製品化プラントの開発

### (1) 技術的課題

#### ① リサイクル製品化プラント

平成22年度に開発済みである目標とする粒径分布へ粒径を制御する回転刃破碎機は形状の均一化に関する技術的課題を解決する製品である。また、開発した木質ペレットバーナ乾燥装置は、種子発芽抑制、製品保管性確保のための土壌消毒に関する技術的課題を解決する装置である。技術的課題は、粒径制御破碎機と木質ペレットバーナ乾燥装置を組み合わせたりサイクル製品化プラント建設することにより形状均一化、種子発芽抑制、製品保管性確保のための土壌消毒を達成し、効率的にリサイクル製品を製造することである。

#### ②天日ケーキ投入フィーダー

リサイクル製品化プラントにおいて乾燥機への天日ケーキの供給量を制御する装置として平成24年度に有軸スクリーフィーダーを設置したが、投入する天日ケーキの含水率が不安定であるとスクリーに天日ケーキが詰まり搬送機能を果たさなかった。技術的課題は安定的に天日ケーキを投入する投入装置を再開発することである。

③ 自動運転システム

技術の普及等を視野に入れた場合、リサイクル製品化プラントの運用においては、リサイクル製品品質を安定化し、運転操作も容易に行えることが必要となる。技術的課題は自動制御運転システムを開発することである。

④ プラントの粉じん対策

平成25年度に実施した開発実験により破碎機および袋詰め機は、粉じんを発生することが判明した。労働安全衛生の観点から発生する粉じんに対して労働安全衛生法で規定された防止措置を行うことが技術的課題である。

(2) 技術的課題の解決方法

①リサイクル製品化プラント

技術的課題〈2-2〉—(1)—① および〈2-2〉—(1)—②を解決するリサイクル製品化プラントは、天日ケーキ(三野)および脱水ケーキへの適用検討も考慮して破碎工程→乾燥工程および乾燥工程→破碎工程の2つの配置が可能のように破碎機を可動式とし図.2-7のような構成とした。

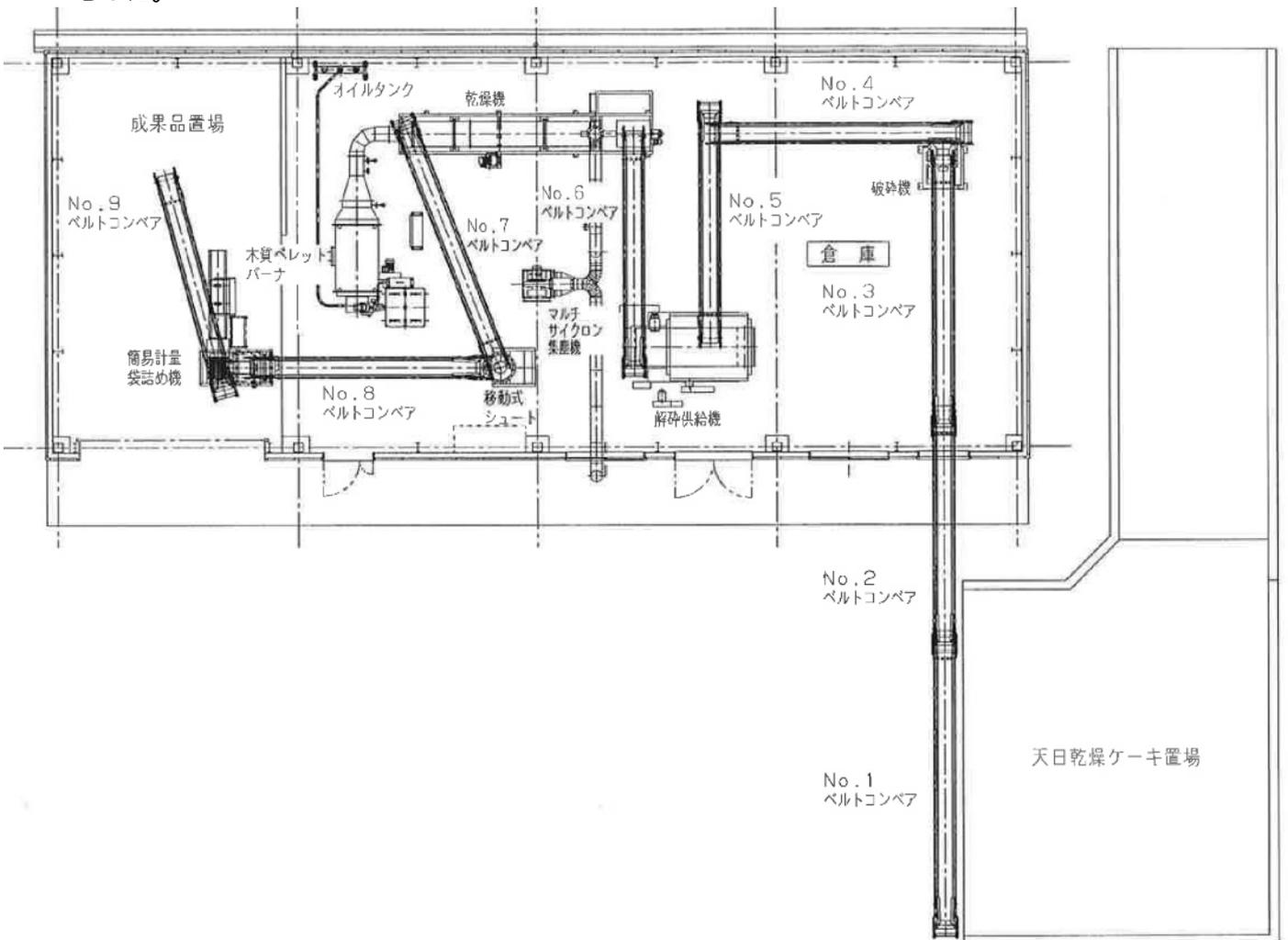


図.2-7 リサイクル製品化プラント

安全なリサイクル製品化プラントの運転を行うための4つの手順を以下に示す。実現するために計装用 PLC のシーケンサ機能を利用した。

I) 起動シーケンス

起動時には原材料がプラントに滞留しないように下流側（袋詰め機）から順番に起動する。

II) 自動停止シーケンス

停止時には同様の理由から上流側から順番に停止する。

III) ストック機能の上限による停止と運転

プラントのストック機能の上限を検知すると検知したストック機能を持つプラント機器より上流の機器を停止し、下流のプラント機器による処理で上限検知が自動解除されれば上流プラント機器を下流から自動復帰する。

IV) 異常時制御

- a) 木質ペレットバーナ乾燥装置以外のプラント機器が異常の場合は、起動立ち上がりが遅い木質ペレットバーナ装置を除いたプラント機器を全停止する。
- b) プラント制御盤および木質ペレットバーナ乾燥装置の非常停止をかけた時にはプラントを全停止する。

②リサイクル製品化プラントの構成機器

リサイクル製品化プラントの構成機器は以下のとおりである。

I) 解砕機能付き定量供給機

粒径調整および安定な処理のためプラント処理能力を決める木質ペレットバーナ乾燥装置の前段に解砕機能付き定量供給機を配置する。

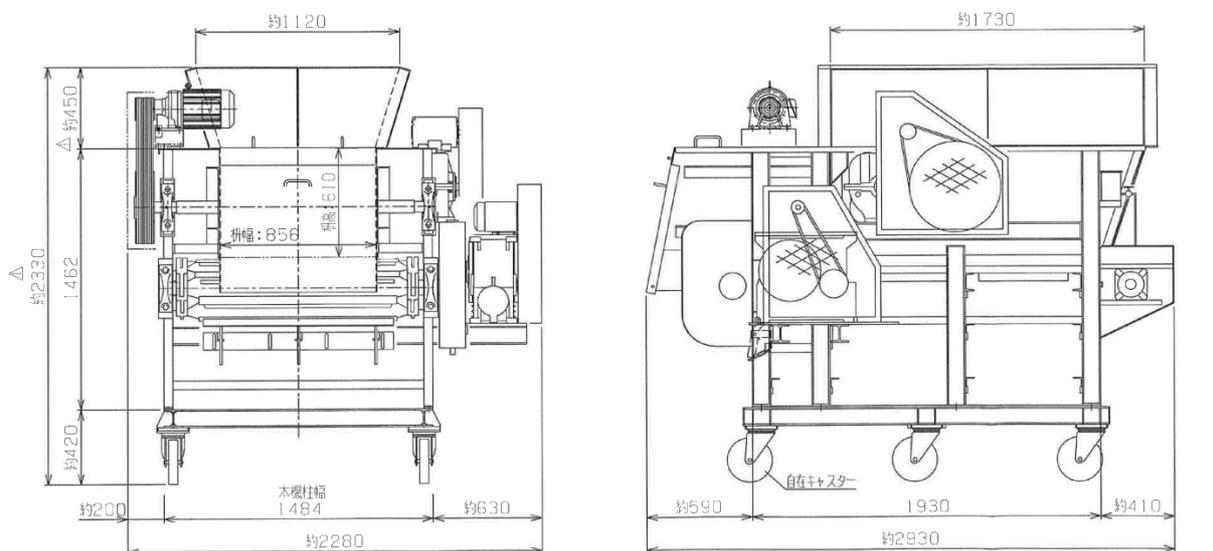


図. 2-8 解砕機能付き定量供給機

排出カッターおよび柵カッターの電動機の回転数を可変して天日ケーキの粗の粒径制御を行うためにインバータを使用する。また、乾燥機天日投入ホッパーへ定量で供給するキャタピラの電動機回転数を可変するためにもインバータを使用する。

## II) 天日ケーキ投入フィーダー

乾燥機内へ投入する天日ケーキ量を制御するため乾燥機に天日ケーキフィーダーを設置する。天日ケーキフィーダーの機能としては含水率が高い脱水ケーキと粒径が不均一な天日ケーキを搬送できる能力が必要となる。

開発当初は、有軸スクリーフィーダーを採用したが、含水率の高い脱水ケーキに対してスクリーに脱水ケーキが付着し、圧密により搬送機能が発揮できない不具合が発生した。このため無軸スクリーを用いた確認実験を行い、不具合が発生しないことを確認して図. 2-9 のような無軸スクリーフィーダーに取替えた。

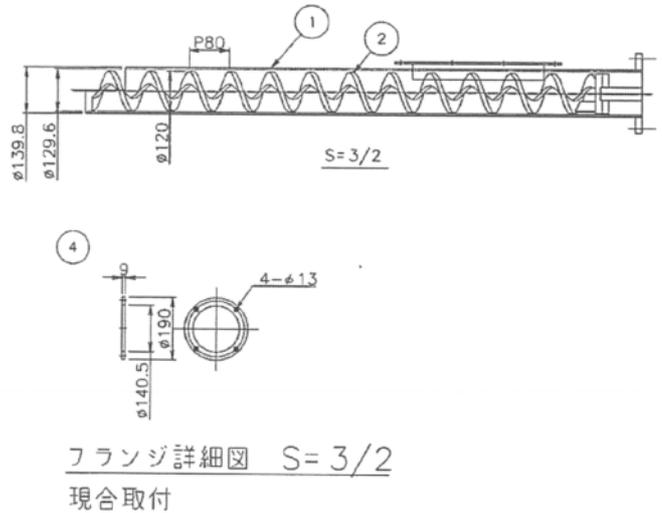


図. 2-9 無軸スクリーフィーダー

## III) 木質ペレットバーナ乾燥装置

種子発芽抑制および製品保管性確保のための土壌消毒機能を持った木質ペレットバーナ乾燥装置（前述の木質ペレットバーナ乾燥装置で記載）を定量供給機の後段に配置した。

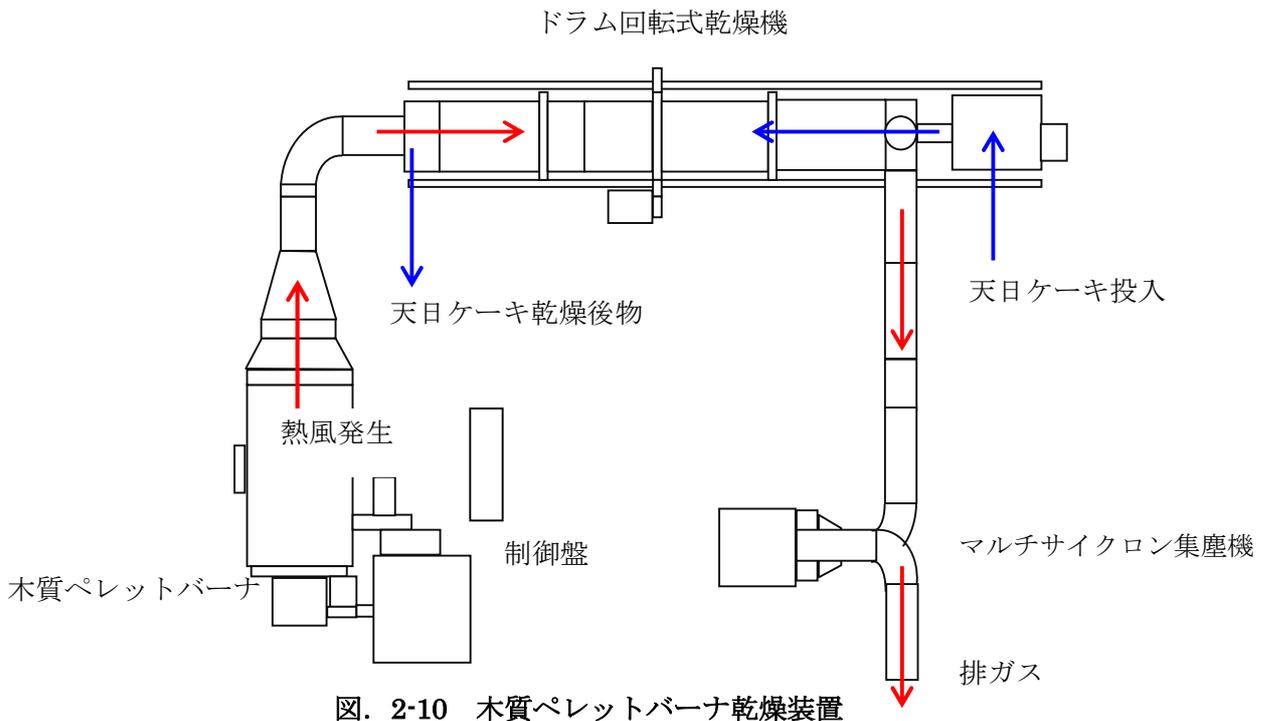


図. 2-10 木質ペレットバーナ乾燥装置

#### IV) 粒径制御破砕機

リサイクル製品の粒径制御のための定量供給機の前段と木質ペレットバーナ乾燥装置の後段に配置できるように可動可能な破砕機とした。

破砕機における粒径制御は、回転刃と固定刃のクリアランス設定および電動機による回転刃の回転数を可変して行うが主たる制御因子は回転刃の回転数であるため回転刃駆動用の電動機インバータを使用して行う。投入口と排出口に粉じんが発生するため囲いフードの局所排気装置を設置する。

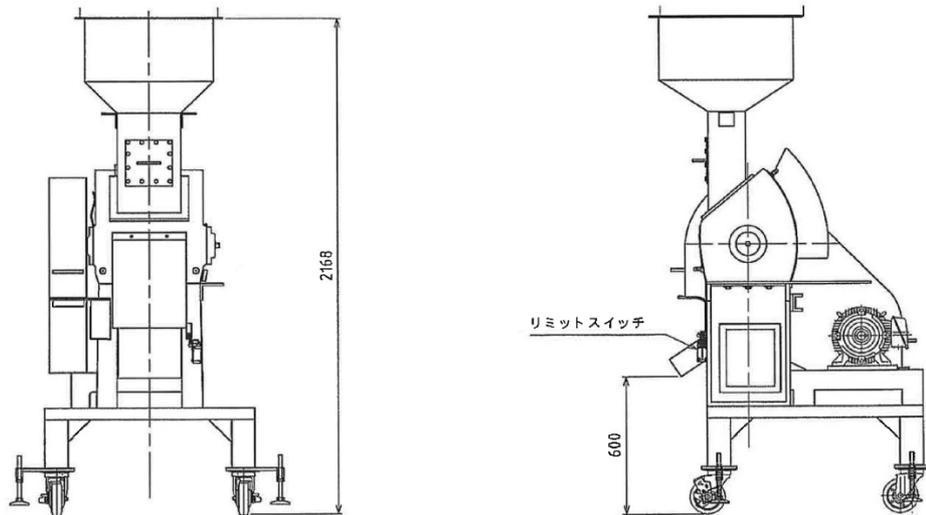


図. 2-11 粒径制御破砕機

#### V) 袋詰め機

製品化をするために袋詰め機を用いる。袋詰め機は、電磁フィーダーの振動により計量調整するため粉じんが発生する。外付け式のフードにより局所排気を行う。

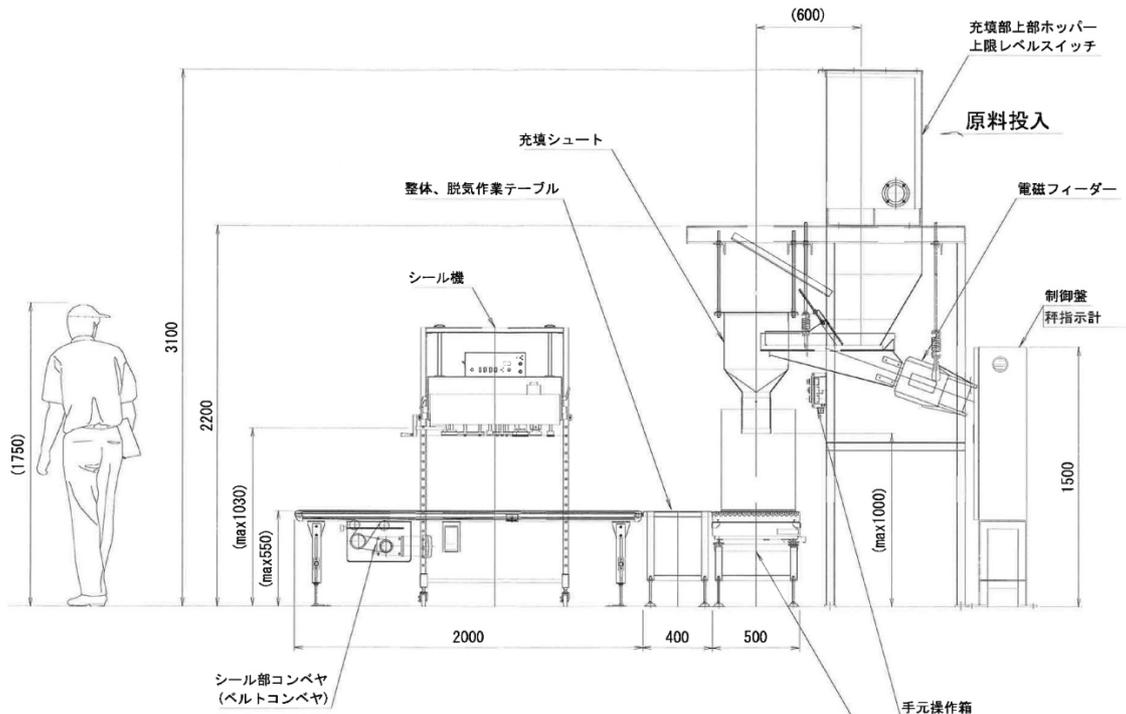


図. 2-12 袋詰め機

本文

VI) プラント制御盤

プラント制御の仕組み (図. 2-14) を実現する装置 (図. 2-15) を組み込んだプラント制御盤を図. 2-13 に示す。また、プラント制御盤は GOT により自動運転設定を行い自動運転可能とし、盤面操作により手動運転ができるものとした。

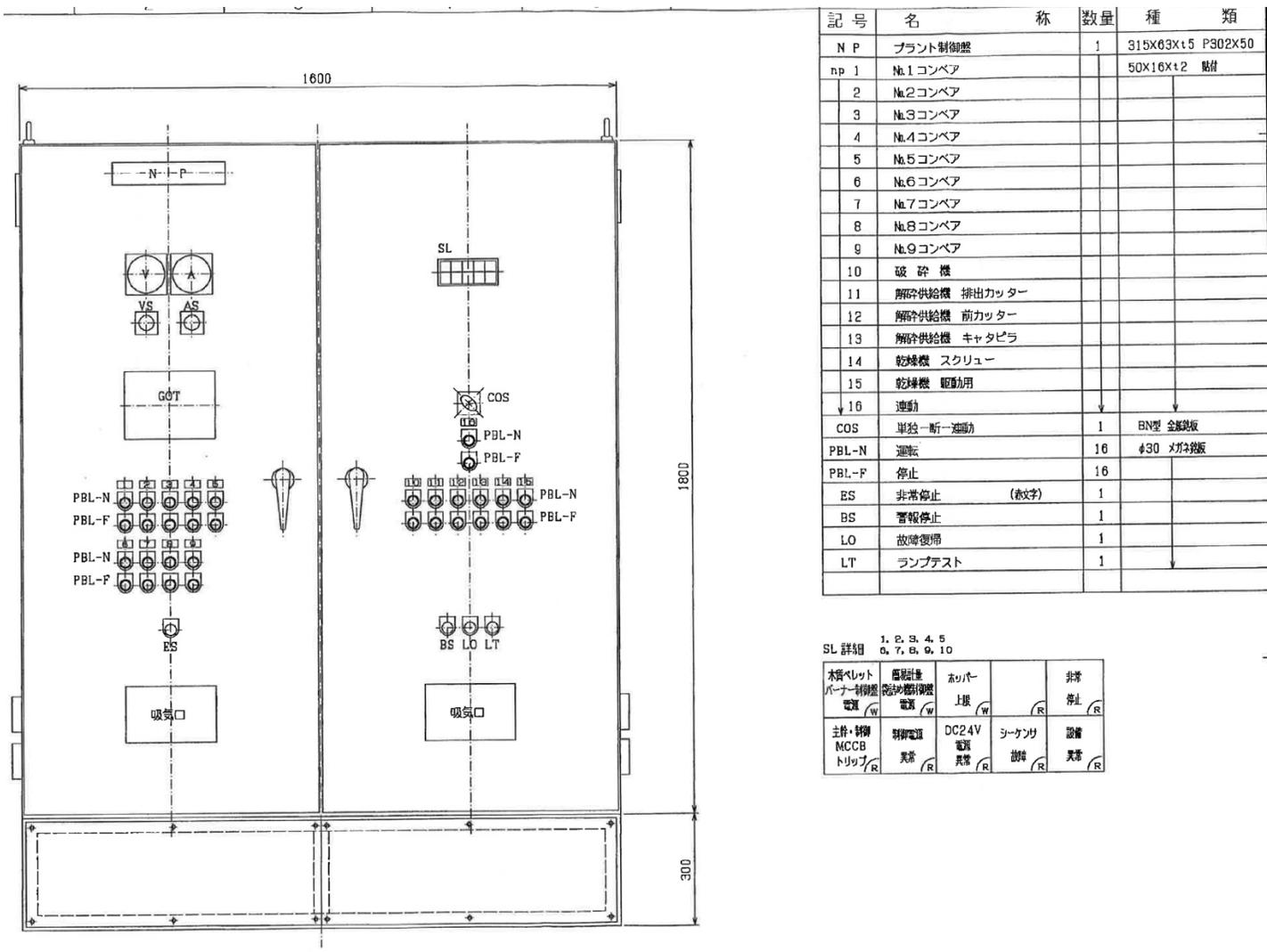


図. 2-13 プラント制御盤

### ③プラント制御システム

#### I) 制御フローの検討

技術的課題〈2-2〉- (1) -③を解決するために制御フローについて以下の案を検討した。

##### a)案1

投入する原料(天日2種類、脱水1種類)を選択し、原料の含水率を設定する。次に乾燥機へ投入する供給量を設定する。最後に乾燥後物温度を設定する。この時、乾燥機供給量設定になるように前段の定量供給機の粒径調整インバータ回転数を実験からの演算式で決定し、乾燥機入口ホッパーでの滞留を防ぐ、また、同時に乾燥機投入フィーダーの材料ごとの回転数を実験からの演算式で決定する。乾燥については、制御目標の乾燥機出口排ガス温度が含水率と供給量による水分に影響されるため、この2つの影響を実験により分析した演算を行い乾燥後物温度になるように目標乾燥機出口排ガス温度を設定する。

破碎機回転数は、温度による影響をあまり受けないという実験結果から単独で大粒(300rpm)、中粒(600rpm)、小粒(900rpm)を選択する。

##### b)案2

投入する原料(天日2種類、脱水1種類)を選択し、原料の含水率を設定する。次に乾燥機出口排ガス温度を設定する。次に乾燥後物温度を設定する。乾燥については、乾燥機出口排ガス温度が制御目標のとなり、この温度になるように制御する。この時、乾燥後物温度になるように前段の定量供給機の粒径調整インバータ回転数を実験からの演算式で決定し、乾燥機入口ホッパーでの滞留を防ぐ、また、同時に乾燥機投入フィーダーの材料ごとの回転数を実験からの演算式で決定する。

破碎機回転数は、温度による影響をあまり受けないという実験結果から単独で大粒(300rpm)、中粒(600rpm)、小粒(900rpm)を選択する。

a)案1のメリットは、供給量を設定することから生産量を算定しやすい。デメリットは温度制御が複雑となり製品品質に影響を与える。B)案2のメリットは、乾燥機出口排ガス温度を設定することから製品品質への影響は少ないと考えられる。一方で、供給量制御が複雑となることから生産量の算定は難しい。

乾燥機への有軸スクリー投入フィーダーでの不具合が多発したことおよび木質ペレット開発の評価から温度応答性がいいことも検証されていたことを踏まえ、技術的課題〈2-2〉- (1) -③を解決する方法として案1を採用した。

a)案1による原材料毎の制御を図. 2-14プラント制御フローに示す。定量供給機の解砕のためのインバータおよび定量供給機のためのインバータには、実験から算定した原料種別ごとの供給量設定による周波数演算式を用いてフィードフォワード制御を行う。乾燥機へ天日ケーキを投入するインバータにも同様に実験から算定した原料種別ごとの供給量設定による周波数演算式を用いてフィードフォワード制御を行う。木質ペレットバーナ乾燥装置の温度制御は排ガス温度設定値(SV)になるように排ガス温度測定値(PV)を制御するようなPID制御を行うが、SV値の設定を設定乾燥後物温度の設定値になるよう含水率と供給量設定入力による演算により実施する。

開発実験は、案1を想定して供給量を2点、排ガス温度を3点変化させる実験を計画し、実施した。(P68開発実験)

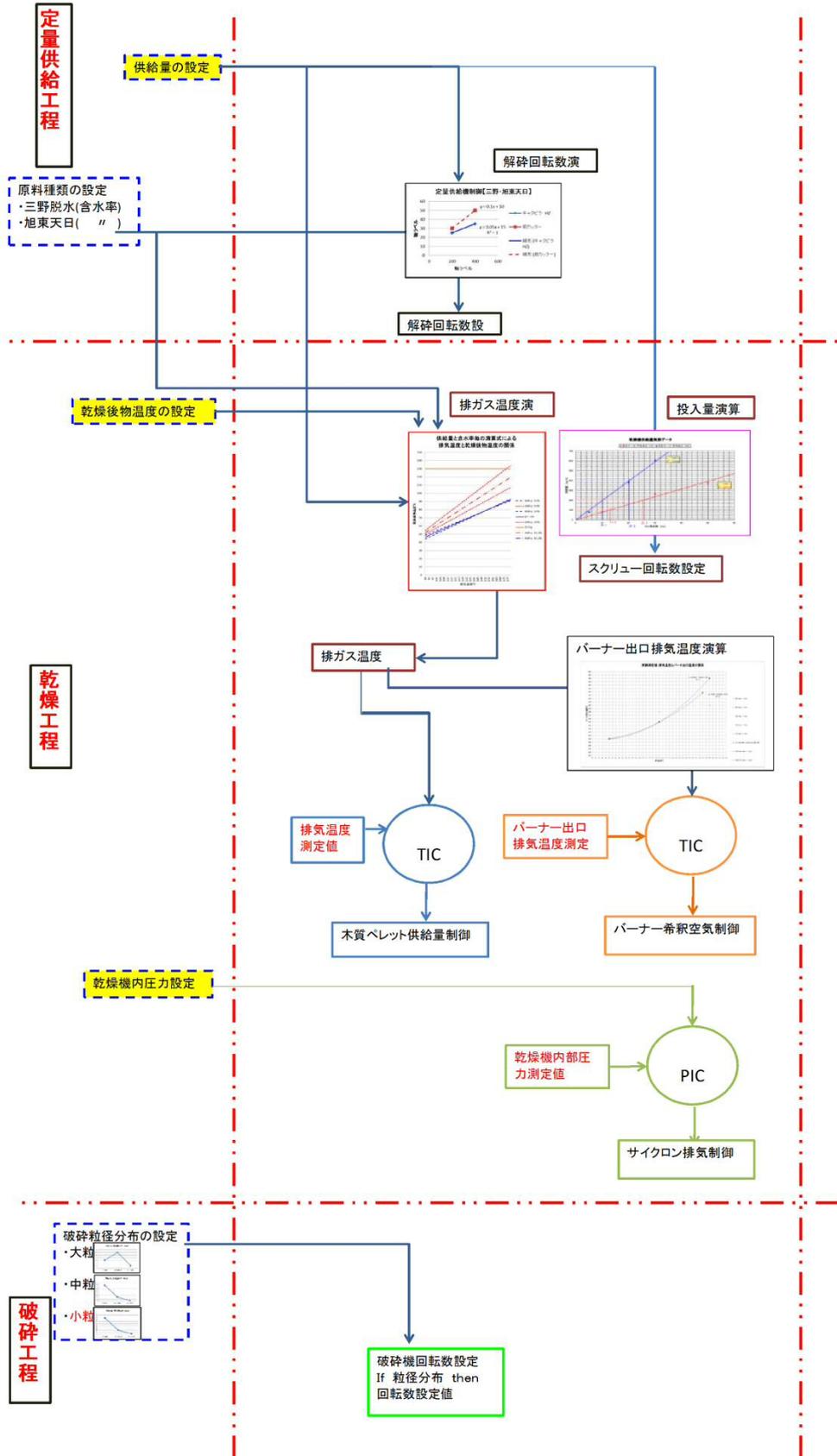


図. 2-14 プラント制御フロー

⑤ 制御装置

技術的課題〈2-2〉—(1)—③を解決する制御フローの動作環境である制御装置（システム）を図.2-15に示す。

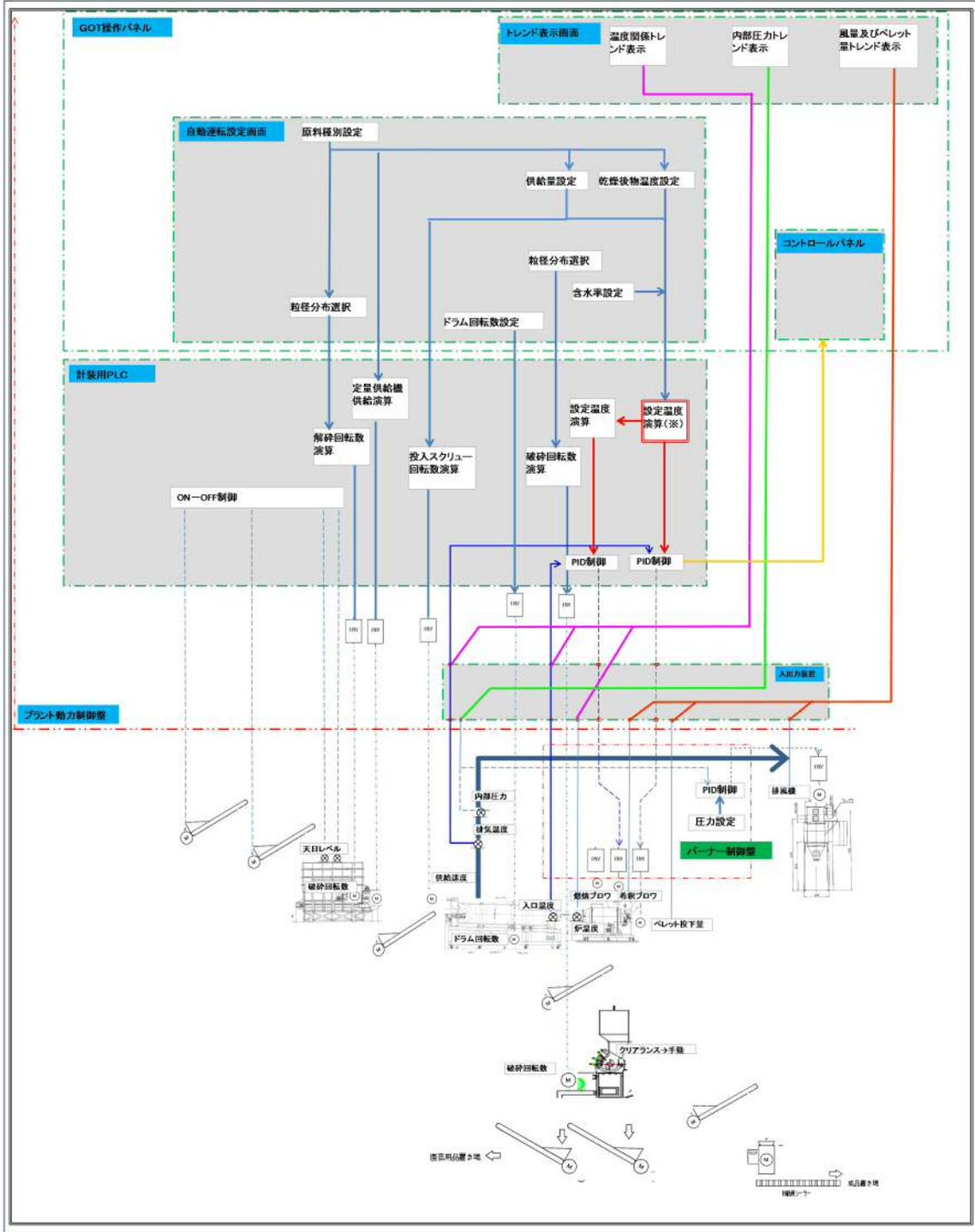


図.2-15 プラント制御システム

図. 2-14 プラント制御フローを動作させる装置としてプラント制御装置をGOT（グラフィックタッチパネル）と計装制御PLCで構成した。GOTで制御設定値入力、演算式係数入力および運転操作設定を行い、PLCでは、入力設定値および係数入力値を用いて図. 2-14 プラント制御フローによりプラントの各構成機器のインバータ、ダンパーなどの自動運転制御を行う。

本文

I) GOT (グラフィックタッチパネル)

GOTは、以下の画面構成とした。

- ・制御関係：制御のための選択、制御初期設定およびPID制御監視を行う画面
- ・運転監視関係：運転状態監視および警報設定を行う画面。
- ・プラント計装 (バーナ出口温度、排ガス温度、乾燥機内圧力、ペレット消費量) グラフ表示画面。

a) 制御設定画面

制御関係の画面を以下に示す。

図. 2-14 プラント制御フローに対する画面を図. 2-16 に示す。

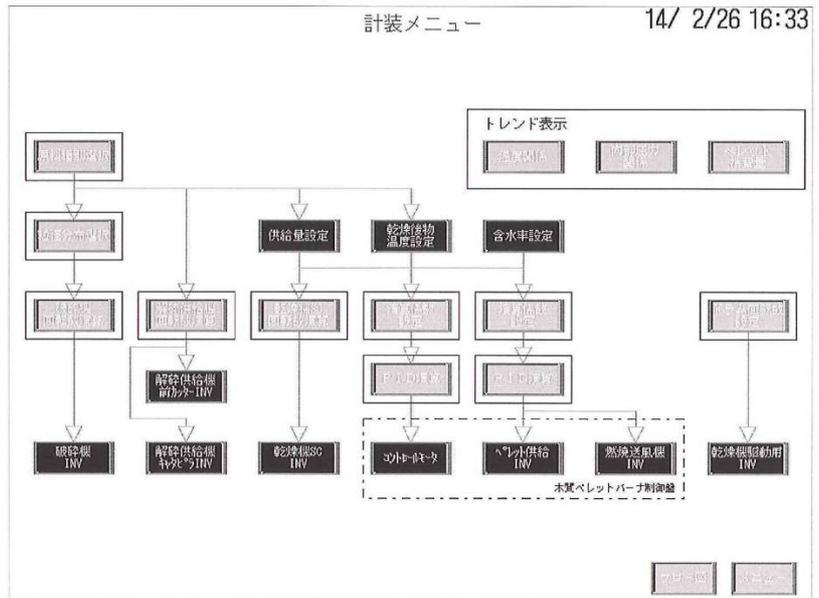


図. 2-16 制御フロー画面

原材料の選択および破碎回転数選択並びに含水率、乾燥機供給量および乾燥後物温度の入力設定画面を図. 2-17 に示す。

14/ 2/26 16:33

旭東天日設定

原料種別選択

三野天日   旭東天日   三野脱水

粒径分布選択

A(大) 300rpm   B(中) 600rpm   C(小) 300rpm

項目	設定可能範囲	初期値	設定値	上限値	下限値
供給量設定	150~450 kg/h	200 kg/h	123456 kg/h	123456 kg/h	123456 kg/h
乾燥後物温度設定	20~100 °C	30 °C	123456 °C	123456 °C	123456 °C

項目	設定可能範囲	初期値	設定値	含水率%	中心値
含水率設定	15.0~45.0 %	35.0 %	1234.0 %	1234.0	1234.0

項目	設定可能範囲	初期値	設定値	現在値	設定可能範囲	初期値	設定値	現在値
乾燥機 駆動機	1~80 Hz	80 Hz	123456 Hz	1234 Hz	1~1800rpm	1800 rpm	123456 rpm	1234 rpm

(ドラム回転数) 周波数または回転数のどちらかを入力すると、互いに反映されます。

図. 2-17 入力(含水率、供給量)および出力(乾燥後物温度)設定画面

乾燥機排ガス温度演算式  
(実験による1次演算式係数)の係数を設定入力する画面を図. 2-18 に示す。

14/ 2/26 16:33

旭東天日

乾燥機出口温度  
演算係数

実験式1	項目	演算係数設定1	
	初期値	a	b
	設定可能範囲	a	b
	設定値	a  23.0000	b  23.0000

実験式2	項目	演算係数設定2	
	初期値	c	d
	設定可能範囲	c	d
	設定値	c  23.0000	d  23.0000

実験式3	項目	演算係数設定3	
	初期値	A	B
	設定可能範囲	A	B
	設定値	A  23.0000	B  23.0000

任意入力	設定可能範囲	
	設定値	23456

図. 2-18 乾燥機排ガス温度演算係数設定画面

木質ペレットバーナの出口温度演算式(実験による2次演算式係数)の係数を設定入力する画面を図. 2-19 に示す。

14/ 2/26 16:33

バーナ出口温度  
演算係数選択

三野天日	項目	演算係数設定		
	初期値	a	b	c
	設定可能範囲	a	b	c
	設定値	a  23.0000	b  23.0000	c  23.00

旭東天日	項目	演算係数設定		
	初期値	a	b	c
	設定可能範囲	a	b	c
	設定値	a  23.0000	b  23.0000	c  23.00

三野脱水	項目	演算係数設定		
	初期値	a	b	c
	設定可能範囲	a	b	c
	設定値	a  23.0000	b  23.0000	c  23.00

図. 2-19 バーナ出口温度演算係数設定画面

定量供給機解砕の前カッタ  
電動機の回転数演算係数、定量  
供給機のキャタピラ電動機の  
回転数演算係数および乾燥機  
投入フィーダー電動機の回転  
数演算係数の入力設定をする  
画面を図. 2-20 に示す。

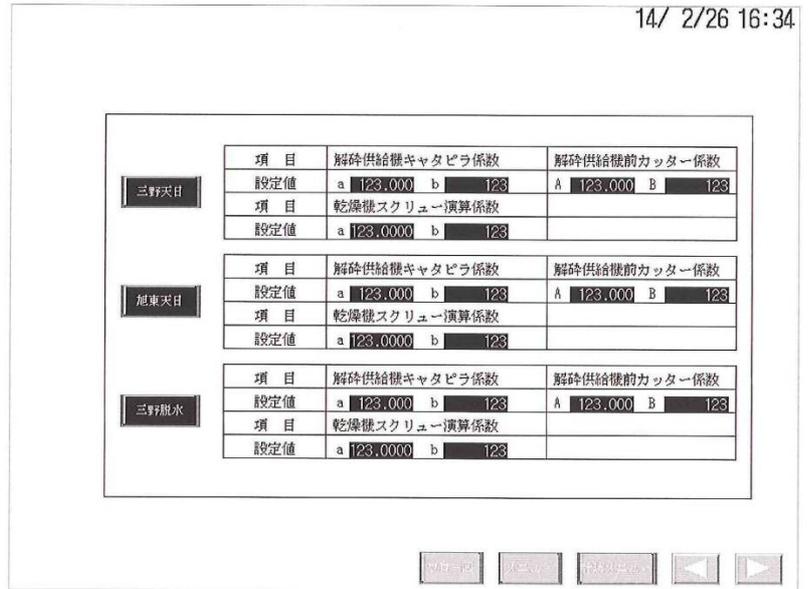


図. 2-20 プラント制御機器インバータ回転数演算係数設定画面

b) 運転監視画面

運転監視画面を以下に示す。

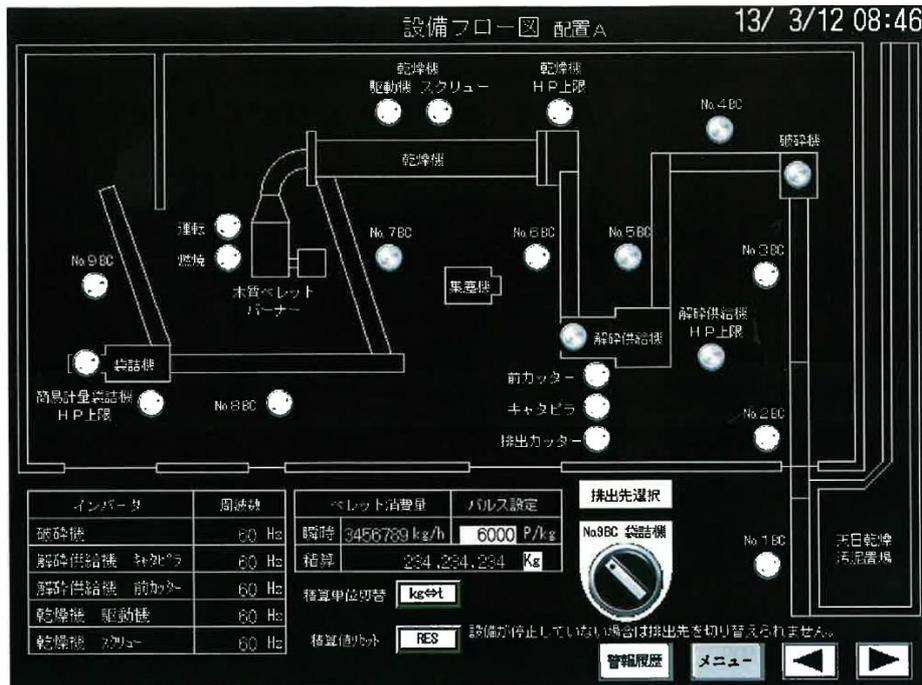


図. 2-21 運転状態監視画面

II) PLC

GOTにおける制御設定を取り込みPID制御機能により温度フィードバック制御を行う。また、演算式によりプラント機器フィードフォワード制御を行う。

⑥ プラントの粉じん対策

技術的課題〈2-2〉—(1)—④〉を解決する局所排気装置を労働安全衛生法で規定される性能が出るように設計して設置した。

1) システム設計

労働安全衛生法粉じん障害防止規則により図. 2-22 の局所排気システムを設計した。

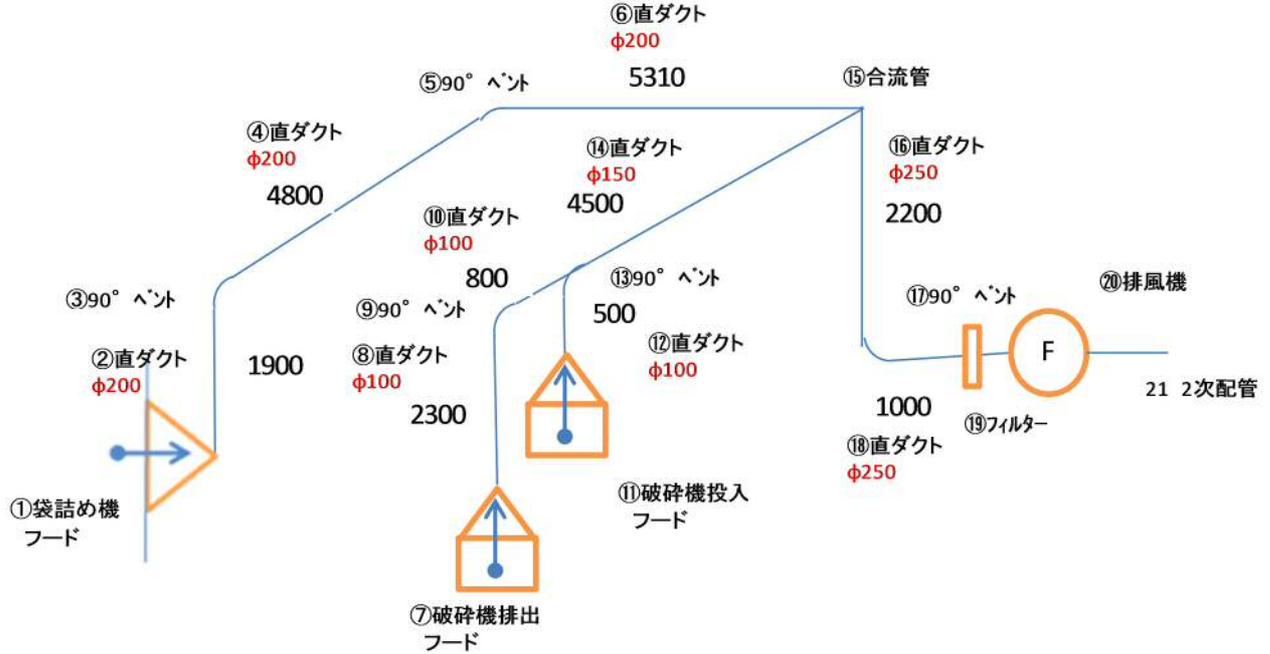


図. 2-22 局所排気システム

図. 2-22 のシステムにおいて規定を満たす風量とシステムの圧損計算を表. 2-4 に示す。

表. 2-4 局所排気システム必要風圧および圧損計算

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
線図・番地	ダクト直径De(m)	ダクト断面積 A(m <sup>2</sup> )	排風量(Qm <sup>3</sup> /min)	搬送速度Vt(m/s)	速度圧Pv(hPa)	フード圧損係数F	直観圧損ΔPL (hPa/m)	長さ L(m)	圧損係数 ζ	圧力損失 PL(hPa)	静圧 Ps(hPa)	
計算式			$Q=60 \cdot A \cdot V$ $Q=60 \cdot V \cdot (10X^2 \cdot A)$	$Vt=Q/A/60$	$Pv=\rho/200 \cdot Vt^2$					$PL=\zeta \cdot Pv$		
①フード(外付)	1.22799205	0.12	31.2	4.33333333	0.121116667	5				0.605583333	0.605583333	-0.7267
②直ダクト	0.2	0.031415927	31.2	16.55211408	1.7671225		0.01	1.9		0.019	0.624583333	-2.39170583
③90° ベント	0.2	0.031415927	31.2	16.55211408	1.7671225				0.21	0.371095725	0.995679058	-2.76280156
④直ダクト	0.2	0.031415927	31.2	16.55211408	1.7671225		0.01	4.8		0.048	1.043679058	-2.81080156
⑤90° ベント	0.2	0.031415927	31.2	16.55211408	1.7671225				0.21	0.371095725	1.414774783	-3.18189728
⑥直ダクト	0.2	0.031415927	31.2	16.55211408	1.7671225		0.01	5.31		0.0531	1.467874783	-3.23499728
⑦フード(囲い)	1.22799205	0.12	8.64	1.2	0.009288	0.5				0.004644	0.004644	-0.013932
⑧直ダクト	0.1	0.007853982	8.64	18.33464944	2.168227938		0.02	2.3		0.046	0.050644	-2.21887194
⑨90° ベント	0.1	0.007853982	8.64	18.33464944	2.168227938				0.2	0.433645588	0.484289588	-2.65251753
⑩直ダクト	0.1	0.007853982	8.64	18.33464944	2.168227938		0.02	0.8		0.016	0.500289588	-2.66851753
⑪フード(囲い)	1.063472311	0.09	6.48	1.2	0.009288	0.5				0.004644	0.004644	-0.013932
⑫直ダクト	0.1	0.007853982	6.48	13.75098708	1.219628215		0.02	0.5		0.01	0.014644	-1.23427222
⑬90° ベント	0.1	0.007853982	6.48	13.75098708	1.219628215				0.2	0.243925643	0.258569643	-1.47819786
⑭直ダクト	0.15	0.017671459	15.12	14.2602829	1.311644061		0.015	4.5		0.0675	0.0675	
⑮合流管	0.25	0.049087385	46.32	15.72705486	1.595344641				1.13	1.802739445	1.802739445	-3.39808409
⑯直ダクト	0.25	0.049087385	46.32	15.72705486	1.595344641		0.01	2.2		0.022	1.824739445	-3.42008409
⑰90° ベント	0.25	0.049087385	46.32	15.72705486	1.595344641				0.25	0.39883616	2.223575605	-3.81892025
⑱直ダクト	0.25	0.049087385	46.32	15.72705486	1.595344641		0.01	1		0.01	2.233575605	-3.82892025
⑲フィルター	13.16874764	13.8	46.32	0.055942029	2.01853E-05				500	0.010092672	0.010092672	-0.01011286
⑳ファン												
21 2次配管	0.2	0.031415927	46.32	24.57352321	3.894884378		0.2	2		0.4	0.410092672	
計			46.32								4.52781	

粉じんをダクトに滞留なく集塵するためにダクト内速度は10~20m/sに設定した。また、必要風量は、計算から風速50 m<sup>3</sup>/minとした。

本文

## II) 粒径制御破碎機の局所排気

破碎機の上部投入口と下部排出口に囲い式の局所排気フードを写真. 2-1～2-3 のように設置した。



写真. 2-1 排出口囲い式フード



写真. 2-2 投入口囲い式フード

## III) 袋詰め機の局所排気



写真. 2-3 排出口外付け式フード

(3) 技術的課題解決法の評価と考察

技術的課題〈2-2〉—(1)—①および〈2-2〉—(1)—②の解決方法であるリサイクル製品化プラント装置を総合的に評価するためにリサイクル製品評価を行う。また、技術的課題〈2-2〉—(1)—③の解決方法である自動運転システムの評価を検証実験結果から行う。さらに技術的課題〈2-2〉—(1)—④の解決策である局所排気装置を評価する。

① リサイクル製品の評価

I) 農業利用性評価

a) 安全性の評価

土壌として農業利用されるリサイクル製品の安全性を確認するための土壌分析として岡山県がエコ製品認定で指定している以下表。2-5の項目について含有量試験と溶出試験を行った。

表. 2-5 土壌分析試験項目

土壌含有量試験	総水銀、カドミウム、鉛、六価クロム、砒素、シアン、セレン、ほう素、ふっ素
土壌溶出試験	アルキル水銀、総水銀、カドミウム、鉛、有機燐、六価クロム、砒素、シアン ポリ塩化ビフェニル、トリクロロエチレン、テトラクロロエチレン、ジクロロメタン 四塩化炭素、1,2-ジクロロエタン、1,1-ジクロロエチレン シス-1,2-ジクロロエチレン、1,1,1-トリクロロエタン、1,1,2-トリクロロエタン 1,3-ジクロロプロペン、ベンゼン、チウラム、シマジン、チオベンカルブ、セレン ほう素、ふっ素

土壌含有量試験結果 (P75~77 分析試験結果) はヒ素およびその化合物が、5 mg/kg、フッ素およびその化合物が 390 mg/kgであり、その他の重金属類については、定量下限値以下であった。溶出試験結果 (試験結果参照) は、重金属類、揮発性有機化合物についてすべての指標で定量下限値以下であった。ヒ素およびその化合物およびフッ素およびその化合物が含まれるが溶出はしていないと判断できるため、農業利用可能であると判断した。

b) 適合性の評価

リサイクル製品を農業利用するための評価指標として化学的特性である pH、腐植、全窒素および物理的特性である粒径分布の測定試験を行った。評価指標の選定理由を以下に示す。

ア) pH は農業利用に適しているか、どうかを判断する指標であるため (6.3~6.8 程度)

イ) 腐植は、肥料を作物等に効果的に与える土壌かどうかを評価する指標であるため

ウ) 全窒素は、養分の指標であるとともに肥料をどの程度与えるべきかの指標であるため

エ) 粒径については顧客ニーズとして 4 mm以下の分布が多いことが要望されるため

ア) pH (P71 開発実験分析結果)

温度処理による影響および原料別の違いを検討するため排ガス温度 150℃で処理した天日ケーキと脱水ケーキの pH を測定した。

天日ケーキ (旭東) が 6.4、天日ケーキ (三野) が、6.2、脱水ケーキが 6.5 であった。天日ケーキ (三野) が低めであるが、野菜栽培の好適正範囲内であり農業利用に適している。高温で処理しても問題がないことが分かった。

イ) 腐植 (P71 開発実験分析結果)

温度処理による影響および原料別の違いを検討するために排ガス温度 90°C-200 kg/h および排ガス温度 150°C-400 kg/h で処理した天日ケーキと排ガス温度 90°C-100 kg/h および排ガス温度 150°C-200 kg/h で処理した脱水ケーキの腐植を測定した。天日ケーキ (旭東) は、6.7% (90°C)、7.6% (150°C) であり、温度により腐植が向上している。同様に脱水ケーキも 5.8% (90°C)、5.9% (150°C) と上昇している。腐植は 10~12 が良い土壌と評価されるため温度処理により品質が向上していると考えられる。

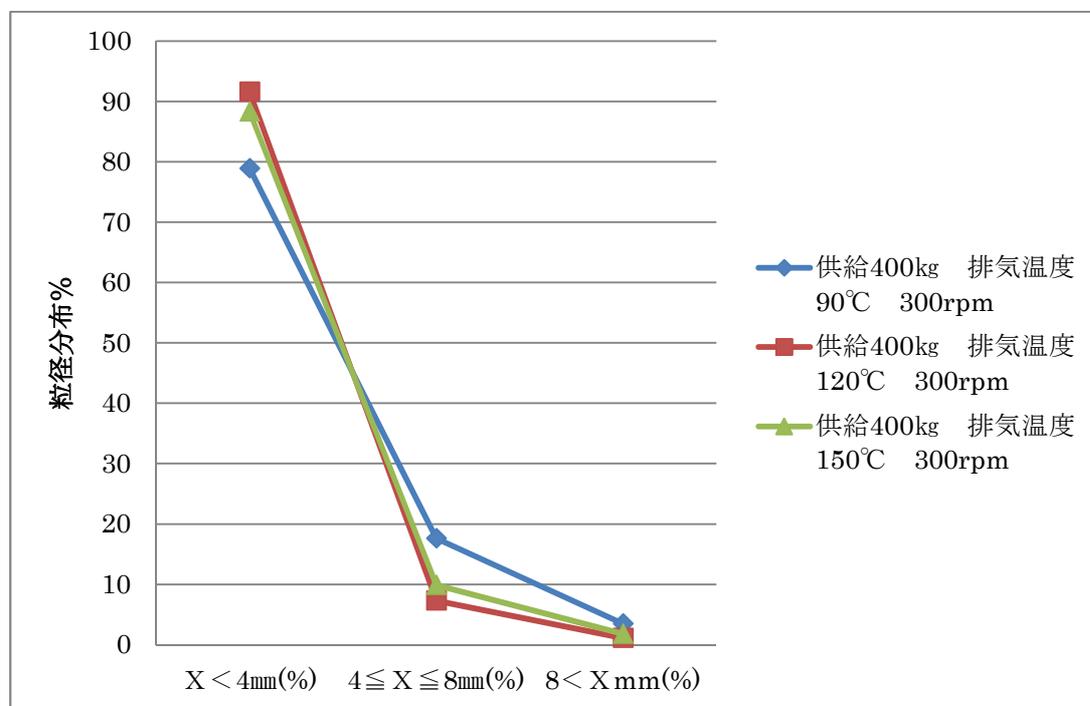
また、天日ケーキ (三野) の腐植は、もともと低く温度処理をしても 3.6% (150°C) であるため腐植が高い土壌などに混合して使用することが望ましい。

ウ) 全窒素 (P71 開発実験分析結果)

温度処理による影響および原料別の違いを検討するために排ガス温度 90°C-200 kg/h および排ガス温度 150°C-400 kg/h で処理した天日ケーキと排ガス温度 90°C-100 kg/h および排ガス温度 150°C-200 kg/h で処理した脱水ケーキの全窒素を測定した。天日ケーキ (旭東) の全窒素は 0.31% (常温) であり、温度処理しても 0.32% (150°C) である。また、脱水ケーキ、天日ケーキ (三野) も同様の傾向があるため全窒素は、温度処理の影響はほとんど受けないと考えられる。

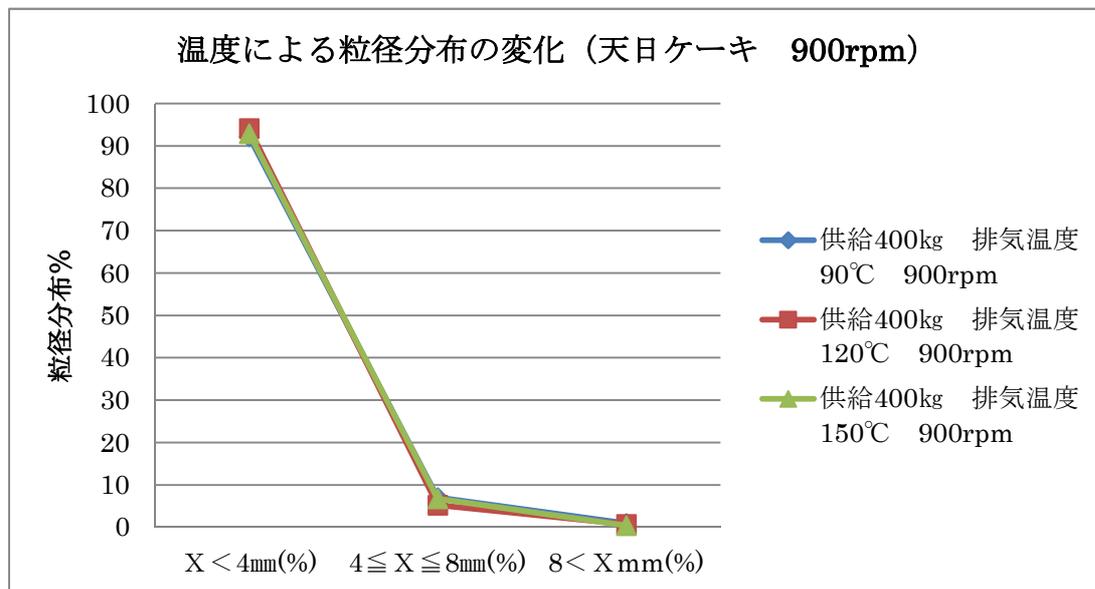
また、天日ケーキ (三野) は、全窒素も 0.16% で低く、施肥が必要な土壌であることがわかる。

エ) 粒径分布 (P71 開発実験分析結果)



グラフ. 2-12 温度による粒径分布の変化 (天日ケーキ 300rpm)

天日ケーキリサイクル製品の粒径制御の温度影響を分析するために粒径分布の測定を行った。300rpm では、高温乾燥により脆性が増加して細かく破碎している。粒径分布の変化率は4mm以下で11%であり、4mm~8mmで50%である。



グラフ. 2-13 温度による粒径分布の変化 (天日ケーキ 900rpm)

900rpm では、高温乾燥による粒径分布の変化は、認められない。

低温処理 (90°C) の時は 900rpm での破碎が望ましく、高温処理 (150°C) の時は 300rpm の処理が望ましい。

脱水ケーキおよび天日ケーキ (旭東) を原料として、リサイクル製品は、化学的および物理的にも温度の影響はほとんど受けず、農業利用に適していると考えられる。天日ケーキ (三野) も農業利用は可能であるが施肥や土壌改良材と混合して使用することが望ましいと考えられる。また、天日ケーキ (三野) に関しては原料の状態から農業利用指標の数値が悪いため、固液分離プロセスの運用を改善する必要がある。販売においては、pH、腐植、全窒素を明示して販売を行う必要がある。

## II) 保管性評価

リサイクル製品は袋詰め製品であり、含水率が高く、熱処理をしていない状態で保管するとカビが発生する。販売においては長期の保管も考えられる。よって温度処理による保管効果を検討するために排ガス温度 90°C-200 kg/h および排ガス温度 150°C-200 kg/h で処理した天日ケーキと排ガス温度 90°C-100 kg/h および排ガス温度 150°C-100 kg/h で処理した脱水ケーキの含水率と一般細菌を測定した。(P72 開発実験測定結果)

### a) 一般細菌

天日ケーキ (旭東) は、原料段階で一般細菌の個数が 42,000 個/g と脱水ケーキ 840,000 個/g、天日ケーキ (三野) 420,000 個/g に比べ極めて少ない。この理由としては旭東浄水場の天日乾燥方法が天日乾燥床 (池) に少量の汚泥を入れて、乾燥を繰り返すことに起因すると推測される。

天日ケーキ (旭東) の一般細菌は、3200 個/g (90°C)、2000 個/g (150°C) に 94%減少している。また、脱水ケーキの一般細菌も 2700 個/g (90°C)、4200 個/g に 99.6%減少している。

b) 含水率（カビ発生環境）

天日ケーキ（旭東）の含水率は、23%（90℃）から11%（150℃）であり、カビ発生環境条件である40%以上の含水率を大きく下回っている。脱水ケーキの含水率は52%（90℃）から30%（150℃）であり排ガス温度90℃処理の時はカビ発生環境条件の40%以上を上回る。しかし、脱水ケーキの一般細菌除去率は99.6%であることから排ガス温度90℃設定でも保管性は良好であると推測される。

① リサイクル製品化プラントの評価

I) 発芽抑制効果の評価検討（P70 開発実験測定結果）

天日ケーキ原料の発芽抑制の基準として乾燥後物温度を80℃で処理することを基準に設定した。今回のリサイクル製品化プラントにおいては、対象となる天日ケーキを基準である乾燥後物温度80℃で処理すると上限処理能力は300 kg/hであり、原材料段階で高含水率の脱水ケーキの上限処理能力は50 kg/hとなり脱水ケーキの乾燥には適用できない。調査により80℃という温度は種子死滅の温度と認識されており、また、温度も50℃～80℃と範囲が広い。脱水ケーキに関して、固液分離プロセスから雑草種子混入の可能性が低いことから、水道事業体の先進事例では含水率40%以下の乾燥という基準を取っている。

天日ケーキの乾燥後物温度が80℃という基準は、種子死滅温度と解釈すると乾燥後物温度を上げるほど種子死滅割合が多くなり発芽抑制できると考えられる。品質に関しては発芽抑制という考えで50℃から80℃の乾燥後物温度で乾燥処理を行うことが妥当と考えられるが平成26年度においてリサイクル製品を用いた栽培試験を行い、発芽抑制効果の検証を行う予定である。

II) プラント処理能力の評価

プラント処理能力は、品質指標である農業利用性、保管性、発芽抑制効果の優先順位による運用で変化する。農業利用性を重視した場合、農業利用性を評価する指標に温度の影響が少ないことから乾燥処理に関して乾燥後物温度を低温度に設定すれば、プラント処理能力は向上する。（天日ケーキ（旭東）において50℃の乾燥後物温度で排ガス温度設定は90℃～100℃程度となる。この時、処理量は400 kg/h程度となる。）

保管性を重視した場合、天日ケーキ（旭東）は、原料の含水率が低いことから温度設定に関係なく保管性が高い製品が最大処理能力（500 kg/h程度）で製造可能でありと考えられる。脱水ケーキも処理後の含水率は、排ガス温度が90℃の乾燥処理でカビ発生環境条件以上となるが、一般細菌除去率が99.6%であることから乾燥後物温度は低温度の設定（90℃）で処理200 kg/hが可能である推測される。

発芽抑制効果を重視した場合、乾燥後物温度が80℃以上必要であるため、天日ケーキ（旭東）の乾燥において上限供給量が300 kg/h程度（排ガス温度150℃）となる。脱水ケーキでは、上限供給量が50 kg/h程度となり実質処理不可能である。調査によれば乾燥後物温度80℃は、種子死滅温度とも理解でき、発芽抑制においては乾燥温度50℃という見解もある。

プラント処理能力は、品質指標である種子発芽抑制効果がボトルネックとなるが、本事業が対象とする天日ケーキ（旭東）に関しては、発芽抑制を重視し乾燥後物温度を80℃設定にしても計画プラント能力である0.3t/h（300 kg/h）は処理可能と判断できる。

### Ⅲ) プラントの製品回収率

主として乾燥工程で粉じんがロスされる。開発実験 (P73 開発実験測定結果) において製造製品と回収粉じんから天日ケーキ (旭東)、天日ケーキ (三野) および脱水ケーキの製品回収率を算定した。

- ・天日ケーキ (旭東) : 91.9%
- ・天日ケーキ (三野) : 89.5%
- ・脱水ケーキ : 97.2%

脱水ケーキは原料含水率が高く、粉じんがほとんど発生していないことがわかる。一方で天日ケーキは、粉じんが発生するが、天日ケーキ (三野) の方が粉じんが発生しやすいことがわかる。

### Ⅳ) リサイクル製品の製造コストの評価

販売価格設定のため製造コストを算定することが必要となる。製造コストを以下の条件で算定した。袋については、販売する企業が持ち込むため単価に含めていない。また、人件費に関しても除外している。

#### a) 条件

ア) 発芽抑制の定義を乾燥後物温度 50℃程度になるように乾燥処理する。

→天日ケーキ (旭東) : 排ガス温度 90℃—供給量 400 kg (含水率 30%)

→脱水ケーキ : 排ガス温度 120℃—供給量 100 kg (含水率 60.6%)

イ) 木質ペレット 51 kg/円

ウ) 電力料金 : 基本料金 1,060 円/kWh—使用料金 14.2 円/kWh

エ) 生産量設定 : 天日ケーキ (旭東) 150 袋/日、脱水ケーキ 40 袋/日

#### b) 製造コスト計算

ア) 天日ケーキ (旭東) の 1 袋あたりの製造コスト

排ガス温度 90℃—供給量 400 kg の実験における木質ペレット使用量は開発実験データから 0.9 kg/袋であった。また、電力使用量は、開発実験データを基に生産量設定に換算すると 0.8kWh/袋となった。生産量設定における電力単価を計算すると 34 円/kWh であった。よって、1 袋あたりの製造コストは、 $0.9 \text{ kg/袋} \times 51 \text{ 円/kg} + 0.8 \text{ kWh/袋} \times 34 \text{ 円/kWh} = 73 \text{ 円/袋}$  と推定される。単価は生産量によって変化する。

イ) 脱水ケーキの 1 袋あたりの製造コスト

排ガス温度 120℃—供給量 100 kg の実験における木質ペレット使用量は開発実験データから 3.9 kg/袋であった。また、電力使用量は、開発実験データを基に生産量設定に換算すると 3.8kWh/袋となった。生産量設定における電力単価を計算すると 34 円/kWh であった。よって、1 袋あたりの製造コストは、 $3.9 \text{ kg/袋} \times 51 \text{ 円/kg} + 3.8 \text{ kWh/袋} \times 34 \text{ 円/kWh} = 328 \text{ 円/袋}$  と推定される。

販売価格設定において 328 円/袋の設定は実質不可能であるため、開発設置したリサイクル製品化プラントでの脱水ケーキの製品化は現実的でない判断できる。脱水ケーキの乾燥後物に関して

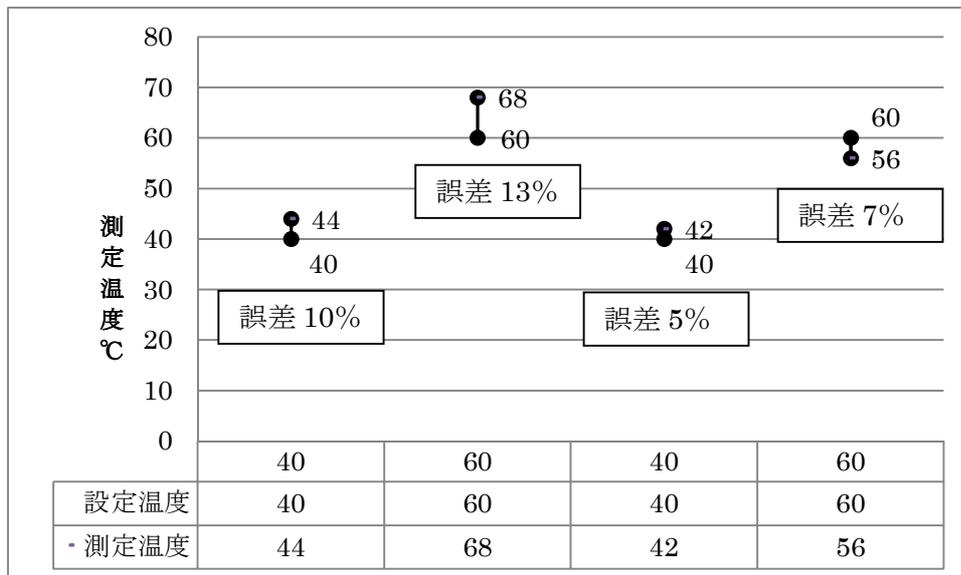
現状の粒径制御破砕機は 2000 kg/h の処理能力を持つため、木質ペレットバーナ乾燥装置のスケールアップを行うことにより技術の適用は可能と考えられる。

V) 製品化プロセスの評価

乾燥処理の観点からは破砕により粒径を細かくして乾燥した方が有利であるが、破砕後に乾燥処理を行うと粉じんの発生が多く、製品回収率が低下する。また、排気温度 150℃で処理した場合、マルチサイクロン集塵機で粉じんを捕捉できない。原材料の粒径が比較的小さい天日ケーキ (旭東) および脱水ケーキは乾燥工程→破砕工程が妥当である。一方、天日ケーキ (三野) は、原材料の粒径が 20 cm角のものもあり、前段で破砕しなければ乾燥処理することができない。天日ケーキ (三野) は破砕工程→乾燥工程が妥当であった。

VI) プラント自動運転の評価

脱水ケーキは固液分離プロセスが機械的であるため含水率の変化も 60%~65%とほぼ均一である。一方、天日ケーキは固液分離プロセスが屋外露天の天日乾燥床であるため、雨などの天候により含水率が大きく変化する。含水率が変化すれば、乾燥処理において木質ペレットバーナ能力の上限により含水率変化に対する供給量が決まる。また、農業利用性、保管性、種子発芽抑制は乾燥後物温度が重要となる。このためリサイクル製品化プラント自動制御においては、測定した含水率と生産したい製品に対する供給量を任意に設定するとともに制御目標である乾燥後物温度を設定すると演算によりプラント構成機器の設定が決定され自動運転する仕組みを採用した。木質ペレットバーナ乾燥装置に関しては、計測値をフィードバックして演算による設定値を一定に制御する仕組みである。自動運転システムの検証試験を行った結果、含水率変化に対して設定乾燥後物温度に実際の乾燥後物温度が 10%程度以内 (グラフ. 2-14) で追従することが確認された。



グラフ. 2-14 自動運転ソフトの精度

設定値と測定値の誤差は 5%~13%であった。検証実験 (P74 検証実験結果) のサンプルが少ない割には大きな誤差は出なかった。今後、本格運用を行いながら制御用 PLC のプログラムなどソフト面をチューニングすることでなるべく誤差を小さなものとしていきたい。

## Ⅶ) プラント作業環境評価



写真. 2-4 局所排気状況

技術的課題Ⅳに対応する解決方法である局所排気装置の確認を行った。写真. 2-4 に破碎機排出口の局所排気状況を示す。発生する粉じんを局所排気装置が抑制していることが確認できた。

### 3) ビジネスモデル開発

#### (1) 現状の把握

発生する 500t/年の天日ケーキは、市内の中間処理業者（園芸土製造）に運搬費 3800 円/t で運搬し、処分費 8500 円/t で処分している。また、発生する 1000 m<sup>3</sup>/年の脱水ケーキの内、300 m<sup>3</sup>～600 m<sup>3</sup>を市民販売により 100 円/m<sup>3</sup>の秤売りで浄水場内における現地渡しで販売している。市民販売で余った残りの 400 m<sup>3</sup>～700 m<sup>3</sup>の脱水ケーキは、天日ケーキと同じ中間処理業者に運搬費 3800 円/t で運搬し、処分費 5500 円/t で処分している。



図. 2-23 現状の販売処分モデル

#### (2) 方針

安全性および品質面から販売可能で効率的なリサイクル製品が製造できる天日ケーキのリサイクル製品に関して手間がかからず利益率が高い市民販売の利点とリスク吸収を行う処分の 2 チャンネルを持つ現状モデルにリサイクル製品の利益を挙げる販売チャンネルを付加して 3 チャンネルで浄水発生土リサイクル事業を行う。

### (3) 技術的課題

- ① リサイクル製品を販売する新規チャンネルは、浄水場→運搬→小売店である。また、リサイクル製品製造過程で排出される木質ペレット焼却灰の販売チャンネルは、浄水場→運搬→ペレット工場である。さらに、リサイクル製品製造ではペレット工場→運搬→浄水場という木質ペレットの購入チャンネルが発生する。リサイクル製品販売とペレット購入に伴う運搬過程を出来るだけ共有することで低環境負荷かつ高利益設定の運用が行える。このためビジネスモデル構築における技術的課題は、運搬を共有するビジネスモデルの開発である。
- ② 方針によりリスク分散を考慮して、リサイクル製品を販売する販売チャンネルを市民販売チャンネルおよび処分チャンネルからなる現状のモデルに付加した場合、技術的課題は、3つのチャンネルを効率的に運用する方法が課題である。

### (4) 技術的課題の解決方法

#### ①リサイクル製品の販売モデル

方針に沿った技術的課題〈2-3〉—(3)—①を解決するリサイクル製品の販売モデルを構築する。

#### I) 潜在需要と方針の検討

##### a) 地産地消の需要

リサイクル製品の販売を地産地消により行うために地産地消販売の潜在需要について、市民販売で脱水ケーキを購入した顧客を抽出し、ヒアリング調査を行った結果分析より以下がわかった。

- ・現状の市民販売では、産業廃棄物対策課との取り決めで浄水場での現地販売しか行えないが、脱水ケーキ市民販売の顧客は高齢者が多いことから、製品として小売店で販売されるのであれば、価格が高くても売れる。(P78～83 脱水ケーキ販売実績調査結果より)

顧客層が農業に従事する高齢者であることから、市内の店舗で展開すれば、購入が容易となり、需要が見込めることが分かった。よって運搬距離を短くできる地産地消チャンネルを構築する。

##### b) 販売方針の妥当性

リサイクル製品化プラントの燃料である木質ペレットは、購入の時、旭東浄水場に運搬される。この際にリサイクル製品を販売することで運搬コストを削減できる。また、木質ペレットの焼却灰も同時に販売する。

この運搬を共有する販売と購入の受け渡しについて岡山市産業廃棄物対策課と協議した結果、以下の理由により了解を得た。

- ・岡山市水道局の浄水発生土は、岡山県のエコ製品認定されているため製品扱いである。
- ・木質ペレット焼却灰については、有価物販売であれば問題ない。

## II) リサイクル製品の販売モデルとその運用

### a) リサイクル製品の販売モデル

モデル構築方針に沿って以下(図. 2-24)のモデルを構築した

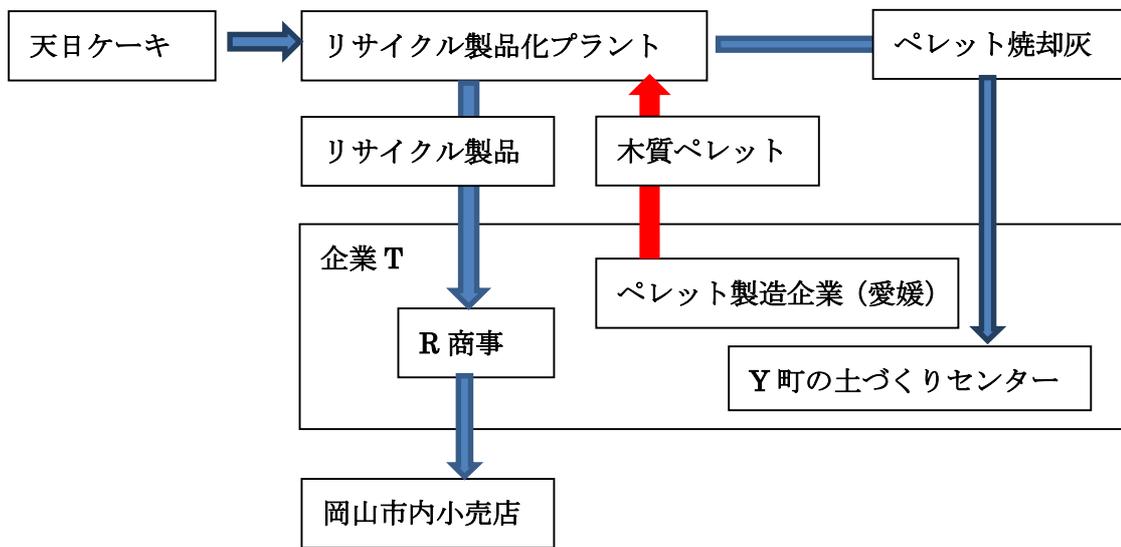


図. 2-24 リサイクル製品販売ビジネスモデル

方針に沿って地産地消のモデルとするとともに天日ケーキリサイクル製品製造から小売販売までの運搬を共有するため、旭東浄水場まで木質ペレットを運搬して来た運搬車にリサイクル製品およびペレット焼却灰を積載して、リサイクル製品は、岡山市内でR商事が展開する小売店グループに運搬し、ペレット焼却灰は企業Tと共同出資でペレット製造を行うY町の土づくりセンターで堆肥化する。

### b) リサイクル製品販売の苦情処理

リサイクル製品の袋には、販売元が企業Tであることを明記し、苦情・要望などは企業Tのコールセンターが受け付ける。

②浄水発生土処理計画システムおよびプログラム開発

I) リサイクル事業ビジネスモデル

現状に天日ケーキリサイクル販売チャンネルを付加して図. 2-25 のモデルを構築する。

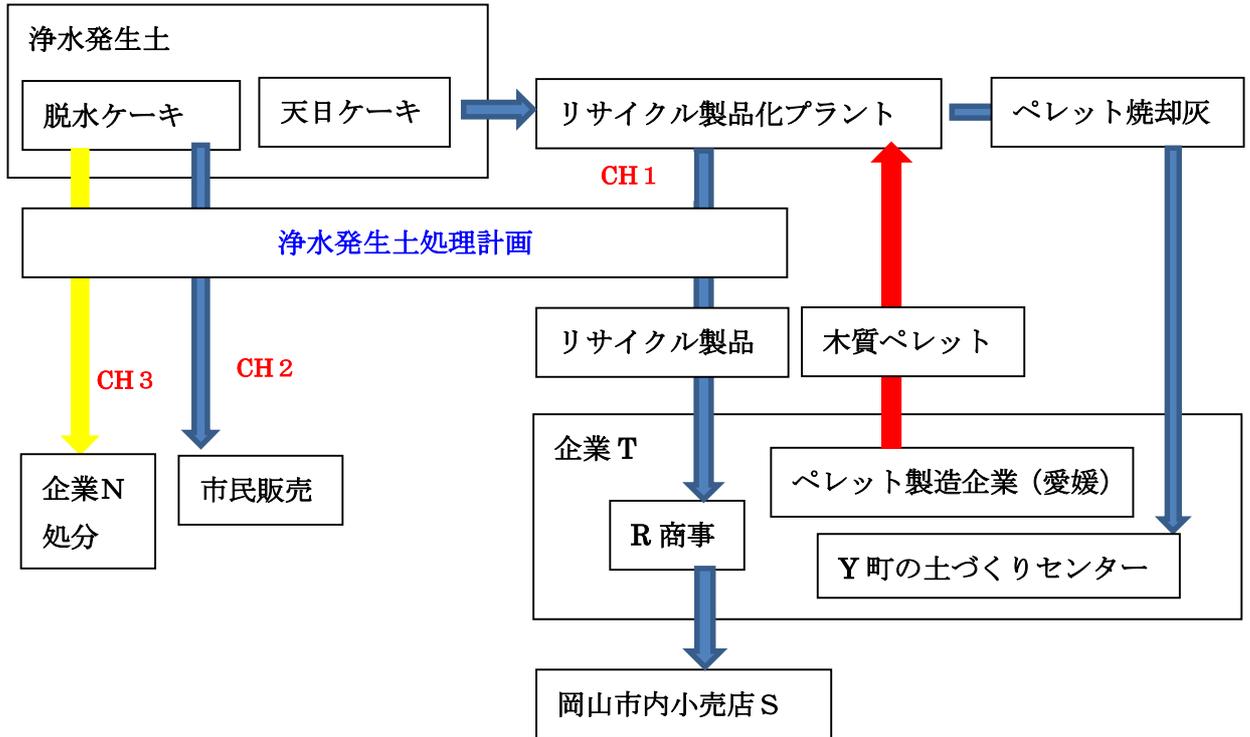


図. 2-25 浄水発生土リサイクル事業ビジネスモデル

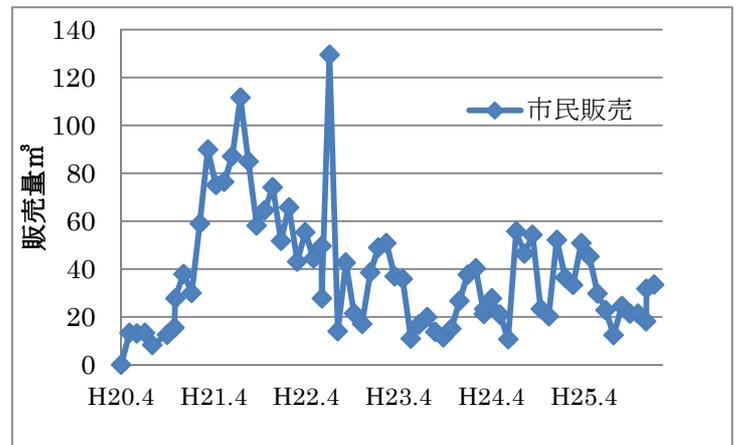
3つのチャンネルへの配分および販売価格を上手く計画することでビジネスモデルを効率的に運用可能である。

II) 浄水発生土処理計画システムおよびプログラム開発

a) 販売チャンネルの販売実績分析および考察

市民販売実績（以下グラフ. 2-15）は、変動が大きく、販売サイドで予測できない販売である。コスト面を考察すると浄水場での現地販売で袋等も市民が持参で来るため、手間がかからず販売価格は安価であるにもかかわらず利益率は良い。

一方で、産業廃棄物処分は、受け皿が大きく、計画的に大量の処分が可能である。しかし、コスト面では、運搬費（3800 円/t）および処分費（7500 円/t）がかかり利益はない。



グラフ. 2-15 市民販売実績の推移

リサイクル製品の販売について考察すると地産地消で販売を展開するため、市場が小さく売れない時と売れる時の生産調整が必要と推測される。一方で企業を通しての販売であり、生産調整は小さいと考えられる。このため販売量変動はあるが小さいと考えられる。コスト面では、販売価格は市民販売と比較して高価に設定できるが、製品化プラントによる手間、電力量、燃料代がかかるため、利益率は少ない。もしくは、企業Tとの交渉により利益が上がらないケースも想定される。

b) 浄水発生土処理計画手順の開発

市民販売は、実績から変動が大きく、利益率が高く、リサイクル製品販売は、変動は小さく、利益率が低いと推測される。この特性を用いて、技術的課題〈2-3〉—(3)—①の解決方法として最小分散法による処分も含めた処理計画手順を図. 2-26 に示す。

図. 2-25 および 2-26 において企業Tへのリサイクル製品販売をCH1、市民販売をCH2、企業Nへの処分をCH3とする。S1ステップでCH1、CH2の処理実績を取得し、S2ステップで当月の生成量T0(CH1+CH2+CH3)を取得する。S3ステップで過去1年の処理実績の最大値からCH1およびCH2の上限設定量M1およびM2を設定する。CH1およびCH2への割り当て総和T1は、当月生成量T0>T1の時、T1=M1+M2であり、T0<T1の時、T0となる。

S5ステップでCH3への割当量D3はT0-T1となる。S6ステップでCH1の配分比をA、CH2の配分比を1-Aとし、配分比Aの設定可能範囲を1-M2/T1以上M1/T1以下で算出する。S7ステップで配分比Aに対して、CH1およびCH2の処理実績から次式で分散を演算する。

$$Var(XY) = A^2Var(X) + B^2Var(Y) + 2ABCov(XY) \quad \dots(1)$$

ここで、Var(X)は、過去のチャンネルCH1における処理実績量の分散、Var(Y)は、過去のチャンネルCH2における処理実績量の分散、Cov(XY)は、過去のチャンネルCH1における処理実績量およびチャンネルCH2における処理実績量の共分散である。



図. 2-26 処理計画手順

S 8ステップでは分配比Aの設定可能範囲において、Var (XY) が最も小さくなるときの分配比Aを設定する。そして分配比Aに基づいて、チャンネルCH1の割当量およびチャンネルCH2の割当量を設定する。

このようにVar (XY) を設定することによって、チャンネルCH1およびチャンネルCH2の処理実績量の変動を小さくすることができる。チャンネルCH1およびチャンネルCH2の処理実績量の変動が小さくなることによって、割当量と処理実績量の差が小さくなる。これにより、CH1の準備工程に投入される費用、およびCH2の準備工程に投入される費用を削減する。

## (5) 解決方法の評価

### ①リサイクル製品販売モデルの検証

企業Tと協議し、リサイクル製品の試験販売を以下の条件で設定し、実施した。

#### I) 試験販売条件

- a) 企業Tへの卸価格は、製造コスト算定は73円/袋（袋代除く）であるが、交渉の結果、67円/袋（袋代除く）で設定した。
- b) 小売店Sでの販売価格は、企業Tと小売店Sが協議して設定価格を298円/袋とした。
- c) 岡山市水道局が脱水ケーキの袋販売を行っているデザイン袋は、熱処理を行っていない脱水ケーキを取り扱っているため差別化を図り設定価格が相違しても需要者から苦情が来ないようにデザインを変更して試験販売を行う。(P86 写真.3-5 参照)

#### II) 試験販売結果

試験販売（写真.2-5 および2-6）の結果、設定価格298円/袋で販売が可能であった。このことから正規販売においては製造コスト73円以上で設定する。しかし、岡山市内での1店舗あたりの販売数量は少なく、少数店舗では生産調整が必要なことが判明した。また、市内店舗による試験販売より郊外における販売の方が需要が推測される。R商事の小売店Sは岡山県内に10店舗あるためであることから、今後、企業Tと協議して郊外での販売に関して試験を継続していく。



写真. 2-5 販売試験①



写真. 2-6 販売試験②

#### 4) 灯油バーナ乾燥装置による基礎実験と実験結果

木質ペレットバーナ乾燥装置の制御システム開発、性能設計、システム熱効率設定など技術的課題の把握のため以下の基礎実験を行い、実験結果を分析した。

##### (1) 実験目的

- ① 天日ケーキ投入量の変化およびドラム回転数変化による乾燥後物温度の影響の相関性を調べ、制御因子を決定すること。ドラム回転数に関しては、回転数が速ければ滞留時間が短くなり、回転数が遅ければ滞留時間が長くなることから滞留時間の指標と考える。
- ② 乾燥実験装置の乾燥機に含水した天日ケーキが投入されると水分の温度上昇と蒸発に熱量が消費されるため排ガス温度が低下する。乾燥後物温度を乾燥機出口排ガス温度で制御するために乾燥機出口排ガス温度と乾燥後物温度の相関性を調べ、制御因子を決定すること。
- ③ 乾燥後物温度と乾燥後物含水率の相関性を調べ、乾燥による含水調整効果を確認すること。
- ④ 乾燥後物温度と投入熱量の関係を発見し、制御因子を決定すること。また、含水率が高い三野浄水場の天日ケーキに対して乾燥後物の土壌殺菌および含水調整を達成可能な木質ペレットバーナ能力を算定すること。
- ⑤ 灯油バーナ乾燥機の熱効率から木質ペレットバーナ乾燥装置の熱効率を算定する。

##### (2) 基礎的実験の条件

- ① 投入天日乾燥ケーキの含水率 38.6~45.2% (三野浄水場の天日ケーキ)
  - I) 天日ケーキ投入量 170 kg/h、340 kg/h (抽出された仮説制御因子)
  - II) 乾燥機ドラム回転数 2rpm、4rpm (抽出された仮説制御因子)
  - III) 投入粒径 20mm 未満の天日ケーキ (手でほぐしたもの)
- ② 天日ケーキ乾燥後物の温度 80℃、推定滞留時間 15分(2rpm) (土壌殺菌条件)  
→乾燥排気出口温度 (抽出された仮説被制御因子)

##### (3) 基礎的実験の装置

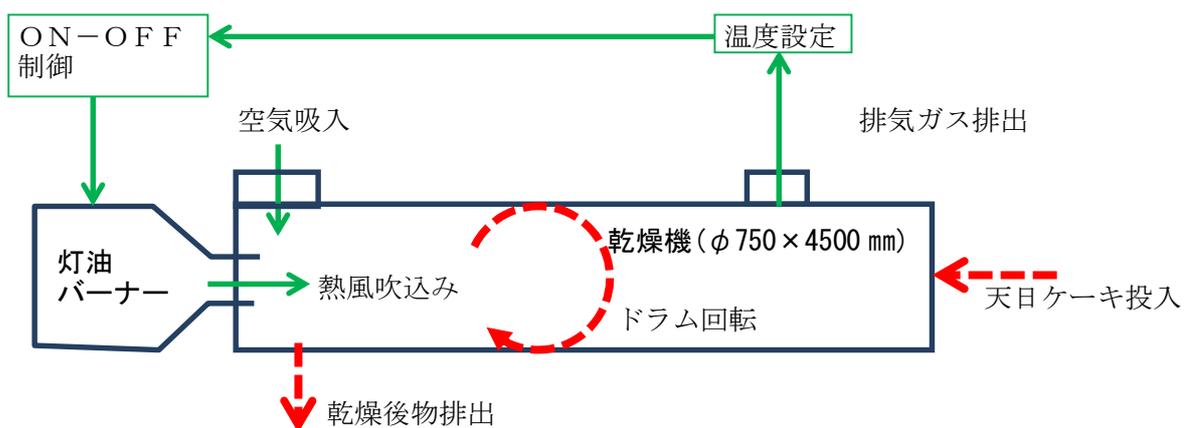


図. 2-27 基礎的な乾燥実験装置

本文

①灯油バーナ乾燥装置（バーナ部）



写真. 2-7 灯油バーナ乾燥装置（バーナ部）

② 灯油バーナ乾燥装置（乾燥機）



写真. 2-8 灯油バーナ乾燥装置（乾燥機）

(4) 基礎的実験の結果

【条件】											
絶乾状態の試料の比熱		0.2 kcal/kg・°C		理論空気量		11.52 Nm <sup>3</sup> /kg					
初期試料温度(≒室温)		30 °C		理論排ガス量(乾き)		11.08 Nm <sup>3</sup> /kg					
				理論排ガス量(湿り)		12.53 Nm <sup>3</sup> /kg					
表1.【実測データ】											
run No.	ドラム回転数	処理量	乾燥機出口 排ガス温度	乾燥後物 温度	乾燥前 試料含水率	乾燥後物 含水率	灯油消費量	乾燥機出口 O <sub>2</sub> 濃度	乾燥機出口 CO <sub>2</sub> 濃度	乾燥後試料形状	形状 目視
	rpm	kg/h	°C	°C	wt%	wt%	kg/h	vol%	vol%		
run 1	2	180	100	120	42.0	4.7	※1 10.40	18.1	2.0		20mm未満
run 2	2	180	80	85	42.0	7.7	7.02	18.7	1.6		20mm未満
run 3	2	180	120	195	42.0	1.5	13.77	18.3	1.9		20mm未満
run 4	2	360	120	100	42.0	10.1	12.96	18.0	2.1		20mm未満
run 5	3	180	80	80	38.6	9.2	6.15	18.2	1.9		20mm未満
run 6	1	180	80	-	-	-	-	-	-	排出されず	
run 7 ※2	4	360	120	90	45.2	12.0	15.27	18.1	2.0		20mm未満 粒径は小
run 8 ※2	3	360	120	100	45.2	8.6	14.40	18.0	2.1		20mm未満 粒径は小

※1 灯油消費量未測定のためrun2とrun3の平均値とした。

※2 run6でドラム回転数1rpm設定は不可能であることが判明し、ドラム回転数設定を計画と変更した。

本文

## 5) リサイクル製品化プラント開発実験と実験結果

### (1) 実験目的

- ①制御演算式の算定
- ②リサイクル製品評価（農業利用、保管性）
- ③リサイクルプラント評価（発芽抑制、製品回収、処理能力、製造コスト、作業環境）

### (2) 実験装置

建設した以下のリサイクル製品化プラントで実施した。

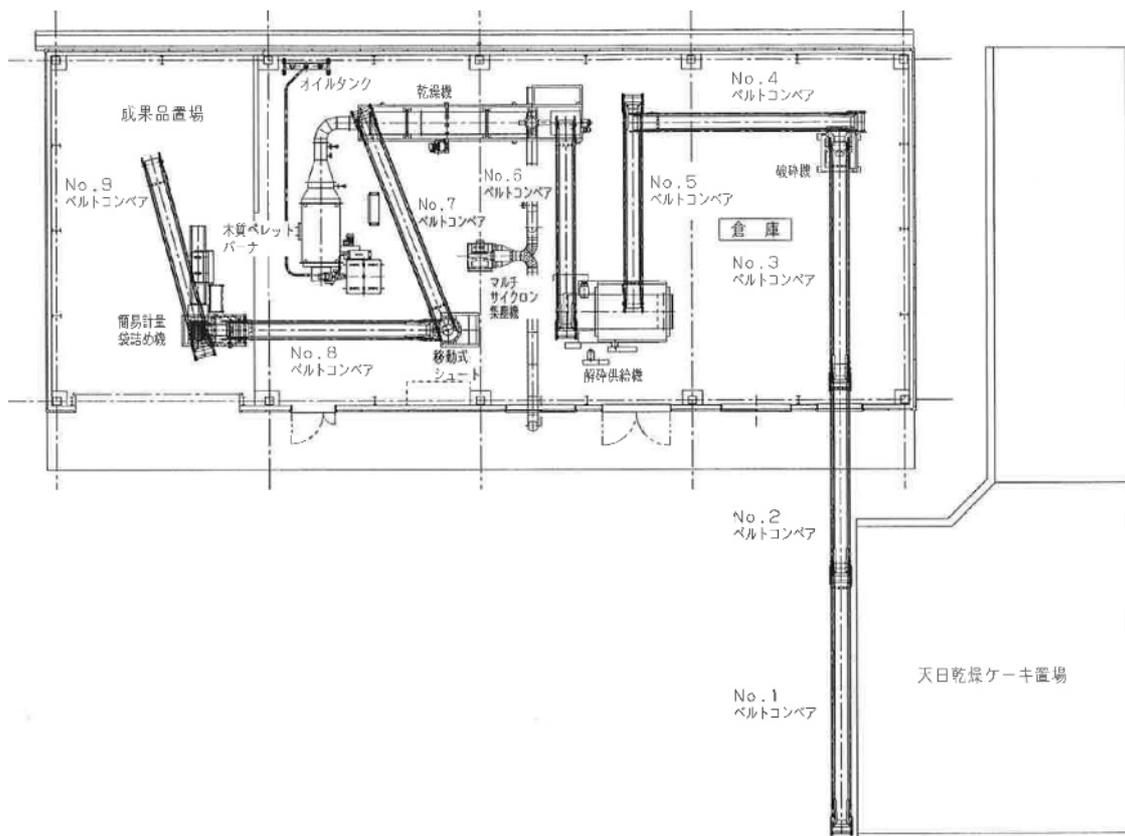


図. 2-28 実験装置（リサイクル製品化プラント）

### ① 実験方法

#### I) 制御演算式の算定

天日ケーキ（旭東）、天日ケーキ（三野）および脱水ケーキに対して、供給量を 200kg/h、400kg/h で、排気温度を 90℃、120℃、150℃で変化させたときの乾燥後物温度と含水率を測定する。

#### II) 農業利用評価および保管性評価

農業利用分析試験（pH、腐植、全窒素、粒径分布）および保管性分析試験（一般細菌）のサンプルを抽出して試験委託する。

#### III) リサイクルプラント評価（発芽抑制、製品回収、処理能力、製造コスト、作業環境）

生産量（生産袋数）およびサイクロン集塵機での集塵量、電力量を計測する。

本文

② 実験作業



写真. 2-9 実験作業



写真. 2-10 組み換え作業

本文

(3) 制御システム開発実験および発芽抑制指標の設定および測定結果

◆乾燥→破碎実験

管理No	工程	Run No	次テストNo	原料条件			定量供給機周波数測定値			乾燥機条件			破碎条件		評価測定項目 熱処理後物温度 レーザー放射 温度計測定																								
				前テストNo	含水率 %	粒径 mm	キャタピラ HZ	前カッター Hz	原料供給量 kg/h	ドラム回転数 rpm	ハート排気温度 °C	排気温度 °C	クリアランス mm	回転数 rpm																									
	乾燥 脱水 (三野)	Run 1-1	Run A-1~6		60.6	10	17	30	100	2	200	90	5	300	43.8																								
															250	120	50.5																						
															300	150	59.8																						
		Run 1-2	Run B-1~6												200	90	37.0																						
															250	120	46.7																						
															300	150	53.7																						
	乾燥 天日 (旭東)	Run 2-1	Run C-1~6	30	10~30	25	30	200	200	2	200	90	5	900	44.7																								
															280	120	61.3																						
															337	146	89.1																						
		Run 2-2	Run D-1~7												200	90	37.6																						
															280	120	54.0																						
															337	146	75.4																						
	乾燥 天日 (三野)	Run 3-1	Run E-1~6	45.2	10~30	25	30	200	200	2	250	120	5	900	48.6																								
															300	150	65.2																						
															300	90	93.0																						
		Run 3-2	Run F-1~6												200	90	47.4																						
															250	120	55.1																						
															300	150	75.6																						
7	破碎 脱水 (三野)	Run A-1	Run 1-1										5	300	300																								
8		Run A-2													900																								
9		Run A-3													300																								
10		Run A-4													900																								
11		Run A-5													300																								
12		Run A-6													900																								
13		Run B-1	300																																				
14		Run B-2	900																																				
15		Run B-3	300																																				
16		Run B-4	900																																				
17		Run B-5	300																																				
18		Run B-6	900																																				
19		Run C-1	Run 2-1																						5	300	300												
20		Run C-2																									900												
21		Run C-3																									300												
22		Run C-4																									900												
23		Run C-5																									300												
24		Run C-6																									900												
25	Run D-1	Run 2-2											5	300													300												
26	Run D-2																										900												
27	Run D-3																										300												
28	Run D-4																										900												
29	Run D-5																										300												
30	Run D-6																										900												
31	Run E-1	Run 3-1																																			5	300	300
32	Run E-2																																						900
33	Run E-3																																						300
34	Run E-4																																						900
35	Run E-5																																						300
36	Run E-6																																						900
37	Run F-1	Run 3-2																							5	300													300
38	Run F-2																																						900
39	Run F-3																																						300
40	Run F-4																																						900
41	Run F-5																																						300
42	Run F-6																																						900

◆破碎→乾燥実験

管理No	工程	Run No	次テストNo	原料条件			定量供給機周波数設定			乾燥機条件			破碎条件		評価測定項目 熱処理後物温度 レーザー放射 温度計測定																	
				前テストNo	含水率 %	粒径 mm	キャタピラ HZ	前カッター Hz	原料供給量 kg/h	ドラム回転数 rpm	ハート排気温度 °C	排気温度 °C	クリアランス mm	回転数 rpm																		
	破碎 天日 (旭東)	Run 7-1	Run G-1~6 Run H-1~6		30	10~30				2	200	90	5	900	47.2666667																	
															250	120	59.6															
															300	150	69.5															
															乾燥 天日 (旭東)	Run 7-1	1~8	30	1~8	25	30	200	200	2	250	120	5	900	44.4333333			
																													35	50	400	49.0333333
																													380	150	53.8	
Run 7-1	1~8	200	90	46.2																												
		250	120	58.6666667																												
		300	150	68.7333333																												
Run 7-1	1~8	200	90	40.9333333																												
		250	120	51.9666667																												
		380	150	54.2333333																												

管理No	工程	Run No	次テストNo	原料条件			定量供給機周波数設定			乾燥機条件			破碎条件		評価測定項目 熱処理後物温度 レーザー放射 温度計測定													
				前テストNo	含水率 %	粒径 mm	キャタピラ HZ	前カッター Hz	原料供給量 kg/h	ドラム回転数 rpm	ハート排気温度 °C	排気温度 °C	クリアランス mm	回転数 rpm														
	破碎 天日 (三野)	Run 8-1	Run 1-1~6		45.2	10~200				2			5	900														
															乾燥 天日 (三野)	Run 8-1	1~8	35	50	400	2	200	90	5	900	○		
																										250	120	○
																										350	150	○
															Run 8-1	1~8	200									90	43.4	
																	250									120	51.5666667	
350	150	80.6																										



本文

(5) リサイクル製品の保管性評価のための指標測定結果

◆乾燥→破砕実験

管理 No	工程	Run No	次テストNo	原料条件				定量供給機間波数測定値				乾燥機条件			破砕条件		評価項目		比較基準試験														
				前テストNo	含水率 %	粒径 mm	キャタピラ HZ	前カッター	原料供給量 kg/h	ドラム回転数 rpm	入り排気温度℃	排気温度℃	クリアランス mm	回転数 rpm	含水率測定	一般細菌試験	一般細菌試験	含水率測定															
	乾燥 粗水 (三野)	Run 1-1	Run A-1~6	60.6	10	17	30	100	2	200	90																						
		Run 1-2	Run B-1~6							250	120																						
	乾燥 天日 (旭東)	Run 2-1	Run C-1~6							30	10~30									25	30	200	2	200	90								
		Run 2-2	Run D-1~7																					250	120								
		Run 3-1	Run E-1~6																					200	90								
		Run 3-2	Run F-1~6																					250	120								
7	破砕 脱水 (三野)	Run A-1	Run 1-1	45.2	10~30	25	30	200	2	200	90	5	300	51.6	2700	840000	60.6																
		Run A-2								200	90																						
		Run A-3								260	120																						
		Run A-4								280	120																						
		Run A-5								300	150																						
		Run A-6								300	150																						
		Run B-1	Run 1-2							200	90																						
		Run B-2								200	90																						
		Run B-3								200	90																						
		Run B-4								260	120																						
		Run B-5								300	150																						
		Run B-6								300	150																						
		Run C-1	Run 2-1							200	90																						
		Run C-2								200	90																						
		Run C-3								260	120																						
		Run C-4								260	120																						
		Run C-5								337	146																						
		Run C-6								300	150																						
Run D-1	Run 2-2	200	90																														
Run D-2		200	90																														
Run D-3		200	90																														
Run D-4		260	120																														
Run D-5		300	150																														
Run D-6		300	150																														
Run E-1	Run 3-1	200	90																														
Run E-2		200	90																														
Run E-3		200	90																														
Run E-4		250	120																														
Run E-5		250	120																														
Run E-6		300	150																														
Run F-1	Run 3-2	200	90																														
Run F-2		200	90																														
Run F-3		250	120																														
Run F-4		250	120																														
Run F-5		300	150																														
Run F-6		300	150																														

◆破砕→乾燥実験

管理 No	工程	Run No	次テストNo	原料条件				定量供給機間波数測定値				乾燥機条件			破砕条件		評価項目		比較基準試験	
				前テストNo	含水率 %	粒径 mm	キャタピラ HZ	前カッター	原料供給量 kg/h	ドラム回転数 rpm	入り排気温度℃	排気温度℃	クリアランス mm	回転数 rpm	含水率測定	一般細菌試験	一般細菌試験	含水率測定		
	破砕 天日 (旭東)	Run 7-1	Run G-1~6	30	10~30	25	30	200	2	200	90	5	300	19.5	4000		30			
		Run G-2	250							120										
	Run G-3	300	150																	
	Run G-4	200	90																	
	Run G-5	250	120																	
	Run G-6	360	150																	
43	乾燥 天日 (旭東)	Run H-1	Run 7-1	30	1~8	25	30	200	2	200	90		900	20.9	18.6	15.2				
		Run H-2								250	120									
		Run H-3								300	150									
		Run H-4								200	90									
		Run H-5								250	120									
		Run H-6								380	150									

管理 No	工程	Run No	次テストNo	原料条件				定量供給機間波数測定値				乾燥機条件			破砕条件		評価項目		比較基準試験	
				前テストNo	含水率 %	粒径 mm	キャタピラ HZ	前カッター	原料供給量 kg/h	ドラム回転数 rpm	入り排気温度℃	排気温度℃	クリアランス mm	回転数 rpm	含水率測定	一般細菌試験	一般細菌試験	含水率測定		
55	破砕 天日 (三野)	Run 8-1	Run I-1~6	45.2	10~200	25	30	200	2	200	90	5	900	○	○	○				
		Run I-2	250							120										
	Run I-3	350	150																	
	Run I-4	200	90																	
	Run I-5	250	120																	
	Run I-6	350	150																	

本文

(6) プラント処理能力および製品化効率測定

◆乾燥→破碎実験

管理No	工程	Run No	次テストNo	原料条件			定量供給機周波数設定			乾燥機条件				破碎条件		測定項目		
				前テストNo	含水率 %	粒径 mm	キヤタビラ	HZ	前カッター	原料供給量 kg/h	ドラム回転数 rpm	バー排気温度 °C	排気温度 °C	クリアランス mm	回転数 rpm	製造製品 kg 13.5kg/袋	回収粉じん kg	
	乾燥脱水 (三野)	Run 1-1	Run A-1~6		60.6	10	17	30	100			200	90					
		Run 1-2	Run B-1~6				37	50	200			250	120					300
	乾燥天日 (旭東)	Run 2-1	Run C-1~6		30	10~30	25	30	200	2		280	120					
		Run 2-2	Run D-1~7				35	50	400			200	90					280
	乾燥天日 (三野)	Run 3-1	Run E-1~6		45.2	10~30	25	30	200			200	90					
		Run 3-2	Run F-1~6				35	50	400			250	120					300
7	破碎脱水 (三野)	Run A-1		Run 1-1					100			200	90	5				
8		Run A-2					100	200	90									
9		Run A-3					100	280	120									
10		Run A-4					100	280	120									
11		Run A-5					100	300	150									
12		Run A-6					100	300	150									
13	Run B-1		Run 1-2			200	90					200	90	5				
14	Run B-2					200	90											
15	Run B-3					200	280					120						
16	Run B-4					200	280					120						
17	Run B-5					200	300					150						
18	Run B-6					200	300					150						
19	破碎天日 (旭東)	Run C-1		Run 2-1			200	90						5				
20		Run C-2					200	200										90
21		Run C-3					200	250										120
22		Run C-4					200	250										120
23		Run C-5					200	337										148
24		Run C-6					200	337										148
25	Run D-1		Run 2-2			400	200	90						5				
26	Run D-2					400	200	90										
27	Run D-3					400	250	120										
28	Run D-4					400	250	120										
29	Run D-5					400	337	148										
30	Run D-6					400	337	148										
31	Run E-1		Run 3-1			200	90							5				
32	Run E-2					200	200											90
33	Run E-3					200	250											120
34	Run E-4					200	250											120
35	Run E-5					200	300											150
36	Run E-6					200	300											150
37	Run F-1		Run 3-2			400	200	90						5				
38	Run F-2					400	200	90										
39	Run F-3					400	250	120										
40	Run F-4					400	250	120										
41	Run F-5					400	300	150										
42	Run F-6					400	300	150										

◆破碎→乾燥実験

管理No	工程	Run No	次テストNo	原料条件			定量供給機周波数設定			乾燥機条件				破碎条件		測定項目	
				前テストNo	含水率 %	粒径 mm	キヤタビラ	HZ	前カッター	原料供給量 kg/h	ドラム回転数 rpm	バー排気温度 °C	排気温度 °C	クリアランス mm	回転数 rpm	製造製品 kg 13.5kg/袋	回収粉じん kg
	破碎天日 (旭東)	Run 7-1	Run G-1~6		30	10~30								5			
		Run H-1~6															
43	乾燥天日 (旭東)	Run G-1		Run 7-1		1~8	25	30	200	2		200	90	5			
44		Run G-2					250	120									
45		Run G-3					300	150									
46		Run G-4					200	90									
47		Run G-5					250	120									
48		Run G-6					380	150									
49	Run H-1		Run 7-1			200	90							5			
50	Run H-2					250	120										
51	Run H-3					300	150										
52	Run H-4					200	90										
53	Run H-5					250	120										
54	Run H-6					380	150										

管理No	工程	Run No	次テストNo	原料条件			定量供給機周波数設定			乾燥機条件				破碎条件		測定項目	
				前テストNo	含水率 %	粒径 mm	キヤタビラ	HZ	前カッター	原料供給量 kg/h	ドラム回転数 rpm	バー排気温度 °C	排気温度 °C	クリアランス mm	回転数 rpm	製造製品 kg 13.5kg/袋	回収粉じん kg
	破碎天日 (三野)	Run 8-1	Run I-1~6		45.2	10~200								5			
		Run I-1		200			90										
55	乾燥天日 (三野)	Run I-2		Run 8-1		1~8	25	30	200	2		250	120	5			
56		Run I-3					350	150									
57		Run I-4					200	90									
58		Run I-5					250	120									
59		Run I-6					350	150									
60																	

生産量 粉じん  
8,090kg 325kg

本文

## 6) 自動運転制御の検証実験

### (1) 実験目的

① 自動運転制御（制御演算式およびシステム）の検証。

### (2) 実験装置

建設したリサイクル製品化プラント。

### (3) 実験方法

乾燥機への供給量設定 200 kg/h、400 kg/h、測定含水率設定および乾燥後物温度設定 40℃、60℃で実験装置であるリサイクル製品化プラントを運転し、乾燥後物温度を測定する。

### (4) 実験結果

No	工程	Run No	乾燥機条件			破碎条件		評価項目				
			含水率 %	粒径 mm	原料供給量 kg/h	ドラム回転数 rpm	乾燥後物温度 °C	クリアランス mm	回転数 rpm	熱処理後物温度 レーザー放射温度計測定	破碎後物粒径 (写真)	乾燥後物含水率
1	旭東 天日	Run 1	32.1	20~30	200	2rpm	40	900rpm	44	○	21.7	10.0%
2		Run 2					60		68	○	10.8	13.3%
3		Run 3			400		40		42	○	26	5.0%
4		Run 4			60		56		○	11.9	-6.7%	



(2) 溶出試験結果

報告番号 23-17

分析試験報告書

御依頼事業所 岡山市水道局 御中  
 採取場所 旭東浄水場 採取者 貴局担当  
 試料名 天日乾燥ケーキリサイクル製品  
 御依頼年月日 平成25年10月23日 採取年月日 平成25年10月28日

上記供試品についての分析試験結果は下記のとおりであることを報告いたします。

項目	単位	溶出量試験 測定値	定量 下限値	計量の 方法
カドミウム及びその化合物 (Cd)	mg/L	ND	0.001	規格 55.4 ICP質量分析法
六価クロム化合物 (Cr <sup>6+</sup> )	mg/L	ND	0.02	規格 65.2.5 ICP質量分析法
シアン化合物 (CN)	mg/L	ND	0.1	規格 38.1.2及び規格 38.3 吸光度法
水銀及びその化合物 (Hg)	mg/L	ND	0.0005	S46年環境庁告示第59号 付表1 還元気化-原子吸光法
アルキル水銀化合物	mg/L	ND	0.0005	S46年環境庁告示第59号 付表2 ECD-ガスクロマトグラフ法
セレン及びその化合物 (Se)	mg/L	ND	0.002	規格 67.4 ICP質量分析法
鉛及びその化合物 (Pb)	mg/L	ND	0.005	規格 54.4 ICP質量分析法
砒素及びその化合物 (As)	mg/L	ND	0.005	規格 61.4 ICP質量分析法
ふっ素及びその化合物 (F)	mg/L	ND	0.08	規格 34.1 ランタン-アリザリンコンプレキソン法
ほう素及びその化合物 (B)	mg/L	ND	0.05	規格 47.4 ICP質量分析法
シマジン	mg/L	ND	0.0003	S46年環境庁告示第59号 付表5 第1 溶媒抽出ガスクロマトグラフ質量分析法
チオベンカルブ	mg/L	ND	0.002	S46年環境庁告示第59号 付表5 第1 溶媒抽出ガスクロマトグラフ質量分析法
チウラム	mg/L	ND	0.0006	S46年環境庁告示第59号 付表4 溶媒抽出高速液体クロマトグラフ法
ポリ塩化ビフェニル (PCB)	mg/L	ND	0.0005	S46年環境庁告示第59号 付表3 ECD-ガスクロマトグラフ法
有機りん化合物	mg/L	ND	0.1	S49年環境庁告示第64号 付表1 FPD-ガスクロマトグラフ法
備考	1. 業務名：旭東浄水場発生ケーキ分析業務 2. 計量の方法：平成15年環境省告示第18号 3. 測定値は検液中での値。 4. 規格：JIS K0102 (2008) 5. ND：定量下限値未満			
濃度計量証明事業 岡山県登録第6-14号 音圧レベル計量証明事業 岡山県登録第7-5号 振動加速度レベル計量証明事業 岡山県登録第8-3号 株式会社 エクスラン・テクニカル・センター 〒704-8194 岡山市東区金岡東町3丁目3番1号 TEL (086) 943-7253 FAX (086) 943-9105 平成25年11月19日 環境計量士 桑田 康幸				

報告番号 23-16

# 分析試験報告書

御依頼事業所 ..... 岡山市水道局 御中  
 採取場所 ..... 旭東浄水場 採取者 ..... 貴局担当  
 試料名 ..... 天日乾燥ケーキ リサイクル製品  
 御依頼年月日 ..... 平成25年10月23日 採取年月日 ..... 平成25年10月28日

上記供試品についての分析試験結果は下記のとおりであることを報告いたします。

項目	単位	溶出量試験 測定値	定量 下限値	計量の方法
四塩化炭素	mg/L	ND	0.0002	JIS K0125 5.2 (1995) ヘッドスペースガスクロマトグラフ質量分析法
1,2-ジクロロエタン	mg/L	ND	0.0004	JIS K0125 5.2 (1995) ヘッドスペースガスクロマトグラフ質量分析法
1,1-ジクロロエチレン	mg/L	ND	0.002	JIS K0125 5.2 (1995) ヘッドスペースガスクロマトグラフ質量分析法
シス-1,2-ジクロロエチレン	mg/L	ND	0.004	JIS K0125 5.2 (1995) ヘッドスペースガスクロマトグラフ質量分析法
1,3-ジクロロプロペン	mg/L	ND	0.0002	JIS K0125 5.2 (1995) ヘッドスペースガスクロマトグラフ質量分析法
ジクロロメタン	mg/L	ND	0.002	JIS K0125 5.2 (1995) ヘッドスペースガスクロマトグラフ質量分析法
テトラクロロエチレン	mg/L	ND	0.0005	JIS K0125 5.2 (1995) ヘッドスペースガスクロマトグラフ質量分析法
1,1,1-トリクロロエタン	mg/L	ND	0.0005	JIS K0125 5.2 (1995) ヘッドスペースガスクロマトグラフ質量分析法
1,1,2-トリクロロエタン	mg/L	ND	0.0006	JIS K0125 5.2 (1995) ヘッドスペースガスクロマトグラフ質量分析法
トリクロロエチレン	mg/L	ND	0.002	JIS K0125 5.2 (1995) ヘッドスペースガスクロマトグラフ質量分析法
ベンゼン	mg/L	ND	0.001	JIS K0125 5.2 (1995) ヘッドスペースガスクロマトグラフ質量分析法
		以下余白		
備考	1. 業務名：旭東浄水場発生ケーキ分析業務 2. 計量の方法：平成15年環境省告示第18号 3. 測定値は検液中での値。 4. ND：定量下限値未満			
濃度計量証明事業 岡山県登録第6-14号 音圧レベル計量証明事業 岡山県登録第7-5号 振動加速度レベル計量証明事業 岡山県登録第8-3号 株式会社 エクスラン・テクニカル・センター 〒704-8194 岡山市東区金岡東町3丁目3番1号 TEL (086) 943-7253 FAX (086) 943-9105				
			平成25年11月19日	環境計量士
				桑田 康幸 

本文

8) 脱水ケーキ販売実績調査結果

脱水ケーキ有効利用事例調査票 (様式)

企業名 (個人)	企業 A	日時	H25. 9. 5	番号
住所	岡山市南区			1
連絡先				大口
企業概要 (個人)	園芸用パンジー、ビオラなどのポットを作成し、花市場に出荷するとともに、プランター植栽にして観葉植物とともにグリーンレンタルを行っている企業である。			
使用種類	パンジー、ビオラのポット苗の育成土			
使用に関する工夫点 (独自の配合など)	脱水ケーキ+真砂土+腐葉土+パーライト+他 2 種類を混合し、ポット苗育成土を製造している。 観葉植物の植え替え用に混合土を使用している。			
使用法 (写真)	【添付写真】 ・ポット苗の育成は良好 ・播種に関しては専用の育成土を使用している。 			
使用した感想および要望	効果&感想 運搬を委託しているので費用がかかる。(1車あたり 5000 円) コストを抑制可能な運搬方式を開拓してほしい。			
	要望 粒径が荒いので小さくしてほしい。			
要請品質 2)-(1)-⑤	パンジーやビオラの育成過程で不具合が発生したことはなく、特に問題はないと考えている。			
販売価格の妥当性 2)-(3)-③	安価であると思う。			

## 脱水ケーキ有効利用事例調査票（様式）

企業名（個人）	企業 B	日時	H25. 9. 5	番号
住所	岡山市南区			2
連絡先				大口
企業概要（個人）	ゼネコンや民間の植栽（屋上緑化含む）を工事として請負っている。			
使用種類	主として請負工事に使用。			
使用に関する工夫点 （独自の配合など）	脱水ケーキ＋パーク堆肥＋パーライト			
使用法（写真）	なし。			
使用した感想および要望	効果&感想 屋上緑化工事においては、軽量であることから非常に有利と考えている。 保水性が低いので保水性がある材料と混合して使用する必要がある。			
	要望 使用する対象が請負工事であるため、一度に数百トン単位で購入したい。			
要請品質 2)-(1)-⑤	品質に関しては、工事での使用事例は多いが、問題はない。			
販売価格の妥当性 2)-(3)-③	大変安価だと思う。			

脱水ケーキ有効利用事例調査票（様式）

企業名（個人）	個人 A	日時	H25. 9. 6	番号
住所	岡山市中区			3
連絡先				中口
企業概要（個人）	親戚の畑を借りて野菜とブドウを作っている。出荷はしていない。 野菜の種類は、トマト、ナス、キュウリ、ゴーヤ、ピーマンなど			
使用種類	野菜およびブドウの栽培に使用。			
使用に関する工夫点 （独自の配合など）	<ul style="list-style-type: none"> <li>・脱水ケーキ+マッシュルーム菌床（牛窓：ミツクラ）+化成肥料+堆肥</li> <li>・ポット苗を植える時、底に水はけのよい脱水ケーキを入れている。</li> <li>・底に入れる脱水ケーキにはEM肥料の万田酵素を添加している。</li> <li>・牛糞や鶏糞は私用しない方が出来がいい。</li> </ul>			
使用法（写真）	<p>【添付写真】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・連作してもブドウおよび野菜の育成状況は、良好。</li> </ul> <div style="display: flex; flex-wrap: wrap; justify-content: space-around;">         </div>			
使用した感想および要望	<p>効果&amp;感想</p> <p>3年以上の連作をするためには、土づくりが重要であり、脱水ケーキは効果的である。</p>			
	<p>要望</p> <p>現地販売なので運搬するのが、便利が悪い。小口宅配システムを構築すれば、需要はあると思う。</p> <p>脱水ケーキ単体ではなく、堆肥やマッシュルーム菌床を混合して野菜用の育成土として売ればいいと思う。</p>			
要請品質 2)-(1)-⑤	品質は、問題はない。			
販売価格の妥当性 2)-(3)-③	高いとは感じない。			

脱水ケーキ有効利用事例調査票（様式）

企業名（個人）	個人 B	日時	H25. 9. 10	番号
住所	岡山市南区			4
連絡先				中口
企業概要（個人）	自家菜園の畑で野菜やサツマイモの栽培をしている。			
使用種類	田から畑へ変更する客土、栽培土			
使用に関する工夫点（独自の配合など）	栽培土：脱水ケーキ+田の土+肥料+建設副産物			
使用法（写真）	<p>【添付写真】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ネギやサツマイモが良好に育成されている。</li> </ul> 			
使用した感想および要望	<ul style="list-style-type: none"> <li>・肥料混合など土づくりをして使用する分には問題はない。しかし、脱水ケーキだけでタマネギとニンニクを栽培した時は、育成が悪かった。</li> </ul>			
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・運搬が困難なので近くで販売してほしい。</li> <li>・混合土にしてほしい。</li> </ul>			
要請品質 2)-(1)-⑤	特になし。			
販売価格の妥当性 2)-(3)-③	ホームセンタと比較して安価である。			

脱水ケーキ有効利用事例調査票（様式）

企業名（個人）	個人 C	日時	H25. 9. 10	番号
住所	岡山市中区			5
連絡先				小口
企業概要（個人）	小規模園芸として花を栽培している。園芸が趣味			
使用種類	花の栽培土、駐車場敷均し土			
使用に関する工夫点 （独自の配合など）	脱水ケーキ＋もみ殻＋腐葉土			
使用法（写真）	<p>【添付写真】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・花壇での植物の栽培や花の栽培が良好に行える。</li> </ul> 			
使用した感想および要望	<ul style="list-style-type: none"> <li>・脱水ケーキを使用して土づくりをするようになって失敗が減った。</li> <li>・現地販売では、袋を用意する必要があるので意外とコストがかかる。</li> <li>・園芸用土も使うが、園芸が好きな人は土づくりをしている。</li> </ul>			
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・運搬が大変なので新しいサービスを考えてほしい。</li> <li>・コープのような宅配サービスを考えてほしい。</li> </ul>			
要請品質 2)-(1)-⑤	粒状の製品を開発してほしい。（駐車場敷均し用）			
販売価格の妥当性 2)-(3)-③	非常に安価である。			

脱水ケーキ有効利用事例調査票（様式）

企業名（個人）	個人 D	日時	H25. 9. 11	番号
住所	岡山市中区			6
連絡先				中口
企業概要（個人）	「土づくり」を行い、自家用（親戚、近所用）の野菜栽培や園芸を行っている。			
使用種類	野菜栽培、園芸			
使用に関する工夫点 （独自の配合など）	脱水ケーキ＋ぬか、もみ殻、落ち葉＋鶏糞＋生ごみ→6 か月寝かせる。 （脱水ケーキ単独で使用すると栽培はできない。）			
使用法（写真）	<p>【添付写真】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 良好な野菜栽培が行えている。</li> </ul> 			
使用した感想および要望	非常に良質な野菜が栽培できると感じる。			
	現状の激安単価での販売形態を継続してほしい。 継続的に購入するには広報宣伝がうまくないといけない。たとえば、定期的なダイレクト郵便などを送付してもらえば、近所に声はかける。			
要請品質 2)-(1)-⑤	問題はない。			
販売価格の妥当性 2)-(3)-③	安価だと思う。			

本文

### 3. 実証施設の設置場所等

旭東浄水場内に建屋を建設し、建屋内に天日ケーキリサイクル製品化プラントを設置した。以下に設置場所付近の状況、製品化プラントを設置する建屋の状況、製品化プラント設置の状況を示す。

#### 1) 設置場所付近の状況

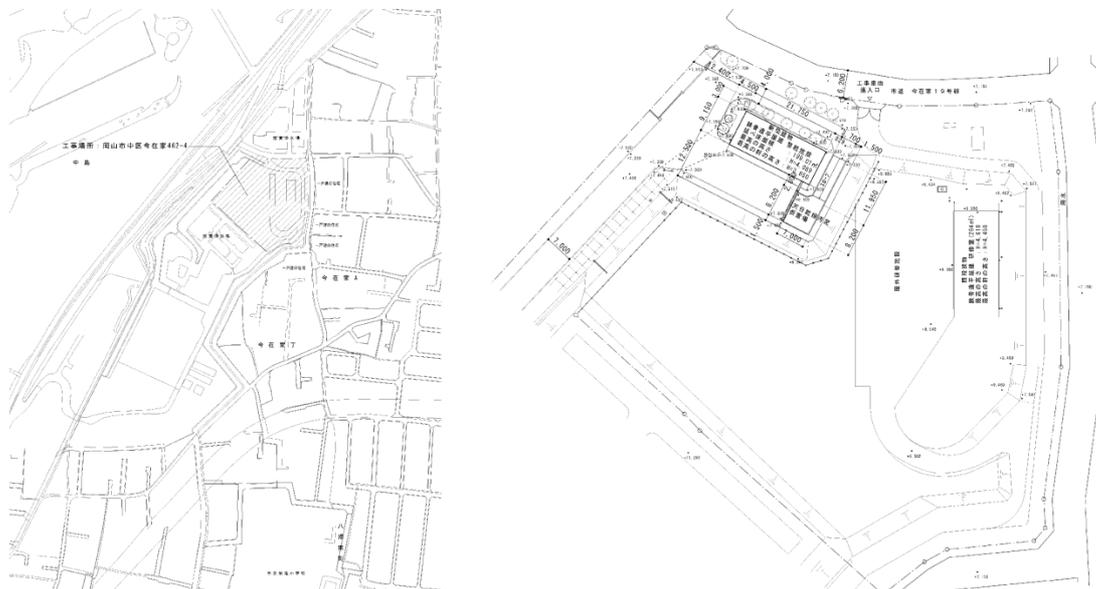


図. 3-1 旭東浄水場附近見取り図および浄水場内配置図

旭東浄水場の西側は旭川であり、製品化プラント設置場所は東面において住宅と接している。浄水場内への設置であることから建屋排水、プラント冷却水に関して水質汚濁防止法が適用される。

#### 2) 建屋の状況



写真. 3-1 プラント建屋

本文

木質ペレットバーナーおよび破碎機が岡山市環境保全条例の騒音・振動の特定施設、木質ペレットバーナーが岡山市火災予防条例の届出施設であることから建屋の壁は不燃材料で防音性が高い仕様とした。

### 3) 製品化プラント設置の状況

#### ① 木質ペレットバーナー



写真. 3-2 木質ペレットバーナー

#### ②天日ケーキリサイクル製品化プラント



写真. 3-3 天日ケーキリサイクル製品化プラント

本文

#### 4) リサイクル製品

##### ①リサイクル製品 (おかやま産土)



写真. 3-4 リサイクル製品 (市民販売用)

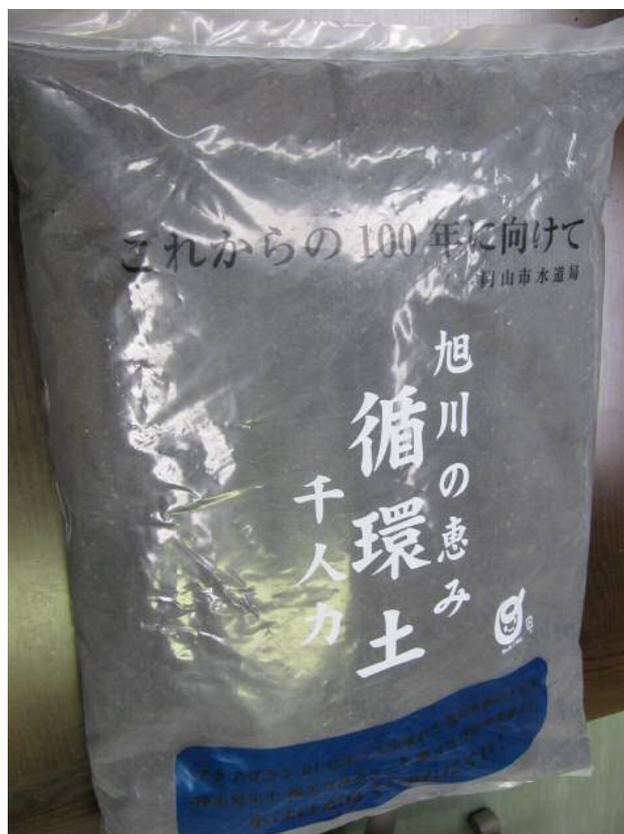


写真. 3-5 リサイクル製品 (地産地消用)

4. 開発した技術がもたらす効果

1) 浄水発生土リサイクル事業のコスト削減

リサイクル製品化プラント運転の費用は、財政的に水道事業区分の再任用制度で充填する予定であり水道料金により回収されるものとした場合の15年の間、実施した時の費用対効果を示す。

表. 4-1 費用対効果分析 (再任用：消費税8%)

項目		金額	項目		金額
水道事業区分	①リサイクル製品化プラント建設費		リサイクル事業区分	①天日ケーキ運搬削減費 3800円/t×15年×500t	30,780,000
	建屋築造費：15年換算	9,350,754		②天日ケーキ処分費 7500円/t×15年×500t	60,750,000
	プラント建設費	45,166,189		小計	91,530,000
	研究開発費	10,639,000			
	環境研究総合推進費補助金	-23,653,000		③リサイクル製品販売収益	
	小計	41,502,943		年間販売袋：30000袋	35,478,000
	②運転費 15年			販売単価：73円/袋	
	再任用制度 2人	128,872,275		小計	35,478,000
	小計	128,872,275			
	計	170,375,218			
リサイクル事業区分	③動力費 15年				
	木質ペレット	25,777,440			
	電力使用量	14,400,000			
	小計	40,177,440			
	計	40,177,440			
総計		210,552,658	計	127,008,000	
			総計	127,008,000	
			効果/費用	3.161177019	

リサイクル製品化プラント運転を外部委託で考える場合、運転費については水道事業区分ではなく、リサイクル事業区分として取り扱う必要がある。この場合、開発検証実験からリサイクル製品化プラントの運転に必要な人員は、自動運手システムによることから普通作業員2人(単価14,700円/日)で十分であり、年間天日ケーキ発生量500tをプラント処理能力3.2t/日で処理するため、かかる日数が156日となり運転委託費は4,586,400円/年(税抜)となる。

以下にリサイクル製品化プラントの運転委託を15年の間、実施した時の費用対効果を示す。

表. 4-2 費用対効果分析 (委託：消費税8%)

費用		金額	効果		金額
項目			項目		
水道事業区分	①リサイクル製品化プラント建設費		リサイクル事業区分	①天日ケーキ運搬削減費 3800円/t×15年×500t	30,780,000
	建屋築造費：15年換算	9,350,754		②天日ケーキ処分費 7500円/t×15年×500t	60,750,000
	プラント建設費	45,166,189		小計	91,530,000
	研究開発費	10,639,000			
	環境研究総合推進費補助金	-23,653,000		③リサイクル製品販売収益	
	計	41,502,943		年間販売袋：30000袋	35,478,000
	②運転委託 15年			販売単価：73円/袋	
	運転委託費	72,679,680		小計	35,478,000
	小計	72,679,680			
	計	112,857,120			
リサイクル事業区分	③動力費 15年				
	木質ペレット	25,777,440			
	電力使用量	14,400,000			
	小計	40,177,440			
	計	40,177,440			
総計		154,360,063	計	127,008,000	
			効果/費用	1.12538757	

再任用制度による人材調達を行った場合、見た目には費用対効果が3.16となり、効果的に見える。委託の場合では費用対効果が1.125（年間950,000円のコスト縮減）となる。しかし、設定した15年間の総計では、運転を委託した方が56,000,000円程度安価となる。これは再任用制度が平成26年度から改正になり、管理職で退職する人を再雇用する際の費用算定が変わったことによる。今後は、再任用制度から退職延長などの制度変更が考えられるため、安価で弾力性のある対策である運転委託を採用する予定である。運転委託による事業運営においても現状よりは効果があると判断される。また、表.4-2による試算は、試験販売時の製造原価である73円/袋で設定しており、需要家に好評であれば73円/袋以上の設定価格も可能である。採用する表.4-2の費用対効果は、プロモーションなどの販売促進の影響を大きく受けると考えられる。

## 5. まとめ

### 1) 総括

粒径制御破碎機と木質ペレットバーナ乾燥装置をコンベアで連結したリサイクル製品化プラントを自動運転することで主として天日ケーキのリサイクル製品を製造した。

設置したリサイクル製品化プラントは破碎能力が2000 kg/h、木質ペレットバーナ乾燥装置の天日ケーキに対する最大乾燥能力は、460 kg/h程度（伝熱容量評価）である。脱水ケーキに関しては最大乾燥能力は、100 kg/h程度であることが分かった。一方で乾燥後物温度80℃基準を採用すれば、天日ケーキに対する最大乾燥能力は、300 kg/h程度である。ただし、脱水ケーキに関しては適用不能となる。また、熱効率的に灯油バーナとほぼ同等のものが開発できた。

製造したリサイクル製品の農業利用性（pH、腐植、全窒素、粒径、発芽抑制）、製品の保管性について以下の評価からリサイクル製品を農業利用の土壌として販売可能と考える。

#### (1) 農業利用性

脱水ケーキおよび天日ケーキ（旭東）を原料として、リサイクル製品は、化学的および物理的にも温度の影響はほとんど受けず、農業利用に適していると考えられる。天日ケーキ（三野）も農業利用は可能であるが施肥や土壌改良材と混合して使用することが望ましいと考えられる。また、天日ケーキ（三野）に関しては原料の状態から農業利用指標の数値が悪いため、固液分離プロセスの運用を改善する必要がある。販売においては、pH、腐植、全窒素を明示して販売を行う必要がある。

#### (2) 保管性

保管性については、天日ケーキ（旭東）に関しては、含水率も40%以下、かつ、乾燥後の一般細菌も90%以上の除去率であり保管性に問題はないと考えられる。天日ケーキ（三野）については、含水率は40%以下であるが一般細菌除去率が50%程度であった。また、脱水ケーキについては、排気温度150℃で乾燥しても含水率が40%程度、一般細菌除去率は99.6%であった。カビなどの発生条件として含水率40%以上および一般細菌の存在という環境条件を考えると天日ケーキ（三野）、脱水ケーキともどちらか一方の条件はクリアしているためカビなどの発生確率は少ないと考える。

本文

### (3) リサイクル製品の発芽抑制

文献等の調査によれば 80℃という温度は種子死滅の温度と認識されており、また、温度も 50℃～80℃と範囲が広い。発芽抑制においては乾燥温度 50℃という見解もある。脱水ケーキに関して、固液分離プロセスから雑草種子混入の可能性が低いことから、水道事業者の先進事例では含水率 40%以下の乾燥という基準を取っている。天日ケーキの乾燥後物温度が 80℃という基準は、種子死滅温度と解釈すると乾燥後物温度を上げるほど種子死滅割合が多くなり発芽抑制できると考えられる。品質に関しては発芽抑制という考えで 50℃から 80℃の乾燥後物温度で乾燥処理を行うことが望ましいと考えられる。

開発したリサイクル製品化プラント性能について以下のことが言える。

### (4) 処理能力

品質指標である種子発芽抑制効果がボトルネックとなるが、本事業が対象とする天日ケーキ（旭東）に関しては、発芽抑制を重視し乾燥後物温度を 80℃設定にしても計画プラント能力である 0.3t/h (300 kg/h) は処理可能と判断できる。脱水ケーキに関しては、混入種子等が少ないと考え、基準として乾燥後物含水率 40%以下を採用すると 100 kg/h の能力があるといえる。

### (5) 製造コスト

販売価格設定において 328 円／袋の設定は実質不可能であるため、開発設置したリサイクル製品化プラントでの脱水ケーキの製品化は現実的でない判断できる。脱水ケーキの乾燥後物に関して現状の粒径制御破砕機は 2000 kg/h の処理能力を持つため、木質ペレットバーナ乾燥装置のスケールアップを行うことにより技術の適用は可能と考えられる。脱水ケーキを製造する脱水機システムを更新する際に、今回開発した技術の適用が課題である。

開発した技術は、販売対象とした天日ケーキ（旭東）に関しては有効であり、天日ケーキ（三野）に関しても固液分離プロセスの改善を行えば品質向上が見込めることが判明した。脱水ケーキに関しては製品化の基準を含水率 40%以下とし、処理能力の向上と製造コストの縮減を図るためにプラント設備のスケールアップを行う必要があると考える。

## 2) 技術波及による環境政策への貢献

本研究開発の成果であるリサイクル製品製造技術を用いれば、河川水を浄水処理する水道事業者で発生する浄水発生土を小さな環境影響でリサイクル製品に変換し、社会にリサイクル製品を循環することが以下の理由により可能であると考えられる。

- (1) 開発したリサイクル製品化プラントは、天日ケーキの製品化において有効であることが検証された。
- (2) リサイクル製品化プラントを構成する乾燥設備には開発した木質ペレットバーナ乾燥装置を用いたことで環境影響を軽減可能であることもわかった。
- (3) 含水率が高い脱水ケーキへの適用は木質ペレットバーナ乾燥装置のスケールアップを行えば適用可能であることもわかった。

運用においては、リスク分散を方針として処分チャンネル、市民販売チャンネルおよび企業への販売チャンネルを開発した処理計画システムおよびプログラムを用いた技術により、最も効率的な運用も可能である。

本文

開発技術の波及およびリサイクル製品販売促進に重点を置いた連携協定をリサイクル製品化プラントで特許出願している企業SおよびH、事業ビジネスモデルで特許出願している企業Tと締結し、以下の表.4-3 および4-4 のような計画で連携を図っていく予定である。

I) 技術普及5か年計画

表. 4-3 技術普及5か年計画

	H26	H27	H28	H29	H30
水道研究発表会 岡山市水道局—関連企業連携 目的:技術の認知	中四国:「ビジネスモデル販売」 「実証プラント」 全国:「木質ペレットバーナ」	中四国:「リサイクル事業運営」 全国:「ビジネスモデル販売」 「実証プラント」	全国:「リサイクル事業運営」		
日水協ほか展示会 企業H 目的:技術の認知(継続)			出展企画 出展申し込み	出展	出展
事業パンフレットの作成 3社連携・幹事:岡山市水道局 目的:技術認知&イベント使用	パンフレット構想協議 パンフレット掲載コンテンツの検討 パンフレット案の作成	パンフレット印刷			
ノベリティーグッズ作成 企業H 目的:イベント&視察使用		ノベリティーグッズ構想協議	グッズ製造		
水道新聞取材 岡山市水道局 目的:技術認知&広報	取材				
HP掲載 3社 目的:技術認知	HP掲載ルールの確認(水道局はリンクが基本) HP掲載コンテンツの検討	HP掲載			
プラント視察 岡山市水道局 目的:技術販売促進		視察受付開始予定			
営業活動 企業H 目的:技術販売促進		視察の広報	技術認知プロモーションのフィードバック情報を基に人的営業を本格化		
製品化実験 岡山市水道局 目的:技術販売促進		岡山市実証プラント使用ルール検討	使用ルールに関する契約締結	岡山市実証プラント利用による製品化実験	
ソリューション展開の提案 企業T・企業H 目的:技術販売促進	導入ソリューションの検討	導入ソリューションの合意締結			
特許権利化	審査中	特許権利化予定			

II) 販売促進5か年計画

表. 4-4 販売促進5か年計画

	H26	H27	H28	H29	H30
店舗イベント 企業T 目的:リサイクル製品の販売促進	・Pop広告 ・販売場所の選定 ・パッケージ売り ・割引イベントなど	・Pop広告 ・販売場所の選定 ・パッケージ売り ・割引イベントなど	・Pop広告 ・販売場所の選定 ・パッケージ売り ・割引イベントなど	・Pop広告 ・販売場所の選定 ・パッケージ売り ・割引イベントなど	・Pop広告 ・販売場所の選定 ・パッケージ売り ・割引イベントなど
水道週間 岡山市水道局 目的:広報・宣伝	・企画検討	・共同出展	・共同出展	・共同出展	・共同出展
リーフレット作成 岡山市水道局 目的:リサイクル製品の認知	リーフレットの検討 リーフレットの作成				
ノベリティーグッズ作成 企業T 目的:製品販売促進		ノベリティーグッズの検討 ノベリティーグッズの作成			
機関誌の作成 企業T 目的:利用者の囲い込み			企画検討 取材⇒記事	機関誌の発刊	
オペレータによる対応 企業T 目的:利用者の囲い込み	・企業Tの体制利用	・企業Tの体制利用	・企業Tの体制利用		
IT利用サポートシステム 企業T 目的:利用者の囲い込み				認知プロモーション情報をフィードバックし、会員制のサポートシステムを検討。	サポートシステムの運用
新製品の研究開発 目的:販路拡大	研究テーマの検討 研究連携の検討(大学機関)				

本文

### 3) リサイクル事業の本格運用

生産効率が良い天日ケーキ（旭東 350t・三野 150t）の年間発生量 500t を対象として平成 26 年度からリサイクル製品の本格製造を行う予定である。プラントの運転体制は、実質の費用対効果が高い運転委託（平成 26 年 3 月委託業務発注済み）により実施予定であり、リサイクル製品の販売はリサイクル製品袋を 500～1200 袋／月で生産予定である。

### 4) 今後の課題

天日ケーキ製品化の課題である粒径と混入種子の発芽抑制について開発した乾燥工程および破碎工程を持つリサイクル製品化プラントにより、効率的に販売可能なリサイクル製品製造が行えることが分かった。また、地産地消をコンセプトとした岡山市内小売店 S においても高価格での販売が可能であることが分かった。今後の課題は以下である。

#### (1) リサイクル製品化プラントの自動運転の精度向上

天日ケーキを対象とした自動運転において、品質評価指標である乾燥後物温度の設定値と測定値で 10% の誤差がある。本格運用を行いながらソフト面の改善を行っていく。

#### (2) リサイクル製品の品質基準

発芽抑制を行える乾燥後物温度の妥当性についてリサイクル製品を用いた栽培試験を平成 26 年度に実施して発芽抑制効果を検討する。

#### (3) 脱水ケーキ製品化の方針

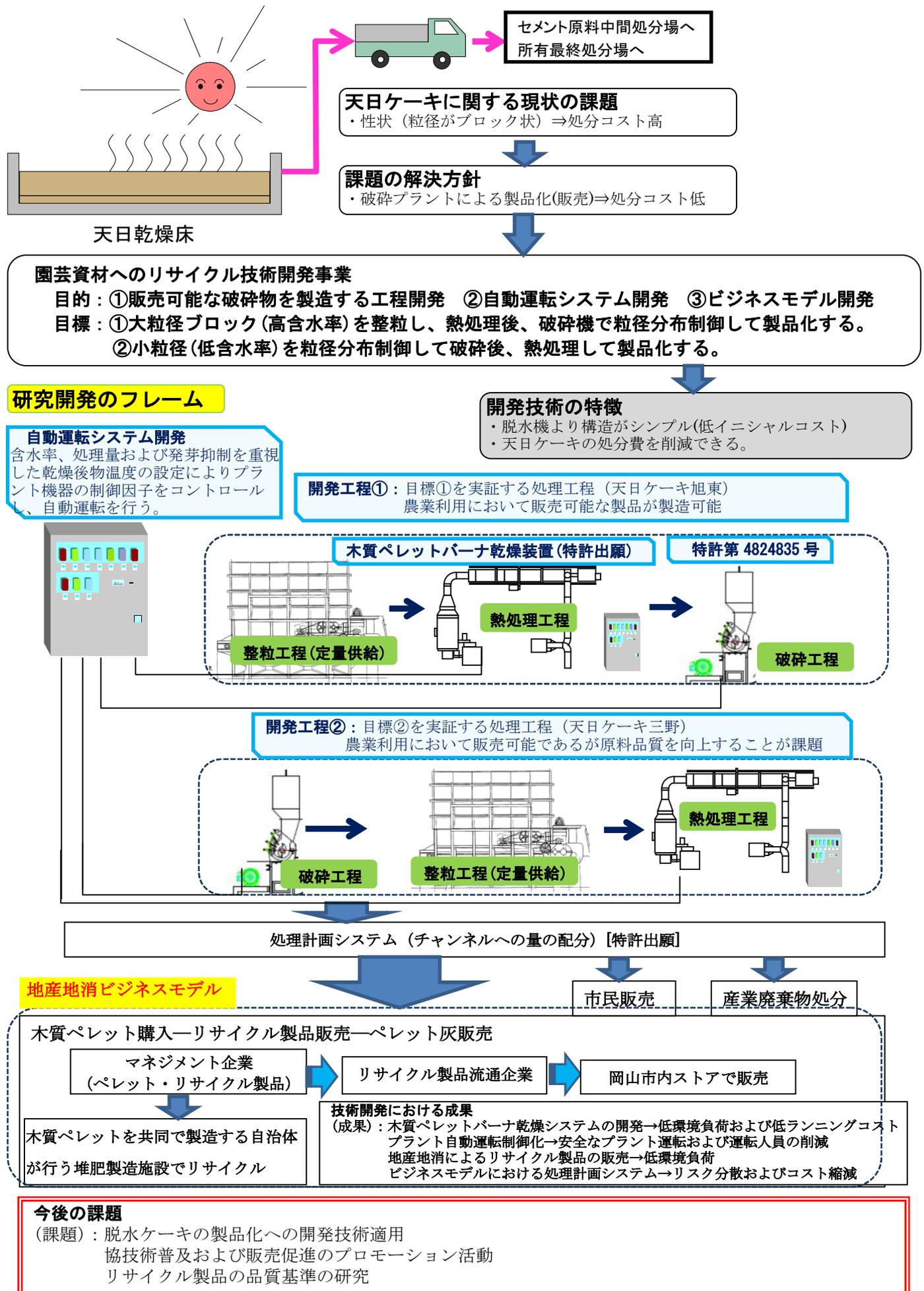
脱水ケーキは種子混入の可能性が少ないことから、乾燥基準について検討するとともに脱水機更新に合わせてプラントのスケールアップについて検討する。

#### (4) リサイクル製品の販売

構築した岡山市内の R 商事関連の小売店 S のみの販売では需要が小さい。平成 26 年度においては、地産地消のための販売促進方法を検討するとともに岡山県内の小売店 S グループへの販売拡大および企業 T の農業関連のグループ企業による県外での販売等も検討する。

6. 事業概要図

浄水発生土（天日ケーキ）の園芸資材へのリサイクル技術開発に関する研究



本文

## 7. 英文概要

1. Theme : Research on the recycling technology to the agricultural materials of the water-purifying generating dirt (sun cake)

2. Representation researcher: Ryugo Nakahara

3. Affiliation: Okayama Waterworks Bureau

### 4. Abstract

Particle diameter of the water-purifying generating dirt (sun cake) manufactured by solar drying is large and moisture content is unevenness because of the feature of the generation process. For this reason, it is not sold as a recycled product and a cost of disposal becomes huge. Under this technical development, the sun cake is developed in consideration of environmental aspect, and it combined with the channel of the present disposal and the sale to citizens, and the business model which can continue a water-purifying generating dirt recycling project is to manage external risks. The technical development about this recycling project make it possible to cost reduction from the present condition, and it can expect continuation of the project by reducing business continuation risks.

### 5. Key word

Recycling project , Business model

## 8. 研究発表

日本水道協会が主催する中四国水道事例発表会で以下の内容を発表した。

天日ケーキリサイクル実証プラントの開発

岡山市水道局 森末 建哉  
○仲原 龍吾  
日本サーモエナー 岸田 寛之

### 1 はじめに

浄水発生土処分に係るコストを縮減するためには、天日ケーキの有価物としてのリサイクルが有効である。有価物リサイクルに関する課題は、高い含水率と不均一な形状である。含水率の対策は乾燥であり、不均一な形状の対策は破碎であるが、従来の技術では、天日ケーキに関する破碎技術が確立されておらず、乾燥に多量のエネルギーが必要であった。

岡山市水道局では、平成 23 年に天日ケーキの破碎技術を確立し、破碎機<sup>1)</sup>を開発した。この技術をコアとして環境省の補助金である環境研究総合推進費を調達し、天日ケーキをリサイクル製品に加工する実証プラントの開発を行っている。

補助金調達の条件として、実証プラントの乾燥において環境側面に配慮した乾燥技術開発が要請され、カーボンニュートラルである木質ペレットを燃料とした木質ペレットバーナ乾燥装置を公募型プロポーザル方式で選定した企業((株)日本サーモエナー)と共同開発し、開発した破碎機と組み合わせて実証プラントを建設した。

(図 1)

本発表では、実証プラントを構成するサブシステムである木質ペレットバーナ乾燥装置とその運転制御方法に関する開発過程について紹介する。

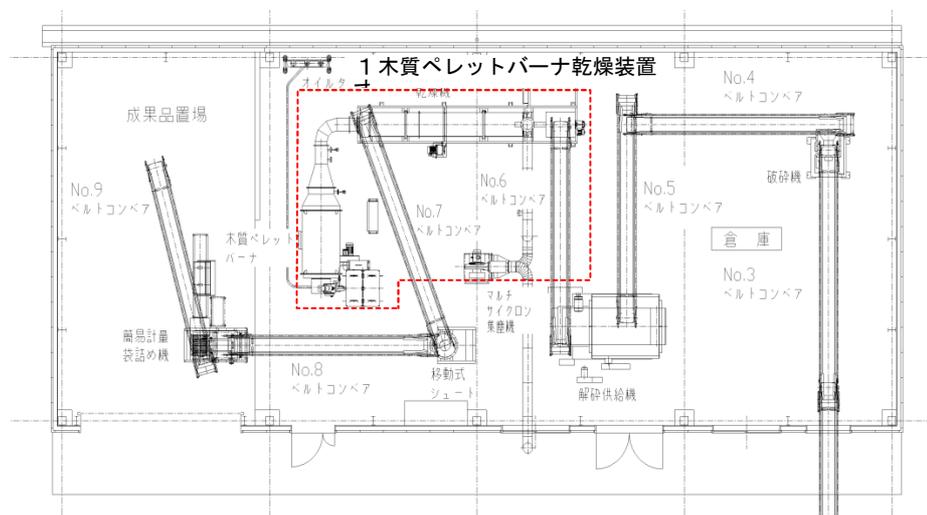


図. 1 天日ケーキリサイクル実証プラントと木質ペレットバーナ乾燥装置

### 2 木質ペレットバーナ乾燥装置開発の課題

天日ケーキの販売においては、乾燥による土壌消毒と保管性確保が必要となる。含水率の高い天日ケーキを乾燥するためには、水分を蒸発させる必要があり、莫大なエネルギーを必要とする。しかし、燃料としてガスおよび灯油などを利用した従来バーナ技術では、環境側面の負荷とコスト面から問題がある。このため、燃料として木質ペレットを用いたバーナを開発することで環境負荷とコストを低減できると考え、木質ペレットバーナ技術開発を行うこととした。ガスおよび灯油の燃焼は、瞬間的に大きな発熱量 (10,000~12,000kcal) を得ることができるが、木質ペレットの燃焼では発熱量が小さく (約 4,000kcal)、瞬間的に発熱しないことが特徴である。このような燃焼の仕組みの相違を踏まえて、天日ケーキを土壌消毒できる温度まで上昇させる温度制御が可能な木質ペレットバーナ乾燥装置を開発することが課題となる。

### 3 開発手法

#### 1) 温度制御の仕組みに関する仮説

「制御目標とする乾燥機排ガス温度は投入熱量、天日ケーキ投入量、乾燥機ドラム回転数を調整することで制御され、乾燥機排ガス温度と関連性が高い、天日ケーキ乾燥後物温度 (土壌消毒指標) も同時に制御できるのではないか。」

2) 仮説の検証実験(シミュレーション)

天日ケーキ乾燥後物の温度と以下の4つの因子の関係を検証するため、モデルを作成してシミュレーションを行うとともに、因子を可変させて、ガスバーナによる乾燥実験を行った。

- ① 天日ケーキ投入量
- ② 乾燥機排気ガス温度
- ③ バーナから投入される熱量
- ④ 乾燥機ドラム回転数

3) 温度制御を木質ペレットで実現する仕組みの考案

- ① 仮説が検証された時には、Ⅰ検証された関係を用いた天日ケーキ乾燥後物の温度制御の仕組みおよびⅡガス燃焼と木質ペレットバーナの相違を踏まえた熱量制御の仕組みを持つ木質ペレットバーナ乾燥装置を検討する。
- ② 仮説が検証されなかった時には、データを分析し、新たな関係を考察する。もしくは再度、仮説を見直して検証実験を行う。

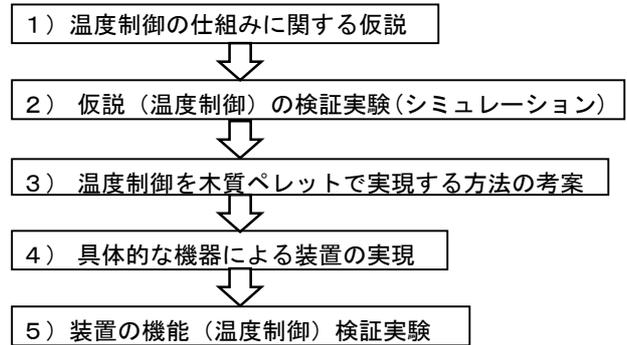


図2. 開発フロー

4) 具体的な機器による装置の実現

仮説検証された仕組みを実現する機能を有した木質ペレットバーナ乾燥装置を製造する。

5) 装置の温度制御機能検証実験

製造した木質ペレットバーナ乾燥装置により実験を行い、温度制御がうまく機能しているかを検証する。

4 木質ペレットバーナ乾燥装置の開発

1) 温度制御の仕組みの検証実験 《図2. 開発フローの2)》

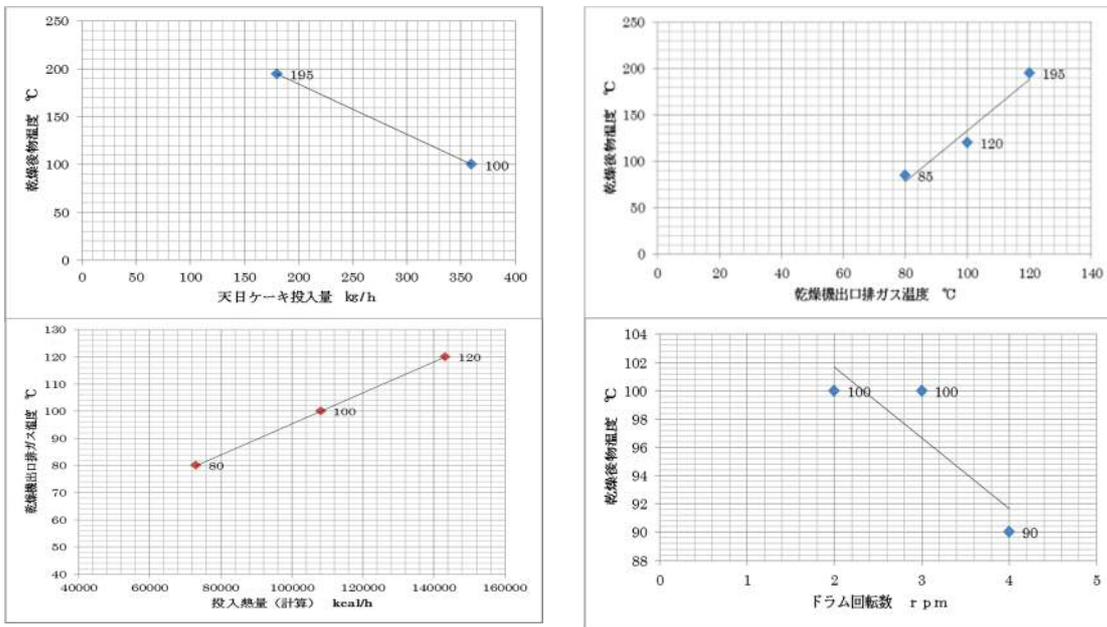


図3. 乾燥後物温度と4つの因子の検証実験結果

4つの因子のうち、天日ケーキ投入量、乾燥機排気ガス温度およびバーナから投入される熱量は、乾燥後物温度と線形的な関係があることが実験結果(図3)から検証できた。一方、ドラム回転数は、明確な関係性は判明しなかった。

2) 木質ペレットバーナ乾燥装置の開発 《図2. 開発フローの3)、4)》

木質ペレット燃焼の特徴である小さい発熱量による安定した高熱量供給のために、熱だめとして

本文

セラミック炉(図4. No.1)を用いて発熱量を蓄積し、送風機風量(図4. No.30)の調整により熱だめの熱量を調整して制御する仕組みを考案した。また、温度制御の仕組みを検証した上で、熱電対(図4. No.32)を目標値として、ペレット供給量(図4. No.3)と送風機風量(図4. No.30)を制御する木質ペレットバーナ乾燥装置を開発した。

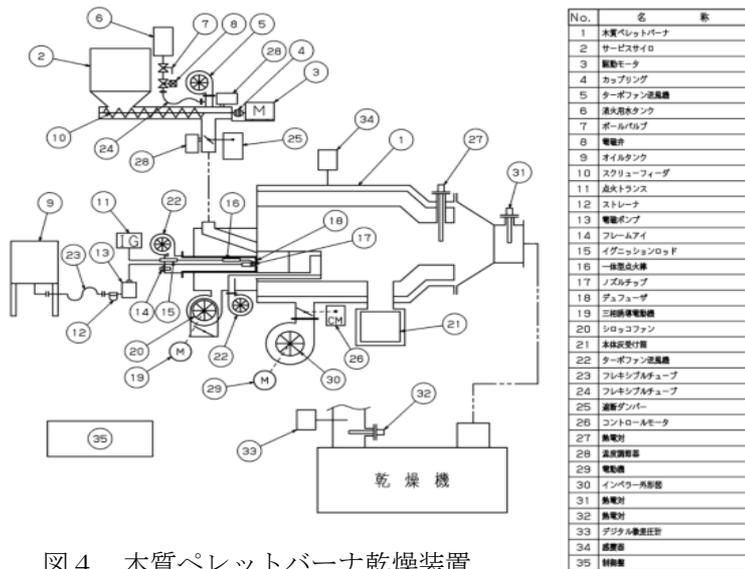


図4. 木質ペレットバーナ乾燥装置

3) 温度制御機能の検証実験《図2. 開発フローの5)》

図4の装置において、木質ペレットを燃料としたことで状態変化に対応するフィードバック制御の応答に時間遅れが発生することが推測された。この時間遅れは土壌殺菌および含水調整に影響を及ぼすため、天日ケーキ投入を行わず、疑似ステップ入力に対する木質ペレットバーナ乾燥システムの温度応答を検証した(図.5)。ペレット供給量と排ガス量の可変により、2分の応答時間で目標値である乾燥機出口排ガス温度が制御できることが確認できた。

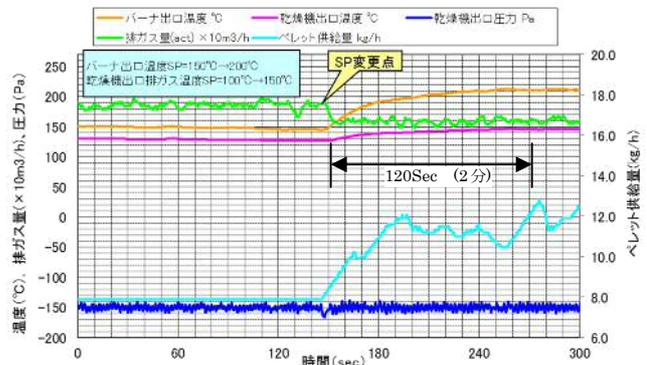


図5. 木質ペレットバーナ乾燥装置の応答特性

5 まとめ

産業は、一般に、発生し、成長し、社会に認知され熟成し、安定もしくは衰退するというライフサイクルである。厚生労働省が今年3月に取りまとめた新水道ビジョンは、水道産業を熟成期と捉え、衰退ではなく、継続的な発展を目指し、次世代に継承していくための方向性を示している。また、その方向性を見据えた施策を推進する主要な要素として、「挑戦」と「連携」を位置づけている。技術開発は、科学法則や現象を基盤として、新しい効用を生む製品や製法のイメージを形にし、実用化していくことであり、今回の開発はまさに挑戦であったと感じる。技術開発の挑戦には、開発手法が重要であると考えられる。今回の開発手法は、仮説を立て、その仮説を定量的に検証し、検証された仮説を木質ペレットバーナ乾燥装置という製品を制作する過程であった。開発過程における仮説の立案段階では多くの失敗リスクを抱えることから、失敗リスクを排除するために、様々なシミュレーションにより精度が高い仮説検証実験を行うことが最も重要である。このため開発にはコストがかかるが、今回の開発においては、開発プロセスと失敗リスクの抑制方法を環境省に説明することで環境研究総合推進費補助金を得ることができた。また、様々な仮説検証においては、共同開発企業である(株)日本サーモエナジーと連携することで失敗リスクを抑制できたと考えている。

参考文献 1) 松尾浩寿、黒住周一、仲原龍吾：天日乾燥ケーキ販売のための破碎機の開発  
第63回全国水道研究発表会講演集、P260-261 (平成24年)

本文

**9. 知的財産権の取得状況**

1) 平成25年6月21日出願および審査請求受理

特願 2013-130103

「浄水発生土用木質ペレットバーナ乾燥装置およびその運転制御方法」

発明者 岡山市水道局 仲原龍吾、豊谷泰之  
(株)日本サーモエナー 岸田寛之

代理人 杉本 丈夫

平成26年3月31日現在、未審査

2) 平成26年3月12日出願および審査請求受理

特願 2014 - 048551

「浄水発生土の処理計画システム、および浄水発生土の処理計画プログラム」

発明者 岡山市水道局 仲原龍吾、青江洋典  
テクノ矢崎(株) 平山紀克

代理人 大島特許事務所 大島陽一

平成26年3月31日現在、未審査

本文

## 10. 特許

### 1) 浄水発生土用木質ペレットバーナ乾燥装置およびその運転制御方法

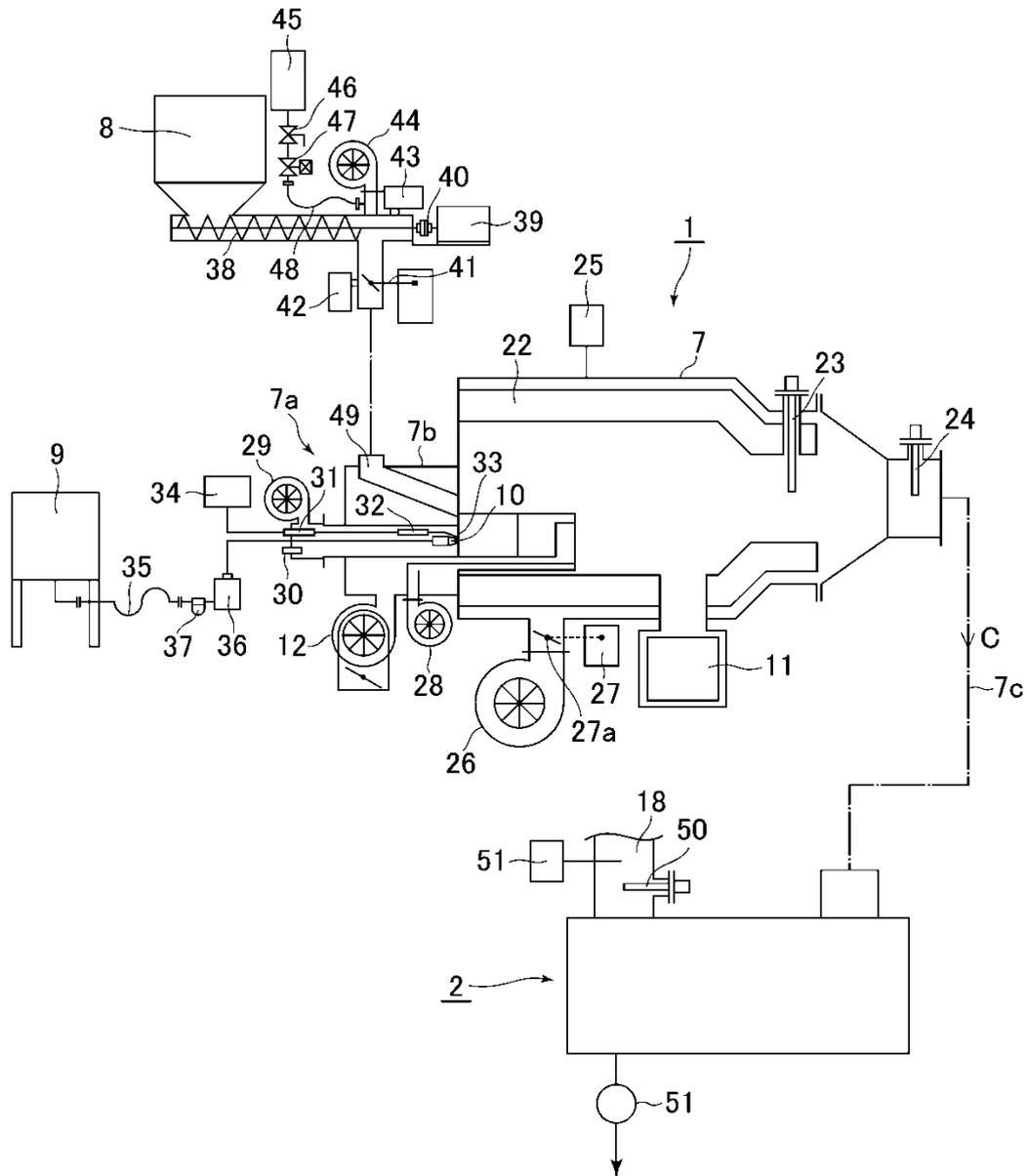
【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 浄水発生土、特に天日ケーキをより経済的に、しかも環境負荷を増すことなしに加熱乾燥処理し、水分含有率の調整と種子および雑菌類の滅菌等を施した高付加価値の天日ケーキにしてその再資源化を図る。

【解決手段】 木質ペレットを燃料として熱風炉本体内で高温熱風を発生する木質ペレットバーナユニット1と、所望の傾斜角でもって回転自在に支持した回転ドラム型乾燥機本体の一侧から前記高温熱風が供給されると共に他側から浄水発生土が供給され、高温熱風により浄水発生土を加熱乾燥する乾燥機ユニット2とから木質ペレットバーナ乾燥装置を構成する。

【選択図】 図6



本文

【書類名】 特許請求の範囲

【請求項 1】

木質ペレットを燃料とする熱風炉本体と、木質ペレット供給用のスクリーフイーダと、熱風炉本体出口の熱風温度検出器と、熱風炉本体内への希釈空気供給用送風機とを備えた熱風発生用の木質ペレットバーナユニット（1）と、所定の傾斜角でもって回転自在に支持され、一側から前記高温熱風が供給されると共に他側から浄水発生土が供給される乾燥機本体と、乾燥機本体排ガス出口の排ガス温度検出器と、浄水発生土の押し込みスクリーフと、乾燥機本体内の圧力調整用排風機とを備えた浄水発生土乾燥用の乾燥機ユニット（2）と、から構成したことを特徴とする浄水発生土用木質ペレットバーナ乾燥装置。

【請求項 2】

熱風炉本体に、着火用の灯油バーナと、燃焼空気供給用送風機と、消火水供給機構と、灰受け箱と、ペレット供給遮断用ダンパと、ペレット押し込み送風機とを備えた木質ペレットバーナユニット（1）とした請求項 1 に記載の浄水発生土用木質ペレットバーナ乾燥装置。

【請求項 3】

ドラム型乾燥機本体に、乾燥機本体内部の検出器と、乾燥物出口に設けた重量ダンパと、乾燥機本体の傾斜角度調整機構とを備えた乾燥機ユニット（2）とした請求項 1 に記載の浄水発生土用木質ペレットバーナ乾燥装置。

【請求項 4】

浄水発生土を天日ケーキとすると共に、乾燥機本体へ供給する天日ケーキの外径又は縦・横・厚の夫々を 20～30mm以下とするようにした請求項 1 に記載の浄水発生土用木質ペレットバーナ乾燥装置。

【請求項 5】

請求項 1 に記載の浄水発生土の木質ペレットバーナ乾燥装置に於いて、乾燥機本体出口側排ガス温度を所定温度に保持するように熱風炉本体へのペレット供給量をフィードバック制御すると共に、熱風炉本体からの熱風温度を所望温度に保持するように熱風炉本体への希釈空気供給量をフィードバック制御し、更に、乾燥機本体内部圧を所定圧力に保持するように乾燥機本体からの排風量をフィードバック制御することにより、乾燥機本体の乾燥物出口からの乾燥物温度を 80℃以上に保持する構成とした浄水発生土用木質ペレットバーナ乾燥装置の運転制御方法。

【請求項 6】

熱風炉本体からの熱風温度を 150～200℃とすると共に、乾燥機本体の排ガス出口温度を 100～150℃とするようにした請求項 5 に記載の浄水発生土用木質ペレットバーナ乾燥装置の運転制御方法。

【請求項 7】

浄水発生土を天日ケーキとすると共に、熱風発生炉本体への燃焼空気供給量、乾燥機本体への天日ケーキ供給量および乾燥機本体の回転数を所望の値に調整するようにした請求項 5 に記載の浄水発生土用木質ペレットバーナ乾燥装置の運転制御方法。

本文

## 2) 浄水発生土の処理計画システム、および浄水発生土の処理計画プログラム

【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 浄水場における浄水発生土の処理チャンネルが2種ある場合に、処理実績量の変動を抑制し、損益を向上させる。

【解決手段】 浄水発生土の第1処理チャンネルおよび第2処理チャンネルへの割当量を決定する浄水発生土の処理計画システム20であって、過去の第1処理チャンネルおよび第2処理チャンネルにおける浄水発生土の処理実績量を記憶する記憶手段22と、過去の第1処理チャンネルおよび第2処理チャンネルの処理実績量に基づいて、第1処理チャンネルおよび第2処理チャンネルの処理実績量の分散が最小になるように、生成した浄水発生土の第1処理チャンネルおよび第2処理チャンネルへの割当量を設定する割当量設定手段27とを有する。

【選択図】 図3



本文

【書類名】 特許請求の範囲

【請求項 1】

浄水場における浄水処理によって発生する浄水発生土を処理する第 1 処理チャンネルおよび第 2 処理チャンネルがあり、前記第 1 および第 2 処理チャンネルの処理実績量が需要に応じて変動し、前記第 2 処理チャンネルが前記第 1 処理チャンネルに対して単位量当りの損益が高く、かつ単位期間当りの処理実績量の変動が大きい場合において、前記浄水発生土の前記第 1 処理チャンネルおよび前記第 2 処理チャンネルへの割当量を決定する浄水発生土の処理計画システムであって、

前記第 1 処理チャンネルおよび前記第 2 処理チャンネルにおける前記浄水発生土の処理実績量を記憶する記憶手段と、

前記第 1 処理チャンネルおよび前記第 2 処理チャンネルの処理実績量に基づいて、前記第 1 処理チャンネルおよび前記第 2 処理チャンネルの処理実績量の分散が最小になるように、生成した前記浄水発生土の前記第 1 処理チャンネルおよび前記第 2 処理チャンネルへの割当量を設定する割当量設定手段とを有することを特徴とする浄水発生土の処理計画システム。

【請求項 2】

前記第 1 処理チャンネルおよび前記第 2 処理チャンネルの処理実績量に基づいて前記第 1 処理チャンネルおよび前記第 2 処理チャンネルのそれぞれの上限割当量を設定する上限設定手段を更に有し、

前記割当量設定手段は、前記上限割当量以下の範囲で、前記第 1 処理チャンネルおよび前記第 2 処理チャンネルへの割当量を設定することを特徴とする請求項 1 に記載の浄水発生土の処理計画システム。

【請求項 3】

前記浄水発生土を処理する第 3 処理チャンネルがあり、前記第 3 処理チャンネルは、処理実績量が任意に設定する割当量と等しくなり、前記第 1 処理チャンネルに対して単位量当りの損益が低い場合において、

割当量設定手段は、前記浄水発生土の生成量から前記第 1 処理チャンネルの上限割当量および前記第 2 処理チャンネルの上限割当量を差し引いた量を予め前記第 3 処理チャンネルに割り当て、残りの前記浄水発生土の前記第 1 処理チャンネルおよび前記第 2 処理チャンネルへの割当量を設定することを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 に記載の浄水発生土の処理計画システム。

【請求項 4】

浄水場における浄水処理によって発生する浄水発生土を処理する第 1 処理チャンネルおよび第 2 処理チャンネルがあり、前記第 1 および第 2 処理チャンネルの処理実績量が需要に応じて変動し、前記第 2 処理チャンネルが前記第 1 処理チャンネルに対して単位量当りの損益が高く、かつ単位期間当りの処理実績量の変動が大きい場合において、前記浄水発生土の前記第 1 処理チャンネルおよび前記第 2 処理チャンネルへの割当量を決定する浄水発生土の処理計画プログラムであって、

過去の前記第 1 処理チャンネルおよび前記第 2 処理チャンネルの処理実績量に基づいて、前記第 1 処理チャンネルおよび前記第 2 処理チャンネルの処理実績量の分散が最小になるように、生成した前記浄水発生土の前記第 1 処理チャンネルおよび前記第 2 処理チャンネルへの割当量を設定するステップを有することを特徴とする浄水発生土の処理計画プログラム。

【請求項 5】

本文

浄水場における浄水処理によって発生する浄水発生土を処理する第1処理チャンネルおよび第2処理チャンネルがあり、前記第1および第2処理チャンネルの処理実績量が需要に応じて変動し、前記第2処理チャンネルが前記第1処理チャンネルに対して単位量当りの損益が高く、かつ単位期間当りの処理実績量の変動が大きい場合において、前記浄水発生土の前記第1処理チャンネルおよび前記第2処理チャンネルへの割当量を決定する浄水発生土の処理計画プログラムであって、過去の前記第1処理チャンネルおよび前記第2処理チャンネルの処理実績量に基づいて前記第1処理チャンネルおよび前記第2処理チャンネルのそれぞれの上限割当量を設定するステップと、過去の前記第1処理チャンネルおよび前記第2処理チャンネルの処理実績量に基づいて、前記上限割当量以下の範囲で、前記第1処理チャンネルおよび前記第2処理チャンネルの処理実績量の分散が最小になるように、生成した前記浄水発生土の前記第1処理チャンネルおよび前記第2処理チャンネルへの割当量を設定するステップとを有することを特徴とする浄水発生土の処理計画プログラム。

**【請求項6】**

浄水場における浄水処理によって発生する浄水発生土を処理する第1処理チャンネル、第2処理チャンネルおよび第3処理チャンネルがあり、前記第1および第2処理チャンネルの処理実績量が需要に応じて変動し、前記第2処理チャンネルが前記第1処理チャンネルに対して単位量当りの損益が高く、かつ単位期間当りの処理実績量の変動が大きく、前記第3処理チャンネルは、処理実績量が任意に設定する割当量と等しくなり、前記第1処理チャンネルに対して単位量当りの損益が低い場合において、前記浄水発生土の前記第1処理チャンネル、前記第2処理チャンネルおよび前記第3処理チャンネルへの割当量を決定する浄水発生土の処理計画プログラムであって、過去の前記第1処理チャンネルおよび前記第2処理チャンネルの処理実績量に基づいて前記第1処理チャンネルおよび前記第2処理チャンネルのそれぞれの上限割当量を設定するステップと、前記浄水発生土の生成量から前記第1処理チャンネルの上限割当量および前記第2処理チャンネルの上限割当量を差し引いた量を予め前記第3処理チャンネルに割り当てるステップと、過去の前記第1処理チャンネルおよび前記第2処理チャンネルの処理実績量に基づいて、前記上限割当量以下の範囲で、前記第1処理チャンネルおよび前記第2処理チャンネルの処理実績量の分散が最小になるように、前記第3処理チャンネルに割り当てた残りの前記浄水発生土の前記第1処理チャンネルおよび前記第2処理チャンネルへの割当量を設定するステップとを有することを特徴とする浄水発生土の処理計画プログラム。