

5-6. ロール加圧チップを原料とした低コストでメンテナンスが  
容易な小型ガス化発電システムの開発

株式会社森のエネルギー研究所

事業名： ロール加圧チップを原料とした低コストでメンテナンスが  
容易な小型ガス化発電システムの開発

事業者名： 株式会社森のエネルギー研究所

## 1. 事業概要

### 1-1. 事業の実施目的

自然エネルギー発電の固定価格買取制度により木質バイオマス発電が注目されてきたものの、従来型のボイラータービン発電システムでは 5,000kW 以上、年間集材量 6 万 m<sup>3</sup>以上の規模を確保しなければ経済性が成立しないことが分かっている。この集材規模を事業開始当初から確保できるケースは限られているが、小規模でも経済性が成立しうる発電システムが市場に登場すれば、木質バイオマス発電を検討できる地域が拡大すると推定される。

小規模な木質バイオマス発電システムとしては、スターリングエンジン、ORC、熱電発電（ゼーバック効果）などが提案されているが、その中でも比較的発電効率の高いシステムとしてガス化発電システムが挙げられる。ただし、ガス化発電システムは複数の欠点を克服できず、実用機としての安定性やコストの低減化で苦慮している。具体的には、以下の課題がある。

#### (1) 原料性状の制約緩和

林地残材等、全ての木質バイオマスをガス化原料として使用できるわけではない。粒度、形状、水分など原料性状の制約が多い。

#### (2) 乾燥エネルギーの削減

林地等に保管されている木質バイオマスは一般に水分が高い。ガス化炉が受け入れられる値まで水分を低下させるには、かなりのエネルギーを消費する。

#### (3) ガス中のタール・ダストの除去

レシプロタイプの内燃機関を使用する場合、ガス化のプロセスで発生するタールと、灰を主としたダストがシリンダーとバルブに固着し、放置すればエンジン停止に至る。

#### (4) 排水処理費用の削減

乾式ガス清浄化方式を採用した場合においても、高含水率の原料の使用や過度のガス冷却により、凝縮水がシステム内に発生し、環境に負荷を与える。

#### (5) システム起動時間の縮小

ガス化炉は良好なガスの発生までに一定の時間が必要で、それまでの間はシステム外にガスを放出するなど、環境に負荷を与え、また原料の損失を起す。

#### (6) 炉出力の向上

固定床ガス化炉は炉径が大きくなると炉断面内反応層の状況に偏りが生じる。また火格子負荷が大きくなると、反応層の成長と消耗のバランスが崩れて層が収縮する。それらは単機で出力を増大する際の障害になる。

#### (7) 建設費の大幅削減

従来は木質バイオマスを原料とした小型発電システムに適した機器を選択して使用してきたので、特殊仕様で生産個数も少なく、割高なシステムとなる。

これらの課題に対応し、低コストで安定した運転性とメンテナンス性の良好な小型発電システムを開発することが本事業の目的である。

## 1-2. 事業の実施項目

本事業では、前項の課題に対応するため以下の項目を実施する。

### (1) 原料性状の制約緩和

ディスクカッターによるチップーで生産された切削チップは、ガス化原料として適していることは知られているが、支障木等の処理を目的とするようなケースでは、打撃やせん断力による破砕機により繊維状に破砕された、いわゆる破砕チップもまた多く利用されているのが現状である。しかし、これまで提案されてきたガス化炉では、破砕チップでは操業できないものが多い。本事業では、破砕チップを分級などの前処理によって形状を揃えて選択する、ガス化炉構造を工夫することなどにより、ガス化原料として使用できる形状範囲の拡大を試みる。

試作したガス化発電システムに従来不適とされていた原料を分級して、運転可能性が認められた部分を抽出して供給し、切削チップの場合によるものと性能を比較する。

### (2) 乾燥エネルギーの削減

林地残材のエネルギー利用では一般に“乾燥“が重要な位置を占める。「乾燥は熱と物質の同時移動が起こり、その動的なバランスのもとに被乾燥物の温度や乾燥速度が変化するので、被乾燥物の内部構造や水分の存在状態が全体の乾燥速度に影響を与える。」(食品工学基礎講座⑥『濃縮と乾燥』)

層状に堆積したチップの乾燥工程で乾燥効率を高めるためには、乾燥用空気の出口湿度を飽和状態に近づけるように工夫する必要がある。このためにチップをロール加圧して、組織を破壊し粒子内水分移動を容易にする効果を狙い、被乾燥物の層を厚くして水蒸気未飽和のガスを最後まで利用する効果を確認する。またガス化の際には、乾燥度が上昇し、チップの内部組織が破壊されることで、高い温度の保持や火炎の伝搬速度の上昇による、タール発生削減や炉負荷の上昇を期待することができる。

今年度は樹種、粒形の差により必要な加圧力、加圧速度を確認する基礎試験を実施し、その結果に基づき、ガス化発電システムの能力に対応する乾燥装置を設置する。被乾燥物の層を厚くした場合、部位により乾燥の進行度が異なる。乾燥装置には乾燥が進んだ部位を優先的に排出する機構を設置する。

(3) ガス中のタール・ダストの除去  
次項に併せて示す。

(4) 排水処理費用の削減

凝縮水の発生は原料水分とガス化炉発生ガスの過冷却が関係する。従って、原料水分を可能な限り低下させると共に、発生ガス冷却器の温度制御を試みる。

本事業ではタール発生が少ない固定床ガス化炉をダウンドラフト方式で使用する。さらに、2段階に空気を導入して還元部入口を高温に維持し、タールの分解と水性ガス反応も併せて期待するが、タールと凝縮水を完全に無くすことはできない。そこで、ガス冷却器の後方にバスケットに装入した木炭もしくは、炉内で発生するチャーアッシュを利用するフィルターを設置し、両者を吸着させる。吸着後の木炭、チャーアッシュは乾燥後ガス化原料として使用し、タール並びに凝縮水の系内循環を確認する。

なお、チャーアッシュでタール等を吸着させる方式をアップドラフトで試験したところ、ガス中に残存するタール量としては不十分なものであったが、削減の効果は観察された。ダウンドラフトではさらなる効果が期待出来る。

内燃機関を原動機として使用する今回の発電システムでは、原動機に吸引するガス中のタールのみならず、ダストの含有量がメンテナンス上の最大の問題になる。水を使用しない清浄化装置では通常バグフィルターが使用されるが、タールを含んだ粘着性の捕集物はフィルター面上に堆積し、通気抵抗を増加させる。又、捕集物を払い落とした直後では、濾過層の構築が不十分で、捕集能力が低下する。従来炭酸カルシウムなどの紛体をプレコートする方式が試用されたが、十分な成果を上げていない。そこで、バグフィルターの濾布に替えて、湿潤なトンネル施工時や、セメントミキサープラントの環境集塵などで実績がある、表面をフッ化樹脂でコートしたフィルターエレメントを実装して効果を確認することとした。

出力 25kW のガス化発電システムを構築し、冷ガス効率、発電効率、エンジン入口ガスのタール・ダスト含有率、出力当り凝縮水排出量などを測定する。システムには固定床ガス化炉をダウンドラフト方式で使用し、さらに2段階での空気導入、ガス冷却器後方へのフィルター設置を実施する。

#### (5) システム起動時間の縮小

固定床方式ガス化炉では、起動に際してガスが通過する炉の部分に高温の酸化と還元反応層が現出するまで、十分な発熱量を保有したガスが発生しないのみならず、その時期には多量のタールなどがガスに随伴しシステムを汚染する。したがって、起動時間を出来るだけ短縮するため、実証運転時のガス化炉の反応部分を出来るだけ小さくし、強力な着火源を用いて、短時間のうちに反応層を構成すると共に、その間のガスをシステム外に導く方式の効果を確認する。

#### (6) 炉出力の向上

固定床ガス化炉では出力を増大するために炉径を拡大すると、通気流速分布や原料移動の障害が拡大し、炉内反応層の偏りや、部分的な吹き抜けが発生しやすく、炉径寸法に限界がある。

出力を上げるためガス化率（火格子負荷）を上昇させると、高温化によるクリンカ発生や、特にダウンドラフト炉においては新しい原料への火移り速度が原料消費速度に追

いつか、反応層が縮小する現象が発生する。

現在まで炉径 300mm と火格子負荷率  $500\text{kg/m}^2\cdot\text{h}$  において安定した操業が観察されているが、今年度は炉径 400mm での実証と、火格子負荷率のさらなる向上を試みる。その手段として、炉の反応層の重力によるスムーズな移動を保証するため、炉壁を下方に向かって末広りの構造とし、炉底全断面に下方に広がった板状火格子を設置し、外部より揺動させて目詰まりを防止する。

#### (7) 建設費の大幅削減

出力 kW 当たりの投資額は、一般に単機出力が大きいほど小さくなる。単機出力は前項で述べたように制約があるが、種々の課題を解決することで出力の増大を図る。さらに、単機の集合体とすることで出力 kW 当たりの投資額を低減する可能性を模索する。

従来の発電システムの初期投資額では、木質バイオマスのガス化に対応するガスエンジンと発電機の費用が大きな割合を占めている。

今回の発電システムは、初期投資額を大幅に低減するために市場で容易に入手できる汎用品を中心に構築する。エンジンは、大量生産している汎用 2,000cc オットーサイクルエンジンを利用し、発電機は大量に生産されている誘導発電機を利用して回生制動方式で発電する。誘導発電機は、自己励磁しないため系統との連系が前提となるが、最も安価に設置できるだけでなく、ガス化炉の状態が不安定になったとしても、特にコントロールを必要とせずにエンジンへの投入熱量に応じた出力特性を発揮することができる。起動時には、ガス化炉が未だ十分な発熱量を持ったガスを発生できない状態でも電動機モードで定格回転数まで加速でき、エンジンを駆動してガス化炉からガスを吸引することができる。ガスの発熱量が上昇するとエンジンは自動的にトルクを発生し、電動機は発電モードに移行して系統の周波数に追従して発電する。エンジンは常にほぼ一定の回転数で回転し、ガスの投入熱量に比例した電力を系統に出力する。従って制御はエンジン入口の空気混合比のみであり、出力を最大にする混合比で固定することが出来る。ガス化炉から余剰なガスは発生しないので、ガス貯留装置が不要になる。

従来 4 極の発電機を使用していたところを 2 極とし、回転数を倍増させることで出力を倍増させる。またエンジン高速回転時の持続可能な出力を確認する。

### 1-3. 実施項目の達成目標

#### (1) 原料性状の制約緩和

衝撃破砕の破砕物の粒度分布では、ガス化炉で通常使用される 25mm 以下の粒度範囲になったもののうち、5mm 以下の粒度は約 60% を占め、細かなものの割合が多い。ダウンドラフトガス化炉では細かなものが多くなれば、圧力損失が大きくなってつまりの原因となるのみならず、飛散する割合が多くなる。

安定した運転が確保できる粒度分布を明らかにする。

#### (2) 乾燥エネルギーの削減

層状に堆積したチップの乾燥工程では、乾燥が終了する前に既に水蒸気未飽和のガス

が層を出て行く。そのエネルギー損失は層の条件により異なるが、乾燥エネルギーの30%に達する場合もある。この損失は粒子内水分移動速度が表面乾燥速度に追いつかないことが原因である。チップを高速ロール加圧することでこの損失の30%（乾燥全エネルギーから言えば9%）を削減する。

層を塔状に厚く堆積することにより水蒸気未飽和のガスを有効に利用し、乾燥エネルギーのさらなる節減を目指す。

そのために、乾燥機のガス出口の温度が上昇し始めるとエネルギー損失が発生するので、乾燥が終了した下層のチップを排出して、上層に新しい未乾燥のチップを供給できる構造にする。

### （3）ガス中のタール・ダストの除去

発電システム設計者とエンジンメーカーでは、タール・ダスト濃度の許容値に対する見解は立場の相違からかなり異なっているようにみえる。世界開発銀行は、開発途上国への援助者としての立場から『World Bank Technical Paper No.296』に次のような一般的基準を示した。

ダスト <50 mg/Nm<sup>3</sup> acceptable <5 mg/Nm<sup>3</sup> preferable

タール <100 mg/Nm<sup>3</sup> acceptable <50 mg/Nm<sup>3</sup> preferable

本事業においては、ダウンドラフト炉の採用、2次空気注入によるタール分解領域の安定性、チャーフィルターによる吸着、シンターフィルターの設置を組み合わせることにより、少なくとも上記の acceptable な数値を達成させることを目指す。但し、水溶性タールはカウントしないものとする。

### （4）排水処理費用の削減

目標は凝縮水をシステム外に排出させず、廃熱を利用した原料乾燥設備にリサイクルして、100%蒸発させる方式である。

凝縮水の発生量は原料水分とガス化炉発生ガスの過冷却が関係している。当社の過去の試験では1月厳冬期に水分4%w.b.の原料を使用して0.019kg/kWhの凝縮水の発生を計測した実績がある。今回は原料水分を可能な限り低下させると共に、発生ガス冷却器の温度制御を試みる。さらに、発生した凝縮水をチャーアッシュに吸着させ、定期的の内容物を更新し、吸着したチャーアッシュは新しい原料と共に乾燥設備に投入する。25kW の出力の場合には約 500ml/h の凝縮水が発生する計画であり、閉鎖系で継続可能であるかどうかを確認する。

### （5）システム起動時間の縮小

従来着火より発電開始まで 30min 以上の起動時間を必要としていたが、15min 以内の起動を目指す。

### （6）炉出力の向上

炉径 400mm での安定操業を実証するが、炉内状況やガス性状によりさらなる炉径拡

大の可能性を模索する。火格子負荷率は  $700\text{kg/m}^2\cdot\text{h}$  の可能性を模索する。

(7) 建設費の大幅削減

今回エンジンを 2 極電動機で回転させる。エンジンそのものは 60Hz 領域の回転数 3,600r.p.m. では全く問題ないが、直結する継手とその偏心による寿命が懸念される。もし、問題が発生した場合には排気量が異なる他の原動機に代替する計画である。

## 2. 事業の実施内容

### 2-1. ロール加圧乾燥基礎試験

切削チップと、破碎チップのガス化原料に適した部分をロールで加圧した（図 1）。比較のため加圧、非加圧のチップを並行して垂直の配管に装入し、送風機で加温した空気を通して、開始時と終了時のチップの水分、重量変化とその間の温度経過を計測した（図 2、図 3。）併せて、加圧速度を変化させた試験を行った（図 4）。試験設備を（図 5~図 9）に示す。

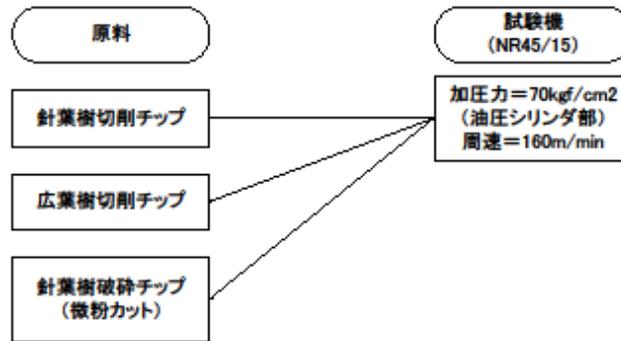


図 1 チップのロール加圧条件

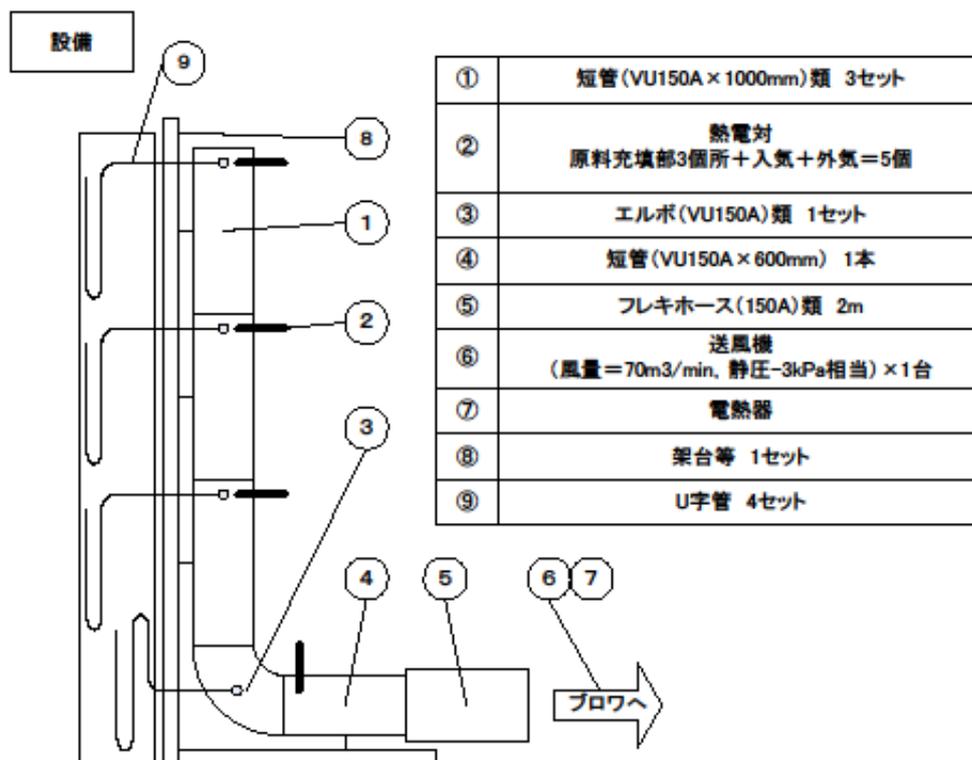


図 2 設備概要 (全体)

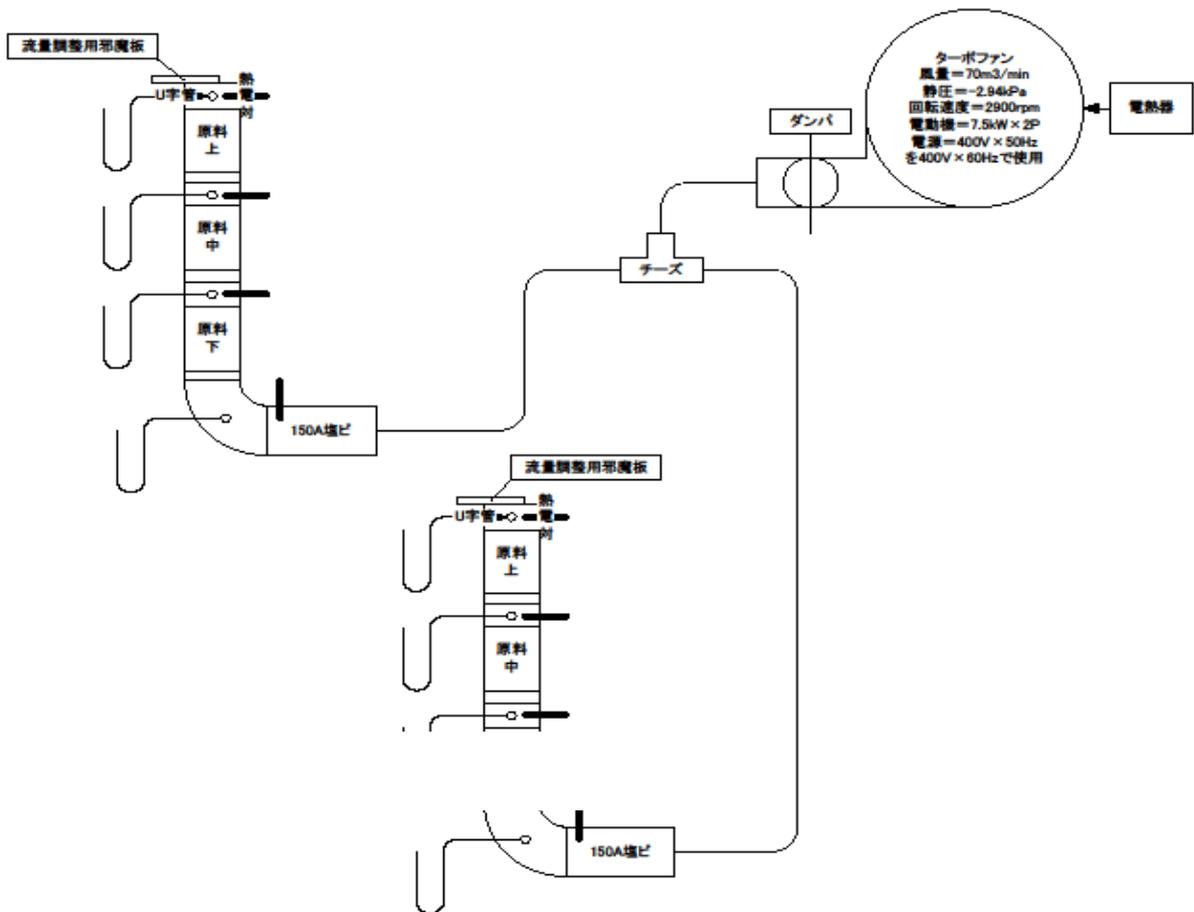


図 3 設備概要 (垂直配管部分)

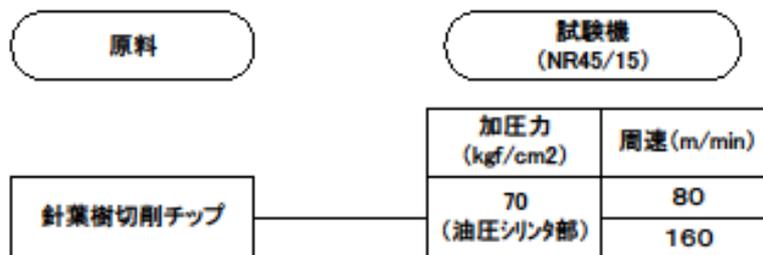


図 4 チップのロール加圧条件 (加圧速度変化)

a. 加圧に使用したロール加圧機

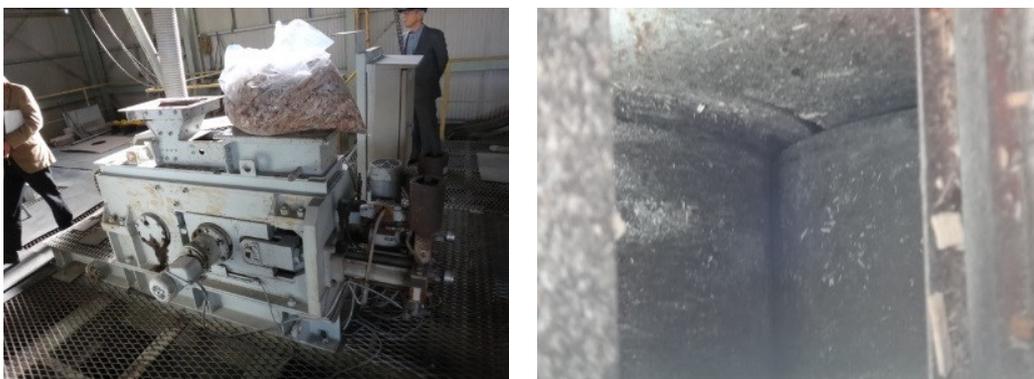


図 5 ロール加圧機 (左: 全体、右: ロール部分拡大)

b. 乾燥試験に使用した送風機（集塵機を搭載、流用）



図 6 送風機（左：全体、右：バーナー接続部）

c. 組立中の試験設備



図 7 試験設備（左：垂直配管部分、右：全体）

d. 配管内部圧力損失を測定するためのマノメータ配管



図 8 マノメータ配管（左：差圧測定部分、右：配管接続部分）

e. 通風量を調整するための配管開口部フランジ



図 9 配管開口部フランジ (左：試験中、右：開口部拡大)

(1) 試験に使用した試料

試験で使用する試料は針葉樹切削チップ、広葉樹切削チップ、針葉樹破碎チップの 3 種類とした (図 10)。



図 10 チップ写真 (左：針葉樹切削、中：広葉樹切削、右：針葉樹破碎)

(2) 加圧条件

20MPa を目標としてロール破碎機のシリンダー作動油圧を 70kgf/cm<sup>2</sup> で実施したが、チップ粒子内に発生する応力を厳密には定義できず、加圧力を変えた試験を諦めて破碎機供給量 (1000kg/h) と作動油圧を一定にした試験に止めた。

なお試験時の加圧はロール周速 160m/min (標準加圧)、80m/min (低速加圧) の 2 種類で行った (図 1、図 4)。

## 2-2. チップ乾燥・排出機試験

### 2-2-1. 1/4モデルの排出試験

サイロ底面全体にスクリュウ、もしくはスクレーパ等の排出装置を設置しても、実際に排出されるチップはスクリュウ、もしくはスクレーパの送り出し羽根の始端に生じる空間の直上に限定され、サイロ内チップの流れは主として送り出し羽根の始端に向かった垂直の方向になる。そのため、サイロ上方の乾燥が進行していないチップが局部的に排出される。上方まで乾燥を終了させようとする、その間乾燥余力がある空気を大気に放出することになる。その欠点を除去するために、サイロ底面全体にわたって装置直上のチップを排出することが可能な排出装置を配置する。今回は底面を分割して配置した羽根車を採用し、排出量は回転数と羽根車の径で調整することにした。

羽根車の径はチップの最大寸法で制約を受けるので乾燥機で使用する羽根車の実際の寸法とし、試験に用いたサイロ断面の1/4面積の試験設備を作成して、排出量と必要なトルクを測定した。

試験設備の出発点における概念図を図 11 に、試験実施状況と測定記録の例を図 12、図 13 に示す。

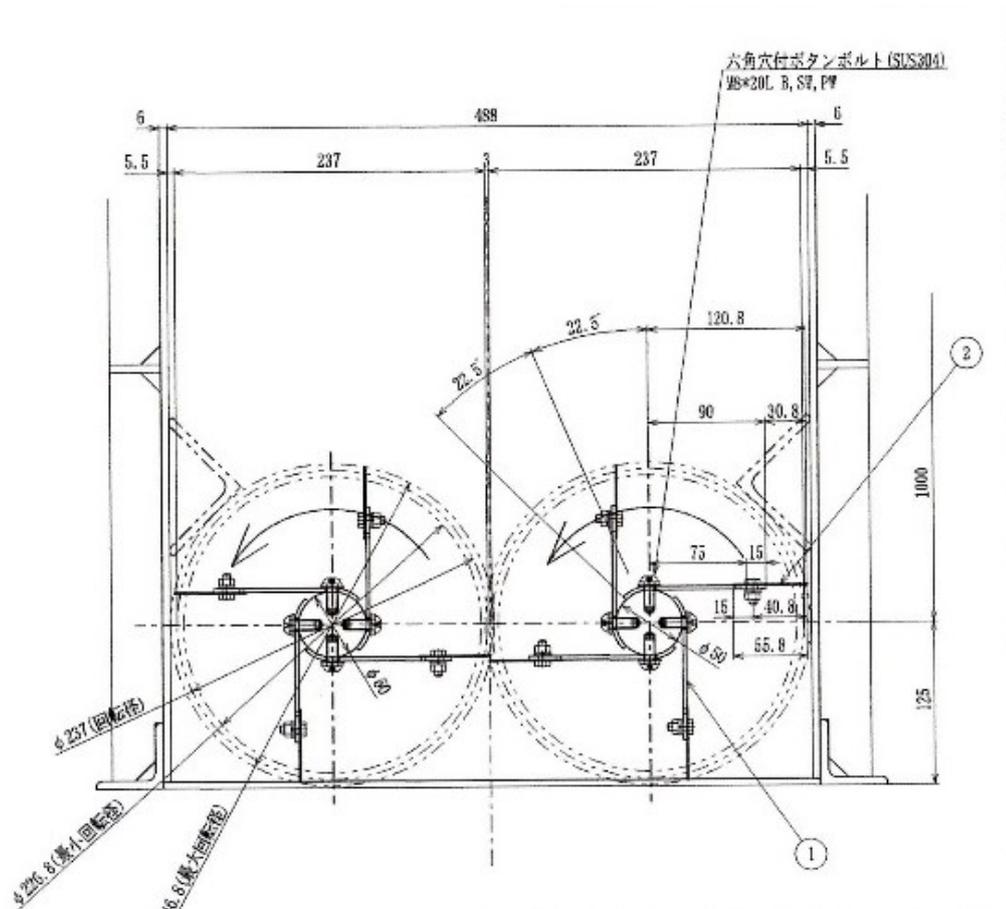


図 11 試験設備の概念図 (1/4モデル)



図 12 試験設備 (1/4 モデル)

25. 10. 19 排出テスト写真

14 テスト (1) ギヤ内内-14  
1回目180° 排出

25. 10. 19 排出テスト写真

28 テスト (1) ギヤ内内-1  
4回目12kg投入

25. 10. 19 排出テスト写真

118 テスト切チェーン-39  
4回目360° 排出

2 テスト(1) ウェイト20kg 0kg・7.0°

テスト内容	条件	回数	トルク値(N・m)	落ちたチップの重量(kg)	割合	
テスト (イ)	ウエイト	1回目(いー)式の時)	1.75	2.2	7.7%	
		2回目	2.10	2.3	9.0%	
		3回目	2.8	2.8	9.0%	
		4回目	3.0	2.7	9.0%	
		5回目				
テスト (ロ)	ギヤで	6回目	2.60	1.8	7.2%	
		7回目	1.80°	3.0	9.0%	
		8回目	5.0	1.4	4.0%	
		9回目	4.0	2.4	6.0%	
		10回目	6.5	1.1	3.0%	
		11回目	10.0	2.1	6.0%	
		12回目	5.5	2.6	6.0%	
		13回目	3.9	1.5	4.0%	
		14回目				
		15回目				

図 13 測定記録例 (左上・右上・左下: 写真付試験経過記録、右下: 排出データ記録)

改造を経ることで採用可能の見通しを得て、乾燥機本体の製作に進んだ。