

# 石炭サイロ用移動旋回式払出装置の木質バイオマス燃料への適用

## Application of Self-Propelled Rotary Discharge Machines for Coal Silos for Woody Biomass Fuels

難波康弘\* 村田 彬\* 石尾直樹\*\*

Yasuhiro Namba

Akira Murata

Naoki Ishio

近年、わが国で注目を集めている、再生可能エネルギーのひとつである木質バイオマス発電は、国内の間伐材などを燃料として有効に活用でき、また、CO<sub>2</sub>削減に大きく貢献されているとされている。しかし、木質バイオマス発電技術は国内では発展途上であり、さまざまな運用課題が存在しているのが現状である。本研究は、貯留搬送設備の効率化、ランニングコストの削減などを狙い、石炭サイロに納入実績のある、移動旋回式払出装置の木質バイオマス燃料への適用可能性を探るものである。実機設備と同サイズの移動旋回式払出装置を使用した試験により、本装置の木質バイオマス燃料への有用性を実証した。

In recent years, it has been said that woody biomass power generation, which is one of the kinds of renewable energy attracting attention in Japan, can effectively utilize energy sources such as domestic thinned timber as fuel and contribute greatly to CO<sub>2</sub> reductions. However, woody biomass power generation technology is at the development stage in Japan, and at present there are various operational problems. The purpose of this research is to explore the possibility of the application for woody biomass fuels of self-propelled rotary discharge machines that have been supplied for coal silos, in order to improve the efficiency of storage and conveyance facilities and to reduce operating costs. We demonstrate the usefulness of this system for woody biomass fuels by testing using a discharge machine of the same size as actual equipment typically used and report the results.

## 1 はじめに

### 1.1 背景

わが国の主要なエネルギー源である石油・石炭・天然ガスなどの化石燃料および原子力発電原料であるウランは90%以上を輸入に頼る有限資源である。また、地球温暖化対策のためのCO<sub>2</sub>排出量削減は国際的な義務となっており、原子力発電も放射性廃棄物が生成されるため、問題となっている。近年、エネルギー自給率を高め、CO<sub>2</sub>増加の抑制が可能な上、放射性物質排出の心配がない、再生可能エネルギーへの注目が高まっている。

再生可能エネルギーには、太陽光発電、水力発電、地熱発電、風力発電、バイオマス発電などがあるが、中でもバイオマス発電は、天候や自然条件に左右されにくい安定な分散型電源として、各国でさまざまな燃料、形式で増加している。バイオマス発電は、燃料の燃焼熱による蒸気の発生でガスタービンを回し発電する一般的な火力発電と基本原理は同じであるが、CO<sub>2</sub>削減に大きく貢献されているとされている。これは、バイオマス燃料が動植物資源、もしくはこれを起源とする有機廃棄物（化石資源を除く）などの理論上CO<sub>2</sub>を増加させない、カーボンニュートラル燃料であるためである。日本国内では、森林間伐材や、建築廃材、製紙廃材などで大量の木材が廃棄物として処理、もしくは放置されており、これらを有効に活用できる木質バイオマス発電に注目が集まっている。また、再生可能エネルギーの一つに分類されているため、発生した電力は固定価格買取制度（FIT）の対

象となっており、事業採算性の面でも注目されている。

しかしながら、木質バイオマス発電技術は国内では発展途上であり、高効率化、長寿命化、自動運転化、ランニングコストの削減、燃料の安定供給ラインの確保など、課題が多く存在しているのが現状で、運用技術に関してはこれから経験を積んでいく段階である。

### 1.2 開発概要

木質バイオマス発電では、一般的な火力発電同様、安定した電力を長時間提供するため、使用する燃料は一定量貯留され、使用時に定量供給装置によって燃焼炉へ供給される。これらの木質バイオマス発電設備では燃料の性状にバラつきがあるものが多く、一般的なサイロ方式だけではなく、貯留場（倉庫、もしくは屋外）に積み付けられ、ショベル、もしくはコンベヤなどによって定量供給装置へ投入する方式や、特殊なサイロ形状のものなど、さまざまな形式が検討されている。

近年では、木質バイオマス発電燃料の性状の均質化、高品質化（ペレット化、チップ化など）技術が進んでおり、燃料性状によっては、石炭火力発電燃料ハンドリング設備に使用される払出・搬送装置などの、木質バイオマス発電への適用が可能と考えられている。これらの適用性が実証されれば、石炭火力発電燃料ハンドリング設備同様の、効率的な貯留搬送設備の運用、およびランニングコスト、設備費用の低減などが可能と考えられる。

よって、今回、石炭火力発電設備大型サイロに多数納入実績のある移動旋回式払出装置の、木質バイオマス燃

料に対する適用性の確認のため、払出機メーカーである株式会社ティーネットジャパンと共同での実証試験を実施したので、報告する。

## 2 移動旋回式払出装置について

払出装置の構造は、掻出羽根と走行台車で構成されている。掻出羽根の回転と同時に走行台車は布設されたレール上を往復移動し、サイロ下部スリット状開口部より原料を払出す構造である。払出装置の簡易図を図1、図2に示す。掻出羽根回転速度および台車走行速度は可変速となっており、原料の物性や処理能力に合わせた払出量の調整を行うことができる。掻出羽根は硬化肉盛にて耐磨耗対策を施しており、さらにボルト固定式により部品交換が可能となっている。

本装置は、発電用大型石炭サイロ用として国内外に多数の稼働実績を有し、サイロサイズ、プラント運用によって設置パターンのアレンジができるという特徴がある。一般的な払出装置では、1基のサイロに1台の払出装置となるが、本装置では、1基のサイロに2台の装置を設置することで、1台がメンテナンス中であってもサイロ内貯留物の排出を可能とする設置パターンや、2基のサイロに対し、払出装置1台とし、設備費用、設置スペースなどを削減するといったような設置パターンが可能である。

また、一般的なサイロ内部に設置する払出装置と異なり払出装置自体がサイロの外側に配置されており、装置をメンテナンススペースに移動させることで、貯留物をサイロ内に残したまま、点検・修理が可能である。

当該払出機に用いるスリット状開口部の模式図を図3に示す。スリット状開口部には高さ調整可能なゲートが設置されており、原料性状による流動性の変化にもゲート高さを調整することで対応可能である。

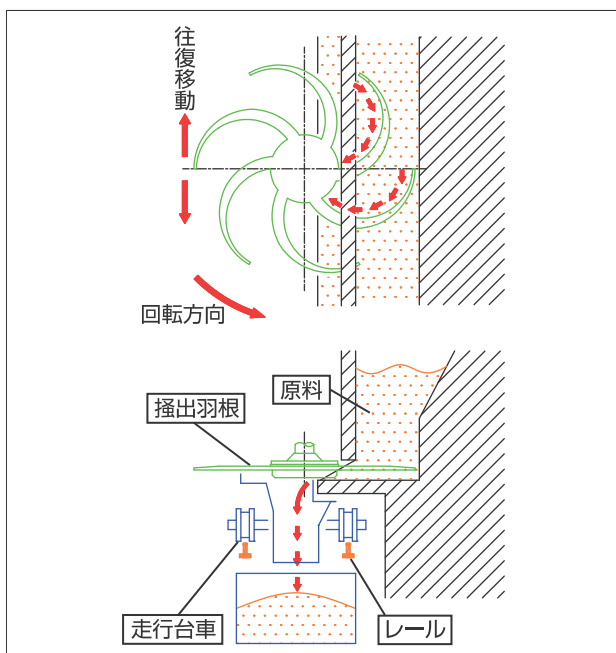


図1 払出構造図

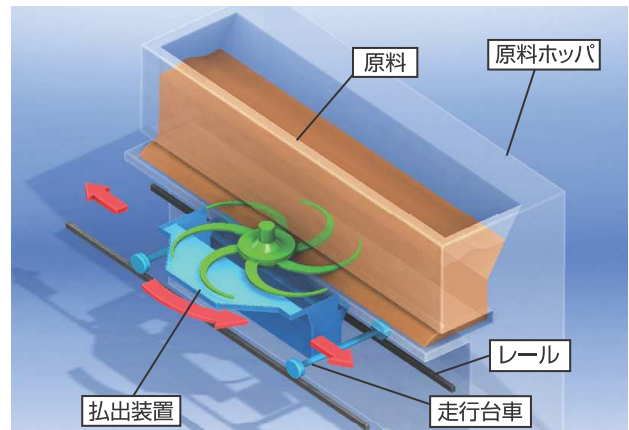


図2 払出装置模式図

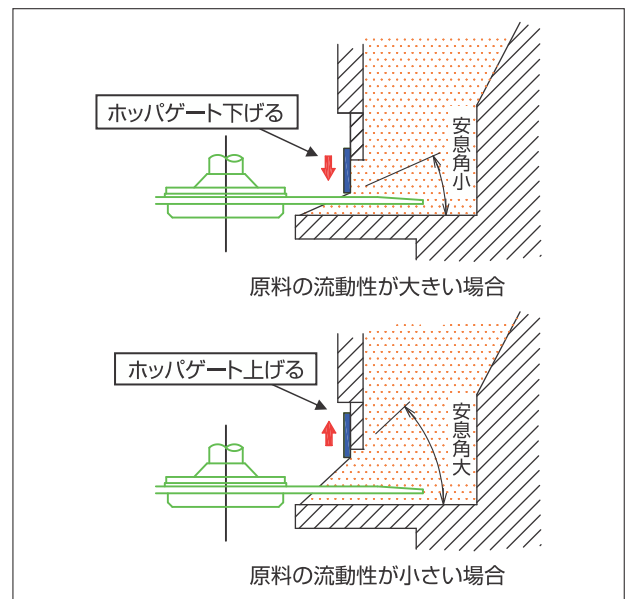


図3 ホッパ払出ゲート模式図

## 3 払出実証試験

### 3.1 試験用原料

本試験は、木質バイオマス燃料の中でも原料性状が比較的均一で、今後燃料としての使用量増加が期待されている、木質ペレットおよびヤシ殻 (Palm Kernel Shell 以下PKS) への本装置の適用性を確認することを目的とする。

試験に用いた木質ペレットを図4に、同じくPKSを図5に示す。



図4 試験用木質ペレット



図5 試験用PKS

木質ペレットは、間伐材、林地残材、製材工場の廃材・端材、のこ屑などを原料とし、一定サイズに造粒したもので、森林から出る多種多様な木質系資源を無駄なく順次使っていくカスケード型利用における重要な役割を担っている。木材を燃料化できるため、輸入に頼ることのない国産エネルギー源として期待されている。

PKSは、アブラヤシの実からパーム油をとった後のヤシ殻であり、脂分が残っているため、平均的な木材よりも高効率で燃やすことができる。石炭の約7割の発熱量があり、国産木材の供給不足となった場合の補給用として、アジア諸国から安定的に輸入可能な原料として捉えられている。

表1に試験前に測定した原料の物性を示す。

表1 物性測定結果

測定項目 (任意数検体平均)	品名	
	木質ペレット	PKS
産地	ベトナム産	インドネシア産
粒度 [mm]	φ 10×10 ~ 40 程度	長辺 5 ~ 30 程度
嵩比重 [t/m <sup>3</sup> ]	0.59	0.69
水分値 [%wt]	8.0	21.5
安息角 [deg.]	37.5	45.0

【各項目測定方法】

粒 度：スケールでの概略粒子サイズ測定値

嵩比重：15L 容器に投入後、重量を測定

水分値：Kett 社製 FD-610 赤外線水分計により測定

安息角：JIS 測定方法 (JIS R 9301-2-2 参考)

### 3.2 払出試験 試験条件

#### 3.2.1 試験設備

実証試験では、実機サイズを想定したゲート付スリット型開口式鋼製ホッパ（有効容積 25m<sup>3</sup>）および払出装置（実機と同サイズ）を製作した。試験装置全体図を図6、試験装置全体イメージを図7に、試験場設置全体写真を図8に示す。

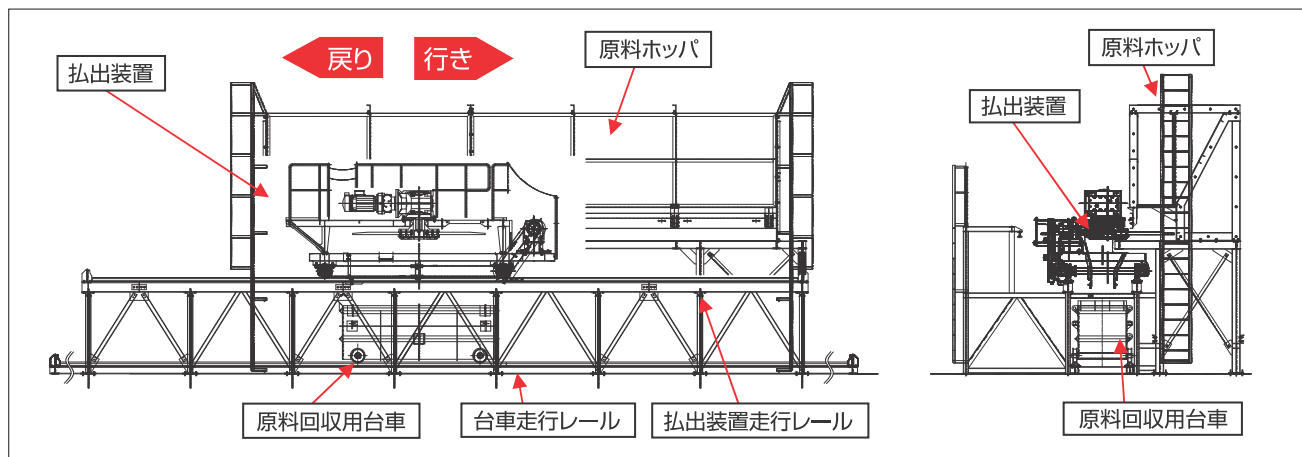


図6 試験装置全体図

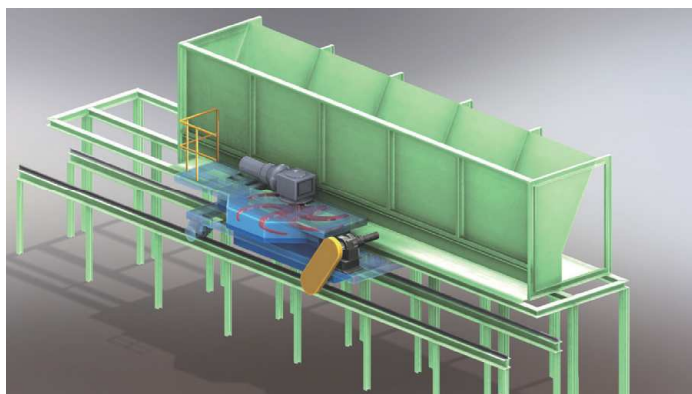


図7 試験装置全体イメージ



図8 試験設備全体写真

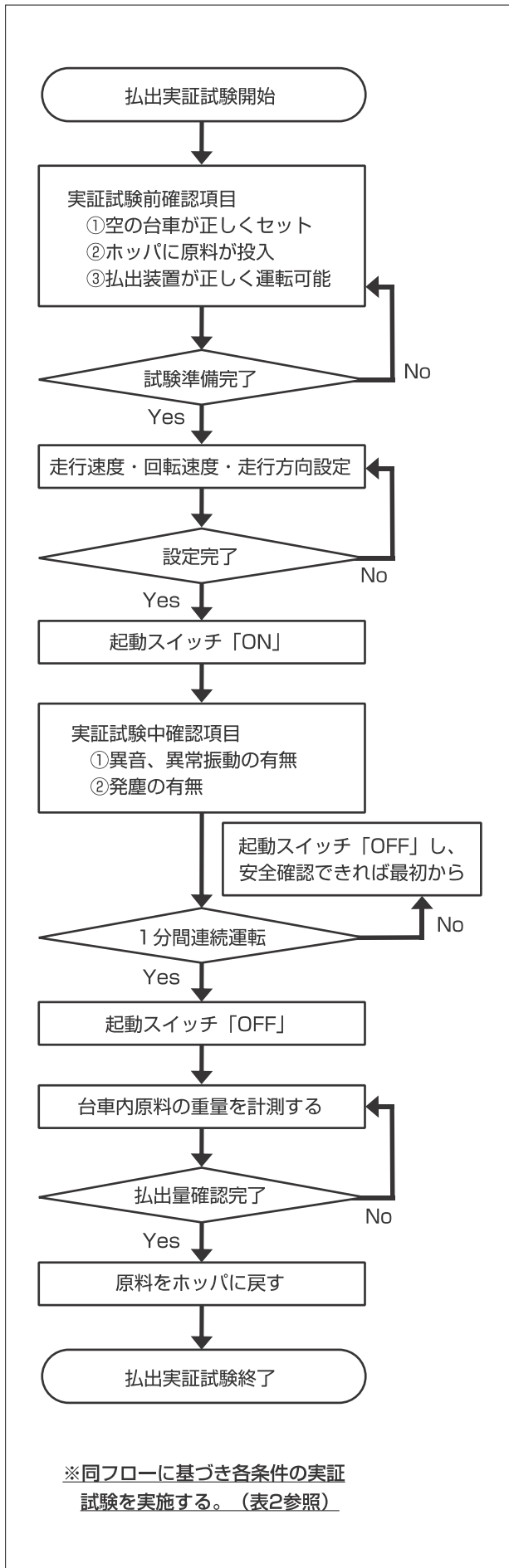


図9 試験手順フローチャート

### 3.2.2 試験方法

図9に試験手順のフローチャートを示す。試験はホッパに貯留した原料を条件ごとに1分間装置を稼働し、原料払出しを行い、装置下に設置されたレール上に乗せられた台車にて回収を行った。払出された原料は適宜ホッパに再投入し、ホッパ内の状況を均一に保つようにした。

### 3.3 試験条件

試験条件一覧を表2に示す。試験条件は、羽根回転速度に対して払出量が比例的に増加するのかの確認と、その他の変動条件が、払出量にどの程度影響を与えるのかを調べるため、走行速度、走行方向、羽根回転速度の、3条件を変化させるものとした。羽根回転速度に関しては、石炭ハンドリング設備の実績ベースより、1.0～2.5min<sup>-1</sup>を定格使用範囲とし、この速度で払出が設定により制御できるかどうかに加え、試験機の最大回転数である、回転速度5.0min<sup>-1</sup>での払出状況の確認も実施した。条件毎に1分間での払出量を計測し、各条件が払出量に及ぼす影響について確認した。

また、試験時における払出安定性および発塵状況についても確認を行った。さらに、1分以上の連続払出時のホッパ内での原料のブリッジの発生状況、同時に流動状態の確認も行った。

表2 試験条件一覧

試験 No.	走行部		羽根部
	速度 [m/min]	方向 (行・戻)	回転速度 [min <sup>-1</sup> ]
1-1	0.5	行き	1.0
1-2			1.5
1-3			2.0
1-4			2.5
2-1		戻り	1.0
2-2			1.5
2-3			2.0
2-4			2.5
3-1	1.0	行き	1.0
3-2			1.5
3-3			2.0
3-4			2.5
4-1		戻り	1.0
4-2			1.5
4-3			2.0
4-4			2.5
5-1	0.5	行き	5.0
5-2		戻り	
5-3	1.0	行き	
5-4		戻り	

### 3.4 定格使用範囲試験結果

試験 No.1-1 ~ 5-4 の各条件における試験結果一覧を表 3、表 4 に示す。試験 No.1-1 ~ 4-4 の払出量と、羽根回転速度の関係をプロットし、近似線を挿入したグラフを図 10、図 11 に示す。

表3 木質ペレット試験結果一覧

試験 No.	走行部		羽根部 回転速度 [min <sup>-1</sup> ]	払出量	
	速度 [m/min]	方向 (行・戻)		1 分間当 [kg/min]	1 時間当 [t/h]
1-1	0.5	行き	1.0	256	15.3
1-2			1.5	350	21.0
1-3			2.0	443	26.6
1-4			2.5	528	31.7
5-1			5.0	1013	60.8
2-1	0.5	戻り	1.0	258	15.5
2-2			1.5	380	22.8
2-3			2.0	445	26.7
2-4			2.5	585	35.1
5-2			5.0	1119	67.1
3-1	1.0	行き	1.0	225	13.5
3-2			1.5	364	21.8
3-3			2.0	449	26.9
3-4			2.5	549	32.9
5-3			5.0	1134	68.0
4-1	1.0	戻り	1.0	251	15.1
4-2			1.5	378	22.7
4-3			2.0	479	28.7
4-4			2.5	554	33.2
5-4			5.0	1198	71.9

表4 PKS試験結果一覧

試験 No.	走行部		羽根部 回転速度 [min <sup>-1</sup> ]	払出量	
	速度 [m/min]	方向 (行・戻)		1 分間当 [kg/min]	1 時間当 [t/h]
1-1	0.5	行き	1.0	273	16.4
1-2			1.5	429	25.7
1-3			2.0	577	34.6
1-4			2.5	755	45.3
5-1			5.0	1472	88.3
2-1	0.5	戻り	1.0	287	17.2
2-2			1.5	432	25.9
2-3			2.0	586	35.2
2-4			2.5	752	45.1
5-2			5.0	1488	89.3
3-1	1.0	行き	1.0	267	16.0
3-2			1.5	411	24.7
3-3			2.0	567	34.0
3-4			2.5	696	41.8
5-3			5.0	1459	87.5
4-1	1.0	戻り	1.0	304	18.2
4-2			1.5	453	27.2
4-3			2.0	590	35.4
4-4			2.5	746	44.8
5-4			5.0	1510	90.6

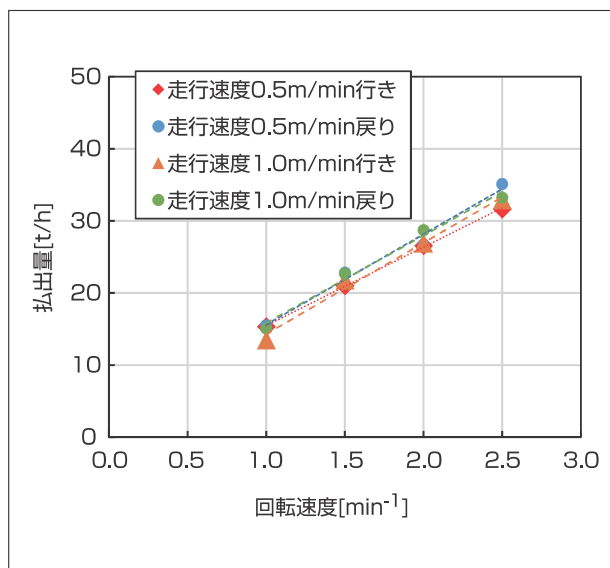


図10 木質ペレット 走行速度－排出量比較（定格）

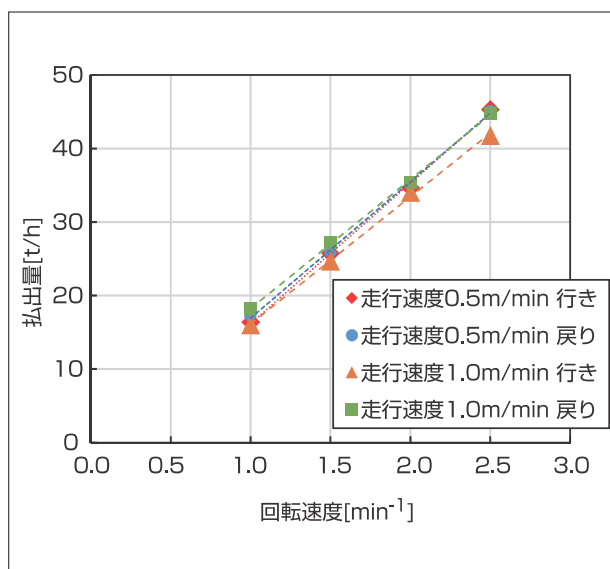


図11 PKS 走行速度－排出量比較（定格）

グラフより、木質ペレット、PKS 共に、いずれの条件においても回転速度と払出量の関係には線形性が確認できた。

走行速度 0.5m/min の払出量を 100% とした場合、同方向の走行速度 1.0m/min の場合の払出量の変化は最大で ± 10% 程度であった。

走行方向行きの払出量を 100% とした場合、同速度の走行方向戻りでの払出量の変化は + 10% 程度であった。

これにより本原料において回転速度 1.0 ~ 2.5min<sup>-1</sup> では、回転速度の設定により、その他条件の変更があっても払出量の調整が誤差 ± 10% 程度で可能であると判断できる。

### 3.5 最大回転速度試験結果

試験 No.1-1 ~ 4-4 までの各条件における試験結果に No.5-1 ~ 4 の結果を追加でプロットし、近似線を挿入したグラフを図 12、図 13 に示す。

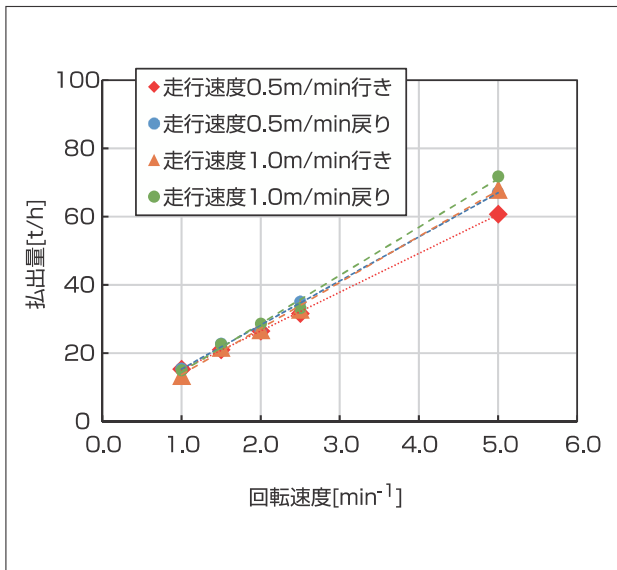


図12 木質ペレット 走行速度-排出量比較 (最大回転速度)

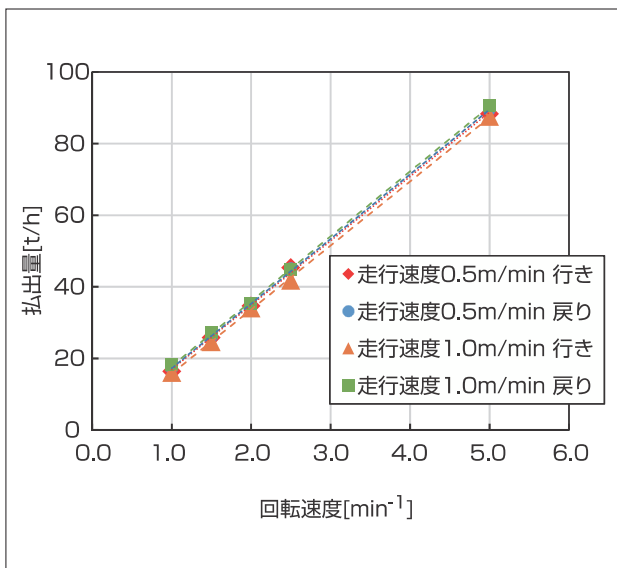


図13 PKS 走行速度-排出量比較 (最大回転速度)

グラフより、回転速度最大の場合でも、木質ペレット、PKS 共に、回転速度と排出量の関係には線形性が見られることが確認できた。

走行速度 0.5m/min の排出量を 100% とした場合、同方向の走行速度 1.0m/min の場合の排出量の変化は PKS では ± 5% 程度であるが、木質ペレットでは + 10% 程度となった。

走行方向行きの排出量を 100% とした場合、同速度の走行方向戻りでの排出量の変化は木質ペレットでは + 10% 程度、PKS では + 4% 以下となる。

これにより、回転速度 5min<sup>-1</sup> では、回転速度の設定により、排出量の調整が木質ペレットで誤差 ± 10% 程度、PKS では誤差 ± 10% 以内で可能であると判断できる。

### 3.6 払出状況に関して

原料初期投入後、排出部での原料のフラッシング性状態の確認を行った。開口部を閉止した状態を図 14 に、開放した状態を図 15、16 に示す。

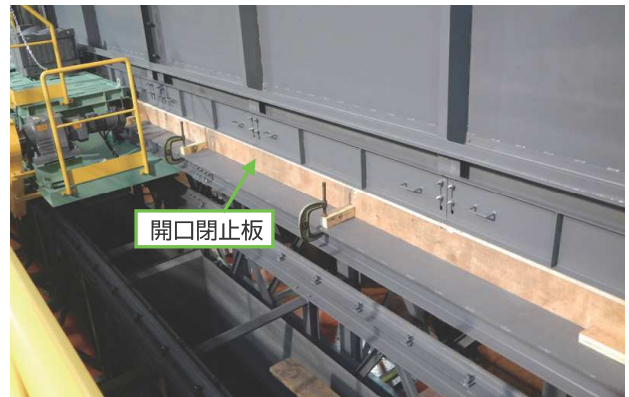


図14 ホッパ排出部 (開口部閉止状態)

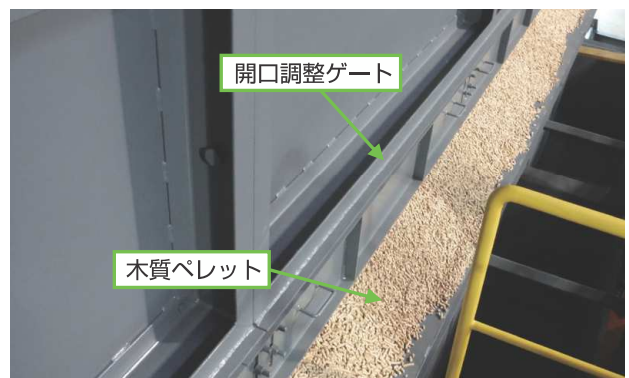


図15 木質ペレット 運転開始前



図16 PKS 運転開始前

この結果より、木質ペレット、PKS 共に安息角を保持した状態で静止することが確認できた。

次に運転状態から装置停止した時の原料状態を確認した。払出装置の運転時の状態を図 17 に示す。運転中は 2 原料とも、羽根回転に伴い連続的に安定した払出状態が確認できた。数回試験を実施したが、払出時に原料のフラッシングによる異常な流出は確認できなかった。

払出機を運転後停止した直後の状態を、図 18、19 に示す。運転停止と同時に原料流動も遅延なく停止することを確認できた。



図17 排出部（運転時）



図18 木質ペレット 運転停止直後（上方より撮影）



図19 PKS 運転停止直後（上方より撮影）

また、図20、21に示す通り、本試験後、ホッパ内の原料動作についても確認を行った。両原料ともマスフロー状態で払出され、ブリッジや閉塞などの不具合は確認できなかった。



図20 木質ペレット ホッパ内



図21 PKS ホッパ内

なお、木質ペレットでの試験時において、払出運転中に払出機より大量の発塵が確認できた。また、PKSでの発塵はほとんど確認できなかった。これは原料の性状に起因するものであり、特に木質ペレットは粉化しやすく発塵が起こりやすいものと推察される。よって、実機計画時には対象となる原料によっては発塵対策を考慮する必要がある。

#### 4 まとめ

- 木質ペレット、PKS共に、定格運転範囲では、掻出羽根回転速度の設定により、払出量の線形的調整が可能であることを確認できた。
- 定格運転範囲では、走行速度、走行方向による払出量の変化量は、最大でも±10%程度となるため、この2条件による払出量に対する影響は少ないことがわかった。

- c) 掻出羽根回転速度を最大に設定した試験では、木質ペレットでは条件ごとの払出量に大きく差が出たが、PKS では大きな差は見られなかった。よって、掻出羽根回転速度を上げると、物性による影響が顕著に出ると考えられる。
- d) 木質ペレット、PKS 共に掻出羽根の停止と同時に安息角で静止状態となった。これより装置停止時、ホoppaからのフラッシングによる流出がないことを確認できた。
- e) 木質ペレットでの試験時に粉塵が発生したことにより、実機では粉塵対策を検討する必要がある。

## 5 おわりに

本試験設備を用いた実証試験により、石炭火力発電設備に使用されている巡回移動式払出装置を、粉塵対策の追加などにより、装置の優位性を損なうことなく木質バイオマス燃料に適用し、運用することが可能であると考えられる。

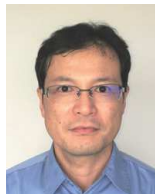
今後は、お客様の信頼を得るため納入実績を増やししながら、実際の木質バイオマス発電設備での運用データを蓄積し、実機の改善・開発に努める。

### 執筆者：

**難波康弘**

2012年入社

プラント設計に従事



**村田 彬**

2017年入社

プラント設計に従事



**石尾直樹**

株式会社ティーネットジャパン

