－研究記録（Research Note）－

農産廃棄物からのペレット製造とペレタイザーの摩耗状況

西宮　耕栄，山田　敦

Pellet production from agricultural residue and wear condition of pelletizer

Koei NISHIMIYA, Atsushi YAMADA

キーワード：農産廃棄物，ペレット，摩耗，小豆殻，廃プラスチック

1.　はじめに

北海道芽室町は，「小豆」や「長いも」の全道有数の産地である。栽培の過程に伴って，小豆殻や，長いも育成用のポリエチレンネット（以下廃プラネット）などの農産廃棄物が大量に発生する。現時点では，産業廃棄物としてそのまま廃棄され，膨大な廃棄処理費用が生産者の負担となっているため，その利用方法の開発が急務である。

北海道の循環資源利用促進特定課題研究開発基金事業（2010年度～2014年度）において，プラスチックを含む廃プラネットの利用についてマテリアル利用とエネルギー利用の両面で検討したが，その検討結果を踏まえて，循環資源利用促進重点課題研究開発事業（2015年度～2019年度）では，エネルギー利用に重点を置き，小豆殻ペレットの製造と，廃プラネット混合により発熱量を向上させたペレット燃料の製造について検討した。また，土砂の付着量の増加により，ペレタイザーの摩耗が早くなると想定されるため，ペレタイザーのダイス等の摩耗状況についても調査した。本稿ではこれらの結果について報告する。

2.　試験方法

2.1　ペレット製造

小豆殻あるいは廃プラネットを原料としたペレット製造と燃料利用において，ペレタイザーの摩耗や，ボイラーの使用上問題となるクリンカー発生要因としてあげられる土砂について，ふるい分けによる分離を行い，灰分の減少効果について検討した。また，廃プラネット混合によるペレット燃料の発熱量向上効果についても検討した。

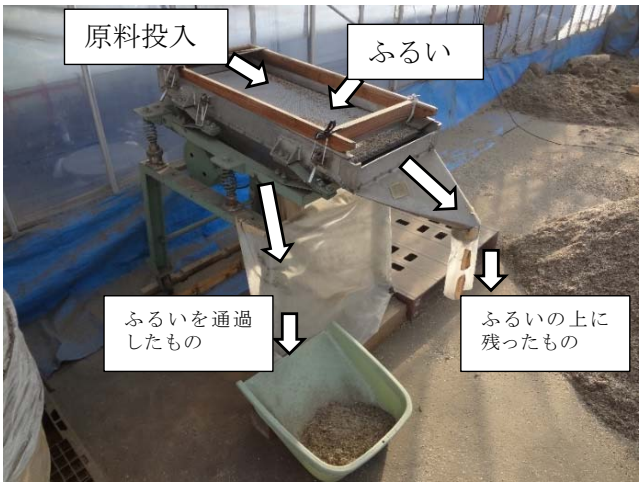
2.1.1　小豆殻ペレット製造方法

芽室町で発生した小豆殻をペレット原料として用いた。前処理として，**第1図**に示す自動振動ふるい装置を用いて，目開き1.0 mmのふるいを用いて小豆殻からの土砂分離を行った。

小豆殻ペレットの製造は，2015年12月から2016年1月に，一般社団法人めむろシニアワークセンター所有のフラットダイ型ペレタイザー（(株)土佐テック製）により行った。小豆殻ペレットの製造量は6.1 t（1m^{3}フレコンバック12袋分），小豆殻使用量8.8 t，ペレタイザー稼働時間183時間であった。単位時間あたりのペレット製造量は33.3 kg/hとなり，ペレタイザーのカタログ上の製造能力（30 kg/h）と同等であった。

2.1.2　廃プラネット混合ペレット製造方法

芽室町で発生した小豆殻および廃プラネット粉砕物をペレット原料として用いた。小豆殻は2.1.1で用いた原料と同一であり，廃プラネットの粉砕は，



第1図　自動振動ふるい装置

（株）ウィンクリン（帯広市）所有の粉砕機により行った。

廃プラネットにも土砂が付着している可能性があるため，ふるい分けによる土砂分離の効果が期待される。ただし，粉砕物の状態によっては，廃プラネット中の粒度の小さいプラスチック成分が，ふるいを通過した場合は，発熱量に影響を与える可能性がある。そのため，ふるい分けにより，廃プラネットを粒径により分画し，得られた画分の発熱量と灰分を測定し，小豆殻と廃プラネットの混合割合を決定した。その結果を基に，一般社団法人めむろシニアワークセンター所有のフラットダイ型ペレタイザーにより廃プラネット混合ペレットを製造した。

製造試験は，予備試験を2016年5月，本試験を2016年6月および11月に行った。予備試験は，小豆殻120 kg，廃プラネット24 kg（目開き0.5 mmのふるいの上に残ったもの）を混合し，水分20%に調整したものをペレット製造原料として行った。製造量は112 kgで，単位時間あたりの製造量は37 kg/hであった。また，本試験時の製造量は1.3 t（6月），3.3 t（11月）であった。

2.2　ペレット原料およびペレット燃料品質評価

2.2.1　小豆殻ペレット評価方法

原料の小豆殻，ふるいで分離した小豆殻，製造したペレット燃料の灰分，総発熱量をJIS法[1)]に従い，ペレット燃料の機械的耐久性については木質ペレット品質規格[2)]に従い測定してペレット燃料の品質評価を行い，ふるい分けの効果を確認した。

2.2.2　廃プラネット混合ペレット評価方法

廃プラネット粉砕物を2.0 mm～0.25 mmまでのふるいにより5つに分画し，その各画分について，JIS法に従い，灰分，総発熱量の測定を行った。また製造したペレットについても2.2.1と同様に燃料品質の評価を行った。

2.3　ペレタイザーの摩耗状況

本研究でペレット原料として用いている小豆殻や廃プラネットは，木質系ペレット原料より土砂の付着量が多い。そのため，ペレタイザーのダイスやローラーの摩耗が早くなり，それらのメンテナンス作業回数が多くなると想定される。メンテナンス作業の増加はコストアップにもつながるため，ダイスやローラーの摩耗状況を把握することは極めて重要である。そのための基礎資料として，小豆殻や廃プラネット混合ペレットなど各種ペレット製造後のペレタイザーの摩耗状況を確認し，ダイスについては摩耗量の測定を行った。

2.3.1　小豆殻ペレット製造後の評価方法

小豆殻ペレット製造後（前項2.1.1の試験製造後，製造量6.1 t）のペレタイザーの摩耗を評価するため，ペレタイザーのダイスおよびローラーの摩耗状況を目視により確認した。

ダイスの摩耗については，林産試験場所有のレーザー変位計を用いた測定装置[3)]，およびデプスメーターにより計測した。レーザー変位計による測定の様子を**第2図**に示す。測定台の上にダイスをのせ，レーザー変位計をダイスの中心から外周部に移動させてダイス表面の変位を測定した。測定はダイスを45度ずつ回転させて8回測定した。測定方向および測定例を**第3図**に示す。レーザー光の乱反射により，ダイス孔の部分の測定は困難であるため，ローラーが接触する部分の端の方での摩耗量の評価を行った。デプスメーターによる測定の様子を**第4図**に示す。ダイスの摩耗していない部分に平滑なステンレス棒を渡して，基準として深さ測定を行った。測定位置はレーザー変位計による測定と同じ位置とした。

2.3.2　廃プラネット混合ペレット製造後の評価方法

廃プラネット混合ペレット製造後（前項2.1.2の試験製造後）のペレタイザーの摩耗を評価するため，ペレタイザーのダイスの摩耗状況を計測した。また，比較として木質系のペレット製造に使用したダイスについても測定を行った。

第2図　レーザー変位計によるダイスの摩耗測定の様子

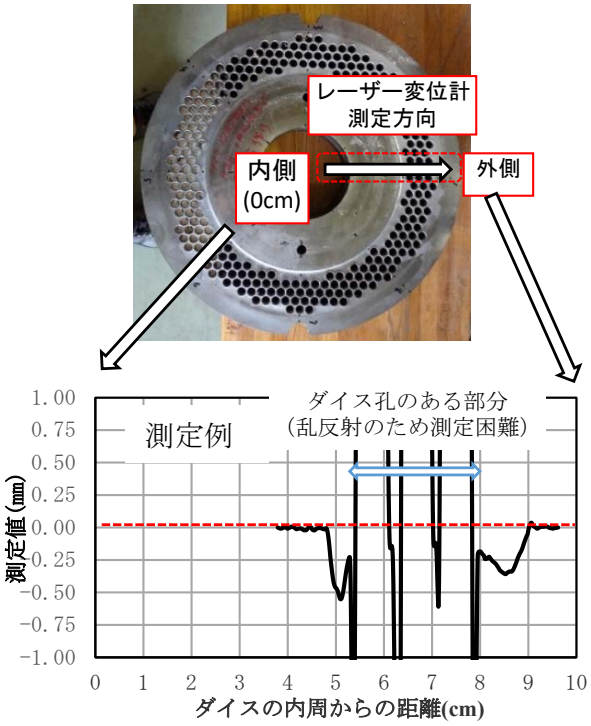
ダイスの摩耗の測定は，工業試験場所有の（株）ミツトヨ製三次元座標測定機H503を使用して行った。摩耗量の測定は，基準を設定し，基準からの摩耗量を円周方向に沿って30度間隔で測定し，ダイスの中心からの距離を変えて測定を行った。測定は，ダイスの表面，裏面ともに行った。測定の様子を**第5図**に示す。

測定に供したダイスの使用状況は以下のとおりである。

ダイスA：2016～2017年にかけて木質系ペレット製造に使用したもの（製造量5 t）

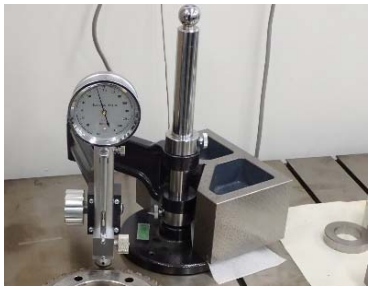
ダイスB：同時期に，小豆殻ペレットおよび廃プラネット混合ペレットの成型に使用したもの（小豆殻ペレット4.7 t，廃プラネット混合ペレット3.3 t製造）。研磨加工の履歴がある。

ダイスについては表層を研磨し平滑にして再利用することがあるが，研磨工程がダイスの材質に影響するか確認するため，研磨前後で，ダイス厚さ，研磨量とショア硬さの測定を行った。ショア硬さについては，**第6図**に示す工業試験場所有のショア硬さ試験機（(株)東京試験機製SH-D）を用いて測定した。測定原理はダイヤモンドのハンマを試料に対して垂直に落とし，その跳ね返りの高さを測定して材料の硬さを評価するもので，跳ね返りの高さが高いほど固い材料と評価される。



第3図　レーザー変位計による測定時の測定方向（上）と測定結果の例（下）

第4図　デプスメーターによるダイスの摩耗測定の様子



第6図　ショア硬さ試験機

第5図　三次元測定器によるダイスの摩耗測定の様子

3. 試験結果

3.1 小豆殻ペレットの燃料品質

3.1.1 小豆殻のふるい分け効果

第1表に原料の小豆殻および目開き1.0 mmのふるいを用いて分画した画分の水分，灰分，総発熱量を示した。ふるいを通過した画分の灰分が20%を超え，原料の4倍近い値となっていることから，ふるい分けによる土砂分離はペレット燃料の品質向上に有効と考えられるが，ふるいの上に残った画分の灰分は原料と同程度であり，その効果は限定的と考えられる。

3.1.2 小豆殻ペレットの燃料品質

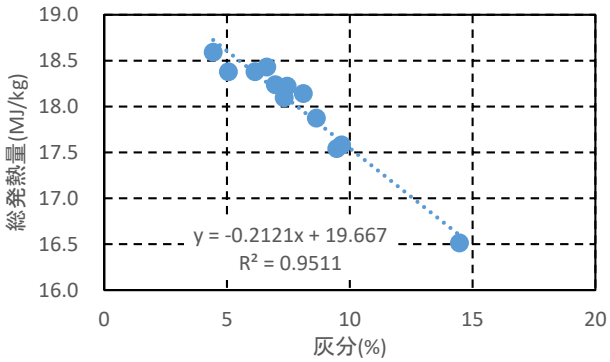
フレコンバックごとのペレット燃料品質を第2表，ペレットの灰分と発熱量の関係を第7図，ペレットの水分と発熱量の関係を第8図に示した。ペレットの灰分や水分が極端に大きいもの（No9,12）は総発熱量が小さいという傾向が見られた。これらは他のロットと比較して水分や灰分の多い品質が劣る原料を用いたため，ふるい分けを行ったとしても，ペレットの燃料品質改善効果が小さくなったものと考えられる。なお，機械的耐久性は概ね木質ペレットの品質規格を満たしていた。

第1表　小豆殻のふるい分けによる土砂分離効果

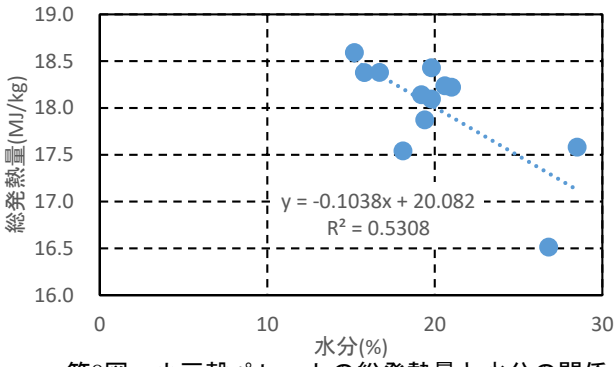
区分	水分 (%)	灰分 (%)	総発熱量 (MJ/kg)
未ふるい	20.5	5.5	18.3
＜1.0 mm	21.5	22.6	15.3
≧1.0 mm	23.4	5.2	18.6

第2表　小豆殻ペレットのフレコンバックごとの燃料品質

フレコンバッグNo	かさ密度 (kg/m³)	機械的耐久性 (%)	水分 (%)	灰分 (%)	総発熱量 (MJ/kg)
1	587	99.0	19.4	8.6	17.9
2	548	98.6	19.8	6.6	18.4
3	636	99.0	19.8	7.3	18.1
4	597	98.9	19.2	8.1	18.1
5	602	98.6	16.7	6.1	18.4
6	666	99.1	21.0	7.5	18.2
7	695	98.7	15.2	4.4	18.6
8	596	98.8	20.6	7.0	18.2
9	522	98.1	26.8	14.5	16.5
10	633	98.6	15.8	5.1	18.4
11	610	98.9	18.1	9.5	17.5
12	534	97.4	28.5	9.7	17.6
平均	602	98.6	20.1	7.9	18.0
基準[2]	650～750	≧97.5	≦10	≦0.5	≧18.0



第7図　小豆殻ペレットの総発熱量と灰分の関係



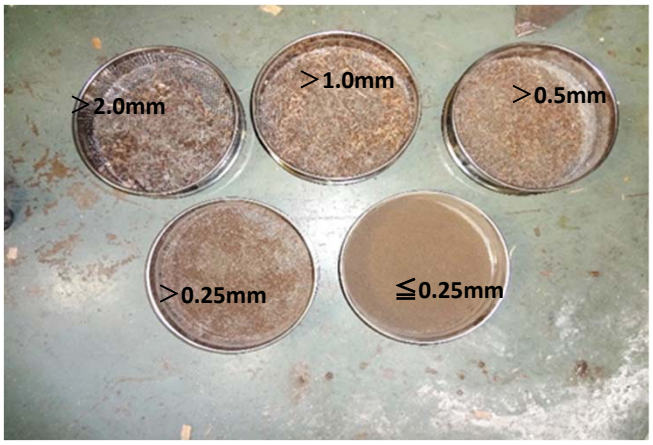
第8図　小豆殻ペレットの総発熱量と水分の関係

3.2 廃プラネット混合ペレットの燃料品質

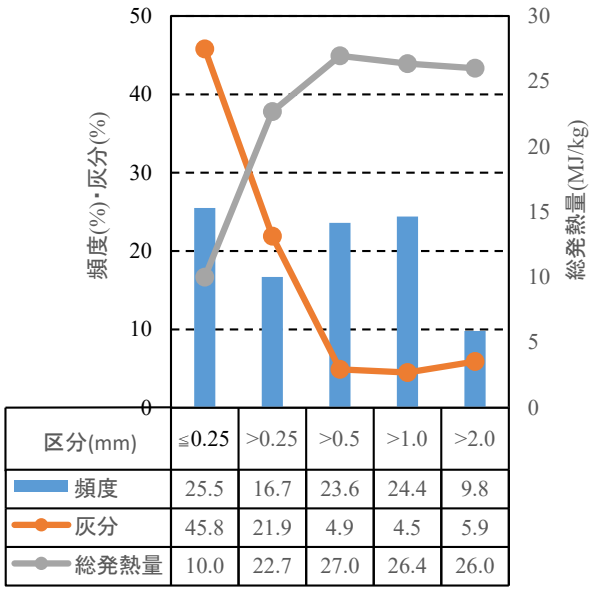
3.2.1 廃プラネットのふるい分け効果

分画した廃プラネットの写真を第9図に，灰分，総発熱量の測定結果を第10図に示す。灰分については目開き0.5 mm以上の画分において5.0%程度であり，それ未満の画分では増加した。総発熱量についても0.5 mm以上の画分では27 MJ/kg程度であり，それ未満の画分では低下する傾向が認められた。0.5 mm以上の画分の割合は，原料の60%程度であるが，灰分，総発熱量や歩留まりなどを考慮すると，廃プラネットのふるい分けには，目開き0.5 mmのふるいを用い，その上に残存したものを使用するのが望ましいと考えられる。

この結果を踏まえて，廃プラネットの原料および0.5 mmのふるいで分離した画分の灰分，総発熱量からプラスチック含有率を推定した結果を第3表に示した。また，この値を用い廃プラネットの混合比を変えた場合のペレット燃料品質を推定した結果を第4表に示した。2010～14年度に検討した結果[4]から想定される発熱量および成形性を考慮して，今回は小豆殻と廃プラネットの混合割合を100/20として製造試験を行うこととした。この場合，ペレット燃料全体としてのプラスチック含有率は7%程度と予想され（第4表），成形性に大きな影響を及ぼす可能性は低いと考えられる。



第9図　ふるい分け後の廃プラネット



第10図　廃プラネットのふるい分けによる土砂分離効果

第3表　廃プラネットの燃料品質とプラスチック含有率の推定

区分	頻度 (%)	灰分 (%)	総発熱量 (MJ/kg)	プラスチック含有率(%)
未ふるい	100	12.7	19.2	16.0
≦0.5 mm	42.3	36.3	15.0	16.2
＞0.5 mm	57.7	4.9	26.5	42.8

※試料中の灰分以外の部分は，廃プラネット中のプラスチック成分と，バイオマス成分（廃プラネットに付着した長いも茎葉など）から成り立っていると仮定し，プラスチック成分の総発熱量40MJ/kg，バイオマス成分の総発熱量を18MJ/kgとして，プラスチック含有率を計算

第4表　廃プラネット混合ペレットの燃料品質推定

配合割合（小豆殻／廃プラネット）	灰分 (%)	総発熱量 (MJ/kg)	プラスチック含有率 (%)
100/5	5.2	19.0	2.0
100/10	5.2	19.3	3.9
100/20	5.1	19.9	7.1
100/25	5.1	20.2	8.6
100/30	5.1	20.4	9.9
100/40	5.1	20.9	12.2
100/50	5.1	21.2	14.3

3.2.2　廃プラネット混合ペレットの燃料品質

予備試験において用いた原料と製造したペレットの燃料品質を**第5表**に示す。発熱量および灰分の実測値は，第3表，第4表に示した予測値と近い結果となった。**第6表**に本製造試験の結果を示す。11月製造分については他の原料と比較して，ペレット燃料の水分が高めで，かさ密度が大きくなっているが，機械的耐久性や総発熱量については品質規格を満たしており，実用に耐えうる品質の廃プラネット混合ペレット燃料の製造が可能であると考えられる。

第5表　原料およびペレット燃料の品質（予備試験）

	水分	（実測値）総発熱量	灰分	（予測値）総発熱量	灰分
単位	%	MJ/kg	%	MJ/kg	%
小豆殻	12.7	18.4	4.4		
廃プラネット≦0.5 mm	11.1	10.6	44.1	15.0**	36.3**
廃プラネット＞0.5 mm	11.7	26.3	4.2	26.5**	4.9**
小豆殻＋廃プラネット*	21.7	20.5	4.6		
ペレット	16.4	19.6	4.9	19.9***	5.1***

*：ペレット製造用に，廃プラネットを混合し，水分調整を行った原料の値
：第3表記載の値　　*：第4表記載の値

第6表　小豆殻ペレットの品質（本試験）

	水分 (%)	かさ密度 (kg/m^3)	灰分 (%)	機械的耐久性 (%)	総発熱量 (MJ/kg)
予備	16.4	561	4.9	98.7	19.6
6月製造分	14.9	593	7.1	98.8	19.2
11月製造分	19.2	615	7.0	99.0	19.7
基準[2)]	≦10	650～750	≦0.5	≧97.5	≧18.0

3.3　ペレタイザーの摩耗状況

3.3.1　小豆殻ペレット製造後の摩耗状況

小豆殻ペレット6.1 t製造後（稼働時間183時間）のダイスの摩耗状況を**第11図**に，ローラーの摩耗状況を**第12図**に示す。目視の段階でも明らかにダイスに関してはローラーと接触する箇所のへこみが観察され，ローラーについても摩耗している状況が確認された。

ダイスの摩耗量測定結果を**第7表**に示す。レーザー変位計の測定については，測定位置ごとに，ダイスの内側および外側それぞれの最大値と平均値（摩耗していない箇所からダイス孔まで）を記載し，デプスメーターの測定では，測定位置ごとに，内側および外側と中央部（ダイス孔がある場合はその付近で測定可能な箇所）について記載した。ダイスの摩耗量は，平均してダイスの内側で0.459 mm程度，外側で0.213 mm程度確認され，摩耗率（＝摩耗量/稼働時間）としては内側で2.51 μm/h，外側で1.16 μm/hと算出された。後述するように木質系ペレット製造時の摩耗率は1.02 μm/hであったため，小豆殻ペレットの製造では，よりダイスの摩耗が進行していることが確認された。

第11図　ダイスの摩耗の様子

第12図　ローラーの摩耗の様子

第7表　ダイスの摩耗量測定結果

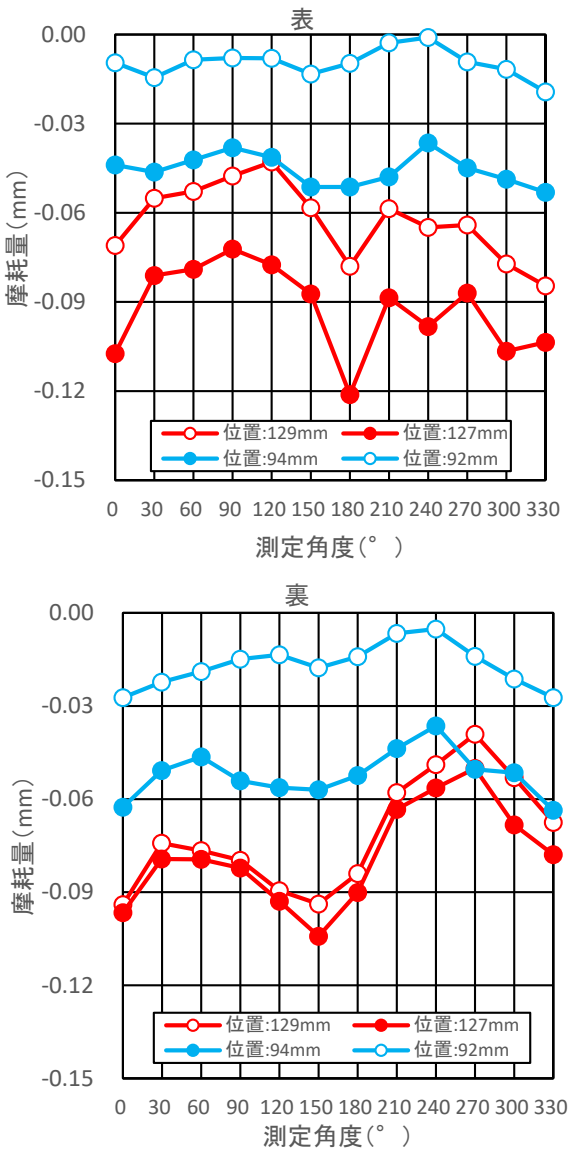
	測定位置*	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°	平均	標準偏差	摩耗率**
単位		mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	μm/h
デプスメーター	内側	0.45	0.64	0.55	0.39	0.32	0.33	0.74	0.32	0.47	0.16	2.57
	中央	0.13	0.15	0.12	0.07	0.08	0.11	0.11	0.10	0.11	0.03	0.60
	外側	0.32	0.34	0.04	0.23	0.20	0.17	0.09	0.14	0.19	0.11	1.03
レーザー変位計	内側	0.465	0.503	0.478	0.347	0.372	0.428	0.676	0.404	0.459	0.103	2.51
	外側	0.342	0.366	0.116	0.211	0.186	0.198	0.084	0.202	0.213	0.098	1.16
レーザー変位計（最大値）	内側	0.553	0.681	0.491	0.454	0.385	0.504	0.746	0.427	0.530	0.125	2.90
	外側	0.359	0.386	0.120	0.251	0.223	0.224	0.097	0.256	0.240	0.101	1.31

*：測定位置はダイスの回転角度を表示　**：摩耗率＝摩耗量／稼働時間

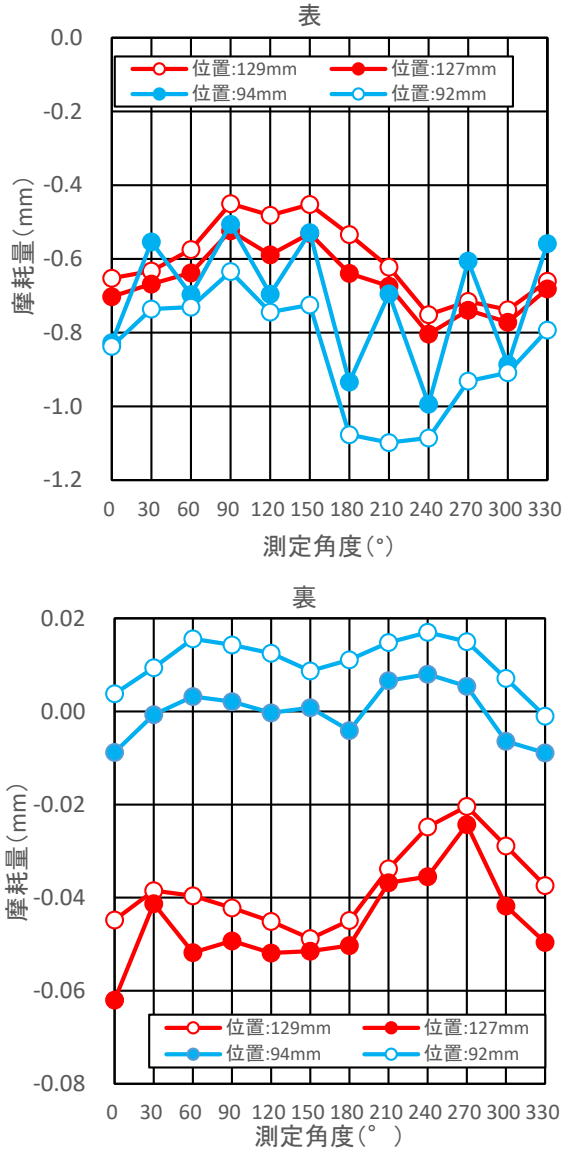
3.3.2　廃プラネット混合ペレット製造後のダイスの摩耗状況

木質ペレット製造後のダイスAの摩耗量測定結果を**第13図**に示す。ダイスの中心から92 mm，94 mm，127 mm，129 mmの位置の円周に沿って測定した。測定結果から，ローラーが接触している範囲は94～127 mmと推定される。摩耗量は，表面と裏面の値を合計したものとしたが，木質ペレット製造の場合の摩耗量は0.1～0.2 mm程度と推定された。

小豆殻ペレットおよび廃プラ混合ペレット製造後のダイスBの測定結果を**第14図**に示す。この場合の摩耗量は0.6～0.8 mmとかなり摩耗している状況が確認された。ペレット製造速度を30 kg/hとして，ペレット製造量から稼働時間を算出し，ダイスの摩耗量を稼働時間で割ることにより算出した摩耗率を**第8表**に示す。木質ペレット製造時の摩耗率が，最大1.02 μm/h，小豆殻および廃プラネット混合ペレット製造時の摩耗率は最大3.17 μm/hと算出され，ダイスの摩耗が木質ペレット製造時と比較すると早くなったことが確認された。



第13図　ダイスAの摩耗状況
（木質ペレット製造）



第14図　ダイスBの摩耗状況
（小豆殻ペレットおよび廃プラネット混合ペレット）

研磨前後のダイス厚さと研磨量を**第9表**に示す。ダイスBについては，研磨の履歴があり，今回が2回目の研磨であるため，すでにダイスの厚さが1mm程度薄くなっており，平滑にするための研磨量も多くなっている。**第10表**にダイスの研磨前と後のショア硬さを示す。研磨履歴のあるダイスBについては，研磨前ですでにショア硬さが小さく，研磨によりさらに値が低下していることが確認された。ダイスAについては，研磨量が少ないこともあり，ショア硬さの変化は小さかった。ペレタイザーのメーカーにヒアリングしたところ，現状のダイスの材質はSCM鋼，浸炭焼き入れを表層付近にのみ行っており，その理由としては，ペレット製造時にダイスに圧力がかかるため，表面の硬さを確保し，ダイス自体の靭性を持たせるためとの回答であった。そのため，研磨を繰り返した場合のショア硬さの低下は，焼き入れ深さの関係で，焼き入れしていない箇所まで研磨したためと考えられる。ダイスの材質もメンテナンスの頻度を考えると重要であるが，コストに跳ね返る部分でもあり，ペレタイザーの選定時には慎重に検討する必要がある。

第8表　ダイスの摩耗量と摩耗率

		内側		外側	
測定位置（中心からの距離:mm）		92	94	127	129
ダイスA	表	0.010	0.045	0.092	0.063
	裏	0.017	0.052	0.078	0.072
摩耗率* μm/h		0.16	0.58	1.02	0.81
ダイスB	表	0.858	0.707	0.663	0.605
	裏	-0.011	0.000	0.046	0.037
摩耗率* μm/h		3.17	2.65	2.66	2.40

*摩耗率=摩耗量/稼働時間

第9表　再研磨量とダイス厚さ

単位	研磨前厚さ mm	研磨後厚さ mm	研磨量表 mm	研磨量裏 mm
ダイスA	34.99	34.67	0.19	0.13
ダイスB	33.53	32.25	1.18	0.10

第10表　ダイスの再研磨によるショア硬さの変化

		研磨前	研磨後
ダイスA	表	74	73
ダイスA	裏	75	74
ダイスB	表	48	37
ダイスB	裏	39	37

4. おわりに

芽室町で発生する小豆殻や廃プラネットを原料としてペレット燃料を製造し，その燃料品質と，ペレタイザーの摩耗状況を明らかにした。

廃プラネット混合ペレットについては，廃プラネットの混合割合を適切に設定することにより，一定品質のペレット燃料製造が可能となった。今回検討したペレット燃料は，木質ペレットよりも灰分は高いが，循環資源利用促進特定課題研究開発基金事業において開発した高灰分燃料に対応した燃焼機器[5)]を用いることにより，地域で発生する廃プラスチックを資源として有効利用することが可能と考えられる。

ペレタイザーの摩耗状況を調査した結果，木質ペレット製造時よりも，農産廃棄物を用いた場合は摩耗が進んでいたため，ダイスなどのメンテナンス間隔を短縮する必要性が高いことが示された。なお，ダイスの材質あるいは焼き入れなどの処理については，メンテナンス間隔に影響する可能性はあるので，その点については留意する必要がある。

引用文献

1）JIS Z 7302：廃棄物固形化燃料，日本規格協会 (1999).

2）（一社）日本木質ペレット協会：木質ペレット品質規格（平成29(2017)年2月27日改正版）.

3）松本久美子：木材の表面形状を測る, 林産試だより2月号, 4-5(2012).

4）循環資源利用促進特定課題研究開発基金事業報告書「農業用廃プラスチックの再利用に関する研究」平成27年3月, 18-22 (2015).

5）循環資源利用促進特定課題研究開発基金事業報告書「農業用廃プラスチックの再利用に関する研究」平成27年3月, 23-35(2015).

－利用部　バイオマスグループ－

（原稿受理：2023.11.27）