

パームトランク燃料化技術

～ペレット品質向上への取り組み～

Solid Fuel Making from Oil Palm Trunk ～To Reform Pellet Quality for Expanding the Application～

岸口 哲也 Tetsuya KISHIGUCHI
ソリューション共創センター
低炭素エネルギービジネス部
商品技術室 マネジャー

吉田 昌義 Masayoshi YOSHIDA
ソリューション共創センター
低炭素エネルギービジネス部
商品技術室 シニアマネジャー

幸 良之 Yoshiyuki SAIWAI
技術本部 技術総括部
知的財産情報管理室 マネジャー

納口恭太郎 Kyotaro NOGUCHI
ソリューション共創センター
低炭素エネルギービジネス部
企画営業室 マネジャー

岩田 紘宜 Hiroyoshi IWATA
ソリューション共創センター
ソリューションビジネス部

土谷 肇太 Keita TSUCHIYA
ソリューション共創センター
低炭素エネルギービジネス部
商品技術室

西 猛 Takeshi NISHI
ソリューション共創センター
低炭素エネルギービジネス部
商品技術室長

竹中 堅二 Kenji TAKENAKA
ソリューション共創センター
ソリューションビジネス部長

抄 録

近年、地球温暖化抑制の観点から再生可能エネルギーとしてバイオマス発電が注目されている。バイオマス発電の普及に伴って燃料となる木質バイオマスの需要が増加しており、国内での供給限界から輸入に依存することが予測されている。世界のバイオマス燃料も消費量は急速に拡大しており、バイオマス燃料の長期安定供給の確保が課題となっている。当社では未利用のバイオマスとして、マレーシア・インドネシアを中心に栽培されるアブラヤシの古木(パームトランク)に着目し、燃料用ペレット製造プロセスを開発してきた。本論文ではバイオマス専焼発電所や石炭火力発電所での高混焼率利用に向けた原料由来の技術課題とその取り組みを述べる。

Abstract

Recently, biomass power generation has come to attract attention to prevent global warming as renewable energy. In Japan, demand of biomass solid fuel has increased in association with increasing its consumption in biomass-fired power plant and supply of biomass solid fuel has partially depended on the supply from foreign countries. On the other hand, the whole biomass fuel consumption in the world also tends to increase for obligation to the Paris Agreement. As the result, securing long-term stable supply for biomass energy becomes important. To solve this problem about long-term stable supply for biomass energy, Nippon Steel & Sumikin Engineering has focused on the old oil palm trunk cultivated in Malaysia and Indonesia as unutilized biomass resources, and developed conversion process to product biomass solid fuel from oil palm trunk and squeezer as the key technology for this process. This paper describes essence of process to enable oil palm trunk pellet to be applied for mono-fuel combustion in biomass-fired power plant and for high mixed combustion in coal-fired power plant.

1 緒言

近年、温暖化対策として再生可能エネルギーの固定価格買取制度(FIT)が国内で導入され、木質バイオマスは環境条件によらず安定的に運用が可能であることから着目され、専焼発電所の増加や石炭火力発電所での混焼により利用が拡大傾向にある。そのため、日本の電源構成におけるバイオマス発電の割合は2016年の2%から、2030年の想定では4~5%への倍増が予測され¹⁾、これに伴う木質バイオマスの需要を満足するためには輸入による調達が必要となる。しかし、パリ協定に伴って世界的な需要の高まりが予想されており、木質バイオマスの長期安定供給の確保が課題となっている²⁾。

このような環境下、当社は未利用バイオマスとしてアブラヤシ(オイルパーム)の古木(パームトランク)に着目した。オイルパームはパーム油の生産を目的として栽培されているが、経年による生産量の低下に伴い、約25年周期で植替えられており、東南アジアを中心に世界で年間3,000万 ton 以上のパームトランクが伐採されると推定されている。その発生量から有効活用が望まれているが、含水率が70 wet%程度と高く組織が脆弱であることから、現状はプランテーションに肥料として埋め戻しされている。この事により、嫌気発酵によるメタンの発生や、周囲のパーム椰子に悪影響を与える病害虫の発生などの問題が生じている。

このパームトランクに対し、当社は木質バイオマスの長期安定供給の確保と、埋め戻しによるメタンの発生と虫害の防止につながるプランテーションのサステナビリティの向上に寄与するため、現地でパームトランクから製造した燃料用ペレットをFIT制度により地産地消よりも収益性の高い日本で利用するビジネスモデルを考案し、燃料用ペレットを製造するプロセスと、プロセスのキー技術となる搾汁機を開発した。本論文では、日本国内の専焼発電所や石炭火力発電所での高混焼利用に向けた品質のペレットを製造する上でのパームトランクの原料起因の課題を紹介し、課題解決に向けて開発したプロセスの特徴とその効果について述べる。

2 パームトランク燃料化プロセスの特徴

図1に一般的な木質ペレット製造プロセスと開発したパームトランクペレット製造プロセスの比較を、図2に今回開発したプロセスにより製造したパームトランクペレットの写真を示す。一般的な木質ペレットの製造プロセスは破碎、乾燥、粉碎、成型の4工程で構成されている。原料となる丸太や端材はまず破碎機によって破砕片の状態に破砕され、乾燥工程で含水率10~20wet%のペレット成型に適した範囲に調整し、ダイスの孔に入るサイズまでハンマーミルなどによって粉碎した後に、粉碎した木粉をダイスと呼ばれる直径6~10mm程度の小さな孔に圧入することでペレット状に成型される。一方、当社が開発したペレット製造プロセスでは破碎工程後に水洗工程と新規開発した搾汁機による搾汁工程を追加することで、原料に含まれるカリウムなどの灰分を低減して日本のバイオマス専焼発電所や高混焼率の石炭火力発電所向けの燃料用ペレットとして利用できる品質を達成するとともに、乾燥工程での必要乾燥熱量の低減や粉碎工程の省略化を可能にしている。

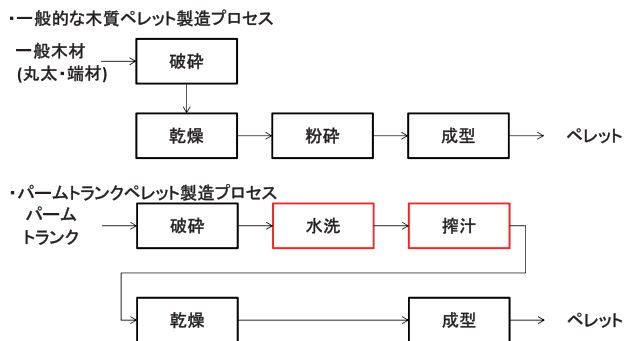


図1 ペレット製造プロセスの比較
Fig. 1 Comparison of Pellet Production Process



図2 パームトランクペレット(写真)
Fig. 2 Palm Trunk Pellet (Photo)

3 パームトランク燃料化の技術課題

パームトランクから燃料用ペレットを製造するプロセスの開発には2つの技術課題がある。

第1の技術課題はペレットに含まれるカリウムなどの灰分の低減である。灰分は石炭や木炭などを燃焼させた際に残るCaO、SiO₂やK₂Oで構成された不燃性の鉱物質である。カリウムなどの灰分の割合が高い原料を燃焼させると、不燃性の灰分の発生量が増加して燃焼時の発熱量に影響を及ぼすほか、燃焼炉内や過熱器管・再熱器管に灰分が付着して溶融・固化することでクリンカと呼ばれる塊が生成され、ボイラに悪影響を与えるスラッキングやファウリングの原因となる。このため、使用する燃料用ペレットの灰分構成元素の含有率にはユーザーごとに受入基準が定められており、調査の結果、バイオマス専焼発電所や高混焼率の石炭火力発電所ではカリウムの成分濃度が0.20dry%~0.25dry%以下であることが求められる。

一方、オイルパームからパーム油を製造する過程で発生するバイオマスは図3に示すようにオイルパームトランク(Trunk)のほか、長さ3~5mの剪定葉(Frond)、椰子果房から実を取り外した後の空房であるEmpty Fruit Bunch(EFB)、パーム果実の種から殻油を搾油した後の殻であるPalm Kernel Shell(PKS)、繊維状の中果皮であるMesocarp Fiber(MF)があるが、これらのバイオマスは表1に示すように、バイオマス発電用燃料としてすでに

流通しているPKSや、複数基のボイラーを交互に運転することでクリンカの発生を許容できる現地の搾油工場で燃料として利用されているMFを除くと、ユーザーの受入基準と比較してカリウムが高い値であり、未利用もしくは限定的な利用に留まっている。

表1 オイルパームバイオマスのカリウム濃度^{3) 6) 7)}
Table 1 Potassium Concentration of Oil Palm Biomass

名称	K濃度 (dry%)	利用状況
Trunk	0.70%~1.21%	×: プランテーションに放置
Frond	1.34%~2.00%	×: プランテーションに放置
EFB	1.59%~2.28%	△: 一部を燃料・堆肥利用
PKS	約0.09%	○: 燃料利用、一部日本で利用
MF	0.47%~0.50%	○: 現地で燃料利用

これは、パーム油を生産するためにオイルパームを栽培する過程でオイルパームに与えられる肥料に栄養素としてカリウムが含まれているためであると推定される。パームトランクはFrondやEFBと比較して約半分のカリウム濃度ではあるが、未処理の状態では燃料用ペレットの原料としては石炭火力発電所での低混焼利用などに用途が限定されることを示している。このため、パームトランクをバイオマス専焼発電所や高混焼率の石炭火力発電所向けの燃料用ペレットとして利用するためにはカリウムの濃度を初期の状態から、1/5~1/6に低減しなければならない。

第2の技術課題はペレット製造時の各工程で消費するエネルギー使用量の削減である。一般的な木質ペレットの製造プロセスにおいて、エネルギー消費

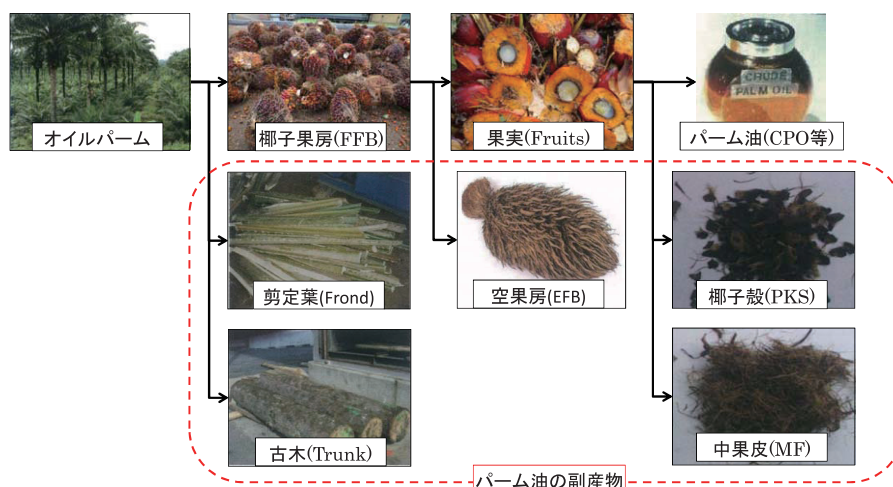


図3 オイルパームから発生するバイオマス^{3) 4) 5)}
Fig. 3 Biomass derived from Oil Palm

の大きい工程として乾燥工程と粉碎工程がある。乾燥工程では一般的な木質ペレットの原料は30～50 wet%程度の含水率があるため、熱量を投入してペレット成型に適した10～20wet%まで含水率を低減させている。一方、パームトランクは70wet%と高い含水率を持つ。このため、10wet%まで乾燥させるために除く必要がある水分量は表2に示すように40wet%の一般的な原料と比較して4倍となり、一般的な木質ペレットと同じプロセスでは乾燥熱源コストが大幅に増大するという問題がある。よって、製造コストを削減するためには乾燥工程の前に含水率を下げる必要がある。

表2 乾燥前後の原料に含まれる水分量
Table 2 Moisture Content Comparison between Before and After Drying Process

原料	乾燥前		乾燥後	
	含水率 wet%	水分量	含水率 wet%	水分量
一般材	40%	60	10%	10
パームトランク	70%	210	10%	10

また粉碎工程では成型工程の前処理として、ダイスの孔に入るサイズとなるまでハンマーミルなどによって原料を粉碎しており、その消費電力は木質ペレット製造プロセス全体の約20%を占めている⁸⁾。このため、乾燥工程前の原料の含水率を下げる際に、成型工程に適した大きさまで原料を粗粉碎できれば、粉碎工程を省略することができ、製造時の消費電力を大幅に低減することが可能になる。

4 技術課題への取り組み

各技術課題に対し、当社はパームトランクを始めとする植物中に含まれるカリウムが植物に含まれる水に溶けた状態で存在していることに着目し、水洗による植物に含まれる水分中のカリウム濃度の希釈と圧延技術を応用して新規開発した搾汁機高能率搾汁により、カリウムと含水率を低減し、また同時に搾汁工程に粗粉碎機能を持たせることで粉碎工程を省略し、プロセス全体のエネルギー消費を低減できる燃料用ペレット製造プロセスを開発した。

4.1 新型搾汁機の開発

当社が開発した搾汁機の概略図を図4に示す。搾

汁機は当社が保有する製鉄機械の圧延機の技術を応用しており、上ロール、下ロール、リングロールの3つのロールから構成される。上ロールとリングロールを内接するように、リングロールと下ロールを外接するように配置し、ロール同士が接触する局所領域に油圧圧下することで高い圧力を原料に付与することができる。原料をリングロール内に投入すると、上ロールとリングロールの接点を通過する過程で高圧で圧縮・粗粉碎され、固体と液に分離される。植物から搾汁できる液の量は圧縮による植物の容積の変化に依存するため、圧力を上げて破碎原料の圧縮量を上げることで、スクリュープレスなどの従来技術よりも原料から排出される液の量を大幅に増やすことができる。

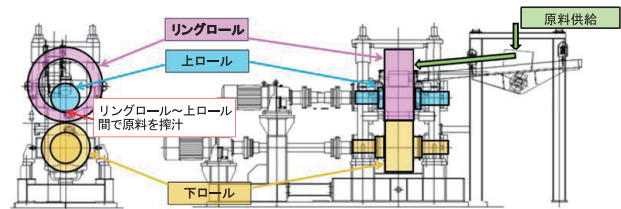


図4 開発した搾汁機の概略図
Fig. 4 Component of NSENGI Squeezer

4.2 水洗工程と搾汁工程によるカリウムの低減

当社が開発した水洗工程と搾汁工程による破碎原料からのカリウムの低減モデルを図5に示す。破碎工程で破碎された破碎原料(a)は水洗工程で加水されることにより、飽和状態となるまで水を吸収し、(a)の初期状態から液体分が増加することで(b)の状態に移行する。この移行過程では、破碎原料に占める液体分の割合が加水量に応じて上昇するが、破碎原料内のカリウムは初期の状態から絶対量に変化しない。このため、破碎原料中の水溶性のカリウムは破碎原料が吸収した水の量に応じて希釈された状態となる。次に(b)の飽和状態から更に加水すると破碎原料は水を吸収できないため、(c)の水に浸漬した状態となる。このとき、破碎原料と浸漬水の間にはカリウムの濃度差が存在していることから、破碎原料のカリウムが浸漬水側へ溶出する現象が発生する。この状態の破碎原料を搾汁機により固液分離すると、破碎原料中のカリウムは水とともに搾汁液として排出されるため、排出された搾汁液量に応じて搾汁後の原料(搾汁残渣)のカリウムをさらに低減

することが可能となる。

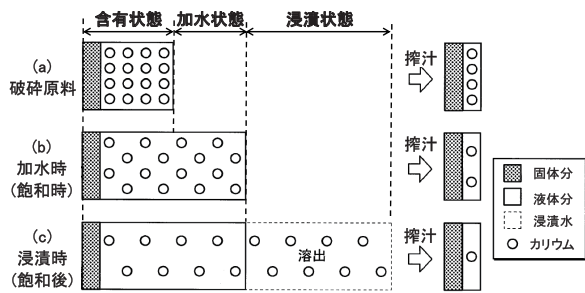


図5 カリウムの低減モデル
(植物内外のカリウムが平衡状態となる場合)
Fig. 5 Potassium Reduction Model

5 試験結果と評価

5.1 新型搾汁機による乾燥熱量の低減効果の評価

搾汁機による乾燥熱量の低減効果の評価するために、図6に示すパームトランクの破碎原料を開発した搾汁機で搾汁する搾汁試験を実施した。試験では破碎原料を搾汁することで搾汁残渣と搾汁液に分離し、搾汁機の圧搾圧力と搾汁残渣の含水率の関係を求めた。



図6 搾汁試験のフロー
Fig. 6 Squeezing Test Flow

図7に開発した搾汁機によりパームトランクの破碎原料を搾汁したときの圧搾圧力と搾汁残渣の含水率の関係を示す。従来技術では搾汁残渣の含水率は

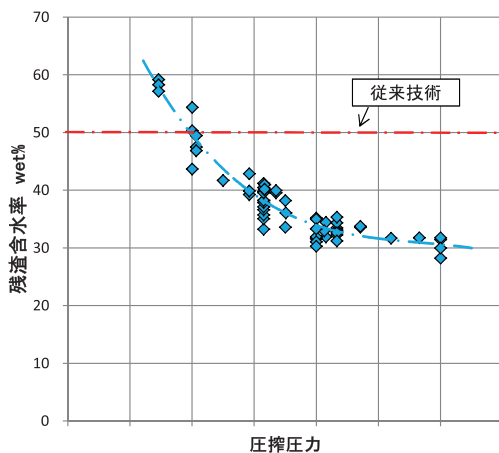


図7 圧搾圧力と搾汁残渣の含水率の関係
Fig. 7 Relation between Squeezing Pressure and Moisture Content of Squeezed Residue

50wet%程度が限界となっていた。一方、今回開発した搾汁機では破碎原料へ局所的に高い圧力をかけて圧縮することで、搾汁残渣の含水率を30wet%程度まで低減できることが確認できた。

搾汁残渣の含水率と乾燥工程での必要投入熱量の関係を図8に示す。従来技術による搾汁残渣の含水率は50wet%程度であるのに対して、当社で開発した搾汁機を適用することで搾汁残渣の含水率を30wet%まで低減することで、乾燥工程に必要な熱量を約36%まで低減できた。

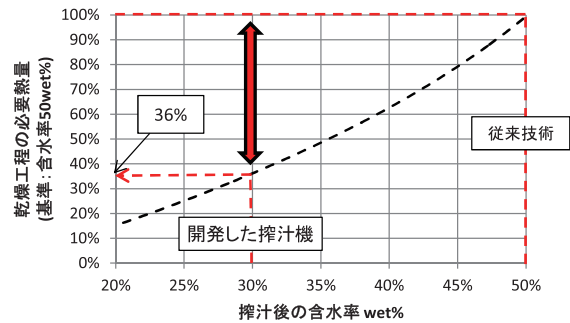


図8 従来技術との必要乾燥熱量の比較
Fig. 8 Required Heat Quantity Comparison between NSENGI Squeezer and Conventional Technology

5.2 新型搾汁機による粗粉碎効果の評価

木粉からペレットを成型加工する成型工程ではダイスに設けた直径6mmから10mm程度の孔に原料を圧入する必要がある。このため、一般的なペレット製造プロセスでは成型工程の前に粉碎工程を配置し、ハンマーミル等によって孔へ入るサイズに粉碎する処理を行っている。

パームトランクの破碎原料を当社が開発した搾汁機へ適用した結果、図9に示すように搾汁前の破碎原料と比較して搾汁残渣を粗粉碎できることが確認できた。当社が開発した搾汁機によって作成した搾汁残渣を成型工程で直径6mmのダイスに適用した結果、一般的な木質ペレットと同様に成型できるこ

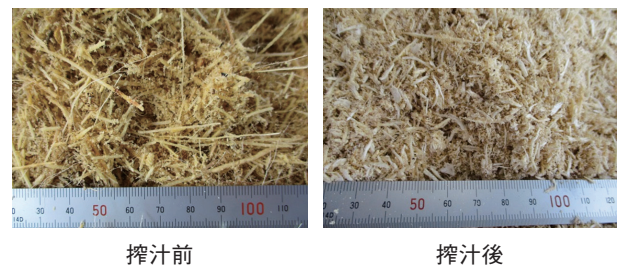


図9 破碎片と搾汁残渣(写真)
Fig. 9 Crushed Chip and Squeezed Residue (Photo)

とを確認でき、ペレット製造プロセスから粉碎工程を省略することができた。

5.3 水洗と搾汁によるカリウム低減効果の評価

水洗によるカリウムの溶出効果を検証するために図10に示すパームトランクの破碎原料に対する浸漬試験を実施した。試験では破碎原料への加水量を操作し、1時間の浸漬後に水洗原料と浸漬水に含まれるカリウム濃度を測定することで浸漬水へのカリウムの溶出の傾向を調査した。浸漬試験後の水洗原料と浸漬水に含まれるカリウム濃度の測定結果は、図11に示すように破碎原料中のカリウムが浸漬水側へ400～800mg/L程度の濃度差で溶出することが確認できた。



図10 浸漬試験のフロー
Fig. 10 Steeping Test Flow

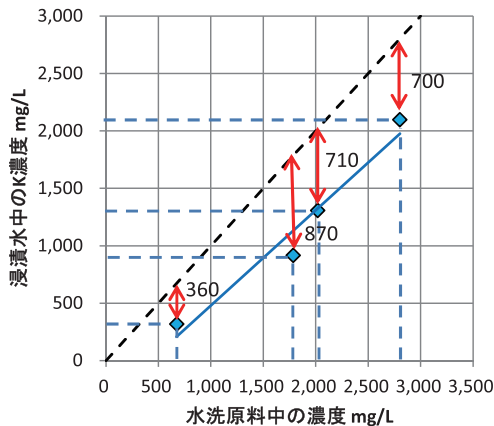


図11 水洗原料と浸漬水のK濃度のつりあい
Fig. 11 Potassium Balance between Crushed Chip and Immersing Water

次に、水洗工程と搾汁工程のカリウムの除去効果を確認するために図12に示すように破碎原料を水洗しない状態で搾汁する場合と、破碎原料を水洗後に搾汁する場合のカリウム低減効果の比較試験を実施した。

各試験で作成した搾汁残渣に残るカリウムの残存率を図13に示す。水洗工程を用いず、開発した搾汁機による搾汁工程を適用することでカリウム濃度を搾汁前の状態から27%に低減できたが、狙いとしているバイオマス専焼発電所での利用や石炭火力発電

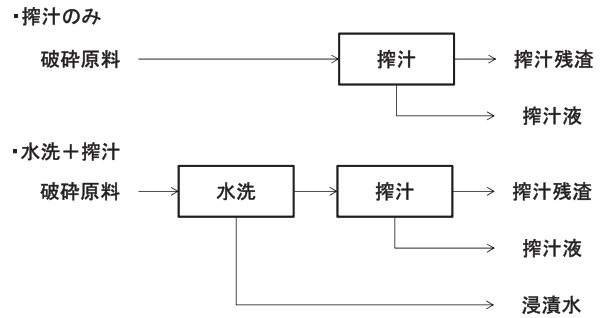


図12 カリウム低減試験のフロー
Fig. 12 Potassium Reduction Test Flow

所での高混焼率利用に必要なカリウム濃度まで低減することはできていない。一方、搾汁工程前に水洗工程を加えた場合はカリウム濃度を水洗前の状態から15%まで低減できることが分かった。本試験結果より、水洗工程と搾汁工程を組み合わせることでパームトランクから求められる品質の燃料用ペレットを製造することが確認できた。

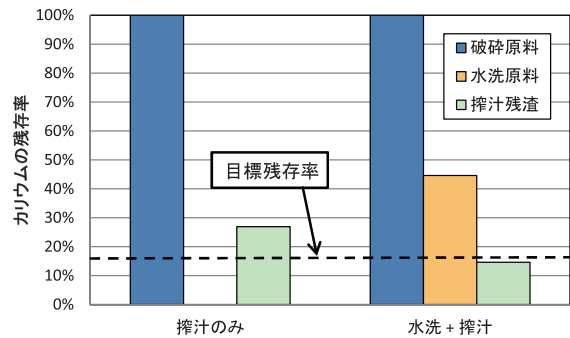


図13 カリウムの低減結果
Fig. 13 Potassium Reduction Test Result

6 結言

本論文では未利用のバイオマスであり、高含水率でカリウムなどの灰分が高いパームトランクから日本国内の専焼発電所や石炭火力発電所での高混焼率利用に適用できるレベルの品質を満たす燃料用ペレットを製造するプロセスと、当社が保有する圧延技術を応用した搾汁機の開発について述べた。

今回、開発した搾汁機は原料に高い圧力を付与することができる構造であることから、従来技術よりも高い搾汁性能を有しているため、乾燥工程で必要となる乾燥熱量を大幅に低減するとともに、搾汁残渣を粗粉碎することで粉碎工程を省略することが可能となった。また、水洗工程によって原料中のカリ

ウムを溶出させるとともに、吸水した原料を搾汁することによって、目標品質を満足するペレット燃料を製造することが可能となった。

今後はパームトランクから製造したペレットの販路を構築することで日本国内の専焼発電所や石炭火力発電所での高混焼率利用に適用可能なバイオマス燃料の長期安定供給の確保や、インドネシア・マレーシアなどに存在するオイルパーム・プランテーションのサステナビリティの向上に寄与するとともに、木チップや農業残渣などのパームトランク以外の原料の搾汁・粉碎へ搾汁機の適用先を拡大するためのニーズ探索などの活動を進めていきたい。

参考文献

- 1) 2030年エネルギーミックス実現へ向けた対応について～全体整理～, 資源エネルギー庁, 2018
- 2) 木村謙仁, 二宮康司: 日本の2030年木質バイオマス発電導入見込量とその燃料供給可能性評価, 研究レポート, 一般財団法人日本エネルギー経済研究所, 2017
- 3) Astimar A. A., Anis M., Kamarudin H., Ridzuan R., Rosnah Mat Soom and Wan Hasamudin Wan Hassan, *Development in oil palm biomass utilization*, Mohd Basri Wahid, Choo Yuen May and Chan Kook Weng(Eds.), *Further advances in oil palm research(2000-2010)*, Malaysian Palm Oil Board, P. 896-908, 2011
- 4) Choo Yuen May, Harrison Lau Lik Nang and Loh Soh Kheang, *Renewable energy from oil palm*, Mohd Basri Wahid, Choo Yuen May and Chan Kook Weng(Eds.), *Further advances in oil palm research(2000-2010)*, Malaysian Palm Oil Board, P. 880, 2011
- 5) R. H. V. Corley and P. B. Tinker, *The Oil Palm Fifth Edition*, Wiley Blackwell, P. 398-399, 2016
- 6) Soh Kheang Loh, *Enhancement of palm oil refinery waste - spent bleaching earth (sbe) into bio organic fertilizer and their effects on crop biomass growth*, *Industrial Crops and Products*, Vol. 49, P. 775-781, 2013
- 7) 神波 康夫, マレーシアにおけるオイルパーム・プランテーションを中核としたエコインダストリーパークの創設-バイオマス利用の内発的発展への可能性について-, 博士論文, 早稲田大学, 2003
- 8) Ingwald Obernberger and Gerold Thek, *The Pellet Handbook-The production and thermal utilisation of biomass pellets*, Routledge, P. 307, 2010