

5-4. 林地残材等のトレフアクション燃料化による高効率利用
技術の確立

独立行政法人 森林総合研究所

事業名： 林地残材等のトレファクション燃料化による高効率利用技術の
確立

独立行政法人 森林総合研究所
事業者名： 株式会社 アクトリー
三洋貿易 株式会社

1. 事業概要

1-1. 事業の実施目的

林地残材等の未利用木質バイオマスの有効利用が進まず、地域への利益還元がほとんど無いのが現状である。その利用に当たっては、地域の供給量、実情規模に合わせたバイオマス産業を創出し、地域経済を活性化させることが重要である。1万kW級の発電所に代表される大規模集中利用は1カ所で20万m³程度のバイオマス需要を生み出す可能性があるものの、林地残材の1%にも相当する巨大需要への原料供給体制が問題視されている。さらに排熱の有効利用が描かれておらず、エネルギーの約70%は無駄になっている。地域の実情に合わせれば、むしろ熱利用を中心とした小規模分散利用が原料供給しやすいうえ、燃料を化石資源から地域資源に代替できるため、産業創出、地域経済活性化からは有利と言える。そして熱利用後の排熱を有効利用する手段として、次世代の小規模発電として注目されている、熱電変換素子により熱を直接電気に変換する（熱電発電）ことで、排熱から電気エネルギーを得ることができる。

木質バイオマス取扱の課題には高含水率、低カロリー、低かさ密度などがある。木質ペレットのように圧縮成型した固形燃料は、低含水率で高かさ密度で取扱性を向上しているが、原木の乾燥工程を要すること、成型物は水を含むと形が崩壊するなどの問題点がある。最近、トレファクションと呼ばれる250℃前後の半炭化処理が木材の高カロリー化、耐水性付与などを可能とし、処理後のペレット成型物は従来品に比べ低含水率でかつ、水に浸漬しても崩壊しにくいことから、燃料性能を向上させる新たな方法として期待されている。これまで森林総合研究所らは「ハイパー木質ペレット」と名付けたトレファクション燃料製造の基礎的検討を行い、実験室レベルにおけるトレファクション物の最適製造条件、トレファクション条件と発熱量、耐水性との関連を明らかにすると共に、トレファクションペレットのペレット燃焼機器への利用可能性を示した。また既設炭化炉を用いてトレファクション物の大量サンプルの試作や製造コストの試算も行い、実用化へ向けて基礎的な知見を蓄積してきた。



図1 従来の木質ペレット（左）とトレファクションペレット（ハイパー木質ペレット、右）

本事業では未利用の林地残材等を地産地消型の燃料として高効率利用するために、木材チップをトレファクション（半炭化処理）して低含水率、高カロリー、高耐水性を有する固体燃料を製造する実証機を開発する。トレファクション燃料の利用実証として農業分野等を対象に熱供給を行うことで、地産地消型の高効率利用技術を確立する。

1-2. 事業の実施項目

本事業は

1. トレファクション装置の開発（主担当：アクトリー）
 2. トレファクション燃料の製造および利用実証（主担当：三洋貿易）
 3. トレファクション燃料利用システムの設計（主担当：森林総合研究所）
- の課題で構成し、今年度は以下の項目を実施する。

1-2-1 トレファクション装置の開発

従来の木質燃料に高カロリー化、耐水性等の性能向上を付与するため、連続的にトレファクション（半炭化処理）する装置を設計、製作する。海外で試作されているトレファクション装置は、原料の乾燥工程を別途必要とする。そこで本事業では外熱式のロータリーキルン方式を一部改良することで、未乾燥チップでトレファクションを可能とする装置を開発する。

1-2-2 トレファクション燃料の製造および利用実証

・粉砕機的设计、設置

林地残材には多様な形状を有するほか、葉の部分は一般に灰分が木部より高く、石砂

等の異物が混入し易いため、切削式粉碎機では刃の摩耗を早めメンテナンスコストが増大する可能性が高い。そのため多様な原料に対応できるハンマーミルタイプを採用し、必要な予備試験を行いながら設計、設置する。

・ペレット製造機の設計

木質ペレット燃料製造機（ペレタイザ）は主にリングダイ方式とフラットダイ方式がある。後者は小規模生産、省電力などの特徴を有する一方、内周と外周との展圧時間の差による製品ムラや大規模生産しにくい点も有する。そのため本事業における量産試験ではリングダイ方式を採用して装置設計を行うとともに、設計に必要な予備試験を行う。

・トレファクション燃料の利用実証

トレファクション燃料は産業分野で発電利用が検討されているが、年間数万～数十万トンの木質バイオマスが必要とすると共に、排熱を有効利用できないのが現状である。地域で有効利用するには、小規模での熱利用が原料供給しやすいうえ、利用効率が高いと言える。そこで利用実証は地域の産業、民生分野の熱利用として、本年度の事業では、従来の木質燃料を用いて施設園芸などで利用される温風器等を対象に行う。また装置排熱からの電力回収を想定して、熱電変換素子を利用する小規模発電システムを設計する。

1-2-3 トレファクション燃料利用システムの設計

・トレファクション燃料の性能評価

トレファクション燃料は発熱量や粉碎性に優れることが知られている。トレファクション装置、粉碎装置、ペレタイザの設計や適切な運転条件を見出すには、発熱量や粉碎性以外の特性（強度、着火・消炎特性、元素分析等）の把握が必要である。本事業ではこうした性能評価を行い、装置設計等に反映させる。

・耐水性評価手法の開発

トレファクション燃料は吸水しにくい性質をもち、結露、高湿などの劣悪な環境下でも貯蔵・保管がし易い特徴がある。トレファクション燃料の耐水性を評価する手法には高湿下への暴露、水含浸試験方法等が提案されているが、前者は定量的評価が可能であるものの、定量に数十日の時間を要すること、後者は簡便であるが目視観察のため定量評価が出来ないことが課題となっており、簡便かつ定量的に評価する方法が確立されていない。そこで本事業ではその手法を開発する。

・海外事例調査

海外では欧州を中心にトレファクション燃料の試験製造が数多く行われている。そのため現場担当者との技術討論は本事業の加速化に対して有効である。本事業では欧州の民間企業、研究機関を訪問して、燃料製造の効率化、燃料の熱および電力利用の可能性を調査する。

・トレファクション燃料利用システム設計

トレファクション燃料を普及するには、要素技術の開発もさることながら、各要素を有機的に組み合わせて、利用の仕組みをつくり、その効果を検証することが重要である。

熱利用を中心とした小規模分散利用では、地域に雇用を創出し、燃料の対価が地域内に支払われることで地域内に貨幣が循環し、地域経済活性化の可能性を有している。さらに小規模利用では原料供給しやすいというえ、燃料を化石資源から地域資源に代替できるため、産業創出、地域経済活性化からは有利と言える。今年度は、利用実証、海外調査結果等をふまえて、地域で利活用する場合の製造コスト等を評価する。

1-3. 実施項目の達成目標

1-3-1 トレファクション装置の開発

・木材チップを原料に、乾燥工程が不要で連続的にトレファクション処理（原料処理能力 20kg/h）が可能な装置を設計する。

1-3-2 トレファクション燃料の製造および利用実証

・連続的にトレファクション燃料製造を可能にするため、粉砕機を設計・設置するとともに、ペレット製造機を設計する。

・熱利用の実証を木質ペレットストーブにて従来の木質ペレットを用いて行い、燃焼温度、燃料消費量、灰発生量等のデータを取得する。

1-3-3 トレファクション燃料利用システムの設計

- ・耐水性を定量的に評価する手法を開発する
- ・トレファクション燃料の性能評価を装置設計に反映させる。
- ・海外事例調査から、装置設計、製造に反映させる。
- ・地域で利活用する場合の製造コスト等を評価する。

2. 事業の実施内容

図2にトレファクション燃料の製造フローを示す。本事業では原料に一次粉碎された林地残材チップを利用することを最終目標として、今年度は木材（木部）チップに対してトレファクション燃料化設備の開発を進める。

トレファクション燃料化にはチップをトレファクション後にペレット化する方法と、ペレットをトレファクションする方法がある。前者は海外でも一般に行われている方法で、二次粉碎時の粉碎エネルギーの低下、ペレット化時の高密度化が可能となる一方、製造時の歩止まりが下がる特徴がある。後者は「ハイパー木質ペレット」研究で検討され、耐水性に優れる一方、製造エネルギーが増大し、製品の密度が下がる特徴がある。両者の特徴を検討した結果、前者の方式が適すると判断し、装置開発を進めることにした。

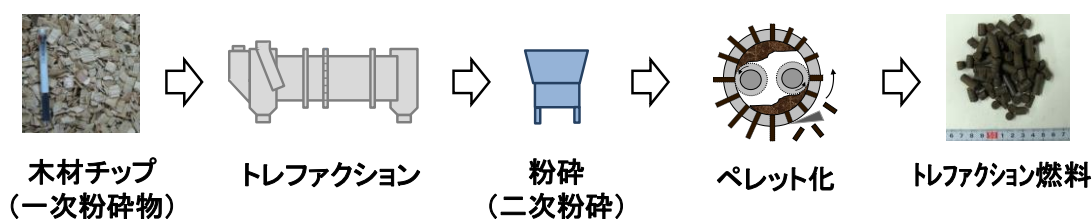


図2 トレファクション燃料製造の基本フロー

2-1 トレファクション装置の開発

図3にトレファクション装置のフローを示す。一次粉碎された原料チップは定量供給機（標準供給能力 $20 \pm 5\text{kg/h}$ 、水分 30%条件）からトレファクション炉にて 250°C 前後に熱処理されて、トレファクション物が得られる。保有するエネルギーを最大限に利用し、補助燃料の使用を最小限とするため、機器からの放熱を抑制する構造とするとともに、トレファクションで生じるガス、タールを燃料として回収して熱風発生炉にて燃焼させ、トレファクション炉の加熱に使用する。さらに、排ガスが保有するエネルギーを有効利用するため、熱電変換素子による小規模発電システムを設計する。

図4にトレファクション装置のうち、主要部分となるトレファクション炉の設計図を示す。加熱方式はロータリーキルン方式を採用した。これにより林地残材のような多様な形状にも対応できるようにした。また本炉ではこれまで国内外で試作されているトレファクション装置は原料に乾燥チップが用いられてきた。これは原料の乾燥工程が別途必要となり、設置スペースおよびコストアップの要因となる。そこで外熱式のロータリーキルンを改良することで、湿潤チップの蒸発で生じる水蒸気が炉内の不活性雰囲気の実現とチップへの伝熱の向上を可能とする構造とした。このような構造により、地域に既存のペレット工場（全木ペレット工場）でも乾燥機と置き換えることで、トレファクション燃料製造が可能となる。本炉の処理規模は、製品の安全性等を検証する目的から、

原料基準で $20 \pm 5 \text{ kg/h}$ (水分 30%条件) と設定した。キルン部分の寸法は長さ約 5.6m、幅約 1.1m、高さ約 1.1m (架台除く) である。

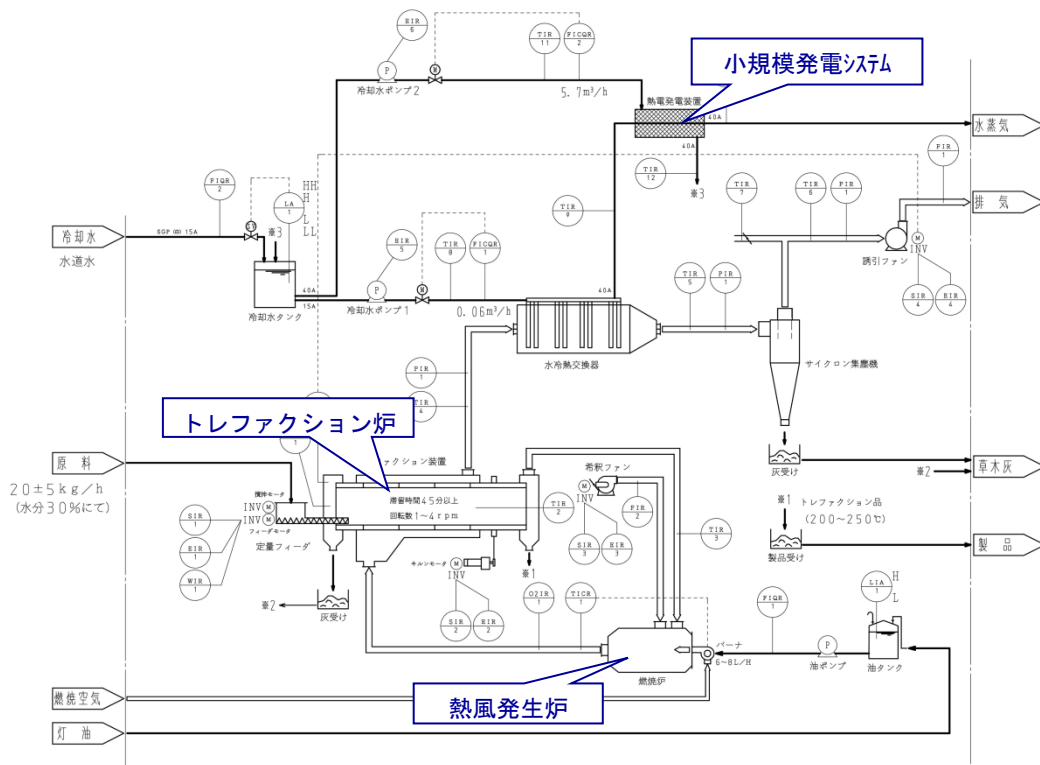


図3 トレファクション装置フロー

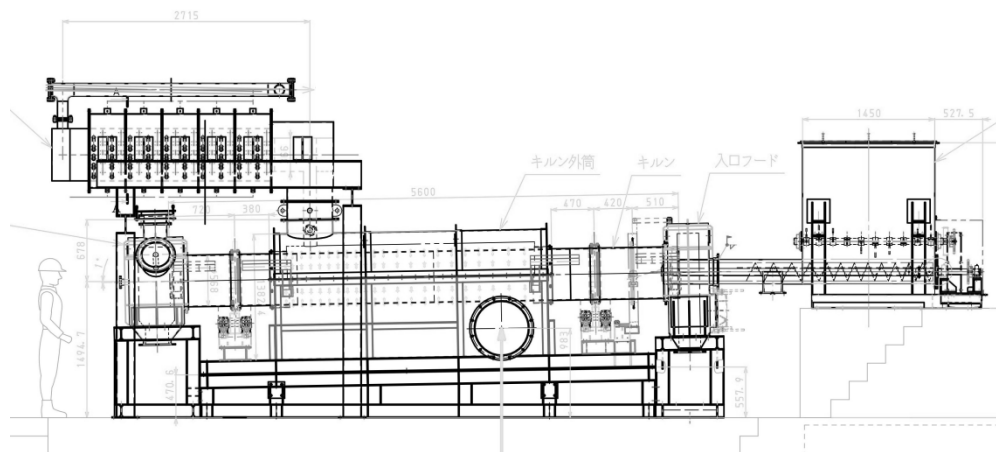


図4 トレファクション炉の設計図

2-2. トレファクション燃料の製造および利用実証

2-2-1 粉砕機仕様

林地残材には多様な形状を有するほか、葉の部分は一般に灰分が木部より高く、石砂

等の異物混入し易いため、切削式粉砕機では刃の摩耗を早めメンテナンスコストが増大する可能性が高い。そのため多様な原料に対応できるハンマーミルタイプを採用した。図5に粉砕機の写真、図6に粉砕フロー（図中①～⑦の部分）を示す。粉砕機の出力は37kWで標準500kg/h程度の粉砕能力を有する。粉砕物はサイクロンを経てフレコンバッグに回収され、ペレタイザによる燃料化試験に供される。



図5 粉砕機写真

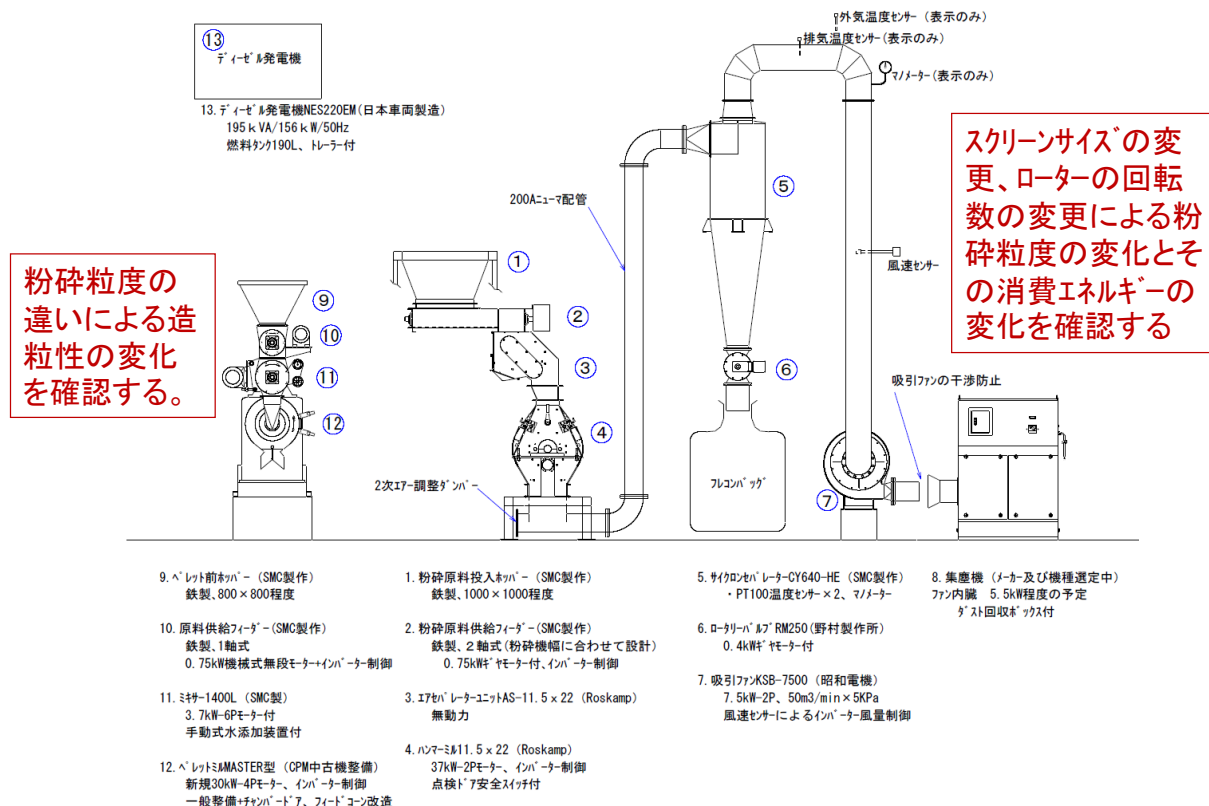


図6 粉砕及びペレット化フロー

装置の製作、設置は、トレファクション装置を含めて時間を要することから、枝葉等の粉碎予備試験を森林総合研究所多摩森林科学園（東京都八王子市）等で実施し、粉碎に要する消費電力測定を行った。

2-2-2 ペレタイザ仕様

木質ペレット燃料製造機（ペレタイザ）は主にフラットダイ方式とリングダイ方式がある。図7に両方式の概念図を示す。前者は小規模生産、省電力などの特徴を有する一方、内周と外周との展圧時間の差による製品ムラや大規模生産しにくい点も有する。本事業では大量製造を想定するため、それに適したリングダイ方式を採用して装置設計を行った。仕様を図6（図中⑨～⑬部分）に示す。今年度は三洋貿易所有のCPM社製ペレタイザ（出力30kW、標準製造能力50kg/h）に対して、トレファクション燃料化に適するように、設計・改良を行った。ただし設計・改良に時間を要するため、予備試験においては小規模製造に優れるフラットダイ方式も採用し、一連の装置設計に反映させた。ペレット化の予備試験は枝葉等を原料に森林総合研究所多摩森林科学園（東京都八王子市）および福島県川俣町で実施した。

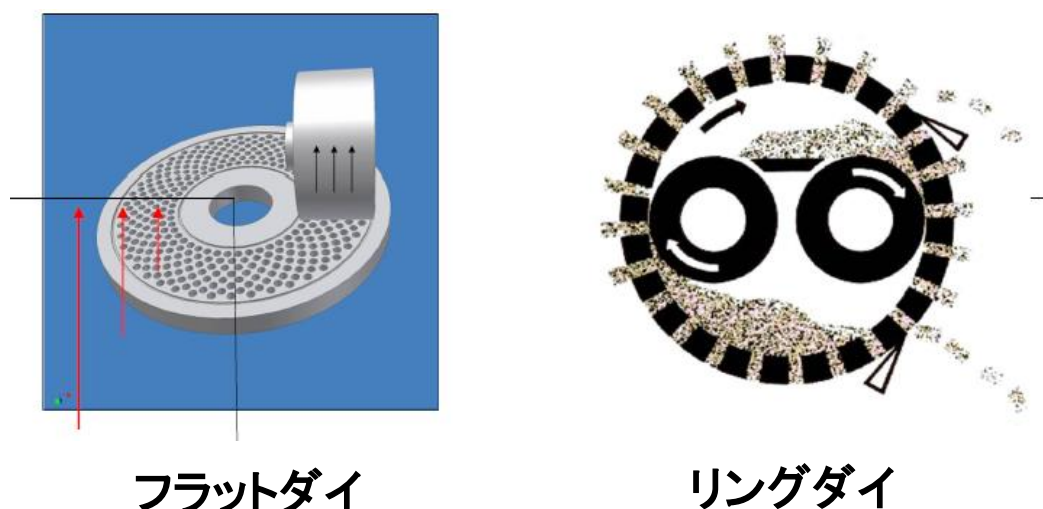


図7 フラットダイ方式（左）とリングダイ方式（右）

2-2-3 トレファクション燃料の利用実証

トレファクション燃料は産業分野で発電利用が検討されているが、年間数万～数十万トンの木質バイオマスが必要とすると共に、排熱を有効利用できないのが現状である。地域で有効利用するには、小規模に熱利用することが原料供給しやすいうえ、利用効率が低いと言える。そこで今年度の利用実証は、地域の産業、民生分野の熱利用として、従来の木質燃料を対象に家庭・業務用で採用されるペレットストーブを用いて行った。

ペレットストーブには金子農機製 VEL970 を使用した。本機は強制給排気（FF）型で温風機能を有し、標準仕様における熱出力は 3.0～7.6kW、燃焼消費量は 0.8～2.0kg/h である。さらに木質ペレット燃料には木部、全木、樹皮ペレットと、国内で流通する木質ペレットすべてが対応可能であることから、本事業で本機が林地残材等を原料とするトレファクションペレットの熱利用実証に適すると判断した。本機による熱利用実証を群馬県前橋市（電力中央研究所赤城試験センター構内（株）セレス会議室）、および東京都八王子市（森林総合研究所多摩森林科学園管理室）にて実施した。図 8 に実証実験中の木質ペレットストーブを示す。実証実験では、ペレットストーブの出力を変えながら、燃焼温度、排煙温度、燃料消費量、灰発生量等を測定した。



図 8 利用実証中のペレットストーブ
(左：群馬県前橋市に設置、右：東京都八王子市に設置)

2-3. トレファクション燃料利用システムの設計

2-3-1 トレファクション燃料の性能評価

トレファクション燃料は従来の木質燃料に比べて発熱量や粉碎性に優れていることが知られている。トレファクション装置、粉碎装置、ペレタイザの設計や適切な運転条件を見出すには、発熱量や粉碎性以外の特性（強度、着火・消炎特性、元素分析等）の把握が必要である。森林総合研究所では、燃焼特性の評価法として、建材の燃焼特性で採用されているコーンカロリメータを木質ペレットに対して適用する方法を開発している。図 9 にコーンカロリメータ（東洋精機製）の概観を示す。この方法により、ペレットのままで着火特性、消炎特性、発熱速度等を得ることが可能である。

今年度は通常の木質ペレット燃料および海外事例調査（2-3-3）で得られたトレファクションペレット等に対して、機械的耐久性、燃焼性などの性能評価を行った。図 10 に機械的耐久性試験機（三洋貿易製）を示す。これは EN15210-1 および日本木質ペレット品質規格で定める装置で、装置両側に木質ペレット各 500g を入れ、50rpm で 10

分間回転による衝撃を与える。その後、孔径 3mm の円孔ふるいにかけて、ふるい上に残るペレット重量割合から機械的耐久性を評価する。日本木質ペレット品質規格ではふるい上重量が 97.5%以上あることが民生用木質ペレットの有する条件と定めている。

燃焼性の評価には前述の通りコーンカロリメータを用いた。コーンカロリメータ試験は、本来板状の試験体について試験するものであるため、顆粒状のペレットについて試験するに当たってステンレス製の燃焼皿を作製し、その上にペレット試料を敷き詰めたものを試験体とした。燃焼皿は寸法 75×75mm、深さ 6.5mm、厚さ 1mm で、ペレット試料を 1 層分隙間なく敷き詰めた後、試験機付属のステンレス製ホルダーに取り付けられた。コーンヒーターの加熱強度は通常の防火性能試験と同じ 50kW/m² とし、電子スパークによる口火ありの条件とした。計測事項は発熱速度、発熱量、重量のほか、目視による着火・消炎時間などで、計測は赤熱燃焼が終了するまで行った。



図 9 コーンカロリメータ



図 10 機械的耐久性試験機

・ 2-3-2 耐水性評価手法の開発

トレファクション燃料は吸水しにくい性質をもち、結露、高湿などの劣悪な環境下でも貯蔵・保管がし易い特徴がある。トレファクション燃料の耐水性を評価する手法には高湿下への暴露、水含浸試験方法等が提案されているが、簡便かつ定量的に評価する方法が確立されていない。そこで今年度は評価装置を試作し、その有効性を検証した。具体的には、縦（ペレットの長さ方向）60mm、横 50mm、厚さ 10mm のアルミニウム板に、縦方向に溝 2 本を掘った形状の治具（重さ 76.6g）2 枚を作製した。ペレット 2 本を横倒しにして治具の溝に設置し、治具 2 枚でペレットを上下に挟み、容器に入れて注水し、ペレットの膨張による上側の治具の上昇を接触式変位計で測定した。

2-3-3 海外事例調査

海外では欧州を中心にトレファクション燃料の試験製造が数多く行われている。そのため現場担当者との技術討論は本事業の加速化に対して有効である。今年度は欧州の民

間企業、研究機関を訪問して、燃料製造の効率化、燃料の熱および電力利用の可能性を調査した。

主な調査訪問先および調査内容は以下の通りであった。

表1 海外事例調査先

国名、都市名	機関	内容
ドイツ/ ライプチヒ市	ドイツバイオマス研究センター (DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH)	トレファクション燃料製造および実証方法に関する討論
ベルギー/ ディルセンストッケム市 (Dilsen-Stokkem)	TorrCoal 社	トレファクション燃料製造プラントの視察および燃料製造、保管方法に関する討論
オランダ/ アムステルダム市	California Pellet Mill (CPM) 社 ヨーロッパ本社	トレファクション物のペレット燃料化技術の討論
オランダ/ フォンラユ市 (Vanray)	Martens eko b.v.社	木質ペレット燃料製造プラント (75,000t/y)、熱電併給施設視察および技術討論
オランダ/南部	畜産農家	木質ペレットの利用事例見学 (給湯機による給餌、給水)

2-3-4 トレファクション燃料利用システム設計

熱利用を中心とした小規模分散利用では、地域に雇用を創出し、燃料の対価が地域内に支払われることで地域内に貨幣が循環し、地域経済活性化の可能性を有している。さらに小規模利用では原料供給しやすいうえ、燃料を化石資源から地域資源に代替できるため、産業創出、地域経済活性化からは有利と言える。今年度は、利用実証、海外調査結果等をふまえて、地域で利活用する場合の製造コスト等を評価した。