

平成25年度 木質バイオマスエネルギーを活用 したモデル地域づくり推進事業



木質バイオマスガス化発電施設



パーク洗浄除染施設（パーク除染プラント及び汚染水処理プラント）



東北支店：福島県いわき市小名浜野田字田中 106

本 社：島根県松江市富士見町 1 番地 7

TEL:0852-38-8025 FAX:0852-37-2514

Email(代表):n@neonite.jp

事業名

平成25年度木質バイオマスエネルギーを活用したモデル地域づくり推進事業
(新たな利用システムの実証2号契約)

目次

1. 事業の目的	5
1-1. 目的	5
1-2. バイオマスガス化発電を採用した理由について	7
1-3. 福島産木材を利用することについて	8
2. 概要	10
2-1. 事業の概要	10
A. 木質バイオマスガス化発電	11
B. 木材伐採・運搬	11
C. 木材の選別	11
D. バークの除去	11
E. 芯のチップ化	12
F. リグノフェノール抽出	12
G. バーク除染	12
H. 堆肥化	13
2-2. 実証施設等の概要	14
A. 木質バイオマスガス化発電	14
B. 木材伐採・運搬	16
C. 木材の選別	19

D. バークの除去	20
E. 芯のチップ化	21
F. リグノフェノール抽出	22
G. バーク除染	23
H. 堆肥化	25
3. 実証試験詳細	26
【実施項目1】木質バイオマスガス化発電	26
3-1-1. 発電に関する仕様及び目標値の確認	27
3-1-2. 放射性セシウム測定	36
3-1-3. 発電の物質収支	41
3-1-4. CO ₂ 削減効果	41
【実施項目2】木材伐採・運搬	44
3-2-1. 木材伐採・運搬に関する検討・調査	44
3-2-2. 福島環境再生産業創出協議会について	45
3-2-3. 空間線量の測定	46
3-2-4. 木材チップに関する測定	52
3-2-5. まとめ及び今後の課題	52
【実施項目3】木材の選別	53
【実施項目4】バークの除去、芯のチップ化	64
3-4-1. チップの含水率	65
3-4-2. 粒度分布	66
3-4-3. 放射性セシウム測定	67

【実施項目 5】 リグノフェノール抽出	70
3-5-1. リグノフェノール接着剤の合成、木材サンプルの作成	71
3-5-2. 木質資材の性能試験	78
3-5-3. 放射性セシウム測定	79
3-5-4. まとめ	80
【実施項目 6】 バーク除染	80
【実施項目 7】 堆肥化	87
3-7-1. 成分分析、物質収支等	88
3-7-2. 放射性セシウム測定	88
4. H26 年度事業計画	90
4-1. 実証目標を達成するための今後の実証計画について	90
①木質バイオマスガス化発電関連	91
②木材伐採・運搬、チップ加工関連	91
③木材の選別関連	92
④リグノフェノール抽出関連	95
⑤バーク洗浄関連	95
⑥堆肥化関連	95
4-2. 3カ年のスケジュール	97
5. 補足資料	98
5-1. バイオマスエネルギーを利用した CO ₂ 削減効果	98
5-1-1. 福島の木材材積の現状	98
5-1-2. 間伐・間伐材利用による CO ₂ 削減効果の試算	100

5－2．バイオマス発電の採算	106
5－3．まとめ	107

1. 事業の目的

1-1. 目的

本事業は、国内で最も木質バイオマスの資源量、素材生産能力に優位性のある福島県において、放射能汚染で停滞している未利用木質バイオマスエネルギーを活用する事が第一の目的である。さらには、首都圏に電源を供給し地域経済の根幹であった福島第一・第二原子力発電所のエネルギー事業が中断され、今なお多くの住民が避難を余儀なくされている状況を打破し、原子力発電に代わる再生可能エネルギーの先進モデル構築と林業等一次産業の高度化による地域経済の復興、それに伴う雇用創出が第二の目的である。

具体的には、20km圏外周辺で比較的低線量地域の森林から木質バイオマスを伐採・運搬・加工し、放射能汚染された表皮(バーク)の除染・堆肥化等のカスケード利用を行いながら、木質バイオマスガス化発電を中心に木質バイオマスの放射能汚染地域における新たな活用モデルを構築する。

放射性物質による汚染は、木材のバークに集中しており、バークの下部にあたる芯材部分への浸透はほとんどないことが実証されている。芯材部分はチップに加工し、汚染の恐れがないことを確認してから木質バイオマスガス化発電の燃料に使用する。汚染の恐れのあるバークは除染を行ってから堆肥に加工する。堆肥の原料や堆肥の放射性セシウム濃度について国から基準値が定められているため、基準値に従って管理を行う。このため、木質バイオマスガス化発電では焼却による放射性物質の汚染拡大といった問題は起こらず、堆肥化についても放射性セシウムの基準値を満たす安全な堆肥を製造することができる。

また、汚染のない部分は木質バイオマスガス化発電のほか、リグノフェノールを抽出し高付加価値のある木質資材生産も検討し、木質バイオマスの汚染状況を確認しながら、必要に応じて除染、カスケード利用することで、木質バイオマスを無駄なく利用することができる。

福島県は木質バイオマスに恵まれていながらも、放射性物質で汚染された木材を燃料に用いることに不安を抱く住民が多く、木質バイオマス発電計画が進んでいないのが現状である。燃やすことへの不安感を払拭していくためには、小規模・一定期間限定である委託事業という機会を最大限活用し、汚染のない芯材のみをガス化発電に利用し、除染後の木質バイオマスは燃焼以外の安全なカスケード利用が出来る事を実証・実行していく以外ない。そうした地道な活動を地域一体となり推進していく事で、木質バイオマス発電(焼却)に対する正しい認識が広がっていく事こそがこの地域に一番必要な事である。

来年度より福島県では、除染と森林整備を包括的に実施する目的で、「ふくしま森林再生事業」を本格化させる予定であり、汚染が危惧される地区から大量の木材が搬出される予定となっている。それら汚染の可能性のある木材のスクリーニング(放射性物質の汚染の判定)、汚染された部位(主にバーク)の処分・利活用方法の確立が喫緊の課題となっている。そうした福島県内の森林・林業復興を下支えする重要な実証となっている事も事実である。

汚染された農地については、耕土の漉き取り、反転耕によって除染が行われているが、除染によって長い年数をかけてつくられた肥沃な耕土を失うことになり、農業の再生には多量の堆肥が必要になる。このため、バーク堆肥の需要が増加することが考えられる。これら多くの深刻な課題を抱えた地域において、

本実証事業は、再生可能エネルギーとしてのバイオマスの利用や CO₂ 削減といった従来の目的達成のみならず、森林の除染、農林業の復興、新たな産業の創出による雇用の拡大等、多くの分野での産業振興に寄与できる。

1－2．バイオマスガス化発電を採用した理由について

木質バイオマスを有効活用する手段として、バイオマスガス化発電を採用した理由をここで述べる。木材の伐採・運搬の調査の結果、国産の木質バイオマスのコストを削減するには、輸送コストを抑える必要があり、施設の近辺から木質バイオマスを集めなければならない。日本の森林は急峻な山岳地帯にあるため、大型の重機を使って大規模に伐採・運搬することができず、集められるバイオマスの量には限界がある。そのため、大規模に利用する施設ではなく、小規模で高効率に利用できる施設が望ましい。木質バイオマスを発電に利用する場合、バイオマスを直接燃焼し水蒸気を利用した蒸気タービンによる発電方法は、一般的に使われている方法であるが、発電効率は 15～20%程度で効率が悪く大規模化になる。一方で、バイオマスを燃やして発生した燃焼ガスを使いガスエンジンを駆動させるガス化発電がある。この発電効率は 25%～35%と効率よく、小規模の発電に適している。また、ガス化発電のメリットとして、副産物を有効利用することができる。まず、ガスエンジンから発生した熱の利用（コージェネレーション）があり、発電に使用する木材チップの乾燥の他、木材バークの除染に使用する水の加温にも使用できる。次に、ガス化炉から発生する木炭、木酢液、バイオオイル（タールを含む油分）がある。木炭は固形燃料や土

壤改良剤として有効利用でき、木酢液は消臭、抗菌、害虫駆除など様々な用途に利用でき、バイオオイルは化石燃料の代替エネルギーとして燃料などに利用することができる。このように木質バイオマスを経段的に利用（カスケード利用）することができるのも特徴の一つである。以上をまとめると、国産の木質バイオマスを利用する場合、輸送コストからみて、小規模で効率よくバイオマスを利用する施設がふさわしく、直接燃焼式よりも発電効率のよいガス化発電を選んだ。なお、バイオマスガス化発電の採算性やCO₂削減効果については、後述の補足資料に詳細を記載している。

1－3．福島産木材を利用することについて

本実証の特徴は、福島県産の木材を用い、福島県で行うことである。これは、福島県は森林や林業者が多く、林業技術もあるため、バイオマスの有効活用において有利な土地であることが第一の理由であるが、それに加え、福島県の林業復興がある。原子力発電所の事故により、放射性物質で一部の森林が汚染され、それに伴い福島県全体の林業が風評被害により壊滅的な打撃を受けている現状がある。しかし、森林の汚染は、木材の表皮に集中しており、木材のバークを除去すれば、安全に利用することが可能だと考えられる。そこで、本実証事業では、バイオマスを有効活用することに加え、安全な有効利用方法を実証することも目的とする。本実証事業により、福島県のバイオマスが安全かつ有効に利用できることを実証すれば、福島県の林業の復興、ひいては福島県の復興にもつながるものとする。そのためには、放射性物質を除去し、安全なバ

バイオマス原料を使用すること、施設から発生する排ガス等の安全性を確認すること、除去した放射性物質は適切に管理すること、といった安全対策をバイオマス有効利用方法に組み込む。具体的な方法として、①迅速かつ正確に木材の汚染を測定する機器を導入すること。バークを除去した木材の放射性セシウムを測定し、原料の安全性を確かめること。②発電施設から発生する排ガス、木炭等の放射性セシウムを測定し、施設の安全性を確かめること。③除去したバークを除染し、有効利用すること。これらを、バイオマスガス化発電に合わせで行うことが、本実証事業の特徴である。なお、福島県の木材については、後述の補足資料に詳細を記載している。

2. 概要

2-1. 事業の概要

原料調達からバイオマスエネルギー供給、熱供給、需要先について図1に示す。

それぞれの項目について説明する。

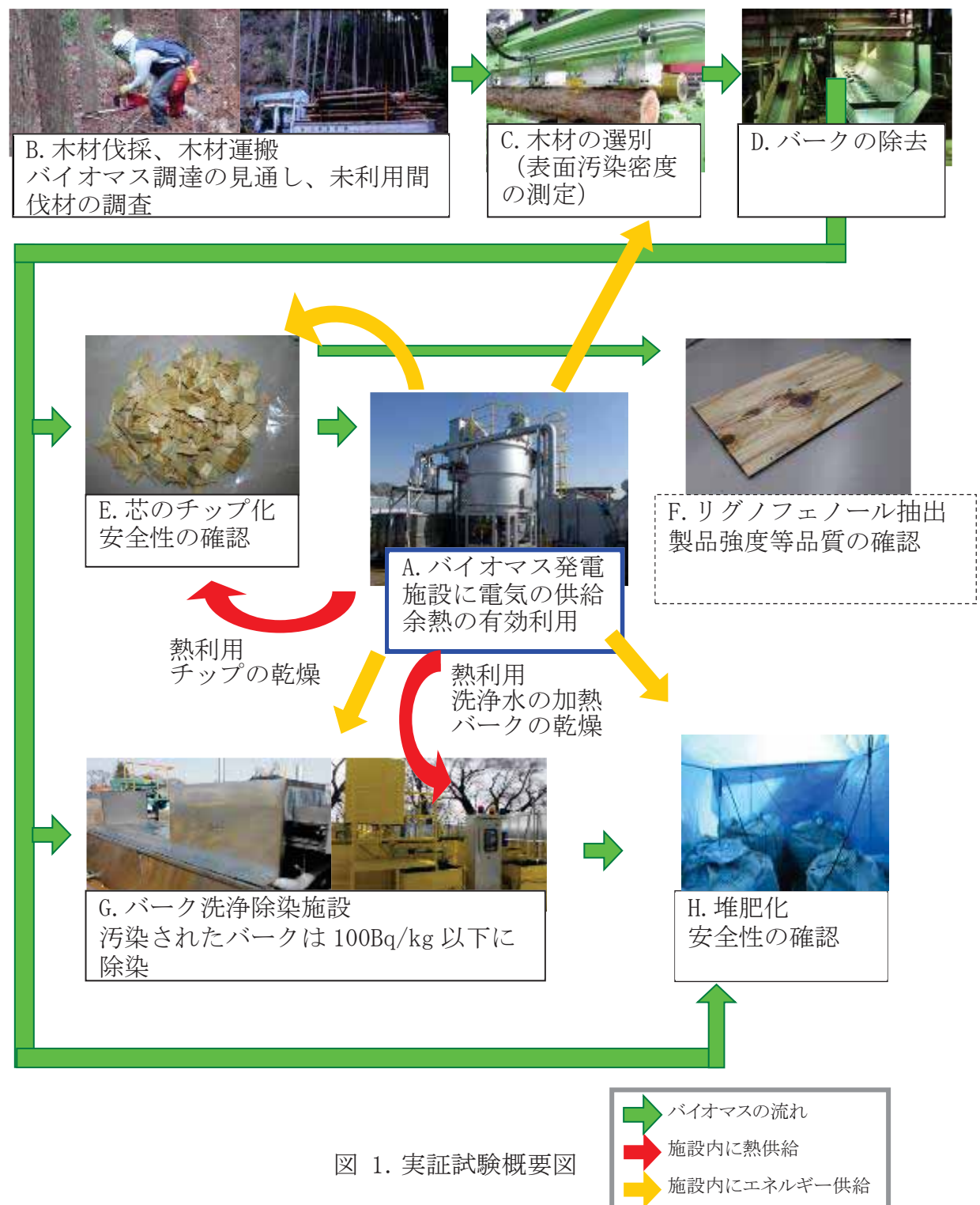


図 1. 実証試験概要図

A. 木質バイオマスガス化発電

加工した木材チップを燃料にしてガス化発電を行う。燃焼から得られる余熱は、チップ及び洗浄したバークの乾燥、木材バークの洗浄水の加熱に使う。

ガス化発電で得られた電力は、併設している施設などに使用する。

B. 木材伐採・運搬

木質バイオマスガス化発電の運営には安定的な木材の調達が重要になるため、本事業では、地元の林業団体等と福島環境再生産業創出協議会をつくり、相双地域、いわき地域等 浜通り地区から木材の伐採と運搬、及びチップ加工を行った。地域の林業技術や保有機械を最大限活用し、地域一体となって、木質バイオマスの効率的・安定的な伐採・搬出方法の検討、森林における未利用間伐材の調査を行った。

C. 木材の選別

集荷した原木を木材表面自動測定機により表面密度の測定を行い、木材の汚染の程度で分別を行う。木材表面自動測定機については平成24年度除染実証試験（環境省）で確立した測定技術をさらに改良した装置を使用し、低コストかつ高精度で木材の表面密度を測定する。測定結果はパソコン上に記録され、汚染の程度を数値化でき、無害な木材と除染が必要な木材に分類する。

D. バークの除去

原木からバークを除去する。針葉樹はリングバーカーを用い、落葉樹はドラムバーカーを用いる。

E. 芯のチップ化

バーク除去後の芯材をチップに加工する。燃料に使用するために乾燥を行うが、熱源として木質バイオマスガス化発電施設の余熱を利用する。

製造したチップは放射性セシウム濃度を測定し安全性を確認する。

F. リグノフェノール抽出

リグニンは細胞壁を構成している多糖類、セルロース、ヘミセルロース等の接着材として機能している。杉の成分組成の例では、リグニン 34%、セルロース 37%、ヘミセルロース 27%、灰分 0.6% で木材が構成され、木質バイオマスは多くのリグニンを含んでいる。バイオマスの有効利用のためリグニンをリグノフェノールとして抽出し、付加価値の高い木質資材を製造する技術が研究されており、(株)藤井基礎設計事務所が平成 21～25 年度に林野庁の委託を受け技術開発を行ってきたリグノフェノール抽出実証プラントにて、チップの一部を使用し、ガス化発電以外での高度有効利用を検討する。

G. バーク除染

汚染されたバークについて除染を行う。平成 24 年環境省除染実証試験でバーク洗浄と洗浄排水の処理を行い、バークは 100Bq/kg 以下、洗浄排水は 10Bq/kg 以下に除染することを実証しており、本事業では大規模化を目指す。バークの除染に使用する熱水はガス化発電の余熱で加熱し、連続自動的に洗浄を行う。洗浄後のバークの f 放射性セシウム濃度の目標値は 100Bq/kg 以下とする。

洗浄で発生した排水は、汚染水処理プラントにて除染剤（ネオナイト CS）を加え、凝集沈殿処理方式により放射性物質を含まない処理水と放射性物質を含む

沈殿物に分離する。処理水は再びバーク洗浄に循環利用する。沈殿物は脱水し、遮蔽容器に入れ、仮置き場にて遮蔽保管を行う。

H. 堆肥化

除染された木材バークは、堆肥施設で堆肥に加工する。

堆肥化には微生物の発酵を促すため切り返しの作業が発生するため、多大な労力が必要となるが、エアコンプレッサを使用し、堆肥の内部まで均一に空気を送ることで、堆肥の製造を迅速かつ省力化することを目指す。

製造された堆肥は放射線量を測定し、安全性を確認したのち、製品として農家に提供する。

2－2．実証施設等の概要

A. 木質バイオマスガス化発電

実証事業で目指す木質バイオマス発電は、地域分散型木質バイオマスガス化発電を目標としている。山林中の未利用バイオマスを利用することである為、小規模で高効率の発電を追求している。木質バイオマスの発電では一般に直接燃焼式発電のエネルギー効率が15～20%、ガス化発電は25～35%といわれ、ガス化発電を採用した。ガス化発電では木材チップから燃焼ガスを取り出し、ガスを使って発電を行う。原料のチップ、発生した排ガス等は、実証試験現場に設置したゲルマニウム半導体検出器で測定を行い、安全性を確認する。図2に本実証事業で使用している木質バイオマスガス化発電施設と、図3に同施設に併設したゲルマニウム半導体検出器を示す。



図 2. 木質バイオマスガス化発電施設



図 3. ゲルマニウム半導体検出器

B. 木材伐採・運搬

地元林業者が保有する機器を利用する。機器を図4から図8に示す。また、伐採現場の空間線量も測定した。(図9)



図 4. チェーンソー：木材を伐採する

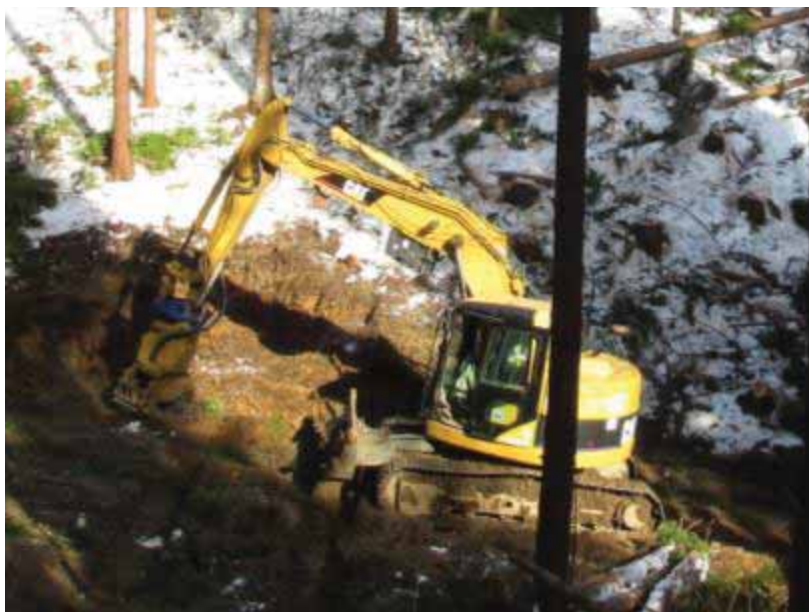


図 5. グラップル付バックホウ：伐採した木材をつかみ集める



図 6. スイングヤーダー付バックホウ：木材の牽引、切断の機能が付いたグラップル



図 7. プロセッサ付バックホウ：木材を一定の長さに切断する機能が付いたグラップル



図 8. フォワーダ



図 9. 空間線量の測定

C. 木材の選別

木材の表面汚染密度を自動で測定する。図 10 の自動測定機を実証試験現場に設置した。木材はフォークリフトなどで搬入部に置かれ、測定機をスタートすると、自動で測定部に送られる。表面汚染密度の検出器が木材の全面を測定し、測定値が操作盤に表示される。測定値が一定以上を超えるとスプレーが作動し、木材に汚染箇所がマーキングされる。測定が終わると木材が搬出部に自動で送られ、次の木材が測定される。



図 10. 木材自動測定機

D. バークの除去

地元林業者が保有する機器を利用する。機器を図 11、12 に示す。

リングバーカーは主にスギの皮を除去する機器であり、建屋に設置するタイプと可搬型のタイプがある。



図 11. リングバーカー(設置型)



図 12. リングバーカー(可搬型)

E. 芯のチップ化

地元林業者が保有する機器を利用する。機器を図 13 に示す。



図 13. チッパー

F. リグノフェノール抽出

木材からリグノフェノールを抽出し、接着剤を合成する。接着剤で木材の集積板を作成し、強度など有用性を確認する。抽出に使用した機器を図 14 に示す。



図 14. リグノフェノール抽出器具

G. バーク除染

バークの除染は、高圧の温水をバークに一定時間当てることで除染を行う。洗浄機はコンベアが内蔵されており、バークを連続的に洗浄することが可能である。洗浄機を図 15 に示す。

バークの除染で発生した汚染水は、汚染水処理プラントへ送られ、除染が行われる。汚染水処理プラントを図 16 に示す。はじめに、汚染水処理プラントに入った汚染水は、除染剤（ネオナイト CS）が添加され、攪拌される。汚染水中の放射性物質は、粘土など懸濁物質に吸着した形や、イオンとして存在すると考えられるが、除染剤（ネオナイト CS）にはイオンを吸着する吸着材や懸濁物質などのコロイド粒子を凝集する成分が含まれており、汚染水中の放射性物質を効果的に凝集することができる。吸着材は粉末状に加工した天然のゼオライトを使用しており、ゼオライトは多孔質に富むため、イオン交換樹脂としての働きを持つ。特にゼオライトはセシウムイオンの吸着能力が高いことが知られている。また、アルミニウム化合物を含む粉末状の天然鉱物も配合しており、水溶液中ではプラスの電荷を持つ凝集剤としても機能する。ゼオライト粉末や懸濁物質は、マイナスに荷電したコロイド粒子であり、凝集剤によって電氣的に中和され、凝集フロックと呼ばれる沈殿物が形成される。次に、汚染水処理プラントの中で凝集フロックは沈降し、汚染水を凝集フロックと凝集フロックを含まない水（処理水）に分離する。凝集フロックは脱水したのち適正に管理し、処理水は放射性セシウム濃度を確認したのち、循環利用する。



図 15. バーク洗浄機



図 16. 汚染水処理プラント

H. 堆肥化

洗浄後のバークは飛散防止のためフレコンパックに入れられ、フレコンパックの中で堆肥化を行う。圧縮空気を送り込むパイプをフレコンパックの中に入れ、バークに空気が送られる。およそ半年から1年程度で堆肥となる。堆肥化の施設を図17に、エアコンプレッサーを図18に示す。



図 17. 堆肥化施設



図 18. エアコンプレッサー

3. 実証試験詳細

【実施項目 1】木質バイオマスガス化発電

【達成目標】

加工したチップを燃料にしてガス化発電を行う。燃焼から得られる余熱は、チップ及び洗浄したバークの乾燥、木材バークの洗浄水の加熱に使う。発電で得られた電力は、併設している施設などに使用する。

1. 発電に関する仕様及び目標値の確認

仕様を表 1 に示す。運転時に仕様通りに運転しているか確認する。

表 1. 木質バイオマスガス化発電の仕様

タイプ	ガスエンジン発電機（木質チップからの熱分解ガス）
電気出力（目標値）	144kW
必要な木材チップ量 （推定値）	800kg／時間（含水率 50%）
木材チップ条件	含水率 50%（発電施設内で 15%に乾燥）
設置スペース	18m×18m
定格電圧	200V／110V（周波数 50Hz）
相数、接続	3 相 4 線式、Y 接続
始動方法	電気始動
冷却方法	ラジエター（風冷）
設置場所	福島県須賀川市前田川

2. 放射性セシウム測定

発電で発生する排ガス、木炭等について放射性セシウム濃度を測定する。測定方法は廃棄物関係ガイドライン第五部放射能濃度等測定方法ガイドライン（平成25年第2版）に従う。

目標値は、排ガス：Cs134=20Bq/m³以下、Cs137=30Bq/m³以下、焼却灰：8,000Bq/kg以下とする。

3. 発電の物質収支

チップの投入量、発電量、発生した木炭等の量を測定して、発電に関わる物質収支を確認する。

【達成状況及び課題】

3-1-1. 発電に関する仕様及び目標値の確認

木質バイオマスガス化発電施設を建設・稼働を行い、木材チップから燃料ガスを取り出し、ガスエンジンで発電できることを確認した。安全上の理由から、出力を徐々に増やしてゆき、現在のところ80kWまで出力を増やしている。目標値と2月時点の結果の比較を表2に示す。現在のところ、機器の調整やデータ採取を行うため、安全上の理由から発電能力を下げ連続運転を実施している。低出力で発電を行い、排ガスや木炭などの放射性セシウム濃度を測定して安全を確認しながら、徐々に出力をあげている。2月時点では発電の出力を15kW/hに設定し、連続運転を行いながら発生物の放射能濃度などを中心に測定を行っ

た。このとき使用した木材チップは1時間あたり400kgであった。木材チップの含水率は38%であり、乾燥ホッパーで乾燥され、含水率は15%程度となっていた。発電に使われなかった余剰のエネルギーは熱エネルギーとしてチップの乾燥に使われた。放射性物質の挙動を確認した結果は次項の表3に示している。また木材チップの詳細な測定については、3-4-1. チップの含水率、3-4-2. 粒度分布、3-4-3. 放射性セシウム測定で説明する。

表 2. 木質バイオマスガス化発電の仕様と今年度の実績比較

	目標値	結果
電気出力	144kW	80kW（最大） 15kWで連続運転しながら放射性セシウム測定、機器の設定調整を実施中
必要な木材チップ量	800kg／時間（含水率50%）	400kg／時間（含水率38%） （15kW連続運転時）
木材チップ条件	含水率50%（発電施設内で15%に乾燥）	含水率38%（発電施設内で15%に乾燥）
設置スペース	18m×18m	仕様通り
定格電圧	200V／110V（周波数50Hz）	仕様通り
相数、接続	3相4線式、Y接続	仕様通り
始動方法	電気始動	仕様通り
冷却方法	ラジエター（風冷）	仕様通り

木質バイオマスガス化発電施設の概要、設備を図19、図20、図21に示す。まず木材チップを乾燥ホッパーに投入する（図22）。乾燥ホッパーではガスエンジンで発電した際の熱エネルギーにより、投入した木材チップが乾燥され（図23）、

乾燥機排出コンベアを通り原料ホッパーに移される（図 24）。木材チップは原料ホッパーから供給コンベアを通りガス化炉に送られる（図 25）。ガス化炉の中で木材チップは炭化し、燃焼ガスが取り出される（図 26）。炭化した木材チップは炭化物排出コンベアから排出される（図 27）。燃焼ガスはスクラバーで洗浄され、プレコレクター、オイルコレクターによって、木酢液、バイオガスが分離される（図 28）。木酢液、バイオガスは酢液タンク・オイルタンクに貯蔵される（図 29）。燃焼ガスは炭フィルターで清浄化され（図 30）、ガスエンジンで発電に使用される（図 31）。発電量は負荷電源盤・貯湯槽で測定される（図 32）。試運転や緊急時など、燃焼ガスをガスエンジンに使わない場合に使用するフレアスタックも設置している（図 33）。

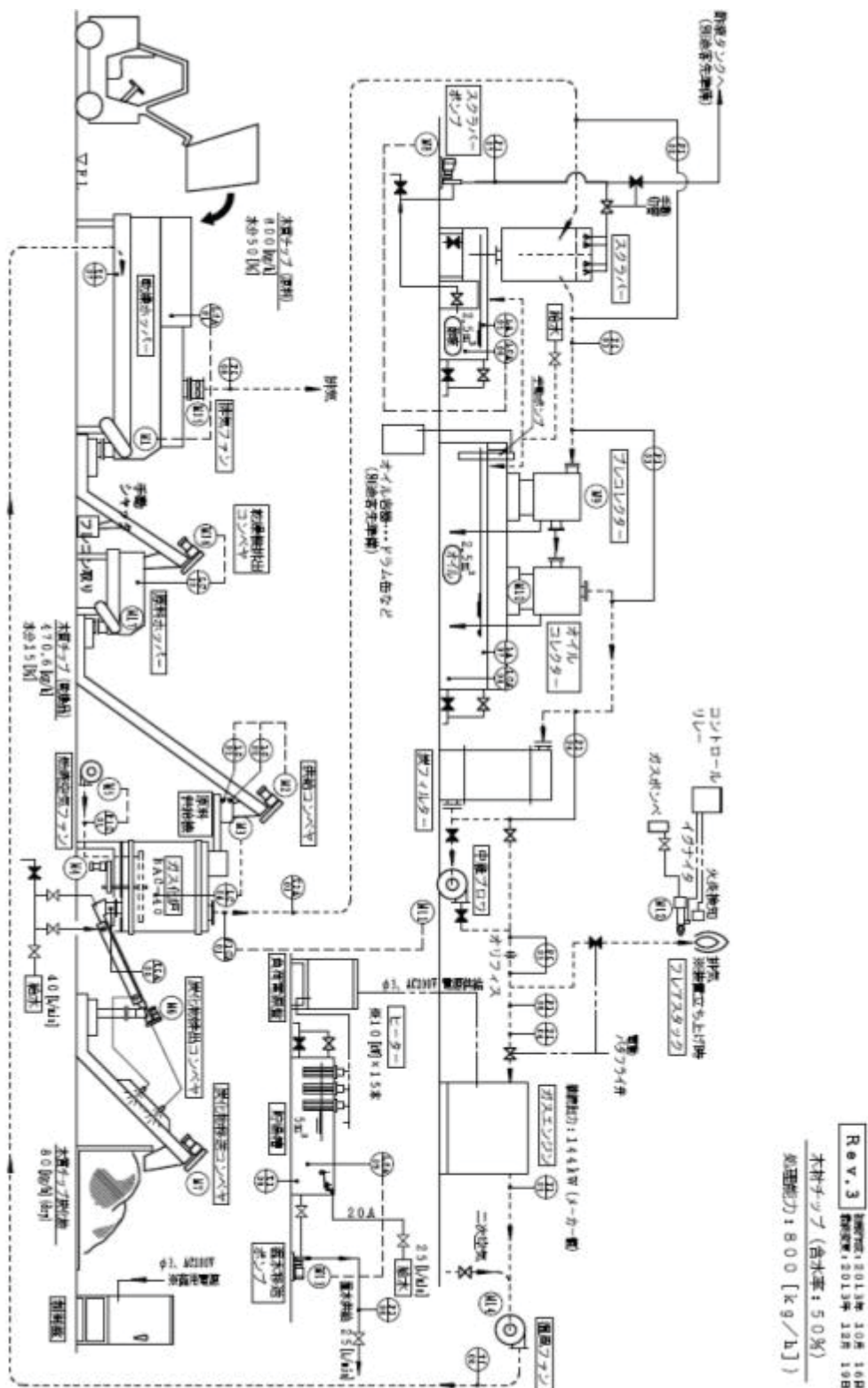


図 19. 木質バイオマスガス化発電施設のフロー図

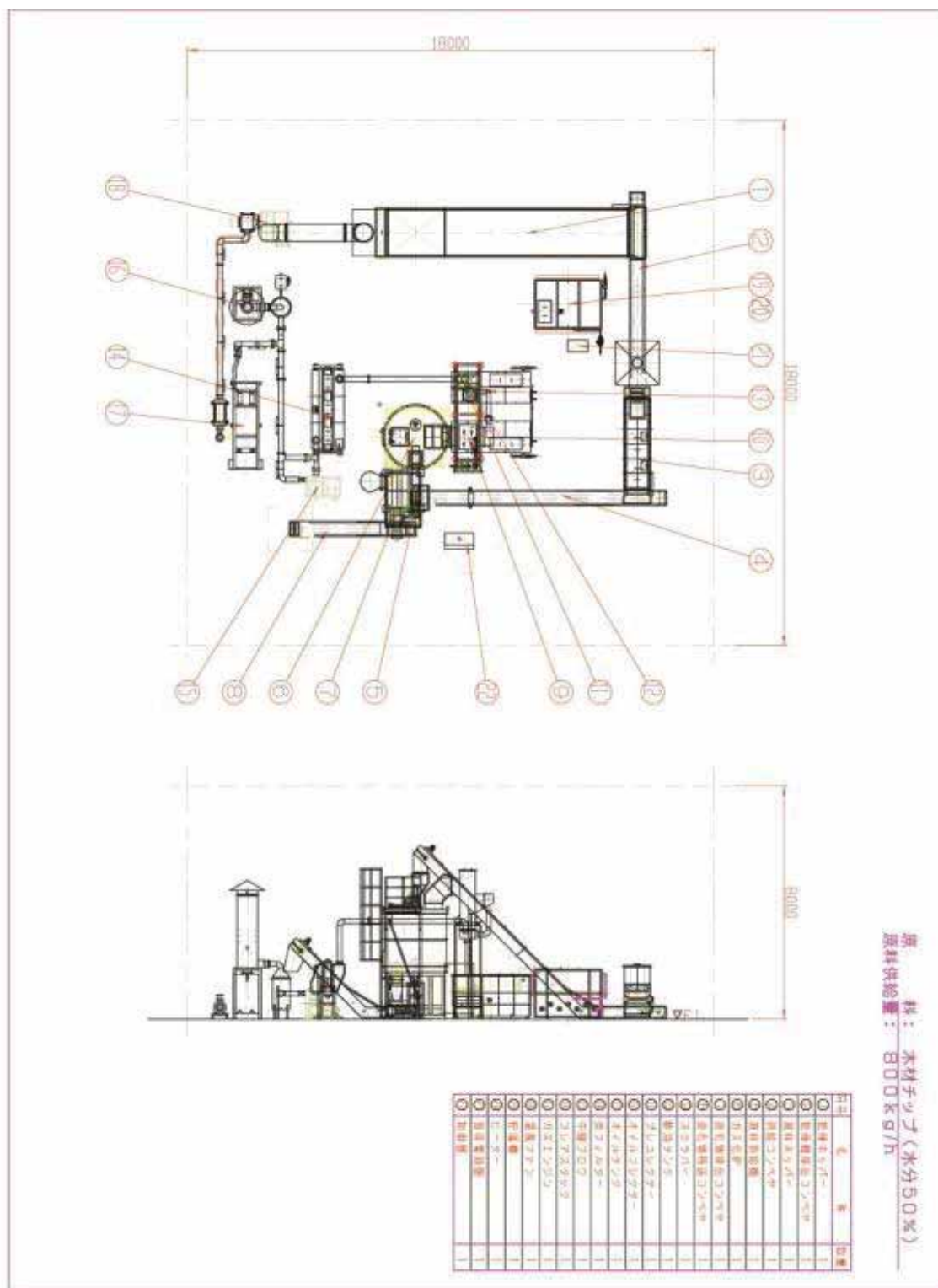


図 20. バイオマスガス化発電施設の配置図



図 21. 木質バイオマスガス化発電施設の外観



図 22. 木材チップの投入



図 23. 乾燥ホッパー



図 24. 乾燥機排出コンベア



図 25. 原料ホッパー、供給コンベア



図 26. ガス化炉



図 27. 炭化物排出コンベア



図 28. スクラバー、プレコレクター、オイルコレクター



図 29. 酢液タンク・オイルタンク



図 30. 炭フィルター



図 31. ガスエンジン



図 32. 負荷電源盤・貯湯槽



図 33. フレアスタック

3－1－2．放射性セシウム測定

バイオマスガス化発電では、燃焼ガスの他に、木炭、木酢液、バイオオイル（タールなどの油分）、が発生する。木炭は固形燃料や土壌改良剤として利用でき、木酢液は消臭、抗菌、害虫駆除など様々な用途に使い、バイオオイルは化石燃料の代替エネルギーとして利用可能である。燃焼ガスはガスエンジンで発電に使われ、ガスエンジンから発生した熱はチップの乾燥などに使われる。乾燥ホッパーには煙突があり、最終的に排ガスはそこから排出される。そこで、木炭、木酢液、バイオオイル、排ガス中の放射性セシウム濃度を測定し、放射性セシウムの挙動を調べた。測定にはゲルマニウム半導体検出器（セイコーEG&G SEG-EMS-jr）を使用した。測定方法については、燃料用のチップ・木炭の測定は、調理加熱用の薪及び木炭の放射性セシウム測定のための検査方法（林野庁）を用い、木酢液、バイオオイルは放射能濃度等測定方法 ガイドラ

イン第7章 燃え殻、ばいじん、排水汚泥、溶融スラグ、溶融飛灰（環境省）を用い、排ガスについては、同ガイドライン第3章 排ガス（環境省）を用いた。排ガスの採取方法について図 34、採取状況について図 35 に示す。また測定した木炭、木酢液、バイオオイルを図 36～図 39 に示す。

放射性セシウムの測定結果を表 3 に示す。

表 3. ガス化発電での放射性セシウム測定結果

	原料の チップ	木炭	木酢液	バイオ オイル
放射性セシウム濃度	13Bq/kg	32. 5Bq/kg	10Bq/kg 以下	10Bq/kg 以下

	排ガス	
	ろ紙部	ドレン部
放射性セシウム濃度	2Bq/m ³ 以下	2Bq//m ³ 以下

このように、放射性セシウムは木炭に保持されたままで、木酢液やバイオオイル、排ガス中からは検出できなかった。木酢液、バイオオイルは有価物として有効利用できると判断される。また、木炭についても、放射性セシウムが検出されているが、調理加熱用の木炭の基準の 280Bq/kg 以下であるので、調理加熱用の木炭としても使用することが可能である。

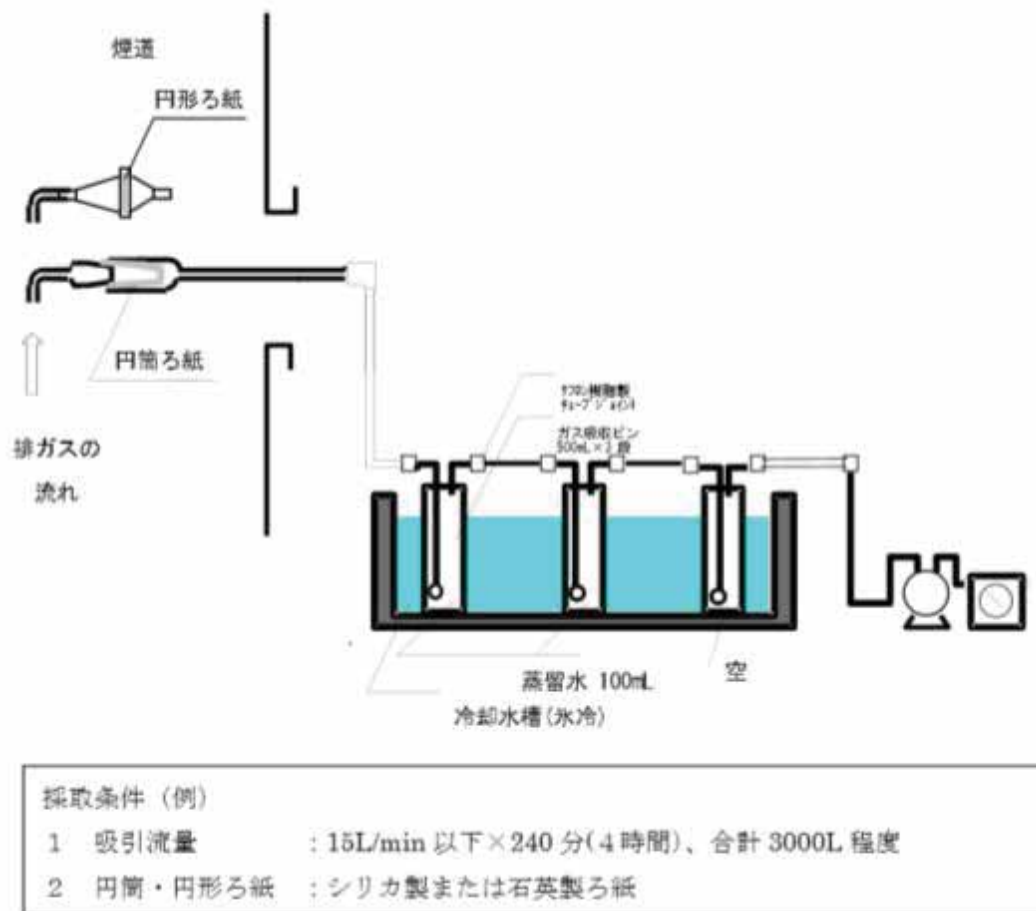


図 34. 排ガス採取方法 (放射能濃度等測定方法 ガイドラインより抜粋)



図 35. 排ガス採取状況



図 36. 木炭



図 37. 木酢液、バイオオイルの貯蔵タンク



図 38. 木酢液



図 39. バイオオイル

3－1－3．発電の物質収支

現在の発電の出力は 15 k wh であるが、徐々に出力を増やして運転している。そのため、まだ途中の段階であるが、現在のところ、燃料に使った木材チップは 400kg であり、乾燥ホッパーで乾燥され、およそ 150kg 程度になった。ガス化炉に送られ、木炭がおよそ 80 k g、木酢液がおよそ 30kg、バイオオイルがおよそ 12 k g 発生した。放射性セシウムは木炭に多く含まれ、木酢液、バイオオイル、排ガスからは検出されなかった (10Bq/kg 以下)。

3－1－4．CO₂削減効果

【達成目標】

本プラント 1 機における年間の最大出力は 500000kWh と算出できる (1 日のメンテナンスを 2 時間とし、1 日 22 時間稼働×180 日＝4000 時間として計算した)。詳細を表 4 に示す。この電力を東北電力で発電した場合、CO₂ 排出量は 300t-CO₂、代替値を使った場合 275t-CO₂ と算出できる。

本プラントは木材を使用しカーボンニュートラルであることから、CO₂ の排出がないと見なし、最大で 275～300 t-CO₂ が削減することができる。

表 4. 年間最大発電量から算出した CO₂ 削減量

電気量(kW)	稼働時間(h)	出力量(kWh)	排出係数※(t-CO ₂ /kWh)	削減量(t-CO ₂)
125	4000	500000	代替値：0.00055	275
			東北電力：0.00060	300

排出係数に関しては、「平成 23 年度の電気事業者ごとの実排出係数・調整後排出係数等の公表について」（平成 24 年 11 月 6 日環境省報道発表資料）より、代替値 0.000550t-CO₂/kW h、東北電力株式会社実排出係数 0.000600t-CO₂/kWh を用いた。

本プラントから CO₂ の排出がないと見なしたことについては、「地球温暖化対策の推進に関する法律に基づく地方公共団体の事務及び事業に係る実行計画策定マニュアル及び温室効果ガス総排出量算定方法ガイドライン（平成 23 年 10 月環境省）」記載の『3.4.1.1 燃料の使用に伴う CO₂ の排出 木材、木くず、木炭等のバイオマス（生物体）系の燃料の使用に伴う二酸化炭素の排出については、植物により大気中から吸収され除去されていた二酸化炭素が再び大気中に排出されるものであるため、国際的な取り決め（IPCC ガイドライン）に基づき排出量には含めないこととされている。』によるものである。

なお、プラント自身の消費電力はプラントの発電から供給されるため、加味していない。

【達成状況及び課題】

現在、木質バイオマスガス化発電施設を建設・稼働を行い、調整や環境影響を調査しながら徐々に出力を上げている。現在のところ発電出力は15kWhであり、この発電 出力を上記の表通り 4000 時間続けた場合、年間の CO₂ 排出削減量は 33t-CO₂ となる。

なお、バイオマスガス化発電の採算性や CO₂ 削減効果については、後述の補足資料に詳細を記載している。

【実施項目 2】 木材伐採・運搬

【達成目標】

木質バイオマスガス化発電の運営には安定的な木材の調達が重要になるため、本事業では、地元の林業団体等と福島環境再生産業創出協議会をつくり、相双地域、いわき地域等、浜通り地区から木材の伐採と運搬、及びチップ加工を行った。地域の林業技術や保有機械を最大限活用し、地域一体となって、木質バイオマスの効率的・安定的な伐採・搬出方法の検討、森林における未利用間伐材の調査を行った。

【達成状況及び課題】

3－2－1．木材伐採・運搬に関する検討・調査

いわき市、郡山市、南相馬市周辺の林業者の協力を得て、伐採地を調査した。山地での作業は木材の伐採、運搬だけでなく間伐、林道の整備などあり、それぞれ時期や天候に応じて行っていた。使用した重機等については図 4～図 8 に示した通りである。調査の状況を図 41～図 42 に示す。

伐採は主にチェーンソーを使っていた。これは、木々の間を重機が入れないため、人力で行わざるを得ない。伐採した木材は重機によって一箇所に集められ、森林から運搬される。木材を集める重機は油圧式ショベルに専用のアタッチメントをつけたもの、もしくは、重機に内蔵した牽引器具で木材を牽引した。このとき、グラップルのように木材を直接つかめるものだけでなく、チェーンソーを内蔵し、木材をつかんだ状態で切断できるスイングヤーダーは作業効率に

優れていた。また、プロセッサー付バックホウは、木材をつかんだあと、一定の長さで切断することができ、運搬を効率よく行うことができた。切断した木材はフォワーダに積載し、林道を運搬した。フォワーダはキャタピラによりトラックが入れない林道でも通行することができた。

このように、多くの重機を使用して伐採・運搬を行っていた。作業は木材の伐採、木材の収集、木材の切断、木材の運搬など、良好なチームワークにより行われ、適した重機を使うだけでなく、作業全体の管理体制が重要となる。また、これらの重機を使用するためには、重機の移動や作業スペースが確保できるような林道の整備が不可欠である。このため、森林の育成といった数年単位の作業管理を含めた作業管理体制が重要であり、バイオマスの有効利用には長年培ってきた林業者の技術と経験が不可欠である。

作業の課題として、バイオマスを安定供給するためには、天候や季節の影響により木材の伐採や運搬が必ずしも予定通りに行えない場合がある。そのため、複数の林業者から供給を受ける体制づくりが必要である。また、バイオマスを有効利用するには、バイオマスのコストが課題となる。バイオマスを利用する施設から離れるほど運搬コストが上がるため、施設から 50 k m 程度の近辺から集めることが望ましい。なお詳細については後述の補足資料に記載している。

3－2－2．福島環境再生産業創出協議会について

福島県のバイオマスを有効活用するためには、安定的にバイオマスを集め、加工し、運搬することが重要であるため、県内の林業者、製材業者、プラント製

造業者等と協議会を平成 25 年 7 月に設立した。活動目的は、福島地域産業の復興・再生による雇用創出と地域経済の活性化のために、自治体及び地元企業が連携し、技術開発を進め、福島のニュービジネスを創出することであり、特にバイオマスや農林水産物の生産技術開発、環境再生技術、再生可能エネルギー技術を推進する。

活動内容は、木質バイオマスの除染、発電プラント開発、環境整備のほか、風評被害農作物・果実廃棄物の利活用及び再生可能エネルギーの転換プラントの開発、環境整備、農業、林業、漁業等の一次産業の復旧・復興支援、森林除染の促進、自然環境の復元再生支援、ものづくりネットワークの構築、除染技術の開発・研鑽、情報発信などを行っており、今回の実証事業において、木材の伐採、運搬、空間線量測定やバーク除去、チップ加工、チップのサンプルの提供など協力を得ている。

3－2－3．空間線量の測定

伐採地では作業や木質バイオマスの安全性をおおまかに確認するために空間線量を測定した。測定は協議会の立ち会いの下で行い、およそ 30m²の区画ごとに行った。使用した測定機はNaIシンチレーションサーベイメータ（アロカ TCS-172B）を用いた。測定した地区を図 40 に、測定の状況を図 43～図 46 に示す。

測定結果を表 5 に示す。いわき市の森林や郡山市周辺（石川郡玉川村）の森林は、いずれの区画でも空間線量はほとんど変わらず、いわき市の森林の平均値

は $0.2 \mu\text{Sv/h}$ 、郡山市周辺（石川郡玉川村）の森林の平均値は $0.08 \mu\text{Sv/h}$ であ
 った。南相馬市の森林では林道と山中で線量が大きく変わっており、林道の平
 均値は $0.2 \mu\text{Sv/h}$ 、山中の平均値は $0.5 \mu\text{Sv/h}$ だった。

表 5. 空間線量の測定結果

	いわき市（小川町） の森林	郡山市周辺（石川郡玉 川村）の森林	南相馬市 （鹿島区）の森林	
平均	約 $0.2 \mu\text{Sv/h}$	約 $0.08 \mu\text{Sv/h}$	約 $0.2 \mu\text{Sv/h}$ （林 道）	約 $0.5 \mu\text{Sv/h}$ （山中）
地点 1	0.18	0.08	0.22	0.52
地点 2	0.19	0.08	0.18	0.54
地点 3	0.19	0.08	0.17	0.53
地点 4	0.19	0.07	0.16	0.55
地点 5	0.20	0.08	0.22	0.72
地点 6	0.20	0.08	0.25	0.24
地点 7	0.20	0.08	0.25	0.28
地点 8	0.20	0.09	0.27	0.56
地点 9	0.23	0.09	0.18	0.33
地点 10	0.22	0.08	0.16	0.64
地点 11	0.20	0.07	0.14	0.83
地点 12	0.20	0.07	0.12	0.48
地点 13	0.20	0.08	0.12	0.51
地点 14	0.19	0.08	0.14	0.35
地点 15	0.20	0.08	0.17	0.66
地点 16	0.20	0.08	0.17	0.18
地点 17	0.20	0.07	0.16	0.63
地点 18	0.19	0.08	0.15	0.12
地点 19	0.20	0.08	0.18	0.45

地点 20	0.20	0.07	0.22	0.66
地点 21	0.20	0.09	0.28	0.33
地点 22	0.20	0.08	0.28	0.45
地点 23	0.19	0.08	0.26	0.52
地点 24	0.20	0.09	0.16	0.55
地点 25	0.20	0.08	0.15	0.54
地点 26	0.18	0.07	0.18	0.93
地点 27	0.23	0.09	0.35	0.22

郡山市の森林は国内の一般的な放射線レベルであり、いわき市はそれよりもやや高かった。南相馬市では林道で低い値となっていた。聞き取り調査によると、この林道は震災後に作られたものであるため、汚染された表土が除去されたことで空間線量が低くなったと考えられる。

空間線量の結果について、除染等業務の対象となる線量は $2.5 \mu\text{Sv/h}$ であり、いずれの森林においても、伐採・運搬作業は除染等業務の対象にならないため、安全に作業することができる。しかし、汚染状況重点調査地域の対象となる $0.23 \mu\text{Sv/h}$ を超える場所もあったため、これらの作業においては、定期的に線量を測定し、安全管理に努める必要がある。



図 40. 空間線量測定実施地区



図 41. 伐採現場視察状況（木材伐採）



図 42. 伐採現場視察状況（木材運搬）



図 43. 伐採現場の空間線量測定



図 44. いわき市の伐採地の空間線量測定



図 45. 石川郡玉川村の空間線量測定状況



図 46. 南相馬市の空間線量測定状況

3-2-4. 木材チップに関する測定

次に、この森林から木材を伐採、バークを除去し、チップに加工した。加工したチップの測定については、後述の【実施項目3】バークの除去、芯のチップ化に記載する。

3-2-5. まとめ及び今後の課題

木材チップの安定供給はバイオマスの有効利用において極めて重要である。しかし、山林で伐採し、運搬、加工する際には、天候の影響も受けるため、計画通りに供給を受けるのが難しいこともある。そのため、さまざまな地域から供給を受ける体制が必要である。また、コストを削減するためには、バイオマス利用施設の周囲から集め、運搬コストを下げなければならない。今回は、いわき市、郡山市、南相馬市の森林から伐採現場を視察しチップの安全性を調べ、供給体制を整えた。森林の空間線量は除染の作業の対象となるほど高くはなかったが、汚染状況重点調査地域の対象になる箇所もあった。来年度より本格的にスタートするふくしま森林整備事業など森林除染を安全に実施するためには、作業員の被ばく線量管理が必須と考えられ、今後も定期的に空間線量を測定し、安全管理に努める必要がある。後述する木材チップの線量については、バークを除去すると非常に低く、有効利用が可能と判断できた。しかし、山地により線量は異なっており、今後も詳細に調べる必要がある。

【実施項目 3】 木材の選別

【達成目標】

集荷した原木を木材表面自動測定機により表面汚染密度の測定を行い、木材の汚染の程度で分別を行った。木材表面自動測定機については平成 24 年度除染実証試験で確立した測定技術をさらに改良した装置を使用し、低コストかつ高精度で木材の表面密度を測定した。測定結果はパソコン上に記録され、汚染の程度を数値化でき、無害な木材と除染が必要な木材に分類する。

【達成状況及び課題】

自動測定機を図 47、48 に示す。この測定機の性能を評価するため、標準線源（セシウム 137 面線源、 β 線表面放出率 2910s^{-1} ）を使用し、効率および検出限界を求めた（図 49、50、52）。測定機には木材から保護するためのカバーを付けており、カバーのために感度が悪くなっている（図 51）。比較するためにカバーを装着した状態と外した状態で試験を行った。その結果、保護のためのカバーを装着した状態で機器効率 22.8%、検出限界 0.55Bq/cm^2 であり、カバーを外した状態で効率 43.9%、検出限界 0.28Bq/cm^2 であった。参考のために、この測定機と一般の機器を比較できるように、一般に使用されている GM サーベイメータでも同様の測定を行った。その結果、保護カバーをつけていても、一般の GM サーベイメータと同等の精度を持っていることが確かめられた。GM サーベイメータはアロカ TGS-146B を使用した。以上の結果を表 6 に示す。

次に、実際に測定が可能であるか確認するため、空間線量の高い地区の木材から表皮を取り、表面汚染密度の高い木片サンプルを用意した。この木片サンプルを木材に貼り付け、自動測定機で測定したところ、木片サンプルの貼り付けられた部分を検出し、マーキング用のスプレーが作動したことを確認した（図53）。以上の結果から、自動測定機で実際に木材を測定することが可能であることを確認した。一般に、表面汚染密度の基準値は $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ が用いられているが、自動測定機はこの基準値よりもはるかに低い検出限界をもっている。

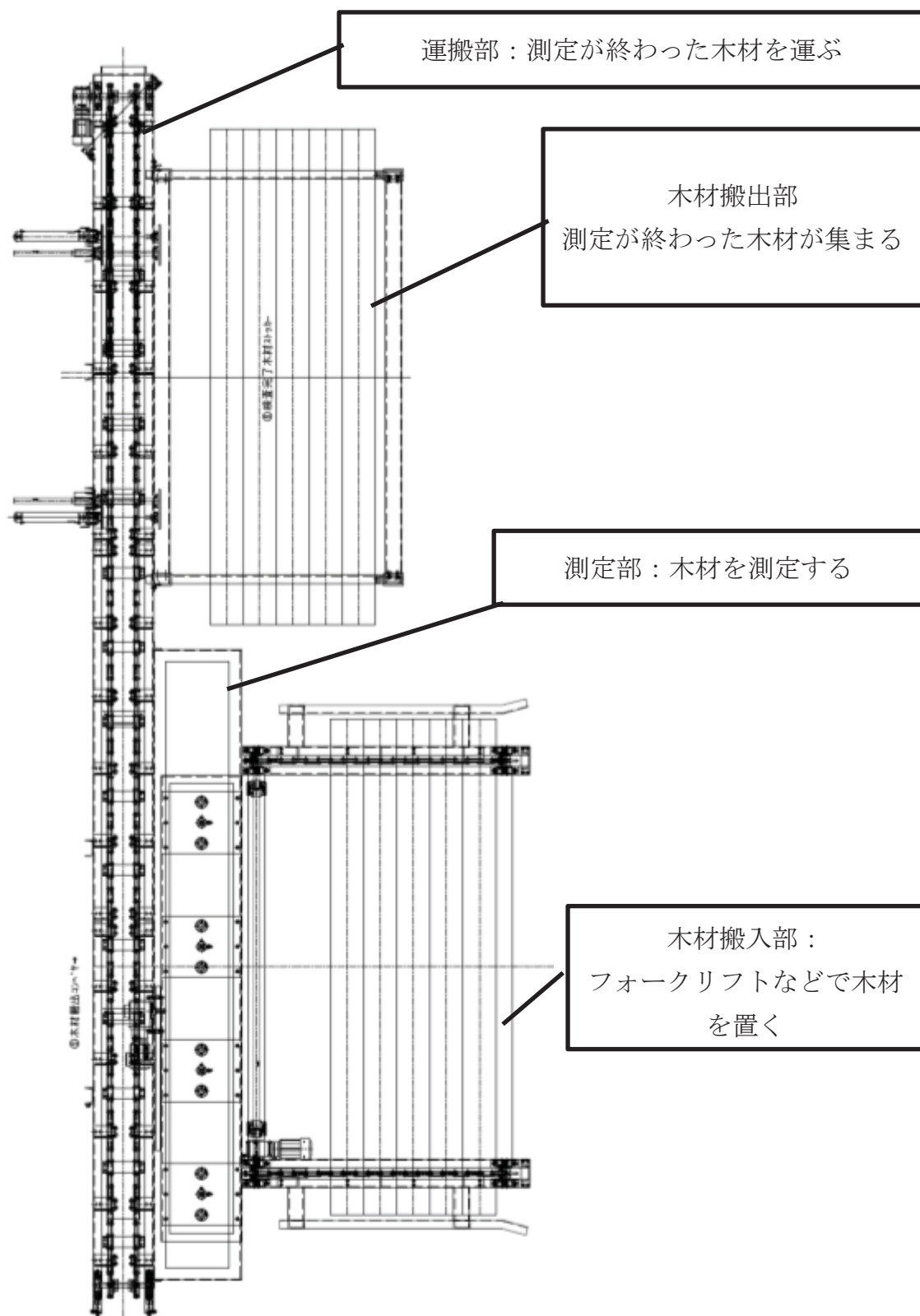


図 47. 木材表面自動測定機

表 6. 精度測定の結果

		自動測定機		(参考) 一般の GM サーベ イメータ
		自動測定器装着状態 (保護シートあり)	検出器のみ (保護シートなし)	検出器のみ (保護シートなし)
参照標準		10×10cm、 ¹³⁷ Cs		10×10cm、 ¹³⁷ Cs
β 線表面放出率		2910 s ⁻¹		2910 s ⁻¹
指示値	Area1	31680cpm	60300cpm	18200cpm
	Area2	28500cpm	55380cpm	
バックグラウンド計 数率		300cpm	360cpm	60cpm
正味計数率		59580cpm	114960cpm	18157cpm
検出器の入射窓面積		150cm ²		100cm ²
機器効率		22.8%	43.9%	53.1%
換算計数		0.05861	0.030376	0.003205
検出限界		0.55Bq/cm ² (559.2cpm)	0.28Bq/cm ² (559.2cpm)	0.43Bq/cm ² (134cpm)

補足

日本アイソトープ協会から入手した標準線源を使用し、機器校正を行った。この線源は放射性セシウムを含む 10×10cm の大きさの面線源であり、β 線を 1 秒間に 2910 個放出する (2910Bq)。自動測定器の検出器窓は 10×15cm であり、この線源よりも縦方向のみ大きいため、検出器窓を Area1 と Area2 に分けた。Area1、Area2 それぞれを標準線源にあて測定を行った結果が表 6 の指示値の項である

(図 49 参照)。また、標準線源を使わずに測定を行った結果がバックグラウンド係数率の項である。Area1 と Area2 の値を足したもののからバックグラウンドの値を引いたものが、検出器が標準線源を感知した正味の値である（正味係数率）。検出器に保護シートを取り付けると、シートが放射線を遮断するため、標準線源およびバックグラウンドの値が取り付けない状態よりも低くなっている（保護シートあり、なしの比較）。

機器効率 は以下の式で算出した。これは測定器の性能を表す指標となる。

$$\cdot \text{機器効率} = (\text{正味計数率} / (\beta \text{ 線表面放出率} / \text{線源面積} \times \text{検出器の入射窓面積})) \times 100$$

換算係数は以下の式で算出した。これは単位を cpm から Bq/cm² に換算する係数である。

$$\cdot \text{換算係数 (Bq/cm}^2\text{/min-1)} = 1 / \{ 60 \times (\text{機器効率}/100) \times \text{検出器の入射窓面積} \times \text{線源効率} \}$$

検出限界は以下の式で算出した。

$$\text{検出限界 (Bq/cm}^2\text{)} = \frac{\frac{3}{2} \left\{ \frac{3}{2\tau} + \sqrt{\left(\frac{3}{2\tau} \right)^2 + 4 N_b \left(\frac{1}{2\tau} + \frac{1}{2\tau_b} \right)} \right\}}{\epsilon_s \times \frac{\eta}{100} \times S}$$

τ : 試料測定時定数 (秒)、 τ_b : バックグラウンド測定時定数 (秒)、 N_b : バックグラウンド計数率 (cps)、 η : 機器効率、 S : 有効検出面積 (100cm²)、 ϵ_s : 線源効率 (0.5)



図 48. 自動測定機の外観

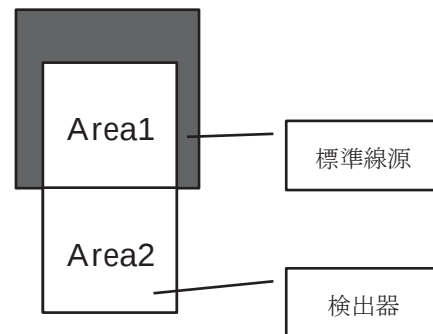


図 49. 精度確認に使用した標準線源と校正の様子



図 50. 精度確認の状況



図 51. 測定機の保護カバーの状態



図 52. 操作盤の表示



図 53. 汚染箇所をマーキングしている状況

木材の測定は次の手順で行われ、仕様通りに作動することを確認した。

まず、木材はフォークリフトなどで搬入部に置かれる。機器を作動すると、木材は搬入部から測定部に押し出される（図 54）。次に、検出器が降りてきて木材と密着し、木材は回転する。木材を回転させながら測定するため、木材の全周囲が測定される（図 55）。検出器が示した数値は操作盤に表示され、記録される。このとき、設定した任意の値以上の数値が検出されると、スプレーが作動し、木材にマーキングを行う。

木材がおよそ一周すると、検出器が上がり、後方にスライドする。再び検出器が下がり同様に測定を行う（図 56）。木材の端まで測定が終わると、木材が運搬部に押し出され、次の木材が測定部に押し出される（図 57）。測定が終わった木材は運搬部でコンベアによって搬出部まで運ばれる（図 58）。搬出部まできた木材は搬出部に押し出される（図 59）。搬出部に集まった木材はフォークリフトなどで移動される。

木材の測定にかかる時間は木材の回転速度が速いほど短時間となる。しかし速すぎれば測定器と木材が接触する時間が短くなり、検出されないおそれがある。そこで木材の回転の速さを変えて試験を行った。まず、汚染された木材を用意し（南相馬市内の森林より採取）、表皮を $5 \times 5 \text{ cm}$ 程度切り出したところ、表皮の汚染は 71 cps (4 Bq/cm^2) であった。次に、この表皮を直径 20 cm ・円周 62.8 cm の木材にテープで張り付け、任意の速度で木材を回転させながら測定を行った。木材が一回転する時間 3、6、12、24 秒に変え測定したところ、3 秒では検出されなかったが、6 秒以上では検出された。木材の円周 62.8 cm と検出器の一辺

10 c mから、木材と検出器の接触時間は0.96 秒となった。この結果をふまえ、安全に管理できるよう実際には一回転につき13 秒で行うこととした。測定は、木材一本に対し、4つの検出器が5回移動しながら行うため、(回転13 秒+検出器の移動3 秒) ×5 回=80 秒程度かかっていた。回転数を早くすれば最大で45 秒まで短縮できる。

このように木材を自動で精度よく測定することが可能であった。木材一本あたりの測定時間は最大で45 秒、通常は80 秒であるが、検出器を最大限に増やせば、検出器の移動時間がなくなり、木材1 本を6 秒で測定できる。

また、今後の課題として、木材の安全管理体制の充実が重要である。放射線量の測定については、その結果が信頼される社会的仕組みづくりも平行して進める必要がある。検査済みであることを証する仕組みづくりや、検査を実施する体制についての社会的アピールなどが必要であり、本測定機を用いて木材を一本ずつ調べ、安全を保障し、トレーサビリティの構築などを行わなければならない。



図 54. 木材が測定部に送られる状況



図 55. 木材の表面汚染密度の測定



図 56. 測定部が上昇・移動している状況



図 57. 木材が測定部から押し出され、次の木材が測定部に送られている状況



図 58. 測定が終わった木材が運搬されている状況



図 59. 木材が搬出部に送られている状況



図 60. 実際の測定の様子①



図 61. 実際測定の様子②

【実施項目 4】 バークの除去、芯のチップ化

【達成目標】

バーク除去後の芯材をチップに加工する。燃料に使用するために乾燥を行うが、熱源として木質バイオマスガス化発電施設の余熱を利用する。

製造したチップは放射性セシウム濃度を測定し安全性を確認する。

1. チップの含水率

JIS Z 2101 木材の試験方法を参考に、チップの含水率を測定する。

2. 粒度分布

70mm～2mm のふるいを用いて、チップの粒度分布を測定する。チップの粒度の目安を 70～30mm とする。

3. 放射性セシウム測定

チップ加工後に放射性セシウム濃度を測定する。芯材には放射性物質はほとんど含まれていないと考えられるが、チップの放射性セシウム濃度の平均値、標準偏差を調べ、安全性を確かめる。放射性セシウム濃度の測定は、ゲルマニウム半導体検出器（セイコー E G & G S E G - E M S - j r）を使用した。測定方法は調理加熱用の薪及び木炭の放射性セシウム測定のための検査方法（林野庁）に従って行った。

【達成状況及び課題】

3－4－1. チップの含水率

チップは、上記の空間線量を測定した、いわき市、郡山市周辺（石川郡玉川村）、南相馬市の林業者（A社、B社、C社）から入手した。チップの外観を図 62～図 64 に示す。含水利率の測定結果を表 7 に示す。A社のチップは 15%、B社のチップは 13%、C社のチップは 38%であった。

表 7. 木材チップの含水率

	A社のチップ	B社のチップ	C社のチップ
含水率	15%	13%	38%

C社のチップの含水率が高かったことについては、聞き取り調査により、伐採した直後の木材から加工したこと、加工した直後にサンプルを採取したためと判断した。このように、チップの含水率は伐採・加工してから出荷するまでの期間や保管状況、季節、気温などで、かなり変化することが考えられる。

3－4－2．粒度分布

粒度分布の結果を表 8 に示す。

表 8. 木材チップの粒度分布

	A社のチップ	B社のチップ	C社のチップ
70mm 以上	0%	0%	0%
70～30mm	76%	44%	90%
30～10mm	19%	33%	10%
10～2mm	3%	11%	0%
2mm 以下	2%	12%	0%

いずれの産地のチップも大きさはほぼ一定であり、極端に大きなものや粉末状のものはなかったため、木質バイオマスガス化発電施設に安定して供給できると考えられた。

3－4－3．放射性セシウム測定

放射性セシウムの測定状況を図 65 に、測定結果を表 9 に示す。

表 9. チップ放射線量

	A社のチップ	B社のチップ	C社のチップ
測定 1 回目	10Bq/kg 以下	10Bq/kg 以下	13Bq/kg
測定 2 回目	10Bq/kg 以下	10Bq/kg 以下	10Bq/kg 以下
測定 3 回目	10Bq/kg 以下	10Bq/kg 以下	22Bq/kg
平均値	10Bq/kg 以下	10Bq/kg 以下	17Bq/kg

3 回サンプリングを行い、それぞれ測定を行ったところ、A 社、B 社はいずれも 10Bq/kg 以下であった。C 社のチップは最大で 22Bq/kg で、最少は 10Bq/kg 以下であった。燃料用のチップについて、基準値は存在しないが、調理加熱用の薪の基準が 40Bq/kg 以下であることから、いずれの産地のチップも安全に使うことができると考えられる。参考までに各種の基準値を表 10 に示す。今回の発電には C 社のチップを主に使用した。

これらの試験結果は、今回採取したサンプルのみの試験結果であり、木質バイオマスガス化発電施設を稼働している間は定期的に測定を続ける必要がある。

特に放射性セシウム濃度については産地や原料により変化することが考えられるため、定期的に測定を行い、安全管理に努める必要がある。



図 62. A 社のチップ



図 63. B 社のチップ



図 64. C 社のチップ

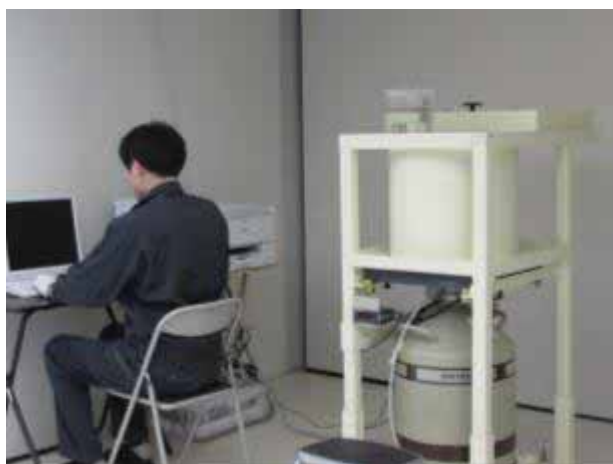


図 65. 放射性セシウムの測定状況

表 10. 各種の放射線の基準値一覧

対象	放射性セシウム濃度
調理用の薪	40Bq/kg
調理加熱用の木炭	280Bq/kg
きのこ原木	50Bq/kg
菌床用培地及び菌床	200Bq/kg
肥料・土壌改良資材・培土	400Bq/kg
上下水処理等副産物 (肥料原料として利用可能)	200Bq/kg

上下水処理等副産物 (再利用可能)	100Bq/kg
一般食品	100Bq/kg

【実施項目 5】 リグノフェノール抽出

【達成目標】

リグニンは細胞壁を構成している多糖類、セルロース、ヘミセルロース等の接着材として機能している。杉の成分組成の例では、リグニン 34%、セルロース 37%、ヘミセルロース 27%、灰分 0.6% で木材が構成され、木質バイオマスは多くのリグニンを含んでいる。バイオマスの有効利用のためリグニンをリグノフェノールとして抽出し、付加価値の高い木質資材を製造する技術が研究されており、(株)藤井基礎設計事務所が平成 21～25 年度に林野庁の委託を受けたリグノフェノール抽出実証プラントの技術を利用し、木質バイオマスガス化発電施設で使用するチップを用いて、木質バイオマスガス化発電以外での高度有効利用を検討する。

1. リグノフェノール接着剤の合成、木材サンプルの作成

チップの一部からリグノフェノール抽出施設にてリグノフェノールを抽出し、リグノフェノールを使った木質資材を合成する。

2. 木質資材の性能試験

JAS（日本農林規格）の造作用単板積層板の接着試験を行い、リグノフェノールから合成した接着剤を用いた木質資材の強度を測定し、性能を評価する。

3. 放射性セシウム測定

抽出したリグノフェノール及び、合成した接着剤を用いた木質資材について放射性セシウム濃度を測定する。測定方法は放射能測定法シリーズ（文部科学省）、および放射能濃度等測定方法 ガイドライン（環境省）に従う。

【達成状況及び課題】

3－5－1. リグノフェノール接着剤の合成、木材サンプルの作成
木材サンプルを合成するための手順として、①木材からリグノフェノールの抽出、②リグノフェノール接着剤の合成、③積層板の作成の順で行った。その結果、170gの木粉からリグノフェノールを30g抽出することができ、リグノフェノール接着剤として110g作成することができた。これを木材に塗布、乾燥、圧着し、積層板を作成した。以下にそれぞれを説明する。

①リグノフェノールの抽出

リグノフェノールの抽出により、170gの木材から30gのリグノフェノールを抽出することができた。

抽出の手順を図66に、抽出の状況を図67～図69に示す。

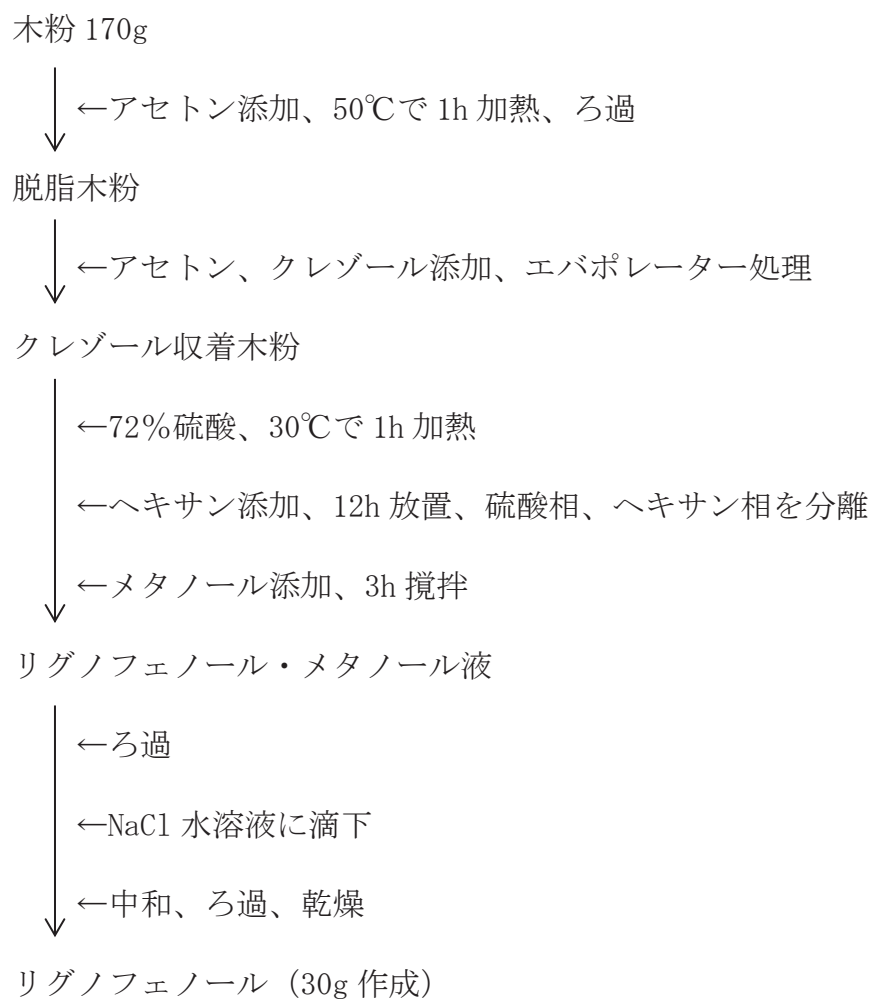


図 66. リグノフェノールの抽出



図 67. リグノフェノール抽出状況（木粉～脱脂木粉）



図 68. リグノフェノール抽出状況（脱脂木粉～NaCl 水溶液に滴下）



図 69. リグノフェノール抽出状況（ろ過、乾燥）

②リグノフェノール接着剤の合成

抽出したリグノフェノールから接着剤を合成し、30g のリグノフェノールから 110g のリグノフェノール接着剤を合成することができた。

合成の手順を図 70 に、合成の状況を図 71 に示す。

リグノフェノール

←メタノール添加

←水酸化ナトリウム添加

←ホルムアルデヒド添加

75℃、2h 加熱

↓ ←p-トルエンスルホン酸添加

リグノフェノール接着剤

図 70. リグノフェノール接着剤の合成



図 71. リグノフェノール接着剤合成の状況

③積層板の作成

合成したリグノフェノール接着剤を木片に塗布、乾燥し、160℃で15分間圧着する。リグノフェノール接着剤は熱硬化樹脂であるため、熱によるメチロール化によって接着剤の機能を持つ。

リグノフェノール接着剤を木材に 300g/m²程度の割合で塗布し、乾燥後、圧着して、試験用のサンプル木片を作成した。作成の状況を図 72、73 に、作成した積層板を図 74、75 に示す。



図 72. 木片への塗布



図 73. 木材の圧着



図 74. 作成した積層板



図 75. 接着面の状況

3－5－2. 木質資材の性能試験

JAS（日本農林規格）の造作用単板積層板の接着試験、および構造用単板積層材の接着試験を実施した。

試験方法は以下の通りである。

【造作用単板積層板の試験方法】

試験片を 70℃の温水中に 2 時間浸漬後、60℃の恒温乾燥機に入れ、乾燥する。

乾燥後、試験片のはく離の長さを測定する。

同一接着層におけるはく離の長さの合計を算出し、評価する。はく離した部分の長さが、それぞれの側面において 3 分の 1 以下であれば、合格と評価する。

【構造用単板積層材試験方法】

試験片を室温の水中に浸漬し、減圧・加圧を繰り返し、70℃の恒温乾燥器で乾燥する。乾燥後、試験片のはく離の長さを測定し、はく離率及びはく離の長さの合計を算出する。同一接着層におけるはく離の長さの合計を算出し、評価する。はく離した部分の長さが、それぞれの側面において 4 分の 1 以下であれば、合格と評価する。

結果を表 11 に示す。いずれの試験でもはく離がなく、合格と評価できた。

この結果から、木質資材は造作用・構造用積層板の基準を両方とも満たしており、リグノフェノールはバイオマス由来の接着剤として有効活用できると判断される。

表 11. 木質資材の性能試験

接着試験の規格	最大はく離長さ	接着層の長さ	はく離率
造作用単板積層板用	0mm	75mm	0%
構造用単板積層材用	0mm	75mm	0%

3－5－3. 放射性セシウム測定

木粉から抽出したリグノフェノールを測定した結果、放射性セシウムは 10Bq/kg 以下であった。合成した木質資材の放射性セシウム濃度についても 10Bq/kg 以下であった。今回使用した木材チップは 13Bq/kg のものを使用したか、抽出したリグノフェノールは 10Bq/kg 以下であった。そのため、リグノフェノールの抽出の課程で放射性セシウムは濃縮しないと判断される。結果を表 12 に示す。

表 12. リグノフェノールの放射性セシウム測定

	リグノフェノール	積層板
放射性セシウム濃度	10Bq/kg 以下	10Bq/kg 以下

3-5-4. まとめ

以上のことから、木材チップからリグノフェノールを抽出し、バイオマス由来の接着剤を合成し、積層板を作ることができた。積層板の試験を行ったところ、はく離がなく、接着剤としての機能を果たしていた。また放射性セシウムも検出されず、木質バイオマスを発電以外の利用方法として有効であると考えられる。

【実施項目 6】 バーク除染

【達成目標】

汚染されたバークについて除染を行う。平成 24 年環境省除染実証試験でバーク洗浄と洗浄排水の処理を行い、バークは 100Bq/kg 以下、洗浄排水は 10Bq/kg 以下に除染することを実証しており、本事業では大規模化を目指す。バークの除

染に使用する熱水は木質バイオマスガス化発電の余熱で加熱し、連続自動的に洗浄を行う。洗浄後のバークの線量の目標値は 100Bq/kg 以下とする。

洗浄で発生した排水は、汚染水処理プラントにて除染剤（ネオナイト CS）を加え、凝集沈殿処理方式により放射性物質を含まない処理水と放射性物質を含む沈殿物に分離する。処理水は再びバーク洗浄に循環利用する。沈殿物は脱水し、遮蔽容器に入れ、仮置き場にて遮蔽保管を行う。

バーク洗浄除染施設は、バーク除染プラントと汚染水処理プラントから成る。汚染が見られるバークはバーク除染プラントにて除染を行い、除染後に放射性セシウム濃度を測定する。洗浄後のバークの基準については、堆肥の原料に用いるバークの基準として「汚泥肥料中に含まれる放射性セシウムの取扱いについて」（農林水産省）より 200Bq/kg 以下を参考にするが、今回の事業ではより安全を考え目標値を 100Bq/kg 以下とする。

バーク除染プラントで発生する洗浄汚染水は、汚染水処理プラントで除染を行い、処理水の放射性セシウム濃度を測定する。飲料水の基準値を参考に処理水の目標値を 10Bq/kg 以下とする。

測定方法は放射能測定法シリーズ（文部科学省）、および放射能濃度等測定方法ガイドライン（環境省）に従う。

【達成状況及び課題】

バークの洗浄方法を検討した結果、連続水流方式が最もよい結果となった。この方式を用いて洗浄を行った結果を表 13 に示す。

洗浄前のバークの放射性セシウム濃度は 684Bq/kg であり、洗浄後のバークの放射性セシウム濃度は 100Bq/kg 以下になった。洗浄で出てきた汚染水は除染剤（ネオナイト CS）を添加、攪拌、分離することで 10Bq/kg 以下の処理水と 1510Bq/kg の沈殿物に分離することができた。処理水はバーク洗浄に再利用した。沈殿物は廃棄物として適正に処理できるよう脱水し密閉して保管した。

表 13. バーク洗浄の結果

	洗浄前のバーク	洗浄後のバーク	処理水	沈殿物
放射性セシウム 濃度	684Bq/kg	81Bq/kg	10Bq/kg 以下	1510Bq/kg

洗浄の詳細については、以下に記載する。

まず、洗浄方法を検討した結果、ドラム型洗浄機を用いた連続洗浄方法、高温温水による連続水流式洗浄方法を試験した。これまで行ってきた洗浄方法は、木材バークを温水に入れ、一定時間攪拌後温水を除去し、新たな温水を入れて洗浄する方法であったが、時間がかかること、大量の温水が必要になることが問題であり、実用化するにはコスト低減と連続処理が必要であったためである。ドラム型洗浄機を用いた連続洗浄方法は、ドラム型洗浄機の中で木材バーク同士をこすり合わせ、汚染を除去する方法である（図 76、77）。少量の水で連続して洗浄することが可能であったが、100Bq/kg 以下にすることはできなかった。これは、バークがドラムの中で絡まり、洗浄の効果が不均一になったためと考えられる。

一方、連続水流式洗浄方法では、木材バークを温水中に浸し、水中で高圧洗浄機から高圧水をあて、汚染を除去する方法である。この方法を用いた結果、100Bq/kg 以下に洗浄することができた。この方法は、バークが水中で分散し、洗浄が均一に行われたため、洗浄の効果が高かったと考えられる。

この連続水流式洗浄方法を用いて、実証試験現場にバーク除染プラントを設置した（図 78）。装置は、長方形の水槽の内部に木材運搬用のコンベア、洗浄用のジェットノズルが装着された構造となっている。木材バークは除染プラントに入ると（図 79）、温水に浸けられ、コンベアで送られながら、左右から高圧水が噴射され洗浄される（図 80）。コンベアの出口で木材バークは脱水され、木材バークと洗浄排水に分離される（図 81）。

洗浄で出た汚染水（図 82）については、除染剤（ネオナイト CS）を添加し、処理が可能かどうか確認を行った。ネオナイト CS を使った汚染水処理プラントはすでに平成 23 年度除染実証試験（内閣府・日本原子力開発機構）、平成 24 年度除染実証試験（環境省）で使用しており、汚染水処理に関して実績がある。汚染水処理プラント（図 83）で、排水 1L にネオナイト CS を 150mg 添加、攪拌し、処理水を採取したところ（図 84）、処理水は 10Bq/kg 以下であることを確認した。



図 76. ドラム型洗浄機の外観



図 77. ドラム型洗浄機の洗浄の状況



図 78. バーク除染プラント（連続水流式）の外観

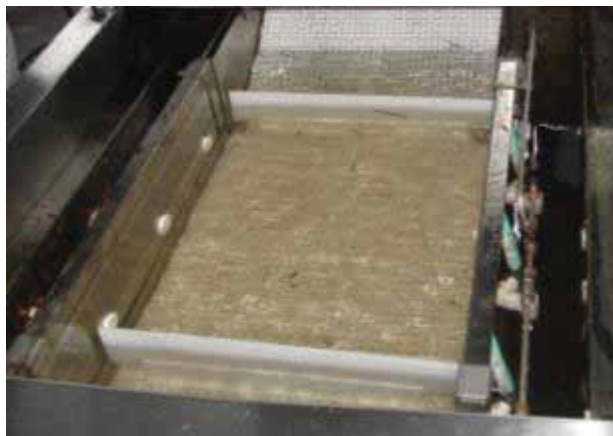


図 79. バーク除染プラントの投入口の様子



図 80. 洗浄の状況



図 81. 洗浄後のバーク



図 82. 洗浄で発生した汚染水



図 83. 汚染水処理プラントの外観



図 84. 処理水の状況

【実施項目 7】 堆肥化

【達成目標】

除染された木材バークは、堆肥施設で堆肥に加工する。

堆肥化には微生物の発酵を促すため切り返しの作業が発生するため、多大な労力が必要となるが、エアコンプレッサーを使用し、堆肥の内部まで均一に空気を送ることで、堆肥の製造を迅速かつ省力化することを目指す。

製造された堆肥は放射線量を測定し、安全性を確認したのち、製品として農家に提供する。

1. 成分分析

製造した堆肥の窒素、リン酸、カリウムの量(%)、炭素窒素比、水分含有量(%)を測定する。それぞれの測定方法は「特殊肥料の品質表示基準」(平成12年農林水産省告示第1163号)の記載に従う。

2. 物質収支等

バークの投入量、製造時間、堆肥の製造量を測定し、物質集塩および堆肥化にかかる時間を確認する。

3. 放射性セシウム測定

堆肥について放射性セシウム濃度を測定する。「肥料・土壌改良資材・培土及び試料の暫定許容値」(農林水産省)に従い、堆肥の基準を400Bq/kg(製品重量)以下とする。堆肥の測定方法は、「肥料中の放射性セシウム測定のための検査計画及び検査方法」(農林水産省)に従う。

【達成状況及び課題】

3－7－1．成分分析、物質収支等

木材バークは飛散・流出防止のため、フレコンパックに入れて堆肥化を行った（図 85）。フレコンパックに木材バークをおよそ 1m³ 入れ、エアー配管のノズルを差し込んだ。エアー配管はエアコンプレッサに接続し、木材バークの内部に空気を常時送った。木材バークの堆肥化は、通常一年から数年かかるといわれており、空気を内部に送ることで通常よりも短期間で堆肥化すると考えられるが、低温時は微生物の働きが弱く、堆肥化に時間を要していると考えられるため、来期まで経過観察を継続する。

まだ堆肥は完成していないため、成分分析、物質収支は堆肥が完成してから行う。

3－7－2．放射性セシウム測定

堆肥は未完成であるが、放射性セシウムを測定したところ、150Bq/kg であった（表 14）。

原料の木材バークは洗浄により 100Bq/kg 以下になっていたが、堆肥化の工程でバークが減少し、放射性セシウム濃度が上がったと考えられる。堆肥の基準の 400Bq/kg 以下であったので、基準を満たしているが、今後堆肥が完成した際にも測定を行い、安全性を確認する。

表 14. 堆肥の放射性セシウム測定結果

	洗浄後のバーク	堆肥	堆肥の基準値
放射性セシウム濃度	81Bq/kg	150Bq/kg	400Bq/kg



図 85. バークの堆肥化の状況

4. H26年度事業計画

4-1. 実証目標を達成するための今後の実証計画について

平成25年度では、木質バイオマスガス化発電施設の建設・稼働、いわき市・郡山周辺・南相馬市の林業者との連携、伐採地の空間線量の把握、木材自動測定機の確認・稼働、木材バーク洗浄方法の設定、バーク洗浄プラント・汚染水処理プラントの設置・稼働、発電燃料用のチップの分析、リグノフェノールの抽出・木材サンプルの作成、バークの堆肥化を行ってきた。

これらは実施済みであるが、いずれも少ないデータしかなく、実用化に当たっては長期にわたるデータが必要である。特に、本事業では放射性物質が関与しているため、放射線測定といった環境影響を考慮しなければならず、発電の本格稼働までには十分に時間をかけなければならない。また、発電施設では大量の木材チップを安定的に投入し、安定してガス化発電を行えるかどうかを実証試験の中心となるため、発電施設の長期連続稼働が重要となる。また、堆肥化については、バークの堆肥化には長期の時間が必要となるため、継続して試験を続けなければならない。

以上から、平成26年度の事業計画を次のとおりとした。

①木質バイオマスガス化発電関連

平成 25 年度では、発電施設の設計、建設、運転を行い、木質バイオマスから燃料ガスを取り出し、ガスエンジンから発電ができることを確かめた。長期期間の連続運転を行うことは、木材チップの安定供給体制の構築、CO₂削減量の算出など、実証試験の中心となることなので、必須となる。また、放射性セシウムは木炭から検出され、排ガスや木酢液等からは検出されず、放射性セシウムが環境中に飛散することはなかった。しかし、発電量を増やし長期連続稼働を行った際の影響については未知であるため、放射性セシウムの測定を繰り返し行い、より安全性を確かめる必要がある。

そこで平成 26 年度は、発電施設の連続運転を行い、排ガスの放射性セシウム量の長期にわたる測定、発電量の確認、バイオマス供給体制の構築、CO₂削減量およびエネルギー売上量の算出を行う。特に重要になるのが、木材チップや発電施設から発生する木炭等の放射性セシウム濃度であり、木材チップの放射性セシウムが発電でどのように移行するのかをより明確にする。

②木材伐採・運搬、チップ加工関連

平成 25 年度では、いわき市、郡山市周辺区域、南相馬市から林業者の協力を得て、伐採現場の空間線量を把握した。その結果、空間線量は各地で差があったものの、バークを除去したチップの放射線量は非常に低いレベルであった。しかし、これは一部のデータでしかなく、チップの安全性を確認するには、長期にわたって多くのサンプルを測定しなければならない。よって、平成 26 年度は

数多くの木材チップの放射線量を測定し、産地ごとの木材チップの安全性を確かめる。それにより、供給可能な木質バイオマス量を把握し、安定した木質バイオマス供給体制の整備を整えることが可能となる。

③木材の選別関連

平成 25 年度では、木材の表面汚染密度の自動測定機の精度（機器効率、検出限界）の確認をまず行った。次に、この測定機で実際に汚染木材を測定し、汚染箇所をマーキングするなど、仕様通りに運転することを確認した。来年度以降は、木材集積箇所が集まる大量の木材を長期間安定して測定し続けることを実証の中心とし、木材の太さ、ゆがみ、節の有無によって、安定して連続運転が可能かどうかを確認する。また、一本あたりの測定に必要な時間を短縮するため、必要に応じ測定機の改良を行う。

また、今後の課題として、木材の安全管理体制の充実が重要である。放射線量の測定については、その結果が信頼される社会的仕組みづくりも平行して進める必要がある。検査済みであることを証する仕組みづくりや、検査を実施する体制についての社会的アピールなどが必要であるが、本測定機を用いて木材を一本ずつ調べるには、非常に時間とコストがかかるため、木材を山から運搬する際に、大まかに判別する仕組みの導入を検討する。

そこで、平成 26 年度は、木材を積載したトラックから放射線量を測定する機器を導入し、自動測定機と組み合わせることを検討する。イメージ図を図 86 に示す。これにより、伐採地からの運搬時に放射線量の高い木材を判別することが

でき、放射線量の高い木材が伐採地から移動せず、汚染の飛散を防ぐことができる。安全性が確認できたトラックの木材が加工場等へ運搬され、そこで自動測定機により、木材を一本ずつ測定する。このシステムによって、木材のトレーサビリティが確立され、汚染された木材が市場に流通することを防ぎ、福島県の木質バイオマスを安全に利用することが可能となる。

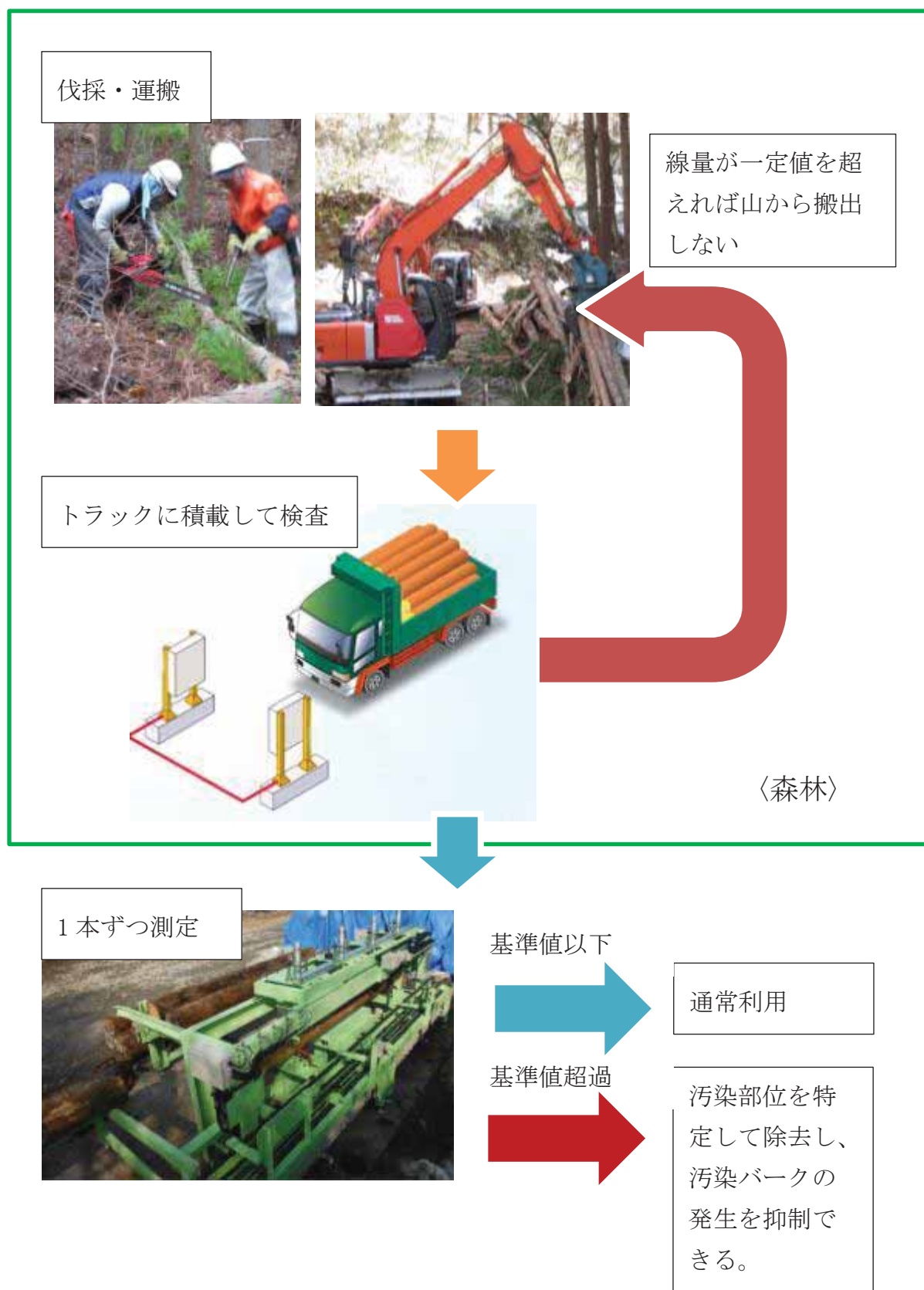


図 86. 木材の安全管理体制について

④リグノフェノール抽出関連

平成 25 年度では、木材粉末からリグノフェノールを抽出し、バイオマス由来の接着剤を合成した。次に、接着剤を使って積層板を作成し、性能の確認を行った。原料に用いた木材チップは、放射性セシウム濃度が 10Bq/kg 以下であり、抽出したリグノフェノールの放射性セシウム濃度も 10Bq/kg 以下であった。平成 26 年度ではセシウム濃度の高い木材チップからリグノフェノールを抽出し、放射性物質の移行を調べる。また、リグノフェノール接着剤から木片のサンプルを作成したのみであるため、既存製品と比較も行う。これにより、木質バイオマスの有効利用をさらにすすめることができる。

⑤バーク洗浄関連

平成 25 年度では、バークの有効な洗浄方法を確立し、洗浄プラント・汚染水処理プラントを稼働させた。それにより、木材バークを 100Bq/kg 以下、処理水を 10Bq/kg 以下にすることができた。しかし実務レベルで運転を想定すると、より短期間で大量のバークを少ない水の量で洗浄することが求められるため、平成 26 年度では、連続処理における洗浄の安定性の把握、洗浄時間・バーク投入量・洗浄水の量および水温・コンベアの移動速度など洗浄条件の最適化を行う。

⑥堆肥化関連

平成 25 年度では、木材バークに空気を供給し、堆肥化を行っているが、堆肥化に長期の時間がかかるため、平成 26 年度に引き継ぐこととなる。発酵が始まる

と木材バークが 70℃程度に発熱し、完全に堆肥になると温度が下がる。この反応は微生物が行うため、外気温の影響を受ける。試験を行った期間が短いこと、秋～冬の間であり外気温が低いことのため、継続して堆肥化を行っている。平成 26 年度では、引き続き堆肥化を行い、完成した堆肥の成分分析、物質収支、放射性セシウム濃度の測定を行う。

4－2．3カ年のスケジュール

3カ年のスケジュールを表15に示す。

表 15. 3カ年の実証事業スケジュール

事業内容	H25 年度	H26 年度	H27 年度
①木材伐採・運搬、チップ加工 関連	9 月 ←→	7 月 ←→	
②木材の選別関連	9 月 ←→	7 月 ←→	
③木質バイオマスガス化発電関 連	12 月 ←→	7 月 ←→	
④リグノフェノール抽出関連	9 月 ←→	7 月 ←→	
⑤バーク洗浄関連	9 月 ←→	7 月 ←→	
⑥堆肥化関連	9 月 ←→	7 月 ←→	
⑦データ整理・報告書作成	8 月 ←→	3 月 ←→	
⑧木質バイオマスガス化発電所 の建設に向けた検討		8 月 ←→	3 月 ←→
⑨木質バイオマスガス化発電シ ステム構築に関するデータ整 理・報告書作成		8 月 ←→	3 月 ←→

5. 補足資料

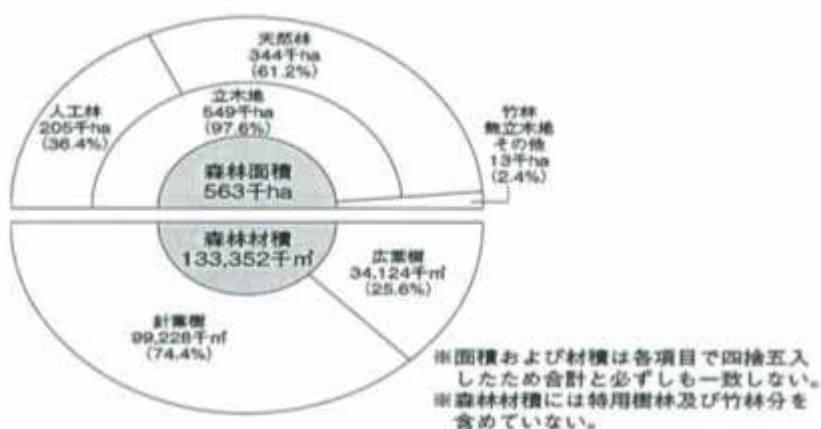
5－1. バイオマスエネルギーを利用した CO₂ 削減効果

5－1－1. 福島の木材材積の現状

当実証事業では間伐材を利用するので、福島の森林の現状分析から始め、間伐の可能なエリアについての説明とその状態についてまとめる。

現在、福島県は森林面積を 970 千 ha 持ち合わせており、全国的に見ても第四位にあたり、関東地域と比較するとその面積は最も広い。民有林は 563 千 ha、国有林は 410 千 ha という割合である。また、人工林面積は 341 千 ha、天然林面積は 578 千 ha となっている。木質バイオマスとして利用できる部分の体積を示す森林材積は 133,352 千 m³ で全国でも上位の材積が潜在している。今回のバイオマス発電に際し原料となるスギ・ヒノキの人工林は 22% を占めており、計 45,100ha の面積となっている。（補足資料図 1、表 1）

民有林の林種別森林面積及び森林蓄積



補足資料 図 1

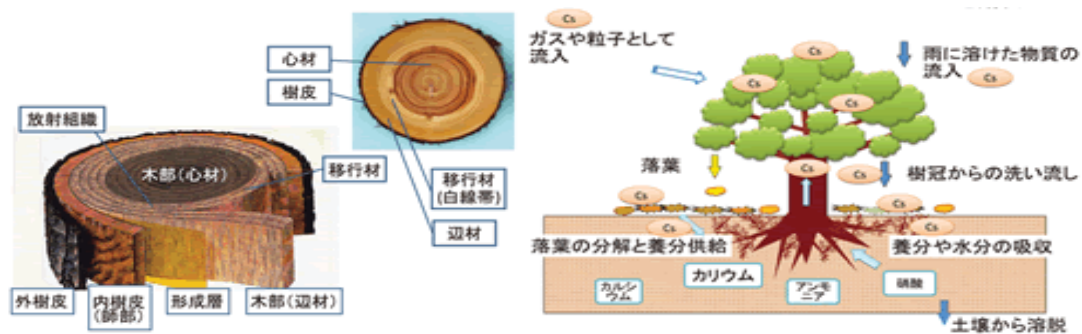
福島県 HP より

補足資料 表 1

都道府県別スギ・ヒノキ人工林面積				(単位:ha)
都道府県	森林面積	スギ人工林 面積	ヒノキ人工林 面積	スギ・ヒノキの 占める割合(%)
福島	975,456	184,304	26,505	22
山形	668,593	159,976	94	24
茨城	187,508	62,052	31,639	50
栃木	350,114	78,781	53,632	38
群馬	424,171	78,894	23,746	24
埼玉	121,261	36,277	19,105	46
千葉	159,465	47,396	8,846	35
東京	79,382	22,490	9,123	40
神奈川	94,915	19,154	14,631	36

福島県 HP より

これだけの資源がありながら、震災以来、福島県は居住地区からの除染を優先的に進めているのが現状で有効に活用しきれていない。福島県除染推進事業部からの報告書によると森林部の除染作業は今後 30 年を目途に進めるという計画書を発表している。汚染物質セシウム 137 の半減期が 30 年であることを考えると、長期間除染されないまま放置される森林では、雨水等により汚染物質が溶け出し、それを樹木が根元から吸収することで内部の汚染が進み、木材は利用できなくなる可能性が高い。(補足資料図 2)



「放射性セシウムによる森林や木材への影響について」より

補足資料 図 2

そのため、できるだけ早くこれらの地域の材積を利用することが震災後の大きな課題となっている。また、福島県では震災以前から間伐による森林の活性化には取り組んでいたものの、間伐により伐採された木材の利用方法が明確ではなかったため、未利用材として山間部に放置されているものが多く、年間で 2000 万 m³もの放置未利用材が増加(福島県 HP)している。

5－1－2．間伐・間伐材利用による CO₂削減効果の試算

福島県では、震災以前より間伐を行った際に発生する木材の運搬にかかるコストや間伐作業に携わる人材の確保という問題点が浮き彫りになっていた。震災後は上述の通り、除染作業が完了していない森林部がほとんどであるという現状の中で、間伐作業が滞っているのは議論の余地がない。重ねて、放射能汚染の可能性のある木材は県外に搬出することができず、この悪い現状を加速させていた。

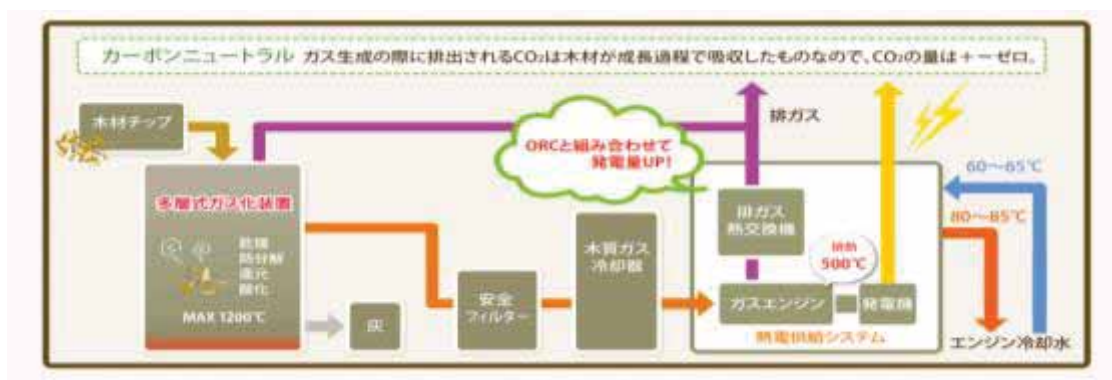
当事業での間伐材の積極的に利用は、これらの問題点の解決策となり得る。福島県にプラントを設置し地産地消型の事業を展開することで、相乗効果を上げることができる予想する。以下に間伐材利用によるメリットを挙げる。

① バイオマス発電プラントでの CO₂ 削減

バイオマスガス化発電は発電効率が高く、小規模プラントでも 30%以上を確保できることが実証されており、国内メーカーのシステムでも、発電効率 30%を達成しているものがある。当事業では国内メーカーと共同開発を行い、下図 3 のシステムを導入している。発電効率の求め方は以下の式で行った。

$$\text{発電効率 (\%)} = \frac{\text{発電出力 (kWh)} \times 3.6 \text{ (MJ/kWh)}}{\text{バイオマス投入量 (kg/h)} \times \text{バイオマス発熱量 (MJ/kg)}}$$

ここで、施設の最大発電量 200kWh、バイオマス投入量 400kg/h（乾物量）以下、バイオマス発熱量 6MJ/kg（低位）を代入すると、発電効率は 30%以上となる。



補足資料 図 3

CO₂ の削減量においては、本実証事業では年間最大 550 t という試算である。これは、一見高い数値には見えないが、プラントの規模を拡大すれば CO₂ 削減量は

相乗的に増加する。例えば、以下の表 2 のような山形県にある「やまがたグリーンパワー発電所」の CO₂削減量は、当事業と比べると施設への投資は約 5 倍で、CO₂削減量は 9200t となっている。

補足資料 表 2

発電種類	発電所名	発電量kW	総売電量(kW)	CO2削減量(t)
木質バイオマスガス	やまがたグリーンパワー	2000	1500万	9200t

資源エネルギー庁 HP

一方、直接燃焼式のバイオマス発電は、発電効率を高く保つには規模が必要で、一例としては市原グリーン電力が挙げられる。市原グリーン電力の概要は、初期投資初期投資は 300 億、発電効率は 36%を確保している。CO₂削減量については、年間使用材積は 295,200 トン、年間 CO₂削減量は 35 万トンとなっている。市原グリーンパワーの発電効率は例外で、福島での事業化を考える際は、中規模程度の発電施設での発電効率は平均 10～15%となっている現状も考慮に入れる必要がある。

②間伐による付近一帯での CO₂吸収量の増大

間伐により実施地付近の CO₂の吸収量は一般に増大する。もちろん、「何年生の木であるか」、「整備面積」「地形」などの条件によりその量は変動する。それらを考慮に入れた計算式と、群馬県と福島県での間伐前後の CO₂吸収量の差のデータを以下に示す。なお、群馬県、福島県でも以下の計算式を利用している。

間伐による CO₂見込吸収量＝

整備面積 (ha) × 1 年間の幹の成長量 × 容積密度 × 炭素含有量 × 二酸化炭素係数

この計算式は、間伐による CO₂ の削減を促進させるため、県ごとに年生によって樹種によって特定の値を定めており、その数値を用いて試算するものとなっている。福島県では、現在そのような固定値は定められていない。以下に示したものは、群馬県で上記の式を用いて計算された CO₂ 吸収量のデータと、福島県で間伐前後の CO₂ 吸収量を測定した結果である。(補足資料図 4)



35 年生のスギ林 1ha を間伐した後、
1年間の CO₂ 吸収の増加量 11.7t
に対しての認定証。
上記の間伐による CO₂ 見込吸収量の式を利用し算出

補足資料 図 4

福島県喜多方市の実証データ：

同県喜多方市森林整備加速化プロジェクトにて、62ha のスギ林の間伐を行い、
1 年後付近一帯の CO₂ 吸収量を測定したところ 360 (ton-CO₂) 増加となった。

(実測値)

よって、

$$360(\text{t}) \div 62(\text{ha}) \div 1(\text{year}) = 5.81(\text{ton-CO}_2/\text{ha} \cdot \text{year}) \text{ より}$$

1ヘクタール間伐した森林が1年間に吸収するCO₂増加量は5.81 tと算出できる。

環境省「温室ガス排出削減・吸収量認定証」より引用

この喜多方市の実証データをベースとして福島県全体の削減量を推定する。

この推定をもとに、(1)の福島県の人工林面積(45,100ha)を全て間伐した際のCO₂吸収増加量は、

$$5.81(\text{t/ha}) \times 45,100(\text{ha}) = 262,031(\text{t}) \quad \text{と試算可能である。}$$

③間伐材運搬時に発生するCO₂の削減

地産地消型のバイオマス発電によるメリットの1つに、木材を運搬する距離が短くなる点が挙げられる。仮に福島産の材木を首都圏へ運搬する場合、首都圏に位置する都市型大規模バイオマス発電施設（市原グリーンパワーや川崎バイオマス発電所等）と比べ、材積運搬時に発生するCO₂の排出量を比較する。

【条件】

- ・間伐地点Aを会津若松市と仮定
- ・Aから当実証事業プラントまでの距離は50km圏内
- ・Aから川崎までの距離は330km程度
- ・当実証事業の使用木材量は880t/年

→ 運搬距離280kmの差で実証プラントの消費材積量に合わせ計算

条件を踏まえて CO₂ 排出量差は

距離÷燃費×二酸化炭素係数×台数 から

$$=280 \text{ (km)} \div 3.5 \text{ (平均)} \times 0.65 \times 2 \text{ (台/日)}$$

$$=1274 \text{ (kg/日)} = \mathbf{458.64 \text{ (t/年)}}$$

という計算になり、年間で約 460 t の CO₂ 削減効果が見込める。

④放置間伐材の利用（提案）

福島では、震災前から間伐に対して積極的に取り組んでいたが、間伐材は利用価値が見出されていなかったもので、山間部に放置されているものが多量に残っている。また、現在も除染とともに間伐が徐々に進んでおり、放置間伐材は今後も増加することが考えられる。こちらの間伐材の利用も視野に入れることで、森林活性化という面で大幅に貢献することができる。また、大規模施設を導入する場合、間伐材の供給が追い付かない可能性もあり、そのような場合は放置間伐材の利用価値が出てくると考えられる。しかし、課題としては、内部からの汚染の進行度の測定が必要になる点で、今後精密な測定を行う必要があるのと同時に、今後も放射性物質にさらされることになるので、年数が経った場合の汚染度についての推測も必要となる。

以上のように、間伐を行うことにより CO₂ の吸収量を長期的に安定させるだけでなく、短期的に見ても CO₂ 吸収量の増加を見込むことができる。バイオマスエネルギーの地産地消→間伐材の活用→間伐作業による効果 といった好循環を生み出すことに繋がる。また、滞っている間伐作業を進めることで、木材を継続

的に供給することが可能で、長期的に安定した森林による CO₂ 吸収量を確保することも出来る。

5－2．バイオマス発電の採算

バイオマスガス化発電の採算性の例として、バイオマスガス化発電(ネオナイト)の規模の拡大後を想定したデータ(やまがたグリーンパワー)を記載する。材料費は含水率によって変動するが、以下の数値は含水率 15%のものを購入した場合の値としている

ネオナイトバイオマスガス化発電

【規模】

初期投資	3.4 億円
売電量（電気出力）	125kW
運転時間	22 時間（年間 8000 時間）
燃料使用量	3.6t
年間 CO ₂ 削減量	550t

(参考) やまがたグリーンパワー（発電効率 36%）

【規模】

初期投資	15 億円
売電量（電気出力）	2000kW
運転時間	22 時間
燃料使用量	21600t



【事業採算性】

年間総売電量	1,500万kW
年間売上	4.8億円
年間材料費	1.8億円
年間CO ₂ 削減量	9200 t
初期投資回収年	7 年程度

バイオマスガス化発電は、小型プラントでも発電効率 25～35%を実現できる。CO₂削減量は上記の規模で 550 t と、CO₂削減の上でも効果的である。直接燃焼式のバイオマス発電と比べると、必要な木材の量が圧倒的に少ないため、安定的な木材供給が可能となる。そのため、ランニングコストも低く運営することができる。また、設備次第では木質チップ以外のものを燃料として用いることもできる点もメリットとして挙げられ、規模を拡大する場合は発電時に放出される熱の再利用も視野に入れたプラントを設計出来れば、さらなる CO₂削減効果に期待できる。

課題としては、実績が少なく技術的にも安定していない点があり、修理による稼働停止や整備などにより運転できない時間が発生する可能性も考えられる点である。当実証事業により技術的に問題無いことを確認出来る。

5－3．まとめ

本事業による CO₂削減効果は、大きく分けて 3 通りあることが分かる。1 つ目は、プラント運営において、木質チップを使用することで CO₂排出量を削減できる点。実証プラントでは 550t の削減効果が見込める試算になっている。2 つ目は、間

伐による森林の CO₂ 吸収量の増大である。間伐による吸収量の変化はまだ未確定な部分もあるが、上述した通り、5.81(t/ha)と試算でき、人工林の間伐による吸収増加量は26万tと試算できる。3つ目は、運搬時に発生するCO₂の削減で、首都圏でのバイオマス発電事業と比べ運搬距離が短くなるので、一日に約1.3t、年間で約460tのCO₂が削減できると試算できた。

採算性という点から考えると、直接燃焼によるバイオマス発電は、技術的に安定しているが、発電効率を高いものにするにはある程度の規模を必要とすることから、初期費用が高く、またランニングコスト(主に材料費)も巨額となるため、木材の価格変動等の経済的なリスクがかなり高いと言える。また、使用材積量も圧倒的に多いので、除染後の木材チップを利用する事業では、チップ製造の段階での課題を解決する必要がある。

一方、バイオマスガス化発電は、小規模プラントでも高い発電効率を実現できることから、大型化にこだわる必要がなく、初期費用とランニングコストが低く抑えられる。使用材積量も直接燃焼方式より少量で済む上、設備次第では原材料を木質以外のものに換えることができる。また、発電時に熱エネルギーが多量に発生するため、こちらの効率的な使用を考慮に入れた施設を設計出来れば、更にCO₂削減効果も生まれる。課題点としては、バイオマスガス化発電は実績が少なく技術的に安定しておらず、修理による稼働停止や発電効率の悪化などの可能性がある点である。しかし、今回の実証事業でそのような技術的な問題が無い事が実証されると考える。

以上より、福島放射能汚染間伐材を利用する発電としては、規模と採算性の2つの観点からバイオマスガス化発電が適正であると考えられる。