

平成26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26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)

事業実施報告書

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
1-4. 福島環境再生産業創出協議会について	9
2. 事業の概要	10
A. 木質バイオマスガス化熱電併給	11
B. 木材伐採・運搬、チップ加工関連	11
C. 木材の選別	12
D. リグノフェノール抽出	12
E. バーク除染	13
F. 堆肥化	13
3. 実証事業結果	15
【実施項目1】木質バイオマスガス化熱電併給関連	15
【実証施設の概要】	15
【達成目標】	24
【達成状況及び課題】	24
【実施項目2】木材伐採・運搬、チップ加工関連	37
【達成目標】	37
【達成状況及び課題】	37
【実施項目3】木材の選別関連	42
【達成目標】	42
【達成状況及び課題】	42
【実施項目4】リグノフェノール抽出	53

【実証施設の概要】	53
【達成目標】	55
【達成状況及び課題】	56
【実施項目 5】 バーク洗浄関連	59
【実証施設の概要】	59
【達成目標】	62
【達成状況及び課題】	63
【実施項目 6】 堆肥化関連	65
【実証施設の概要】	65
【達成目標】	66
【達成状況及び課題】	66
4. 平成 27 年度事業計画	68
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	68
4-2. 3 カ年のスケジュール	69
5. 補足資料	70
5-1. バイオマスエネルギーを利用した CO ₂ 削減効果	70
5-1-1. 福島の木材材積の現状	70
5-1-2. 間伐・間伐材利用による CO ₂ 削減効果の試算	72
5-2. バイオマス発電の採算	78
5-3. まとめ	79

図表目次

図 1. 実証試験概要図	10
図 2. 木質バイオマスガス化発電施設	16
図 3. 木質バイオマスガス化発電施設のフロー図	17
図 4. バイオマスガス化発電施設の配置図	18
図 5. 木質バイオマスガス化発電施設の外観	19
図 6. 木材チップの投入	19
図 7. 乾燥ホッパー	19
図 8. 乾燥機排出コンベア	20
図 9. 原料ホッパー、供給コンベア	20
図 10. ガス化炉	20

図 11. 炭化物排出コンベア	21
図 12. スクラバー、プレコレクター、オイルコレクター	21
図 13. 酢液タンク・オイルタンク	21
図 14. 炭フィルター	22
図 15. ガスエンジン	22
図 16. 負荷電源盤・貯湯槽	22
図 17. フレアスタック	23
図 18. ゲルマニウム半導体検出器	23
図 19. ガスエンジン	27
図 20. ガスタンク	28
図 21. 熱交換器	28
図 22. 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）	31
図 23. 排ガス採取状況	32
図 24. 木炭	33
図 25. 木酢液、バイオオイルの貯蔵タンク	33
図 26. 木酢液	33
図 27. バイオオイル	34
図 28. 実証試験現場内の空間線量の測定箇所	39
図 29. 実証試験現場周辺の空間線量の測定箇所	40
図 30. 空間線量の測定状況	41
図 31. 汚染木材の管理方法	43
図 32. ゲート型測定機外観	44
図 33. ゲート型測定機検出部	44
図 34. 木材表面自動測定機の改造状況	49
図 35. 改造後の木材表面自動測定機	49
図 36. 改造箇所（バランスシリンダー取付）	50
図 37. 改造箇所（搬出方法の変更、コンベア速度変更）	51
図 38. 改造前の木材表面自動測定機	52
図 39. リグノフェノール抽出器具	54
図 40. リグノフェノール抽出状況（ろ過、乾燥）	54
図 41. 作成した積層板	55
図 42. リグノフェノール抽出工程	56
図 43. バーク洗浄機	60

図 44. バーク除染プラントの投入口の様子	60
図 45. 洗浄の状況	61
図 46. 洗浄後のバーク	61
図 47. 洗浄で発生した汚染水	61
図 48. 汚染水処理プラント	62
図 49. 処理水の状況	62
図 50. 堆肥化施設	65
図 51. エアコンプレッサー	65
図 52. バークの堆肥化の状況	66
表 1. 月ごとの稼働回数	24
表 2. 目標値との比較	25
表 3. 見つかった課題と対策	26
表 4. タール除去率	27
表 5. 放射性セシウム測定結果	30
表 6. 年間最大発電量から算出した CO ₂ 削減量	35
表 7. 木材チップの放射線量	37
表 8. 空間線量の測定結果	41
表 9. ゲート型測定機の仕様	44
表 10. 精度の確認	46
表 11. リグノフェノール抽出時の放射性物質の移行	57
表 12. 洗浄における水温の影響	63
表 13. 洗浄における投入量の影響	63
表 14. 洗浄における洗浄回数の影響	64
表 15. 堆肥の分析	67
表 16. 3 カ年の実証事業スケジュール	69

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、木質バイオマスが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壌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段階的に利用（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考えられる。そのためには、放射性物質を除去し、安全な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て行うことが、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。

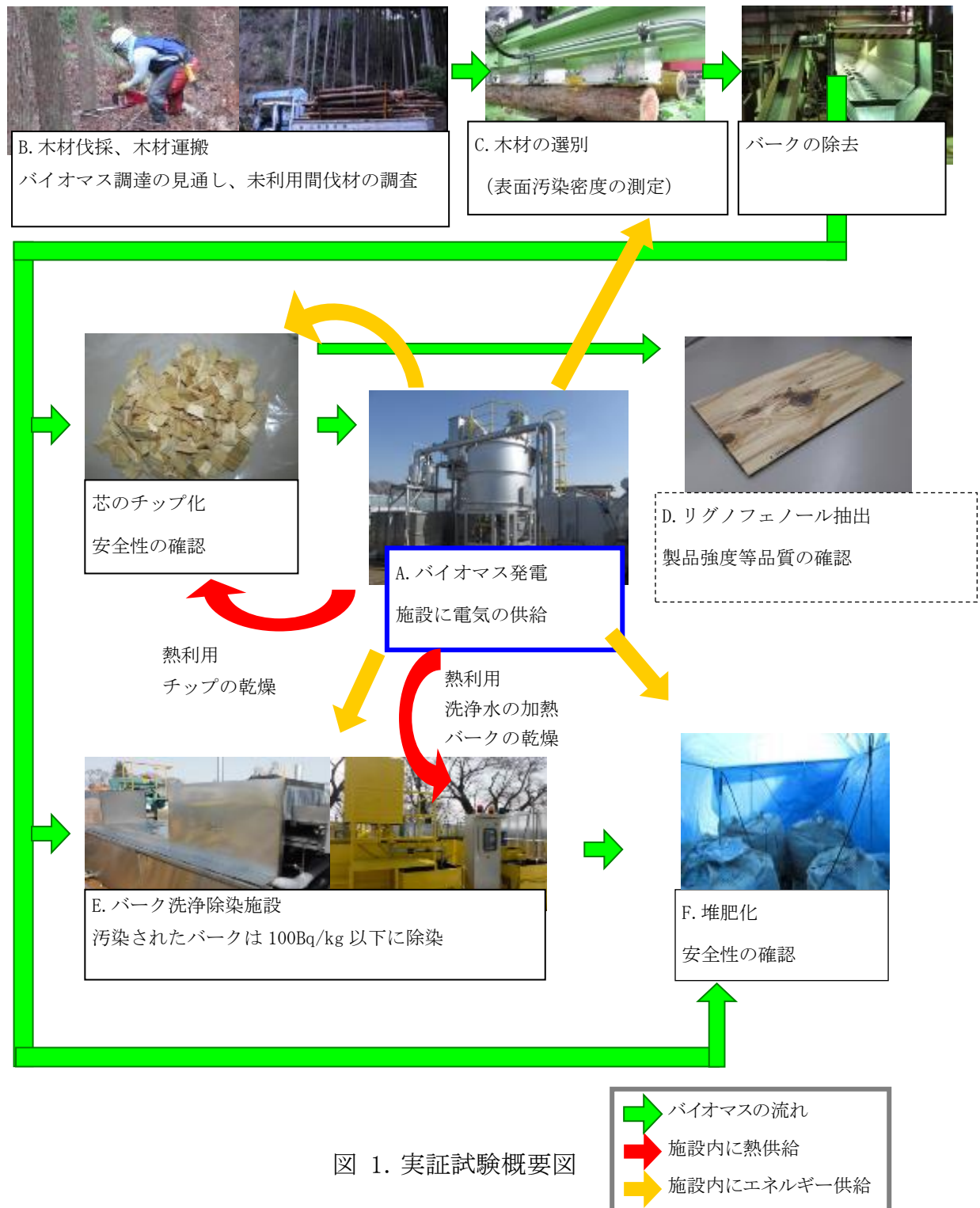
1－4. 福島環境再生産業創出協議会について

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、福島の地域産業の復興・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。

2. 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。



A. 木質バイオマスガス化熱電併給

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。

実証事業で目指す木質バイオマスガス化熱電併給は、バイオマスを地域で分散し利用することであるため、小規模で高効率の発電を想定した。バイオマスの発電では一般にボイラー発電のエネルギー効率が 15%、ガス化発電は 35～40%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。

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。

平成 26 年度は、発電量を増やし連続運転を目指した。また、木材チップや発電施設から発生する木炭や排ガス等の放射性セシウム濃度を測定し、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した。

B. 木材伐採・運搬、チップ加工関連

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。

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、バークを除いたチップの放射線量は非常に低いレベルであった。

平成 26 年度は数多くの木材チップの放射線量を測定し、木材チップの安全性を確かめた。

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。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。

平成 26 年度は、木材の流通の過程で、基準を超える放射性物質を含む木材が市場に流通しないような仕組みを検討した。

D. リグノフェノール抽出

バイオマスの有効利用のため、木材からリグノフェノールを抽出する。抽出したリグノフェノールは接着剤などバイオマス由来の有用材料となる。

平成 25 年度では、木材粉末からリグノフェノールを抽出・接着剤を合成し、木材の合板、集積板を作成するとともに、強度など有用性を確認した。

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た。

E. 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。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。除染剤（ネオナイト CS）が添加され、攪拌、沈殿、分離によって、処理水と凝集フロックに分離される。処理水は放射線量を確認したのち、循環利用される。

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。

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・水温など洗浄条件の最適化を行った。

F. 堆肥化

洗浄によって除染された木材バークは、堆肥施設で堆肥に加工する。飛散防止のため木材バークをフレコンパックに入れ、フレコンパックに差し込まれたパイプから圧縮空気を送り、堆肥化を促進する。

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 年度に引き継いだ。平成 26 年度は堆肥の成分分析、物質収支、放射性セシウム濃度の測定を行った。

3. 実証事業結果

【実施項目1】木質バイオマスガス化熱電併給関連

【実証施設の概要】

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。

木質バイオマスガス化発電施設の概要、設備、同施設に併設したゲルマニウム半導体検出器を図2～18に示す。まず木材チップを乾燥ホッパーに投入する（図6）。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7）、乾燥機排出コンベアを通り原料ホッパーに移される（図8）。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9）。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10）。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11）。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12）。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13）。このとき、発生するタールがガスエンジンに付着し、発電の効率を悪くすることが分かったため、平成26年度ではスクラバーを増設している。また、燃焼ガス中の水分を低下させるため熱交換器も増設している。燃焼ガスは炭フィルターで清浄化され（図14）、ガスエンジンで発電に使用される（図15）。発電量は負荷電源盤・貯

湯槽で測定される（図 16）。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 17）。



図 2. 木質バイオマスガス化発電施設

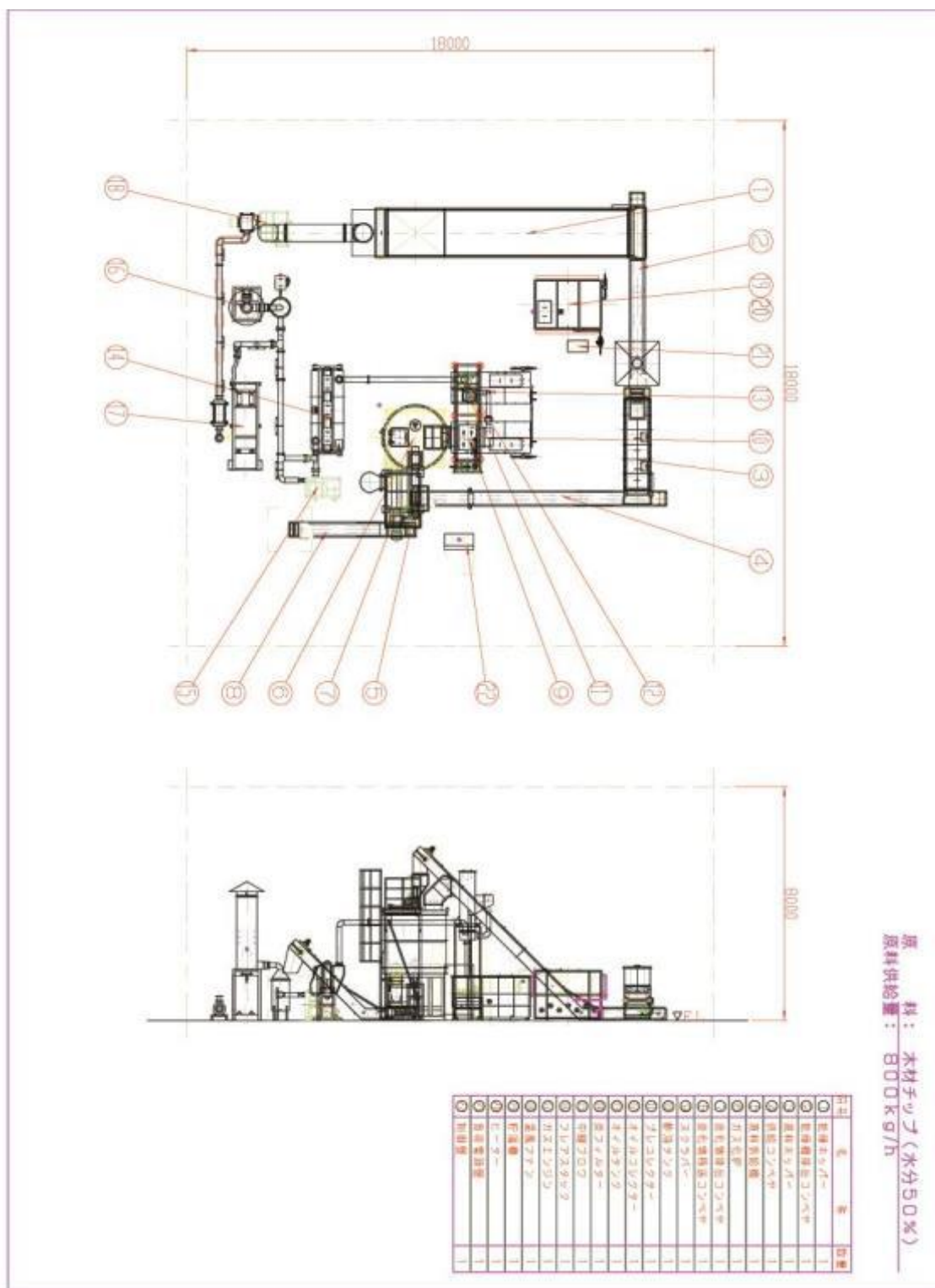


図 4. バイオマスガス化発電施設の配置図



図 5. 木質バイオマスガス化発電施設の外観



図 6. 木材チップの投入



図 7. 乾燥ホッパー



図 8. 乾燥機排出コンベア



図 9. 原料ホッパー、供給コンベア



図 10. ガス化炉



図 11. 炭化物排出コンベア



図 12. スクラバー、プレコレクター、オイルコレクター



図 13. 酢液タンク・オイルタンク



図 14. 炭フィルター



図 15. ガスエンジン



図 16. 負荷電源盤・貯湯槽



図 17. フレアスタック



図 18. ゲルマニウム半導体検出器

【達成目標】

平成 25 年度実証試験では、ガス化発電施設の設置、試運転を行い、チップのガス化、発電を確認した。平成 26 年度実証試験では、稼働を安定させながら発電量を上げ、連続運転を行った。また、木材チップや施設から発生する木炭、排ガスの放射性セシウム濃度を測定し、木材チップの放射性セシウムが稼働でどのように移行するのかをより明確にした。

【達成状況及び課題】

昨年度は最大で 80kW まで発電を行ったが、施設の安全を確認しながら稼働を行うために、15kW で連続運転しながら徐々に発電量を増やしていった。今年度は、さまざまな課題の発見と対策を行うことで、発電量を 15kW から 80kW まで増やし、長時間にわたって安定して稼働を行うことができた。さらに、現在 100kW で試験を行っており、100～144kW で安定して運転することを目標としている。発電施設は今年度の 9 月まで実証現場に設置して試験を行い、現在は工場内に移設し、改造・稼働・メンテナンスを行っている。

1. 稼働時間・回数

一日の作業時間（8 時から 17 時まで）の間に立ち上げ、稼働・発電、立ち下げを行った。このため、稼働時間は最大で 6 時間とした。4 月から 9 月までの稼働回数を下表に示す。稼働を行っていない間は改造、メンテナンス等を行った。月ごとの稼働回数を表 1 に示す。

表 1. 月ごとの稼働回数

月	稼働回数（回）
4 月	8

5 月	18
6 月	12
7 月	15
8 月	17
9 月	14
合計	84

2. 目標値及び昨年度の結果との比較

発電出力は目標値の 144kW に対し、昨年度は最大で 80kW まで上がったのを確認した。しかし、燃焼ガス中のタールがガスエンジンに付着するなど状況を確認しながら徐々に発電量を増やす必要があったため、15kW で稼働しながら調整を行っていた。今年度はその課題と対応を行い、80kW で安定しながら稼働することができた。去年との比較を表 2 に示す。

見つかった課題と対応については表 3 に示し、詳細な説明は次の項目に記載する。

表 2. 目標値との比較

項目	目標値	平成 25 年度の結果	平成 26 年度の結果
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	80kW 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
最大連続稼働時間		試運転として 2 時間程度で設定を変えながら運転	作業時間いっぱいまで稼働（6 時間）
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）	505kg／時間（含水率 57%） （80kW 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）	含水率 57%（発電施設内で 17%に乾燥）

設置スペース	18m×18m	仕様通り	仕様通り（設置スペース内に設備の追加あり（スクラバー、ガスタンク等）
定格電圧	200V／110V （周波数 50Hz）	仕様通り	仕様通り
相数、接続	3相4線式、 Y接続	仕様通り	仕様通り
始動方法	電気始動	仕様通り	仕様通り
冷却方法	ラジエター （風冷）	仕様通り	仕様通り

表 3. 見つかった課題と対策

課題	対策
①ガスエンジンにタールが微量付着	燃焼ガス中のタールの含有率の低下の改造
	ガスエンジンのメンテナンス効率の向上の改造
②燃焼ガス濃度・発生量等が不安定	燃焼ガス貯蔵タンクの増設
	空気との混合を調整する
	ガス中の水分除去

3. 見つかった課題と対策

①木材チップから燃焼ガスを取り出す際に発生するタールが、ガスエンジン内に付着し、ガスエンジンの稼働が不安定となり、発電が安定しない。

（対策）

当初取り付けであるスクラバーだけでは十分にタールを除去できないため、スクラバーを追加した。直列接続を行い、タール除去効果を格段に高めた。スクラバーの効果を表4に示す。スクラバーの追加により、タール除去率が約2倍となった。

表 4. タール除去率

測定箇所	除去率
スクラバー追加前	32%
スクラバー追加後	58%

②ガスエンジンに付着したタールの除去

(対策)

ガスエンジンのオーバーホールによる方式を見直し、部品や治具を変更し、メンテナンス方法の簡略化、メンテナンス時間の短縮を実施し、長期安定運転への技術開発を実施した。



図 19. ガスエンジン

③燃焼ガスの濃度・発生量が一定でなく、ガスエンジンの稼働が不安定となり、発電が安定しない。

(対策)

燃焼ガスを安定して供給するため、ガスタンクを追加して、燃焼ガスをタンクに貯蔵してから供給できるようにした。



図 20. ガスタンク

また、ガスエンジンには過給機（ターボ）を付属した構造としており、過給機からの空気をガス混合器でうまく調節できず、アイドリング（起動後 1000rpm 前後）や定格回転数（1500rpm）のときに運転が不安定になることが観察された。ガス混合器の圧力調整用ばねとガス流量調整器を変更しながら最適な調整を行った。

④燃焼ガス中の水分が多いため、ガスエンジンの稼働が不安定となり、発電が安定しない。

（対策）

熱交換器を追加しガス温度を下げ、燃焼ガス中の水蒸気を極力低下させ除去した。



図 21. 熱交換器

以上の対策を取った結果、80kw/h での稼働が安定し、発電量を増やすことができた。

4. 放射性セシウム測定

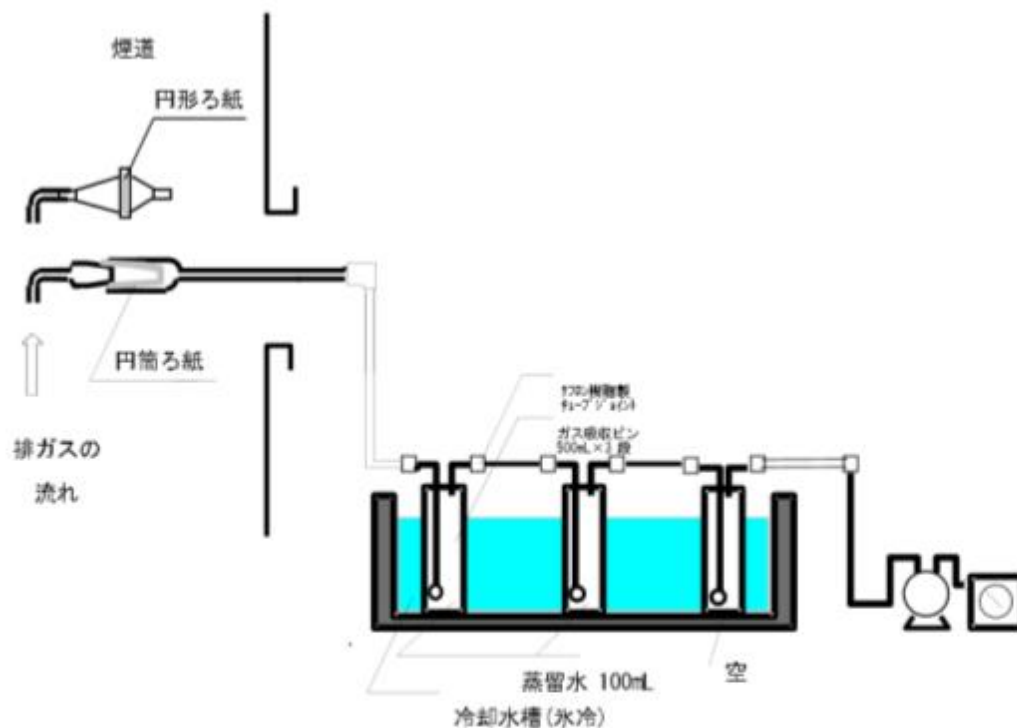
バイオマスガス化発電では、燃焼ガスの他に、木炭、木酢液、バイオオイル（タールなどの油分）、が発生する。木炭は固形燃料や土壌改良剤として利用でき、木酢液は消臭、抗菌、害虫駆除など様々な用途に使い、バイオオイルは化石燃料の代替エネルギーとして利用可能である。燃焼ガスはガスエンジンで発電に使われ、ガスエンジンから発生した熱はチップの乾燥などに使われる。乾燥ホッパーには煙突があり、最終的に排ガスはそこから排出される。そこで、連続運転時に木炭、木酢液、バイオオイル、排ガスを採取し、試料中の放射性セシウム濃度を測定した。測定にはゲルマニウム半導体検出器（セイコー E G & G S E G - E M S - 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 22、採取状況について図 23 に示す。また測定した木炭、木酢液、バイオオイルを図 24～図 27 に示す。結果を表 5 に示す。

その結果、木酢液、バイオオイル、排ガスからの放射性セシウムは検出限界以下であった。木炭、木酢液、バイオオイルは肥料・土壌改良資材・培土の基準よりも低いため安全性が高く、農業資材など有価物として有効使用できると判断される。排ガスについては、法律に定める空気中の濃度限度よりも低いことが確認できた。木炭は放射性セシウムが検出されたが、調理用木炭の基準よりも低いため安全性は高いと考えられる。

表 5. 放射性セシウム測定結果

	放射性セシウム濃度	検出限界	基準値・目標値等
木材チップ	検出限界以下	20Bq/kg	40Bq/kg(調理用の薪)
木炭	最大 139Bq/kg 平均 80Bq/kg	10Bq/kg	280Bq/kg (調理加熱用木炭の基準)
木酢液	検出限界以下	10Bq/kg	400Bq/kg (肥料・土壌改良資材・培土)
バイオオイル	検出限界以下	10Bq/kg	400Bq/kg (肥料・土壌改良資材・培土)
排ガス	検出限界以下	ろ紙部 2Bq/m ³ ドレン部 2Bq/m ³	Cs134+Cs137 20+30Bq/m ³ (空気中の濃度限度)

これらの結果から、放射性物質の影響のある地域において放射性セシウムをわずかに含む木材チップをガス化発電施設で使用しても、放射性セシウムは木酢液・バイオオイル・排ガスにはほとんど移行せず、木炭に留まると考えられる。そのため、高線量の木材チップを使用した場合は、高線量の木炭が発生する恐れがあることから、木材のチェック体制が重要となる。今回のような芯材を利用した木材チップを使えば、木炭は安全に取り扱うことができるため、木質バイオマスガス化発電施設の環境影響は少ないことが確認できた。



採取条件（例）

- 1 吸引流量 : 15L/min 以下×240 分(4 時間)、合計 3000L 程度
- 2 円筒・円形ろ紙 : シリカ製または石英製ろ紙

図 22. 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 23. 排ガス採取状況



図 24. 木炭

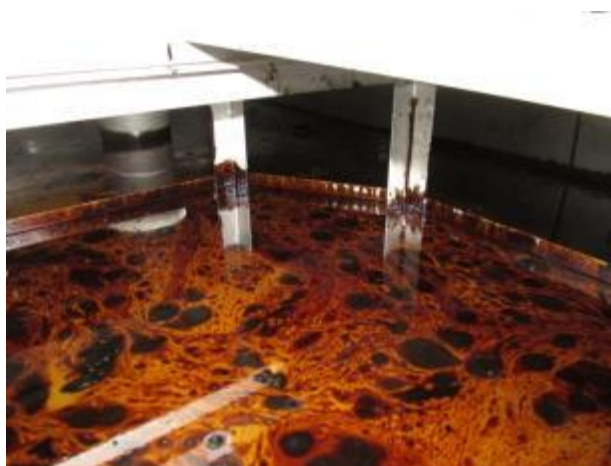


図 25. 木酢液、バイオオイルの貯蔵タンク



図 26. 木酢液



図 27. バイオオイル

5. 発電の物質収支・CO₂削減効果

発電の出力は 80kwh であり、運転時間は 6 時間連続であった。燃料に使った木材チップは 1 時間当たり 505kg であり、含水率は 57%であった。乾燥ホッパーで乾燥され、含水率は 17%になり、190kg 程度になった。ガス化炉に送られ、木炭がおよそ 100kg、木酢液がおよそ 38kg、バイオオイルがおよそ 15kg 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)。

今年度の実証試験期間では 84 回稼働を行っているため、発電量は最大で 80kwh×1 日 6 時間稼働×84 回=40320kwh となる。この電力を東北電力で発電した場合、CO₂ 排出量は 23.83t-CO₂、代替値を使った場合 22.22t-CO₂ と算出できる。

また、1 年間稼働したとすると、発電量は 80kwh×1 日 6 時間稼働×180 日=86400kwh となる。この電力を東北電力で発電した場合、CO₂ 排出量は 51.06t-CO₂、代替値を使った場合 47.61t-CO₂ と算出できる。

さらに、出力を目標値の 125kW まで上げた場合、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)。この電力を東北電力で発電した場合、CO₂ 排出量は 293t-CO₂、代替値を使った場合 273t-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。以上の結果を表 6 に示す。

表 6. 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)
実証試験期 間中 (最大)	80	504 (6h×84 回)	40320	代替値：0.000551	22.22
				東北電力:0.000591	23.83
年間換算	80	1080 (6h×180 日)	86400	代替値：0.000551	47.61
				東北電力:0.000591	51.06
最大値	125	4000 (22h×180 日)	500000	代替値：0.000551	273
				東北電力:0.000591	293

排出係数に関しては、「平成 25 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 26 年 12 月 5 日環境省報道発表資料）より、代替値 0.000551t-CO₂/kWh、東北電力株式会社実排出係数 0.000591t-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。

【実施項目2】木材伐採・運搬、チップ加工関連

【達成目標】

バイオマスガス化発電を行うためには、燃料のチップの安定供給が不可欠であるが、放射性セシウム濃度を管理しなければ安全に発電をおこなうことができない。そこで平成26年度では、数多くの木材チップの放射線量を測定し、木材チップの安全性を確かめた。また、実証試験の現場ではさまざまな施設があり、作業の安全性を確かめるため、実証試験現場での空間線量の測定を行った。

【達成状況及び課題】

1. 木材チップの測定

発電施設に使うチップについて定期的に測定を行った。すべての測定において放射性セシウムは検出限界の20Bq/kg以下であった。その結果を表7に示す。木材チップの放射線量は調理加熱用薪の基準値（40Bq/kg）以下であり、木材チップの安全性が確かめられた。

表 7. 木材チップの放射線量

木材チップ	放射性セシウム濃度	検出限界	基準値・目標値等
4月23日～6月12日分	検出限界以下	20Bq/kg	40Bq/kg(調理用の薪)
6月12日～7月11日分	検出限界以下	20Bq/kg	
7月11日～8月21日分	検出限界以下	20Bq/kg	
8月21日～9月8日分	検出限界以下	20Bq/kg	
9月8日～9月12日分	検出限界以下	20Bq/kg	
9月12日～9月30日分	検出限界以下	20Bq/kg	

2. 実証試験現場の空間線量の測定

実証試験現場では、バークの除染、汚染水の処理など、放射性セシウムを含む試料を扱うため、実証試験現場での空間線量を測定し、作業者の安全性を確認した。測定は実証試験の区画ごとに行い、比較のため実証試験現場の外も行った。測定箇所を図 28、29 に示す。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。測定の状況を図 30 に、測定結果を表 8 に示す。いずれの区画においても空間線量は実証試験現場外よりも低く、実証試験現場での平均値は $0.085 \mu\text{Sv/h}$ であった。

除染等業務の対象となる線量は $2.5 \mu\text{Sv/h}$ であり、いずれの区画においても、本実証試験は除染等業務の対象にならない。また、汚染状況重点調査地域の対象となる $0.23 \mu\text{Sv/h}$ を超える場所もなかったため、安全に作業を行うことができると考えられる。

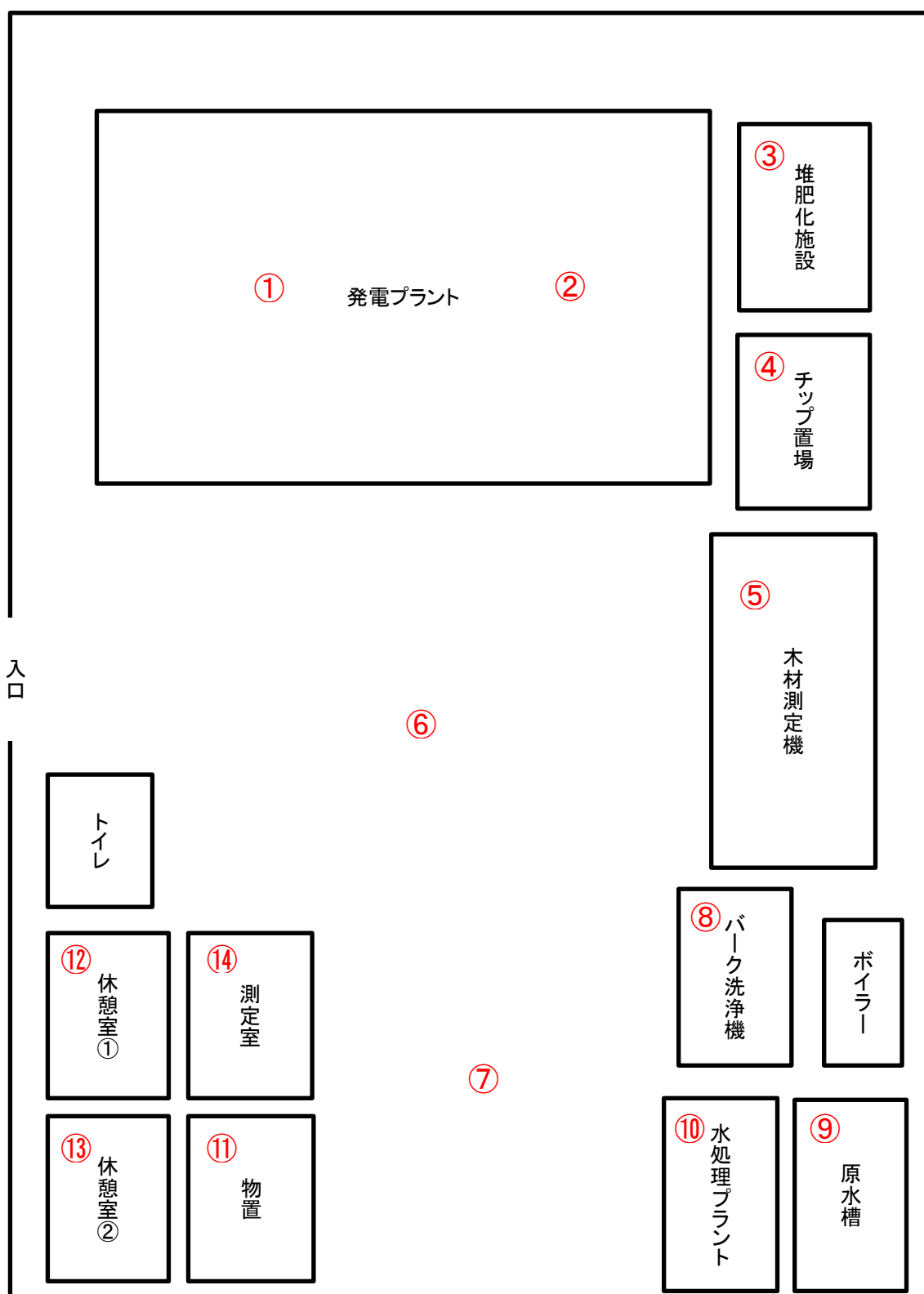


図 28. 実証試験現場内の空間線量の測定箇所

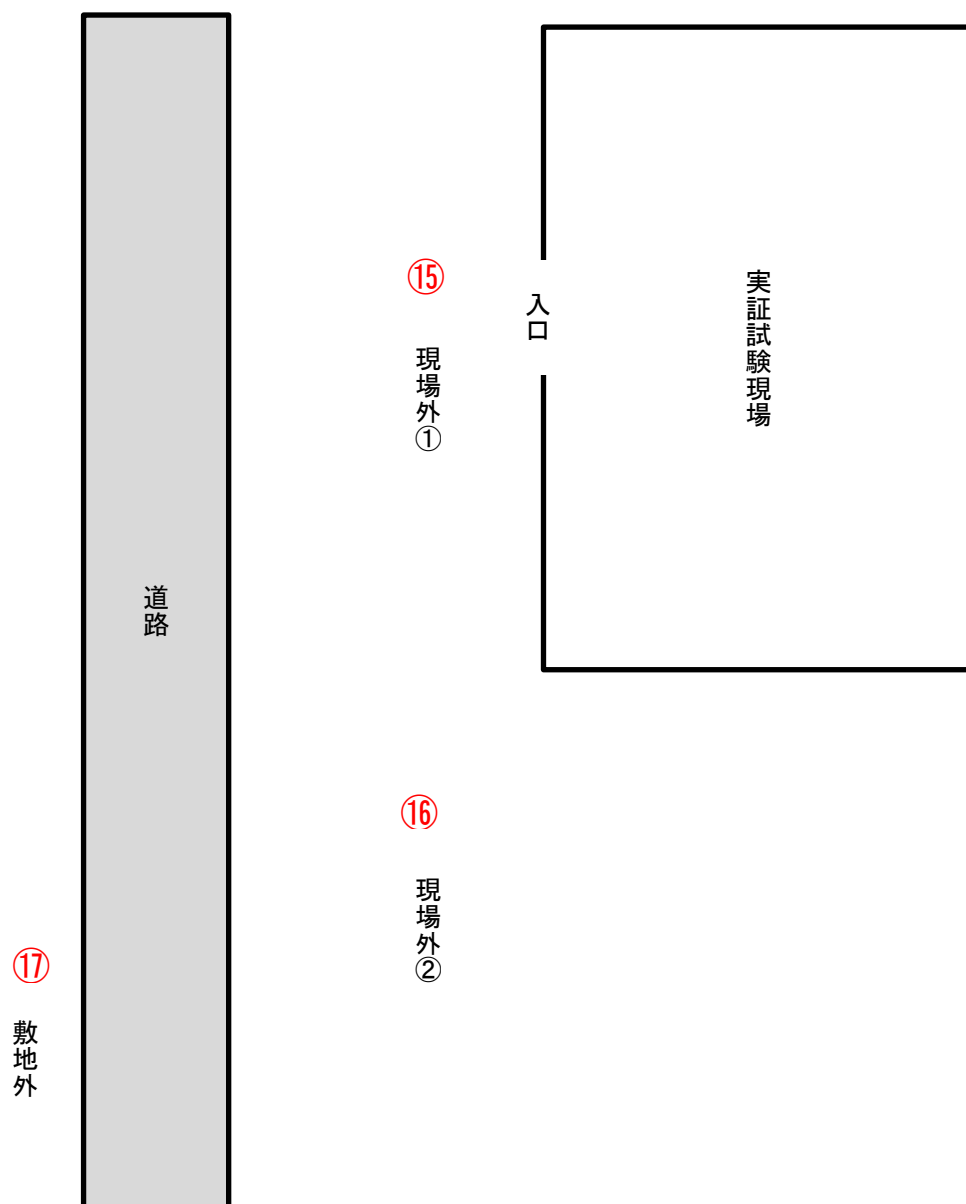


図 29. 実証試験現場周辺の空間線量の測定箇所



図 30. 空間線量の測定状況

表 8. 空間線量の測定結果

測定箇所	空間線量 ($\mu\text{Sv/h}$)
①発電プラント（入口側）	0.067
②発電プラント（奥側）	0.060
③堆肥化施設	0.130
④チップ置場	0.090
⑤木材測定機	0.073
⑥敷地（中央側）	0.123
⑦敷地（奥側）	0.117
⑧バーク洗浄機	0.063
⑨原水槽	0.063
⑩水処理プラント	0.043
⑪物置	0.093
⑫休憩室①	0.097
⑬休憩室②	0.100
⑭測定室	0.063
実証試験現場の平均値	$0.085 \mu\text{Sv/h}$
⑮現場外①	0.157
⑯現場外②	0.127
⑰敷地外	0.130

【実施項目3】木材の選別関連

【達成目標】

集荷した原木の安全性を確認するため、放射線の測定が必要となる。平成 24 年度の実証試験では、木材の表面汚染密度を測定し、選別を行う装置（木材表面自動測定機）を作成した。精度（機器効率、検出限界）、汚染箇所のマーキング機能を確認した。

平成 26 年度は、木材の流通の過程で、基準を超える放射性物質を含む木材が市場に流通しないような仕組みを検討した。木材を積載したトラックの放射線量を車上のまま測定する機器を開発導入し、精度を確認した。

また、平成 25 年度の実証試験で製作した木材表面自動測定機について、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できるよう改造を行った。

【達成状況及び課題】

1. ゲート型測定機

木材の流通の過程で、基準を超える放射性物質を含む木材が市場に流通しないような仕組みとして、以下の取り組みを検討した（図 31）。伐採した木材はトラックで森林から木材市場等へ運搬されるが、自動測定機が測定できるのはトラックから荷卸しされ市場に流通した後であるため、汚染された木材が市場に流通することを防ぐことはできない。そのため、汚染木材を森林から木材市場等へ持ち出さない仕組みが必要であり、具体的には木材を積載したトラックの放射線量を車上のまま測定する機器が必要となる。汎用的に使用されているゲート型の放射性物質測定機器は原木を満載したトラックの測定は想定されておらず、測定精度が不明確である。そこで平成 26 年度実証事業では、トラックに積載した状態で木

材が測定できるよう、検出器部分を改良したゲート型の測定機を開発導入した。測定機は
実証試験現場に設置し、実証運転を行い、精度の確認を行った。ゲート型測定機の外観を図
32、33 に、仕様を表 9 に示す。

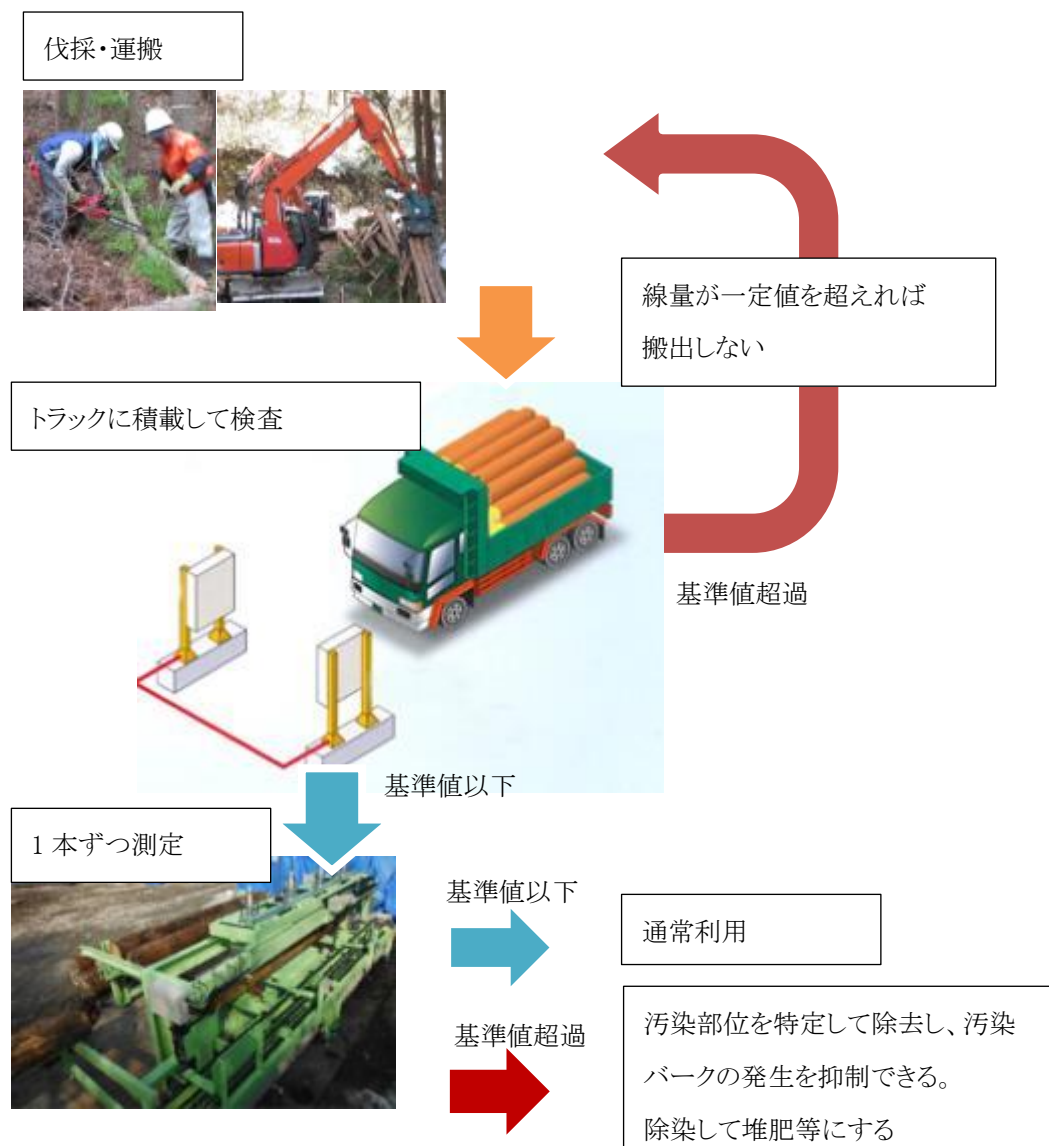


図 31. 汚染木材の管理方法



図 32. ゲート型測定機外観



図 33. ゲート型測定機検出部

表 9. ゲート型測定機の仕様

検出器の種類	プラスチックシンチレーター
検出限界	160kBq (137Cs 標準線源による) 36Bq/cm ²

	【条件】 空間線量 0.1 μ Sv/h 車両の進入速度 10km/h 検出部の間の距離 4.5m 測定確立 97.5%
検出器の大きさ	1000mm×500mm×50mm
装置の大きさ	1285mm×589mm、厚さ 77mm
検出部の重さ	67kg、鉛遮蔽体は 8kg×11 個＝88kg
電源供給	検出器 直流 24V、70mA コントロールユニット 交流 100V
使用可能温度	-30～60℃（検出器）

この装置では、放射線量を μ Sv/h に換算して 0.01 μ Sv/h 以上から表示することができ、任意に設定した数値以上を感知すると、警報やパトライトなどで知らせることができる。結果は PC 上に保管され、時刻、バックグラウンド、実測値、測定結果（実測値－バックグラウンド）を記録する。

精度の確認のため、検出器に標準線源を置き放射線量を測定した。標準線源と検出器の距離は 1m とした。標準線源は 50kBq の Cs-137 放射線標準ガンマ線源（日本アイソトープ協会 CS403CE）を使用した。

また、比較のためハンディタイプの検出器（HORIBA PA-1000、校正済み）も使用した。

まず、標準線源を置かずにバックグラウンド測定を行った結果、平均で 2214cps であった。ハンディタイプの検出器で同様に測定を行ったところ、平均で 0.035 μ Sv/h であった。この結果から、cps から μ Sv/h への換算係数を 0.000015 とした。

次に、標準線源を検出器の前に置き測定を行い、結果を $\mu\text{Sv/h}$ に換算した。ハンディタイプの検出器で同様に測定を行ったところ、値はほぼ一致していたため、精度を確認することができた。また、標準線源の測定結果から検出限界を求めた。結果を表 10 に示す。

表 10. 精度の確認

	線源なし (バック グラウンド)	線源有り (測定結果 - バック グラウンド)	換算係数から 換算した空間線 量率	ハンディタイプ の検出器による比 較	判 定
1 回目	2275cps	6975 cps	$0.1067 \mu\text{Sv/h}$	$0.102 \mu\text{Sv/h}$	良
2 回目	2286 cps	6798 cps	$0.1040 \mu\text{Sv/h}$	$0.088 \mu\text{Sv/h}$	良
3 回目	2100 cps	6137 cps	$0.0938 \mu\text{Sv/h}$	$0.096 \mu\text{Sv/h}$	良
4 回目	2193 cps	6150 cps	$0.0940 \mu\text{Sv/h}$	$0.085 \mu\text{Sv/h}$	良
平均	2214cps	6515cps	$0.0996 \mu\text{Sv/h}$	$0.092 \mu\text{Sv/h}$	良

線源面積	3.14cm^2
表面放出率	50000Bq
バックグラウンド係数率	2214cps
正味の係数率	6515cps
検出器の入射窓面積	5000cm^2
機器効率	0.0082%
検出限界	$0.132 \mu\text{Sv/h}$

(計算式)

- ・ 検出限界は以下の式で算出した。

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

τ : 試料測定時定数 (= 1 秒)、 τ_b : バックグラウンド測定時定数 (= 1 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 (cm^2)、 ε_s : 線源効率 (0.5)

・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。

機器効率 = (正味計数率 / (β 線表面放出率 / 線源面積 $\times$ 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/cm^2 に換算する係数である。

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

放射線障害防止法では、放射性輸送物の基準として、車両表面から 1m の位置における最大線量等量率として $100 \mu\text{Sv/h}$ 以下、輸送物表面における 1cm 線量等量率として $5 \mu\text{Sv/h}$ または 2mSv/h 以下としている。検出限界 $0.132 \mu\text{Sv/h}$ はこの基準値を十分に検知できることから、この検出器は放射線障害防止法における放射性輸送物の基準で管理することが可能であると判断される。この装置により、放射性輸送物の基準を超える木材が市場に流通しないように管理することが可能となる。

2. 木材表面自動測定機

木材表面自動測定機の改造を行った。改造の状況を図 34 に、改造後の木材表面自動測定機を図 35 に、改造箇所を図 36、37 に、改造前の木材表面自動測定機を図 38 に示す。

改造内容は、次の通りである。

①測定した木材は搬出コンベアで運搬され、基準の不適によってそれぞれの搬出口に送られている。この運搬の時間を短縮するため、基準適合した木材はコンベアで運搬せずに検出部から押し出す方式に変更する。(図 37)

②搬出コンベアの速度を現在の 2 倍に増やす。(図 37)

③検出部が木材の太さ、歪み、節の有無によらず木材表面に追従するように、バランスシリンダーを追加する。(図 36)

④木材の回転をスムーズにするため、検査部下部のパンチングメタルを廃止して、薄板端部を折り曲げて取り付ける。

④汚染部のマーキング装置について、液抜き機構を追加する。

⑤制御盤等を防水加工する。

改造を行う前は、木材の太さ、ゆがみ、節の有無によって負荷がかかり、緊急停止することがあったが、改造後は安定して連続運転ができるようになった。特に、測定後の木材の運搬について、基準適合した木材を搬出コンベアで運搬することを省略できたため、測定の速度を大幅に改善することができた。これまで木材の測定は最大で 45 秒、通常は 80 秒かかり、運搬に 1 分以上かかっていたため、一本当たりの測定時間は 2 分程度となっていたが、運搬せずに木材を押し出すことで一本当たりの測定時間が 1 分程度と短縮することができた。



図 34. 木材表面自動測定機の改造状況



図 35. 改造後の木材表面自動測定機

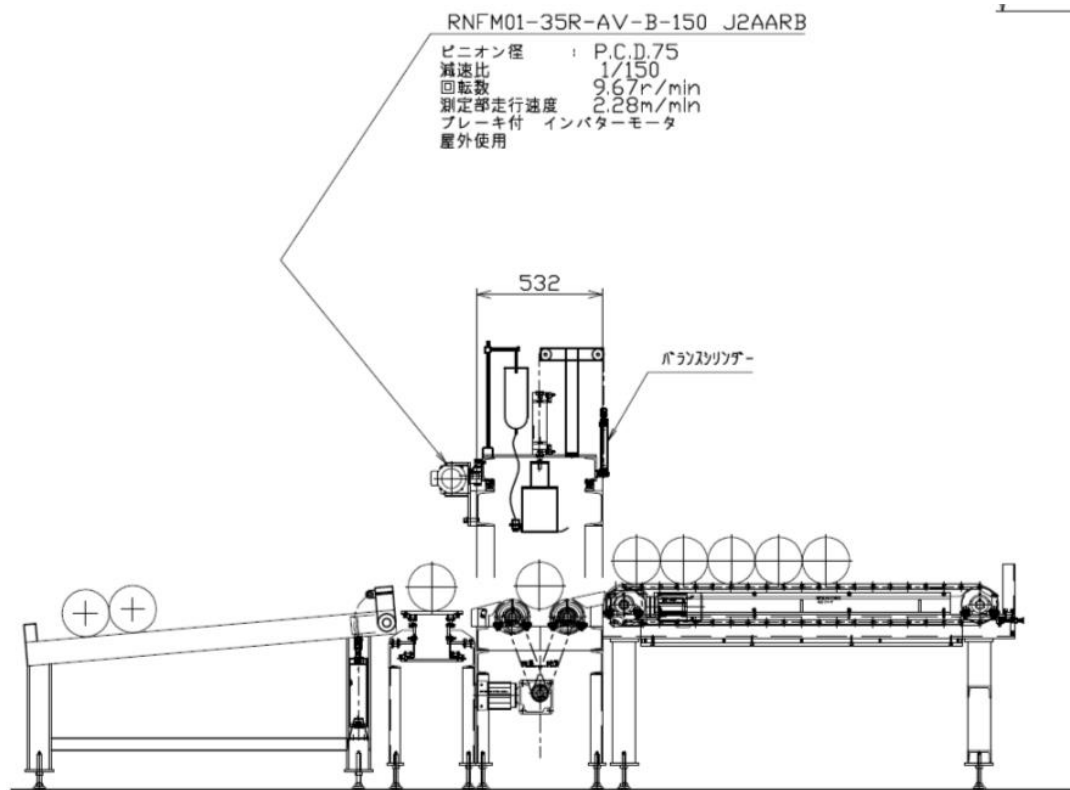


図 36. 改造箇所(バランスシリンダー取付)

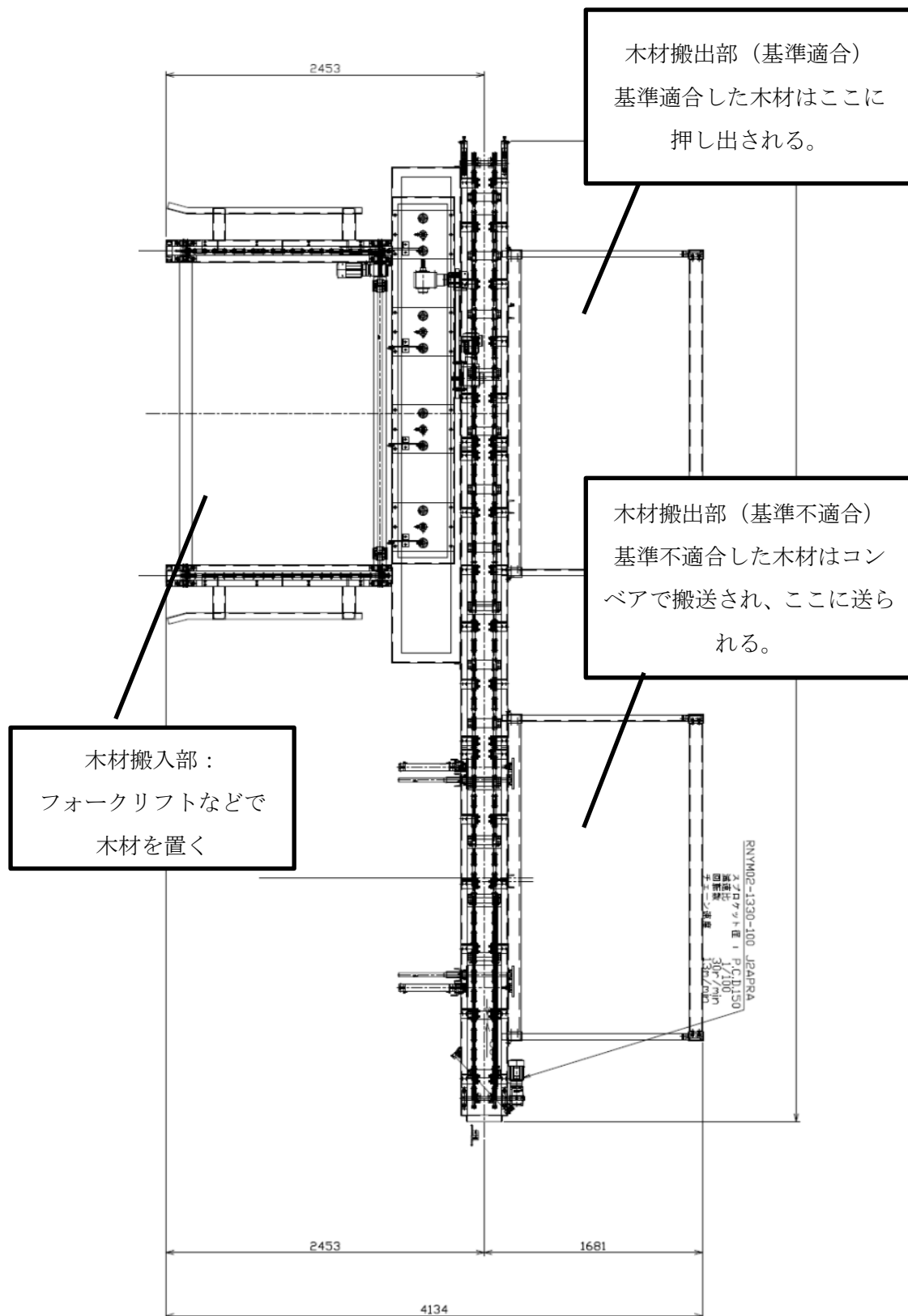


図 37. 改造箇所(搬出方法の変更、コンベア速度変更)

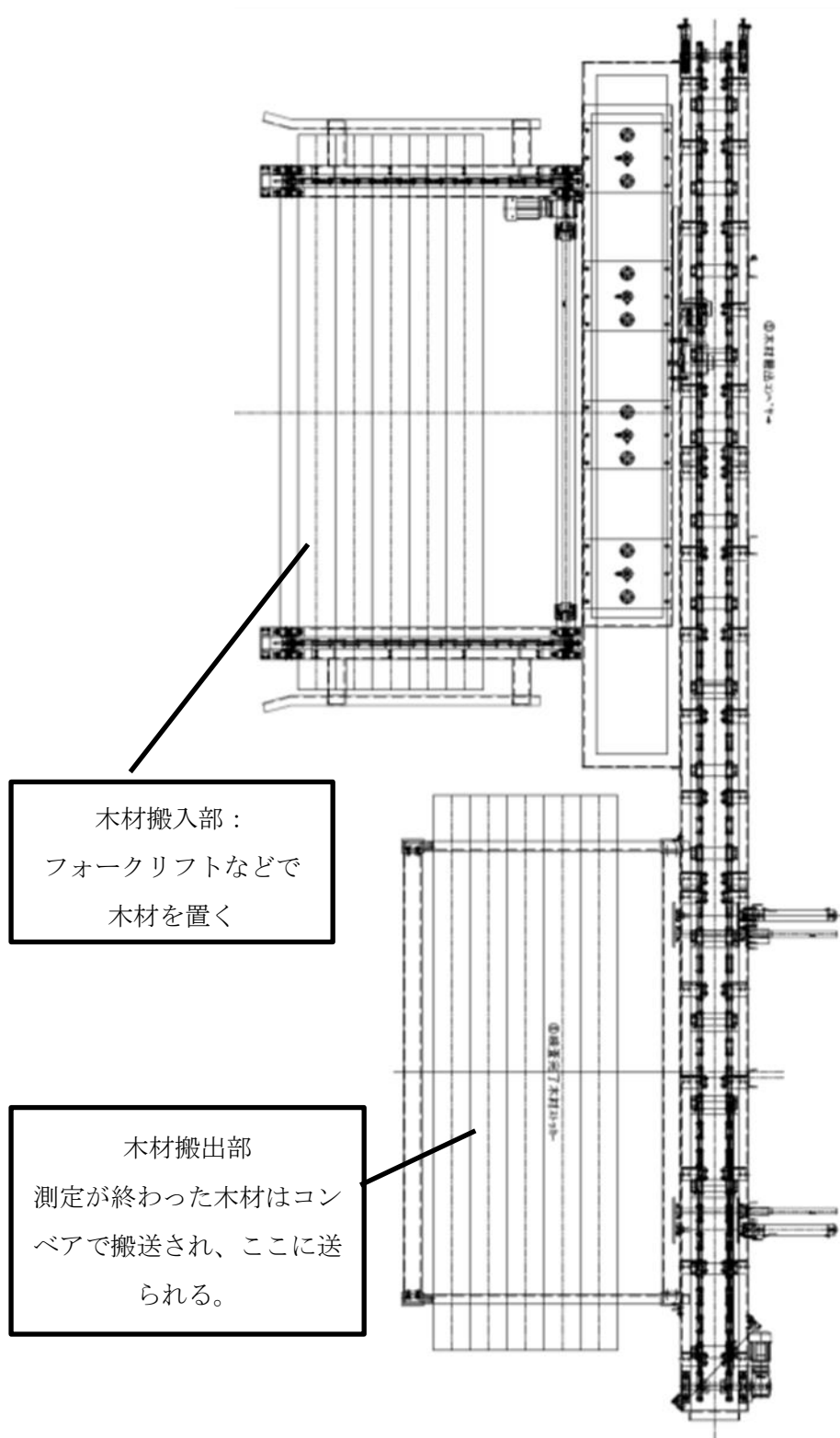


図 38. 改造前の木材表面自動測定機

【実施項目4】リグノフェノール抽出

【実証施設の概要】

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た。木材からリグノフェノールの抽出、接着剤の合成を行う際の使用した機器を図39に、抽出したリグノフェノールを図40に、作成した積層板を図41に示す。



図 39. リグノフェノール抽出器具



図 40. リグノフェノール抽出状況（ろ過、乾燥）



図 41. 作成した積層板

【達成目標】

平成 25 年度の実証試験では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、リグノフェノールを抽出し、リグノフェノール接着剤を作成、木材サンプルを作成し、評価を行った。平成 26 年度の実証試験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た。リグノフェノールを使った木質資材を作成する際に既存製品と同様に作成できるか評価を行った。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】

セシウム濃度 42Bq/kg の木材チップを用いて、リグノフェノール抽出を行った。

抽出の工程を図 42 に示す。このとき発生する排液は、①アセトン排液、②ヘキサン排液、③メタノール排液がある。これらの排液および作成したリグノフェノールについて放射性セシウム濃度を測定した。結果を表 11 に示す。

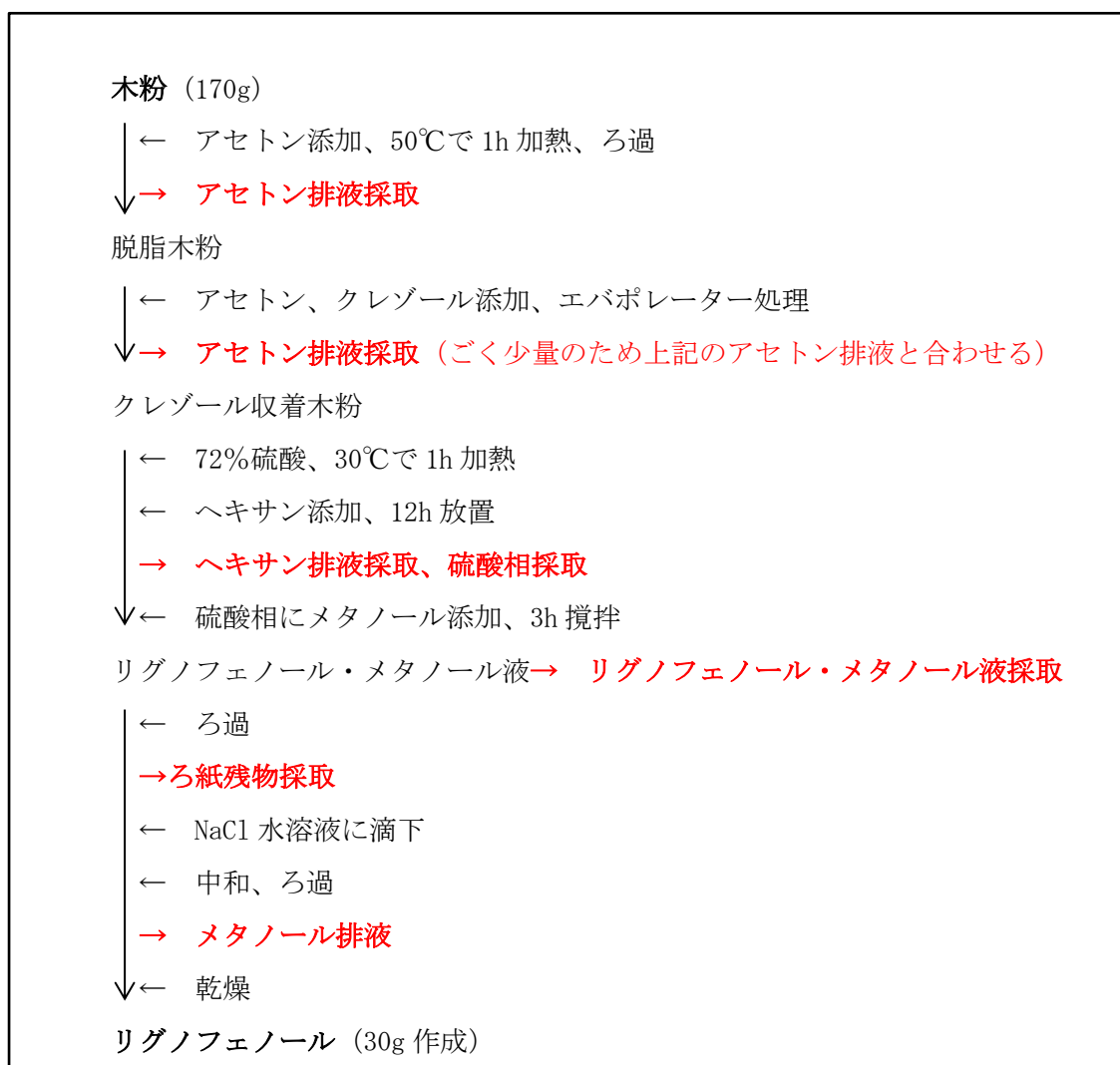


図 42. リグノフェノール抽出工程

表 11. リグノフェノール抽出時の放射性物質の移行

項目	放射性セシウム濃度	検出限界
木粉	42Bq/kg	10Bq/kg
アセトン排液	検出限界以下	10Bq/kg
ヘキサン排液	検出限界以下	10Bq/kg
硫酸相	検出限界以下	10Bq/kg
リグノフェノール・メタノール液	検出限界以下	10Bq/kg
ろ紙残物	検出限界以下	15Bq/kg
メタノール排液	検出限界以下	10Bq/kg
リグノフェノール	検出限界以下	10Bq/kg

木粉はアセトンで脱脂されるが、アセトン排液から放射性セシウムは検出されなかったため、放射性セシウムはアセトンで抽出されないと判断した。次に、脱脂された木粉はクレゾールと硫酸で処理され、ヘキサンでヘキサン相と硫酸相に分離されるが、ヘキサン排液からも硫酸相からも放射性セシウムは検出されなかったため、放射性セシウムはヘキサンの抽出されないと判断した。また、硫酸相はメタノールでリグノフェノール・メタノール液に処理され、ろ過されるが、リグノフェノール・メタノール液からもろ紙残物からも放射性セシウムは検出されなかった、このことから、放射性セシウムはアセトン、ヘキサン、硫酸、メタノールから特異的に抽出されることはなく、ほぼ均等に分配されると判断した。ろ液はNaClで処理し、ろ過され、メタノール排液とリグノフェノールに分離されるが、メタノール排液からもリグノフェノールからも放射性セシウムは検出されなかった。

以上の結果から、木粉からリグノフェノールを抽出するにあたって、放射性セシウムはリグノフェノール中に濃縮しないことが確認できた。また、抽出の過程で排出される各種の

排液中にも放射性セシウムは検出されないほど濃度が低かったため、抽出の過程で放射性セシウムが濃縮しないことが確認できた。

木材中の放射性セシウムはリグノフェノール抽出物や各種の排液中に濃縮しないことから、放射性セシウムをわずかに含む木質バイオマスであっても、放射性セシウムを含まない既存の木材と同様にリグノフェノールを抽出し、リグノフェノール木質資材を作成できると判断できる。

【実施項目5】バーク洗浄関連

【実証施設の概要】

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高压の温水をバークに一定時間当てることで除染が行われる。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。バーク洗浄除染施設の状況を図 43～49 に示す。除染後に放射性セシウム濃度を測定する。バークの除染は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される。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、再びバーク洗浄に循環利用する。



図 43. バーク洗浄機

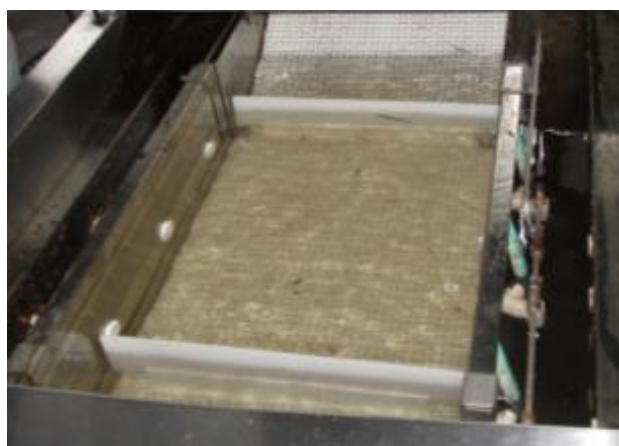


図 44. バーク除染プラントの投入口の様子



図 45. 洗浄の状況



図 46. 洗浄後のバーク



図 47. 洗浄で発生した汚染水



図 48. 汚染水処理プラント



図 49. 処理水の状況

【達成目標】

平成 24 年度の実証試験では、洗浄後のバークを 100Bq/kg 以下にし、汚染水を 10Bq/kg 以下の処理水にすることができた。平成 25 年度の実証試験では、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。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】

①水温による影響

水温を常温（10℃程度）、30℃、50℃に変え、洗浄を行った。70℃以上でも試験を行ったが、ボイラーから安定した水温のお湯を供給することが難しいため、最大で 50℃までとした。バークの投入量は 2kg/分とした。結果を表 12 に示す。この結果から、最適な水温を 50℃とした。

表 12. 洗浄における水温の影響

水温	放射性セシウム濃度	除去率
洗浄前	658Bq/kg	-
常温（約 10℃）	530Bq/kg	19%
30℃	478Bq/kg	27%
50℃	319Bq/kg	52%

②投入量による影響

木材バークは洗浄装置内をベルトコンベアで運ばれながら洗浄され、48 秒で洗浄は完了する。このときバークの投入量を 2kg/分、4kg/分、8kg/分に変えて、水温 50℃で洗浄を行った。結果を表 13 に示す。この結果から、最適なバークの投入量を 4kg/分（3. 2kg/48 秒）とした。

表 13. 洗浄における投入量の影響

投入量	放射性セシウム濃度	除去率
2kg/分	319Bq/kg	52%
4kg/分	329Bq/kg	50%
8kg/分	415Bq/kg	37%

③洗浄回数による変化

48 秒でバークの洗浄が終わるが、一度洗浄したものを再び洗浄機に投入し、繰り返し洗浄を行った。結果を表 14 に示す。洗浄を繰り返すほど放射性セシウム濃度が減少し、洗浄回数 5 回目で目標値の 100Bq/kg 以下になった。1 回目の洗浄で線量は約半分となり、2 回目以降は 1/4 程度ずつ減少していた。

表 14. 洗浄における洗浄回数の影響

洗浄回数	放射性セシウム濃度	除去率
1 回目	329Bq/kg	50%
2 回目	258 Bq/kg	22%
3 回目	188Bq/kg	27%
4 回目	128Bq/kg	32%
5 回目	84Bq/kg	28%

以上の結果から、バーク洗浄の最適な設定は、水温 50℃、洗浄時間 4 分（48 秒×5 回）、バークの投入量 3.2kg/4 分=0.8kg/分となった。1 日 8 時間連続稼働したとき、384kg（約 1m³）洗浄することが可能である。また、このとき使用した水は 100L/分であり、バーク 1kg あたり 125L となった。

なお、洗浄効率をあげるため、洗浄を 4 回繰り返さずに洗浄機を 4 台連結し、洗浄を 1 回で終わらせることも可能と考えられる。この場合、バークの投入量は 4kg/分であり、1 日 8 時間連続稼働したとき、1920kg（約 4.8m³）洗浄することが可能である。

【実施項目6】堆肥化関連

【実証施設の概要】

除染された木材バークを堆肥施設で堆肥に加工した。木材バークは飛散防止のためフレコンパックに入れ、フレコンパックの中で堆肥化を行った。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、バークに空気を送った。堆肥化の施設を図 50 に、エアコンプレッサーを図 51 に、堆肥の外観を図 52 に示す。



図 50. 堆肥化施設



図 51. エアコンプレッサー



図 52. バークの堆肥化の状況

【達成目標】

堆肥を評価するため、放射性セシウム濃度、窒素、リン酸、カリウムの量(%)、水分含有量(%)等を測定した。堆肥化に長期の時間がかかるため、平成 25 年度では半年程度しか堆肥化を行えないため、測定は平成 26 年度に引き継いだ。放射性セシウム濃度の基準値については、「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、400Bq/kg (製品重量)以下とした。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)に従った。

また、窒素、リン酸、カリウムの量(%)、水分含有量(%)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)の記載に従った。また、バークの投入量、製造時間、堆肥の製造量を測定し、物質収支および堆肥化にかかる時間を確認した。

【達成状況及び課題】

堆肥化を行ってから 18 か月経過し、バークが湿潤し組織が軟化しているのが見られ、発酵が確認できた。成分分析の結果を表 15 に示す。

表 15. 堆肥の分析

全窒素 (N) (乾物)	0.65%
全リン酸 (P ₂ O ₅) (乾物)	0.011%
全カリウム (K ₂ O) (乾物)	0.017%
水分含量	67%
製造時間	18 か月
堆肥化における体積の変化	1m ³ が 0.7m ³ に減少
放射性セシウム濃度	149Bq/kg

堆肥の放射性セシウム濃度は 400Bq/kg 以下であり、堆肥の基準を満たしていた。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。

4. 平成27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・平成 26 年度の実証事業では、福島県産木材の芯材を使った木質チップの放射性セシウム濃度は非常に少なく安全に使用できること、実際にそのチップを使ってバイオマスガス化発電で発電を安定して行うことができること、チップの加工の際に排出されるバークについても除染により堆肥などに有効利用が可能であること、さらに、木材の放射線量を確認する手段として、木材を自動で連続的に測定でき、かつ、汚染の箇所をスプレーでマーキングして特定することができる測定機と、トラックに積載したまま測定できるゲート型の測定機を導入することができた。特に平成 26 年度では、バイオマスガス化発電の発電量増加と長期期間安定性、放射性物質の測定を主な目標として取り組んできた。木質バイオマスガス化発電については、発電量を増加し、安定した運転を実現することができ、発電施設の目標を概ね達成することができた。また、木質バイオマスガス化熱電併給施設の長期運転や安全性、リグノフェノール抽出の安全性、バーク洗浄の効果を確かめることで、放射性物質を含む恐れのある地域の木質バイオマスであっても、有効に利用できることを技術的に実証した。

平成 27 年度の実証試験では、木質バイオマスガス化発電の発電量増大と安定化の試験を続けるとともに、木質バイオマスガス化発電の普及を目指し、放射性物質の影響のある地域の自治体や民間団体の木質バイオマス利活用計画の策定支援や、発電施設の候補地の選定スキーム作り、木質バイオマス利活用スキーム作り、自治体の総合計画策定の支援、報告書の作成を行う。また、林内作業における作業者の被ばく対応について検討を行う。

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 16. 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

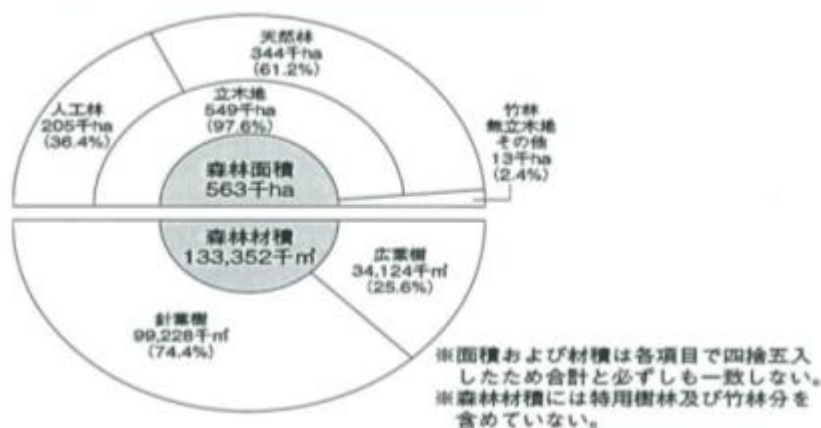
5-1. バイオマスエネルギーを利用した CO₂ 削減効果

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

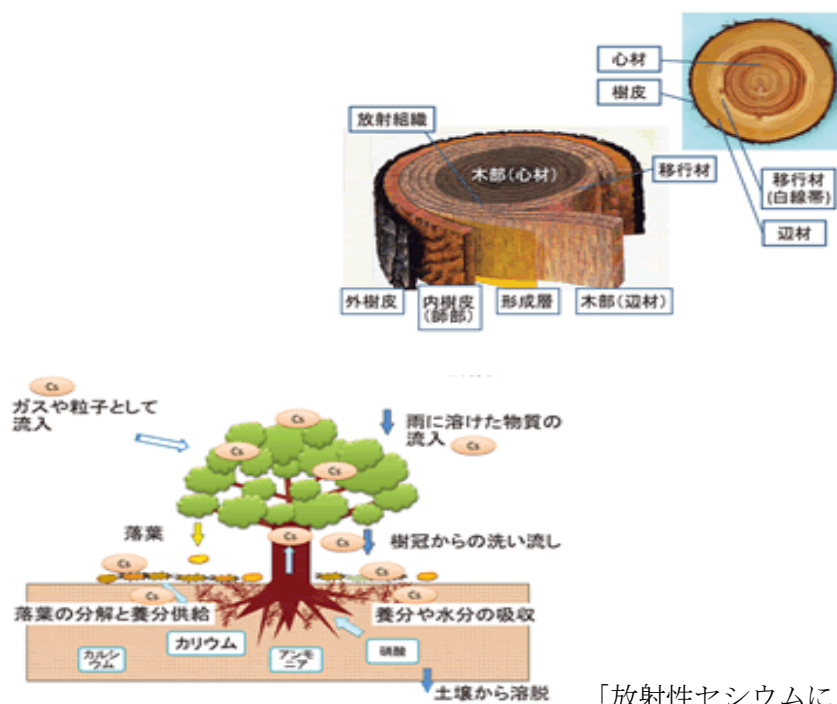
福島県 HP より

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)



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 m^3 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 CO_2 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が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。

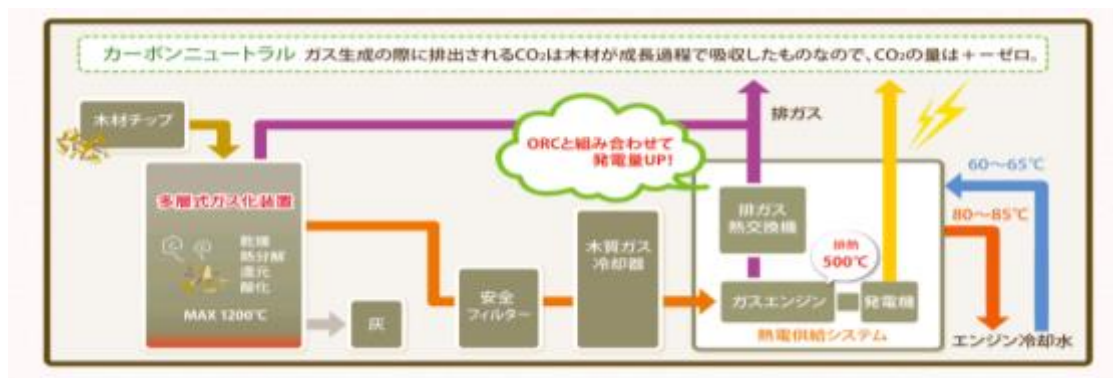
当事業での間伐材の積極的に利用は、これらの問題点の解決策となり得る。福島県にプラントを設置し地産地消型の事業を展開することで、相乗効果を上げることができると予想する。以下に間伐材利用によるメリットを挙げる。

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よく、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。

$$\text{発電効率 (\%)} = \frac{\text{発電出力 (kWh)} \times 3.6 \text{ (MJ/kWh)}}{\text{バイオマス投入量 (kg/h)} \times \text{バイオマス発熱量 (MJ/kg)}} \times 100$$

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%となる。今年度の実証試験期間中の結果を代入すると、施設の最大発電量 80kWh、バイオマス投入量 505kg/h（乾物量）、バイオマス発熱量 6MJ/kg（低位）から、発電効率は 9.5%であり、発電効率を上げるには発電出力の増加が必要である。



補足資料 図 3

CO₂の削減量においては、今年度の実証試験期間中の結果では年間 50t 程度、施設の最大発電量では年間最大 300 t 程度と試算される。これは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、

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

$5.81 \text{ (t/ha)} \times 45,100 \text{ (ha)} = 262,031 \text{ (t)}$ 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

$$\begin{aligned} & \text{距離} \div \text{燃費} \times \text{二酸化炭素係数} \times \text{台数} \quad \text{から} \\ & = 280 \text{ (km)} \div 3.5 \text{ (平均)} \times 0.65 \times 2 \text{ (台/日)} \\ & = 1274 \text{ (kg/日)} = \mathbf{458.64 \text{ (t/年)}} \end{aligned}$$

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。

これ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つ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変えることができる。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。