

# 2024年度NEDO再生可能エネルギー一部成果報告会 プログラム No.8

木質バイオマス燃料等の安定的・効率的な供給・利用システム構築支援事業  
新たな燃料ポテンシャル(早生樹等)を開拓・利用可能とする“エネルギーの森”実証事業

## 雪国（福井県坂井地区）におけるエネルギー向け 早生樹の森づくりと一体型施業システム構築の実証事業

発表日：2024年12月17日

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

発表者名：齊藤 正実

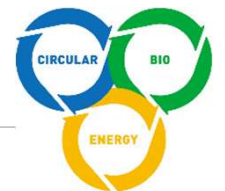
団体名（企業・大学名など）：坂井森林組合

問い合わせ先：坂井森林組合 E-mail: [f-sakai@sakai-sinrin.jp](mailto:f-sakai@sakai-sinrin.jp) TEL:0776-74-2120

# 発表の流れ



- 要旨
- 事業背景
- 事業概要
- 実施概要
- 植林の実施と生育状況と成長量調査（Ⅰ-1-②・③）
- その他精英樹の調査および比較（Ⅰ-1-④）
- 低コスト育林の実施と生育状況（Ⅰ-2）
- 一体型施業の実施とコスト検証（Ⅱ-1）
- 山林内における乾燥およびチップングのコスト検証（Ⅱ-2）
- 燃料生産に特化した施業方法の経済性評価（Ⅲ）



- 標高差による成長速度の差異が確認できた。  
→雪の状態にもよるが、350m以下での植栽が望ましい。
- コウヨウザンのみへの獣害が著しく一概に比較できない結果となったが、現状、食害を受けていないスギよりも旺盛な成長を見せている。
- その他樹種（ユーカリ）は、越冬を確認でき、成長良好である。
- 本事業の防草獣害対策コスト削減効果は40%である。
- 一体型施業によるコスト削減効果は15%程度である。
- 立木乾燥法（梶本式）は、乾燥効果がある結果となったが、35%-WB近くには下がらず、乾燥期間・土場が必要であると判断した。
- 本事業にて作成した推計式を基にした場合、従来の施業に比較して、60年単位で約1.4倍の収量を見込める。
- 事業収支は赤字であるが、従来の施業に比較して、やや収支改善する見込みである。

# 事業背景



- ✓ 現在、木質バイオマス熱利用施設、発電所などに、4,800ton/年の木質チップを供給している。
- ✓ このうち、あわら市・坂井市の木質バイオマス熱利用施設向けの管内需要は約2,400ton/年（2021年提案当時）
- ✓ 近年、地域内外で、熱利用施設、発電施設向けの**木質チップ需要が増加**している。

坂井森林組合



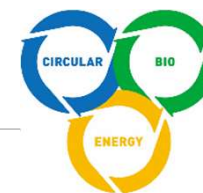
温泉宿泊施設  
3施設

- 2,400ton/年
- 用途：加温・給湯・暖房
- 今後もボイラ導入計画有

【市外・県外】

発電所

- 2,400ton/年



## 1. 目的

- ①地域内需要へ持続可能な安定供給確保
- ②中長期的に成長の良い樹種・立地を選択し、施業並びにチップ製造コストを低減すること

## 2. 期間

2022年2月～2025年3月

## 3. 目標（中間・最終）

### ①「エネルギーの森」造成条件の整理

助成期間内では、収量推測データ取得のため、約3.0ha(※1)の伐採および植林を行う(※2)

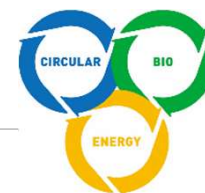
また各試験地において造成条件（標高、土質、植栽密度など）を整理する。

### ②施業コストの低減（伐採・林地残材込みの搬出・植林・育林）

伐採・搬出・植林・育林のトータルコストの削減を目指す。

※1 約1.0ha/年×3年、8～10箇所程度

※2助成期間終了後、2,400ton/年の生産が可能な面積に植林を行う。



## 4. 成果・進捗概要

- ①伐採・植栽（約2ha、7事業地）を実施、収量推測データの取得を進めている。  
また、その他早生樹として約0.3ha、6事業地にユーカリを植栽。
- ②施業コストの低減：  
今回試験地においては、施業のトータルコストが従来比 15～16%削減したことを確認した。

### <エネルギーの森 イメージ>



- ✓ 2,400ton/年（＝管内需要）分のエネルギーの森創出
- ✓ 早生樹（コウヨウザン）を用いて従来の森林経営サイクルを早める。
- ✓ 伐採→植林→育林サイクルを順次に複数の区画で行い、持続安定供給モデルを構築する。

## I 燃料生産のためのコウヨウザンの植林および育林方法の検証

### 1. 植林の実施と生育状況の検証

実施項目	目標（助成期間内）	実施事項
① 県内生育状況調査	■ 成長量推計に用いるデータの作成。	■ 県内におけるコウヨウザンの成長状況の把握。
② 実証試験地選定・施工	■ 試験地の選定および伐採～植栽の実施。	■ 標高別に約0.3haずつ2～3箇所にて伐採・植栽を実施。
③ 成長量比較	■ 当該地域における経済合理的な植林・育林条件の整理。	■ 試験区分条件ごとの成長量の計測および分析。
④ その他精英樹の調査・比較	■ 成長量について、その他樹種と比較。	■ 他樹種（ユーカリ）の植栽および成長量の計測・分析。

### 2. 低コスト育林の実施と生育状況の検証

実施項目	目標（助成期間内）	実施事項
① 下刈りの低減	■ 下刈りの低減可否の判断。 ■ 防草（兼獣害対策）シートの効果とコストの整理および下刈りとの費用対効果の比較。	■ 樹高成長速度の確認。 ■ 防草シート状態・効果の調査および利用有無・利用条件の整理。
② 獣害対策等の検討	■ 獣害や雪害など自然発生するリスクとその対策コスト整理。	■ 獣害・雪害などの状況調査および必要な対策の決定。



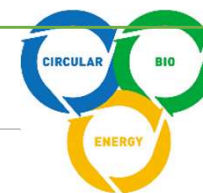


## II 施業の実施とコスト検証

実施項目	目標（助成期間内）	実施事項
<b>1. 一体型施業システムの実施とコストの検証</b> ① 一体型施業システムの実施	■ 一体型施業の課題および施業コストを把握。 ■ 削減効果の整理。	■ 施業および施業生産性の調査。 ■ 他低減策の検討およびコストの試算。
<b>2. 山林内における乾燥およびチップングのコスト検証</b> ① 立木乾燥法の検証	■ 立木乾燥法その効果の把握。	■ サンプル調査の実施。

## III 燃料生産に特化した施業方法の経済性評価

実施項目	目標（助成期間内）	実施事項
<b>1. 施業方法の経済性評価</b>	■ 伐採～搬出～植栽～育林の森林サイクルにおける収支を算出する。	■ テーマ I ～ II の結果を基に算出・比較を行う。
<b>2. 施業方法の選定</b>	■ 伐採から育林までの選定、早生樹の最適な育林手法を判断する。	■ 上記評価を判断基準として選定する。





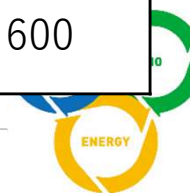
# I-1-②. 植林の実施と生育状況



■ 標高と植栽密度（3000本/ha,2500本/ha,1500本/ha）を変数として、**全7か所に植栽**した。

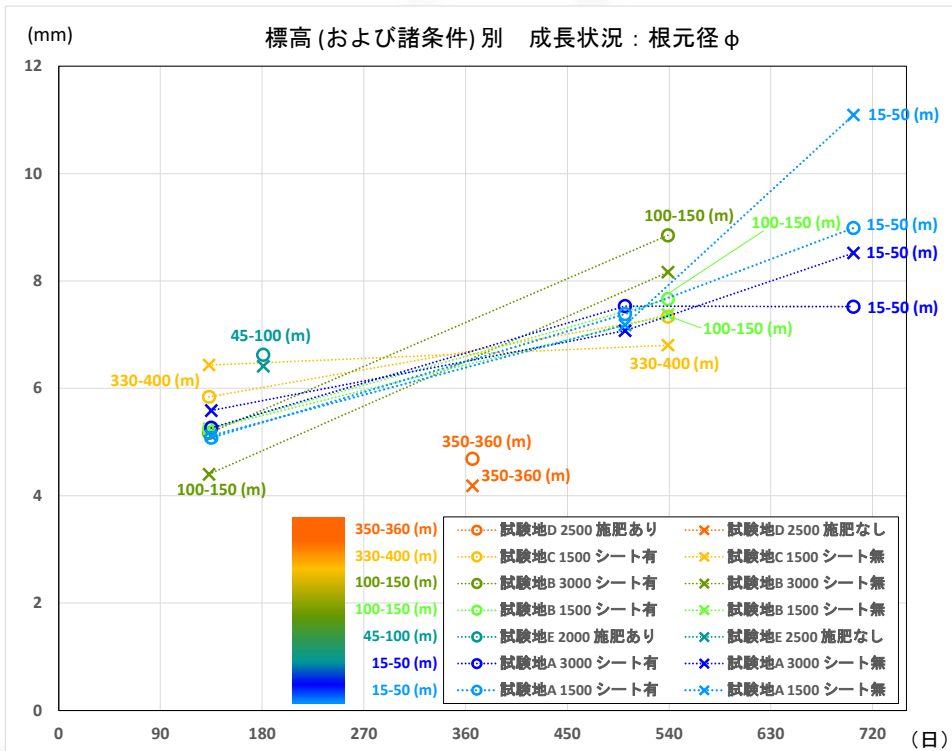
表1 試験地概要

試験地名	植栽年月	標高(m)	植栽面積(ha)	前生樹	植栽樹種	植栽密度 (本/ha)	植栽 本数(本)
試験地A	2022.11	15~50	0.30	スギ	コウヨウザン	3000	675
			—		スギ (比較区)	1500	
試験地B	2022.11	100~150	0.30	スギ	コウヨウザン	3000	675
			—		スギ (比較区)	1500	
試験地C	2022.11	330~400	0.30	広葉樹	コウヨウザン	1500	450
			—		スギ (比較区)	2500	—
			—		ヒノキ (比較区)		—
試験地D	2023.11	350~360	0.04	広葉樹	コウヨウザン	2500	100
試験地E	2023.11	45~100	0.50	広葉樹	コウヨウザン	2000	600
			—		ヒノキ (比較区)	2500	—
試験地F	2024.05	370~400	0.30	広葉樹	コウヨウザン	2000	600
試験地G	2024.11	11	0.30	スギ	コウヨウザン	2000	600

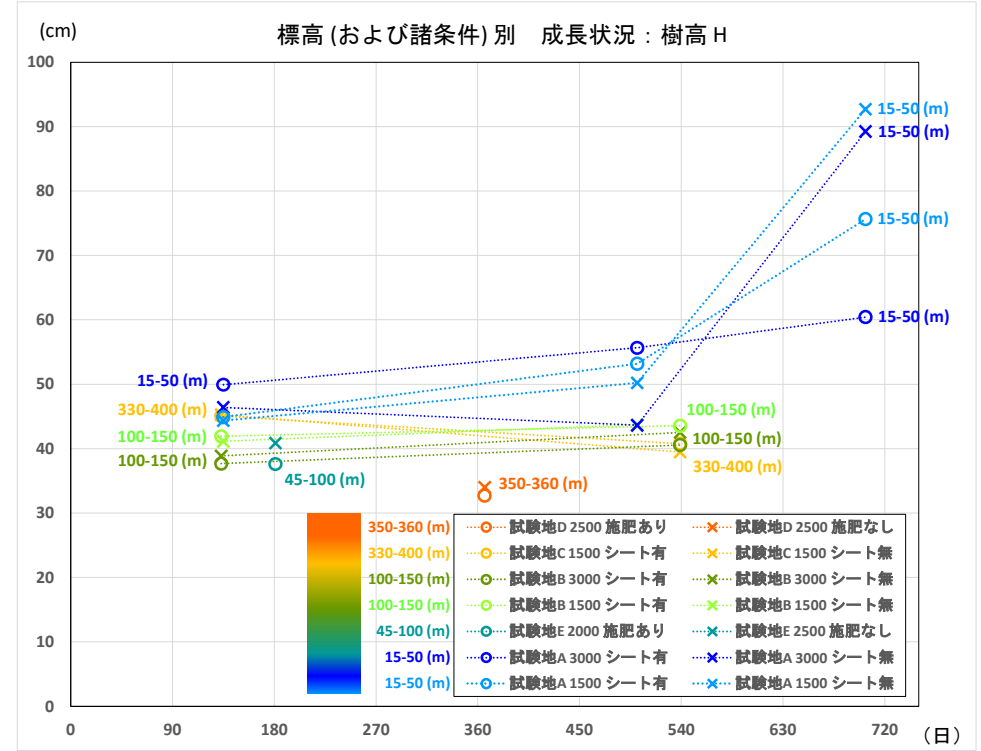


# I-1-②・③ 植林の実施と生育状況/成長量調査

## 根元径 (mm)

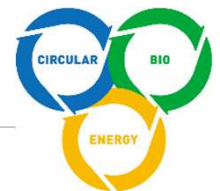


## 樹高 (cm)



■ 試験地の標高と根元径の成長との関係に明確と言える程の相関は無さそうだが、**試験地D(標高350-360m)**では、明確に**成長阻害**と思われる影響が見られた。

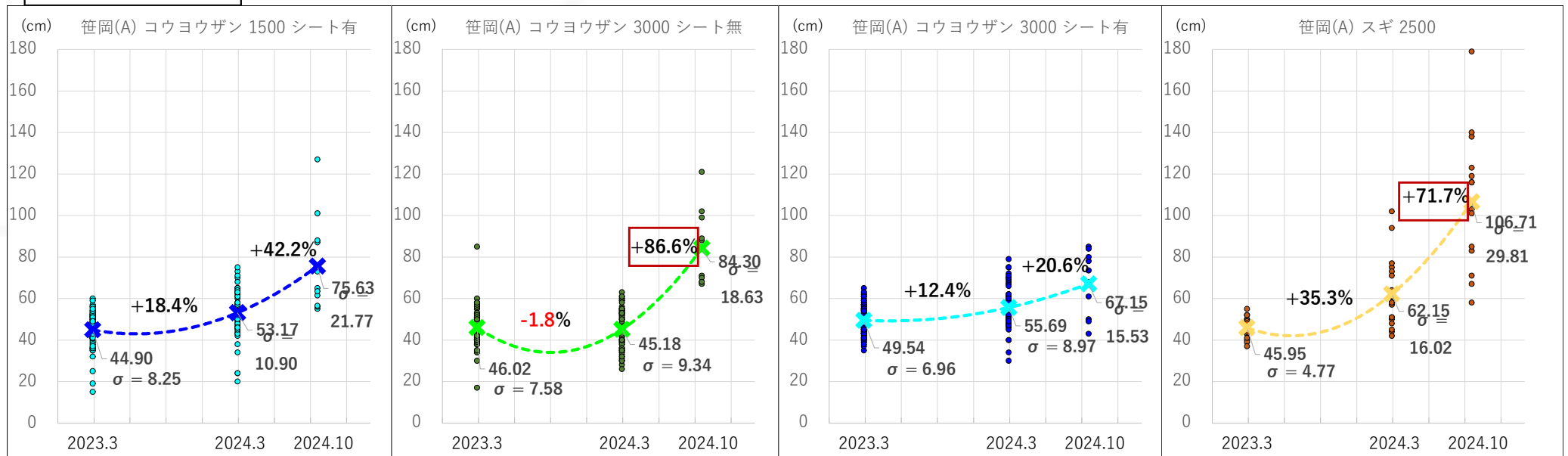
■ 試験地の標高と樹高の成長との関係には概ね、**負の相関**があるように見られる。  
(= 標高が高い程、成長が阻害される)



# I-1-②・③ 植林の実施と生育状況/成長量調査

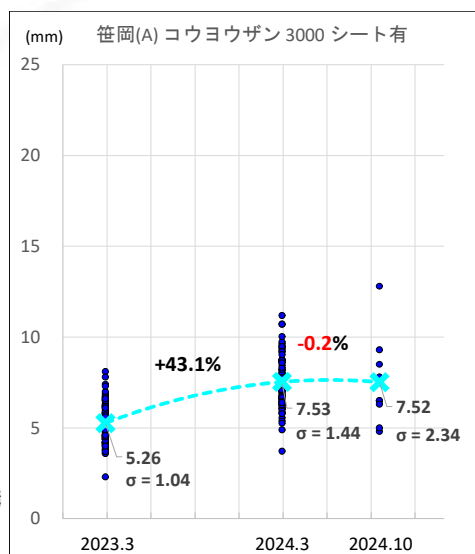
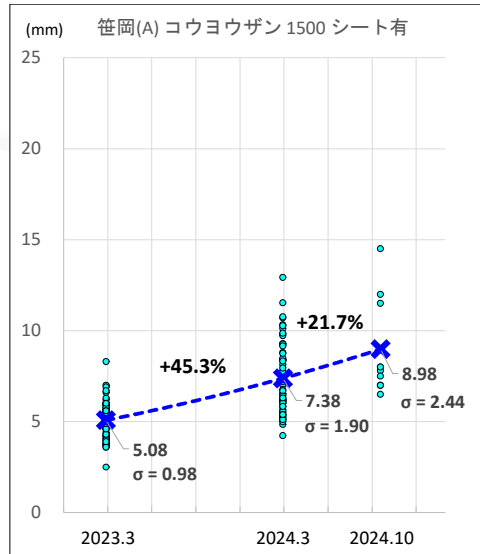
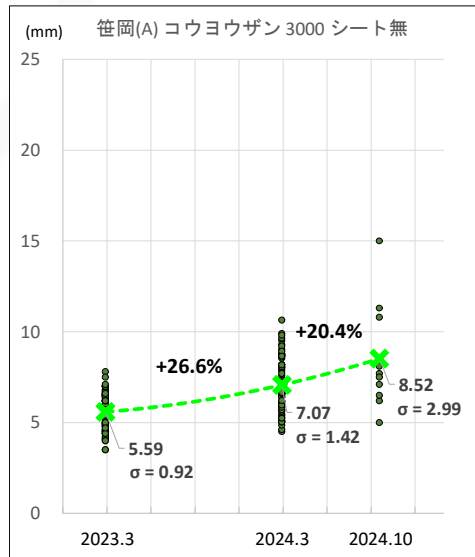
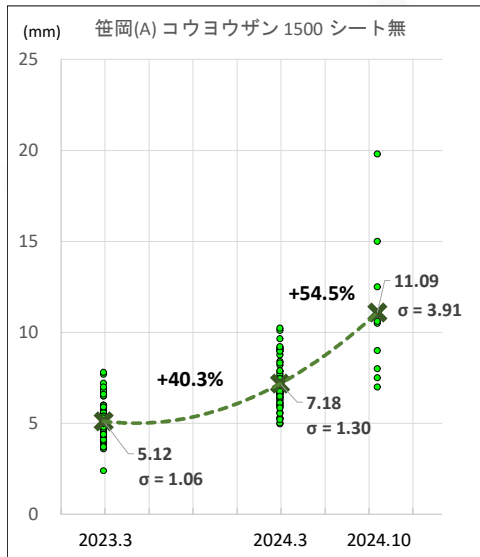
- スギと比較して、伸び率が著しく低い結果となったが、
  - 主に獣害に起因するものである。
  - 食害を受けることで、性質上、複数の芽を伸ばし、主となる幹以外にも養分等が分散されてしまうため、樹高が伸び悩んだものと想定される。
- 「コウヨウザン 3000シート無」のパターンは食害の後、食害を受けていないスギよりも旺盛な成長を見せた。

## 樹高 (cm)



# I-1-②・③ 植林の実施と生育状況/成長量調査

## 根元径 (mm)



■ 樹高と同様スギと比較して、伸び率が著しく低い結果となったが、

- 主に獣害に起因とし、複数の芽を伸ばす。
- 根元径は樹高の高いものの根元を計測するため、複数株の1本の径となり、過少評価となったと思われる。

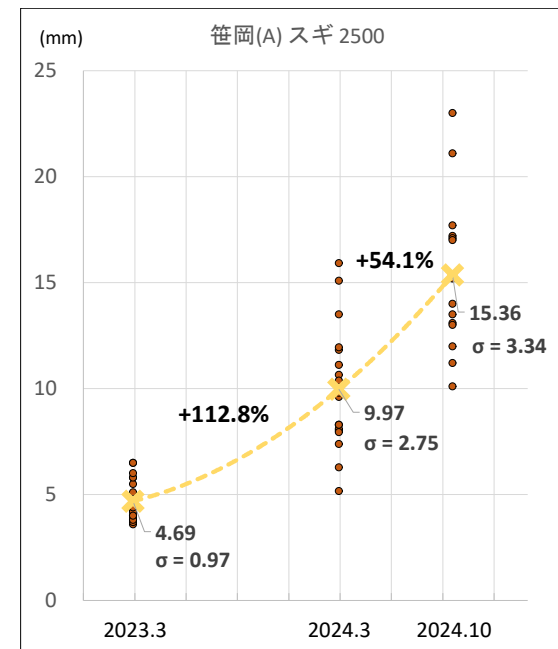
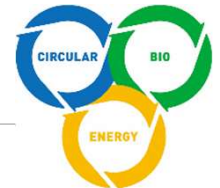


図. 複数株となったコウヨウザン



# I-1-④. その他精英樹の調査および比較

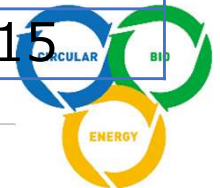


図.植栽後1年(ベンタミー)

表.試験地概要\_ユーカリ

	標高 (m)	樹種	植栽本数 (本)
試験地イ	67	ベンタミー	25
		マカースリィ	21
試験地ロ	34	ベンタミー	9
		マカースリィ	9
試験地ハ	171	ベンタミー	6
		マカースリィ	5
試験地ニ	34	ビミナリス	10
		ダニー	10
		ナイテンス	10
試験地ホ	382	ビミナリス	5
		ダニー	5
		ナイテンス	5
試験地ヘ	114	ビミナリス	15
		ダニー	15
		ナイテンス	15

コウヨウザンと同程度の  
標高限界の確認  
(2025.3調査)





# I-1-④. その他精英樹の調査および比較

- 樹高・根元径共に、全試験地（イ・ロ・ハ）において、マカースリイに比較してベンタミイの成長が良好であった。
- 植栽後7か月時点では樹高1mを超し、早期に食害リスクを回避できる可能性が高い。

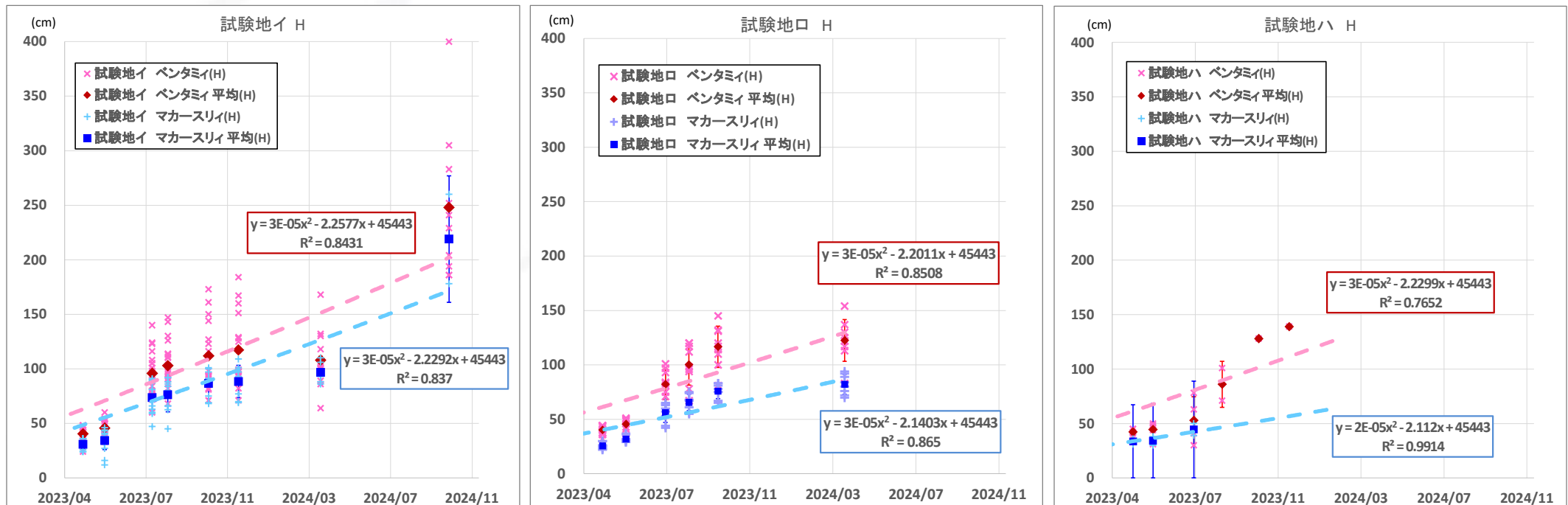


図.樹高成長線

# I-1-④. その他精英樹の調査および比較

- nitensのみ、樹高・根元径の伸びが他樹種と比べて相対的に良くない。
- nitensのみ、樹高・根元径の伸びのばらつきが他樹種と比べて大きい。

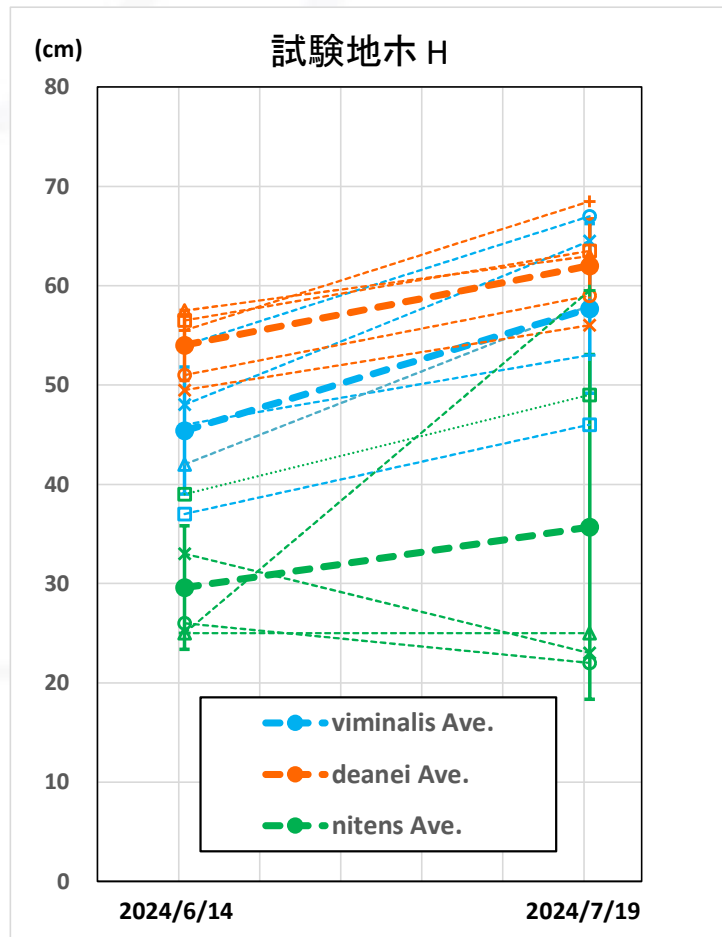


図.樹高

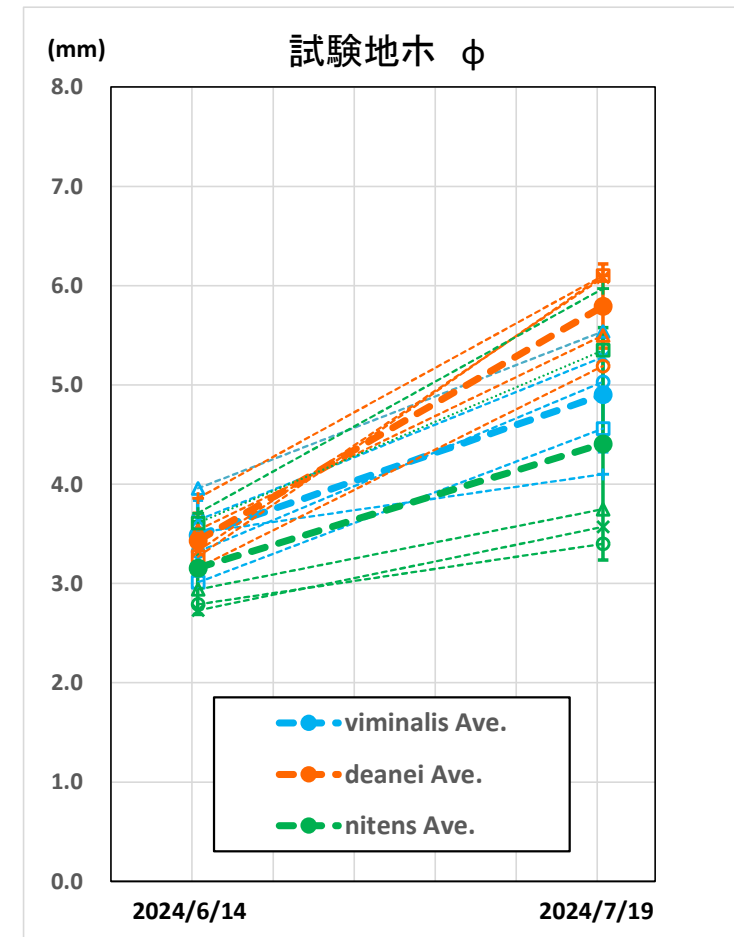


図.根元径



# I-2. 低コスト育林の実施と生育状況

■ 下刈及び獣害対策の低減について、試験を実施し、従来型と比較した。

## 【獣害対策が不要な場合】

① 従来	② 本事業
下刈 1回/年× <b>8年</b>	下刈 1回/年× <b>3年</b>

- 樹高が下草の高さを超える速度が速い（3年程度で超す）と仮定。
- 下刈には従来通りの草刈機を使用。

## 【獣害対策が必要な場合】

③ 従来	④ 本事業
<u>単木保護</u>	<u>防草・獣害対策シート</u>

- 双方下刈を行わず、防草シートには獣害対策用の忌避剤をしみ込ませたものを利用。



防草・獣害対策シート

# I-2. 低コスト育林の実施と生育状況

- 【獣害対策が不要】早生樹の場合、96万円/haとなり、コスト63%減の見込み。
- 【獣害対策が必要】防草・獣害対策シートの場合、440万円/haとなり、コスト40%減の見込み。

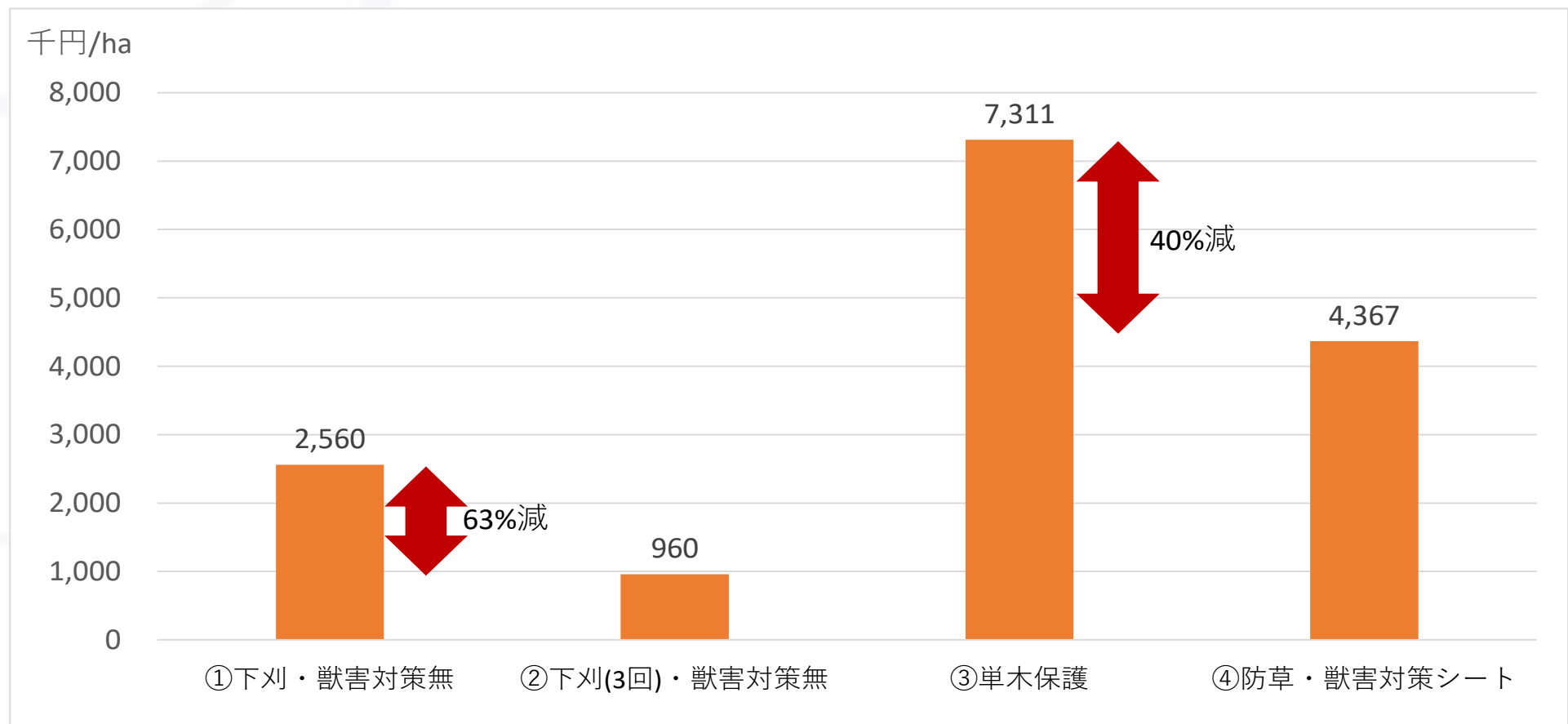
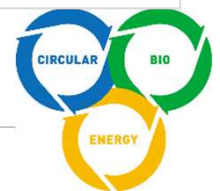


図 防草および獣害対策コスト比較 (見込)



# I-2. 低コスト育林の実施と生育状況

## ■ 防草効果

- 防草効果はあるが、シート間に生える灌木の枝がコウヨウザンの上空を覆い、被圧はしないものの、日当たりが悪くなり成長阻害を起こしている可能性がある。
- そのため、2年目に下刈を実施している。

## ■ 獣害対策効果

- 植栽後、1年は獣害対策効果を発揮。2年目以降は食害が発生した。
- 樹高が伸びず、食害にも合いやすい状態である。
- 来年度以降、県と共同で忌避剤試験を実施予定である。

表. 下刈実施履歴

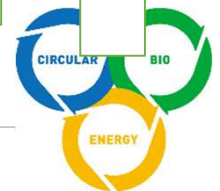
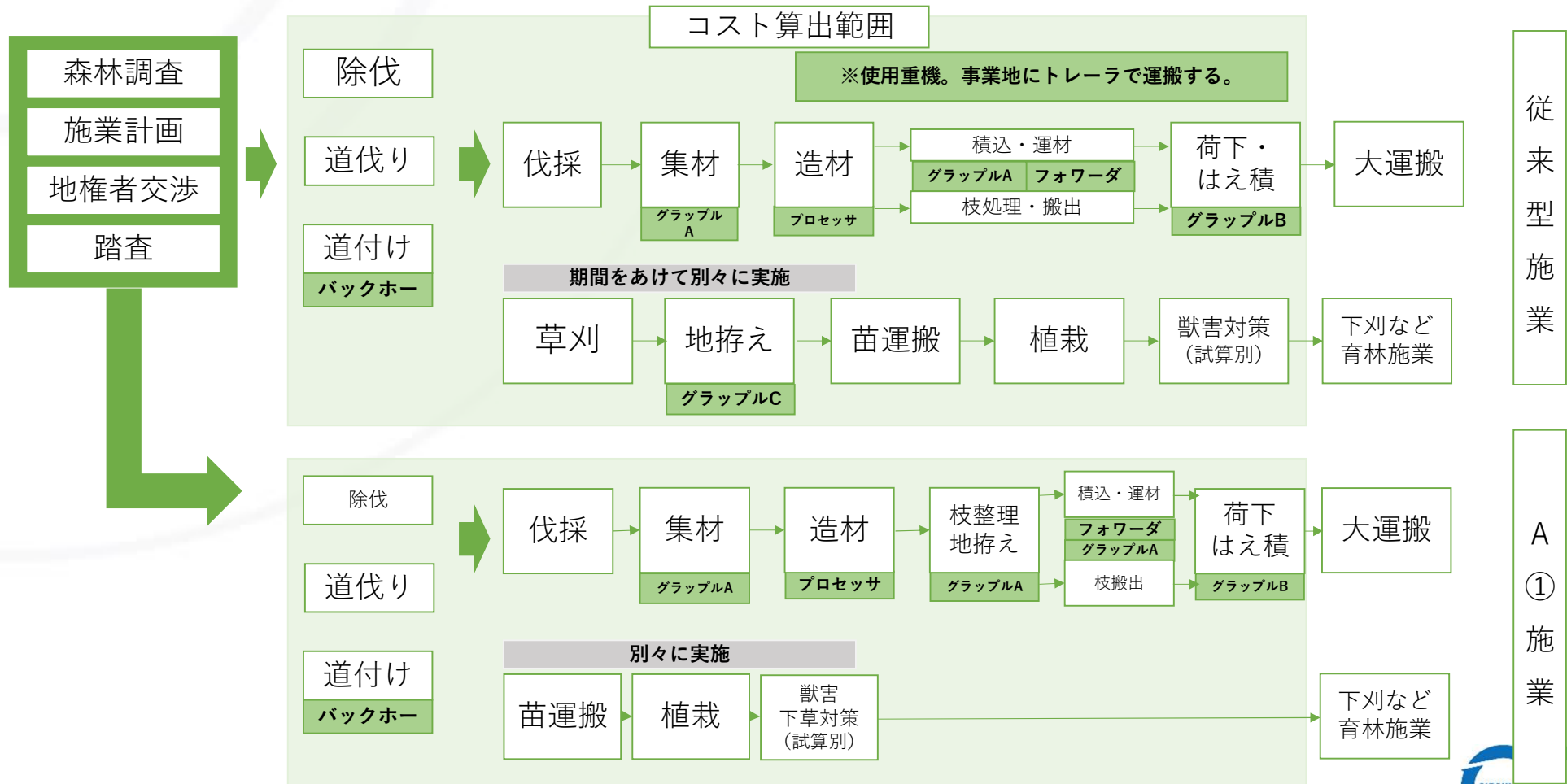
2022.11植栽	防草シート有	防草シート無
試験地A	2023.下刈無 2024.下刈1回	2023.下刈1回 2024.下刈1回
試験地B	2023.下刈無 2024.下刈1回	下刈無し
試験地C	2023.下刈無 2024.下刈1回	2023.下刈無 2024.下刈1回



梢端部の食害

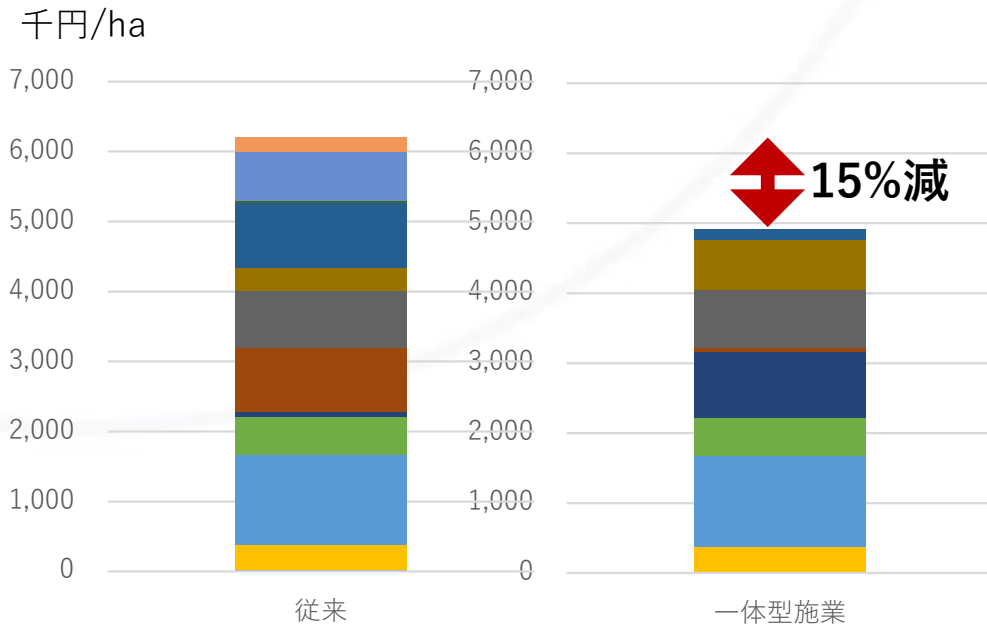
# II-1. 一体型施業の実施とコスト検証

- ✓ 伐採施業時に地拵えも行うこと、下草が繁茂する前に植栽を計画し、
  - 「除伐・下刈」の削減効果
  - 「地拵え」の省力化・重機運搬の削減効果 を検証した。

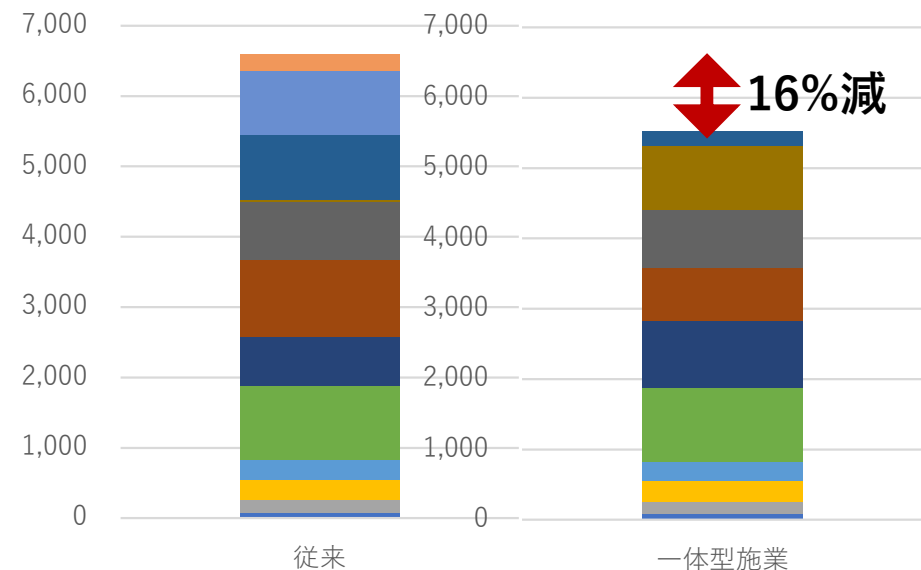


# II-1. 一体型施業の実施とコスト検証

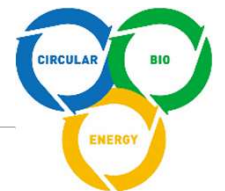
- 本事業内（試験地A・B）では、15-16%のコスト削減できると想定された。
- 主に、植林を見越した伐採搬出時での「枝の処理・地拵え」のコスト（労力）がほぼ半減したことによる。
- 現実には伐出と苗木運搬間の円滑な計画が困難であること、また、更なるコスト削減の検討のために、ドローンによる苗木運搬を検討している。



試験地A コスト削減効果



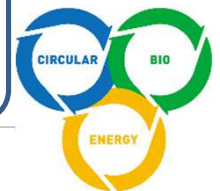
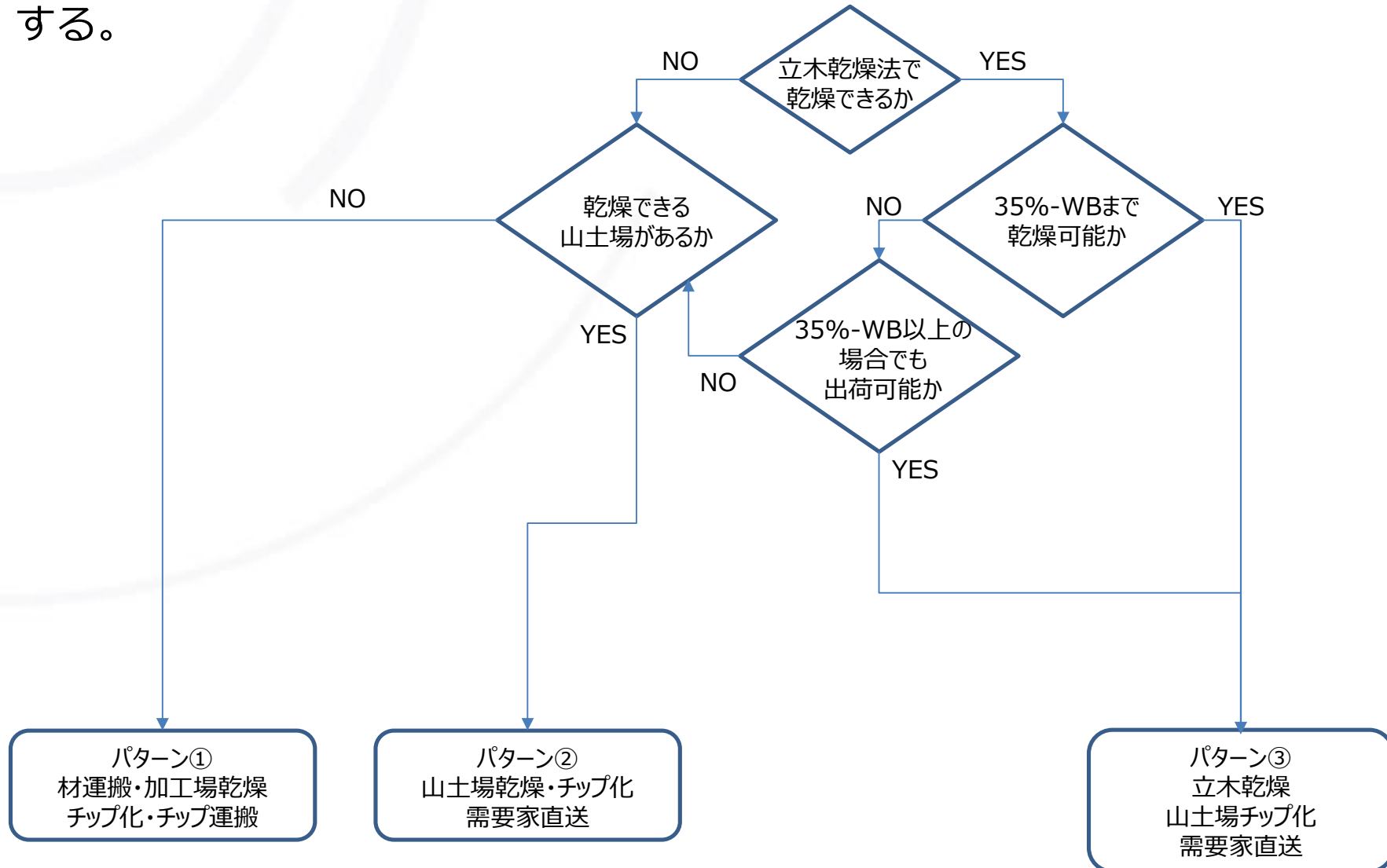
試験地B コスト削減効果



# II-2.

## 山林内における乾燥およびチップングのコスト検証

■ 立木乾燥法の結果（立木状態での乾燥可否）によって、チップ製造工程を選定する。





# II-2.



## 山林内における乾燥およびチップングのコスト検証

### 【試験概要】

■計測日:2024年3月21日 ■天候:雪/晴れ ■斜面:南向き斜面、平坦 ■試験本数:10本/区

■区画:次の4パターンで含水率の低下状態を調査した。

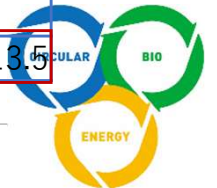
①梶本式 ②扇状型 ③まきがらし ④比較区

### 【作業効率について】

■作業効率は、②扇状型最も高く（34sec/本）、③梶本式（1min18sec/本）となり、まきがらしは10分以上要した。

■また、まきがらしは、時期的なものにもよるが、テッポウムシにより材質を低下させた。

No	区画①		区画②		区画③			作業時間計 (min)
	胸高直径 (cm)	作業時間 (min)	胸高直径 (cm)	作業時間 (min)	胸高直径 (cm)	作業時間(min) (マーキング)	作業時間 (min) (皮剥)	
1	49	01:44.0	54	00:47.9	51	-	-	-
2	52	03:01.3	63	00:36.2	62	03:21.7	20:00.0	23:21.7
3	63	00:00.0	55	00:45.7	61	02:20.3	04:52.0	07:12.3
4	61	01:17.2	64	00:50.9	33	01:35.1	02:29.4	04:04.5
5	57	01:21.0	36	00:27.0	59	02:28.9	-	-
6	60	01:31.9	37	00:38.8	44	01:39.6	-	-
7	39	01:22.4	50	00:23.7	41	01:33.5	02:56.2	04:29.7
8	39	00:29.3	31	00:28.3	27	01:12.2	10:47.0	11:59.2
9	59	01:09.1	33	00:20.8	35	01:05.6	-	-
10	62	01:11.4	53	00:23.4	39	01:01.8	-	-
平均	54.1	01:18.7	47.6	00:34.3	48:00.0	01:48.7	08:12.9	10:13.5





# II-2.

## 山林内における乾燥およびチップングのコスト検証



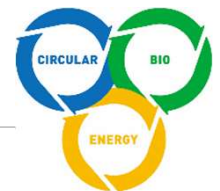
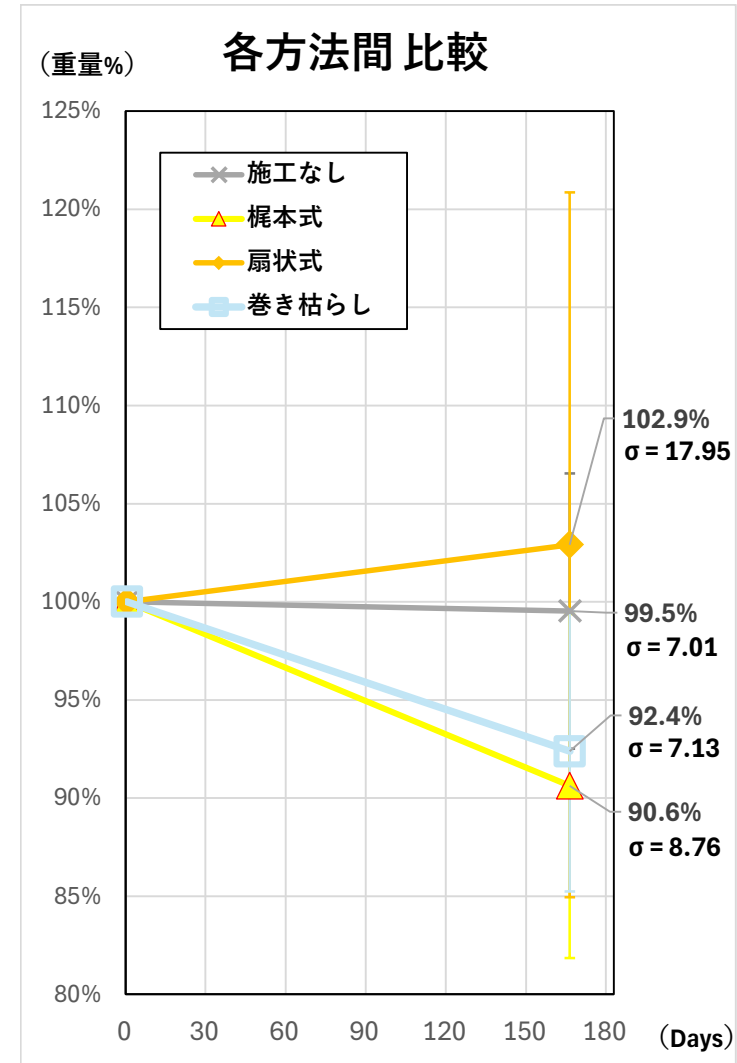
### 【立木乾燥法の効果について】

■ 平均で見ると、梶本式が最も良く乾燥していた。

次いで、微差で巻き枯らし。

■ 扇状式は「外れ値」と思われる結果が影響している。

※ただし、本含水率は根元周辺をくりぬいて絶乾法にて測定したもの（ごく少量）であるため、現在、丸太円盤にて含水率の最終確認中である。



# II-2.

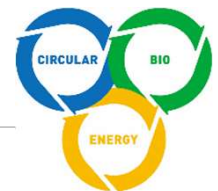
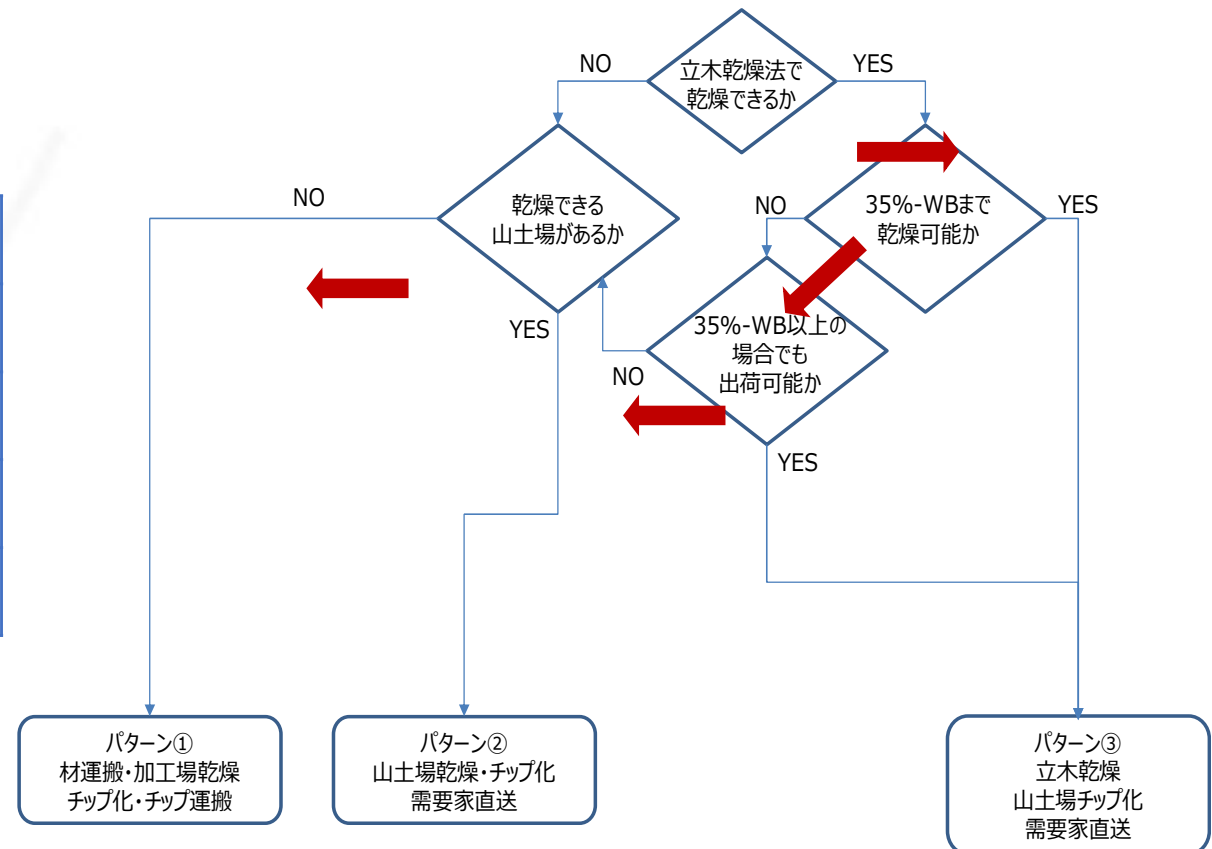
## 山林内における乾燥およびチップングのコスト検証

- 現段階において、立木乾燥にて35%-WB程度の含水率低下の効果はないため、選定されるパターンは「①」である。
- パターン①場合のコストは、「4,989円/ton」である。

コスト試算結果

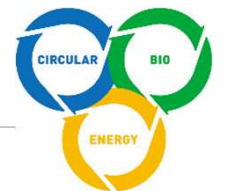
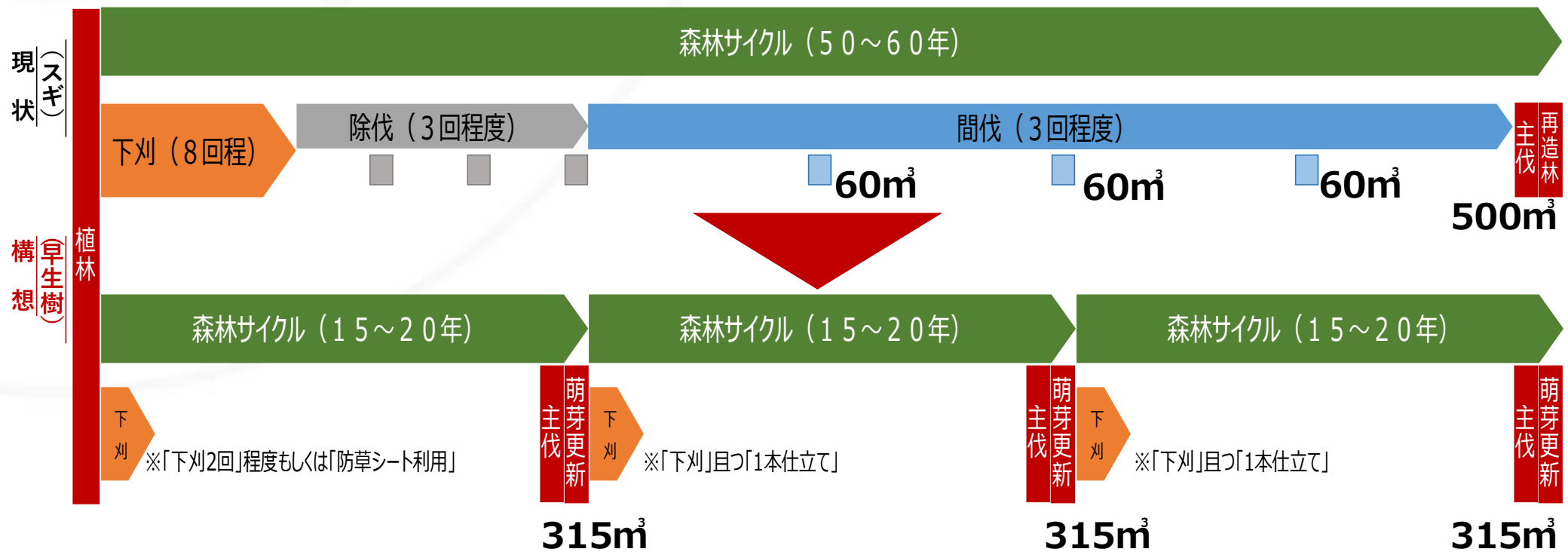
パターン	円/m3	円/ton
①	3,070	4,989
②	1,921	3,122
③-1	2,511	4,080
③-2	2,511	3,139

- ✓ ①～③-1 : 35%-WB出荷
- ✓ ③-2 : 50%-WB出荷



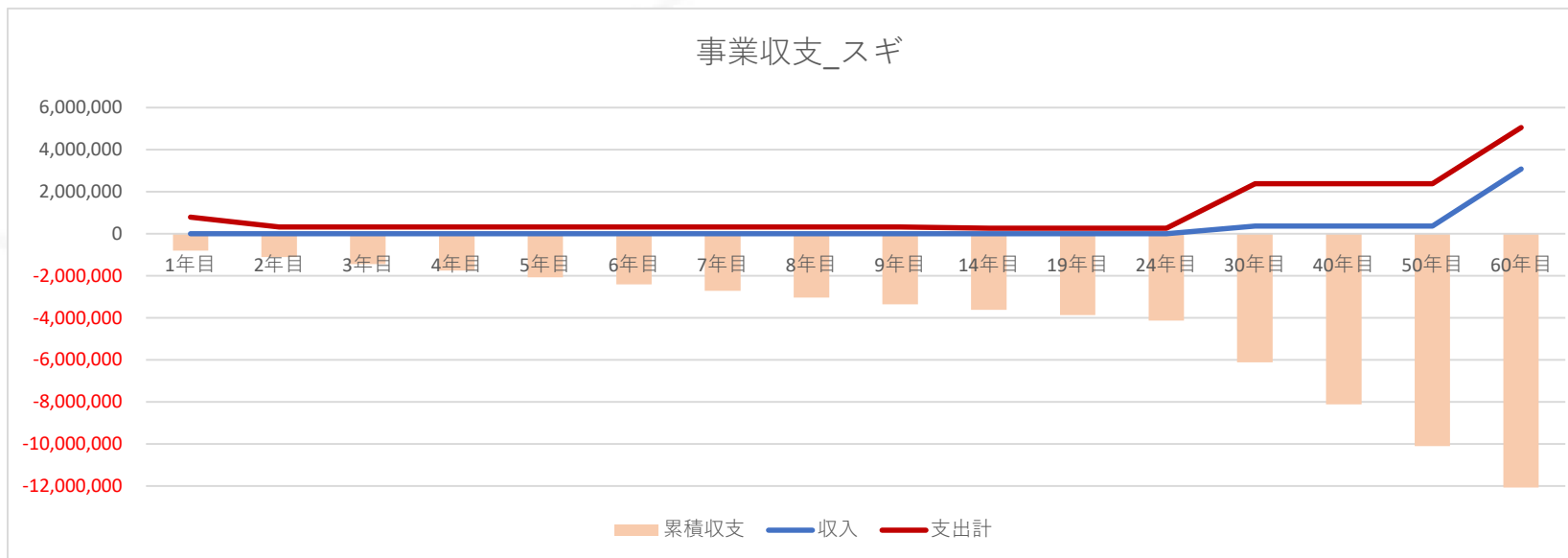
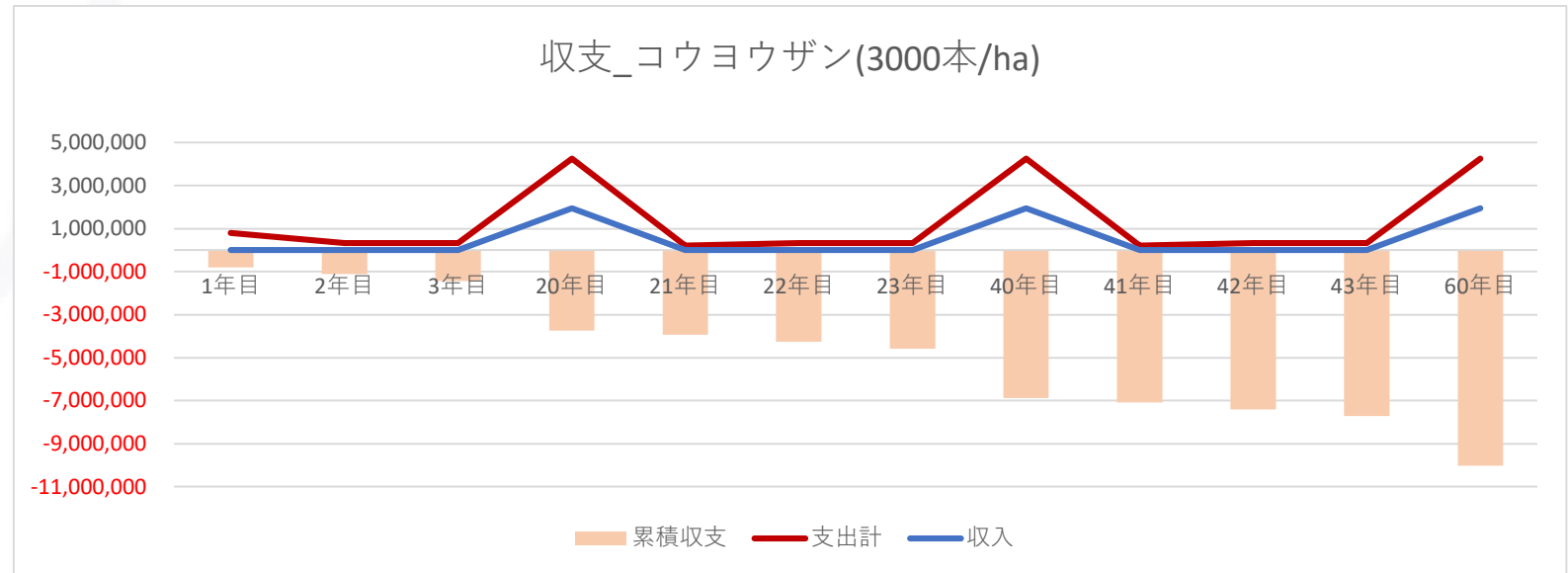
# Ⅲ. 燃料生産に特化した施業方法の経済性評価

- 収穫の早期化および天然更新による植林費の低減の可能性はある。
- 収穫量の増加の可能性はある。（例：60年で680m<sup>3</sup> → 60年で945m<sup>3</sup>）
- 年間2400tonの需要量を賄うには年間9ha程度の植栽が必要である。



# Ⅲ. 燃料生産に特化した施業方法の経済性評価

■燃料材生産を前提とした場合、既存モデルに比較して本事業モデルがやや収支改善する可能性がある。



■現状、スギには伐採・植栽・育林に対する補助があるため、黒字転換している。

→そのため、コウヨウザンに対しても補助があれば、黒字転換となる。

