

地域内エコシステム」サポート事業
木質バイオマス燃料利用環境評価・効率化調査 成果報告会
(第7回国際バイオマス展 春 林野庁事業成果報告セミナー)

木質バイオマスエネルギー利用の GHG※排出量とコスト推計

※GHG：温室効果ガス（Green House Gas）、本事業ではCO₂,N₂O,CH₄を対象とした

(一社) 日本木質バイオマスエネルギー協会

事業概要、目的

実態調査について

GHG排出量試算結果について

コスト試算結果について

- シナリオ別コスト比較
- 移動式チップパーによるコスト低減効果

移動式チップパーによる末木枝条の活用効果について

まとめと課題

課題

GHG排出量と燃料材のコスト低減



方針

効率的なサプライチェーンの構築



既存の具体策

中間土場、移動式チッパー、天然乾燥の導入



問題点

効果が定量的に評価されていない



実施内容

- ✓ 6シナリオのサプライチェーンを想定
- ✓ GHG排出量とコストを試算
- ✓ GHG排出量と燃料材のコスト低減に向けた検討

- 中間土場は一時的な木材の集積、保管を目的として設けられる
- 3ヵ月程度置くことで水分は低下（天然乾燥）
 - ✓ 低位発熱量が向上するため、エネルギー当たりGHG排出量、コストが低下
- より大型のトラックに積み替えることで輸送効率も向上



移動式チップーには以下の効果があると想定

- ✓ 不動産取得費用や施設建設費用といった導入コストの低減
- ✓ 積荷・積下作業の効率化による作業コスト低減
- ✓ 機動力を生かし、山土場での末木枝条をチップ化し、森林資源の最大限の活用

原木の積荷・積下作業時間

	トラック最大積載重量と積載率	
	10t,80%	24t,70%
荷積時間(h)	1.1	2.7
荷下時間(h)	0.3	0.8

⇒移動式チップーはトラックの荷台に直接吹き込むため、生産性(左写真の例：20t/h)の逆数が積込時間となる



(参考) 本事業におけるチップターの定義



▲固定式チップター

- ✓ 特定の施設での運用
- ✓ 主な動力は電力



▲自走式チップター

- ✓ 公道を自走することはできない
- ✓ 工場内では自走が可能
- ✓ 主な動力は軽油



◀移動式チップター

- ✓ 公道の自走が可能
- ✓ 機動力を活かし、複数箇所での運用も可能
- ✓ 主な動力は軽油

- ✓ 持続可能性WGでは発電用木質バイオマスに対して、比較対象電源（180g-CO₂/MJ電力）に対して**2030年までは50%削減（90g-CO₂/MJ電力）、2030年以降は70%削減（54gCO₂/MJ電力）**を基準値とすることとし、調達価格算定委員会に報告された。
- ✓ 上記の基準値は**新規発電所の認定基準**となるとともに、**既存発電所に対して、排出量の公開など削減努力を促す仕組み**を検討している。
- ✓ 確認手段として、調達価格等算定委員会『令和4年度以降の調達価格等に関する意見』では、「燃料納入時に所定の削減率を下回ることを確認し、事業実施期間にわたりその書類を保存するとともに、報告を求める」こととしている。
- ✓ **2022年以降は既定値の策定、確認手段の整理を速やかに検討すること**となっている。

事業概要、目的

実態調査について

GHG排出量試算結果について

コスト試算結果について

- シナリオ別コスト比較
- 移動式チップパーによるコスト低減効果

移動式チップパーによる末木枝条の活用効果について

まとめと課題

- ✓ 既存資料の調査や事業者へのヒアリングを通してサプライチェーンの実態を把握
- ✓ 3ルート、6シナリオのサプライチェーンにおけるGHG排出量とコストを試算
- ✓ 試算にあたっては下記の4工程を設定
 - ✓ GHG排出量の試算は4工程を対象
 - ✓ コストの試算は伐採・搬出、輸送、加工を想定

伐採・搬出

立木を伐採し、山土場に集積する工程

輸送

燃料材を運搬する工程
(燃料材：原木、チップ、ペレット)

加工

チップ、ペレット加工する工程

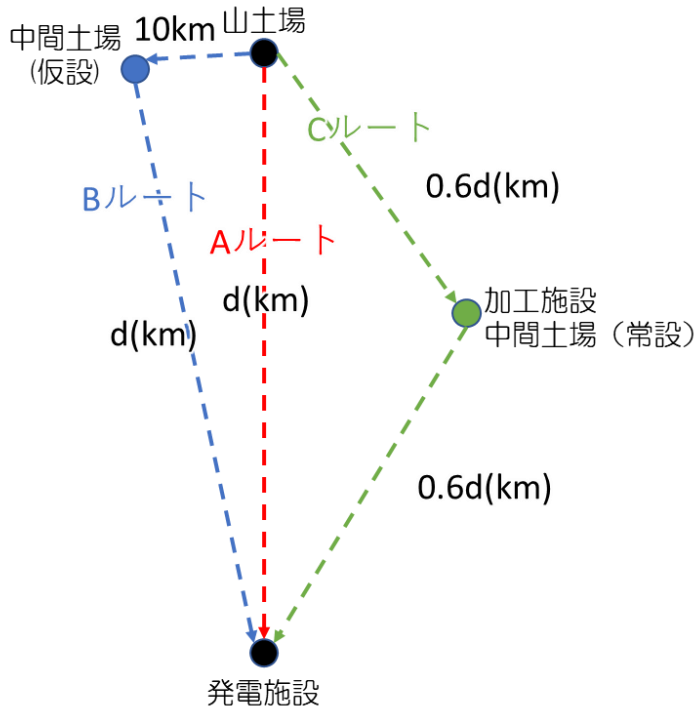
利用

燃焼工程

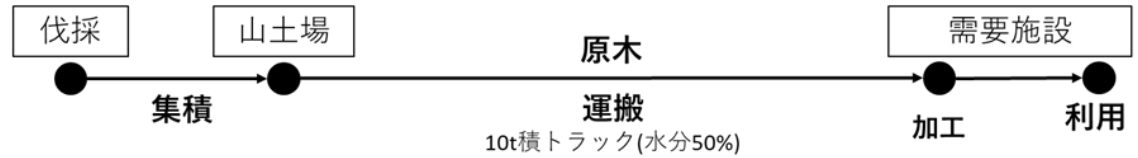
注意点

- 発電所の建設・解体や燃焼灰の処理などはGHG排出量試算の対象外とした
- 本試算結果は今回の試算条件にもとづくものであり、条件設定により結果は異なる

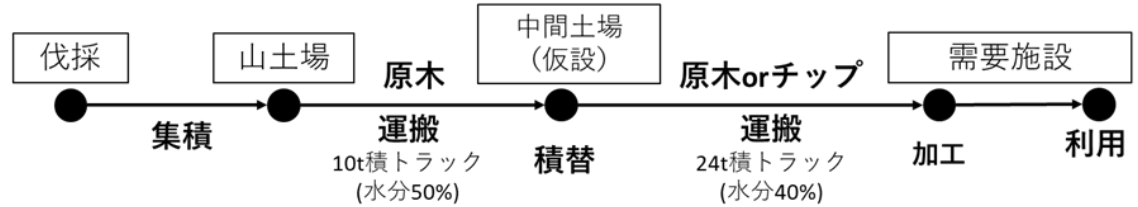
試算にあたって想定した3ルート、6シナリオ



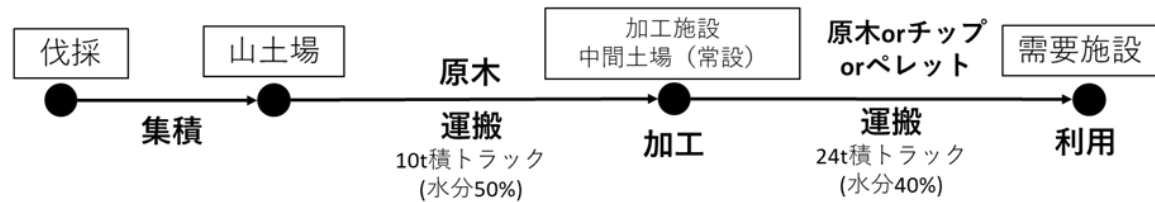
Aルート(1シナリオ)



Bルート(2シナリオ:原木、チップ)



Cルート(3シナリオ:原木、チップ、パレット)



※上記は直線距離であることから、走行距離は更に1.3倍とした

(参照) 日本の主要都市における直線距離と道路距離との比に関する実証的研究,GIS-理論と応用,2014,森田ら

- ✓ 伐採・搬出工程のGHG排出量は既往文献を参照した
- ✓ 既往文献の値を変換し、wet-tあたりのCO₂排出量を想定

伐採工程の作業種別GHG排出量 (kg-CO₂)

	架線系	車両系
主伐	3.91V	8.43V
利用間伐		
伐倒	0.16V	0.16V
集材	3.14V	
木寄		4.56V
造材	2.41Ve	2.41Ve
搬出	2.04Ve	2.04Ve

V=伐採材積m³/ha, Ve=搬出材積m³/ha

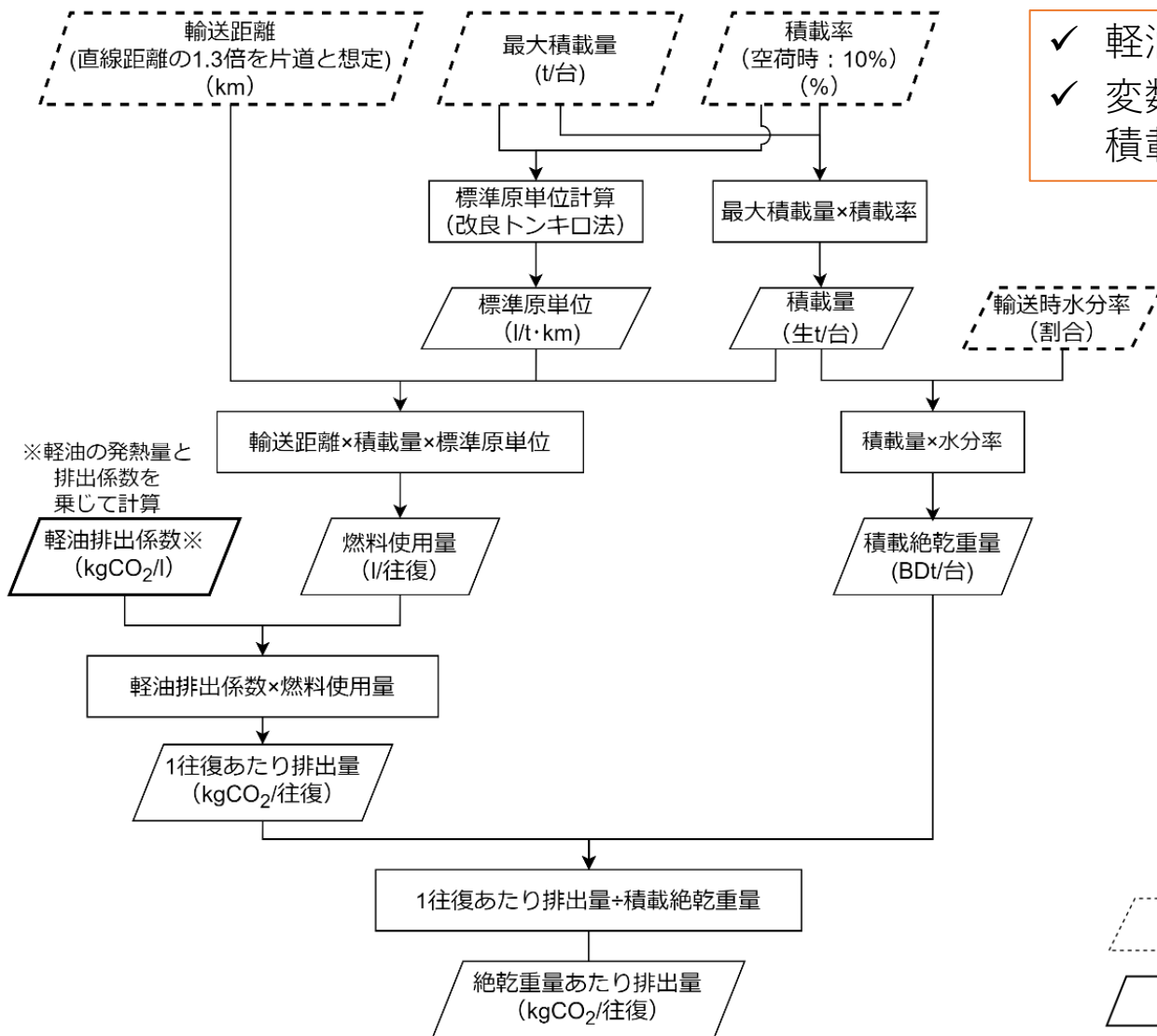
伐採工程におけるGHG排出量 (搬出材1t生産当たり) (kg-CO₂/wet-t)

	架線系	車両系
主伐	2.46	5.31
利用間伐計	4.88	5.78

※1 換算係数は1m³ = 0.63tとした(水分50%スギ*)
 ⇒ 燃料材としての利用が前提であることから、
 V:Ve=1:1とした
 (*「地域ではじめる木質バイオマス熱利用,JWBA」)

表：林業作業におけるCO₂排出量算定と収支分析,2011,
仲畑らより引用

輸送工程：GHG排出量計算フロー



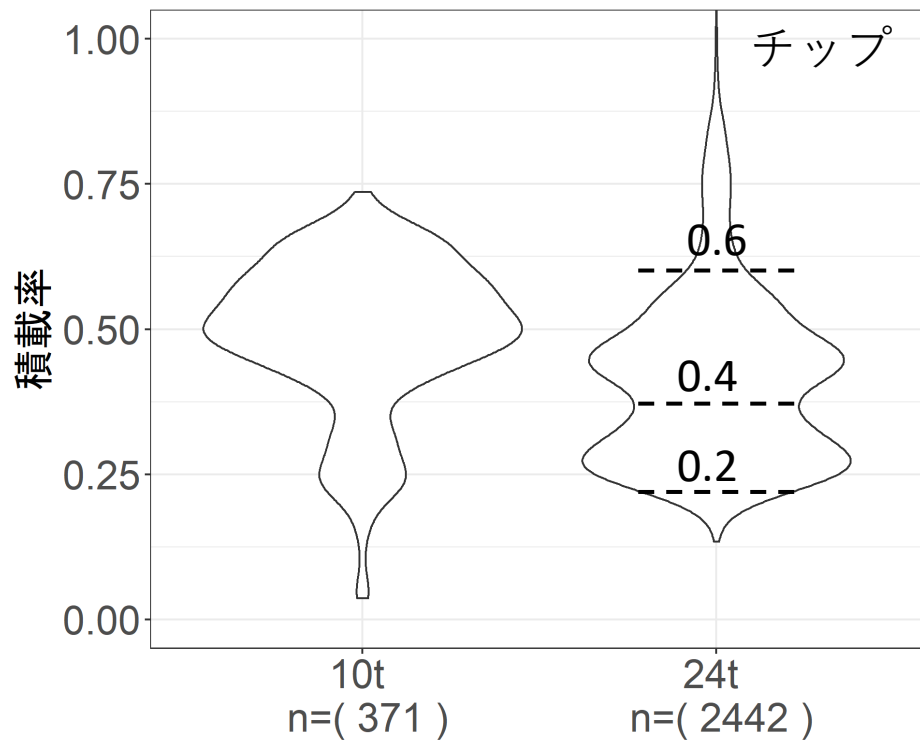
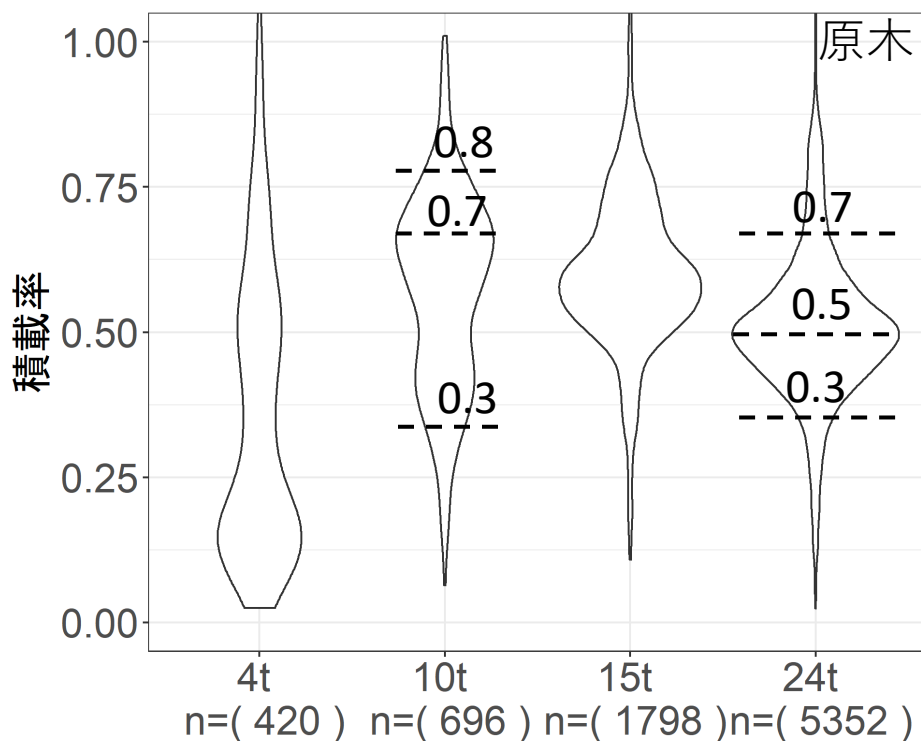
- ✓ 軽油使用のGHG排出量が対象
- ✓ 変数は輸送距離、最大積載量、積載量、積載率、輸送時水分

虚線枠 : 変数
実線枠 : 係数 (固定値)

- ✓ 事業者より提供いただいたトラックスケールのデータを集計し、積載率を調査
- ✓ 積載率の算定にあたっては最大積載量が必要となる
- ✓ 空車時重量から最大積載量を設定（下表）

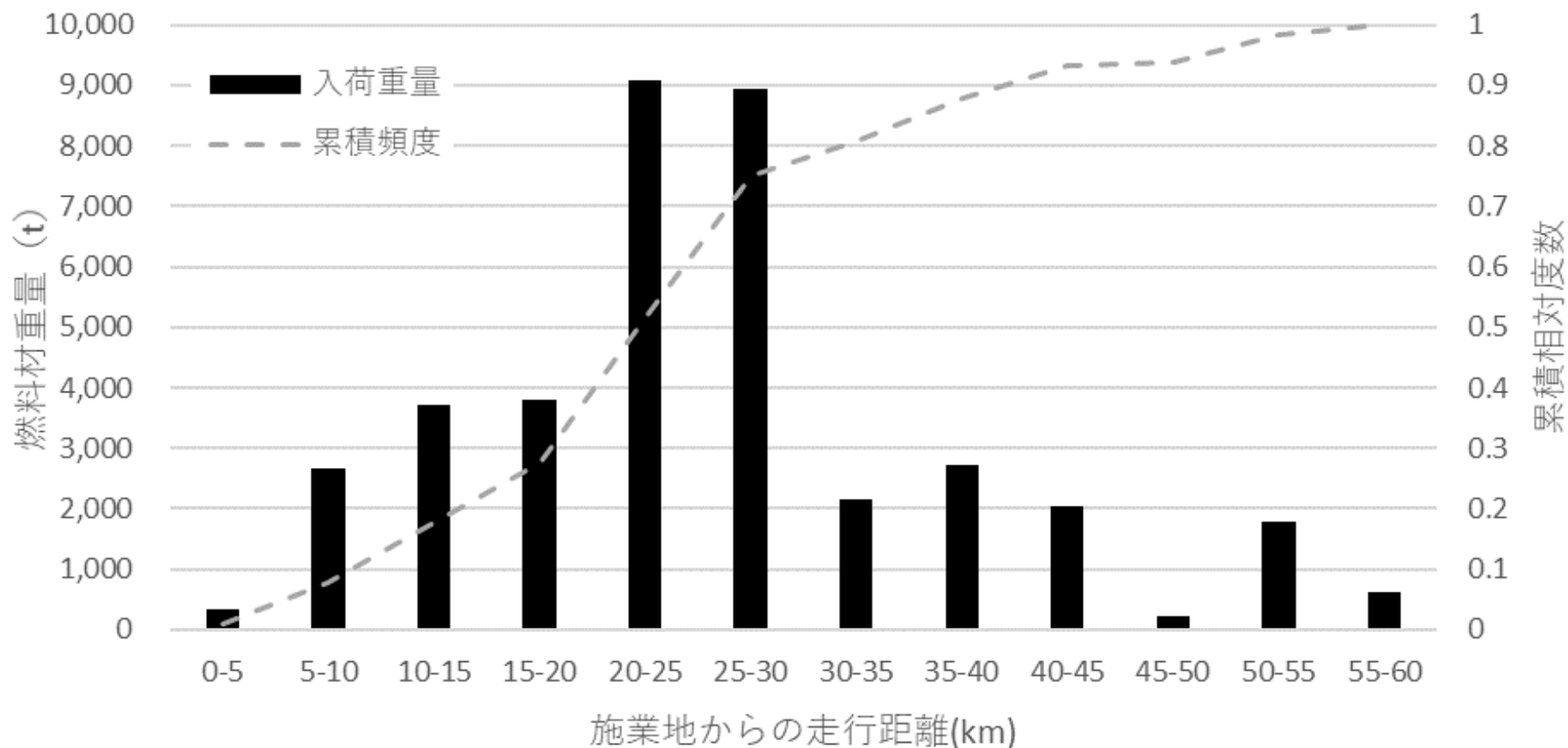
空車時重量	最大積載量	備考（車両分類について）
4t未満	4t	メーカーカタログから最大積載量を抽出
4～7t	10t	
7～12t	15t	
12t以上	24t	

- ✓ 積載率の分布は下図のとおり
- ✓ 点線は試算で用いた上限値、代表値、下限値
- ✓ 原木15t以上、チップは重量でなく、容積が制限要因となっていると考えられる
 - 満載時でも最大積載重量に満たない

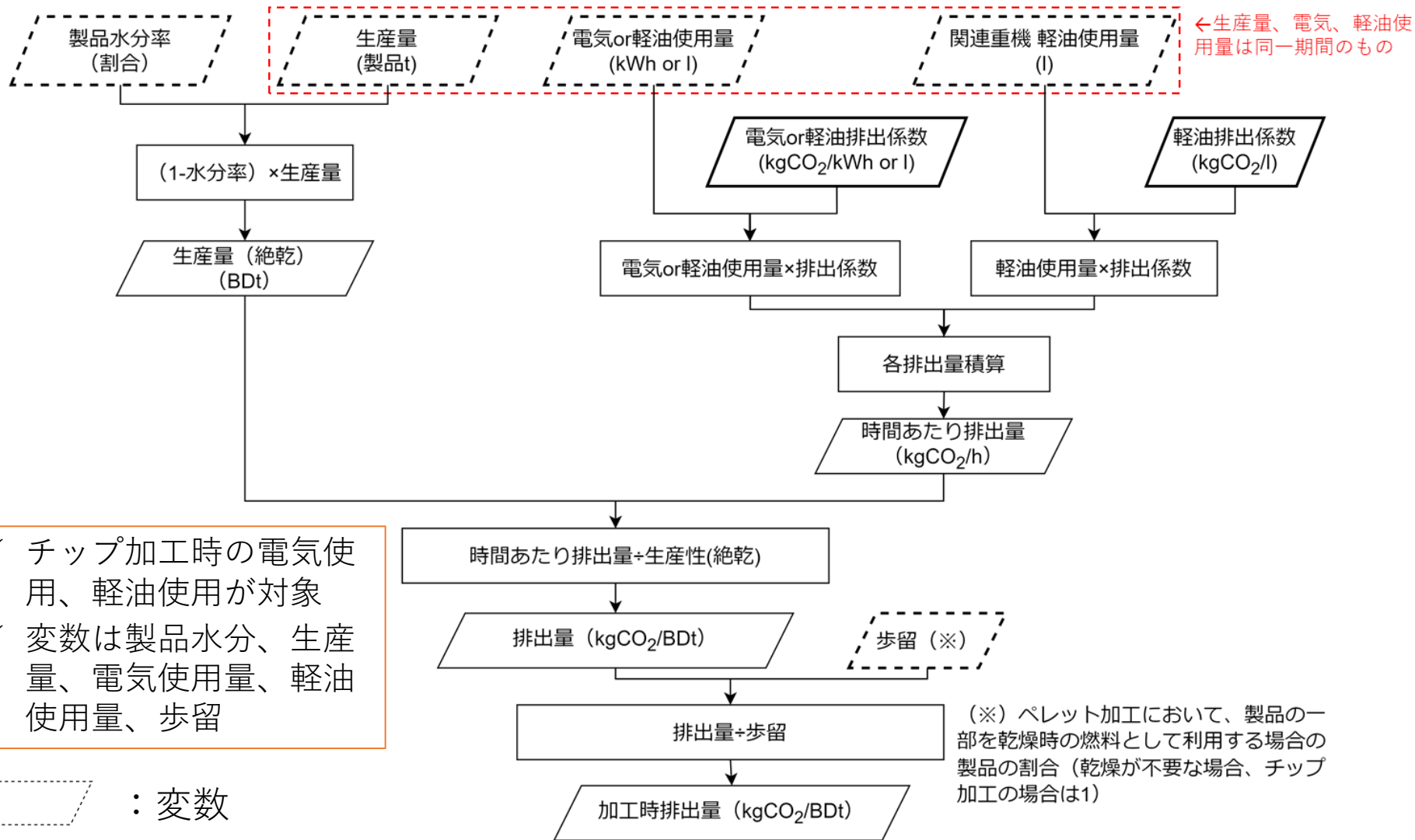


輸送工程：ある事業者が収集する材の実走行距離

- ✓ トレーサビリティシステムを導入している事業者から提供いただいたデータをもとに分析
- ✓ 30km未満で75%の材を集材していた



加工工程：GHG排出量計算フロー



- ✓ チップ加工時の電気使用、軽油使用が対象
- ✓ 変数は製品水分、生産量、電気使用量、軽油使用量、歩留

▭ (虚線) : 変数

▭ (実線) : 係数 (固定値)

加工工程：チップ加工におけるGHG排出量試算結果

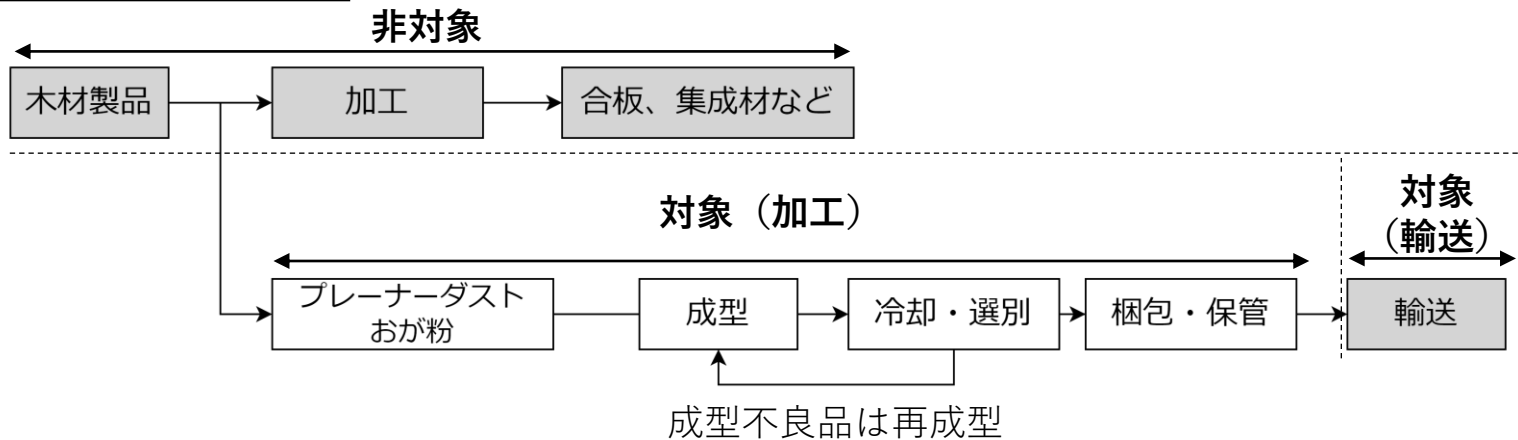
- チップ加工事業者3社にヒアリングし、電気使用量、軽油使用量をヒアリング
- 試算結果は下表のとおり
- サプライチェーンの比較では事業者Cの値を使用した
- 既往資料での排出量と比較すると低い値となった
 - ✓ 森エネ報告書 : 価値配分 1.89、重量配分 6.4 (gCO₂/MJ)
 - ✓ MURC報告書 : 北米、ベトナム0.3、国内林地残材1.6 (gCO₂/MJ)

項目		事業者A 固定式 切削	事業者A 自走式 切削	事業者B 固定式 切削	事業者C 固定式 切削・破碎合算
GHG 排出量	(kg/BDt)	11.3	5.9	5.8	16.8
	(kg/wet-t)	6.8	3.5	3.5	10.1
	(gCO ₂ /MJ)	0.6	0.3	0.3	0.9
	(gCO ₂ /電気MJ)	2.8	1.5	1.5	4.2

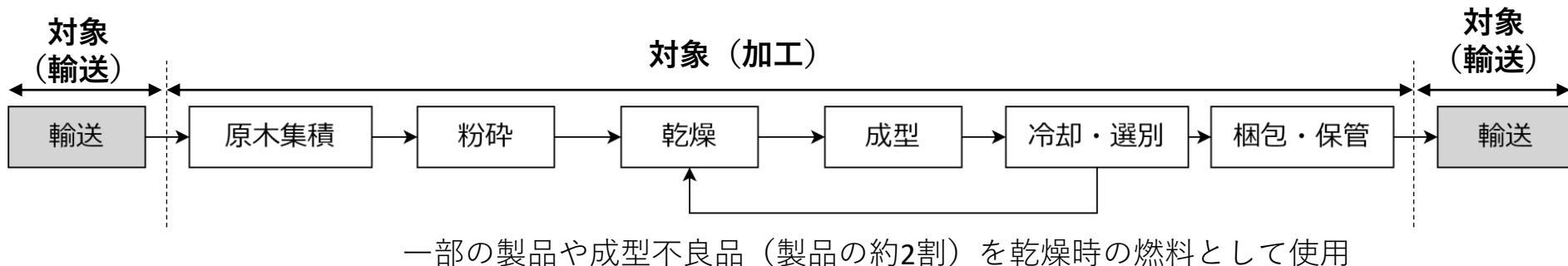
加工工程：調査したペレット加工事業者の工程

- ペレット加工事業者2社にヒアリングし、GHG・コスト試算に必要な情報を収集した2社の特徴と具体的な工程は以下のとおり
 - ✓ A：輸入木材製品の加工時に排出されるプレーナーダスト、おが粉が原料
 - ✓ B：原木を皮ごと粉碎し、ペレット化

Aのペレット化工程



Bのペレット化工程

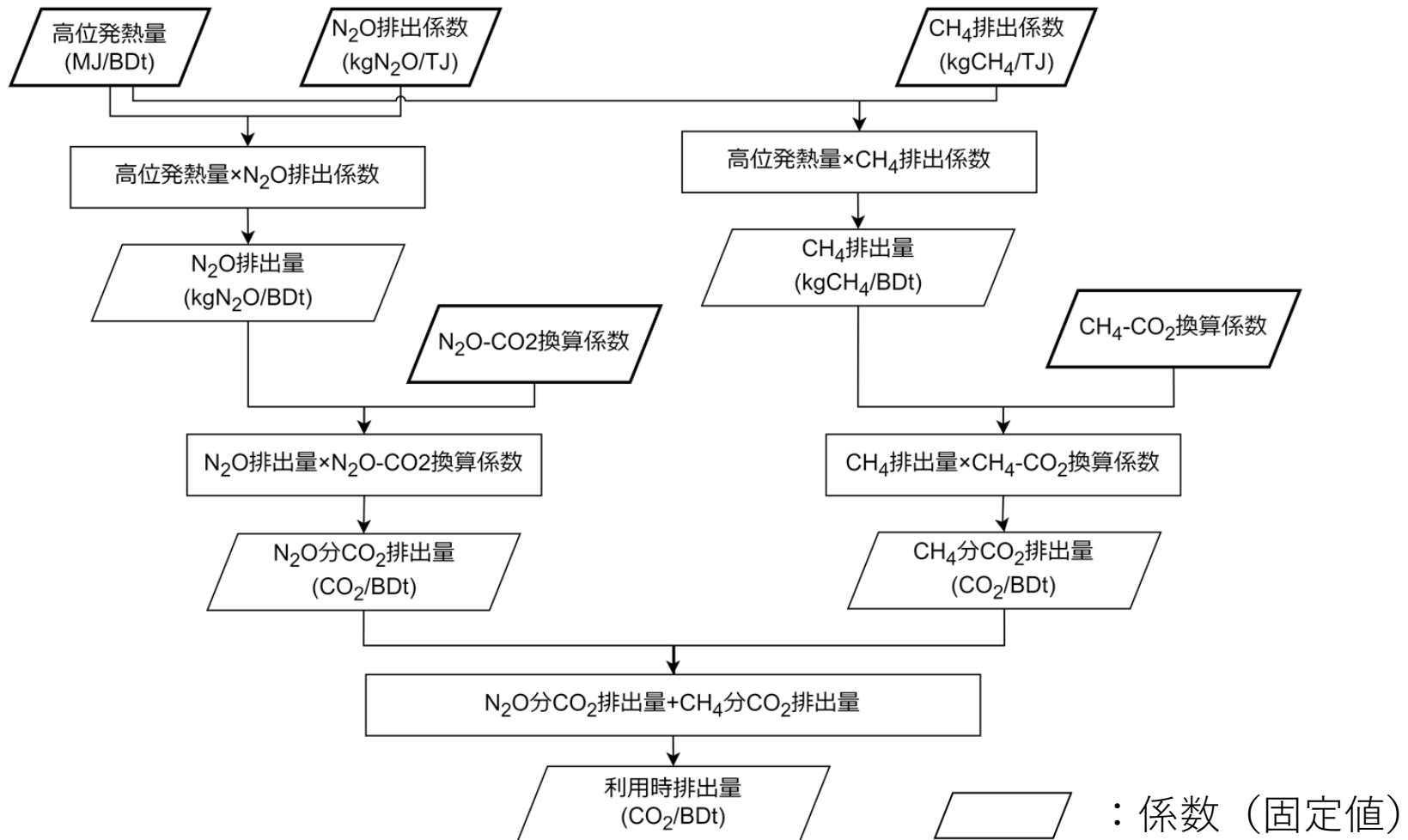


- 試算結果は下表のとおり
- サプライチェーンの比較では事業者Cの値を使用した
- 既往資料での排出量と比較すると低い値となった
 - ✓ 森エネ報告書 : 1.8gCO₂/MJ
 - ✓ MURC報告書 : カナダ6.0、ベトナム11.0、国内12.5 (gCO₂/MJ)

項目		A	B
GHG 排出量	(kg/BDt)	71.1	53.4
	(kg/wet-t)	66.8	50.2
	(gCO ₂ /MJ)	3.6	2.7
	(gCO ₂ /電気MJ)	16.6	12.5

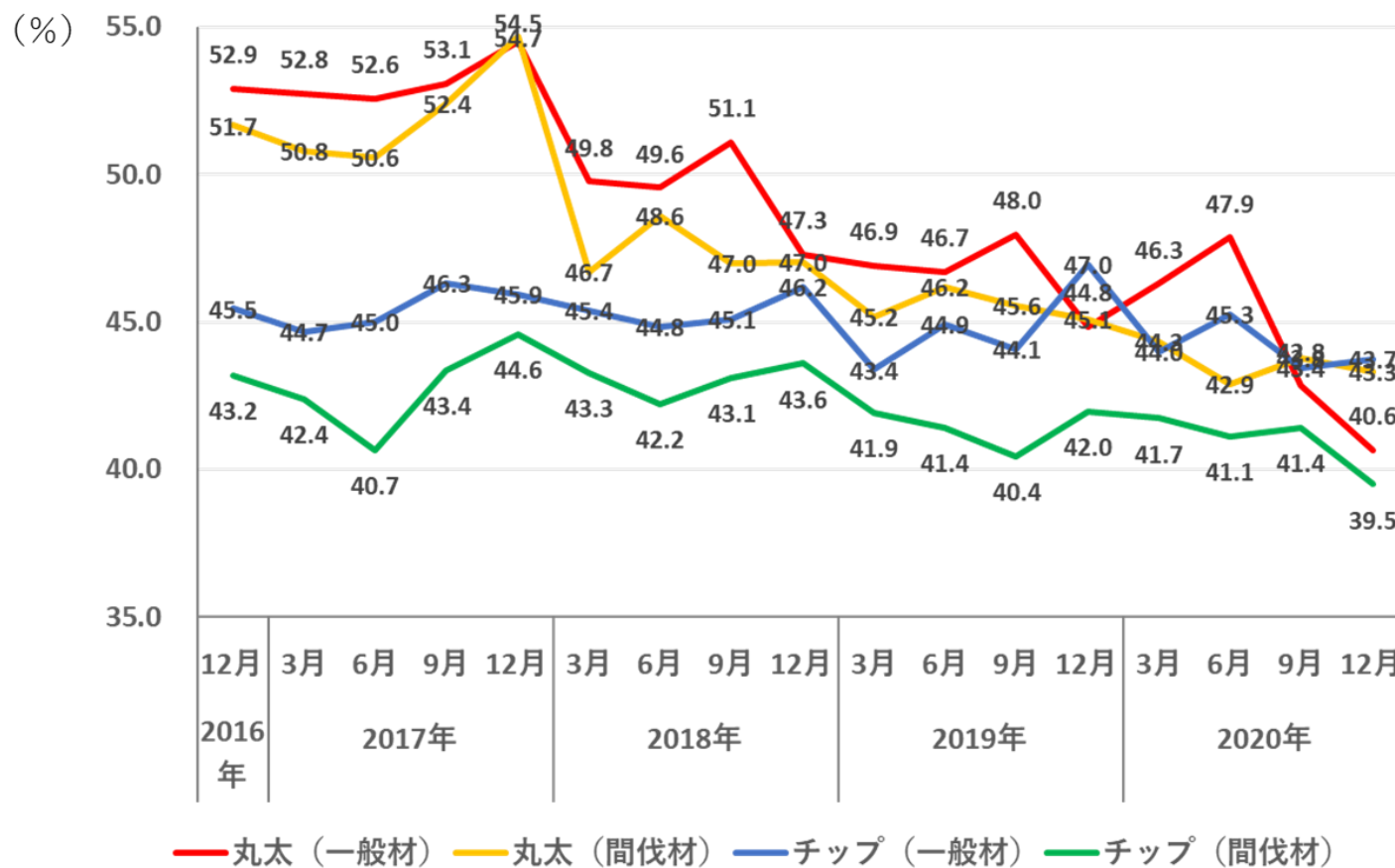
利用工程：GHG排出量計算フロー

- 係数は環境省「温室効果ガス排出・吸収量等の算定と報告」を参照
- 高位発熱量に対してそれぞれ $0.2\text{kgCH}_4/\text{TJ}$ 、 $0.87\text{kgN}_2\text{O}/\text{TJ}$ とし、 CO_2 換算係数は25、298



その他：水分率について

- 需給動向調査の結果を整理
- 丸太（原木）の水分率は年々低下傾向、2020年は40%前半



事業概要、目的

実態調査について

GHG排出量試算結果について

コスト試算結果について

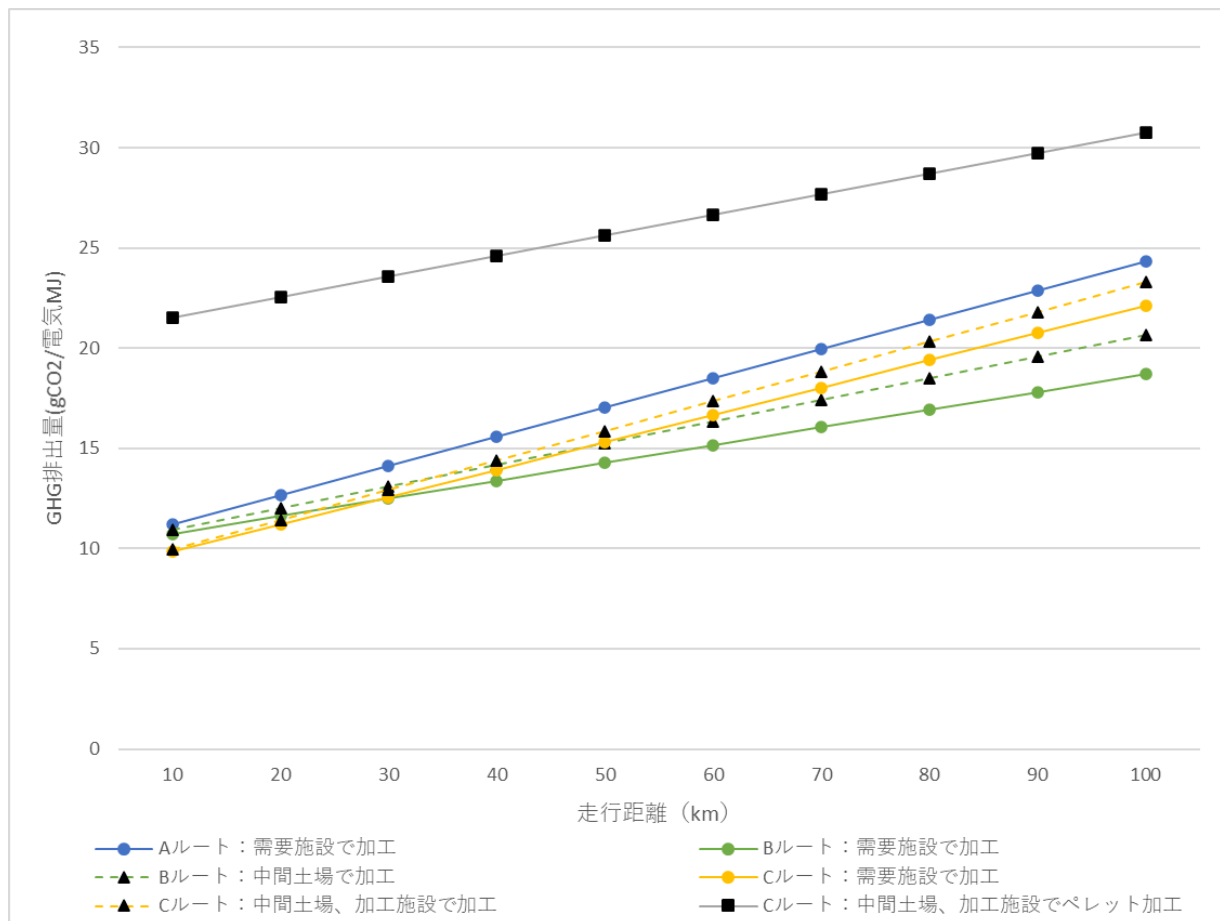
- シナリオ別コスト比較
- 移動式チップパーによるコスト低減効果

移動式チップパーによる末木枝条の活用効果について

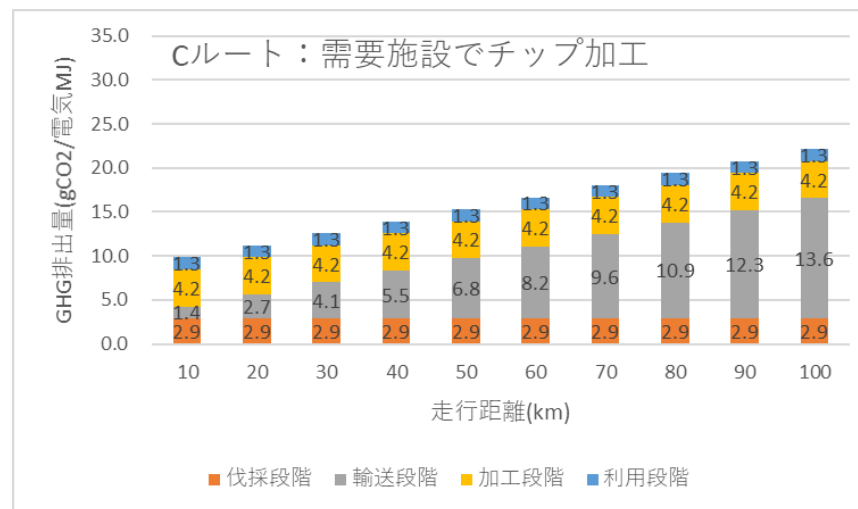
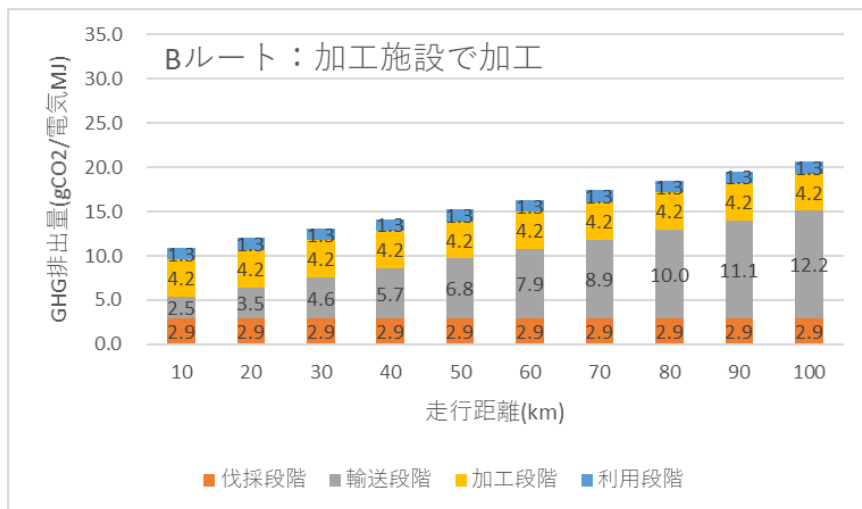
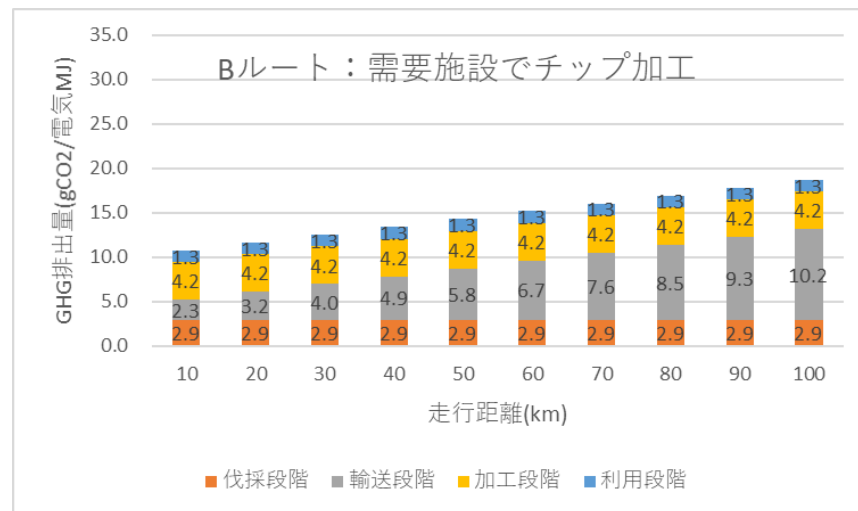
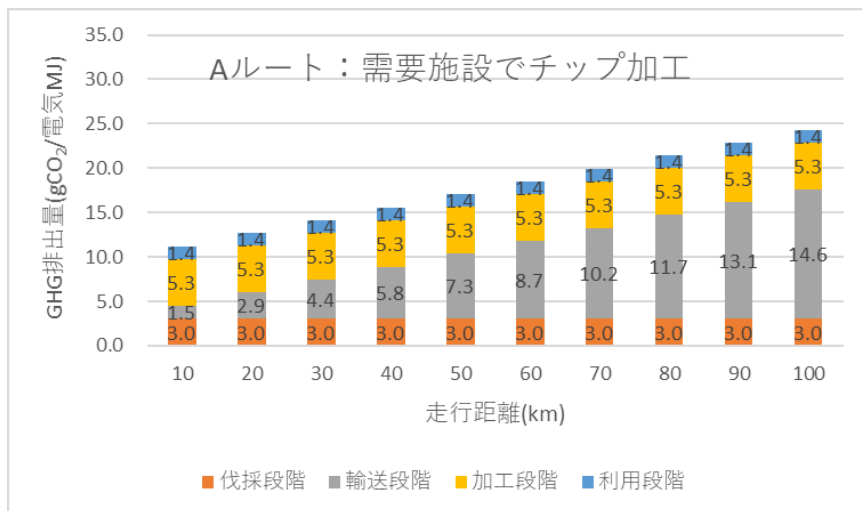
まとめと課題

ライフサイクルGHG排出量試算結果（積載率：代表値）

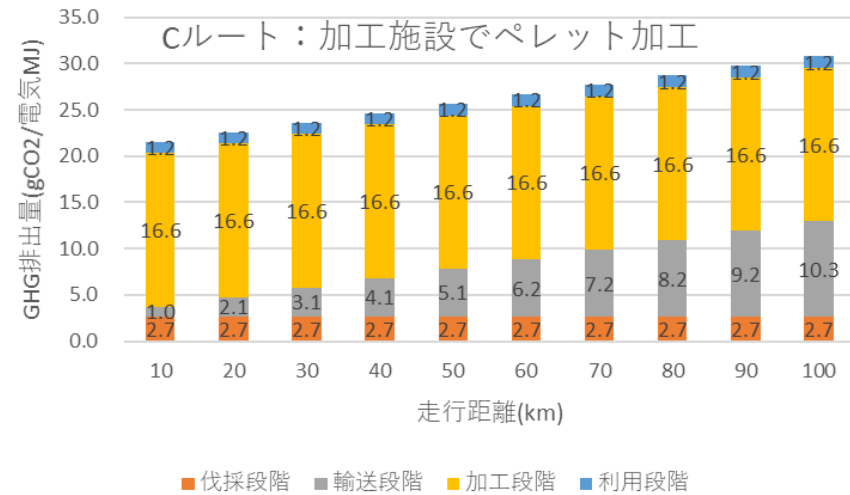
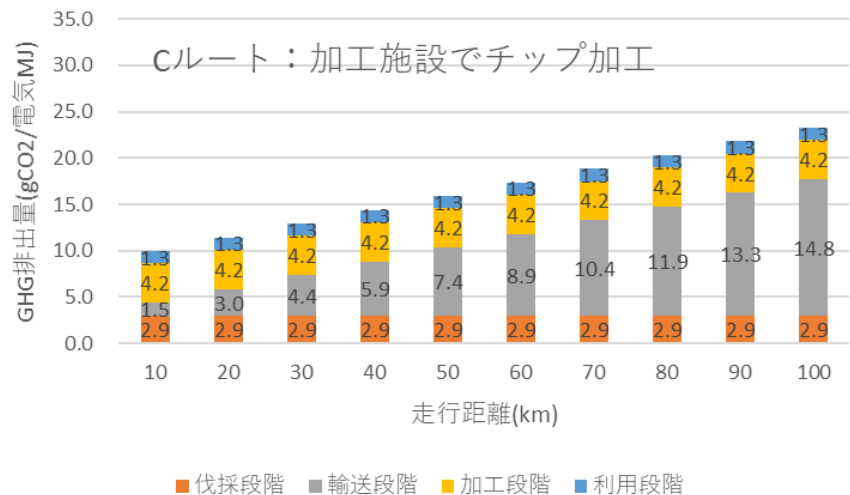
- 積載率について代表値を用いた場合の各シナリオのGHG排出量は下記のとおり
- 30kmを境にBルート（仮設の中間土場）とCルートが逆転
 - Bルートの山土場～仮設の中間土場までの10kmが固定値であることが要因



ライフサイクルGHG排出量試算結果：内訳

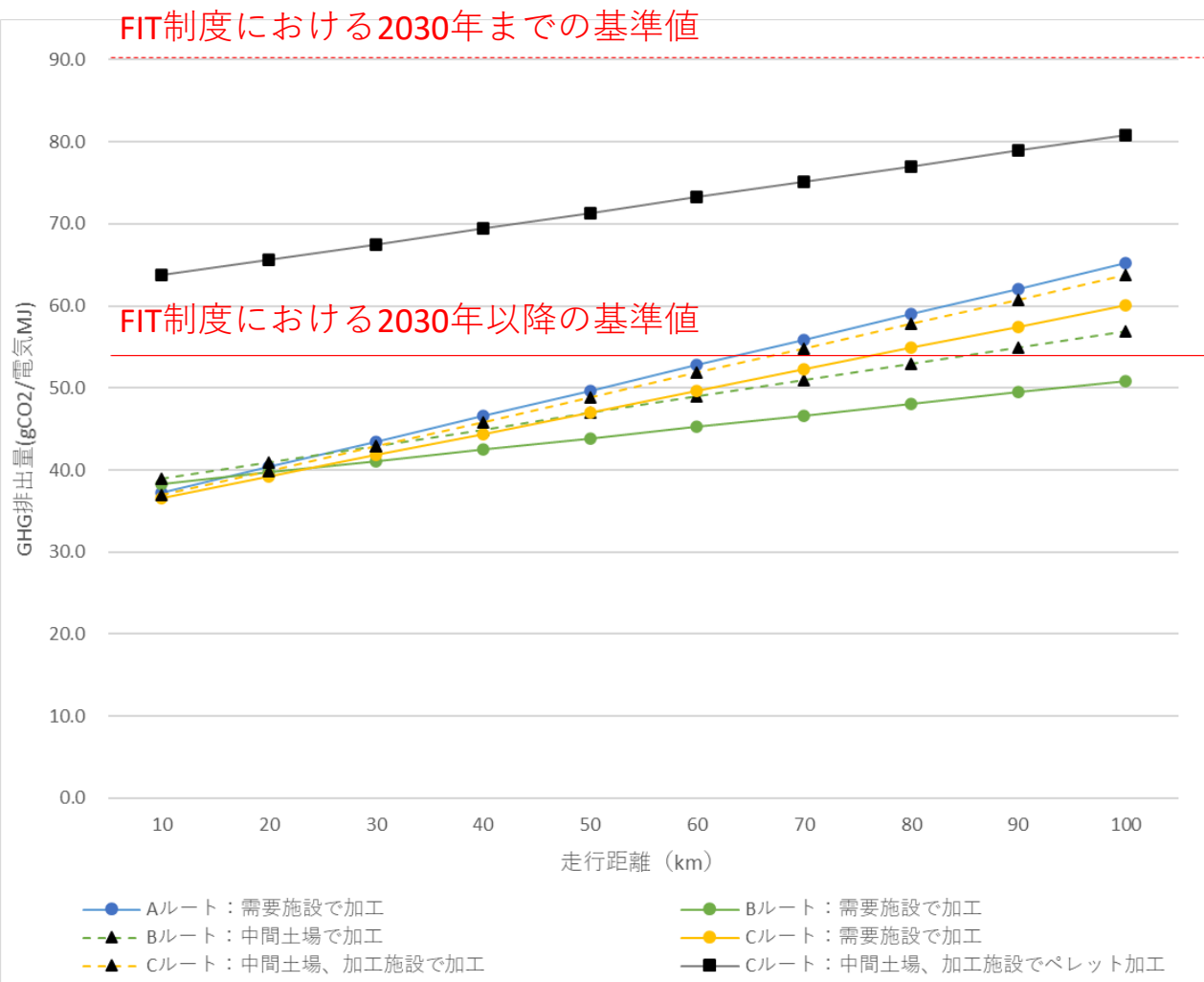


ライフサイクルGHG排出量試算結果：内訳



ライフサイクルGHG排出量（想定される最大値）

- 2030年までの基準値はどのシナリオも下回った
- 2030年以降の基準値では70km以上で5シナリオが基準値を超えた



事業概要、目的

実態調査について

GHG排出量試算結果について

コスト試算結果について

- シナリオ別コスト比較
- 移動式チップパーによるコスト低減効果

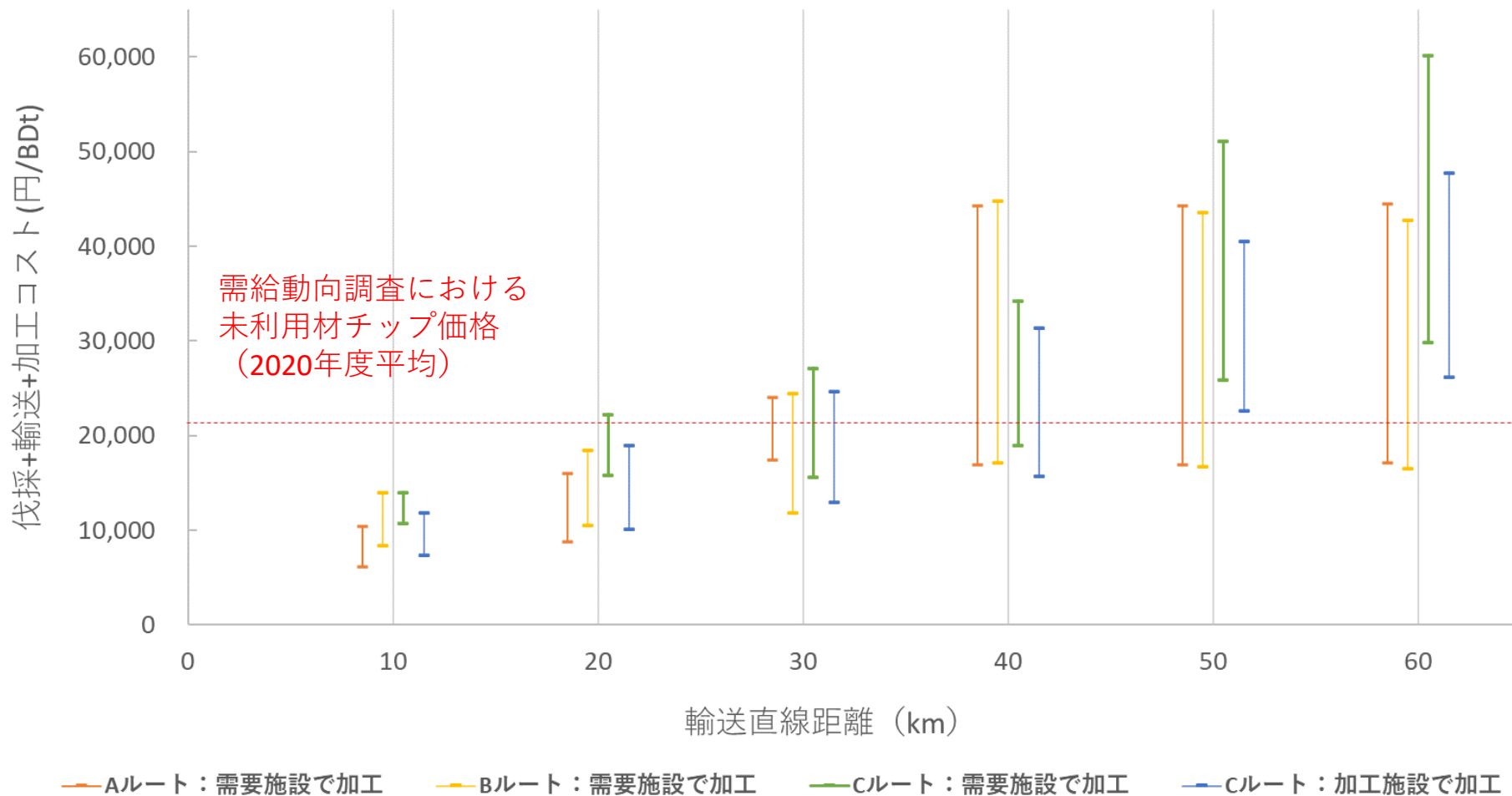
移動式チップパーによる末木枝条の活用効果について

まとめと課題

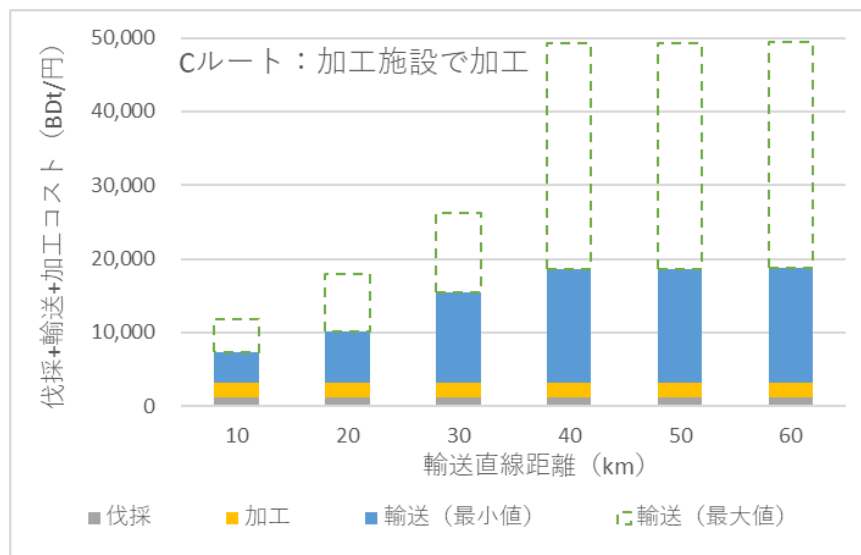
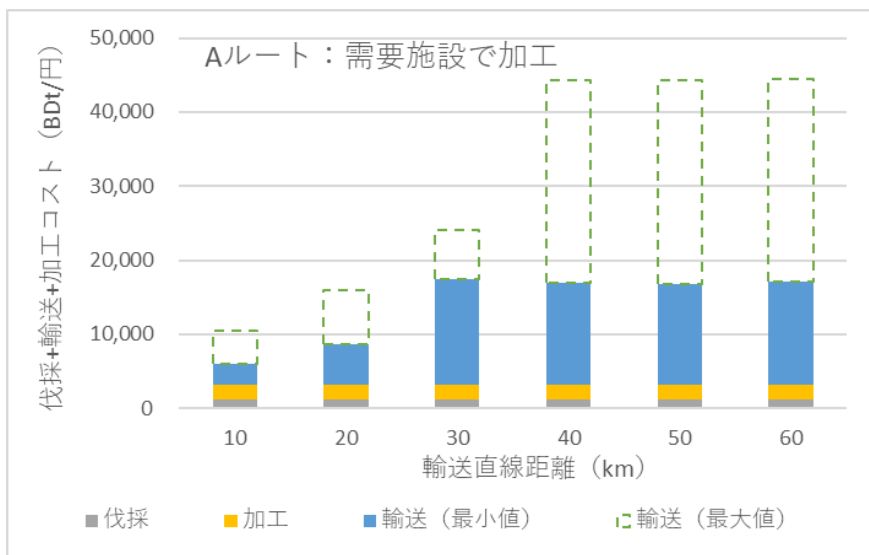
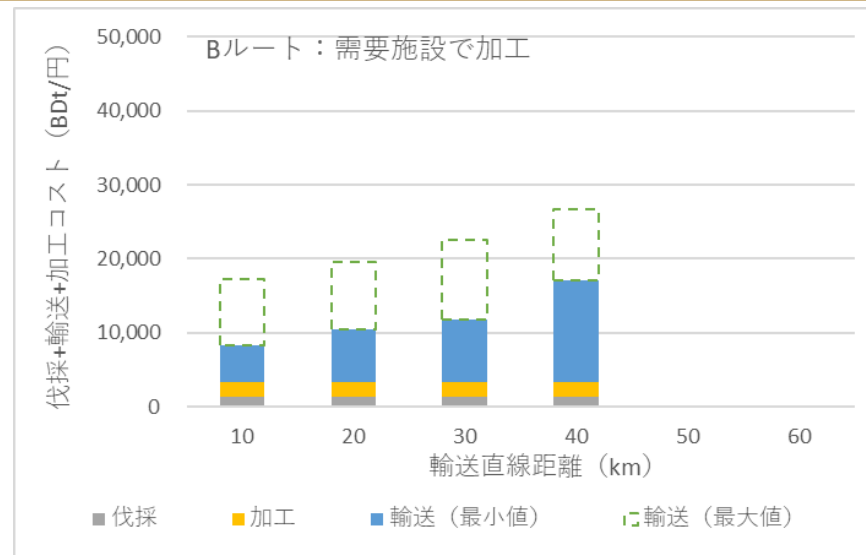
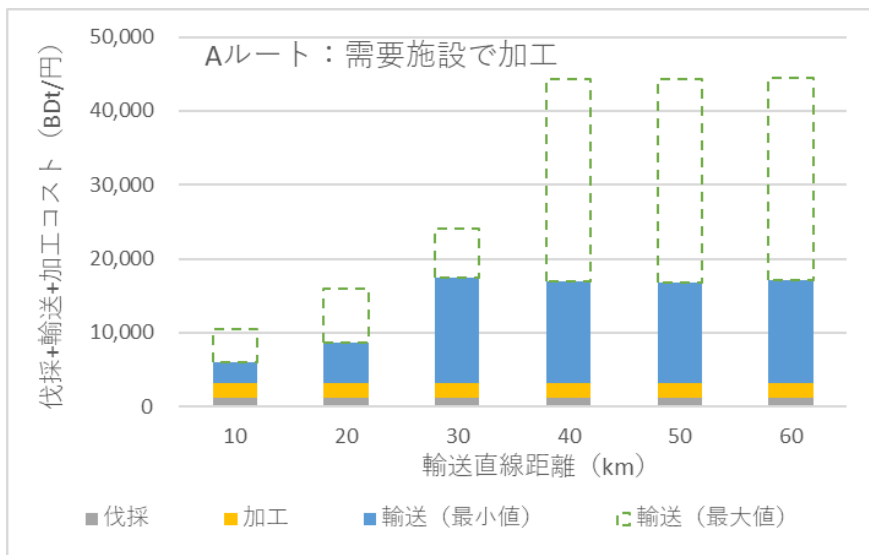
- サプライチェーンの比較と移動式チップパーによるコスト低減効果の検証を実施
- サプライチェーンの比較では次の4シナリオを対象として試算
 - ✓Aルート
 - ✓Bルート（需要施設にてチップ化）
 - ✓Cルート（需要施設でチップ化）
 - ✓Cルート（加工施設でチップ化）
- 移動式チップパーによるコスト低減の検証ではB,Cルートを想定
- 伐採・搬出工程では燃料材の山土場取引価格4,000円/m³を使用
 - ✓ 実際の伐採・搬出コストは10,000円（令和2年度森林・林業白書）が想定される
 - ✓ 製材用途の原木など取引価格の高いものでコストを回収すると考えられる
 - 【参考】木材流通統計調査（令和4年1月）：工場着 製材向けすぎ中丸太 16,900円/m³
- 伐採・搬出工程では燃料材の山土場取引価格4,000円/m³を使用
- 輸送工程、加工工程のパラメータは巻末資料を参照
- 輸送工程では1日に可能な往復回数を考慮
- 人件費：2,000円/h、稼働日数：240日、稼働時間：7時間を設定

サプライチェーン別コスト試算結果

- コスト試算結果は次のとおり
- 距離に応じてコスト増
- 今回の試算では輸送コストの占める割合が高かった（次スライド）



サプライチェーン別コスト試算結果



事業概要、目的

実態調査について

GHG排出量試算結果について

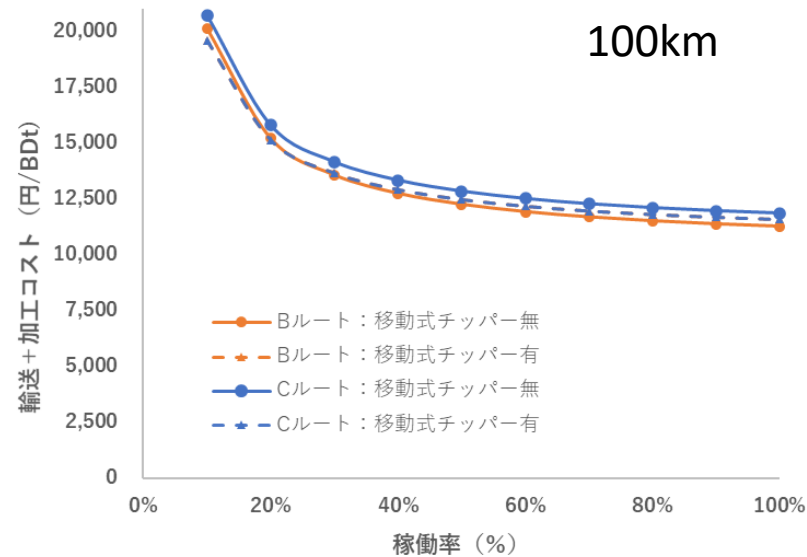
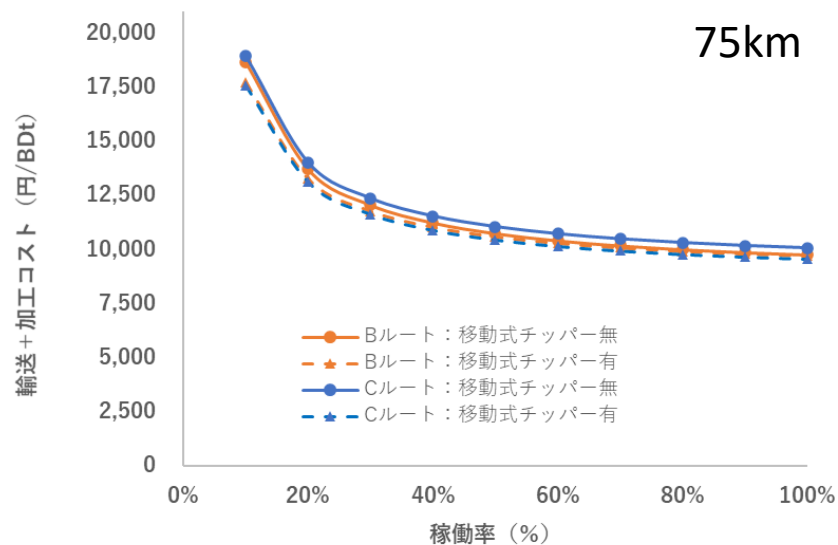
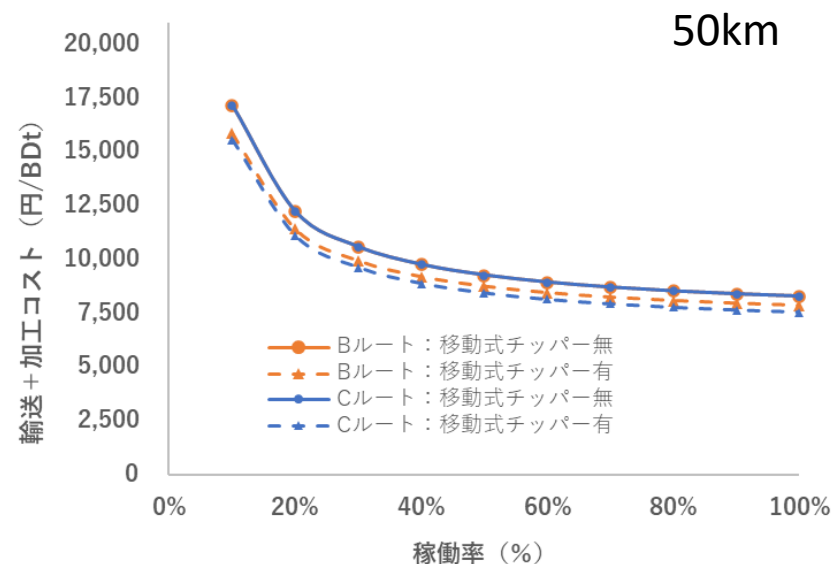
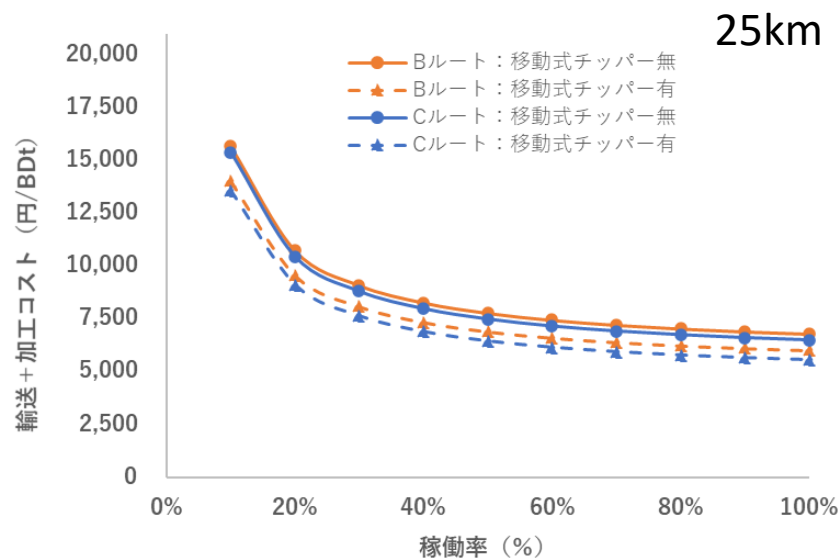
コスト試算結果について

- シナリオ別コスト比較
- 移動式チップパーによるコスト低減効果

移動式チップパーによる末木枝条の活用効果について

まとめと課題

移動式チップーによるコスト低減効果 試算結果



コストと輸送距離について

- ✓ 25km、50kmではB,Cルートともに移動式チップパーを使用した方がコストは低い
- ✓ 75kmではBルートにおいて移動式チップパーの有無別コストはほぼ同等
- ✓ Cルートでは常に移動式チップパーを使用した方が低い

稼働率について

- ✓ 25kmではチップ工場の稼働率を80%とした場合、移動式チップパーの稼働率が約40%を下回るとコストは高くなり、50kmでは約50%が分岐点となった
- ✓ 移動式チップパーは回送や天候の影響から稼働率の確保が課題となることに留意が必要であり、稼働率を高めるための工夫も必要となる。

事業概要、目的

実態調査について

GHG排出量試算結果について

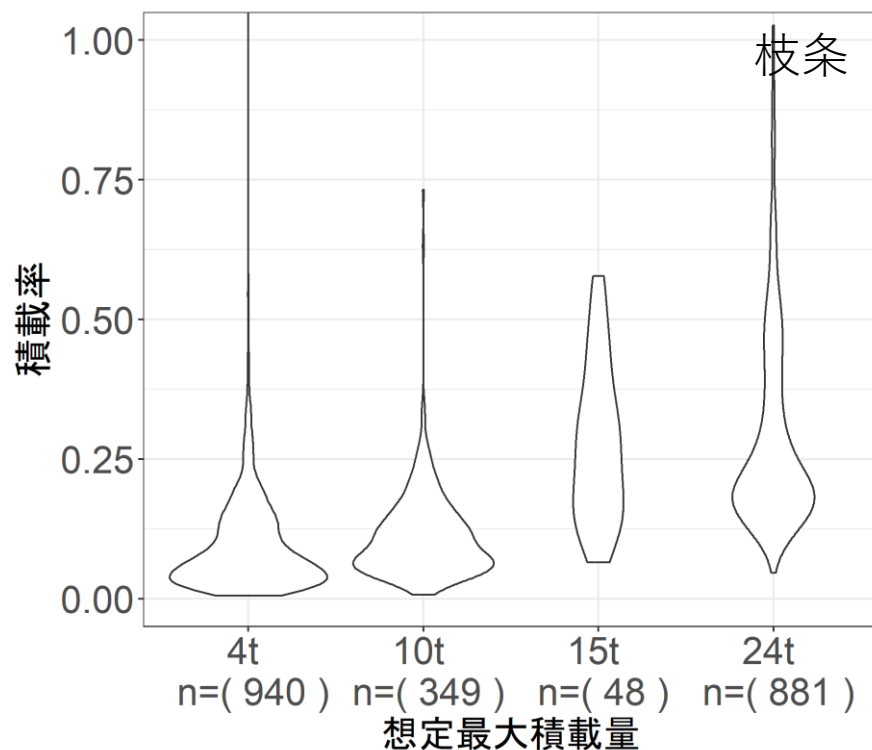
コスト試算結果について

- シナリオ別コスト比較
- 移動式チップーによるコスト低減効果

移動式チップーによる末木枝条の活用効果について

まとめと課題

- ✓ Aルート（直送型）、輸送距離は直線距離で50kmとした
- ✓ 末木枝条率は10%と設定した
- ✓ 末木枝条分についての伐採・搬出工程のGHG排出量は0とした
- ✓ 枝条の積載率は0.1とした、チップを輸送する場合は0.5とした
- ✓ 加工工程に事業者Aの自走式チップパーの値を採用した



移動式チップパーによる末木枝条の活用 試算結果

GHG試算結果

	末木枝条を利用しない		末木枝条を利用			
			チップ化しない		チップ化する	
	gCO ₂ /MJ	gCO ₂ /電気MJ	gCO ₂ /MJ	gCO ₂ /電気MJ	gCO ₂ /MJ	gCO ₂ /電気MJ
伐採段階	0.3	1.3	0.3	1.2	0.3	1.2
輸送段階	1.6	7.3	2.3	10.4	1.6	7.3
加工段階	0.3	1.4	0.3	1.4	0.3	1.4
利用段階	0.3	1.4	0.3	1.4	0.3	1.4
総合	2.5	11.4	3.1	14.4	2.4	11.3

コスト試算結果

	末木枝条を利用しない		末木枝条を利用			
			チップ化しない		チップ化する	
	円/MJ	円/電気MJ	円/MJ	円/電気MJ	円/MJ	円/電気MJ
伐採段階	0.1	0.5	0.1	0.5	0.1	0.5
輸送段階	0.4	1.9	0.6	2.8	0.4	2.0
加工段階	0.1	0.5	0.1	0.5	0.1	0.5
利用段階	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
総合	0.6	2.9	0.8	3.9	0.7	3.0

- ✓ GHG排出量、コストともに末木枝条を利用しない場合とチップ化した場合はほぼ同様の値となった
- ✓ 林地に残置された枝条は植栽、下刈りなどの造林作業時の障害となることから、地拵えが必要となる
- ✓ 林地残材をできる限り搬出、利用することで造林作業の負担軽減につながる
- ✓ 地拵えにより集積された枝条がノウサギの隠れ家となり、植栽された苗に被害が出るとの声もある
- ✓ 末木枝条の活用は単位面積あたりの木材資源の最大限の活用、造林コスト低減などの効果にもつながることから、より一層の推進が求められる。

事業概要、目的

実態調査について

GHG排出量試算結果について

コスト試算結果について

- シナリオ別コスト比較
- 移動式チップパーによるコスト低減効果

移動式チップパーによる末木枝条の活用効果について

まとめと課題

- GHG排出量、コストの削減に向けてのポイントは次のとおり
 - ✓ できる限り輸送距離は短くする
 - ✓ 木材はできる限り乾燥させる
 - ✓ 近距離輸送では直送すること、長距離輸送では山土場付近に土場を設ける
 - ✓ チップ加工は需要施設付近で加工を行う（GHG排出量）
- コストでは上記に加え、移動式チップパーの活用によるコスト低減が期待される
- 中間土場、移動式チップパーとも稼働率を高めるため、集材量を確保する必要があり、複数事業者での共有利用が有効と想定される

サプライチェーン	GHG 排出量	コスト	備考
Aルート (直送)	△	◎	✓ 30km以上から他のサプライチェーンと同様のコストがかかる
Bルート (仮設中間土場)	◎	◎	✓ GHG排出量は30km以上から差が大きくなる ✓ コストは30km以上ではあまり差が見られなかった
Cルート (常設中間土場、 加工施設)	○	○	✓ 地域内に複数の中間土場を設けることで、仮設の中間土場と同等の効果を発揮することが想定される

- 効率的なサプライチェーンの構築のためにはサプライチェーンのステークホルダーが個別に努力・工夫を凝らすだけでなく、ステークホルダー間の有機的な連携が求められる
 - ✓ 例えば、中間土場の導入に向けて必要となることを次に整理する
 - 例えば、中間土場の設置について、伐採事業者のインセンティブを働かせるためには、発電事業者が燃料材の水分率に応じた買取価格を設定すること、中間土場での取引形態について事業者間で合意できる方法を検討すること
 - 天然乾燥期間の管理やチップ加工のタイミングを取り決めておくこと
 - 上記以外にも、中間土場の設置に要する費用や乾燥に要する期間の運転資金の手当てについても検討が必要
- サプライチェーンの当事者が連携し、効率的なサプライチェーンの構築に向けて検討、工夫し、システムを構築することが求められる。

参考資料：チップ加工のコスト試算に用いたデータ

項目	A 固定式 切削	A 自走式 切削	B 固定式 切削	C 固定式 切削・破碎合算 (3台合算)
生産量 (製品t/月)	4,699	5,343	2,086	6,566
電気使用量 (kW/月)	51,952	0	10,444	12,227
チップー軽油使用量 (l/月)	0	5,554	0	10,305
関連重機軽油使用量 (l/月)	3,218	1,732	984	13,126
機械購入費用 (円)	72,000,000	75,000,000	115,000,000	186,341,000

項目	設定値	
1日の稼働時間	7時間	
人件費	2,000円/時間	
償却期間	固定式チップー：20年、 自走式、移動式チップー：5年	
想定年間稼働日数	250日	
稼働時間	7時間	
不動産価格	8,625,000円	
施設の建設費	18,120,650円	
保守費率	0.5	
利子率	0.23	
関連重機（グラブプル）	関連重機価格（円）	9,500,000
	償却期間	5年
	保守費	0.049
	利子率	0.31

参考資料：ペレット加工のコスト試算に用いたデータ

項目	A	B
対象樹種	カラマツ、アカマツ	オウシュウアカマツ、ベイマツなど
データ取得期間 (期間)	1ヵ月	1時間
生産量 (製品t/期間)	340	4.5
電気使用量 (kW/期間)	38,996	495
関連重機軽油使用量 (l/期間)	200	—
歩留 (割合)	0.8	1.0

項目		設定値	
		10tトラック	24tトレーラー
トラック固定費	価格(円)	8,000,000	20,000,000
	償却期間	5年	5年
	保守費		0.12
	利子率		0.02
想定年間稼働日数(日/年)			250
原木荷積生産性 (m ³ /h)			13.9
原木荷下生産性 (m ³ /h)			48
チップ積荷生産性 (t/h)			チップパー生産性と同値
チップ荷下時間 (分)			15
軽油価格(円/l)			140.7
走行時速(km/h)			30