

バイオマス産業社会ネットワーク シンポジウム  
@国立オリンピック記念青少年総合センター (2018年5月25日)

# 経済性とLCA等の環境性能から見た 木質バイオマス利用のあり方

(道総研林産試) 古俣寛隆

# 我が国で燃料として消費された木材の量

単位：万m<sup>3</sup> (原木換算)

	消費量			増減量	
	H26	H27	H28	H26→27	H27→28
木炭用材	95	93	95	-2	2
薪用材	5	3	5	-2	2
木材チップ					
間伐材等由来	160	257	422	97	165
工場残材	① <sup>注)</sup>	297	341	-	44
解体材・廃材	② <sup>注)</sup>	908	849	-	-59
その他	③ <sup>注)</sup>	24	40	-	16
木質ペレット					
間伐材等由来	8	12	11	4	-1
間伐材等由来以外	④ <sup>注)</sup>	18	19	-	1
輸入	25	60	89	35	29
①～④ <sup>注)</sup> の計	977	-	-	-	-
合計	1269	1673	1871	404	198

注) 平成26年の木材チップ (工場残材、解体材・廃材、その他)、木質ペレット (間伐材等由来以外) は、合計値のみが公表されており、個別データは公表されていない。

引用)平成28年木材需給表、平成28年木質バイオマスエネルギー利用動向調査、平成28年における木質粒状燃料 (木質ペレット) の生産動向を基に筆者推計

## なぜ消費量が増加しているのか？

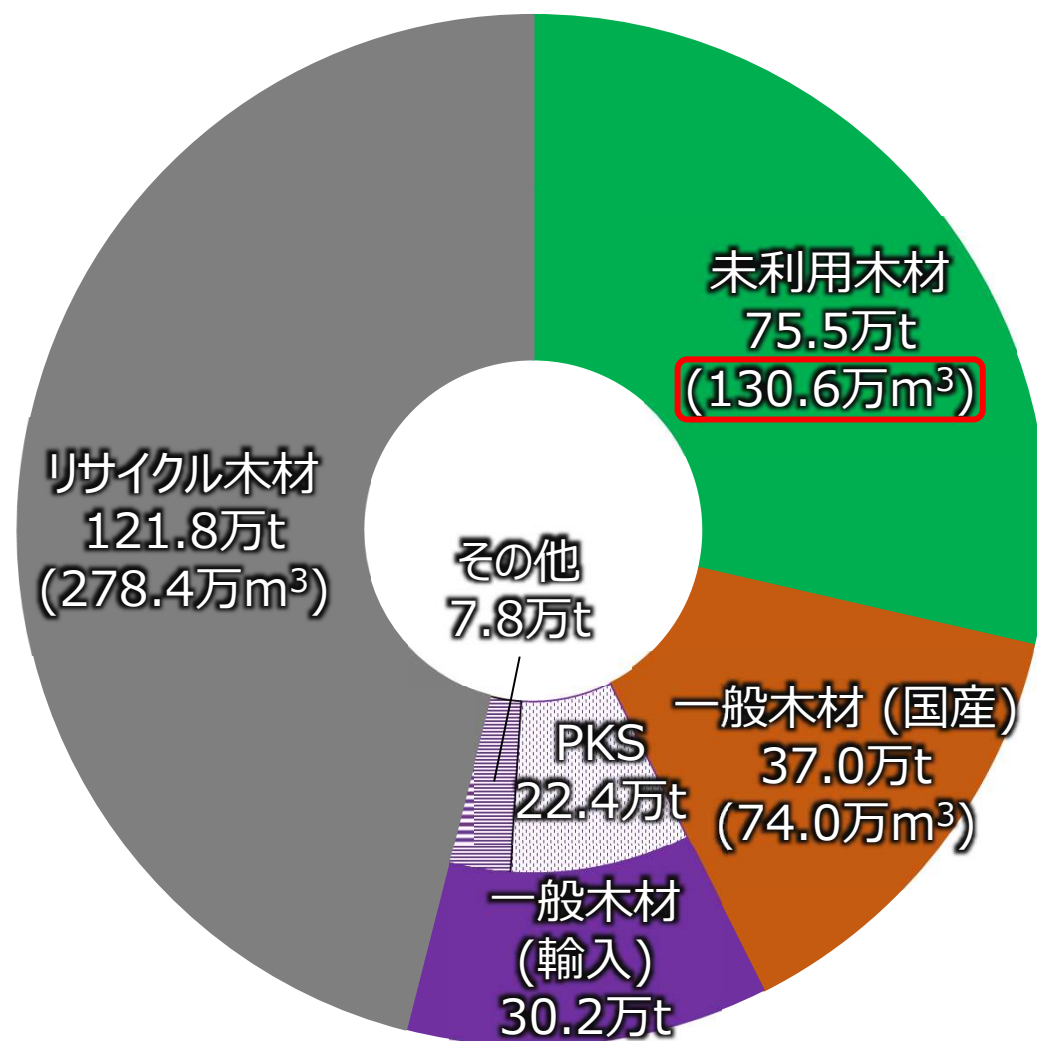
- 地球温暖化抑制のための国のバイオマス利用政策
- 林業・林産業振興を目的とした木材需要拡大施策



石炭火力発電所や、木材乾燥施設および温浴施設等のプロセス用、暖房・給湯用ボイラーにおける消費が拡大

- しかし、これらの取り組みはかなり前から進められてきたものであり、近年の急激な増加の主要因であるとは考えにくい
- 平成24年から開始された、再生可能エネルギー固定価格買取制度 (FIT) が大きく影響

# FIT木質バイオマス発電所で使用された燃料（H27）



引用)資源エネルギー庁、林野庁：調達価格等算定委員会(第22回)-配布資料、資料2 前回のご指摘事項について (木質バイオマスの使用状況等) <[http://www.meti.go.jp/committee/chotatsu\\_kakaku/pdf/022\\_02\\_00.pdf](http://www.meti.go.jp/committee/chotatsu_kakaku/pdf/022_02_00.pdf)>  
注)括弧内の数値は、容積密度を350 kg/m<sup>3</sup>とし、湿量基準含水率をそれぞれ、未利用木材40%、一般木材30%、リサイクル木材20%として原木換算した

# 原料区分別の調達価格

\* 2018年度

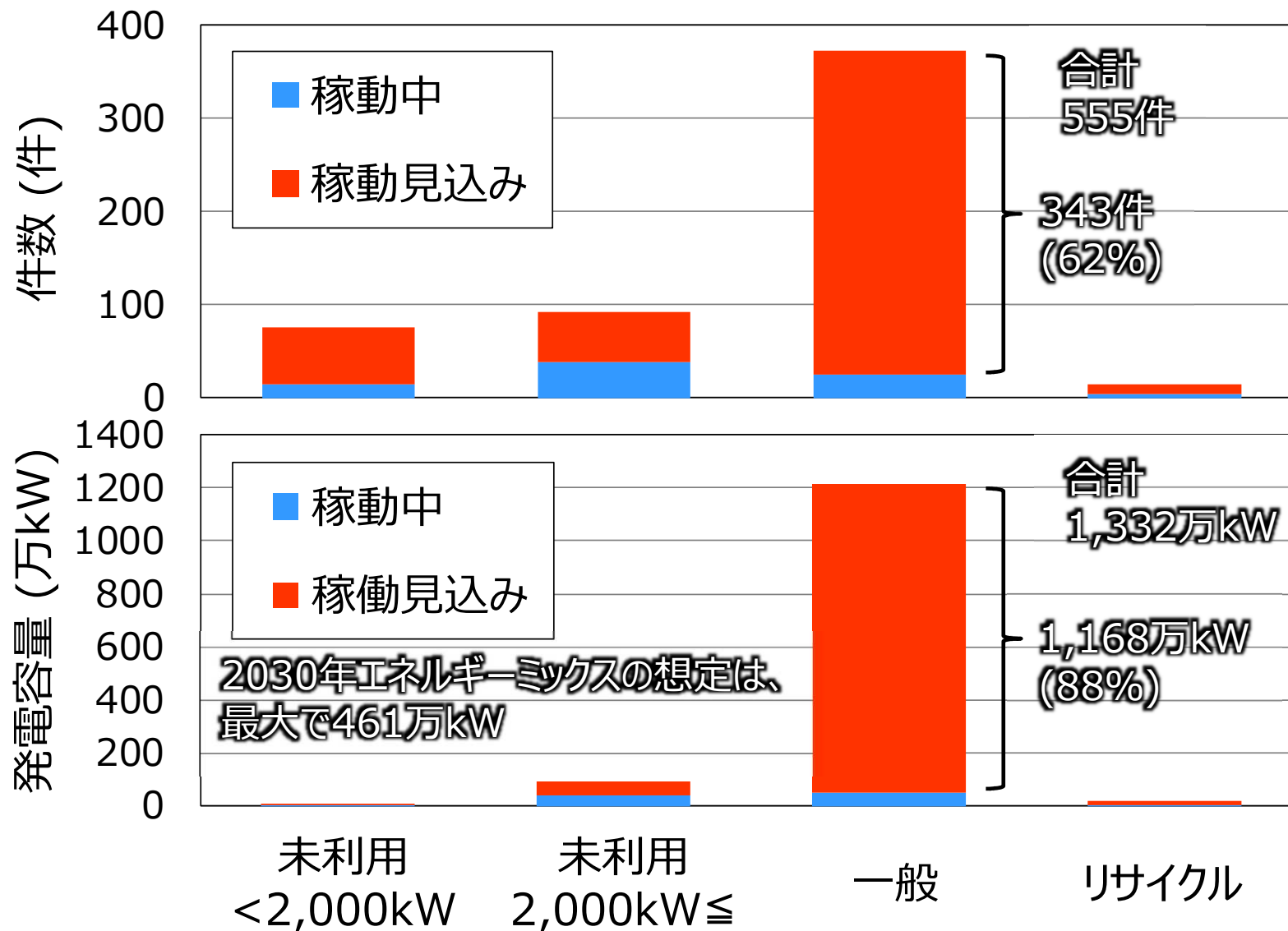
調達区分		バイオマスの例	1 kWhあたり 調達価格
メタン発酵ガス		下水汚泥、家畜糞尿、食品残さ 由来のメタンガス	39
間伐材等由来の木質バイオマス	2,000 kW以上	間伐材、主伐材 <sup>*1</sup>	40
	2,000 kW未満		32
一般木質バイオマス・農作物の収穫に 伴って生じるバイオマス固体燃料	10,000 kW以上	製材端材、輸入材 <sup>*1</sup> 、剪定枝 <sup>*2</sup> 、 パーム椰子殻、パームトランク	入札制度で決定
	10,000 kW未満		24
農作物の収穫に伴って生じる バイオマス液体燃料		パーム油	入札制度で決定
建築資材廃棄物		建設資材廃棄物 (リサイクル木材)、 その他木材	13
一般廃棄物・その他のバイオマス		剪定枝 <sup>*2</sup> 、木くず、紙、食品残さ、 廃食用油、黒液	17

\*1 : 「林野庁ガイドライン」に基づく由来の証明のないものについては、建設資材廃棄物として取り扱う。

\*2 : 一般廃棄物に該当せず、「林野庁ガイドライン」に基づく由来の証明が可能な剪定枝については、一般木質バイオマスとして取り扱う。

# FIT認定発電所（件数と容量）

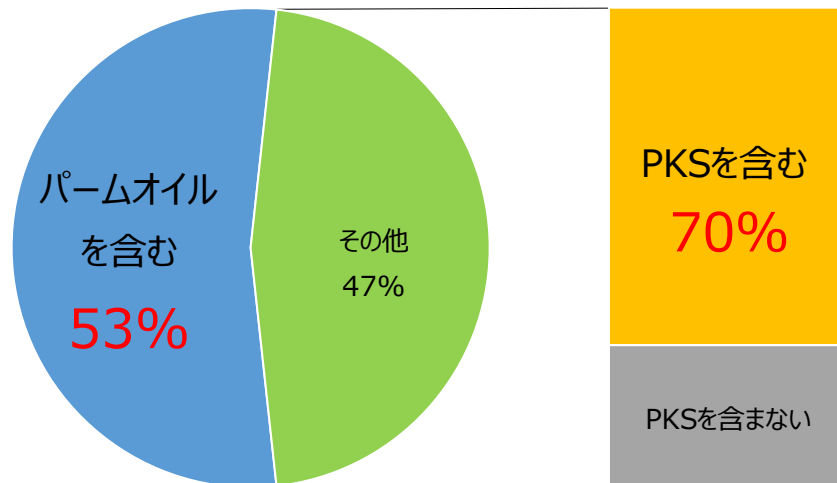
\* 2017年9月末時点



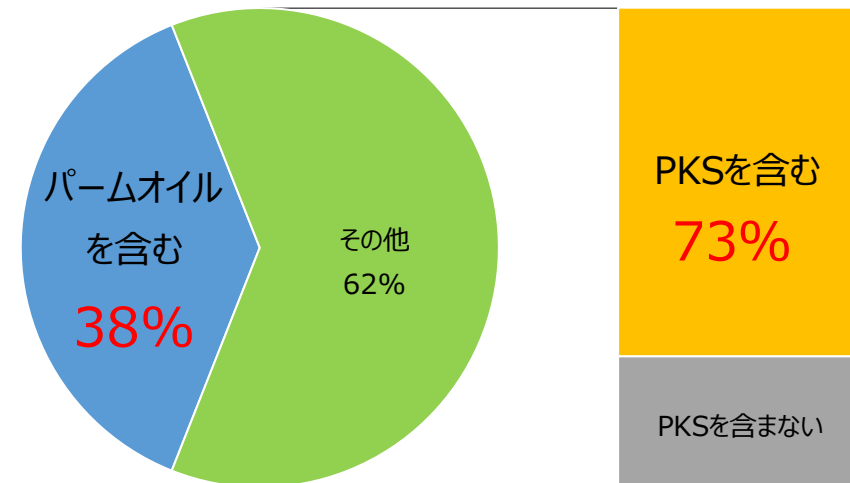
# 一般木材バイオマス発電で使用が計画される燃料

\* 専焼発電の燃料別内訳

件数



合計容量



約8割がアブラヤシ関連の燃料を含むとされる

注) ただし、パームオイル、PKSのみの具体的な燃焼比率は明らかにではない

# 本報告の概要

1. 以下に関するシミュレーションを行う
  - | 木質バイオマス発電の採算性と存続について
  - | 木質バイオマス発電の環境性能について
2. 結果から木質バイオマス発電のあり方を考察する



# 木質バイオマス発電事業の採算性について

- FITによる手厚い支援は、再生可能エネルギー導入初期の市場創出のための措置<sup>引用)</sup>
- 中長期的には、再生可能エネルギーは支援措置なしのマーケットベースでの拡大が目標<sup>引用)</sup>であり、調達価格は段階的に引き下げられていくものと考えられる
- 買取価格の引き下げは発電所の売上高の減少に直結
- 条件によっては、稼働開始から21年目以降に発電所の経営が立ち行かなくなる可能性あり
- その場合、林業・林産業を含む発電所周辺の地域経済に対する負の影響は必至

## 採算性評価ツールの開発

発電所の運営には、地域における資源背景、燃料使用割合、エネルギーの利用形態、燃料価格の変動、さらには買取価格引き下げのリスクなど、検討項目が多く、採算性に関する詳細なシミュレーションが不可欠



道総研林産試験場は、森林総合研究所と共同で木質バイオマス発電および熱電併給事業の採算性を評価できるツール（以下、ツールという）を開発

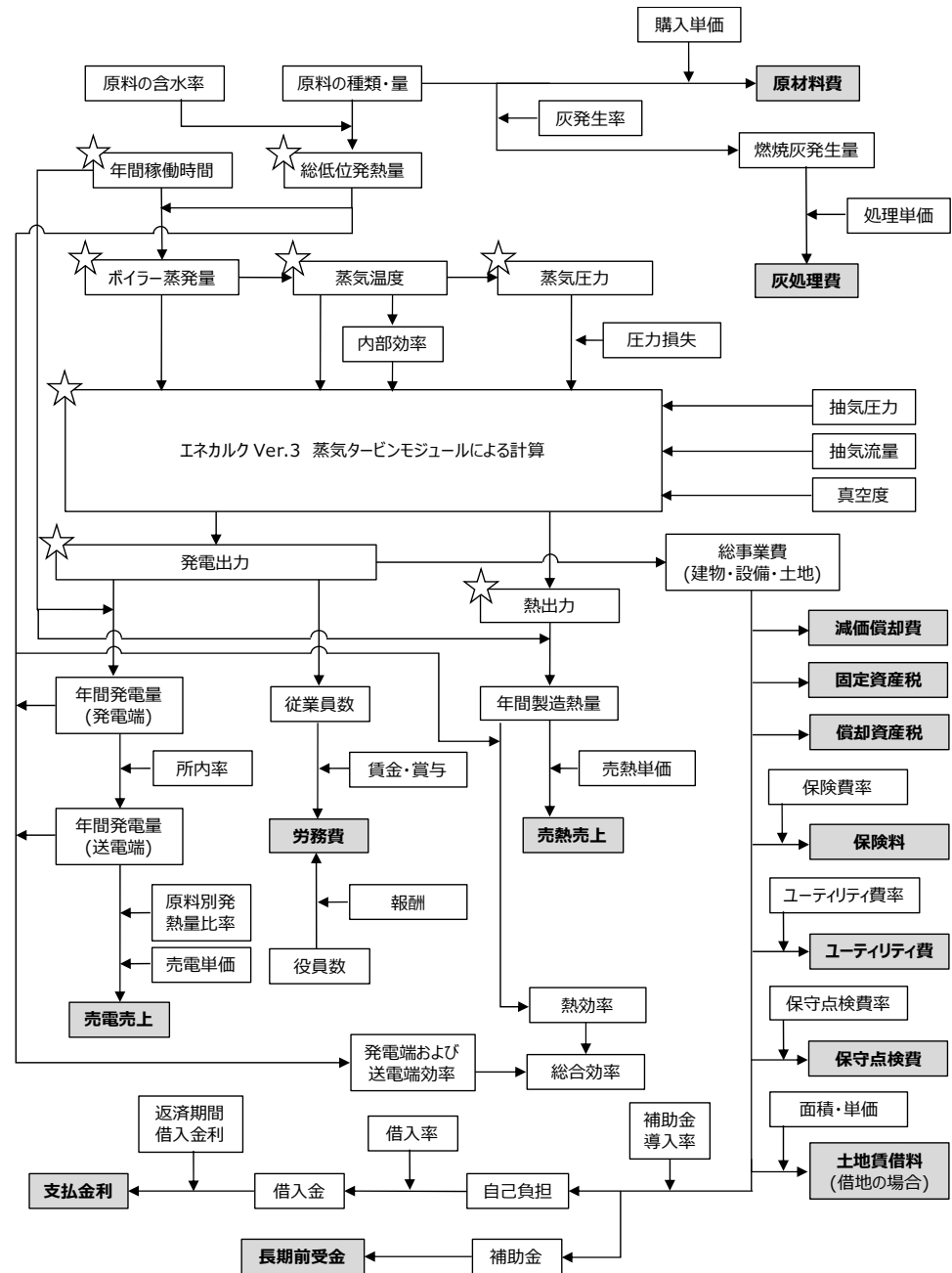
# ツールの概要とフロー

- Excelのワークシート上にシステムの熱収支計算および企業における一般的な財務会計計算における理論式を用いて構築
- ユーザーが想定する燃料の調達条件やプラント条件などを入力することで、事業の採算性に関する評価を簡便に行うことが可能

ツールの入手先：

<https://www.ffpri.affrc.go.jp/press/2017/20171206/index.html>

2017年12月6日公表



## 目的

今後のFIT支援措置の見直しによって調達価格が引き下げられた場合を想定し、燃料の種類や発電所の規模別に事業採算性のシナリオ分析を実施して木質バイオマス発電事業が存続可能な条件について検討する

# 事業規模、燃料の設定

ツールによる推計値

発電出力 (kW)	燃料の種類	年間消費量 <sup>注)</sup> (t/年)
小規模 1,990	間伐材等由来	25,877
中規模 5,700	間伐材等由来	60,496
大規模 30,000	間伐材等由来	269,879
	PKS	183,182

同じ年間消費量で行う  
**熱電併給事業**も設定

熱の利用条件：  
抽気した0.5 MPa、5 t/hの  
加熱蒸気（飽和蒸気としては  
152℃、5.3 t/h）を、木材  
乾燥のために通年利用する

注) 間伐材等由来の消費量は燃焼時基準、  
燃料の含水率はwet40%とする

# 事業規模、燃料の設定 まとめ

No.	発電出力 (kW)	熱出力 (kW)	燃料の種類	年間消費量 <sup>注1)</sup> (t/年)	購入単価 <sup>引用)</sup> (円/t)	年間購入額 <sup>注2)</sup> (億円/年)	事業費 <sup>注3)</sup> (億円)
1	1,990	-	間伐材等由来	25,877	6,334	2.0	130.9
2	1,443	3,988		60,496			
3	5,700	-	PKS	269,879	7,809	5.7	
4	30,000			183,182		25.3	
5				13,748		25.2	

ツールによる推計値

ツールによる推計値  
(少し高め)

ツールによる  
推計値

注1) 間伐材等由来の消費量は燃焼時基準、含水率はwet40%とする

注2) 間伐材等由来の購入時の含水率はwet50%とする

注3) 建設工事費の補正率は130%に設定、事業費には土地購入費も含む

引用) 調達価格等算定委員会：平成28年度調達価格及び調達期間に関する意見、  
[http://www.meti.go.jp/committee/chotatsu\\_kakaku/pdf/report\\_005\\_01\\_00.pdf](http://www.meti.go.jp/committee/chotatsu_kakaku/pdf/report_005_01_00.pdf)、  
 調達価格等算定委員会：平成29年度以降の調達価格等に関する意見、  
[http://www.meti.go.jp/report/whitepaper/data/pdf/20161219002\\_01.pdf](http://www.meti.go.jp/report/whitepaper/data/pdf/20161219002_01.pdf)

# 販売単価の設定

単位 (円/kWh)

事業の実施期間は  
40年間とする

No.	電力		熱
	～20年目	21年目～	全期間
1	40	28 ↓	-
2			6.5
3	32	22 ↓	-
4			
5	21	15 ↓	

## ■ 電力販売単価

- 稼動から20年目までは、2018年度FIT調達価格を設定、1万kW以上一般木材は2017年10月以降価格を参考
- 稼動から21年目以降は、調達価格引き下げを想定し、当初価格より約3割安価に設定

## ■ 熱販売単価

- 灯油ボイラーによる蒸気単価の3割安価<sup>注)</sup>、全期間固定

注) 灯油単価80円/L、発熱量34.3 MJ/L、ボイラー効率90%で計算

# 採算性指標の評価結果

No.	売上高 (億円/年)		税引前IRR <sup>注1)</sup> (%)		投資回収 期間 (年)
	~20年目	21年目~	試算値	推奨値	
1	5.48	3.84	4.6 ×	8.0	17 ×
2	6.04	4.85	8.2 ○		13 ○
	(2.06 <sup>注2)</sup> )				
3	12.55	8.63	8.9 ○	13 ○	
4	66.07	45.42	23.6 ◎	4.0	6 ◎
5	43.36	30.97	3.4 ×		19 ×

注1) 評価期間は20年間

注2) 売上高のうち、熱の金額

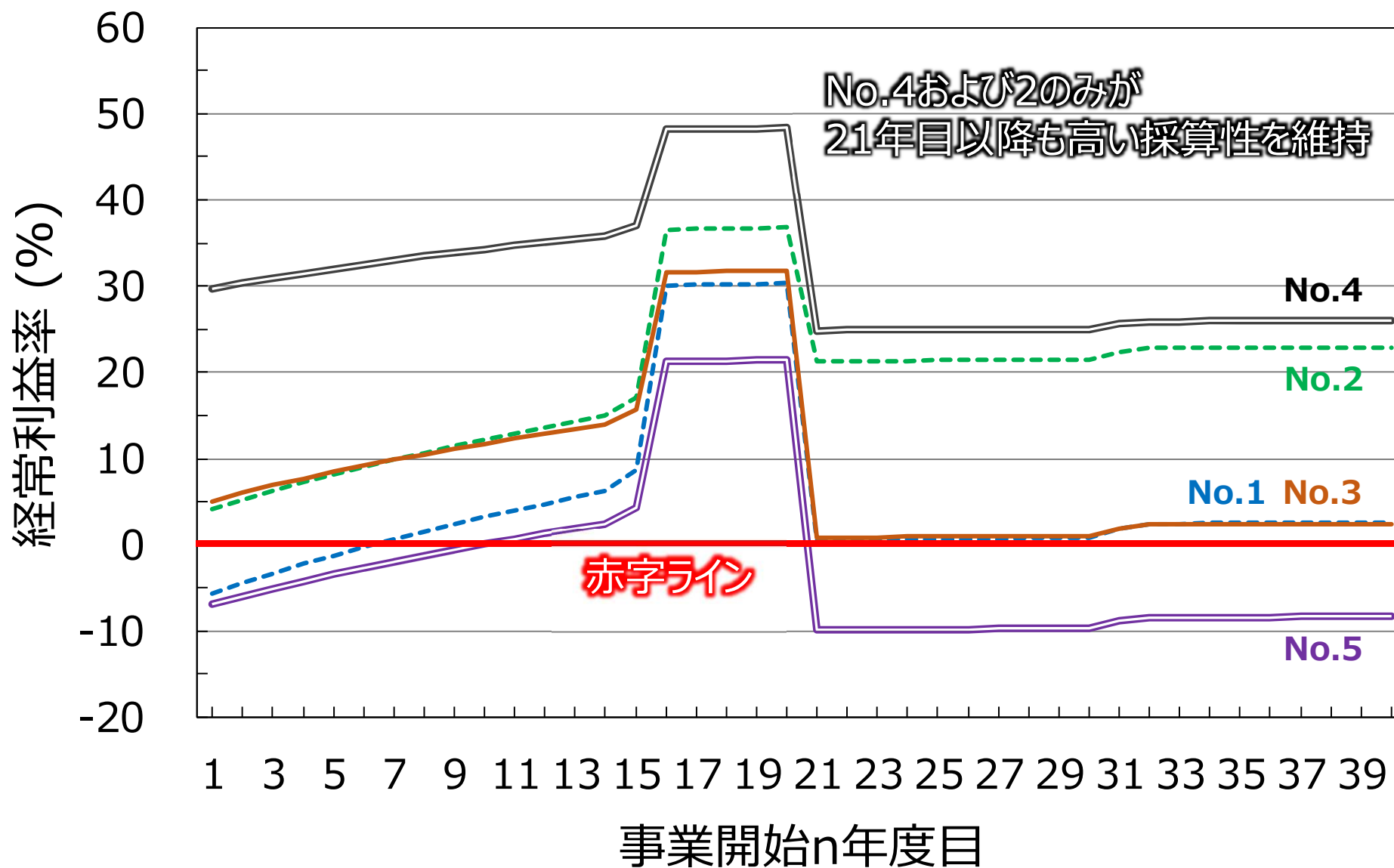
IRR推奨値を下回るか？

汽力発電設備の減価償却  
期間 (15年) を下回るか？

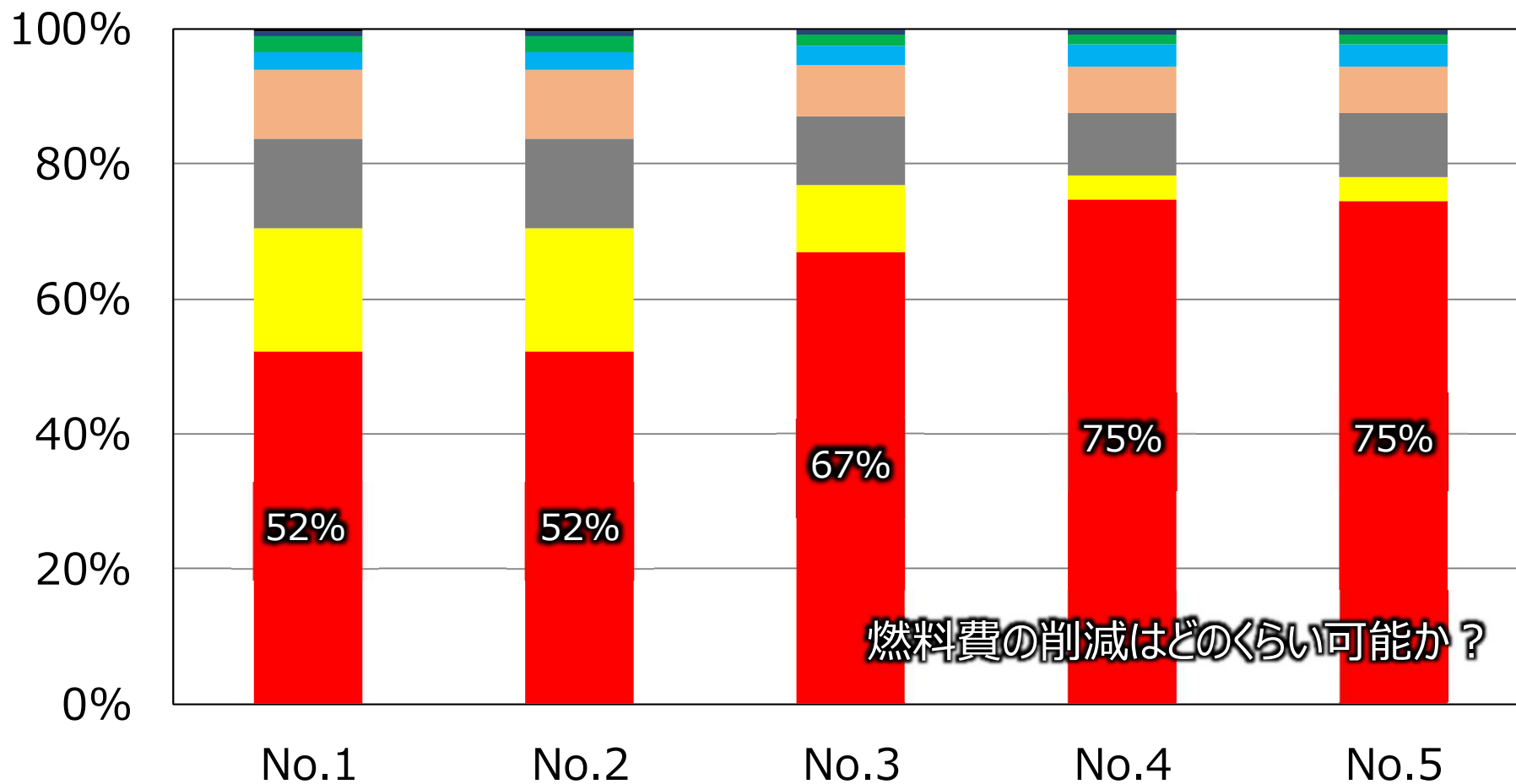
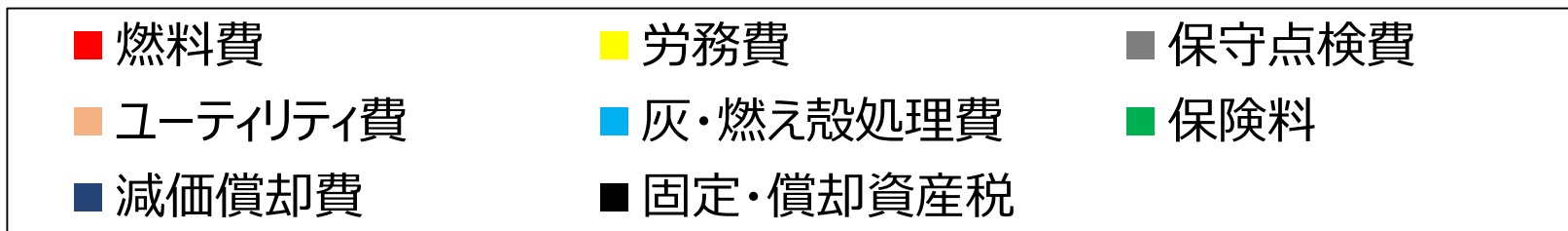
条件2~4については、20年間の採算性は十分確保できると思われた



# 経常利益率の推移



# 稼働開始21～40年目の平均製造原価

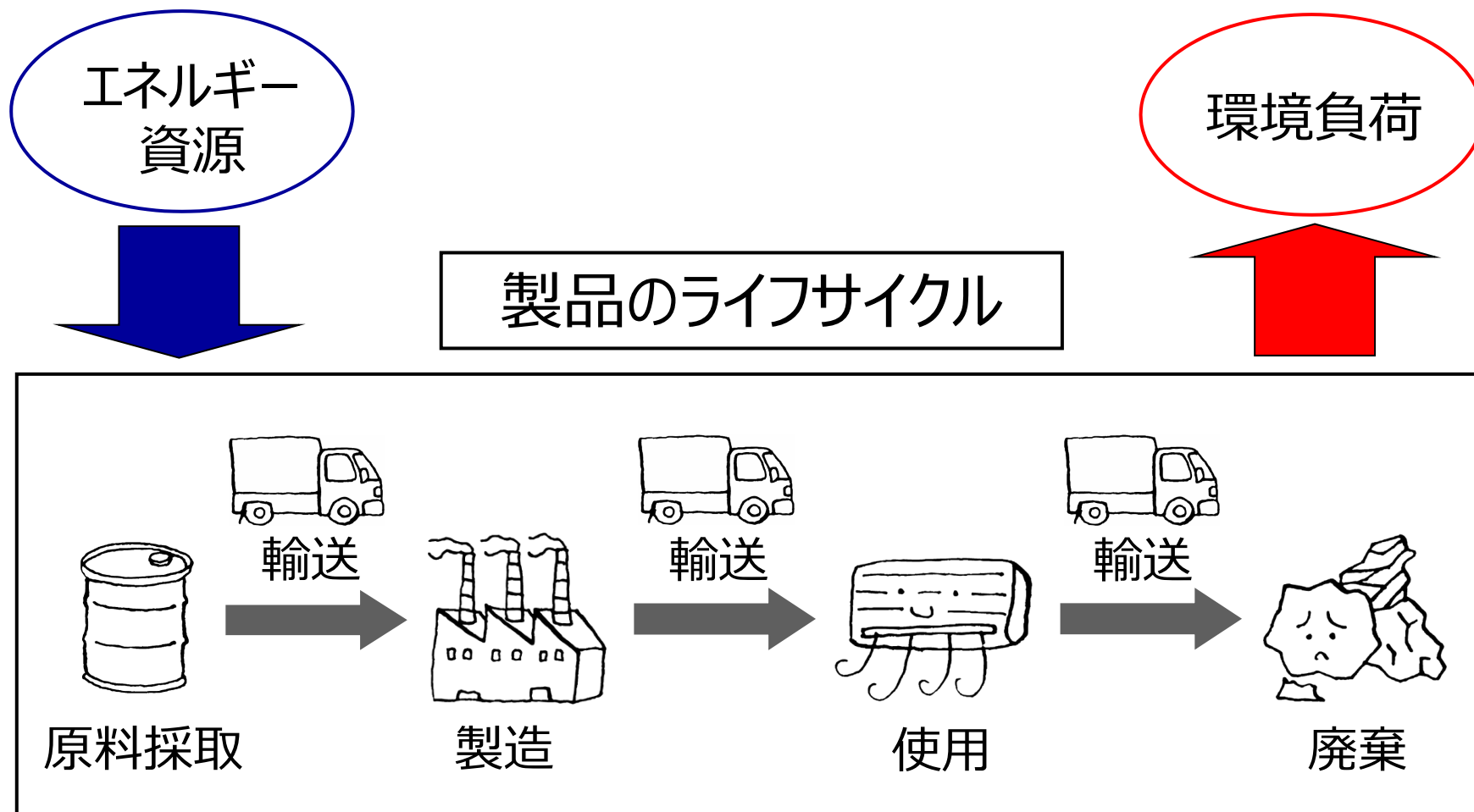


## 課題と解決案

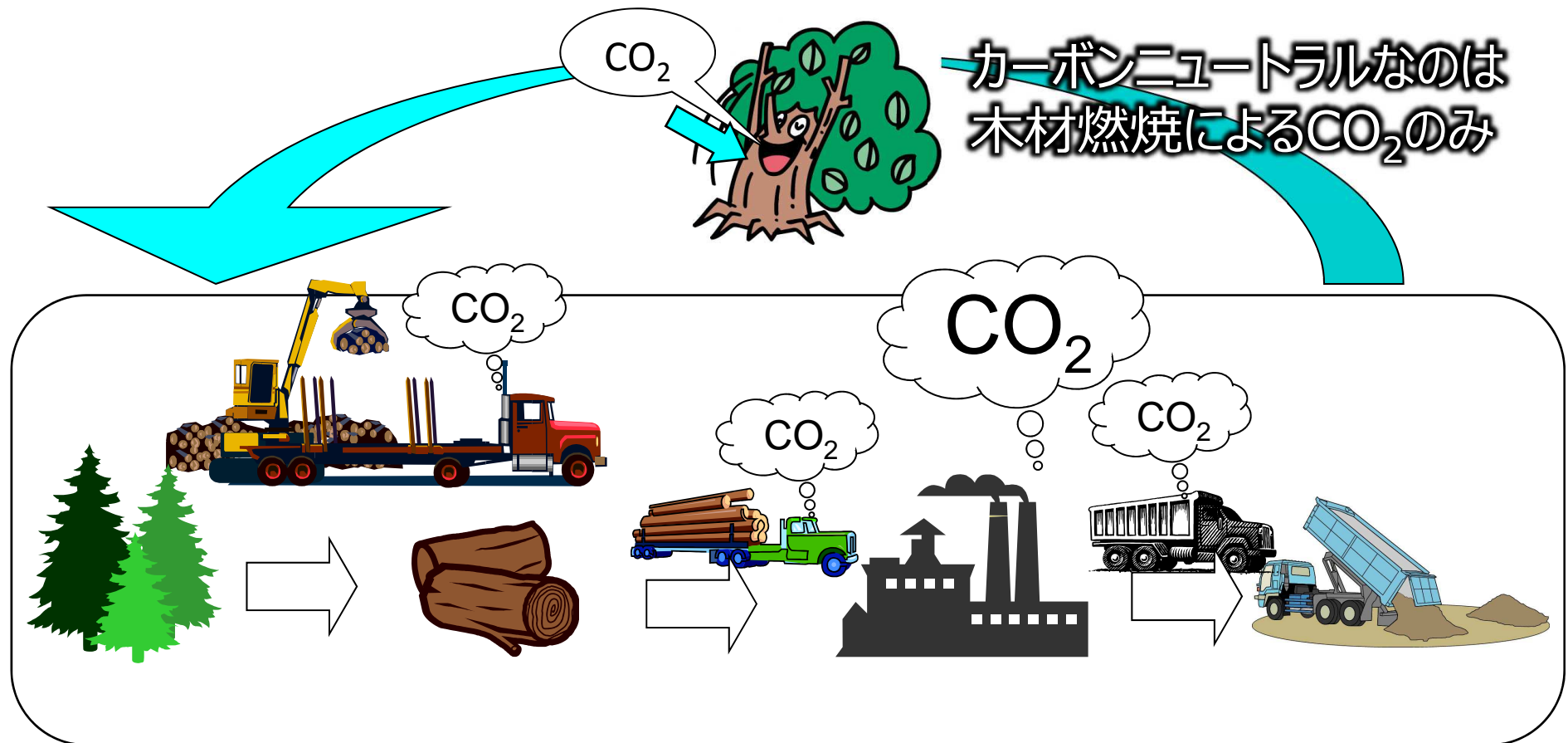
- 調達価格の3割引き下げにより21年目以降の利益率は大きく減少
- 一般木材の大規模発電事業は経常利益が赤字に  
| 燃料費削減が困難な場合は、稼働停止の可能性あり
- 一方、小規模熱電併給事業および未利用材大規模発電事業は、21年目以降も20%以上の経常利益
- ただ、3万kW未利用材大規模発電事業の丸太消費量は約50万m<sup>3</sup>/年、国産材の大量集荷にリスクあり
- 事業の実現性と持続性を考えれば、大規模発電事業よりも地域のバイオマスを活用した小規模の発電・熱電併給事業を展開すべき

# LCAとは

Life Cycle Assessmentの略で、製品の一生に係る環境負荷を算出する手法



# 木質バイオマス発電にもLCAが求められている



- 木質バイオマス発電へのLCA適用例は非常に少ない
- 地球温暖化以外の環境影響も考慮した評価が必要

# 目的

1. 現実的に想定される規模・条件で、化石燃料による発電および熱電併給のシステムに対する各木質バイオマスエネルギーシステムの環境性能を評価する
2. 木質バイオマスによる発電システムと熱電併給システムの環境性能を比較し、総合的な環境影響の面から熱電併給の優位性を検証する

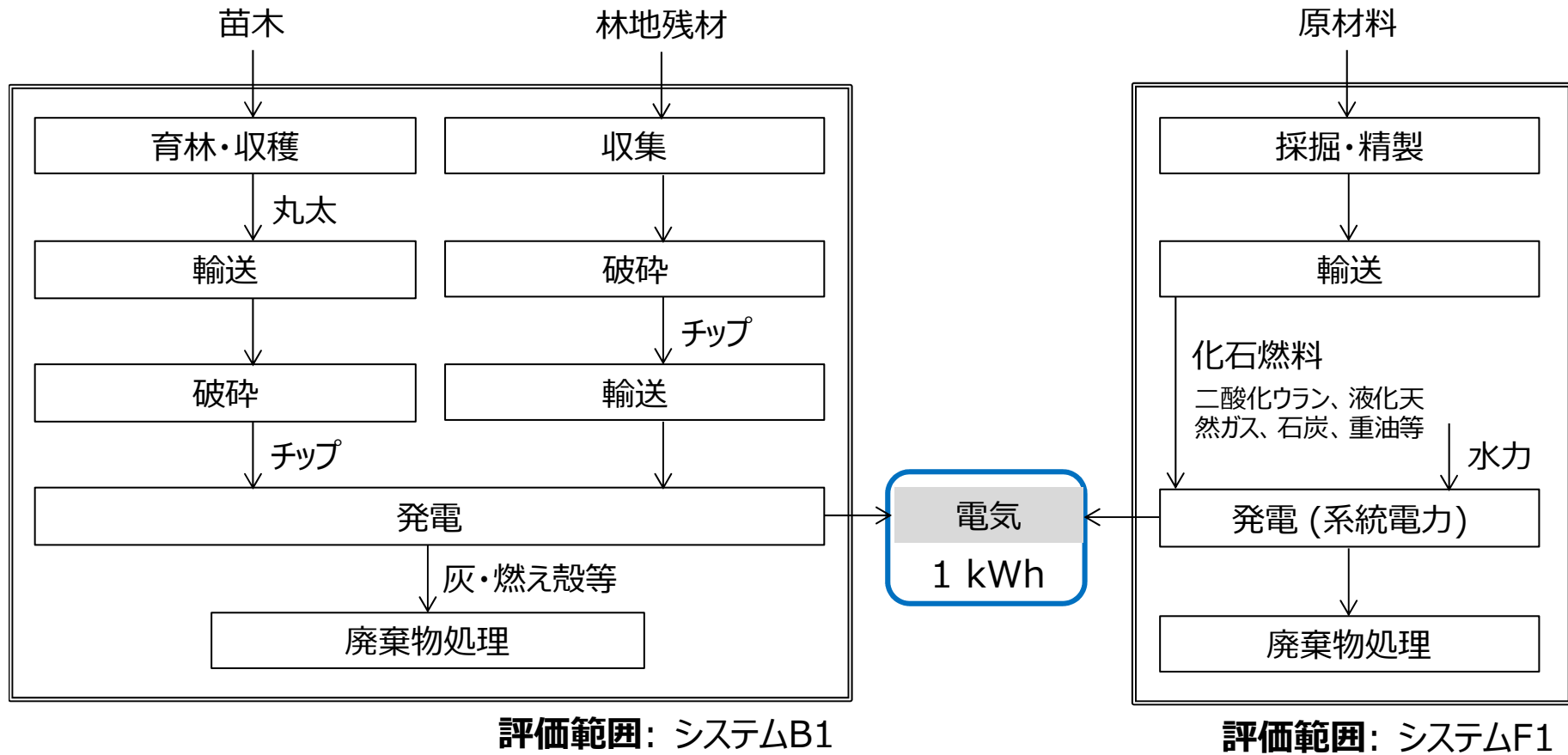
# 比較システムと評価指標

		使用燃料による区分	
		木質バイオマス	化石燃料
製造エネルギーによる区分	発電のみ	B1	F1
	熱電併給	B2	F2

Diagram illustrating the comparison systems and evaluation indicators. The table is divided into two main categories: 'Use of fuel' (木質バイオマス and 化石燃料) and 'Manufacturing energy' (発電のみ and 熱電併給). The systems are labeled B1, B2, F1, and F2. Blue double-headed arrows indicate comparisons between B1 and F1, and between B2 and F2. A red double-headed arrow indicates a comparison between B1 and B2.

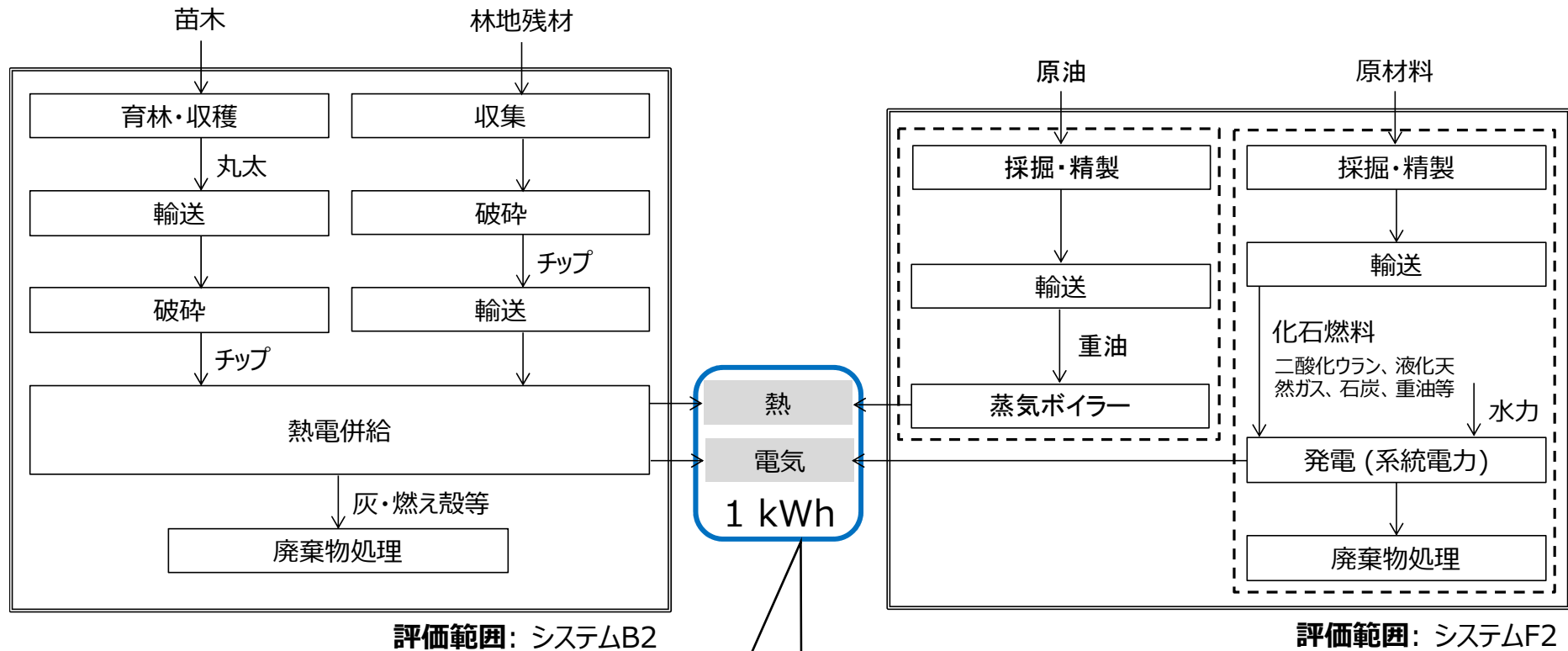
- 矢印のシステム間を比較
- 評価指標は、外部コスト = 環境被害額 (円)

# 評価範囲1 (発電のみ: 木質vs化石)





# 評価範囲2 (熱電併給: 木質vs化石)



注) 破線はサブシステムの境界を示す

熱と電気のミックス  
(製造比率は固定)

# シナリオ・原単位等1

## ■ 木質バイオマスのシステム

### ● 燃料消費量

いずれも丸太10万m<sup>3</sup>/年 (間伐材8割、林地残材2割)

### ● 定格出力

発電のみのシステム：発電出力5700 kW

熱電併給システム：熱利用条件を設定し、5700 kW級発電所のボイラースペック等を用いてエネカルクver.3で算出

｜熱利用条件；圧力0.6 MPaの飽和蒸気を、流量10 t/hで抽気し、木材乾燥に利用 (8万m<sup>3</sup>/年のラミナ乾燥が可能)

### ● エネルギー製造量

｜電気：年間発電量 [kWh/y] = 発電出力 [kW] × 24 [h/d] × 365 [d/y] × 設備利用率 [%] ÷ 100

｜熱：年間製造熱量 [kWh/y] = 熱出力 [kW] × 24 [h/d] × 365 [d/y] × 設備利用率 [%] ÷ 100

# エネルギーの投入量と製造量

			システムB1	システムB2
定格出力	電気 <sup>*1)</sup>	kW	5,700	4,682
	熱 <sup>*2)</sup>	kW	-	8,050
	計	kW	5,700	12,732
エネルギー投入量	木材	MWh/年	164,991	←
エネルギー製造量	電気	MWh/年	39,946	33,673
	熱	MWh/年	-	56,541
	計	MWh/年	39,946	90,214
エネルギー利用効率 <sup>*3)</sup>	電気	%	24.2	20.4
	熱	%	-	34.3
	計	%	24.2	54.7

\*1) 発電端

\*2) 抽気端

\*3) エネルギー利用効率 = (エネルギー製造量/エネルギー投入量) × 100

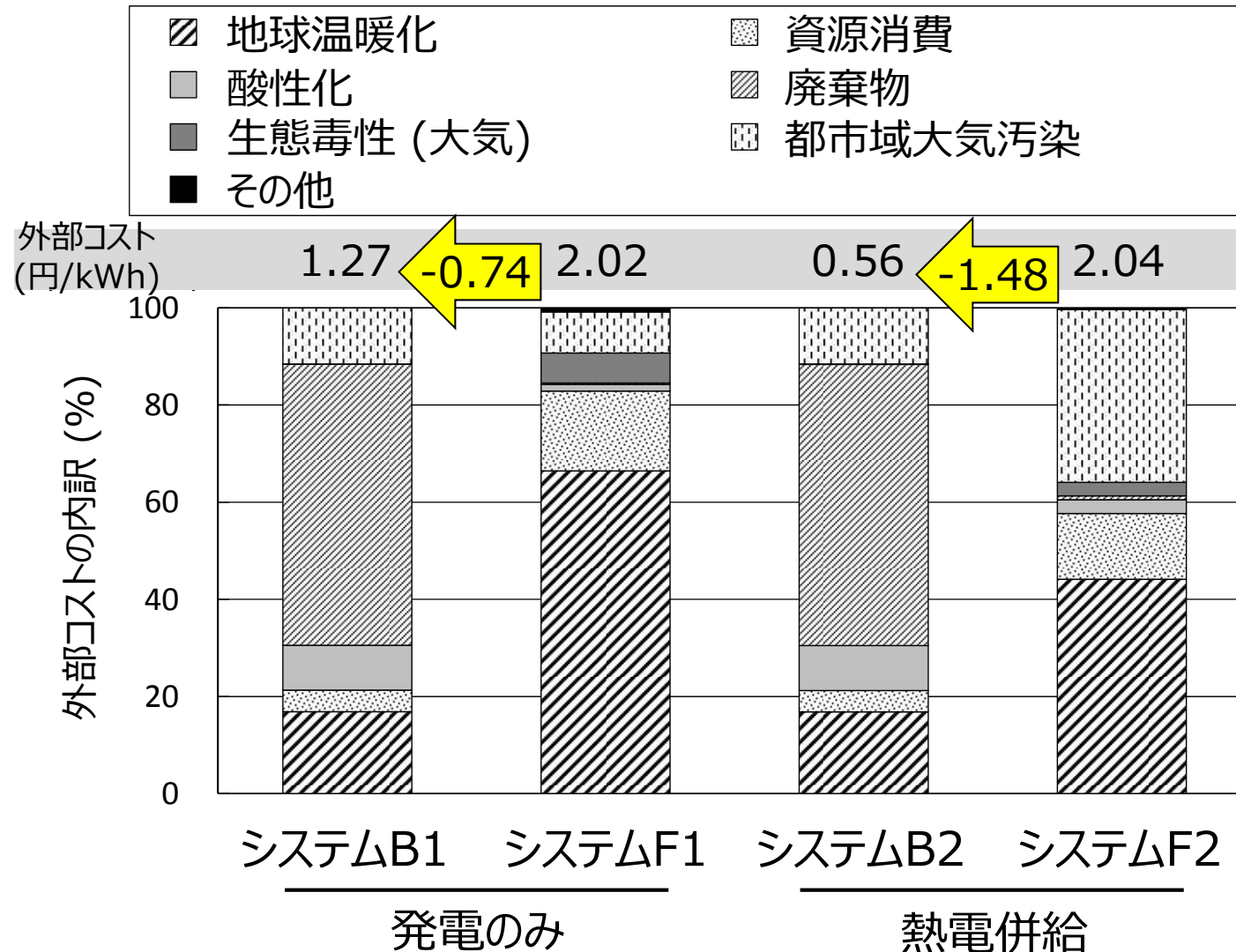
注) 設備利用率は80%

熱電併給システムのエネルギー利用効率は  
発電システムの倍以上

## シナリオ・原単位等2

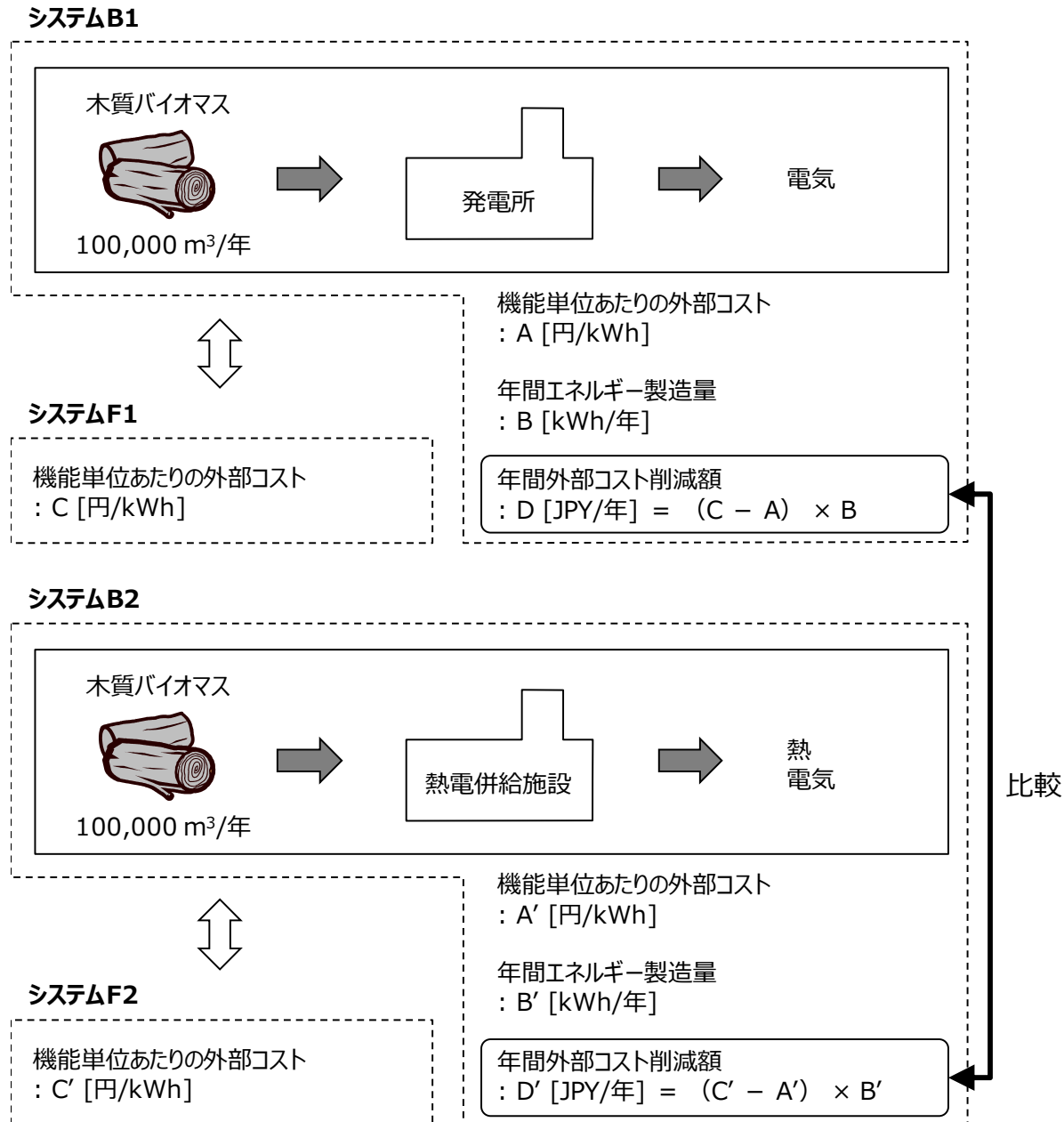
- 化石燃料のシステム  
発電のみのシステム：系統電力  
熱電併給のシステム：系統電力 + 重油蒸気ボイラー
- LCAのモデル化：LCA算定支援ソフトMiLCA Ver.1.2.6を利用
- 原単位：基本的に原単位データベースIDEAを使用し、不足する木質バイオマスボイラーからの大気排出係数は環境省や事業者の実測データを利用
- 特性化の影響領域：地球温暖化、資源消費、酸性化、廃棄物、光化学オキシダント、富栄養化、人間毒性、生態毒性、エネルギー消費、都市域大気汚染（10の領域）

# 統合化評価の結果



ただし、感度分析の結果、エネルギー利用効率が15.3%未満のとき木質バイオマスのシステムの方が外部コストが高くなることが明らかに

# 木質vs木質 発電と熱電併給の比較方法



# 発電システムとCHPシステムの優位性比較

		システムB1	システムB2	
製造エネルギー		電気	熱、電気	
エネルギー製造量		39,946	90,214	MWh/年
外部コスト	対化石燃料のシステム	0.74	1.48	円/kWh
削減額	年間削減額	29.7	133.5	百万円/年

4.5倍

システムB2の外部コスト削減額は、システムB1の4.5倍



木質バイオマスは、発電よりも熱電併給で利用した方が、環境負荷をよく多く削減できる

## 木質バイオマス発電の環境性能を高めるために

- 木質バイオマスのシステムによるエネルギーの環境負荷削減のためには廃棄物の発生量を減らすことが重要
  - | バージン木材の灰と燃え殻に重金属等混入の危険性は僅か
  - | 仮に、セメント材料等へのリサイクルの環境負荷が埋め立てよりも低いのであればリサイクルすべき
- 発電のみ行うよりも熱電併給により熱と電力を製造する方がより多くの外部コストを削減できる
  - | 環境負荷削減のためにも熱電併給を推進すべき
- 外部コスト全体に占める酸性化および都市域大気汚染の影響割合も20%程度で無視できず
  - | ボイラー排出ガス中のばいじん、窒素酸化物濃度を低減させる取り組みも効果的



# 謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費25450249 の助成を受けて実施しました。

本研究の一部は、森林総合研究所交付金プロジェクト研究201423のサポートを受けました。

ここに記して感謝いたします