

2012年3月19日シンポジウム「日本におけるバイオマスの持続可能な利用促進のために～適切なFIT制度設計のための原理・原則～」

バイオマス利用のLCA分析事例と 今後の研究課題

北海道立総合研究機構
林産試験場 古俣寛隆



序論

◆背景

- ・近年、地球温暖化やそれに伴う様々な被害・災害、化石資源の枯渇などが顕在化
- ・持続可能な社会の実現に向けた行動・取組みが求められている
- ・我々は「環境に優しい」製品・サービスあるいは技術を積極的に選択することが求められている

◆「環境への優しさ」の評価基準

環境に配慮した製品に添付されるエコラベルの一例



環境に配慮しているという
イメージを伝えるもの

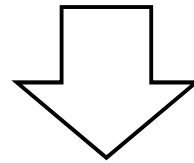
序論

◆「環境への優しさ」の評価基準

環境負荷を定量的に
伝えるエコラベル



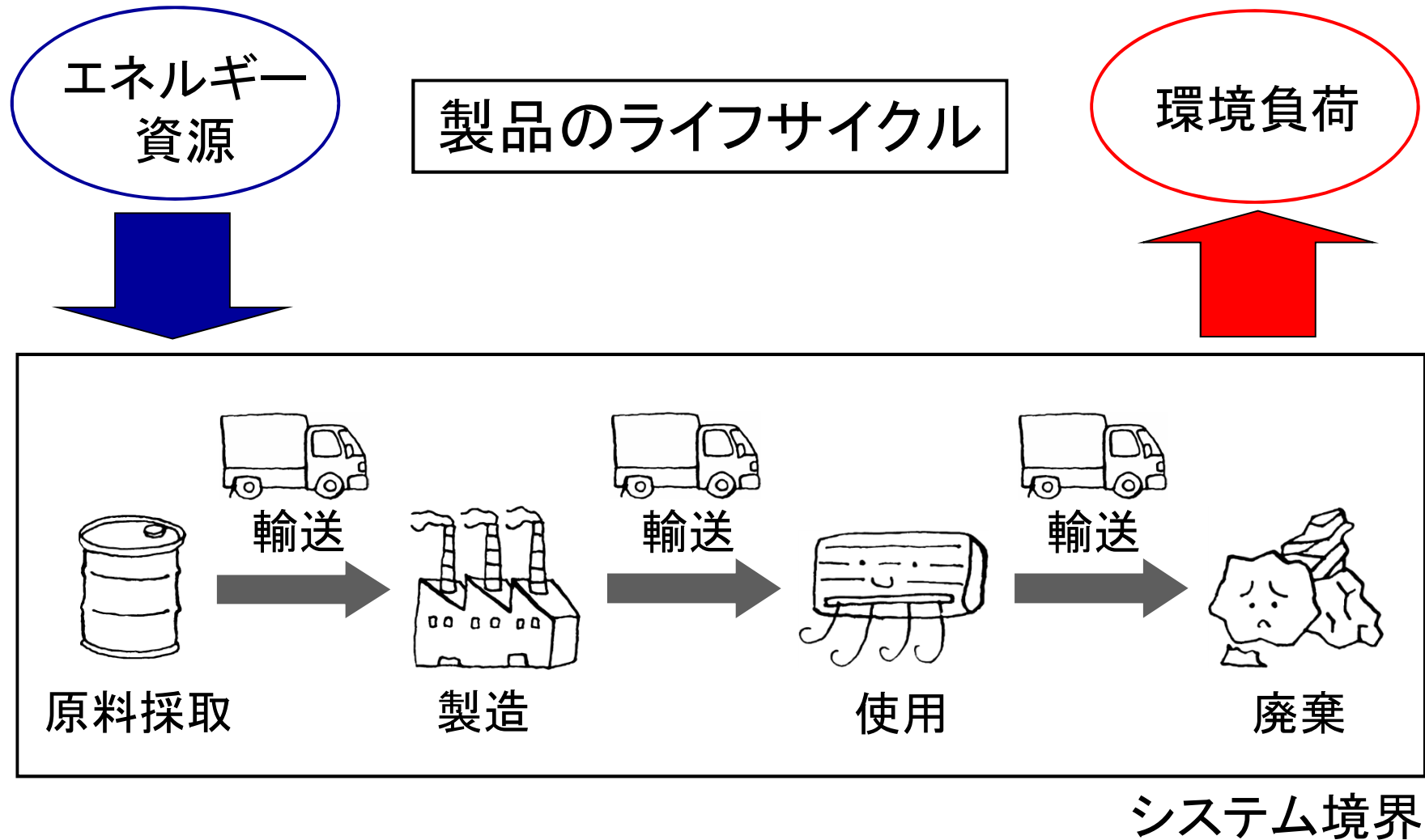
環境負荷をライフサイクルアセスメント
(Life Cycle Assessment: LCA) により数値化



ある特定の環境側面だけを取りあげて「環境に優しい」とするのではなく、製品の一生 (ライフサイクル) 全体の環境負荷を明らかにすることで、生産者・消費者の環境負荷削減のための意思決定をサポート

序論

◆LCAの概略図



序論

◆LCAの歴史

1969年に、アメリカのコカ・コーラ社がリターナブル瓶とワンウェイ容器の選択に関して実施した研究が、LCAに関連する調査・研究の始まりとされる

○環境負荷量 **トレードオフが存在**

リターナブル瓶 < ワンウェイ容器

しかし、回収率が低かったり、輸送距離が長い場合は

リターナブル瓶 > ワンウェイ容器

序論

◆木材分野におけるLCA

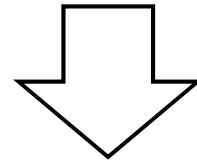
木材・木質製品および木質燃料は一般的に環境に優しいと考えられている

再生産可能

加工エネルギー小

炭素固定

カーボンニュートラル



- ・他分野と比較して、LCAの取り組みは遅れている
- ・単に環境にやさしいと訴えるだけではなく、定量的な評価が必要

木材利用の環境貢献度

林野庁は平成20年度に委員会を設置し、「木材利用に係る環境貢献度の見える化」についての評価や表示方法の検討を行った

- ① 省エネ効果
- ② 炭素貯蔵効果
- ③ 間伐材製品の利用による間伐実施への貢献効果

省エネ効果とは

省エネ資材としての「見える化」を導入するために、
LCA (ライフサイクルアセスメント) の考え方を導入

→ カーボンフットプリント

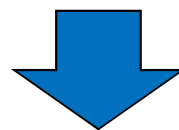
(CFP: Carbon Footprint of Products)

○温室効果ガス (Greenhouse Gas: GHG) の見える化

・GHGとは、大気圏にあって地表からの赤外線の一部を
吸収する気体の総称

・京都議定書の削減対象になっている物質として、CO₂、
CH₄、N₂O、HFC、PFC、SF₆がある

・GHGの排出量は、CO₂を基準として換算、表示



どうやって？

換算方法

温暖化係数 (Global warming potential: GWP) を乗じる

GWPとは、CO₂に対する温室効果の大きさを、持続時間を加味した上で相対的に表す指標

	GWP ₁₀₀ (AR4)
CO ₂	1
CH ₄	25
N ₂ O	298
CFC-11	4,750
HFC-23	14,800
SF ₆	22,800

省エネ効果とは

例えば、

木製機を製造する際に排出されるCO₂は、〇〇で作った机に比べ、△△kg少ない (のでCO₂排出削減に寄与する)

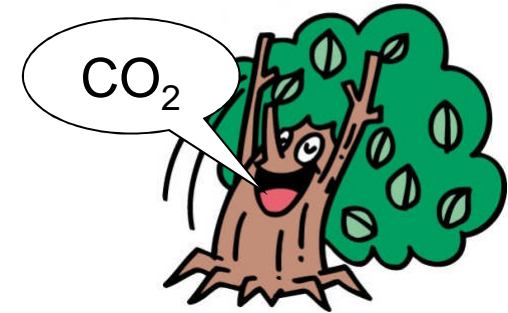
新製品は、自社の旧製品より〇〇%CO₂排出量を減らした

など

炭素貯蔵効果とは

木材中の炭素貯蔵量は、木材重量の約5割

$$\text{木材重量} \times 0.5 = \text{炭素貯蔵量}$$



例えば、

10kg (絶乾重量) の木製机は、炭素を5kg固定
(CO₂換算では約18kg)

間伐への貢献効果とは

使用した間伐材が、どの程度間伐 (面積) に貢献しているかを評価する

$$\text{間伐貢献度 (ha)} = 1/A \times 100/P \times 100/Q \times 100/R \times B$$

ここで、A:蓄積量 (m³/ha)、P:材積間伐率 (%)、Q:造材歩留まり (%)、R:製品の丸太からの歩留まり (%)、B:利用量 (m³)

例えば、

0.1m³の間伐材を原料とした机は、33m² (10坪) の森林整備(間伐) に貢献

木材関連分野におけるLCA

単に環境にやさしいと訴えるだけではなく、定量的な評価が重要

特に、国内の木材関連分野においては、国外のそれや他材料と比較して不足しており、LCAによる評価の蓄積が必要



エネルギー利用のGHG削減効果については、保有熱量のみで比較し、アピールするものが少なくないが、原料収集のためのエネルギー、加工、燃焼効率、所内動力なども考慮した上で優位性を評価することが必要不可欠

本日紹介する事例

北海道立総合研究機構では、これまで北海道を調査対象地域として、木材・木製品および木質燃料のLCAを実施してきた

本日は、木質燃料、特に木質ペレットと林地残材のエネルギー利用におけるGHG排出量の評価事例を紹介する

木質ペレットのGHG排出量

◆背景

- ・原油価格の乱高下を契機に木質ペレットが再び注目
- ・経済的なメリットに加え、環境に優しいというイメージがインセンティブとなっている
- ・実際にどのくらい環境に優しいのかを、LCAにより見える化する必要がある



北海道内の木質ペレットの原料輸送から燃焼・廃棄までに伴うGHG排出量を評価

木質ペレットとは

◆特徴

製材端材、林地残材等を粉碎、成型した固形燃料
原料は木材のみ

◆性状

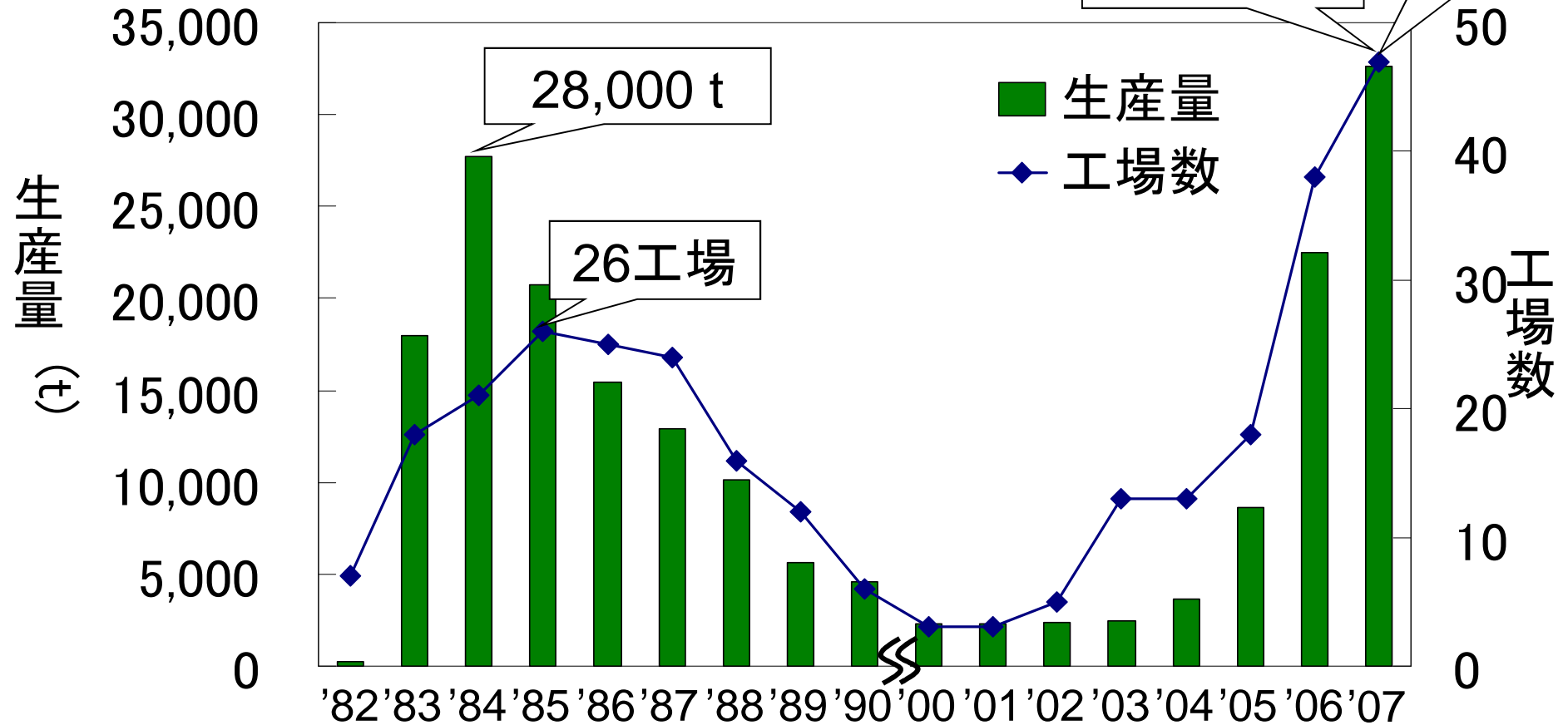
直径6 mm、長さ15~20 mm程度の円筒形、含水率は10%程度

◆用途

ペレット専用のストーブやボイラーの燃料



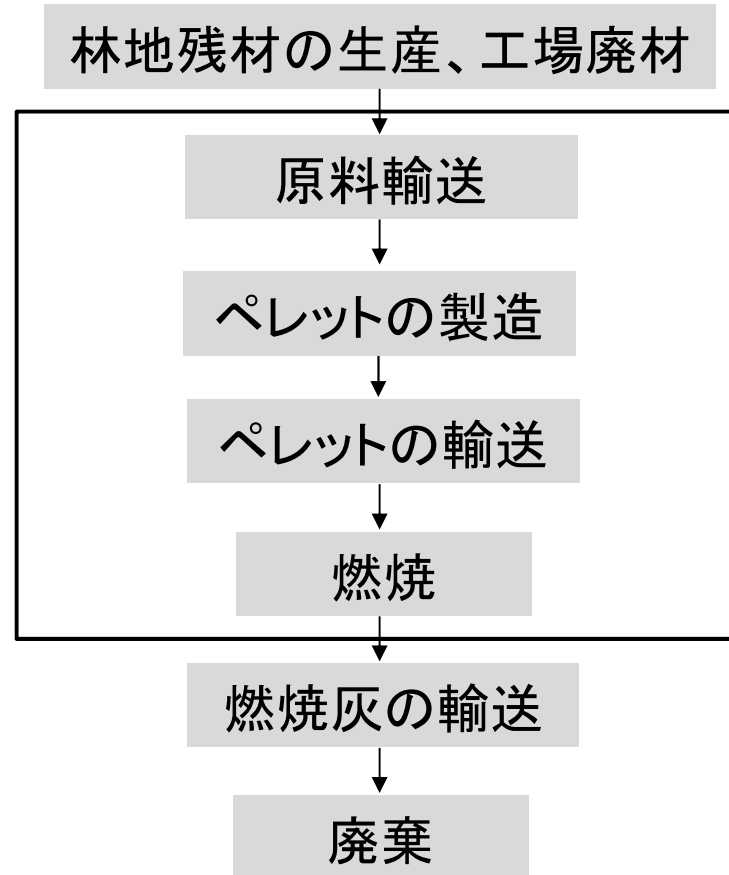
全国の生産量と工場数



北海道の生産実績は9工場で2,583 t (2007年)
 (前年比2倍の生産量、全国生産量の8%)

木質ペレットのGHG排出量

◆システム境界



◆機能単位 ペレット1 t

システム境界

木質ペレットのGHG排出量

◆調査の概要

原料輸送および製造プロセスにおけるインプットデータは北海道内のペレット工場の実測値を引用 (2007年、5工場、シェア66%)

◆検討項目

- ・ペレット利用におけるGHG排出構造
- ・ペレットストーブと他の家庭用暖房機器のGHG排出量の比較
- ・ペレットストーブ導入による北海道でのGHG削減効果

木質ペレットのGHG排出量

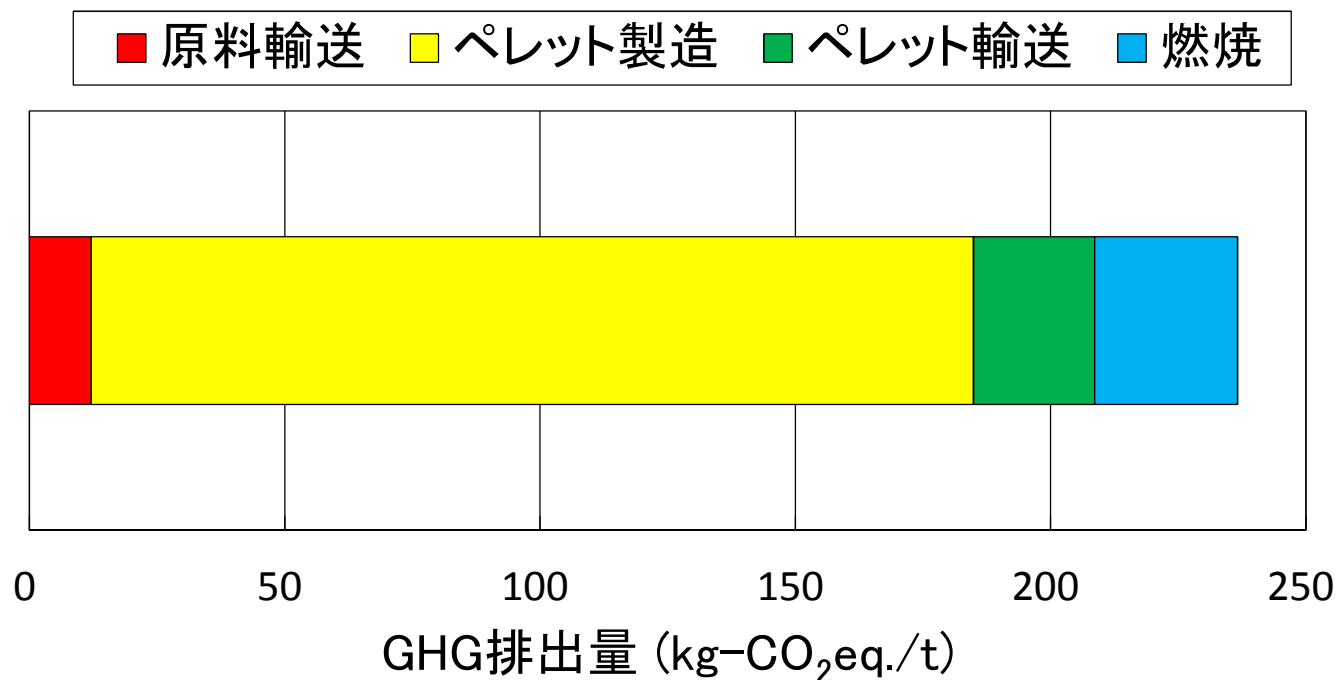
◆インベントリ分析

		原料輸送		ペレット製造				ペレット輸送	燃焼 木材	合計
		軽油	電力	灯油	軽油	A重油	ガソリン			
資源	ウラン	7.37E-08	1.77E-03	2.08E-07	2.35E-08	1.28E-08	9.44E-09		1.26E-07	1.77E-03
	石炭	1.04E-03	4.29E+01	2.93E-03	3.31E-04	1.81E-04	1.33E-04		1.44E-03	4.29E+01
	原油	3.71E+00	6.14E+00	1.05E+01	1.18E+00	6.47E-01	4.75E-01		7.38E+00	3.00E+01
	天然ガス	3.92E-04	3.28E-02	1.11E-03	1.25E-04	6.83E-05	5.02E-05		6.68E-04	3.52E-02
大気圏排出	CO ₂	1.20E+01	1.28E+02	3.40E+01	3.81E+00	2.08E+00	1.56E+00		2.36E+01	2.05E+02
	CH ₄	3.29E-04	2.84E-03	9.29E-04	1.05E-04	5.73E-05	4.21E-05	9.74E-02	1.41E-07	1.02E+00
	N ₂ O	1.96E-04	5.02E-04	5.53E-04	6.23E-05	3.41E-05	2.51E-05	7.68E-04	3.80E-04	8.06E-03
	NO _x (点源)	3.74E-03	6.18E-02	9.13E-03	1.19E-03	6.13E-04	5.00E-05	2.77E-02	5.91E-04	2.91E-01
	NO _x (線源)	3.89E-07	2.30E-02	1.10E-06	1.24E-07	6.78E-08	1.29E-04		1.27E-01	1.50E-01
	PM10 (線源)	2.85E-08	1.68E-03	8.06E-08	9.09E-09	4.97E-09	3.66E-09			1.68E-03
	SO ₂	3.97E-04	4.90E-03	4.17E-04	1.26E-04	9.82E-04	2.12E-05	3.63E-02	2.79E-04	3.82E-01
	SO _x	2.78E-04	3.15E-02	7.85E-04	8.85E-05	4.85E-05	3.56E-05		4.84E-03	3.76E-02
	Dust	4.43E-04	1.40E-03	1.27E-03	1.41E-04	7.55E-05	6.15E-06	2.22E-02		2.33E-01
	As	6.03E-11	3.59E-06	1.70E-10	1.92E-11	1.05E-11	7.72E-12		1.20E-10	3.59E-06
	Cd	4.98E-12	2.97E-07	1.41E-11	1.59E-12	8.68E-13	6.38E-13		9.91E-12	2.97E-07
	Cr	1.10E-10	6.53E-06	3.10E-10	3.49E-11	1.91E-11	1.41E-11		2.18E-10	6.53E-06
	Hg	7.28E-11	4.33E-06	2.06E-10	2.32E-11	1.27E-11	9.32E-12		1.45E-10	4.33E-06
	Ni	1.23E-10	7.34E-06	3.48E-10	3.93E-11	2.15E-11	1.58E-11		2.45E-10	7.34E-06
	Pb	2.89E-10	1.72E-05	8.15E-10	9.19E-11	5.03E-11	3.70E-11		5.75E-10	1.72E-05
Zn	8.77E-10	4.81E-05	2.48E-09	2.79E-10	1.53E-10	1.12E-10			4.81E-05	
Hydrocarbon	3.07E-05	2.98E-03	8.66E-05	9.76E-06	5.34E-06	3.93E-06		2.60E-02	2.92E-02	
NMHC	1.33E-07	3.21E-03	3.75E-07	4.23E-08	2.31E-08	1.70E-08		2.64E-07	3.22E-03	
廃棄物	低レベル放射性廃棄物	5.15E-08	1.24E-03	1.45E-07	1.64E-08	8.98E-09	6.60E-09		8.83E-08	1.24E-03
	燃焼灰 (産廃)							8.48E-01		8.48E-01
	燃焼灰 (一般)								8.90E+00	8.90E+00

単位 (kg)

木質ペレットのGHG排出量

◆原料輸送から燃焼までのGHG排出量



- ・1 tあたりのGHG排出量は237 kg
 - ・全体の73%がペレット製造プロセスに起因し、さらに製造プロセスの排出の74%は電力
- 稼働率の向上により負荷削減は可能

暖房機器の設定

◆ 熱効率と単位発熱量

暖房機器	エネルギー	熱効率 (%)	単位発熱量	
エアコン	電力	430 (COP)	3.6	MJ/kWh
蓄熱式暖房機	電力	90 (蓄熱効率)	3.6	MJ/kWh
灯油ストーブ	灯油	86 (燃焼効率)	35.0	MJ/L
ガスストーブ	都市ガス	83 (燃焼効率)	41.5	MJ/m ³
ペレットストーブ	木質ペレット	77 (燃焼効率)	17.2	MJ/kg

最大出力7～8 kW相当の暖房機器を設定して比較

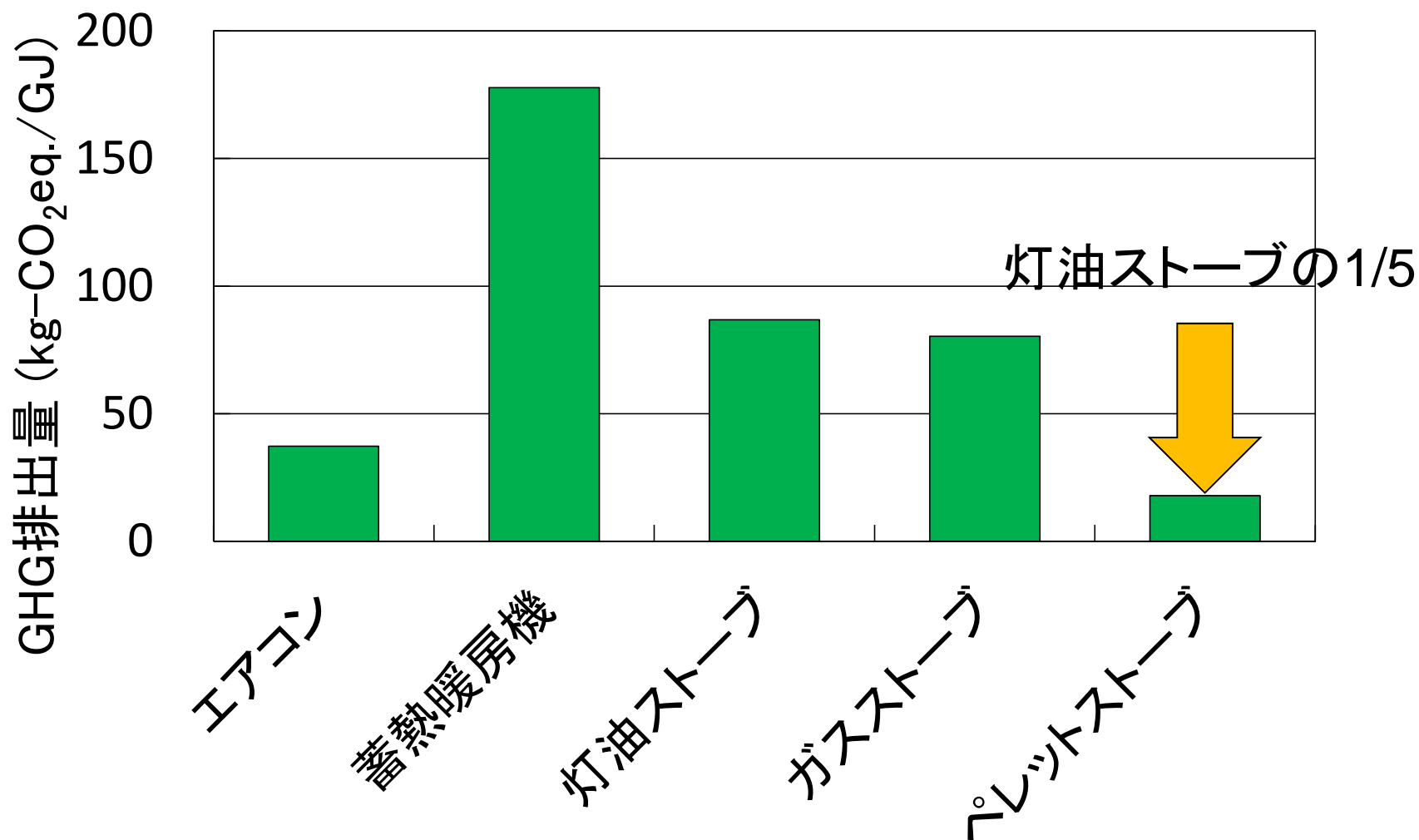
比較単位

◆各暖房機器の発熱量1GJあたりのエネルギー消費量

暖房機器	消費量 (単位/GJ)	単位
エアコン	64.6	kWh
蓄熱暖房	308.6	kWh
灯油ストーブ	33.2	L
ガスストーブ	29.0	Nm ³
ペレットストーブ	75.5	kg

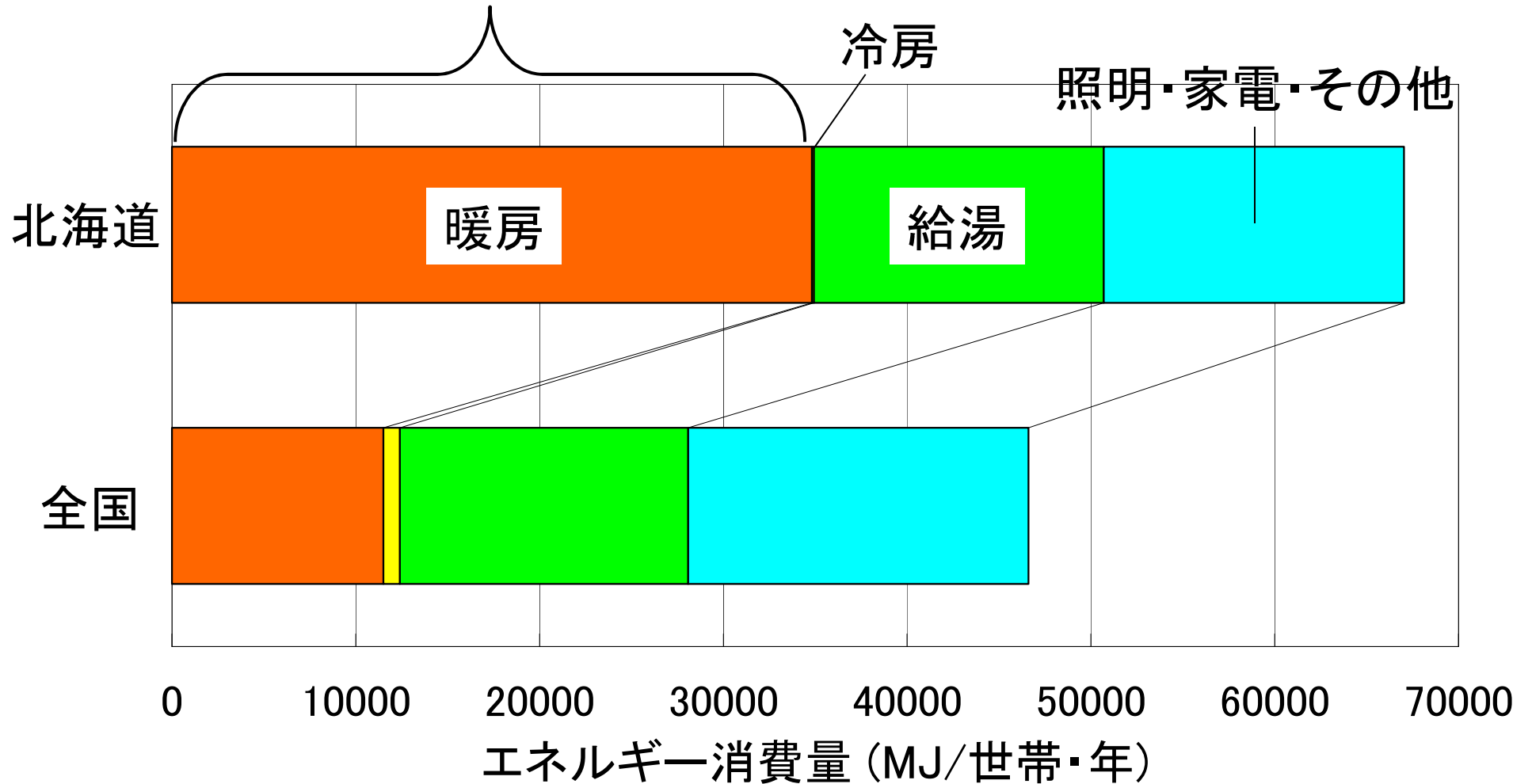
木質ペレットのGHG排出量

◆ペレットストーブと他の家庭用暖房機器の比較



世帯の用途別エネルギー消費量

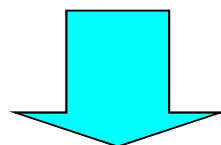
北海道では世帯の消費エネルギーの半分を暖房が占める



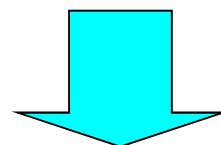
出典：(株)住環境計画研究所：“家庭用エネルギーハンドブック (2009年版)”，住環境計画研究所，東京，2009，pp. 41-42.

条件および方法

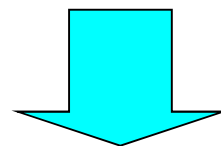
北海道における暖房用途エネルギー消費量
34.8GJ/世帯・年^{出典)}



各暖房機器の1GJあたりのGHG排出量を乗じ、
世帯の年間GHG排出量を求める



ペレットストーブと他の暖房機器の差を求める



世帯の年間GHG排出量から削減割合を求める

木質ペレットのGHG排出量

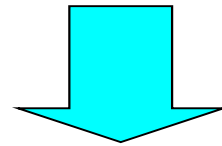
◆ペレットストーブ導入によるGHG削減量

代替する暖房機器	GHG削減量
エアコン	674
蓄熱暖房	5,571
灯油ストーブ	2,401
ガスストーブ	2,178

単位 (kg/年/世帯)

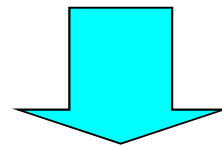
世帯のCO₂排出削減割合

北海道の民生家庭部門における
CO₂排出量は1,474万t (2006年)



同年の世帯数で割ると

1世帯あたりのCO₂排出量は
5,670 kg/世帯・年



**灯油ストーブの代替
として導入すると**

世帯の年間CO₂排出は
約4割 (2,466/5,670) 削減可能

北海道におけるGHG排出量削減

◆北海道のGHG排出量と削減目標

現状 GHG排出量 7,156万t (2006年)

一) **目標** GHG排出量 6,292万t (2010年)

削減すべきGHG排出量 864万t (年間)

仮に、道内ペレット工場の供給可能量の全てが一般家庭のペレットストーブに使用された場合



CO₂削減量は年間8,389 t (貢献度0.1%)

木質ペレットの環境影響評価

◆まとめ

- ・GHG排出量は、ペレット製造プロセスの電力の影響が大きい
→稼働率の向上が必要
- ・ペレットストーブのGHG排出量は、家庭用暖房機器の中では最低、代替利用による削減効果は大きい
- ・灯油ストーブからペレットストーブへ代替することにより、世帯の年間GHG排出量は約4割削減
- ・しかし、供給可能な全てのペレットを利用してもGHG削減量は北海道の目標にはほど遠いため、他の各部門における削減努力が必要不可欠

林地残材の燃料利用によるGHG排出量

◆背景

- ・未利用の林地残材は国内に800万tと言われる
- ・近年、FIT (Feed-in Tariff: 固定価格買い取り制度) の導入が検討されるに従い、石炭火力発電における混焼試験が実施され、エネルギー利用における注目が集まる
- ・これまで、技術面やコスト面からの検討が主で、LCAの実施例はない



北海道における林地残材の原料調達から燃焼までに伴うGHG排出量を評価

原料 (林地残材) の種類

2種類の林地残材について紹介する

伐り捨て間伐^{注)}に伴うもの



主伐に伴うもの



注) 列状間伐

林地残材の燃料利用によるGHG排出量

◆システム境界

発電は、小規模バイオマス専焼発電施設（直接燃焼）で行うものとする（発電効率は10%に設定）



製造製品は電力のみとして試算

発電端電力
1 kWh

◆機能単位

発電端電力1 kWh

システム境界

林地残材の燃料利用によるGHG排出量

◆調査の概要と前提条件

- ・収集からチップ化、チップ輸送までのインプットデータは実測値
- ・チップ化は山土場にて実施、チップの輸送距離は50 km
- ・発熱量は低位発熱量とし、燃焼時の含水率は25%に設定
- ・ボイラー形式には常圧流動床、加圧流動床、流動床以外を設定し、原単位には環境省、経済産業省のマニュアル^{出典})を引用(ただし、ボイラー形式の違いによる所内動力は同一とした)

木材の発熱量 (低位発熱量)

◆各種エネルギーの低位発熱量

	含水率 (%)	低位発熱量 (単位/MJ)	単位
軽油	—	37.7	L
ガソリン	—	34.6	L
木材	25	14.4	kg

木材の発熱量は、重量比で化石燃料の約1/3

林地残材の燃料利用によるGHG排出量

◆インベントリ分析

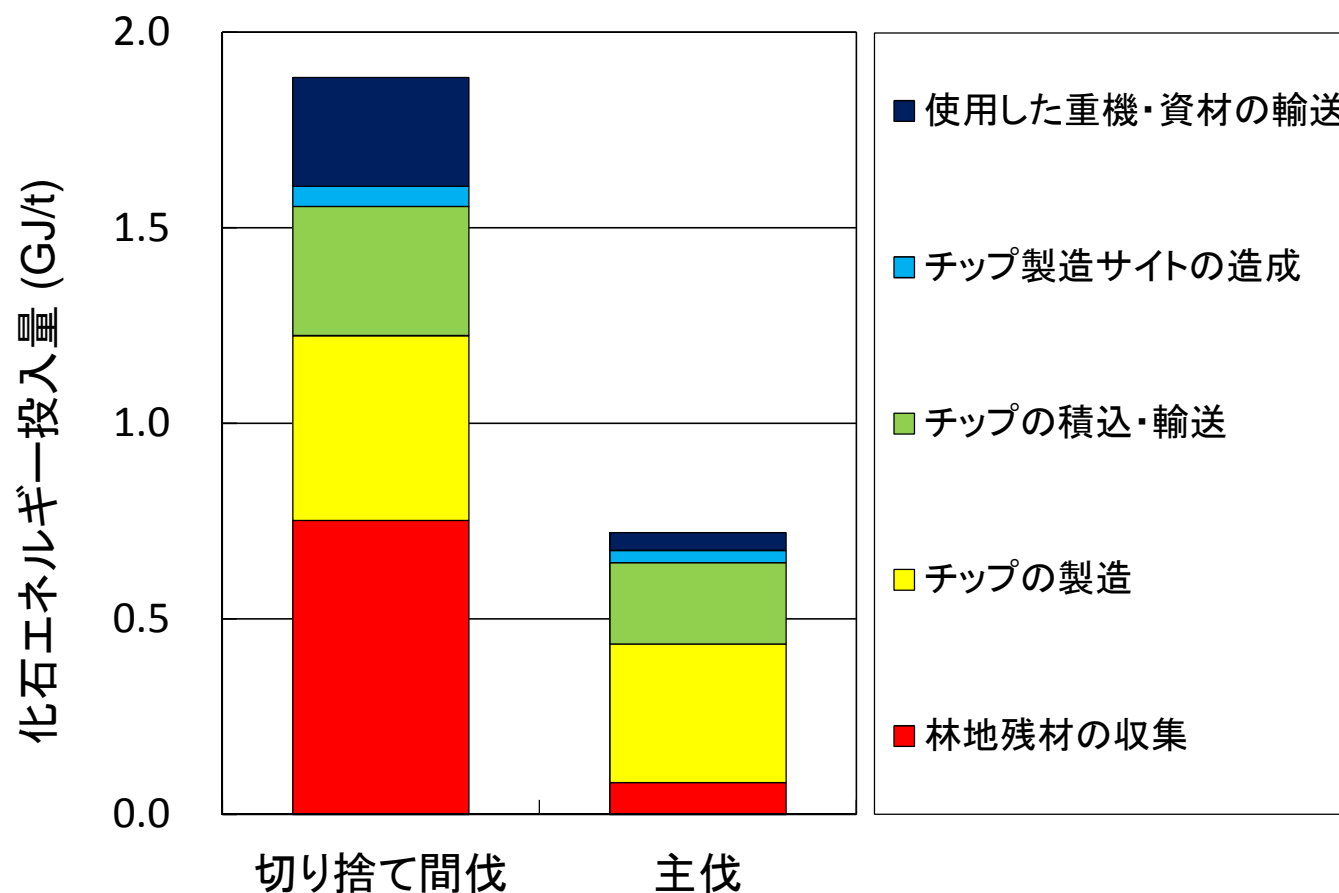
		林地残材の収集	チップの製造	チップの積込・輸送	チップの燃焼	チップ製造サイトの造成	使用した重機・資材の輸送	合計
資源	ウラン	5.14E-11	3.24E-11	2.26E-11		3.52E-12	1.90E-11	1.29E-10
	石炭	7.24E-07	4.56E-07	3.18E-07		4.96E-08	2.68E-07	1.82E-06
	原油	2.59E-03	1.63E-03	1.14E-03		1.77E-04	9.58E-04	6.49E-03
	天然ガス	2.73E-07	1.72E-07	1.20E-07		1.87E-08	1.01E-07	6.85E-07
大気圏排出	CO ₂	8.35E-03	5.26E-03	3.67E-03		5.72E-04	3.09E-03	2.10E-02
	CH ₄	2.29E-07	1.44E-07	1.01E-07	2.06E-05	1.57E-08	8.49E-08	2.11E-05
	N ₂ O	1.36E-07	8.60E-08	6.00E-08	1.50E-05	9.35E-09	5.05E-08	1.53E-05
	NO _x (点源)	2.61E-06	1.64E-06	1.15E-06	5.61E-06	1.79E-07	9.65E-07	1.21E-05
	NO _x (線源)	2.71E-10	1.71E-10	1.19E-10		1.86E-11	1.00E-10	6.81E-10
	PM10 (線源)	1.99E-11	1.25E-11	8.75E-12		1.36E-12	7.37E-12	4.99E-11
	SO ₂	2.76E-07	1.74E-07	1.22E-07	7.36E-06	1.89E-08	1.02E-07	8.05E-06
	SO _x	1.94E-07	1.22E-07	8.52E-08		1.33E-08	7.18E-08	4.86E-07
	Dust	3.09E-07	1.95E-07	1.36E-07	4.50E-06	2.12E-08	1.14E-07	5.28E-06
	As	4.20E-14	2.65E-14	1.85E-14		2.88E-15	1.56E-14	1.05E-13
	Cd	3.47E-15	2.19E-15	1.53E-15		2.38E-16	1.29E-15	8.71E-15
	Cr	7.65E-14	4.82E-14	3.36E-14		5.24E-15	2.83E-14	1.92E-13
	Hg	5.08E-14	3.20E-14	2.23E-14		3.48E-15	1.88E-14	1.27E-13
	Ni	8.60E-14	5.41E-14	3.78E-14		5.89E-15	3.18E-14	2.16E-13
	Pb	2.01E-13	1.27E-13	8.85E-14		1.38E-14	7.45E-14	5.05E-13
	Zn	6.12E-13	3.85E-13	2.69E-13		4.19E-14	2.26E-13	1.53E-12
	Hydrocarbon	2.14E-08	1.35E-08	9.40E-09		1.46E-09	7.91E-09	5.36E-08
NMHC	9.26E-11	5.83E-11	4.07E-11		6.34E-12	3.43E-11	2.32E-10	
廃棄物	燃焼灰(産廃)				6.86E-04			6.86E-04
	低レベル放射性廃棄物	3.59E-11	2.26E-11	1.58E-11		2.46E-12	1.33E-11	9.01E-11

単位 (kg)

例：ケース；切り捨て間伐、含水率；25%、ボイラー形式：常圧流動床

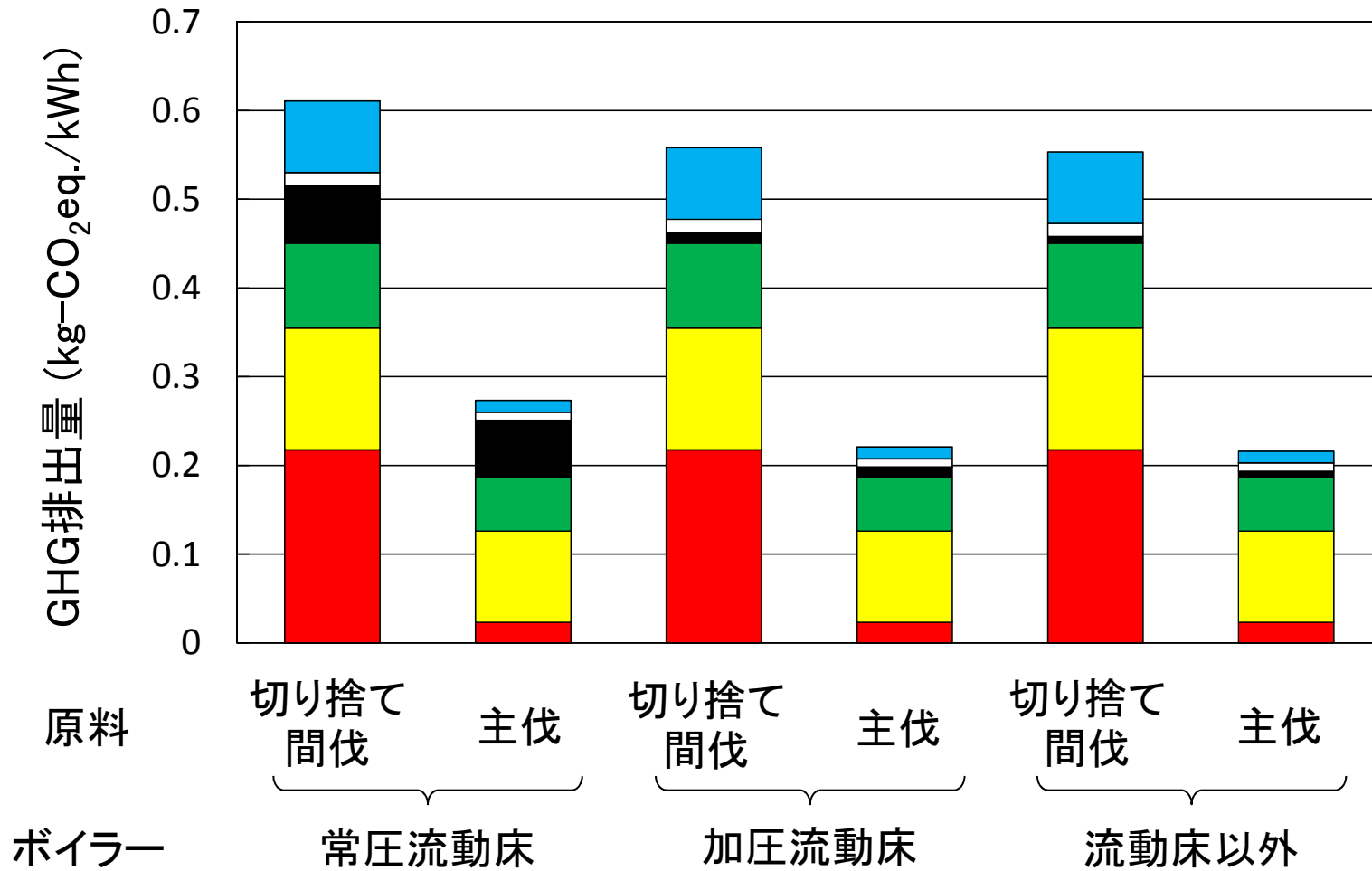
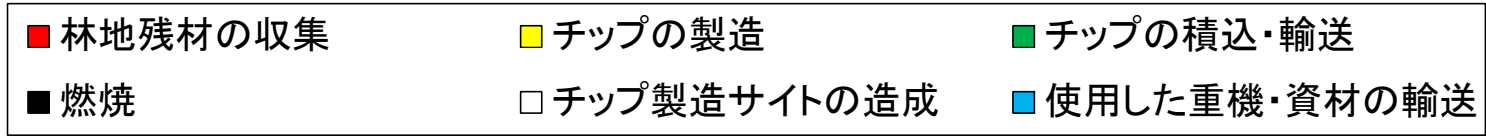
原料の種類によるエネルギー消費割合

◆ 林地残材1 t (含水率100%) あたりのエネルギー投入量

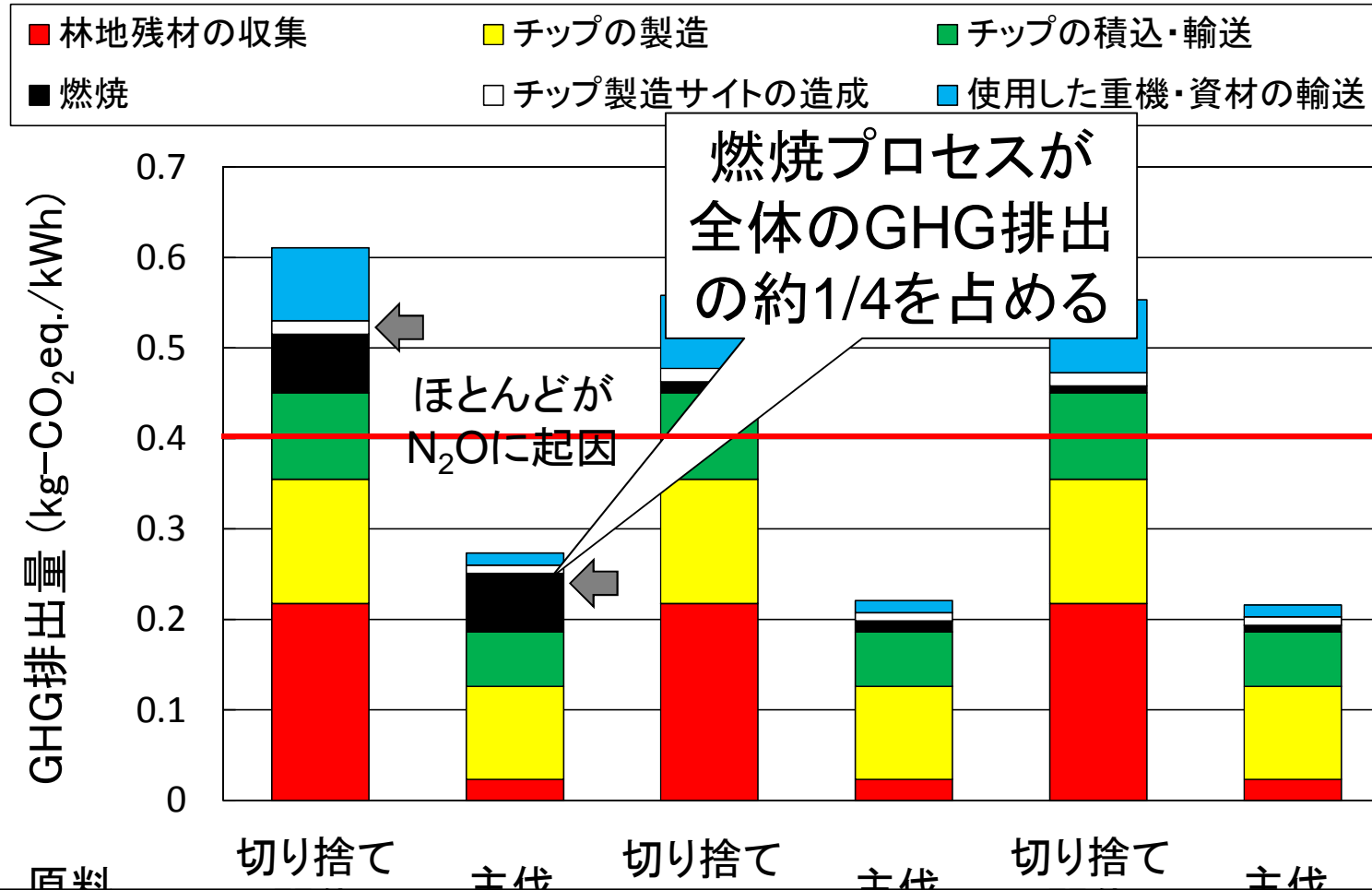


注) 発電施設への輸送まで

原料、ボイラー別のGHG排出量



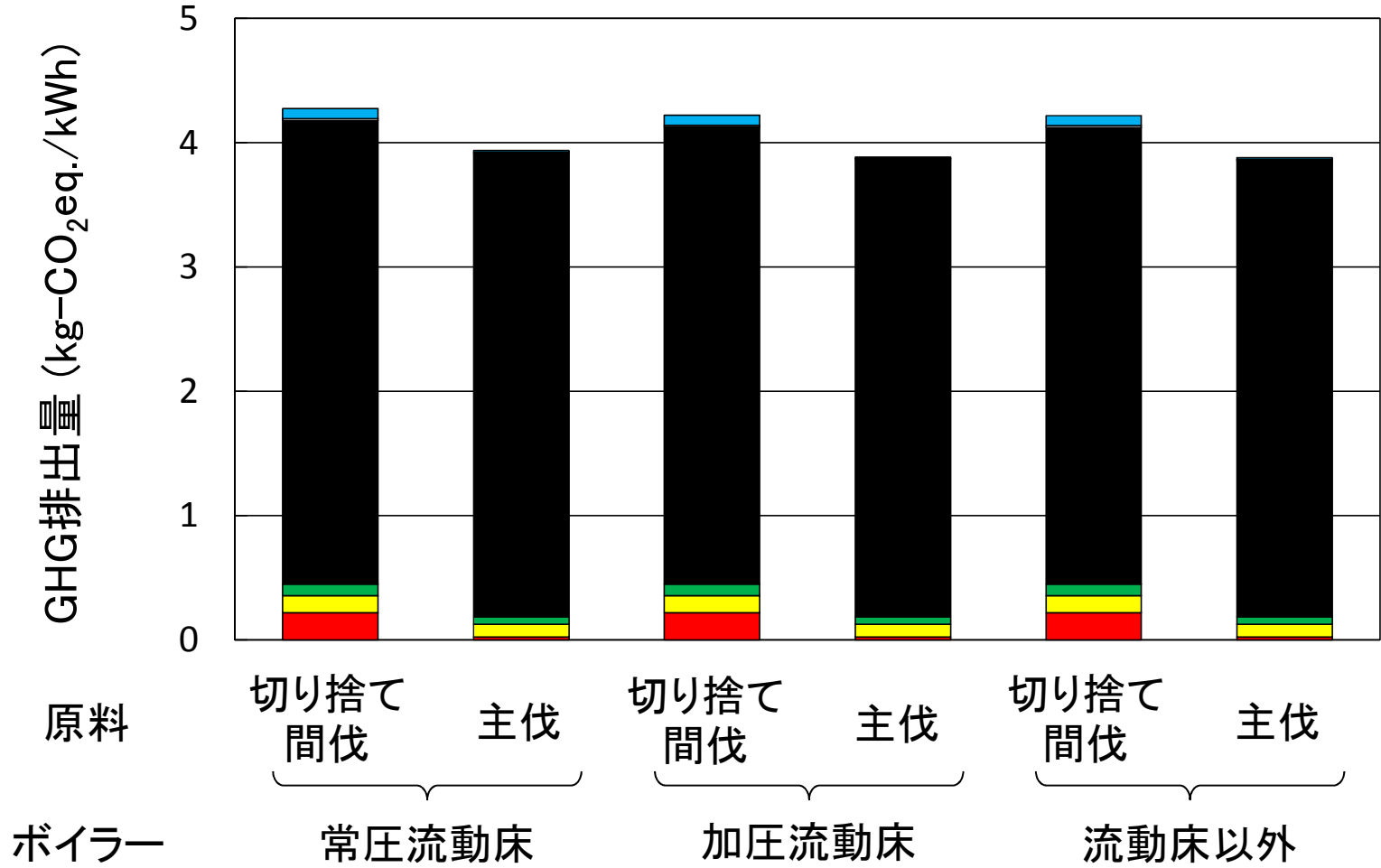
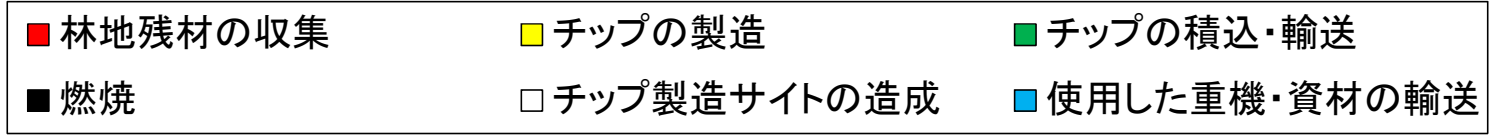
原料、ボイラー別のGHG排出量

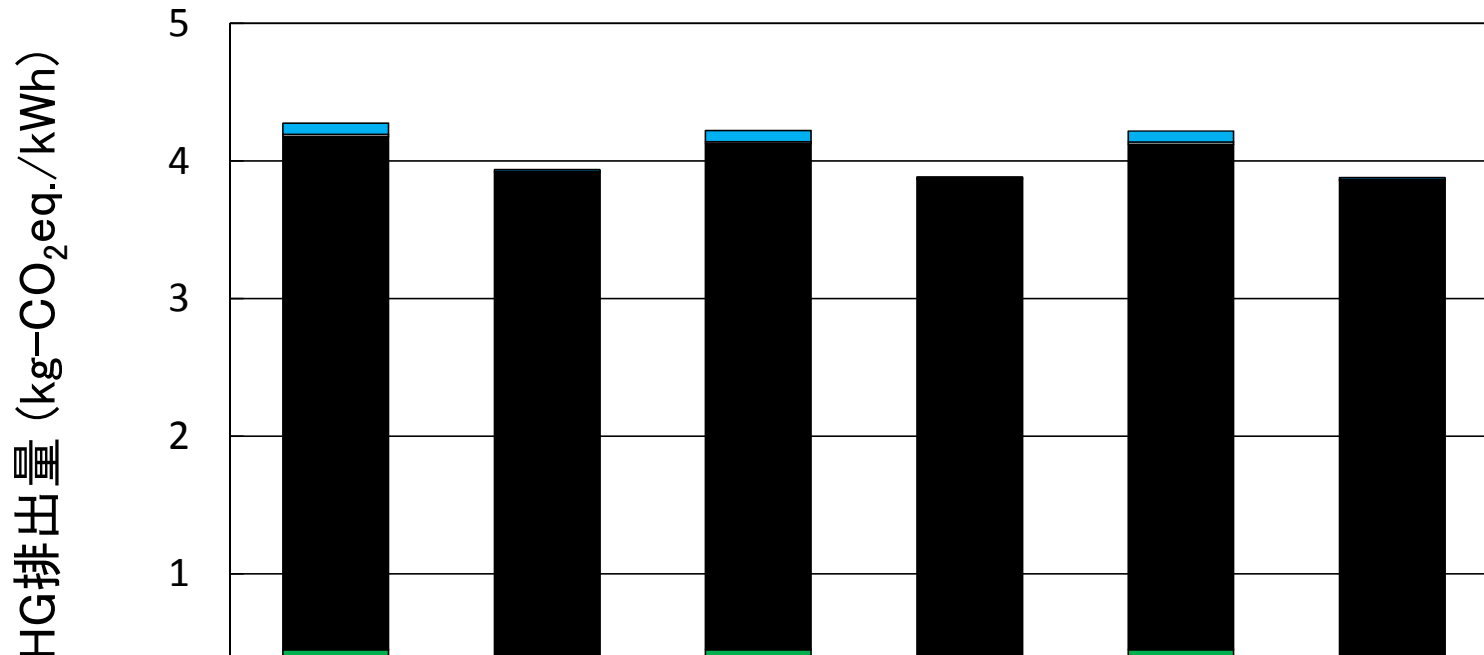
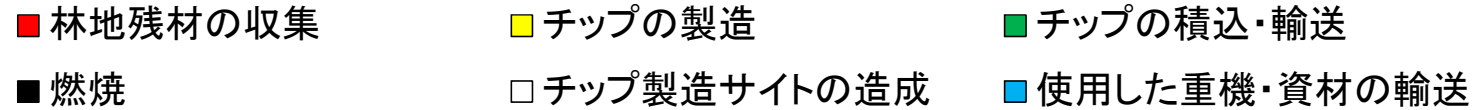


電力の発電端原単位の日本平均値は約0.4 kg-CO₂/kWh、切り捨て間伐に伴う残材はそれを上回ってしまう

原料 ボイラー別のCO₂排出量

木材燃焼によるCO₂排出量をカウントすると・・・

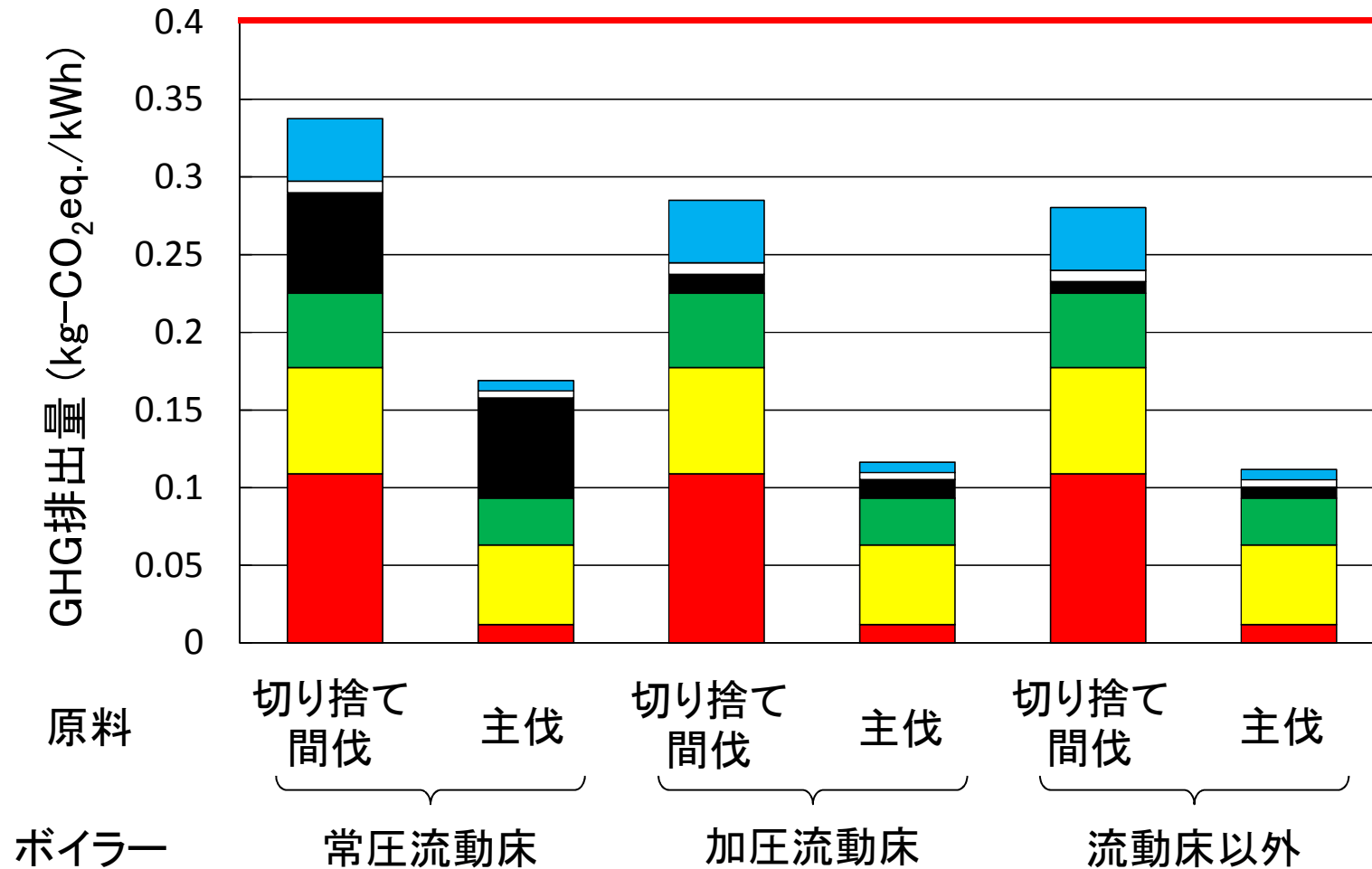
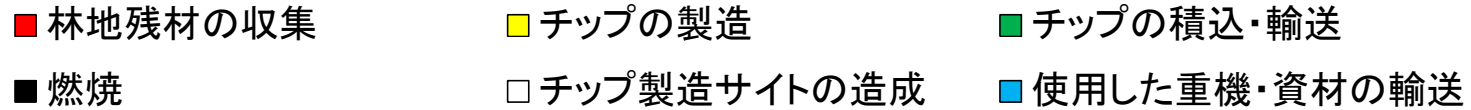


木材燃焼によるCO₂排出量をカウントすると・・・

木材燃焼のCO₂をカウントした場合、GHG排出量は日本の電力の平均原単位を大幅に上回る→燃焼のカーボンをカウントしないことによる影響・恩恵は非常に大きく、ニュートラル性の担保が求められる(伐ったら必ず植える！)

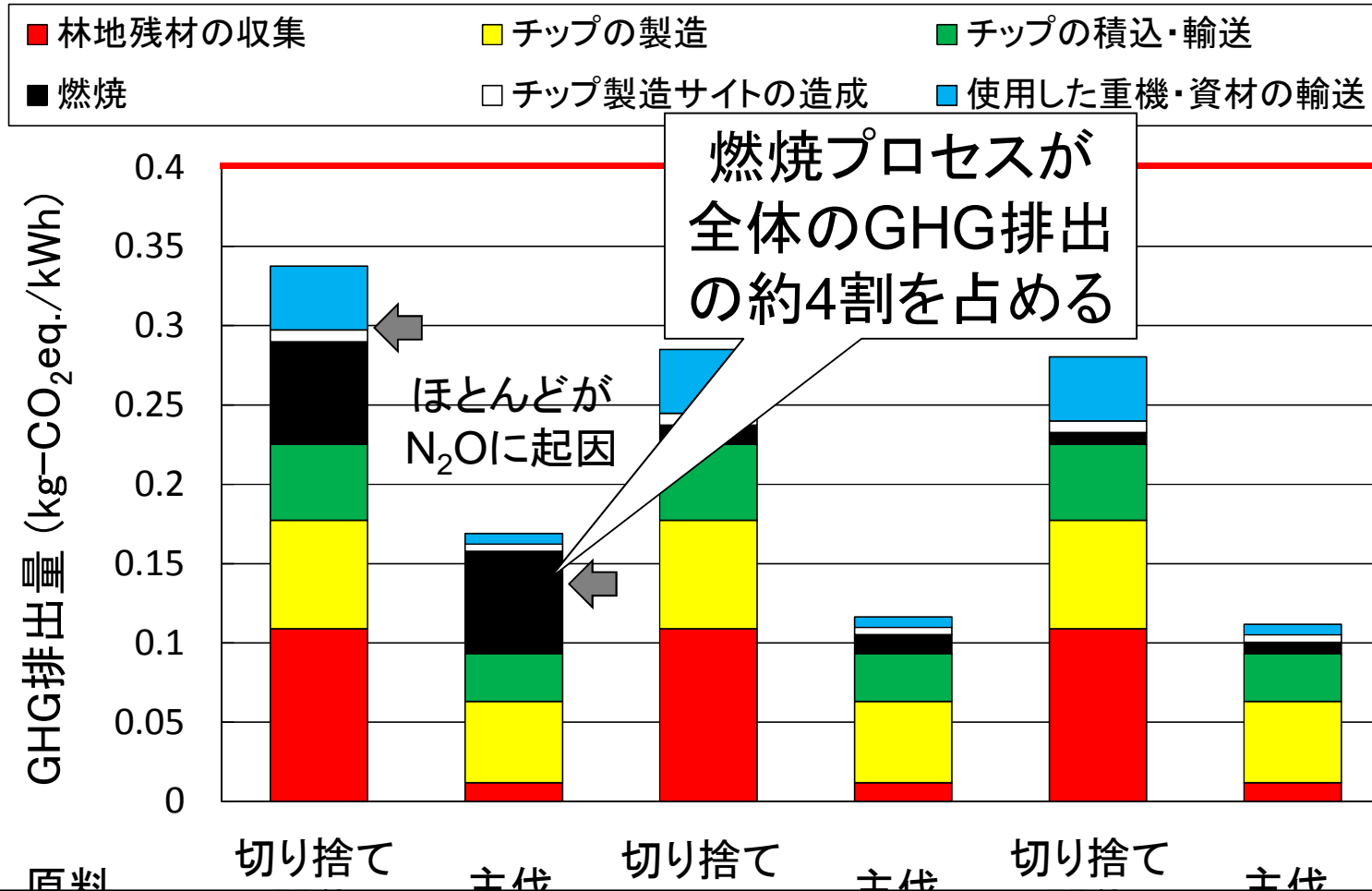
原料 ボイラー別のGHG排出量

発電効率が20%の場合は...



原料 ボイニー別のGHG排出量

発電効率が20%の場合は・・・



- ・主伐材に伴う残材は、6割以上の削減となる
- ・切り捨て間伐材に伴う残材も平均原単位を下回る

林地残材の燃料利用によるGHG排出量

◆まとめ

- ・GHG排出量は、林地残材の種類と燃焼させるボイラーの種類に依存する
- ・発電効率10%で電力のみを製造する場合、切り捨て間伐に伴う残材を原料とすれば、GHG排出量は、日本の電力原単位の平均値より高くなる (発電効率を20%とすれば下回る)、主伐に伴う残材は10%でもGHG削減に効果有
 - いずれにしても、電力だけでなく熱利用も必須
- ・熱利用も含めた総合効率で計算を行えば、優位性は大きく向上すると考える (例えば、紙・パルプ産業における総合効率は69%^{出典})
 - CHPの場合、計算に工夫が必要 (システム境界の拡張)

総括とLCAにおける課題

木質燃料の利用によりGHG排出削減に寄与しうる

ただし、本結果は北海道という地域性を考慮する必要有
全国的な調査が必要であり、データの解析、蓄積が求め
られる

ペレットの利用については、工場の稼働率、乾燥熱源、
ペレットの輸送距離等が影響

林地残材の利用については、収集のエネルギーが原料
の種類に大きく左右される

2事例とも7 haという大規模現場のケースであり、列状
間伐、主伐は収集効率が良い

→定性間伐、小規模現場、本州のケースではどうなるの
か・・・？

総括とLCAにおける課題

木質燃料の利用によりGHG排出削減に寄与しうる

ただし、本結果は北海道という地域性を考慮する必要有
全国的な調査が必要であり、データの解析、蓄積が求め
られる

常圧流動床のN₂O排出量の調査

→全体の割合の中では無視できない量

本当にそんなに排出されているのか？どのくらいバラツ
いているのか？どのような燃焼条件の時に高いの
か？？？

総括～LCAの課題～

・専焼VS混焼？

→GHG排出量を削減するためにはどちらが良いか？原料の種類、輸送、燃焼、様々なケースを想定して試算を行う必要有

→専焼の場合規模の拡大で発電効率は上昇するが、必要となる原料は膨大

事業者の立場からは、原料の確保およびリスク回避のため(石炭)混焼で検討する方が現実的？？？

・実際の供給可能量は？(LCAと供給量、コストのリンク)

→各エリアごとに林地残材の経済的集荷量を明らかにし、収集やチップ化のために必要なインフラを考慮した上で、林地残材の真の供給可能量を明らかにする必要有

総括～LCAの課題～

- ・熱利用を考慮した発電施設の設置場所の検討
→発電のみではGHG削減は削減率が少ないと想定されるため、熱と電力、両方を利用する方向で検討が必須
- 工場、農業施設、公共施設、住宅など、どの地域でどのような熱需要があるか、年間の変動はどうか？近隣の森林バイオマスの蓄積や供給可能量はどうか？供給量から考えられる設備規模はどの程度か？・・・などを具体的に検討していかななくてはならない

ご清聴ありがとうございました