

バイオマス燃料のCO₂排出等に関する
LCA (ライフ・サイクル・アセスメント) 評価について (2)

~ 我が国で想定される導入形態への LCA 適用による試算結果 ~

資料構成

試算の前提等

- 検討対象の設定 (エタノール/BDF)
- シナリオ設定 (ケース1/ケース2)
- 主な基礎データの設定方法 (共通)
- 化石燃料のLCA適用事例

バイオ燃料 (各ケース) の試算結果

- 輸入エタノール (ブラジル・インド)
- 国産エタノール (NRELプロセス・NEDOプロセス)
- 輸入BDF
- 国産BDF (廃食用油利用・休耕田菜種栽培利用)
- 評価結果の総括
- 既存LCA結果と試算値の比較

検討体制

試算の前提等

本検討における評価対象の設定 (エタノール)

- 我が国において考え得るバイオ燃料供給形態を以下の通り設定し、CO₂排出量等を評価した。なお、これら形態は必ずしも供給可能性、経済性等の諸条件をクリアしているものとは限らない。
- ガソリンのLCAは実稼働プラントデータに基づく精密な試算であるのに対し、バイオ燃料については多くの仮定を置いたラフな試算であることに留意が必要である。

	ケース名	ケースの設定内容	プラント	
			技術熟度	規模
エタノール	海外からのエタノール輸入 (ブラジル、インド)	<ul style="list-style-type: none"> ブラジル、インドで生産されたサトウキビを原材料に現地でエタノール生産を行い、海上輸送を経て輸入する。 考慮するプロセスはサトウキビ生産、収穫、エタノール発酵(バガス利用)、海上輸送、国内配送。 生産実態等についてはブラジル、インドの現地データを可能な範囲で使用。 	商業生産 (輸入は未)	ブラジルのプラント規模 エタノール生産能力 約16万kL/年 (960 kL/日)
	木質系バイオマスを活用した国内でのエタノール生産 <ul style="list-style-type: none"> 米国NRELプロセス NEDOプロセス 	<ul style="list-style-type: none"> 国内で発生する建築発生木材、製材工場残材を用い、前処理、加水分解、エタノール発酵(現在、技術開発中)を経て、利用。 考慮するプロセスは建築発生木材収集、エタノール発酵リグニン利用、国内配送。 またエタノール変換プラントは米国NREL (National Renewable Energy Laboratory) による研究開発事業目標と我が国NEDOによる研究開発事業目標を採用した。リグニン利用はNREL :発電利用(自家消費)、NEDO :ボイラー熱利用を想定。 	研究開発中	エタノール生産能力 ~ 約10 kL/日
比較する化石燃料	ガソリン	<ul style="list-style-type: none"> 我が国で実際に使用される精製プラントの諸元、原油輸入実態、国内配送実態等を用い、精緻に推計。(財)石油産業活性化センターによるものを用いた) 例えば、精製プロセスで廃出される廃棄物の処理に係るエネルギー投入も考慮している。 	商業生産	15万 Barrel/日 (約2.4万kL/日)

本検討における評価対象の設定 (BDF)

- 我が国において考え得るバイオ燃料供給形態を以下の通り設定し、CO₂排出量等を評価した。なお、これら形態は必ずしも供給可能性、経済性等の諸条件をクリアしているものとは限らない。
- 軽油のLCAは実稼働プラントデータに基づく精密な試算であるのに対し、バイオ燃料については多くの仮定を置いたラフな試算であることに留意が必要である。

	ケース名	ケースの設定内容	プラント	
			技術熟度	規模
BDF	海外からのBDF輸入、 パーム油輸入	・マレーシアで生産したパーム椰子を原材料に、現地でパーム油製造、BDF製造を行い、海上輸送を経て輸入する。 (本検討ではパーム油 BDF製造一貫工場を想定) ・考慮するプロセスはパーム椰子生産、パーム椰子輸送、パーム油製造(搾油)、BDF製造、海上輸送、国内配送。	事業化 構想段階	BDF 生産能力 ~10万kL/年 (約300kL/日) (連続式)
	廃食用油等を活用した 国内でのBDF生産	・国内で発生する廃食用油を回収し、これを前処理、エステル化を経てBDF製造する。 ・考慮するプロセスは、廃食用油回収、前処理、エステル化、国内配送、	一部自治体 等で実用化	BDF 生産能力 310L/日 (バッチ式)
	休耕田にての菜種栽培・ 利用による国内での BDF生産	・国内の休耕田等に菜種を栽培し、そこから得られる菜種油を原料とするBDF製造プロセスも設定する。 ・菜種利用の場合は菜種栽培、収穫、搾油、エステル化、国内配送。	一部自治体 等で実用化	
比較する 化石燃料	軽油	・我が国で実際に使用される精製プラントの諸元、原油輸入実態、国内配送実態等を用い、精緻に推計。 (財)石油産業活性化センター によるものを用いた) ・例えば、精製プロセスで廃出される廃棄物の処理に係るエネルギー投入も考慮している。	商業生産	15万 Barrel/日 (約2.4万kL/日)

各ケースのシナリオ設定

		ケース1(平均ケース)	ケース2(悪条件ケース)
エ タ ノ ール	ブラジルからの 輸入	収量: 平均値 (80.4トン/ha) 沿岸立地 :100km (プラント~積出し港)	収量: 平均より15%低下 (最近10年の最低値) 内陸立地 :300km (プラント~積出し港)
	インドからの 輸入	収量: 平均値 (70.9トン/ha) 沿岸立地 :100km (プラント~積出し港)	収量: 平均より15%低下 (ブラジルの例を踏襲) 内陸立地 :300km (プラント~積出し港)
	海外輸入後の国 内での無水化	ブラジル、インドから含水アルコールとして輸入した後に、国内で無水化を行う場合を追加的に検討。 脱水 無水化は生産国で行う場合はバガス等のバイオマスエネルギー利用が可能であるが、国内で無水化のみを行う場合は化石燃料投入が必要。従来法 (共沸蒸留)、新技術 (膜脱水) を想定。	
	国産 NREL	廃材発生密度 :平均 リグニン利用 :自家消費相当の発電、熱利用 プラント~流通拠点 100km	廃材発生密度 :平均の約50% (他用途での資源 利用) 収集範囲・距離が2倍 リグニン利用 :自家消費相当の熱利用 (電力は系統買電) プラント~流通拠点 300km
	国産 NEDO	廃材発生密度 :平均 リグニン利用 :自家消費相当の発電、熱利用 プラント~流通拠点 100km	廃材発生密度 :平均の約50% (他用途での資源 利用) 収集範囲・距離が2倍 リグニン利用 :自家消費相当の熱利用 (電力は系統買電) プラント~流通拠点 300km
B D F	パーム油	収量: 平均値 (18.8トン/ha) 沿岸立地 :100km (プラント~積出し港)	収量: 最近10年の最低値 (17.0トン/ha) 内陸立地 :300km (プラント~積出し港)
	廃食用油	廃食用油回収距離 20km (想定) プラント~流通拠点 100km	廃食用油回収距離 40km (想定) プラント~流通拠点 300km
	菜種	収量 :1.95t-菜種/ha プラント~流通拠点 100km	収量: 左記より10%低下 プラント~流通拠点 300km

主な基礎データの設定方法 (共通)

- 各ケースに共通で用いる基礎データ(バックグラウンド・データ)は以下の通り想定した。

	品目	基礎データの設定内容
化石燃料	化石燃料のCO ₂ 排出原単位(直接排出)	環境省によるものを採用。
	石油等のLCAデータ(採掘、輸送、精製等)	(財)石油産業活性化センター評価に基づく。詳細は次頁参照のこと。
	各国の電力消費に伴うCO ₂ 排出原単位	Energy Balances of OECD countries, Energy Statistics and Balances of non-OECD countriesに基づく各国データ。
物質投入	肥料製造エネルギー	Argonne National Laboratory に基づく N肥料 :49.1 MJ/kg、P肥料 :11.4 MJ/kg、K肥料 :5.3 MJ/kg、 殺虫剤 236.9 MJ/kg、除草剤 271.9 MJ/kg
	農薬製造エネルギー	
	その他物質	硫酸、石灰、生石灰、NaOH、アンモニア、メタノール等のマテリアル製造エネルギーはNIRE-LCA ver.3(産業技術総合研究所)を用い算定したものを利用。
輸送関係	トラック輸送等	H14年度バイオマスエネルギー開発「戦略調査報告書」によるトラック輸送(2トン車、燃費3km/L、平均積載率75%)に基づく。
	海上輸送等	H14年度バイオマスエネルギー開発「戦略調査報告書」によるケミカルタンカー輸送を想定(0.00135kg-C重油/t-原油/km)。
	石油製品、バイオ燃料の国内配送	平成13年度「輸送用燃料ライフサイクルインベントリーに関する調査報告書」(財)石油産業活性化センター)に基づく、精油所~SSまでの国内の平均持届距離、輸送手段別分担率等を考慮した推計値。バイオ燃料についても、これを適用。

化石燃料のLCA適用事例 (ガソリン、軽油)

- (財)石油産業活性化センターでは、石油製品 (ガソリン、軽油等) にLCAを適用し、CO₂排出量を評価している。以下に評価結果を示す。

[ガソリン]

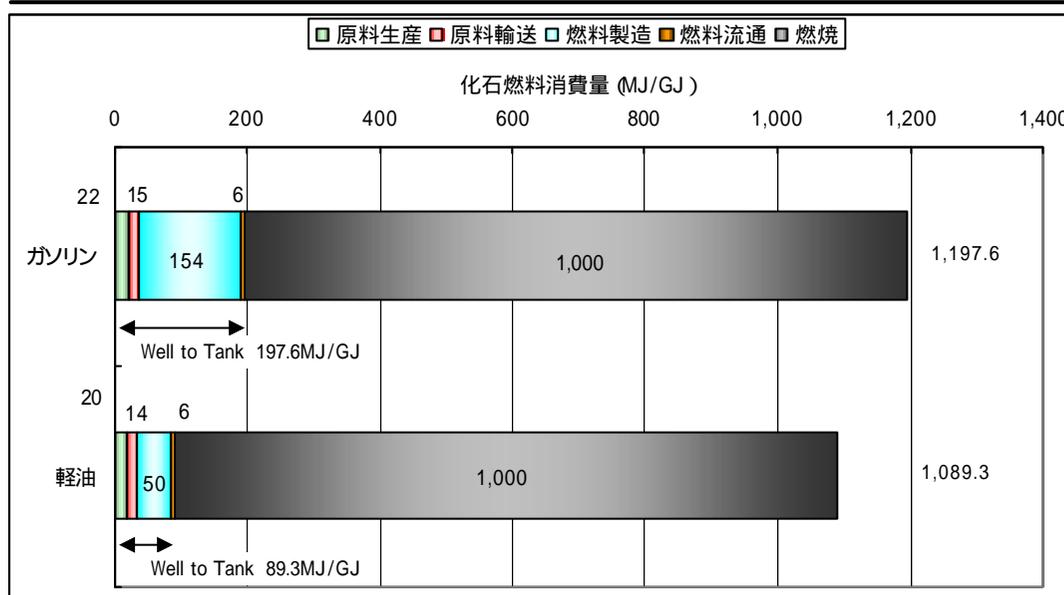
	原油採掘	海上輸送	ガソリン精製	国内輸送	Well to tank効率 0.835
<u>Thermal Efficiency</u> ¹	0.982	0.987	0.867	0.994	Well to tank合計 0.835
<u>CO₂排出量</u> ²	1.1 kg-CO ₂ /GJ	1.0 kg-CO ₂ /GJ	8.8 kg-CO ₂ /GJ	0.4 kg-CO ₂ /GJ	Well to tank合計 11.3 kg-CO ₂ /GJ
				燃焼時 ³ 67.1 kg-CO ₂ /GJ	総合計 78.4 kg-CO₂/GJ

[軽油]

	原油採掘	海上輸送	軽油精製	国内輸送	Well to tank効率 0.918
<u>Thermal Efficiency</u> ¹	0.982	0.987	0.953	0.994	Well to tank合計 0.918
<u>CO₂排出量</u> ²	1.1 kg-CO ₂ /GJ	1.0 kg-CO ₂ /GJ	2.8 kg-CO ₂ /GJ	0.4 kg-CO ₂ /GJ	Well to tank合計 5.3 kg-CO ₂ /GJ
				燃焼時 68.6 kg-CO ₂ /GJ	総合計 73.9 kg-CO₂/GJ

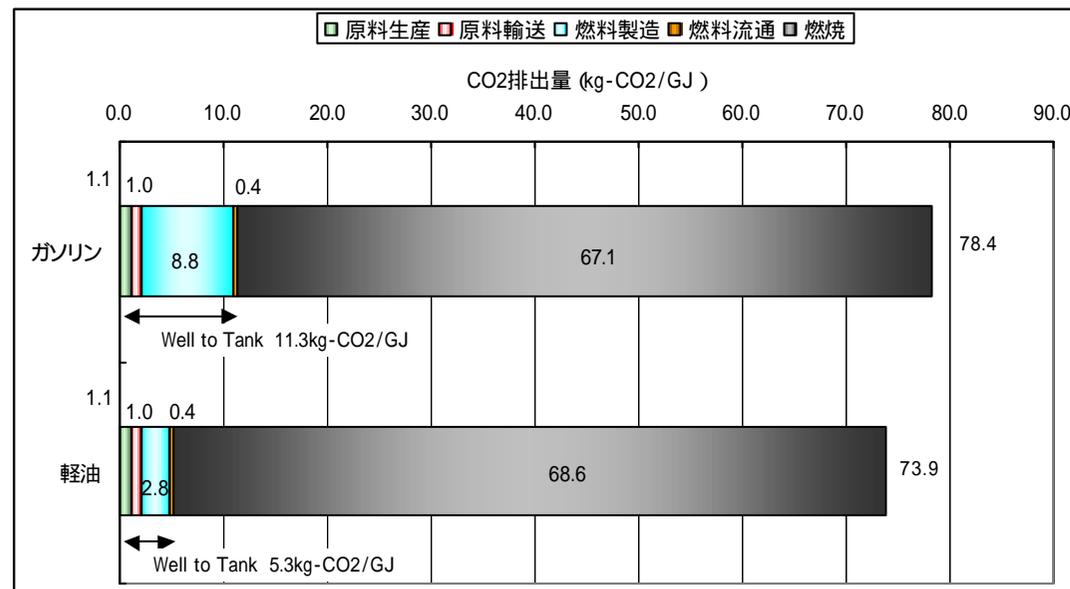
- (財)石油産業活性化センター H13年度報告書より
- (財)石油産業活性化センター H13年度報告書を換算
- 環境省資料より

化石燃料のLCA適用事例 (ガソリン、軽油)



注1)化石燃料消費量は (財)石油産業活性化センター H13年度報告書のThermal Efficiencyに基づき三菱総研換算。

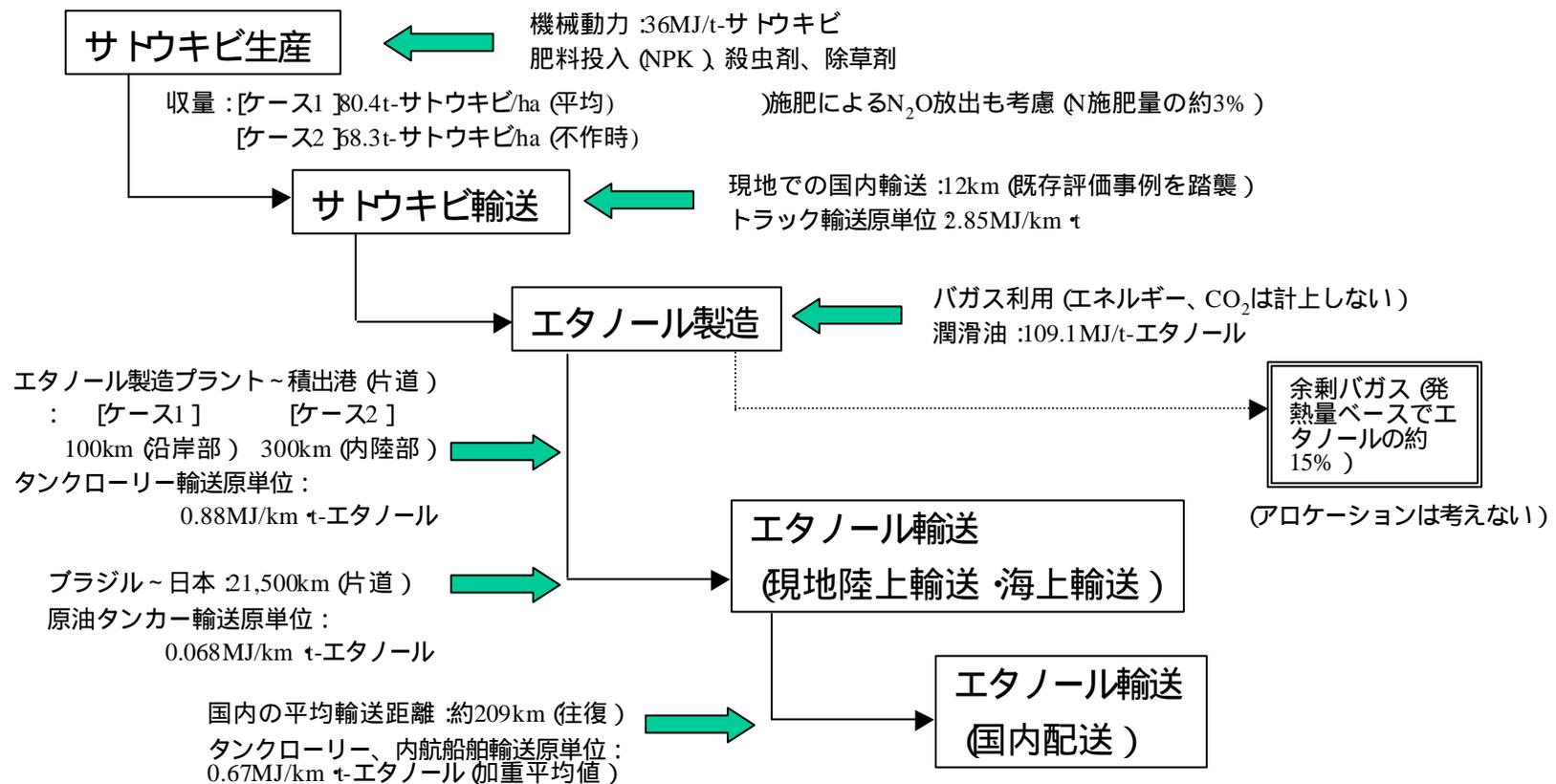
注2)CO₂排出量は前出の通り、(財)石油産業活性化センター H13年度報告書による。



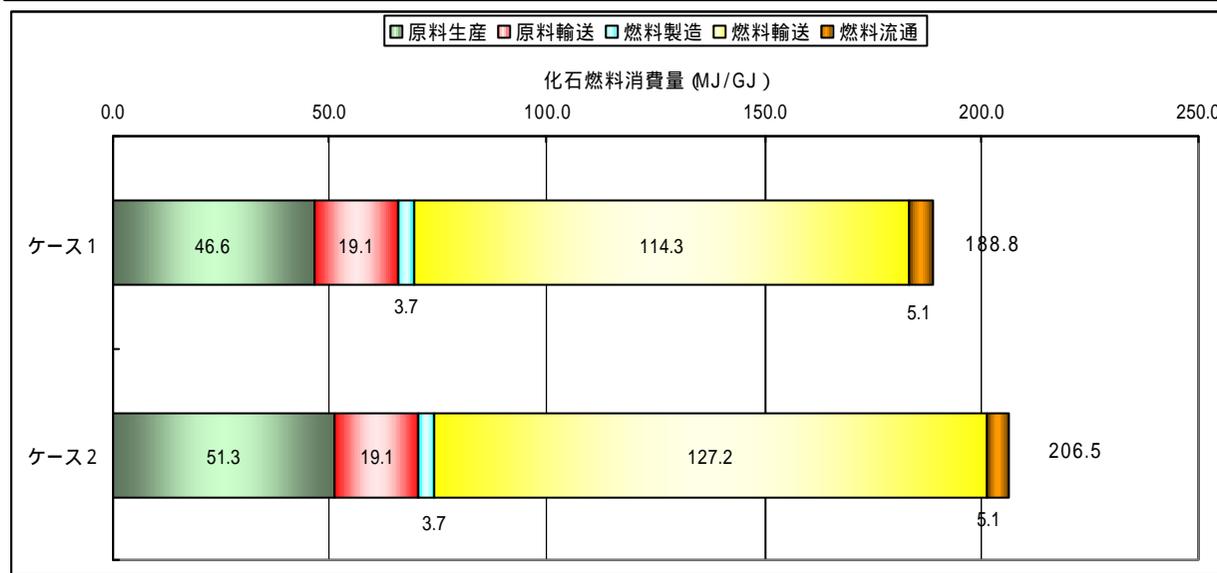
バイオ燃料 (各ケース) の試算結果

プロセスフロー・前提条件 [輸入エタノール・ブラジル(1/2)]

- ブラジルからのエタノール輸入 (サトウキビ由来) に対し、LCAを適用したエネルギー収支、CO₂排出量評価は以下のプロセスフロー、バウンダリに基づいた。

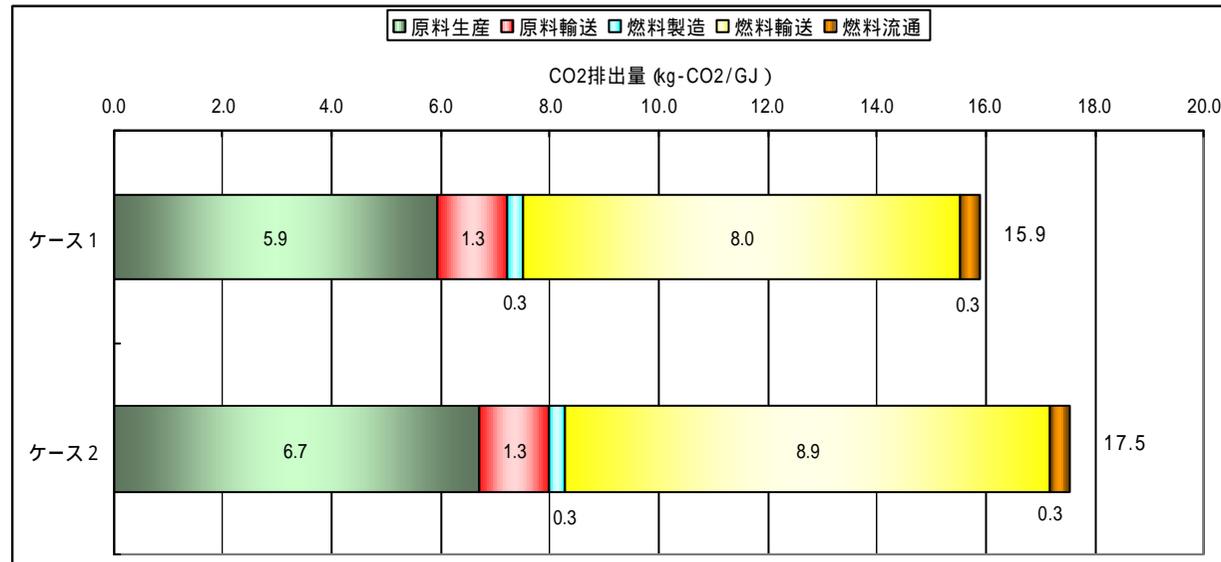


評価結果 〔輸入エタノール・ブラジル (Q/2) 〕



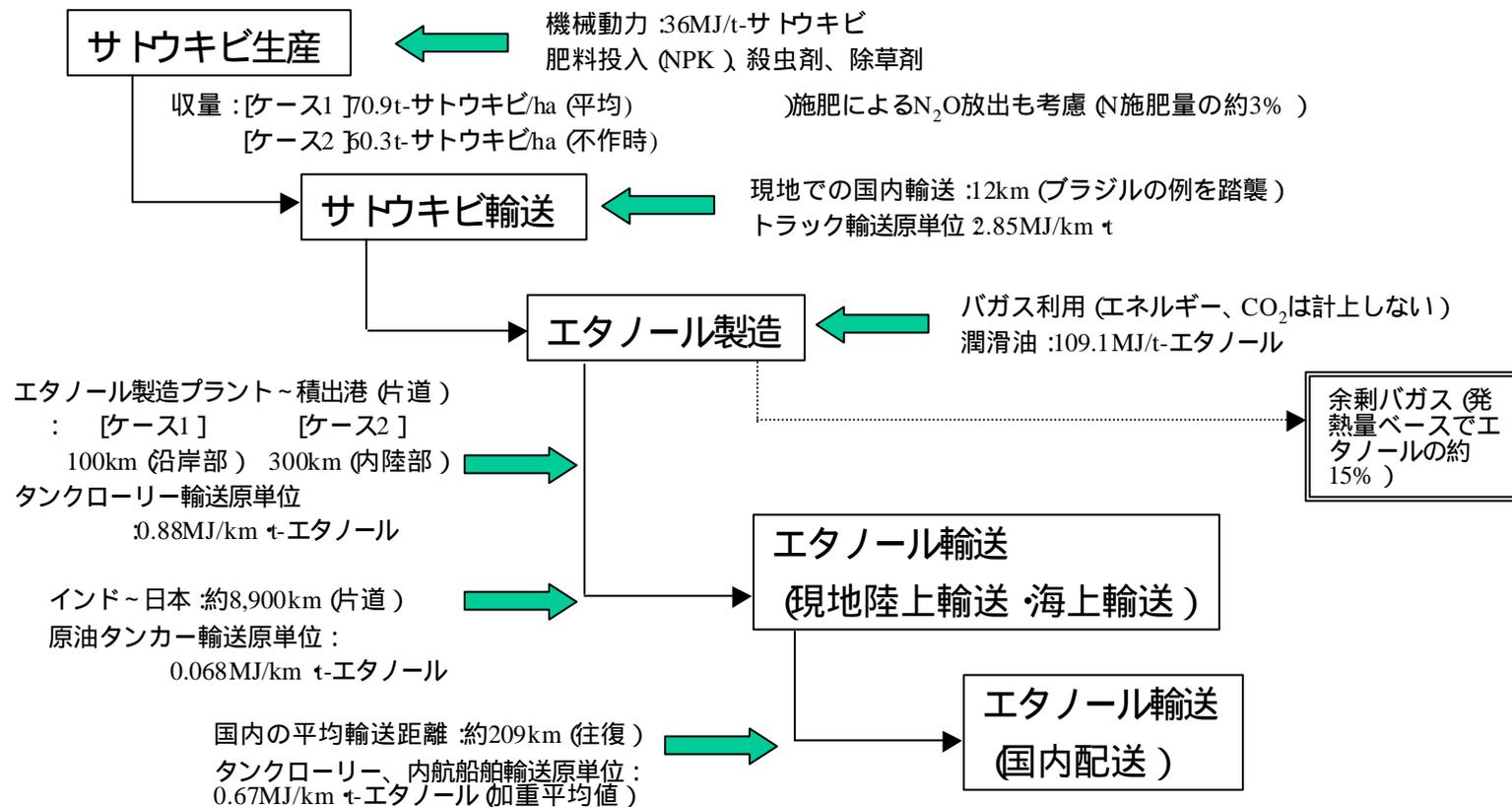
化石燃料消費量

CO₂排出量

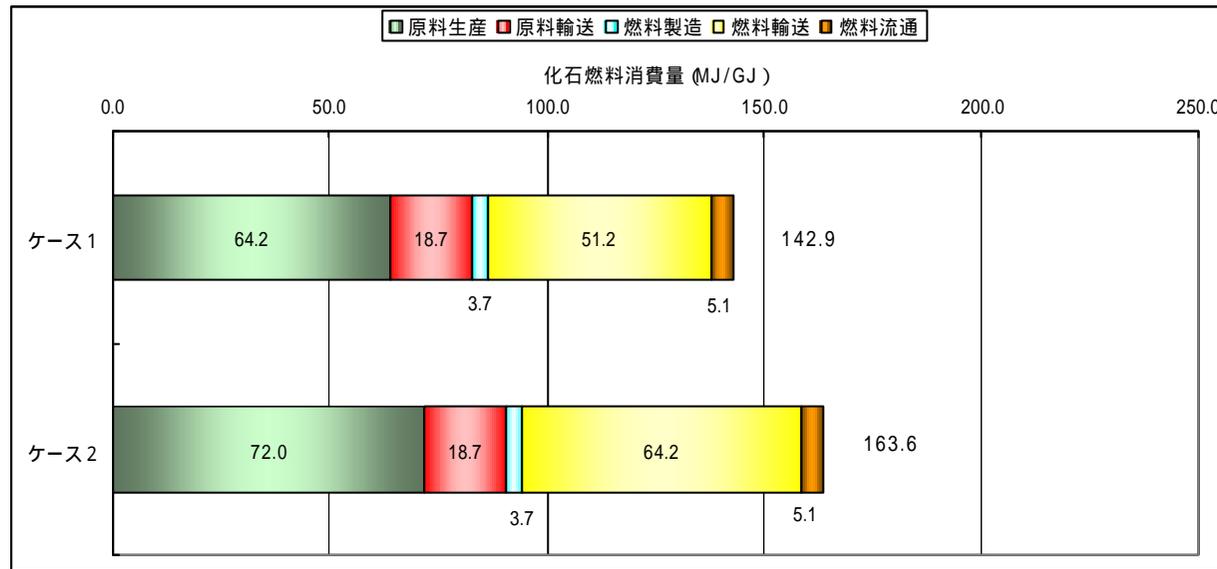


プロセスフロー・前提条件 [輸入エタノール・インド(1/2)]

- インドからのエタノール輸入 (サトウキビ由来) に対し、LCAを適用したエネルギー収支、CO₂排出量評価は以下のプロセスフロー、バウンダリに基づいた。

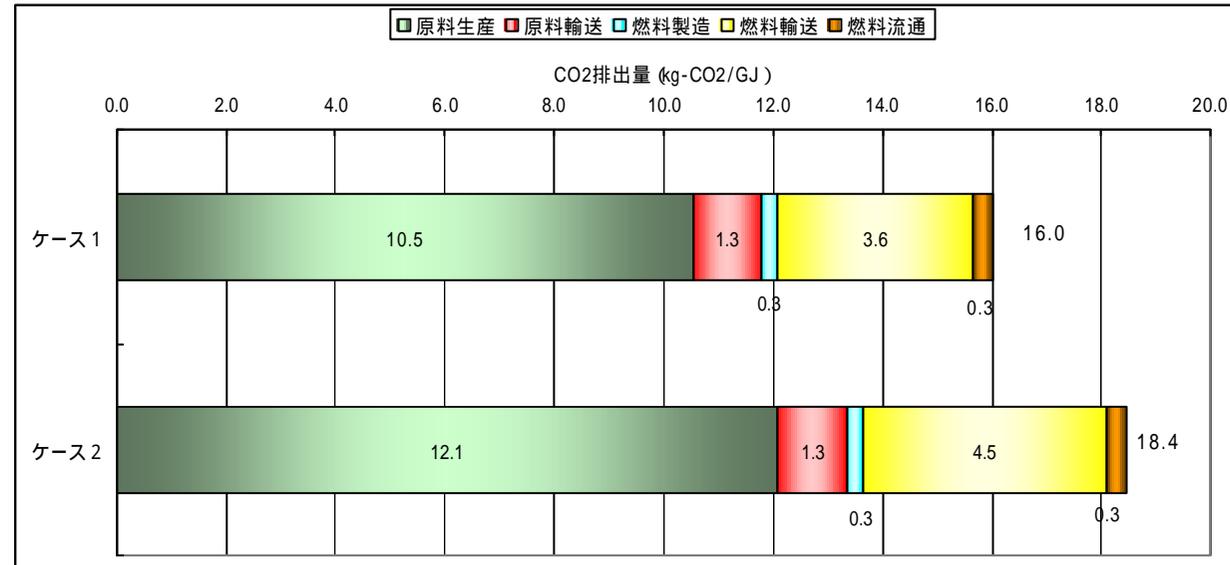


評価結果 輸入エタノール・インド (2/2)]



化石燃料消費量

CO₂排出量

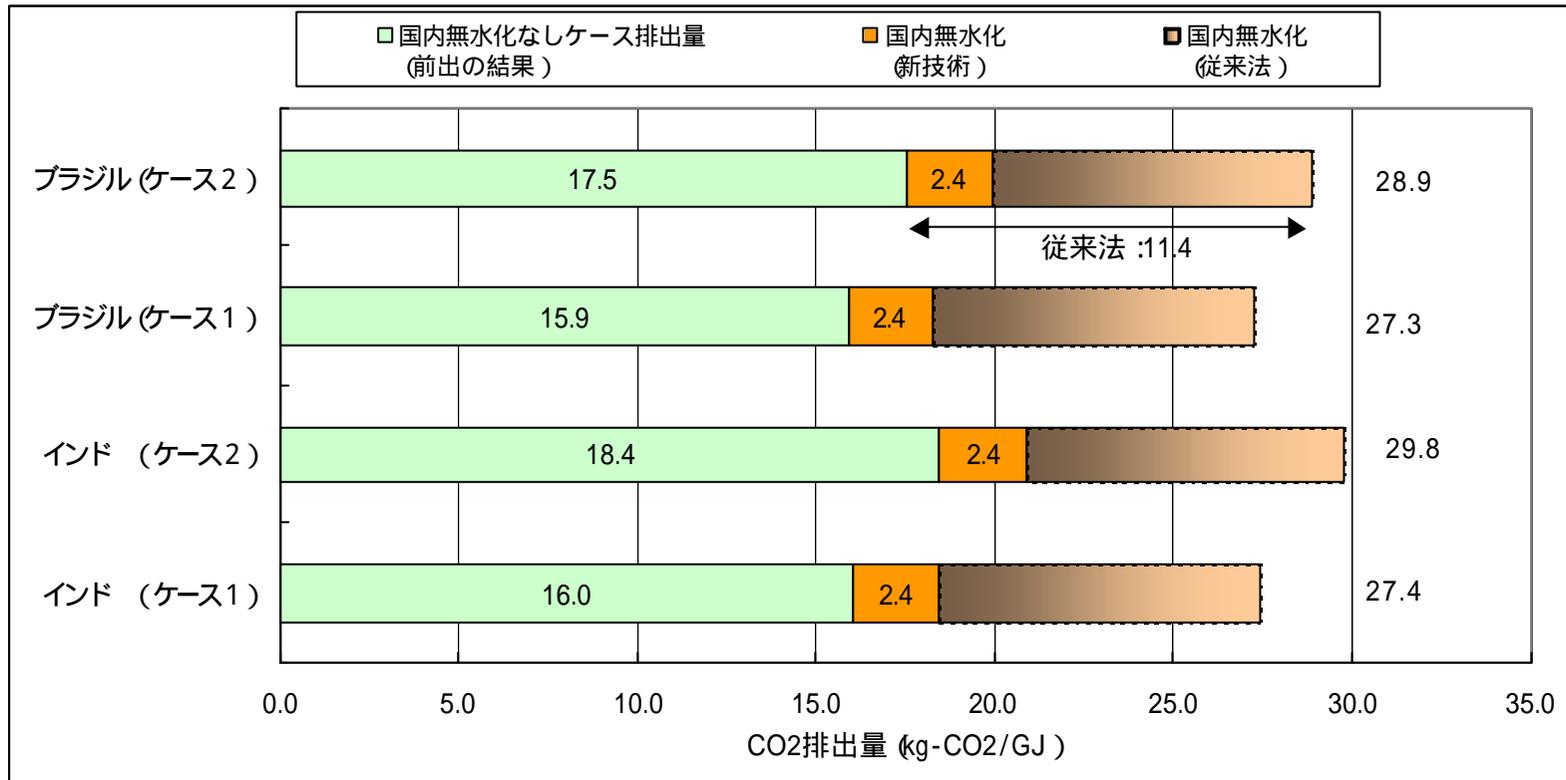


輸入エタノールの国内での無水化処理 (前提)

- ブラジルでは燃料用エタノールとして含水エタノール、無水エタノールが製造される。無水化にあたっては加熱等のエネルギーが必要であるが、バガス利用で賄うため、化石燃料消費、CO₂排出がない。
- 一方、含水エタノール状態で輸入した場合、国内にて無水化処理を行う必要がある。また、無水エタノールで輸入した場合でも輸送時に水分が混入する可能性も一部で指摘されている。
- そこで、以下の想定により輸入エタノールに対し、国内で無水化処理を行うプロセスを追加的に検討した。
 - 無水化処理に適用する技術は以下の通り。また、各々に必要なエネルギーも示す。
 - 従来法 (共沸蒸留) 従来から無水化に用いられている技術。
 - 加熱用エネルギー消費 :550 ~ 850 kcal/L-エタノール
 - 動力用等の電力消費 :0.02 ~ 0.03 kWh /L-エタノール)いずれもプラントメーカーヒアリング値。評価にあたっては中間値を採用。
 - 新技術 (膜脱水) :省エネプロセスとして技術開発が進められている技術。
 - 加熱用エネルギー消費 :130 kcal/L-エタノール
 - 動力用等の電力消費 :0.02 kWh /L-エタノール)いずれもプラントメーカーヒアリング値。
 - 国内で無水化のみを行う場合は上記の必要エネルギーを化石燃料消費で賄う必要があるため、これを算定。なお、加熱エネルギーは重油利用、電力は系統電力利用を想定した。

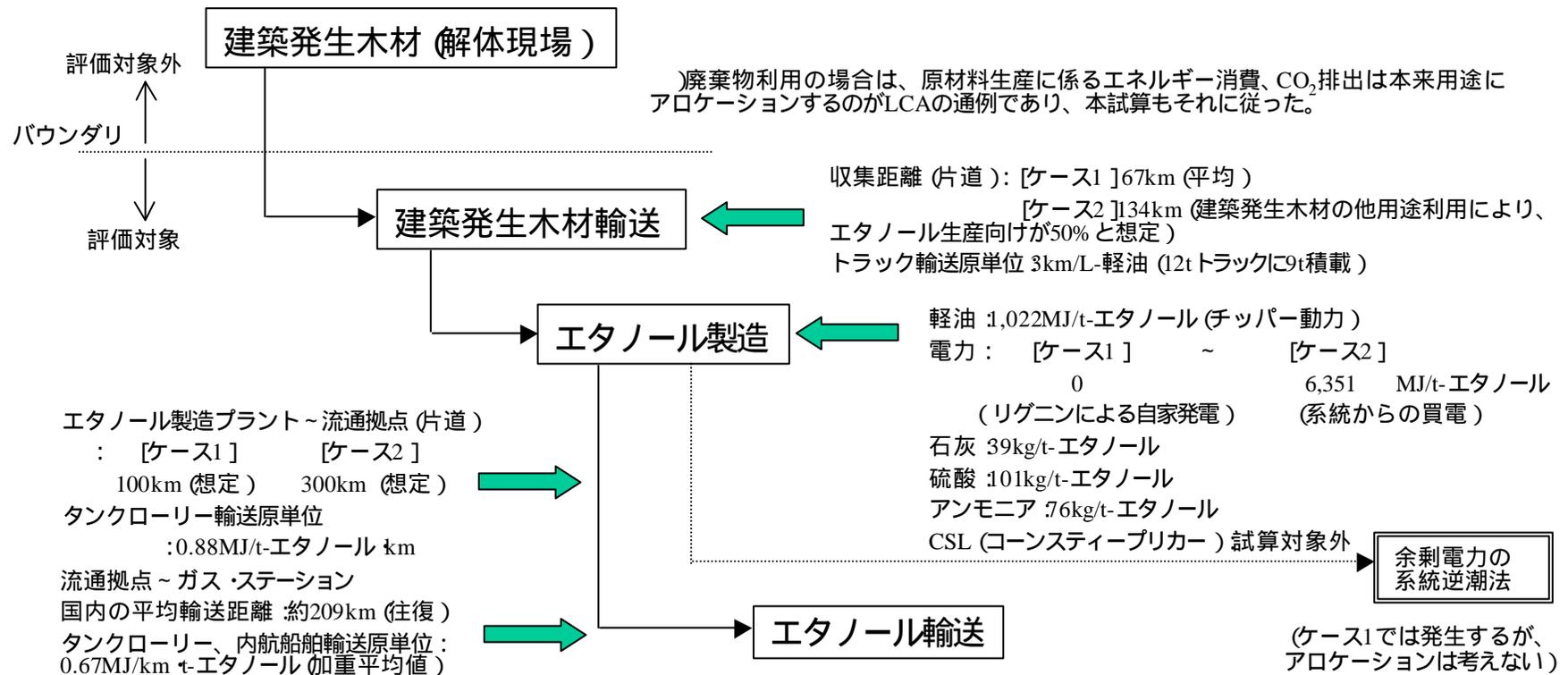
輸入エタノールの国内での無水化処理 (評価結果)

- 無水化にあたって従来法 (共沸蒸留) を適用すると11.4 kg-CO₂/GJ-エタノールの追加的なCO₂排出が生じ、例えば、ブラジルからの輸入 (ケース1)での試算結果 15.9 kg-CO₂/GJ-エタノールが27.3 kg-CO₂/GJ-エタノールまで増加する。
- 上記に対し、新技術 (膜脱水) では2.4 kg-CO₂/GJ-エタノールまで低減できる。

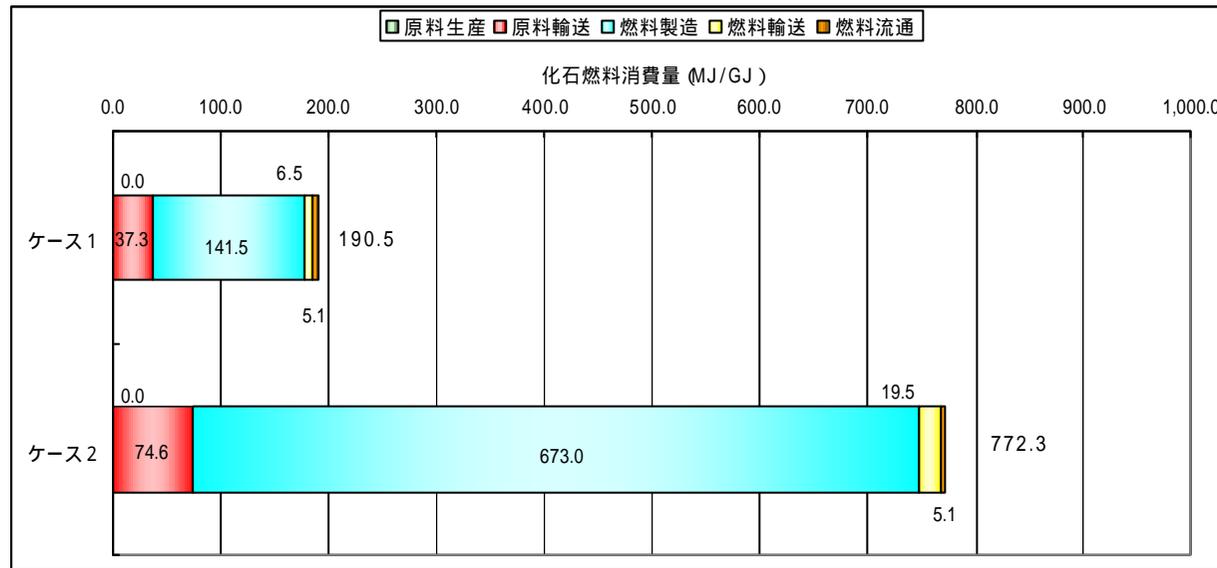


プロセスフロー・前提条件 [国産エタノール・NRELプロセス (1/2)]

- 建築発生木材からのエタノール生産 (技術開発中) に対し LCAを適用したエネルギー収支、CO₂排出量評価は以下のプロセスフロー、バウンダリに基づいた。

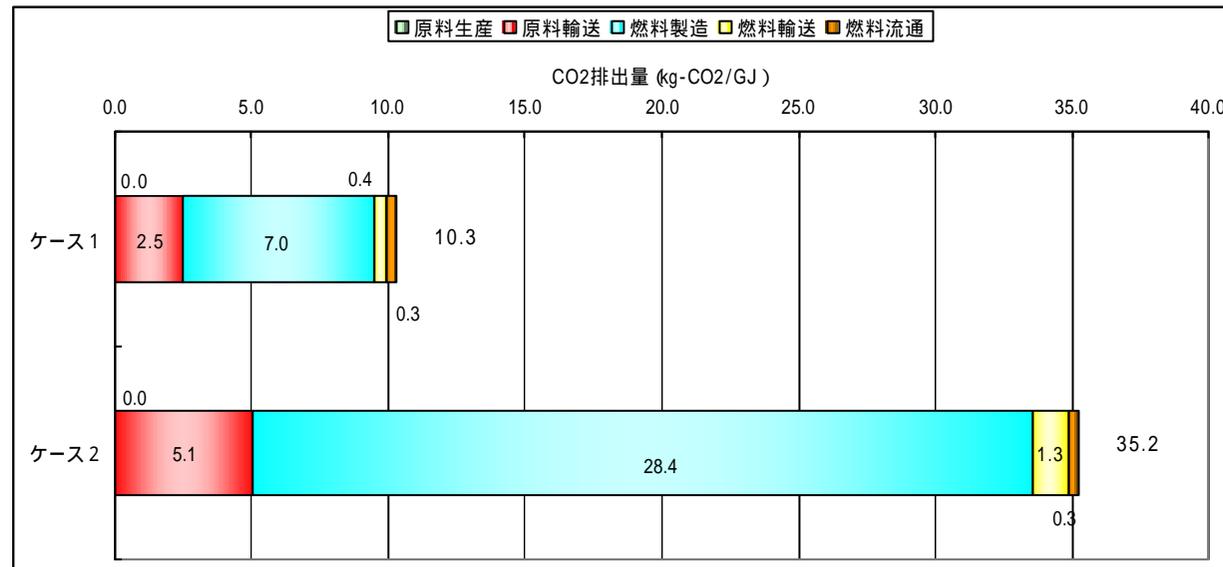


評価結果 [国産エタノール・NRELプロセス (2/2)]



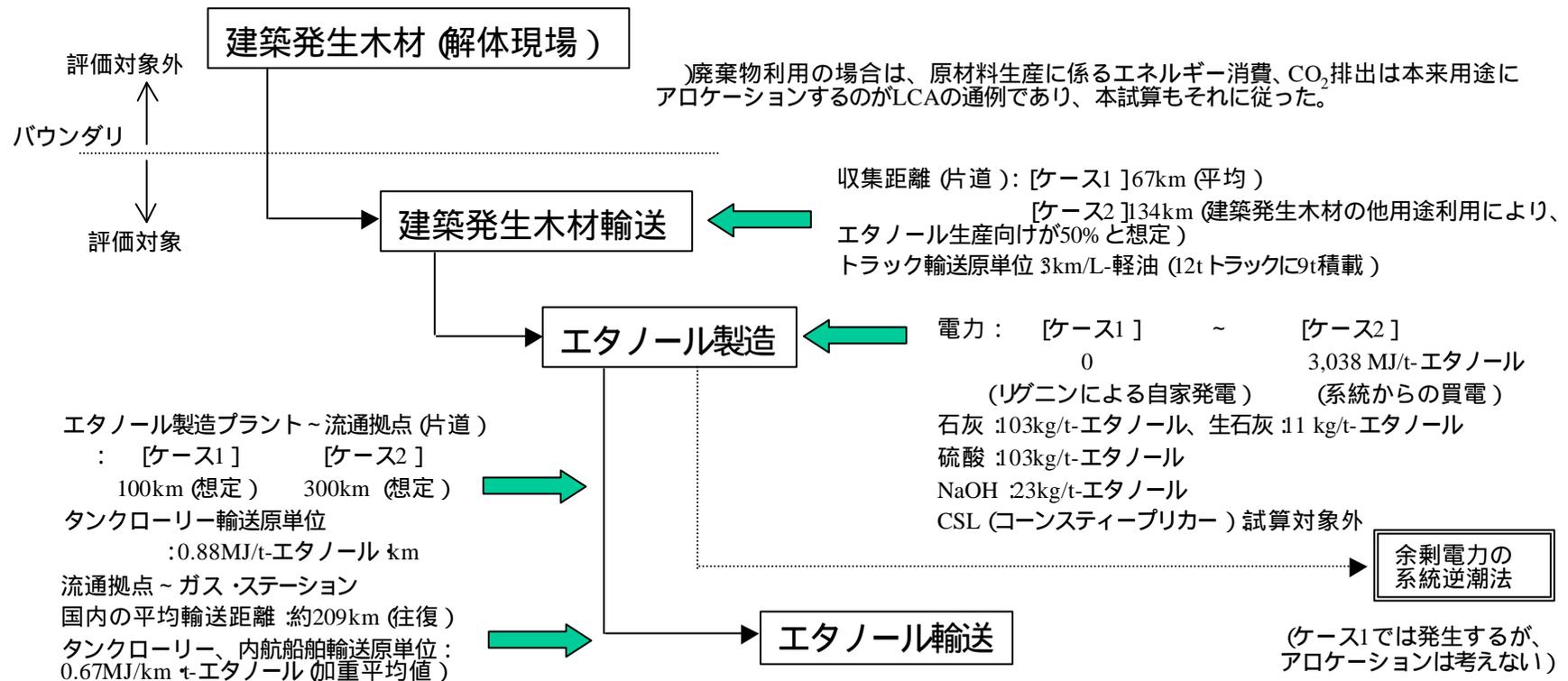
化石燃料消費量

CO₂排出量

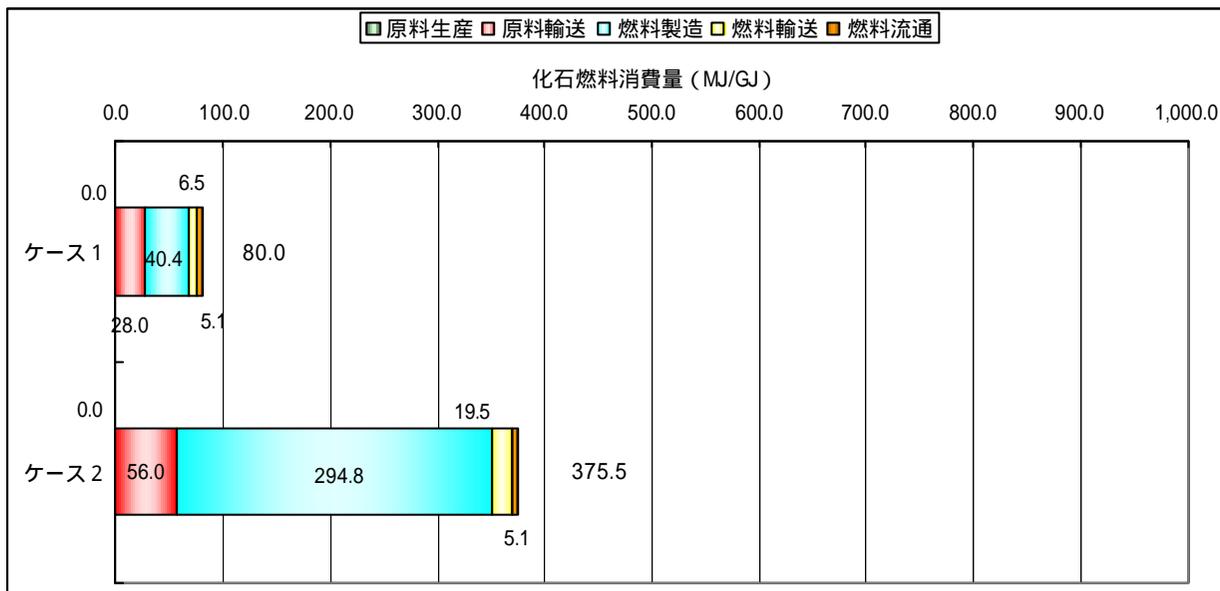


プロセスフロー・前提条件 [国産エタノール・NEDOプロセス (1/2)]

- 建築発生木材からのエタノール生産 (技術開発中) に対し LCAを適用したエネルギー収支、CO₂排出量評価は以下のプロセスフロー、バウンダリに基づいた。

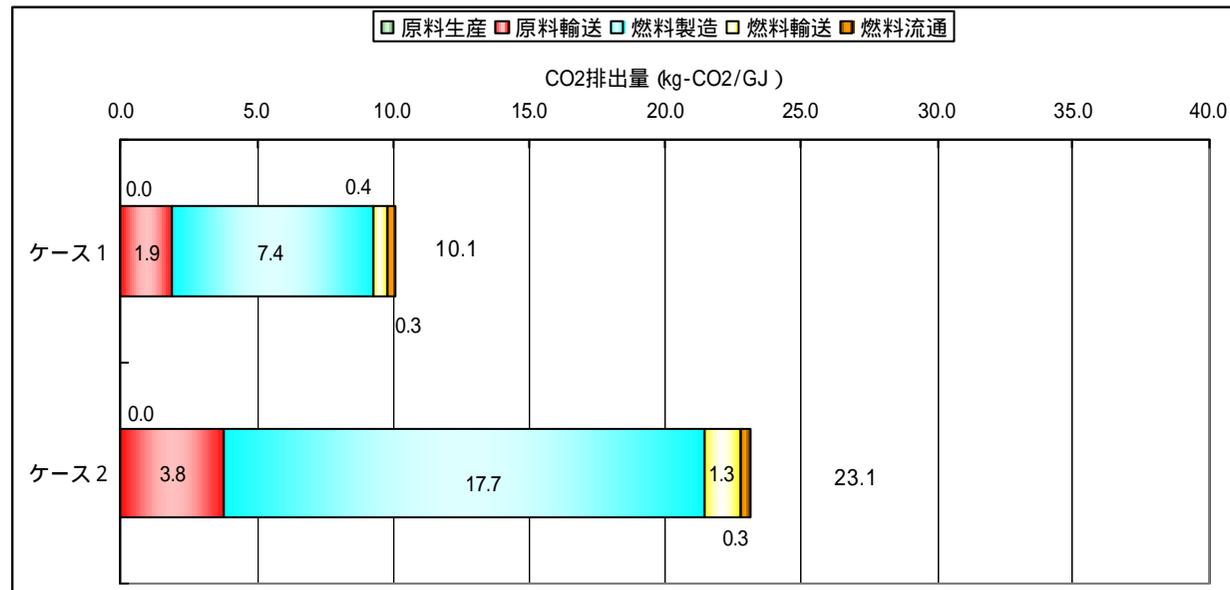


評価結果 [国産エタノール・NEDOプロセス (2/2)]



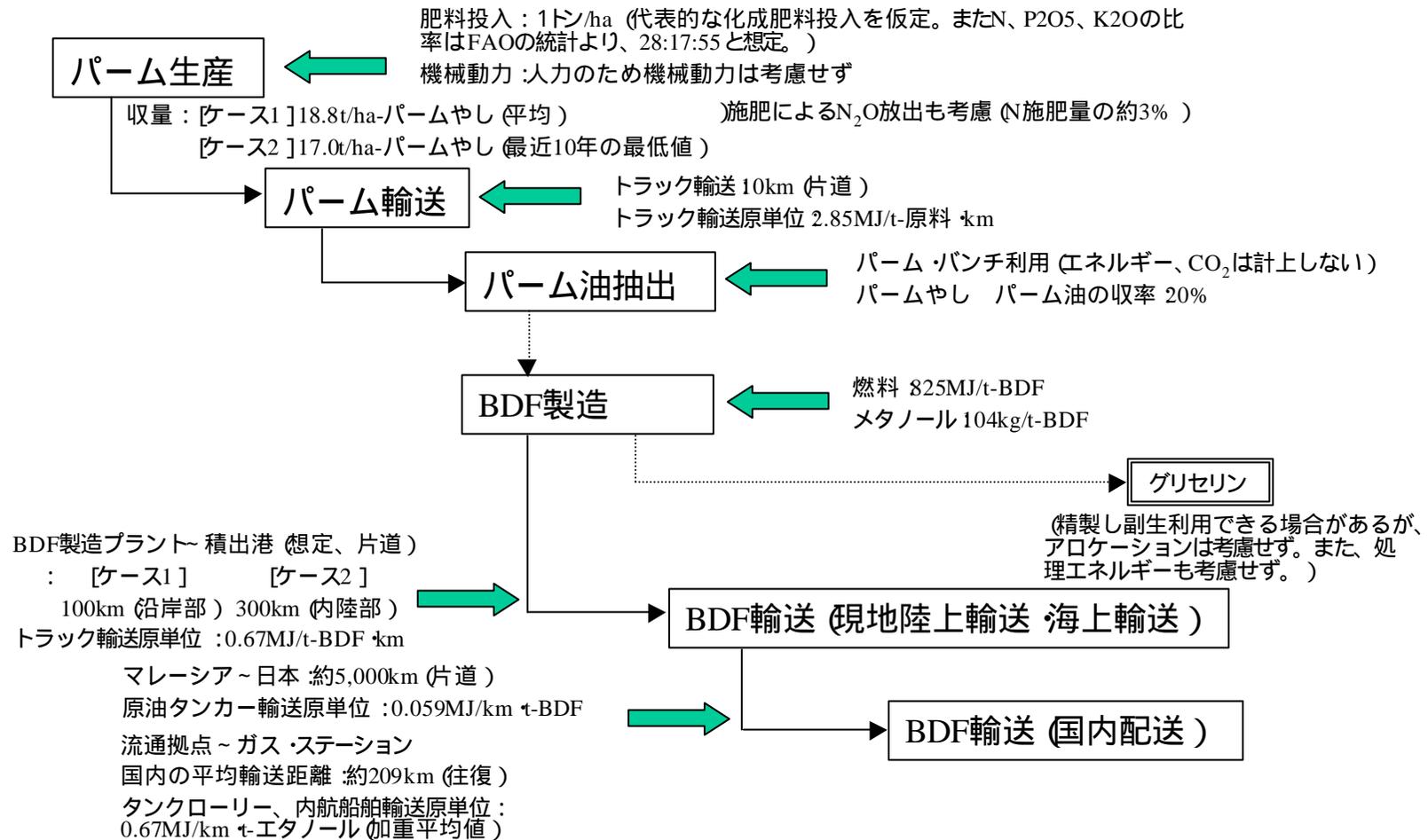
化石燃料消費量

CO₂排出量

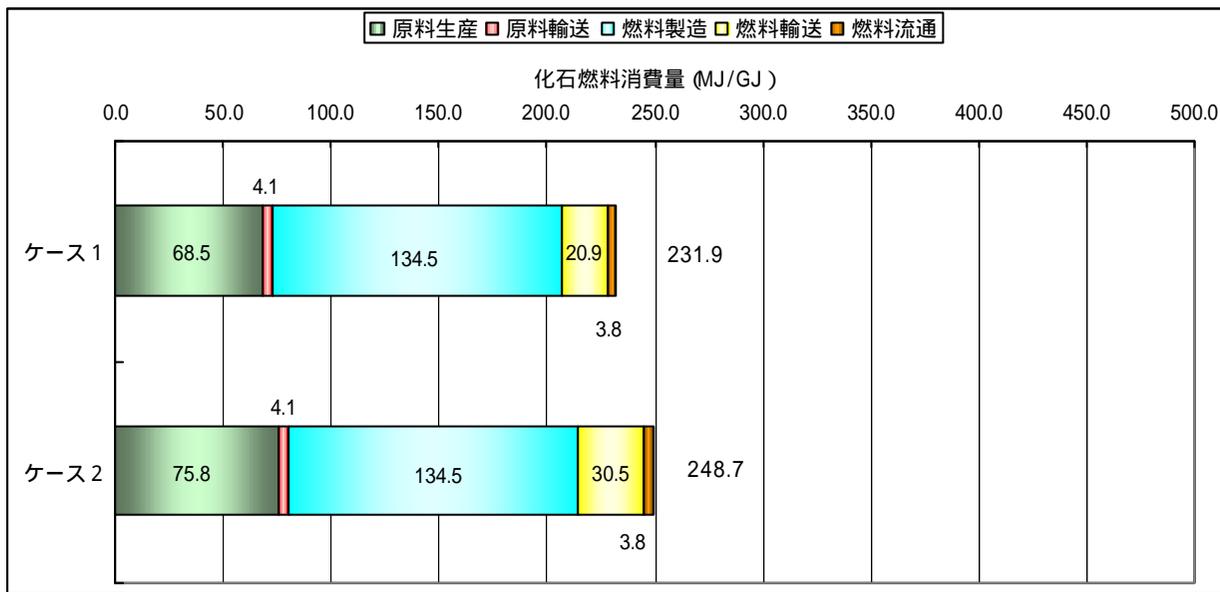


プロセスフロー・前提条件 [輸入BDF (1/2)]

- マレーシア等からのBDF輸入 (パーム椰子由来) に対し、LCAを適用したエネルギー収支、CO₂排出量評価は以下のプロセスフロー、バウンダリに基づいた。

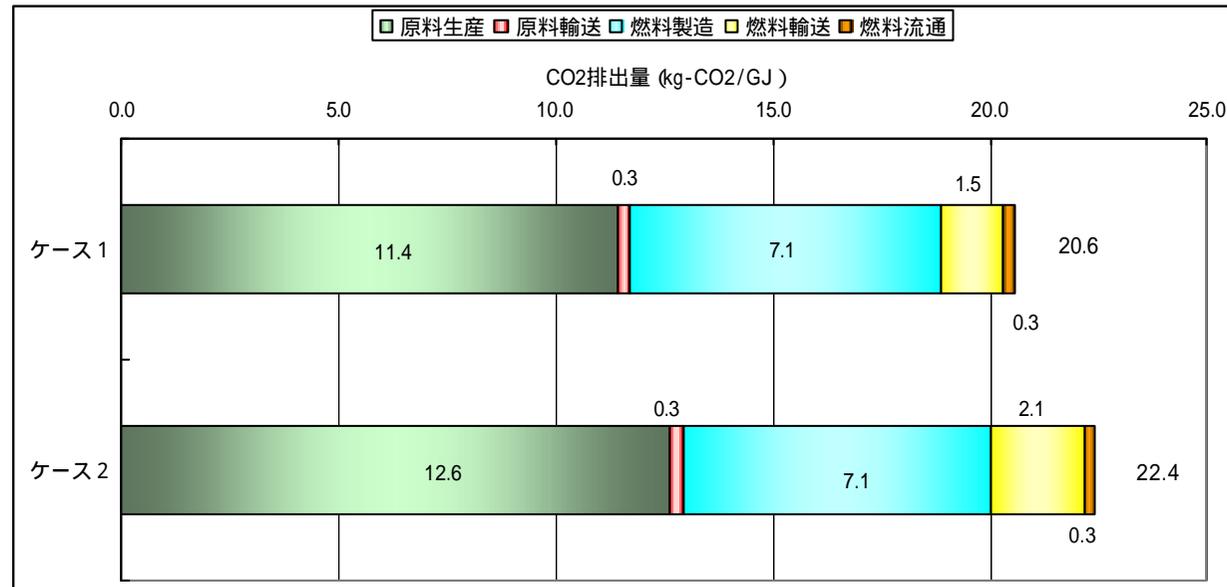


評価結果 [輸入BDF (Q/2)]



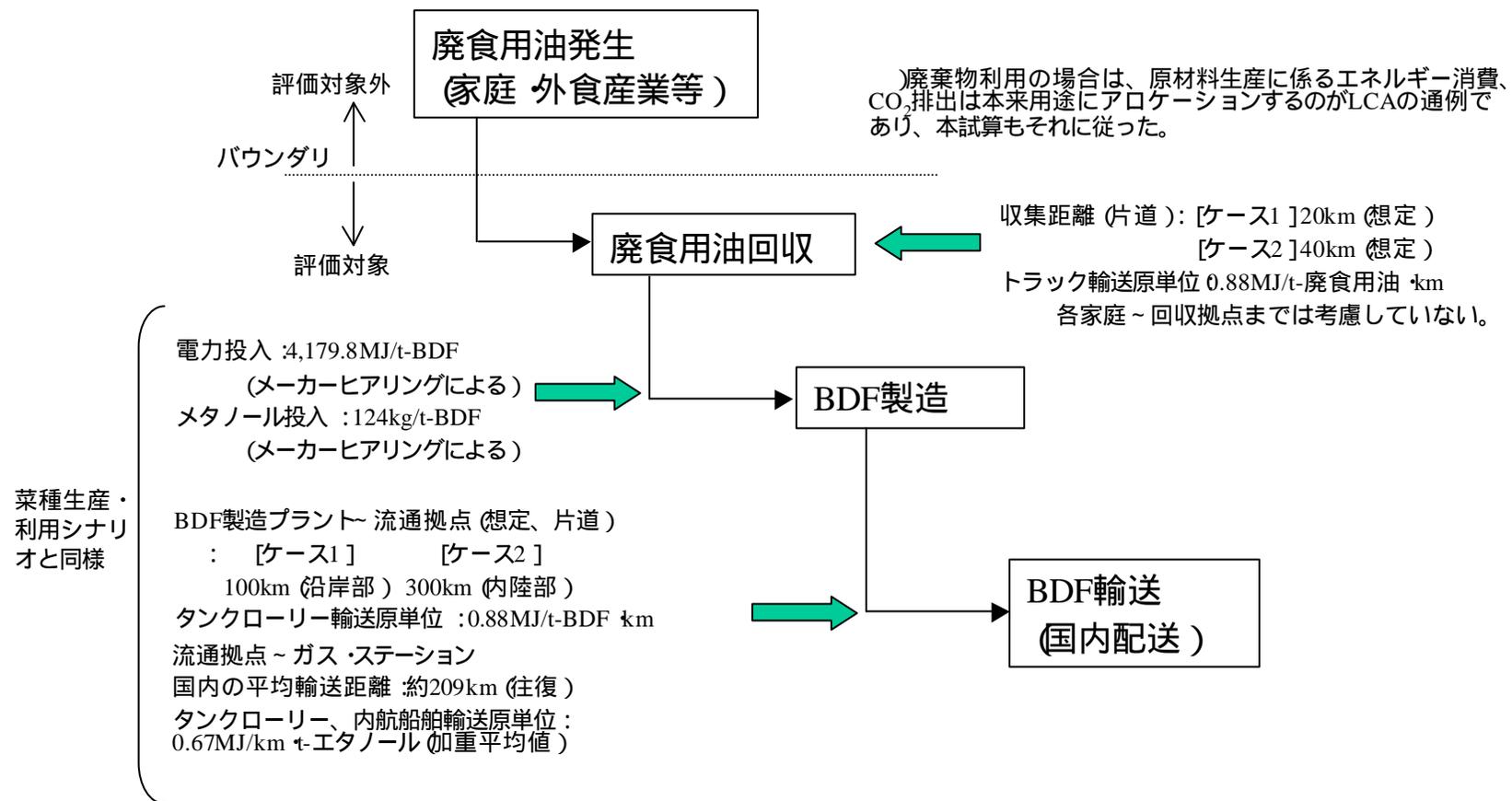
化石燃料消費量

CO₂排出量

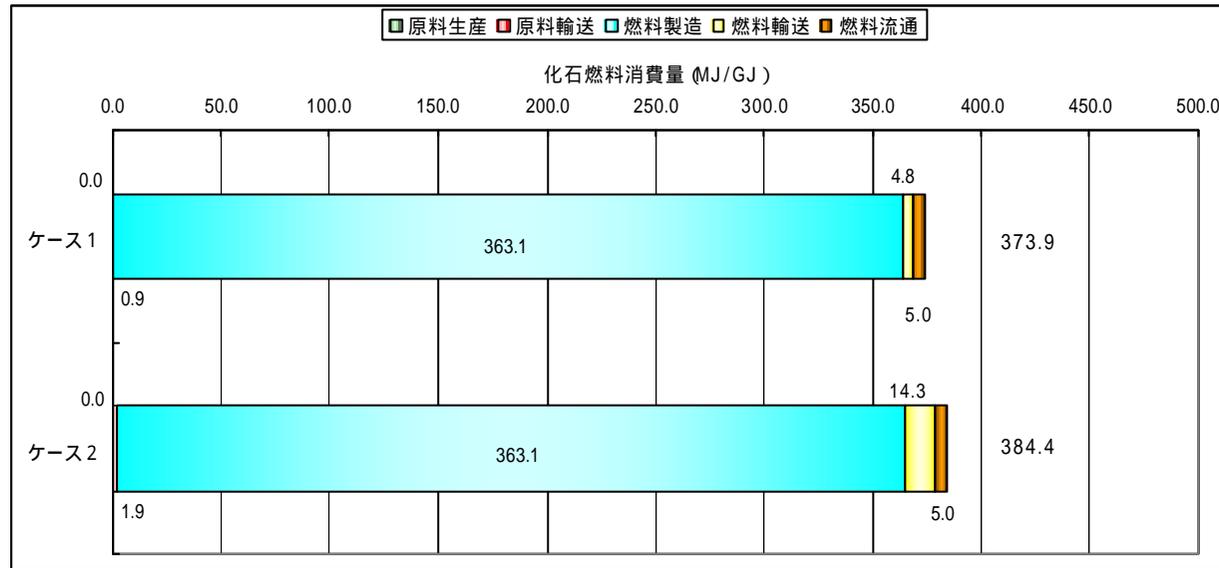


プロセスフロー・前提条件 [国産BDF・廃食用油回収 (1/2)]

- 国内の廃食用油利用に基づくBDF生産に対し、LCAを適用したエネルギー収支、CO₂排出量評価は以下のプロセスフロー、バウンダリに基づいた。

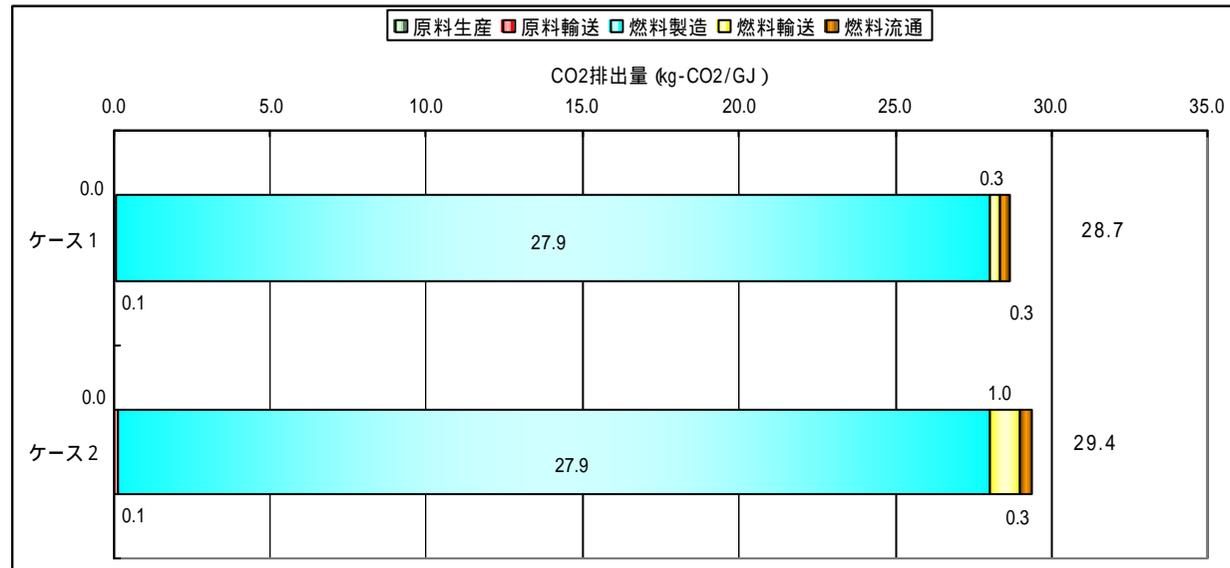


評価結果 国産BDF・廃食用油回収 (Q/2)]



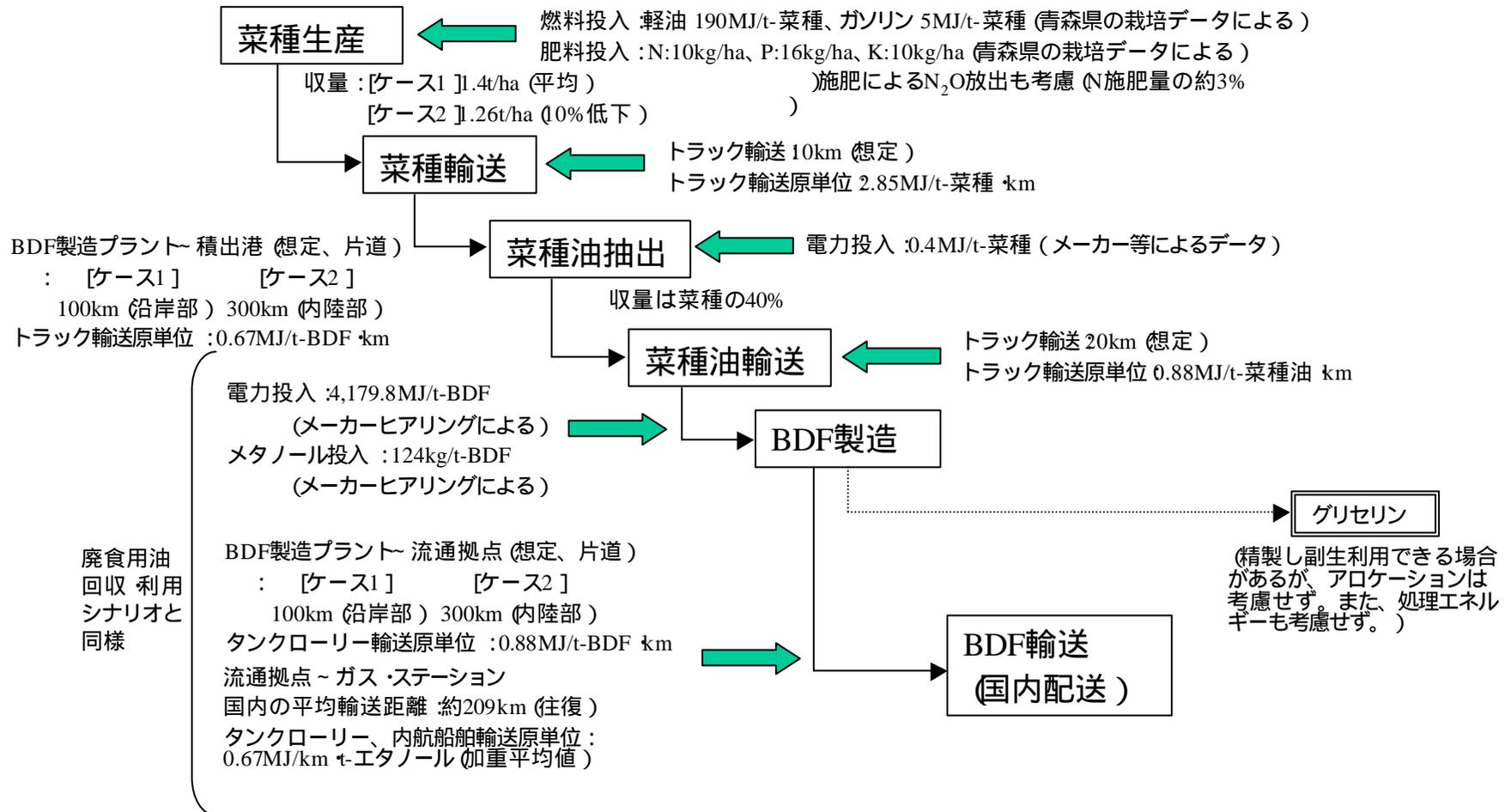
化石燃料消費量

CO₂排出量

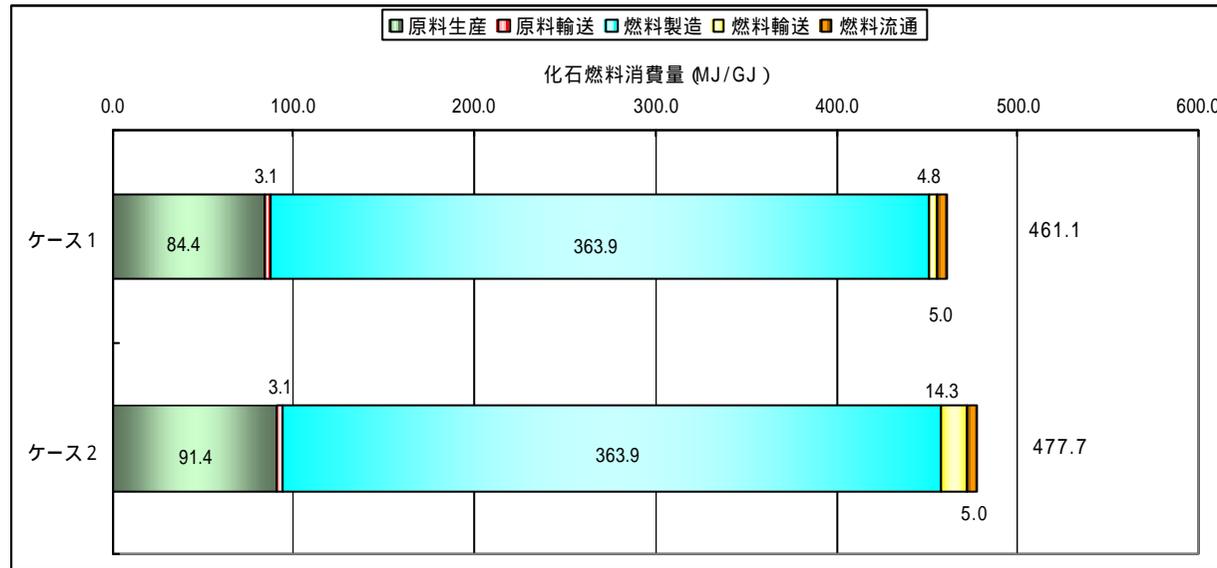


プロセスフロー・前提条件 [国産BDF・菜種生産 (1/2)]

- 休耕田等での菜種栽培に基づくBDF生産に対し、LCAを適用したエネルギー収支、CO₂排出量評価は以下のプロセスフロー、バウンダリに基づいた。

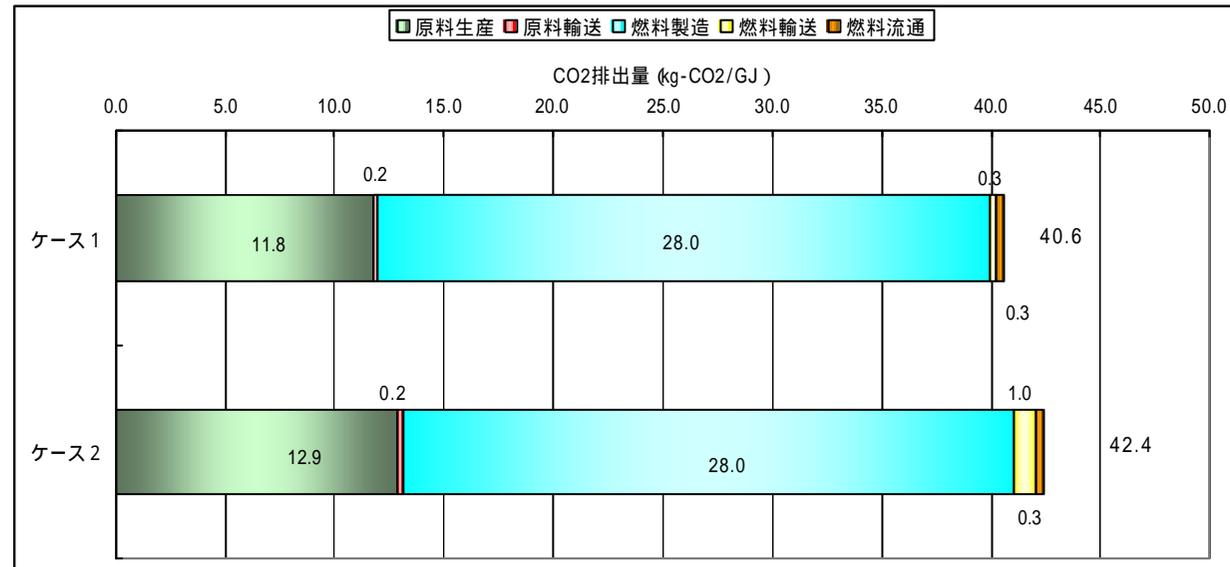


評価結果 国産BDF・菜種生産 (2/2)]



化石燃料消費量

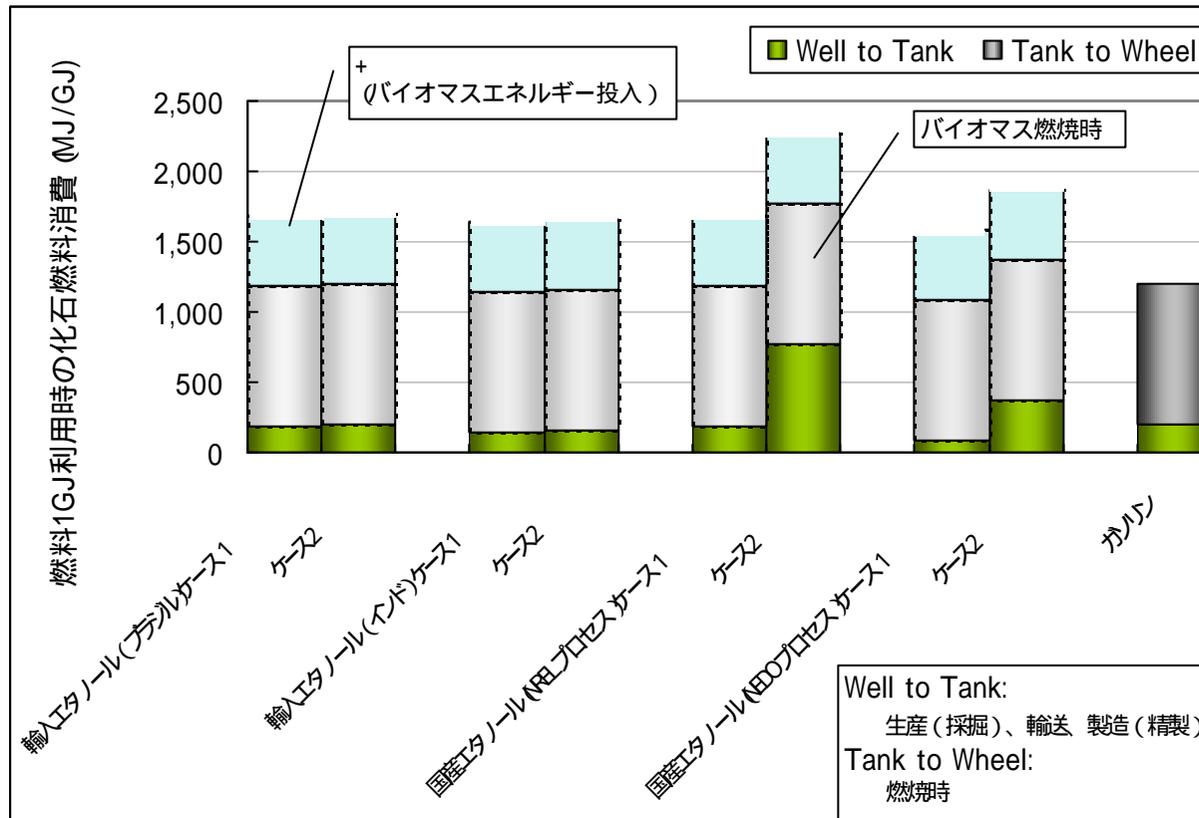
CO₂排出量



まとめ

評価結果の総括 (化石燃料消費量 :エタノール)

- 以上の結果を総括すると以下の通り。LCAで評価したエタノールの化石燃料消費 (バイオマス分を除く)は、同様にLCAで評価したガソリンの化石燃料消費量の概ね7% ~ 65%程度である。



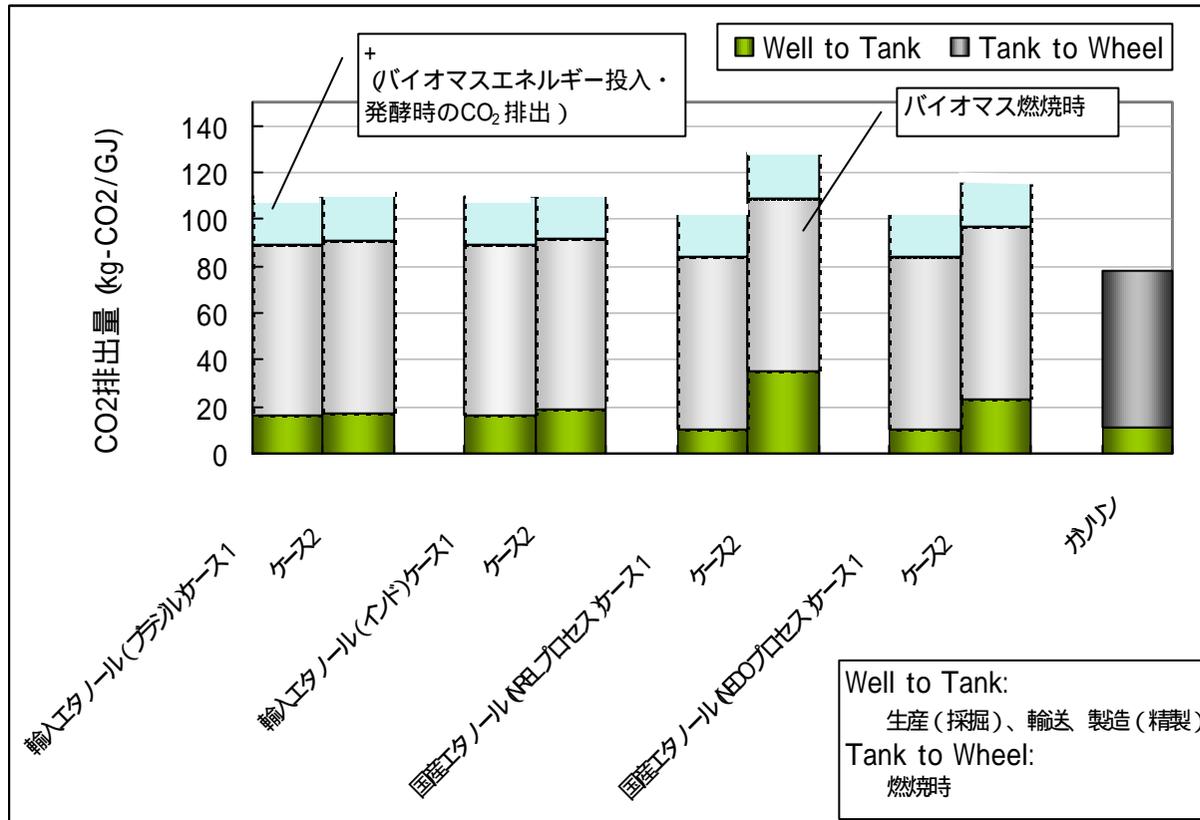
注1 軽油、ガソリンのLCAは実稼働プラントデータに基づく精密な試算であるのに対し、バイオ燃料については多くの仮定を置いたラフな試算であることに留意が必要である。

注2 バイオ燃料の中でも、特にNRELプロセス、NEDOプロセスを用いたセルロースからのエタノール製造は技術開発中のものであり、試算の前提は目標ベースのものとなっている。

注3 図中の“+”は存在する量が不明であることを示す。

評価結果の総括 (CO₂排出量 : エタノール)

- 以上の結果を総括すると以下の通り。LCAで評価したエタノールのCO₂排出量は、バイオマス燃焼時のCO₂排出量を計上しないことから、同様にLCAで評価したガソリンのCO₂排出量の13% ~ 45%程度の排出となる。



注1) 軽油、ガソリンのLCAは実稼働プラントデータに基づく精密な試算であるのに対し、バイオ燃料については多くの仮定を置いたラフな試算であることに留意が必要である。

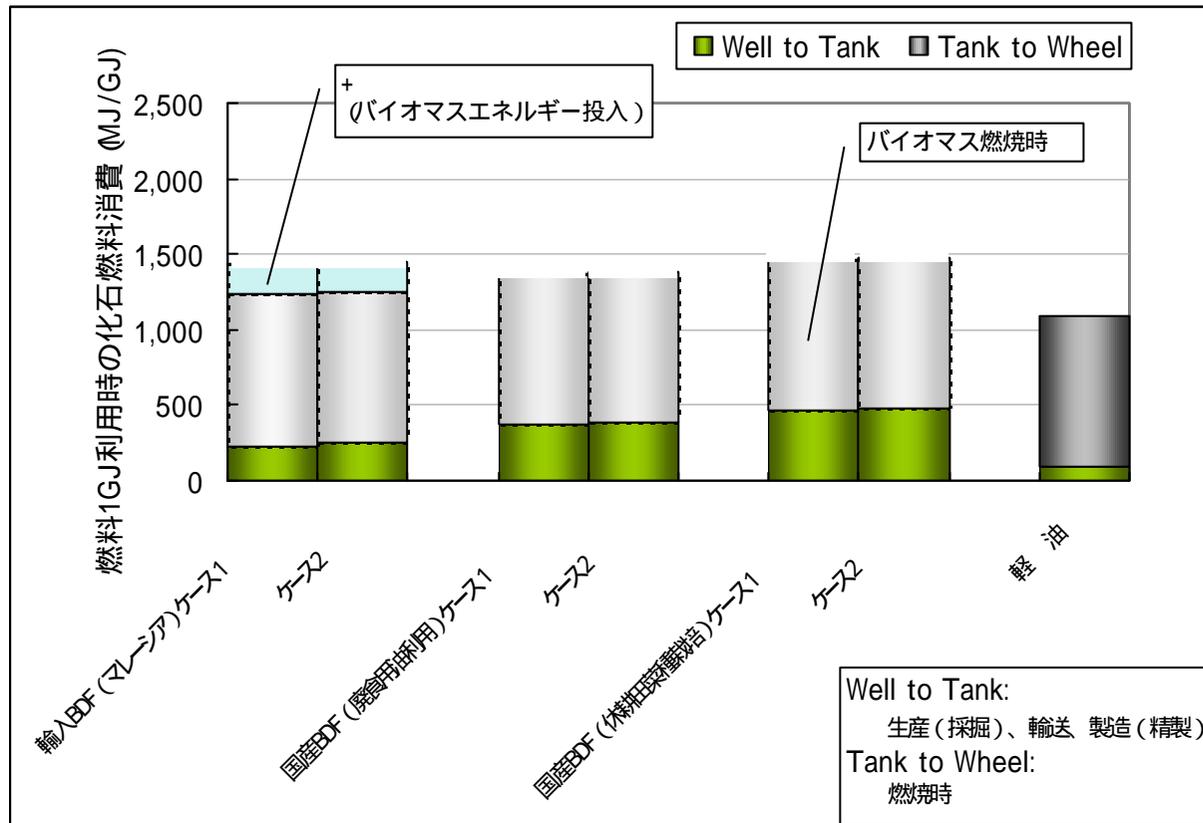
注2) バイオ燃料の中でも、特にNRELプロセス、NEDOプロセスを用いたセルロースからのエタノール製造は技術開発中のものであり、試算の前提は目標ベースのものとなっている。

注3) 我が国の温室効果ガス排出量インベントリへの計上を検討する場合、本検討で評価したもののうち、国外での化石燃料使用(海上輸送含む)は対象外となる点に留意が必要である。

注4) 図中の“+”は存在する量が不明であることを示す。

評価結果の総括 (化石燃料消費量 : BDF)

- 以上の結果を総括すると以下の通り。LCAで評価したBDFの化石燃料消費(バイオマス分を除く)は、同様にLCAで評価したガソリンの化石燃料消費量の概ね9% ~ 44%程度である。



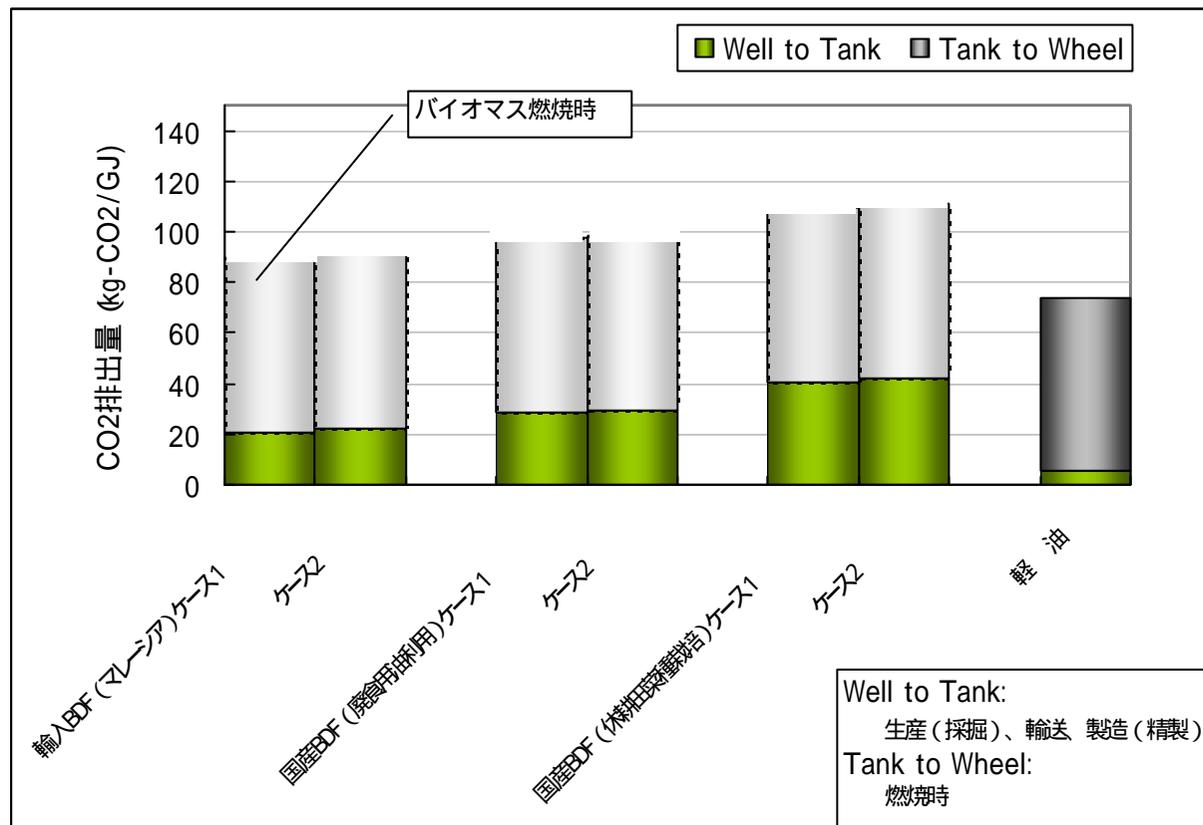
注1 軽油、ガソリンのLCAは実稼働プラントデータに基づく精密な試算であるのに対し、バイオ燃料については多くの仮定を置いたラフな試算であることに留意が必要である。

注2 バイオ燃料の中でも、特にNRELプロセス、NEDOプロセスを用いたセルロースからのエタノール製造は技術開発中のものであり、試算の前提は目標ベースのものとなっている。

注3 図中の“+”は存在する量が不明であることを示す。

評価結果の総括 (CO₂排出量 : BDF)

- 以上の結果を総括すると以下の通り。LCAで評価したBDFのCO₂排出量は、バイオマス燃焼時のCO₂排出量を計上しないことから、同様にLCAで評価したガソリンのCO₂排出量の28% ~ 57%程度の排出となる。



注1) 軽油、ガソリンのLCAは実稼働プラントデータに基づく精密な試算であるのに対し、バイオ燃料については多くの仮定を置いたラフな試算であることに留意が必要である。

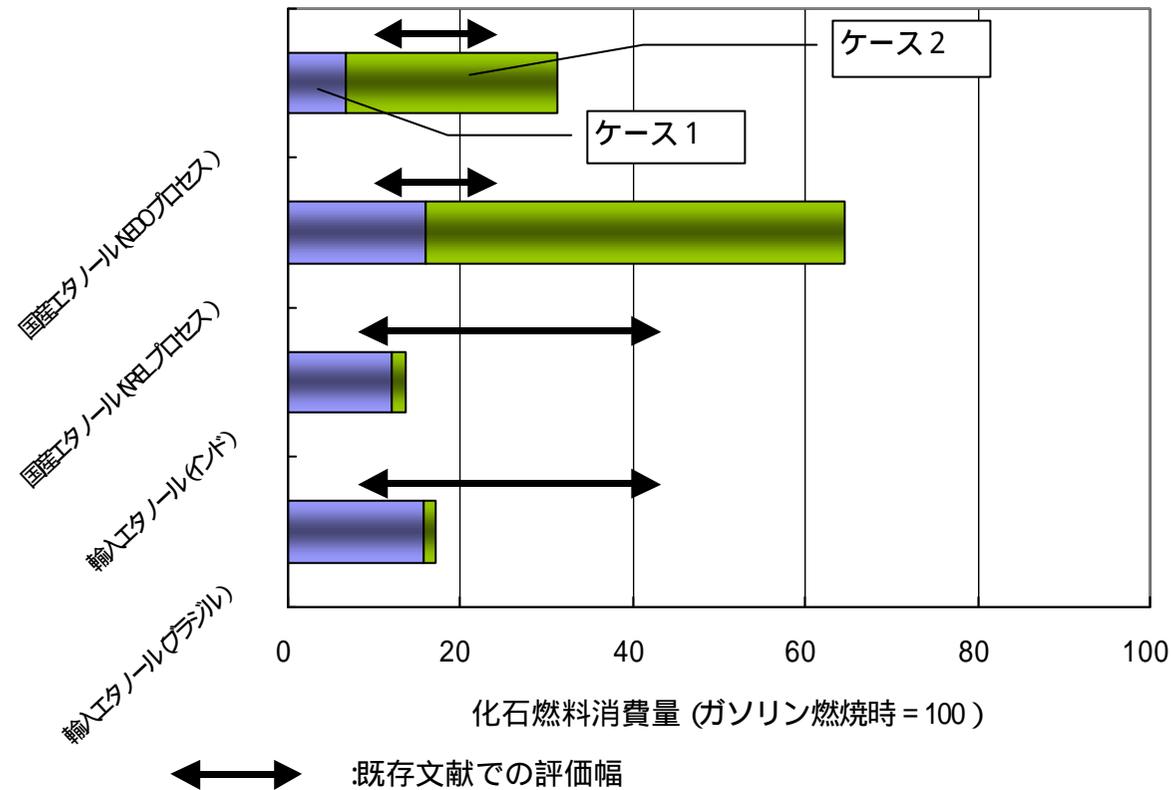
注2) バイオ燃料の中でも、特にNRELプロセス、NEDOプロセスを用いたセルロースからのエタノール製造は技術開発中のものであり、試算の前提は目標ベースのものとなっている。

注3) 我が国の温室効果ガス排出量インベントリへの計上を検討する場合、本検討で評価したものうち、国外での化石燃料使用(海上輸送含む)は対象外となる点に留意が必要である。

注4) BDFの燃焼時には、CO₂が排出されるが、BDF組成が一定していないため、その量は正確には不明である。

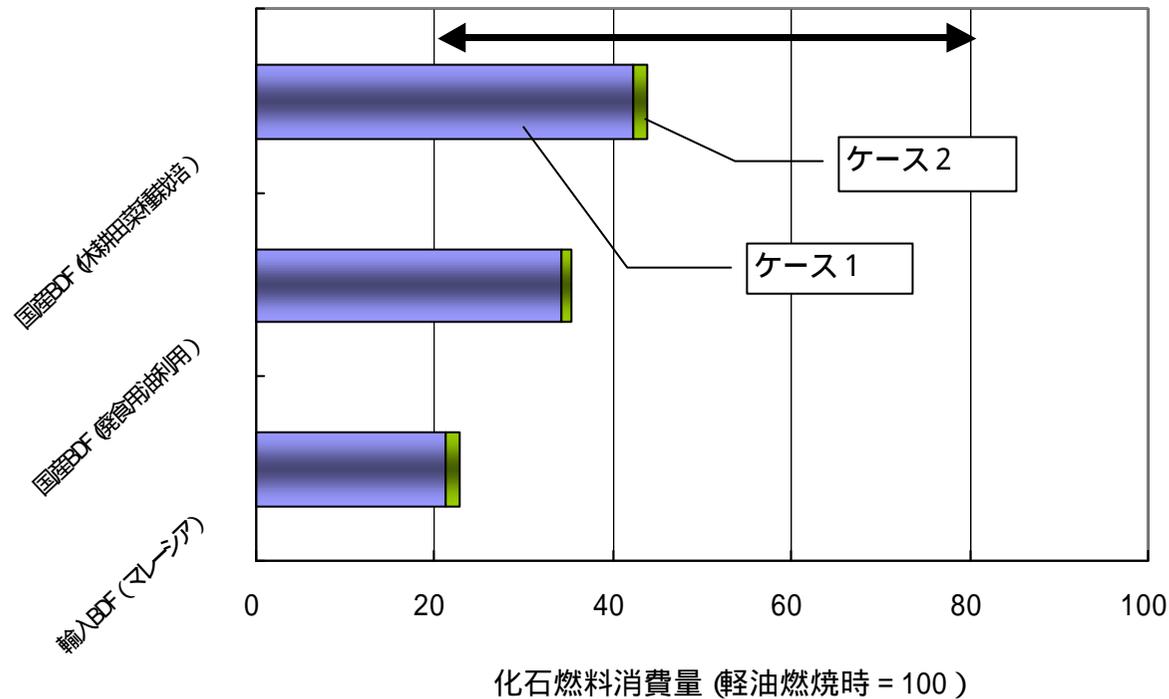
既存文献と試算値の比較 (エタノール)

- 前出の既存文献での評価幅 (各事例の評価結果の最大値～最小値)と試算値を比較した。



既存文献と試算値の比較 (BDF)

- 前出の既存文献での評価幅 (各事例の評価結果の最大値～最小値) と試算値を比較した。



↔ 既存文献での評価幅

注) 対応する矢印がない場合は、対応する既存文献値が存在しないことを示す。

検討体制

- 輸送用バイオマス燃料の導入促進基礎調査
検討委員会メンバー

検討委員会委員

(委員長) 松村 幸彦 広島大学 大学院工学研究科 助教授

(委員) 荒砂 弘毅 (社)アルコール協会 研究開発部長

河本 桂一 (株)富士総合研究所 環境・安全グループ 地球環境研究室 主事研究員

美濃輪 智朗 (独)産業技術総合研究所 循環バイオマス研究ラボ 主任研究員

八木田 浩史 (独)産業技術総合研究所 ライフサイクルアセスメント研究センター 地域環境研究チーム長

山本 博巳 (財)電力中央研究所 経済社会研究所 主任研究員

(オブザーバー) 経済産業省 資源エネルギー庁 省エネルギー・新エネルギー部 新エネルギー対策課

経済産業省 資源エネルギー庁 資源・燃料部 石油流通課

(財)石油産業活性化センター 技術業務部

(事務局) (株)三菱総合研究所 サステナビリティ研究部

敬称略 五十音順