

修士論文

Master Thesis

AHP を用いた日本におけるバイオ燃料導入に対する評価

Evaluation of Introducing Study of Biofuels in Japan Using AHP Application

指導教員

伊東 正一 教授

磯田 宏 准教授

児嶋 健吾

Kengo Kojima

九州大学生物資源環境科学府
農業資源経済学科 農政学研究室

2010年3月

Kyushu University, Japan

Agricultural policy Lab.

March 2010

目次

緒言	第一節	-研究目的と研究背景-	1
	第二節	先行研究	3
第1章	バイオ燃料について		5
	第一節	バイオ燃料農政の背景	5
	1-1-1	日本におけるバイオ燃料に関わる政策動向	5
	1-1-2	バイオ燃料の論点	10
	第二節	日本及び諸外国におけるバイオ燃料の現状	17
	1-2-1	バイオ燃料の概要	17
	1-2-2	日本におけるバイオ燃料の現状	19
	1-2-3	諸外国におけるバイオ燃料の現状	20
	1-2-4	ブラジル及びその他諸国の供給能力の見込み	24
	第三節	運輸部門の燃料多様化	26
	1-3-1	運輸部門の燃料多様化とは	26
	1-3-2	運輸部門の燃料多様化の意義	27
	1-3-3	運輸部門の燃料多様化の手段	28
	1-3-4	バイオ燃料の地球温暖化対策としての効果	29
第2章	研究手法		32
	第一節	研究手法	32
	2.1.1	AHP分析	32
	第二節	AHPの評価項目の選定	34
	2.2.1	バイオエタノール普及に関する評価項目	34
	2.2.2	AHPを用いた次世代自動車燃料におけるバイオ燃料導入可能性	36

第3章	AHPを用いたバイオ燃料に対する評価項目の結果および考察	38
第1節	AHPを用いたバイオ燃料普及に関する評価項目の結果および考察	38
3-1-1	階層構造の構築	38
3-1-2	評価レベル1の結果	39
3-1-3	評価レベル2の結果	39
3-1-4	総合評価	41
3-1-5	小括	42
第2節	AHPを用いた次世代自動車燃料におけるバイオ燃料の導入可能性	44
3-2-1	階層構造の構築	44
3-2-2	各評価項目の結果	46
3-2-3	総合評価	50
3-2-4	小括	51
第3節	AHPモデルの感度分析	52
3-3-1	感度分析におけるシナリオ	52
3-3-2	シナリオ1：CO ₂ 削減効果	52
3-3-3	シナリオ2：雇用の創出	53
3-3-4	シナリオ3：CO ₂ 削減効果および雇用の創出	54
3-3-5	小括	55
第4章	おわりに	60
第1節	現在の支援策について	61
第2節	考察	61
第3節	残された課題	62
補論		63
語句説明		65
参考文献		68

付録	アンケートサンプル	72
	謝辞	92

図表一覧

図

1-1-1-1	バイオ燃料の生産コストと税制	9
1-1-1-2	バイオ燃料問題	9
1-1-2-1	ブラジル産エタノールを原料とした、E3、ETBE7 と通常のガソリンとの二酸化炭素排出量比較	15
1-1-2-2	バイオエタノールの生産コスト	16
1-1-2-2	バイオエタノールの生産工程	18
1-2-4-1	世界のバイオエタノール生産量	25
1-3-4-1	次世代自動車等の二酸化炭素削減効果試算	31
2-1-1-1	AHP のフローチャート	33
2-1-1-2	AHP の階層構造図および計算方法	34
3-1-1-1	AHP モデルの構造:バイオ燃料普及に関する評価項目	38
3-2-2-1	評価レベル 1 の結果	39
3-1-3-1	評価レベル 2 の結果(比較)	40
3-1-3-2	評価レベル 2 の結果(幾何平均)	40
3-1-4-1	各評価項目に対する代替案の評価	41
3-1-4-2	AHP モデルの総合結果	42
3-1-5-1	バイオ燃料に関する各国のポジション	44
3-2-1-1	AHP モデル構造:次世代自動車燃料の選択	45
3-2-3-1	評価レベル 2 に対する代替案の評価	50
3-2-3-2	AHP モデルの総合評価の結果	51
3-3-2-1	バイオ燃料の「CO ₂ 削減効果」の重要度の変化と総合評価の変化	53
3-3-3-1	バイオ燃料の「雇用の創出」の重要度の変化と総合評価の変化	54
3-3-4-1	バイオ燃料の「CO ₂ 削減効果」および「雇用」の重要度の変化と総合評価の変化	55

3-3-5-1	バイオ燃料の評価項目の重要度の変化	59
4-2-2-1	まとめ	62

表

1-1-1-1	国産バイオ燃料の普及目標	8
1-2-1-1	バイオエタノールの原料内訳	18
1-2-2-1	日本のバイオエタノール実証事業	19
1-2-3-1	各国の取り組み状況	25
1-2-4-1	輸出能力があると考えられる諸外国の見通し	26
2-1-1-1	一対比較の基準尺度	33

緒言

第一節 研究背景と目的

地球温暖化対策の一環として、近年バイオ燃料の導入が全世界的に急速に進められている。このようなバイオ燃料の急速な普及には、地球温暖化への対応、原油価格の不安定性など、様々な要因があると考えられる。バイオマスの利活用は、Green House Gas(GHG)の排出抑制による地球温暖化防止や、資源の有効利用による循環型社会の形成に資するほか、地域の活性化や雇用につながるかとされている。¹また、従来の食料等の生産の枠を超えて、農林水産業の新たな領域を開拓するものである。

近年、こうしたバイオマスの利活用を推進するための方策の一つとして、自動車用の燃料としての利用拡大が図られている。²日本の一次エネルギー供給に占める石油の割合は約 5 割であるが、自動車などの運輸部門においては、ほぼ 100%近くを石油に依存している。この依存度の低下を図るためには、燃料の多様化が不可欠である。経済産業省は運輸部門における石油依存度を 2030 年までに 80%程度に低減させることを目標にし、「次世代自動車・燃料イニシアティブ」において、バイオ燃料をはじめ、代替燃料の導入を推進している。その中で、バイオ燃料を含め、自動車の電力化に向けた次世代バッテリーの開発、燃料電池の活用といった様々な技術・政策を、日本の「強み」である技術を活かす形で組み合わせ、複合的に展開していくことを目指すとした。

日本のバイオ燃料の取組の現状として、2005 年 4 月に閣議決定された「京都議定書目標達成計画」では、輸送用燃料におけるバイオマス由来燃料の利用目標を 50 万キロリットル(原油換算)とし、国産バイオ燃料の生産拡大を目指すとした。これらの革新的技術を十分に活用し、他の燃料や国際価格と比較して競争力を有することを前提として、2030 年ごろまでに国産バイオ燃料の大幅な生産拡大を図ることを目標としている。

しかし、バイオ燃料の導入促進には農業・環境・エネルギー問題など多くの課題が付随するため、

¹ 経済産業省(2007)

² 経済産業省(2009)

それらの課題解決を目指した「持続可能なバイオ燃料の開発」が重要との認識が近年、世界的に集まりつつある³。現在、こうした課題に対応するため、欧米各国や国際機関で、GHGの削減効果を含むバイオ燃料の持続可能性について議論が進められている。これらの国際的な動きに、日本としての対応を図るため、バイオ燃料の導入や開発に際して、持続可能性をどの様に考えるのか検討を行うことが必要である。

一般に「持続可能な開発」における評価指標は、「環境」「経済」「社会」の3つに分けられる。それら評価指標の中で、「環境影響」「経済影響」については、広く認知されている。例えば、林岳(2009)は十勝地方を取り上げ、Life Cycle Assessment (LCA)分析を用いてバイオ燃料のGHG削減効果を計測し、産業連関分析を用いてバイオ燃料の経済波及効果、雇用への影響およびCO₂波及効果を定量的に評価した。しかし、相対的に「社会面」の評価についての研究は広く認知されていない。⁴

そこで、バイオ燃料の導入可能性を「環境面」「経済面」だけでなく、「地域社会の受容性」「企業・事業者の参加意欲」を「社会面」とし、定量化することが難しい評価項目を意思決定の面から総合的に判断するため、Saaty (1980)が提唱したAHP (Analytic Hierarchy Process)を用いた。AHPは、問題の分析において、主観的判断とシステムアプローチをミックスした問題解決型意思決定手法の一つである。⁵

AHP をエネルギー政策の意思決定支援に応用した事例は数多くあり、例として、Ultas(2005)や野口(2008)は AHP によって再生可能エネルギーの導入可能性を分析している。また、コロンビアにおけるサトウキビやトウモロコシからバイオ燃料の生産の比較分析(Quintero,J.A., 2008)では、AHP を用いて、経済面と環境面から導入可能性を計測している。しかし、日本においてバイオ燃料の評価計測において AHP を用いた例は筆者が知る限り存在しない。

そこで、本研究の目的は、AHPを用いてバイオ燃料に関する項目を評価し、次に、AHPを用いてバイオ燃料の主な用途である次世代自動車燃料の経済的な効率を評価し、バイオ燃料の現状

³農林水産省(2009)

⁴森本慎一郎，宮本耕一（2009）

⁵木下栄蔵（1998）

における位置づけを明らかにすることである。そして、バイオ燃料に関する評価項目から導き出された結果を基に感度分析を用い、次世代燃料としてのバイオ燃料導入可能性を考察することである。

第二節 先行研究

林岳(2009)は、「環境面」「経済面」からバイオ燃料導入の緒効果を、十勝地方を対象として、産業連関を用いて分析を行った。プラントレベル⁶のGHG削減効率、地域レベルのCO₂削減効率ともにE3(エタノール含有3%のした混合ガソリン)のほうがガソリンに比べ優位な状況にあることが示され、E3がガソリンに比べ環境負荷の発生を抑制しながらより高い経済的影響をもたらすことが示された。結果は必ずしも絶対的なものではないとしながらも、環境効率においてE3がガソリンよりも優位であるとの結果はバイオ燃料の導入に一定の示唆を与えるものである。

一方で、バイオ燃料の導入効果に疑問を投げかける論文は、多数見られる。また、「OECD 将来を見通すための OECD における政策分析-農業見通しとバイオ燃料への適用-」において、バイオ燃料の環境への効果は疑問であるとし、その後発表された OECD-FAO Agricultural Outlook 2007-2016 においても、バイオ燃料需要の高まりが農産物市場に抜本的な変化をもたらす、多くの農産物の価格が世界的に上昇する可能性があることを警告している。さらに、政府のバイオマス・ニッポン総合戦略推進会議においても、「バイオ燃料の生産過程において、必要となる化石燃料や排出する CO₂ 量は極力少なくすることが重要である」との見解が示されている。

前述した通り、バイオ燃料は「農業・環境・エネルギー」にまたがる問題を有しているため、分析評価項目の枠やアプローチの方法によって結果が異なり、総合的な評価の方法は決して1つに限られるものではない。そこで、本研究では先行研究では行われていない、「地域社会の受容性」

⁶ ここでの「プラントレベル」とは、一事業主体のバイオエタノールプラントを中心としたライフサイクルを捉えているということを示し、プラントからの環境負荷のみを対象としているという意味ではない。

「企業・事業者の参加意欲」といった社会面を定量化する方法を用いることで、持続可能性の視点からバイオ燃料の導入可能性を考察することを目的とした。

第1章. バイオ燃料について

第一節 バイオ燃料農政の背景

1.1.1 日本におけるバイオ燃料に関わる政策動向

世界的な原油高を背景に、農政におけるバイオ燃料の位置づけが大きく変わってきている。バイオ燃料を取り巻く情勢の変化は、言うまでもなく異様といえるこの数年間における原油価格の高騰と、これをめぐる米国、ブラジル、EU、中国等の動きを指している。特に米国の動きがバイオ燃料ブームを引き起こした。バイオエタノールは、主にとらもろこしや小麦などの穀物と、さとうきびやてんさい由来の糖蜜などを原料として生産されるものがあり、1960年代から、米国で農業対策の一環としてはじまり、その後、世界各国で石油危機を契機とした導入が進んだ。その後、農業支援・振興などの政策目的や、テロとの戦いを機に中東石油依存を低下させなければならないとの機運が生じた。また、ガソリン価格急騰を背景にガソリン消費削減が課題となった。バイオ燃料が世界的な注目を集める中で、日本でも「国家戦略」を立てて推進しようとしている。

日本政府のバイオマス振興策は、新しいものではない。2002年12月に農林水産省からバイオマス・ニッポン総合戦略が発表されたが、これは食品廃棄物、畜糞、生ごみ等のリサイクルという観点で網羅的に整理されたもので、アルコール燃料は特に目立つものではなかった。⁷

バイオ燃料が注目されたのは、資源エネルギー庁が、2004年にエネルギー長期需給見通しの改定作業を行う際に初めて独立した数字を示したことからである。新エネルギーを見直す際に、基本的には従前の見通しを踏襲する中で、想定通りの普及が進まない太陽熱利用を一部代替するかたちで登場した。2010年に50万kl(原油換算)との予想値が掲げられた。

この見通しは京都議定書目標達成計画にそのまま採用され、見通しから目標へと公約に近いものに格上げとなった。この時に、エネルギー安全保障に加えて温暖対策の一環として明確に組み込まれることとなった。

2006年3月には、バイオマス・ニッポン総合戦略の見直しが行われ、バイオ燃料利用促進が大

⁷山家公雄 (2008)

きな位置を占めるようになり、推進策のひとつとしてバイオスタウン促進が盛り込まれた。この背景には、2005年～2006年にかけて米国でバイオ燃料推進が大々的に打ち出されたことが背景にある。

2006年5月には、経済産業省が「新国家エネルギー戦略」を策定し、2030年の石油依存について、1次エネルギーベースで40%、運輸用燃料ベースで80%に引き下げを提言している。

2006年には、安倍内閣総理大臣が、地球環境、地域の活性化や雇用、農業の活力という観点から、国産バイオ燃料の生産拡大は重要であることから、バイオマス燃料の大幅な生産拡大を指示した。これを受け、関係6省で検討を重ねた。そこでは、バイオ燃料の利用に最大限に取り組み、さとうきび糖みつや規格外小麦等の安価な原料を用いたバイオ燃料の利用モデルの整備と技術実証を行い、2011年には国産燃料を5万kl(原油換算3万kl)使用することが明記された。石油業界は、2010年度に36万キロリットル(原油換算21万kl)のバイオ燃料の導入を図ることとしている。また、農林水産省試算の2030年を目処とする国産燃料生産可能量が掲載された。可能量は600万キロリットルで、資源作物については、新たにバイオマス量の大きい品種等を育成するとともに、食料自給率の向上を目指す食料・農業・農村基本計画との整合を図りつつ、耕作放棄地の一部を活用すること等により、2030年度にエタノール換算200～220万kl(原油換算120～130万kl)の国産バイオ燃料を生産できる可能性があると示された。⁸

農政におけるバイオ燃料の方向性を明確に示したのが、2006年の農業白書である。そこで、「循環型社会の形成に資するバイオマス等の地域資源の利活用」や地球温暖化防止への貢献といったそれまでの政策スタンスを受け継ぎながら、バイオマスの利活用を「農林業産業の新たな領域の開拓」、「農業・農村の新境地の開拓」として大きく注目したのである。バイオマスの利活用と言えば、バイオ燃料のほかにもたい肥、飼料、食品工業原料など様々な形態があるが、同白書では、バイオ燃料を明確に意識して「新境地の開拓」という表現を使ったのが特徴である。この点からバイオ燃料の利用促進が農林水産事業の新たな領域を開拓していくことが読み取れる。⁹

⁸農林水産省(2006)

⁹胡柏(2008)

環境省に設置されたエコ燃料利用推進会議は、「輸送用エコ燃料の普及拡大」(2006年)で、国産バイオエタノールを生産拡大するとともに、不足分は輸入で賄えるよう支援施策を講じるとしている。国産バイオエタノールの普及目標を示した(表 1-1-1-1)。

2007年11月、石油業界や自動車業界と大学等・独立行政法人の研究機関からなる「バイオ燃料技術革新協議会」が設置された。協議会ではバイオ燃料導入の具体的な目標、技術開発、工程表を内容とする「バイオ燃料技術革新計画」の策定作業が進められ、2008年3月に公表された(バイオ燃料技術革新協議会(2008))。この計画の中では、温暖効果ガスの排出量のLCA評価の考え方が示されているほか、バイオ燃料の開発において配慮すべき点が整理されている。

2008年に「農林漁業バイオ燃料法」が施行された。この決定により、農家がバイオ燃料向けの作物を休耕地に作付け、収穫に必要なコンバインを整備し、バイオエタノール製造業者は製造施設を整備し、バイオエタノール生産を行う取組みを支援する等、農林漁業に由来するバイオマスのバイオ燃料向け利用を通じた、農林漁業の持続的かつ健全な発展及びエネルギー供給源の多様化に向けて大きく動き出すこととなった。

2009年度税制改正大綱では、京都議定書の第一約束期間におけるバイオマス由来輸送用燃料の導入を促進する観点から、ガソリンの品質確保等に係る所要の制度整備を踏まえ、バイオマス由来燃料を混和して製造されたガソリンについて、バイオマス由来燃料に含まれるエタノールに相当する揮発油税及び地方道路税を軽減する措置を平成25年3月31日までに限り講ずるとした(図 1-1-1-1)。これにより、バイオ燃料の利活用が促進されることとなった。

戦後の日本農政は1950年代の食料増産農政、60年代からの「生産性農政」、70年代からの構造調整農政、80年代からの地域・国際化対応農政を経て99年以降の新基本法農政に入り、ほぼ10年毎に変わってきたが、今回のバイオ燃料農政ほど多くの府省の理解と支持を取り付け、財界や世論を動かしたことはない。¹⁰これまでに守りの「農」として多くの批判を浴び、つねに守勢に立たされてきた農政は、「食料」、「環境」、「エネルギー」の3つの分野にまたがるバイオ燃料農政を登場させたことによって食料、農地、森林保全等「農」の領域の諸問題を地球温暖化防止、原油価

¹⁰林岳(2009)

格高騰への対応といったより広範な「資源」「環境」問題へと結びつけることとなったのである(図1-1-1-2)。

バイオ燃料に関しては、関係各省が協力して、議会を立ち上げている現状があるが、現状では縦割りで行われており、各省がもつ情報の共有をはかるためにも、透明な議論が交わされていくことが期待される。¹¹

表 1-1-1-1 国産バイオ燃料の普及目標

(単位：万 kl)

		2010年	2020年	2020年
輸送用バイオマス由来燃料全体①		(50万)	(約200万)	(約400万)
バイオエタノール (ガソリン代替)	国産②	約5万(約3万)	約100万 (約60万)	約380万 (約220万)
	輸入③	①-(②+④+⑤)	約90万 (50万)	
バイオディーゼル 燃料(軽油代替)	国産④	約1.1万～1.6万 (約1～1.5万)	約100万 (約90万)	約200万 (約180万)
	輸入⑤	今後の動向を踏まえて見込む		

出典：エコ燃料利用推進会議(2006)「輸送用エコ燃料の普及拡大について」

pp2-69～pp2-72

¹¹ 山家公雄(2008)

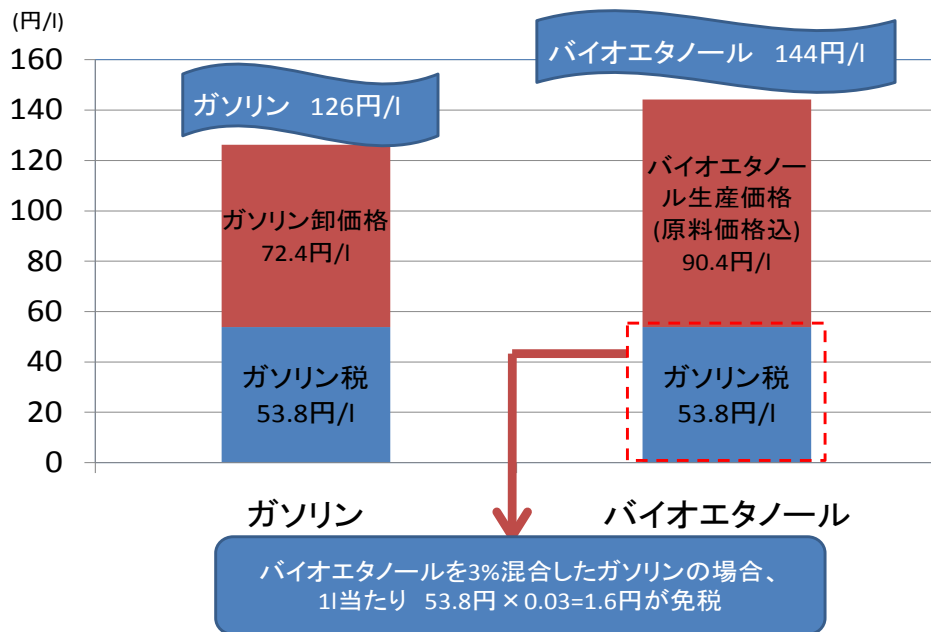


図 1-1-1-1 バイオ燃料の生産コストと税制

出典: 経済産業省(2008)

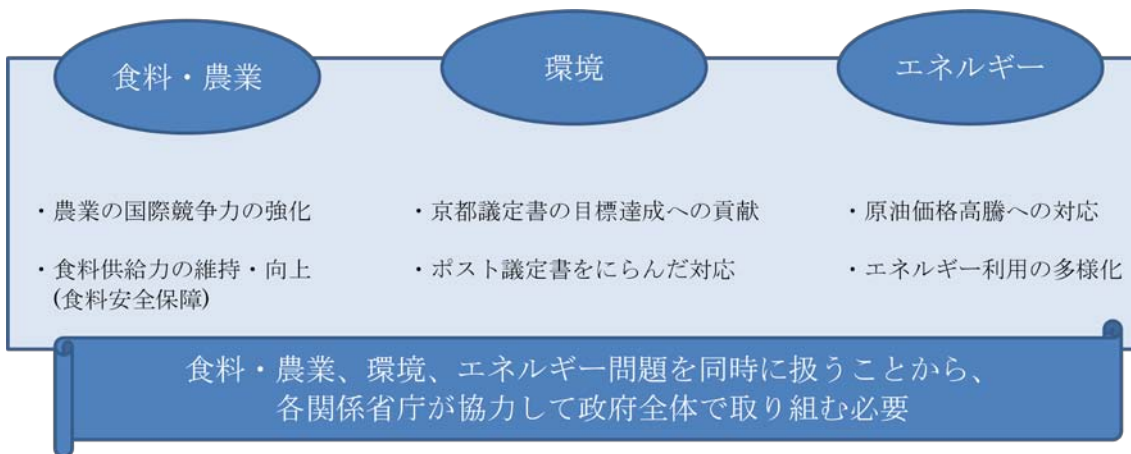


図 1-1-1-2 バイオ燃料問題

1.1.2 バイオ燃料の論点

バイオ燃料は、時代のキーワードである「食料」「環境」「エネルギー」の視点を兼ね備えており、多くの政策的意義を有しており注目度も高い。しかし、世界的な潮流であるから日本もやるといった傾向があり、多くの日本人は、どうしてバイオ燃料が登場してきたのか、よくわかっていない。多くの政策意義があるがゆえに、いまひとつポイントが分かりにくいといった点が要因ではないかと考えられる。そこで、バイオ燃料について、評価項目に選定した、現在議論されている点について以下にまとめた。

「CO₂の削減効果」

原料である穀物等が成長する過程でCO₂を吸収し、京都議定書においてはバイオ燃料の導入はカーボンニュートラルと位置付けられている。1990年比マイナス6%に向けた諸施策による二酸化炭素排出削減量の約1%を占めるものとなっており、バイオ燃料の導入は、二酸化炭素削減の有効な手段の一つである。さらに、バイオ燃料導入は、運輸部門の燃料多様化や石油依存度の低減に資するものでもある。¹²

しかし、LCA(ある製品が製造、使用、廃棄あるいは再使用されるまでのすべての段階を通して、環境にどのような影響を与えたのかを評価する方法をいう。)上で見れば、バイオ燃料の生産・輸送に係る二酸化炭素排出量を加えなければならず、また、バイオ燃料の原料によっても、二酸化炭素削減効果は様々である点に注意を要する。例えばブラジル産エタノールを原料とした、E3(エタノール3%含有ガソリン)、ETBE7(Ethyl Tertiary-Butyl Ether、ETBEを7%(エタノールは3%分に相当)混和したガソリン)と、通常ガソリンとの二酸化炭素排出量の比較を試算した場合、カーボンニュートラルと仮定すれば単純に3%の削減効果が計上されるが、LCA上では、それぞれ1.5%、1.9%の削減効果になるものと試算されている(図1-1-2-1)。削減効果は単純なカーボンニュートラルと比べて若干小さくなるものの、バイオ燃料の導入による二酸化炭素排出削減効果が

¹²経済産業省(2009年1月)

認められるといった報告が出されている。¹³一方で、バイオ燃料の導入による二酸化炭素削減効果はトータルで見れば、マイナスであるといった報告もある。このズレは、バイオ燃料の生産時や使用時にCO₂を排出するものの、作物生育時のCO₂吸収量との相殺で、便宜上排出量をゼロとする計算方法が採用されることから、実際の世界では排出するものの、計算上ゼロという、現実世界とのズレが生じているものもある。

「エネルギー生産」

バイオ燃料は、化石燃料の代替としてエネルギーを提供するものであり、生産される熱量が、全生産工程で投入された化石エネルギーの熱量よりも大きくなければならない。バイオ燃料製造等に係るエネルギー収支については、1978年以降、各種の調査研究がなされている。これらを評価した米国のArgonne National Laboratoryによる評価結果によれば、ヴァイアンブラッドやホー、ピメンタル、パツェックの調査研究では、バイオ燃料は、生産時などに投入するエネルギー量よりも得られるエネルギー量の方が少ない、つまりエネルギー収支としてはマイナスという結果を出している一方で、マーランド&ターホローやカナダ天然資源局は、その逆の結果を出している。1980年代以前は、エネルギー収支がマイナスであったが1990年代後半以降は一定の研究者の結果を除くとプラスに転じている。これは、トウモロコシの生産性の向上とエタノールへの変換効率が技術革新により向上した為とみられる。¹⁴

これらのことから、エネルギー収支分析においても、CO₂削減効果に関するLCA評価においても、結果としては様々なものがあり、現状では、バイオ燃料の環境影響について確実な結論を出すことは難しい状況にあり、バイオ燃料の導入推進における根拠とはなりにくいものであるといった面もある。

¹³経済産業省(2009)

¹⁴経済産業省(2007)

「自然環境との共生」

バイオエタノールの生産の拡大によって水問題・生物多様性への影響等を引き起こす恐れがある。現在、生物の多様性を保全することは重要な課題となっているが、世界各地において、生物多様性に懸念のある地域も存在する。バイオ燃料の大規模な生産は、生物多様性の保全に悪影響を与える可能性も指摘されており、一部の民間事業者においては環境保全のための取組も進められている。¹⁵バイオエタノールの国内生産の推進や海外から大量に輸入する場合には、こうした悪影響を十分に踏まえて対応していく必要がある。

「コスト競争力」

国産バイオ燃料は、現時点のガソリンの卸売価格、ブラジルからのエタノールの輸入価格等と競合できる価格で生産する必要がある。現状でブラジル産バイオ燃料とコスト面での競争力はない(図 1-1-2-2)。バイオマス・ニッポン総合戦略推進会議『国産バイオ燃料の生産拡大工程表』の中で、エタノール生産コストについて 2015 年に「バイオマス・ニッポンケース」として、バイオ由来燃料に係るガソリン税を免税したガソリンの価格競争力を勘案し、製造コストを 100 円/l、さらに、「技術革新ケース」として、ガソリンとの価格競争力や米国等の開発計画を勘案し、経済的かつ多量、安定的に生産が可能なバイオマスを利用し抜本的な技術革新を目指し、製造コストを 40 円/lと設定されている。2015 年の国産バイオ燃料の生産コストの目標を 100 円/lと考えた場合、原料となるバイオマスの生産コストを大幅に引き下げ、さらに低コストで高効率にバイオエタノールを生産することが不可欠であるとしている。¹⁶原料の収集および生産の着実な技術革新が望まれるとともに、更なるコスト削減には規模の経済が必要であると考えられる。

「安定価格・安定供給」

バイオ燃料については世界各国で野心的な導入目標が定められているほか、日本においても、

¹⁵ 経済産業省(2008 年)

¹⁶ 農林水産省(2008 年)

「国産バイオ燃料の大幅な生産拡大」において、全ガソリンの E10 化や、600 万 kl のバイオ燃料の導入といった非常に大きな導入目標が議論されている。実現の見込みのない目標に向けて無謀な投資をすることになれば、社会的・経済的な損失・弊害も大きくなってしまふ恐れがある。このため、現実的な利用可能性を検討するため、どの程度のエタノールが現に入手可能なのか、検討を行う必要がある。安定価格かつ一定量の供給が行われれば、国産バイオエタノールは、エネルギーの自給率向上にも繋がるため、エネルギー政策上も評価できるが、当面の取組は少量に留まる点に注意を要する。

また、ガソリン価格とエタノール価格は相関が見られるが、エタノール価格の方は、ガソリン価格と比較してより価格変動の幅が大きい傾向にあることを示す調査がある。¹⁷こうした傾向を踏まえると、ガソリンと比較した場合に、バイオエタノールの導入は価格安定性の面で、日本へのエネルギー安定供給にマイナスの影響を与えることが懸念される。

「経済波及効果」

バイオ燃料は農産物を原料とすることから、農産物の新たな需要を生み出す。また、これまで結び付きの少なかった農業とエネルギー産業間の新たな取引を発生させ、地域構造の変化をもたらす。さらに、バイオ燃料がガソリンや軽油などの石油製品を代替することによる地域経済への効果を上げることが出来る。E3 による経済波及効果では十勝地方において原料を供給する耕種農業部門のみならず、商業やサービス業など第3次産業においても生産誘発が波及し、十勝地方の経済に幅広く経済波及効果をもたらされることが示された。¹⁸一方で、ガソリンの経済波及効果では、石油部門以外には運輸・放送・通信部門で生産誘発がわずかに見られるだけで、それ以外の部門での生産誘発はほとんどないと言ってよい。したがって、十勝地方においてガソリン需要が増加したとしても十勝地方での経済波及効果はほとんどないと言える。これはあくまで十勝地方でのシミュレーションの結果であるが、バイオ燃料の導入によって経済波及効果が示されたことは、地域

¹⁷野村総合研究所(2007 年)

¹⁸野村総合研究所(2007 年)

活性の点において、特に、農業振興へも一定の効果があることが示唆されている。

「地域社会での受容性」

バイオエタノールの原料、特に穀物については、そもそも食糧供給のために栽培されてきたものであることから、人類の生存に必要な食糧を奪うことにもなりかねない。バイオ燃料は基本的に地産地消であることから、地域住民の理解を得る必要がある。

また、本格的に普及するとなれば、全ての国民が E3 燃料を購入しなければならない状況が生まれてくるので、国民は自分の選択なしに負担を負うこととなる。現在のところはバイオガソリンとしてガソリンと同価格で販売されているが、国民全体のコンセンサスを得ることが非常に重要となってくる。「バイオマス・ニッポン総合戦略」において、バイオマス利活用に対する社会的合意の形成を進めていくために、地域の NPO 等との連携や、児童生徒に向けた教育を充実させる必要であると示された。

「企業・事業者の参加意欲」

京都議定書目標達成計画の中で盛り込まれている数値目標は輸送用燃料として原油換算 50 万 kl 分の輸送用燃料としてバイオマス由来燃料の導入である。これについては、E3 燃料での達成とはどこにも書いていない。E3 燃料は基本的に一律導入を目指すものであるから、最終目標としては日本中のガソリン全てにアルコール 3%を入れることになるであろう。

そこで、「バイオマス・ニッポン総合戦略」においてバイオマス・ニッポンの円滑な実現には、バイオマスを総合的に利活用するシステムを構築することが前提であり、バイオマスの利活用に関わるすべての人々の理解と協力が必要であるとした。また、バイオマスを持続的に利活用していくためには、全体として経済性がある循環システムを構築することが重要であり、バイオマスの利活用は、最終的には、事業者の自由な創意と工夫による競争的な活動によって進められることを目指さなければならないとされている。

単位: kg-CO₂/GJ

E3

原料製造・輸送	製造過程	燃焼時	トータル
2.502	+ 9.708	+ 71.988	= 84.198

ETBE

原料製造・輸送	製造過程	燃焼時	トータル
2.502	+10.163	+ 71.147	= 83.812

ガソリン

原料製造・輸送	製造過程	燃焼時	トータル
2.1	+ 9.722	+ 73.652	= 85.474

ガソリンと比べてE3で-1.5%, ETBEで-1.9%の削減になる

図 1-1-2-1 ブラジル産エタノールを原料とした、E3、ETBE7 と通常のガソリンとの
二酸化炭素排出量比較

- ①国内輸送分はカウントしていない。
- ②バイオエタノールについては、ブラジル平均生産ケースを用いた。
- ③E3原料の国内調達までの CO₂ 排出量は、以下のように計算

$$15.5\text{kg-CO}_2/\text{GJ} \times 0.03 + 2.1\text{kg-CO}_2/\text{GJ} \times 0.97 = 2.502\text{kg-CO}_2/\text{GJ}$$

出典: 総合資源エネルギー調査会石油分科会(2008)

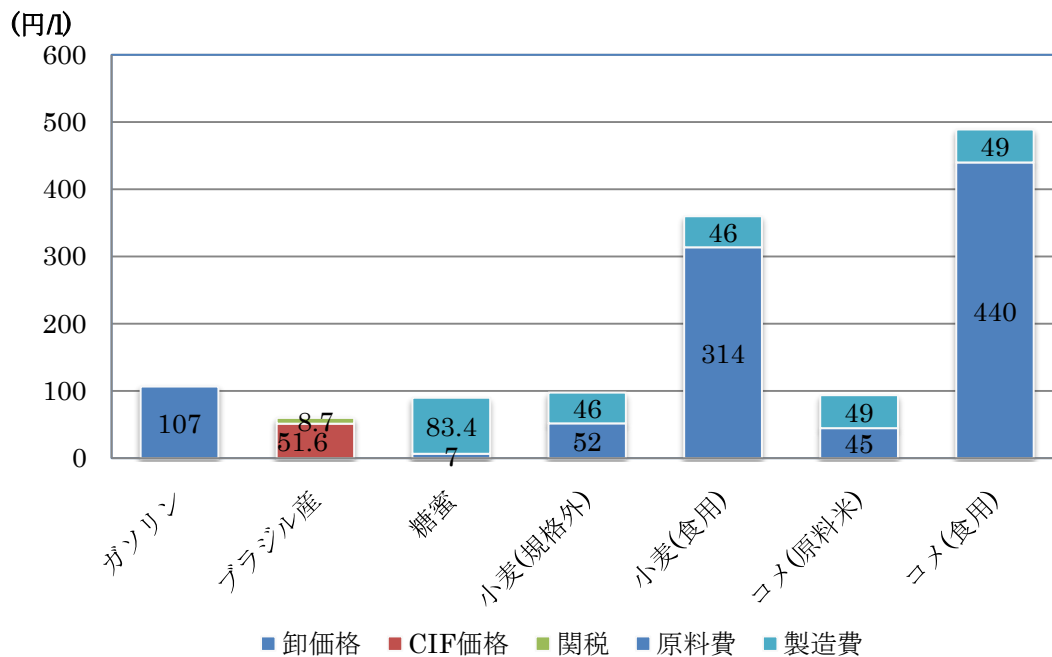


図 1-1-2-2 バイオエタノールの生産コスト

- ①ガソリン:元売会社の特約店向け卸価格:20年7月平均(出典:石油情報センター)
- ②ブラジル産エタノール:CIF価格:20年1~7月平均(出典:貿易統計) 関税:16.9%(20年度)
- ③糖蜜:原料費:糖蜜2,000円/トン(農林水産省試算)=エタノール原料7円/l
(2,200トンの糖蜜から700klのエタノールを製造)
- ④規格外小麦(財)十勝振興機構試算:小麦22円/kg=エタノール原料52円/l
(2.7万トンの小麦から11,600klのエタノールを製造)
- ⑤小麦(食用)農業経営統計調査報告(平成18年産小麦生産費田畑計・北海道):135円/kg =エタノール原料314円/l
- ⑥コメ全農試算:コメ20円/kgで計算=エタノール原料45円/l(8万トンのコメから36,000klのエタノールを製造)
- ⑦コメ(食用)農業経営統計調査報告(平成18年産米生産費・北海道):198円/kg =エタノール原料440円/l(注

1)各製造コストには施設の設置コスト及びランニングコストを含む。(注2)小売価格は、これに流通経費、消費税がかかる(ガソリンでは、合計約20円程度)。

出典:農林水産省(2008)

第二節 日本及び諸外国におけるバイオ燃料の現状

1.2.1 バイオ燃料の概要

バイオ燃料は、ガソリン代替で利用されるバイオエタノールと軽油代替で利用されるバイオディーゼル燃料等がある。バイオエタノールの製造過程を図 1-2-1-1 に示す。¹⁹

「バイオエタノールについて」

バイオエタノールは、さとうきび等の糖質原料、とうもろこし等のでん粉質原料、稲わらや木材等のセルロース系原料から製造することが可能であり、糖化、発酵等の過程を経て製造される(図 1-2-1-1)。世界でバイオエタノールの原料は異なっており、国によって特色がある(表 1-2-1-1)。世界で輸送用燃料の利用方法としては、ガソリンとバイオエタノールを直接混合する方式と、バイオエタノールから添加剤(ETBE)を製造しこれをガソリンに添加する方式の2通りが存在する。エタノールの発熱量は、ガソリンの 60%程度のため、燃費が 3~4 割低下する。

「バイオディーゼル燃料について」

バイオディーゼル燃料については、菜種油、廃食用油等の油脂を原料に、メチルエステル化等の化学処理により、主に脂肪酸メチルエステルなどの軽油に近い物性に変換したものが利用されている。脂肪酸メチルエステルについては、軽油に比べて、ゴム・樹脂を膨張・劣化させる、熱の影響により酸やスラッジ(固まり)を発生し品質が劣化しやすい、原料によっては寒冷地で固まってしまうなどの特性があることに留意する必要がある。

¹⁹加藤信夫(2009)

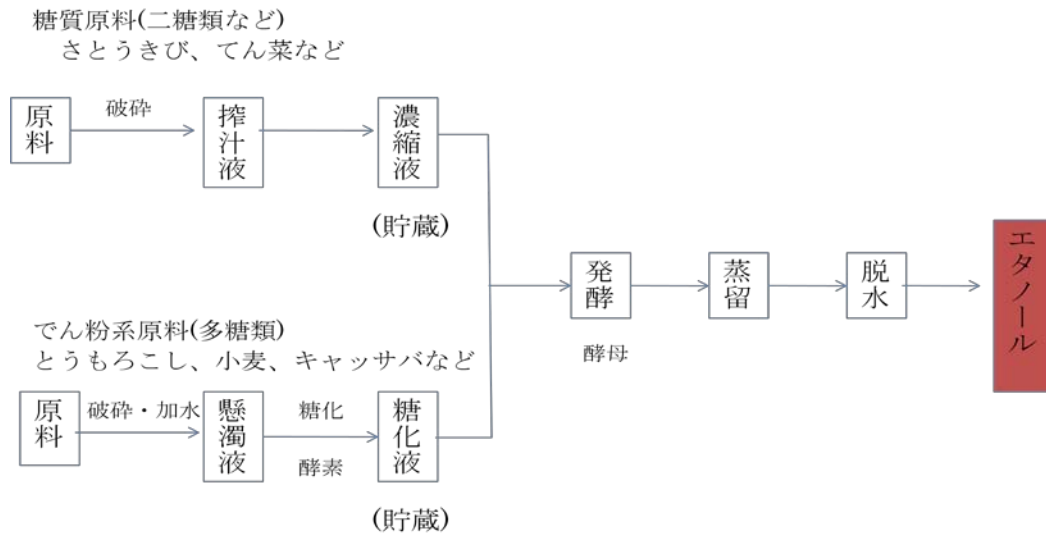


図 1-2-1-1 バイオエタノールの生産工程

出典:加藤信夫(2009)

表 1-2-1-1 バイオエタノールの原料内訳

(単位:千トン)

	穀物	さとうきび	糖蜜	てん菜	キャッサバ	ワインアルコール
アメリカ	62,582					
ブラジル		259,854	9,750			
その他	14	3,785	865			
アメリカ計	64,607	253,639	10,615	0	0	0
EU-27	3,555		813	398		149
中国	4,016					
インド			1,640			
タイ			1,046		245	
アジアその他	4,120	0	2,990	0	245	0
世界計	72,282	263,639	14,418	398	245	149

出典:加藤信夫(2009)

1.2.2 日本におけるバイオ燃料の現状

政府の目標は2010年に50万klであり、試算というかたちで農林水産省が可能性を示しているのが2030年に600万klである。しかし、2007年の時点の生産量は30万klに過ぎない。そこで、農林水産省が、国産バイオ燃料の本格的な導入に向けて、原料調達からバイオ燃料の製造・販売まで一貫した大規模実証を行う「バイオ燃料地域利用モデル実証事業」を創設し、3カ所を採択した(2009年)。従って、相対的に安いコストで相当量の原料を確保出来ることが条件となる。その条件を満たしたのが、苫小牧、十勝、新潟である(表1-2-2-1)。

一方、石油業界は、バイオエタノールをETBEに加工したうえでの流通を進めている。国内にETBE設備を整備し、国内産エタノール等の使用を予定している。2007年よりETBEを原料とするバイオガソリンは販売されているが、²⁰新日本石油・根岸製油所では、2009年に年産10万klの「ETBE製造装置」を竣工し、バイオエタノールを原料とするバイオETBEの製造が国内で初めて可能となった。原料のバイオエタノールは、北海道で製造された国産品を調達しており、同製油所では国産を中心としたバイオエタノールを原料とするバイオガソリンを製造している。

表 1-2-2-1 日本のバイオエタノール実証事業

地域	事業実施主体	地域協議会 (主な構成員)	原料
北海道清水町	北海道の農業協同組合連合会	北海道農業バイオエタノール燃料推進協議会	てん菜
	が中心となり、新会社を設立		小麦
北海道苫小牧市	オエノンホールディングス	北海道バイオ燃料地域協議会	米
新潟県	全国農業協同組合 (JA 全農)	イネ原料バイオエタノール地域協議会	米

出典:農林水産省(2008)

²⁰ 新日本石油社報(2009)

1.2.3 諸外国におけるバイオ燃料の現状

2008年における世界のエタノール生産量は約5100万klであり、米国がブラジルを抜いて世界最大のエタノール生産国となった。生産されたバイオエタノールの大半は、ガソリンとの直接混合で利用されており、アメリカの一部の州やブラジルでは、混合割合の義務化もなされている。国によってバイオ燃料の取り組みに特色があり、以下に海外におけるバイオ燃料の取り組みについて述べる(表 1-2-3-1)。

(1)ブラジル

ブラジルは、世界最大の生産量を誇るさとうきびから砂糖(世界最大の生産・輸出国)とバイオエタノール(世界最大の輸出国)を生産している国である。ガソリンへの混合割合は20～25容量%で政府により調整されている。現在「ガソリン」と言えばエタノール25%混合された燃料(E25)である。

ブラジル政府はこれまで、さとうきび、砂糖およびエタノールの生産からエタノールの消費に至るすべての関係者が利益を享受する総合的なバイオエタノール生産振興を展開し、自動車業界を含む一連の関係者の協力を得ながら、「さとうきび産業」の振興に取り組んできた。²¹バイオエタノールの生産基盤の確立に導いた国家政策は、1975年に開始された国家アルコール計画であり、これによりバイオエタノールのみならず、間接的に砂糖産業も大きく発展した。

ブラジルでは、バイオエタノールの発展に伴い雇用が創出された。さとうきび産業に関わる雇用者は、直接雇用者で約100万人であり、間接雇用者も含めれば、全体で約300万人にも及ぶと言われている。

バイオエタノールの原料となるサトウキビは、主に南部のサンパウロ州と北東部諸州で生産されており、ミルと呼ばれる工場で砂糖とバイオエタノールが併産される。生産されたバイオエタノールは石油会社の油槽所でガソリンに混合されて市販される。

ブラジルでは2003年からバイオエタノール入りガソリンと純度95容量%程度の含水エタノールの両方が使えるフレキシブル車が販売されており、2006年には新車販売の約8割がフレキシブル

²¹加藤信夫(2009)

車になっている。消費者は給油所でその両方の燃料が購入できる状況となっている。²²また、国家石油庁(ANP)によれば、2008年のバイオエタノールの販売量は初めてガソリンを上回り、ブラジルバイオエタノールはガソリンの代替燃料として普及させることに成功したと言えるだろう。

また、ブラジルは大豆の世界的な大生産地であることからバイオディーゼルについても使用を促進する政策が取られており、2013年までに軽油に5%混合することが計画されている²³。

(2) 米国

米国のバイオエタノールはほぼ全量が中西部で栽培されるトウモロコシを原料としており、2008年において3,407万KLで、世界一である。

米国では含酸素燃料として主にMTBE(Methyl Tertiary Butyl Ether)とバイオエタノールが使用されてきたが、MTBEの事実上の使用禁止によってバイオエタノールの使用が増加している。

バイオディーゼル燃料については、主に大豆油が使用され、2006年には84万トンを生産し、世界で2~3位の生産国になっていると考えられる。この生産量は1年前に比べて3.4倍となっており、さらに全米で200程度のBDF(Bio Diesel Fuel)生産工場建設計画があることから、今後も生産量が大幅に増加することが見込まれる。

米国では「2005年エネルギー政策法」が成立し、2012年には75億ガロン(約2,800kl)の自動車燃料としての供給が定められている。2007年1月のブッシュ大統領の一般教書では、この義務量をさらに拡大し、2017年までに350億ガロン(約1.3億kl)とすることに言及している。また、バイオエタノール混合ガソリンの物品税の控除や小規模事業者に対する支援策も講じられている。

2007年にはブッシュ大統領が10年間でガソリンの20%を削減するという政策を発表しており、2009年にはオバマ大統領がグリーンニューディール政策を打ち出していることから、バイオ燃料の消費は今後も増えていくものと思われる。

²²加藤信夫(2009)

²³加藤信夫(2009)

米国では 2007 年に成立したエネルギー自立・安全保障法によって、2009 年に再生可能燃料基準が改訂され(RFS2)、エタノール、バイオディーゼル等の使用義務量が 2022 年までに 360 億ガロン(1 億 3600 万kl)に引き上げられた。また、2010 年には最低 1 億ガロン(38 万kl)のセルロース系エタノールの使用が義務付けられる公算である。²⁴

(3) 欧州

ETBEが、スペイン、フランス等、EUを中心に利用されている。バイオ燃料の利用がみられる諸外国では、その利用を促進するために、政府による導入目標の提示、税制、補助等の支援策がとられている。²⁵EUでは、2003年に「輸送用のバイオマス由来燃料、再生可能燃料の利用促進に係る指令」が発効し、加盟各国にバイオマス由来燃料、再生可能燃料の導入目標の設定が義務づけられているほか、エネルギー作物栽培に対する補助や税制面での優遇が行われている。欧州におけるバイオエタノール原料は、主に小麦やテンサイで、ワインからも製造される。

スウェーデンでバイオエタノールが直接ガソリンに混合して使われているが、フランスやスペイン、ドイツではバイオエタノールをETBEに転換して使用している。ETBEは従来のMTBE製造設備を若干の改造を行って製造することができ、欧州の 56 基のMTBE装置のうち、既に 22 基がETBE用に改造されている。

バイオディーゼル燃料については、ナタネ油やヒマワリ油を原料として製造されている。2007 年におけるEU(欧州連合)全体での生産能力は年間 1,160 万トンであるが、生産されたのは 570 万トンで、100 万トンが米国などから輸入されている。

なお、EUはバイオ燃料の使用を促進するために、2003 年に加盟国に対してバイオ燃料の使用目標を設定するよう求めている(バイオ燃料指令)。参考目標は 2005 年までにエネルギー換算で 2.00%、2010 年までに 5.75%とすることを掲げている。

また、2009 年に気候変動・エネルギー包括政策が採択され、この中で自動車燃料におけるバイ

²⁴野村総合研究所(2007)

²⁵加藤信夫(2009)

オ燃料の割合を 2020 年までに 10%以上とすることとしている。

(4) 中国

中国はブラジル、アメリカに次いで世界第 3 位のエタノール生産国である。²⁶2005 年 2 月、第 10 期全国人民代表大会常務委員会第 14 会議において「中国人民共和国可再生エネルギー法」が決議・交付され、2006 年 1 月から施行された。2020 年までに国内消費のエネルギー 16%をクリーン・エネルギーで作り出そうと取り組んでいる。

(5) インド

インドのエタノール生産において特徴的なことは、ブラジルのようにサトウキビからエタノールを直接製造するのではなく、サトウキビから砂糖を生産する際に得られる糖蜜を原料としていることである。サトウキビやエタノールは政府の農家保護が厚い反面、事業者については最低買い取り価格が政府によって毎年定められている。インドのバイオエタノール生産量は現在第 7 位である。

(6) タイ

タイでは自国資源の活用や石油輸入への依存度低下を目標に、王室プロジェクトとして 1996 年からバイオエタノールをガソリンに混合することが検討されてきた。実際に試験販売が始まったのは 2001 年からで、まず 1 月にタイ石油開発公社(PPT)が、続いて 2 月にバンチャック石油が、いずれもエタノールを 10%混合したガソリンの試験販売を始めた。

2005 年末現在、国内では 300 件のガソリンスタンドにて E10 が販売可能となっている。また、バンチャック石油は 2006 年までに同社が供給するすべてのガソリンを E10 に転換する計画を有している。

タイは、農業協同組合、工業省、エネルギー省などの政府から原料から税制対策までの支援が行われており、石油業界の協力も得やすい環境にあることから、アジア諸国の中ではバイオ燃料の

²⁶加藤信夫(2009)

生産振興が最も円滑に進められている国であると考えている。

表 1-2-3-1 各国の取り組み状況

	ブラジル	米 国	EU	中国	インド	タイ	日 本
導入方法	直接混合	直接混合	ETBE	直接混合	直接混合	直接混合	直接混合、ETBE
原材料	サトウキビ	トウモロコシ	小麦、大麦、 等	トウモロコシ、 小麦	糖蜜	さとうきび、 キャッサバ	サトウキビ、糖み つ、コメ
混合率	20～25%で義務化 *E100も一部で導入	10%(ミネソタ、ハワイ、モンタ、 ミズーリ、ワシントン の5州で義務化) *ミズーリ州、ワシントン 州は2008年より施行 *E85も一部で導入	エタノール分 で上限約3% ～5% *E85も一部導 入	10%	5%	10% *E20、E85も 一部導入	上限3% (揮発油等の品質 の確 保等に関する法 律)
税制優遇 措置	約15円/lの減 免	約16円/lの物品税控除。 E85ガソリン給油施設の 設備費用について30% の所得減税。 CCC指定トウモロコシか らの生産事業者に約4 円/lの補助	・エネルギー 作物栽培に 対する補助 ETBEに対する 減免。 休耕田にお ける資源作物 生産に対して 約630円/10a	生産事業者 に対する消費 税免除措置 ・原料作物に 対する補助 ・間接税の還 付措置	混合ガソ リンに対 する課税 軽減措置	燃料税、地 方税、石油 基金、保全 基金の大幅 な減税	バイオマス由来燃 料に含まれるエタ ノールに相当する 揮発油税を軽減
導入目標 /義務	混合率20%を 基本としてエタ ノールの供給状 況に応じて、20 ～25%の間で 変更可能	2007年 米国エネル ギー法:2022年に360億 ガロンのバイオ燃料の 導入を目標。	EU自動車用 バイオ燃料導 入指令: 輸送用燃料 全体に占める バイオ燃料の 割合を2005 年2%、2010 年に5.75%と する。	5つの省で E10導入済み。 5省でE10導 入計画	E10の全 国普及	エタノールの 利用目標数 量は、2011 年までにE10 の普及。	京都議定書目標 達成計画:2010年 に50万キロリット ル(原油換算)。

出典:農林水産省(2008)

財団法人地球環境戦略研究機関(IGES)(2008)より筆者作成

1.2.4 ブラジル及びその他諸国の供給能力の見込み

先述した以外にも、その他の各国においてバイオエタノール生産に向けた取組が進められているが、米国、欧州などと同様に、国内需要にほとんどの生産力が振り向けられ、輸出余力は存在しない。日本にとって供給源として魅力があるのは、地理的にも近接しているアジア地域であるが、中国は現在輸出国ではあるが、将来国内需要の拡大により、供給力が低下すると考えられる。インドにおいては、急速な立ち上がりから、今後の供給力については検討が必要である。タイでは原料

確保の問題が解決され生産が本格化すれば、輸出国としての成長が期待されている。しかし、供給力においては現状ではほとんど輸出余力が見込めないほか、将来どの程度輸出可能性が出てくるかは不透明である。このため、現時点において、ブラジル以外の各国の輸出余力の大幅な増大は見込めないと考えられる(表 1-2-4-1)。したがって、日本においてバイオエタノールの一定規模の導入を検討する場合には、国産の大幅な拡大が未だ現実のものとなっていない日本にとって、ブラジルの輸出余力の大小が、日本のバイオ燃料の供給安定性及び導入拡大可能性に直結する重要な点となっている。

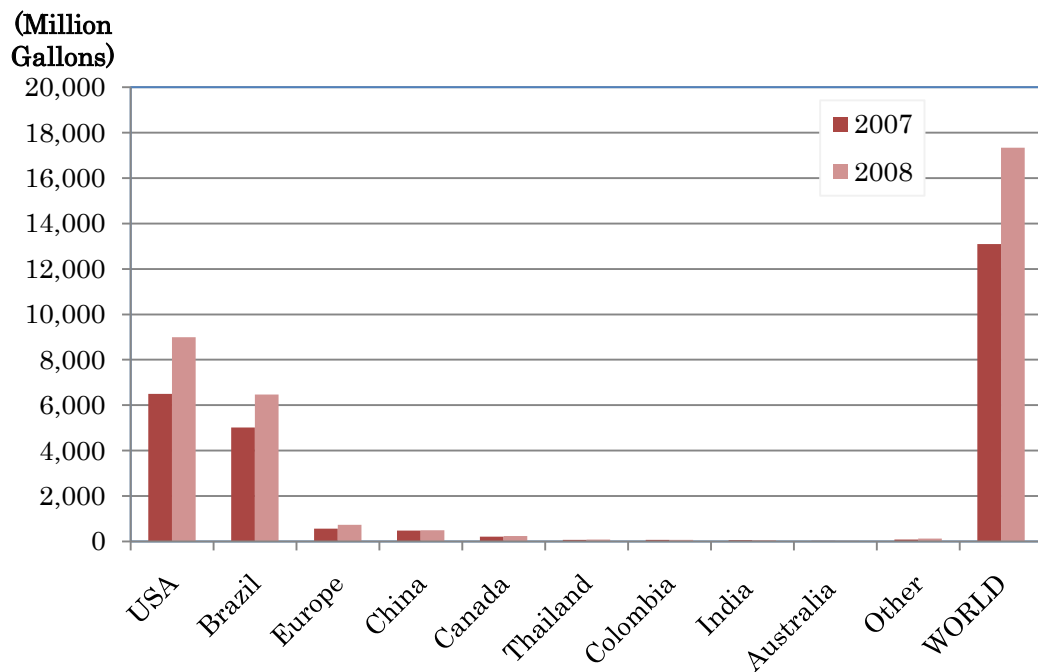


図 1-2-4-1 世界のバイオエタノール生産量

資料:F.O. Licht, cited in Renewable Fuels Association, Ethanol Industry Outlook 2008 and 2009,pp16

表 1-2-4-1 輸出能力があると考えられる諸外国の見通し

	今後の需給見通し	供給余力
ブラジル	将来的にはバイオエタノール需要は頭打ち。今後も供給余力があると見られている。	5～10百万kl/年
アメリカ	MTBE代替として国内需要増大だが自国での生産指向。	—
インド	需要拡大だが、供給過多。将来は若干の供給余力がある。	1～10百万kl/年
中国	国内需要の拡大。現在は輸出国だが、将来的には供給余力がないと見られている。あるいは輸入国となる。	0.5～1百万kl/年
タイ	国策に基づくガソリンへの添加により需要拡大。将来は若干の供給余力がある。	1～2百万kl/年

出典:加藤信夫(2009)

大聖泰弘(2004)

経済産業省(2009)より筆者作成

第三節 運輸部門の燃料多様化

1.3.1 運輸部門の燃料多様化とは

地球温暖化問題に関する大きな情勢変化は、従来の自動車や自動車燃料のあり方に大きな変化をもたらし、いわゆる自動車燃料及び自動車技術の多様化の動きが世界各地で起きた。²⁷自動車燃料に関しては、ガソリンや軽油という石油系燃料への依存を低減する動きが加速し、中でもバイオ燃料の導入が大きく進んだ。ブラジルではガソリンにバイオエタノールを約 20%混合すること

²⁷経済産業省 (2007)

が義務づけられるとともに、純粋バイオエタノールだけでも走行可能なフレックスフューエルビークル (FFV) が広く普及した。

自動車技術については、ガソリン自動車から燃料電池自動車に移行するという単線のシナリオから、ハイブリッド自動車、プラグインハイブリッド自動車、電気自動車、なども活用する複線のシナリオになり、技術の多様化が大きく進んだ。

2007年5月には、経済産業大臣、自動車工業会会長及び石油連盟会長により、「次世代自動車・燃料イニシアティブ」がとりまとめられた。この「イニシアティブ」は、エネルギー安全保障、環境保全、産業競争力強化の「一石三鳥」を狙って、日本のエネルギー源の多様化及びエネルギー効率の向上に向けた諸手段の総動員を呼びかけるものである。石油資源の確保・有効利用に加え、中長期的に運輸部門の石油依存度を低減するとともに、エネルギー効率の向上を図っていくという目標の実現に向け、自動車産業、石油産業、政府の三者が緊密に意思疎通しながら整合的に協力し、バイオ燃料を含め、自動車の電力化に向けた次世代バッテリーの開発、燃料電池・水素の活用といった様々な技術・政策を、日本の「強み」である技術を活かす形で組み合わせ、複合的に展開していくことを目指すものである。

このような環境・エネルギー情勢の大きな変化とそれに伴う自動車燃料や自動車技術の多様化に対応するためには、日本が進むべき目標と手段を官民で共有し、その戦略に基づき官民と地域住民とが一体となって取り組んでいく必要がある。

1.3.2 運輸部門の燃料多様化の意義

運輸部門においては、石油が、エネルギー密度が高く運搬に優れる液体燃料であることから、ほぼ100%を石油に依存している。昨今の原油価格の高騰は、中国やインドを中心としたエネルギー需要の急増、OPECを始めとした世界的な供給余力の低下や精製能力の余力の低下等による構造的な石油需給のタイト化によるものであり、中長期的に逼迫した石油の需給傾向が続く可能性が十分にある。このため、多様化によるリスク分散(エネルギーセキュリティの向上)や、貴重な資源である石油の持続的利用を図るため、特に石油依存度の高い運輸部門において、燃料の多様

化を図ることが重要である。

1.3.3 運輸部門の燃料多様化の手段

運輸部門の燃料多様化を図る手段としては、電気自動車や水素・燃料電池自動車等の自動車技術の多様化と組み合わせた技術開発が中長期的に重要であるが、同時に、特に当面の取組として、バイオエタノール等のバイオ燃料など、内燃機関を活用し、既存の石油系燃料と混合して利用できる新燃料の導入も重要である。

具体的には、2030 年に向けて電気自動車、燃料電池自動車、バイオ燃料や現時点において普及拡大を続けているハイブリッド車について、各々の分野に可能性があり、どれか一つのみを選ぶことができない現状において、各分野に技術開発等のベンチマークを置いて、その実現を目指しつつ、そのベンチマークの到達度合を見て、施策の重点化を図ることが必要である。²⁸

技術段階で大きな課題に面している。電気自動車については、現在の自動車並みの性能・価格にするにはバッテリーの画期的な技術革新により、性能とコストを、2015 年までに 1.5 倍と 1/7、2030 年までに 7 倍と 1/40 にしなければならないとの試算がある。²⁹水素・燃料電池自動車についても、画期的な技術革新により、燃料電池コストを現状の 100 分の1にまで低減させなければならないという大きな課題がある。また、耐久性については既存の自動車同様 10 年以上を担保する燃料電池技術の確立が必要であり、性能や安全性については、500～600km の航続距離が可能となる水素を車載する安全技術の確立が求められている³⁰。

バイオエタノールは、新燃料の選択肢の一つであるが、地球温暖化対策、短期的には京都議定書目標達成計画への対応といった観点から近年急速に注目を集めているものである。現時点ではこれら次世代自動車は 2030 年に向け研究開発途上であり、次世代自動車に比べ、液体燃料であるバイオ燃料は即効性があるという点において、他の手段と比べて利点があると考えられる。また、バイオ燃料は産業分野を超える点において、地方活性等の経済波及効果が期待される。

²⁸経済産業省(2007)

²⁹経済産業省(2006)

³⁰経済産業省(2005 年)

1.3.4 バイオ燃料の地球温暖化対策としての効果

京都議定書目標達成計画では、基準年(主に1990年度)の温室効果ガス総排出量を2010年度に6%削減することを目標にしている。この目標を達成するため、様々な政策手段がとられることとなっているが、その一つとして輸送用燃料部門において50万klのバイオ燃料を導入することが目標とされている。この取組により削減される二酸化炭素は、京都議定書目標達成計画全体の対策により削減される二酸化炭素総量の約1%であり、同計画の重要な一部を占めている。

バイオエタノールをはじめとするバイオ燃料のCO₂削減効果は、京都議定書において“カーボンニュートラル”と認められていることに基づいている。しかし、実際には、原料作物生産・燃料製造・輸送等の際にCO₂を排出することから、地球温暖化対策上は、ライフサイクルでのCO₂削減効果がより重要である。ライフサイクルでのCO₂削減効果は原料によって異なり、例えばとうもろこし起源ではガソリンよりもCO₂が排出されるとの見方もある。また、エネルギー収支についても、原料によっては、得られるエネルギー以上のエネルギーを製造時に消費することとなる。しかし、近年では、農業技術・エタノール製造技術等の進展を背景にエネルギー収支はプラスになるとの研究結果が増加している。また、CO₂削減効果については、二酸化炭素排出の削減効果の面からも高く評価されている。林岳(2009)はこの点に関し「北海道十勝地方の規格外小麦を原料とするバイオエタノール生産を事例に、バイオエタノール生産に伴うGHG削減効果を、LCA分析を用いて定量的に評価した結果、規格外小麦を原料とした場合、ガソリンに比べてGHGを削減出来るとし、GHGは原料作物生産段階と燃料製造段階でほとんど占める」と報告している。³¹

一方、電気自動車、水素・燃料電池自動車は、走行中に二酸化炭素を排出しないほか、水素・電力等のエネルギーは必ずしも化石資源のみに由来するものではないため、日本の石油依存度の低減にも大きく貢献するだけでなく、大幅な二酸化炭素削減効果を有する燃料多様化の有力な手段と期待されている。³²特に、電気自動車は、基幹電源である原子力発電による夜間電力で充電すれば、発電時にも二酸化炭素を排出しないだけでなく、電力の負荷平準化にも貢献でき、計

³¹林岳(2009)

³²経済産業省(2007):「次世代自動車・燃料イニシアティブ」

画どおり実現すれば、バイオ燃料よりも大幅な二酸化炭素削減効果が期待される(図 1-3-4-1)。

また、バイオエタノールを燃料として持続的に活用していくためには、経済性の向上が不可欠である。中長期的には、ガソリンと競争可能なレベルまでエタノール製造コストを低減させていくことが必要であることは言うまでもない。バイオマス・ニッポン総合戦略推進会議の「国産バイオ燃料の生産拡大工程表」との整合性を図りつつ、経済的かつ多量にセルロース系バイオマスからバイオ燃料等を効率的に生産する画期的な技術革新の実現についての具体的な検討を進めるため、推進主体である官民(独法を含む)が協議して、具体的な目標、技術開発、ロードマップを官民連携して策定する必要がある。

バイオエタノールの無秩序かつ急激な利用拡大は、輸入量の増加等により、食糧問題・地球環境問題への悪影響をもたらすことも懸念される。³³また、エタノール自身の供給安定性が無い中で供給途絶が起こった場合、石油製品の供給に支障が出る可能性がある。こうしたことから、既存の糖類・穀物由来のバイオエタノールを、輸入を前提に、大規模な利用を進めることは、エネルギーセキュリティ・地球環境問題の双方から得策ではない。輸入に当たっては、エタノールに係る世界市場の動向(経済性、供給の分散化、市場の将来性)等を慎重に検討することが必要である。³⁴エネルギーセキュリティ上は、当面は輸入による調達が現実的であり、その重要性を否定するものではないが、価格競争力さえ確保されれば、海外輸入よりも国産が望ましいこと考えられる。現時点における日本のバイオエタノールの生産量は僅かであり、バイオマス・ニッポン総合戦略推進会議の「国産バイオ燃料の大幅な生産拡大」などを端緒に、拡大に向けた動きが始まっている。ブラジル、アメリカ、欧州等に比べれば、日本のバイオエタノール生産ポテンシャルは限られているとともに、経済性については圧倒的に遅れをとっている。このため、日本の強みである技術を活かし、バイオエタノールの利用拡大に当たっては、国産バイオエタノールの経済性・供給安定性確保のための技術開発を推進しつつ、状況に応じた段階的な利用拡大を図っていくことが重要である。

³³経済産業省(2008):「次世代燃料・石油政策に関する小委員会中間とりまとめ(バイオ燃料の今後のあり方について)」

³⁴経済産業省(2008)

ハイブリッド車 電気自動車



CO2削減量：▲50%



CO2削減量:▲75%

燃料電池自動車



CO2削減量:▲66%

バイオ燃料



CO2削減量：▲3%

※カーボンニュートラルを前提に、LCAを考慮しない場合

図 1-3-4-1 次世代自動車等の二酸化炭素削減効果試算

出典:経済産業省(2007)

第2章 研究手法

第一節 研究手法

2.1.1 AHP 分析

Analytic Hierarchy Process (AHP)(Saaty 1980)は問題の分析において、主観的判断とシステムアプローチをうまくミックスした問題解決型の意味決定手法である。AHPは、代替案を選定する時に対象となる問題を、目標、評価項目、代替案の関係から、階層構造モデルに変換し、評価項目の重要度、各評価項目から見た代替案の重要度を一対比較で決定し、最終目的から見た代替案を数量的に評価する(図 2-1-1-1)。一対比較は(表 2-1-1-1)を用いて、各レベルの要素間の重み付けを行う。評価に伴う一対比較は、整合性(C.I.=consistency index、一対比較の答えに一貫性があるかどうかを見る指標)が 0.1 以下を満たすように実施した。³⁵

バイオ燃料の評価にあたって、調査対象として、新エネルギーをはじめ、エネルギー情勢の把握と情報発信をしている財団法人および独立行政法人の専門家、また、バイオ燃料地域利用モデル実証事業(バイオエタノール混合ガソリン事業)の事業実施地区に認定された研究員を選定した。AHP を行う場合、回答者が専門的知識を有している必要があり、正確な分析が出来ると考えた。

調査方法は、アンケート調査、及び聞き取り調査である。

なお、本研究におけるバイオ燃料の評価にあたっては、新エネルギー情勢を把握しており、諸般の問題を客観的に分析することが出来る必要があったため、財団法人や独立行政法人からの協力を得たが、その回答については、国の方針とは無関係である。

³⁵木下栄蔵 (1996)

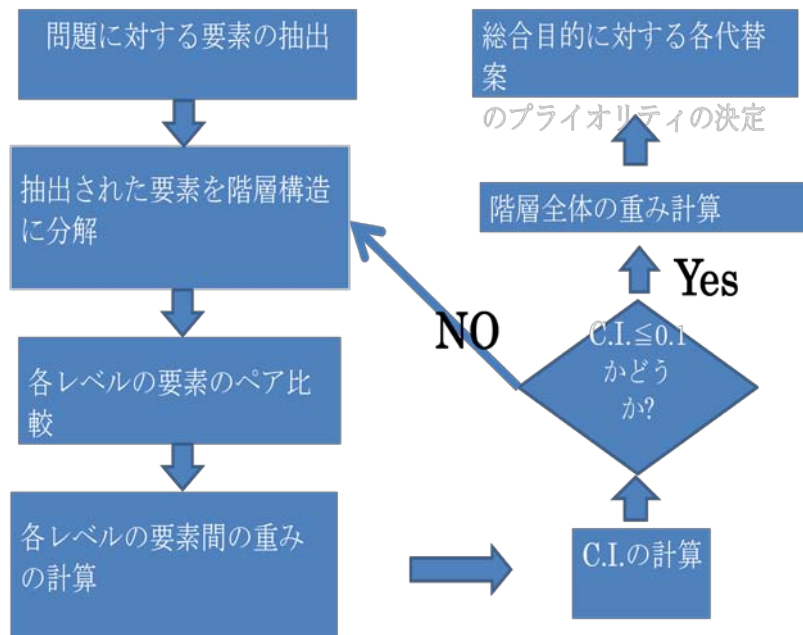


図 2-1-1-1 AHP のフローチャート

資料: 木下栄蔵(1996)

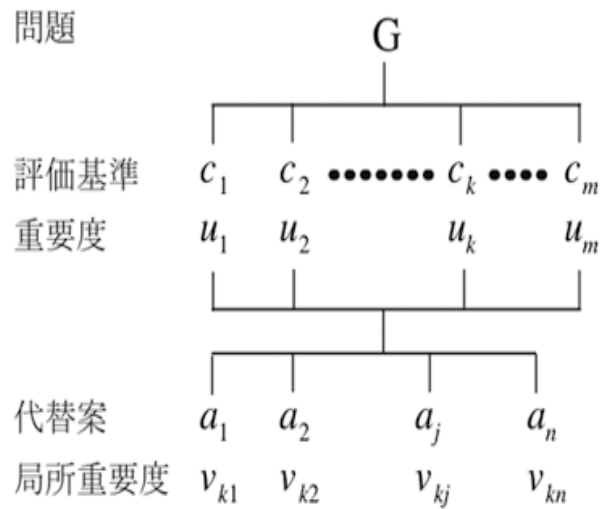
表 2-1-1-1 一対比較の基準尺度

要素 i が要素 j に比べて	a_{ij}
同程度に重要な時	→ 1
やや重要な時	→ 3
かなり重要な時	→ 5
非常に重要な時	→ 7
圧倒的に重要な時	→ 9

2, 4, 6, 8 という中間値も適宜使う.

$a_{ij}=1/a_{ji}$, $a_{ii}=1$ とする

資料: 木下栄蔵 (1996)を参考に作成



$$a_j = \sum_{k=1}^{j=m} u_k v_{kj}$$

a_j ; 代替案jの総合評価

u_i ; 評価基準iの重要度

V_{kj} ; 代替案の(局所)重要度

図 2-1-1-2 AHP の階層構造図および計算方法

第二節 AHP の評価項目の選定

2.2.1 バイオ燃料普及に関する評価項目

2008年3月にバイオ燃料技術革新協議会が発表したバイオ燃料技術革新計画を基に、「次世代自動車・燃料イニシアティブ」及び、「次世代燃料・石油政策に関する小委員会中間とりまとめ」、林岳(2009)を参考に評価項目を選定した。これらの中で取り上げられている項目を一般的に持続的可能な開発における評価指標である「環境面」、「経済面」、「社会面」の3つに基づいて整理した。また、回答者の精神負担を軽減するために、評価項目を出来るだけまとめるようにした。

「環境面」

まず、環境面では「CO₂削減効果」バイオ燃料導入の第一の目的は、地球温暖化対策として二酸化炭素排出量を削減することである。CO₂排出削減効果に関しては、バイオ燃料の生産および利用のライフサイクルで評価したCO₂排出量が、化石燃料のそれを上回ってはいけない。³⁶また、エネルギー生産ではエネルギー収支がプラスであることが重要であるため「エネルギー生産」を評価項目とした。自然環境への負荷の未然防止策を講じることが近年の議論では重要視されているため、「自然との共生」を評価項目とした。

「経済面」

次に、「経済面」では化石燃料とコスト的に競争しうることが導入促進のためには重要であるため、「コスト競争力」を評価項目とした。また、バイオ燃料の利用によってエネルギーの安全保障を期待する場合、安定価格で安定供給できることが不可欠である。そのため、原料の全体量の確保や、季節や年次ごとの変動が大きい日本においては、製品あるいは原料を輸入することも想定され、相手国によっては必ずしも安定供給が保障されない。よって、「安定価格・安定供給」を評価項目とした。バイオ燃料の導入は地域経済に以下の点において影響を与える。第一に、バイオ農産物を原料とすることから、農産物の新たな需要を創出する。第二に、バイオ燃料の導入にはこれまで結び付きの少なかった農業とエネルギー産業間の新たな取引を発生させ、地域産業構造に影響を与える点である。第三に、バイオ燃料がガソリンや軽油などの石油製品を代替することによる地域経済への効果をあげることが出来る。³⁷よって、「経済波及効果」を評価項目に入れた。

「社会面」

持続手可能性なバイオ燃料の製造が実施されるためには、食糧を燃料し、またバイオ燃料原料の生産やエタノール工場の建設に際しては、倫理や宗教上の問題や土壌汚染懸念の懸念より、地

³⁶経済産業省(2008年)

³⁷林岳(2009)

域住民の合意や理解が不可欠である。また、地域社会への積極的な貢献を図り、地域社会との信頼を構築することが望ましい。そのため、「地域社会での受容性」を評価項目にした。また、企業・事業者の自由な創意と工夫による競争がバイオ燃料促進するために必要であるため、「企業・事業者の参加意欲」を評価項目とした。

2.2.2 AHPを用いた次世代自動車燃料におけるバイオ燃料導入可能性

電気自動車、燃料電池、ハイブリッド自動車と比較したバイオ燃料導入可能性を明らかにするため、Ulutas (2005)、野口(2008)を参考に経済的な効率を評価した。AHP分析を用いて費用便益分析を行うために、「便益」「機会」「費用」「リスク」に関する階層構造図を作成した。以下は、評価項目の説明である。³⁸

「便益」

自動車の燃料の多様化の目的は、化石燃料の削減と効果的な温暖化防止を行うことであるため、「CO₂削減効果」をAHPモデルの評価項目とした。また、代替燃料導入は、新たな雇用創出の波及効果を地域にもたすため、「代替燃料産業による雇用の創出」をAHPモデルの評価項目とした。さらに、これらの評価項目を、評価項目である「便益」に組み入れた。

「機会」

次に、実施には住民、企業・事業者の参加意欲が大きな役割を果たす。よって、「住民の参加意欲」、「企業・事業者の参加意欲」を「機会」に組み入れた。

「リスク」

次に、今後代替燃料の技術革新が進むと考えられる一方で、代替燃料の検証に対する議論が盛んにされている。したがって、技術的にも社会的にも十分な確実性を有していないと考えられる。

³⁸野口良造(2008)

さらに、代替燃料の技術的な問題や社会的な要因などから普及までの時間がかかる恐れがある。したがって、「技術の不確実性」「普及までの時間」を評価項目として、「リスク」の評価項目とした。

「費用」

次に、費用は誰が払うのかということが実施の大きな判断基準となるため、「費用」の評価項目を「企業・事業者・財政負担」と「住民負担」とした。

以上を AHP モデルの構造、代替燃料の選択を整理した。

AHPモデルの総合評価の計算は、Ulutas (2005)及び野口(2008)を参考に、評価項目の「便益」、「機会」、「リスク」、「費用」に対して、レベル 2 の評価項目ごとに計算を行い、最終的な評価を、 $\text{総合評価} = (\text{便益} \times \text{機会}) \div (\text{リスク} \times \text{費用})$ として計算した。³⁹

³⁹野口良造(2008)

第3章 AHPを用いたバイオ燃料に対する評価の結果および考察

第一節 AHPを用いたバイオ燃料普及に関する評価項目の結果および考察

3.1.1 階層構造の構築

バイオ燃料の普及に必要な要素を抽出し、階層構造を構築した。以下に AHP 評価を行うに当たって本研究で使用した階層構造図を示す(図 3-1-1-1)。評価レベル 1 および評価レベル 2 においては実証地区の研究員および、財団法人および独立行政法人の専門家の回答の比較検討を行った。代替案の選択においては、専門家の回答を基に、国産バイオ燃料とブラジルから輸入したバイオ燃料について優先順位をつけた。

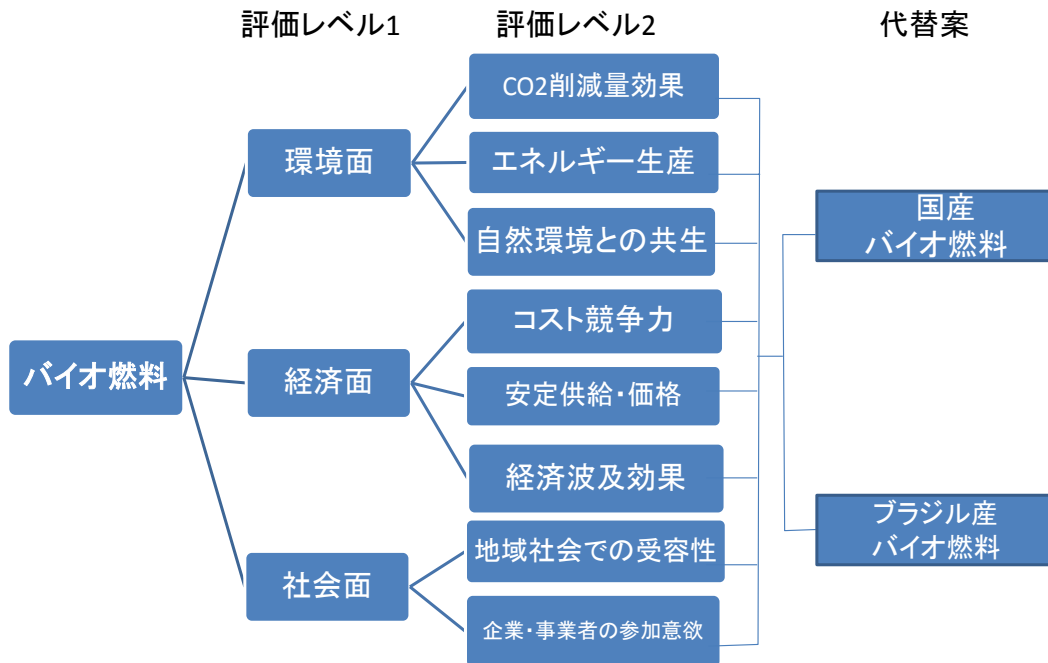


図 3-1-1-1 AHP モデルの構造:バイオ燃料普及に関する評価項目

3.1.2 評価レベル1の結果

評価レベル1の結果を示した(図 3-1-2-1)。専門家と実証地区研究員では、異なる見解を示した。第一に専門家は環境面と社会面(0.4)を上げたが、実証地区研究員では経済面(0.57)を第一とした。

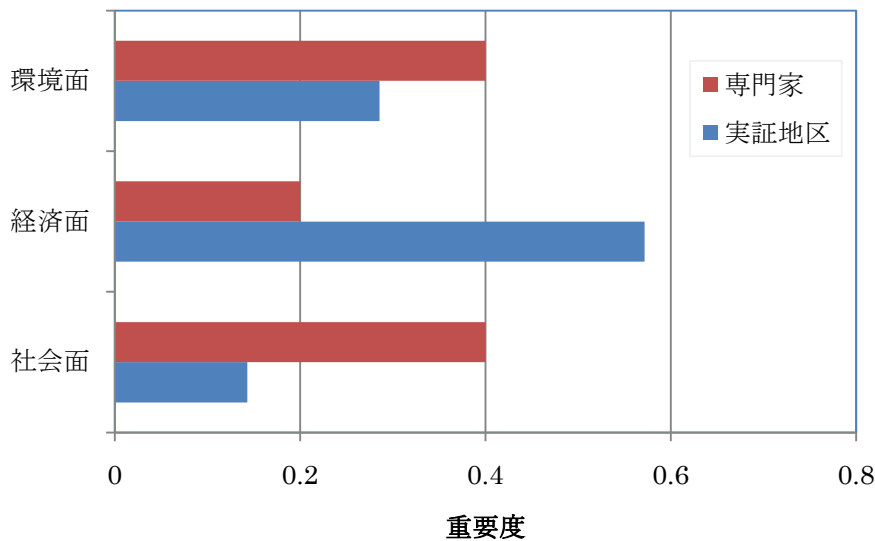


図 3-2-2-1 評価レベル1の結果

3.1.3 評価レベル2の結果

評価レベル2の結果を図 3-1-3-1 に示した。専門家は、「企業・事業者」の参加意欲が最も重要とされ、続いて、「CO₂削減効果」、「自然環境との共生」が高い評価となった。一方で、実証地区研究員は「経済波及効果」が第一に、コスト競争力が第二に高い評価となった。

また、専門家と実証地区研究員の評価を、幾何平均を取って、評価レベル2の結果を出した(図 3-1-3-2)。「経済波及効果」および「企業・事業者の参加意欲」の重要度が高い評価となった。一方で、「地域社会での受容性」、「安定価格・供給」が低い値となった。評価に大きな差が表れたのが、「経済波及効果」、「企業・事業者の参加意欲」であった。

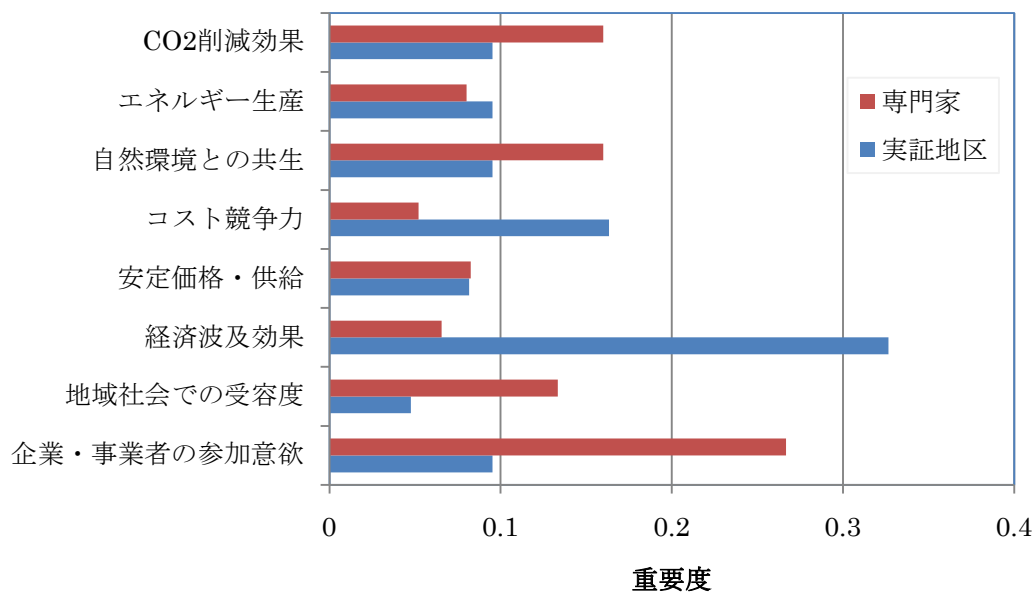


図 3-1-3-1 評価レベル 2 の結果(比較)

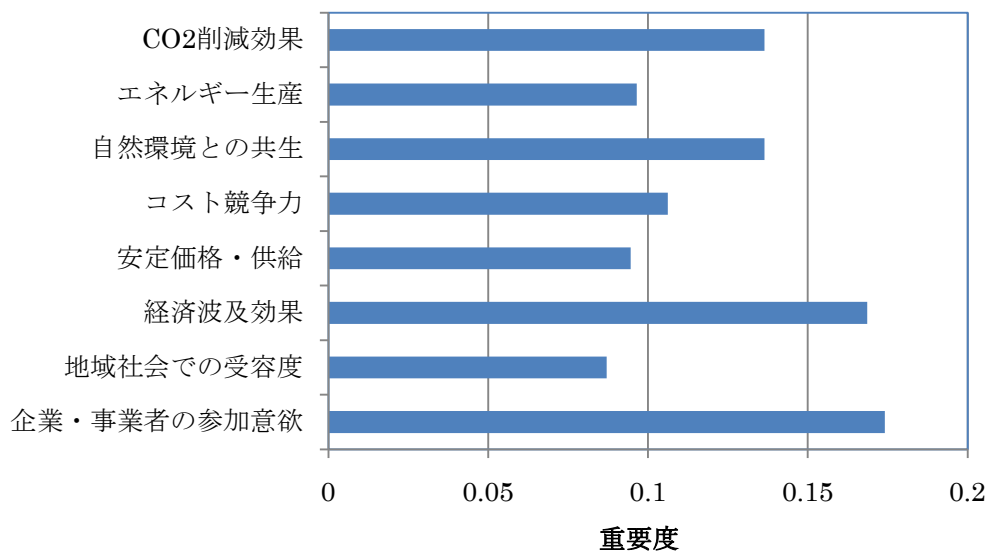


図 3-1-3-2 評価レベル 2 の結果(幾何平均)

3.1.4 総合評価

評価レベル 2 に対する代替案評価項目の結果を図 3-1-4-1 に示した。また、総合評価を図 3-1-4-2 に示した。国産バイオ燃料はエネルギー生産、コスト競争力、安定価格・供給の点において、ブラジル産に大きく劣ることが分かった。しかし、総合評価としては、国産バイオ燃料の評価の方がブラジル産バイオ燃料よりも高い評価を得た。

※ただし、実証地区の研究者は国産バイオ燃料とブラジル産について、選択するといった立場でないため、専門家の結果であることに留意して頂きたい。

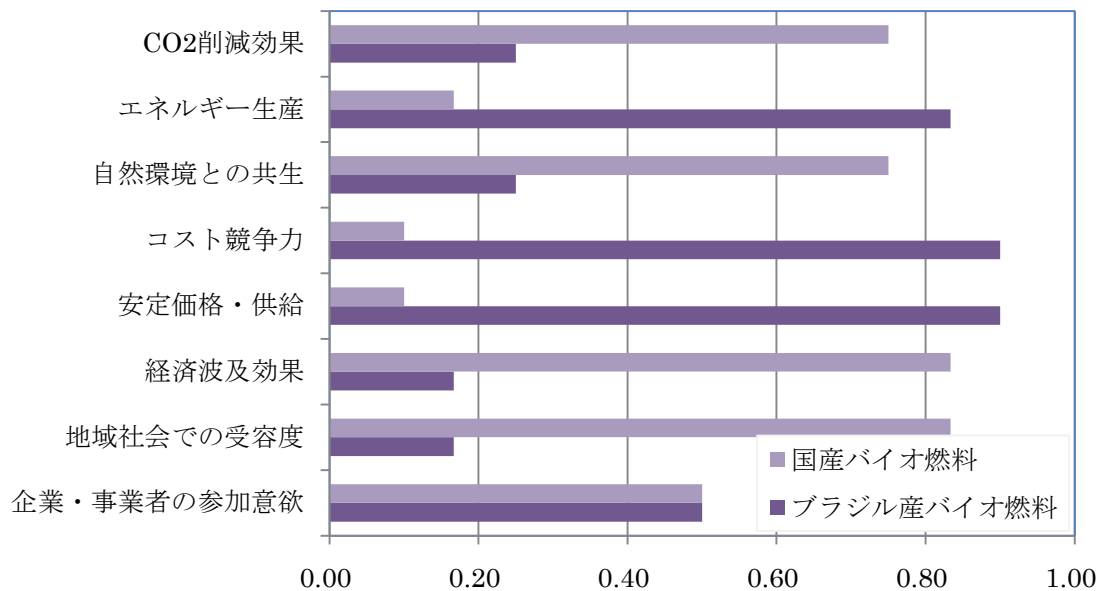


図 3-1-4-1 各評価項目に対する代替案の評価

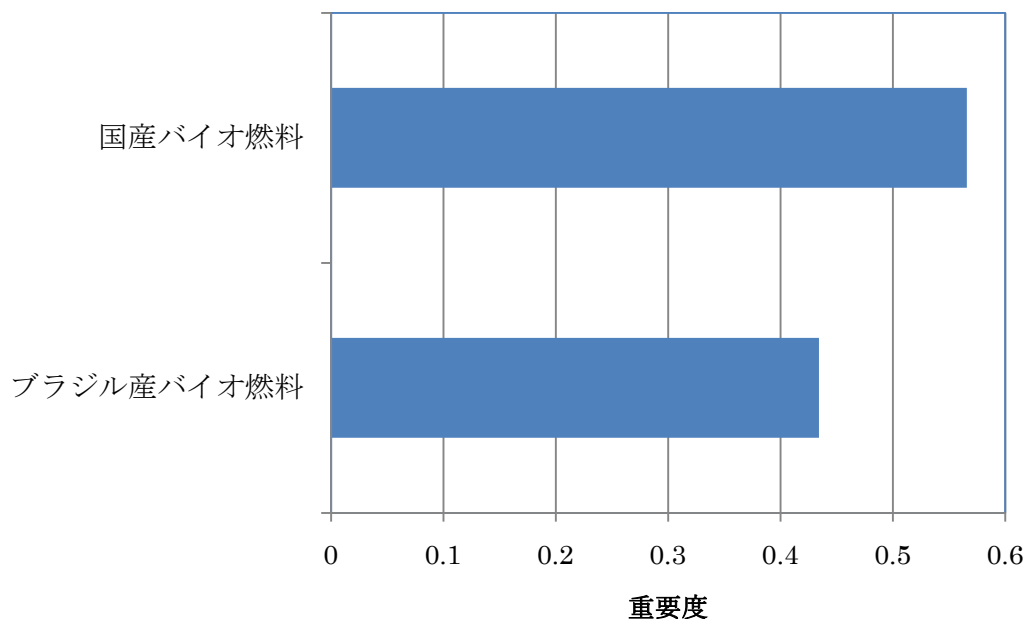


図 3-1-4-2 AHP モデルの総合結果

3.1.5 小括

専門家と研究者との間で経済面に関して、特に経済波及効果に対して大きく重要度に差が出た結果となった。これは、JAの調査により、ある程度の補助金を前提に、原料価格 20 円/kgを了承した農家が存在しており⁴⁰、また、沖縄県宮古島市におけるケースではあるが、2007 年に行われたヒアリング調査によって、さとうきびから砂糖、そして糖蜜を介してバイオエタノールを生産することによって、農業者の所得向上および、地域内の農業振興が達成される⁴¹等、農家や地域のエタノール事業に対する期待は非常に大きく、本研究で対象とした事業推進者は、商業施設として発展させたいと考えているからであろう。事業として成り立つことがわかれば、農家は積極的に栽培をすることとなり、農業を振興する役割が期待される。そのためにも、コストを削減することが必要であると考えられるので、コスト競争力も高い重要度となっていると考えられる。しかし、実現のためには、

⁴⁰ JA 全農(2008 年 1 月)

⁴¹ 林岳(2009 年)

JAが提案した原料価格 20 円/kgは非常に厳しく、政策支援を行う必要がある。

一方、内閣府の報告書にある各国の政策ポートフォリオによると、エネルギーの安全保障を政策の主軸に据える米国、ブラジルでは国産バイオ燃料を主たる供給源としており、経済性が高くなっている。一方で、日本は、温暖化対策のウェイトが比較的重い国であり、バイオ燃料を環境対策の一つとして政策主軸に据えている(図 3-1-5-1)。また、食料との競合問題は食料自給率の低い日本にとっては、倫理的にも食料安全保障等の社会面の評価が高くなり、専門家の意見では経済性よりも CO₂ 削減量や自然との共生等の環境面や、社会面の評価が高い結果となっていると推測される。

総合評価においては、国産バイオ燃料の方が優先されるとの結果になったが、大きな差はない。この理由は、現在のところ、バイオエタノールの供給量の確保やブラジル産のバイオエタノールはガソリンと競合可能との見方が強い⁴²といった、コスト面から海外からの輸入に頼らざるを得ない状況である。また、林岳(2009)によると、ブラジル産のバイオエタノールを輸入した場合、エネルギー収支で5.30と(三菱総合研究所、2003)、十勝地方で生産するバイオエタノールよりも良い結果となっている。⁴³しかし、バイオ燃料の導入には、国内生産によって、経済波及効果などの点においてブラジル産バイオエタノールに比べて優位な点が存在する。また、世界的な地球温暖化対策という観点で見れば、それぞれの国・地域ごとに対策が求められており、貿易に伴う環境負荷を考慮すれば、自然環境との共生において優位な評価を得た国産バイオエタノールによって賄うべきであると考えられる。よって、バイオ燃料の持続可能な発展の観点から、価格に内部化されない環境的社会的効果が数多く存在する中では、バイオ燃料の生産・使用がもたらす幅広い効果を踏まえて、輸入と国内生産が共存できるような政策を進めるような基準・指標とすべきであると考えられる。

⁴² 筆者インタビューより

⁴³ 林岳(2009)

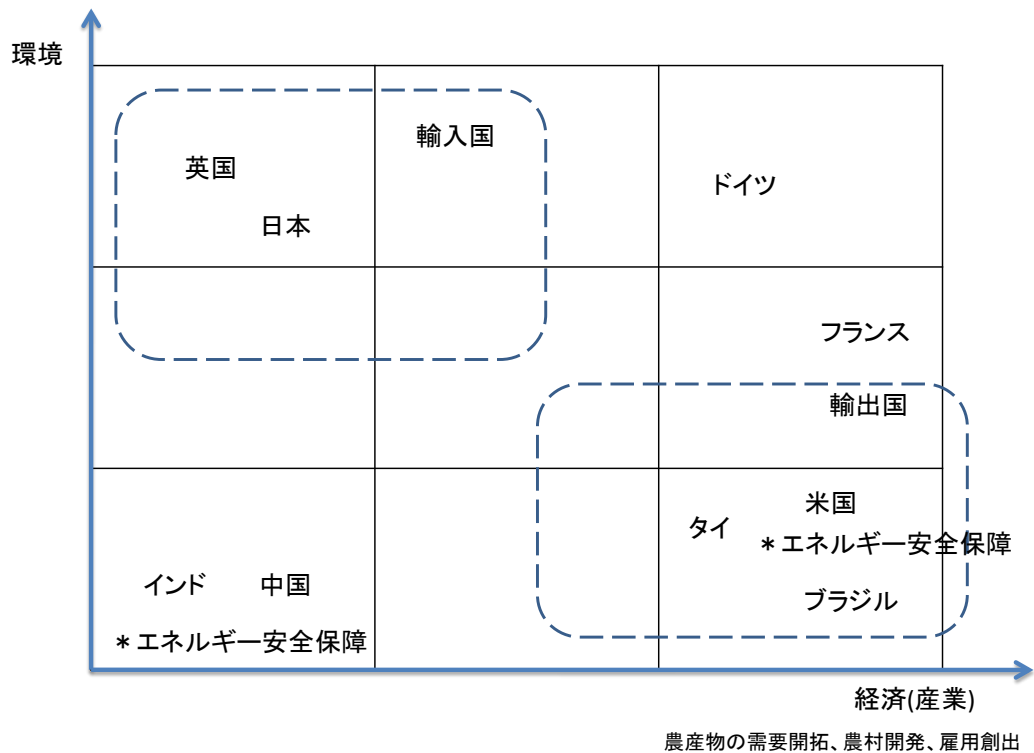


図 3-1-5-1 バイオ燃料に関する各国のポジション

出典:内閣府「環境・エネルギー問題等の解決に貢献するバイオマス資源
の総合利活用技術に係る調査報告書」

第二節 AHP を用いた次世代自動車燃料におけるバイオ燃料の導入可能性

3.2.1 階層構造の構築

バイオ燃料の主な用途は世界的に燃料用として使用され、中でも自動車用に使用されている。そこで、バイオ燃料の導入可能性を見るために、現状の位置づけを他の次世代燃料・自動車と比較して、明らかにする。そこで、分析のために整理した AHP モデルの構造を以下の図 3-2-1-1 に示す。

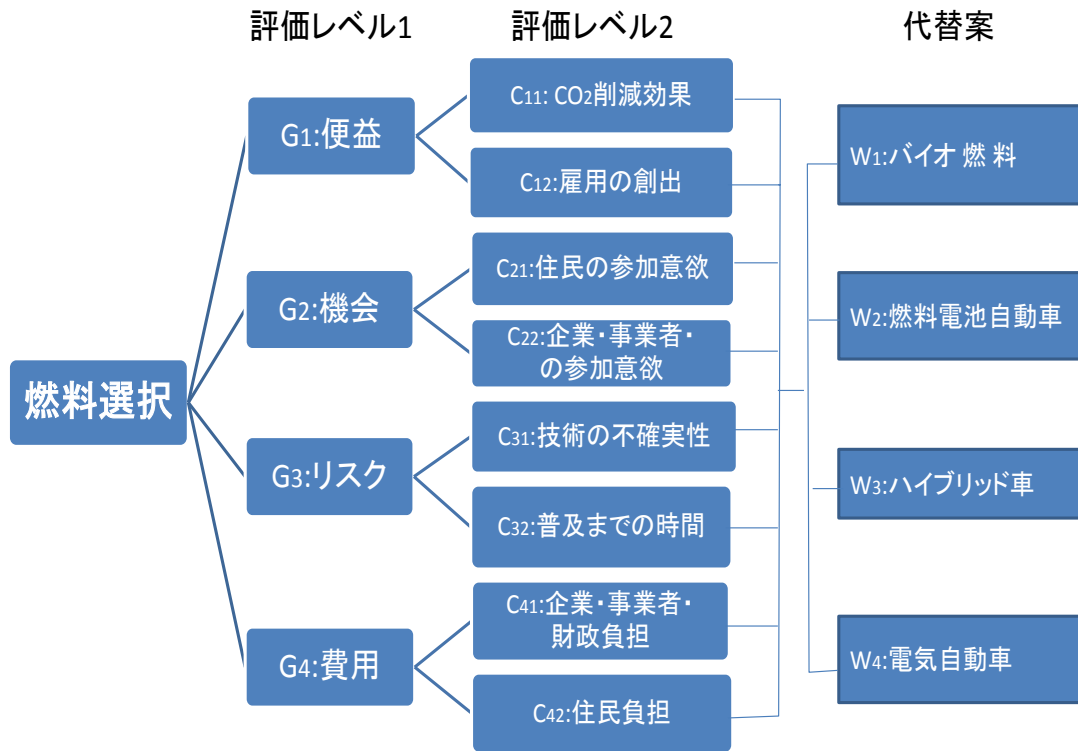


図 3-2-1-1 AHP モデル構造:次世代自動車燃料の選択

野口(2008)11 , Ulutas (2005)12 を参考に筆者作成。

3.2.2 各評価項目の結果

得られた結果を、超行列 S (Saaty 1980)、(Saaty 1996)で整理すると、
便益の評価は、

$$S_1 = \begin{matrix} & G_1 & C_{11} & C_{12} & w_1 & w_2 & w_3 & w_4 \\ \begin{matrix} G_1 \\ C_{11} \\ C_{12} \\ w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ w_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.041 & 0.089 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.381 & 0.039 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.196 & 0.606 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.381 & 0.266 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

G₁ : 便益

C₁₁: CO₂ 削減効果

C₁₂: 雇用の創出

となり、基準化された超行列 S の主固有ベクトルは、

G₁、C₁₁、C₁₂、w₁、w₂、w₃、w₄ の順で、

$$[0 \ 0.5 \ 0.5 \ 0.065 \ 0.210 \ 0.401 \ 0.324]^T$$

となった。バイオ燃料は現在、実証段階にすぎず、「CO₂ 削減効果」および、「雇用の創出」はかなり低い評価を得た。結果、バイオ燃料は、便益の評価が最も低くなった(0.065)。ハイブリッドのみ現状での商用技術であり高い評価が得られ、電気自動車がそれに次ぐと期待されている。バイオ燃料の拡大には別途社会面での検討が必要とされてくると考えられる。

次に、機会の評価は、

$$S_2 = \begin{matrix} & G_2 & C_{21} & C_{22} & w_1 & w_2 & w_3 & w_4 \\ \begin{matrix} G_2 \\ C_{21} \\ C_{22} \\ w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ w_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.557 & 0.250 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.086 & 0.250 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.179 & 0.250 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.179 & 0.250 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

G_2 : 機会

C_{21} : 住民の参加意欲

C_{22} : 企業・事業者の参加意欲

となり、基準化された超行列 S の主固有ベクトルは、

G_2 、 C_{21} 、 C_{22} 、 w_1 、 w_2 、 w_3 、 w_4 の順で、

$$[0 \ 0.5 \ 0.5 \ 0.403 \ 0.168 \ 0.214 \ 0.214]^r$$

となった。バイオ燃料の代替案が、住民の参加意欲が高い評価を得た。現在販売されているバイオガソリンは同額で販売されていることから評価が高いと考えら荒れる。ハイブリッド車は既に販売数量が増加しており、また電気自動車も期待が大きく、バイオ燃料に続く高い評価となった。企業の参加意欲に関しては、メーカーの大小を問わず、いずれも積極的な研究開発が行われているようである。

バイオ燃料は機会の面で 0.403 と、他の代替案よりも高い評価が得られている。

つぎに、リスク評価は

$$S_3 = \begin{matrix} & G_3 & C_{31} & C_{32} & w_1 & w_2 & w_3 & w_4 \\ \begin{matrix} G_3 \\ C_{31} \\ C_{32} \\ w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ w_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.321 & 0.236 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.321 & 0.539 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.036 & 0.045 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.321 & 0.180 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

G_3 : リスク

G_{31} : 技術の不確実性

G_{32} : 普及までの時間

となり、基準化された超行列 S の主固有ベクトルは、

G_3 、 C_{31} 、 C_{32} 、 w_1 、 w_2 、 w_3 、 w_4 の順で、

$$[0 \quad 0.5 \quad 0.5 \quad 0.279 \quad 0.430 \quad 0.041 \quad 0.250]^T$$

となった。技術の不確実性に関しては、ハイブリッドは既に既存技術の段階であるが、その他はいずれもコストの面において低減の必要があり、高い値となった。

普及までの時間に関しては、ハイブリッドは現在普及途上であり、続いて電気自動車、バイオ燃料となり、燃料電池は時間がかかる見込みである。バイオ燃料や電気自動車においては海外では導入目標があり、今後伸びてくると考えられる。

リスクにおいては、ハイブリッド自動車がその他の代替案よりも低く、燃料電池自動車はリスクの高い評価となった。

つぎに、費用の評価は

$$S_4 = \begin{matrix} & G_4 & C_{41} & C_{42} & w_1 & w_2 & w_3 & w_4 \\ \begin{matrix} G_4 \\ C_{41} \\ C_{42} \\ w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ w_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.250 & 0.321 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.250 & 0.321 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.250 & 0.036 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.250 & 0.321 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

G₄₁: 費用

G₄₁: 財政・企業・事業者負担

G₄₂: 利用者負担

となり、基準化された超行列 S の主固有ベクトルは、

G₃、C₃₁、C₃₂、w₁、w₂、w₃、w₄ の順で、

$$[0 \ 0.5 \ 0.5 \ 0.279 \ 0.430 \ 0.041 \ 0.250]^r$$

となった。財政・企業・事業者負担に関しては、同等の負担としているが、利用者負担に関しては、一部の住民を除き、性能に見合った負担の少ないものは普及が困難であることから、ハイブリッドを除き、同等の評価となった。最も評価が低いのは、燃料電池自動車となった(0.430)。

3.2.3 総合評価

各評価項目に対する、代替案の評価をまとめたものを図 3-2-3-1 にしめす。バイオ燃料は他の代替案と比較して、機会において高い評価を得た。一方で、バイオ燃料が実証段階であることから、リスクおよび費用では低い評価となった。

評価項目(レベル 2)に相当する便益、機会、費用、リスク、それぞれの重みを同じ値にして総合評価を行った結果、優先順位が高い順に、ハイブリッド車が 0.903、電気自動車が 0.059、バイオ燃料が 0.020、燃料電池自動車が 0.018 となった(図 3-2-3-2)。これは、バイオ燃料が現状では一部地域(販売を始めたところ)を除いて普及しておらず、バイオ燃料の生産が計画通りに振興していない現状を反映させたものでないかと考えられる。一方で、機会においては各代替案において最も高い評価を得られたことから、本格的に普及段階に入れば、バイオ燃料が優先される結果になる。そのためにも、コスト低減やインフラの整備が急務である。便益および機会が高い評価を得、またリスクおよび費用も他の代替案よりも優れているハイブリッド車が優先される結果となった。

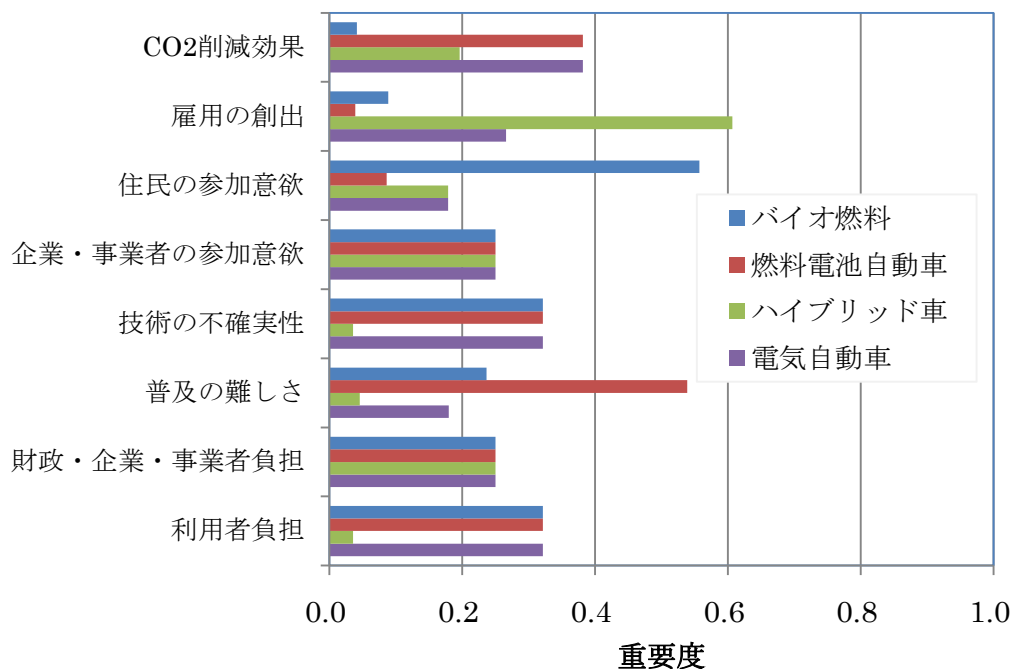


図 3-2-3-1 評価レベル 2 に対する代替案の評価

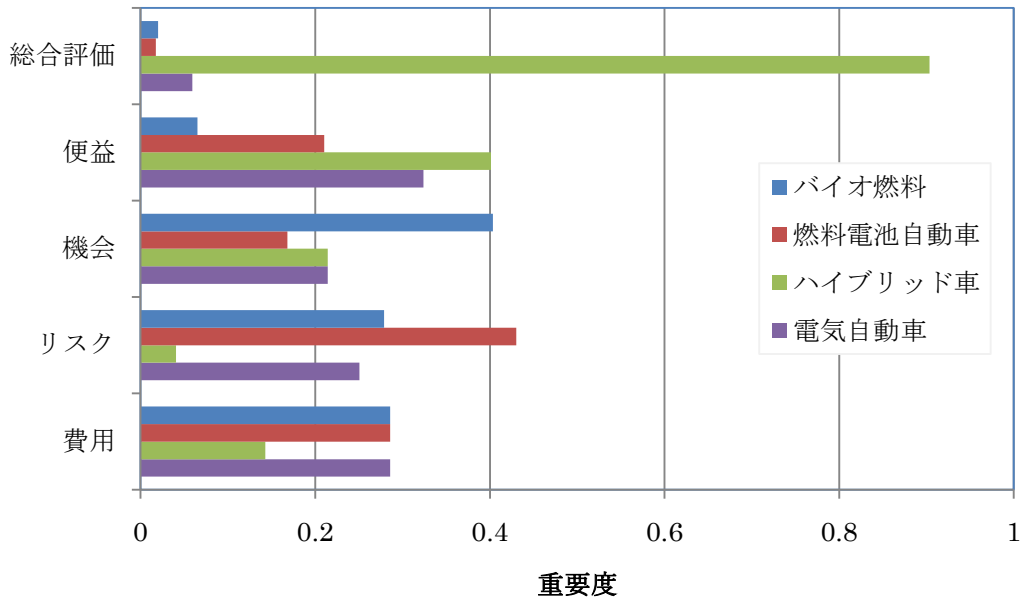


図 3-2-3-2 AHP モデルの総合評価の結果

*総合評価=(便益×機会)÷(リスク×費用)

3.2.4 小括

現状においては、ハイブリッド車が次世代自動車として、既存技術であり、他の代替案よりも評価が高いことは明らかである。CO₂ 削減効果に関して言えば、電気自動車や燃料電池自動車は、化石燃料を使用しない次世代燃料であることが、ハイブリッド車やバイオ燃料とは大きく異なる点である。充電を考慮した場合においてもCO₂ 削減に効果があることを示していることから、中長期的には、電気自動車や燃料電池自動車は有効な二酸化炭素排出削減の手段である⁴⁴が、現時点においては未だ開発途上であり一般に広く普及しているものでもない。他方、バイオ燃料は、現在でも全ての自動車に3%までは混和できるという意味で即効性がある。機会において、住民の参加意欲が他の代替案より高い値であることから、食料を燃料にすることや、食料競合といった社会面をクリアすることが出来れば、さらに可能性は高まると考えられる。また、京都議定書目標達成計画実現に向けた取組みとして、画期的な技術革新の実現によって、将来バイオ燃料技術が日本の運輸部門における二酸化炭素排出削減手段として大きな位置づけを占めるようになった場合に、導入

⁴⁴ 上杉(2008)

に向けた取組みの経験や社会インフラは有意義なものとなることが見込まれる。こうした中長期的観点からも、先行投資として有意義である代替案であると考えられる。

第三節 AHP モデルの感度分析

3.3.1 感度分析におけるシナリオ

バイオ燃料は、次世代自動車が本格的に普及していない現次点において、地球温暖化防止に役立つだけでなく、エネルギー自給率の向上に寄与するなど、エネルギー安全保障の点からもメリットがあると考えられるほか、農業振興など地域活性化に資する代替案である。そこで、バイオ燃料の各評価項目の値を変化させた場合に、総合評価がどのように変化するかを、シナリオを立て、感度分析を用いて行った。ここで用いた感度分析は、狭義の感度分析である。各評価がどの程度、総合評価に影響を与えるかを確認するために、変化させる一つの値を変化させ、他の値をすべてベースケースの値に固定させたときに、アウトプットの値の変化を把握する手法をとった。

シナリオ 1: 総合評価に 2 番目に影響力を与える評価項目であり、バイオ燃料の導入で期待される効果である「CO₂ 削減効果」の重要度を変化させた。

シナリオ 2: バイオ燃料普及に関する評価項目でも高い重要度をしめしており、最も総合評価に影響を与える評価項目である、「雇用の創出」の重要度を変化させた。

シナリオ 3: 「CO₂ 削減効果」「雇用の創出」の両評価項目を同時に変化させた。

3.3.2 シナリオ 1: 「CO₂ 削減効果」

総合評価に 2 番目に影響力を与える評価項目であり、バイオ燃料の導入で期待される効果である「CO₂ 削減効果」の重要度を 0.041 から増加させた。結果、ハイブリッド車の優位性は変わらなかった。一方で、重要度を 0.25 に変化させる過程において、バイオ燃料は電気自動車よりも優位な代替案となった(図 3-3-2-1)。

総合評価

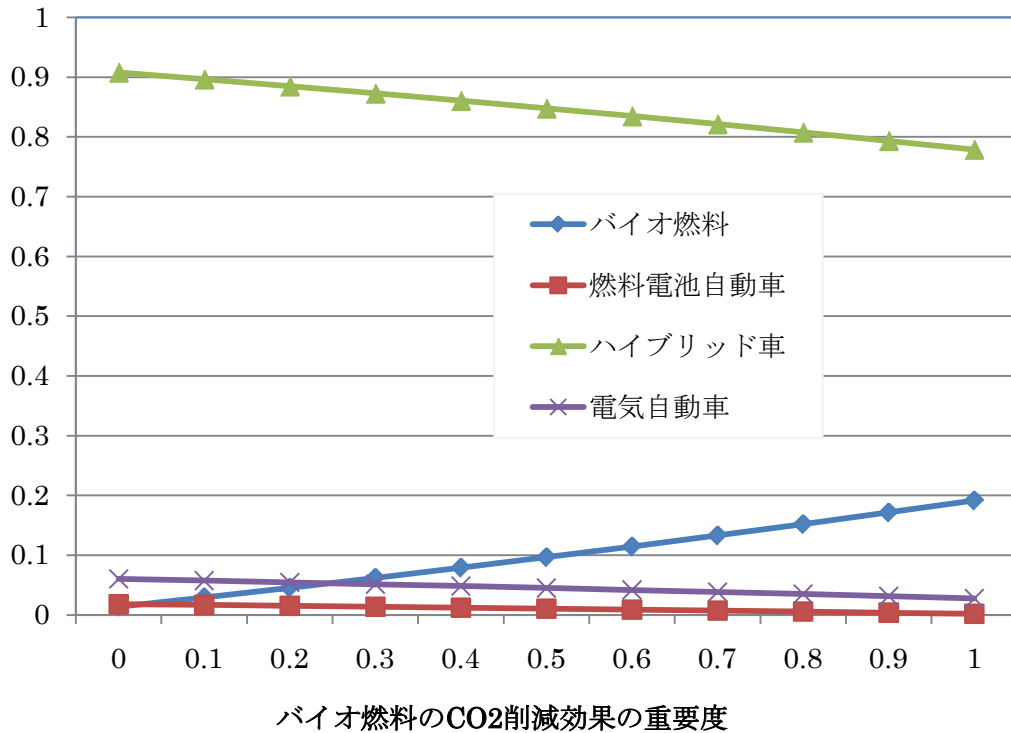


図 3-3-2-1 バイオ燃料の「CO2 削減効果」の重要度の変化と総合評価の変化

3.3.3 シナリオ 2:雇用の創出

前章より、実証地区研究員がバイオ燃料を普及させる上で必要な要素として、「経済波及効果」を第一に評価しており、総合評価にもっとも影響力のある、バイオ燃料産業の経済波及効果によって創出される「雇用」の重要度を 0.089 から増加させた。結果、ハイブリッド車の優位性は変わらなかった。一方で、重要度を 0.4 に変化させる過程において、バイオ燃料は電気自動車よりも優位な代替案となった(3-3-3-1)。

総合評価

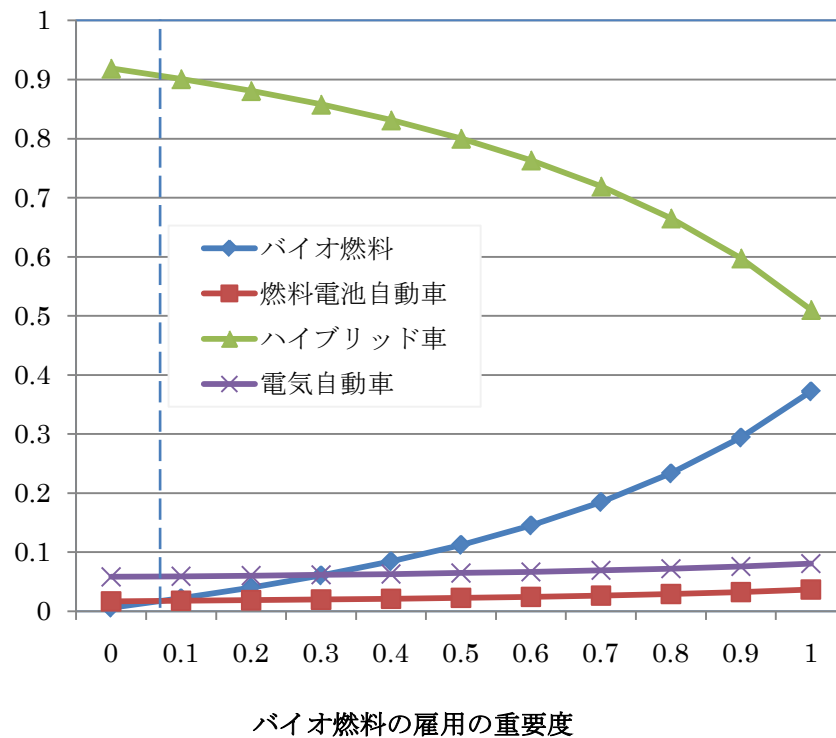


図 3-3-3-1 バイオ燃料の「雇用の創出」の重要度の変化と総合評価の変化

3.3.4 シナリオ 3:CO₂削減効果および雇用の創出

各個別の評価を変化させるだけでは、バイオ燃料は優位性を持つことがなかったため、「CO₂削減効果」「経済波及効果」を同時に変化させるシナリオを作成した。そこで、総合評価に影響力を 1 番および 2 番目に持つ「CO₂削減効果」の重要度を 0.041 から増加させた。さらに、バイオ燃料産業の経済波及効果によって創出される「雇用」の重要度を 0.089 から増加させた。

結果、バイオ燃料の「CO₂削減効果」および「雇用」の重要度が 0.8 になる過程でバイオ燃料が優先される(図 3-3-4-1)。

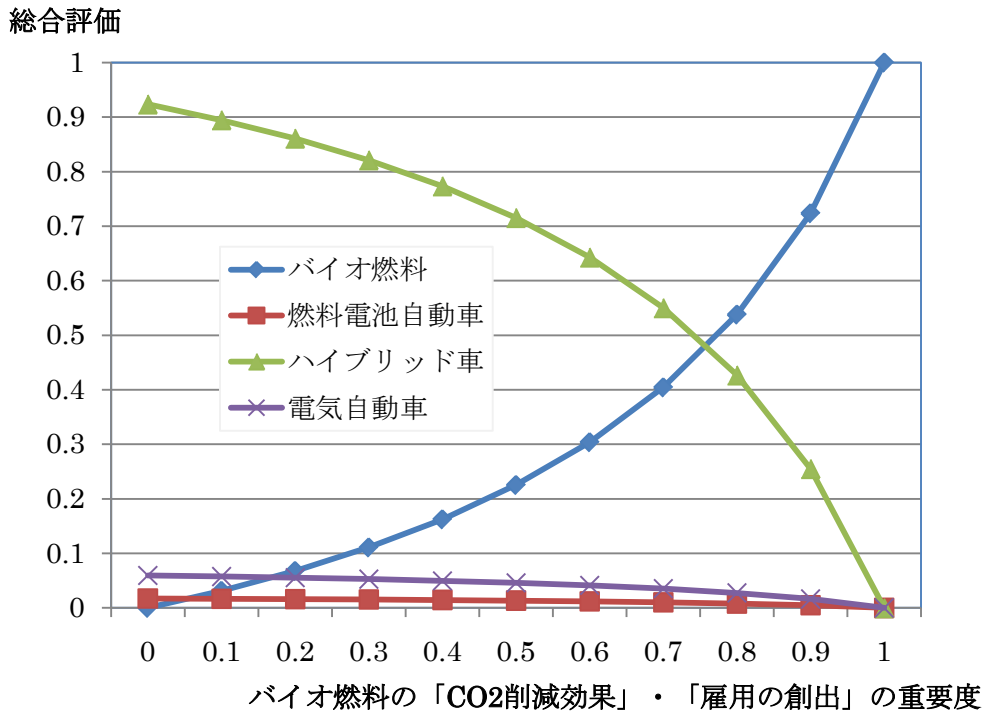


図 3-3-4-1 バイオ燃料の「CO₂削減効果」および「雇用」の重要度の変化と総合評価の変化

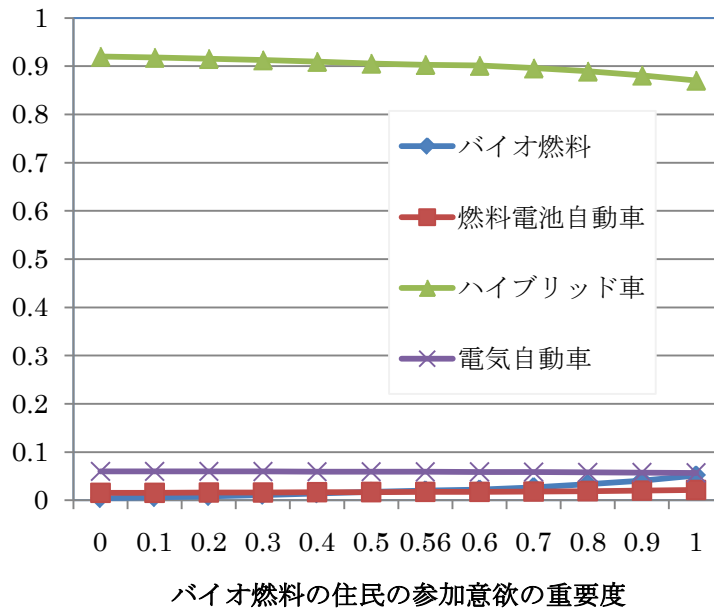
3.3.5 小括

以上の感度分析の結果から、ハイブリッド車は他の代替案に対して非常に強い優位性があると考えられる。先述した 2 評価項目を除く、8 評価項目の重要度を変化させた図を示した(図 3-3-5-1)。シナリオ 1 より、「CO₂削減効果」は評価に大きな影響を与えるものではないが、評価項目では 2 番目に影響を与えるものであった。「CO₂削減効果」は、バイオ燃料の導入の意義の中でも、重要であり、「CO₂削減効果」を推進することは、諸外国の現状を考慮して、現実的に可能であると考えられる。一方で、シナリオ 2 より、「産業による雇用の創出」は評価に大きな影響を与えることが分かる。また、「産業による雇用の創出」はその他の評価項目と比較した場合において、最も影響力がある評価項目であった。「産業による雇用の創出」も、バイオ燃料の導入の意義の中でも、重要である項目である。しかし、個別の評価項目だけでは、ハイブリッド車の優先順位は変わらない

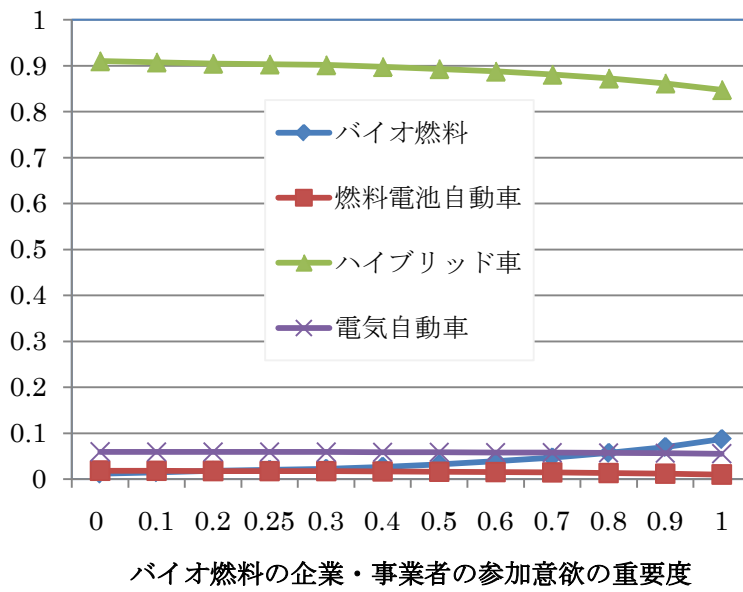
いことが示された。一方で、「CO₂削減効果」、「産業による雇用の創出」の重要度を変化させた場合、バイオ燃料は電気自動車よりも優位な代替案となることがしめされた。また、「雇用の創出」と「CO₂削減効果」を同時に促した場合、重要度をともに0.75に上げることができるような政策を打ち出すことで、バイオ燃料が他の代替案と比較して優位な代替案となる。

本研究で導かれた結果が必ずしも絶対的なものではないが、国産バイオ燃料普及拡大においては、バイオ燃料導入の効果として期待される、経済波及効果から創出される雇用に創出できるシステム確立出来るような政策および、CO₂削減効果を高めることが出来る政策を考えていくべきであることが示唆された。

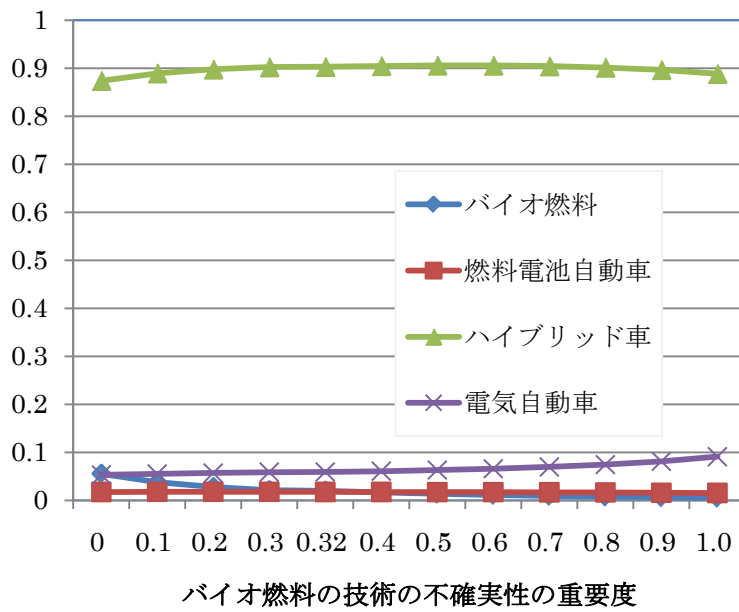
総合評価



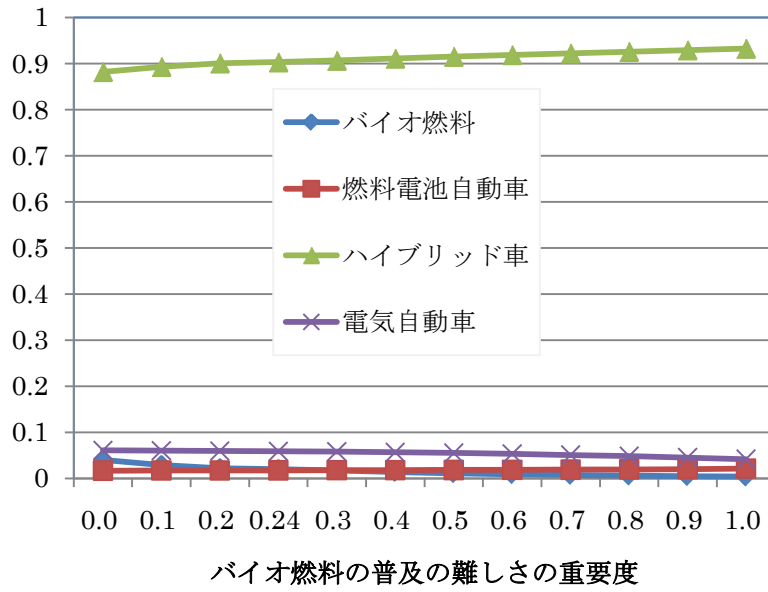
総合評価



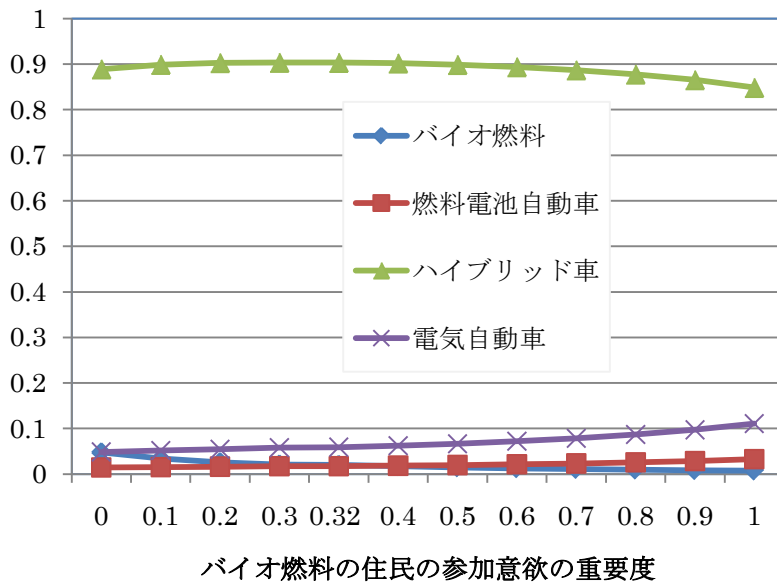
総合評価



総合評価



総合評価



総合評価

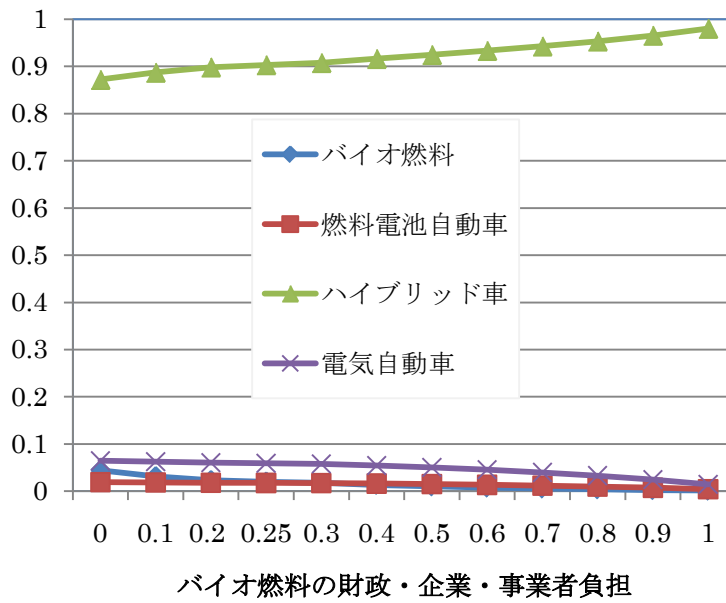


図 3-3-5-1 バイオ燃料の評価項目の重要度の変化

※バイオ燃料の各評価項目の重要度を変化させた図を 6 つ掲載

第4章 おわりに

第一節 現在の支援策について

現在、京都議定書目標達成計画で、温室効果ガスの排出削減対策・施策として、新エネルギーの導入促進が掲げられており、2010年度に原油換算50万klのバイオ由来燃料を導入することが目標とされている。国産バイオ燃料の生産拡大の実現に向けた支援策として、他の諸外国と同様に、税制による優遇が行われている。2009年「バイオエタノール混合ガソリンに係るガソリン税の軽減措置」が施行された。政府はこれにより、ガソリン税のうち、バイオエタノール混合分を非課税扱いすることにより、バイオ由来燃料を混合したガソリンの普及促進を図っている⁴⁵。税制優遇は既存輸送燃料課税の徴税システムを全面的に活用可能であるため、新たに発生する規制実施費用は低い。政府税收減少が引き起こされるといったマイナスの要因もあるが、制度導入が容易で、バイオ燃料の開発初期段階に確実な普及効果をもつと評価できることから、税制優遇は積極的に諸外国採用されてきた⁴⁶。バイオ燃料への税制優遇は、短期的にはバイオエタノール輸入を前提とし、中長期的には国産バイオ燃料を開発するという政策目標にも合致しうると言えるだろう。

また、製造設備の導入に際し、原料の供給が不安定かつ生産・収集・運搬に係るコストが高く、バイオ燃料の製造コストが高いといった問題がある。この問題を解決するため、農林事業者とバイオ燃料製造業者が適切な連携関係を構築した場合に、当該燃料製造設備に係る固定資産税を軽減する特例措置を創設している⁴⁷。施設に係る税の軽減により事業参入を促進し、バイオ燃料を安定的・継続的に生産を可能に出来るとしている。バイオ燃料の普及において、参入障壁を低くすることで、「企業・事業者の参加意欲」を高めることは非常に重要な点である。しかし分析の結果、輸送用のバイオ燃料の普及拡大における「企業・事業者の参加意欲」を高めるだけでは、十分と云えない。国産バイオエタノールの普及には「企業・事業者の参加意欲」だけでなく、「経済波及効果」の要素が重要である。よって、事業者・企業が参入することによって、原料生産地である農山漁村

⁴⁵ 経済産業省(2008)

⁴⁶ 朝野賢司(2007)

⁴⁷ 農林水産省(2008)

にて、農林地・漁場が有効活用され、地域が振興され、雇用が創出されるバイオ燃料の持続可能な開発がなされるならば、中長期的な視点で見れば、効果的な税制の優遇政策であると言えるだろう。しかし、固定資産税の特例措置の優遇は3年間であり、資金援助もイニシャルコストに対する補助が多く、事業が軌道に乗るまでのランニングコストや追加インフラ費用に対しての補助制度についても検討していかなければ、地域が振興され、雇用が創出されることは厳しくなるだろう。

第二節 考察

バイオ燃料は、各国で推進されている一方で、多くの懸念事項と急速な拡大はすべきではないと言った主張が多い。日本においても環境のみならず、CO₂削減効果や食料との競合のみならず自然環境との共生に関する重要性が増している⁴⁸。バイオ燃料のガソリンへの混合を義務化すれば、国内のバイオ燃料の生産は拡大するが、多くの補助金を必要とし、コスト面や価格・供給安定性で諸外国に後れを取っている日本は、その多くを輸入に頼ることになる。

本研究のAHPモデルの結果より、コスト競争力、安定価格・供給、エネルギー生産において劣っているが、国産バイオエタノールがブラジル産バイオエタノールよりも総合評価では高く、また重要度の高かった評価項目は、経済波及効果、企業・事業者の参加意欲、CO₂削減効果や自然との共生といった、バイオ燃料の持続的な生産に関するものであった。バイオ燃料導入の効果として期待される地球温暖化防止といった観点で見ると、近年は各国・地域ごとに対策が求められており貿易に伴う環境負荷を考慮すれば、基本的には国産バイオ燃料で賄うことを目指し、足りない量をブラジル等からの輸入に頼るのが良いと考えられる。また、次世代自動車燃料としてバイオ燃料が代替案として選定されるために最も影響力のある評価項目は産業による雇用の創出であった。二番目に影響力のある評価項目はCO₂削減効果であった。感度分析の結果より、次世代燃料としてバイオ燃料が他の代替案よりも優位性を持つためには、「雇用の創出」「CO₂削減効果」をかなり醸成する必要がある。そこで、『バイオ燃料精製、ブレンド工場を地域で整備し、地産地消を推進することによって、地域での雇用の創出および、農業振興』バイオ燃料は即効性があるため、国レベ

⁴⁸筆者インタビュー(2009)

ルで E3 導入のガイドラインを強く打ち出すことによって、CO2 削減が推進』が考えられる(図 4-2-2-1)。米国がバイオ燃料推進でも行った、地域にて、農家を含めた、バイオ燃料製造工場を建設する際の補助金は必須であると考えられる。さらに、E3 の義務化あるいは、義務化といかなくとも強いガイドラインを打ち出し、将来的には E10、E20 を睨んで取り組む必要がある。

画期的な技術革新の実現によって、将来、バイオ燃料技術が日本の運輸部門における二酸化炭素排出削減手段として大きな位置づけを占めるようになった場合に、導入に向けた取組の経験や社会インフラは有意義なものとなることが見込まれるこうした中長期的観点からも、先行投資として有意義である代替案であると考えられる。

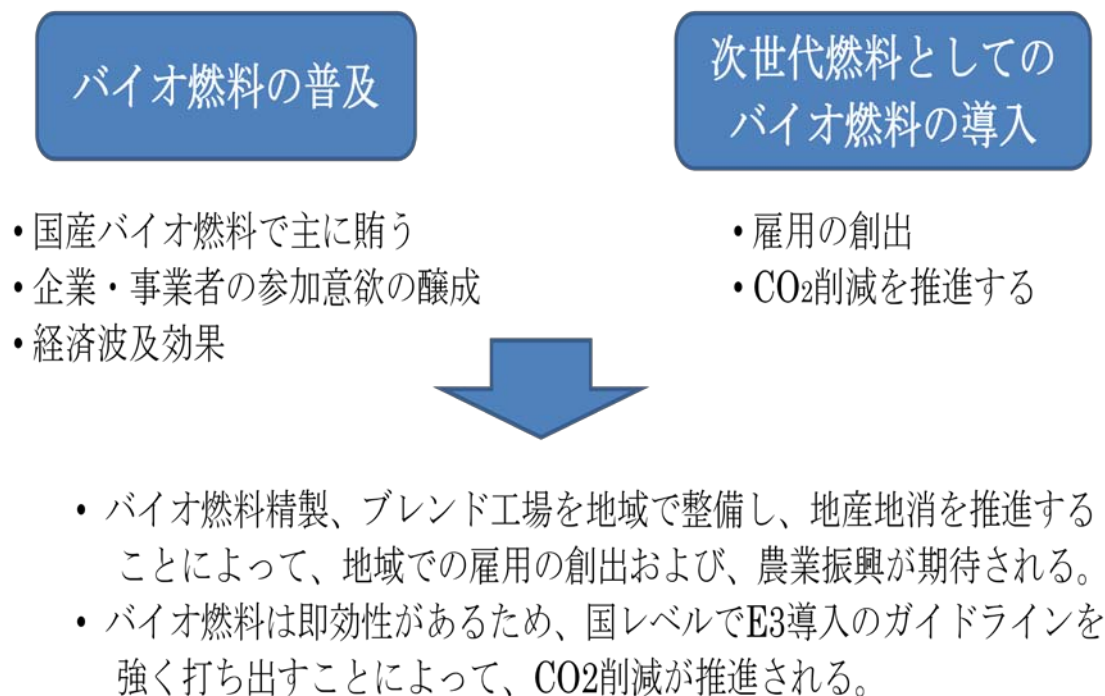


図 4-2-2-1 まとめ

第三節 残された課題

バイオ燃料を推進すべきか、推進すべきではないかといった代替案を第3章第一節の階層構造図のバイオ燃料の普及に必要な要素に組み込み、考察をする。また、本研究では、アンケート対

象を日本エネルギー経済研究所および、NEDO の研究員及び、北海道バイオエタノール地域協議会の研究員に回答して頂いた。更なる研究のために、サンプル数を増やすこと及び、企業(石油業界・自動車業界)や地域住民に対してもアンケートを回答して頂くことで、より詳細な結果が得られることが期待できる。また、バイオ燃料を推進する場合、原料となるバイオマスの生産補助についても別途検討が必要な項目である(補論)。

補論

バイオ燃料地域利用モデル実証事業のシステム確立での最大の課題は農林水産業者、バイオ燃料製造業者の矛盾である。農林水産業者に関しては、原料米の生産を 20 円/kgでは厳しく、また作っても安定的に引き取ってもらうことが前提である。バイオ燃料製造業者は、製造コスト 100 円/lと考えると、原料の引き取り価格は安くないと買うことが出来ない。また、安定して供給してもらわなければならない。この解決には、1 つには、原料米価格を実証段階のキロ 20 円から引き上げることである。2 つめには、すでに実証試験モデル事業に適応されているように、産地づくり交付金などを財源に生産者に一定の補助金を交付することが考えられる。また、胡柏 (2008)によると、『原料米の価格は行政や生産者団体により設定されるのではなく、健全な市場競争を通じて形成されるべきである。それまでの経過措置として、原料米の買い取り価格と標準的生産費との差額を政策支払で全補てんするか、それとも原油価格の変化に照らし合わせて買い取り価格を調整し、政策支払の規模を抑制するかのどちらかを選択しなければならない。政策支払の仕組みを検討する際に、地域別支払い単価の算出方式、転作の増大に伴う支払い対象範囲の拡大への対応、原油価格の乱高下に備えるための経営安定制度の在り方の 3 点が重要であるとした⁴⁹。』矢部(2009)によると、ガソリンに課せられている税金に注目し、国産バイオエタノール生産への支援金額の推計を行った結果、国産バイオエタノールのために、ガソリン関連税から 4.24 円/lだけの財源譲渡が認められ得ることになり、これを財源に生産者に補助金を交付することを提示している⁵⁰。

⁴⁹胡柏(2008)

⁵⁰矢部(2009)

未成熟産業の保護は、エネルギー輸送、食糧のコストや価格を引き上げることになるので、その結果エネルギーの安全保障の改善効果を弱め、低所得者への負担が不均衡に大きくなる。また、持続的な方法よりも低コストの非持続的な生産方法を助長する恐れもあるため、明確なビジョンと試算の裏付けを持って政策を整理し、事業システムの確立を先ずすべきであると考えられる。

語句説明

- E3、E10、 エタノール含有 3%のした混合ガソリンは一般に「E3 燃料」と呼ばれる。
- E20、E85 同様にエタノール 10%含有を E10、エタノール 20%含有を E20、エタノール 85%含有を E85 と呼ぶ。
- ETBE エチル・ターシャリー・ブチル・エーテル
- FFV 2 種類の燃料を使用することが出来る車両のことで、一般的には、様々なレベルのエタノールを混ぜ合わせたガソリンを使用できる車両を言う。Flexible Fuel Vehicle
- MTBE メチル・ターシャリー・ブチル・エタノール。ハイオクタンガソリンの添加材として使用されるエーテルの一種
- GHG 温室効果ガスのこと
- C.I. 階層のあるレベルの要素 A_1, A_2, \dots, A_n のすぐ上のレベルの要素に対する重み w_1, w_2, \dots, w_n を求めたい。このとき、 a_i, a_j に対する重要度を a_{ij} とすれば、要素 A_1, A_2, \dots, A_n のペア比較マトリックスは $A = [a_{ij}]$ となる。もし、 w_1, w_2, \dots, w_n が既知にとき、 $A = [a_{ij}]$ は、次のようになる。

$$A = [a_{ij}] = \begin{bmatrix} w_1/w_1 & \cdots & w_1/w_n \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ w_n/w_1 & \cdots & w_n/w_n \end{bmatrix}$$

ただし、

$$a_{ij} = \frac{w_i}{w_j} \quad a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}} \quad w = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix}$$

($i, j=1, 2, \dots, n$)

この場合、すべての i, j, k について $a_{ij} \times a_{jk} = a_{ik}$ がなりたつ。これは意思決定者の判断が完全に首尾一貫していることである。さて、このペア比較マトリックス A に重み列ベクトル w を掛けると、ベクトル $n \cdot w$ を得る。

$$A \cdot w = n \cdot w$$

となる。この式は固有地問題

$$(A - n \cdot I) \cdot w = 0$$

に変形できる。ここで、 $w \neq 0$ が成り立つためには n が A の固有値にならなければならない。このとき w は A の固有ベクトルとなる。さらに、 A のランクは 1 であるから、固有値 $\lambda_i (i=1, 2, \dots, n)$ は 1 つだけが非零で他は零となる。また、 A の主対角要素の和は n であるから、ただ 1 つ 0 でない λ_i を λ_{\max} とすると、

$$\lambda = 0, \lambda_{\max} = n \quad (\lambda_i = \lambda_{\max})$$

となる。

したがって、 A_1, A_2, \dots, A_n に対する重みベクトル w は A の最大固有値 λ_{\max} に対する正規化した ($\sum w_i = 1$) 固有ベクトルとなる。

実際は複雑な状況下にある問題を解決する時は w が未知であり、 w' を求めなければならない。したがって、 w' は意思決定者の答えから得られたペア比較マトリックスより計算する。このような問題は

$$A' w' = \lambda'_{\max} w' \quad (\lambda'_{\max} \text{ は } A' \text{ の最大固有値})$$

となる。したがって、 w' は A' の最大固有値 λ'_{\max} に対する正規化した固有ベクトルとなる。これにより未知の w' が求まる。

実際に状況が複雑になればなるほど意思決定者の答えが整合しなくなる。このように A' が整合しなくなるにつれて必ず λ'_{\max} は n より大きくなる。これは次に示す Saaty の定理より明らかになる。

$$\lambda'_{\max} = \frac{n + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (w'_j a_{ij} - w'_i)^2}{w'_i w'_j a_{jn}}$$

より、常に $\lambda'_{\max} \geq n$ が成り立ち、等号は首尾一貫性の条件が満たされる時のみ成立する。これから、首尾一貫性の尺度として、

$$C.I. = \frac{\lambda'_{\max} - n}{n - 1}$$

を整合度(コンシステンシー指数、Consistency Index)とする。この値が 0.1 を超えると整合性が欠けることが強いので、判断を再検討するなりやり直す必要があるとされている。⁵¹

LCA ライフサイクルアセスメント。製品やサービスの、製造、輸送、販売、使用、廃棄、再利用に至るまでの各段階での環境負荷

⁵¹木下栄蔵 (1996)

参考文献

書籍

1. 大聖泰弘(2004):『バイオエタノール最前線』、工業調査会
2. 加藤信夫(2009):『バイオ燃料と食・農・環境』、創森社
3. 木下栄蔵 (1996):『マネジメントサイエンス』、講談社
4. 木下栄蔵 (1998):『最適戦略を探る意思決定法 AHP 孫子の兵法数学モデル』、講談社
5. 刀根薫 (1986) 「ゲーム感覚意志決定法」
6. 山家公雄 (2008):『日本型バイオエタノール革命』、日本経済新聞出版社

ホームページ

7. 環境省(2008年3月):「京都議定書目標達成計画」
<http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=9547> (2009年8月3日閲覧)
8. 経済産業省 (2008年1月):「次世代燃料・石油政策に関する小委員会中間とりまとめ(バイオ燃料の今後のあり方について)」
<http://www.meti.go.jp/committee/materials/downloadfiles/g80124a05j.pdf> (2009年1月6日閲覧)
9. 経済産業省 (2007年5月):「次世代自動車・燃料イニシアティブとりまとめ」
<http://www.meti.go.jp/press/20070528001/initiative-torimatome.pdf> (2009年10月20日閲覧)
10. 経済産業省(2005年4月):「京都議定書目標達成計画」
http://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/global_warming/study_policy.html (2008年10月閲覧)
11. 経済産業省(2008年3月):「バイオ燃料技術革新計画」
<http://www.enecho.meti.go.jp/policy/fuel/080404/hontai.pdf> (2009年11月11日閲覧)
12. 経済産業省(2009年4月):「バイオ燃料持続可能性研究会」

<http://www.meti.go.jp/press/20090414004/20090414004.html>(2009年1月17日閲覧)

13. 経済産業省(2005年5月):「ブラジルからのエタノール輸入可能性に関する調査研究」
<http://www.meti.go.jp/committee/materials/downloadfiles/g50524a41j.pdf> (2008年10月3日閲覧)
14. 資源エネルギー庁(2009):「平成20年度エネルギーに関する年次報告」、エネルギー白書
15. 資源エネルギー庁(2007年9月):「バイオ燃料の導入に向けた課題について」
<http://www.meti.go.jp/committee/materialg/downloadfiles/g70927c03j.pdf> (2009年10月13日閲覧)
16. 全国農業協同組合連合会(JA全農)(2007年11月):「国産バイオ燃料推進と国産バイオマス生産拡大について」
<http://www.meti.go.jp/committee/materials/downloadfiles/g71122b07j.pdf> (2008年1月13日閲覧)
17. 財団法人地球環境戦略研究機関(IGES)(2008年6月):「アジアにおけるバイオ燃料の見通しと課題」
http://enviroscope.iges.or.jp/modules/envirolib/upload/1577/attach/07_chapter5.pdf
18. 農林水産省(2007年2月)「国産バイオ燃料の大幅な生産拡大」:
http://www.maff.go.jp/j/press/2007/pdf/20070227press_1b.pdf (2009年9月11日閲覧)
19. 農林水産省(2008年3月):「バイオマス・ニッポン総合戦略」
http://www.maff.go.jp/j/biomass/pdf/h18_senryaku.pdf (2009年10月10日閲覧)
20. 農林水産省(2009年10月):「農林漁業バイオ燃料法」
<http://www.maff.go.jp/j/kanbo/bio/nenryoho/index.html> (2009年12月14日閲覧)
21. 農林水産省(2007年6月):「バイオ燃料地域利用モデル実証事業」
http://www.maff.go.jp/j/press/2007/20070601press_1.html (2009年9月2日閲覧)
22. 農林水産省(2009年11月):「国際バイオ燃料基準検討会議」
http://www.maff.go.jp/j/press/kanbo/kankyo/081105_1.html (2009年12月20日閲覧)

23. 農林水産省(2008年1月):「日本型バイオ燃料生産拡大対策について」
24. 農林水産省(2008年4月):「BIOMASS」
http://www.maff.go.jp/j/kanbo/kankyo/seisaku/s_siryou/pdf/biomass_1.pdf (2009年12月3日閲覧)
25. 野村総合研究所(2007年12月):「バイオ燃料に関する報告」
http://www.paj.gr.jp/paj_info/topics/2008/pdf/20080110-report.pdf (2008年12月15日閲覧)
26. バイオマス・ニッポン総合戦略推進会議(2009年3月):「バイオマス関係予算の概要」(2008年6月15日閲覧)

論文

27. 朝野賢司(2007):ドイツのバイオ燃料政策評価軽油とバイオディーゼルの市場という観点から、
Journal of the Japan Institute of Energy, 86, 682-687
28. Ulutas,B.H.(2005): Determination of the appropriate energy policy for Turkey
Energy, pp1146-1161
29. 遠藤真弘(2006):「国産バイオエタノールの普及に向けて」、国立図書館、553
30. 小杉隆信(2008):「CO₂削減技術としての燃料電池自動車とバイオエタノール燃料の環境影響評価」、*Journal of Society of Energy and Resources*, Vol.30,NO6
31. Saaty,T.L.(1980):*Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill
32. 田中信世(2007):「EUのバイオ燃料政策」、『国際貿易と投資』、70
33. 野口良造 (2008):「AHP による再生可能エネルギーの地域社会導入計画モデル」、『農業情報研究』、17(1)、pp31-41
34. 林岳 (2009):「バイオ燃料導入による諸効果の定量的評価」、『環境プロジェクト研究資料』、第一号、pp1-116
35. 胡柏 (2008) :『転作田をバイオエタノール原料生産に活用するための事業化条件および効

果的な利用推進体制の構築方策に関する研究』

36. 森本慎一郎, 宮本耕一 (2009):「持続可能なバイオマス・バイオ燃料開発における社会影響の現状と動向」、『日本エネルギー学会誌』、Vol. 88 (2009) 、No. 2 、pp.133-139
37. 矢部光保(2009):「国産」バイオエタノールの供給と公的財源の相対価値-ガソリン税による道路整備と環境支援」

付録

アンケートサンプル

「AHP を用いたバイオエタノールに対する評価」

九州大学

生物資源環境科学府 農業資源経済学専攻

農政学研究室 修士2年

児嶋 健吾

この度は私の修士論文の調査にご協力して頂き、有難うございます。

アンケートにご回答いただくにあたり、ご提供いただきました情報については、アンケート等の結果の分析にのみに使用させて頂き、他の目的に使用致しません。

1. 調査目的

私の研究テーマは「AHPを用いたバイオエタノールに対する評価」です。AHP分析は不確定な状況や多様な評価基準における意思決定手法です。評価項目を一对比較によって決定します。この手法を用いて、自動車のエネルギーの代替を達成する可能性を意思決定の面から明らかにすることです。

2. 調査対象

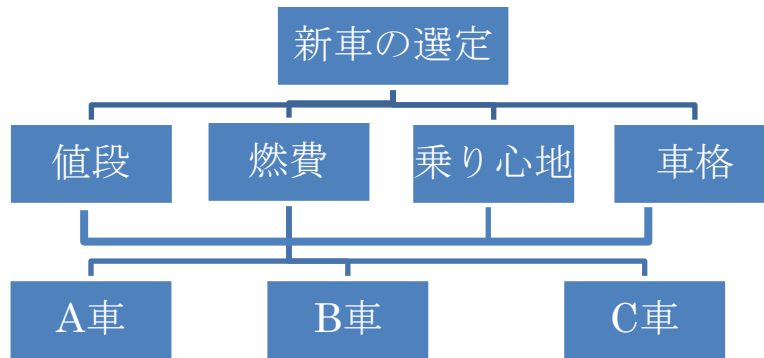
貴研究所では、新エネルギーをはじめ、エネルギー情勢の把握と情報発信をされており、アンケート調査対象とさせて頂きました。アンケートの回答者につきましては、バイオ燃料や自動車の代替燃料に携わっている方を対象とさせて頂きたく考えております。

3. 調査方法

アンケート調査になります。また、主に評価への重要度を調査するための数字をご記入して頂く簡単なものになっております。

AHP手法を使って問題を解決するには、問題の要素を「最終目標…評価基準…代替案」の関係でとらえ、階層構造を作り上げ、代替案の重要度を評価します。

新車の選定を例にしてみますと、まず下図のような階層構造図を作成します。次に、評価項目の一对比較を次ページの表を用いて回答して頂きます。



階層構造図

要素が要素に比べて
score

同程度に重要なとき

1

やや重要

3

かなり重要

5

非常に重要

7

圧倒的に重要

9

2, 4, 6, 8 という中間値も

適宜使う。

*一対比較表

回答例を示してみますと、

	値段	燃費	乗り心地	車格
値段	1	3	5	7
燃費	1/3	1	5	7
乗り心地	1/5	1/5	1	1/5
車格	1/7	1/7	5	1

上の表は、新車に対する「値段・燃費・乗り心地・車格」の評価基準の一対比較です。
例えば、「値段」対「燃費」の比較で値段の安いほうが燃費の良さよりもやや重要視される場合、の値は「3」として、「値段」と「燃費」の交点のマスに「3」を記入します。「燃費」と「値段」の交点のマスは逆数の「1/3」になります。

「値段」対「乗り心地」の比較で値段の安いほうが燃費の良さよりもかなり重要視される場合、の値は「5」として、「値段」と「乗り心地」の交点のマスに「5」を記入します。

「乗り心地」と「値段」の交点のマスは逆数の「1/5」になります。

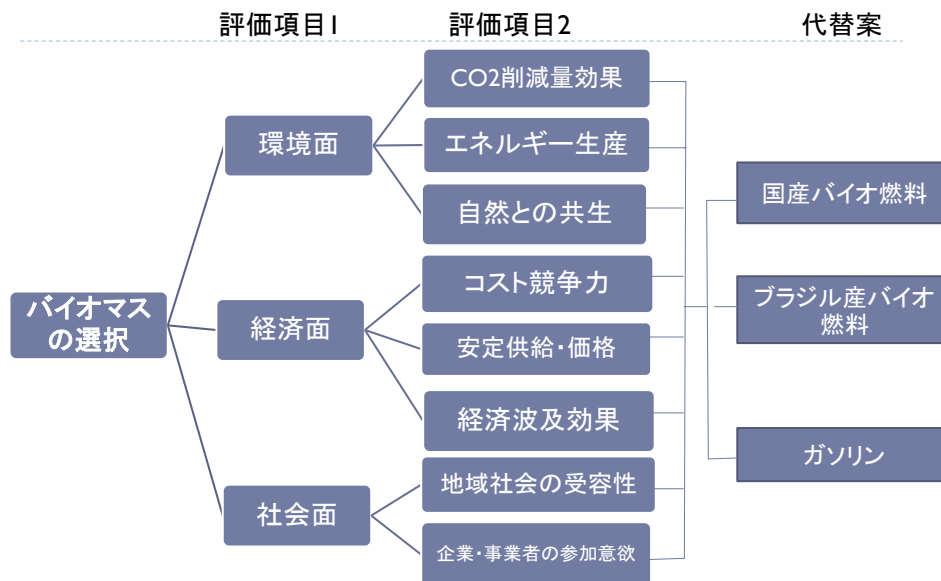
また、「乗り心地」対「車格」の比較で車格のほうが乗り心地よりかなり重要視される場合の値は「5」として、「乗り心地」と「車格」の交点のマスに「1/5」を記入します。

「車格」と「乗り心地」の交点のマスは逆数の「5」になります。

一対比較を行いますので、回答して頂く欄は色付きの部分のみ回答して頂いても結構です。本調査ではこの一対比較をして頂きたいと思います。

それでは、まず実際にバイオ燃料の選択に関する一対比較を行っていきたいと思います。

※回答サンプル(別紙)、補助説明(別紙最期のページ)を参照してお答え下さい。



▶ バイオマス選択に関する階層構造図

1. まずは、評価項目に関する各要素のペアについて

	環境面	経済面	社会面
環境面	1		
経済面		1	
社会面			1

2. 環境面に関するレベル 2 の各要素のペア

	CO2 削減効果	エネルギー生産	自然環境との共生
CO2 削減効果	1		
エネルギー生産		1	
自然環境との共生			1

3. 経済面に関するレベル 2 の各要素のペア

	コスト競争力	安定価格・供給	経済波及効果
コスト競争力	1		
安定価格・供給		1	
経済波及効果			1

4.社会面に関するレベル2の各要素のペア

	地域社会での受容度	企業・事業者の参加意欲
地域社会での受容度	1	
企業・事業者の参加意欲		1

5.CO2削減効果に対する代替案のペア

	国産バイオ燃料	ブラジル産バイオ燃料	ガソリン
国産バイオ燃料	1		
ブラジル産バイオ燃料		1	
ガソリン			1

6.エネルギー生産に対する代替案のペア

	国産バイオ燃料	ブラジル産バイオ燃料	ガソリン
国産バイオ燃料	1		
ブラジル産バイオ燃料		1	
ガソリン			1

7.自然環境との共生に対する代替案のペア

	国産バイオ燃料	ブラジル産バイオ燃料	ガソリン
国産バイオ燃料	1		
ブラジル産バイオ燃料		1	
ガソリン			1

8.コスト競争力に対する代替案のペア

	国産バイオ燃料	ブラジル産バイオ燃料	ガソリン
国産バイオ燃料	1		
ブラジル産バイオ燃料		1	
ガソリン			1

9.安定価格と供給に対する代替案のペア

	国産バイオ燃料	ブラジル産バイオ燃料	ガソリン
国産バイオ燃料	1		
ブラジル産バイオ燃料		1	
ガソリン			1

10.経済波及効果に対する代替案のペア

	国産バイオ燃料	ブラジル産バイオ燃料	ガソリン
国産バイオ燃料	1		5
ブラジル産バイオ燃料		1	
ガソリン			1

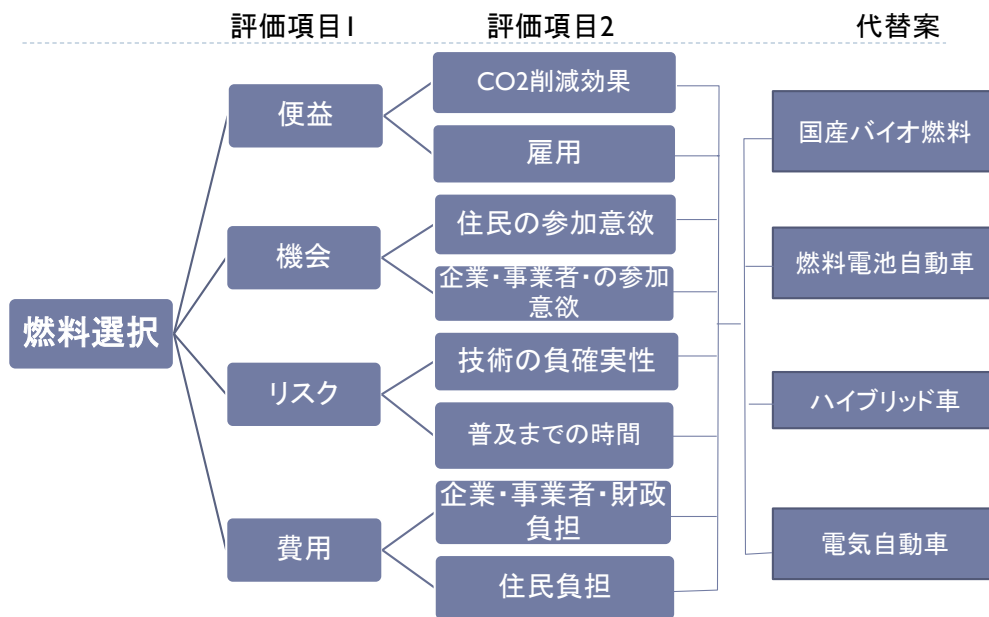
11.地域社会での受容度に対する代替案のペア

	国産バイオ燃料	ブラジル産バイオ燃料	ガソリン
国産バイオ燃料	1		
ブラジル産バイオ燃料		1	
ガソリン			1

1 2.企業・事業者の参加意欲に対する代替案のペア

	国産バイオ燃料	ブラジル産バイオ燃料	ガソリン
国産バイオ燃料	1		
ブラジル産バイオ燃料		1	
ガソリン			1

2.自動車燃料の選択に関する一対比較（語句説明は別紙を参照下さい）



自動車燃料の選択に関する階層構造図

1.各評価項目に関する各要素のペアについて

	便益	機会	リスク	費用
便益	1			1
機会		1		
リスク			1	
費用				1

2.便益に関する評価項目2の各要因のペア比較

	CO ₂ 削減効果	雇用の創出
CO ₂ 削減効果	1	1
雇用の創出		1

3.機会に関する評価項目2の各要因のペア比較

	住民の参加意欲	企業・事業者の参加意欲
住民の参加意欲	1	
企業・事業者の参加意欲		1

4. リスクに関する評価項目 2 の各要因のペア比較

	技術の不確実性	普及の難しさ
技術の不確実性	1	
普及の難しさ		1

5. 費用に関する評価項目 2 の各要因のペア比較

	財政・企業・事業者負担	利用者負担
財政・企業・事業者負担	1	
利用者負担		1

6. CO₂ 削減効果に関するペア比較

	バイオ燃料	燃料電池自動車	ハイブリッド車	電気自動車
バイオ燃料	1			
燃料電池自動車		1		
ハイブリッド車			1	
電気自動車				1

7.雇用の創出

	バイオ燃料	燃料電池自動車	ハイブリッド車	電気自動車
バイオ燃料	1			
燃料電池自動車		1		
ハイブリッド車			1	
電気自動車				1

8.住民の参加意欲

	バイオ燃料	燃料電池自動車	ハイブリッド車	電気自動車
バイオ燃料	1			
燃料電池自動車		1		
ハイブリッド車			1	
電気自動車				1

9.企業・事業者の参加意欲

	バイオ燃料	燃料電池自動車	ハイブリッド車	電気自動車
バイオ燃料	1			
燃料電池自動車		1		
ハイブリッド車			1	
電気自動車				1

10.技術の不確実性

	バイオ燃料	燃料電池自動車	ハイブリッド車	電気自動車
バイオ燃料	1	1		
燃料電池自動車		1		
ハイブリッド車			1	
電気自動車				1

11.普及の難しさ

	バイオ燃料	燃料電池自動車	ハイブリッド車	電気自動車
バイオ燃料	1			
燃料電池自動車		1		
ハイブリッド車			1	
電気自動車				1

12.財政・企業・事業者負担

	バイオ燃料	燃料電池自動車	ハイブリッド車	電気自動車
バイオ燃料	1			
燃料電池自動車		1		
ハイブリッド車			1	
電気自動車				1

13.利用者負担

	バイオ燃料	燃料電池自動車	ハイブリッド車	電気自動車
バイオ燃料	1			
燃料電池自動車		1		
ハイブリッド車			1	
電気自動車				1

最後に何かありましたら、ご意見をお聞かせ下さい。

--

以上を持ちまして本調査は終了になります。

宜しければ、お名前をお書き下さい。(匿名でも結構です)

役職		氏名	
----	--	----	--

ご協力有難うございました。

九州大学

生物資源環境科学府 農業資源経済学専攻

農政学研究室 修士 2 年

児嶋 健吾

〒812-8581

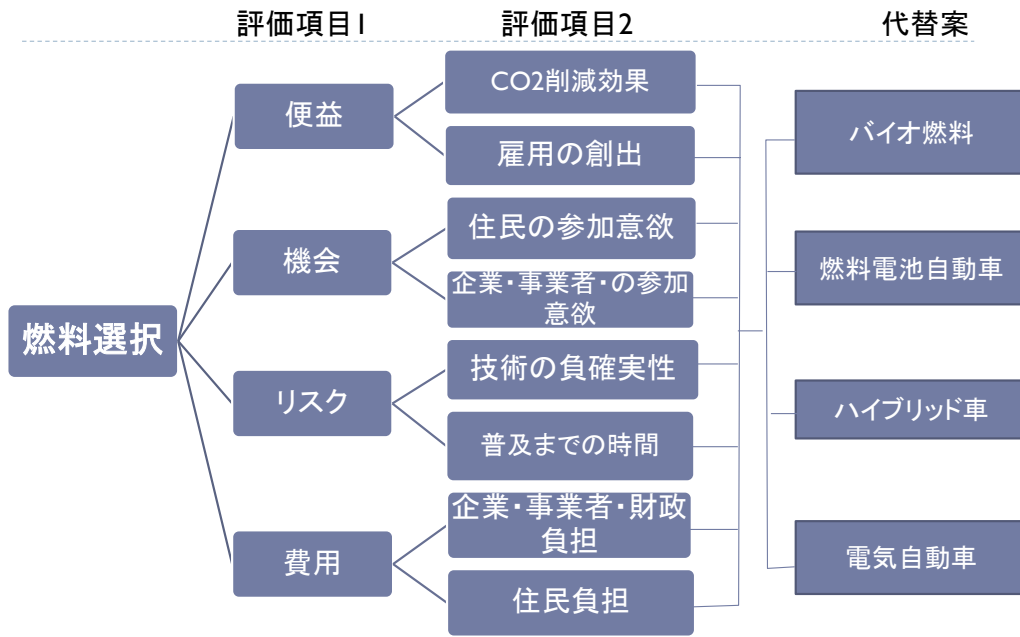
福岡県福岡市東区箱崎 6-10-1

E-mail ; be208121@yahoo.co.jp

TEL ; 090-9869-8018

回答サンプル

2.自動車燃料の選択に関する一対比較の回答サンプルを数問記載させていただきます。



自動車燃料の選択に関する階層構造図

上図を参考にしながら回答します。評価項目 1 の便益・機会・リスク・費用は評価項目 2 を内容として捉えて下さい。

要素 が要素 に比べて
score
同程度に重要なとき
1
やや重要
3
かなり重要
5
非常に重要
7
圧倒的に重要
9
2, 4, 6, 8 という中間値も
適宜使う。

比較に使う数字は上の表の数値を参考にして下さい。

1.各評価項目に関する各要素のペアについて

	便益	機会	リスク	費用
便益	1	3	1/5	1/7
機会	1/3	1	5	1/9
リスク	5	1/5	1	1/5
費用	7	9	5	1

*上記の場合、便益と機会を比較した場合、便益の方がやや重要なので[3]を記入します。
 便益とリスクを比較した場合、リスクの方がかなり重要なので、[1/5]を記入します。一対比較なので、便益と機会が[3]なので、機会と便益の交点は逆数の[1/3]になります。ですから、回答はすべて回答して頂いても、表の色付き部分だけの回答して頂いても結構です。

2.便益に関する評価項目 2 の各要因のペア比較

	CO ₂ 削減効果	雇用の創出
CO ₂ 削減効果	1	7
雇用の創出	1/7	1

便益に関して、[CO₂削減効果]の方が[雇用の創出]より非常に重要なので、[CO₂削減効果]と[雇用の創出]の交点に[7]と記入します。[雇用の創出]と[CO₂削減効果]の交点は[1/7]になります。

次の表は評価項目に対する代替案の比較になります。

6. CO₂削減効果に関するペア比較

	バイオ燃料	燃料電池自動車	ハイブリッド車	電気自動車

バイオ燃料	1	1/5	1/3	1/7
燃料電池自動車	5	1	3	2
ハイブリッド車	3	1/3	1	3
電気自動車	7	1/2	1/3	1

上表の場合、[CO₂削減効果]に関するペアに関して代替案の比較になります。例えば、バイオ燃料の方が燃料電池自動車と比較した場合、燃料電池自動車の方がバイオ燃料自動車に比べ[CO₂削減効果がかなり期待出来る]ので、バイオ燃料の方が燃料電池自動車の交点に[1/5]と回答します。燃料電池とバイオ燃料の交点は[5]となります。

*以下、他の回答例

7.雇用の創出

	バイオ燃料	燃料電池自動車	ハイブリッド車	電気自動車
バイオ燃料	1	5	5	5
燃料電池自動車	1/5	1	1	1
ハイブリッド車	1/5	1	1	1
電気自動車	1/5	1	1	1

バイオ燃料の方が燃料電池自動車と比較した場合、バイオ燃料自動車の方が燃料電池自動車に比べ雇用をかなり創出するので、[5]と書きます。燃料電池とバイオ燃料の交点は逆数の[1/5]となります。

10.技術の不確実性

	バイオ燃料	燃料電池自動車	ハイブリッド車	電気自動車
バイオ燃料	1	1/3	3	3
燃料電池自動車	3	1	5	5
ハイブリッド車	1/3	1/5	1	1
電気自動車	1/3	1/5	1	1

技術の不確実性に関して、バイオ燃料の方が燃料電池よりやや負確実性が低いので、[1/3]となります。また、バイオ燃料の方がハイブリッド自動車よりも技術がやや不確実なので、[3]となります。

11.普及の難しさ

	バイオ燃料	燃料電池自動車	ハイブリッド車	電気自動車
バイオ燃料	1	1/9	1/3	1/5
燃料電池自動車	9	1	5	3
ハイブリッド車	3	1/5	1	1/3
電気自動車	5	1/3	3	1

バイオ燃料と燃料電池を比較した場合、バイオ燃料の普及の方が燃料電池よりも圧倒的に普及し易いので、[1/9]となります。燃料電池とバイオ燃料を比較した場合、燃料電池自動車の普及が圧倒的に困難であるので、[9]となります。

燃料電池とハイブリッド車を比較した場合、燃料電池の方が、かなり普及が難しいので、[5]となります。ハイブリッド車の普及のほうが燃料電池よりもかなり普及が難しくないので[1/5]となります。

< 語句の補足説明 >

- ・ CO2 削減効果

バイオ燃料は、燃焼時の CO2 排出はカウントされないカーボンニュートラルなエネルギーとして位置づけられるが、本研究においては、LCA を考慮して判断して頂きたい。

- ・ エネルギー生産

原料調達、燃料製造、利用の全工程を通じて、エネルギーの収支がポジティブであること。また、リユース・リサイクルが妨げられないこと。

- ・ 自然環境との共生

土地利用の改変や肥料、農薬の投入により自然環境に負荷をかけないこと。食料との競合。

- ・ コスト競争力

化石燃料とコスト的に競争しうること。

- ・ 安定価格・供給

エネルギー安全保障を期待する場合、安定価格での安定供給が不可欠である。

- ・ 経済波及効果

導入による他産業や地域経済に与える影響の大きさ。

- ・ 地域社会での受容性

地域住民の合意・参加意欲のこと。地域社会との信頼関係の構築の程度。また、食糧を燃料にする理解

- ・ 雇用の創出

事業による新たな雇用の創出

- ・技術の不確実性

事業の技術段階において、現時点での不確実性の程度

- ・普及の難しさ

事業を実現するための政策の取り組みや、インフラ整備等、一般世帯に普及させる難しさの程度。

- ・財政・企業・事業者、住民負担額

各項目の負担の程度

- ・雇用の創出

次世代自動車燃料は経済波及効果を生み出し、雇进行創出する。その効果。

- ・バイオエタノール燃料

国産を前提として頂きたい

- ・ハイブリッド車

ガソリンを使用している現在の様式

謝辞

本研究を行なうにあたり、終始懇切丁寧かつ適切な御指導、御助言を賜った九州大学生物資源環境科学府農業資源経済学農政学研究室教授 伊東正一博士、准教授 磯田宏博士、並びに同専攻分野教授、准教授、助手のみなさまに深く感謝の意を表します。また、調査に協力して頂いた、北海道地域バイオエタノール協議会の研究員井上氏、日本エネルギー経済研究所の研究員 池田氏、独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の大庭氏に深く感謝の意を表します。また、本研究を進めていく上で、常に私を支えてくださった同研究室大学院生 久保貴史氏 陶山匠也氏、柴田祐作氏、赤川友基氏に心から感謝の意を表します。最後に、本研究の遂行にあたり、多大なる援助と激励を頂いた同研究室大学院生 申載根氏、孫宁宁女史、キン・ミ・ミコ女史、ニラ・アウン女史、チャオ・ゼンウェイ氏、グエン・ドゥック・キエン氏、高千恵女子、同研究室研究生 徐金峰氏、イン・ピン女史、同研究室 4 年生 石川瑛理氏、植波翔氏、昨年ご卒業された桑原知広氏、クオン・フン・ヌエン氏、ブー・ナート・チャンダウォン女史、並びに同研究室の 3 年生に心より御礼申し上げます。