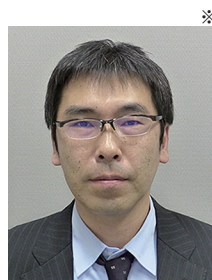


[調査研究報告]

わが国における運輸部門の CO₂ 排出削減に対する バイオエタノール導入の効果

森山 亮 ※ (プロジェクト試験研究部
部長 副主席研究員)

澤 一誠 ※※ (日本環境エネルギー開発㈱
代表取締役社長)



1. はじめに

気候変動問題は、先進国、開発途上国を問わず、国境を越えて人間の安全保障を脅かす喫緊の課題であり、その要因である温室効果ガス（GHG）の排出を削減するための取組み強化が急務となっている。

わが国においても 2020 年 10 月 26 日の菅内閣総理大臣所信表明演説において 2050 年までに、GHG の排出を全体としてゼロにすることが宣言された。

GHG はさまざまな社会経済活動に伴って排出されるが、その 8 割以上が化石燃料の燃焼で発生・排出されるエネルギー起源の二酸化炭素（CO₂）である。2018 年度におけるわが国の最終エネルギー消費を見ると、排出量が多い順に、産業部門（46.6%）、運輸部門（23.4%）、業務他部門（16.1%）、家庭部門（14.0%）となっている⁽¹⁾。

GHG 排出を全体としてゼロにするには、産業部門、業務部門のみならずインパクトの大

きな運輸部門での GHG 排出削減の取組みが求められるが、本報告では、次世代自動車の導入施策について解説し、次章で述べる 2030 年の政府目標を達成するための液体燃料としてのバイオエタノールの導入による寄与について述べる。

2. 排出削減目標

わが国は、地球温暖化対策推進本部の「日本の約束草案」⁽²⁾において、2030 年度の温室効果ガスを 2013 年度比で 26% 削減する目標を立てている。その達成のために運輸部門においては、表 1 に示すように、エネルギー起源 CO₂ 排出量を 2 億 2,500 万 t-CO₂/年(2013 年度)から 1 億 6,300 万 t-CO₂/年(2030 年度)へと 6,200 万 t-CO₂/年削減することを目標としている。

約束草案では運輸部門における「温室効果ガス削減目標積み上げの基礎となった対策」として、燃費改善、次世代自動車の普及、バイオ燃料の供給体制整備促進を提示している。

表 1 エネルギー起源二酸化炭素の各部門排出量の目安⁽²⁾

	(単位:百万t-CO ₂ /年)	
	2030年度の 排出量の目安	排出量 2013年度(2005年度)
エネルギー起源CO ₂	927	1,235 (1,219)
産業部門	401	429 (457)
業務他部門	168	279 (239)
家庭部門	122	201 (180)
運輸部門	163	225 (240)
エネルギー転換部門	73	101 (104)

本報告では、CO₂排出削減対策の観点から、①従来車の燃費改善、②次世代自動車（EV、PHV、HV、FCV）の新規導入、③バイオエタノールの導入という3つのシナリオの政策効果を定量的に分析・比較する。

2016年5月に閣議決定された「地球温暖化対策計画」⁽³⁾では日本の約束草案を達成するための具体的な対策が示されており、各対策による排出削減見込量も定量的に示されている。表2に次世代自動車の普及および燃費改善による対策評価の指標と排出削減見込量を2017年度までの実績とともに示す。

2017年度を基準とした2030年度におけるCO₂削減目標は、2,089万t-CO₂と計算された。なお、これまでの実績を見ると、次世代自動車の販売割合は2020年度の目標範囲に入っているものの、伸びが鈍化している。

3. 次世代自動車の導入シナリオとCO₂排出削減効果

次に2030年度における自動車の保有台数と次世代自動車の内訳を推算する。（一社）自動

車検査登録情報協会⁽⁵⁾によると、2020年3月末時点におけるわが国の乗用車保有台数は6,180万台で、この10年を平均すると0.63%ずつ微増する傾向にある。本検討では、この傾向が2030年まで続くと仮定し、2030年の自動車保有台数を6,500万台程度と計算した。政府による次世代自動車の導入目標は表2に示した通り2020年度と2030年における数値が定められている。車種別の導入目標は経済産業省の「次世代自動車戦略2010」⁽⁶⁾や「自動車産業戦略2014」⁽⁷⁾に記載されており、表3に示したように、それぞれメーカーが燃費改善、次世代自動車開発等に最大限の努力を行った場合の「民間努力ケース」および「政府目標」として示されている。

本検討では表3に示した販売台数についての数値に加え、（一社）次世代自動車振興センター⁽⁸⁾が示した近年の実績を参考に、2030年度における次世代自動車の保有台数を推算した。なお、導入目標の数値にも幅があるため、推算にあたっては次世代自動車の普及台数を実績を元に保守的に見積もったケース（以下、基本ケース）と政府目標を元に最大限の普及

表2 2030年度に向けた対策評価指標および効果の目標と実績（次世代自動車の普及、燃費改善）⁽⁴⁾

		新車販売台数に占める次世代自動車の割合(%)	平均保有燃費(km/ℓ)	省エネ見込量(万kℓ)	2013年度基準排出削減見込量(万t-CO ₂)	2017年度基準排出削減見込量(万t-CO ₂)
実 績	2013年度	23.2	14.7	19.9	53.3	—
	2014年度	25.6	15.3	49.2	131.5	—
	2015年度	32.3	16	85.1	227.5	—
	2016年度	35.8	16.6	89.7	239.8	—
	2017年度	36.7	17.2	128.6	343.0	0
目 標	2020年度	20～50	18.5	283.4	702.5	412.8
	2030年度	50～70	24.8	938.9	2,379	2,089

表3 2020年および2030年の乗用車車種別普及目標（新車販売に占める割合）^{(6) (7)}

車種※	民間努力ケース		政府目標	
	2020年	2030年	2020年	2030年
従来車	80%以上	60～70%	50～80%	30～50%
次世代自動車	20%未満	30～40%	50～70%	50～70%
HV	10～15%	20～30%	20～30%	30～40%
EV・PHV	5～10%	10～20%	15～20%	20～30%
FCV	僅か	1%	～1%	～3%

※HV:ハイブリッド車 EV:電気自動車 PHV:プラグインハイブリッド車 FCV:燃料電池車

を想定したケース(以下、最大ケース)の2ケースを検討した。

なお、両ケースにおいて以下を共通の前提条件とした。

- 全乗用車の新車販売台数は、2018年度の436万台(4,363,608台)⁽⁹⁾が2030年度まで横ばいで推移する。
- 計算の単純化のため、EVとPHVの保有台数を等しくする。(EV等保有台数統計の実績⁽⁸⁾では2013～2019年度のEVとPHVの保有台数および新車販売台数が同程度)
- 従来車の台数は2030年における自動車保有台数6,500万台から次世代自動車の保有台数を引いた分とする。

(1) 基本ケースにおける乗用車車種別保有台数の推算

基本ケースの2030年度における次世代自動車の保有台数は以下の通り推算した。

EVとPHVの合計の保有台数は(一社)次世代自動車振興センター⁽⁸⁾において示されている2013～2018年度の実績の保有台数推移から、毎年22.7%の伸びが続くと仮定し、2030年度に273万台になると推算した。これは乗用車全体の4.2%となる。

HVの保有台数は同じく(一社)次世代自動車振興センター⁽⁸⁾において示されている2013～2018年度の実績の保有台数推移から、毎年約113万台の増加が続くと仮定し、2030年度に2,297万台になると推算した。これは乗用車全体の35.3%に相当する。

FCVの新車販売台数に占める割合は、2018年度の実績値0.0138%から2030年度に民間努力ケースの1%まで直線的に増加すると見込

み、保有台数は2030年度に約28万台になると推算した。これは乗用車全体の0.43%に相当する。

(2) 最大ケースにおける乗用車車種別保有台数の推算

最大ケースの2030年度における次世代自動車の保有台数は以下の通り推算した。

EVとPHVの合計の新車販売台数に占める割合が2018年度実績の1%から2030年度に20%(政府目標の最小値)まで直線的に増加すると仮定し、累積の販売台数と2017年度末の保有台数を合計することによってEVとPHVの合計の保有台数が2030年度に約827万台になると推算した。これは乗用車全体の12.7%に相当する。

HVの新車販売台数に占める割合が2018年度実績の33.3%から2030年度に40%(政府目標の最大値)まで直線的に増加すると見込み、保有台数は2030年度に約2,672万台になると推算した。これは乗用車全体の41.1%に相当する。

FCVの新車販売台数に占める割合は、2018年度の実績値0.0138%から2030年度に政府目標の3%まで直線的に増加すると見込む。保有台数は2030年度に約83万台になると推算した。これは乗用車全体の1.27%に相当する。

表4に車種別の保有台数について2017年度の実績および2030年度の基本ケースと最大ケースの推算結果を示す。

(3) CO₂ 排出削減効果の推算

次世代自動車の普及によるCO₂の排出削減

表4 従来車および次世代自動車の保有台数推算結果

(単位:万台)

車種	2017年度 (実績)	2030年度	
		基本ケース	最大ケース
従来車	5,319	3,902	2,918
HV	818	2,297	2,672
EV	10	137	414
PHV	10	137	414
FCV	0	28	83
合計	6,158	6,500	6,500

効果は従来車と次世代自動車のCO₂排出量の差を代替した台数に乗じて算出した。

また、燃費改善によるCO₂の排出削減効果は現状の燃費と2030年度の燃費目標値の差分を2030年度における従来車の台数に乗じて算出した。

計算に用いた主な原単位は表5の通りである。上記手順によって算出した従来車の燃費改善および次世代自動車の普及によるCO₂排出削減効果の推算結果を政府目標値と比較して表6に示す。

以上のシナリオに基づいた推算結果から、従来車の燃費改善および次世代自動車の普及による対策では政府目標を達成するには不十分であり、例として以下のような、さらなる対策が必要となることが分かる。

- 次世代自動車を最大ケースよりも更に導入する。
- 乗用車全体の保有台数を減らす。
- バイオ燃料を導入・普及することにより燃料のCO₂排出係数を低減する。

次世代自動車のさらなる導入には議論の余地があると考えられるが、乗用車全体の保有

台数については人々の利便性を低下させることにもなる。

以降、本検討では上記推算結果に対し、乗用車の燃料としてバイオエタノールを導入したときの効果と目標達成への寄与を検討する。

4. バイオエタノールの導入によるCO₂排出削減効果の推算

本検討ではガソリンにバイオエタノールを体積比で10%混合したE10ガソリンの効果を検証した。

バイオエタノールのCO₂排出係数は「日本の約束草案」および「地球温暖化対策計画」の取り扱いに合わせ、自動車用燃料の燃焼時（走行時）のみの非LCAベースの排出係数を用い、ゼロとした。環境省の「地球温暖化対策地域推進計画策定ガイドライン」⁽¹⁰⁾においても「バイオエタノールは、再生可能なバイオマス燃料であることから、京都議定書の定義において燃焼に伴う二酸化炭素排出量がカウントされない。」と定められている。

表5 CO₂排出削減効果の推算に用いたパラメーター

パラメーター	数値	単位
電力のCO ₂ 排出係数	370	g-CO ₂ /kWh
燃料のCO ₂ 排出係数	2,320	g-CO ₂ /ℓ
水素のCO ₂ 排出係数	550	g-CO ₂ /Nm ³
乗用車の年間走行距離(共通)	8,480	km/年・台
従来車の燃費	19.2	km/ℓ
従来車の改善後の燃費	22.9ℓ	km/ℓ
EVの燃費	7.75	km/kWh
HVの燃費	29.7	km/ℓ
PHVの走行距離当たり電力消費量	9.62	km/kWh
PHVの燃費	28.3	km/ℓ
PHVの電気による走行割合	9.2	%
FCVの走行距離当たり水素消費量	127	km/kg

表6 次世代自動車の普及および燃費改善によるCO₂排出削減効果の推算結果

(単位: 万t-CO₂/年)

	基本ケース	最大ケース
① 目標値	2,089	
② 従来車の燃費改善	642	480
③ 次世代自動車の普及拡大	HV	832
	EV	85
	PHV	50
	FCV	17
④ 対策による効果の合計(②+③)	1,626	1,906
⑤ 目標値との乖離(①-④)	464	183

表7 バイオエタノールの導入による CO₂ 排出削減効果の推算結果

(単位:万t-CO₂/年)

	基本ケース			最大ケース (全数の約5割にE10を導入)		
	表6より	E10導入効果	合算結果	表6より	E10導入効果	合算結果
① 目標値	2,089			2,089		
② 従来車の燃費改善	642	+289	931	480	+109	589
③ 次世代自動車の普及拡大	HV	832	+110	942	+65	1,033
	EV	85	→	85	→	256
	PHV	50	+6	56	+10	161
	FCV	17	→	17	→	51
④ 対策による効果の合計(②+③)	1,626	+406	2,031	1,906	+183	2,089
⑤ 目標値との乖離(①-④)	464	→	58	183	→	0

以上のパラメータを用いて算出したバイオエタノールの導入による CO₂ 排出削減効果の推算結果を表 6 の結果に加えて表 7 に整理する。

基本ケースの場合、従来車、HV および PHV で消費されるガソリンをすべて E10 ガソリンに置き換えることによって、政府の目標値達成にかなり近くなることが分かる。一方、最大ケースの場合は次世代自動車の導入が進むため、ガソリン全数の約 5 割を E10 で代替することによって政府目標を達成できることがわかった。

なお、これらの試算結果で導入したバイオエタノールの量を求めると、基本ケースにおいて約 250 万kl（原油換算で約 150 万kl）、最大ケースにおいて約 110 万kl（原油換算で約 70 万kl）となった。

以上の通り、2030 年時点では燃費改善および次世代自動車の普及による対策のみでは乗用車の CO₂ 排出削減目標を達成することは困難であり、追加施策としてバイオエタノール

を導入した E10 ガソリンの利用が有効であることがわかった。

以降、バイオエタノール導入の現状と課題について述べる。

5. バイオエタノール利活用状況

気候変動対策の 1 つとして導入されつつあるバイオエタノールはアメリカとブラジルで世界の生産量の内、8 割以上を占めている。バイオエタノールを自動車用燃料として見ると、未だにガソリン価格と比較してコストが高く、ほとんどの国では導入義務やガソリン税の免除など政策誘導でバイオエタノールが導入されている。図 1 に各国のバイオエタノールの導入義務量や流通している混合ガソリンの状況を示す。

2018 年の世界のバイオエタノール消費量は 1 億 1,200 万kl で約 6 兆円の市場規模となって

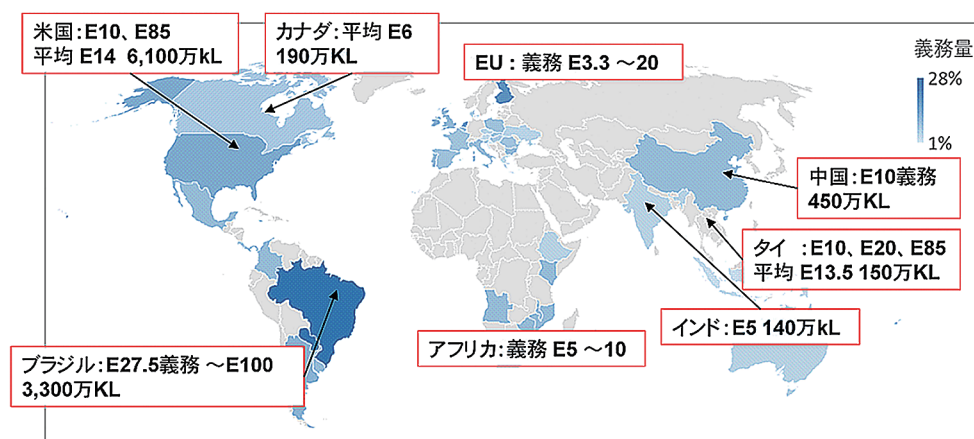


図1 世界のバイオエタノール導入義務および流通している混合ガソリン^{(11) (12)}

いる。図1を見ると、南北アメリカの国々では概ね E10 以上のバイオエタノール混合ガソリンが流通しており、ブラジルが E27.5 の導入義務になっている点は特徴的である。ブラジルではエタノールを含まないガソリンは流通しておらず、エタノール 100% もしくは 27.5% の燃料をユーザーが選択するようになっている。

欧州はディーゼル車が多いこともあり、バイオエタノール自体に導入義務を課している国は少ないが、バイオ燃料全体の導入義務が課せられている。

アジアでも E5 ～ E10 の導入義務が多く、中国では E10 の導入義務により、消費量としても多い国であると言える。

わが国のバイオ燃料の導入について見ると、「エネルギー供給構造高度化法」において 2011 年度からバイオエタノールの導入目標量が設定された。導入目標量は 2011 年度の原油換算 21 万kl(エタノールで約 34 万kl)から徐々に増加させ、2017 年度に原油換算で 50 万kl(エタノールで約 82 万kl) となった。

2018 年の告示改正では 2018 ～ 2022 年度の 5 年間、バイオエタノールの導入目標量を原油換算 50 万klとすることが定められた。

現在わが国で利用されているバイオエタノールはブラジルにおいて製造されたものがほとんどであり、その原料は食料競合が指摘されているサトウキビである。

さらに、現在わが国に輸入されているバイオエタノールは、石油系ガスであるイソブテンと合成することによって得られる ETBE (エチル・ターシャリー・ブチル・エーテル) の形で利用されている。貿易統計によると、2019 年実績で 171 万klの ETBE と 6.6 万klの ETBE 転換用バイオエタノールが輸入された。輸入された ETBE はブラジルにおいて製造されたバイオエタノールをアメリカに輸送し、アメリカの ETBE 製造設備を用いて転換したものであることから、輸送に関わるコストや環境性を考慮すると、改善の余地があると考えられる。

6. 食料との競合

従来からバイオ燃料の食料競合が指摘されてきたが、その根拠は主に食料価格高騰のリスクにあった。図2に示ように、実際に 2008 年にはバイオ燃料の導入と干ばつが重なり、食料価格が高騰したが、それ以降、バイオ燃料導入量が増え続けても食料価格は高騰していない。

さらに元々飼料作物として利用されてきたトウモロコシからエタノールを製造する際には、併産される発酵残渣 (DDGS) を飼料としてカスケード利用しているため、トウモロコシをバイオ燃料に仕向けることによる食料競合の問題は起こっていない。

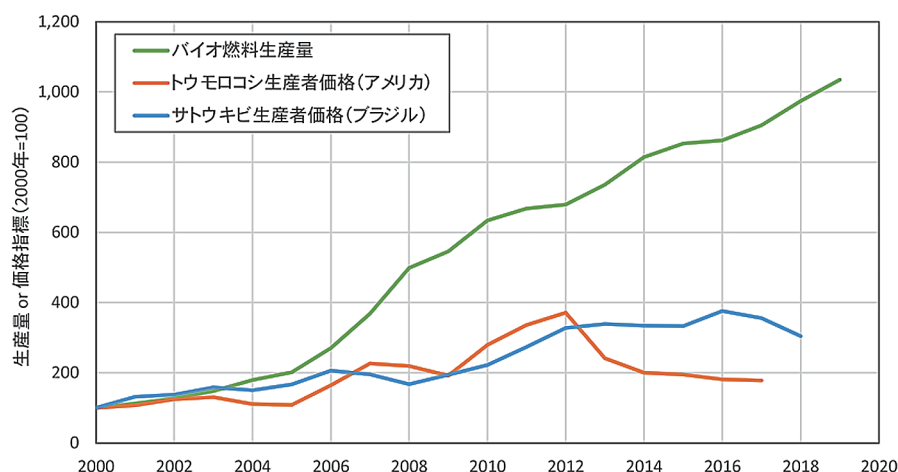


図2 バイオ燃料生産量とバイオエタノール原料作物の生産者価格の推移^{(13) (14)}

その他の課題として、バイオ燃料の生産によって、林地や食料農地が転換される土地利用変化の問題がEUを中心に議論されている。図3にアメリカのトウモロコシとブラジルのサトウキビにおける収穫面積と単収の推移を示す。アメリカでは収穫面積が2000年に比べて現状1.13倍しか増加していないことにに対し、ブラジルでは2.09倍に増加している。これはブラジルの方がバイオ燃料の製造に伴う土地利用の変化が大きいことを表している。一方、単収を見ると、2000年との比較ではアメリカでは1.38倍、ブラジルは1.10倍であることから、アメリカではトウモロコシ農地面積を増やさずに単収を増やすことによって収穫量を増やしていることが分かる。

原料が食料と競合しないことから注目されている第二世代エタノールは未だ開発～実証中のものが多く、商業化を見据えると、製造コストが課題でもあるため、喫緊の課題であ

る温暖化への対策としては、当面は持続可能性に留意しながら第一世代バイオ燃料を利用することも考慮すべきと考えられる。

7. ETBE か直接混合か

前述の通り、現在わが国ではバイオエタノールをETBEに転換して利用している。

世界を見渡すと、バイオエタノールをETBEに転換して利用している国は少ない。バイオエタノール生産量世界第1位のアメリカ、第2位のブラジルともにバイオエタノールをガソリンに直接混合して利用しており、ETBEを利用していた欧州のフランスおよびスペインも直接混合が主流になりつつある。

また、2006年時点でE10導入の技術的な課題および懸念事項として表8が挙げられていたが、影響が見られなかったものがほとんどであり、ゴム材、樹脂の膨潤についてはすで

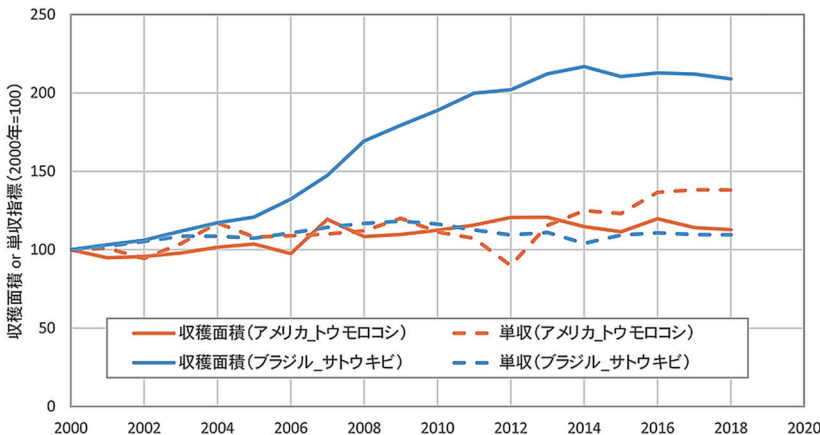


図3 バイオエタノール原料の作付面積および単収の推移⁽¹⁴⁾

表8 E10利用の影響⁽¹⁵⁾

燃料品質	エタノール10%混合による燃料品質への影響	研究項目	調査結果
蒸留性状 50% 留出温度	10%程度低下	①排出ガス、燃費/CO2への影響調査 ②運転性能への影響調査 →T50(高温側)の影響の把握 →T50(低温側)の影響の把握	T50のJIS上限域(110℃)で車によりE10の影響が見られた。 T50下限域を含め、それ以外の範囲ではT50によるE10の影響は見られなかった。
蒸気圧(RVP)	7kPa程度増加 (高温の蒸発量増加)	③車両蒸発ガスへの影響調査 →透過の影響把握(駐車時) →高温での蒸発量増加の影響把握(運転時)	本WGで実施した供試車両では、E10の顕著な影響は見られなかった。 (先行研究WGで実施した車両でE10のHSL+DBLへの影響は見られた)
材料適合性(ゴム)	ゴム材の透過	④材料による燃料性状への影響調査	ゴム材によりE10の方が燃料中のガム値増加が見られた。 金属による燃料品質への影響はE0とE10で差は見られなかった。
保存安定性 (金属、ゴム、樹脂)	金属腐食 ゴム材、樹脂の膨潤		

(日本市場にある既販車を用いた試験では、E10の影響が見られた場合があった。E10導入時には、これらの影響に注意を払う必要がある。)

に自動車メーカーが対応済みである。

その他、エタノールをガソリンに混合するときに水分の吸収やそれによる相分離の影響も懸念されていたが、図 4 に示すように、エタノールの混合割合を増加させ、E10 になると、その影響はほとんど見られなくなる。

わが国の法整備状況を見ると、図 5 に示すように、すでにバイオエタノールを 10% 直接混合したガソリンである E10 の導入に関する法整備状況はすでに整っている。

バイオエタノールの導入拡大に必要な設備コストについて、バイオエタノールの導入当時は設備の付加や改造費が高額であると言われたが、現在すでに ETBE とエタノールで合計 50 万kl（原油換算）を輸入し、取り扱っているため、E10 の導入に必要な設備投資も当時よりは軽微となる。また、混合ガソリンの価格も ETBE への転換が無い分、直接混合の方が安価になることが予想される。

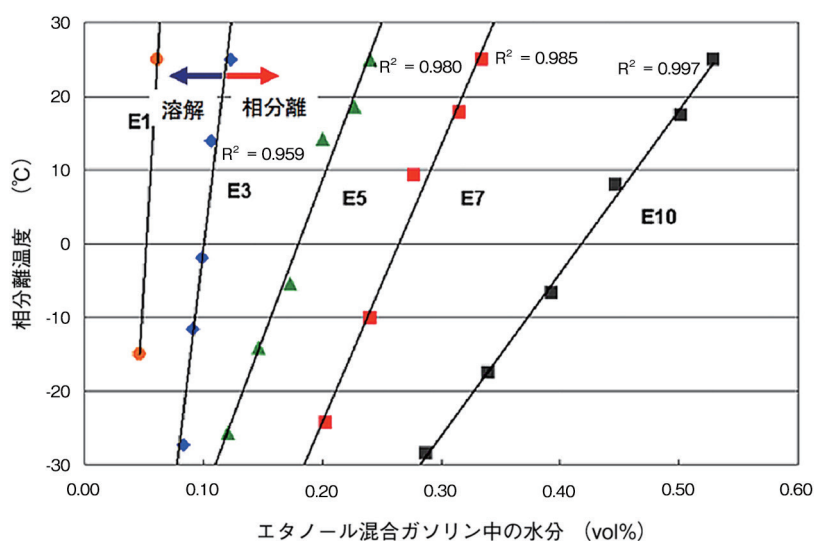


図 4 エタノール混合ガソリンへの水分の影響 (16)

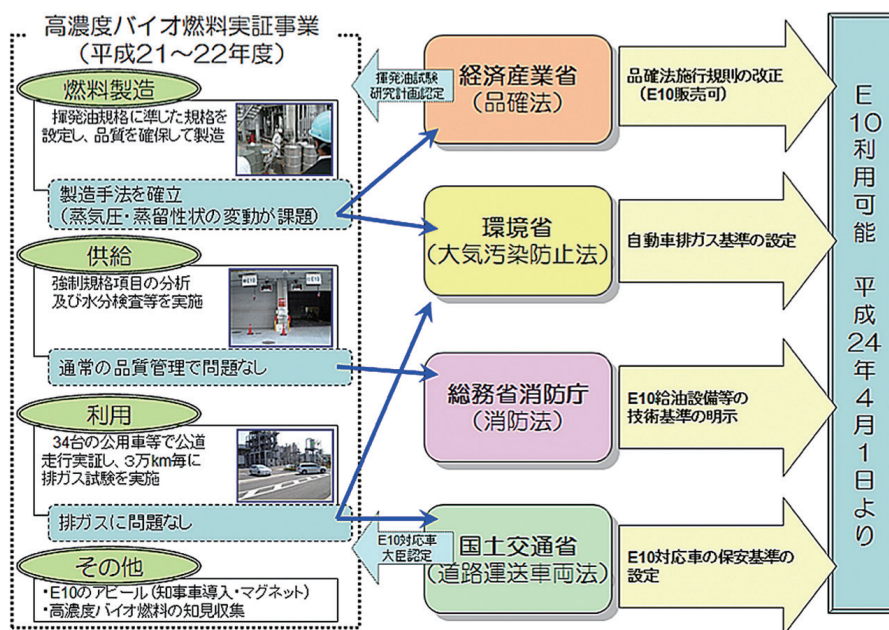


図 5 E10 利用のための法整備状況 (17)

8. まとめ

2030年の運輸部門におけるCO₂削減目標を達成するためには次世代自動車の導入普及のみならず、E10の導入も重要な役割を果たすことができる。E10の混合割合は世界を見渡しても特別多い量ではなく、グローバルスタンダードに並ぶことになる。

E10の導入を実施するためには、エタノール生産量が多いアメリカやブラジルから輸入することが考えられ、液体燃料の調達先を中東以外にも広げることからエネルギー安全保障の観点でも有用である。

アメリカのトウモロコシは耕地面積を拡大させずに、単収を伸ばしていることから食料競争に対する問題はほとんど無い。また、エタノールを製造する際に発生する発酵残渣をカスケード利用することで、飼料も併産している。

エタノールの導入量を拡大するにあたって、石油由来成分を6割含むETBEを利用するよりも、オクタン価向上剤としても性能・価格ともに優れているエタノールの直接混合にもメリットがあると考えられる。

石油業界にとってはE10をETBEで導入するよりもエタノールで導入した方が輸入量は少なくなり、さらに本業である原油の輸入量（使用量）を大きく減らさずに実施できるメリットがある。

以上のことから、今後温暖化対策としてバイオエタノールの導入拡大を考えるためにはE10の導入についても検討が必要であり、利用方法についてもエタノールの直接混合を含めて環境性・経済性の観点で中立性をもって再度議論することも必要であると考えられる。

参考文献

- (1) 資源エネルギー庁,「エネルギー白書 2020」, 2020 年
- (2) 地球温暖化対策推進本部,「日本の約束草案」, 2015 年
- (3) 環境省,「地球温暖化対策計画」, 2016 年
- (4) 地球温暖化対策推進本部,「2018 年度における地球温暖化対策計画の進捗状況」, 2020 年

- (5) (一財)自動車検査登録情報協会ホームページ：
<https://www.airia.or.jp/index.html> (アクセス日：2020 年 11 月 11 日)
- (6) 次世代自動車戦略研究会,「次世代自動車戦略 2010」, 2010 年
- (7) 経済産業省製造産業局自動車課,「自動車産業戦略 2014」, 2014 年
- (8) (一社)次世代自動車振興センターホームページ：
<http://www.cev-pc.or.jp/> (アクセス日：2020 年 11 月 12 日)
- (9) (一社)日本自動車工業会,「自動車統計月報」, http://www.jama.or.jp/stats/m_report/index.html (アクセス日：2020 年 11 月 12 日)
- (10) 環境省地球環境局,「地球温暖化対策地域推進計画策定ガイドライン」, 2003 年
- (11) J. Lane, “The Digest’ s Biofuels Mandates Around the World 2020,” Biofuels Digest, 2020. (<https://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2019/12/31/the-digests-biofuels-mandates-around-the-world-2020/> (アクセス日：2020 年 8 月 22 日))
- (12) USDA Foreign Agricultural Service, “Biofuels.” (<https://www.fas.usda.gov/commodities/biofuels>. (アクセス日：2020 年 8 月 22 日))
- (13) REN21, “Renewables 2020 Global Status Report,” 2020
- (14) FAO, “FAOSTAT.” (<http://www.fao.org/faostat/en/> (アクセス日：2019 年 3 月 6 日))
- (15) 廣瀬敏之,「ガソリン車バイオ燃料 WG 研究報告」, JATOP (Japan AuTo-Oil Program) 第 2 回成果発表会, 2012 年
- (16) 涌嶋恭司,「エタノール混合ガソリンの国内流通インフラへの影響」に関する調査, 2004 年
- (17) 大阪府, “E10 利用のための法整備.” (<http://www.pref.osaka.lg.jp/chikyukankyo/e10/gov.html>. (アクセス日：2020 年 9 月 18 日))