

米国におけるエタノール燃料採用の歴史:政策、経済、ロジスティクス

ケリー・ジョシソン^a、クリスティ・モリアーティ^a、テレサ・アレマン^a、ダニロ・サンティニ^b

a 国立再生可能エネルギー研究所 (NREL)

b アルゴンヌ国立研究所

NRELは、持続可能なエネルギーのための同盟社が運営する、米国エネルギー省エネルギー効率・再生可能エネルギー局の国立研究所である。

(注)本和訳は原文を非公式に和訳したものです。ご不明な点や詳細、参考文献につきましては、以下のリンクにある原著をご参照ください。

<https://www.nrel.gov/docs/fy22osti/76260.pdf>

後編

(前号より続く)

2.3.1990~2005年:大気質が含酸素添加剤使用の動機付けに

ガソリンの酸素含有量を増やすとCOや揮発性有機化合物などの基準汚染物質を低減できるため、古い技術のエンジンと車両の夏季対流圏オゾン濃度を低下させることができる(European Fuel Oxygenates Association 2006)。さらに、含酸素添加剤は鉛と違ってオクタン価を保持しつつ、触媒コンバーターを使用してこれらの排出物とNO_xをさらに低減できる。

1990年の改正CAAは、車両から排出される汚染物質の低減に向けた重要な段階であった(EPA 2017)。この改正は議会から広い支持を得てすぐに可決され、成立した。この改正には、次のようないくつかの独自の市場主導型メカニズムが含まれていた。

- 性能ベースの基準、銀行取引、および商取引を使用して排出要件に適合しやすくする。
- 代替燃料を使用可能にして保有車両基準を満たす。
- 石炭と天然ガスに含まれる硫黄を低減する³。
- バイオ燃料市場を創出して石油の輸入を減らす。
- 公益事業者による省エネルギーを推進する⁴。

産業界は、車両排出量を低減するための含酸素添加剤要件を組成測度より好んだ。これは、エタノール(35重量パーセントの酸素)、MTBE(18%)、またはエチルtert-ブチル・エーテル(16%)によって組成測度を満たせるためである。これら3つの選択肢はすべて、オクタン価向上剤であるというさらなる利点を有している。1990年の改正CAAへの適合を促進するために、エタノールに対する連邦物品税の免除措置が10年間延長された(European Fuel Oxygenates Association 2006)。

39の不適合地域における冬季CO排出量を低減するために、含酸素ガソリン・プログラムが1992年11月に制定された。このプログラムは、これらの地域におけるガソリンが2.7重量パーセントの酸素を含有することを要求した。多くの精製業者にとってMTBEが望ましい含酸素添加剤であったため、その使用量は1992年と1993年にすぐに拡大した(図1 前号No.184を参照)。一方、エタノールの使用量は横ばいに留まった。

CAAは、次いで1994年にオゾン汚染不適合地域に改質ガソリンを要求した。オゾンに不適合でCOには適合する地域の改質ガソリンは、2.1重量パーセント以上の酸素を含有しなければならなかった。エチルtert-ブチル・エーテルはこの酸素をガソリンに添加する1つの方法であったが、この物質はMTBEやエタノールと比べてコスト競争力が低かったため、米国市場では大きな弾みがつかなかった(TraiprasertpongおよびSvang-Ariyaskul 2012)。その結果、

MTBEの使用量が1995年に再び急増した。ところが、米国地質調査所は、MTBEが都市の地下水源にしばしば見られることを1997年に報告した(Laphamら1997)。漏れ出したMTBEは、エタノールやガソリン成分より速く、より深く土壌に浸透し、自然の生物分解耐性がより高いため、エタノールやガソリン成分より容易に飲用水を汚染する(EPA 1998)。そのため、段階的なエタノールへの移行が州政府と燃料供給業者に促されることになった(ICIS 2006)。エタノールは、一般に好まれる含酸素添加剤として2004年に次第にMTBEを追い越した。最終的に、MTBE汚染による水質問題の結果、ガソリンへのMTBE混合は2006年に全国的に停止された。これは、ほとんどの場所ですでにその使用が止められてからかなり後のことであった。

改質ガソリン・プログラムのフェーズIIは1995年に始まり、よりクリーンに燃焼するガソリンの使用が要求される地域に排出上の大きな便益をもたらした。フェーズIIIは、米国内で最も大気質の悪い地域での排出量をさらに低減した。加えて、地域は改質ガソリン・プログラムへの参加を自発的に決めることができた。初期の改質ガソリンにはMTBEが含まれていたが、改質ガソリン・プログラムによる利益はMTBEを使用しなくても実現可能であるとEPAは判断した。EPAによるこの判断の結果、ガソリンへのMTBEの使用を削減する規制が可能になった(EPA 1999)。さらに、RFG地域に対する酸素義務があったが、これは2005年のエネルギー政策法によって廃止された。したがって、MTBEは多くの州で使用禁止となっていたため、燃料が複合モデルの排出限度を満たす限り、EPAはRFGが必須の酸素成分を有していなくてもよいとした。

含酸素添加剤プログラムは、ガソリンに対する正確な要件の決定を各州の自主性に委ねた。コンプライアンスを達成するための地域的な排出量削減ニーズは極めて多様なため、場所ごとにそのニーズ固有の燃料が計画されたことにより「プティック」燃料の数が急増した。これは、ガソリン販売業者がさまざまな液体燃料を扱うことができることを示すが、議会は2009年のバイオ燃料削減法で排出関連の多様化を制限し、供給業者がその製品をさらに容易に販売できるようにした。それでも、現時点で15通り(各配合の中級グレードとプレミアムのバージョンを除く)の異なる「プティック」ガソリン配合が存在する(National Association of Convenience Stores 2016)。

2.4.2005~2016年:エネルギー安全保障と気候保護がエタノール使用の動機付けに

MTBEからエタノールへの地域的な移行の効果を認識した議会は、2005年のエネルギー政策法で改質ガソリンに対する含酸素添加剤要件を撤廃し、再生可能燃料基準(RFS)でそれを置き換えた(EPA 2016a)。RFSは、自動車燃料に含まれる再生可能燃料の割合を増やす(主にバイオ燃料によって満たされる⁵)ことを要求している。これは外国産石油への依存度を減らし、温室効果ガス(GHG)排出量を低減する。この時点で、RFS(およびそれに続く2007年のRFS2)がエタノールの使用量を増やす大きな推進力と

なった。E10は(それより高い混合物とは対照的に)、ガソリン供給業者がRFS要件を満たすための明確な選択肢であった。なぜなら、オクタン価向上剤としてのその完全な価値を従来型車両で実現可能であり、燃料補給インフラと適合したからである。RFS2の年間目標(図2参照)は、この法律が成立した時点でのガソリンとディーゼルの消費量に基づいて設定された。その時点で最新のガソリン消費量を使用することは、E10を完全に市場に浸透させることが従来のエタノール生産技術で達成可能なことを意味していた。業界が希望したのは、エタノール使用に対するRFS2の量が従来のエタノール生産量に比べて十分積極的なものであれば、セルロース系エタノール生産の経済的障壁を法的義務によって低減できることであった。さらに、エタノール含有量の多い燃料(E10超)を使用できる車両が市場に導入され、従来の原料とセルロース系原料の両方から製造したエタノールの利用がさらに増えるであろう。

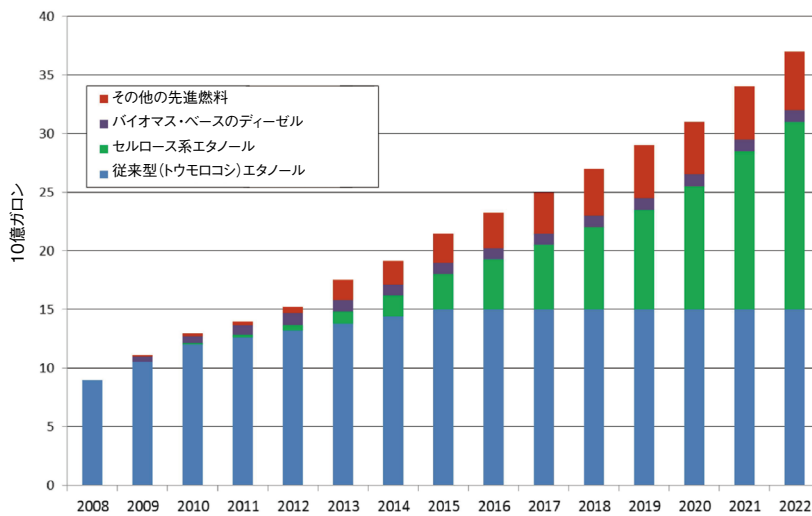


図2 RFS2で制定された年別バイオ燃料量
出典: 代替燃料データセンター

EPAは、GHGをCAA汚染物質として規制するための許可を2007年に得た(Coalition for Responsible Regulations, Inc.ら対EPA 2012)。この決定は、GHGの排出が地球の気候に直接的な影響を及ぼすため、米国民の健康と福利に直接的な影響を及ぼすという科学的証拠に基づいていた(Intergovernmental Panel on Climate Change 1990)。EPAは、その新たなGHG限度を軽自動車(LDV)のCAFEプログラムと連動させて2012モデル年に初めて適用した。EPAは、GHG排出量を算出するのにE10のエタノール含有量を考慮に入れるが、ライフサイクルGHG排出量ではなく排気管GHG排出量に着目する。その結果である基準は、E10に対するNHTSAのCAFE規則とよく一致している(Federal Register 2012)。

E10は2010年までにはほぼ完全に市場に浸透したが(National Research Council 2011)、一部の政策と試験手順は依然遅れている。エタノールを含有しないガソリン(E0)は、2017年までティア2排出基準とCAFEおよびGHG規則の認証燃料のまま残った。次に、ティア3排出基準がティア2を置き換え、E10が試験燃料として段階的に導入され始めた。大手OEMによって製造されたLDVが2020モデル年までにE10を排出試験用に使用し始め、残りのLDVとHDVも2022モデル年までにE10を試験燃料として使用するはずである(EPA 2014)。

3.E85およびフレックス燃料車

3.1.E85規則

E85(フレックス燃料と呼ばれることもある)は、51~83体積パーセントのエタノールを含有する燃料を指すマーケティング用語である。E85はこれまで長い間、輸送とインフラのコストを最小限に抑えてエタノール使用量を増加させる方法と見なされてきた。これは、濃縮

度を高めた形態で使用すると、同じ量のエタノールがその原料のより近くで使用可能であり、経由するターミナルと燃料給油所を減らして輸送できるため、達成可能であった。このエタノール市場は、ガソリン中の含酸素添加剤としてエタノールの代わりにMTBEが使用されている場合に特に重要であった。E10市場が飽和状態である今、エタノールの支持者は、E85燃料がエタノールの使用を拡大し、したがって排出量と石油の使用量を低減する最も可能性の高い方法の1つと見なしている(BabcockおよびPouliot 2013)。

20年以上市場に出回っているにもかかわらず、米国におけるE85の使用は依然として極めて限られている。E85市場を拡大するのが困難な理由の1つは、レギュラー・ガソリン車や燃料補給インフラに適合していないことである。そのため、この技術の採用に向けて市場を推し進めるために多くの法律が成立したが、ほとんど成功していない。市場推進策は、消費者向け、燃料供給業者向け、および車両製造業者向けの3本の柱を持つものであった。法律は、フレックス燃料車(FFV)の生産と販売を奨励すると同時に、この燃料のための市場(生産、インフラ、分配)を開発し、燃料と車に対する消費者の需要を開拓しようとするものであった。

3.2.フレックス燃料車

E85は、E10と異なりレギュラー・ガソリン車で使用できないため、市場において燃料をとるか、車両をとるかという難しい問題をまず扱わなければならない。E85に関するこの「ニワトリが先か、卵が先か」のジレンマは、E0、E85、またはその中間のあらゆる混合レベルで走ることができるFFVの開発によって軽減された。

これらの車両の開発は、1988年の代替自動車燃料法によって拍車がかかった。この法律は、CAFE基準にある会計機構を通してFFVを生産することを自動車メーカーに奨励した。この会計機構では、FFVの燃費を算出するのにE85のガソリン部分のみ考慮し、E85は85体積パーセントのエタノールと想定した。したがって、ガソリンで25マイル/ガロン(mpg)、E85で19mpg走る車両であれば、ガソリンでは127mpgとなると仮定された(数式1)。さらに、FFVに対するCAFE規則は、FFVが50%の割合でE85を使用すると仮定した。したがって、ガソリンで25mpgを達成するのと同じFFVは、CAFE会計で42mpgの効率を持つ車両と見なされるであろう(数式2による)。

$$E85でのFFV燃費 = \frac{19\text{mpg}}{0.15\text{ガロン・ガソリン}} = 127\text{mpgガソリン} \quad (1)$$

$$CAFE\ FFV燃費 = \frac{1}{\frac{0.5}{127\text{mpg}} + \frac{0.5}{25\text{mpg}}} = 42\text{mpgガソリン} \quad (2)$$

このCAFEの利益は潜在的に大きすぎると考えられたため、FFVが製造業者の保有車両CAFE平均に与える可能性のある全体的利益は1.2 mpgに制限された。それでも、それはFFVを開発して市場に出すことをOEMに促す大きなインセンティブであった。フォードは1996年にまずトラーラスFFVを発売した(Dever 1996)。このインセンティブは、2006年までに600万台のFFVを販売するに十分であった(O'Connor 2007)。しかし、2007年のエネルギー自立・安全保障法では、1.2 mpgの上限値を0.2 mpg刻みで減らして2015年と2019年の間にこのインセンティブを段階的になくす予定であった。2020モデル年以降については、FFVが50%の割合でE85を使用すると想定するのではなく、現場で実証/予想される使用に基づいて代替燃料とガソリンの使用に重みを付ける(Powell 2015)。このインセンティブはFFVを市場に出すことには成功したが、E85の堅固な市場創出を妨げる問題がいくつかあった。

E85はエネルギー密度がガソリンより低く、FFVのエンジンはオクタン価の上昇が燃費の改善に完全につながるように最適化されていないため、E85を使用したFFVは燃費がおおよそ23%悪化する。しかし、この燃費の差は燃料中のエタノールの量に依存する。通常、E85の価格はガソリンの価格より11%~17%低いに過ぎない(Fuels Institute 2014)。つまり、ドライバーのマイル当たり燃料コストはE85を使用したときの方が高い。そのため、FFV所有者がE85を使用しようという気持ちをそいでいる。

CAFEインセンティブに加えて、一連の保有車両インセンティブを通してFFVの購入が奨励されてきた。最も大きなインパクトを持つインセンティブは、60万台(U.S. Department of Energy 2016)という世界最多の車両を保有する連邦保有車両に焦点を当てたものである。1992年のエネルギー政策法は、大都市圏で取得されるLDVの少なくとも75%が代替燃料車(AFV)であることを要求した。FFVは単純にガソリンで走行できるため、この要件を完全に満たすのに最適な車両であった。次いで2005年のエネルギー政策法は、燃料を入手できないために適用除外にされない限り、すべての連邦FFVがE85を使用しなければならないことを義務付けてE85の使用を奨励した。2007年のエネルギー自立・安全保障法は、低GHG排出車以外の車両の取得を禁止することにより、連邦のFFV購入をさらに奨励した。FFVは、会計上の低GHG排出車である。

3.3. インフラ

現在、米国には3,860のE85給油所がある。これはガソリン給油所のおおよそ2%に当たる(U.S. Department of Energy 2020)。給油所の地理的分布はさまざまである。例えば、ミネソタ州には416のE85給油所があり、米国のその他の地域より比較的密度が高い。市場分析者は、新しい燃料の不便さを許容可能な水準まで低減するには、ガソリン給油所の20%でその燃料が提供される必要があると推定している(Johnsonら2015)。図3に、1998年と2002年に2つのわずかな減少が見られるものの、E85給油所の数が1992年以来増えつつあることを示す。この成長は多くの政策の後押しを受けたものである。

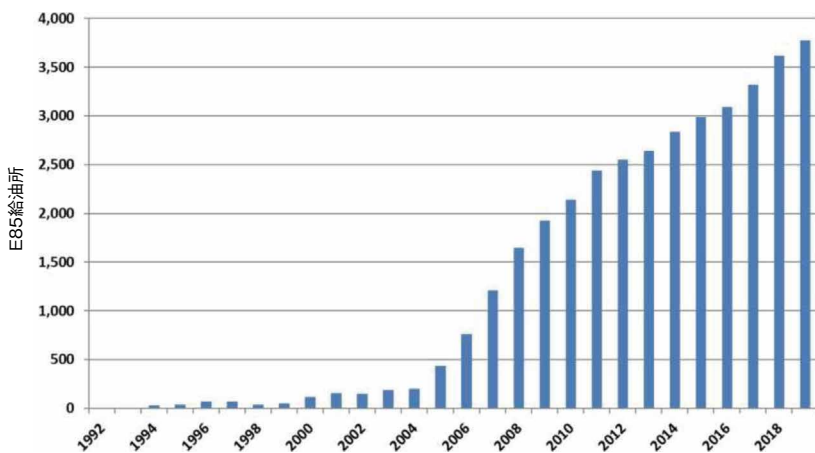


図3 米国内の年別E85給油所数
出典:代替燃料データセンター

図3はまた、E85給油所数の伸びが2005年に大きく加速したことも示している。これは、3万ドルを上限としてE85給油所のコストの30%を税額から控除する代替燃料インフラ税控除の開始と時を同じくしている(U.S. Department of Energy 2014a)。この税額控除は、30%か50%のいずれか(上限は5万ドル)で何度も遡って延長された。

給油機でE85を安全に給油できるようにするには、いくつかの段階を踏まなければならない。給油所の認可は管轄権を有する当局に委ねられる。多くの給油所は、給油機が適合しているかどうかを知るための広範な試験が行われる前に認定されていた。ULは、E85給油機の認定要件を2007年によく制定した(UL

Subject 87A-E85)(UL 2007)。今では、管轄権を有する当局がE85給油所に要求できるこの認定を有する多くの給油機がある(U.S. Department of Energy 2016c)。対照的に、MTBEを含むULリスティングはこれまでまったくない。

E85は非FFV車を損傷する可能性があるため、連邦取引委員会はE85給油機にその旨を表示することを義務付けている。このルールとそれに関連するラベルを制定するのに時間がかかっていた間に、管轄権を有する多くの当局、州政府、および地方政府が独自のラベリング要件を制定した。さらに、ほとんどの給油所は、E85に(FFVの黄色燃料タンク・キャップに合った)黄色のノズルを使用して誤給油を低減している(図4)。



図4 FFVの黄色燃料タンク・キャップとそれに合う給油機のノズル
出典:国立再生可能エネルギー研究所 32163および32153

補助金プログラムもE85給油所の設置に役立った。さまざまな資金源から多くの資金提供のうねりがあったが、最も重要なのは2009年のアメリカ復興・再投資法であった。アメリカ復興・再投資法は代替燃料と先進自動車プロジェクトに3億ドルを提供し、その一部は67のFFV給油所に供与した(U.S. Department of Energy 2014b)。ほとんどの連邦インフラ補助金は、補助金受領者が公共車両へのアクセスを提供することを義務付けている。2015年、米国農務省農家サービス局はバイオ燃料インフラ・パートナーシップ・プログラムを発表した。このプログラムは、E15およびE85給油機を設置する約865の給油所に8,200万ドルの連邦資金と費用分担補助金を最終的に供与した(U.S. Department of Agriculture 2015)。業界の景気刺激プログラムもまた、E10を超えて入手可能性を拡張する給油所に資金を供与した。

インフラ開発を援助し、FFVを路上で走行させるために保有車両が使用された。2007年のエネルギー自立・安全保障法は、あらゆる連邦給油センターに再生可能燃料ポンプを設置しなければならないことを義務付けた。

3.4. インセンティブ

セクション2で論じた、トウモロコシとエタノールの生産インセンティブのほとんどはE85のエタノール部分にも適用される。これには、1980年から2011年まで続いた一連の税額控除が含まれる。しかし、E85はいくつかの基本的な点において異なっていて、米国内で販売できるようにするために法的措置を必要とした。

講じる必要があった最初の措置は、1992年のエネルギー政策法に定められたプロトコルに基づいて、DOEがE85を燃料として登録することであった(U.S. Congress 1992)。E85はガソリンに「実質的に類似」していないため、直ちに登録しなければならなかった。この認識は、E85が1990年の改正CAAに基づいて「クリーンな代替燃料」と定義されたときに、E85について確認された。

4. E15

4.1. E15を許可するための規則

E15は、ガソリンに10.5%~15%のエタノールを混合したものである(EPA 2015)。E85と同様に、E15もいわゆるエタノール混合物の壁を乗り越える方法と見なされる。CAAは、車両とエンジンが排

出基準を満たすことを認定するために使用された既存の燃料と燃料添加剤に「実質的に類似」していない新しい燃料や燃料添加剤を許可していない。排出基準を満たす上で、車両とエンジンにマイナスの影響がないことを示すデータが提供されれば、新しい燃料や燃料添加剤に適用除外を与えることができる。エタノール産業グループであるグロス・エナジーと54のエタノール・プラント所有者は、E15に対する適用除外申請を2009年3月に提出した(EPA 2012)。DOEのオークリッジ国立研究所と国立再生可能エネルギー研究所は、車両、エンジン、または人間の健康に悪影響を及ぼさないことを示すデータをエタノール業界と共同で策定した(McCormickら2013)。2009年3月、EPAは2007モデル年以降のLDVにE15を承認する部分的適用除外を発行し、追加データをレビューした後、この適用除外を2001モデル年以降のLDVに拡張した(Federal Register 2011)。申請時のデータ不足により、この適用除外は大型ガソリン車、オートバイ、特定エンジン、および特定装置(ボート、スノーモービル、芝刈り機、リーフ・ブロー、および類似の小型エンジンを含む)にE15を使用することを禁止している。

4.2.E15規則

州および地方当局は、連邦レベルで課される要件を超える燃料関連の追加要件を有している可能性がある。EPAの交通・大気汚染管理局は、2001モデル年以降のLDVとトラックにのみ使用が許可されているE15の誤給油リスクを低減するために、E15の販売要件を策定した。これらの規則はE10ガソリン、ディーゼル、またはその他の再生可能燃料には適用しない。E15を販売する給油所は以下の要件に従わなければならない。

1. EPAが承認したE15ラベルを給油機に貼り付けなければならない。
2. EPAが承認した誤給油低減計画(再生可能燃料協会から無料で入手できる)を採用しなければならない(EPA 2012)。
3. E15を使用するためのすべての燃料配送に製品輸送書を添付しなければならない。
4. 給油所は燃料品質調査に参加しなければならない。
5. E15に含まれるエタノールはASTM D4806を満たさなければならない。2019年現在、E15はE10と同じRVP 1ポンドの適用除外対象である(EPA 2019)。
6. 給油所は、EPAが承認した給油機とホースの構成を使用しなければならない。選択肢には以下が含まれる。
 - a. E15専用ホース
 - b. 4ガロン以上購入する場合のE0/E10/E15共用ホース(これには「4ガロン以上」ラベルを表示しなければならない)
 - c. E10以下を販売するための専用給油機

EPA地下貯蔵タンク局は、上記規則に加えて連邦規則集タイトル40、パート1、サブチャプター1、パート280~282に従って地下貯蔵タンクを規制する。この規則は、E10を超えるエタノール混合物に対する適合性要件を追加して、連邦規則集タイトル40、パート1、サブチャプター1、パート280.32で2015年7月に更新された。タンク、配管、封じ込め水溜め、揚水装置、放出検出装置、流出対応装置、および過充填対応装置は、貯蔵する燃料と適合していなければならない。E10を超える混合物を貯蔵する給油所は、

1. E10超の混合物を貯蔵する30日前に、実施機関(通常は州政府事務所)に通知しなければならない。
2. 適合する装置を使用し、以下の3つのいずれかで適合性を実証しなければならない。
 - a. 独立試験所による装置の認証/一覧表作成
 - b. 特定範囲のバイオ燃料混合物との適合性を確認する、装置またはコンポーネント製造業者の書面による承認
 - c. 人間の健康と環境に同様に保護効果があると実施機関が決定した、その他の方法の使用
3. E10を超える混合物の全貯蔵期間にわたる適合性実証記録を維持しなければならない。

石油設備協会と鋼製タンク協会は、特定範囲のバイオ燃料混合物との適合性を確認する製造業者のレターを掲載したウェブサイトを維持している。給油所所有者が製造業者のレターを使用すると連邦規則の要件が満たされる(Petroleum Equipment Institute 2016, Steel Tank Institute 2012)。

4.3.E15インセンティブ

E15に対する唯一の連邦インセンティブは、E10を超えるエタノール混合物の入手可能性を広げようとする、2015年の米国農務省のバイオ燃料インフラ・パートナーシップであった(U.S. Department of Agriculture 2015)。このバイオ燃料インフラ・パートナーシップは、給油所にエタノール・インフラを設置することを望む州に向けた競争的補助金プログラムであった。このプログラムで8,200万ドルの費用分担基金が提供された一方、州(州・民間パートナーシップを含む)もこれに適合する追加費用分担を提供した。21州がE15および/またはE85インフラ資金の供与先に選定された。このプログラムは、3,500を超える供給システムと180のタンク・システムを含む約865の給油所に資金を供与した。エタノール業界は、景気刺激などのプログラムを通してE15インフラに資金を供与している(Retka Schill 2014)。

4.4.結論

エタノールは現在、多くの理由により米国で最も多く消費されている非石油輸送燃料である。まず、そのオクタン価が高いことによってエンジン性能が向上する。第2に、それぞれ異なるニッチと市場を持つ3つの区別された燃料(E10、E15、E85)に導入されている。最後に、エタノールは大気質、エネルギー安全保障、気候変動、およびエンジン性能に関連する多くの政策目標を米国が達成するのに役立つ。これらの目標は、エタノールを追求する主な動機付け要因という役割を常に交代で担ってきた。しかし、全体として、エタノールが我が国の燃料供給の恒久的かつ重要な構成要素であることを可能にする一貫した長期サポートを提供した。

告知:

本書で表明されている見解は必ずしも米国エネルギー省(DOE)または米国政府の見解を表すものではない。

- 3 クリーンな石炭と天然ガスに置いたこのプログラムの重点が制定され、酸性雨が減少した。
- 4 改正の市場ベースのアプローチは、公益事業者が消費者に省エネルギーを推進すると同時に、ますます厳しくなる排出基準を満たせるように考案された。
- 5 RFSの量のほとんどがトウモロコシ・エタノール、セルロース系エタノール、バイオディーゼル、再生可能ディーゼルなどのバイオ燃料で満たされてきたが、このプログラムは、都市固形廃棄物から生成される天然ガスなど、その他の原料から生産される燃料を考慮に入れている。

ネットワークに関するご意見、
ご感想をお寄せ下さい。



U.S. GRAINS COUNCIL アメリカ穀物協会

〒105-0001 東京都港区虎ノ門1丁目2番20号
第3虎の門電気ビル11階

Tel: 03-6206-1041 Fax: 03-6205-4960
E-mail: Japan@grains.org

本部ホームページ(英語): <https://www.grains.org>
日本事務所ホームページ(日本語): <https://grainsjp.org/>