

正念場を迎えた米国の第二世代バイオエタノール（1） （レンジフュエル社の失敗と導入目標の修正）

エネルギー技術調査部 財部明郎

1. 第二世代バイオエタノールの夢と現実

第二世代バイオエタノールは、トウモロコシやサトウキビといった農作物の食用とされない葉、茎、芯、搾りかすなどの部分を使って自動車燃料用のバイオエタノールを製造する技術である。

可食部分以外を燃料として使うのなら、味、栄養あるいは安全性などを考える必要はないし、この技術を応用して、そのあたりに生えている草や木、あるいは都市ゴミからさえ自動車燃料を作ることができるかもしれない。そんな夢のような技術が第二世代バイオエタノールである。その夢を実現するために、様々な研究が行われているが、実用化するのは無理だという意見もある。技術的には可能だが、コストを石油並みに下げるのは困難だというのが、その主な理由であり、様々な論争が行われてきた。

そのような中、技術開発の先行きに暗雲が広がる事態が発生した。その1つは、大規模な第二世代バイオエタノールプラント建設を目指していたレンジフュエル社が2011年12月に開発に失敗して倒産したことである。この会社の製造能力は、2014年には米国の第二世代バイオエタノール生産量の約2割を占めると期待されていた。もう1つは、米国環境保護庁（EPA）が第二世代バイオエタノールの導入目標値を大幅に引き下げる決定を行ったことである。この目標値引き下げは、導入を推進する立場にあるEPA自らが第二世代バイオエタノールの開発の遅れを認めたものと受け止められた。

この2つの事件から、やはり第二世代エタノールの開発は無理だという観測が広がり始めている。しかしながら、ほぼ時を同じくして、2つの大規模な第二世代バイオエタノールの商業プラントの建設が開始されたというニュースも入ってきている。

第二世代バイオエタノールの開発は、この先どうなっていくのだろうか。

2. DOEの第二世代バイオエタノール技術開発プログラム

第二世代バイオエタノールの開発は世界中で行われているが、特に米国において盛んである。その技術開発の中心となっているのが、米国エネルギー省（DOE）である。DOEは第二世代バイオエタノールの製造技術の基礎的な研究から、応用、商業プラントの建設、さらには原料の収集、製品の配送、あるいは製品の使用方法に至るまでの全てのサプライチェーンにわたって資金を提供し、研究開発を進めている。このうち、商業プラントの建設を目指すのが統合型バイオリファイナリープロジェクトであり、2011年の時点で10件あ

った（表－1）。

表－1 DOE の統合型第二世代バイオエタノールプロジェクト 1)

プロジェクト	2014 年における製造能力の割合	技術タイプ	原料
アベンゴア	15%	生化学法	農業残渣
ポエト	24%	生化学法	農業残渣
パシフィック	2.5%	生化学法	エネルギー作物
リグノール	2.5%	生化学法	森林残渣
マスコマ	19%	生化学法	森林残渣
ベレニウム	1.5%	生化学法	農業残渣
レンジフュエル	19%	熱化学法	森林残渣
レッドシールド	1.5%	生化学法	森林残渣
フレームビュー	9%	熱化学法	森林残渣
ニューページ	6%	熱化学法	森林残渣

昨年末に破綻したレンジフュエル社は、この 10 プロジェクトの 1 つであり、目標製造能力は 3 番目に大きく、生産量は 2014 年において全体の約 2 割をまかなうことが期待されていた。

3. レンジフュエル社の技術とはどのようなものか

では破綻したレンジフュエル社の技術とはどのようなものだったのだろうか。

第二世代バイオエタノールの製造技術には、生化学的なアプローチ（生化学法）と熱化学的なアプローチ（熱化学法）がある。生化学法は、酵母や酵素のような微生物や微生物由来物質を使ってバイオマスをエタノールに転換する方法である。これに対して熱化学法は、原料を 1000℃近い高温に加熱して、原料の分子を一旦ばらばらに分解してガス状とし、これを原料にしてエタノールを合成する。生化学法は温度も圧力も低くてすむが、反応速度が遅いことから大きな設備が必要となる。また、原料にもいろいろ制約がある。一方、熱化学法は高温を使う方法で、反応が早すぎることで、高温を取り扱うことから制御が難しいが、一旦分子をばらばらにする方法であるから、原料の制約は少ない。前者は生物学者、後者は化学工学者が好きな方法といえるだろう。

レンジフュエル社の技術は熱化学法である。まず、クレッパ－式水蒸気改質ガス化装置と呼ばれる炉を使って、800℃程度の水蒸気で間伐材や廃材のようなバイオマスを分解して合成ガスとする。この合成ガスを精製した後、クレッパ－式エタノール合成機と称する装置によってエタノールを合成するという。つまりガス化工程と合成工程の 2 つの工程からなる。

レンジフュエル社は DOE や州、民間から多額の資金を得て、2007 年にジョージア州ソパートン (Soperton) にプラント建設を開始し、メタノールやエタノールのような液体バイオ燃料と電力を生み出すことを計画していた²⁾。しかしながら、2010 年にプラントが完成しても稼働率が上がらず、計画の年間 2,000 万ガロン (最終的には 1 億ガロン) より大幅に少ない年間 100 万ガロンしか製造できなかつたと言われている。そして、2011 年 1 月に 1 バッチの生産を行ったあとプラントは停止し、同年 12 月に銀行によりプラントが差し押さえられ、レンジフュエル社は倒産した。

4. なぜレンジフュエル社は失敗したか

レンジフュエル社の失敗についてはいろいろなことが言われている。ガス化段階におけるタールの取扱い方法の不備や、合成ガス中の不純物やガスの性状の変化を制御できなかったことが原因として挙げられている。このほか、資金不足で 2 基のガス化炉に対してバイオマスを充填する設備が 1 基しか設置されていなかったことや、また、十分な技術的検証がなされないままスケールアップに臨んだことなども指摘されている³⁾。

なお、筆者は合成ガスからエタノールを作る合成工程についても疑問を持っている。熱化学法は、石炭を使って液体燃料を作る方法として以前から開発されており、南アフリカではサソール法と呼ばれて既に商業化されている。サソール法でも、原料を一旦合成ガスとしたあと、軽油やガソリンなどの液体燃料を合成しているが、問題なく操業している。レンジフュエル社とサソール法の大きな違いは原料が石炭かバイオマスかということと、製品が軽油かエタノールかということである。確かに原料が異なれば、タールや灰などの取扱い方法が違ってくる。また、ガス化方法自体も若干違っている。しかし、生成物が軽油かエタノールかという違いも大きい。レンジフュエル社はエタノール合成工程についても新たに開発することが必要だったわけである。

余談ではあるが、ではなぜ米国の熱化学法ではサソール法のように軽油やガソリンを作るのではなく、エタノールを合成しようとしているのだろうか。これを米国再生可能エネルギー研究所 (NREL) の研究者に尋ねたことがある。米国では軽油よりもガソリン需要が多いのに、サソール法では軽油の得率が多くなる。答えの 1 つは、ガソリン代替となるエタノールが必要になるということであった。これは納得できる理由である。その研究者が苦笑いしながら語ったことであるが、もう 1 つの理由は、エタノールでなければ DOE の補助金が出ないということのようである。

なぜエタノールでなければ DOE の補助金が出ないのだろうか。これは筆者の推測であるが、DOE は最初、生化学法をだけを考えていたのではないだろうか。そこに、生化学法だけでなく熱化学法もありますよと後から熱化学法の研究者がねじ込んできた。それでは、熱化学法でエタノールを作るプロジェクトにも補助金を出しましょうということになった。つまり、軽油を作るのを得意としていた熱化学法を、無理やりエタノール生産プロジェク

トにしてしまったわけである。DOE の補助によって、合成ガスからエタノールを作るための様々な方法が開発されているが、生化学法よりも開発は遅れているように思われる。

5. レンジフュエル社の評判

ところで、レンジフュエル社の評判はもともと芳しくなかった。DOE は 2009 年に第二世代バイオエタノールプロジェクトの技術開発進捗状況についての評価を行っている（表一2）が、前掲の統合化バイオエタノール 10 プロジェクトのうち、レンジフュエル社の評価結果は下から 3 番目であった。しかもレンジフュエル社より評価の低い 2 件のうち 1 件（リグノール）は、既にプロジェクトの中止を示唆しているものであった。

表一2 2009 年における DOE の評価⁴⁾

プロジェクト	評価
アベンゴア	4.2
ポエト	3.6
パシフィック	2.9
リグノール	2.7
マスコマ	4.2
ベレニウム	3.6
レンジフュエル	2.9
レッドシールド	2.6
フレームビュー	3.5
ニューページ	3.3

この DOE の評価報告書には評価者のコメントが記載されている⁴⁾。そのうちのいくつかを紹介する。

- ・ レンジフュエル社は、次に建設するプラントでは建設コストを 50%低減できると述べているが、これは懐疑的であり、人を惑わす煙幕（smoke and mirrors）に過ぎない。
- ・ レンジフュエル社の報告は、かれらの技術のセールストークに過ぎない。
- ・ レンジフュエル社がスケールアップを行い、設備を建設する準備があるとは思えない。
- ・ レンジフュエル社は DOE に対して正直ではないと思える。DOE が多くの資金を提供するなら、かれらはもっと誠実でオープンであるべきだ。
- ・ レンジフュエル社は、経済性、プロセスフローダイヤグラム、主な未確認事項とリスク、およびパイロットプラントデータを提示しなければならない。これらの情報を提供しないのなら、このプロジェクトについてなんら推奨することができない。

実に辛らつな評価である。評価作業はプロジェクト側が用意したプレゼンにもとづいて、

複数の評価者が評価する方法で行われる。このコメントから推定して、レンジフュエル社が用意したプレゼンには、具体的なデータがほとんど含まれていなかったのではないだろうか。ちなみに DOE は 2011 年にも同様の評価作業を行っているが、レンジフュエル社については評価すら行っていない。そして、同年 12 月にレンジフュエル社は破綻した。

6. EPA は第二世代バイオエタノール導入目標をなぜ引き下げたか

2007 年に制定されたエネルギー独立及び安全保障法 (EISA) の規定によって、EPA はバイオ燃料の導入計画を策定し、これを毎年見直すことになっている。最終目標は 2022 年に 160 億ガロン (6,060 万 kℓ) の第二世代バイオエタノールを導入することである。

当初、この計画によると 2010 年には第二世代バイオエタノールを 1 億ガロン (37 万 9,000kℓ) 導入することになっていた。しかし、EPA は 2010 年に目標量を 650 万ガロン (2 万 4,600kℓ) まで削減することにした。もとの値のわずか 10 分の 1 以下 (6.5%) にまで目標値を引き下げたわけである。ちなみに 2011 年の目標は 650 万～2,550 万ガロン、2012 年の目標は 345 万～1,290 万ガロンで、これも当初の目標値に遠く及ばない。

EPA が第二世代バイオエタノールの導入目標値を引き下げたのは、もちろん彼らの目論見どおりにプラントが建設され、稼働していないからである。特に EPA が 2011 年にある程度の生産を行うと期待していたレンジフュエル社が上述のような状況であり、また、ゼロエナジー社というベンチャーも実際には生産すら開始できなかった。さらに、EPA はアメリカン・プロセス社、ファイバーライト社、IONES 社、KL エナジー社などの生産を期待しているようであるが⁵⁾、かれらが予定通り稼働したとしても当初の目標値には到底達しないであろう。

このように実績が当初の目標値に大きく達しないということは、計画どおりうまくいかなかったというよりも、もともとの目標自体に無理があったと考えざるを得ない。

実は 2008 年に米国政府は、「バイオ燃料アクションプラン」という第二世代バイオエタノールの開発スケジュールを策定している⁶⁾。これによると 2012 年までに技術を開発し、それから 3 年かけて技術の規格化やインフラの建設を行い、2015 年から商業プラントを建設、その後、生産能力を徐々に増やしていった、2022 年に目標を達成することになっている。つまり、このプランによると 2010 年や 2011 年はまだ研究開発段階であり、商業プラント建設の前ということになる。第二世代バイオエタノールの生産量について目標値を掲げること自体、無理と言わざるを得ない。

EPA としては、このような強気の数値目標を掲げることによって、第二世代バイオエタノールの技術開発を促進しようという意図があったのではないだろうか。

7. まとめ

第二世代バイオエタノールの技術開発について、悲観的な2つの事件、レンジフュエル社が失敗したことで、EPAが目標値を大幅に引き下げたことを採り上げ、その原因と背景について述べた。

レンジフュエル社は一部のマスコミで言われていたような第二世代バイオエタノール商業化の本命ではない。むしろ競馬で言えば、最後尾をよたよた走っていた馬に過ぎない。今回の事件は、その馬がコケ、騎手が落馬したということである。DOEがこの馬の馬券を大量に買っていたことは問題であるが、これでレース自体が無効になるということではないだろう。

EPAの目標値については、もともと過大でありすぎた。現在は、技術開発がほぼ終了し、ようやく商業プラントの建設に着手したところである。商業プラントは着工後、稼働を開始するまで2年ほどかかる。その後いろいろトラブルを経験して、徐々に改善されていくであろう。このような商業プラントが本格稼働する前に、EPAが生産量の目標値を設けること自体がおかしいのではないだろうか。第二世代バイオエタノールプラントは規模の経済が働く分野であるから、少しずつ生産量を増えていくわけではなく、大型プラントが稼働するたびに、階段状に増加していくはずである。EPAの目標値のように滑らかに増加していくものではない。

今回のレポートは上述の2つの事件をもって、第二世代バイオエタノール技術開発がつまずいたとか、開発自体が無理だとかは言えないというのが結論である。ただし、むやみに楽観的になることも間違いであろう。次回のレポートでは米国の第二世代バイオエタノール開発のうち、うまく進捗していると思われるプロジェクトについて述べることにしたい。

(参考文献)

- 1) “Multi-Year Program Plan”, Biomass Program, DOE (2012)* 5028
- 2) “Range Fuels' Soperton Project”, Biomass Program Fact Sheet, DOE(2010) * 4545
- 3) Kein Bullis, “The Death of Range Fuels Shouldn't Doom All Biofuels “,technology reiew, MIT (2011)* 5017
- 4) “2009 Integrated Biorifinery Platform Reiew Report“, Biomass Program, DOE (2009) * 5029
- 5) “2012 Renewable Fuel Standards”, Federal Resister, Vol.77 Issue 5 (2012)* 2012
- 6) “National Biofuel Action Plan“, Biomass Research and Development Bord, BRDB (2008)* 4533