

## 【新エネルギー】

### "エネルギー源から車輪まで"のエネルギー消費と温室効果ガス排出 - 太陽と風力による水素エネルギー - (米国)

米国エネルギー省(DOE)が議会に宛てた報告書「水素生産のための太陽と風力技術」<sup>1)</sup>で引用している、アルゴンヌ国立研究所(ANL)のGREETモデルによって行われた「エネルギー源から車輪まで」のエネルギー消費と温室効果ガス排出の解析結果と、米国学術研究会議による報告書「水素経済：可能性、コスト、障壁と研究開発」<sup>2)</sup>で引用している解析結果との間の違いに関する根拠について、この報告書は解説している。

「エネルギー源から車輪まで」のエネルギー消費と温室効果ガス排出

- アルゴンヌ国立研究所 GREET モデル

風力と太陽エネルギーを使用して電気分解によって水素を生産することは、石油から派生する燃料エネルギーをほとんど必要としない。電気分解システムの利用率を増加させるための電力グリッドエネルギーの使用は、大幅には石油の消費量を増加させない。

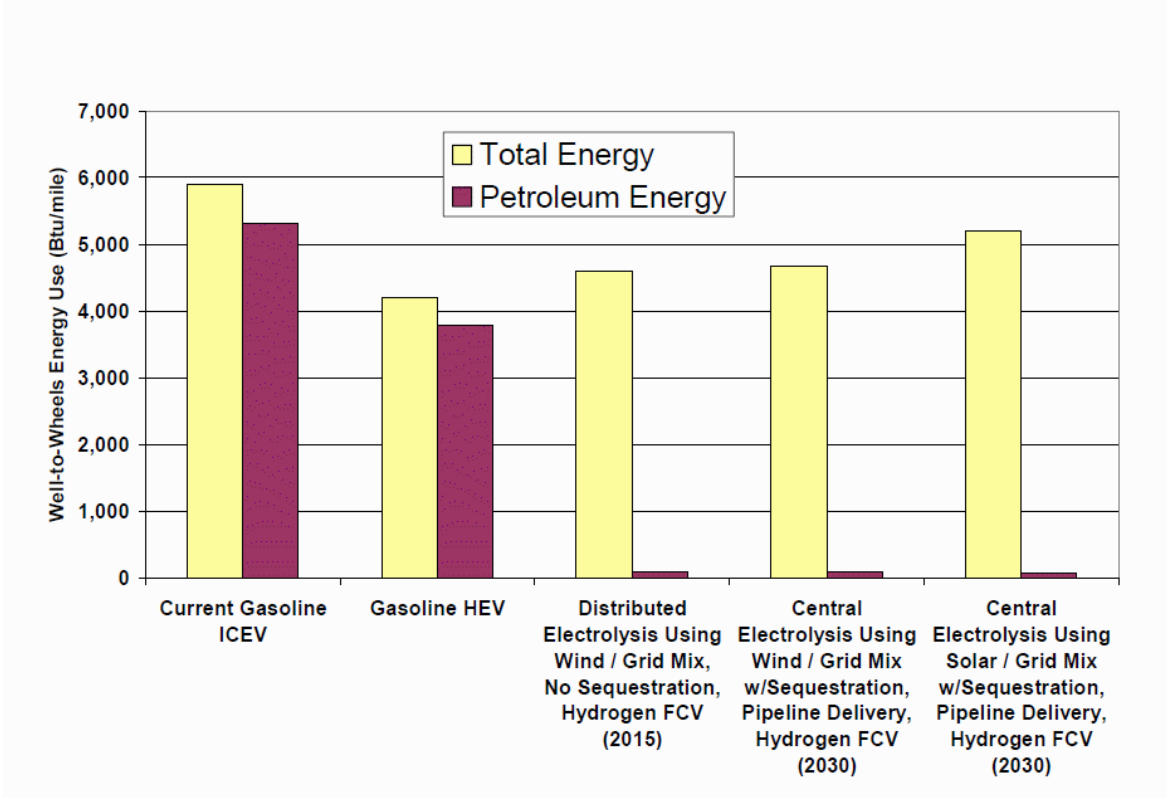
図 1 は、いくつかのシナリオの"エネルギー源から車輪まで"のエネルギー消費を示している。電解槽へ 50%の電力グリッド支援した分散型風力エネルギー電気分解技術(図 1 の真ん中のグラフ)の全エネルギー消費は 4,600 Btu/マイル(1.347 kW 時/マイル)であり、圧縮と輸送を含む全経路エネルギーの 34%は再生可能である。この分散型の将来ケースは、2015 年の時間枠で、電解槽研究は成功すると仮定している。

図 1 は、また将来の集中型風力および太陽エネルギー電気分解オプションの結果も示している(図 1 の右から 2 番目と右端のグラフ)。両者共に、電力グリッドからの電気分解エネルギーは 50%を占めている。集中型風力の場合の全エネルギー消費は、水素輸送に使用するエネルギーのために分散型の場合よりわずかに多い。エネルギーの 47%は再生可能であるが、低い電力変換効率は太陽/グリッド電気分解の場合の全エネルギー消費を増加させる。これらの将来の事例は、2030 年の時間枠で、パイプライン輸送インフラを仮定している。モシトレーラーや液体水素のような現在の輸送技術を仮定できれば、結果は著しく変化する。風力や太陽エネルギー資源によって水から生産された水素で走る燃料電池車は、ガソリン燃料を供給した自動車より著しく少ない石油エネルギーしか使用しない。

重要な仮定が図 2 の下に挙げられている。一旦技術が成熟しシステムが完全に解析されれば、光電気化学、光生物学および熱化学などによる水素生産技術も、同様に少

ない石油で利用でき、全エネルギー消費を基準として改良されている従来技術と競合し得ることが期待される。

<sup>1</sup> Figure 1: Well-to-Wheels Energy Use



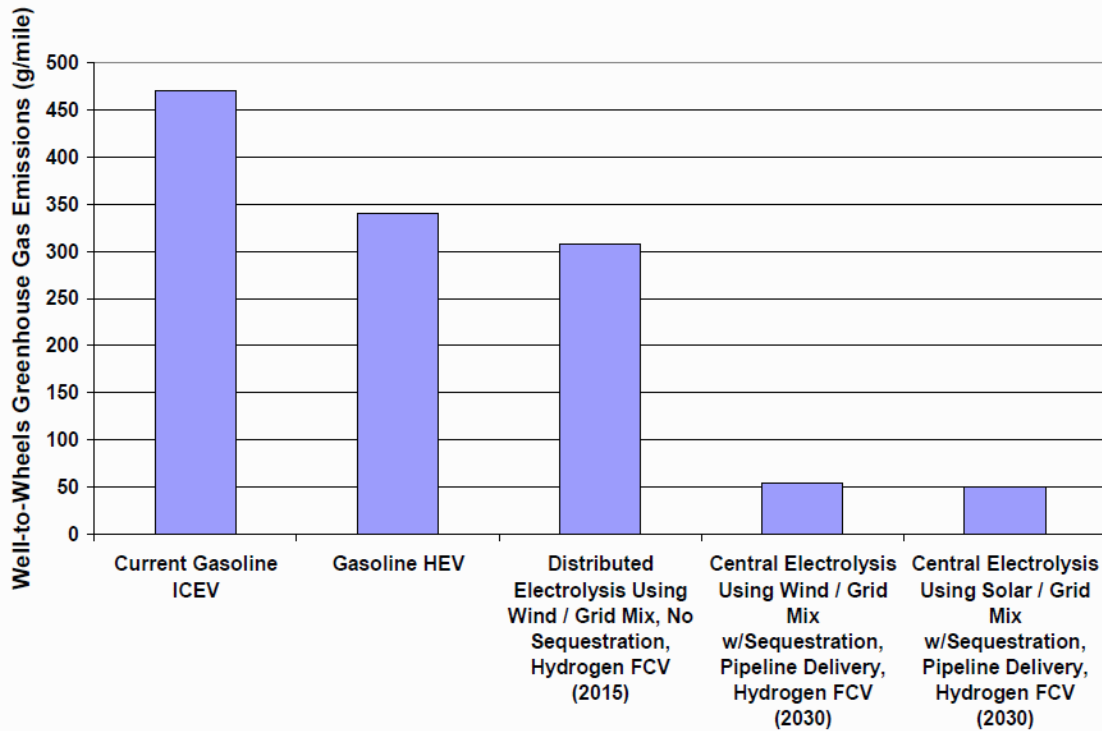
ICEV = internal combustion engine vehicle; HEV = hybrid electric vehicle;  
 FCV = fuel cell vehicle; (1 Btu = 3414.7 kWh)

図 2 は、風力や太陽エネルギー資源から生産された水素で走る燃料電池車がガソリン燃料を供給した自動車より少ない温室効果ガスを排出するというを示している。分散型風力/電気分解の場合に、下に例証されるように、グリッド電力が電気分解装置の機能を増加させるために使用される場合、大部分の温室効果ガス排出は電力グリッドの化石燃料基盤要素による。

集中型の場合に下に示されるように、グリッドの化石燃料発電所が排出する温室効果ガスの 85%を隔離することができるという将来のシナリオを仮定すると、温室効果ガス排出量は著しく削減される。さらに、この集中型の場合の時間枠は 2030 年である。炭酸ガス隔離なしでも、温室効果ガス排出は、自動車のより高効率なガソリンハイブリッド電気自動車よりも少ないであろう。集中型の場合の温室効果ガス排出は、さらにグリッド電力によるパイプライン輸送の圧縮と給油所での圧縮による。一旦技術が

成熟し、システムが完全に解析されれば、光電気化学、光生物学および熱化学などの水素生産技術は、同様に少ない石油使用で全エネルギー消費を基準として改良されてきた従来技術と競合し得ることが期待される。

Figure 2: Well-to-Wheels Greenhouse Gas Emissions



注：

- 油井から車輪までの、石油使用、再生可能エネルギー使用および温室効果ガス排出をアルゴン国立研究所の GREET モデルで計算。
- 完全水素の場合は、再生可能/電力グリッド資源 50%/50%ミックスを仮定、電解槽装置の機能増加のためにグリッド支援を使用。
- 風力/電力グリッドミックスを使用する集中型電気分解と太陽/グリッドミックスを使用する集中型電気分解は、電力グリッドによって発生したカーボンの 85%を隔離すると仮定。
- 集中型の場合については、水素輸送は、電力グリッドにより 85%の炭素隔離で供給されたパイプラインエネルギーを持つ 100km 以上のパイプラインによる。
- すべての場合について、電解槽効率は 44.5 キロワット時/kg 水素である。
- 給油所での供給については、GREET によって定義されるように、水素はグリッドエネルギーを使用して 6,000psi まで圧縮される。
- 燃料電池車は、GREET モデルによって定義されている。
- すべてのケースは技術ターゲットが達成されると仮定。
- すべてのケースは、従来のガソリンやガソリンハイブリッド電気自動車技術と競合するため経済性を持つシステム構成を示す。

図 1 および 2 は、GREET モデルバージョン 1.7 による 2005 年 11 月 9 日の計算による結果に基づいている。

次の主な仮定はモデルに関する追加情報を提供する、

**ケース 1:** (図 1、2 の真ん中のグラフ)

分散型電気分解、風力 50%/グリッド 50%を使用

圧縮は 6,000psi ; 圧縮効率 92.5% ; 圧縮にはグリッド電力を使用

電解エネルギー消費 = 44.5 キロワット時/kg

CO<sub>2</sub> 隔離無し

**ケース 2:** (図 1、2 の右から二つめのグラフ)

集中型電気分解、風力 50%/グリッド 50%を使用

電解エネルギー消費 = 44.5 キロワット時/kg

CO<sub>2</sub> の 85%をグリッドで隔離

パイプライン輸送 ; パイプラインは CO<sub>2</sub> 隔離したグリッド電力を使用

6,000psi まで給油所で水素圧縮、CO<sub>2</sub> 隔離したグリッド電力を使用

**ケース 3:** (図 1、2 の右端のグラフ)

集中型電気分解、太陽 50%/グリッド 50%を使用

電解エネルギー消費 = 44.5 キロワット時/kg

CO<sub>2</sub> の 85%をグリッドで隔離

パイプライン輸送 ; パイプラインは CO<sub>2</sub> 隔離したグリッド電力を使用

6,000psi まで給油所で水素圧縮、CO<sub>2</sub> 隔離したグリッド電力を使用

太陽および風力エネルギーによる水素生産の場合の全 GREET モデル入力は、  
[http://www.hydrogen.energy.gov/program\\_records.html](http://www.hydrogen.energy.gov/program_records.html) で利用可能である

ケース 1: 分散型電気分解 風力 - グリッド 2015.xls(DOE 水素プログラム[Record # 5012b])

ケース 2: 集中型電気分解 太陽 - グリッド 2030.xls。(DOE 水素プログラム[Record # 5012c])

ケース 3: 集中型電気分解 風力 - グリッド 2030.xls(DOE 水素プログラム[Record # 5012d])

#### - 米国学術研究会議の結果

全米科学アカデミー米国学術研究会議(NRC)の報告書は、太陽と風力エネルギーに基づいた電気分解システムにおける全エネルギー使用の結果を示している。NRC 報告書 61 ページのグラフによれば、70%グリッド支援の分散型風力電気分解によるエネルギー消費と 80%グリッド支援の分散型太陽(PV)電気分解は、それぞれおよそ 4,000 および 4,500 Btu/マイルである。報告書 62 ページのグラフは、将来の 80%グリッド支

援の分散太陽(PV)電気分解のエネルギー消費が、僅かに 4,000 Btu/マイル以下であることを示している。

以上

以下の表に NRC 報告書と GREET モデル報告書間のパラメーターの差を示す。

	NRC 報告書(189 ページ)	ANL GREET モデル
ケース	分散型電気分解、風力 40%・グリッド 60%使用	分散型電気分解、風力 50%・グリッド 50%使用
電解槽の効率	72%LHV	76%LHV
水素圧力	5,878psi	6,000psi
圧縮エネルギー	4,268 Btu/kg = 1.25 kWh/kg	7,200 Btu/kg = 2.7 kWh/kg(GREET モデルから)
コンプレッサーの効率	指定無し 96.3%として計算	94%(GREET モデルから)
グリッド損失	考慮せず	7.3%(これは分散型の場合; 電解槽がグリッド損失を考慮する必要量より多くの風力エネルギーの生成が必要)
自動車の走行等価マイル数	65 マイル/ガロン (注: GGE:Gallons of Gasoline Equivalent、ガソリン 1 ガロンあるいは水素 1kg に等しい)	64.4 マイル/ガロン(GREET モデルから)
プラント出口エネルギー消費量	2,484 Btu//マイル	2,689 Btu//マイル
WTW エネルギー消費量	2,982 Btu//マイル、この値は報告書の中で与えられていない; 50%の電気効率の仮定を使用して計算された。風力発電電力が含まれている場合 4,970。	4,600 Btu//マイル
上流発電所	効率 50%の天然ガス複合サイクル発電(60 ページ); 新しい発電所だけが水素プラントに電気を供給すると仮定(欄外 58 ページ)	効率 56.1%のグリッドミックス(GREET)
炭酸ガス排出	2.48 kg C/kg H <sub>2</sub> (CO <sub>2</sub> のみ、58 ページの注釈に基づく)	5.5 kg C/kg H <sub>2</sub> (CO <sub>2</sub> 、メタンおよび N <sub>2</sub> O を含む)
	違いは下記要因による: 1) 仮定されているグリッドミックス、2) 電解槽によって使用されている風力対グリッドの比、3) NRC 報告書はすべての温室効果ガス排出の代わりに単に CO <sub>2</sub> 排出のみを取り扱っているという事実、そして 4) システム境界の定義	

参考文献：

- 1) [http://www.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/congress\\_reports.html](http://www.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/congress_reports.html)
- 2) The Hydrogen Economy: Opportunities, Costs, Barriers, and R&D Needs, (水素経済：可能性、コスト、障壁ならびに研究開発の必要性)、Committee on Alternatives and Strategies for Future Hydrogen Production and Use, (将来の水素生産と使用の代案・戦略委員会)、National Research Council and National Academy of Engineering, (米国学術研究会議と全米技術アカデミー)、2004, pp 61-62, 189.
- 3) DOE Hydrogen Program: Reports to Congress, “Solar and Wind Technologies For Hydrogen Production(DOE、水素生産のための太陽と風力エネルギー技術)”, [http://www.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/pdfs/solar\\_wind\\_for\\_hydrogen\\_dec2005.pdf](http://www.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/pdfs/solar_wind_for_hydrogen_dec2005.pdf)

(出典：Well-to-Wheels Energy Use and Greenhouse Gas Emissions for Solar and Wind-Based Hydrogen, [http://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/5012a\\_well\\_wheels.pdf](http://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/5012a_well_wheels.pdf))