



# (4) エネルギーを有効に使う技術

技術分野 ・ エネルギー変換の技術

その他の教科  
理科 … 電流とその利用 (電流、電流と磁界)  
理科 … 化学変化とイオン (化学変化と電池)  
理科 … 科学技術と人間 (エネルギーと物質)

技術・家庭科 技術分野 エネルギーと技術

## (4) エネルギーを有効に使う技術

### ◆エネルギーの高度利用

エネルギー効率の飛躍的向上とエネルギー源の多様化に寄与する新技術がエネルギーの高度利用技術という。

**●燃料電池**  
水素と空気中の酸素を化学反応させて、直接電気を発生させる電池である。水素はさまざまな一次エネルギー源からつくることができ、エネルギー安定供給の観点から重要なエネルギーシステムになると期待されている。燃料電池自体の発電効率は約30~60%であるが、同時に発生する熱も利用するコージェネレーションシステムとして活用することで、エネルギー利用率を約80%まで高めることができる。発電の際に水しか排出せず、二酸化炭素や硫黄酸化物などを排出しないなど、環境面で優れている。

●燃料電池のしくみ  
電分解の原理  
燃料電池の原理  
水酸化イオン  
燃料電池の化学反応  $H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow H_2O + 電気$   
水酸化イオン  
燃料電池のエネルギー効率  
電力効率 30~53%  
熱効率 40%  
総合エネルギー効率 50~80%

●コージェネレーションシステム  
コージェネレーションとは、天然ガスや石油、石炭、LPガスを燃焼させ、発電をおこなうと同時に発生する熱を温水や蒸気を取り出し、冷暖房や給湯として利用するシステムである。電熱と熱を同時に利用するため、約70~85%という高いエネルギー利用率が実現できる。熱需要のある病院や宿泊・商業施設などが密集した地域に近接してシステムを設置すると、エネルギーの高度利用が図られる(56ページ参照)。

●コージェネレーションシステムのしくみ  
都市ガスの場合  
LNGタンク  
パイプライン  
ガス化率100%  
熱交換器  
発電機  
電気エネルギー  
70%以上のエネルギーを有効利用  
有効利用可能熱: 30%~50%  
電気エネルギー: 25~48%  
利用可能な熱: 15~30%

●次世代自動車  
ガソリンなど化石燃料をほとんど使わない自動車を次世代自動車とよぶ。

●電気自動車 (EV)  
バッテリーに蓄電した電気を動力源としたモーターを回し走る自動車である。家庭用の電源でも充電ができる。ガソリン車とくらべてエネルギー効率が高く、走行時に二酸化炭素を排出しない。電気を多く蓄電できるリチウムイオン二次電池の開発により、今では長距離走行が可能になるなど性能が向上している。家庭に電気を供給する機能を備えているので、停電時に電源として利用が可能である。

●プラグインハイブリッド自動車 (PHV)  
ガソリンエンジンと電気モーターを組み合わせて化石燃料の消費を減らし、効率よく走る自動車である。プラグからの充電ができないハイブリッド自動車に比べて、プラグインハイブリッド自動車は家庭などでも充電ができるので、電気自動車とハイブリッド自動車の両方の長所を持っている。

●燃料電池自動車 (FCV)  
燃料電池で作った電気でモーターを回し、走る自動車である。走行時に二酸化炭素を排出しない、多様なエネルギー源から製造された水素を使用できるという特徴を持っている。充電時間が3分程度とガソリン車とほぼ変わらない。現在水素を充てんできるステーションが少ないことが課題となっている。また、車両価格が高額なことから、普及に向けて製造コストの低下につながる技術開発が進められている。

●次世代自動車の比較

	電気自動車	プラグインハイブリッド自動車	燃料電池自動車
動力	モーター	エンジンとモーター	モーター
動力源	電気	電気とガソリン	水素
航続距離	約400km	EV走行距離: 68.2km ガソリン燃費: 5.8km/l(燃費率17.2%) (2018年4月現在)	水素ステーションを備え100km以上 (2018年4月現在)
充電/給油時間	約30分	EV: 約1時間 ガソリン: 約5分	約3分
環境性能	走行中に排気ガス、二酸化炭素を排出しない	エンジンを利用しているときは排気ガス、二酸化炭素を排出する	走行中に排気ガス、二酸化炭素を排出しない
充電/給油場所	普及率向上中	約45分まで充電	3分程度

●燃料電池の性質を調べ、どのような用途で使うとよいか考えてみよう。

## ◆燃料電池

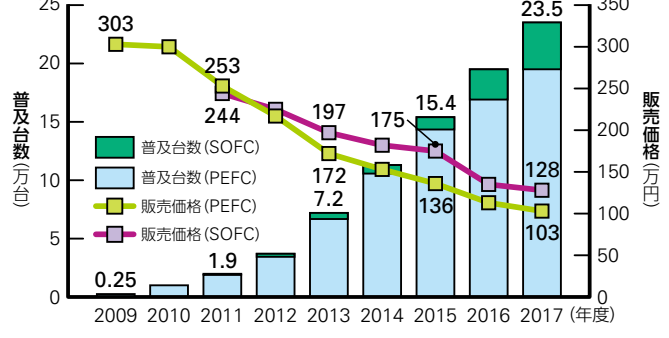
水素は無尽蔵に存在する水や多様な一次エネルギーからさまざまな方法で製造することができる。

例えば再生可能エネルギーのコストが下がれば、その余剰電力などを水素に変換して貯め、必要に応じて電力に再変換することができる。

エネルギー源の多様化に寄与するとともに、利用時に二酸化炭素を排出せず、エネルギーの利用効率が高いため環境負荷の低減にもつながるなど、将来の二次エネルギーの中心的役割を担うことが期待されている。

日本では、世界の中でも家庭向け燃料電池「エネファーム」や燃料電池自動車の導入が進んでいる。エネファームとは、家庭用燃料電池コージェネレーションシステムのことである。都市ガスやLPガスなどから、改質器を用いて水素を取り出し、発電する。同時に、発電時の排熱を給湯に利用することができる。

## エネファームの普及台数と販売価格の推移



## ◆コージェネレーションシステム

コージェネレーションシステムは電力と熱を生産

し供給するシステムの総称である。内燃機関を用いる方法、蒸気ボイラーおよび蒸気タービンを用いる方法、そしてガスタービンと蒸気タービンを組み合わせた方法に分けることができる。

民生分野では、病院や商業施設、地域冷暖房、ホテル、清掃工場・下水処理場、スポーツ施設、大規模オフィスビルなどで導入されている。

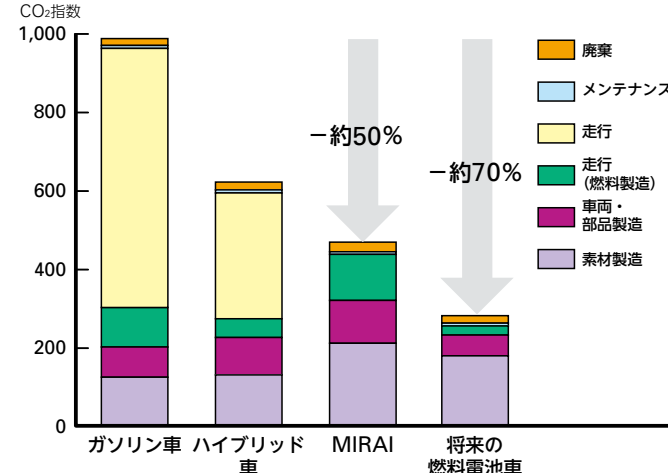
産業分野では、化学・石油化学、機械 (自動車等)、鉄鋼・金属、電気・電子、エネルギー (石油精製、ガス、共同火力)、食品・飲料・畜産産業、繊維、紙・パルプなどさまざまな産業で導入されている。

## ◆スマートモビリティ社会とは

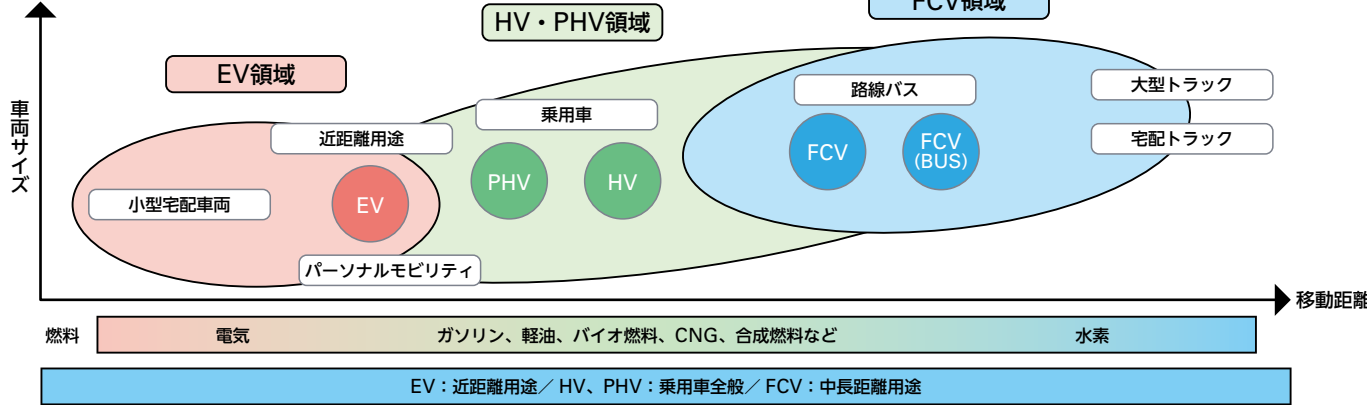
スマートモビリティ社会とは、次世代自動車とICT (情報通信技術) を活用した高度道路交通システムを組み合わせることにより、環境に配慮しながらスムーズで快適な移動を実現する交通手段やシステムを整えた社会である。

ハイブリッド自動車や電気自動車、燃料電池自動車は、環境負荷が低いため、これからの一層の普及が期待されている。

## 自動車のライフサイクルアセスメント評価



## モビリティの棲み分けイメージ







# (4) エネルギーを有効に使う技術

技術分野 ・ エネルギー変換の技術

その他の  
教科

- 理科 … 電流とその利用 (電流、電流と磁界)
- 理科 … 化学変化とイオン (化学変化と電池)
- 理科 … 科学技術と人間 (エネルギーと物質、自然環境の保全と科学技術の利用)

技術・家庭科  
技術分野 エネルギーと技術

### ◆火力発電の高効率化

●コンバインドサイクル発電  
コンバインドサイクル発電は、ガスタービンと蒸気タービンを組み合わせて発電効率を高めた発電方式である。通常の火力発電より少ない燃料で同じ量の電力を作ることができ、二酸化炭素の排出量を減らすことができる。燃料を燃やして高温のガスを発生させ、ガスタービンを回して発電をおこなった後、ガスタービンから出る排ガスの余熱で水を沸騰させ蒸気タービンによる発電をおこなう。コンバインドサイクル発電の熱効率は、日本の火力発電所の熱効率が平均45%程度であるのに対し、60%以上のものも開発されている。

●コンバインドサイクル発電のしくみ  
燃焼室で燃料を燃やして高温のガスを発生させ、ガスタービンを回して発電をおこなった後、ガスタービンから出る排ガスの余熱で水を沸騰させ蒸気タービンによる発電をおこなう。

●石炭ガス化複合発電 (IGCC)  
従来の石炭火力は石炭を固体のまま燃焼させるが、IGCCは石炭をガス化することによりガスタービンと蒸気タービンを回すコンバインドサイクル発電ができるため発電効率が高くなる。また、ガス化する際に硫酸化物の除去、窒素酸化物を抑制・分解できる。従来は利用されていない発電に適さない低品位の石炭も利用できる。

●石炭ガス化燃料電池複合発電 (IGFC)  
IGCCをさらに高効率化する発電方式として期待されているのがIGFCである。IGFCは石炭のガス化によって発生する可燃性ガスの中に含まれている一酸化炭素と水素ガスを利用し燃料電池による発電をおこなった後、ガスタービン、蒸気タービンで発電をおこなう。3種類の発電形態を組み合わせたトリプル複合発電で、二酸化炭素排出量を従来の石炭火力から約3割低減できる。

●石炭ガス化技術の特徴

二酸化炭素排出量の削減	発電効率を従来の約45%から約55%に高めることにより、二酸化炭素の排出量を約3割減らすことができる。
利用技術の拡大	従来の石炭火力発電には不向きな低品位の石炭も利用できる。また、ガス化する際に硫酸化物の除去、窒素酸化物を抑制・分解できる。
効率的な二酸化炭素分離・回収	燃焼させる前の原料石炭の状態で二酸化炭素を分離すれば90%以上を回収できる。
石炭灰の容量減少が可能	発電による廃棄物 (石炭灰) をガス状の固体物として排出するため、灰の容量を従来の石炭火力発電と比べて半分程度まで減らすことができる。

●クリーンコールテクノロジー  
石炭は埋蔵量が豊富で産出地に偏りがないというメリットがあるが、LNGや石油に比べて二酸化炭素や硫酸化物質 (SOx)、窒素酸化物 (NOx) の排出量が多いのがデメリットである。その石炭の弱点を克服する技術を「クリーンコールテクノロジー」と呼ぶ。現在、発電分野で研究開発が進められているものには、石炭をガス化して燃料にする「石炭ガス化複合発電 (IGCC)」やIGCCと燃料電池を組み合わせた「石炭ガス化燃料電池複合発電 (IGFC)」などがある。

●クリーンコールテクノロジーの発電効率

従来型石炭火力発電 (USC)	約40% (ベース)	二酸化炭素排出量	約820g/kWh
石炭ガス化複合発電 (IGCC)	約46%	約15% 減	約650g/kWh
石炭ガス化燃料電池複合発電 (IGFC)	約55%	約30% 減	約570g/kWh

●ガスタービンの高効率化と技術開発  
火力発電所で使われている蒸気タービンの蒸気温度は約600℃程度であるのにくらべ、ガスタービンのガス温度は最新型で約1600℃と非常に高温である。ガスタービンは高い温度で燃料を燃やした方がより多くのエネルギーを取り出せるため、燃焼ガスの温度を上げていくことがエネルギー効率の向上につながる。しかし、燃焼温度の高温化にはタービンのブレード (翼) の耐熱性、耐久性という課題があり、つねに研究開発がおこなわれてきた。現在、日本で開発された最新のガスタービンのブレードはニッケルをベースとした超合金を鍛造してつくられ、さらに塗料コーティングなどによって高温に耐えられるようになっている。

●石炭ガス化燃料電池複合発電 (IGFC) のしくみ  
1. 石炭をガス化する。2. 発生した可燃性ガス (CO、H<sub>2</sub>) を燃料電池で発電する。3. 燃料電池の排気ガス (CO<sub>2</sub>) を回収する。4. 回収したCO<sub>2</sub> を分離・回収する。5. 燃料電池の排気ガス (CO<sub>2</sub>) を回収する。6. 回収したCO<sub>2</sub> を分離・回収する。7. 燃料電池の排気ガス (CO<sub>2</sub>) を回収する。8. 回収したCO<sub>2</sub> を分離・回収する。9. 燃料電池の排気ガス (CO<sub>2</sub>) を回収する。10. 回収したCO<sub>2</sub> を分離・回収する。

●大綱ケルジェンプロジェクト  
IGCCの実証試験がすすんでいる大綱ケルジェンプロジェクト。現在は第1段階のIGCC実証試験を終了。第2段階で二酸化炭素を分離・回収する実証試験。第3段階では燃料電池を組み込んだ実証試験を実施している。(出典: 環境省)

## ◆次世代型火力発電の技術進歩

従来の方式による火力発電は二酸化炭素排出量が多いため、LNG火力発電、石炭火力発電それぞれ高温化・高効率化を図り、環境負荷を低減させる開発が進められている。現在、LNG火力はすでにガスタービンと蒸気タービンを組み合わせたコンバインドサイクルが実用化されており、発電効率は50%を超えている。2025年頃には燃料電池を加えたトリプルコンバインドサイクル方式のガスタービン燃料電池複合発電 (GTFC) の技術を確認し、発電効率60%以上をめざしている。

石炭火力については石炭をガス化し、LNG火力の高温ガスタービン技術を適用した石炭ガス化複合発電 (IGCC)、さらには石炭ガス化燃料電池複合発電 (IGFC) の実用化をめざし開発を進めている。

## ◆コンバインドサイクル発電 (Combined Cycle 発電)

ガスタービンと蒸気タービンを組み合わせた発電方式。圧縮した空気の中で燃料を燃やしてガスを発生させ、1500℃という高温でガスタービンを回して発電をおこなう。ガスタービンを回し終えた排ガスは、十分な余熱を持っているためこの余熱で水を沸騰させ蒸気タービンによる発電をおこなう。2種類のタービンを組み合わせることで、熱エネルギーを効果的に利用することができる。

構造は一般的な火力発電に比べ複雑だが、同じ燃

料でも小型の発電機をいくつも組み合わせてより多くの電力を得ることができる。また、ガスタービンの起動・停止操作が容易で、電力需要に即応できる。LNG火力発電ではすでに広く導入されている。

## ◆石炭ガス化燃料電池複合発電 (IGFC)

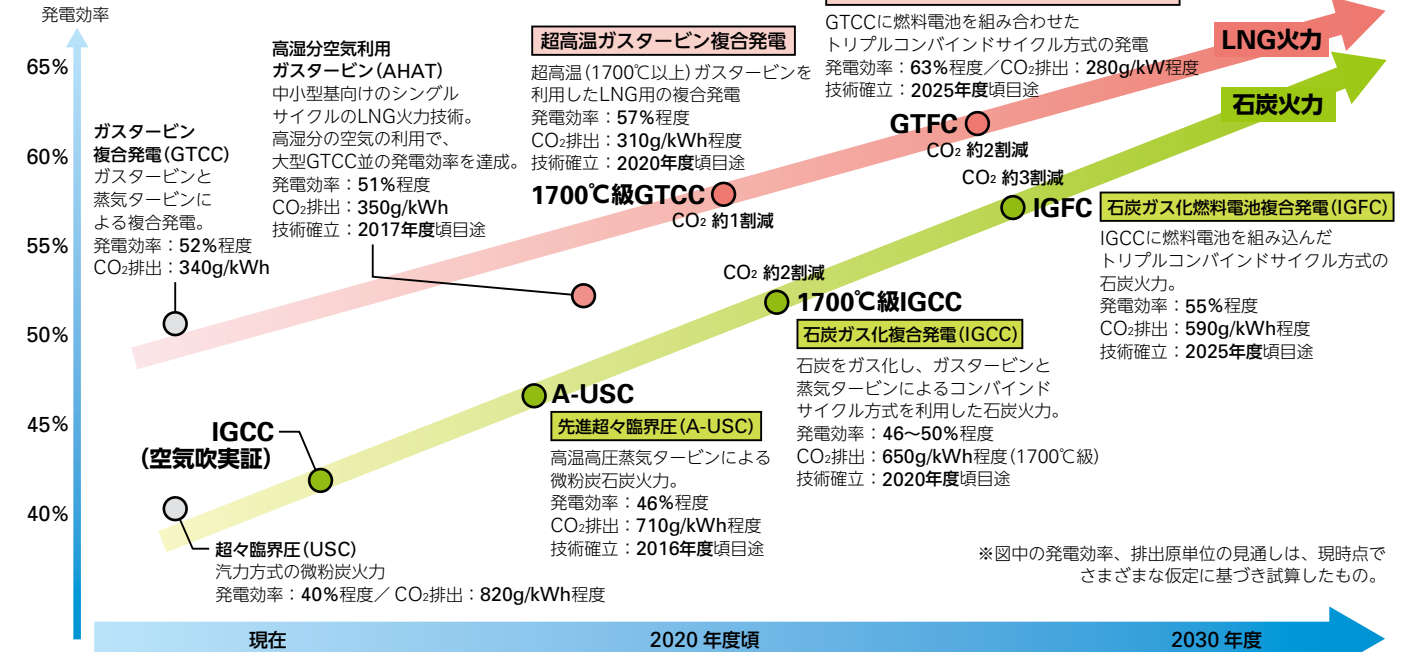
IGCCをさらに高効率化、低炭素化する技術が「石炭ガス化燃料電池複合発電 (IGFC=Integrated coal Gasification Fuel cell Combined Cycle)」である。石炭のガス化によって発生する可燃性ガスの中には一酸化炭素と水素ガスが含まれている。

IGFCはこの一酸化炭素と水素ガスで燃料電池による発電をおこなった後、ガスタービン、蒸気タービンで発電をおこなう。3種類の発電形態を組み合わせてトリプル複合発電をおこなうもので、実現できれば従来の石炭火力発電に比べ二酸化炭素排出量を約3割低減できる。

## ◆CO<sub>2</sub>回収・貯留技術 (CCS)

「CO<sub>2</sub>回収・貯留技術 (CCS (Carbon dioxide Capture and Storage))」は化石燃料の燃焼で発生した温室効果ガスであるCO<sub>2</sub>を発電所や工場などの発生源から分離・回収し、回収したCO<sub>2</sub>を地中深くに貯留・隔離する技術である。現在、日本や世界各国でCCS技術を確認するためのプロジェクトが進められている。北海道苫小牧CCS大規模実証試験では、すでに累計約29万トン (2019年9月現在) の二酸化炭素が海底下に圧入されている。

## 次世代火力発電技術の高効率化、低炭素化の見通し



※図中の発電効率、排出原単位の見直しは、現時点でさまざまな仮定に基づき試算したものである。