

## はじめに

内燃エンジン車が初めて登場したのが1885年、電気自動車（EV）はそれよりさらに古いので、自動車はすでに140年以上の歴史があります。その間に自動車技術は大きく進歩し、各性能は格段に向上しました。特に動力系は内燃エンジンが長足の進歩をして、熱効率も半世紀前の倍以上になりました。電動系ではモーターが交流の同期モーターが使えるようになり、また日本で発明されたりチウムイオン電池が実用化されました。その組み合わせにより航続距離が大きく伸び、EVの本格普及も進み始めています。

戦後、日本は自動車技術を欧米に学びながらその技術を磨き、今や完全にトップクラスになっています。世界一といえる技術も数多く持っており、その一例がハイブリッドの技術です。2モーター式のハイブリッドシステムは、欧米がなかなか実用化できない技術といえます。過度なEV化傾向が起きた一時期、「日本はEV化に乗り遅れている。日本の自動車工業は危うい」といった論調も見られましたが、EVの技術のほぼすべてを包含するハイブリッド技術を持った日本の自動車メーカーに、盲点はありませんでした。それどころかハイブリッド車が当面の現実解であることがはっきりしてきました。

ところで、2050年に「カーボンニュートラル」を達成するという国際的な取り組みが進んでいます。これはIPCC（気候変動に関する政府間パネル）の報告から導かれた「CO<sub>2</sub>の排出増加が地球温暖化の原因である」という説に基づくものです。一方でCO<sub>2</sub>は地球温暖化の原因ではなく結果だとする説もあれば、そもそも現在地球は温暖化していないとの説もあります。

とはいえ、すでに自動車業界をはじめどの業界もCO<sub>2</sub>削減、その先のカーボンニュートラルは重要かつ喫緊の課題として、その対応に取り組んでいます。そのひとつが電動化ですが、電池性能など困難な面もあります。内燃エンジンについては、CO<sub>2</sub>削減は熱効率の向上と同義でもあり、技術の進歩を表すものです。エンジンの燃焼技術の進化は大変興味深いものがあります。ストイキ燃焼、希薄燃焼、さらにはHCCIといった技術への挑戦も続いています。副燃焼室、水噴射といった技術も注目されるところです。

内燃エンジンにおいては化石燃料を使う限りCO<sub>2</sub>の排出をゼロにすることはできませんが、燃料を再生可能エネルギーでつくった水素、またはその水素を使ったe-fuel、さらにはバイオマス燃料とすることによりカーボンニュートラルは可能になります。内燃エンジンを不要とするには電池のエネルギー密度がケタ違いの数値にまで向上しなければなりません、その手立では今のところありません。自動車の動力源の今後は、電動化が徐々に進む一方で高効率・低CO<sub>2</sub>排出のエンジンが2050年までは存続するでしょうし、そのカーボンニュートラル燃料による内燃エンジンは、その後もずっと生き続けると思います。

ここでは、自動車の動力源がいかに発達してきたかを振り返るとともに、当面の課題であるカーボンニュートラル化、高効率化にどのように取り組んでいるか、その技術を紹介します。そこから将来の自動車の進化した姿を想像していただければ幸いです。

# 目 次

はじめに 3

## 序 章 2050年カーボンニュートラルへ

---

- 日本の動き／7
- 世界の動き／8
- エンジン車禁止の方向性の裏にあるもの／9
- EVの有用性と弱点／10
- エンジンはなくせない、なくなるしない／11
- EVは小さいクルマ向き／12

## 第1章 自動車動力源とその課題

---

- 排気ガス規制とCO<sub>2</sub>排出規制／15
- CO<sub>2</sub>排出低減は燃費低減とイコール／18
- タンクtoホイールとウェルtoホイール／18
- ライフサイクルアセスメント (LCA) とは／19

## 第2章 高効率・低燃費エンジン技術

---

### ガソリンエンジン技術／21

- 可変バルブタイミング機構／21
- 切り替え式可変バルブタイミング (リフト) 機構／24
- 連続可変バルブリフト機構の基本原理／26
- 連続可変バルブリフトの効果／27
- いろいろな可変バルブリフトシステム／28
- 連続可変バルブリフトが広がらなかった訳／30
- EGR／30
- 気筒休止／32
  - 1980年代からあった技術／33 近年の気筒休止技術 マツダの例／35
- アトキンソンサイクル／36
- ミラーサイクル／37
- HCCL／39
- マツダのSPCCIとSKYACTIV-X／41
- 希薄燃焼 (リーンバーン) ／44
- 副燃焼室方式／46
- 水噴射／47
- 可変圧縮比／48
  - 可変圧縮の仕組み／49 コンロッドが真っ直ぐ下がる／50 6気筒に近いバランス／51
  - 高いEGR率／51 e-POWER用ならではの特徴／52
- 発電用としてのロータリーエンジン／52
- 2ストロークエンジン／56
  - 次世代2ストロークエンジン／58
- 対向ピストンエンジン／59
  - 基本構造と作動／59 復活の要因／61

## ディーゼルエンジン技術 / 62

- 高圧多段噴射 / 62
- ディーゼルエンジン用触媒 / 64

## ハイブリッド技術 / 66

- ハイブリッドの分類と有用性 / 66
  - ハイブリッドの分類 / 66
  - ハイブリッドの有用性 / 67
- 2モーター式と1モーター式ハイブリッド / 68
  - 2モーター式ハイブリッド / 68
  - 1モーター式ハイブリッド / 69
- 各社のハイブリッドシステム / 71
  - プラネタリーギヤを巧みに使ったトヨタのTHS / 71
  - 高効率を追求したホンダのeHEV / 73
  - 三菱のPHEVシステムはシリーズパラレル / 75
- シリーズ型のe-POWER / 76
  - ルノーのE-TECHハイブリッド / 80

## 代替燃料 / 85

- NG (天然ガス) / 85
- LPG / 86

## 第3章 CO<sub>2</sub>排出ゼロの技術① 電池の現状と急速充電規格

---

### EV化の現状と課題 / 87

- 過剰なEV化とその鎮静 / 87
- EVの課題 / 89
- 電池の発明 / 91
- 電池の基本原則 / 91
- 鉛電池 / 92
- ニッケル水素電池 / 93
- リチウムイオン電池 / 94
- 全固体電池 / 95
- バイポーラ型蓄電池 / 97
- 金属空気電池 / 98
- 電池開発の現状 / 99
- 二次電池を巡る動き / 100

### 充電の現状と展望 / 102

- 急速充電規格 / 104
- 欧米の巻き返し / 105
- 電動車向け充電インフラ / 108
- ワイヤレス充電 (非接触充電) ① / 109
- ワイヤレス充電 (非接触充電) ② / 110

## モーターの現状と展望 / 111

- モーターの損失 / 111
- 磁石 / 112
- ステーターコイル / 112
- モーターの冷却 / 113
- インホイールモーター / 114
- インバーターの進化 / 115
- e-Axle (eアクスル) / 116

## 第4章 CO<sub>2</sub>排出ゼロの技術② カーボンニュートラル燃料とエンジン

---

### バイオ燃料 / 119

- CO<sub>2</sub>を排出するバイオ燃料がなぜカーボンニュートラルか / 119
- バイオ燃料の種類 / 120
  - エタノール / 120
  - バイオディーゼル / 122

### e-fuel / 124

- e-fuelとはなにか / 124
- e-fuelにはDAC (ダイレクトエアキャプチャー) が必要 / 125
- フィッシャー・トロプシュ法 / 127
- e-fuelの課題 / 127

### 水素燃料とその動力源 / 128

- 水素を使う意義 / 128
- 水素の燃料としての特徴 / 130
- 水素の種類 / 131
- 期待されるホワイト水素 / 131
- 水素の課題と現状 / 132
- 水素の安全性 / 134
- 世界は水素社会を目指している / 134
- FCEV (燃料電池車) / 136
  - FCEVの歴史 / 136
  - ベンツが火を付けたFC開発競争 / 136
  - その後のFCEVの動向 / 138
  - 海外におけるFCEV / 141
  - 今後を見ずえて / 143
- 水素エンジンの歴史 / 143
- トヨタの水素エンジンレース車の進化 / 145
- コンバージョン水素エンジンの可能性 / 146
- EVの限界とカーボンニュートラル燃料エンジン / 149

主要元素 / 152

主要分子 / 157

参考文献 / 159

# 序 章

## 2050年カーボンニュートラルへ

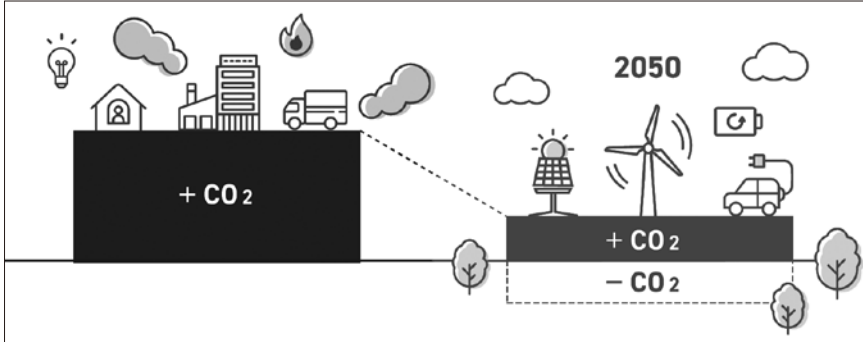
### ■日本の動き

国連の気候変動枠組を話し合う締約国会議(COP)は1995年以降毎年開かれているが、2015年のパリでの会議で採択されたのがいわゆる「パリ協定」である。これは2020年以降の気候変動枠組についてのもので、世界は「世界の気温上昇を産業革命以前に比べて2℃より充分低く保つとともに、1.5℃に抑える努力を追求」「今世紀後半に人為的なGHG(温室効果ガス)の排出と吸収の均衡を達成」というものである。

そして2021年に英国で開催されたCOP26では、長期目標であった「パリ協定」の具体的な取り組みについての合意がなされた。それはIPCC(気候変動に関する政府間パネル)の報告から導かれた野心的な取り組み、いわゆる「2050年にカーボンニュートラル」の達成であった。これによりカーボンニュートラルの重要性が国際的に急速に認知されることになった。

こうした背景の中、日本では2020年10月に当時の菅義偉総理大臣が「2050年カーボンニュートラル」を宣言、さらに「2030年度にGHG排出量を46%削減(2013年度比)」することを表明した。

日本におけるCO<sub>2</sub>の排出量は、全体の18.5%を運輸部門が占め、そのうちの85.8%が自動車によるものとなっている(2022年度)。これにより「2035年までに乗用車新車



化石燃料を再生可能エネルギーに転換し、2050年にはCO<sub>2</sub>の排出と吸収をバランスさせてカーボンニュートラルの達成を目指す。

販売で電動車100%を実現できるよう、包括的な措置を講じる」というグリーン成長戦略が2021年に策定された。商用車についても「2030年までに新車販売で電動車20～30%、2040年までに新車販売で、電動車と合成燃料等の脱炭素燃料の利用に適した車両で合わせて100%を目指す」とされた。なお、電動車とは電気自動車(EV)という意味ではなく、モーター走行できるハイブリッド車(HEV)も含めたものになる。その意味では、ハイブリッド車の普及している日本においては、難しい話ではない。

## ■世界の動き

COP26のカーボンニュートラルに関する合意を受けて、世界は自動車のEV化を急速に進めるようになった。特に顕著だったのはEU、米国、中国である。2035年前後をメドに内燃エンジン車の販売を禁止する方向性が出された。自動車メーカーもEV化の推進を表明し、エンジン車から手を引くことを明らかにするところも出てきたのだった。それはハイブリッド車、プラグインハイブリッド車(PHEV)をも含めた内燃エンジンを搭載したクルマからの脱却の表明であり、具体的には以下のとおりであった。

- ・欧州議会は2035年までにガソリン車など内燃エンジン車の新車販売を事実上禁止する法案を賛成多数で可決した(2022年6月)。
- ・米国ではカリフォルニア州を筆頭に各州で2035年までにガソリン車やディーゼル車の販売を禁止することを掲げている。これにはHEVも含まれるが、プラグインハイブリッド

# 第1章

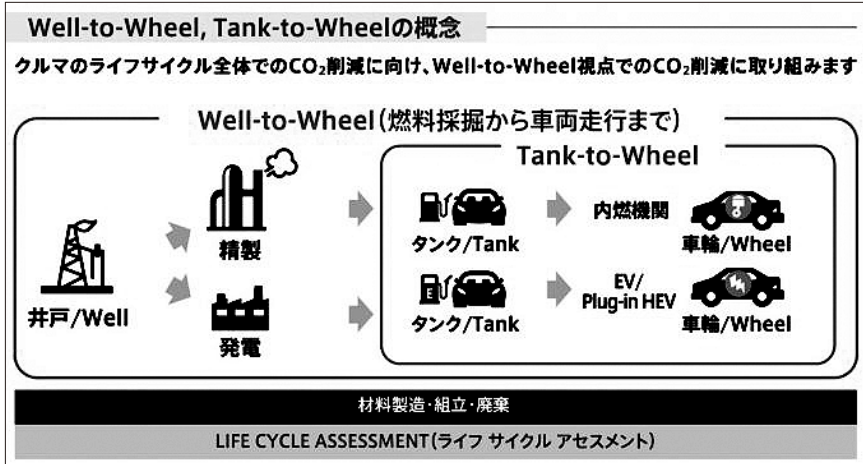
## 自動車動力源とその課題

### ■排気ガス規制とCO<sub>2</sub>排出規制

自動車の排気ガス問題が起きたのは、モーターレーゼーションが進展した第2次世界大戦後のことになる。米国のカリフォルニア州で始まった排気ガス規制はその後全世界に広がり、厳しい規制が段階的に適用されてきた。日本では1966年のCOの濃度規制から始まり、1973年にはHCやNO<sub>x</sub>の規制も加えられる。さらに1978年には世界で最も厳しいといわれた排気ガス規制(昭和53年規制)が行なわれた。その後も段階的に厳しい規制が施行されていった。

ヨーロッパはEUによる排気ガス規制があり、段階的に規制値を厳しくしてきている。これらに対し、中国やインド、その他アジアやアフリカ、南米などの発展途上国では先進諸国の規制を遅れてたどるような状況で、事実上日本や欧米よりゆるい規制になっているのが実情である。

自動車の排気ガスで問題となったのは、炭化水素(HC)、窒素酸化物(NO<sub>x</sub>)、一酸化炭素(CO)、二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)、粒子状物質(PM)などだが、やがて三元触媒が開発され、これによりHC、NO<sub>x</sub>、COの浄化が可能となり、大きな進歩を遂げた。PMは主にディーゼルエンジンから排出されるが、大抵がDPF(Diesel Particulate Filter: ディーゼル微粒子捕集フィルター)という触媒で浄化している。なお、ガソリンエ



燃料タンクの燃料によるCO<sub>2</sub>排出を考えるのがタンク to ホイール。タンクに入るまでの工程すなわち井戸(WELL)で原油を掘り出し精製して燃料とするまでのあらゆる工程を含めて考えるのがウェル to ホイール。これは次項のLCAの考え方だが、LCAは単にCO<sub>2</sub>だけでなく、環境負荷全体を考える。CO<sub>2</sub>だけについてはカーボンフットプリント(足跡の意)と呼ばれる。

## ■ライフサイクルアセスメント(LCA)とは

ライフサイクルアセスメントとは、製品等のライフサイクル全体(資源採取-原料生産-製品生産-消費-廃棄・リサイクル、それらの間の運搬)における環境負荷を定量的に評価する手法である。クルマのCO<sub>2</sub>排出については、タンクtoホイールが走行時のCO<sub>2</sub>排出で、ウェルtoホイールは燃料の採掘から精製、運搬してガソリンスタンドのタンクに注入するまでを加味したCO<sub>2</sub>排出の評価であるが、いずれも燃料についての評価である。

それに対しLCAにおいては、クルマそのものの一生をたどってCO<sub>2</sub>の排出を評価する。すなわち、クルマの材料になる原料の資源採掘から、部品生産、組立生産、消費、廃棄処分に至るまで、その間の運搬を含めてすべての段階でのCO<sub>2</sub>排出をトータルして評価する。したがって、EVは走行時にCO<sub>2</sub>を排出しないのでクリーンだと評価される一方で、LCAでの評価ではバッテリーの生産時に内燃エンジン車より多くのCO<sub>2</sub>の排出をしているとされている。したがって燃料とクルマの両方を合わせて評価しないと、正しいCO<sub>2</sub>排出の評価は得られない。



## 第2章

# 高効率・低燃費エンジン技術

自動車用内燃機関としてはガソリンエンジン、ディーゼルエンジン、そしてロータリーエンジンがある。ガソリンエンジンは火花点火による燃焼だが、ディーゼルエンジンは圧縮着火による燃焼で、燃料もガソリンでなく軽油という違いがある。ロータリーエンジンは、燃料はガソリンだがピストンの往復運動ではなく、三角形のローターによる揺動回転運動である。それぞれ特徴があり、高効率化の手法も異なる部分が多い。

### ガソリンエンジン技術

歴史的にも最も古く、自動車用エンジンとして今日も多用されているのがガソリンエンジンである。長い歴史の中でガソリンエンジンは大きく進化して、その熱効率も半世紀前の2倍の40%を超えるほどになり、さらに50%を目指す状況にある。その技術進化を振り返るとともに、今日の動向と今後の展望を見てみよう。

#### ■可変バルブタイミング機構

エンジンが極ゆっくり回転するものなら、吸気バルブは上死点で開いて下死点で閉じ、排気バルブは下死点で開いて上死点で閉じればよい。しかし、エンジンは低速から高

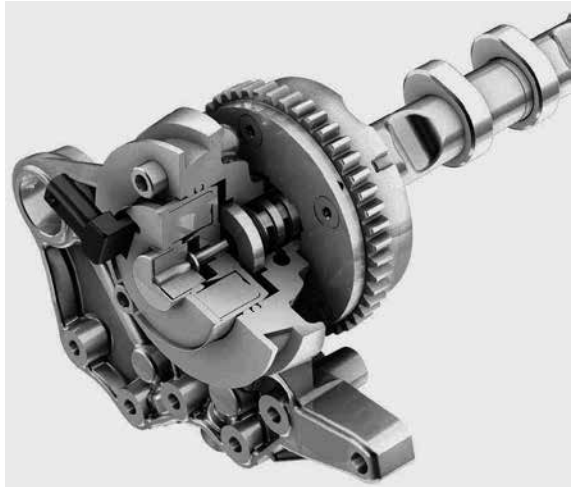
を変えることができる。この方法には油圧式と電動式があるが、主流は油圧式である。

油圧ベーン式といわれる機構は、油圧室を持ったハウジングとベーンで構成されている。ハウジングはタイミングチェーンとつながっており、ベーンはカムシャフトとつながっている。ここで、ハウジングとベーンの間にはある角度の可動幅がある。この可動幅を油圧室に送るオイルの量により調節するようになっている。そのためカムシャフトの進角を全体的に早めたり遅らせたりできるわけである。

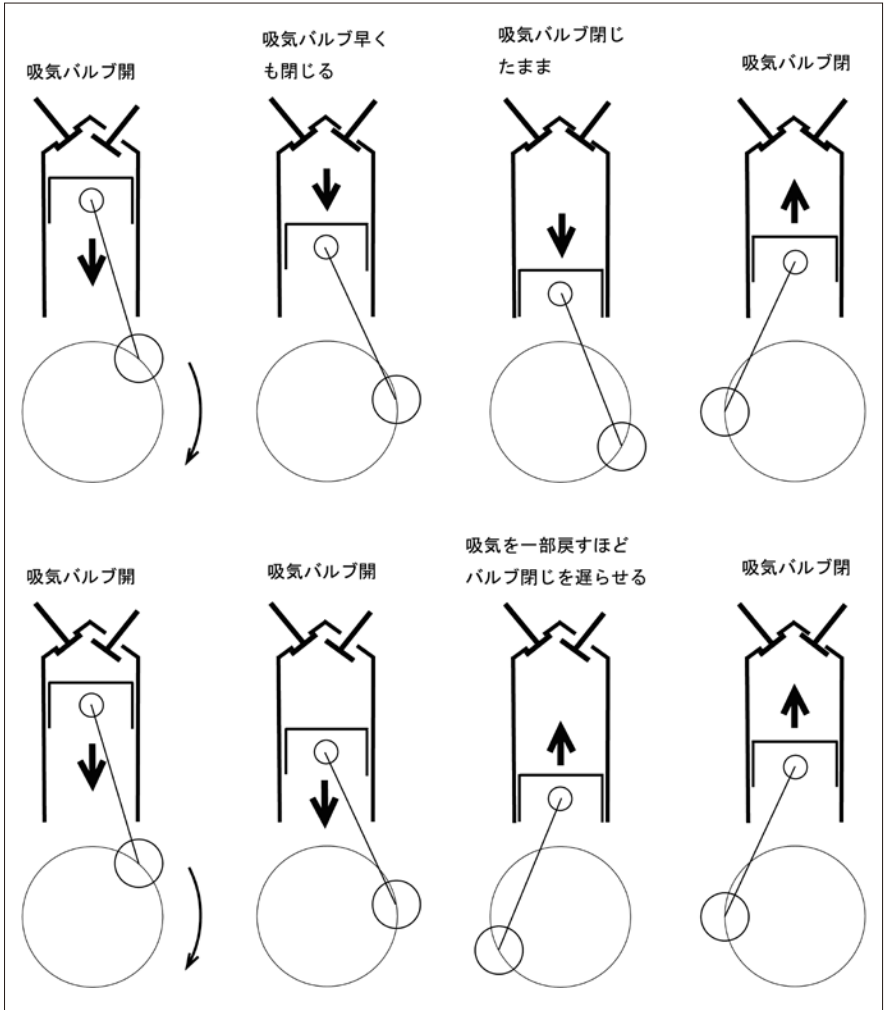
これにより高速回転になるに従い吸気バルブの開くタイミングを早め、吸気効率を高めることができる。ただし、吸気バルブの開く時期を早めると、閉じる時期も早まってしまう。実際には高速回転ではむしろ遅らせたいところだが、これでは早まってしまう。それでも吸気バルブタイミングは開き始めのほうが重要であることがわかっているので、可変バルブタイミング機構は有効なシステムとなっている。

前述のように主流は油圧式だが、電動による可変機構もある。モーターと減速機構を組み合わせたものが普通で、作用角を広く取れること、低回転や低温でも作動し応答性がよいなどの利点がある。ただ、大きくなりがちで価格も高いという難点を持っている。可変バルブタイミング機構は吸気側には必須といえるが、排気側には装備してい

電動式可変バルブタイミング装置。  
応答性が良いが価格は高くなる。



程を短くする。もちろん通常でも吸気バルブが閉じるのはピストンが下死点を過ぎてからとなる。これは吸気にも慣性力があり、下死点を過ぎてピストンが上昇し始めても慣性過給の効果で吸気がシリンダー内に入ってくるためである。遅閉じミラーサイクルではそ



ミラーサイクルには吸気バルブの早閉じ（上）と遅閉じ（下）がある。早閉じではポンピングロス小さいが吸気量を多く取り込めない。遅閉じは吸気を一部吸気ポートに戻すようになるが、慣性過給もあるので吸気量は早閉じよりも多い。

化されたNOx規制に対応が困難になり、やがて市場から消えてしまった。

しかし、熱効率向上のためには希薄燃焼は理想的であり、これからの技術とされている。HCCIはその典型であるが、マツダのSKYACTIV-Xエンジンや2020年に投入されたスバルレヴォーグ用CB18型エンジンも全域ではないものの希薄燃焼を採用したエンジンといえる。

## ■副燃焼室方式

希薄混合気を確実に燃焼させる技術としてホンダのCVCCエンジンの例を挙げたが、希薄燃焼を追求することで副燃焼室方式が再び脚光を浴びている。その先陣を切ったのはフォーミュラ1(F1)のエンジンで、すべてが採用するに至っている。そして超希薄燃焼に向かう技術として、副燃焼室エンジンがすでに開発され始めている。

副燃焼室というとディーゼルエンジンで使われた技術を思い浮かべる方もおられるかもしれないが、それは過去の技術といってよい。現代の火花点火エンジンの副燃焼室は形態がだいぶ異なっている。点火プラグが奥に引っ込み、そこの穴が副燃焼室になる。穴はキャップでふさぐが、そこには複数の穴が開けられており、主燃焼室とつながる。燃料の噴射はポート噴射と筒内直接噴射の2通りあるが、直接噴射のほうが制御



副燃焼室を持ったスパークプラグ。中に副燃焼室があり、そこで点火された炎が先端にいくつかあけられた穴から吹き出し、シリンダー内の混合ガスに多点点火する。

## 第3章

# CO<sub>2</sub> 排出ゼロの技術①

## 電池の現状と急速充電規格

### EV化の現状と課題

クルマのCO<sub>2</sub>の排出をゼロにする技術はいろいろあるが、大きく分けるとエンジンを搭載しないBEV(バッテリーEV)にする方法と、内燃機関を使うもののカーボンニュートラル(CN)燃料を使う方法の2通りになる。結果的にはEV化が急速に進展しているが、課題も多い。その大きなものは一充電での航続距離で、それはとりもなおさず電池性能の問題であるといえる。ここでは充電方法を含めてEV化についての現状と課題そして展望を見ていきたい。

#### ■過剰なEV化とその鎮静

テスラの伸長に象徴されるように、2021年頃から世界は一気にEVへと傾いた感があった。中国をはじめ欧州、米国などの自動車生産国では、EV化を推奨しその拡大に努めた。世界的にEVの販売が伸びたのは、環境意識の高いオーナーが増えている面もあったが、国家や自治体からの補助金など、大きな優遇措置があったからである。ところが2024年に入る頃になるとEV化傾向は完全に失速しはじめる。内燃エンジン車を廃止するとまでいった自動車メーカーもEV化を見直さざるを得なくなった。そし

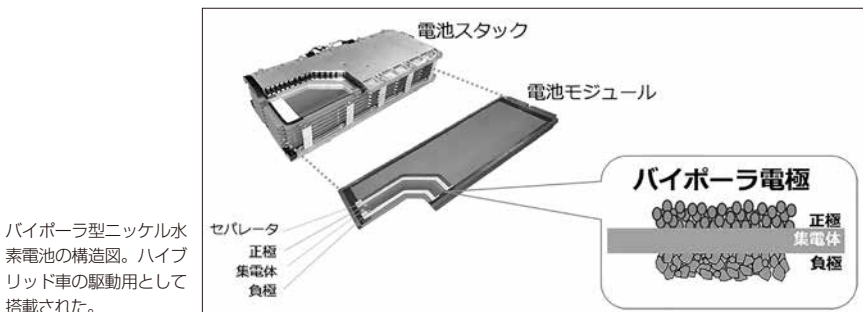
は温度が高くなると性能が落ちてくるので、60℃以上にならないように冷却する必要があるが、全固体ではその必要がない。高電圧による急速充電に対する対応性も高い。電池寿命が延びることも期待されている。ただし、後述するように克服しなければならない課題もたくさんある。

### ■バイポーラ型蓄電池

2021年7月にフルモデルチェンジしたトヨタ・アクアは「バイポーラ型ニッケル水素電池」を世界で初めて搭載した。バイポーラ(Bipolar)は双極を意味し、正極と負極のふたつの電極を、ひとつの集電体に併せ持った構造となっている。通常の電池ではセパレーターを挟んで正極と負極があり、それぞれ集電体と一対になりひとつのセルを構成している。すなわちひとつの集電体にはひとつの電極が塗布されており、直列に接続するには正極のセル端子を次のセルの負極のセル端子につなげる。これを繰り返して多くのセルを直列接続している。

これに対しバイポーラ型では集電体の表裏に正極と負極がある。したがってセル端子を使うことなくそのまま積層していけば直列接続になる。最初と最後の集電体だけは電極が片面だけであるが、ひとつの集電体を正極と負極が共用している形になっている。ただし各セルは集電体の半分のところで区分される。

バイポーラ型蓄電池は各セルを区分けする筐体が不要で、よりコンパクトにできる。ということは同じ体積の中により多くのセルを搭載することができるので、エネルギー密度を大幅に増やすことができる。また、複数のセルを積み重ねるので、セル端子でつなぐ



## 第4章

# CO<sub>2</sub> 排出ゼロの技術②

## カーボンニュートラル燃料とエンジン

CO<sub>2</sub>排出ゼロを達成する手段はEV化だけではない。従来使ってきたガソリンエンジンやディーゼルエンジンでも、燃料次第でCO<sub>2</sub>排出ゼロは達成できる。すなわち、排気口から排出されるCO<sub>2</sub>がゼロまたはゼロとカウントされる燃料を使うことである。それはバイオ燃料、水素燃料、e-fuel(合成燃料)の3つである。このうちバイオ燃料とe-fuelは基本的に従来エンジンをそのまま使って、セッティングの変更レベルで活用できる。水素燃料は燃焼特性が従来の燃料とは大きく違うので、燃料噴射や点火など、ハードとソフトに新たな技術開発が必要な部分はあるが、エンジンの基本構造に大きな変化はない。従来のエンジンをベースに水素燃料エンジンが作れる。

これらの燃料が使えれば、現時点では弱点を持っているEVとは別の意義をもった存在価値が生まれる。問題は燃料のコストをいかに下げられるかにあるといえる。

### バイオ燃料

#### ■ CO<sub>2</sub>を排出するバイオ燃料がなぜカーボンニュートラルか

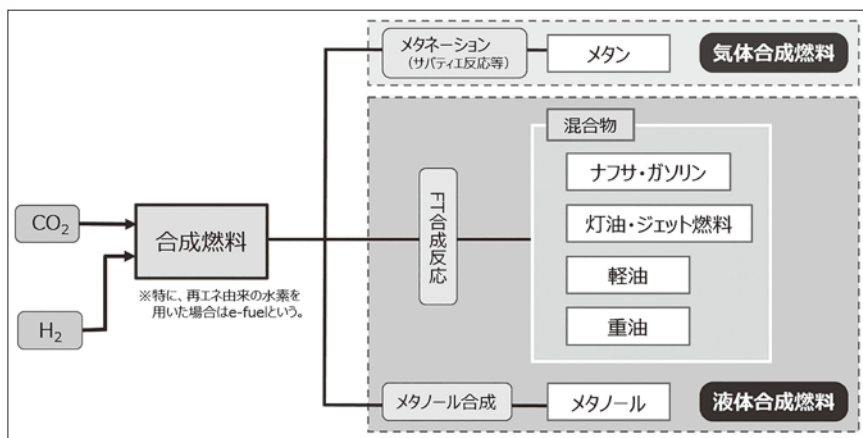
化石燃料といわれるガソリンや軽油を内燃エンジンで燃焼させると、CO<sub>2</sub>を排出する。しかし、エタノールなどのバイオ燃料でもCO<sub>2</sub>を排出することには変わりはない。それでも

# e-fuel

## ■ e-fuelとはなにか

e-fuelとは、カーボンリサイクル技術によって大気から回収したCO<sub>2</sub>と、再生可能エネルギー由来のH<sub>2</sub>から合成した液体燃料のことである。燃焼後にCO<sub>2</sub>は排出されるが、新たなCO<sub>2</sub>の増加にはならずカーボンフリーとしてカウントされる。世界はEV化に向けて加速するとともに、ガソリンエンジン、ディーゼルエンジンの2035年～2040年以降の販売禁止の動きもあったが、e-fuelが実用化されれば、内燃エンジンの販売を禁止する理由はなくなる。ガソリンエンジンやディーゼルエンジンはe-fuelでほとんどそのまま使い続けることができる。

e-fuelの特徴は、液体燃料だからガソリンや軽油同様にエネルギー密度が高いことだけでなく、使い勝手がよく長期貯蔵も可能であることなどである。ただ、現状ではコストが高く、いかに安く製造できるかが課題である。なお、e-fuelにはガソリン代替(火花点火用)のもの、軽油代替(圧縮着火用)のものがある。ガソリン代替としてはメタン、メタノール、フラン、e-ガソリンなどで、軽油代替としてはDME(ジメチルエーテル)、OME(ポリオキシメチレンジメチルエーテル)、e-ディーゼルなどがある。



e-fuel（合成燃料）はガソリン代替や軽油代替などいろいろな性状に作るすることができる。



## 主要元素

### 知っておきたいクルマ関連の元素

H	水素	陽子と電子からなる最も単純な元素。唯一中性子を持たず最軽量でもある。宇宙で最も多く存在する。常温では無色無臭の気体で、非常に燃えやすい。-254℃以下で液体。世界はエネルギーを水素と電気によってまかなう水素社会を目指しており、①作る、②溜める・運ぶ、③使う、の3要素が課題であり、その研究開発が行なわれている。
He	ヘリウム	無色無臭で水素に次いで軽量だが、不燃性で安全な元素。空気1/8の密度なので気球や飛行船、風船などに使われる。宇宙で水素に次いで多い元素。
Li	リチウム	アルカリ金属の一種で化学活性が非常に高い元素。レアメタルでもある。全元素中でイオン化傾向が最大で、かつ比重が非常に小さいのでリチウムイオン二次電池として多く使われている。
C	炭素	非金属の元素。共有結合の手が4つあるので、単体としても化合物としても多様な形状を取ることができる。炭素にはダイヤモンド、黒鉛、カーボンナノチューブなど多くの同素体がある。炭素を含む化合物は「有機物」とも呼ばれるが、一酸化炭素、二酸化炭素など一部の化合物は除かれる。
N	窒素	常温常圧で無色無臭の気体。空気の78%を占める。原子2個で気体分子を構成するが、原子間の結合力が強く活性は非常に低い。常圧では無害だが、高圧になるとアルコール酔いのような症状を起こす。動物にとっては必須アミノ酸やたんぱく質などが、植物にとってはリン酸、カリウムと並ぶ肥料の三大要素の一つ。一方、酸素と結びついた窒素酸化物NOxは、エンジンの有害排気ガスとしてその低減が求められている。光化学スモッグ等の原因となる。
O	酸素	常温常圧で無色無臭の気体で、原子2個で分子O <sub>2</sub> を構成する。活性が非常に高く、動物の呼吸にとって重要な元素。電気陰性度(電子対を引き付ける力の強さ)が大きく、ほとんどの元素と化合物を作る。その現象がすなわち酸化である。同素体としてオゾンO <sub>3</sub> がある。
F	フッ素	原子2個の猛毒の気体。すべての元素の中で最大の電気陰性度を持ち強い酸化作用がある。自然界では単体で存在せず「螢石」として存在する。螢石の透明結晶は光の屈折率がガラスより小さいため色収差が小さく、カメラや望遠鏡のレンズとして使われる。フッ化水素HFは非常に活性の高い猛毒の液体だが、フッ素樹脂の一種テフロン(商品名)にすると化学的に安定し、フライパンなどの表面加工に使われたりする。
Na	ナトリウム	常温常圧で水よりわずかに軽い固体金属。融点98℃～沸点833℃では液体。酸、塩基、水とも高い反応性を示す。ナトリウム化合物をソーダといい、苛性ソーダは水酸化ナトリウムのこと。ナトリウム硫黄電池が定置型電池として実用化されている。塩化ナトリウムは人体に欠かせない物質で、食品としての塩の9割ほどがこれである。

## 参考文献

- 「Motor Fan illustrated 160 エンジンの可能性」三栄  
「Motor Fan illustrated 211 ENGINE 燃焼最前線」三栄  
「日経 Automotive 2023年7月号」日経BP  
「日経 Automotive 2024年3月号」日経BP  
「自動車技術 Vol.75 2021年6月号」自動車技術会  
「自動車技術 Vol.76 2022年8月号」自動車技術会  
『自動車技術ハンドブック (10) 設計 (EV・ハイブリッド)』自動車技術会
- 酒井雅芳『イラストで電気のことがわかる本』新星出版社、1995年  
堀洋一ほか『自動車用モータ技術』日刊工業新聞社、2003年  
松下電池工業株式会社監修『図解入門 よくわかる最新電池の基本と仕組み』秀和システム、2005年  
見城尚志ほか『イラスト・図解最新小型モータのすべてがわかる』技術評論社、2006年  
瀬名智和『エンジン性能の未来的考察』グランプリ出版、2007年  
飯塚昭三『ハイブリッド車の技術とその仕組み』グランプリ出版、2020年
- 「コモンレールシステム (製品説明書)」デンソー  
「CATALER 2018年版小冊子」アーク・クリエイション・センター  
自動車メーカー各社ウェブサイト

〈著者紹介〉

**飯塚昭三** (いづか・しょうぞう)

東京電機大学機械工学科卒業後、出版社の(株)山海堂入社。自動車書籍の編集に従事。モータースポーツ専門誌「オートテクニク」創刊メンバー。取材を通じてモータースポーツに関わる一方、自らもレースに多数参戦、編集者ドライバーのさきがけとなる。編集長歴任の後、ジムカーナを主テーマとした「スピードマインド」誌を創刊。その後マインド出版に移籍。増刊号「地球にやさしいクルマたち」等を企画出版。現在はフリーランスの「テクニカルライター・編集者」として、主に技術的観点からの記事を執筆。また、一般社団法人日本陸用内燃機関協会・機関誌LEMA(陸用内燃機関)編集長としても活動。著書に『電気自動車メカニズムの基礎知識』(日刊工業新聞社)、『サーキット走行入門』『ジムカーナ入門』『燃料電池車・電気自動車の可能性』『ガソリンエンジンの高効率化』『ハイブリッド車の技術とその仕組み』(グランプリ出版)等がある。JAF 国内A級ライセンス所持。モータースポーツ記者会会員。日本EVクラブ会員。日本自動車研究者ジャーナリスト会議(RJC)会長。

## 自動車用動力源の現状と未来 カーボンニュートラル時代に向けて

著者 飯塚 昭三

発行者 山田 国光

発行所 株式会社グランプリ出版

〒101-0051 東京都千代田区神田神保町1-32

電話 03-3295-0005(代) FAX 03-3291-4418

振替 00160-2-14691

印刷・製本 モリモト印刷株式会社