

# BMW Hydrogen 7

## 目次



本プレスキットの内容は、ドイツ国内市場向け(2006年11月現在)の仕様を基準として記載されており、その他の市場においては仕様、標準装備品、オプション設定などが異なる場合もあります。本プレスキットはBMW AG 発表のデータを使用しているため、日本仕様とは異なる場合があります。なお、仕様は随時変更される可能性がありますので予めご了承ください。

1. 新時代のモビリティを切り開く、 BMW Hydrogen 7 (ショートバージョン) .....	4
2. 概要 .....	18
3. 原理: 水素燃焼エンジン、デュアルモード駆動、 最大航続距離 .....	20
4. シンボル: 液体水素 – 日常で使用する自動車で持続的なモビリティを実現する 新しいエネルギー .....	23
5. 開発: 量産開発のプロセスを無事完了 世界初の水素エンジンを搭載したラグジュアリー・カー .....	27
6. コンセプト: 妥協なき進化、BMW 特有の運動性能、 ラグジュアリー・サルーンの快適性、プレミアム・レベルの装備品 .....	29
7. パワー・ユニット: ガソリン直接噴射および水素インテーク・マニフォールド供給式 6 リッター12 気筒エンジン .....	34
8. エネルギー貯蔵システム: 真空式高断熱機能付き二重壁構造の液体水素タンク .....	38
9. 燃料供給装置: 世界標準仕様の水素タンク充填プロセス .....	41

10.	<b>ボディおよびサスペンション:</b> BMW 760Li をベースにしたインテリジェント・ライトウェイト構造、 最適化が施された衝突安全性能、専用のサスペンション設定 .....	43
11.	<b>安全コンセプト:</b> 安全基準の確立、テスト(実験)、独自の認証 .....	47
12.	<b>生産:</b> BMW ディンゴルフィン工場の量産システムに統合、 技術革新の先陣を切る BMW Hydrogen 7 .....	53
13.	<b>協力:</b> 世界初の水素エンジンを搭載した実用的なラグジュアリー・サルーン、 ユーザーと BMW の緊密なコミュニケーション .....	55
14.	<b>機運:</b> 水素供給インフラを整備させる刺激剤の役割を担う BMW Hydrogen 7 .....	57
15.	<b>クリーン・エネルギー・パートナーシップ:</b> 国家的なサステナビリティ戦略の一環、 水素の実用化を確認することが目的 .....	60
16.	<b>エネルギー源:</b> 化石燃料に代わり無制限に使用可能な水素、 未来の展望として持続可能な水素の生成 .....	63
17.	<b>BMW クリーン・エネルギー・プロジェクト:</b> 1980 年代から始まった BMW の水素への取り組み、 内燃機関に専念、補完技術としての燃料電池 .....	67
18.	<b>主要諸元</b> .....	71
19.	<b>エンジン性能曲線図</b> .....	72

# 1. 新時代のモビリティを切り開く、 BMW Hydrogen 7 (ショートバージョン)



BMW グループは自動車業界に独自の歴史を刻んでいます。BMW Hydrogen 7 (ピー・エム・ダブリュー・ハイドロジェン・セブン) の導入によって、BMW は排気ガスを全く出さない水素エンジンを搭載した実用的なラグジュアリー・サルーンを発表しました。これは持続可能な新時代のモビリティへの移行にあたり、新たな基準を確立するモデルです。

BMW Hydrogen 7 は水素燃焼エンジン(水素を燃料とする内燃機関)を搭載するモデルであり、一貫した BMW グループの戦略のもと、量産開発のすべてのプロセスを経て開発されたクルマです。このクルマは将来の理想的なエネルギー源として水素を利用し、現代においても日常的な使用にも耐える性能が与えられています。

BMW Hydrogen 7 は、BMW 7 シリーズを徹底的に発展させたモデルだといえます。このニュー・モデルのエンジン、サスペンション、ボディは、BMW 760i や BMW 760Li サルーンから引き継いだ車両全体のコンセプトがベースになっています。また BMW Hydrogen 7 には、水素でも、従来通りのガソリンでも、どちらでも作動させることができるデュアルモードの 12 気筒エンジンが搭載されています。BMW Hydrogen 7 の最高出力は 191 kW (260 ps) を発生し、0-100 km/h 加速性能は 9.5 秒、最高速度は 230 km/h でリミッターが作動します。

## 妥協なき進化

このデュアルモード・エンジンは、BMW グループのエンジニアリング能力の高さを見事に証明しています。この革新的な V12 エンジンは、運動性能に影響を及ぼすことなく、瞬時に水素駆動からガソリン駆動へと切り換えます。これを可能にさせているのが、燃料ごとの燃焼特性の違いに関係なく、卓越したエンジン・マネージメントによってどの駆動モードでも同等の動力性能と運動性能を引き出すことのできる高精度の制御技術です。

この先進の技術革新をエンジン技術に採り入れることで、BMW グループは未来のエネルギー源として燃料を水素に切り換えるための現実的、かつ魅力ある解決策を提供します。水素エンジンは、化石燃料に依存することなく、汚染物質を排出しないパーソナル・モビリティの世界に向けた画期的な基準を確立します。

動力性能、運動性能、洗練された走り、総合的な快適性において、これまでに製造されたガソリン・エンジンやディーゼル・エンジンを搭載した自動車、それも最も要求の厳しい顧客をターゲットにした自動車と、BMW Hydrogen 7 は同じレベルです。したがって、実際に排気ガスを出さないこの革新的な水素エンジンを搭載したサルーンを運転するということは、BMW の最上位モデルに特有の比類ない愉しみをすべて享受することになります。この躍動感あふれるプレミアム・サルーンは、未来志向の駆動コンセプトだけでなく、とりわけ幅広い機能や装備品が用意されていることにおいても際立っています。

## 水素 – 未来のエネルギー

長い目で見た場合、道路交通において水素が化石燃料に取って代わる可能性のある唯一のエネルギー源であることは専門家が一致して認めているところです。元素記号 H で表される水素は、水をはじめとするほとんどすべての有機化合物を構成する成分です。つまり、水素は生物サイクルに不可欠な要素であり、環境に完全に適合することを意味しています。宇宙で最も一般的な元素として、実際に水素はあらゆる実用目的に無制限に使用することが可能なのです。

水素は液体または気体のまま極低温状態で貯蔵することができ、比較的輸送は簡単です。気体としての水素は毒性がなく、無色無臭です。液体状態の水素は同重量で比較した場合、ガソリンの 3 倍のエネルギーを持っています。

化石燃料を使用すると必然的に二酸化炭素が発生しますが、水素は代替駆動エネルギー源として環境に極めて優しく、燃焼行程で生成されるのは水蒸気だけです。他の代替燃料とは対照的に、水素は再生プロセスで生成されるため、継続して環境を壊すことなく利用することができる、未来に向けた唯一のエネルギー源です。

## 優れた実用走行特性を発揮する液体水素

BMW グループは、駆動エネルギー源に適した物質として液体水素に重点的に取り組んでいます。液体水素を優先している理由は、体積エネルギー密度の点で、液体水素が気体水素のエネルギー密度をはるかに越えているからです。同じスペースを占め、同じ容量を持つ燃料タンクを使用した場合、極低温の液体水素には、700 バールで圧縮・貯蔵された気体水素より 75% 以上多くのエネルギー量が含まれます。したがって、液体水素で駆動する車両の方が明らかに航続距離は長くなります。

水素のインフラが未整備な状況で検討すべきもう 1 つのポイントは、水素自動車が行走可能な航続距離です。実際にこれは、日常走行における実用性という点で、極めて重要です。このため、BMW Hydrogen 7 はまずエネルギー源として液体水素を使用し、さらにデュアルモード・エンジンにより長距離走行を可能にします。BMW Hydrogen 7 は水素モードで 200 km 強を走行し、ガソリンモードでさらに 500 km を走行することができます。

新しい駆動エネルギー源としての水素を知ってもらい、水素の有用性を認めてもらうためには、使い勝手の良さという要素は不可欠です。実際に BMW Hydrogen 7 のコンセプトの開発に際して、実用性の評価基準は大いに重要視されていました。この世界初の水素エンジンが搭載された量産型ラグジュアリー・サルーンを導入することにより、BMW グループは世界の自動車産業において非常に重要な基準を確立します。この車両は、代替駆動エネルギーの水素が、運動性能だけでなく走行快適性の面でも最高の要求を満たすことができると証明しています。

### **量産車の成熟度と信頼性をすべて併せ持つモデル**

量産体制に入った世界初の水素エンジン搭載のラグジュアリー・サルーンは、研究プロジェクトの成果ではありません。もっと正確に言えば、BMW Hydrogen 7 の開発は工業化プロセスの始まりを示すものであり、BMW Hydrogen 7 には現在市場に投入されている BMW の新型モデルと同レベルの完成度が備わっています。BMW Hydrogen 7 は、BMW ブランドのあらゆる新型モデルと全く同一の量産開発プロセスを経ています。水素駆動用のエンジン技術、タンク・システム、車両エレクトロニクスなどの新しく開発されたコンポーネントは、すべて BMW の通常の製品開発プロセスを経て開発されました。したがって、各コンポーネントは最高の精度による検査・点検が行われ、量産開発の必要条件をすべてクリアしています。

量産コンセプトを前提に、BMW Hydrogen 7 には、BMW グループが数十年にわたる自動車およびエンジン開発を通じて確立した信頼性、安全性、駆けぬける喜びにおいて、非常に革新的な未来志向の駆動技術と高品質基準が結実しています。つまり、BMW Hydrogen 7 は、グループの熟成した車両開発コンセプトに基づいて開発されており、従来の水素試作車両や実験車両をはるかに凌ぐ完成度をもち、ドイツおよび ECE の両規格に基づき認可および型式認証を取得しています。米国の場合、BMW Hydrogen 7 は試験走行のため、選ばれたユーザーに提供される予定です。

### **プレミアムクラスの快適性**

BMW Hydrogen 7 のプレミアム品質は、高い基準の快適性によって裏打ちされています。この優位性は、オートマチック・ソフト・クローズ機能付きドアやクライメート・コンフォート・ガラス、BMW 高性能オートマチック・エア・コンディショナー、メモリー付き電動シート調節機能、リモート・コントロール付き補助ヒーター、BMW ハイビーム・アシスタント、DVB-T (欧州地上デジタル放送) 受信機能および後席モニター付きテレビ、BMW アシストおよび BMW オンライン・テレマティクス・サービス、後席専用自動車電話、BMW テレサービス接続キット、6 連装 CD チェンジャー、6 連装 DVD チェンジャー、スモーカー・パッケージ、前席および後席カップホルダー等の装備を見ても明らかです。

ヘッド/サイド・エアバッグ (フロント、リア)、自動防眩機能付きルーム・ミラー/ドア・ミラー、BMW パーク・ディスタンス・コントロール (PDC)、レーン・センサー、BMW Professional ナビゲーション・システム、Professional HiFi システム、運転席/助手席用ランバー・サポート、シートヒーター (フロント、リア) 等も、すべてが幅広く用意された装備品に含まれています。

BMW Hydrogen 7 をさらに楽しむことができる技術的な特徴としては、コンフォート・アクセス、BMW オンライン、ナビゲーション・システム/電話/オーディオシステム操作の音声入力機能、ステアリング・ヒーター、電動調節式コンフォート・シート、BMW ナイトビジョン、アダプティブ・ヘッドライト等があります。この他にも、BMW モビリティ・セットと共に装備される 19 インチ軽合金ホイールがあります。

世界で初めて量産体制に入る、水素エンジン搭載の実用的なプレミアム・カーには、非常に魅力的なメタリック塗装が標準装備されています。特にこのモデル専用カラーであるブルー・ウォーター・メタリックは、この比類なき車両の独自性を引き立てます。

### **最大の航続距離を誇るデュアルモード・エンジン**

世界初の量産型ラグジュアリー水素サルーンに搭載されたデュアルモード・エンジンは、BMW Hydrogen 7 の中で非常に画期的な開発品です。この強力なエンジンは、BMW 7 シリーズに搭載されている総排気量 6.0 リッターの 12 気筒バルブトロニック・ガソリン・エンジンがベースになっています。最大トルクは 390 Nm/4,300 rpm です。

BMW Hydrogen 7 に搭載された V12 パワー・ユニットは、2 種類のモードで作動します。つまり、エンジンは同じ気筒内で水素でもガソリンでも燃焼させることができます。

約 700 km の合計航続距離を持つデュアルモード・エンジンが搭載された BMW の水素自動車は、BMW 760i よりも大幅に航続距離が長くなっています。このため、BMW Hydrogen 7 のドライバーは、まさに制限のない移動を楽しむことができます。BMW Hydrogen 7 を使えば、長距離走行であっても、問題なく水素充填ステーションまで辿り着くことができます。水素が入手できない場合でも、以前と変わらず卓越した実用性と走行性能を発揮し、素晴らしい実用的価値とドライブ体験を提供します。

### **内燃機関としての信頼性を向上**

BMW グループは、BMW Hydrogen 7 に内燃機関を搭載することを意図的に選びました。それは水素を駆動用エネルギーとして使用することに対して、もっと幅広い支持を得るための基礎を確立するためです。水素エンジンには、数十年に及ぶエンジン開発で得た詳細なノウハウに基づいて熟成させた実績のある技術を採用しています。その結果、このエンジン・コンセプトは、水素をエネルギー源として走行する場合でも、優れた運動性能と俊敏性を求める BMW 特有の要件をすべて満たしています。それだけでなく、2 種類のモードで、すなわち 2 種類の燃料で作動するメリットを提供することができるのは、このエンジンしかありません。

### **重要な技術として機能を果たすガス・インジェクション・バルブ**

ガソリンを燃料とする場合、このエンジンは燃料をシリンダー内に直接噴射することによって作動しますが、水素モードの場合、混合気はインテーク・マニフォールド内で生成されます。このために開発された新しいインジェクション・バルブは、エンジン開発の段階でバルブの構造および一体化に関して考え得る最も厳しい要件が課せられました。気体水素用として考案・設計されたこのインジェクション・バルブは、従来のガソリン用インジェクション・バルブより大型で、噴射量や噴射範囲に関して、対応可能な守備範囲が広がっています。実際の走行で生じるシステム圧の変化に対応し、水素ガスを非常に短い持間に噴射したり、比較的長い時間噴射したりすることができます。たとえどんな状況であっても、インジェクション・バルブは常に瞬時に正確な量の水素をインテークチャンバーに向って噴射します。

水素は従来の燃料に比べて短時間に、最大 10 倍も早く燃焼するため、デュアルモード・エンジンのマネジメント・システムには、それに対応できる機能と動作が必要でした。非常に幸運なことに、BMW Hydrogen 7 の開発担当エンジニアには、BMW の独自技術であるバルブトロニック無段階可変バルブ・マネジメントとダブル VANOS 可変カムシャフトコントロールを使用することができました。つまり、水素燃焼行程を最適化し、特に水素・空気混合気の個々の特性と特徴に合わせてガスサイクルと混合気生成プロセスを連動させるための理想的なシステムを最初から持っていたのです。

### **CO<sub>2</sub> 排出量を削減する現実的な方策**

実際に水素モードで走行しているとき、BMW Hydrogen 7 は水蒸気以外は何も排出しません。このため、個人の移動手段として排出ガスを大幅に削減するのに非常に重要な貢献をします。特に CO<sub>2</sub> の排出量は最小限まで削減することができます。

将来の計画は、水素だけを燃料とする(単一燃料)自動車を導入することです。また、BMW グループの研究者は燃料電池技術にも取り組み、既存の自動車用バッテリーに取って代わる、高効率で強力な補助電源装置(APU)としての開発を行っています。

BMW グループは環境に適合した自動車の未来に対して、実用的で実現可能なアプローチとして、BMW Hydrogen 7 を導入しました。実績のある開発、生産、販売プロセスに水素を統合することが、水素を既存燃料に代わる真の代替燃料として確立するための最も効率の良い方法だと考えたからです。

こうしたことから、BMW グループは水素自動車の普及を促進し、未来を目指して努力するペースメーカーを自認しています。BMW はこの新技術における顧客の理解と信頼を強化し、水素自動車の魅力も高めています。

### **真空式高断熱燃料タンク**

デュアルモードコンセプトを採用した BMW Hydrogen 7 は、専用のエンジン・マネジメント・システムと燃料供給装置だけでなく、2 種類の燃料タンクを車内に組み込んでいます。BMW Hydrogen 7 に搭載されている水素タンクは、約 8 キロ(約 170 リットル)の液体水素を貯蔵することができます。従来通り搭載するガソリン・タンクには 74 リットルのガソリンを充填することができます。

駆動エネルギーとして液体水素を使用するには、特にタンク構造に技術的な課題があります。水素は通常の外気圧力で液化されますが、それには、-253 に冷却する必要があります。このため、水素燃料を長期間にわたり車両内に保管するには、画期的な真空式高断熱技術が必要になります。その結果、BMW Hydrogen 7 に搭載された水素タンクは、タンクに熱が入り込まないように厚さ 30 ミリの空間にアルミ製とガラス繊維製の複数の層で構成された二重構造になっています。

このタンク独自の高効率の断熱効果は、壁と壁の間にある中間部を真空状態にし、空気中の熱伝導を遮断することによって得られています。また、インナータンクを所定の位置で固定しているマウントには、熱伝導率を最小限に低減する炭素繊維強化樹脂製バンドを採用しています。

この高断熱機能は、非常に効率よく熱の侵入を最小限に抑えます。これは厚さ 17 メートルの発泡スチロール製断熱材に匹敵します。たとえば、タンクに熱いコーヒーが入っているとしたら、コーヒーが飲み頃の温度に下がるまで約 80 日間も待たなければなりません。

### **気化を制御するボイルオフ・マネジメント・システム**

物理的な理由から、真空式高断熱機能であっても一定量の熱の侵入を完全に防ぐことはできません。つまり、少量の液体水素はやがて必ず気化することを意味します。

ただし、こうした少量の気化作用が発生するのは、車両を 17 時間以上駐車しているときだけです。その結果、燃料タンク内の圧力は気体燃料のボイルオフ(蒸発による損失)のためのマネジメント・システムを必要とするレベルまで上昇します。

ボイルオフ・マネジメント・システムはタンク内の圧力を制御します。規定された理想的な圧力レベルを越えると、このシステムは制御しながら水素を放出して変換します。このように放出されたガスは、ベンチュリ管の中で空気と混合され、触媒コンバーターの中で酸化して水になります。

残量半分の水素タンクは、この制御プロセス内では約 9 日間で空となります。それでも、タンクには水素モードで約 20 km を走行するのに十分な量の水素が残っています。一方、9 日間の間に BMW Hydrogen 7 を水素モードで走行させると、エンジンを駆動するために水素が消費され、タンク内の圧力レベルは再び低下します。その結果、再び駐車した場合、17 時間は水素の損失はありません。

### **タンクの充填も簡単操作**

水素タンクの充填コンセプトは、実用的で取扱いも簡単です。基本的に、ドライバーがガソリン・タンクを満タンにする方法とほとんど違いはありません。新しい機能としては、液体水素用の圧力式耐低温タンク・コネクターがあるだけで、通常の燃料ポンプと同じように BMW Hydrogen 7 の液体水素充填口に手動で取り付け、接続します。その後、このコネクターを所定の位置で完全に締め付けると、自動制御プロセスでタンク充填が行われます。

タンクのフィラーキャップ開閉は、ステアリングの隣にあるボタンで行います。タンクを充填するには 8 分弱の時間を要します。

タンク充填の扱いやすさやシステムのコントロールを考えると、水素を BMW Hydrogen 7 に充填するプロセスは、ガソリンをタンクに充填するのと同じくらい簡単で、分かりやすく、安全性にも問題はなく、しかも、ガソリンを充填するよりもクリーンです。



水素充填システムとして、世界中で普遍的に使用できる適切な技術を、可能な限り早い段階で確立するために、BMW グループは国際的な提携企業と共同で標準化された液体水素タンク用充填コネクタを開発し、現在、このコネクタを世界標準として定着させる努力をしています。

### **他に類のない動力源であることを示すパワードーム**

BMW Hydrogen 7 のボディは BMW 760Li をベースにしており、エクステリアとホイールベースは全く同じサイズです。ロングホイールベースの BMW 7 シリーズ・サルーンの特徴のある外観は、ほとんど変更されることなくそのまま残っています。ただし、車両重量が増加したことと水素技術を導入したことにより、いくつかのコンポーネントは新規に開発されています。

BMW Hydrogen 7 専用の外見上の特徴は、エンジンに水素インジェクション・バルブを組み込むために背を高くする必要があったエンジンフードのパワードームです。この力強いエンジンフード上の曲面は、BMW のボディに納められた比類なき水素エンジンの存在を暗示しています。

そのほかの外見上の相違点としては、トランクリッド後面の「Hydrogen 7」、サイド・ターン・インジケーターの下にある「Hydrogen」のバッジがあります。また、周囲をクロームで仕上げた透明の LH2 (液体水素) 用タンクのフィラーキャップと、クローム・ストリップが付いたリアバンパー・カバーも特徴的です。さらにリア・サイド・ウィンドウのローラー・ブラインドとドア開口部には「BMW Hydrogen Power」の文字があり、この卓越したサルーンが提供する革命的な駆動技術を証明しています。

根本的に新しくなった特徴としては、ボディの幾つかの部分に炭素繊維強化樹脂 (CFR) とスチールを使用しています。このハイブリッド構造により重量を最適化し、優れた耐衝撃性能を実現しています。BMW グループはドライブトレインと燃料供給装置の重量増加を相殺するため、また、この非常に革新的なクルマに適した最高の安全性に対する要件をすべて満たすために、BMW Hydrogen 7 専用に CFR とスチールをた外板パネルを専用に開発しました。フロントからリアにかけて炭素繊維強化樹脂で強化された左右のサイド・フレームは、BMW 760Li と同じ耐衝撃性能を持っています。

### **コックピットに表示される水素**

インテリアを見ると、BMW の最先端のハイドロジェン・サルーンは、BMW 760Li にほんのわずかな修正を加えただけのように見えます。明確な違いは、水素駆動による走行用にコックピットに取り付けられた新しいディスプレイとメーターです。BMW Hydrogen 7 のメーター・パネルでは、さまざまな制御のためのディスプレイの中に「H2」のロゴがあらわれ、水素による走行を始めるとすぐにメーター内で点灯します。また、BMW Hydrogen 7 にはガソリン用の燃料計だけでなく、現在の水素のレベルをキログラムで表示する H2 燃料計も装備されています。このクルマの推定航続距離は、2 本の横線と数字で表示されます。水素(約 50 km 走行あたりの水素消費量は約 1.5 kg)およびガソリン(最低でも 100 km 走行あたりの消費量は約 15 リッター)の残量レベルは、それぞれ別々に表示されます。

後部座席部には、一見してわかる明らかな違いがあります。これはリア・シェルフの下、後部座席の後ろに水素タンクが搭載されているためです。BMW Hydrogen 7 の後部座席は BMW 760Li と比べて約 115 ミリ前方、標準ホイールベース車両よりも約 25 ミリ後方に配置されています。つまり、水素車両の後席に 2 人の乗員が乗って長距離ドライブをする場合でも、通常の BMW7 シリーズと同様の快適性が保証されています。

車両全体のパッケージとして、リア・センター・アームレストは固定式になっており、このため BMW Hydrogen 7 は 4 人乗りとして設計されています。また、水素技術を搭載しているためにトランク容量は他の BMW 7 シリーズと比べて少なくなりますが、それでも BMW Hydrogen 7 は 225 リッターのラゲッジルーム容量を誇り、例えば 2 個のゴルフ・バッグを余裕で積み込むことができます。

### **BMW 7 シリーズから受け継いだ軽量アルミ製シャシー**

BMW Hydrogen 7 のシャシーおよびサスペンションは、軽量アルミ製シャシーをベースにして BMW 7 シリーズ特有のあらゆるパフォーマンスと運動性能を提供しています。フロント・サスペンションにはダブルジョイント・スプリングストラット式タイバー・アクスルを、リアサスペンションにはアンチスクオート/アンチダイブ機構を備えた BMW インテグラル IV マルチアーム・アクスルを装備しています。

水素コンポーネントの搭載によって増加した重量のため、サスペンション設定などに修正を加え、さらに BMW Hydrogen 7 のリア・アクスルは BMW 7 シリーズのセキュリティ仕様車と同様にアルミ製およびスチール製の補強材によって機能強化を図っています。

さらに重要な機能としては、アンチロール・スタビライザー機能と可変ダンパー調整を組み合わせた、アダプティブドライブ・サスペンションが標準装備されています。アダプティブドライブによって、BMW Hydrogen 7 はタイトなコーナーでも容易なハンドリングと、卓越した運動性能を持つ非常に俊敏なラグジュアリー・サルーンに仕上がっています。

BMW Hydrogen 7 は現行 7 シリーズから受け継いだブレーキ・システムを装備しており、2,460 kg の重量を持つこのサルーンを、時速 100 キロからわずか 41 メートルで停止させます。

### **ハイクテク装備のタイヤ・プレッシャー・コントロール(TPC)**

BMW Hydrogen 7 には、BMW の最新世代のセンサーをベースにしたテレマチック (遠隔計測) 式のタイヤ・プレッシャー・コントロール・システム (TPC) が標準装備されています。モータースポーツから応用されたこのシステムは非常に精密な計測ができ、極めて正確に警告を発します。そのため、タイヤ・プレッシャー・コントロールは最新技術の代表格ともなっています。遠隔測定方式の構成により、TPC は各タイヤの空気圧を短い周期で計測し、通常の空気圧レベルから外れた場合はメーター・パネル内に警告を表示します。その結果、ドライバーはゆっくりとタイヤの空気圧が減少するような場合でも、早い時期により高い正確性で状況を察知することができます。また、このシステムはパンクしたタイヤでどの程度の走行が続けられるのかをより正確に表示します。

### **常に安全性を優先**

水素の特徴や特性はガソリンや軽油とは全く違うため、この新しい燃料についても当然のことながら車両安全性に関しての要求を満たす必要があります。環境に非常にやさしい水素は、無臭、無色で人間の感覚では知覚できません。

水素は周囲の空気よりも 15 倍ほど軽く、そのため大気中に放出されるとすぐに上昇します。また、水素は刺激性や毒性はありませんが、空気と適切な混合比で混じりあうとガソリンや軽油よりも引火しやすい特性を持っています。しかし、水素は特徴や特性を十分に把握して扱えば、極めて安全です。

言うまでもなく、BMW グループは最高レベルの安全性を提供できなければ、日常の生活で使用する水素駆動車両を開発することはなかったでしょう。まさにこの理由から、BMW グループは水素車両の統一した安全基準を構築するために、多数の国際的な審議会や委員会において積極的な役割を果たしているのです。

こうした基準と平行して、BMW グループは BMW Hydrogen 7 とそれに関連する全てのシステムや技術の一貫した安全性を確立しています。その一例として、液体水素タンクにはボイルオフ・マネジメント・システムだけでなく、例えばタンクの損傷などによって圧力が著しく上昇したときなど、タンク内容物の状態に応じて水素を完全な制御状態で放出するための 2 つの二重安全バルブも装備されています。

1 つ目のバルブが開くとすぐに水素は C ピラーに取り付けられたセーフティ・パイブを通して車両ルーフ内に導かれます。高圧になったときにのみ開く 2 番目のバルブが水素を車両のフロア下に流し、そこで水素は大気中に放出されます。また、ガソリンや軽油を燃料とする車両と違って、事故現場をさらに深刻化させてしまうような状況、つまり燃料に火がついたまま地面を広がっていくような危険性は水素車両にはまったくありません。なぜなら、水素は引火しやすい水たまり状に地面に残るのではなく、瞬時に上昇して大気中に霧散してしまうからです。

日常交通で車両を安全に運行させるための必要条件の 1 つとして、最初から車両自体に組み込まれる安全性レベルがあります。この理由から、BMW Hydrogen 7 は水素タンクが破裂したり、全く管理できないような状況で水素がタンクから漏れたりすることを防止するためのいくつもの予防措置を講じた、マルチレベル・セーフティ・コンセプトを採用しています。

そのため、全てのコンポーネントは最大限の安全性に対する要求を満たすように設計・配置され、同時にそれらのコンポーネントは故障の際に自動的に安全性の高い作動モードに切り替わるようになっています。さらにタンク自体だけでなく、水素に関連する全てのコンポーネントやパイプ類は二重壁構造になっています。

BMW Hydrogen 7 専用に開発された安全機能は、いかなる不具合をも早期に発見し、過度の危険を防止するために適切な対応を促す働きをします。そのため、ドライバーは危険が起きる前にセーフティ・システムのあらゆる機能的な不具合について警告を受けます。例えば、水素センサーを各所に配置したガス警告システムは、監視するためや停車時に可能性のある機能的な不具合をドライバーに警告します。ガス警告システムの電源は 3 重のフューズ・セットによって確保され、BMW Hydrogen 7 には通常のバッテリーの他にさらに 2 つのバッテリーが搭載されているため、車両のメイン・バッテリーから独立した電源を継続的に供給することができます。

### **独自の検査および認証**

BMW グループは南ドイツ技術検査協会 (TÜV) とチームを組み、水素コンポーネントに重点を置いた、通常の量産車両用の認証に必要な条件を網羅する一連の極めて厳しいトライアルや試験を行い、BMW Hydrogen 7 は見事それにパスしました。

また、BMW グループは BMW Hydrogen 7 を通常の法定必要条件を超えた完全な衝突試験プログラムにかけました。これらの試験には、EURO NCAP に準拠した衝突速度 64 km/h の前面オフセット衝突試験、オーバーラップ率 100 % および 40 % の後面衝突試験、車両の最もデリケートな部分であるフューエル・フィルター・パイプ部分での側面衝突試験などが含まれています。

より極端な事故のシナリオでも最適な安全性を確保するため、炎に直接さらしたり、銃弾を打ち込んだり、大規模な機械的損傷を与えたり、燃料タンクや安全関連機器の真空断熱材を損傷したりした際の反応など、水素タンクに対して極限状態でのテストを行いました。さらに、これら一連のテストに加えて水素を充填させたタンクを 1,000°C 以上の火災の中に約 70 分間投入しました。このような状況下でもタンクに問題はまったく起きず、タンクの中の水素はゆっくりとほとんど気付かない程度に安全弁から外に放出されました。

これらの最も厳しいテストや試験の結果、南ドイツ TÜV とコンサルタントの役割を担っている消防隊の専門家は、水素車両が少なくとも通常のガソリン車両と同じくらい安全であるという結論に達しました。

### **ガレージに駐車するための規則および規制**

水素タンクの安全性を確認するための通常の運行状態における統計学的に信頼できる適切なデータがまだ入手不可能なため、周囲を囲まれた閉鎖空間に長時間駐車することは現在のところ許可されていません。BMW グループは、統計学的に有効な信頼のおけるデータが集まるまで、ドライバーの利益のためにこの規則を堅持します。このデータは長期間の運行を経て、車両に追加されているバックアップ・プログラムおよびセキュリティ・プログラムによって収集されます。

このクルマをドライブし、屋内の駐車場、あらゆる長さのトンネル、洗車機の利用など、周囲を囲まれたスペースに短時間停車することは、屋外駐車場に駐車するのと同様に制限なく許可されています。

### **BMW デインゴルフィン工場での車両組立て**

BMW Hydrogen 7 は、通常の生産工程と同様に、BMW デインゴルフィン工場では他の BMW 7、6、5 シリーズなどと並行して生産されています。またエンジンは、全ての BMW 製 12 気筒パワー・ユニットと同様にミュンヘンにある BMW のエンジン工場で作られています。

### **BMW Hydrogen 7 のドライバー：真のパイオニア**

BMW Hydrogen 7 は、日常の走行特性を磨くため、様々な状況で公道テストされました。ドライバーにとって水素技術への切り換えの決定は、自身のドライビング体験に関して限られた範囲ではあってもいくつかの面で変更を強いるため、ハイドロジェン・サルーンを選ぶドライバーは間違いなくパイオニアといえるでしょう。

車両を日常的に使用することによってのみ、実用的な走行に必要な本質的な知見を得ることができます。BMW Hydrogen 7 のドライバーからもたらされる知識はこのブレークスルー技術全体をさらに強化し発展させることになります。

日常的な使用を前提とした世界初の水素駆動式ラグジュアリー・サルーンの導入によって、BMW は生活において先見性を重んじ、個人のモビリティ新時代の始まりを体験するという純粋な興味を持つ自動車ドライバーに対してアピールを行います。そして、このような条件に合致するドライバーに、同意した期間内で BMW Hydrogen 7 をリース提供します。アメリカでは、BMW Hydrogen 7 は選ばれたユーザーにテスト目的で提供されます。

車両を受け取る際、ドライバーは BMW Hydrogen 7 の扱い方に関する詳細な説明を受けます。使用中は 3 ヶ月ごとの点検が求められますが、そのため車両には、タンクの内圧、燃料レベル、電装系の電圧、自己診断データ、車両から BMW ホットラインに定期的に転送される不具合レポートなどの多岐にわたる車両データを監視する、革新的なリモート診断システムが装備されています。

### **当初から水素の大きな可能性を認識**

世界初の量産型水素駆動による実用ラグジュアリー・サルーンは、数十年にわたって BMW グループが代替駆動エネルギー源に関して徹底して研究してきた成果です。BMW グループは早い段階で水素が未来の適切な燃料になると認識し、1980 年代には液体水素を燃料とするエンジンおよび車両の研究に着手しました。そのわずか 1 年後には、デュアルモード式水素自動車の試作第 1 号車が公開されました。こうして BMW グループは、この画期的な技術の基礎を築きました。これまでに世界中の科学者や技術者らによって実施された膨大な研究結果や課題から、将来長年にわたって環境を壊さず、確実に利用可能なエネルギー源として供給できる燃料は 1 種類しかないと分かっています。それは、再生プロセスで生成される水素です。

### **通常の内燃機関で CO<sub>2</sub> 排出量を削減**

BMW グループの車両に搭載されている最新型内燃機関は、極めて優れた動力性能と走行性能を発揮するだけでなく、高効率と総合的な経済性も兼ね備えています。また、エンジン開発における複数の分野でも進展があり、新開発されたそれぞれのパワー・ユニットは、いずれもその先代モデルと比べて高出力化、軽量化、燃費向上を果たしています。

BMW はこのコンセプトを Efficient Dynamics (エフィシエント・ダイナミクス) と呼び、中短期的に二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) などの排出量を継続的に削減するために大きく貢献しています。Efficient Dynamics (エフィシエント・ダイナミクス) は、CO<sub>2</sub> 排出量に関して全く中立的な駆動技術の確立を長期的に目指す、BMW グループの CleanEnergy (クリーン・エナジー) 戦略に適した理想的なコンセプトです。

2008 年度の CO<sub>2</sub> 削減目標は、EU (欧州連合) で新規登録された車両すべてが平均 140 g / km を達成することです。これは 1998 年に欧州自動車工業会が EU に対して自主誓約した内容です。つまり、1995 年と比較して CO<sub>2</sub> の排出量を 25% も削減することを意味しています。

現在、BMW グループはガソリンおよびディーゼル・エンジンが排出する汚染物質を継続して削減することと並行して、量産開発過程に BMW Hydrogen 7 を導入し、水素技術を実践することで長年にわたって自動車の CO<sub>2</sub> 排出量をさらに大幅に削減することができるコンセプトの実現に乗り出しています。このように、BMW グループはペースメーカーとして活動し、技術の先陣を切って非常に卓越した手本を示しています。

BMW グループが BMW Hydrogen 7 の導入を通じて発信している明確なシグナルは、特に技術革新志向の先進的な考えを持っている特定のユーザー・グループだけでなく、新時代のモビリティへ移行するための打開策を推進し強化するために共に行動している政治、科学、エネルギー産業における多くのネットワーク・パートナーも対象としています。

1998 年に BMW とその他の企業によって開始され、ドイツ連邦政府が支援しているトランスポート・エネルギー・ストラテジー (TES: 輸送エネルギー戦略) イニシアチブでは、これまでに 10 種類以上に及ぶ代替燃料と、70 種類以上の製法に関する科学的な研究を行ってきました。研究結果がはっきりと示しているのは、環境に有益で、クリーンな移動手段を実現するには、再生プロセスを経て生成された水素が間違いなく最も未来志向の解決策であるということです。

この TES イニシアチブは Aral/BP、BMW グループ、ダイムラークライスラー、フォード、GM/オペル、RWE、ヴァッテンファル、シェル、トタル、フォルクスワーゲン各社で構成されています。

### **未来には BMW CleanEnergy (クリーン・エナジー) という名前が刻まれます**

未来のエネルギーとしての水素技術を普及させることは、BMW の CleanEnergy 戦略の重要なハイライトとなっています。BMW CleanEnergy は環境保護に理想的な水を素材にした、自己完結型のエネルギー循環を説明するために使われる最も重要な言葉です。水素は太陽、風力、水力発電またはバイオマスなどのエネルギーを活用して生成することができ、ほぼ無限に利用することができます。そのため、汚染物質のない持続可能なモビリティに対する BMW のビジョンは、車両の実用性だけでなく、その車両が必要とする燃料の生成にも当てはまるのです。

エネルギーの多様化、より高い自活性、そして長期的には駆動エネルギーとして化石燃料に取って代わる原料が生態学的にも経済学的にも必要となります。なぜなら、このことによってのみ CO<sub>2</sub> 排出の削減と長期的な供給の問題を解決することができるからです。その未来志向の駆動コンセプトにより、BMW Hydrogen 7 は環境に完全に適応した持続可能なモビリティのための主導的な役割を果たすのです。

### **適切な供給インフラストラクチャーの構築**

BMW Hydrogen 7 の導入に伴って、BMW グループは水素供給の拡大および発展に向けて積極的にイニシアチブをとっています。水素供給ステーションの包括的かつ世界的なネットワークは今の時点ではまだ構想段階ですが、この目的のために必要な技術および物流のノウハウはすでに大部分の準備が整っています。

水素供給ステーションの発展を促進するため、BMW グループはベルリン・クリーン・エナジー・パートナーシップ (CEP) に 2002 年の発足以来参加しています。今日、アラール、ベルリン交通局 (BVG)、ダイムラークライスラー、フォード、ジェネラル・モーターズ/オペル、フォルクスワーゲン、ハイドロ、リンデ、トタル、ヴァッテンファル・ヨーロッパなどの大手企業が参加するベルリン・クリーン・エナジー・パートナーシップはヨーロッパで最も重要なデモンストレーション・プロジェクトの 1 つとなり、実際に世界最大であるこのプロジェクトの普及活動を行っています。CEP の目的は、水素をエネルギー源としてさらに発展させ、この革新的な燃料を日常の交通で利用するためのさまざまなオプションを実証することにあります。

ベルリン・クリーン・エナジー・パートナーシップはドイツのサステナビリティ(持続可能性)国家戦略の一部で、CEP プロジェクトの目玉の 1 つとして燃料供給シナリオの実用的な検討を行っています。

この調査を現実的な状況で実施するため、2004 年 11 月と 2006 年 3 月に相次いでベルリンに 2 つの水素供給ステーションが建設され、さらに 3 つ目の水素供給ステーションが 2006 年末にミュンヘンに完成します。これらの供給ステーションは、液体および気体の水素を供給します。

また、BMW グループは EU の水素燃料電池技術フォーラムやドイツ政府の国家イノベーション・プログラムでも積極的な役割を演じています。また、グループの国際的な活動では、アメリカのエネルギー省によって立ち上げられた研究との提携や中国での水素利用の実現可能性の調査や水素の情報に関するキャンペーンなどに積極的に関与しています。



## 2. 概要



- BMW 760Li をベースにした BMW 7 シリーズの最新型モデルで、日常的に使用できる能力を備えた世界初の水素駆動式ラグジュアリー・サルーン。汚染物質を排出しない、完全なサステナビリティを備えた移動手段としての新たな基準を示すマイルストーン。
- 水素技術を量産モデルの開発プロセスに完全統合し、BMW に特有の運動性能と洗練された走りのクオリティ、幅広いプレミアム・コンフォート機能を持ち、BMW ディングルフイン工場では BMW 7、6、5 シリーズと並行して生産。
- BMW 7 シリーズのバルブトロニックを搭載した 12 気筒 6.0 リッター・ガソリン・エンジンをベースにした BMW デュアルモード 12 気筒内燃式エンジン長い航続距離と卓越した運動性能を確保。最高出力 191 kW (260 ps)、最大トルク 390 Nm / 4,300 rpm、0-100 km/h 加速性能は 9.5 秒、最高速度は電子制御リミッターによる 230 km/h。
- ガソリン・モードは直噴システム、ハイブリッド・モードではインテーク・マニフォールド内噴射による外部混合気生成システムを採用。両方の駆動モードにおいて同等のエンジン出力、一方の駆動モードからもう一方への切換えに要するタイムラグがなく滑らかで安定した切り換えを実現。バルブトロニックおよびダブル VANOS による柔軟なエンジン・マネージメントを組み込み、水素駆動の主要技術として革新的なインジェクション・バルブを装備。
- 約 8 kg の液体水素を貯蔵できる水素燃料タンクと容量 74 リッターのガソリン燃料タンクを搭載。液体水素燃料の搭載により、長距離及びクリーンな日常走行が可能。航続距離は、水素で 200 km 以上、さらにガソリンで約 500 km。
- 水素モードの場合、エンジンからは水蒸気以外はほとんどなにも排出しない。したがって、CO<sub>2</sub> の大胆な低減と化石燃料に頼らない駆動エネルギーへの転換のための現実的な解決策として、継続的な進展の主導者的役割を担う。
- 水素タンク用に開発された最先端の真空式高断熱技術により、液体水素を長時間にわたって摂氏マイナス 253 度の極低温状態に維持。厚さ 17 メートルの発泡スチロールと同等の断熱効果を持つ。

- 簡単かつクリーンで、危険性のまったくない水素タンク充填プロセスを実現。通常の燃料ポンプと同じように液体水素用供給口に接続できる充填口を装備。タンク・マニフォールドは所定の位置にロックされ、充填プロセスはシステムによる完全自動制御。
- BMW Hydrogen 7 を差別化するエンジンフードのパワードームは、水素インジェクション・バルブ追加により高くなったエンジンの明確な象徴。重量および衝突性能を最適化するため、カーボンファイバー強化プラスチック(CFP)とスチール・コンポーネントを組み合わせボディを軽量化。
- 水素タンクの配置により、後部座席は BMW 760Li に比べ 115 ミリ前方、標準ボディに比べて 25 ミリ後方に配置。車両パッケージの関係でリア・センター・コンソールが固定式となったため、乗車定員は 4 人。コックピットには専用の水素機能表示用ディスプレイを装備。
- 独立機関による正式の安全認証を取得し、南ドイツ技術検査協会(南ドイツ TÜV)によって実施された一連の車両認証包括的テストを成功裏に完了。水素コンポーネントは、エンジンから独立して作動するセンサー装備の制御システム、多重安全機能およびバックアップ機能を備える。
- フロントにダブルジョイント・スプリングストラット式タイバー・アクスル、リアにインテグラル IV マルチアーム・アクスルを装備したシャシーおよびサスペンション。アンチロール・スタビライザーとエレクトロニック・ダンパー・コントロールを装備した BMW アダプティブドライブ、遠隔測定によるタイヤ・プレッシャー・コントロール・システム(TPC)を装備。
- 革新的なりモート診断システムを装備するとともに、ドライバーや乗員との直接対話も行い、知見を収集するシステムを構築。
- BMW が 1980 年代より綿々と続けてきた、量産開発を前提とした水素駆動技術及び水素エンジンの開発の集大成としての、初の量産車両。
- BMW グループはベルリン・クリーン・エナジー・パートナーシップとの密接な連携により全国的な水素供給インフラストラクチャーを推進。BMW Hydrogen 7 は日常的な使用に耐える量産水素自動車として、供給ステーションの包括的なネットワークの拡大に新たな弾みをつける役割を担う。

### 3. 原理： 水素燃焼エンジン、デュアルモード駆動、 最大航続距離



- 揺るぎない基礎に裏打ちされた、先進の駆動コンセプト
- 航続距離 700 km を誇るデュアルモード V12 パワー・ユニット
- あらゆる回転域で卓越した運動性能を発揮

真のパイオニアとして活動している BMW グループは、世界で初めて量産体制に入る水素駆動式ラグジュアリー・サルーンのパワー・ユニットに内燃機関を選択しました。その理由は、動力性能、完成度、優れた実用性の面から考えた場合、内燃機関に水素を併用する方があらゆる点で多くのメリットがあるということが、25 年以上にわたって BMW が行ってきた水素技術の量産を射程に入れた研究開発によってはっきりと実証されていたためです。

BMW Hydrogen 7 に搭載されたデュアルモード式エンジンは、同じシリンダー内で水素でも「従来」燃料のガソリンでも燃焼させることができます。つまり、大規模な水素供給インフラが導入されるまでの措置として、BMW はその空白期間を埋めることができる最も現実的な解決方法を提起しているのです。

このデュアルモード・パワーユニットは、BMW 7 シリーズに搭載されている総排気量 6 リッターの 12 気筒バルブトロニック・ガソリン・エンジンをベースにしています。これは BMW の既存の内燃機関を徹底的に発展させたエンジンであり、BMW 7 シリーズの車両コンセプトに完全に合致したパワー・ユニットであるといえます。BMW グループは、自動車生産や内燃機関のそれぞれの開発ノウハウと、数十年にわたり水素を駆動エネルギーとして使用してきたことで築き上げた信頼性を兼ね備えているのです。

#### 最高レベルの機動性を実現するデュアルモード・パワーユニット

水素で走る場合、BMW Hydrogen 7 の航続距離は 200 km を越えます。ガソリンで走るときの航続距離は 500 km です。したがって、総航続距離は約 700 km となり、ユーザーは日常走行の必要条件をすべて満たし、ガソリンだけで走行する従来型サルーンの航続距離をはるかに凌ぐ機動性を享受できます。

BMW Hydrogen 7 に装備された水素タンクには、約 8 kg の液体水素を貯蔵することができます。別体のガソリン・タンクには、74 リットルのガソリンを充填することができます。V12 デュアルモード・パワーユニットは、最高出力 191 kW (260 ps)、最大トルク 390 Nm / 4,300 rpm を発生します。

BMW ハイドロジェン・サルーンの 0 - 100 km/h 加速性能は 9.5 秒、最高速度は電子制御による 230 km/h です。つまり、ドライバーが BMW 特有の比類ない走りをおきめなければならない理由は何もないのです。

BMW Hydrogen 7 は、水素モードでもガソリン・モードでも、全く同じレベルのパワーとパフォーマンスを発揮します。このため、ドライバーは瞬時に水素モードからガソリン・モードに切り換えることができます。モード変更は手動でも行えますが、各燃料タンクの水素またはガソリンの残量が規定量以下になると自動的に切り替わるようにすることも可能です。最も実用的な特性としてモード変更が非常に滑らかに巧妙に行われるため、ドライバーは水素とガソリンが切り替わったことに気付くことさえほとんどないでしょう。

水素を使用して電気を作り出し、電動モーターで車両を駆動する燃料電池車とは違い、BMW Hydrogen 7 は水素を直接内燃機関に供給します。デュアルモード・エンジンは、水素モードで走行する場合はエンジン本体の外で混合気を形成します。一方、ガソリン・モードの場合は燃料を燃焼室に直接噴射します。

エンジンを始動すると、BMW Hydrogen 7 は自動的に水素モードで作動します。これは冷間時にガソリン・エンジンをスタートさせたときに発生する汚染物質排出を避けるための処置です。ガソリン・モードに切り換えることができるのは触媒コンバーターが暖機された後に限定されるため、BMW Hydrogen 7 が有害物質を排出する状態で始動することはありません。

### **最初から卓越した実用走行特性を目指す**

汚染物質の排出レベルを最小限に抑制し、なおかつ持続可能なモビリティの世界を確立する場合、完全な水素供給インフラが整備されていないからといって、それが障害になっては本末転倒です。そのため、BMW グループは量産型の水素自動車を導入することで、普及活動を支えるペースメーカーの役割を自らに課しました。実際に水素自動車が実用的でハイレベルな走行特性を発揮するのを実証することで、BMW は水素メーカーと水素充填ステーションの経営者に燃料供給範囲を拡大させる動機を与えようとしているのです。これにより、新しい駆動技術が顧客の信頼と信用の獲得をさらに推進し、低排出ガス車(低公害車)に切り換えるユーザーが確実に増えることになるでしょう。

したがって、まずこの画期的な技術革新を受け入れるための基準全体を、広範囲にわたり強化することが必要になります。自動車の実用走行特性が飛躍的に高まることを前提として、BMW グループは世界初の量産型水素駆動をラグジュアリー・サルーンに導入する際にデュアルモード・エンジンを選択しました。このことは、水素自動車用の完全な燃料供給インフラが整備される前から、BMW Hydrogen 7 のドライバーはこの新しい低排出ガス技術のメリットをすべて享受できる一方で、全国的なネットワークを誇る既存のガソリン供給インフラからの恩恵もすべて享受できることを意味しています。

BMW の長期目標は、水素だけで駆動するシングル・モード・パワー・ユニットの導入と確立にあります。なぜなら、こうしたエンジンは水素というエネルギー源が持っている潜在能力を十分に利用することができるからです。水素を従来燃料に代わる代替燃料として認め、実際に普及させるには、水素を使用するために必要な技術を、実績のある開発工程や生産工程、販売プロセスに組み込む必要があります。

### **クリーンな自動車の未来へと確実に移行**

重量の重い燃料電池と比較した場合、デュアルモード・エンジンは非常に軽量であり、生産コストもそれほどではありません。コスト削減に貢献するもう一つの重要なポイントは、このデュアルモード・エンジンが既存の BMW 生産工場で製造できる点にあります。なぜなら、これらの工場は数十年にわたり内燃機関を製造してきた経験により、最高の信頼性を保証することができるからです。

特に高速走行時の動力性能と運動性能のポテンシャルの高さを考えた場合、BMW Hydrogen 7 は水素モードにおいても BMW に期待される走行特性と性能をすべて提供します。もう一つのポイントは、既存の水素供給ステーション網やその設置密度に依存することなく、最新技術を展開し、長距離クルーズを実現するデュアルモード・ドライブを提供することができるのは内燃機関だけであるということです。

これらの理由により、BMW は世界初の実用向け量産型水素駆動式のラグジュアリー・サルーンにデュアルモード・エンジンを搭載することを決定しました。理由は極めて簡単です。デュアルモード・エンジンが駆けぬける歓び、特に移動の自由という特性に一切の妥協をすることなく、実用的にして低コスト、そして新しい環境に適した自動車によるモビリティの時代に参入するための理想的な条件を示していたからです。



## 4. シンボル: 液体水素 – 日常で使用する自動車で持続的な モビリティを実現する新しいエネルギー

- 長い航続距離を実現する高エネルギー密度の液体水素
- 液体燃料の貯蔵を可能にした真空高断熱技術
- 水素インフラを拡大するための新しい機運

BMW は、一貫して水素を中長期的な未来の燃料として使用することに取り組んできた世界で初めてのメーカーです。現在、BMW Hydrogen 7 の導入により、BMW グループは高レベルの実用特性を発揮する世界初の量産型水素駆動自動車を発表しました。

実際のところ、こうした実用的な特性は BMW Hydrogen 7 の開発から試験に至るまでのプロセス全体を通じて重要な目標であり、車両の運転、燃料タンクへの充填、整備および修理条件の管理など、自動車の利用範囲全体を網羅するものでした。日常使用に十分適応し得る実用性を最初から備えることを目指して、BMW グループは BMW Hydrogen 7 にも一連の量産開発プロセスを積み上げてきました。

### 長距離クルージングを実現する高エネルギー密度の液体水素

水素のエネルギー量を定義する際に、私たちは質量(重量に関連する)エネルギー密度と体積(体積に関連する)エネルギー密度を区別します。重量の面から比較した場合、水素は非常に高密度のエネルギーで、質量エネルギー密度はガソリンの約 3 倍です。したがって、これは移動用途に非常に重要な要素となります。また、水素の体積エネルギー密度はガソリンの約四分の一に相当します。

自動車に装備される燃料タンクの容量には限界があるため、私たちは体積に対するエネルギー・レベル(エネルギー量)を高める必要があります。これには 2 つの可能性があります。1 つは気体状の水素を圧縮するか、それとも水素を冷却して液体に変換する方法です。現在のところ、気体水素は最大 700 bar まで圧縮することが可能になっています。一方、通常の大気圧下で水素を液体に変換するには、水素をマイナス 253 に冷却する必要があります。

限られたタンク容量で可能な限り高いエネルギー量を確保するために、BMW グループは液体水素を選択しました。この液体水素の車載タンク容量に対するエネルギー量に相当する体積エネルギー密度は、700 bar まで圧縮された気体水素に比べて液体水素は 75% 以上高くなります。このため、液体水素の航続距離のほうが 75% 長くなります。また、これはドライバーに移動の自由を十分に与え、機動力を増すことにつながります。これは、水素を充填するための経済基盤が今なお整備中であることを考慮すれば、非常に重要な基準になります。

### **信頼性のある燃料貯蔵を可能にした真空高断熱技術**

デュアルモード・エンジンとともに、BMW Hydrogen 7 の液体水素タンクは、この開発プロセスで達成した自動車産業で最も重要な新開発製品です。液体水素を貯蔵する際の最大の難問は、 $-253^{\circ}\text{C}$  の極低温に冷却した液体水素の温度を長時間にわたって維持しなくてはならないという点でした。その回答として BMW グループが開発したのが、厚さ 30 mm の最新の真空高断熱技術です。これは厚さ 17 mm の発泡スチロール層と同じ断熱効果を発揮する技術です。その結果、液体水素を長期間にわたり車両内に貯蔵できる選択肢が与えられました。

### **液体水素を供給する際のエネルギー・バランス**

自動車の代替駆動エネルギーとして水素を液化するには、まず、気体水素の圧縮工程より大きなエネルギーが必要になりますが、日常で使用する場合、このエネルギー・バランスが液体水素のメリットに変わります。つまり、エネルギー総消費量を決定する場合、車両全体のコンセプトとシステムを考慮することが不可欠になるからです。

また、全体的に見て、車両に気体水素を充填する過程で圧縮熱が発生するという事実も考慮しなければなりません。言い換えると、これは圧縮された水素ガスが膨張し続けることになり、エネルギー密度にとってマイナス要因となります。

このようなことから、発熱効果を抑制するには次の 2 つの選択肢があります。つまり、水素を、時間をかけて少量ずつ燃料タンクに充填する受動冷却（ユーザーにとって受け入れられないと思われる選択肢）か、あるいは充填ステーションで水素の温度を下げておき燃料タンクに充填する能動冷却です。このケースの短所は、「井戸元から車輪まで」（「一次エネルギーの採掘から車両走行による消費まで」）のサイクルで、エネルギー消費量が著しく増加する点にあり、こうしたプロセスにより圧縮気体水素は不利になります。

さらに、水素を大量に貯蔵する場合は密度を高くしなければならないため、水素は液体の状態で充填ステーションに運ばれ、液体の状態で長期間貯蔵されることになります。充填ステーションで圧縮ガスを直接生成するには、このように小規模な施設では効率が悪くなります。

また、中規模貯蔵タンク施設（規模の理由でパイプライン建設ができない場合）も、水素は液体の状態で、つまり、すでに流通目的で液化されている水素以外の気体と同じ方法で輸送することになるでしょう。このため、燃料はタンクに水素ガスを充填する前から液化されており、その後、気化・圧縮プロセスを経て供給されます。充填ステーションで圧縮ガスを供給するためには、極めて複雑な技術とそれに伴う膨大な努力を要することを意味しています。このため、液体水素と比較した場合、水素ガスをタンクに充填するために必要なエネルギー総量は最終的に増えることになります。

## 水素供給インフラ整備の機運

BMW Hydrogen 7 のタンクに液体水素を充填するプロセスは、実用条件に完全に対応するように設計されており、ドライバーはガソリンを充填するときとほぼ同じ操作を行うだけです。既存のガソリン・スタンドに水素貯蔵タンクと給油装置(ディスペンサー)を追加することについても何の問題もなく、新しい充填ステーションを基礎から建設する必要さえありません。

液体水素を自動車に充填するプロセスとガソリンを充填するプロセスとの主な違いは、一般的なガソリン・ポンプの代わりに、耐圧・耐低温コネクターが必要になる点です。一方、実際の操作は従来とほとんど変わりません。ドライバーが水素タンク・コネクターを BMW Hydrogen 7 のタンク充填口に接続するとコネクターが所定の位置でロックされ、タンクへの充填が完了すると自動制御システムによってコネクターの接続が解除されます。この充填プロセスの所要時間は 8 分弱です。水素が全く管理されない状態で漏れることはありませんし、引火しやすい蒸気や他の種類の気体が外部に漏れ出すことも一切ありませんので、従来のガソリンをタンクに充填するプロセスよりもクリーンであり、危険性は同程度です。

BMW Hydrogen 7 を発表することで、BMW グループはこの代替駆動エネルギー変換プロセスが駆けぬける喜びや走行快適性、または実用走行性能の点で一切譲歩する必要がないことを明確に示しています。実際のところ、BMW のハイドロジェン・サルーンは量産車のエネルギー源として液体水素が実用的であることを明確に証明しています。

BMW Hydrogen 7 は、量産開発のすべてのプロセスを経て、法律で定められたテスト過程をすべてクリアしたモデルです。すべての製品開発製造プロセスを完了した後、BMW グループは BMW Hydrogen 7 に対し、南ドイツ技術検査協会(南ドイツ TÜV)と共同で車載用液体水素コンポーネントに焦点を当てた広範囲の総合テストを実施しました。そのテスト結果として南ドイツ技術検査協会は、BMW Hydrogen 7 が、少なくとも従来のガソリン・エンジン搭載車と同等の安全性を備えているという評価を下しています。

これは、BMW Hydrogen 7 が液体水素で走る自動車として実用走行に必要な条件をすべて満たしていることを裏付けるものです。この新型モデルに対して広範なテストが実施されたにもかかわらず、実際の使い勝手の良さだけはあらゆる点で最終的に確認されました。また、BMW Hydrogen 7 は適切なインフラが必要になりますが、現在整備中であり、環境は整いつつあります。したがって、BMW グループはこのプロセスの先駆者です。



適切な供給インフラの整備を推し進めるために、BMW グループは早い段階で他の企業や団体と強力なパートナーシップを結びました。こうした協力関係の一つがベルリン・クリーン・エナジー・パートナーシップ (CEP) で、自動車産業における代替エネルギー形態を開発するためのヨーロッパで最も重要な実証プロジェクトを実施しています。この自動車産業と部品メーカー、および公共輸送サービス機関の共同体は 2002 年に設立され、現在では BMW だけでなく、石油・鉱油製造メーカーのアラル、ダイムラークライスラー、フォード、ジェネラル・モーターズ/オペル、フォルクスワーゲン、ハイドロ、リンデ、トタル、バッテンファル、ベルリン交通局 (BVG) の各社で構成されています。CEP の目的および目標は、適切な水素供給インフラが実際に実現可能かどうかを実証すること、水素をエネルギー源として使用するために必要な技術面をさらに整備すること、水素を実用目的に使用できる選択肢を拡大することにあります。このプロジェクトのハイライトの一つは、2004 年と 2006 年にベルリンで 2 つの水素充填ステーションがオープンされ、稼動していることです。また、ミュンヘンでは今年度末までに統合充填ステーションがオープンする予定です。

### **世界中に公約する BMW グループ**

BMW グループは、水素の研究開発で得たノウハウをドイツ政府の国家イノベーション・プログラムに提供しています。さらに、BMW グループは 2004 年に欧州委員会主導の専門組織として、水素および燃料電池技術に基づく、コスト効率が高く競争力のあるヨーロッパ製エネルギー・システムの開発および運用を促進するために、欧州水素燃料電池技術フォーラム (EHP) の諮問委員会と戦略展開パネル最高管理会議にコンサルタントとして任命されています。

BMW グループによるもう一つの国際的なコミットメントは、エネルギー部門の共同研究機関に参加することだけでなく、水素社会がもたらす数々の可能性を検討し、中国においてもこのテーマに関連した情報キャンペーンを主導することです。このため、BMW グループの技術者は中国人科学者と力を合わせて本格的な水素供給インフラを整備するための手段を模索しています。



## 5. 開発： 量産開発のプロセスを無事完了 世界初の水素エンジンを搭載した ラグジュアリー・カー

- BMW の通常量産の一環としてディンゴルフィン工場で生産
- すべての部品について量産製造検査プロセスを完了
- 通常の BMW 量産モデル基準を全て満たした BMW Hydrogen 7

BMW Hydrogen 7 を導入したことにより、BMW グループは間違いなく自動車業界に歴史を刻んでいます。この世界初の偉業が、世界初の水素駆動式ラグジュアリー・サルーンであるという理由ばかりではなく、BMW Hydrogen 7 が日常的に使用できる実用性を持った、世界初の水素駆動方式のプレミアム・カーでもあるからです。

BMW Hydrogen 7 は、量産開発プロセスをすべてクリアしています。1979 年に BMW が初めて水素コンセプトの研究を発表してから 27 年後の現在、BMW グループはこの画期的なコンセプトが日常走行において持続可能なモビリティを実現できるということを証明することに成功しました。BMW Hydrogen 7 は、日常走行に適した世界初の水素駆動式ラグジュアリー・サルーンになります。

BMW Hydrogen 7 は、BMW ディンゴルフィン工場で稼働している BMW 7 シリーズ、BMW 6 シリーズ、BMW 5 シリーズと同じ生産ラインで組み立てられます。また、パワー・ユニットも、すべての BMW 12 気筒モデルと同じように、ミュンヘンにある BMW のエンジン工場で生産されます。

ディンゴルフィン工場における BMW Hydrogen 7 の組立工程には、水素駆動コンポーネントがすべて含まれています。また、これは BMW Hydrogen 7 を最初にガソリンで動かす場所でもあり、漏れがないかについて水素システムを点検する場所でもあります。その後、水素駆動システムはミュンヘン近郊のエッヒングにある BMW の施設で初めて作動します。

BMW Hydrogen 7 は、製造時に他のすべての BMW 新型モデルと全く同じ、必須の量産開発プロセスを経ています。つまり、クリアランスや承認審査方式には BMW のガソリン・モデルやディーゼル・モデルに適用されるのと同じ高い基準と要求事項が課せられているのです。BMW グループには、通常満たすべき製造プロセス (PEP) がありますが、エンジンやタンク・システムだけに限らず、水素駆動システムの電子制御装置も同じプロセスを経て製造されています。それは初期コンセプトの作成と戦略の開発に始まり、予備開発から量産開発を経て、車両の最終試作を行いラインへ導入するまでの範囲に及びます。この過程では、対象となる新型車量が市場導入の準備をすべて完了していることを確認するため、ユーザーのための評価基準に従ってあらゆる角度から分析されます。

### **量産の可能性がことごとく徹底的に検査された部品およびコンポーネント**

BMW Hydrogen 7 のコンポーネントはすべて、他の BMW モデルのコンポーネントと同様に、製造プロセス (PEP) 内で徹底的に分析され、量産に適しているかどうかを確認します。これは、BMW Hydrogen 7 が、品質、安全性、信頼性の点で通常 BMW が適用する高い基準をすべて満たしていることを確認するためのものであり、水素駆動システムの要求事項に特化した安全コンセプトを焦点とするものです。

水素部品の強度や品質を確保しなくてはならない BMW Hydrogen 7 の場合、通常の衝突試験に加えて、さらに特別な衝撃試験をクリアする必要がありました。その中には、綿密な条件設定をしてタンク・コネクターに直接衝撃を加える側面および後面への衝突試験が含まれています。また水素タンクは、火災や銃弾など、あらゆる種類の非常に過度の負荷や過酷な条件に耐えるものでなければならず、BMW Hydrogen 7 はそのための安全性を備えたクルマとして設計されています。部品やコンポーネントのすべてが最高レベルの安全条件を満たしており、故障時には自動的に安全な状態に切り替わるように設計されています。車両が常時実施している自己診断テストによって、不具合の検出とその対策を早期に、かつ適切に取ることができ、ごくわずかな危険さえも回避したり、発生する危険のレベルを最小限に抑制したりすることが可能です。また、こうした危険がない場合でも、不具合が発生すればドライバーに通知します。

BMW Hydrogen 7 に組み込まれている安全コンセプトの特徴として、水素が全く管理されない状態で放出されることはありません。同様に、万一水素が全く管理されない状態で漏れたとしても、とりわけセンサー制御式ガス漏れ警告装置によって瞬時に記録されます。機能的な不具合が発生した場合は、この警告装置が自動的に適切な措置を講じます。

もう一つ重要な点として、BMW Hydrogen 7 の安全コンセプトにより、ドライバーは簡単に環境に優しい水素駆動力に切り換えることができます。これは魅力的な特徴であると言えます。

BMW Hydrogen 7 を開発することによって、BMW グループは最初から社内だけでなくメーカーとも共同で水素技術のステータスを引き上げようとしていました。その結果、開発過程で得た知識は非常に価値があり、BMW が導入しようとしている未来の水素駆動モデルの開発を促進するのに大いに役立ちました。

## 6. コンセプト: 妥協なき進化、BMW ならではの運動性能、 プレミアム水準の快適性と装備品



- 最高水準の快適性と装備品
- 水素作動表示機能付きのモダンなコックピット
- BMW Hydrogen 7 専用の卓越したシャシーとサスペンション技術

BMW グループは、水素を大きな可能性を秘めた駆動エネルギーと位置付け、環境に優しい、低排出ガスという燃焼特性と魅力的な運動性能を発揮する素晴らしい特徴を持った資源と評価してきました。まさにこの理由から、日常的に使用することを目的に開発された世界初の水素駆動式ラグジュアリー・サルーン BMW Hydrogen 7 は、最先端の機能重視型の技術革新として BMW 7 シリーズの中でも最高峰に位置付けられています。

従来型ガソリン・エンジンは、一世紀以上にわたって脈々と積み上げられてきた開発によって高い完成度に達しており、それをベースとする BMW Hydrogen 7 は生まれながらにして完成された動力性能、運動性能、洗練された走りを備えています。代替エネルギーへの切換えは運動性能や洗練された走行性能の多くを犠牲にする、という仮説を見事に打ち消すだけでなく、世界初の水素エンジンを搭載した量産型ラグジュアリー・サルーンを導入した BMW グループが発信する、パーソナル・モビリティの未来を示す明確なシグナルでもあるのです。また、BMW Hydrogen 7 の卓越した快適性とスタイルは、非常に充実した標準装備によってさらに強化されています。

### BMW 760Li と同じ寸法、同じインテリア環境

BMW グループの水素自動車のエクステリア寸法は、全長 5,179 mm、全幅 1,902 mm、ホイールベース 3,128 mm。これは BMW 760Li と全く同じサイズです。一方、新しい駆動技術を搭載した BMW Hydrogen 7 の車両重量は 2,460 kg で、ガソリン専用の BMW 7 シリーズのロングホイールベース・モデルよりも重くなっています。ただし、適切な運用荷重を提供するため、結果的にこの水素モデルの最大許容重量は増えています。

ボディ・ラインもインテリアも、一見ただけでは BMW Hydrogen 7 と「標準」の BMW 760Li を区別することはできません。BMW Hydrogen 7 のインテリア内では、最高級素材と最も厳しい要求をも満足させる室温調節システム、さらにシートの心地よさが融合しています。ナスカ・ブラック、ナスカ・フランネル・グレー、メリノ・プラチナのレザー・シートに加え、高光沢のピアノ・ブラックのインテリア・トリムが室内の高級感を一層引き立てています。

リア・シェルフ下の後席シート・ベンチ背後に水素タンクを配置する必要から、室内の変更点の多くは後席周りに集中しています。BMW Hydrogen 7 の後席シートは、BMW 760Li より約 115 ミリ前方に移動していますが、それでも「標準」ホイールベースのサルーンよりも約 25 ミリ後方です。したがって、BMW Hydrogen 7 の足元スペースは BMW ラグジュアリー・サルーン特有の広々とした空間を提供し、後席乗員にも通常の 7 シリーズ同様のグランド・ツーリングの快適性を提供します。

固定式のリア・センター・アームレストを採用している BMW Hydrogen 7 は、4 人乗りとして設計されています。

水素駆動システムに必要なコンポーネントが追加されているため、通常より小さくなっているものの、ラゲッジ・ルームの容量は 225 リットルを確保しています。これはフルサイズのゴルフバック 2 個を楽々と収納できる広さです。

### **遠隔測定によるタイヤ・プレッシャー・コントロール・システム(TPC)**

BMW Hydrogen 7 には、BMW の極めて高精度のセンサーをベースにしたタイヤ・プレッシャー・コントロール・システム(TPC)が標準装備されています。モータースポーツから応用されたこの TPC は非常に精密な計測ができ、極めて正確に警告を発します。TPC は最新技術の代表例と言えます。

TPC は、各タイヤの空気圧を短い周期で計測し、各タイヤの空気圧が適切であることをメーター・パネル内に表示します。またこのシステムは、自然なタイヤ空気圧の低下や、大きな温度変化などによって空気圧が徐々に低下した場合にもドライバーに警告します。したがって、ドライバーは、正常な空気圧レベルからどのくらい逸脱しているかを早めを知ることができます。

### **水素作動表示機能付きのモダンなコックピット**

BMW 760Li との比較では、更にコックピットと装備品が異なります。メーターパネル内の「H<sub>2</sub>」表示は、ドライバーに、画期的で未来志向の駆動技術のクルマのステアリングを握っていることを示唆します。

ステアリング・ホイール越しに見るメーター・パネルは、すでに BMW 7 シリーズでよく知られたレイアウトにデザインされ、燃料計と推定航続距離表示機能が組み込まれたスピードメーターが左側に、また各種警告灯は中央に、さらにオンボード・コンピューターは右側に配置されています。

また水素モデルでは、刻々と変化する車両の状況を示す中央のディスプレイに「H<sub>2</sub>」のシンボルが表示され、BMW Hydrogen 7 が水素モードで走行していることをドライバーにはっきりと示します。一方、ガソリンで走行している場合は、通常の機能としてこのディスプレイに時刻と外気温度が表示されます。

BMW Hydrogen 7 の丸型スピードメーターの内側には、2 種類の燃料計があります。ガソリン燃料計の上に水素燃料計が表示され、水素タンク内の水素量をキログラム単位でドライバーに表示します。タンク内の燃料を使って BMW Hydrogen 7 が走行できる推定航続距離は、ツー・トーンに色分けされたクロスバーで表示されます。透過性のある色調のバーは水素だけの残量を、濃い色調のバーはガソリンだけの残量を示しています。この情報は、推定航続距離(km)を表すもう一つの表示によって補足されます。

ここに表示できるもう一つの数値は、ドライバーが入力するか、ナビゲーション・システムで計算した目的地までの距離です。さらに、水素(有効水素残量約 1.5 kg で約 50 km 走行可能)とガソリン(有効ガソリン残量約 15 リッターで最低 100 km 走行可能)の残量がそれぞれ別々に表示されます。

これらの標準計器に加え、ガソリン・エンジンの標準的な警告灯と同様に、水素駆動システムの関連のデータも表示されます。したがって、たとえば、タンク・フィルター・キャップのロックが不適切な場合や、オーバーヒートが発生した場合、水素モードでエンジンを始動できない場合、サービス工場まで車両を移動させるように表示が出た場合などは、同時にドライバーに警告音で知らせます。

### **水素モードからガソリン・モードへの切り換えも簡単**

このエンジンは、常に自動的に水素モードで始動します。このため、ガソリンで冷間始動したときに発生する高レベルの汚染物質排出を回避することができます。その後、停車中でも移動中でも、ドライバーはステアリング・ホイールのボタンを押すだけで簡単にガソリン・モードに切り換えることができます。さらにもう一度水素モードに戻すには、少し時間をおく必要があります。モードの切換えには、無用な、頻繁な切換え操作をさける仕掛けが組み込まれているためです。2 つある燃料タンクのいずれかが規定残量まで減った場合、BMW Hydrogen 7 はもう一方の作動モードへ自動的に切換えます。

BMW Hydrogen 7 は必要な場合には、ガソリン・モードで始動させることも可能です。その場合、ドライバーはモード切換えスイッチを押し、ブレーキを踏んで、スタート/ストップ・ボタンを押します。水素タンクが規定水素残量以下になっていない限り、ガソリン・モードで始動した後、ドライバーは水素モードに切り換えることができます。

### **妥協なき運動性能**

BMW 760i と同様に、BMW Hydrogen 7 には BMW のアダプティブドライブ・サスペンション・テクノロジーを採用しています。アダプティブドライブ・パッケージの最大の特徴は、ボディの横揺れを抑える BMW の革新的なダイナミック・ドライブ・サスペンション・コントロール・システムと、BMW の EDC-C 連続調整式エレクトロニック・ダンパー・コントロールを融合させた点にあります。その結果、アダプティブドライブはボディの横揺れを低減することによってカーブを走行する際、まさに滑空しているような感覚を乗員に与えます。このため、一切の妥協なく、卓越した運動性能と、同様に卓越した走行快適性を両立させています。

また、BMW Hydrogen 7 には前席 / 後席ヘッド・エアバッグ、前席 / 後席サイド・エアバッグ、自動防眩機能付きルーム・ミラー / ドア・ミラー、パーク・ディスタンス・コントロール (PDC)、レイン・センサー、BMW Professional ナビゲーション・システムおよび Professional HiFi システム、運転席 / 助手席ランバー・サポート、前席 / 後席シート・ヒーターが装備されています。また、BMW Hydrogen 7 はアラーム・システムによって盗難からも保護されています。

### 卓越した総合的な快適性

広範囲にわたり充実した機能を搭載した BMW Hydrogen 7 は、あらゆる点で最高の快適性を約束します。そのために、オートマチック・ソフト・クローズ機能付きドア、グリーン遮熱ガラス (ラミネート・ガラス)、BMW 高性能オートマチック・エア・コンディショナー、メモリー機能付き電動シート、リモート・コントロール機能付き補助ヒーター、BMW アダプティブ・ヘッドライト、DVB-T デジタル・テレビ機能、オンボード・モニター、6 連装 CD チェンジャー、6 連装 DVD チェンジャー、後席専用車載電話、喫煙者用パッケージ、前席 / 後席カップホルダーなどが装備されています。

高性能フルオート・エアコンは、車外の気象条件に関係なく、走行快適性を最高レベルに維持し続けます。このフルオート・エアコンに装備されたセンサーは、正確な日射量を検出し、これらの要求事項に沿って冷風の流れを調整します。シート位置ごとの設定に従って、風を直接当てなくても、オートマチック・システムがコックピット内のさまざまなエリアに新鮮な空気を送ります。

BMW Hydrogen 7 に装備されている補助ヒーター・システムは、補助暖房機能として、車内から、あるいは車外からリモート・コントロールによって作動させることができます。エンジン始動前でも、補助ヒーター・システムのおかげで冬の車内を快適な温度に調節し、最適な作動温度までエンジンを迅速に暖機することができます。同様に、夏はパーキング・ベンチレーション機能を通じて空調機能をサポートします。

BMW Hydrogen 7 のリア・サイド・ウィンドウ・ブラインドは、車内の環境と快適性をさらに高めます。このブラインドのドア・トリムバー上部には、水素モデルであることを示す「BMW Hydrogen Power」の文字が誇らしげにプリントされています。

さらに、CD チェンジャー、DVD チェンジャー、後席乗員用のリア・モニター、DVB-T 方式のデジタル・テレビ・チューナー、BMW アシスト・テレマティクス・サービス、後席専用車載電話、BMW テレサービス接続キットで構成されるオンボード・エンターテインメント・システムは、BMW 7 シリーズの標準装備品を上回り、あらゆる点でインテリアに高級なライフスタイルとビジネス特性を与えています。

コンフォート・アクセス、BMW オンライン、ナビゲーション / 電話 / オーディ・システム操作の音声入力機能など、技術的に最高水準の装備品が BMW Hydrogen 7 には装備されています。また、ヒーター付きステアリング・ホイール、電動調節式コンフォート・シート、BMW ナイトビジョン、アダプティブ・ヘッドライト、そして BMW のモビリティ・セットには 19 インチ軽合金ホイールも用意されています。

### **さらにもう一つの標準装備:メタリック塗装**

BMW Hydrogen 7 の走りをより一層際立たせ、その高級感を高める高品質仕上げのメタリック塗装。BMW Hydrogen 7 のエクステリアは、メタリック塗装が標準装備です。特に特別色のブルー・ウォーター・メタリックは、このモデルの専用カラーで、BMW のハイドロジェン・サルーンが持つ比類なきクラス、能力、特性を強調しています。

現在と変わらぬドライブの魅力を、これまで以上にクリーンな形で未来に届ける。BMW Hydrogen 7 が誇るコンセプトは明確です。





## 7. パワー・ユニット： ガソリン直接噴射および 水素インテーク・マニフォールド供給式 6 リッター 12 気筒エンジン

- 最高速度 230 km/h を誇る水素駆動
- 水蒸気以外には何も汚染物質を排出しないエンジン
- ドライブレイン技術のリーダーシップを示す BMW

BMW Hydrogen 7 の導入は CO<sub>2</sub>(二酸化炭素)の排出量を劇的に削減することにつながるため、自動車開発の未来に挑む重要なステップとなります。BMW Hydrogen 7 に搭載されたデュアルモード 12 気筒パワー・ユニットは、実際に汚染物質をほとんど何も排出することなく水素を燃焼させることも、従来通りガソリンを燃焼させることも可能です。

エンジン技術に画期的な技術革新を採り入れることで、BMW Hydrogen 7 は非常に現実的な手段を利用しながらさらにクリーンで環境に優しい自動車の世界に切り換えるための道筋をつけようとしています。また、BMW Hydrogen 7 に搭載されたデュアルモード 12 気筒パワー・ユニットは、現在のように水素供給インフラが限定されている中で水素を使用するというギャップを効果的に打開することができるエンジンです。こうした革新技術の導入は、BMW グループがドライブレイン技術のリーダーとして大きな責任を担い、その責任を果たしていることの現れといえるでしょう。

2 種類の作動モードで走行できるというメリットが、最先端技術の粋を集めたこの内燃機関の最大の特徴です。このエンジンのデュアルモード技術で非常にクリーンな駆動エネルギーを利用するなら、個人の移動の自由を犠牲にする必要は全くありません。

最大航続距離約 700 km を誇る BMW Hydrogen 7 は、従来型のガソリン・エンジン搭載モデルよりも遠くまでドライバーと乗員を運ぶことができます。内燃機関は世界中で数十年にわたる経験が積み重ねられてきており、燃料電池技術と比較してはるかに高い実用完成度に達しています。そうした実績を踏まえて、このエンジン・コンセプトが獲得した信頼性だけでなく、実際の条件下において日常走行特性を支えているもう一つの要素は、内燃機関の持つ卓越した動力性能です。

### 水素駆動用に改良された量産型 12 気筒エンジン

世界初の実用的な量産型水素駆動のラグジュアリー・サルーンに搭載された 12 気筒パワー・ユニットは、BMW 760i のガソリン・エンジンから派生したもので、吸気側と排気側にバルブトロニック無段階可変バルブ・コントロール・システムや、ダブル VANOS 可変カムシャフト・コントロール・システムなどの最先端技術が搭載されています。このデュアルモード・エンジンは、同じシリンダーを使って水素とガソリンの両方を燃焼させることができるように設計されており、いずれの作動モードにおいても同じ動力性能と運動性能を発揮できる大きなメリットがあります。水素駆動からガソリン駆動への切換えは瞬時に行われ、運動性能に影響を及ぼすことはありません(逆の場合も同様です)。

BMW Hydrogen 7 に搭載された総排気量 6 リッターのパワー・ユニットは、最高出力 191 kW (260 ps) を発生します。最高速度は電子制御により 230 km/h に制限。最大トルクは 390 Nm / 4,300 rpm を発生します。

BMW のハイドロジェン・サルーンは、静止状態から 100 km/h までを 9.5 秒で加速します。航続距離は、水素だけで 200 km 強、ガソリンだけで約 500 km です。

世界初の実用的な水素駆動式プレミアム・サルーンに搭載された、このクラスに相応しい特性を発揮するデュアルモード V12 パワー・ユニットは、作動モードに関係なく、BMW 特有のスタイルの優れた運動性能や走行快適性を発揮するだけでなく、あらゆる面の信頼性も備えています。まさにこの意味で、デュアルモードは、新しい形態の駆動エネルギーを使用するということに今まで以上の幅広い支持を得られる最も有効な技術であると言えます。

### **水素駆動に最適な条件を持つバルブトロニック**

水素の燃焼特性は、ガソリンや軽油と著しく異なります。水素はガソリンよりも短時間に燃焼しますが、その燃焼時間の短さによって同じエネルギー量でもガソリンより優れた効率を発揮します。それが、水素と空気の混合気による燃焼行程の重要なメリットです。さらに重要な点は、デュアルモード・エンジンに組み込まれた専用のエンジン・マネージメントによって、2 種類の燃料の異なる燃焼特性を相殺していることです。

BMW が開発し、採用したスロットル・バルブを使用しないバルブトロニック無段階可変バルブ・コントロール・システムと、ダブル VANOS 可変カムシャフト・コントロール・システムは、デュアルモード V12 パワー・ユニットを柔軟に制御・管理することができる理想的な機構として、BMW のエンジン担当エンジニアに多くの利便性をもたらしました。そうした制御特性によって、デュアルモード・エンジンは、複雑なガス交換サイクルや噴射時期を、水素と空気の混合気の特長や要求事項に合わせることができるのです。

バルブトロニック無段階可変バルブ・コントロール・システムは、バルブ・タイミングとバルブ・リフトを調整します。カムシャフトと気筒内にあるインテーク・バルブとの間に独立したレバーを組み込むことで、偏心軸を電動モーターで作動させ、必要に応じてカム・リフトを調整してバルブのリフト量を大きくしたり小さくしたりします。また、ダブル VANOS 可変カムシャフト・コントロール・システムは、油圧制御式アジャスターを使用して、バルブ・タイミングを調整します。

### **重要な技術: インジェクション・バルブ**

デュアルモード V12 パワー・ユニットでは、ガソリンまたは水素の混合気を適切に供給するため、異なるプロセスを用いています。ガソリン・モードの場合、燃料をシリンダー内に直接噴射します。水素モードの場合、インテーク・ダクト内で燃料と空気の混合気を生成します。そのための水素ディストリビューターは、インテーク・マニフォールドに内蔵されています。一方、特別に開発された水素インジェクション・バルブは未来を強く見据えた先進の革新技術であり、BMW グループのエンジン開発エンジニアの傑出した技術レベルを証明するものです。従来のインジェクション・バルブより大型の水素インジェクション・バルブは、水素燃料の流量調整に必要な、より広範囲の機能を備えています。

つまり、水素インジェクション・バルブはシステム内の圧力レベルに左右されることなく水素を処理できなければならず、いかなる噴射時間に対しても正確な作動が保証されなければなりません。水素インジェクション・バルブは、常に正確に、必要な量の水素ガスを、瞬時にインテークポートに供給できなければならないのです。

### **窒素酸化物も最小限に抑制するクリーンな混合気形成**

化石燃料には炭素(C)が含まれているため、従来型の駆動コンセプトでは汚染物質が発生する上、その削減のために技術が複雑になることは否めません。一方、水素を使用する場合はこの問題が発生しません。水素の燃焼行程では二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)も、炭化水素(HC)も、窒素酸化物(NO<sub>x</sub>)も発生しないからです。

潤滑油が燃焼したり、活性炭フィルターを洗浄したりするなどのプロセスによって CO<sub>2</sub>、HC、CO など微量の排出物を発生させるガソリン・エンジンに対し、BMW Hydrogen 7 の水素モードは、限りなく「排出ガスゼロ」と言うことができます。

CO<sub>2</sub> は、ガソリン蒸気が燃焼し、触媒内で HC と CO が変換されることによって発生します。また、ガソリン・エンジン搭載車の場合は、日差しの強い日などに備えてガソリンの自然蒸発を相殺するための活性炭フィルターが必要になります。これに対して、水素モードでの排出ガス・レベルは EU4 基準の数パーセントしかありません。

その結果、デュアルモード V12 パワー・ユニットの検討対象となる排出ガスは、窒素酸化物(NO<sub>x</sub>)だけです。使用する燃料のタイプに関係なく、空気には窒素と酸素が含まれているため、1,000 以上の高い燃焼温度のときに燃焼室内で NO<sub>x</sub> が発生します。ただし、柔軟なエンジン・マネジメント・システムにより、BMW Hydrogen 7 は理論空燃費付近を使うストイキ燃焼を行い、窒素酸化物の排出量を大幅に抑制しています。デュアルモード V12 エンジンはいわゆる理論空燃比の全負荷条件の下で、流量調整を行いながら作動します。これはラムダ係数が 1 の、完全にバランスのとれた空燃比(  $\lambda = 1$  )であることを意味しています。エンジンがこの作動条件で最高出力を発生することで、従来の三元触媒を経由して NO<sub>x</sub> の排出量を最小限に制御します。

部分負荷時にも、エンジン・マネジメント・システムがディーゼル・エンジン同様に混合気の特性を調整し、エンジンはラムダ係数 2 以上(  $\lambda > 2$  )の希薄混合気で作動します。このため、燃焼行程の温度が著しく低下し、結果的に窒素酸化物(NO<sub>x</sub>)の発生温度限界を下回るため、NO<sub>x</sub> の排出量は最小限に抑制されます。水素の発火温度特性はガソリンより広範なため、希薄混合気によるエンジン作動には何ら問題はありません。この結果、極めて少量の燃料で作動するため、エンジン効率も高まります。

一方、ラムダ係数 1 ( $\lambda=1$ ) の全負荷時からラムダ係数 2 以上 ( $\lambda=2$ ) の部分負荷時までの範囲では、理論的に未処理の窒素酸化物 ( $\text{NO}_x$ ) の排出量が著しく増加する範囲です。こうした作動条件下では排気ガスの排出量が非常に多くなるからです。しかしながら、BMW Hydrogen 7 に装備されたエンジン・マネジメント・システムは、部分負荷時の希薄燃焼から全負荷時の理論空燃比燃焼に直接切り換えることにより、この中間作動モードを無効にし、多量の有害物質を排出するラムダ係数  $\lambda=1 \sim 2$  までの空燃比範囲を完全にキャンセルするのです。言い換えると、インテリジェントなエンジン・マネジメント・システムが  $\text{NO}_x$  の排出量が多くなる作動条件やトルク条件をすべて回避するのです。

このインテリジェント作動戦略を通じて、デュアルモード V12 パワー・ユニットは選択した燃料に関係なく、十分なパワーとパフォーマンスを発揮することができる一方で、全作動域を通じて有害物質の排出量を最小限に抑制します。また、このエンジンは燃焼行程で水素の特性を考慮して、出力、効率、排出ガスの制御を最適化します。その結果、BMW Hydrogen 7 に搭載されたパワー・ユニットは、水素モードでダイナミックな運動性能を発揮する一方、実際に水蒸気のほかには何も放出しません。

この先進のデュアルモード V12 パワー・ユニットというコンセプトを導入することにより、BMW グループはドライブレイン技術における能力の高さを再び立証し、真の革新的な自動車メーカーとしてのリーダーシップをさらに高めたと言えるでしょう。



## 8. エネルギー貯蔵システム： 真空式高断熱機能付き 二重壁構造の液体水素タンク

- 画期的な断熱効果の水素タンク
- 熱の侵入を最小限に抑制する二重壁構造のタンク
- 安全性なボイルオフ・マネジメント・システム

BMW Hydrogen 7 に採用されたデュアルモード駆動コンセプトは、2 種類の別々の燃料タンクを車両に装備する必要があります。非常に長い航続距離を実現するために、BMW Hydrogen 7 には従来通りガソリンが 74 リットル充填できるガソリン・タンクと、液体水素(LH<sub>2</sub>)が約 8 kg(約 114 リットル)貯蔵できる水素タンクがそれぞれ装備されています。

BMW グループは液体水素を採用していますが、700 気圧で圧縮ガスタンクに貯蔵された気体水素と比較した場合、車載のタンク容量が同じであれば、液体水素に含まれるエネルギー量の方が 75%以上も多くなります。液体水素のエネルギー密度の高さは、気体水素よりはるかに長い航続距離を達成できるのです。

BMW Hydrogen 7 のデュアルモード・パワーユニットとともに、液体水素(LH<sub>2</sub>)燃料タンクは、飛躍的に進歩した技術を示すもう一つの重要な要素です。この LH<sub>2</sub> タンク・システムを開発するにあたっての最重要課題は、水素を大気圧下で液化しておくため摂氏マイナス 253 度の冷却状態を可能な限り長時間維持する必要があることでした。この貯蔵条件を達成するため、二重壁構造の真空式高断熱タンクが採用されました。

### 真空式高断熱燃料タンク

水素燃料タンク・システムはインナータンクとアウタータンクで構成され、両方のタンクは厚さ 2 mm のステンレス鋼でできています。インナータンクとアウタータンクの間には、厚さ 30 mm の真空式高断熱層が組み込まれています。

このように高水準の真空状態は、空気からの熱伝導を遮断することができます。不要な熱入力を回避するために、中間層にアルミ製反射膜とグラスファイバー層を挟み込むことで、熱放射入力量を削減することができます。さらに、インナータンクもアウタータンクも外側に炭素繊維強化樹脂(CFP)でできたバンドを採用しているため、熱伝導は最小限に抑制されます。

この真空式高断熱中間層は、厚さ約 17 メートルの発泡スチロール製断熱層に匹敵する極めて高い断熱効果を発揮します。水素タンクは、摂氏マイナス約 250 度の極低温液化水素の長期保存を可能にしています。この断熱材の保温効果は安定し、確実なものであるため、このタンクに沸騰したコーヒーを入れた場合、コーヒーが飲み頃の温度になるまでには 80 日間以上かかります。

## ボイルオフ・マネジメント・システム

それでも一定量の熱の侵入を完全に防ぐことはできません。少量の水素は、熱による気化作用で自然蒸発します。

気化作用による蒸発損失は、17 時間以上駐車した後に発生します。この場合、燃料タンク内の圧力がそれ相応に上昇すると、気体燃料を管理する必要があります。ボイルオフ・マネジメント・システムは、適切なプロセスを用いてタンク内の圧力レベルを制限し、気化した水素を管理されたプロセスを経て放出できるようにします。

圧力が 5.1 気圧以上に上昇すると自動的にボイルオフ・バルブが開き、タンク内から余分な圧力と同時に少量の気体水素が開放されます。このようにして放出された気体水素は、ベンチュリ管の中で空気と混合され、触媒コンバーターの中で酸化されて水になります。この過程で新たなエネルギーは使用されません。

残量が半分に減った水素タンクが、管理されたプロセスを経てすべての燃料を放出し、完全に空になるまでには約 9 日間かかります。その後でも、タンク内には水素モードで約 20 km 走行することができるだけの水素が残っています。この 9 日間の間に BMW Hydrogen 7 を水素モードで駆動すると、エンジンを作動させるために必要な燃料を消費することになり、したがってタンク内の圧力は低下します。再び駐車してからボイルオフ・マネジメント・システムが作動するまで 17 時間は再びエネルギーをロスすることはありません。

温度上昇によって真空式高断熱機能が損傷するようなわずかな危険性さえも回避するため、タンクにはボイルオフ・バルブだけでなく、二重安全バルブが 2 個装備されています。水素タンクの内部圧力が平均以上に上昇すると、管理分散プロセスが作動、一定量の気体水素が車外に放出されます。

このプロセスは、空気より軽く、すぐに霧散する水素の物理特性を利用しています。したがって、1 つ目のバルブが開いた瞬間に、気体水素は C ピラーに取り付けられたセーフティ・パイプを通して車両ルーフへ向けて上昇します。2 つ目のバルブは高圧条件下でのみ作動し、気体水素を車両のフロア下に誘導し、そこから大気中に放出します。

走行中に液体水素から気体水素に変換するのは、常時 BMW Hydrogen 7 で行われているプロセスです。液体水素だけでなく、液体水素(LH<sub>2</sub>)タンクの中には常に気体水素という「クッション」があります。タンクから抜き出された水素は、気体の形態でエンジンに供給されるため、このクッションが必要になります。また、この一定のガス・クッションは、エンジンを始動するときにも使用され、エンジンは始動時に自動で低排出ガスの水素モードに切り換わります。この過程で水素は圧力勾配式二重壁パイプを通してエンジンに到達します。これは水素燃料ポンプを装着する必要性をなくすための構造です。

### 補助システム・カプセル

極低温の気体状態でタンクから取り出された水素は、適切な温度まで加熱しなければ、内燃機関で使うための外部混合気を形成することができません。このため、水素ガスは最初にいわゆる補助システム・カプセル内にある熱交換器に供給されます。BMW Hydrogen 7 に装備されたもう一つの画期的なコンポーネントであるこのカプセルもまた二重壁構造になっており、熱交換器だけでなく、圧力センサー、温度センサー、バルブユニットも取り囲んでいます。

熱交換器は、エンジンの熱だけでなく冷却回路のクーラントも利用します。タンク圧力がエンジンの作動に必要な 3 気圧より低下した場合、すぐにこの熱交換プロセスによって加熱された少量の気体水素が液体水素 (LH<sub>2</sub>) タンクに流入します。こうして与えられた熱はタンク内で少量の液体水素を気化させる働きをし、タンク圧力を必要レベルまで上昇させます。

### 改良型ガソリン・タンク

BMW Hydrogen 7 の仕様要件を満たすため、ガソリン・タンクは BMW 760Li 用をベースに設計に変更が加えられ、配置も変更され、タンク容量は 74 リットルとなりました。これは液体水素供給パイプを水素タンクからガソリン・タンクを越えてエンジン・マニフォールドまで誘導し、冷却回路を活用して水素を加熱するために必要な改造でした。また、新たに設計したことで、冷却回路に補助ウォーター・ポンプを取り付けるスペースが生まれました。



## 9. 燃料供給装置： 世界標準仕様の水素タンク充填プロセス



- 通常と同じ方法で水素を充填できるプロセス
- 手動で接続し、システム制御でタンクに充填
- 世界標準を実現するための国際パートナーシップ

BMW Hydrogen 7 の水素燃料タンクの充填装置を開発する上で基本条件の一つになったのが、プロセス全体を現在のガソリン・タンクの充填と同じように単純で分かりやすいものにすることでした。世界初の水素エンジンを搭載した実用的なラグジュアリー・サルーンを導入するということは、CO<sub>2</sub> の排出量削減に役立つだけでなく、最終的には自動車産業界に真の革命を引き起こすことで自動車生産の新しい分野に新たなマイルストーンを示すという役割もあります。

全般的に見て、液体水素タンクの充填装置と「通常の」ガソリン・スタンドにあるガソリン充填プロセスとの違いは、水素を充填するための圧力式耐低温コネクターだけです。水素充填プロセスにおいても、その他の点はガソリンと同じです。ドライバーが行うべきわずかな手作業の数もほぼ同じです。タンクを充填する前に、セレクト・レバーを「P」位置に入れてから車両を安全な位置に駐車し、パーキング・ブレーキをかけます。その後、ステアリングの左側にあるボタンを押して水素タンク・フィルター・キャップを開きます。次に、燃料ポンプの液体水素コネクターを従来のガソリン・ノズルのように車両の供給口に挿入します。ここまでは手動で接続すると、タンク・コネクターは自動的に所定の位置でしっかりとロックし、充填準備が完了したことを車両が電子接点を介して確認し、充填ステーションに伝達します。この間、ドライバーは何も操作する必要がなく、水素をタンクに充填するプロセスはシステムのコントロール・ユニットが完全に自動で実行します。

車両が安全な位置に駐車されていて、バッテリー電圧が十分で、ガス漏れの警告や衝突信号もなく、タンク内の燃料残量が 80% 以下であり、タンク内の圧力が 5.5 気圧を越えていない場合、充填ステーションはタンクへの充填を許可する電子信号を受け取ります。タンク・フィルター・キャップが完全に開き、タンク・コネクターのリークテストが正常に完了していることがもう一つの条件になります。

システム制御式のタンク充填プロセスでは、球状のポンプ栓 2 個が自動的に開き、水素充填パイプが挿入され、燃料充填プロセスが完了します。水素フィルター・パイプが洗浄されると、水素充填パイプは元の位置に戻ります。球状のポンプ栓が 2 個とも閉じて、システムは自動的に完全に解除されます。この後、ドライバーがタンク・コネクターを外し、もう一度タンク・ボタンを押してタンク・フィルター・キャップを閉じれば完了です。

プロセス全体は 8 分弱で完了します。水素タンクの充填は従来のガソリン・タンクや軽油タンクの充填プロセスと同等の安全性があるだけでなく、従来の方法よりも大幅にクリーンです。ガソリンや軽油の場合、引火しやすい蒸気が発生するのを避けることはできませんが、水素の場合は完全なカプセル化によって引火しやすい蒸気が放出されることはありません。万一、充填ステーションや車両自体に故障がある場合は、水素タンク充填プロセスが遮断されるか、そもそも起動すらしません。



## 同軸式水素充填プロセス

摂氏マイナス約 250 度の温度まで冷却することで、液体水素は BMW Hydrogen 7 の水素タンク内で凝結し、タンク内の液状部分より上にある水素ガスが液化して水滴となって、タンク内にある水素ガスの圧力が低下します。

水素タンク充填プロセスは同軸式です。つまり、液体水素は 2 つの層で構成されたタンク・ホースの内側を通り、一方、気体水素は注入される液体水素によってタンクから強制的に押し出された後、外側の層を通して還流し、同軸タンク・コネクターを通してフィルター・ポンプに戻ります。

## 世界標準に向けて

世界中の自動車に適した標準的な液体水素タンク充填コネクターを確実に導入するため、BMW グループはゼネラル・モーター/オペル、ホンダの各社のみならず、水素供給大手のリンデ、水素タンク充填用の機械装置や部品のメーカーであるワルサーの各社と協力して共同事業体を設立しました。この共同事業体の目的は、液体水素タンク充填コネクターの世界基準での標準化です。

## 水素技術の重要なノウハウを提供するリンデ社

過去の多くの水素プロジェクトで、すでに BMW グループは水素供給大手のリンデ社との間に緊密な協力関係を結んでいます。リンデは水素製造装置の世界最大手メーカーで、すでに多数の水素液化プラントを建設しています。また、リンデは最も重要な液体水素メーカーでもあり、現存するほとんどすべての液体水素充填ステーションの部品および装備を供給しています。とりわけ、液体水素と気体水素をベルリンとミュンヘンにある充填ステーションに供給しています。

## 冷たい状態でも、暖かい状態でも充填可能な水素タンク

BMW Hydrogen 7 の水素タンクが冷たい状態のとき、手動で開始し、自動で管理される実用的な水素タンク充填プロセスのほかに、水素タンクが暖かい状態でも例外的なケースとして充填することができます。これは、タンクが完全に空になっている場合、あるいは非常に長期にわたり車両を駐車した後など、極低温の水素を充填するにはタンクが暖まりすぎている場合に必要になります。

暖かい状態のタンクに水素を充填しなければならないような状況を回避する方法は、車両受取り時に最初から BMW Hydrogen 7 のドライバーに伝えられています。これは冷たいタンクに充填するよりも、暖かいタンクに充填する方が時間を要するためです。なぜなら、水素タンクをあらかじめ通常運行に必要な温度まで冷却する必要があるからです。また、安全上の理由から、暖かい状態のタンクに充填する際は、熟練した充填ステーション・スタッフが実施する必要があります。ただし、このような場合でも、車両は十分な機動力を保持していますし、ガソリンでも走行することができます。

ガソリンは従来の BMW 7 シリーズと同じ方法でタンクに充填します。燃料はプレミアム・プラス・ガソリンです。



## 10. ボディおよびサスペンション： BMW 760Li をベースにした インテリジェント・ライトウェイト構造、 最適化が施された衝突安全機能、 専用のサスペンション設定

- BMW Hydrogen 7 の特徴を示すパワードーム形状
- カーボンファイバー(CFP)とスチールの革新的な組み合わせ
- モータースポーツから応用したテレマチック式タイヤ・プレッシャー・コントロール

BMW Hydrogen 7 には、運動性能や高級感、究極の走行快適性と、新しい画期的な駆動技術とが見事に融合しています。世界初の水素駆動式ラグジュアリー・サルーンの素晴らしいスタイルやキャラクターは、スポーティでエレガントなボディだけでなく、最高の運動性能を発揮できるように設計されたサスペンションにもはっきりと表れています。

BMW Hydrogen 7 は、一目で BMW 7 シリーズの本格的な一員であることを確認することができます。外観だけを見た場合、BMW Hydrogen 7 は BMW 7 シリーズで最も大きな BMW 760Li のボディ・デザインとほとんど同じです。つまり、エクステリア寸法とホイールベースは同一です。

BMW Hydrogen 7 の水素固有のキャラクターを反映させるため、BMW 760Li のボディ・デザインは複数の箇所で、慎重に、変更または一新されています。基本的な技術革新としては、さまざまなボディパーツに炭素繊維強化樹脂(CFP)を採用しています。つまり、BMW グループは BMW Hydrogen 7 専用、軽量ながら非常に素晴らしい耐衝撃性能と高強度特性を兼ね備えた CFP とスチールの新しい組み合わせを開発しました。これにより、BMW Hydrogen 7 のドライブレイン、水素タンク・システム、パッシブ・セーフティに関する多くの要求を満たすために講じた措置などによる重量増加を相殺しました。このため、パッセンジャー・セルの左右サイド・フレームは、CFP を使って全体を強化しています。その結果、BMW Hydrogen 7 の車重は 2,460 kg に留まっています。

### ボディ・デザイン: 控えめながらエクステリアも変更

BMW 760Li と比較した場合、変更された数少ないボディパーツの中で、BMW Hydrogen 7 のエンジン・フードと、クローム仕上げが周囲に施されたクリア・パネルの液体水素タンク・フィルター・キャップが目立ちます。実際のところ、この躍動感あふれるスタイルで強調されたパワードームは、世界初の量産型水素駆動式ラグジュアリー・サルーンを明確に区別するために不可欠な象徴です。

このようにパワードームが目立つ理由は、水素インジェクション・バルブを組み込むためにサイズを見直した結果、BMW Hydrogen 7 の方がエンジン位置が高くなったためです。このシルエット・ラインは、BMW の水素自動車のボディ・シェルの内側で息づく比類ない水素エンジンの存在を暗示しています。

冷却系を改良したため、BMW Hydrogen 7 にはフロントに通常のフォグランプがありません。また、BMW のハイドロジェン・サルーンで意図的に見送られた装備としては、スライディング・ルーフがあります。この場合、セーフティ・ガス・パージ(放出)・フラップに場所を譲りました。

BMW Hydrogen 7 は、盛り上がったパワードームだけでなく、トランクリッドの「Hydrogen 7」というモデル名と、サイド・ターン・インジケーターの下にある「Hydrogen」という文字によっても、通常のカソリン車とは明確に区別されます。もう一つの特別なデザイン上の特徴は、クローム・ストリップが施されたリア・バンパー・トリムです。ドア開口部にある「BMW Hydrogen Power」の文字も、このクルマの画期的なドライブトレイン技術を明示しています。

世界初の水素エンジンを搭載した量産型実用プレミアム・サルーンは、美しい高品質のメタリック塗装が施されてから生産ラインを離れます。特に専用カラーのブルー・ウォーター・メタリックは BMW Hydrogen 7 だけに選択可能なボディカラーであり、このモデルの比類ない特性を見事に強調しています。

### インテリアの変更箇所

BMW Hydrogen 7 のインテリアは、BMW 760Li の「標準モデル」のインテリアとほとんど同じです。唯一の違いは、コックピットに水素モードでの運転をモニターする新しい計器が用意されている点です。もう一つ、水素モードで走行中は、この非常に特別な BMW 7 シリーズのメーター・パネル内にある各種警告灯の中央に「H<sub>2</sub>」のシンボルが表示される点です。

追加された水素燃料計は、スピードメーター内のガソリン燃料計の上に表示され、水素残量をキログラム単位で表示します。両方のタンク内に残っている燃料で BMW Hydrogen 7 が走行できる推定航続距離はツー・トーン表示式クロスバーで表示され、絶対値で航続距離値が表示されます。水素の残量レベル(有効水素残量約 1.5 kg で約 50 km 走行可能)とガソリンの残量レベル(約 15 リットルで少なくとも 100 km 以上走行可能)は、いずれの計器内でも別々に表示されます。

一番分かりやすい変更点は、後席にあります。リア・シェルフ下の後席シート背後に水素タンクを配置したことによる変更です。BMW Hydrogen 7 の後席シートは、BMW 7 シリーズのロングホイールベース・モデルより 115 ミリ前方に移動していますが、標準ホイールベース・モデルよりは 25 ミリ後方にあります。これにより、新型水素自動車の後席に乗員 2 名が座っての長距離走行でも、BMW ならではの高級感あふれる走りが保障されます。車両パッケージ上の理由でセンターアームレストが固定式になっているため、BMW Hydrogen 7 は 4 人乗りです。

## **軽量アルミ製シャーシ**

BMW Hydrogen 7 は、BMW 7 シリーズの「標準モデル」より車両重量が重くなっています。特にリアには液体水素の燃料供給コンポーネントが追加されています。このため、シャーシとコントロール・システムを適切に変更する必要がありました。シャーシとサスペンションは、BMW 7 シリーズに独特の運動性能と動力性能を与えている標準の軽量アルミ製シャーシをベースにしています。

フロント・アクスルにはダブルジョイント・スプリング・ストラット式タイバー・アクスルが、リア・アクスルにはインテグラル IV マルチリンク式アクスルが装備され、アンチスクワット機能とアンチダイブ機能を組み込んでいます。BMW 7 シリーズのハイ・セキュリティ・サールーンと同様に、リア・アクスルにはアルミとスチールの補強材が追加されています。

BMW Hydrogen 7 には、アンチロール・スタビライザー機能とこのモデル専用に調整された可変ダンパー・コントロール機能を組み合わせた専用のシャーシ・サスペンション・システム、BMW アダプティブドライブが装備されています。このアダプティブドライブ・サスペンションのおかげで、BMW Hydrogen 7 はいかなる状況においても非常に俊敏で、優れたハンドリングを発揮することができます。このため、ドライバーは急コーナーや困難な条件下でも車両を完全にコントロールし続けることができます。

リア・アクスルのスプリングもまた、BMW Hydrogen 7 の要求を満たすために手が加えられています。フロント・アクスルとリア・アクスルのダンパーも同様に、必要な改良が施されています。これにより、BMW Hydrogen 7 は BMW 7 シリーズの標準モデル同様の比類ない走行安定性と運動性能を発揮します。

BMW Hydrogen 7 には、BMW 7 シリーズから受け継いだブレーキ・システムが装備されています。このため、時速 100 キロで走行中でも 41 メートル未満で停止させることができます。また、電子機械式パーキング・ブレーキは、ケーブルおよび非常解除機能が BMW Hydrogen 7 専用に改良されているため、取付け位置は他の 7 シリーズ・モデルとは異なります。

コントロール・システムは BMW 760i と BMW 760Li から引き継いでいますが、BMW Hydrogen 7 の性能データや重量配分に基づいて適切に調整されています。これにはアダプティブドライブの制御ソフトだけでなく、的確に設定されたアンチロック・ブレーキ・システム (ABS) やダイナミック・スタビリティ・コントロール (DSC) も含まれています。

BMW Hydrogen 7 には、新デザインの 19 インチ軽合金ホイールが装備されます。これは BMW モビリティ・セットと一緒に納入されます。また、希望により 18 インチのウィンター・タイヤを選択することもできます。

## **ハイテク装備のタイヤ・プレッシャー・コントロール (TPC)**

BMW Hydrogen 7 には、BMW のセンサーをベースにしたテレマチック (遠隔計測) 式タイヤ・プレッシャー・コントロール・システム (TPC) が標準装備されています。モータースポーツから応用したこのシステムは極めて高精度で、必要なときに明確な警告を発します。これはタイヤの制御技術分野で最先端のテクノロジーです。

テレマチック式タイヤ・プレッシャー・コントロール (TPC) は、それぞれのタイヤの空気圧を常時測定し、頻繁に測定値を再確認します。こうして測定された数値はメーター・パネル内の警告表示によってホイールごとに表示されます。

TPC システムは、125 kHz の受信機と 433 MHz の送信機が装備された 4 個のエレクトロニック・ホイール・モニターで構成され、エア・バルブと一緒にホイールに装着されています。これらの電子式ホイール・モニターには、寿命 5 年の電池が内蔵されています。

ドライバーはこの最先端技術の恩恵を受け、従来よりも早く、非常に正確に、いずれかのタイヤの空気圧が低下していること示す警告を受け取ります。さらに重要な点として、自然にタイヤから空気が抜けたり、急激な温度変化によって空気がタイヤから抜けたりする場合などでも、このシステムはいずれかのタイヤの空気圧が連続して低下し続けていることをドライバーに伝えます。

### **最高の快適性をもたらす効果的な防音機能**

BMW Hydrogen 7 に搭載されたデュアルモード・エンジンは、従来のガソリン・エンジンとは違います。高速高効率燃焼により、水素モードでのエンジン・ノイズはガソリンとは異なる周波数スペクトルで、高いレベルに達します。BMW では、音響工学の対策を施し、この影響を打ち消しています。

一例として BMW Hydrogen 7 のオートマチック・トランスミッションは、BMW 7 シリーズの 8 気筒モデルから継承したマウント位置で固定されています。これは優れた運動性能と心地良いサウンド・コントロールを実現する上で理想的な位置です。

BMW Hydrogen 7 の場合、エンジン後方のバルクヘッド部分からキャビンのフロアに沿って、いわゆる高性能防音構造が組み込まれています。また、このモデル専用に開発された音響効果に優れたエアダクトを通じて外気をキャビンに供給しています。この空気供給装置に通じるインテーク・スノーケルには、消音器が装備されています。

これらの変更によって、水素モード時の BMW Hydrogen 7 は通常の BMW 760i によく似たノイズ・パターンを示します。一方、注意深く耳を澄ませば、この特別モデル独自の水素モード・サウンドが奏でられていることもおわかりになるでしょう。

## 11. 安全コンセプト： 安全基準の確立、テスト(実験)、 独自の認証



- 水素関連コンポーネントのためのマルチ・ステージ・セーフティ・コンセプト
- BMW Hydrogen 7 のアクティブ・セルフ・モニタリング機能
- 量産モデルの開発時に考慮すべきすべての検査を経て十分に検査済み

あらゆるタイプの代替駆動エネルギーを慎重に検討した結果、有害物質を全く排出しない未来の自動車用燃料として、BMW グループは水素が最も適していると確信しました。ただし、ガソリンや軽油と比較した場合、水素の特性や特徴は異なるため、これまでとは違う方法で水素燃料を取り扱う必要があります。重要な点は、この新しいタイプの駆動エネルギーには新しい安全対策が必要だということです。このため、BMW Hydrogen 7 の開発および製造時から統合安全コンセプトに優先権を与え、日常走行に制限なく使用できるクルマに仕上げる必要がありました。

BMW Hydrogen 7 の水素システムは、これまで実際の日常走行ではほとんど利用した経験のない形態の駆動エネルギーを使用するため、この安全コンセプトには車両のすべての機能や作用だけでなく、標準的な走行におけるあらゆる走行条件も含まれています。それはたとえばトンネル内を走行するような状況や、駐車して燃料タンクを充填するとき、定期点検や修理に至るまでのさまざまな項目が含まれています。

水素システムのコンポーネントは、すべて設計段階から、構造や構成について最高の安全性を発揮できるよう考慮されています。加えて、高水準の安全性を保証するため、不具合が発生した場合においても、速やかに各コンポーネントが安全な作動状態に戻るよう設計されています。

もう一つ重要な点として、BMW Hydrogen 7 には総合的なセンサー制御式の常時監視システムが装備されており、必要なときには常に車両に関する最新情報をドライバーに提示します。実際のところ、不具合がまだ危険な状態に至っていない状態であっても、ドライバーは故障に関する警告情報を受け取ります。

BMW Hydrogen 7 は、製品の開発・製造プロセスのすべての段階について、最も過酷な品質および安全に関する要求を満たすことができるかどうか、広範囲にわたり明確に規定された認可および認証手順を実行しながら慎重に検討し、検証しました。たとえば、水素を格納したり水素に接触したりするすべてのコンポーネントの機能上の安全性については、極めて多くの注意を払いました。このようなケースについては、特別な安全志向の開発プロセスが必要になります。

モビリティの新時代を切り拓くため、BMW グループは新しい運用規定や、必要に迫られる新しい安全基準の制定を含む多くの国際的な審議会や委員会の一員となり、水素自動車のために世界的に統一された安全基準を構築しようと模索しています。こうした活動の結果 BMW Hydrogen 7 に適用された安全コンセプトは、通常の日常的な走行条件化でも制限されることなく環境に優しい新しい駆動技術に切り換えることを可能にしています。

### **水素の安全性に関連する装備品と特性**

水素とガソリンまたは軽油との基本的な違いは、水素が無色無臭である点です。また、水素は周囲の空気よりも 15 倍も軽いため、車外に放出された場合には、必ず上昇して大気中に霧散します。これはつまり、車両の液体水素タンクから水素が漏れたとしても、ガソリンや軽油とは違って、燃料が漏れた痕跡を地面に残さないことを意味しています。

BMW Hydrogen 7 の液体水素タンクには、氷点下をはるかに越える極低温に冷却された液体水素が充填されています。万一液体水素が空気中に漏れたとしても、水素はすぐに暖められて気化し、上昇して大気中に霧散します。したがって、ガソリンや軽油とは違い、不注意で水素を放出した場合でも、このような条件下で漏れた水素が地面を汚染することはありません。

一方、ガソリンや軽油と比較した場合、安全性に関する重要な課題としては、水素の自己発火範囲が広いことが挙げられます。自己発火可能な水素と空気の混合比率は、広範に及びます。

さらに、水素が発火するにあたって必要とするエネルギーはガソリンや軽油よりも低くなります。つまり、水素ガスは発火しやすい特性を持っています。

水素が燃焼すると、水素は炎を上げて燃えますが、人間の目には見えませんし煙も出しません。走行中の最悪のシナリオを想定した場合、水素はガソリンや軽油ほど簡単に燃えない、したがって大事故になる危険性が低いという明確なメリットがあります。これは水素の拡散係数が高く、すぐに大気に霧散するためです。つまり、水素が発火する可能性は、タンクから出てきた水素が空気と混合されて発火しやすい状態にあるときに、すぐ近くに火種があった場合に限られます。そのため車両に引火する可能性は比較的低い上、万一火災が発生した場合でも、ガソリンや軽油とは違って、地面にたまった燃料が燃え広がるようなことはありません。

空気やガスを外部に放出するための排気口や排気装置が設置されていない屋内で、万一水素タンクから水素が漏れた場合、水素は無色無臭のため、人間はこの過程で形成されつつあるガスの濃度に気が付きません。ガソリンや軽油と違って水素には毒性や刺激性もありません。このため、従来燃料とは異なる防火基準を適用し、順守する必要があります。

実際に水素を取り扱う場合、水素の特長や特性を明確に正しく把握していさえすれば、安全なプロセスで実施できます。したがって、ガソリンや軽油を燃料として使用するのと同じように、水素を日常走行に使用することは未来のドライバーにとってごく普通のことになるでしょう。大切なのは、どんなタイプの燃料にも一定のリスクが必ずあるということ、エネルギーの性質を理解することなのです。ガソリンや軽油が可燃性でなければ、これらの燃料で車両を動かすことができないのは自明の理です。

### **水素関連コンポーネントのためのマルチ・ステージ・セーフティ・コンセプト**

BMW グループは水素を燃料とする自動車に重点的に取り組み、この分野のパイオニアとして活動しています。そのため、極低温の液体水素を貯蔵するための画期的な高断熱タンクの開発を最優先にしています。こうしたタンクに水素を貯蔵するには、まず水素を液状になるまで冷却します。この液化プロセスのおかげで、気体水素と比べてエネルギー貯蔵密度が大幅に高くなるという利点があり、その結果航続距離が長くなります。

この解決策を選択する上での課題は、大気圧下では水素を液体に変換するために摂氏マイナス 253 度まで冷却する必要がある点と、タンクに充填した燃料を可能な限り長期間にわたりこの低温状態に維持する必要がある点です。

タンクの断熱性能が極めて優れているとはいえ、微量の熱がタンク内まで達するのを避けることはできません。したがって、タンク内の液体燃料の一部は、やがて気化(ボイルオフ)します。そして、気化した水素の体積により、タンク内の圧力が上昇します。

この圧力上昇プロセスは、BMW Hydrogen 7 に装備されたボイルオフ・マネジメント・システムが監視・制御します。その結果、蒸発した水素は触媒コンバーターに送られ、水素は酸化して水に変換されます。ただし、この目的のために新たにエネルギーを加える必要はありません。

ボイルオフ・マネジメント・システムの他にも、真空式高断熱機能が損傷した場合に備えて、タンクには 2 個の二重安全バルブが装着されています。

圧力が異常に上昇した場合、二重安全バルブによって制御されたプロセスで気体水素を大気中に放出します。1 つ目のバルブが開くと水素は C ピラーのセーフティ・パイプを通して車両ルーフに達し、そこから大気中に放出されます。2 つ目のバルブは水素ガスを車両のフロア下まで運び、そこから放出します。

これに関連してもう一つの重要なポイントは、液体水素タンクが後席シートの背後のリア・アクスル上に配置されているおかげで、衝突時でも最適な安全性と耐衝撃性を発揮することです。



水素に関連するパイプやコンポーネントは、すべて周囲が二重壁構造になっています。したがって、万一水素パイプの内壁から水素が漏れたり、異常が発生したりしても、第 2 の壁がシステムから抜け出る水素をパイプ内に安全に閉じ込めます。この場合、水素センサーが検知するよりも早く記録されます。水素がシステムから漏れていると診断された場合、タンクに近いチェック・バルブがロックされ、危機的でないレベルまで漏れを抑制します。

### **BMW Hydrogen 7 のアクティブ・セルフ・モニタリング機能**

BMW Hydrogen 7 は、開発当初から安全性を組み込んだクルマとして設計されました。従って、BMW の水素自動車は常時自分自身をモニターしています。すべてのコンポーネントは最高の安全条件を満たしており、万一の故障時には自動的にセーフティ・オペレーション・モードに切り換わります。

また BMW Hydrogen 7 は、パワーが供給されていない状態でも、水素関連コンポーネントのいずれかに機能上の不具合が発生した場合、複数のセンサーで構成されている総合システムがそのことをドライバーに知らせることで、基本的に安全な状態を維持することができます。このため車両全体には、エンジン・ルーム、補助システム・カプセル、液体水素タンクのフィラーキャップ、キャビン、ラゲッジ・ルーム内の 5 箇所に水素センサーが装備されています。また、現在エンジンがどのモードで作動しているか、電装系に通電されているか、メーター・パネルに通電されているかに関係なく、センサーが水素を検出した場合には、即座にドア・ロック・ノブの赤色の発光ダイオード(LED)式警告灯が点灯します。

走行中の場合、さらに別の警告灯がメーター・パネル内で点灯するだけでなく、警告音を鳴らしてドライバーに注意を促します。

また、システムの最新状態を圧力センサーと温度センサーが常時監視しているため、不具合が発生する前にシステムによって対処することができます。水素がシステムから漏れた場合でも、これらの制御機能が水素の供給を自動的に遮断し、BMW Hydrogen 7 は自動的にガソリン・モードに切り換わり、自動的にサイド・ウィンドウを開けます。

スターター・バッテリーの他に、BMW Hydrogen 7 にはセンサー制御式安全装置用の補助バッテリーが 2 個も装備されています。このため、ガス警告モニターはスターター・バッテリーやその最新状態に影響されることなく、常時作動し続けることができます。これら 2 個のバッテリーの寿命は最大 66 日間であり、水素をタンクに貯蔵することができる最大期間をカバーしています。

## テストと独自の認証

BMW Hydrogen 7 に搭載されているエンジンやタンク充填装置だけでなく、自動車用電子部品もこのクルマに不可欠な構成要素として新たに開発され、通常と同じ、量産型製品開発・製造プロセスのすべての段階を完璧にクリアしたものばかりです。BMW の新型モデルに義務付けられている許認可手順を適用することで、担当エンジニアと安全技術者は BMW 特有の品質および安全条件をすべてクリアしました。安全関連コンポーネントは、すべて安全志向の特別な開発プロセスを経ており、実用に関する要求事項について、詳細に、規定通りに作動することを事前に確認するため、最も過酷で緻密な安全解析試験において検査され、承認を受けています。その後、これらの理論的な解析は、具体的な試験によって確認します。最終的に外部の専門技術者によって、対象となるすべてのコンポーネントに対し、理論的な安全試験やバックアップ・プロセスに適用すべき要求事項と基準についても承認を受けます。

BMW の他の量産モデルと同じように、BMW Hydrogen 7 は通常の試験だけでなく、車両の水素コンポーネントに特化して新たに追加された水素特有の衝突試験を含め、すべて実施しています。たとえば、EURO NCAP に準拠した衝突速度 64 km/h での前面オフセット衝突試験と、オーバーラップ率が 100%と 40%の後面衝突試験、車両の中で最もデリケートな部分であるタンク・コネクター部を直撃する側面衝突試験などがあります。これらの衝突試験で、タンクや断熱機能、または水素関連の各種コンポーネントに重大な損傷が発生することは一切ありませんでした。

個々のコンポーネントや車両全体に関する総合試験プログラムだけでなく、たとえば水素タンクを火炎にさらしたり、外側から水素タンクに銃弾を打ち込んだり、大規模な機械的損傷を与えたりして、最も過酷な条件下での水素タンクの反応だけでなく、タンクの真空断熱機能に人工的に損害を与えた際の水素タンクと安全機器の反応を、慎重に、徹底的に検討しました。

このような大規模かつ衝撃度の高い試験を実施するために、BMW グループは南ドイツ技術検査協会(南ドイツ TÜV)と提携し、検討すべき広範な事故のシナリオを集めました。これらの試験によって二重安全バルブの安全性が極めて高い基準で証明されたことで、これらの二重安全バルブが必要なときに作動し、重大な危険を招くことなく、タンクに貯蔵されている水素を管理されたプロセスを経て確実に蒸発(ボイルオフ)させることも確認されました。

火災試験の一例として、水素が充填されたタンクを摂氏 1,000 度以上の火炎に最大 70 分間さらしました。このような非常に厳しい条件にもかかわらず、ここでもタンクは一切不具合が発生しませんでした。水素は安全バルブを通して、管理されたプロセスで蒸発しました。ただし、外部でこのプロセスに気付くことはほとんどありません。結論を言えば、これらの試験を通じて得た結果はすべて、BMW の液体水素システムが優れた安全コンセプトに基づいたものであるということを証明しています。

また、すべての安全関連システムの開発プロセスも、同様の方法で検査・確認されています。開発時に得たすべての結果に集中するだけでなく、基準や要求事項を適切に判断し、試験を実施することですべての要因を完全に網羅することに専念しました。このため、内部技術者と、開発によるいかなる利益も受けない独立した外部の技術者がそれぞれ、各コンポーネントや車両全体の見直しや評価に取り組みました。これらの外部技術者には、南ドイツ TÜV のエンジニアや安全技術者、その他の専門技術者やその他の機関が含まれています。

実施された総合試験の結果を考慮して、南ドイツ技術検査協会 TÜV と消防隊の専門アドバイザーは「水素自動車には従来のガソリン車と同等の安全性が確保されている」という結論に達しました。

### **ガレージに駐車するための規則**

水素タンクの安全性を確認するための通常の運行状態における統計学的に信頼できる適切なデータがまだ入手不可能なため、周囲を囲まれた閉鎖空間に長時間駐車することは、現在のところ許可されていません。BMW グループは、統計学的に有効な信頼におけるデータが集まるまで、ドライバーの利益のためにこの規則を堅持します。このデータは長期間の運行モニターにより、車両に追加されているバックアップ・プログラムおよびセキュリティ・プログラムによって収集されます。

このクルマの使用過程において、屋内の駐車場、あらゆるタイプのトンネル、洗車機の利用など、屋内スペースに短時間停車することは、屋外駐車場に駐車するのと同様に制限なく許可されています。



## 12. 生産： BMW ディンゴルフィン工場の 量産システムに統合、 技術革新の先陣を切る BMW Hydrogen 7

- 通常の量産工程と同じプロセスでの生産
- BMW 7、6、5 シリーズと並行して生産
- 他のモデルにも応用可能な画期的な軽量ボディ構造

BMW Hydrogen 7 を生産するということは、BMW グループが水素駆動装置の開発に大きな進歩を遂げたことをはっきりと示しています。かつての試作車や実験車両とは違い、BMW Hydrogen 7 は研究プロジェクトの成果ではなく、むしろ他のすべての BMW モデルと同様に、通常の量産開発プロセスを経た製品です。したがって、このクルマも通常の量産条件下で生産が行われます。

BMW Hydrogen 7 は、BMW ディンゴルフィン工場において BMW 7、6、5 シリーズの「標準」モデルと並行して組み立てられます。V12 パワー・ユニットも、BMW のすべての 12 気筒エンジンと同様に、ミュンヘンの BMW エンジン工場生産されます。

量産開発プロセスで最も重要な目標に定めたことは、このクルマを有効に利用して、ドイツおよび ECE 市場の認証を得ることでした。したがって、BMW の他のモデル・シリーズの全モデルと同様に、BMW Hydrogen 7 は社内「PEP プロセス」と呼ばれる通常の製品製造プロセスを経験しています。

このプロセスは、その後の量産品質に関してあらゆるコンポーネントを一つずつ分析したり、車両全体を総合的に分析したりするのに役立ちます。

これに関連してこのクルマの高い安全基準も重要な役割を担っており、PEP 開発プロセスのさまざまなステップにおいて適切な試験が実施できただけでなく、認可や認証も受けることができました。その結果、すべての車両が BMW グループの高い基準を確実にクリアできました。

BMW Hydrogen 7 の開発段階で慎重に追求されたもう一つの目標は、社内だけでなく、BMW の各部品メーカーと共同で水素技術をさらに促進することでした。その結果、詳細なノウハウを蓄積し、水素技術を実用に耐える技術にすることで、未来の自動車開発の基礎を確立しました。

### はっきりと未来を見据えたボディ生産

画期的な駆動コンセプト以外にも、生産時の重要課題の一つとしてこのクルマのボディ・シェルとボディ構造がありました。BMW Hydrogen 7 の車両重量の増加による影響で負荷を受けやすくなったすべての部品とコンポーネントには、炭素繊維強化樹脂 (CFP) とスチールを統合したボディ・シェルを初めて採用し、きわめて高いボディ剛性を発揮しています。この CFP 一体構造の成果として、ボディ・シェルの重量を軽減しつつ、優れたボディ剛性が実現できました。この新しい技術から得た知識は、未来の BMW モデルにも適用することができるでしょう。

BMW Hydrogen 7 は、ミュンヘンの北東約 100 km にある BMW ディンゴルフィン自動車製造工場で組み立てられます。また、ここでは出来上がった BMW Hydrogen 7 を最初にガソリン・モードで駆動し、水素システムの漏れ検査を行います。その後、水素駆動システムについても、ミュンヘン近郊のエヒングにある BMW 施設で作動確認します。



### 13. 協力： 世界初の水素エンジンを搭載した 実用的なラグジュアリー・サルーン、 ユーザーと BMW の緊密なコミュニケーション

- 日常走行を体験することで価値あるフィードバックを提供
- 駆けぬける喜びとパイオニアとしてのコミットメント
- 熟練した、有資格のサービス・スタッフが実施する優れたサービス

BMW Hydrogen 7 のドライバーは、水素を日常的に使用するという先駆的な偉業に参加すると同時に、新しいモビリティを直接体験する喜びを共有します。また各ドライバーは、個別の経験をフィードバックする過程を通じて、継続して開発される水素駆動装置に影響を及ぼすことになります。このように、BMW Hydrogen 7 のドライバー全員が、このクルマと技術を開発した BMW グループのエンジニアと緊密に連絡を取り合います。従って BMW グループの技術者は、このような最新技術に関心のあるドライバーが世界初の量産型水素駆動式ラグジュアリー・サルーンを運転することにより、毎日の走行で得られる経験からのフィードバックを継続して受け取ります。

BMW Hydrogen 7 を受け取ったドライバーは、水素駆動装置の特殊な機能やこのクルマの実用的な機能を詳細に解説したマニュアルを受け取ります。ドライバーは BMW 7 シリーズの「標準」モデルと同じ品質だけでなく、BMW Hydrogen 7 の自動車としての運動性能や走行快適性、そして日常走行における信頼性も享受できます。

従来のガソリン車やディーゼル車を運転する際に必要な通常の操作手順の他に新たな知識が必要となるのは、ハイドロジェン・サルーン特有の作動条件で走行する場合に関する事柄だけです。

さまざまな技術革新と同様に、BMW は水素駆動装置に関するあらゆる機能について、ドライバーの判断を重視しています。この中にはクルマの使い勝手も含まれています。実践の場で得たこのような意見や体験談は、未来の水素自動車の開発に直ちに影響を及ぼします。

#### **車両データを直接 BMW に伝送するリモート・ダイアグノシス・システム**

重要な点として、すべての BMW Hydrogen 7 には画期的な遠隔診断システムが標準装備されています。このリモート・ダイアグノシス・システムは、車両や各種コンポーネントを診断する際に必要な極めて広範に及ぶ車両の運行データを効率よく処理します。

BMW Hydrogen 7 の場合、考えられる重要データをすべて可能な限り素早く、効率よく収集するために、この診断プロセスは常時自動的に実行されます。このため、リモート・ダイアグノシス・システムは 4 時間ごとに定期的に、BMW ホットラインに広範囲に及ぶ車両データを自動転送します。このデータには水素タンク内の圧力や燃料残量、電装系の電圧だけでなく、その他の車両の状態に関するさまざまな報告が含まれています。ドライバーの要望次第では、将来的にこの診断システムが車両の現在位置まで報告するようになるかもしれません。

### **有資格者による点検サービスを提供する専用 BMW 指定サービス工場**

BMW の開発エンジニアは、BMW Hydrogen 7 専用のサービス・プログラムを作成しました。3 ヶ月ごとに行う定期点検では、とりわけ水素システムから漏れがないか、安全機器が正常に機能しているか、などがチェックされます。これにより、BMW Hydrogen 7 を日常的に使用する上で最高の信頼性と安全性を保証します。

保守点検および修理作業は、すべて専用の設備が整ったサービス工場で行い、水素システムに関するあらゆる作業を安全かつ適切に実施できるように特別な訓練を受けたサービス・スタッフのみが実施します。また、BMW Hydrogen 7 の水素システムの作業に必要な専用工具が備わっているのは、これらの専門の指定サービス工場だけです。



## 14. 機運： 水素供給インフラ整備を促進させる 役割を担う BMW Hydrogen 7

- 研究開発: 水素は最も期待されている未来の代替燃料
- 水素駆動コンセプトに幅広い支持を与える実用的なモビリティ
- 水素充填ステーションの増設計画

BMW Hydrogen 7 を導入することで、BMW グループは水素供給インフラを継続して拡大するための政策を強力に推進します。国内の水素充填ステーション網の整備はいまだ構想段階に過ぎませんが、この目的のために必要な技術や物流に関するノウハウは、すでに利用できる段階にあります。実際の条件下でドライバーが燃料を供給するプロセスは、便利でわかりやすくなければなりません。水素自動車のタンクを充填するプロセスは、従来のガソリン車やディーゼル車の場合と全く同じくらい簡単で、複雑な手順はありません。しかしながら水素が支持される決定的な要因は、CO<sub>2</sub> 排出量の削減と将来の消費見通しに限りのある化石燃料に依存する必要がないという点にあります。

トランスポート・エナジー・ストラテジー (TES、輸送エネルギー戦略) イニシアチブによって実施された科学的な研究では、10 種類以上の代替燃料と 70 種類以上に及ぶ製法について徹底的に取り組んできましたが、継続的かつ持続可能なモビリティを実現することの必要性を考えると、再生可能なエネルギー・プロセスで製造された水素が長期的に見て間違いなく未来の最善の解決策であることがわかっています。TES イニシアチブの研究によると、水素の最大の政治的・戦略的メリットとして、水素は再生されたエネルギー源から非常に柔軟に生成でき、大きな可能性を秘めているという点と、実際に CO<sub>2</sub> の排出を抑制し、長期的に危機を回避することができるという事実にあります。

また、水素技術は自動車以外の携帯及び移動用機器に関する用途についても引き続き技術革新ができる大きな可能性を示しているため、水素技術はドイツ産業にとっても新しい成長分野を切り開く可能性を秘めています。

そのため、ドイツ連邦政府は新たに国家的な水素・燃料電池技術革新プログラムを通じて、この環境に優しい技術の普及を促進しています。この目的のため、今後 10 年間に 5 億ユーロの追加融資が用意されています。この中心は、同様にパイロット・プロジェクトであり、デモンストレーション・プロジェクトです。

### 液体水素の供給に重点を置く BMW グループ

包括的で、最終的には世界規模でこの代替燃料を導入するため、BMW グループは液体水素に重点を置いて取り組んでいます。その主な理由は、液状の水素の方が気体水素よりもエネルギー密度が高いからです。プロジェクト・パートナーのマグナシュタイア社と緊密に協力し合うことで、BMW グループはすでに何年も前から、ガソリン車やディーゼル車と基本的に同程度にクリーンで安全なプロセスで液体水素を車両に充填できるタンク・システムの開発に着手していました。



2000 年には、リンデ社が運営し、BMW や他のメーカーが使用するための世界初の公共水素充填ステーションがミュンヘン空港に開設されました。水素駆動装置に関して価値のある実用体験を提供する役目を果たしたのは、このプロジェクトでした。

その後、続々と新たな水素充填ステーションが稼動に入りました。2004 年にベルリンで開業したアラル社が経営する水素充填ステーションは、バスと乗用車に液体水素と気体水素を供給しています。2006 年 3 月には、トタルという別の石油会社がベルリンに統合充填ステーションをオープンし、従来燃料だけでなく、水素も供給しています。この新しいステーションは、2002 年にトタル社がベルリンで初めて開業した試験ステーションに取って代わりました。

さらにワシントン、東京、ミラノにも液体水素充填ステーションがあります。

### **水素の開発を促進する BMW とトタル社**

代替駆動エネルギーとしての水素の開発を促進するため、BMW とトタル社は緊密に協力し合う予定です。このため両社は最近、2007 年末までにヨーロッパに 3 つの水素充填ステーションをトタル社が開業し、その過程で BMW 水素自動車の実用化を支援することを盛り込んだ合意書に調印しました。

トタル社がベルリンに完全統合型充填ステーションを開設したのに続き、今年、水素燃料ポンプを完備した別の公共充填ステーションが、ミュンヘンにある BMW 研究開発センターからさほど遠くはない場所で営業を開始します。これは、今までミュンヘン空港で営業してきた水素充填ステーションに取って代わる施設です。

また、BMW とトタル社はドイツ以外のヨーロッパのどこかに、3 番目の統合水素充填ステーションを開設することにも合意しています。

### **世界標準の水素タンク充填プロセス**

水素技術の大きな利点は、車載タンクに充填するプロセスが簡単であるという点です。水素タンクの充填プロセスは、大部分が充填装置によって自動的に制御されます。つまり、手動操作はコネクターをつなぐときだけで、ガソリンを充填するときと基本的にすべて同じです。

標準化されたタンク・コネクターは、自動車メーカー、燃料供給産業、世界中の液体水素充填ステーションすべてを運営するリンデ社と緊密に連携することで開発されたものです。欧州自動産業界を代表して、BMW グループはこの共同開発に最初から直接関わってきました。その結果、液体水素タンク充填装置の世界標準を規定することができました。

### **リンデ社の技術が支える水素インフラの整備**

BMW グループとリンデ社の提携によって、すでに恩恵を受けている水素プロジェクトは多数あります。リンデ社は水素生成製造プラントの世界最大手メーカーで、すでに非常に多くの水素液化施設を建設しています。また、リンデ社も水素生成・供給技術のあらゆる段階に関与しており、実際のところ、リンデ社は現在、液体水素の最大手メーカーとしてほぼすべての既存の液体水素充填ステーション用の装置および機器を供給しています。とりわけ、ベルリンやミュンヘンの充填ステーションには、液体水素と気体水素の両方を供給しています。

## 15. クリーン・エネルギー・パートナーシップ： 国家的なサステナビリティ戦略の一環、 水素の実用化を確認することが目的



- CEP – 世界最大のデモンストレーション・プロジェクト
- ドイツのサステナビリティ国家戦略の一環
- 通常の日常走行条件下でベルリンを走行する水素自動車

水素を代替駆動エネルギーとして利用するに当たり、BMW グループが着手した共同イニシアチブに沿って、ベルリン・クリーン・エネルギー・パートナーシップ (CEP) を形成するアラル、ベルリン交通局 (BVG)、ダイムラークライスラー、フォード、ジェネラル・モーターズ/オペル、フォルクスワーゲン、ハイドロ、リンデ、トタル、ヴァッテンファル・ヨーロッパ各社と共同で、ドイツにおいて実証的な条件下の試験が行われます。

2002 年に設立された CEP は、ヨーロッパで最も重要な実証プロジェクトと、この種のものとしては世界最大のプロジェクトの一つを運営しています。このイニシアチブの目標は、水素をエネルギー源として利用できるように技術的な環境をさらに整備することであり、水素を実用目的に使用するための選択肢だけでなく、システム全体の一部として水素の特性を検査することです。

さしあたり、CEP プロジェクトは 3,300 万ユーロの予算で 2007 年末まで続けられます。また、CEP はドイツのサステナビリティ (持続可能性) 国家戦略の一環であり、ドイツ連邦政府が推進しているプロジェクトでもあります。

水素の代替燃料としての実用性を検証する上で重要なのは、水素が環境に与えるプラス面と利点を実証することです。まず第一に、水素は最大限、再生可能なエネルギー (特にバイオマス、太陽エネルギー、水力、風力から生成される電気エネルギー) を使用して生成しなければなりません。これにより、水素の生成段階から自動車に使用する最終段階に至るライフサイクルにおいて、望ましくない物質の排出を阻止することが可能になります。

### 日常運行されている水素自動車、水素バス

このイニシアチブの範囲内で、BMW は水素内燃機関を搭載した複数の車両を走らせています。CEP の車両部隊は、さまざまなメーカーのさまざまな技術が搭載された 16 台の乗用車で構成され、ベルリンにおいて実際の条件下で運行しています。これらの車両の共通の特徴は、実際に有害物質を一切排出せずに走行していることです。水素をエンジン内で燃焼させた結果、最終的に生成される物質としては、エグゾースト・システムから排出される純粋な水蒸気の他は何もありません。

ヨーロッパにおいて、BMW の水素自動車はもはやテスト段階ではなく、すでに実用走行しており、高水準の実用性を実証しています。動力性能、運動性能、信頼性の点で、BMW の水素自動車は従来エンジンを搭載した車両に決して劣ることはありません。また、タンク充填プロセスもほぼ同じであるため、ドライバー側で新たに努力する必要は全くありません。さらに、安全性の面でも制限がありません。南ドイツ技術検査協会(TÜV)が実施した実証試験では、「水素自動車が従来のガソリン車と同等の安全性を確保している」ことが確認されています。

また、この代替駆動エネルギーは短距離公共輸送にも使用されています。欧州連合(EU)が助成している HyFLEET: CUTE プロジェクトの一環として、ベルリン交通局(BVG)は 2006 年 6 月に水素駆動の内燃機関を搭載した 2 台のバスの運行を開始しました。今後 2 年の間に、さらに 12 台のバスが加わる予定です。その結果、世界最大の環境に優しい水素バスの運行実績により、ベルリンにおける定期運行サービスのように過酷な実際の条件下で水素エンジンの特性が実証されることでしょう。

### **実条件的な条件下で実施される水素充填ステーションのテスト**

CEP イニシアチブのもう一つの特徴は、水素供給装置の実用性を検討し、検証することです。この目的のために、2 つの公共水素充填ステーションがすでにベルリンで建設されており、ユニークな選択肢としてヨーロッパ全土で液体水素も気体水素も両方充填することができる機会をユーザーに与えています。

2004 年 11 月にベルリン・シャルロッテンブルク区のマサダムでオープンしたアラール社が運営する CEP 充填ステーションは、水素駆動装置搭載の乗用車用のタンク充填および整備に特化したステーションです。実際のところ、これはアラール社が液体水素の供給から貯蔵、充填に至るまでのプロセスと、気体水素の現地生産から供給に至るまでのプロセスを従来型の充填ステーションで統合した初めてのケースでした。

もう一つ重要なポイントとして、CEP イニシアチブにも充填ステーションと同じ敷地に情報センターがあり、プロジェクトだけでなく、将来水素駆動装置を使用する可能性や展望について、興味深い情報を見学者に提供しています。

2006 年 3 月には、別の石油会社であるトタル社がベルリン・シュパンダウ区のヘルシュトラッセに CEP 充填ステーションをオープンしました。この新しい充填ステーションは、ベルリン交通局が運営するバスに水素を供給することが中心で、1 日に最大 20 台のバスに水素を充填することができるだけでなく、乗用車に液体水素または気体水素を供給することも可能です。この充填ステーションには、液化ガスから水素をオンサイトで生産するために必要な、いわゆるストリーム・リフォーマーと呼ばれる改質装置が装備されているだけでなく、充填ステーションに電気と熱を供給する定置型燃料電池設備も 2 台設置されています。

この充填ステーションでは、摂氏マイナス 253 度で貯蔵された液体水素が、地上に設けられた容量 17,600 リットルのタンクに貯蔵されています。

## 成功したプロジェクト

これらの画期的な充填ステーションを開設し、あらゆる水素自動車を運行することで、CEP は未来志向の技術が実用的であることをはっきりと実証し、水素を日常交通で使用するために必要な技術的および経済的な要求事項を確認しています。さらなる目的として、熟成したさまざまな技術が実際にどのくらいのシステム能力を持っているのかを証明する必要があります。これには気体水素を電気分解によって分散生成する方法や、充填ステーションで液体水素を変換する方法が含まれています。このプロジェクトの更なる特徴として、外部生産設備において液体水素を集中的に生成するだけでなく、充填ステーションに輸送したり、現場で貯蔵したりすることもできます。

もう一つの目標として、環境に優しいエネルギー源から生成した水素の経済的な面を、実際の条件下で検査する必要があります。この検査を実施するために、大手国営電力会社のヴァッテンファル・ヨーロッパが再生プロセスで生成したエネルギーを CEP プロジェクトに供給しています。このような環境に優しい電力を使用することにより、車両に水素を供給するエネルギー・チェーンは、実際に全く有害物質を排出しなくなります。

CEP デモンストレーション・プロジェクトは、2002 年に開始されてから順調に、特別な摩擦もなく進んできました。その間、過酷な日常の作動条件下でも何ら問題は発生していません。また、関連企業もすでに水素を使用する上で必要な幅広い新しい知識を得ており、さまざまな分野で著しい進歩を遂げています。CEP プロジェクトで、ユーザー、エンジニア、オペレーターによって積み上げられたこの体験は、2007 年に詳細に評価される予定です。



## 16. エネルギー源： 化石燃料に代わり無制限に使用可能な水素、 未来の展望として持続可能な水素の生成

- 再生可能なエネルギーを利用して環境に優しい方法で水素を製造
- ヨーロッパで大きな将来性を秘める風力および太陽エネルギー利用による水素生成
- 試験段階の新しい貯蔵技術

未来の代替エネルギー源として、水素は大きな可能性を示しています。しかも、水素は実質的に無制限に利用することができます。元素記号 H で表される水素は、実際のところ宇宙で最も古く、最も一般的で、最も軽い元素です。水素は水の一部であり、すべての有機化合物の一部でもあるため、生物サイクルの一部を形成しており、環境にも完全に適合しています。

水素は極低温状態で液体として輸送するか、気体の形態で輸送することができます。いずれの場合でも、輸送条件は比較的単純です。水素ガスには毒性がなく、無色無臭だからです。

重量ベースで測定した場合、液体水素はガソリンの 3 倍のエネルギー量があります。化石燃料を使用すると必ず二酸化炭素を発生させますが、水素は代替駆動エネルギーとして環境と極めて相性が良く、水素を燃焼させても水蒸気以外は何も発生させません。再生可能なエネルギー・プロセスで生成することのできる水素は、その他の代替燃料とは対照的に、実用的で完全に持続可能な唯一のエネルギー源です。

水素には環境上のメリットがあるだけでなく、供給量が限られている化石燃料への依存から逃れられるという利点があります。これこそが、BMW が 1980 年代から中長期にわたって水素自動車の開発に取り組んできた世界初の自動車メーカーであることの最も大きな理由です。開発目標は、有害物質の排出をなくし、再生可能なプロセスを利用して生成したエネルギーを大規模に使用することです。

### 年間 6,000 億立方メートルに達した世界の水素生産量

水素の世界生産量は、現在のところ年間 6,000 億立方メートル強で、そのうちドイツの生産量は約 300 億立方メートルです。水素は水中だけでなく、石炭、石油、天然ガスなどの炭化水素の中にも含まれています。

一方、何らかの化合物を形成していない遊離水素は実際に存在しません。つまり、エネルギーとして利用可能な状態にするためには、自然条件で存在する水素は必ず変換しなければならないのです。純粋な水素は、水、バイオマス、石油、天然ガスなどから精製することができます。特に興味深い方法として、自然の再生サイクルを通じて持続可能なプロセスを使って水素を生成する方法があります。バイオマスや太陽エネルギー、風力、水力を使って生成した水素は、実質的に制限なく供給することができます。石炭や石油とは違って、水からでも無限に供給することが可能です。

## 水から水素を生成する方法

水素を生成するための最も興味深く有望な選択肢の一つは、電気分解です。電力を使えば、水から水素を実質的に無制限に生成することができます。このプロセスでは、電気エネルギーを使って水を化学分解し、水素と酸素に分離します。この場合、酸素はアノード(陽極)側に生成され、水素はカソード(陰極)側に生成されます。

この原理では、電界槽を一連の直列回路に組み込みます。現在世界中で消費されている水素の約 2%は、この方法で生産されています。環境保全の観点から考えた場合、最終的にこの製法は、電界槽で使用する電力を再生可能なエネルギー源から供給するのが望ましいことはいまでもありません。

## 太陽エネルギーで水素を生成する

非常に魅力的な選択肢として、太陽エネルギーを使って水素を生成する方法があります。太陽は、人間が考える再生エネルギーの中で最も大きな可能性を秘めています。太陽は、全人類が 1 年間で消費するのと同じ量のエネルギーをわずか 1 時間で世界中に送ります。一方、私たちの住む地球まで到達する太陽エネルギーは、1 年間に約 11 億テラワット時になります。これは世界の現時点における年間電力消費量の約 10,000 倍に相当します。

太陽エネルギーは、たとえば直接電気を生成することができる太陽電池を使用して、電気に変換することができます。この技術を実際に試みるために、BMW はバイエルンのノイブルク・フォルム・ヴァルトで実施されたソーラー・ハイドロジェン・プロジェクトに最初から参加していました。BMW はこの地域で、他の企業と連携して太陽電池を使った水素生成方法やさまざまな目的に適した使用方法をテストしました。

この分野の最先端技術については、太陽熱発電所とパラボラ型反射鏡を使用して電気エネルギーを生成する方法が、ますます大きな経済的関心事になっています。この場合、伝熱媒体であるオイルは 400 °C まで加熱されます。つまり、反射鏡によって集められ、その焦点で加熱されたオイルを熱交換器に送り、水を沸騰させます。その後、発生した水蒸気で蒸気タービンを駆動し、電気を生成します。

このタイプのパラボラ集光型太陽熱発電所は、すでにカリフォルニア州のモハベ砂漠で稼動しており、環境に優しい条件下で太陽熱から電力を生成し、水素の生成にも役立っています。世界最大の太陽熱発電所は敷地面積が 230 万平方メートルあり、354 メガワットもの電気を生成しています。これは約 20 万人分のエネルギー需要に相当します。

ヨーロッパでも太陽エネルギーの利用を促進するため、カリフォルニアにある太陽熱発電所に似たプラントを、現在スペインに建設しているところです。太陽エネルギーを使って水素を取り出す方法は、実際のところ、膨大な数に上ります。技術的に世界で利用可能な太陽エネルギー資源は、世界の燃料消費量の 30 倍であると技術者は述べています。

## ヨーロッパでの大きな可能性

緯度 40 度付近の地域は、太陽熱発電所に対して特に関心が高い地域です。アフリカとオーストラリアには、それぞれ約 150 万テラワット時(TWh)と 110 万テラワット時という規模の、間違いなく最大級の利用可能な資源があります。しかし、この種の発電はヨーロッパにとっても興味深い選択肢です。なぜなら、ヨーロッパでは約 4,500 テラワット時の潜在能力があると技術者が考えているからです。これは、前述したカリフォルニア州の太陽熱発電所の出力の 120 倍以上に匹敵します。同様に、ソーラー・コレクター(太陽光集光装置)を使用する太陽光発電もまた、ヨーロッパで約 600 テラワット時の電力を出力することができると考えられています。

風力が水素パワーの重要なエネルギー源になる場合もあります。風力発電で得た電気を利用した場合、水素を再生することができる世界全体の潜在能力は、現在の世界の燃料消費量の 15 倍にもなります。

ヨーロッパだけで、海上風力発電所が約 1,800 テラワット時の電力を供給することができ、一方、陸上のウィンド・パーク(風力発電用の風車が設置されている地域)が約 350 テラワット時の電力を供給することができると、技術者は考えています。ちなみに、現在ヨーロッパ全土で、風力発電で作られている電力量はわずか約 60 テラワット時にすぎません。これは総エネルギー消費量の約 2.4%に相当します。

## バイオマス利用で水素を取り出す

もう一つの選択肢として、再生可能な原材料から水素を取り出す方法があります。再生可能な一次エネルギーから直接水素を調達する唯一のオプションとは、バイオマスです。バイオマスの利点は、二酸化炭素の収支バランスが中立となることです。植物は光合成を通じて二酸化炭素を空気中から吸収しているため、水素生成段階で二酸化炭素が放出されても収支は中立です。

水素は、バイオマスの発酵過程またはガス化工程を通じて取り出されます。技術者は有機性廃棄物(生ゴミなど)からも水素は生成できるとしています。

現時点で、世界的に見て水素をバイオマスから取り出すことができる潜在能力は約 14,400 テラワット時で、理論的には世界の燃料需要の約 60%を満たすことができます。もう一つの利点として、水素生成コストの見積りから最終的な充填ステーションでの燃料供給に至るまでの研究結果が示すように、バイオマスから水素を生成するにはあまり費用がかかりません。したがって、1 リットルのガソリンと同じエネルギー量を提供する水素単位当たり 0.80 ユーロという価格は、極めて妥当でしょう。

## さまざまなタイプの貯蔵方法

電気エネルギーとは違って、水素は気体状態でも液体状態でも大量に貯蔵することができます。たとえば、最大 100 気圧までのガスタンクや圧力タンクに貯蔵することが可能です。また、少量の場合は、最大圧力 350 気圧のスチール製または炭素繊維強化複合材料製の高压ガスボンベに充填することもできます。さらに高い 700 気圧まで扱うことが可能な新しい車両用タンク・システムは、すでに複数の車両で使用されています。



また、水素は摂氏マイナス 253 度で液状にして貯蔵することも可能です。もう一つの方法として、いわゆる水素吸蔵合金による貯蔵システムもあります。これは水素を圧力下で金属粉に吸蔵させ、その後熱を加えて放出させる方法です。水素吸蔵合金を用いた水素貯蔵システムが吸収できる水素は、合金の重量の約 2% です。ただし、これではこの技術を自動車に利用するには不十分です。

また、ナノ繊維構造やいわゆるアラネート(アルミニウムと水素とマグネシウム合金の化合物)に水素を貯蔵する研究も行われています。実際のところ、これらの技術によって将来全く新しい水素貯蔵方法に関する展望が見えてくることでしょう。

## 17. BMW クリーン・エナジー・プロジェクト: 1980 年代から始まった BMW の水素への 取り組み、内燃機関に専念、補完技術としての 燃料電池



- 1980 年代に BMW が世界初の水素自動車を公開
- 実際の走行条件下で総走行距離 170,000 km を走破した BMW 750hL
- 9 個の世界記録を保持する水素自動車 BMW H<sub>2</sub>R

BMW グループには長年にわたり水素を研究してきた経験があり、特に代替駆動エネルギーとしての水素に重点的に取り組んできました。実際に、BMW が液体水素を燃料とするパワー・ユニットと車両の開発に着手したのは 1980 年代に遡ります。難点だったのは、水素とガソリンの両方で走行することができる試作第 1 号車に、ラゲッジ・ルームを占領するほどの高断熱水素タンクが必要だった点です。

1984 年、BMW は総排気量 3.5 リッターの直列 6 気筒パワー・ユニットをベースに開発した水素自動車 BMW 745i ターボを完成しました。1990 年には BMW 735iL というモデル名で次世代水素自動車を発表しました。1995 年には、総排気量 2.8 リッターの直列 6 気筒エンジンを搭載した BMW 728h が続きました。

これらのすべての車両に共通する特徴といえば、水素でもガソリンでも走ることが可能なデュアルモード駆動技術です。このように早い段階で、エンジンにはいわゆる水素マニフォールド噴射技術が搭載され、各モデルともラゲッジ・ルームに液体水素タンクが装備されていました。

### BMW 750hL: 少量生産された世界初の水素自動車

2000 年度の開発分野のもう一つのハイライトは、世界で初めて少規模生産された水素自動車 BMW 750hL をベルリンで発表したことです。この画期的なモデルに搭載された 12 気筒水素エンジンは、BMW 750i の量産型パワー・ユニットをベースにしたもので、5.4 リッターの総排気量から最高出力 150 kW (204 ps) を発生しました。

ハノーバーで開催された Expo 2000 万国博覧会の会場で、BMW 750hL はこのエンジンが実際の走行条件下で大きな潜在能力を秘めていることをはっきりと証明しました。つまり、この会場で 15 台の BMW 750hL が毎日 VIP シャトル・サービスを行いました。その後、翌年 2 月に、BMW は 15 台の BMW 750hL 水素自動車部隊を引き連れて、5 大陸世界 1 周で約 170,000 km を走破するクリーンエナジー・ワールドツアー2001 の旅に出発し、センセーショナルを巻き起こしました。このワールドツアーはドバイを皮切りに、ブリュッセル、ミラノ、東京、ロサンゼルスに移動し、最終的にドイツの首都ベルリンに到着しました。

現在でもこのクリーンエナジー・ワールドツアー2001 は、最もクリーンで、最も感動的なデモンストレーションとして認められています。BMW が実際の条件下で水素技術のプレゼンテーションを行ったことで、水素駆動装置の信頼性が高いことが明確に実証されました。

### **APU: 燃料電池から電力を供給する補助電源装置**

BMW 750hL の特別な装備として、燃料電池による電力供給がありました。補助電力装置 (APU) として搭載された燃料電池はラゲッジ・ルーム内に取り付けられて、車載電子機器やエア・コンディショナー・システムに電力供給しました。この小型の燃料電池は、従来型バッテリーほど多くのスペースを取りませんが、出力は 5 キロワットで寿命も長く非常に優れています。

その結果この「電気化学式」のバッテリーは、車内で電力を供給するだけでなく、新しい機能につながる扉を開きました。一例として、BMW 7 シリーズをベースにしたこれらの未来志向の水素モデルには停車中に作動可能なエア・コンディショナーが追加装備されていたので、エンジンが作動していなくても室内を冷房することができました。

電装系の「標準的」な電力消費機器には、12V の変圧器を介して電力を供給しますが、水素モデルに装備されているエア・コンディショナーは 42V で作動するため、APU から直接電力を供給しました。

将来は車載の電気装置が多くなるため、このような 42V 以上の電力が必要になってきます。なぜなら、12V 電源では必要なエネルギー量を供給することができなくなるからであり、必要なパワーを得られないからです。

モジュラー構造の燃料電池の採用は、電装系のニーズや要求事項に応じて最適な調整が可能になるというメリットを提供します。

また、燃料電池の補助電源装置としての活用については、量産車両用の極めて実用的な解決策の構築を目指す最新の研究プロジェクトでも研究されています。

### **水素コンセプトの研究: 8 気筒パワー・ユニットを搭載した BMW 745h**

2001 年に遡ると、BMW はフランクフルト・モーター・ショーで水素コンセプト・スタディーとして BMW 745h を発表しました。この研究の目的は、現行の BMW 7 シリーズをベースにした場合に、量産型水素自動車がどのようなスタイルになるかを実証することにあります。BMW 745h には初めて、新世代 8 気筒エンジンから継承した水素エンジンが搭載されました。総排気量 4.4 リッターのこのパワー・ユニットは、水素モードで最高出力 135 kW (184 ps) を発生しました。

### **BMW H<sub>2</sub>R: 水素パワーで 9 個の世界速度記録を達成**

2004 年 9 月、BMW は水素も最高水準の卓越した運動性能を発揮できることをはっきりと証明しました。南フランスの都市ミラマにある BMW のテスト・センターの高速トラックでの性能試験の際、BMW H<sub>2</sub>R プロトタイプは内燃機関を搭載した水素自動車部門で、9 個もの世界速度記録を樹立しました。

この過程で、BMW は再び自動車業界の歴史に新たな一頁を書き加えました。一例を挙げると、BMW H<sub>2</sub>R は、フライング・スタート(走行しながらスタートする方法)で 1,000 メートルの距離を 12 秒弱で駆け抜け、300 km/h を越える速度に達しました。

これらの記録により、水素駆動方式が卓越した動力性能と運動性能の面で大きな可能性を秘めていることを証明しただけでなく、水素駆動方式の開発が高いレベルで成熟していることも実証しました。BMW H<sub>2</sub>R は技術面のリーダーとしての BMW の役割を強調しました。

BMW H<sub>2</sub>R に搭載された水素エンジンは、わずか 10 ヶ月で開発されたものですが、BMW 760i から継承したガソリン・エンジンをベースにしたため、先進のエンジン技術の恩恵を受けています。この総排気量 6 リッターの 12 気筒エンジンは、最高出力 210 kW(285 ps)を発生し、約 6 秒で 100 km/h まで加速し、最高速度は 300 km/h を越えます。

このモデルに使用されていた燃料供給装置は、量産開発から受け継いだ実績のあるコンセプトがベースになっており、この車両のために開発された二重壁タンクには約 11 キログラムの液体水素を貯蔵することができました。

BMW H<sub>2</sub>R のシャシーに取り組んだプロジェクト担当エンジニアは、BMW Z8 から流用した量産コンポーネントを使用しました。一方、全長 5.4 m、全幅 2 m の BMW H<sub>2</sub>R のボディ・サイズは、炭素繊維強化樹脂製のアウター・パネルを身にまとうことで、最初から最適な空力特性を実現するように設計されました。

### **学校教育向けの水素に関する専門知識**

BMW のクリーン・エネルギー戦略の目的は、一貫した基準で持続可能なモビリティを推進することにあります。BMW クリーン・エネルギーは環境保護に理想的な、水を素材にした自己完結型のエネルギー循環を意味しています。水素は完全に環境に適合したプロセスを経て、ほぼ無尽蔵に取り出して使用することができます。

まさにこの理由から、BMW はこの未来の燃料が社会的に受け入れられるように積極的に働きかけています。このため、BMW グループは「水素 - 未来のモビリティ」という表題で、エネルギー、水素、世界の水素技術というテーマに関する総合的な教材を提供しています。この目的のために使用されている基本学習キットは、高校や中学の第 2 グレード I および II で学習することをバイエルン州学校教育・教育研究機関が推奨しています。また、小学校向けに最適な教材も用意しています。

### **ミュンヘンのドイツ博物館交通センターの BMW クリーン・エネルギー**

ミュンヘンにあるドイツ博物館交通センターの創立メンバーとして、BMW は水素による未来社会のモビリティに関する総合情報を提供しています。2003 年以来、交通センターを訪れる見学者が約 400 平方メートルの展示場に入ると、水素が提供するさまざまなオプションを説明するために用意された膨大な数の体験型展示物があり、エキサイティングな展示を通じて重要な情報を受け取ってきました。実証されたハイライトの一つが、水素の生成から始まって、水素の物流・貯蔵を経て、世界初の量産型水素自動車 BMW Hydrogen 7 で水素が使用されるまでの完結型の水素サイクルです。

2004 年から、BMW は中国でも同様のプレゼンテーションを常設し、北京の科学技術博物館で BMW クリーン・エネルギー戦略を説明しています。

## 主要諸元

### BMW Hydrogen 7.

<b>Body</b>		<b>Hydrogen 7</b>
No of doors/seats		4/4
Length/width/height (unladen)	mm	5,179/1,902/1,489
Wheelbase	mm	3,128
Track, front/rear	mm	1,578/1,582
Turning circle	m	12.6
Fuel tank, gasoline	approx ltr	74
Useful amount of H <sub>2</sub> stored	approx kg	7.8
Cooling system, incl heater	ltr	14.9
Engine oil		8.5
Transmission fluid	ltr	lifelong
Final drive fluid	ltr	lifelong
Weight, unladen, to EC standard (incl 75 kg driver)	kg	2,460
Max load (incl Special Equipment Package)	kg	400 (incl 100 kg roofload)
Max permissible to DIN standard	kg	2,860
Rear axle load: unladen DIN/unladen EC actual	%	53
Max trailer load		
braked (12%)/unbraked	kg	No trailer allowed
Max roofload	kg	100
Luggage capacity DIN 70020	ltr	225
Drag coefficient	C <sub>d</sub> x A	0.29 x 2.38
<b>Power Unit</b>		
Config/No of cyls/valves		V/12/4
Engine management		MED9 (H <sub>2</sub> and gasoline)
Capacity	cc	5,972
Stroke/bore	mm	80.0/89.0
Compression ratio	:1	9.5
Fuel		Hydrogen/RON 98
Max output	kW (hp)	191 (260)
at	rpm	5,100
Max torque	Nm/lb-ft	390/287
at	rpm	4,300
<b>Electrical System</b>		
Battery/location	Ah/–	90/luggage comp, right
Alternator	A/W	180/2,520
<b>Chassis and Suspension</b>		
Suspension, front		Double-joint spring strut axle with tiebars and track control arms, rack-and-pinion steering
Suspension, rear		Reinforced Integral IV; aluminium/steel reinforcement units; dual-elastic rear axle suspension
Driving stability systems		Front/rear (Dynamic Drive)
Brakes, front		Aluminium brake callipers FNR AI 60; brake discs vented
Diameter	mm	348 x 30
Brakes, rear		GGG brake callipers FN 46; brake discs vented
Diameter	mm	345 x 24
Steering		Rack-and-pinion power steering with speed-related power assistance (Servotronic)
Steering transmission ratio, overall	: 1	13.1
Type of transmission		Automatic, rear-wheel drive
Gear ratios	I	: 1 4.17
	II	: 1 2.34
	III	: 1 1.52
	IV	: 1 1.14
	V	: 1 0.87
	VI	: 1 0.69
	R	: 1 3.40
Final drive	: 1	3.62
Tyres		245/50 R 18 100 W RSC
Wheel rims		18-inch multi-spoke wheels
<b>Performance</b>		
Power-to-weight ratio to DIN standard	kg/kW	12.87
Output per litre	kW/(hp)	31.98/43.49
Acceleration 0–100 km/h	sec	9.5
Top speed	km/h	230
<b>Fuel consumption in the EU cycle</b>		
Composite, gasoline	ltr/100 km	13.9
Composite H <sub>2</sub>	kg/100 km	3.6 (3.6 kg H <sub>2</sub> = 13.3 litres)
CO <sub>2</sub> emissions EU, gasoline	g/km	332
CO <sub>2</sub> emissions EU, H <sub>2</sub>	g/km	5.2
<b>Miscellaneous</b>		
Emission rating		< EU4

## 19. エンジン性能曲線図

