

## ●トヨタ新型MIRAIに当社接着剤が2品採用 Two of Toagosei's Adhesives Used for New TOYOTA MIRAI

稲田 和正、今堀 誠  
Kazumasa Inata, Makoto Imahori

Key Word : Mobility, Fuel Cell, Photocurable Adhesive, Hotmelt Adhesive, Durability

### 1 背景

太陽エネルギーにより水から水素を製造し（化学エネルギーとして貯蔵・輸送できる形とする）、この水素を産業や生活のエネルギー源として使用する、いわゆる水素社会へ向けた研究開発は、30年以上前から多方面で実施されてきた。

水素から電気エネルギーを効率的に取り出すシステムとしては燃料電池が知られており、様々なタイプのものがあるが、トヨタ自動車株式会社（以下トヨタと略す）では、固体高分子型燃料電池を搭載した燃料電池車 MIRAI（初代）を2014年より販売していた。

近年では、地球温暖化問題を背景としたCO<sub>2</sub>排出量削減という観点から、世界各国でガソリン車やディーゼルエンジンを規制しようとする動きが具体化してきている。このような状況の中、トヨタは、燃料電池車の本格的な普及を目指し、量産性に優れた第2世代燃料電池の開発に取り組んでいた。トヨタの第2世代燃料電池は、**図1**に示すセルが数百枚も積層された構造であり、水素、空気および冷却水は、桃色、緑色および青色で示された穴が全積層体を通して繋がった幹のような空間の中を流通しつつ、各層の必要な部分で供給・排出される（それ以外の部分はシールされている）。このように、多数のセルが必要なため、燃料電池を安価に大量生産するためには秒単位の短時間接着技術が必要となった。その接着部分には、耐加水分解性（燃料電池では水が生成する）や、自動車用途に耐え得る耐久性と品質安定性が必要とされ、さらに、本用途特有の課題があった。

このように、接着剤に求められる要求は厳しいものであったが、当社が得意とする短時間接着技術（シアノアクリレート、ホットメルト、光硬化など）を成長させながら、未来ある有望な用途に貢献できるまたとない機会を得ることができ、開発に取り組んだ。その結果、2つの接着部分において、光硬化型接着剤とホットメルト型接着剤がそれぞれ採用となり、最近発売された2代目MIRAIに搭載されている。ここでは、当社のトピックスとして、それら開発の概要を紹介する。

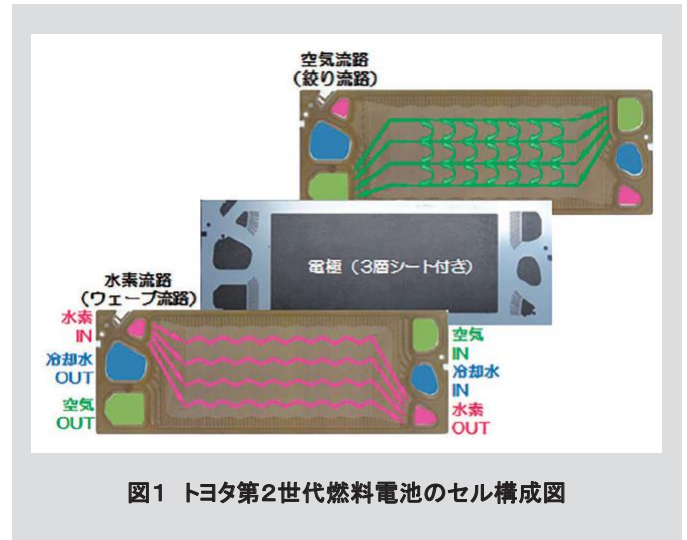


図1 トヨタ第2世代燃料電池のセル構成図

### 2 光硬化型接着剤アロニックス®UVX

光硬化型接着剤とは、液状樹脂に光（主に紫外線）を照射すると瞬時に硬化する材料であり、被着体の少なくとも一方が光を透過する場合に有効である。その多くは、アクリレート基を有する化合物（ラジカル重合性に優れる）を主成分として光ラジカル重合開始剤を配合した液状樹脂であり、今回採用された接着剤もこのようなアクリレート系液状接着剤である。液状であるため自由に塗布でき、無溶剤であるため乾燥工程が不要であり、塗布後に秒単位で硬化・接着させることができる（1秒以下の場合もある）。その硬化物は、化学的に三次元架橋していることから、耐熱性と耐薬品性に優れている。耐加水分解性についても、化学構造を適切に選択すれば優れたものになる。一方、接着力については、被着体や用途に応じて調整・改良することが必要な場合が多い。

トヨタの燃料電池において、光硬化型接着剤は、**図2**に示すように、水素が流通する空間（アノード側）と空気が流通する空間（カソード側）を分ける額縁形状のプラスチックシート（後述するホットメルト型接着剤が両面に形成された3

東亜合成株式会社 R&D総合センター モビリティ研究所  
Mobility Products Research Laboratory, General Center of R&D, Toagosei Co., Ltd.

層シート)に、膜電極複合体 (MEA) を接着するために使用されている。すなわち、MEA 端部の高分子電解質膜と、3層シート表面のホットメルト型接着剤を接着するのに使用されている。

今回の用途でまず問題となった課題は、高分子電解質膜との接着耐久性である。高分子電解質膜は、側鎖にスルホン酸基を有するフッ素系ポリマーであるが、熱水に浸漬すると膨潤する。このとき、光硬化型接着剤が電解質膜との界面で剥離するという問題があった。そこで、様々な検討を行った結果、ある成分を配合することで、電解質膜との密着性が、90℃の熱水に 3000 時間浸漬しても維持されることを見出した。これにより、一つ目の課題は解決された。

次に問題となったのは、接着剤のスクリーン印刷性である。トヨタでは、光硬化型接着剤を数 10 μm の制御された膜厚で額縁形状に秒単位で高速塗工するために、スクリーン印刷という塗工手段が選択された。ところが、通常の接着剤をスクリーン印刷に適用すると、多量の気泡が発生した。気泡をなくす手段としては消泡剤の添加が挙げられるが、本用途では、燃料電池の性能や耐久性を損なわないために、このような添加剤の配合は極力避ける必要があった。そこで、化学的に安定な微粒子を比較的大量に配合してチクソトロピー性を発現させ、これによりスクリーン印刷性を大幅に改善した。

ところで、この燃料電池の電解質膜の端の部分には、アロニックス®UVX によってのみ保護される部分がある。電解質膜は非常に薄いため、アロニックス®UVX は電解質膜の保護機能という役割も担っており、この点からも、スクリーン印刷で気泡等の欠陥を生じないことは重要である。

三つ目の問題は、触媒被毒対策であった。本接着剤は発電面上の触媒近傍に位置するため、光硬化後の残モノマーや光開始剤からの分解物が多いと触媒を被毒させる。この問題は、

モノマーや光開始剤などを適切に選択することにより、実用可能なレベルまで解決した。

### 3 ホットメルト型接着剤アロンメルト®

ホットメルト型接着剤アロンメルト®は、図 3 に示すように、3層シートのコア材の両面に形成されており、秒単位の熱プレスおよびコールドプレスにより、金属製のセパレータとコア材を強固に接着する。この接着剤は、水素、空気および冷却水を長期にわたってシールする重要な役割を担っており、優れた接着耐久性が必要である。

なお、図 3 の断面図では、左側 (図 1 のところで前述した幹のような空間の側) と右の発電側の空間が遮断されているが、セルの所定の場所では水素や酸素が流通できるような構造となっている。

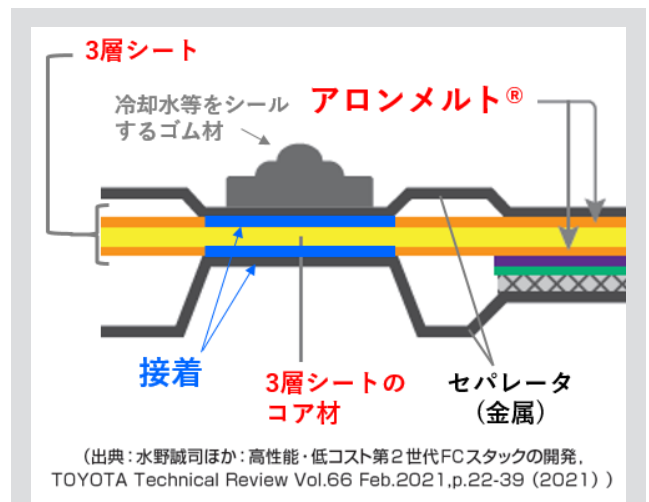


図3 アロンメルト®使用部位の断面図



図2 光硬化型接着剤アロニックス®UVX の使用部位と特長

※断面図は「桑原大樹ほか: 新型FCV向け高速生産を可能にするFCセル設計, 自動車技術会(2021)より出典。

ホットメルト型接着剤は、常温では固体であるが、加熱すると溶融して被着体と濡れ、冷却して再び常温になると固体となって接着する材料である。秒単位の熱プレスにより強力な接着力が得られる長所があり、食品包装、建築材料、電子機器など、様々な分野で使用されている。しかし、接着には加熱溶融が必要なことから、その温度以上の耐熱性を得ることは通常困難である。本用途では使用時に高温に達することから、その温度を超える融点を有し、かつ結晶化速度を高めることで短時間接着性を両立したホットメルト接着剤を開発した。特性値を表1に示す。

表1 ホットメルト型接着剤アロンメルト®の特性値

評価項目		物性値
融点	JIS K 7121	142°C
結晶化点	JIS K 7121	109°C
MFR 230°C 2.16kg	JIS K 7210	15g/10min

本用途では、セパレータを形成する金属材料との強力な接着力と、高温の水に長期間晒されても劣化しない耐加水分解性が必要である。これら課題は、特殊変性ポリオレフィンを含むポリオレフィン系の組成物とすることで解決した。また、高温の空気および水に長期間晒されることから、酸化劣化に対する耐久性が必要であり、酸化防止剤の最適化を実施した。さらに、使用中に金属イオンが溶出すると燃料電池の性能や耐久性を低下させるため、不純物金属が混入しないように原料から製造工程まで徹底した管理の下で製造している。

なお、本製品のアロンメルト®は、図3に示したように、コア材の両面に形成されている。コア材は、長期間にわたりガスシール性を保つため耐クリープ性を有し、また、熱プレスの際の熱膨張やたわみを抑制したり、製品としての機械強度を確保したりする働きがある。このようにシール材に求められる様々な要求をコア材と接着層を一体化した3層シートとすることで満足している。今回採用になった3層シートはフィルムメーカーとの共同開発により完成した。

#### 4 おわりに

以上の検討により、2代目 MIRAI の要求性能に耐え得る接着剤が完成したが、最後に重要なことは、自動車用途に耐えられるだけの品質安定性を確保するとともに、検査体制を整備することであった。この過程で、トヨタの「ものづくり」に対する考え方を学ぶことができ、大変有難い経験をさせていただいた。

しかし、本テーマはこれで終わりではなく、むしろスタートに立たせていただいたと言った方がよい。トヨタは、価格低減と性能向上をさらに進化させるべく、日々鋭意検討している。当社もこの進化に応えられるよう、接着技術、製造技術、評価技術など、様々な技術力を向上させていかなければならない。