

CLARITY FUEL CELL 搭載の 新型燃料電池用セパレータの開発

Development of New FC Separator for CLARITY FUEL CELL

木村 義人*

Yoshihito KIMURA

儀賀 章仁*

Akihito GIGA

小山 賢*

Satoshi OYAMA

小此木 泰介*

Daisuke OKONOGI

要 旨

CLARITY FUEL CELL の燃料電池スタックをフロントフード内に搭載するため、小型かつ耐衝撃性の高い燃料電池用セパレータを開発した。

小型化のためセパレータのシール断面形状を従来の裾野の広い台形から長方形に変更することで、シール幅を低減し、スタック容積を約 3 L 削減した。また、セパレータを樹脂およびゴムで覆い絶縁性を確保することで、一般的に用いられるエンクロージャボックスなどの防水や絶縁構造が不要となり、きょう体にシール部品を必要としない構造を確立できた。さらに、シール成形時にシール材と同じゴムで流路構造を形成することにより、部品削減と工程簡素化をおこなった。また、セパレータの四辺に樹脂製の凹凸部を設け衝突時のセパレータのずれを抑制することで耐衝撃性を向上させた。

これらの構造を有するセパレータをプレス成形、樹脂成形およびゴム成形それぞれ 1 工程で製造できる仕様とし、低コストかつ大量生産可能な製法を開発した。

ABSTRACT

A compact and highly impact-resistant fuel cell separator was developed to enable the CLARITY FUEL CELL fuel cell stack to be mounted under the front hood.

By changing the seal cross-section of the separator from the previous trapezoidal shape with a broad foot section to a rectangular shape for downsizing, the seal width was reduced and stack volume was decreased by approximately 3 L. Also, covering the separator in resin and rubber to help ensure insulation obviated the need for the waterproofing and insulating structures commonly known as enclosure boxes, resulting in a structure that does not require sealing parts in the enclosure. Furthermore, the number of parts was reduced and processes were simplified by forming a flow path structure using the same rubber as the seal materials during seal molding. Impact resistance was also enhanced by providing indented sections made of resin at the four sides of the separator to suppress misalignment of the separator during a collision.

By integrating the production processes of press-forming, resin molding, and rubber molding for making a separator having these structures into a single process, a low-cost manufacturing method that can be applied to mass production was developed.

1. まえがき

燃料電池 (FC) は CO₂ や有害物質をいっさい排出しない循環型クリーンパワートレインとして期待されている。

1999 年に自社開発の FC スタックを燃料電池実験車に搭載し、2003 年には寒冷地での始動を可能とした Honda FC スタックを発表した⁽¹⁾。2006 年にはさらに小型軽量化した V Flow FC スタックを発表した⁽²⁾。そして、CLARITY

FUEL CELL の開発においては FC スタックをさらに小型軽量化しフロントフード内に搭載⁽³⁾することを目指し、セルの小型化とスタックの耐衝撃性向上をおこなった。こうして V Flow FC スタックと比べ、スタック容積を約 18 L 削減した新型 FC スタックを 2016 年に発表した。Fig. 1(a) に V Flow FC スタック、Fig. 1(b) に新型 FC スタックの外観を示す。本稿では、新型 FC スタックに搭載したセパレータ (新型 FC 用セパレータ) について紹介する。

* 四輪 R&D センター

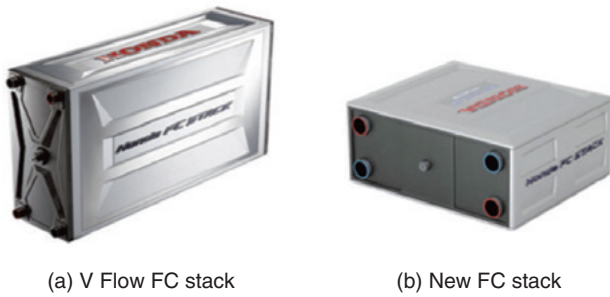
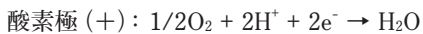
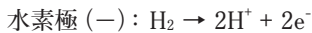


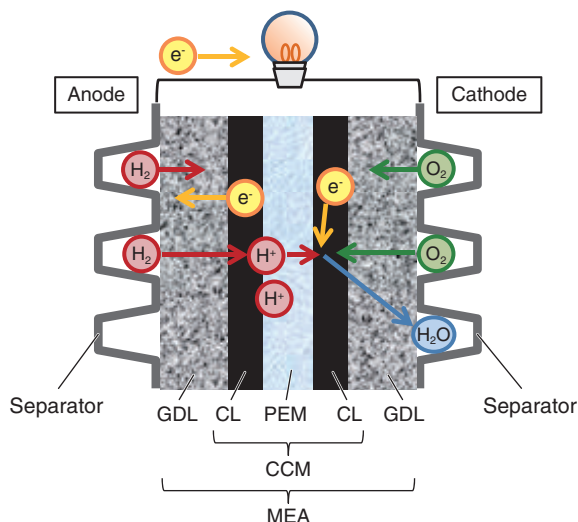
Fig. 1 Appearance of FC stack

2. セパレータとは

固体高分子型の FC は Fig. 2 に示すように⁽⁴⁾、電解質膜を用い水素と空気中の酸素との電気化学反応によって化学エネルギーを電気エネルギーに直接変換するものである。



水素イオンを伝導する電解質膜を水素極と酸素極（空気極）の二つの電極層と拡散層で挟み、膜電極接合体（membrane electrode assembly: MEA）⁽⁵⁾を形成し、この MEA を 2 枚のセパレータで両面から挟んで 1 組のセルを形成する。1 セルでは開回路時でも約 1 V の電圧しか得られないため、セルを積層することで高い電圧を発生するようにしている。



MEA: membrane electrode assembly
PEM: polymer electrolyte membrane
CL: catalyst layer
GDL: gas diffusion layer
CCM: catalyst coated membrane

Fig. 2 Mechanism of electricity generation in FC stack

セパレータは、各セルの間に挟んで水素や空気を遮断する役割を果たす板状の部品である。各セルのガスや冷媒をシールする機能の他に、ガスが流れる流路を構成し、水素や空気を送り込む機能を担っている。セパレータは、FC スタック構成部品の中で最大の容積を占めており、さまざまな車種へ搭載するためには、部品を小型化が必要がある。また、フロントフード内など衝突時の衝撃力が大きい場所へ搭載するためには、セパレータのずれを抑制しなければならない。

セパレータの製法は、車一台当たり数百枚使用するため、生産サイクルタイムを短縮していかにコストダウンするかが課題となっており、金型を用いた成形が検討されている。Honda では従来から小型化および金型成形によるサイクルタイム短縮に主眼を置き、プレス成形したセパレータ金属部に絶縁性確保のため液状ゴムを射出成形する仕様を採用している。

3. 開発のねらい

前章で述べた課題を達成するために、以下の構造を有するセパレータを開発した。

- (1) FC スタック小型化のためのシール構造
- (2) 部品削減のための絶縁被覆構造
- (3) 工程簡素化のためのゴムを用いた流路構造
- (4) 耐衝撃性向上のためのずれ抑制構造

4. 新型 FC 用セパレータの特徴

4.1. 新型 FC 用セパレータの基本構造

まず、今回開発した新型 FC セパレータの基本構造を説明する。Fig. 3 に示すように、2 枚の MEA を 3 枚のセパレータで保持し外面に冷媒を流すセル構造を従来スタックに引き続き採用している。発電に必要な水素、空気と冷媒の 3 流体は、セパレータ外周部に設置された連通孔より各セルの発電部に供給される。

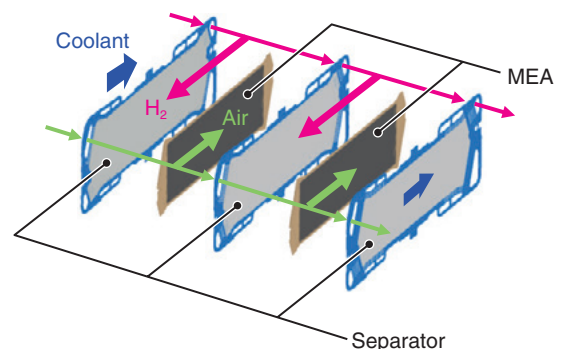


Fig. 3 One cooling layer per two cells

次に、前章で述べた(1)から(4)のねらいについて概要を説明する。Fig. 4に示すように(a)ガス、冷媒のシール構造、(b)セパレータ外周部を絶縁する被覆構造、(c)ガス、冷媒を発電部に供給する流路構造、これら三つの構造をゴムで形成している。シール構造はゴム圧縮時の反力により流体をシールするため厚肉な形状が必要となる。一方、絶縁被覆部は、そのシールのゴム圧縮を妨げることなく、かつ電気絶縁性を満足し小型化できる厚さでなければならない。また、流路構造は発電効率を上げるために、反応ガスのすべてが流体流路を流れるべきところ、反応ガスの一部が流体流路ではなく部品間の隙間に流れる、いわゆるショートカットを低減し、反応ガスを流体流路に均等に供給する必要がある。通常、プレス成形したセパレータ金属部をゴム成形用金型にセットしゴムを成形する際、固形ゴム材などを用いてコンプレッション成形する[Fig. 5(a)]。しかし、ゴム成形時に金属部に対して大きな圧力が印加される。それによって、薄い金属部が変形してしまう課題がある。また、コンプレッション成形では微細形状を作ることが容易

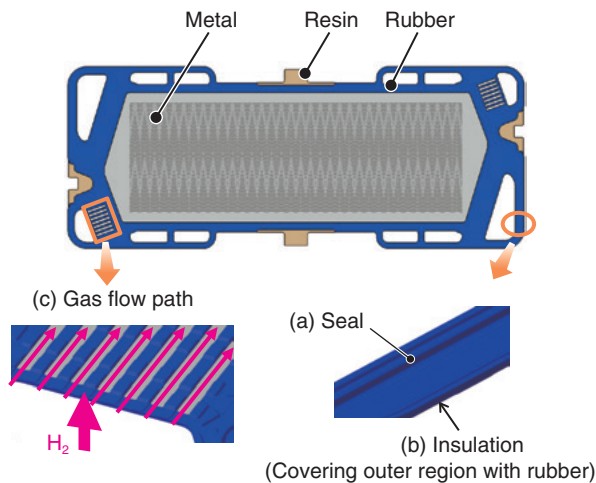


Fig. 4 New separator

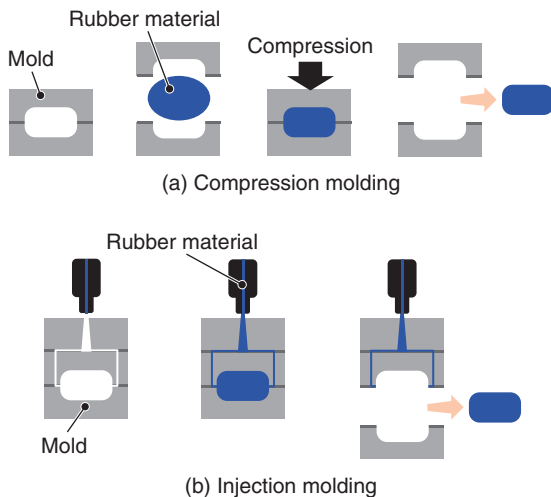


Fig. 5 Comparison of rubber manufacturing methods

ではない。そこで、低粘度の液状ゴムを射出成形する製法[Fig. 5(b)]を採用することで、成形圧力を低減し金属部を変形させることなく、金属部両面にゴムを成形することができ、また部位によってゴム厚さの異なるさまざまな形状を形成できるようになった。また、セパレータのずれ抑制構造は、衝突時の衝撃力を受けるために高強度樹脂を採用しており、セパレータ金属部に一体成形している。

4.2. FC スタック小型化のためのシール構造

小型化検討の前に、ガソリンエンジン車同等の運用年数とするため、シールの長寿命化の検討をおこなった。一般的に、シールは低圧縮率化することで圧縮永久歪を低減することができ、長寿命化することができる。低圧縮率でも高いシール荷重を得るために、圧縮時に横方向に広がり難い形状を目指した。シール断面を従来の裾野の広い台形形状に対して、新形状は長方形とした。Fig. 6は、有限要素構造解析を用い、同一シール荷重でゴムの応力を比較した結果である。新形状は従来形状よりも低圧縮率状態で同等の応力を得ていることがわかる。この形状変更により、より低い圧縮率で必要なシール荷重を得ることができた(Fig. 7)。その結果として、Fig. 8に示すようにシール荷重

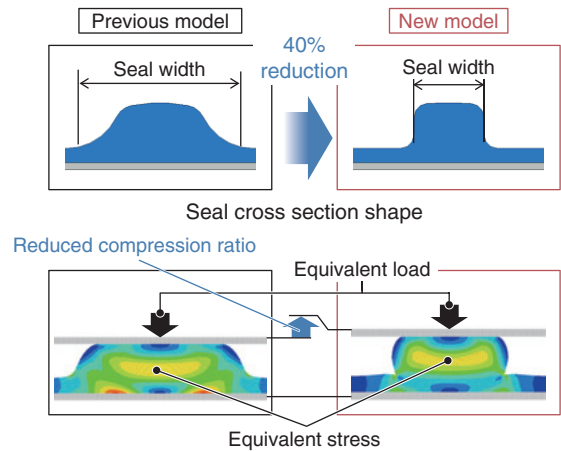


Fig. 6 Stress distribution in seal compressed state

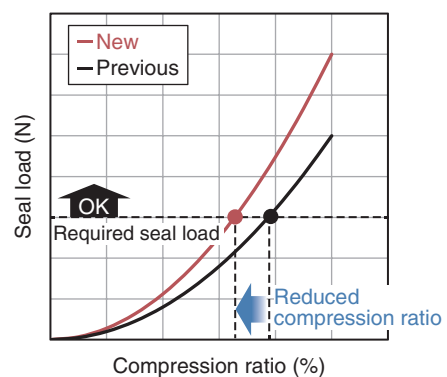


Fig. 7 Comparison of compression ratios

低下量を低減することができ、耐久性が向上した。

次に、小型化のために、従来仕様に対してシール幅の低減をおこなった。FC スタック 1 台当り約 1000 m 以上の長いシール線長を有するため、シール幅を低減できれば、スタック容積削減が可能となる。しかし、薄い金属板とシールが繰返し積層されるスタックにおいて、シール幅を減らしすぎると Fig. 9 に示すような部品の位置ずれ状態でのシール性確保が課題となる。

そこで、シール上面に平坦部を設け、部品がずれた状態でもシール荷重の低下が生じ難い形状とした。その上で、有限要素構造解析によってシール荷重の分布を予測した。部品が位置ずれを起こした場合に 2 層のシールが重ならない領域ができてしまうが、間にある金属板の剛性によりその領域にもシール荷重が発生することがわかった (Fig. 9)。シールが重ならない領域の一部をシール幅とみなすことができるため、シールが重なっている幅よりも実際のシール幅は大きくなる。この効果によりシール幅が増加した分さらに幅を低減させることができた。

必要なシール荷重が確保できる幅を見極め、従来仕様に対して幅を約 40% 低減し、スタック容積を約 3 L 削減することができた。

4.3. 部品削減のための絶縁被覆構造

高電圧となるセパレータ金属部は、外部に対して電氣的に絶縁する必要がある。一般的に個々のセパレータには絶

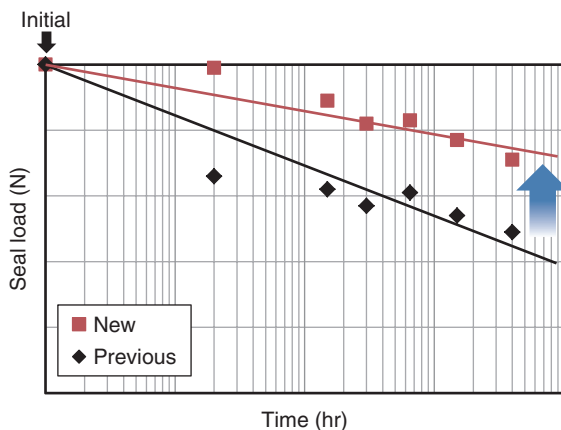


Fig. 8 Comparison of seal load behavior

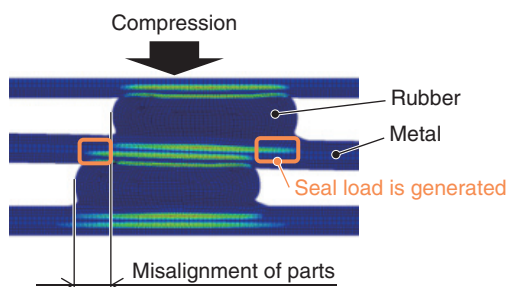


Fig. 9 Cross section of seal

縁構造を持たせずに、防水、絶縁機能を有するエンクロージャボックスの中に収める方法が知られている⁽⁶⁾。しかし、本開発では、先に述べたシールゴム成形と同時に、セパレータ金属部の外周をゴムで被覆することで、セパレータを絶縁被覆する構造を実現している。セパレータを絶縁被覆することにより、エンクロージャボックスなどの防水、絶縁構造が不要となるため、きょう体にシール部品を必要としない構造を確立できた。

セパレータの外周絶縁構造を Fig. 10 に示す。金属部に対して、樹脂をアウトサート成形しその樹脂部を覆うようにゴムを成形している。樹脂とゴムとの界面を成形時に接着することで、外部と金属を絶縁している。このような構造を採用することで、絶縁性を向上することができた。

4.4. 工程簡素化のためのゴムを用いた流路構造

セパレータには流体を発電部に供給するための導入出部が必要だが、一般的には、金属もしくは樹脂の別体部品をセパレータに対し貼り付ける構造が用いられる。しかし、その場合、別体部品およびその固定が必要となり、コストが高くなってしまう。

本開発では、先に述べた製法によるシールゴム成形と同時に、ゴムを用いて流体の導入出部を形成している。流体導入出部は、各流体間を隔てる別階層のシールと交差する必要がある。Fig. 11 に示すような橋脚構造によって実現している。金型によって一体成形しているため、寸法精度が高く、流体の安定供給にも効果がある。

次に、反応ガスの一部が流体流路ではなく部品間の隙間に流れてしまうショートカットをゴムを用いて抑制する構造について説明する。Fig. 12(a) に示すように、プレス成形された金属に対してゴムを成形する際、金型を金属に押し当てて、ゴムの流出を防ぐ金型押え部が必要となる。その部分は、金型と金属が密着しているため、ゴムを成形することができず空間が生じてしまう。そこに発電に寄与できないガスが流れてしまうため、発電効率が低下する。この

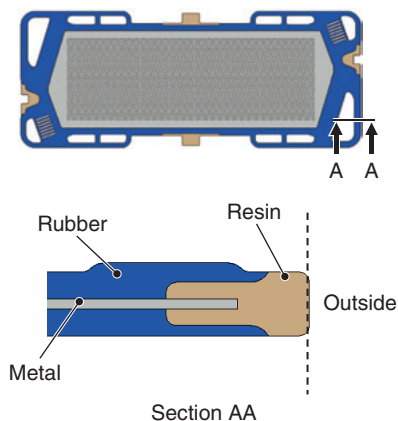


Fig. 10 Electrical insulation structure

課題に対して、Fig. 12(b) に示すようなリブをゴムによって形成し、従来あった空間をゴムで埋めることで、型押え部を確保しつつショートカットしてしまうガスを低減することができる。ゴムによるガスのショートカット抑制構造は、形状自由度が高く、微小な隙間に対しても適用できるため、有効な手段である。

ガスのショートカット抑制リブの製法特徴について説明する。一般的に、金型を二つに分割しただけでは成形品

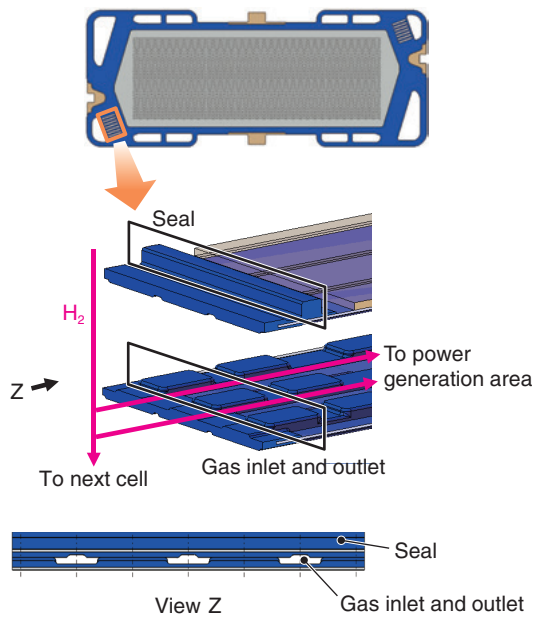


Fig. 11 Fluid inlet and outlet structure

を取り出せない凹凸形状をアンダカットといい、Fig. 13(a) のような型を分割するスライド型で対応する。しかし、リブ成形の近傍には、プレス成形部が存在するため、スライド型が設置できない。本開発では、Fig. 13(b) に示すような無理抜きと呼ばれる方法でスライド型を使わずに二方向抜き金型でゴムを傷付けることなく取り出せるように、リブの角度を検討し成形しやすい形状を設定した。

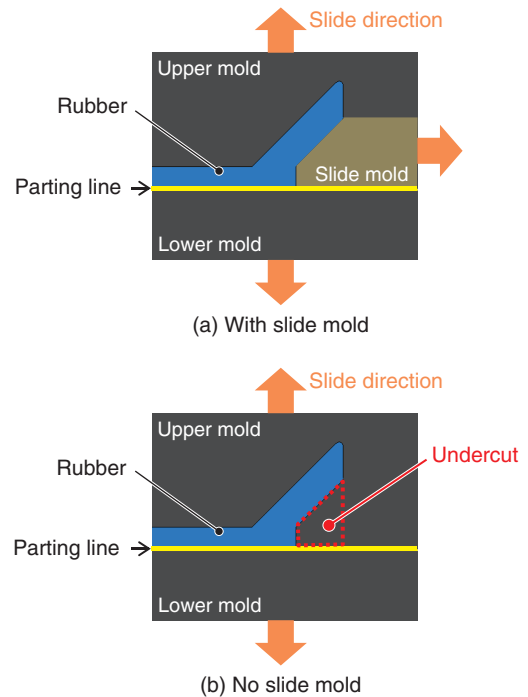


Fig. 13 Rubber undercut shape

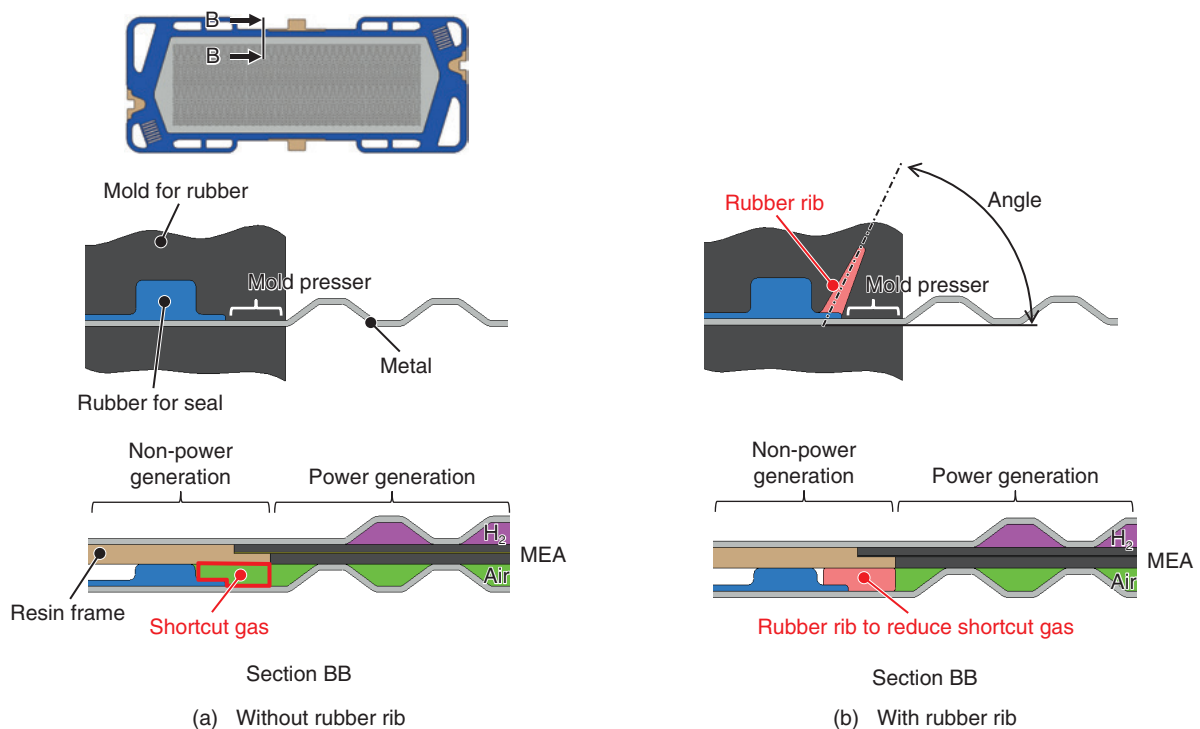


Fig. 12 Rubber rib to reduce shortcut gas

4.5. 耐衝撃性向上のためのずれ抑制構造

フロントフード内への搭載は、従来のセンタトンネル搭載よりもフロント衝突時のFCスタックに入る衝撃力が増加するため、耐衝撃性を向上させる必要がある。積層体であるスタックのセパレータに対して、強い衝撃力が入力されると部品間のずれが生じる可能性がある。そこで、Fig. 14に示すようにセパレータの四辺に凹凸部を設け、スタック両端のエンドプレートとバー締結とし、セパレータに設けた凹凸部を保持することによりセルのずれを抑制することができるバー締結1ボックススタック構造を開発した。この凹凸部は、高強度な樹脂を金属セパレータに射出成形して一体化し構成しているため、高電圧部であるセパレータと締結バーの絶縁性を確保することができる。

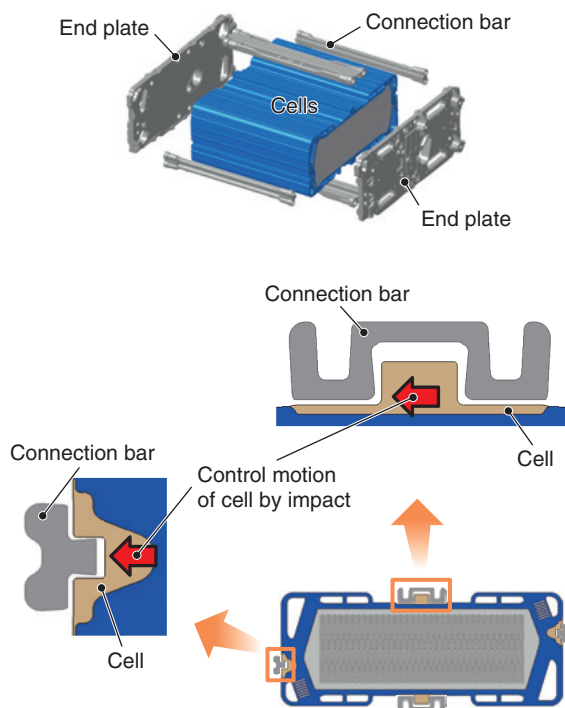


Fig. 14 Separator with high impact resistance

5. まとめ

大量生産可能な製法を用いた、小型かつ耐衝撃性の高い新型FC用セパレータを開発し、以下の成果を得た。

- (1) セパレータのシール断面形状を有限要素構造解析を用いて最適化した長方形にすることで、耐久性を向上させつつ、従来に比べてシール幅を約40%削減することができた。その結果、スタックの容積を約3 L削減した。
- (2) セパレータ絶縁被覆構造により、きょう体にシール部品を必要としない構造を確立できた。
- (3) 流体導入出部にゴムを活用することで、部品削減、工

程簡素化を達成した。また、ゴム特有の無理抜き製法を利用したガスのショートカット抑制リブによって、発電に寄与できないガスを低減することができた。

- (4) セパレータの四辺に樹脂製の凹凸部を設け耐衝撃性を向上したことで、燃料電池スタックのフロントフード内への搭載を可能にした。

参考文献

- (1) 井ノ上雅次郎, 斉藤信広, 内堀憲治: Honda FCX 搭載の次世代燃料電池スタック, Honda R&D Technical Review, Vol. 17, No. 2, p. 8-13
- (2) 斉藤信広, 菊池英明, 中尾靖宏: FCX クラリティ搭載の新燃料電池スタック, Honda R&D Technical Review, Vol. 21, No. 1, p. 15-22
- (3) 木村顕一郎, 河崎輝明, 大村孝之, 渥美淑弘, 清水潔: 新型燃料電池自動車CLARITY FUEL CELLの開発, Honda R&D Technical Review, Vol. 28, No. 1, p. 1-7
- (4) 佐藤雅彦, 千葉裕人, 井ノ上雅次郎: 燃料電池スタックにおけるセル面内CCM含水量分布計測システムの開発, Honda R&D Technical Review, Vol. 28, No. 1, p. 15-23
- (5) 竹中啓恭: 原理と電極反応, 燃料電池技術とその応用, テクノシステム, p. 91, (2000)
- (6) 一ノ瀬浩, 森元一, 猿橋謙: MIRAIを支える高機能FCスタックケースの開発, TOYOTA Technical Review, Vol. 62, p. 176-180, (2016)

■著 者■



木村 義人



小山 賢



儀賀 章仁



小此木 泰介