

Honda FCX 搭載の次世代燃料電池スタック

Next-generation Fuel Cell Stack for Honda FCX

井ノ上 雅次郎*
Masajiro INOUE

斉 藤 信 広*
Nobuhiro SAITO

内 堀 憲 治*
Kenji UCHIBORI

要 旨

Honda FCX搭載の次世代燃料電池スタックとして、水素イオン伝導性に優れるアロマトニック電解質膜と導電性・熱伝導性に優れ気密性が高いシール一体金属プレスセパレータ、更に金属セパレータのバネ性を利用したシンプルなスタック構造という独自の発想と新技術により、従来比約2倍の小型・高出力化と-20℃から+95℃までの発電を可能にした。

Honda FCXにおける燃料電池システム全体のレイアウトでは、スタックの2基小型分割という特徴を生かして加湿ユニットを一体モジュール構造としたことで、コンパクトな燃料電池システムを実現した。スタックの発電効率の向上によりエネルギー効率も従来モデルに比べて向上した。

ABSTRACT

The next generation fuel cell stack employs an aromatic electrolyte membrane, which offers outstanding proton conductivity, a stamped metal separator formed with a unitized seal for superb electrical and thermal conductivity, and a simple stack structure which is obtained using the springiness of the stamped metal separators. The combination of these innovative new technologies enables the new fuel cell stack to achieve output density that ranks among the best in the world, to be half the size of its predecessor, and to operate in temperatures from -20 to +95 °C, leading to its enhanced environmental adaptability.

In order to maximize space efficiency in the fuel cell system box, the FCX uses two compact FC stacks. The resulting integrated module structure, with the humidifier unit, enables a more compact fuel cell system box to be achieved. Energy efficiency of the new fuel cell system has also increased over the previous model, due to the enhanced power generation efficiency of the fuel cell stack.

1. まえがき

大気汚染やエネルギー問題に対応するために、CO₂や有害物質をいっさい排出しない究極のクリーンパワープラントとして、Hondaは燃料電池の研究開発に取り組んでいる。

1999年9月に自社開発の燃料電池スタックを燃料電池実験車に搭載して以来、燃料電池自動車の普及を目指し、その心臓部である燃料電池スタックをより小さく、より高出力に、そして多くの地域に適合させるために、進化させてきた^{(1), (2)}。この次世代燃料電池スタックを2003年10月に発表し、2004年11月には本スタックを搭載した燃料電池乗用車FCXとしてニューヨーク州に納車した。

本稿では、軽量・コンパクト化を実現し、世界トップレベルの高出力と氷点下での始動を可能としたと同時に、部品点数を大幅に削減した次世代燃料電池スタックを中心に紹介する。

*和光基礎技術研究センター

2. 開発のねらい

現在、自動車等の輸送車両や一般家庭向けに固体高分子形燃料電池の開発競争が盛んである。

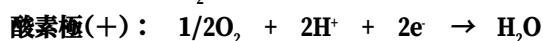
このタイプの燃料電池は、80℃前後の比較的低温域で使用でき、コンパクトなところが特徴であるが、自動車用としては氷点下始動やスペース効率及びエネルギー効率など克服せねばならない課題があった。そこで次世代燃料電池スタックの開発に際して以下の2点を主要なねらいとした。

- (1) 小型・高出力(出力密度)
- (2) 環境適合性(高温・低温性能)

3. 燃料電池スタック

固体高分子の燃料電池は、Fig. 1に示すように、固体高分子電解質膜を用い水素と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固体高分子電解質膜を二つの電極層(水素極/酸素極)と拡散層で挟み、Membrane and Electrode Assembly(MEA)/膜電極接合体⁽³⁾を形成し、このMEAを2枚のセパレータで両側から挟んで1組のセルを形成する。1セルでは理論電圧1.23Vしか得られないので更にFig. 2に示すとおり、このセルを積層し、ひとつひとつのセルが発電することで大きな電圧を発生するようにしている。また電圧は積層段数によって決まり、電流は電極面積によって決まるので、出力を高めるためには、積層段数を増やすか電極面積を拡大する必要がある。

従来は電解質膜にフッ素系電解質膜を用いていたため、高温で軟化しやすく、0℃から80℃での使用温度に限られていた。またセパレータにはカーボンセパレータを用いていたため、導電と熱伝導の抵抗が障害となり、高い性能が得にくく、かつ低温からのより速い昇温を達成するには限界があった。またカーボンセパレータは強度的にさほど強くないため、複数のセルを積層し両側から締結する構造体として成立させるには、セパレータを厚くする必要があり、スタックの小型化が困難であった。

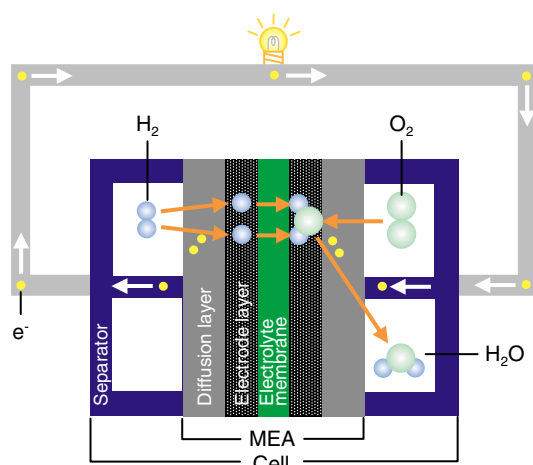


Fig. 1 Electrical generation in fuel cell

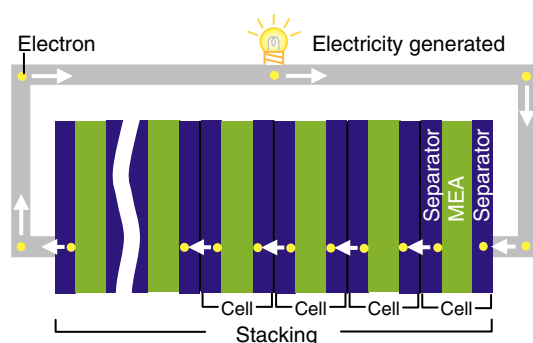


Fig. 2 Structure of fuel cell stack

そこで本スタックでは、水素イオン伝導性に優れたアロマトイック電解質膜を開発することで高出力化、また導電性・熱伝導性に優れたシール一体金属プレスセパレータを開発することで小型・高出力化を実現した。更にシール一体金属プレスセパレータのバネ性を利用してシンプルなスタック構造とすることによって、Fig. 3に示すとおり従来比約2倍の小型・高出力化を達成するとともに、氷点下での始動が可能となった。Fig. 4に高出力化、Fig. 5に小型化、Fig. 6に軽量化の技術進化をそれぞれ示す。

3.1. アロマトイック電解質膜

Fig. 7に示すように、熱安定性の高いアロマトイック(芳香族)構造の主鎖とイオン交換基(スルホン基)を組み合わせ

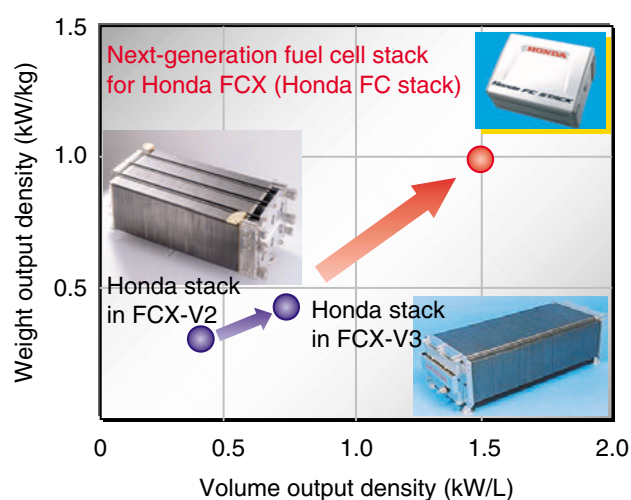


Fig. 3 Honda stack evolution

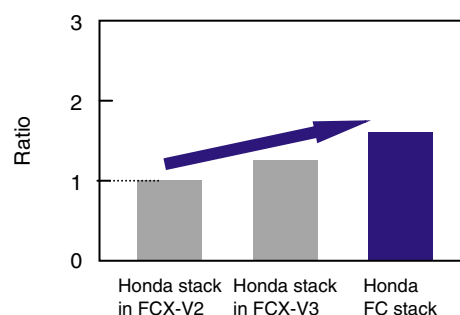


Fig. 4 Power output evolution

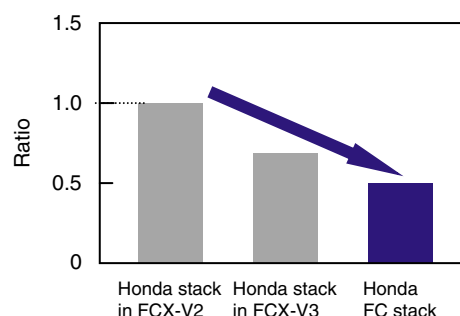


Fig. 5 Compactness evolution

新たな分子構造の電解質膜を開発し、イオン伝導をつかさどるイオン交換基を従来のフッ素系電解質膜よりも大幅に増加させた。その結果、Fig. 8 に示すように膜抵抗を 1/2 に低減でき、氷点下でも優れた水素イオン伝導性を得ることで - 20℃での燃料電池スタックの発電始動を実現した。

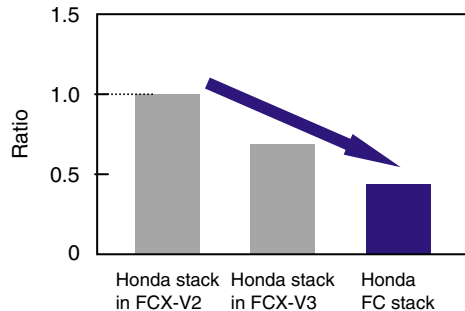


Fig. 6 Lightness evolution

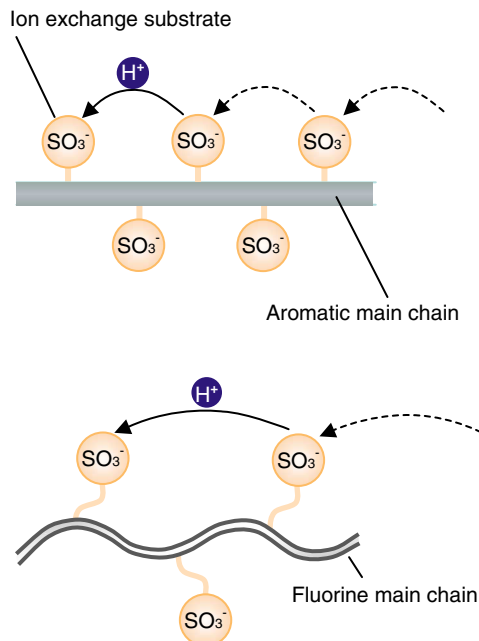


Fig. 7 Comparison of polymer structures

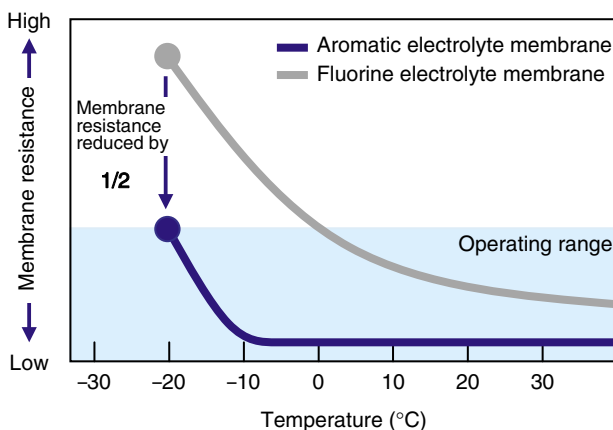


Fig. 8 Enhanced proton conductivity electrolyte membrane

また従来のフッ素系電解質膜は、80℃以上になると急激に軟化変形してしまうことから、それ以上の温度では使用できなかった。新開発したアロマティック電解質膜は高強度・高耐熱性のアロマティック構造主鎖によって、高温でも軟化変形しにくく、Fig. 9 に示すように 95℃での高温使用を可能にするとともに、優れた耐久性を実現した(Fig. 10)。しかし、アロマティック構造は高温での膜の形状保持性に優れているものの、Fig. 11 に示すように従来の膜・電極層接合製法では電極層との間に割れ目を生じた。これを解決するために独自の製法を開発し電解質膜と電極層との優れた密着性を実現している。

3.2. シール一体金属プレスセパレータ

セパレータは電子の通り道になることから、優れた導電性を有することが望ましい。同時に氷点下では発電に伴って生成する水を凍らせないために熱伝導性(昇温性)も重要

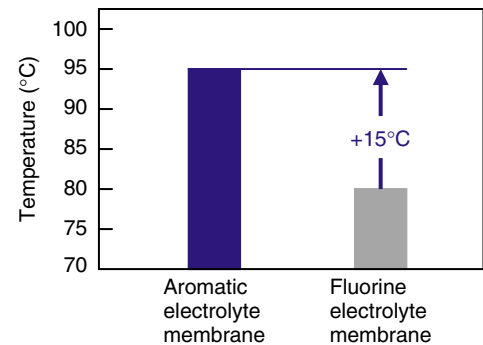


Fig. 9 Enhanced max operating temperature

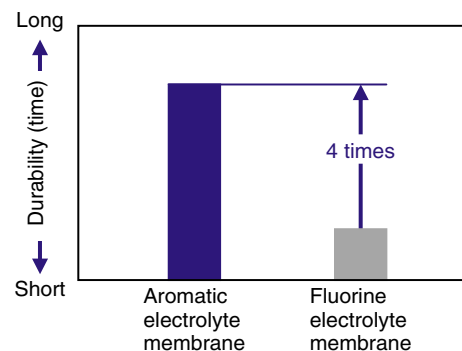


Fig. 10 Enhanced high-temperature durability (80°)

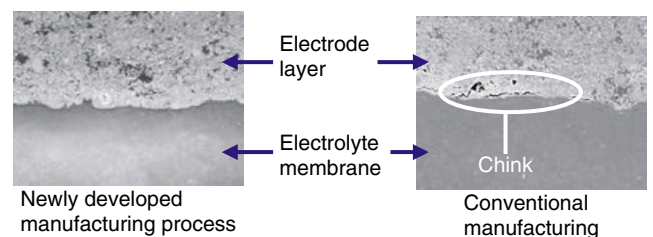


Fig. 11 Comparison of adhesion between aromatic electrolyte membrane and electrode layer

である。そこで電気を通しやすくしかも熱伝導性の高いステンレスの特性に着目し、導電性金属間化合物を介在したステンレス鋼板を開発することで従来のカーボンセパレータに対して -20°C で1/4まで接触抵抗を低減した(Fig. 12)。

強度的にカーボンより勝るステンレス材を適用することで、カーボンセパレータの半分の厚さに設計できた。これにより、熱伝導率が5倍に向上したため(Fig. 13)、スタック全体を素早く均一に暖めることができ、暖機時間を大幅に短縮することができた。

導電性と熱伝導性の双方をより効果的に得る手法として、金属素材はこれまででも注目されてきていた。しかし通電による酸化・腐食が課題であった。例えば酸化・腐食を防ぐために酸化皮膜処理を施すと、金属表面の抵抗が増加し十分な性能を得られないことから、従来はカーボンセパレータが使用されていた。そこで Fig. 14 に示すように、ステンレス系素材をベースに極めて電気を通しやすい導電性粒子

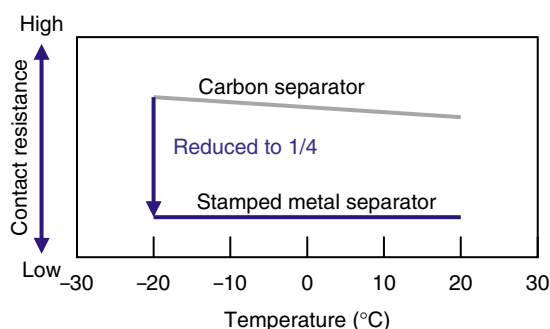


Fig. 12 Enhanced electrical conductivity of separator contact surface

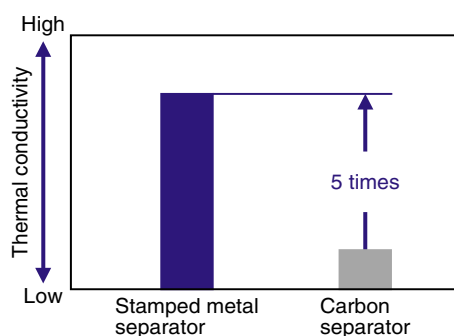


Fig. 13 Comparison of thermal conductivity

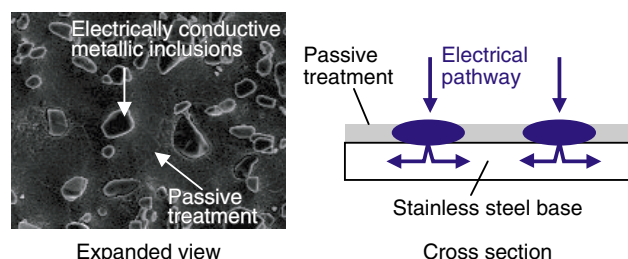


Fig. 14 Developed stainless steel

(導電性金属間化合物)を分散させ、その上でベース材に酸化皮膜処理を施すことで優れた導電性と耐食性及び熱伝導性を両立させた。

3.3. スタック構造

Fig. 15に示すように、従来のスタック構造では、カーボンセパレータと別体でシール材を用い、しかも高い気密性を得るためにディスクスプリングやバックアッププレート进行、大型ボルトで締結していた。これに対しFig. 16に示す本開発の燃料電池スタックでは、強度に優れる金属セパレータを用いることでカーボンセパレータに対して厚さを50%削減、しかもシール材を一体成形したことでセル単体でよりいっそうの薄型化と部品点数の削減を実現した。更にプレス成形した金属セパレータのバネ性を利用することで積層したセルをパネルで囲むだけのシンプルな構造となりスタック全体で部品点数を半減できた。これにより燃料電池スタックの軽量・コンパクト化が図られ、出力密度で従来比2倍以上を達成した(Fig. 17, Table 1)。

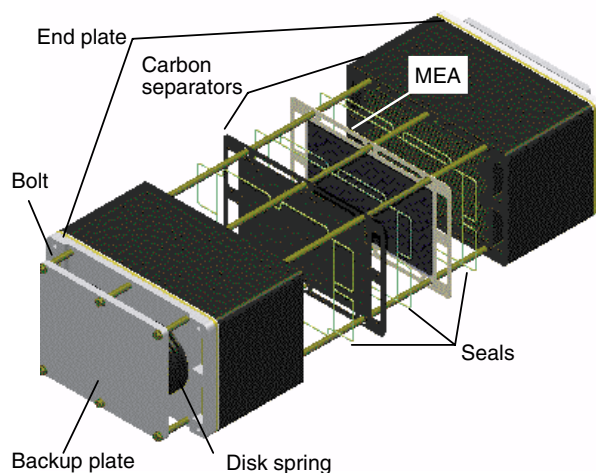


Fig. 15 Honda fuel cell stack in FCX-V3 (previous stack)

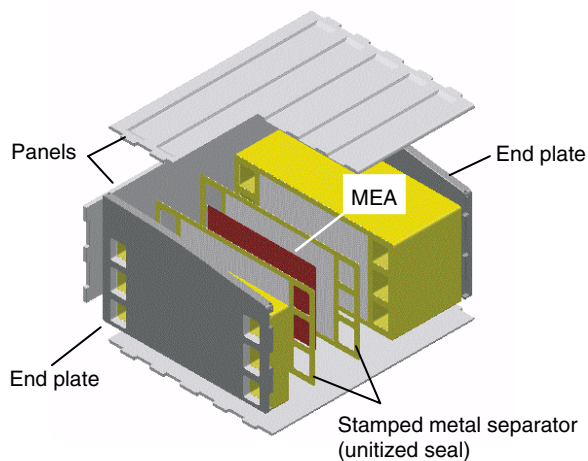


Fig. 16 Next-generation fuel cell stack for Honda FCX (Honda FC stack)

Table 1 Honda FC stack specifications

Output (kW)	50
Volume (L)	33
Weight (kg)	48
Max operating temperature (°C)	95
Cold start allowable temperature (°C)	-20



Fig. 17 Honda FC stack

4. 燃料電池補機システム

燃料電池システム全体をコンパクトにするために燃料電池スタックを2基に分割配置し、その間に加湿モジュールを配置一体化することで燃料電池補機類が効率的に配置でき、燃料電池システム全体のコンパクト化を実現した。新モデルFCXに搭載している燃料電池システムボックスの構造を Fig. 18 に示す。

低温対応などの機能を追加したうえで、さらにシステムの統廃合を含めた軽量化とコンパクト化に取り組み、結果として従来モデルの燃料電池システム⁽⁴⁾に対して、約5%の容積減と約3%の重量減を達成した。

空気供給系では、スタックを含めた空気経路の圧力損失の低減を進め、空気供給システムのエネルギー効率を向上させた。水素循環系では、二つの燃料電池スタックへの水素供給の均等分配を考慮しつつ、スタックの低圧損特性と合わせて経路内の圧力損失を低減することで、消費電力を低減させ、水素循環システムの効率を向上させた。

これらによりスタックを含む燃料電池システム全体で従来モデルに対しエネルギー効率を22%向上させた(Fig. 19)。

またスタックの低温発電に最適な空気供給、水素供給、加湿、及び冷却の設定をすることで、-20°Cでの低温始動を容易にした。

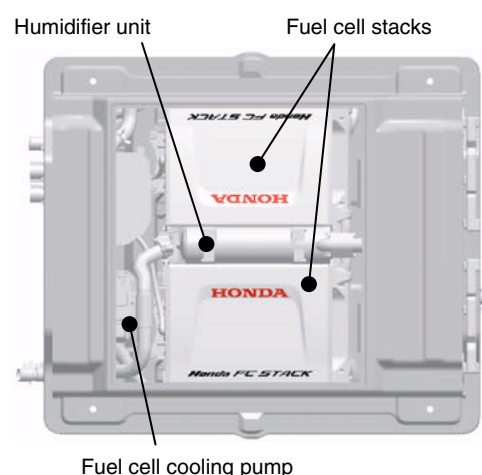


Fig. 18 Fuel cell system box configuration

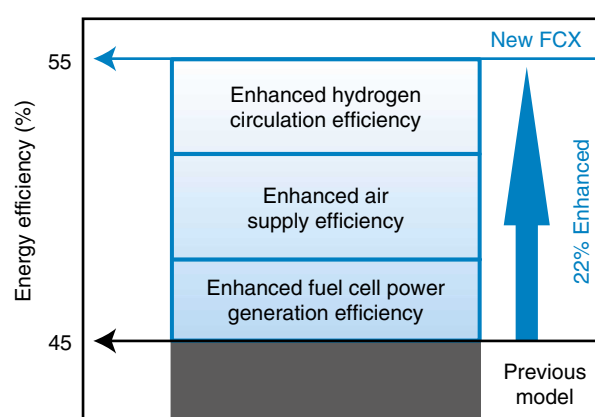


Fig. 19 Breakdown of enhanced energy efficiency (Honda data, LA-4 mode)

5. まとめ

燃料電池乗用車として世界初の氷点下始動を可能とし、かつ世界トップレベルの小型高出力化を実現した Honda FCX 搭載の次世代燃料電池において最も重要な技術についてまとめると

- (1) アロマティック電解質膜の開発により、氷点下での水素イオン伝導性を向上させ、氷点下始動の実現と高温耐性の向上が図れた。
- (2) シール一体金属プレスセパレータの開発により、導電性と熱伝導性を向上させ暖機時間を大幅に短縮するとともに、同時にスタックの小型化を図れた。
- (3) アロマティック電解質膜、シール一体金属プレスセパレータ及びコンパクトなスタック構造により小型高出力化を実現した。
- (4) 燃料電池システムでは、この燃料電池スタックの特徴を生かすことで、加湿モジュールを含めた補機類の統廃合レイアウトをすることができ、コンパクト化を実現した。また作動条件の見直しと経路圧力損失の低減によりエネルギー効率を向上させることができた。

参考文献

- (1) 鴻村隆：本田における燃料電池開発の現状と最適化手法，電気化学セミナー 1，p.135-142(2000)
- (2) 守谷隆史：ホンダにおける燃料電池自動車の開発，電気化学セミナー 1，p.139-144(2002)
- (3) 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)
- (4) 小川隆行，木村顕一郎，内堀憲治，藤本幸人，清水潔：燃料電池乗用車 Honda FCX 用パワートレインの開発，Honda R&D Technical Review, Vol.15, No.1, p.7-12

■著 者■



井ノ上雅次郎



斉藤信広



内堀憲治