

# 地域分散・最適生産型の スマート社会へ

## 革新的な性能をもつコンパクトリアクターの 技術コンセプトとそれを支える要素技術

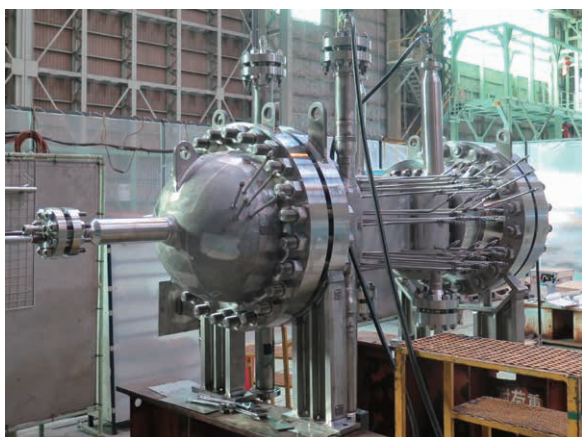
地産地消社会を実現する技術がいよいよ登場。水素のように扱いが困難な物質の輸送を削減して、直接需要地で必要ときに必要な量だけを効率的に生産する。小型かつ高効率に化学プロセス製品を生産するコンパクトリアクター技術が生産・輸送革命を起こす。

株式会社 IHI

資源・エネルギー・環境事業領域

事業開発部

坂倉 茂樹



水素生産 8 000 Nm<sup>3</sup>/d のコンパクトリアクター



モジュール型プラント（コンパクトリアクター 2 系列の場合）の例

### 分散型社会への胎動

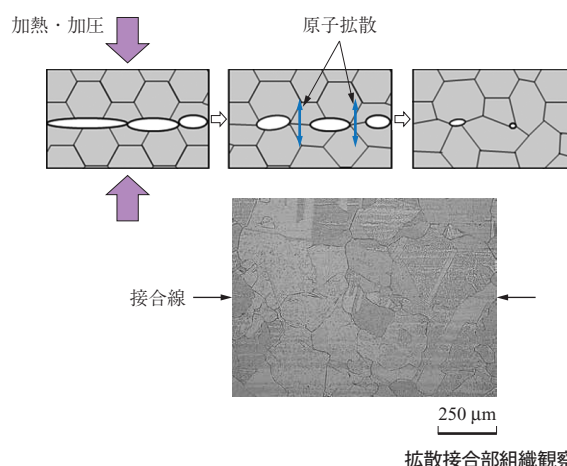
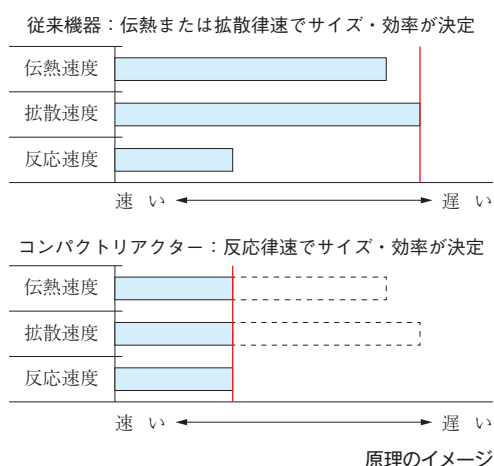
世の中は、大量生産・集約生産による効率化とそれを支える大量消費という社会構造から、地域分散・最適生産型のスマート社会へと大きく変貌しようとしている。すでに電力では再生可能エネルギーと IoT を活用したスマートグリッドの構築により、分散・最適化されたシステムへの試みが始まっているのは周知のとおりである。この流れは電力に限らず、物品（マス）においても同様で、いまや地域分散・最適生産化への社会要求が止まることはない。

その一方で、石油化学プラントをはじめとする物品生産においては、これまで物流インフラが整った沿岸工業地帯への大規模プラントの建設という、大型化の

一途をたどってきている。そのため、プラント内の中心機器である反応器（リアクター）をはじめとして、分散・最適化に比べ得る小容量でも高効率生産を可能にする技術が追い付いていないのが現状である。

例えば北米のシェールガスは、広域に分散・分布する資源であるが、ガス輸送インフラが未整備な内陸奥地のガスは、それを産地で高付加価値化（地産）するすべもなく、ガス田開発はしたものの、ガス生産を開始していないものが数多く存在する。また一方、水素のような貯蔵や輸送のハンドリングに苦勞する製品でも、高い費用とエネルギーを消費して工業生産地から各需要地まで運ぶしかないのが現状となっている。

従来大量生産・集約生産型の社会から、小型分散・最適生産型で CO<sub>2</sub> が削減されるスマート社会に



応え得る、小型高効率化した反応器。これがコンパクトリアクターである。ここではこの技術コンセプトとそれを支える要素技術の一端を紹介する。

### 触媒の能力を 100%引き出す

反応器の内部では化学反応が行われ、原料から製品が生産される。この反応を促進させるために、反応器内部には触媒が充填され、反応器内の温度や圧力を触媒反応の活性が高まる環境に整えて、反応器を含む化学プラントの運転が行われる。また、多くの化学反応は、発熱や吸熱を伴いながら進むため、反応の過程で反応熱を適切に除去したり供給したりすることが重要となる。小型高効率な反応器技術の開発には、この化学反応をいかに従来よりも効率よく省スペースで行うことが鍵となる。

一般に、反応器でより高効率に製品を生産するには、触媒の改良や新しい触媒の開発が常套手段となる。しかし、これには多大な経験や実験を必要とするとともに、反応の種類（プロセス）ごとにこの触媒開発を行っていかなければならない。そこで逆転の発想を用いて、既存の触媒の能力を最大限引き出して、いかに有効に活用し切れるようにするかという視点でアプローチしたのがコンパクトリアクター技術である。

IHI は、世界各地に従来型の大型反応器や化学プラントを供給してきている。ここで培った反応器製造技術や、プラントエンジニアリング技術に加え、物質や熱の拡散を促進するマイクロチャネルリアクターの考え方を新たに应用することで、お客さまにとって最も大切である品質や安全性、そして安定性や触媒交換な

どのメンテナンスでの使い勝手を確保しつつ、小型高効率を成し遂げる新しい反応器技術を開発した。

### 拡散速度と伝熱速度を桁違いに改善

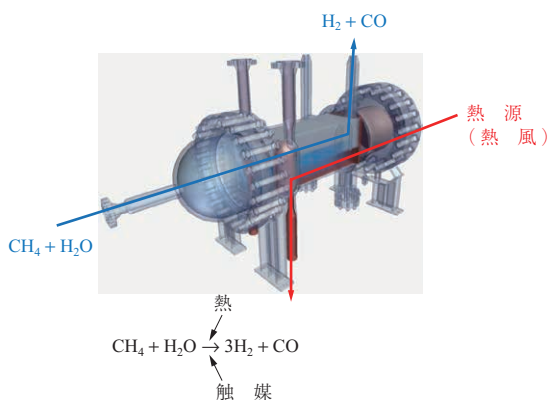
高効率化のためには原料から製品への化学変化を促進することが重要になるが、この変化の速度を決める大きな要素が三つ存在する。それは① 反応速度、② 拡散速度、③ 伝熱速度、である。① は触媒が本来もっている反応を進める能力であり、反応や触媒の種類に強く依存する。② は原料物質がいかに効率よく触媒表面に供給されるかということの意味する。③ は反応に必要な熱の受け渡しを行う能力を示す。

つまり、拡散速度や伝熱速度が不十分な場合は、原料物質の供給や熱供給／除熱が律速となり、反応の促進が制約される。そこで、これらを改善することによって触媒が本来もつ力を最大限活かした状態で反応を進めることが可能になる。

したがってコンパクトリアクター技術では、マイクロチャネルリアクターの考え方を応用して拡散速度と伝熱速度を高めるために、具体的に二つの方策を採用した。一つは反応流路に充填する触媒を構造触媒にすることであり、もう一つはコンパクトリアクター本体を矩形流路群から成る積層構造にすることである。

### 構造触媒の活躍

構造触媒とは、成形加工された金属シートの表面に触媒をコーティングしたものである。反応流路内を流れる原料の拡散促進・伝熱促進・圧力損失低減に対し



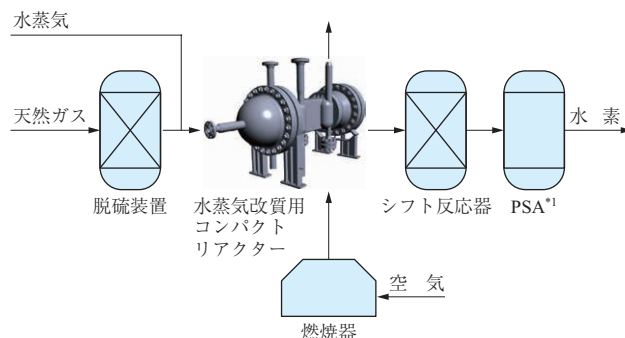
水素を生産する水蒸気改質 (SMR) 用コンパクトリアクター

て、IHI の熱流体技術によって最適化された形状が触媒の構造材に設定される。この構造材は、金型を用いて金属シートから均一に成形加工される。そして、この金属シート表面に触媒が均一にコーティングされることで構造触媒が完成する。コンパクトリアクターの各反応流路に均一な構造触媒が充填されることで、反応流路ごとの触媒量、圧力損失のばらつきがなくなるとともに、触媒装填・交換の作業も容易になる。また、従来の球や円筒形をしたペレット状の触媒に比べて反応に供さない不要な体積が減り、反応に重要な流路内の触媒表面積を大きくとれる。

### 積層構造を下支えするリアクター製造技術

コンパクトリアクターは、構造触媒が充填されて原料物質が流れる反応流路層と、温度をコントロールするための熱媒または冷媒が流れる熱・冷媒流路層を交互に積層したプレート型熱交換器に類する構造をもつ。これによりリアクターの単位体積あたりの伝熱性能が向上するばかりでなく、各反応流路断面においては流路内の温度分布が小さくなり、流路内に充填されている触媒全てが最適環境で機能することになる。またリアクター断面に関しては、各反応流路がおのの対になる熱・冷媒流路をもつことで、ホットスポット/コールドスポットになる流路が消滅する。その結果、リアクター全体でも触媒の機能が低下する部分がなくなることになる。

このリアクター積層構造体を化学プロセス反応器として実用化するには、高温・高圧環境にも耐える圧力容器としての高い構造強度も要求される。そこでコンパクトリアクターの製造には IHI の構造・生産技術



(注) \*1: PSA (Pressure Swing Adsorption: 圧力変動吸着) 式ガス分離精製装置

水蒸気改質用コンパクトリアクターを含む水素生産プラントのプロセスフロー

を活用した拡散接合が適用されている。拡散接合とは加熱高温にした状態で金属接触面に力を加えることで金属界面間に原子拡散を起し、一体にする接合方法である。これにより接合変形の小さい、高い寸法精度と構造強度の両立が可能になる。

### コンパクトリアクター技術の適用

高い寸法精度と構造強度をもつ積層反応流路と、そこに充填される均一に製作された構造触媒を組み合わせたことで、触媒の性能を 100% 使い切る驚異の小型高効率な反応器が誕生した。

これらの技術の適用により、コンパクトリアクターのサイズは従来型の反応器比で 1/10 の小型化も実現される。この反応器で構成されるプラントを、陸上輸送が容易なモジュール型プラントとしてまとめることにより、従来は設置・建設が困難であった内陸奥地に対してもプラントを容易に設置できるようになる。

IHI ではこのコンパクトリアクター技術を適用した最初の化学プロセス反応器として、メタンから水素や合成ガス (水素と CO の混合ガス) を生産する水蒸気改質 (Steam Methane Reformer: SMR) 用のコンパクトリアクターを開発した。

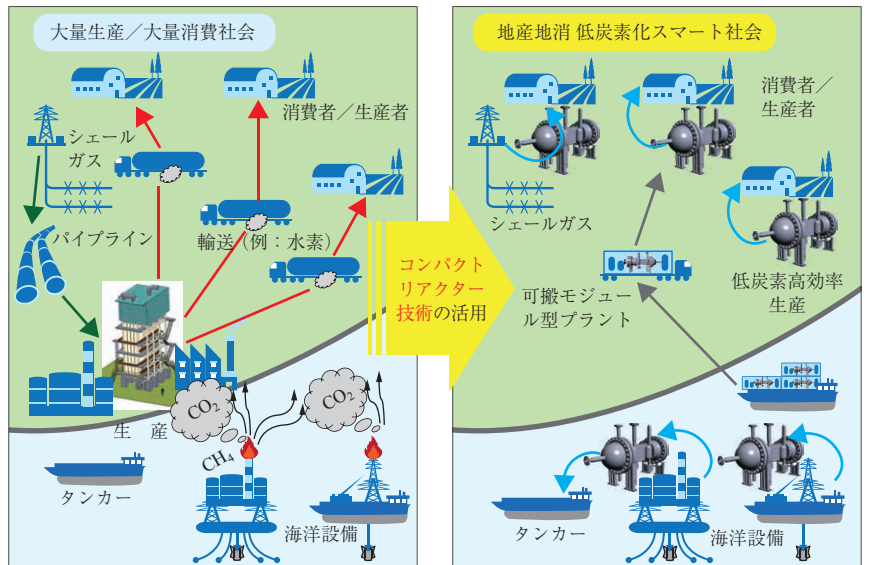
### コンパクトリアクターの利用法

多様な可能性を秘めるコンパクトリアクター技術であるが、例えば水蒸気改質用コンパクトリアクターのプラントでは、次のような使い方が考えられる。

- (1) 水素を需要地で生産することにより、圧縮水素や極低温液体水素として水素を遠隔地から輸送し続

けている水素ユーザーの輸送費や輸送エネルギーが不要になる。

- (2) アンモニアやメタノールなどの生産者や消費者が、それらの原料である水素や合成ガスを需要地で直接生産・確保する。
- (3) パイプラインが未整備な地域のガス資源保有者が、未利用ガスを利用して水素やその後段の製品をその場で生産することにより、未利用ガスの有効利用を促進する。
- (4) 海洋資源生産者が、採掘に伴って発生する随伴ガス（海上からの輸送が困難で、廃棄するしかないガス）の大気解放をなくして環境負荷を低減する。これは設置面積に限られる海洋設備上に小型のプラントを設置することで、随伴ガスを原料にした合成ガス生産を経由して、メタノールや合成石油への液化変換をその場で行う。液化されたことで海上設備からの輸送・持ち出しが容易になり随伴ガス放出の削減につながる。



地産地消の低炭素化スマート社会



まで運び出すことができずに廃棄するしかない、もしくは利用できなかった資源を、その場で有価値品や輸送が容易な製品に転換することで、不必要に環境へ負荷をかけない社会を可能にする。

結果として、小型かつ高効率を特徴とするコンパクトリアクター技術は、これまでの大量生産・大量消費（&大量廃棄）社会から決別して、IoTを活用した地域間ネットワークで、生産がきめ細かく管理される分散型最適生産社会を構築するためのキーテクノロジーの役割を担う。こうして地産地消を旗印に、低炭素化・CO<sub>2</sub>削減に向けたスマート社会に貢献していく。

### コンパクトリアクター技術が拓く社会

内陸奥地などで、従来はプラントの建設が不可能であった箇所にも、需要地に最適なプラントを設置することが可能になる。このことから、輸送に手間のかかる水素のような物質や、毒性があり輸送が制限される物質も、消費地での高効率生産に切り替わり、無駄なエネルギー消費のない社会を実現する。

また他方、従来は沿岸工業地域にある大型プラント

項目	単位	Small-Size CR-H8	Medium-Size CR-H80
水素生産量	Nm <sup>3</sup> /d-H <sub>2</sub>	8 000	80 000
設計圧力	MPa	2.0	
設計温度	℃	865	
リアクター寸法	m	1×1×3 	2×2×5 
設備の供給形態	-	可搬モジュール型プラント	

水素を生産する水蒸気改質用コンパクトリアクターシリーズ

### そして、これから

現在、水蒸気改質用コンパクトリアクターを用いて、水素生産実証プラントで性能データの収集と検証を実施中である。今後は、より柔軟にお客さまや社会からの要望に応じていくために、コンパクトリアクター技術の適用容量サイズのラインアップを拡充させる。また、水蒸気改質以外の化学プロセスへもコンパクトリアクター技術の適用を順次進めていく。

問い合わせ先

株式会社 IHI

資源・エネルギー・環境事業領域 事業開発部

電話 (03) 6204 - 7506

<https://www.ihico.jp/>