



2015年1月15日  
獨立行政法人日本原子力研究開發機構  
田中控股株式會社

## 成功開發以核融合爐有效回收超重氫的新觸媒 ～達到世界最高效率，可望解決核融合爐的技術性問題～

### 〔發表要點〕

- 回收核融合爐燃料所需的超重氫，確立新觸媒的製作方法。
- 實現世界最高的超重氫交換效率，每體積觸媒相當於以往最高性能產品的約 1.3 倍。
- 可望克服被視為核融合爐技術性問題的超重氫回收系統的信賴性提升，以及高效率化的技術性難關。

獨立行政法人日本原子力研究開發機構（總部：茨城縣那珂郡、理事長：松浦 祥次郎，以下稱為原子力機構）、田中貴金屬工業株式會社<sup>[1]</sup>（總公司：東京都千代田區、執行總裁：田苗 明，以下稱為田中貴金屬工業）以實現核融合爐為目標，成功開發了用於回收超重氫<sup>[2]</sup> 的新疎水性<sup>[3]</sup> 白金觸媒。

在核融合爐中，超重氫與重氫均作為燃料使用。超重氫為稀少物質，須有在核融合爐中利用觸媒反應濃縮為超重水，最後以超重氫氣體形態進行回收的系統<sup>[4]</sup>。

回收超重氫使用的觸媒被稱之為「疎水性貴金屬觸媒」，以白金等貴金屬為基礎，在日本由高分子製成的疎水性貴金屬觸媒具有用於新型轉換爐「普賢」<sup>[5]</sup> 提煉重水<sup>[6]</sup> 的實績。不過，該觸媒存在著放射線脆化或耐熱性等相關課題，對於須由高濃度的超重水進行回收的核融合爐，仍有必要解決適用上的技術性問題。

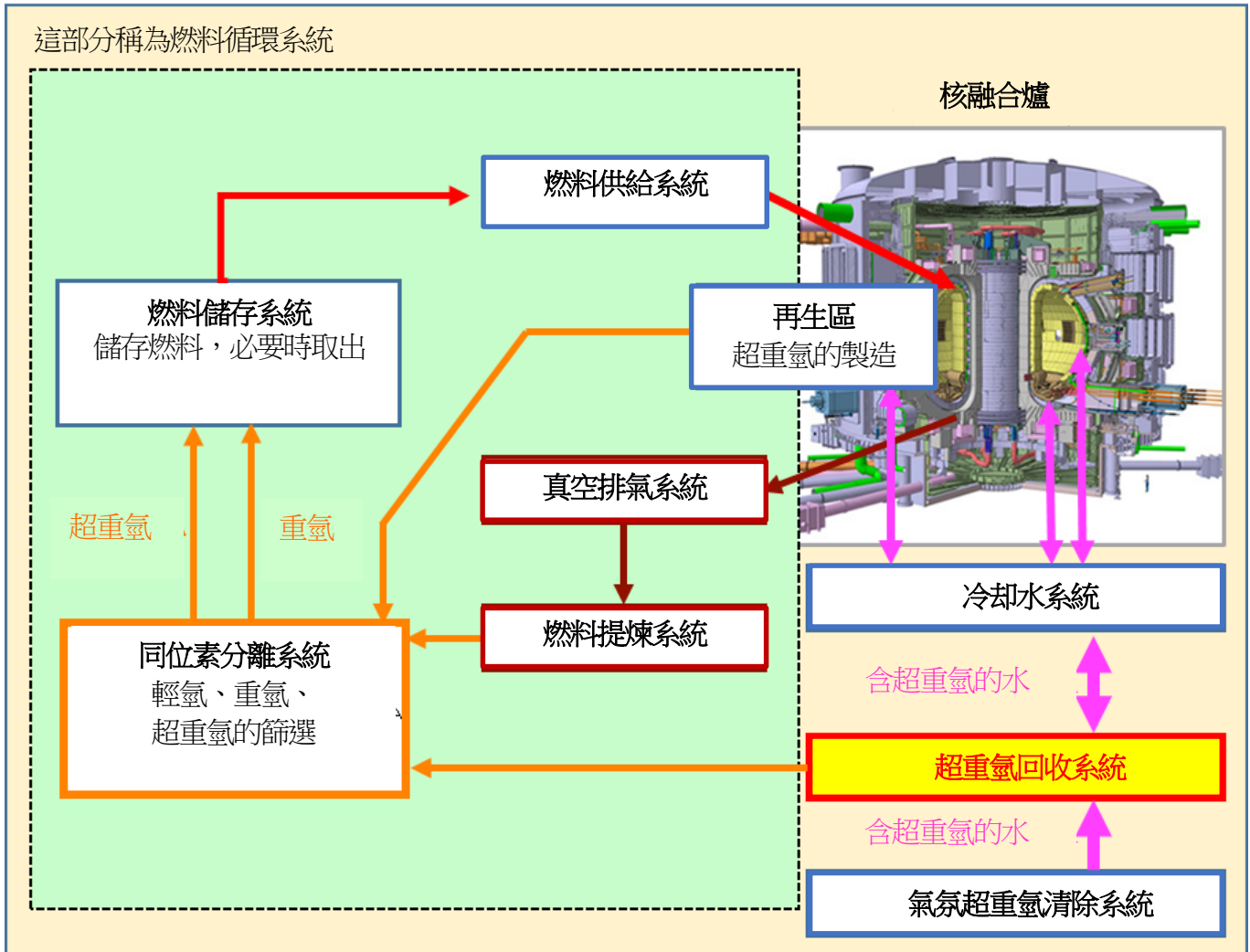
因此，原子力機構和田中貴金屬工業開發出以無機物質為基礎，實施疎水化處理的新觸媒製作方法。結果發現對於耐放射線性參考標準 530kGy 的放射線照射不會產生性能劣化，也成功地確保遠超過通常的使用溫度 70°C、高達 600°C 以上的耐熱性，解決了過去的技術性課題。並進一步確認以該方法製作的觸媒相當於以往的約 1.3 倍，達到世界最高的交換效率。

因此，透過使本觸媒適用於液相化學交換過程<sup>[7]</sup>，在自超重水的超重氫回收系統的信賴性提升和高效率化方面，預期可以克服極大的技術難關。

此外，適用於本觸媒的疎水性白金觸媒的製作技術，不僅在核融合研究上，也可望應用於廣泛的領域，而適用於氫的氧化觸媒<sup>[8]</sup> 時，經證實即使在室溫下亦可達到氫的有效氧化。而由於本觸媒解決了上述脆弱性，對於原子能領域以外的一般氫處理成套設備的安全性提升亦可做出貢獻。

## 〔研發背景與目的〕

作為以實現核融合為目標的研發，開發可能產生於核融合爐中每 1kg 數百億到數千億貝克勒爾的超重水的減容與濃縮技術成為重要課題。在大量使用以氫的同位素即放射性超重氫為燃料的核融合成套設備中，利用爐內鋰和中性子的反應製造超重氫。其中部分的超重氫透過高溫金屬混入冷卻水中成為超重水。另外，為了抑制超重氫釋放到環境中，因而設置氣氛超重氫清除系統，將保養維修爐內機器的設施氣氛內的超重氫用氧化反應器進行氧化處理，成為超重水後以水分吸附劑等進行回收與清除。為了使超重氫這項珍貴的資源作為燃料再循環，於核融合成套設備設置將回收的超重水濃縮，再轉換成氣體形態的超重氫回收系統。



具體上為在水蒸氣、氫間的氫同位素可進行交換的觸媒存在下，使回收的超重水與輕氫（通常的氫氣）接觸，進行減容與濃縮。因一般觸媒在水蒸氣氣氛下會失去觸媒性能，為了使觸媒在高濃度水蒸氣氣氛中維持觸媒的活性，需要高度的疎水性。自超重水的超重氫回收系統因其技術上的難易度，使開發疎水性觸媒成為極大的技術性難關。

## 〔研究手法〕

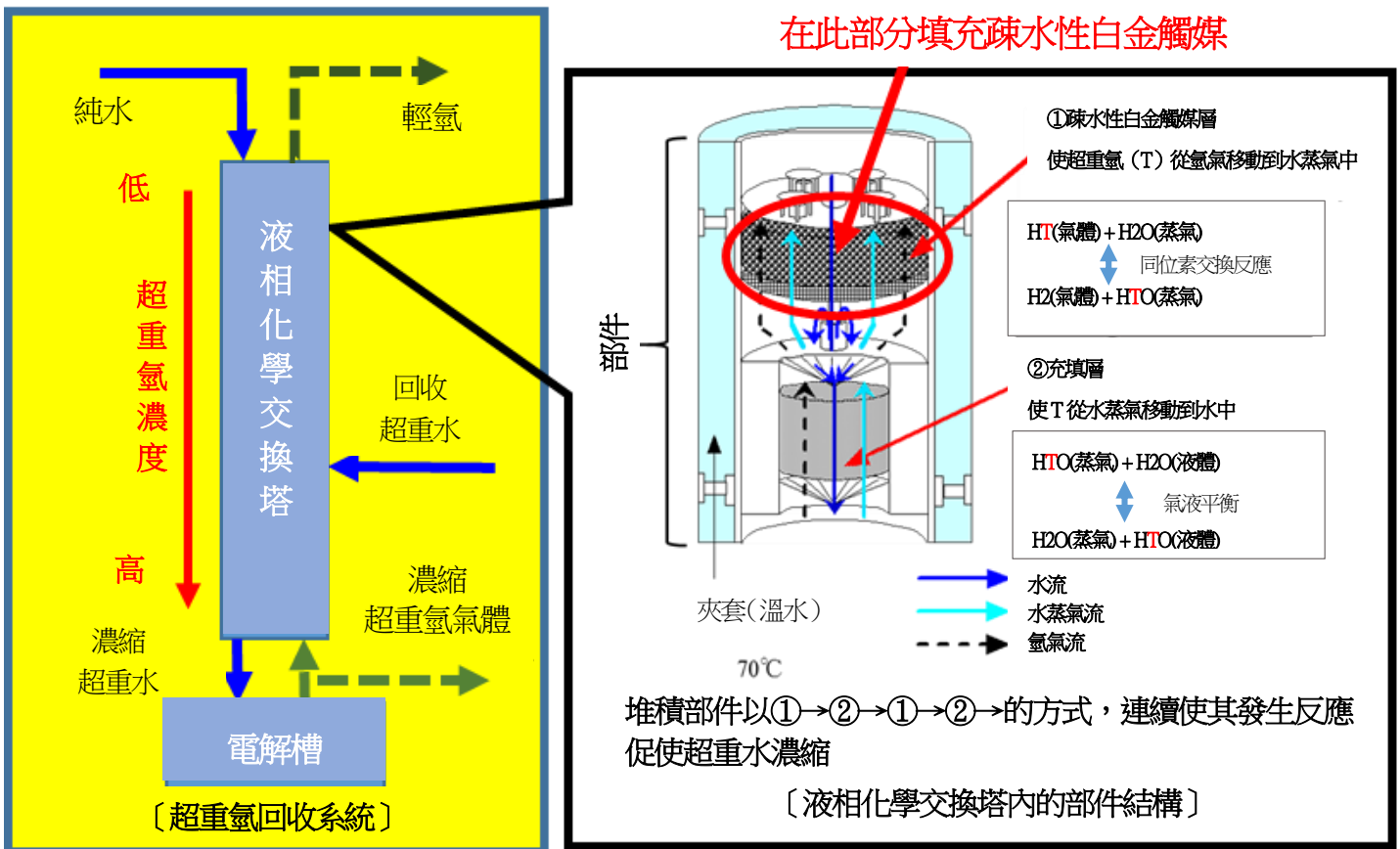
可用於超重水的濃縮與減容用途的疎水性貴金屬觸媒由疎水性高分子製作，過去曾開發過幾個案例實績，在日本也有用於新型轉換爐「普賢」提煉重水的實績。不過，由高分子製作的觸媒就放射線影響或耐熱性的技術性觀點來看，顯然存在核融合的適用性問題。另外，也實際存在著製造成本過高的問題。本研究中以採用使無機材料疎水化後進行觸媒處理的技術作為新的構思。在觸媒製造工程中，除了使無機材料疎水化的方法外，還存在著成為觸媒的白金擔持量<sup>[9]</sup>、無機材料的表面狀態或細孔徑<sup>[10]</sup>等牽涉多方面的參數，關於對這些觸媒性能造成的影響，就超重氫和水蒸氣間氫同位素的交換效率以實驗進行評價，實施製造參數的最適化，進而成功地開發出高性能觸媒。

### 〔取得成果〕

相對於一般放射線由較弱的高分子製成，以往產品擁有用於新型轉換爐「普賢」提煉重水的實績，相較於此當本產品二年期間連續處理每 1kg 含 9 兆貝克勒爾的超重氫的水時，即使相當於照射 530kGy 的放射線量，對性能並未造成影響。另外，與被指出使用一般而言耐熱性較弱，依條件不同有可能燒毀的高分子的以往產品相較，經確認本產品遠超過通常的使用溫度 70°C、耐熱性超過 600°C。如上所述，針對負責超重氫安全性的系統，本產品已經解決適用上所憂慮的各項問題。另外，超重氫和水蒸氣間氫同位素的交換效率，顯示每體積觸媒為以往產品的約 1.3 倍(世界最高)。這意味著觸媒量只須以往產品的 3/4 即可獲得同樣的性能。將本觸媒適用於液相化學交換過程，可提高超重水中的超重氫濃度，並自超重水有效回收超重氫。另外，利用本觸媒除了可減少觸媒使用量外，因由無機材料所製成，亦可降低製造成本，對於需要大量觸媒自超重水的超重氫回收，在成本方面極為有利。自超重水的超重氫回收系統，透過本觸媒的開發預期可望朝證實目標克服極大的技術性難關。本觸媒技術已由原子力機構與田中貴金屬工業株式會社共同完成專利申請。



已開發的粒狀疎水性白金觸媒（粒徑 3mm）



### 〔今後計畫〕

由於本觸媒以新的方法製作，目前的課題鎖定在長期性能穩定性等落實確認試驗的進展，確認朝實用化目標在同一條件下長期反覆進行時無性能降低的情形。再者，適用於本觸媒的疎水性白金觸媒的製作技術可望被廣泛應用。舉例來說，適用於氫的氧化觸媒時，相對於以往產品不加熱觸媒即無法進行氫的氧化，本產品經證實即使在室溫下以大範圍濃度仍可有效進行氫的氧化。此項性能，在現今走向處理大量氫的氫社會的情況下，判斷有助於作為發生事故或喪失電力時防止氫爆炸的再結合器之用。如上所述，透過本觸媒解決了上述脆弱性，可望大幅提升核融合爐整體的安全性，同時也對提高原子能領域以外的一般氫處理成套設備的安全性做出貢獻。

## 用語說明

- [1] 田中貴金屬工業株式會社…於以田中控股株式會社為控股公司的田中貴金屬集團內，推展製造事業的集團核心企業。
- [2] 超重氫…氫的放射性同位素。氚。
- [3] 疎水性…對水的親和性低，難溶於水的性質。
- [4] 超重氫回收系統的必要性…在核融合爐的爐心生成的雜質隨未燃燒的燃料排氣，為了再利用這些經處理的燃料成分進行萃取，再次供給至爐心的電漿體，將此系統稱為燃料循環系統。燃料循環系統大致劃分為：1) 從爐心排出電漿體廢氣的真空排氣系統；2) 從電漿體廢氣分離與回收氫同位素成分的燃料提煉系統；3) 透過將氫按同位素別分離，進行分離回收燃料成分的同位素分離系統；4) 儲存燃料成分的燃料儲存系統；5) 向爐心的電漿體供給燃料的燃料供給系統。另外，在核融合中，作為燃料消耗的超重氫在爐內的再生區透過製造與增殖補充消耗量。此時，因長期運作導致超重氫透過金屬混入冷卻水中，因而需要大型自超重水的超重氫回收系統。也因此，針對自該超重水的超重氫回收系統的高濃度處理，以及小型效率化的觸媒開發成為課題。
- [5] 新型轉換爐「普賢」…作為熱中子爐透過利用世界最大的MOX（混合氧化物）燃料集合體，確立日本的鈾回收技術。目前正在進行廢止處理。
- [6] 提煉重水…將混入輕水、濃度降低的劣化重水，再濃縮成可作為原子爐減速材料使用濃度的原子爐級重水。
- [7] 液相化學交換過程…係由自超重水的超重氫回收系統將超重氫透過水蒸氣從氫轉移到水中以濃縮超重水的液相化學交換塔，以及電解濃縮的超重水製成濃縮超重氫氣體的電解槽所構成。在液相化學交換塔內，將反應部和吸收部（充填層）的成套部件堆積在塔內，在反應部使超重氫從氫轉移到水蒸氣；在吸收部使超重氫從水蒸氣轉移到水。連續地進行此項反應，使超重水朝塔的下方逐漸濃縮。本次開發而成的觸媒用於此過程的觸媒部。為了長期進行觸媒過程，須具備觸媒的高穩定性。本次開發而成的觸媒，除了確保超重氫處理設備應有的難燃性和改善超重水高濃縮時造成問題的耐放射性外，並實現了高反應率，不論超重氫的濃度如何，均可提高超重水的濃度。
- [8] 氫的氧化觸媒…帶有疎水性的觸媒不受水蒸氣引起的反應抑制效果的影響，即使在接近室溫的溫度下使用，亦可達到氫的有效氧化。即使氧化效率很差的極低濃度的氫也可在室溫氧化。
- [9] 白金的擔持量…觸媒由許多白金微粒分散在無機材料表面所構成。表面上擔持的白金量即為擔持量。以無機材料每容積的白金重量表示。
- [10] 細孔徑…成為觸媒的無機材料上有許多細孔。細孔徑係指孔的平均直徑。因有許多細孔，可增加每容積的白金可擔持的表面積。