



2015年1月15日
独立行政法人日本原子力研究开发机构
田中控股株式会社

成功开发核聚变反应堆有效回收超重氢的新催化剂 ～达到世界最高效率，有望解决核聚变反应堆技术问题～

[报告要点]

- 确立新催化剂制造方法，回收核聚变反应堆燃料必需的超重氢。
- 实现世界最高超重氢交换效率，每体积催化剂相当于原最高性能产品的约 1.3 倍。
- 有望攻克成为核聚变反应堆技术问题的提高超重氢回收系统可靠性和高效率的技术难关。

独立行政法人日本原子力研究开发机构（总公司：茨城县那珂郡，理事长：松浦 祥次郎，以下称为原子力机构），田中贵金属工业株式会社^[1]（总公司：东京都千代田区，执行总裁：田苗 明，以下称为田中贵金属工业）成功开发了用于回收超重氢^[2]、核聚变反应堆用新疏水性^[3]铂催化剂。

在核聚变反应堆中，超重氢与重氢都作为燃料使用。超重氢为稀少物质，需要在核聚变反应堆中作为超重水利用催化反应浓缩、并最终通过超重氢气体形态进行回收的系统^[4]。

回收超重氢使用的催化剂称为“疏水性贵金属催化剂”，以铂等贵金属为基础，在日本，由高分子制成的疏水性贵金属催化剂有在高级热中子反应堆“普贤”号^[5]的重水提纯^[6]中用过的先例。不过，该催化剂存在对放射线的脆化或耐热性的技术问题，需要解决对核聚变反应堆的适用性的技术问题，核聚变反应堆必须从高浓度的超重水进行回收。

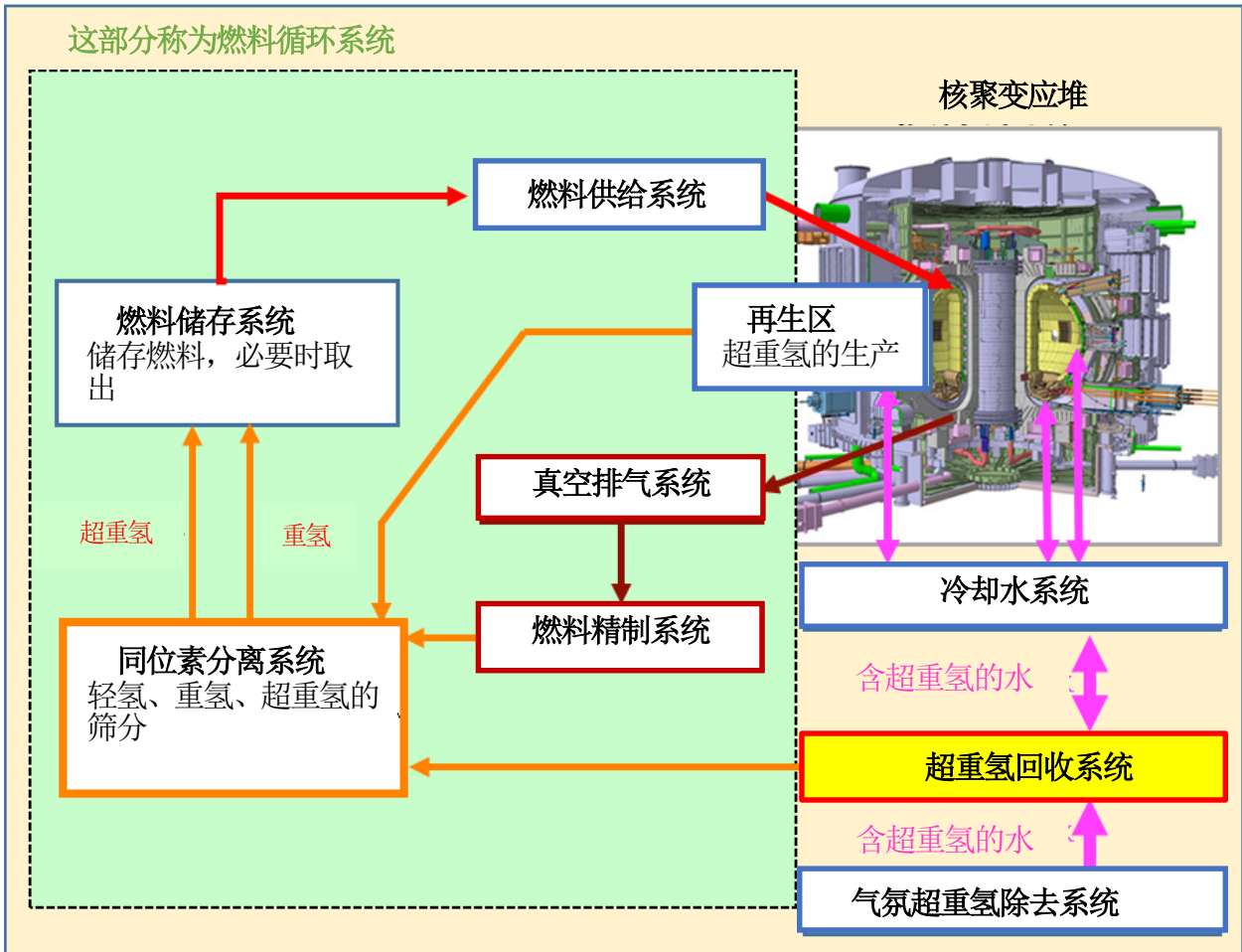
因此，原子力机构和田中贵金属工业开发了以无机物质为基础实施疏水化处理的新催化剂制造方法。其结果成功确保对耐放射线性能大致标准 530kGy 的放射线照射性能不劣化，并且大大超过通常的使用温度 70℃，确保耐热性超过 600℃，解决了目前的技术问题。进一步确认以该方法制造的催化剂，其交换效率相当于原来的约 1.3 倍，达到了世界最高的交换效率。

因此，使本催化剂适用于液相化学交换工艺^[7]，关于提高从超重水的超重氢回收系统的可靠性和高效率化，有望攻克很大的技术难关。

进而，适用本催化剂的疏水性铂催化剂的制造技术，期待不仅可以应用于核聚变研究，也可以应用于广泛的领域，适用氧化氢的催化剂^[8]时，证实即使在室温也可以有效氧化氢。另外，由于本催化剂解决了上述脆性，也会对原子能领域以外的一般氢处理成套设备的安全性提高做出贡献。

研究开发的背景与目的

作为面向实现核聚变的研究开发，开发使核聚变反应堆产生的每 1kg 含有几百亿至几千亿贝克勒尔超重氢的水的容量减少、浓缩技术为重要课题。在以氢的同位素、放射性超重氢为燃料大量使用的核聚变成套设备中，利用堆内锂和中性子的反应生产超重氢。其中一部分的超重氢通过高温金属混入到冷却水中成为超重水。另外，为了抑制超重氢释放到环境中，设置气氛超重氢除去系统，其将反应堆内保养维修机器的设施内的气氛内的超重氢用氧化反应器氧化处理，成为超重水后用水分吸附剂等回收、除去。为了使珍贵的资源超重氢作为燃料再循环，设置超重氢回收系统，其浓缩核聚变成套设备中回收的超重水，再交换成气体形态。



具体为在水蒸汽-氢间的氢同位素交换可能的催化剂存在下，使回收的超重水与轻氢（通常的氢气）接触，进行减容、浓缩。因一般催化剂在水蒸汽气氛下会失去催化性能，所以为了使催化剂在高浓度水蒸汽气氛中维持催化活性，需要高度的疏水性。从超重水的超重氢回收系统就其技术难度来说，开发疏水性催化剂为重大技术难关。

[研究的手法]

可用于超重水浓缩、减容用途的疏水性贵金属催化剂由疏水性高分子制造，过去有几个开发实例，日本在高级热中子反应堆“普贤”号的重水提纯中使用过。不过，由高分子制造的催化剂从放射线的影响或耐热性的技术观点来看，显然存在核聚变的适用性问题。另外，也显然存在制造成本高的问题。本研究中，作为新构思采用了使无机材料疏水化后进行催化的技术。在催化剂制造工程中，除了使无机材料疏水化的方法外，还存在催化剂铂的担持量^[9]、无机材料的表面状态或细孔径^[10]等牵涉多方面的参数，关于对这些催化剂性能的影响，通过实验评价超重氢和水蒸汽间氢同位素的交换效率，实施制造参数的最优化，从而成功开发了高性能催化剂。

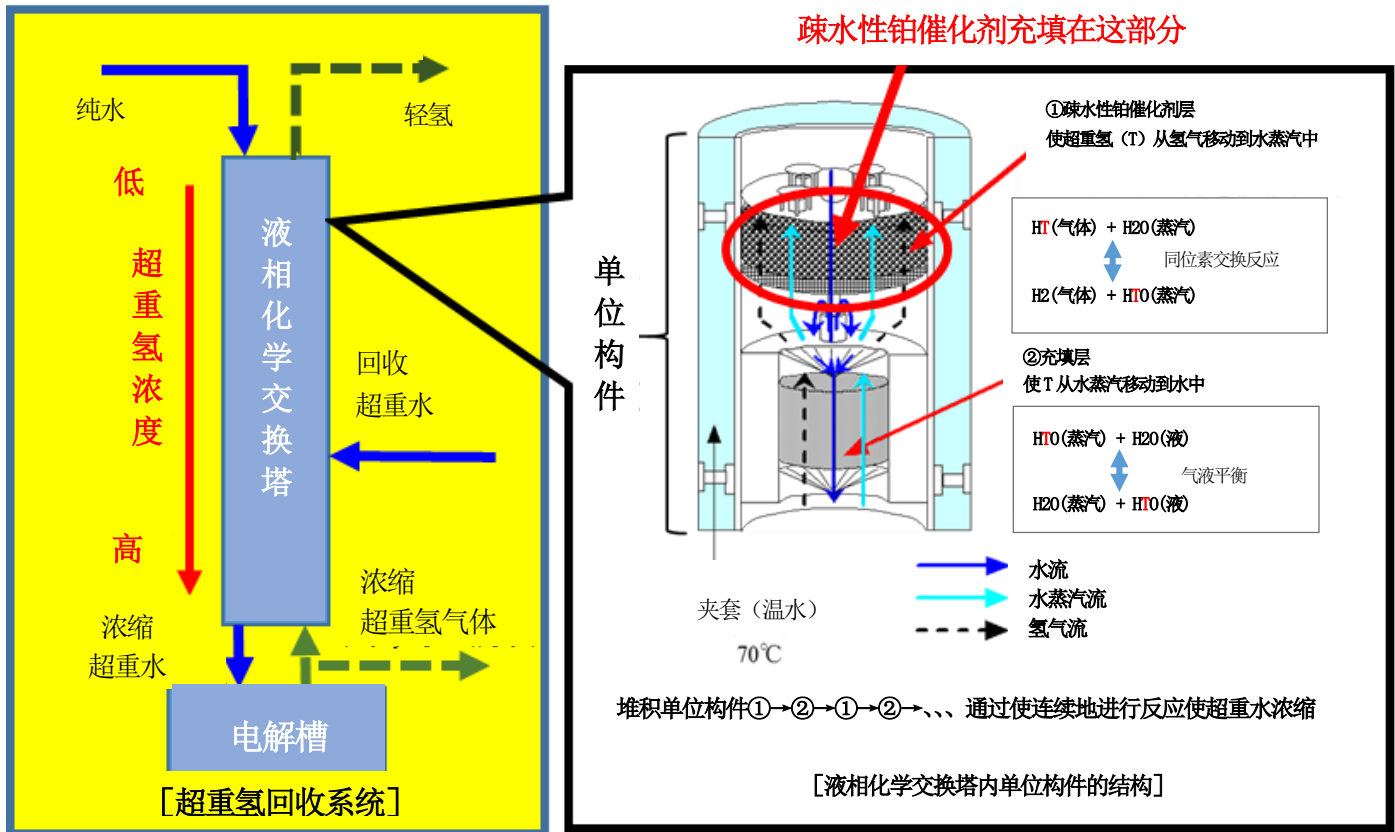
[取得的成果]

与在高级热中子反应堆“普贤”号的重水提纯中使用过的、由一般对放射线弱的高分子制成的原产品相比，本产品二年连续处理每 1Kg 含 9 兆贝克勒尔超重氢的水时，相当于照射 530kGy 的放射线量，没有影响性能。另外，与使用被指摘一般来说耐热性弱、根据条件不同有烧损可能性的高分子的原产品相比，本产品远远超过通常的使用温度 70℃，确认耐热性超过 600℃。这样，本产品就可以解决在向担负超重氢安全的系统应用时所担心的各种问题。另外，超重氢和水蒸汽间的氢同位素的交换效率显示每体积催化剂为原产品的约 1.3 倍(世界最高)。这意味着催化剂量为原产品 3/4 即可获得同样的性能。使本催化剂适用于液相化学交换工艺，可提高超重水中超重氢的浓度，可从有效的超重水回收超重氢。另外，利用本催化剂除了可减少催化剂使用量外，由于由无机材料制成，所以也可降低制造成本，对于从需要大量催化剂的超重水回收超重氢来说，成本上也是有利的。从超重水的超重氢回收系统，由于本催化剂的开发，朝着证实方向有望攻克很大的技术难关。对本催化技术，原子力机构和田中贵金属工业株式会社已共同申请了专利。



开发出的颗粒状疏水性铂催化剂（粒径 3mm）

疏水性铂催化剂充填在这部分



[今后的打算]

因本催化剂以新型方法制造，所以现在的课题是稳步开展长期性能稳定性等确认试验，确认面向实用化在同一条件下长期反复时有没有性能的降低。再者，适用本催化剂的疏水性铂催化剂的制造技术可期待广泛应用。举例来说，使用氧化氢的催化剂时，原产品是不加热催化剂不能进行氢的氧化，而本产品证实即使在室温下大范围浓度下氢也可以有效进行氧化。这个性能，在目前迎来经营大量氢的氢公司到来的情况下，期待应用于事故时或丧失电力时防止氢爆炸的再结合器。这样，本催化剂解决了上述脆性，可期待大幅提高整个核聚变反应堆的安全性，同时也会对原子能领域以外的提高一般氢处理成套设备的安全性做出贡献。

用语的说明

- [1] 田中贵金属工业株式会社…是以田中控股株式会社Tanaka Holdings Co., Ltd. 为控股公司的田中贵金属集团中，开展制造事业集团的核心企业。
- [2] 超重氢…氢的放射性同位素。氚。
- [3] 疏水性…对水的亲和性低，难溶于水的性质。
- [4] 超重氢回收系统的必要性…在核聚变反应堆的堆心生成的杂质随未燃烧的燃料排气，为了处理这些再利用燃料成分，进行萃取，再次供给堆心的等离子体，将此系统称为燃料循环系统。燃料循环系统大致划分为：1) 从堆心排出等离子体废气的真空排气系统；2) 从等离子体废气分离回收氢同位素成分的燃料提纯系统；3) 通过将氢按同位素别分离而分离回收燃料成分的同位素分离系统；4) 储存燃料成分的燃料储存系统；5) 向堆心的等离子体供给燃料的燃料供给系统。另外，在核聚变中，作为燃料消耗的超重氢在堆内的再生区通过生产增殖得到补充。那时，由长期运行所引起的超重氢通过金属混入冷却水中，所以需要大型从超重水的超重氢回收系统。因此，开发面向从该超重水的超重氢回收系统的高浓度相对应且面向小型效率化的催化剂成为课题。
- [5] 高级热中子反应堆“普贤”号…通过利用世界上最大的MOX(混合氧化物)燃料集合体作为热中子反应堆，确立了日本铀回收再利用技术。现在，正在采取废止措施。
- [6] 重水精制…将混有轻水、浓度降低的劣化重水，再浓缩成可作为核反应堆减速材料使用浓度的核反应堆级重水。
- [7] 液相化学交换工艺…从超重水的超重氢回收系统由液相化学交换塔和电解槽构成，所述液相化学交换塔通过将超重氢从氢经由水蒸汽转移到水中来浓缩超重水，所述电解槽电解浓缩的超重水制成浓缩超重氢气体。在液相化学交换塔内，反应部和吸收部(充填层)配套的构件堆积在塔内，在反应部，使超重氢从氢转移到水蒸汽，在吸收部，使超重氢从水蒸汽转移到水。通过使该反应连续进行，朝向塔的下部使超重水逐渐浓缩。这次开发的催化剂用于本工艺的催化部。为了长期进行催化工艺，催化剂的高稳定性是必要的。这次开发的催化剂，除了同时解决了：确保超重氢处理设备应有的阻燃性和提高超重水高浓缩时成为问题的耐放射性的问题以外，还实现了高反应率，无论超重氢的浓度如何，都可提高超重水的浓度。
- [8] 氧化氢的催化剂…带有疏水性的催化剂不受水蒸汽引起的反应控制效果的影响，即使在室温附近的温度使用，氢也可以有效氧化。即使氧化效率很差的极低浓度的氢也可在室温氧化。
- [9] 铂的担持量…催化剂由许多铂微粒分散在无机材料表面构成。表面上搭载的铂量即为担持量。用单位容积无机材料的铂的重量表示。
- [10] 细孔径…成为催化剂的无机材料有许多细孔。指孔的平均直径。因有许多细孔，所以可增加单位容积可担持铂的表面积。