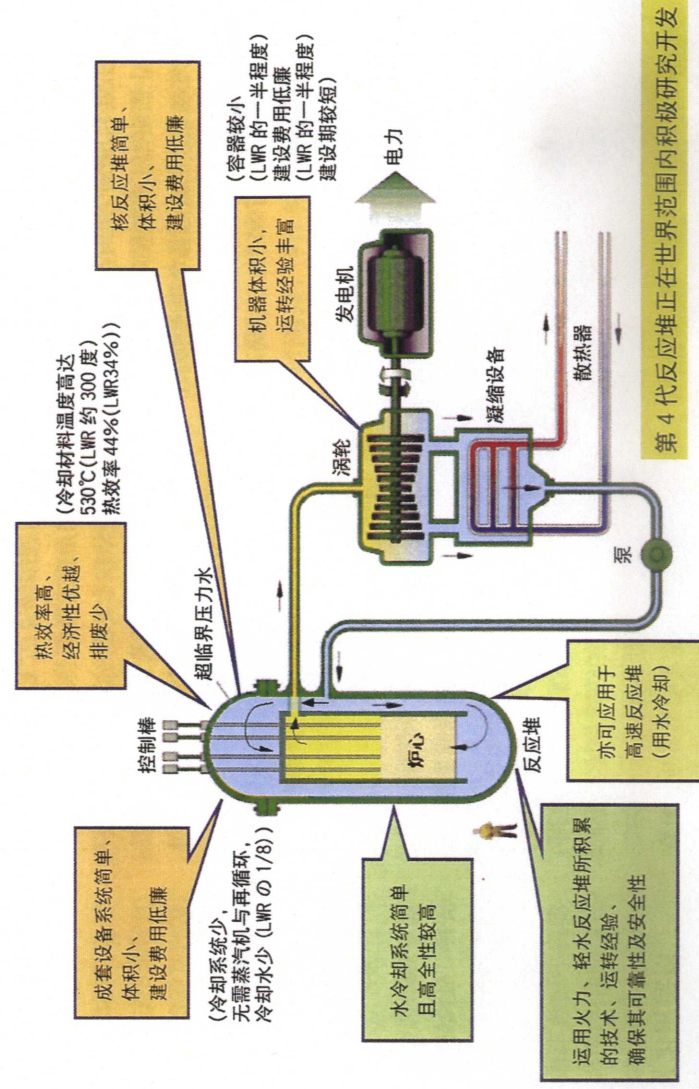


改变世界核能发电的 新一代核反应堆

人们期待核能解决全球变暖以及能源安全保障等问题起到重要的作用。在这一背景下，日本倡导的新一代核反应堆技术“超轻水反应堆”引起了国际社会的广泛关注。美国能源部选用的第4代核反应堆之一也是采纳了这种轻水反应堆，第四代核反应堆预计在2030年可以完成。那么，轻水反应堆到底是什么样的系统呢？与现存的轻水反应堆相比又具备哪些优点呢？请看本期山田真记发来的报道。

用于核能发电的核反应堆有着各种各样的类型，但总体上分为两大类：一是控制中子的材料，又被称作减速材料；二是从核反应堆中输出热量的材料，又被称为冷却材料。减速材料包括黑铅（碳素）、重水（是由氘和氧组成的化合物）以及轻水（普通水）等。而冷却材料则包括二氧化碳、氮气等的气体以及重水和轻水等。所谓轻水反应堆（又称作LWR）是指在使用轻水作为冷却材料，并伴有减速材料的核反应堆，燃料中使用低浓缩铀（低浓缩铀是在天然铀中包含大约0.7%的天然放射性核种铀235浓缩而成的化学物质，丰度大约为3%）。轻水反应堆的优点可以列举出很多，比如与黑铅反应堆

图1 超轻水反应堆



第4代反应堆正在世界范围内积极研究开发

选用的第4代核反应堆（预计2030年可以实现）之一也采用了超级轻水反应堆。采纳的标准为可持续性、较高的安全性、较好的经济性、对核扩散的有效控制这几点（顺便提及一下，除超级轻水反应堆

外的课题，需要分散并降低开发风险。日本核反应堆厂家的人工费很高，从研发到实际投入运用，这期间有着承担不完的研究开发风险，这是不可否认的事实。目前的现状是到投资能收回为止的期间，

轴心，尽早制定新的研究体制。在不远的将来，超级轻水反应堆的实验反应堆如果能取得成功的话，实际运用的风险也会大幅度降低。而一旦进入开发实用反应堆阶段，在产品制造方面拥有优势的日本企业

我们认为实现超级轻水反应堆为目标的课题，需要分散并降低开发风险。日本核反应堆厂家的人工费很高，从研发到实际投入运用，这期间有着承担不完的研究开发风险，这是不可否认的事实。目前的现状是到投资能收回为止的期间，不确定要素太多了，以至于无法大胆地进行研究开发投资。

之外，被采纳的还有钠冷却高速反应堆、铅合金冷却高速反应堆、超高温煤气反应堆、煤气冷却高速反应堆、溶解盐反应堆这5种核反应堆。与本国国内相比，各国更想率先引起国际社会的关注，也许正是出于这方面的考虑，引起国际社会关注被放在首要位置。特别是中国非常积极，大型电力企业——广东核电集团以及作为国家研究机构的核动力设计研究院等机构，都将实现超级轻水反应堆的试验反应堆作为重要研究方向，积极加以推进。此外，欧盟也在计划这种方式的燃料试验。在俄罗斯和加拿大，超级轻水反应堆的研究开发也同样在如火如荼的进行之中。

全世界都在密切关注超级轻水反应堆的今天，作为提案国的日本反倒停留在原地踏步的状态，其主要因为预算方面的原因。另外，大学方面的基础研究也是止步不前。冈教授这样指出。

“我们认为实现超级轻水反应堆为目

不确定要素太多了，以至于无法大胆地进行研究开发投资。进一步来讲，这个领域的国家预算主要是针对LMFBR（液体金属冷却高速增殖反应堆）以及核合成、大型加速器等方面的开发，所以投入轻水反应堆实际运用方面的预算，并没有像我们期待中的那样多。”

那么，针对超级轻水反应堆的开发，今后，日本应该采取怎样的方针政策呢？首先，要加强国际合作，特别是协助中国推行实验反应堆计划，这一点非常重要。正在积极推进这方面研究的广东核电集团，是代表国家的巨型企业，资金非常充足，而且中国政府也对这项成套设备的开发抱有积极的态度。可以认为中国是有能力进行超级轻水反应堆的研究开发，也有能力承担投入实际运用的风险。另一方面，中国目前也正在建立健全同欧盟的合作体制。而日本也有必要建立同中国以及欧盟的合作体制。并以这种合作体制为

就大有用武之地了。开发出的这种新型核反应堆，也将容易被众多的电力公司积极采用吧。

“有关国际合作方面，冈教授接着说：“来我们研究室留学的中国博士研究生们都在本国的大学担任教员以及研究员，是超级轻水反应堆研究开发的推进派。现在，在与中国开展的共同研究上，他们起到了与日本交流的窗口作用。我认为，像这样在人材方面的交流，对日本核能开发的国际性展开有着非常重大的意义。”

在国际合作的基础上，如果都能有效地运用各自的研究资源，推进研究开发，就能够早日实现超级轻水反应堆的实际运用。在经济性、效率、安全性等所有方面，世界的核能发电状况也一定会出现翻天覆地的巨大变革。

执笔：山田真记（自由撰稿人）

(减速材料中使用黑铅的核反应堆)以及重水反应堆(把重水浓缩作为减速材料使用的核反应堆)相比,它的优点在于小体积大输出,轻水价格便宜,不仅能大量地获得而且用于输出的成套设备制造费用也更加便宜经济。因其小体积大输出,所以也适用于舰船用反应堆。正因为有这些技术上的优点,现在一般的商用核能发电基本上都会使用轻水反应堆来进行。2007年以后,日本的高商用核能发电站的核反应堆,基本上都使用了轻水反应堆。

轻水反应堆根据轻水处理的不同,可以大致地分成加压水型核反应堆(PPWR)和沸水型核反应堆(BWR)。加压水型核反应堆是将由核裂变反应而产生的热能,作为一次冷却材料的加压水(压力很高的轻水)加热到 300°C 以上,通过蒸汽机让二次冷却材料的轻水沸腾,最终作为高温高压的蒸汽使涡轮发电机转动,从而产生电力。加压水型核反应堆除了应用于核能发电站的大型成套设备,也应用于核能航空母舰等小型成套设备。与此相反,沸腾型核反应堆是通过核反应堆直接产生蒸汽,并且利用所产生的蒸汽使发电机涡轮旋转。主要应用于核能发电站。与加压型核反应堆相比,沸水型基本构造相对比较简单,但是为了防止放射能被带到发电涡轮,这就需要进行有效的放射线隔离措施。

总而言之,如前文所述,小体积大输出、经济性较好的轻水反应堆占据了目前世界上核能发电的主导位置。而现存轻水反应堆性能更加优越的超级轻水反应堆,自然受到世界的关注。

超级轻水反应堆的优点

所谓超级轻水反应堆(正式来讲应该说是超临界轻水冷却反应堆),是将核反应堆冷却材料进行高温、高压的超临界轻水用于新一代发电的核反应堆技术,

以早稻田大学及东京等大学等为中心研究出来的核反应堆技术。

“超级轻水反应堆的概念,是1989年在研究新一代高速反应堆(使由核裂变反应产生的高速中子在不减速的情况下,使之产生连锁反应的核反应堆)时偶尔发现的。”超级轻水反应堆的发明者、早稻田大学理工学院教授冈芳明说。“实际上,该成套设备系统与早已广泛普及的超临界火力发电成套设备系统在原理上是同样的,在火力发电方面40年之前就得到了实际应用”。

水在临界点 374°C 、 22.12Mpa 以上的高温高压条件下沸腾现象逐渐消失,与蒸汽的区别也渐渐消失。这样的水被称作超临界压力水。超级轻水反应堆系统是在核反应堆冷却材料中运用超临界压力轻水(大约 500°C 、 25MPa),其全部容量直接运送到发电涡轮机进行发电。

那么,超级轻水反应堆与现存的核能发电相比较,又有什么样的优点呢?

冈教授继续说:“超级轻水反应堆的优点首先是构造简单,并且比现存的轻水反应堆在体积上更小一点。超级轻水反应堆不需要蒸汽机以及再循环系统,而这些都是目前核能发电站所必需的。此外,超级轻水反应堆仅利用较少的冷却水就可以运转(为现存轻水反应堆的 $\frac{8}{10}$)。这样成套设备的小型化就能够实现了。我们估算,容器容积为现存反应堆的一半。

另外从经济性角度来讲,在经济自由化的投资环境中,对发电公司来说,减少建设费用已经成为新建工程的重要条件。正因为建设费用较低,综合型蒸汽涡轮机火力发电设备被多数发达国家及发展中国家引进。由于该火力发电设备,使用了喷气式发动机技术,在发电领域实现了蒸汽涡轮的大型化,可以说是发电技术的一项重大革新。而核能发电想要与其对抗,能大大降低建设费用的核能发电技术革

新成为当务之急。在这种背景下,体积小、建设费用低廉的超级轻水反应堆构想,被认为是实现目标的捷径。”

另一方面,在热效率方面,超级轻水反应堆也有突出的优点。与现存的轻水反应堆相比,冷却水的压力(气压)如果采用加压水型其热效率为157,如果采用沸腾水型的则是72,同此相比,超级轻水反应堆则为250。在热能的利用效率方面,就目前情况来讲,加压水型、沸腾水型都约为35%,而使用超级轻水反应堆则能提升到44%。就电力输出情况来看,加压水型为118万千瓦,沸腾水型为113.7万千瓦。相比之下,超级轻水反应堆则能达到120万千瓦。成套设备体积小且建设费用低廉,再加上热效率高,我们可以认为这些都是超级轻水反应堆最大的优点。

那么,在我们一向关心的安全性方面又会是怎样呢?

冈教授接着说:“像超级轻水反应堆那样的贯流直接循环成套设备,是用最简单构造建成的,所以非常易懂。超级轻水反应堆的安全管理基本原理是确保反应堆中心的流量(成套设备内的轻水流量的监测及保证),与以往的轻水反应堆的水位确保相比,它更容易监测和确认。这消除了因水位的确认错误、满水加压之类引起TMI事故等原因。我可以毫无疑问地说在安全性方面是没有任何问题的。”

另外,该成套设备系统,还可能实现对燃烧铀钚混合燃料的高速反应堆的支持。虽说铀的增殖可能性是今后要探讨的课题,但其优点是在冷却材料中,可以不使用在安全性上要求严格的钠。我们也期待不远的未来可以实现混合燃料高速反应堆的应用。

以实用化为目标的国际合作

正如前面所讲的那样,美国能源部