

## 日本核能行政管理机构及核电现状

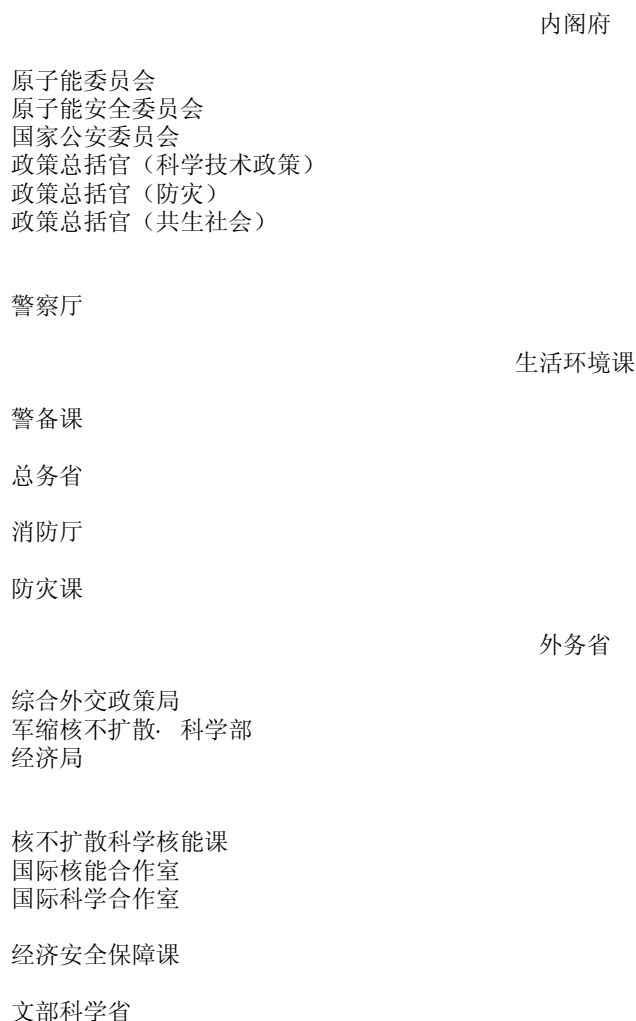
能源资源有限的日本为了构筑更加稳定的能源供给，核能的开发利用是其必然选择。目前，日本核电占其总发电的1/3左右。这是日本核电工业历经四十多年发展所取得的辉煌成就。本文旨在介绍日本核能行政管理机构——原子能委员会及其发挥的作用，以及日本核发电现状。

### 一 日本核能行政管理机构及其作用

日本核发电占其总发电的1/3左右，为日本经济的发展发挥着巨大作用。日本核能研发利用几十年来取得的辉煌成就离不开日本政府的核能政策及有效的管理。作为日本核能行政管理的组织机构，由1956年最初的日本原子能委员会·原子能局的5个课发展到了现今由内阁府原子能委员会[1]、原子能安全委员会、国家公安委员会、政策总括机构及各省内设置的与核能利用有关的70多个课室（参见图1）。

日本内阁府所属的原子能委员会以《原子能基本法》为依据，根据日本每年及长期原子能规划，制定为达到预定目标的原子能政策措施；原子能委员会还具有根据其所掌握的情况认为有必要时，通过内阁总理大臣向相关行政机构负责人提出意见及劝告之职能。该委员会由委员长1人及4名委员组成；每星期二召开例会[2]。下设“新规划制定会议”等十个专业分会（参见图2）。原子能安全委员会负责核安全法规制度的相关事宜。

图1日本核能相关行政机构[3]现状



科学技术·学术政策局核安全课  
核规制室  
防灾环境对策室  
放射线规制室  
保障措施室  
研究振兴局基础研究课  
量子放射线研究推进室  
研究开发局开发规划课  
地域布局对策室  
原子能计划室  
核融合开发室  
放射性废弃物规划室  
核能研究开发课  
水户核能事务所  
[独立行政法人]  
放射线医学综合研究所  
理化研究所  
日本核能研究机构

#### 厚生劳动省

大臣办公厅厚生科学课  
医政局指导课  
医事课  
经济课  
国立医院课  
医药食品局总务课  
监视指导·麻药对策课  
劳动基准局  
安全卫生部规划课

#### 农林水产省

农林水产技术会议事務局技术安全课  
研究开发课

#### 经 济 产 业 省

制造产业局产业机械课  
资源能源厅  
电力天然气事业部政策课  
电力市场整備课  
电力基础整備课  
电源地域整備室  
电源分布对策室  
电源流通对策室  
核能政策课  
放射性废弃物等对策室  
核能宣传室  
核燃料循环产业课  
核能安全·安保院规划调整课  
国际室  
核能安全宣传课  
核能安全技术基础课  
核能安全特别调查课  
核发电安全审查课  
核发电检查课  
核燃料循环规定课  
核燃料管理规定课  
放射性废弃物规定课  
综合废止措施对策室  
核防灾课  
核事故故障对策室  
电力安全课  
[独立行政法人]  
核安全基础机构  
[认可法人]  
核发电环境整備机构

#### 国土交通省

综合政策局技术安全课  
海事局规划课  
安全基准课  
检查测度课  
铁道局技术规划课  
安全对策室  
港湾局环境技术课  
汽车交通局  
技术安全部航运课  
海上安保厅警备救难部警备课  
环境防灾课  
气象厅规划课

环境省

水·大气环境局

大气环境课

## 图2日本原子能委员会

原子能委员会

市民参加恳谈会  
研究开发专业分会  
核融合专业分会  
放射性废弃物（非发热性）处理技术探讨会  
食品照射专业分会

委员会的日常事务由设在内阁府本部的政策统括官总括处理。  
但是，属于相关行政机构负责的事项则同该当机构的负责部门共同处理。

新计划策划制定会议  
综合规划评价分会  
放射线专业分会  
核发电核循环专业分会  
国际关系专业分会

注：各分会、恳谈会可下设任务小组等。

参与

资料来源：日本原子能委员会：《核能政策大纲》，2005年10月。

日本核能的研发利用长期以来始终按其规划逐步发展至今，应该说核能的有效利用为能源贫乏的日本降低对外能源的依赖、提高能源的稳定供给等做出了巨大贡献。目前，日本原子能委员会在制定核能政策时遵循的原则是，在核设施的设计、建设、运营、废置、放射性废弃物处理以及核燃料的运输等各个阶段都在确保安全的大前提下，逐步取得国民的理解。基于“①确立稳固的‘中长期不动摇’的国家战略与政策框架。②各政策措施的实施以及具体时间要具有应对国际局势、技术发展趋势等的‘战略弹性’。③深化国家、电力公司、厂家间的建设性合作关系。④重视按着国家战略的个别的地区对策。⑤确保基于‘开放公平辩论’前提下决定的政策的稳定性。”等基本方针[4]。1956年至2005年日本先后出台了10次《原子能政策大纲》。2005年《原子能政策大纲》的基本目标为：①至2030年及以后核发电占其总发电量的30~40%以上。②推进核燃料的循环利用。③实现高速增殖炉的实用化。为了实现上述目标，2006年8月日本制定了《原子能立国规划》；而日本最新推出的《新·国家能源战略》，更是将其作为该能源战略的重要组成部分。

## 二 日本核电现状

### 历史沿革

(1) 核开发日本的核试验最早始于1941年4月，日本物理化学研究所受当时陆军航空技术研究所（所长）安田武雄中将的委托开始了核爆炸实验。该研究由日本物理学家仁科芳雄负责，两年后的1943年1月，仁科提交了“有可能将铀235通过热扩散法浓缩实现核爆炸的”

研究报告。之后，日本以此为依据开始了核爆炸开发计划“二号研究”；但是，至1945年3月分析其所获取的样本未能得到预期的、清晰的浓缩效果，计划以失败告终。在此期间，日本海军方面也进行了以京都帝国大学荒胜文策教授为中心的“F研究”核开发。该研究采用离心分离浓缩铀法试图获取核爆炸材料浓缩铀，但是，实验还在处于设计装置阶段就迎来了二战的结束，所以，“F研究”也落下了帷幕[5]。

如果说上述开发，日本是以军事利用为目的的话，那么，以和平利用为目的的核能开发同样可上溯至20世纪50年代中期。1954年日本的核能开发预算（2.35亿日元）首次得到国会通过[6]。在同年3月发生了日本称作“第五福龙丸事件（也称“比基尼事件”）”的美国氢弹核试验[7]，这尽管加剧了学界等对巨额核能开发预算本身的诱惑及核能是否会被军事利用的担忧，但是，在日本政府相继出台“所有核能开发在公开及研究人员民主运营下自主进行”的“自主、民主、公开”三原则、1955年颁布《原子能基本法》（尽管“公开原则”在此却异变为了“公开成果”）及1956年成立原子能委员会后，1958年日本还是开始了全面的核能开发。

日本的核开发，二战后虽然从开始就在宣传其为“唯一核武受害国，因此，更应和平利用核能、将‘和平利用’与军事利用彻底分离”的渲染下进行，但是，事实上核能开发并未真正在民主前提下进行，其研制内容等也未得到公开；而且，在还未得到试验数据的情况下就开始引进核电设备及着手建设。

(2) 核电开发1957~1962年的五年期间，日本由其核能研究所先后研制开发了JRR-1、JRR-2、JRR-3研究炉；首次发电成功是1963年10月26日在茨城县东海研究所内由美国GE公司设计、日本日立制作所和株式会社核能事业为中心制造的动力试验炉（JPDR: Japan Power Demonstration Reactor）。继之，1966年7月从英国引进的卡德霍尔（Calder hall）改良型核电设施在茨城县东海发电站（GCR）投入运行，从此，拉开了日本核电的商业运营序幕。但是，与英国的核电设施相比较，美国的发电设施占地面积小、建设费用也较低，因此，日本各电力公司又转而连续引进美国的压水及沸水反应堆发电炉（PWR、BWR[8]）。如，于1970年11月关西电力（福井县福）引进的美滨发电站1号（PWR）及1971年3月东京电力（福岛县大熊市）福岛1号（BWR）等[9]。

1973年的石油危机[10]给当时石油依存度超过70%的日本造成了巨大冲击，加速了日本的核电站建设。1975年至1985年十年间，日本产官学通力合作，通过3次“反应堆标准化规划（参见表1）”工程，将原本依赖美国的反应堆技术本土化——日本反应堆，其结果，无论是故障率还是运转率及作业人员的被辐射率，日本都处于世界顶尖水平。1996、97年东京电力更是将先进沸水反应堆（ABWR、136.5万KW）首次在柏崎刈羽6、7号机组中投入运行[11]。1999年日本有52台核电机组，总装机容量为4,508.2万KW，另外还有3台机组（装机容量：330.5万KW）在建设中。

表1日本反应堆的标准化

时间 实施机构		第1次标准化	第2次标准化	第3次标准化
		1975~1977年	1978~1980年	1981~1985年
主要 成果 ( 提 高 可 靠 性 及 运 转 率		设备利用率 约70%	设备利用率 约75%	①先进沸水堆的开发标准化 A-BWR: 采用内部水泵、新型控制棒驱动结构、高性能燃料等 A-PWR: 采用大型炉芯、高
		采用耐SCC材料 改善蒸汽发生器等	控制棒驱动机构的改良 燃料的改善等	

也是第3次规划的主要内容)	缩短定期检查的时间	定期检查约85天 以往机组90~100天 容纳器的大型化 改良燃料交换机	定期检查约70天 采用控制棒驱动机构自动交换机 改良燃料检查系统等	性能燃料等 ②改良原有压水堆 改善定期检查（主要是涡轮系统）、改良废弃物处理设备 及建设方法等 ③标准化项目 耐震设计、许可关联事项、 废弃物处理方法等的标准化 确立标准机组的基本程序	
	减少作业人员被辐射量	以往的75%左右 防止产生覆盖及制定去除对策 蒸汽发生器细管检查的自动化	以往的50%左右 扩大ISI（供用期间中的检查）自动化范围 水质分析装置的自动化等		
典型机组	BWR	福岛2号（运行中） 浜冈3号（运行中）	柏崎刈羽2号（运行中） 柏崎刈羽5号（运行中）	ABWR	柏崎刈羽6、7号（运行中）
	PWR	内川1号（运行中） 敦贺2号（运行中）	玄海3号（运行中） 玄海4号（运行中）	APWR	敦贺3号（预计2010年投入运行） 敦贺4号（预计2010年后运行）

资料来源：核能手册2003年版，日本核能产业会议。

### 核电现状

(1) 现状进入21世纪以来，日本核电产业继续稳步发展。2001年实际运行中的核电设施虽与1999年时没有变化（52台机组），但建设中的有5台机组，还有6台机组（1999年2台）在筹建；这组数据至2005年进一步发展为运行中的核电机组54台、在建中4台、筹建9台（参见表2）。

表21994~2006年日本核电机组变化

	1994年	1999年	2001年	2003年	2005年
运行中（台）	48	52	52	52*	54**
装机容量（万Kw）	4036.6	4508.2	4508.2	4574.2	4822.2
建设中（台）	4	3	5	3	4
装机容量（万Kw）	471.7	330.5	494.3	383.8	392.3
筹建中（台）		2	6	8	9
装机容量（万Kw）		218.3	723.9	1031.5	1273.5

资料来源：根据<http://sta-atm.jst.jp8080>“日本核电站现状”相关年份整理。

\* 2003年建设中的核电机组3台比2001年少了2台，但运行中的总台数没有变化，原因在于期间有两台较早开始运行的机组停止了运行。

\*\* 截至2005年12月31日。

2005年日本核电站设备的平均利用率<sup>[12]</sup>（沸水反应堆BWR，31台总装机容量2775.6万Kw利用率63.4%、压水反应堆PWR，23台为76.5%）为68.9%，较2004年（59.7%）增加了9.2%；核能发电占其总发电的29.1%，较上年（25.7%）增长了3.4个百分点，有较大幅度的增加。尽管核电占其总发电的最高值（1998年）36.8%还有距离，但核发电作为日本电源的基干产业已不可动摇，解决其燃料供给的核燃料循环、核废料处理等也取得了实质性进展。

截至2005年底日本的54个核电站分布于日本14个县，由10家电力公司负责运行。其中负责东京首都圈供电的东京电力具有17台核电机组（1730.8万Kw）、负责大阪神户京都的关西电力11台机组（976.8万Kw）、负责九州圈的九州电力6台机组（525.8万Kw）、四国圈的四国电力3台机组（202.2万Kw）；所发电量分别占各地区发电的40%、47%、44%、48%<sup>[13]</sup>。核电无论对日本全国还是各个地区都是重要的电力供给来源。而电力系统的稳定运行各电网的联网是极有效的途径，但是由于历史原因，日本的发电频率东日本（50赫兹）和西日本（60赫兹）不同，需通过“交流—直流—交流”转换才能互相联网。长期以来这使日本电力东西融通，提供更加稳定的电力受到一定的限制。（日本核电机组详细分布状况请参见附表）

(2) 核废料的处理 核发电的核废料处理宗旨就是通过使用各种技术尽可能地捕捉放射性物质，并将其固体化防止其向周围环境的扩散。装机容量100万千瓦的核电机组运行一年，

会排出20吨左右的核废料，其中残存的铀、钚等是可循环使用的贵重资源。铀核裂变所释放的射线包括对铁锈等都具有辐射作用，而且核发电机组运行中产生气体、液体及固体等低辐射废弃物。核废料的处理，首先通过对这些气体、液体的过滤、蒸发、浓缩等提取放射性物质，使其达到可排放的安全基准后排出。而取出的放射性物质被固化到水泥、塑料等物体中并密闭封存于铁桶后存放在核电站专用仓库中加以保管；包括作业中使用过的工作服、手套等可燃物使用后在特制的焚烧炉中焚烧，不可燃物则同样通过处理封存后加以保存。应该说核电站使用后的放射性核废料，总体上为低辐射核废弃物。

(3) 核电设施的使用寿命 日本的核电设施根据其维持基准法律规定每年要进行定期检查，不断确认设施的安全性。而其使用年限，日本与美国不同，没有法律规定具体的运行年限[14]。核电设施设计通常以40年左右为目标，运行开始后三、四十年，业者对其进行的安全检查给予综合评价，并接受国家相关部门的审查。通过更换零部件核电设施一般可再延长20年左右的寿命，但是，如果更换零部件、修补设备等的费用超过其收益，停止运行核电机组使其退役是更明智的选择。由于核电设施中存在放射性物质，所以对停止运行退役的核电设施必须进行处理。拆除、解体核电设施时，全部提取反应堆内核燃料之后，按照设施被辐射程度的高低，依次进行。被辐射较严重的核设施辐射的衰减需要较长时间，因此，在等待这些核设施辐射度衰减的同时对没有被辐射及辐射程度较低的部分进行拆除；一台核电机组的全部解体拆除大约需要10年左右的时间。事实上，日本实际上已取得了拆除核电机组的经验，即对日本核能研究所研制的日本首个核发电动力试验炉在1976年停止运行后进行解体拆除，其原址目前已完全得以恢复，可以自由出入。

### 三 与美法中核电现状比较及展望

2005年底全世界运行中的核电机组总计439台，总装机容量为38505.4万KW；建设中的有36台机组，装机容量3140.5万KW；筹建中的有39台，装机容量4006万KW。其中，美国有103台(装机容量10274.5万KW)、法国有59台(6602.0万KW)、中国有9台(699.8万KW) [15]。

2005年美国31个州103台核电机组总计发电7830亿千瓦时，占其总发电量的20%（美国电力结构：火电占51%、天然气15%、其他14%）[16]。美国核能学会（NEI）指出，过去十年美国电力需求增长了25%，核电工业在没有新增核电机组投入运行的情况下，保持了20%的电力供应份额。美国由于受1979年宾夕法尼亚三厘岛核电站局部泄漏以及后来切尔诺贝利核电站灾难性事故的影响，其核工业沉寂了相当一段时期。然而，美国不断增长的电力需求、CO<sub>2</sub>排放环境问题等都使美国不得不改变对核电的态度，继上一座核电站建设30年之后，核电业出现了复苏迹象。2005年美国国会通过的一项专门法案也为加速其核电项目建设提供了法律依据。根据美国能源部预测，到2030年，美国的电力需求将增加50%（需要新增装机容量3亿千瓦）。核电如果在2030年仍保持20%的份额，则必须新增6000万千瓦的装机容量，即60台百万千瓦级核电机组。目前，已在规划的核反应堆有13座，还有三项提交到核能管理机构NR C，也有望2007年获得批准[17]。

法国的核电工业起步于上个世纪70年代，目前有59座机组运行，发电量更是占其总电量的80%左右，是世界第二核电大国。法国的核电机组数量虽然与美国相差许多，但是，由于法国的机组大多是在1980年以后建设的，所以，法国拥有世界上新一代核电容量最大、技术最先进的核电机组。而且，法国的核电建设成本为世界平均投资水平的一半、运行成本也比美国低40%。显然，核电在法国电力及能源中占据重要位置，为法国经济发展及良好的生态环境做出了重要贡献。另外，法国电力公司每年净出口电力达720亿千瓦小时，是欧洲第一大电力出口公司、世界第二大电站出口商。法国通过向国外出售核电、核燃料循环产品及相关服务，每年为法国赚取280多亿法郎。法国之所以能够在较短的时间内建设五十几座核电机组并没有出现过重大安全问题，重要原因之一在于法国的核电机组虽有多种不同系列，但都有统一的安全和运行标准，实现了机组的标准化和系列化，并采用总体工程管理模式。2006年10月欧盟批准法国新建的下一代高效能原子反应堆，预计在2012年正式投入使用，2020年之前



可发展成为成熟技术得以推广。

中国核电工业经过20多年的发展，初步形成了设计、建设和运营的核电工业基础。目前，形成了浙江秦山、广东大亚湾和江苏田湾三个基地。2005年中国有9台核电机组投入运行，装机容量达到700万KW，占总装机容量和总发电量的1.7%和2.3%。

在核电设计上，中国具有自主设计建设30万千瓦和60万千瓦压水堆核电站的能力；也具备以我为主、中外合作设计建设百万千瓦级压水堆核电站的能力。中国自主设计的第一座秦山一期核电站1991年投入运行以来已经安全运行了15年，多项指标达到了世界核电运营者协会（WANO）性能指标规定的世界先进水平。在核电技术研发上，中国虽然核能民用起步晚，但是，核工业建立了专业齐全的科研体系，有一支较高水平的科研队伍，建成了具有国际水平的核动力技术试验基地，基本上可以满足自主设计的需要，为核电技术进步和后续发展提供了有力保证。在核电设备制造上，通过“八五”、“九五”期间国产化的基础设施建设，中国的核设备设计、制造能力得到了很大提高。除了少部分如主泵、数字化仪控系统等设备以外，基本具备了设计和制造百万千瓦级压水堆核电机组大部分设备的能力。在核燃料保障上，从铀地质勘探、同位素分离及核电站燃料元件都实现了国内自主生产，质量达到国际先进水平，形成了较完整的核燃料循环工业体系。同时，中国核工业半个多世纪的时间建立起来的安全技术支持体系，在机组的安全运行、放射性废物处理、环境保护等方面都发挥了重大作用。

2006年3月，国家通过的《核电中长期发展规划》指出，到2020年，核电在全国发电装机容量中的比例要占到4%，核电投运规模将达到4000万千瓦，因此，中国的核电具有广阔的发展空间。据此，需要在未来15年左右期间，新开工建设30台左右的百万级核电机组。总之，中国核电在技术研发，工程设计、建设，设备制造，项目、营运管理等方面具备了相当的实力，为核电的快速发展奠定了坚实的基础。

日本核电的发展虽然起步的基础源于美国，但是，经过半个世纪的不懈努力，目前在许多领域都处于世界领先水平，同美国和法国成为世界三大核电大国。从表3中可以看出，日本加上在建及筹建的核电机组，已与法国旗鼓相当；而中国较日本还有相当的差距。

表3 2005年日本与美法中核电现状（KW，台）

国 家	运转中		建设中		筹建		合计	
	发电功率	台数	发电功率	台数	发电功率	台数	发电功率	台数
美国	10274.5	103	392.3	4	160.0	1	10274.5	103
法国	6602.0	59	300.0	3	1273.5	9	6762.0	60
日本	4822.2	54			630.0	7	6488.0	67
中国	699.8	9					1629.8	19

资料来源：日本原子能产业协会：世界核电开发动向2005年度报告（2006年5月）p.5

中国总发电规模2003年时就仅次于美国，为日本的1.5倍；而需求在一段时期内仍呈上升态势，同时，环境保护的不容忽视等，都要求加快核电的开发。因此，学习、借鉴国外的成熟经验为中国核电事业所用，是中国核电工业快速发展的捷径。本文虽然仅介绍了日本核能研发利用的最高管理机构及核电发展历程，但从中还是不难发现日本有效的组织管理及坚持长期稳定及具有连续性的核能发展战略，即使是连美国都因受“事故”的影响，对核电的利用产生动摇，新的核电站建设更是停顿了20多年也没有改变日本的核电发展步伐。

另外，目前日本的核电企业通过与美国的通用（日立）、西屋（东芝）和法国的阿海珐（三菱重工）世界核电工业的三大巨头联盟，形成了以日系企业为中心的国际核电企业三足鼎立局面，因此，中国的核电发展需要国际合作、需要和世界顶尖的核电企业合作，这当然应包括与日本的合作。

附表截至2005年底日本核电站分布

核电业者	机组名称	地址	炉型	装机容量 (万KW)	运行时间 年 月 日
运行中					





合计			54台	4822.2		
建设中						
核能研究机构 北陆电力 北海道电力 中国电力	u)	文殊 (monjyu)	福井县敦贺市	FBR	28.0	1994.04
		志贺核能2	石川县羽咋郡志贺町	ABWR	135.8	2006.03
		泊3	北海道古宇郡泊村	PWR	91.2	2009.12
		岛根核能3	岛根县八束郡鹿岛町	ABWR	137.3	2011.12
合计			4台	392.3		
筹建中						
中国电力		上关核能1	山口县熊毛郡上关町	ABWR	137.3	2014年
		上关核能2	同上	ABWR	137.3	2017年
电源开发		大间核能	青森县下北郡大间町	ABWR	138.3	2012.03
日本核电		敦贺3	福井县敦贺市	APWR	153.8	2014.03
		敦贺4	同上	APWR	153.8	2015.03
东京电力	7	福岛第一核能	福岛县双叶郡大熊町 双叶	ABWR	138.0	2012.10
		福岛第一核能	同上	ABWR	138.0	2013.10
		东通1	青森县下北郡东通村	ABWR	138.5	2014年度
		东通2	同上	ABWR	138.5	2016年度后
合计			9台	1273.5		
总计			67台	6488.0		

注：ABWR:先进沸水堆，GCR：瓦斯冷却炉，ATR：新型转换炉，FBR:高速增殖炉。

资料来源：《世界核电开发动向2005年度报告》，日本原子能产学协会编辑出版，2006年5月，p.88-91、p.142-143。转引自<http://mext-stm.jst.go.jp>

(朴光姬)

[1]设立于昭和31年1月1日（1956年），委员长由科学技术厅长官担任。目前，随着平成13年1月（2001年）日本中央省厅等的改革，原子能委员会改为隶属内阁府，其委员长也改由相关专家来担任。

[2]该例会为闭门会议，不可旁听。

[3]资料来源：根据日本核能委员会：《核能政策大纲》“核能相关行政组织”（2005年10月），整理绘制。

[4][日]日本原子能委员会：《原子能政策大纲》，参见<http://aec.jst.go.jp>

[5]参见“日本核能开发史前史”，<http://www.nuketext.org/history.html#Anchor-23240>

[6]“历史”，Atsushi Kusano, May, 8, JST 1997.

[7]1954年3月1日，美国在马绍尔群岛的比基尼环礁进行了代号为“称赞（Bravo）”的氢弹核试验。当时在距离核试验场所东160公里处进行捕鱼的本日本第五福龙丸渔船，尽管处于美国设定的其核试验危险区域外，但在船上作业的23人都遭遇到了从空中飘落下来的白色粉末（而这正是氢弹爆炸时被烧焦、被辐射的珊瑚礁成为灰尘浮入上空再飘落下来的粉末）的浇洒，3月14日该船返航，所有人员被诊断为“急性放射症”入院；而此船捕捞回来的2500头鱼也都被检测出受到了核辐射，不得不被废弃处理。此事在该船返航后的两天，3月16在日本《读卖新闻》报上整版报道，使问题社会化，从此称此为“第五福龙丸事件”。

[8]PWR（Pressurized Water Reactor）：压水反应堆。指在使反应堆容器中的水（一次冷却材料）不沸腾的前提下加压至160个气压，然后通过燃料铀产生的热能使其成为320度的高温水。将此高温水送入蒸汽发生器，再通过蒸汽发生器使二次冷却材料轻水沸腾，最终此高温高压的蒸汽带动涡轮发电机运行发电。BWR（Boiling Water Reactor）：沸水反应堆。是通过燃料铀产生的热能加热冷却水，使其产生70个气压、280度的蒸汽。是使反应堆发生的蒸汽直接使涡轮发电机运行发电的方法。

[9]参见<http://www.iaea.or.jp>

[10]1973年10月16日，石油输出国组织（OPEC）为了抗衡欧美对石油价格的支配，决定将石

油出口价格从每桶3美元高到12美元每桶，因此，引发了石油危机。据估计，此次石油危机使美国、欧洲、日本等国内生产总值分别下降了4.7%、2.5%、7%。

[11][日]《核能的全部》编辑委员会：《核能的全部》，参见<http://www.genshiryoku-subete.jp>

[12]设备利用率(%)=[总发电量(千瓦时)/(输出功率\*时间)]\*100

[13]参见附表及《核能的全部》，<http://www.genshiryoku-subete.jp>

[14]美国法律上规定核发电机组使用年限为40年，但最近根据各个方面的相关情况有将此年限延长至60年的动向。

[15]数据来源：日本核能产业协会：“世界核能发电开发动向2005年度报告”，p.5。转引自<http://mext-atm.jst.go.jp>

[16]参见<http://www.caea.gov.cn>：“2005年美国核发电量接近历史最好水平”，2006年3月8日。

[17]MARTIN DOWIDEIT：“核电的蓬勃兴起”，译自[德]《世界日报》2006年6月21日（<http://www.helmholtz.cn>）。