

(重点摘要)

亚洲/世界 能源展望 2016

—国际能源新形势下对全球3E+S的思考—

IEE
JAPAN

October 2016
The Institute of Energy Economics, JAPAN

50th
ANNIVERSARY

(Translated by Lu Zheng)

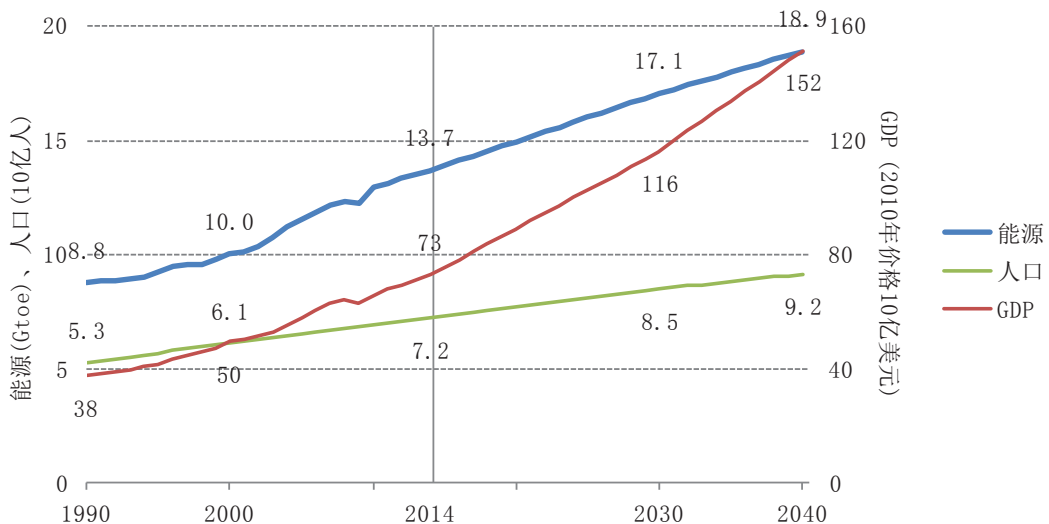
概要

世界能源供需展望

需求

2014年到2040年的26年里，世界人口增加19亿人，世界经济扩大到现有规模的2.1倍。能源消费也从2014年的石油当量13,699百万吨(Mtoe)持续增加到18,904 Mtoe(基准情景,下同)。为了产出1,000美元的国内生产总值(GDP)所要消费的能源,从2014年到2040年将减少3分之1,节能取得一定的进展。即使如此,同期的世界能源消费的增量5,205 Mtoe也很庞大,相当于中国和美国这两个分列世界第1、第2的消费大国当前消费量的总和。1990年至2040年的50年间,消费量膨胀到2倍以上。

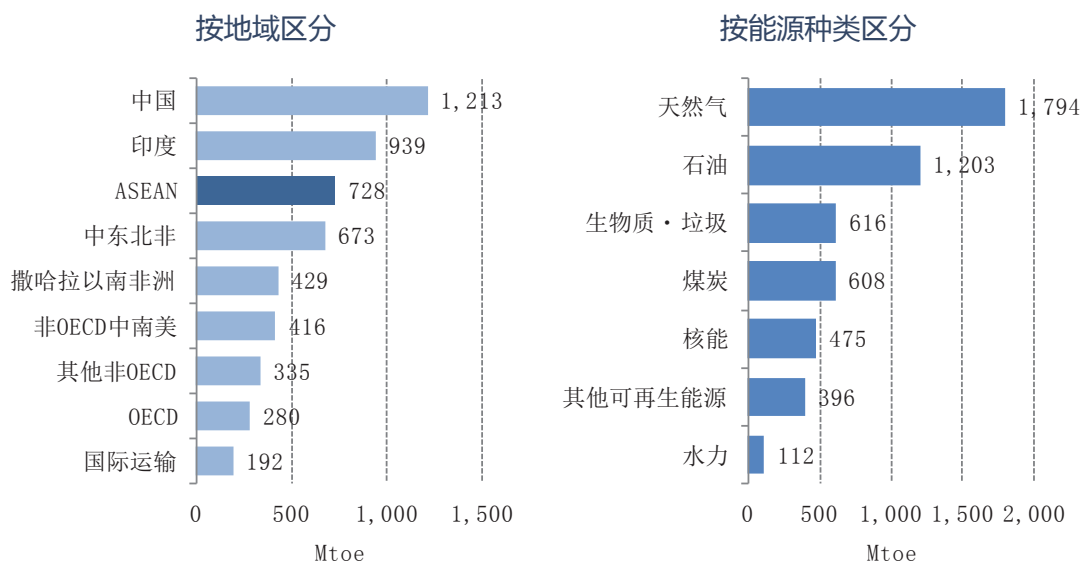
图1 世界的实质GDP、人口、一次能源消费



从地域上来看,能源消费的增加绝大多数来自经济合作与发展组织(OECD)成员国以外的地区。非OECD国家中,中国、印度、东盟(ASEAN)的增加最为显著,其增量2,879 Mtoe相当于日本现在的年消费量的6倍以上。相比之下,OECD的增量仅占世界消费增量的5%。

为了满足这些新生的庞大的需求,首推以天然气、石油为中心的化石燃料。虽然非化石能源被寄予厚望,但预测期间内,非化石能源每增加1 toe的同时,化石能源将增加2.3 toe。化石能源的比例与现今的81%相比将会下降,但到2040年仍会占人类所需能源的78%。

图2 世界一次能源消费增量[2014-2040年]



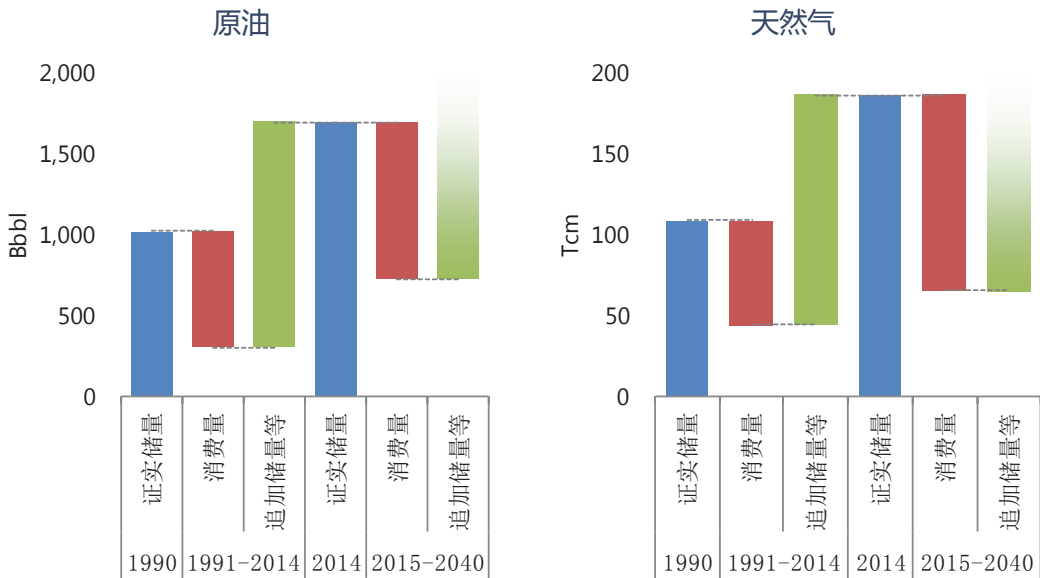
石油今后的增量虽然低于天然气，但到2040年仍是消费量最多的能源。近年，受与前几年相比低油价的影响，石油的消费量每年增加1.5百万桶当量/日(Mb/d)。预计石油消费量今后也将持续稳步增长，2020年代中期超过100 Mb/d，2040年达到114 Mb/d。增加主要来自非OECD国家。特别是，中国将在2030年代初期超越美国成为世界最大的石油消费国。印度今年超过了日本，2030年代中期会超过欧盟(EU)，2040年达到10 Mb/d。

天然气消费量的增加大于其他任何能源，预计将在2040年前超过煤炭成为第2大能源。在美国，天然气会在2030年前超过石油，成为最大的能源。2040年之后5年左右同样的情况也会在EU发生。另外，利用天然气的地域也将更加多样化。现在，美国、欧洲、前苏联这3个地区消费了全世界53%的天然气，而到2040年这些地区之外的消费份额会达到62%。

煤炭在本世纪的头10年里大幅增长，占同期世界能源消费增量的半壁江山。但是，最近其增长势头急速钝化，今后其消费总量虽然仍会保持增加，不过各地区的差异会相当大。欧美的消费将持续减少，而在中国和印度，煤炭将会继续支撑其旺盛的能源需求的过半或40%以上。ASEAN国家反而会提高对煤炭的依赖程度，煤炭会占到其能源消费总量的4分之1。对亚洲来说，煤炭是不可或缺的，作为应对气候变化问题的现实的手段，有必要在煤炭的清洁利用上下功夫。

不仅限于资源丰富的煤炭，对于石油、天然气来说，仅靠以现在的技术·经济性可以利用的资源量-证实储量-就可以满足今后四分之一一个世纪的消费(图3)。此外，如果算上通过技术进步等带来的储量增加和未证实的储量，从世界整体上来看，由资源枯竭带来的供给制约的发生可能性很小。值得忧虑的是，近年的原油·天然气价格的大幅波动会妨碍正常的投资。

图3 证实储量和期间消费量



电力的终端消费，今后仍将在处于不同发展阶段的各国·地区都保持增长(图4)。其中增长最显著的是非OECD国家。今后26年的增量的排名依次是中国、印度、美国、EU、印度尼西亚。其结果是，中国将维持自2011年以来的最大电力消费国的地位，印度超过EU和日本，成为排在美国之后的第3大消费国。

图4 电力终端消费

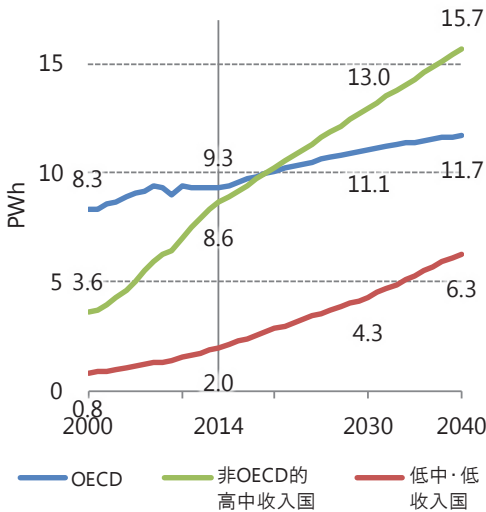
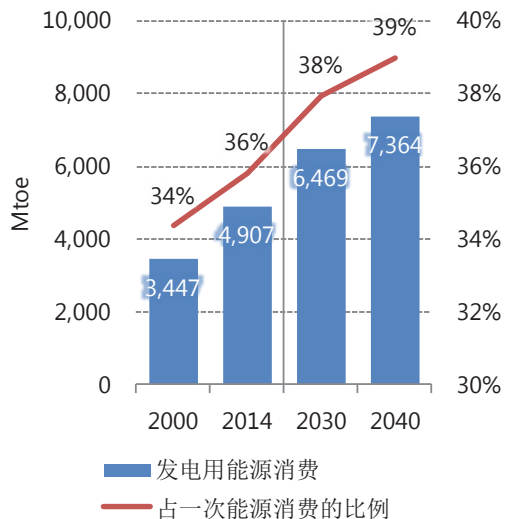


图5 世界的发电用能源消费



注: 低中·低收入国是指2014年时的人均实质GDP在\$4,000以下的国家和地区

伴随着电力消费的增长，全球的电力供给（发电量）也急速增大(图5)。2000年时用于发电的能源占一次能源消费总量的3分之1强，虽然发电效率会持续提高，但到2040年将约有4成的能源用于发电。用于发电的煤炭达到其消费总量的62%。

供给

在至2020年的全球原油生产的增量中，来自中东的石油输出国组织(OPEC)加盟国及北美的增量将占9成左右(图6)。OPEC的增产动力主要来自拥有全球最大生产能力的沙特阿拉伯、被解除经济制裁的伊朗、保有大规模的生产潜力的伊拉克等国。在北美，页岩油的生产性在持续上升，伴随着原油价格的缓慢回升，非常规石油将引领增产。不过北美和欧亚大陆的生产量在2030年左右达到峰值，非OPEC生产国在全球供给中的份额将从2014年的60%降低到2040年的54%。

到2040年主要地区间的原油贸易将从2015年の38 Mb/d增加到48 Mb/d。伴随着需求的减少和北美的增产，OECD国家的进口将减少，但中国、印度、ASEAN等新兴国家为了满足不断扩大的需求而增加的进口会推升全球的贸易总量。对亚洲来说，来自北美、非OECD欧洲/中亚的供给增加会在一定程度上促进供给源的多样化，但来自中东和非洲的供给量到2040年仍将占进口总量的8成(图7)。

图6 主要地区的原油生产

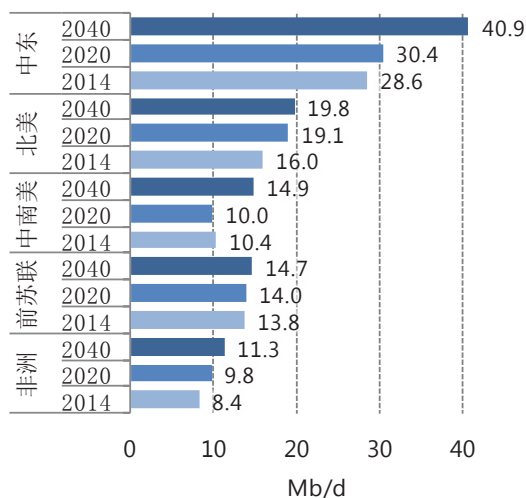
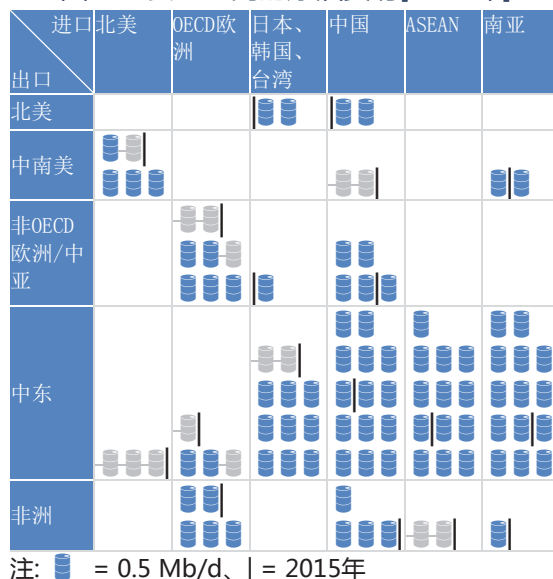


图7 主要地区间的原油贸易[2040年]



天然气的生产量从2015年到2040年将增加63%(图8)。最近随着原油价格走低全球的上游投资在缩小，但北美的页岩油伴生天然气仍在稳步增加。俄国为了增加出口在推动新气田的开发。在中东，伊朗和能源需求在不断增加的沙特阿拉伯两国将引领生产的扩大。在亚洲，中国和印度在推动对本国天然气资源的开发。特别是中国如果在2025年以后大规模推动页岩气的开发投资的话，其产量会进一步扩大。在非洲，莫桑比克和坦桑尼亚等新兴液化天然气(LNG)供给源的登场将推动全球生产量的增加。

主要地区间的天然气贸易到2040年将由2015年的511十亿 m^3 (Bcm)增加到887 Bcm, 增幅为74%。与原油不同, 其贸易量的增速将超过生产量的增速。至2030年, 出口增加最多的地区是大洋洲和北美, 这些地区有很多LNG项目计划在2020年代前期建成。2030年之后贸易量的增速将稍微放缓。其主要原因是, OECD的需求增加将钝化, 中国和中南美的页岩气生产将取得长足进展。从2016年开始的北美的LNG出口在2040年将成为世界上主要的供给源之一(图9)。管道贸易方面, 从俄罗斯向中国的出口显著增加。

图8 主要地区的天然气生产

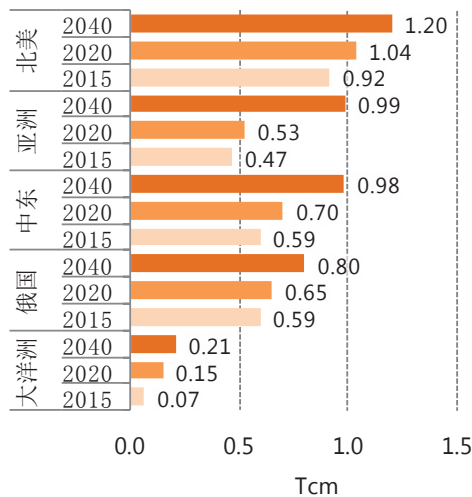
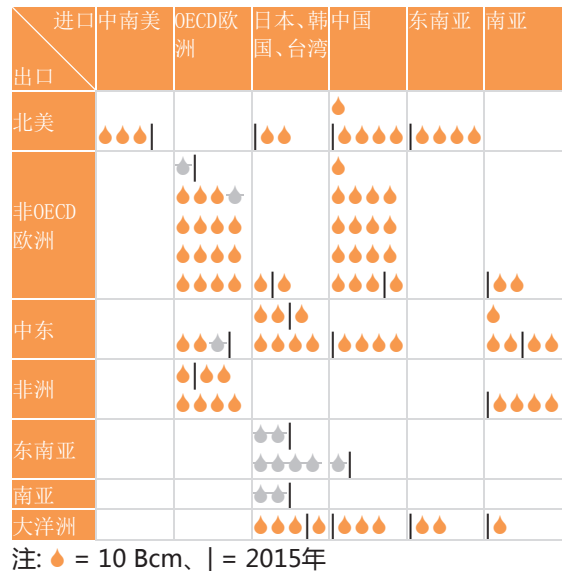


图9 主要地区间的天然气贸易[2040年]



伴随着以亚洲为中心及中南美、非洲、中东等地区的非OECD国家的煤炭需求的增加, 到2040年, 煤炭的生产量将从2014年的7, 937百万t (Mt) 增加到9, 286 Mt。主要受发电用煤增加的推动, 动力煤的生产量到2040年从2014年的6, 004 Mt增加到7, 522 Mt, 扩大到1. 25倍。另一方面, 到2040年炼焦煤将从2014年的1, 116 Mt减少到988 Mt, 褐煤将从2014年的817 Mt减少到776 Mt。

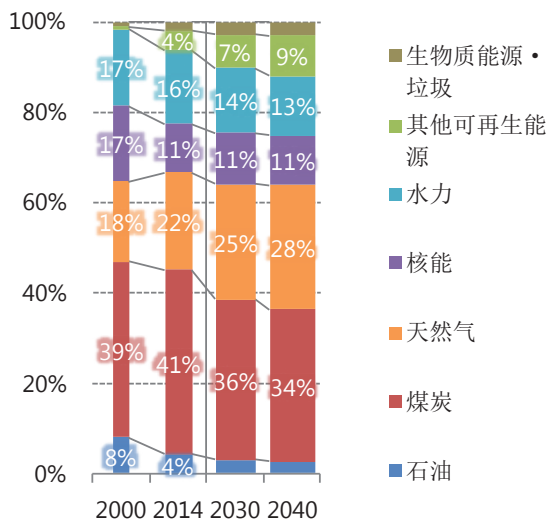
发电将维持以火电为中心—其比例占总发电量的3分之2左右—的发电结构(图10)。受欧美的煤电减少等因素的影响, 燃煤火电的比例下降到34%, 比现在降低7个百分点, 但在整个预测期间内仍将维持最大电源的地位。英国和意大利以外的所有地区, 燃气火电的发电量将增加, 从全球来看, 其增量是各种电源中最大的。其比例增加6个百分点扩大到28%。

核电将从2014年的2, 535 TWh增长为2040年的4, 357 TWh, 但2040年时其在全球发电量中的比例维持在11%, 与现在大体相当。在2020年代全部停机的德国、至2040年减少20GW的日本等8个国家和地区, 装机容量将减少。另一方面, 将有14个国家成为新兴核电国家, 18个国家会增建、扩建核电, 因此全球的装机容量将从2015年的399 GW扩大到2040年的612 GW。

可再生能源方面, 水力发电的开发将以中国、印度、巴西为中心, 发电量缓慢增长。因为其增速低于发电总量的增速, 其份额将缩小3个百分点。得益于政策鼓励和技术进步, 风能·太阳能等的发电量到2040年将急速扩大到3, 573 TWh, 相当于2014年(1, 005 TWh)的3. 6倍, 占总发电量的比例达到9%。对应的所需装机容量是, 风力发电增加到

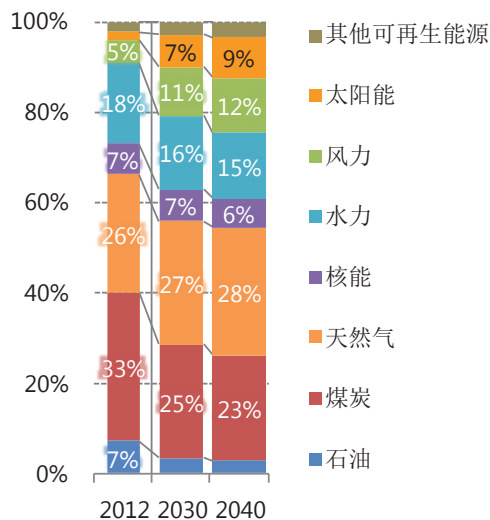
现状的3.2倍，达到1,170 GW，太阳能发电增加到现状的4.9倍，达到857 GW，两者合计占到总装机容量的21%(图11)。

图10 世界的发电量的结构



注: 柱形的宽度与总发电量成正比

图11 世界的发电设备装机容量的结构

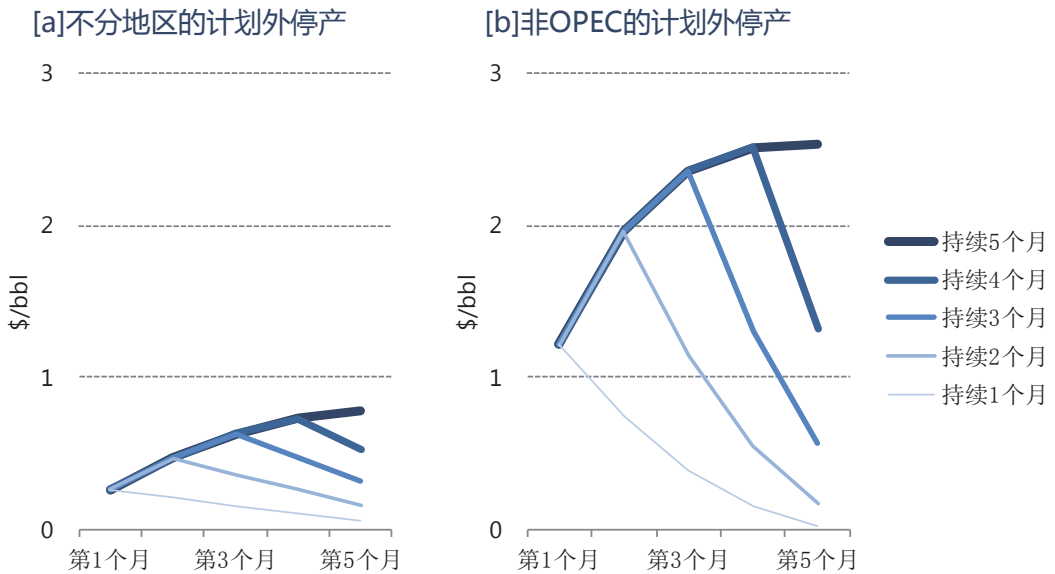


注: 柱形的宽度与总装机容量成正比

石油、天然气的供给困难

- 石油、天然气等化石燃料是支撑现代社会基础的重要能源，提供了人们日常所需能源的8成以上。近年来，很幸运没有发生大规模的化石能源的供给断绝，但出于灾害、事故、战争、恐怖袭击、罢工等原因的原油的计划外停产总会时有发生。
- 100 kb/d的计划外停产，平均会有使当月原油价格上升\$0.3/bbl的效果(图12)。停产持续5个月的话，价格上升的幅度会扩大到\$0.8/bbl。另外，发生在非OPEC国家的计划外的停产实际上常常会带来当地的原油减产，所以其带来的影响会数倍于此。
- 诸如此类的价格影响之外，供给限制，即无法得到所需量的能源供应也是很大的风险因素。假设中东的原油生产发生意外的大幅(10 Mb/d)下降，而其他国家和地区的增产又无法弥补这个缺口的话，全球的经济将会缩小9%(图13)。

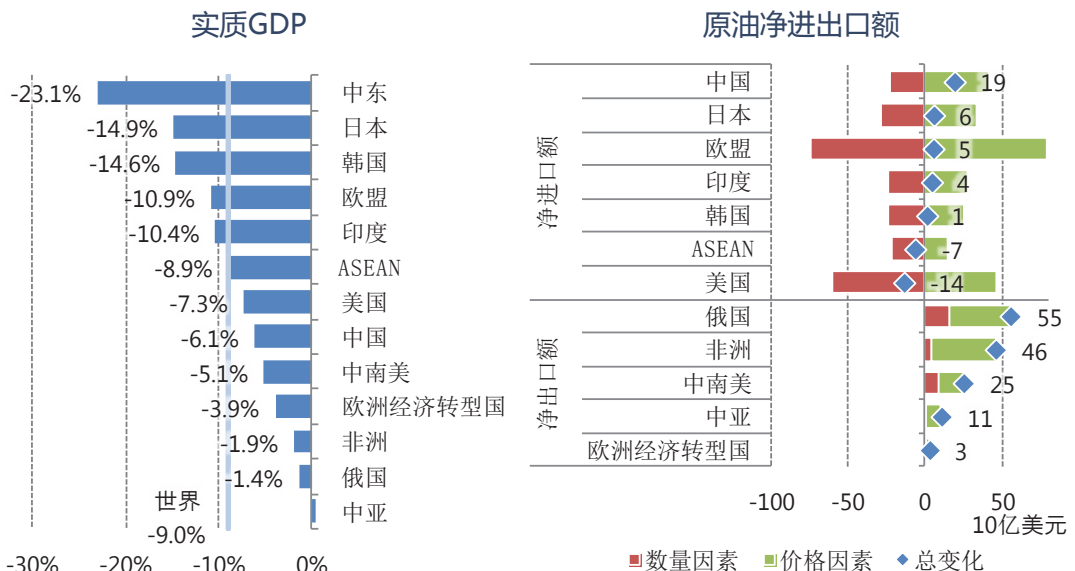
图12 100kb/d的计划外停产对原油价格的影响



注: 2011年~2016年上半年的平均影响

在震源的中东地区之外，供给困难会给中国之外的东亚地区带来最大的打击。如果同各自近年来的经济成长率相比的话，韩国和台湾要损失5年，而日本的损失要相当于20年的成长。原油的中东依赖度较低的EU也会有超过10%的经济下降。美国当下的原油产量还在增加，经济的下降程度为7%，虽然要低于世界平均降幅，但也不能独善其身。

图13 中东原油减产10 Mb/d时会带来的影响



注: 中东的原油净出口额减少1,390亿美元。

有说法认为，通过页岩革命美国能够成为新的调节生产者。果真如此的话，中东发生供给困难时，也许可以期待美国增加原油产量。但是，这种时候即使美国能增产3.6 Mb/d，由原油供给困难所导致的GDP缩小的缓和幅度从全球平均来看也只有2.5个百分点左右。日本、EU的缓和幅度只有2个百分点，只相当于供给困难带来的损害的8分之1和6分之1。

能源供给困难，会给全世界带来很大的经济打击，其中也包括不从出问题的供给国进口原油和天然气的国家和地区。由此所带来的风险因素，可以说是无法完全根除的。所以，需要各国和整个国际社会继续实施各种古典的、踏实的对策。

ASEAN的能源供需展望

一次能源消费

受经济成长和人口增加的驱动，ASEAN的一次能源消费将从2014年的624 Mtoe增加到2040年的1,352 Mtoe，年均增加3.0%(图14)。其增量超过现在日本和韩国的消费量之和，占全球需求增加总量的14%，紧随中国、印度，位居全球第3(图2)。

ASEAN地区的能源资源较为丰富，现在的能源自给率为125%，是能源的净出口地区(图15)。不过，域内的化石能源的生产难以赶上急速增加的需求，自给率到2030年前将跌过100%，在2040年下降到76%。

图14 ASEAN的一次能源消费

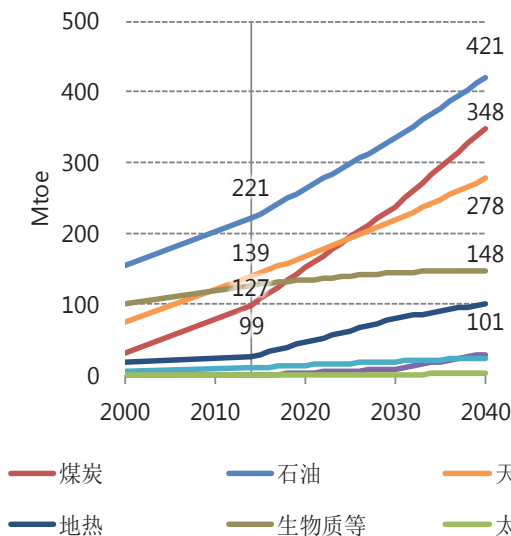
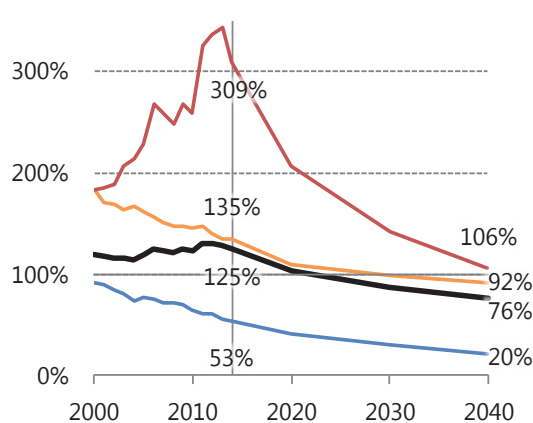


图15 ASEAN的能源自给率



一次能源消费增量的8成以上由化石燃料来供给，对化石燃料的依赖度将从2014年的74%上升到2040年的77%。其中，增加量最大的是受发电需求拉动的煤炭，占增量的34%。这相当于356百万吨煤当量(Mtce)，占到全球煤炭消费增量的约4成。

到2040年石油消费将达到2014年的1.9倍，增加的4.1 Mb/d之中，汽车燃料占到一半。另外，民生用的液化石油气(LPG)和石油化工原料也将大幅增加。石油在能源消费总量

中的比例虽然会从35%下降到31%，但对ASEAN来说，依然是最重要的能源。相比之下，区域内的生产量将减少，石油自给率将从53%下跌到20%。

■ 天然气消费到2040年要增加到2014年的2.0倍，增量的170Bcm的半数以上用于发电，其余多数用于工业（包含石油化工原料）。印度尼西亚和马来西亚占ASEAN的消费增量的半数以上，两国虽然资源丰富，但出口余力将不断缩小。ASEAN现今每年向区域外出口60Bcm，但到2030年将沦为净进口地区。

■ 核电虽然现在还没有实际运用，但2025年之后，在泰国、越南、印度尼西亚、马来西亚会建设共计16 GW。不过，到2040年核电也只占到其总发电量的4%，一次能源供给的2%。

■ 水力、地热、生物质能等可再生能源的供给潜力很大。包括柬埔寨、泰国、越南、老挝、缅甸的大湄公河圈的发电潜力高达248 GW，很多开发项目都在实施中。整个地区的水力发电量到2040年将增大到现在的2.2倍，占到可再生能源发电总增量的约6成。

■ 地热在印度尼西亚、菲律宾有很大的资源潜力。地热发电约占可再生能源发电总增量的约2成，但因为能效换算比率¹不同，按一次能源计算的话，其增量是水力的约5倍。

■ 可再生能源中，薪柴和畜粪等传统的生物质燃料在以农村为中心的地区被大量消费，但随着城市化的进展和生活水平的提高，其消费将逐渐减少。另一方面，发电用和汽车用液体生物质燃料将得到进一步普及。生物质能源的消费量到2040年将增加2成，但在整个能源构成中的比例将减半，由20%下降到11%。

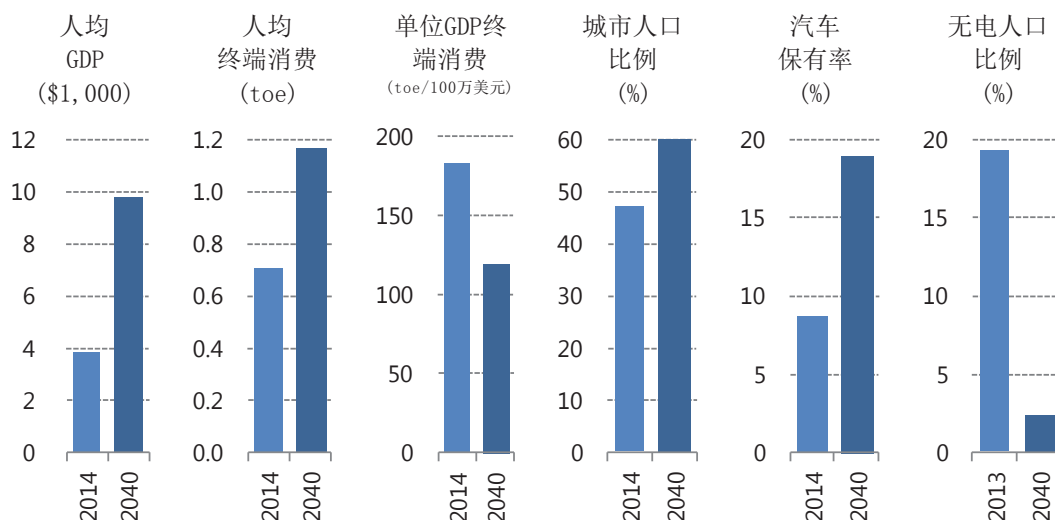
■ 风能、太阳光发电的增加幅度虽然很大，但即使是到2040年其在整个ASEAN的能源结构中占的比例仍不到1%。

终端能源消费

■ 终端能源消费在经济的工业化、生活水平的上升、域内人口的增加等因素的影响下，将从2014年的440 Mtoe增加到2040年的890 Mtoe，年增速为2.7%。通过设定汽车·家电机器的能效标准、取消燃料补助等来强化节能政策，加上产业结构的变化、城市化的进展等因素，单位GDP能耗将改善35%（图16）。

¹ 地热的换算效率是10%左右，而水力是100%。

图16 ASEAN的经济·能源相关指标



工业部门能源需求的增速为年率3.5%，比其他部门都要高。在马来西亚、泰国、印度尼西亚、菲律宾、越南等国，出于对丰富的廉价劳动力的期待，来自海外的直接投资在急速增加。机械组装类的产业得到大步发展、电力需求随之大幅增加。

交通部门的能源需求的增速紧随其后，达到年2.7%。千人汽车拥有量将从2014年的88辆增加到2040年的189辆，整个地区的汽车保有量扩大到现在的2.7倍，道路运输的石油需求增加2.0 Mb/d。

民生·农业部门能源需求的年增速为2.2%，相对较低，主要原因是从传统的生物质燃料向能效更高的LPG燃气灶等商业能源转换的进展。以城市化的进展、无电地区的减少、生活水准的提高等为背景，现代化的商业能源需求的增速达到年4.0%，高于工业和交通部门。

无电人口比例现在是19%，1.2亿人还未用上电。各国政府在采取措施提高电力覆盖率，以期早日实现无电人口为零的目标。这方面的政策和经济成长相辅相成，电力需求到2040年将增加到现在的3.2倍，达到2,450 TWh。为了满足电力需求的增加，发电用能源消费也将增加到3.1倍，增量的约3分之2要依靠化石燃料。

ASEAN的能源投资和市场统合

能源投资额在2015-2040年累计达到2.3万亿美元以上(图17)。这个规模与现在的域内GDP(2.4万亿美元)大体相当。对电力供给部门和燃料供给部门的投资各占1.0万亿美元。电力供给中，55%是对发电设备的投资，其余的45%是对送配电设备的投资。燃料供给方面，油气田等上游开发约占8成，LNG等燃料运输设施接近1成，其余为对石油炼制的投资。基准情景下的节能投资额为2,200亿美元，相对较少。

ASEAN整体正在转向天然气的进口方，在域内建设输气管道的正当性正在消失。现在来看其中唯一有可能性的是建设从印度尼西亚的East Natuna气田向马来西亚和泰国输气的管道。如果其总生产量的15 Bcm全部输送到马来西亚，来代替进口LNG的话，到2040年累计可以削减向域外支付的LNG进口费用1,690亿美元(图18)。

图17 ASEAN的能源投资
[至2040年的累计额]

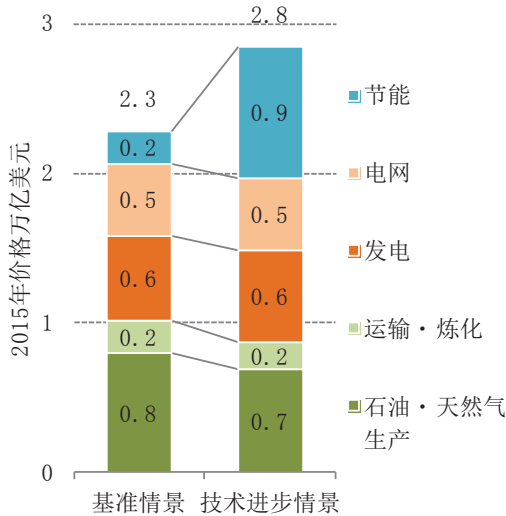
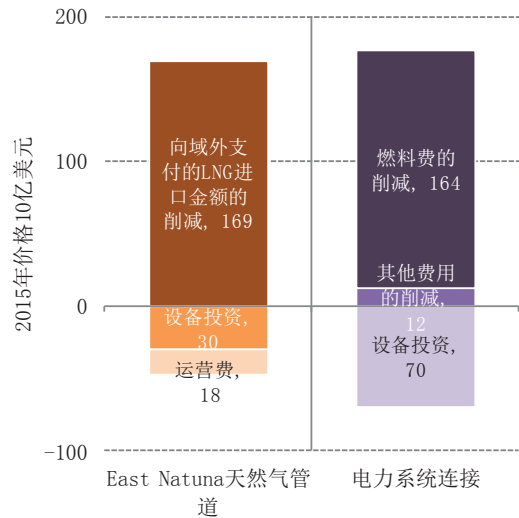


图18 ASEAN的能源基础建设的效果
[至2040年的累计额]



跨地域的管道网的建设，在能源的安全保障方面，可以带来分散能源供给源的效果。通过跨国调配，可以缓和由预料之外的LNG供给困难所带来的不利影响，还可以在平时让为了预防供给困难所准备的库存更加合理化。另外，现在，域内有10个以上的LNG接收基地正在建设中，通过合理的配置有望减少其建设费用。

ASEAN域内的水力资源多分布于老挝和缅甸等国家，现在有计划通过连接这些国家及其周边地区和电力消费地来实现资源的有效利用。另外，加里曼丹岛也同样拥有大量的水力资源，有设想要通过增强岛内的电网连接，在此基础上进一步连接马来半岛和爪哇岛等地消费地。

电网连接需要在初期在电网和水力发电设备方面投资700亿美元，但同时通过连网带来的系统稳定效果，可以节省为了把停电时间控制在一定程度下所需要预备的供给余力。另外，通过扩大水力发电，可以使域内电力部门的二氧化碳排放量降低70 Mt，降幅为5%，同时削减化石燃料费用1,640亿美元。

应对地球环境问题

巴黎协议

2015年12月召开的联合国气候变化框架公约第21届缔约方会议(COP21)上，通过了作为2020年后实现温室气体(GHG)减排的新的国际框架的巴黎协议。根据各国提出的《国家自主贡献(INDC)》推算的话，全球的GHG排放量到2030年为45.5 GtCO₂，与现在相比有所增加(图19)。虽然其增长势头得到了一定程度的抑制，但离实现2050年减半的目标还很远。

表1 对巴黎协议的评价

值得好评部分

包括中国、印度等发展中国家，所有国家都负有减排义务，超过180个国家同意今后努力减排

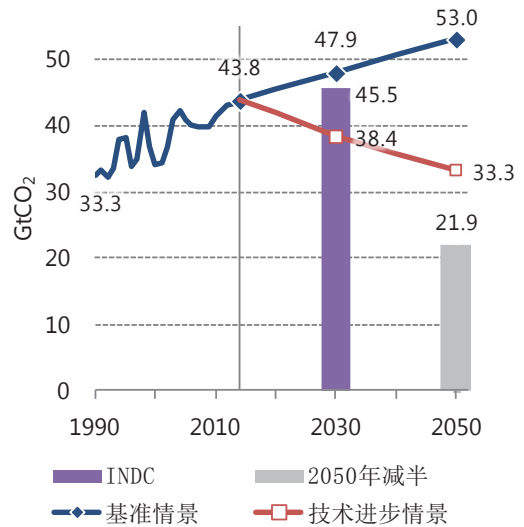
与京都协议那样先决定减排率再向各国分配的至上而下的方式不同，采用的是将各国各自宣布的减排目标汇总的至下而上的方式

每5年评估一次各国的目标的合计值，然后要求各国进一步强化减排努力

课题

世界的GHG排放量高于现状

图19 世界的GHG排放量

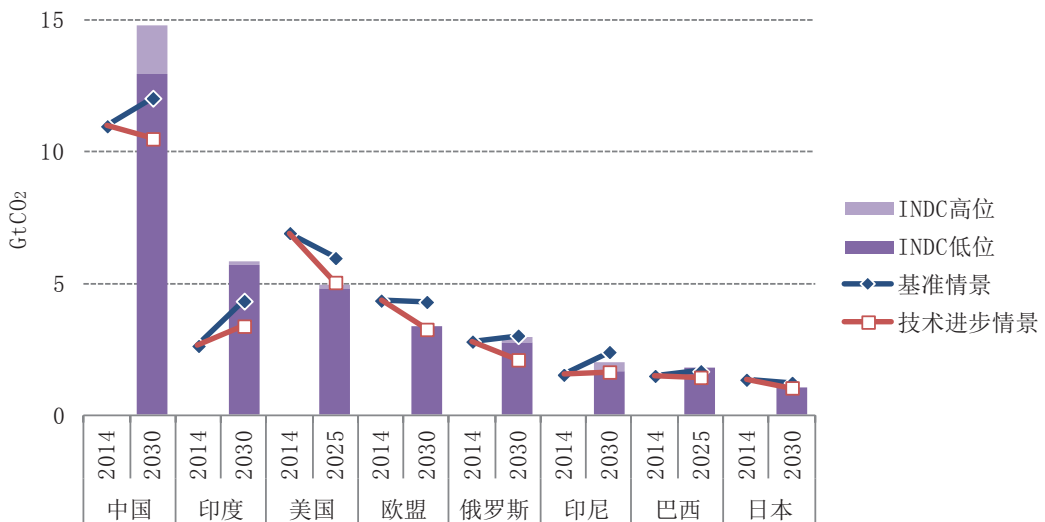


注: 根据G20的巴黎协定的INDC估算

主要国家的INDC的目标中，发达国家总体上接近后面将要提到的技术进步情景(图20)。另外，中国和印度接近基准情景，印度尼西亚和巴西则位于技术进步情景和基准情景之间。希望各国向技术进步情景方向进一步努力，为此推动低碳技术在发展中国家的普及是很重要的。

即使如此，从现状来看，作为全球范围的应对措施的一步，巴黎协议留下了扎实的脚步，这是应该给予好评的。重要的是，今后真正落实这个协议的目标，向进一步减排迈进。为此，在技术革新的同时，灵活利用双边碳汇制度等市场机制来促进技术转让，全方位推动世界整体的对策是不可或缺的。

图20 主要国家·地区的GHG排放量



注: 根据巴黎协议的INDC估算

技术进步情景

技术进步情景之下，设想在现实社会中的应用机会和接受度的可能范围达到最大程度的CO₂减排，2040年的能源消费量比基准情景降低2,343 Mtoe，降幅为12%，今后的能源消费增量被压缩的基准情景的55%。

变化最大的能源是煤炭，通过抑制电力消费、提高发电效率、用其他能源来代替等措施，以发电用为中心，煤炭消费将大幅降低，其后影响较大的是天然气(图21)。不过，煤炭消费在2040年会比现在低17%，而即使是在技术进步情景下，今后4分之1个世纪内天然气的消费仍将持续增加。石油比基准情景减少832 Mtoe，在2040年左右达到峰值。化石燃料比基准情景减少3,196 Mtoe，而核电增加433 Mtoe，以光伏发电、风电为中心的可再生能源增加419 Mtoe。结果上，化石燃料的比例将由2014年的81%降低到2040年的70%。

基准情景下，2040年时中国和印度合计在一次能源消费中占到全世界的32%。在技术进步情景与基准情景相比的节能量中这些亚洲的消费大国的作用很大，两国节能总和占世界整体的36%。特别是从节约的煤炭消费量来看，两国在其中所占份额要高达61%。中印两国在核电，以及风能·太阳能等的增量中的比例达到38%。能否在以非OECD为中心的极具节能潜力的地区积极开展节能和低碳化，会左右世界未来的景象。

技术进步情景中，全球与能源相关的CO₂排放量在2020年左右达到峰值，其后转入缓慢减少，到2050年比2014年减少1.2 Gt (3.8%)、降为31.8 Gt(图22)。2050年比基准情景减少13.7 Gt，削减量相当于全球现排放量的42%，到2050年为止的累积减排量为259 Gt相当于全球现排放量的7.8倍。

图21 世界的一次能源消费的增减

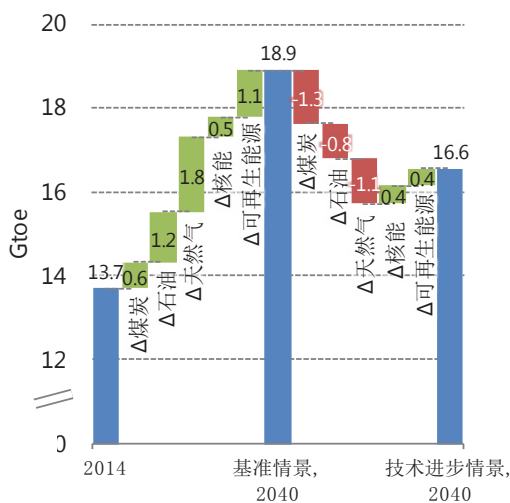
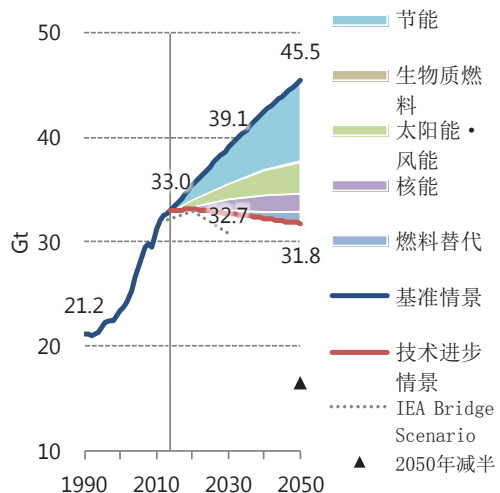


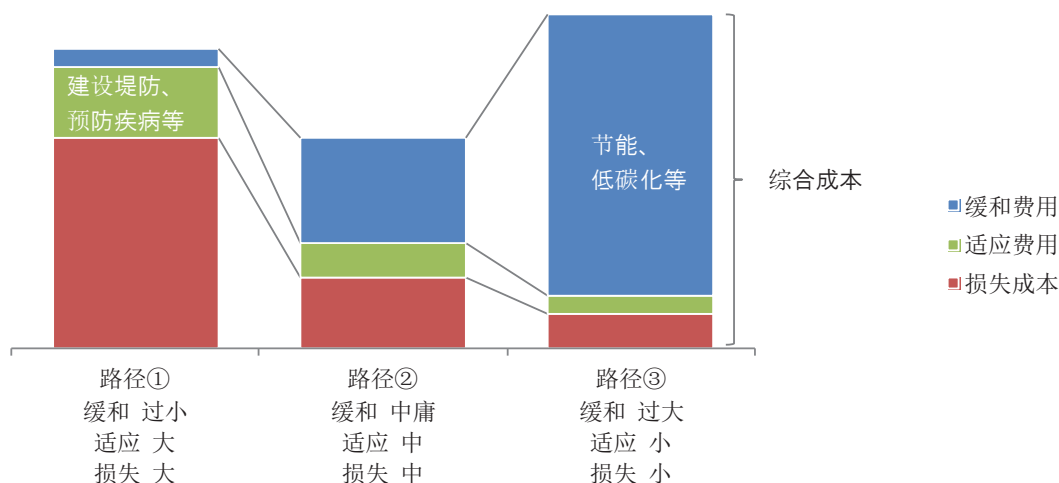
图22 世界的二氧化碳排放和减排贡献



超长期的气候变化对策的路径

气候变化问题，影响范围广，是跨越几代人的长期课题。应该在何时、怎样、采取何种程度的措施，需要慎重的斟酌。依照可持续发展的视点，我们认为应该注重降低包括缓和费用、适应费用、损失成本的综合成本的成套措施(图23)。为了防止100美元的损害而投入1,000美元的费用来削减排放、构筑堤防—这种做法在长期上是难以为继的，不得不说不失败的风险很大。

图23 包含缓和、适应、损失的综合成本的概念图

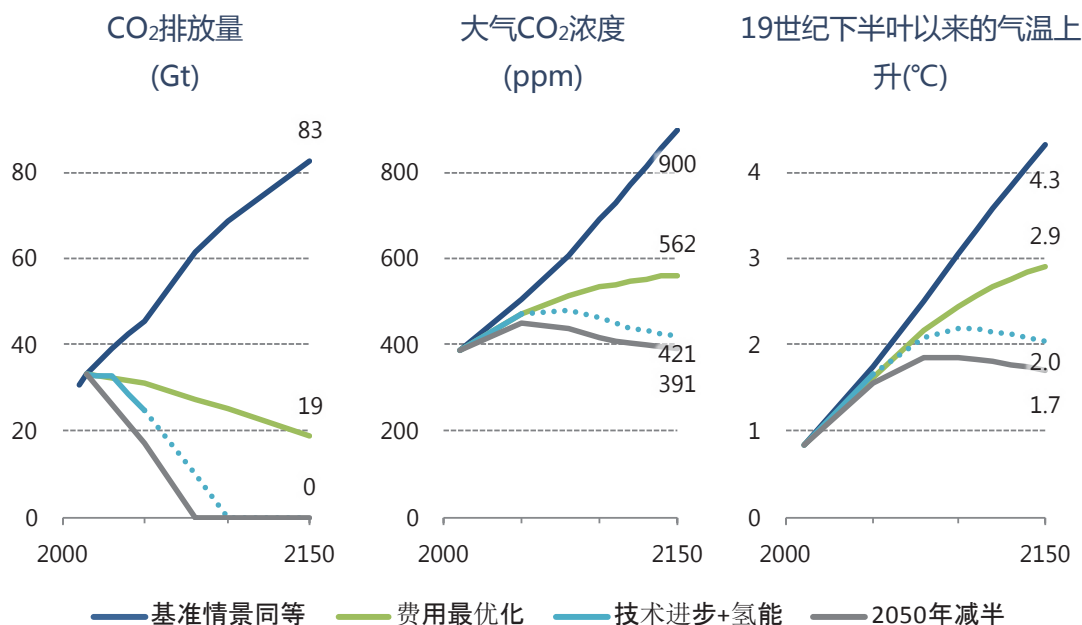


降低累积综合成本的“费用优化路径”上的CO₂排放量，与基准情景相比会大幅减少，但还不能达到2050年减半的程度(图24)。费用优化路径上的排放量在2050年之后也会持续缓慢的减少，到2150年之后达到现状的一半左右。费用优化路径中的大气中的CO₂浓度将持续缓慢上升，在2150年时达到560 ppm。气温也将缓慢上升，在2150年比19世纪后期上升约3℃。

当然，这些数值会因前提条件的改变而变化。例如，如果2050年之后通过加快技术开发能够进一步降低边际减排费用的话，或者，气候感度²不是3℃而是2.5℃的话，费用优化路径会与上述的结果不同，气温的上升幅度会更小。人类无法操纵气候敏感度，但可以通过降低已有低碳技术的成本，推动革新性技术的开发来减少缓和成本。需要我们做的是，在继续实施合理的气候变化对策的同时，从长期的视点来进行技术开发方面的合作。

² 大气中的GHG的CO₂换算浓度增加1倍时，平均气温的上升幅度（℃）。

图24 超长期路径



在应用下面将要提到的不含碳氢能的同时，进一步削减低碳技术的成本并促进革新性技术的开发，这样做的话，虽然总成本有可能会上升，但这也算是为了到2150年前后把气温上升控制在2°C左右的一个可选路径。

氢能利用情景

如果要在长期的时间里全球规模大幅度地削减CO₂，但在世界上的一部分消费地区，比如说日本和中国的国内无法充分应用二氧化碳捕集与封存 (CCS) 技术时，进口作为第4个零排放电源的氢能来发电，可以起到很大的作用。在难以实施CCS或者封存量很有限的地区，如果把在2030年以后新建的煤炭火电·天然气火电全部用氢能发电来代替，与此相应氢能的供给成本大幅下降，而且燃料电池汽车也在全世界加速普及的话³，到2050年氢能可以提供发电总量的13%，每8辆新售出的轿车中就会有1辆是燃料电池汽车 (图25)。氢能的总消费超过3.2万亿Nm³，其中90%是被难以实施CCS的地区的发电部门所消费的。

氢能的主要生产·出口国是中东·北非、北美、澳大利亚、和以俄罗斯为中心的欧洲等。石油·天然气等的传统能源出口国，在氢能上也将是重要的供给者。

氢能因为在建设基础设施等方面的成本很高，所以经济性较低。但如果没有其他替代手段的话，氢能作为相对有一定经济性的低碳技术，还是有可能得到应用的。另外，供给源不仅限于中东，北美和澳大利亚等地也是有利的候补，这有利于能源供给源的多样化。

³ 正文中的“氢能高位情景”。

图25 世界的发电量的结构

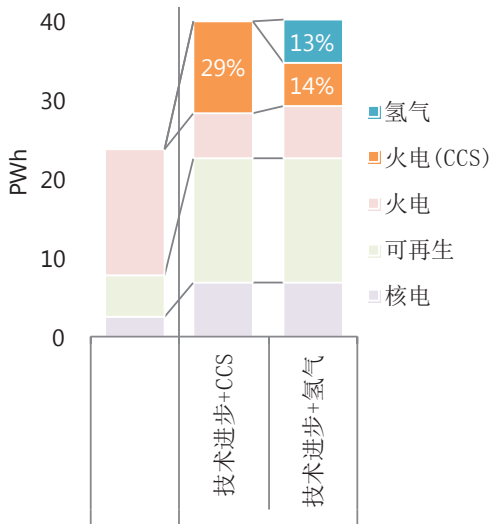
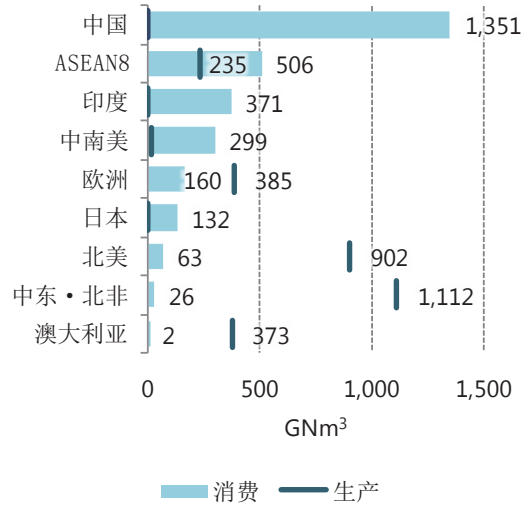


图26 氢气的生产·消费



核能在实现3E上的重要性和课题

提高安全性和监管机构的独立性

东北太平洋地震带来的海啸所引发的福岛第一核电站事故，是由单一的外部原因造成多个安全机能遭受毁灭性打击的共同原因故障(CCF)。特别是与电源和供水源及容纳设施等设备相关的措施，和应对海啸等自然灾害的措施不够充分，因此日本全方位的修改了监管标准。新的监管标准的基本方针是，①贯彻深层防护的思想、②强化可靠性、③提升对自然灾害带来的CCF的预想和防护措施。通过基于此方针来强化安全措施，使得一部分核电站通过了新标准的要求，逐渐开始重启。

欧美的先进国家在1980年代就已经着手强化这类标准。另外，各国的产业界不只是满足于符合监管标准，还自主实施把安全性提得更高的措施。核电公司通过美国的三岛事故，痛感零风险是不可能的，所以为了现实且合理地维持运营，合理自主地提高安全性的措施成为必然选择。这个过程对于探讨日本的监管的方式方法也是重要的参考。

监管机构从其职能上来看，需要其拥有不为政治意向和经济形势等技术指标之外的动向所左右的高度的独立性，和能够实施严密且公正的审查的高度的技术能力。亚洲的监管机构和欧美相比，不得不说在确保独立性上还有不少课题。日本和韩国在2011年以后更新了监管体系，提高了独立性，但与欧美相比历史还浅。高度的独立性和监管活动的透明度，以及值得信赖的高水准是维持安全水准的必须的条件。

核电产生的高放射性废物需要得到妥善的处理。作为其方法，把废弃物埋到地底深层，利用岩板的特性来封存的“深地质处置”是国际上现在共通的方针。在日本，废弃物处理的总成本约为2.8万亿日元，据评估其对核电的发电价格的影响为0.04日元/kWh。从经济性的观点来看，在与核电相关的各种问题中废物处理所占的比重并不大。

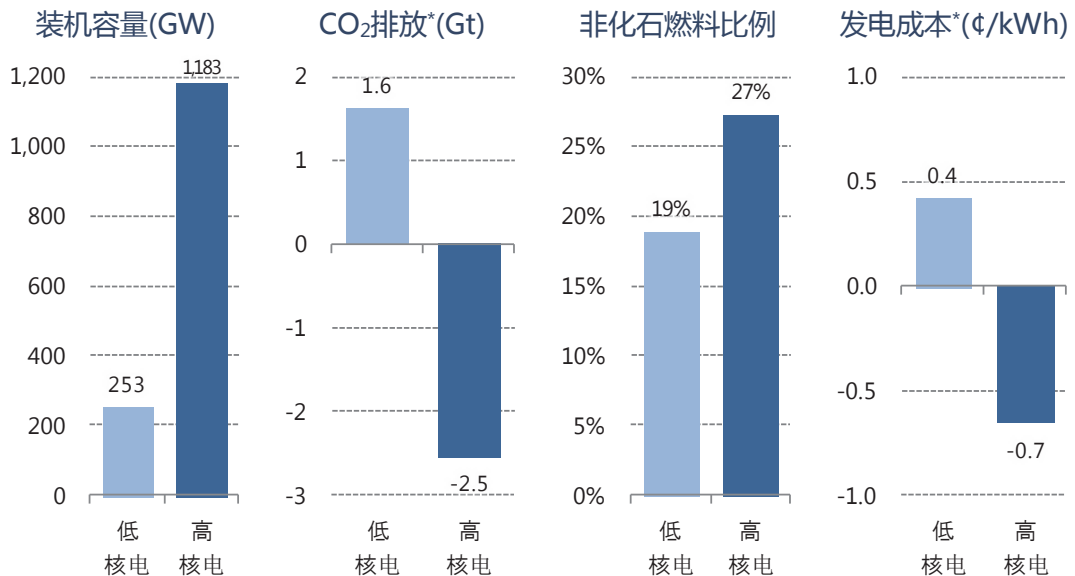
即使这样，处理计划仍大幅推迟，究其原因，出于各地对安全性的担心等理由，对处理地点的选定本身难以顺利进行的情况很多见。在全球率先选定了处理地的瑞典，基于环境法和核能活动法，反复多次和当地进行了协商。期间，构筑了由当地政府、监管机构、运营厂商和环境团体等所有相关方共同参加的协商机制，被称为“奥斯卡港模式”。可以说是这样的双向对话带来了成功。

低核电情景和高核电情景

主要关注在亚洲左右核电开发的关键因素，设定了与基准情景相比阻碍核电开发的负面因素影响显著的“低核电情景”，及与技术进步情景相比促进核电开发的正面因素影响更大的“高核电情景”，分析了这些情景所启示的课题。

高核电情景下，2040年核电装机容量在全球达到1,200 GW（2014年的约3倍），在亚洲是700 GW（同约7倍），CO₂排放量在全球减少约6%、亚洲减少约9%，亚洲的自给率约为74%，大体维持2014年的水平（图27）。发电成本比基准情景降低约0.9美分/kWh，总体上能源安全保障、经济、地球环境问题（3E）都得到改善。从发达国家向新兴国家的技术转移是这个情景得以成立的前提条件，不过以新兴国家为主，安全监管体制的建设和完善将是一个课题。

图27 核电情景[2040年]



* 与基准情景相比

与此相反，低核电情景下，2040年核电装机容量在全球为250 GW（2014年的约6成），在亚洲是60 GW（同约6成），全球和亚洲的CO₂排放量同会增加约4%，亚洲的自给率大幅降低为约63%。发电成本比基准情景降低高0.4美分/kWh，对3E都带来负面影响。除了对3E的不利影响，这个情景中的课题是，在核电相关产业的衰退中，今后如何维持安全标准和人才水平。