IIAE 令和元年度特別セミナー

『エネルギーと大気環境』

期　日　　2019 年 12 月 10 日（火）

会　場　大気環境総合センター後楽 1 丁目ビル 4F 大会議室

一般財団法人大気環境総合センター

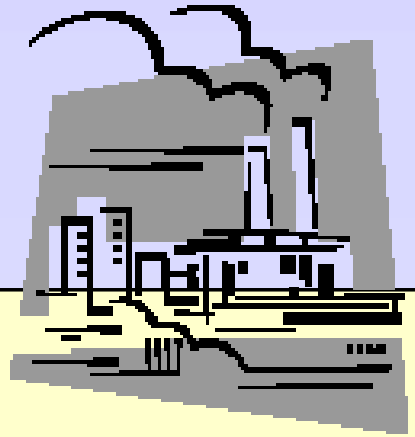
〒112-0004　東京都文京区後楽 1 丁目 2-8 後楽 1 丁目ビル 6F
TEL：03-6801-6082　FAX：03-6801-6083
https://iiae.or.jp/

大気環境総合センター セミナー
2019年12月10日 13:00～14:30

エネルギー利用の推移と新エネルギー技術の現状と課題

笠 原　三 紀 夫
京都大学・名誉教授
e-mail：kasahara.mikio.55e@st.kyoto-u.ac.jp

本日のトピックス

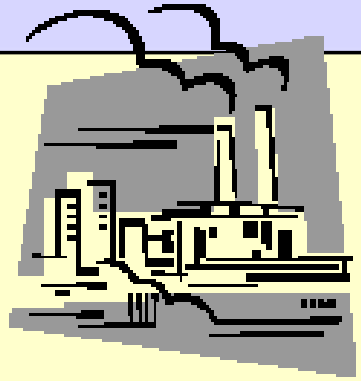


1．エネルギーの生産・利用

2．エネルギー利用と大気環境・地球環境問題

3．新エネルギー技術

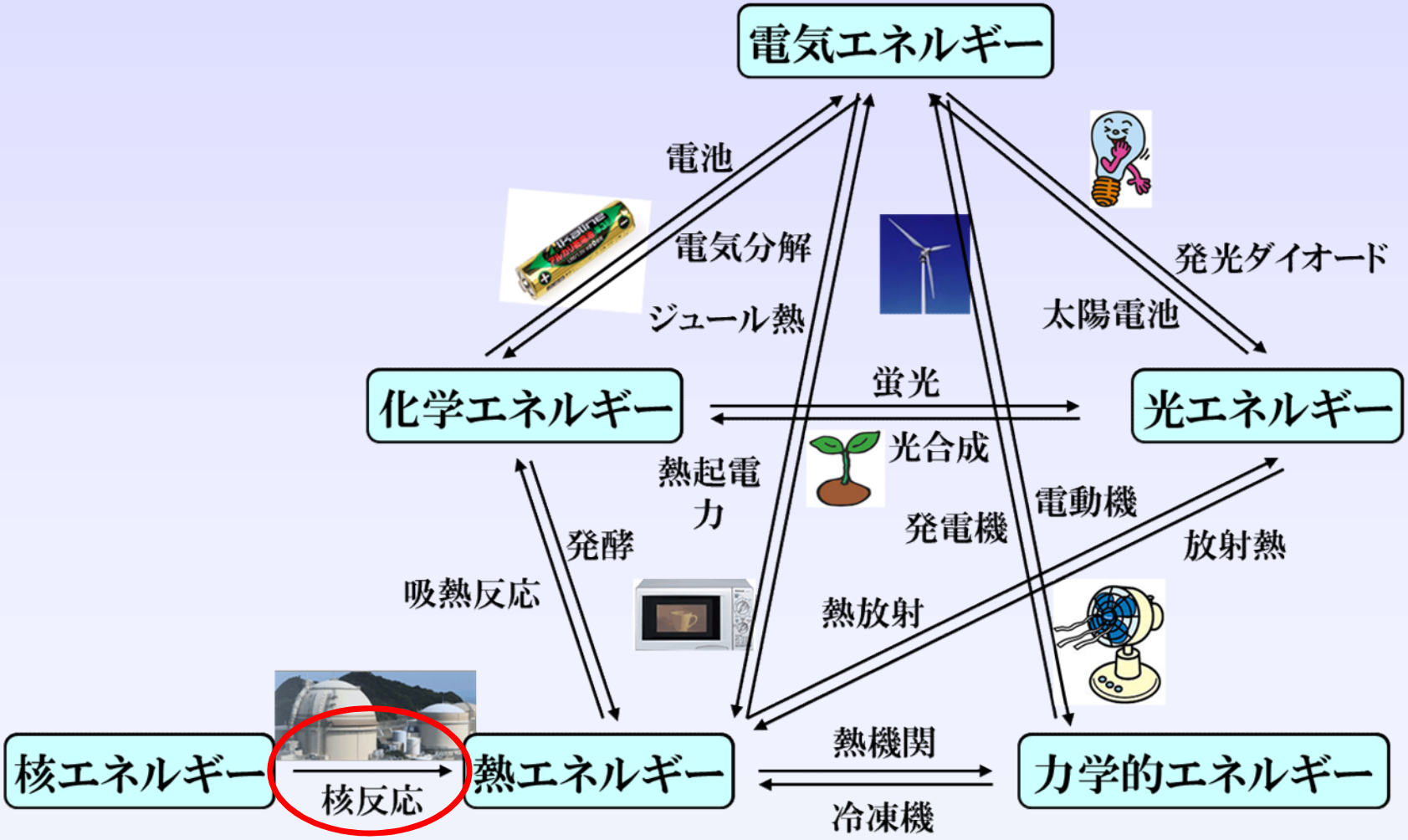
4．新エネルギー利用の現状と課題



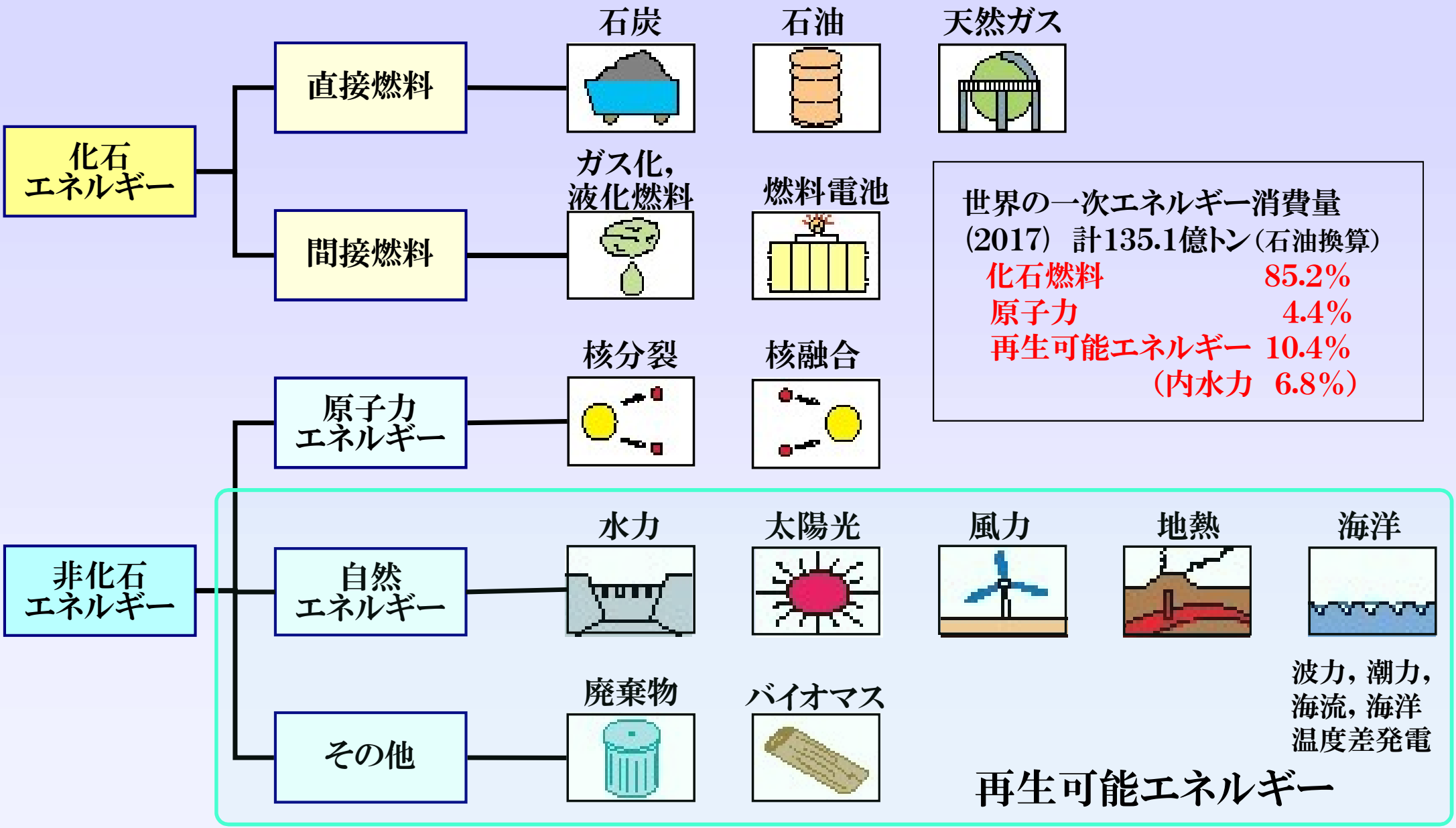
1. エネルギーの生産・利用
   - 1.1 エネルギー源
   - 1.2 電気エネルギー
   - 1.3 エネルギー状況
   - 1.4 省エネルギー
2. エネルギー利用と大気環境・地球環境問題
3. 新エネルギー技術
4. 新エネルギー利用の現状と課題

エネルギー　－形態と変換－

エネルギーは，物理学的には「物質や系が持っている仕事をすることができる能力」と説明されているが，私達は暮らしの中で電気やガス，ガソリンなどいろいろな種類のエネルギーを，特に意識することなく利用し，快適で便利な生活を送っている。一般に，エネルギーは，力学的エネルギーや電気エネルギー，熱エネルギーなど6種類に大別され，それらは相互に変換することができる。



各種エネルギー源



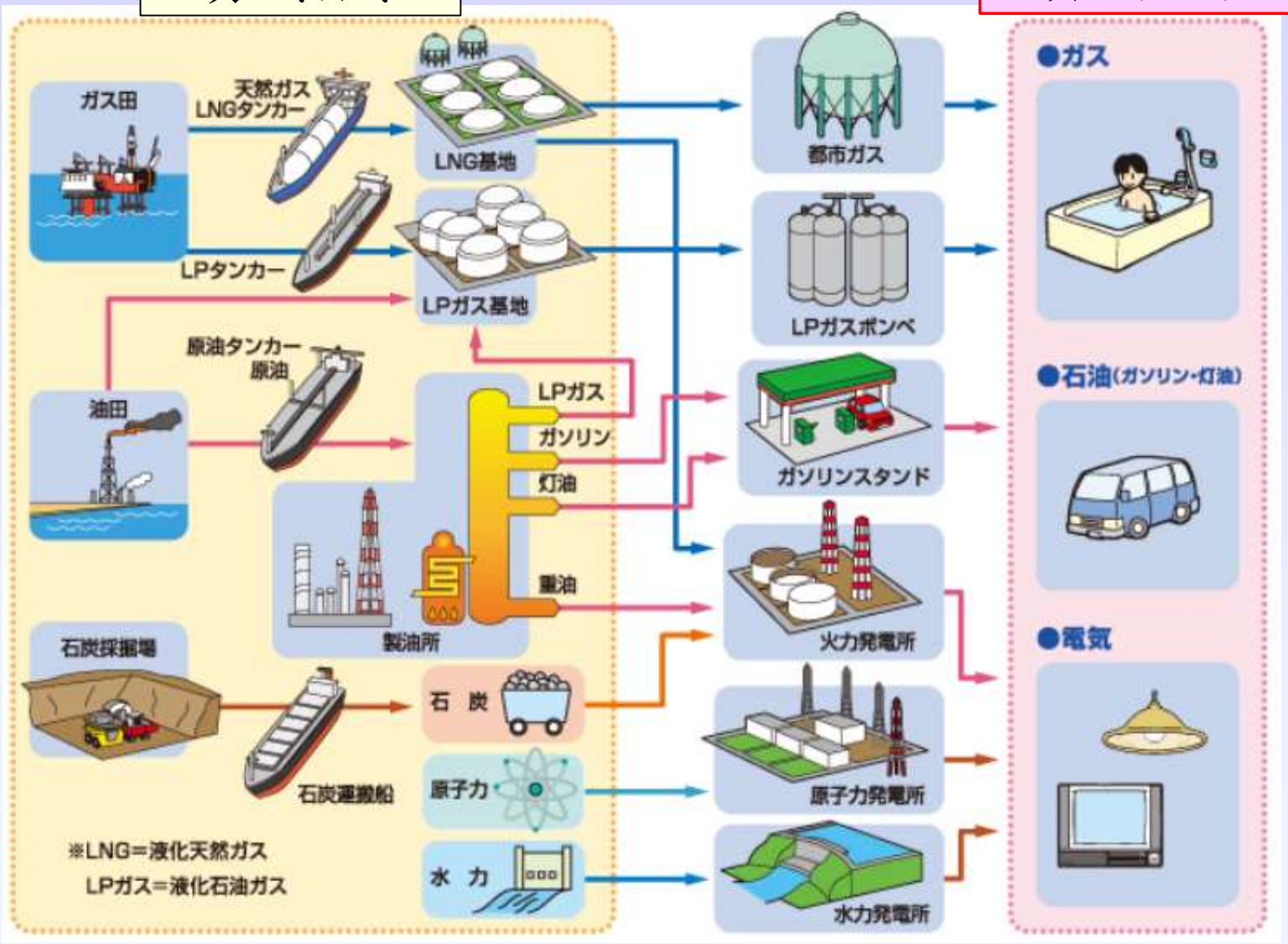
世界の一次エネルギー消費量
(2017) 計135.1億トン(石油換算)

化石燃料	85.2%
原子力	4.4%
再生可能エネルギー	10.4%
(内水力	6.8%)

Drawing up from http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/RENTEXT2015_PARTIIExcerpt.pdf

一次エネルギーと二次エネルギー

エネルギーの掘削・製造・輸送・利用の流れ



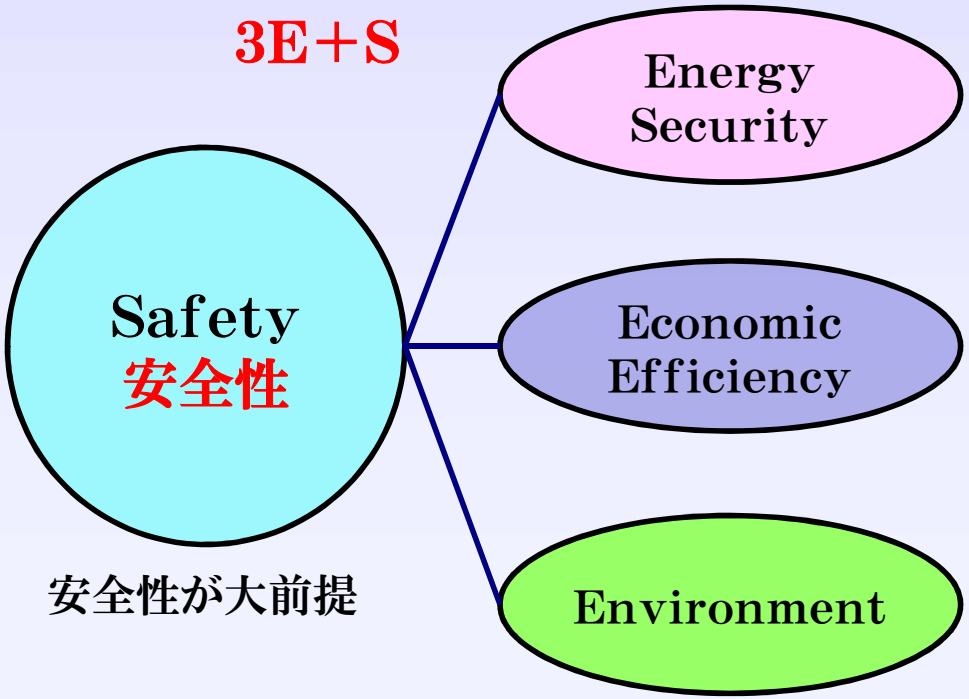
一次エネルギー：
石炭，石油，天然ガス，水力発電の貯水，風力，太陽光など，自然界に存在している状態のエネルギー

二次エネルギー：
電気や，都市ガス，ガソリンや灯油など石油製品等のように，家庭で使える状態に加工されたエネルギー

https://www.tokyo-gas.co.jp/kids/genzai/g4_1.html より作成　Org

エネルギー政策における基本方針（3E＋S）

エネルギー政策においては，安全性の確保（Safety）を大前提として，エネルギーの安定供給（Energy Security），経済効率性の向上（Economical Efficiency），環境への適合（Environment）を同時に達成するよう，エネルギー源ごとの長所を最大限に発揮し，弱点が補完されるよう，多層的な供給構造を実現することが不可欠である。

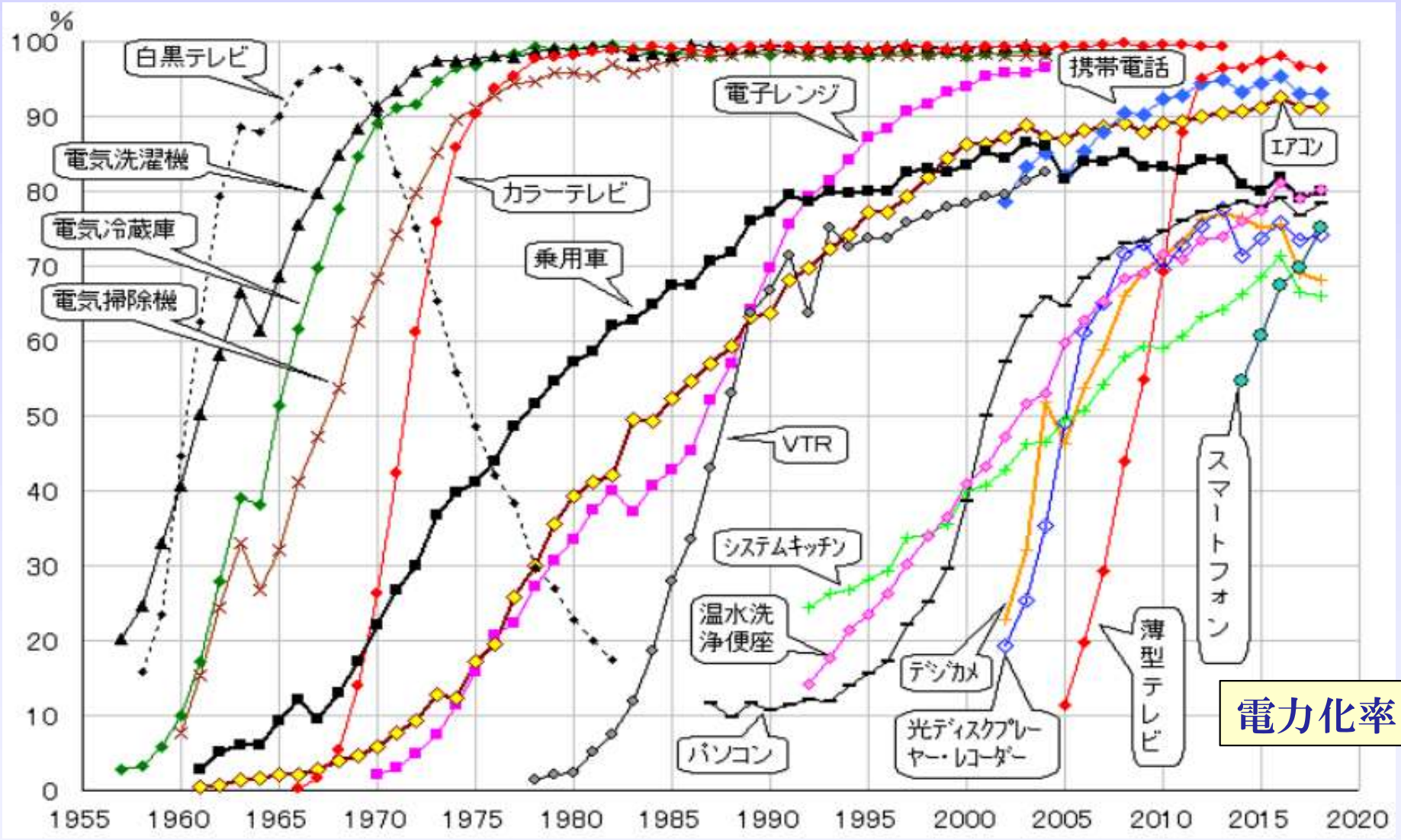


エネルギーの安定供給
エネルギー供給源の多様化，エネルギー自給率を向上させ，エネルギーの安定供給を確保

経済効率性の向上
国民生活の安定向上，ならびに国民経済の維持及び発展

環境への適合
地球温暖化の防止，地域環境の保全，循環型社会の構築

電化製品等の普及率の推移（1957～2018）



1953年：電化元年，電気洗濯機，電気冷蔵庫，電気掃除機 →「3種の神器」，
1960年代：自動車，エアコン，カラーTV →「3C」，　1997年：白色LED商品化，
2014年：スマートフォン登場 → 最近ではインターネットや写真撮影，動画視聴に利用

出展：内閣府「消費動向調査」より作成

電源構成の推移（2010～2018）

ここ10年近くの発電電力量は10,500億kWh前後で，その電源構成は再生可能エネルギーの比率が着実に増加し，2018年度においては，再エネが16.9%，原子力が6.2%，火力が76.9%

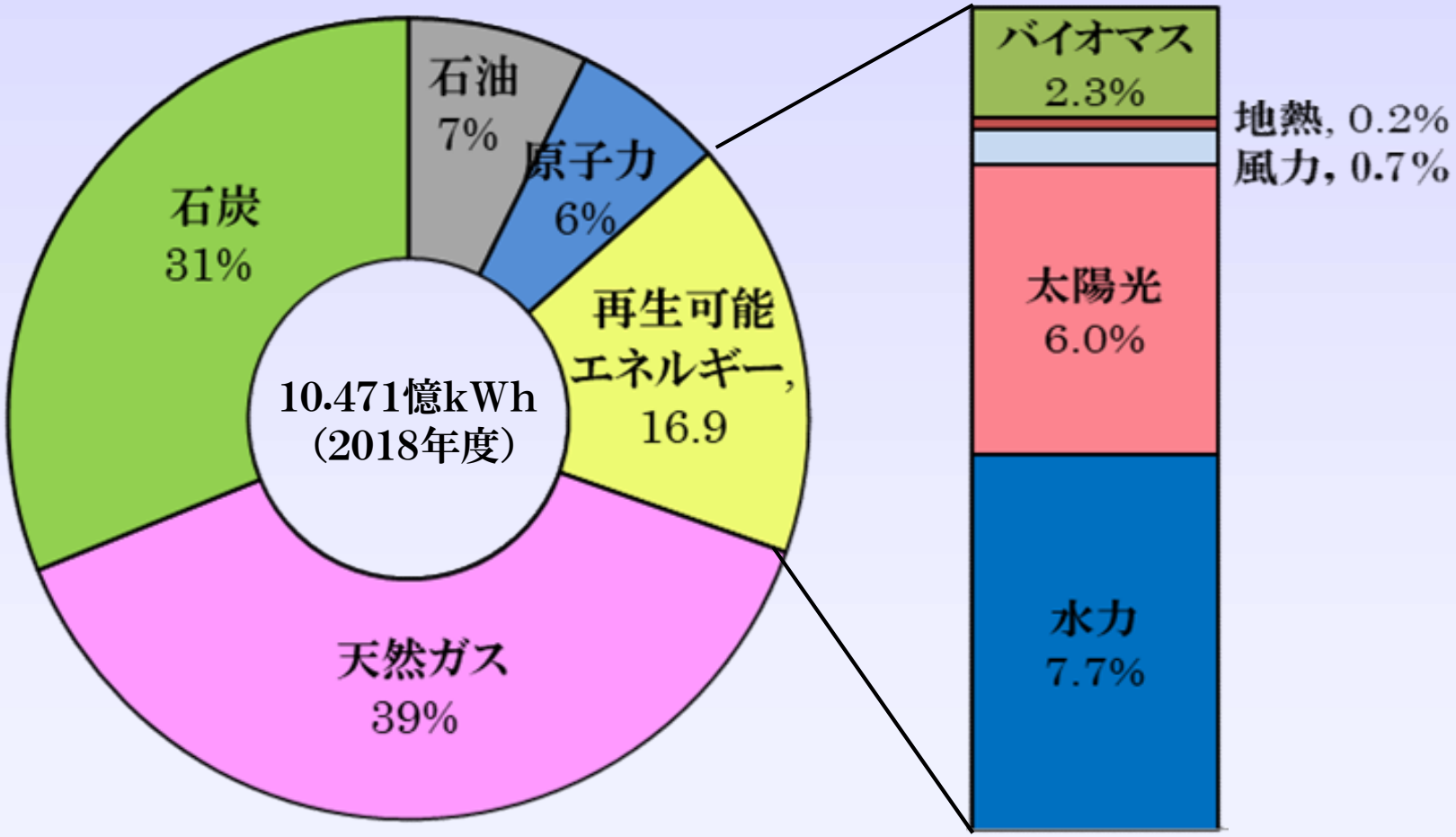
（単位：億kWh）

年　度	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
発電電力量	11,495	10,902	10,778	10,848	10,587	10,408	10,526	10,605	10,471
石炭	3,199	3,058	3,340	3,566	3,537	3,551	3,452	3,472	3,262
石油	983	1,583	1,885	1,578	1,175	1,023	1,020	88	761
天然ガス	3,339	4,113	4,320	4,432	4,549	4,253	4,337	4,218	4,025
原子力	2,882	1,018	159	93	0	94	181	329	649
水力	838	849	765	794	835	871	795	838	810
太陽光	35	48	66	129	230	348	458	551	627
風力	40	47	48	52	52	56	62	65	75
地熱	26	27	26	26	26	26	25	25	25
バイオマス	152	159	168	178	182	185	197	219	236
再エネ発電電力量	1,091	1,130	1,073	1,179	1,325	1,486	1,537	1,698	1,773
再エネ発電比率（%）	9.5	10.4	10.0	10.9	12.5	14.3	14.6	16.0	16.9

出展：経済産業省 News Release 2019/11/15, https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/total_energy/pdf/stte_027.pdf

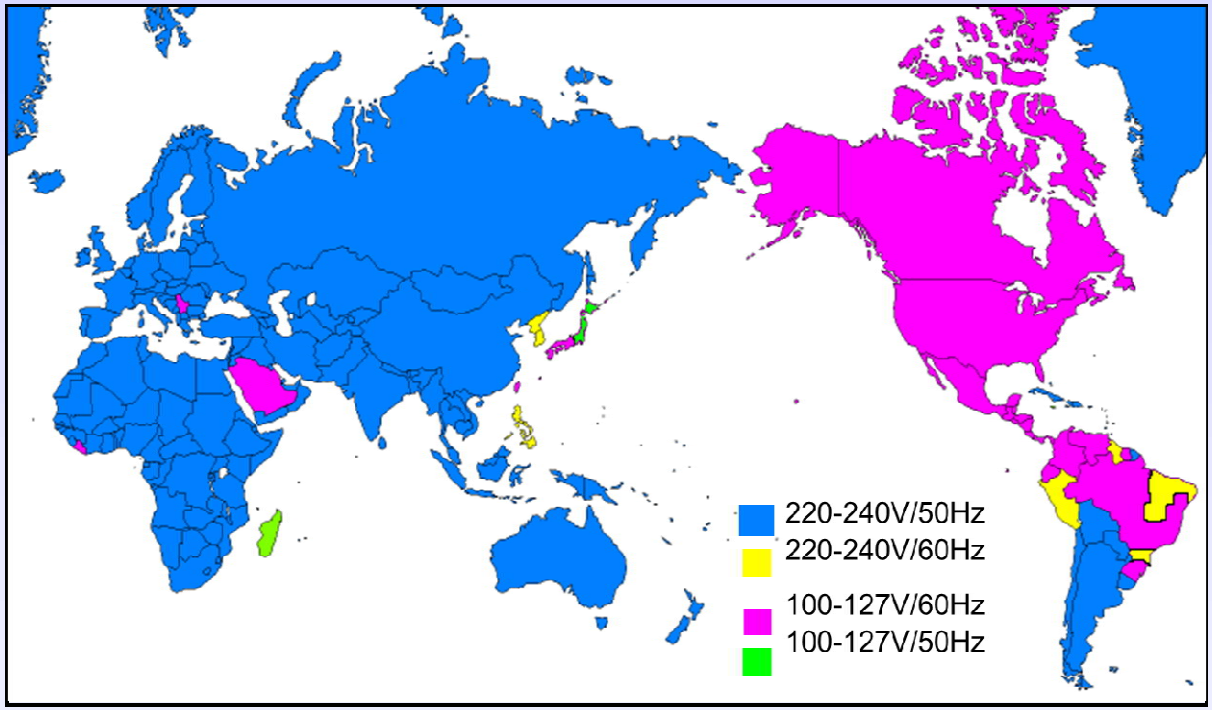
電力構成　(2018年度)

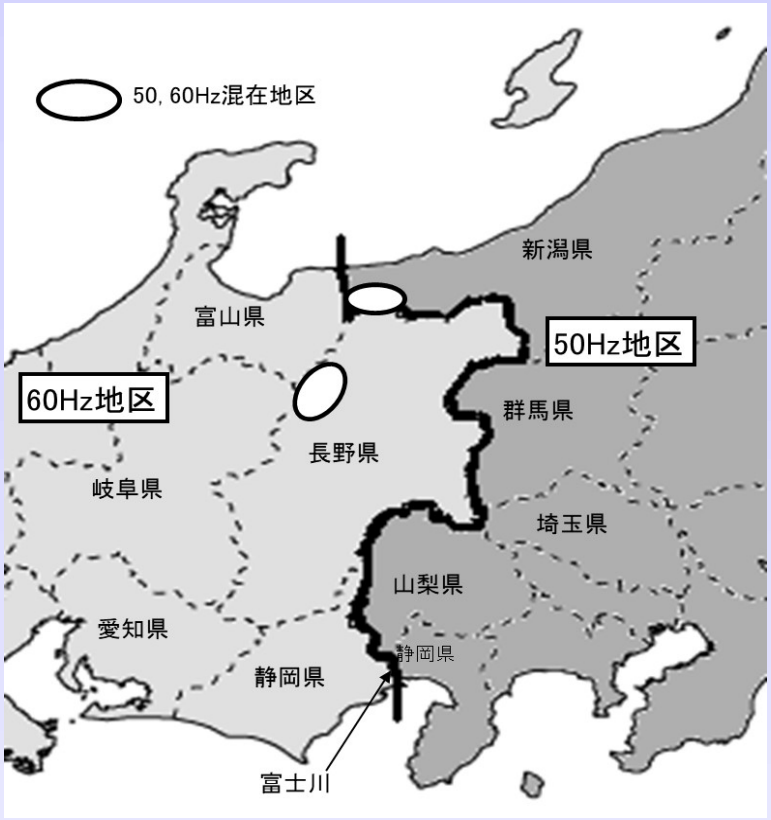
2018年度における日本の総発電電力量は1.05兆kWhで，化石燃料が77%，原子力6%，再生可能エネルギーが17%を占めた。



出展：資源エネルギー庁HP，https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/total_energy/pdf/stte_027.pdfより作成

日本の電力周波数分布と世界の電圧・周波数





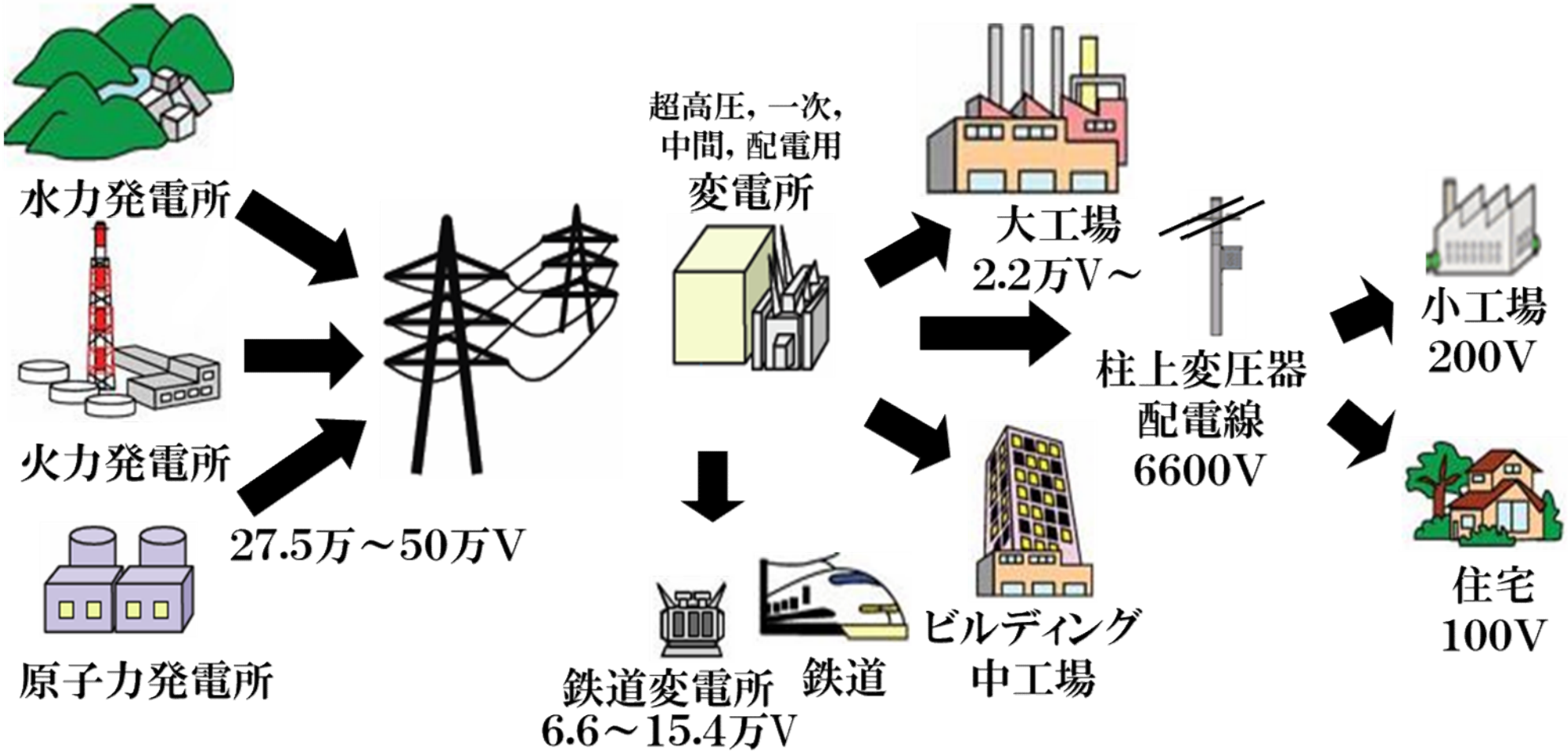
世界では，周波数は効率が最も高くなる50～60Hzを使用。家庭の電圧は，100～130V地域と220～240V地域に大別される。

周波数が違うと，性能が落ちたり，そのまま使用できない電化製品がある。

	60Hz	50Hz
地域	富山県・長野県・静岡県富士川以西	新潟県・群馬県・山梨県・静岡県富士川以東
電力会社	中部，北陸，関西，中国，四国，九州，沖縄電力	北海道，東北，東京電力

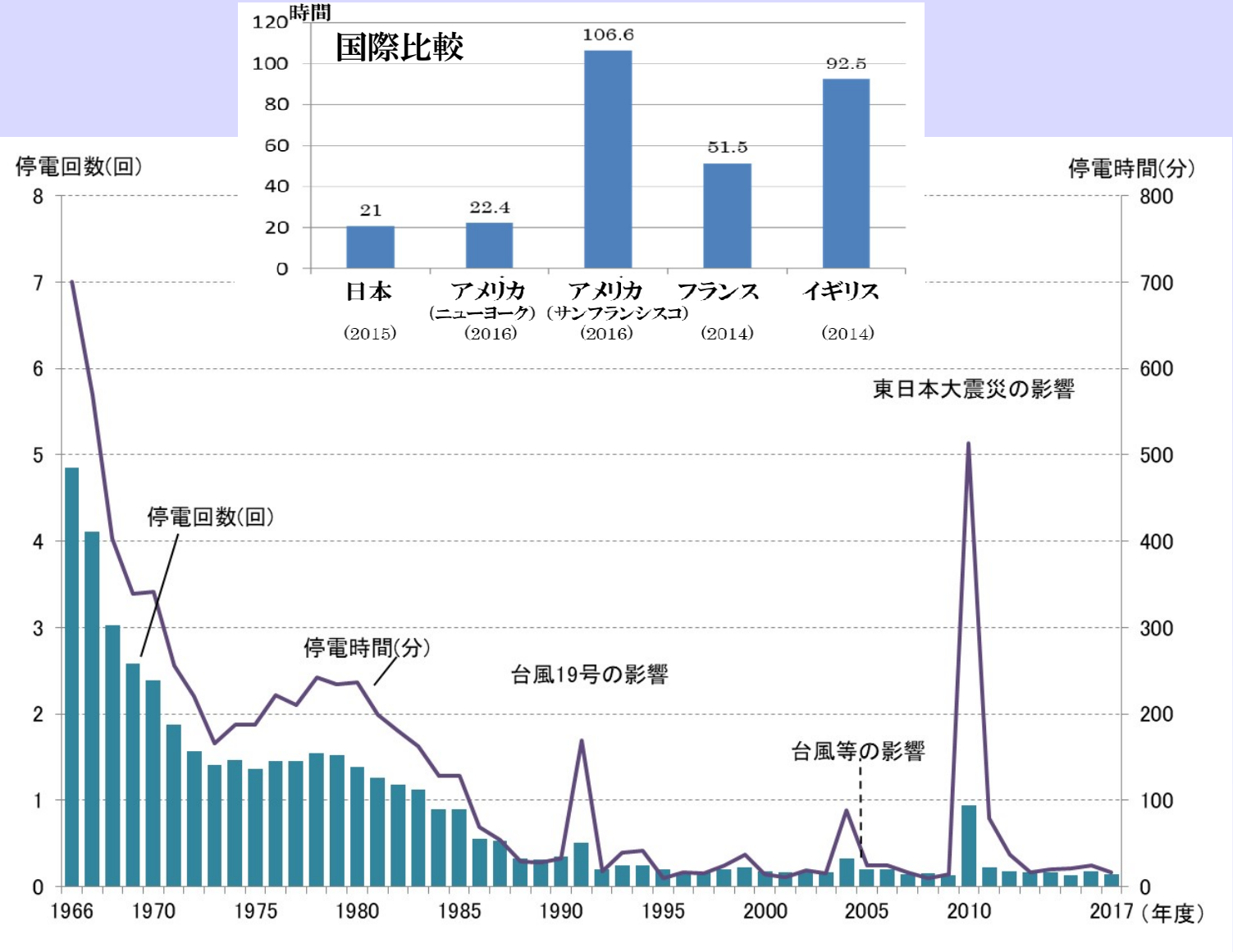
発電から電気の利用までの流れ

電気は発電所から送電線，変電所，配電線からなる電力系統を経て送られてくる。停電を起こさないよう，さらに電圧や周波数の乱れを適正に調整し，安定で高品質な電力を供給している。



安定した電気の供給 -1軒あたりの年間停電回数と時間の推移-

停電時間と停電回数は，電気の品質を図る目安の一つ。事故停電の発生回数の減少，1事故当たりの停電時間の短縮に取り組んでいる。千葉県では，本年9月に台風15号により，送電系統が大きな被害を受け，大規模かつ長時間にわって停電した。**大規模・長時間の停電**は社会的影響も大きいことから，送電線の多ルート化や送電設備の高信頼度化などが望まれる。

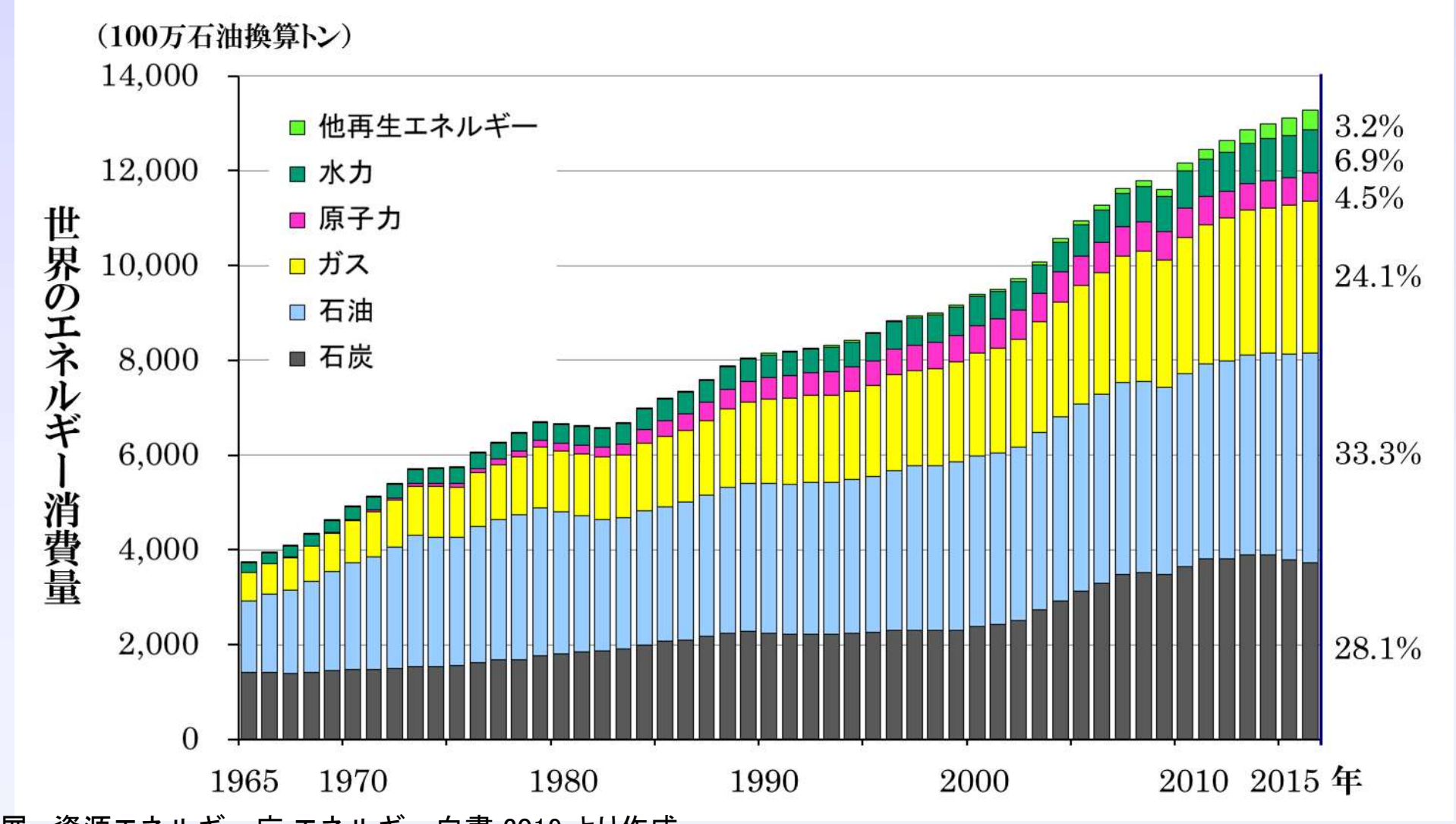


2018/9/6 北海道地震，北海道全域の大規模停電（ブラックアウト）
2019/9/5 台風15号，千葉県送電網損壊による長期，広域停電

出展：資源エネルギー庁 エネルギー白書 2019

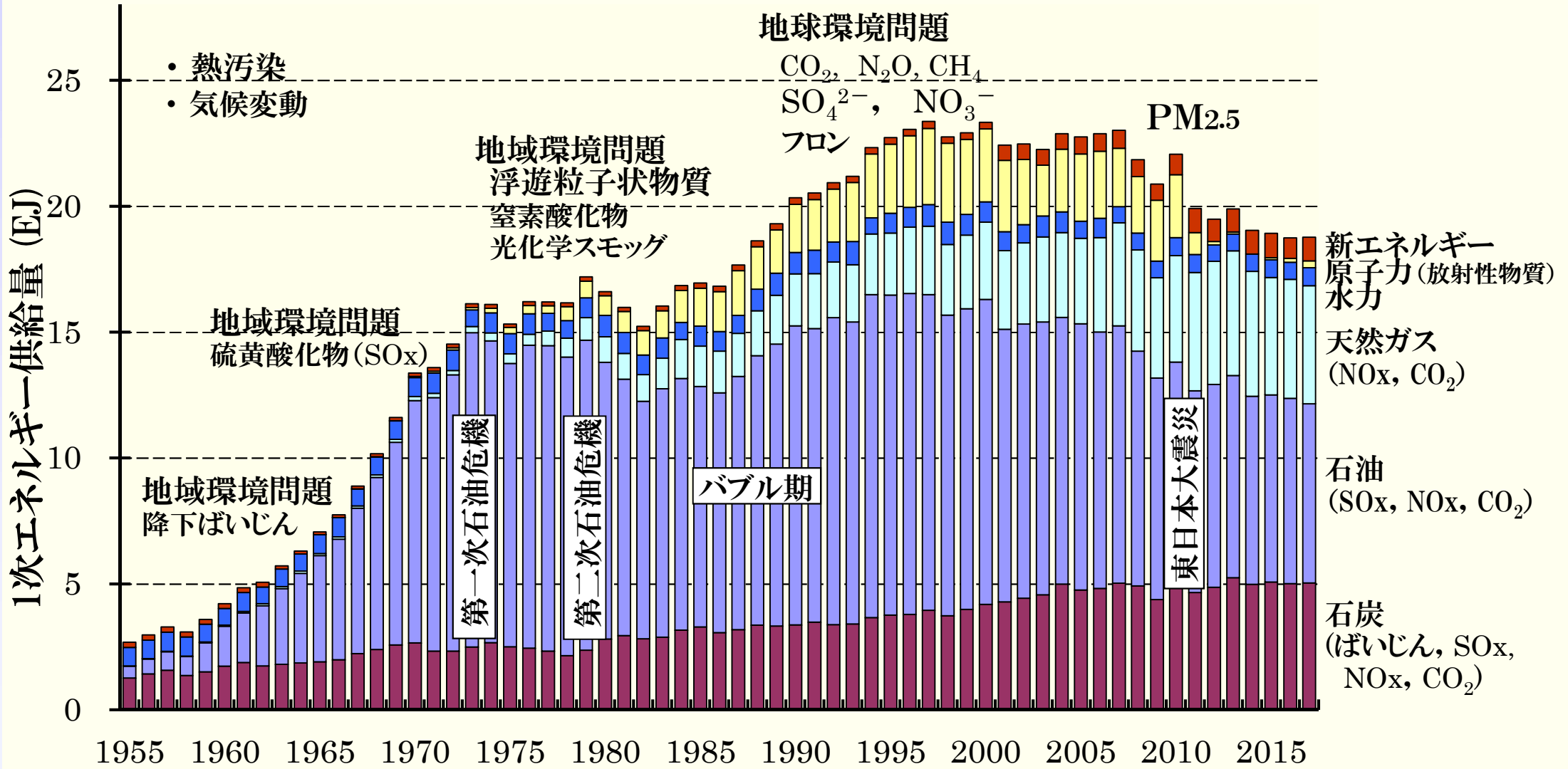
世界のエネルギー消費量の推移

総消費量は急速に増加し，中でも石油消費量は1965～2016年にかけて年平均2.1%増加し最も大きなシェア（2016年，33.3%）を占めている。再生可能エネルギーは同年3.2%であった。



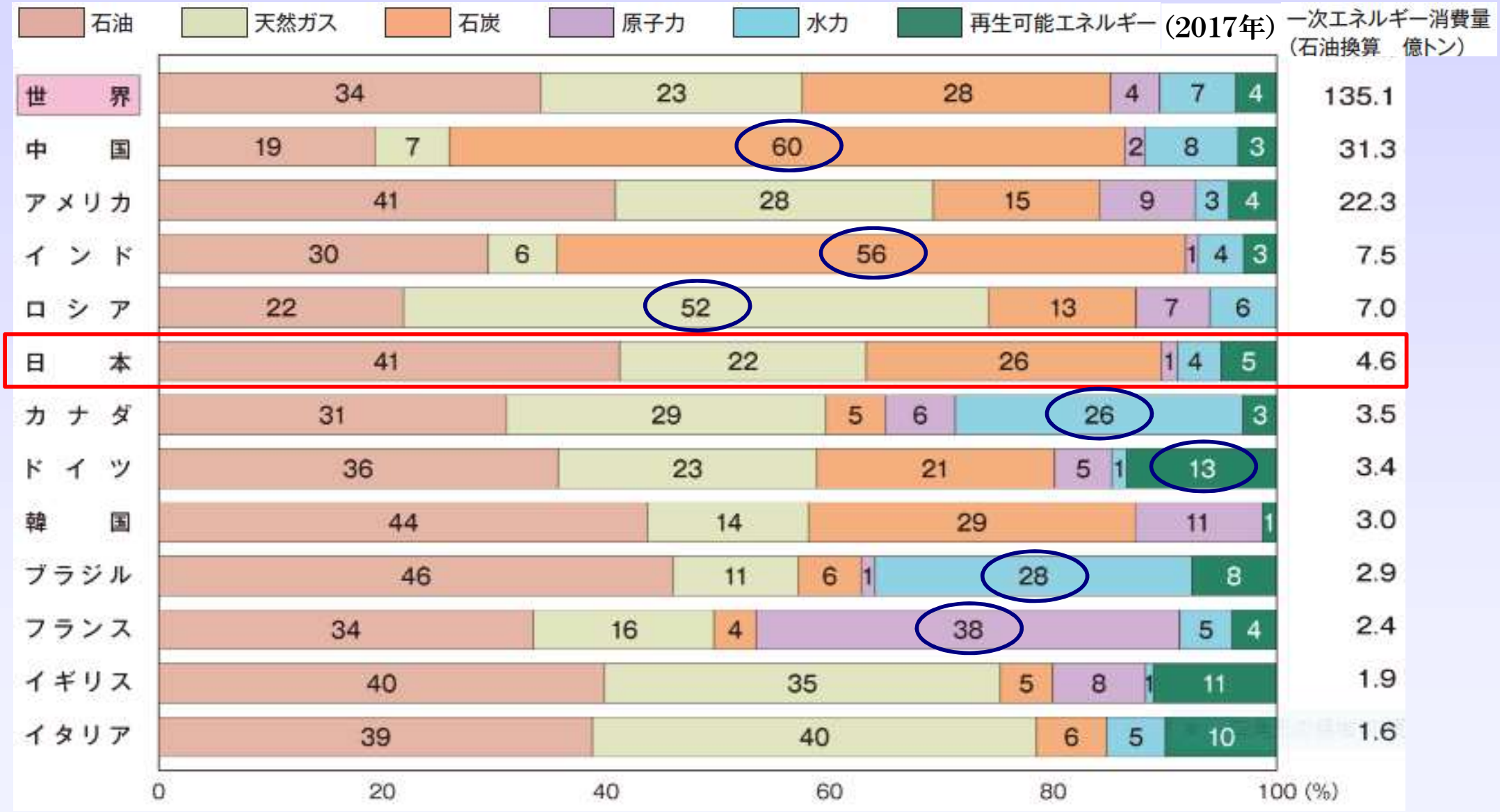
出展：資源エネルギー庁 エネルギー白書 2019 より作成

日本の一次エネルギー供給量と大気環境問題の変遷 (1955～2017)



出典：資源エネルギー庁，総合エネルギー統計より作成 Original

主要国の一次エネルギー構成（2017年）

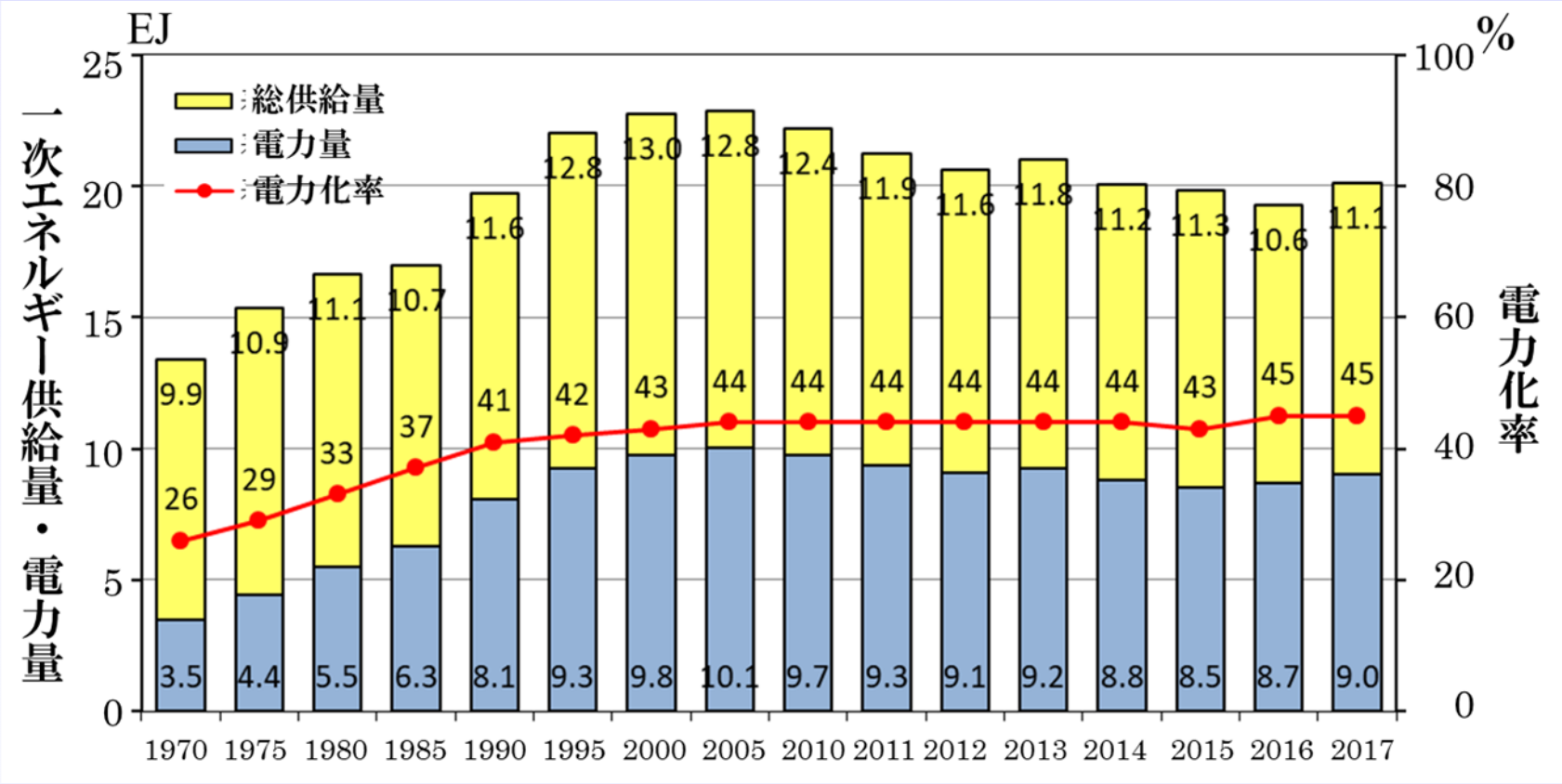


原子力・エネルギー図面集 1-1-8より作成

伸びる電気の利用：一次エネルギー供給量と電力化率

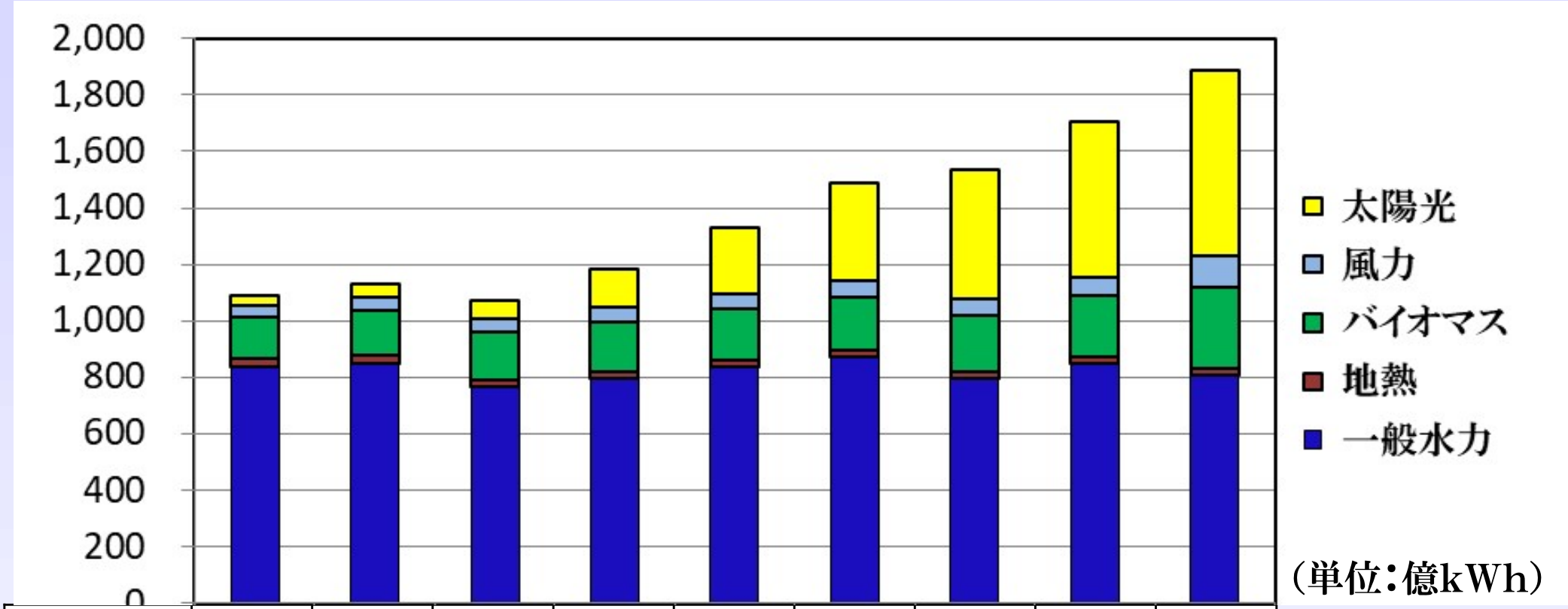
生活水準の向上や高度情報化社会の進展などにより，電気の役割は益々大きくなっており，産業、生活のあらゆる面で電気が使われ**電力化率**が高まり、日本では現在45％に達している。ただし，近年は**省エネへの取り組みなどにより伸びは鈍化**している。

世界的にも中国やブラジル，インドなどの台頭により，電力消費量は増加の一途をたどっている。日本は省エネルギー化に努め，世界でもトップクラスのエネルギー利用効率を達成している。



出展：電気事業連合会 https://www.fepc.or.jp/smp/enterprise/jigyou/japan/index.html より作成

自然エネルギーの発電量の推移



年　度	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
一般水力	838	849	765	794	835	871	795	849	808
地熱	26	27	26	26	27	26	25	25	22
バイオマス	152	159	168	178	182	188	197	215	287
風力	40	47	48	52	52	56	62	65	114
太陽光	35	48	66	131	234	348	458	550	654

出展：自然エネルギー財団HP，https://www.renewable-ei.org/statistics/energy/?cat=electricity より作成

世界のエネルギー資源確認可採埋蔵量と可採年数

世界のエネルギー消費量の約85%は，エネルギー源として化石燃料である石炭，石油，天然ガスを使用している。化石燃料は現状のまま使い続けると数百年内に使い果たすこととなる。

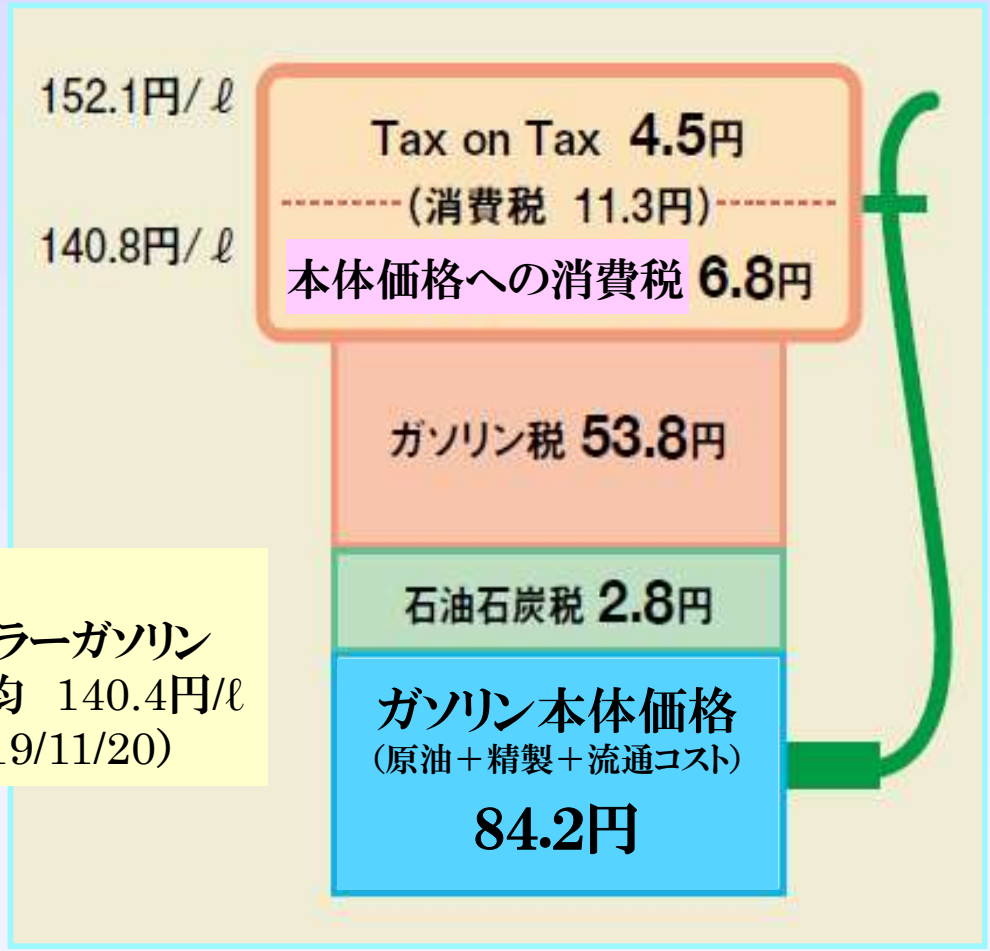
*1 可採年数＝確認可採埋蔵量/年間生産量
*2 ウランの確認可採埋蔵量は費用130ドル/kgU未満

- 石油，天然ガス，石炭，ウランは，資源に限りがある。
- 石油，天然ガス，石炭は埋蔵地域に偏りがある。

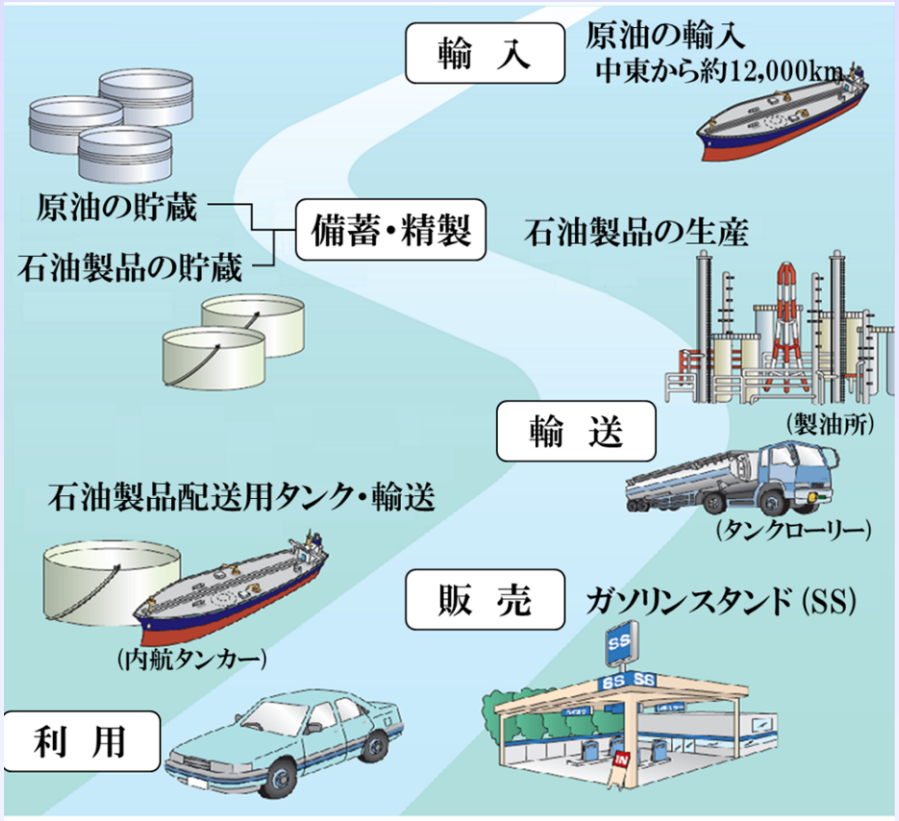
電気事業連合会/原子力・エネルギー図面集より作成

ガソリン価格の内訳

1ℓのガソリン価格を152.1円（2018/7/30日）とした場合，本体価格84.2円に各種税金を足した140.8に，消費税11.3円が加えられ152.1円となっている。中東から12,000km輸送され，さらに精製，輸送，販売等の諸費用を含めた価格である。



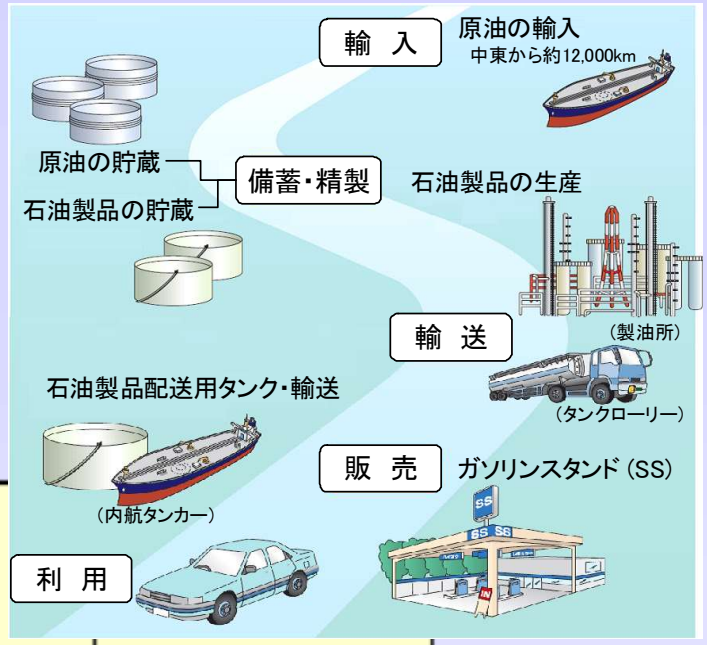
参考：
レギュラーガソリン
全国平均　140.4円/ℓ
（2019/11/20）

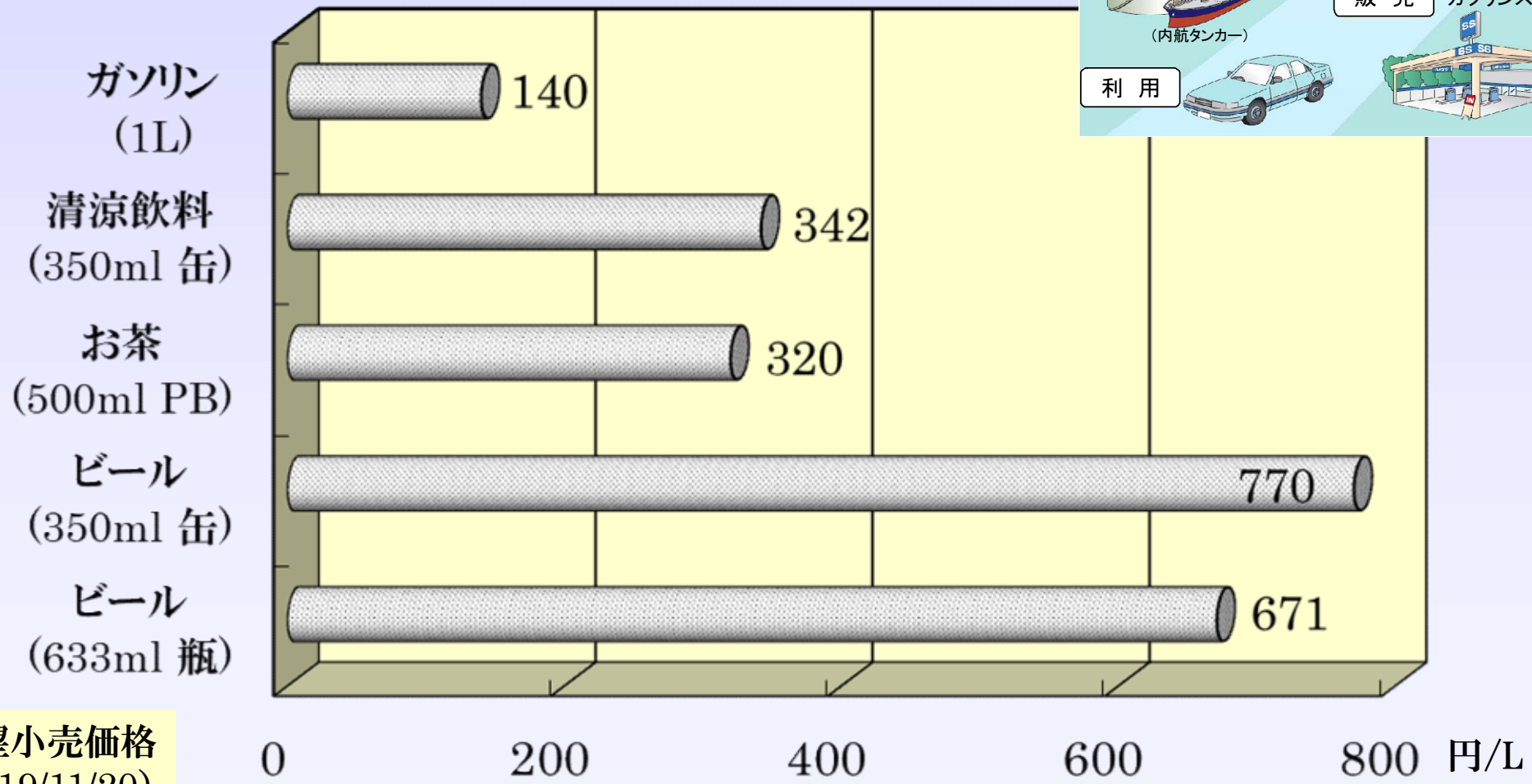


出展：今日の石油産業 p.21，https://www.paj.gr.jp/statis/data/data/2018_data.pdf

不思議1　とても安い「ガソリン」
（1リットル当たりの各種製品の価格）

ガソリン価格＝
原油価格＋輸送費（中東から12,000km＋国内）＋精製費
＋管理費＋マージン＋税金（原油関税＋石油税＋消費税）



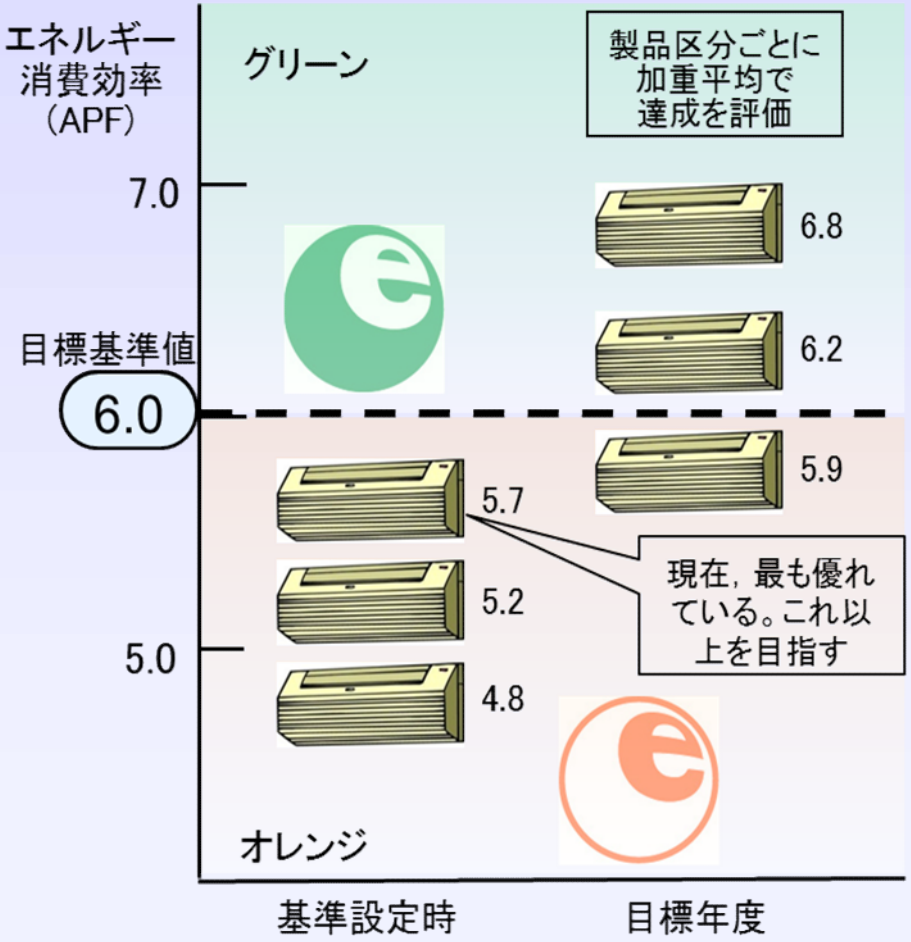


希望小売価格
（2019/11/20）

トップランナー方式とは

「自動車，電機機器等のエネルギー多消費機器（特定機器）の省エネ基準を，現在商品化されている製品のうちエネルギー消費効率が最も優れている機器の性能以上にする」こと。

トップランナー方式



特定機器（2019年時点で31品目）

1 乗用自動車
2 エアコンディショナー
3 照明器具
4 テレビジョン受信機
5 複写機
6 電子計算機
7 磁気ディスク装置
8 貨物自動車
9 ビデオテープレコーダー
10 電気冷蔵庫
11 電気冷凍庫
12 ストーブ
13 ガス調理機器
14 ガス温水機器
15 石油温水機器
16 電気便座
17 自動販売機
18 変圧器
19 ジャー炊飯器
20 電子レンジ
21 DVDレコーダー
22 ルーティング機器
23 スイッチング機器
24 複合機
25 プリンター
26 ヒートポンプ給湯器
27 交流電動機
28 電球
29ショーケース
30※断熱材
31※サッシ
32※複層ガラス

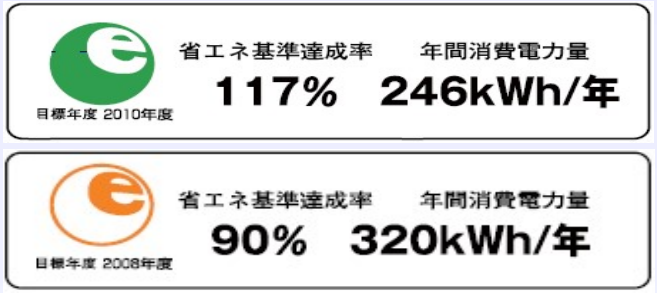
省エネルギーセンターHPより作成

トップランナー方式によるエネルギー効率の改善

トップランナープログラムが1999年に導入されて以来，現在までに32品目の改善に成功している。

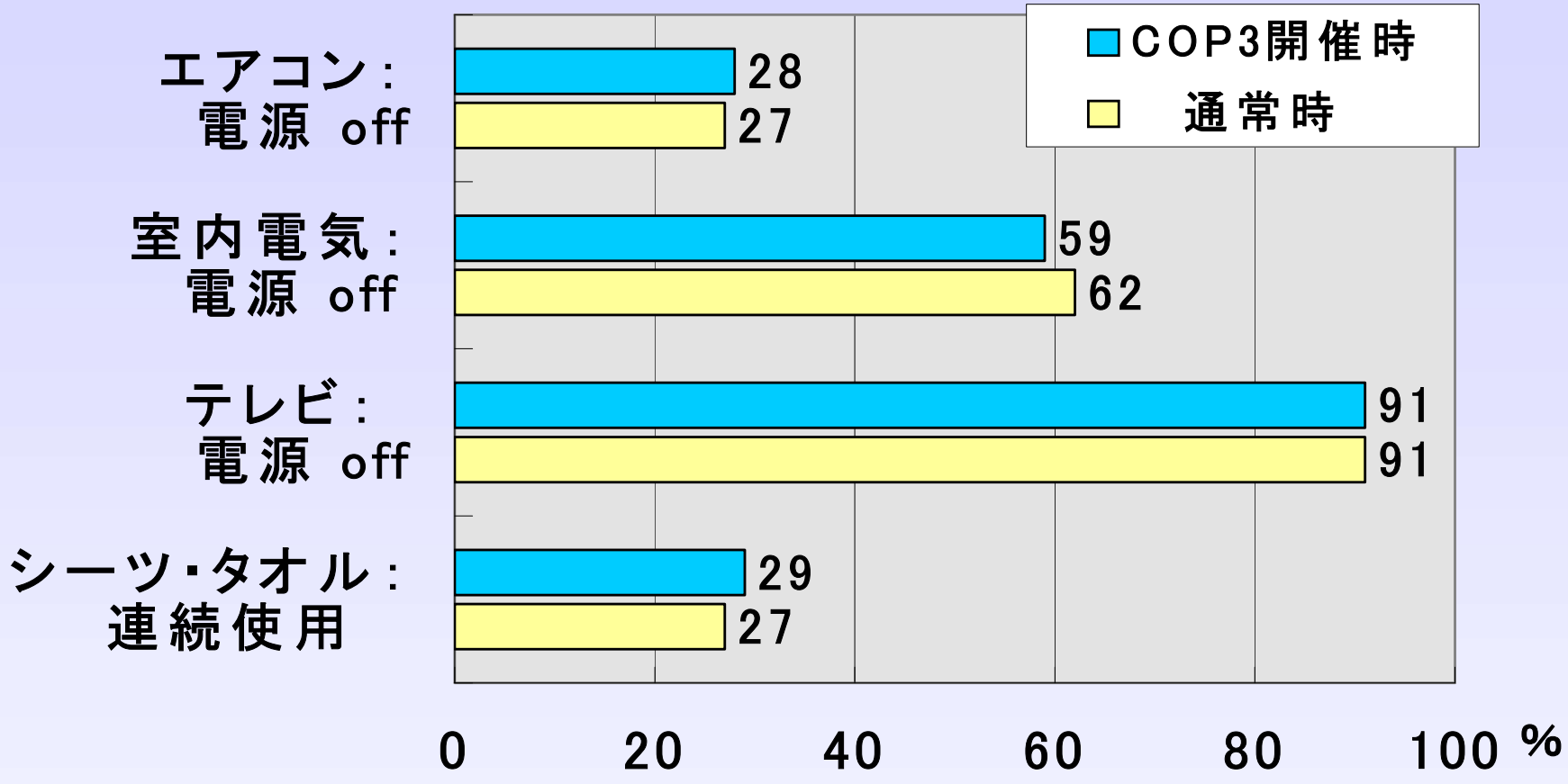
機器名	開始年度→ 目標年度	エネルギー消費効率 改善実績（当初見込み）
ガソリン乗用自動車	1995→2010	48.4% (22.8%)
エアコンディショナー，4kW 以下	2005→2010	16.3% (22.4%)
電気冷蔵庫	2005→2010	43.0% (21.0%)
蛍光灯器具	2006→2012	14.5% (7.7%)
テレビジョン(液晶/プラズマ)	2008→2012	60.6% (37.0%)

省エネルギー ラベンリング制度
- 省エネルギーラベル（左）
- 統一省エネルギーラベル（右）



Top Runner Program 2015, Agency for Natural Resource and Energy より作成

不思議2　ホテルでは優雅に－ 宿泊後の状況調査 －



調査時期：1997年12月，COP3（地球温暖化防止京都会議）開催中，1998年3月
調査対象：宿泊者の多くがCOP3参加者で占められた京都市内の5ホテル
調査方法：宿泊者外出・チェックアウト後に客室係が記録

1．エネルギーの生産・利用

2．エネルギー利用と大気環境・地球環境問題

2．1　大気汚染問題

2．2　地球環境問題

2．3　放射能汚染

3．新エネルギー技術

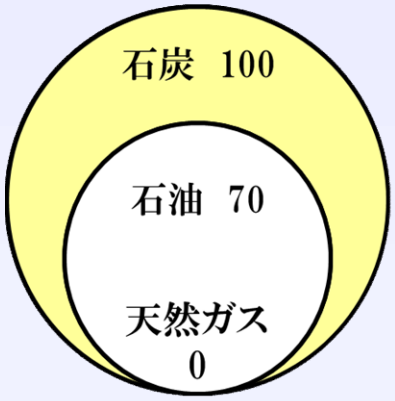
4．新エネルギー利用の現状と課題

各種エネルギー源の大気汚染物質

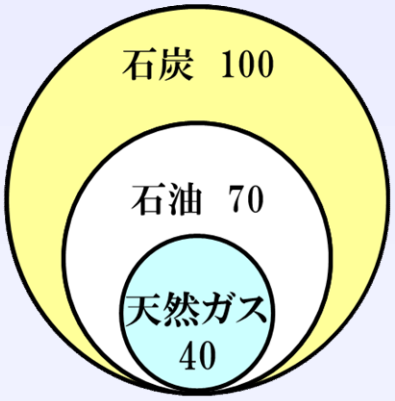
	燃料体	焼却排ガス	焼却残渣	大気中
石　炭	ばいじん	SOx, NOx, ばいじん, CO_2	ばいじん, 放射性物質	**二次汚染物質** 硫酸煙, 硝酸塩, 有機粒子, オキシダント **環境影響** 地球温暖化 酸性雨 放射能汚染
石　油	HC	SOx, NOx, CO_2		
天然ガス	CH_4, HC	NOx, CO_2		
核 燃 料	放射性物質	放射性物質	放射性物質	

1978～2014年の汚染物質排出量（万t/年）

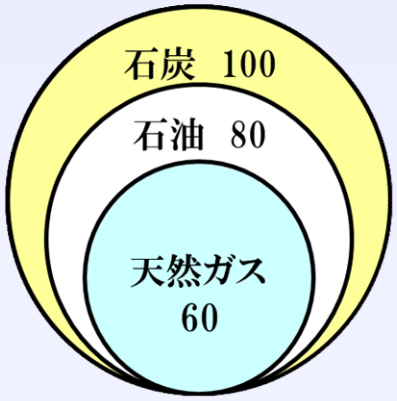
	1978年（最大）	2014年（最小）
SOx	132	40.7
NOx	87.1	63.1
	89.0（2005年）	
ばいじん	13.3	3.6



硫黄酸化物（SOx）



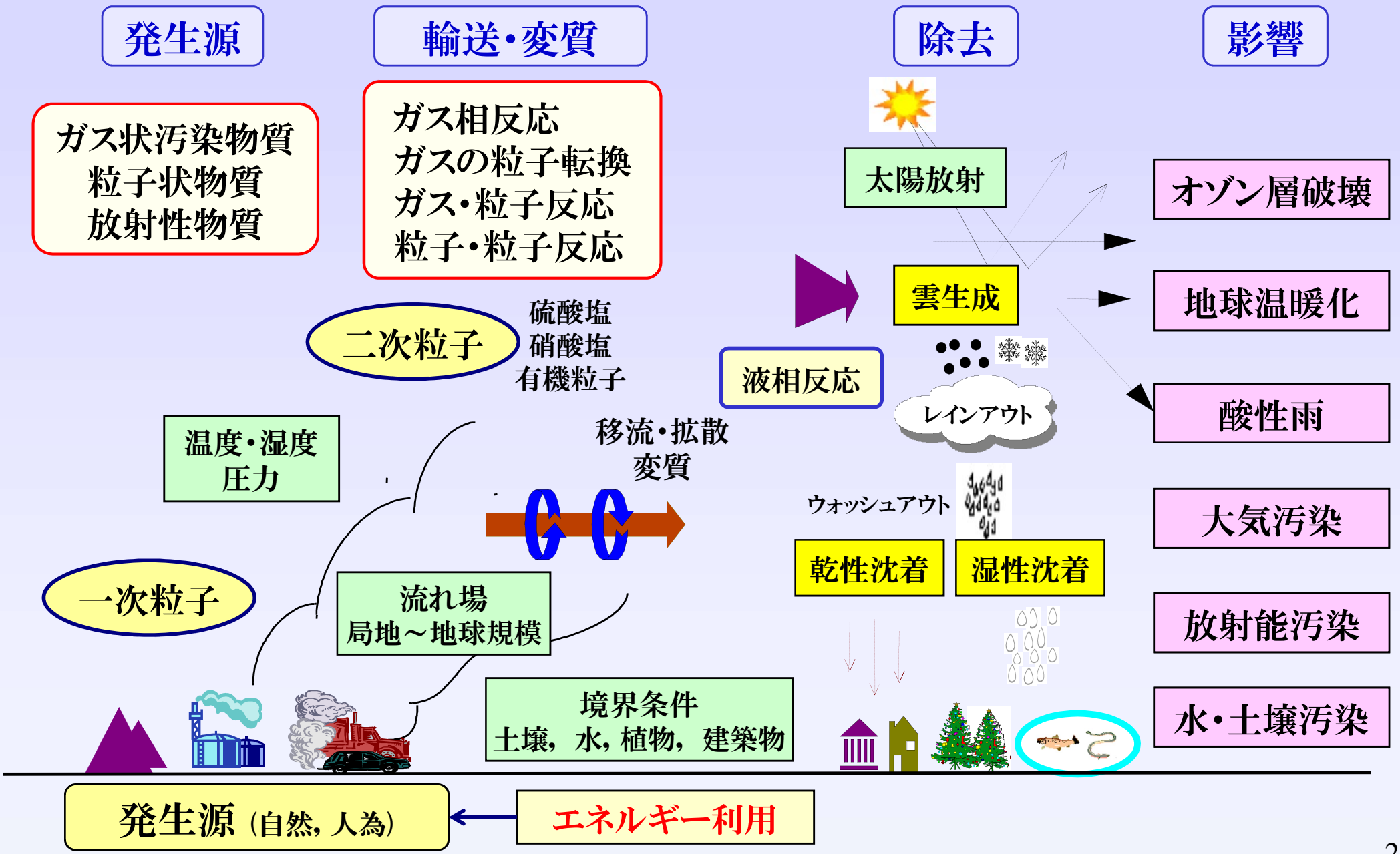
窒素酸化物（NOx）



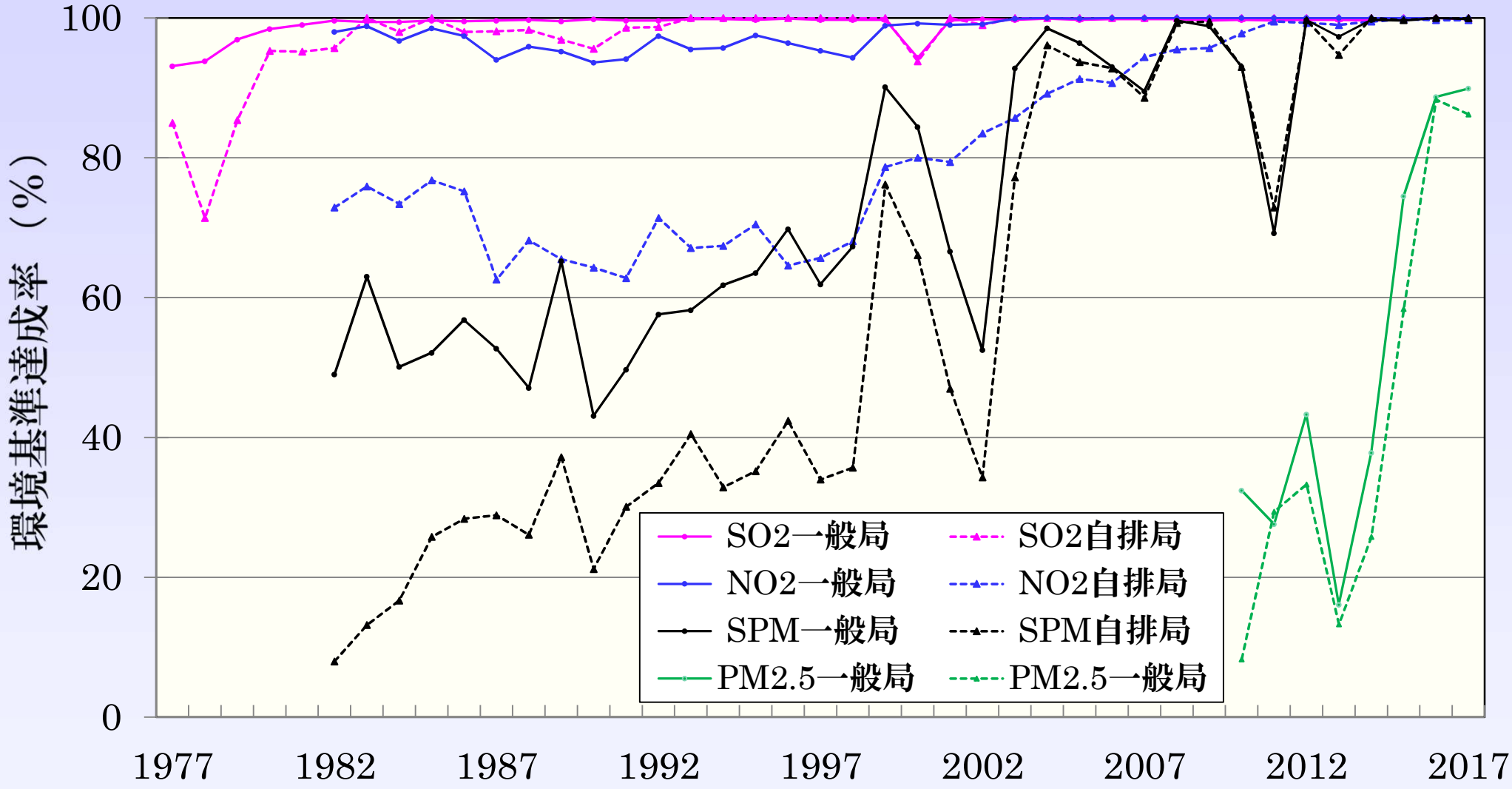
二酸化炭素（CO_2）

表の出展：環境省平成29年版，環境統計集より作成

大気汚染物質の大気中における挙動と環境影響

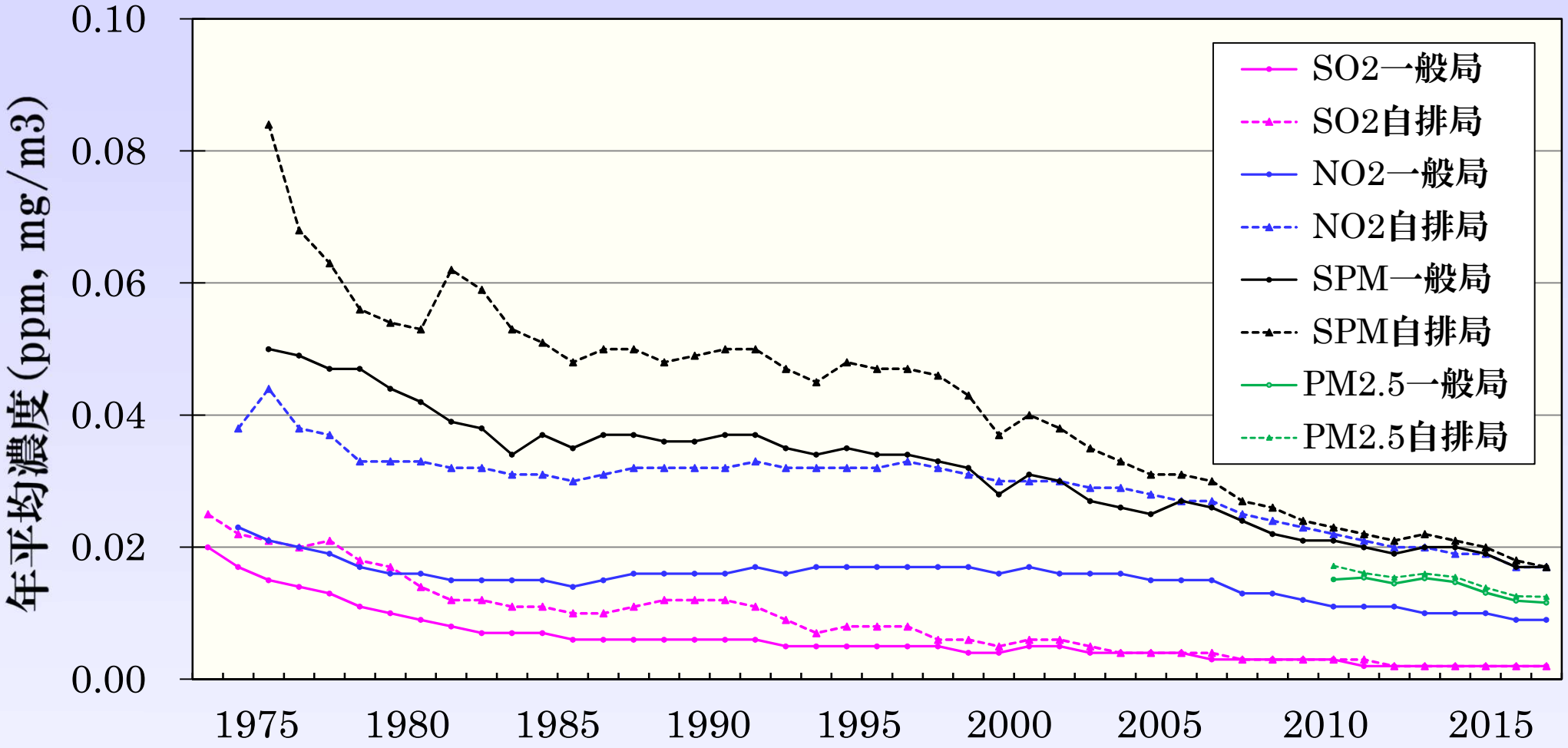


主要大気汚染物質の環境基準達成率の推移（1977～2017）



各年度環境白書等より作成

主要大気汚染物質の年平均濃度の推移（1973～2017）



1949：東京都公害防止条例制定，1952：ロンドンスモッグ事件，1960：四日市ぜんそく多発，
1967：公害対策基本法制定，1968：大気汚染防止法制定，1970：光化学スモッグ発生，
1971：環境庁発足，1973：環境基準制定，1993：環境基本法制定，2011：東日本大震災

各年度環境白書等より作成

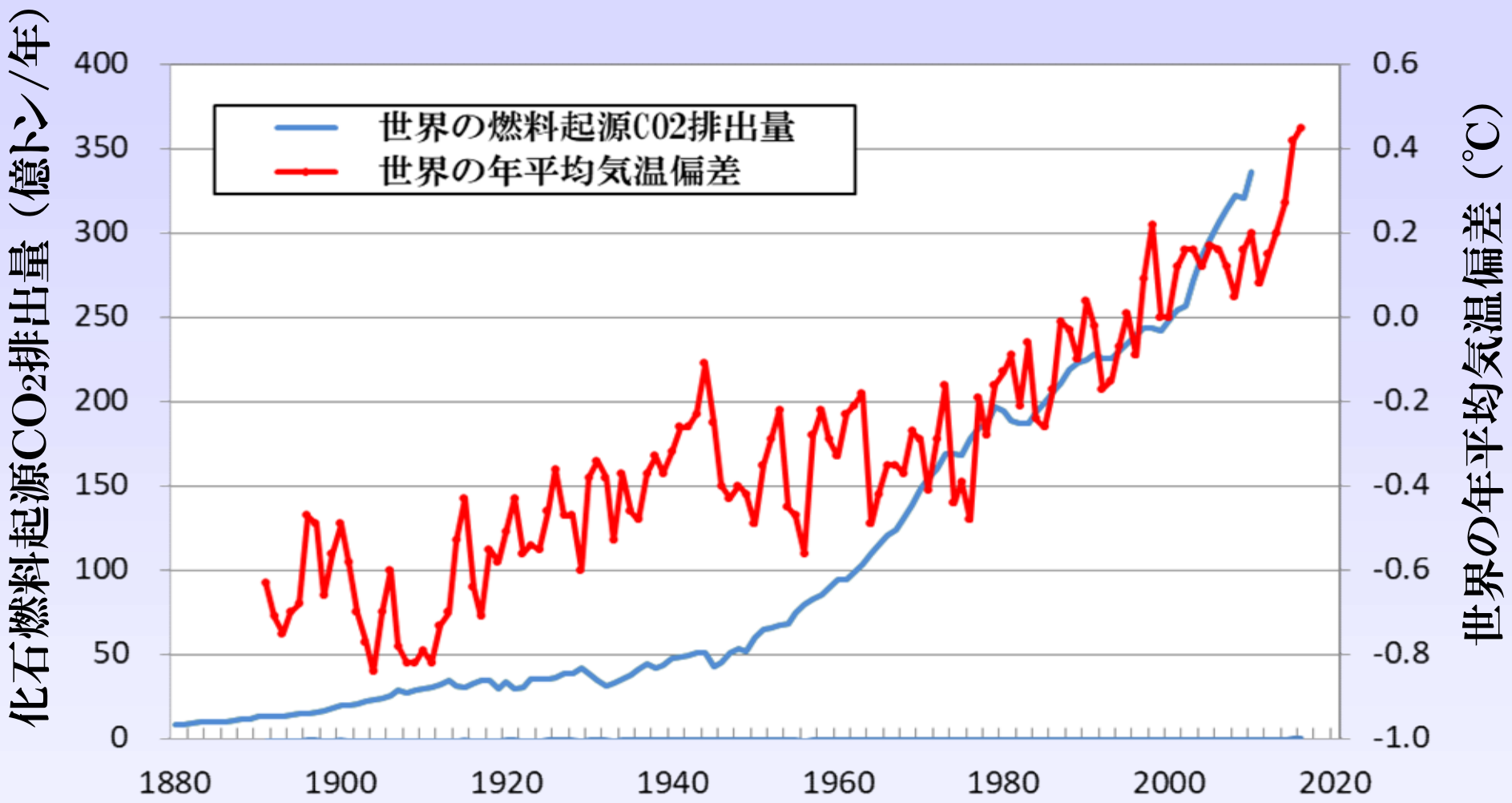
21世紀における最大の地球環境問題

化石燃料の燃焼 ⇒ CO_2など温室効果ガスによる地球温暖化 ⇒ 気候変動

頻発するゲリラ豪雨

Photo source：https://www.google.co.jp/search?q=climate+changes

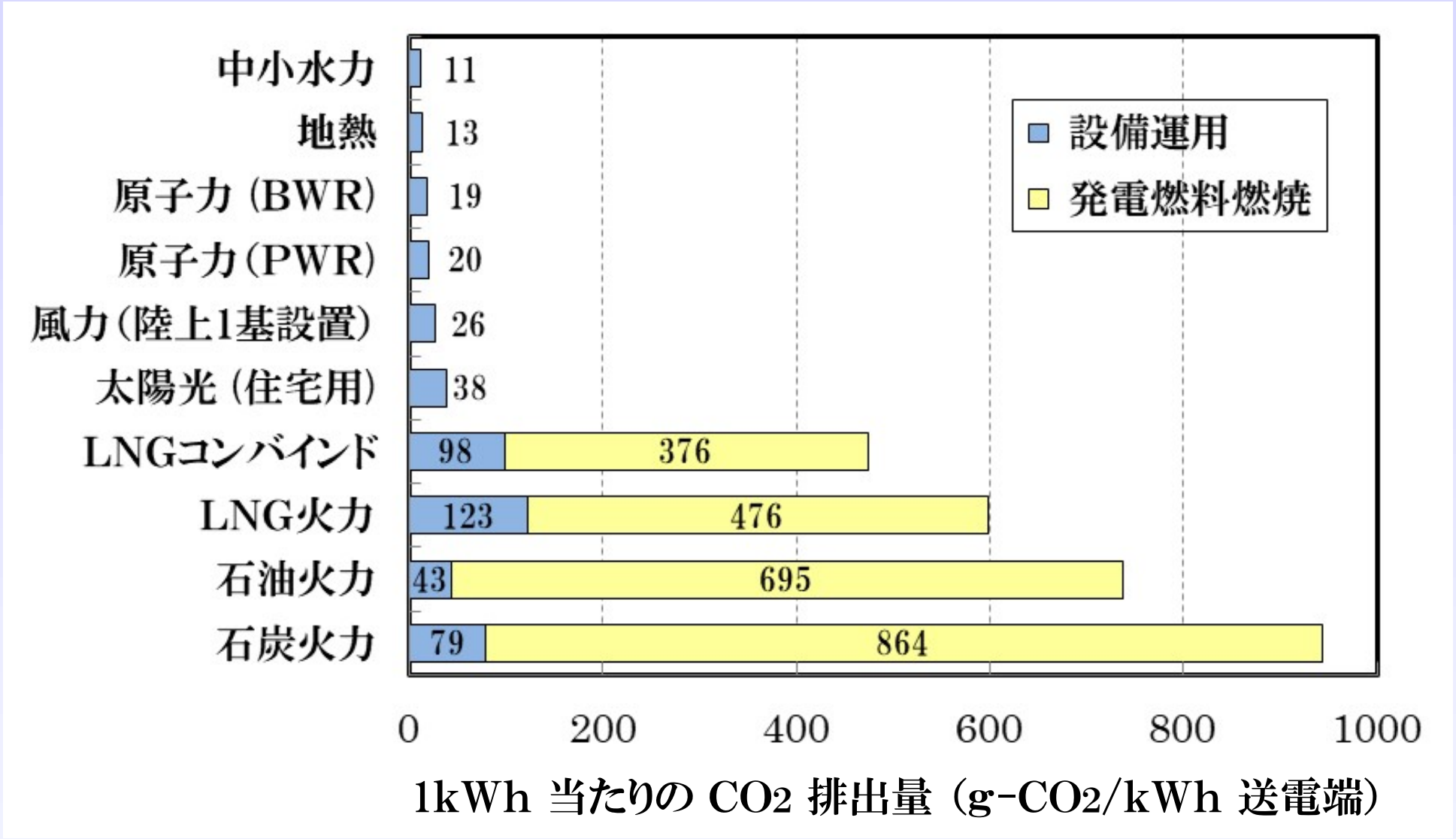
世界の燃料起源 CO_2 排出量と年平均気温偏差の推移



1760～1830：産業革命，1958：マウナロアでCO_2濃度観測開始，1970：地球寒冷化説主流，
1973：第一次石油危機，1992：地球サミット，1997：COP3京都議定書採択，2015：パリ協定
2019年：IPCC第49回総会気温上昇1.5℃以下を目指す京都アピール＝2050年

気温　http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/temp/list/an_wld.html
CO2濃度　http://www.env.go.jp/doc/toukei/contents/tbldata/h29/2017-2.html

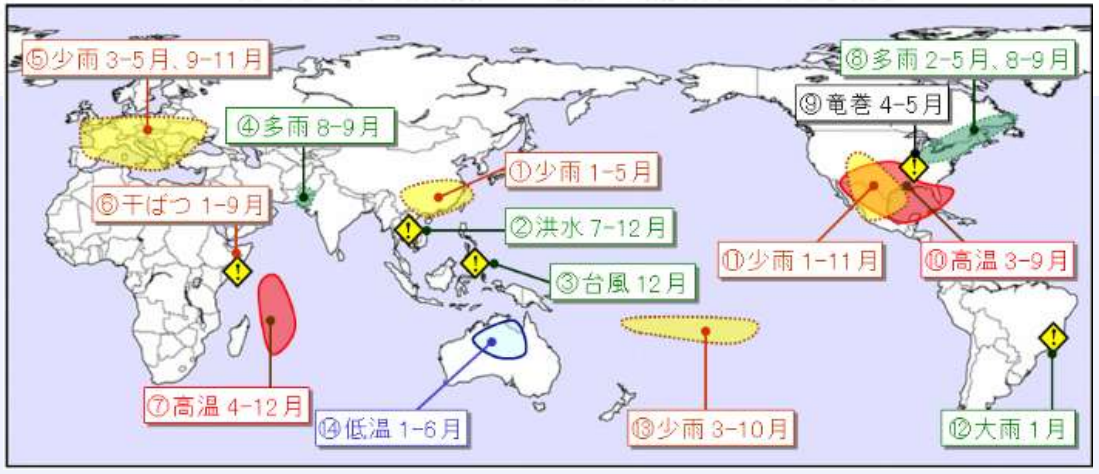
各種電源別ライフサイクル CO_2 排出量



発電燃料の燃焼に加え，原料の採掘から発電設備等の建設・燃料輸送・生成・運用・保守等のために消費される全てのエネルギーを対象としてCO_2 排出量を算定

電力中央研究所報告書(2016/7)より作成

2018年の世界の異常気象（極端現象）



2018年の年平均気温は，ほとんどの地域で平年より高く，広範囲で非常に高かった。

一方，2011年はここ10年間で，最も異常気象が少なかった。

出展：https://www.data.jma.go.jp/gmd/cpd/monitor/annual/annual_2018.html

参考：2011年

温暖化対策の新しい枠組み「パリ協定」

1．パリ協定とは

2020年以降の気候変動問題に関する国際的枠組みで，2015年パリで開催されたCOP21で合意された。COP3（1997年，京都）で定められた「京都議定書」の後継

2．パリ協定発効のための条件

1）55カ国以上が参加すること

2）世界の温室効果ガス総排出量のうち55％以上をカバーする国が批准すること

☆ 2016年11月4日に発効：主要排出国を含む多くの国が参加。締結国だけで，世界の温室効果ガス排出量の約86％，159カ国・地域をカバー

3．パリ協定における世界共通の長期目標

米国，2019/11/4 離脱を通告

1）世界の平均気温上昇を産業革命以前に比べて2℃より十分低く保ち，1.5℃に抑える努力をする。

2）そのため，できるかぎり早く世界の温室効果ガス排出量をピークアウトし，21世紀後半には，温室効果ガス排出量と森林などによる吸収量のバランスをとる。

4．パリ協定の画期的な2つのポイント

1）途上国を含む全ての主要排出国が対象

2）各国に自主的な取組みを促すボトムアップのアプローチ（日本の提唱）

5．日本の削減目標

中期目標：2030年度の温室効果ガスの排出を2013年度水準から26％削減

「パリ協定」における主要国の2030年削減目標値

日本の2030年目標値は，「2013度比で26％削減」
日本は2013年比，米国は2005年比，EUは1990年比での数値を削減目標として提出。比較年を2013年に合わせた場合，日本の目標は高いことがわかる。

国名	1990年比	2005年比	2013年比
日本	▲18.0%	▲25.4%	▲26.0% (2030年までに)
米国	▲14～16%	▲26～28% (2025年までに)	▲18～21%
EU	▲40% (2030年までに)	▲35%	▲24%
中国	・2030年までに2005年比でGDP当たりの二酸化炭素排出を60～65%削減 ・2030年頃に二酸化炭素排出のピーク達成		
韓国	・2030年までに、対策を講じなかった場合の2030年比で37%削減		

削減目標（日本）
削減目標（米国）
削減目標（EU）

出典：日本のエネルギー2018，https://www.enecho.meti.go.jp/about/pamphlet/pdf/energy_in_japan2018.pdf

環境省　2100年 未来の天気予報

2019/7/8 環境省HP “Cool Choice”

CO_2 の対策が進まず，21世紀末に気温は最大4.8℃上昇と予測した場合の夏は，

全国での熱中症などによる死者は1.5万人を超える。
この他，豪雨による洪水・土砂災害，農作物への影響など，生活に深刻な影響を生じる。

https://ondankataisaku.env.go.jp/coolchoice/2100weather/ から作成

放射能汚染

19世紀末に放射線が発見され，20世紀に入り放射線を利用した技術が，医療，工業，農業などの分野で急速に広がった。

1940年代には，ウラン-235などを利用した原子炉や原爆が開発され，国際社会の安全や安定に大きな影響を及ぼすとともに，放射線被ばくによる健康被害や放射性物質による大規模な環境汚染を引き起こした。

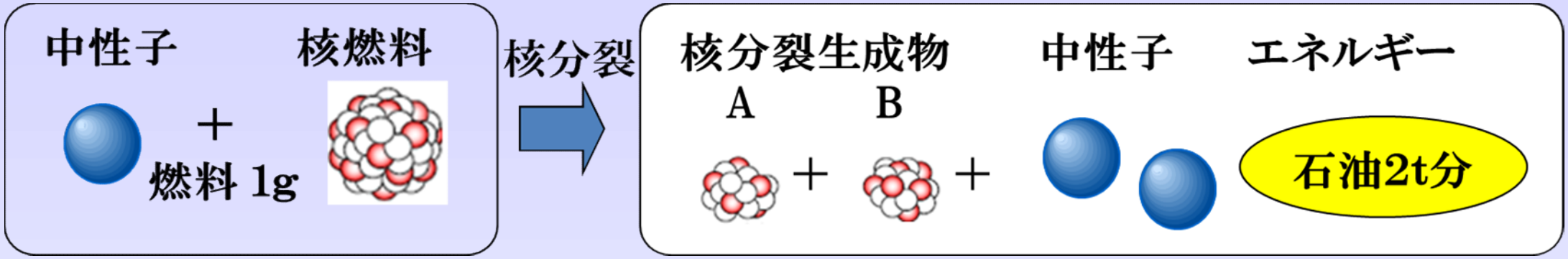
過去に環境中に放射性物質が人為的に多量に放出され，甚大な放射能汚染を引き起こした例としては，

① 戦争や核実験など原水爆によるもの

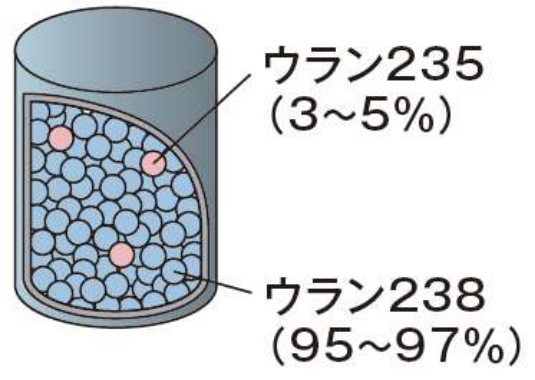
② 原子炉事故によるもの

がある。

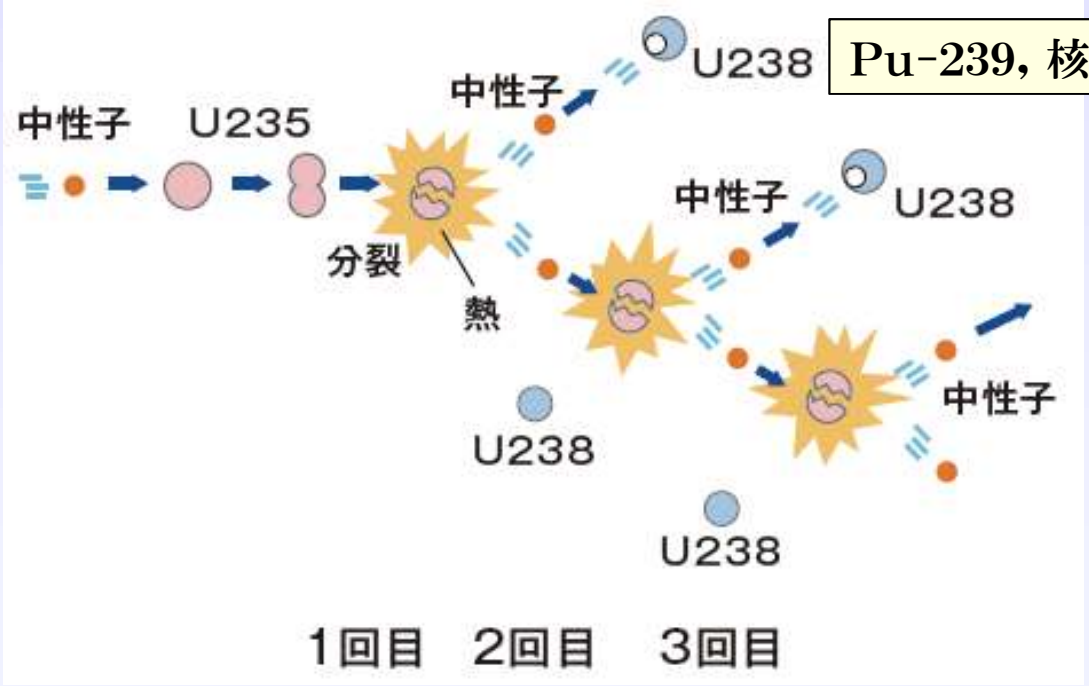
核燃料の核分裂を利用した原子力発電



I-131, Cs-137



ウラン235が0.7%の
天然ウランを
3~5%に濃縮
(原爆は，ほぼ100%)



原子力・エネルギー図面集 5-1-9 より作成

3.11東日本巨大地震に伴う津波と原子炉事故

14時26分，宮城県沖で日本周辺における観測史上最大（M9.0）大地震が発生

35分 ～ 4，5 時間

地震に伴う巨大津波が発生

地震の津波により
全電源喪失
原子炉事故が発生

福島第一原発に押し寄せる津波

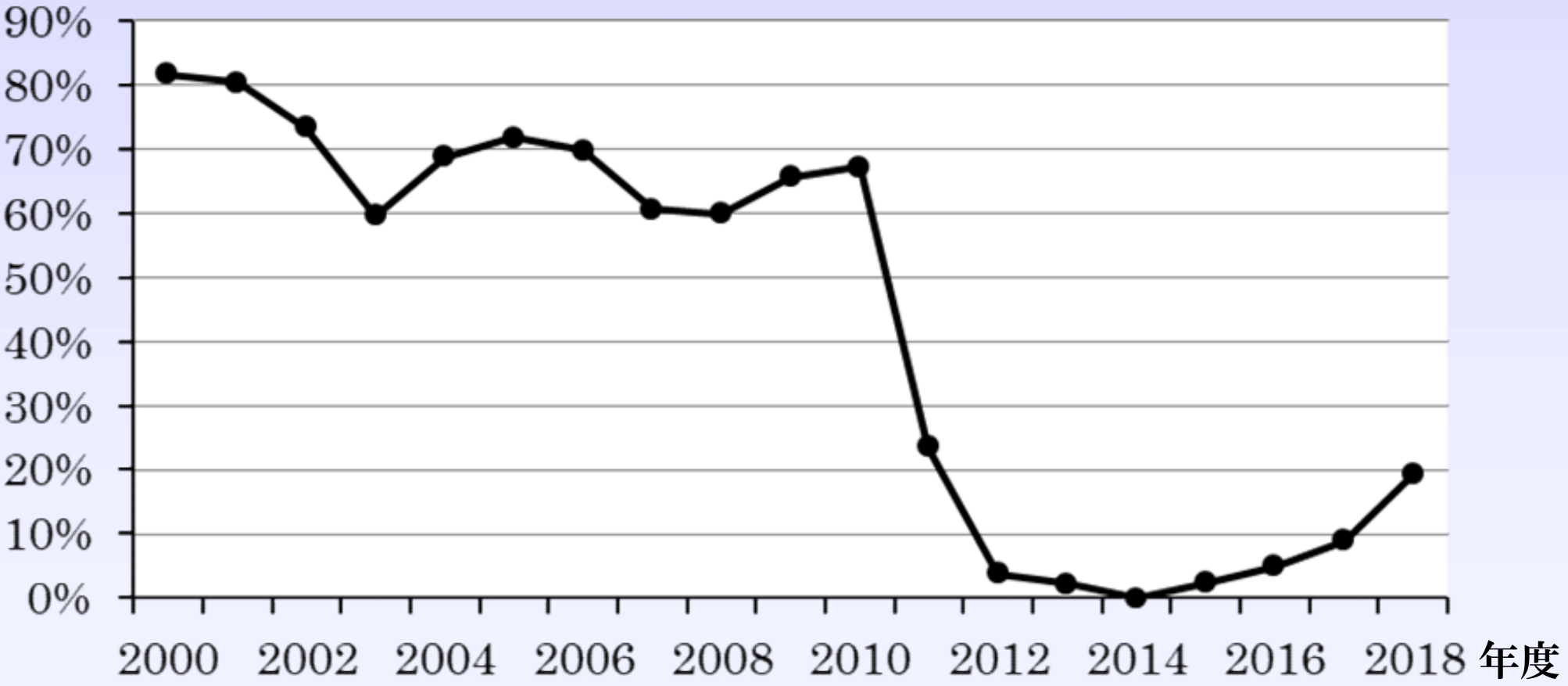
○ 止める
× 冷やす
× 閉じ込める

炉心溶融，水素爆発など
により重大事故発生

source：http://mainichi.prdnuti.com/select/jiken/graph/20110311/, http://sankei.jp.msn.com/affairs/photos/110315, asahi.com

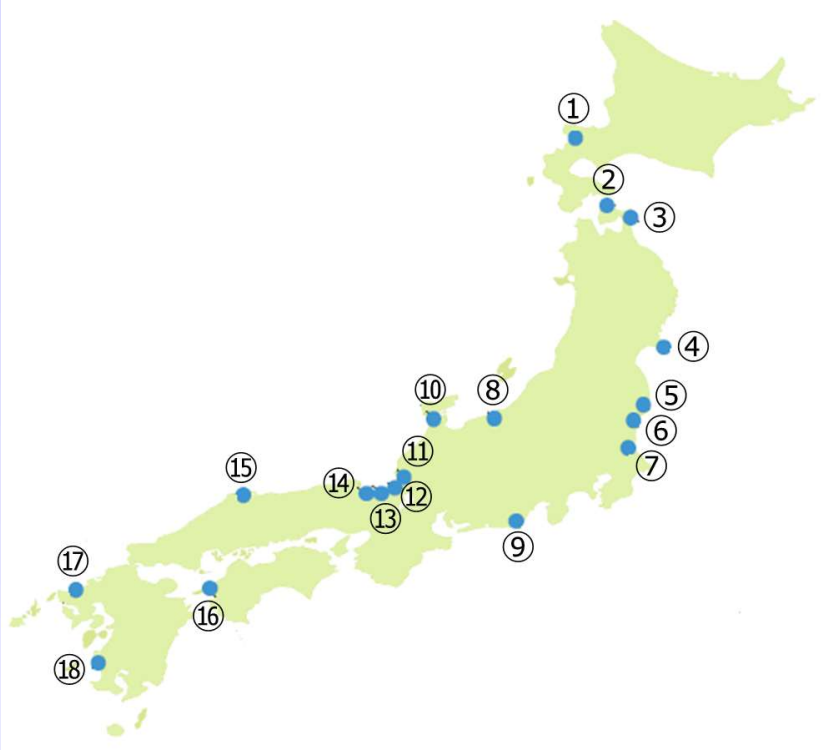
日本の原子力の設備利用率の推移

福島原子力発電所事故直前の2010年度，日本の原子力発電所の設備利用率は67％で，発電電力量に占める原子力の割合は25．1％であったが，2014年度には全ての炉が運転を停止し設備利用率は0％となった。その後，順次再稼働が進み現在9基が運転中で，2018年度の設備利用率は19.3％となっている。



出典：エネルギー白書2019，https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2019html/2-1-3.htmlより作成

日本の原子力発電所60基の運転・建設状況



炉番号の

青色数字	稼働中の炉	9基
紫色数字	原子炉設置変更許可がなされた炉	6基
黄色数字	新規制基準への適合性審査中の炉	10基
茶色数字	適合性審査未申請の炉	8基
灰色数字	廃炉を決定した炉	24基
緑色数字	建設中	3基

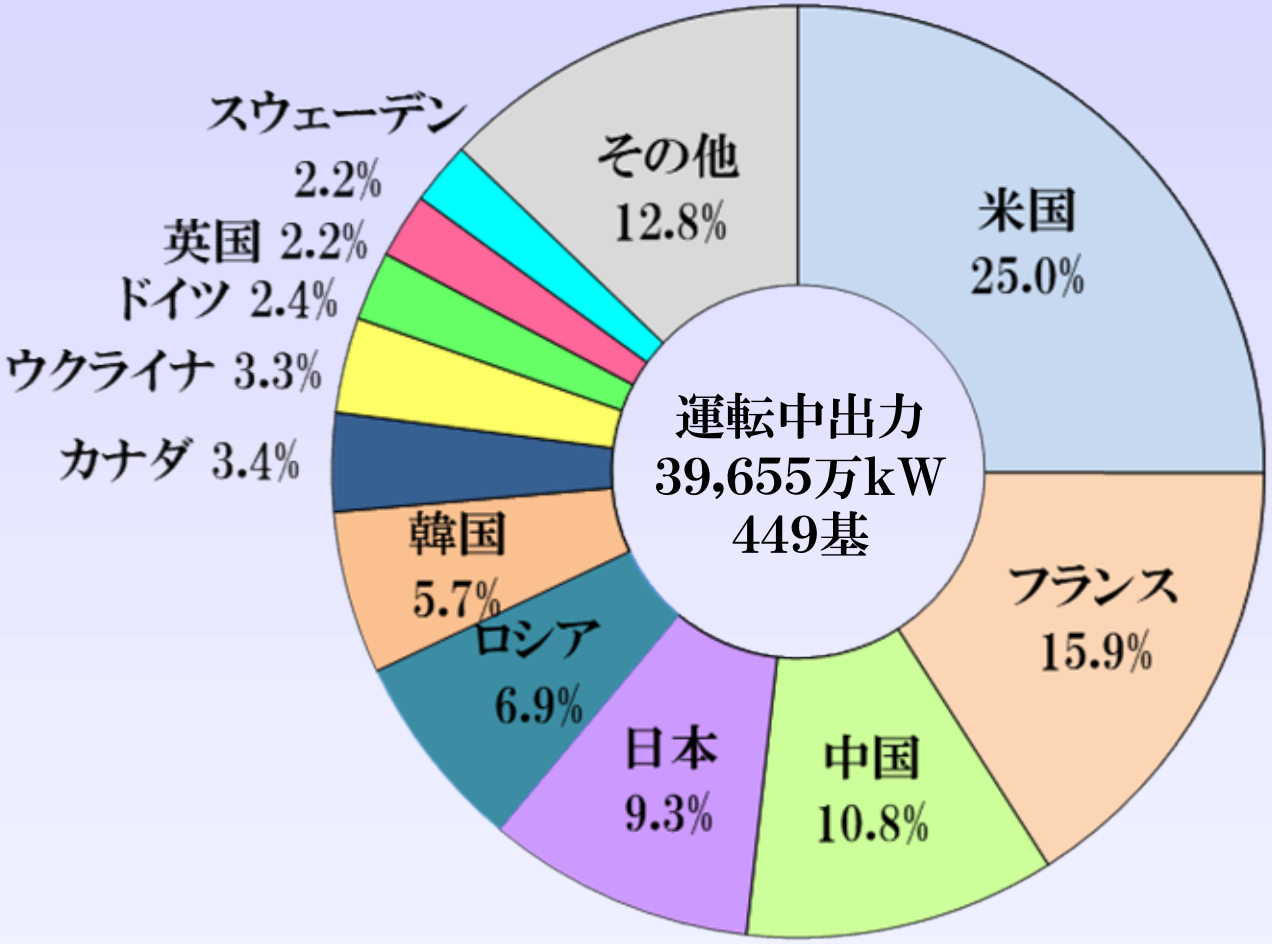
炉番号0は炉番号なし

（2019年8月2日時点）

①	北海道，北海道電力，泊発電所	炉番号 1 2 3
②	青森県，電源開発，大間原子力発電所	0
③	青森県，東北電力，東通原子力発電所 東京電力，東通原子力発電所	0 1
④	宮城県，東北電力，女川原子力発電所	1 2 3
⑤	福島県，東京電力，福島第一原子力発電所	1 2 3 4 5 6
⑥	福島県，東京電力，福島第二原子力発電所	1 2 3 4
⑦	茨木県，日本原子力発電，東海発電所 日本原子力発電，東海第二発電所	0 0
⑧	新潟県，東京電力，柏崎刈羽原子力発電所	1 2 3 4 5 6 7
⑨	静岡県，中部電力，浜岡原子力発電所	1 2 3 4 5
⑩	石川県，北陸電力，志賀原子力発電所	1 2
⑪	福井県，日本原子力発電，敦賀発電所	1 2
⑫	福井県，関西電力，美浜発電所	1 2 3
⑬	福井県，関西電力，大飯発電所	1 2 3 4
⑭	福井県，関西電力，高浜発電所	1 2 3 4
⑮	島根県，中国電力，島根原子力発電所	1 2 3
⑯	愛媛県，四国電力，伊方発電所	1 2 3
⑰	佐賀県，九州電力，玄海原子力発電所	1 2 3 4
⑱	鹿児島県，九州電力，川内原子力発電所	1 2

出展：https://www.jaif.or.jp/cms_admin/wp-content/uploads/2019/08/jp-npps-operation20190802.pdfより作成

世界の原子力発電設備容量（2019年3月）



日本の原子力発電の設備容量は，米国，フランス，中国に次いで世界第4位で9.3%を占めている。

福島原発事故直前の2011年2月末時点では，54基の商業用原子力発電所が運転されていたが，東日本大震災による東京電力福島第一原子力発電所事故後見直しが進み，2019年9月時点で24基が廃炉と決定されている。

出展：資源エネルギー庁エネルギー白書2019より作成

1．エネルギーの生産・利用

2．エネルギー利用と大気環境・地球環境問題

3．新エネルギー技術

3．1　新エネルギーとは

3．2　各種新エネルギーの特徴

4．新エネルギー利用の現状と課題

新エネルギーとは？

1. 狭義の新エネルギー

新エネルギーの範囲については，技術革新の進捗等を踏まえ，種々変更されてきた。

現在は，新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法（略称：新エネ法）により，「技術的に実用段階に達しつつあるが，経済性の面での制約から普及が十分でないもので，非化石エネルギーの導入を図るために特に必要なもの」とされ，「発電分野5」，「熱利用分野4」，「燃料分野1」の10種類が指定されている。

2. 広義の新エネルギー

以上の新エネルギーに大規模水力等を加えた「再生可能エネルギー」と，クリーンエネルギー自動車や燃料電池など，「革新的なエネルギー高度利用技術」を併せたものを広義の新エネルギー位置づけている。

新エネルギーとは？

技術的に実用段階に達しつつあるが，経済性の面での制約から普及が十分でないもので，非化石エネルギーの導入を図るために特に必要なもの，10種類

広義の新エネルギー

再生可能エネルギー

狭義の新エネルギー

新エネルギー

★ 発電分野
- 太陽光発電
- 風力発電
- バイオマス発電
- 中小水力発電（1MW以下）
- 地熱発電（バイナリー方式）

★ 熱利用分野
- 太陽熱利用
- 雪氷熱利用
- バイオマス熱利用
- 温度差熱利用

★ 燃料分野
- バイオマス燃料製造

大規模水力，地熱（フラッシュ方式），空気熱，地中熱

革新的なエネルギー高度利用技術

再生可能エネルギーの普及，エネルギー効率の飛躍的向上，エネルギー源の多様化に資する新技術であって，その普及を図ることが特に必要なもの，

- クリーンエネルギー自動車
- 天然ガスコジェネレーション
- 燃料電池

など

資源エネルギー庁パンフレットより作成　Org

太陽光発電の特徴

原　　理	太陽の光エネルギーを太陽電池で直接電気に変換。家庭用から大規模発電用まで導入が拡大
適　　地	日射量の多い地域で設置方角や角度を適切に計画
開発期間	開発・設置期間が1～2年程度と短い
設備利用率	12～14%程度と低い
主な長所	・枯渇する心配がない ・発電時にCO_2や大気汚染物質を排出せず，騒音を発生せず環境に優しい ・相対的にメンテナンスが容易 ・非常用電源としても利用可能 ・規模に関係なく発電効率が一定なので，小～大規模用途まで幅広く対応可能 ・太陽光発電システムとした場合，余剰の電気を売電可能 ・自動運転が可能で，機械的磨耗がないため長寿命が期待でき，保守が容易 ・小型であれば簡単に移設でき，必要な場所での発電が可能 ・分散型エネルギーシステムとして，電力需要の大きい昼間に補うことが可能
主な短所	・エネルギー密度が低く，火力に較べ広大な土地が必要（約70km^2/100万kW） ・夜間は発電できず，また日照条件により出力変動が大きく，安定供給上問題 ・一定地域に集中すると，送配電系統の電圧上昇が起こり対策が必要 ・ 設備にかかるコストが高く，発電コストが高い
適用分野	一般住宅； 工場，業務用ビル等の産業用； 売電事業用

風力発電の特徴

原　　理	風の力で風車を廻し，回転運動を発電機に伝え電気を起こす。陸上や洋上（着床，浮体）に設置
適　　地	陸上：北海道，東北地方，　洋上：風速が大きく風況が安定している
開発期間	開発・設置期間　5～8年
設備利用率	陸上20%，洋上30%程度と比較的低い
主な長所	・枯渇する心配がない ・発電時にCO_2 や大気汚染物質を排出しない ・大規模開発の場合，火力，水力並みにコストを抑制 ・一定以上の風があれば，時間にかかわらず発電可能 ・燃料を使わないため、発電コストが比較的安い ・小型のものであれば、大都市にも設置することができる
主な短所	・風が6m/s程度以上の風速にならないと発電できない ・エネルギー密度が低く，火力に較べ広大な土地が必要（約250km^2/100万kW） ・風況のよい適地は，北海道や東北などに集中，そのため広域での連系について検討が必要 ・風車の回転に伴う鳥の巻き込みや，低周波振動，騒音など健康被害を発生 ・地震による発電停止や台風・落雷による故障がある
適用分野	売電事業用；　自家消費用

水力発電の特徴

原　　理	水の落下する際のエネルギーで水車を廻し発電。流れ込式一般水力はベースロード電源，揚水発電はピーク時対応電源として発電。また，農業用水路や上水道施設などを利用した中小水力発電は地域の分散型エネルギー源として有効
適　　地	一般水力：適地が限定的，　小水力：未開発包蔵水力概算値は300万kW
開発期間	一般水力：調査期間に大きく依存，10年越も，　小水力：3年程度
設備利用率	60％程度（流れ込み式），40％（貯水式）
主な長所	・枯渇する心配がない ・発電時にCO_2，大気汚染物質を排出しない ・昼夜、年間を通じて安定して発電し，系統や電力品質に影響を与えない ・中小規模タイプは分散型電源としての可能性が大 ・大規模水力は，地点毎に経済性は異なるが一般に経済性は高い。 ・設置面積が小さい
主な短所	・中小水力発電は相対的にコストが大 ・事前の調査に時間を要し，また水利権や関係者との調整が必要 ・落差と流量がある場所に限定されるなど，設置地点が限定される ・水の使用について、利害関係が付きまとう ・法的手続きが煩雑で面倒である ・同じ再生可能エネルギーでも、小水力に関する一般市民の認知度が低い

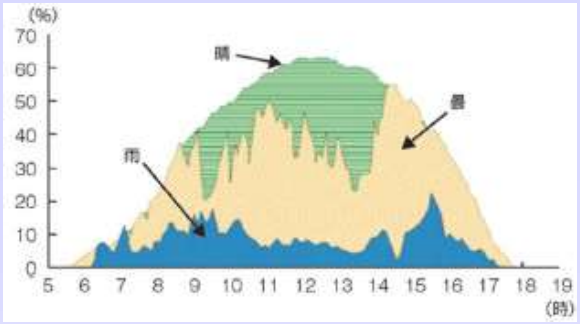
バイオマス発電の特徴

原　　理	木質バイオマスや農作物残さ，食品廃棄物など生物資源（バイオマス）をエネルギー源として発電
設備利用率	80％程度と非常に高い
主な長所	・資源の有効活用で廃棄物の削減に貢献，また貴重な森林の整備や林業の活性化など地域の活性化を促す ・カーボンニュートラルで実質CO_2を排出しない ・バイオマス発電は出力変動が少なく，安定した発電が可能で，地域分散型エネルギー源としての利用に適す ・相対的にメンテナンスが容易 ・非常用電源としても利用可能 ・廃棄していたゴミや廃材などを有効活用できる（循環型社会を構築できる） ・農業や林業。漁業を中心とした地域に新たな経済的活性化を導く
主な短所	・原料の安定供給の確保や，原料の収集，運搬，管理のコストが大 ・バイオマス燃料の調達と保管にコストがかかる ・仕組みが似ている火力発電や原子力発電と比べると発電コストが高い ・バイオマス燃料を採集するため，森林伐採をする可能性がある ・本来食用であるはずの穀物が燃料として用いられることで、穀物の価格が上昇する可能性がある
適用分野	発電，熱利用，燃料製造，肥料・飼料，製品化

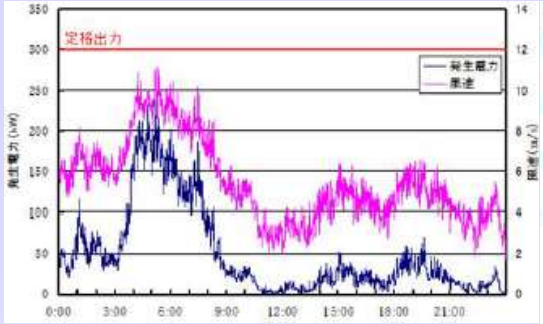
地熱発電の特徴

原　　理	地下に蓄えられた地熱エネルギーを蒸気や熱水で取り出し，タービンを回して発電，日本の地熱発電資源は世界3位
適　　地	東北地方，九州地方
開発期間	10年程度と長い
設備利用率	80％程度と非常に高い
主な長所	・枯渇する心配がない ・発電時にCO_2を排出しない ・電源コストが低い ・安定的な発電が可能で出力も概ね一定であり，ベースロード電源としても担うことが可能 ・発電後の熱水利用など，多段階的に利用可能 ・相対的にメンテナンスが容易 ・非常用電源としても利用可能 ・出力が安定しており，大規模開発が可能 ・昼夜を問わず24時間稼働
主な短所	・開発期間は10年程度と長く，開発費用も高額となる ・温泉や国定公園などと開発地域が重なるため，地元との調整が必要
適用分野	発電，熱水利用

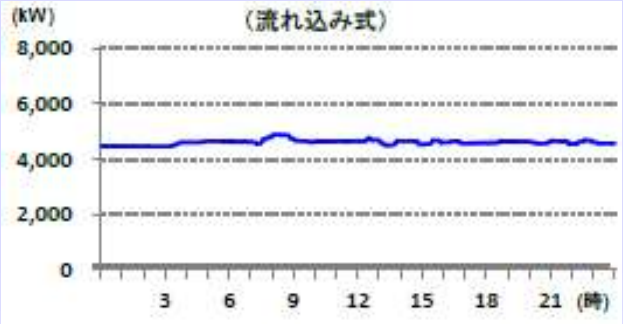
再生可能エネルギーの設備利用率



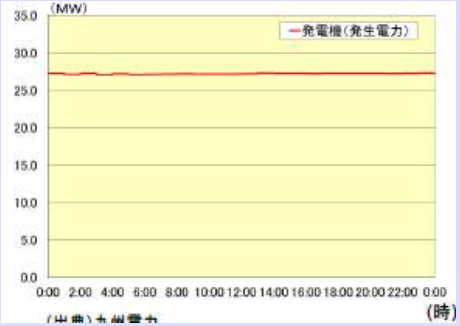
出力イメージ　太陽光発電



風力発電



水力発電（流れ込み式）



地熱発電

	設備利用率 概略値	運　転　特　性
太陽光発電	12～14%	・日照により出力が大きく変動，変動対策が必要 ・非常用電源としても利用可能
風力発電	陸上 20% 洋上 30%	・風況により出力が大きく変動，変動対策が必要 ・設備利用率は比較的低い
バイオマス発電	80%	・出力変動が少なく安定した電源で設備利用率は高い ・燃料の調達状況等によっては出力を調整し運転
水力発電	60% (40%)	・流れ込み式：1日を通してほぼ一定の発電，信頼性が大 ・貯水式：ピーク時の需要に合わせ水量を調整
地熱発電	80%	・安定的な発電が可能で，出力も概ね一定

出展：資源エネルギー庁，
https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/mitoshi/004/pdf/004_05.pdf より作成

1．エネルギーの生産・利用

2．エネルギー利用と大気環境・地球環境問題

3．新エネルギー技術

4．新エネルギー利用の現状と課題

4．1　新エネルギー利用の現状

4．2　固定価格買取制度（FIT）

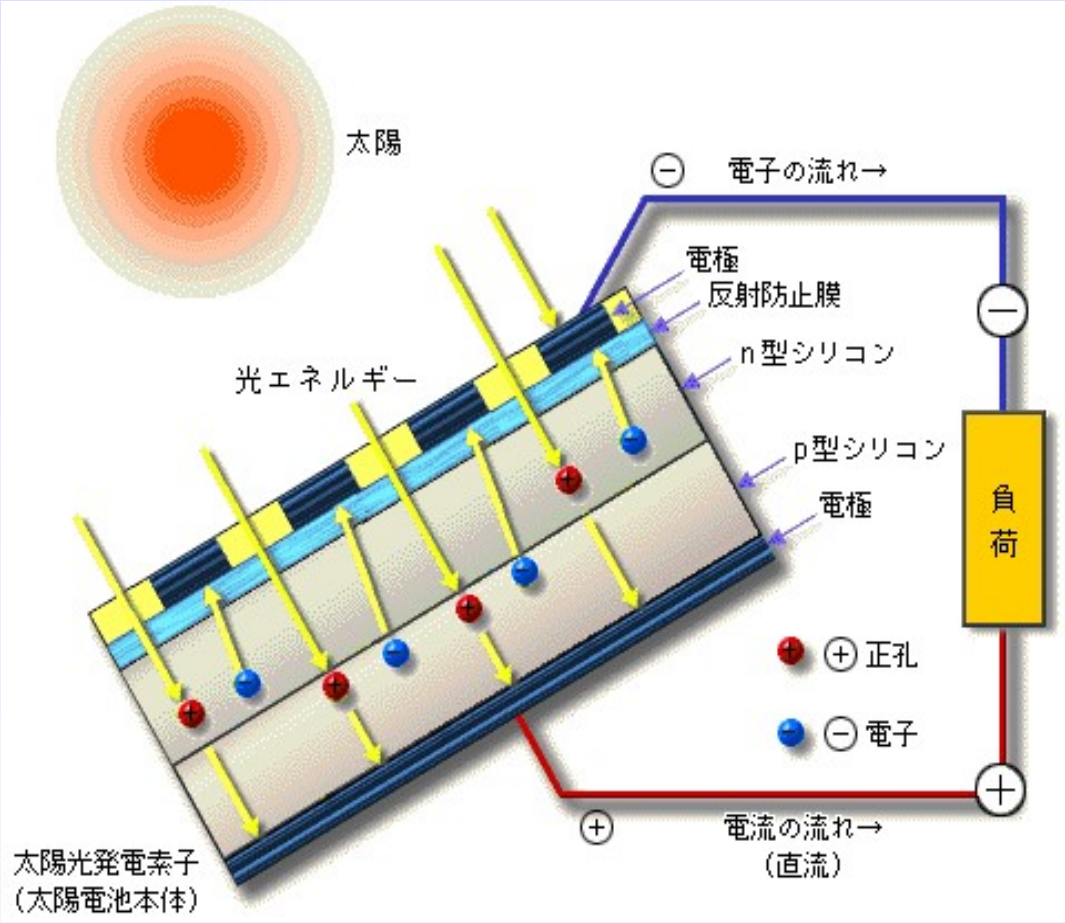
4．3　課題－克服と将来の展望

太陽光発電

太陽の光エネルギーを直接電気に変換

地球上にふりそそぐ1時間の太陽エネルギーは，世界で使用するエネルギーの1年分に匹敵するといわれている。それだけ太陽のエネルギーは巨大であり，かつクリーンなことを考えると，大きな可能性を秘めたエネルギーといえる。

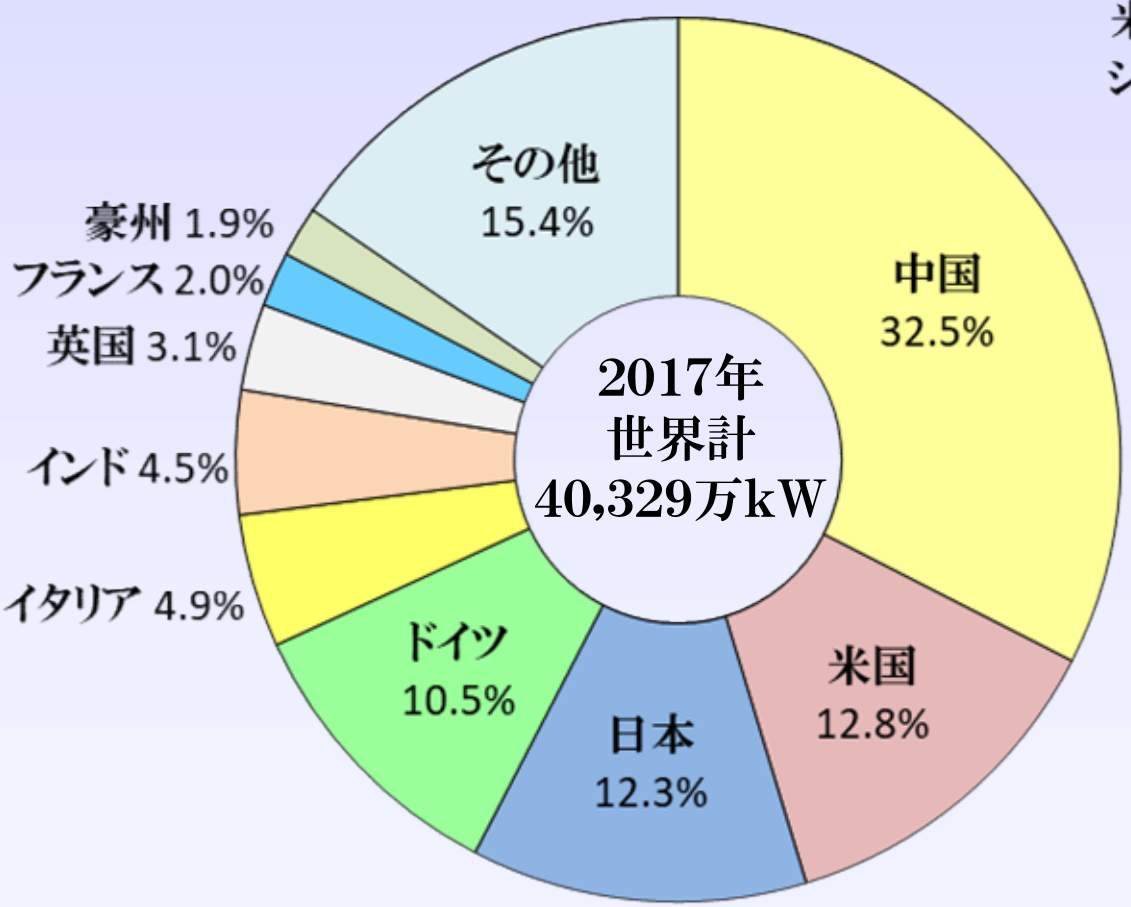
出典：http://www.nef.or.jp/

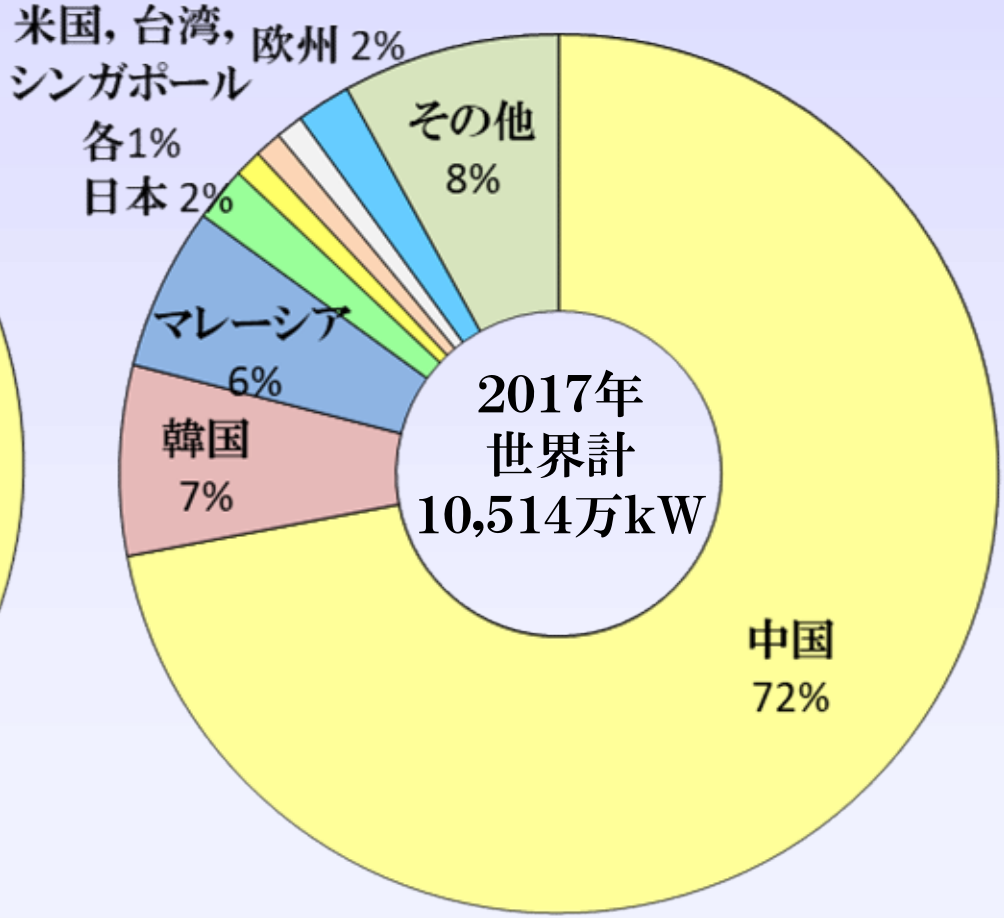


http://www.iae.or.jp/energyinfo/energydata/data4012.html

世界の累計太陽光発電設備容量（2017年）

世界的な太陽光発電の導入量を見ると，日本は2003年末までは世界最大の導入国であったが，ドイツの導入量の増加に伴い，2004年にはドイツに次いで世界第2位となり，さらにその後中国，米国の導入量が急速に増加し，2017年末では世界第3位の導入量となっている。

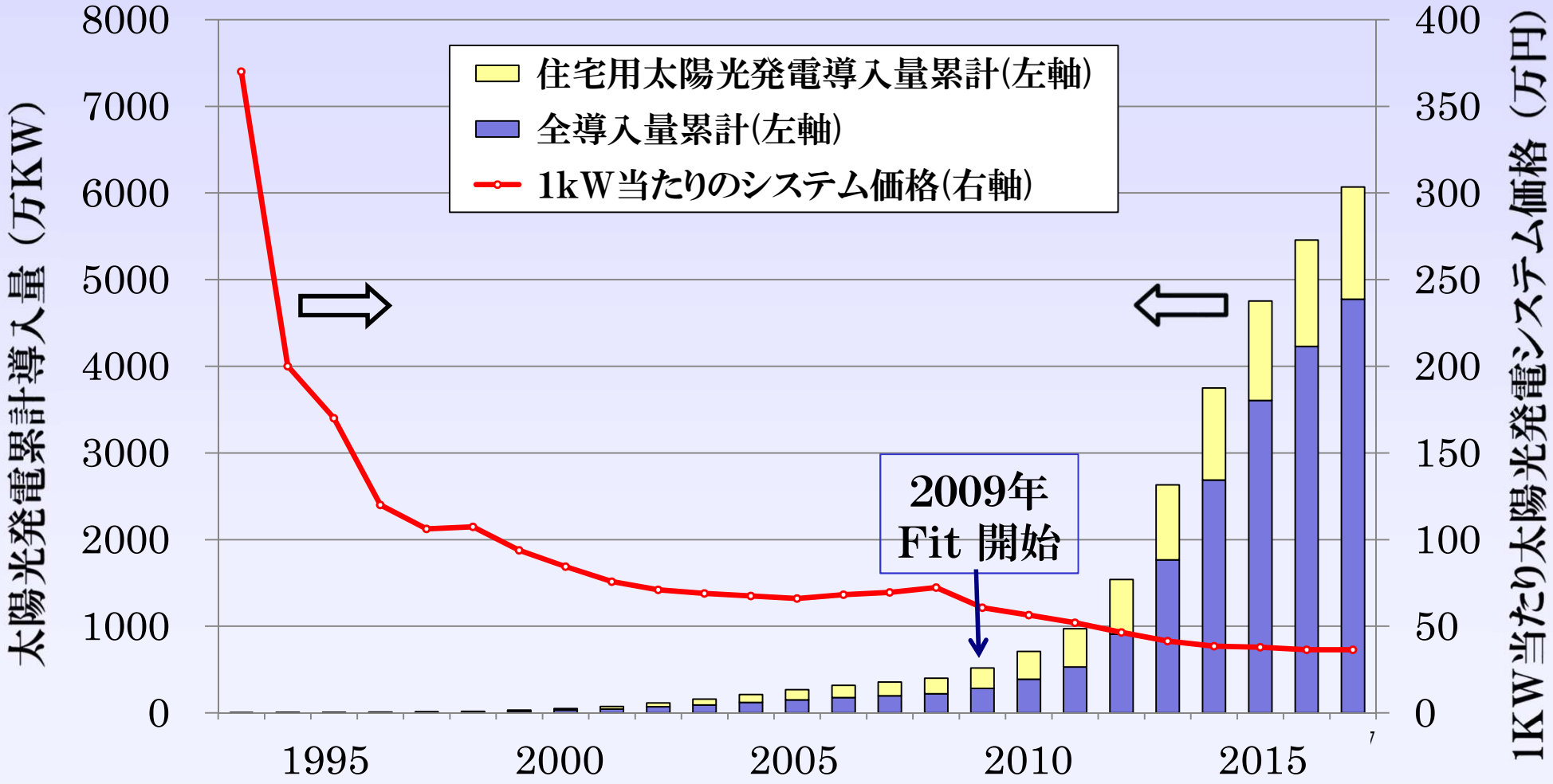




出展：資源エネルギー庁エネルギー白書2019より作成

太陽光発電累計導入量とシステム価格の推移

日本における太陽光発電の導入量は近年着実に伸びており，2017年度末の累積で4,773万kWに達した。企業による技術開発や，国内で堅調に太陽光発電の導入が進んだことにより，太陽光発電設備のコストも着実に低下している。

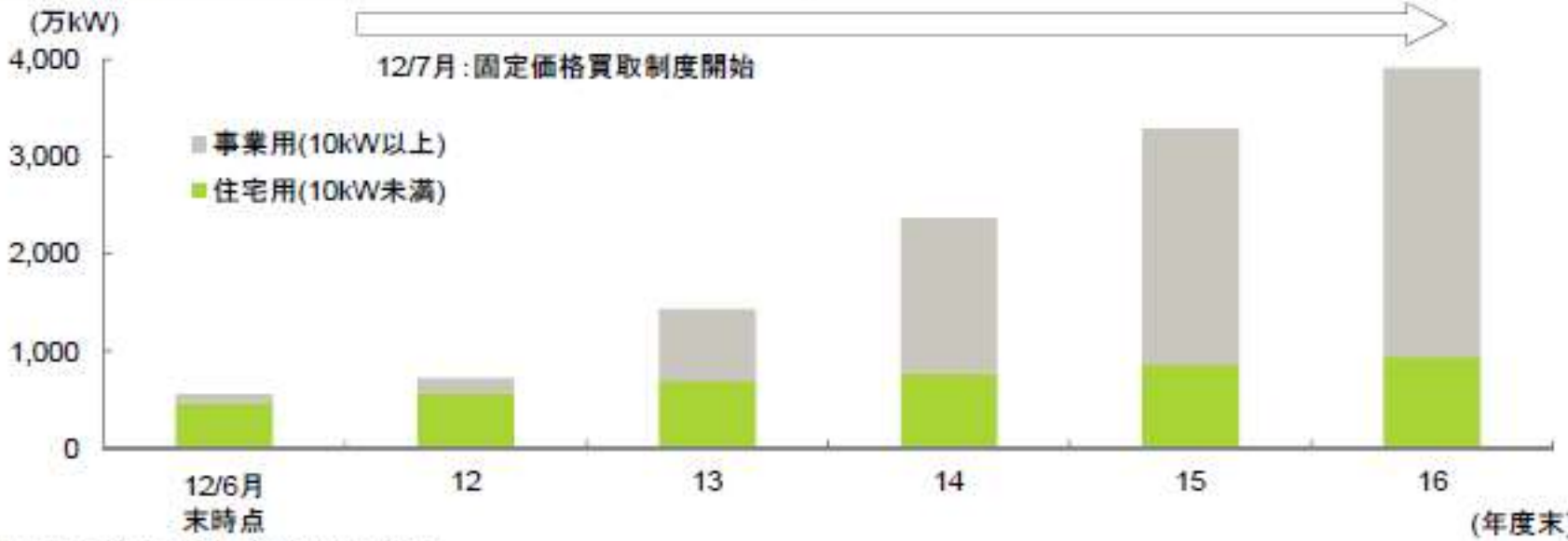


出展：資源エネルギー庁エネルギー白書2019より作成

太陽光発電導入量及びFIT価格の推移

太陽光発電は，開発期間が短く，運転も容易であることから，メガソーラー発電を中心に，再生可能エネルギーの中で最も普及が進んだ。しかしながら，普及に伴い発電買取価格の引き下げにより，導入ペースは減速気味である。

太陽光発電の導入量推移



太陽光発電の買取価格推移

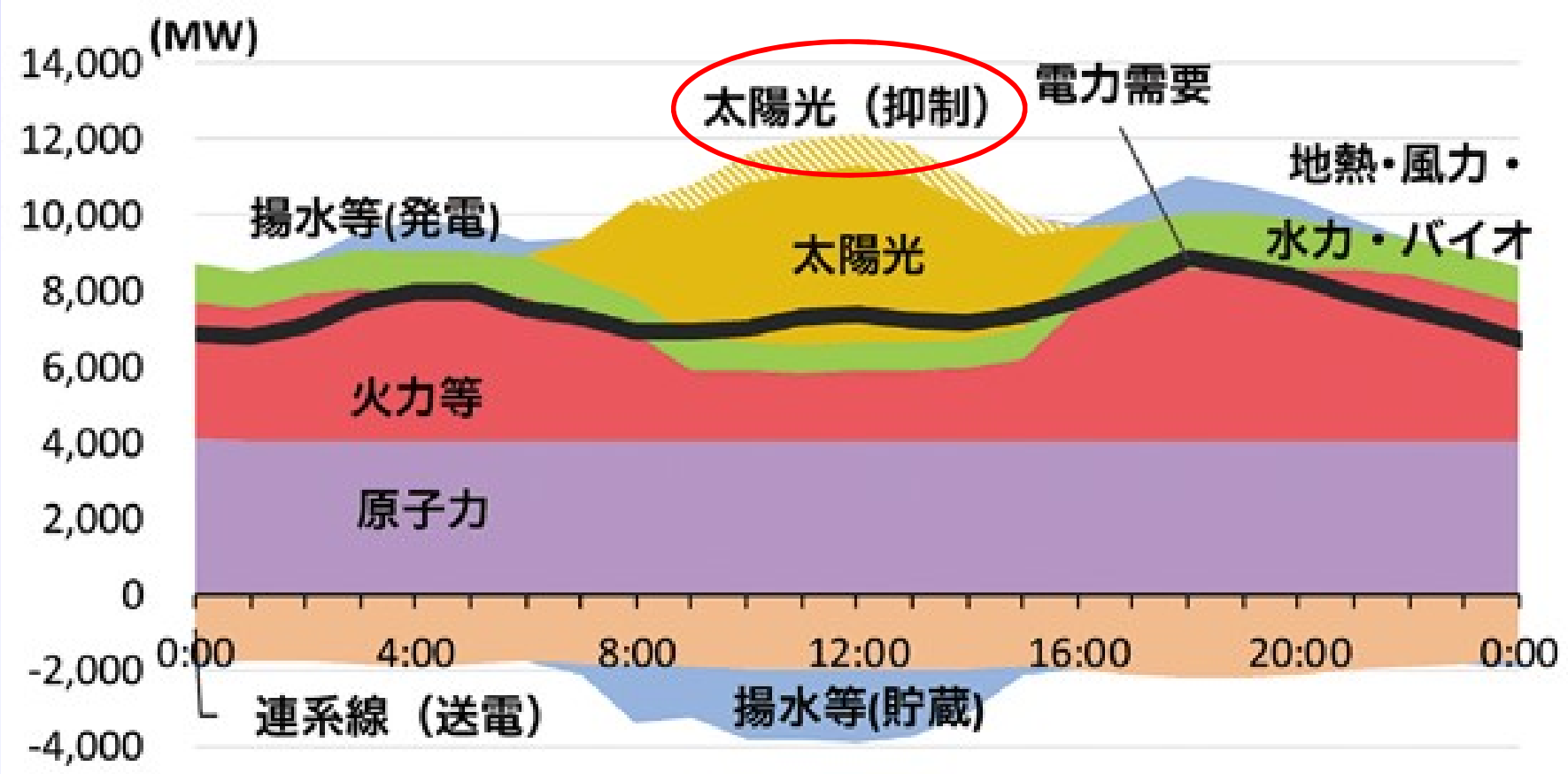
単位：円/kWh

	12年度	13年度	14年度	15年度	16年度	17年度
事業用（税抜）	40円	36円	32円	29円 (～6/30) 27円 (7/1～)	24円	21円 (2MW未満)
住宅用（税込）	42円	38円	37円	33円	31円	28円

出展：三井住友銀行，再生可能エネルギーの現状と課題，
https://www.smbc.co.jp/hojin/report/investigationlecture/resources/pdf/3_00_CRSDReport044.pdf

九州地区需給実績と出力抑制の状況（2018年10月21日）

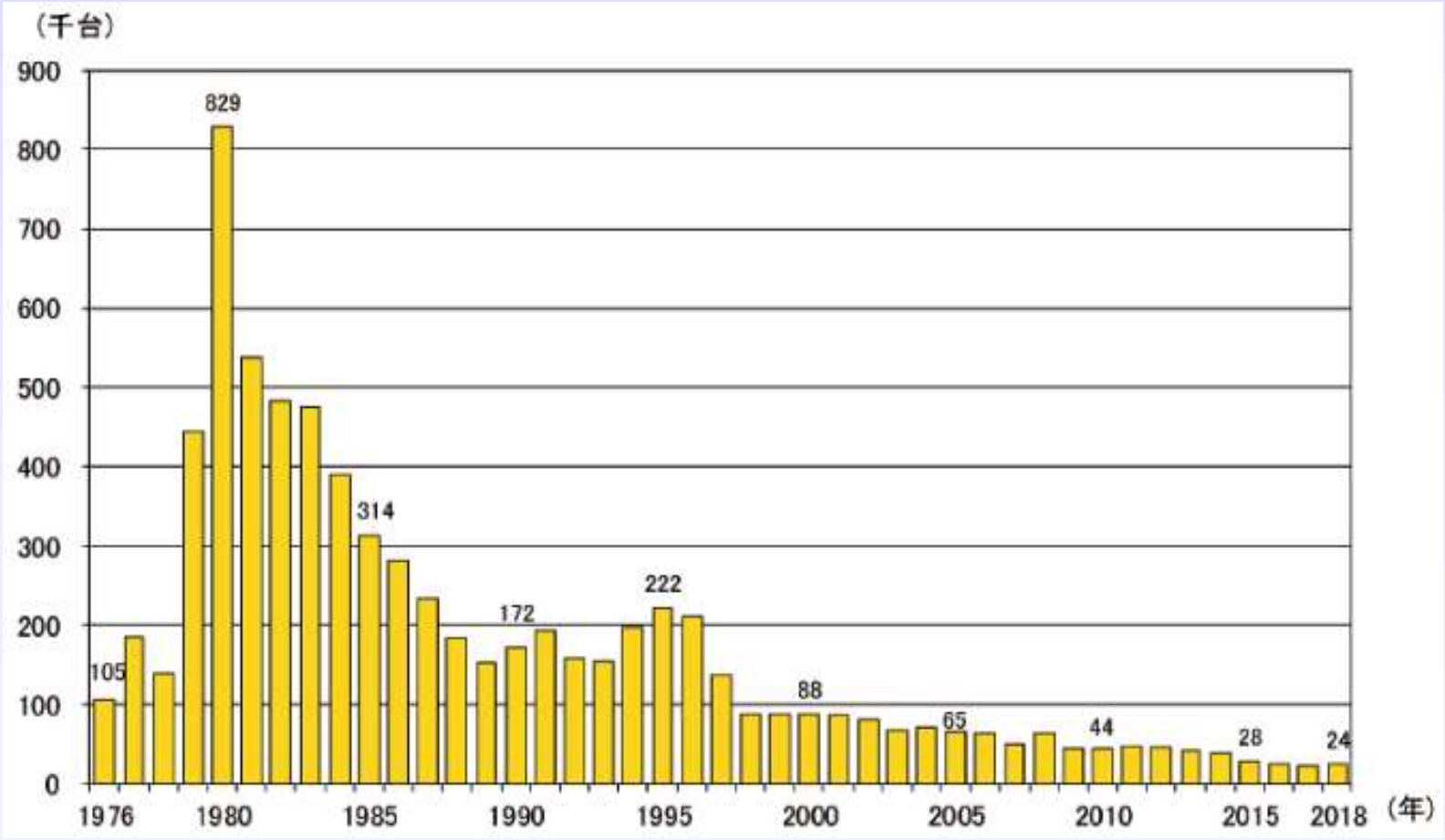
広域停電の発生を回避するため，**電力の需給バランスを保つ**必要がある。太陽光発電は，天候や日照条件などにより出力が不安定であるため，需要に比べて大規模な導入が進んでいる九州や四国地域では，太陽光の出力変動に対し火力発電，揚水発電等だけでは調整が困難になり，国内で初めて太陽光の**出力抑制**を実施した。



出展：資源エネルギー庁エネルギー白書2019, https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2019html/2-1-3.html

太陽熱利用：太陽熱温水器の新規設置台数の推移

太陽熱が積極的に利用され始めたのは，太陽熱で温水を作る温水器からで，第二次オイルショックの翌年1980年に最大となった。太陽熱利用機器はエネルギー変換効率が高く，新エネルギーの中では比較的安価で費用対効果からも有効であるが，その後設置台数は年々減少している。



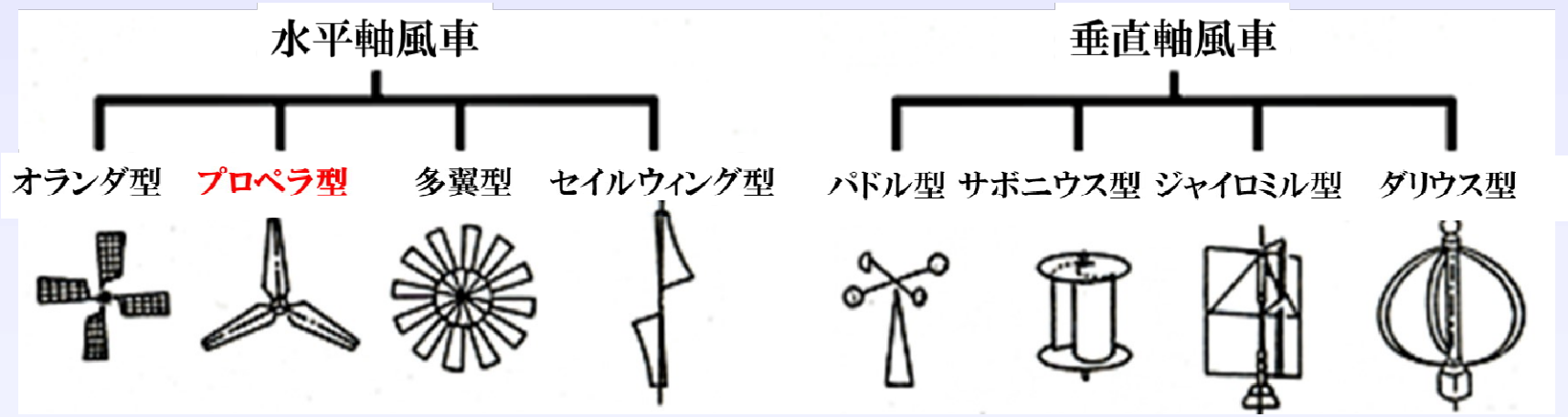
出展：資源エネルギー庁エネルギー白書2019

風力発電

風の力を利用して電気をつくる

「風の力」で風車をまわし，その回転運動を発電機に伝えて「電気」を起こす。風力発電は，風力エネルギーの約40％を電気エネルギーに変換できる比較的効率の良い発電装置である。

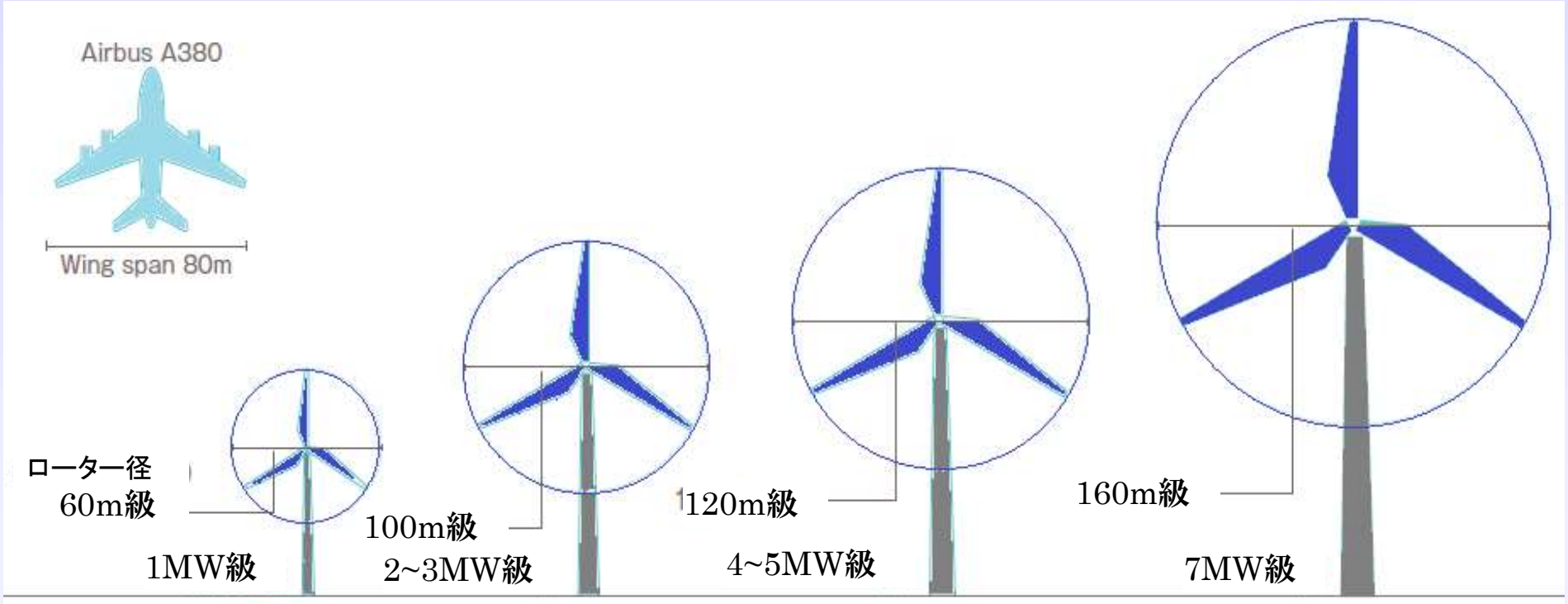
風車には，幅広い風速域に対応できる「水平軸型」と，風速域は狭いが全風向型で風速以上の回転速度が得られる「垂直軸型」がある。現在最も効率がよいプロペラ型の風車が多く採用されている。



出典：中国電力HP http://www.energia.co.jp/energy/general/newene/newene2.html より作成

NEDOの戦略　－ 未来を拓く洋上風力発電プロジェクト －

風力発電では羽根の数を同じとした場合，風を受ける円の面積（ローター径）が大きいほど発電効率が上がり，さらに風速が2倍になると発電量が4倍になるという特性がある。従って，羽根の直径を大きくし，風の強い場所に設置することが望ましい。

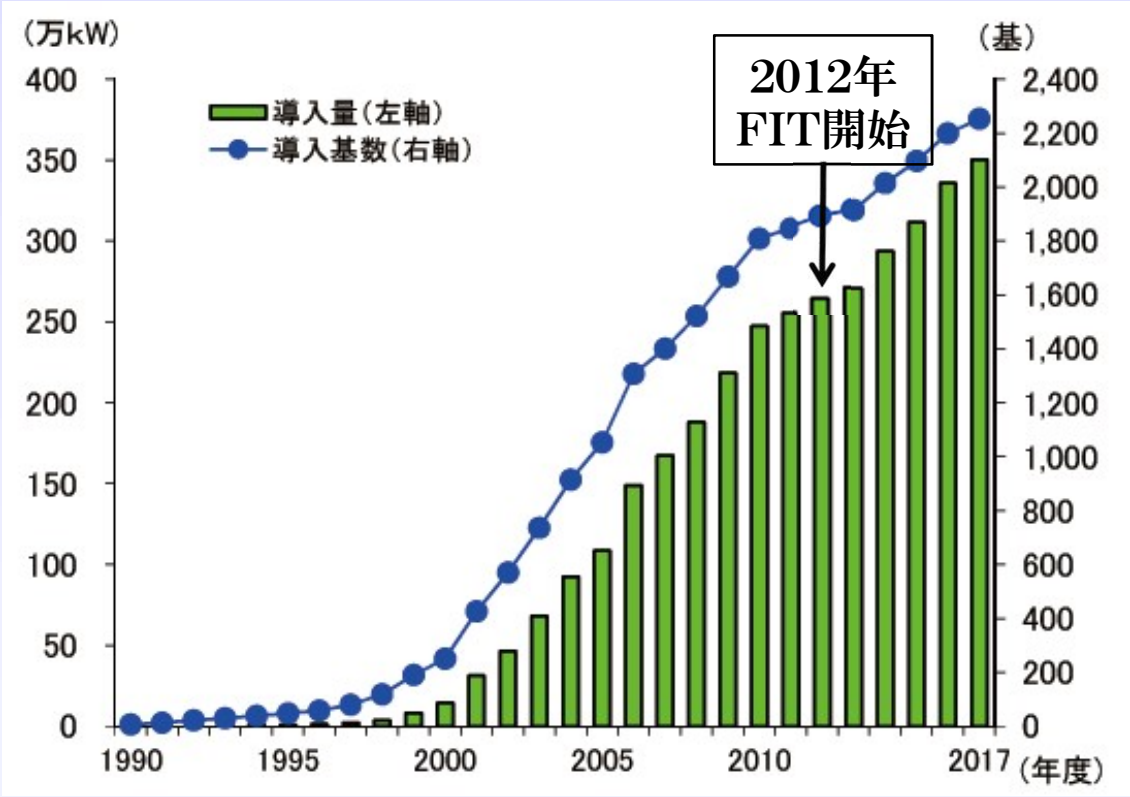


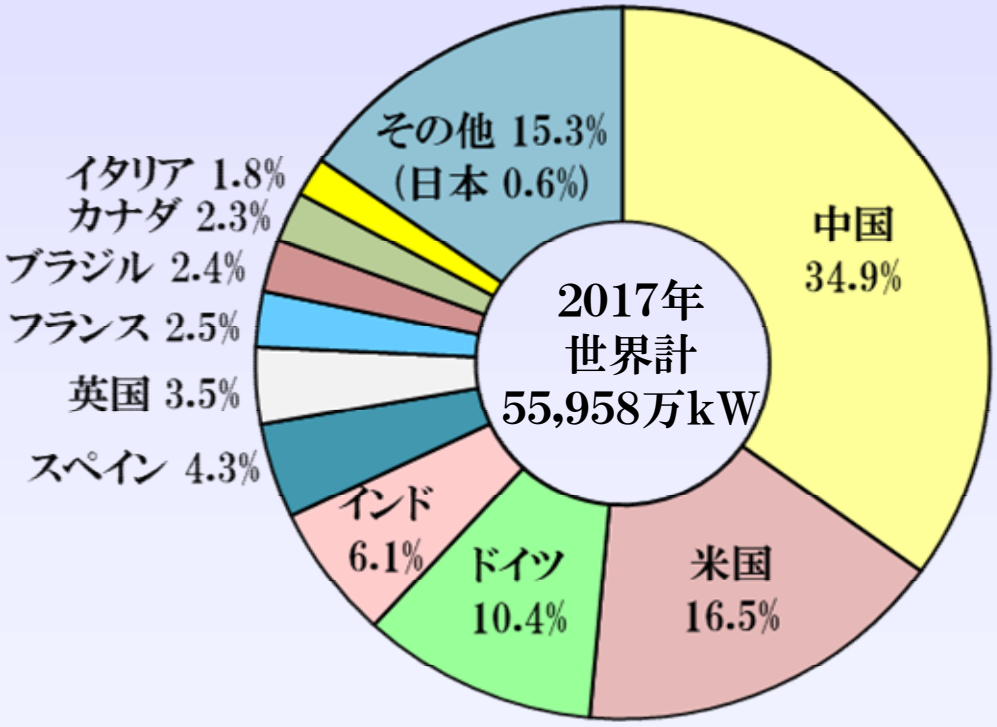
アメリカでは，ブレード長200m，出力50MW級の巨大風車の研究を推進中

出展：Focus NEDO　第47号

世界の風力発電導入量（2017年）

日本の風力発電導入量は，2017年末時点で2,253基，出力約350万kWで，導入量は世界第19位で，世界の発電総量の0.6％である。日本は平地が少なく地形も複雑なことに加え，電力会社の一部系統に余裕がないなどの理由から，風力発電の設置が進みにくい事情がある。



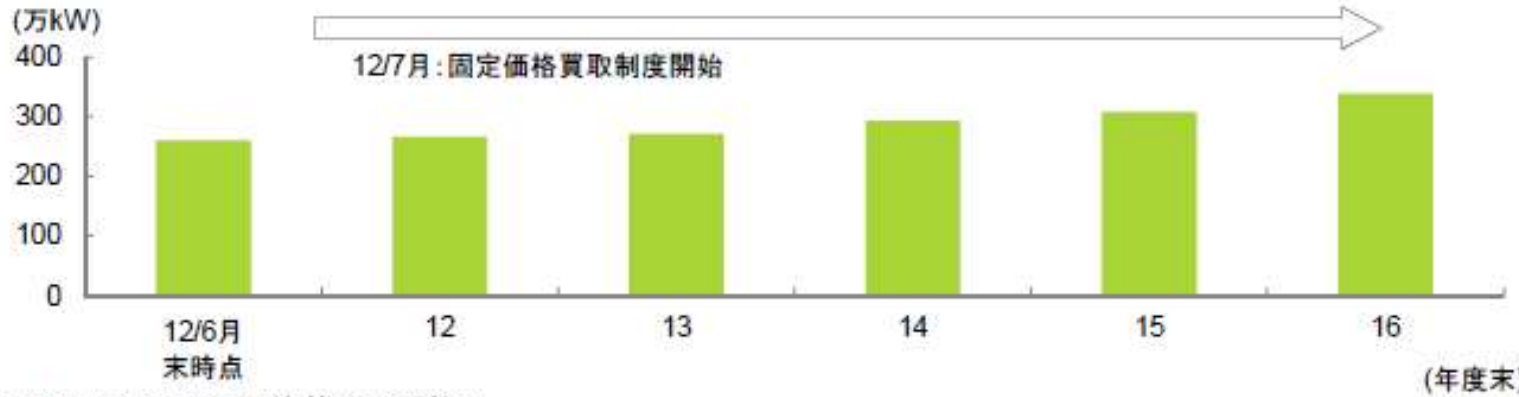


出展：資源エネルギー庁エネルギー白書2019より作成

風力発電導入量及びFIT価格の推移

風力発電は，発電設備や工事費が高止まりしている，環境アセスメントや地元との調整に時間がかかることなどからさほど進んではいない。このため，買取価格はほぼ横ばいで推移している。今後は，洋上風力発電が伸びるものと思われる。

風力発電の導入量推移



風力発電の買取価格推移（税抜）

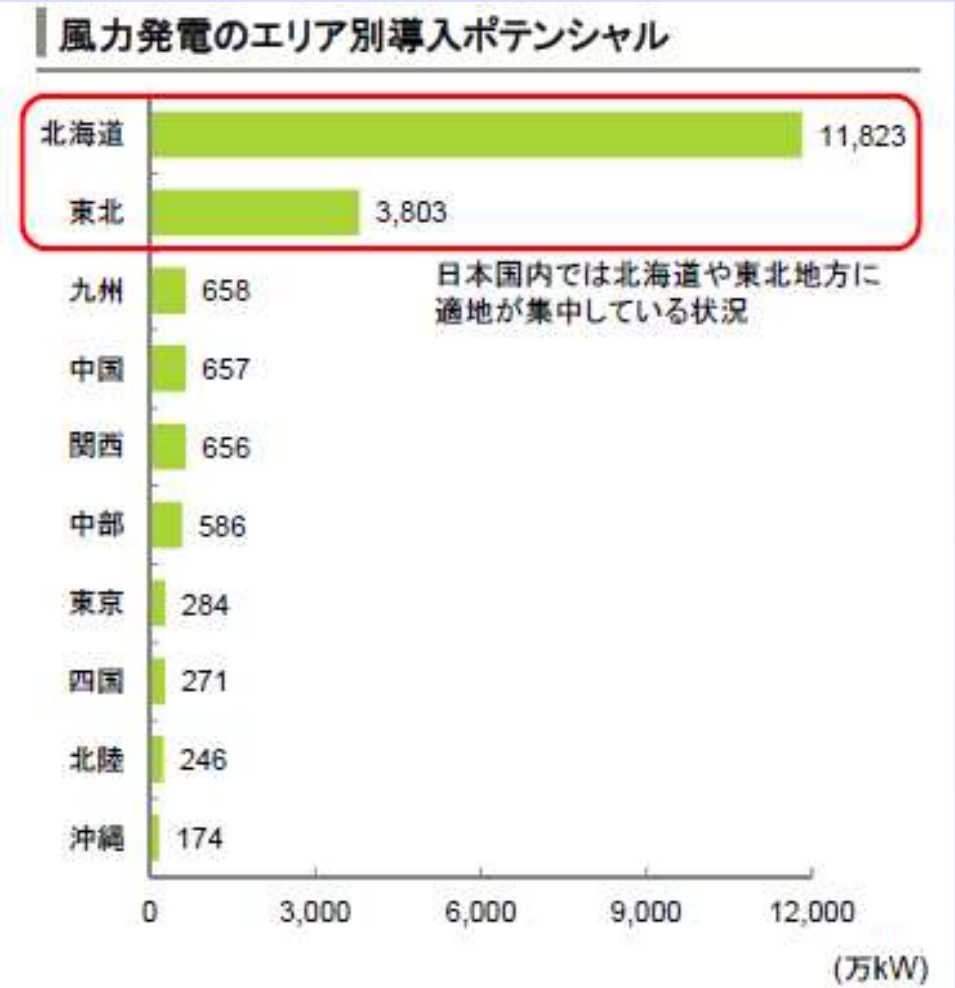
単位：円/kWh

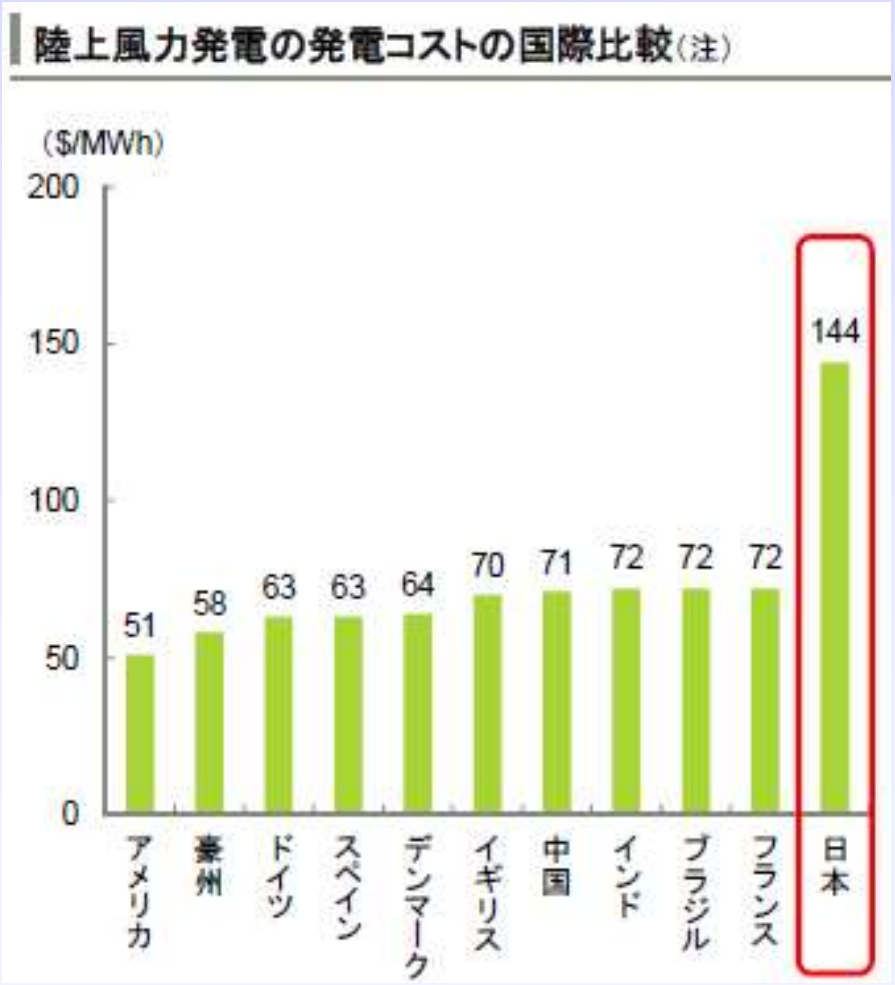
		12年度	13年度	14年度	15年度	16年度	17年度
陸上風力	20kW以上	22円					21円
	20kW未満	55円					
洋上風力	20kW以上			36円			
	20kW未満						55円

出展：三井住友銀行，再生可能エネルギーの現状と課題，
https://www.smbc.co.jp/hojin/report/investigationlecture/resources/pdf/3_00_CRSDReport044.pdf

風力発電の課題

風力発電は，設置場所の風況（風の強さや向きの安定性，風量など）に依存するため，事前の風況調査を正確に行うことが重要である。
発電コストは海外にくらべ非常に高く，固定費の引き下げが課題である。





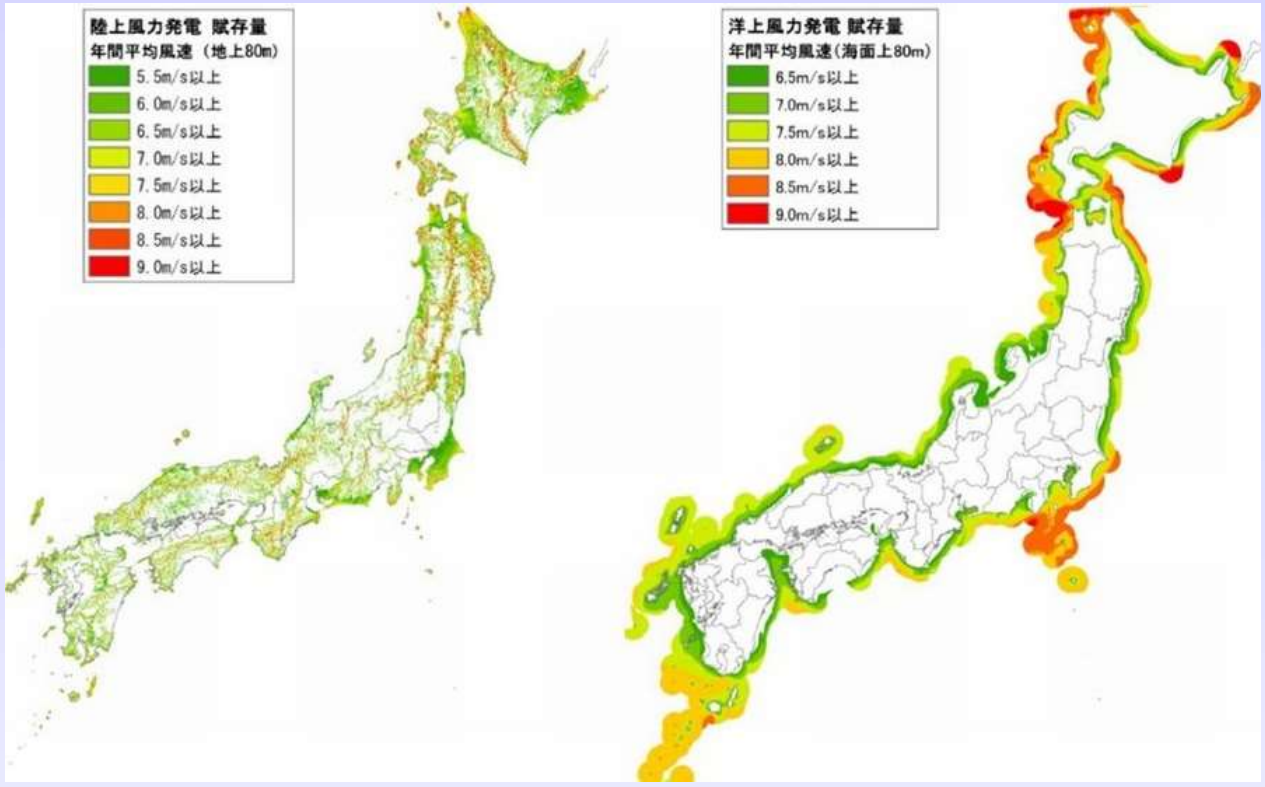
出展：三井住友銀行，再生可能エネルギーの現状と課題，
https://www.smbc.co.jp/hojin/report/investigationlecture/resources/pdf/3_00_CRSDReport044.pdf

日本の陸上，海上風力発電賦存量

風力発電では，平均風速が6m/秒以上が必要であるが，平均風速は地域によって大きく異なる。北海道と東北は，風力発電に適した場所が広く分布している。

一方，洋上では日本の近海のどの地域でも6m/秒を超え風力発電が可能である。平均風速が大きくなると，設備利用率は増大する。

風力発電の導入規模は，2010年の244万kWから2020年には，1130万kWに拡大，その後は洋上浮体風力発電を中心に急速に伸び，2050年には合計5000万kWを目標としている。この規模は原子力発電50基分（年間発電量で15～20基分）に相当する。



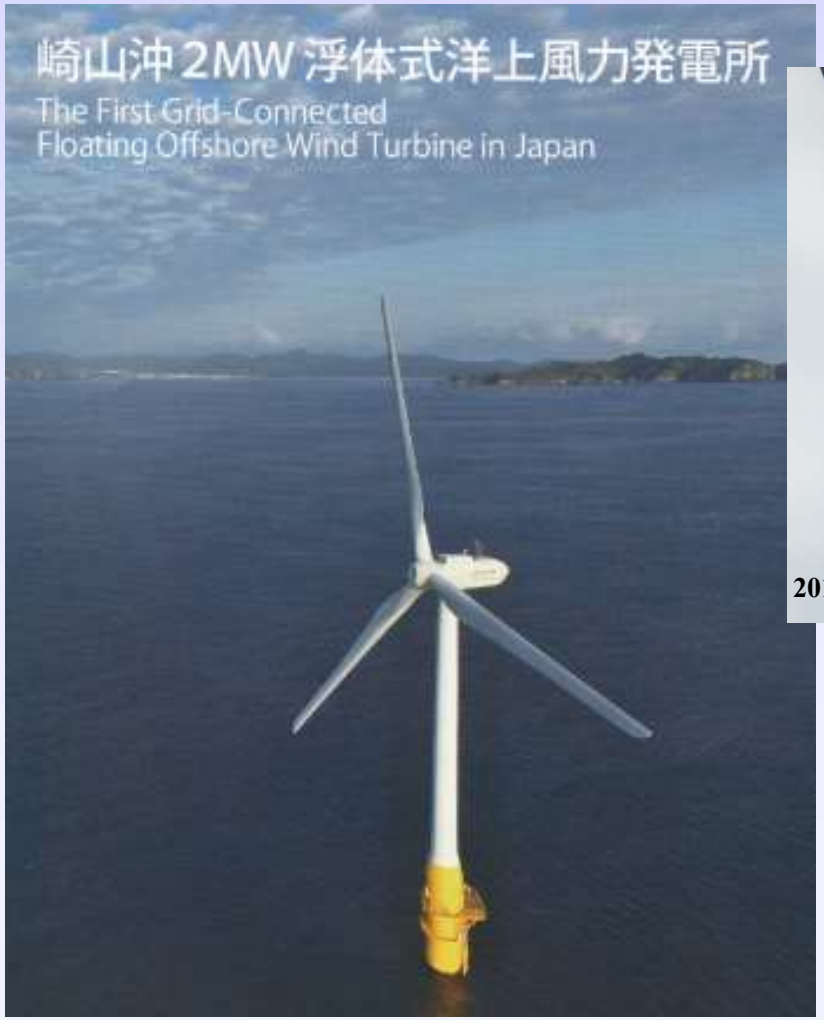
風力発電の長期導入目標（日本風力発電協会）

風力発電導入目標値（万kW）				
	陸上風力	着床風力	浮体風力	合　計
2020年	1,080	40	10	1,130
2030年	2,120	330	430	2,880
2040年	2,500	720	1,400	4,620
2050年	2,500	750	1,750	5,000

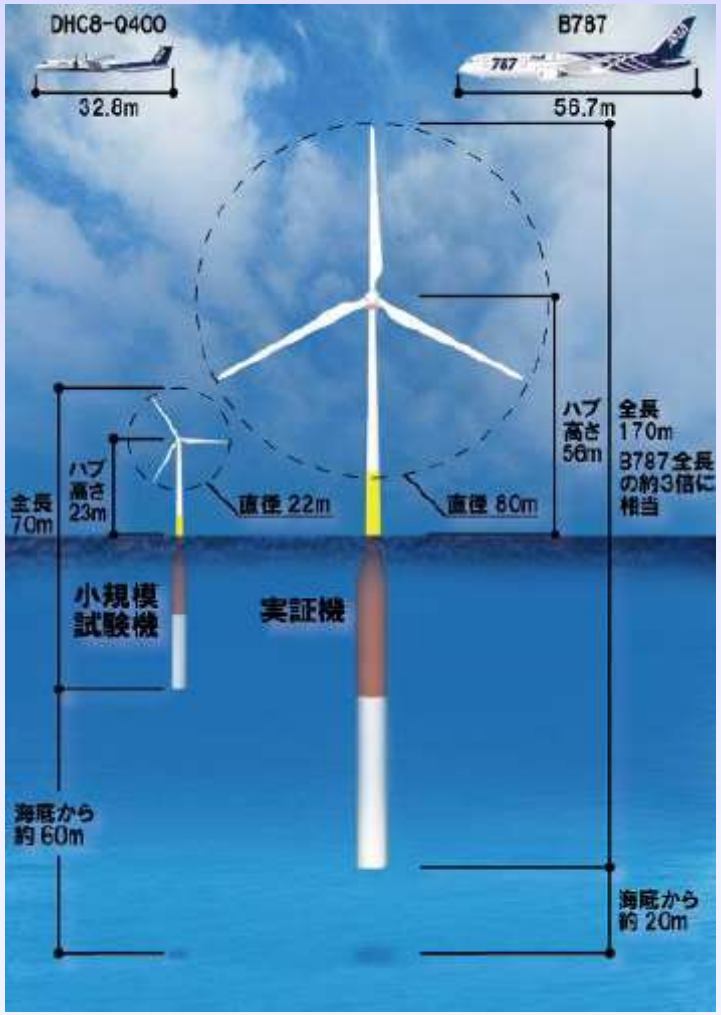
出展：スマートジャパンHP https://www.itmedia.co.jp/smartjapan/articles/1403/20/news016.html#nedo_energy3_3_sj.jpg より作成

洋上風力発電（長崎県五島市実証事業）

洋上風力発電は，陸上風力発電と比べ，風の乱れが小さく，また土地や建設に制約がないなど，大型の風車を導入し易いメリットがある。そのため，「第5次エネルギー基本計画」では，洋上風力発電は主力電源の一つとなるべくさらなる技術開発が望まれている。



環境省実証事業
- 最大出力2MW
- 年間売電量 560万kWh
- 設備利用率 約30%
- FIT認定 36円/kWh
- 漁業との共生
- 耐用年数 20年



出展：五島市パンフレット，自然エネルギー財団 自然エネルギー活用レポート No.10

水力発電

新エネ法では，出力1,000kW（1MW）以下の比較的小規模な発電設備を総称して「小水力発電」と呼んでいるが，出力10,000～30,000kW以下を「中水力発電」と呼ぶことも多い。一般的には、下表に示すような出力区分で呼ばれている。

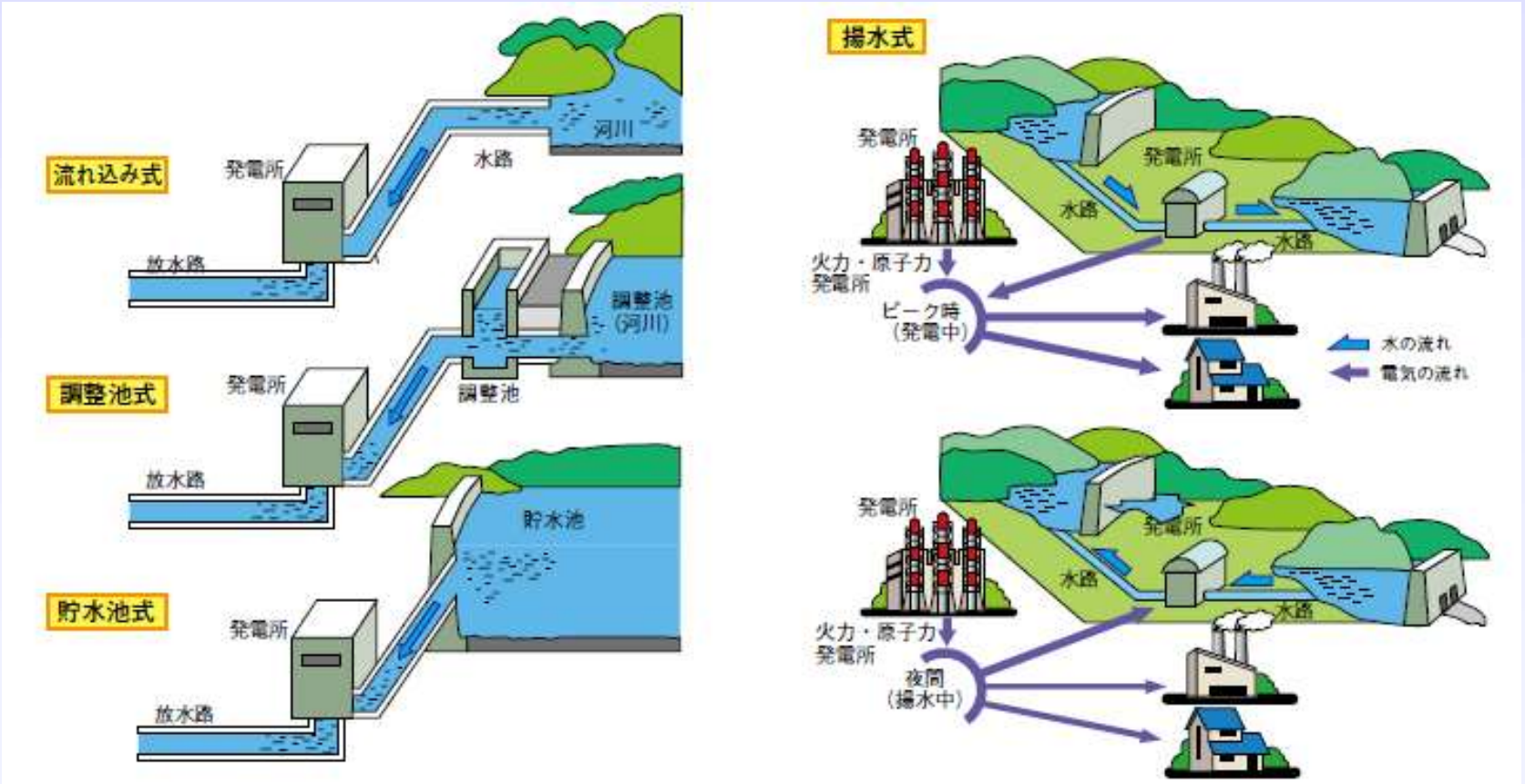
区分	発電出力（kW）
大水力 large hydropower	100,000 以上
中水力 medium hydropower	10,000 ～ 100,000
小水力 small hydropower	1,000 ～ 10,000
ミニ水力 mini hydropower	100 ～ 1,000
マイクロ水力 micro hydropower	100以下

設置例：山梨県都留市
「元気くん2号」（20kW）

出展：https://www.env.go.jp/earth/ondanka/shg/page03.html，https://www.fepc.or.jp/library/data/infobase/pdf/08_b.pdf

大規模水力発電所の河川水の利用方法

① 流れ込み式：川の流れをそのまま利用，豊水期には一部の水を使えず，渇水期は発電量が少
② 調整池式：取水ダムの大きさなどにより水量を調整，1日～数日間の発電量を制御可能
③ 貯水池式：雪どけ水や梅雨，台風の水などを貯め，発電量を季節的に制御可能
④ 揚水発電：発電所の上下2つの調整池からなり，昼間の電力需要の多い時に，上部調整池より水を放流し発電，電力需要の少ない時間帯に下部調整池の水をくみ上げる。

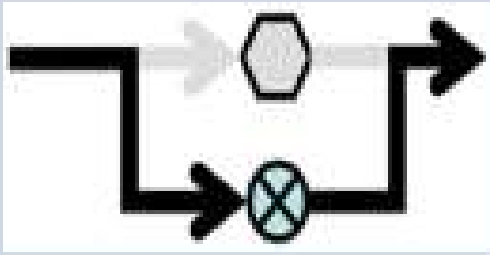
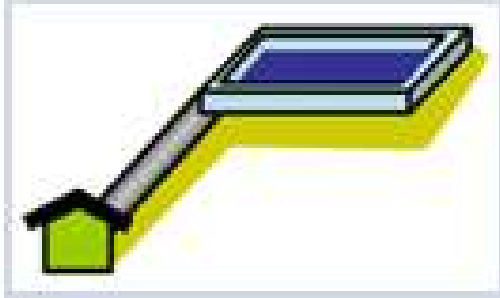


出展：https://www.fepc.or.jp/library/data/infobase/pdf/08_b.pdf

小水力発電の河川水の利用方法

小水力発電も水の流れで水車を回して発電する原理は同じだが、ダムを用いないで落差を確保しなければならないため、小水力発電開発にあたっては、下図のような構造が用いられている。

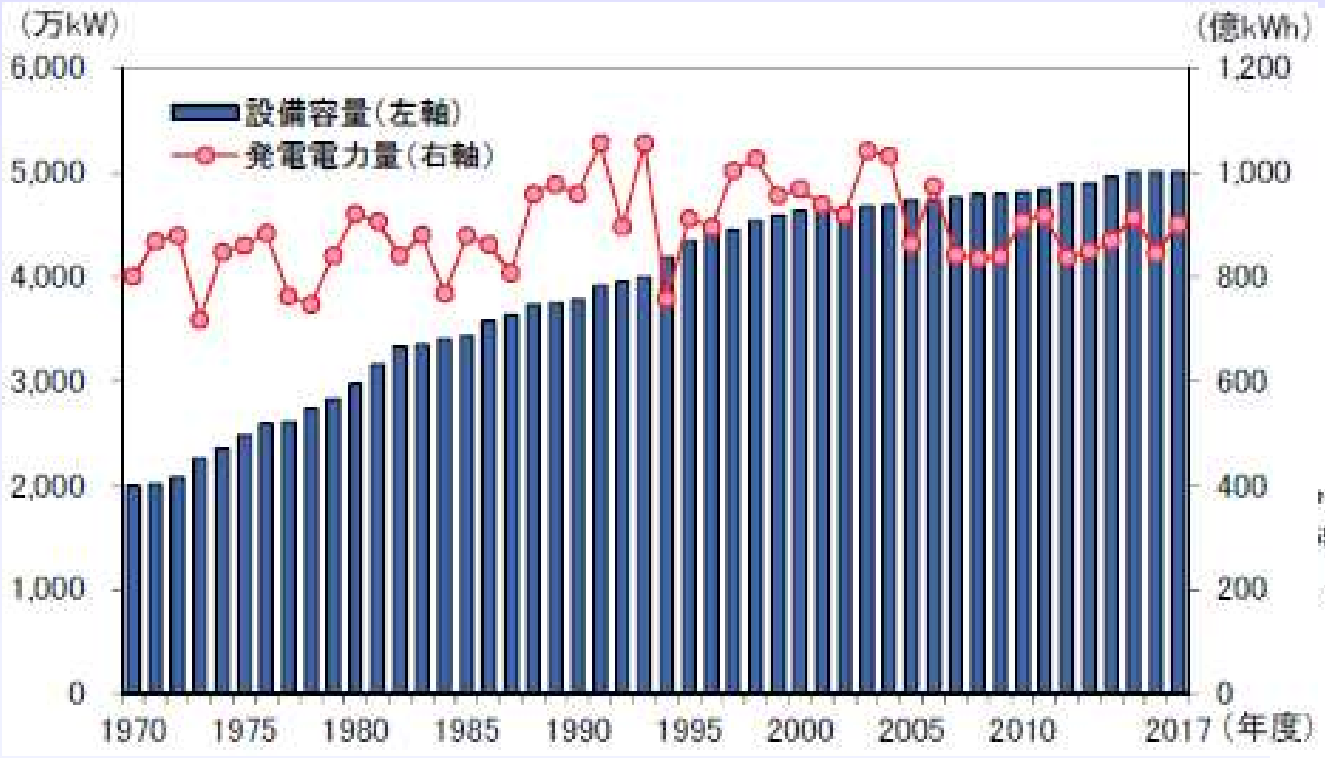
小水力発電は，一般河川、農業用水、砂防ダム、上下水道など、現在無駄に捨てられているエネルギーを有効に利用する，環境配慮型，地域密着型の発電方式である。

水路式	直接設置式	減圧設備代替式	現有施設利用
落差を確保するための水路・水圧管路を川などをバイパスして設置する方法。	用水路の落差工や既存の堰などに水車と発電機を直接設置する方法。	水道の給水設備などで利用されている減圧バルブによる水圧を利用する方法。	ため池やプールなどの施設の水を利用する方法。
			

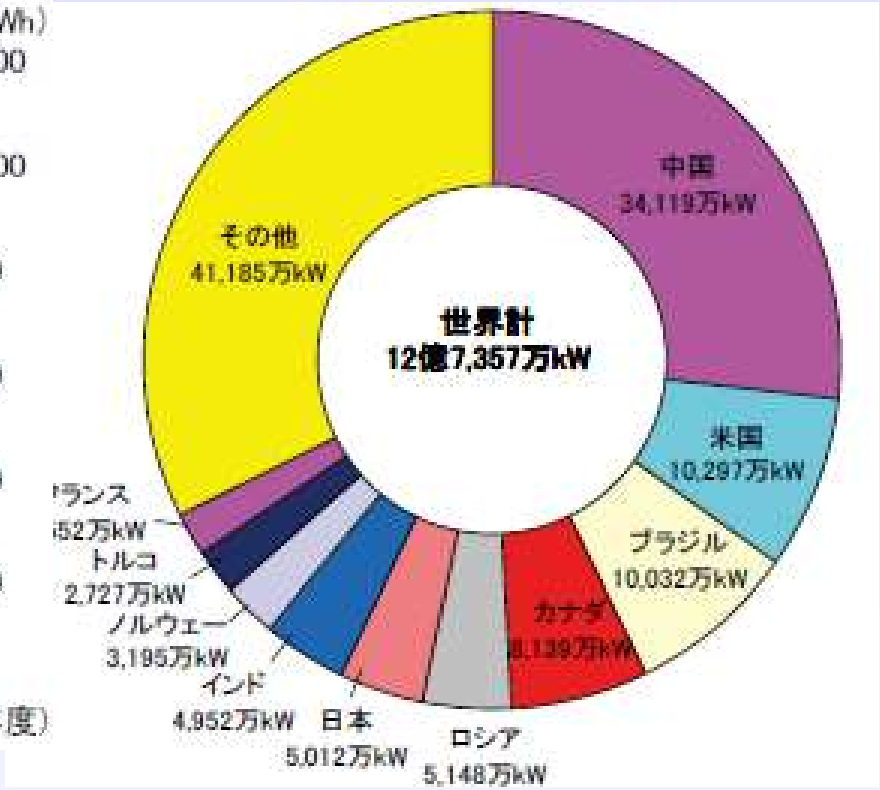
出展https://www.env.go.jp/earth/ondanka/shg/page02.html

日本の水力発電の設備容量及び発電量の現状

2016年度末で，一般水力発電所数は2005ヵ所、新規建設中が59ヵ所に上った。
小水力発電は、地域エネルギーの地産地消につながり，2012年に開始した固定価格買取制度の効果により、2017年度末時点で31万kW（全水力発電の0．6%）の小水力発電が運転を開始し、今後も開発が進むと見込まれる。
なお、一般水力等を含む全水力発電の設備容量は，2017年度末で5,001万kW、年間発電電力量は901億kWhで，国際的にみた日本の水力発電導入量は約4%である。



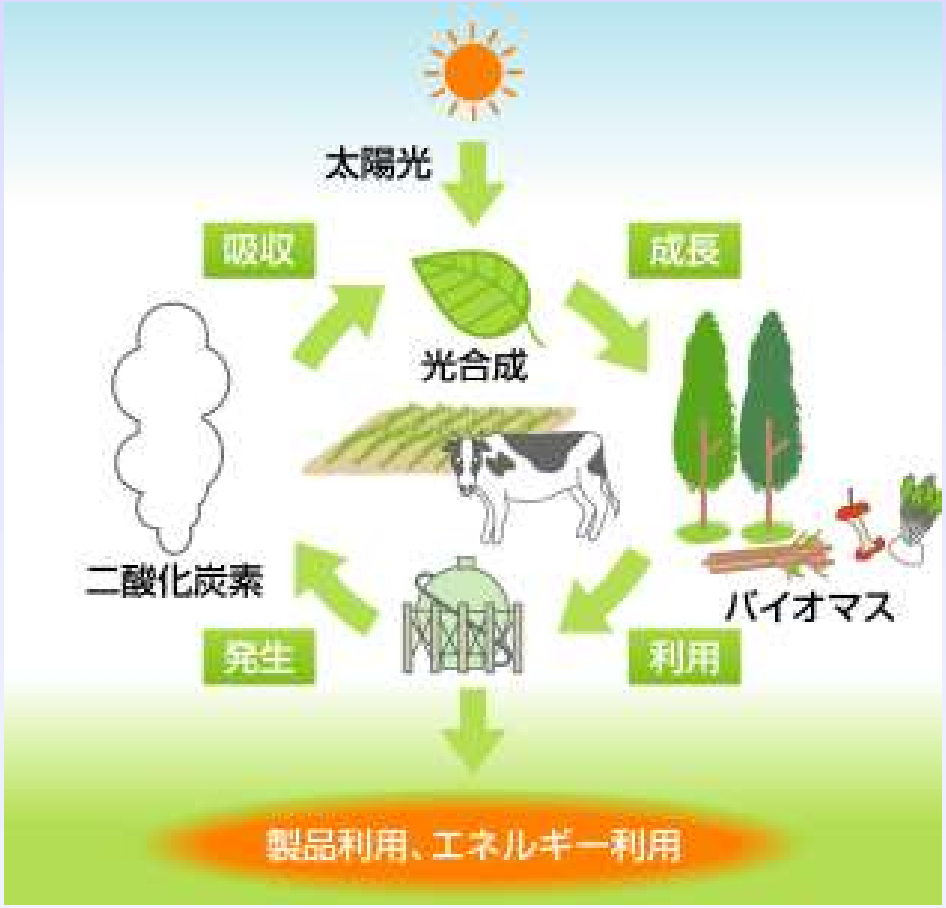
日本の水力発電設備容量と発電量の推移



水力発電導入量の国際比較（2017年末）

出展：資源エネルギー庁エネルギー白書2019

バイオマスの利用



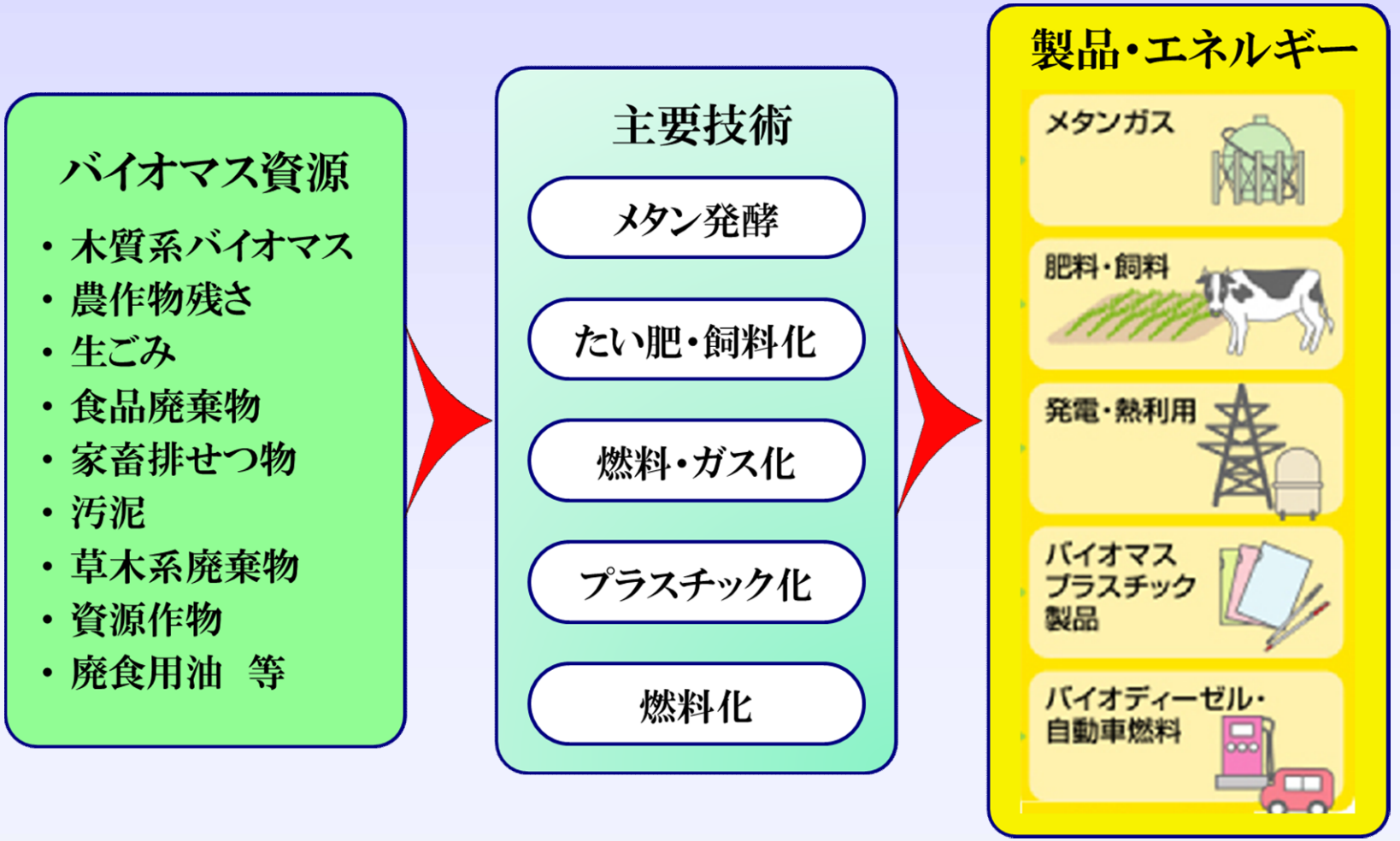
バイオマスエネルギーは，動植物に由来する有機物で，エネルギー源として利用可能なものを意味する。

バイオマスエネルギーは，持続的に利用でき，カーボンニュートラルという特徴があるので，化石資源の枯渇と地球温暖化の解決に役立ちます。バイオマスの利用を進めることで，資源循環型社会づくり，地球温暖化の防止につながります。

出展：市原グリーン電力HP, https://www.mes.co.jp/gpw/biomass/chap02.html より作成

バイオマス資源の利用

各種バイオマス資源を原料としてつくられたエネルギーをバイオマスエネルギーという。バイオマスエネルギーは，直接燃焼のほか，熱化学的変換による燃料化やメタノール発酵などの生物化学的変換，バイオマスプラスチック化など幅広く利用できる資源である。

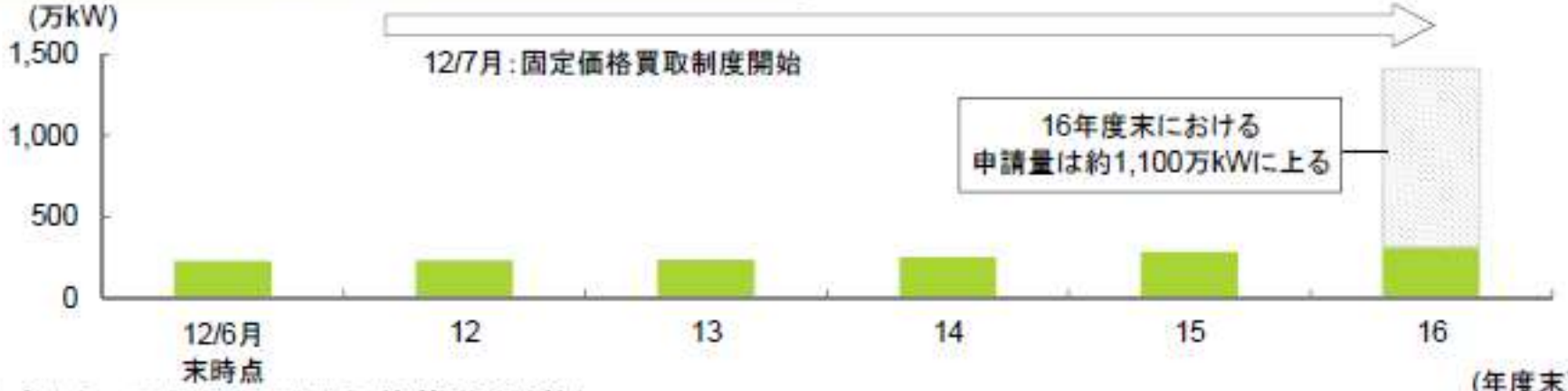


出展：市原グリーン電力HP, https://www.mes.co.jp/gpw/biomass/chap02.html より作成

バイオマス発電導入量及びFIT価格の推移

FIT制度導入当初，バイオマス発電事業においては，燃料の安定調達が課題となっていたが，2014年頃から木質チップやパーム椰子殻など，輸入燃料の調達ルートが整備され導入が加速した。

バイオマス発電の導入量推移



バイオマス発電の買取価格推移（税抜）

単位：円/kWh

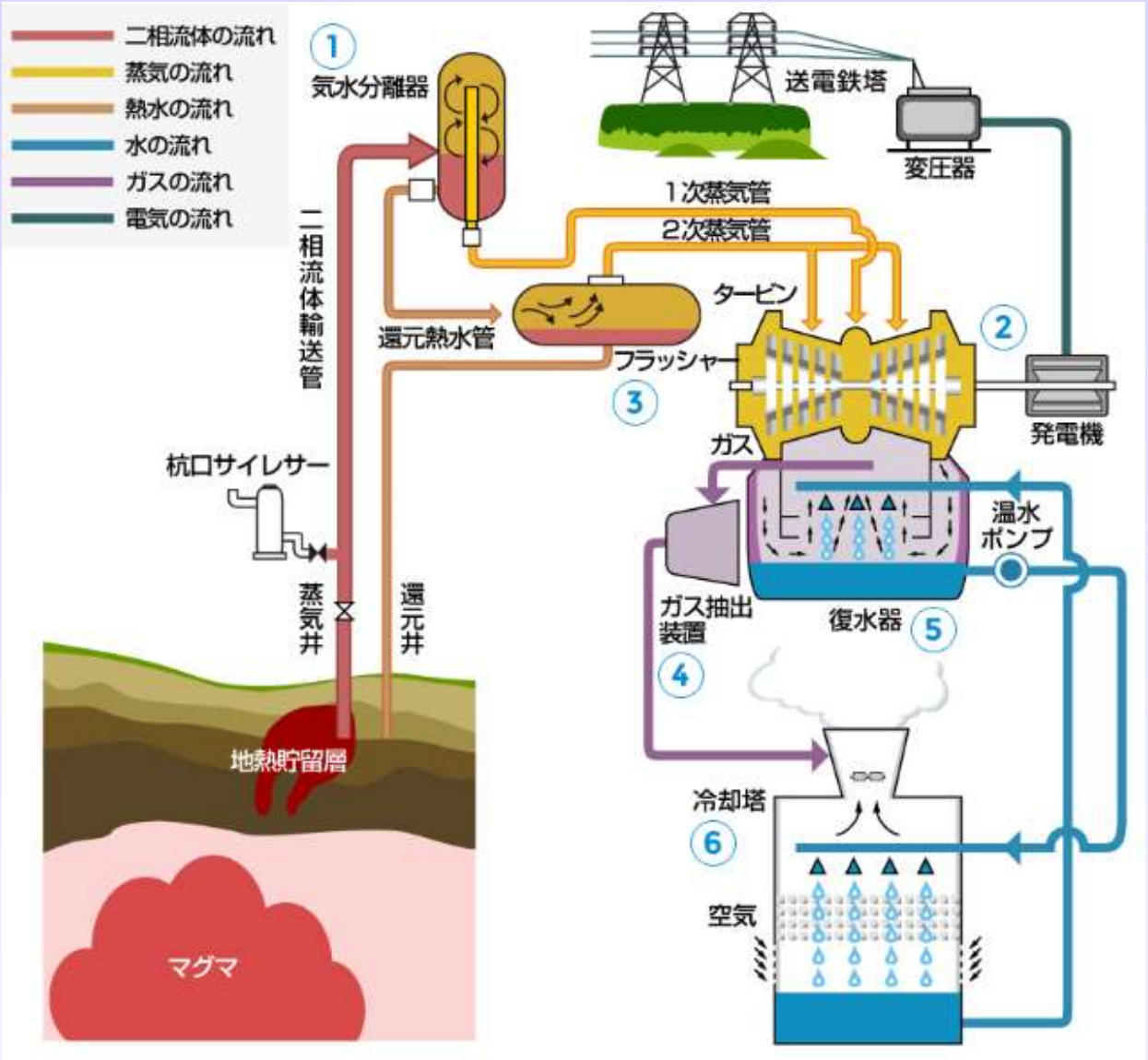
燃料区分	例	12年度	13年度	14年度	15年度	16年度	17年度
未利用木材	間伐材・主伐材	32円			32円(2,000kW以上)		
					40円(2,000kW未満)		
一般木材	製材端材・輸入材・パーム椰子殻など	24円					21円(10/1～)
建設資材廃棄物	リサイクル木材など	13円					
一般廃棄物・その他バイオマス	木くず・紙・食品残渣など	17円					

出展：三井住友銀行，再生可能エネルギーの現状と課題，
https://www.smbc.co.jp/hojin/report/investigationlecture/resources/pdf/3_00_CRSDReport044.pdf

地熱発電

地熱発電は地下に貯められた熱水・蒸気を坑井により取り出し，タービンを廻して電気を得る発電方式。

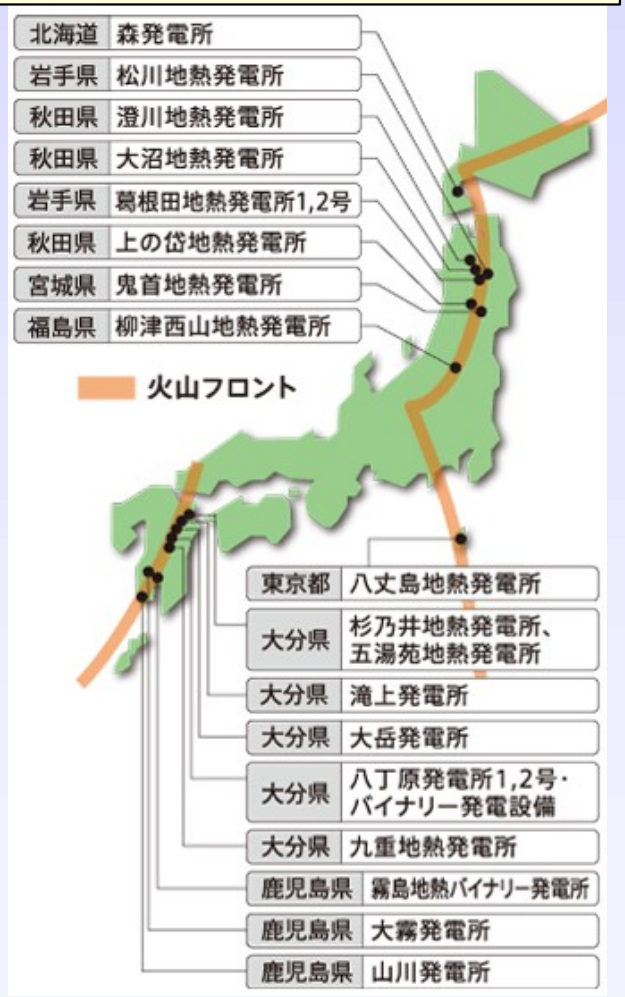
二酸化炭素のほとんど排出量せず，長期的に安定した発電が可能なベースロード電源である。



出展：九州電力HP: http://www.kyuden.co.jp/effort_renewable-energy_geothermal.html より作成

世界及び日本の地熱発電設置状況

世界の地熱資源量を見ると、世界最大規模の地熱地帯をもつアメリカ，多くの火山島からなるインドネシア，日本などが世界有数の地熱資源国である。日本の地熱発電所は，火山帯や地熱地帯の分布から，東北地方と九州地方に集中的に建設されている。

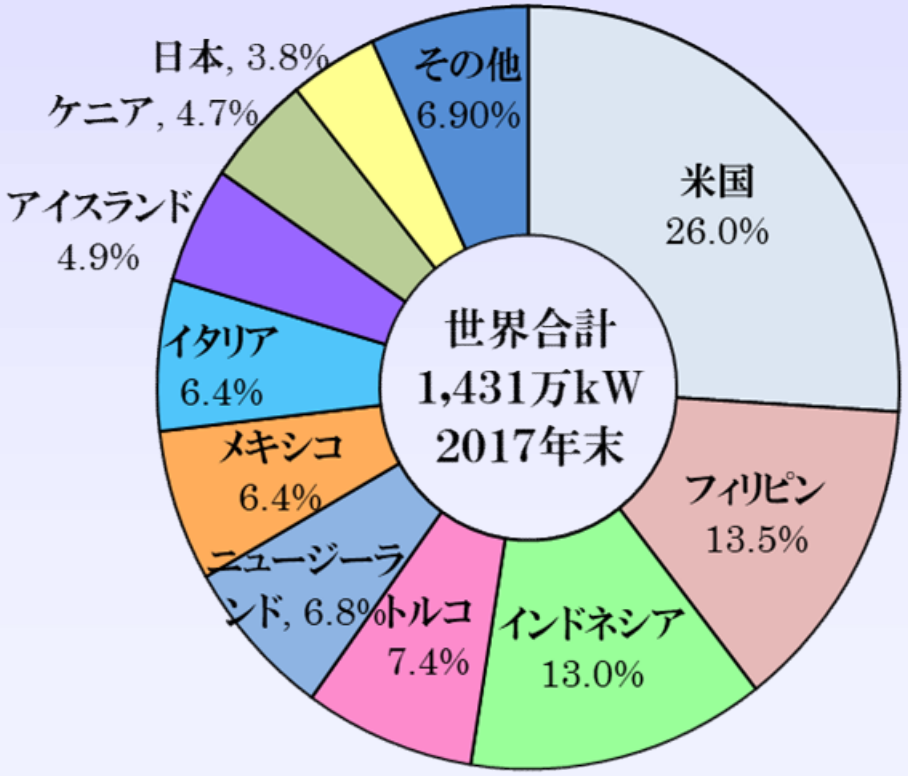


出展：石油天然ガス・金属鉱物資源機構HP http://geothermal.jogmec.go.jp/information/geothermal/world.html

主要国の地熱発電資源量と地熱発電設備容量，導入量

日本は，地熱資源量は世界3位であるが，導入量は3.8％で第10位である。1990年代後半以降，新規開発はほとんどなかったが，2012年に開始された固定価格買取制度の支援も追い風となって，地熱発電開発機運は高まり，40件近い開発調査が進んでいる。2015年以降では，2019年1月に運転を開始した岩手県八幡平地熱発電所など3件の地熱発電所が運転を開始した。

国　名	地熱資源量（万kW）	地熱発電設備容量（万kW）2017年末時点
米国	3,000	372
インドネシア	2,779	186
日本	2,347	55
ケニア	700	68
フィリピン	600	193
メキシコ	600	92
アイスランド	580	71
ニュージーランド	365	98
イタリア	327	92
ペルー	300	0



地熱発電導入量の国際比較

出展：資源エネルギー庁エネルギー白書2019

エネルギーの高度利用

広義の新エネルギーには，「革新的なエネルギーの高度利用技術」が含まれ，クリーンエネルギー自動車，天然ガスコジェネレーション，燃料電池などがあげられている。

クリーンエネルギー自動車： クリーンエネルギー自動車には，ハイブリッド自動車，電気自動車，燃料電池自動車，クリーンディーゼル自動車などがある。現時点ではその大部分はハイブリッド自動車で2017年度末時点で754万台，電気自動車9万台，プラグインハイブリッド自動車10万台，燃料電池自動車2千台である。

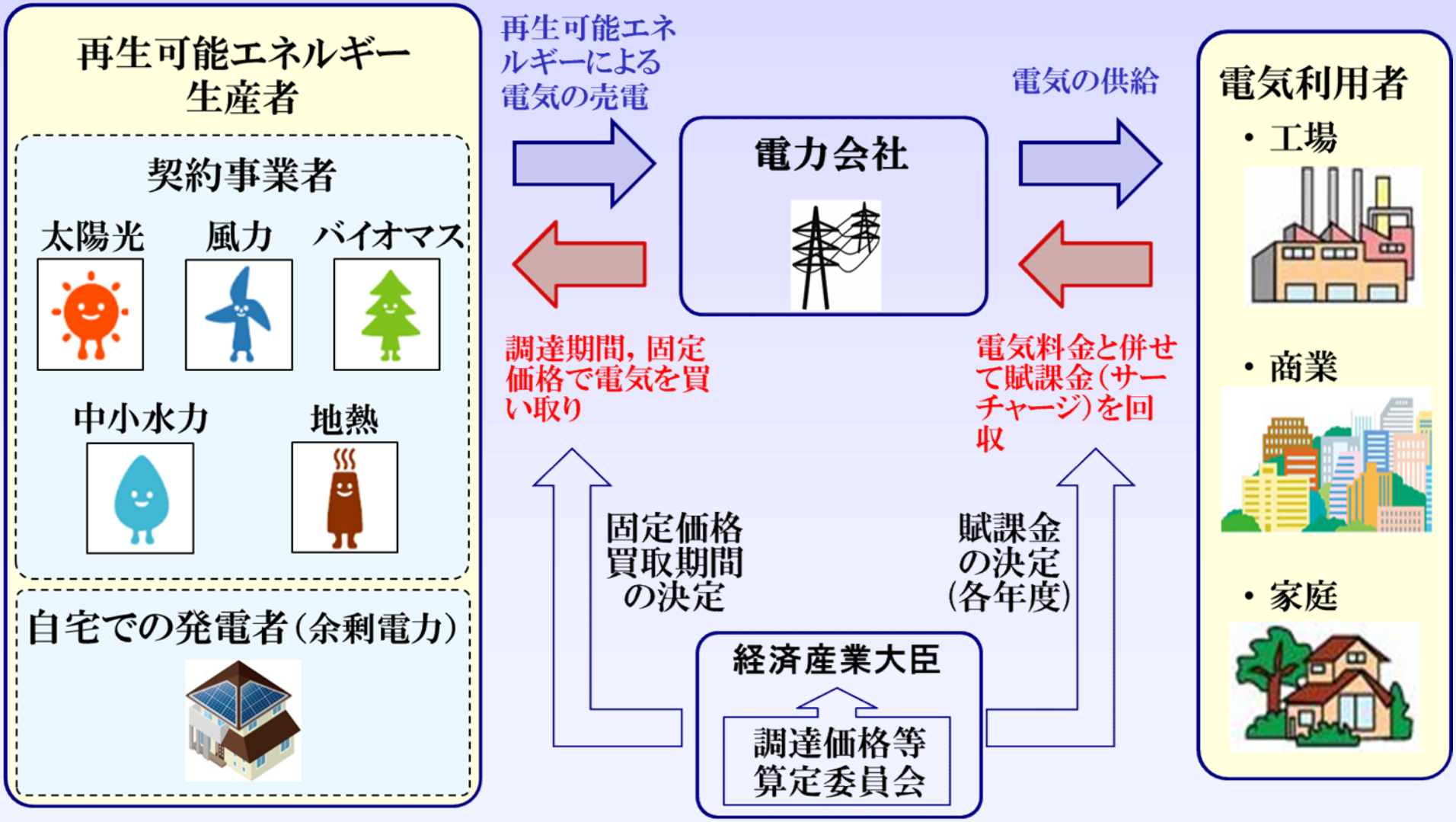
コジェネレーション： 熱源より電力と熱を生産し供給するシステムの総称で，日本では内燃機関で発電を行い，その際に発生する熱を活用する方法が主として用いられている。天然ガスコジェネレーションは，天然ガスを火力発電で燃焼し、その燃焼によって余った熱を給油システムや冷暖房に利用する方法。

燃料電池： 燃料電池は，水素などの燃料を空気中の酸素と化学的に反応させ，直接電気を発生させる装置で，エネルギーの安定供給，地球環境問題の観点から重要視されている。 日本では世界に先駆けて2009年に一般消費者向け家庭用燃料電池が販売開始され，2018年末までに約30万台が導入されている。

出展：資源エネルギー庁エネルギー白書2019

再生可能エネルギーの固定価格買取制度 (Feed-in Tariff)

固定価格買取制度の目的: 再生可能エネルギーの普及, コスト削減



2019年度における買取価格と調達期間

(買取価格:円/kWh)

買い取り価格減額傾向　（参考：2011年度 太陽光10kW未満 42円）

再生可能エネ	調達部門	買取価格（円）	調達期間
太陽光発電	10kW 未満	24～26	10 年
	10～500kW 未満	14 ＋税	20 年
	500kW 以上	入札	20 年
風力発電	陸上風力発電	19 ＋税	20 年
	陸上風力発電(リプレース)	16 ＋税	20 年
	洋上風力発電	36 ＋税	20 年
地熱発電	15,000kW 未満	19, 30, 40 ＋税	15 年
	15,000kW 以上	12, 20, 26 ＋税	15 年
中小規模 水力発電 ()内は，既設導 水路活用型	200 kW 未満	34 (25) ＋税	20 年
	200～1,000 kW	29 (21) ＋税	20 年
	1,000～5,000 kW	27 (15) ＋税	20 年
	5,000～30,000kW 未満	20 (12) ＋税	20 年
バイオマス発電	一般木材バイオマス	24 ＋税	20 年
	建築資材廃棄物	13 ＋税	20 年
	一般廃棄物	17 ＋税	20 年

Drawing up from https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/kaitori/fit_kakaku.html

固定価格買取制度導入状況

2019年6月末時点の状況（2019年10月29日更新）

	(1) 認定量 (※1)	(2) 導入量		(3) 買取電力量 (万kWh)		(4) 買取金額（億円） (※4)	
	新規認定分 (※2)	新規認定分 (※2)	移行認定分 (※3)	2019年 6月分	制度開始からの累計	2019年 6月分	制度開始からの累計
太陽光（住宅：10kW未満）	650.0万kW	628.4万kW	471.9万kW	97,732	5,427,605	376	22,363
	1,394,903件	1,352,857件	1,198,448件				
太陽光（非住宅：10kW以上）	6,530.5万kW	3,940.1万kW	26.2万kW	562,383	23,221,113	2,096	90,623
	734,953件	587,686件	9,687件				
風力	731.9万kW	125.1万kW	251.6万kW	39,801	4,523,353	91	10,068
	7,780件	1,169件	318件				
中小水力	124.4万kW	45.5万kW	21.2万kW	31,294	1,446,210	83	3,827
	659件	498件	183件				
地熱	8.6万kW	7.7万kW	0.1万kW	4,422	59,904	15	253
	85件	64件	1件				
バイオマス	859.7万kW	184.6万kW	130.4万kW	106,604	5,706,977	278	13,932
	635件	389件	224件				
合計	8,905.1万kW	4,931.3万kW	901.3万kW	842,235	40,385,162	2,939	141,066
	2,139,015件	1,942,663件	1,208,861件				

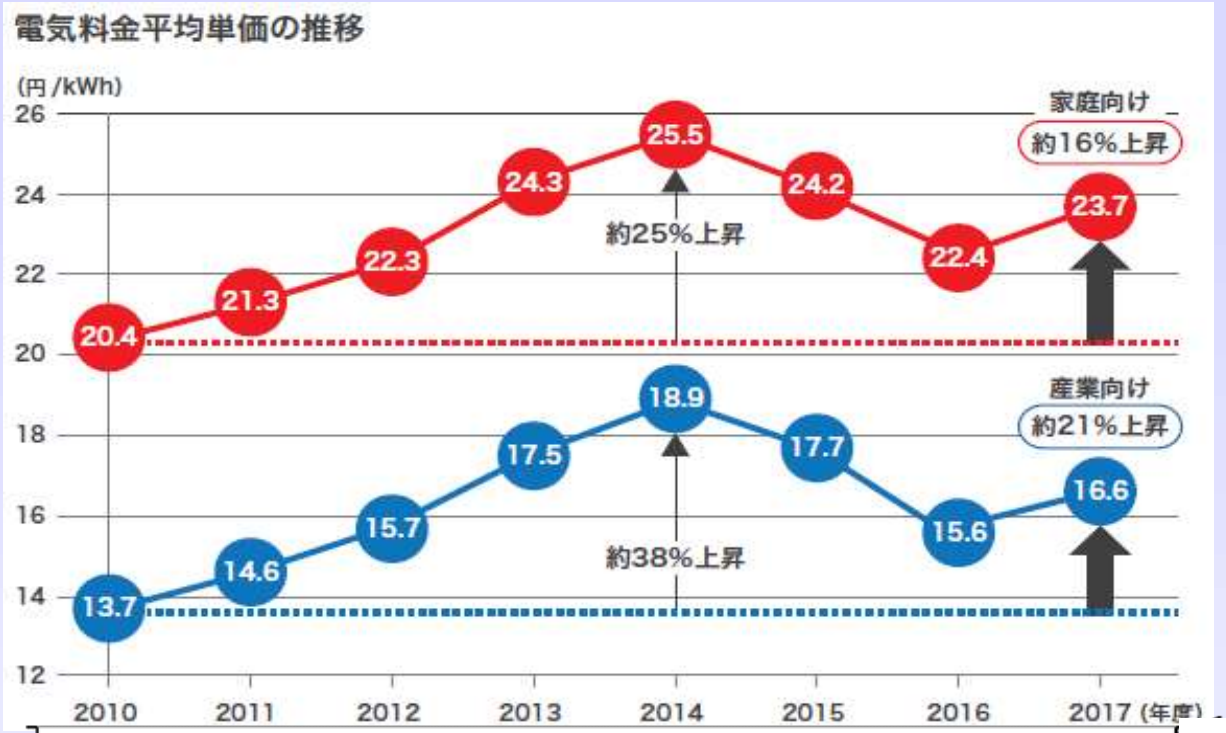
出展：https://www.fit-portal.go.jp/PublicInfoSummary

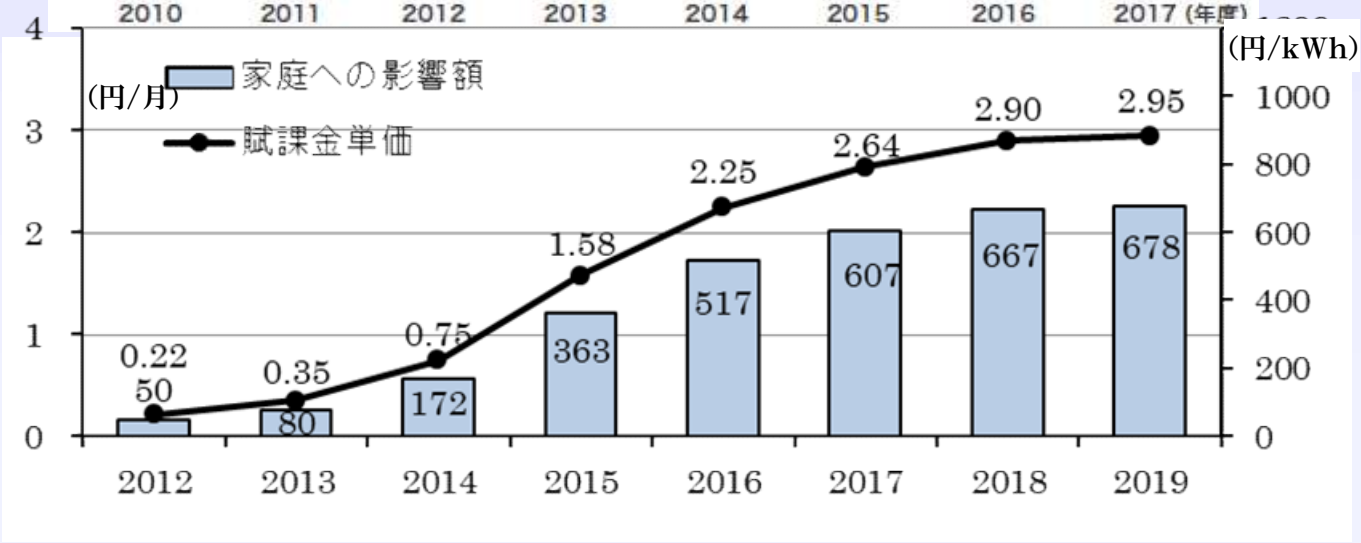
電力料金と再エネ発電促進賦課金の推移

電気料金は，2011年度以降原子力発電所の稼動停止、燃料価格の高騰などに伴う火力発電費の増大の影響を受け上昇した。その後，燃料価格の低下に伴い低下した。

再エネ促進賦課金は、最終的には単価は、全国一律の単価で，電気の使用量に比例して，使用電気料金と一緒に支払い，最終的には再生可能エネルギー生産者に払われる。

電気料金 ＋ 再エネ賦課金 ＝ 月々の電力会社へのお支払い

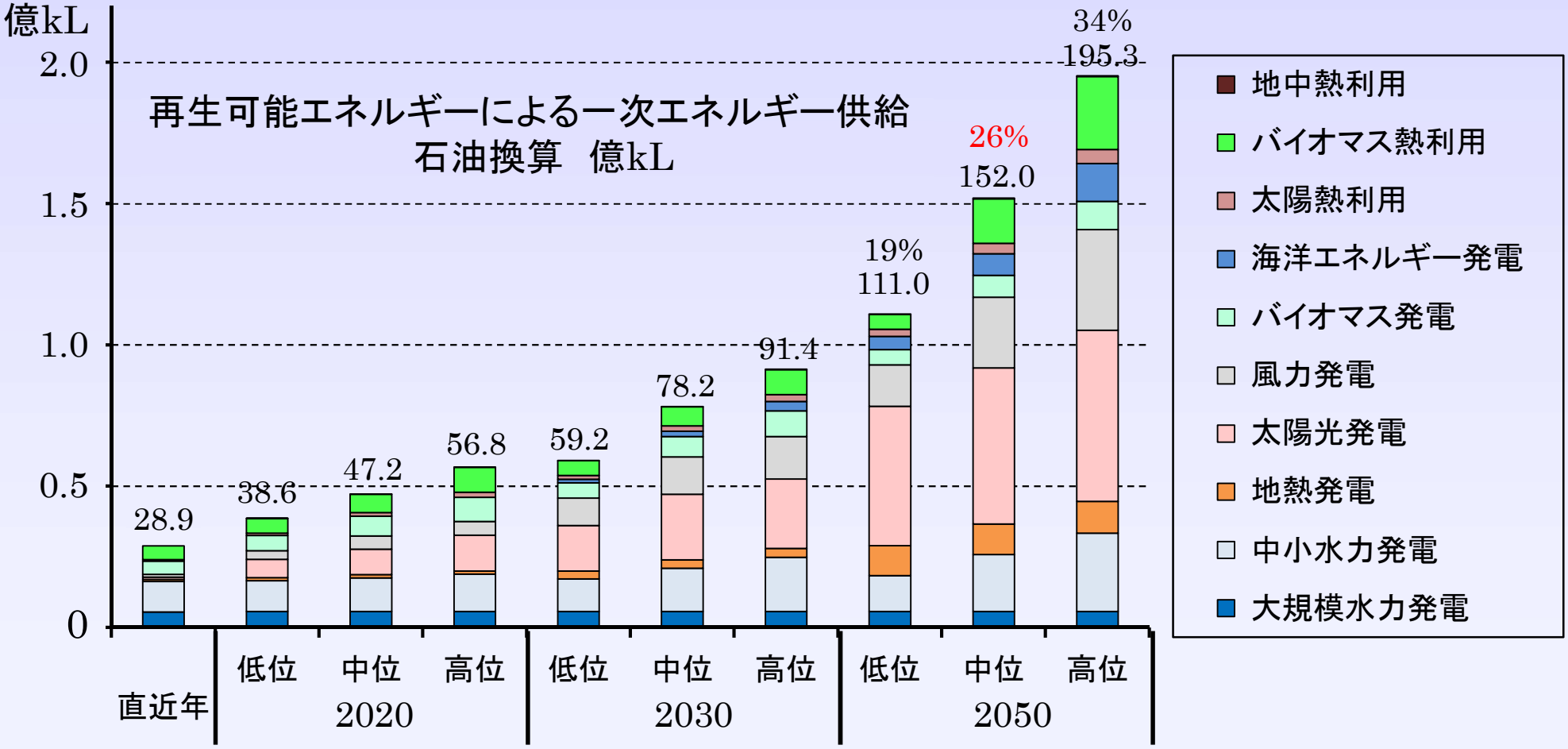




出典：https://www.enecho.meti.go.jp/about/pamphlet/pdf/energy_in_japan2018.pdf
https://www.hepco.co.jp/info/2018/1237821_1753.html より作成

日本における再生可能エネルギーの導入見込み量

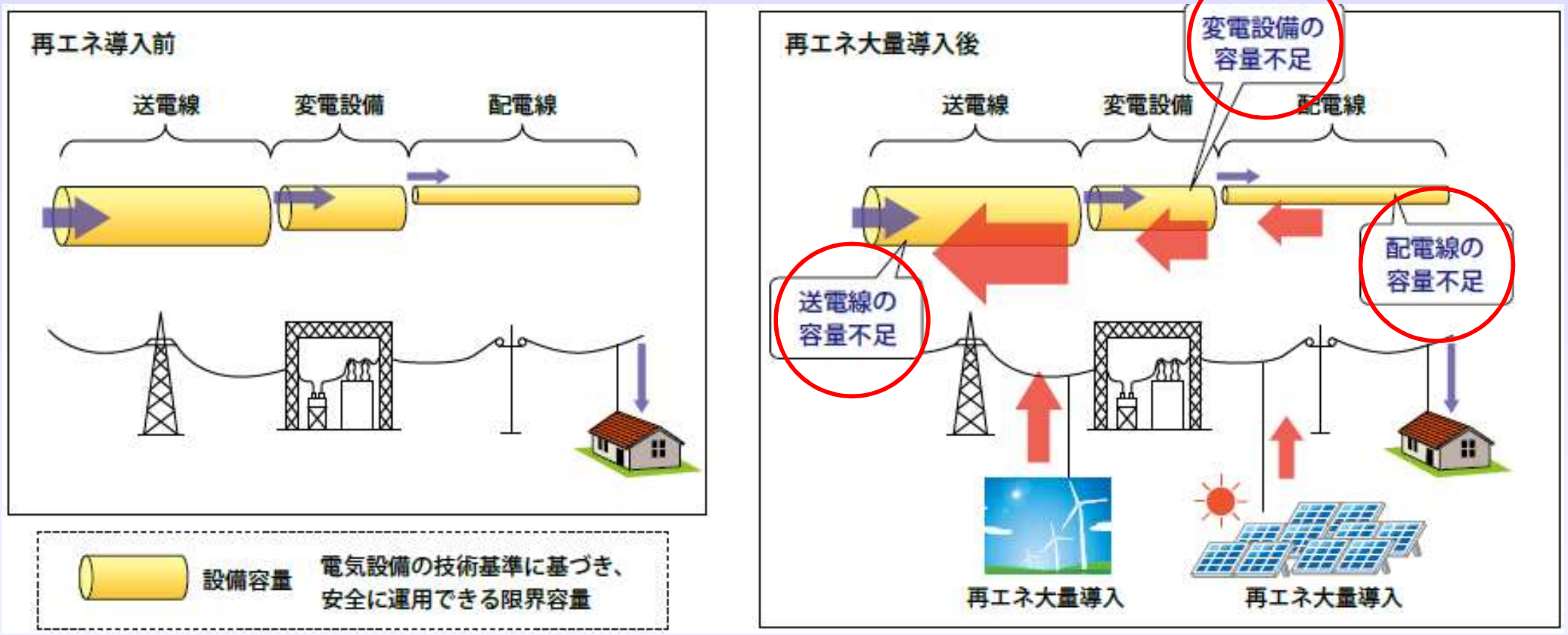
2050年の中位推計では，一次エネルギーの26%を再生可能エネルギーが占める。



https://www.env.go.jp/council/06earth/y0613-16/ref06-20.pdf から作成

再生可能エネルギー導入拡大に伴う系統制約 -送電容量-

従来の送電では，発電側から需要側に近づくにつれて電圧を下げ，送電容量も電力需要に見合った量の設備を設置してきた。最近では再生可能エネルギーの急速な導入拡大に伴い，電力需要の少ない一部の系統で，送電容量が不足する事例が生じている。

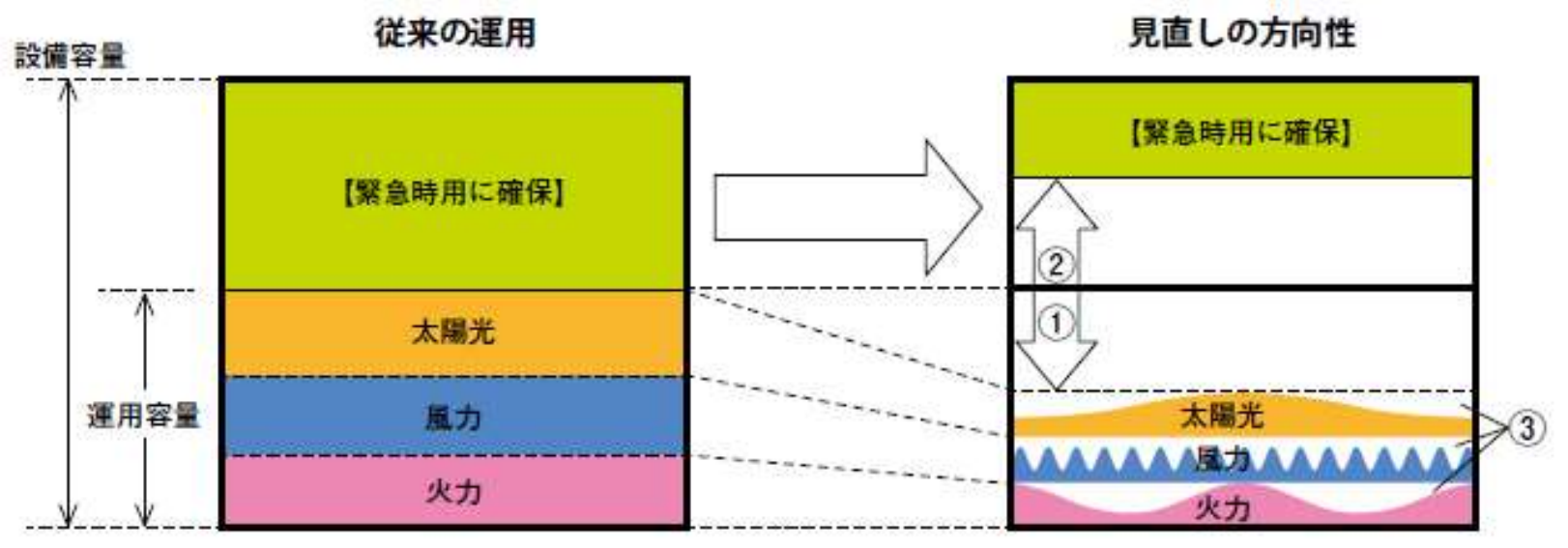


出典：https://www.fepc.or.jp/library/data/infobase/pdf/08_h.pdf

再生可能エネルギー導入拡大に伴う系統制約

太陽光発電や風力発電は，日照条件や気象条件などにより出力が不安定であり，これらの発電量が多い地域では，出力変動に対し火力や揚水等だけで調整することが困難となり，送電容量が不足するなど系統運用上問題となっている。 再生可能エネルギーの拡大のためには，系統運用方法を改善する必要があり，系統管理方法が検討されている。

	従来の運用	見直しの方向性
① 想定潮流の合理化	全電源フル稼働	実態に近い想定
② 緊急時用の枠	半分程度を確保	事故時に瞬時遮断する装置の設置により枠を解放
③ 出力制御前提の接続	通常は想定せず	混雑時の出力制御を前提とした新接続を許容



出典：https://www.fepc.or.jp/library/data/infobase/pdf/08_h.pdf より作成

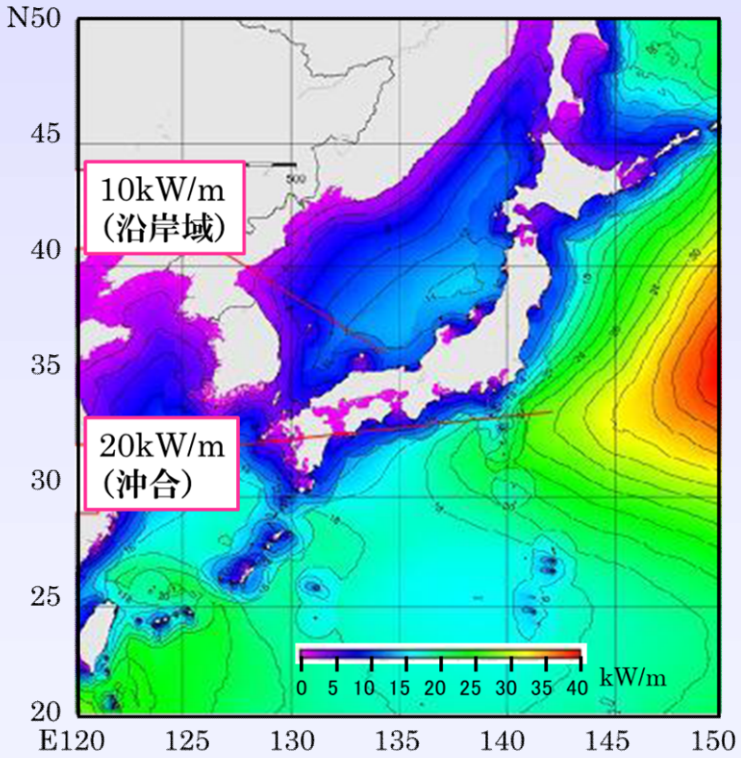
発電コストの比較

	発電コスト（円/kWh）	稼働年数 設備利用率	課　題	備　　考
石油火力	30.6～43.4	40年，30%	地球 温暖化	地球温暖化の原因となるCO_2を大量に排出 燃料価格の変動によりコストが不安定
石炭火力	12.3	40年，70%		
天然ガス火力	13.7	40年，70%		
原子力発電	10.1~	40年，70%	安全性 廃炉コスト	放射性廃棄物の処理や安全性に懸念 発電コストに廃棄物処理費用は含まず
バイオマス(混燃)	12.6	40年，70%		バイオマス資源の収集・輸送コストの高さが課題
一般水力発電	11.0	40年，45%	環境	建設地が水源に限定，自然環境への影響が懸念
風力発電(陸上)	21.9	20年，20%	コスト 安定性	適地が北海道・東北地方に集中 発電量が風況により変動
太陽光発電(メガ)	24.3	20年，14%	コスト 安定性	大規模化には大面積の建設地が必要 発電量が天候，日照により変動
地熱発電	19.2	40年，83%	立地	出力が大きく安定，温泉事業者の理解獲得が難
波力発電（GPI）	8.0	65年，50%		実用化に至っているものはなく，開発段階のものも発電量は小さい。なお，左記数値はGPIに限った数値で，出典元に関係しない

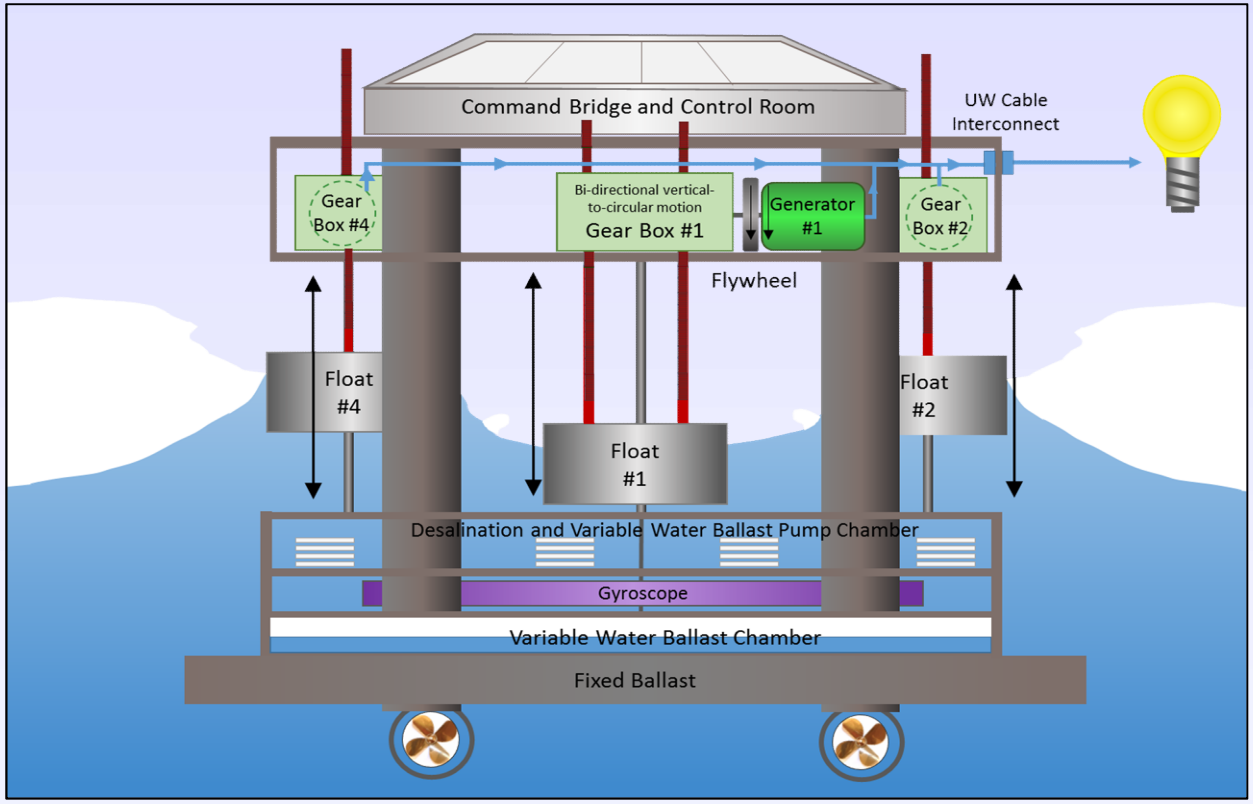
出展：資源エネルギー庁 長期エネルギー需給の見通し小委員会に対する発電コストなどの検証に関する報告より作成
（https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/mitoshi/cost_wg/006/pdf/006_05.pdf）

波力発電，Green Power Island（GPI）

日本周辺海域の年平均波力エネルギー密度は，沿岸域において10kW/m 未満，沖合でおよそ 20kW/m と推定されており，沖合 100km までの波力エネルギーの賦存量は，現状技術を想定した場合の発電可能量として 19TWh（年間電力需要の約 2% ）と試算されている。



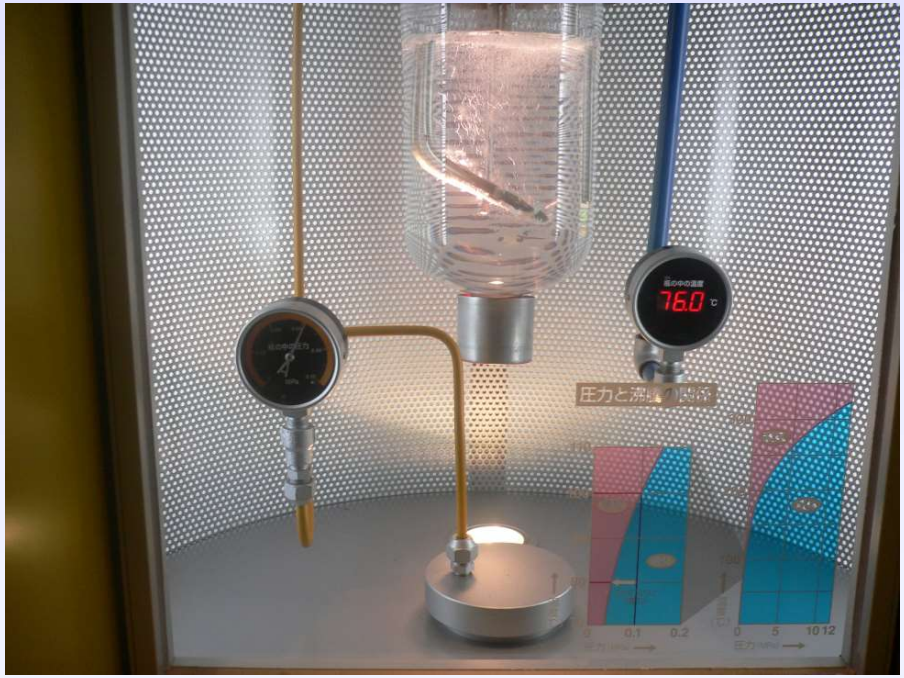
日本海沿岸の波力エネルギー密度



GPI波力発電装置

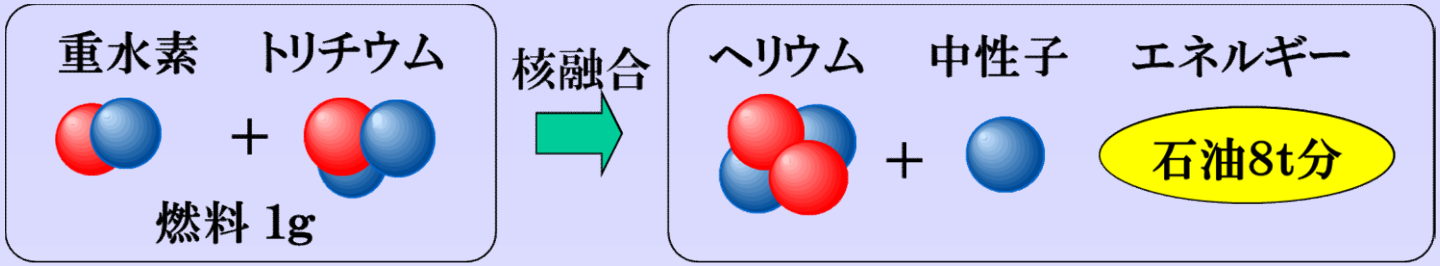
八丈島の再生エネルギーへの取り組み

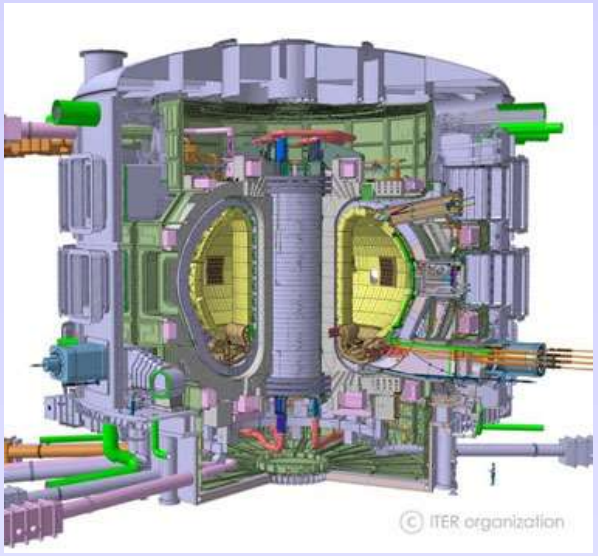
八丈島では，東京電力が1999年に3.3MW地熱発電所，2000年に風力発電所を設置し，八丈島内燃力発電所（ディーゼル発電）と併せて，島内に配電されていた。また，12月～3月の間には，地熱発電所から周辺の温室団地へ，温水を供給し温室内の暖房として利用されていた。両発電所は，離島における再生可能エネルギーの先端的設備といえたが，風力発電所は2014年，地熱発電所は2019年3月に運転を終了した。今後は，既設のディーゼル発電に加え新規に開発する再エネの種類など具体的なベストミックスを構築するため，現在検討中である。



未来エネルギー研究会，2006年6月4日見学

未来エネルギー：核融合





エネルギー資源

- 海水から150万年分の燃料をうることができる
- 世界中のどこでも入手できる
- わずかな燃料で大きなエネルギーを出す

環境への影響・安全性

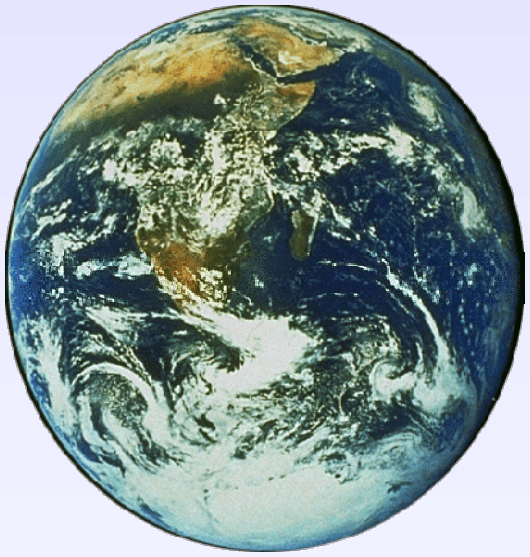
- 地球温暖化の恐れのある炭酸ガスを出さない
- 超寿命の放射性廃棄物を出さない
- 暴走事故の恐れがない

社会への適応性

- 大きなエネルギーを供給できる
- 天候や立地に左右されない
- 核拡散の恐れがなく，途上国にも導入しやすい
- 水素や燃料供給にも適する

ITER，国際熱核融合実験炉建設現場，
南フランス，2019/10

ご清聴
ありがとうございました



将来世代に
優しい社会・地球環境を

風力発電の環境アセスメント
現状と課題

一般財団法人　電力中央研究所
名誉研究アドバイザー
河野　吉久

目次

1. FIT制度と風力アセス手続き
2. 経産省における審査状況
3. 手続きの迅速化と合理化
4. 風力発電の特徴
5. 主な指摘事項等
    1. 大気環境
    2. 水環境
    3. 陸生生物（植物、動物、生態系）
    4. 事後調査

環境影響評価制度の経緯

- 1969（S44）年　米国で制度化
- 1972（S47）年　公共事業を対象に閣議了解
- 1977（S52）年　発電所アセス（省議アセス）
- 1981（S56）年　環境影響評価法案国会提出
- 1984（S59）年　閣議決定アセス
- 1997（H09）年　環境影響評価法案可決・公布
- 1999（H11）年　施行
- 2005（H17）年　基本的事項の見直し
- 2011（H23）年　法改正（配慮書と風力の追加）
- 2012（H24）年　10月より風力アセスの審査開始
- 2020（R02）年　太陽光発電の審査開始

第一種，二種事業の区分（発電所の場合）

	第一種事業	第二種事業
原子力	すべて	
火力	15万kw以上	11.25万kw以上
地熱	1万kw以上	7,500kw以上
水力	3万kw以上	2.25万kw以上
風力	1万kw以上	7,500kw以上
太陽光	4万kw以上	3万kw以上

環境要素の区分(発電所の場合)

参考項目

- 大気環境 (大気質，騒音，振動)
- 水環境 (水質，底質，その他)
- その他の環境 (地形及び地質，地盤，電波障害，シャドウフリッカー)
- 動物(陸域，海域)(衝突リスク)
- 植物(陸域，海域)
- 生態系(陸域)(海域： 藻場，干潟，サンゴ礁)
- 景観
- 人と自然との触れ合いの活動の場
- 廃棄物等
- 温室効果ガス等
- 放射線

省議アセス 昭和52年（1977）	法アセス（改正前） 平成11年（1999）	法アセス（改正後） 平成25年（2013）
		計画段階配慮書
	方法書	方法書
環境影響評価書	準備書	準備書
修正環境影響評価書	評価書	評価書

環境影響評価の図書

FIT制度と風力アセス手続き

- ～2017.3（H28)
  - 準備書に対する勧告　⇒　設備認定申請

- 2017.4（H29）～
  - 方法書公告　⇒　設備認定申請　⇒系統連系協議

風力発電事業に係る環境影響評価手続の着実な実施について（FIT申請時期の運用変更等に伴う対応等）（経産省・環境省，H29.7.4.）

経産省における審査状況

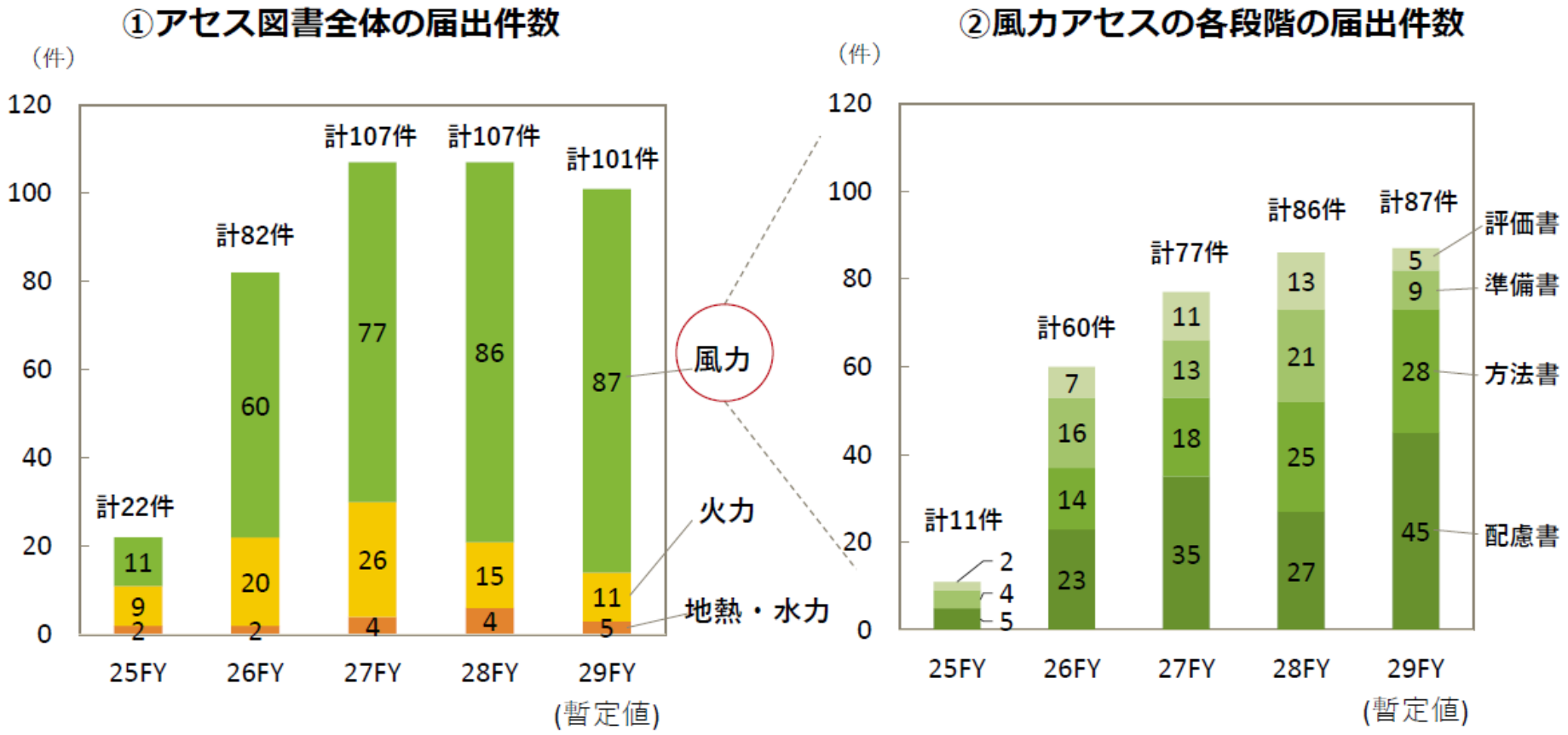
経産省における審査プロセス

- 配慮書　（電力安全課）

（環境審査顧問会）　（経産省）

- 方法書
  - 事前に意見照会　→　補足説明資料作成
  - 顧問会（1回）　→　勧告
- 準備書
  - 顧問会（1回目）　→　補足説明資料作成
  - 顧問会（2回目）　→　勧告
- 評価書
  - 評価書（案）の段階で必要に応じて意見照会・顧問会を開催

確定通知



経済産業省（平成30年3月12日）
産業構造審議会保安・消費生活用製品安全分科会
第16回電力安全小委員会　資料9

法アセス対象案件の審査状況（風力発電所）

H30.8.30.現在

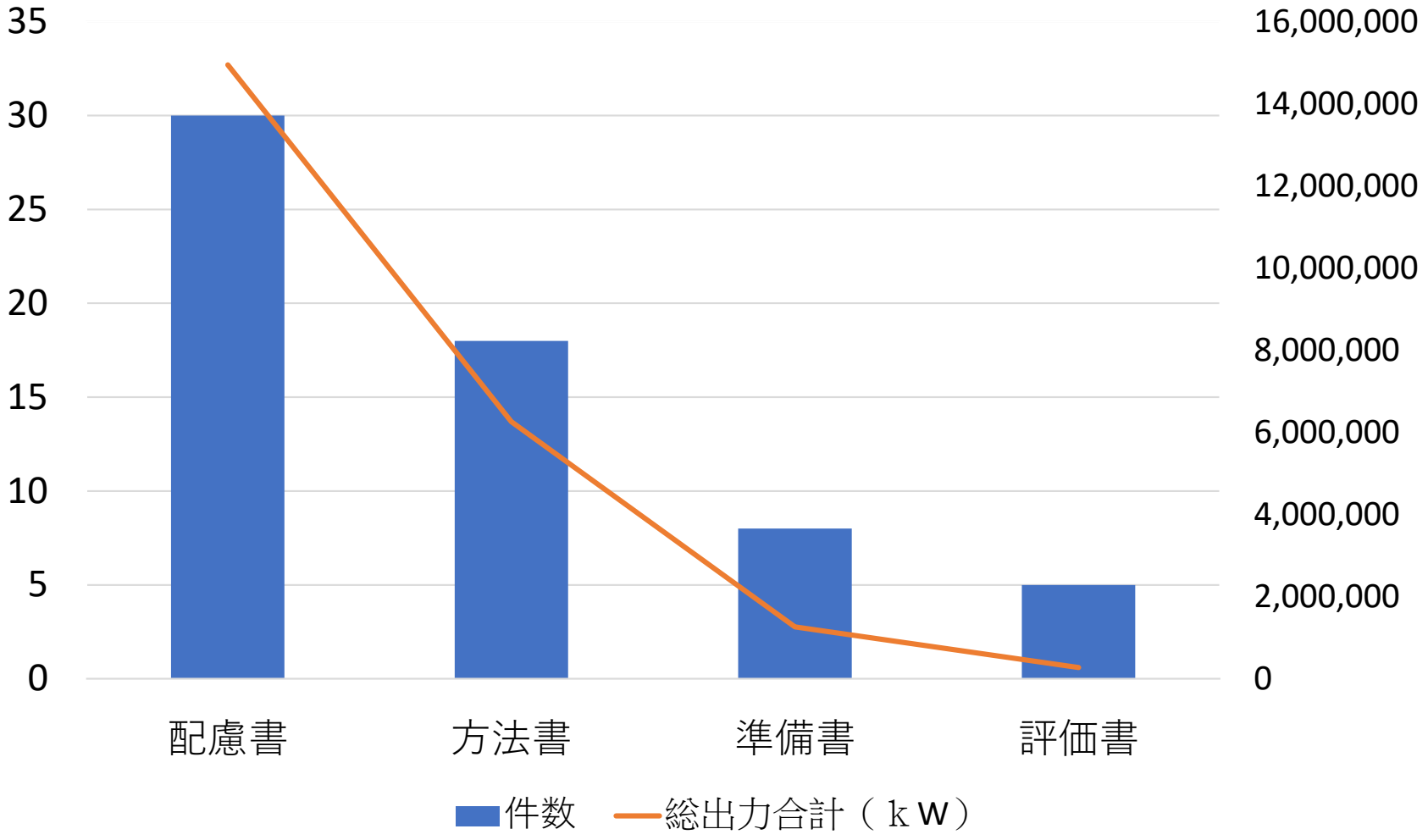
	経過措置案件（H24.10.1.）		配慮書制度（H25.4.1.～）		
	（準備書）	（方法書）	制度前	制度後	小計
配慮書提出	−	−	−	53	53
方法書提出	−	11	4	56	71
準備書提出	9	4	5	38	56
評価書確定	15	16	8	3	42
事業廃止	3	4	1	8	16
	27	35	18	158	238

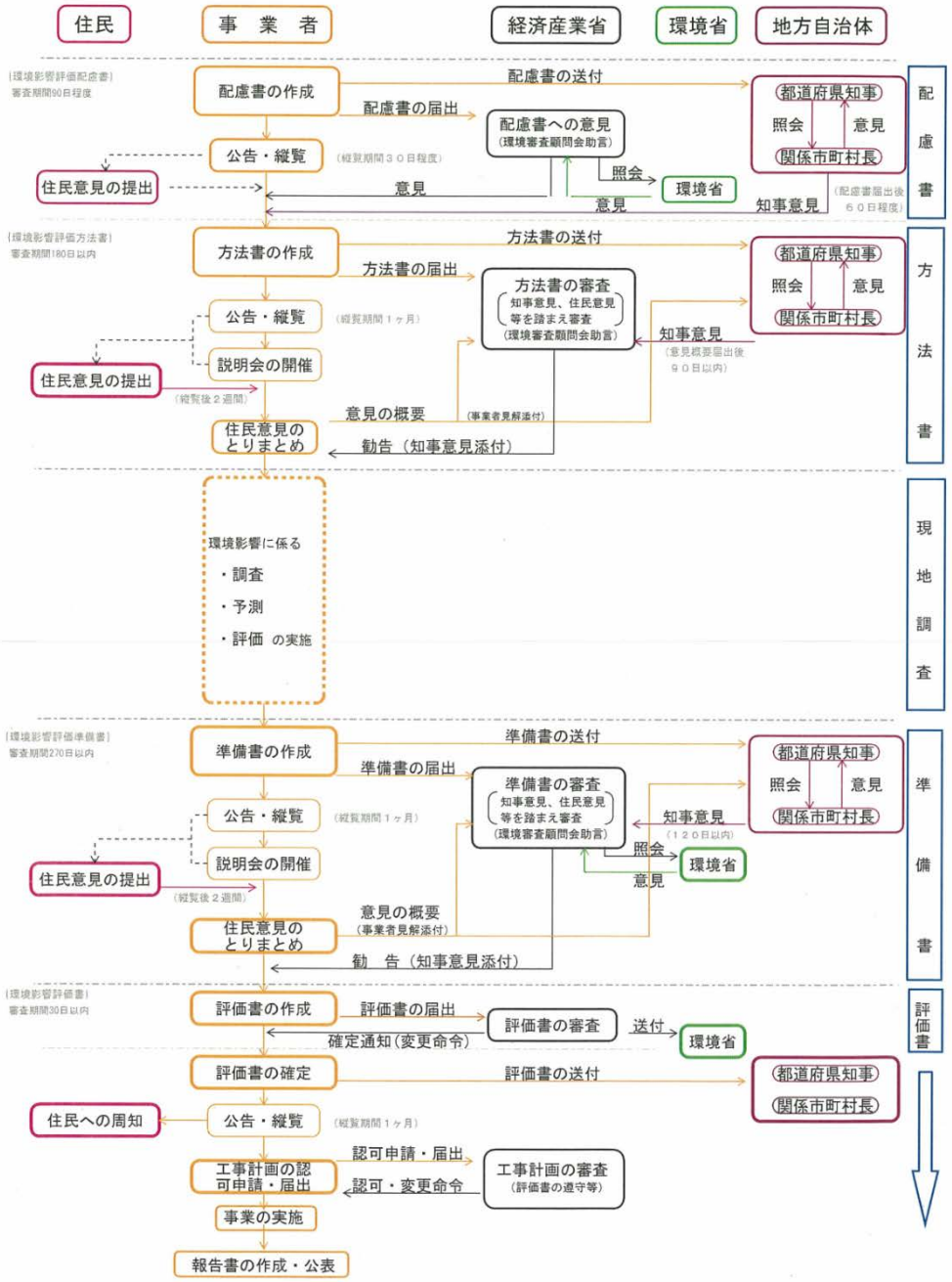
風力審査状況（H30.8.30.現在）

単位： kW

地域	審査中	廃止	小計
北海道	2,371,950	657,500	3,029,450
青森・岩手・秋田	9,915,295	311,000	10,226,295
福島	2,496,050	34,500	2,530,550
その他	3,976,600	254,000	4,230,600
合計	18,759,895	1,257,000	20,016,895

洋上風力の審査状況（2019年10月現在）





3ヶ月

6ヶ月

12ヶ月＋α
（猛禽類：　2繁殖期）

9ヶ月

1ヶ月

発電所アセス手続き フロー図

再生可能エネルギー導入のための規制・制度改革等

- 審査期間の短縮化

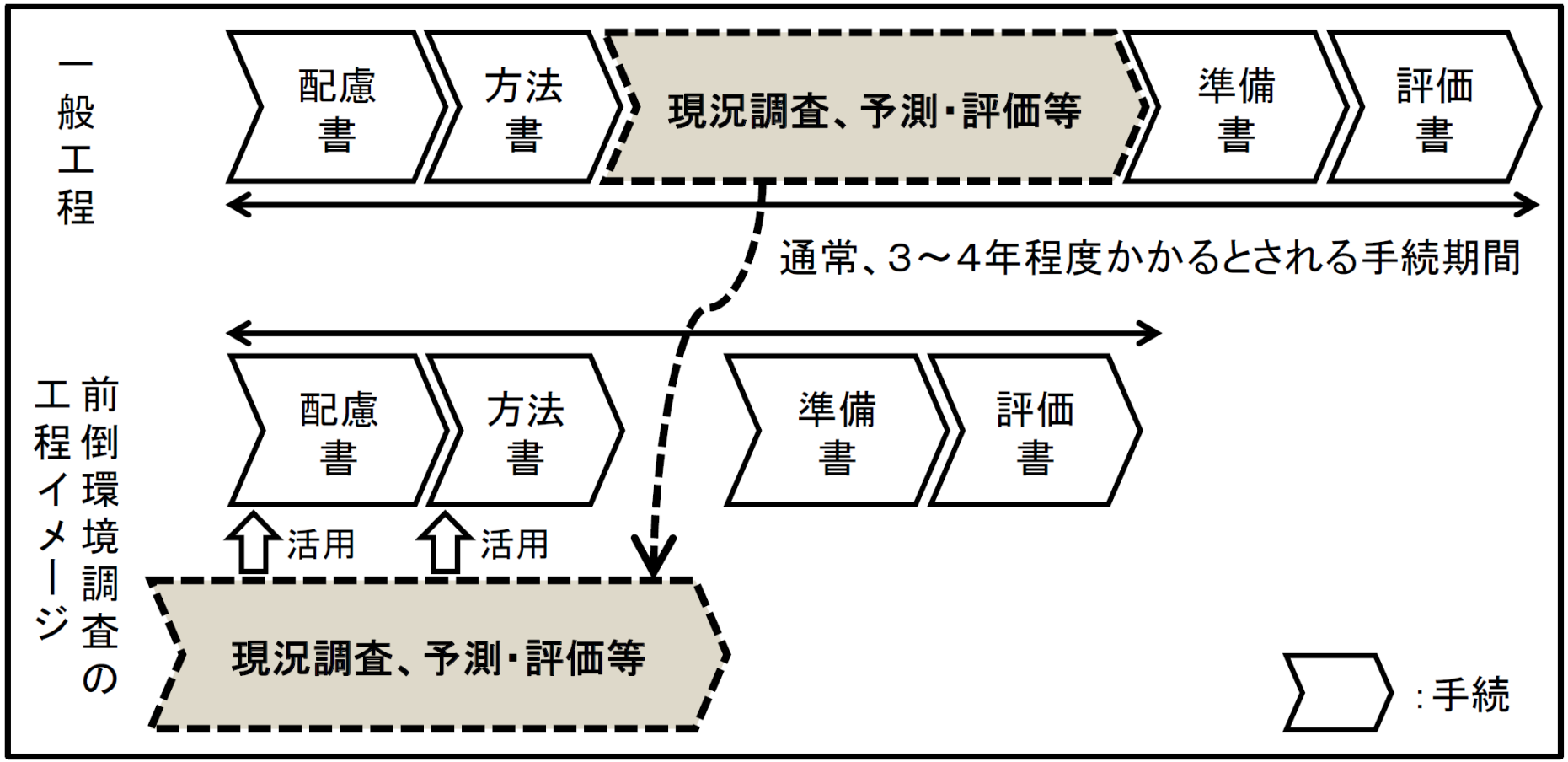
  ３～４年程度かかるとされる手続期間の半減を目指す

- 前倒環境調査の実施

  配慮書手続や方法書手続と並行して環境調査を行う

日本再興戦略（平成２５年６月１４日・閣議決定）

迅速化（前倒環境調査）


一般工程
配慮書
方法書
現況調査、予測・評価等
準備書
評価書
通常、３～４年程度かかるとされる手続期間
前倒環境調査の工程イメージ
配慮書
方法書
準備書
評価書
活用
活用
現況調査、予測・評価等
：手続

前倒調査の位置づけ

- アセス手続きとしては
  配慮書⇒方法書⇒現地調査⇒準備書　が基本

- 課題
  - 現地調査前に地権者や地元に事前説明を行い，了解を得る必要がある
  - NEDO実証事業のように前倒調査の公式な位置づけがないと地元了解は得られにくい現実がある
  - 調査実施時期に規定はないため，調査の実施や開始時期については事業者の判断

前倒調査の実態

- 風車配置案: 非公開
- 調査対象範囲: 広めに設定
- 調査点: 多めに設定
- 専門家の意見聴取: 動植物関係が多い
- 対象項目: 猛禽類関係調査を先行

前倒調査の課題

- 方法書
  - 前倒調査を実施していることについて，具体的な記載のない事例が多い。
    - 調査途中，データ未整理等，が主な理由
- 準備書
  - 専門家に意見聴取した項目・内容が限定的。
  - 前倒し調査の方法等について具体的なチェック体制がない状態で調査が実施されるため，手戻りとみなされる指摘が出される例が多い。

風力アセス審査の合理化（電安課）

- チェックリストの作成と活用
  - 審査過程でよく出される指摘事項等を整理
  - 方法書・準備書提出時に，事業者がチェックリストを提出
- 風力部会の運営方法の変更
  - チェックリストの活用により準備書審査を原則1回に変更
  - 1回目で十分な審査ができなかった事業は追加で2回目を実施

表 2　風力発電所におけるチェックリスト（方法書）：事業特性（2 章関係）

No.	分類	陸上	洋上	チェックリスト項目	該当の有無	該当頁※	事例集の記載
1	事業計画	●	●	・配慮書の事業実施想定区域から方法書の対象事業実施区域の変更経緯は記載されているか。 【対象事業実施区域の設定状況を確認するため】			
2	対象事業実施区域	●	●	・対象事業実施区域周辺の詳細な標高の状況を把握できる詳細図面（縮尺５万分の１国土地理院地図、赤色立体図、航空写真等）は記載されているか。 【対象事業実施区域の地域の状況を把握するため】			有り
3	配置計画	●	●	・風力発電機の配置計画図は記載されているか。 【調査、予測及び評価の方法の妥当性並びに対象事業の計画を確認するため】			
4	風力発電機の諸元	●	●	・風力発電機の諸元（定格出力、ブレード（翼）枚数、ローター直径、ナセル高さ等）は記載されているか。（風力発電機の機種が決定していない場合は、想定される機種の諸元は記載されているか。） 【調査、予測及び評価の方法の妥当性並びに対象事業の計画を確認するため】			
5		●	●	・風力発電機の基礎構造（陸上風力：直接基礎、杭基礎等の構造、洋上風力：ジャケット式、重力式、モノパイル式等の構造）は図面等で把握できるものとなっているか。 【調査、予測及び評価の方法の妥当性並びに対象事業の計画を確認するため】			
6	工事計画	●	●	・工事工程表は記載されているか。 【工事の集中度等を考慮した調査、予測及び評価の方法の妥当性を確認するため】			

経産省における審査プロセス

- 配慮書　（電力安全課）

（環境審査顧問会）　（経産省）

- 方法書
  - 事前に意見照会　→　補足説明資料作成
  - 顧問会（1回）　→　勧告
- 準備書
  - 顧問会（1回目）　→　補足説明資料作成
  - 顧問会（2回目）　→　勧告
- 評価書
  - 評価書（案）の段階で必要に応じて意見照会・顧問会を開催

確定通知

風力アセス審査プロセスの変更

- 配慮書　（電力安全課）
- 方法書

  チェックリスト　→　補足説明資料作成

  事前に意見照会

  顧問会（1回）　　→　勧告
- 準備書

  チェックリスト　→　補足説明資料作成

  事前に意見照会

  顧問会（1回）　→　勧告

  （顧問会の追加開催）
- 評価書

  評価書（案）の段階で必要に応じて意見照会・顧問会を開催

  ➢ 準備書からの変更が多いため，書面審査を実施中

審査期間が長期化するケース（審査側からの視点）

- 方法書段階で事業計画の熟度が低いため，準備書以降の段階で多数の指摘事項が出る
- 評価書（案）で変更がある場合
- 審査に必要なデータ等の不足がある場合
- 予測や保全措置の妥当性に疑問がある場合

審査期間が長期化するケース（事業者側の課題）

- 送電線の系統連系協議
- 重複計画事業者との協議
- 地権者との交渉
- 関係機関等との協議
- 採用予定モデルの未確定
- 配置計画，改変計画が未確定
- 地元住民との合意形成が不十分

リプレース簡略化（火力）

工専地域・埋立地で事業を実施する場合

- 新規事業
  - 用地造成後、時間が経過し、植生が発達
  - アセス対象事業外からアセス対象事業を展開する場合
- リプレース事業
  - アセス対象事業からの更新計画

リプレース簡略化（火力）

- 配慮書段階で動物・植物・生態系について予測評価
  ⇒　影響は小さい
  ↓
- 方法書では動物・植物・生態系を項目選定しない
  非選定の理由の記載に注意が必要

風力リプレースの合理化

- 環境省で現在検討中
  - 事前データがない　⇒　現況確認は必要
  - 現況をどの時点におくか
  - リプレース部分はどこか
    - 既設の撤去跡が対象
    - 新たに配置する部分の植生
      - 同じ植生型
      - 異なる植生型

風力部会における主要な指摘事項等

事業計画全般について

- 方法書段階で風車の配置計画が提示されているか
- 発電設備の緒元等が提示されているか
- 改変工事計画が提示されているか
  - 配置計画・改変計画が提示されなければ，調査地点との関係が議論できない

- 自治体のガイドライン等によって好ましくないとされている場所に計画する場合、その計画の必要性と協議により造れることが決まってから方法書は提出すべき。
- 重要な地形・地質を含む区域は改変計画から除外されているか

- 風力発電機など大型資機材の輸送が可能か
- 道路の改変が必要な場合、対象事業実施区域に含まれているか
- 保安林，農地での事業計画は関係者と協議ができているか

方法書段階における対象事業実施区域と風力発電機設置検討範囲の例

- 風力発電機の配置や改変区域は、風況や地形、地権者との協議、各種許認可協議、現地調査結果等を踏まえて設計する予定
- 風力発電機の配置が未確定であることから、工事用仮設道路、管理用道路及び土捨場等の改変箇所の具体的な計画の提示は困難。
- このため方法書段階では、対象事業実施区域における改変可能性を安全側に想定した調査、予測、評価手法を設定

表 2.2-1 設置する風力発電機の概要（予定）

項目	諸元
単機出力（定格出力）	2,000kW～4,000kW 級/基
基数	約 20 基
総発電出力	50,000kW

表 2.2-2　風力発電機の概要(予定)

項目	計画案
定格出力(定格運転時の出力)	2,000kW～4,000kW
ブレード枚数	3 枚
ローター直径(ブレードの回転直径)	約 80～120m
ハブ高さ(ブレードの中心の高さ)	約 75m～110m
風力発電機の高さ	約 115m～170m

注)設置する機種の候補に大きさ等の差があるため、ローター直径、定格回転等は幅を持たせて記載した。

設置を計画する風力発電機

2,000kwと4,000kwの回転体積の比較

- 球の体積　$4/3\pi r^3$

- r=40m　⇒　267,947　×　20基　⇒　5,358,933
- r=60m　⇒　904,320　×　12基　⇒　10,851,840

- 基数が削減されたとしてもブレードの回転体積範囲は約2倍になるので影響が軽減できていると言えるのか？

騒音，低周波音

- 多くの地点は，静穏な場所である。
- 適切な騒音予測を行い、地域住民に影響はないと言える配置計画、事業計画を示す必要がある。
  - 配置計画を住民に示しているか
  - 使用予定の発電機の諸元が入手できているか
- 工事関連車両が走行し、かつ環境保全上配慮すべき施設及び住居が存在する道路沿道に調査地点を設定しているか。
- 資材の積み替え地点は民家等から離隔しているか
- 低周波音の測定時には、調査地点の近隣で風向風速を観測するように努めること。また、風雑音防止のための措置を示すこと。
- 運用開始後に住民から苦情が出たときのために、バックグラウンドやタービンの諸元等を事前に十分調査しておくこと。
  - 発電機の音響特性，周波数特性，スウィッシュ音や純音成分の有無，等
- 環境基準との関係

残留騒音

- 環境騒音レベルがそもそも低い（静かな場所）
- 風のある時（風車が稼働可能な風速時）をベースにする（残留騒音の測定）
- 目標値　残留騒音+5dB以内
  - 30＜残留騒音　　35dB
  - 30＜残留騒音＜35　40dB
- 環境基準　45dB

- 変動幅の把握

予測結果が環境基準を超える

- 評価書（案）の記載事例

　近接住宅の隣地で騒音の調査を実施し，稼働に伴う将来の予測結果は環境基準値を超過しており、環境保全の基準等との整合が図られているものとは言い難いと評価。

　このため，稼働後に現地確認及びヒアリング調査により事業の影響が確認された場合及び事業による苦情などが発生した場合は、稼働停止を含む稼働調整などの対策による弾力的な運用を実施する事で、風車の影響を極力低減する。

環境保全措置

- 影響を回避することが最優先
- 影響を低減化する
  （最小化，修正，軽減・消失）
- 影響の代償措置を提案する

シャドウフリッカー（日影）

- ドイツの指針値

  地上2m高において

  - 年間30時間を超えないこと
  - 1日30分を超えないこと

  ローター直径の10倍の範囲内に住宅等が存在しない場合は非選定（Update of UK Shadow Flicker Evidence Base (Dept. Energy and Climate Change, 2011)

実際の気象条件を考慮した場合においては「年間8時間を超えない」

- 月別の風車の影の発生時間：　A（分）
- 変数
  - ①日照時間の割合
  - ②稼働率
  - ③風車の影が発生する風向になる割合
  - 変数の合計：　B（①×②×③）
- 実際の気象条件を加味した時間：

  Σ（A×B）（分）＜480

評価書（案）の記載例

施設の稼働において、風車の影がかかる範囲に住宅は30戸存在する。それらのうち、風車の影がかかる時間が年間30時間を超える可能性がある住宅は12戸であり、1日最大30分を超える可能性がある住宅は12戸、年間30時間もしくは1日最大30分を超える可能性がある住宅は15戸であると予測する。

このため、参照値を超える住宅については、事前に状況確認を実施し、その結果を踏まえて対策を検討するとともに、施設の稼働後にヒアリング調査を行い、必要に応じて追加的な環境保全措置を講じることとする。

評価書（案）の記載例

累積影響

累積影響を受ける可能性がある住宅は25戸存在する。それらのうち、参照値を満たさない可能性のある住宅は24戸と予測するが、地点××については既設の風力発電機からの寄与時間が大きい予測となったものの、現在苦情等は発生していない。

しかし、全地点において既設の風力発電機のみの場合よりも影のかかる時間が増加するため、累積影響が懸念される住宅については、事前に状況確認を実施し、その結果を踏まえて対策を検討するとともに、施設の稼働後にヒアリング調査を行うこととする。

指針値を超過する場合

- 実気象条件を考慮しても年間8時間超の場合
  - 8時間を超える部分の稼働制限
  - 植栽や窓の位置を確認
    - 植栽で影になる場合，窓がない場合　⇒　保全措置不要
    - 植栽がない場合，窓がある場合

      植栽対策やカーテン等の事前設置を検討
  - 事後調査で確認

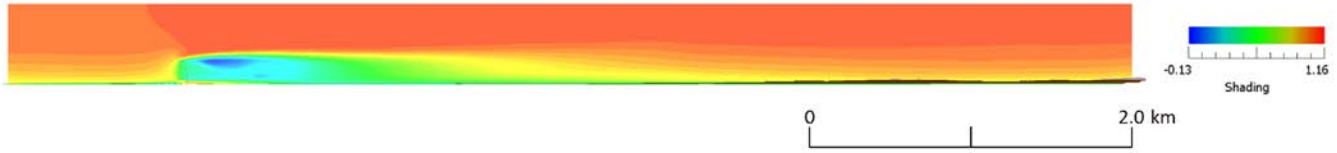
後背流（後方乱気流，Wake）の例

（VattenfallのHPより転載）

風車と火力煙源（煙突）との位置関係

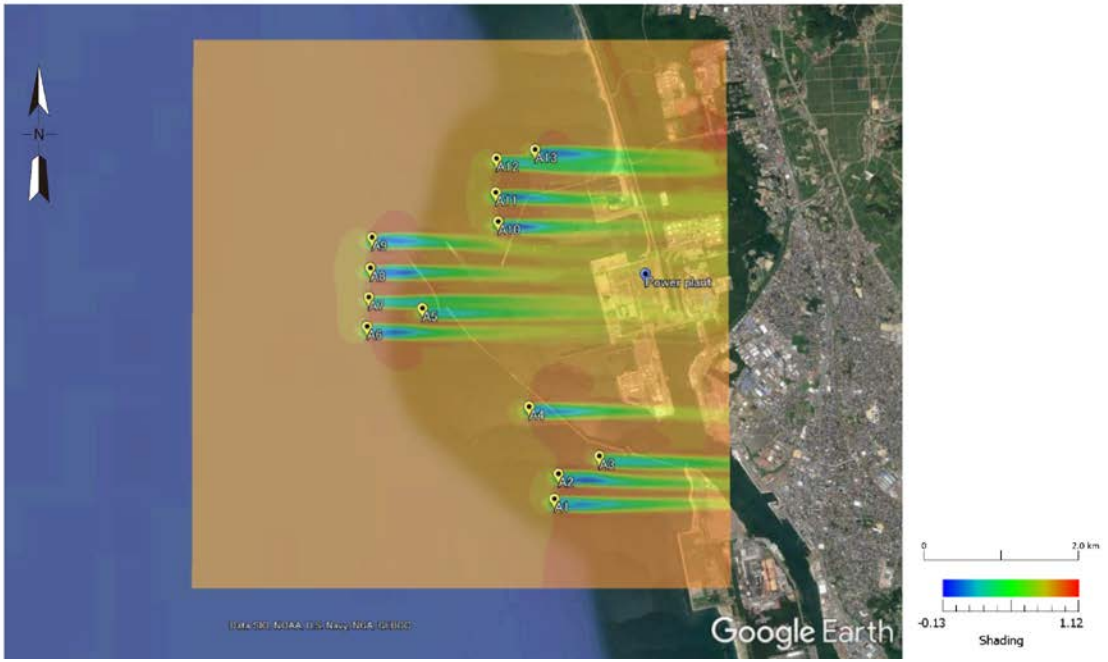
- 煙突の高さ
- 風車の高さ（ハブ高さ，ブレード回転域）
- 風向と風速
- 風車の離隔
  - 主風向：ロータ径の６～１０倍
  - 風と直交方向：ロータ径の２～３倍

鉛直断面



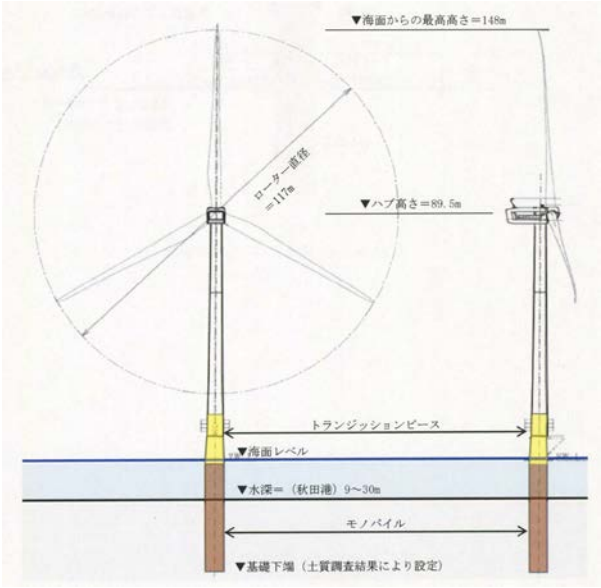
水平断面（風車ハブ高さ）

図 6　主流方向速度成分の分布（風車 1 基、平均場）



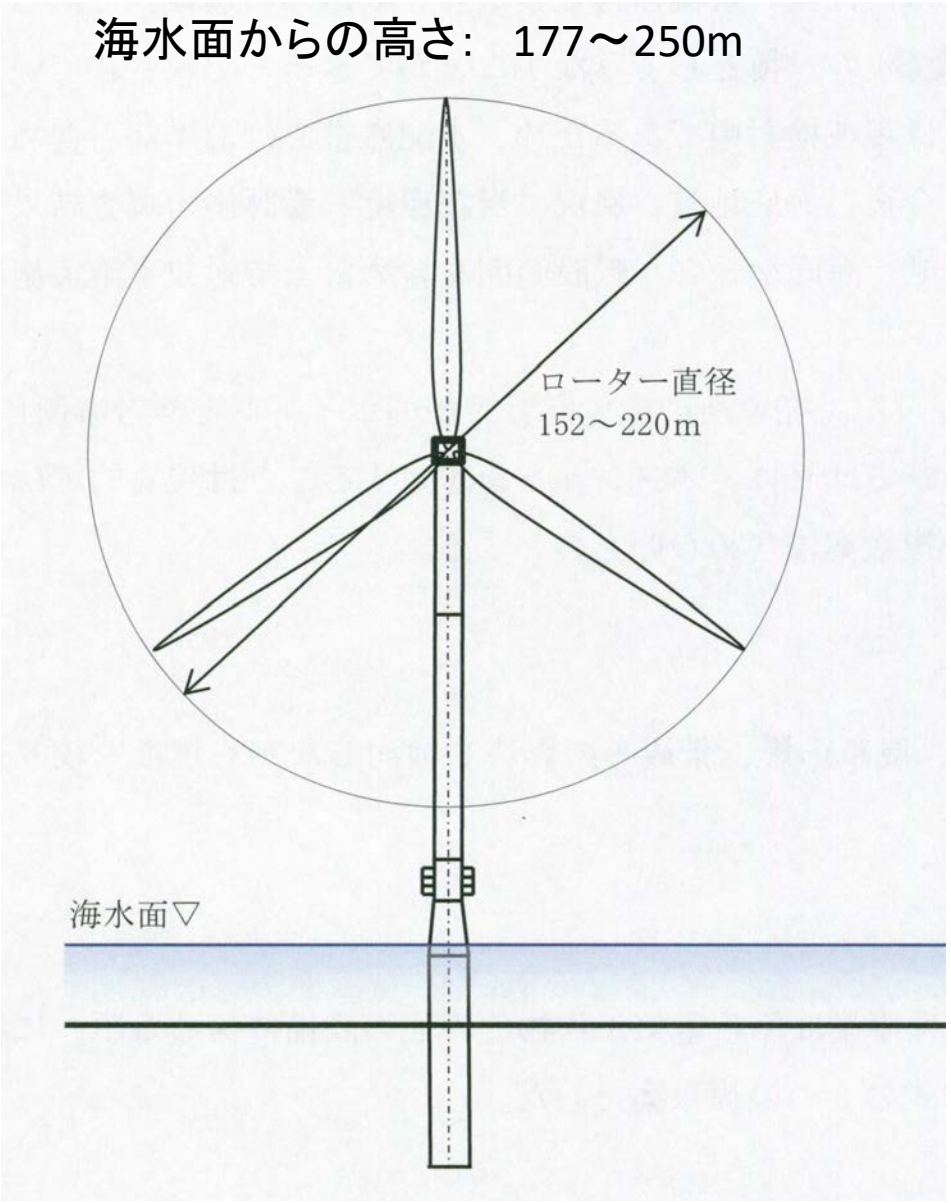
主流方向速度成分の分布（風向W、平均場、風車ハブ高さ）（内田，2018）

海水面からの高さ： 148m



4,200kWの例

海水面からの高さ： 177～250m



6,000～12,00kWの例

洋上風力発電機の例

放射性物質

風の強い尾根筋

- 濃度は低くても，フラックスとしてみれば沈着量は大きい可能性
- 微地形変化，表層有機物量
- 調査や工事作業従事者の被ばく管理
- 改変にともなう物質の移動

水環境

- 集水域と改変工事，調査点との関係
- 沢の確認
- 水質調査と生物調査は同じ場所で
- 濁水対策
- 水源への影響
- DNAによる特定種の生息可能性調査

陸生生物(植物，動物，生態系)

植生調査の意義

- 植生は生態系の基礎を成すもので、十分な現地調査が必要。また、植生調査のデータは植物相のデータとしても有効であることから、詳細な植生調査は重要種の発見にもつながる、極めて重要な調査項目
- 数百ha以上ある対象事業実施区域に対して、植生調査地点が1凡例1ヶ所では植生を把握するためには十分とはいえない

現存植生図

- 自然環境保全基礎調査-植生調査に基づいた現存植生図
  - 時間が経過しているため，現況とは異なっている
- すべての現況調査･事業計画策定の基礎になる
- 最初に現存植生図を確定する必要がある

植生区分

- 現状
  - 航空写真等を基にして先に植生図凡例を決定（＝相観による区分）し、それに対応する植分を調査する。
  - 植生図は、航空写真の判読によって植生及び裸地等の境界を決定し、現地調査により加筆・修正することにより作成
- 順序が逆で、植生区分が先になっている。
- 植生図は、「現地調査による植生調査資料の比較により区分された群落をもとに凡例を決定し、航空写真により各凡例の植生の分布境界を確認、補正しながら作成。」というのが本来の順序

植生調査票

- ブラウン･ブランケの植物社会学的調査
- 調査票から群落組成表を作成
  - 植生区分（群落区分、凡例）
  - 環境省の凡例に合わせる必要はない

- 改変予定区域、重要種が確認された場所を網羅しているか？
- 移植が必要な場合の移植候補地の情報

植生調査結果としての組成表・調査票の取り扱いについて（経産省，2016/10/12）

- 準備書段階の補足説明資料において、原則、組成表、必要に応じて調査票を提出する。
- 準備書に記載することを妨げるものではない。（準備書に記載した場合は評価書にも記載）
- 補足説明資料で提出したものを評価書において記載するかどうかは、事業者の判断
  - 巻末の資料編に記載

環境類型区分の例

- 針葉樹林、広葉樹林、草地、耕作地、等
- 針葉樹林（スギ林、ヒノキ林、アカマツ林、カラマツ林）
- 広葉樹林（落葉広葉樹林、常緑広葉樹林）
- 草地（湿性、乾性）

➢ 解析目的に応じた区分をする必要がある

動物･植物相の調査結果

- 既存資料調査と現況調査の結果
  - 結果だけを記載している
  - 予測評価の対象は現況調査で確認された重要種だけを対象にしているのが現状
    - 種数の差異の説明
    - 現況調査で未確認の重要種の取り扱い
    - 地点によっては重要種でなくても特筆すべき種･群落の分布についての記述が必要な場合もある

コウモリ類の調査

- 調査地点
  - 設定根拠，調査地点の偏り，調査地点数
- 衝突リスクの予測評価に必要な風車設置位置での飛翔高度・頻度の情報
- 風速と飛翔頻度との関係

- 既設風車ナセルでの観察データの蓄積・公開

鳥類調査

- ラインセンサス，ポイントセンサス，任意観察
  - それぞれの調査目的を明確化
    - どういったデータを提示しようとするのか？
    - 取得したデータをどのように活用するのか？
  - 踏査ルート，ポイントの設定根拠
  - 調査時期，調査回数
  - データの解析方法

影響の程度をどう予測評価する？

- 比較の要因をどう捉えるか？
  - 風車からの距離
  - 改変区画からの距離
  - 植生の差異

- 比較に最低限必要な調査回数・調査点数
  - 標準偏差（σ_{n-1}）が計算できるn=3は最低限必要
  - 標準誤差（SE）

    SE＝標準偏差／√n

調査点の代表性

- 植生（環境類型）区分を基に、調査点を設定することになるが、立地条件によって群落型が異なる
- 何を根拠に代表的な地点と定義するか？
  - 尾根筋
  - 斜面方位（例：　南側斜面と北側斜面）
  - 傾斜の程度
  - 斜面の上と下
    - 下層植生が異なる
  - 環境類型区分

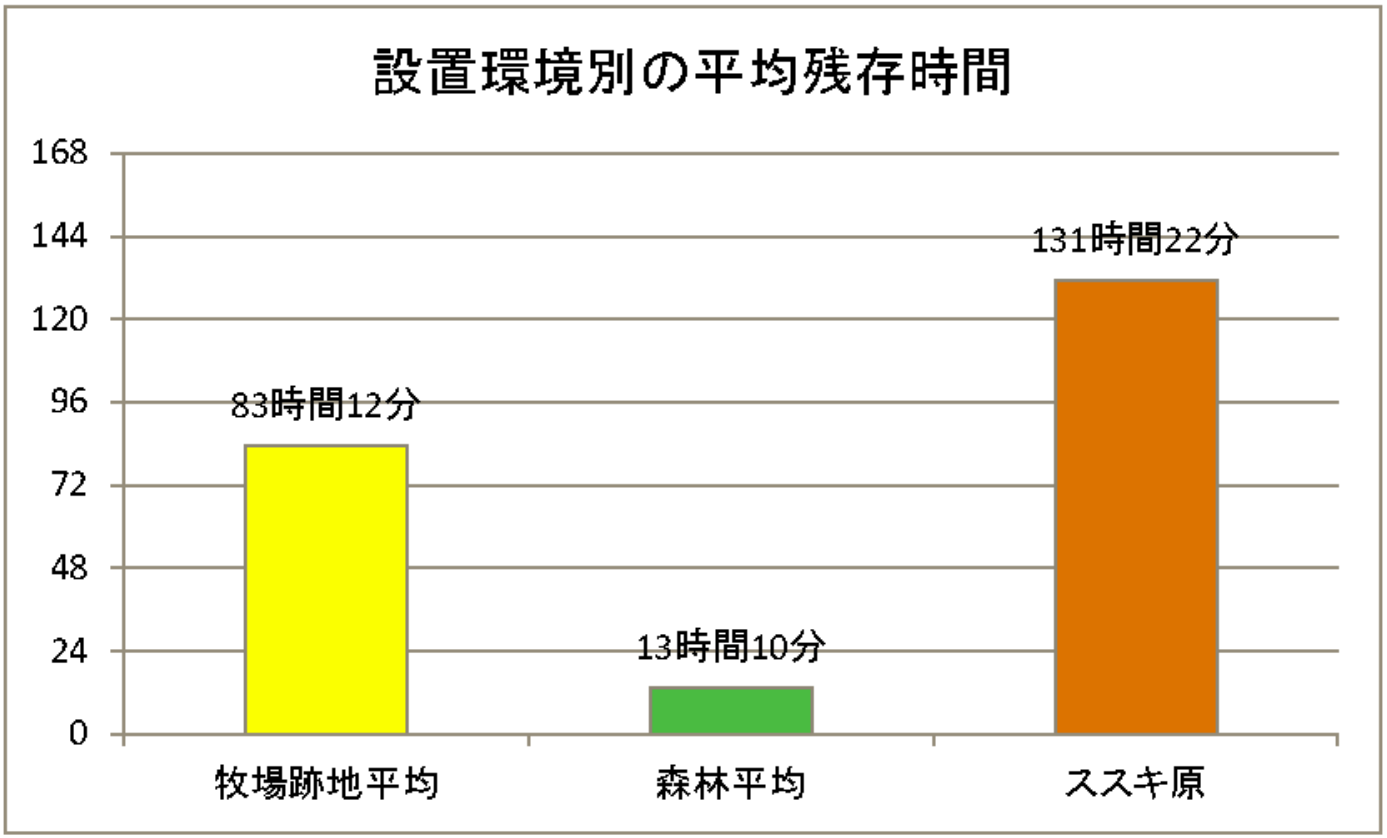
鳥類等の衝突リスク

- 衝突リスクの予測
  - 環境省モデル，由井モデル
    - 日中の観察データを基に算出
    - 夜間の飛翔は？

- 衝突個体調査
  - 植生タイプ
  - 調査頻度
  - 調査員・巡視員の死骸発見率
  - スカベンジャーによる持ち去り率

バードストライク調査

- 調査頻度（環境省，2015）： 2週間に1回程度



環境別の死骸（ウズラ）の残存時間（経産省，2016）

実態把握調査結果（NEDO, 2018)

- 猛禽類、ガンカモ・ハクチョウ類等の渡りにおいて大規模なバードストライクは発生していない
- 小鳥類についても渡り時期に大量の死骸は確認されていない

- 今後も調査事例の収集が必要

動物・植物に対する影響予測

- 重要種を抽出し、影響を予測
  - 生息・生育環境の減少・喪失
  - 移動経路の遮断・阻害
  - 騒音による生息環境の悪化
  - 工事関係車両への接触
  - （ブレード等への接近・接触）

◆相の調査において上記の予測に必要な調査が実施されているか？

◆科学的な根拠が提示されているか？

事業者見解の例

- 重要種に対する騒音影響の研究成果、実態報告事例等は、公表されている資料がないので、推測が含まれる。
- 環境影響評価での予測評価においては、各種における生態情報の詳細が不明な事例が多い。
- 生息個体数が非常に少なく、絶滅危惧種に指定されている種において、調査地域で予測評価を行うための詳細な行動圏の把握や騒音影響の把握は、数年或いは数十年に及ぶ学術研究レベルでようやく明らかになるものであり、一事業者が環境アセスとして実施することは非常に困難。推測を含めて予測を行い、大きな影響はないと考えた。
- 仮に事後調査を実施するとして、有効な手法について検討してみたが、影響の有無を把握するために、どのような結果が出たら影響なしと評価ができるのか等、影響の有無を実証するためには学術的な研究を実施するのと同じであり、一事業者での実施はかなり難しいと考える。

- 影響は小さく，不確実性はないと言えるか？？

生態系

- 上位性
  - 栄養段階の上位に位置するもの
- 典型性
  - 生態系の中で重要な機能的な役割をもつもの
  - 生物の多様性，生態遷移を特徴づけるもの
  - 連続性を特徴づけるもの
- 特殊性
  - 特殊な環境を特徴づける種・群集
  - 比較的小規模で，周囲に見られない環境を特徴づける種・群集

影響評価の例

- 行動圏解析（飛翔状況，採餌行動，営巣状況）
- モデルによる解析（MaxEnt，・・・）
  - パラメータの選定（植生型，距離，標高，傾斜・・・）
  - 生息環境，餌量環境，営巣環境・・・・

    ⇒　好適性指数を算出，メッシュ解析・・・
  - 最終的な判断根拠は好適性指数の高い部分の改変面積率の大小で評価している。 ⇒　影響は小さいとなる
- モデルの適合性の検討
- モデルの検証が必要

平均化することの問題

- 採餌行動指数が 1.0で，餌量指数が 0.1の場合
  - 相乗平均すると 0.1
  - 相加平均すると 0.55

- 繁殖期と非繁殖期
  - 行動圏が異なる
  - 平均化すると重要な部分が薄まる
  - それぞれの時期にそれぞれが重要な場所

上位種の出現状況に変化がある場合

- 上位種の生息状況調査だけで良いか
- 上位種の出現頻度が低下した場合，中位種や下位種の出現状況にも変化がみられる可能性があるのでは？（カスケードインパクト）

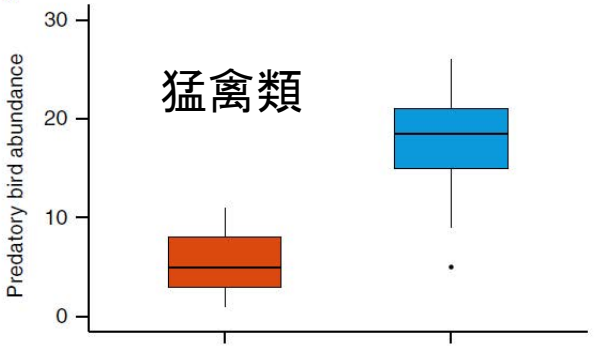
  - 生物相の変化を長期的にモニタリングする必要性がある。
  - 繁殖率は？
  - 生息地放棄の可能性は？

a

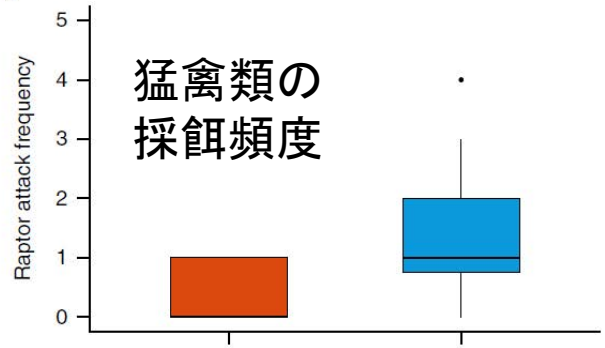
b

c

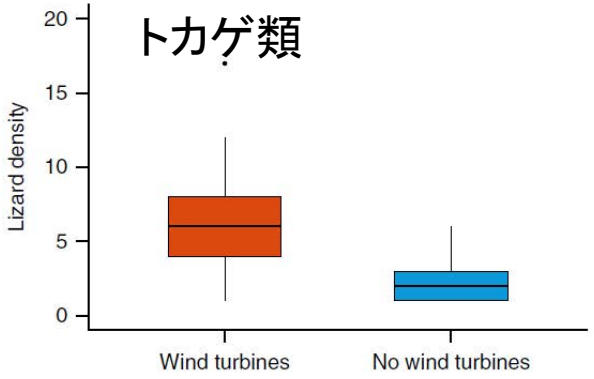
d



e



f



Thaker et al (2018) Wind farms have cascading impacts on ecosystems across trophic levels Nature Ecology & Evolution

事後調査

評価書（記載例）

(3) 動　物

影響要因	環境要素	事後調査時期	事後調査を実施することとした理由 もしくは実施しないこととした理由	事後調査内容
地形改変及び施設の存在 施設の稼働	重要な種及び注目すべき生息地（海域に生息するものを除く。）	稼働後	風力発電機の基数削減等の実効性のある環境保全措置を講じるものの、予測の不確実性を伴っているため、事後調査を実施する。	バードストライク及びバットストライクの有無の調査

(4) 植　物

影響要因	環境要素	事後調査時期	事後調査を実施することとした理由 もしくは実施しないこととした理由	事後調査内容
地形改変及び施設の存在	重要な種及び重要な群落（海域に生育するものを除く。）	実施しない	改変面積の最小化等の実効性のある環境保全措置を講じることから、事後調査は実施しないこととする。	—

(5) 生態系

影響要因	環境要素	事後調査時期	事後調査を実施することとした理由 もしくは実施しないこととした理由	事後調査内容
地形改変及び施設の存在 施設の稼働	地域を特徴づける生態系	実施しない	改変面積の最小化等の実効性のある環境保全措置を講じることから、事後調査は実施しないこととする。	—

保全措置と事後調査

- 影響予測結果が断定的（一律的に影響は小さい）
- 保全措置を講じることにより実行可能な範囲で影響を回避・軽減できているから事後調査は実施しない。
- 稼働後の状況についての調査結果がほとんど行われていないし，公開情報もない現状。
  - 予測評価した結果の検証は行われていない

事業者

- 事業計画の熟度は十分か？
  - 配置計画
  - 採用機種、運搬ルート
  - 伐採や改変計画の詳細
  - 残土処理
- 地元や関係機関への説明が十分か？

調査者

- 調査結果の活用まで考慮して調査計画が策定されているか？
- 影響の有無をどのように判定するか
- どのように比較するか
- 調査点の設定の在り方
- 比較するに十分なデータが取れるか

図書の提出前に

- 事業者と調査者が全体を読み直し，内容の整合性を確認できているか？
  - 図表番号，ページ番号のチェック
  - 誤字・脱字
  - 判断根拠等が適切に記述・提示されているか

IIAE 令和元年特別セミナー『エネルギーと大気環境』

主催：一般財団法人大気環境総合センター
共催：公益社団法人大気環境学会
協賛：一般財団法人室内環境学会

本誌の無断転載を禁じます