

温暖化防止のための
世界の自然エネルギー発電の現状 (更新版)

2018年11月22日
横浜温暖化防止推進員会議

西 田 進

今、なぜ自然エネルギーなのか

化石燃料使用によるCO₂放出



避けられない地球温暖化



原発による脱CO₂



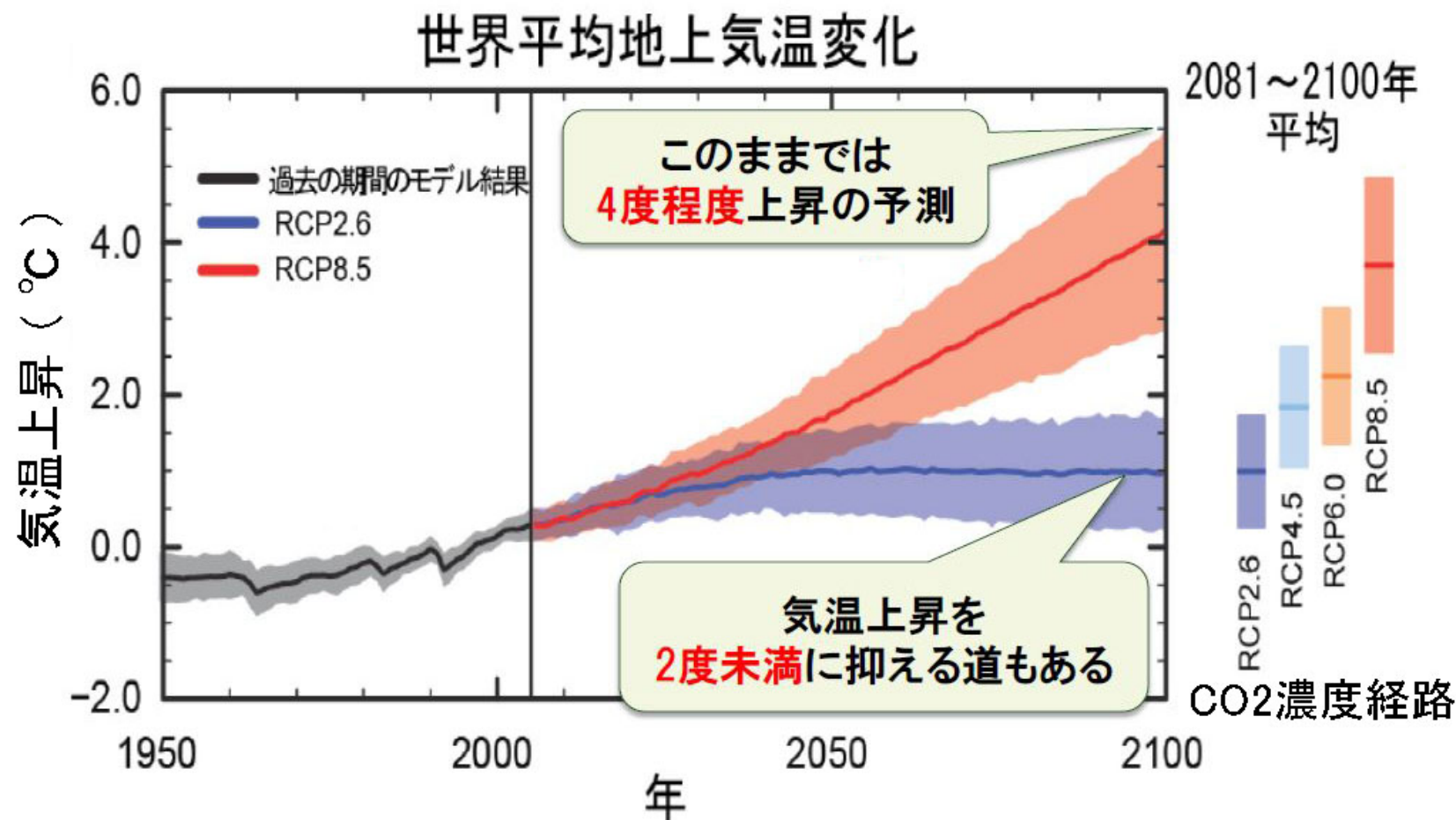
原発に伴うリスク



自然エネルギーでやるしかない

今のまま化石燃料を使い続けると...

21世紀末の気温変化は？ (IPCC第5次評価報告書)



原発による脱CO₂に伴うリスク

1. 原発事故のリスク

原発事故のリスクを減らことは可能であるが、発電コストが上昇する

2. 核廃棄物処分のリスク

高レベル核廃棄物の処分については、まだ目途が立っていない

3. ウラン燃料枯渇のリスク

ウラン確認資源量459万トンと現在の需要量6.5万トンで割ると、およそ70年分の鉱量となる。地球温暖化対策を考えたら、原子力発電の規模は2040～2050年には現在の2.5倍まで伸長させる必要があり、今後28年で確認資源を食いつぶすことになる。(IAEAの試算)

自然エネルギーによる脱CO₂に進まざるを得ない

目 次

1. 自然エネルギーとは
2. 日本の自然エネルギー発電の現状
3. 世界の自然エネルギー発電の現状
4. 太陽光発電
5. 太陽熱利用
6. 風力発電
7. 水力発電
8. 地熱発電
9. バイオマス
10. その他の自然エネルギー
11. 自然エネルギー普及のための支援制度
12. 自然エネルギー普及のための技術的課題
13. 巷間ささやかれる風説
14. 期待される我国の自然エネルギー発電
15. まとめ と 課題

参考文献

1. 自然エネルギーとは(定義)

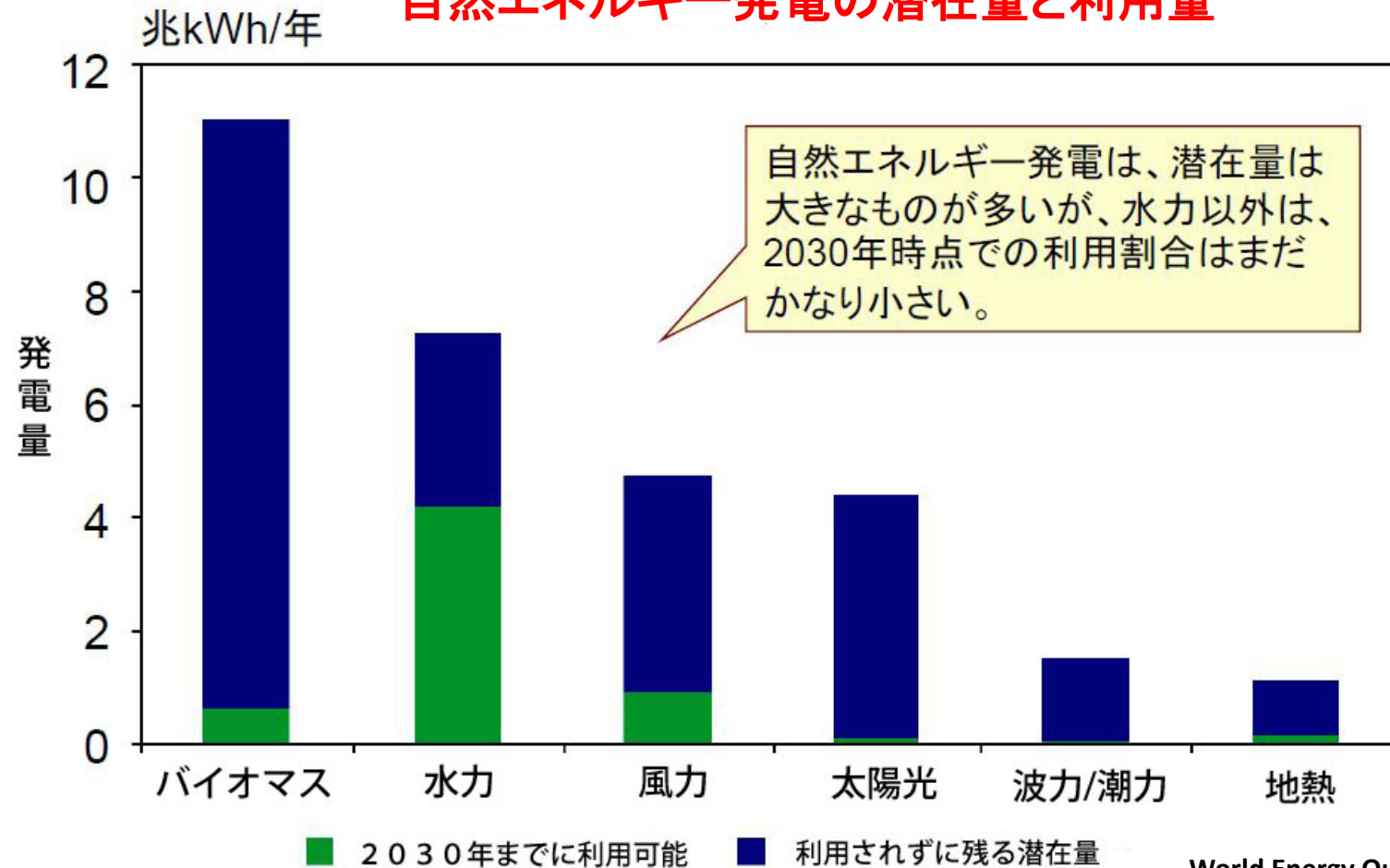
自然エネルギーは、再生エネルギー、再生可能エネルギーとも呼ばれる。

気候変動に関する政府間パネル (IPCC) における定義:

自然エネルギーとは、

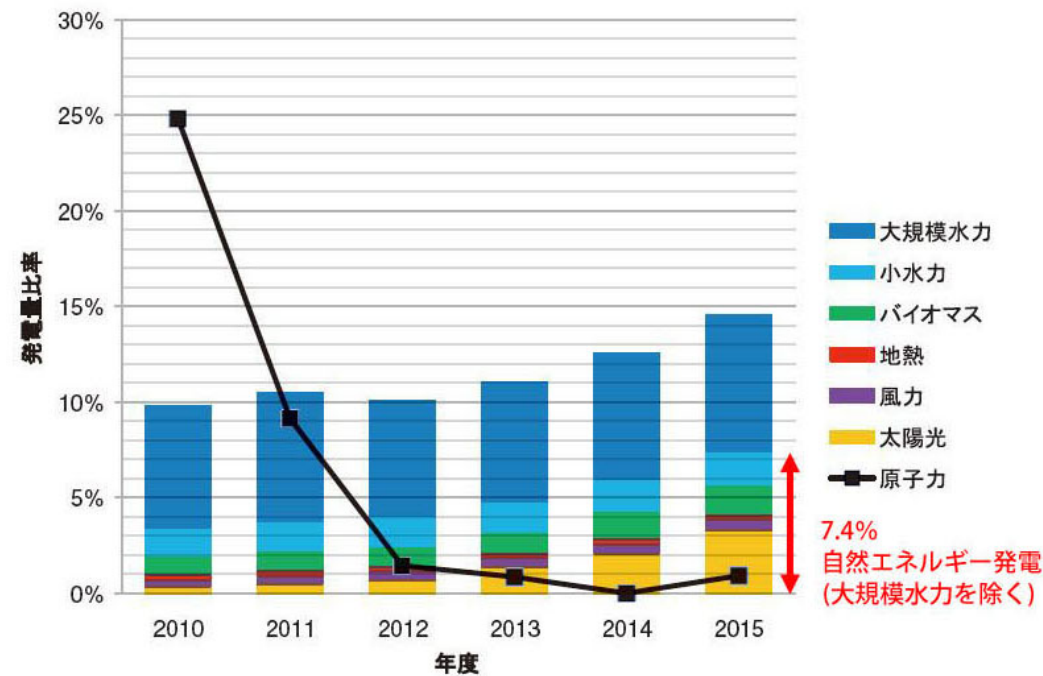
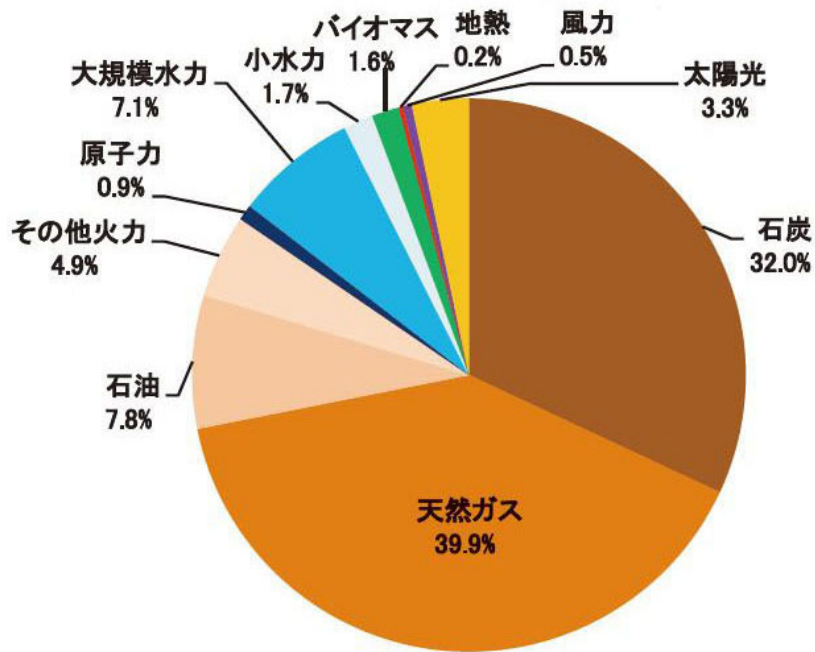
太陽・地球物理学的・生物学的な源に由来するエネルギーで、利用する以上の速度で補充されるもの

自然エネルギー発電の潜在量と利用量



2. 日本の自然エネルギー発電の現状

日本の自然エネルギーの発電量は、全発電量のうち14.5%
大規模水力を除くと、僅か7.4% ——— これをもっと増やしたい

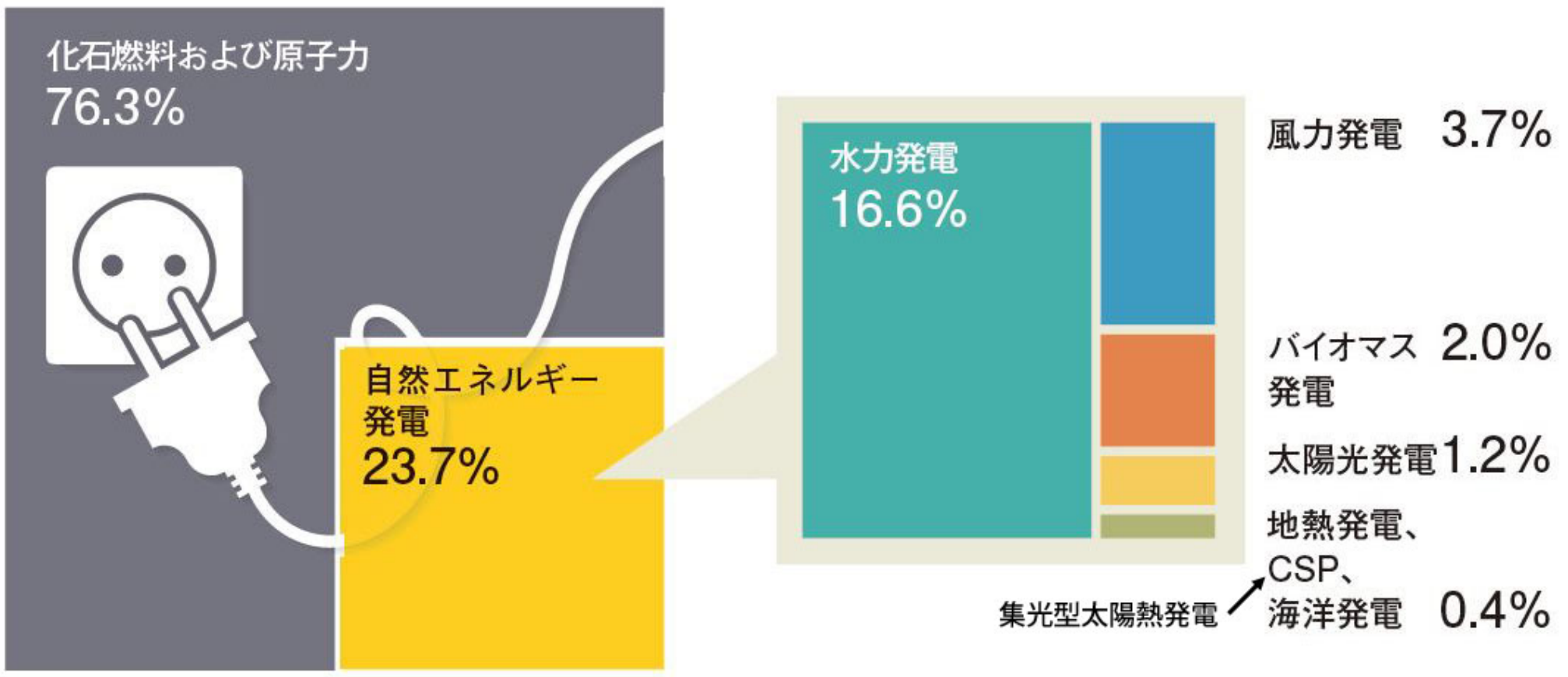


日本のエネルギーミックス (2015年の発電量比較)

日本の自然エネルギーと原発の発電量の推移

3. 世界の自然エネルギー発電の現状

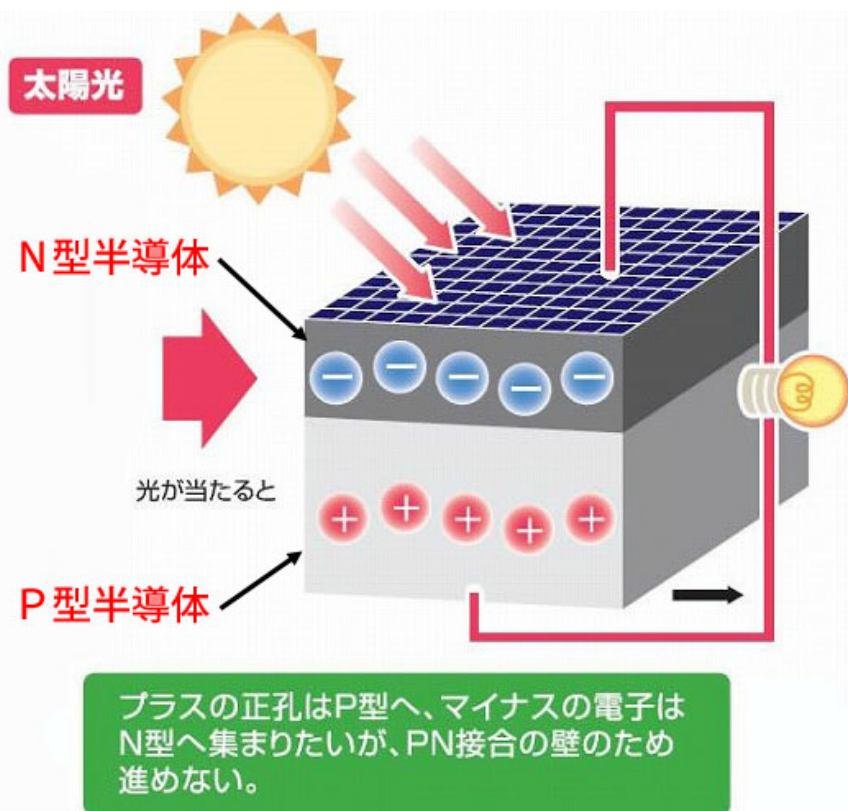
世界の発電量に占める自然エネルギーは 23.7%（日本は14.5%）
大小規模の水力発電を除くと、7.1%（日本は僅か5.7%！）



自然エネルギー世界白書2016より

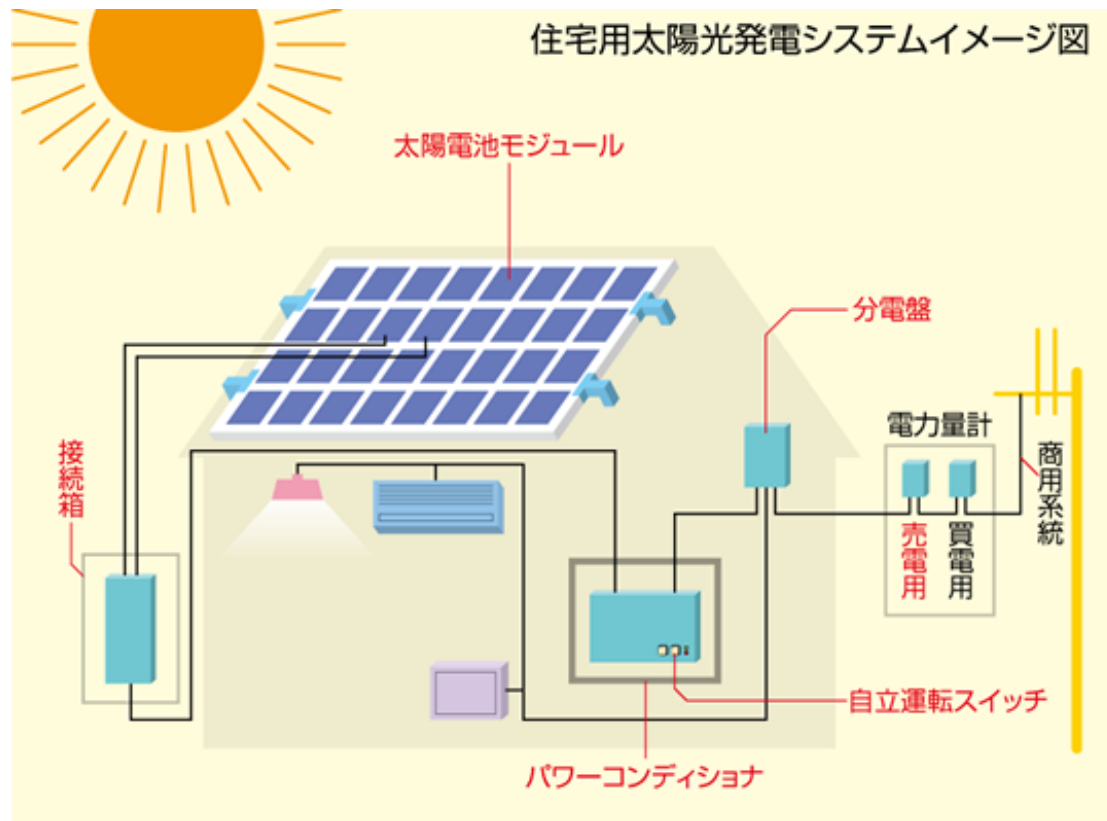
4. 太陽光発電(1)

太陽電池の原理



100満ボルト社HPを改変

住宅用太陽光発電システム



(公財)ひようご環境創造協会HPより

4. 太陽光発電(2)

2014年3月

日本最大82MWのメガソーラー(面積1km²)が大分で運転開始、売電収入は年間35億円



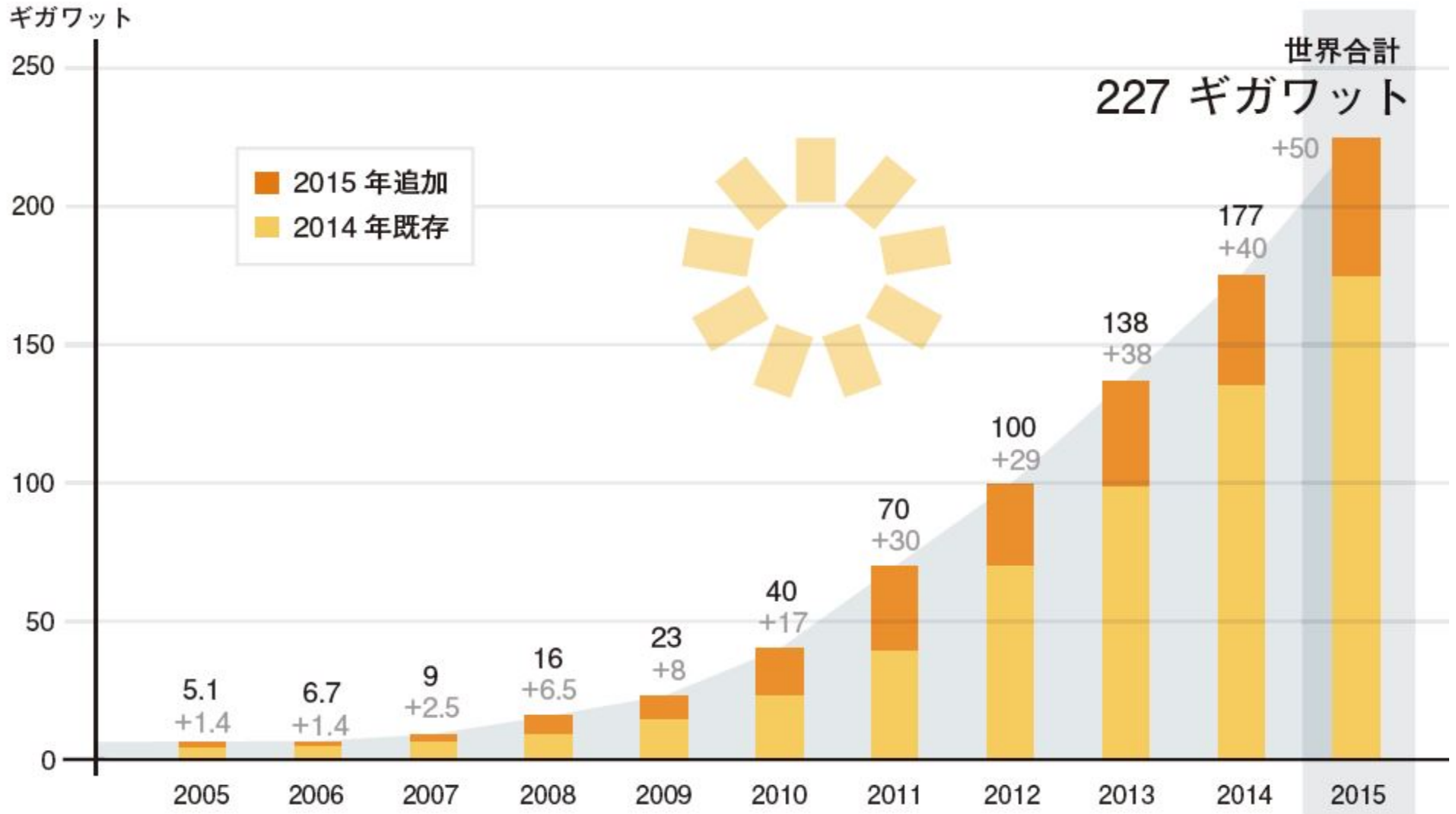
スマートジャパンHPより

日経 xTECHより

計画中のソーラーシェアリング世界一は、長崎県五島列島 宇久島 480MW(面積6km²) 10

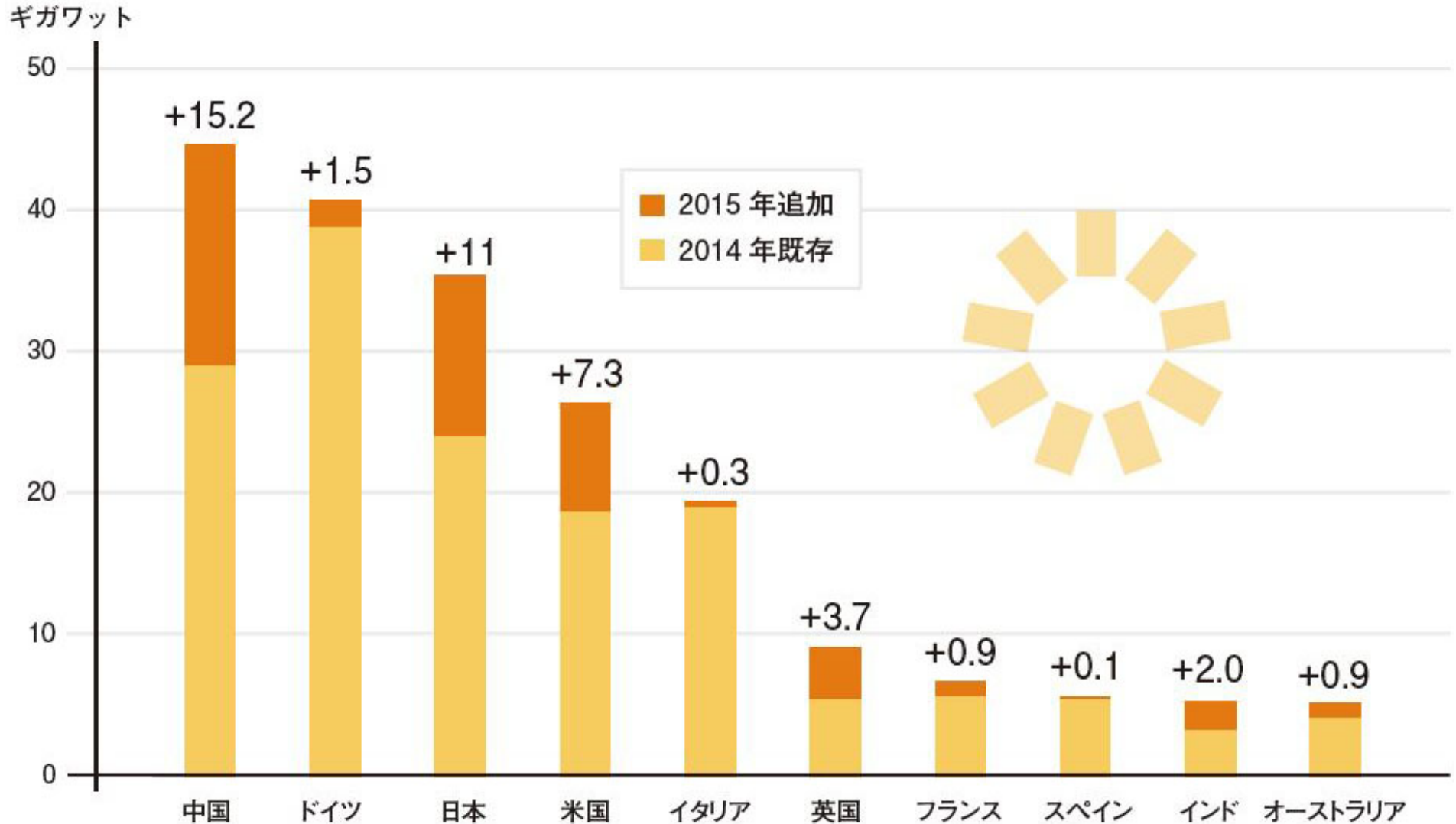
4. 太陽光発電(3)

世界の太陽光発電導入量は順調に伸びている

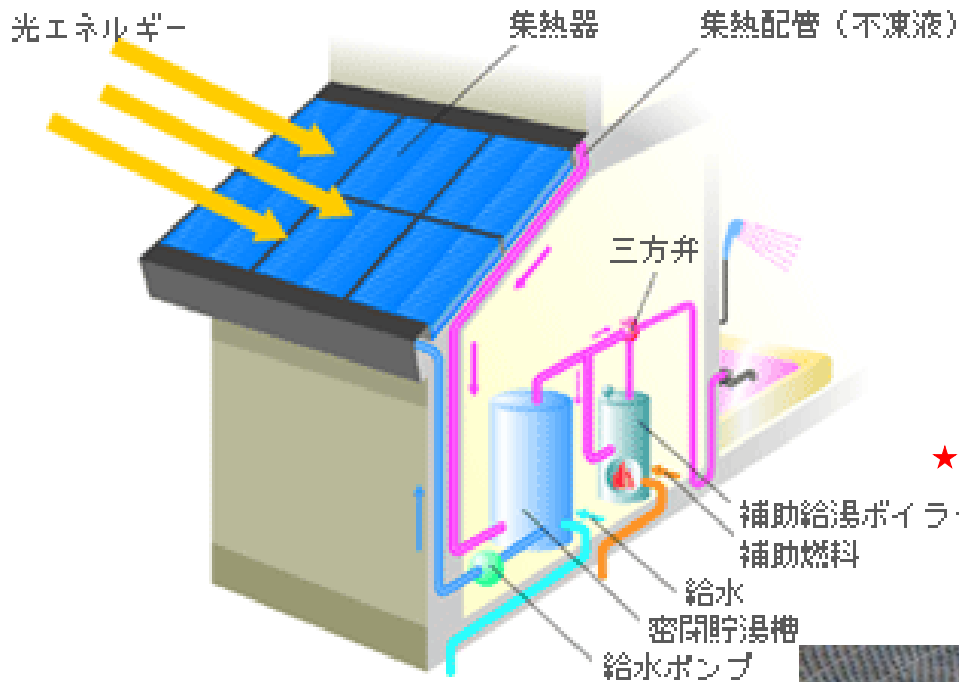


4. 太陽光発電(4)

太陽光発電の導入量では、日本は中国、ドイツに次ぐ第3位



5. 太陽熱利用



メーカーHPより

家庭用太陽熱温水器

*原発5基分

T-SITEのHPより

集光型太陽熱発電

CSP (Concentrating Solar Power)

中国に建設中の世界最大級の太陽熱発電所
熱をタワーの中の溶融塩★に保存し、
夜間の発電も可能で、出力1000MW

★単位重量当たりの比熱や融解潜熱が大きいアルカリ金属ハロゲン系

ドバイで計画中は5000MW*、イスラエルでも建設中



6. 風力発電(1)

北海道宗谷岬ウィンドファーム



2005年竣工時点で日本最大
設備容量:57MW(1MW×57基)
(原発0.06基分)

清水建設HPより

カリフォルニア州 Alta Wind Energy Center



2013年の時点で世界最大
設備容量1320MW(原発1.3基分)

Wikipediaアルタウインドエナジーセンターより

6. 風力発電(2)

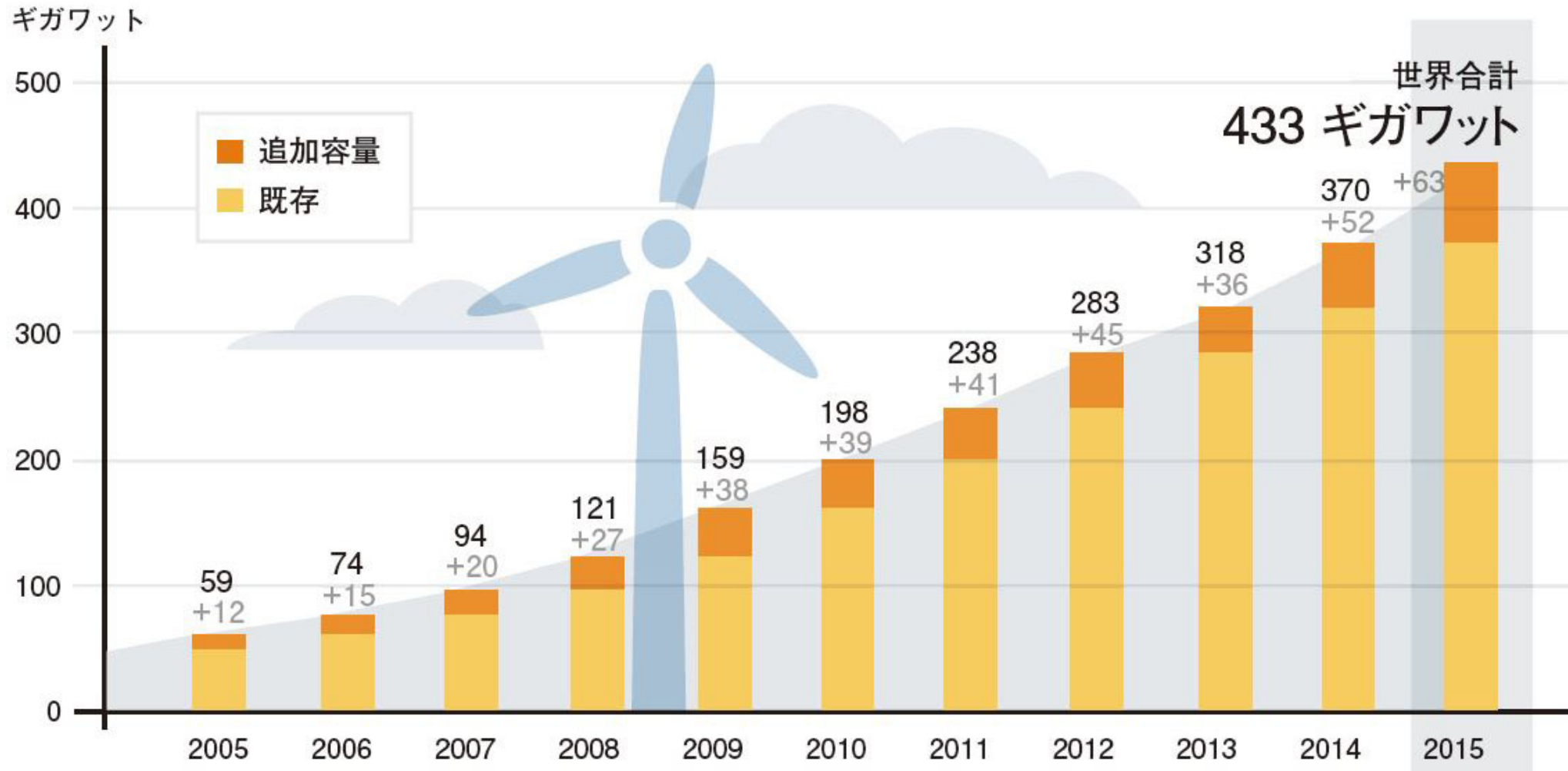
秋田県能代港の沖合に計画中の洋上風力発電所

5.6km²の洋上に16～20基の大型風車を配置、最大で100MWの発電能力を見込む



6. 風力発電(3)

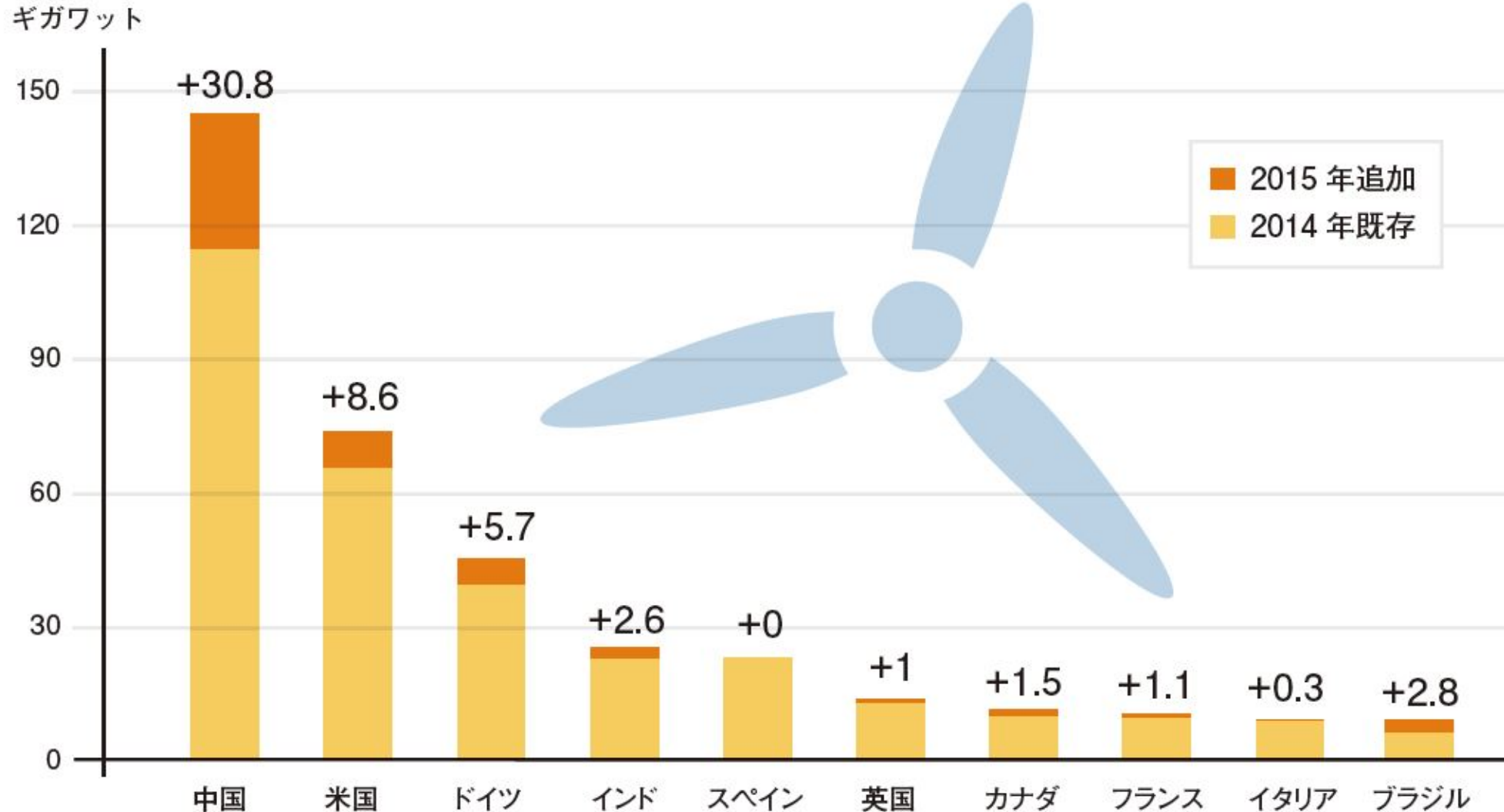
世界の風力発電の累計導入量は433GW



6. 風力発電(4)

世界各国の風力発電の導入量

日本の風力発電の導入量は約3GWで、世界の10傑に入らない



6. 風力発電(5)

日本の風力発電が欧米諸国に比して普及していない理由

- ① 台風に耐えうる風車を施設すると欧米と比較してコストが上がる
- ② 大量の風車を設置できるだけの平地の確保が困難なこと、
- ③ 日本ではクリーンエネルギーとして太陽光発電を重視してきた歴史
- ④ アメリカやドイツは原子力発電所の新設を政策的に停止しているため風力発電への依存度を増している。

日本の電力会社は風力発電事業に消極的であるが、自治体による「自治体風車」や市民グループによる「市民風車」等のプロジェクトの取り組みが進んでいる。

7. 水力発電(1)

大規模水力の例: 揚水発電

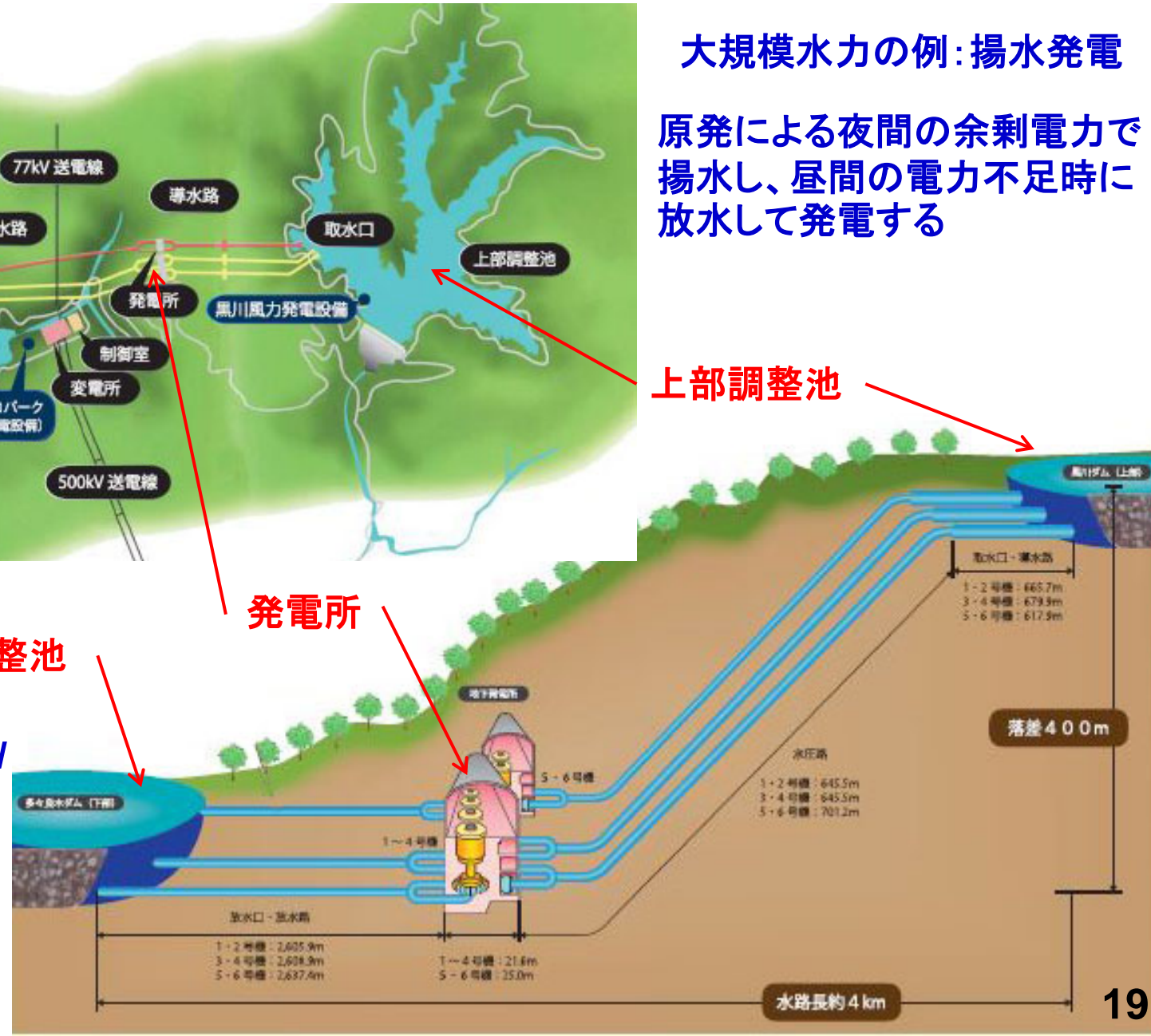
原発による夜間の余剰電力で揚水し、昼間の電力不足時に放水して発電する

上部調整池

発電所

下部調整池

奥多々良木発電所 193万KW
日本最大の揚水発電所



7. 水力発電(2)

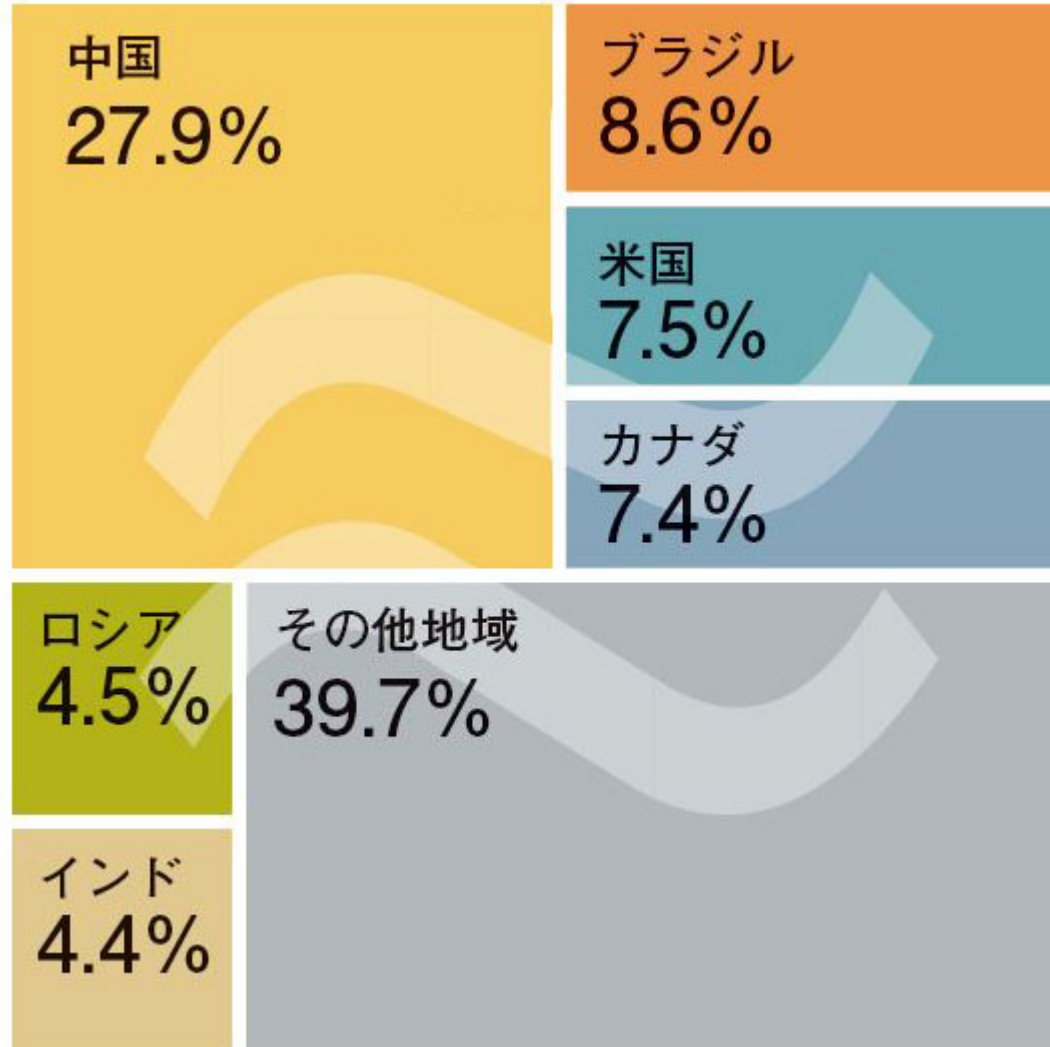
小規模水力発電(小水力ともいう)
ダムを必要としない水力発電(約100KW以下)



栃木県那須野ヶ原ウォーターパークの下掛け水車(1.8kW)

7. 水力発電(3)

水力発電の世界の設備容量は1064GWで、
世界の自然エネルギー発電の70%を占める

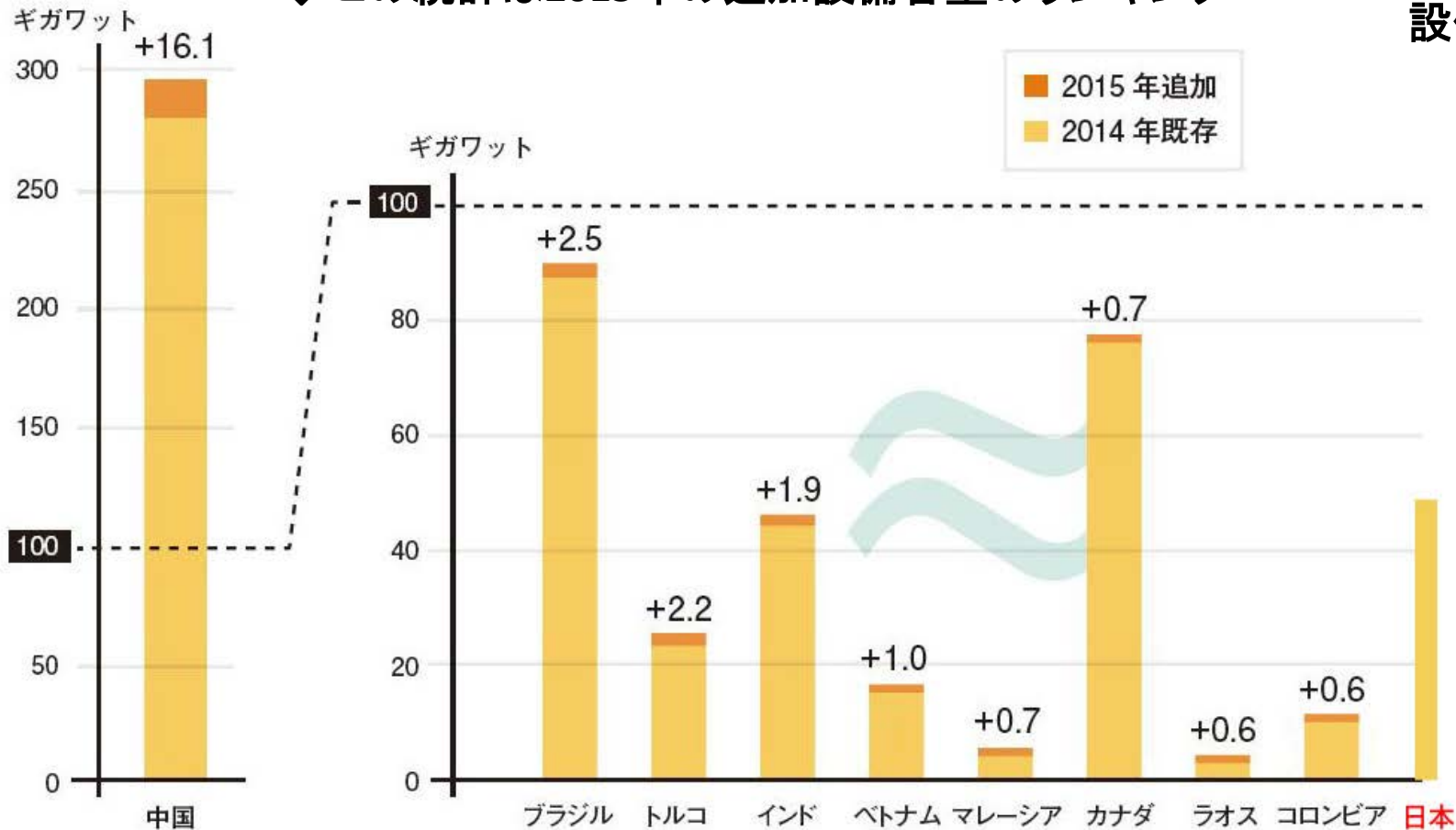


← 日本の世界シェア約4.4%

7. 水力発電(4)

2013年度の日本の水力の設備容量は49GW(世界6位)

↓ この統計は2015年の追加設備容量のランキング



別の統計
設備容量のランキング

Net installed capacity	GW
People's Rep. of China	194
United States	102
Brazil	86
Canada	76
Russian Federation	50
Japan	49
India	40
Norway	31
France	25
Italy	22
Rest of the world	359
World	1 034

2013 data

Sources: IEA,
United Nations.

自然エネルギー世界白書2016より

7. 水力発電(5)

大規模水力と小規模水力

- ① ダムを使う大規模水力
1基当りの発電量は大きい、建設場所に限られる。環境問題が懸念される。
- ② ダムを使わない小規模水力(1基100KW以下)
1基当りの発電量は小さいが、建設場所は無数にある。環境問題の懸念がない。

揚水発電の歴史と展望

- ① 揚水発電所の建設の当初は、豊水期に貯水し、渇水期には貯水した繰り返し発電に利用することで年間を通じて発電を行うようにするという、年間調整が主だった役割であった。
- ② 原発の運用が始まり、夜間に揚水・貯水し、昼間のピークに備えるという目的へと変わっていった。
- ③ 自然エネルギーの時代になると、変動するエネルギーを平滑化する蓄電装置としての活用が期待される。

8. 地熱発電(1)

風光明媚な阿蘇九重国立公園特別地域の一面にある国内最大規模の地熱発電所
大分県八丁原地熱発電所(出力11万kW) 7円/kWhの発電コストを実現している



8. 地熱発電(2)

地熱発電は太陽光や風力と異なり、出力が安定しているのが、大きな利点

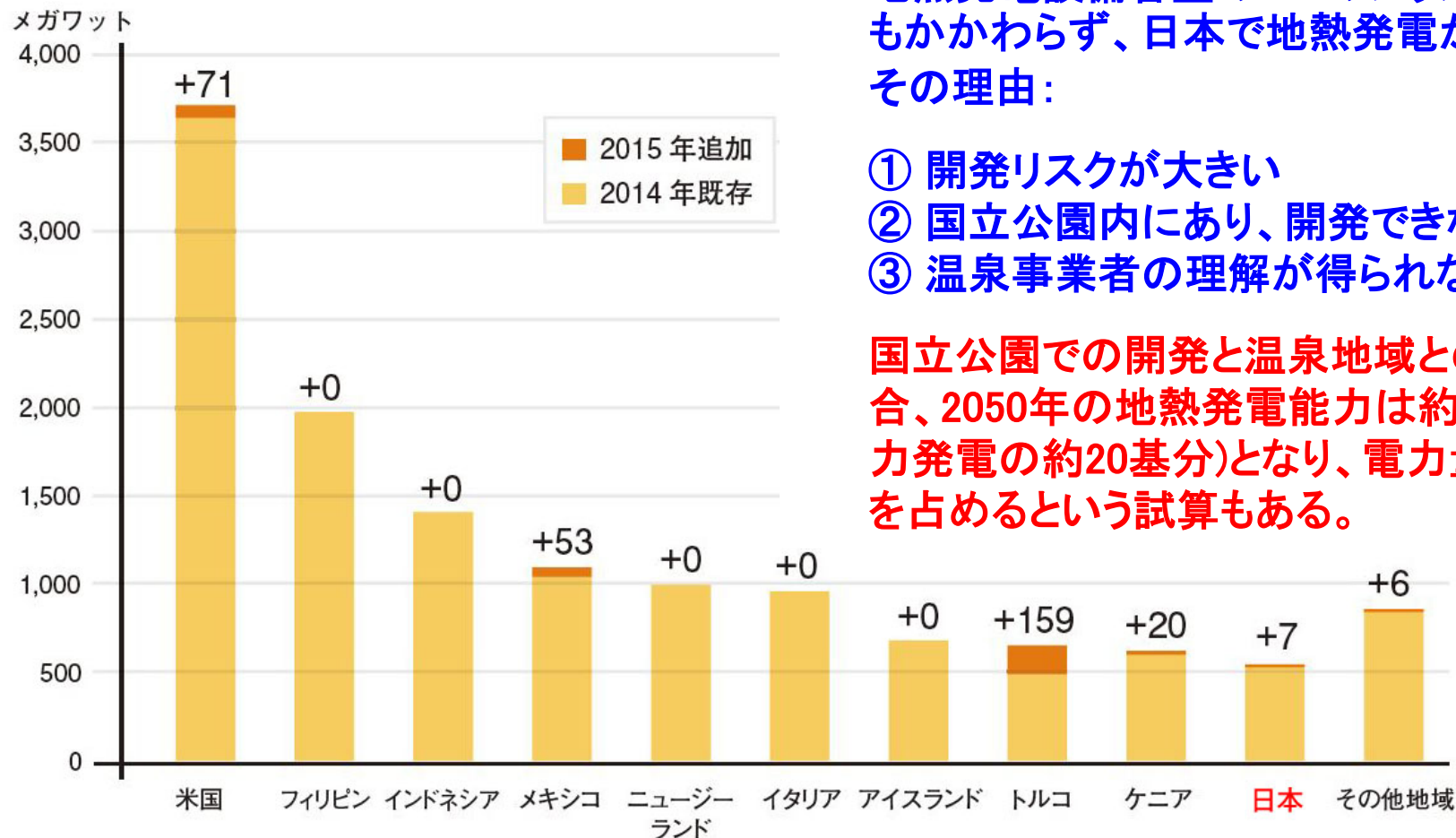
地熱資源が豊かな米国、フィリピン、インドネシアなどが多い。地熱資源が世界第3位といわれる日本が導入量では世界第10位と低迷している。

富士電機、東芝、三菱重工の日本企業3社が世界の地熱発電設備容量の70%のプラントを供給しているにもかかわらず、日本で地熱発電が低迷している。

その理由:

- ① 開発リスクが大きい
- ② 国立公園内にあり、開発できない
- ③ 温泉事業者の理解が得られない

国立公園での開発と温泉地域との共存が進んだ場合、2050年の地熱発電能力は約1000万kW(最新火力発電の約20基分)となり、電力量では全体の10%を占めるという試算もある。



9. バイオマス(1)

バイオ燃料の種類



- 製材廃材 ●建築廃材
- 林地残材 など

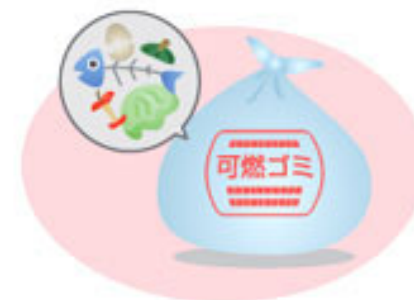
木質燃料



- サトウキビ
- トウモロコシ など

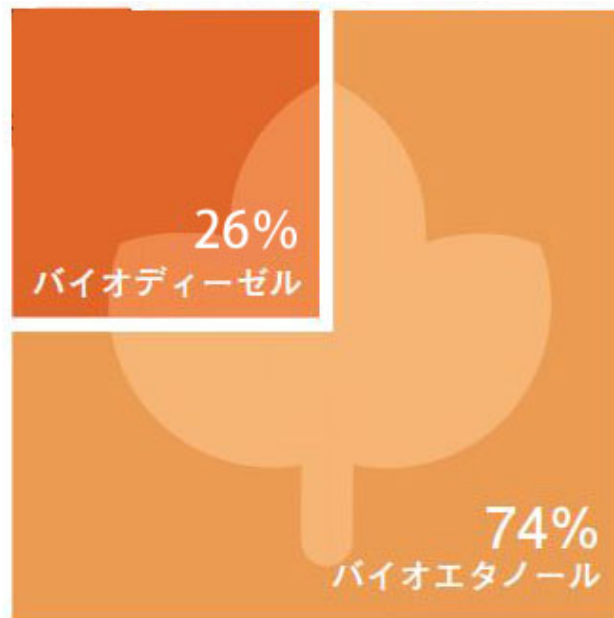
バイオ液体燃料

(バイオエタノール、バイオディーゼル)

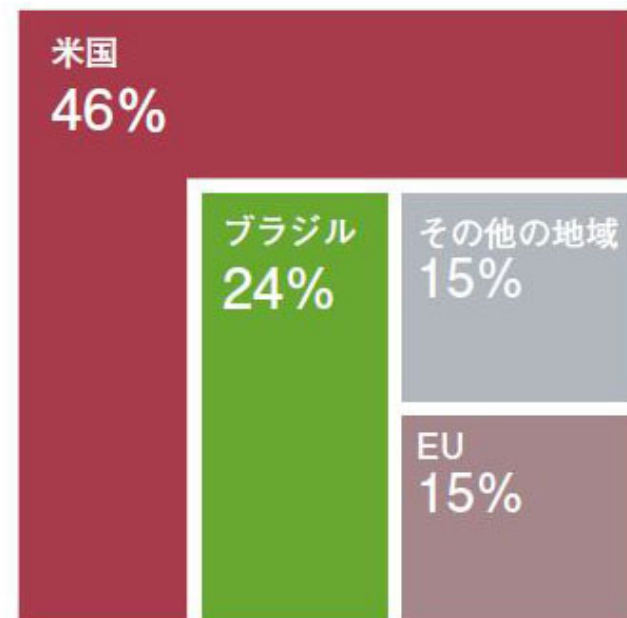


- 生ゴミ
- 家畜の糞尿 など

バイオガス燃料



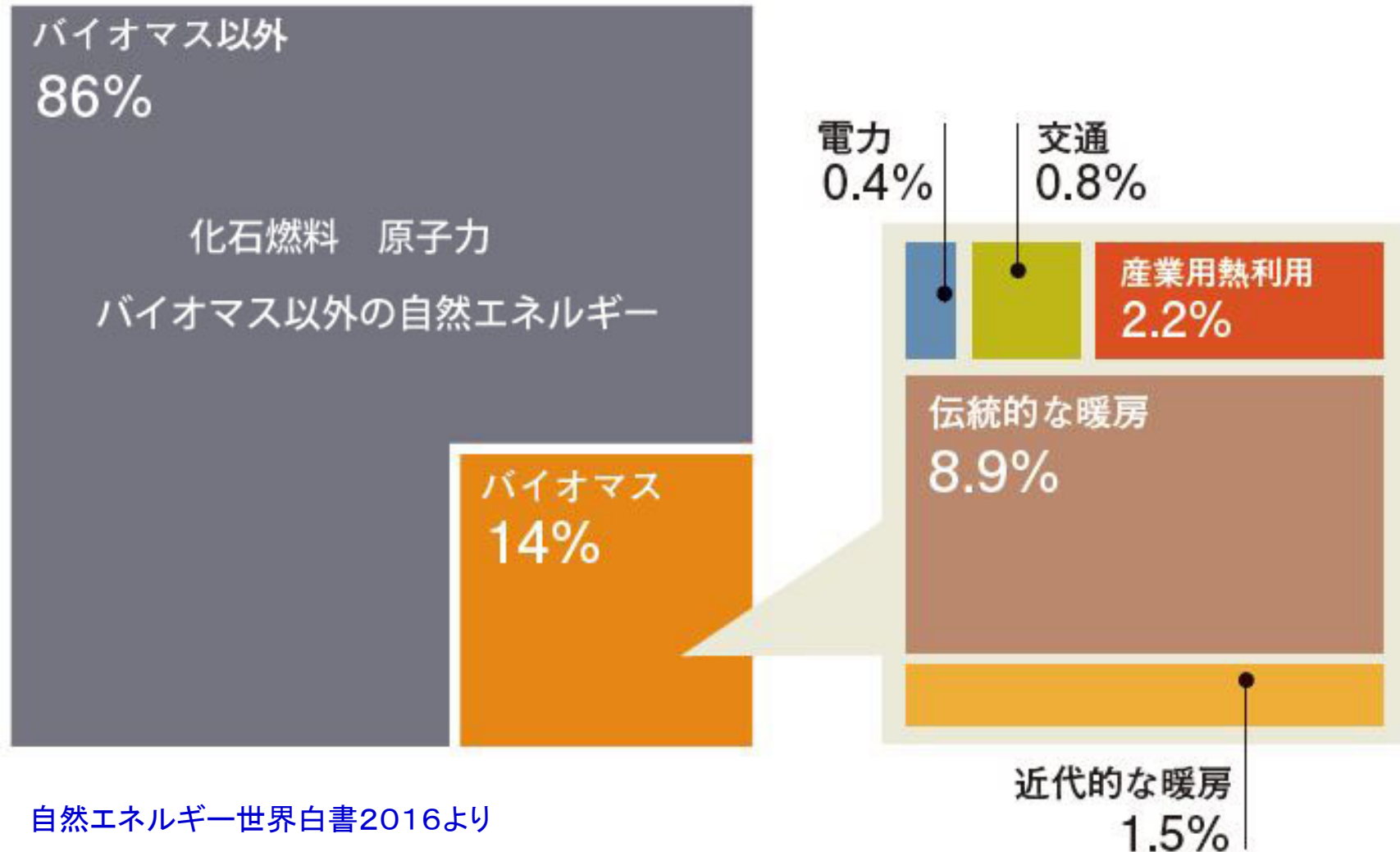
バイオ液体燃料の内訳



9. バイオマス(2)

世界の最終エネルギー消費におけるバイオマスの割合は14%でかなり大きい
が、大部分は暖房用で、発電はごく僅かである

世界の最終エネルギー消費量



自然エネルギー世界白書2016より

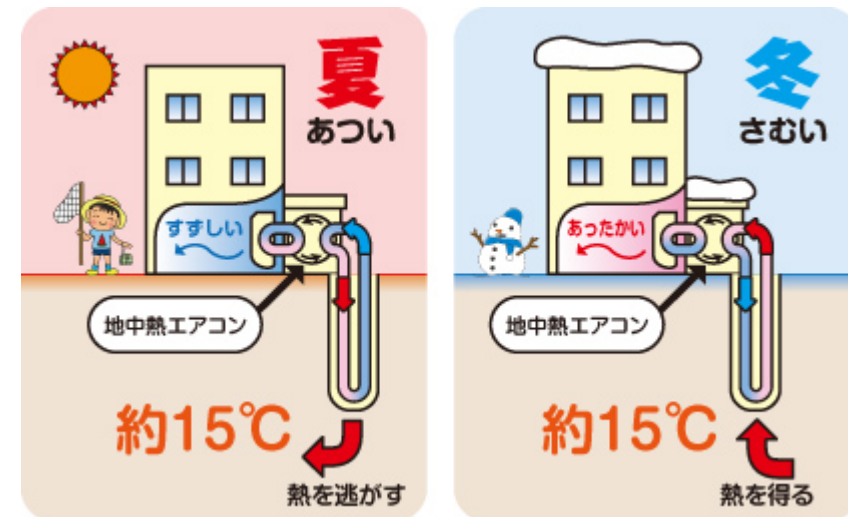
10. その他の自然エネルギー(1)

下記のものは、すでに一部冷暖房に利用されている

雪氷熱



地中熱



(株)飯田ボーリング工業HPより

10. その他の自然エネルギー(2)

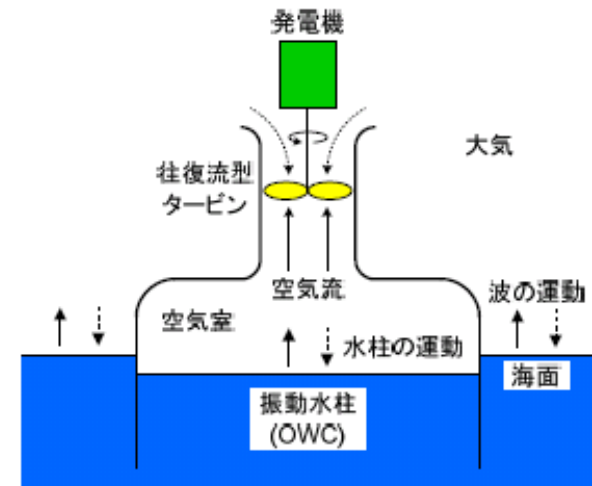
下記のものは、可能性は高いが、まだ実用になっていない

海流発電・潮流発電



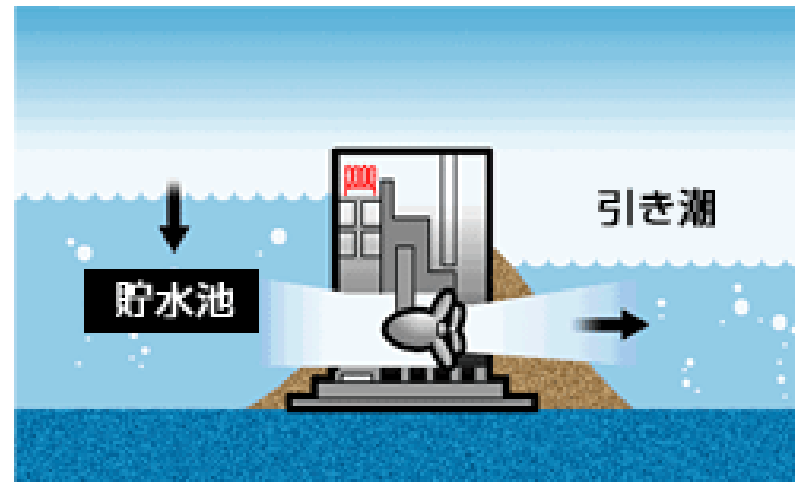
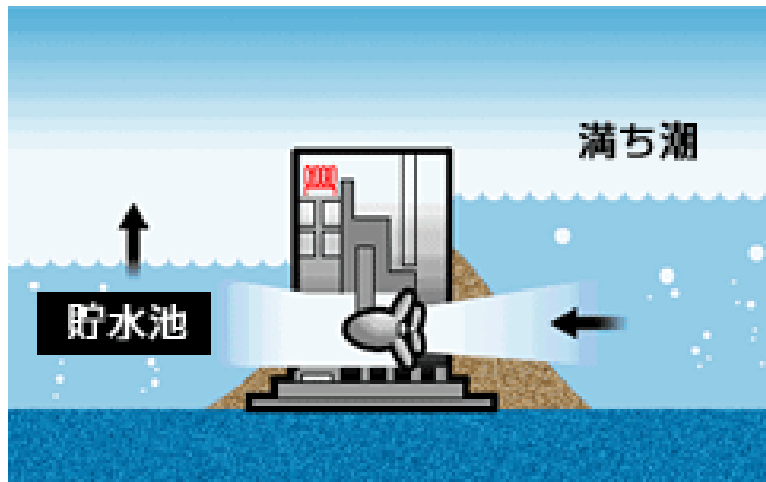
鶴千亀万HPより

波力発電



日本機械学会HPより

潮力発電・潮汐力発電



中部電力HPより

11. 自然エネルギー普及のための支援制度

RPS 制度 (Renewable Portfolio Standard)

電気事業者に、一定割合以上の再生エネルギーによる発電の利用を義務づける制度
2003年から施行、2012年廃止し、FIT制度に移行した

メリット：再生エネルギー電力利用の義務のため、より高い確実性で導入できる

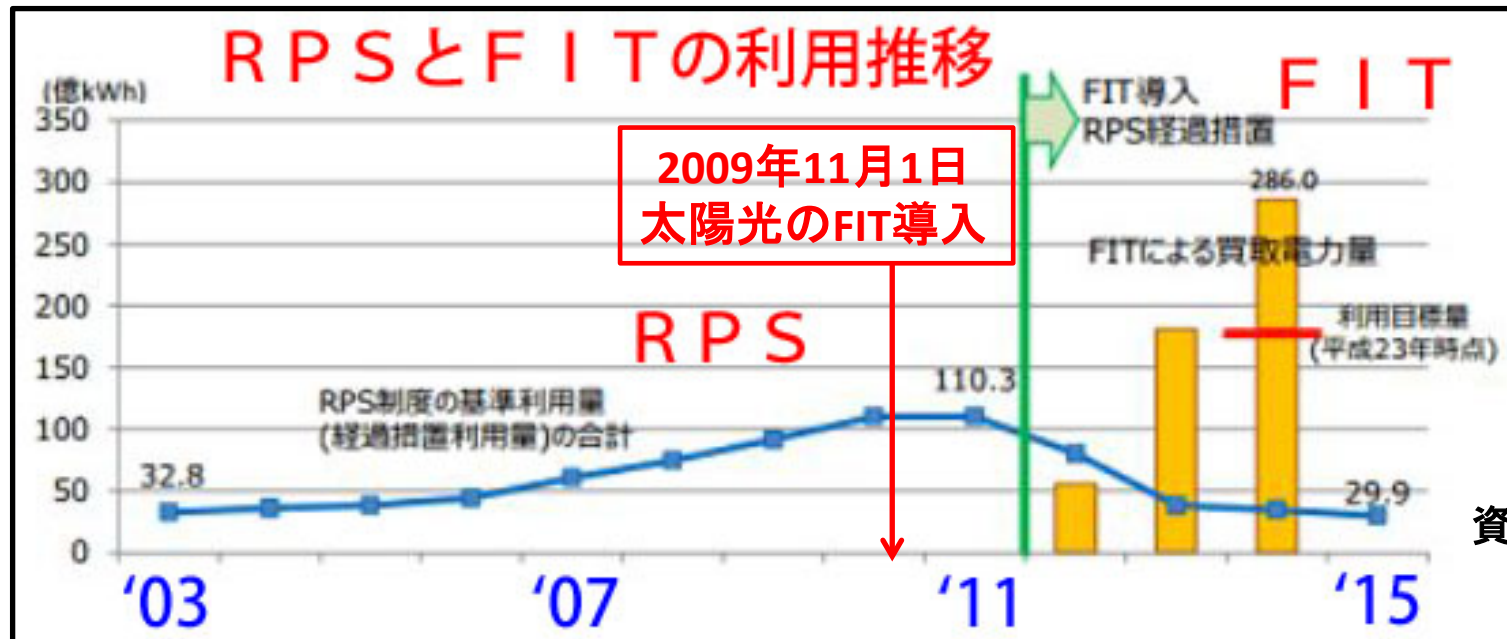
デメリット：価格が固定されていないので、発電者の採算性リスクが大きい

FIT 制度 (Feed-in-Tariff)

再生エネルギーによる発電に対して通常の電気料金よりも高い料金を設定し、電気事業者に一定期間固定価格で買取することを義務づける制度

メリット：一定期間固定価格で全量買取るので、発電者の採算性リスクが小さい

デメリット：買取価格と通常の電気料金の差額は需要者の負担となる
発電が多すぎると電気事業者が全量を買取れない



19年問題

資源エネルギー庁より

12. 自然エネルギー普及のための技術的課題

1. 自然エネルギーはコストが高い

技術の進歩と量産効果で、化石燃料発電よりも安くなりつつある(価格はkWh当り)

米投資銀行ラザード調べ:

太陽光 5.6セント(6.5円)、風力 1.4セント(1.6円)

EU欧州委員会発表:

陸上風力 0.105ユーロ(15円)

天然ガス 0.164ユーロ(24円)、石炭 0.233ユーロ(34円)より安い

日本:

2014年再エネ固定価格は、太陽光32円、風力22円で、天然ガス10.7円より高い

2. 自然エネルギーは不安定である

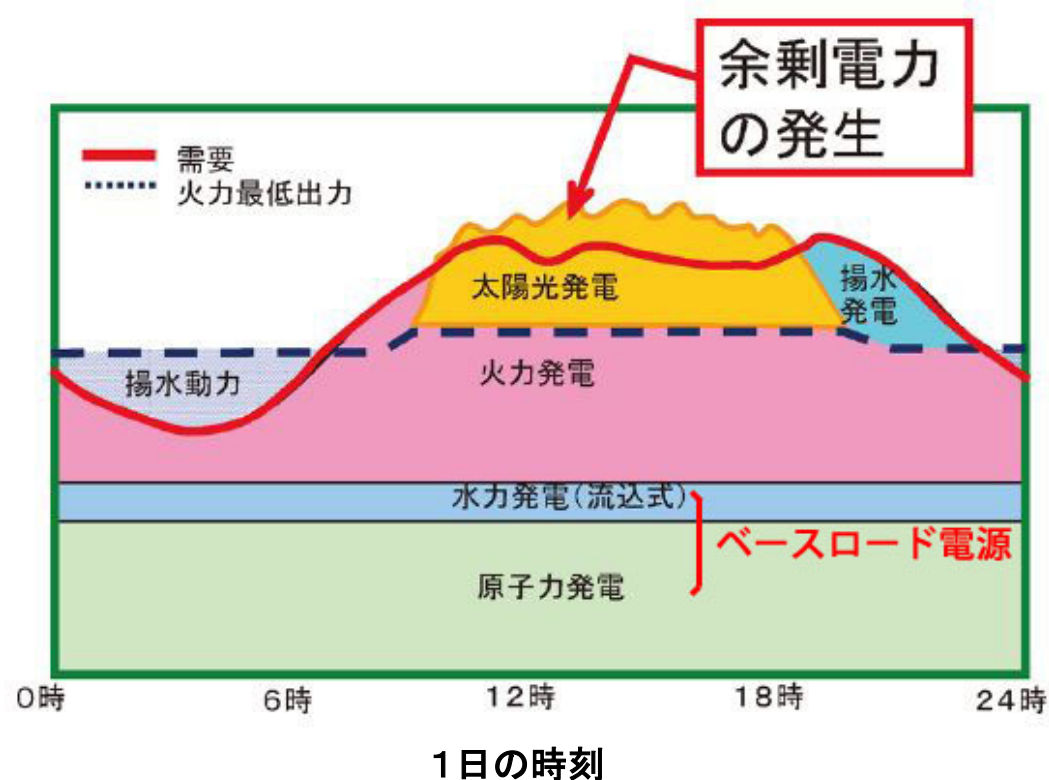
不安定な自然エネルギーを克服する手段を導入する必要がある

- ①送電網を広域連携にする(EUは国際送電網、日本は50/60ヘルツ、九電力に分割)
- ②融通性に乏しいベースロード電源(原発など)から、再エネ優先の柔軟性のあるシステムへ
- ③蓄電施設を設置する(バッテリー、揚水発電、圧縮空気エネルギー貯蔵、水素貯蔵など)

13. 巷間ささやかれる風説(1)

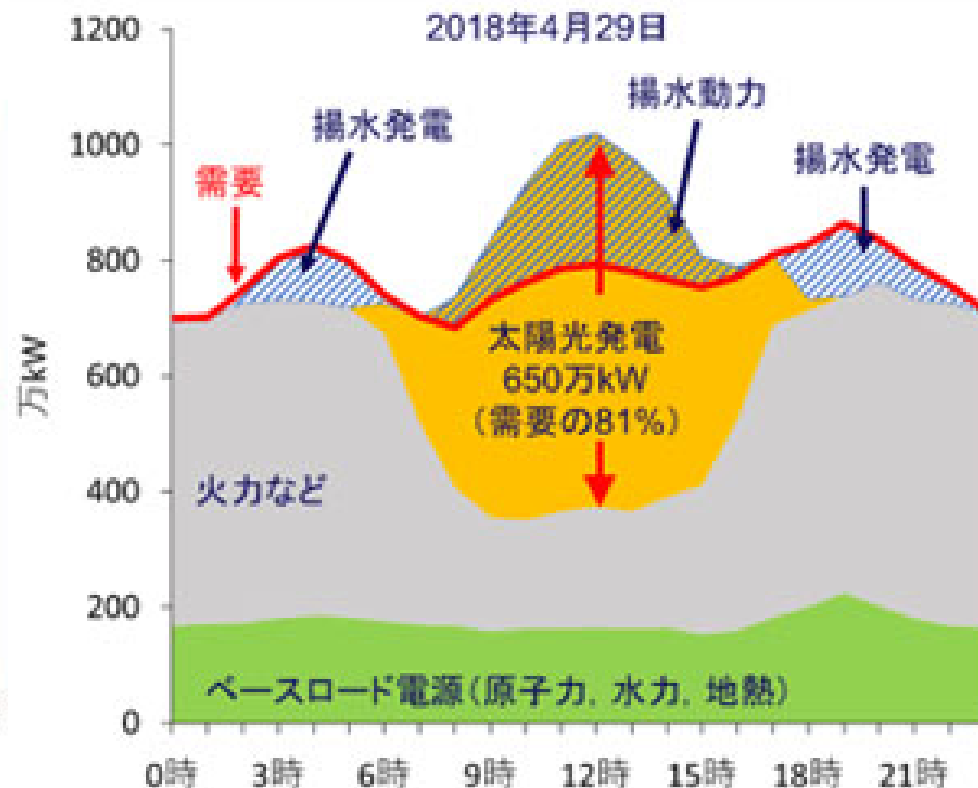
安定な電力供給のためにはベースロード電源が必要？

ベースロード電源を基本にしたシステムでは
太陽光発電が大量導入されると余剰電力を生じる



資源エネルギー庁(2010年)より

九州電力における2018年春季の
電力需給実績の例



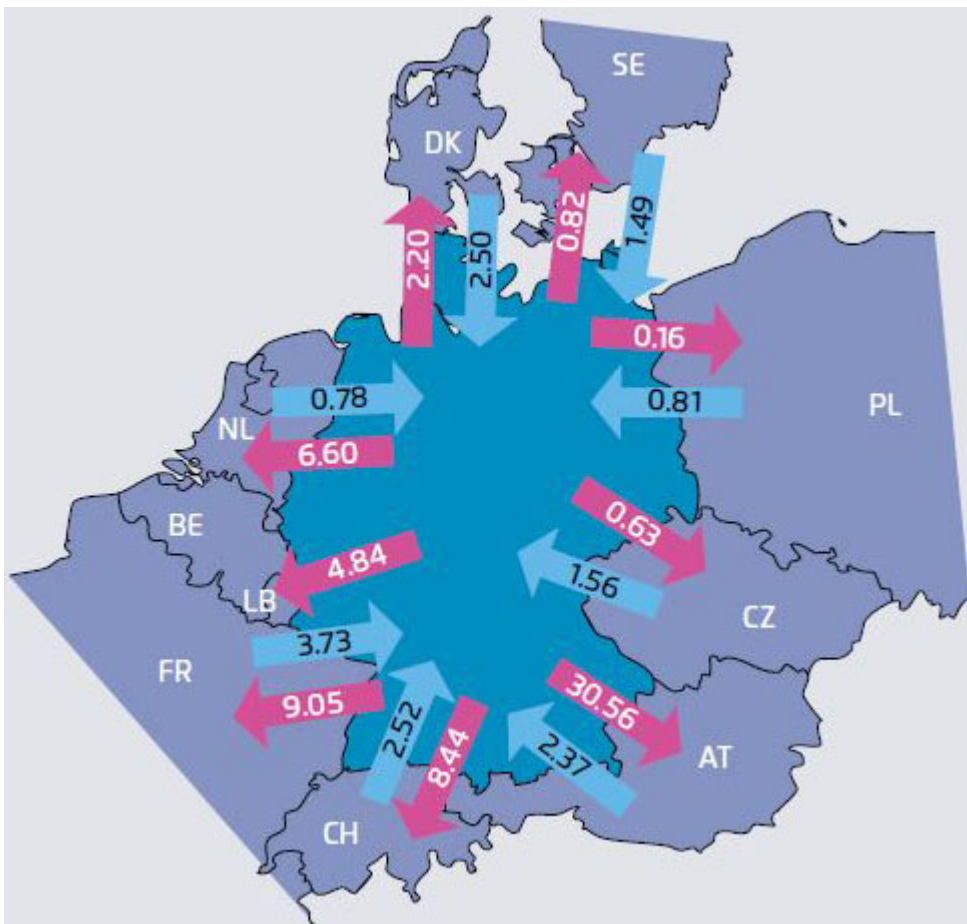
電力中央研究所(2018年)より

自然エネルギーの導入がさらに進むと
ベースロード電源という考え方がなくなる

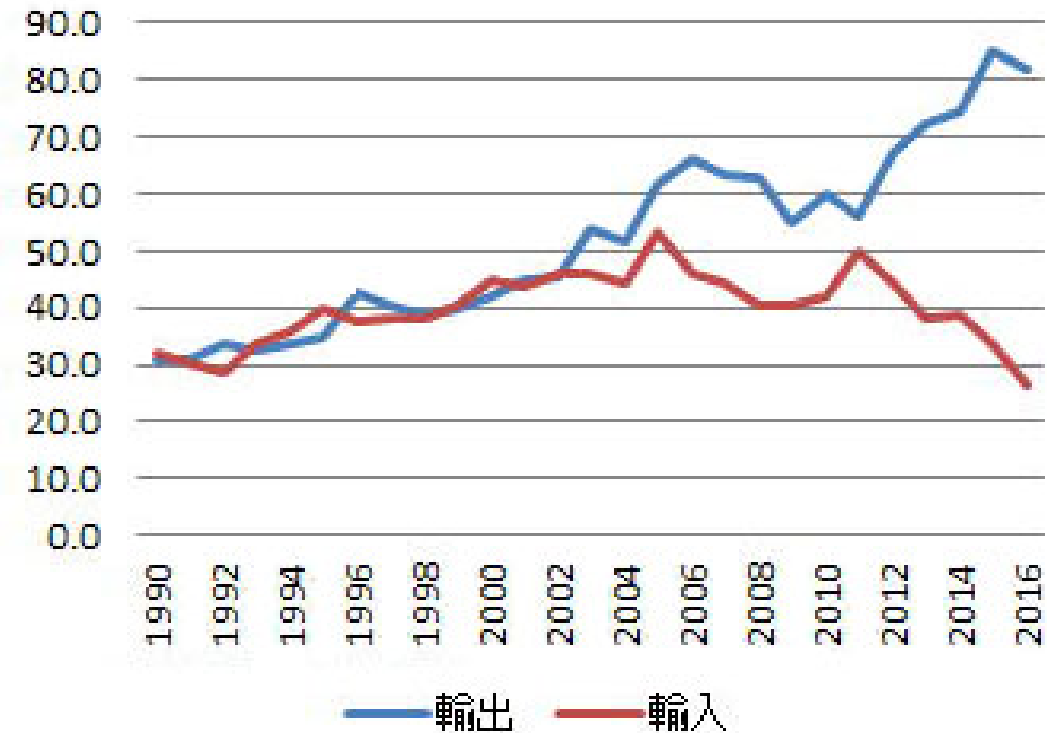
13. 巷間ささやかれる風説(2)

脱原発のドイツは、フランスから原発の電気を輸入している？

2016年のドイツの電力輸出入の状況(TWh)



ドイツの電力輸出入の推移(TWh)



ドレスデン情報ファイルより

14. 期待される自然エネルギー発電像

期待される我が国の再生可能エネルギー発電方法

自然エネルギー競争は、まだ始まったばかり、
今は一周遅れでも、これから世界に貢献できる

1. 太陽光発電だけが自然エネルギーではない

エネルギーの貯蔵方法を考えよう

エネルギーを熱に変換してタービンで発電するのは効率が悪い

2. 北海道胆振東部地震のブラックアウトを防ぐには

原発や大規模火力に頼らない発電所の分散化

北海道・本州送電線がボトルネック

3. EUに学び、日本の主導でグローバル送電網を世界に築け

EUは、すでに1つの送電網で結ばれている

グローバル送電網で結べば、どこかが昼で太陽光発電ができる

14. 期待される自然エネルギー発電像

1. エネルギーを熱に変換してタービンで発電するのは効率が悪い

現在の火力発電や原発は発電効率が低い

カルノーサイクルの熱機関の最大効率 η は、

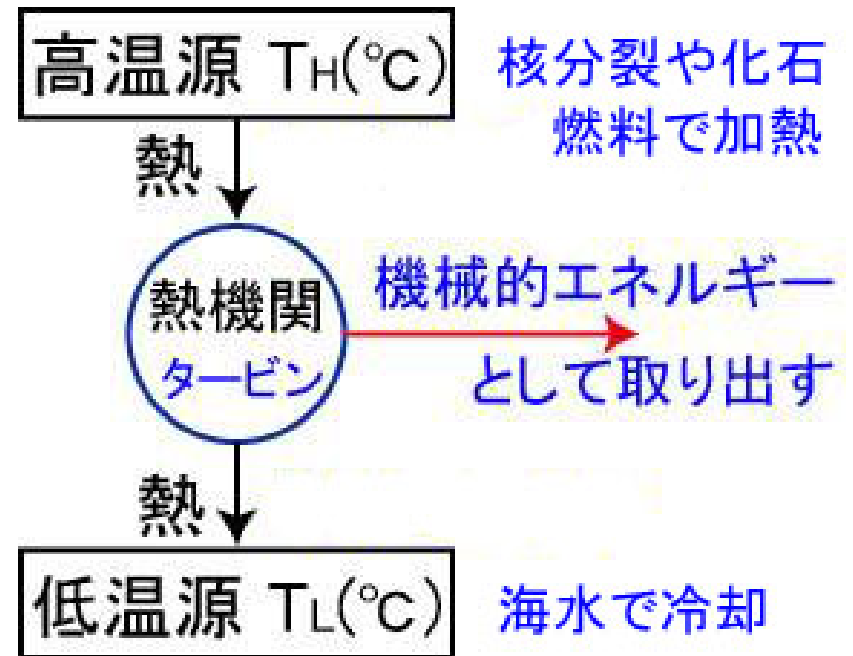
$$\eta = \frac{T_H - T_L}{T_H + 273} \quad \text{である}$$

ここで、 T_H は高温源の温度($^{\circ}\text{C}$)

T_L は低温源の温度($^{\circ}\text{C}$)

原発では、 $T_H = 280^{\circ}\text{C}$ 、 $T_L = 40^{\circ}\text{C}$ とすると、
 $\eta = 43\%$ となるが、実際は約33 %である。

つまり、67 % のエネルギーは廃熱として海に
捨てられる



1. エネルギーを熱に変換してタービンで発電するのは効率が悪い(続)

燃料電池は熱を使わない発電なので、
カルノーサイクルの制約を受けない

第一段で水素から燃料電池で発電
第二段で水素ガスタービンと発電機で発電
第三段で蒸気タービンと発電機で発電

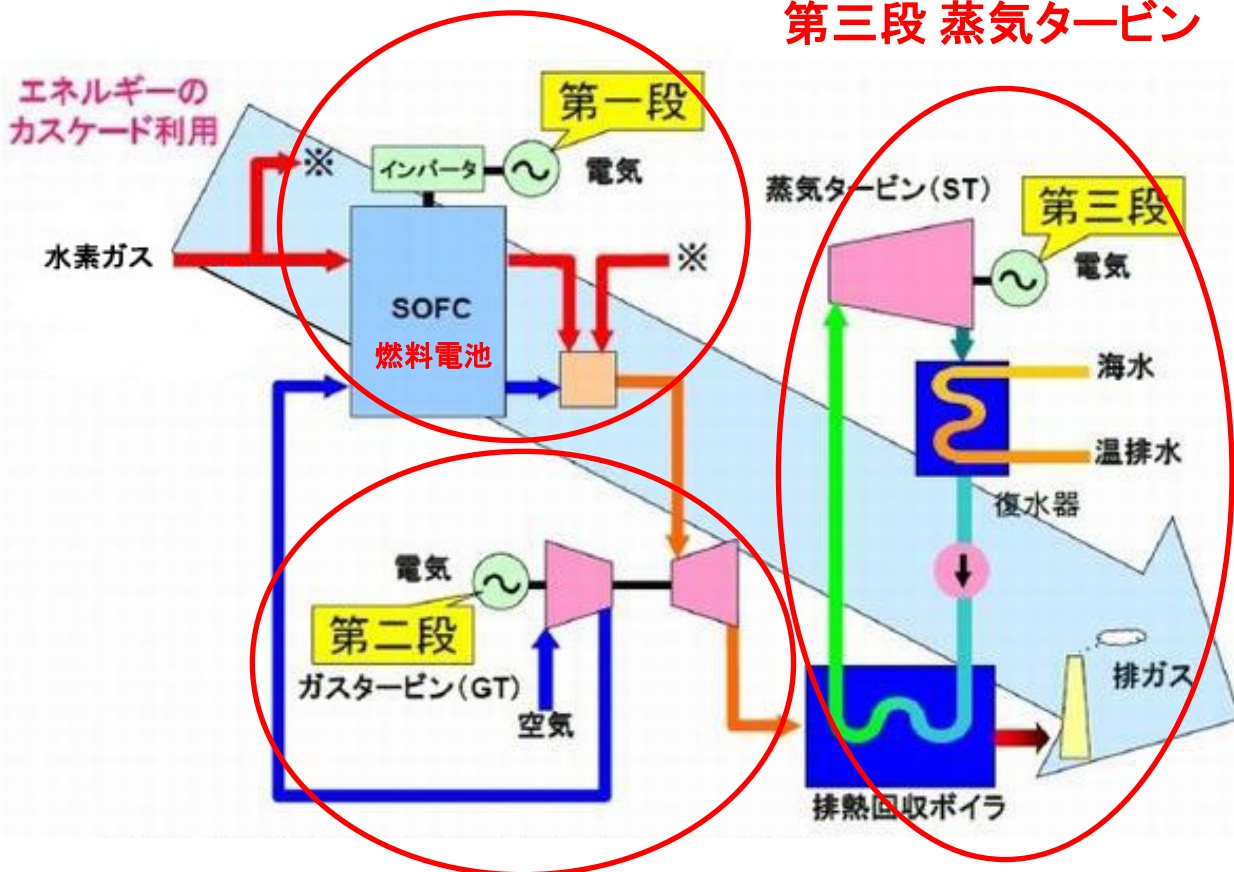
この方法でエネルギー変換効率は63%程度
まで上がる。
NEDOの委託で日本のメーカーが開発中。

第一段の燃料電池だけを利用するのが、
トヨタの水素自動車のMIRAI

太陽電池や風力で発電した電気で
水を電気分解して水素を作れば、
エネルギー貯蔵にもなる。

第一段 燃料電池

第三段 蒸気タービン



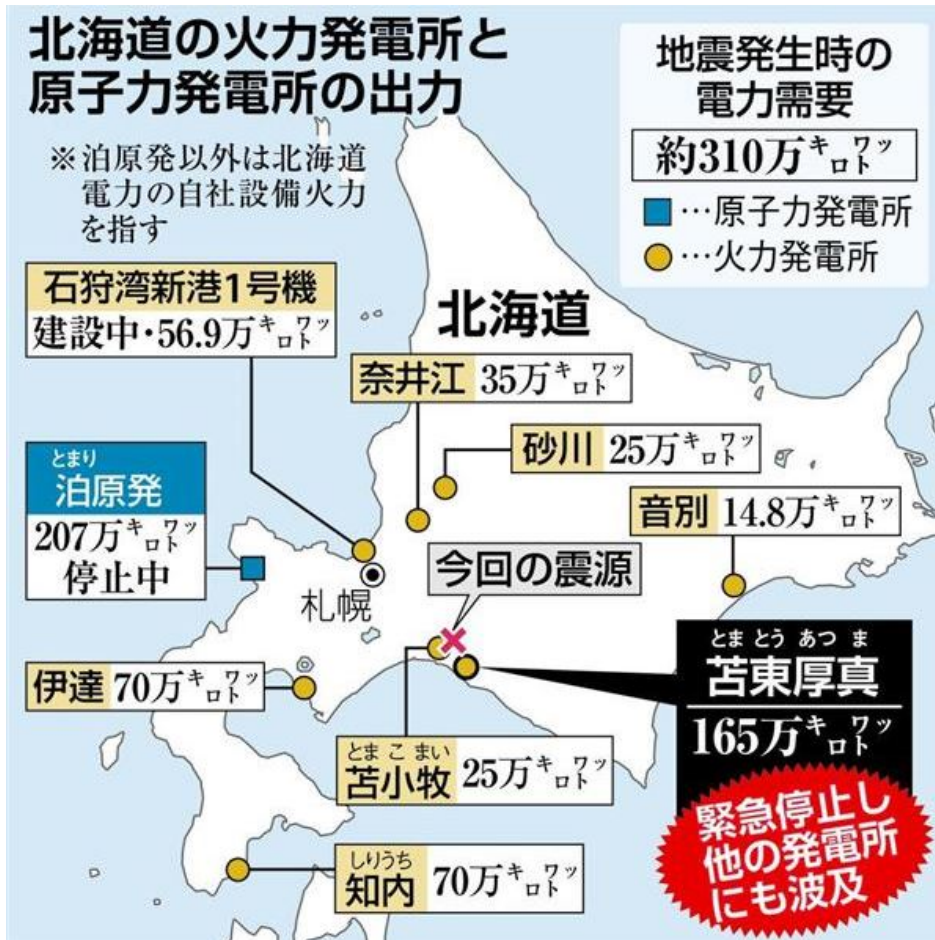
第二段 ガスタービン

14. 期待される自然エネルギー発電像

2. 北海道胆振東部地震のブラックアウトを防ぐには

「泊原発が稼働しておればよかったのに」という意見もあったが、とんでもない
原発や大規模火力に頼らない、発電所の分散化が必要

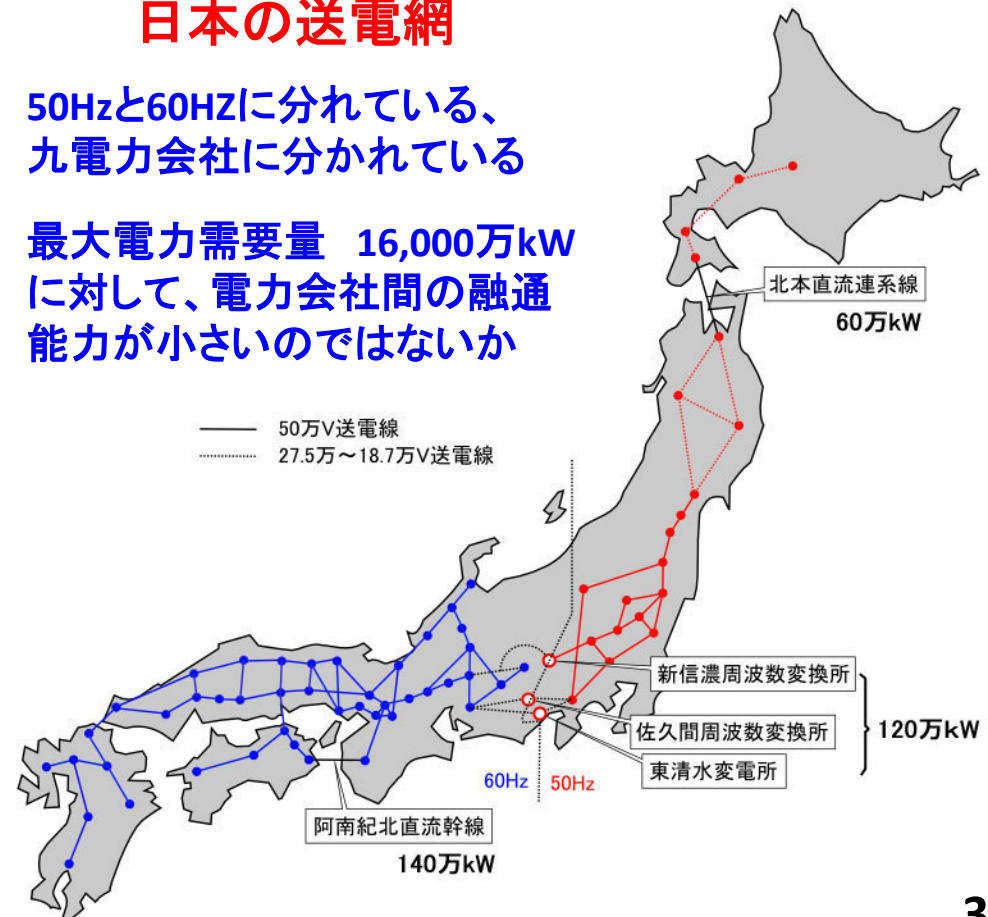
北海道・本州間連系線のボトルネックの解消が必要



日本の送電網

50Hzと60Hzに分れている、
九電力会社に分かれている

最大電力需要量 16,000万kW
に対して、電力会社間の融通
能力が小さいのではないか

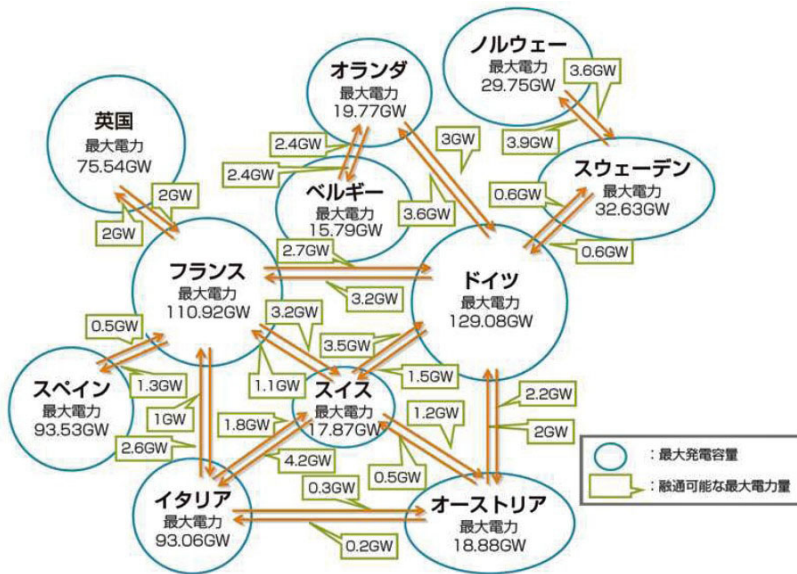


14. 期待される自然エネルギー発電像

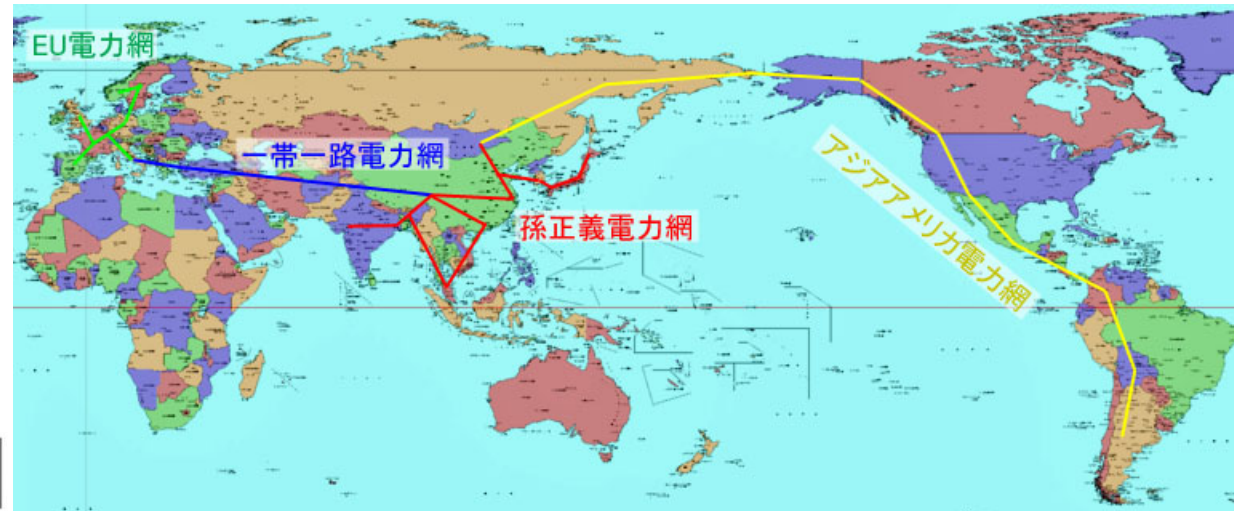
3. EUに学び、日本の主導でグローバル電力網を築け(チョット大風呂！)

EUは、すでに1つの電力網で結ばれている
グローバル電力網で結べば、地球上のどこかが昼で太陽光発電ができる

既存のEU電力網



私が提案する「グローバル電力網構想」 孫正義電力網を拡大しよう



世界の半分は昼である。
グローバル電力網で太陽光電力を融通できる。

14. まとめ と 課題

1. 原発に頼らずに脱炭素社会を実現するには、自然エネルギーは不可欠である
2. 自然エネルギーによる発電量は、世界では23.7%であるが、日本ではまだ14.5%
3. 自然エネルギーによる発電の価格は急速に低下している
日本の固定価格買取制度で kWh当り40円→20円台であるが、
外国ではすでに補助金なしで8円で売電されている
4. 日本の自然エネルギーを増やすためには、発電システムの低コスト化と合わせ、
送電網の広域化・安定化、エネルギー貯蔵手段の導入などが必要
5. 自然エネルギーを増やすために、国も市民もやるべきことが多い
6. 昨年から電力小売の全面自由化がなされたが、実効を上げるには課題がある
電力小売り会社は、原発を含まず、自然エネルギーを多く供給する会社を選ぼう
7. 市民ファンドによる風力発電や太陽光発電などに参加しよう
8. 最後に、新しい高効率発電、グローバル電力網構想について述べた

主な参考文献

(ダウンロードに若干時間がかかります)

1. 再生可能エネルギー技術白書 (独)新エネルギー・産業技術総合開発機構編
http://www.nedo.go.jp/library/ne_hakusyo_index.html#pdfDL
2. 自然エネルギー世界白書 2016 サマリー (NPO)環境エネルギー政策研究所
http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/11/GSR2016_Key_Findings_JP.pdf
3. 自然エネルギー白書 2016 (NPO)環境エネルギー政策研究所
http://www.isep.or.jp/wp/wp-content/uploads/2017/03/JSR2016_all.pdf
4. ドイツのエネルギー転換(Eneriewende) 10のQ&A (公財)自然エネルギー財団
http://www.renewable-ei.org/images/pdf/20170301/REI_Report_20170301_10FAQ_GermanyEneriewende_JP.PDF

本資料作成に当たり、上記参考文献のほか多数の資料を参考にしました



このスライドのカラー版を下記からダウンロードできます
<http://www.nishida-s.com/yg/natural-energy.pdf>

ご清聴、有難うございました