

環境調和材料工学概論

第1回 エネルギー概論 Introductions to Energy

希土類材料研究センター
亀川 厚則
Atsunori Kamegawa



講義計画

6月11日	エネルギー概論	(亀川)
6月18日	再生可能エネルギー、機能性材料 水素エネルギー	(亀川)
6月25日	(馬渡)	
7月2日	水素エネルギーとサプライチェーン技術	(亀川)
7月9日	環境調和材料：①水素吸蔵合金	(亀川)
7月16日	環境調和材料：②磁石材料， ③誘電体材料	(亀川)
7月30日	環境調和材料：④未利用熱エネルギー活用材料 エネルギーハーベスティング	(亀川)
8月6日	(馬渡)	



環境調和材料工学概論

講義計画（亀川担当分）

1. エネルギー概論
 - ・一次エネルギー、二次エネルギー
 - ・国内外で顕在化するエネルギー問題
 - ・再生可能エネルギー
2. カーボンニュートラルへの取り組み
環境調和材料工学に対する社会的要求、材料と水素
3. 水素エネルギーとサプライチェーン技術
4. 環境調和材料①：水素吸蔵合金
5. 環境調和材料②：磁石材料
環境調和材料③：誘電体材料
6. 環境調和材料④：未利用熱エネルギー活用材料
エネルギーハーベスティング



エネルギー概論

1. エネルギーや環境に対する世界の動き
2. 資源としてのエネルギー（一次エネルギー）
3. エネルギーと環境問題
4. エネルギーセキュリティ
5. 再生可能エネルギー
6. さいごに



日本や世界のエネルギーに対する関心事

- 1760年代～ 産業革命
蒸気機関の発明
- 1859年～ 近代石油採掘の開始
- 1906年 ハーバーボッシュ法の開発
世界的な人口増加の加速
- 1950年頃 エネルギー流体革命
石炭から石油，天然ガスの利用拡大→エネルギー消費量の拡大
- 1973年，1979年 オイルショック
石油代替エネルギー開発の世界的な研究開始
- 1980年代頃 地球温暖化問題の顕在化
再生可能エネルギーのシステム実証開始
- 1990年代～ 地球温暖化問題への世界的な関心の高まり
- 1992年5月 気候変動枠組み条約(FCCC)を採択
- 1992年6月 環境と開発のための国連会議 (地球サミット)
- 環境と開発に関するリオデジャネイロ宣言(リオ宣言)

エネルギー
需給問題

環境問題
(地球温暖化)



日本や世界のエネルギーに対する関心事

- 1997年6月 COP3 京都議定書 批准
燃料電池の普及展開, 水素エネルギーの実証研究開始
- 2011年3月11日 東日本大震災
既存のインフラ (電気、ガス、ガソリンなど) に頼らない地域社会でのエネルギーセキュリティ
- 2015年9月 国連サミット SDGs
Sustainable Development Goals (持続可能な開発目標)
- 2015年12月 COP21 パリ協定 採択
既存のインフラ (電気、ガス、ガソリンなど) に頼らない地域社会でのエネルギーセキュリティ
- 2019年12月 COP25 マドリード
日本の石炭火力発電が世界中からの非難の的に、、、
- 2020年10月 2050カーボンニュートラル宣言 菅首相所信表明演説

エネルギー
セキュリティ



将来の技術者、開発者、研究者に重要な
政治・世界情勢のニュースで良く見かける
エネルギー、環境問題に関する略語

COP21 (第21回気候変動に関する国際連合枠組条約締結国会議) =>パリ協定

UNFCCC: United Nations Framework Convention on Climate Change (気候変動に関する国際連合枠組条約)
「気候変動枠組条約」、「地球温暖化防止条約」と呼ばれることも

COP: Conference of the Partiesは(条約の)締結国会議の一般的な略語。

IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change
(国連気候変動に関する政府間パネル)

人為起源による気候変化、影響、適応及び緩和方策に関し、科学的、技術的、社会経済学的な見地から包括的な評価を行うことを目的

AR4: Fourth Assessment Report (第4次報告書)

2007年のノーベル平和賞受賞



将来の技術者、開発者、研究者に重要な 政治・世界情勢のニュースで良く見かける エネルギー、環境問題に関する略語

SDGs: Sustainable Development Goals 持続可能な開発目標

2015年9月、
国連「持続可能な開発サミット」
において採択された、地球規模
で取り組むべき
大きな国際目標。
(2030まで達成)



各自で調べてみてください。

- ・現在の自分の研究課題と、「持続可能な社会」における位置づけ
- ・就職先企業における、SDGsの責任

課題では
ありません。

エネルギー概論

1. エネルギーや環境に対する世界の動き
2. 資源としてのエネルギー（一次エネルギー）
3. エネルギーと環境問題
4. エネルギーセキュリティ
5. 再生可能エネルギー
6. さいごに



一次エネルギー、二次エネルギー

一次エネルギー (primary energy)

石炭や石油、天然ガス、水力など、自然にあるままの形状で得られるエネルギー

枯渇性エネルギー (non-renewable energy)

- ・化石燃料 (fossil fuels) : 石炭、石油、天然ガス
- ・原子力 : ウラン

再生可能エネルギー (renewable energy)

- ・太陽エネルギー、太陽熱
- ・水力
- ・バイオマス
- ・潮汐力
- ・地熱 など

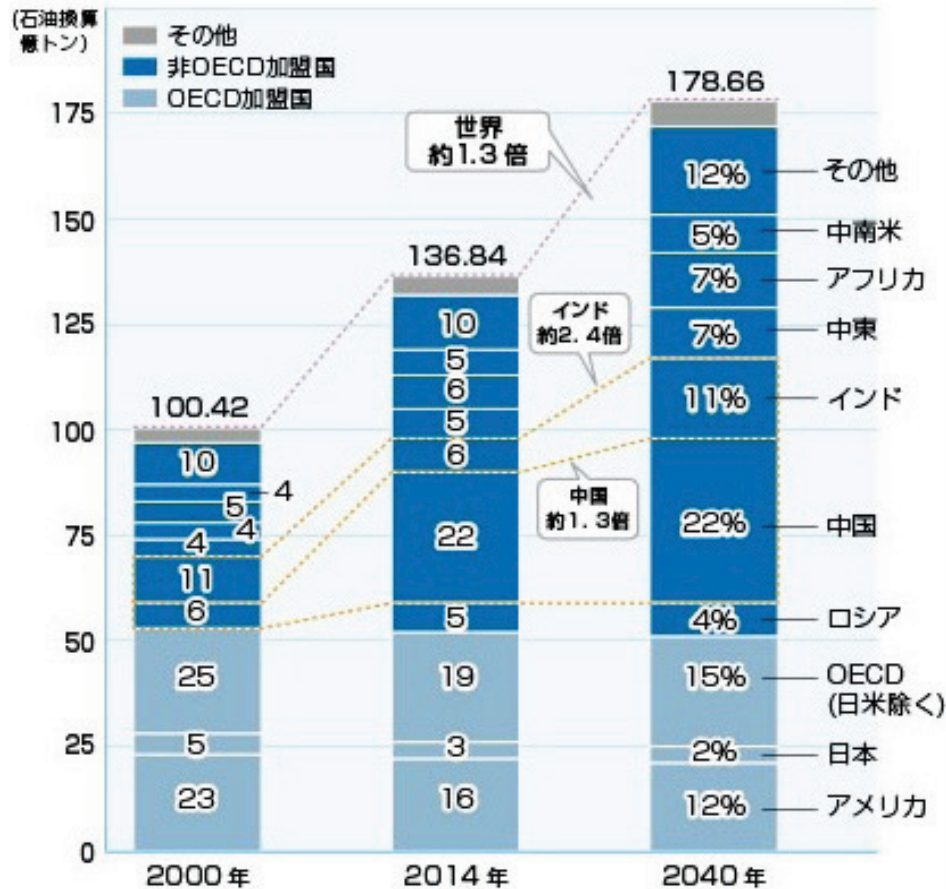
二次エネルギー (secondary energy)

電気や都市ガスなどのように使いやすく加工されたエネルギー

ex) 電気、都市ガス、熱供給、石油製品、水素



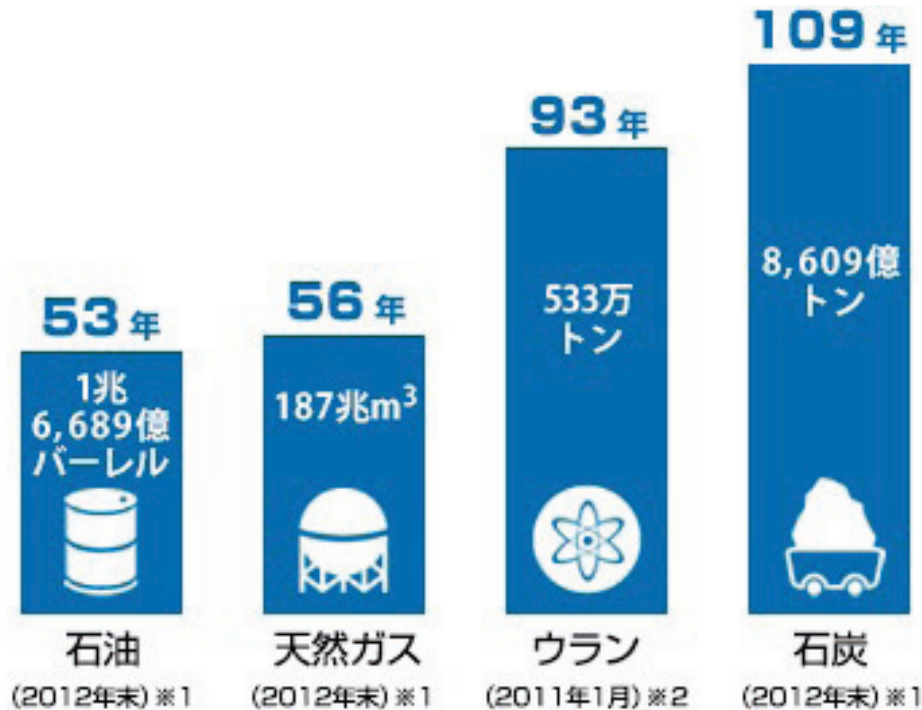
世界の1次エネルギー消費の推移と見通し



Ref) IEA World Energy Outlook 2016



エネルギー資源の確認埋蔵量（可採年数）



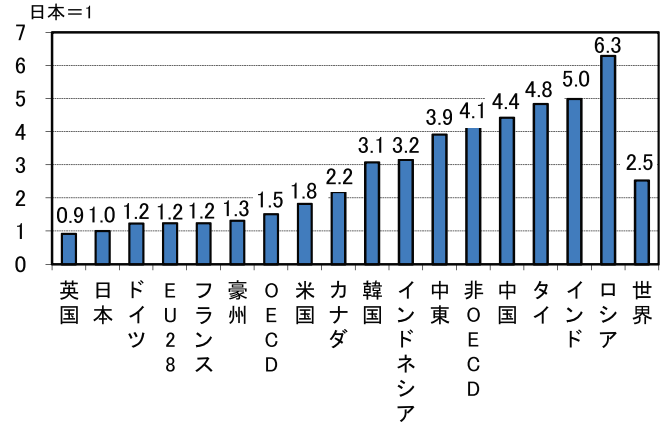
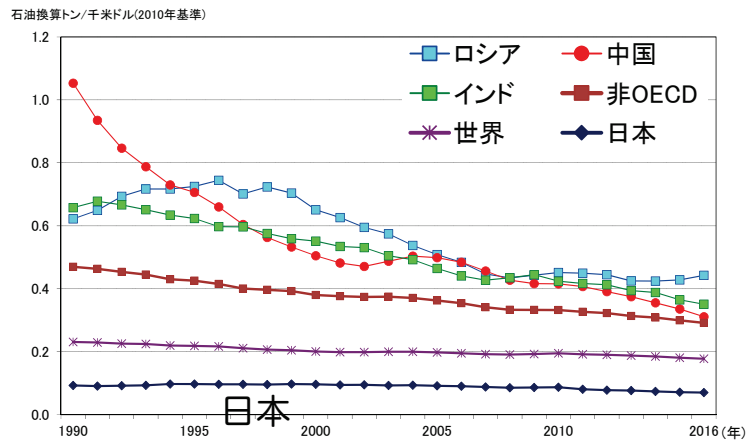
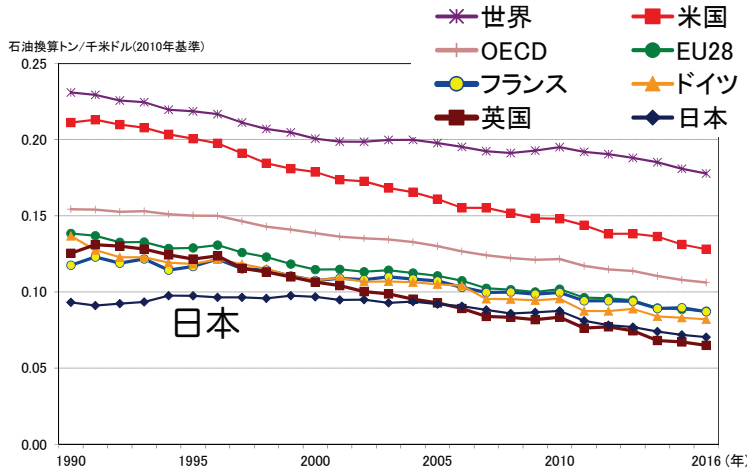
可採年数 = 確認埋蔵量 ÷ 年間生産量

ウランの確認埋蔵量は費用130 \$/kg-U未満

Ref) BP統計2013, OECD・IEA “Uranium2011”



海外との比較



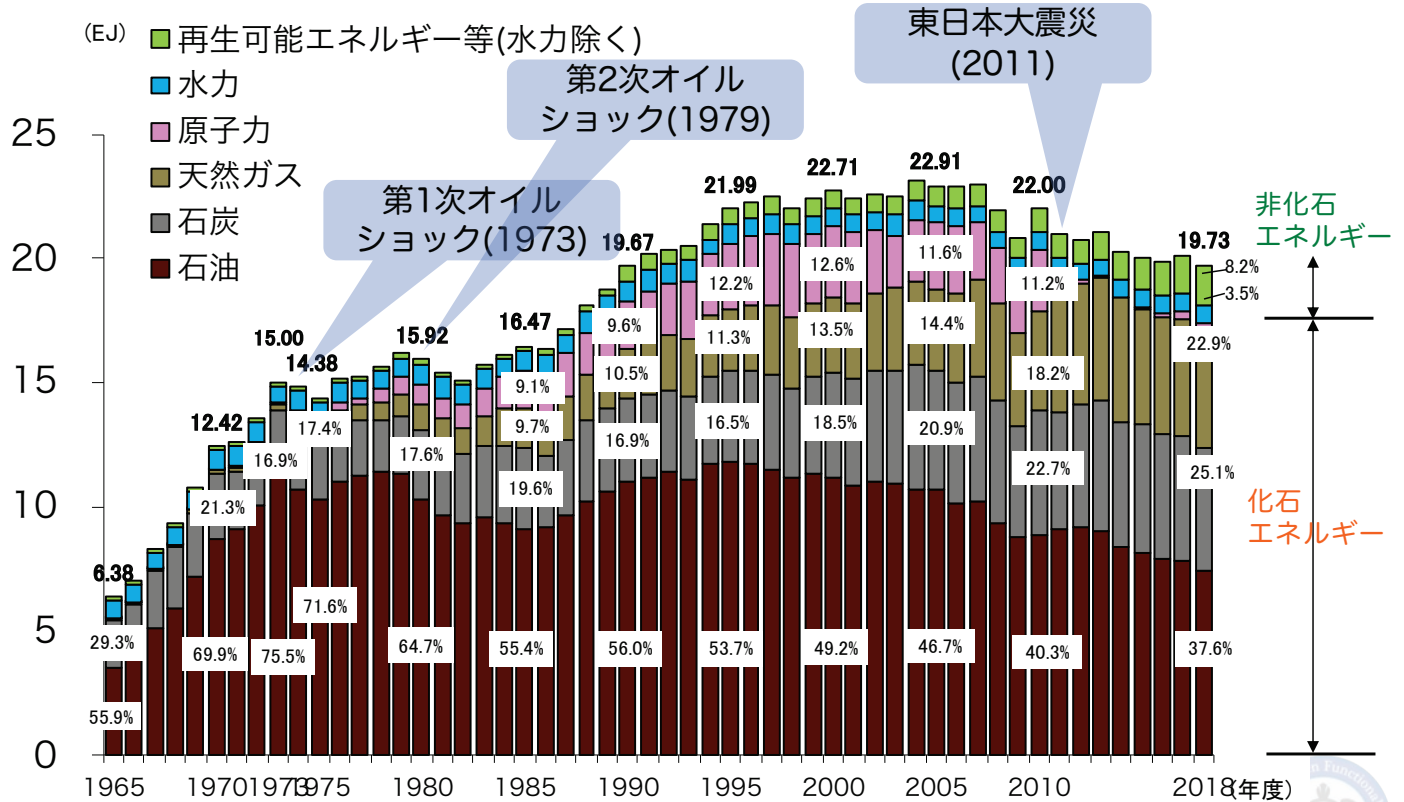
IEA「World Energy Balances 2018 Edition」、
World Bank「World Development Indicators 2018」

実質GDP当たりのエネルギー消費の主要国比較(2016年)

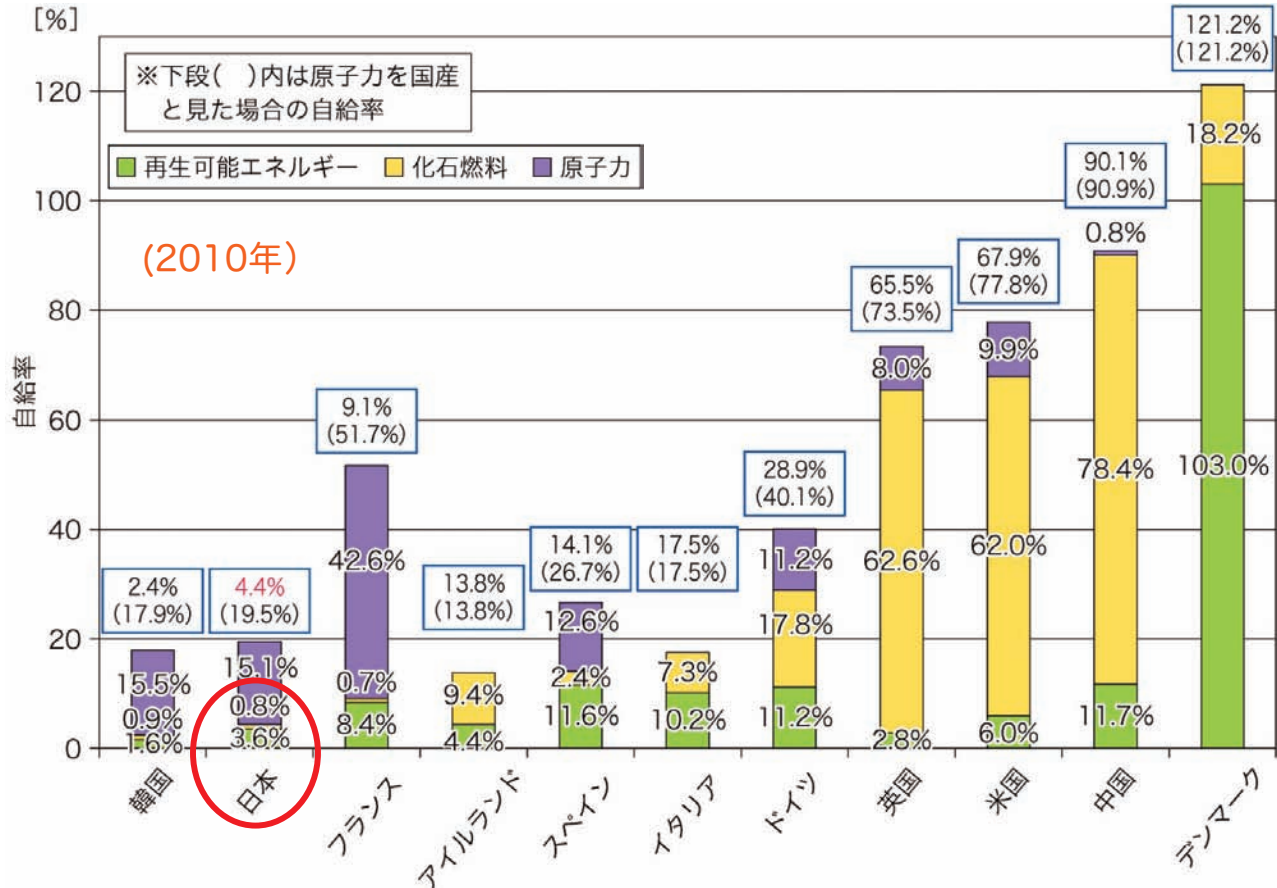
一次エネルギー消費量(石油換算トン)/実質GDP (米ドル、2010年基準) を日本=1として換算。



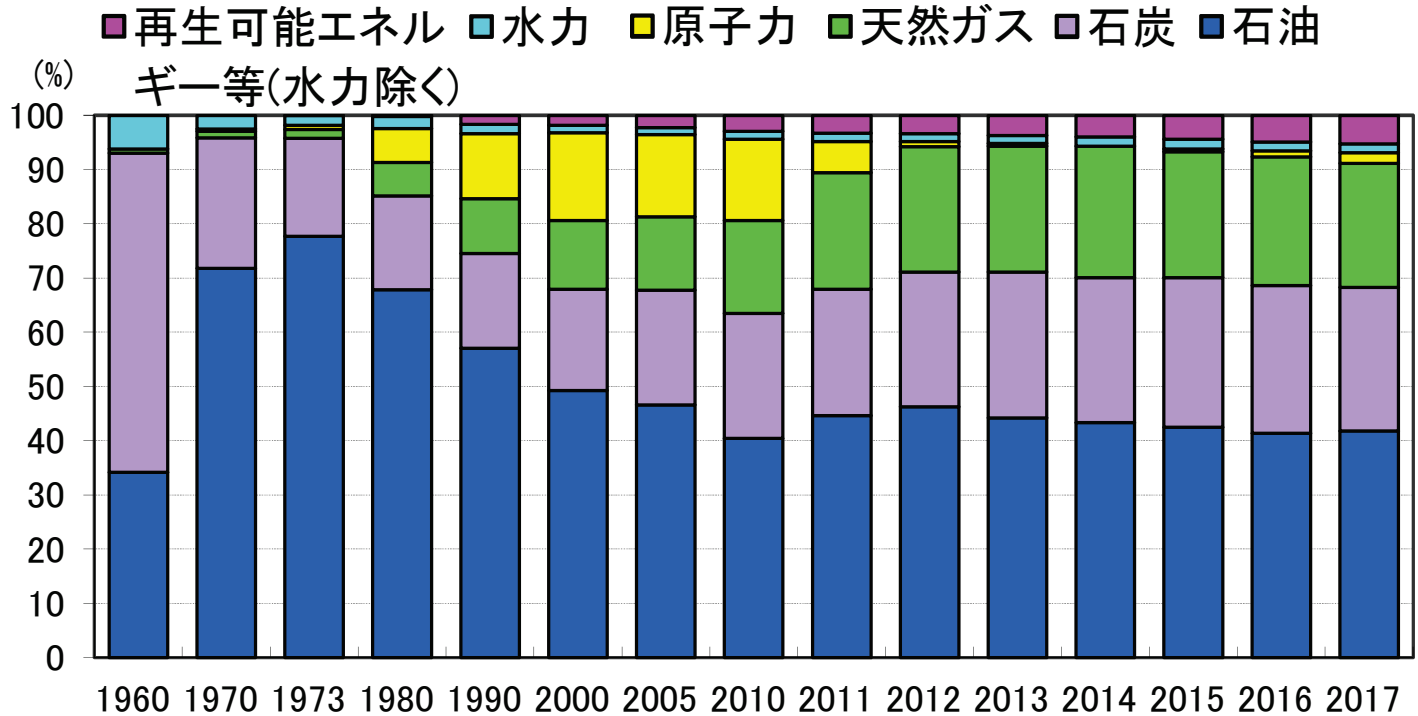
一次エネルギー国内供給の推移



エネルギー自給率の国際比較



日本のエネルギー供給

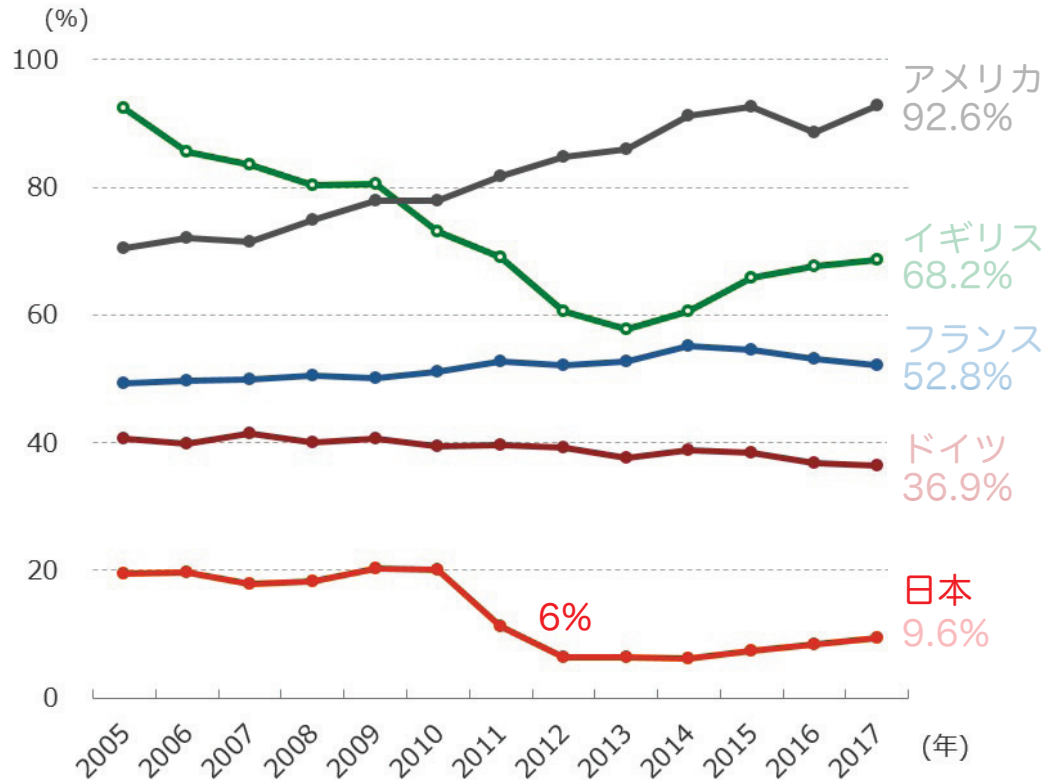


年	1960	1970	1973	1980	1990	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
エネルギー自給率 (%)	58.1	15.3	9.2	12.6	17.0	20.2	19.6	20.2	11.5	6.7	6.5	6.4	7.4	8.3	9.5

日本のエネルギー国内供給構成及び自給率の推移

2018は11.8%

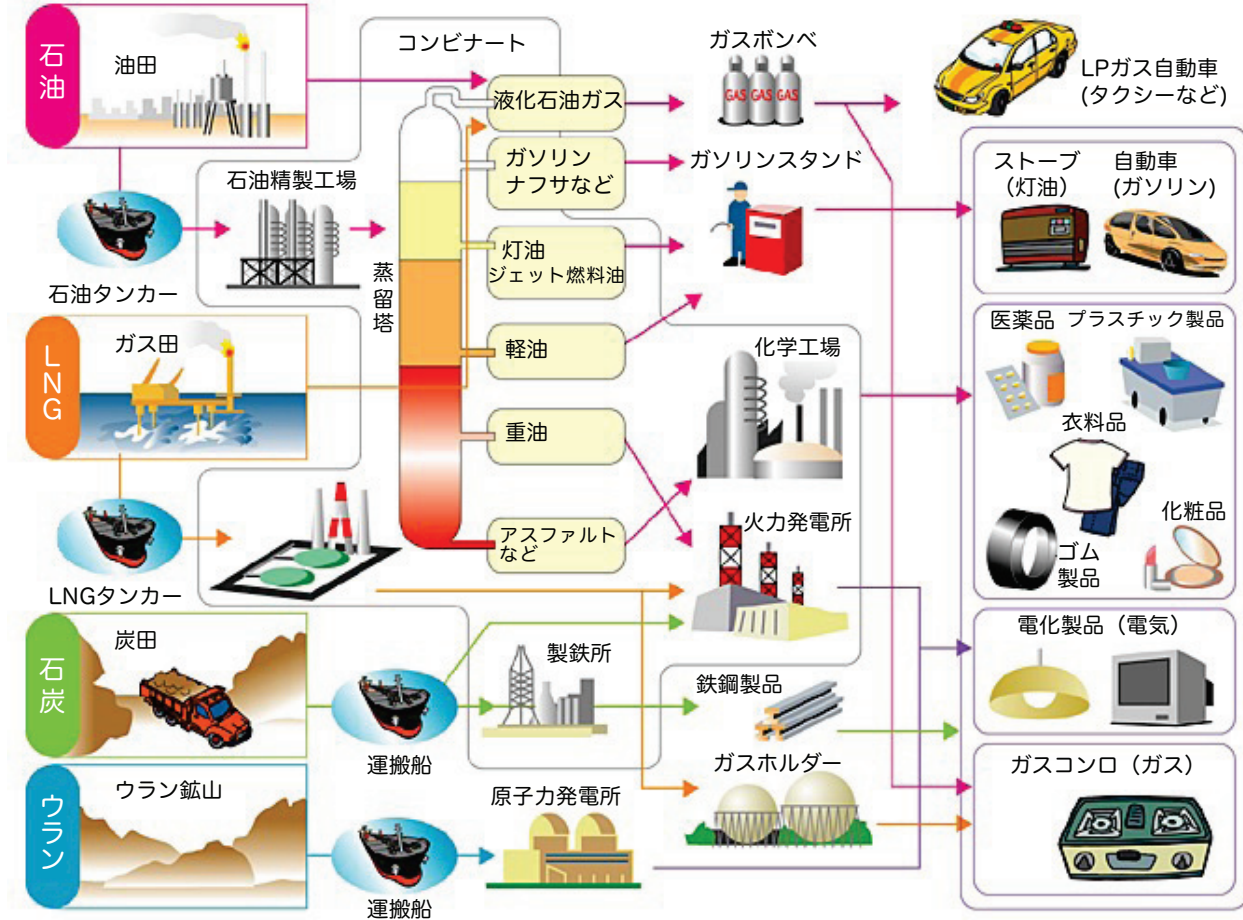
一次エネルギー自給率の変化



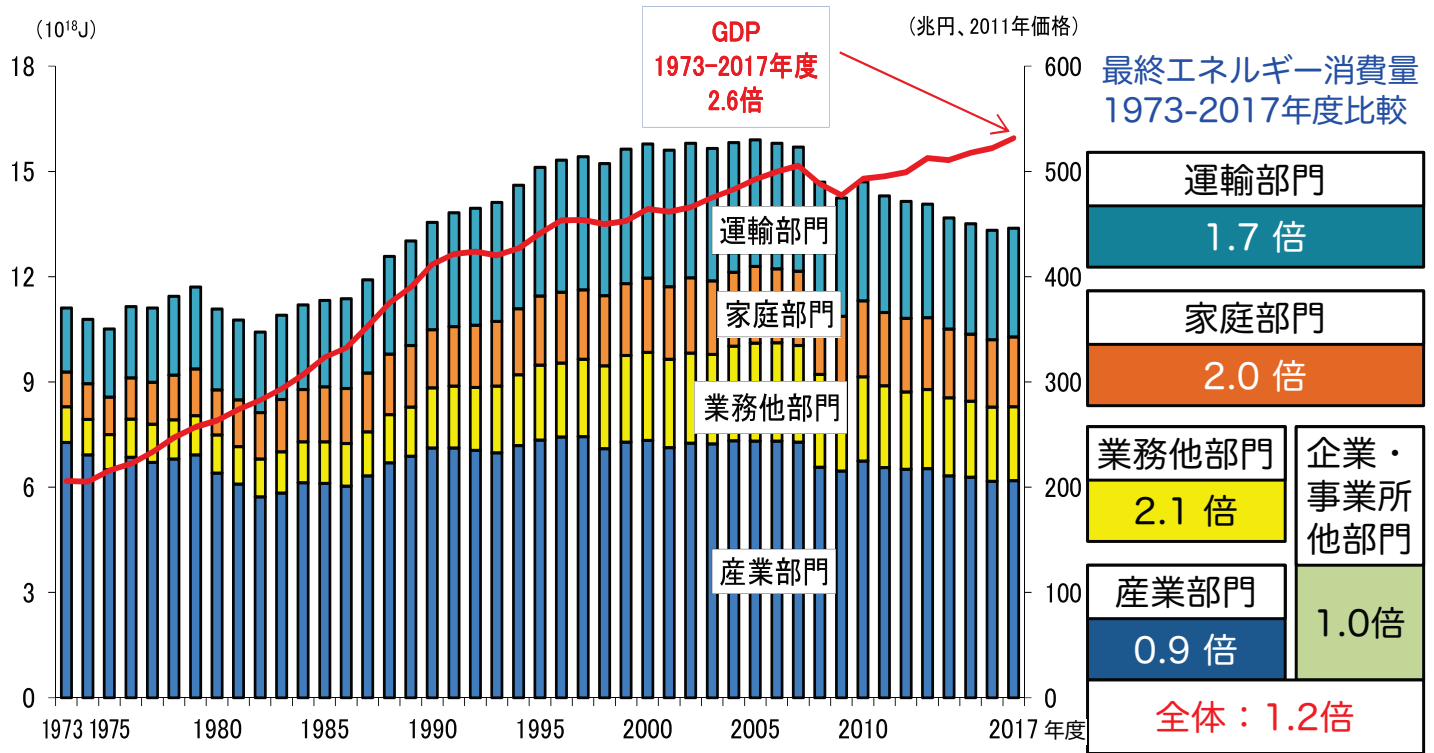
ref) IEA World Energy Balances



エネルギーの供給過程と利用形態



日本のエネルギー消費動向

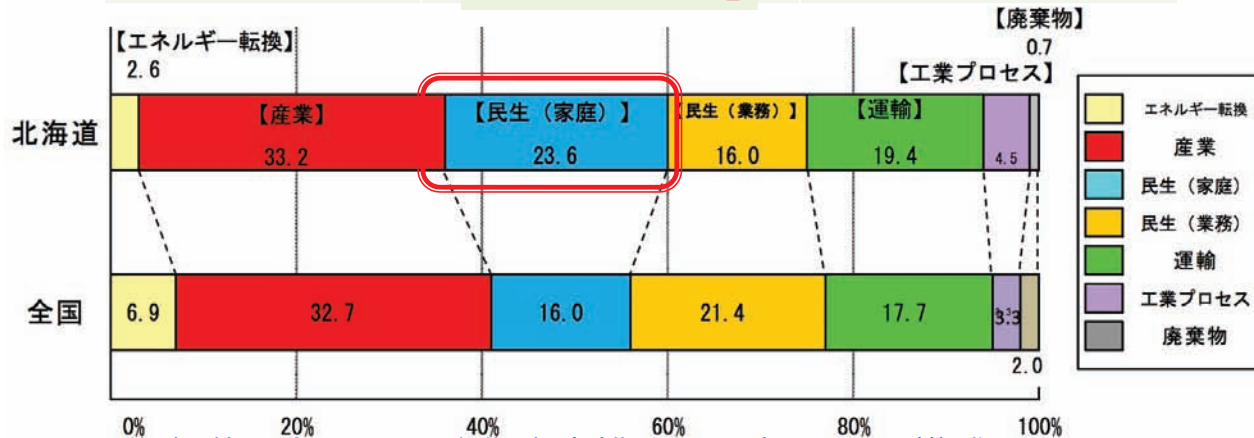


最終エネルギー消費と実質GDPの推移
(エネルギー白書2019)



北海道が抱える問題

	北海道	全国
二酸化炭素排出量	6,513万トン-CO ₂	127,600万トン-CO ₂
一人当たり	11.9トン-CO ₂	10.0トン-CO ₂



北海道と全国の二酸化炭素排出量と部門別の構成比 (2012)

北海道の品目別輸入額(2014)のうち鉱物性燃料の割合は約6割を占める。
(全国平均は約3割)

鉱物性燃料による道内での輸入超過額は9,091億円

⇒北海道経済の活性化の遅れの一因



我が国のエネルギーバランス・フローの概要 ²¹ (2015年度)

単位：10¹⁵J

一次エネルギー国内供給 19,810

エネルギー転換/転換損失 ▲6,262

最終エネルギー消費 13,548

最終E：13,548
一次E：19,810 =68%

原子力発電 79

水力・再可未活エネ 1,680

天然ガス 4,806
輸入LNG 4,695
国産天然ガス 11

石油 8,113
原油 7,408
石油製品 705

石炭 5,133
一般炭 3,619
原料炭 1,456
石炭製品 58

事業用発電

(投入量計 7,195) (産出量計 3,060)
原子力 79 電力 3,060
水力・再可未活 903
都市ガス 124
天然ガス 2,926
石油 609
石炭 2,555

発電損失 4,135

事業用発電 (投入量計 1,268/産出量計 497)

都市ガス製造 (投入量計 1,760/産出量計1,734)

石油製品・石油化学

(投入量計 7,310) (産出量計 7,252)
灯油 551, LPG 199, ガソリン 1,831,
軽油 1,580, 重油 352、石油製品 2,738

蒸気・熱供給 (投入量計 1,270/産出量計1,022)

高炉吹き込み用・セメント焼成用石炭 450

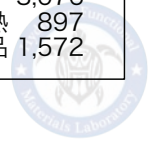
石炭製品製造 (投入量計 1,664/産出量計1,649)

家庭用 1,873
電力 963
都市ガス 402
石油製品 493
その他 15

運輸旅客 1,838
ガソリン 1,413
軽油 127
ジェット燃料 124
LPG・電力他 174

運輸貨物 1,239
ガソリン 305
軽油 799
重油他 134

企業・事業所等 8,598
再可未活エネ 27
電力 2,312
都市ガス 653
天然ガス 62
石油製品 3,076
自家用蒸気・熱 897
石炭・石炭製品 1,572

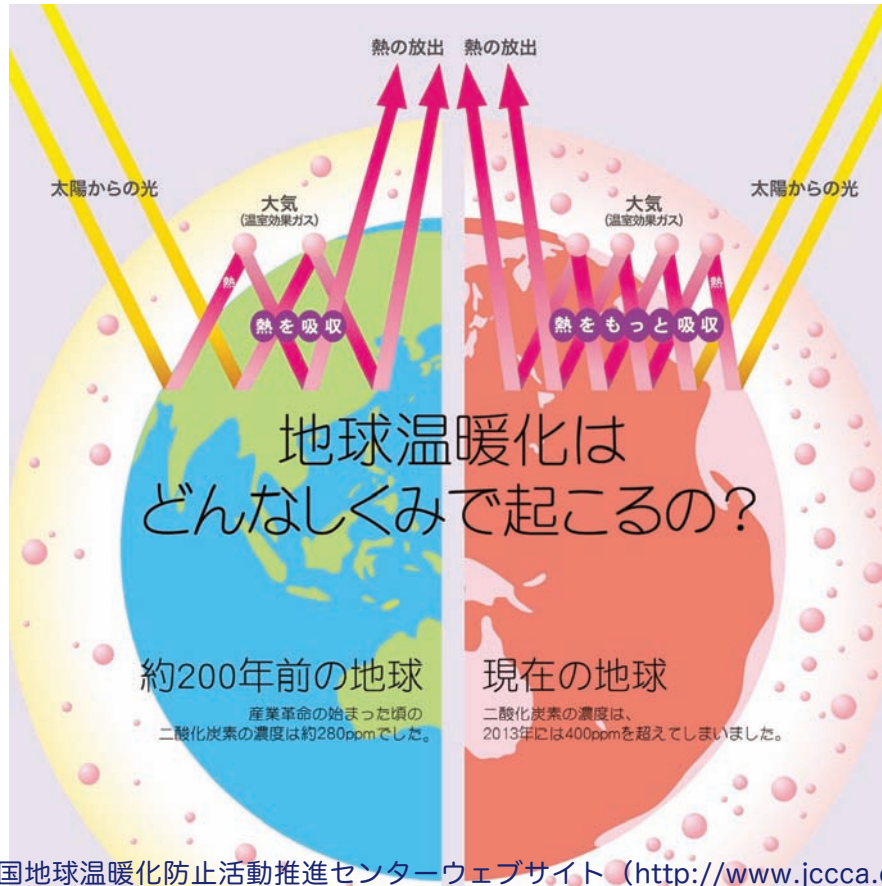


エネルギー概論

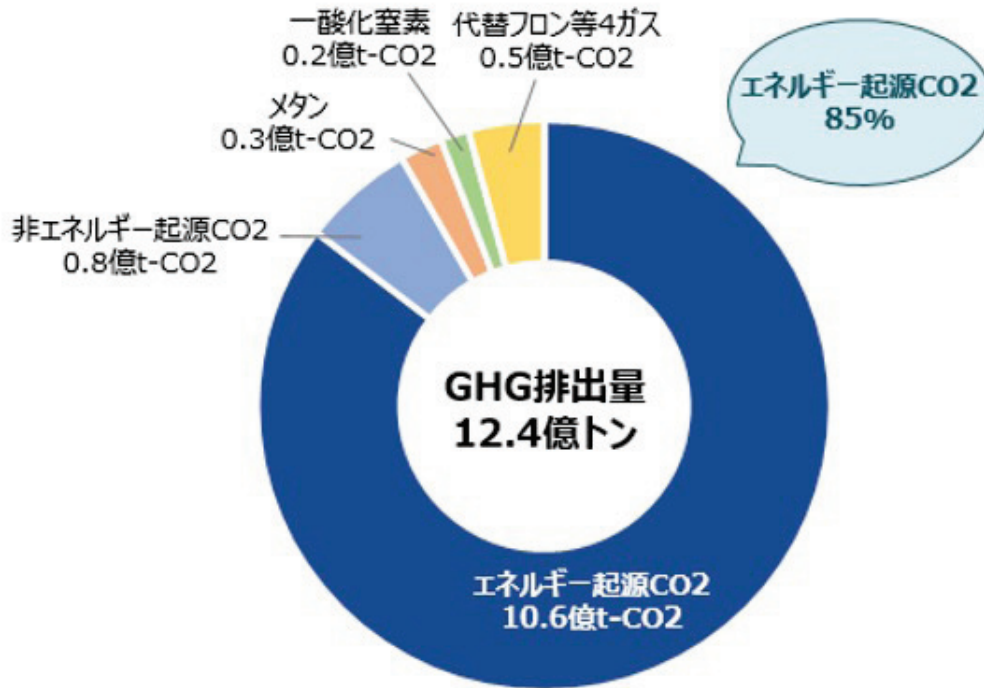
1. エネルギーや環境に対する世界の動き
2. 資源としてのエネルギー（一次エネルギー）
3. エネルギーと環境問題
4. エネルギーセキュリティ
5. 再生可能エネルギー
6. さいごに



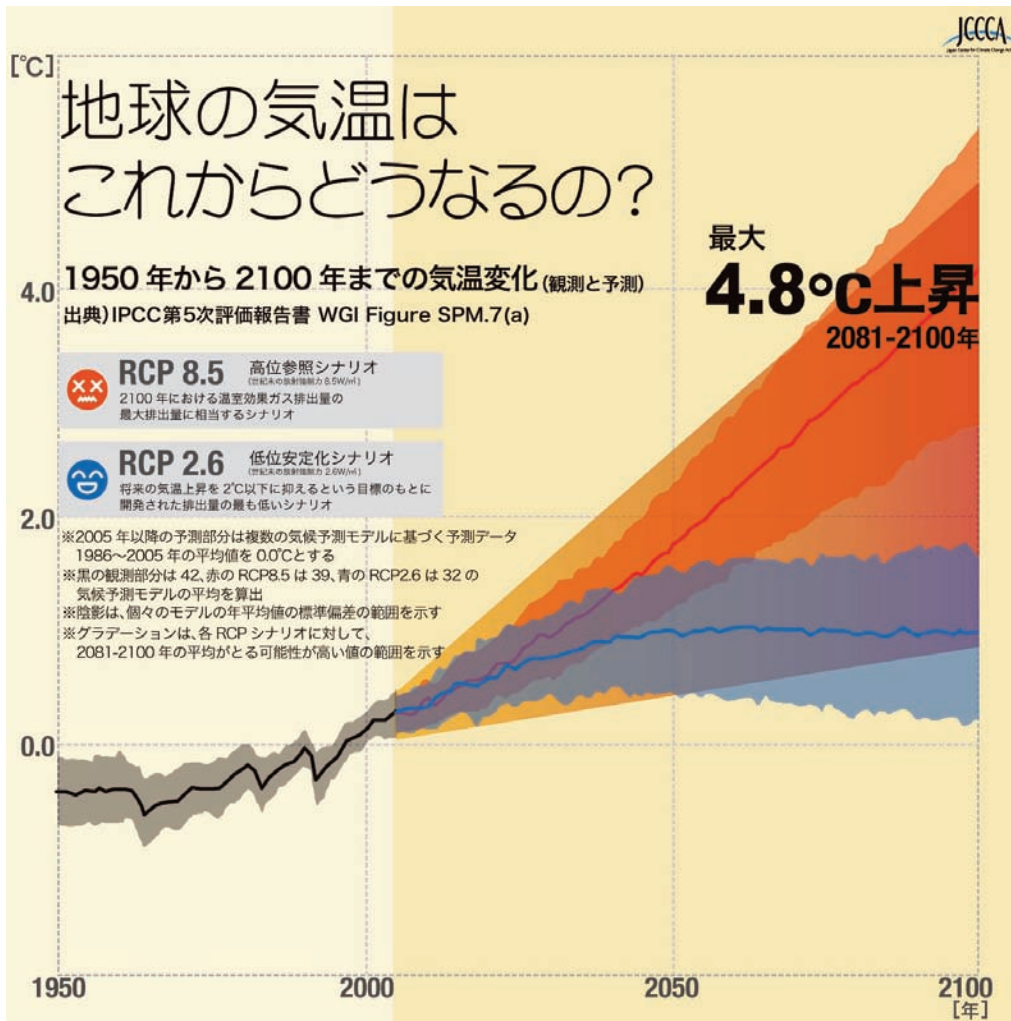
エネルギーと環境問題



温室効果ガス総排出量に占めるガス別 排出量の内訳(2018年)



※CO2以外の温室効果ガスはCO2換算した数値



地球温暖化(Global Warming)の影響予測



✓ 高潮や沿岸部の洪水、海面上昇による健康障害や生計崩壊のリスク



✓ 大都市部への内水氾濫による人々の健康障害や生計崩壊のリスク



✓ 極端な気象現象によるインフラ機能停止



✓ 熱波による死亡や疾病

✓ 気温上昇や干ばつによる食料不足や食料安全保障の問題



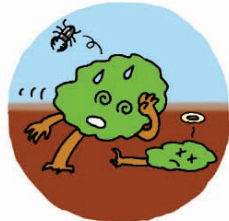
✓ 水資源不足と農業生産減少



✓ 陸域や淡水の生態系、生物多様性がもたらす、さまざまなサービス損失



地球温暖化の影響予測（日本）



ブナ林が大きく
減少する。



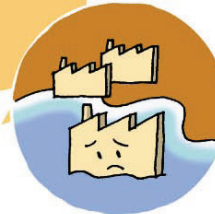
南方で生息する昆虫等が
北に移動する。



豪雨が増加する。
台風の雨量も増える。



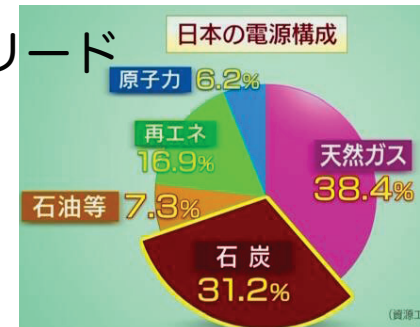
真夏日が大幅に増える。
熱波により、熱中症患者が増加し、
マラリアが発生する可能性が高まる。



- ・人口や産業が集中する
湾岸域が被害を受ける。
- ・1mの海面上昇で約90%の
砂浜が消失する。

地球温暖化に関する世界的な取り組み

- 1992年 気候変動枠組条約
地球サミット(UNCED)で、採択
- 1997年 COP 3 (第3回気候変動枠組条約締約国会議) 京都
京都議定書 (KYOTO Protocol) が採択
→ 先進国に温室効果ガス排出削減目標を課す、
2012年までに日本は-6%の削減目標
- 2015年 COP 21 フランス・パリ
パリ協定 (Paris Agreement) → 196カ国が締結
- 2019年 COP 25 スペイン・マドリード
日本の石炭大量消費について
世界から非難が集中
- 2020年7月3日のニュース
古い石炭火力発電所の発電量 9割程度削減へ



カーボンニュートラル

カーボンニュートラル：

ライフサイクルにおけるカーボン（二酸化炭素CO₂）の排出量を、ニュートラル（中立化）にすることを指す。

$$\left[\begin{array}{l} \text{地球上で生み出される} \\ \text{CO}_2\text{量} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{l} \text{植物の光合成などによる} \\ \text{CO}_2\text{の吸収量} \end{array} \right]$$

排出を全体としてゼロにする。つまり、
実質的なCO₂排出量の「プラスマイナスゼロ」

エネルギーの消費
生産・製造活動
畜産 など

植物による光合成→植林
CO₂回収・固定化
CO₂貯留→CCS

菅総理の所信表明演説 (2020/10)

「我が国は、2050年までに、温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする、すなわち2050年カーボンニュートラル、脱炭素社会の実現を目指すことを、ここに宣言いたします」

エネルギー概論

1. エネルギーや環境に対する世界の動き
2. 資源としてのエネルギー（一次エネルギー）
3. エネルギーと環境問題
4. エネルギーセキュリティ
5. 再生可能エネルギー
6. さいごに



エネルギーセキュリティ

(energy security : エネルギー安全保障)

エネルギーセキュリティ

市民生活、経済産業活動のために、環境への影響を考慮しつつ、必要十分なエネルギーを合理的な価格で継続的に確保すること

長期的視点：経済発展や環境保全を考慮に入れた上でエネルギー供給のために必要な政策、外交、投資を適宜行う

エネルギー自給率：化石燃料の定常的確保・備蓄、原子力燃料

短期的視点：突発的なエネルギー需給の変化に即時的に対応

東日本大震災：局地的な、停電、ガソリン不足など

必要なエネルギーが使いたいときに使えない。

国の政策レベルだけでなく、地方自治体による対応策が求められるように



東日本大震災及び東電福島原発事故 ³² により顕在化したこと

- ✓ 地震・津波等のリスク
 - 地震や津波の再評価、テロ発生リスク等。
- ✓ 原子力発電の安全性への懸念
 - 過酷事故対策、防災対策に対する反省
- ✓ 原子力発電の停止、電力の供給不足の懸念
- ✓ 電力の広域活用の限界
 - 脆弱な送電広域ネットワーク
- ✓ 燃料輸入増などによるエネルギーコスト上昇
- ✓ 火力発電などの老朽化
- ✓ 脆弱な石油・LPガス・天然ガスのサプライチェーン
 - 緊急時の供給・流通体制整備が課題



エネルギー問題の複雑性

- ✓ **資源問題** 世界規模
化石エネルギーなど有限資源
- ✓ **環境問題** 地域～地球規模
エネルギー消費によるCO₂排出
- ✓ **安全保障問題** 地域～国内・国際規模
有事の国内または地域のエネルギー
調達・供給



エネルギー概論

1. エネルギーや環境に対する世界の動き
2. 資源としてのエネルギー（一次エネルギー）
3. エネルギーと環境問題
4. エネルギーセキュリティ
5. 再生可能エネルギー
6. さいごに



再生可能エネルギー (Renewable Energy)

Sustainable Energyとする国もある。

- 枯渇しない
- どこにでも存在する
- CO₂を排出しない（増加させない）

✓ 一次エネルギー



再生可能エネルギー

我が国では、

再生可能エネルギーは、エネルギー供給構造高度化法で「エネルギー源として永続的に利用することができる」と認められるもの」として、太陽光、風力、水力、地熱、太陽熱、大気中の熱その他の自然界に存する熱、バイオマスが規定されている。再生可能エネルギーは、資源が枯渇せず繰り返し使え、発電時や熱利用時に地球温暖化の原因となる二酸化炭素をほとんど排出しないエネルギーである。



太陽光発電

年間発電量

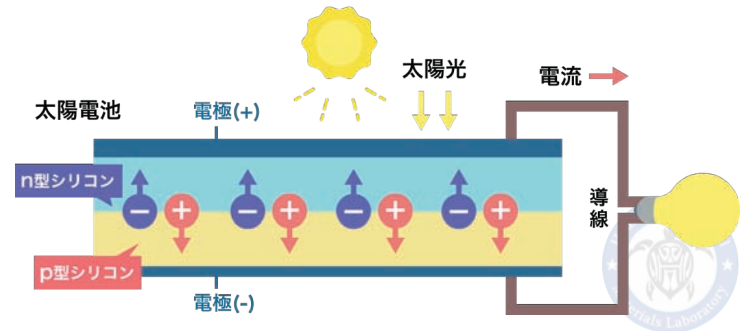
12万kW(2000年) →531万kW(2012) →4,229万kW(2016)

- ◆ 太陽光エネルギー源：太陽光
- ◆ 未利用スペースに設置可能
- ◆ 送電設備のない山岳部、農地などの電源として活用
- ◆ 災害時などの非常用電源



課題

- ✓ 気候条件により発電出力が左右される。
- ✓ 更なる低コストに向けた技術開発が重要。



風力発電



- ◆ 陸上と洋上で発電が可能
- ◆ 夜間も稼働
- ◆ 日本でも大きな導入ポテンシャルを持つ洋上風力発電も検討・計画
- ◆ 経済性を確保できる可能性
- ◆ 大規模に発電できれば発電コストが火力並み
- ◆ 変換効率が比較的良い

課題

- ✓ 風車の高さやブレードの軽量化に期待
- ✓ 世界では風力発電の発電コストは急速に低下しているが、日本の発電コストは高止まり状態
 - 国内では大規模化が鍵
- ✓ 開発段階での高い調整コスト
- ✓ →系統制約、環境アセスメントの迅速化、地元調整等



水力発電



- ◆自然条件によらず一定量の電力を安定的に供給が可能
- ◆長期稼働
- ◆成熟した技術力

課題

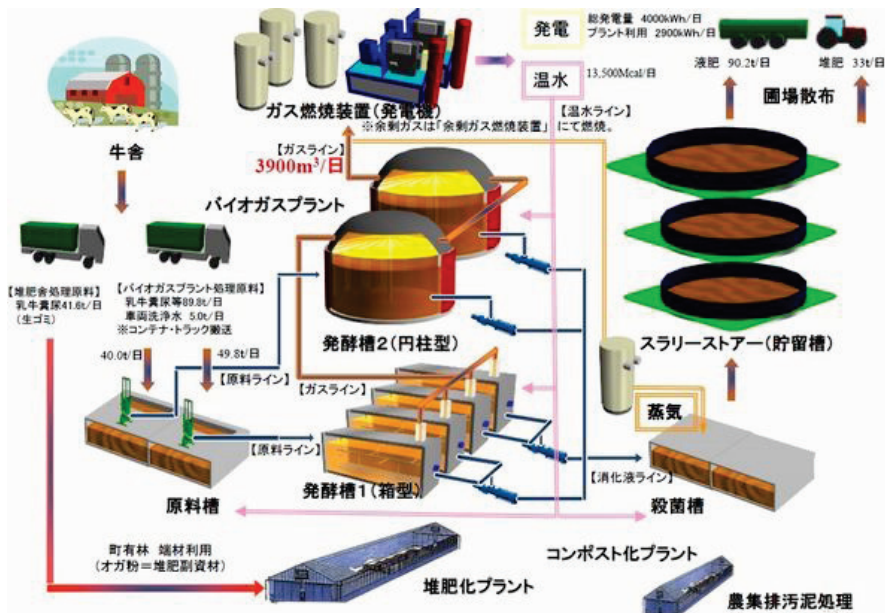
- ✓ 事業の開始前の長期調査が必要
- ✓ 地域理解の促進が不可欠
- ✓ 導入コストが高い

バイオマス

- ◆ 循環型社会を構築：未活用の廃棄物を燃料とする
- ◆ 地域環境の改善：家畜排泄物や生ゴミなど、捨てていたものを活用

課題

資源が広い地域に分散しているため、収集・運搬・管理にコストがかかる小規模分散型の設備になりがち



鹿追町バイオガスプラント

約2万頭の乳牛から毎日大量に発生するふん尿 (130ton/day)

ふん尿を発酵させてバイオガスを生成するプラント

バイオガスを燃焼装置に送って発電し、電力・温水・蒸気を各施設に供給



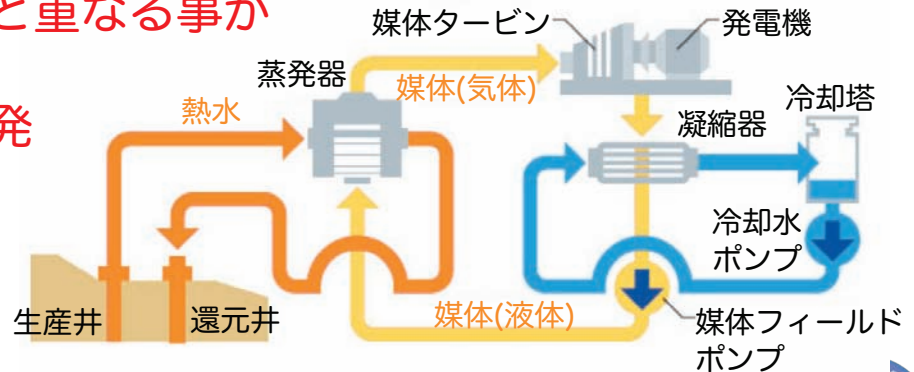
地熱発電

- ◆ 高温蒸気・熱水の再利用可能
- ◆ 持続可能な再生可能エネルギー
- ◆ 昼夜を問わぬ安定した発電

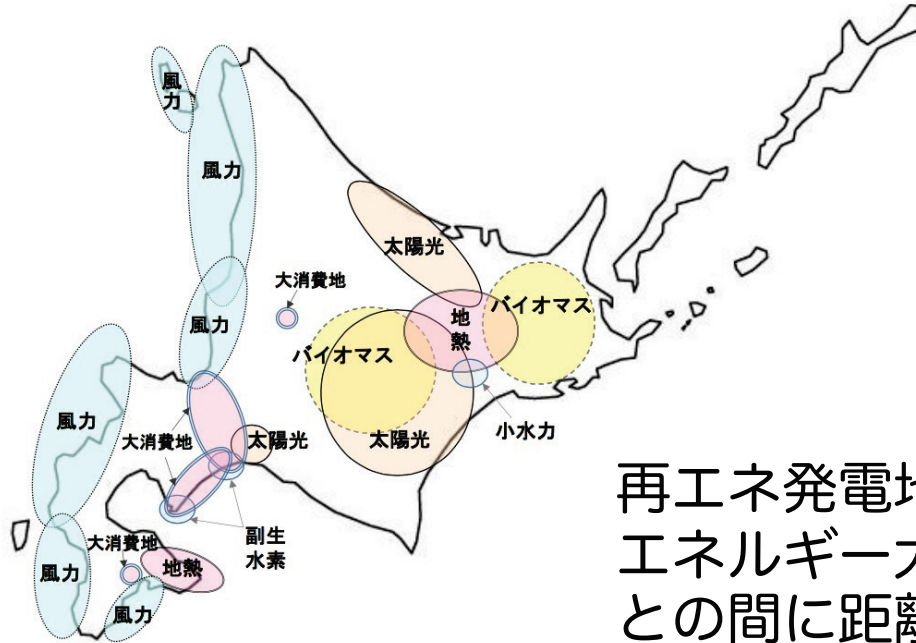


課題

- ✓ 立地地区は公園や温泉などの施設が点在する地域と重なる事が多い
- ✓ 地熱直接利用の開発



北海道内の再生可能エネルギーの分布



再エネ発電地域と
エネルギー大消費地域
との間に距離

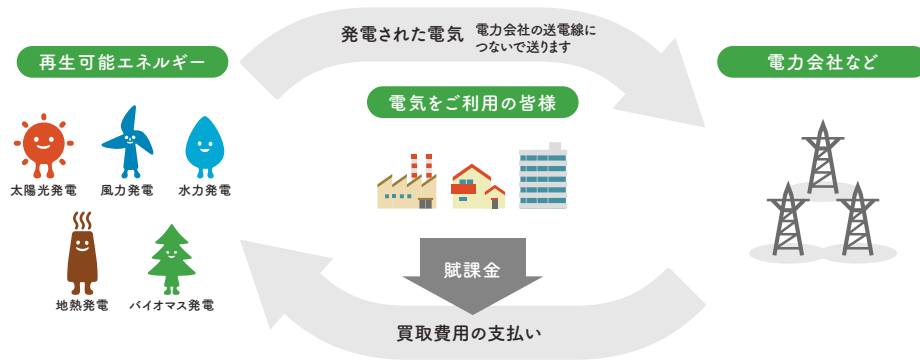
普及に向けた問題点：道内の送電系統が弱い

エネルギーの輸送手段として、
水素エネルギーのサプライチェーン技術に期待。



日本における再生可能エネルギー導入促進の取り組み FIT制度（固定価格買取制度）

FIT制度（Feed-in-tariff）固定価格買取制度



太陽光発電や風力発電などで作られた電気を、国が定めた価格で買い取るように電力会社に義務づけるための制度(2012年制定)
ドイツ（1991）、スペイン(1992)のほか50カ国以上、25以上の州・地域で使用

（買い取り価格分を）だれが負担しているのか？

「再生可能エネルギー発電促進賦課金（再エネ賦課金）」という形で、電力会社の系統電気（一般の電気）の利用者が負担。

電気料金の領収書

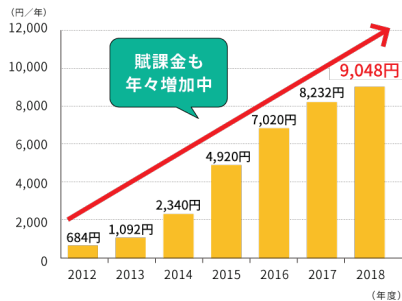
基本料金 + 電力量料金 + 再エネ賦課金
= 毎月の電気代

今月分の計算金額（概算） **X,XXX 円**
 うち再エネ発電賦課金 **XXX 円**

再エネ賦課金 再生可能エネルギー発電促進賦課金

風力発電・地熱発電・水力発電などの再生可能エネルギー発電を普及・拡大させることを目的に、電力会社が再生可能エネルギーを買い取る際の費用を消費者が負担するもの

制度が導入されてから
 再エネ発電量は増加
 再エネ賦課金も増加



1年間の再エネ賦課金支払い額（一般家庭）

いつもご利用いただきありがとうございます。
電気ご使用量のお知らせ
 札幌市中央区大通東1丁目2番地
 北電 太郎 様

(ホケレン 知り)

1 お客さま 発行：支店：ブック：住所：地区：契約№：従量：種別
 番号 99：9：99：999：99：999：99：21

*お問い合わせの際は、上記のお客さま番号をお申し出ください。

2 20XX年 1月分 (12月XX日から1月XX日まで)
 ご契約種別 従量電灯B
 ご契約電流 30 A

3 ご使用量 230 kWh
 【前月分のご使用量】 255 kWh
 【前年同月分のご使用量】 270 kWh

指示値内訳
 今月指示数 0330
 前月指示数 0100
 差 引 230
 乗率(倍) 1
 計器番号 001

今月分の計算金額(概算) X,XXX 円
 うち再エネ発電賦課金 XXX 円

*上記金額は、実際の請求額とは異なる場合がございます。

4 燃料費調整率値(1kWhにつき) 当月 ¥円××銭 翌月 ¥円××銭
 5 再エネ発電賦課金率値(1kWhにつき) 当月 ¥円××銭

6 今月検針日：1月XX日 *お支払いが支払期日を超えた場合、
 振替予定日：1月XX日 原則として、電気料金に対して
 7 支払期日：2月XX日 年10%以内あたり約0.0%の遅延
 次回検針日：2月XX日 利息をお支払いいただきます。
 検針者：XXX XXX

8 電気料金領収証(口座振替用) 20XX年12月分
 下記金額を口座振替によりお支払いいただきました。
 領収金額 X,XXX 円
 うち燃料調整費額 XXX 円
 うち再エネ発電賦課金 XXX 円
 うち消費税等相当額 XXX 円
 ご使用量 255 kWh
 口座振替月日 1月XX日

ご連絡欄

9 ◎供給地点特定番号 01-0999-9999-9999-2100
 ◎都合により表示できない項目は、【*】表示とさせていただきます場合がございます。

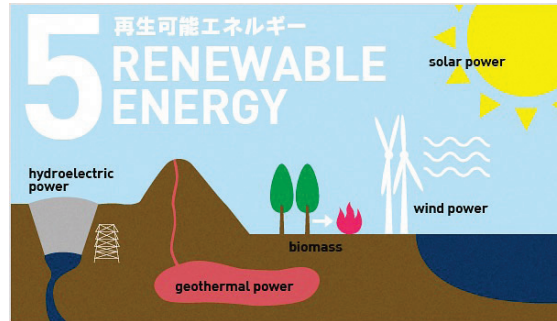
◆契約・検針・請求に関するお問い合わせ先 XXXX-XX-XXXX
 ◆お引越し・アンペア変更のご連絡先 XXXX-XX-XXXX
 ◆停電・電気設備に関するお問い合わせ先 XXXX-XX-XXXX

ほくでんサービス株式会社 (株) 料金請求業務委託会社
 北電 太郎 様へ
 北電 太郎 様へ
 北電 太郎 様へ

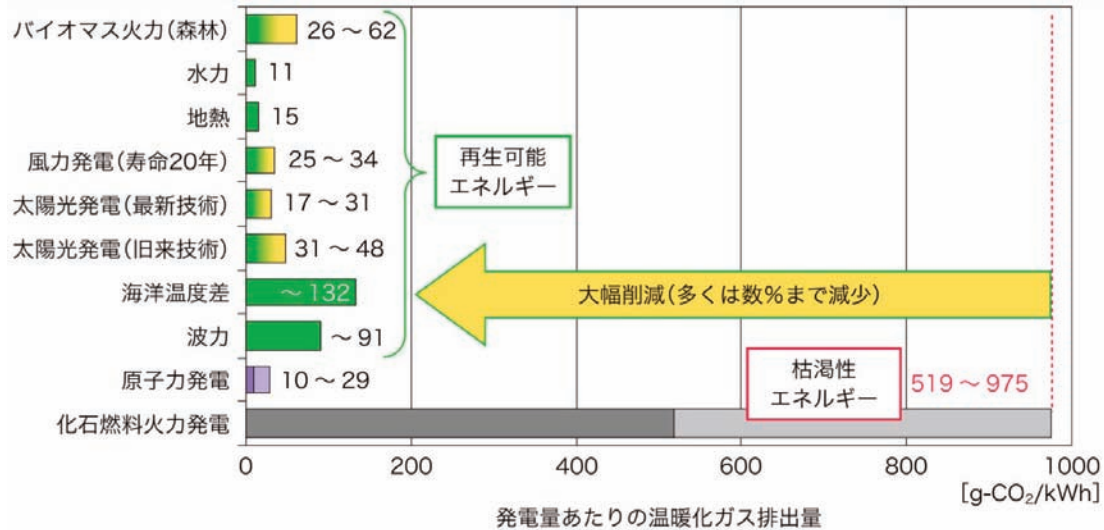
※このお知らせは、料金を集金することとはございません。



主な再生可能エネルギー



太陽光
風力
水力
バイオマス
地熱



従来エネルギーと再生可能エネルギーのCO₂排出量の比較

エネルギー概論

1. エネルギーや環境に対する世界の動き
2. 資源としてのエネルギー（一次エネルギー）
3. エネルギーと環境問題
4. エネルギーセキュリティ
5. 再生可能エネルギー
6. さいごに



環境調和材料

本講義では、再生可能エネルギーを有効に活用するためや、環境負荷低減に貢献する

- ・ エネルギー変換材料
燃料電池の電極・電解質、
太陽電池材料、機能変換材料など
- ・ エネルギー貯蔵材料
水素吸蔵合金、二次電池電極、
熱貯蔵、断熱材料など

などを環境調和材料と定義する。



本日のまとめ

1次エネルギー

- ・ 枯渇性エネルギー
- ・ 再生可能エネルギー

2次エネルギー

→電気、都市ガス、水素

エネルギー問題

カーボンニュートラル

- ①資源問題、 ②環境問題、 ③安全保障

再生可能エネルギー

「枯渇しない」

「どこにでも存在する」

「CO₂を排出しない(増加させない)」

太陽光
風力
水力
バイオマス
地熱

環境調和材料

再生可能エネルギーを有効活用し、環境調和型の材料