

# 先進エネルギーシステム論

エネルギー科学研究科エネルギー変換科学専攻

# 先進エネルギー評価論

地球環境学舎サステナビリティ学コース

## 未来エネルギーシステム技術とメタ評価

—革新エネルギー、核融合、地球環境、水素社会  
その技術と経済、社会への適合—

### 9：エネルギーとセキュリティ、電力システム

2020.6.22 前期 月曜 4限 web配信

京都大学エネルギー理工学研究所・エネルギー科学研究科

小西哲之・八木重郎

# 内容

## 1. 未来のエネルギーと環境

- ① エネルギー問題
- ② 地球環境問題
- ③ 未来エネルギーの考え方
- ④ なぜ核融合を研究するのか？
- ⑤ メタ評価とは何か？

## 2. 核融合入門

- ① 原理と特徴
- ② 開発の現状

## 3. 核融合エネルギー変換と炉設計

- ① トカマク炉設計
- ② エネルギープラント

## 4. 核融合工学

- ① 基本的な工学
- ② 核融合炉の構成機器
- ③ 工学研究の現状
- ④ 技術課題とトピック

## 5. 安全性

- ① 安全性の考え方
- ② 動力プラント安全
- ③ 廃棄物と材料
- ④ トリチウム、環境、生物
- ⑤ ベイズ理論
- ⑥ 安全保障

Physics Today, vol.55, No.4 (2002)



## 6. 先進エネルギー変換

- ① サプライチェーン
- ② 核融合ブランケット工学

## 7. 未来のエネルギーと社会

- ① 未来型エネルギーシステム
- ② 電力システム
- ③ 二酸化炭素排出とCCS

## 8. 核エネルギーの利用

- ① 核融合と核分裂
- ② 核エネルギーによる水素製造
- ③ 水素製造とエネルギー源
- ④ エネルギーと水素社会

## 9. エネルギー研究と社会

- ① 研究開発と社会
- ② 経済効果と市場性
- ③ 外部性の概念
- ④ 知的財産権と企業・起業

## 10. 未来エネルギーと人類社会

- ① エネルギー開発戦略
- ② 未来のエネルギー市場
- ③ 環境対策とエネルギー
- ④ 社会への適合
- ⑤ 人類の持続可能性問題

# 0. 連絡事項

## 1. 講義資料

- ・PandA で配信しています。
- ・受講者のみ視聴可能、ダウンロードはできません。
- ・授業資料も、受講者のみ閲覧可能です。配布しないでね。

## 2. 本講義の進め方(再掲)

- ・成績は出席および小テストでつけてます。期末試験、レポートなし！
- ・Zoom視聴は、なるべく大画面で、資料見ながらがいいです。携帯、第2画面は有効に使いましょう。チャットも使ってください
- ・授業をインターラクティブにするために、Comment Screen

<https://commentsscreen.com/comments?room=fusion!>

導入しました。生主です。積極的に発言等、してください。

## 3. おしらせ

- ・来週、八木先生です

## 前回の課題 1

①未来世代と今の世代の間の富と被害の分配を考えてみよう。

—未来のために、地球環境をなるべく変えないで残した方がいい？

それとも、社会建設を先にして、環境修復を任せた方がいい？

② 放射性廃棄物を何10万年も残していい？

それとも、将来の進んだ科学に処理を任せる？

これも、「世代間の問題」だけど。

## 前回の課題

(1) 未来のために資源を節約して残しておいた方がいい？  
それとも、資源を使って豊かな社会を残した方がいい？

— 資源は、採掘技術も利用技術も研究開発により変わる。  
「枯渇」がなぜ起きないか、資源がなぜシフトするか  
(変遷するか) 考えれば、資源は使っちゃった方がいい  
ことになる。

今、「石」が残っていてうれしいか？ 将来の人が今と同じ  
石油やガスをありがたがるか？ 既に石炭もありがたくない？  
ウラン、トリウム。。使うかなあ？  
水銀、鉛、銀... 使わなくなった資源、いっぱいあります。  
レアアースなんかもおそらく近い将来代替される。

— しかし、森林はなくなってしまって困ったことは結構  
あります。困るタイミングでなくなると、やはり困る。

## (2) カーボンバジェット。

先に多く二酸化炭素を出してしまった国はもう出してはいけない？

「環境容量」についての考え方は少し違う。

「容量」が資源であるなら減らしてはならないし、増やすことが価値の創造。

一環境は、何もしなければ壊滅的に悪化する。

「保存」はあり得ない！放置でなく、対策しないと。

そして、相当の努力をしても気候変動は起こる。

技術開発により、「持続可能型」社会が建設できなければ、おそらく人類文明は終わる。

「世代間衡平」。

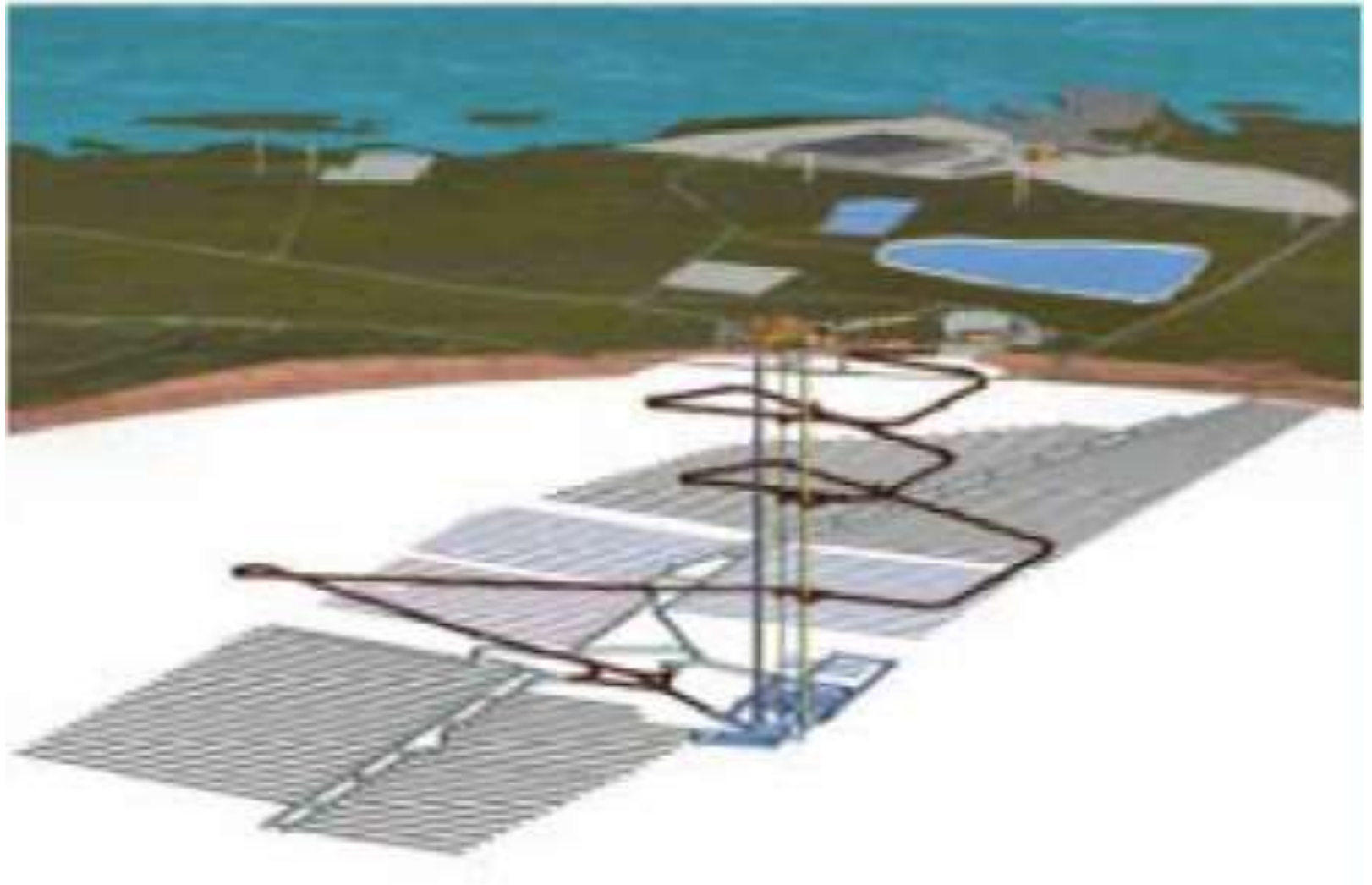
もしも「成長」が続き、GDPが増え続け、技術が進み続け、社会インフラが整備され続けていけば、未来世代は

一より豊かで

一より環境変化に脆弱性が少なく、

一より環境と調和した生活ができているはず。

原子力の最終的な制約への対応はこれ。。。



フィンランドで建設が進められている使用済み核燃料の最終処分場。  
Posiva社ウェブサイトより。

**現世代は、処理のための投資と、未来のための開発はしている。**



再生可能エネルギーも、有限な「資源」で制約されている。

需要曲線。

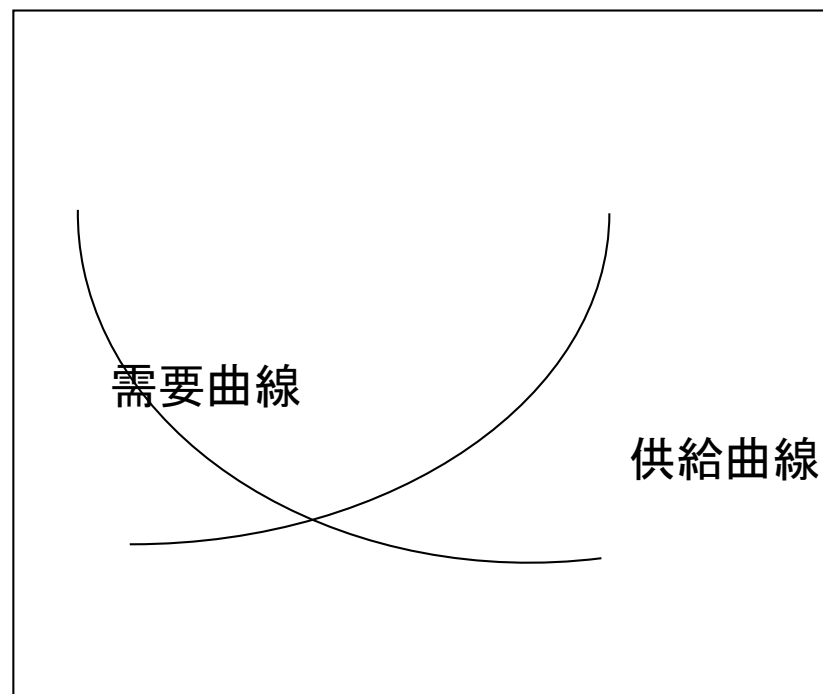
最初は高くても売れるが、  
安くなれば需要が増える

⇔多く売るには安くしないと。

供給曲線

価格が上がれば供給が  
増える。

⇔多く供給すれば価格は  
上がる。



→均衡した点で需給バランス

→無限に売れ続けるものはない。

エネルギー市場では、決定的に供給が高くなってしまいう制約が存在している。

## 3. 外部経済効果

- 産業技術効果—技術力の向上
- スピンオフ、いわゆる技術波及
- 産業連関表に現れない(つまり直接の取引ではない)関係
  - 産業の裾野が広い
  - 広範囲、遠隔地にも影響する
  - ハイテク分野に効果が大きい
- 発生するまで長時間を要する

## 4. エネルギー技術の売上げ

- 投資の本来の目的
- 通常の投資としては成立しない長時間を要する
- 温暖化ガス削減効果も内部化されればこの範疇



# エネルギー技術の影響

Institute of Advanced Energy, Kyoto University



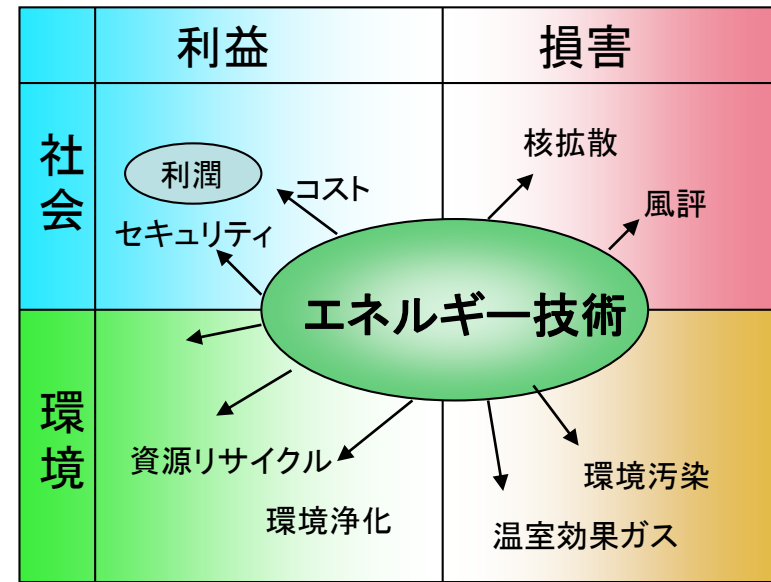
1. 技術開発は、経済的には「投資」なのだから、「投資対効果」の評価がよくなければ、行われない。
2. エネルギー技術はリスクを必ず持つ。その被害額も計算でき、評価できる。(ただし、実際に利用された後のこと)
3. エネルギー研究開発投資は、エネルギー関連業界の経費のひとつ。
4. エネルギー研究開発投資は、科学技術研究開発投資のひとつ。
5. エネルギーは、実際に利用されると、社会と環境全般に大きな影響を及ぼす。それらはほとんどコストに含まれていない。(外部性)

- ・エネルギー技術は本来的経済価値を持つ。
- ・エネルギー技術は、社会での運用において様々な経済価値換算可能な影響を生む。  
「外部性」(外部経済性) — 市場を介さない経済的影響もある。

- 負の環境影響: 環境汚染・環境破壊、健康被害。温室効果ガス。
- 正の環境影響: 環境浄化、緑化。温室効果ガス削減。廃棄物処理。
- 負の社会影響: 社会の非受容。風評被害。災害リスク。核拡散、軍事利用、テロ。
- 正の社会影響: エネルギーセキュリティ。価格上昇防止効果。  
社会インフラ・生産力・技術力。災害防止効果。

- ・エネルギー技術が社会に与える利益と損害は、すべての効果の総和で評価される。
- ・投資者が国家であれば、国家の機能としての政策における効果で評価される。
- ・市場における売り上げはその経済影響の一部にすぎない。
- ・発電コストは市場選択の(一つの)指標になるが、社会的選択の指標にならない。

←ただし、エネルギー技術の影響はエネルギー供給市場での影響力に相関する。



## 前回の課題 2

エネルギー研究（先端技術研究）。環境研究。

それらは、もしかすると軍事研究と隣り合わせ．．． どうか、  
実はかぶっていることもある。

君自身の研究は、おカネにならなくても、国や社会、  
人類に役に立つ（どのようにして？）その一方では、

- ① 君自身の研究はどのように人殺しや大量破壊兵器に  
つながりうる？
- ② 論文、学会発表を含め、君自身の研究行為は、人殺し、  
大量破壊兵器に使われうる。  
．．． としたら、どうやって、それを防止する？



# この問題には、れっきとした答えがあります！

1. どんな先端技術研究も悪用は可能です！
  - それを最も早く、最もよく知っている人間（君だよ！）は、その可能性に気付ける。
    - ➔防止策を考えられる。
2. 情けなくて、後手に回るけど、常に対策は可能。
  - ルールはあります！ルールを知り、守りましょう。
  - さらにそのルールを修正し、変更し、追加することもできます。
3. 「いいはずなのに結果的に悪い」こともあります。
  - 人を直接殺さない、文系の仕事、環境や安全の仕事、は、より大規模に、より組織的に、悪い結果を及ぼすことがあります。
  - （研究や発表を）やらないこと、心がけること、は、ほとんど解決になりません！

## 前回の課題 2

ハイテク研究（先端技術研究）。

最先端の研究は、常に民生用のコスト競争以前には、性能のみを追求している。。

③ 君の研究が防衛産業から出資されているらしい。  
あるいは君の就職先では防衛利用可能な研究をしている。

—止める？反対する？本当にいけないこと？

研究者が、研究しない、発表しない、教えない、は  
組織や国家の前には無意味。  
代わりはいくらでもいる。



# 他のエネルギー技術は？

Institute of Advanced Energy, Kyoto University



## エネルギーセキュリティ

- すべてのエネルギー技術はエネルギーセキュリティ確保に有効
- 「エネルギーセキュリティ」は「戦争遂行能力」と同義
- 多くの国で、エネルギーは国家セキュリティ問題と考えている

## エネルギー技術

- エネルギー技術、特にハイテクは軍事転用は常に可能
- 原子力だけでなく、バイオ技術や化学も大量破壊に応用可能
- エネルギー産業、エネルギー施設は国家セキュリティ上重要

→ エネルギー価格上、割に合わなくても多くの国は独自のエネルギー政策を持つ。



# いわゆるハイテク技術は？

Institute of Advanced Energy, Kyoto University

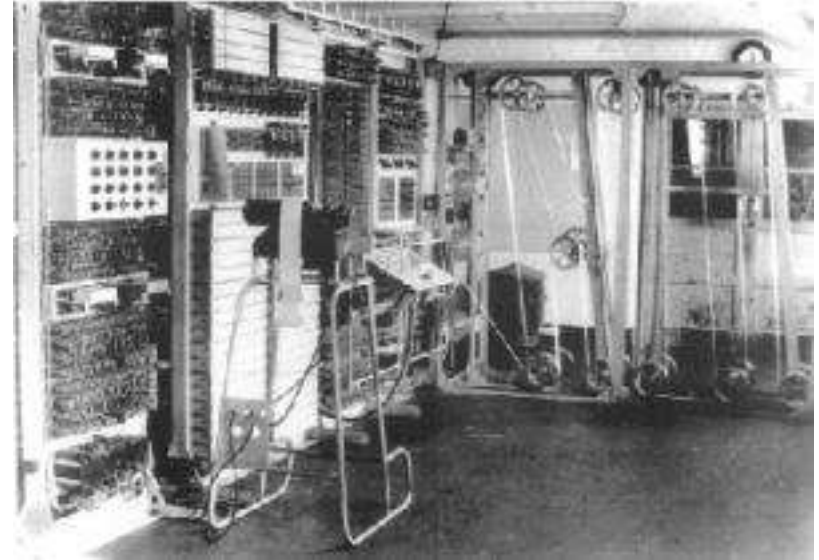


## ハイテク技術

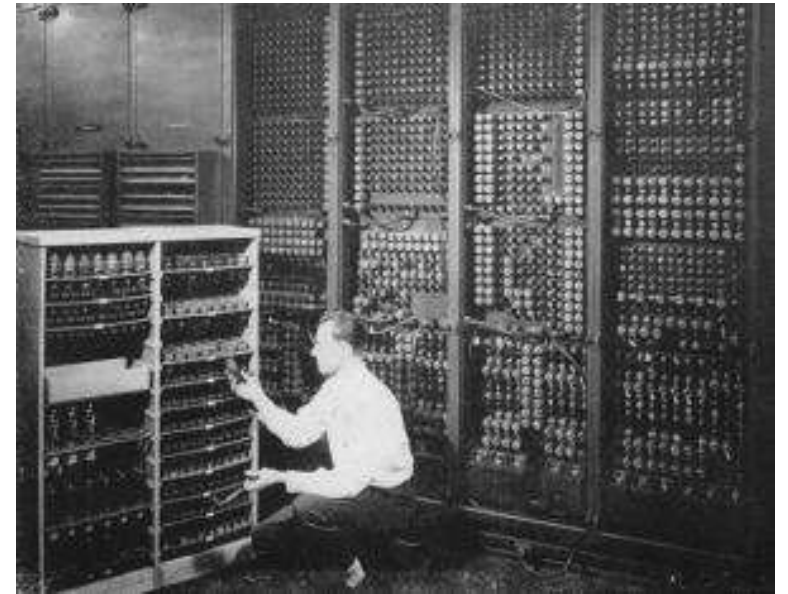
- 高度な技術、特殊材料、多大な研究開発資源を投入  
➡最高性能を求める
- これは当然のことながら「コスト度外視」の製品になる
  - 宇宙開発
  - 最高性能の航空機、自動車（F1とか）、
  - 最高性能の計算機、AI、加速器、エネルギー機器
  - バイオ技術、遺伝子操作、ファインケミストリー。。
- 「高度先進技術」は「戦争遂行能力」と同義
- 多くの国で、ハイテク技術は国家セキュリティ問題と考えている
  - 国家政策上、コストで割に合わなくても多くの国は独自の科学技術研究政策を持つ。

## コンピュータの発生

- ・コロッセス。1943年イギリス製
- ・真空管2500本、5kHzクロック、4.5KW、
- ・ドイツの暗号「エニグマ」を解読
- ➡ノルマンディ上陸作戦に成功



- ・ENIAC。1946年ペンシルバニア大。
- ・真空管17468本、150KW。
- ・弾道計算、のちには水爆計算にも使用。



AI基？人工知能？

人間より強い戦略家がいたら  
戦争は楽勝！！



# 身近に迫る国際的脅威の高まり①

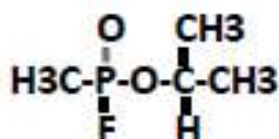
1. 地下鉄サリン事件(1995/3/20)
2. 米国同時多発テロ事件(2001/9/11)
3. 米国の炭疽菌事件(2001/9/27)
4. スペイン列車爆破事件(2004/3/11)
5. ロンドン地下鉄・バス爆破事件  
(2005/7/7)
6. ムンバイ同時テロ(2008/11/26)
7. モスクワ地下鉄連続テロ(2010/3/29)
8. 韓国・延坪島(延坪島(延坪島))北朝鮮砲撃事件  
(2010/11/23)
9. 北朝鮮ミサイル発射  
(2006/7/5、2009/4~10月、  
2012/4/13)



北朝鮮によるミサイル発射



地下鉄サリン事件



○大量破壊兵器などの使用が現実。

○とりわけ、生物・化学兵器は、  
比較的安価で製造が容易。



# 安全保障をめぐる課題の深刻化

## 【中東】

- ・平成29年10月、ISILの重要拠点であったラッカが陥落し、ISILは事実上終焉と見られたが、同年12月、リビアの首都トリポリにおいて外務省に対する自爆攻撃が発生、ISILが犯行声明を発表。
- ・本年3月、ISILの最後の拠点であったバグズが解放されたが、本年4月、スリランカにて同時爆発テロが発生。スリランカ国内のイスラム過激派組織「NTJ」が関与したと見られるが、ISILも犯行声明を発表。

## 【ロシア】


- ・平成26年、ウクライナ情勢の更なる悪化を背景に、ロシアに対し経済制裁を実施。
- ・平成30年3月、英国にて、神経剤によるロシア人元スパイ暗殺未遂が発生。英国はロシアに対して制裁措置。
- ・平成31年2月、アメリカはロシアが中距離核戦力(INF)全廃条約に違反したとして、同条約の破棄を通告、これを受け、3月にロシアも同条約の義務履行を停止。

## 【北朝鮮】

- ・平成29年9月に6度目となる核実験、幾度となくミサイル発射を実施。
- ・一方で、平成30年4月には、核・ミサイル実験の停止を表明。同月及び9月に南北首脳会談が開催され、朝鮮半島の非核化が宣言。
- ・平成30年6月、31年2月に米朝首脳会談が開催され、完全な非核化を求めて協議中。令和元年5月、累次に渡り飛翔体を発射。さらに、短距離弾道ミサイルを発射。

## 【中国】

- ・平成30年には中国初の国産空母の航行試験、極超音速飛翔体実験など、新型兵器の開発を継続。
- ・中国を拠点とするAPT10といわれるサイバー攻撃グループが、米国や欧州、日本などに対し、長期にわたりサイバー攻撃。
- ・米国は、中国の華為技術（ファーウェイ）及び中興通訊（ZTE）がスパイ攻撃やサーバー攻撃のためのインフラ構築を行っている疑いが強いとして、排除の動き。



ISIL爆弾に  
日本製部品

北朝鮮船艦に  
日本製レーダー

## 【イラン】

- ・平成28年1月、イラン向けの原子力関連品目及びミサイル関連品目の移転につき、輸出禁止措置を解除。
- ・他方、平成30年5月、米はイラン核合意(JCPOA)からの離脱を発表し、再制裁を実施。
- ・イランは平成30年12月にもミサイル発射試験を実施するなど、ミサイル開発を継続。

✓ 従来の国際秩序を覆す動きが顕在化。

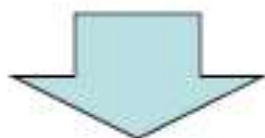
✓ 核、ミサイル、化学兵器等大量破壊兵器の脅威は現実化。

✓ 非国家主体（テロリスト等）による脅威も引き続き存在



## 身近に迫る国際的脅威の高まり②

- 長期安定政権の崩壊など、世界各国において、国際情勢の不安定化がもたらされています。
- 世界各国において、「テロ」に対する脅威が高まっています。



➤大量破壊兵器の開発国やテロリストは、輸出管理が不十分な組織を狙うかもしれません。

(中小企業や大学 研究機関であっても例外ではありません。)



大量破壊兵器の製造に必要な物資・機材・技術の多くが軍民両用（デュアル・ユース）であるため、偽装も容易。

## 汎用品の懸念用途への転用懸念

民生用途として輸出した貨物が輸出先で懸念用途に転用されるおそれ

	懸念用途	民生用途
工作機械	ウラン濃縮用 遠心分離機の 製造 	自動車の製造 や切削 
シアン化ナトリウム	化学兵器の 原材料 	金属めっき 工程 
ろ過器	細菌兵器製造 ための 細菌抽出 	海水の 淡水化 
炭素繊維	ミサイルの 構造材料 	航空機の 構造材料 



参考2

# 民生汎用品の懸念用途への転用例

## ミサイル



ポンプ

液体燃料等圧送

ミキサー

固体推進薬

ノズル(炭素繊維  
複合材)



米国エネルギー省 HP



米国NASA HP



遠心分離機ローター



遠心分離機 (カスケード)

日本原燃HP

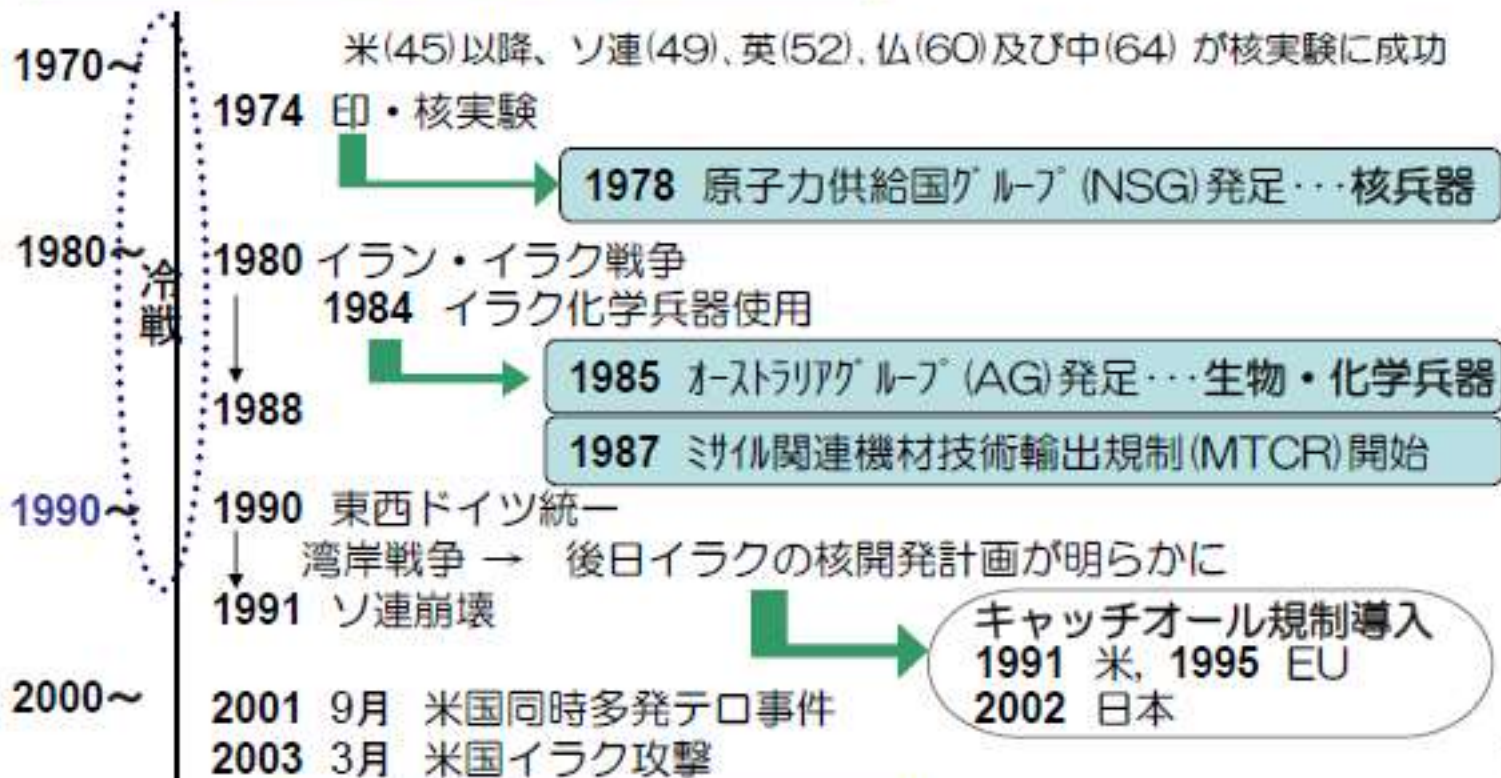


工作機械



# 国際輸出管理レジームの経緯

## 世界情勢



1949  
ココム  
設立

1994  
ココム  
解体

1996  
ワッセナー・  
アレンジメント  
(WA)  
設立

大量破壊兵器

通常兵器

### <参考> 90年代以降のアジア情勢

#### 北朝鮮

1993 ノドン発射  
1993~1994 核開発疑惑と米朝枠組合意  
1998 テポドン発射  
2006 ミサイル発射・核実験  
2009 ミサイル発射・核実験

#### インド・パキスタン

1998 両国が核実験  
2003 両国がミサイル発射実験

#### イラン

2006~ 核開発疑惑による国連決議

# 国際輸出管理レジームの概要

## 国際的枠組

### 大量破壊兵器関連

### 通常兵器 関連

## 国内の 枠組

### 条約

核兵器、生物・化学兵器  
そのものを規制

#### 核兵器関連

**NPT**

核兵器  
不拡散  
条約  
Nuclear  
Non-  
proliferation  
Treaty

・70年発効  
・191カ国締約

#### 生物・化学兵器関連

**BWC**

生物兵器  
禁止条約  
Biological  
Weapons  
Convention

・75年発効  
・182カ国締約

**CWC**

化学兵器  
禁止条約  
Chemical  
Weapons  
Convention

・97年発効  
・193カ国締約

#### ミサイル関連

#### 通常兵器関連

### 国際 輸出管理 レジーム

大量破壊兵器等及び通常  
兵器並びにそれらの開発  
等に用いられる技術や汎  
用品の輸出を管理

**NSG**

原子力  
供給国  
グループ  
Nuclear  
Suppliers  
Group

・78年発足  
・48カ国参加

**AG**

オーストラリア  
・グループ  
Australia  
Group

・85年発足  
・42カ国+EU参加

**MTCR**

ミサイル技術  
管理レジーム  
Missile  
Technology  
Control  
Regime

・87年発足  
・35カ国参加

**WA**

ワッセナー・  
アレンジメント  
The  
Wassenaar  
Arrangement

・96年発足  
・42カ国参加

外国為替及び  
外国貿易法

- ・輸出貿易管理令  
(貨物)
- ・外国為替令  
(技術)

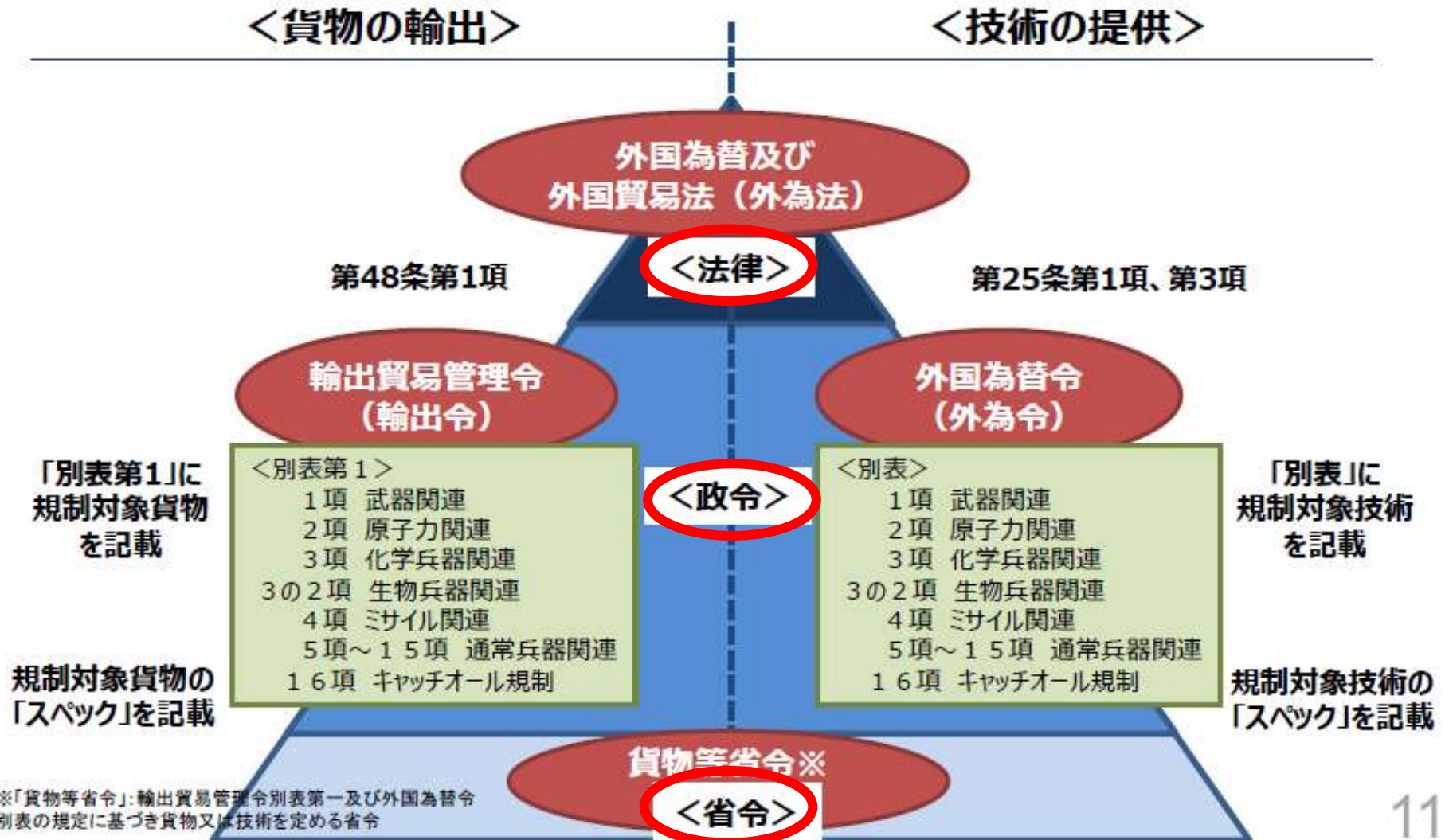
防衛装備  
移転三原則

参:P3



# 安全保障貿易管理制度の全体像

- 国際輸出管理レジームを踏まえ、外為法に基づいて貿易管理を実施。具体的には、規制対象となる貨物の輸出や技術の提供について、経済産業大臣の許可制となっている。



# 輸出と技術提供との違い

—日本—

—外国—



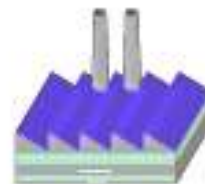
船積み



物の輸出

注意

ハンドキャリーでの持ち出しも輸出



工場の設備



販売

研修員受入れ(非居住者)



技術指導等



メール送信



技術の提供

(技術データの提供、技術支援等による)



設計図  
データ



技術指導


注意

技術取引は日本国内においても発生する可能性あり!



## リスト規制とは

輸出しようとする貨物が「輸出令・別表第1」の1～15項、又は提供しようとする技術が「外為令・別表」の1～15項の品目に該当し、かつ、「貨物等省令」に該当する仕様を有する場合は、経済産業大臣の許可が必要となる制度。

- 国際的な合意を踏まえ、武器及び大量破壊兵器等の開発等に用いられるおそれの高いものを規制
- 「輸出令・別表第1」「外為令・別表」の品目であり、「貨物等省令」に規定された仕様(スペック)※に該当する場合は**必ず輸出等の許可が必要**
- 全地域向けが対象  **用途、需要者にかかわらず、海外の自社工場や日系企業への輸出等でも許可が必要！**
- 輸出しようとする貨物、又は提供しようとする技術が法令で規制されているものであるか否か判定することを該非判定という。

(注)貨物等省令：リスト規制貨物・技術の詳細な仕様(スペック)を規定している法令  
(=輸出貿易管理令別表第1及び外国為替令別表の規定に基づき貨物又は技術を定める省令)



# (参考)リスト規制一覧①

2019年1月9日時点

項番	項目	項番	項目	項番	項目	項番	項目	
<b>1 武器</b>		(12)	1 数値制御工作機械	(45)	放射線遮蔽窓・窓枠	(15)	ロケット・UAV用構造材料	
(1)	銃砲・銃砲弾等	(13)	2 測定装置	(46)	放射線影響防止テレビカメラ・レンズ	(16)	ロケット・UAV用加速度計ジャイロスコープ等	
(2)	爆発物・発射装置等	(14)	誘導炉・アーク炉・溶解炉又はこれらの部分品等	(47)	トリチウム	(17)	ロケット・UAV用飛行・姿勢制御装置他	
(3)	火薬類・軍用燃料	(15)	アイソスタチックプレス等	(48)	トリチウム製造・回収・貯蔵装置等	(18)	アビオニクス装置等	
(4)	火薬又は爆薬の安定剤	(16)	ロボット等	(49)	白金触媒	(18の2)	ロケット・UAV用熱電池	
(5)	指向性エネルギー兵器等	(17)	振動試験装置等	(50)	トリチウム	(19)	航空機・船舶用重力計・重力勾配計	
(6)	運動エネルギー兵器等	(18)	ガス遠心分離機ロータ用構造材料	(51)	レニウム等の一次製品	(20)	ロケット・UAV発射台・支援装置	
(7)	軍用車両・軍用仮設橋等	(19)	ベリリウム	(52)	防爆構造の容器	(21)	ロケット・UAV用無線遠隔測定装置他	
(8)	軍用船舶等	(20)	核兵器起爆用アルファ線源用物質	<b>3 化学兵器</b>			(22)	ロケット搭載用電子計算機
(9)	軍用航空機等	(21)	ほう素10	(1)	軍用化学製剤の原料、軍用化学製剤と同等の毒性の物質・原料	(23)	ロケット・UAV用A/D変換器	
(10)	防潜網・魚雷防御網他	(22)	核燃料物質製造用還元剤・酸化剤	(2)	化学製剤用製造機械装置等	(24)	振動試験装置等、空気力学試験装置・燃焼試験装置他	
(11)	防弾衣・軍用ヘルメット・防弾衣等	(23)	ルツボ	(3)	反応器又は貯蔵容器の修理用の組立品等	(24の2)	ロケット設計用電子計算機	
(12)	軍用探照灯・制御装置	(24)	ハフニウム	<b>3の2 生物兵器</b>			(25)	音波・電波・光の減少材料・装置
(13)	軍用細菌製剤・化学製剤等	(25)	リチウム	(1)	軍用細菌製剤の原料	(26)	ロケット・UAV用IC・探知装置・レーダー	
(13の2)	軍用細菌製剤・化学製剤などの浄化用化学物質混合物	(26)	タングステン	(2)	細菌製剤用製造装置等	<b>5 先端材料</b>		
(14)	軍用化学製剤用細胞株他	(27)	ジルコニウム	<b>4 ミサイル</b>			(1)	ふっ素化合物製品
(15)	軍用火薬類の製造・試験装置等	(28)	ふっ素製造用電解槽	(1)	ロケット・製造装置等	(2)	(削除)	
(16)	兵器製造用機械装置等	(29)	ガス遠心分離機ロータ製造装置等	(1の2)	無人航空機(UAV)・製造装置等	(3)	芳香族ポリイミド製品	
(17)	軍用人工衛星又はその部分品	(30)	遠心力式釣合試験機	(2)	ロケット誘導装置・試験装置等	(4)	チタン・アルミニウム合金成形工具	
<b>2 原子力</b>		(31)	フィラメントワインディング装置等	(3)	推進装置等	(5)	チタン・ニッケル等の合金・粉、製造装置等	
(1)	核燃料物質・核原料物質	(32)	レーザー発振器	(4)	しごきスピニング加工機等	(6)	金属磁性材料	
(2)	原子炉・原子炉用発電装置等	(33)	質量分析計・イオン源	(5)	サーボ弁、ポンプ、ガスタービン	(7)	ウランチタン合金・タングステン合金	
(3)	重水素・重水素化合物	(34)	圧力計・ペローズ弁	(5の2)	ポンプに使用できる軸受	(8)	超電導材料	
(4)	人造黒鉛	(35)	ソレイノイドコイル形超電導電磁石	(6)	推進薬・原料	(9)	(削除)	
(5)	核燃料物質分離再生装置等	(3の2)	真空ポンプ	(7)	推進薬の製造・試験装置等	(10)	潤滑剤	
(6)	リチウム同位元素分離用装置等	(36)	スクロール型圧縮機等	(8)	粉粒体用混合機等	(11)	振動防止用液体	
(7)	ウラン・プルトニウム同位元素分離用装置等	(37)	直流電源装置	(9)	ジェットミル・粉末金属製造装置等	(12)	冷媒用液体	
(8)	周波数変換器等	(38)	電子加速器・エックス線装置	(10)	複合材料製造装置等	(13)	セラミック粉末	
(9)	ニッケル粉・ニッケル多孔質金属	(39)	衝撃試験機	(11)	ノズル	(14)	セラミック複合材料	
(10)	重水素・重水素化合物の製造装置等	(40)	高速度撮影が可能なカメラ等	(12)	ノズル・再突入機先端部製造装置他	(15)	ポリジメチルシラン・ポリシラザン他	
(10の2)	ウラン・プルトニウム製造用装置等	(41)	干渉計・圧力測定器・圧力変換器	(13)	アイソスタチックプレス・制御装置	(16)	ビスマレイミド・芳香族ポリイミド他	
(11)	しごきスピニング加工機等	(42)	核兵器起爆(試験)用貨物	(14)	複合材用の炉・制御装置	(17)	ふっ化ポリイミド等	
		(43)	光電子増倍管			(18)	プリプレグ・プリフォーム・成型品等	
		(44)	中性子発生装置			(19)	ほう素・ほう素合金・硝酸ゲアニン他	
			遠隔操作のコンピューター					

\*【変更】は2019年1月9日施行。



# (参考)リスト規制一覧②

2019年1月9日時点

項番	項目	項番	項目	項番	項目	項番	項目
<b>6 材料加工</b>		(20)	アルミニウム・ガリウム他の有機金属化合物 燐・砒素他の有機化合物	(7)	光学器械又は光学部品の制御装置	(1)	ガスタービンエンジン等
(1)	軸受等	(21)	燐・砒素・アンチモンの水素化合物	(7の2)	非球面光学素子	(2)	人工衛星・宇宙開発用飛しょう体等
(2)	数値制御工作機械	(22)	炭化けい素等	(8)	レーザー発振器等	(2の2)	人工衛星等の制御装置等
(3)	歯車製造用工作機械等	(23)	多結晶金属板	(8の2)	レーザーマイクロフォン	(3)	ロケット推進装置等
(4)	アイソスタックプレス等	<b>8 電子計算機</b>		(9)	磁力計・水中電場センサー・磁場勾配計・校正装置他	(4)	無人航空機等
(5)	コーティング装置等	(1)	電子計算機等	(9の2)	水中検知装置	(5)	(1)から(4)、15の(10)の試験装置・測定装置・検査装置等
(6)	測定装置等	<b>9 通信</b>		(10)	重力計・重力勾配計	<b>14 その他</b>	
(7)	ロボット等	(1)	伝送通信装置等	(11)	レーダー等	(1)	粉末状の金属燃料
(8)	フィードバック装置他	(2)	電子交換装置	(12)	光反射率測定装置他	(2)	火薬・爆薬成分、添加剤・助燃物質
(9)	絞リスピニング加工機	(3)	通信用光ファイバー	(13)	重力計製造装置・校正装置	(3)	ディーゼルエンジン等
<b>7 エレクトロニクス</b>		(4)	(削除)	(14)	光検出器・光学部品材料物質他	(4)	(削除)
(1)	集積回路	(5)	フェーズドアレーアンテナ	<b>11 航法装置</b>		(5)	自給式潜水用具等
(2)	マイクロ波用機器・ミリ波用機器等	(5の2)	監視用方向探知器等	(1)	加速度計等	(6)	航空機輸送土木機械等
(3)	信号処理装置等	(5の3)	無線通信傍受装置等	(2)	ジャイロスコープ等	(7)	ロボット・制御装置等
(4)	超電導材料を用いた装置	(5の4)	受信機能のみで電波等の干渉を観測する位置探知装置	(3)	慣性航行装置	(8)	電気制動シャッター
(5)	超電導電磁石	(5の5)	インターネット通信監視装置等	(4)	シャロ大測航法装置、衛星航法システム	(9)	催涙剤・くしゃみ剤、これら散布装置等
(6)	一次・二次セル、太陽電池セル	(5の5)	インターネット通信監視装置等	(4の2)	電波受信機、航空機用高度計等	(10)	簡易爆発装置等
(7)	高電圧用コンデンサ	(6)	(1)から(3)、(5)から(5の5)までの設計・製造装置等	(5)	水中ソナー航法装置等	(11)	爆発物探知装置
(8)	エンコーダ又はその部分品	(7)	暗号装置等	<b>12 海洋関連</b>		<b>15 機微品目</b>	
(8の2)	サイリスターデバイス・サイリスターモジュール	(8)	情報伝達信号漏洩防止装置等	(1)	潜水艇	(1)	無機繊維他を用いた成型品
(8の3)	電力制御用半導体素子	(9)	(削除)	(2)	船舶の部分品・付属装置	(2)	電波の吸収材・導電性高分子
(8の4)	光変調器	(10)	盗聴検知機能通信ケーブルシステム等	(3)	水中回収装置	(3)	核熱源物質
(9)	サンプリングオシロスコープ	(11)	(7)、(8)若しくは(10)の設計・製造・測定装置	(4)	水中用の照明装置	(4)	デジタル伝送通信装置等
(10)	アナログデジタル変換器	<b>10 センサー等</b>		(5)	水中ロボット	(4の2)	簡易爆発装置の妨害装置
(11)	デジタル方式の記録装置	(1)	水中探知装置等	(6)	密閉動力装置	(5)	水中探知装置等
(12)	信号発生器	(2)	光検出器・冷却器等	(7)	回流水槽	(6)	宇宙用光検出器
(13)	周波数分析器	(3)	センサー用の光ファイバー	(8)	浮力材	(7)	送信するパルス幅が100ナノ秒以下のレーダー
(14)	ネットワークアナライザー	(4)	電子式のカメラ等	(9)	閉鎖・半閉鎖回路式自給式潜水用具	(8)	潜水艇
(15)	原子周波数標準器	(5)	反射鏡	(10)	妨害用水中音響装置	(9)	船舶用防音装置
(15の2)	スプレー冷却方式の熱制御装置	(6)	宇宙用光学部品等	<b>13 推進装置</b>		(10)	ラムジェットエンジン、スクラムジェットエンジン、複合サイクルエンジン等
(16)	半導体製造装置等						
(17)	マスク・レチクル等						
(17の2)	マスク製造基材						
(18)	半導体基板						
(19)	レジスト						

\*【変更】は2019年1月9日施行。



シリアを仕向地として以下の貨物を輸出する場合は、用途・需要者の確認を更に慎重に行うこと。

品目	懸念される用途
1. ドラフトチャンバー	化学兵器
2. フルフェイスマスクの呼吸用保護	生物・化学兵器
3. 塩化アルミニウム(7446-70-0)、ジクロロメタン(75-09-2)、N, N-ジメチルアニリン(121-69-7)、臭化イソプロピル(75-26-3)、イソプロピルエーテル(108-20-3)、モノイソプロピルアミン(75-31-0)、臭化カリウム(7758-02-3)、ピリジン(110-86-1)、臭化ナトリウム(7647-15-6)、ナトリウム金属(7440-23-5)、トリブチルアミン(102-82-9)、トリエチルアミン(121-44-8)、トリメチルアミン(75-50-3)	化学兵器
4. ジエチレントリアミン(111-40-0)	化学兵器
5. プチリルコリンエステラーゼ、臭化ピリドスチグミン(101-26-8)、塩化オピドキシム(114-90-9)	化学兵器
6. バイオセーフティキャビネット、グローブボックス	生物兵器
7. バッチ式遠心分離器	生物兵器
8. 発酵槽	生物兵器
9. 反応器、かくはん機、熱交換器、凝縮器、ポンプ(11.を除く。)、弁、貯蔵容器、蒸留塔、吸収塔	化学兵器
10. クリーンルーム、HEPAフィルター付きのファン	生物兵器
11. 真空ポンプ又はその部分品	化学兵器

(注)3. から5. までの()の番号はCAS番号(※アメリカ化学会の機関であるCAS(Cheical Abstracts Service)が個々の化学物質もしくは化学物質群に付与している登録番号)

# 制度の概要

	<b>リスト規制</b>	<b>キャッチオール規制</b>		
		大量破壊兵器等 (平成14年4月～)	通常兵器 (平成20年11月～)	
規制対象	政省令で定める品目 武器、機微な汎用品(原子力・生物・化学兵器・ミサイル関連品目、先端材料、工作機械、等)	リスト規制品目以外の全品目 (食品、木材等を除く。)		
対象	全地域	下記(A)を除く全地域	下記(B)の国	下記(A)及び(B)を除く全ての国(C)
と許 可 な る 要 件	—	大量破壊兵器等の開発等に用いられるおそれがある場合 1. 経産大臣からの通知 2. 輸出者の判断 ①輸入先等の用途 ②輸入者・需要者の核開発等への関与	通常兵器の開発等に用いられるおそれがある場合 1. 経産大臣からの通知 2. 輸出者の判断 ①輸入先等の用途	通常兵器の開発等に用いられるおそれがある場合 1. 経産大臣からの通知

**(A): 各国際輸出管理レジームに参加し、輸出管理を厳格に実施している国【計27カ国】: 輸出令別表第3**

アルゼンチン、オーストラリア、オーストリア、ベルギー、ブルガリア、カナダ、チェコ、デンマーク、フィンランド、フランス、ドイツ、ギリシャ、ハンガリー、アイルランド、イタリア、大韓民国、ルクセンブルク、オランダ、ニュージーランド、ノルウェー、ポーランド、ポルトガル、スペイン、スウェーデン、スイス、英国、アメリカ合衆国

**(B): 国連の安全保障理事会の決議により武器及びその関連品等の輸出が禁止されている国【計10カ国】: 輸出令別表第3の2**

アフガニスタン、中央アフリカ、コンゴ民主共和国、イラク、レバノン、リビア、北朝鮮、ソマリア、南スーダン、スーダン

**(C): 上記(A)、(B)に記載以外の全ての国**

イラン、シリア、中国、ロシア、ウクライナ、トルコ、パキスタン、ミャンマー等

## 前回の課題3

一人一日のエネルギー、油200gでしたね。  
Jで表せば、大体10MJ。(10<sup>7</sup>J)

エネルギーの単位はJだけど、「強さ」x「量」でいろいろ表せる。

- ①1KWの電子レンジなら、何秒動かせる？
- ②20℃の水を何リットル沸かせる？(1cal=4Jでいい)
- ③100kgの荷物、何m持ち上げられる？
- ④100gのボール、秒速何mで投げられる？
- ⑤特殊相対性理論( $E=mc^2$ ,  $c=3 \times 10^8 \text{m/s}$ )で等価な物質の質量は？



## 前回の課題3

① 1KWの電子レンジなら、何秒動かせる？

$$10^7\text{J} = 10^3\text{W} \times 10^4\text{s} \quad \text{一万秒。 (3時間？めっちゃ長い。。)}$$

② 20°Cの水を何リットル沸かせる？ (1cal=4Jでいい)

$$\frac{10^7\text{J}}{4 \times 10^3\text{J K}^{-1}\text{Kg}^{-1} \times 80\text{K} \times 1\text{Kg L}^{-1}} = 30\text{L}$$

沸騰させるなら。お風呂なら、季節によるがこの4倍くらい。

③ 100kgの荷物、何m持ち上げられる？

$$\frac{10^7\text{kgm}^2\text{s}^{-2}}{10\text{ms}^{-2} \times 100\text{kg}} = 10000\text{m}$$

100kgの荷物しよってエベレストより高いところに？



## 前回の課題3

- ④100gのボール、秒速何mで投げられる？（注：硬球は150g弱、テニスは50g。）  
運動エネルギーに換算すると、 $1/2mv^2$ だから、

$$10^7\text{J} = 10^7(\text{kgm}^2\text{s}^{-2}) = 0.1\text{kg} \times 0.5v^2 (\text{m}^2\text{s}^{-2}) \text{より、} v = 1.4 \times 10^4 (\text{m/s})$$

かる一く、地球の重力圏を出ます。火星に届くくらい。

- ⑤特殊相対性理論( $E=mc^2, c=3 \times 10^8\text{m/s}$ )で等価な物質の質量は？

一番簡単かも。 $E=mc^2$  に代入するだけ。

$$10^7\text{J} = 10^7(\text{kgm}^2\text{s}^{-2}) = m(\text{kg})(3 \times 10^8\text{m/s})^2 = m(\text{kg}) \times 10^{17} (\text{m}^2\text{s}^{-2})$$

だから、 $m = 10^{-10} (\text{kg})$  ということになる。

測れないくらい少ない。

## 本日の課題1

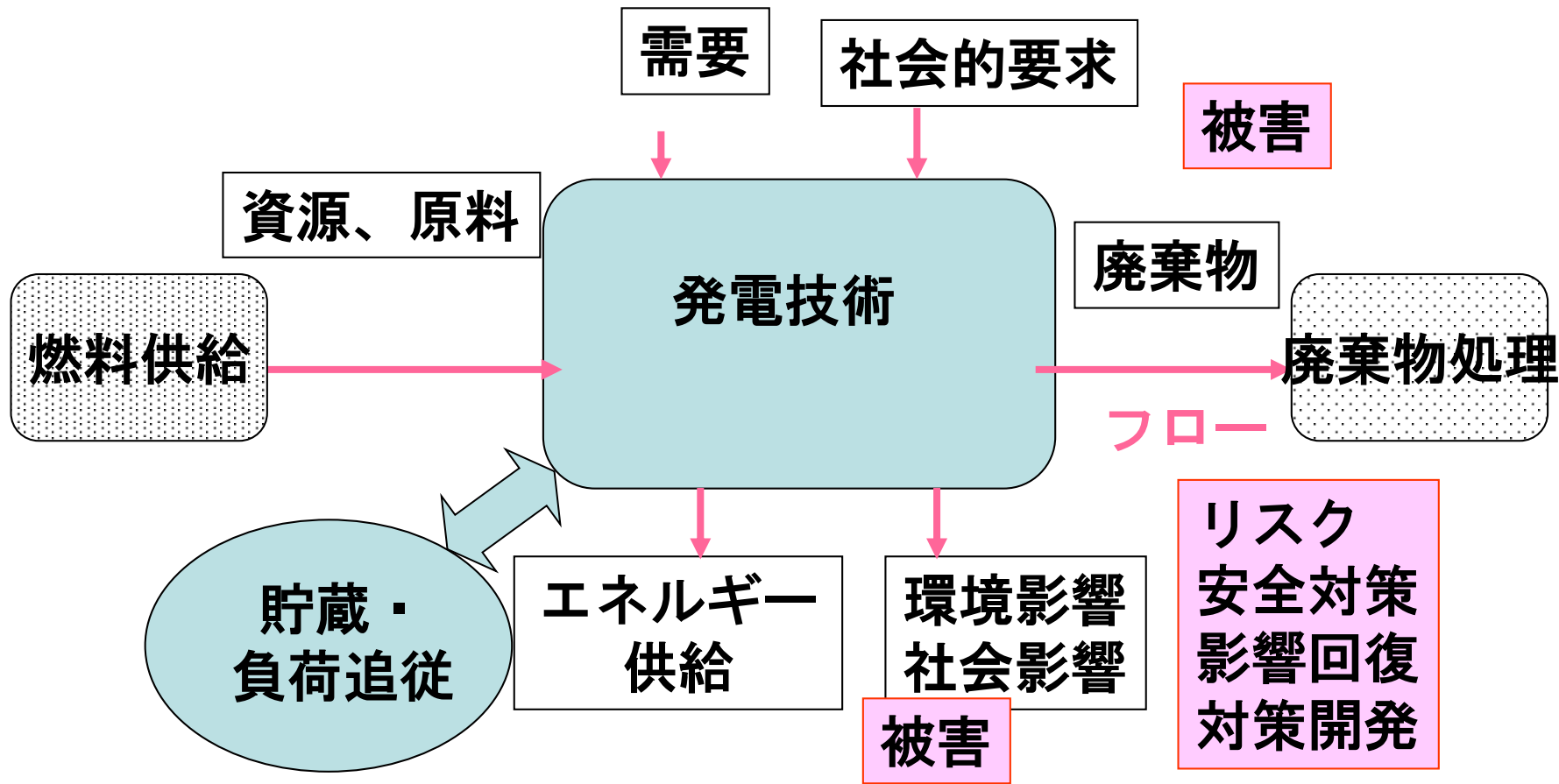
1. 次の発電技術(のどれか)について、どういうサプライチェーンがつながっているのかを、考えてみよう。

→燃料、そのほか必要な資源、エネルギー、廃棄物、社会適合

etc.

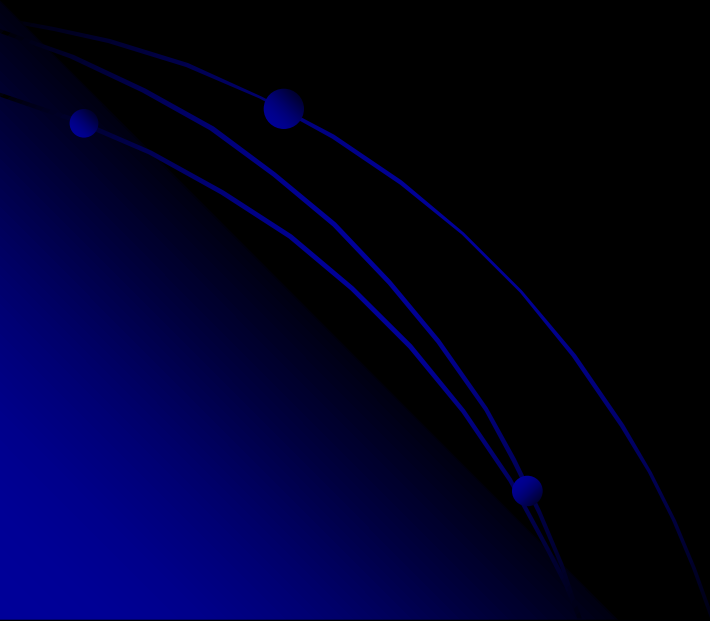
- (1) 原子力 (Nuclear)
- (2) 太陽電池 (Solar)
- (3) 水力発電 (Hydro)
- (4) 火力発電 (Fire)
- (5) バイオマス発電 (Biomass)
- (6) 核融合 (Fusion) — できたとして。

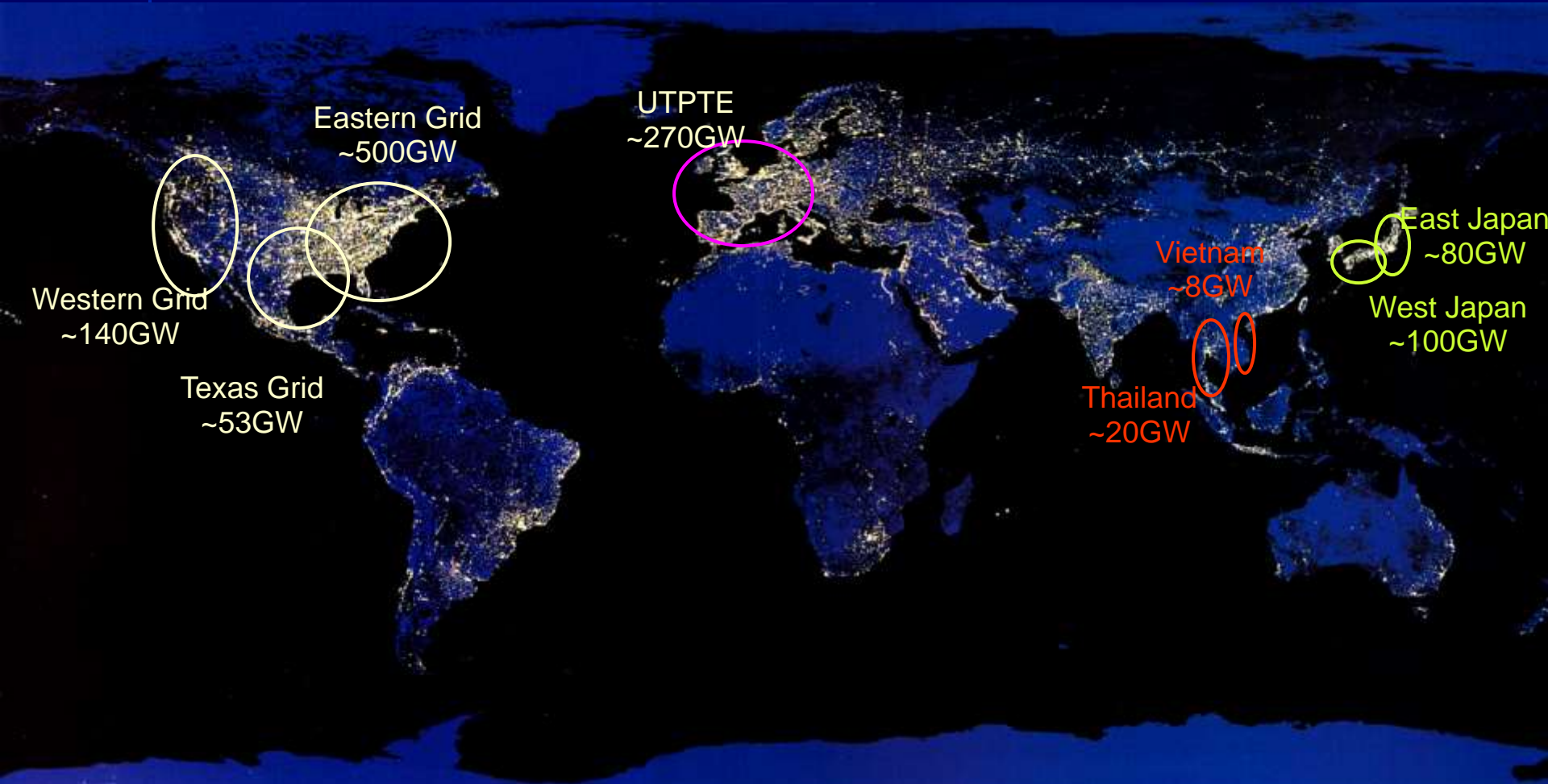
考え方として、次の図を埋めてみれば何か出てくるはず。。



- ・ 移動しているものは、いろいろあります。物質でないものも。
  - ・ 仮想的なものもある。
- 動的なシステムです。線がつながっていても、タイミングや速度が合わないこともある。

# 電力システム

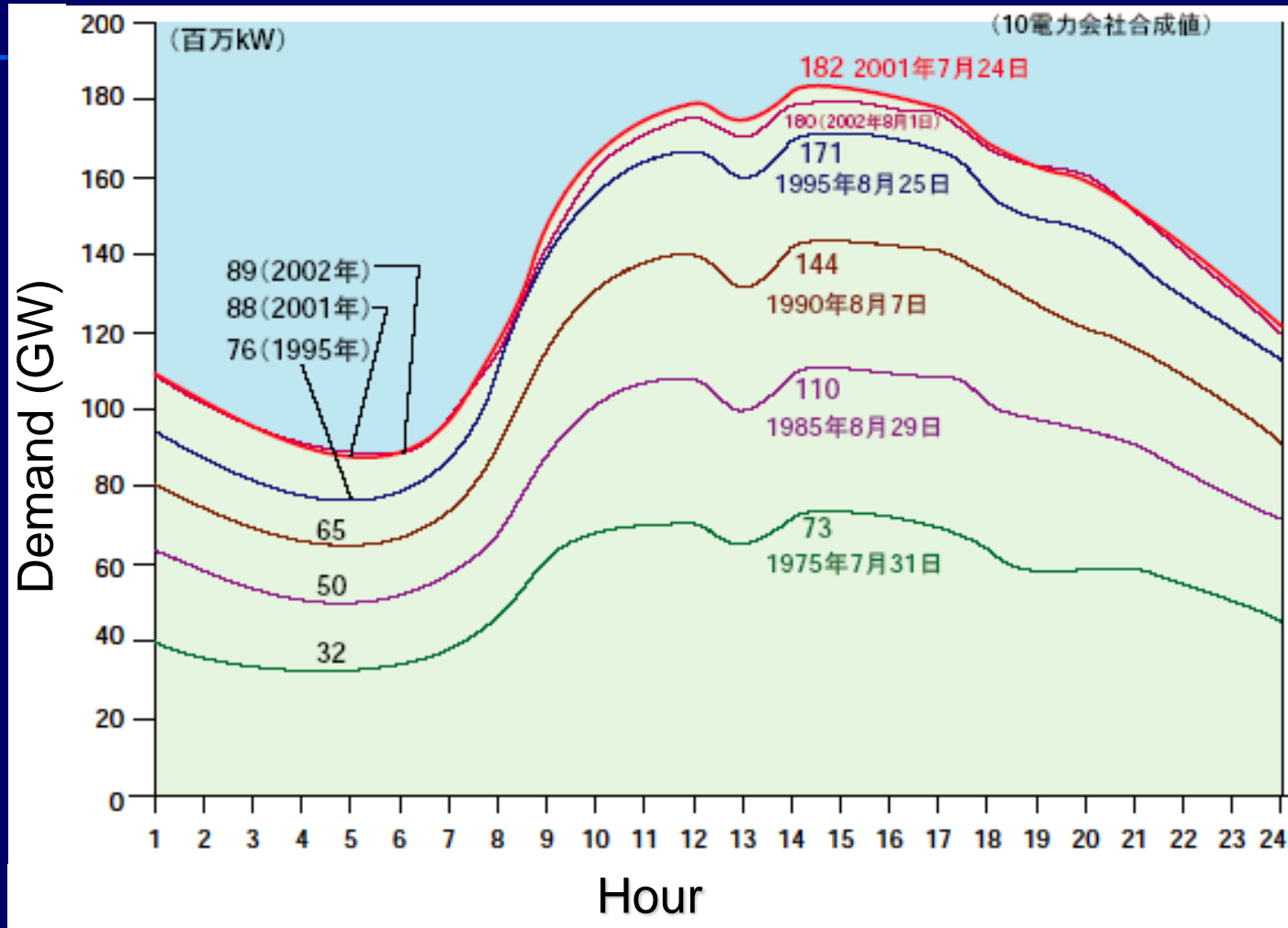






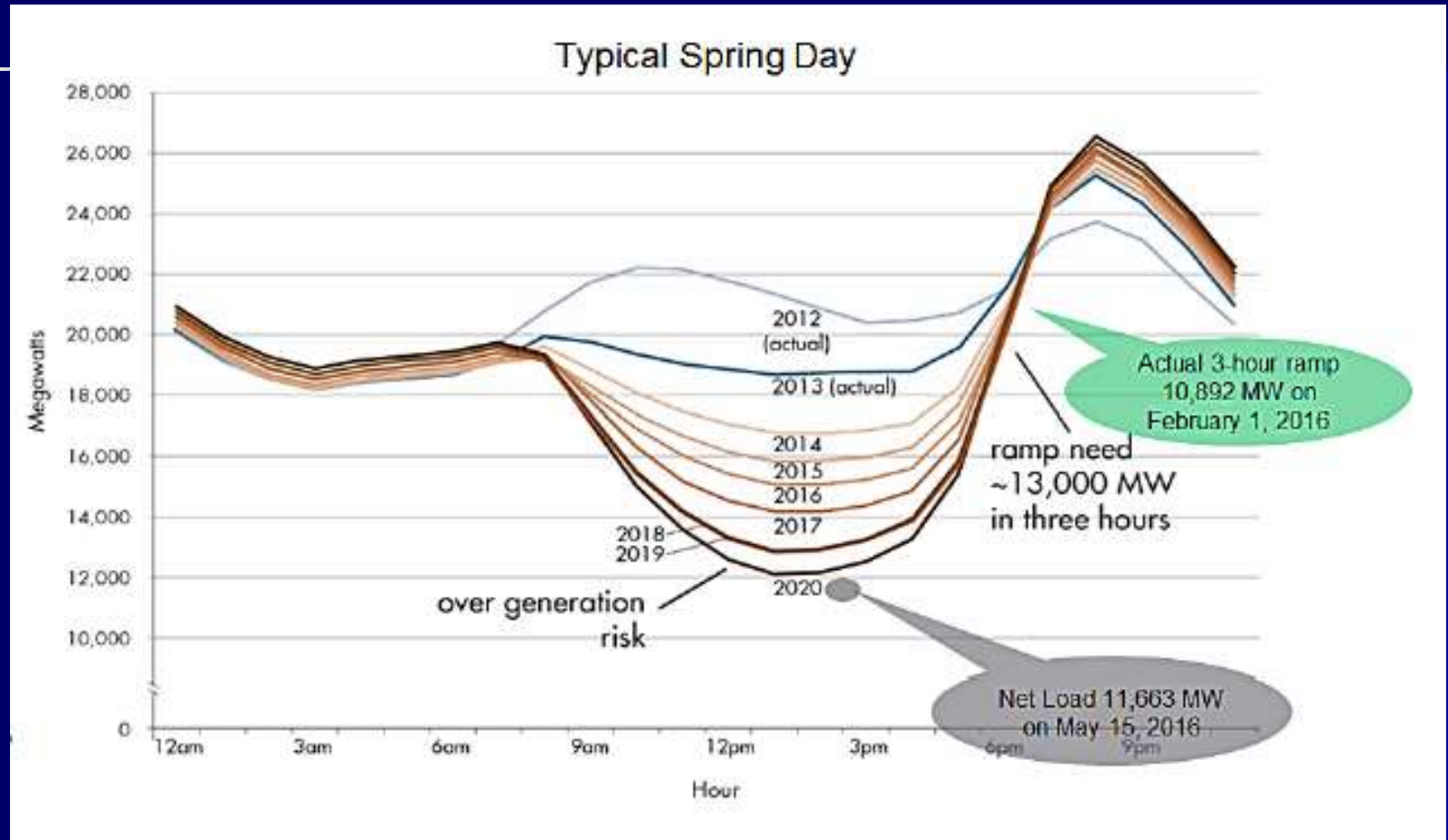
# 電力需要の時間変化(以前)

Institute of Advanced Energy, Kyoto University





電力需給は、きっちり供給に合わせないとならない。



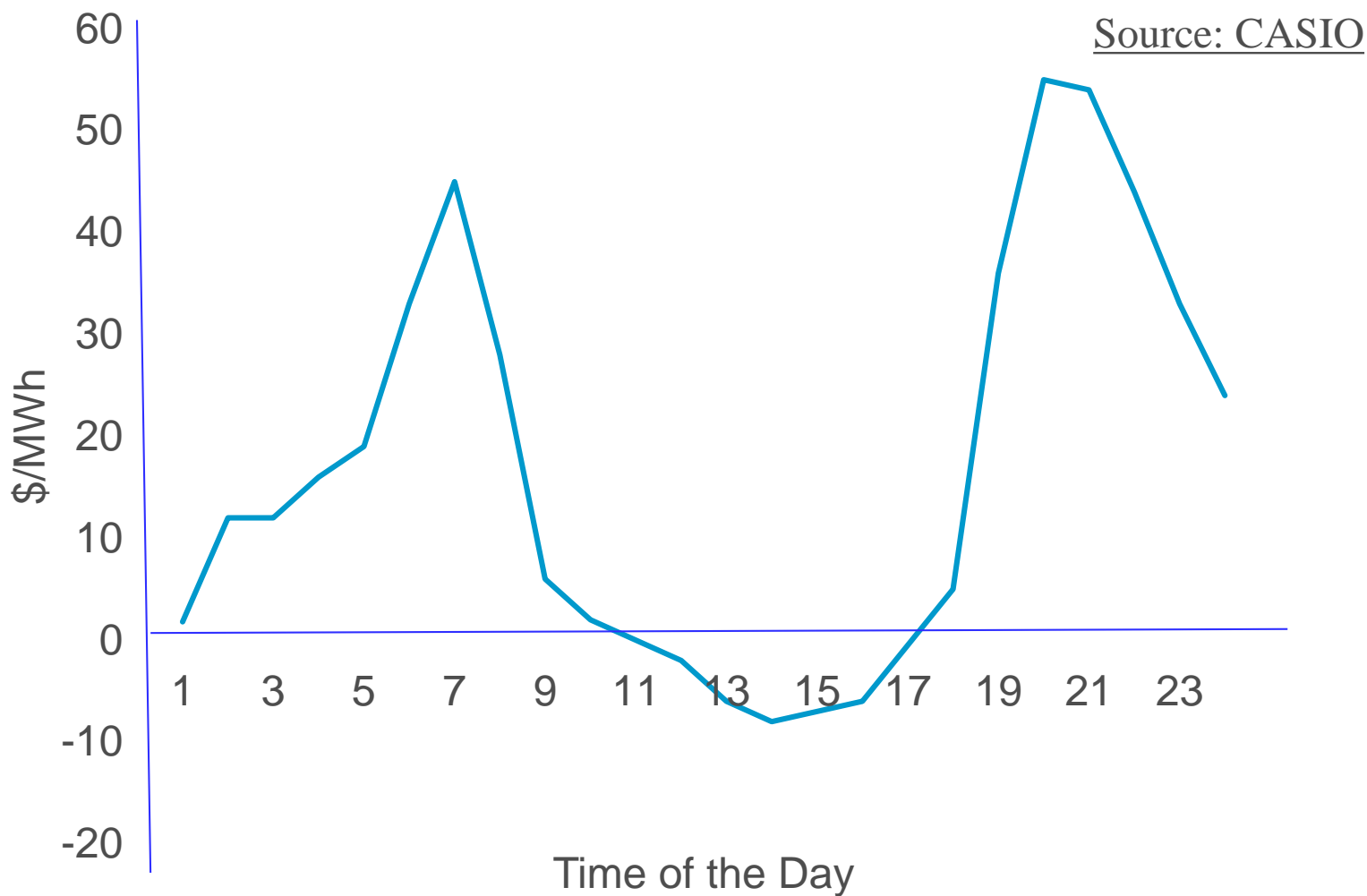
California Independent System Operator

これがCalifornia Duck.すでに電力市場の崩壊が始まっている



# 自由化した電力価格

Institute of Advanced Energy, Kyoto University

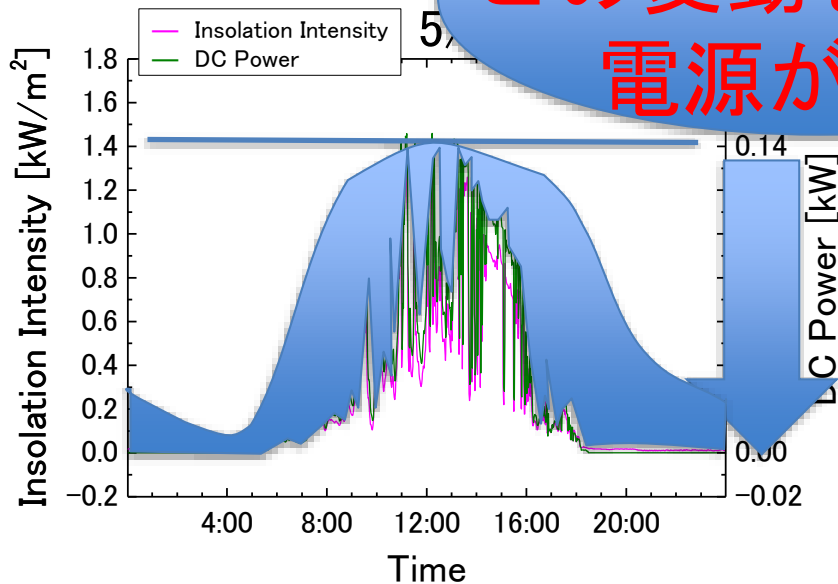


- ・すでに太陽光のために電力価格はマイナスになる時間帯がある。

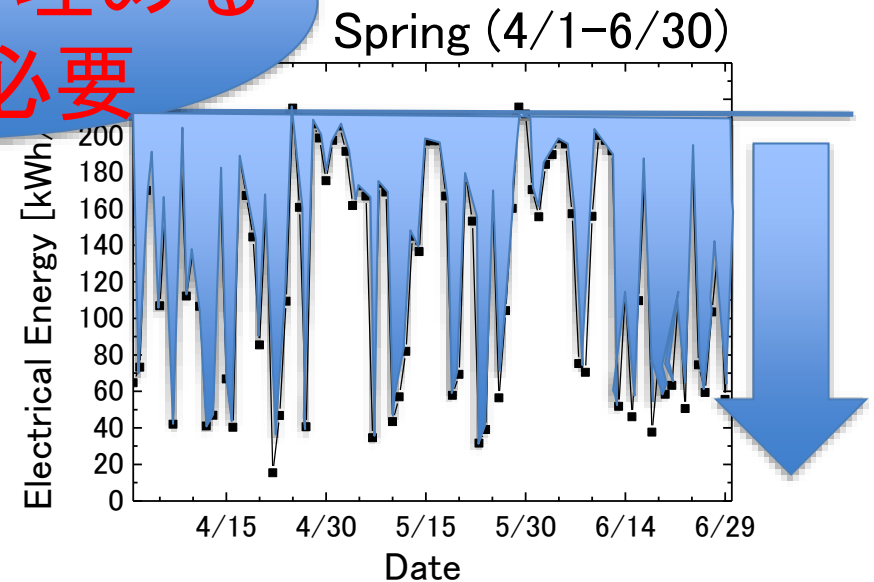
# 太陽光発電の出力変動



この変動を埋める  
電源が必要



太陽光発電の一日内の変化



太陽光発電の一日ごとの変化

- ・太陽光・風力の変動は一日の中、季節の中で非常に大きい
- ・変化は、数秒で起こる。
- ・変動分の総量を吸収できるような制御電源(蓄電池等)が必要
- ・火力発電は比較的ゆっくりしか対応できない。

# 大規模停電のメカニズム

Eastern Grid  
~500GW

UTPTE  
~270GW

電力網の発電機はすべてつながっている

Vietnam  
~8GW

East Japan  
~80GW

Western Grid  
~140GW

通常は「同時同量」で需要に合わせて発電

West Japan  
~100GW

Thailand  
~20GW

・ 大規模電力網の需給ひっ迫

・ 需要の超過

・ 周波数の低下

・ 発電機の負荷増大

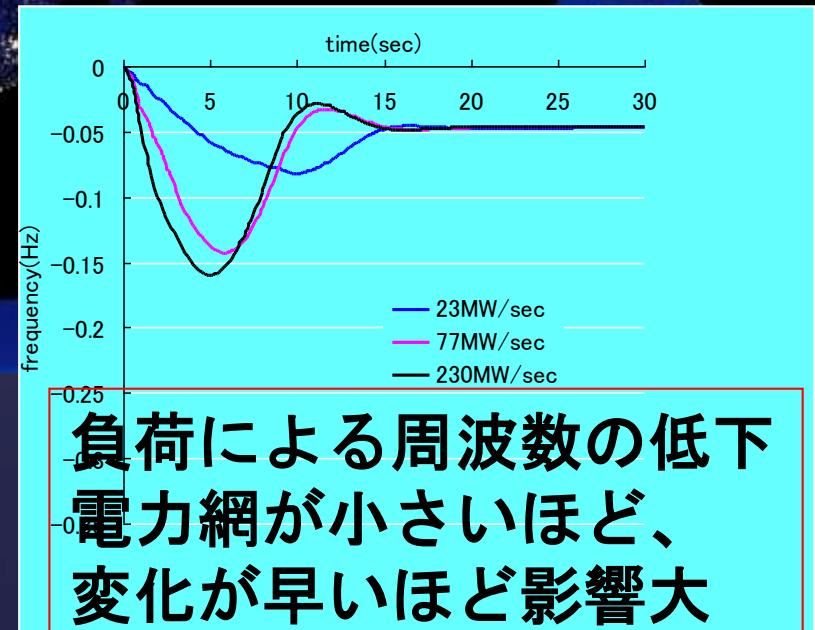
・ 発電機の脱落



これが連鎖反応的に起こる

→ 太陽光・風力の変動は

大規模停電の原因になる

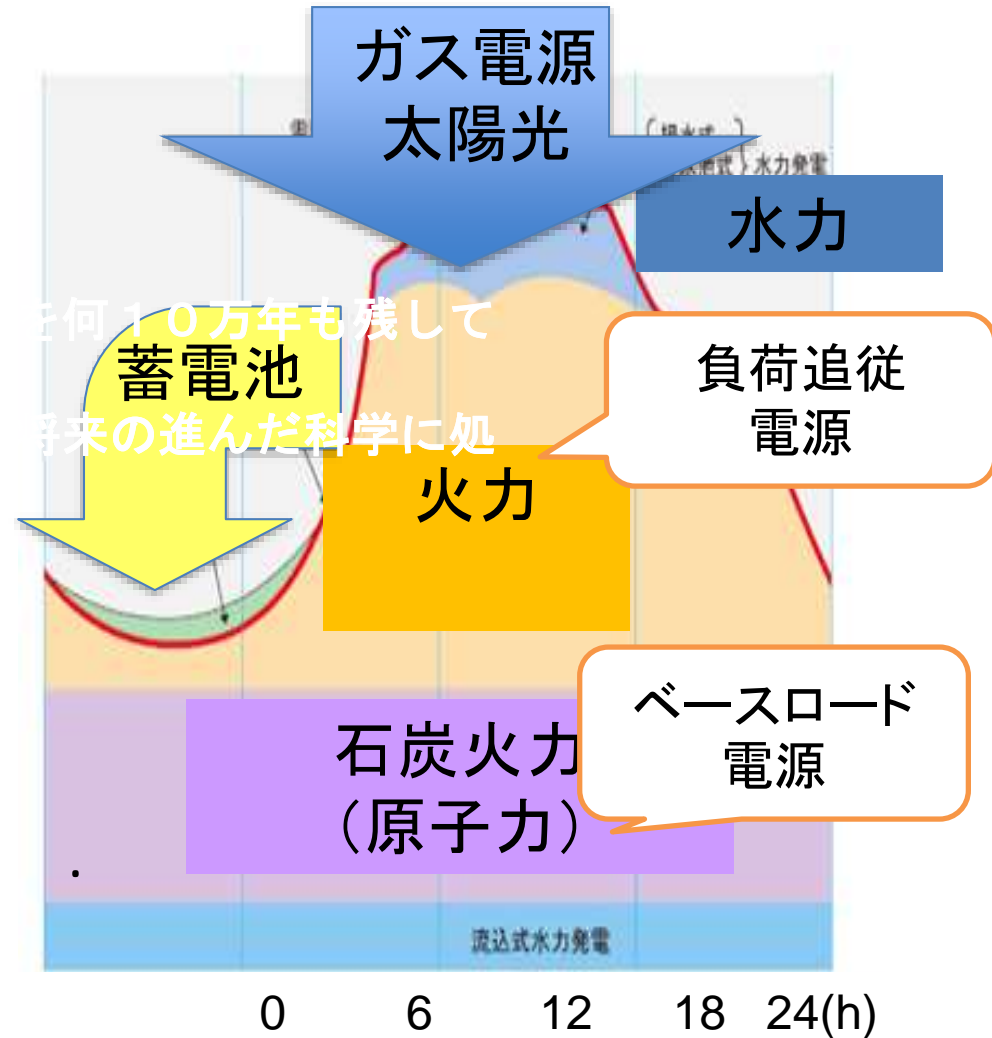




# ピークの平準化



- 昼間のピーク需要を
  - 分散ガス電源・燃料電池
  - 太陽電池
  - 蓄電池 で供給
- エンジンヒートポンプで冷暖房負荷を軽減
- 夜の電力を充電

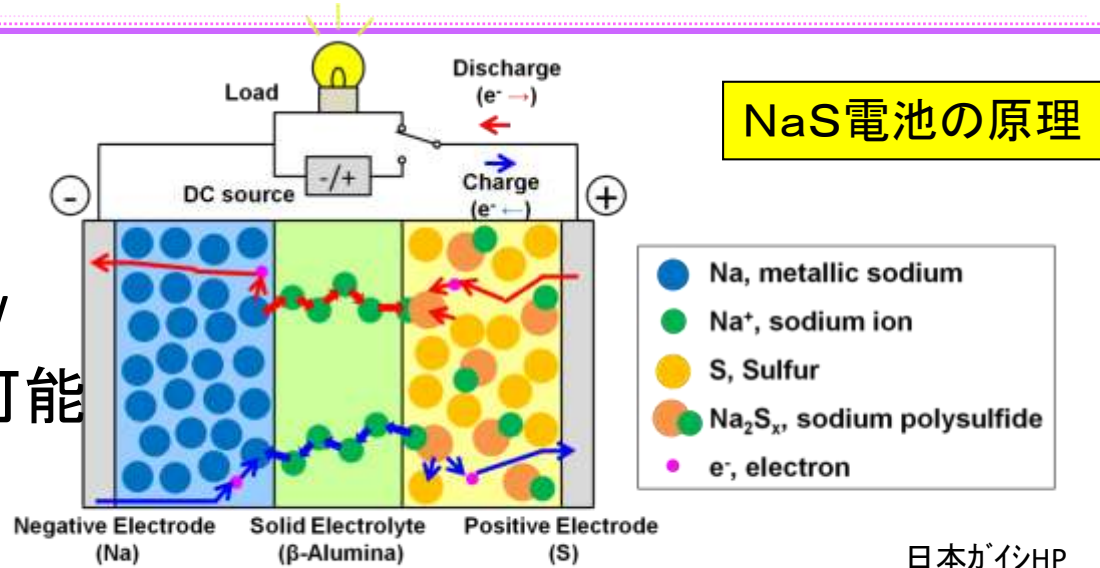


→一日の需要を平坦化

# 小規模発電システム

## 蓄電池

NaS電池(ナトリウム硫黄電池)は現在約29¥/kw  
ハイブリッド車、EVも利用可能  
将来的にはLi電池



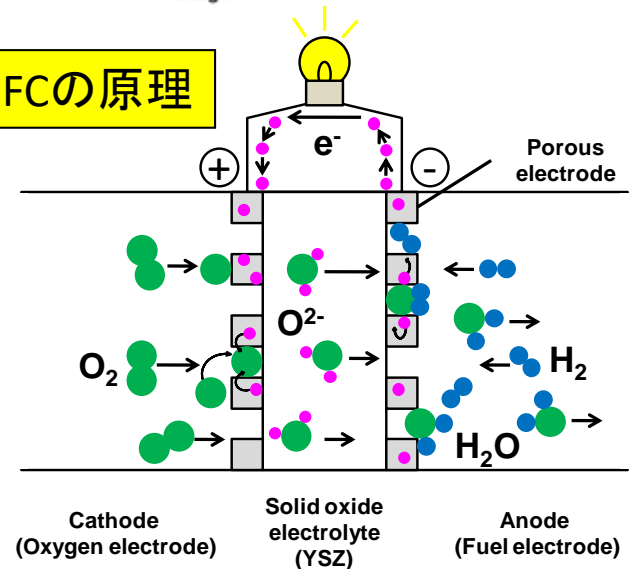
日本ガイシHP

## 燃料電池

高分子燃料電池は市販  
高温固体酸化物(SOFC)は開発中  
コジェネレーションになる



## SOFCの原理



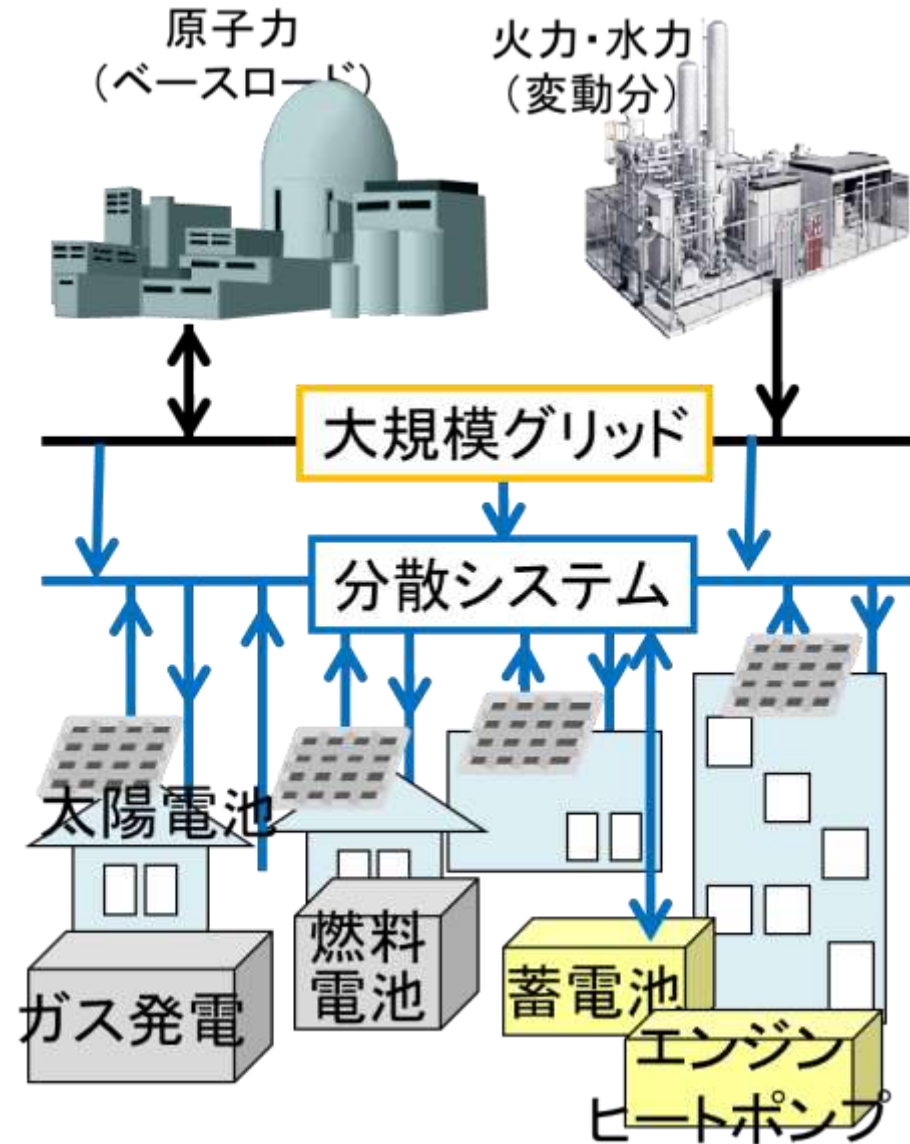
<エネファーム(PEFC)>



# 分散電源による電源確保



- 消費者による自家用電源
- ピーク時に自家発電  
→節電できない消費者の保護  
→医療・福祉・教育・サービス等への電力供給
- 停電時には非常用電源
- 地域電源による防災効果



# 発電所に必要な電力

石炭

石油

原子力

核融合

- あh津田署は実は大きな需要者
- 「起動電力」が必要ーグリッドからもらう。  
→ほとんどの発電所は他の発電所から電気をもらわないと発電を開始できない

粉砕

輸送

排気処理

輸送

循環ポンプ

復水器ポンプ

冷却水ポンプ

制御

補機

電流駆動・  
プラズマ加熱

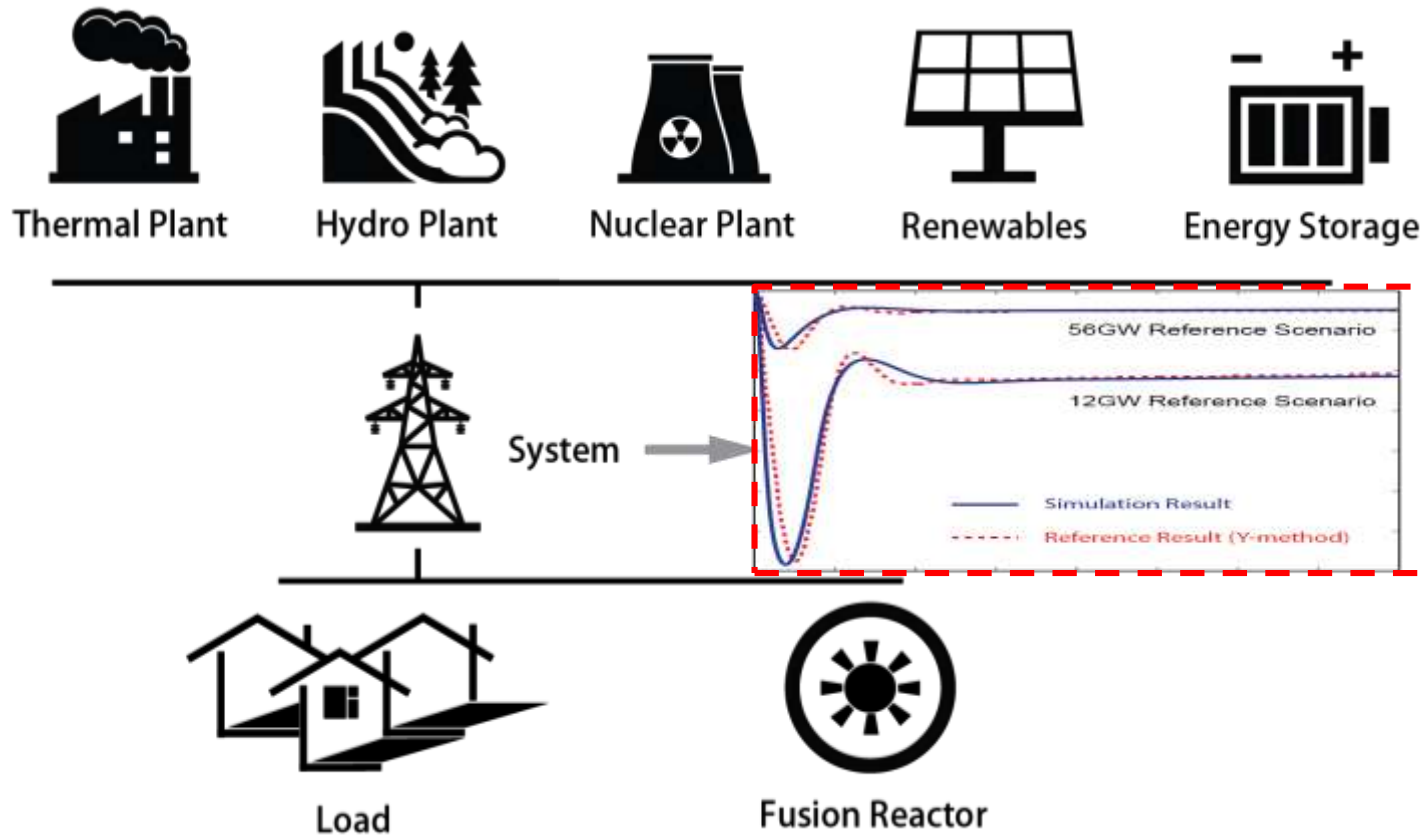
トリチウム処理

超電導磁石  
(冷却、励磁)



# 電力網の安定性と電源構成

電圧、周波数が通常より低くなると使えない、ひどいときは停電する。



負荷に追従しない原子力、勝手に変動するrenewable.



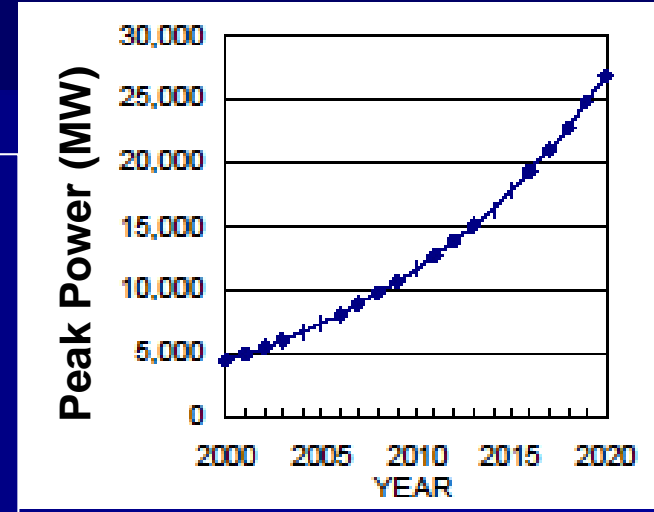
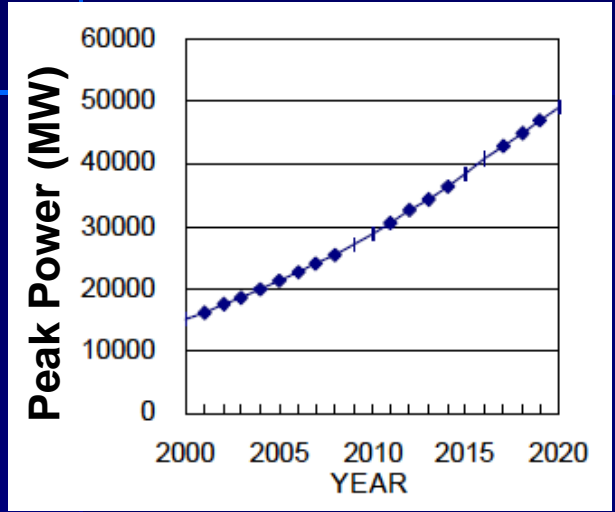
# アジア各国の電力(需要)

Institute of Sustainable Science

Institute of Advanced Energy, Kyoto University

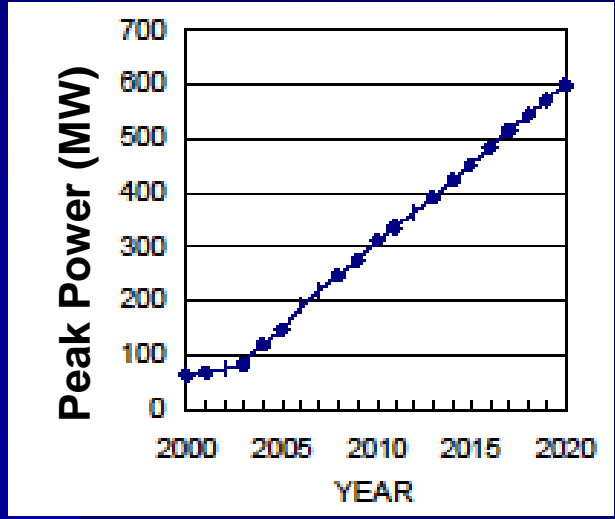


- Thailand 小さいが成長は早い
- Vietnam \* Source JBIC report 18

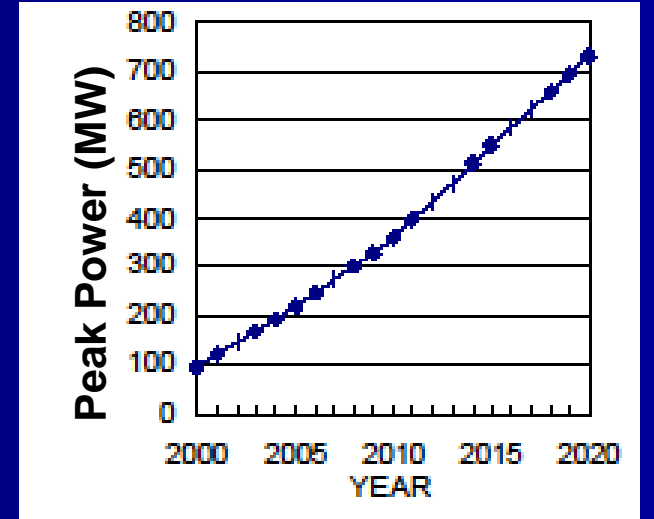


それぞれの国が自分の政策で整備(追いつかないことも)

- Cambodia

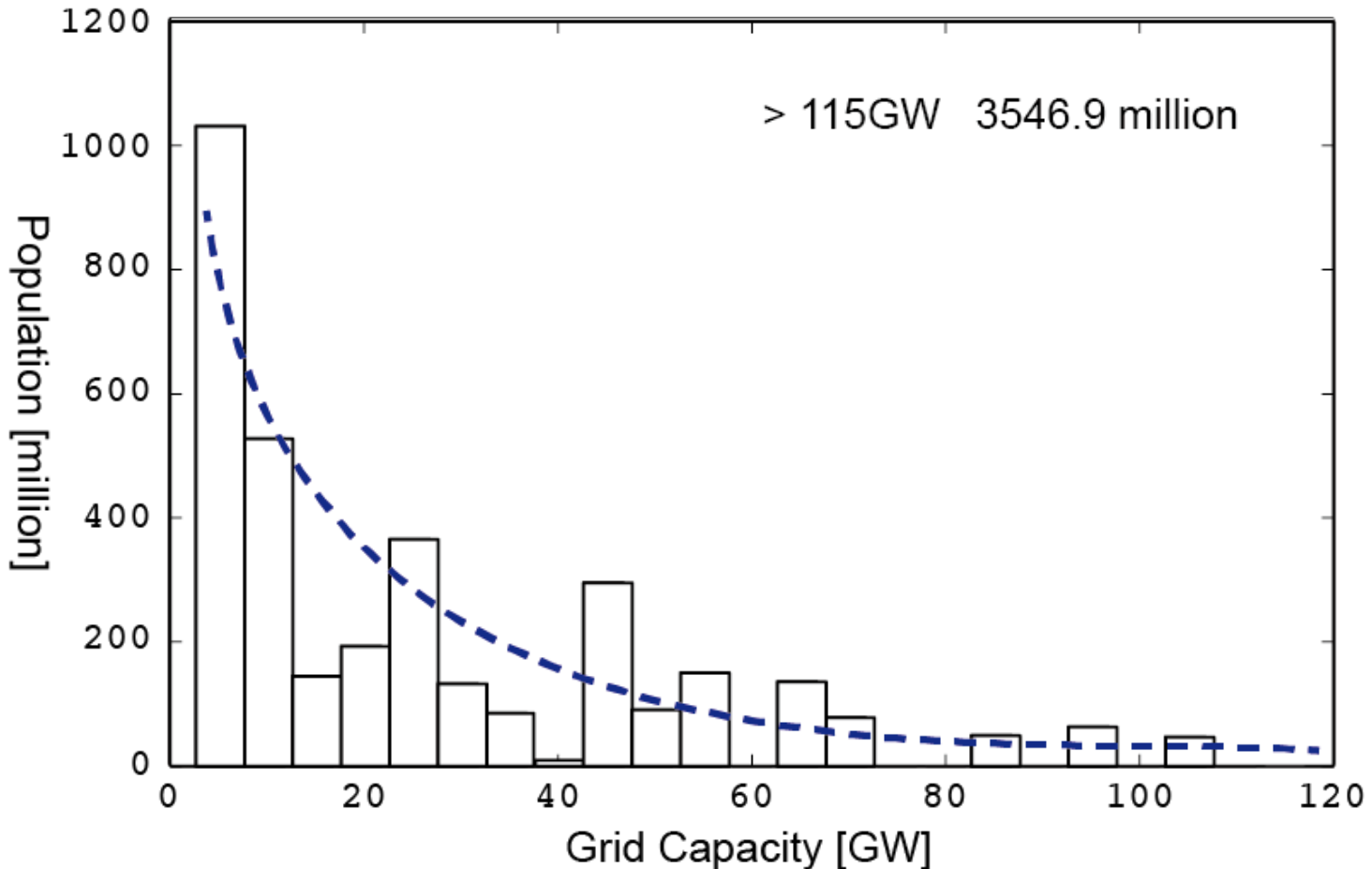


- Laos



# グリッド規模とそこに依存する人口(2011)

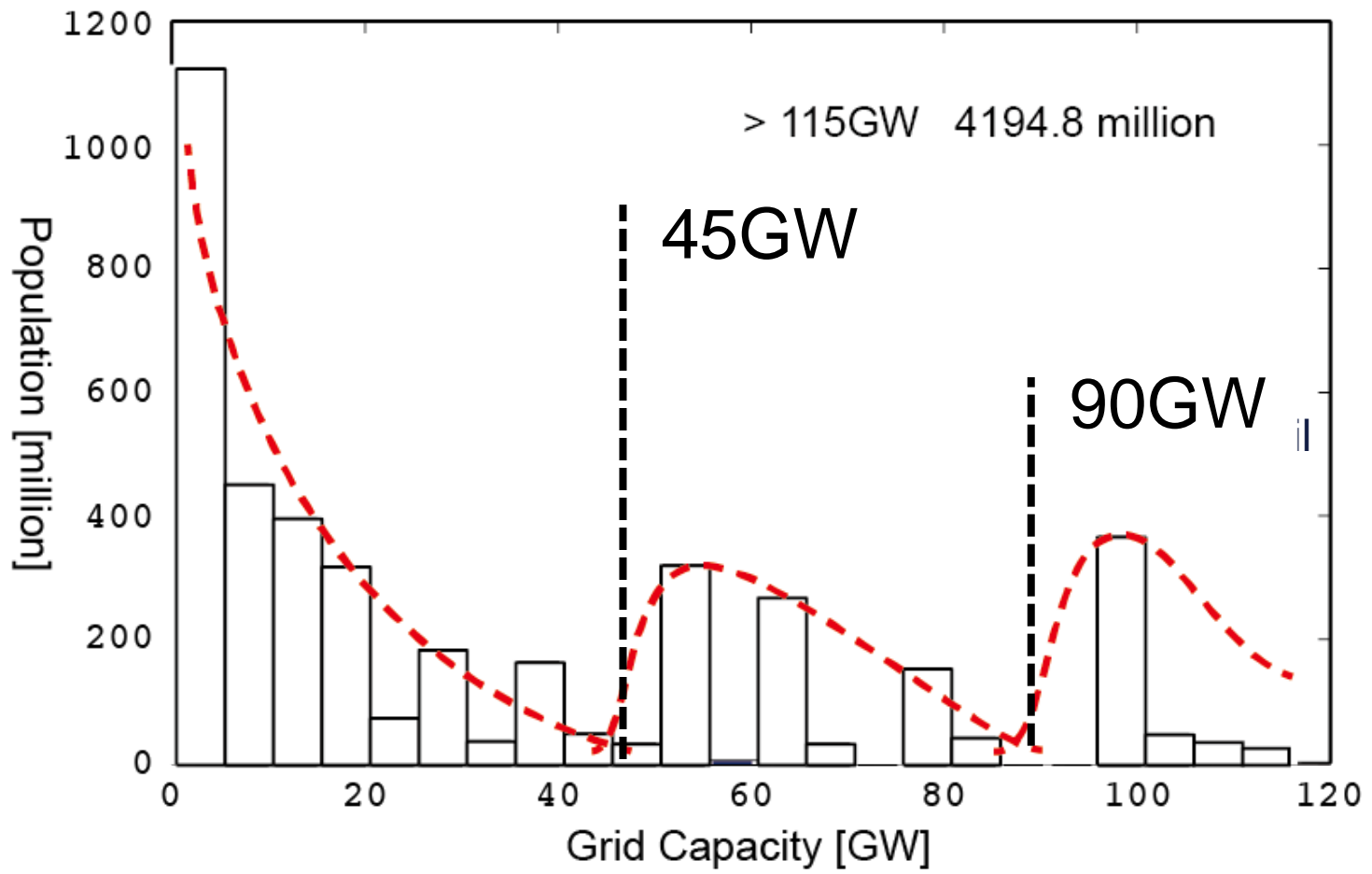
*Institute of Advanced Energy, Kyoto University*



**Capacity of electricity grid and countries population belong to them 2011.**

# 電力網規模とそこに依存する人口(2035)

Institute of Advanced Energy, Kyoto University



**Growth in each country shifts grids into 3 groups**  
➡ **fusion introduction occurs when grids glow.**

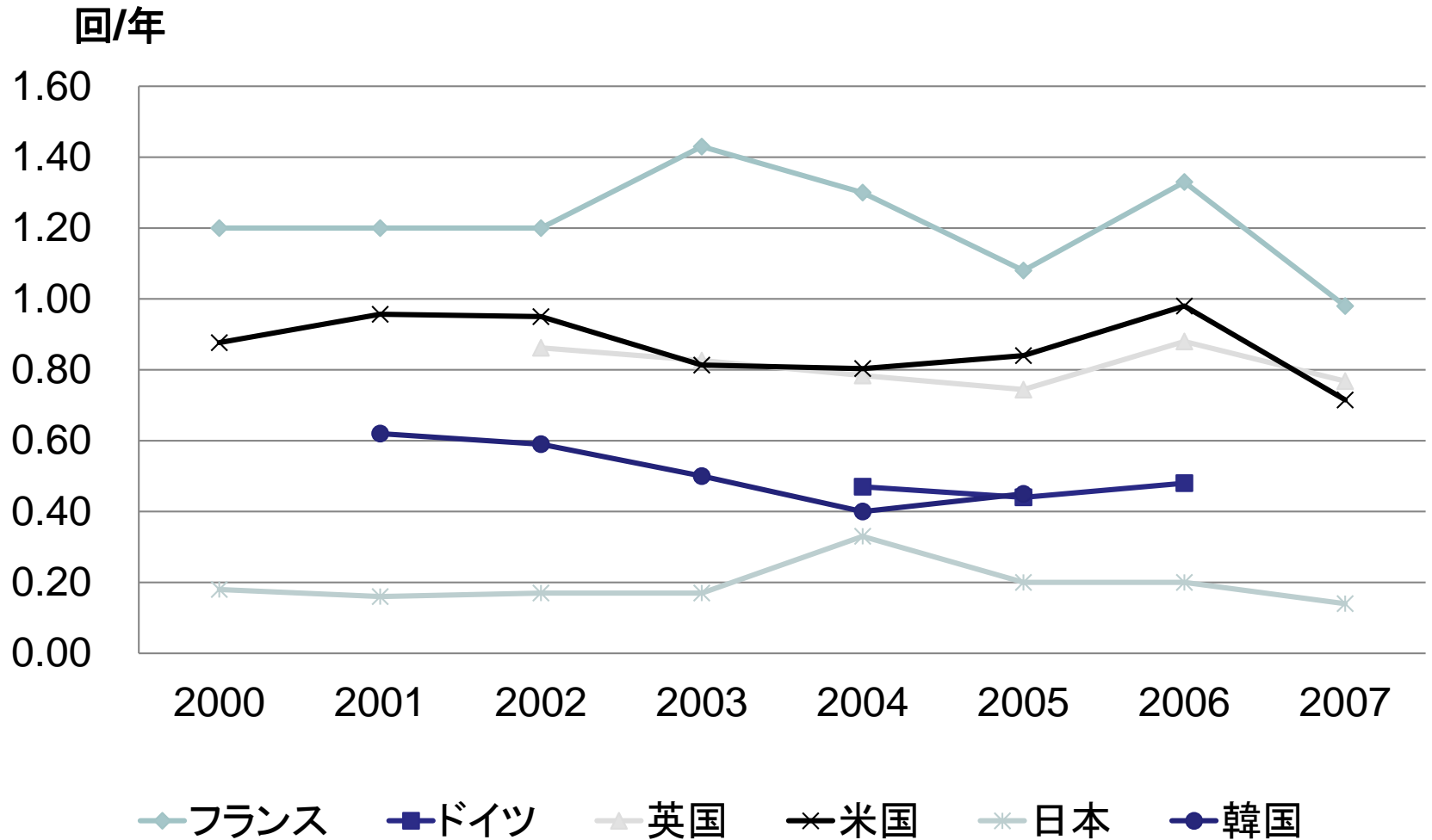


中国の電力。すでに量は世界一。  
しかし10数社が連携せずにそれぞれグリッドを形成





# 需要家1軒当たりの年間停電回数



各国の停電頻度海外電力調査会「海外電気事業統計2009」、電気事業連合会

## 本日の課題 2

課題 1 で書いたサプライチェーン。

そのうち何が、それぞれのエネルギー源で厳しい制約になる？  
資源以外が、無尽蔵なはずのエネルギーを制約することが  
見えてくると思うんだけど。



## 電力システムの変化

- ・ エネルギー開発には社会、需要の変化に対する応答能力が重要
- ・ 電力は生活インフラであり、**国家セキュリティ**問題
- ・ 安定性、大停電リスクの回避が重要

## 未来エネルギー需給への対応

- ・ 未来社会の電力供給の中で集中電源、分散電源の位置付け
  - ・ 未来社会で要求されるエネルギー供給
    - 一 再生可能電力導入による脆弱化
    - 一 低炭素化
    - 一 コージェネ、多様な利用形態（PHV等）
- 途上国の経済開発のエネルギー源になりうるか？