

山形大学・学生との対話  
2018年12月7日

# 「これからのエネルギー選択を考える ～各エネルギーの特徴と課題～」

早瀬 佑一

日本原子力学会シニアネットワーク連絡会(SNW)副会長

エネルギー・環境研究会代表

元東京電力、元日本原子力研究開発機構

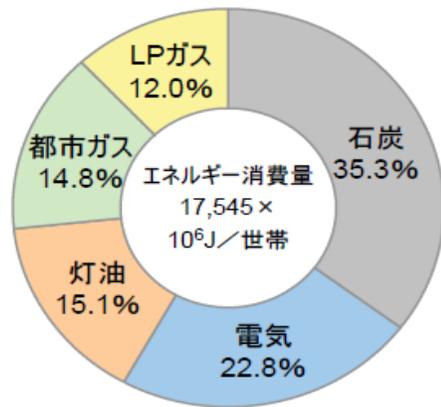
# 本日の話

- ◇電気利用の現状と今後
- ◇電力供給の重要性
- ◇電力自由化と電力安定供給
- ◇エネルギー国策
- ◇各種電源の特徴と課題
- ◇電源ミックスのあるべき姿
- ◇皆さんへのお願い

# 家庭のエネルギー源の推移

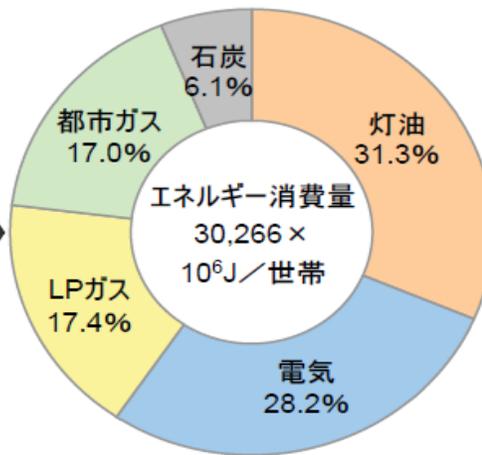
- 1965年度には、石炭が家庭のエネルギー源の3分の1以上を占めていましたが、その後、灯油・電気・ガスに代替しました
- 近年は、家電製品の普及、大型化・多機能化などにより、電気の割合が大幅に増加しています

【1965年度】  
(高度経済成長開始時期)



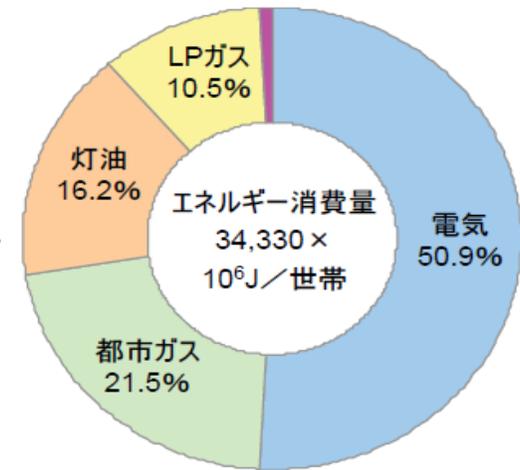
約1.7倍

【1973年度】  
(第一次石油危機)



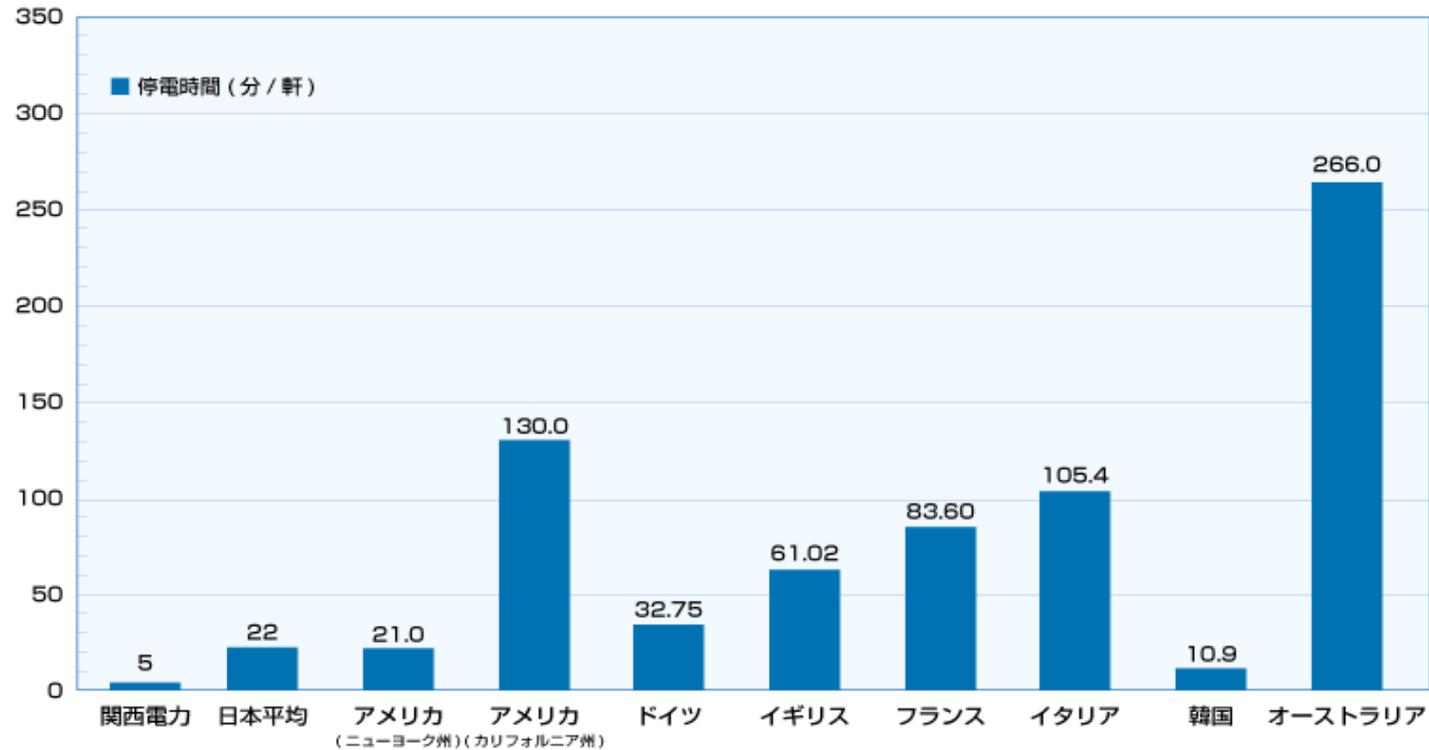
約1.1倍

【2014年度】  
太陽熱他0.8%



出典：日本エネルギー経済研究所「エネルギー・経済統計要覧2016」、資源エネルギー庁「総合エネルギー統計」「エネルギー白書2016」、総務省「住民基本台帳」をもとに作成

# 1軒当たりの年間停電時間の比較



関西電力・・・2016年度実績

日本平均・・・2015年度実績

アメリカ・・・2015年実績 (大嵐を含む) [出典] 海外電力調査会編「海外電気事業統計」(2016年版)

ドイツ、イギリス、フランス、イタリア・・・2013年実績 (荒天時を含む)

[出典] CEER「Benchmarking Report 5.2 on the Continuity of Electricity Supply」

韓国、オーストラリア・・・2014年実績 [出典] 海外電力調査会編「海外電気事業統計」(2016年版)

# 国家安全保障（日本国民の生命と尊厳を守る）

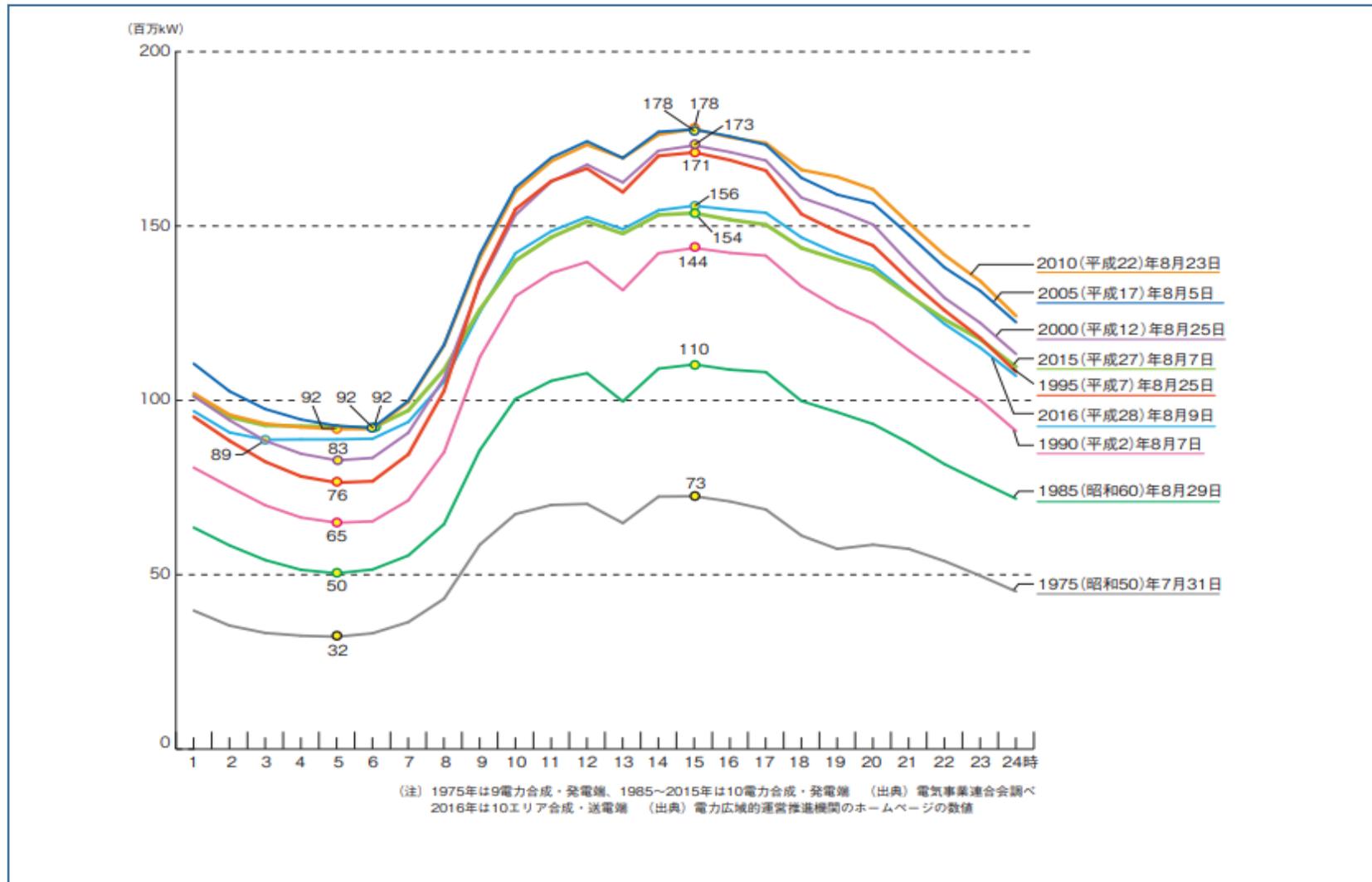
- ◇国土安全保障（国土と財産の保全）
- ◇エネルギー安全保障（エネルギー安定供給）  
（生活、産業、経済の維持、発展）
- ◇食料安全保障（生命と健康の維持）
- ◇教育安全保障（国民のアイデンティティ、人間形成、  
教育、文化水準の維持）

\* Security（安全保障）

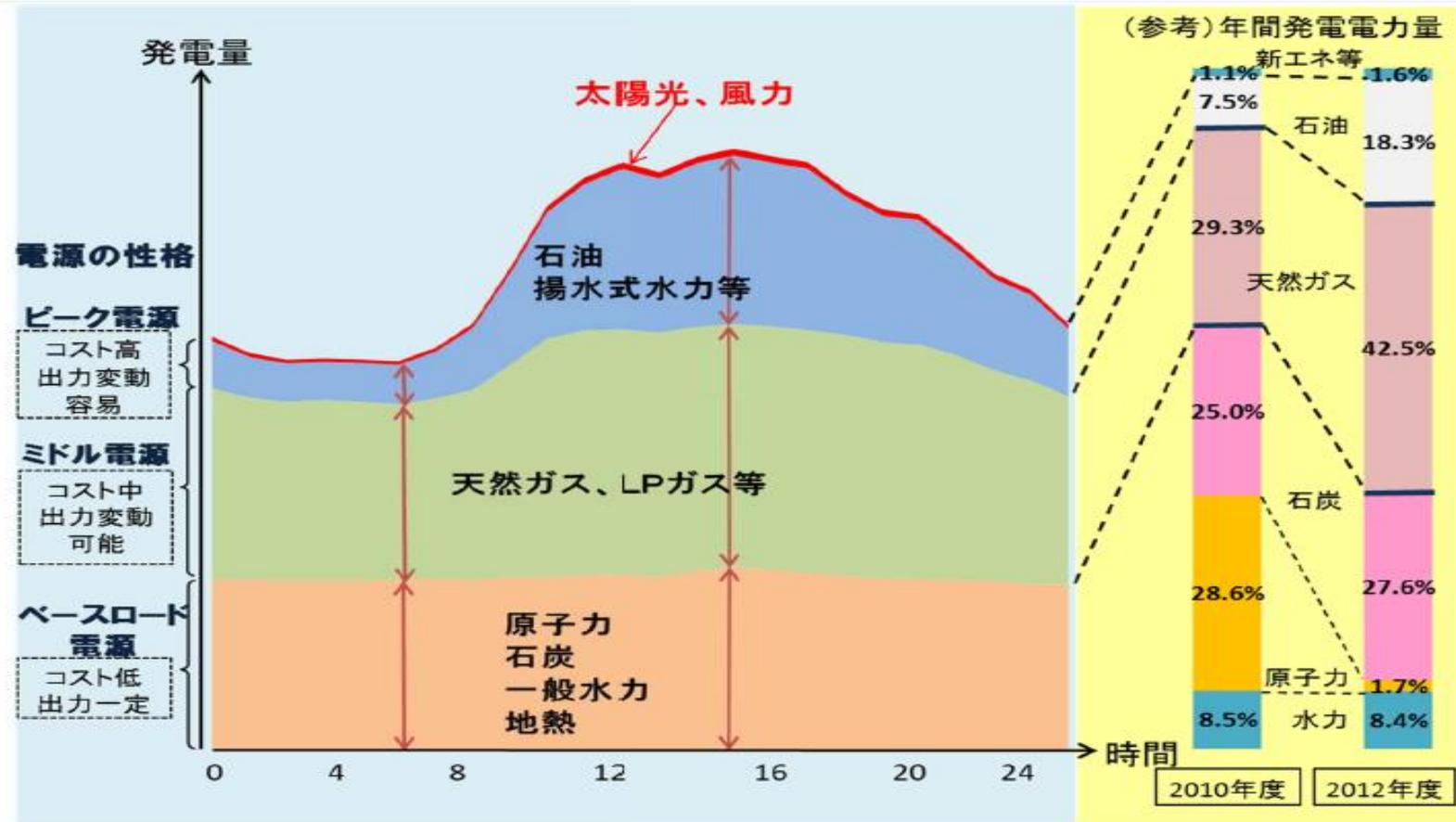
# 社会の要求を満たす電力安定供給とは

- ◇【量の確保】産業や国民が必要とする電力の**需要**を常に満たす
- ◇【質の維持】電気の**質**（電圧、周波数、停電時間）の維持
- ◇【合理的な価格の維持】国際競争力を維持し、国民負担が加重にならない**価格**

# 一日の電力需要の変化



# 電力需要に対応した電源構成



ベースロード電源: 発電コストが低廉で、昼夜を問わず安定的に稼働できる電源  
 ミドル電源: 発電コストがベースロード電源に次いで安く、電力需要の変動に応じた出力変動が可能な電源  
 ピーク電源: 発電コストは高いが電力需要の変動に応じた出力変動が容易な電源

# 電力会社の給電指令

## ◇【前日の準備】

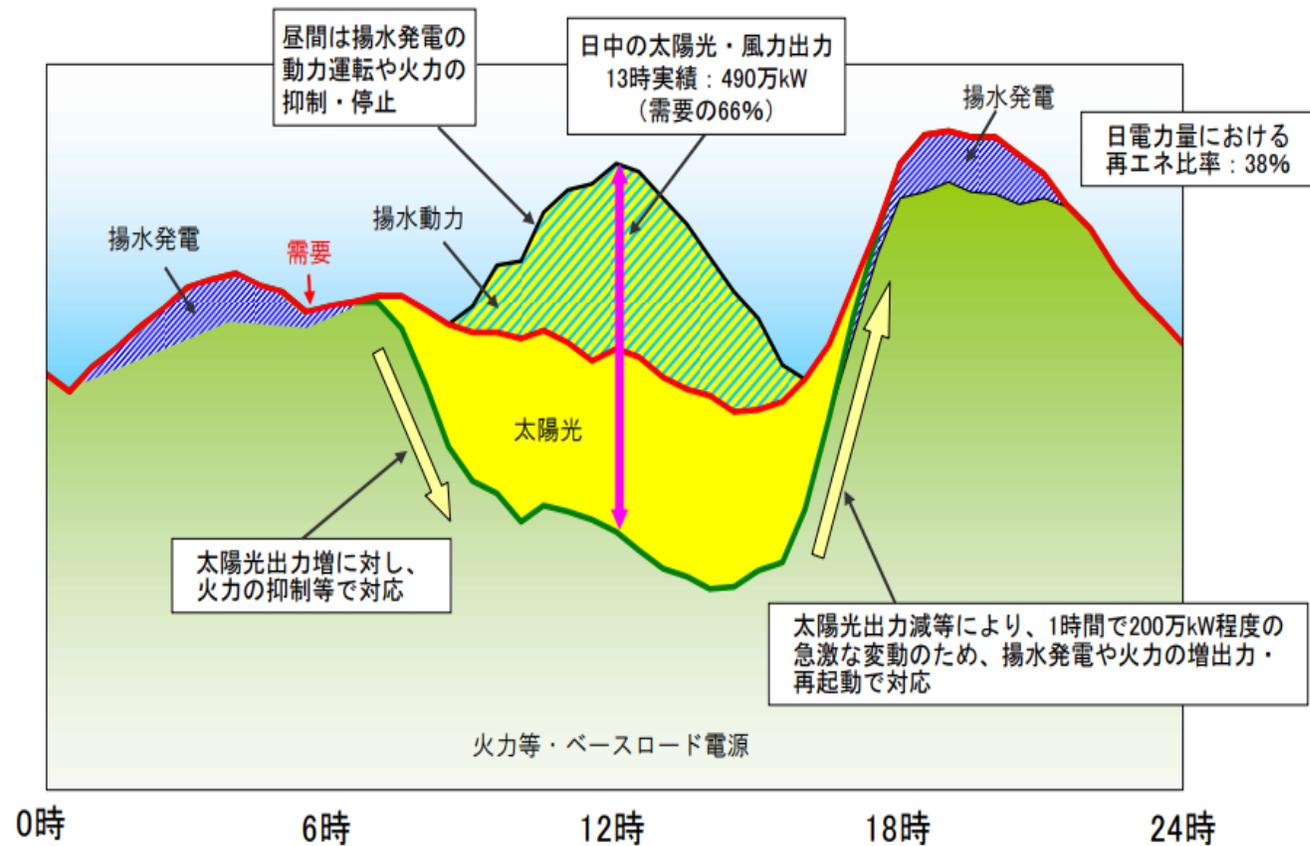
- 翌日の需要の時間変化を予測する。産業活動、商業活動、生活の時間変化、天候、気温、湿度の予報に沿って予測する
- 次に、予測需要に対し、原子力発電、火力発電、水力発電、太陽光発電、風力発電をバランスよく運転するきめ細かな計画をたてる
- 緊急事態（気温異常上昇による需要急増、発電、送電、変電の事故、故障）に備え、一定の予備力（8%）の準備をする

## ◇【当日の給電指令】

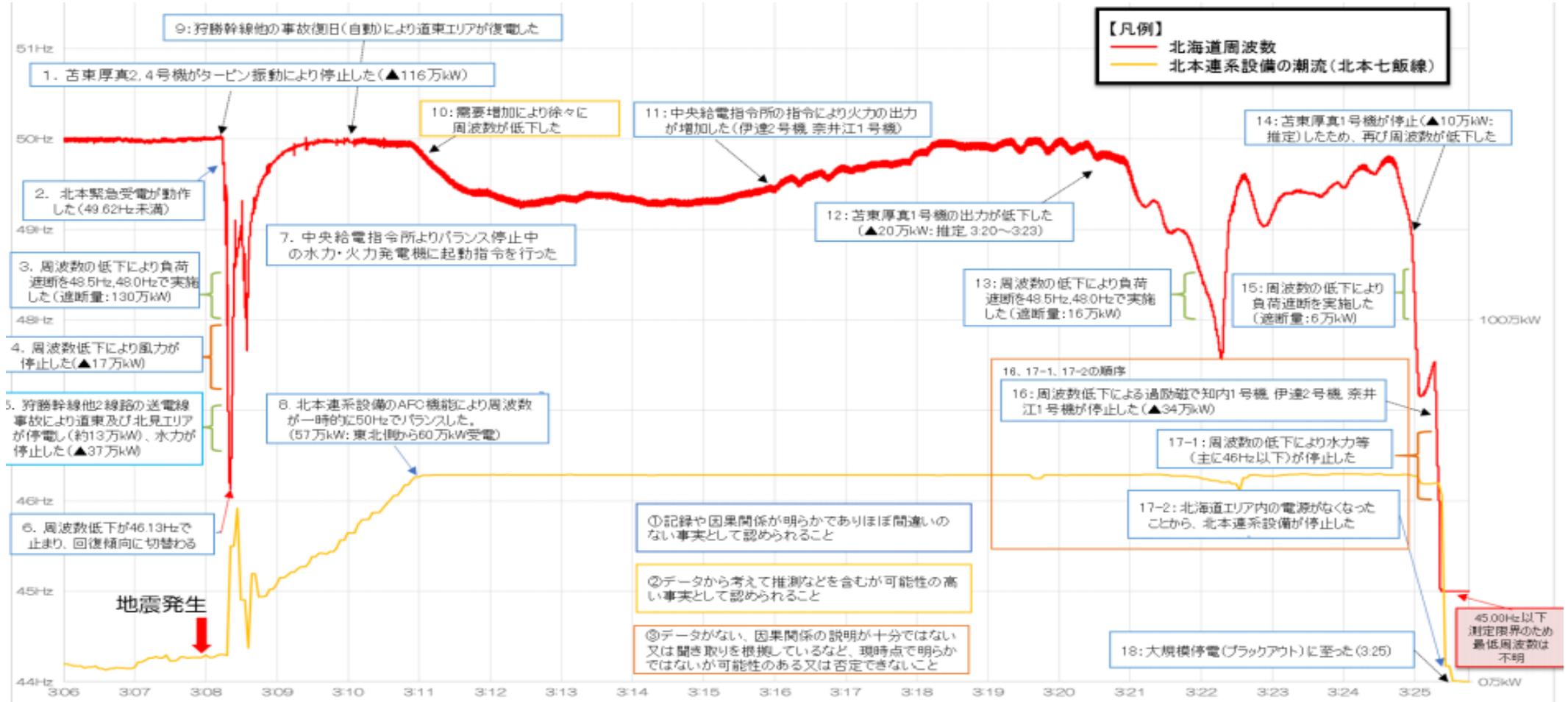
- 予測をもとに、当日の状況変化を加味し、それぞれの発電所に発電指令を出す（発電開始、出力増、減、停止）

# 九州電力の太陽光発電制御

## 2018/5/4の需給バランス



# 北海道ブラックアウト時の周波数変化



# 北海道ブラックアウト周波数変化時系列

【地震発生】・2018/9/6/03:08(震源肝振地方、M6.7、震度7)、全需要310万kW

## 【時系列】

03:08 ・地震発生、・苫東厚真2、4停止、・48.0Hzで緊急負荷遮断(130万kW)、・49.62Hzで北本連系線(60万kW)緊急受電動作、・狩勝幹線等の故障、・周波数低下46.13Hzで止まり、回復へ

03:09～11 ・水力、火力に起動指令、・勝狩幹線等自動復旧、・50Hz回復

03:11 ・需要増加により周波数低下開始

03:15 ・火力に追加起動指令

03:20 ・苫東厚真1出力低下開始

03:22 ・48.0Hzで再度緊急負荷遮断(16万kW)

03:23 ・周波数回復

03:25 ・苫東厚真1が停止。周波数低下開始、・48.0Hzで再度緊急負荷遮断(6万kW)、・周波数低下止まらず、火力、水力順次停止、・ブラックアウト、・北本停止

## 【原因】(事故調査委員会)

- ・苫東厚真発電所全停+送電線事故の複合要因
- ・北海道電力の対応には問題なし

# 北海道ブラックアウト対策

## 【当面の対策】

- ・緊急時負荷遮断量の増大(+35k万W)
- ・苫東厚真1、2、4の3基同時運転は、京極発電所1、2(20万kW×2)が運転可能であることを前提とする。
- ・京極の1基が停止中は、苫東厚真1の出力を20万kW絞る。高需要期は、他の火力で20万kWが確保できるように準備する。
- ・需要の30～35%は、周波数低下時でも運転継続可能な電源で供給すること。苫東厚真や水力は含めない。
- ・北本を適切に運用するためには、道内に3倍程度の系統規模が必要であるが、それに苫東厚真を含めないこと。
- ・緊急時に備え、停止中の火力等の待機予備力を確保する。

## 【中長期対策】\* 今後の課題

- ・緊急負荷遮断の再検討
- ・大出力発電所の運転再検討
- ・風力、太陽光発電の適正運用
- ・北海道周波数制御の再検討
- ・北本連系設備のさらなる増強 \* 費用負担
- ・発電設備、送電設備の高度化

# 電気利用の歴史

- ◇電気利用の最初:1879年(明治12年)、東京工部大学校・講堂におけるアーク灯の点灯
- ◇1887(明治20)年、東京電燈(現東京電力)設立
- ◇それ以来、様々な状況変化、技術進化、紆余曲折はあったが、日本人の真面目、堅実な取り組みの結果、電気の利便性を最大限に享受してきた
- ◇1951年(昭和26年)、現在の9電力体制発足
- ◇2000年(平成12年)、電力自由化スタート(大口需要家)

# 電気事業を巡る最近の大変化 「公益事業」から「一般企業」へ

◇かつて、電気事業は「公益事業」

\* 広辞苑によると、「公益事業とは、公共の利益に関係し、公衆の日常生活に不可欠の事業。運輸、郵便、電話、水道、ガス、電気などの事業」

\* 安定供給が究極の目的。地域独占と総括原価方式。適正投資、経費確保。  
供給義務とユニバーサルサービス

◇2000年(平成12年):電力自由化スタート(大口需要家):「一般企業」へ大転換  
のスタート

2016年(平成28年):電力小売り全面自由化

2020年(平成32年):発送電分離

◇これからの電力会社は、「一般企業」として、電力自由化のもと、電気料金を低減し、かつ、安定供給を維持すること求められる。

# 電力自由化の下で安定供給を継続するには どうすべきか

- ◇「S＋3Eの同時達成」に向け、「バランスのとれたエネルギーミックス」の追求
- ◇実現に向けた基本的取組み
  - ・長期的かつグローバルな視点が大切
  - ・「国策＋民営」を根幹とする。明確な国策と効率的な民間企業が欠かせない
  - ・電力自由化の枠組みと整合した、健全な公益電気事業運営が重要。電力自由化と「S＋3Eの同時達成」の両立は、簡単ではない
  - ・国民理解の獲得が重要

# S+3Eの評価

## ◇安全性（S：Safety）

- ・視点：健康影響、環境影響、国民合意
- ・評価：安全目標、リスク受容水準

## ◇安定供給性（E：Energy Security）

- ・視点：電気の量、質（電圧、周波数、停電）
- ・評価：自給率、燃料輸入リスク

## ◇経済性（E：Economic Efficiency）

- ・視点：産業競争力、国民負担
- ・評価：コスト、電気料金

## ◇環境適合性（E：Environmental Protection）

- ・視点：地球環境適合性、脱炭素化
- ・評価：温室効果ガス排出量

# 「エネルギーミックス」追求の重要性と難しさ

- ◇【完璧な電源はない】単一で「S+3E」のすべてを満足する完璧な電源はなく、いずれの電源も、何らかの限界、課題を内包している。
- ◇【冷静、科学的、公平な評価】3Eのいずれかの要素だけに着目し、過大評価することは避けなければならない。原子力と再生可能エネルギーの2項対立を煽るのでは、問題は解決しない。
- ◇【エネルギーミックスの追求】限界、課題を内包する火力発電、原子力、再生可能エネルギーについて、実現性、社会コスト、国民理解等の視点から、社会全体・国民が納得・受容できるバランスのとれた組み合わせ（ミックス）が重要。

# 我が国のエネルギー国策

- ◇エネルギー国策は、2018年7月に閣議決定された「第5次エネルギー基本計画」。3年毎に見直す。
- ◇「第5次エネ基」の主要な結論
  - 2050年の温室効果ガス80%削減にむけ、電力の脱炭素化が主要な目標
  - 太陽光発電、風力発電を、経済的に自立した脱炭素化電源として主力電源化を図る
  - 実用段階にある脱炭素化電源である原子力発電を重要なベースロード電源と位置付けながら、依存度低減を図る
  - 火力発電は補完電源と位置づける
  - 2050年は不確実性、不確定性が大きく、数値目標は設定せず

# 「第5次エネルギー基本計画」の問題点

- ◇2050年に向けて、「S+3E」の3つのEの評価軸のうち、「脱炭素化」のE（Environmental Protection）が突出して扱われている。
- ◇再生可能エネルギー発電を過大評価し、原子力発電を過小評価し、火力発電を軽視している。
- ◇国家計画として、2050年におけるエネルギーミックス数値目標も実現に向けた道筋が示されていない。
- ◇国家基本計画としては、不十分。
  - ・3つの電源について、政府の明確な意思、覚悟、決意が見えない
  - ・将来の電力供給の姿が見えない
  - ・技術開発、電源開発について、誰が、何を、いつまでにやるのか明確になっていない
  - ・電力会社、太陽光、風力発電会社は発電所新增設の計画が立てられない

# 火力発電の特徴、課題

## 【安全性】

- ・酸性雨

## 【Energy Security】

- ・安定ベースロード電源、ミドル電源、ピーク電源の実績あり
- ・給電指令対応の実績あり
- ・豊富な資源量(海外、石炭埋蔵量114年)
- ・燃料は海外からの輸入に依存(2013年、88%)

## 【Economic Efficiency】

- ・石炭:12円/kWh、石油:31~43円/kWh、天然ガス:14円/kWh

## 【Environmental Protection】

- ・CO<sub>2</sub>排出高:石炭943/gCO<sub>2</sub>、石油738/gCO<sub>2</sub>、天然ガス599/gCO<sub>2</sub>

## 【課題】

- ・一層の低炭素化(効率向上)
- ・脱炭素化(CCS)技術の開発

# 原子力発電の特徴、課題

## 【安全性】

- ・新規制基準適用により、格段に改善
- ・リスクは大幅に低下。100TBq放出事故の確率は $10^{-6}$ /年以下

## 【Energy Security】

- ・安定、脱炭素化ベースロード電源として、実績あり
- ・準国産エネルギーとして定着

## 【Economic Efficiency】

- ・十分に低い発電コスト: 10円/kWh

## 【Environmental Protection】

- ・CO<sub>2</sub>排出ゼロ

## 【課題】

- ・核燃料サイクルの着実な実現(高レベル放射性廃棄物処分)
- ・21世紀後半に向けた、新增設、リプレースの実現
- ・給電指令対応(負荷追従運転)の実現
- ・国民の不安、不信の解消に向けた安全運転の実績蓄積と理解獲得

# 安定型再生可能エネルギー発電(水力、地熱、バイオ)の 特徴、課題

## 【安全性】

- ・十分な実績あり

## 【Energy Security】

- ・安定ベース電源の実績あり
- ・給電指令対応の実績あり

## 【Economic Efficiency】

- ・水力:11円/kWh、地熱:17円/kWh、バイオ:30円/kWh

## 【Environmental Protection】

- ・CO2排出低

## 【課題】

- ・追加開発には限界あり(国立公園、温泉)

# 変動型再生可能エネルギー発電(太陽光、風力)の 特徴、課題

## 【安全性】

- ・環境破壊、景観破壊

## 【Energy Security】

- ・発電出力が日照、風況依存→給電指令対応不可
- ・バックアップ電源(火力)が必要
- ・低効率(太陽光約10%、風力約20%)
- ・希薄、低密度(100万kW発電所用地として、太陽光は山手線の面積、風力は3倍の面積が必要)

## 【Economic Efficiency】

- ・発電コストが高い: 太陽光: 24~29円/kWh、風力: 22円/kWh

## 【Environmental Protection】

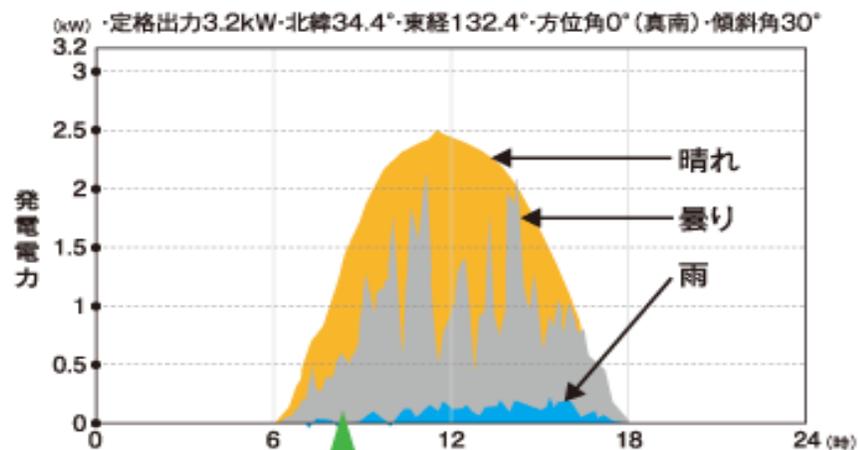
- ・CO2排出低

## 【課題】

- ・発電コストの一層の低減
- ・給電指令対応(大容量蓄電池、水素システムの開発)
- ・廃棄物処分

# 太陽光発電と風力発電の出力変動

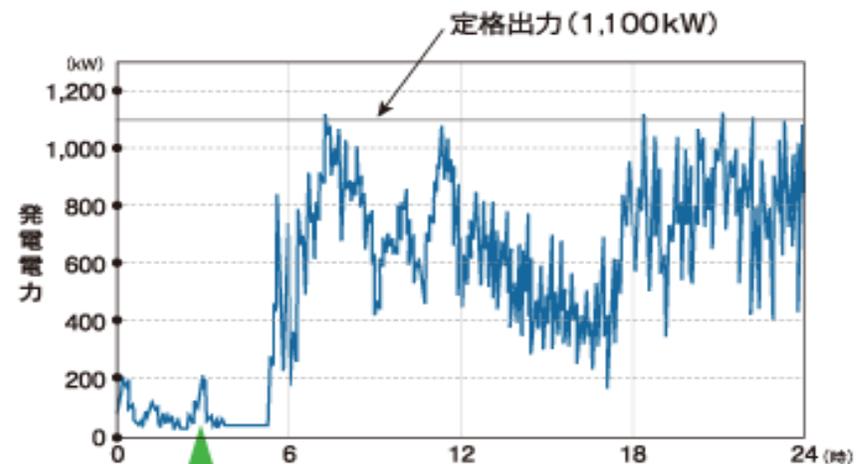
## 太陽光発電の出力変動例(春季)



太陽光発電は時間帯と天気で  
発電量が変わる

電気事業連合会  
「原子力・エネルギー」図面集 2013 をもとに作成

## 風力発電の出力変動例(冬季)



風力発電は風の強さで  
発電量が変わる

電気事業連合会  
「原子力・エネルギー」図面集 2013 をもとに作成

# 2030年の電源ミックス目標

## ◇2030年電源ミックス数値目標

<u>火力</u>	<u>原子力</u>	<u>再生可能エネルギー</u>
<u>65%</u>	<u>20～22%</u>	<u>22～24%</u>

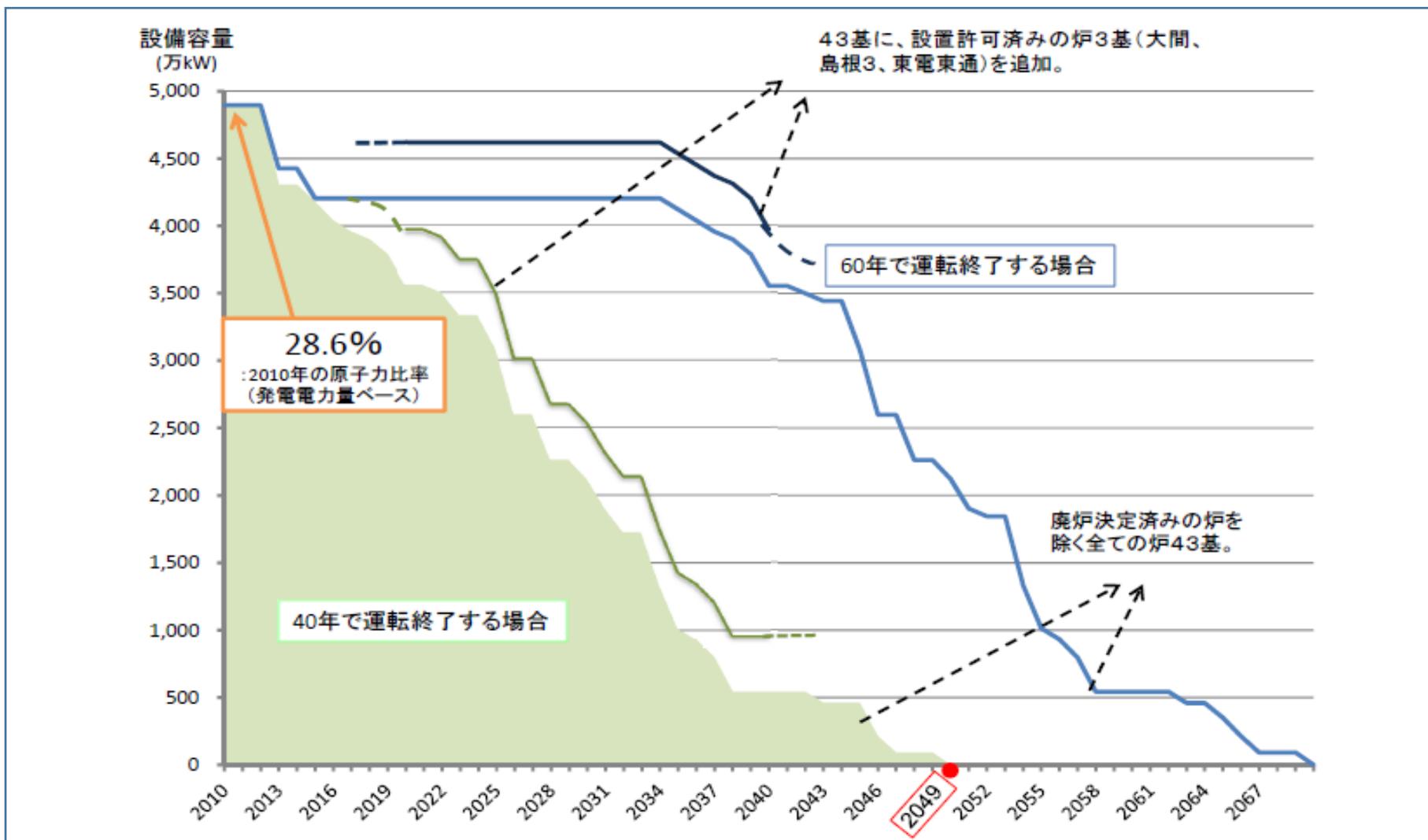
- ・福島原子力事故後の混乱状態にあり、原子力発電を抑制的な位置づけ

## ◇目標達成のためには、再稼働加速、60年運転等、官民の一層の取り組みが必要

# 2050年の電源ミックス目標

電 源	安全性	自給率	発電コスト	CO2排出	給電指令対応性	発電量目標
再生可能エネルギー＋大容量蓄電池	○	○ (国産エネルギー)	○? (要低減)	○ (排出ゼロ)	○? (要技術開発)	～1/3
火力＋CCS	○	× (輸入エネルギー)	△	○? (要技術開発)	○	～1/3
原子力	○? (要国民理解)	○ (純国産エネルギー)	○	○ (排出ゼロ)	○? (要技術開発)	～1/3

# 既存発電所の40年、60年運転の見通し



## まとめ

- ◇資源小国の我が国で、エネルギー安全保障には、「S+3E」と「エネルギーミックス」の視点が重要
- ◇2050年の「エネルギーミックス目標」は、火力1/3、原子力1/3、再生可能エネルギー1/3が望ましい。
- ◇この目標に向け、官民で、直ちに具体的計画、施策を設定し、精力的な取り組みに着手すべきである。とくに、電力自由化と原子力発電の両立は、政府の真剣な取り組みが大切。
- ◇国策民営に沿い、政府の責任ある強力なリーダーシップと健全な民間企業が欠かせない。

# エネルギー問題、環境問題に向き合う 科学リテラシーを磨こう

- ① リスクの視点を忘れずに。リスクゼロの電源はない。リスクの受容水準を見極めること
- ② 多面的見方に立つ、幅広い意見に耳を傾ける。3つのEをバランスよく評価する
- ③ 科学的・客観的な見方に立つ。情緒的・主観的な見方は排除する
- ④ 疑問の心を忘れない

## エネルギー問題・環境問題は 私たちの問題です

- ◇エネルギー問題・環境問題を、自分の問題として考え行動することが大切です。誰かが、うまくやってくれるだろうと安心してはいけません。
- ◇子供たち、孫たち、後世の日本がかかっています。正面からぶつかっていきましょう。思うこと、考えることがあれば、発言しましょう、行動しましょう。
- ◇将来のエネルギー安全保障のために、原子力発電の灯を絶やしてはいけないことを、私も出来る限り訴えていこうと思います。