

第28回 易しい科学の話
2018年10月17日(水)

大停電はどうして起こるのか？

吉岡 芳夫

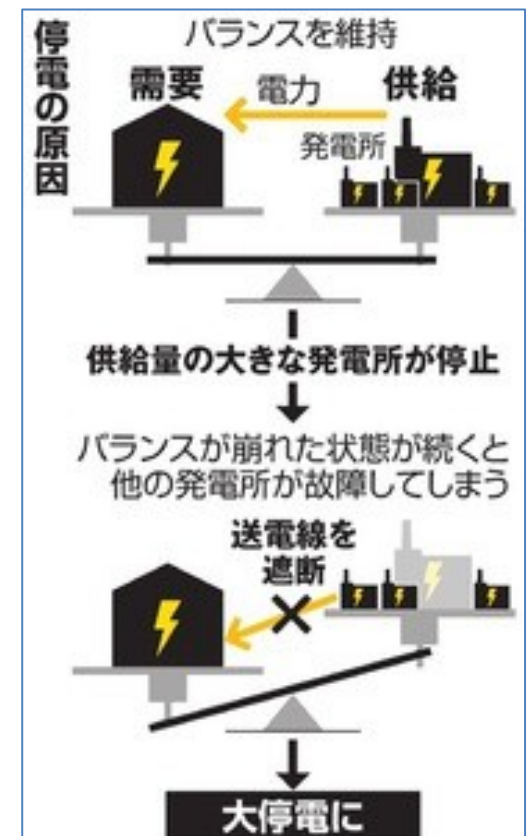
この資料は、インターネット上の公開情報を利用して作成されています。

日本で起こった典型的な大停電

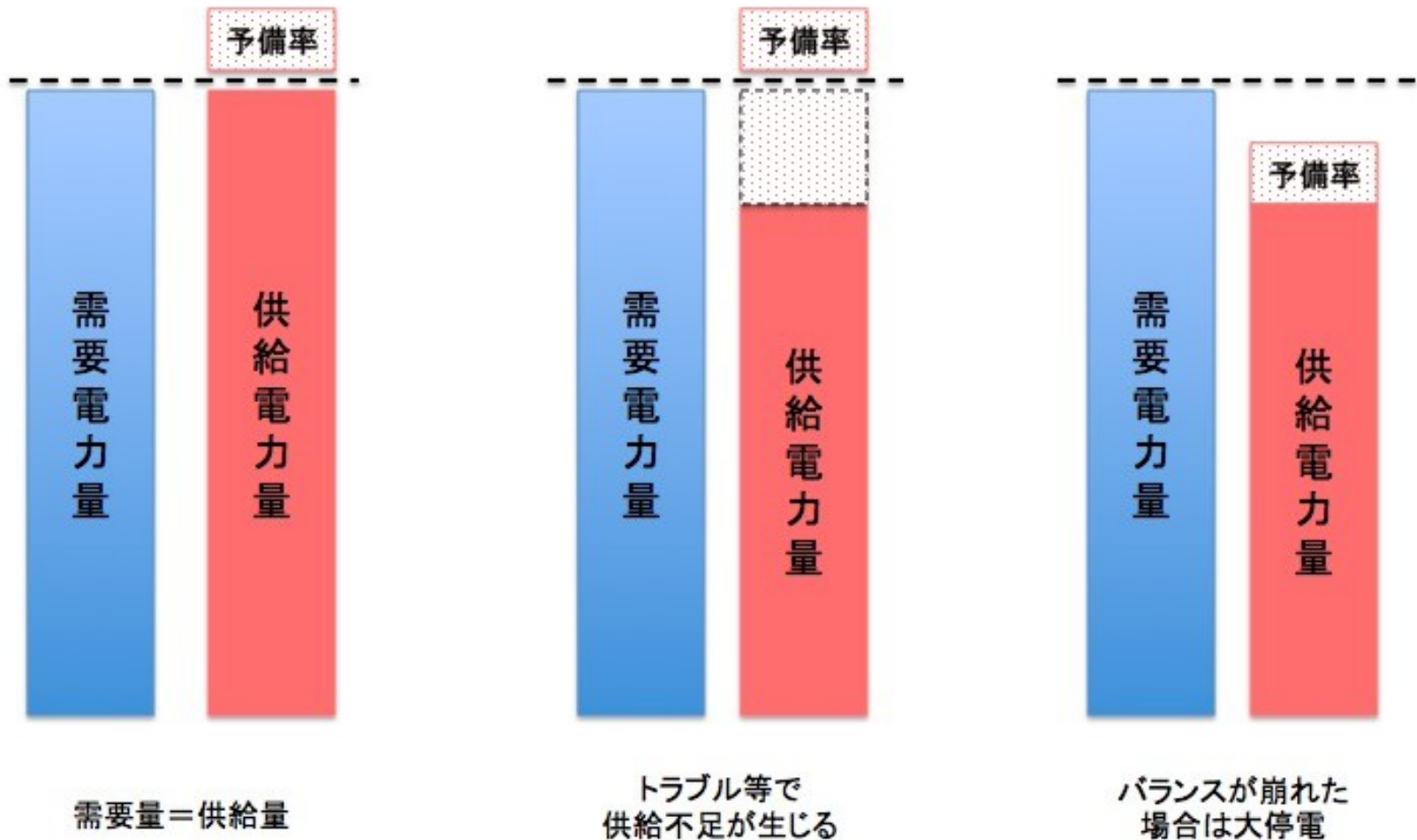
1. 平成30年北海道胆振東部地震による北海道全停電
2. 1987年7月23日の東京大停電
3. 東日本大震災による大停電

この二つの大停電は、電力の需要と供給のアンバランスによって発生した！

- 1は、使っている電気に対して、発電量が急に下がった。
- 2は、発電量に対して、使う電気が急に増えた。
- 3は、発電設備、送電設備の地震と津波による故障






大停電(ブラックアウト)が発生する流れ

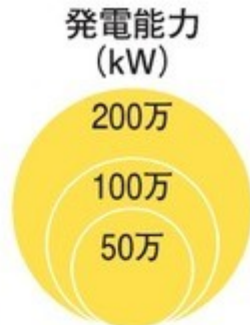




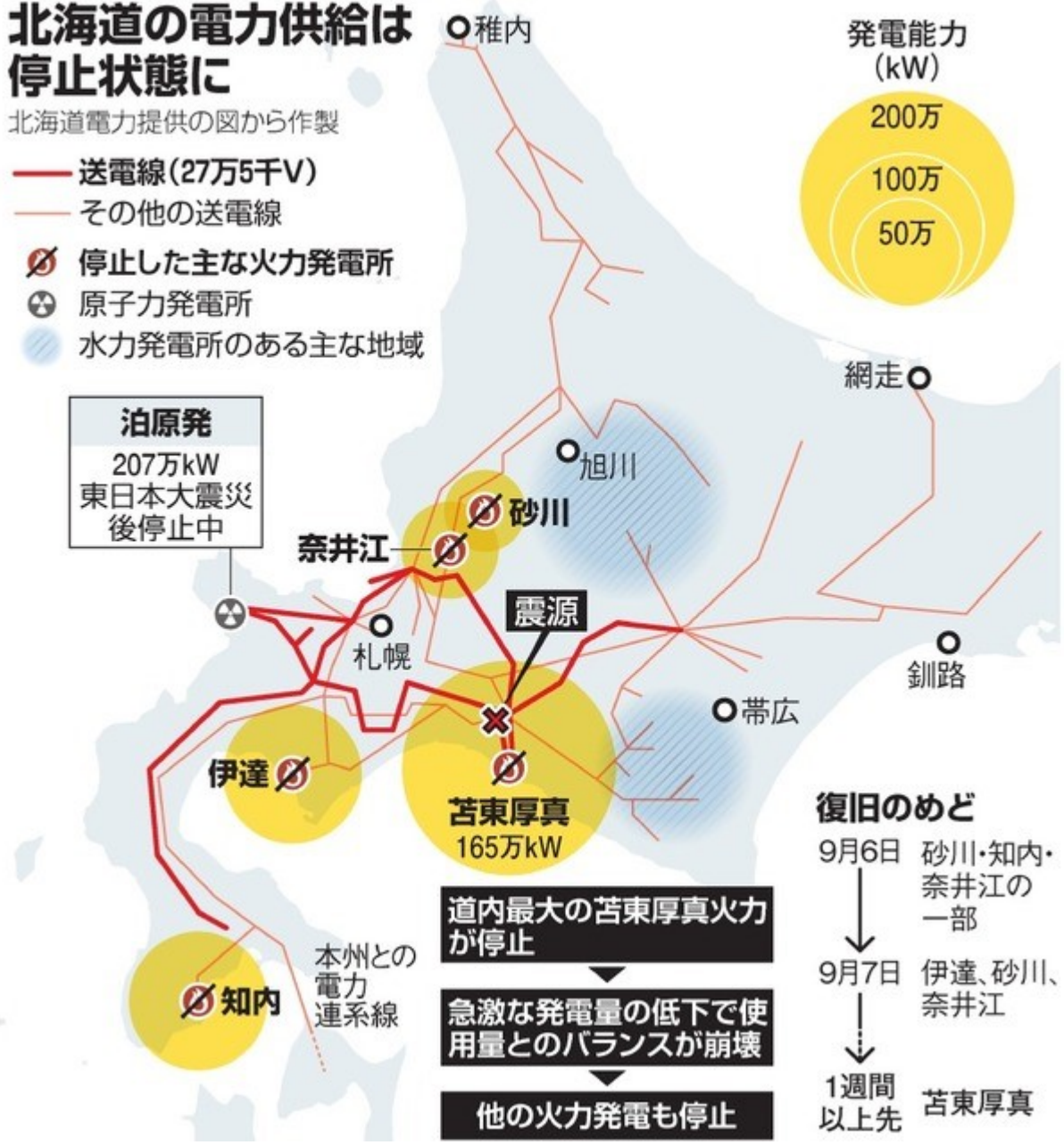
北海道の電力供給は停止状態に

北海道電力提供の図から作製

- 送電線(27万5千V)
- その他の送電線
-  停止した主な火力発電所
-  原子力発電所
-  水力発電所のある主な地域



泊原発
207万kW
東日本大震災
後停止中



道内最大の苫東厚真火力が停止

**急激な発電量の低下で
使用量とのバランスが崩壊**

他の火力発電も停止

復旧のめど

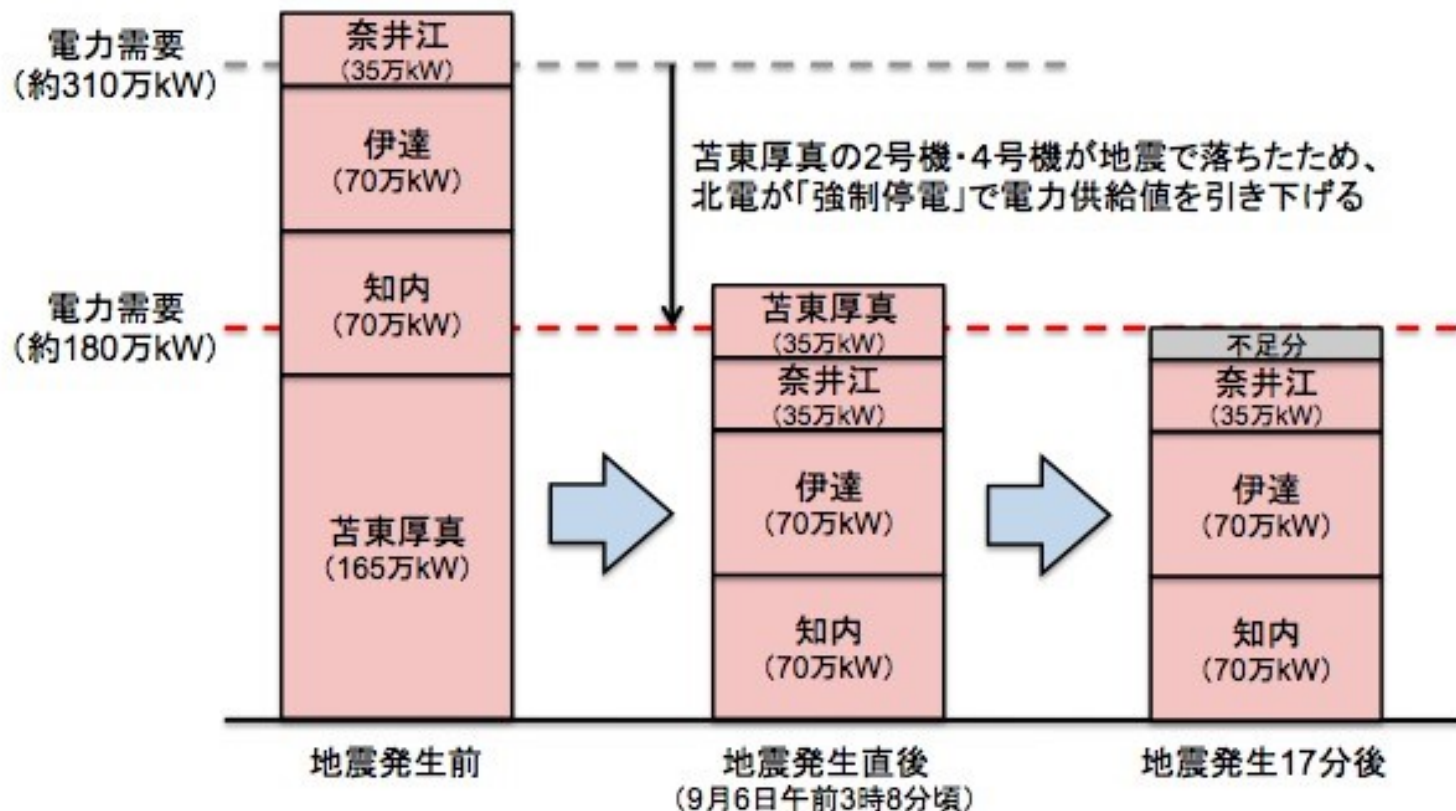
9月6日 砂川・知内・
奈井江の
一部

↓

9月7日 伊達、砂川、
奈井江

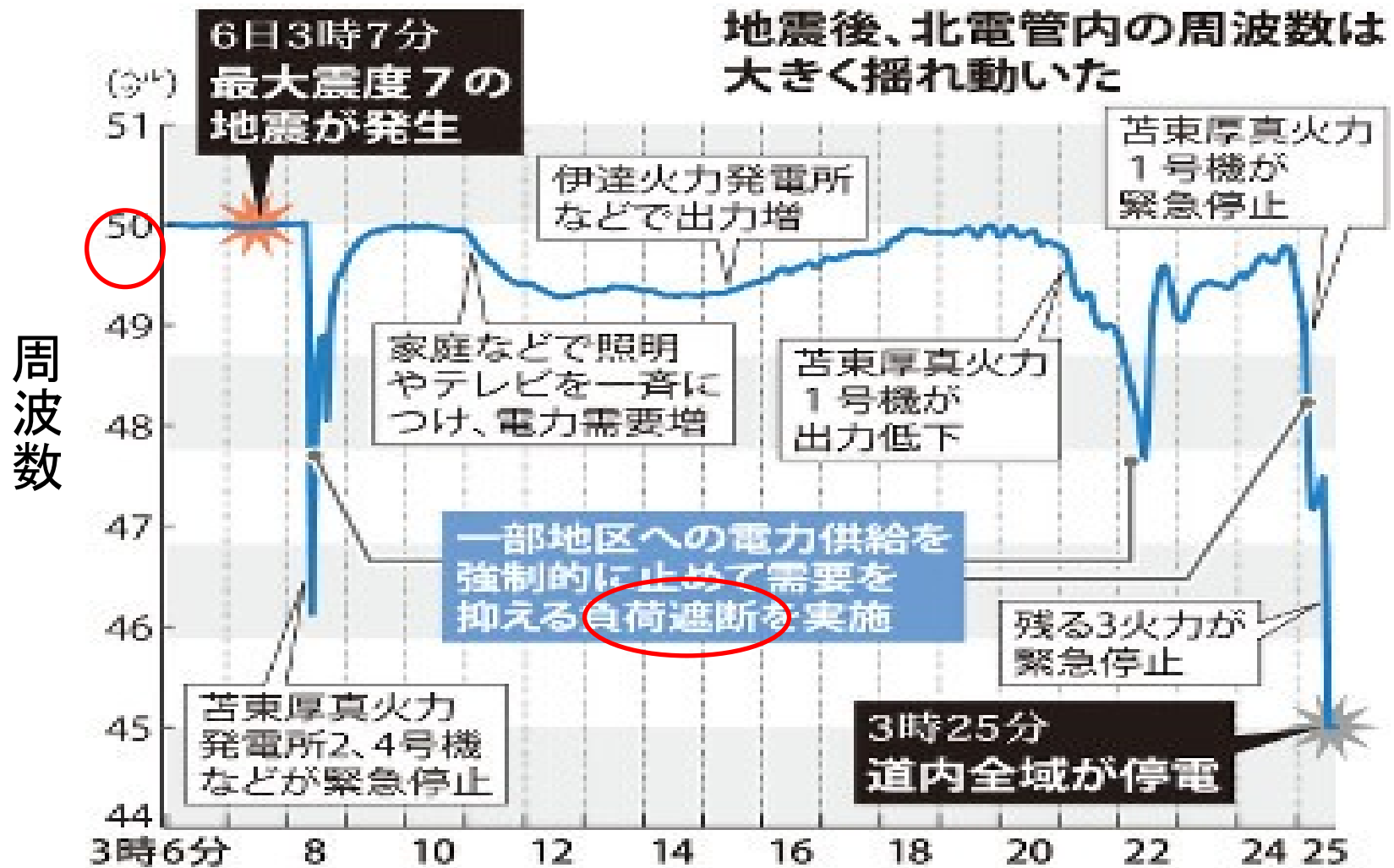
↓

1週間
以上先 苫東厚真



1. 地震で苦東厚真2号機・4号機(出力:130万kW)の運転が停止
2. 130万kW分の供給不足が生じたため、北電は強制停電を敢行
3. 地震から17分後、苦東厚真1号機が(出力:35万kW)の運転が停止
4. 北電に不足分を埋める余力がなかったため、ブラックアウトが発生

北海道で起こった大停電の発生経過



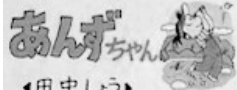
北海道の大停電を避けるためにしたこと

- 発電量の激減に対して、負荷を自動的に遮断
- 本州から、直流の海底ケーブル送電で電気をもたらした。
- しかし、需給バランスはとれなかった。

系統分離をすれば、全停電にはならなかった。

系統分離とは、大きな需給アンバランスが出たところを健全な系統から、切り離すこと。

停電しない系統が残っていると、復旧の時間が早くなる。



＜田中しょう＞



北海道電力は24日、地震で
停止した苫東厚真火力発電所
厚真町の全3基のうち最も
出力が大きい4号機70万kw
が同日にも再稼働して、再稼働
が完了した。

北海道電力は24日、地震で
停止した苫東厚真火力発電所
厚真町の全3基のうち最も
出力が大きい4号機70万kw
が同日にも再稼働して、再稼働
が完了した。

北海道地震後、国内初の全域
停電（ブラックアウト）が起き
るまでの18分間の経緯が徐々に
明らかになってきた。強制停電
でいったんは危機を回避したも
の、きりぎり動き続けた苫東
厚真火力発電所（厚真町）1号
機（出力35万kw）の停止が決定
打。第三者の検証委員会が北
海道電力の社内記録や関係者へ
の聞き取りを基に作成・公表し
た資料からひもとく。

崩れた電力需給

6年前3時7分、厚真町で
最大震度7の地震が発生。震源
▼苫東厚真
たまたが出力は低下し5万kw減
つたとみられる。
当時の電力需要は309万
kw。発電機が安い巨炭火力の
力などは2〜3割の低稼働たっ
た。だが出力は低下し5万kw減
つたとみられる。
当時の電力需要は309万
kw。発電機が安い巨炭火力の
力などは2〜3割の低稼働たっ
た。

苫東厚真2、4号機の停止と
1号機の出力低下で電力需給
バランスが大きく崩れた。
北海道は3時8分、北本連
系線で本州から電力融通を受け
た。

北海道電力は24日、地震で
停止した苫東厚真火力発電所
厚真町の全3基のうち最も
出力が大きい4号機70万kw
が同日にも再稼働して、再稼働
が完了した。

北海道ブラックアウト 18分の記録

近郊に立地し、道内の電力供給
の約半分を担っていた苫東厚真
では、2、4号機の不安定稼働が作
動し、8分に緊急停止、116
万kw失った。1号機は持ちこ
たない。



停電で看板などの照明が消えた
札幌市中心部の繁華街ススキノ
（9月6日下）上は3月撮影
の（ススキノ）

重要なおポイントだったと注目
している。風力（巨万kw）も止
まった。

強制停電も安定保てず

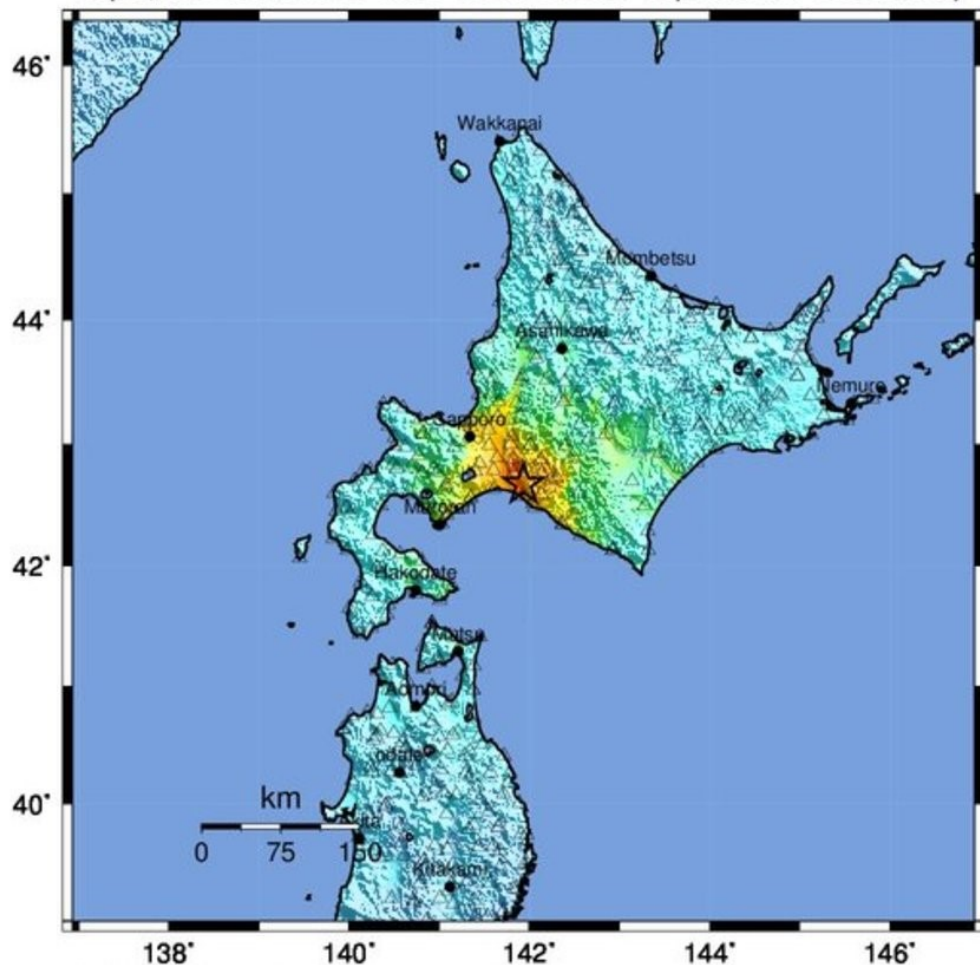
ほぼ同時刻、狩勝幹線など3
本の送電線が故障し道東と北見
地区（13万kw）が停電。地震動
の影響で地面に電力が漏れる
一地区では水力発電所（43
万kw）も停止。検証委は「供給
能力の大幅低下につながり非常
に危険な状態となった。」

電力需要が、発電量を超えるときは、
あらかじめ契約で決めていた負荷を
強制的に遮断する。

家庭でも、契約電流を超えると
ブレーカーが落ちる。
電力の多い機器を切って、
ブレーカーを入れる。

USGS ShakeMap : HOKKAIDO, JAPAN REGION

Sep 5, 2018 18:07:58 UTC M 6.6 N42.67 E141.93 Depth: 33.4km ID:us2000h8ty



北海道と本州を隔てる津軽海峡

相互に電気を送る送電線は、
海底に沈めた直流ケーブル。

遠距離のケーブルによる送電は
直流でしかできない。

事故後、本州から送電はしたが、
量が足りなかった。

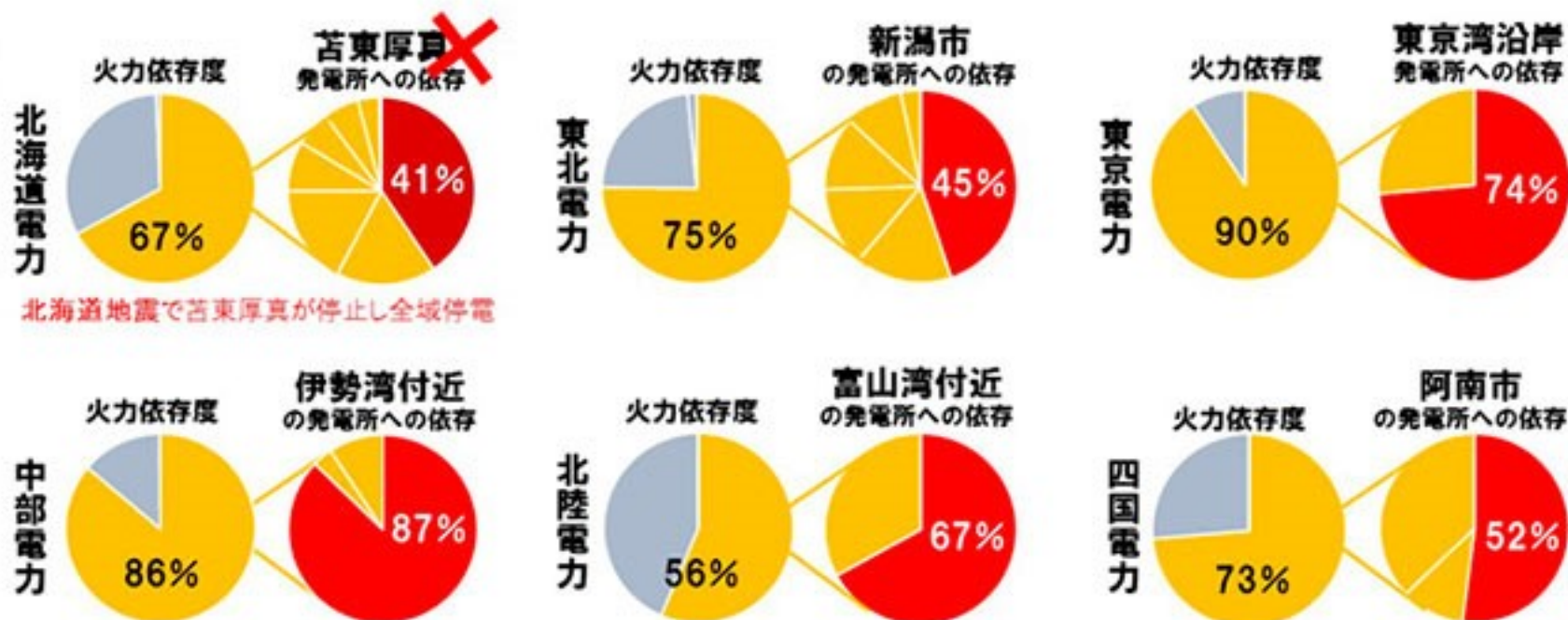
[http://yutorinosatori.com/
2018/09/17/post-1605/](http://yutorinosatori.com/2018/09/17/post-1605/)

PERCEIVED SHAKING	Not felt	Weak	Light	Moderate	Strong	Very strong	Severe	Violent	Extreme
POTENTIAL DAMAGE	none	none	none	Very light	Light	Moderate	Mod./Heavy	Heavy	Very Heavy
PEAK ACC.(%g)	<0.05	0.3	2.8	6.2	12	22	40	75	>139
PEAK VEL.(cm/s)	<0.02	0.1	1.4	4.7	9.6	20	41	86	>178
INSTRUMENTAL INTENSITY	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X+

Scale based upon Worden et al. (2012)

原発が動かなければ、全国で北海道大停電は起きる

北海道大停電は、電力を火力に依存し、火力の中でも特定の発電所に依存していたことで起きた。



北海道地震で苫東厚真が停止し全域停電

※火力依存度は資源エネルギー庁「発電実績(2018年5月)」、発電所依存度については各電力会社の発電所ごと最大出力を元に作成。

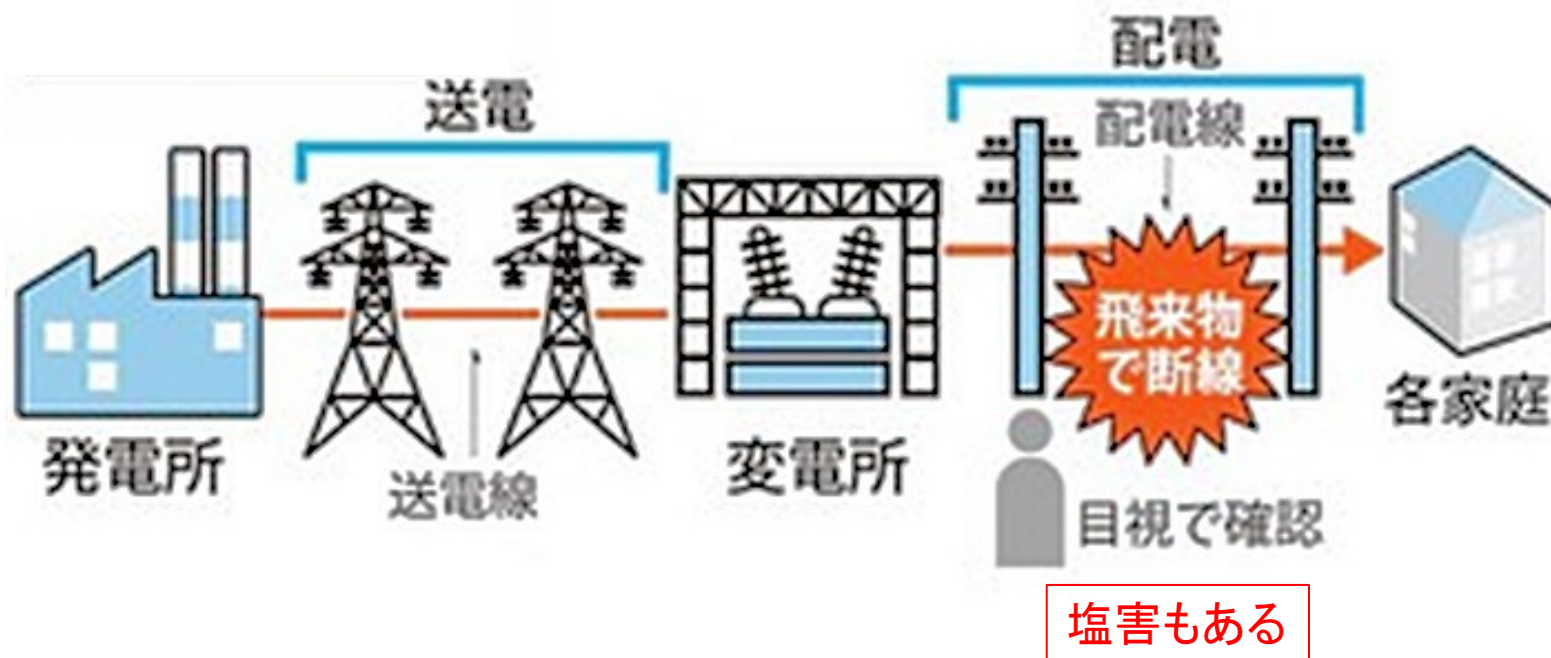
電気の使用量と発電量がアンバランスになるケースとは？

- 発電設備の故障による発電量の低下
- 皆が一斉に電気を使いだすとき
- 送電線にショートなどが発生した時（電気を送れない）
- お天気まかせの太陽電池発電量が急に変わるとき
- 人為的な負荷遮断（間違っってブレーカーを操作した時）
- 変電設備の故障で電気を配分できなくなる時

発電、送電、変電設備の故障は、自然災害が引き金になる。
地震、雷、台風（風と塩害）、豪雨、雪、津波、太陽表面の爆発など

電気が、需要家(家庭や工場、ビル)にとどくまでの経路

大停電になるのは、発電所、送電線、変電所にトラブルが起きるとき。
電柱に張った配電線のトラブルでは、局所的な停電になるだけ。



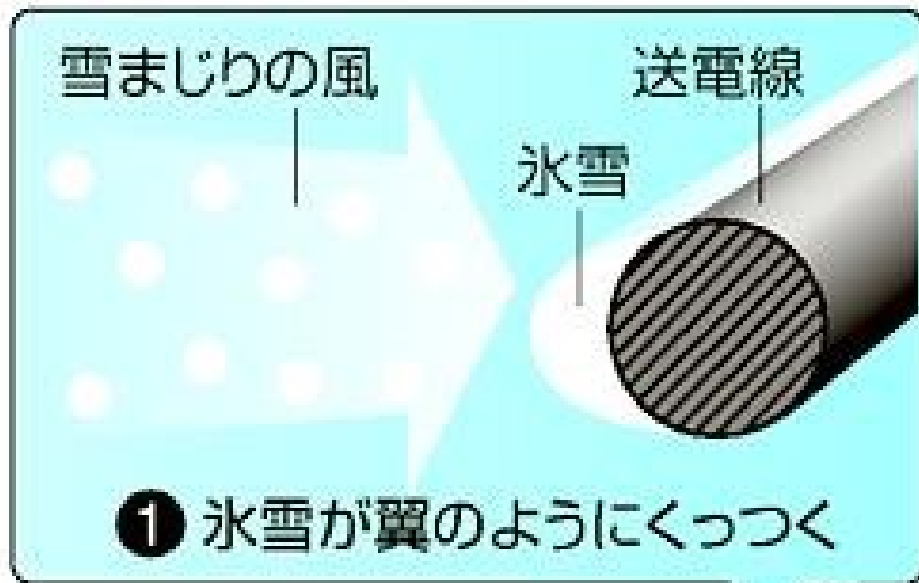
東日本大震災後の電力事情

- 震災直後の2011年3月は設備被害や原発事故に伴う電力供給低下により東京電力管内で輪番停電実施を伴う電力危機が発生
- 同年夏季には原発停止の影響が大きくなる中東北電力・東京電力・関西電力などの管内で
- 2011-2012年冬季には原発停止により関西電力・九州電力管内でそれぞれ節電を実施した。

東日本大震災時の東京の状況

- 東京は、原発からの送電が停止、大停電のピンチにあった。
- 対策は、休止中だった東京湾周辺の古い火力発電所の再開
- 計画停電の実施
- 工場の休日振替

風雪で送電線がショートする例



② 風にあおられやすくなり、送電線が縄跳びのように揺れる

This step explains that once the ice and snow have accumulated, the power line becomes more susceptible to being blown by the wind. It begins to swing back and forth like a rope skipping rope (縄跳び).



2016年10月16日の東京大停電

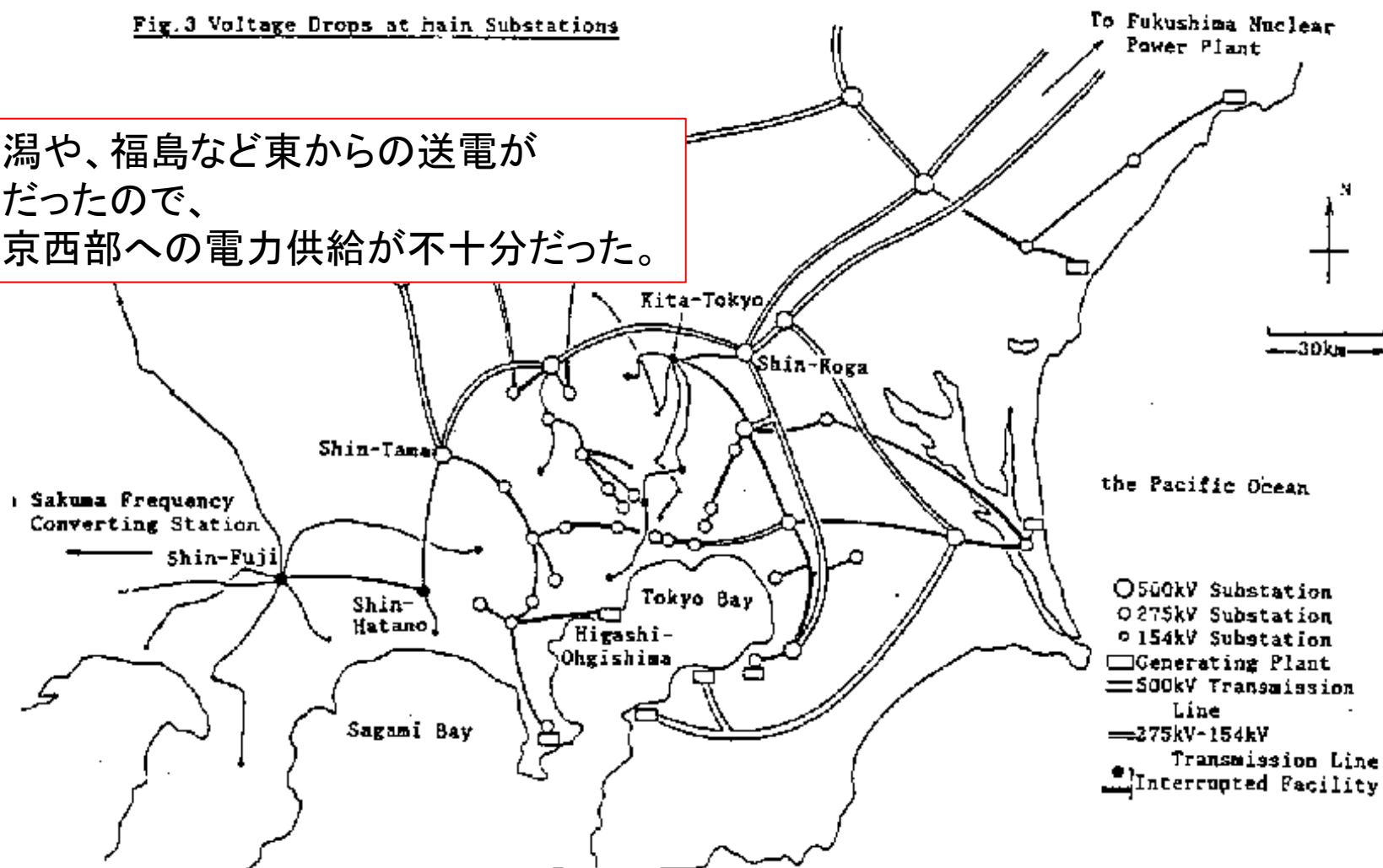
地下無人変電所の火災による



東京への電力の供給システム

Fig.3 Voltage Drops at Main Substations

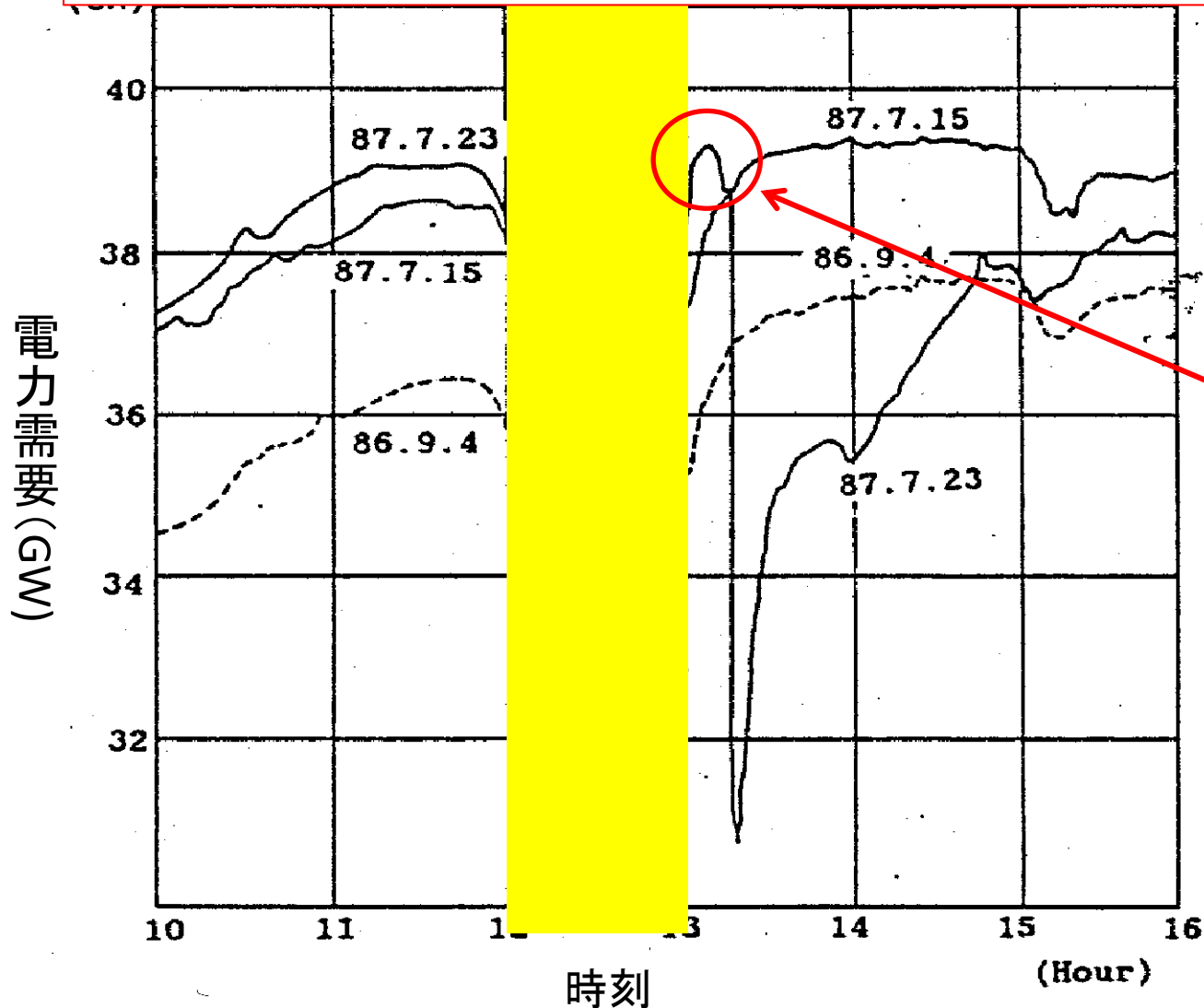
新潟や、福島など東からの送電が主だったので、東京西部への電力供給が不十分だった。



中部電力からの送電は、周波数の違いのため、限られた周波数変換所を通してしか、できなかった。この大停電を契機に、変換所が増設された。

東京大停電の時の電力の需要

昼休みに需要が減る。仕事が始まると電力需要が増える。



ここで、電力の供給が間に合わなかった。

Fig.1 TEPCO's Load Curve

クレーン船が、川を超える送電線を切断して起こった大規模な停電

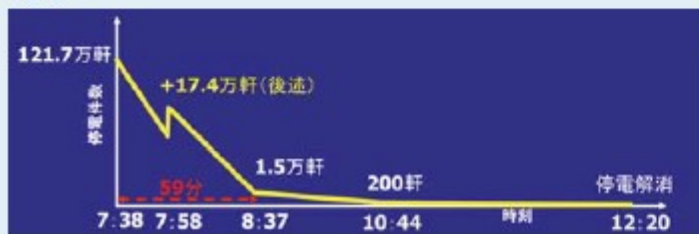
図 2



図 1



図 3



大学院での電力システム工学の授業内容

- 第1回 エネルギー問題
- 第2回 大停電
- 第3回 UHV(100万ボルト送電)
- 第4回 直流送電
- 第5回 自然との闘い(雷、風雪、地震など)
- 第6回 都市給電
- 第7回 配電
- 第8回 発電技術
- 第9回 電力貯蔵
- 第10回 太陽電池、風力発電、地熱発電など
- 第11回 分散発電

大停電を防ぐ技術の開発が、電力会社の大きな仕事になっている。

世界をみたら、大停電は起きているか？

- 1965年の“北アメリカ大停電”が発生
- 2012年の夏 インドで6億7千万人が大停電
- 2003年には、米北東部とカナダ南東部で、5000万人が影響を受けた大停電が発生
- 2006年11月にヨーロッパ8カ国を巻き込んだ停電は、完全に人為的な判断ミスが原因
- 2008年2月、湖南省では大雪で鉄塔など送電網の一部が壊れ、チン州市は約450万人が2週間停電した。
- 2009年11月10日、ブラジルとパラグアイの国境にあるイタイプダム的大型水力発電施設が機能を停止し、両国合わせて6700万人が電気を利用できなくなった。

2003年8月、カナダ、北東アメリカで発生した
大停電の範囲

電力系統の送電線のトラブルによる。



停電の規模 6000万KW以上

復旧に、45時間

図 9

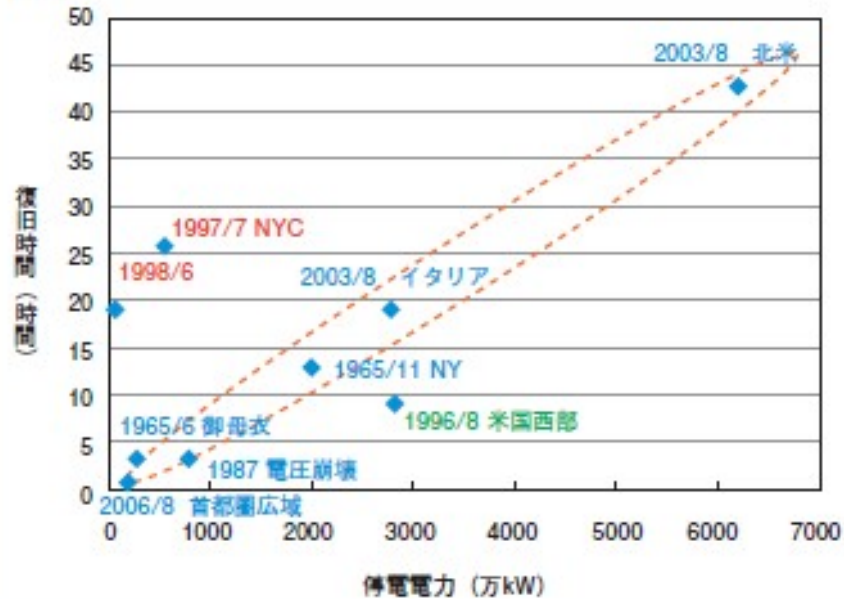
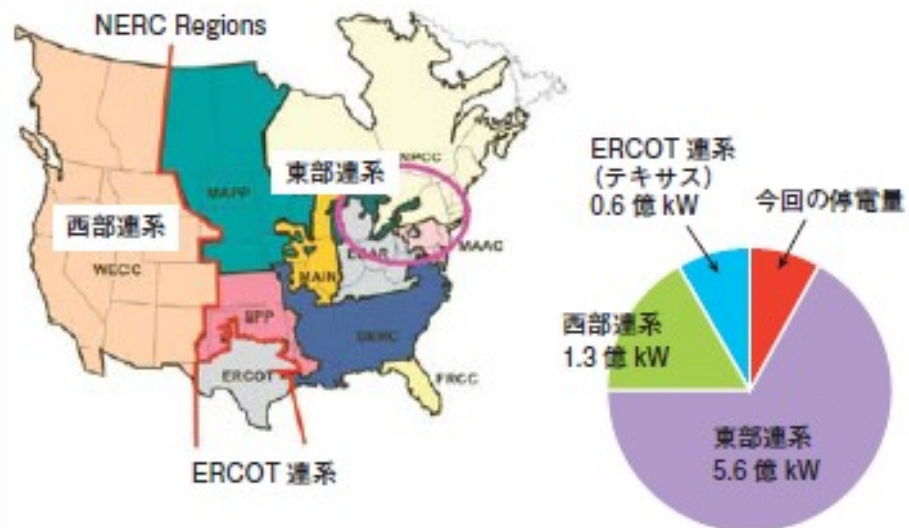
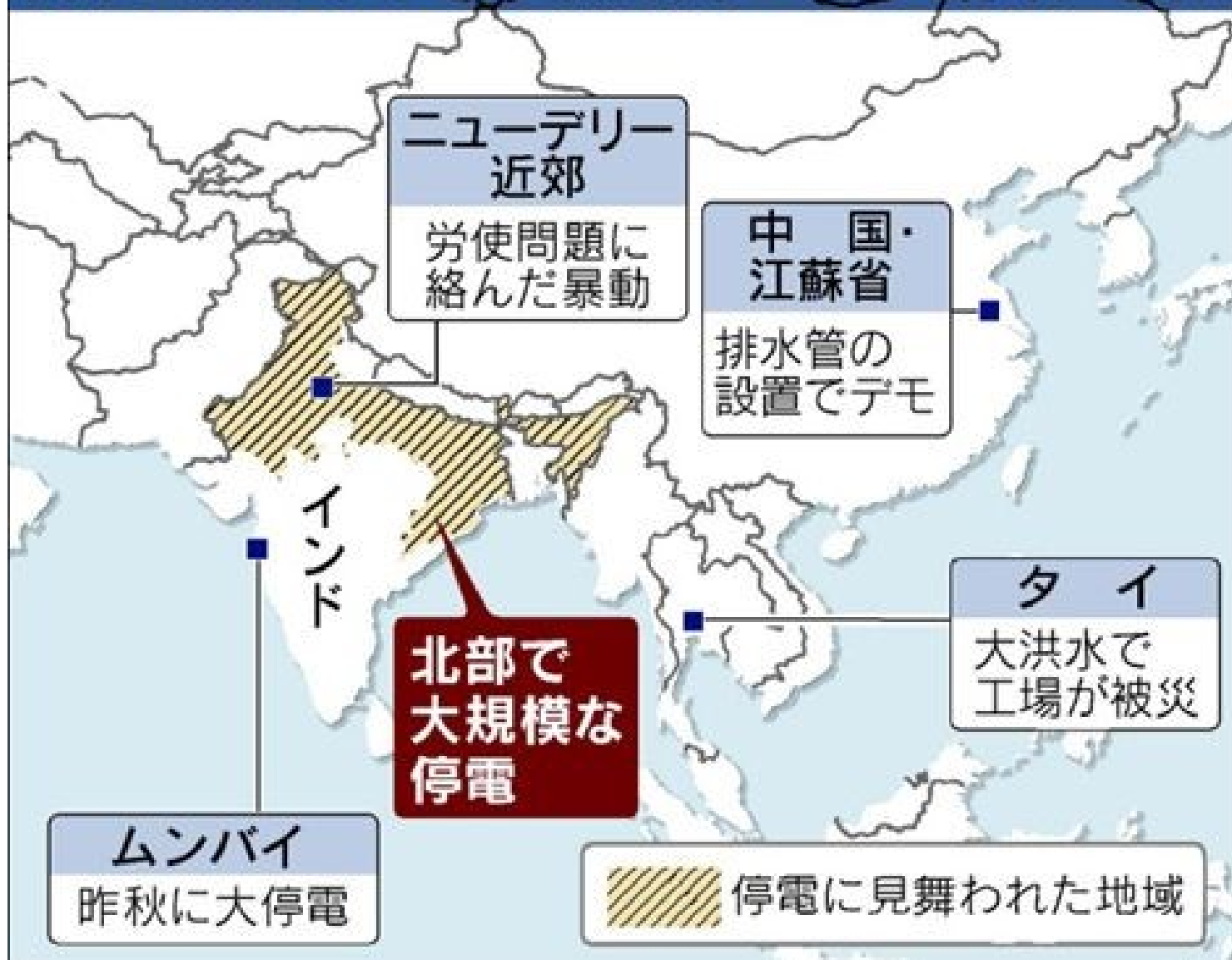


図 10



<http://www.risktaisaku.com/articles/print/186>

日本企業がかかわる新興国での主な事件・事故



大停電の後、 ニューヨークでの出生率が大幅に上がった

- このことが、新聞ニューヨーク・タイムズで取り上げられたが、後の調査で停電時に出生率が上がったとする有意差は見出だせないという結果も出ている。
- しかし大規模停電時に出生率が上がる現象は他にもあった。
 - 1977年にニューヨークで停電が発生したとき、
 - 2001年にアメリカ同時多発テロが発生したとき、
 - 2005年にハリケーンカトリーナがニューオリンズに襲来したときなど、
 - 他にも様々な災害の襲来の際に出生率があがっている。
- いずれも、数ヶ月で出生率は正常に戻っている。
- ある社会学者は、「災害のため、人々は結びつきを深めるために出生率を上げたのだらう」といっている。
- また、ただの偶然に過ぎないという学者もいる。

厄介な塩害による停電



今年(平成30年)の台風24号による塩害停電

ANN
NEWS

京成電鉄一時運転見合わせ…
電線から火花 台風24号の塩害か

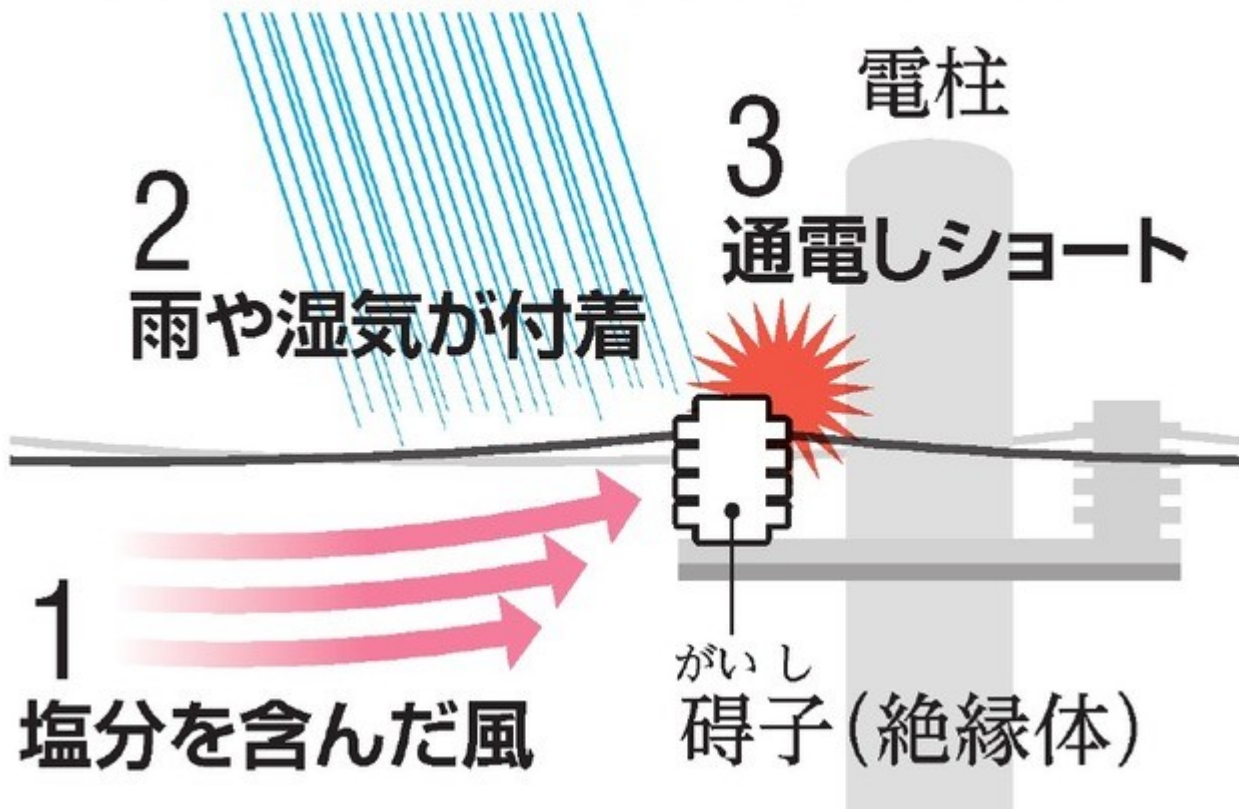
0:03 / 1:07

ANN NEWS

The image shows a video player interface for a news broadcast. On the left, there is a video thumbnail showing a bright spark emanating from a power line structure. On the right, a female news anchor is visible. The video player includes a progress bar at the bottom left showing 0:03 / 1:07, and control icons for play, stop, volume, settings, and full screen at the bottom right. The ANN NEWS logo is present in the top left and bottom right corners.

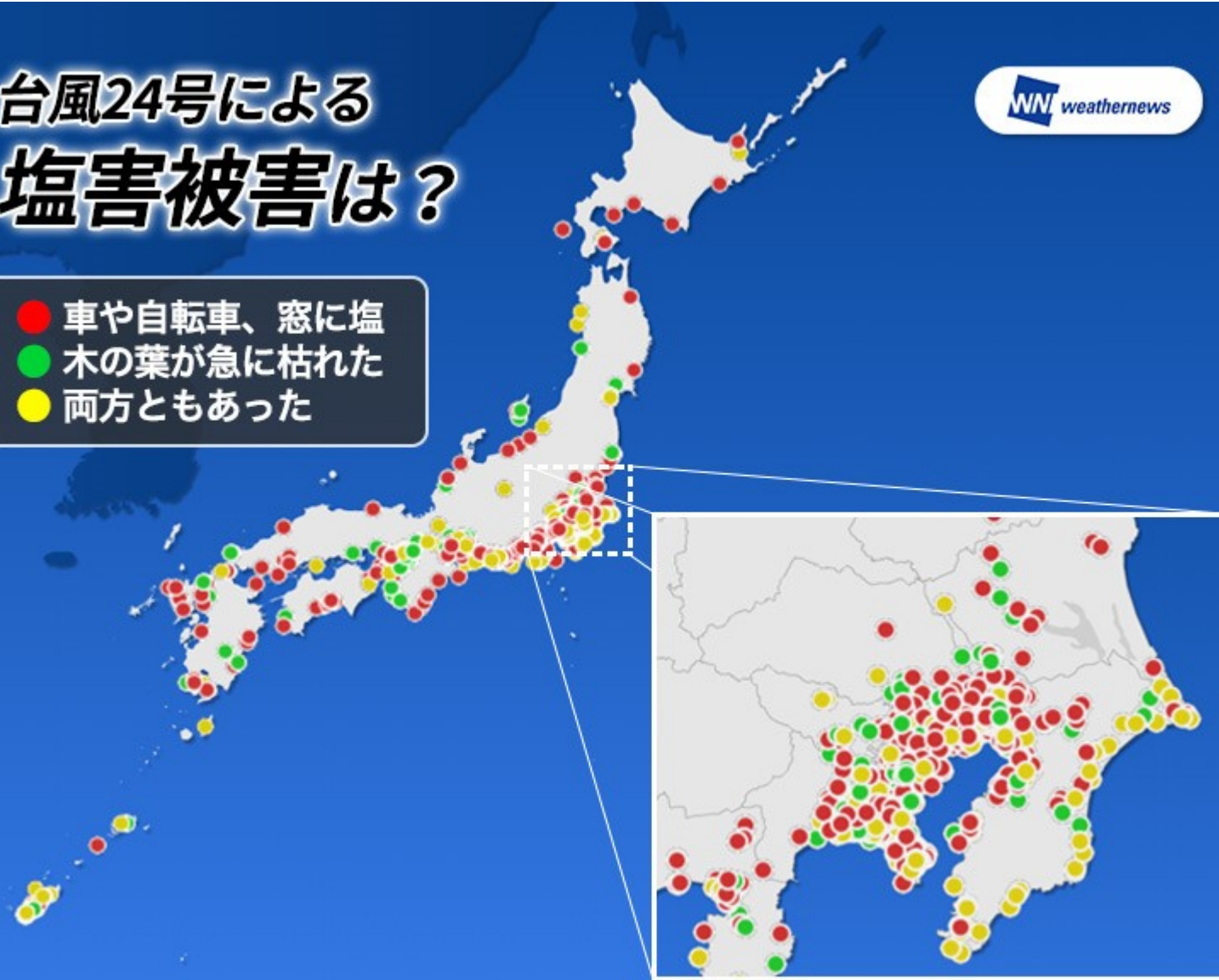
駅構内の電線から火花 京成電鉄一時運転見合わせ
(18/10/04)

塩害による停電のメカニズム

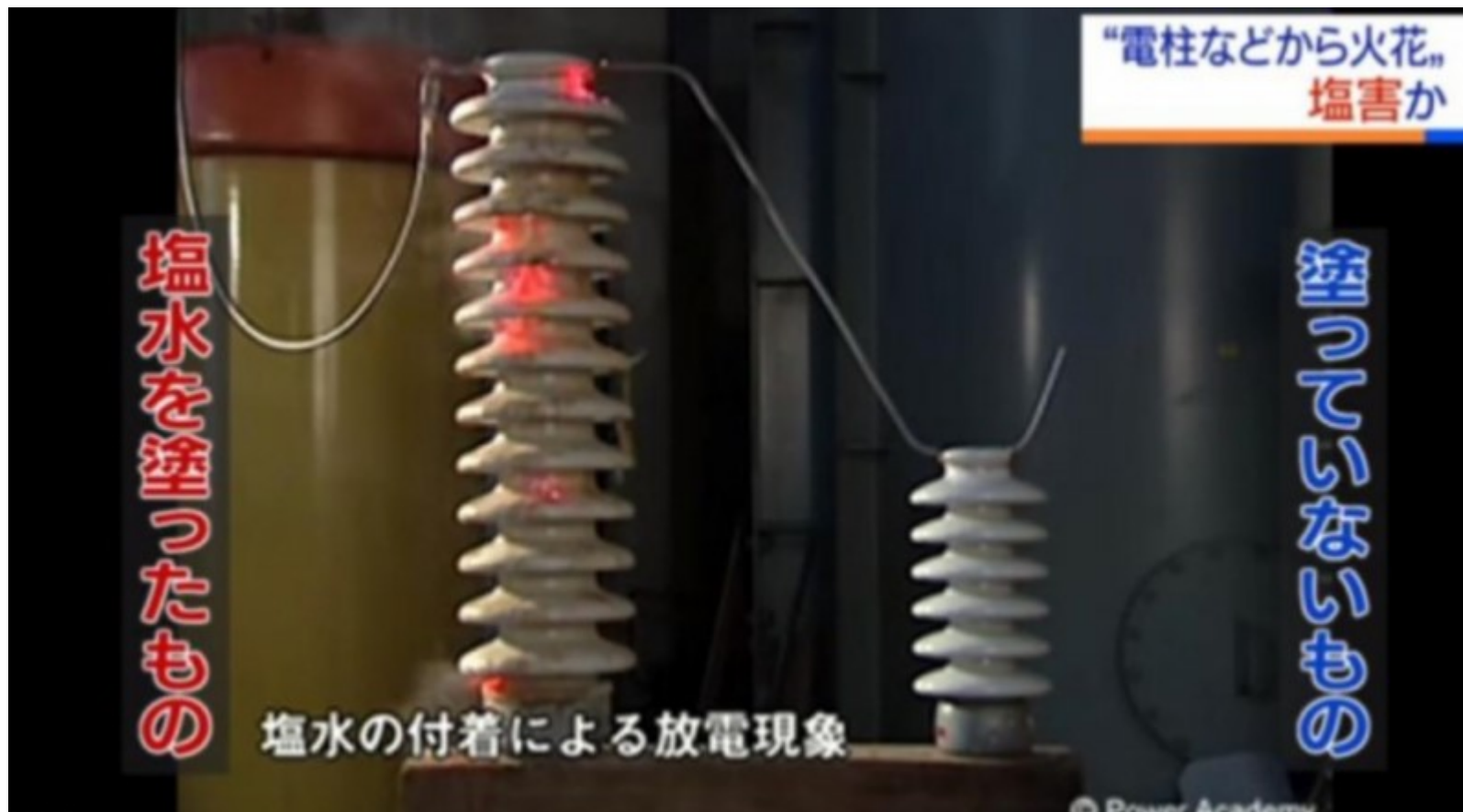


台風24号による 塩害被害は？

- 車や自転車、窓に塩
- 木の葉が急に枯れた
- 両方ともあった



塩水のついた碍子に高電圧をかけると、碍子の表面に沿って電気が流れる。ショートするのを避けるためには、たくさんの襷をつけた碍子を使う。



変電所では、碍子の汚れを洗い流すため水を噴射する。



新たな問題

- 太陽電池発電の増大が、需給アンバランスを起こす恐れを増してきた。
- 九州電力では、休日で電力需要が少なく、好天で太陽電池発電量が多いとき、火力発電の調整ではバランス調整が難しくなると判断。
- 太陽電池発電を、送電線に接続しないような対策を行った。

今秋の九州本土における再生可能エネルギー 出力制御実施の見通しのお知らせ

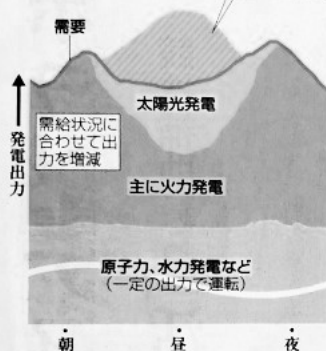
- 九州本土においては、今年のゴールデンウィークに、太陽光発電の出力が電力需要の8割程度を占め、その後も太陽光発電の接続が増加していることから、電力需要が低く推移する今秋には再生可能エネルギーの出力制御の可能性があります。
- 安定した電気をお届けするためには、需要(負荷)と供給(発電)をバランスさせる必要がありますが、供給力が電力需要を上回る状況となった場合には、あらかじめ定められたルール(優先給電ルール)によって、九州本土内の火力発電の出力抑制や、関門連系線を活用した他エリアへの送電などの対応を行います。
- それでも供給力が電力需要を上回る場合は、電力の安定供給維持のため、やむを得ず出力制御を行うこととなります。
- 弊社は出力制御に際し、発電事業者さまの公平性を損なうこと(注)がないように対応してまいりますので、発電事業者さまにおかれましては、出力制御の実施について、ご理解をお願いいたします。

太陽光 初の出力制御

九電が発電一時停止指示

太陽光発電の一時停止イメージ

需要を上回ると見込まれる量の停止を指示



九州電力は13日、太陽光発電の一部事業者を対象に、発電を一時的に停止するよう指示する出力制御を実施した。太陽光の発電量が増える日中に、電力供給量が需要を大きく上回ること大規模停電が起るのを回避するため、実施は離島を除き全国で初。14日中も実施される。国が定めたルールでは、原発などの稼働が優先される。今後も電力需要が下がる春や秋の休日に出力制御が頻発する可能性がある。再生可能エネルギーの導入意欲が後退する恐れもあり、政府の再生エネルギー政策が岐路を迎えそうだ。

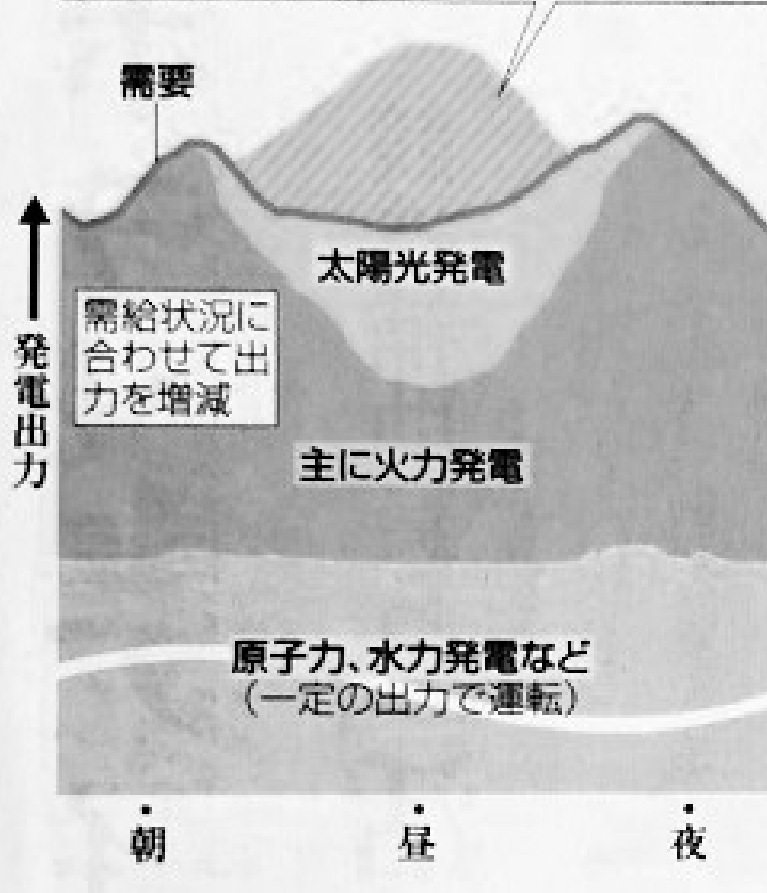
供給過多 導入後退恐れも

政府が東京電力福島第1原発事故を踏まえ、2012年に再エネ導入を促す固定価格買い取り制度（FIT）を導入以降、各地で太陽光などの導入が進んだ。出力制御が頻発すれば事業者収支への影響は必至だ。出力制御の背景には、再生エネの増加に加え、6月までに九電管内の原発4基が再稼働したことによる供給力の底上げがある。15年にFITの施行規則が改正されて以降、再生可能エネルギー発電に新たに参入した事業者への制御は実施日数の制限がなくなり、制御が頻発化した場合の打撃は大きい。電力の需給バランスが崩れると、機器の損傷を防ぐため発電設備が自動停止し、最悪の場合は大規模停電に至る。出力制御は、こうした事態を

大規模停電を回避

太陽光発電の一時停止イメージ

需要を上回ると見込まれる量の停止を指示

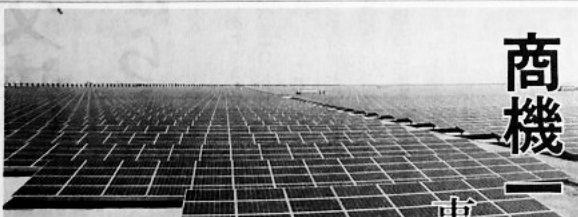


商機一転、国

事業者の

全国でも太陽光が先行する九州でエネルギーの出力

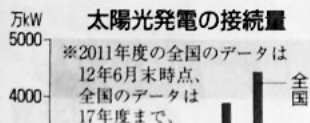
防ぐため調整順を定めた一面で、熊本を除く先給電ルールに基づき実施。9759件を対象に太陽光発電の場合は先に火力発電の稼働を最大限抑えたり、他の電力地域に送電したりしても供給過多が見込まれる場合に「気象条件に出力10割以上の事業者約2万4千件から対象を選ぶ。13量は、18年8月末日は43万送電度を制御する計原発約8基分に



事業者が大分市に設置したメガソーラー

太陽光発電の接続量

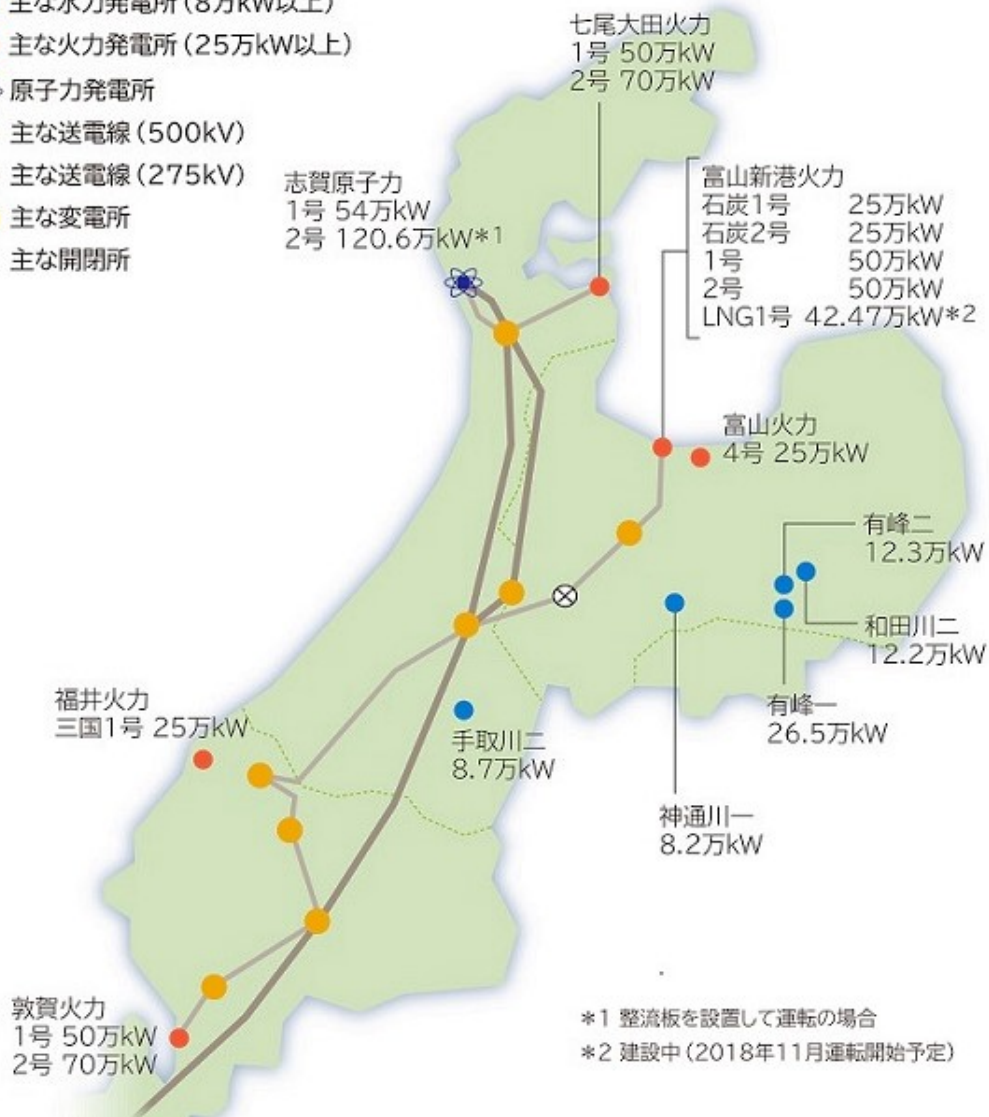
※2011年度の全国のデータは12年6月末時点、全国のデータは17年度まで、



福井で大停電は起こるか？

供給設備の概要(2018年3月31日現在)

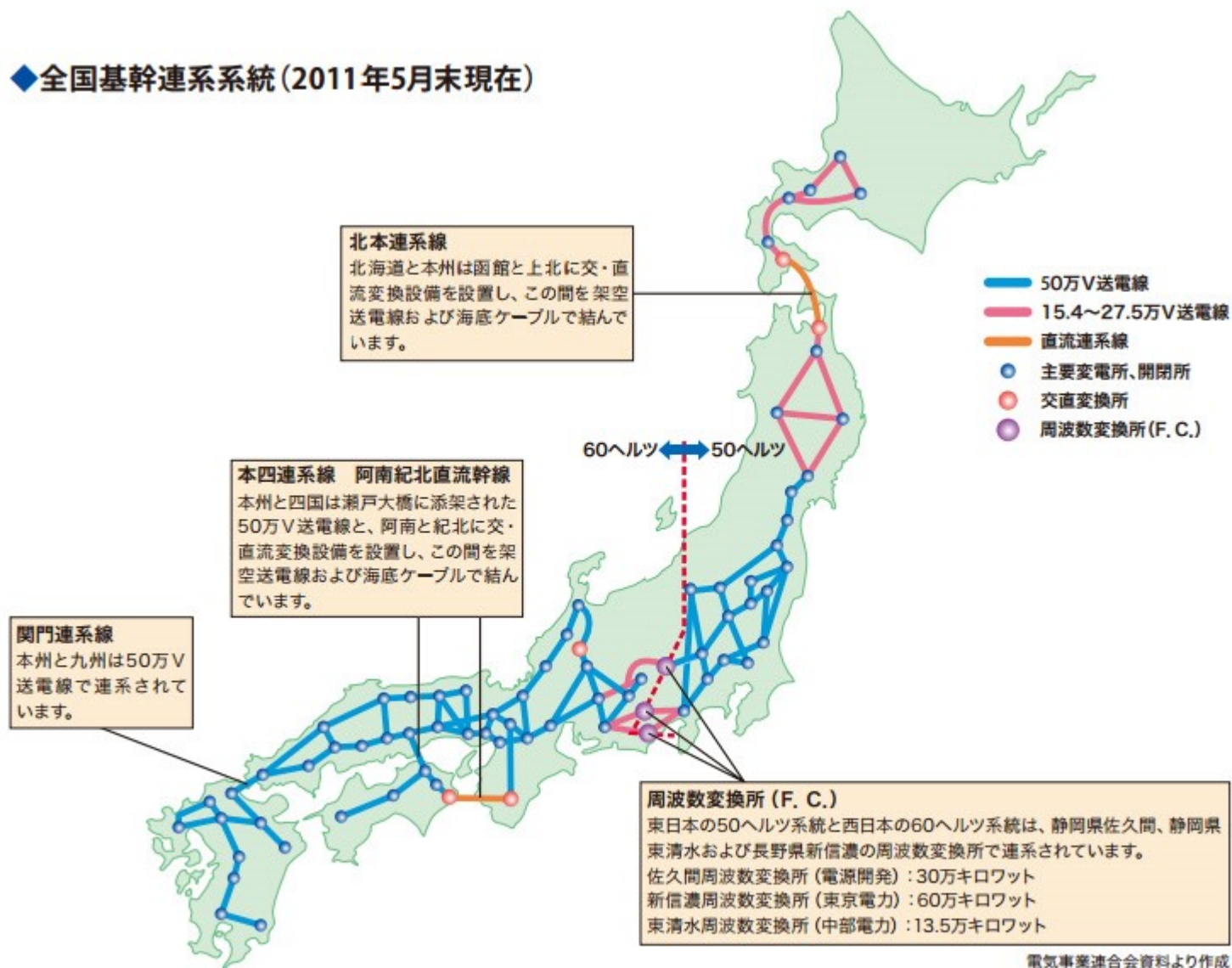
- 主な水力発電所 (8万kW以上)
- 主な火力発電所 (25万kW以上)
- ☀ 原子力発電所
- 主な送電線 (500kV)
- 主な送電線 (275kV)
- 主な変電所
- ⊗ 主な開閉所



*1 整流板を設置して運転の場合
 *2 建設中(2018年11月運転開始予定)

七尾火力	120万KW
富山新港火力	217万KW
志賀原子力	120万KW
福井火力	25万KW
敦賀火力	120万KW
水力	67.9万KW

◆全国基幹連系系統 (2011年5月末現在)

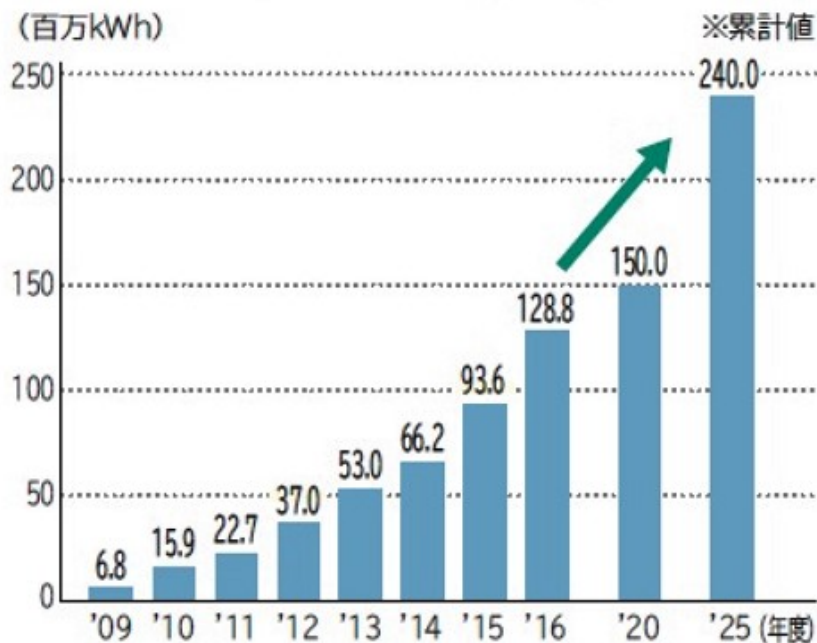


Copyright© 2012 日本原子力文化財団

(本トピックス掲載日：平成24年6月11日)

北陸電力は、水力発電を増強

●水力発電電力量の拡大(2007年度対比)



●水力発電電力量の拡大目標

達成時期	発電電力量拡大目標
2025年度までに [2020年度中間目標]	2.4億kWh/年拡大(2007年度対比) [1.5億kWh/年拡大(2007年度対比)]

北陸電力の風力発電

●三国風力発電所の概要

発電所名	出力	発電電力量	運転開始	CO2削減量
三国風力	8,000kW(2,000kW×4基)	1,440万kWh/年	2017年1月	0.84万t-CO ₂ /年*

*北陸電力2015年度調整後CO₂排出係数(0.615kg-CO₂/kWh)を使用して試算



運転開始した三国風力発電所

太陽光発電

メガソーラー発電所については、2012年10月までに、志賀太陽光発電所、富山太陽光発電所、三国太陽光発電所、珠洲太陽光発電所が運転を開始しました。今後は、着実に運用を行ってまいります。

太陽光発電所にはPR館を設置し、発電所の概要および北陸電力の低炭素社会実現に向けた取組みについて紹介しています。

●現在運転しているメガソーラー発電所

発電所名	出力	発電電力量	運転開始	CO2削減量
志賀太陽光	1,000kW	100万kWh/年程度	2011年 3月	計0.24万t-CO ₂ /年程度
富山太陽光	1,000kW	100万kWh/年程度	2011年 4月	
三国太陽光	1,000kW	100万kWh/年程度	2012年 9月	
珠洲太陽光	1,000kW	100万kWh/年程度	2012年10月	



富山太陽光発電所

運転開始後の運用はアンフィニとエスアールジータカミヤが共同出資して設立した「合同会社石川第八発電所」が担当する。出資比率はアンフィニが70%で、エスアールジータカミヤが30%。

図 「石川第八発電所」の様子。発電所の向こう側に日本海が見える



出所 アンフィニ

石川第八発電所の所在地は石川県羽咋郡宝達志水町（はくいぐんほうだつしみずちょう）。元々、宝達志水町が出資している土地開発公社が所有していた土地で、山林のまま未利用状態だった。今回はこの土地を買い取って発電所を建設した。

石川県の日本海沿岸で
16MWのメガソーラーが
運転開始、北陸で最大
規模

福井県が大停電になる可能性は低い

- 理由

- 関西電力、中部電力との連携がしっかりしている
- 発電所が分散している
- 再生可能エネルギーの割合が少ない

第28回 易しい科学の話
2018年10月17日(水)

大停電はどうして起こるのか？

終り

吉岡 芳夫