



2050年カーボンニュートラル 実現を見据えた広域系統長期 方針と北海道における展望



北海道大学大学院
情報科学研究院
北 裕幸

kita@ssi.ist.hokudai.ac.jp



HOKKAIDO
UNIVERSITY

1. はじめに
2. 北海道における再生可能エネルギー
3. 広域系統長期方針（マスタープラン）の策定
4. 電力需要の拡大と能動化

1. はじめに
2. 北海道における再生可能エネルギー
3. 広域系統長期方針（マスタープラン）の策定
4. 電力需要の拡大と能動化

はじめに

我が国のエネルギーを巡る課題

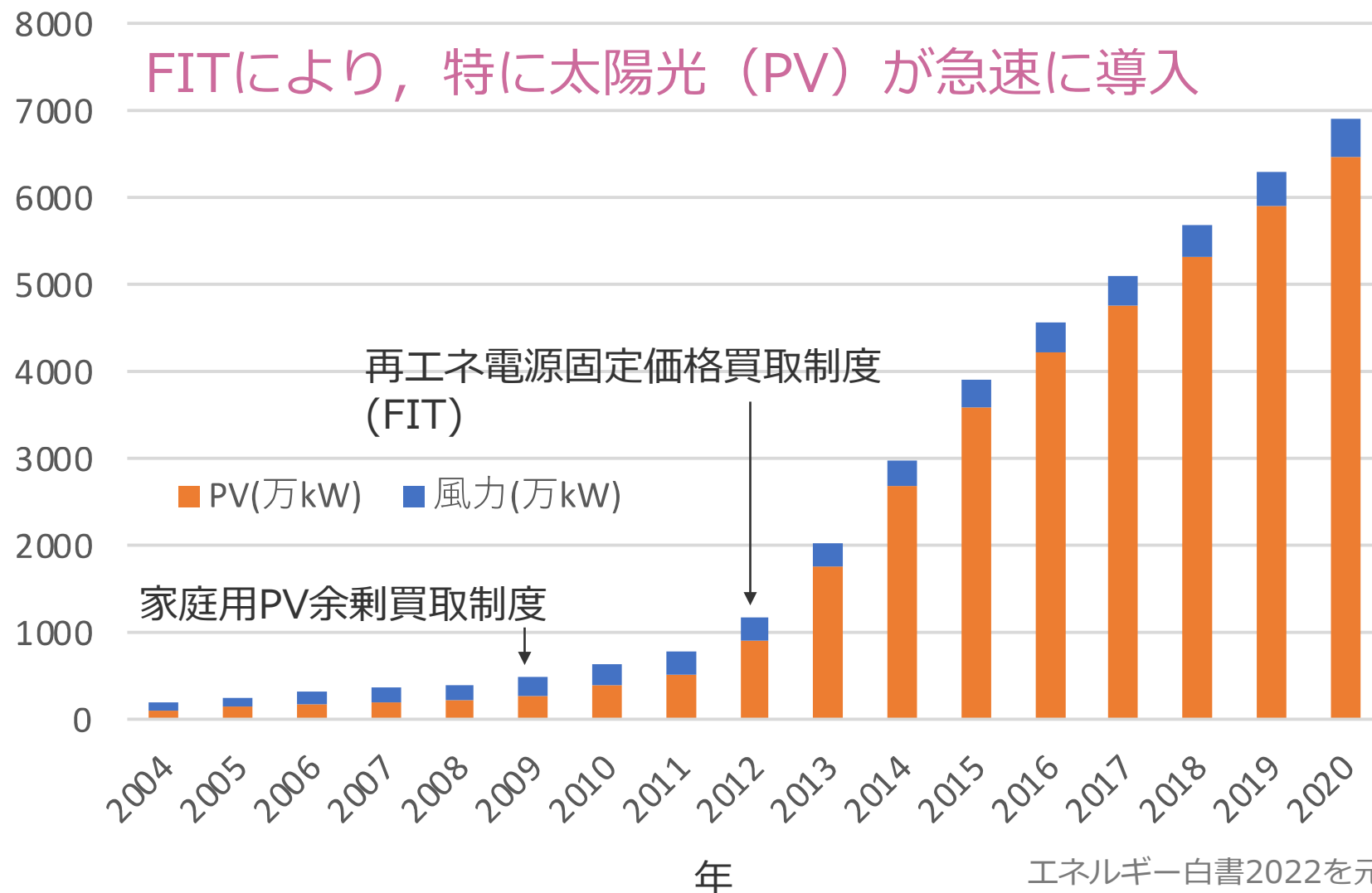
- ✓ 長期的課題：2050年カーボンニュートラル宣言
- ✓ 短期的課題：電力需給逼迫
エネルギー価格の高騰

検討の土台に上がる技術

- ✓ 再生可能エネルギー（再エネ）：
エネルギー基本計画→再エネ主力電源化
- ✓ 原子力発電：再稼働の推進，リプレース・新增設
- ✓ ゼロエミッション火力：
→水素・アンモニア燃料の混焼・専焼

再生可能エネルギーの導入量推移

累積導入量 (万kW)

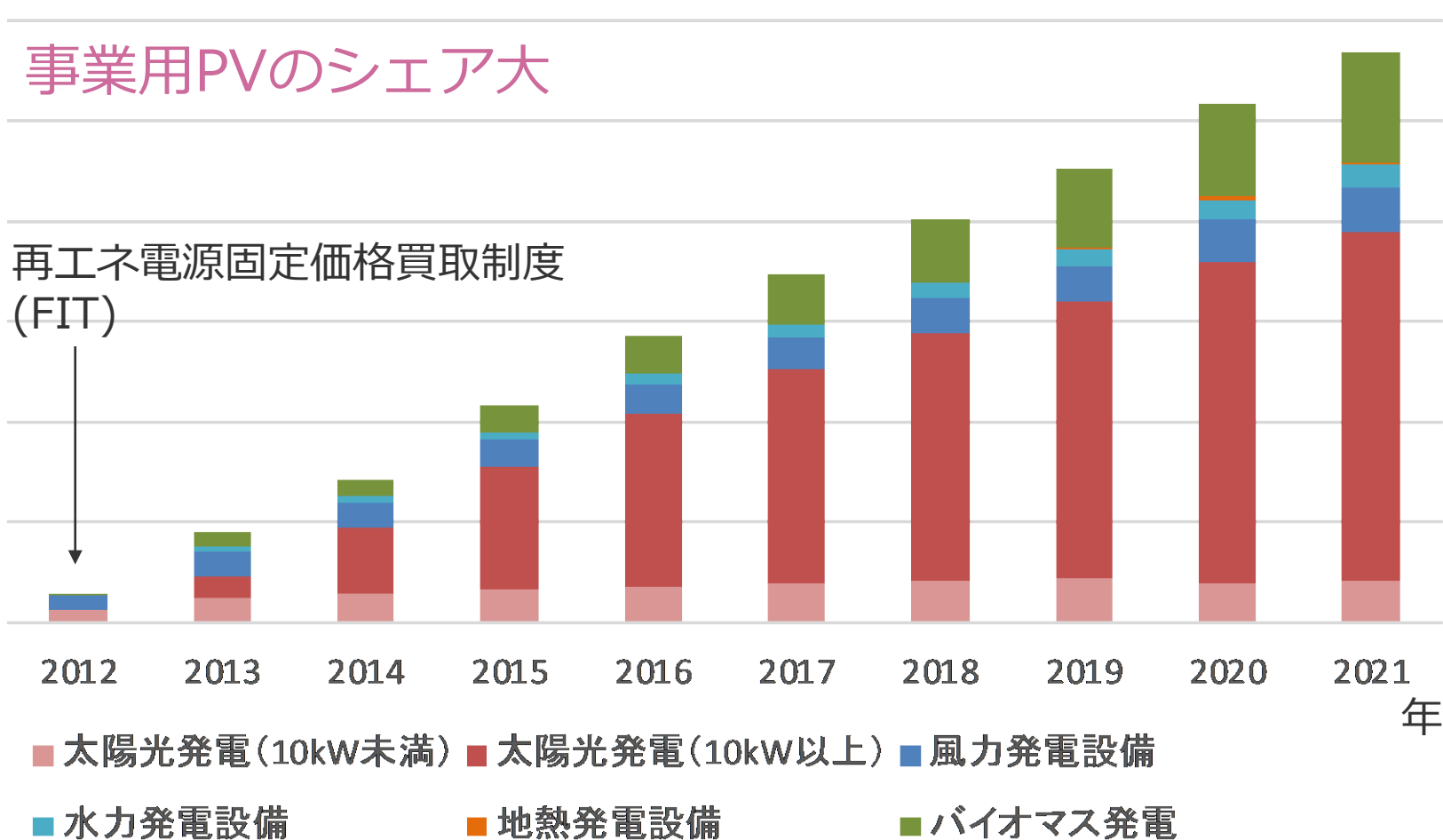


発電電力量（FIT買取分）の推移

発電電力量（FIT買取分）[億kWh]

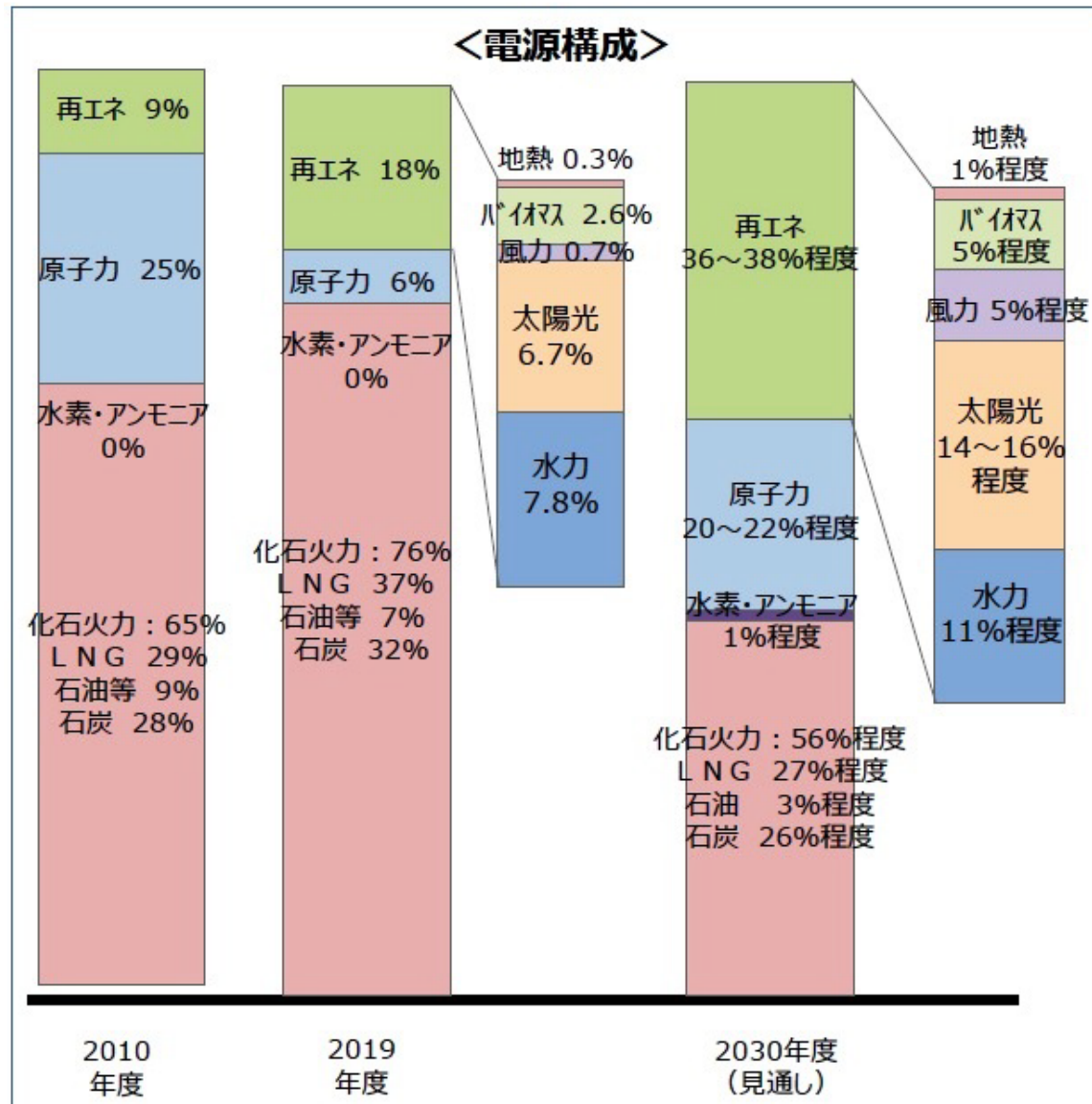
事業用PVのシェア大

再生エネルギー固定価格買取制度
(FIT)



資源エネルギー庁HP公開データを元に作成

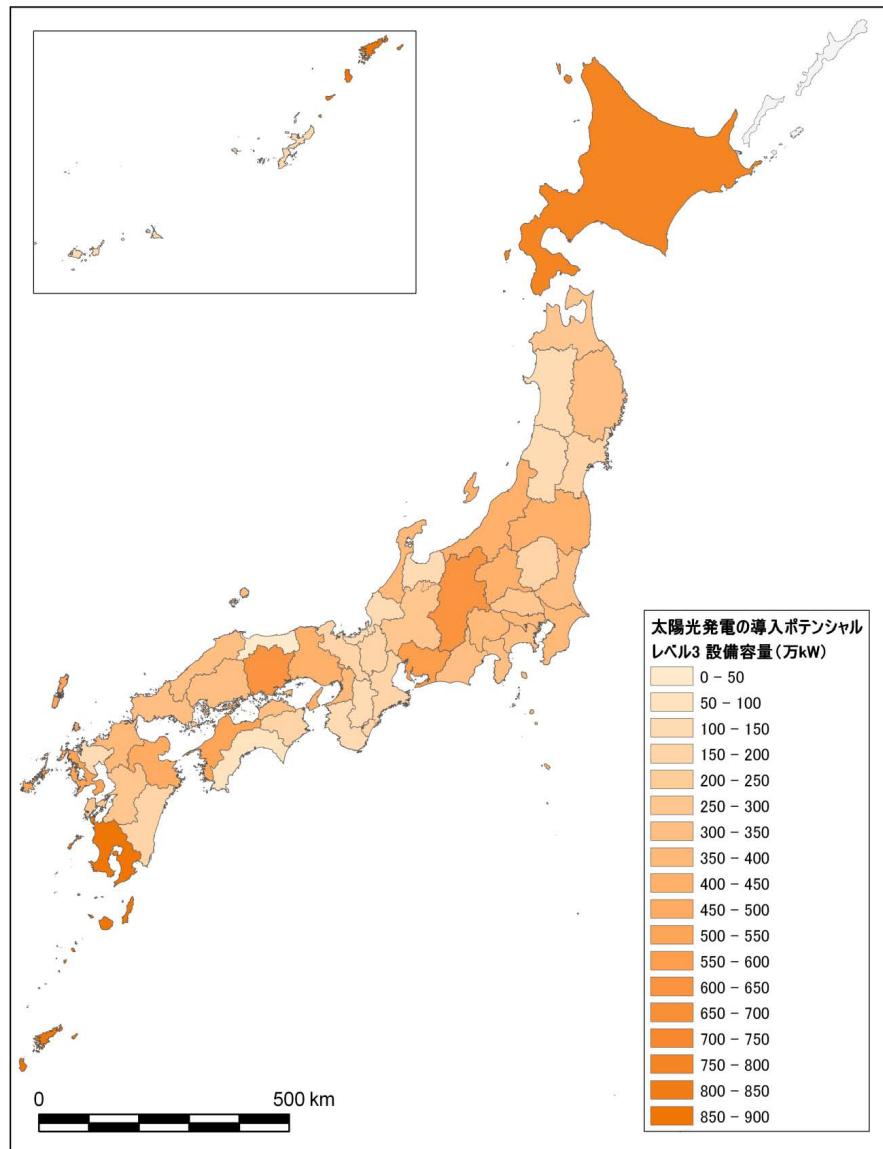
第6次エネルギー基本計画



出典：資源エネルギー庁
総合資源エネルギー調査会
省エネルギー・新エネルギー分科会資料

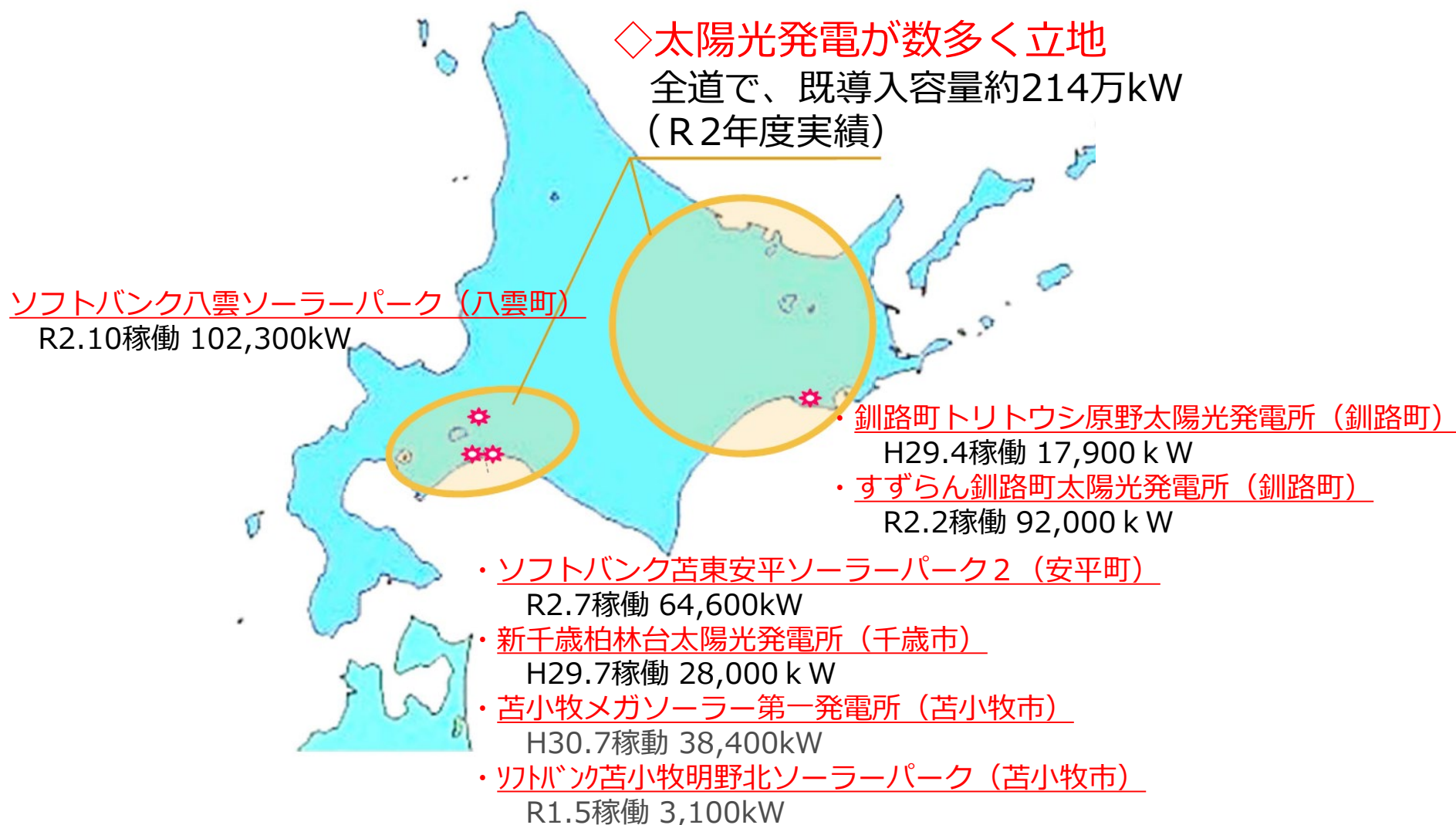
1. はじめに
2. 北海道における再生可能エネルギー
3. 広域系統長期方針（マスタープラン）の策定
4. 電力需要の拡大と能動化

北海道における太陽光発電ポテンシャル



出典：環境省 平成22年度再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査報告書

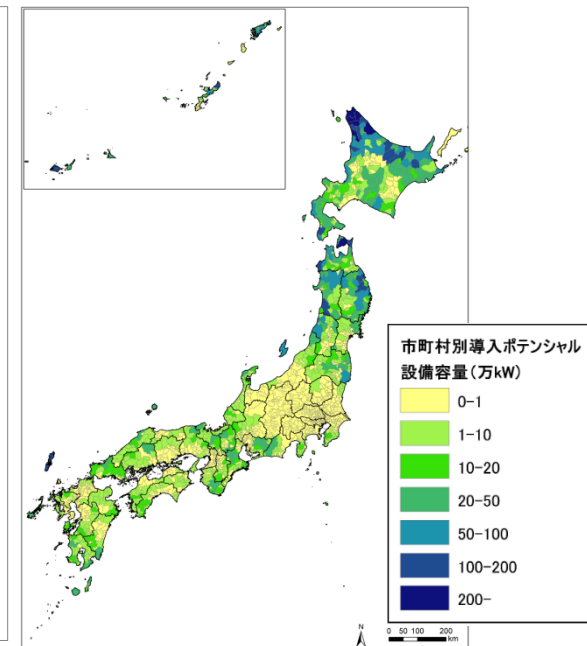
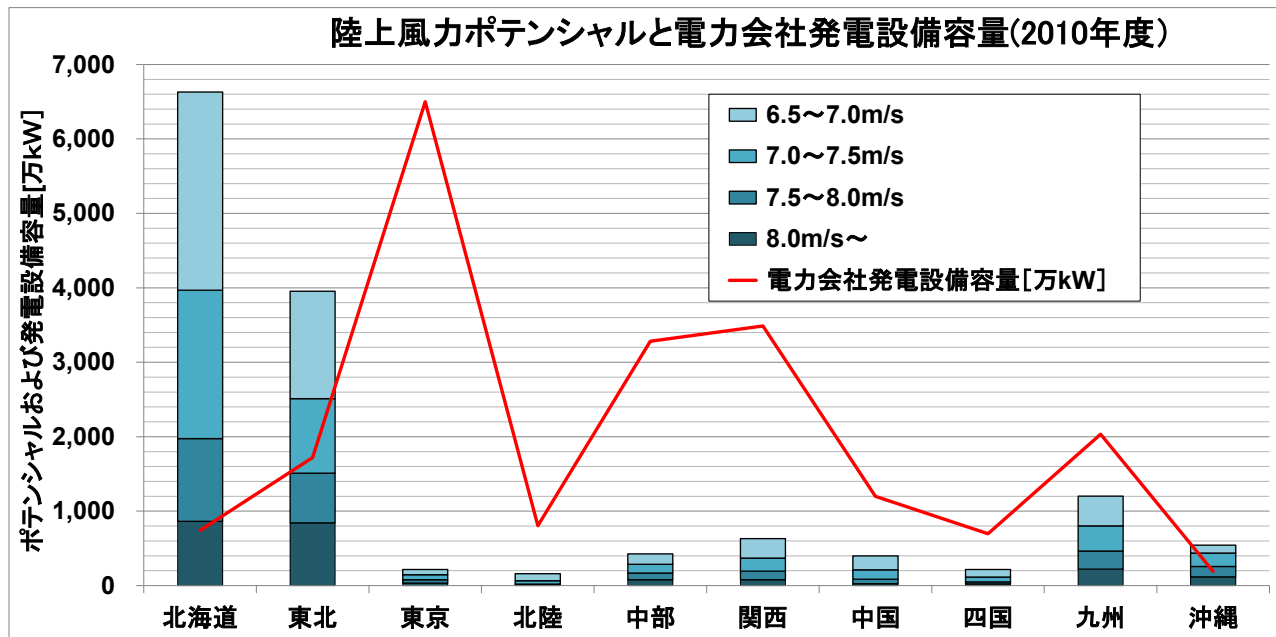
北海道における太陽光発電の導入実績



出典：北海道における新エネルギー導入拡大の取り組み（北海道，2022年7月）

北海道における陸上風力ポテンシャル

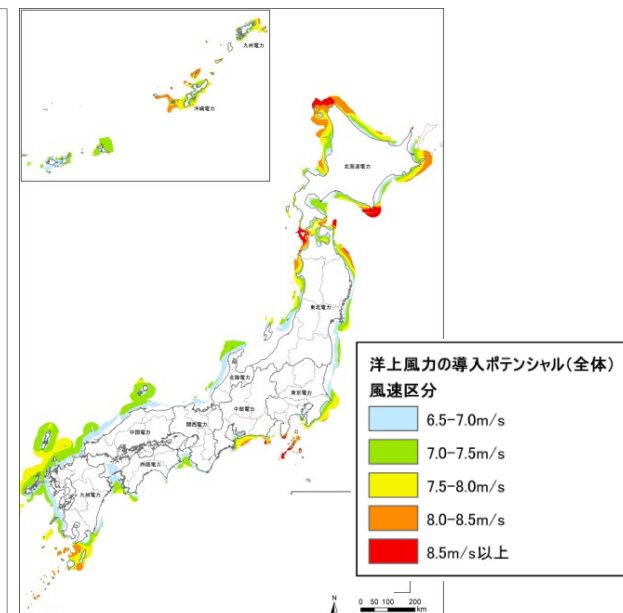
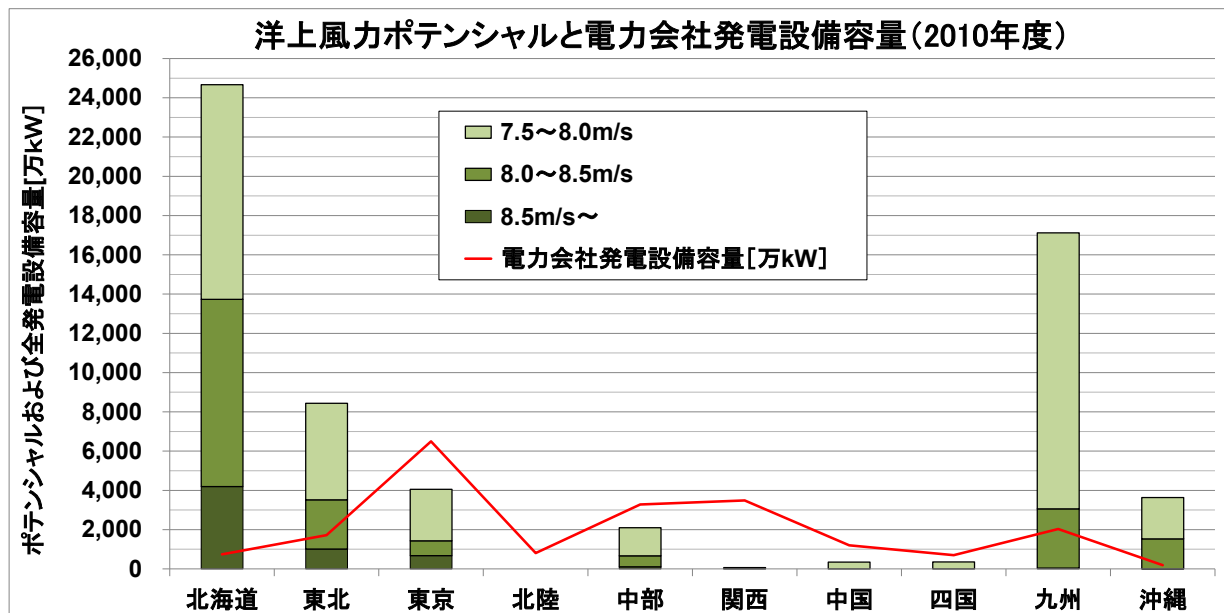
- 事業性を考慮して80m 高さで平均風速6.5m/s以上の賦存量から、社会的制約条件を考慮した、「陸上風力ポテンシャル*」



* : 出典 平成22年度再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査結果報告書(環境省)から、JWPA作成

北海道における洋上風力ポテンシャル

- 事業性を考慮して80m 高さで平均風速7.5m/s以上 の賦存量から、社会的制約条件を考慮した、「洋上風力ポテンシャル*」



* : 出典 平成22年度再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査結果報告書(環境省)から、JWPA作成

洋上風力産業ビジョン (第1次) : 2030年までに1,000万kW, 2040年までに浮体式も含む3,000万kW~4,500万kWの案件を形成することを目標

北海道における風力発電に関する動き

- ・天北ウィンドファーム（稚内市）

H30.5 稼働 30,000 kW

- ・石狩コミュニティウィンドファーム（石狩市）

H30.12稼働 20,000kW

◆洋上風力発電の導入に向けた取組

◎港湾区域内

石狩湾新港地域

運転開始予定R5頃 最大99,990kW

◎一般海域

（仮称）北海道石狩湾沖洋上風力発電事業

環境影響評価法手続き中 最大1,000,000kW

（仮称）檜山エリア洋上風力発電事業

環境影響評価法手続き中 最大722,000kW

◎再エネ海域利用法

「一定の準備段階に進んでいる区域」

石狩市沖

岩宇・南後志地区沖

島牧沖

檜山沖

松前沖

→整備に向けて関係者が具体的な検討に入る「有望区域」に選定

◇風力発電が数多く立地

全道で、既導入容量59万kW
（R2年度実績）

- ・（仮称）えりも町風力発電事業

環境影響評価法手続き中 最大500,000kW

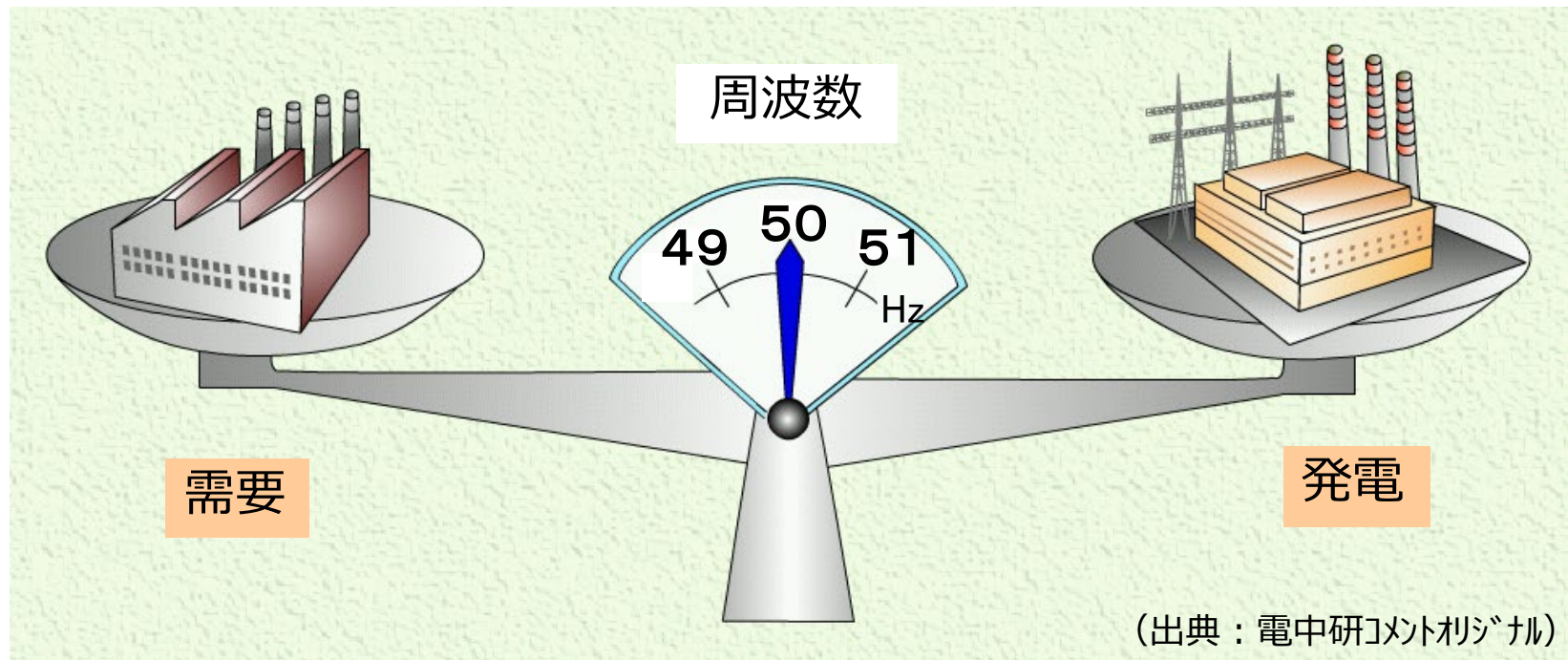
出典：北海道における新エネルギー導入拡大の取り組み（北海道，2022年7月）

需給バランスと周波数

電気は**需要**と**供給**を瞬時瞬時に**一致**させなければならない

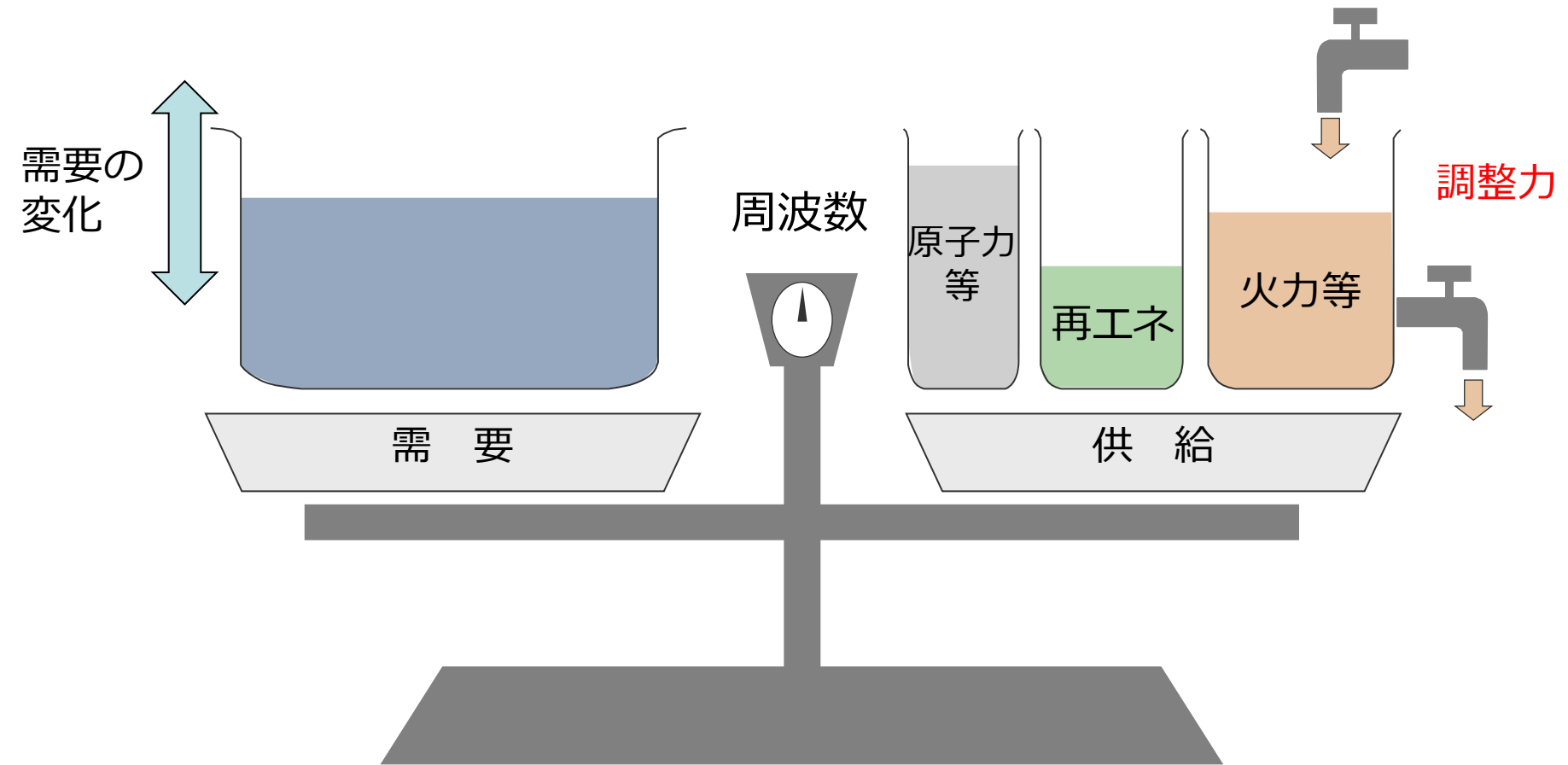
需給バランスが崩れると；

周波数が変化して**大規模停電**に至る恐れ



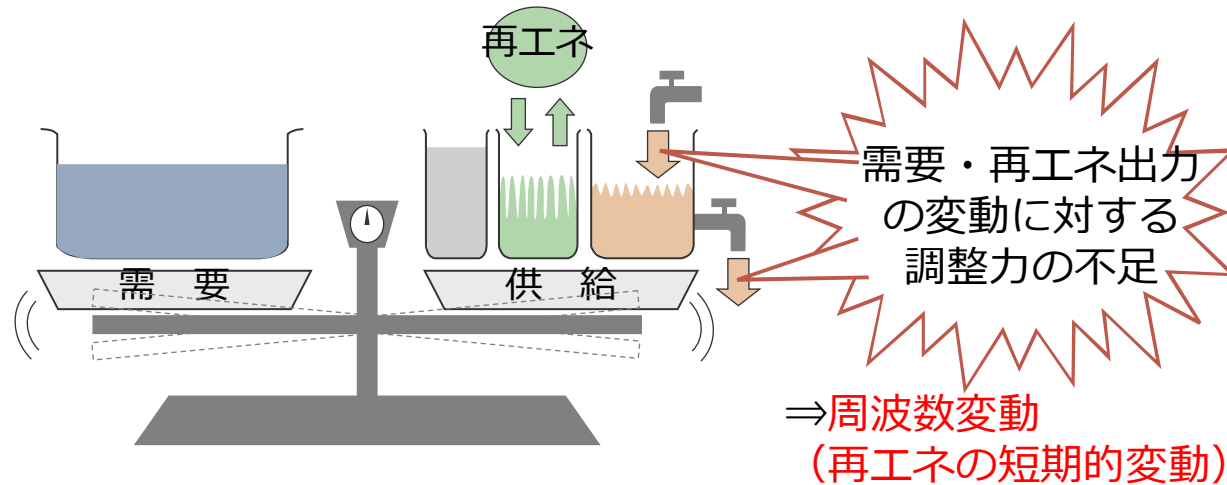
調整用電源による需要と供給のバランス

需要の変化に合わせて火力等の調整用電源（火力発電など）を制御してバランスさせている

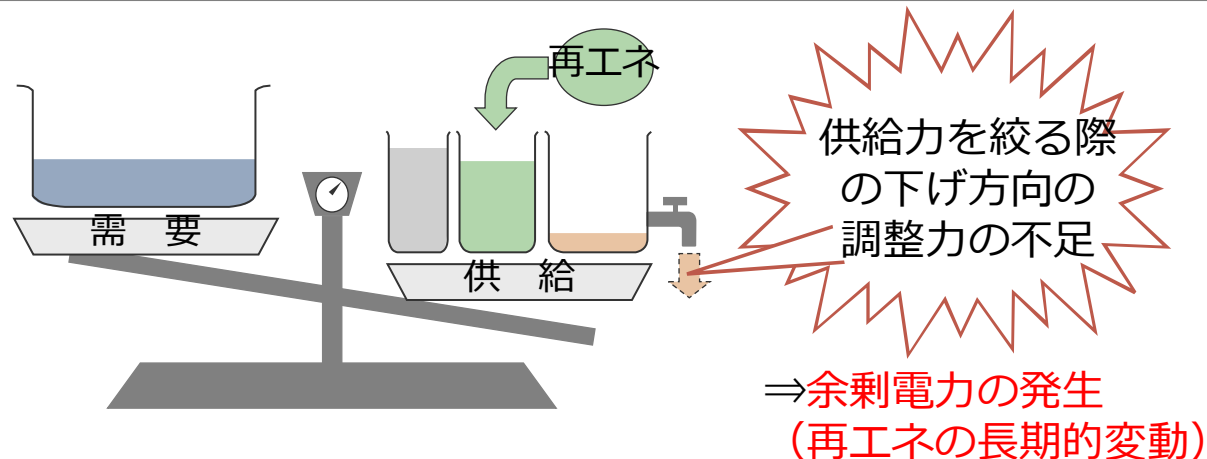


再生エネルギー大量導入が電力安定供給に与える影響

再生可能電源出力の短周期（数分～20分程度）変動に関する課題

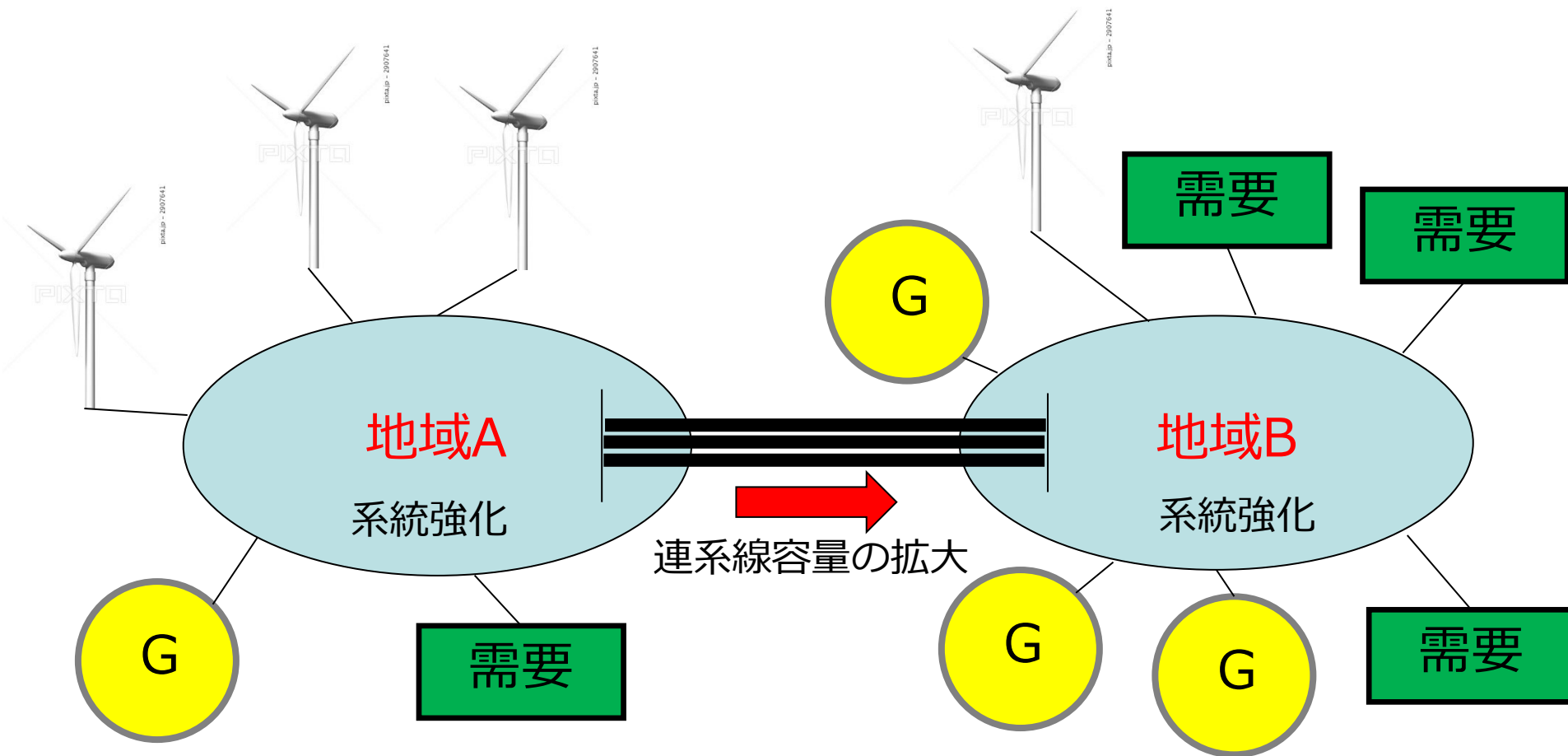


軽負荷時（需要：少、再生可能電源出力：大）時間帯における課題



1. はじめに
2. 北海道における再生可能エネルギー
3. 広域系統長期方針（マスタープラン）の策定
4. 電力需要の拡大と能動化

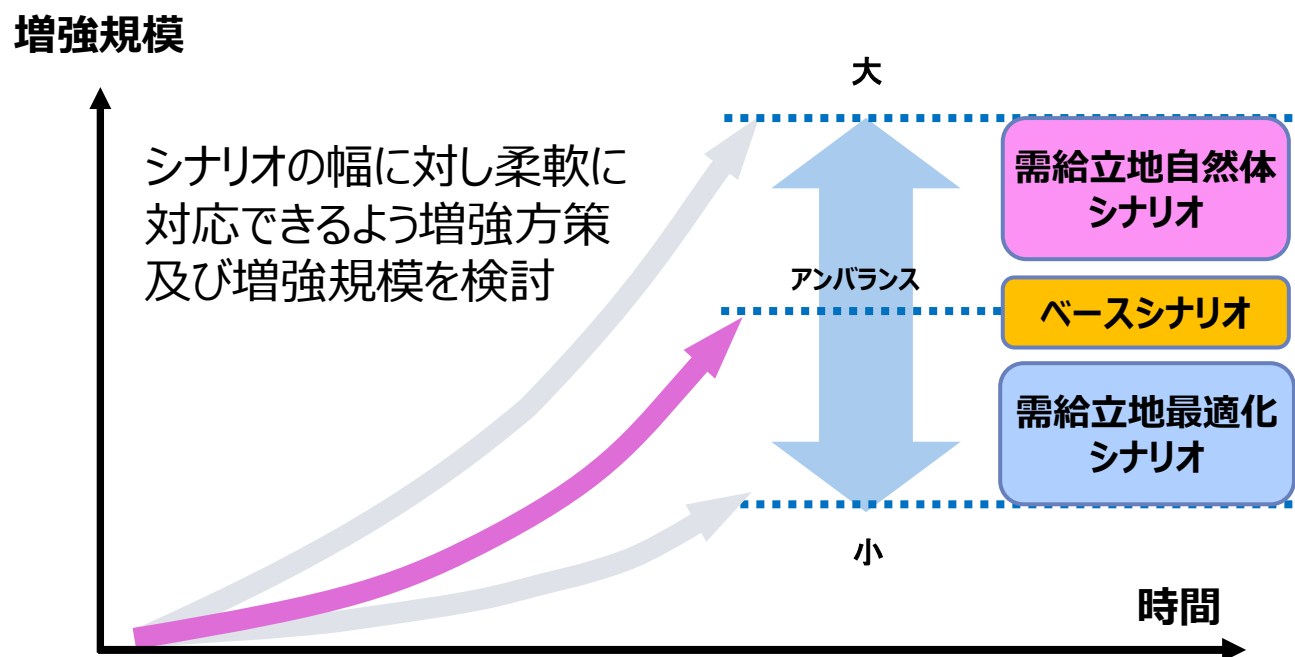
系統連系による対策



レジリエンス向上にもつながる

広域連系系統のマスタープラン

- 広域系統長期方針は、2050年カーボンニュートラル実現を見据えた将来の**広域連系系統**の具体的な絵姿を示す長期展望と、これを具体化する取組をまとめたもの。
- これを「**広域連系系統のマスタープラン**」と位置付け。



費用便益評価に基づく系統増強方策の検討

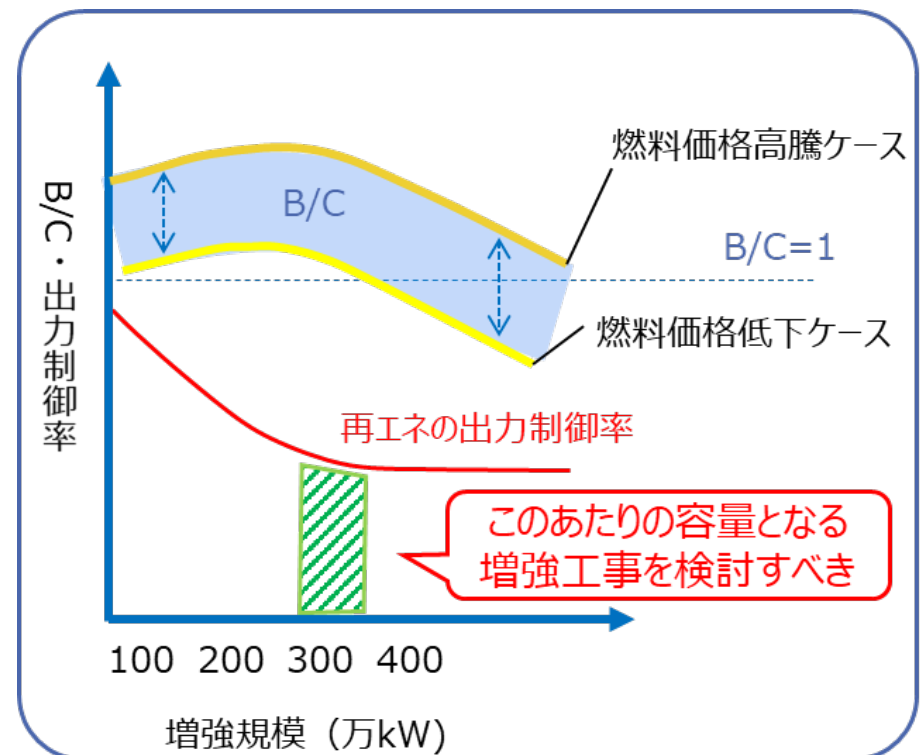
- 混雑が発生する系統を増強した場合の**増強にかかる費用 (C)** と**増強による便益 (B)** を比較。
- 費用対効果が見込まれることを前提に、再エネ出力制御率の低減効果も踏まえて、将来の選択肢も含めた増強方策と増強規模を検討。

便益評価の項目

燃料費	○
CO2対策コスト	○
アデカシー面	○
送電ロス	○
系統の安定性	◆
再エネ出力制御率	◆
CO2排出量	◆

○：貨幣価値指標，◆：非貨幣価値指標

増強規模選定のイメージ



各シナリオの前提条件

			需給立地最適化 シナリオ	ベース シナリオ	需給立地 自然体シナリオ
需 要			1.2兆kWh程度		
電 源 構 成	再 エ ネ	太陽光	約260GW		
		陸上風力	約41GW		
		洋上風力	約45GW（官民協議会導入目標）		
		水力 バイオマス 地熱	約60GW（エネルギーミックス水準）		
	火 力 （化石＋CCUS）		・供給計画最終年度の年度末設備量 ・一般送配電事業者へ契約申込済の電源（廃止後は水素・アンモニアにリプレイスと仮定）		
	原子力		・既存もしくは建設中の設備が全て60年運転すると仮定		
	水素・アンモニア		・既設火力の一部が45年運転で廃止後、リプレイスされるものと仮定して設定		

電源の想定

(参考) 2050年における各電源の整理

令和2年12月21日
基本政策分科会資料(抜粋)

- 2050年カーボンニュートラルを目指す上で、脱炭素化された電力による安定的な電力供給は必要不可欠。3E+Sの観点も踏まえ、今後、以下に限定せず複数のシナリオ分析を行う。議論を深めて行くに当たり、それぞれの電源の位置づけをまずは以下のように整理してはどうか。

確立した脱炭素の電源	再エネ	2050年における主力電源として、引き続き最大限の導入を目指す。 - 最大限導入を進めるため、調整力、送電容量、慣性力の確保、自然条件や社会制約への対応、コストを最大限抑制する一方、コスト増への社会的受容性を高めるといった課題に今から取り組む。 - こうした課題への対応を進め、2050年には発電電力量(※1)の約5～6割を再エネで賄うことを今後議論を深めて行くにあたっての参考値(※2)としてはどうか。
	原子力	- 確立した脱炭素電源として、安全性を大前提に一定規模の活用を目指す。 - 国民の信頼を回復するためにも、安全性向上への取組み、立地地域の理解と協力を得ること、バックエンド問題の解決に向けた取組み、事業性の確保、人材・技術力の維持といった課題に今から取り組んでいく。2050年には、再エネ、水素・アンモニア以外のカーボンフリー電源として、<u>化石+CCUS/カーボンリサイクルと併せて約3～4割を賄うことを今後議論を深めて行くにあたっての参考値(※2)としてはどうか。</u>
イノベーションが必要な電源	化石+CCUS	- 供給力、調整力、慣性力の利点を持つ一方で、化石火力の脱炭素化が課題。 - CCUS/カーボンリサイクルの実装に向け、技術や適地の開発、用途拡大、コスト低減などに今から取組み、一定規模の活用を目指す。2050年には、再エネ、水素・アンモニア以外のカーボンフリー電源として、<u>原子力と併せて約3～4割を賄うことを今後議論を深めて行くにあたっての参考値(※2)としてはどうか。</u>
	火力 水素・アンモニア	- 燃焼時に炭素を出さず、調整力、慣性力の利点を持つ一方で、大規模発電に向けた技術確立、コスト低減、供給量の確保が課題。今からガス火力、石炭火力への混焼を進め、需要・供給量を高め安定したサプライチェーンを構築にも取り組む。 - 産業・運輸需要との競合も踏まえつつ、カーボンフリー電源として一定規模の活用を目指す。水素基本戦略で将来の発電向けに必要な調達量が500～1000万トンとされていることを踏まえ、水素・アンモニアで2050年の発電電力量の約1割前後を賄うことを今後議論を深めて行くにあたっての参考値(※2)としてはどうか。

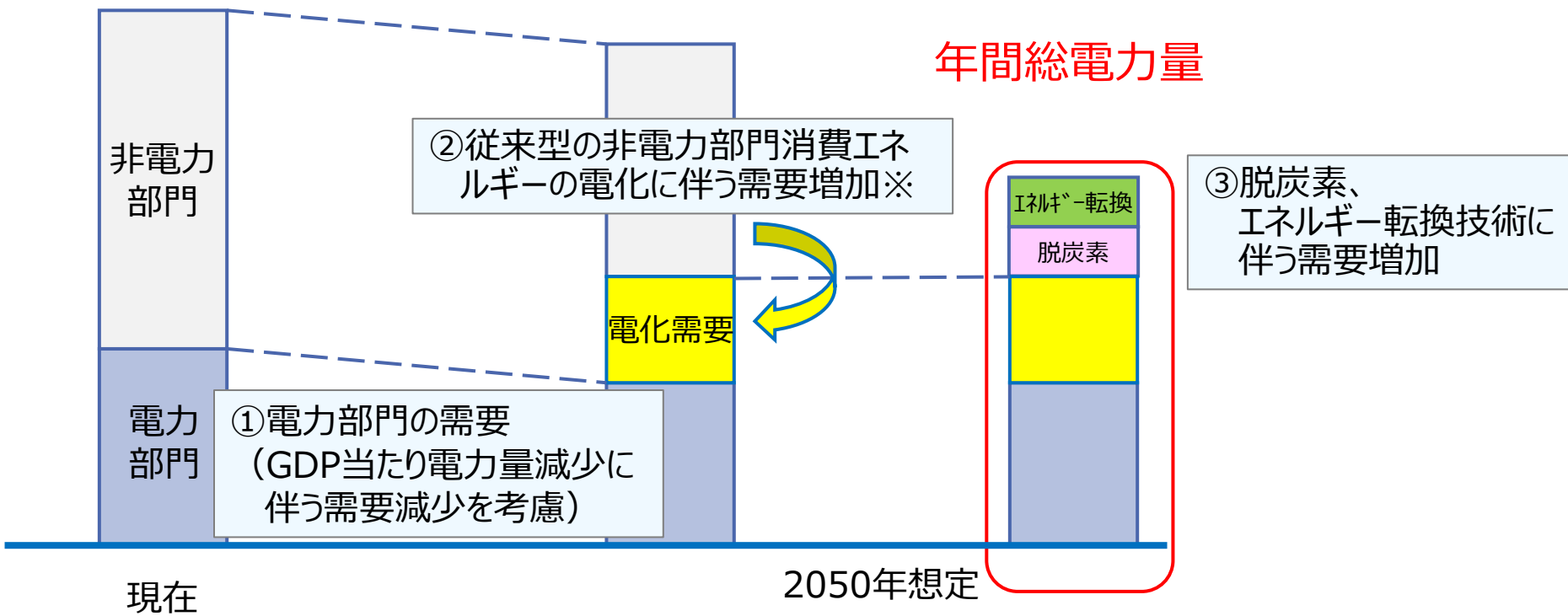
※1：2050年の発電電力量は、第33回基本政策分科会で示したRITEによる発電電力推計を踏まえ、約1.3～1.5兆kWhを参考値(※2)とする。

※2：政府目標として定めたものではなく、今後議論を深めて行くための一つの目安・選択肢。今後、複数のシナリオを検討していく上で、まず検討を加えることになるもの。

17

年間総電力量（需要）の想定

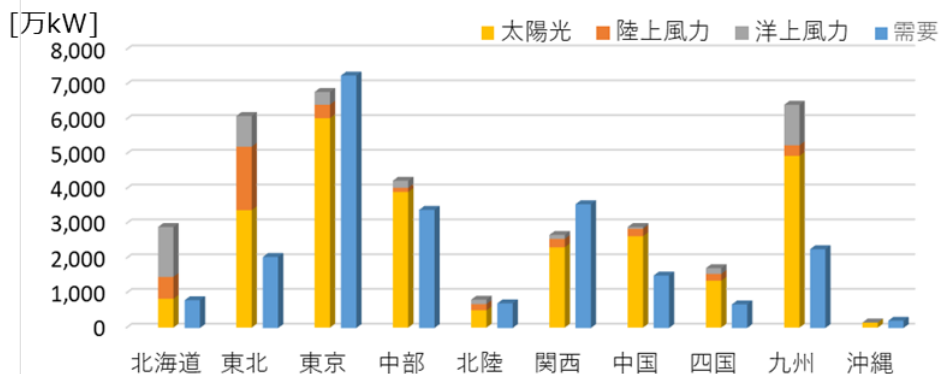
最終エネルギー消費



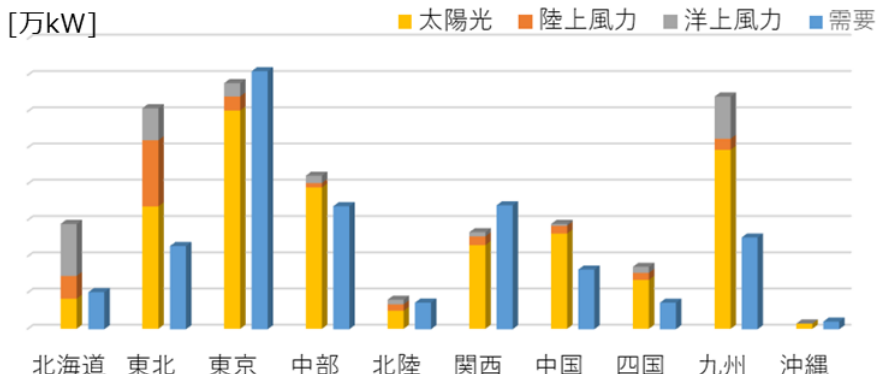
※産業部門の電化、輸送部門の電化、熱需要の電化などの合計値

需要と再生電源（太陽光・陸上風力・洋上風力）

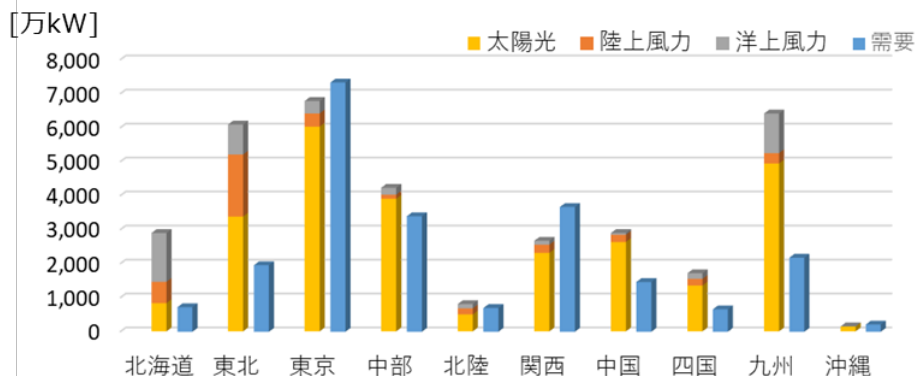
ベースシナリオ



需給立地最適化シナリオ



需給立地自然体シナリオ



需給立地最適化シナリオ

- 水素製造・DACの約 8 割を再生電源近傍へ配賦
- 再生エネルギー余剰活用需要の約 8 割が可制御でピークシフトできると想定

ベースシナリオ

- 水素製造・DACの約 2 割を再生電源近傍へ配賦
- 再生エネルギー余剰活用需要の約 2 割が可制御でピークシフトできると想定

需給立地自然体シナリオ

- 水素製造・DACの全量を需要地近傍へ配賦
- 再生エネルギー余剰活用需要の全量が一定負荷と想定

DAC:大気中から二酸化炭素を直接吸収・除去する技術

東地域の増強方策

- 東地域は、北海道・東北エリアに、他エリアと比較して大量の再エネが導入することが想定され、その再エネの電気を大消費地である東京エリアへ送るためには、再エネ導入に伴う系統課題を考慮した系統増強が必要となる。

東地域系統課題

- 基本シナリオの需要と再エネ設備量比較

【エリア】

需要(万kW)

■ H3需要

再エネ設備量合計(万kW)

■ 太陽光

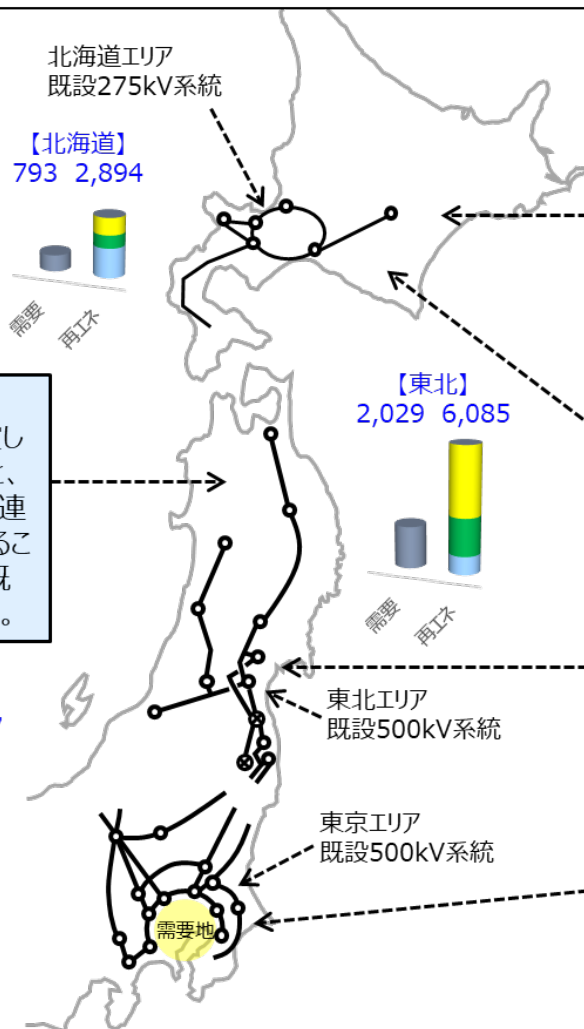
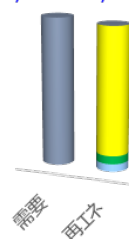
■ 陸上風力

■ 洋上風力

【東北地内系統】

- 東北北部においてマスタープランで想定している再エネポテンシャルが導入されると、同期安定性の制約により東北東京間連系線の運用容量が低下する。低下することで出力制御など制約が生じるため、既存系統を最大限活用した対策が必要。

【東京】
7,211 6,777



【北海道地内系統】

- 道北・道東・道南に大量の再エネ導入が想定され、既設系統の増強だけでは対応が難しいため、道央に向けた275kV送電線等の新設による増強が必要。
- 北海道地内系統とHVDCを接続する場合、容量200万kWや400万kWといった大容量HVDCを接続するとHVDC脱落時に、基準を超過する周波数影響を受けるため、北海道地内系統とHVDCは、周波数影響を許容可能な容量(今回の検討では100万kW)で制約した単位での接続が必要。

【北海道・東北地内系統】

- 大量の再エネ導入が想定されるエリアでは、連系に伴い大規模な地内系統の増強が必要となるが、混雑している系統を一つ一つ増強すると増強規模が拡大する。そのため、電源ポテンシャル近傍にHUB設備(連系変圧器・開閉設備)を新設し、電源を集約して設備容量が大きい広域連系系統(最上位電圧から上位二階級)に連系する対策が有効となる。

【東京地内系統】

- 東京地内では、北海道・東北エリアの再エネ潮流を受け入れるとき、地内の発電量が減るなど、地内の潮流が変化することになるため、これに対応した地内増強が必要となる。

東地域の増強方策

ベースシナリオ

■ 系統課題を踏まえ、再エネの電気を効率的に大消費地へ送るには、大規模な系統増強が必要となる。

東地域増強イメージ図

※増強イメージ図であり、送電線等の新設や増強を確定したものではありません。

HVDC対策コスト
約2.5～3.4兆円

○HVDC送電線新設ほか

✓HVDC構成は、同期安定性等の制約の影響を受けない接続箇所の選定を行うとともに、レジリエンス面も考慮して分散させる。また、ルートについては、整備計画を具体化の中で海と陸との比較や既存インフラの活用等についても考慮のうえ、より効率的な設備形成を検討していく。

➢北海道～東京間のHVDC直送案も考えられるが、東北の再エネポテンシャルも大きく、交流系統の増強だけでなくHVDCも活用した大需要地への送電を検討していく。(長距離HVDCルート断時のリスクも分散)

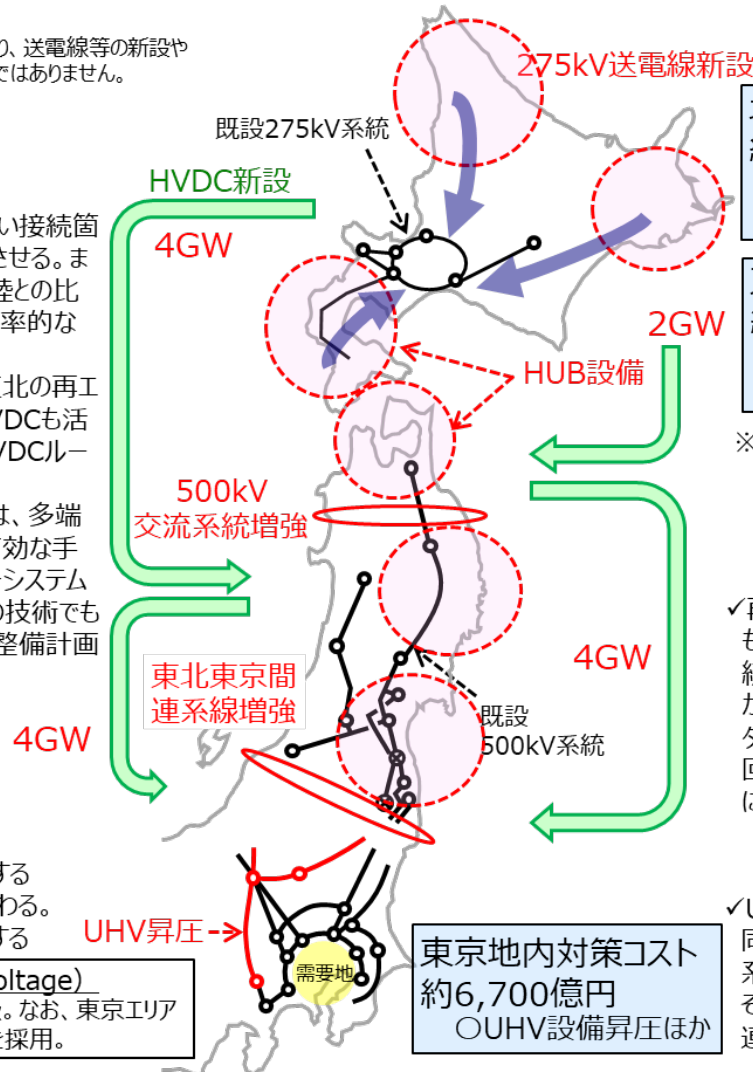
✓洋上風力ポテンシャルの大きい、北海道・東北エリアでは、多端子システムは、交直変換器など設備数も削減可能で有効な手段となる。マスタープランの想定する将来において多端子システムは実現可能と想定するが、多用途多端子など開発中の技術でもあるため、開発動向等により取りうる選択肢としておき、整備計画を具体化の中で詳細検討していく。

東北東京間連系線対策コスト
約2,000億円

○500kV送電線新設
○既設275送電線昇圧 ほか

✓東北東京間連系線の運用容量は、東北北部に連系する電源ポテンシャルに応じた同期安定性の制約によって変わる。そのため、連系線増強については、整備計画を具体化の中で詳細検討していく。

UHV (Ultra high voltage)
800kVを超える電圧階級。なお、東京エリアの設計電圧は1,000kVを採用。



北海道地内対策コスト
約1.1兆円※

○275kV送電線新設
○HUB設備、開閉所新設 ほか

東北地内対策コスト
約6,500億円※

○500kV送電線新設
○HUB設備新設 ほか

※北海道、東北エリアは、再エネを既設の広域連系系統に送電する上で必要となる上位2電圧階級の系統増強費用として、北海道4,000億円、東北2,200億円程度のコストを含む。

✓再エネ大量導入のためには、広域連系系統以外にも増強が必要となる。東北エリアでは、広域連系系統とループ運用している第3電圧階級の系統増強が、追加で2,000億円程度と試算されている。マスタープランは広域連系系統を対象としているため、今回の地内対策コストには含んでいないが費用負担については今後整理が必要。

✓UHV昇圧は、潮流増加に対する対策のみでなく、同期安定性の制約により低下する東北東京間連系線の運用容量の拡大等にも効果が見込まれる。そのため、電源ポテンシャル等に応じて東北東京間連系線増強やUHV設備の昇圧を選択していく。

東京地内対策コスト
約6,700億円

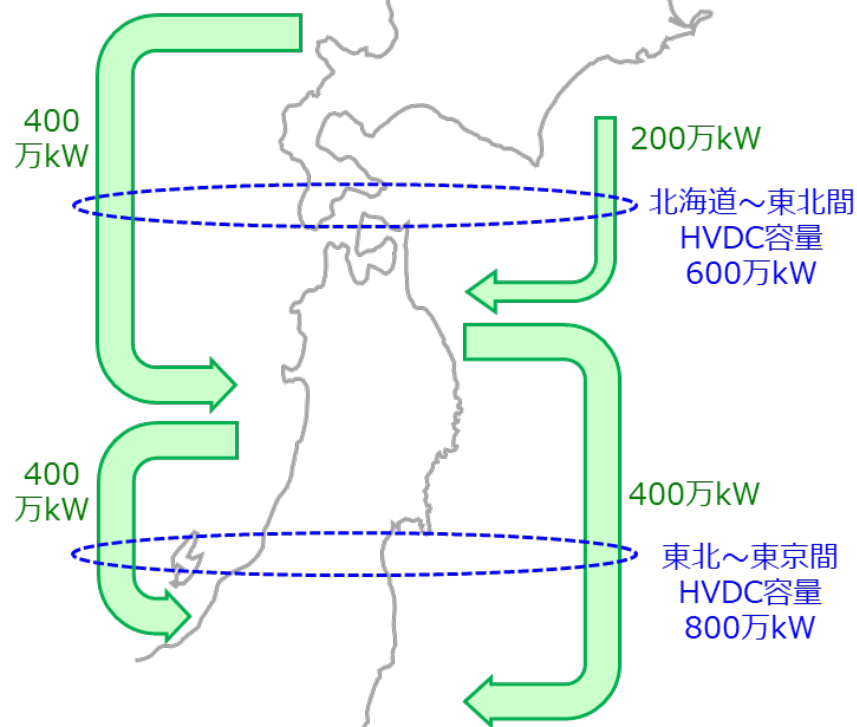
○UHV設備昇圧ほか

東地域の増強方策

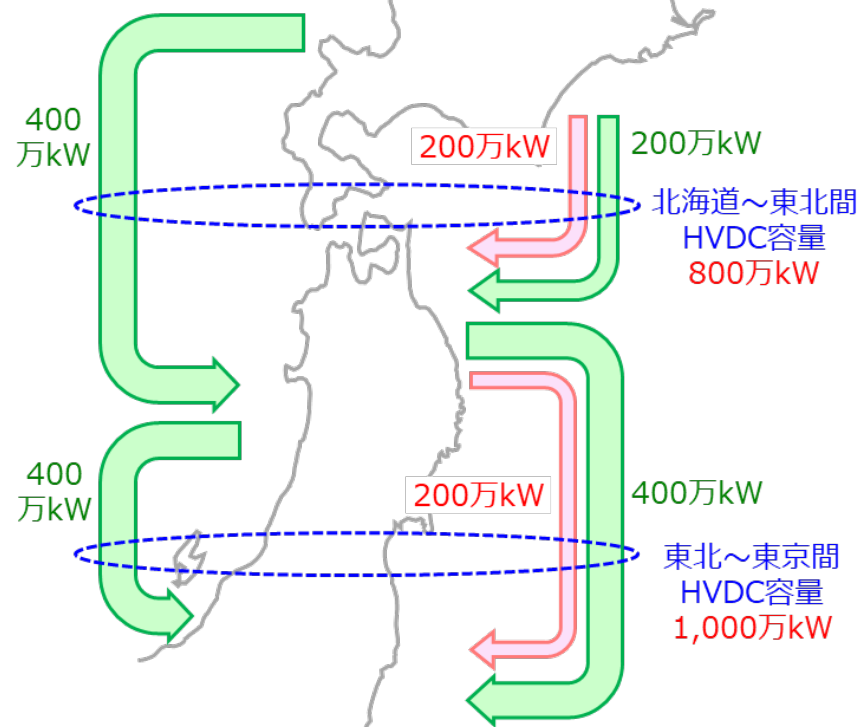
- ベースシナリオと需給立地最適化シナリオにおける有力なHVDC増強規模は同じとなった。
- 需給立地自然体シナリオは、北海道～東北間、東北～東京間の各区間でベースシナリオのHVDC増強規模から追加で200万kWの増強が必要となった。

ベースシナリオ

需給立地最適化シナリオ

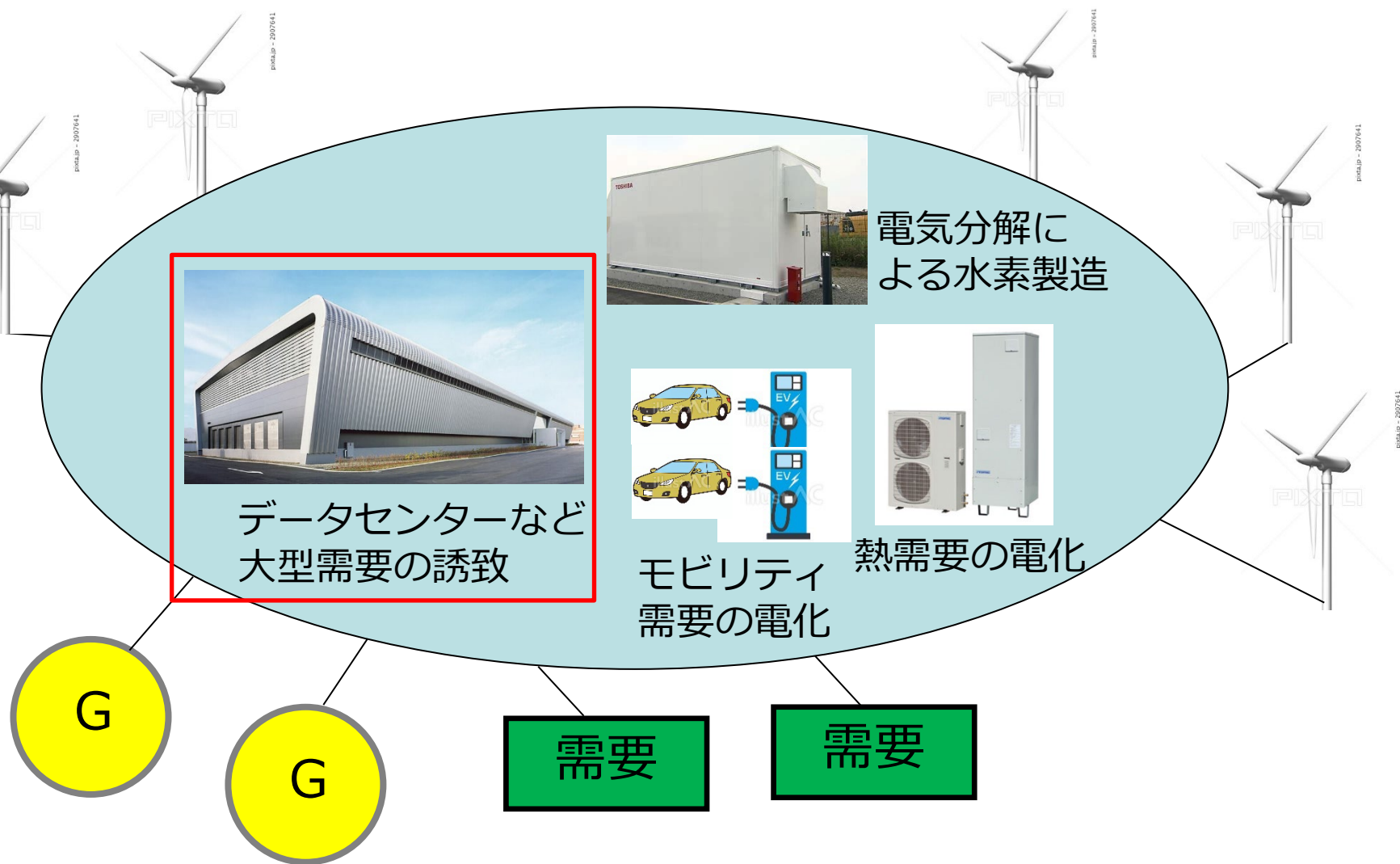


需給立地自然体シナリオ



1. はじめに
2. 北海道における再生可能エネルギー
3. 広域系統長期方針（マスタープラン）の策定
4. 電力需要の拡大と能動化

電力需要の拡大と能動化



大型需要の誘致

データセンター（DC）：現在、全道に38箇所が立地

北海道の冷涼な気候や雪氷，再エネを活用した省エネルギー型データセンターの立地が進展

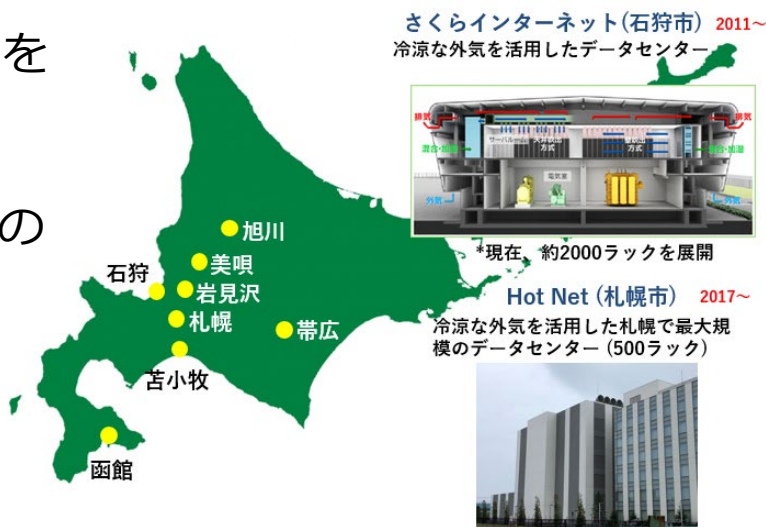


データセンター

DCは大規模なものでは1棟当り30MW~40MWの電力を消費

24時間365日変動のない電力を使い続けるという特徴

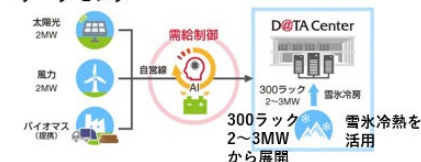
地方分散化や、雇用創出などの
経済効果への期待も大きい



共同通信デジタル(美唄市) 2021～
雪氷冷熱を活用したホワイトデータセンター

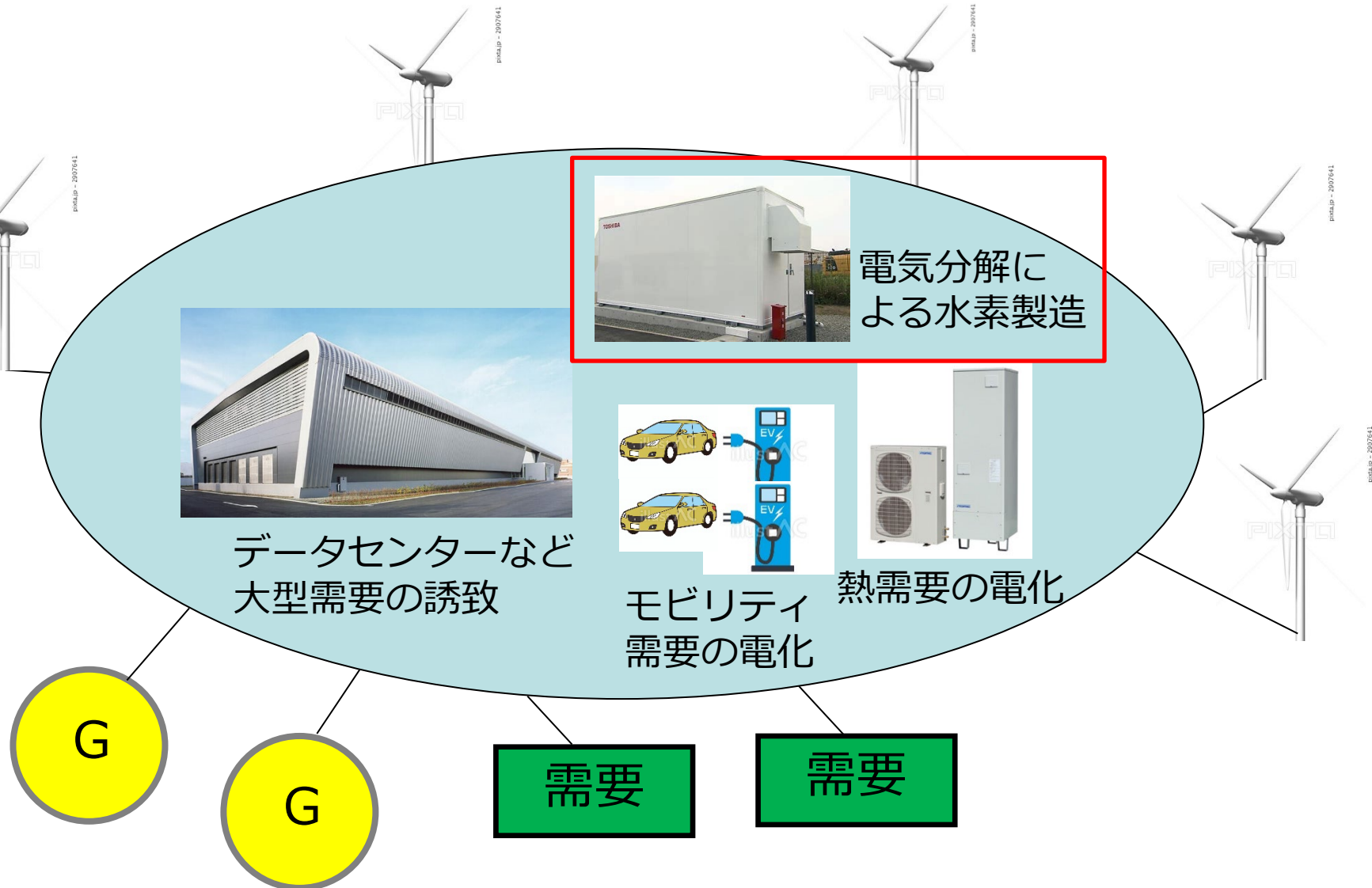


京セラコミュニケーションシステム(石狩市) 計画中
再生可能エネルギーと雪氷冷熱を活用した
データセンター

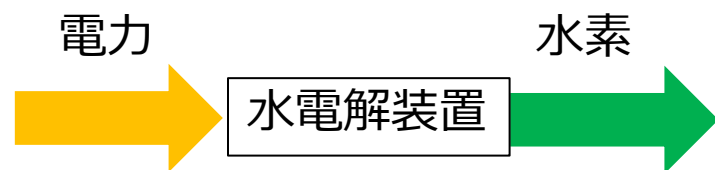


https://www.pref.hokkaido.lg.jp/kz/ssg/sgr/dc_guide.html

電力需要の拡大と能動化



水の電気分解による水素製造



水電解装置

水素需要の拡大→電力需要の拡大

水素需要の開拓；

燃料電池自動車（FCV）：

広域分散型の地域特性→輸送部門の二酸化炭素排出量の削減が多い

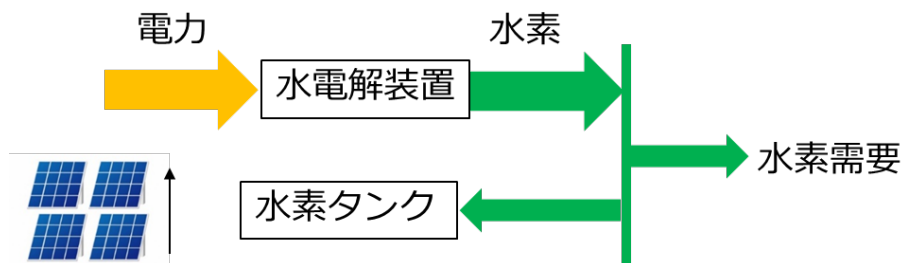
トラックやバスなどの大型車による輸送が物流や公共交通を支える柱の一つ

水素の貯蔵：災害時に自立型のエネルギー供給システムとして活用

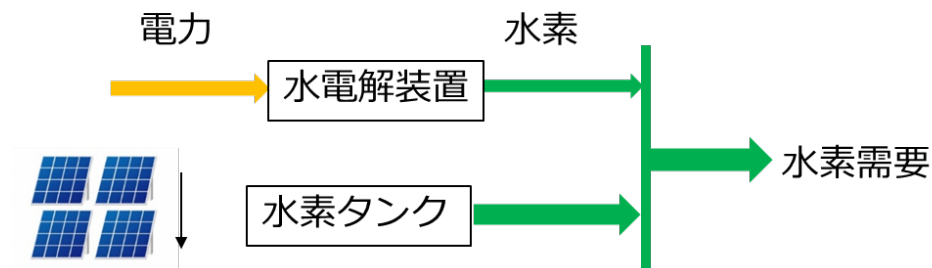
水素コストの低減

調整力の提供による市場からの追加収入→事業全体のメリットに注目

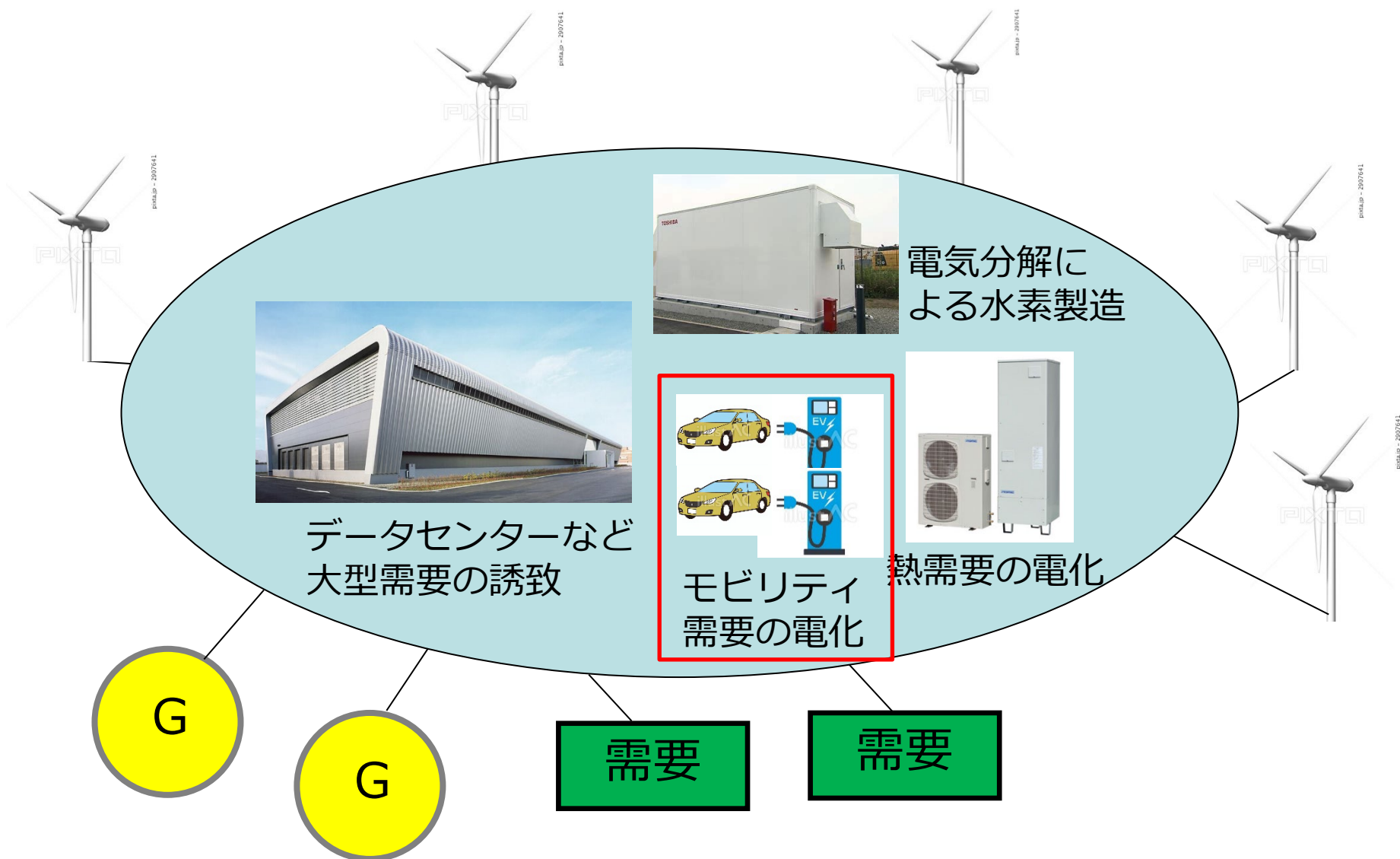
電力需要を増やしたいとき



電力需要を減らしたいとき



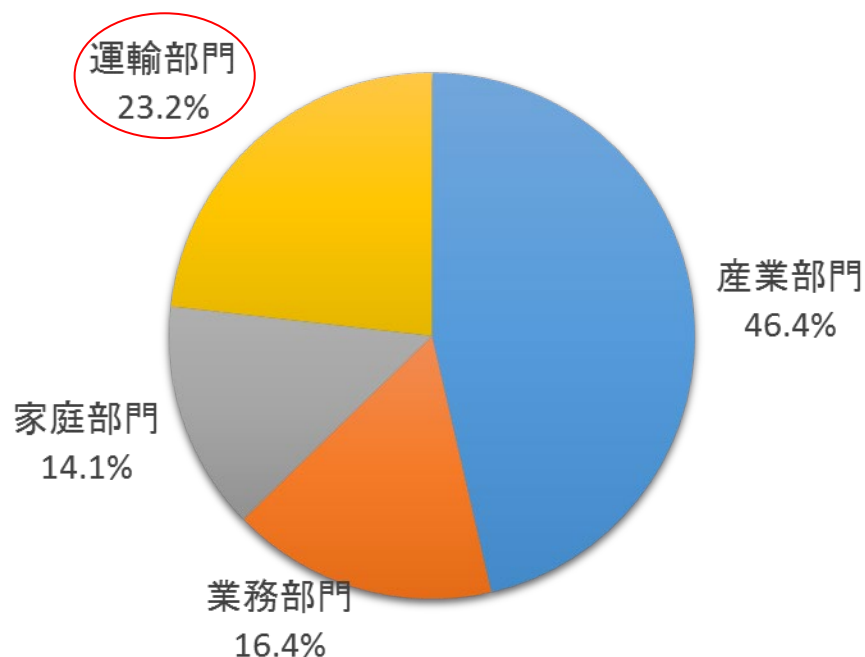
電力需要の拡大と能動化



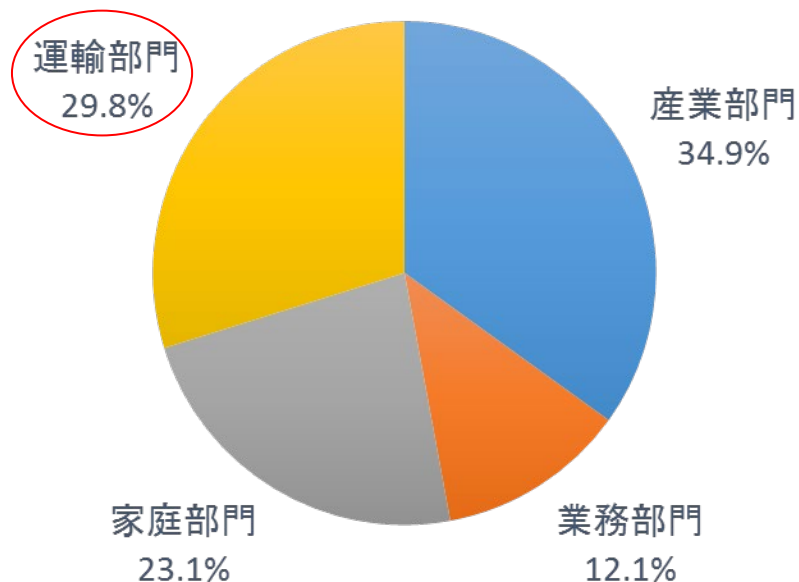
モビリティ需要の電化

北海道では広大な面積に多くの市町村が点在していることから、移動や輸送にも多くのエネルギーが使われている。

部門別構成比(全国)



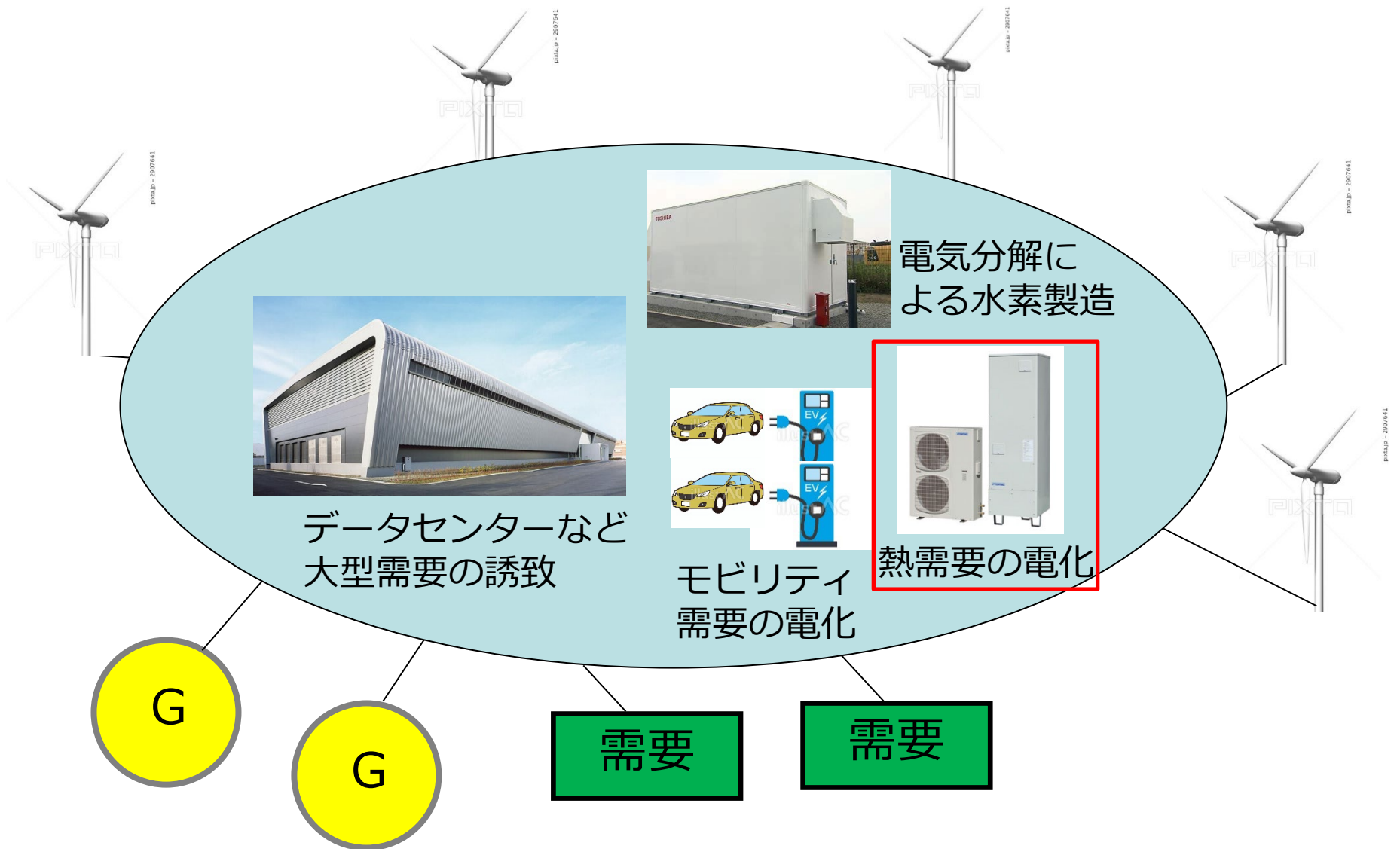
部門別構成比(北海道)



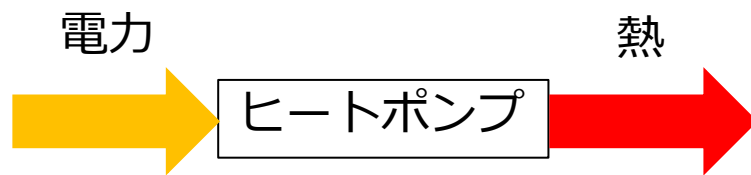
エネルギー需給実績（令和元年度）

北海道エネルギー関連データ集より作成

電力需要の拡大と能動化



熱需要の電化（ヒートポンプ）



熱需要の電化→電力需要の拡大

夏期ピーク時間帯の冷房需要

オフィスビル：平均48%

一般家庭：平均58%（北海道・沖縄を除く）

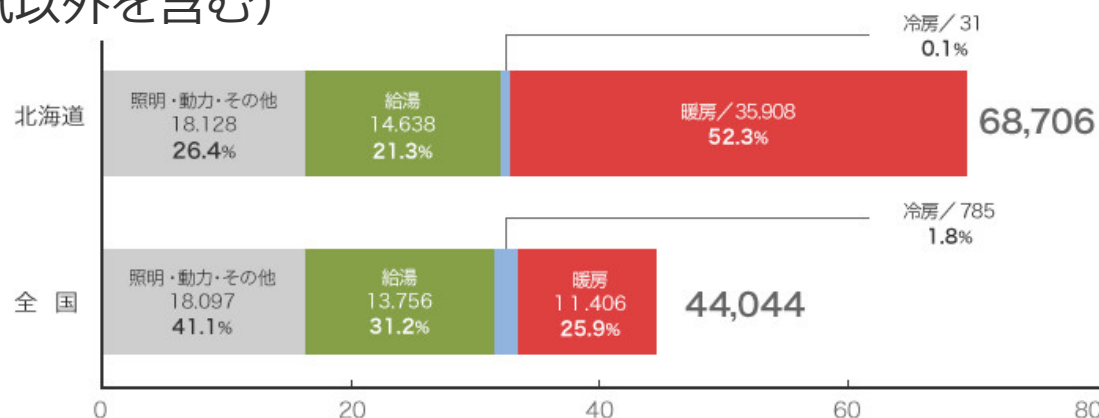
給湯需要

一般家庭：平均27.8%（※電気以外を含む）

北海道は積雪寒冷であることから、他の地域に比べて、暖房や給湯に石油系を中心とした多くのエネルギーを消費。熱を利用できる期間も長いため大きなボリュームに期待



ヒートポンプ



出典：北海道ガス株式会社：「北海道のエネルギー事情」

ヒートポンプの調整

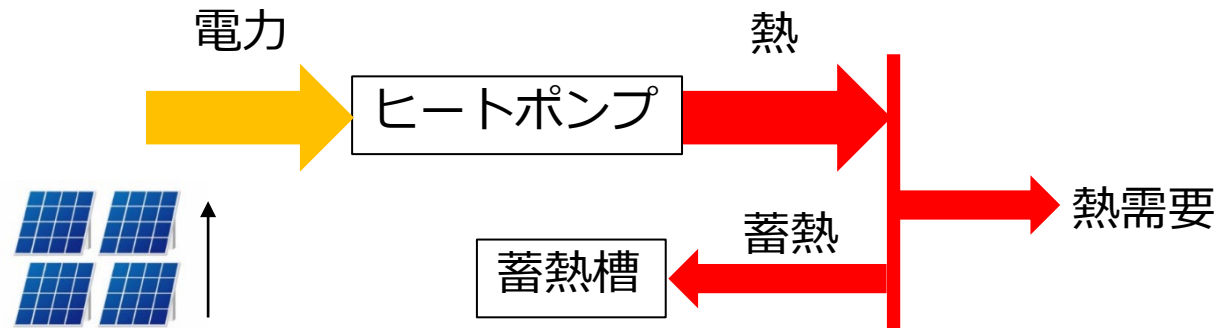


蓄熱槽

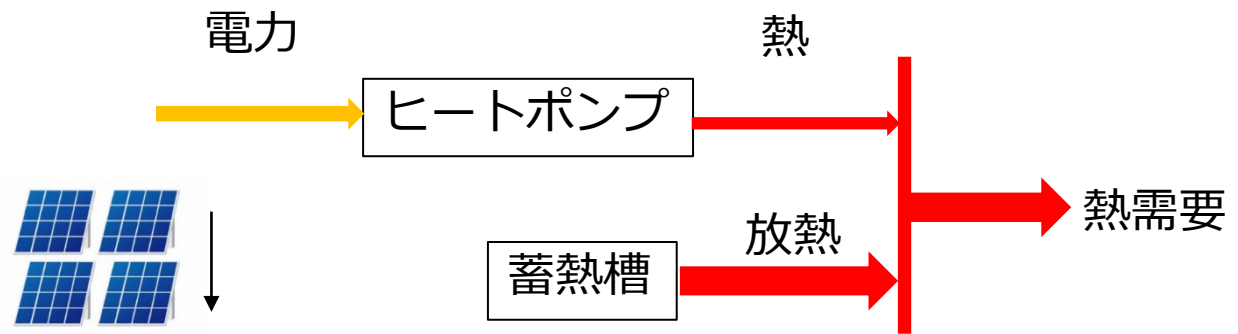
ヒートポンプ給湯器

電力を用いて熱を供給する

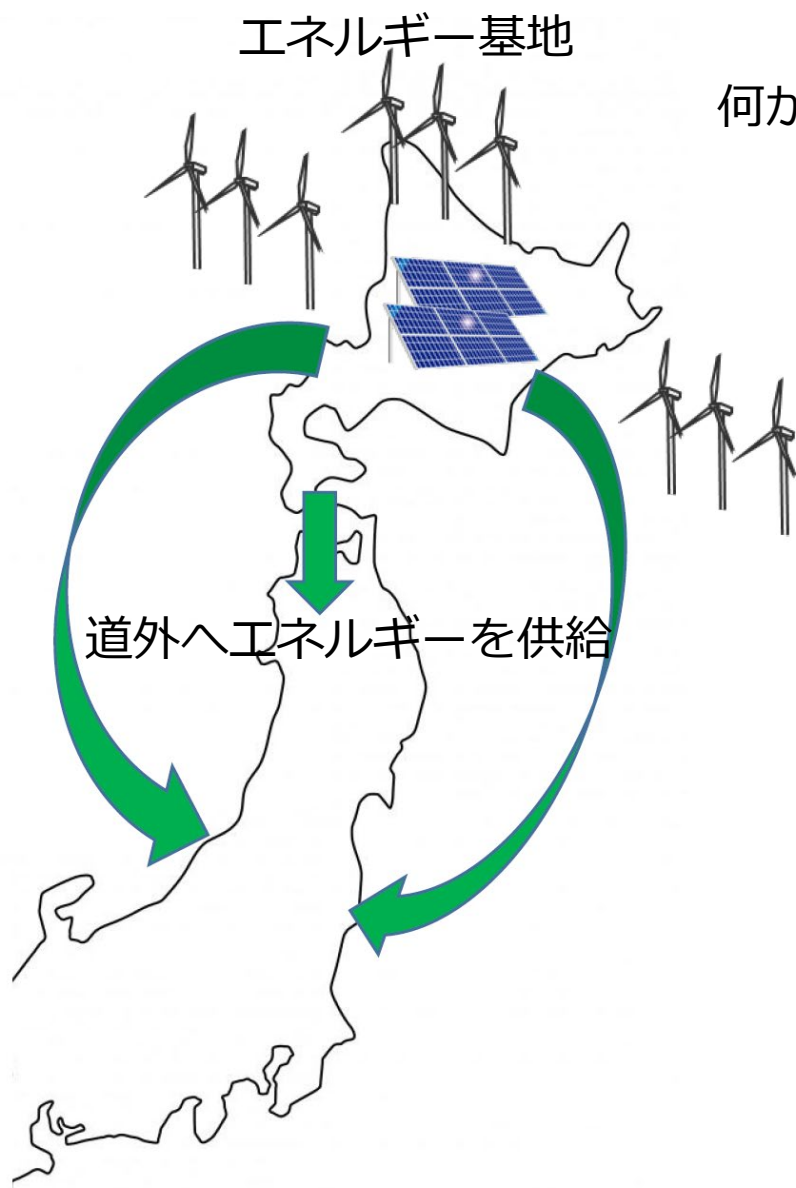
電力需要を増やしたい(再エネ出力大) とき



電力需要を減らしたい (再エネ出力小) とき



エネルギー基地として脱炭素化を先導する役割



何が求められるか

- ✓再生可能エネルギーの**導入**に向けたインフラ整備
 - ・洋上風力発電の導入に向けて、「再エネ海域利用法」に基づく取組等の推進
 - ・電力系統の整備・強化
 - ・系統用蓄電池の導入
- ✓再生可能エネルギーの**移出**に向けたインフラ整備
 - ・地域間連系線の増強及び新設等
- ✓余剰電力の貯蔵・輸送環境の構築
 - ・**水素サプライチェーン**の構築
 - ・水素・アンモニア等の受入環境の整備（カーボンニュートラルポート等）