

九州における再生可能エネルギーの導入状況 及び水素活用への期待と課題

平成28年10月26日
九州電力株式会社

- 1 九州における再生可能エネルギーの導入状況と需給運用
- 2 当社の再生可能エネルギー受入れへの対応
- 3 水素エネルギーの利活用について

2

1 九州における再生可能エネルギーの導入状況と需給運用

1-1 九州本土における太陽光・風力の導入状況

○九州本土では、平成24年7月の固定価格買取制度(FIT)開始以降、系統への太陽光の接続済量が急速に増加し、平成28年9月末時点で641万kW。これに承諾済を合わせると1,030万kWとなり、接続可能量※817万kWを超過

※FIT制度で定められた出力制御の上限(太陽光:30日・360時間、風力:720時間)を超えて出力制御を行わなければ追加的に受入不可能となる時の接続量

○風力の接続済量は、平成28年9月末時点で49万kW。接続可能量180万kWには未達(ただし、接続検討申込みまでを含めると233万kWとなり接続可能量を超過)

【太陽光発電の接続量の推移と接続申込み状況】

【風力発電の接続量の推移と接続申込み状況】

Legend: 接続済 (Connected), 承諾済 (Committed), 接続契約申込み (Application for connection contract), 接続検討申込み (Application for connection review)

年度	接続済 [万kW]	承諾済 [万kW]	接続契約申込み [万kW]	接続検討申込み [万kW]	合計 [万kW]
H22	56	0	0	0	56
H23	74	0	0	0	74
H24	111	0	0	0	111
H25	271	0	0	0	271
H26	466	0	0	0	466
H27	597	0	0	0	597
H28.9	641	0	0	0	641
H28.9末	641	389	381	231	1,642

接続可能量: 817万kW

Legend: 接続済 (Connected), 承諾済 (Committed), 接続契約申込み (Application for connection contract), 接続検討申込み (Application for connection review)

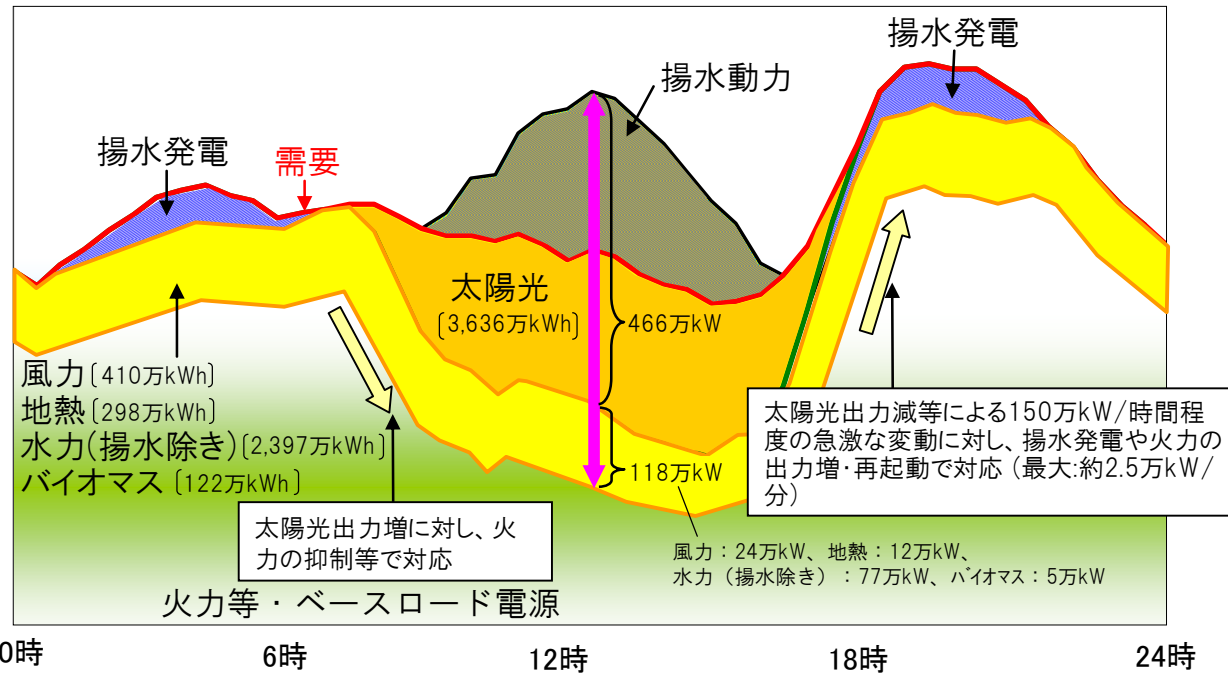
年度	接続済 [万kW]	承諾済 [万kW]	接続契約申込み [万kW]	接続検討申込み [万kW]	合計 [万kW]
H22	40	0	0	0	40
H23	41	0	0	0	41
H24	43	0	0	0	43
H25	43	0	0	0	43
H26	46	0	0	0	46
H27	47	0	0	0	47
H28.9	49	0	0	0	49
H28.9末	49	14	14	121	233

接続可能量: 180万kW

1-2 九州本土の需給バランス

- 平成28年のGW期間中で、最も厳しい運用となった5月4日(水)は、太陽光が最も発電した13時断面に、再エネ(太陽光、風力、地熱、水力(揚水除き)、バイオマス)の需要に占めるkW比率は78%
また、1日の発電電力量に占める再エネのkWh比率は38%
- 太陽光の出力が増加する昼間は、火力発電等の出力を最大限下げて運転するとともに、需要を上回る発電電力を揚水発電の動力運転(上ダムへのくみ上げ)で吸収
- 太陽光の出力が減少する夕方は、揚水発電や火力発電の出力増・再起動で対応

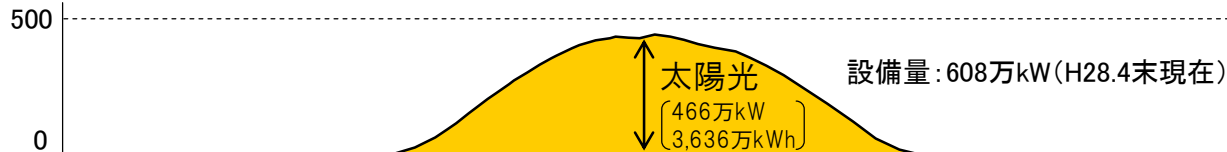
【平成28年5月4日(水)の需給バランス】



【再エネ発電実績】

天候	晴
需要(13時)	748 kW
再エネ電力	584 kW (78%)
日電力量	1.8億 kWh
再エネ日電力量	0.7億 kWh (38%)

【参考:太陽光出力】[万kW]



(参考1-1) 周波数調整面の課題

- 電気は大量に貯めることができず、常に消費量と発電量をバランスさせる必要がある
- 仮にそのバランスが崩れると、周波数が変動する等、安定した電気を供給することが困難になるため、常に火力発電機等の発電量を調整し、消費量と発電量をバランスさせている
- 特に、離島は、本土と比べ需要が小さいため、再エネの出力変動に伴う系統(周波数)への影響が本土よりも大きくなる

<周波数変動のイメージ>

【バランスのとれた状態】

漕ぐ力 = 負荷
(供給) (需要)

漕ぐ力=発電(供給)

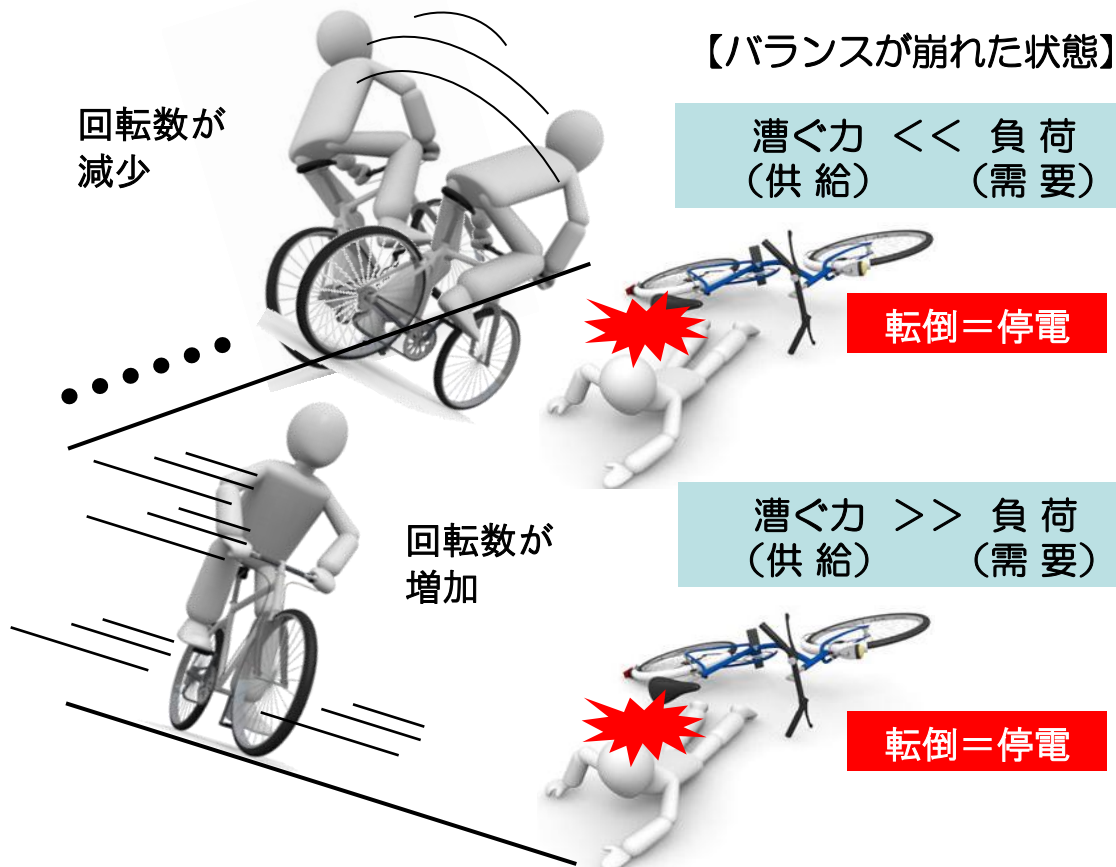


負荷=消費(需要)

車輪の回転数=周波数

回転数が一定

回転数が
減少



【バランスが崩れた状態】

漕ぐ力 << 負荷
(供給) (需要)

転倒=停電

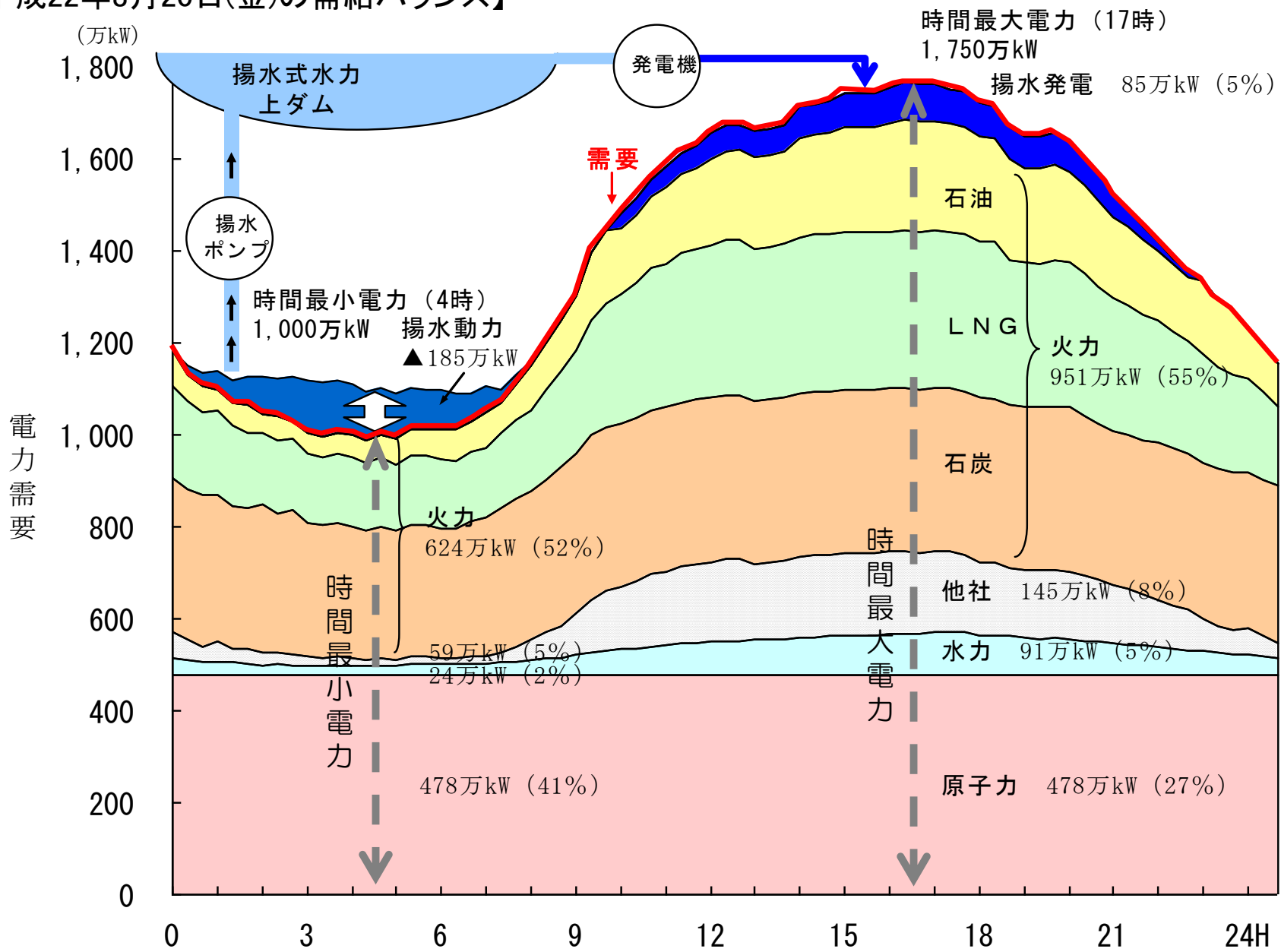
回転数が
増加

漕ぐ力 >> 負荷
(供給) (需要)

転倒=停電

(参考1-2) 再生可能エネルギー大量連系以前の需給バランス

【平成22年8月20日(金)の需給バランス】



2 当社の再生可能エネルギー受入れへの対応

2-1 当社の再生可能エネルギー受入れへの対応

- 当社は、電力の安定供給を前提として、各種再エネの特徴を活かしながら、再エネをバランスよく最大限受け入れるため、天候によって大きく変動する再エネの出力に対応した需給運用方策に取り組み

〔揚水発電所の活用〕(⇒P.7)

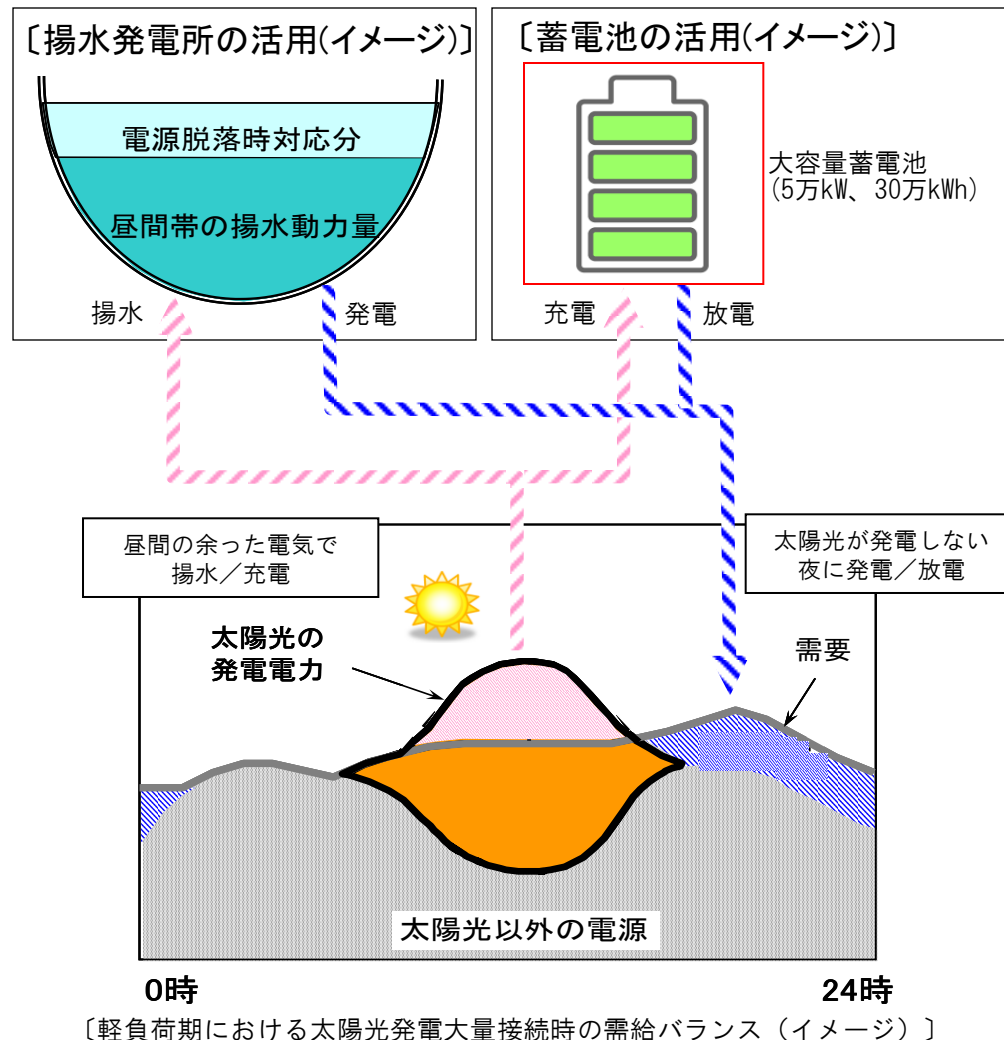
- ・揚水発電は、昼間帯の太陽光発電等による余剰電力を揚水動力で吸収し、点灯時間帯や夜間帯に揚水発電を実施（右図参照）

〔出力制御の実施〕(⇒P.8～12)

- ・九州各地に点在している多数の太陽光・風力発電設備の出力を制御（現在、体制構築中）

〔蓄電池の活用〕(⇒P.13、14)

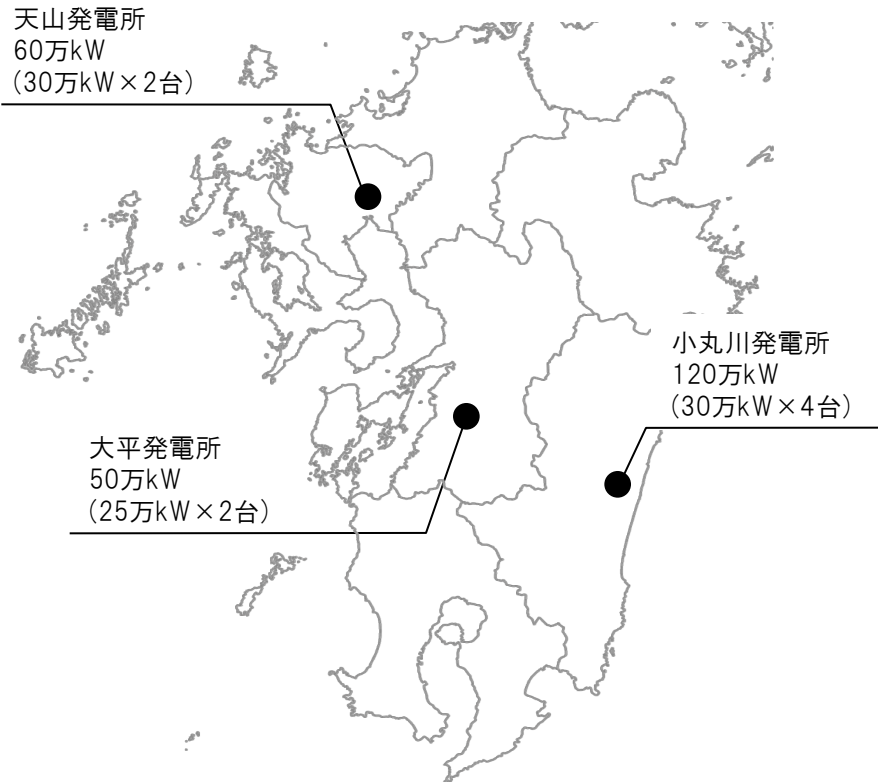
- ・電力系統に大容量蓄電池を設置し、再エネの出力制御量が低減できる制御方法等について検証中（右図参照）
- ・再エネの出力変動による周波数変動を抑制するための最適な制御方法等について検証中



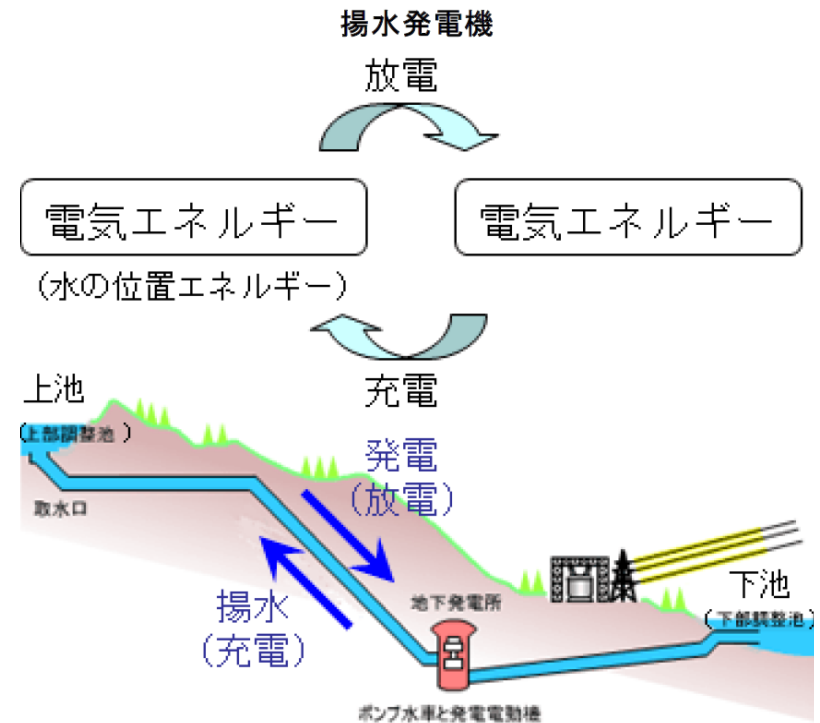
～ 揚水発電所の概要～

- 当社は、3発電所(8台)、合計230万kWの揚水発電所を保有
- 大容量蓄電池としての電力貯蔵能力及び迅速な需給調整能力を有する
(起動から最大出力まで約2分程度、火力機は起動～最大出力まで半日～数日程度が必要)
- 充放電1サイクルで約30%のエネルギーロスが発生
- 九州域内では新設の有望地点がない

【九州の揚水発電所】



【揚水発電の仕組み】



2-3 出力制御の実施

～ 九州本土における出力制御 ～

- 太陽光等再エネの導入拡大が進んでいる九州本土では、今後、再エネの出力制御が必要となる可能性あり
- 一方、今年4月、電力広域的運営推進機関(以下、広域機関)は、供給力が需要を上回る場合の対応として、火力やバイオマス等の出力を抑制する順番等を定めた「優先給電ルール」を整備
- これらを踏まえ、当社は、再エネ事業者さまに出力制御の対応準備を行っていただくため、「優先給電ルール」及び発電事業者さま側の対応内容を公表(平成28年7月21日)するとともに、個別訪問等丁寧な対応を実施中

【優先給電ルールに基づく出力抑制等の順番】

出力の抑制等を行う順番

0 オンラインで調整ができる発電機の出力抑制と揚水式発電機の揚水運転

1 オンラインで調整ができない火力発電等の発電機の出力抑制と揚水式発電機の揚水運転

2 地域間連系線を活用した九州地区外への供給

3 バイオマスの抑制

4 自然変動電源の抑制(太陽光、風力の出力制御)

5 電力広域的運営推進機関の指示による融通

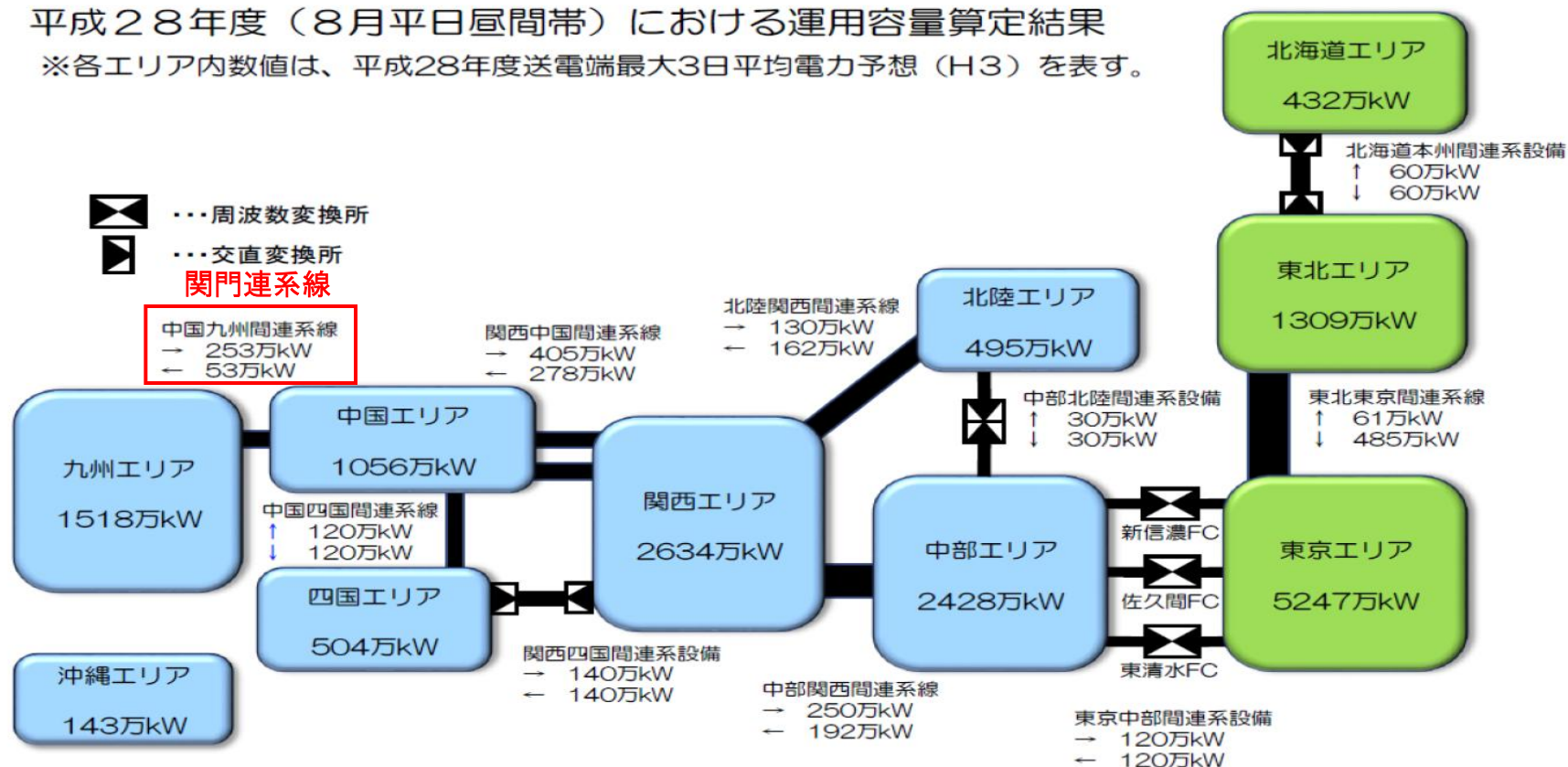
6 長期固定電源の抑制(原子力、水力、地熱の出力制御)

(参考2-1) 地域間連系線の概要

- エリア毎に送配電システムが構成されており、地域間連系線によりエリア間を連系
- 九州エリアは、中国エリアと関門連系線で連系されており、その運用容量は送電線の熱容量、周波数等の制約により季節、時間帯毎で変動
平成28年度8月平日昼間帯における関門連系線の運用容量は東向きが253万kW※、西向きが53万kW
※東向きは、電発電源等の計画潮流があり、活用可能な空容量は数十万kW程度

平成28年度（8月平日昼間帯）における運用容量算定結果

※各エリア内数値は、平成28年度送電端最大3日平均電力予想（H3）を表す。

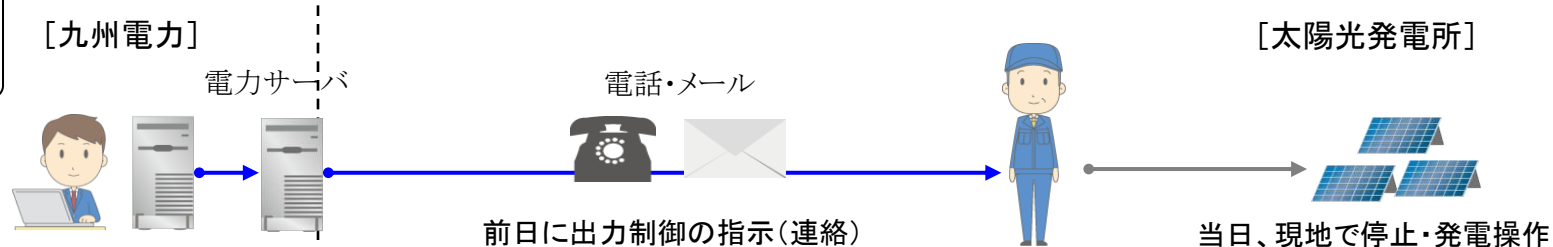


(参考2-2) 太陽光の出力制御方法

接続可能量到達までに契約済の事業者

- ・500kW以上のみ対象
- ・30日までの無補償での出力制御

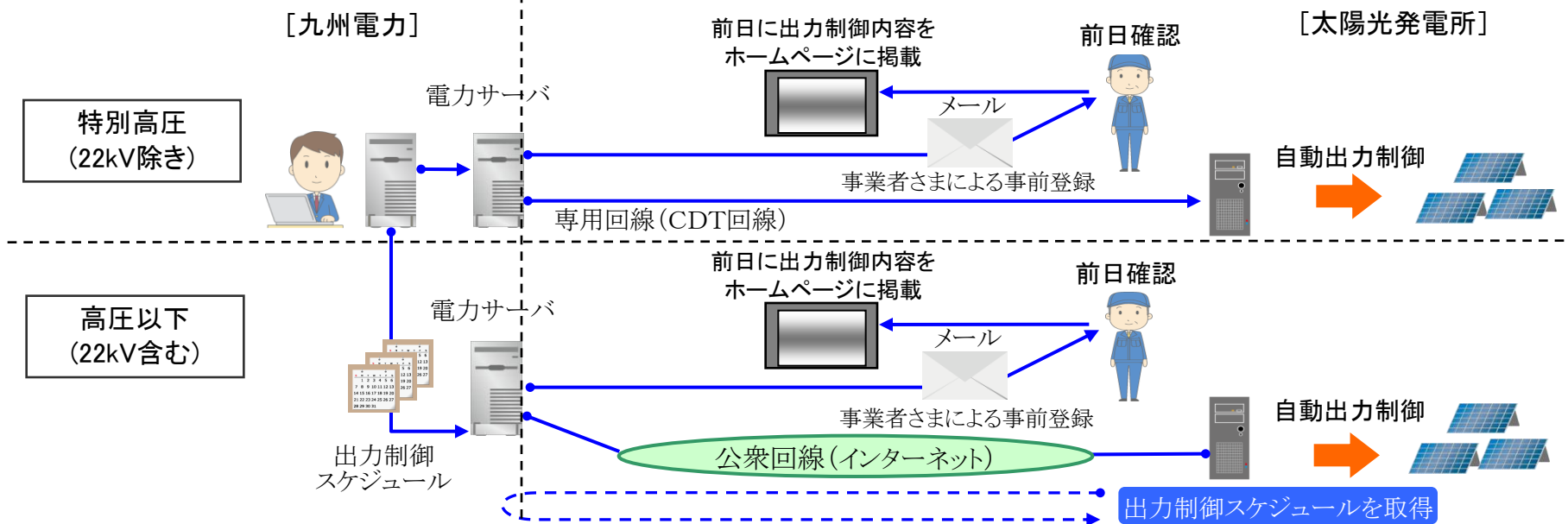
- ・前日17時までに翌日の出力制御を指示(電話・メール)
- ・現地操作(手動)により、発電・停止



接続可能量到達後に契約した事業者

- ・500kW未満も対象
- ・無制限・無補償での出力制御

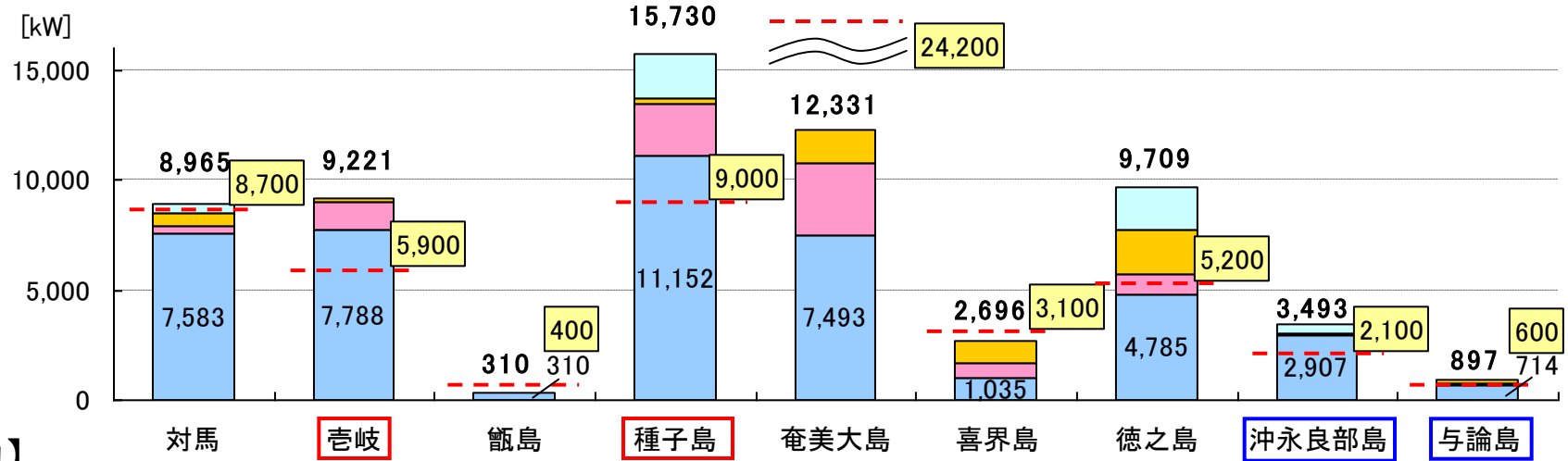
- ・前日17時までに翌日の出力制御を指示(メール)
- ・出力制御機能付PCSへの制御信号による自動制御で発電・停止
- ・特高(22kV除き)は専用回線で制御
- ・高圧(22kV含む)以下はインターネット回線で出力制御スケジュールを出力制御機能付PCSが取得



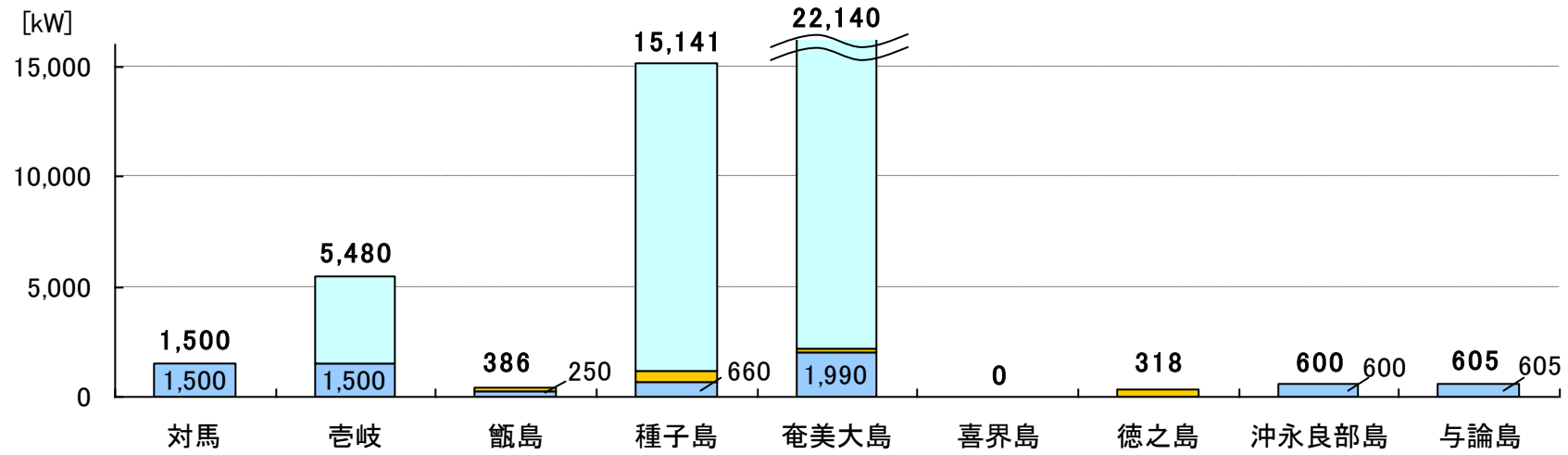
○ 壱岐、種子島、沖永良部島、与論島の4島は、太陽光の接続量が既に接続可能量を超過
 このうち、壱岐、種子島では既に再エネの出力制御を実施

[H28.9末時点] ■ :接続済 ■ :承諾済 ■ :接続契約申込み ■ :接続検討申込み ⋯ :接続可能量
 :出力制御の実績あり :接続量が接続可能量を超過

【太陽光】



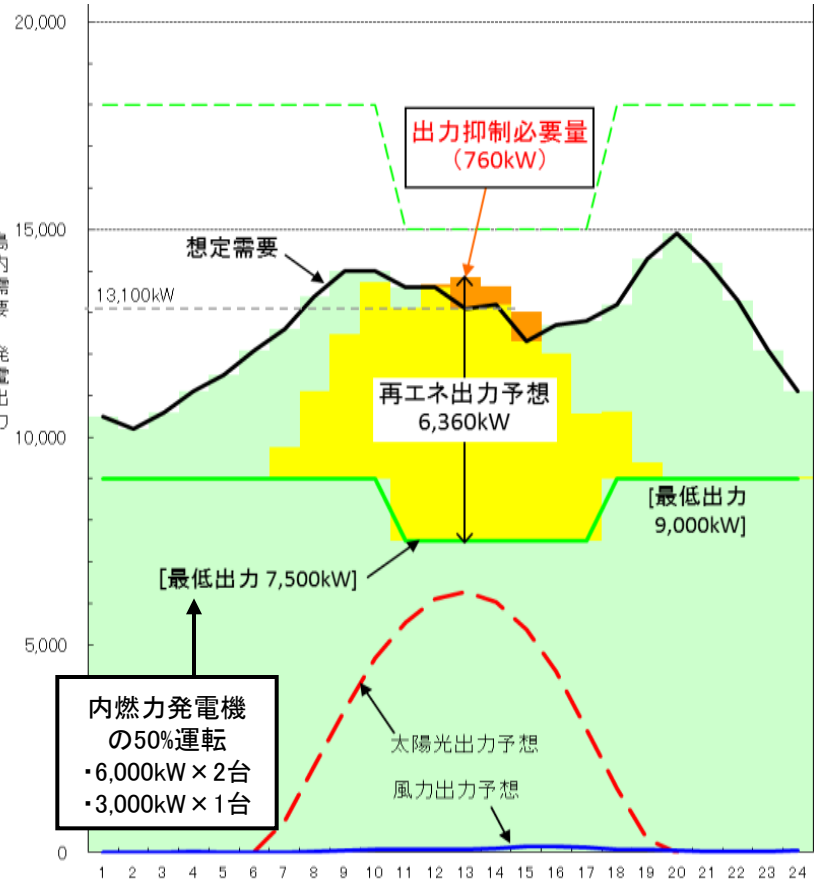
【風力】



(注)風力の接続条件については、個別に検討

- 離島では、気象予報等を踏まえて、1日前に再エネの想定出力や内燃力の必要運転台数を決定
 昼に再エネの出力が増加し、内燃力発電機を最低出力まで抑制しても、供給力が需要を上回る場合、
 再エネの出力制御を実施(昨年5月以降、種子島で12回、壱岐で6回実施)
- なお、出力制御実績については、広域機関に報告のうえ、事後検証にて妥当性を都度確認

【壱岐における再エネの出力制御事例】



- ・昼間帯の太陽光発電の発電量が増加する断面では、内燃力発電機を最低負荷(50%)で運転
- ・それでも、供給力(13,860kW)が需要(13,100kW)を超過する分(太陽光発電等の余剰電力(760kW))の発生が想定されたことから、出力制御を実施

〔前日(H28.4.29)出力制御指令時点の想定〕

気象予報	天候		晴れ
	最高気温		20.3℃
需給 バランス	下げ代最小時	時刻	13時
		需要	13,100 kW
	発電出力合計		13,860 kW
	内訳	火力(内燃力機)	7,500 kW
		太陽光	6,280 kW
風力		80 kW	
出力抑制必要量		760 kW	

- 世界最大級の大容量蓄電システムを備えた豊前蓄電池変電所を新設(平成28年3月)
 - 現在、太陽光発電の出力に応じて蓄電池の充放電を行い、需給バランス改善に活用するとともに大容量蓄電システムの効率的な運用方法等の実証試験を実施中
- ※経済産業省補助事業

【実証内容】

- ・ 揚水発電と同等の電力貯蔵機能を活用した、需給バランスの改善に関する実証を実施
- ・ 系統電圧制御の検証継続に加え、周波数調整、蓄電システムの効率的運用の検証を実施

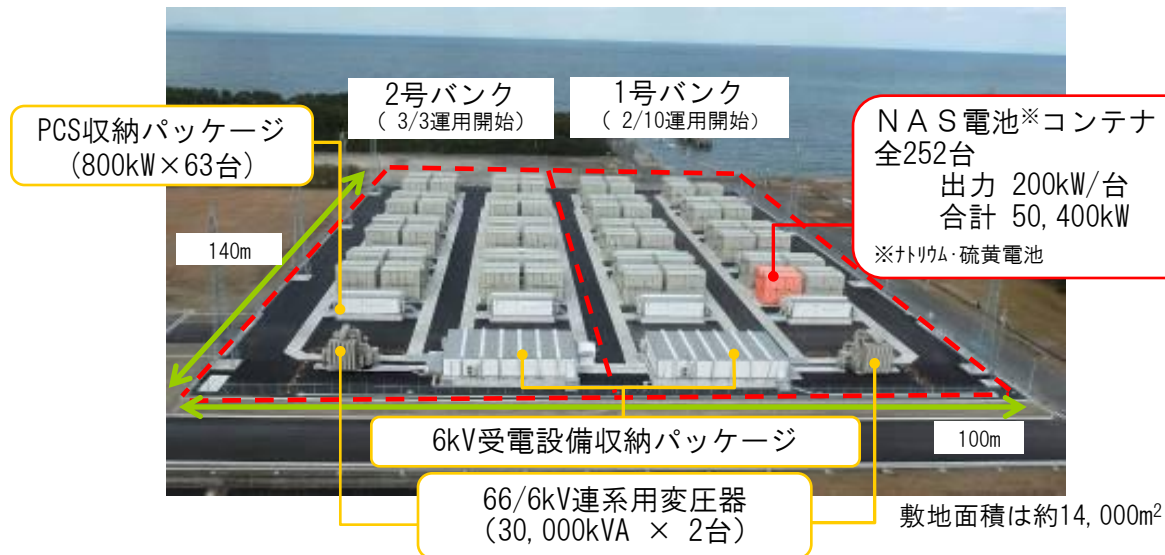
【実施期間】

- ・ 平成27年度～平成28年度

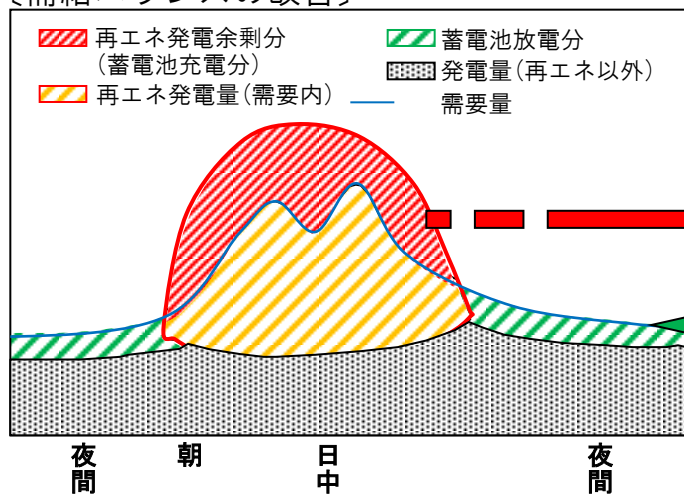
【蓄電池スペック】

- ・ 出力：5万kW(容量：30万kWh)
- ※約3万世帯の1日分の使用量に相当

〔実証設備（豊前蓄電池変電所）〕

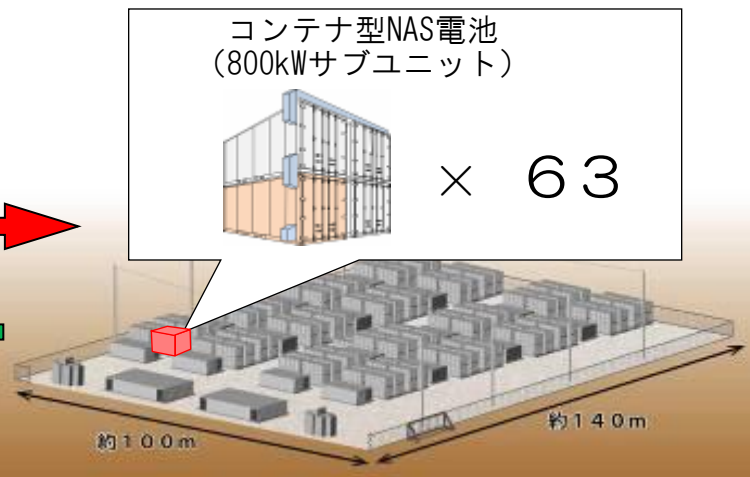


〔需給バランスの改善〕



余剰電力の吸収(貯蔵)
需要を上回った分の電気を蓄電池に充電

貯蔵した電力の活用
太陽光が発電できない夜間に蓄電池から放電



- 離島は系統規模が九州本土に比べて小さく、出力変動が大きい太陽光・風力発電等の再エネが連系されると、系統周波数の変動が大きくなり、系統の安定性に影響を与えやすくなる
- このため、国の補助を受け、蓄電池を離島の電力系統内に一括設置し、再エネによる周波数変動を抑制する実証事業を実施

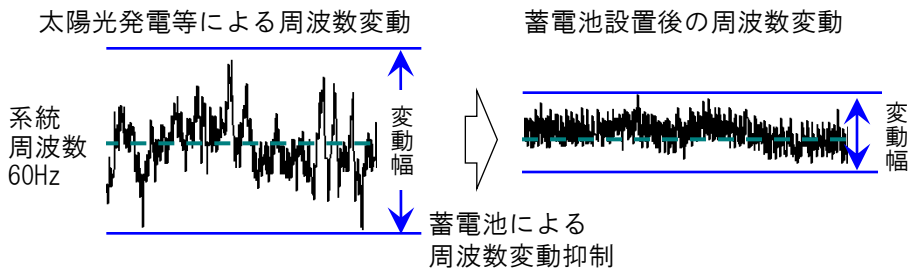
〔実証事業概要〕

- ・ 環境省補助事業 (H25年度設置、H26～H28)
 - 対馬 (長崎県) : 蓄電池 3,500kW
 - 種子島 (鹿児島県) : 蓄電池 3,000kW
 - 奄美大島 (鹿児島県) : 蓄電池 2,000kW
- ・ 経済産業省補助事業 (H24年度設置、H25～H26)
 - 壱岐 (長崎県) : 蓄電池 4,000kW
- ・ 高出力の充放電が繰り返されるため、比較的小さい容量で高い出力を得ることが可能な、リチウムイオン電池を採用

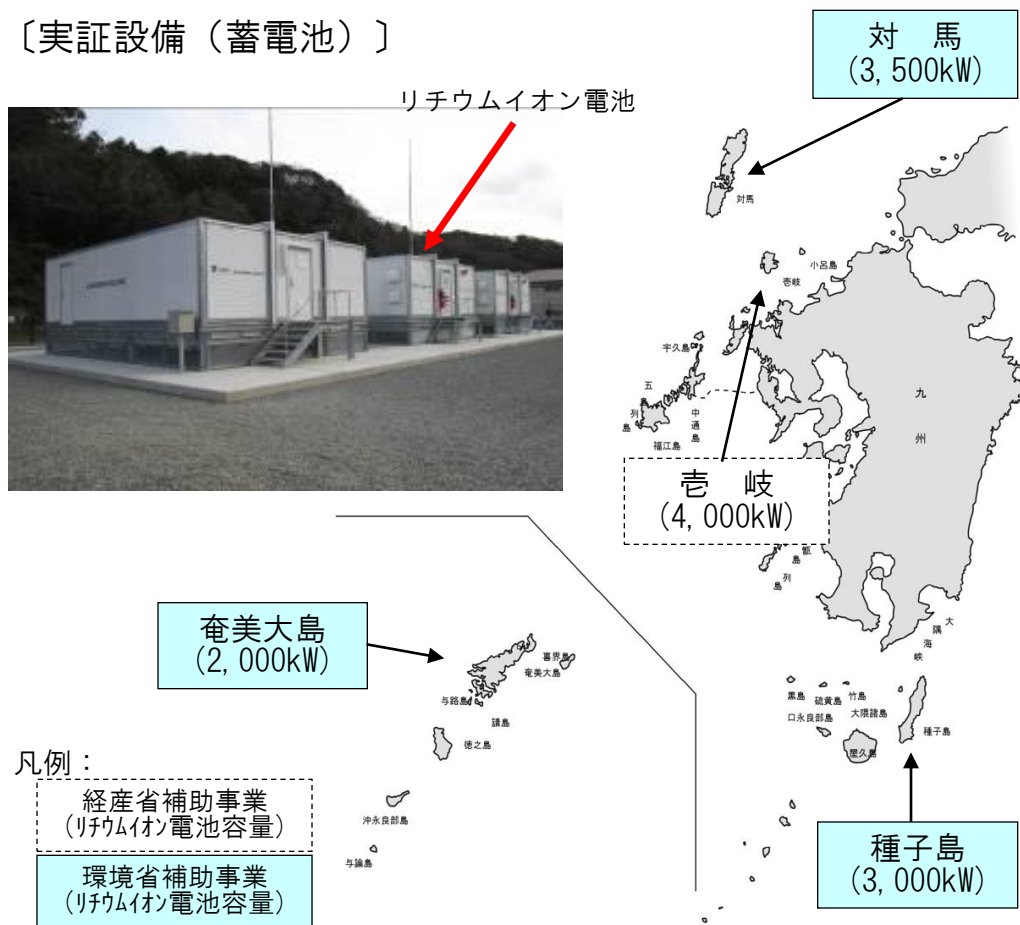
〔実証試験内容〕

- ・ 系統構成や再生可能エネルギーの設置状況等の違いに応じた効果的な蓄電池の制御手法の検討・検証の実証試験を実施

〔蓄電池による周波数変動抑制イメージ〕



〔実証設備 (蓄電池)〕



○ それぞれの需給運用方策の新設時の工期、コスト、スペース等の視点から、メリットとデメリットを整理

	メリット	デメリット
揚水発電所	<ul style="list-style-type: none"> ・運用実績が豊富 ・耐用年数が長い 	<ul style="list-style-type: none"> ・建設期間が長い ・コストが高い ・適地が限定的、広大なスペースが必要
出力制御	<ul style="list-style-type: none"> ・開発期間が短い ・コストが比較的安い ・スペースが不要 	<ul style="list-style-type: none"> ・<u>出力制御による再エネ発電量の減少</u> ・きめ細やかな制御に向け、セキュリティも含め更なる実証が必要
蓄電池	<ul style="list-style-type: none"> ・建設期間が短い ・比較的省スペース、分散設置が可能 	<ul style="list-style-type: none"> ・コストが高い ・運用実績が少なく、更なる実証が必要 ・耐用年数が短い

3 水素エネルギーの利活用について

3-1 当社の水素エネルギーの利活用に対するスタンス

〔エネルギー基本計画(平成26年4月11日閣議決定)〕

“水素社会(水素を本格的に利活用する社会)”の実現

【水素の特徴】

- ・無尽蔵に存在する水や多様な一次エネルギー源から製造可能
- ・気体、液体、固体(合金に吸収)というあらゆる形態で貯蔵・輸送が可能
- ・エネルギー効率が低い
- ・利用段階で温室ガスの排出がなく、非常時対応にも効果を発揮



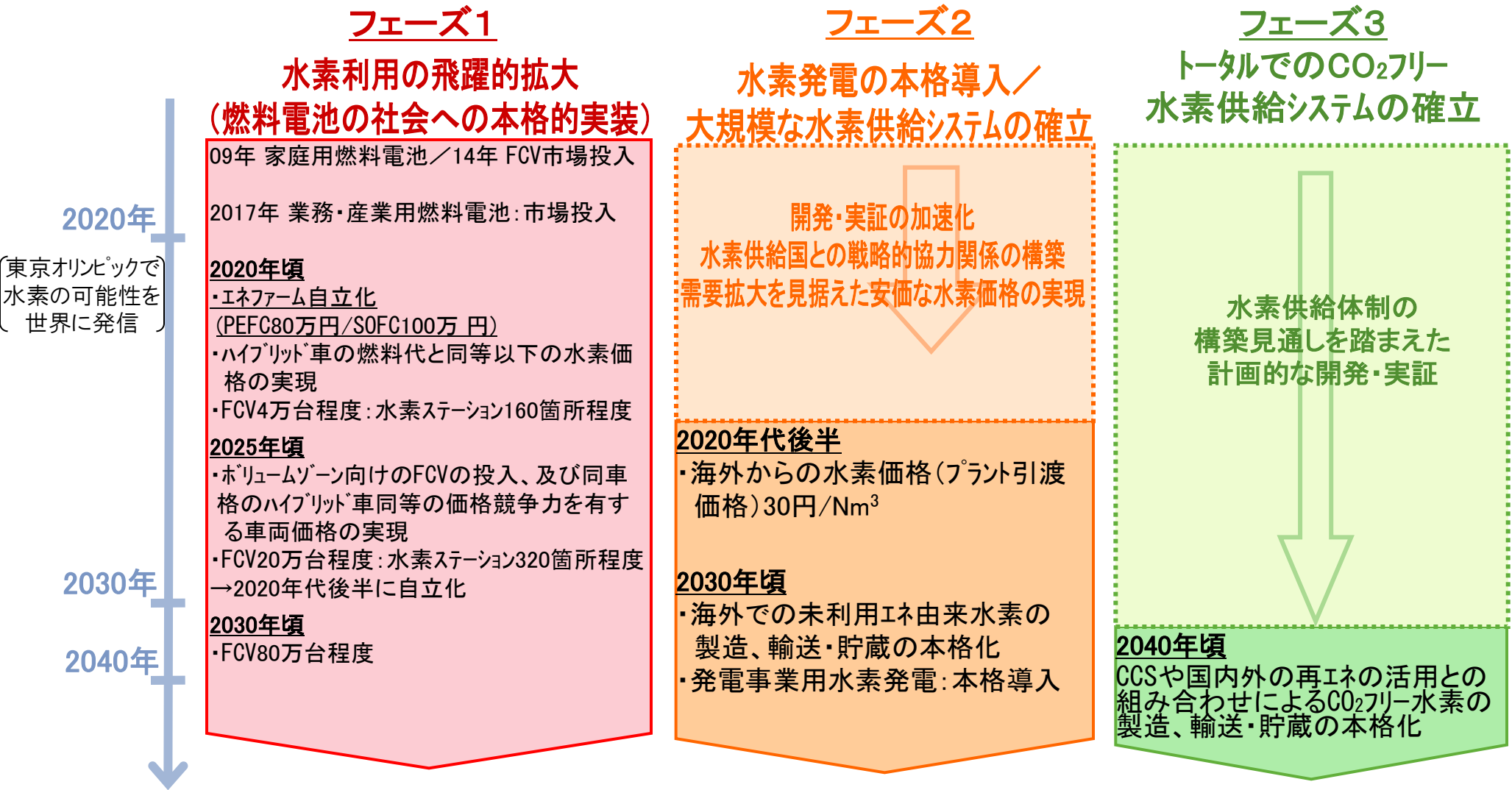
水素は、電気、熱に加え、将来の二次エネルギーの中心的役割を担うことが期待される

〔当社のスタンス〕

(九州電力『平成28年度経営計画の概要』より抜粋)

長期的な水素エネルギー利活用の検討

- 水素エネルギーは利便性やエネルギー効率が低い等多くの優れた特徴を有することから、平成26年4月に、国のエネルギー基本計画において、「水素をエネルギーとして利用する“水素社会”の実現に向けた取組みを加速する」と位置付けられました
- また、平成28年3月に、水素・燃料電池戦略ロードマップが改訂され、今後、国が再生可能エネルギー由来の水素の利活用に関し、本格検討していくこととなりました
- 当社としても、国の動向や水素の持つ特徴を踏まえ、電力の水素への変換・貯蔵等、水素エネルギーの利活用について検討していきます

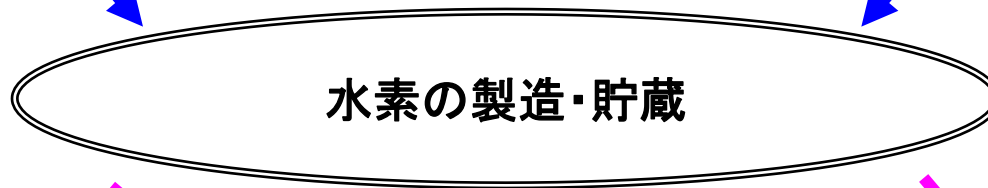


〔期待される効果〕

1 再エネ余剰電力の活用
(出力制御の回避・抑制)

2 出力変動の抑制による
再エネ導入量の拡大

3 再エネ電力の地産地消



〔利活用イメージ〕

①蓄電システムとしての利活用

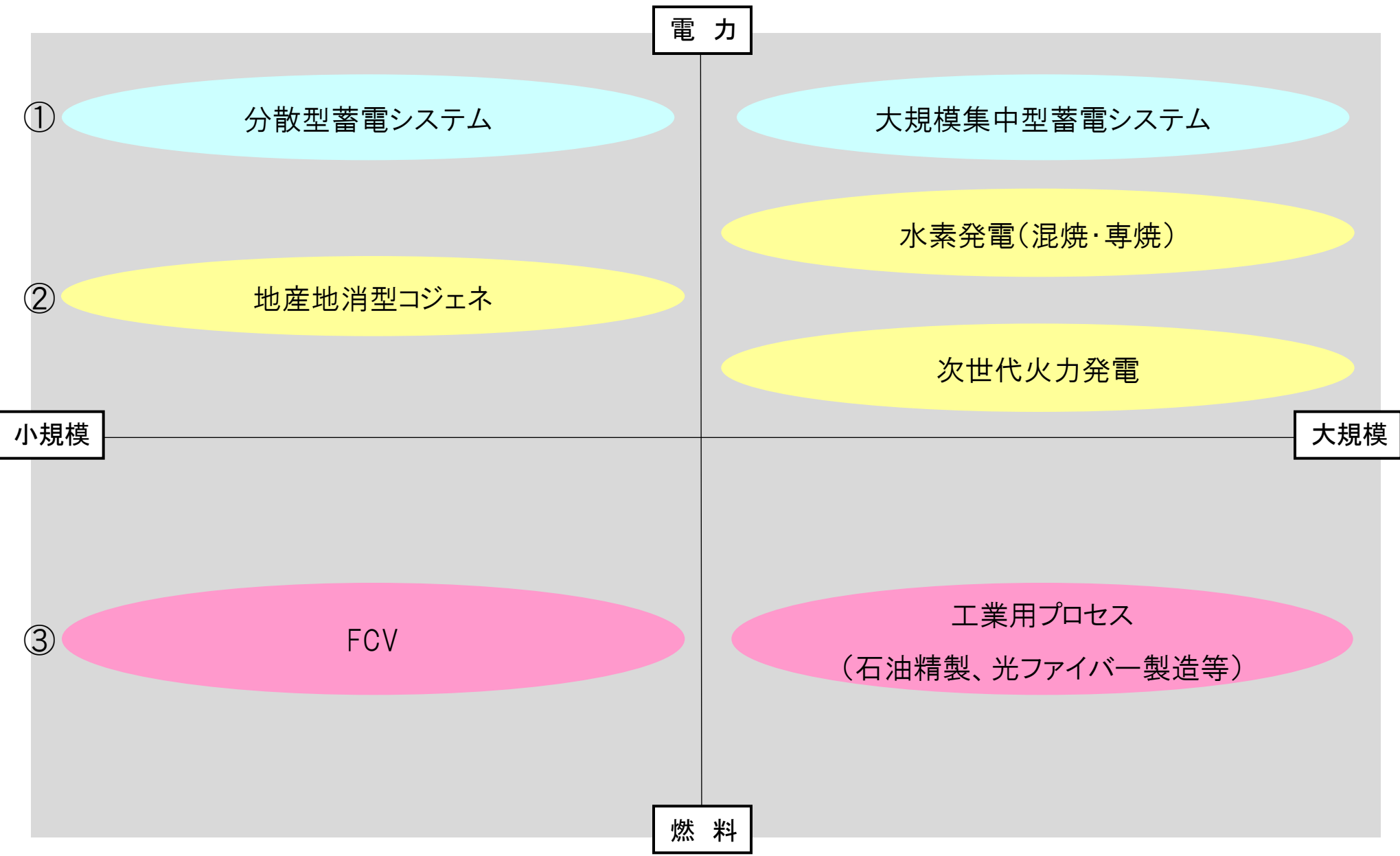
⇒P.20

②発電用燃料としての利活用

⇒P.22

③ その他燃料としての利活用

⇒P.24



[蓄電システムとしての利活用イメージ]

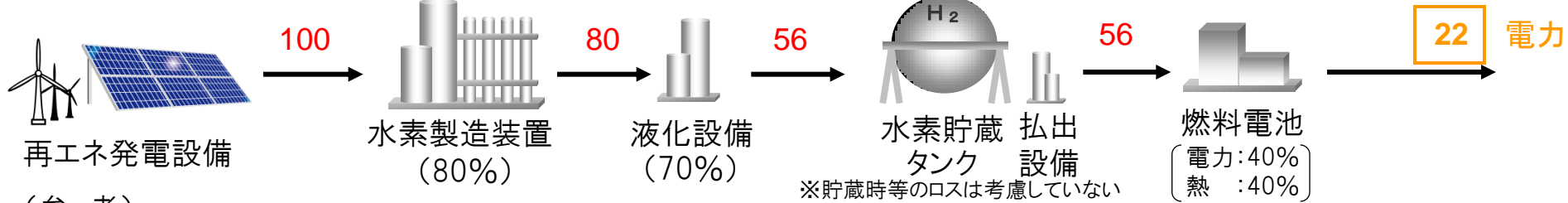
- 再エネ由来水素を製造・貯蔵する蓄電システムとして、再エネ余剰電力の活用や出力変動の抑制による再エネ導入量の拡大に寄与するイメージ(蓄電池や揚水発電の代替)

[解決すべき主な課題]

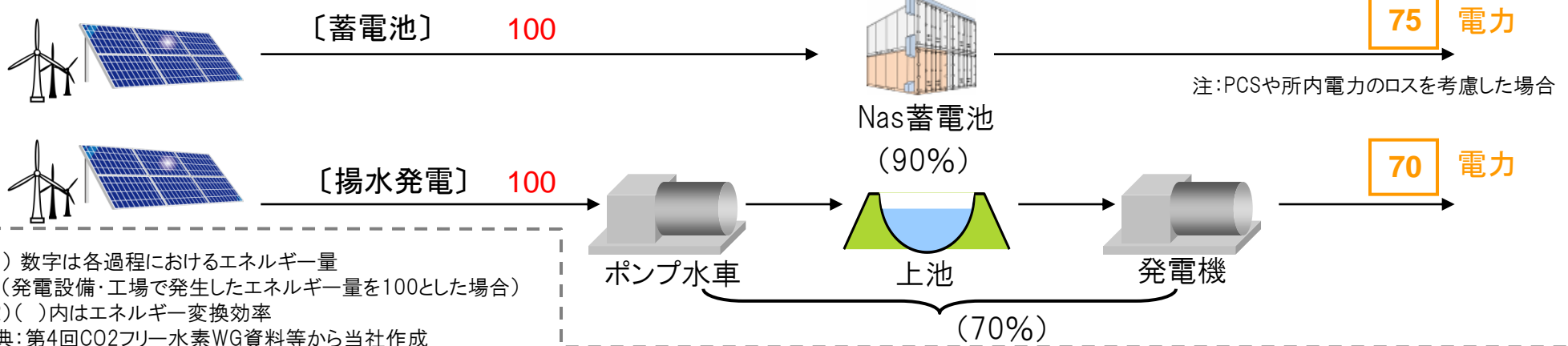
- 技術面: 技術信頼性・耐久性・応答性※の向上、設備の大型化・効率化 等
 - 経済面: コスト競争力 等
- ※水素を活用した蓄電システムは、年間を通じての断続的な長周期の出力変動には適している(短周期での活用にあたっては応答速度等の検証が必要)

【サプライチェーンとエネルギー効率のイメージ】

[水電解+水素タンク(液化水素)+燃料電池]



(参考)



(注1) 数字は各過程におけるエネルギー量
(発電設備・工場で発生したエネルギー量を100とした場合)

(注2) ()内はエネルギー変換効率

出典: 第4回CO2フリー水素WG資料等から当社作成

(参考3-3) エネルギー貯蔵技術の比較

システム	エネルギー密度		エネルギー変換効率※	寿命	コスト (万円/kWh)	応答速度	
	重量密度	体積密度					
水電解 +水素タンク +燃料電池	圧縮水素	32,900 Wh/kg	1,290 Wh/L (70MPa)	約50~80%	約15年以下 (エネファームのケース)	不明	不明
	液体水素	32,900 Wh/kg	2,330 Wh/L				
鉛蓄電池	10~40Wh/kg	40~80Wh/L	約75~85%	約10 年以下	3~5	5~10 ミリ秒	
リチウムイオン電池	80~200Wh/kg	200~300Wh/L	約95%以上	約10年以下	5~20	<20 ミリ秒	
NaS電池	110~130Wh/kg	140Wh/L	約90%	約15 年以下	3~4	0~5 ミリ秒	
レドックスフロー電池	10~30Wh/kg	10Wh/L以下	約70%	約20年以下	10~30	0~20 ミリ秒	

出所：「水電解技術の現状と課題」(光島・松津, 2011) 等から野村総合研究所作成

※燃料電池は電力+熱の総合効率、蓄電池は電池単体の効率

3-4 発電用燃料としての利活用

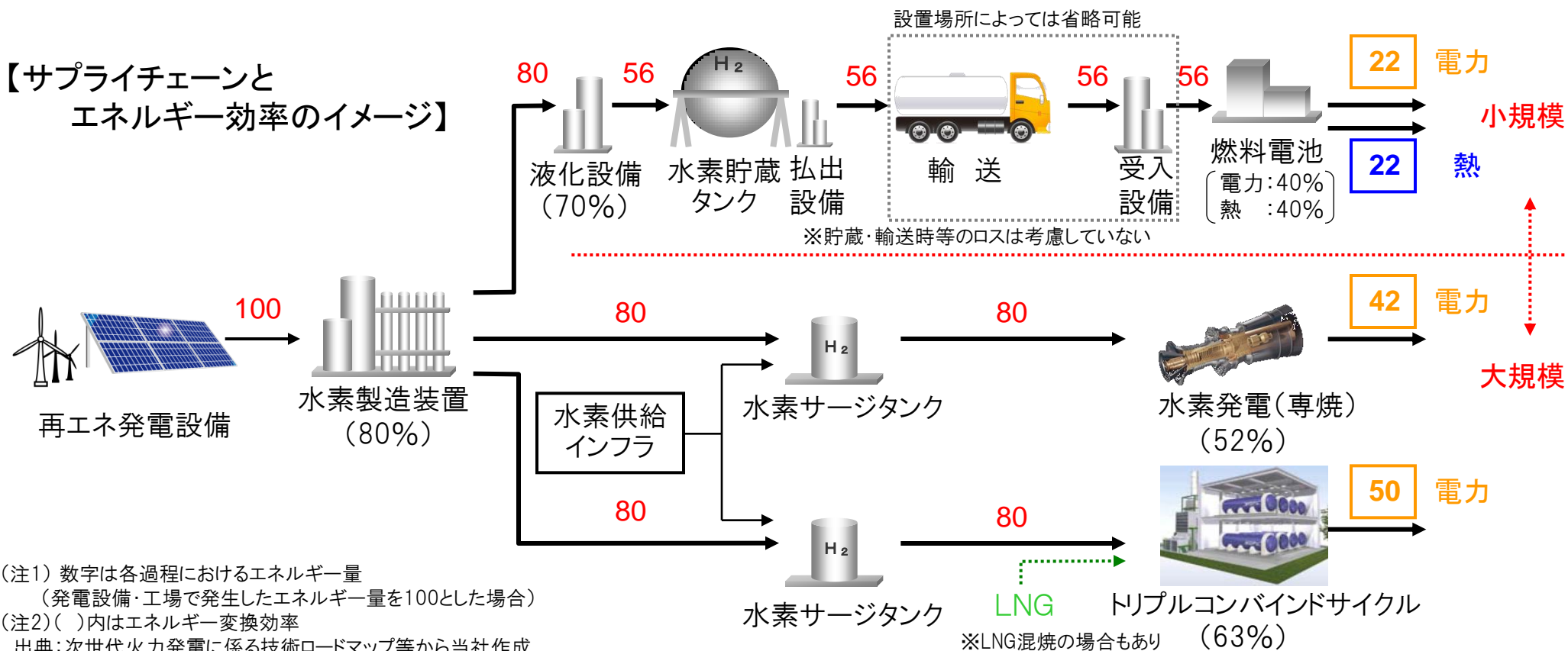
[発電用燃料としての利活用イメージ]

- 再エネ由来水素を、小規模では燃料電池による熱・電力の地産地消型コジェネ、大規模では水素発電や次世代火力発電の燃料として利活用するイメージ

[解決すべき主な課題]

- 技術面: 技術信頼性・耐久性の向上、設備の大型化・効率化 等
- 経済面: コスト競争力 等
- 環境面: 水素サプライチェーンの構築 等

【サプライチェーンとエネルギー効率のイメージ】



(参考3-4) 次世代火力発電技術の高効率化、低炭素化の見通し



※ 図中の発電効率、排出原単位の見通しは、現時点で様々な仮定に基づき試算したもの。

写真：三菱重工業(株)、常磐共同火力(株)、三菱日立パワーシステムズ(株)、大崎クールジェン(株)

3-5 その他燃料としての利活用

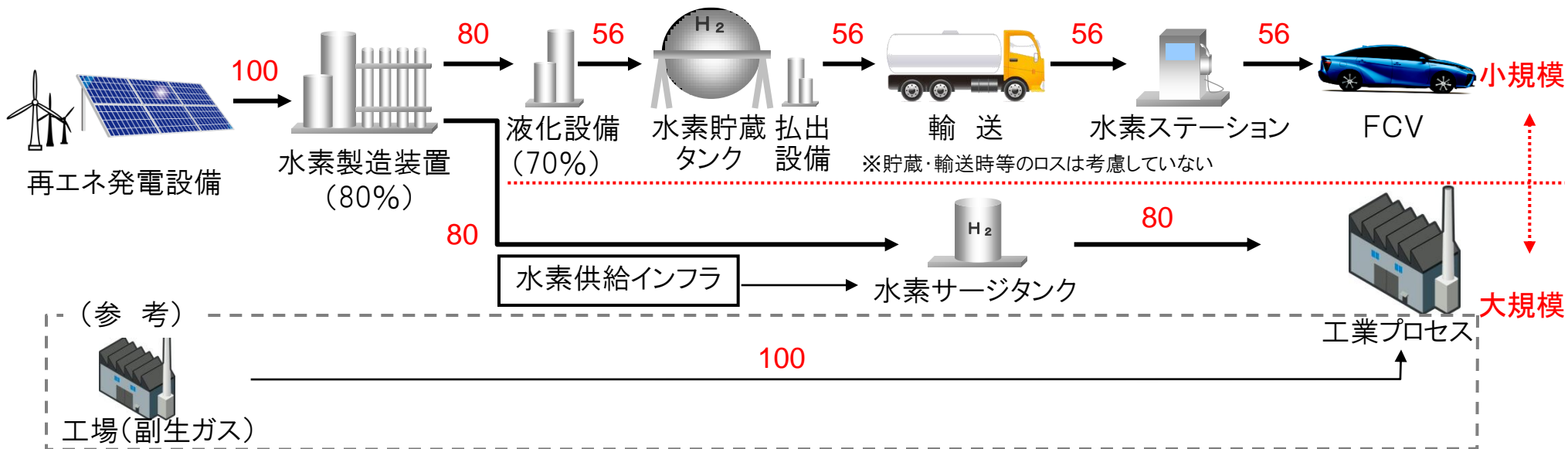
[その他燃料としての利活用イメージ]

- 再エネ由来水素を、燃料として、小規模では水素ステーション等によるFCV等へ供給、大規模では石油精製、光ファイバー製造等の工業用プロセスへ供給するイメージ

[解決すべき主な課題]

- 技術面: 技術信頼性・耐久性の向上、設備の大型化・効率化 等
- 経済面: コスト競争力 等
- 環境面: インフラ等の普及(水素ステーションやFCV等) 等

【サプライチェーンとエネルギー効率のイメージ】

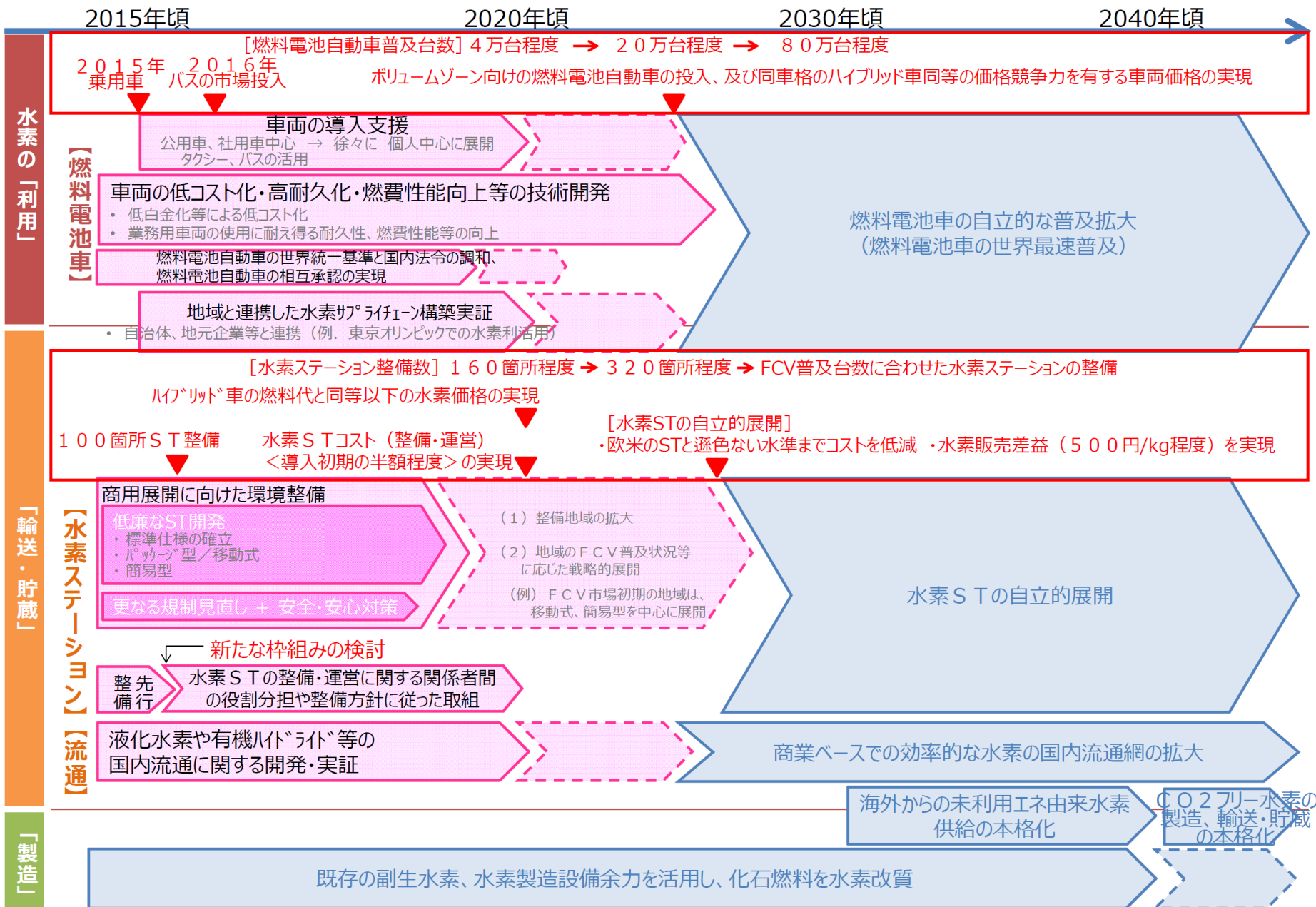


(注1) 数字は各過程におけるエネルギー量(発電設備・工場で発生したエネルギー量を100とした場合)

(注2) ()内はエネルギー変換効率

出典: NEDO水素エネルギー白書等から当社作成

(参考3-5) 水素・燃料電池戦略ロードマップ概要 (FCV+水素ステーション)



- 蓄電池や揚水発電の代替として、水素製造・貯蔵も蓄電システムとしての選択肢の一つとなり得るが、技術面や経済面で課題あり
- また、再エネ由来水素については、発電用燃料とその他燃料として使う2つの利活用方法が考えられるが、現状では、その他燃料として使う方が効率的
 - ・ 発電用燃料としての利活用は、次世代火力によるCO₂排出量や化石燃料使用量の削減、燃料調達リスクの分散等に期待できるが、現状では、エネルギー変換効率が低いため、技術開発やコスト競争力の向上、インフラ整備等の課題解決が必要
 - ・ その他燃料として利活用する場合、エネルギーを消費するまでの工程が少ない工業用等で大規模に使う方が効率的であり、小規模で使う場合、水素ステーション等のインフラ整備等が必要

	蓄電システムとしての利活用		
	水素貯蔵	蓄電池	揚水発電
エネルギー変換効率(%)	22	75(注)	70

注:PCSや所内電力のロスを考慮した場合

	発電用燃料としての利活用			その他燃料として利活用	
	コジェネ	水素発電	次世代火力発電	FCV	工業用
エネルギー変換効率(%)	44	42	50	56	80

- 水素エネルギーは、環境への適合性、エネルギーセキュリティ面に優れており、電気にも熱にもなる特性がある等多くの優れた特徴を有する
- 特に、再エネ由来水素については、将来的には、①蓄電システム、②発電用燃料、③その他燃料(FCVや工業用)等、幅広い分野での利活用が期待される
- ただし、現時点では、技術面、経済面、環境面等、クリアすべき課題が多いことから、国の動向や水素関連技術の開発状況等を注視しながら、中長期的な視点に立って水素エネルギーの利活用について検討を進めていきたい