

島しょ地域への水素蓄電の 適用に向けた検討

(公財)東京都環境公社

東京都環境科学研究所 次世代エネルギー研究科

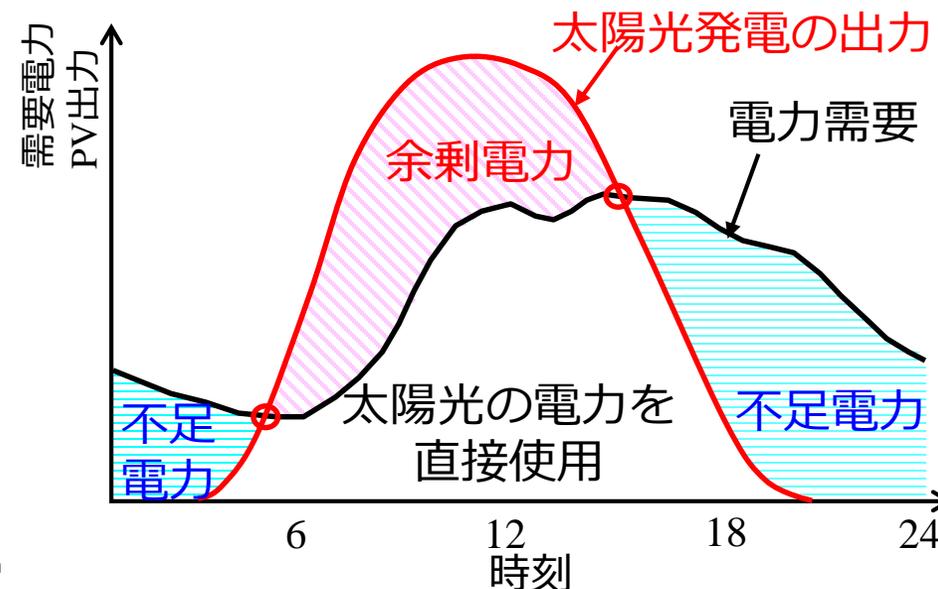
小谷野 眞司

発表内容

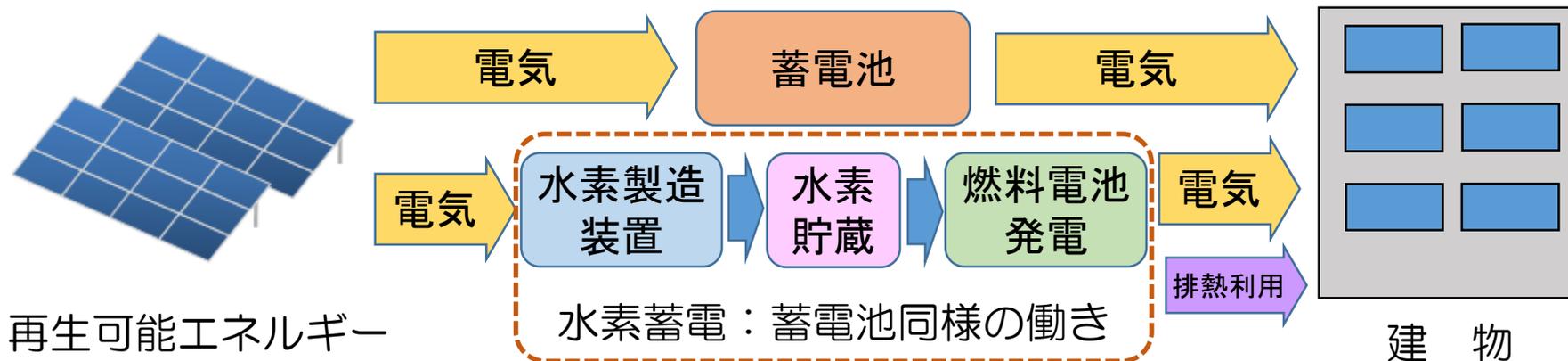
- 1 水素蓄電とは
- 2 当研究所における水素蓄電エネルギーマネジメント(エネマネ)研究の取組
- 3 島しょ地域への水素蓄電の適用の意義
- 4 検討の手順
- 5 東京都の島しょの特徴
- 6 島しょに適した水素蓄電エネマネ導入モデルの作成
- 7 シミュレーションによる評価(評価手順、結果と考察)
- 8 まとめ

1-1 水素蓄電とは？

- 地球温暖化対策を進める上では、再生可能エネルギーの導入拡大が不可欠
- 一方、太陽光発電のように出力変動のある電源は、電力の供給と需要がマッチングしない。
このような再生エネの利用拡大には、余剰電力発生時に電力を貯蔵し、不足時に使用する必要有
- 電力貯蔵には、一般的には蓄電池を使用
- 水素蓄電は、余剰電力で水素を製造、貯蔵し、電気の不足時に、水素を燃料として燃料電池で発電



太陽光発電と電力需要のイメージ



1-2 水素蓄電とは？（メリット／デメリット）

● メリット

- ・水素蓄電は、蓄電池のように自己放電しないため、長期の電力保存に有利
- ・大量に水素を貯蔵することで、電力を大量に蓄えることができる
- ・余剰電力に応じた蓄電、蓄電量、出力させる電力の大きさの自由度が高い

水素蓄電では、水素製造装置、水素貯蔵装置、燃料電池の大きさのバランスで、状況に合わせた自由度の高い設計が可能

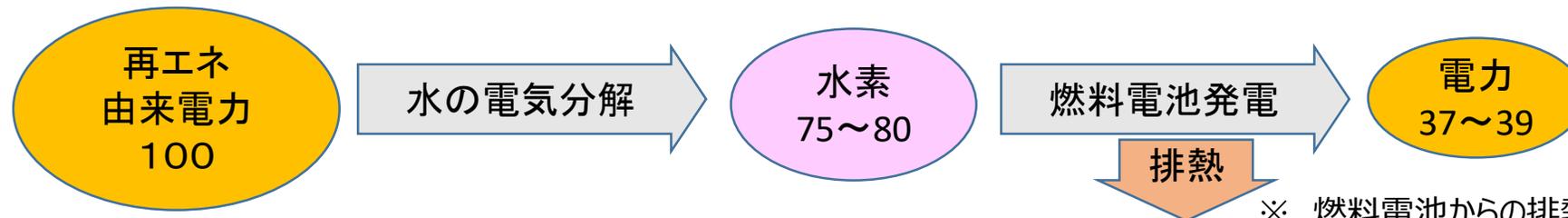
余剰電力に応じた電力貯蔵 ⇒ 水素製造装置のサイズを合わせる

電力貯蔵量を大きくする ⇒ 水素貯蔵装置を大きくする

大きな電力を必要とする ⇒ 燃料電池を大きくする

● デメリット

- ・水を水素と酸素に分解するためのエネルギーが大きいこと、燃料電池の発電効率が50%程度であることなど、蓄電池と比べると、電力の損失が大きい



※ 燃料電池からの排熱利用は重要

2-1 当研究所における水素蓄電研究の取組

(1) 水素蓄電エネマネシミュレータの開発 (平成29年度)

事務所、商業施設、病院等の建物モデルに対し、太陽光発電と水素蓄電を導入し、系統（電力会社）から購入する電力を最小化するように、水電解水素製造や燃料電池等の最適運転方法をシミュレーションにより導く手法を開発 ⇒ 最適な設備導入規模等を推計

(2) 都有施設を対象に水素蓄電エネマネのシミュレーション (平成30年度～)

開発した水素蓄電エネマネシミュレータを用いて、都有施設を対象に水素蓄電エネマネの導入によるコストや効果を試算（昨年度の公開研究発表会で、一部報告）

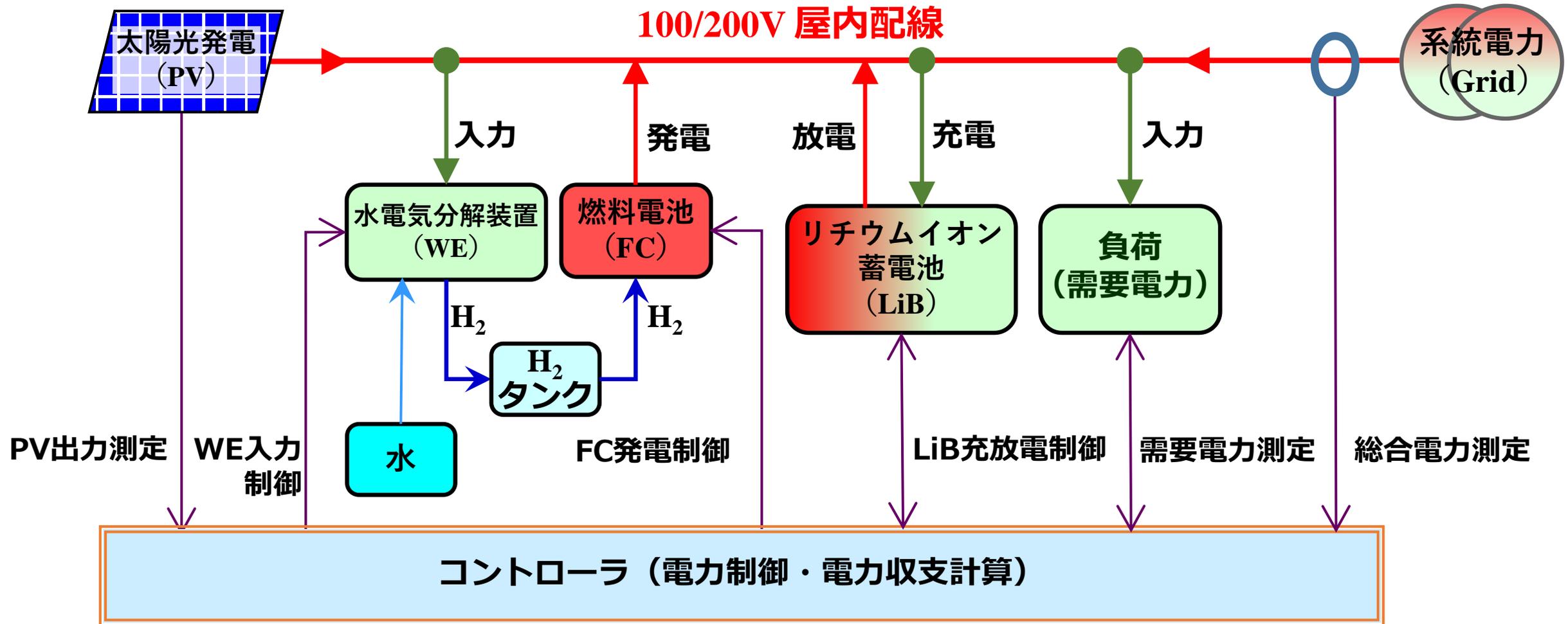
(3) 水素蓄電実験システムの導入 (令和元年度～)

机上による水素蓄電エネマネについて、実際の規模の数10から数100分の一規模での実験が可能な小規模な実験システムを導入し、稼働開始

(4) 都内島しょを対象に水素蓄電エネマネのシミュレーション (令和元年度～)

⇒ **本報告の内容**

2-2 当研究所による水素蓄電エネマネの構成等



水素蓄電エネマネの機器構成と入出力等

2-3 当研究所の水素蓄電実験システム



水素蓄電実験室
※プレハブ型16畳



太陽光発電装置 (8kW)
※当研究所本棟屋上に設置

実験室内の機器



燃料電池
(PEFC型)
定格：5kW

模擬負荷発生装置
最大負荷：10kW

システム制御装置



盤内の燃料電池スタック



盤内の水電解ユニット

水電解水素製造装置
最大製造能力：0.6Nm³/h

水素貯蔵装置 (吸蔵合金)
最大貯蔵能力：20Nm³



リチウムイオン蓄電池
定格：9.8kWh



水素吸蔵合金キャニスター

3 島しょ地域への水素蓄電の適用の意義

- 離島といった地域特性から
非常時における電力確保が重要
燃料の輸送コストなど、高コストな発電（ディーゼル発電）
- 再エネの導入は、地球温暖化対策に限らず、地産地消のエネルギーになる
- 人口や産業構造などを踏まえると、再エネ拡大モデルが比較的描きやすい
島しょ地域での先導的取組による地域活性の可能性
再エネ導入拡大に向けたベースモデル

当研究所が開発した水素蓄電エネマネシミュレータを用いて、
島しょ地域への水素蓄電適用の可能性について、基礎的な検討を実施

(参考) 東京都の島しょの基礎的情報

島しょの人口と面積

平成30年3月1日現在

島名 (町村)	人口 (人)	面積 (km ²)
大島	7,552	90.76
利島	346	4.12
新島※1	2,623	27.54
神津島	1,841	18.58
三宅島	2,372	55.26
御蔵島	344	20.54
八丈島	7,292	72.23
青ヶ島	177	5.96
小笠原村※2	3,073	106.78

※1 新島と式根島の合計

新島村の新島と式根島は近接し、式根島の電力は、新島から海底ケーブルにより供給されているため、本研究の中では一つのエリアとして扱っている。

※2 父島と母島の合計

島しょの位置関係



4 検討の手順

島しょへの水素蓄電適用の検討は、以下の手順で実施

(1) 都の島しょの特徴の確認

電力データ、気象データのほか、都市整備局やNEDO（新エネルギー・産業技術総合開発機構）等の公表資料を基に、島しょの特徴を整理／確認

- ・ エネルギー需要に係るデータ、気象（気温、日射量など）データ
- ・ 発電所の状況、島しょに適した再エネ発電
- ・ 土地利用の状況 ⇒ 太陽光発電の設置場所／発電ポテンシャル

(2) 東京都の島しょに適した水素蓄電エネマネ導入モデルの作成

島のエネルギー需要等を踏まえて、特性に応じたモデルを作成

(3) シミュレーションによる導入可能性の検討

作成したモデルに対し、水素蓄電エネマネシミュレータを用いたシミュレーションを実施し、水素蓄電機器の規模やコスト等を試算し、水素蓄電導入の可能性を検討

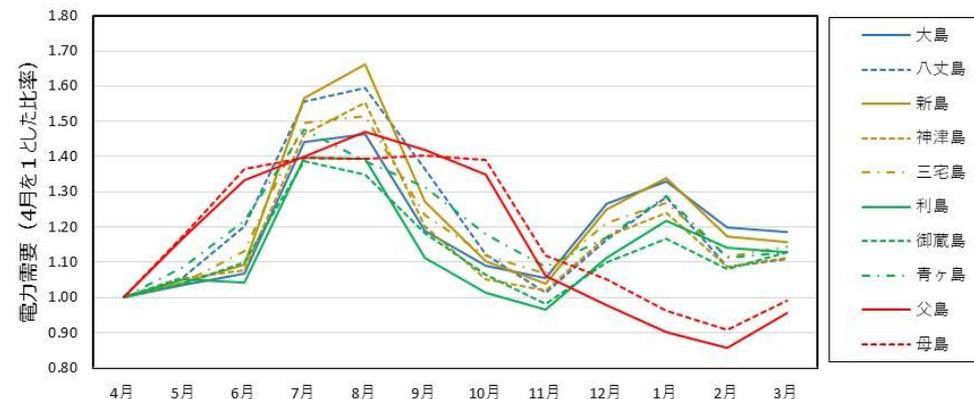
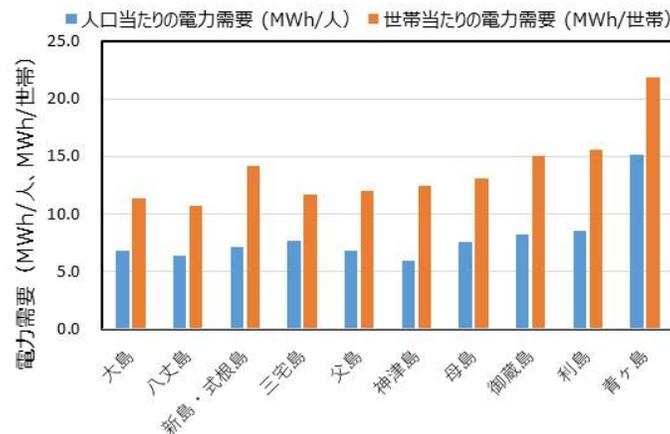
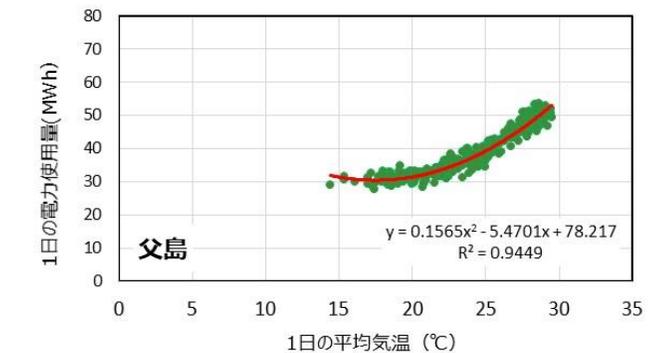
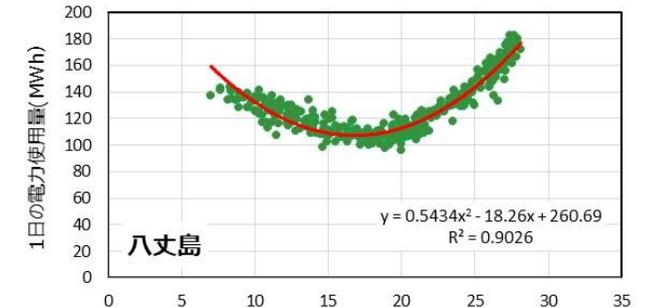
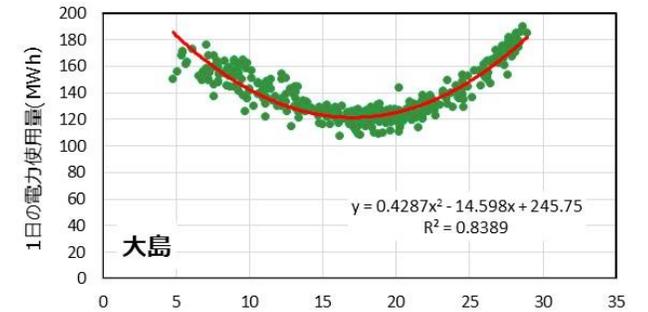
5-1 電力需要

○ 各島のエネルギー需要の特徴（下図参照）

- ✓ 人口・世帯当たりの電力需要は、島しょの規模が小さいほど大きくなる傾向
 ※ 新島・式根島は、やや高い
- ✓ 月間需要は、小笠原は他の島しょと傾向が異なるが、他の島は概ね類似
- ✓ 日々の電力消費パターンは、本土と異なり、曜日による違いは殆ど見られない
 (図は省略)

○ 気温と電力需要の関係（下図中央、右図参照）

- ・ 小笠原を除く島では、平均気温の範囲はほぼ変わらず、冬季の気温が15℃を下回らない小笠原では、冬季のエネルギー需要が低い（暖房需要が小）



人口・世帯数当たりの電力需要（2018年度）

各島の月別電力需要（2018年度）

1日の平均気温と電力使用量の関係（2018年度）

5-2 発電所の現状等

○ 島しょの発電所の現状等（表参照）

- ディーゼル発電により賄われている
(八丈島では地熱発電、御蔵島では水力発電が一部有)
- 固定価格買取制度による太陽光発電装置の設置により、今後の接続可能残量は少ない（既にゼロも有）
- ディーゼル発電の調整力確保のための太陽光発電用蓄電機能の付加も必要であるが、さらに再エネ比率を高めるためには自家消費型システムの構築が必要

【再エネ接続可能量とは？】

電力の安定供給のためには、太陽光発電の出力の変動に合わせて、ディーゼル発電の出力を調整する必要があります。ディーゼル発電の調整能力には限界があり、限界を超えないように、再エネ接続可能量を決めています。

再エネの拡大時に、蓄電池（水素蓄電含む）により、再エネの変動を吸収させれば、ディーゼル発電の調整力は確保されます。

ディーゼル発電所の出力、再エネの接続状況

平成30年1月現在

島名	ディーゼル発電出力 (kW) ※1	再エネ接続可能量 (kW) ※2	
		既接続量	接続可能残量
大島	15,400	1,175	25
利島	920	0	40
新島・式根島	7,700	170	390
神津島	5,100	42	258
三宅島	6,500	105	235
御蔵島	720	20	0
八丈島	16,600	588	12
青ヶ島	760	10	21
父島	5,200	120	210
母島	960	30	0

※1 環境局資料 ※2 東京電力公表資料

5-3 島しょに適した再エネ

○ 島しょに適した再エネ発電

東京都の島しょの特徴から、当面は**太陽光発電**が利用可能性の高い再エネ

- 多くのエリアが自然公園法上の指定区域であり、区域内は開発が難しいとされる
- 風力発電は、八丈島以南では、台風のため強度審査適合が難しいとされる
- 火山島のため、離岸して直ぐに深海域となることから、洋上風力の場所の選定には注意が必要である。また、浮体式の検討も必要である。
- バイオマス、地熱（八丈島除く）は、NEDOや環境省調査ではポテンシャルが低い
- 海洋エネルギーは、未だ課題が残され、将来に期待

注) 波力、潮流、海流、海洋温度差などの海洋エネルギーを用いた様々な方式による発電技術の研究開発や実証試験が国等の事業によって行われています。

5-4 太陽光発電のポテンシャル等

島しょの土地利用等の状況を確認し、太陽光発電の設置可能性について推定

<想定する設置場所>

ケース①：未利用地

ケース②：官公庁施設、教育文化施設、厚生医療施設、住宅の屋上（屋根）

※「東京の土地利用 平成24年度多摩・島しょ地域」（都市整備局）を基に、土地利用の状況（用途別の土地面積、建物面積など）を整理

<前提条件>

- ・太陽光パネル設置面積 = 10m²/kW
(メンテナンススペース等を考慮)
- ・建物屋上（屋根）の利用可能範囲 = 面積の半分
- ・マクロ的な検討のみ実施
(個別の建物状況、日照条件等は考慮しない)
- ・新島は新島と式根島、小笠原は父島と母島の合計

太陽光発電の設置場所と発電ポテンシャル

単位:kW

島名	設置場所のケース		①+② 合計
	①	②	
大島	16,600	35,726	52,326
利島	300	1,209	1,509
新島※	12,600	11,722	24,322
神津島	7,000	4,505	11,505
三宅島	22,400	13,815	36,215
御蔵島	200	833	1,033
八丈島	68,900	32,291	101,191
青ヶ島	5,500	748	6,248
小笠原※	9,100	3,985	13,085

6 島しょに適した水素蓄電エネマネ導入モデルの作成等

開発したシミュレータを用いた試算を行うための

島しょの水素蓄電エネマネ導入モデルの作成とシミュレーション条件を示す。

- ✓ 伊豆諸島は、島の人口（需要電力）規模から、大規模、中規模、小規模の3つに分類
- ✓ 小笠原諸島は、気候の影響による需要電力が大きく異なることから、南部島とする
- ✓ 各区分から1つの島しょを選択し、その4島に対してシミュレーションを実施
- ✓ 各島の発電所の発電電力をそのまま需要電力として用いる
- ✓ 太陽光発電の電力データは、対象の島或いは最寄りの島の1年間の日射量データ（NEDOまたは気象台の公表データ）から太陽電池の数式モデルを用いて作成する
- ✓ 将来的な島しょのゼロ・エミッション・アイランド化に向けて、水素蓄電エネマネの再生可能エネルギー導入比率（再エネ比率）を20%から90%まで10%毎に設定してシミュレーションを実施する。

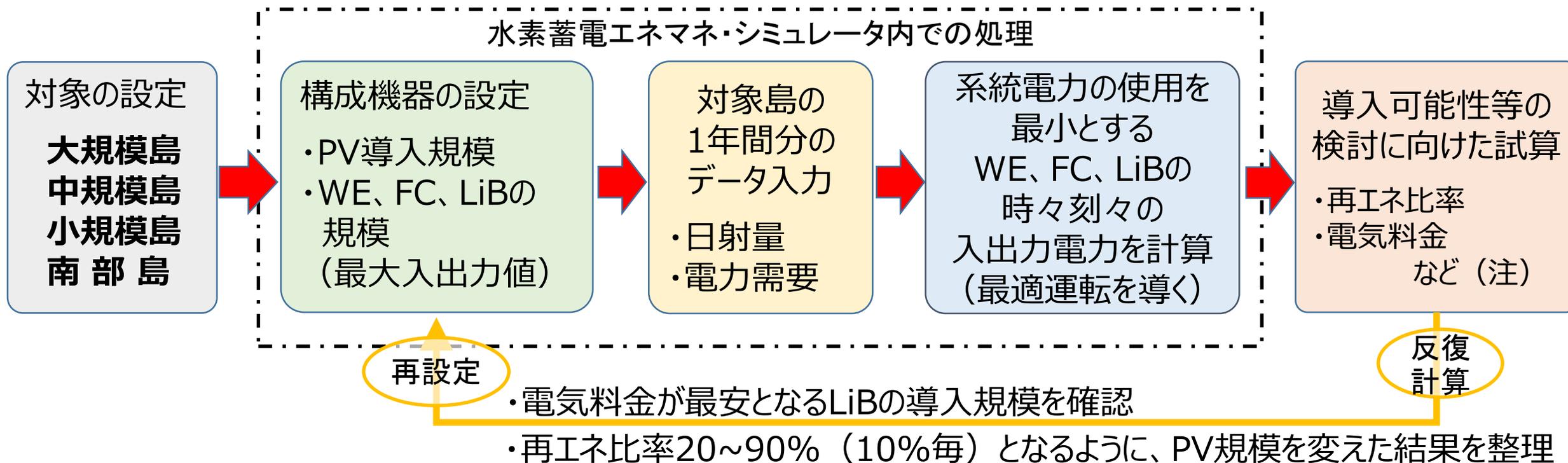
※再エネ比率とは、年間の需要電力量（kWh）に占めるPV由来電力量（kWh）の比率

$$\begin{aligned}\text{再エネ比率(\%)} &= \text{PV由来電力量(kWh)} / \text{年間需要電力(kWh)} \times 100 \\ &= (1 - \text{系統電力量(kWh)} / \text{年間需要電力(kWh)}) \times 100\end{aligned}$$

$$\text{PV由来電力量} = \text{PV電力を直接使用(kWh)} + \text{FC発電(kWh)} + \text{LiB放電(kWh)}$$

7-1 シミュレーションによる評価（評価手順）

シミュレーション評価の手順



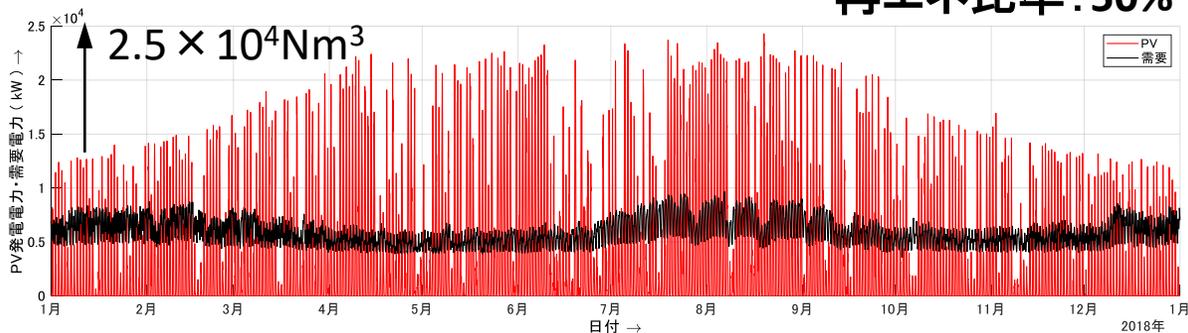
(注) 試算内容の詳細

- ・ WE、FC、LiBの最適規模
- ・ WE入力電力、FC発電電力、LiB充放電電力、系統電力の年間電力量 (kWh)
- ・ WEの水素製造量 (Nm³)、FCの水素使用量 (Nm³)、貯蔵する水素量 (Nm³) など
- ・ 需要電力に対する、PV電力、LiB放電電力、FC発電電力、系統電力の比率 など
- ・ 電気料金 (円/年)、電力単価 (円/kWh)、設備導入費用 (円) など

7-2 構成機器の最適制御の試算結果

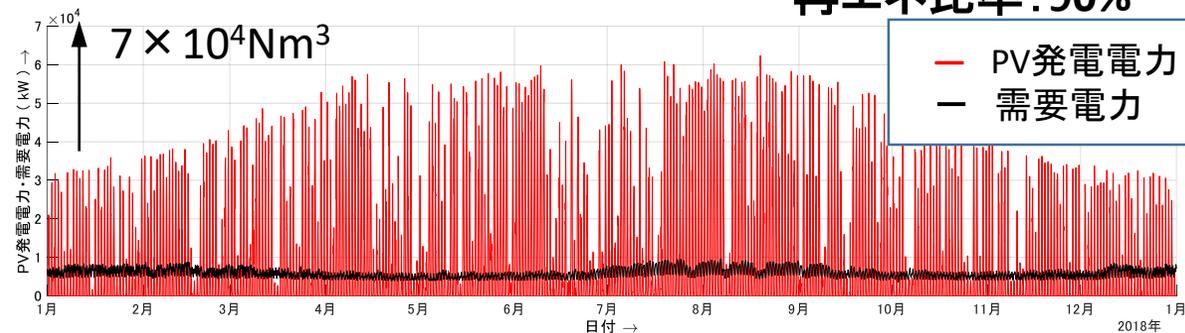
大規模島の例

再エネ比率: 50%

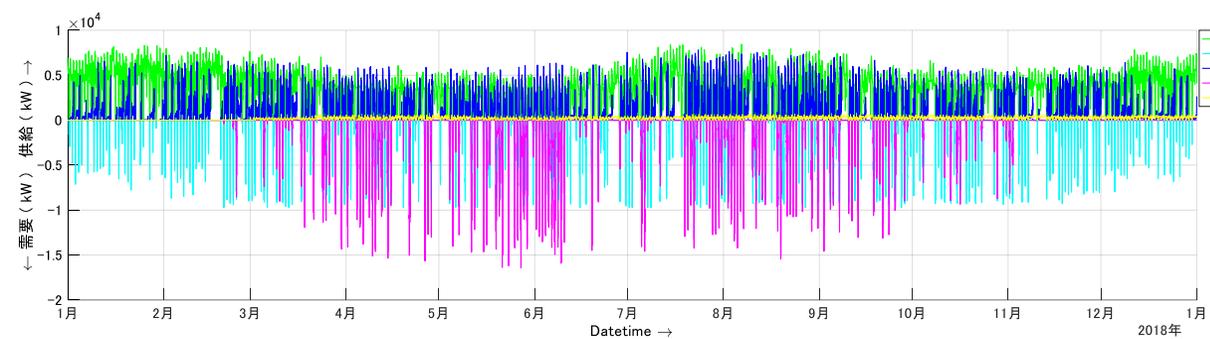


PV発電電力、需要電力

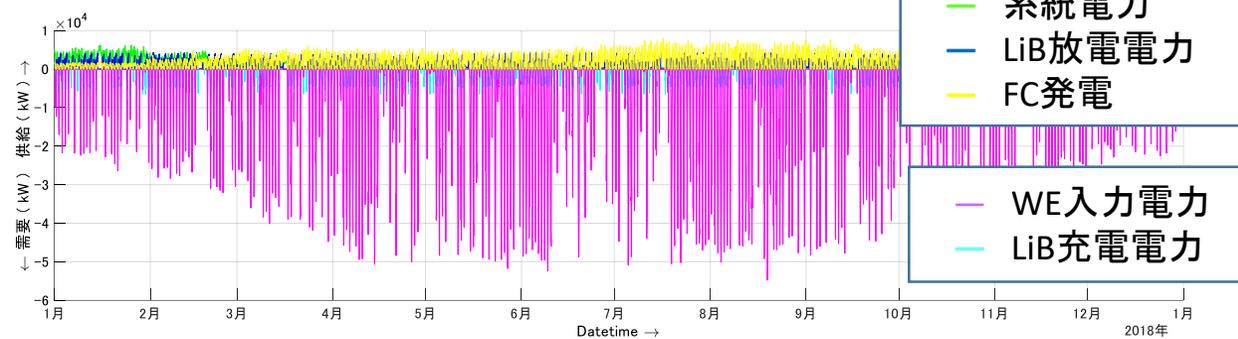
再エネ比率: 90%



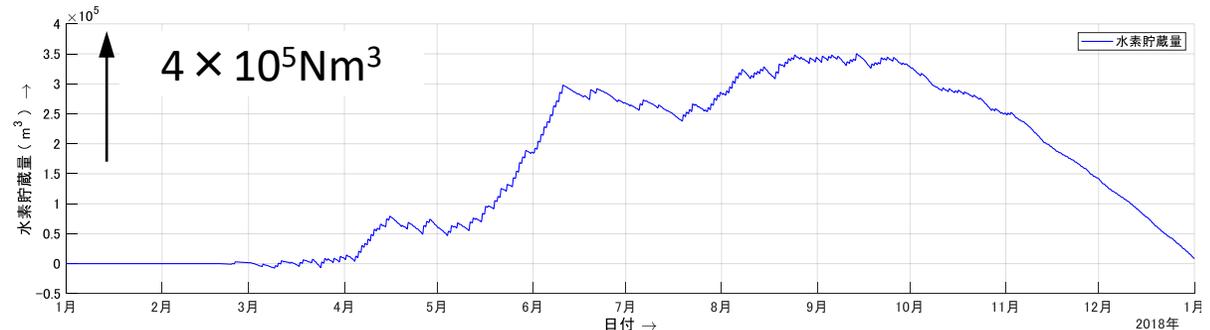
PV発電電力、需要電力



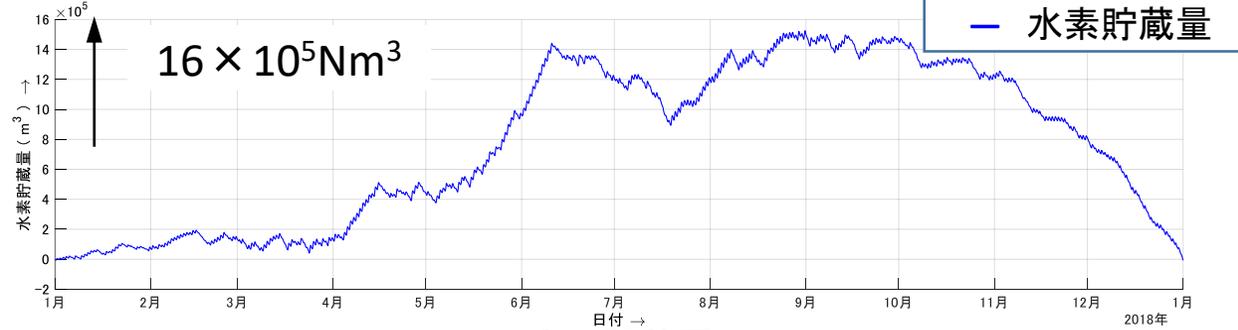
系統電力、蓄電池充放電電力、WE入力、FC発電電力



系統電力、蓄電池充放電電力、WE入力、FC発電電力



水素貯蔵量



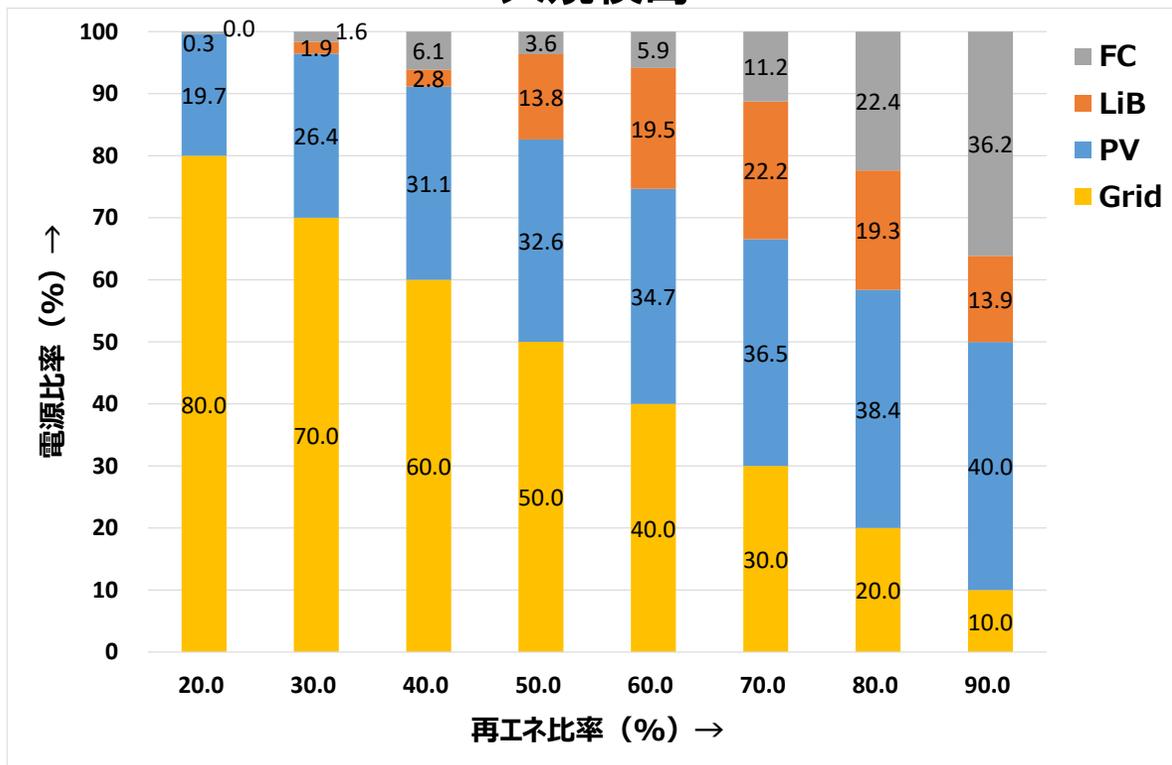
水素貯蔵量

7-3 電源比率

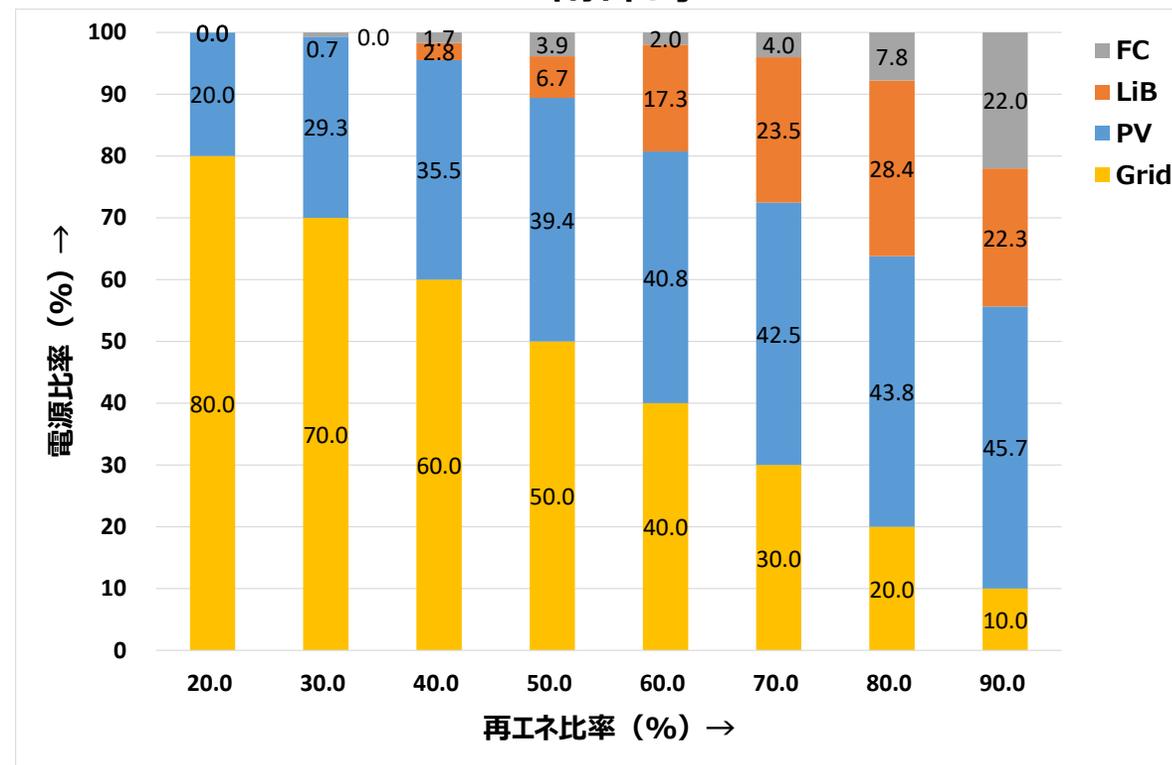
シミュレータの最適化計算に基づき、各モデルでの再エネ比率毎の電源比率を算出した。

- 各モデルにおいて、PVの導入拡大と需要電力を時間的に整合させる水素蓄電構成機器の設備容量バランス等を確認した
- 大/中/小規模島の電源比率は同様であったが、南部島では、FC発電比率が低く、LiB放電の比率が高い。

大規模島



南部島



7-4 太陽光発電の設置スペースの可能性

シミュレーションの結果から、各モデルでの再エネ比率が50%と90%の時に必要となる太陽光発電の導入規模（設備容量）を下表に示す。

P14に記した太陽光発電のポテンシャル等と比較すると、再エネ100%導入に向けて、設置スペースが期待できる島がある一方で、再エネ比率が50~60%程度に留まる島もある。

必要となるPVの導入規模

単位: kW

島しょモデル	再エネ比率	
	50%	90%
大規模島	24,269	62,351
中規模島	8,395	21,306
小規模島	1,233	2,791
南部島	5,536	12,063

7-5 コスト試算の前提

水素蓄電導入の初期コスト、電気料金の試算を行うための、各機器等の価格設定の前提を示す。

構成機器等	料金単価	設備価格	寿命
系統電力	20円/kWh (ほか)	—	—
太陽光発電	23.1円/kWh	27.5万円/kW	—
リチウムイオン蓄電池	66.7円/kWh	20万円/kWh	3,000サイクル
水電解水素製造装置	26.1円/Nm ³	41.8万円/kW (5kWh/Nm ³)	80,000時間
燃料電池	50円/kWh	200万円/kW	40,000時間

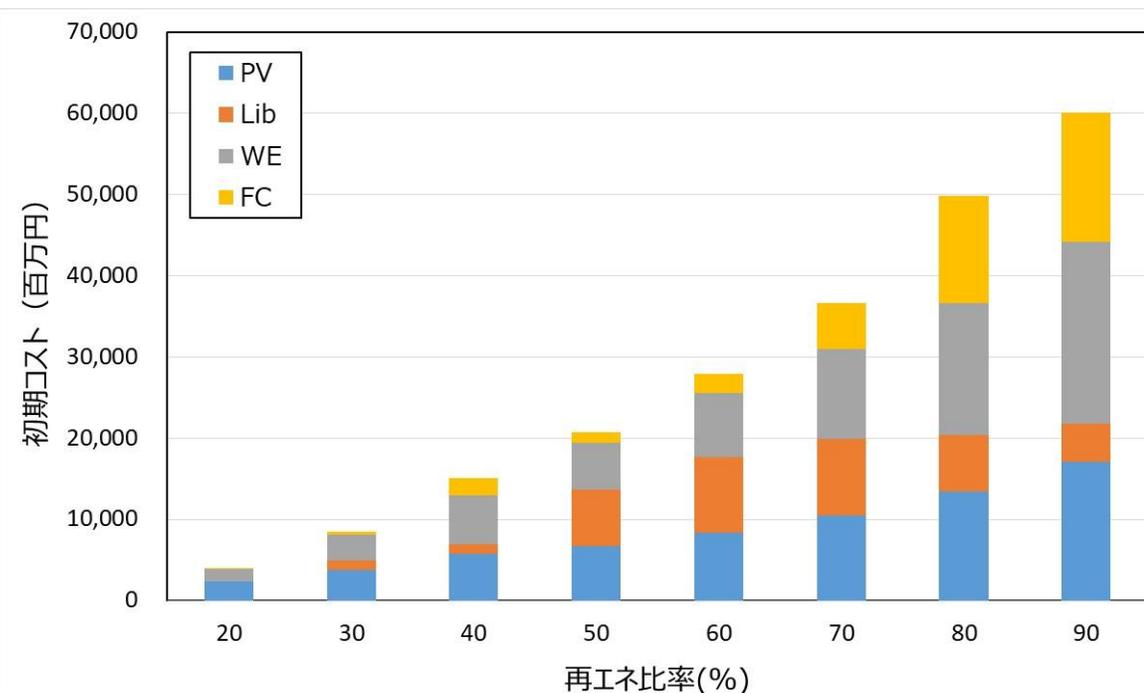
本表の価格は、経済産業省またはNEDOが公表している文献を基にしている。

7-6 設備導入コストの試算

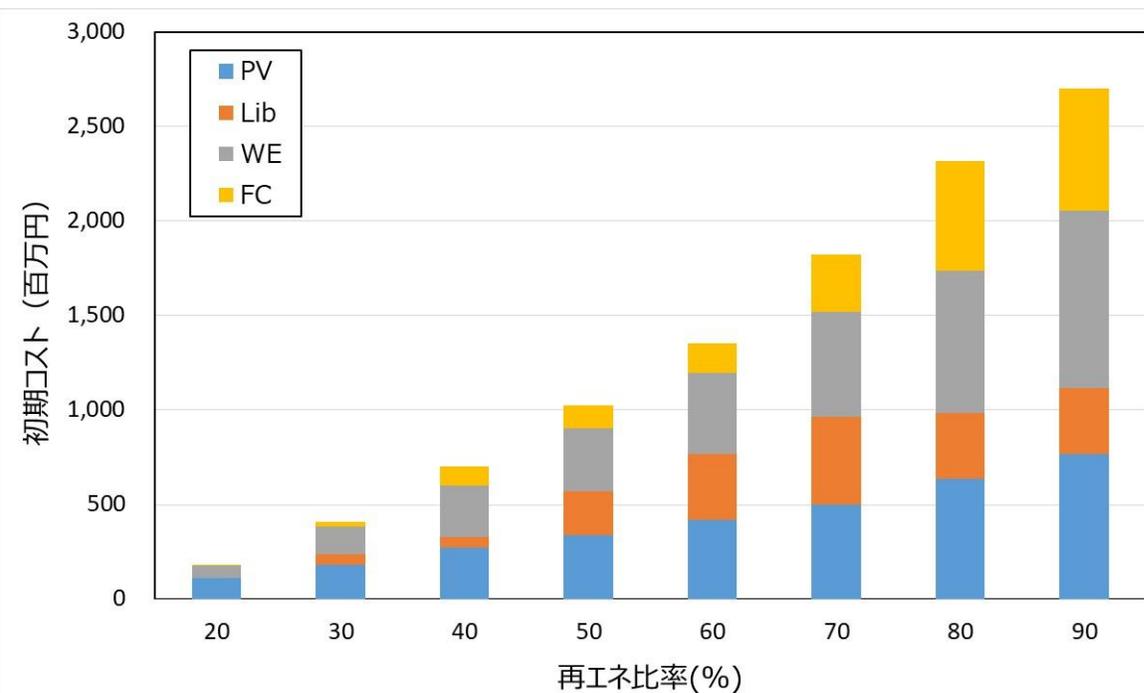
水素蓄電導入に係る初期コストを計算した結果について、大規模島、小規模島を例示する。

再エネ比率が拡大するに従い、設備導入コストは増大する。
大規模島の初期コストは小規模島の20~22倍であり、人口規模の比率にほぼ一致する。

大規模島



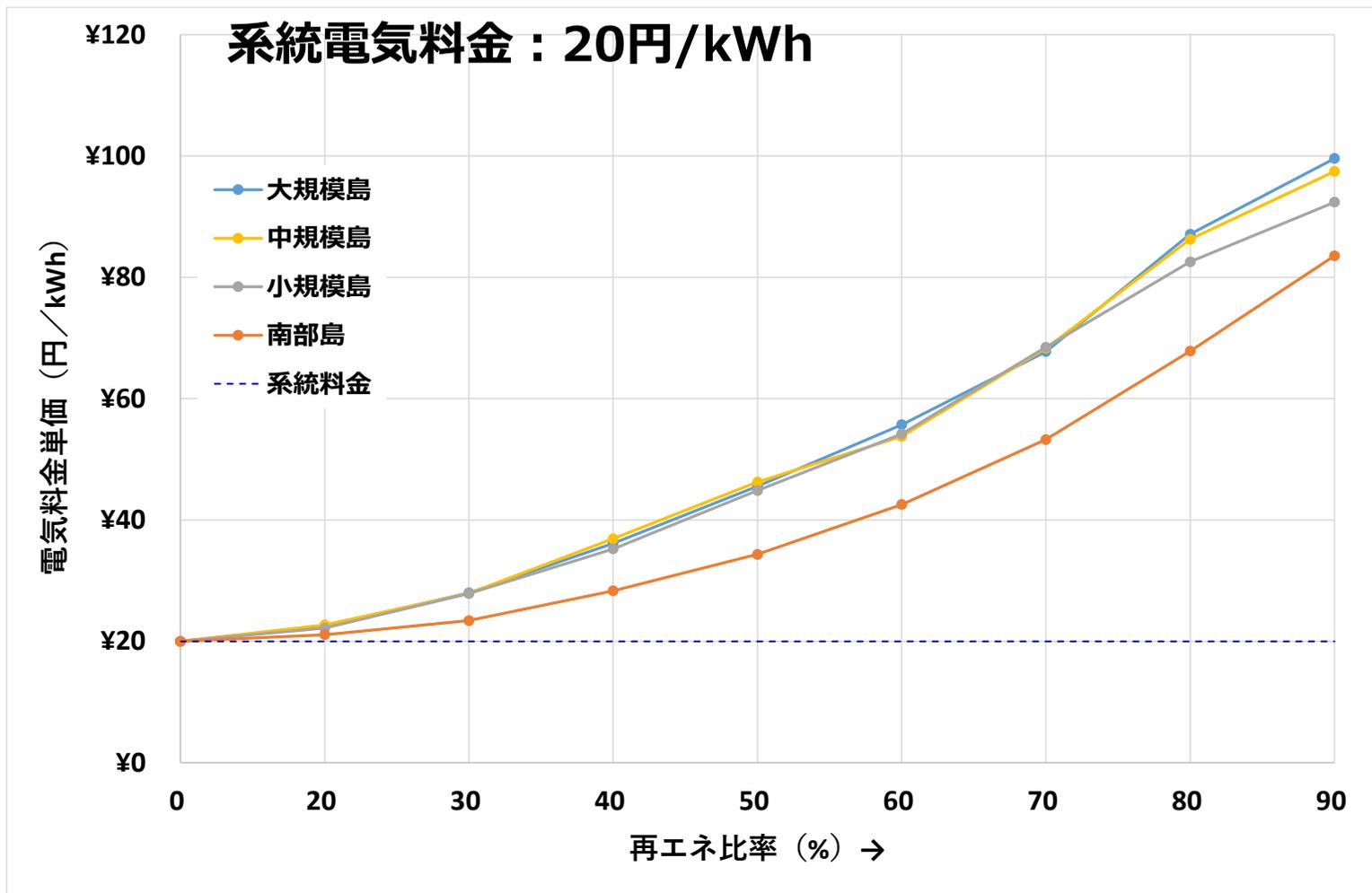
小規模島



水素蓄電の設備導入の初期コスト

7-7 電気料金単価（その1）

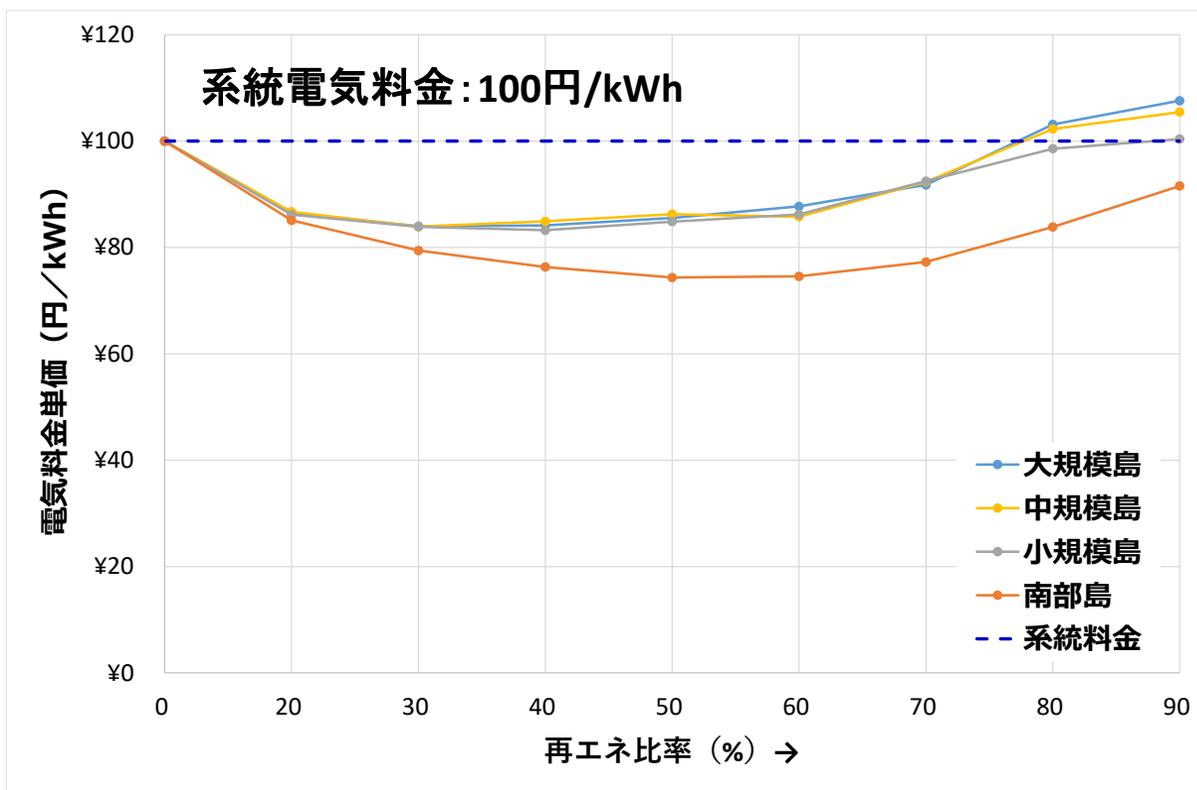
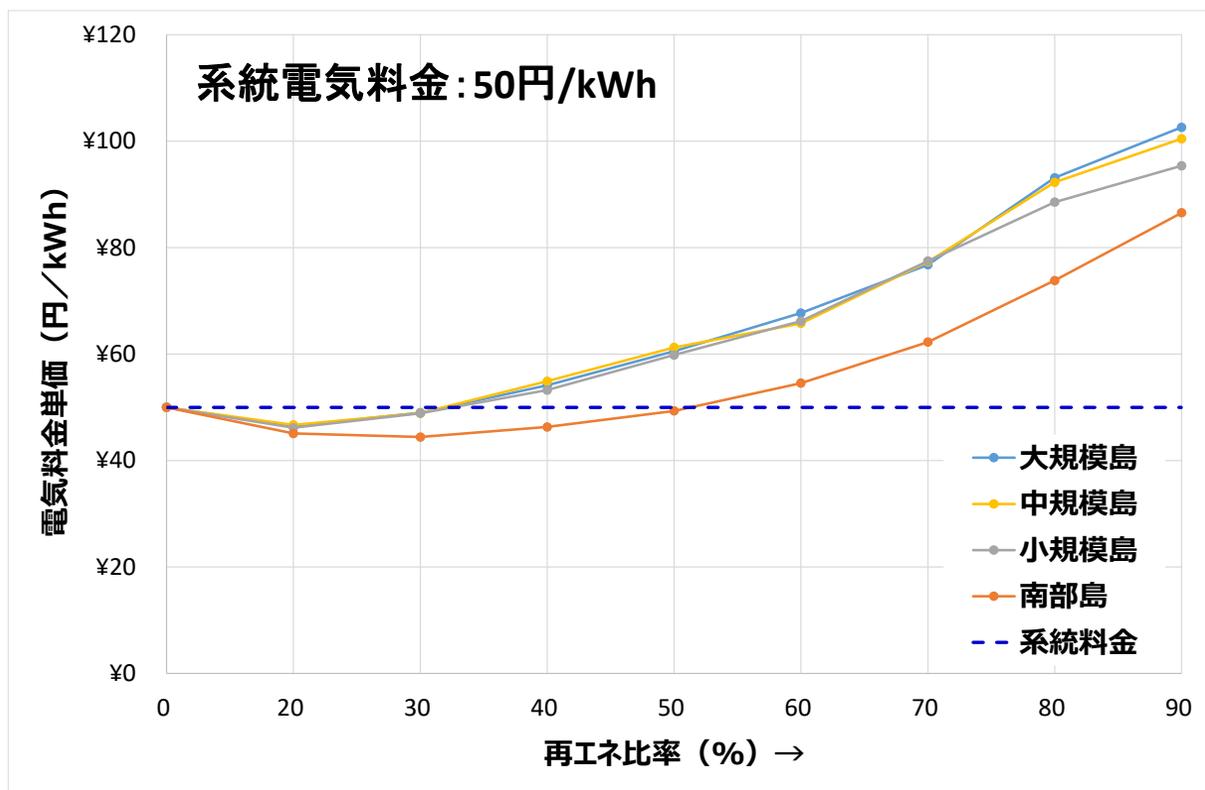
系統の電気料金を20円/kWhとした場合の水素蓄電エネマネ導入時の再エネ比率に対する電気料金単価を示す。



- 再エネ比率を高めるほど、電気料金単価は増嵩
- 伊豆諸島では、再エネ比率が同じであれば電気料金単価もほぼ同じ
- 南部島は、再エネ比率に応じた電気料金単価の上がり方が緩やか
- 伊豆諸島は東京都本土と同様に季節間の需要変化が大きいいため、再エネ比率が高くなると水素蓄電の容量が大きくなる。
- 南部島は気候が温暖で季節間の変化が少ないため、需要電力の変化も少なく、再エネ比率が高くなっても、必要とする水素蓄電の容量が比較的小さい。

7-8 電気料金単価（その2）

系統電力の電気料金が東京電力管内の総額原価方式に従った価格ではなく、船舶による燃料輸送費が余計にかかるなど、島しょ特有の理由で高騰した価格*の場合に、水素蓄電導入時の電気料金単価を示す。系統料金は、50円/kWhと100円/kWhの2つのケースで算出した。



- ・50円/kWhでは、伊豆諸島は再エネ比率30%以下、南部島は50%以下で水素蓄電を導入した方が安い
- ・100円/kWhでは、伊豆諸島は再エネ比率80%以下、南部島は90%以上まで水素蓄電を導入した方が安い

*「海洋エネルギー技術開発／海洋エネルギー発電システム実証研究」事業原簿より

8-1 まとめ

今回の島しょ地域への水素蓄電の適用に向けて基礎的な検討を行った結果、次の成果を得ることができた。

● 再エネ電源の大量導入に向けた水素蓄電による再エネと需要電力とのマッチング

島しょへの再エネ導入拡大に向けて、PVを用いて再エネ比率が20%から90%となる水素蓄電構成機器の設備容量バランスと最適運転制御を試算することが出来た。

● PVによる再エネ電源の可能性

島しょモデルで試算されたPVの規模（P19）は、島しょの土地利用等の状況（統計資料）から推定した発電ポテンシャル（P14）と比較すると、再エネ100%導入に向けて、PV設置スペースが十分に期待できる島がある一方で、再エネ比率が50%から60%程度に留まる島もあった。

● 水素蓄電導入の経済的評価

系統電気料金が現行の20円/kWhの中では、再エネと水素蓄電を導入するほど電気料金単価は高くなり、水素蓄電エネマネ導入による経済的なメリットは需要側からは見出せない。

一方、燃料輸送費などを考慮し、実態の電気料金が50円/kWhとなる場合などを仮定すると、水素蓄電の導入規模によっては電気料金単価は安くなる。

8-2 まとめ（今後の検討に向けて）

● 水素蓄電実験システムを用いた実験

当研究所に導入した水素蓄電実験システムを用い、島しょへの導入を縮小模擬した実験により、机上のみでの評価を補完

● 水素蓄電エネマネ構成機器の価格設定

未だ導入実例等からの情報が乏しいため、限られた参考文献で価格を設定

今後の技術開発による価格低下、スケールメリット（規模が大きいほど、単位出力あたりは割安）などを踏まえた価格設定による評価が必要

● 太陽光発電以外の再エネとの組み合わせの可能性

PVのみでの再エネ拡大は、PV敷設スペースが広大

PVとPV以外の再エネ（例えば洋上風力発電など）とを複合導入するケースでの検討

● 電力以外のエネルギーの再エネ利用の可能性

現在使用されているLPガス、および船舶や建設機械などの燃料（軽油、A重油など）に再エネを用いる方法

ご清聴ありがとうございました