

令和 5 年度 沖縄型クリーンエネルギー  
導入促進調査事業  
(再生可能エネルギー導入拡大およびデマンドレスポンス  
に資する水蓄熱活用事業の可能性調査)

調査報告書  
(概要版)

令和 6 年 3 月  
沖縄電力株式会社

## はじめに

我が国は2020年10月に「2050年カーボンニュートラル」を目指すことを宣言して以降、2030年に温室効果ガスを50%削減（2013年比）方針が示されるなど様々な目標が課されている。その一方沖縄県においては、地理的・地形的・需要規模の制約等の不利性から再生可能エネルギー等のクリーン電源の導入は容易ではなく、その結果石油・石炭・LNG等の化石燃料依存度が高い状況にある。

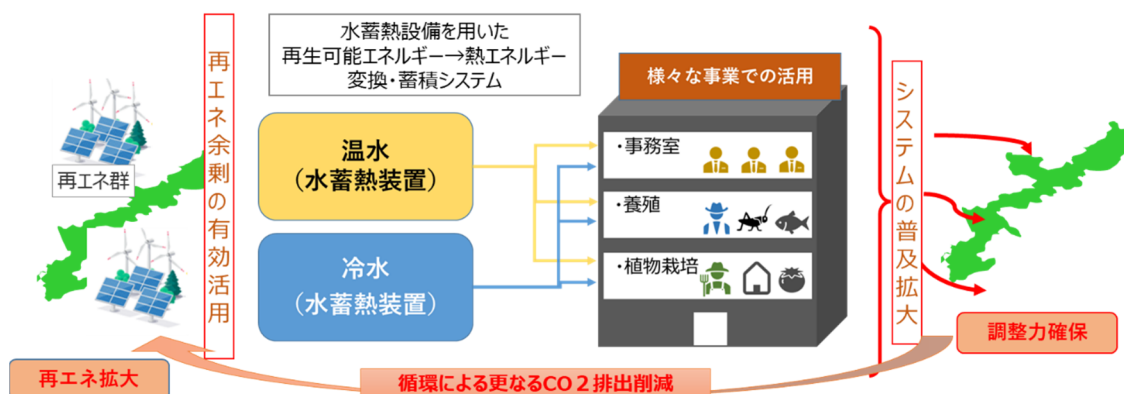
このような課題がある中、太陽光発電等の再生可能エネルギーの導入拡大が急務となるが、その一方、安定した電気として活用するためには、電力系統との協調が必須である。出力変動に対応するための系統柔軟性の確保は、再エネ導入における重要な課題の一つである。

蓄電池などを用いて「調整力・デマンドレスポンス（以下、DR）」とし、充放電するなどして電力系統を安定化する策があるが、一定量の普及が進むものの、まだまだ高価であることが課題である。

一方、現状の設備や実事業の中には、調整力・DRに資する隠れたポテンシャルがあると想定している。具体例としては、ビル運営、植物工場、養殖（照明や空調、ポンプの電源ON-OFFによる調整力確保）などが挙げられる。

そこで本事業においては、再エネの余剰電力を水蓄熱設備を用いて産業用の熱エネルギーに変換・蓄積するシステムを開発し、現状の設備や実事業を用いて、調整力の最大化および余剰再エネの有効活用を目指す。冷水と温水を同時に製造し、供給先のニーズに合わせて温度調節を行うことで、調整力を大幅に増加させ、活用範囲も拡大させるものである。以上を実現させることで調整力確保ならびに再エネの導入拡大を加速させ、沖縄県内のCO2排出削減を目指す。

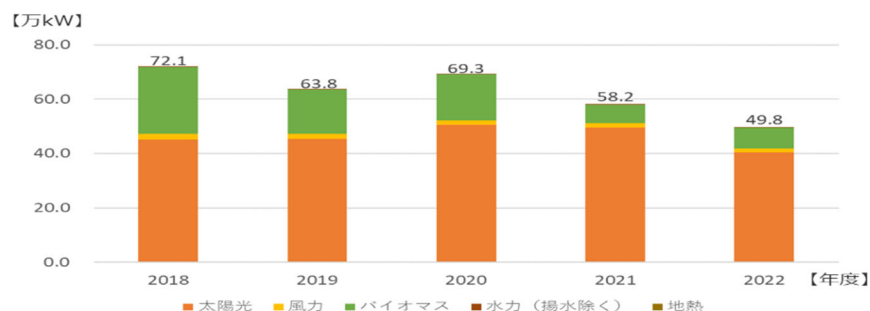
## 調査事業の概要



## 1. 沖縄県内における再エネ導入状況・課題の整理

### 1-1 沖縄県内における再エネ導入状況調査

沖縄県では太陽光発電を中心に再生可能エネルギーの導入拡大が進んできたが、近年では導入の伸びは鈍化傾向となっている。



図：沖縄県における再生可能エネルギー接続状況

出所：沖縄電力 再生可能エネルギー接続状況について

また、沖縄県における2023年現在の再生可能エネルギーの導入状況は、約57万kW程度である。

### 1-2 沖縄県内における再エネ導入に向けた課題整理

#### ①地理的・地形的不利性の課題

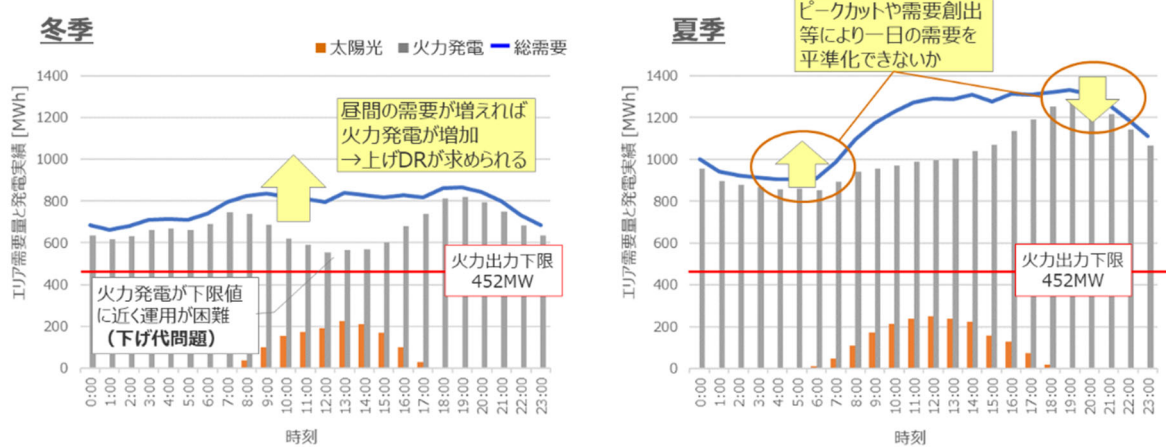
水力発電や地熱発電は、大きな河川や火山が存在するなど地形的な特徴によっては導入が見込めるが、現状沖縄県において導入可能性は低い。

風力発電については、国内の風力発電建設に係る審査基準（500kW以上）が厳格化され、沖縄県において風力発電の導入拡大についても極めて困難な状況と言える。

以上の背景から、沖縄県における再エネは太陽光発電が主体となっている。

#### ②電力需要・系統運用・品質の課題

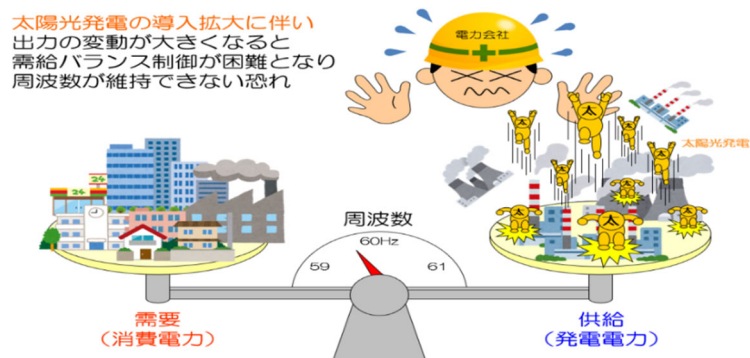
太陽光発電の導入拡大が進み、昼間の太陽光発電の出力が増加することで実質の電力需要が低下するが、この度合が大きくなると沖縄本島内の火力発電運用に影響するなどの課題がある。



図：沖縄本島系統における電力需要特性（例）

また。電力の安定供給のためには、周波数安定性も重要な要素である。電力系統において周波数を維持するためには、時々刻々変化する需要に対して瞬時に供給を一致させる必要がある。

太陽光発電の導入拡大に伴い出力変動が大きくなると、需給バランス制御が困難となり周波数が維持できない恐れがある。



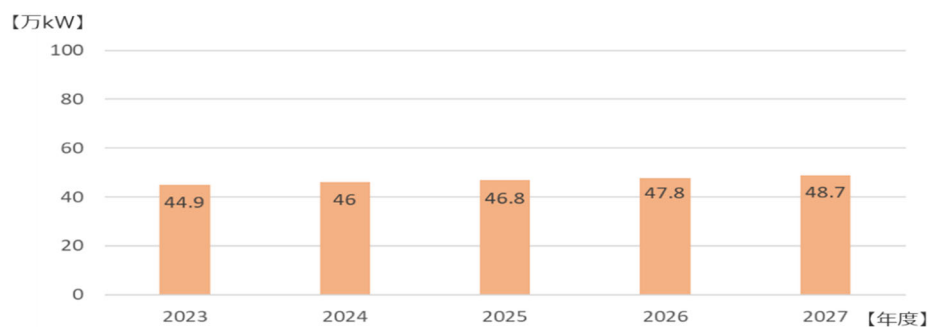
図：周波数維持のための電力需給バランス調整（イメージ）

### ③調整力に係るコストの課題

電力系統の安定化策として、蓄電池による充放電により、調整力やDRとして活用する策が一般的である。現状、蓄電池については一定量の普及が進むものの、まだまだ高価であることが課題である。

### 1-3 沖縄県内における再エネ将来導入量試算

太陽光発電の導入について、将来導入量試算見通しでは依然鈍化傾向となっている。下の図は、沖縄電力（一般送配電事業者）供給計画による一般送配電事業者による太陽光発電連系量の見通しである。



図：沖縄県太陽光発電連系量の見通し

出典：沖縄電力 一般送配電事業者の事業計画

実績等から勘案して2023年度～2027年度の予想について+3万kWの増となっている。

今後太陽光発電などの再生可能エネルギーの導入拡大に向けては、再生可能エネルギーそのものの導入に加えて電力系統との協調が課題である。特に太陽光発電の特性や電力系統に与える影響を考慮した調整力・DR ポテンシャルの確保、または調整力拡大に資する新たな技術革新が求められる状況と言える。具体的には現状高価な蓄電池だけでなく、蓄熱システムなどの開発による新たな調整力ポテンシャルの確保に向けた検討などが求められる。

## 2. 再エネ導入拡大に資する水蓄熱システム利活用事業のポテンシャル調査

### 2-1 既存事業における水蓄熱システムへの転換需要調査

#### 1) 沖縄県の熱利用実態

インターネット等による公開情報および関係各所への聞き取り調査によって、沖縄県内の熱利用実態を調査した。暖房や給湯による消費が少なく冷房による電力消費が多いことから、電力消費量全体の傾向としても6月～8月の夏季に多く、2月ごろの冬季に少なくなることがわかった。一方で、冷房期間が長く年間の半分以上となっており、24時間稼働していることも多い。冷房設備としては業務用パッケージエアコンが主であるが、氷蓄熱を導入している事業所、興味を占めず事業所も一定数存在する。

#### 2) 沖縄県内に普及している蓄熱システム

沖縄県内で普及している蓄熱システムを調査した結果を以下に示す。

- 県内では大型の公共施設を中心に蓄熱システムが導入されており、氷蓄熱がメインであるが空港などの大型施設では水蓄熱が導入されている。
- オフィス中心のビルや水族館など昼間の利用が中心の場所では夜間の停止時間帯に蓄熱し、日中放熱運転を行っている。一方で、所蔵品の管理が必要な博物館等や、利用者が多く機器類等からの放熱が大きい空港などは年間を通して24時間空調を稼働しており、それに対応した機器構成となっている。
- 施設によって運転の制御方法は異なるが、負荷の低い冬場においては蓄熱と放熱のスケジュールを変更することは可能かもしれないとのこと。

#### 3) 水蓄熱システムへの転換可能性

沖縄県内で普及している蓄熱システムを調査した結果、既存で蓄熱システムを導入していない施設において水蓄熱システムに転換することは現実的に難しく、可能性は極めて低い。一方で、再生可能エネルギーへの関心は高く、再エネの有効活用につながる取り組みは施設入居者だけでなく、投資としての価値も高いことがわかった。再エネの有効活用が可能となれば、水蓄熱システムが新規に建設される施設やビルにおいて選択される可能性は高いと考えられる。

#### 4) 既存事業における水蓄熱システムへの転換需要（まとめ）

以上のことから、既存の施設や建築物に導入済みの空調システムを水蓄熱システムへ転換することは難しいが、すでに水蓄熱システムを導入している施設において運用転換を行うことで、調整力として機能することができると可能性が示唆された。また、再生可能エネルギー利用を前提としたシステムであれば、新規のビルや施設における付加価値向上につながることから、再生可能エネルギーの利用を前提とした運用パターンを示すことが出来れば、環境価値のアピールにつながり、新規のビルや施設で検討対象となる可能性が考えられる。

## 2-2 沖縄県内において水蓄熱システムを活用した新規事業の可能性調査

沖縄県内の農林水産分野について、以下の分野で聞き取り調査した結果、現状で温熱・冷熱を利用した栽培・生産は少ないものの、熱利用の要望は高いことが確認された。

夏季の冷熱需要に加え、冬季の温熱需要も多くの生産種で確認されている。温度は概ね25℃前後で高くはないが、今後食料の安定供給に対する課題が顕在化していく中においては、高度環境制御を伴う生産設備の増加が見込まれると考えられる。

表 農林水産分野における熱利用の要望

	熱の種類	温度帯	季節
施設園芸	冷熱・温熱	25℃前後	夏季・冬季
植物工場	冷熱	20℃前後	周年
陸上養殖	冷熱・温熱	25～28℃	夏季・冬季
昆虫養殖	温熱	30℃	冬季

## 2-3 需要ポテンシャルの推計

### 1) 既存事業におけるポテンシャル

水蓄熱システムを既に導入している施設にご協力いただき、現在の蓄熱の運用状況と電力量を解析することで、運用転換の対象となり得る消費電力量（以下、蓄熱電力量と記載）あるいは蓄熱量をポテンシャルとして推計した。大型施設におけるポテンシャルとしては、夏季では1日あたり12～13MWh、冬季でも4MWh程度が見込まれるとの試算となった。

表 水蓄熱に係る蓄熱電力量及び蓄熱量（例）

	蓄熱電力量 (kWh)
日あたり（夏季）	約 12,000～13,000 kWh
（冬季）	約 4,200 kWh

### 2) 新規事業におけるポテンシャルの推計

新規事業における熱需要のポテンシャルを下表にまとめる。各事業単体での需要は大きくはないものの、生産規模の拡大や生産者の増加に伴って需要が拡大する可能性が十分に考えられる。また、冬季に温熱の利用が見込まれるのも特徴である。

表 新規事業における熱需要の例

	施設園芸	植物工場	陸上養殖	昆虫養殖
生産物の例	イチゴ	レタス	ヤイトハタ	コオロギ
生産規模	年産 4t	日産 130 株	年産 10000 尾	年産 1200 kg
必要温度帯	25℃前後	20℃前後	25～28℃	30℃
加温種別	冷熱・温熱	冷熱	温熱	冷熱・温熱
加温時期	夏季・冬季	周年	冬季	周年
日熱量(kWh)	21～189	208	257～884	181～297
年間熱量(kWh)	23, 796	75, 988	97, 185	94, 560

### 3. 再エネ導入拡大に資する水蓄熱システムの可能性調査

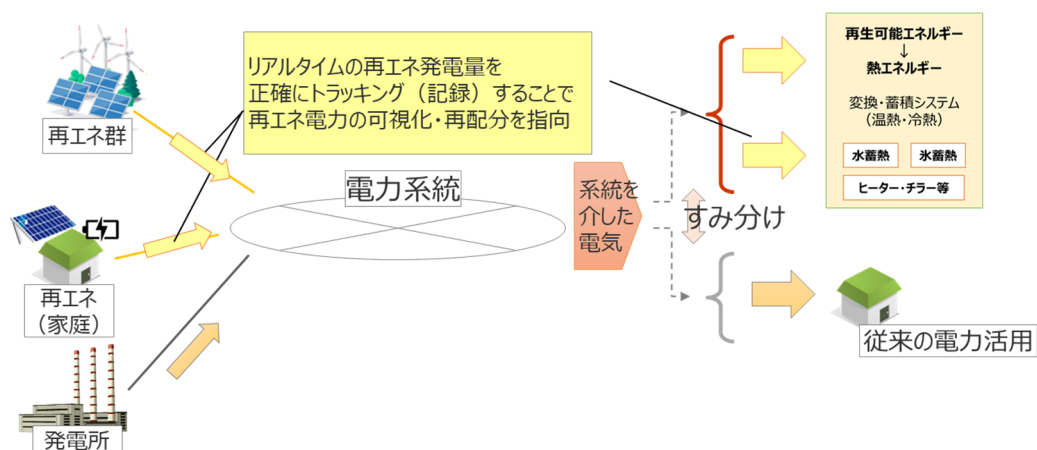
#### 3-1 再エネ導入拡大に資する水蓄熱システムに求められる仕様等の調査

再エネ導入拡大に資する水蓄熱システムに求められる仕様等について調査した。

展開が見込めるシステム概要としては、あくまで小規模であること、一日の必要負荷に対して経済性を考慮した蓄熱容量を確保すること等を整理した。

#### 3-2 再エネのみで水蓄熱システムを稼働するための技術調査

再エネ由来の電気でも水蓄熱システムを稼働するための P2P・トラッキング技術について調査し、近年の動向から一定の可能性を確認した。



#### 3-3 熱利用側の要求を満たす熱供給方法に関する検討・基礎設計

昆虫養殖（空調）や陸上養殖、植物工場に熱供給する供給方法について検討した。

##### ① 昆虫養殖

本実証における昆虫飼育施設に関しては空間温度の維持が主目的となるため、通常の空調と同様の熱源温度利用を想定。



## ② 陸上養殖での水温調整

概ね 40℃の低温水にて穏やかな熱供給を行うことを目的として設計。

## ③ 植物工場

野菜を中心とした植物工場では、空間温度の維持という面では通常の空調と同一のシステムと考えてよい。植物から蒸散する水分量が多大であるため、潜熱の除去を目的として、やや冷却に特化した空調として想定。

また、各ユーザーごとに水温調整を行なうにあたり、蓄熱される冷水を利用して 55℃の温水と熱交換させることで温度調節が出来るよう、水-水プレート熱交換器をユーザーごとに採用することとした。

## 4. 水蓄熱システム利用標準モデルの開発設計

### 4-1 水蓄熱システム開発に向けた実証の検討

#### ①既存施設のニーズに応える水蓄熱システム実証

沖縄県内において水蓄熱システムを導入している既存施設を対象に夜間の蓄熱から再エネ余剰が発生する昼間の蓄熱に「タイムシフト」DR する実証を検討。実証に協力可能な施設への要請、タイムシフトを行うことによる運用上のリスク等の精査、事業運営に支障をきたさない運転計画などを立案する。

#### ②新規事業のニーズに応える水蓄熱システム実証

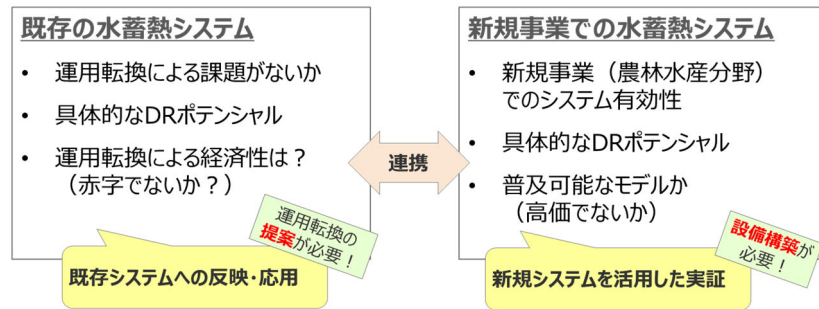
養殖事業、植物工場などの新規事業のニーズに応える水蓄熱システム実証としては、琉球大学との協同について検討した。



図：琉球大学 農水一体型完全閉鎖式陸上養殖システム建設予定地

上記のとおり、①既存施設のニーズに応える水蓄熱システム実証、②新規事業のニーズに応える水蓄熱システム実証において必要となる事項を検討した。これら①、②については併せて検討することでそれぞれの強みを活かすなどの連携・シナジーが期待できる。

#### 実証モデル検討の考え方



具体的には・・・

- ・新規（農林水産分野）の水蓄熱システム活用（とくに加温）実証を通して、効果的運用を検証
- ・新規事業を組み合わせた水蓄熱システムの効果的な運用方法について、既存事業への反映・応用について検証。

→ **既存（人への空調）＋新規（農林水産分野）で運用可能な水蓄熱システムのあり方を検討。**

図：水蓄熱システム開発に向けた実証モデル検討の考え方

#### 4-2 利用標準モデル設計

聞き取り調査の結果、水蓄熱システムを活用した新規の熱供給先として「農林水産分野」が有望であることが判明した。そこで、実証モデルにおけるエンドユーザー設備として植物工場、陸上養殖設備、コオロギ養殖設備を選定し、水蓄熱システムの構成や各エンドユーザー設備への熱供給の方法について検討を行った。

#### 4-3 水蓄熱システム利用に伴う運用面の課題整理

太陽光の余剰電力の有効活用を目的に「昼間の蓄熱」が可能となる運用設計が重要である一方で、昼間は人への空調など「昼間の放熱」も求められるため、実際には「蓄熱＋放熱」両方を実施可能なシステムでなければならないことを考慮する必要がある。

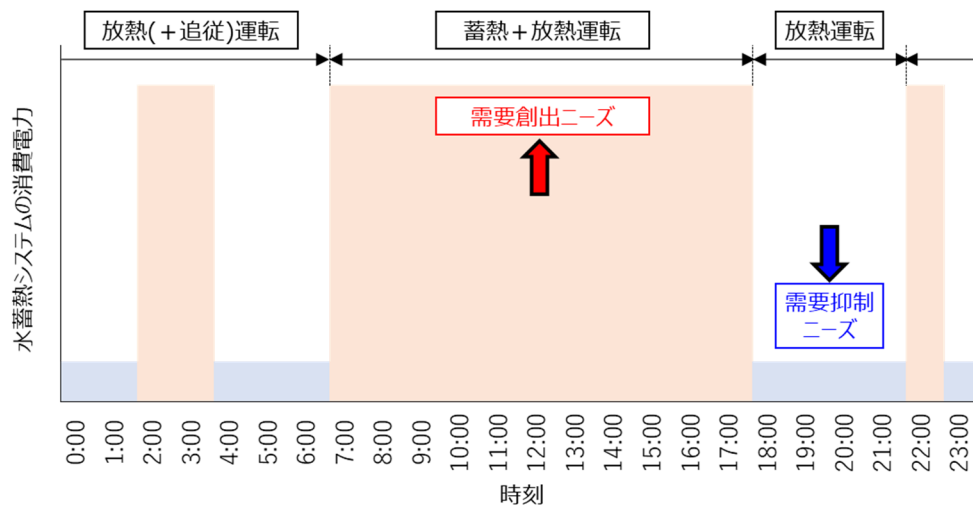


図 実証モデル 水蓄熱システム運用イメージ

## 5. 水蓄熱システム普及に伴う再エネの導入拡大効果の調査

### 5-1 水蓄熱システムによるデマンドレスポンス効果とCO2排出量削減効果試算

水蓄熱システムによるデマンドレスポンス効果について、具体的な時間ごとのデータが把握できている事業において試算を行った。

タイムシフトが可能と考えられる時期において、夜間の蓄熱を日中に行い、夜間の消費電力を削減した場合、再生可能エネルギー由来に代替され则认为される消費電力量は約 4,000 kWh/日と試算された。

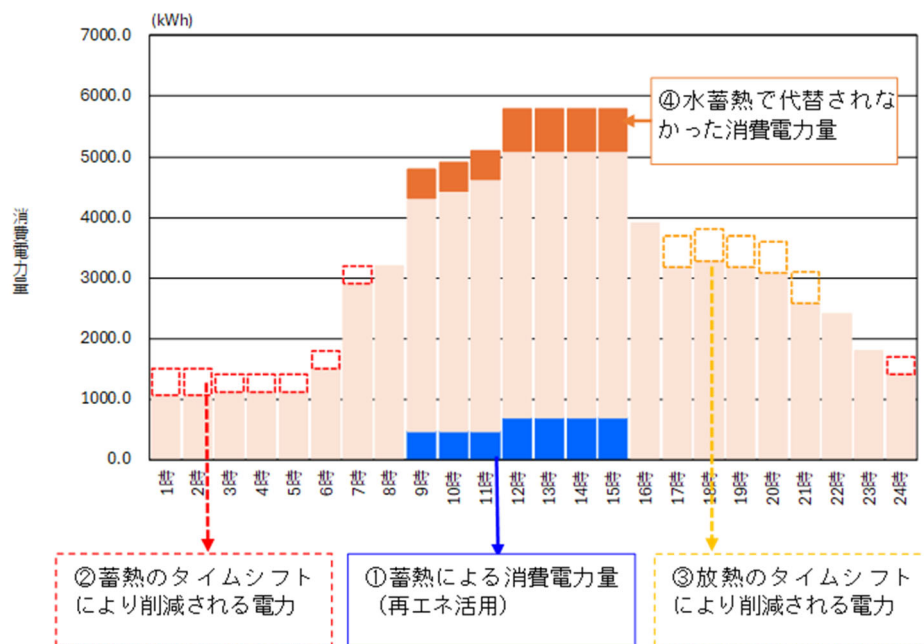


図 蓄熱のタイムシフトによる消費電力量の変化

これを CO2 排出削減量に換算すると、1 日あたり約 **2.8 t-CO<sub>2</sub>** となる。当該規模の施設で年間を通してタイムシフトを行うと仮定した場合には、最大で年間約 **1600t-CO<sub>2</sub>** の削減につながる可能性が示唆された。

また、新規事業のモデルケースとして植物工場においてタイムシフトを行ったケースには、再生可能エネルギー由来に代替され则认为される消費電力量は約 40 kWh/日 (夏季のケース)、これを CO2 排出削減量に換算すると、1 日あたり約 **25.6 kg-CO<sub>2</sub>** となる。当該規模の施設で年間を通してタイムシフトを行うと仮定した場合には、最大で年間約 **10t-CO<sub>2</sub>** の削減につながる可能性が示唆された。

このように既存施設および新規事業のタイムシフトにより再エネ由来電気への代替が可能となることで、特に昼間の電力需要創出 (上げ DR) に繋がる。これにより更なる太陽光発電の導入拡大に繋がると考えられる。

## 5-2 水蓄熱システム社会実装までのマスタープラン策定

令和6年度以降の水蓄熱システム社会実装までのマスタープランを以下のとおり策定した。

実施内容	調査事業		実証事業			普及拡大	
	2023年度	2024年度	2025年度	2026年度	2027年度	2028年度	2029年度
可能性調査 (実証検討・導入設備設計)	可能性調査	実証計画・設計					
新産業に寄与する蓄熱システム 実証設備の構築							
新産業に寄与する蓄熱システム DR実証						継続活用	
沖縄県内既存の蓄熱システム タイムシフトDR実証							
蓄熱システム普及に向けた ビジネスモデルの検討							
事業性検討・普及拡大計画検討							
DR機能を具備した 水蓄熱システムの拡大（事業化）							

図 令和6年度以降の事業計画（マスタープラン）