

# 太陽エネルギーの波に乗る： エネルギー発電にとって、なぜフローティング太陽光発電施設の設置が前向きな一歩なのか

フローティング架台での太陽光発電施設の設置はその柔軟性と性能上の利点により、世界的な成長を遂げ、エネルギー発電の潜在的な可能性が認知されつつあります。商業施設や一般住宅の屋根上への設置、および地上設置型のユーティリティパークとしての標準的な設置に加え、貯水池や湖、その他の水域は現在高収益が期待できる貴重な太陽光発電商品になっています。

## フローティングPV(太陽光発電)とは？

フローティングPVという用語は、しばしばフロートポルタイックとも呼ばれ、その名前が示す通り、水域のフローティング架台に太陽電池モジュールを設置することを意味します。これを実現するために、太陽電池モジュールをフローティング支持構造に固定し、それを結合してより大きな太陽電池アレイを形成します。太陽電池アレイは水面に配置され、海岸または水床に固定されます。設備で発電された電気はインバーター(通常は陸上に設置)に送られ、陸上に設置した場合と変わらず、送電網にエネルギーを供給したり、発電場所で直接使用したりすることができます。

画像1: 20基のREC太陽光モジュールとCiel & Terre社のHydrelie®フロートを使用したセントラルフロリダ大学(米国オランダ)の5kWのフローティングPVシステム



## なぜフローティングPVが良いアイデアなのか？

フローティング施設で太陽光モジュールを使用することで、貴重な土地と水を節約しながらクリーンなエネルギーを発電でき、水面を高収益が期待できる貴重な不動産に変換することさえできます。実際、アナリストによれば、フローティングアプリケーションにより400,000 km<sup>2</sup>の面積を有効利用でき、淡水貯水池だけでTW規模の発電を期待できます。<sup>1</sup>

REC太陽光モジュールを使用したフローティング設置では、水面を有効利用できるだけでなく、水面に陰ができることで、藻類の発生を抑えるとともに、蒸発を低減させることができます。これは、暑い気候や水が少ない場所では特に有益です。それと同時に、水はアルベドが低いものの、標準的な設置面と比べて表面からの光の反射を増大させることができます。水は常にモジュールへの天然の冷却剤の役割を果たし、発電効率および全体的なエネルギー収量の向上につながります。水面への太陽光電池の設置は簡単で、電動工具や重機は一切必要なく、迅速な配備が可能です。

## フローティングPV設置の利点とは？

フローティングPVシステムの設置には、性能の向上や設置のしやすさといったさまざまな利点があります。

### 活用されていない場所の利用

フローティングシステムは、競合する用途(たとえば娯楽施設など)がない既存の水域を利用します。このため、土地が限られている国や地域での使用に最適です。貯水池などの水域では、フローティングPVにより水域を二次利用することができ、副収入が得られ、水域にさらなる目的を与えることができます。

### 収量性能の向上

温度が高いと、太陽光モジュールの効率的な動作が妨げられます。これに対し、周囲が水であるため、フローティングシステムに対して冷却効果があり、場所や地域の気候、使用するフロート構造に応じて、およそ5~20%温度を下げるすることができます。<sup>2</sup> シェーディングおよび汚染の低減という利点に加え、フローティングシステムの動作温度が低いことにより、陸上での設置と比べてエネルギーの発電性能が向上します。

### 蒸発の制御

フローティングソーラーアレイを設置することで、水面に日陰(シェーディング)ができ、それにより水温が低下します。貯水池でのフローティングソーラーアレイの設置では、蒸発によって失われる水の量が減るため、これは有益になります。ただし、蒸発の速度はフローティング架台で覆われる面積に直接関係します。

2017 International Floating Solar Symposiumの基調演説で、カリフォルニア大学パークレー校およびBEARS(シンガポール)のEicke Weber教授は、「貯水池において人間が消費する水よりも蒸発する水の方が多い」と述べました。<sup>3</sup> 公益事業にとって、これは収入の低下につながります。何百万もかけて水を汲み上げ、それを処理して顧客に販売するため、蒸発による損失は収入が失われることとなります。蒸発を減らすことで、飲料水を確保できるだけでなく、コストを抑えることができ、地元住民に利益をもたらすことは明白です。

言うまでもなく、フローティングシステムによるシェーディングは、藻類で水面が覆われている場合などの影響と似ています。ただし、フローティングシステムで覆われるのは通常水面の一部のみであるため、自然対流サイクルによって日光の温かさや酸素が水域全体に行き渡ります。また、フローティング架台の設置面積によっては、モジュール間にスペースがあり、水面に光が当たるため、広範囲に及ぶシェーディングを最小限に抑えることができます。

画像2: 432基のRECモジュールとCiel & Terre社のHydrelie®フロートを使用したマレーシアのスランゴール州サラクのスガイヤブにある108 kW フローティングPVシステム



### 藻類の成長の制限

藻類は水界生態系にとって有益ですが、多すぎると問題を引き起こす可能性があります。藻類が多いと、水中に光が届かなくなり、魚やその他の水動物に必要な植物の成長や酸素の発生が制限されるとともに、水中の有機物の分解が妨げられます。

これは一種の悪循環であり、日光が差し込まなければ、水温が低くな

<sup>1</sup> Igor A Shiklomanov, 1993, "Chapter 2: World Fresh Water Ressources", in: "Water in Crisis", ed. Gleick, Peter H, Oxford University Press

ります。水温が低いほど、比重が高くなるため、沈み込み、水中の全体的な酸素レベルが低下します。供給される酸素量が低いと、水界生態系の継続的な機能が妨げられ、水域に生息する水生生物が危険にさらされることとなります。

水中における藻類を減らすことは、フィルターが短期間で目詰まりし、清掃や交換を頻繁に必要とする商業水域ではさらに運用上の利点があります。つまり、フローティングソーラーは、藻類の繁殖にとっては好ましくない条件となり、藻類の存在が少なくなり、メンテナンスや部品を交換する必要が減ります。

### 外部からのシェーディングが起こりにくい

水域の中央にアレイを配置することは、建物や木といった日陰の原因となるものから遠く離れた場所に配置することとなります。これにより、アレイが日陰になる時間が短くなるため、アレイが太陽光にさらされる時間が長くなり、エネルギー収量が向上します。

### モジュールの汚染の低減

埃や汚れの発生源から離れた水面に太陽電池アレイを設置するため、汚染が低減されます。特に乾燥した埃の多い場所では、陸地からの距離が離れるため、モジュールに埃や汚れが容易に沈殿しなくなり、表面を清掃する必要が減ります。実際、このような設置状態の場合、モジュール表面を清掃するために必要な大量の水を確保するのも楽になるはずです！

### 設置

選択するシステムや場所によっては、フローティングPVシステムの場合、同じ規模の設備を地上に設置する場合と比べて、設置にかかる時間が短縮されます。掘削作業やその他の基礎工事を行う必要がないので、地上に設置する場合と比べてシステムの全体的な準備時間を短縮することができます。ただし、個々のフロートにモジュールを1つずつ固定する時間がかかります。当然ながら、これは選択する架台やBOSのコンポーネントの設置方法によって大きく変わります。実際、RECがこれまでに実施した試験プロジェクトでは、フローティングシステムの設置時間はほぼ同じ規模の設備を地上に設置する場合とほとんど変わりませんでした。

### 水域でのモジュールの安全性を保証するためにRECが実施している試験とは？

RECでは太陽光モジュールがフローティング設備での使用に適していることを確認するために、モジュールに対し水域で見られるさまざまな動的応力を再現した広範な試験を行い、信頼性と耐久性を確認しました。結果はすべての試験に合格し、フローティングシステムの要求を満たす非常に良好なパフォーマンスを示しました。

表1：フローティングPVアプリケーションに対するRECの試験体制

試験	プロトコル	結果
コンポーネントへの塩水噴霧	ISO 9227以上	・腐食がないこと ・伝導の低下がないこと
モジュールの振動	防振ゴムなしで 324,000サイクル以上	・電力損失2%未満 ・ELでセル割れがないこと ・湿潤漏れ電流の低下がないこと
1M浸水	2週間以上	・基準値に相当 ・淡水と比べ、塩水の方が湿潤漏れ電流抵抗が低いこと
塩分湿潤漏れ電流	最大65 mS/cm	・湿潤漏れ電流と水中塩分に相関関係がないこと
PID	IEC 62804以上	・PID耐性
紫外線暴露	IEC 61215以上	・色の変化やバックシートへの機械的な劣化がないこと

ラボ試験に加えて、水域での使用に適していることを確認するために、さまざまな環境試験も実施しました。RECでは開発時にシンガポールの沿岸の保護水域条件下に試験システムを設置しました。6か月経過しても、環境に起因する電力低下はモジュールで検出されませんでした。すべてのコンポーネントを監視した結果、材料の劣化は見られず、ELカメラで検査しても、新たなセルの損傷は確認されませんでした。ガラスにごくわずかな汚れがありましたが、電力への影響はほとんど

どなく、地上に設置した場合とほぼ同程度でした。

### フローティングPVの設置によってRECが得た結果とは？

RECでは、小規模ないくつかの試験プロジェクトと並行して、Solar Energy Research Institute of Singapore (SERIS) とともに大規模なフローティングPV試験設備を現在設置しています。まず2017年1月に西部テンガの淡水貯水池で委託された1 MW設備では、10種類のティア1太陽光モジュールおよびフローティング架台タイプを比較し、顕著な結果がいくつか見られています。

画像3：シンガポールのテンガ貯水池の1 MW フローティングPVシステム



現場には多くのセンサーと2つの気象観測所があり、全設備で500以上のパラメーターのモニタリングをリアルタイムで行っています。最初の試験期間を経過し、すべてのシステムが78~94%のパフォーマンス比(PR)を達成し、その大半は80%をはるかに超えるPR値になりました。これは、高温多湿のシンガポールの気候ではそう簡単に達成できるものではありません。

実際、SERISの2017年度の年次報告書に、「フローティングシステムの熱損失係数は一般的に40~50 W/m<sup>2</sup> Kの範囲内であり、これは換気状態の良い屋根上システムの標準値である30 W/m<sup>2</sup> Kをおよそ30~60%も上回っている」と記載されています。4 その一方で、フローティング架台の設計によって冷却影響が変動する旨のコメントもあり、最大限の冷却効果を得るためには、モジュールと水面の間のスペースを最大限に確保することが指摘されています。

### 陸上に設置した場合とのデータの比較

また、テンガ設備の隣に、システムのパフォーマンスを直接比較できるように、屋根型のシステムを2基設置しています。陸上システムとしては、標準の屋根上設置に加え、屋根上よりも1.5m上にモジュールを取り付け、換気と熱分散を改善した非標準の設置が含まれます。図1に、システムの比較を示します。

画像4：シンガポールのテンガ貯水池近くの屋根上システム

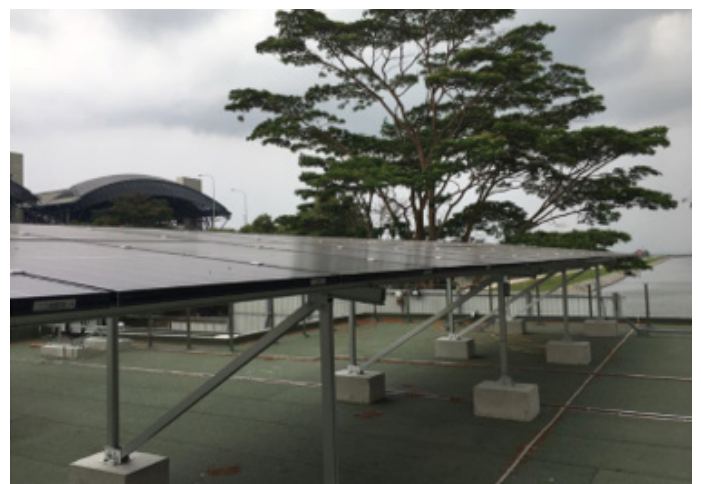


図1: シンガポールでのREC設備のサイト比較

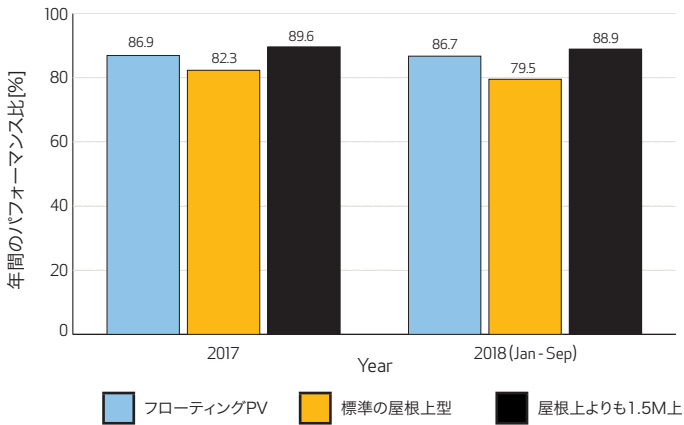


表2: シンガポールでのREC設備のサイト比較

	フローティング	標準の屋根上	屋根上よりも1.5 M上
モジュールタイプ	REC TwinPeak 280 Wp	REC TwinPeak 280 Wp	REC TwinPeak 280 Wp
システムのサイズ[kW]	78.4	67	11
設置	2017年1月	2016年10月	2017年3月
平均PR [%]	86.8	80.9	89.2

上記の試験結果のデータによって、テンガ貯水池のRECのフローティングPVシステムは運用以降、シンガポールの一般的な屋根上システムと比べて、パフォーマンスが7%向上していることがわかります。

### より低い動作温度

このパフォーマンスの向上は、主にフローティングシステムの低い動作温度に起因する可能性があります。フローティングシステムでは水が自然の冷却剤の役割を果たし、モジュールの動作効率が向上します。テンガの試験システムでは、平均動作温度に陸地と水域の間で7°Cの差が生じ、システム間で最大約15°Cの差がありました。実際、標準の屋根上システムでは最大温度が70°Cに達したのに対して、水域に設置したシステムではわずか60°Cであり、水の自然な冷却効果が実証されました。当然ながら、水による冷却の影響は周囲の温度や湿度だけでなく、フロートの設計や設置面積によっても左右されますが、SERISではほぼ2年間テンガで試験を実施した結果、屋根上よりも水上の方が一貫して動作温度が低いことを示す信頼できるデータが得られました。標準の屋根上システムよりも高い収量をフローティングシステムで達成するには、このような有利な条件は極めて重要です。

図2: シンガポールのREC設備のモジュール温度の比較(動作温度が最も低いのはフローティングシステムであることを示しています)。

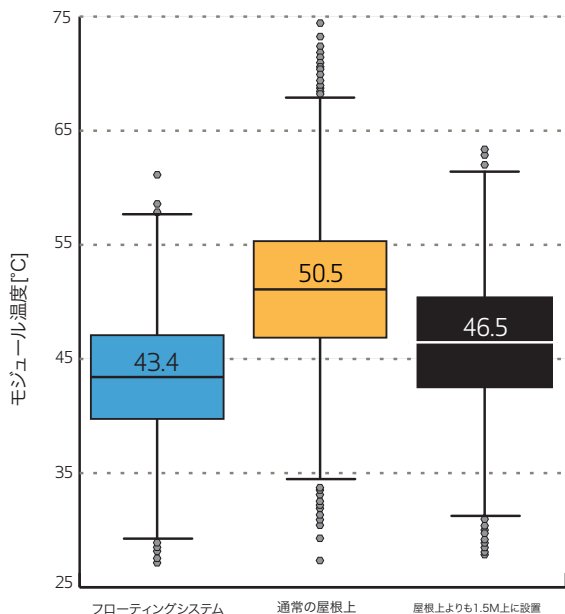


図2から屋根上の試験システムと比べてフローティングシステムが受ける温度条件の方が低いことは明白ですが、通常、フローティングシステムでは動作温度が大幅に向上しているため、屋根上の両方のシステムよりも優れたパフォーマンスを発揮することが期待されます(ただし、1.5m上の換気が良いシステムと比較した場合、パフォーマンスの向上はごくわずかです)。これらの結果では、フローティングシステムと屋根上よりも1.5m上のシステムではパフォーマンスレベルが非常に似ていることが示されています。これは、テンガのフローティングシステムが付近の鳥の生息数によって大きな影響を受け、日常的にひどい糞の汚れが付着するためです。これは明らかに場所固有の問題であり、定期的に効率的な清掃業務を行うことで、容易に克服できます。上記の2つのシステムのパフォーマンスがほとんど同じであることを考えると、清掃を改善すれば、屋根上よりも1.5m上のシステムよりもフローティングシステムの方が高いエネルギー収量およびパフォーマンス比を実現できるものと予想されます。

画像4: テンガ貯水池のフローティング試験システムでの鳥の糞によるひどい汚れの例(セルのシェーディングにより電力損失を招く恐れがあることは明白です)



### フローティングPVを設置する上での問題点とは?

フローティングシステムの設計者には、通常とは異なる課題に対する対処が求められます。たとえば、係留システムを選択する場合、正確な実装方式を把握する必要があります。場合によっては、水床の条件が役割を果たし、選択したシステムに影響を与えることがあります。たとえば、水床の硬さまたは柔らかさによって、必要とされるシステムのタイプに影響が生じます。これを調べるために、いくつかの評価を行う必要があります。潜水作業が必要となったり、地上設置システムの場合よりも多くの掘削作業が必要となったりすることがあります。

さらに、フローティングシステムへのモジュールの設置角度が設計段階で事前に既定されていることが多く、現地条件に最適な角度に調整する余地がほとんどないことも課題です。他のシステムでは、ある程度柔軟に調整することができます。つまり、設置時間を含めたプロジェクト全体で設置角度とエネルギーの予想収量および均等化されたエネルギーコストに与える影響を比較評価する必要があります。

### フローティングシステムに対して他に重視すべき点はあるか?

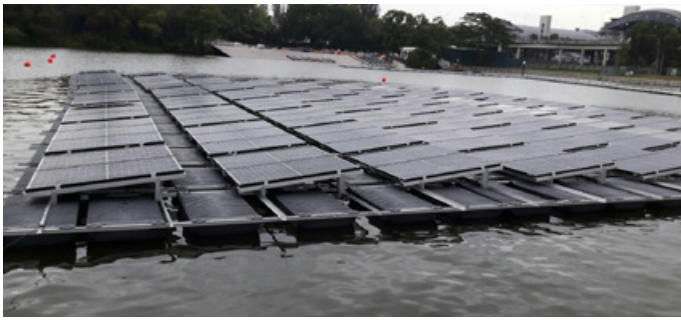
安全性が常に最も重視すべき点で、電気と水を混ぜないことは専門家でも明白です! したがって、地上に設置する場合よりもケーブル管理に注意する必要があります。特にケーブルが水と接触する場合は、漏れ電流や性能の低下を防ぐために、完全に不透水性のケーブルでなければなりません。

また、開発者が配慮する主な点の1つとして初期資本支出があります。フローティング架台の購入では、調査費用、係留、フロート、接地作業といった追加アイテムを考慮すると、地上設置システムよりも初期費用がかかる可能性があります。ただし、土地を購入する必要がなく、土木作業や準備にかかる費用もはるかに安い場合、発電量が大幅に増加すれば、この初期費用はすぐに償却することができます。

運用・メンテナンス(O&M)の場合のシステムへのアクセスとモジュールや他のコンポーネントの交換または修理のしやすさについても同様に考慮する必要があります。穏やかな状態であっても、プロジェクトの最初から設計の一部としてアクセスを考慮していない場合、アクセスが困難になる可能性があります。

腐食に関しても、特に沿岸環境においては、O&Mは明らかに重要な要素です。モジュールに影響が生じるだけでなく、コンパナボックス、インバーター、ケーブル、その他金属製の支持構造も腐食の影響を受ける可能性があります。このため、システムを完全に設置する前に、こうした装置へのアクセスやメンテナンスについて考慮する必要があります。

画像5: テンガ貯水池の試験水床でのRECフローティングセクションのフローティングフロート(O&Mのしやすさを考慮して、モジュール列間に通路を確保)



フローティング架台が水上で絶えず動くため、まず下部構造に機械的応力がかかり、太陽光モジュールとケーブルシステムに二次的影響が生じる可能性があります。これは、フロートの設計および取り付け構造の剛性や柔軟性に依存します。また、フロートの動きによって係留システムに応力がかかるため、定期的にチェックして、最適な安全性を確保する必要があります。

フローティング設置は単に水上に配置されるだけであるため、たとえばカプセル材料から湿気が入るなど湿気による劣化、さらにはPID (Potential Induced Degradation: 電圧誘起) 劣化のリスクが本来高くなります。たとえ太陽光モジュールがPIDフリーと認定されていても、周囲の環境で湿度が高くなれば、リスクも高くなる可能性があります。実際には、認証基準に関して、標準の地上設置の場合に存在するもの以外は、フローティングシステムに関連する特定の要件は現時点ではありません。

湿度レベルが高いため、フローティング設備を設置する場合は負極接地が推奨されます。こうすることで、湿気によりシステムの電位が低下しないよう保護することができます。

また、フローティングPVストリングで絶縁抵抗 (Riso) が経時的に低下する場合は絶縁劣化も考慮する必要があります。これはRisoが低いことによって生じるため、Risoが既定のしきい値に満たない場合、インバーターは起動せず、その後Risoのしきい値を超えた時点で動作を開始します。

さらに、水生動植物に対するシステムの影響についても考慮する必要があります。通常、フローティング設備を設置すると、水温が多少低くなります。こうした変化はその地域の野生生物にプラスとマイナス両方の影響を与える可能性があります。ただし、具体的な影響はシステムの設置面積によって決まります。現場ごとに地元の専門家が検査して、具体的な影響を評価することが最適です。同様に、地域の動物がシステムに影響を与えることもあります。たとえば、テンガ貯水池システムで見られるように、水面に硬い構造物を配置した場合、鳥の糞がモジュールに付着する可能性が高くなり、陰影や電力損失をもたらす、定期的に清掃する必要性が高まります。もちろん、これはその地域の鳥の個体数によって左右されるので、それも考慮に入れる必要があります。

フローティングシステムによって飲料水に影響が生じるか？太陽光モジュールは水と接触しないので、汚染のリスクはありません。実際、太陽光モジュールは、構造上、通電コンポーネントに湿気が入り込んだり、通電コンポーネントが湿気と接触したりしないよう保護されています。直接的に関連性があるのは、常に接触している、水と使用するフローティングシステム間の相互影響です。

各フローティングシステムを評価して、地域環境および飲料水の質に対する影響を確認する必要があります。フローティングのフロートの一部の製造業者は、システムの影響への影響の確認作業に取り組んでいます。実際、フランスのCiel et Terre社はWater Quality Association of Great Britainの飲料水基準であるBS 6920:2000の認証を取得し、同社のフローティングシステムが英国の飲料水用貯水池への設置が認められています。5

フロートに含まれる有害物質またはそれが水質に及ぼす影響に関しては、英国の大手水供給処理企業の1社であるThames Water社がCiel et Terre社のシステムに対して試験を実施した結果、高密度ポリエチレン (HDPE) プラスチックの使用が承認されています。HDPE自体は水道管に使用される材料であるため、飲料水にHDPEが及ぼす影響については特に心配する必要はありません。

### 広い海洋水域における設置については？

現時点では、フローティングPVの設置は主に内陸の淡水水域を対象として設計されています。ただし、一部の企業は、海洋の沖合環境の要求に対応可能な革新的なシステムの開発に乗り出しています。海域への設置は淡水の場合よりもさらに複雑であり、非常に厳しい条件に耐える必要があります。たとえば、大きな波によって引き起こされる運動や振動の増大、モジュールのガラス面への塩水の付着、長いケーブル配線による電気損失、非常に高い塩分に起因するコンポーネントの腐食や劣化に対する最適な対策などを考慮する必要があります。

### まとめ

フローティングPVはスペースを有効利用するものであり、社内および第三者の試験ラボでの厳格な試験により、RECはこうした用途に最適なモジュールであることが実証されています。フローティングPVは水域を二次利用するための機会となり、水面を使用することで、収益を上げ、電気代を削減することができます。環境面および商業面両方の利点から、現在フローティングPV分野はクリーンなエネルギーを生み出すために不可欠なオプションとみなされています。

熱帯気候で屋根上システムよりも発電収量およびPRが最大7%も向上することが試験によって示されており、フローティングPVの潜在的な可能性は全世界のシステム所有者にとって有益であり魅力的です。適正な条件を確保すれば、フローティングPVシステムはたとえ運用コストが高くても、それを上回るエネルギー収量が可能であることが判明しています。固有の技術的な問題を解決する必要がありますが、システム設計の初期段階で対処しておけば、大きな障害となることはなく、コストも地上に設置する場合と大差ありません。

RECは、高い製品品質の業界基準を定めることで広く認められていますが、現在ではその認知は水上での設置にまで及んでいます。フローティング設置について包括的なラボ試験および実稼働試験を実施し、こうしたシステムで安全に運用するための要件がRECの設置説明書に記載されています。フローティングPVでは、高品質で信頼性の高いモジュール供給業者の選定が不可欠であり、その実績および世界中のフローティング施設で数千単位のモジュールがすでに稼働していることから、RECこそがフローティングPV分野の主要な製造業者と言えます。