

超精密加工による機能表面の創成に関する研究

由井 明紀*

Study on Functional Texture Generation for Submerged Solar Panel

Akinori YUI*

1. はじめに

近年では、世界各国において地球温暖化防止のための脱炭素化が緊急課題となっている。特に、90%以上の燃料を輸入に頼っている日本では、エネルギー安全保障のためにも脱炭素化を可能にする再生エネルギーの実用化が重要課題となっている[1]。今後 10 年程度の短期間でこの高い目標を達成するためには、現状技術の延長だけでは困難であり、大幅な技術革新が必要となる。

再生可能エネルギーには、ソーラー発電、風力発電、水力発電、地熱発電、バイオマス発電などが含まれる[2]。中でも、近年集中的な研究開発の進展や各国の補助金制度などにより、ソーラー発電の占める比率は大幅に高まっている。しかし図1に示すように、有効設置面積の狭い日本においては既に平地面積当たりの太陽光設備容量は諸外国より格段に大きく、ソーラー発電量を大幅に増やすことは困難なことにならない。現実問題として、山間部の無理な開発によるソーラーパネルの設置などにより、各地で土砂崩れをはじめ様々な被害が発生している。

また、従来のソーラー発電方式では、野鳥の糞や黄砂などによるパネル表面の汚れで発電効率が低下することのみならず、影などにより一部の太陽電池モジュールのセルが高温となるホットスポット現象により火災を誘発する恐れもある。ソーラーパネルを構成するソーラーセルは直列に配線されているため、電柱やビルによるわずかな陰の発生も発電効率を大幅に低下させる。さらには積雪による太陽光遮断や、雹などの自然災害によるソーラーパネルシステムの損傷にも配慮する必要がある。

一方、日本は多数の港湾(閉鎖性海域)や世界第 6 位の排他的経済水域および領海を有している。これらの海域を有効利用することで、ソーラー発電量の飛躍的な上昇には実現性があると思われる。筆者らは、図 2 に示すように、シリコン製ソーラーパネルを水中に設置してパネル機能面を冷却することにより、出力電圧の上昇に成功している[3]。すなわち、現在広範に実用化されているシリコン製ソーラーパネルは、水で冷却することによって発電効率が高くなることがわかった。

2. 海中ソーラー発電の特徴

ソーラーパネルを海中に設置することにより、表1に示すメリットとデメリットが想定される。これらを検証するために、神奈川大学由井研究室では、国内外の湾岸に海中ソーラー発電システムを設置して実証実験を

行っている[4]。

すなわち、深さの異なる水深に海中ソーラーパネルを設置し、最も発電効率の高い水深を実験的に求めている。さらに、海中汚損生物の付着を抑制するため、ソーラーパネル表面にテクスチャ加工したアクリル製カ

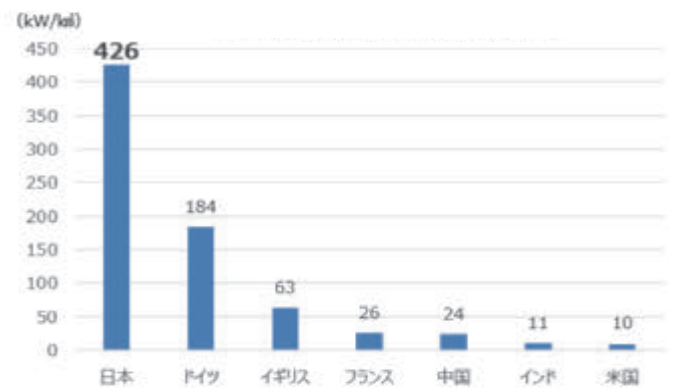


図1 平地面積あたりの太陽光設備容量
経済産業省資源エネルギー庁ホームページ,
<https://www.enecho.meti.go.jp>

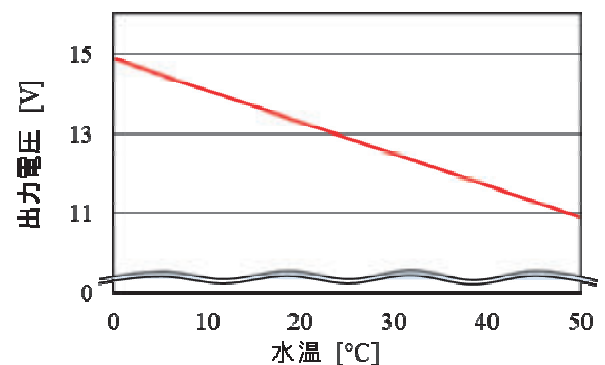


図2 水温と出力電圧の関係

表1 ソーラーパネル海中設置のメリットとデメリット

メリット	デメリット
海水によりパネルを冷却して発電効率を高めることが可能	海水濁度に応じて太陽光が減衰してパネル面の日射強度が低下
野鳥の糞や黄砂のパネル面付着を阻止可能	波の影響によりパネル面の日射強度が低下
海水の屈折率が高いため、高緯度地域では入射角が小さくなり発電効率が上昇	フジツボなどの海中汚損生物がパネル面に付着して発電効率が低下
海中ではホットスポット現象による火災を阻止可能	塩害によりパネル周辺機器が劣化

*教授 機械工学科

Professor, Dept. of Mechanical Engineering

カバーガラスを貼りつけ、海中汚損生物の付着抑制効果を確認している。

図3に、水温がI-Vカーブに及ぼす影響を示す[5]。I-Vカーブは縦軸に電流、横軸に電圧をとることにより、曲線で囲まれた面積から出力電力を求めることができ、面積が大きい方が発電効率は高いことを示す。最大出力電圧はパネル温度に影響され、大気中より温度が低い海中では出力電圧が上昇する。海中におけるパネル表面温度は海水温とほぼ等しくなる。一方、地上でのパネル表面温度は、太陽光による放射熱により、気温よりも大幅に高くなり、夏季にはパネル機能面の温度は70°Cを超えることもある。

図4に、水深がI-Vカーブに及ぼす影響を示す[5]。最大出力電流は水深に影響され、パネル水深が深い方が太陽光入射強度は低くなるため解放電流は低くなる。また、濁度が高い場所では、水深が深くなると太陽光入射強度は大幅に低くなり、その結果解放電流が低下する。

すなわち、水面下で、できるだけ浅い水深にソーラーパネルを設置すると、海水による冷却効果と太陽光の入射強度低下抑制により、発電効率が高くなるのがわかる。

3. 海中汚損生物の影響

ソーラーパネルを海中設置することにより、前述の野鳥の糞や黄砂の付着による発電効率の低下や雹によるパネル破損、そしてホットスポット現象による火災などは避けることができる。一方、フジツボや藻などの海中汚損生物がパネル表面に付着して発電効率を低下させる恐れがある。藻は簡単に除去することができるが、フジツボは接着力が高いため除去が困難である。船舶や排水路でも同様に、海中汚損生物の付着防止が重要課題となっている。ペンキなどで化学的に付着対策をしている例もあるが、SDGsの観点からも地球環境にやさしくない。

そこで本研究では、ソーラーパネル機能面にフジツボが付着を嫌うテクスチャを物理的に加工することを試みた。図5に示すように、フジツボはキブリス幼生の時に永住地を探索して触針から接着剤を出して個体に付着する。そこで、フジツボが嫌うテクスチャを設計し、ソーラーパネルのカバーガラスに加工する。一般に、カバーガラスは白色ガラスでできているため、アクリルガラスと比べて微細加工が困難であり、太陽光の透過率も低い。本実験に於いては、第一段階としてアクリルガラスにテクスチャ加工を施し、カバーガラスの上に貼りつける。実用化レベルではカバーガラスをテクスチャ加工を施したアクリルガラスに置き換えることを目標にする。

小茂鳥らによると、図6に示すように、日本近海に生息する標準的なタテジマフジツボの平均は体長0.51mm、触針長さ0.062mm、触針外径0.026mmとされている[6]。そこで、触針が入らないためのピッチ0.01mm、触針が届かないための深さ0.05mm、タテジマフジツボの体が安定しないためのピッチ0.5mmのV溝形状を加工する。また、あらゆる方向からの付着を抑制するために、テクスチャは一方方向の溝と90°回転させた格子縞のV溝を加工する。図7に加工したテクスチャの例を示す。V溝加工には、先鋭ダイヤモンド工具と、工作テーブルにリニアモータを用いた横軸各テーブル型の平面研削盤(UPZ-415Li)を用いる。研削盤の砥石軸は工

具頭に改造し、ダイヤモンド工具を保持して、プレーナ加工を行う。図の上部には、テクスチャの断面形状を示す。先端角90度のダイヤモンド工具で加工すると、ピッチ0.01mmの場合は深さ0.005mm、ピッチ0.05mmの場合は深さ0.025mmになる。また、深さ0.05mmを得るためにはピッチ0.1mmになる。

これらのテクスチャを加工したアクリルパネルを、防衛大学校海上訓練施設(横須賀市走水)、インドネシアのバタム島、奄美大島の古仁屋湾、

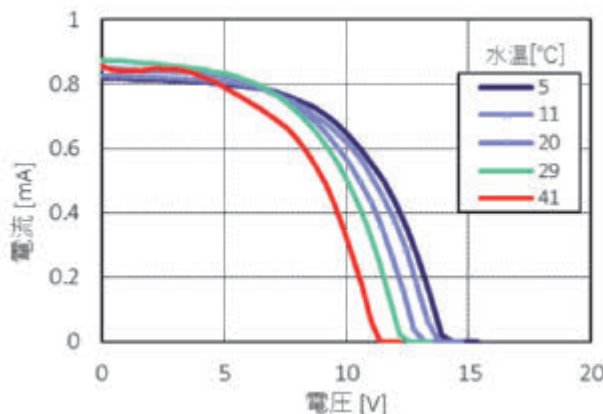


図3 単結晶シリコン製ソーラーパネル (気温24.0°C, 日射強度0.049W/m²)

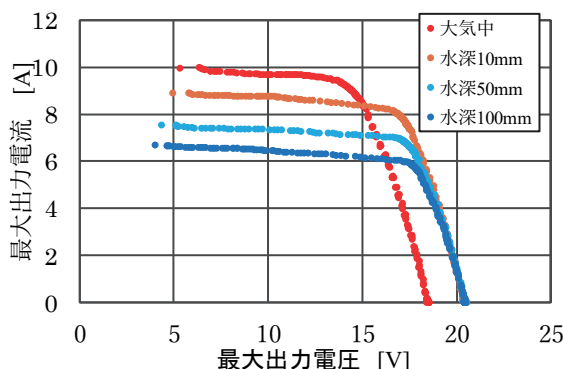


図4 大気中・水深によるIVカーブの違い (気温27.9°C, 水温22.5°C)

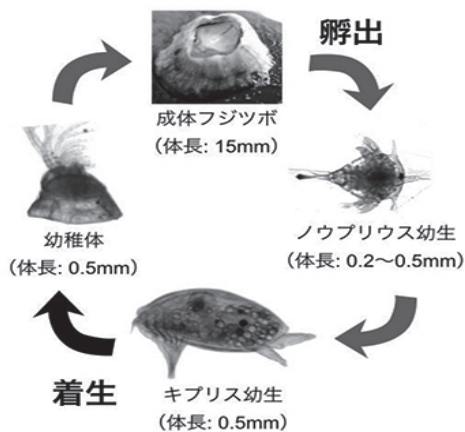


図5 フジツボの生態

日本丸メモリアルパーク(横浜市みなとみらい)に設置して汚損生物の付

着観察を行った。夏季では1週間程度でフジツボの付着が認められるが、冬季ではフジツボなどの汚損生物の付着は認められなかった。夏季においても、フジツボの生息地域の偏りや、藻や動物性プランクトンなどによる汚れがパネルのテクスチャ加工溝を埋め、汚損防止効果を低下させることもあり、自然界においてテクスチャ加工の汚損防止効果を定量的に評価するのは困難であった。

そこで、実験室内にてアクリル製の容器に400匹のキブリス幼生を放流することで、テクスチャの汚損防止に関する定量評価を試みた。図8に示すように、テクスチャのピッチによりフジツボの付着数が異なりピッチ20~30 μm のテクスチャの防汚効果が高いことがわかる。

4. MM21における海中ソーラー発電実証実験

財団法人帆船日本丸記念財団、泉陽興業株式会社そして横浜市との協力を得て、図9に示すように、MM21日本丸メモリアルパーク内に海中ソーラー発電を設置し、海中ソーラー発電システムの実証実験を実施している。左図はその拡大写真である。このシステムでは、180Wの発電能力を有する4枚のソーラーパネルを使用し、海中ソーラー発電の実証実験を行う。

ここでは、水上と水面上、そして水深の違いによる発電効率の違いや台風や津波などの自然災害による安全性への影響、さらに海中汚損生物の付着による発電効率への影響など、実証実験を通じて継続的な調査を実施中である。

I-Vカーブや照度、気温、水温などの測定データや海中ソーラー発電システムの様子は、wifiを使って神奈川大学横浜キャンパス由井研究室やスマホで常時モニタすることができる。年間を通して観察を行い、測定結果は今後の学会等で発表して行く予定である。

港湾を代表する閉鎖的海域内では、海水の汚れによる太陽光透過率の減少や建物による影の発生などソーラー発電障害の要因が存在する。この次のステップとして、領海あるいは排他的経済水域の広大な海を使った海中ソーラー発電実験に移行したいと考えている。

参考文献

1. 2030年度におけるエネルギー需給の見通し(関連資料), 経済産業省資源エネルギー庁, https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/pdf/20211022_03.pdf
2. 環境エネルギー政策研究所ホームページ, <https://www.isep.or.jp/archives/library/14364>
3. A. Yui, S. Narasimalu, A. Fitrianingrum and S. Enomoto, Submerged Power Generation using Mono-Crystalline Silicon Solar Panel (Possibility of electric power generation under seawater) Proceedings of euspen's 20th International Conference & Exhibition, 2020, pp.22-23.
4. 例えば, 日経新聞, 横浜臨海部で脱炭素実験, 2023.9.5.
5. 砥粒加工学会 ABTEC2022, ポスター発表, 神奈川大学, 2022.
6. 勝山一朗, 小林聖司, 平杉亜希小茂鳥潤, タテジマフジツボのキブリス幼生付着器官の寸法と測定方法の検討, 26巻, 2009, pp.89-92.

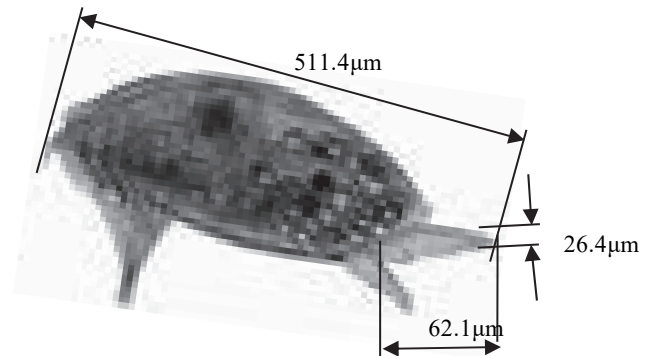


図6 キブリス幼生の標準寸法

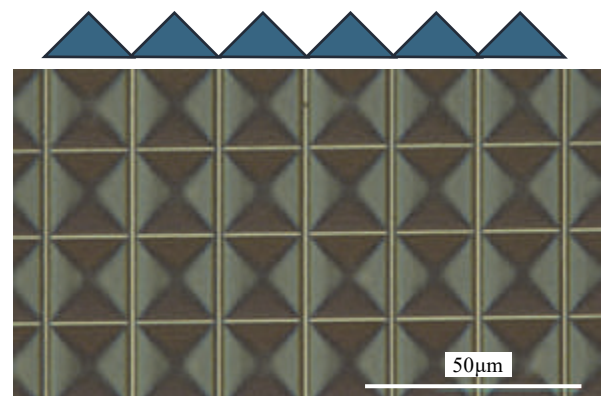


図7 プレーナ加工したテクスチャ加工の例
格子縞(ピッチ:20 μm , p-v:10 μm)

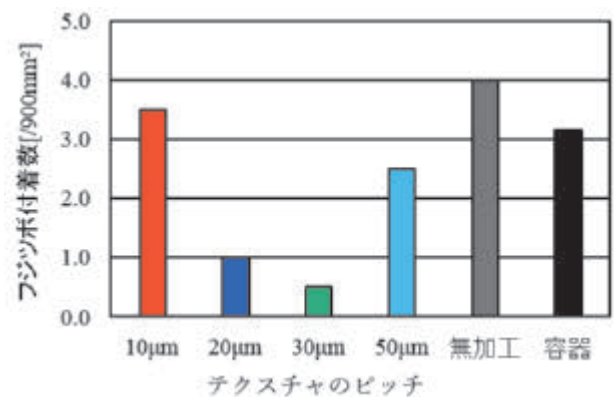


図8 テクスチャピッチとフジツボ付着数



図9 MM21に設置した海中ソーラー発電システム