

散乱光を最大限利用する針葉樹型太陽電池の開発

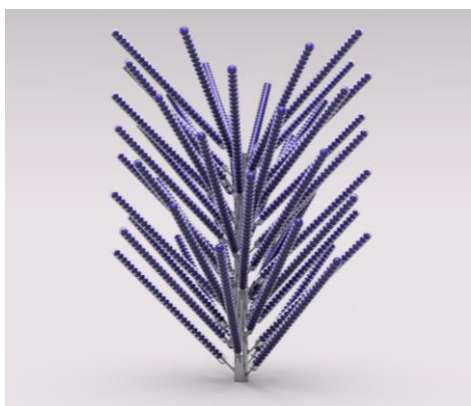


図1 針葉樹型太陽電池（完成イメージ図）

実施担当者 石川県立金沢泉丘高等学校
教諭 前田 学



図2 針状太陽電池（完成イメージ図）

1 要旨

本校物理部の生徒たちは、環境問題やエネルギー問題に関心が高く、再生可能エネルギーに強い興味をもっている。そこで、現在あまり利用が進んでいない、太陽光が大気や白い雲などで散乱される光（散乱光）に着目し、散乱光を利用して太陽光発電の効率化を図る研究を行っている。2017年度は、様々な色（波長）のLEDをセンサーとし、空から来る散乱光の特性を分析する研究を行った。その結果を基に、今年度（2018年度）は、空や雲を新たな光源とみなし、散乱光を最大限利用する新しいタイプの太陽電池の開発に取り組んだ。散乱光を利用する太陽電池のデザインの参考として我々が注目したのは針葉樹の葉である。先行研究から、針葉樹には太陽光を無駄なく利用する様々な特徴があることがわかり、また、その葉の配置には数学的な特性があることが分かった。そこで、針葉樹の葉の形状を模した新しいタイプの針葉樹型太陽電池を開発し、その特性についての研究を行った（図1）。

2 針葉樹型太陽電池の開発

2-1 散乱光の特性

良く晴れた青空の場合、天頂方向からくる散乱光よりも地平線に近い水平方向からくる散乱光の方が強度が強いことが2017年度に行った本校物理部の散乱光の研究で分かった。また、快晴の青空から来る散乱光よりも、白い雲（層積雲）から来る散乱光の方が強度が強いことも分かった。これらのことより、散乱光を最大限利用しようと考えた場合、ある特定の方向から来る光を狙うよりも、あらゆる方向から来る光を捉えることができる太陽光電池のデザインが有効であるのではないかと考えた。

2-2 針葉樹の葉の特性

我々は直接太陽から来る光（直接光）よりも、空や雲による散乱光が優位な場所に生息している針葉樹に着目した。調べてみると針葉樹には効率よく光を利用する様々な特性があることが分かってきた。針葉樹の葉の並び方には規則性（葉序）があり、葉同士の重なりが小さく効率よく光を受けている。その葉の並び方は、フィボナッチ数列や黄金角などの数学的な規則性と関連があることが知られている。

また、針葉樹の葉は針状であり、あらゆる方向から来る光を受けて光合成をするのに適した形をしている。広葉樹のような平面状に広がった葉は、平面に垂直な方向から来る光を受け光合成するのに適してはいるが、面に平行な方向から来る光を受けることができない。現在、太陽光発電で主流の太陽光パネルも広葉樹の葉と同じような特性を持っており、南の空に向けて設置されている場合が多い。太陽が南中する正午前後の時間帯に、最大の出力が出るようになっている。そのため、太陽の位置による出力の変動が大きい。これが太陽光発電の欠点の一つとされている。

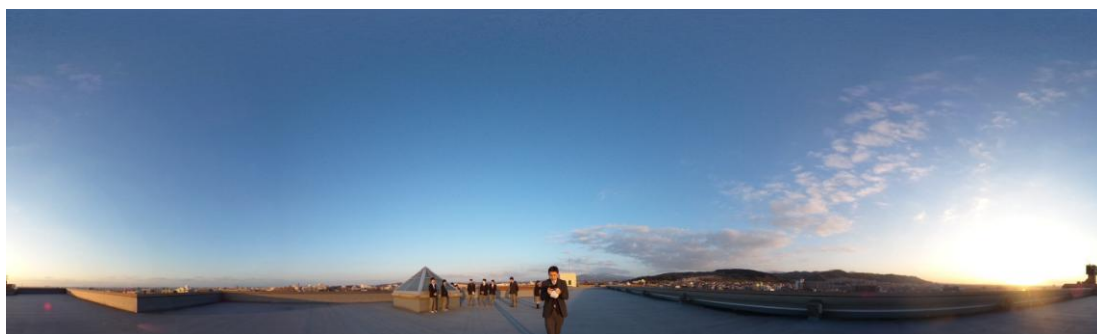


図3 360°カメラによって撮影された空の写真

2-3 針状太陽電池

あらゆる方向から来る散乱光を最大限利用するためには、従来からある平面型（パネル型）太陽電池と異なる新しいタイプの太陽電池が必要となる。ある特定の方向から来る光を受けて発電するのではなく、全方向からの光を発電に利用することができる太陽電池として、スフェラパワー株式会社が開発している球状太陽電池に着目した。

この球状太陽電池は直径が約1mmのとても小さな球状の太陽電池であり、電極以外の球面上のどこで光を受けても発電することが可能である。

この球状太陽電池を直線的に一列に並べることにより、針葉樹の葉のような針状の太陽電池を作ることができるのではないかと考え、スフェラパワー株式会社に針状太陽電池の製作を依頼した。

当初は、クロマツの葉を参考に長さ約70mmの球状太陽電池を30個直列接続させた針状太陽電池を考えていたが、強度の問題等があり、約半分の長さ32.8mmの球状太陽電池15個直列接続の針状太陽電池をスフェラパワー株式会社に製作して頂いた（図4）。

この針状太陽電池は、太さ3.2mm、長さ32.8mmであり、とても細長い形状をしている。開放電圧が約8.7V、短絡電流が約1.0mA、最適動作電圧が7.0V以上である。スフェラパワー株式会社にはこの針状太陽電池を100本製作して頂いた。針状太陽電池を黄金角を用いた規則性をもって配列させ、並列接続させることにより、針葉樹のような形をした太陽電池を製作する。



図4 針状太陽電池

2-4 黄金角を利用した配置の研究

植物の葉の並び方には葉序と呼ばれる規則性があり、マツなどの針葉樹の葉の規則性はフィボナッチ数列と関連性があるといわれている。フィボナッチ数から定義される黄金角（約137.5°）を用いると、葉同士の重なりが無いまま配置することができる。そこで、針状太陽電池を黄金角を用いて配置することで、光を無駄なく効率的に利用できると考えた。

針状太陽電池を用いるにあたり、太陽電池に光が当たる角度によって発電能力がどのように変わるのか、針状太陽電池の角度依存性について研究した。研究方法としては、回転台の上に針状太陽電池を設置して、光を当てる角度を変えながら、針状太陽電池の電力の角度依存性を測定する実験を行い、平面型（パネル型）太陽電池との比較を行った。

平面型（パネル型）太陽電池との比較実験により、針状太陽電池の方が角度依存性が小さいことが分かった。これは、最大出力がでる時間帯以外でも効率よく発電することができることを示している。また、平面型（パネル型）と異なり、背面から来る光でもよく発電するという特性を持っている。

次に、針葉樹型太陽電池の電力の数値シミュレーションが行えるように、針状太陽電池の有効受光面積を求める計算式の導出を行った。有効受光面積を計算することができれば、実際に針状太陽電池を配置し電力の測定実験を行わなくても、針状太陽電池の最善の配置を探る研究ができる。

物理部の1年生を中心にこの計算式を求める研究を行い、球状太陽電池の重なりを計算し、針状太陽電池の有効受光面積を求める一般式を作ることができた。これにより、任意の角度から当てた光に対する有効受光面積を表計算ソフト Excel を用いて数値シミュレーションできるようになった。

2-5 針葉樹型太陽電池の組み立て

現在、自然光の中における針状太陽電池の電力測定実験を行っている。時間帯や天候による電力の変化や季節による違いのデータを取っている。また、複数本の針状太陽電池を黄金角を用いて配置したものと、それとは異なる配置をしたものの電力の比較などを行っている。

数値シミュレーションの方は、複数の針状太陽電池を配置したときの、針状太陽電池同士の重なりをあらゆる角度から見ても計算できるように研究を進めている。また、コンピュータ上で3Dモデルを作成し、画像処理によって有効受光面積を求める方法も研究中である。

今後（2019年度）は、角度依存性の最も小さな配置となるデザインを探り、実際に針葉樹型太陽電池の組み立てを行っていきたい。課題としては、効果的な配線の方法、強度を高める方法、蓄電の方法、給電の方法の確立などがある。

3 研究発表

3-1 第42回全国高等学校総合文化祭（2018信州総文祭）

日 程：2018年8月7日（火）～8日（水）
場 所：公立諏訪東京理科大学 長野県茅野市
参加生徒：2年生2名（ポスター発表）

自然科学部門ポスター発表の石川県代表として、長野県茅野市にある公立諏訪東京理科大学で行われた全国高等学校総合文化祭に参加しました。たくさんの方々に発表を聞いてもらい、針葉樹型太陽電池に関してとても興味をもってもらえました。また、発表を通じて研究の課題を見つけられました。

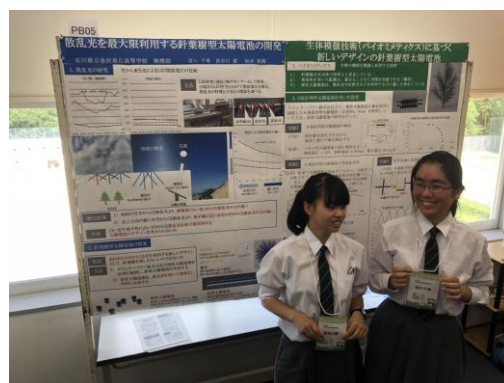


図5 ポスター発表

3-2 第10回マスフェスタ（全国数学生徒研究発表会）

日 程：2018年8月25日（土）
場 所：関西学院大学西宮上ヶ原キャンパス 兵庫県西宮市
参加生徒：1年生6名、2年生1名（ポスター発表）

針状太陽電池の有効受光面積を求める計算式に関係する研究を中心に、マスフェスタで発表を行ってきました。コンピュータを用いた数値計算やシミュレーション、画像解析にも挑戦することができました。1年生は初めての全国規模の発表会でしたが、皆で頑張り、フォローしあい、時間を追うごとに発表が上手になっていきました。発表後に頂いたアドバイスをもとに、数値計算をさらに進めることができました。

3-3 第9回石川県中学・高校生徒物理研究発表会

日 程：2018年12月9日（日）
場 所：石川県立金沢泉丘高等学校 石川県金沢市
参加生徒：1年生5名 （口頭発表）

3-4 平成30年度中谷財団科学教育振興助成成果報告会

日 程：2018年12月23日（水）
場 所：丸の内オアゾ 東京都千代田区
参加生徒：1年生2名 （ポスター発表）

3-5 第6回北信越地区高等学校自然科学部研究発表会

日 程：2019年2月9日（土）
場 所：上越市立直江津学びの交流館 新潟県上越市
参加生徒：1年生7名 （ポスター発表）

4 まとめ

従来の平面型（パネル型）太陽光発電は、太陽から来る直接光を効率よく発電に利用するためのデザインである。今回の研究で提案した針葉樹型太陽電池は、あらゆる方向から来る散乱光（反射光も含む）を利用し、これまでの太陽光発電とは異なる角度依存性の小さな発電方法である。研究の過程で、植物の葉の規則性、数学的な考察、コンピュータを用いた解析など、当初思いもよらなかった様々な分野と関わりのあることが分かり、大変苦労したが、研究を進めるにつれどんどん興味がわいてくるとても楽しい研究となった。物理部の部員は、それぞれが興味関心の強い分野を中心に研究を進め、ディスカッションを重ね、困難をひとつずつ乗り越えていった。どの発表会でも聴衆の反応は良く、様々な切り口での議論を重ねることができ、研究を進めるヒントとなった。中谷財団による研究助成を受けられたことで、新しい発想でデザインされた針状太陽電池を実際に製作することができ、研究が大いに進展した。針状太陽電池を組み合わせた針葉樹型太陽電池は未完成であるが、次年度も引き続き研究を行い、針葉樹型太陽電池のプロトタイプを完成させ、再生可能エネルギーの研究の発展に貢献したい。

謝 辞

本研究は、公益財団法人中谷医工計測技術振興財団による科学教育振興助成を受けて行われました。深く感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 「Measurement of Three-Dimensional Morphology and Surface Area of Conifer Shoots and Roots using the Desktop Scanner and Silhouette Image Analysis」Ishii Hiroaki, T. and Dannoura Masako (2004)
- [2] 「A Better Way to Construct the Sunflower Head」Helmut Vogel (1978)
- [3] 「3次元モジュールを用いた太陽発電」須藤利文 鈴木聖治 谷内利明 (2011)

以上