

水上から水中への光無線給電：波の影響を考慮した太陽電池受光率

Light Receiving Efficiency of Solar Cell considering influence of waves from Air to Underwater Optical Wireless Power Transmission

東工大未来研 [○](M1) 李 嘉莹, 宮本 智之

FIRST, Tokyo Tech, [○]Jiaying Li and Tomoyuki Miyamoto

E-mail: li.j.bb@m.titech.ac.jp

1. はじめに

水中光無線給電は、プールに入れたセンサーなど色々なところで使えるため、今までにない新たな応用の創出が期待できる。ただし、空気中の光無線給電と異なり、水中光無線給電特有のいくつかの課題がある。1つは水中の大きな損失である。もう1つは波の存在である。前者は、水中の長距離給電を制限する。後者は、特に水上から水中に光を入射するときに、ランダムな角度の波と水の反射を考慮する必要があると考えている。

今回、水上から水中への光無線給電を想定し、波の影響がある場合でも、太陽電池でできるだけ受光する条件を検討した。波の影響により光源の光ビームは大きく広がり、また、水面は無反射化できないため反射光も存在する。反射光の利用のために、再帰反射板の利用を考える。なお、本研究では、液体は光に影響されないと仮定する。

2. 直接入射のみの場合

Fig. 1 は、光源が太陽電池の直上の水上にあり、水中に向かう光ビームが波により方向が変化する様子を表している。波の角度は θ 、光源（光ビーム）サイズは W 、太陽電池の水面からの深さは d 、太陽電池のサイズは L である。

スネルの法則により、直接の入射ビームの広がり角は $\theta - \varphi$ 、広がり幅は $d \cdot \tan(\theta - \varphi)$ になる。実際の波は、x-y の 2 軸かつ 2 方向($\pm\theta, \pm\theta$)に広がり、また、ランダムな角度がある。

太陽電池のサイズが光ビームのサイズと同じ場合、広がった光は受光できない。このとき水中に入射した光のうち、太陽電池に入る比率は近似的に $\frac{[W - 2d \cdot \tan(\theta - \varphi)]^2 + \frac{1}{2}(W^2 - (W - 2d \cdot \tan(\theta - \varphi))^2)}{W^2}$ である。

太陽電池サイズ $L = W + 2d \cdot \tan(\theta - \varphi)$ のとき、直接の光をすべて受けることができる。

なお、水の表面の反射率は $\left(\frac{1-n}{1+n}\right)^2$ なので、太陽電池は反射光を除いた $1 - \left(\frac{1-n}{1+n}\right)^2$ を受光できる。

3. 再帰反射板を使う場合

再帰反射板を用いることで、水面からの反射光をもう一度、類似位置の水中に戻せる。ただし、反射光は Fig. 1 に示すようにさらに広がってしまう。一度反射して戻入射ビームの広がり角は $\theta + \varphi$ 、広がり幅は $d \cdot \tan(\theta + \varphi)$ になる。

太陽電池サイズは $L = W + 2d \cdot \tan(\theta + \varphi)$ のとき、直接入射に加えて、一度反射した光もすべて受けることができる。

再帰反射の反射率が R のとき、 $1 - \left(\frac{1-n}{1+n}\right)^2 + R \cdot \left(\frac{1-n}{1+n}\right)^2 \cdot \left[1 - \left(\frac{1-n}{1+n}\right)^2\right]$ を受光できる。

4. 数値解析

水（屈折率 $n=1.33$ ）または油類（ $n=1.5$ ）における、波の角度 θ に対する、直接入射角 $\theta - \varphi$ と再帰による反射の再入射角 $\theta + \varphi$ の関係は Fig. 2 のようになる。再入射角は比較的大きくなる。

水の屈折率 $n=1.33$ における光源と同じサイズ $L=W$ の太陽電池を使うと、受光率は 0.6685、 $L = W + 2d \cdot \tan(\theta - \varphi)$ サイズの太陽電池を利用すると、受光率は 0.9799 (@ $R=1$)、 $L = W + 2d \cdot \tan(\theta + \varphi)$ サイズの太陽電池と再帰反射板を利用すると、受光率は 0.9996 (@ $R=1$) である。

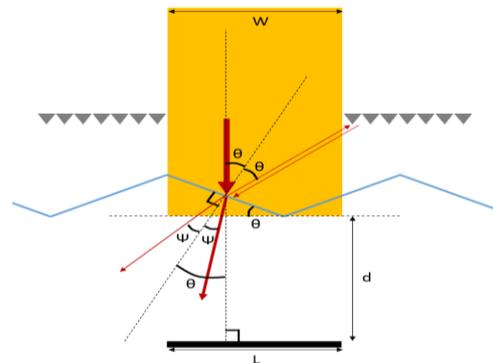


Fig. 1 Schematic diagram of light reflection influenced by water waves using Snell's law.

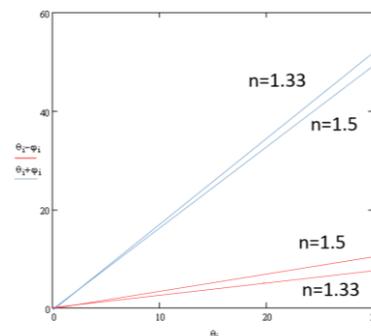


Fig. 2 Relationship between the angle of water waves θ and the direct incident angle $\theta - \varphi$, the re-incident angle $\theta + \varphi$.