

太陽光発電における光害検討の 簡易化手法について

太田 健斗¹

¹近畿地方整備局 営繕部 整備課 (〒540-8586大阪府大阪市中央区大手前1-5-44)

官庁営繕事業では、再生可能エネルギー活用の一環として、太陽光発電設備の整備を推進しているところであるが、都市部や住宅密集地等で整備する場合、太陽光パネルによる反射光害の発生が懸念されている。反射光害を未然に防ぐためには、建設の計画・設計段階で反射光の影響範囲、対策方法について検討することが重要であると考えられるが、方法としては専門のシミュレーションソフト等での検討が必要となっている。

本稿では、一般的な表計算ソフト等を活用し、簡易的に太陽光パネルによる反射光害の影響範囲等を把握する方法について紹介する。

キーワード 太陽光パネル、反射光害、近隣対策、簡易的

1. はじめに

(1) 太陽光反射光害によるトラブル

太陽光発電設備は、早期から省エネ効果・温室効果ガス削減効果が注目され、国の各種施策で導入が推進されてきた。一方、太陽光発電設備の課題の1つとして、反射光による光害（以下、「太陽光反射光害」という。）があげられる。

太陽光反射光害は、太陽光パネルで反射した太陽光の反射光が周辺建物の室内等に差し込み、まぶしさや室内の温度上昇などの支障を来すこと等があげられる。太陽光反射光害に関しては、法的な規制や基準はないが、受忍限度を越えるとして裁判にまで発展している事例も発生している。

(2) 太陽光反射光害が生じる原因

太陽光発電の「パネル（アレイ）」は、太陽電池としての最小単位である「太陽電池セル」を、直・並列に接続し、屋外で利用できるようにアルミ等の枠、強化ガラス等の表面保護により強化した「太陽電池モジュール」から構成されている。「太陽電池セル」は、太陽光を吸収し発電する部分で、基本的には太陽光を反射しないが、これを保護する強化ガラス等の素材が光を反射しやすい素材となっており、太陽光反射光害が発生する原因となっている。

施設整備において太陽光反射光害については、専門のシミュレーションソフト等により周辺への影響の有無、対策等を検討することが一般的である。



図-1 太陽光パネル（アレイ）

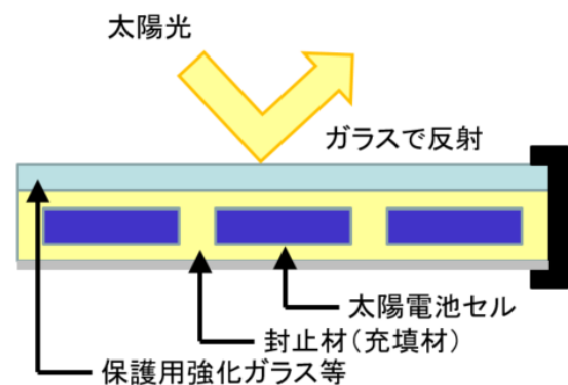


図-2 太陽電池モジュールの一般的な構造

2. 反射光の計算方法

(1) 反射光の検討のポイント

太陽光パネル面での反射光は、保護用のガラス等が原因であることから、拡散反射ではなく直線反射（鏡で反射するときと同様、入射角＝反射角となり直進する性質の反射）として取り扱う。

太陽光パネルが水平に設置されていれば、「設置地点（緯度・経度）」から見た「太陽の方位・高度」を確認し、入射角＝反射角の関係から反射光の方位と高度を確認することができる。しかしながら、実際の太陽光パネルは、発電効率の向上等のため傾斜をつけて設置されており、パネルの中心軸が水平面南北軸と成す角（以下、「パネルの方位角」という。）も建物の位置等によって様々な角度で設置されている。

このため、検討を行う場合のポイントとしては、これら太陽光パネル毎で異なる「太陽光パネルの方位角と傾斜角」を「反射方位・反射角度（高度）」の計算に、どの様に反映するかにある。

次節では、反射光の検討に必要なパラメーター及び反射光の計算方法等について記載する。

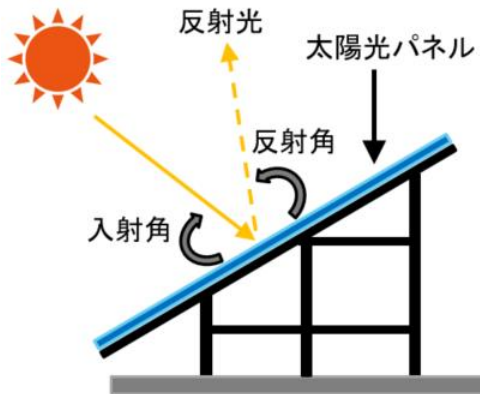


図-3 太陽光の反射光の性質

(2) 太陽光発電の設置地点、太陽の方位・高度

太陽光の反射光を検討するためには、太陽光発電の「設置地点（緯度・経度）」から見た「太陽の方位・高度」の値が必要となる。

「設置地点（緯度・経度）」情報は、国土地理院を始め、一般的な地図のウェブサイト等で入手可能で、今回も当該サイトから確認することができる。

「太陽の方位・高度」については、大学共同利用機関法人 自然科学研究機構 国立天文台のウェブサイトに掲載されている太陽の高度、方位角の概略値の求め方や、その他ウェブサイトなどを参考に計算式を作成した。

反射光の検討に当たっては、1年で最も太陽高度が低く南側の軌道となる冬至と、太陽高度が最も高く北側の軌道となる夏至における「太陽の方位・高度」を用い

ば、その影響範囲の把握は可能であると考えられるが、今回の検討では、冬至と夏至に加え、秋分と春分の4日分の計算・検討が可能となるツールとして作成した。

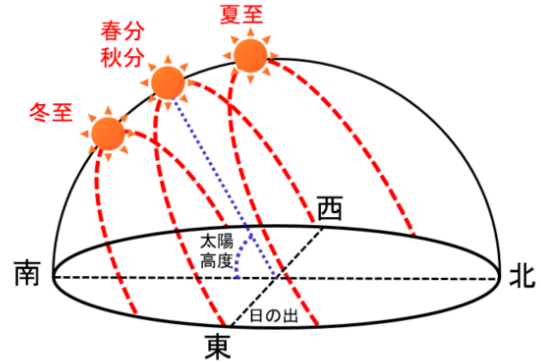


図-4 季節別の1日の太陽高度（イメージ）

(3) 反射光の方位・高度

太陽光パネルは通常、傾斜角（一般的には 15° ～ 45° 程度）を有して設置されている。また、太陽光が設置されている建物の向き等より、パネルの方位角が生じる。

入射する太陽光とこれらの角度の影響により、太陽光は上に反射したり下に反射したりする。また、方位についても、入射方向から反対の方位に反射して進むこともあれば、入射方向に戻っていくように反射することもある。

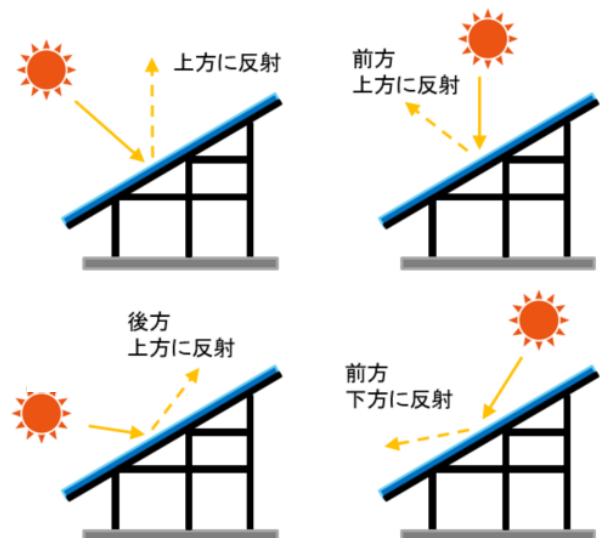


図-5 反射角・方向のパターン例

反射光の方位・高度を求めるためには、これらパネルの傾斜角と方位角を踏まえて計算する必要がある。計算に当たっては、反射パターンによって計算式を場合分けする必要があるが、場合分けが不要な方法として、太陽光を3次元ベクトルとみなして計算する方法を採用した。計算概要は次の各項のとおりである。

a) 太陽光線の3次元ベクトル化

任意の方位・高度を有する太陽光線について、3次元ベクトルで表す。

座標は、X軸を東西方向（東を正、西を負）、Y軸を南北方向（北を正、南を負）、Z軸を高さ方向とする。また長さは、単位長さとする。

任意の太陽光線を3次元ベクトルとして座標変換する方法等は、大学等のウェブサイト上でも公開されており、これらも参考に算出した。

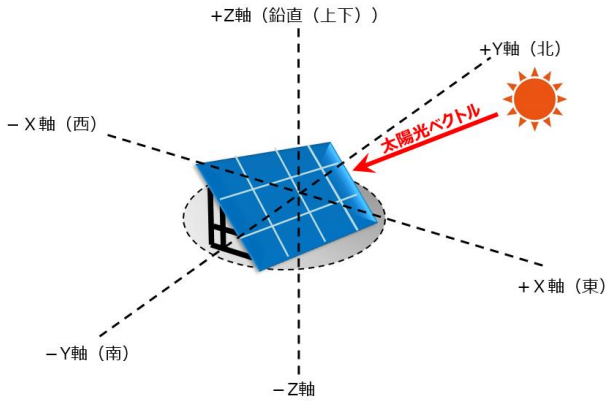


図-6 回転前の太陽光ベクトル
(パネルが方位 α° 、傾斜 ϕ° の状態)

b) 太陽光ベクトルの回転

太陽光パネルの方位角、傾斜角について、単純な入射角=反射角として計算できるように、3次元ベクトルに置き換えた太陽ベクトルを回転させる。まず、①Zを軸にパネルの方位角をX軸と垂直になるよう $+\phi^\circ$ （時計周りを+とする）回転させる。次に、②Xを軸に傾斜角分 $+\alpha^\circ$ （時計回りを+とする）回転させる。これにより擬似的に太陽光パネルが、地面と平行（傾斜角なし）で方位角がX軸と垂直（真南）に設置された状態とみなせる。（その状態に対応した太陽光ベクトルを求める。）

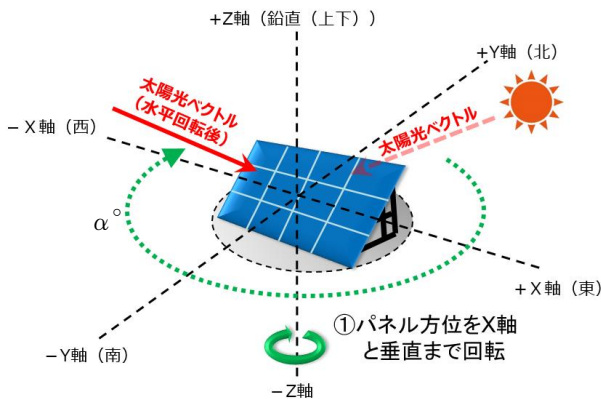


図-7-1 太陽光ベクトルの水平回転

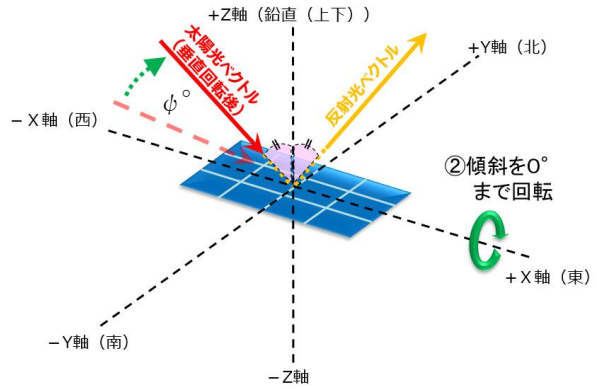


図-7-2 太陽光ベクトルの垂直回転と
回転後ベクトルに対する反射光ベクトル

c) 反射光ベクトルの算出

今回の検討では、太陽光は直線反射として扱うため、擬似的に太陽光パネルが、地面と平行（傾斜角なし）で方位角がX軸と垂直（真南）に設置された状態とすれば、反射光のベクトルは、b)項により求めたベクトルについて、 R_x と R_y の値をそれぞれ反転させる（プラスマイナスを逆にする）ことで反射光ベクトルを求めることができる。

d) 反射光ベクトルの傾斜角、方位角の回転

前項までの計算で算出された反射光ベクトルは、方位角と傾斜角が実際のものとはずれている状態となる。このため、b)項と逆の順に角度を戻し、実際の傾斜角、方位角を反映させる。具体には、③Xを軸にパネルの傾斜角分 $-\alpha^\circ$ 回転を戻し、④Zを軸に方位角分 $-\phi^\circ$ 回転を戻す。

これにより、反射光ベクトルは、実際の反射方位、高度が反映されたベクトルとなる。

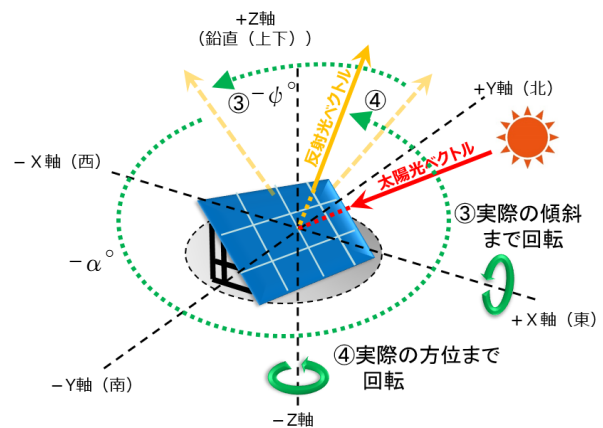


図-8 反射光ベクトルを実際の反射光ベクトルへ回転

e) 反射光ベクトルの方位角及び高度への変換

最終的に得られた反射光ベクトルの座標を、計算により再び方位 ($0^\circ \sim 360^\circ$)、高度 ($-90^\circ \sim 90^\circ$) に変換して、反射光の方位・高度の数値として表す。

実際の計算では、パラメーターとして、日付、時刻、緯度・経度、パネル方位角、パネル傾斜角に加え、パネル設置面高さ及びパネル設置基礎高さ等も考慮する。

(3) 計算ツール等の作成

今回、表計算ソフトを活用し、計算ツールを作成した。

計算に必要なパラメーターは、前節で記載したとおり日付、時刻、緯度・経度、パネル方位角、パネル傾斜角、パネル設置面高さ、パネル設置基礎高さ等とした。

上記数値を入力すると、30分毎の反射光の方位・高度が自動で算出されるよう作成した。

日時・位置パラメータ		太陽パラメータ				パネルパラメータ								
日付	時刻(24h)	北緯	東経	太陽方位角 rad	太陽方位角 度	高度 rad	高度 度	パネル方位角 rad	パネル方位角 度	パネル傾斜角 rad	パネル傾斜角 度	パネル傾斜角 度	パネル傾斜角 度	下方 反射 最大 角 度
3月21日	0:00:00			3.108	178.1	-0.96	-54.0	3.142	180	0	0	0.349	20	-18.4
3月21日	0:30:00			0.192	11	-0.95	-54.3	3.142	180	0	0	0.349	20	-18.4
3月21日	1:00:00			0.405	23.23	-0.92	-52.5	3.142	180	0	0	0.349	20	-18.4
3月21日	1:30:00			0.597	34.21	-0.87	-49.6	3.142	180	0	0	0.349	20	-18.4
3月21日	2:00:00			0.764	43.75	-0.8	-45.7	3.142	180	0	0	0.349	20	-18.4
3月21日	2:30:00			0.907	51.94	-0.72	-41.1	3.142	180	0	0	0.349	20	-18.4
3月21日	3:00:00			1.03	59.02	-0.63	-36	3.142	180	0	0	0.349	20	-18.4
3月21日	3:30:00			1.138	65.2	-0.53	-30.6	3.142	180	0	0	0.349	20	-18.4
3月21日	4:00:00			1.234	70.77	-0.43	-24.9	3.142	180	0	0	0.349	20	-18.4
3月21日	4:30:00			1.321	75.71	-0.33	-19	3.142	180	0	0	0.349	20	-18.4
3月21日	5:00:00			1.403	80.38	-0.23	-13	3.142	180	0	0	0.349	20	-18.4

①太陽光パネル					②反射光を元の方位回転(完了)				
X軸 Rr	Y軸 Ry	Z軸 Rz	方位 Rφ	高度 Rα	X軸 Rr	Y軸 Ry	Z軸 Rz	方位 Rφ	高度 Rα
0.94403845	-0.33589893	-0.31363063	178.08	-54.04	-0.94403845	0.33589893	0.31363063	178.08	-54.04
0.111194839	0.57315737	-0.81257073	0	-54.26	-0.111194839	0.57315737	-0.81257073	0	-54.26
0.133856197	0.555041584	-0.73207584	33.21	-42.83	-0.133856197	0.555041584	-0.73207584	33.21	-42.83
0.364615733	0.536389677	-0.76114485	34.206	-49.87	-0.364615733	0.536389677	-0.76114485	34.206	-49.87
0.620304652	0.509699395	-0.71582921	43.465	-46.38	-0.620304652	0.509699395	-0.71582921	43.465	-46.38
0.83138918	0.464388733	-0.65762481	51.844	-41.12	-0.83138918	0.464388733	-0.65762481	51.844	-41.12
0.9313333	0.41054884	-0.58840701	59.016	-36.04	-0.9313333	0.41054884	-0.58840701	59.016	-36.04
0.781336678	0.36106161	-0.50606533	65.198	-30.6	-0.781336678	0.36106161	-0.50606533	65.198	-30.6
0.68911483	0.29970072	-0.4208953	70.707	-24.9	-0.68911483	0.29970072	-0.4208953	70.707	-24.9
0.56527325	0.22344895	-0.32550689	75.708	-19	-0.56527325	0.22344895	-0.32550689	75.708	-19
0.406067236	0.133002027	-0.22466695	80.388	-13.8	-0.406067236	0.133002027	-0.22466695	80.388	-13.8
0.18866891	0.036050245	-0.111307081	84.784	-8.375	-0.18866891	0.036050245	-0.111307081	84.784	-8.375

図-9 表計算ソフトでの作成結果

計算により得られた反射光の数値情報だけでは、近隣建物への影響の有無を検討するのは難しい。このため、計算結果を地図上に表示する方法を検討した。

表計算ソフトの機能だけでは、地図上に反射光の方位や高度などをプロットすることは難しいため、国土地理院のホームページで公開されている「地理院地図」のレイヤに、線やオブジェクトをプロットする機能を用いて、地図上に影響範囲をプロットすることとした。

「地理院地図」では、「geojson」と呼ばれる地理空間データ交換フォーマットで保存されたファイルの位置情報等に基づき、位置の属性を持った線やオブジェクトを作成し、地図に重ね合わせる事ができる。この機能を利用して、計算結果について表計算ソフト上で「geojson」のフォーマットで作図したい線等の情報を作成し、それらを反映させた「geojson」形式ファイルを自動作成できるツールとした。

反射光は地上50m以下の高さに影響する範囲を線として図示した。太陽光パネルは屋上設置のため、パネル設置高さも考慮した作図ができるものとした。また、影響する高さを、10mピッチで色分けして図示できるようにした。

なお補足であるが、国土地理院の地図にプロットするために、方位角、反射角から地上50m以下の高さに影響する範囲(線の長さ)を算出し、これらの数値を緯度・経度に変換することにより作図した。

3. 反射光の影響範囲の検討

前章で説明した計算ツールを活用し、某施設の屋上に太陽光発電パネルを設置するものとしてシミュレーションを行った。計算に当たっての設置条件は以下のとおりである。なお、設置条件は最も発電効率が高くなるパネル方位、パネル傾斜とした。

【設置条件】

- ・パネル 方位：180° (真南) 傾斜：30°
- ・パネル設置面高さ 12m + 1 m (基礎)

【計算の結果】

夏至(6月21日)における反射光の計算結果を表-1に示す。また、図-10に夏至における反射光の影響範囲を、図-11に冬至における反射光の影響範囲を示す。

図-10より、夏至において周囲の建物の一部に、反射光の影響を受けることが分かった。一方で、冬至においては、影響を受ける建物は無かった。

なお本稿には添付してないが、春分と秋分についても同様の検討を行ったところ、反射光の高度が高いことから、近隣建物への影響は無いことが確認された。

表-1 計算結果(夏至における反射光の方位、高度)

時刻	反射光
6:00	方位：248.42度 下方：-9.43度 ~反射
6:30	方位：245.52度 下方：-3.18度 ~反射
7:00	方位：242.33度 上方：2.92度 ~反射
7:30	方位：238.79度 上方：8.83度 ~反射
8:00	方位：234.83度 上方：14.51度 ~反射
8:30	方位：230.36度 上方：19.9度 ~反射
9:00	方位：225.28度 上方：24.94度 ~反射
9:30	方位：219.5度 上方：29.52度 ~反射
10:00	方位：212.95度 上方：33.53度 ~反射
10:30	方位：205.57度 上方：36.85度 ~反射
11:00	方位：197.42度 上方：39.34度 ~反射
11:30	方位：188.64度 上方：40.88度 ~反射
12:00	方位：179.53度 上方：41.36度 ~反射
12:30	方位：170.44度 上方：40.77度 ~反射
13:00	方位：161.71度 上方：39.13度 ~反射
13:30	方位：153.64度 上方：36.55度 ~反射
14:00	方位：146.34度 上方：33.15度 ~反射
14:30	方位：139.87度 上方：29.07度 ~反射
15:00	方位：134.17度 上方：24.44度 ~反射
15:30	方位：129.16度 上方：19.37度 ~反射
16:00	方位：124.74度 上方：13.94度 ~反射
16:30	方位：120.83度 上方：8.23度 ~反射
17:00	方位：117.33度 上方：2.3度 ~反射
17:30	方位：114.17度 下方：-3.81度 ~反射
18:00	方位：111.3度 下方：-10.07度 ~反射

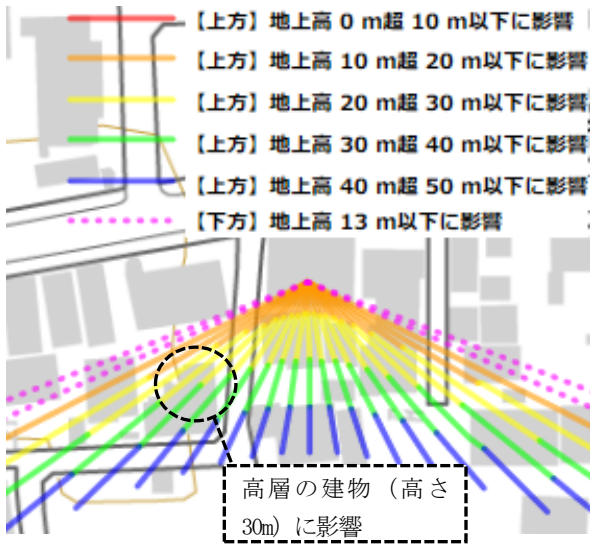


図-10 夏至の反射光の影響範囲検討図

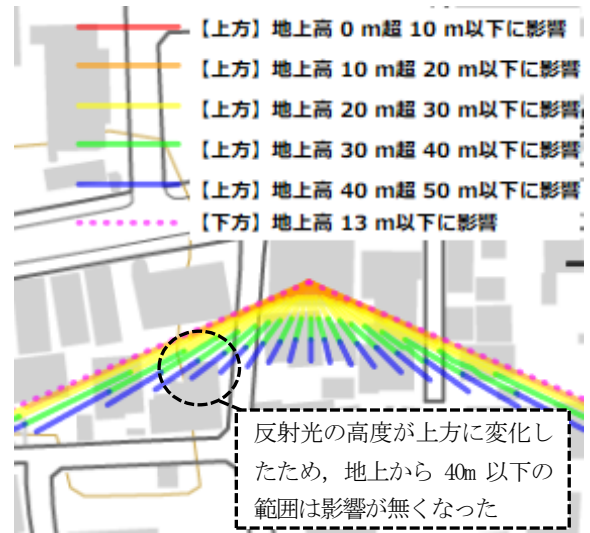


図-12 傾斜を20°に変更した場合の夏至の反射光の影響範囲検討図

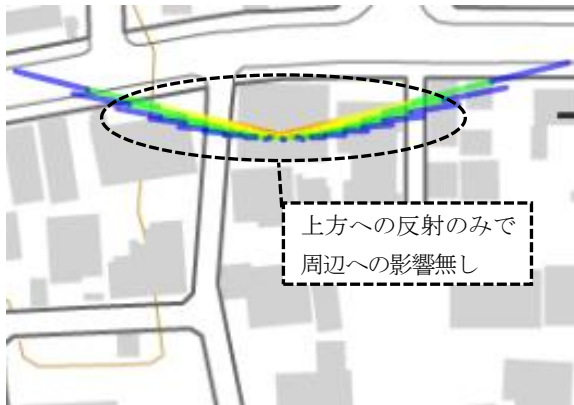


図-11 冬至の反射光の影響範囲検討図

傾斜角を変更した場合、冬至の反射光も変化するため太陽光パネルの傾斜角を30°から20°に変更した場合の計算を行った結果（冬至）を図-13に示す。



図-13 傾斜を20°に変更した場合の冬至の反射光の影響範囲検討図

4. 反射光害対策案の検討

太陽光反射光害の対策としては、太陽光パネルの傾斜角度の変更、パネルの方位角の変更、遮蔽板の設置等が考えられる。本章では、前章の事例に対して、これらの対策を導入した際の効果等について記載する。

(1) 太陽光パネルの傾斜角の変更

太陽光パネルの傾斜角を30°から20°に変更した場合の計算を行った結果（夏至）を図-12に示す。

傾斜角を20°とすると、反射光の高度が上方に変化したため、建物への反射光の影響を回避できることが分かった。

なお、傾斜角の変更により発電量が変化することが考えられ、今回の事例で傾斜角を30°から20°にすると、年間発電量予測が約1%の減少となる見込みであった。

冬至の場合は、傾斜30°に比べ20°のほうが影響範囲が大きくなることが分かった。

今回の場合は、影響する範囲内に建物は無く、周辺への反射光の影響は出ないことから、傾斜角度の変更を行ったことによる他の周辺建物への影響も無いことが確認できた。

以上のことから、パネルの傾斜角を変えたことにより、反射光の周辺建物への影響が回避でき、年間発電量予測も1%程度の減少にとどまるため、対策としては採用可能であると考えられる。

(2) パネルの方位角の変更

図-14に、太陽光パネルの傾斜角は30°のまま、パネルの方位角を東へ60°変更した場合の結果を示す。

反射光は東方向に変化する結果となり、元々影響のあった高層の建物への影響は回避できたが、他の建物に影響の出る結果となった。

なお、パネルの方位角の変更も発電量が変化することが考えられ、今回の場合、年間発電量予測で約9.8%の減少となる見込みである。また、パネルの方位角と建物の方位にずれがあると、パネル配置上設置可能容量の減少や、基礎形状の複雑化等のデメリットが考えられる。

このことから、方位角の変更は対策案としては、デメリットが多く採用は不可と考えられる。

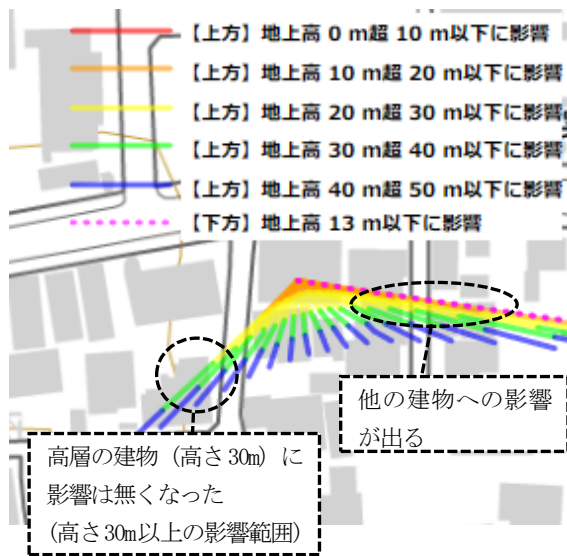


図-14 設置方位を60°東に変更した場合の夏至の反射光の影響範囲検討図

(3) 遮蔽板の設置

反射光を遮蔽板のようなもので遮断する場合、どの程度の高さが必要となるかについて、今回のツールにより計算した反射光の反射角を用いて、影響の出る高層の建物への反射光を遮るための高さを計算した結果、反射光の高度約15°～30°より、太陽光パネルから3m離れた位置に設置するものとして太陽光パネルの最上部+1.7m程度の遮蔽物が必要となることが分かった。

太陽光パネルの最上部の高さが1.5m程度としても約3m以上の遮蔽物が必要となる。

反射光の解消はできるが、太陽光パネルに対し、遮蔽物の影が落ちることによる発電量の低下、コスト面を考慮すると、デメリットが多く採用は不可又は、採用する場合、慎重な検討が必要であると考えられる。

(4) その他の対策

その他の対策としては、低反射タイプ（一般に防眩タイプと呼ばれる製品）の太陽光パネルを採用する方法が考えられるが、完全に反射光が解消されるわけでは無いため、反射光については、今回と同様に検討を行った上で、影響が回避できない場合に影響の軽減を図る目的で採用を検討することが考えられる。

5. 今後の課題

今回の研究は、反射光による影響の有無等を簡易に確認する事に重点を置いている。今後、対策の要否を判断する上で必要となる影響範囲や時間を精緻に確認するためには、以下の事項等について方法を検討する必要がある。

- 周辺建物の高さの確認方法
- 年間で影響を受ける総時間の把握方法
- 遠方にある建物への影響度合いの判断方法

6. まとめ

今回、専用のシミュレーションソフト等を使用せず、計算ツールと国土地理院地図機能を用いることで、反射光の挙動が確認できた。

本研究成果により、建設の計画段階等において周辺への反射光害の有無及び対策等の早期検討が可能となり、可視化による合意形成の迅速化、手戻り防止による業務の効率化等の効果が期待できる。

出典：国土地理院ウェブサイト

以上