

# 「積雪被害への備え」 積雪による被害を防ぐための太陽光及び屋根向け無人除雪ロボットの開発

ジョン・ソンデ\*1、イ・ヒョンジョン\*2

## 1. はじめに

2011年の福島原発事件以来、原発が中止にたっており、新エネルギーとして注目されている。太陽光発電システムは二酸化炭素の排出量を減らし、温暖化防止に貢献することで大いに注目を浴びている。地球の表面にわずか1時間の間に降り注ぐ太陽光エネルギーは、全人類が1年間消費するエネルギーの量に相当する。無限の太陽エネルギーが利用できるという点と、環境汚染が防げる点からも、限定資源である化石原料を利用した発電に比べ大きなメリットがある。しかし、太陽光発電システムは日中に限るし、大量の電力を生産するためには広い設置スペースが必要となる。なお、発電量にも日照量など、気候に左右されかねない点があるため、蓄電池を利用してはいるが、別途購入に伴うコストの上昇や放電などの問題を抱えている。

太陽光発電システムによる安定的なエネルギー供給のためには、一定の発電量が保たれなければならないので、均一な日照量は必須である。しかし、冬季には雪のため発電量は低下し、雪の凍結による発電設備の破損や故障などの問題もある。太陽光モジュールの上に雪が積もると、光の透過ができず、大幅な出力の低下を余儀なくされる。これにモジュールの表面に積雪予防システムを導入し、冬季の発電量低下の問題を解決したい。

根除雪の作業中、負傷したり死亡したりする人の数も年々増加している。



図 2 雪被害

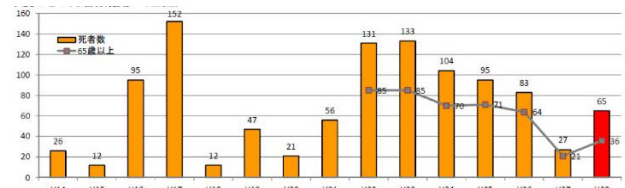


図 3 降雪による被害状況 被害状況(人的被害)一年度ごとの死者数推移 (全国)

(出典：今冬の雪による被害状況等/平成 29 年 5 月 9 日)

このような被害を減らし安全な作業のためには、無人で運営かつ制御できる除雪システムの開発が求められている。日本の太陽光発電市場において2011年の福島原発事件以来、原発が中止にたっており、新エネルギーとして注目されている。これに政府はFIT法を通じて太陽光市場を管理している。

なお、改定されたFIT法は O&Mを義務付けている。日本のMW規模の太陽光発電所O&M costは約 507万円/年(日本経済産業省通計)であり、豪雪地域の太陽光発電所の除雪市場の規模は5千億円(2017)と推算される。

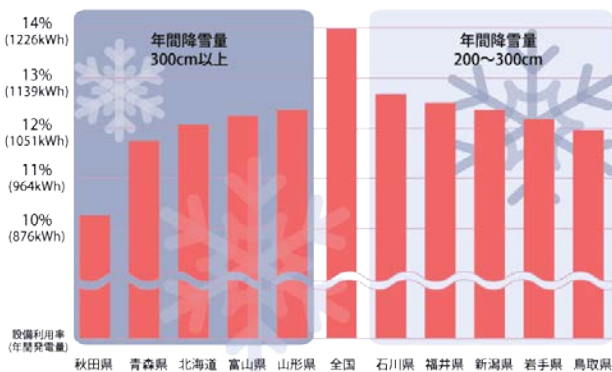


図 1 積雪地域における太陽光発電の設備利用率 (発電量)

### 1.1 背景

日本国土の約50%程度の面積が豪雪地帯であり、豪雪地帯の太陽光発電所は積雪により、15%以上の発電収益の損害や設備の破損などの被害を被っている。また多くの工場や家庭などでは直接屋根に登って雪を排除しているが、屋

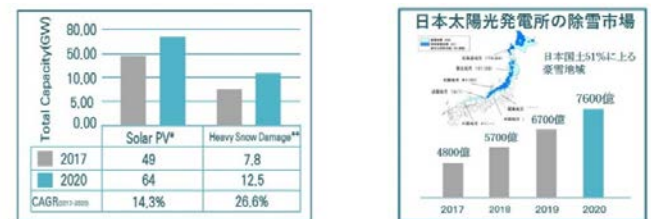


図 4 O&M 予想市場

### 1.2 研究方法

本研究では、かつて国内/外の太陽光発電システムの除雪技術及び産業動向を分析し、これを通じて冬季豪雪地域の太陽光発電効率を改善させるための無人除雪システムを提案する。実際の無人除雪システムをもって太陽光発電システムの出力向上効果を検証するため、2018年2月から約1ヶ月間、日本の北海道にて実物スケールの実験体を利用した除雪実験を行った。日本は韓国の10倍を上回る世界第3位の太陽光市場であり、全国土の50%程度の面積が豪雪地域

である。太陽光発電所は広い設置スペースを必要とするため、地価の安い林野や荒地などに設けられているが、豪雪地帯の場合が多い。

このため、特別豪雪地帯と指定している北海道での実験のために出力500W以上の発電システムを構築し無人除雪ロボットシステムの適用による発電量を比較した。

### 1.3. 国内/外 技術開発現況

韓国の汚れによる太陽光モジュールのクリーニング商用化事例は初期段階であり、除雪に関する技術の開発はほとんど進んでいない状況である。太陽光発電産業は大きくなっていくが外国に比べてそれを維持管理サービスは大変遅れている。

日本の場合、様々な除雪、洗浄の方法が開発されている。熱線をはじめとして多様な除雪機具も開発されていて各々状況に応じた除雪が行われており、積雪の取去と運搬が同時に可能な装備を開発し使用中にある。中にも地下水や工業用水を利用し屋根にスプリンクラーノズルを通じて撒水するシステムの場合、氷点下の気温でパイプ内の水が凍結したり、噴射された水が凍ったりする問題があり商用化にまでは至らなかった。除雪だけでなく洗浄の場合にも人力サービスが普通ではあるが、これは作業人の熟練ぶりや気象など、多様な条件のため、均一な結果が望めない。

表 1 関連技術現況

	除雪人力サービス	融雪システム	自動除雪機
写真			
特徴	人が直接作業 高価の除雪費用	除雪のみ可能 高価の製品価格	クリーニングのみ可能 高価の製品価格
初期コスト	\$1,450 (一回性)	\$50,000 (20枚, 百万円基準)	1台当り \$20,000 (エンジニア必要)
<b>太陽光モジュール 100 枚基準</b>			
メンテナンス	-	修理時、屋根の資材も一緒に入替えないので高費用	磨耗、機械故障 専門家点検必要
リスク	人事事故の恐れ	火災の恐れ	機械転落の恐れ

## 2. 無人除雪システム

国内/外を問わず、多くの除雪作業は人力に頼る方式を取っており、現在除雪機械の商用サービスを控えている。人力に頼る方式は広い範囲の除雪に対応が難しく、除雪に時間や莫大な費用がかかる。なお、人命被害（転落、孤立など）も生じる。そのため、除雪作業の効率を高め、作業者の安全性の確保と冬季における太陽光発電出力を向上させるた

めに無人オペレーティングシステムの開発が求められている。

本研究で使用した無人除雪システムはかつて雪下ろし棒を利用した手作業除雪からアイデアを得、太陽光モジュールの表面に積もった雪をかき落とす方式で積雪を防ぐ。除雪作業中、太陽光モジュールの破損を防止するため、内製の太陽光モジュール専用ワイパーを適用し、100%無人オペレーティングができるように設計した。作動原理は積雪センサーが大気中の雪を感知し、モータに入力信号を送って駆動する仕組みである。外気温度4℃で積雪センサーが水を検知すると、これを雪と見なし、入力信号を送る。ワイパーの駆動速度は4m/minに設定した。

表 2 無人除雪システム

ワイパー/モーター	積雪センサー	機械構造
①消費電力 AC 110V/220V, 80~100W, 50/60Hz	雪感知基板 パネルヒーター (パネル間隔 1.5mm)	駆動方式 ステンレス スチールベルト 駆動方式
②材質 ステンレス鋼, アルミ, ABS(内部部品)		
③動作温度 -40℃ ~ 70℃		

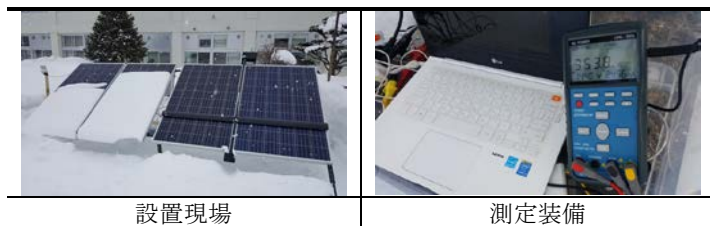
## 3. 実証実験

### 3.1 実験計画

本研究では無人除雪システム設置による太陽光発電出力向上の効果を検証した。日本の豪雪地帯である北海道にて実物スケールの実験体を構築し、無人除雪システムが適用されているか否かによる発電量を測定した。実験体は南西向の敷地に5,000\*5,000mm(横,縦)の大きさで、太陽光発電システム設置角度は30°にした。実験には出力250WのLoop社の製品(LP-250P-60H)を使用、比較実験のため、500Wの同じ出力に施工した。

10秒おきにデータを貯蔵し、Wattman社の HPM-300Aの待機電力計をもって発電量を測定した。この実験は2018年3月行われた。

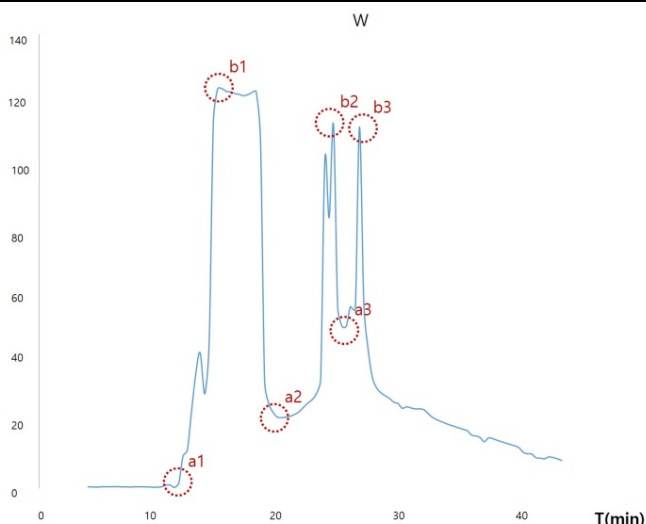
表 3 実験体計画



### 3.2 発電量比較

表3のように、試製品が取り付けられた太陽光パネルに電力計を設置し。北海道に雪が降った2018年3月16日実験を行った。太陽光モジュールに雪が積もる前、自動除雪するように設定した後、雪が積もった三つの区間(a)を基準とし、除雪された三つの区間(b)の瞬間電力を待機電力計で比較測定した。測定したデータは表4のようである。

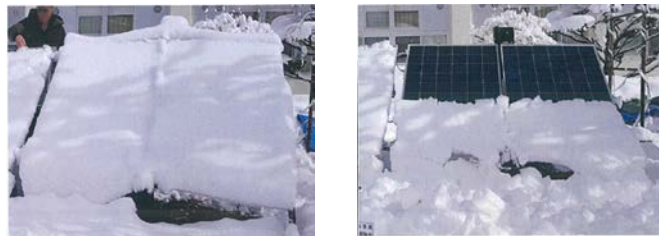
表 4 発電量データ



電力分析グラフ

順序	積雪時の電力 a (W)	除雪時の電力 b (W)
1	0.76	122.39
2	21.82	115.57
3	48.01	104.28

区間別電力測定



電力測定開始前

電力測定開始後

図 5 積雪及び除雪時の電力分析

図1と表4でわかるように、積雪時には太陽光がモジュールを透過できないため、発電量は0に近い。雪以外にも物陰などによっても電力量が下がるのも見られるが、その差は大きくない。

発電効率は記録されたデータ値を基に算出されたもので、算出結果、発電効率は平均384.7%伸びた。今回の検証は3月中、一日間、短期間のものだが、これから長期的な発電効率上昇による収益向上に関するモニタリングも行うべきである。

### 4. おわりに

現在国内において太陽光モジュールの除雪、洗浄に対する需要が高まっているが、これに対する研究は微々たるものだ。このような現状の中、効率的な除雪方案の提示のため、国内/外の技術開発現況及び関連市場を分析し、日本の北海道で性能検証実験を行い、出された研究結果は次のようだ。

- 1) 国内の場合、汚染物質による太陽光モジュール洗浄の商業化事例はほとんどなく、除雪に関する技術の開発は進んでいない。
- 2) 除雪をする類似製品として雪おろし棒をもって雪をかき落とす人力サービスが常用化してはいるものの、これは一回性の作業であり、人事事故の恐れに伴う人件費の上昇も生じる。
- 3) これに、気象条件を自動で感知するセンサーを通じた無人オペレーションが可能なシステムを提案する。無人システムは太陽光モジュールの破損などを防ぐため、専用の除雪ワイパーを開発した。
- 4) 除雪の性能検証のために2018年3月、日本の北海道で500Wを計画し、実験の結果、発電効率は平均384.7%伸びた。

今回の検証は3月中、任意に1日を選び、一日の間、測定したデータ値であり、今後持続的なモニタリングが必要である。なお、無人除雪システム設置の経済性についても分析が行われなければならない。

## References

1. チェジョンウォン、住宅用太陽光発電設備の維持管理  
 方案に関する研究 博士学位論文、韓国交通大学大学  
 院建築工学科、2016
2. ジョンジュファン 外6、屋根の除雪及び冷却装置、  
 大韓電気学会、2014
3. チェソンデ 外2、太陽光発電効率向上のための洗浄  
 システム開発に関する研究、韓国機械加工学会、201  
 0