

寒地未来生活環境研究所について

Introduction of the Institute of Life Environment for Future in Cold Region

竹澤 聡* 福島 明**
魚住 昌広** 千葉 隆弘** 矢神 雅規***

Satoshi Takezawa, Akira Fukushima, Masahiro Uozumi
Takahiro Chiba and Masahiro Yagami

概要

平成29年4月1日、積雪寒冷地における、持続可能な住環境の構築に資する技術の開発及び人々の生活環境を支援・向上することを目的に、既存の「寒地環境エネルギーシステム研究所（平成24年4月1日開設）」と「寒地ヒューマンサポートシステム研究所（平成25年4月1日開設）」を統合し「寒地未来生活環境研究所」を新たに開設した。本研究所は、寒冷地生活環境に潜在するさまざまな問題を解決する目的として、人、医療、機械、情報、電気、建築及び土木分野における技術のシナジー効果を最大限に発揮し、新たな学際的・分野融合的領域の創出を目指す研究・開発を推進している。また、本研究所は、従来までの個別の研究プロジェクトへの支援ではなく、学長のリーダーシップの下で推進される研究を通じた全学的な「ブランディング」に係る取り組みとして支援する特徴を持ち合わせている。本稿では、研究成果を戦略的に発信する全学的な事業推進・支援体制の整備の一翼を担う本研究所を紹介する。

1. 本研究所の設立の意義について

大学を研究でブランディングする、とはどういうことか。それは、研究を研究者個人の学術的な側面だけに留まらず、大学の組織的な取組へと昇華させ、全学的な看板となる研究を推進し、その成果をもって、大学の目指す将来展望に向けて独自色や魅力を発信する取組である。個々の研究者あるいは個々の研究組織での取組だけでは到底なし得ず、大学を取り巻く現状と課題を適切に分析し、大学全体としての目指すビジョンに向け、研究成果を戦略的に発信する全学的な事業推進・支援体制の整備が前提となる。

本研究所は、従来までの個別の研究プロジェクトへの支援ではなく、学長のリーダーシップの下で推進される研究を通じた全学的な「ブランディング」に係る取組として支援することを特徴とする。各大学での将来性の検討を行う全学的体制を充実させる機会となるとともに、18歳人口の急激な減少や地域社会の衰退への懸念が高まる中、私立大学が持つ強み・独自性をより一層強化し、私立大学全体としての多様性を発揮させることで、グローバル社会

において我が国が持続的に発展していくための一助となる研究成果が求められる。また、今年度の事業実施に際して、本学において事業の目的に沿った取組が確実に行われるよう、事業趣旨の明確化を目的として、研究推進委員会（座長：高島敏行副学長、委員長：谷口尚弘地域連携推進センター長）による定期的な研究進捗状況の精査が行われている。主な観点は、○研究計画書に係る実行力、○研究ブランディング活動の設計内容を審査（ターゲットの具体化・明確化）、○具体的な成果目標と指標の設定（多様な情報発信手段の検討、PDCAサイクルの構築等）となっている。

本学のこれまでの研究実績を元に、集約された知見を地域の課題解決に活かすもの、地域の産業支援と人材育成に貢献するものとしてのブランド確立を目指すものなどが、他大学の参考・励みとなり得ると考える。そのため、選定された本学においては、事業計画を確実に推進することはもとより、表1に示すような北海道が抱える問題、社旗構造が抱える問題に立脚した研究課題を事業実施期間中に確立した研究ブランディング戦略を、事業終了後も大

* 北海道科学大学工学部機械工学科
** 北海道科学大学工学部建築工学科
*** 北海道科学大学工学部電気電子工学科

学として継続し、重点的に高めていくことが今後肝要と考える。研究活動とブランディング活動に連動性させ研究ブランディング戦略に関する評価が得

られるよう研究所運営方針に沿って研究を活性化させ、より一層の改善・充実に向けて不断の研究の充実を未来に向かって前進する所存である。

表 1 2017 年度の研究所活動の概略

■ 2017(平成 29) 年度 研究所運営方針と成果 ■

■ 研究テーマ・研究員・研究内容	
<p>1. スマート住宅におけるウェルビーイング・サポートサービスの開発 【ブランディング計画】</p> <p>○竹澤 聡、福島 明、林 裕子、川上 敬、松田 寿、魚住昌広、福良 薫、小島洋一郎、真田博文、千葉隆弘、矢神雅規、松原三智子、細川 和彦、宮田久美子、大内潤子、和田直史</p>	<p>本研究は、看工融合のフレームワークを策定及びグループ毎に調査・計測・設計を開始させ、積雪寒冷地特有の室内健康環境の維持、スマート住宅内の疾病、傷害、独居の在宅生活人に必要なサポートシステムの質的向上を目指し、ロバストな双方向情報交換システムを実現する住宅構造提案を目標とする。あわせて、関連する次年度の科学研究費研究種目に申請を果たした。</p>
<p>2. 無人機飛翔ルールに基づく「近未来技術実証特区」確立支援の研究</p> <p>○竹澤 聡、川上 敬、小島 洋一郎、細川 和彦、成田泰志※（※株式会社 雪研スノーイーターズ 学外研究員委嘱予定）</p>	<p>本研究は、人手不足に悩む職場の作業効率の改善および市民生活の安全安心の向上に資する基礎資料を得るために無人機飛行実験を実施し、課題の一つである確実な安全対策を施すための方策を明らかにすることが目的である。その成果については、学術的視点から日本機械学会、電気通信学会、土木学会などにて、安全教育的視点からは工学教育の各論文に投稿を予定したが、飛翔実験エリアの問題から研究テーマの見直しを図ることとした。</p>
<p>3. AI や IoT の利活用による北海道農水産物の簡易評価支援技術の開発</p> <p>○小島洋一郎、竹澤 聡、川上 敬、矢神雅規、和田直史、岩波俊介※、山口和美※（※苫小牧高専・科研費分担者）</p>	<p>本研究は、①北海道の農水産物にターゲットを絞り、各種センサと人工知能、さらにはヒトの感性評価を融合し、安全要求に寄与する簡易かつ迅速な品質評価・管理手法の確立と、②北海道産食品のブランド化戦略に向けたデータ取得を目的とする。成果は、学術的な視点として電気学会、日本食品工学会、日本感性工学会、日本味と匂学会に、これらの研究を通じて得られる教育的視点からは工学教育学会等へ論文の投稿を果たした。あわせて、関連する次年度の科学研究費研究種目に申請を果たした。</p>
<p>4. 積雪寒冷地における両面発電を活用した櫛形配置による多機能太陽光発電システムの開発</p> <p>○千葉隆弘、福島明、細川和彦、矢神雅規、魚住昌広</p>	<p>本研究の目的は、反射塗装を施した陸屋根に太陽電池を垂直設置することで、雪庇対策を行うとともに、両面発電の特徴を活かして発電効率を高く維持したまま、維持管理負担を軽減しながら、耐雪型の太陽光発電システムを構築することである。その成果については、日本建築学会、雪氷学会、空気調和衛生工学会等にて学術的視点で公表する他、民間企業等と連携し実用化を目指す。あわせて、関連する次年度の科学研究費研究種目に申請を果たした。</p>
<p>5. 雪氷環境における自然エネルギー発電システムに対するプラズマ電極実用化の研究</p> <p>○松田 寿、千葉隆弘、矢神雅規、竹澤 聡</p>	<p>北海道は風力エネルギーの宝庫であるが、冬季には風車ブレードの着氷トラブルが発生するなどの課題を抱えている。プラズマアクチュエータは駆動部を持たない流体制御デバイスの一つであり、薄い電極で構成されるため、既存翼への対応も可能である。ここではプラズマ発生時に発生する熱を利用した風車ブレードに対する Anti/De-icing 効果について実用可能性を検討する。日本風力エネルギー学会への論文投稿を目指す。あわせて、関連する次年度の科学研究費研究種目に申請を果たした。</p>
<p>6. IF 医療チームによる寒地型疾病や障害をともなう在宅生活を維持するためのサポートシステムの開発研究</p> <p>○林 裕子、真田博文、福良 薫、松原三智子、大内潤子、宮田久美子、和田直史</p>	<p>本研究は、季節変化のなかで、疾病や障害などを持ち健康になんらかの不安（以下、健康障害）とともに在宅生活している高齢者を対象に、健康を維持しながら暮らし続けるための天候状況に応じられるサポートシステムを構築するために、need や want を明らかにするための調査と、その need や want を切り分けた具体的なサポートシステムを検討することが必要と考える。あわせて、関連する次年度の科学研究費研究種目に申請を果たした。</p>

2. 自然換気で熱回収

寒冷地に建つ住宅の自然換気システムの研究に取り組んで、25 年になる。近年では、本州でも取り組むホームビルダーが現れている。兼ねてから温めていたアイデアを、2 年前から科研費を利用して取り組み始めた。(図 1) これまで、日本建築学会を始め国際学会にも投稿を重ね、これまでにないアイデアに取り組むことは大変重要なことである。

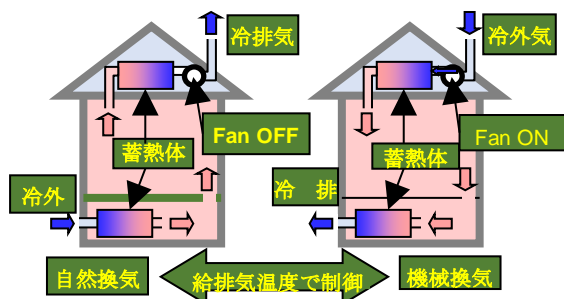
2.1 最適材料と制御を求めて

空気を通す蓄熱体を使うが、素材選びに苦労を要する。幾つかの素材を検討し、性能を検証した。本学の低温恒温実験室を使い、実験とシミュレーションを比較しながら、求められる性能と、制御の方法を検討した。ゼミ生には3代にわたって、試作と実験に取り組んできた。

2.2 実用化に向けて

使用する材料と制御方法が決まり、本格的なプロトタイプを作成している。制作の作業性、住宅へのインストールの合理性、使いやすい制御盤など、検討項目は多岐にわたる。制御盤は、3次元プリンターで制作し、一般住宅に設置できるレベルを実現した。

現在、実証住宅に設置し、実用実験に入っている。設置の過程で、改善点も発見され、これから更に検討重ねる必要がある。製品化には、もう少し時間を要するが、誰も見たことのない装置がそう遠くない未来に、北海道の住宅に使われる日が来ると信じて取り組んでいる。



自然換気時：蓄熱体を温め、冷えて排気
機械換気時：蓄熱体を冷し、温めて給気

図1 熱回収ハイブリッド換気のアイディア

3. 恒温恒湿チャンバー設備

北海道科学大学共同実験棟（R2 棟）には、「恒温

恒温チャンバー室」が設置されている。同室はビルドインチャンバータイプであり、恒温・恒湿機能を持つA室と恒温機能持つB室の2室より構成されている。また温湿度のスケジュール設定機能も有するため、気象条件の日（週・月）変動を設定することで気象条件を再現した実験も可能である。

同設備を使用して、建築学科、機械工学科、電気電子工学科などが、寒冷地の気象条件化における建築材料、工法、機器等の開発に関わる実験・試験（建築外装材や塗装材の耐候試験、材質や工法・勾配等による屋根雪の滑落雪試験、着氷・着雪による屋外設置機器への影響の解析、低温環境下での暖房・換気機器の能力試験等）を行っている。

表2 恒温恒湿チャンバー室仕様

	A室	B室
温度制御範囲	-10℃～+40℃	-30℃～+40℃
湿度制御範囲	30～90% ^(※)	—
温湿度変動幅	±0.5℃/±3.0%	±0.5℃
温湿度分布	±1.0℃/±5.0%	±1.0℃
許容負荷	発熱MAX0.5kW	発熱MAX0.5kW
室内寸[m]	2.5W×5.2D×2.4H	2.5W×5.2D×2.4H
プログラム記憶容量	RAMパターン 50パターン(最大1000ステップ)	
	ROMパターン 10パターン(最大200ステップ)	
室内寸[m]	2.5W×5.2D×2.4H	2.5W×5.2D×2.4H

(※) at+20～+40℃



図2 恒温恒湿チャンバー室外観

4. 自然雪風洞装置

4.1 設置の目的

冬期における生活の安全・安心を確保するため、様々な分野で雪対策が考えられている。その対策の検証には、観測や実験が不可欠である。吹雪対策の分野では、縮尺模型や実物大の試験体を用いた屋外観測に加えて、粉体を用いた吹雪風洞実験が古くから行われてきた。特に、道路の分野では、冬期の道路交通を確保するため、除雪車や道路防雪柵の開発が進められた。その際に活性白土を用いた吹雪風洞実験が行われ、数々の成果が生み出されてきた^(1, 2, 3)。建築物における雪荷重評価の分野においても、図3に示す本学が所有する活性白土を用いた粉体吹雪風洞装置によって屋根形状と屋根雪分布との関係が明らかにされ、その成果がIS04355（屋根雪荷重の設定）や日本建築学会建築物荷重指針・同解説に提示されている「屋根形状係数」に生かされている。

近年、吹雪風洞実験で要求される成果に変化がみられる。粉体吹雪風洞装置では、構造物周辺や建築物の屋根上に形成される「吹きだまり」を再現することが要求されてきた。しかし、吹きだまりに加えて、「着雪」や「落氷雪」に対する成果も求められるようになり、活性白土のような粉体では、再現できない物理現象が要求されるようになった。一方、防災科学技術研究所雪氷防災研究センターでは、1997年に、雪氷防災実験棟（現雪氷環境実験室）を山形県新庄市に設置した。本実験棟では、自然雪に近似した人工雪を作製することができ、さらに、低温室内に風洞装置を設置しており、これまでになかった吹雪風洞実験ができるようになった。吹きだまりの再現に関しては、相似則の問題が解決されていないものの、その実態解明に関する研究が進められる一方で、着雪や落氷雪を対象とした実験が可能となり、様々な大学・企業が本実験棟を利用している。このような吹雪風洞実験に対して多様化した要求にこ

たえられる装置は、現在、この雪氷防災実験棟にしか存在しない。

本学では、基本理念の一つに「地域社会への貢献」を掲げており、その基本理念を背景として「北国の生活環境」をキーワードとした大学のブランディングに力を注いでいる。これらの取り組みの一環として、社会的要求が存在するにも関わらず国内には少ない「自然雪風洞装置」が2017年3月に設置されたと筆者は理解している。このようなことから本節では、本学が所有する自然雪風洞装置の概要を示すものとする。

4.2 風洞装置の概要

自然雪風洞装置の概要を図4および写真1に示す。形式はエッフェル型であり、縮流洞8m、測定洞7m、全長15mである。測定洞断面が1m×1mであり、最大風速は18m/sである。なお、本装置が設置されている空間は、-10℃まで冷却できる。また、測定洞風上側の上面および下面に自然雪の供給口を設け、測定洞で吹雪を再現するものとなっている。測定洞への自然雪の供給状況を写真2に示す。上下面のいずれもブラシを回転させて測定洞へ自然雪を供給する。なお、上面では降雪を、下面からは地吹雪を

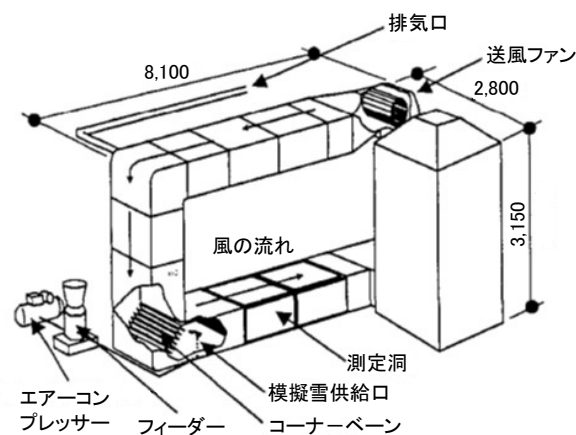


図3 本学が所有する粉体吹雪風洞装置

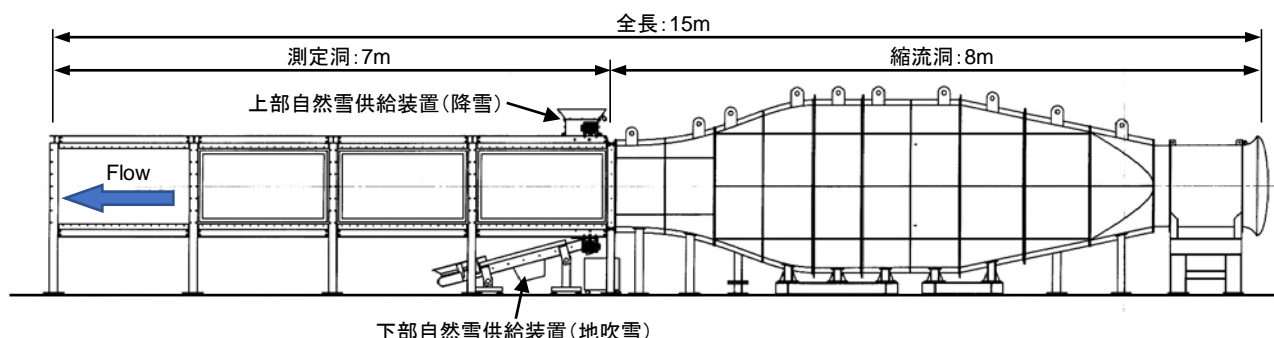


図4 自然雪風洞装置の概要



写真1 自然雪風洞装置の概要



写真2 自然雪の供給状況

再現するものとなっている。

4.3 測定装置の概要

本風洞装置では、雪粒子の挙動を追尾して流速分布等を得る PIV/PTV システムを導入した。本システムは、ハイスピードカメラで撮影した映像を用いて雪粒子の挙動を解析するものである。ハイスピードカメラの仕様を表3に示す。なお、撮影の際に照射するレーザーシートの最大出力は800Wである。

表3 ハイスピードカメラの仕様

品名・型名	Phantom V1212
センサー	CMOS センサー 画素数：1,280×800
最短露光時間	1 μ s
撮影速度	12,600fps

ハイスピードカメラで撮影した映像の一例を写真4に、雪粒子を追尾した解析結果を図5に示す。なお、撮影速度は1,000fpsであり、PIV/PIV解析ソフトウェアにはFlowExpert(カトウ光研)を用いた。本映像は、高さ0.3m、幅0.6mのアルミ平板を測定洞高さ中央付近に設置して行った着雪実験で得られたもので、比較的小さな雪粒子まで映像に収めら

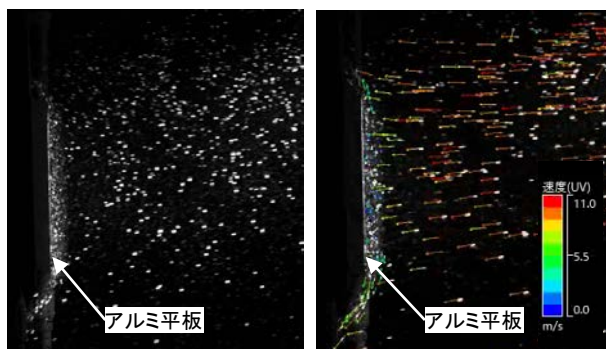


図5 撮影した映像と雪粒子を追尾した解析結果

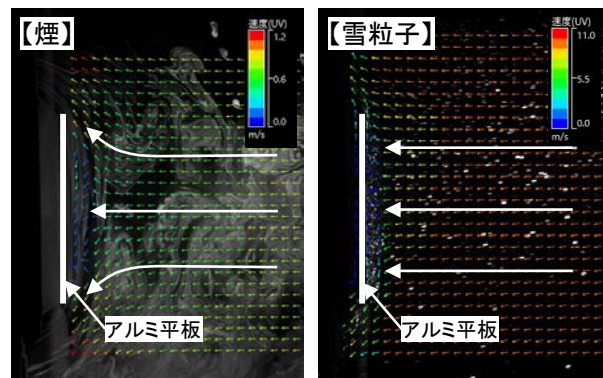


図6 解析結果の比較

れている。解析結果をみると、追尾できた雪粒子にはベクトルが示され、その数は極めて多い。ここで、煙による流れの可視化映像から解析した流速分布と雪粒子の追尾によって得られた流速分布を比較すると図6となる。煙から得られた流速分布をみると、平板の風上側で気流が剥離している様子がわかる。これに対し、雪粒子の追尾で得られた流速分布をみると、雪粒子が剥離流に沿って挙動せず、慣性力によってそのままアルミ平板へ衝突する傾向を示している。このように、雪粒子の質量が影響して気流と異なる挙動を示すことが明らかであり、雪粒子を追尾した解析によって新たな知見が得られる可能性が高いことが本風洞装置の大きな存在意義であると考えられる。

5. 追尾式両面太陽光発電システム

5.1 導入の背景

時系列で見た再生可能エネルギー電源の発電特性とその地域の電力需要特性の適合性は、電力供給力の確保、環境への影響、再生可能エネルギー電源の余剰電力問題などに関わる重要な要素である。冷房需要よりも暖房需要が大きい北海道では、12月～2月の厳冬期に電力需要のピークがあるが、この時期の強い季節風を捉えて発電量を伸ばす風力発電は、季節単位の需給特性の適合性という意味では北海道に適する電源といえるかもしれない。一方、太陽光発電については、冬期の低日射特性と積雪による発電障害のために、寒冷による発電効率向上のメリットはあるものの他の季節と比較すると発電量は少なめである。特に気温が低い地域では、モジュール面の積雪がフレーム部に着氷することで滑雪が妨げられ、発電不能の状態が長引くことがある。

このような積雪寒冷に伴う発電障害を回避し、冬期の旺盛な電力需要に対応できる太陽光発電システムの実現を目指して、当研究所の細川和彦研究員と矢神雅規研究員は、北海道と札幌市の補助の下にPVG Solutions 株式会社（平成28年8月1日より（株）北海道 PVGS が継承）、フジプレアム株式会社、株式会社 KITABA の3社と共同で図7に示す追尾式両面太陽光発電システム（以下、追尾式両面PV）を製作した。表4に示す評価項目に基づいて、2015年10月より北海道科学大学敷地において実証試験を行っている。

5.2 設備構成と特徴

追尾式両面PVは、両面太陽電池モジュール（230W×20枚=4.6kW）、太陽追尾2軸架台、降雪センサ（市販のロードヒーティング用センサ）、シーケンサ、I-Vカーブトレサ等で構成されている。本システムは送電網に連系されておらず、I-Vカーブトレサで最大電力点（MPP）を抽出して発電電力を計測している。試験場にはこの他に、図8に示す気象観測設備と比較検証用の固定式片面太陽光発電システム（以下、固定式片面PV）が設置されている。

追尾式両面PVは、シーケンサに予め登録されている太陽軌道データに基づいて、太陽電池アレイの傾斜角と方位角が太陽と正対するように自動駆動する。降雪を検知すると方位方向の追尾を継続しながら傾斜角を増やして積雪を回避する。また本システムには強風に対する保護機能が備わっており、設定値以上の風速を検知すると傾斜角を減らしてアレ



図7 追尾式両面太陽光発電システム

表4 実証試験の評価項目

	評価項目	評価の観点	評価方法	評価アウトプット
1	積雪寒冷地での追尾架台の動作	・積雪寒冷条件でも支障なく追尾動作できるか ・積雪寒冷期間の保守性	・監視カメラによる映像監視 ・O&M記録の作成と分析	・オペレーション分析 ・施工性と保守性の評価
2	システムの発電量、設備利用率、発電特性	追尾架台使用時の両面太陽電池の発電特性	・固定式と追尾式の発電量比較 ・積雪回避機能の有無の発電量比較	短期・長期・季節単位の発電量と設備利用率の評価
3	両面太陽電池と追尾架台の相乗効果	両面太陽電池と追尾架台の双方の利点を活かしているか	設計配慮観点の抽出と実設計	設計配慮観点の結果と図面作成
4	総合評価	期待通りの結果が得られたか	上記の方法による総合評価	総合評価・課題報告



図8 気象観測設備

イが受ける風の抗力を低減する。追尾架台にも特徴がある。風力発電のように発電部を一本の柱で支える架台としているが、これは裏面モジュールの遮光部を極力減らすと共に、アレイ下部の空間を駐車場や農地などに利用するなど、遊休スペースを作らないための工夫である。

両面太陽電池モジュールには、従来の片面モジュールと比較して設置面積当たりの発電量が大きい

こと、表面モジュールが着雪によって発電できなくなっても裏面モジュールが発電することでモジュール温度が上昇し、融雪・滑雪を早める効果が期待できるなどの特徴がある。

5.3 試験状況

図9に降雪時の観測画像を示す。(a)図は固定式片面PV(左:33度傾斜/南向,右:45度傾斜/南向)であり,(b)図は追尾式両面PV(左:積雪回避機能あり,右:積雪回避機能なし)であるが、積雪回避機能を有する追尾式両面PVの着雪量が最も少なく、積雪回避機能の有効性を確認できる。

図10に2015年11月～2016年10月に観測された月別発電量、全天日射量および降雪量を示す。なお図中の“固定式”は33度傾斜の固定式片面PV,“追尾式”は積雪回避機能を有する追尾式両面PVの発電量をそれぞれ示している。追尾式両面PVの年間発電量は9,180 kWh、設備利用率は23.6%であり、これらは固定式片面PVの約1.5倍に相当する。設備利用率の目標値を20%としていたが、この1年に関しては目標を十分に上回る結果が得られた。なお積雪回避機能を有する追尾式両面PVシステムの年間の自己消費電力量は、駆動モータの定格容量と駆動時間、シーケンサおよび降雪センサの定格電力と待機時間から試算した結果、年間発電量のおよそ1%であった。

5.4 今後の研究について

本事業の目的は、従来の固定式片面PVと比較して発電量・設備利用率が高く、冬期の発電量の低下が少ない太陽光発電システムを実証して、積雪寒冷地域を中心に普及させることにある。上述のように、年間を通じた発電試験では目標値を上回る発電量と設備利用率が得られ、本システムの優位性を確認できたが、対応が必要な追尾式両面PVならではの特徴もいくつかわかった。例えば、①冬期は気温低下に伴う太陽電池セルの発電効率向上効果に加え、裏面モジュールに雪面からの反射光が入射するためシステムの定格容量を超える発電電力が発生しやすい→そのため従前のようにPVと同容量のパワーコンディショナ(以下、PCS。送電網に連系するための設備)を採用するとPCSによってカットされる電力量が増えてしまい設備利用率が低下する、②太陽追尾により日の出、日の入の時間帯から発電電力が大きく、一日の発電特性が従来の山形ではなく台形のような形になる→そのため本システムが普及すると電力需要の少ない早朝に余剰電力が発

生する可能性があるなど。これらの例はどちらも発電量が増える好ましい特徴を示すものではあるが、実運用において対応が必要な特徴でもある。現在はPCS容量の決定方法⁽⁴⁾、気象観測所の統計データ(全天日射量または日照時間)から追尾式両面PVに入射する傾斜面日射量を算定し、各地で運用した場合の発電量を推定するための検討⁽⁵⁾等を行っている。



(a) 固定式片面PV (比較用)



(b) 追尾式両面PV

図9 降雪時の発電設備の様子

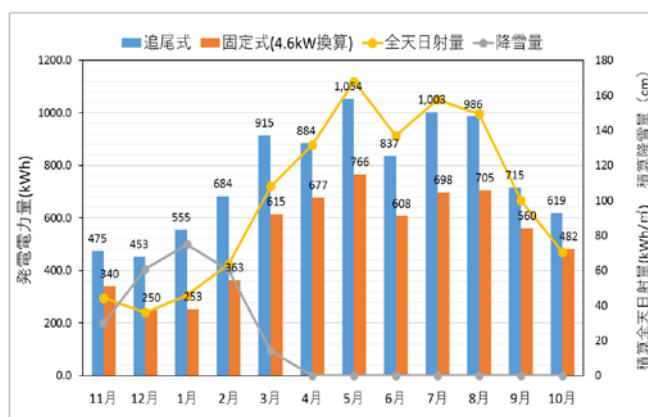


図10 月別発電量 (2015年11月～2016年10月)

参考文献

- (1) 打矢徹也：風洞による防雪柵模型試験について，北海道開発局昭和 39 年度技術研究発表会，pp.606-620，1965.
- (2) 安濃豊，野開国治：高速除雪時の除雪トラック視界に関する風洞実験について，北海道開発局昭和 50 年度技術研究発表会，pp.983-991，1975.
- (3) Anno, Y., Tomabechi, T.: Development of a snowdrift wind tunnel, Cold Region Science and Technology, No.10, 1985.
- (4) 乗田遼平，矢神雅規，細川和彦，一戸善弘，小島洋一郎，三澤顕次，石川直輝：追尾式両面太陽光発電システムのパワーコンディショナ容量に関する基礎研究，平成 28 年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会，No. 31，pp. 44-45，2016
- (5) 乗田遼平，矢神雅規，細川和彦，一戸善弘，小島洋一郎，三澤顕次，埜本泰隆：追尾式両面太陽光発電システムに入射する傾斜面日射量の推定，平成 29 年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会，No. 18，pp. 19-20，2017