

積雪寒冷地における自動気象観測システムの
冬期運用改善に関する研究

Improvement on winter operation of automatic
weather observation system in snowy cold region

地方独立行政法人北海道立総合研究機構
建築研究本部

Building Research Department

Local Independent Administrative Agency Hokkaido Research Organization

概要 Abstract

積雪寒冷地における自動気象観測システムの冬期運用改善に関する研究 Improvement on winter operation of automatic weather observation system in snowy cold region

堤 拓哉¹⁾、三瓶達生²⁾、志村正幸²⁾
Takuya Tsutsumi¹⁾, Tatsuo Sanpei²⁾, Masayuki Shimura²⁾

キーワード : 気象観測システム、風速計、冬期運用、着雪

Keywords : *Automatic weather observation system, Anemometer, Winter operation, Snow accretion*

1. 研究概要

1) 研究の背景

積雪寒冷地における気象観測では、観測機器への着雪や氷結により欠測が度々生じる。近年、北海道では風力発電や地熱発電などの再生可能エネルギーに係る事業が数多く検討されており、環境アセスメントのため事業対象地において気象観測が行われているが、冬期の気象データに関し長期間の欠測が懸念されている。特に商用電源の確保が困難な山間部においては、電力の制約からヒーター等の積雪寒冷対策の実施が困難な場合も多い。また各種構造物の風雪対策を検討する上でも、気象データの整備は重要であり、気象観測装置の積雪対策と適切な冬期運用法が求められる。

2) 研究の目的

積雪寒冷地における冬期気象観測データの整備に資するため、積雪による欠測が最も懸念される風向風速計の冬期データ取得率を改善する対策と電源を含めた気象観測システムの冬期運用方法に係る知見を整備する。

2. 研究内容

1) 屋外実験による観測機器の設置方法等の検討 (H28-29 年度)

- ・ねらい：標準的な設置方法の機器と着雪、冠雪を考慮した設置方法や治具を取り付けた機器による比較観測を行い、欠測を改善する対策と運用方法に係る知見を得る。
- ・試験項目等：気象観測

2) 風洞装置を用いた着雪実験 (H29 年度)

- ・ねらい：風向風速計の形状の違いやヒーター等の有無による着雪特性と対策に係る知見を実験的に得る。
- ・試験項目等：着雪実験

3) 風洞装置を用いた低温実験 (H29 年度)

- ・ねらい：低温環境下における気象観測システムの電源部分等の性能を実験的に検証し、仕様検討に係る知見を得る。
- ・試験項目等：低温実験、電力消費等の測定

¹⁾ 地域研究部環境防災グループ主査 ²⁾ 株式会社建設環境研究所

¹⁾ Chief for Urban Environment, Disaster Prevention and Environment Group, Regional Research Division.

²⁾ Civil Engineering and Eco-Technology Consultants Co.,Ltd.

3. 研究成果

- 1) 屋外実験による観測機器の設置方法等の検討：風速計に防雪フードを取付け、下向きに設置する新たな設置方法を開発した（写真 1）。屋外実験により、新たな設置方法は着雪による欠測を軽減し、長期間のデータ取得が可能であることを示した（図 1）。
- 2) 風洞装置を用いた着雪実験：風洞実験により、新たな設置方法は着雪が生じる条件においても、融雪ヒーターを備えた仕様と同水準のデータ取得が可能であることを明らかにした（図 2）。
- 3) 風洞装置を用いた低温実験：低温条件において、ヒーターを備えた標準的な寒冷地仕様の風速計と比較し、消費電力を 1/50 程度まで削減できることを示した（図 3）。

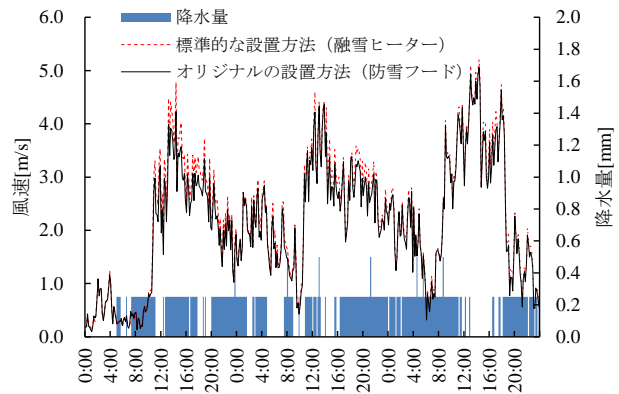


写真 1 積雪による欠測を軽減する新たな設置方法 図 1 屋外実験における取得データの比較結果 (2017/3)

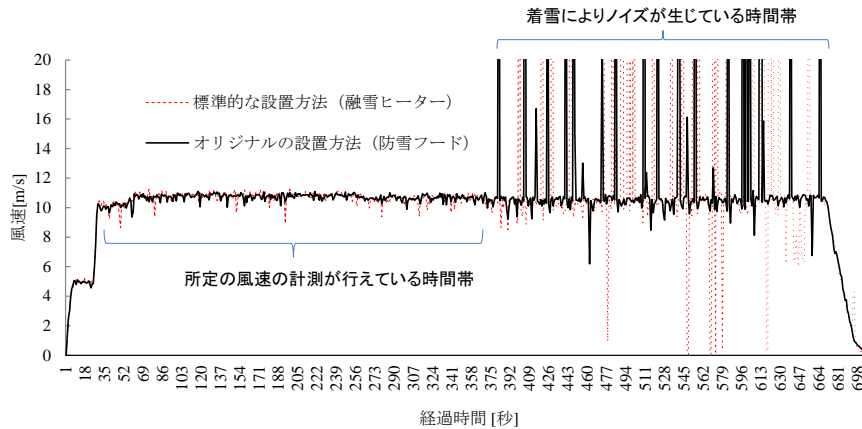


図 2 風洞装置を用いた着雪実験 (風速 10m/s、1°C、湿雪供給) における比較

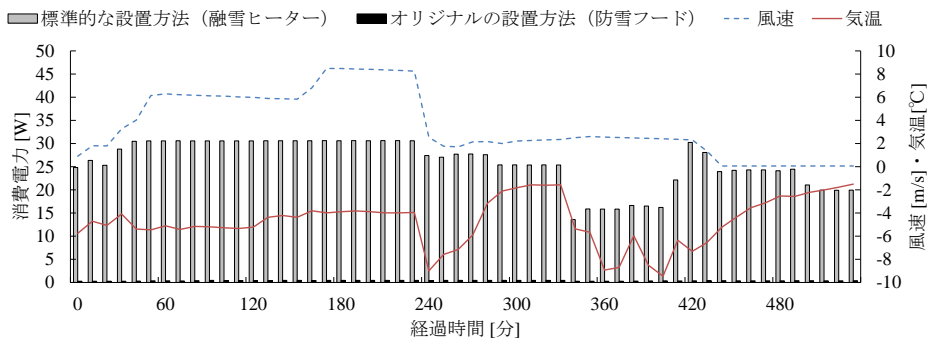


図 3 低温実験における電力消費量の比較

4. 今後の見通し

研究成果は、共同研究機関が環境アセスメント等の気象観測において活用する。他の気象観測機器や各種センサ等の雪対策に関する基礎資料としても活用する。

目 次

1. はじめに.....	1
(1) 研究の背景.....	1
(2) 研究の目的.....	1
(3) 研究内容.....	2
2. 屋外実験による観測機器の設置方法等の検討（平成28年度）.....	2
(1) 実験方法.....	2
(2) 屋外実験結果.....	4
3. 風洞装置を用いた着雪実験.....	7
(1) 検討概要.....	7
(2) 風向風速計周囲の気流可視化.....	7
(3) 着雪実験.....	10
4. 風洞装置を用いた低温実験.....	12
(1) 実験方法.....	12
(2) 実験結果.....	12
5. 屋外実験による観測機器の設置方法等の検討（平成29年度）.....	13
(1) 実験方法.....	13
(2) 実験結果.....	14
6. まとめ.....	18
参考文献.....	18
【付録】風向風速計に着雪が確認された日の状況写真.....	20

1. はじめに

(1) 研究の背景

北海道は風力や地熱など再生可能エネルギーの賦存量が多いため、これらを活用した発電事業が道内各地で検討されている¹⁾。大規模な発電事業では環境アセスメントが義務付けられており、事業対象地において環境アセスメントのための気象観測が必要とされる²⁾。環境アセスメントにおける気象観測では、連続した12カ月以上の期間の観測を行い、測定値の欠測率を原則10%以下にすることが求められる。一方、積雪寒冷地における気象観測では、観測機器が雪や氷に覆われ欠測が度々生じるため(写真1-1)、ヒーター等による雪氷対策が不可欠であり^{例えば³⁾}、積雪が少ない地域に比べ必要となる電力が多い。このため、積雪寒冷地の気象観測では電源の確保が技術的課題となっており、特に電源の確保が困難な山間部における気象観測では、ヒーターによる融雪などの対策が行えないため、雪や氷による長期欠測が懸念される⁴⁻⁸⁾。

地熱発電では冷却塔から排出される水蒸気(硫化水素)の滞留・拡散に係る風向風速のデータが特に重要であり(写真1-2)、現地の風向風速に基づいた予測と評価が求められるため、データ取得の成否が発電事業スケジュールに影響を与える。このような背景から、電源の確保が困難な条件下での気象観測に係る技術開発、特に風向風速計の雪氷対策が求められている。



写真 1-1 風向風速計の着雪



写真 1-2 地熱発電の試掘の状況

(2) 研究の目的

北海道の再生可能エネルギー開発事業等における環境アセスメント並びに積雪寒冷地における冬期気象観測データの整備に資するため、雪氷による欠測が最も懸念される風向風速計の冬期データ取得

率を改善する対策と電源を含めた気象観測システムの冬期運用方法に係る知見を整備する。

(3) 研究内容

本研究における実施内容を表 1-1 に示す。研究項目 1 では、屋外において風向風速計の設置方法を変えた比較観測を行い、実環境での積雪状況、計測信頼性等に関する知見を得る。研究項目 2 では風洞装置を用いて、人工的に風向風速計に着氷雪させる実験を行い、着氷雪対策に係る知見を得る。研究項目 3 では実験的に低温状況を再現し、電力消費等に係る知見を得る。

表 1-1 本研究の実施内容

研究項目	実施内容	章
1. 屋外実験による観測機器の設置方法等の検討 (H28、29 年度)	標準的な設置方法の機器と着雪、冠雪を考慮した設置方法との比較観測を行い、欠測を改善する対策と運用方法に係る知見を得る。	2、5
2. 風洞装置を用いた着雪実験 (H29 年度)	風向風速計の形状の違いやヒーター等の有無による着雪特性と対策効果に係る知見を実験的に得る。	3
3. 風洞装置を用いた低温実験 (H29 年度)	低温環境下における気象観測システムの電源部分等の性能を実験的に検証し、仕様検討に係る知見を得る。	4

2. 屋外実験による観測機器の設置方法等の検討 (平成 28 年度)

(1) 実験方法

1) 使用機器

風向風速計は国内外に多数の機種が存在するが、本研究では環境アセスメント等の気象観測で広く用いられている標準的な 2 成分超音波風速計を用いた (写真 2-1、図 2-1)。本機種は積雪寒冷地向けの仕様でありヒーターが標準装備されている (表 2-1)。

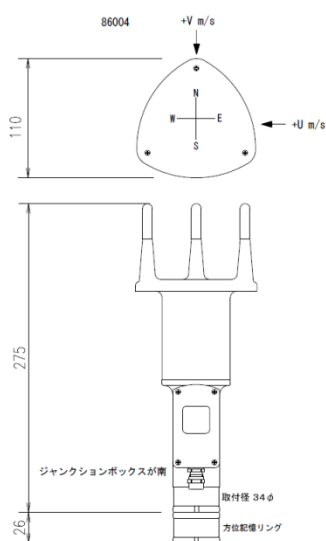


表 2-1 機器の仕様

要素	風速	風向
測定範囲	0-65m/s	水平 0-360°
測定精度	±2%rms ±0.1m/s	±2°
分解能	0.01m/s	0.1°
起動風速	0.01m/s	
電源	24V-DC、2.5A (ヒーター含む)	
動作環境	-50~+60℃	

写真 2-1 機器の外観

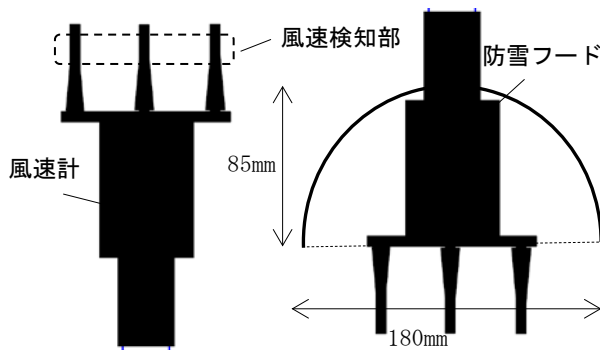
図 2-1 機器の寸法

2) 設置条件

設置条件を表 2-2、図 2-2、設置状況を写真 2-2 に示す。設置条件 1 は、風速検知部が上向きで低温時に融雪ヒーターが稼働する積雪寒冷地における標準的な設置方法であり、設置条件 2 は、センサが上向きで融雪ヒーターが稼働しない雪対策のない条件、設置条件 3 は、本研究で提案する新たな設置方法であり、風速検知部を下向きにし、雪よけ用の防雪フードを取り付け、消費電力を低減するため融雪ヒーターを稼働させない仕様である（図 2-2）。なお設置条件 1 における融雪ヒーターの出力は風速と温度に依存し、4℃以下で稼働する仕様となっている。風速計の設置高さは 5m、設置期間は 2017 年 3 月～4 月である。

表 2-2 風向風速計の設置条件

区分	名称	風速検知部	融雪ヒーター	防雪フード
標準（融雪ヒーター）	設置条件 1	上向き	有り	無し
標準（雪対策なし）	設置条件 2	上向き	無し	無し
オリジナル（防雪フード）	設置条件 3	下向き	無し	有り



(a) 設置条件 1、設置条件 2 (b) 設置条件 3

図 2-2 超音波風速計の設置条件



写真 2-2 機器の設置状況

3) 計測方法

設置条件 1 と設置条件 3 の 10 分間平均風速のほか、消費電力、気温、積雪深の瞬時値を 10 分間隔でデータロガー（Campbell 社製 C-CR1000）に記録した。また、機器の積雪状況の変化をインターバルカメラにより 10 分間隔で記録した（写真 2-3）。

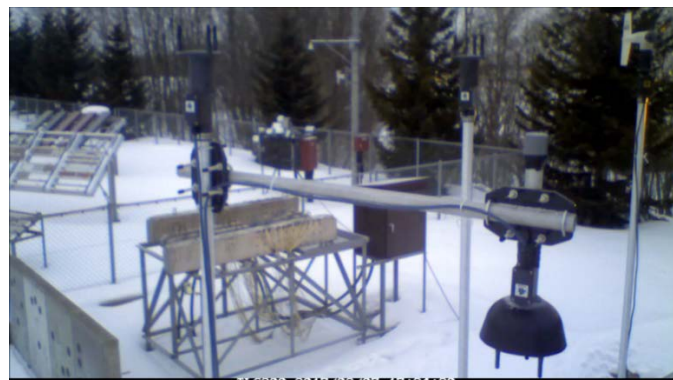


写真 2-3 インターバルカメラの記録画像

(2) 屋外実験結果

写真 2-4～2-7 に設置条件の違いが風速計の積雪状況に及ぼす例を示す。降雪があった場合、融雪ヒーターがある設置条件 1 では積雪がみられないが、融雪ヒーターの無い設置条件 2 では風速検知部付近に雪が積もっている状況が確認される。一方、センサを下向きにし、防雪フードを取り付けた設置条件 3 では防雪フード上に積雪がみられるが、風速検知部への積雪の影響はみられない。

図 2-3 に設置条件 1 と 3 の 10 分間平均風速と降水量の推移、図 2-4 に風向の推移を示す。降水の有無によらず風速および風向はほぼ同じ傾向で推移しているが、設置条件 3 で計測される風速が設置条件 1 に比べ、小さい状況が度々みられる。図 2-5 に設置条件 1 と設置条件 3 で計測された 10 分間平均風速の関係、図 2-6 に風向の関係を示す。平均風速については雪対策のため防雪フードを取り付けて下向きにした設置条件 3 の計測値は、設置条件 1 より約 6%小さい結果となった。風向については、若干のばらつきがみられるが、風向は 16 方位で表されるため、測定値の差による影響は小さい。設置条件 1 と設置条件 3 で計測された風速に差が出た要因として、設置位置の違いによる影響のほか、防雪フードにより風速検知部付近で風が乱されていることが考えられる。

図 2-7 に設置条件 1 と設置条件 3 の消費電力の推移を示す。消費電力は、設置条件 1 が平均 18.7W、最大 60.1W、設置条件 3 が平均 0.4W、最大 1.6W であった。設置条件 3 の消費電力は設置条件 1 の 1/40 程度の消費電力であり、大幅な電力消費の低減も期待できることが分かった。

以上から、風速検知部を下向きにし、防雪フードを取り付ける設置条件 3 は雪対策と消費電力の低減に有効なものの、風速の計測精度について改善する必要があることが分かった。また、実験中、設置条件 3 において融雪水が原因と思われる不具合が生じたことから、過酷条件下における計測や長期的な信頼性確保のため防水対策も重要であることが明らかとなった。加えて、山間部など日中と夜間の温度変化が大きく大気湿度が高い条件では、内部結露の可能性もあることから、機器内の湿気を抜く対策も必要と考えられる。



写真 2-4 設置条件の違いと積雪状況 (2017. 3. 7)



写真 2-5 設置条件 1(2017. 3. 7) 写真 2-6 設置条件 2(2017. 3. 7) 写真 2-7 設置条件 3(2017. 3. 7)

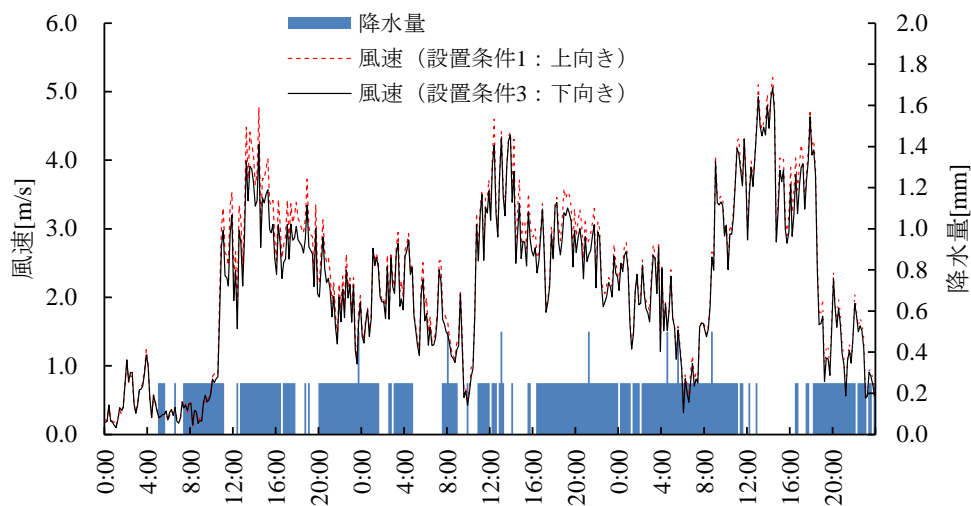


図 2-3 設置条件 1 と設置条件 3 の 10 分間平均風速の推移

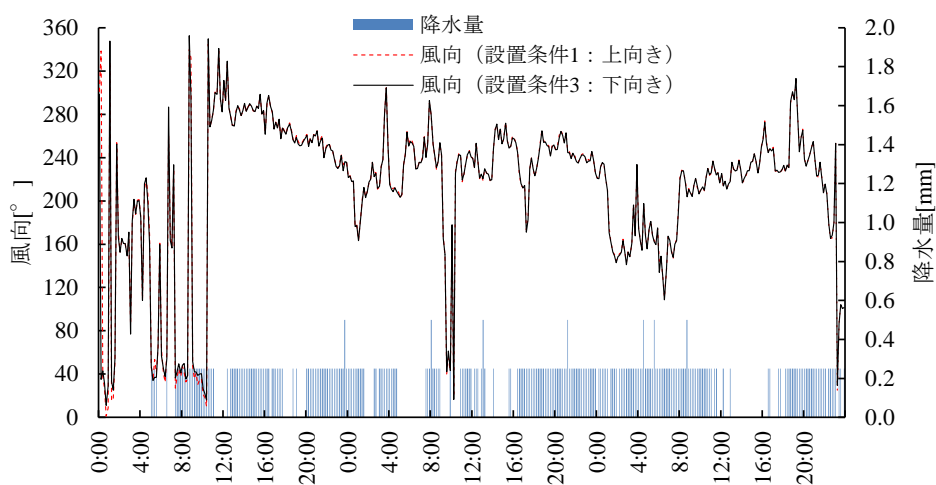


図 2-4 設置条件 1 と設置条件 3 の風向の推移

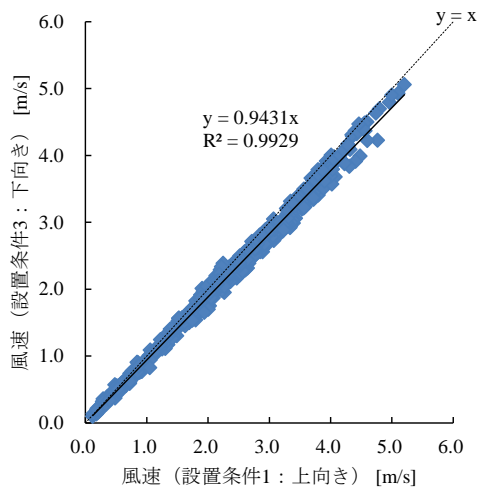


図 2-5 設置条件 1 と設置条件 3 の 10 分間平均風速の関係

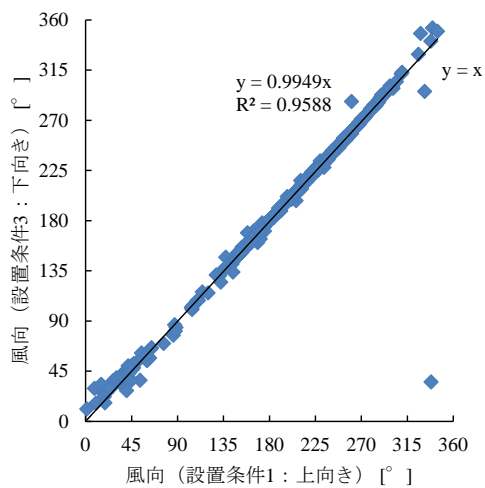


図 2-6 設置条件 1 と設置条件 3 の風向の関係

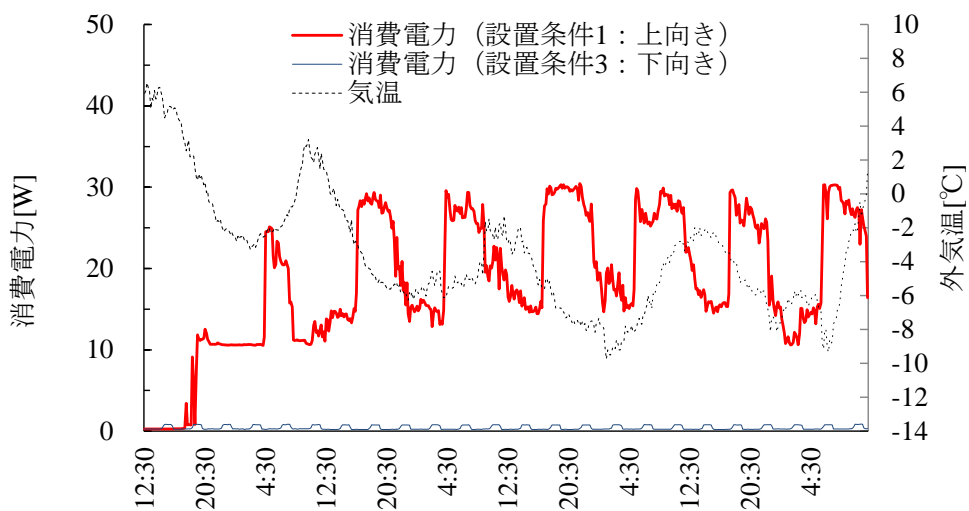


図 2-7 設置条件 1 と設置条件 3 の消費電力の推移

3. 風洞装置を用いた着雪実験

(1) 検討概要

本章では、最初に、初年度の屋外実験においてみられた風速測定値を過小評価する現象に関し、可視化実験によりその原因を確認すると共に改善方法について検討する。次に、改善を加えた仕様で着雪実験を実施することとする。初年度の屋外実験では、風向風速計に著しく着雪が生じる気象条件はなかったことから、本章では、風洞装置を用いて着雪が著しく生じる環境を人工的に作りだし、新たに考案した風向風速計の設置方法の着雪発生時における性能検討を行う。

(2) 風向風速計周囲の気流可視化

1) 実験方法

可視化実験には、北海道立総合研究機構建築研究本部の環境風洞装置を用いた(図 3-1、表 3-1)。風洞装置の測定部に設置した風向風速計の風上側から、可視化実験用の煙発生装置(カノマックス社製 Model 8304)を用いてトレーサーの煙を供給した後、上部からレーザーシート(日本レーザー社製 DPGL-1.5W)を照射し、風向風速計周囲の気流を可視化した(写真 3-1)。風速計の設置方法は図 2-2 (a)、(b) に示した 2 通りである。

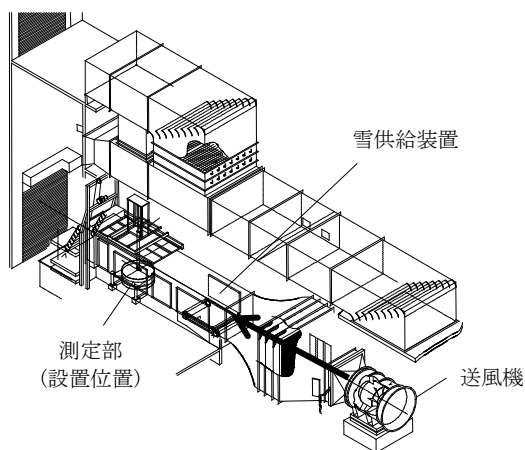


図 3-1 環境風洞装置

表 3-1 環境風洞装置の諸元

風洞本体	型 式	縦型回流・押込開放切替型
	測定胴断面	幅 1.8m×高さ 1.8m
	測定胴長さ	10m
	縮流比	1 : 4
送 風 機	ターンのテーブル	φ 1.6m
	型 式	単段軸流送風機
	風 速	0.5~20m/sec
	風 量	3900m ³ /min (max)
	風 圧	830Pa

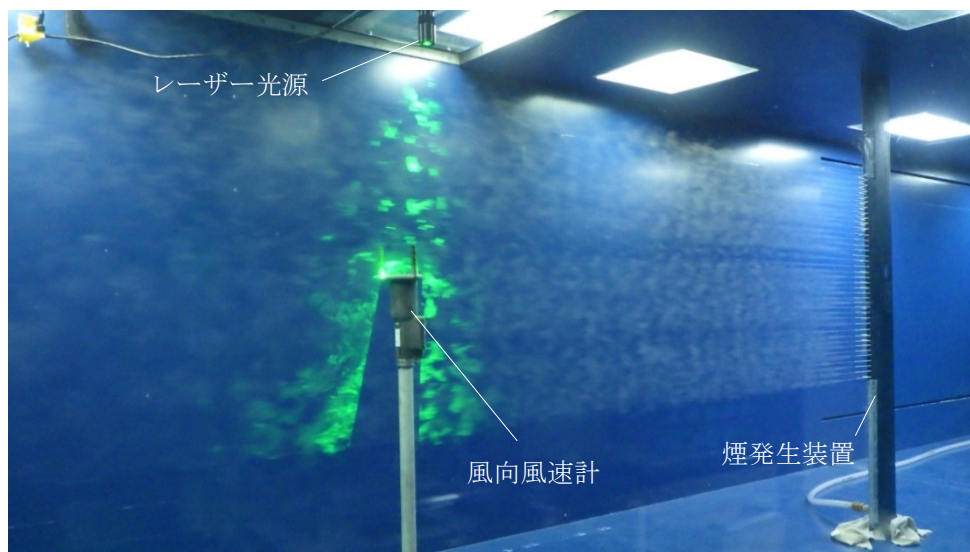
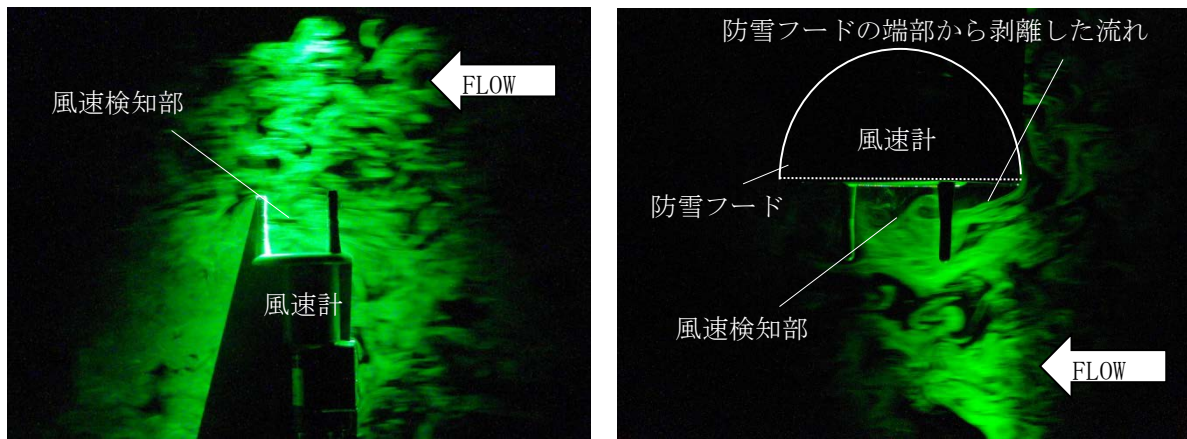


写真 3-1 可視化実験の状況

2) 可視化実験の結果

①風速測定値の過小評価の原因

写真 3-2 に風向風速計周囲の風の流れの可視化画像を示す。標準的な設置方法である設置条件 1 では、風速検知部付近の風の流れはスムーズであり、風の乱れは見られないものの、設置条件 3 では防雪フードの端部で剥離流が発生すると共に風速検知部で渦が発生し風が乱れている状況が確認できる。可視化画像を調べた結果、防雪フードの空隙から周期的に渦が放出されており、この周期渦が風速検知部の風の乱れの原因であることが分かった (図 3-2)。



(a) 設置条件 1

(b) 設置条件 3

写真 3-2 風向風速計周囲における気流可視化の画像

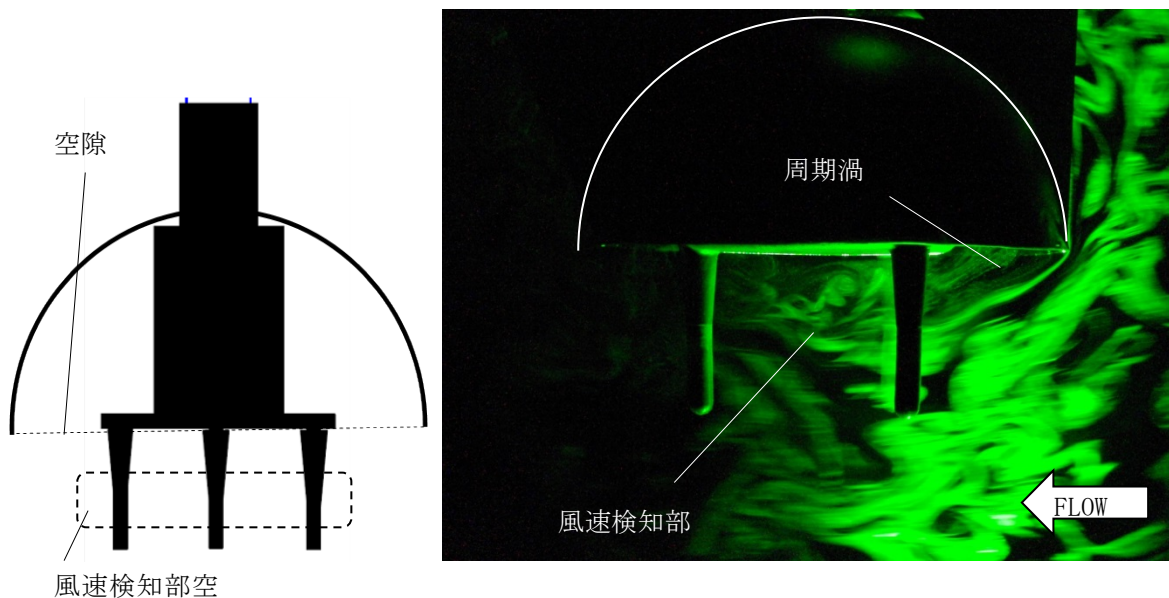


図 3-2 防雪フードの空隙から放出される周期渦

②風速測定値の過小評価の対策

防雪フードの空隙から放出される周期渦が、風速検知部の風の乱れに関わっていることから、空隙をカバーで覆う対策を施した。図 3-3 に対策を施した条件での可視化画像を示す。防雪フードの空隙

からの周期渦の放出が無くなったことにより、防雪フード端部からの剥離流の高さが低くなり、風速検知部への影響が最小限に抑えられる効果が確認された。

対策を施した設置条件3の風速測定値の確認のため、設置条件1の風向風速計と設置条件3に対策を施した風向風速計を風洞内に設置し、風速の比較測定を行った（写真3-2）。風速は1秒サンプリングで、0m/sから段階的に10m/sまで風速を上昇させた。図3-4によれば、設置条件3（対策あり）と設置条件1の計測値の差は2.6%であり、屋外観測でみられた6%の差よりも改善された。以降の検討における設置条件3には防雪フードの空隙をカバーで覆った仕様を用いる。

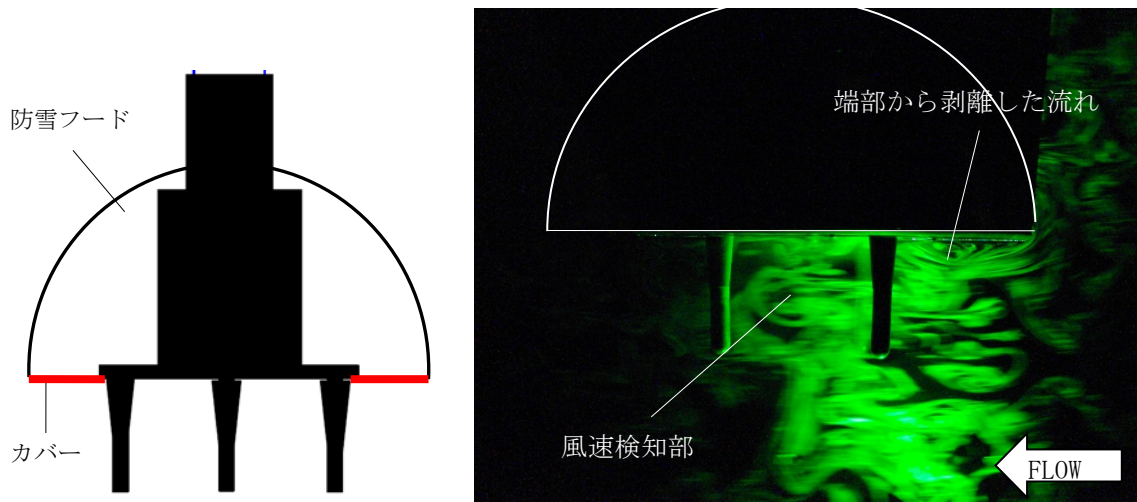


図 3-3 防雪フードの空隙にカバーを取り付けた場合の可視化画像

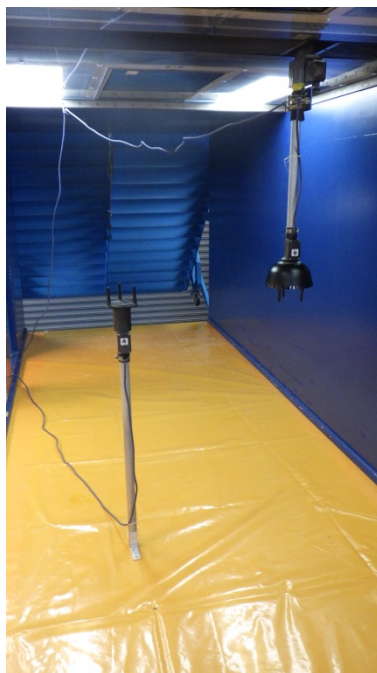


写真 3-2 風速測定状況

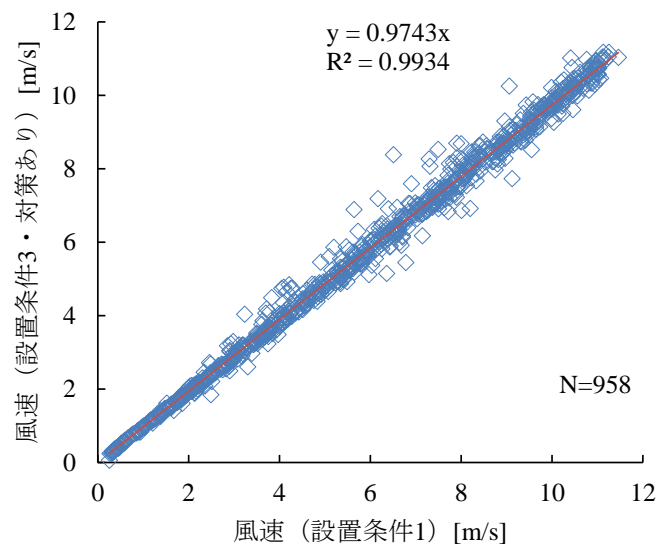


図 3-4 設置条件 1 と設置条件 3（対策あり）との計測値の比較

(3) 着雪実験

1) 実験方法

実験には前述の環境風洞装置を用いた(図 3-1、表 3-1)。風洞装置は外気を導入する開放型として制御した。風洞装置の測定部に設置条件 1 および設置条件 3 の風向風速計を、高さ 90cm に風速検知部が位置し、相互に影響しないよう設置した(写真 3-3)。雪の供給については、風洞装置の測定部風上側の天井にある雪供給装置から屋外で採取した自然雪を測定部に供給すると共に、着雪を促すため、噴霧器で霧状の水を雪と混合するように噴霧した(写真 3-4)。雪の供給量は 8.4m³、供給時間は約 12 分、水の噴霧量は 2.2L/min、風速は天井からの雪供給時の上限である 10m/s とした。

実験では、風速を 1 秒間隔でサンプリングすると共に風洞内の吹雪量を吹雪計(新潟電機社製 SPC-S7)で計測した。実験は 2017 年 12 月 11 日、12 日に実施し、雪の比重は平均で 0.14、実験時における測定部の温度は -1.0~1.1℃ の範囲であった。

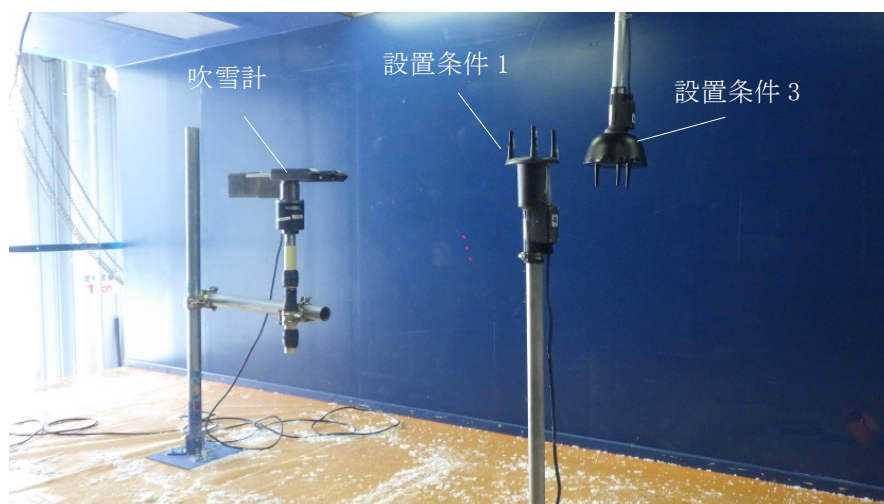


写真 3-3 風向風速計の設置状況

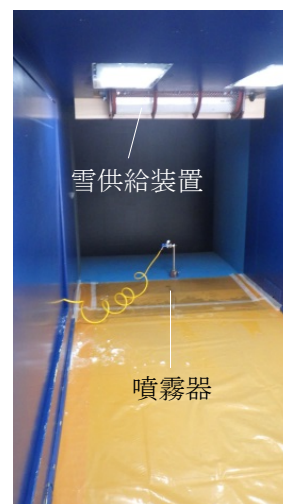


写真 3-4 雪供給装置と噴霧器

2) 実験結果

図 3-5 に実験時の飛雪流量の推移、写真 3-5 に風向風速計の着雪状況を示す。飛雪流量については、時間経過と共に着雪により吹雪計での測定が行えなくなったため、開始から 5 分間のデータのみ示す。飛雪流量の平均は 0.015[g/cm²・s]であり、屋外において視程距離が 10m 以下となる非常に強い吹雪に相当する量である⁹⁾。写真 3-5 をみると、設置条件 1 は融雪ヒーターを備えているものの、着雪が顕著に生じる条件では融雪スピードが間に合わない状況が確認される。設置条件 3 は防雪フードの効果により、着雪状況は設置条件 1 と同程度であった。図 3-6 に着雪発生時における融雪ヒーターのある設置条件 1 と防雪フードを備えた設置条件 3 の計測値(風速)の比較を示す。いずれの風向風速計も経過時間 400 秒前後で着雪が顕著になり、風速検知部が雪に覆われたことによるノイズが発生している状況が確認できる。融雪ヒーターが無い設置条件 3 は防雪フードの効果により、着雪が著しく生じる条件においても融雪ヒーターを備えた設置条件 1 と同程度の計測が可能であることが確認された。

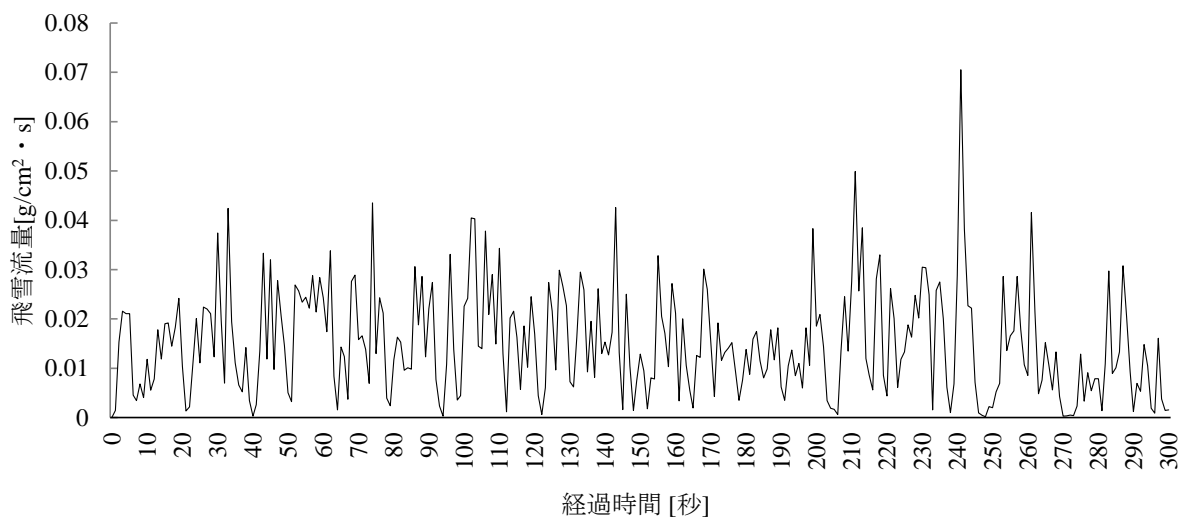


図 3-5 実験時の飛雪流量の推移



(a) 設置条件 1 (融雪ヒーター) (b) 設置条件 3 (防雪フード)

写真 3-5 着雪実験による風向風速計の着雪状況

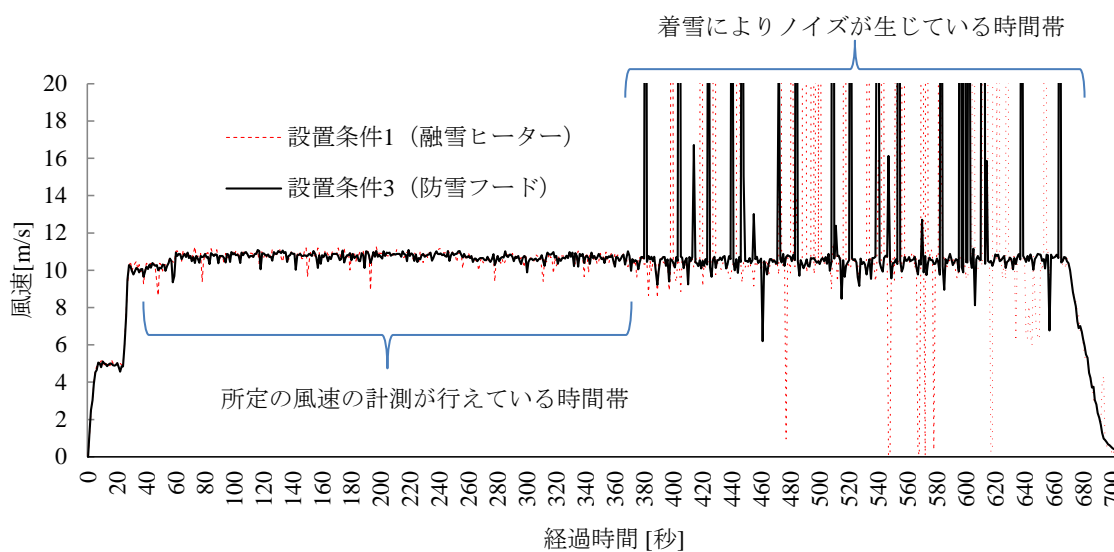


図 3-6 着雪発生時の計測値 (風速) の比較

4. 風洞装置を用いた低温実験

本章では低温時における電力消費についての知見を得るため、風洞装置を用いた低温実験により検討を行う。

(1) 実験方法

実験には前章と同じ環境風洞装置を用いた(図 3-1、表 3-1)。風洞装置は外気を導入する開放型として制御した。風洞装置の測定部に設置条件 1 および設置条件 3 の風向風速計を、高さ 90cm に風速検知部が位置し、相互に影響しないよう設置した。風速を 0~8.5m/s、気温を-1.5~-9.5℃の間で段階的に変化させ、風速および気温と消費電力との関係を調べた。風速と気温、消費電力は 10 分間の平均値を計測した。実験は 2017 年 12 月 14~15 日かけて行い、約 9 時間計測した。

(2) 実験結果

図 4-1 に風洞装置を用いた低温実験の測定結果を示す。融雪ヒーターが稼働する設置条件 1 の消費電力は平均 25W、最大 30W であり、風速の変化による消費電力の増減は小さいが気温の変化による増減が大きい。一方、防雪フードを取り付けた設置条件 3 の消費電力は融雪ヒーターが無いため設置条件 1 に比べ極めて小さく、平均 0.4W、最大 0.5W と、設置条件 1 の 1/60 程度であった。

風洞実験および初年度の屋外実験のデータと合わせて作成した、気温と風速から消費電力を試算するための重回帰式を下記に示す。

$$\text{設置条件 1 (融雪ヒーター)} \quad E = 1.60U - 1.46T + 10.2 \quad ※T \leq 0 \quad (1)$$

$$\text{設置条件 3 (防雪フード)} \quad E = 0.008U + 0.012T + 0.42 \quad (2)$$

E:消費電力 [W]、U:風速 [m/s]、T:気温 [℃]

気象庁によるアメダスデータおよび(1)式、(2)式を用いて、北海道共和町における 2017 年 12 月から 3 月までの消費電力量を試算した結果を図 4-2 に示す。設置条件 1 の日消費電力量は平均 486Wh、最大 925Wh であるのに対し、設置条件 3 は平均 9.6Wh、最大 10.3Wh であり、防雪フードを取り付けることにより、融雪ヒーターを有する標準的な風向風速計と比べ、冬期の電力消費量を 1/50 程度、削減できる結果となった。風向風速計の融雪電力の削減により、気象観測システムの蓄電池や太陽光発電パネルへの負荷を大幅に改善することが出来る。

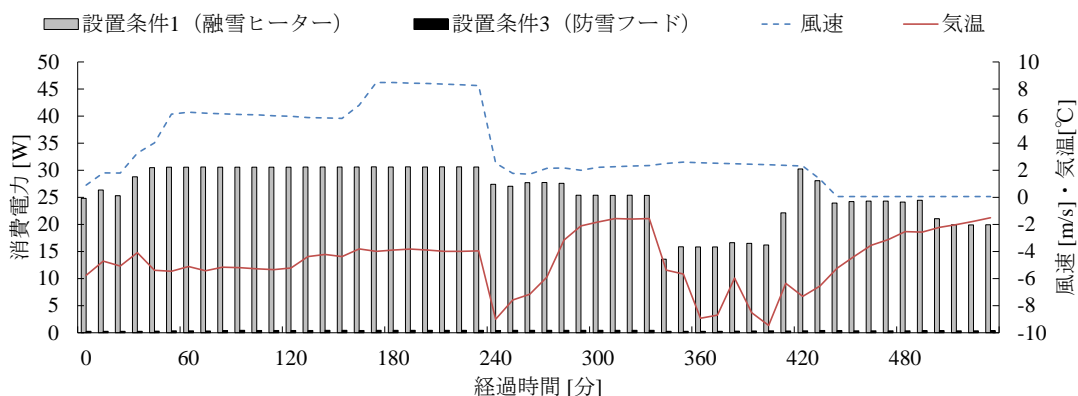


図 4-1 風洞装置を用いた低温実験における消費電力と風速および気温の推移

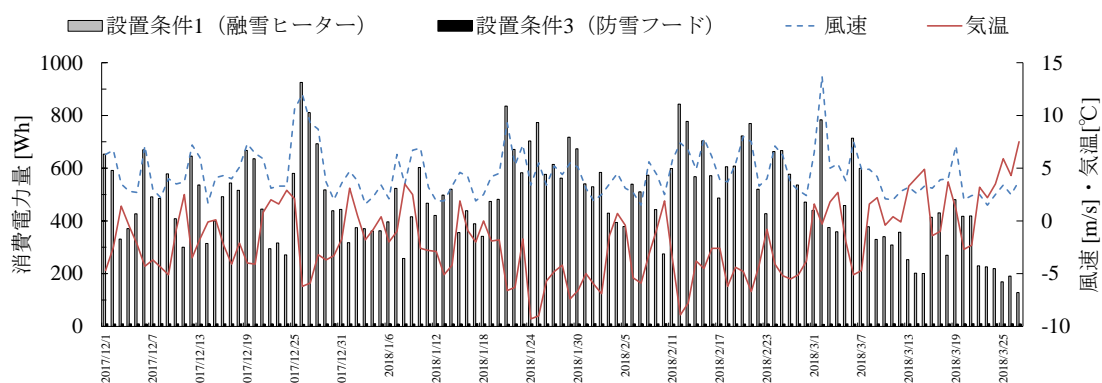


図 4-2 気象庁のアメダスデータを用いて北海道共和町を対象に試算した消費電力量

5. 屋外実験による観測機器の設置方法等の検討（平成29年度）

本章では、2章から4章までの検討結果を踏まえた仕様に基づき、再度の冬期屋外実験を実施し、性能確認を行う。なお、前年度の屋外実験で課題となった漏水・結露対策については、設置条件3において、融雪水や雨水の浸入経路と推測された風向風速計を取り付けるパイプの端部およびパイプと風向風速計の結合部を防水透湿素材(GORE-TEX社製メンブレン)で覆い(図5-1、写真5-1)、風速計内部の防水と通気を確保した上で屋外実験に供した。

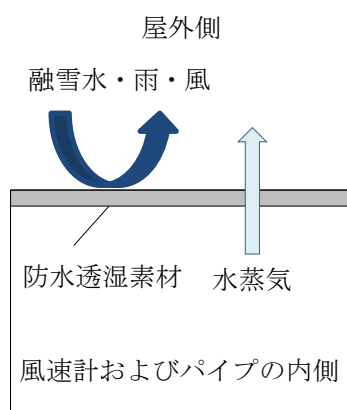


図 5-1 防水透湿素材の機構



(a) パイプ端部の処理



(b) 風向風速計の結合部の処理

写真 5-1 防水透湿素材による漏水・結露対策

(1) 実験方法

屋外実験は2017年12月22日から2018年3月31日にかけて実施した。屋外実験に供する仕様については、積雪寒冷地における標準的な設置方法である設置条件1(融雪ヒーター)と本研究で検討している新たな設置手法である設置条件3(防雪フード)に加え、防雪フードの防雪効果の比較検討を目的として、防雪フードを取り付けないで下向きに風向風速計を設置する設置条件4を新たに追加した。実験に供した仕様一覧を表5-1に示す。

風向風速計は地上2.5mの位置に設置し、10分間隔で平均風速を測定した。風向風速計の着雪状況はインターバルカメラにより10分間隔で撮影した。なお照明器具による融雪を避けるため、夜間に照明は使用していない。また、設置場所の積雪状況、吹雪発生状況を測定するため超音波積雪深計および吹雪計を設置場所に近接して設置し、10分間隔で測定した。実験に供した風向風速計の設置状況を写真5-2に示す。

表 5-1 風向風速計の設置条件

区 分	名 称	風速検知部	融雪ヒーター	防雪フード
標準（融雪ヒーター）	設置条件 1	上向き	有り	無し
オリジナル（防雪フード）	設置条件 3	下向き	無し	有り
下向き	設置条件 4	下向き	無し	無し



写真 5-2 屋外実験（平成 29 年度）における風向風速計の設置状況

（2）実験結果

図 5-2 に設置条件 1 と設置条件 3 で測定した 10 分間平均風速と積雪深の推移を示す。実験を実施した場所における積雪深は計測開始時が 42cm、最深積雪深が 98cm（2018/3/2）であった。図 5-2 を見ると、融雪ヒーターを備えている設置条件 1 において、風速値が異常に大きくなる現象が度々見られる。

図 5-3、図 5-4 に吹雪の強度を示す指標である飛雪流量と設置条件 1 および設置条件 3 で計測した平均風速との比較を示す。図中の飛雪流量は 10 分間の積算値である。図 5-3 によれば、飛雪流量が大きくなる（吹雪が強くなる）と設置条件 1 において、風速の計測値に異常が発生する状況が見られる（例えば 2017/12/25、2018/1/10、2018/2/23、2018/3/2）。一方、図 5-4 をみると設置条件 3 では飛雪流量の増減に関わらず安定して風速の計測が行えている状況が確認できる。

図 5-5 に設置条件 1 において異常値が発生した 2017/12/25～2017/12/26 の気象状況を示す。気象データは気象庁アメダス（旭川）により計測された値であり、風速の計測は地上高 46.4m で行われているため、屋外実験で計測される風速よりも大きな値である。図 5-5 を見ると、12/25 の日中は気温がプラス温度で降水があり、雨が降っている状況にある。やがて 12/25 16:00 頃より気温が氷点下となり、17:00 に降雪量が計測されていることから、雨が雪に変わった状況が確認できる。これ以降、降雪が続くと共に風速は 10m/s を超えて推移していることから、雨により濡れた風速計に強風で雪が吹きつける状況となり、風速計の着雪が著しく発達したと考える。気温は翌日も氷点下で推移しているため、着雪した雪が氷結し、融雪ヒーターを備えた風速計でも長時間の異常値発生に繋がったと推測される。着雪による設置条件 1 の異常値発生は 3 日程度続いた（写真 5-3）。一方、設置条件 3 は融雪ヒーターを備えていないものの、防雪フードの効果により、このような気象環境下においても計測を継続することが出来る事が確認された。

設置条件 3 と設置条件 4 の比較について着雪が著しかった 2018/2/16 における状況を例に写真 5-4、写真 5-5 に示す。設置条件 3 は防雪フードに雪が積もるものの、短時間で落雪し、防雪フードの無い設置条件 4 と比べ、雪の影響を受ける時間が短いことが確認された（他の降雪時の状況については付

録参照)。また実験期間中において、融雪水等の影響によるトラブルも確認されなかった。

以上から、風向風速計を下向きに設置し、防雪フードを取り付ける対策は、防水や計測値に及ぼす影響を軽減する工夫が必要であるものの、融雪ヒーターを備えた風向風速計と同等以上の防雪性能を持つことが示された。

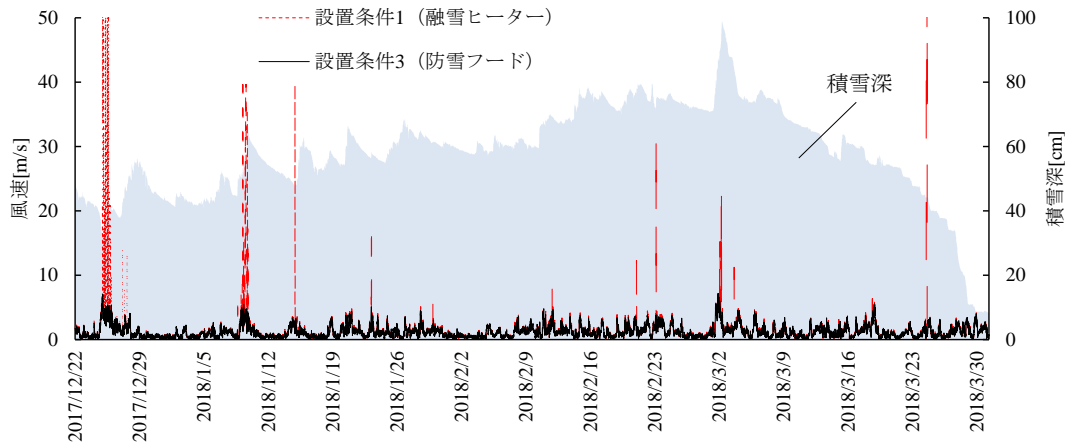


図 5-2 屋外実験（平成 29 年度）における平均風速および積雪深の推移

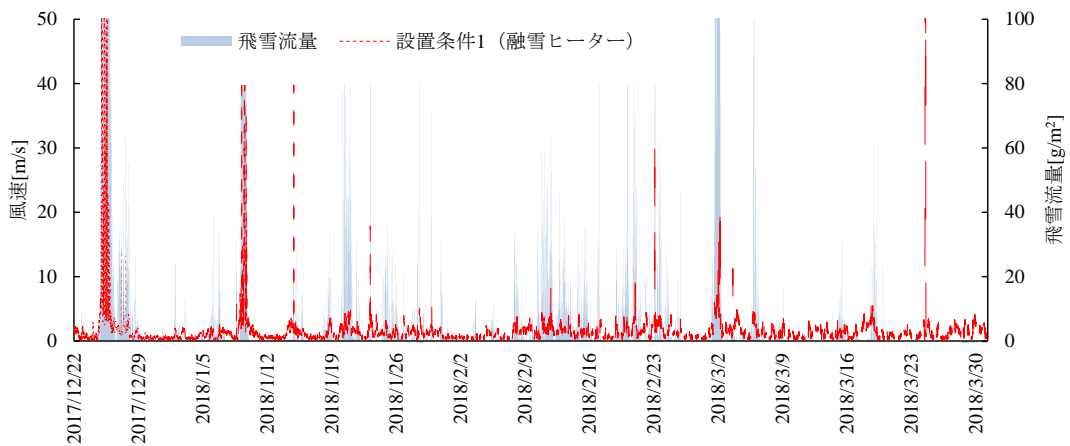


図 5-3 飛雪流量と設置条件 1（融雪ヒーター）により計測された平均風速との関係

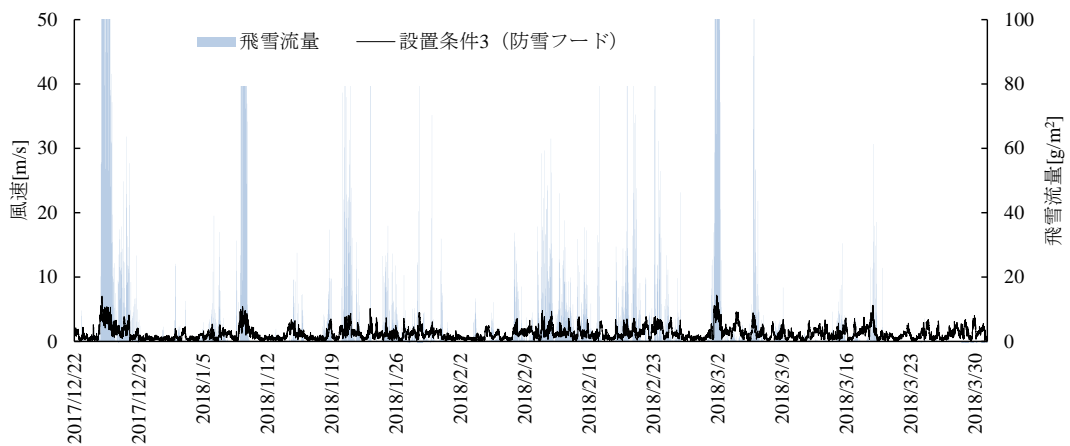


図 5-4 飛雪流量と設置条件 3（防雪フード）により計測された平均風速との関係

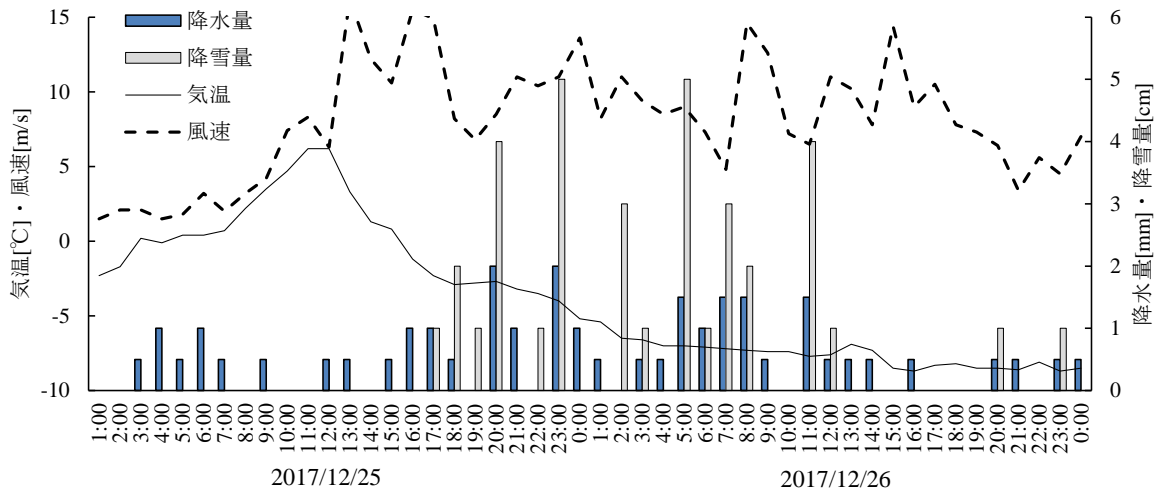


図 5-5 に設置条件 1 において異常値が発生した 2017/12/25～2017/12/26 の気象状況
(気象庁アメダスのデータを使用)



(a) 設置条件 1

(b) 設置条件 3

(c) 設置条件 4

写真 5-3 2017/12/28 における風向風速計の着雪状況



写真 5-4 2018/1/16 における風向風速計の着雪状況



写真 5-5 2018/1/16 における防雪フードからの落雪状況

6. まとめ

積雪寒冷地における環境アセスメント等の気象観測において、雪による欠測が最も懸念される風向風速計を対象に屋外実験および風洞実験により雪対策と融雪電力の削減を両立する新たな設置手法について検討を行った。その結果、以下の成果が得られた。

- 1) 初年度の屋外実験により風速検知部を下向きにし、防雪フードを取り付ける設置方法は雪対策と電力削減に有効なものの、計測精度について改善する必要があることが分かった。また、長期的な信頼性確保のため防水対策も重要であることが明らかとなった。
- 2) 風洞装置を用いた可視化実験により防雪フードによる計測への影響を改善する対策を明らかにした。防雪フードの空隙から放出される周期渦をカバーで覆う対策を施すことにより、計測への影響を改善することが出来る。
- 3) 風洞装置を用いた着雪実験により、着雪が著しく生じる条件において、融雪ヒーターが無い風向風速計であっても防雪フードの効果により、融雪ヒーターを備えた風向風速計と同程度の計測が可能であることが確認された。
- 4) 風洞装置を用いた低温実験により、融雪電力を使用しないことで風向風速計の消費電力を大幅に削減できることが明らかとなった。気象データを用いて、一冬期の電力削減量を試算したところ、積雪寒冷地で用いる標準的な風向風速計に比べ電力を1/50程度、削減可能であることが見込まれ、気象観測システムにおける蓄電池や太陽光発電パネルなどの電力設備への負荷を大幅に改善することが出来ることが分かった。
- 5) 屋外実験により改善した仕様の性能確認を行った結果、防雪フードを取り付けた風向風速計に防水透湿素材による防水対策を施すことにより、十分な防水性能が付与できると共に、融雪ヒーターを備えた風向風速計でも計測出来ない過酷な気象条件においても、安定した計測が行えることが確認された。

以上の研究成果は共同研究機関における環境アセスメント等の気象観測において活用するほか、他の気象観測機器や各種センサ等の雪対策に関する基礎資料としても活用する。

【謝辞】

屋外実験および風洞実験の実施および気象観測に関し、クリマテック株式会社より機材提供等の多大なるご支援を頂きました。同社の郷司氏、毛利氏からは計測全般に渡り御指導とご協力を賜りました。ここに記して感謝申し上げます。風向風速計の防水対策に関し、株式会社工学気象研究所の森川氏から貴重なアドバイスを頂くと共に、本研究に関する研究発表への暖かい励ましを賜りました。ここに記して厚く御礼申し上げます。

[参考文献]

- 1) 環境省：再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査報告書，2011.3
- 2) 経済産業省：発電所に係る環境影響評価の手引，2017.5
- 3) 神野武，福永伝一，赤外線電球による風速計着氷防止について，天気，Vol.20，pp.35-41，1973.2
- 4) 中井専入，山下克也，伊藤芳樹，大谷淳，内山真司，渡部善博，宮崎真，横山宏太郎，山口悟：北陸地方降雪期における2次元超音波風向風速計の着雪・測定特性（速報），雪氷北信越，No.35，p.25，2015
- 5) 田中一成，森川浩司，松下拓樹：降雪時における風速計の特性に関する比較観測，2004年度日本雪氷学会講演予稿集，p.120，2004.9
- 6) 森川浩司，木村茂雄，小島徹也，遠藤遥，吉岡貴文，小谷田愛美：機械式風速計が計測時に受ける着氷雪の影響，第28回寒地技術シンポジウム，pp.17-22，2012.10

- 7) 木村茂雄, 森川浩司, 佐藤威, 山岸陽一, 小島徹也, 吉岡貴文, 川上和樹: 雨氷形成条件下での風観測に関する試験的評価, 第28回寒地技術シンポジウム, pp.23-30, 2012.10
- 8) 森川浩司, 木村茂雄, 佐藤研吾, 小島徹也, 小谷田愛美, 宮木英幸: 超音波風速計が異常作動する降雪状況の特定, 雪氷研究大会(2013・北見)講演要旨集, p.81, 2013.9
- 9) 武知洋太, 松澤勝, 中村浩: 吹雪時に人間が感じる視程と視程計や吹雪計による計測値との関係, 北海道の雪氷, No.28, pp.17-20, 2009

【参考資料】

2017年12月22日から2018年3月31日にかけて実施した屋外実験において、降雪量10cm以上もしくは風向風速計に着雪が確認された日の状況写真



写真1 2017/12/25における風向風速計の着雪状況

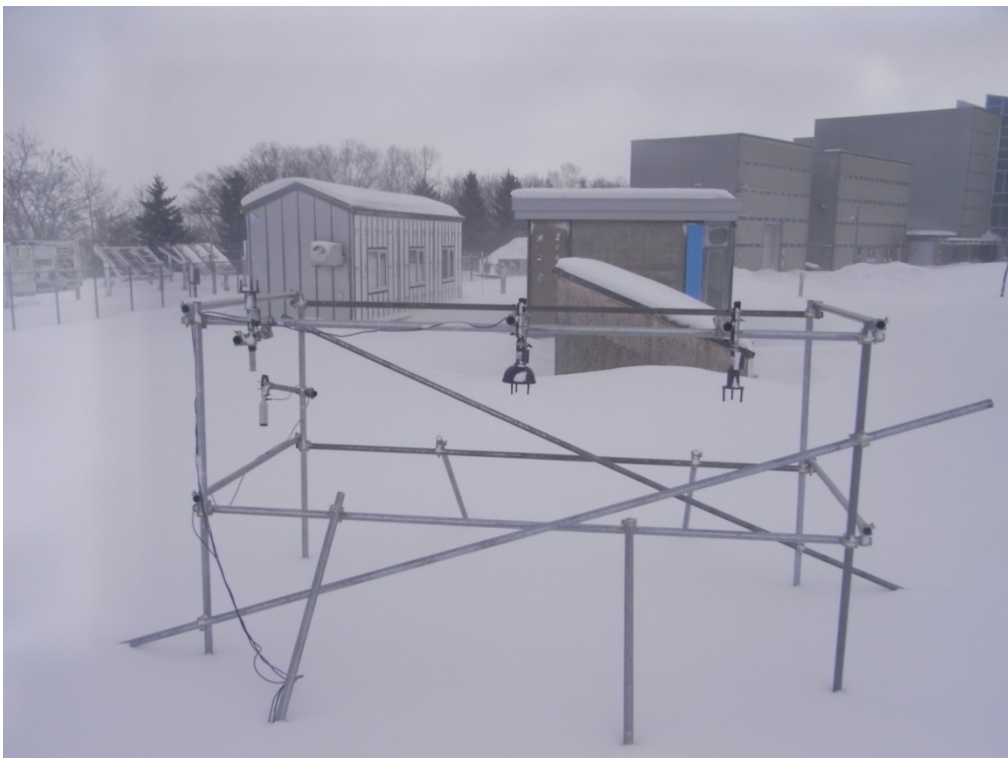


写真2 2017/12/26における風向風速計の着雪状況



写真3 2017/12/28における風向風速計の着雪状況



写真4 2017/12/29における風向風速計の着雪状況



写真5 2017/12/30における風向風速計の着雪状況



写真6 2018/1/10における風向風速計の着雪状況



写真7 2018/1/11における風向風速計の着雪状況



写真8 2018/1/16における風向風速計の着雪状況



写真9 2018/1/16における風向風速計の着雪状況



写真10 2018/1/17における風向風速計の着雪状況



写真 11 2018/2/11 における風向風速計の着雪状況



写真 12 2018/2/11 における風向風速計の着雪状況



写真 13 2018/2/14 における風向風速計の着雪状況



写真 14 2018/2/14 における風向風速計の着雪状況



写真 15 2018/2/11 における風向風速計の着雪状況



写真 16 2018/2/11 における風向風速計の着雪状況



写真 17 2018/2/23 における風向風速計の着雪状況



写真 18 2018/2/23 における風向風速計の着雪状況



写真 19 2018/3/3 における風向風速計の着雪状況



写真 20 2018/3/3 における風向風速計の着雪状況



写真 21 2018/3/15 における風向風速計の着雪状況



写真 22 2018/3/15 における風向風速計の着雪状況