

## 高齢者施設における冷水循環式雪冷房時と エアコン冷房時の快適性と温熱環境の実態

### Actual conditions of comfort evaluations and thermal environment cooled by cold-water-circulation snow system and air-conditioning system

飯野 由香利 ・ 阿久津 真聡

Yukari IINO and Masato AKUTSU

#### 1. 研究の背景と目的

積雪寒冷地域では、雪は冬の活動を阻害する厄介ものとして捉えられ、除排雪や融雪のために石油や電力等のエネルギー消費及び人件費等に莫大な投資をしている。

2002年に「新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法<新エネ法>」の施行令が改正され、雪氷熱エネルギーが新エネルギーとして明確に位置づけられた。雪氷熱エネルギーは、低温で高湿度な環境を安価で安定的に作り出すことが可能であることから、昔から沿岸地域における魚の冷蔵や農作物の冷蔵保存のために活用されてきた。さらに、雪氷熱エネルギーは石油代替エネルギーとして、二酸化炭素を排出しないクリーンなエネルギーとして地球温暖化対策の一環を担う意義は高いと言える。

近年、融雪水を冷房の冷熱源として利用する雪冷房の取組が活発化しつつある。2010年時における雪氷熱エネルギー活用施設は、全国で140施設あり、北海道に65施設あり最も多く、新潟県で34施設あり2番目に多い。新潟県内の雪氷熱エネルギー活用施設は、上越市や南魚沼市及び津南町等の豪雪地域を中心に冷蔵・貯蔵施設が多い一方で、雪冷房を導入する施設もある。

雪冷房とは、冬季に降り積もった雪を夏季まで雪室内に保存しておき、その冷気や冷房時の冷媒を冷却するための冷熱源として融雪水を活用して冷房す

るものである。雪冷房は雪室の設置等のイニシャルコストは高いものの、雪氷熱エネルギーを利用することにより電気により動く吸収式冷温水機を使用する期間が短くなるためにランニングコストが削減される。

雪冷房は冷水循環式雪冷房と冷風循環式雪冷房の2種類がある。冷水循環式雪冷房の場合、雪室内に散水し雪が融けた冷水を汲み上げて、熱交換器を介して冷媒（不凍液）を冷やし、冷媒が冷房対象室に設置されたファンコイルユニット（FCU）のコイルの中を通り冷房するものである。一方、冷風循環式雪冷房は、冷房対象室内から搬送されて来た暖かい空気を雪室に導き、空気を雪に直接接触させて冷やし、その空気はある程度暖気と混合して室内に戻す仕組みである。空気と雪が直接接触するため粉塵等が雪表面で除去される除塵効果や空気中の水蒸気が雪の表面で結露する除湿効果、及びアンモニアやホルムアルデヒド等の水溶性化学物質も吸着する脱臭効果が先行研究<sup>1), 2)</sup>により確認されている。

一方、「雪冷房は優しい冷房」と一般的に言われているものの、その要因は明らかになっていなかった。我々が行った研究<sup>3)</sup>では、強制対流により人体から熱を奪うエアコン冷房に対して、雪冷房は低温、低湿度、低風速の空気人体を包み込み放熱を促す冷房であることから人に優しい快適な冷房であると考えた。

一般的に高齢者はエアコン冷房からの冷気を好まないことや温熱環境に対する感覚が鈍い等の理由から、暑くても冷房を使用しない傾向がある。我々は

雪冷房は高齢者に適した冷房であると考えた。

そこで本研究では、冷水循環式雪冷房とエアコン冷房が使用可能な高齢者施設を対象に、雪冷房時とエアコン冷房時の住環境の相違を明らかにすることを目的として、温湿度や風速等の測定、施設を利用する高齢者へのヒアリング調査、及び高齢者を介護する職員へのアンケート調査を行った。

## 2. 施設の概要

### 2.1 高齢者施設の概要

雪室を併設し、冷水循環式雪冷房とエアコン冷房とに切り替えることのできる新潟県柏崎市にあるKディサービスセンターを対象として調査を行った。

ディサービスセンターは、9～16時に高齢な利用者を介護・世話をする施設である。午前中には図1の平面図中のホールで談話やテレビを見る一方で、順番に入浴する。正午に昼食を取り、昼食後に1時間程度ベッドや和室で昼寝をする。13時半頃からホールでリクレーションとして歌を歌ったり、ゲーム等を行うことが多い。15時頃におやつを食べて16時過ぎに帰宅する。

表1に空調方式の概要を示す。ファンコイルユニットとダクト方式を併用している冷水循環式雪冷房は6・7月の暑い日から使用し始め、8月上旬まで使用し、雪がなくなるとエアコン冷房に切り替わる。天井高4.5mのホールでは、床上3.3mの吹き出し口12個からの冷風と、ホールの両側の床上2.1mの天井にあるスリット型の吹き出し口からの冷風により冷房される。設定温度は通常25～26℃であるが、施設利用者の要望や介護職員の判断で調節している。

### 2.2 雪室と冷水循環式雪冷房設備の概要

鉄筋コンクリート造2階建の高齢者施設に隣接して雪室と機械室、吸収式冷温水機及びクーリングタワーが設けられている。

図2に冷水循環式雪冷房システムの概要を示す。機械室内部では、一次冷水管と二次冷水管が配管されている。一次冷水管は、雪室からの融雪水と熱交換後

の暖まった水を雪室に搬送し、放水することを繰り返している。二次冷水管は、施設と機械室を循環し、熱交換器内で一次冷水管に流れる融雪水と施設での冷房使用により暖まった冷媒を熱交換し、冷やした冷媒を施設に送ることを繰り返している。エアコン冷房の場合、吸収式冷温水機で冷水を造り、冷媒の冷却を行う。冷媒はフロンガスを使用しており、ハイドロクロロフルオロカーボン (NCFC) とハイドロフルオロカーボン (NFC) を使用している。

### 3. 調査の概要

調査は温湿度測定等の実測調査、施設利用者対象のヒアリング調査、及び介護職員対象のアンケート調査から構成される。2014年6月25日～9月2日と2015年7月25日～8月31日に常時測定を行った。

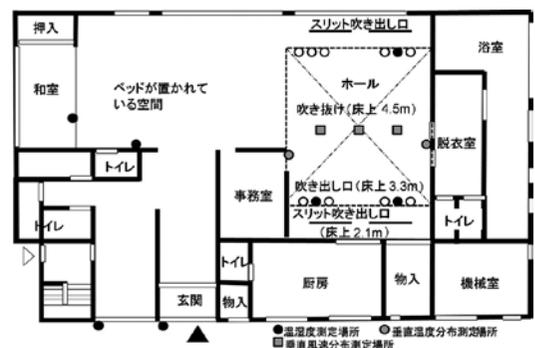


図1 施設の平面図と計測地点

表1 施設内の空気調和方式の概要

空気調和	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ダクト方式 (定風量、変風量)</li> <li>・ファンコイルユニット+ダクト併用方式</li> <li>・輻射方式+ダクト併用方式</li> </ul>
冷暖房設備	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ファンコイルユニット方式+全熱交換器</li> <li>・ヒートポンプエアコン</li> </ul>
冷媒の種類	<ul style="list-style-type: none"> <li>・NCFC22</li> <li>・NFC407C</li> </ul>

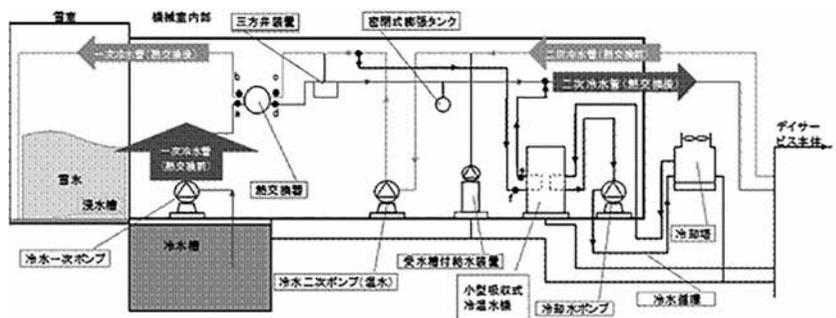


図2 冷水循環式雪冷房システムの概要

表2に調査の概要を示す。

表2 高齢者施設における冷房環境調査の概要

調査	期間		調査対象者	回答数	調査内容
ヒアリング	雪冷房時	2014年 7/2, 7/16, 8/1, 8/2	施設利用者 (60歳代~90歳代の 高齢者)	45名	・施設1階のホールにおける雪冷房時とエアコン冷房時の温冷感及び冷房環境の評価 ・施設内の雪冷房と家庭内の冷房との比較
	エアコン時	2014年 8/13, 9/2		20名	
アンケート	雪冷房期間	2014年 6/25~7/16	介護施設代表者	1名	・施設の冷房の管理について ・雪冷房使用時の注意点や不便な点
				介護職員 (20歳代~60歳代)	
	冷房使用期間	2015年 7/25~8/31	介護職員 (20歳代~60歳代)	20名	・施設1階のホールにおける雪冷房時とエアコン冷房時の温冷感及び冷房環境の評価 ・施設利用者がホールの雪冷房及びエアコン冷房についてどのように感じているかの予想
実測	雪冷房時	2014年 6/25, 7/2, 16, 8/1	垂直温度分布測定(高さ:10,30,40,50,60,110,150,180,200cm)、 風速測定、水平温度分布測定(高さ:90cm)		
		2015年 7/25, 7/31, 8/4	垂直温度分布測定(高さ:前年度と同じ)、風速測定、熱画像撮影		
	エアコン時	2014年 8/2, 13, 9/2	垂直温度分布測定(高さ:10,30,40,50,60,110,150,180,200cm)、 風速測定、水平温度分布測定(高さ:90cm)		
		2015年 8/21, 8/26, 8/31	垂直温度分布測定(高さ:前年度と同じ)、風速測定、熱画像撮影		
	冷房使用期間	2014年 6/25~9/2	自動湿度測定(外部、吹き出し口、機械室、施設内各所(一部で		
	冷房使用期間	2015年 7/25~8/31	垂直温度分布…高さ:10,30,40,50,60,(90),110cm)		

**3.1 実測調査の概要**  
 訪問測定は2014年に7回(雪冷房時4回, エアコン冷房時3回), 2015年に6回(雪冷房時3回, エアコン冷房時3回)行った。2014年に雪冷房使用期間中とエアコン冷房使用期間中に測定した地点を図1に示す。測定項目及び測定方法を以下に示す。

1) 常時測定

①外部の温湿度: 施設外部で雨風にさらされない2か所で15分毎のデータを収録した。

②雪室及び機械室付近の温度: 施設外部にある雪室内1か所(2014年), 及び機械室内外にある一次冷水管と二次冷水管の熱交換を行う前後の各1か所ずつに温度センサーを設置し, 15分毎のデータを記録した。

③ホールでの温湿度: 吹き出し口の中央(2014年は3か所, 2015年は2か所)に温湿度センサーを設置し, 15分毎のデータを収録した。さらに, 施設内1階ホールにおける事務室入口の床上10・30・40・50・60・110cm(2015年は床上90cmも計測)と, 浴室付近の床上10・30・40・50・60・70cmに温度センサーを設置し, 垂直温度分布のデータを15分毎に記録した。

2) 訪問測定

①垂直風速分布: 施設内1階ホール中央にて, 棒上測定装置に風速計を床上10・30・40・50・60・90・110・150・180・200cmのうち3つの高さに固定し, 垂直温度分布を測った。1回の計測は1秒ずつ60秒間で行った。

②水平風速分布, 水平温度分布: 風速計を床上90cmに固定し, 施設内1階ホールの窓側・中央・厨房側の3区分で水平温度分布を測った。風速計で風速と同時に温度も測定できたため, 併せて水平温度分布も測った。1回の計測は1秒ずつ60秒間で行った。

3.2 ヒアリング調査の概要

2014年において, 雪冷房時に45人に, エアコン冷房時に20人の高齢な施設利用者を対象にヒアリング調査を行った。調査内容は, 回答者の属性(性別・年齢・体質・冷えるを感じる部位)と着衣量, 持病や痛い部位, 施設での温冷感・乾湿感・気流感・快適さ・冷房環境の好み, 家での冷房使用頻度や防暑対策及びエアコン使用等である。

3.3 アンケート調査の概要

2014年に介護職員17人を対象としてアンケート調査を行った。調査期間中に1回, 1階ホールの雪冷房時と2階休憩室のエアコン冷房時の環境評価を得た。2015年には, 1階ホールでの雪冷房時とエアコン冷房時における冷房環境評価について20人の介護職員から回答を得た。調査内容は, 回答者の属性(性別・年齢・体質)と着衣量, 勤務形態と年数, 1階ホールでの雪冷房時とエアコン冷房時における温冷感・乾湿感・気流感・快適さ・満足度, 部位別温冷感, 施設と自宅での冷房環境の違い等である。

4. 雪冷房とエアコン冷房時の温熱環境の実態

4.1 雪冷房とエアコン冷房時の冷熱源

図3は8時半から17時において雪冷房運転した日, 午前中に雪冷房を行い12時ごろにエアコン冷房に切り替わった日, 同時時間帯にエアコン冷房運転

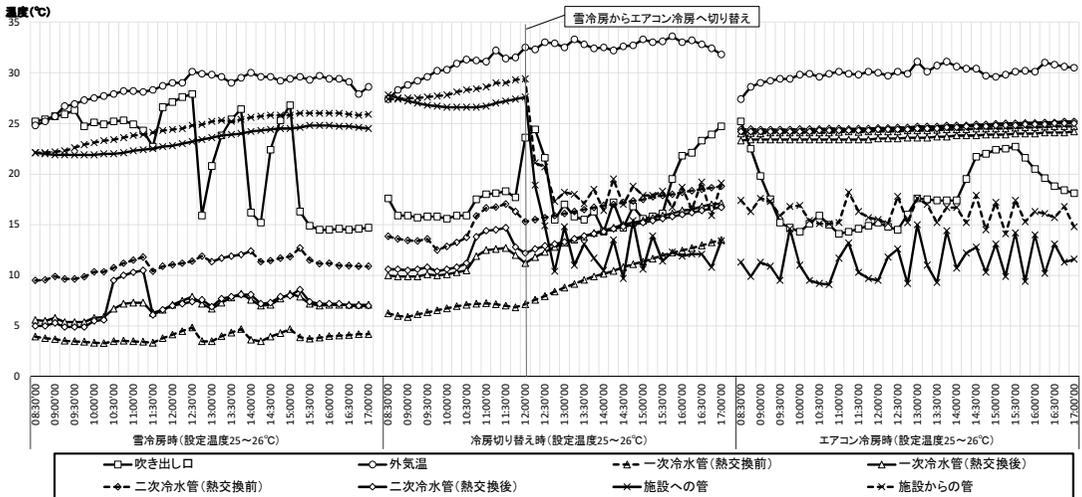


図3 外気温と一次・二次冷水管内の温度変化

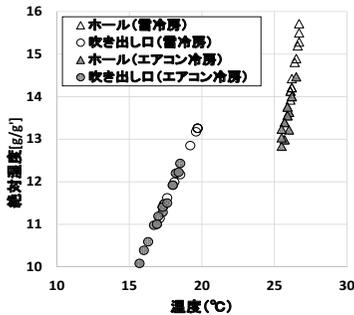


図4 施設の温湿度

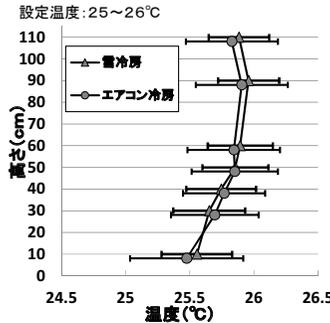


図5 施設の垂直温度分布

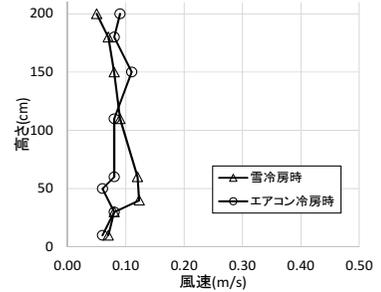


図6 ホールでの垂直風速分布

を行った日における一次と二次冷水管内の温度変化と外気温の変化を示す。

雪冷房日における熱交換前の一次冷水管の温度は3~5℃, 熱交換後の温度は5~8℃で, 熱交換前の二次冷水管の温度は10~13℃, 熱交換後の温度は5~10℃であった。

雪冷房からエアコン冷房に切り替えた日の一次冷水管の熱交換前の温度は5~7℃, 熱交換後の温度は10~12℃あり, 二次冷水管の熱交換前の温度は12~17℃で, 熱交換後は10~15℃であった。冷房切り替え時の雪冷房時の冷水管の温度が1日中雪冷房を使用した時よりも高くなった要因は, 時期による影響があると考えられる。雪冷房とエアコン冷房で熱交換後の冷水管(冷えた冷水管)の温度は10~15℃で変わらない。このため, 融雪水による熱交換は吸収式冷温水機で冷却する場合と同等の熱交換が可能であると言える。

#### 4.2 雪冷房とエアコン冷房時の温熱環境の実態

2015年8月のうち, 午前中に雪冷房, 午後にはエアコン冷房を使用した日の温度と絶対湿度との関係を図4に示す。冷房設定温度が25~26℃の場合, 吹き出し口からの冷風の温度は15~20℃で, 絶対湿度は10~13g/gで低温・低湿度であるのに対して, ホールにおける温度は25~26℃で, 絶対湿度は13~16g/gと高い。エアコン冷房に比べて, 雪冷房時の吹き出し口の温度は1~4℃高いが, ホールでの温度は最大でも0.5℃ほど高い程度である。雪冷房時の吹き出し口の温度が高いのは, 雪冷房の方が熱交換後の冷媒の循環距離が長いと考えられる。一方, 雪冷房時における吹き出し口やホールの絶対湿度はエアコン冷房時より1g/g高い。

垂直温度分布を図5に示す。設定温度25~26℃時の両冷房における垂直温度分布はほぼ同じであり, 床上50cmまでは温度成層がみられ, 60cm以上で一様に25.7℃前後となる。これらのことから, ホー

ルの温湿度については冷房システムによる大きな違いはみられず、冷水循環式雪冷房時とエアコン冷房時はほぼ同じ冷房環境が形成されていると言える。

図6に示す垂直風速分布は、雪冷房時は床上40～60cmで最も高く60cm以上では徐々に風速が下がっており、エアコン冷房時は床上150cmで最も高いが上下での差がほぼ無い。しかし、これは風速0.1m/s前後での差であり大きいと言える差ではない。そのため垂直風速分布は同じであると考えた。

以上の結果から、冷水循環式雪冷房時とエアコン冷房時の冷房環境は、冷媒の熱交換以外のシステム及び吹き出し口が異なる場合において、ほぼ類似した温熱・空気環境が形成されると言える。

### 5. 高齢な施設利用者と介護職員の居住環境評価の実態

#### 5.1 回答者の属性

ヒアリング調査（高齢者）及びアンケート調査（介護者）の回答者の属性を図7に示す。高齢な施設利用者は雪冷房時に40人以上が、エアコン冷房時に20人が回答した。女性が70～80%を占め、80歳代が58～70%を占めた。冷えを感じる部位は71%がないと回答しており、体の痛みは45%の人が訴えていた。約30%の人が持病（糖尿病、能梗塞、胆石、胃・腎臓・心臓等）を持っていた。

一方、介護者側の81%が女性で、20・30歳代が60%以上を占め、常勤が55%である。体質は様々である。

#### 5.2 高齢な施設利用者と介護職員の部位別温冷感

図8に高齢者と介護職員の部位別温冷感を示す。雪冷房時において、介護職員の部位別温冷感を見ると、暑い側評価が上半身の部位で47%以上を占め、

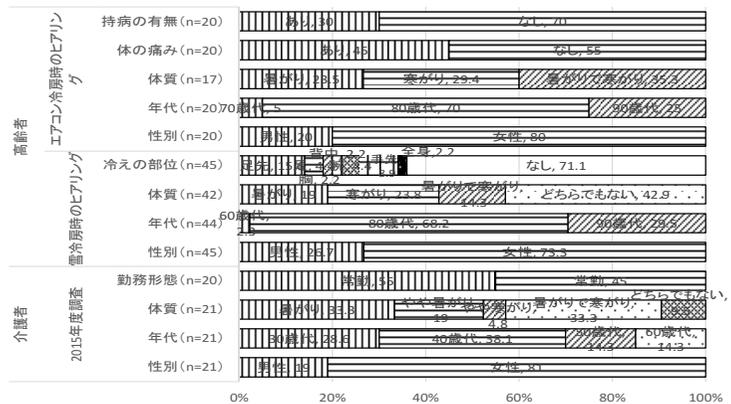


図7 高齢者と介護職員の属性

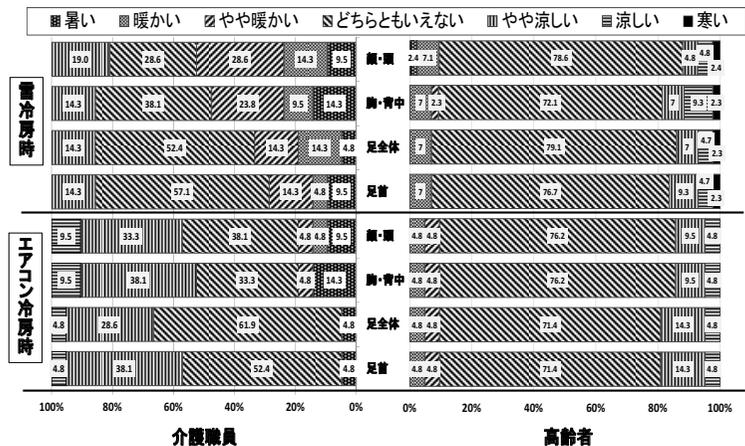


図8 高齢者と介護職員の部位別温冷感

顔や頭部で約52%となっており、暑さを感じている様相が伺える。一方、高齢な施設利用者の場合、いずれの部位においても約72～79%の比率で「どちらでもない」と中庸な評価であることから、体の部位による温冷感の相違はほとんどない。両者の温冷感の相違の要因として、高齢者の場合には温冷感が鈍くなっていることや、長袖・長ズボンを着ており肌の露出面積が狭い人が多いこと、及び両者の代謝量が大きく異なること等が挙げられる。

図9は雪冷房時とエアコン冷房時における高齢者と介護職員別の冷房環境に関する評価毎の各評価尺度の割合を示す。高齢者の場合、両冷房時の評価に大きな相違が見られない。温冷感において中庸な評価が7割以上で、気流感において半数以上の方が気流を感じておらず、約75%の人が満足側（好む側）の評価を、80%前後の人が快適側の評価をしている。

一方、介護職員の温冷感は、雪冷房時に「やや暖かい」が29%で涼しい側の評価が約48%であるのに対して、エアコン冷房時には約72%の比率で涼しい側の評価をしている。雪冷房時において、湿気感「やや高い」と約48%が感じており、気流感も弱い側や感じない人が約43%おり、不満足側評価が約47%と高い。しかし、快適側評価は35%で、不快側の30%より高く、中庸な評価が35%である。エアコン冷房時の介護職員の評価は、雪冷房時に比べて全体的に良好な側の評価尺度の割合が高い。介護職員の冷房の種類による評価の相違の要因として、代謝量が高いことと雪冷房時の運転不具合による冷房停止時の暑熱感等が挙げられる。

雪冷房とエアコン冷房の印象を図10に示す。印象の相違では、エアコン冷房は「冷えすぎる」、「湿度が低い」、「身体が寒い」という回答割合が雪冷房よりも高く、雪冷房は「冷えすぎない」、「湿度が高い」、「同じ設定でも日によって温度が違う」と捉えられていることがわかった。

6. まとめ

冷媒を冷却する冷水の種類以外はほぼ同一の冷水循環式冷房設備を使用している高齢者施設において、温湿度・風速等の実測調査と施設利用者へのヒアリング調査及び介護職員へのアンケート調査を行った結果、以下の知見を得た。

- 1) 冷水循環式雪冷房による室内の温熱・空気環境は、冷媒の冷却以外のシステムが同じである場合、エアコン冷房と比較しても大きな差はなかった。
- 2) 冷水循環式雪冷房の冷房環境評価は高齢者は快適で満足な冷房であるという評価に対して、代謝量の大きい介護職員にとっては冷房停止の頻度の高

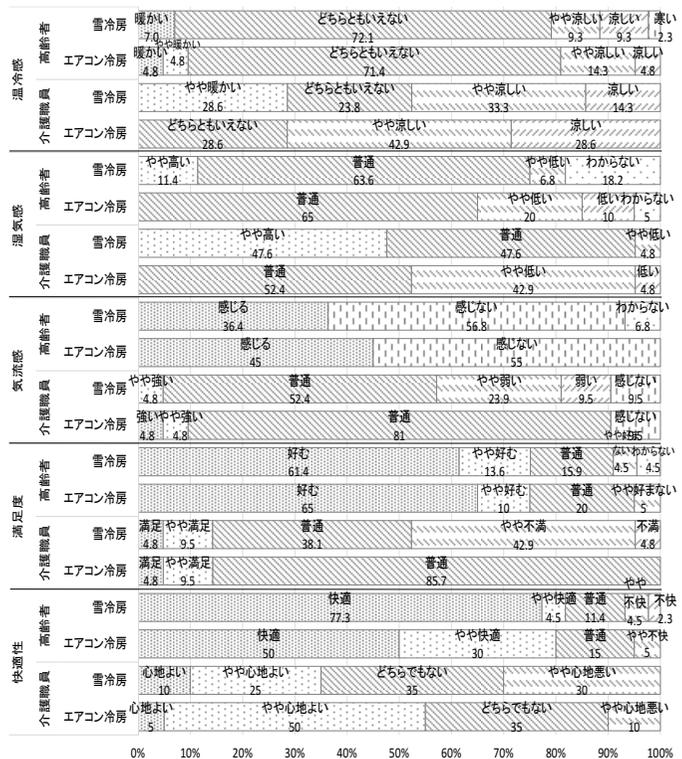


図 9 高齢者と介護職員の冷房環境評価

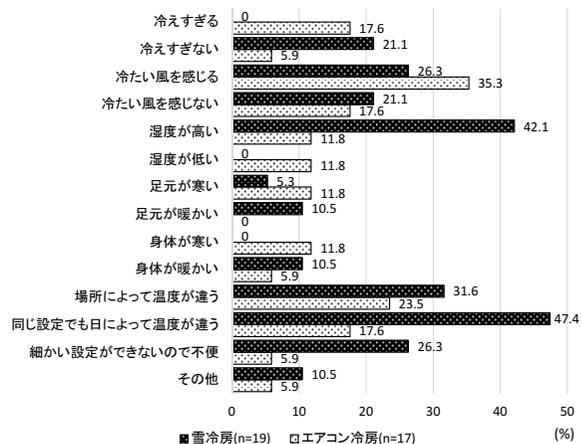


図 10 雪冷房とエアコン冷房の印象

さから不満を感じる冷房であると評価された。これらのことから、雪冷房は高齢者には適しているが、代謝量の大きい介護職員には適しているとは言いがたい。冷房停止の問題が解決すると雪冷房時の評価の改善につながると考えられる。

## 謝辞

本調査を実施するに当たり、柏崎市役所福祉保健部の星野毅様と柏崎市社会福祉協議会の野澤亮太様及び加藤玲子様には調査への理解とご協力をいただきました。Kディサービスセンターの高橋恵子様には調査において多大なるご尽力とご協力をいただきました。ここに深謝致します。また、調査にご協力いただきました介護職員の皆様と施設利用者様に感謝の意を表します。また、本調査に協力いただきました当時本研究室におられました佐藤美佳様にヒアリング調査にご協力いただきました。感謝申し上げます。

## 参考文献

- 1) 飯嶋和明, 媚山政良, 王愛栄, 小関多賀美, 近藤昌人: 雪冷房におけるアンモニアガスの吸収効果, 日本機械学会論文集 (B編), 63巻614号, pp.3390 ~ 3395, 1997年
- 2) 上村靖司, 永井宏幸, 宝地戸謙介, 伊藤親臣: 雪室をビルトインした住宅における空気循環冷房の性能, 空気調和・衛生工学会論文集, No.163, 2010年
- 3) Yukari Iino: Thermal environment and comfort features associated with cold air circulation and cold water circulation snow cooling systems, Grand Renewable Energy 2014, P-He-22, 2014