OAフロア用潜熱蓄熱床暖房システムと空調の併用運転時におけるSET*制御に関する研究

STUDY ON THE CONTROL OF AIR CONDITIONING SYSTEM WITH THE LATENT HEAT STORAGE FLOOR HEATING SYSTEM BY SET*

岸本孝志 — *1 浅野良晴 — *2

Takashi KISHIMOTO — *1 Yoshiharu ASANO — *2

キーワード：
OAフロア用潜熱蓄熱床暖房システム, 空調, SET*制御

Keywords:
Latent heat storage floor heating system for free access floor, Air conditioning, Control by SET*

The running costs of electric power for the latent heat storage floor heating system is lower than a conventional floor heating system. The developed latent heat storage floor heating system is built into a panel for free access floor. The characteristics of this system are described in this paper. In this study, the reliability of SET* in the case with a floor heater is shown by the experiment using questionnaires at first. Then, the control of air conditioning system together with the latent heat storage floor heating system by SET* is experimented. The results obtained describe the control by SET* is useful.

1 はじめに

近年の建築設備には、快適性、安全性とともに経済性が求められている。割安な夜間電力を利用した設備としては「貯湯型電気温水器」や「氷蓄熱空調システム」などととも、床暖房設備においても「潜熱蓄熱床暖房システム」が普及しはじめている。

電気ヒータを熱源とする床暖房は、温水式と比べると、システムが単純で、操作性に優れているが、ランニングコストが高いと言われていた。その解決策として、夜間の割安な電力を使用する蓄熱式床暖房が考えられた。その中でも最近注目されているのが潜熱蓄熱材を用いた床暖房である。

潜熱蓄熱材は、液相-固相の相変化に伴って一定温度で起こる潜熱エネルギーの出入りを利用したもので、コンクリート躯体などに蓄熱する顕熱蓄熱に比べて蓄熱密度が高く、放熱（凝固）時の温度が、ほぼ一定に保たれるという性質をもっている。本論文で扱う「OAフロア用潜熱蓄熱床暖房システム（以下：OA床暖房システム）」は、潜熱蓄熱材をOAフロア（オフィス用二重床）パネルに組み込んだものである。

既往の論文¹⁾では快適性を目指しながら省エネルギー性を確保する事を目的として、OA床暖房システムと空調システムを併用運転した場合における、床暖房への適切な投入熱量を予測制御する方法の提案をシミュレーションによって行ってきた。本論文では開発経緯、本システムの概要を示すと同時に、床暖房運転時における快適性評価指標として標準新有効温度（以下 SET*）に着目して、SET*の有効性を実験により確認すると共に、さらに SET*目標値から逆に快適室内温度を求めて空調制御を行う SET*制御システムにつ

いて実験を行い、基礎的な検討を行った結果、SET*制御システムの有効性を確認した。

2 OA床暖房システムの概要

2.1 開発の経緯

「OAフロア」は、50cm 角の強固な床パネルを、床下に 30mm～100mm 程度の配線空間を設けて敷き詰め、オフィス内を縦横に行き交う情報通信用ケーブルなどを、床下に自由自在に配線できる機能的な床システムとして広く普及している。このような二重構造の床で床暖房を行う際に、下面の床スラブを暖めても、配線空間があるために、上面のOAフロアが暖まるまでには、時間がかかり、熱的なロスも多い。といってOAフロアパネルに電気ヒータを組み込んだものでは、ランニングコストが高くなる。そこで、夜間の割安な電力を利用した「潜熱蓄熱床暖房システム」をOAフロアパネルに組み込んだ「OA床暖房システム」を開発した。

OA床暖房システムは、施工後に床暖房エリアを変更する事が可能であり、室内の用途変更や間仕切り変更などに対応できる。

2.2 構成

図1にOA床暖房パネルの断面構成を示す。図中のOAフロアパネルがOAフロアとして必要な強度を保有している。熱源の電気ヒータと潜熱蓄熱材は、断熱材を内張りした鋼板製ケーシング内に収めて、OAフロアパネル直下に取付けている。なお、OA床暖房パネル1枚あたりの電気ヒータの容量は 50W であり、潜熱蓄熱材の容量は 3 kg である。表1に潜熱蓄熱材の物性を示す。

*1 俵きんでん京都研究所 副長
(〒619-0223 京都府相楽郡木津町相楽台3-1-1)
*2 信州大学工学部社会開発工学科 教授・工博

*1 Assistant Manager, Kinden Corporation, Kyoto Research Institute

*2 Assoc. Prof., Dept. of Architecture and Civil Engineering, Faculty of Eng., Univ. of Shinshu, Dr. Eng.

表 1 潜熱蓄熱材の物性

主成分	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
融解温度	32℃
凝固温度	30℃
蓄熱量	155kJ/kg
比重	1.34
比熱	2.5kJ/(kg・K)

図 1 O A床暖パネルの断面構成図

2.3 蓄熱・放熱性能

O A床暖房システムの蓄熱は7時間以内で完了し、その後の暖房可能時間は10時間以上である。ただし蓄熱時の室温は5℃以上で、気流の無いことを条件としている。また暖房可能時間とは蓄熱完了後の放熱時間のことであり、室温が20℃以上の時に、床カーペット裏面温度が23℃以上の状態を保つ時間とした。図2に実験室で計測したO A床暖房パネル温度の経時変化を示す。この図は夜間空調停止時の1時から8時まで通電し蓄熱を行い、8時から室温20℃で空調を行いながら床暖房の温度変化を計測した結果、暖房可能時間は10時間強であった。なお、カーペット表面温度はセンサの取り付け方による計測値のばらつきが有るため参考値とした。

図 2 O A床暖房の温度経時変化

3 床暖房運転時における SET*に関する実験 1

本実験1では床暖房運転時における SET*の有効性を確認するため、実際に使用している建物で温熱環境計測と温冷感に関するアンケート調査を行い、SET*とアンケート結果を比較評価した。

本実験1は長野県下伊那郡に立地するT事務所^{2), 3)}の事務室を対象とした。事務室平面図を図3、図4に示す。事務室内はカウンターにより事務スペースと待合スペースに分けられ、事務スペースにはO A床暖房システムが、待合スペースにはコンクリート埋設型床暖房が設置されている。空調設備はA H U方式であるが本実験1では運転せず、床暖房のみの運転とした。実施は1999年1月7日に行った。温熱環境計測は床表面温度、室内温湿度、グローブ温度および気流速度を、それぞれ図4に示す計測点において、床表面温度以外は床上1mで計測した。気流速度に関しては執務時間中に約2時間おきに4回計測したが、いずれも約0.1m/sであった。アンケート調査は事務室において事務作業を行っている職員44人(男性35人、女性9人)を対象に行い、床暖房運転時における職員の温冷感及び快適感を把握した。回答者の中には途中で外出される方もおられたため時間毎に多少母数は変化した。

図5にこの日の室内温熱環境経時変化を示すが、データ回収による欠測部分が存在する。図6には時間帯別の温冷感評価と SET*を示す。SET*は時間平均値を示す。図6では、午前8時から9時に「寒い」と申告した人は17.5%であり、その時の平均 SET*値は21.0℃であった。午後16時から17時と17時から18時にはそれぞれ34.5%、47.7%が「寒い」と申告し、その時の平均 SET*値はそれぞれ22.1℃、22.0℃であった。一方、14時から15時では「暑い」と申告した人が27.5%であり、その時の平均 SET*値は22.3℃であった。これは15時の休憩時間に推奨されている体操の後に申告したためであった。また最も不快感が少なかった11時～13時の平均 SET*値は22.7℃～22.9℃であった。以上アンケート結果と実測結果を総合すると、床暖房時においても快適性評価に SET*がおおむね有効であることを確認することができた。

図 3 全体平面図

図 4 事務室平面図

図 5 1月7日の室内温熱環境経時変化

図 6 時間帯別の温冷感と SET*

4 O A床暖房システムと空調を併用運転した場合における SET*制御システムに関する実験 2

4.1 実験 2 の概要

本論文実験 1 により、SET*が床暖房をした場合における快適性評価に有効であったという結果を踏まえて、実験 2 では O A 床暖房システムと空調を併用運転した時に、目標とする SET*値から逆に目標室内温度を求めて空調制御を行う SET*制御システムについて実験を行い、基礎的な検討を行った。

本実験 2 では千葉県印西市に立地する K 研修施設内の教室の一室を対象とした。写真 1 に対象室内の写真を示す。図 7 に対象教室の平面図を示す。建物は R C 造・2 階建て、対象室は 2 階にある。図中のマス目は、床に 208 枚敷設した O A 床暖房パネルの割付を示す。空調設備は、実験用として 4kW の電気ファンヒータを室角に設置して室内に一様に吹き出した。図 8 に本実験 2 の制御の流れを示す。

本論文で述べる SET*制御システムは、入力信号として「目標 SET*値」「グローブ温度」「相対湿度」「気流速度」「作業強度」「着衣量」の 6 項目から室内設定温度を求めたものである。本実験 2 では「目標 SET*値」は 22℃、「作業強度」は 1met、「着衣量」は 1clo、「気流速度」は 0.1m/s とし、「グローブ温度」と「相対湿度」は計測値を入力信号とした。10 秒間隔で室内設定温度を求め、室温センサで監視しながら電気ファンヒータのヒータ部への通電量をサイリスタにより自動制御を行った。空調自動制御方式は P I 制御方式とし、P 値は 5%、I 値は 100s とした。

本実験 2 では SET*制御システムが有効に機能しているか評価するために、室内外温熱環境と消費電力量の計測を行った。その際、敷設した O A 床暖房の運転を 100%運転と半数の 104 枚を分散して運転する 50%運転の場合、空調制御を SET*制御システムと設定室温 22℃固定の場合について表 2 に示す case1~case4 の 4 ケースについて比較実験を行った。なお O A 床暖房システムの蓄熱時間は 1 時~8 時、空調の運転時間は 8 時~17 時とした。

4.2 実験結果および考察

図 9~図 12 に case1~case4 の計測結果として室内外温熱環境経時変化を示す。床暖房エリア 100%運転を行った case1 および case2 を比較すると、8 時から室温 22℃設定で空調運転を開始した case1 では通常制御により空調電気ファンヒータの通電が自動制御され、室温が 22℃に制御された。SET*制御の case2 では SET*が 22℃になるように制御したが空調電気ファンヒータはほとんど通電されていなく SET*は 22℃に安定しなかった。この原因は SET*制御で求めた設定室温が低く、それに伴う室内暖房負荷のほぼ全体が床暖房からの放熱だけで処理されていたために、空調電気ファンヒータを運転する事ができなかったと考えられる。

次に床暖房を 50%削減した case3 および case4 では、床暖房からの放熱量が少ないため、空調の消費電力量は当然増えているが、SET*制御した case4 では SET*値が 22℃に安定していた。

表 3 に各 case の消費電力量の計測結果を示す。8 時までは床暖房の消費電力量であり、以降は空調の消費電力量である。SET*制御を行った case2 と case4 は、通常制御の case1 と case3 に比べて昼間の空調消費電力量が少なくなっていた。本実験では空調に電

写真 1 実験対象室

図 7 実験対象室平面図

図 8 実験制御の流れ

表 2 実験ケース

case No.	床暖房エリア	空調自動制御の設定温度
case 1	100%	22℃固定
case 2		SET*制御による
case 3	50%	22℃固定
case 4		SET*制御による

表3 各 case の消費電力量計測結果

		[kWh]			
		case 1	case 2	case 3	case 4
夜間 床暖房 消費電 力量	0時～1時	0.24	0.27	0.13	0.11
	1時～2時	11.06	11.05	5.89	5.89
	2時～3時	11.05	11.04	5.88	5.87
	3時～4時	10.93	10.58	5.55	5.35
	4時～5時	9.18	7.78	3.96	3.59
	5時～6時	6.32	5.69	3.04	2.90
	6時～7時	5.53	5.26	2.82	2.76
	7時～8時	5.16	5.08	2.68	2.62
夜間消費電力量計		59.47	56.75	29.95	29.09
昼間 空調 消費電 力量	8時～9時	3.16	0.42	3.65	1.96
	9時～10時	1.68	0.07	3.02	1.25
	10時～11時	2.22	0.12	2.36	1.03
	11時～12時	1.59	0.37	2.01	0.43
	12時～13時	1.04	0.07	2.41	0.12
	13時～14時	1.06	0.07	2.34	0.09
	14時～15時	1.51	0.07	2.38	0.47
	15時～16時	1.95	0.56	2.20	0.80
昼間消費電力量計		16.41	2.87	22.45	6.80
消費電力量合計		75.88	59.62	52.40	35.89

表4 年間電気料金試算比較 (円/年)

case No.	case 1	case 2	case 3	case 4
電気料金	48,920	31,550	41,250	25,810

気ファンヒータを用いたが、COP=3 のヒートポンプエアコンに換算した際の年間電気料金試算比較を表4に示す。これは表3の運転負荷条件で冬季100日間運転し、その他の電力使用は無いものとした。また、電気料金計算には関西電力の業務用蓄熱調整契約(平成14年10月改定)を用いた。これによると、SET*制御を行った case2、case4 の年間電気料金は通常制御の case1、case3 と比較して低く、それぞれ64.5%、62.6%であった。

5 まとめ

本論文では、まずOA床暖房システムの概要について示した。次に実験1では床暖房時の快適性評価としてSET*がおおむね有効であることを、アンケート調査と室内環境計測から求めたSET*とを比較する事で確認した。さらに実験2ではSET*制御に関する基礎的な研究としてOA床暖房システムと空調の併用運転時においてSET*制御で空調設定温度を決定する実験を行い、暖房負荷に対してOA床暖房システムだけで暖房するのではなく、OA床暖房システムの放熱を少なくして、昼間の空調運転を併用することにより、目標とするSET*値に安定して制御する事ができた。また本実験2の比較では通常制御に比べてSET*制御を用いた方が年間電気料金試算は低くなった。

図9 case1 の計測結果 (100%床暖房, 通常制御 22℃設定)

図10 case2 の計測結果 (100%床暖房, SET*制御 22℃設定)

図11 case3 の計測結果 (50%床暖房, 通常制御 22℃設定)

図12 case4 の計測結果 (50%床暖房, SET*制御 22℃設定)

[2002年10月17日原稿受理 2003年2月25日採用決定]

謝辞：開発および計測にご協力いただいた皆さまに心より御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 三島, 浅野, 岸本: 事務所建築における空調システムに潜熱蓄熱式床暖房を併用した場合の床暖房への投入熱量の予測制御に関する研究 (その1) 空調負荷の時系列変動を考慮したヒーター稼働率の予測制御, 日本建築学会計画系論文集, 題550号, p71-77, 2001.12
- 2) 三島, 岸本, 浅野: OAフロア用潜熱蓄熱式床暖房と対流式空調機の併用運転時の室温制御に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2, PP. 935~936, 1998
- 3) 浜口, 浅野, 三島, 三島, 岸本: T事務所における床暖房と空調の併用運転の性能評価に関する研究 (その1) 床暖房運転時の実態調査, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2, PP. 1025~1026, 1999