

# 実験計画法に基づく屋根散水の 蒸発冷却効果に関する研究

## 第1報 数値実験計画の概要とシミュレーション結果

STUDIES ON THE EFFECTS OF EVAPORATIVE COOLING BY  
ROOF SPRAYING BASED ON THE DOE METHOD  
Part.1 Outline of Design of Experiment and Results of Numerical Simulation

石川 幸雄\*  
Yukio ISHIKAWA

### Abstract

To examine the possibility of passive cooling as well as energy saving, evaporative cooling by means of roof spraying is taken up as a technique of passive cooling and analysis of factors concerning the effects of passive cooling and energy saving is performed on a model private residence. In performing the analysis of factors, the Design of Experiment (DOE) Method is applied. Taking up roof spraying as a factor of passive cooling as well as the building insulation grade, window type and the presence of eaves as factors of energy saving in summer, which are regarded as controllable factors, numerical simulation is made for the passive cooling hours, average room temperature and rate of heat extraction, and the factor-effects are examined by conducting the Analysis of Variance and the F-Test. This paper, the first part of the study describes the outline of the Design of Experiment and the results of numerical simulation.

**Key Words:** Passive cooling, Evaporative cooling, Roof spraying, Energy saving, Design of experiment method, Nocturnal radiation, Wind force

### 1. 緒言

近年、建築における自然エネルギー、自然環境利用手法の一つとして、水分の蒸発冷却によるパッシブクーリングに関する研究が進展しつつある。既報<sup>(3)</sup>では、蒸発冷却による熱負荷低減に関する既往の研究例について検討考察し、屋根散水時の蒸発冷却による貫流熱取得低下量を示した。又、既報<sup>(4)</sup>では、蒸発冷却による自然冷房効果に関する研究例を検討考察した。これらは、いずれも水分蒸発に伴う熱的效果を研究対象としているが、蒸発冷却の手法と建物の熱的性能との相互の関連を考慮しつつ、これらが室内温熱環境及び除去熱量に及ぼす影響の程度を総合的に示した研究例は見当たらない。

この様な背景から、本研究では、パッシブクーリングの手法として屋根散水を取り上げ、夜間ふく射及び

自然通風による風力の利用をも考慮して、屋根散水による蒸発冷却効果としての自然冷房効果と除去熱量低減による省エネルギー効果について、建物の熱的性能を要因に含め、戸建住宅をモデルとして、実験計画法を用いて因子分析を行なう。

本報では、まず数値実験計画の概要とその方法について述べる。次に、これに基づき、自然冷房手法及び夏季の省エネルギー手法などに関する諸要因の中から、数値実験計画に取り上げた因子と水準について示し、更に、2水準系の直交配列表を用いた数値実験の組み立てを行ない、自然冷房効果、除去熱量低減による省エネルギー効果を代表する特性値として選定した自然冷房時間、除去熱量などについて行なった数値シミュレーションの結果について述べる。

次報において、得られた数値シミュレーション結果を分散分析し、各特性値に対する屋根散水及び各因子の主効果と交互作用を調べ、F検定を行なうことによって各特性値に対する有意要因を検出する。更に、各因子の各水準に対する各々の特性値を簡易計算によって推定し得る効果推定表を求める。

原稿受付 平成4年11月5日  
\* 会員、(株)竹中工務店技術研究所 主任研究員  
(〒136 東京都江東区南砂 2-5-14)

## 記号

$A_c$ : 窓面積	( $m^2$ )
$A_R$ : 窓開口(窓開時)面積	( $m^2$ )
$A_w$ : 屋根、外壁、床面積	( $m^2$ )
$a_D, a_w$ : 各々、非散水屋根及び散水屋根の日射吸収率	(-)
$a_s$ : 窓のサッシュ定数	(-)
$h$ : 窓開口(窓開時)及び窓サッシュの床面基準高さ	( $m$ )
$l$ : 窓サッシュのすきま長さ	( $m$ )
$n_s$ : 窓のサッシュ定数	(-)
$S_{cc}$ : 窓の対流しゃへい係数	(-)
$S_{cn}$ : 窓のふく射しゃへい係数	(-)
$U$ : 熱貫流率	( $W/m^2K$ )
$\alpha$ : 窓開口(窓開時)の流量係数	(-)
$\alpha_o, \alpha_{ro}, \alpha_{co}, \alpha_{ci}$ : 各々、壁体の外気側総合熱伝達率、外気側ふく射熱伝達率、外気側対流熱伝達率及び室内側対流熱伝達率	( $W/m^2K$ )
$\epsilon_D, \epsilon_w$ : 各々、非散水屋根及び散水屋根のふく射率	(-)

## 2. 数値実験計画

## 2.1 概要

夏季における自然エネルギー、自然環境の利用による自然冷房効果及び冷房を行なうことを前提とした場合の除去熱量低減による省エネルギー効果を検討するについて、検討上のパラメータとして次の要因が考えられる。

- (1) 自然エネルギー、自然環境利用による自然冷房手法に関する要因—屋根散水による蒸発冷却、自然通風(風力)、夜間ふく射など
- (2) 建物の夏季の省エネルギー手法に関する要因—断熱、窓種類、窓面積率、庇の有無、構造様式など
- (3) その他の要因—地域、方位、内部発熱スケジュール、建物規模など

本研究では、(1)に示した要因に関しては、屋根散水による蒸発冷却を取り上げ、屋根散水による自然冷房効果、除去熱量低減による省エネルギー効果の検討を主目的にするが、他の手法として、自然通風(風力)は、自然冷房効果検討時の室内温度計算において、通常の使用実態に即して昼間に窓の開放を行なうことで考慮し、又、夜間ふく射は、屋根、壁体に対して、一般的なふく射率値を用いて室内温度、除去熱量の計

算に含めることにより考慮することとする。

(2)、(3)の要因に関連して、横山<sup>(5)</sup>らは、事務所建築を中心として熱負荷を評価項目とした場合の省エネルギー要因の要因効果の分析結果を示しているが、本研究では自然冷房の手法を考慮した住宅モデルとして取り上げ、熱負荷のみならず、温熱環境の立場からの評価項目(以下、本研究ではこれを特性値と呼ぶ)を考慮し、各特性値に影響を与える要因の要因効果の分析を行なう。その具体的な検討項目は以下の通りである。

- 1) 自然冷房効果又は、冷房を行なうことを前提とした場合の除去熱量低減による省エネルギー効果に対する特性値を検討・設定し、特性値に影響を与えると考えられる要因の要因効果の程度を調べる。
- 2) 1)の検討結果をうけて、各特性値を最適に実現するための効果的な計画、対策の手法を見つけ出す。

1)の検討のためには、特性値に特に関係があると考えられる要因を全て取り込んで分析を行なうことが考えられる。しかし、2)の検討のためには、これらの要因の中には、(3)で示した地域、方位などのように、建物の与条件として与えられ、設計上の自由度がなく、直接の対策手法とはならないものまで含まれることが考えられる。本研究では、以上の点を考慮しつつ、必要な関連因子を取り上げて、数値実験の回数をできるだけ少なくし、1)、2)の検討を効果的に行なうために、実験計画法を用いることとした。なお、2)の立場から、地域、方位についてはこれを固定因子として扱うこととし、更に、内部発熱とそのスケジュール及び形態要素としての建物規模、窓面積率も、まず標準的な住宅モデルを設定することで固定因子として扱い、これらを固定した条件の下で、効果的な計画、対策の手法を見い出すことを主眼に、数値実験の組み立てを行なった。

数値実験における特性値としては、検討目的別に以下の各値を設定し、2.2に示す各因子を取り上げ、実験計画法を用いて数値シミュレーションを行ない、結果を分散分析し、更に、各因子の主効果及び交互作用についてF検定を行なって有意要因を検出し、要因効果を推定する。

## (1) 自然冷房効果に関する特性値

## 1) 自然冷房時間(PCH)

室内のふく射環境を考慮した指標として、本研究では環境温度(TEI)<sup>(6)</sup>( $=1/3 \cdot$ 室内温度 $+2/3 \cdot$ 平均ふく射温度)を取り上げ、夏季期間において

ある快適基準温度を設定した時、夏季期間内で出現する室内の環境温度又は、室内温度( $t_r$ )がこの基準温度以下となる時間の累積—本研究では、基準温度として、環境温度、室内温度共に26℃を設定した。

2) 環境温度及び室内温度の夏季期間平均値( $\overline{TEI}$ ,  $\overline{tr}$ )

(2) 冷房運転を前提とした場合の省エネルギー効果に関する特性値

1) 期間除去熱量(全熱(HEt)及び顕熱(HES))

2. 2 因子・水準の選定と直交配列表への割付け

2. 1で述べた特性値に影響を及ぼす因子として、自然エネルギー、自然環境利用の冷房手法については、屋根散水、夏季における省エネルギー手法については、断熱、窓の種類、庇を取り上げ、これらを制御因子として扱った。

又、2. 1に述べた通り、地域、方位については、地域、方位毎の計画、対策の手法の重要度を調べるため、これらを固定因子として扱い、方位については、建物が東西軸に面した場合(主となる面が南向き)と、南北軸に面した場合(主となる面が西向き)について各々数値実験を行なった。又、対象地域については、本研究では東京とした。更に、内部発熱とそのスケジュール及び建物規模、窓面積率については標準的な住宅モデルを想定することとし、又、構造様式はRC造とし、これらを固定因子として扱った。

数値実験に取り上げた制御因子について、2水準系の直交配列表 $L_8(2^7)$ を用いることとし、表1に数値実験に選定した因子及びその水準を示す。直交配列表への因子の割付けにおいて、ここでは屋根散水の効果の検討を主目的としたため、屋根散水と他の因子との交互作用を全て考慮することとした。各因子の主効果及び交互作用の割付けを表2に示す。ここで、各因子及び各因子間の交互作用について、便宜的次の記号をつけることとする。

- A : 屋根散水      A × B : 屋根散水と断熱
- B : 断熱          A × C : 屋根散水と窓
- C : 窓            A × D : 屋根散水と庇
- D : 庇

直交配列表 $L_8(2^7)$ の実験回数は8であり、これについて、検討目的別、建物方位別に合計32ケースの組み合わせを考慮し、分析を行なった。数値実験の組み合わせを図1に示す。

3. 室内温度、除去熱量の計算理論

表1 因子と水準

Factor	Number of Levels	Level	
		1	2
A:Roof Spraying	2	Sprayed	Not Sprayed
B:Insulation	2	Not Provided	Provided
C:Window	2	Heat Absorbing Float Glass (H.A.F.G.)	Float Glass (F.G.)
D:Overhang	2	Provided	Not Provided

表2 直交配列表

Experiment No.	Row						
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	2	1	2	1	2	1
3	1	1	2	1	2	1	2
4	1	2	2	2	1	2	2
5	2	1	1	2	1	1	2
6	2	2	2	1	2	2	1
7	2	1	1	1	2	1	1
8	2	2	2	2	1	2	2
Factor	A	B	A × B	C	A × C	D	A × D

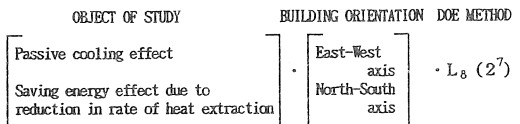


図1 数値実験の組み合わせ

屋根散水により屋根の表面が湿っている場合と屋根散水を行っていない通常の場合の室内温度、除去熱量を算定する。本研究では、文献<sup>(7)</sup>、<sup>(8)</sup>に報告した散水屋根面のある場合の、多数室室内温度、除去熱量の計算理論を用いる。

多数室の室温変動、除去熱量の計算理論としては、宇田川らによる後退差分に基づく方法<sup>(9)</sup>、渡辺らによるZ変換に基づく方法<sup>(10)</sup>、坂本による応答係数に基づく方法<sup>(11)</sup>などがあるが、本計算理論は、壁体の表面が湿っている場合の熱伝達について文献<sup>(3)</sup>に示した湿相当外気温度の考え方に基づき、又、壁体の熱伝導に対しては応答係数法を用い、更に、室内相互ふく射、室間換気をも考慮している。

屋根散水を行っていない多数室建物の室内温度、除去熱量を解く場合、各室の室内温度、除去熱量などが未知の値となるが、屋根散水を行なっている場合、これに加えて散水屋根面で物質移動を伴う熱伝達が生ずるため、散水屋根の外表面温度を求めることが必要となり、散水面の表面温度も未知の値となる。しかも、この物質移動を伴う熱伝達の温度に対する非線形性に

より、その表面温度に対する収束計算の必要が生じる。文献(7)・(8)に示した計算理論では、この物質移動を伴う熱伝達量の計算法として、非線形収束計算に基づく物質移動収束計算法と、物質移動を近似的に線形化した物質移動簡易計算法について示しているが、本研究では、前者の物質移動収束計算法に基づき、室内温度、除去熱量の計算を行なった。

4. 室内温度、除去熱量のシミュレーション

4. 1 シミュレーションモデル及びシミュレーション条件

3. に示した計算理論に基づき、東京平均年<sup>(12)</sup>夏季期間(6月~9月)の気象データを用いて、室内温度及び除去熱量のシミュレーションを行なった。検討対象建物としては、平屋の戸建住宅モデルを想定し、その平面、断面を図2に示す。図2において、東西軸とは、主となる面の方位(居間の方位)が南向きの場合、又、南北軸とは、主となる面の方位が西向きの場合を表わす。本報では、図2の建物について、具体的

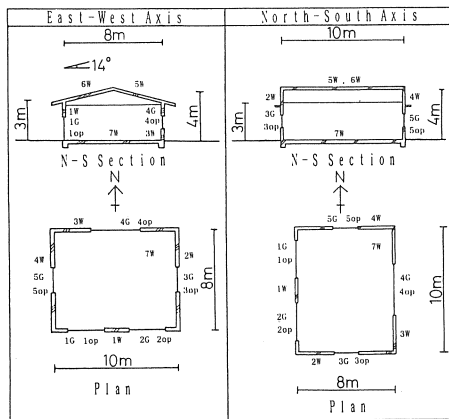


図2 モデル住宅平面、断面

表3 屋根、外壁、床データ

Wall	Azimuth Angle (°)		Tilt Angle (°)	Area Aw (m²)	α <sub>D</sub>	α <sub>w</sub>	ε <sub>D, ε<sub>w</sub></sub>
	E-W Axis	N-S Axis					
1w	0.0(S)	90.0(W)	90.0	18.0	0.65	-	0.9
2w	270.0(W)	0.0(S)	90.0	22.0	0.65	-	0.9
3w	180.0(N)	270.0(E)	90.0	26.0	0.65	-	0.9
4w	90.0(E)	180.0(N)	90.0	22.0	0.65	-	0.9
5w	180.0	270.0	14.0	41.2	0.65	0.86	0.9
6w	0.0	90.0	14.0	41.2	0.65	0.86	0.9
7w	(Floor)		-	80.0	-	-	-

な間仕切りはないが、相当の間仕切りの熱容量を考慮した単室建物として扱うことにより、室内温度、除去熱量のシミュレーションを行なった。

各部位(屋根、外壁、床、窓、窓すきま、窓開口)の諸元を表3~表6に示す。又、内部発熱、窓開閉、屋根散水、冷房運転などの各スケジュールを図3に示す。図3中の内部発熱の値は、各々100%値を示し、又、家族構成は4人(夫婦+子供2人)を想定した。なお、自然冷房効果検討時の室内温度計算のケースでは、自然通風を利用するため、窓は7時~21時の間は50%開(引き違い窓)、その他の時間(夜間)は閉とし、又、省エネルギー効果検討時の除去熱量計算のケースでは、

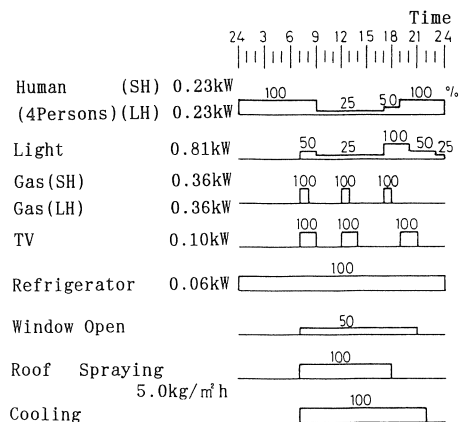


図3 内部発熱、窓開閉、屋根散水、冷房運転のスケジュール(但し、窓開閉は、自然冷房効果検討時のみ)

Factor	Level	
	1	2
Roof	mortar 0.02 asphalt 0.01 mortar 0.03 concrete 0.15 foam poly-styrene 0.025 air space plaster board 0.009 rockwool board 0.009 U=0.711	mortar (m) 0.01 asphalt 0.005 concrete 0.1 air space plaster board 0.009 U=2.248
	mortar (m) 0.03 concrete 0.1 foam poly-styrene 0.025 air space 0.05 plaster board 0.012 U=0.873	mortar (m) 0.03 concrete 0.1 plaster board 0.012 U=3.440
Floor	mortar 0.03 concrete 0.15 damp proof layer 0.005 gravel 0.15 soil 3.0 U=0.190	U: Heat Transfer Coefficient (W/m²K)
Window	Heat Absorbing Float Glass (H.A.F.G.)(t=0.006) with Medium-Coloured Blinds	Float Glass(F.G.)(t=0.006) without Blinds

図4 断熱因子の各水準に対する屋根、外壁、床、窓の仕様

表4 窓データ

Window	Azimuth Angle(°)		Tilt Angle(°)	Area <sub>AG</sub> (m <sup>2</sup> )	U(W/m <sup>2</sup> K)	Float Glass				Heat Absorbing Float Glass			
	E-W Axis	N-S Axis				a <sub>D</sub>	ε <sub>D</sub>	S <sub>CC</sub>	S <sub>CR</sub>	a <sub>D</sub>	ε <sub>D</sub>	S <sub>CC</sub>	S <sub>CR</sub>
1G	0.0	90.0	90.0	6.0	19.71	0.1	0.9	0.02	0.96	0.35	0.9	0.34	0.22
2G	0.0	90.0	90.0	6.0	19.71	0.1	0.9	0.02	0.96	0.35	0.9	0.34	0.22
3G	270.0	0.0	90.0	2.0	19.71	0.1	0.9	0.02	0.96	0.35	0.9	0.34	0.22
4G	180.0	270.0	90.0	4.0	19.71	0.1	0.9	0.02	0.96	0.35	0.9	0.34	0.22
5G	90.0	180.0	90.0	2.0	19.71	0.1	0.9	0.02	0.96	0.35	0.9	0.34	0.22

\*In Case Window Closed

(U: Excluded the Overall Heat Transfer Coefficient of Inner Surface of Window)

表5 窓すきまデータ

Crack	Azimuth Angle(°)		Tilt Angle(°)	l(m)*	h(m)	a <sub>s</sub>	n <sub>s</sub>
	E-W Axis	N-S Axis					
1G	0.0	90.0	90.0	12.0	1.0	3.2	1.5
2G	0.0	90.0	90.0	12.0	1.0	3.2	1.5
3G	270.0	0.0	90.0	7.0	1.5	3.2	1.5
4G	180.0	270.0	90.0	13.0	1.5	3.2	1.5
5G	90.0	180.0	90.0	7.0	1.5	3.2	1.5

\*In Case Window Closed

表6 窓開口データ

Open- ing	Azimuth Angle(°)		Tilt Angle(°)	Area <sub>AR</sub> (m <sup>2</sup> )	h(m)	α
	E-W Axis	N-S Axis				
1op	0.0	90.0	90.0	3.0	1.0	0.65
2op	0.0	90.0	90.0	3.0	1.0	0.65
3op	270.0	0.0	90.0	1.0	1.5	0.65
4op	180.0	270.0	90.0	2.0	1.5	0.65
5op	90.0	180.0	90.0	1.0	1.5	0.65

\*In Case Window 50% Opened

全時刻について窓を閉とするスケジュールを設定した。なお、各スケジュールは、平日、土曜、日曜、祭日とも同じとした。断熱因子の各水準に対する屋根、外壁、床、窓の仕様を図4に示す。庇の水準については、庇有りの場合は、長辺面（東西軸においては南、北面、南北軸においては東、西面）は、軒の出を水平庇として考慮し、短辺面については、図2に示す庇を考慮した。又、庇なしの場合は、長辺面については、軒の出がなく、短辺面については庇のない住宅モデルとした。除去熱量計算ケースにおける冷房時の室内設定温湿度は、26℃、60%とした。屋根散水は、日中7時~18時まで行なうこととし、散水量は5kg/m<sup>2</sup>h、散水温度は、6月20.0℃、7月23.0℃、8月24.0℃、9月21.8℃とした。散水屋根面の日射吸収率は、石川<sup>(13)</sup>による実験結果に基づき、モルタル表面で、散水時(a<sub>w</sub>)を0.86、非散水時(a<sub>D</sub>)を0.65とし、ふく射率は両ケースともモルタル面一般値として0.9を用いた。なお、シミュレーションでは、地物の反射率=0.1、室内家具熱容量=4.1Wh/m<sup>3</sup>℃、計算時間間隔=1h、α<sub>ro</sub>=23.3W/m<sup>2</sup>K、α<sub>ro</sub>=5.8、α<sub>co</sub>=17.4、α<sub>ci</sub>=4.1とした。又、窓ガラスを透過、あるいは窓開口より入射した日射量及び照明ふく射量は全て床面に当たるものと仮定した。更に、室内相互ふく射の計算では、窓開時におけるふく射熱の外部へのロスは無視した。又、窓すきま、窓開口に対する風圧係数は、文献<sup>(14)</sup>で示した方法と同様の手

順により時刻別に算定した。更に、地中温度の計算についても文献<sup>(14)</sup>で述べた方法を用い、ここで、地中深度=3mとして扱った。

#### 4.2 シミュレーション結果

##### 4.2.1 自然冷房効果の検討

特性値として選定した夏季期間の自然冷房時間、環境温度及び室内温度の平均値に関する方位別の数値実験結果を表7、表8に示す。

##### 4.2.2 除去熱量低減による省エネルギー効果の検討

特性値として選定した夏季期間の除去熱量（全熱、顕熱）に関する方位別の数値実験結果を表9、表10に示す。

#### 5. まとめ

本研究では、建築における自然エネルギー、自然環境利用の冷房手法として屋根散水を取り上げ、更に、夜間ふく射と自然通風による風力の利用をも考慮し、実験計画法を用いて、戸建住宅をモデルに、夏季の室内温度と除去熱量の数値シミュレーションを行ない、これに基づき、屋根散水の自然冷房効果、省エネルギー効果に関する因子分析を行なった。

本報では、以上のうち、まず実験計画法を用いた数値実験計画の概要として、数値実験の組み立て、自然

表7 数値実験結果(自然冷房効果、東西軸)

Experiment No.	Factor				Passive Cooling Hours(hr)		Mean Temperature('C)	
	A	B	C	D	Tei Basis	tr Basis	Tei	tr
1	1	1	1	1	2001.	1961.	24.44	24.56
2	1	1	2	2	1945.	1948.	24.66	24.60
3	1	2	1	2	1879.	1894.	24.95	24.82
4	1	2	2	1	1847.	1870.	25.06	24.87
5	2	1	1	1	1901.	1889.	24.79	24.75
6	2	1	2	2	1842.	1877.	25.00	24.78
7	2	2	1	2	1806.	1829.	25.13	24.95
8	2	2	2	1	1759.	1800.	25.25	25.01

表8 数値実験結果(自然冷房効果、南北軸)

Experiment No.	Factor				Passive Cooling Hours(hr)		Mean Temperature('C)	
	A	B	C	D	Tei Basis	tr Basis	Tei	tr
1	1	1	1	1	1990.	1951.	24.50	24.59
2	1	1	2	2	1933.	1936.	24.72	24.63
3	1	2	1	2	1874.	1881.	25.01	24.86
4	1	2	2	1	1804.	1846.	25.21	24.96
5	2	1	1	1	1886.	1874.	24.85	24.78
6	2	1	2	2	1826.	1859.	25.08	24.84
7	2	2	1	2	1789.	1814.	25.23	25.03
8	2	2	2	1	1731.	1782.	25.42	25.12

冷房手法及び夏季の省エネルギー手法などに関する諸要因の中から因子と水準の選択、直交配列表への割付け、更に、特性値(自然冷房効果及び夏季の省エネルギー効果に対する評価項目)の設定について述べた。次に、この数値実験計画に基づいて行なった数値シミュレーション結果を示した。

本報で得られた数値シミュレーション結果を用いて、次報において、分散分析とF検定を行ない、各特性値に対する有意要因を検出し、自然冷房効果、省エネルギー効果に対する屋根散水の主効果と各要因の効果を推定する。更に、各因子の各水準に対する各々の特性値を簡易計算によって推定し得る効果推定表を与える。

謝辞

本研究において、早稲田大学木村建一教授に御指導を賜った。記して謝意を表す。

参考文献

- (1) 石川幸雄：屋根散水の自然冷房効果に関する因子分析、日本建築学会大会学術講演梗概集、(1985)、pp.939~940
- (2) 石川幸雄：屋根散水の省エネルギー効果に関する因子分析、空気調和・衛生工学会学術論文集、

表9 数値実験結果(省エネルギー効果、東西軸)

Experiment No.	Factor				Heat Extraction (kWh/m Season)	
	A	B	C	D	HEt	HEs
1	1	1	1	1	24.730	15.136
2	1	1	2	2	29.814	20.212
3	1	2	1	2	24.656	15.039
4	1	2	2	1	29.026	19.398
5	2	1	1	1	31.891	22.285
6	2	1	2	2	37.554	27.942
7	2	2	1	2	27.239	17.615
8	2	2	2	1	31.820	22.188

表10 数値実験結果(省エネルギー効果、南北軸)

Experiment No.	Factor				Heat Extraction (kWh/m Season)	
	A	B	C	D	HEt	HEs
1	1	1	1	1	26.226	17.209
2	1	1	2	2	31.664	22.640
3	1	2	1	2	25.778	16.740
4	1	2	2	1	32.067	23.020
5	2	1	1	1	33.548	24.522
6	2	1	2	2	39.548	30.515
7	2	2	1	2	28.421	19.378
8	2	2	2	1	34.916	25.865

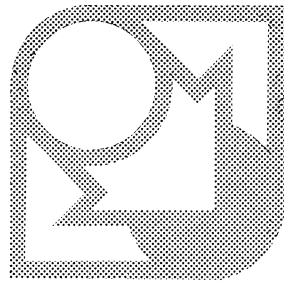
(1985)、pp.241~244

- (3) 石川幸雄、木村建一：湿相当外気温に基づく屋根散水の熱的效果に関する研究、日本建築学会論文報告集、第334号、(1983)、pp.89~100
- (4) 石川幸雄：膜構造屋根散水システムの熱的效果に関する研究、空気調和・衛生工学会論文集、No.47、(1991)、pp.39~50
- (5) 横山浩一、牧 英二、石野久彌：建築における省エネルギー手法の効果分析、(I)、(II)、(III)、日本建築学会大会学術講演梗概集、(1976)、pp.359~364
- (6) IHVE Guide, Book A and B, (1970), pp. A1-5, B1-2
- (7) 石川幸雄：散水屋根面のある多数室温計算の簡易化と散水の熱的效果に関する研究、第1報 計算法の概要、空気調和・衛生工学会論文集、No.30、(1986)、pp.21~30
- (8) 石川幸雄：散水屋根面のある多数室温計算の簡易化と散水の熱的效果に関する研究、第2報 熱的效果と簡易計算法の評価、空気調和・衛生工学会論文集、No.30、(1986)、pp.31~40
- (9) 宇田川光弘、木村建一：多数室温変動の実用的計算手法と断熱雨戸の熱的效果の検討例、日本建築学会論文報告集、第265号、(1978)、pp.125~132

- (10) 渡辺俊行、浦野良美、林 徹夫：建築壁体表面における放射収支の定量化とその応用、日本建築学会建築環境工学論文集、第4号、学術論文講演発表会資料、(1982)、pp.197~202
- (11) 坂本雄三：室相互の換気を考慮した非定常多数室室温の計算法、日本建築学会大会学術講演梗概集、(1980)、pp.513~514
- (12) 空調設備基準委員会第二小委員会標準気象データ分科会：標準気象データに関する研究、空気調和・衛生工学、48-7、(1974)、pp.85~107
- (13) 石川幸雄：表面が湿っている建築壁体の日射吸収率の測定、日本建築学会関東支部研究報告集、(1982)、pp.1~4
- (14) 石川幸雄、木村建一：屋根散水と自然換気による自然冷房複合効果の検討、空気調和・衛生工学会論文集、No.26、(1984)、pp.51~64
- (15) 鉾井修一、松本衛：壁体の蒸発冷却効果とその解析方法、第13回熱シンポジウム、建築における自然エネルギーの利用、日本建築学会、(1983)、pp.21~29
- (16) 浦野良美、渡辺俊行、ほか：水分蒸発による冷却効果を利用した外断熱壁体の高性能化に関する研究、日本建築学会論文報告集、第360号、(1986)、pp.19~29
- (17) 浦野良美、渡辺俊行、ほか：大気放射・水分蒸発冷却を利用した二重外皮方式によるパッシブ・クーリングの実験的研究、日本建築学会論文報告集、第391号、(1988)、pp.50~59
- (18) 渡辺俊行：放射冷却・蒸発冷却、第18回熱シンポジウム、住宅のパッシブクーリング、日本建築学会、(1988)、pp.63~70
- (19) K.kimura, S.Tanabe: Traditional System of Complex Use of Natural Energy in Vernacular Houses, 文部省科学研究費補助金エネルギー特別研究報告書、(1987)、pp.213~218
- (20) 石原修：各種パッシブクーリング手法の複合利用、第18回熱シンポジウム、住宅のパッシブクーリング、日本建築学会、(1988)、pp.71~80
- (21) 田口玄一：実験計画法、上、下、丸善、(1974)
- (22) 石川 馨、藤森利美、久米 均：化学者および化学技術者のための実験計画法、上、下、東京化学同人、上(1977)、下(1978)
- (23) 牧 英二、猪岡達夫：実験計画法を用いた太陽熱冷暖房、給湯システムの因子分析による省エネルギー効果と経済性に関する研究、第1報、第2報、第3報、空気調和・衛生工学会論文集、No.10、(1979)、pp.71~102



# Harmony with Nature



**ISES SOLAR WORLD CONGRESS  
1993 BUDAPEST**

August 23-27, 1993, HUNGARY

詳細資料必要な方は、切手120円分同封で事務局へ  
請求ください。

〒169 東京都新宿区高田馬場3-1-5-322  
日本太陽エネルギー学会  
電話 03-3368-7129/Fax. 03-3368-7527

International Solar Energy Society (ISES)  
Hungarian Section (H-ISES)  
Hungarian Solar Energy Society (HSES)