

学びの環境を考える
～学校建物の快適性を目指した優しい環境制御～

様々なやさしい環境制御技術
クールルーフ

摂南大学理工学部
住環境デザイン学科特任教授 森山正和

学びの環境を考える

～学校建物の快適性を目指した優しい環境制御～
様々なやさしい環境制御技術

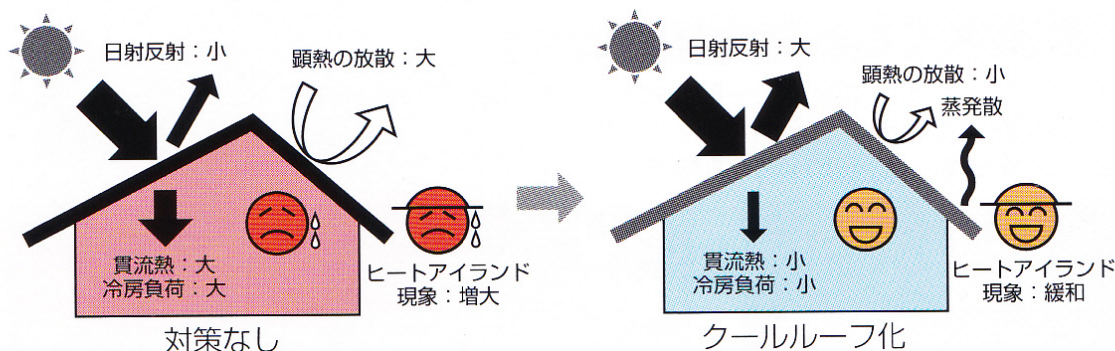
クールルーフ

1. クールルーフとは
2. 高反射率化技術
3. 緑化技術・蒸発利用技術
4. クールルーフ化による
グローバルクーリングの可能性

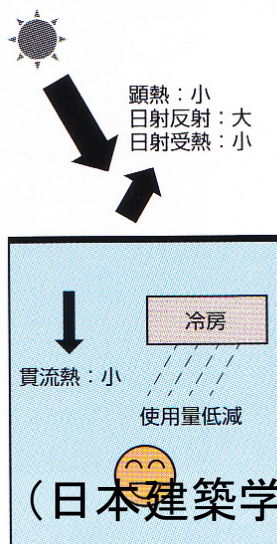
1. クールルーフ ヒートアイランド対策と省エネ対策

クールルーフとは

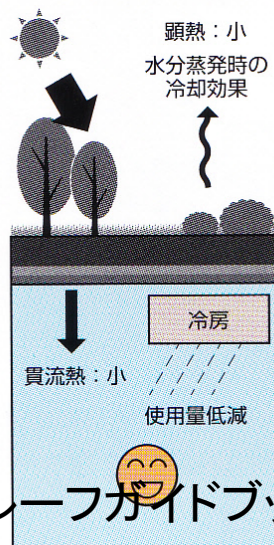
クールルーフとは、屋根の日射反射性を高めたり、屋上緑化・保水性材料などによる水分蒸発時の冷却効果を利用したりして、屋根の温度を低くする技術です。屋根の温度が低くなれば、室内に流入する熱（貫流熱）が小さくなり冷房負荷が削減されるとともに、ヒートアイランドの原因となる都市大気の温度を上げる熱（顕熱）も小さくなります。



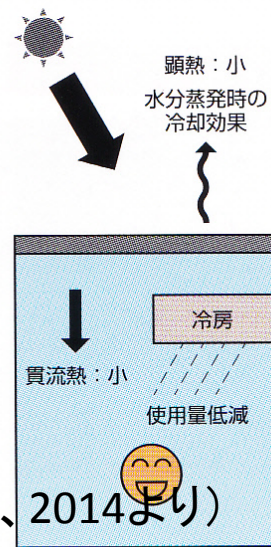
1 高反射率化技術



2 緑化技術



3 蒸発利用技術



(日本建築学会編:クールルーフガイドブック、地人書館、2014より)



建物表面（建物外皮）のヒートアイランド対策

対象	対策	ヒートアイランド緩和効果		外部空間の温熱快適性		省エネ効果	
		昼間	夜間	昼間	夜間	夏季	冬季
屋根・屋上	緑化	◎	◎	◎ (屋上)	◎ (屋上)	○	○
	高反射率化	◎	◎	-	-	○	△
	散水・保水性	◎	○	-	-	○	-
	外断熱	△	○	-	-	◎	◎
壁面	緑化	◎	○	◎ (街路)	◎ (街路)	○	○
	高反射率化	○	○	△	○	○	△
	散水・保水性	◎	○	○	-	○	-
	外断熱	△	○	△	○	◎	◎
道路・舗装面・駐車場・広場など	緑化	◎	◎	◎	◎	-	-
	高反射率化	◎	◎	△	◎	-	-
	保水性舗装	◎	◎	◎	◎	-	-
	散水・打ち水	◎	◎	◎	◎	-	-

◎: 大きな効果が期待される, ○: 効果が期待される, △: 逆効果となる場合がある, -: 関係なし.

出典: クールルーフ適正利用ガイドライン (日本建築学会クールルーフ推進小委員会)、PPTは近藤靖作成

2. ヒートアイランド対策における 高反射率塗料(太陽光高反射塗料)

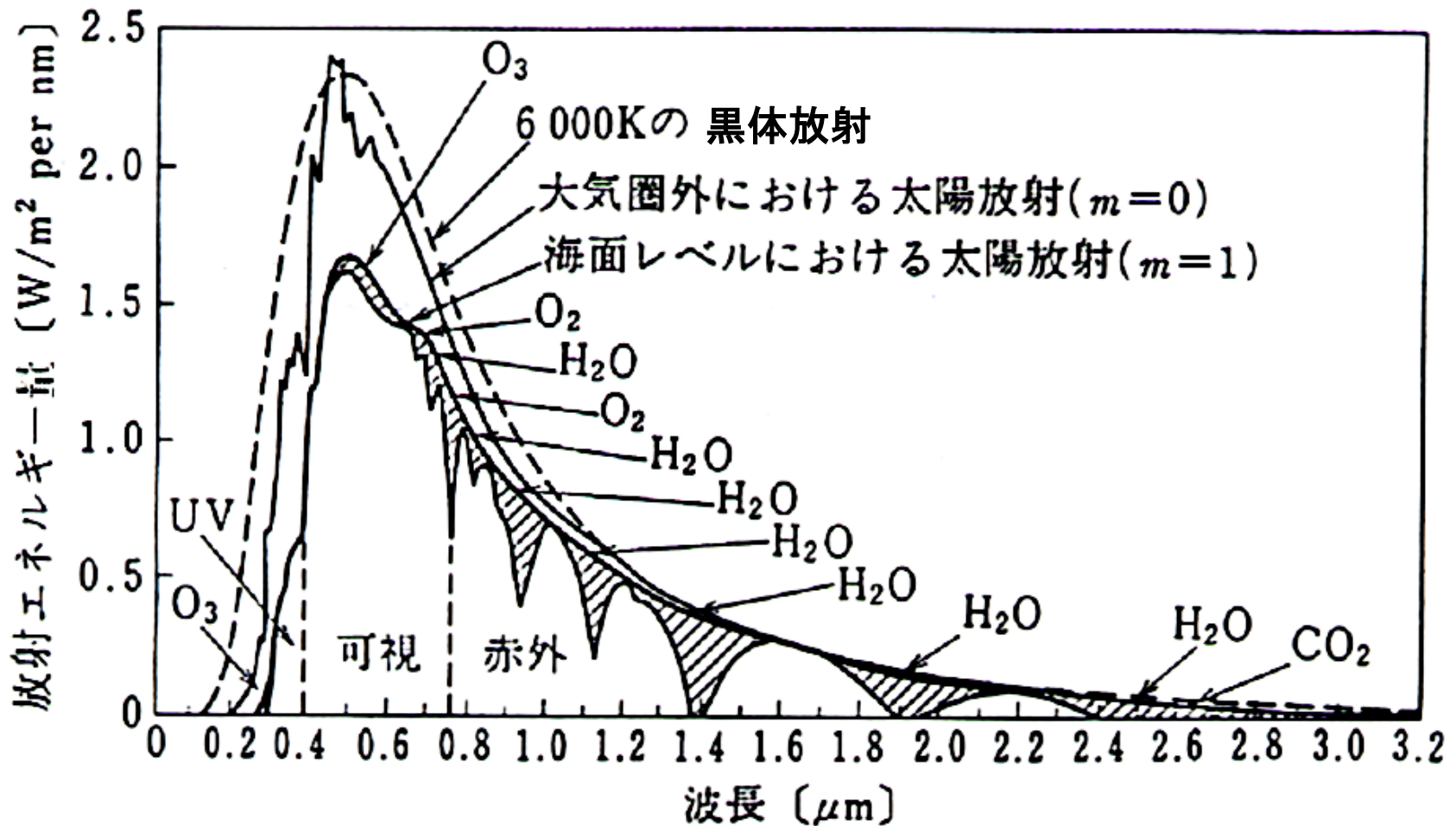
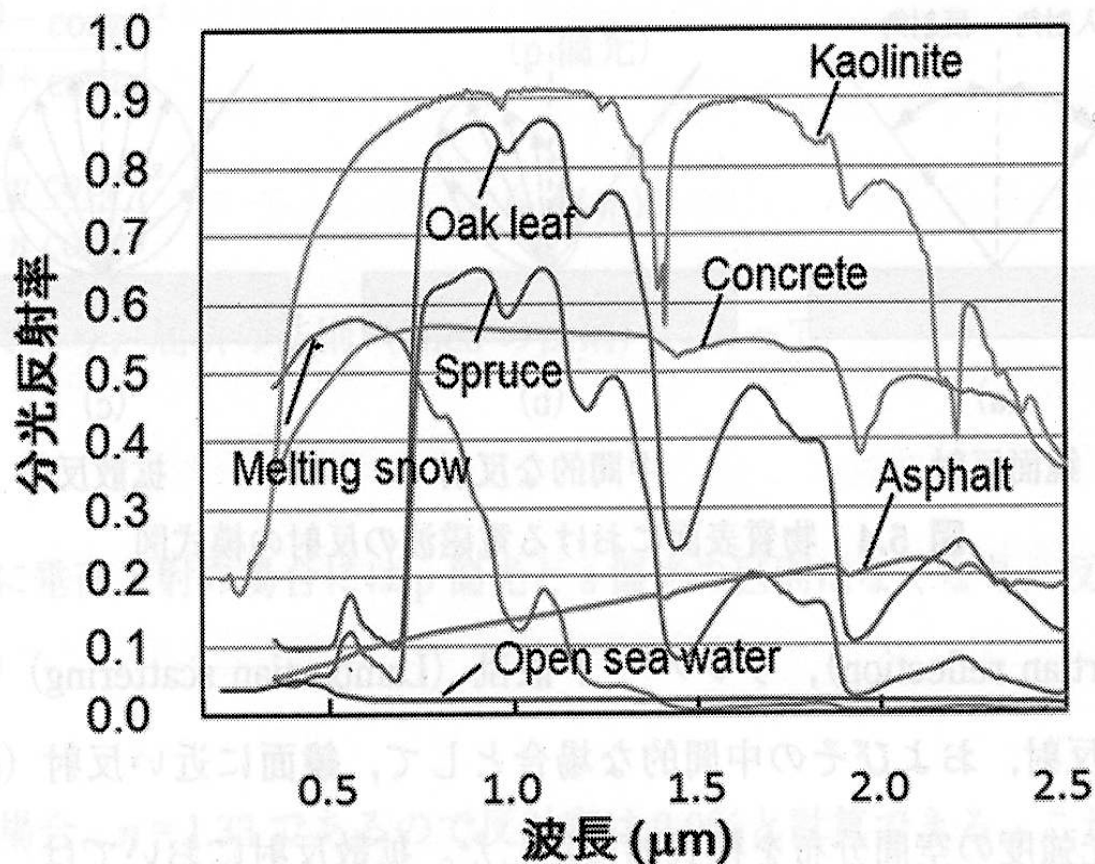


図 3・21 太陽放射の分光特性 (Robinson). 大気中における種々の分子による吸収帯とともに描かれている. m : air mass (大気路程)

○太陽光(日射)高反射率塗料の性能を表す重要な物理量は**分光反射率**である。

○可視域の分光反射率が同じであっても**近赤外域**の反射率が異なれば、波長積分量である日射反射率は異なる。



地表物質の分光反射特性の典型例

○**植生**は近赤外域において反射率の高いことが特徴的である。これは葉の内部の細胞構造に基づくものであり、 $0.75\sim 1.10\mu\text{m}$ 付近で反射率は大きく、 $1.30\sim 2.80\mu\text{m}$ では水の吸収帯のために反射率は小さくなる。

○**水面**は太陽放射全領域にわたり低い反射率が特徴的であるが、近赤外域において特に低い。

○**裸地**は土壌の水分量や化学的組成（有機物や重金属類などの含有量）などに影響される。水分量が少ないときには可視および近赤外域とも反射率は大きくなる。

○**舗装・建物屋根などの人工物**は可視域から近赤外域まではほぼ平坦なスペクトル特性を持つものと思われる。

高反射率塗料(太陽光高反射塗料)とは

○高反射率塗料と称している塗料は、色彩は同じであっても、既存塗料と比べて近赤外域の分光反射率を高くしている塗料を一般に指すと考えられる。

○白色系塗料については、近赤外域の分光反射率が高い場合が多く、あえて高反射率塗料をうたう必要は少ないと思われる。

(高反射率材料の新展開、第1編第2章吉田篤正、シーエムシー出版を参考)

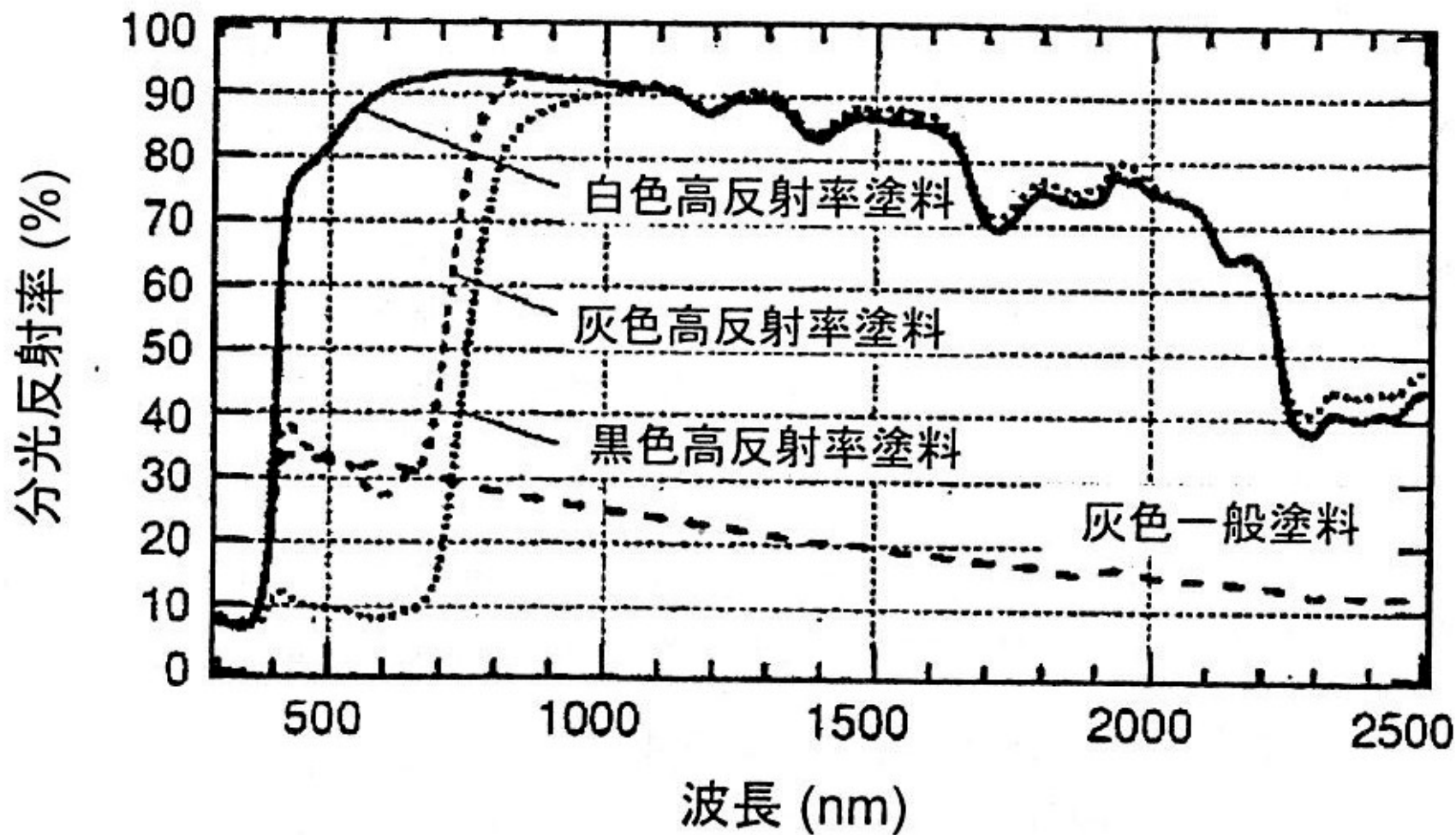


図3 色彩の異なる材料の分光反射率

高反射率塗料の分光反射率の例

(高反射率材料の新展開、第1編第2章、吉田篤正、シーエムシー出版による)

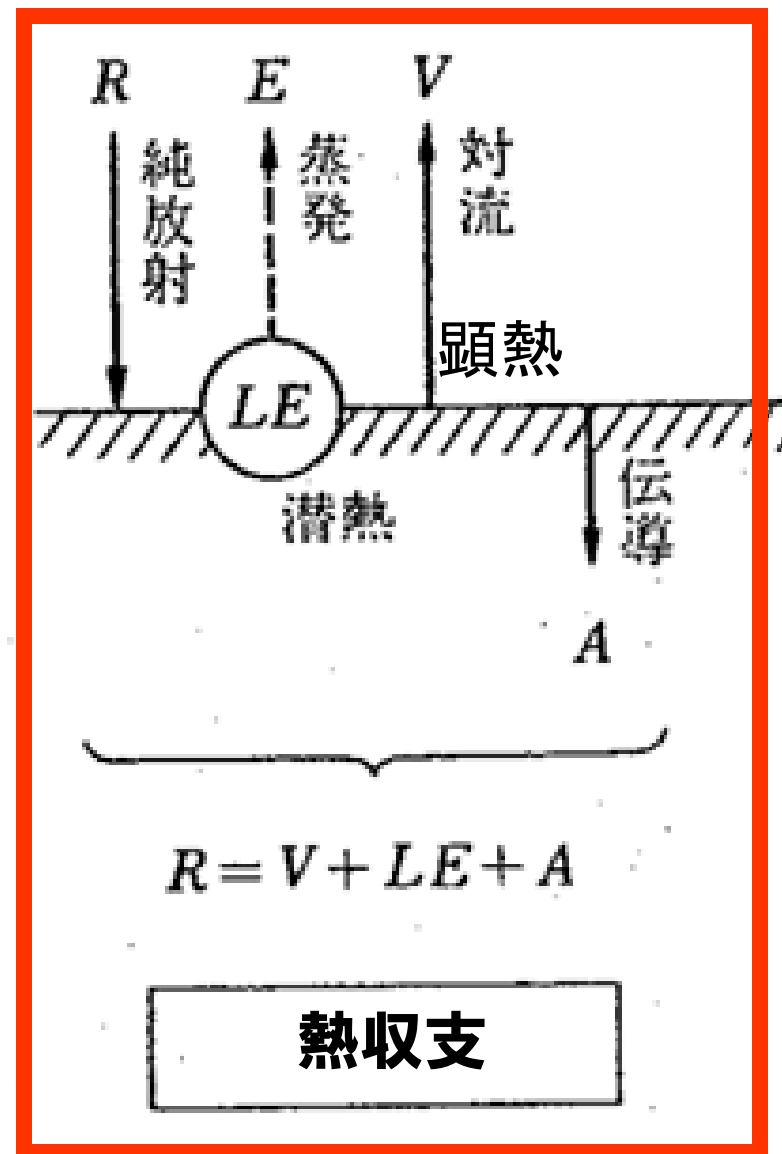
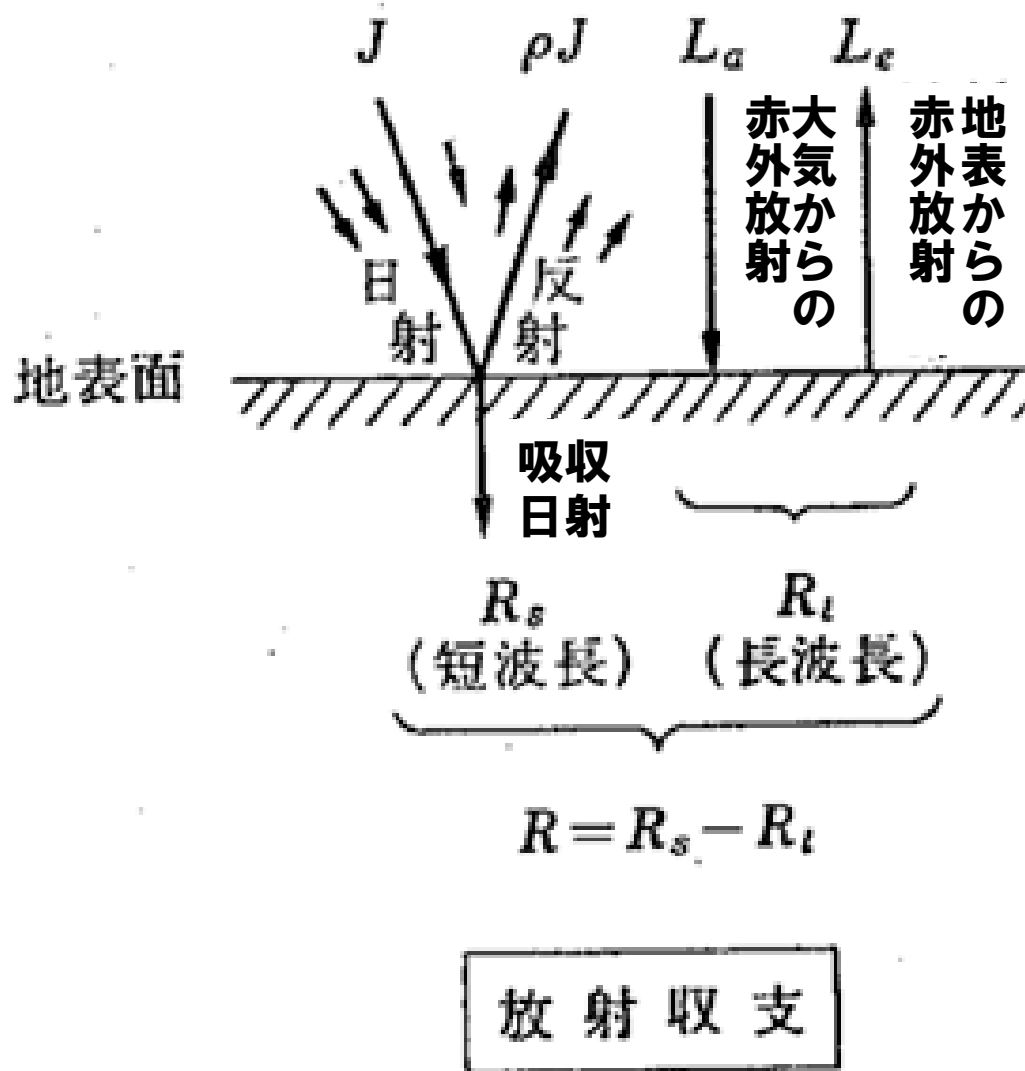
高反射率塗料の一般的な特性(1)

○日射反射率を上げることにより、他の一般的な材料表面と比較して、表面温度が抑えられ、大気への放熱（顕熱流）も抑えられる。また、昼間に受ける日射熱が、地表面・建物躯体に蓄熱される量を抑えることができる。

→ 高反射率塗料によるヒートアイランド対策効果

○この高反射率塗料（材料）を建物屋根に適用する場合は「クールルーフ」と呼ばれ、舗装面に適用する場合には「クールペイブメント」と呼ばれる。

（高反射率材料の新展開、第1編第3章近藤靖史、シーエムシー出版より）



地表面の熱収支とその成分

高反射率塗料の一般的な特性(2)

- 建物のエネルギー消費の削減効果について注意が必要である。**暖房負荷にはマイナスの効果を持つ。**冷房負荷においても断熱が十分なされている場合にはそれほど効果を持たない。体育館や倉庫のように、大きな空間で屋根面積が大きく、外壁の断熱性能が比較的高くない建物では、関東より南の地域で有効である。
- 塗料表面の汚れなどによる**日射反射性能の経時的な劣化**（耐久性能）に注意が必要である。

（高反射率材料の新展開、第1編第3章近藤靖史、シーエムシー出版より）

クールルーフの日射反射率測定例(ドーンセンター屋上)

2006年8月22日の測定の様子



汚れ

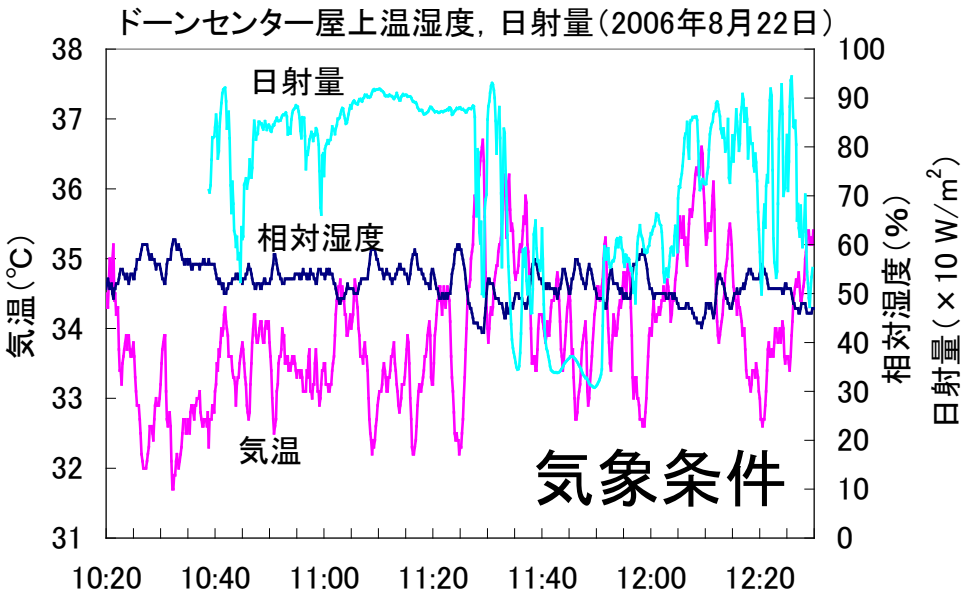
測定の様子(地点名称)



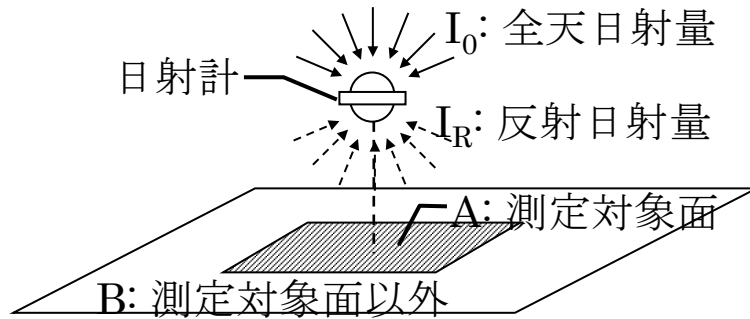
汚れた面



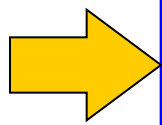
基準板白を用いた測定



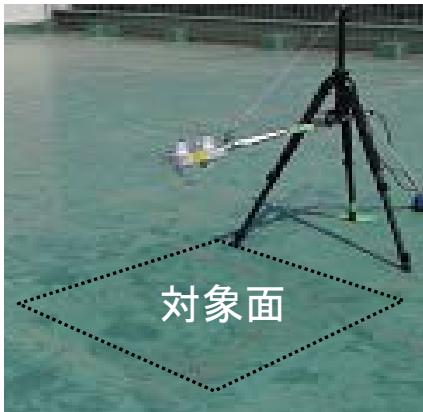
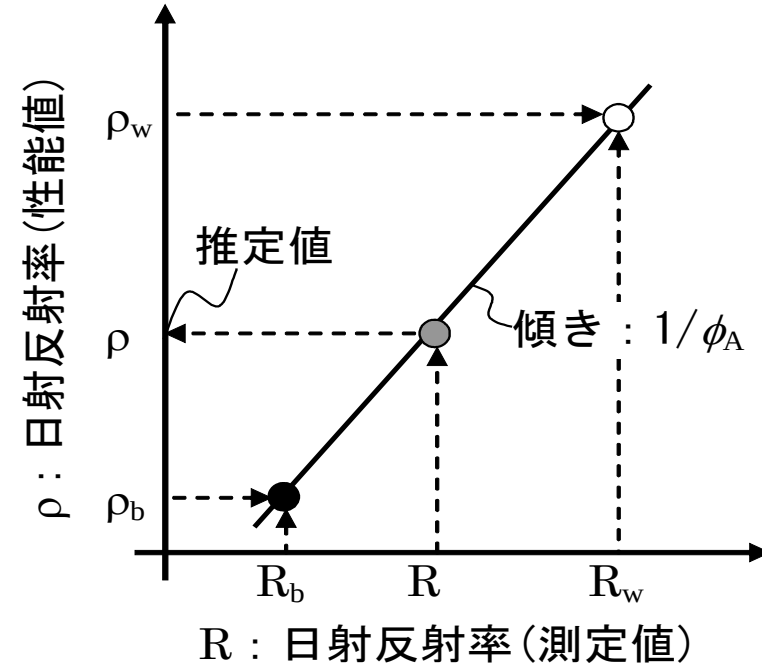
標準板二点校正法の概要



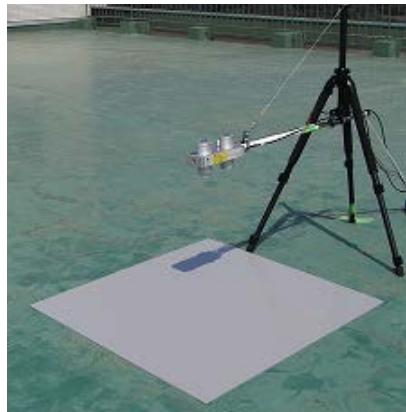
周囲(B面)からの反射日射の影響を消去



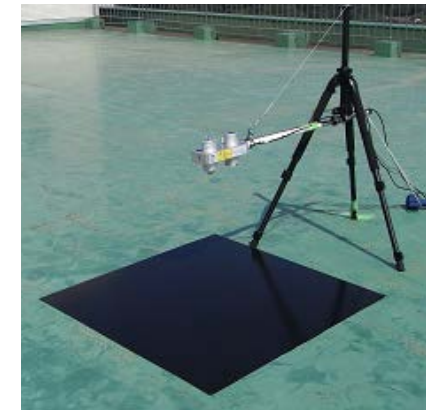
$$\rho_A = \frac{(\rho_w - \rho_b)}{R_w - R_b} R + \frac{(R_w \rho_b - R_b \rho_w)}{R_w - R_b}$$



測定値; R
性能値; (予測)

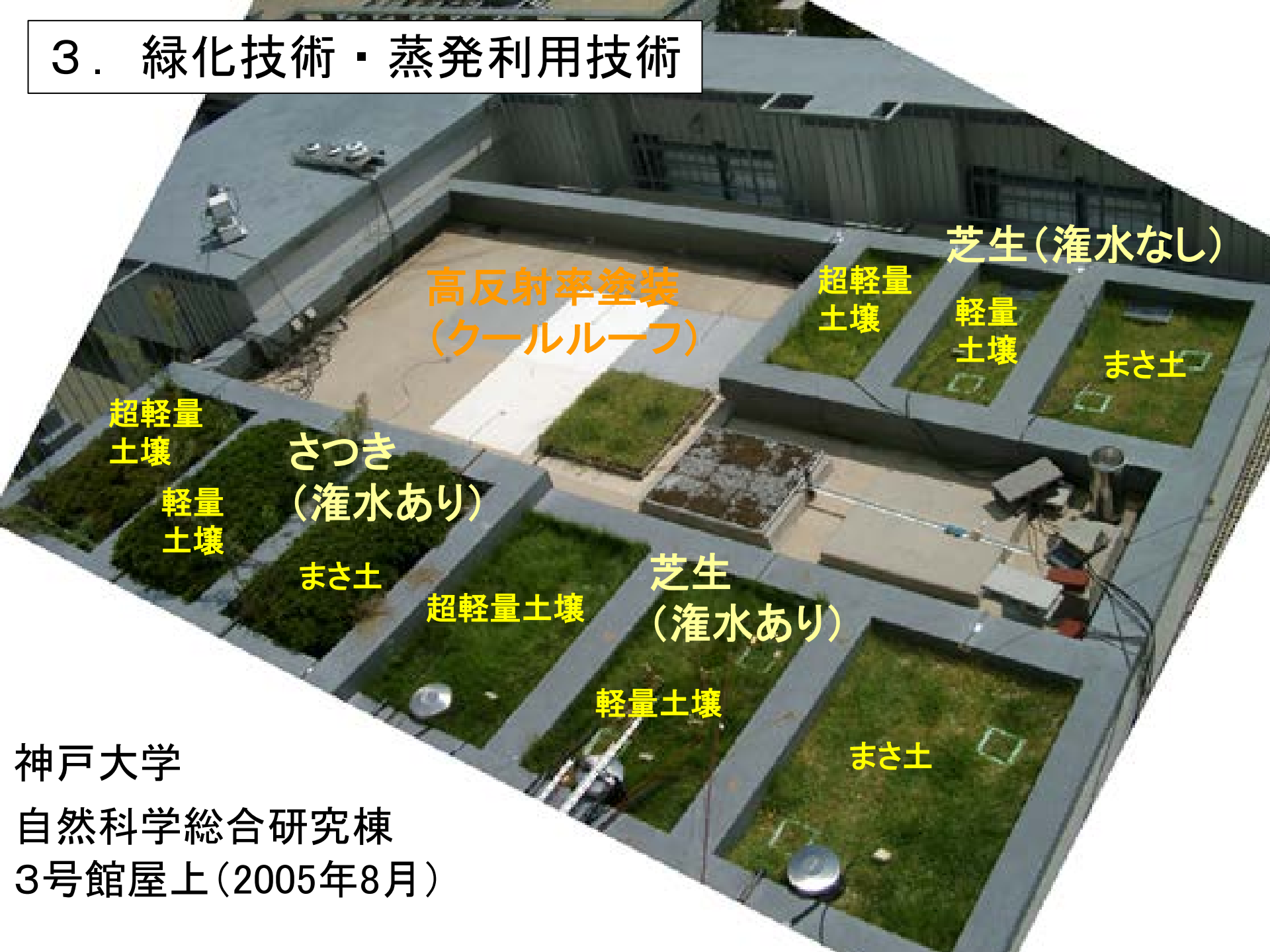


測定値; R_w
性能値; ρ_w



測定値; R_b
性能値; ρ_b

3. 緑化技術・蒸発利用技術



高反射率塗装
(クールルーフ)

芝生(灌水なし)

超軽量
土壌

軽量
土壌

まさ土

超軽量
土壌

軽量
土壌

さつき
(灌水あり)

まさ土

超軽量土壌

芝生
(灌水あり)

軽量土壌

まさ土

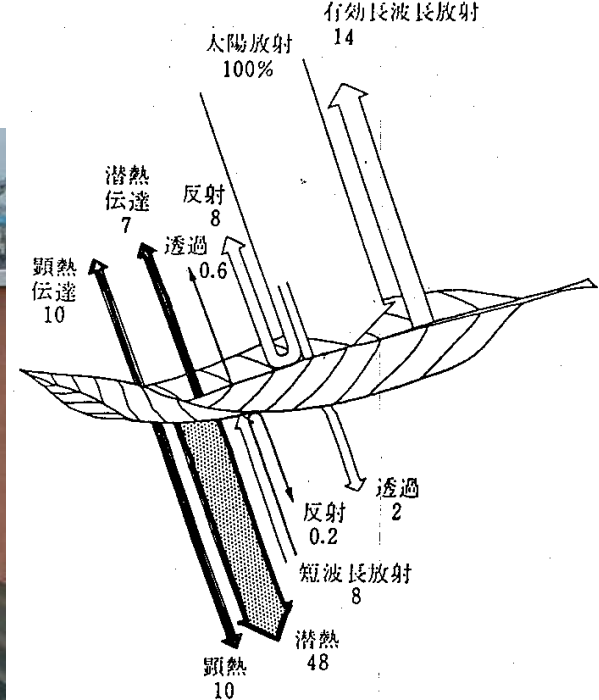
神戸大学

自然科学総合研究棟

3号館屋上(2005年8月)



屋上菜園の測定例



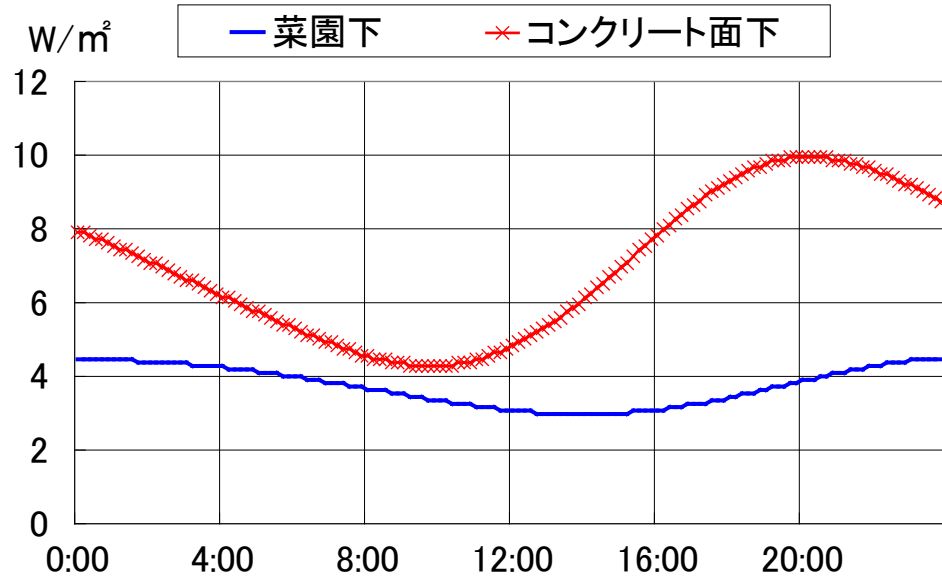
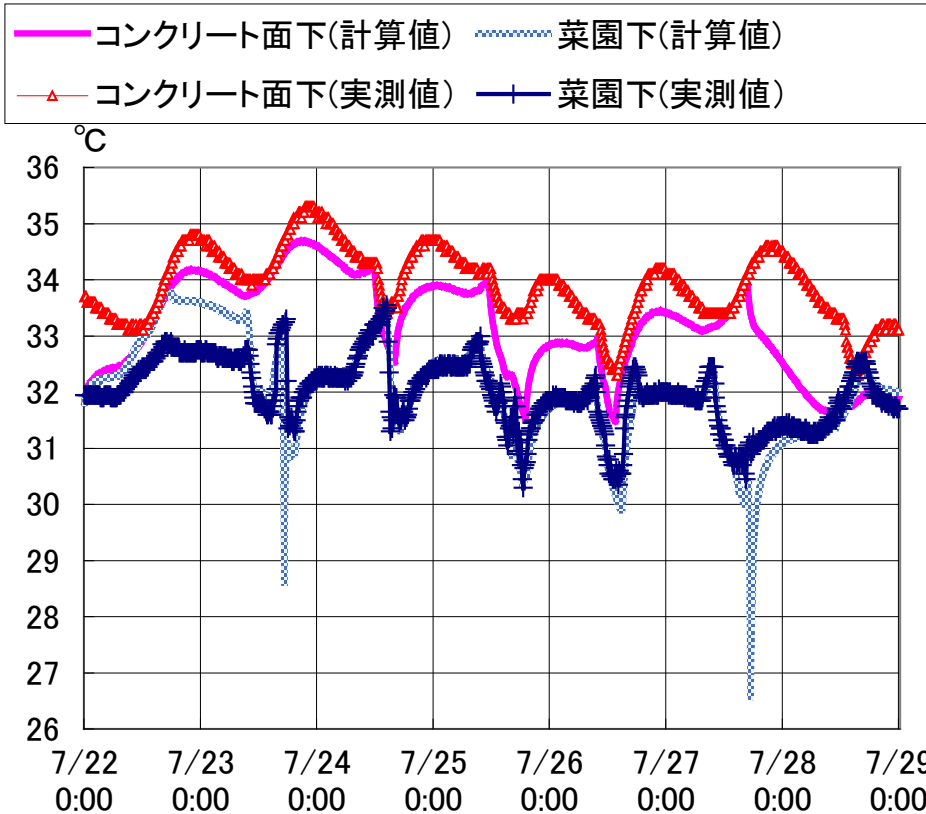
葉面の熱収支の模式図

(夏季・晴天日・真昼，裏面に気孔がある，有効長波長放射は，葉自身からの放射と周囲からの長波長放射の差)

建物概要

- 所在地：神戸市灘区
- 延べ床面積：452m²
- 規模：地上3階
- 構造：RC造
- 主用途：建築設計事務所

夏期の室内温度と熱流の結果

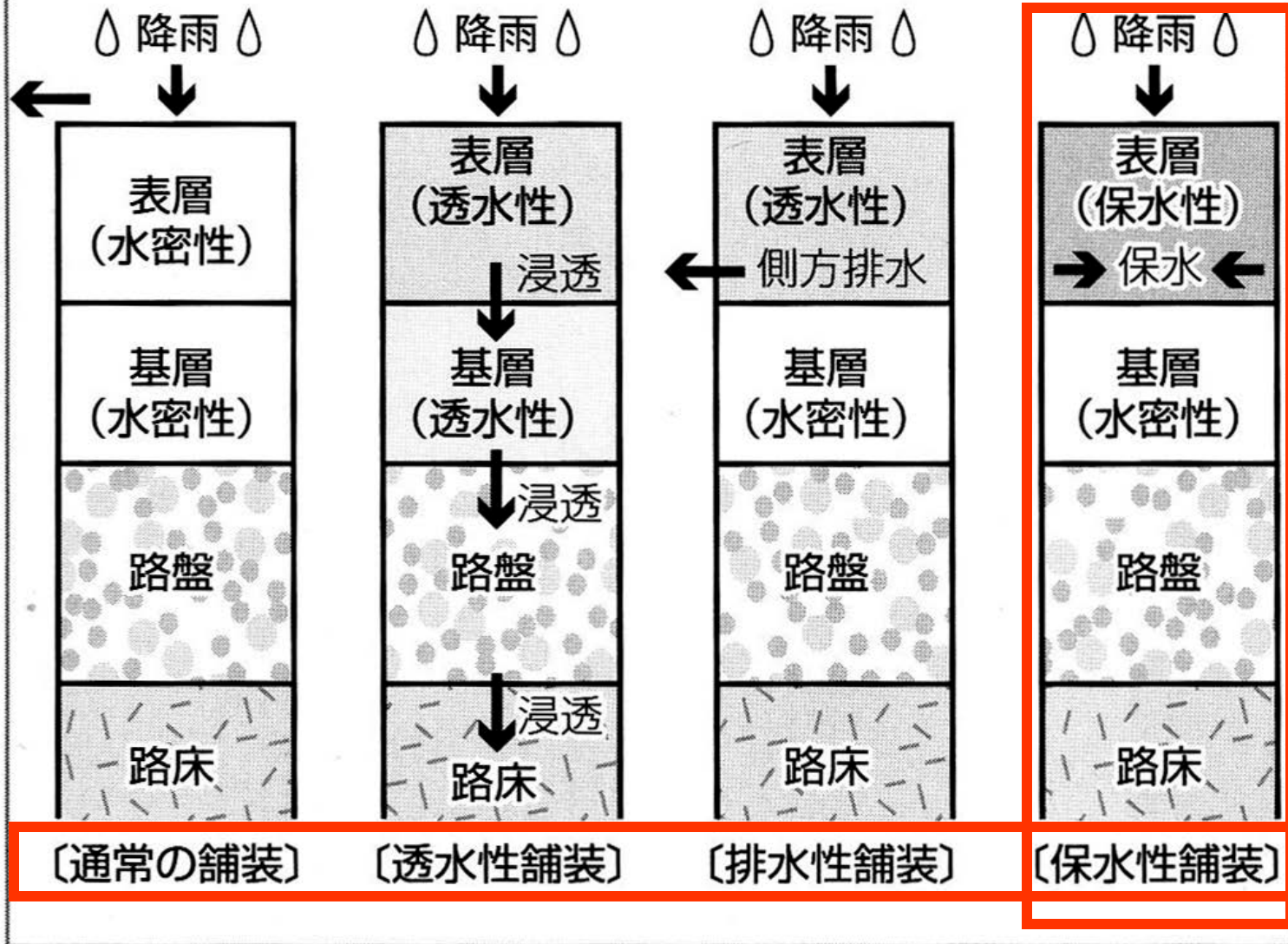


天井表面温度の実測値と計算値
(2001/7/22～2001/7/28)

室内側対流熱流(計算値)
(2001/7/22 室温26°C一定)

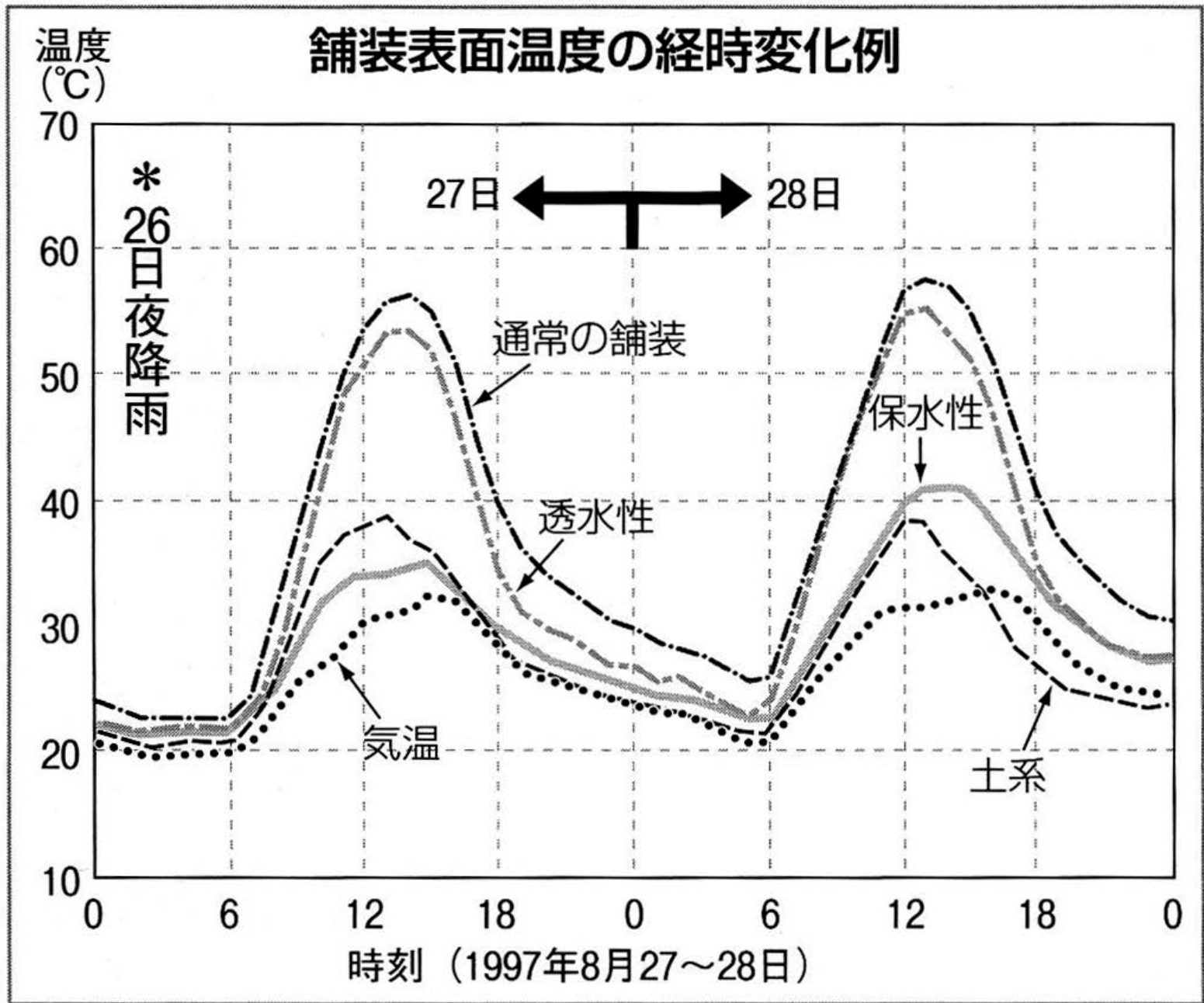
菜園下の居室の方がコンクリート下に比べて天井表面温度が1～3°C低い。

雨水の排水状態から見た舗装の違い



暑さを抑制する舗装の開発

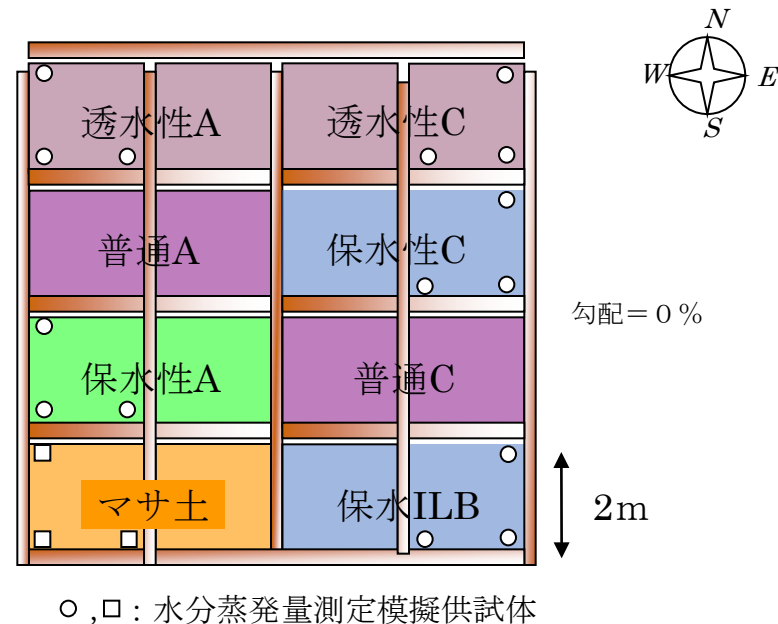
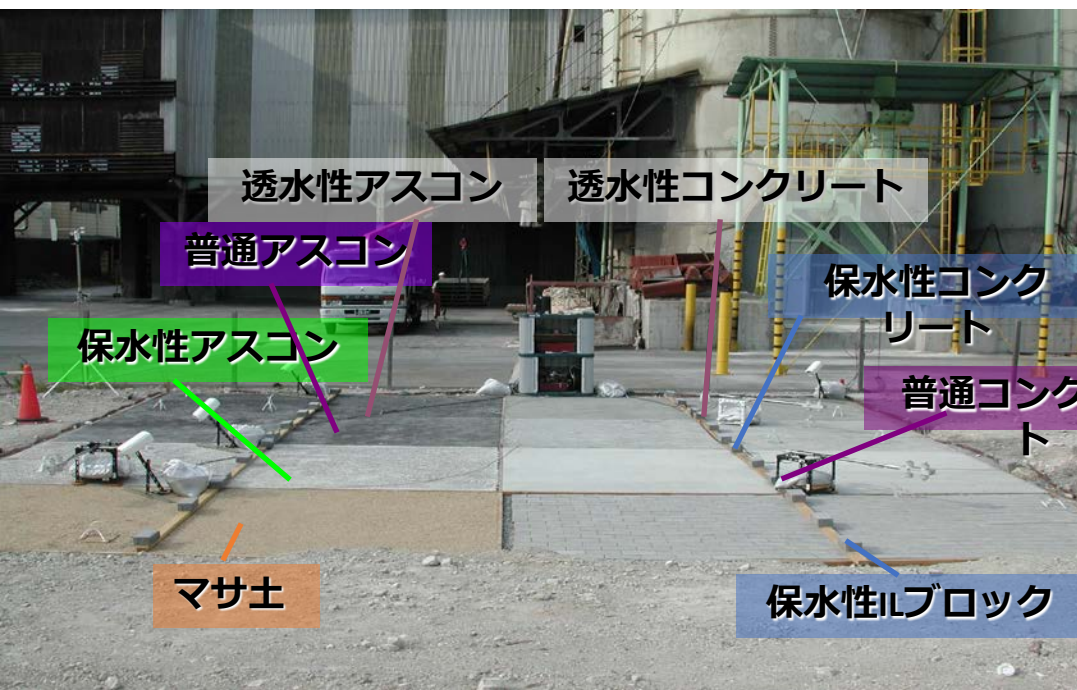
(三上岳彦監修: 東京異常気象、洋泉社、2005より)



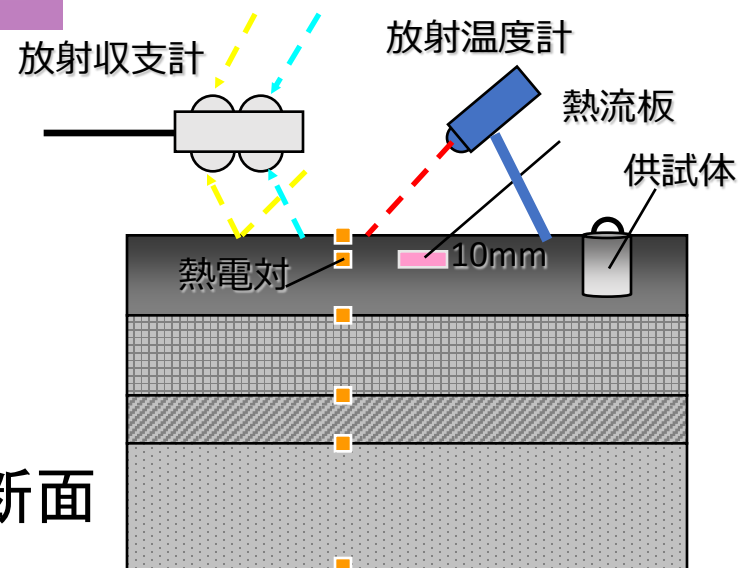
(三上岳彦監修: 東京異常気象、洋泉社、2005より)

環境舗装の実験例

→ 第1に日射反射率が効く



各舗装面平面



舗装面断面

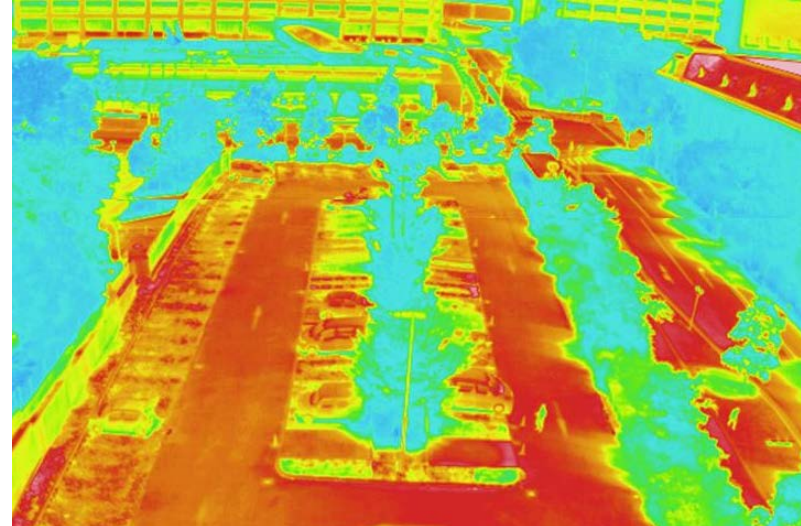
保水性 … 保水材を注入

保水性 … 保水剤を散布・浸漬



兵庫県県庁南駐車場の芝生化 2007年度から測定実験

(グラスパーキング兵庫モデル創造事業検証委員会)



2008年7月21日12:00

道路・駐車場等舗装の対策

○いかに日射による表面
温度の上昇を緩和するか

- ー> 樹木による日影
- ー> 日射反射率を高める
- ー> 保水性舗装や散水による蒸発冷却

4. クールルーフ化による グローバル・クーリングの可能性



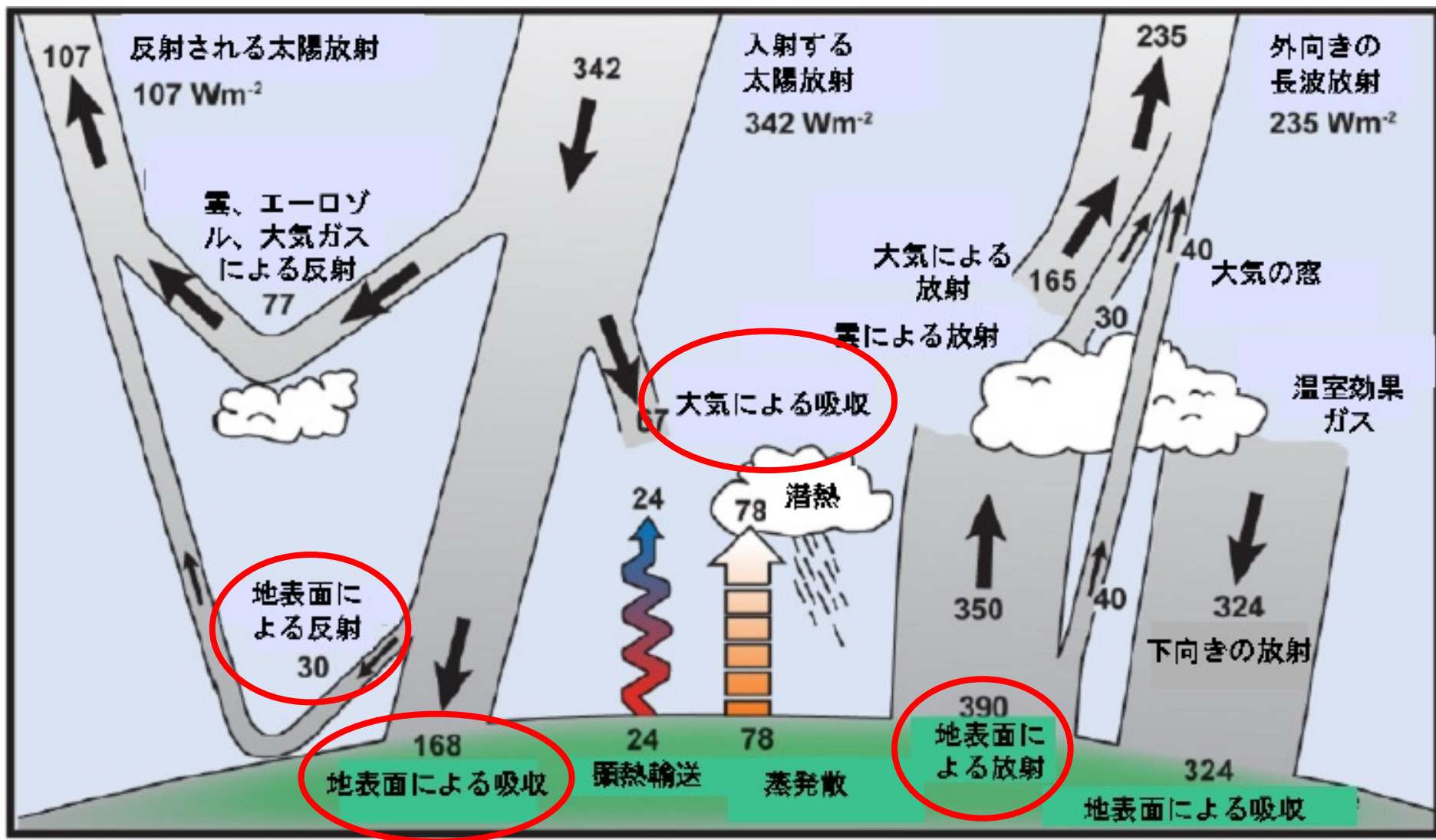
カリフォルニア州
サクラメントのクールルーフの
事例（2004年6月19日）

雪が降ったように真っ白な屋上である。表面温度が上昇せず、冷房負荷は削減され、外気への対流顕熱も小さく、ヒートアイランド対策として評価が高い。但し、暖房には不利であるので、適用に当たっては気候条件を十分考慮する必要がある。



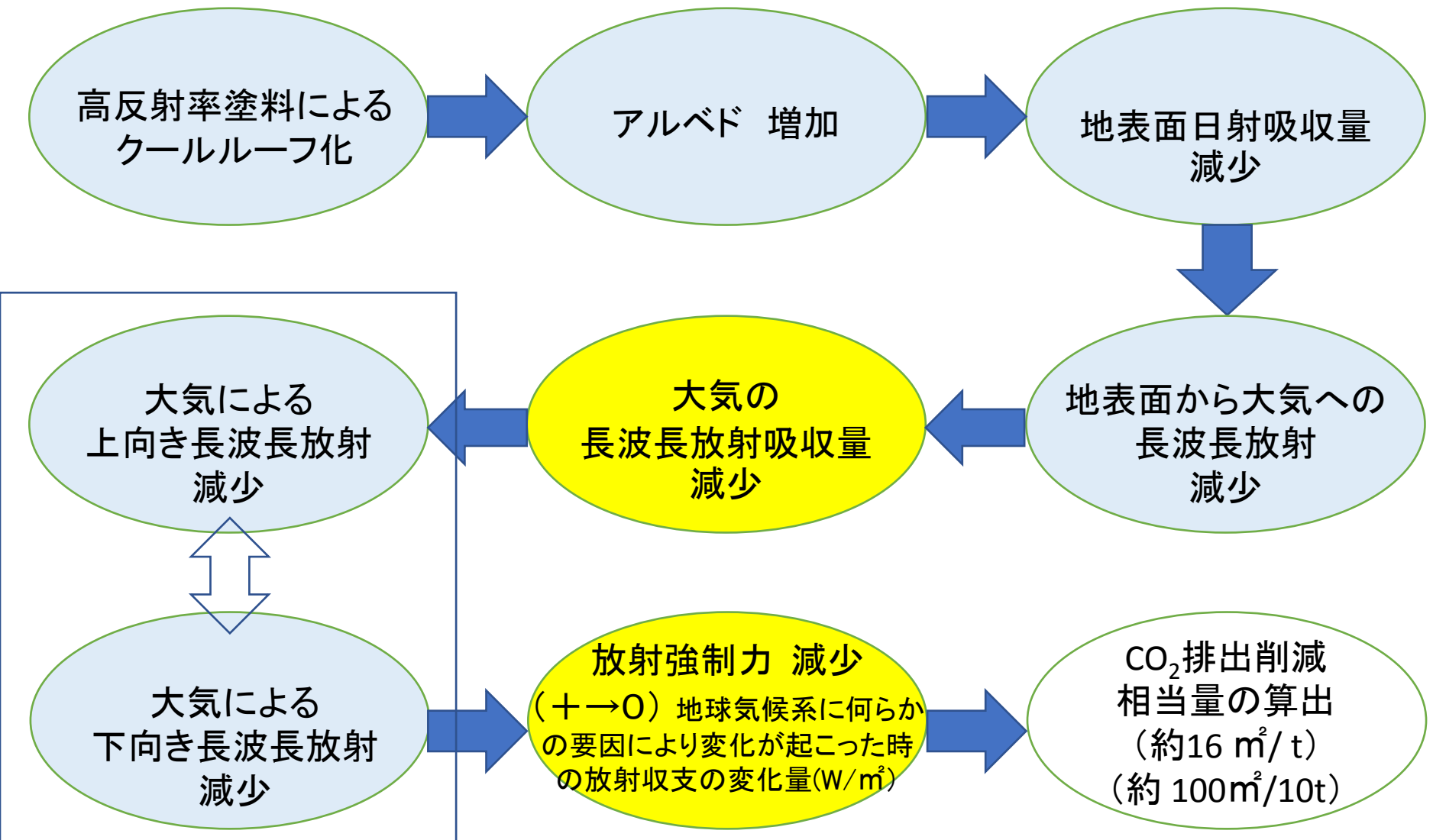
外観写真。建物は店舗(カーペット販売)である。

地球温暖化のメカニズム



クールルーフによる地球温暖化対策のメカニズム

(ハッシェム・アクバリ博士の文献を参照)



参考文献: Hashem Akbari, Global cooling: increasing world-wide urban albedos to offset CO₂, Climatic Change, DOI 10.1007/s10584-008-9515-9, 2008