

第4章 膜構造建築の環境シミュレーション

4. 膜構造建築の環境シミュレーション

膜構造建築物について設計時点での温熱環境および熱負荷を定量的に推計する手法の確立を目的に、環境シミュレーション手法の開発を行った。

4.1 膜構造建築の温熱環境シミュレーション

1) 解析概要

膜構造建築物の事例として、栃木県宇都宮市にある「U 大学多目的アリーナ」をモデルとし、建物の年間熱負荷量を算出した。解析建物モデルと壁・床・二重膜詳細図を図 4-1-1 に示す。解析建物モデルは縦・横 36m、高さ 10m で、膜屋根部分



解析対象建物

図 4-1-1 解析建物モデルと壁・床・二重膜詳細図

計算プログラムでは、まず、図 4-1-1 に示すように解析建物モデルの壁・床・屋根の各面を 9 個、計 54 個の面素に分割する。各面素間の形態係数を算出し、吸収係数を求める。なお、吸収係数とは面素 i から放射される放射熱のうち実質的に面素 j が吸収する熱量の割合を示すものである。その後、外気温・日射量・風速等の気象データを用いて、壁内部・壁表面の温度を算出する。この際に吸収係数を用いて壁体間放射熱授受を考慮した。また、壁内部を分割し壁体内温度

を算出した。算出した壁表面温度と室内空気の熱収支より、室内気温を 1 時間毎に 365 日で算出する。算出された室内気温を用いて冷房は 26℃、暖房は 22℃に設定し、供給熱量を求めた。冷暖房の稼働時間は 8 時～20 時とした。

また、解析する際に、屋根には単層膜・二重膜・三重膜・鋼板の 4 ケースを用いた。それぞれの日射吸収率・透過率と熱貫流率を解析に使用し、その値を表 4-1-1 に示す。二重膜・三重膜では、膜間に厚さ 100mm の中空層があり、中空層の熱貫流抵抗を 0.1m²K/W として熱貫流率を算出した。鋼板には断熱材として木毛セメント板 25mm を付けている。

解析パラメータを表 4-1-2 に示す。屋根・断熱材の厚さ・窓・屋根の膜面積率を変更し、それぞれの年間熱負荷量を算出した。鋼板を解析パラメータに用いるのは、スポーツ施設等の屋根に膜と同様に多用されるためである。算出した年間熱負荷量を PAL の省エネルギー基準値 550MJ/m²年と比較検討した。PAL とは、ペリメータゾーンの年間熱負荷を床面積で除したものであり、基準値の 550MJ/m²年は建物用途が集会場の場合のものである。年間熱負荷量の算出と同時に熱損失係数の算出により断熱性能を把握し、検証の参考とした。

表 4-1-1 屋根の性能値

	単層膜	二重膜	三重膜	鋼板
熱貫流率[W/m ² K]	6.132	3.636	2.584	3.784
日射吸収率	0.100	0.150	0.150	0.700
日射透過率	0.200	0.060	0.012	0.000
日射反射率	0.700	0.790	0.838	0.300

表 4-1-2 解析パラメータ

屋根	単層膜、二重膜、三重膜、鋼板
断熱材	25mm、50mm、100mm、200mm
窓	シングルガラス、ペアガラス
屋根の膜面積率	100%、33%、11%

2) 解析結果

鋼板・単層膜・二重膜・三重膜で断熱材の厚さと窓仕様を変更した場合の解析結果を図 4-1-2 に示す。ペアガラス・断熱材 25mm を用いた場合の熱負荷量は単層膜で 960MJ/m²年，二重膜で 755MJ/m²年，三重膜で 655MJ/m²年，鋼板で 790MJ/m²年となった。鋼板を基準とすると，単層膜は 22%増加し，二重膜は 4%，三重膜は 17%削減できる。鋼板・単層膜・二重膜ではペアガラス・断熱材 200mm を用いても省エネルギー基準を満たすことは困難であった。三重膜では断熱材 200mm・ペアガラスにした場合の年間熱負荷量は 570MJ/m²年と，基準値より 20MJ/m²多いが，三重膜では省エネルギー基準を満たすことが期待できる結果となった。RC 造で断熱材の厚さは 25mm 程度が一般的であり，別の方法で断熱性能を高めなければならないことがわかった。

そこで，省エネルギー基準を満たすにはどの程度断熱性能を高める必要があるのかを明らかにするために各解析ケースの熱損失係数を算出した。年間熱負荷量と熱損失係数の関係を図 4-1-3 に示す。単層膜では熱損失係数を 0 にしても，年間熱負荷量は省エネルギー基準を満たせないことがわかる。二重膜では 4.71W/m²K，三重膜では 5.94W/m²K まで熱損失係数を小さくすると省エネルギー基準を満たすことができる結果となった。建物の断熱性能を高めるために屋根の一部を壁に変え，屋根面積に対する膜面積率を小さくした場合の解析結果を図 4-1-4 から図 4-1-6 に示す。断熱材 25mm では膜面積を小さくしても省エネルギー基準を満たすことは困難であり，単層膜，二重膜では屋根の膜面積率を 50%以下にしなければならないことがわかる。単層膜で省エネルギー基準を満たすことは難しく，二重膜ではスポーツ施設等で膜屋根と同様に多用される鋼板屋根より熱負荷量は削減できるが，省エネルギー基準を満たすことは困難であった。三重膜では建物全体の断熱性能を高めれば省エネルギー基準を満たすことが期待できることを確認した。

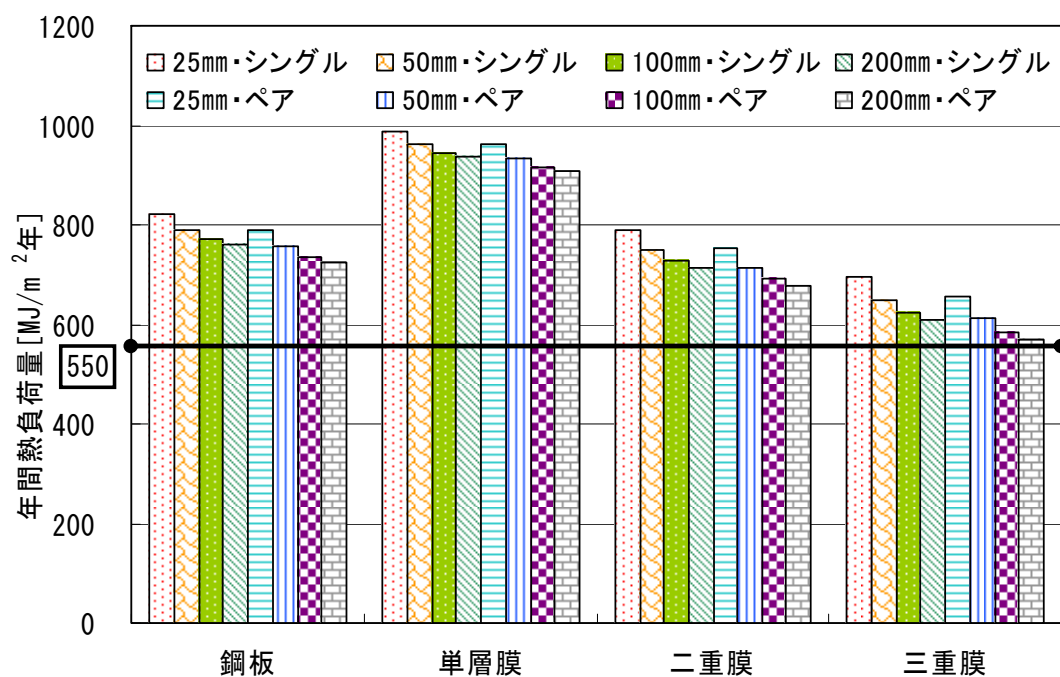


図 4-1-2 鋼板・単層膜・二重膜・三重膜の年間熱負荷量

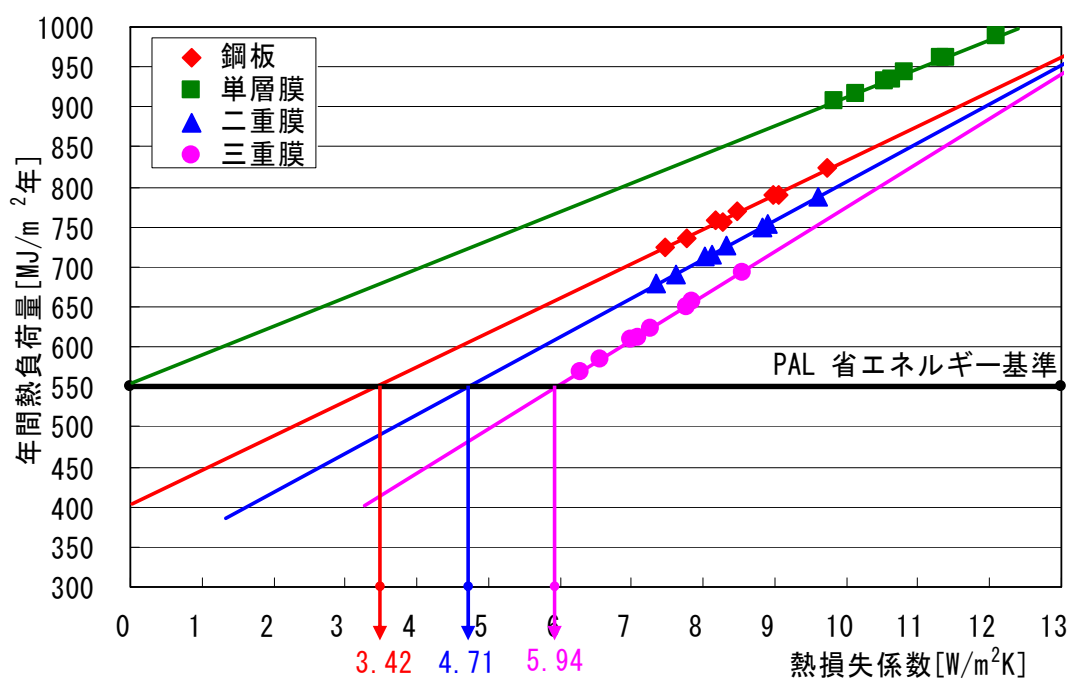


図 4-1-3 熱損失係数と年間熱負荷量の関係 (膜：屋根全面)

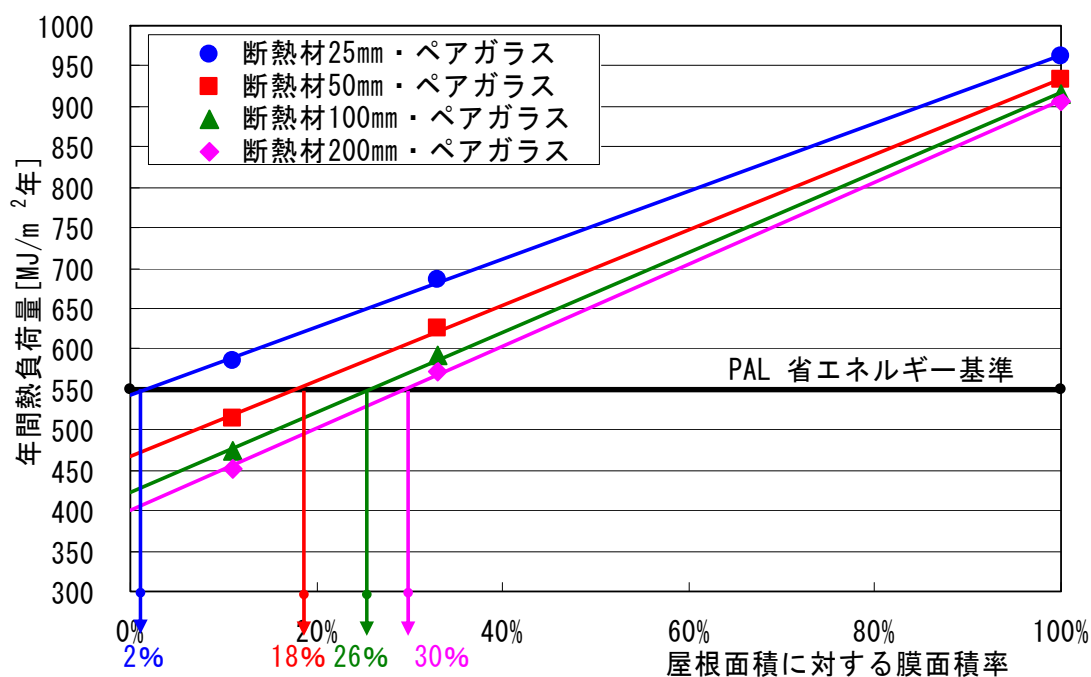


図 4-1-4 屋根の膜面積率と年間熱負荷量の関係(単層膜)

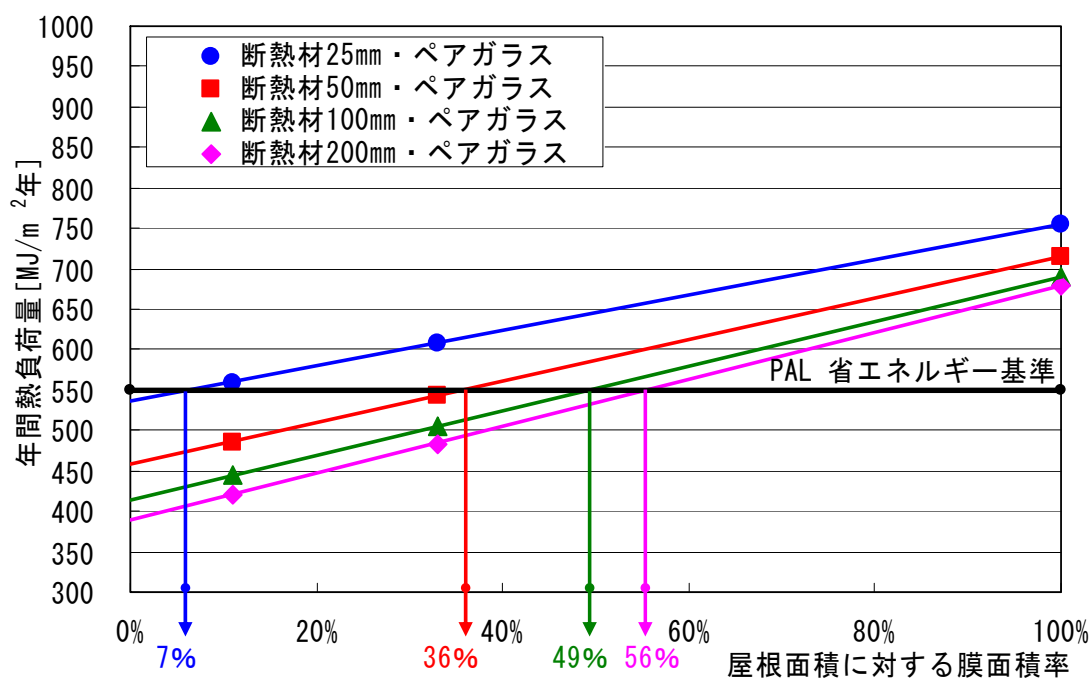


図 4-1-5 屋根の膜面積率と年間熱負荷量の関係(二重膜)

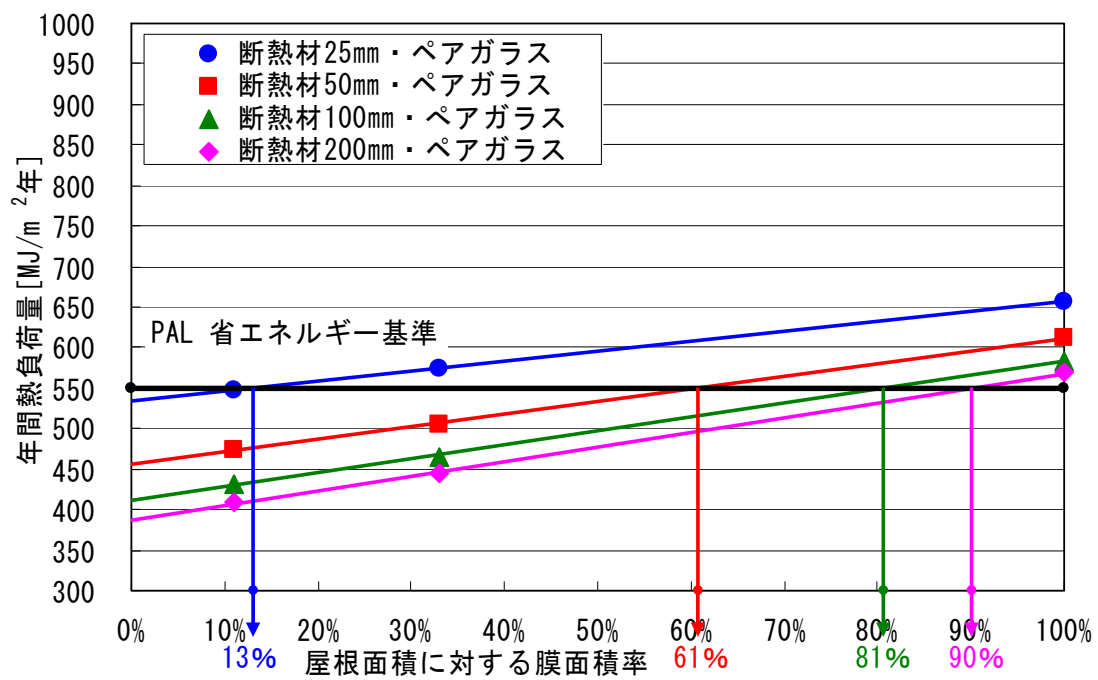


図 4-1-6 屋根の膜面積率と年間熱負荷量の関係(三重膜)

3) ETFE 膜の年間熱負荷量の検証

屋根に ETFE 膜の単層膜、二重膜、三重膜を用いて年間熱負荷量を算出した。シミュレーションに使用した各屋根の熱貫流率と日射透過率、吸収率を表 4-1-3 に示す。

ETFE 膜の断熱性能は高く、ETFE 二重膜の熱貫流率は三重膜と同程度である。さらに、ETFE 三重膜にすると、熱貫流率は $1.7\text{W/m}^2\text{K}$ にまで小さくなる。日射透過率は、ETFE 単層膜で 90%であり、ETFE 二重膜、ETFE 三重膜にしても高い値を保っている。

まず、断熱材 25mm・ペアガラスを用いた場合の年間熱負荷量を図 4-1-7 に示す。

表 4-1-3 ETFE 膜の熱貫流率と日射透過率・吸収率

	ETFE単層膜	ETFE二重膜	ETFE三重膜	単層膜	二重膜	三重膜	鋼板
熱貫流率 $[\text{W/m}^2\text{K}]$	5.800	2.600	1.700	6.141	3.831	2.784	3.784
日射透過率 $[\%]$	90.0	82.0	75.0	20.0	6.0	1.2	0.0
日射吸収率 $[\%]$	5.0	13.0	15.0	10.0	15.0	15.0	70.0

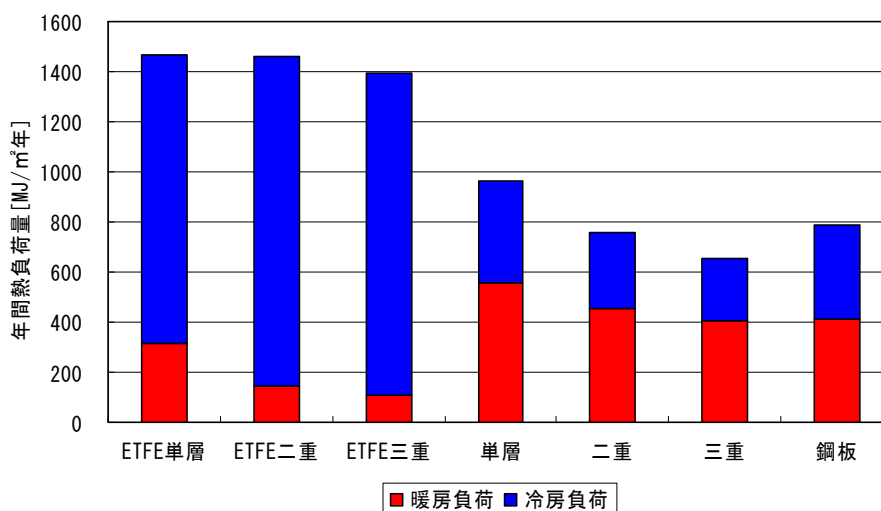


図 4-1-7 ETFE 膜の年間熱負荷量

ETFE 膜を用いると、暖房負荷は削減されるが、冷房負荷は増加する。暖房負荷は、ETFE 単層膜で 315MJ/m^2 、ETFE 二重膜で 145MJ/m^2 、ETFE 三重膜では 110MJ/m^2 となり、一般的な膜材に比べ、半分以上に削減される。これは、断熱性能の向上と透過日射により室内気温が上昇していることが理由と考

えられる。冷房負荷は、ETFE 単層膜、二重膜、三重膜のいずれも 1000MJ/m^2 を大きく超える。これは、透過日射が原因であると考えられる。年間熱負荷量は、冷房負荷が影響し、 1400MJ/m^2 を超える結果となり、省エネルギー基準を満たすことはできない。

次に、ETFE 膜を用いることで、暖房負荷だけを見ると、省エネルギー基準を満たすことができそうなので、透過日射による冷房負荷の削減をするために日射透過率を下げた場合の年間熱負荷量を算出した。算出した年間熱負荷量を冷暖房負荷別に図 4-1-8 に示す。断熱材 25mm ・ペアガラスを用いた場合の結果である。

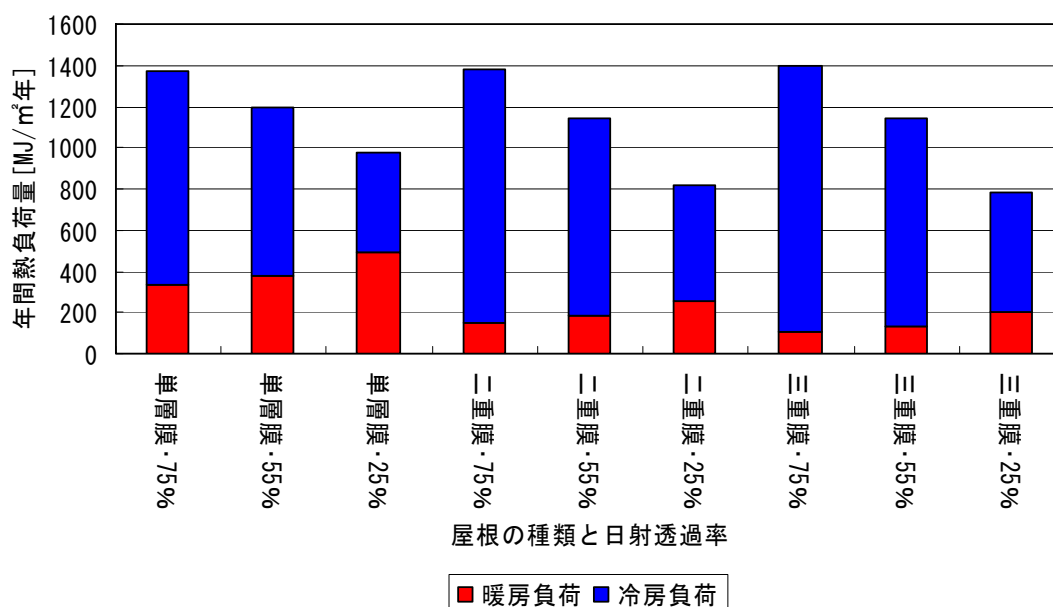


図 4-1-8 日射透過率と冷暖房負荷

日射透過率を小さくし、透過日射を減らすことで冷房負荷は削減されていくが、透過日射の効果で削減されていた暖房負荷が増加し、省エネルギー基準を満たすことが困難となっている。また、ETFE 膜で二重膜、三重膜にした場合の年間熱負荷量を比較するとほぼ同量となっているため、二重膜から三重膜にする効果はあまりないことがわかる。

図 4-1-8 を用いて、日射透過率と年間熱負荷量の関係を図 4-1-9 に示す。

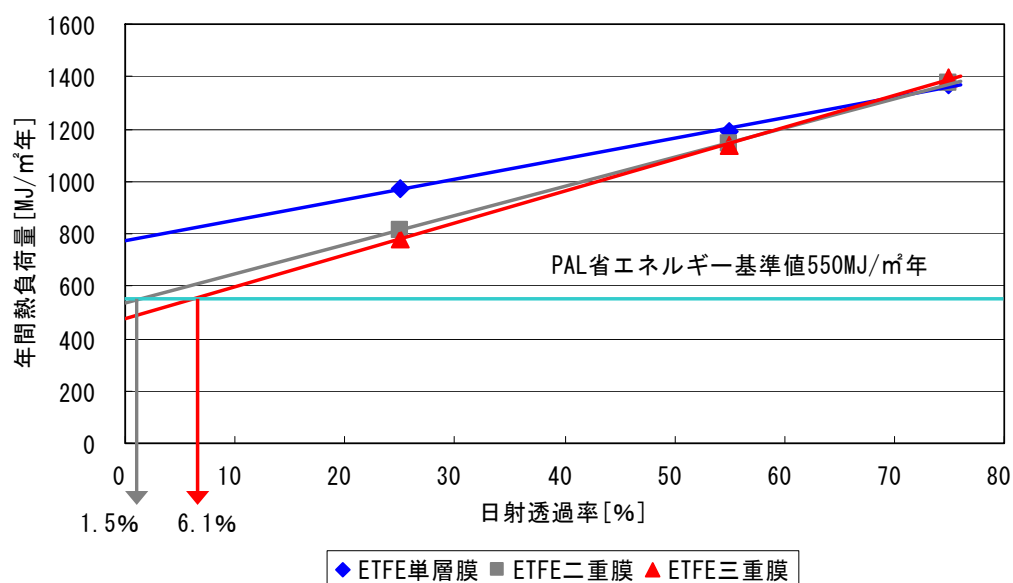


図 4-1-9 日射透過率と年間熱負荷量の関係

ETFE 単層膜では、日射透過率を小さくしても省エネルギー基準を満たすことはできない。ETFE 二重膜では日射透過率を 1.5%，ETFE 三重膜では 6.1%にすると、省エネルギー基準を満たすことができる結果となった。ETFE 膜を用いた場合、透過日射による冷房負荷の増加が課題となるが、透過日射は暖房負荷の削減に効果があるため、ただ日射透過率を小さくしていけば年間熱負荷量が削減されていくわけではないことがわかる。

断熱材 25mm，ペアガラスを用いた場合の解析結果を用いて、熱負荷量を二酸化炭素排出量に換算し、多重化や ETFE 膜を用いた場合の二酸化炭素排出量を検証する。算出方法は、解析によって得られた年間熱負荷量より、冷暖房にはエアコンを使用するとし、モデルとした U 大学多目的アリーナの 1 年間の二酸化炭素排出量を求めた。算出式は次式である。

$$\begin{aligned} \text{二酸化炭素排出量} &= \text{電力の使用量} \times \text{単位使用量あたりの排出量} \\ &= (\text{熱負荷量} \div \text{COP}) \times \text{単位使用量あたりの排出量} \end{aligned}$$

解析から得られた年間熱負荷量は 1 m²あたりのため、全床面積である 1296 m²での年間熱負荷量を用いて、算出した。エアコンの COP(成績係数)は 3 とした。単位使用量あたりの排出量は 0.1917kgCO₂/MJ である。算出結果を図 4-1-10 に示す。

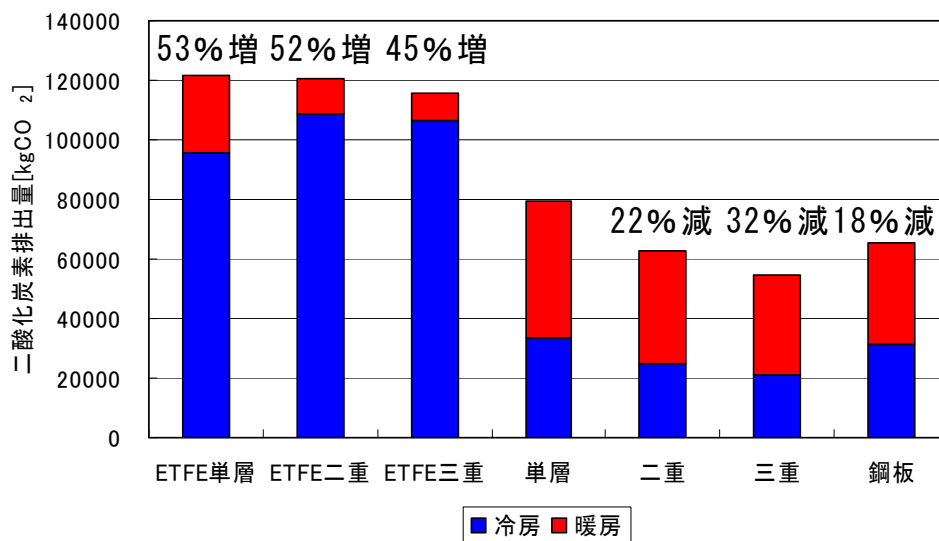


図 4-1-10 二酸化炭素排出量の算出結果

単層膜では、1年間で80000kgCO₂となった。単層膜を基準として多重化した場合での削減量を見ると、二重膜では22%削減、三重膜では32%削減できるという結果となった。単層膜と鋼板を比較すると、鋼板のほうが18%少ない。二重膜と鋼板はほぼ同程度だが、二重膜では鋼板より5%削減でき、三重膜では鋼板より17%削減できるという結果となった。ETFE膜を用いた場合は、冷房負荷の増加により二酸化炭素排出量も多くなり、単層膜より、ETFE単層膜で53%増加、ETFE二重膜で52%増加、ETFE三重膜で45%増加するという結果となった。

4. 2 膜構造の照明負荷削減効果の検証

1) 解析概要

屋根部分に膜材を使用する事によって、日中の日射透過による、照明負荷の減少量を検証する。膜構造建築物の事例として、図 4-2-1 に示す栃木県宇都宮市にある「U 大学多目的アリーナ」をモデルとする。解析モデル 1、2 を図 4-2-2 に壁床詳細図を図 4-2-3 に示す。実際の建物は、円形平面でドーム状の屋根だが、解析モデルは、縦・横 36m、高さ 10m とし、膜屋根部分は平面とした。体育館の必要照度を 1000lx、アリーナの使用時間を 8 時～20 時、鋼板の日射透過率は 0%、白色一重膜の日射透過率は 20%、白色二重膜の日射透過率は 4%とした。解析した年間照明負荷と昨年解析された図 4-2-4 の年間熱負荷の結果⁵⁾を総合し、膜屋根の性能を検証する。



図 4-2-1 U 大学多目的アリーナ

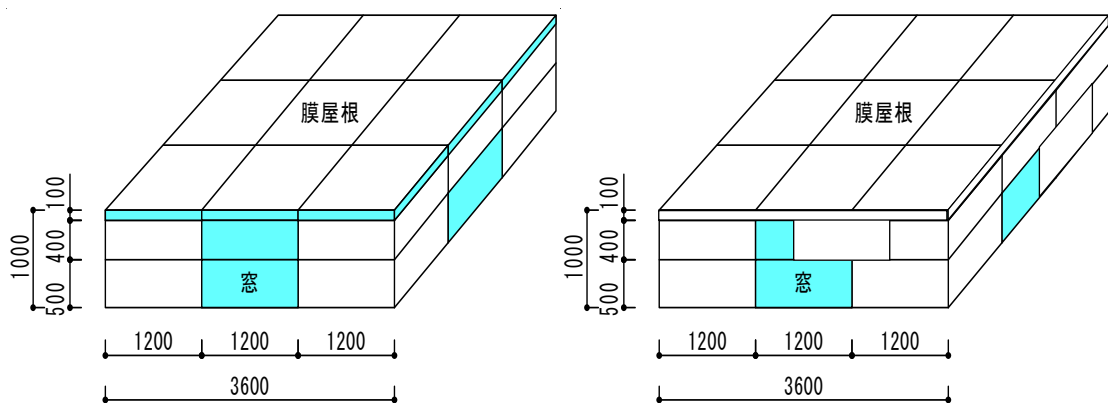


図 4-2-2 解析モデル(左・1 右・2)

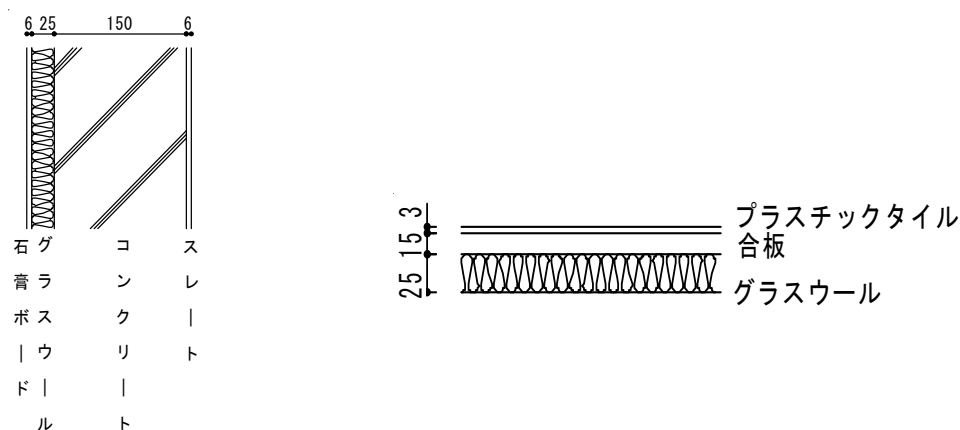


図 4-2-3 壁・床詳細図

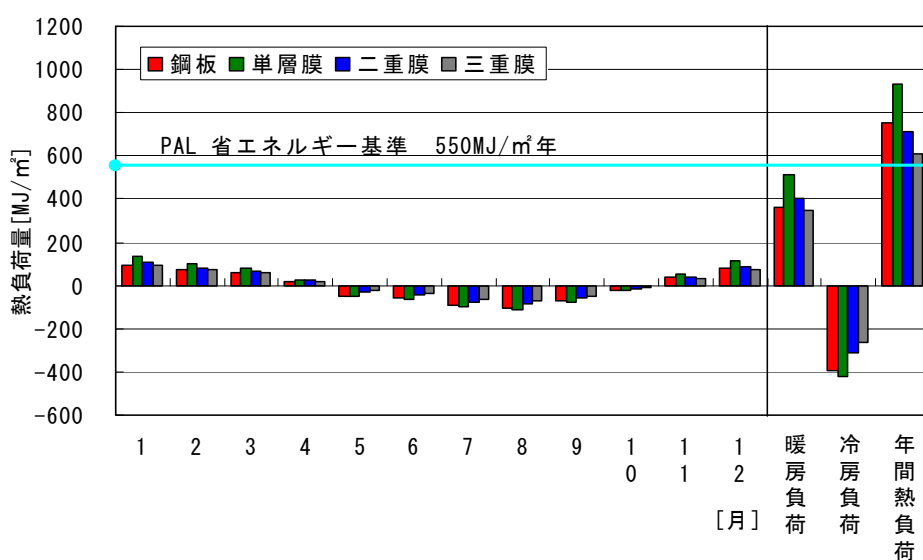


図 4-2-4 断熱材の厚さ 50 mm・ペアガラスの場合の年間熱負荷

モデルの照明の個数を式(4.2.1)より算出した。今回、算出に用いた照明は消費電力 1000W、光束 92000lm のメタルハロイドランプとした。

$$N = \frac{AE}{FU_m} \quad (4.2.1)$$

N : 必要なランプの数[-] A : 床面積=1296[m²]

E : 照度=1000[lx] U : 照明率=0.6[-]

F : 照明 1 個の光束=92000[lm] m : 保守率=0.65[-]

算出式より、必要個数は 36 個となり、床面積から 6m×6m ごとに 1 つ設置するものとした。次に、モンテカルロ法を用いて、床面の任意の点の立体角投射

率をそれぞれ算出した。モンテカルロ法の概要を図 4-2-5 に示す。モンテカルロ法は、空間内にランダムに放射される放射束を追跡する事によって求める統計的方法である。放射束の射出方向を式(4.2.2)、(4.2.3)によって与える。

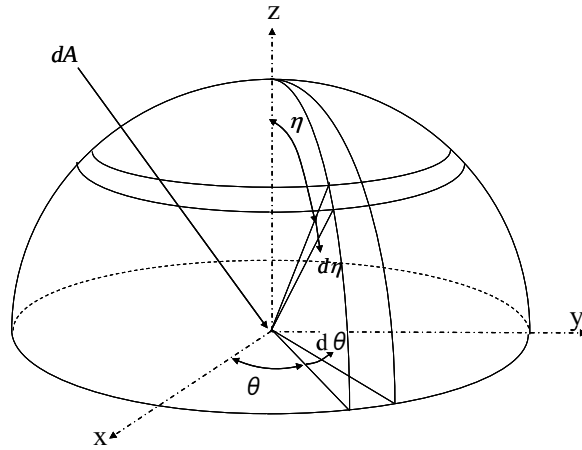


図 4-2-5 モンテカルロ法の概要

$$\theta = 2\pi R_\theta \quad (4.2.2)$$

$$\eta = \cos^{-1} \sqrt{1 - R_\eta} \quad (4.2.3)$$

θ, η : 射出方向[-]

R_θ, R_η : 一様乱数[-]

これらの放射束を追跡することによって立体角投射率を求めた。この時、 R_θ 、 R_η に対し各々乱数を用いる。放射束は 20 万本とした。求められた立体角投射率から昼光率を式(4.2.4)～(4.2.6)よりそれぞれ算出した。

$$D = D_d + D_r \quad (4.2.4)$$

$$D_d = \tau MRU \times 100 \quad (4.2.5)$$

$$D_r = (\tau MR) \times D_w \times \left(\frac{S_w}{A}\right) \times \left(\frac{\rho_m}{1 - \rho_m}\right) \quad (4.2.6)$$

D : 全昼光率[%]

D_d : 直接昼光率[%]

D_r : 間接昼光率[%]

U : 立体角投射率[-]

M : 媒体の劣化割合=1.00 [-]

R : 有効面積比=1.00 [-]

S_w : 採光面積=480 [m²]

A : 室面積=1296 [m²]

τ : 光の通過する媒体の透過率[-]

ρ_m : 室内表面の面積荷重平均反射率=0.73 [-]

D_w : 天空の窓面に対する昼光率[%]

解析点は 36m×36m を 1m 間隔で区切り、1296 点とした。照明数に合わせて、6m×6m の範囲内で求めた昼光率を平均した値 36 点を算出した。モデルが上下左右対称であるため、算出式には南西側 18m×18m の範囲の 9 箇所の昼光率を使用した。使用した昼光率の概要を図 4-2-6 に示す。

アメダス気象データを用いた宇都宮の年間基準照度と昼光率から対象点の照度を算出した。求められた解析点の照度から照明の年間照明負荷を算出した。算出には次に示す二つの方法で行なった。

- a. 照度が 1000lx を超えない時間は全ての照明を使用するものとし、年間で 1000lx 未満の時間の合計を算出し、時間の合計と照明のワット数から、年間照明負荷を算出した。
- b. 照度が 1000lx を超えない部分は不足分のみ調光するものとし、不足分の合計から年間照明負荷を算出した。

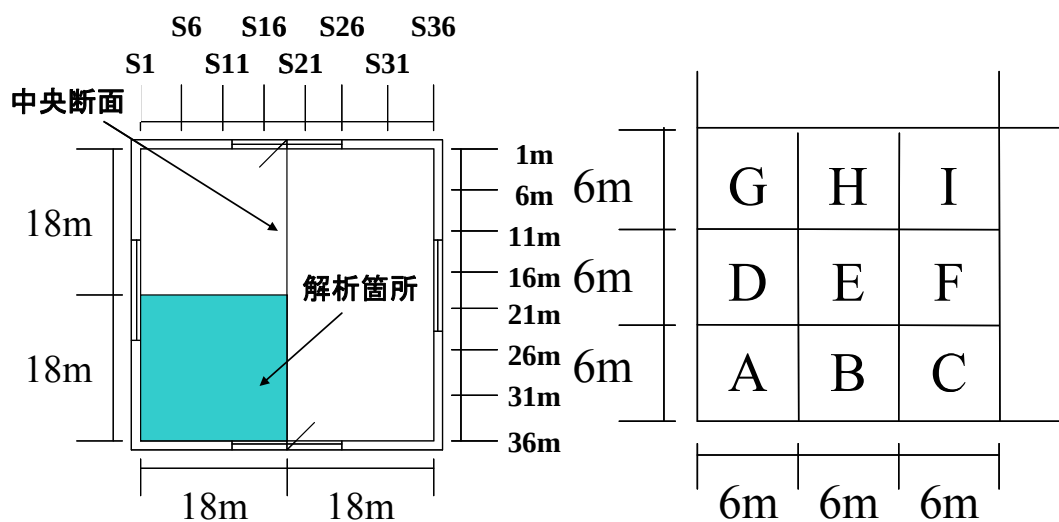


図 4-2-6 使用した昼光率の概要(左・全体図 右・拡大図)

2) モデル1の解析結果

モデル全体の昼光率分布を図 4-2-7 から 4-2-9 に中央断面の昼光率分布を図 4.2.10 に示す。

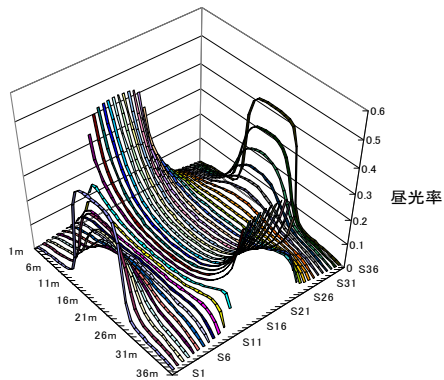


図 4-2-7 昼光率分布(鋼板)

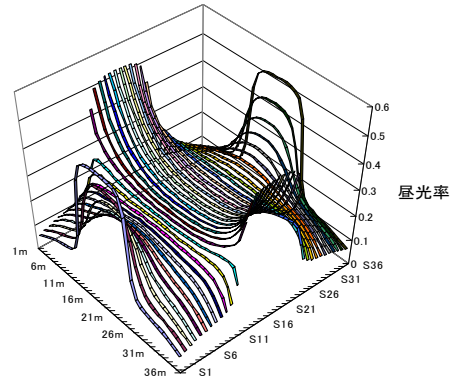


図 4-2-8 昼光率分布(一重膜)

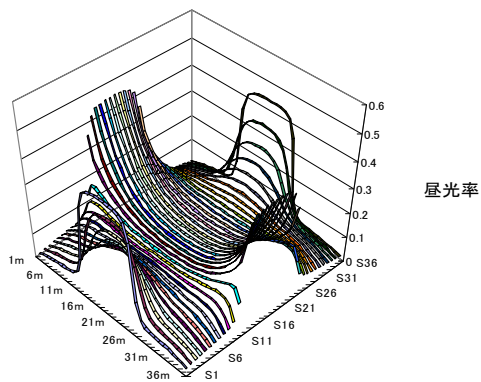


図 4-2-9 昼光率分布(二重膜)

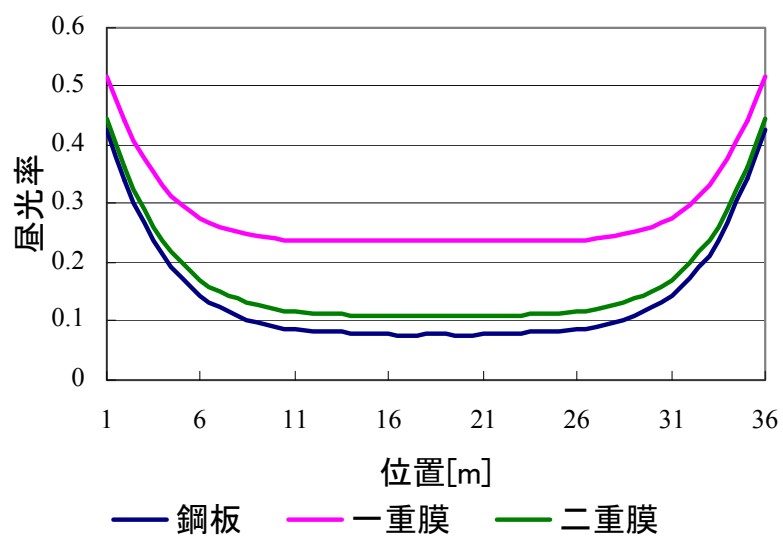


図 4-2-10 中央断面の昼光率分布

図 4-2-6 の拡大図で示された部分の対象点の照度を図 4-2-11～4-2-13 に、算出した年間照明負荷を表 4-2-1 に示す。

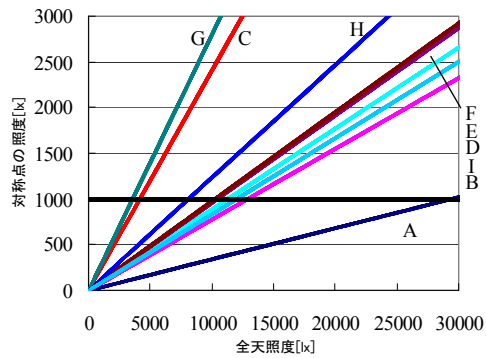


図 4-2-11 対象点の照度(鋼板)

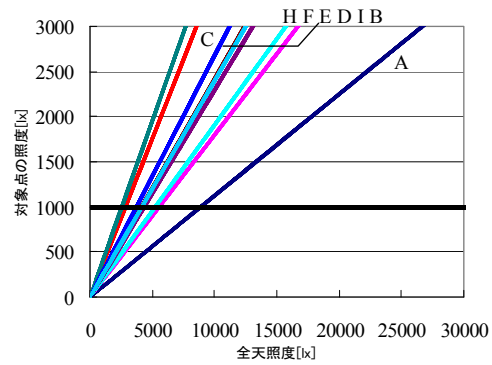


図 4-2-12 対象点の照度(一重膜)

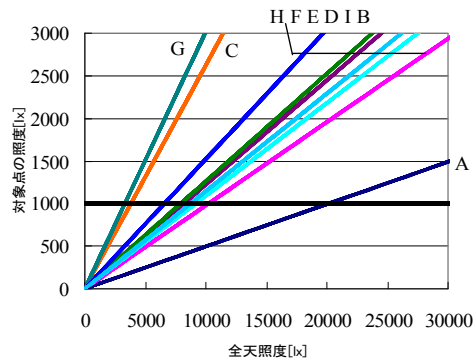


図 4-2-13 対象点の照度(二重膜)

表 4-2-1 年間照明負荷

	算出式 a[MJ/m ²]	算出式 b[MJ/m ²]
鋼板	240	170
一重膜	150	130
二重膜	210	150
鋼板との差(一重膜)	90	40
鋼板との差(二重膜)	30	20

3) モデル 1 の考察

図 4-2-10 より中央で昼光率の差が大きく、日中の全天照度が低い場合には、照明使用量で大きな差が生じると考えられる。

また図 4-2-11~4-2-13 から隅角部に相当する A 点で顕著な違いが見られた。また、各対象点で比較した場合、鋼板が必要照度を満たすには、一重膜に対して、2~3 倍の全天照度が必要であり、二重膜に対しても 1.5 倍ほど必要である事が確認された。

年間照明負荷において、a の場合では、鋼板と一重膜の差が年間照明負荷の差が約 90MJ/m^2 という結果になり、b の場合では、約 40MJ/m^2 という差が生じた。昨年得られた年間熱負荷では、一重膜が鋼板の場合と比較し、一重膜の冷暖房負荷が約 200MJ/m^2 多かったが、照明負荷を加味する事で、その差が $1/3$ から $1/4$ 程度減少する事が確認された。

二重膜と鋼板の場合は、照明負荷削減量は $20\sim 30\text{MJ/m}^2$ 程度と小さな値であるが減少する事が確認された。

4) モデル 2 の解析結果

モデル全体の昼光率分布を図 4-2-14 から 4-2-16 に中央断面の昼光率分布を図 4-2-17 に示す。

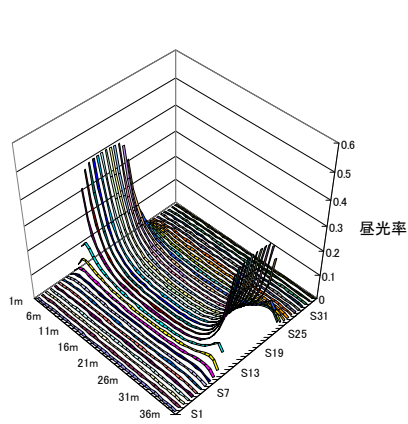


図 4-2-14 昼光率分布(鋼板)

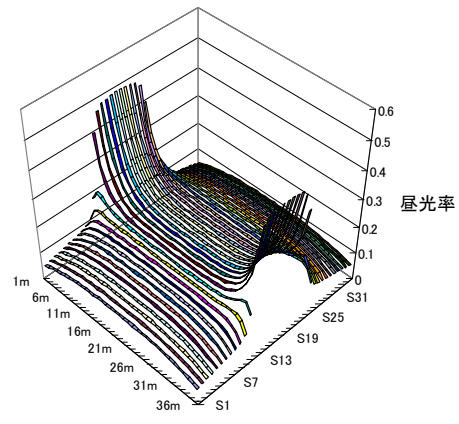


図 4-2-15 昼光率分布(一重膜)

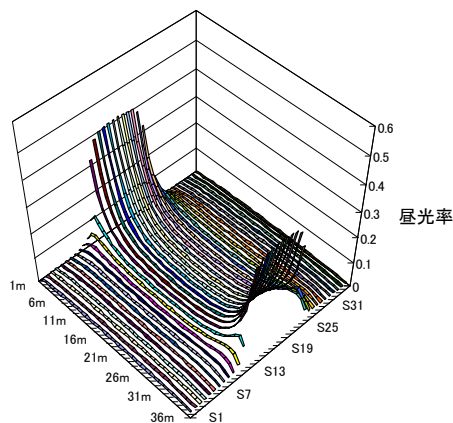


図 4-2-16 昼光率分布(二重膜)

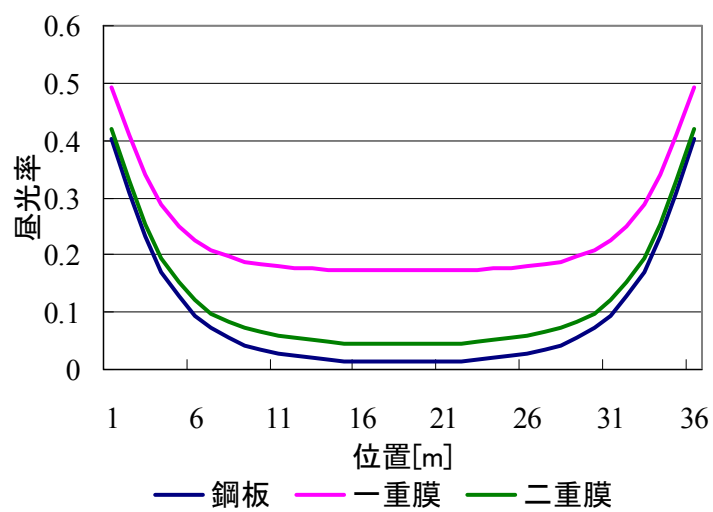


図 4-2-17 中央断面の昼光率分布

図 4-2-6 の拡大図で示された部分の対象点の照度を図 4-2-18～4-2-20 に、算出した年間照明負荷を表 4-2-2 に示す。

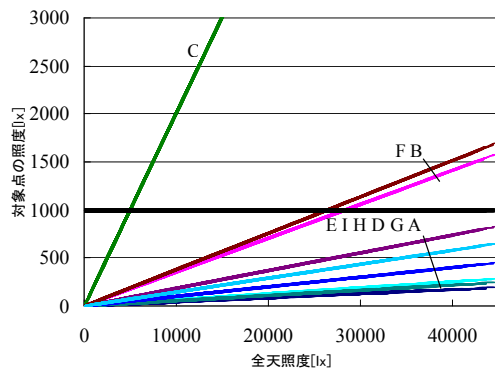


図 4-2-18 対象点の照度(鋼板)

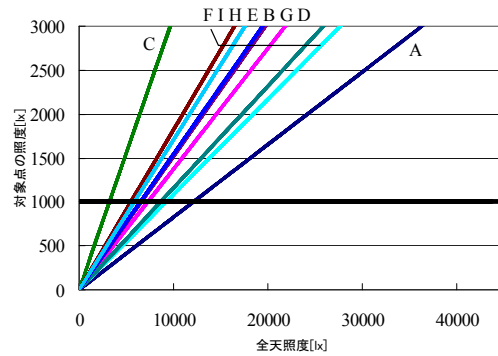


図 4-2-19 対象点の照度(一重膜)

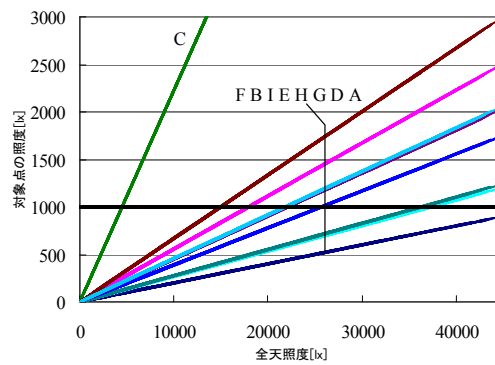


図 4-2-20 対象点の照度(二重膜)

表 4-2-2 年間照明負荷

	算出式 a [MJ/m ²]	算出式 b[MJ/m ²]
鋼板	580	350
一重膜	250	140
二重膜	500	250
鋼板との差(一重膜)	330	210
鋼板との差(二重膜)	80	100

5) モデル 2 の考察

図 4-2-17 よりモデル 1 の場合と同様、中央で昼光率の差が大きくなった。また図 4-2-14~4-2-16 の照度分布では、モデル 1 と比較し、著しく昼光率が低下したため、膜屋根による日射取得の重要性が増したといえる。

図 4-2-18~図 4-2-20 の結果より鋼板では、多くの部分で終日必要照度を満たせない箇所が多くあり、照明使用量が大幅に増した。一重膜、二重膜で解析を行った場合も照明負荷は増えているが、鋼板のケースより差は小さいため、膜屋根の日射取得は窓面積が少ないほど大きな効果が期待できる。

表 4-2-2 の結果より、鋼板と一重膜では、年間照明負荷を半分以上減らせる結果となった。

年間熱負荷を加味すると、モデル 2 の窓面積の場合には、鋼板と一重膜の負荷はさほど変わらないといえる。二重膜の場合でも年間照明負荷をより減らす事が出来るため、節電効果が期待できる。

一重膜、二重膜共に鋼板より、照明負荷が減少したため、一定の照明負荷削減効果が得られる結果となった。モデル 1 の場合には採光面積が非常に大きいので、極端な差は出なかったが、採光面積を小さくすると顕著な差が生じた。モデル 2 の東西面では鋼板はほぼ自然採光が期待出来ないのに対して、膜屋根の場合には膜透過日射より必要照度を満たし易くなるため省エネルギー効果があると考えられる。

膜材料は、断熱性能が低く、非省エネルギー材料だと考えられている。しかし、照明負荷を加味する事で、年間負荷にさほど違いはみられない結果となった。特に、窓面積が小さい場合には、鋼板の断熱性能よりも膜材の日射透過性能の方が、省エネルギー対策に関してより効果的である。二重膜の場合には断熱性能も高く、採光も期待出来る素材で環境負荷低減に非常に有効だと考えられる。

6) まとめ

平成 19～20 年度に温熱環境の実測を行った体育館を対象に，昼光率解析を行い，膜屋根構造の照明負荷削減効果を検証した。モンテカルロ法により，床面 $1\text{m} \times 1\text{m}$ 毎から各開口の立体角投射率を算出した。EA 気象データの日射量を全天照度に換算し，昼光率から床面照度を求めた。床面の必要照度を 1000lx と仮定し，不足した場合に，照明全灯，不足分調光の 2 ケースについて概算した結果，照明全灯では $90\text{MJ}/\text{m}^2$ ，調光では $40\text{MJ}/\text{m}^2$ の照明負荷を削減可能であることがわかった。

4. 3 外皮膜を設置した建物の年間冷暖房負荷および CO2 削減効果の予測

1) HASP による負荷変動予測

解析概要：

建築物外皮として膜を取り付ける事で、どの位の省エネルギー効果が得られるのかを検証するため、動的熱負荷計算プログラム HASP を使用し、建物の負荷変動を解析した。HASP は、室に関わる熱収支を解く事により、時々刻々の空調負荷や空調停止時の室温・室温度を計算するシミュレーションプログラムである。解析には、軒高 45m の大型ビルをモデルとし、その内、ビルのある一層を基準階として解析を行った。モデルビル基準階平面図、ペリメータ断面寸法図、ペリメータ平面寸法図、各部位の仕様を図 4-3-1 から図 4-3-4 に示し、各部位面積を表 4-3-1 に示す。モデルビル基準階の寸法は、縦・横 36m、基準階高 3.7m である。モデルビルの方角は、西に 8.6° の方角に向いている。建物立地場所を東京、北緯 35.42°、東経 139.46° とする。計算方法は、ペリメータの 4 ゾーンについて算出を行うものとする。case ごと、ガラスの種類ごとから解析を行い、年間の冷暖房負荷、熱量を算出し比較検討する。

熱量は、室除去熱量と装置除去熱量の 2 つを用いた。室除去熱量は、空調装置によって室から取り除かれる熱量である。装置除去熱量は、室除去熱量に室内外の温度差に外気導入量と容積比熱を掛けて求めた外気負荷を加えたものである。また、年間熱負荷量、積算消費電力量、二酸化炭素排出量、電気料金を算出し、実際の数値である室除去熱量を基準として比較検討した。

算出された年間熱負荷量を PAL の省エネルギー基準値 300MJ/m² 年と比較し、膜の環境性能を検証する。300MJ/m² 年は、建物用途が事務所等の場合のものである¹²⁾。PAL を算出するために式(4.3.1)を用いた。PAL は、各ペリメータゾーンの年間負荷(年間熱量)を足し合わせ平均値にし、kWh を MJ の形に変更し、年間冷房負荷(熱量)と年間暖房負荷(熱量)を足し合わせ、各ペリメータゾーンの平均床面積で割り算出したものである。また、消費電力量は PAL を MJ から kWh の形に変更し、各ペリメータゾーンの合計床面積で掛け、COP で割り算出したものである。業務用空調機を用いているので、COP は 3 と仮定する。

二酸化炭素排出量の算出には、二酸化炭素排出原単位 0.332kg-CO₂/kWh を用い、電気料金には、業務用の電力量料金単価 10.13 円/kWh を用いた。

$$PAL = \frac{\text{ペリメータゾーンの年間熱負荷量[MJ/年]}}{\text{ペリメータゾーンの床面積[m}^2\text{]}} \quad (4.3.1)$$

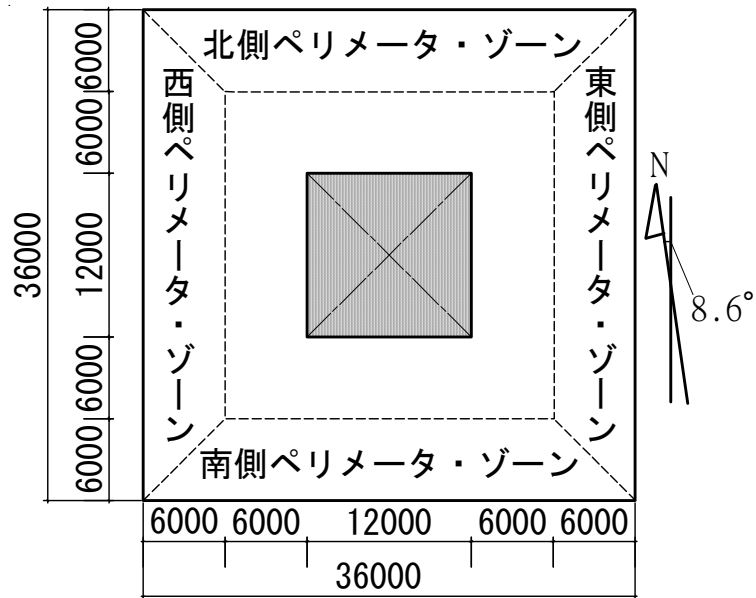


図 4-3-1 モデルビル基準階平面図

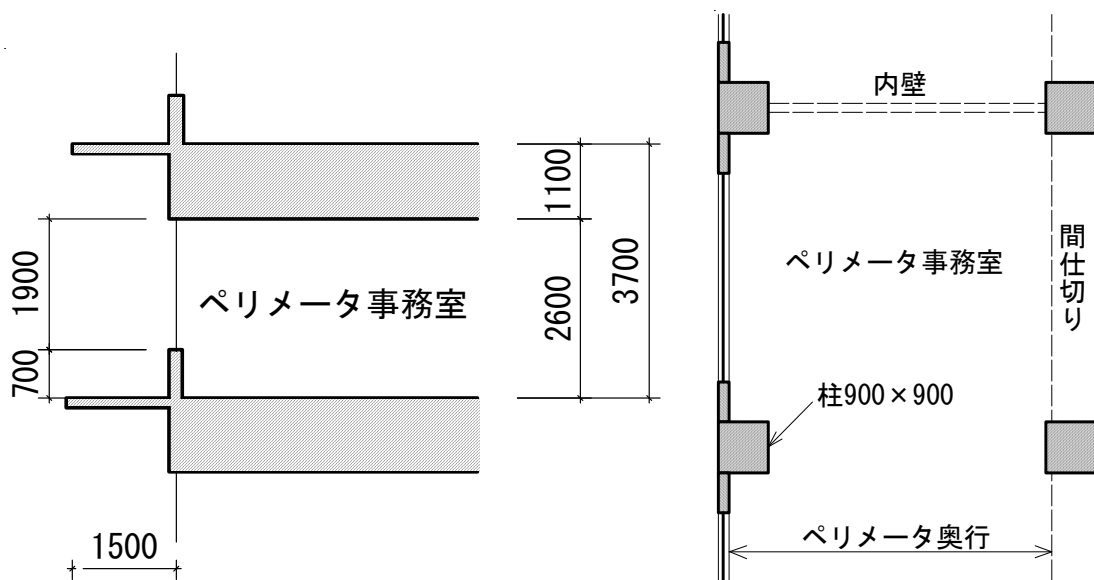


図 4-3-2 ペリメータ断面寸法図(case1)

図 4-3-3 ペリメータ平面寸法図

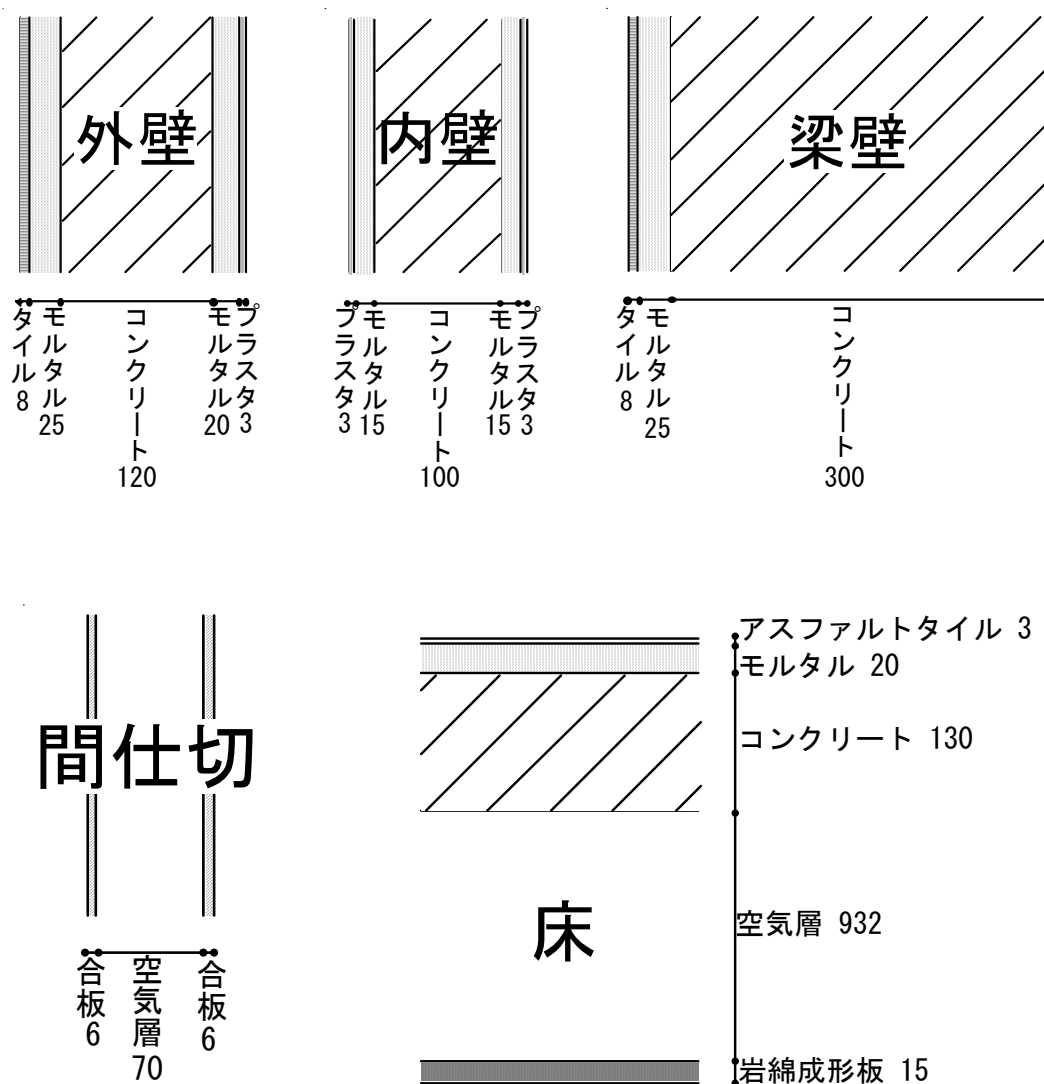


図 4-3-4 各部位の仕様

表 4-3-1 各部位面積

ゾーン	外壁[m ²]	梁壁[m ²]	窓ガラス[m ²]	内壁[m ²]	間仕切[m ²]	床[m ²]
ゾーン	51.42	39.6	42.18	26	20.8	180

2) case 毎の外皮膜有無による環境性能検証

case を 4 つのパターンに分類して解析を行った。基準を case1 とする。case 変更点を表 5.2.1 に示し、膜と透明フロートガラスの熱貫流率と遮蔽係数を表 4-3-2 に示す。case1 は、モデルビル基準階の寸法、各部位の仕様、各部位面積を使用した。それに加えて、ブラインドを中間色ブラインド、窓ガラスの仕様を透明フロートガラス 3mm とし解析を行った。case2 は、case1 からの変更点として、1.5m の底を無くした。case3 は、case2 からの変更点として、外壁を無くし、全面を窓ガラスとした。case4 は、case3 からの変更点として、中間色ブラインドを取り除いた。各 case とも外皮膜を窓ガラスのみに覆ったと想定し、外皮膜装着と外皮膜未装着の場合で解析を行い比較検討する。

また、case4 を用いて、膜装着時と膜未装着時の場合と、季節により膜の脱着を行った場合とを比較し、外皮膜によるエネルギー負荷削減効果を検討する。膜の脱着に関しては、5 月から 10 月までは膜を取り付け、11 月から 4 月までが膜を取り外したと想定して解析を行った。

表 4-3-2 case 変更点

	底[m]	窓ガラス[m ²]	外壁[m ²]	ブラインド
case1	1.5	42.18	51.42	あり
case2	0	42.18	51.42	あり
case3	0	93.6	0	あり
case4	0	93.6	0	なし

表 4-3-3 外皮膜と透明フロートガラスの熱貫流率と遮蔽係数

[中間色ブラインド(上)、ブラインドなし(下)]

中間色ブラインド			
	熱貫流率[W/m ² K]	遮蔽係数(対流)	遮蔽係数(放射)
外皮膜	4.5	0.036	0.023
透明フロートガラス 3mm	4.5	0.357	0.227
ブラインドなし			
	熱貫流率[W/m ² K]	遮蔽係数(対流)	遮蔽係数(放射)
外皮膜	6.3	0.002	0.099
透明フロートガラス 3mm	6.3	0.015	0.985

3) case1 の解析結果

Case1 の解析結果を図 4-3-5 から図 4-3-28 に示す。なお、凡例に示した N は北、S が南、W が西、E が東である。

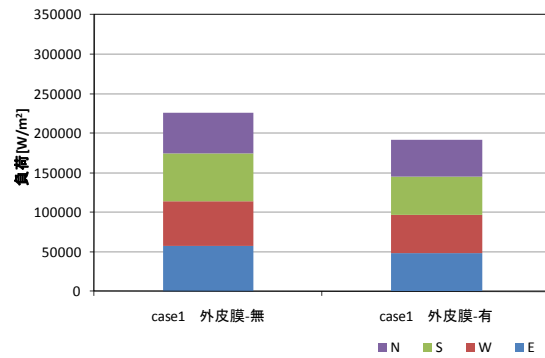


図 4-3-5 各方位の年間冷房負荷

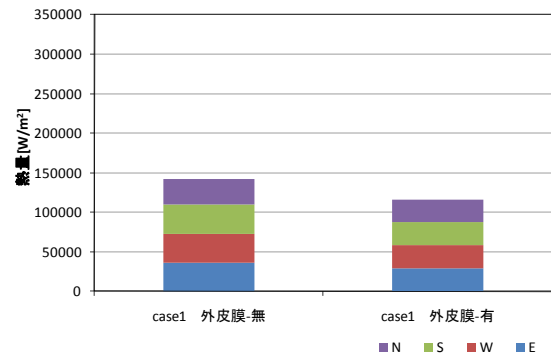


図 4-3-6 各方位の年間冷房室除去熱量

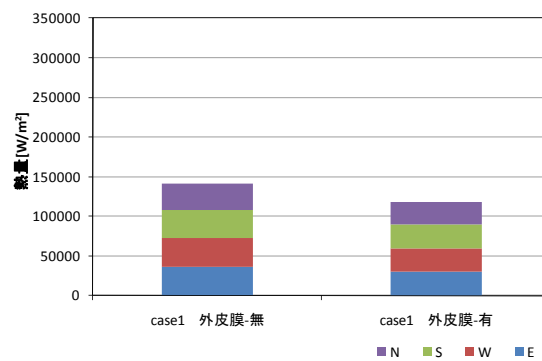


図 4-3-7 各方位の年間冷房装置除去熱量 (case1)

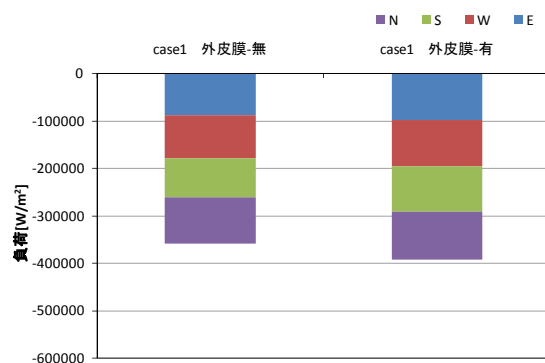


図 4-3-8 各方位の年間暖房負荷

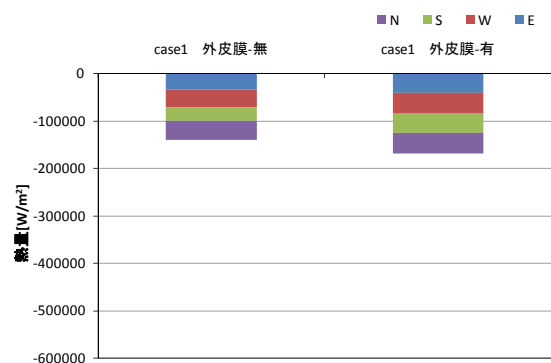


図 4-3-9 各方位の年間暖房室除去熱量

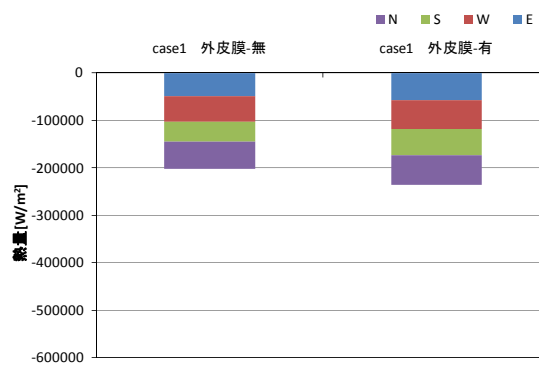


図 4-3-10 各方位の年間暖房装置除去熱量 (case1)

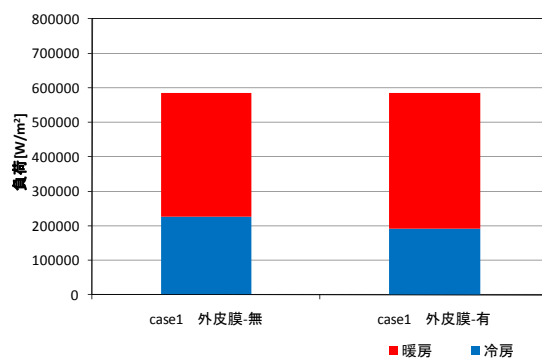


図 4-3-11 年間負荷 (case1)

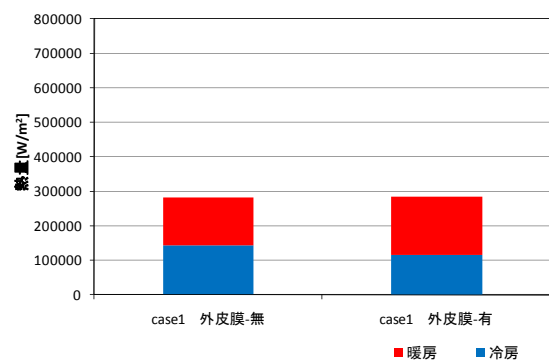


図 4-3-12 年間室除去熱量 (case1)

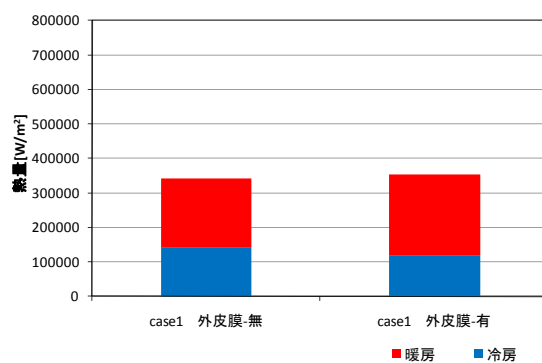


図 4-3-13 年間装置除去熱量 (case1)

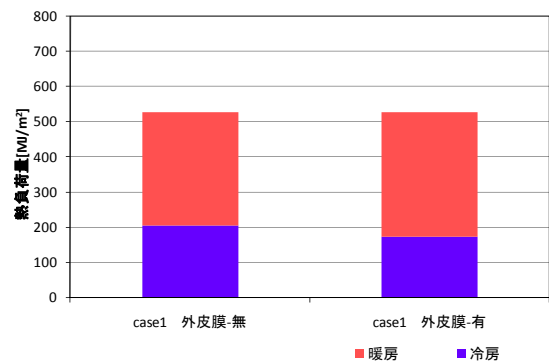


図 4-3-14 年間負荷より算出した
年間熱負荷量 (case1)

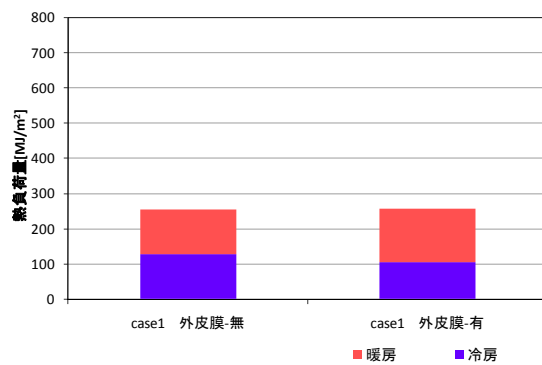


図 4-3-15 年間室除去熱量より算出した年間熱負荷量 (case1)

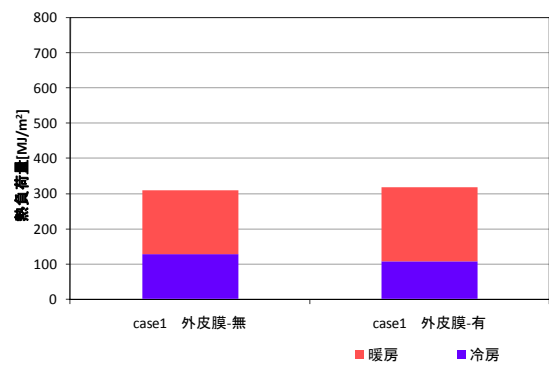


図 4-3-16 年間装置除去熱量より算出した年間熱負荷量 (case1)

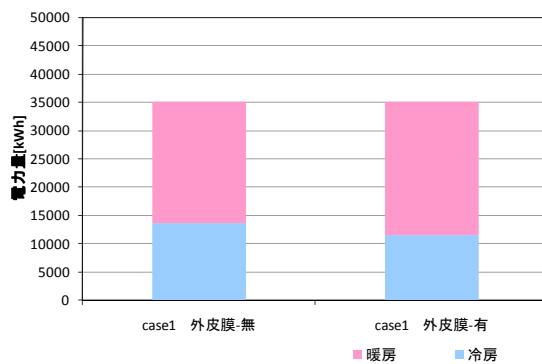


図 4-3-17 年間負荷より算出した積算消費電力量 (case1)

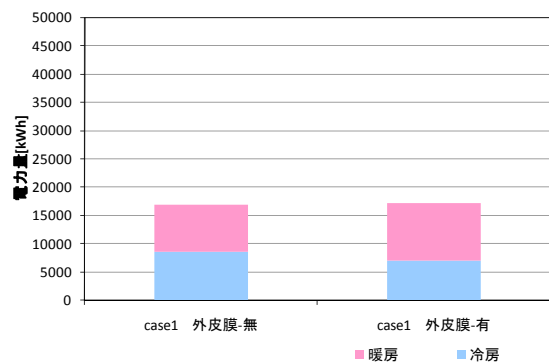


図 4-3-18 年間室除去熱量より算出した積算消費電力量 (case1)

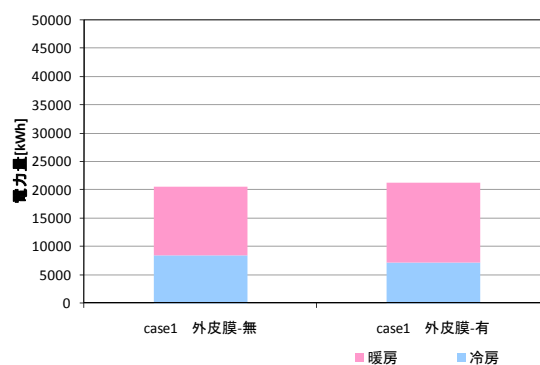


図 4-3-19 年間装置除去熱量より算出した積算消費電力量 (case1)

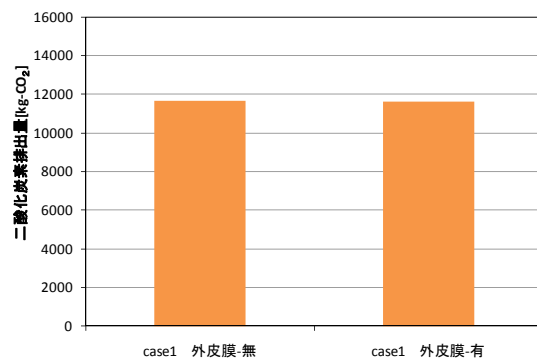


図 4-3-20 年間負荷より算出した二酸化炭素排出量 (case1)

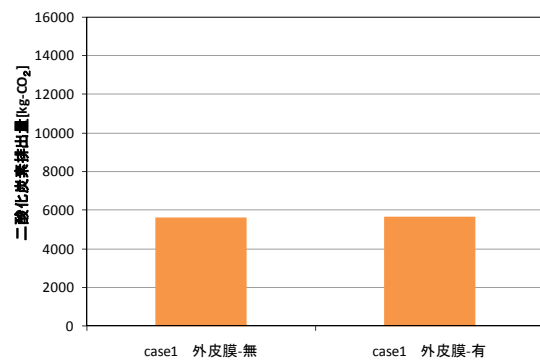


図 4-3-21 年間室除去熱量より算出した二酸化炭素排出量 (case1)

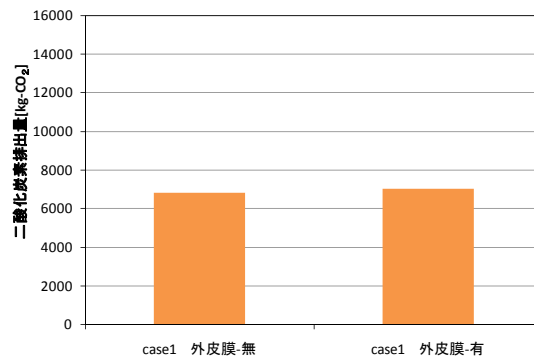


図 4-3-22 年間装置除去熱量より算出した二酸化炭素排出量 (case1)

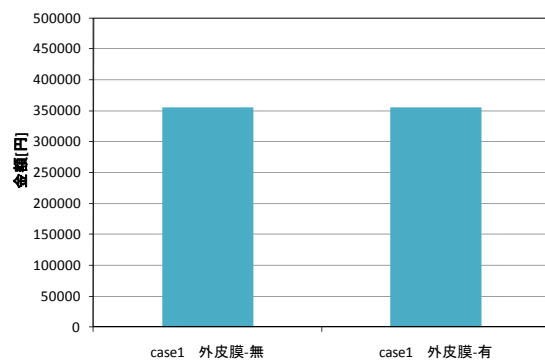


図 4-3-23 年間負荷より算出した電気料金 (case1)

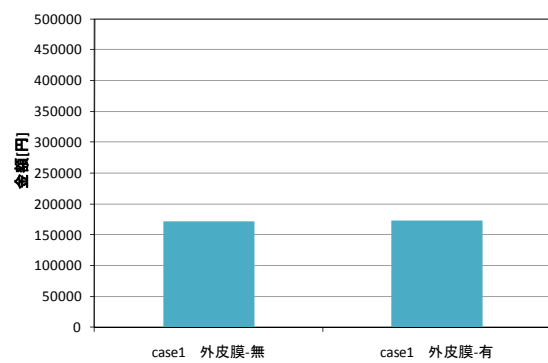


図 4-3-24 年間室除去熱量より算出した電気料金 (case1)

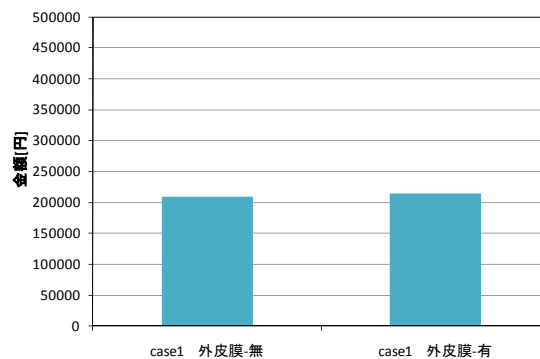


図 4-3-25 年間装置除去熱量より算出した電気料金 (case1)

負荷：

年間冷房負荷では、膜未装着時が 226314W/m^2 、膜装着時が 191508W/m^2 となった。年間暖房負荷では、膜未装着時が 358928W/m^2 、膜装着時が 392316W/m^2 となった。冷房負荷と暖房負荷を合計した年間負荷では、膜装着時と膜未装着時にほとんど差が見られなかったが、冷房負荷では膜装着、暖房負荷では膜未装着の方が、負荷が小さくなった。これは、膜を取り付ける事により日射を遮蔽し、熱の進入を防ぐため、冷房負荷を軽減する事が出来る。だが、室内に日射が入らず、熱が溜まり難いため、部屋を暖めようとし、余分にエネルギーを使うので、膜未装着時では暖房負荷が軽減し、膜装着時では冷房負荷が軽減したのではないかと考える。また、方位別では、膜装着時、膜未装着時ともに、最も冷房負荷が大きかったのが南側、最も暖房負荷が大きかったのが北側となった。この原因に関しては、一日の中で最も日差しを浴びる南側は、どの方角よりも熱が溜まり易く、対称的に、北側は最も日差しが当たらない上、熱が溜まらず冷えやすいので、このような結果になったと考える。

室除去熱量：

年間冷房室除去熱量では、膜未装着時が 142248W/m^2 、膜装着時が 115863W/m^2 となり、年間暖房室除去熱量では、膜未装着時が 140466W/m^2 、膜装着時が 169379W/m^2 となった。膜未装着の場合、暖房のエネルギー負担が小さく、膜装着の場合、冷房のエネルギー負荷が小さくなり、年間負荷と同様の結果となった。方位別では、膜未装着時、膜装着時ともに、暖房では北

側が最もエネルギー負担が大きく、南側が最も小さくなった。冷房では、北側が最もエネルギー負担が小さくなったのに対し、最もエネルギーが大きくなったのが膜未装着時で南側、膜装着時で東側となった。膜装着時の東側と南側では、ほぼ同様の数値であったが、東側の方が負担は大きくなっていた。原因として、東側の方が、南側よりも早く日差しを浴びているので、東側に溜まった熱を取り除くために、より多くエネルギーを使用し、熱を逃そうとした結果、どの方位よりも負担が大きくなってしまったのではないかと考える。

装置除去熱量：

年間冷房装置除去熱量では、膜未装着時が 140811W/m^2 、膜装着時が 118376W/m^2 となり、年間暖房装置除去熱量では、膜未装着時が 202412W/m^2 、膜装着時が 235274W/m^2 となった。膜未装着時の場合、暖房のエネルギー負担が小さく、膜装着時の場合、冷房のエネルギー負荷が小さくなり、年間負荷と年間室除去熱量と同様の結果となった。方位別では、膜未装着時、膜装着時ともに、暖房では、北側が最もエネルギー負担が大きく、南側が最も小さくなった。冷房では、北側が最もエネルギー負担が小さくなり、東側が最もエネルギーが大きくなったという結果が得られた。

年間熱負荷量：

膜未装着時が 254.5MJ/m^2 年、膜装着時が 256.7MJ/m^2 年となり、膜未装着時、膜装着時ともに PAL の省エネルギー基準値 300MJ/m^2 年を満たしていた。このことから、ブラインド、庇、外壁があり、窓ガラスの大きさも限られている事が要因となり、外皮膜の有無に関わらず、省エネルギー基準値以下を達成出来たのではないかと考える。膜を取り付ける事により、冷房負荷は軽減したが、暖房負荷が膜未装着の場合よりも増大した。夏季に、膜を取り付ける事で、日射を遮蔽し熱の進入を防ぐため、冷房負荷が軽減したが、冬季は室内に日差しが入らず、温度上昇しないため、暖房負荷が増加したと考えられる。

積算消費電力量、二酸化炭素排出量、電気料金：

積算電力量は、膜未装着時が約 16963kwh 、膜装着時で約 17115kwh となった。二酸化炭素排出量は、膜未装着の場合で約 5631.7kg-CO_2 、膜装着の場合で

約 5682.0kg-CO₂ となった。電気料金は、膜未装着の場合で 171834 円、膜装着の場合で 173370 円となった。この結果から、夏季に外皮膜を装着する事で、消費電力が抑えられる事に加えて、二酸化炭素排出量と電気料金も抑制する事が確認された。その一方で、冬季に外皮膜を装着する事で、消費電力、二酸化炭素排出量、電気料金ともに増大する事がわかった。

4) case2 の解析結果

Case2 の解析結果を図 4-3-26 から図 4-3-46 に示す。

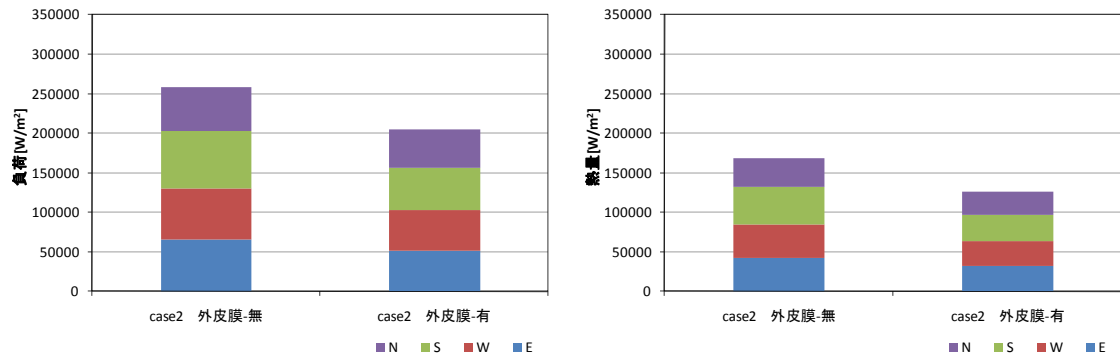


図 4-3-26 各方位の年間冷房負荷 図 4-3-27 各方位の年間冷房室除去熱量

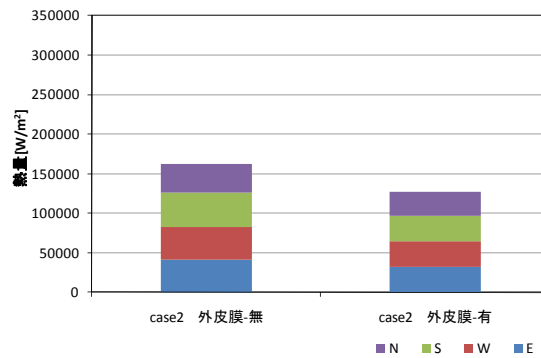


図 4-3-28 各方位の年間冷房装置除去熱量 (case2)

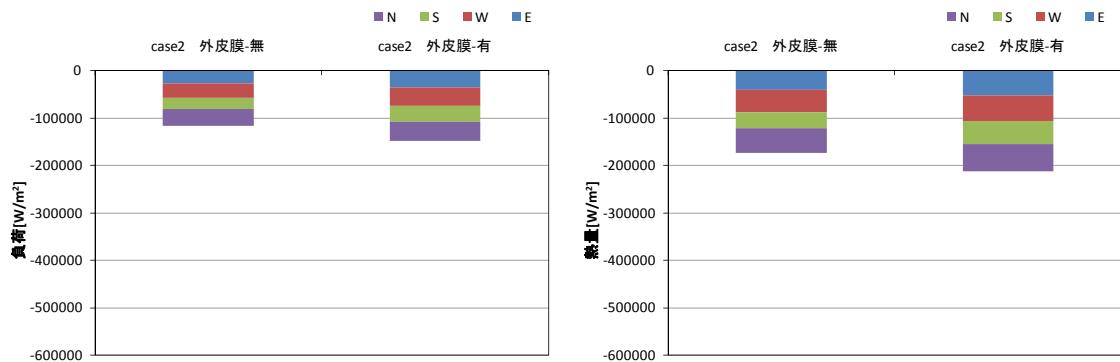


図 4-3-29 各方位の年間暖房負荷 図 4-3-30 各方位の年間暖房室除去熱量

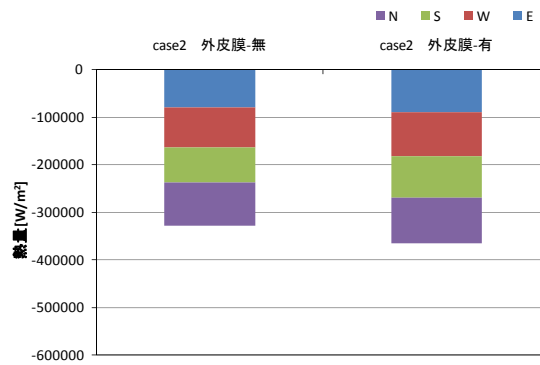


図 4-3-31 各方位の年間暖房装置除去熱量 (case2)

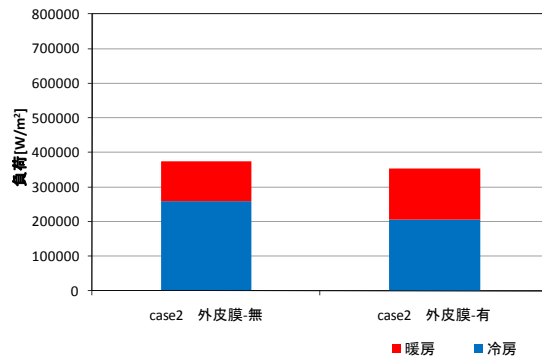


図 4-3-32 年間負荷 (case2)

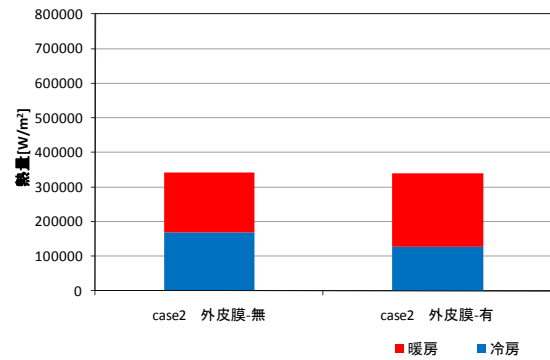


図 4-3-33 年間室除去熱量 (case2)

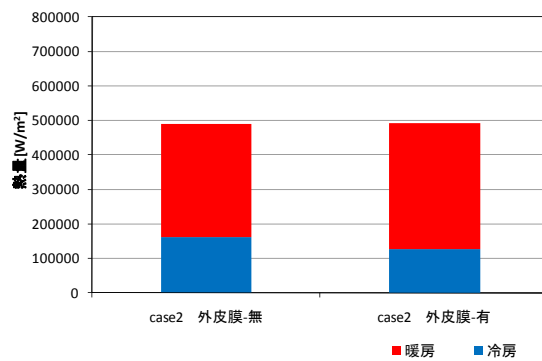


図 4-3-34 年間装置除去熱量 (case2)

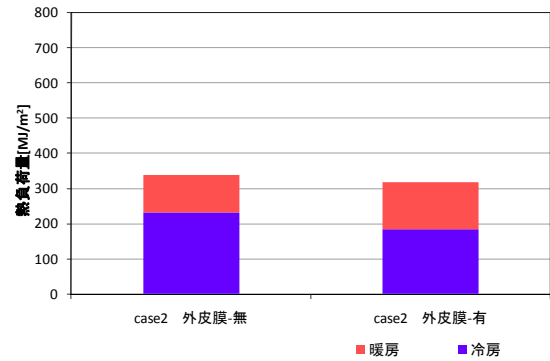


図 4-3-35 年間負荷より算出した
年間熱負荷量 (case2)

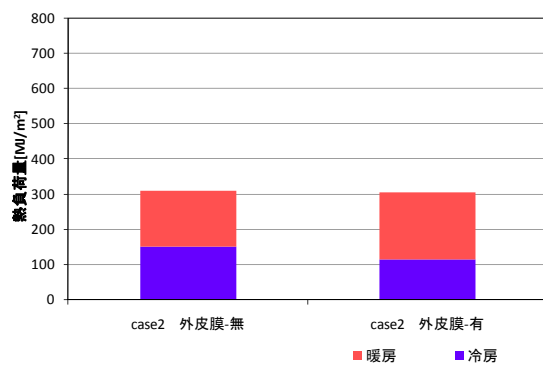


図 4-3-36 年間室除去熱量より算出した年間熱負荷量 (case2)

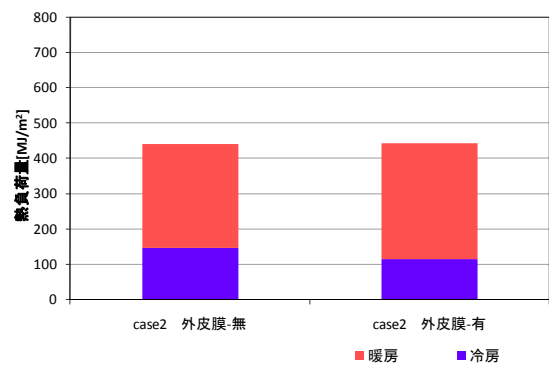


図 4-3-37 年間装置除去熱量より算出した年間熱負荷量 (case2)

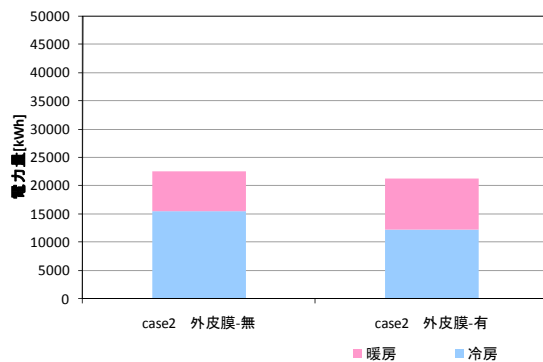


図 4-3-38 年間負荷より算出した積算消費電力量 (case2)

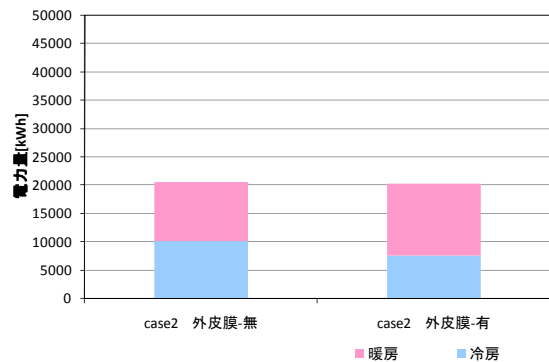


図 4-3-39 年間室除去熱量より算出した積算消費電力量 (case2)

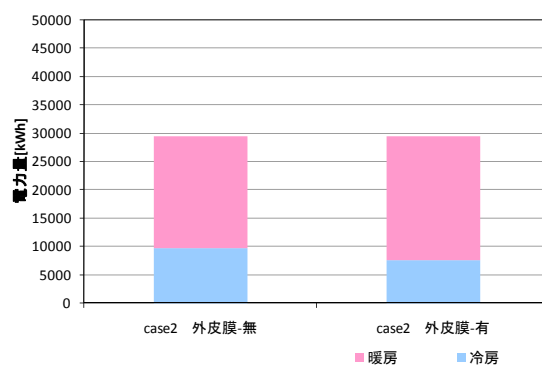


図 4-3-40 年間装置除去熱量より算出した積算消費電力量 (case2)

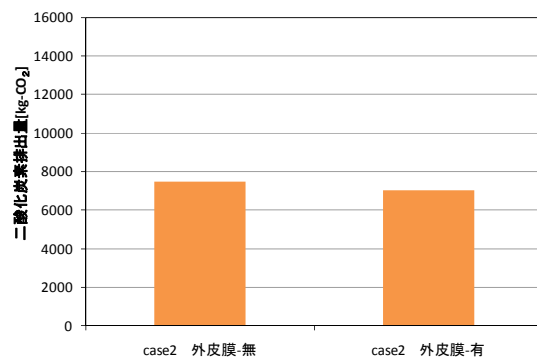


図 4-3-41 年間負荷より算出した
二酸化炭素排出量 (case2)

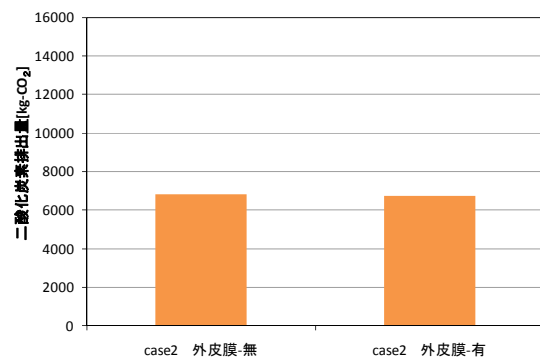


図 4-3-42 年間室除去熱量より
算出した二酸化炭素排出量 (case2)

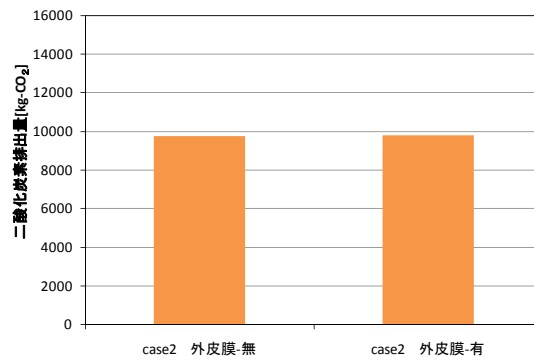


図 4-3-43 年間装置除去熱量より算出した二酸化炭素排出量 (case2)

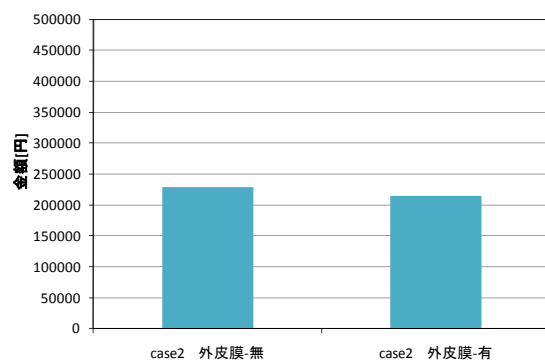


図 4-3-44 年間負荷より算出した
電気料金 (case2)

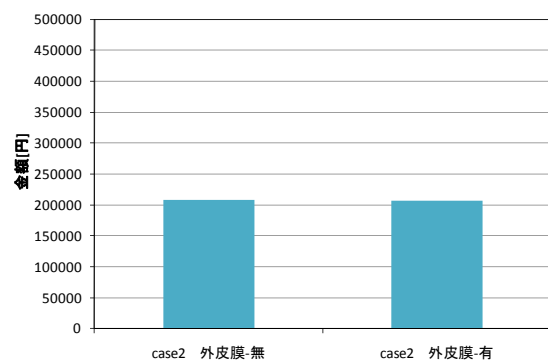


図 4-3-45 年間室除去熱量より
算出した電気料金 (case2)

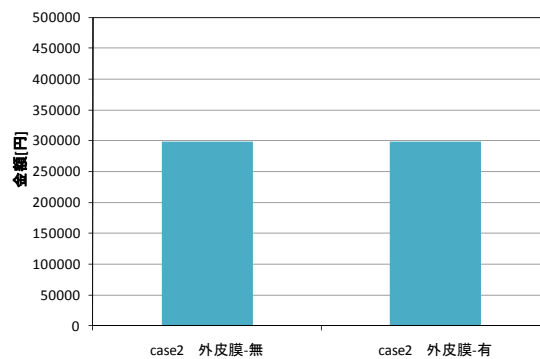


図 4-3-46 年間装置除去熱量より算出した電気料金 (case2)

負荷：

年間冷房負荷では、膜未装着時が 258698W/m^2 、膜装着時が 204811W/m^2 となった。年間暖房負荷では、膜未装着時が 116546W/m^2 、膜装着時が 148727W/m^2 となった。冷房負荷と暖房負荷を合計した年間負荷では、case1 と同様に膜装着時と膜未装着時にほぼ差が見られず、膜装着時で冷房負荷、膜未装着時で暖房負荷の方が小さくなった。夏季に膜を装着する事で、日射を遮蔽し熱の進入を防ぐため、冷房負荷が軽減し、冬季では、室内に日差しが入らず、温度上昇しないため、暖房負荷が増加するという事が case2 でも確認出来た。また、方位別でも case1 と同様、膜装着時、膜未装着時ともに、南側が最も冷房負荷が大きく、北側が最も暖房負荷が大きくなった。この事より、最も日差しを浴びる南側は、どの方角よりも熱が溜まり易く、対称的に、北側は最も日差しが当たらない上、熱が溜まらず冷えやすいという事が確認された。

室除去熱量：

年間冷房室除去熱量では、膜未装着時が 168426W/m^2 、膜装着時が 126575W/m^2 となり、年間暖房室除去熱量では、膜未装着時が 173877W/m^2 、膜装着時が 212608W/m^2 となった。膜装着時では、冷房のエネルギー負荷が小さく、膜未装着時では、暖房のエネルギー負担が小さくなり、case1 と同様の結果となった。方位別では、膜未装着時、膜装着時ともに、暖房では北側が最もエネルギー負担が大きく、南側が最も小さくなった。冷房では、南側が最もエネルギー負担が大きくなるという結果が得られた。

装置除去熱量：

年間冷房装置除去熱量では、膜未装着時が 162380W/m^2 、膜装着時が 127078W/m^2 となり、年間暖房装置除去熱量では、膜未装着時が 327621W/m^2 、膜装着時が 364815W/m^2 となった。膜未装着時の場合、暖房負荷が小さく、膜装着時の場合、冷房負荷が小さくなる事から case1 と同様の結果となった。方位別では、膜未装着時、膜装着時ともに、暖房では、北側が最もエネルギー負担が大きく、南側が最も小さくなった。冷房では、南側が最もエネルギーが大きくなり、北側が最もエネルギー負担が小さくなったという結果が得られた。

年間熱負荷量：

膜未装着時が 308.2MJ/m^2 年、膜装着時が 305.3MJ/m^2 年となり、膜未装着時、膜装着時ともに PAL の省エネルギー基準値 300MJ/m^2 年を満たさなかった。これは、庇を無くした事で直接日射が当たるようになり、膜装着時では、冬季は室内に日差しが入らず、温度上昇せずに暖房負荷が増加し、膜未装着時では、日射の影響で冷房負荷が増大し、省エネルギー基準値を満たせなかったのではないかと考えられる

積算消費電力量、二酸化炭素排出量、電気料金：

積算電力量は、膜未装着時が約 20538kwh 、膜装着時で約 20351kwh となった。二酸化炭素排出量は、膜未装着の場合で約 6818.7kg-CO_2 、膜装着の場合で約 6756.5kg-CO_2 となった。電気料金は、膜未装着の場合で 208052 円、膜装着の場合で 206155 円となった。この結果から、夏季に外皮膜を装着する事で、消費電力が抑えられる事に加えて、二酸化炭素排出量と電気料金も抑制する事が確認された。その一方で、冬季に外皮膜を装着する事により、消費電力、二酸化炭素排出量、電気料金ともに増加してしまう事が確認された。

5) case3 の解析結果

Case3 の解析結果を図 4-3-47 から図 4-3-67 に示す。

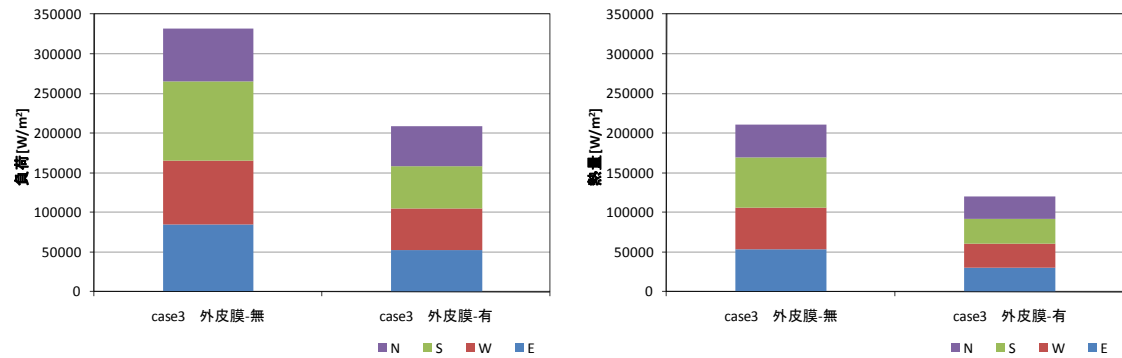


図 4-3-47 各方位の年間冷房負荷 図 4-3-48 各方位の年間冷房室除去熱量

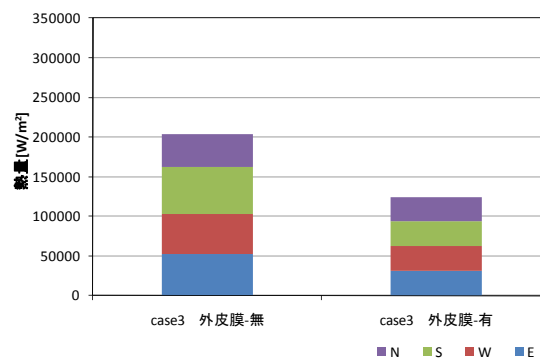


図 4-3-49 各方位の年間冷房装置除去熱量 (case3)

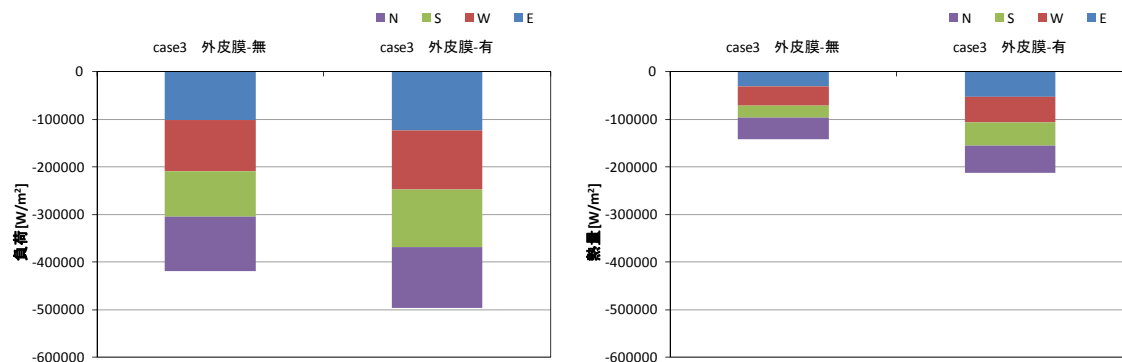


図 4-3-50 各方位の年間暖房負荷 図 4-3-51 各方位の年間暖房室除去熱量

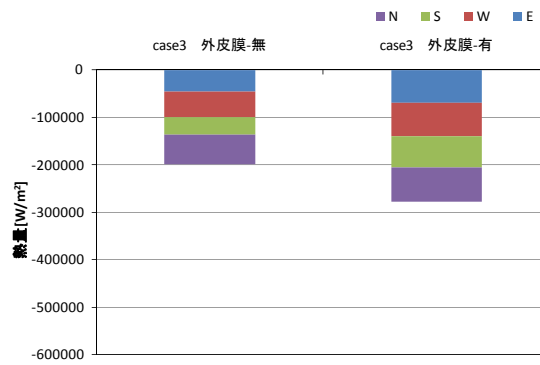


図 4-3-52 各方位の年間暖房装置除去熱量 (case3)

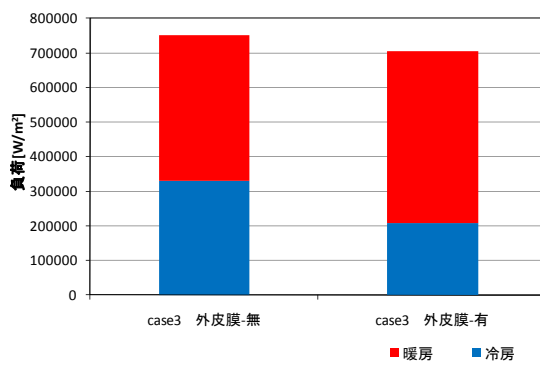


図 4-3-53 年間負荷 (case3)

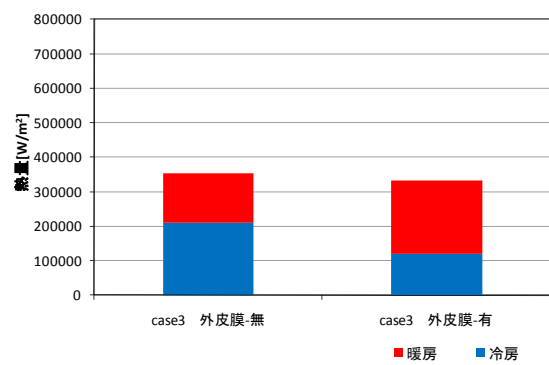


図 4-3-54 年間室除去熱量 (case3)

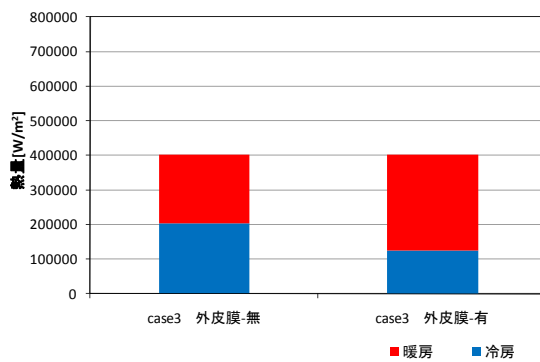


図 4-3-55 年間装置除去熱量 (case3)

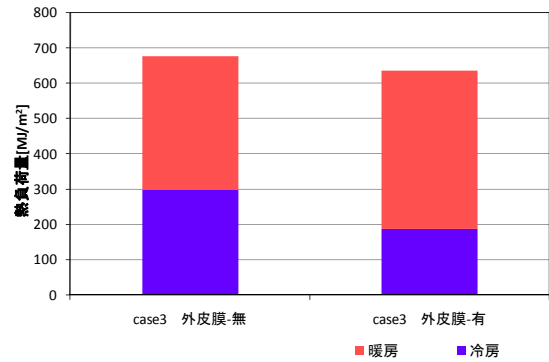


図 4-3-56 年間負荷より算出した
年間熱負荷量 (case3)

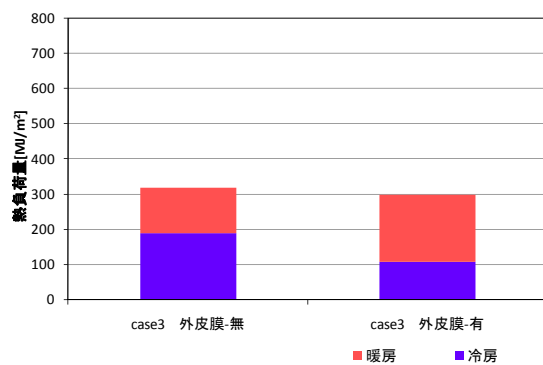


図 4-3-57 年間室除去熱量より算出した年間熱負荷量 (case3)

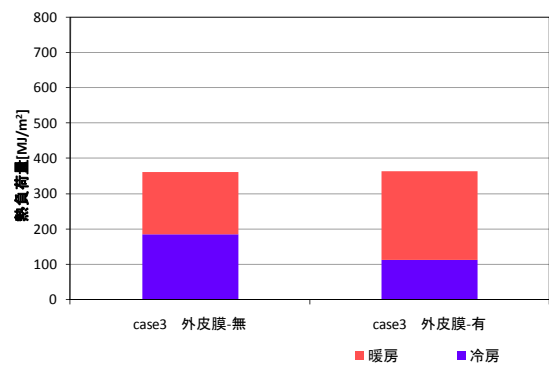


図 4-3-58 年間装置除去熱量より算出した年間熱負荷量 (case3)

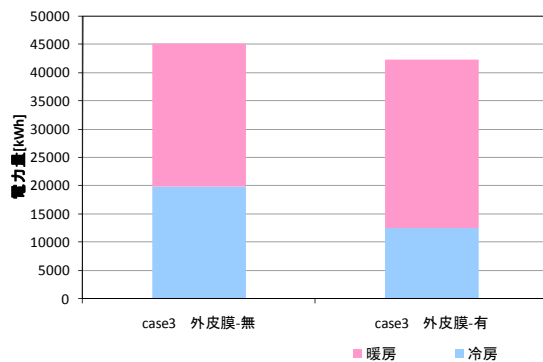


図 4-3-59 年間負荷より算出した積算消費電力量 (case3)

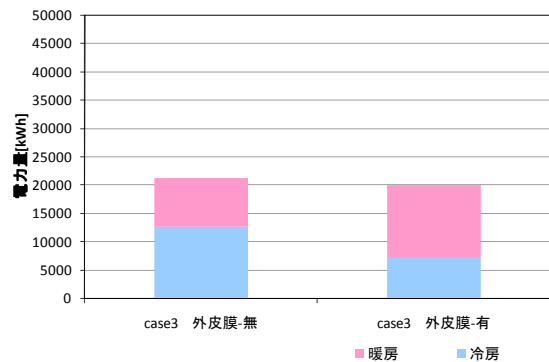


図 4-3-60 年間室除去熱量より算出した積算消費電力量 (case3)

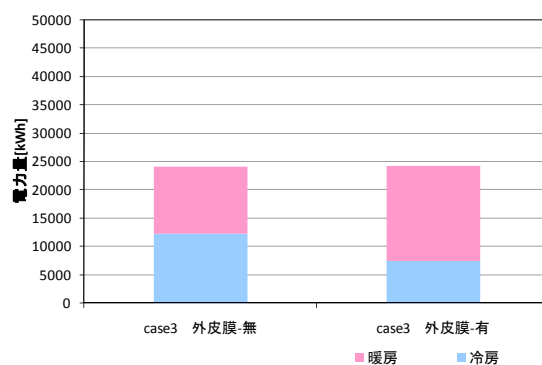


図 4-3-61 年間装置除去熱量より算出した積算消費電力量 (case3)

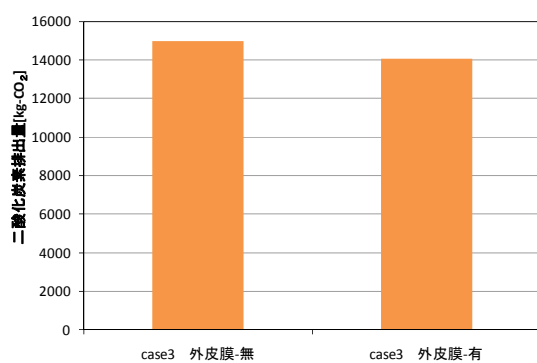


図 4-3-62 年間負荷より算出した
二酸化炭素排出量 (case3)

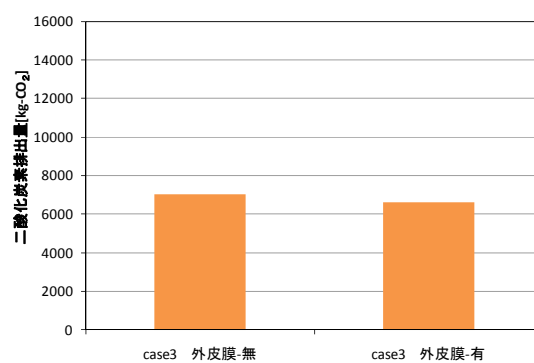


図 4-3-63 年間室除去熱量より
算出した二酸化炭素排出量 (case3)

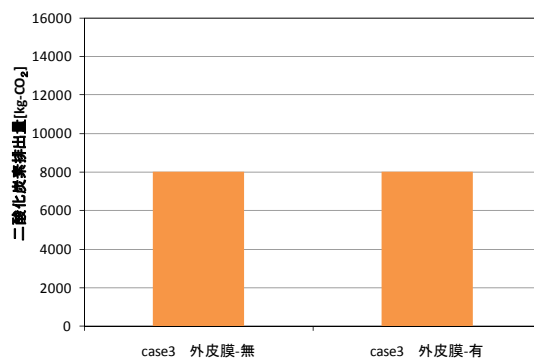


図 4-3-64 年間装置除去熱量より算出した二酸化炭素排出量 (case3)

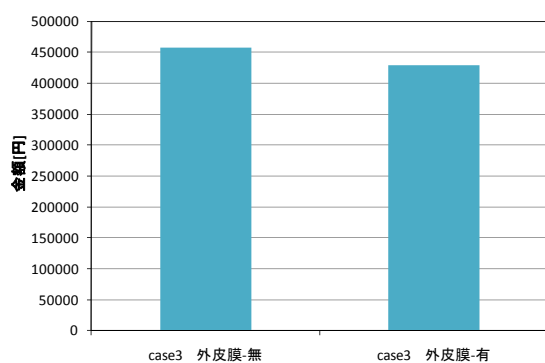


図 4-3-65 年間負荷より算出した
電気料金 (case3)

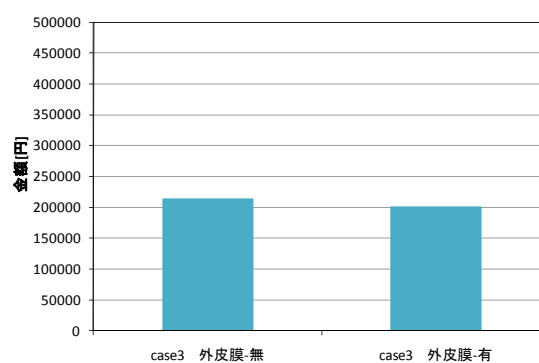


図 4-3-66 年間室除去熱量より
算出した電気料金 (case3)

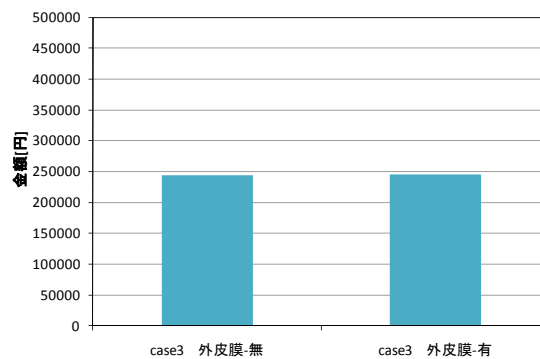


図 4-3-67 年間装置除去熱量より算出した電気料金 (case3)

負荷：

年間冷房負荷では、膜未装着時が 331789W/m^2 、膜装着時が 208569W/m^2 となった。年間暖房負荷では、膜未装着時が 419925W/m^2 、膜装着時が 496722W/m^2 となった。冷房負荷と暖房負荷を合計した年間負荷では、膜未装着時よりも膜装着時の方が負荷を抑制していた。膜装着の場合では冷房負荷、膜未装着の場合では暖房負荷の数値が小さいという結果が得られた。夏季に膜を装着する事で、日射を遮蔽し熱の進入を防ぐため、冷房負荷が軽減し、冬季では、室内に日射が入らず、温度上昇しないため、暖房負荷が増加するという結果が case1、case2 と同様に確認出来た。方位別では、膜装着時、膜未装着時ともに、南側が最も冷房負荷が大きく、北側が最も暖房負荷が大きくなった。この事より、最も日差しを浴びる南側は、どの方角よりも熱が溜まり易い。それに対して、北側は、最も日差しが当たらない上、熱が溜まらず冷えやすいという事が case1、case2 と同様に確認された。

室除去熱量：

年間冷房室除去熱量では、膜未装着時が 211257W/m^2 、膜装着時が 120452W/m^2 となり、年間暖房室除去熱量では、膜未装着時が 142486W/m^2 、膜装着時が 211754W/m^2 となった。膜装着時では、冷房のエネルギー負荷が小さく、膜未装着時では、暖房のエネルギー負担が小さくなり、case1、case2 と同様の結果が得られた。方位別では、膜未装着時、膜装着時ともに、暖房では北側が最もエネルギー負担が増大し、冷房においては、南側が最もエネルギー負担が増大するという結果が得られた。

装置除去熱量：

年間冷房装置除去熱量では、膜未装着時が 203803W/m^2 、膜装着時が 124092W/m^2 となり、年間暖房装置除去熱量では、膜未装着時が 198416W/m^2 、膜装着時が 278778W/m^2 となった。膜未装着時では、暖房のエネルギー負担が減少し、膜装着時では、冷房のエネルギー負担が減少する事から case1、case2 と同様の結果となった。方位別においても、膜未装着時、膜装着時ともに、暖房では、北側が最もエネルギー負担が大きく、南側が最も小さくなった。冷房では、南側が最もエネルギーが大きくなり、北側が最もエネルギー負担が小さくなったという結果が得られた。

年間熱負荷量：

膜未装着時が 318.2MJ/m^2 年、膜装着時が 298.8MJ/m^2 年となった。膜未装着時の場合では、PAL の省エネルギー基準値 300MJ/m^2 年を満たさなかったが、膜装着時の場合では、基準値以下を満たされた。これは、外壁を無くして、全面を窓ガラスにした事により、直接部屋内部に日射の侵入が増大した事が要因となり、膜未装着時では、冷房負荷が必要以上に増加した。一方で、膜を装着する事で日射の侵入を防止し、室内の温度上昇を防いだので、冷房負荷を抑制され、省エネルギー基準値以下を満たす事が出来たのではないかと考える。

積算消費電力量、二酸化炭素排出量、電気料金：

積算電力量は、膜未装着時の場合で約 21225kwh 、膜装着時の場合で約 19932kwh となった。二酸化炭素排出量は、膜未装着時で約 7046.5kg-CO_2 、膜装着時で約 6617.6kg-CO_2 となった。電気料金は、膜未装着時の場合で 215005 円、膜装着時の場合で 201915 円となった。この結果から、夏季に外皮膜を装着する事で、消費電力が抑制され、二酸化炭素排出量と電気料金も抑えられる事が確認された。その一方で、冬季において、外皮膜を装着する事により、消費電力、二酸化炭素排出量、電気料金ともに増大してしまうという事が case1、case2 と同様に確認する事が出来た。

6) case4 の解析結果

Case4 の解析結果を図 4-3-68 から図 4-3-87 に示す。また、case4 では、外皮膜の有無に加えて、季節ごとに膜を脱着した場合の解析結果を示す。

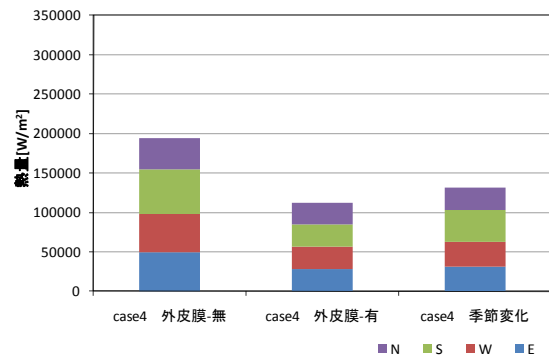
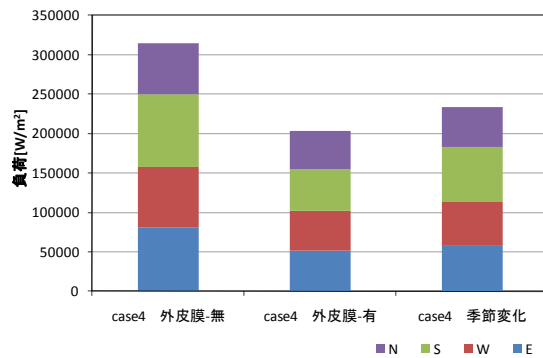


図 4-3-68 各方位の年間冷房負荷

図 4-3-69 各方位の年間冷房室除去熱量

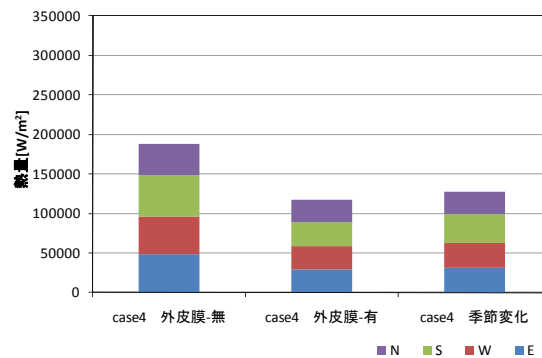


図 4-3-70 各方位の年間冷房装置除去熱量 (case4)

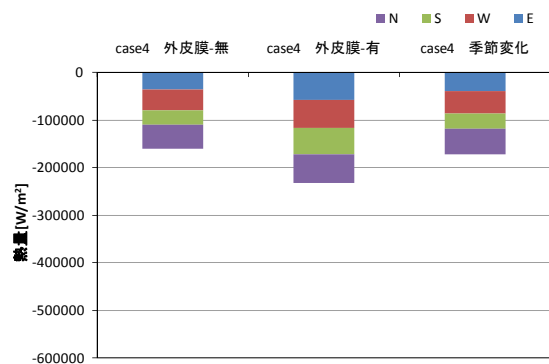
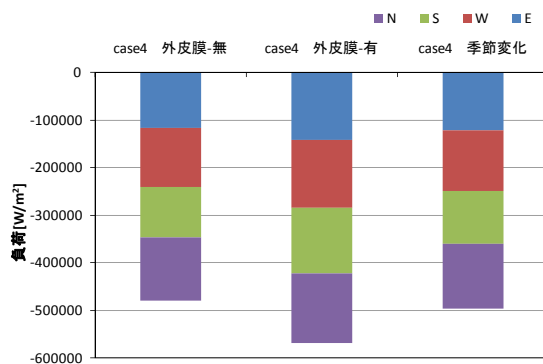


図 4-3-71 各方位の年間暖房負荷

図 4-3-72 各方位の年間暖房室除去熱量

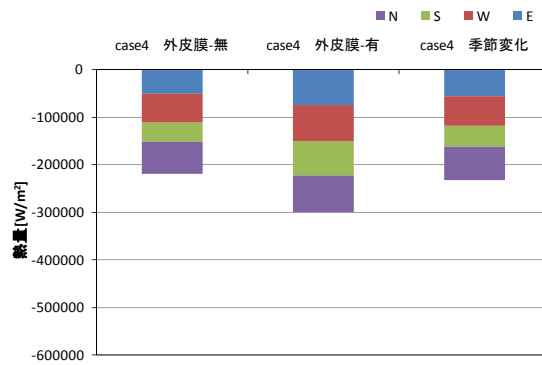


図 4-3-73 各方位の年間暖房装置除去熱量 (case4)

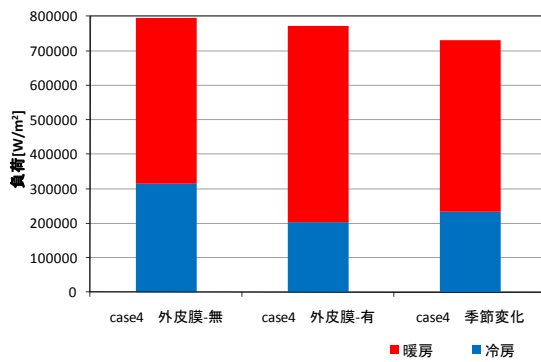


図 4-3-74 年間負荷 (case4)

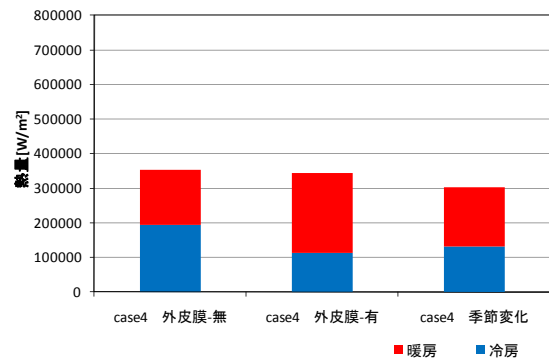


図 4-3-75 年間室除去熱量 (case4)

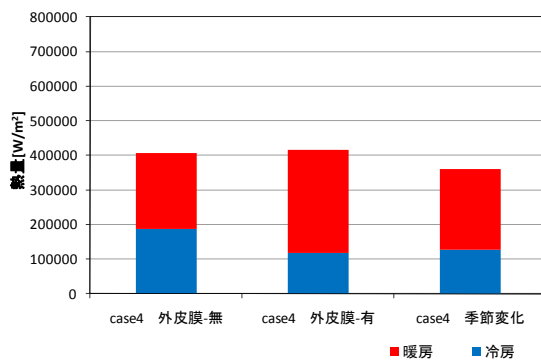


図 4-3-76 年間装置除去熱量 (case4)

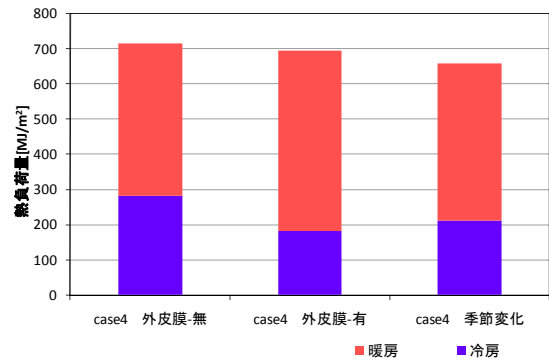


図 4-3-77 年間負荷より算出した
年間熱負荷量 (case4)

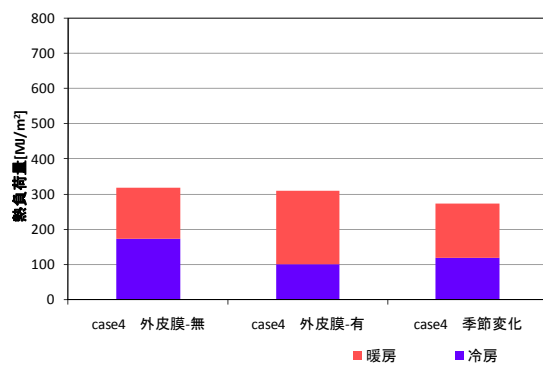


図 4-3-78 年間室除去熱量より算出した年間熱負荷量 (case4)

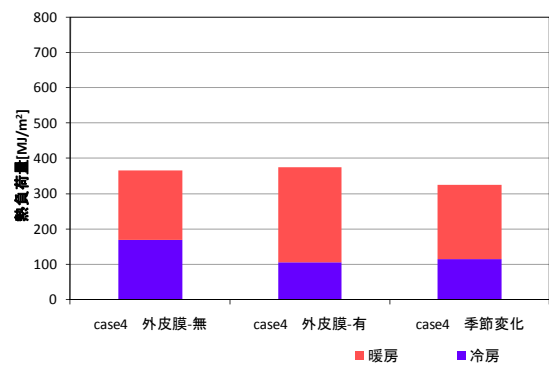


図 4-3-79 年間装置除去熱量より算出した年間熱負荷量 (case4)

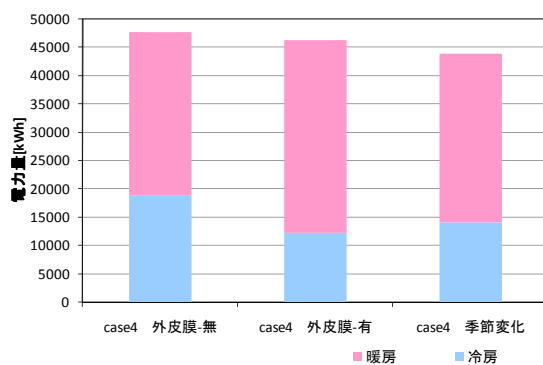


図 4-3-80 年間負荷より算出した積算消費電力量 (case4)

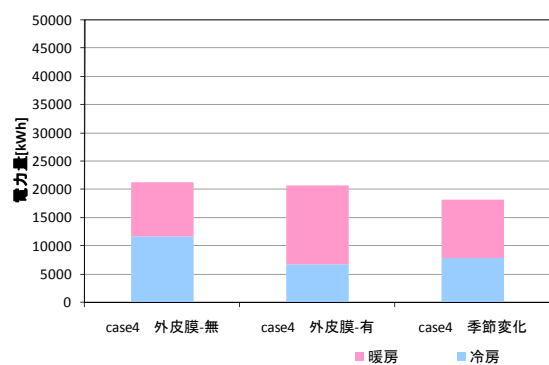


図 4-3-81 年間室除去熱量より算出した積算消費電力量 (case4)

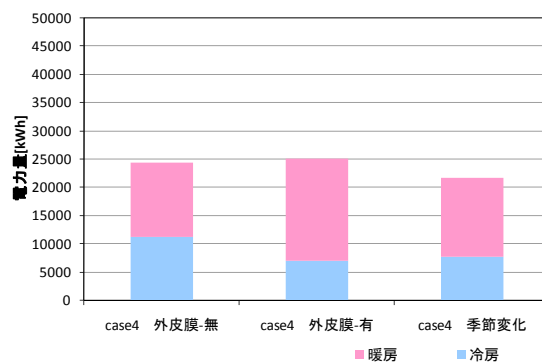


図 4-3-82 年間装置除去熱量より算出した積算消費電力量 (case4)

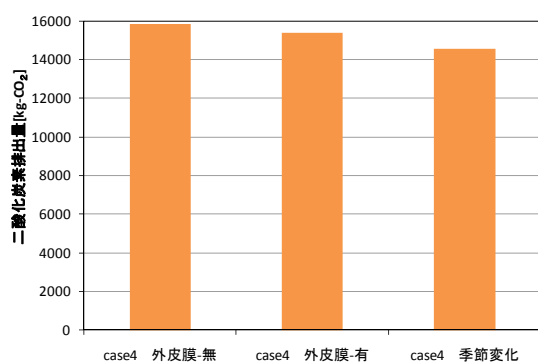


図 4-3-83 年間負荷より算出した二酸化炭素排出量 (case4)

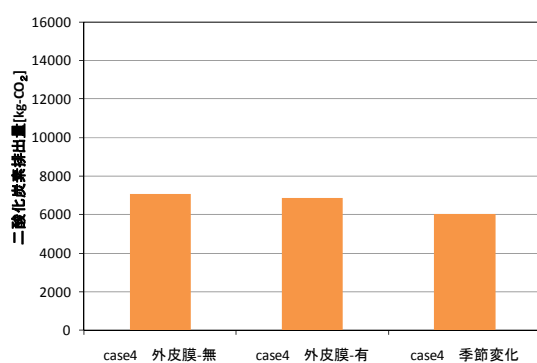


図 4-3-84 年間室除去熱量より算出した二酸化炭素排出量 (case4)

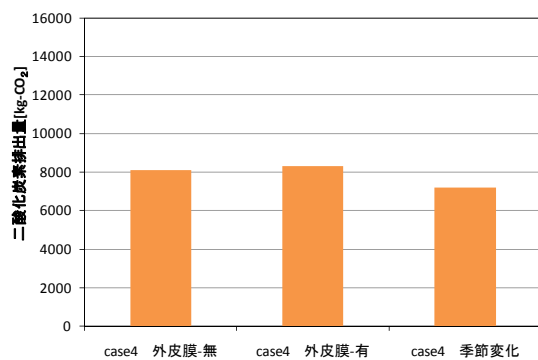


図 4-3-85 年間装置除去熱量より算出した二酸化炭素排出量 (case4)

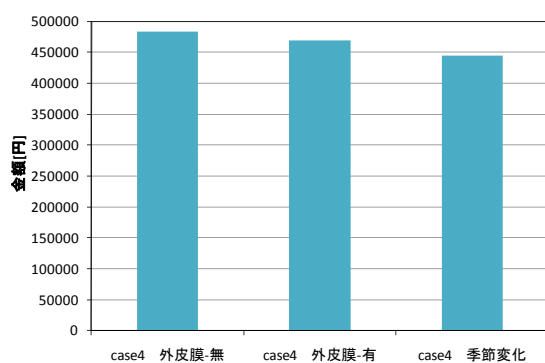


図 4-3-86 年間負荷より算出した電気料金 (case4)

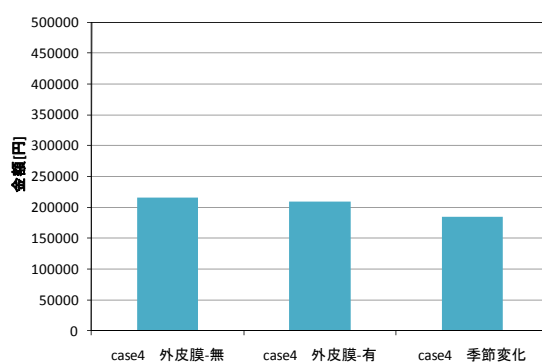


図 4-3-87 年間室除去熱量より算出した電気料金 (case4)

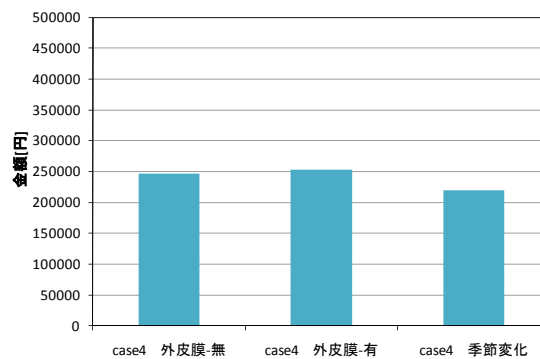


図 4-3-88 年間装置除去熱量より算出した電気料金 (case4)

負荷：

年間冷房負荷では、膜未装着時が 314496W/m^2 、膜装着時が 203709W/m^2 、季節ごとでの膜脱着の場合は 234109W/m^2 となった。年間暖房負荷では膜未装着時が 480078W/m^2 、膜装着時が 568142W/m^2 、膜脱着の場合では 496915W/m^2 となった。冷房負荷と暖房負荷を合計した年間負荷では、膜未装着時よりも膜装着時の方が負荷を抑制し、それ以上に、季節ごとでの膜脱着がより効果的に負荷を抑制していた。膜未装着時と膜装着時の場合では、夏季に膜を装着する事で日射を遮蔽するため、冷房負荷が軽減し、冬季では、室内に日射が入らず、温度上昇しないため、暖房負荷が増加するという今までの case と同様の結果となった。しかし、冷房負荷が増大する夏季では膜を取り付け、暖房負荷が増大する冬季においては、膜を取り外す事で、エネルギー負荷をより効率的に抑制出来る事が確認された。方位別では、膜装着、膜未装着、膜脱着の場合とも、南側が最も冷房負荷が大きく、北側が最も暖房負荷が大きくなった。この事より、最も日差しを浴びる南側は、どの方角よりも熱が溜まり易い。それに対して、北側は、最も日差しが当たらない上、熱が溜まらず冷えやすいという事が今までの case と同様に確認された。

室除去熱量：

年間冷房室除去熱量では、膜未装着時が 193782W/m^2 、膜装着時が 112468W/m^2 、季節ごとでの膜脱着の場合は 131008W/m^2 となった。年間暖房室除去熱量では、膜未装着時が 160399W/m^2 、膜装着時が 232098W/m^2 、膜脱着時では 172463W/m^2 となった。膜未装着の場合では、暖房に対するエネルギー

一負担が最も小さく、膜装着時の場合では、冷房のエネルギー負担が最も小さくなった。季節ごとに膜を脱着する事で、暖房、冷房ともに効率的に抑えられる事が証明された。方位別では、膜未装着時、膜装着時、膜脱着時ともに、暖房では北側が最もエネルギー負担が増大し、冷房においては、南側が最もエネルギー負担が増大するという結果が得られた。

装置除去熱量：

年間冷房装置除去熱量では膜未装着時が 188419W/m^2 、膜装着時が 117092W/m^2 、季節ごとでの膜脱着の場合では 127792W/m^2 となった。年間暖房装置除去熱量では、膜未装着時が 218420W/m^2 、膜装着時が 300103W/m^2 、膜脱着の場合では 232631W/m^2 となった。膜未装着時では、暖房のエネルギー負担が最も小さく、膜装着時では、冷房のエネルギー負担が最も小さくなった。膜を季節ごとに脱着する事で、暖房、冷房ともに効率的に抑制出来る事から年間負荷、年間室除去熱量と同様の結果が得られた。方位別においても、どのパターンとも、暖房では、北側が最もエネルギー負担が大きく、南側が最も小さくなる。冷房では、南側が最もエネルギーが大きくなり、北側が最もエネルギー負担が小さくなるという結果が得られた。

年間熱負荷量：

膜未装着時が 318.6MJ/m^2 年、膜装着時が 410.0MJ/m^2 年、膜脱着の場合で 273.2MJ/m^2 年となった。膜未装着時、膜装着時ともに PAL の省エネルギー基準値 300MJ/m^2 年を少し上回ったが、季節ごとに膜の脱着を行えば、エネルギーを効率的に抑制出来る事が確認された。冷房負荷が増加する時期では膜を取り付け、暖房負荷が増加する時期では、膜を取り外す事で、エネルギー負荷削減に効果があると確認された。

積算消費電力量、二酸化炭素排出量、電気料金：

積算電力量は、膜未装着時の場合で約 21251kWh 、膜装着時の場合で約 20674kWh 、季節ごとに膜を脱着した場合で 18208kWh となった。二酸化炭素排出量は、膜未装着時で約 7055.3kg-CO_2 、膜装着時で約 6863.8kg-CO_2 、膜脱着の場合で 6045.1kg-CO_2 となった。電気料金は、膜未装着時の場合で 215271 円、膜装着時の場合で 209428 円、膜脱着の場合で 184450 円となった。この結果から、冷房負荷が増大する夏季に建築物外皮として膜を装着し、暖房負荷が

増大する冬季に外皮膜を取り外す事で、膜未装着時、膜装着時よりも積算消費電力量、二酸化炭素排出量、電気料金を約 15%以上削減する事が可能である事が確認された。

4.4 外皮膜とガラスの種類別による環境性能検証

前節の case4 膜未装着時のプログラムを用いてガラスの種類のみを変更し、外皮膜と各ガラスの環境性能を比較検討した。ガラスの種類を表 4-4-1 に示す。No.1 の外皮膜については、case4 膜装着時のプログラムを使用する。No.2 の熱反グレー(淡色)、No.3 の熱吸ブロンズ(淡色)、No.4 の高性能熱反シルバー系は単板ガラス、No.5 の透明フロート 2 重、No.6 透明+low-ε グリーンが複層ガラスである。

また、透明+low-ε グリーンと外皮膜を組み合わせる事による、膜装着時と膜未装着時の場合と、季節ごとに膜の脱着を行った場合を解析した。膜の脱着に関しては、5 月から 10 月までは膜を取り付け、11 月から 4 月までが膜を取り外したと想定して解析を行った。ここで、外皮膜と各ガラスの熱貫流率と遮蔽係数を表 5.4.2 に示す。解析結果より、外皮膜とガラスの種類別による比較をし、建築外皮として膜を取り付ける事に加えて、透明+low-ε グリーンと膜を組み合わせる事によるエネルギー負荷削減効果を検討した。

表 4-4-1 ガラスの種類

No.1	外皮膜(case4と同様)
No.2	熱反グレー(淡色) 6mm
No.3	熱吸ブロンズ(淡色) 6mm
No.4	高性能熱反シルバー系(SS20) 6mm
No.5	透明フロート2重 6mm
No.6	透明+low-ε グリーン(銀2層)(アルゴン封入) 6mm

表 4-4-2 外皮膜と各ガラスの熱貫流率と遮蔽係数

	熱貫流率[W/m ² K]	遮蔽係数(対流)	遮蔽係数(放射)
外皮膜	6.3	0.002	0.099
熱反グレー(淡色) 6mm	6.3	0.085	0.642
熱吸ブロンズ(淡色) 6mm	6.3	0.079	0.741
高性能熱反シルバー系 6mm	5.5	0.15	0.27
透明フロート2重 6mm	3.5	0.056	0.779
透明+low-ε グリーン 6mm	2.1	0.102	0.454
透明+low-ε +外皮膜	2.1	0.01	0.045

1) 各種窓ガラスと外皮膜の解析結果

外皮膜と各ガラスの種類別による解析結果を図 4-4-1 から図 4-4-21 に示す。

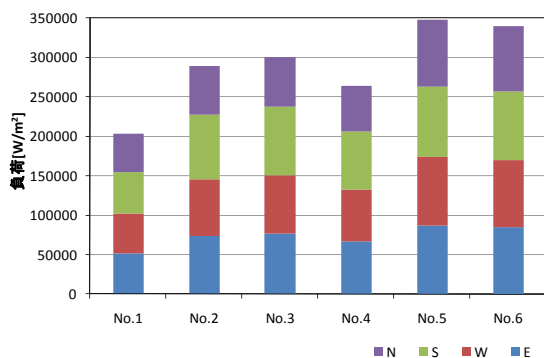


図 4-4-1 各方位の年間冷房負荷
(窓ガラス)

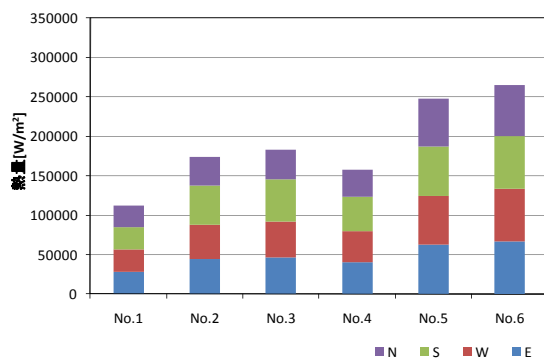


図 4-4-2 各方位の年間冷房室除去熱量
(窓ガラス)

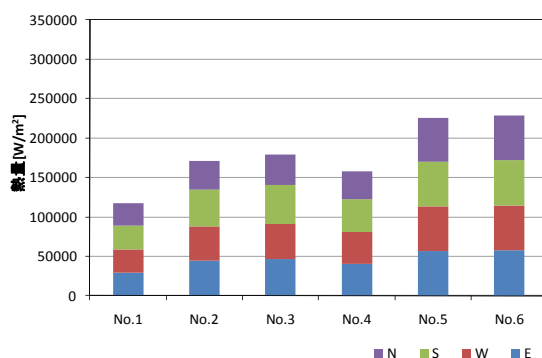


図 4-4-3 各方位の年間冷房装置除去熱量(窓ガラス)

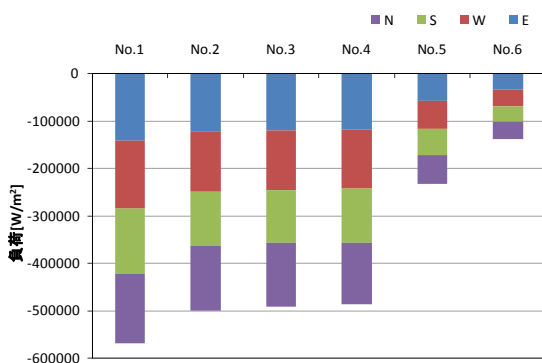


図 4-4-4 各方位の年間暖房負荷(窓ガラス)

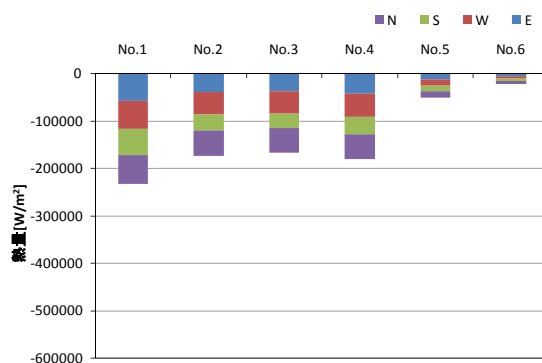


図 4-4-5 各方位の年間暖房室除去熱量
(窓ガラス)

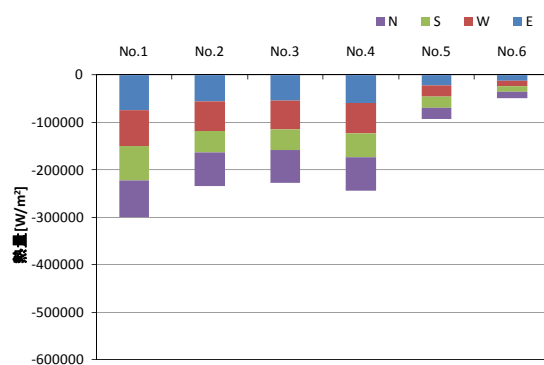


図 4-4-6 各方位の年間暖房装置除去熱量(窓ガラス)

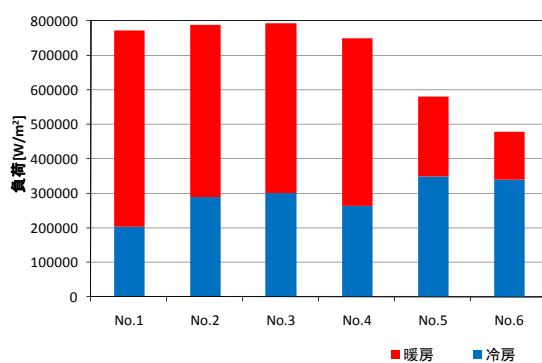


図 4-4-7 年間負荷(窓ガラス)

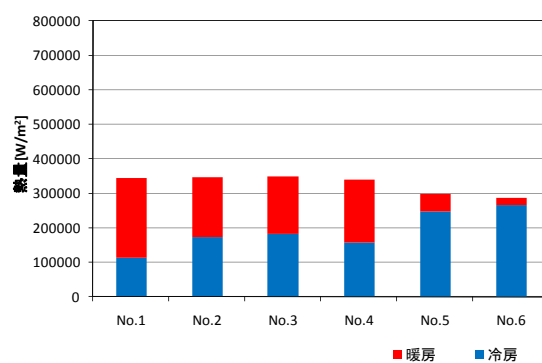


図 4-4-8 年間室除去熱量(窓ガラス)

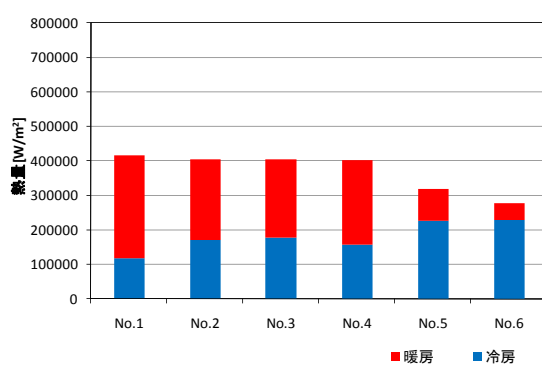


図 4-4-9 年間装置除去熱量
(窓ガラス)

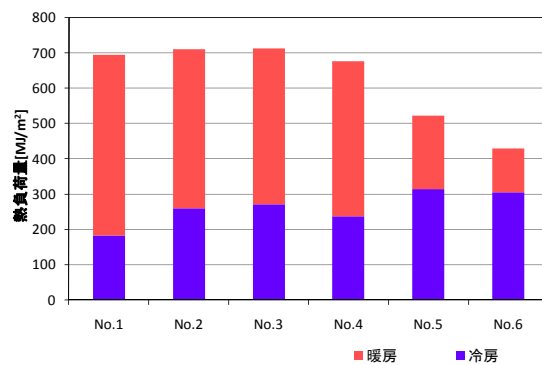


図 4-4-10 年間負荷より算出した
年間熱負荷量(窓ガラス)

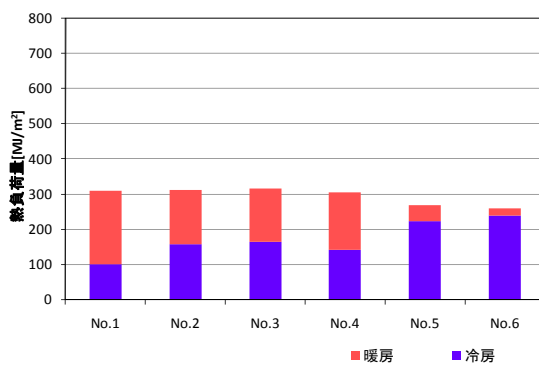


図 4-4-11 年間室除去熱量より
算出した年間熱負荷量(窓ガラス)

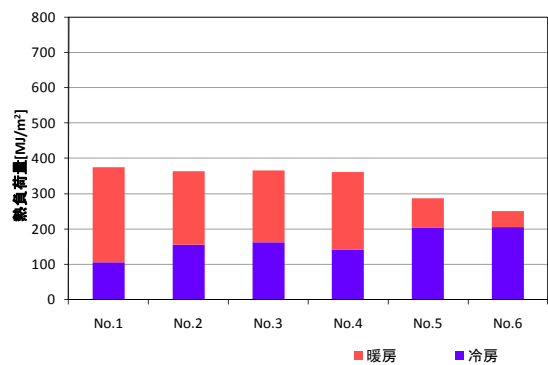


図 4-4-12 年間装置除去熱量より
算出した年間熱負荷量(窓ガラス)

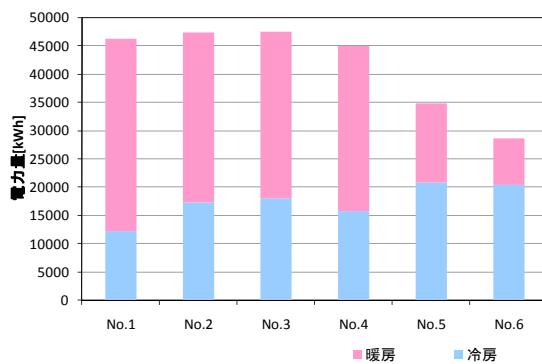


図 4-4-13 年間負荷より算出した
積算消費電力量(窓ガラス)

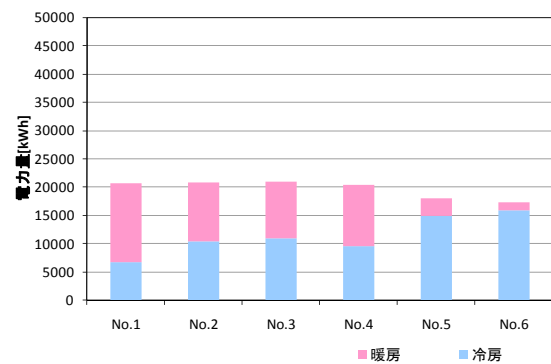


図 4-4-14 年間室除去熱量より
算出した積算消費電力量(窓ガラス)

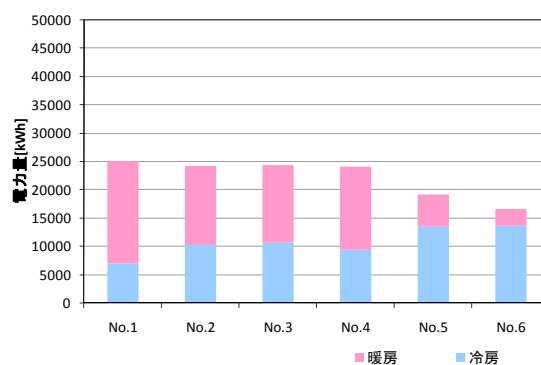


図 4-4-15 年間装置除去熱量より算出した積算消費電力量(窓ガラス)

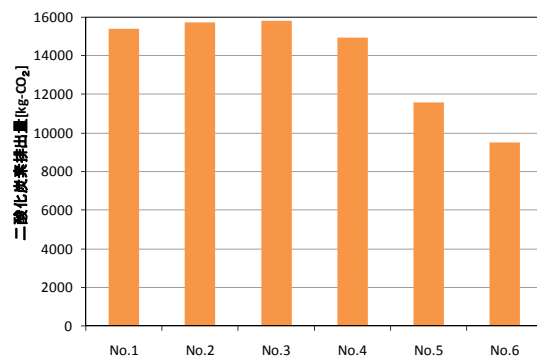


図 4-4-16 年間負荷より算出した
二酸化炭素排出量(窓ガラス)

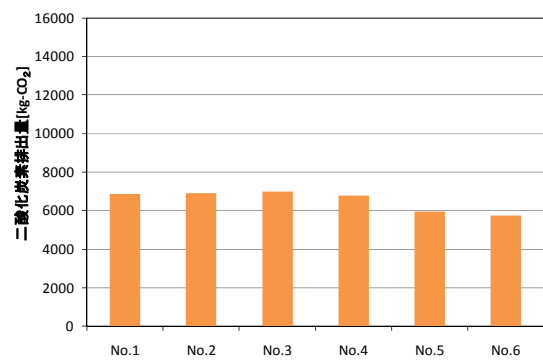


図 4-4-17 年間室除去熱量より
算出した二酸化炭素排出量(窓ガラス)

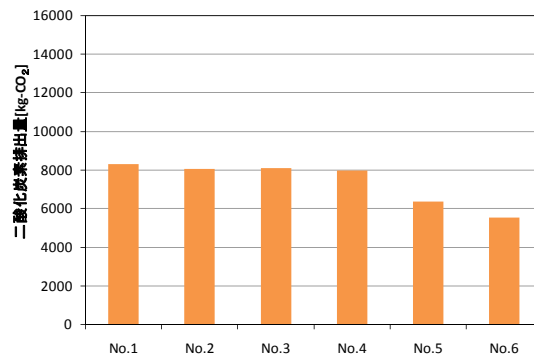


図 4-4-18 年間装置除去熱量より算出した二酸化炭素排出量(窓ガラス)

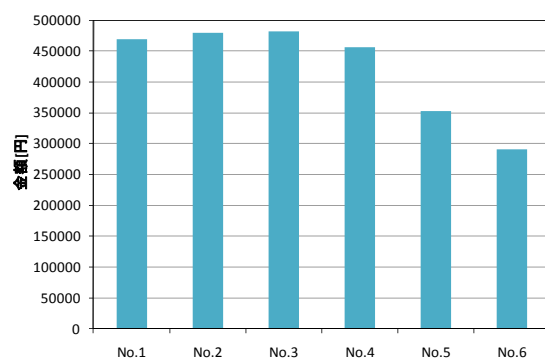


図 4-4-19 年間負荷より算出した
電気料金(窓ガラス)

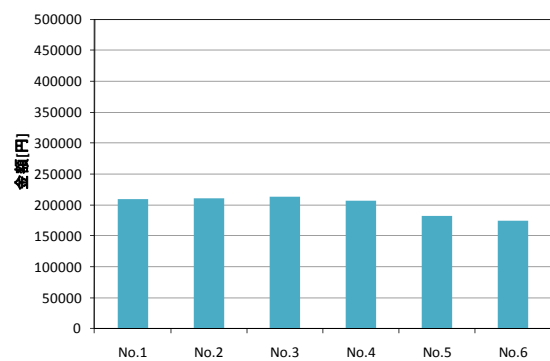


図 4-4-20 年間室除去熱量より
算出した電気料金(窓ガラス)

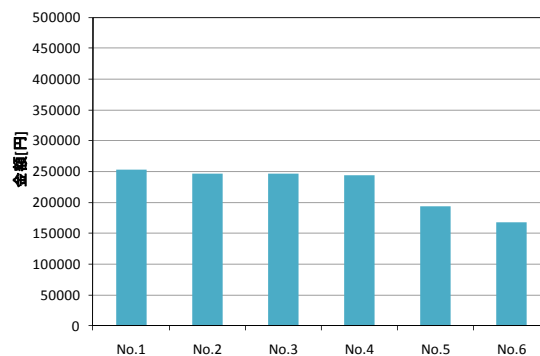


図 4-4-21 年間装置除去熱量より算出した電気料金(窓ガラス)

負荷、室除去熱量、装置除去熱量：

外皮膜と各ガラスを比較すると、冷房負荷の場合、外皮膜が最も負荷が小さくなり、対照的に、透明フロート 2 重が最も負荷が大きく、次いで透明+ low-ε グリーンが大きくなった。それに対して、暖房負荷の場合、最も負荷が小さいのが透明+ low-ε グリーン、最も負荷が大きくなったのは、外皮膜という結果となった。年間負荷で比べると、熱反グレーが最大負荷となり、次いで熱吸ブロンズ、外皮膜という順となったがほとんど数値に差が生じなかった。それに対して、透明+ low-ε グリーンの負荷が最小となった。この結果から、外皮膜と透明+ low-ε グリーンは、まったく対照的な関係という事が確認された。

年間熱負荷量、積算消費電力量、二酸化炭素排出量、電気料金：

各ガラスと外皮膜を比較すると、冷房負荷を軽減させる事は出来たが、暖房負荷がどのガラスよりも増大してしまった事で、PAL の省エネルギー基準値 300MJ/m^2 年を少し上回る結果となってしまった。省エネルギー基準値以下を満たしていたのは、透明フロート 2 重と透明+low-ε グリーンであった。しかし、暖房負荷を軽減する能力は高いが、冷房負荷がどのガラスよりも増大していた。特に、透明+low-ε グリーンは、ほとんど冷房負荷を抑制出来ていないという事が分かった。外皮膜は、積算消費電力量、二酸化炭素排出量、電気料金ともに、冷房負荷を抑制させる能力がどのガラスよりも非常に優れている。その一方で、日射の侵入を遮ってしまうので、暖房負荷を抑制させる能力が低くなってしまふ。結果として、透明+low-ε グリーンよりも、負担が増大してしまうという事が確認された。

2) low-ε ガラスに外皮膜を組み合わせた場合の解析結果

透明+low-ε グリーンと外皮膜を組み合わせる事による解析結果を図 4-4-22 から図 4-4-42 に示す。

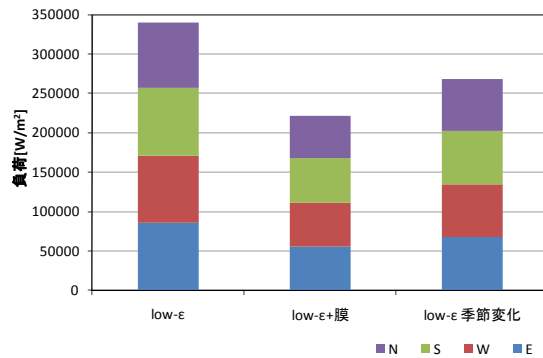


図 4-4-22 各方位の年間冷房負荷 (low-ε +外皮膜)

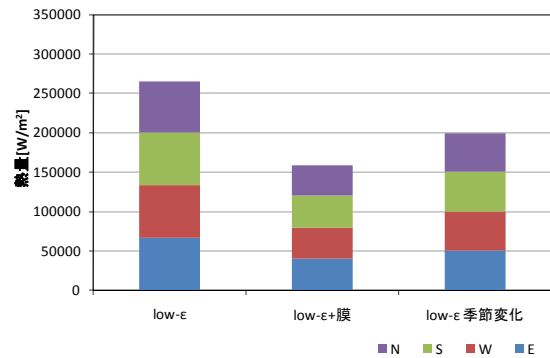


図 4-4-23 各方位の年間冷房室除去熱量 (low-ε +外皮膜)

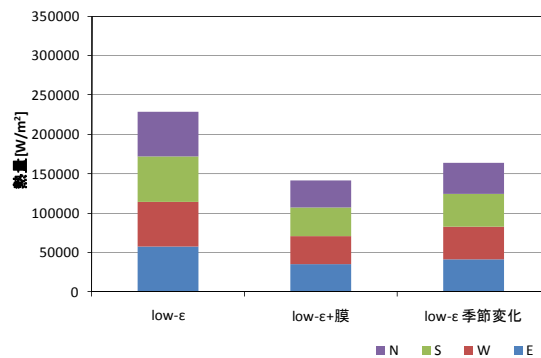


図 4-4-24 各方位の年間冷房装置除去熱量 (low-ε +外皮膜)

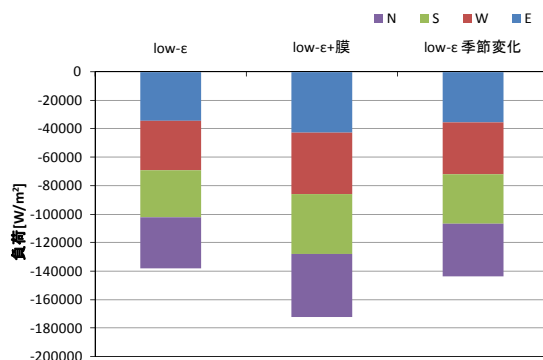


図 4-4-25 各方位の年間暖房負荷 (low-ε +外皮膜)

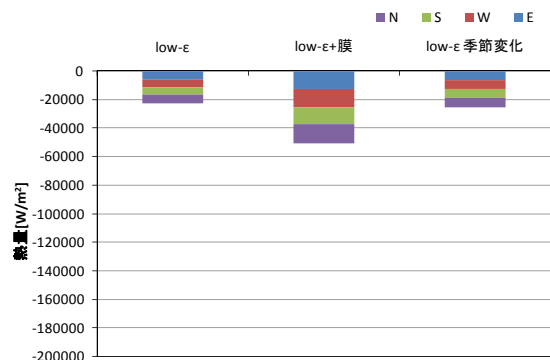


図 4-4-26 各方位の年間暖房室除去熱量 (low-ε +外皮膜)

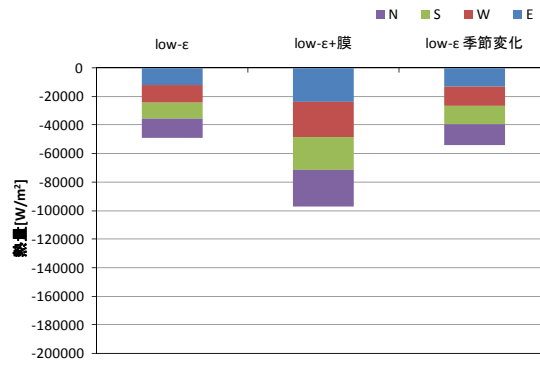


図 4-4-27 各方位の年間暖房装置除去熱量 (low-ε + 外皮膜)

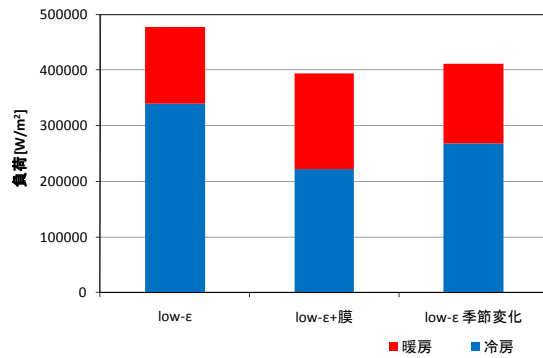


図 4-4-28 年間負荷 (low-ε + 外皮膜)

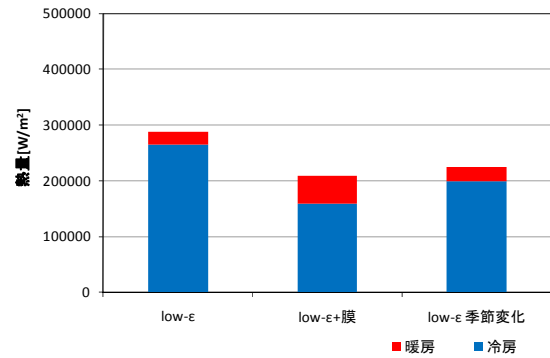


図 4-4-29 年間室除去熱量 (low-ε + 外皮膜)

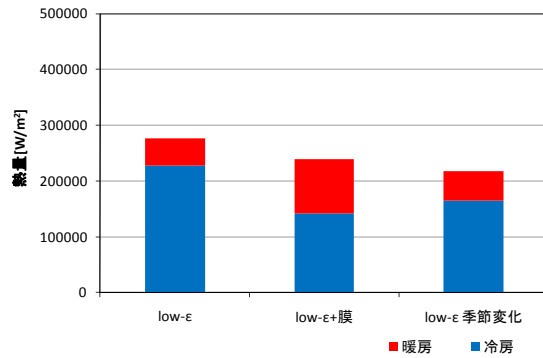


図 4-4-30 年間装置除去熱量 (low-ε + 外皮膜)

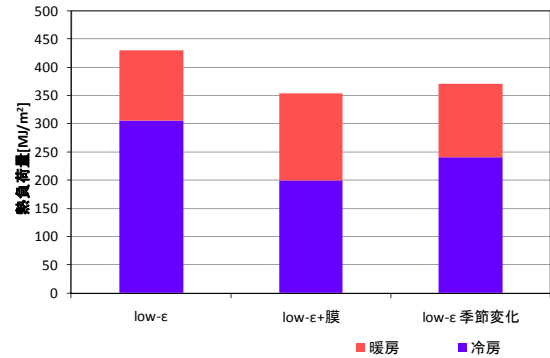


図 4-4-31 年間負荷より算出した年間熱負荷量 (low-ε + 外皮膜)

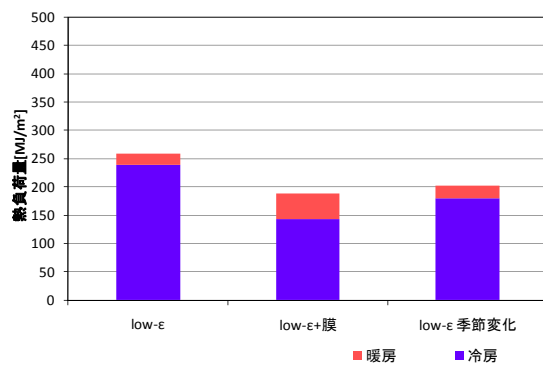


図 4-4-32 年間室除去熱量より算出した年間熱負荷量 (low-ε + 外皮膜)

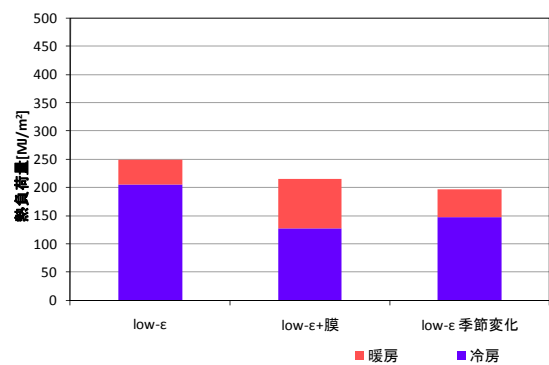


図 4-4-33 年間装置除去熱量より算出した年間熱負荷量 (low-ε + 外皮膜)

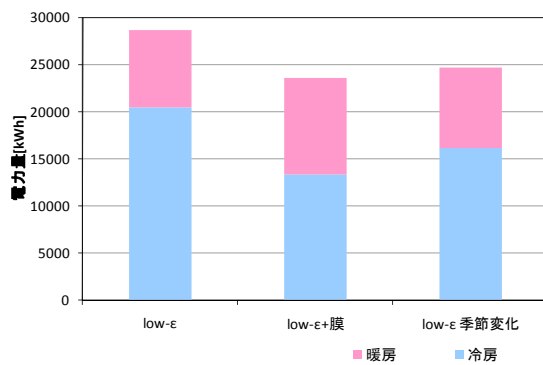


図 4-4-34 年間負荷より算出した積算消費電力量 (low-ε + 外皮膜)

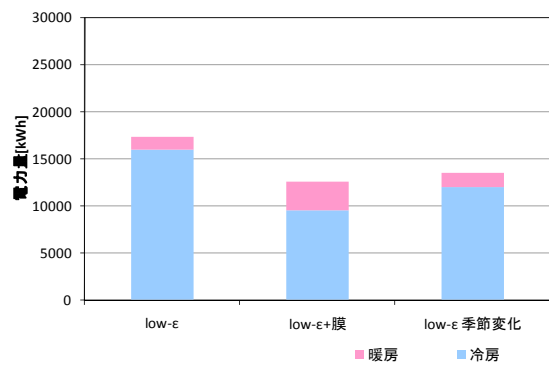


図 4-4-35 年間室除去熱量より算出した積算消費電力量 (low-ε + 外皮膜)

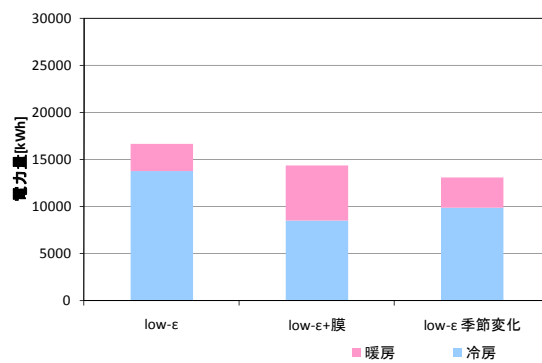


図 4-4-36 年間装置除去熱量より算出した積算消費電力量 (low-ε + 外皮膜)

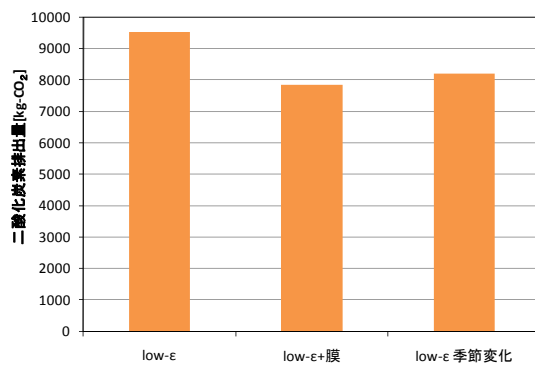


図 4-4-37 年間負荷より算出した二酸化炭素排出量 (low-ε + 外皮膜)

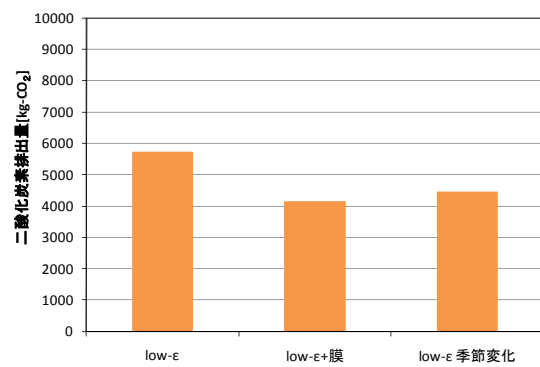


図 4-4-38 年間室除去熱量より算出した二酸化炭素排出量 (low-ε + 外皮膜)

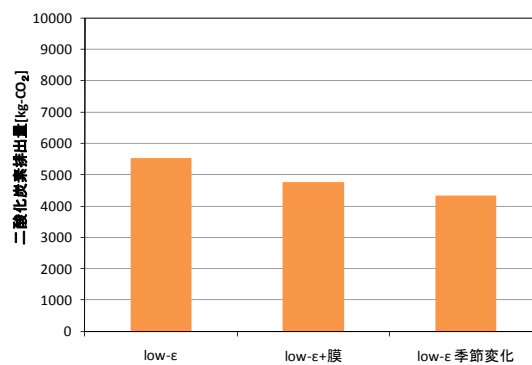


図 4-4-39 年間装置除去熱量より算出した二酸化炭素排出量 (low-ε + 外皮膜)

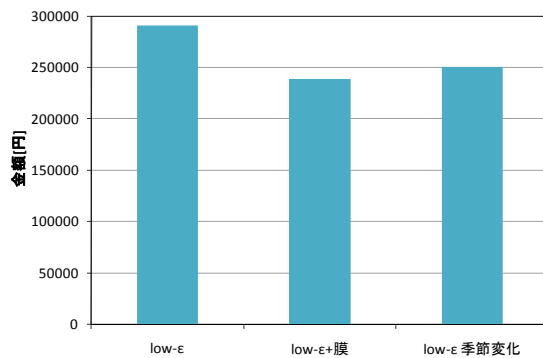


図 4-4-40 年間負荷より算出した電気料金 (low-ε + 外皮膜)

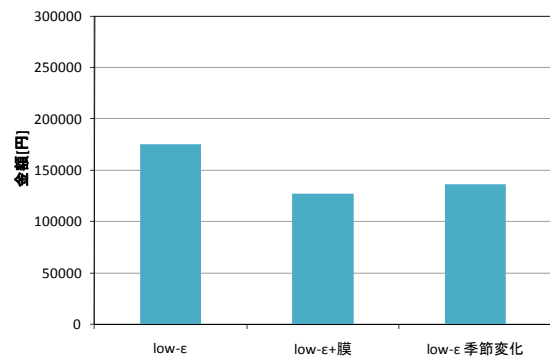


図 4-4-41 年間室除去熱量より算出した電気料金 (low-ε + 外皮膜)

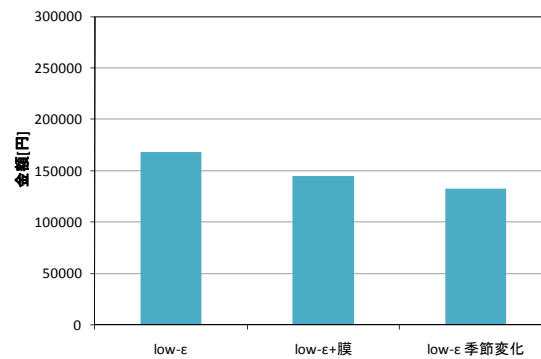


図 4-4-42 年間装置除去熱量より算出した電気料金 (low-ε + 外皮膜)

負荷：

年間冷房負荷では、膜未装着時が 339721W/m^2 、膜装着時が 221252W/m^2 、季節ごとでの膜脱着の場合は 267727W/m^2 となった。年間暖房負荷では膜未装着時が 137957W/m^2 、膜装着時が 172096W/m^2 、膜脱着の場合では 143779W/m^2 となった。暖房負荷では、膜装着の場合が最も負荷が大きく、冷房負荷では、膜未装着の場合が最も負荷が大きくなった。冷房負荷と暖房負荷を合計した年間負荷では、膜未装着時よりも季節ごとでの膜脱着の場合の方が負荷を抑制し、それ以上に、膜装着時の方がより効果的に負荷を抑制した。これは、透明+low-ε グリーンのみだと、暖房負荷を抑制する能力は優れているが、冷房負荷を抑制する能力は、どの窓ガラスよりも劣っている。一方で、透明フロートガラスと外皮膜を組み合わせたものでは、冷房負荷に関しては、抑制する能力が非常に優れているが、暖房負荷に関しては、膜を装着する事により、どの窓ガラスよりも負荷が増大してしまった。しかし、透明+low-ε グリーンと膜を組み合わせ、両者の劣弱箇所を補い合う事でどの窓ガラスよりも負荷を最小限に抑えられたので、膜未装着時よりも膜装着時の方が効果的に負荷を抑制されたのではないかと考える。今回、季節ごとに膜を脱着した場合の解析結果が、膜装着時よりも負荷が大きくなってしまったが、夏季と冬季との場合で大きく分別し、膜の脱着を行うのではなく、その時の気候などの状況により、膜を脱着する事で、より負荷を抑制する事が出来るのではないかと考える。方位別では、膜未装着時、膜装着時、膜脱着時ともに、暖房では北側が最も負荷が増大し、冷房においては、南側が最も負荷が増大するという結果が得られた。

室除去熱量：

年間冷房室除去熱量では、膜未装着時が 265199W/m^2 、膜装着時が 158533W/m^2 、季節ごとでの膜脱着の場合は 199111W/m^2 となった。年間暖房室除去熱量では、膜未装着時が 22560W/m^2 、膜装着時が 50640W/m^2 、膜脱着時では 25282W/m^2 となった。特に、暖房によるエネルギー負担が、今までの膜装着時の解析結果よりも、大幅に削減されている事が確認された。これは、low-ε ガラスの優れた暖房性能が反映された結果ではないかと考える。方位別では、膜未装着時、膜装着時、膜脱着時ともに、暖房では北側が最もエネルギー負担が増大し、冷房においては、南側が最もエネルギー負担が増大するという結果が得られた。

装置除去熱量：

年間冷房装置除去熱量では膜未装着時が 228164W/m^2 、膜装着時が 141577W/m^2 、季節ごとでの膜脱着の場合では 164220W/m^2 となった。年間暖房装置除去熱量では、膜未装着時が 48910W/m^2 、膜装着時が 97068W/m^2 、膜脱着の場合では 53778W/m^2 となった。膜を装着する事による冷房エネルギーの負担削減と、low-ε ガラスによる暖房エネルギーの抑制が確認された。また、膜の装着による日射遮蔽の影響で、冬季の暖房エネルギーが膜未装着の場合よりも増加する事も確認された。方位別においては、どのパターンとも、暖房では、北側が最もエネルギー負担が大きく、南側が最も小さくなる。冷房では、南側が最もエネルギーが大きくなり、北側が最もエネルギー負担が小さくなるという結果が得られた。

年間熱負荷量：

膜未装着時が 258.8MJ/m^2 年、膜装着時が 188.3MJ/m^2 年、膜脱着の場合で 201.9MJ/m^2 年となった。透明+low-ε グリーンに関して、PAL の省エネルギー基準値 300MJ/m^2 年を達成している事は確認済みだが、low-ε ガラスと膜を組み合わせる事で、よりエネルギーを効果的に抑制出来る事が確認された。今までの解析結果から比較しても、low-ε ガラスと膜を組み合わせた場合が、最も年間熱負荷量を削減されていた。

積算消費電力量、二酸化炭素排出量、電気料金：

積算電力量は、膜未装着時の場合で約 17265kwh 、膜装着時の場合で約

12550kwh、季節ごとでの膜脱着の場合で 13464kWh となった。二酸化炭素排出量は、膜未装着時で約 5519.3kg-CO₂、膜装着時で約 4753.8kg-CO₂、膜脱着の場合で 4342.5kg-CO₂ となった。電気料金は、膜未装着時の場合で 168405 円、膜装着時の場合で 145048 円、膜脱着の場合で 132499 円となった。この結果から、膜の装着だけでエネルギー負荷削減効果はあるが、季節や気候等の状況変化をうまく把握し、膜の脱着を臨機応変に行う事で、膜未装着時、膜装着時よりも積算消費電力量、二酸化炭素排出量、電気料金を削減させられるのではないかと考える。

4. 5 外皮膜を用いた最上階の環境評価

1) 解析概要

屋上に建築物外皮として膜を取り付ける事により、最上階のエネルギー負荷の削減効果を検証するために、HASPを用いて解析を行った。解析には、膜の他に、一般的な屋上の仕様、クールルーフに属する高反射塗料と屋上緑化を比較対象として解析を行った。なお、膜もクールルーフに属しており、ヒートアイランド現象の対策として推進されている。屋上緑化の解析には、コケと芝生を用いた。各素材の物性値を表4-5-1に示し、屋上一般の屋根天井面仕様を図4-5-1に示す。膜の厚さを3mm、膜と屋上階の間に空気層を500mm設けた。屋上緑化の土壌厚は、コケを2cm、芝生を10cmと30cmの2パターンとした。蒸発比とは、植栽表面(面積=外皮面積)が完全に湿潤であった時の水分蒸発量を100とした場合の蒸発効率である。建築物外皮として、屋上に膜を用いる事による最上階のエネルギー負荷削減効果が得られるのかを比較検討する。

表 4-5-1 各素材の物性値

	日射反射率[%]	蒸発比[%]	植栽熱抵抗[m ² K/W]
屋上一般	40		
外皮膜 空気層500mm	80		
高反射塗料	80		
コケ 土壌2cm	20	20	0.4
芝生 土壌10cm	20	20	0.2
芝生 土壌30cm	20	20	0.2

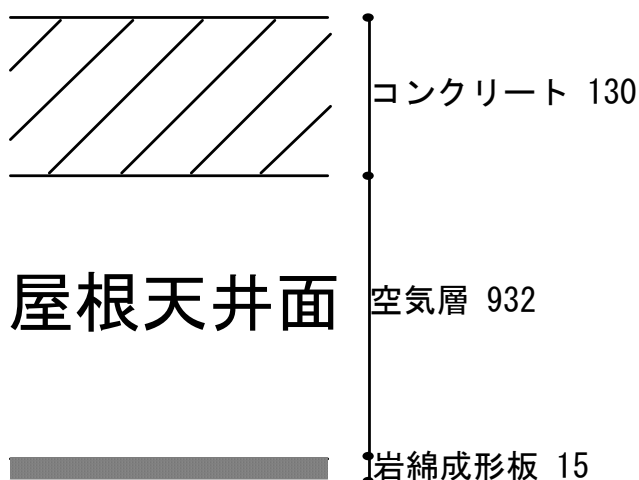


図 4-5-1 屋上一般の屋根天井面仕様

2) 最上階の解析結果

解析結果を図 4-5-2 から図 4-5-22 に示す。

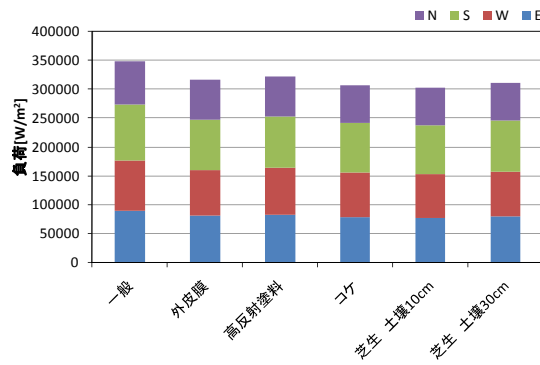


図 4-5-2 各方位の年間冷房負荷 (屋上)

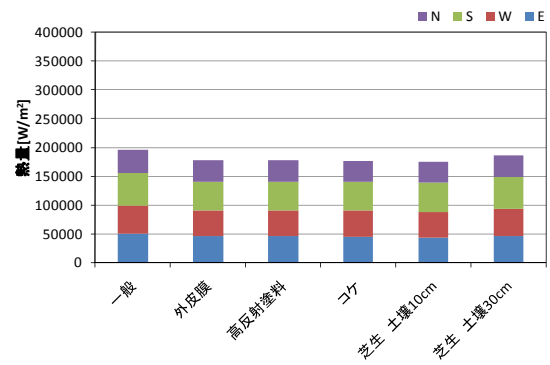


図 4-5-3 各方位の年間冷房室除去熱量 (屋上)

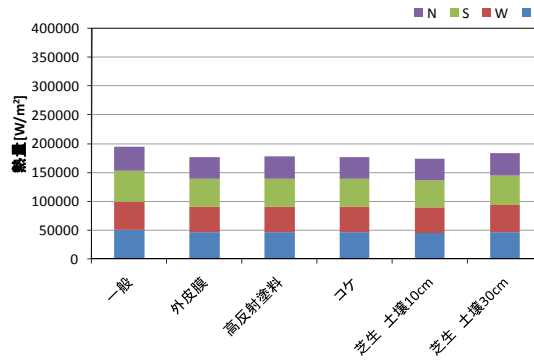


図 4-5-4 各方位の年間冷房装置除去熱量 (屋上)

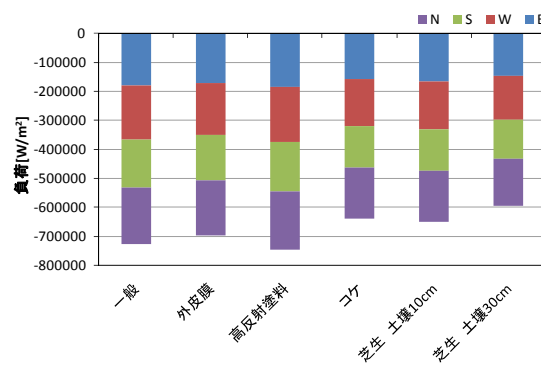


図 4-5-5 各方位の年間暖房負荷 (屋上)

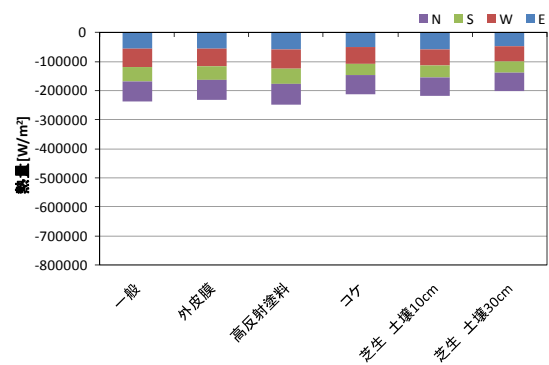


図 4-5-6 各方位の年間暖房室除去熱量 (屋上)

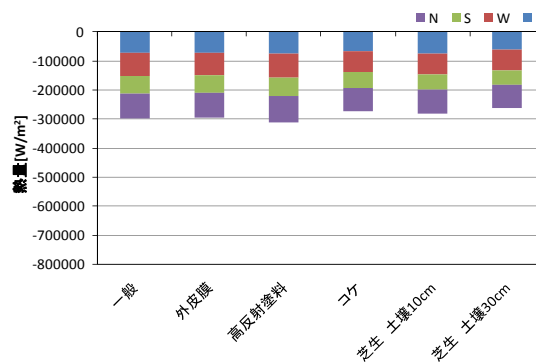


図 4-5-7 各方位の年間暖房装置除去熱量(屋上)

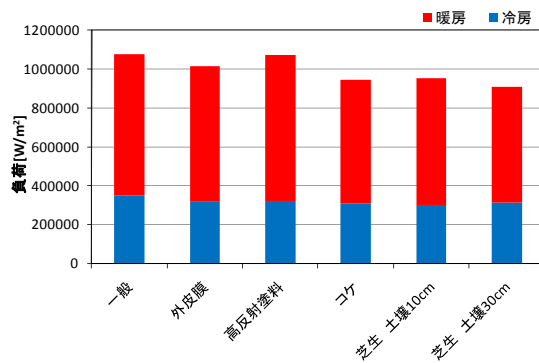


図 4-5-8 年間負荷(屋上)

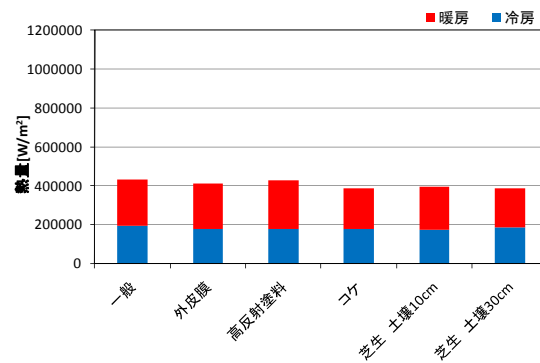


図 4-5-9 年間室除去熱量(屋上)

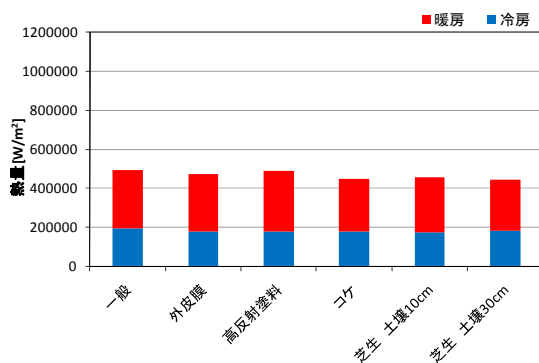


図 4-5-10 年間装置除去熱量(屋上)

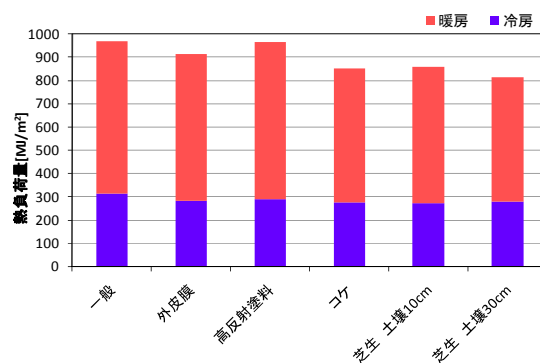


図 4-5-11 年間負荷より算出した年間熱負荷量(屋上)

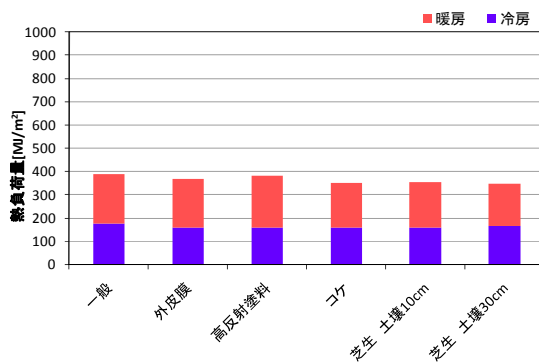


図 4-5-12 年間室除去熱量より算出した年間熱負荷量(屋上)

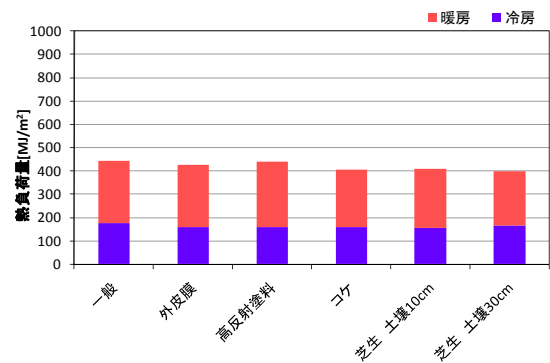


図 4-5-13 年間装置除去熱量より算出した年間熱負荷量(屋上)

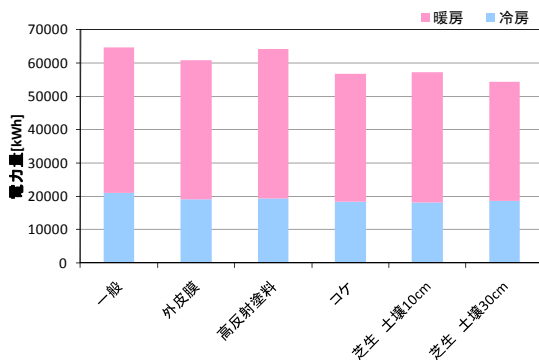


図 4-5-14 年間負荷より算出した積算消費電力量(屋上)

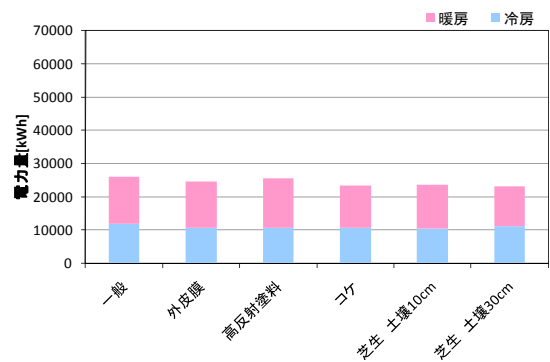


図 4-5-15 年間室除去熱量より算出した積算消費電力量(屋上)

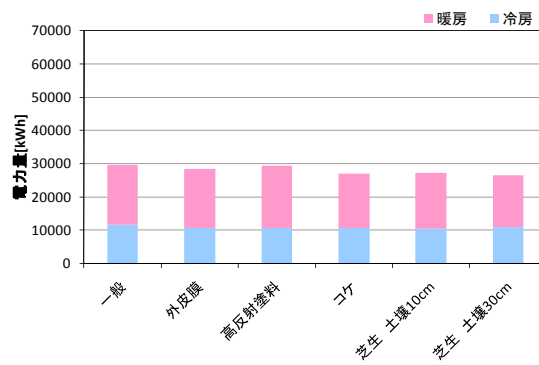


図 4-5-16 年間装置除去熱量より算出した積算消費電力量(屋上)

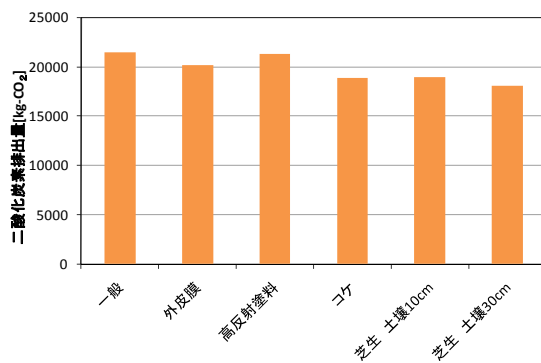


図 4-5-17 年間負荷より算出した二酸化炭素排出量(屋上)

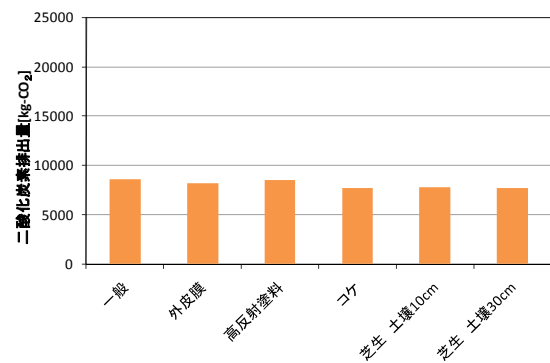


図 4-5-18 年間室除去熱量より算出した二酸化炭素排出量(屋上)

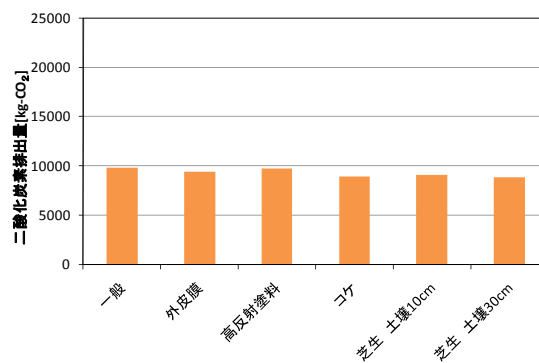


図 4-5-19 年間装置除去熱量より算出した二酸化炭素排出量(屋上)

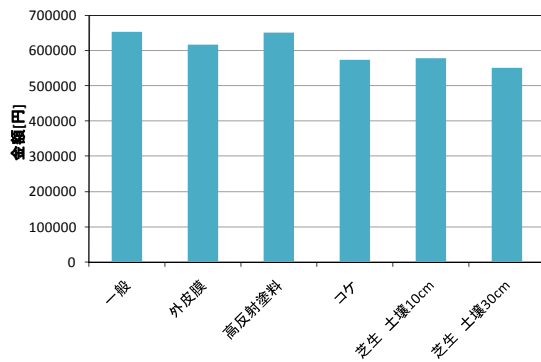


図 4-5-20 年間負荷より算出した電気料金(屋上)

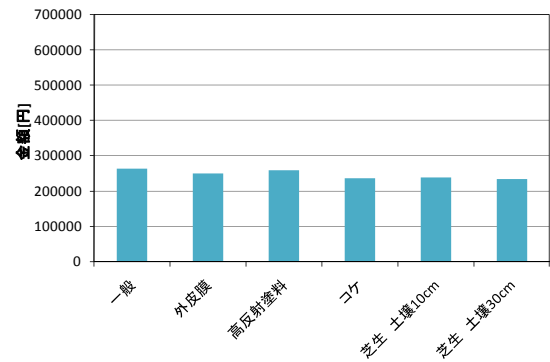


図 4-5-21 年間室除去熱量より算出した電気料金(屋上)

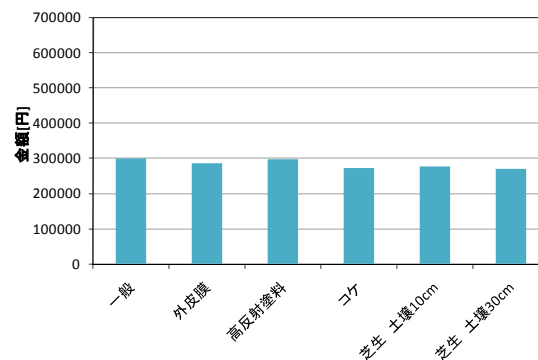


図 4-5-22 年間装置除去熱量より算出した電気料金(屋上)

負荷、室除去熱量、装置除去熱量：

年間負荷では一般屋根と比較した場合、高反射塗料の場合はほとんど差が見られなかったが、それ以外の屋根仕様では年間負荷が削減された。一般屋根以外の仕様は冷房負荷にあまり差は見られないが、暖房負荷で差が生じた。コケ、芝等の屋上緑化の暖房負荷削減量が高い理由として、土壌の厚みが屋根の断熱性能を向上させていると考えられる。外皮膜は、高反射塗料より効果が高いが、屋上緑化ほどの負荷削減効果は確認されなかった。年間室除去熱量、年間装置除去熱量についても同様の傾向がみられた。

年間熱負荷量、積算消費電力量、二酸化炭素排出量、電気料金：

年間熱負荷量では、傾向としては年間負荷等と同等の結果が得られたが、PAL の事務所の基準値 $300\text{MJ}/\text{m}^2\text{年}$ を満たす仕様はなかった。原因として、窓仕様が全て、厚さ 3mm の透明フロートガラスであるため、断熱性能、日射遮蔽性能が低く外部の影響を受け易いためだと考えられる。

積算消費電力量、二酸化炭素排出量、電気料金も傾向は同じだが、大きな変化は見られなかった。屋上緑化は、各々積算消費電力量などの結果では省エネルギー建築だが、土壌のために構造躯体を頑強にする等、施工時のコストが大きいいため、コストの小さい膜材、高反射塗料のほうが、有効に機能するケースも考えられる。

3) まとめ

仮設建物の実測結果を基に、一般的な事務所ビルに外皮膜を設置した場合の年間冷暖房負荷削減効果と CO₂ 削減効果の解析を行った。解析には New-HASP/ACLD を用い、基準階床面積 1296m²(ペリメータ 720m²)のセンターコア型の建物を計算対象とし、標準ガラスと各種エコガラスに対する外皮膜の効果について試算を行った。ガラスカーテンウォールの場合、外皮膜は標準ガラスに対して 42%、エコガラスに対して 30%程度の冷房負荷削減効果を有することがわかった。また、外皮膜設置により、基準階当たり最大 1.6t-CO₂ の削減が可能であることがわかった。

一方、冬期では、外皮膜設置による日射取得が減少するため、暖房負荷が膜無しの 1.5 倍程度に増加することがわかった。このことから、外皮膜は、冬期に巻き上げや取り外しが可能な方法で設置することが望ましいことが示唆された。夏期に外皮膜設置、冬期に膜無しとした解析を行った結果、通年膜無しに比べて、15%の年間冷暖房負荷削減が可能となることがわかった。

4. 6 まとめ

1300m²の体育館を対象に、冷暖房熱負荷の数値解析を行った。解析では、各壁面を9面素に分割し、各面素で非定常一次元熱伝導、吸収係数による放射解析、室温(1点)との対流熱伝達を連成し、冷暖房負荷を求めた。屋根を仕様は、一般的な鋼板屋根、単層膜、二重膜、三重膜とした。

年間冷暖房負荷は、鋼板屋根 790、単層膜 960、二重膜 755、三重膜 655MJ/m²となった。鋼板屋根を基準とすると、単層膜は 22%増となるが、二重膜は 4%減、三重膜では 17%減が可能であることがわかった。

平成 19～20 年度に温熱環境の実測を行った体育館を対象に、昼光率解析を行い、膜屋根構造の照明負荷削減効果を検証した。モンテカルロ法により、床面 1m×1m 毎から各開口の立体角投射率を算出した。EA 気象データの日射量を全天照度に換算し、昼光率から床面照度を求めた。床面の必要照度を 1000lx と仮定し、不足した場合に、照明全灯、不足分調光の2ケースについて概算した結果、照明全灯では 90MJ/m²、調光では 40MJ/m²の照明負荷を削減可能であることがわかった。

一般的な事務所ビルに外皮膜を設置した場合の年間冷暖房負荷削減効果と CO₂ 削減効果の解析を行った。解析には New-HASP/ACLD を用い、基準階床面積 1296m²(ペリメータ 720m²)のセンターコア型の建物を計算対象とし、標準ガラスと各種エコガラスに対する外皮膜の効果について試算を行った。ガラスカーテンウォールの場合、外皮膜は標準ガラスに対して 42%、エコガラスに対して 30%程度の冷房負荷削減効果を有することがわかった。また、外皮膜設置により、基準階当たり最大 1.6t・CO₂ の削減が可能であることがわかった。

一方、冬期では、外皮膜設置による日射取得が減少するため、暖房負荷が膜無しの 1.5 倍程度に増加することがわかった。このことから、外皮膜は、冬期に巻き上げや取り外しが可能な方法で設置することが望ましいことが示唆された。夏期に外皮膜設置、冬期に膜無しとした解析を行った結果、通年膜無しに比べて、15%の年間冷暖房負荷削減が可能となることがわかった。