

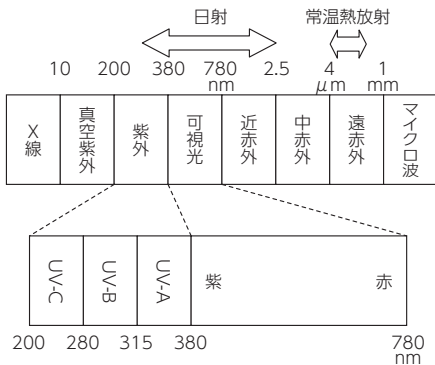
4 板ガラスと光と熱

住宅や建築物の室内空間の温熱環境、光視環境の快適性を実現し、同時に暖冷房や照明の省エネルギーを両立するためには、建築外皮のなかでもとりわけ窓ガラスの光と熱に対する特徴を知り、気象や建物用途、窓配置に応じて最適な性能をもつガラス種類を選択することが重要です。

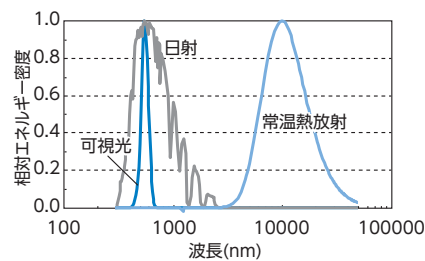
4-1 板ガラスの光学性能、断熱性能、日射取得/日射遮蔽性能

●分光特性

各種板ガラスの光熱性能は、可視光、日射、常温熱放射のそれぞれの波長領域 [図1] での分光特性によって特徴づけられます。[図2] に可視光、日射、常温熱放射のエネルギー分布を、[図3] ~ [図8] に各種板ガラスの分光特性を示します。



【図1】光の波長領域と名称



【図2】可視光、日射、常温熱放射のエネルギー分布

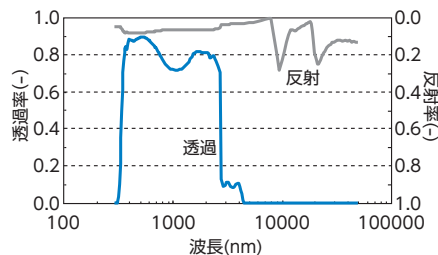
(1) 透明フロート板ガラス

フロート板ガラスは、フロートバスと呼ばれる窯の中で熔融錫の上に溶かしたガラスを流し込むと、ガラスが錫上に浮き、ガラス両面が極めて平滑な板状となります。透明のフロート板ガラスが最も多く使用されますが、熱線吸収板ガラスや高透過ガラスもフロート法により製造されます。

透明フロート板ガラスの分光特性 [図3] は、可視光を含む日射の波長領域全体にわたり透過率が高くなります。また、遠赤外線領域では吸収率が高く透過はありません。常

温での放射率はこの領域の吸収率で表され、 $\epsilon = 0.9$ 程度となります。

フロート板ガラスの用途は、住宅、店舗、一般建築物、高層建築物などの内外装用、ショーケース、ディスプレイ、水槽や温室、家具、額縁などと幅広く、成膜、合わせ、強化、複層など二次加工用の素板としても多く使われています。

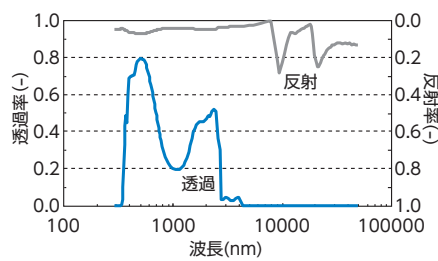


【図3】透明フロート板ガラス(6ミリ)の分光特性

(2) 熱線吸収板ガラス

板ガラス組成に鉄などの金属成分を混合することで板ガラスを着色したガラスです。透明な板ガラスに比べて日射の波長領域の透過率が低くなるため、日射熱の室内への侵入を抑えることができます。

特にグリーン色のものは可視光領域の透過率を高く保ったまま、近赤外線領域の透過率を抑えることができます。遠赤外線領域では透明板ガラスと同様に吸収率が高く、放射率は $\epsilon = 0.9$ 程度となります [図4]。

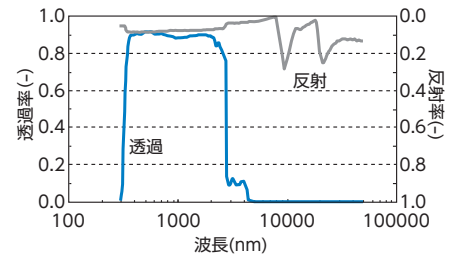


【図4】熱線吸収板ガラス(グリーン6ミリ)の分光特性

(3) 高透過ガラス

普通の透明板ガラスは、組成中に鉄などが含まれているために、透明といえども若干青みがかっています。高透過ガラスは、原料と製造条件を調整することにより可視光領域の分光透過特性をできるだけ均一にしたため、ガラスを通して物体の色を正しく見せることができます [図5]。色の再現性が重要となる博物館・美術館の展示ケース、ショーウィンドウ、各種ショールームなどに使用されています。また、欧州、特にドイツでは、透明建築と環境建築を両立させる

ために、高透過ガラスを素板とした合わせガラスやLow-E複層ガラスをふんだんに用いた建築物が注目を集めています。

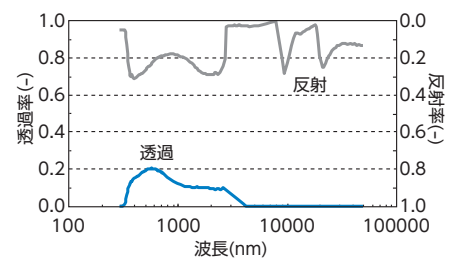


【図5】高透過ガラスの分光特性

(4) 熱線反射ガラス

板ガラス表面に酸化物、窒化物、金属などの薄膜を施し、日射領域の反射と吸収の特性を高めたガラスです。成膜方法には、フロート板ガラスの製造工程中に成膜するものと、真空チャンバ内でスパッタリング法により成膜する2通りの方法があります。

スパッタリング法によるものは高性能熱線反射ガラスと呼ばれ、薄膜構成の自由度が高く、色味や性能のバリエーションが豊富です。日射の波長領域全体にわたり透過率が低いため日射遮蔽性に優れていますが、可視光透過率も低くなるため、採光性が劣り、人工照明に頼ることになります [図6]。冷房負荷低減のために事務所ビルなどに多く使用されています。

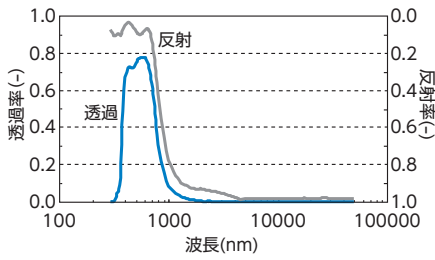


【図6】高性能熱線反射ガラス(SS20,6ミリ)の分光特性

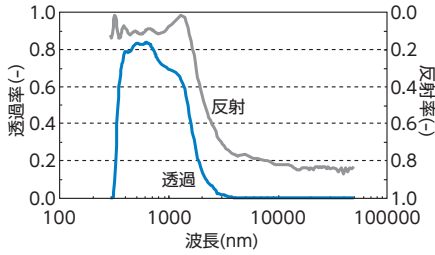
(5) Low-Eガラス

Low-Eガラスは、板ガラス表面に酸化スズや銀などの薄膜を施したもので、このLow-E膜が遠赤外線領域での反射率を高めるため、熱放射が伝わりにくいガラスです。この領域の吸収率、すなわち、放射率は $\epsilon = 0.05 \sim 0.15$ となります。Low-EとはLow Emissivityの略で低放射を意味します。Low-Eガラスは複層ガラスや真空ガラスに用いられ、Low-E膜面を間隙に向けて配置することで、中空層での放射による熱伝達を低減し、断熱性を高めることができます [図7] [図8]。

4 板ガラスと光と熱



【図7】Low-Eガラス(日射遮蔽型、3ミリ)の分光特性



【図8】Low-Eガラス(日射取得型、3ミリ)の分光特性

●光学性能

板ガラスの可視光、日射、紫外線に対する光学特性(透過率、反射率)はJIS規格やISO規格に計算法が規定されており[表1]、次式のように対象とする波長領域の板ガラスの分光特性から光源のエネルギー分布を重係数とする加重平均で計算されます。

$$\tau_v = \frac{\int_{\lambda=380\text{nm}}^{\lambda=780\text{nm}} D(\lambda) \cdot V(\lambda) \cdot \tau(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda=380\text{nm}}^{\lambda=780\text{nm}} D(\lambda) \cdot V(\lambda) d\lambda} = \frac{\sum_{\lambda=380\text{nm}}^{\lambda=780\text{nm}} D(\lambda) \cdot V(\lambda) \cdot \tau(\lambda) \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=380\text{nm}}^{\lambda=780\text{nm}} D(\lambda) \cdot V(\lambda) \cdot \Delta\lambda}$$

$$\tau_e = \frac{\int_{\lambda=2500\text{nm}}^{\lambda=2500\text{nm}} S(\lambda) \cdot \tau(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda=300\text{nm}}^{\lambda=300\text{nm}} S(\lambda) d\lambda} = \frac{\sum_{\lambda=2500\text{nm}}^{\lambda=2500\text{nm}} S(\lambda) \cdot \tau(\lambda) \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=300\text{nm}}^{\lambda=300\text{nm}} S(\lambda) \cdot \Delta\lambda}$$

$$\tau_{UV} = \frac{\int_{\lambda=300\text{nm}}^{\lambda=380\text{nm}} S(\lambda) \cdot \tau(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda=300\text{nm}}^{\lambda=380\text{nm}} S(\lambda) d\lambda} = \frac{\sum_{\lambda=300\text{nm}}^{\lambda=380\text{nm}} S(\lambda) \cdot \tau(\lambda) \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=300\text{nm}}^{\lambda=380\text{nm}} S(\lambda) \cdot \Delta\lambda}$$

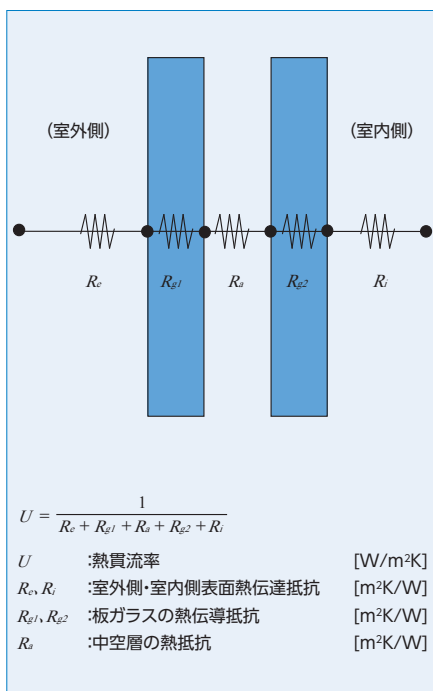
- τ_v : 可視光透過率 [-]
- τ_e : 日射透過率 [-]
- τ_{UV} : 紫外線透過率 [-]
- $\tau(\lambda)$: 分光透過率 [-]
- $D(\lambda)$: CIE昼光D65光源スペクトル [-]
- $V(\lambda)$: CIE明順応標準比視感度 [-]
- $S(\lambda)$: 標準日射スペクトル [-]
- λ : 波長 [nm]
- $\Delta\lambda$: 波長幅 [nm]

【表1】窓と窓ガラスの熱性能の計算法規格

性能	対象	国際規格	日本	欧州	米国
断熱性能 (熱貫流率)	ガラス	ISO10292	JIS R3107	EN673	NFRC100
	窓	ISO10077 ISO15099	JIS A2102	EN10077 (ISO10077)	
日射取得/日射遮蔽性能 (日射熱取得率)	ガラス	ISO9050	JIS R3106	EN410	NFRC200
	窓	ISO15099	JIS A2103	なし	

●断熱性能(熱貫流率)

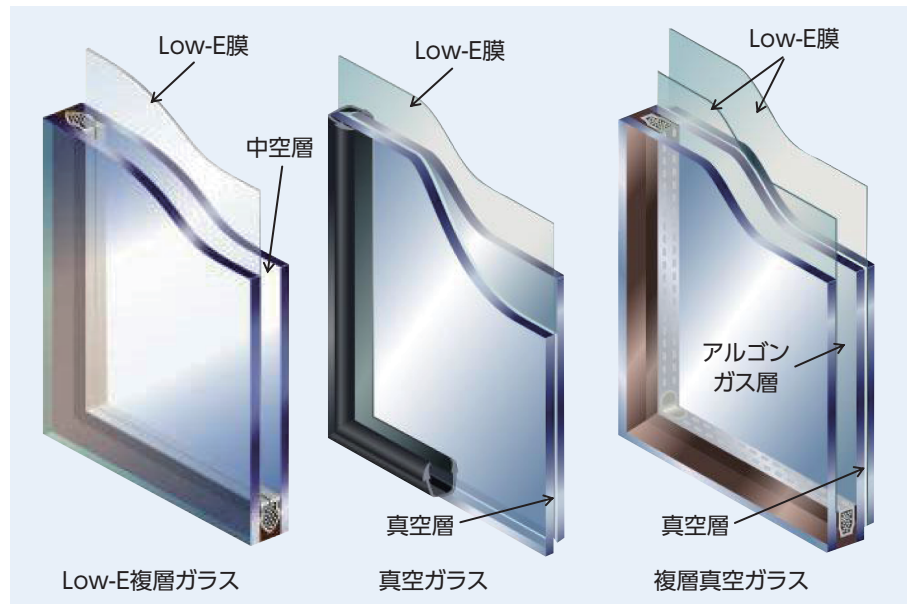
窓ガラスの断熱性能は一般に熱貫流率(U-value, Thermal transmittance)で表されます。熱貫流率とは、室内外の温度差により壁体を通過する単位時間・単位面積・単位気温差あたりの熱量を表しますので、これが小さいほど壁体を通過する熱量が少なく、断熱性能が高いということになります。窓ガラス中央部の熱貫流率の計算では、室内外間の一次元伝熱モデルにおいて、室内外の表面熱伝達抵抗、板ガラスの熱伝導抵抗、中空層の熱抵抗など、全ての熱抵抗の合計の逆数で表されるので、室内外間のいずれかの熱抵抗を大きくすることで、板ガラスの熱貫流率を小さく、すなわち、断熱性能を良くできることが分かります【図9】。



【図9】窓ガラスの熱貫流率の算定式(二層の複層ガラスの場合)

一般的な複層ガラスは、2枚の板ガラスの間に中空層を設けて、空気の熱抵抗を利用して断熱性を高めたものですが、板ガラスの片方(または両方)にLow-Eガラスを用いたものを、特にLow-E複層ガラスと呼びます。Low-E複層ガラスの応用として、空気の代わりにアルゴン、クリプトンなど熱伝導率が小さい気体を中空層に封入した「ガス入りLow-E複層ガラス」、中空層を真空にして気体の伝導による熱伝達を排した「真空ガラス」、真空ガラスともう一枚の板ガラス

を組み合わせる複合ガラス化した「複層真空ガラス」など、さらに断熱性を高めたものも製品化されています【図10】。単板ガラスに比べて真空ガラスでは約5倍、複層真空ガラスでは約7~8倍の断熱性能を持ちます。真空ガラスは、真空層幅0.2mmとガラス総厚が薄く、既存の単板ガラス用サッシにそのまま取り付けることができるので窓の省エネ改修に最適です。

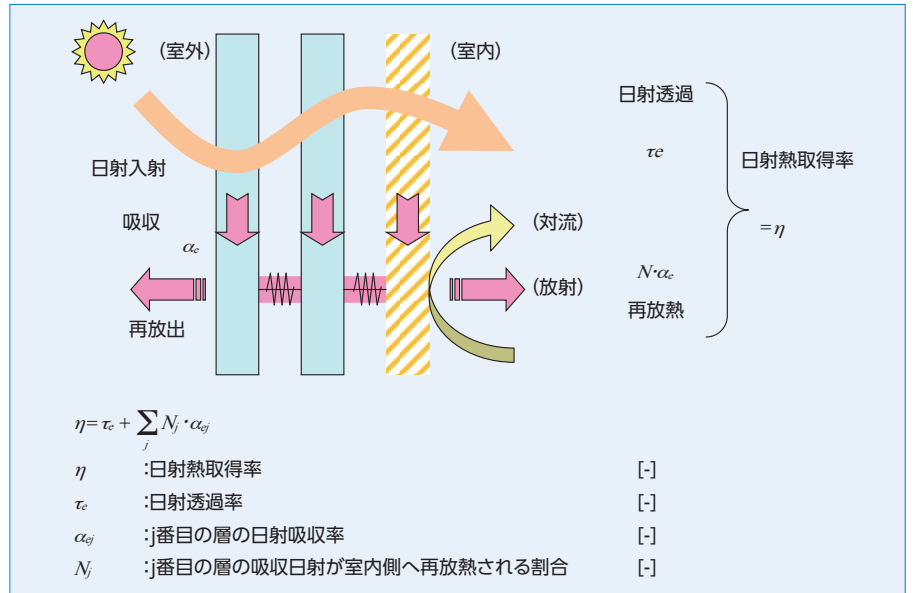


【図10】各種複層ガラスの構造

4 板ガラスと光と熱

●日射取得/日射遮蔽性能(日射熱取得率)

窓ガラスの日射取得/日射遮蔽性能は一般に日射熱取得率(日射侵入率、Solar Heat Gain Coefficient (SHGC)、Total solar energy transmittance)で表されます。日射熱取得率は窓ガラスに入射する日射熱に対する室内へ侵入する熱の比のことで、室内へ侵入する熱はガラスを直接透過する成分とガラスに吸収されて室内側に再放熱される成分の両方を含みます【図11】。

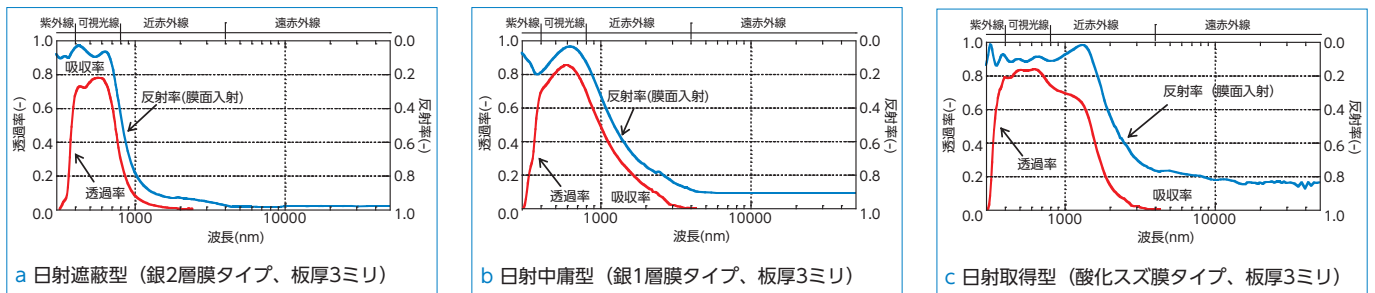


【図11】窓ガラスの日射熱取得率の算定式(二層の複層ガラスと室内側遮蔽物の組み合わせの場合)

複層ガラスの場合には、板ガラスの組み合わせ方によって、日射取得/日射遮蔽性に变化を持たせることができます。熱線吸収板ガラスや熱線反射ガラス、Low-Eガラスなどの日射吸収の大きいガラスを室外側へ配置すると、中空層が熱抵抗となるために、室外側ガラスで吸収された日射熱は室内へ伝わりにくく、日射熱取得率は小さくなります。逆に、日射吸収の大きいガラスを室内側に配置すると、吸収された日射熱は室外へ逃げにくく、日射熱取得率が大きくなります。

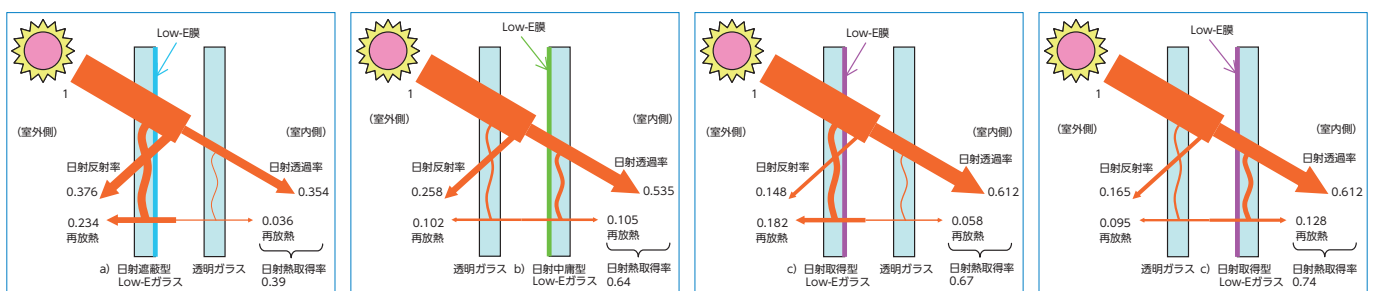
特に、Low-E複層ガラスでは中空層の熱抵抗が大きいために、この変化が顕著になります。なお、Low-Eガラスは、遠赤外領域を反射(低放射)して、可視光領域を透過(採光)するよう設計されていますが、薄膜の特殊設計により近赤外領域(日射熱)の反射を高めたと透過を高めたものがあります【図12】。前者が日射遮蔽型【図12 a】、後者が日射取得型【図12 c】として用いられます。【Low-E複層ガラスは日射遮蔽性能が高い】

と誤解されがちですが、Low Emissivityの定義から言えば、Low-E複層ガラスは薄膜の低放射性により断熱性能を高めたものであり、その中に日射熱の遮蔽と取得のバリエーションが取り揃えられているのです【図13】。日射遮蔽型は冷房負荷低減に、日射取得型は暖房負荷低減に、それぞれ効果的であり、地域、方位、建物用途、住まい方に応じて選択されるべきです。そういう意味では、日射遮蔽性だけでなく、日射取得性も評価されなければなりません。



赤線が分光透過率(左縦軸)、青線が分光反射率(右縦軸)を表す。左右の縦軸の目盛は反転表示しており、透過率と反射率と吸収率の合計は"1"であるので、グラフ中の透過率と反射率で囲まれた領域が吸収率を意味する。

【図12】Low-Eガラスの分光特性



【図13】Low-E複層ガラスの構成と日射特性

●採光性(可視光透過率)

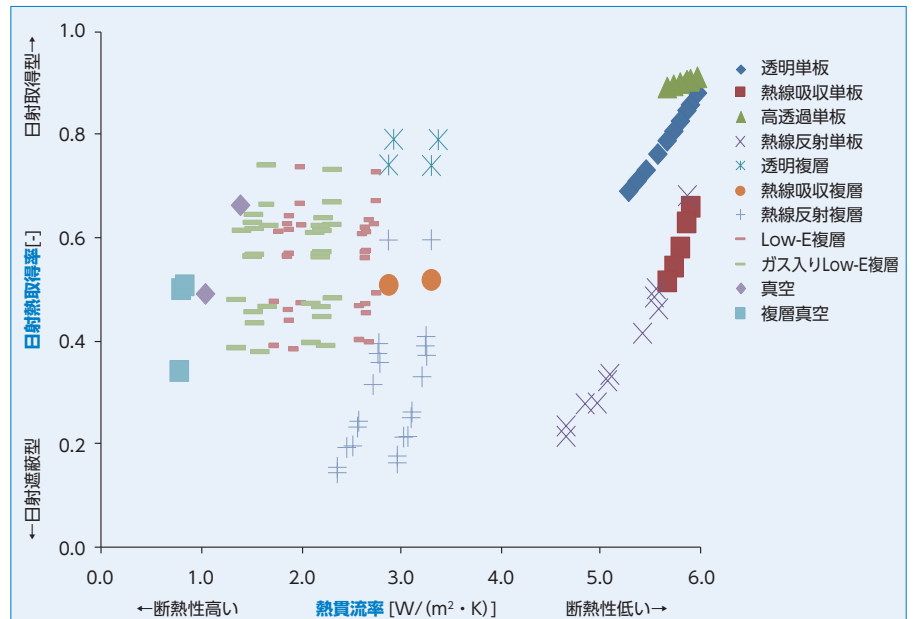
採光性は可視光透過率によって評価されます。可視光透過率が大きいものほど採光性が高く、昼光を室内に取り入れて、室内を明るくすることができます。

●断熱性、日射取得/日射遮蔽性、採光性

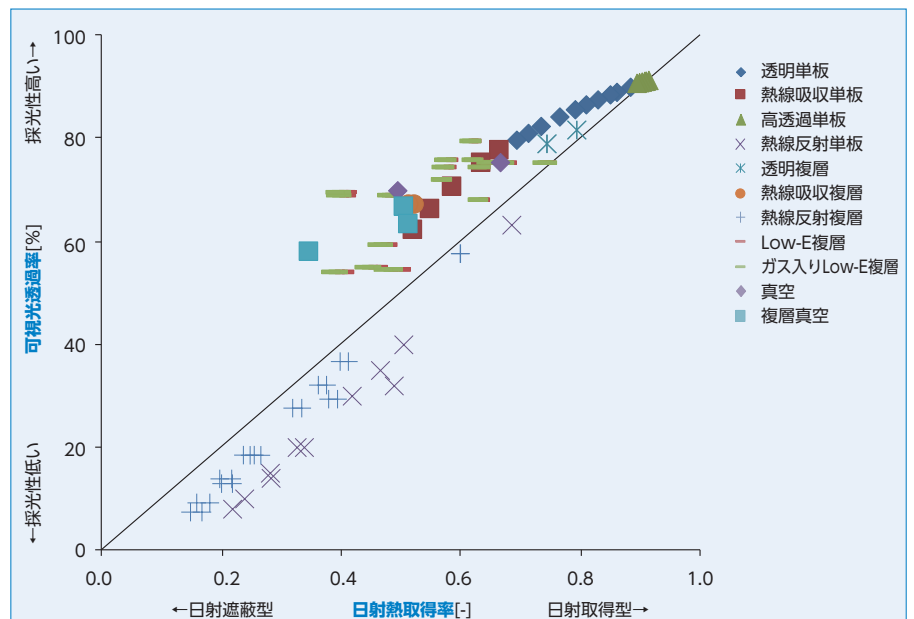
【図14】に各種板ガラスの熱貫流率と日射熱取得率の分布を、【図15】に日射熱取得率と可視光透過率の分布を示します。

【図14】では、左の方が断熱性能が高く、上の方が日射取得型、下の方が日射遮蔽型となります。板ガラス構成のタイプ(単板ガラス、複層ガラス、Low-E複層ガラス、真空ガラス、複層真空ガラス)によって断熱性能が異なり、それぞれのタイプに様々な日射熱取得率のバリエーションがあります。地域や部屋の用途にあった断熱性能と日射取得/日射遮蔽の性能を持つガラス品種を選択することができます。

【図15】では、上の方が採光性が高く、右が日射取得型、左が日射遮蔽型となります。一般的には日射熱取得率と可視光透過率はほぼ比例するので、日射取得型のものほど採光性が高く、日射遮蔽型のものほど採光性が低くなりますが、Low-E複層ガラスや真空ガラスのように、採光性が高く、かつ日射熱のバリエーションが豊富なガラス品種もあります。



【図14】各種板ガラスの熱貫流率と日射熱取得率の分布



【図15】各種板ガラスの日射熱取得率と可視光透過率の分布