



スチールハウス工法の健康・快適事務所の 断熱設計と性能～S社事務所建設において～

Thermal Insulation Design and Performance of a Healthy and Comfortable Steel House Office Building: A Case Study of Company S's Office Construction

生活時間の多くを労働に充てている現代において、健康・快適なオフィス空間がトレンドになっている。S社新築事務所の建設にあたり、温熱環境性能に優れるといわれてきたスチールハウス工法の断熱仕様を、事務所向けに改良し、同性能を2倍以上に向上させた。断熱設計における3つのコンセプト①壁面温度均一の断熱、②内部結露の防止、③壁内乾燥の維持 を踏襲した新たな断熱仕様（外張り+充填断熱）の構築と、その設計方法、さらに、実測による性能確認を実施した。将来には、さらなる省エネ+良好な温熱環境が求められると推測でき、これらの要求に応えられるように、断熱性能の向上に加え、ハイテク・省エネ設備等のトータルの設計技術力を高めていく必要がある。

In modern times, where much of life is devoted to work, healthy and comfortable office spaces have become a trend. In constructing Company S's new office building, we improved the thermal insulation specifications of the steel house construction method, known for its superior thermal environment performance, adapting it for office use and more than doubling its performance. We established new insulation specifications (external + filling insulation) following three design concepts: (1) uniform wall temperature insulation, (2) prevention of internal condensation, and (3) maintenance of wall dryness. We implemented the design methodology and verified performance through actual measurements. As future demands for energy conservation and favorable thermal environments are expected to increase, we must enhance our comprehensive design capabilities, including improved insulation performance and high-tech, energy-efficient equipment, to meet these demands.



河合 良道
KAWAI Yoshimichi
建設事業部
設計技術部
開発技術グループ



大成 幸一郎
ONARI Koichiro
建設事業部
営業部



前田 強
MAEDA Tsuyoshi
建設事業部
和歌山建設センター
建築グループ



森 佳貴
MORI Yoshitaka
建設事業部
設計技術部
建築設計技術グループ



金谷 亨
KANAYA Ryo
建設事業部
設計技術部
建築設計技術グループ



木村 慎一郎
KIMURA Shinichiro
建設事業部
設計技術部
建築設計技術グループ



堤 健士郎
TSUTSUMI Kenshiro
建設事業部
設計技術部
建築設計技術グループ

1 スチールハウス工法 (SH) の健康・快適事務所

生活時間の多くを労働に充てている現代において、健康・快適なオフィス空間がトレンドになっている。近年の自由な勤務形態や、発熱・音・振動が抑制されたOA機器の普及等により、住宅の居住環境との間に垣根がなくなり、身体的・心理的に居心地の良さが求められるようになったのである。

今回、株式会社スミエィ殿（以下、S社と略）新築事務所の建設にあたり、元来住宅用に開発されたスチールハウス工法（以下、SHと略）（図1）を、事務所に改善・改良して、新仕様の設計・施工を行った。特に、SH開発当初の30年前から「温熱環境性能に優れる」といわれてきた断熱性能を、今回、基本的な設計の考え方を踏襲しながら、2倍以上に向上させている。本レポートでは、新たな断熱仕様とその考え方、確認された性能について述べる。

2 断熱設計の考え方：室内均質な性能と内部結露防止

SHの断熱設計の基本的な考え方は、新日本製鉄をはじめとする鉄鋼業界による開発スタート時1996年から変わっていない。当時の技術陣が、SHの「パネル厚が一定で、柱や梁の凹凸がなく、パネル表面が平滑である」ことを利用して、大判の断熱ボードをパネル外側に途切れなく設置する「外張り断熱通気工法」を完成させている。当時の最高性能（現在の断熱等級4 / 2025年適合義務化に相当）（図2）を標準としたことで、今でも「温熱性能に優れるSH」といわれ続けているのである。

断熱設計の基本コンセプトとその特徴は次の通りである。

① 壁面温度均一の断熱

建物躯体を断熱材で途切れなくすっぽり覆うことから、熱橋（熱逃げ箇所）が生ぜず壁面温度が均一に近い（図3）。

② 内部結露の防止

室内の高湿度の空気が壁内の低温部に触れると、結露が生じ、躯体や断熱材の腐食要因となり極めて厄介であるが、SHでは断熱材が外側にあり、内側の躯体は室内と同じ環境にあるため、結露発生を防止でき高耐久（90年）を実現している。

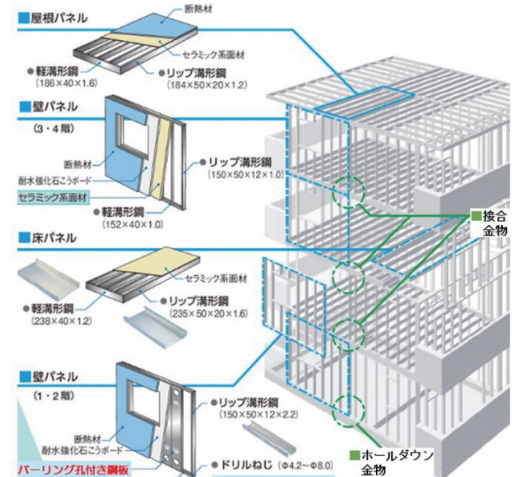
③ 壁内乾燥の維持

断熱材の外側に通気層を設けることで、万一、想定以上の高湿度空気が石膏ボードや面材を透過し、壁内の躯体部や断熱材内部に侵入した場合にも、同空気を通気層に逃がし、常時の通気により壁内の乾燥状態を保つことができる。

上記を他工法と比べるとSHの合理性が良くわかる（図4）。一般鉄骨造では、大断面の柱梁の間に胴縁・筋交いがあり、壁面が凸凹になるため断熱材が分断され、鉄部材による熱橋が生じる場合がある。室内側壁面の温度分布が不均

一になることや、万一、断熱材に高湿度の空気が浸入した場合に、壁内低温部における結露発生が懸念される。

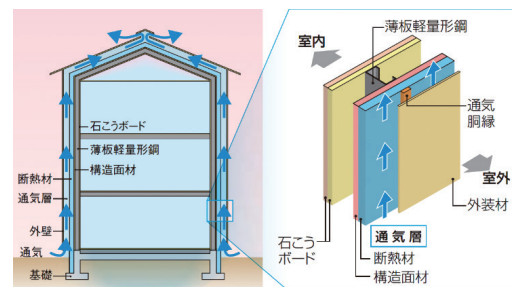
鉄筋コンクリート造では、コンクリート面を外装とし、断熱材を室内側にする場合が多い。万一、断熱材に高湿度の空気が浸入した場合に、厚いコンクリート壁を介して同空気を外気に逃がすには時間がかかり、断熱層を乾燥状態に保つのが難しい。断熱材内部やコンクリート表面の低温部での結露発生も懸念される。また、断熱材を厚くすると室内が狭くなるといった欠点もある。



出典：日本製鉄 NSスーパーフレーム工法®カタログ
図1: スチールハウス工法のパネル構造

高	断熱等級7	HEAT20 G3 UA値0.26	
	断熱等級6	HEAT20 G2 UA値0.46	⇒今回 S社新築事務所
	断熱等級5	ZEH基準 UA値0.60	
	断熱等級4	2025年 適合義務化 UA値0.87	⇒従来～SH標準
	断熱等級3	1992年 新省エネ基準	※ UA値：外皮平均熱貫流率 外部へ逃げる熱量を建物全体の外皮面積にて除した値
低	断熱等級2	1980年 旧省エネ基準	

図2：断熱等級（2025年）/UA値は6地域（東京他）の要求値



出典：日本製鉄 NSスーパーフレーム工法®カタログ
図3：SHの「外張り断熱通気工法」内部結露防止の構成

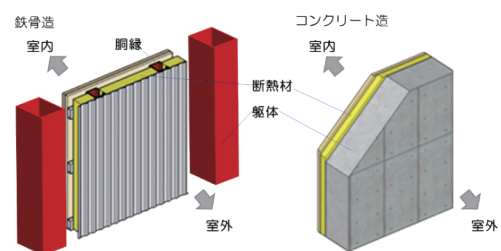


図4：一般鉄骨造（左）、RC造（右）の断熱仕様の例

3 壁内デッドスペースを利用した 充填断熱併用の仕様

省エネトレンドは、CO2排出量削減が国際的な動きとなるとともに一気に高まり2022年に等級5:ZEH（ゼロエネルギーハウス）やZEB（ゼロエネルギービル）、等級6、7が新設された（図2）。従来の最高等級の等級4は、改正省エネ基準の義務化（最低）レベルとなり、上述の「温熱性能に優れたSH」と将来にわたっていわれ続けるには、等級6以上の仕様を準備しておきたいところである。

さて、SHの断熱性能を向上させる簡単な方法は、従来の延長で外張りの断熱性能を高くすることである（図5）。例えば、等級4⇒ZEHの等級5（地域:東京）では、断熱材を最新の高性能断熱材への変更で対応できる。一方、等級6以上（関東）や、等級4でも北海道等の寒冷地仕様となると高性能断熱材を適用しても断熱層を厚くせざるを得ず、重い外装材を断熱材を介して躯体に強固に留め付けることが難しくなるとともに、厚い壁は建具との取合いやデザイン上もよろしくない。そこで、将来のさらなる高断熱化への改善・改良も見据えて、従来の外張り断熱だけに頼らず、壁内部のデッドスペースに断熱材を挿入する「充填断熱」を併用すること（図5）を、今回初めて検討し実現させた。2章の①②③の断熱の基本的考え方を変えずに次のような設計をしている。

①壁面温度均一の断熱

壁面に一様に断熱材を設置するため、充填断熱材として躯体の形鋼と形鋼の間に確実に挿入できる旭ファイバーグラス株式会社（以下、AFG社と略）のグラスウール断熱マット防湿フィルム付アクリアGPM24-50（以下、GWHGと略）を選択した。GWHGの周辺に防湿フィルムの耳があり、室内側からGWHGを形鋼間に挿入して、フィルム耳を形鋼の室内側に貼りつけることで、断熱材挿入と同時に、防湿層もできあがる仕組みである（図6）。SHの形鋼との相性が良いのは、防湿フィルムをGWHGの端から5cm程剥がすことができ、形鋼の内側にGWHGを入れることができる点である（図6）。

②内部結露の防止

室内側から防湿フィルムで壁面を完全に覆うことができれば内部結露を防止できるが、実物件では、コンセントボックスや配管孔さらには建具の取付等の想定外の加工により防湿層が破られる懸念がある。SHでは、一般の設計方法に比べて、①防湿層が破れたと仮定、②外気温をさらに低温側に設定（下記）し、より安全側の設計をしている。

設計における前提条件は、建設地の温度に応じて、住宅性能表示制度の評価方法基準（平成13年国土交通省告示第1347号）第5の5の5-1（3）「ハ結露の発生を防止する対策に関する基準」に示されている。室内（温度15℃、湿度60%）、外気（最寒月の平均気温℃、湿度70%）とする設計方法であるが、今回のSHの設計では、外気を月平均気温では

なく、日最低気温（和歌山ではさらに3℃低い値）を採用してより厳しくしている。上記条件において壁内の水蒸気圧を計算し、以下の内部結露防止の確認をしている。

〔飽和水蒸気圧〕 > 〔実在水蒸気圧〕

③壁内乾燥の維持

図7は、S社新築事務所にて採用した仕様であり、外張り・充填断熱のバランスをとり、結露しない仕様としている。参考に、図8は、充填断熱のみの場合であり、断熱材の内部～セメント板表面の範囲で結露が発生する。通気層の仕様は従来通りとしている。万一、充填断熱材のGWHGに想定外の高湿度の空気が侵入しても、面材や断熱材を透過して外側の通気層に水蒸気を放散でき、また常時においても、断熱層を乾燥できる仕組みである。以下では、2023年に和歌山市において完成した「S社新築事務所」の設計・施工の内容を紹介する。

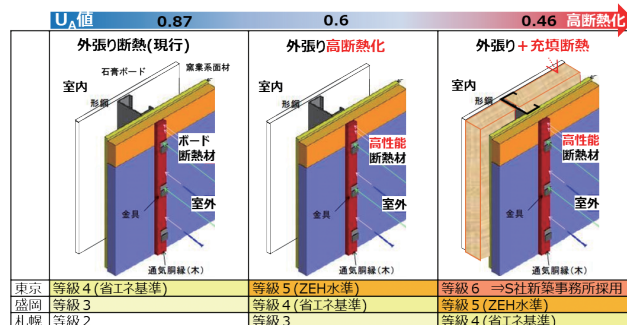


図5: SHの断熱等級・地域毎の仕様の例 右端を新採用

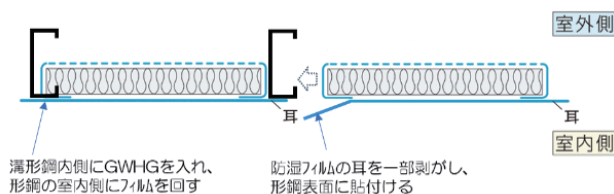


図6: 充填断熱材の仕様/GWHG断熱マット防湿フィルム付

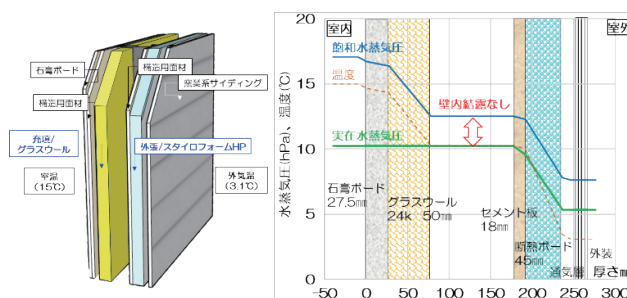


図7: 外張り+充填断熱仕様の内部結露がないことを確認

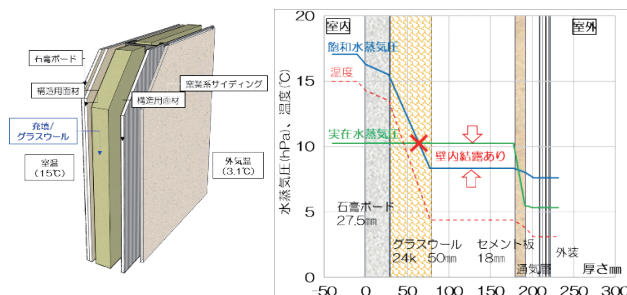


図8: 「充填のみ」の内部結露発生状況(参考)

4 SH等級6仕様： S社新築事務所の設計・建設

S社新築事務所では、健康・快適なオフィス空間の実現を目指して設計段階から、近畿大学／岩前教授にご指導いただいた。具体的な設計内容を下記に示す。

4.1 省エネ+創エネによりNearly ZEB達成

SHの事務所建築では、ほとんどの建物においてゼロエネルギービル(ZEB)の検討をしている。S社新築事務所においては当初より、屋根に太陽光発電パネルを設置する創エネルギー技術の適用を前提とし次の㊶㊷の検討を行った。

㊶省エネルギー性能(BEI) (図10)

創エネ(太陽光発電)以外で基準値より58%削減

㊷創エネルギー性能(図10)

400W太陽光モジュールを49枚設置の場合

創エネ量：205GJ/年(一次エネルギー換算値) 25%増

㊶省エネ+㊷創エネにより、基準値と比較して83%削減となり、Nearly ZEB(>75%削減)達成。

ここで、高断熱は空調設備のエネルギー削減に貢献している。断熱性能以外にも、事務所のエネルギー削減では、エアコンや窓サッシ等建具による空調エネルギー削減や換気・照明・給湯・昇降機のエネルギー削減があり、設備設計による大きな影響がみられる(図10)。近年は、設備メーカーが、様々なハイテク省エネ機器を開発しており、当社はこれらの最新設備を最適にアレンジしている。

4.2 等級6の断熱材および厚さの設定

断熱設計は、当社が直接、改善・改良できる範疇であり、3章では、外張り+充填断熱の仕様を3つのコンセプト①壁面温度均一の断熱、②内部結露の防止、③壁内乾燥の維持に基づく設計方法を示した。ここではS社新築事務所における設計仕様を詳細に示す。

外張り断熱の設定

前述のように、内部結露防止には外張り断熱をリッチにすることが重要である。今回の設計では、最初に、限界まで外張り断熱を高性能かつ増厚し、それでも要求される断熱性能に達していない分を充填断熱で補填している。外張り断熱材は、最高性能のデュボン・スタイロ社のスタイロフォームHP(以下、HPと略)とした。外装材を強固に接合できる厚さの限界として、壁：45mm、屋根：60mmとした。

充填断熱の設定

外張り断熱に加えて充填断熱の厚さを変数(0mm～100mm)として検討した(図12)。S社新築事務所は3階建てであり、建物を覆う面積は屋根に比べ壁が大きいので、壁の断熱材を厚くするほうが効果は大きい。壁のGWHG厚0→50mmによるUA値の低下率のほうが、屋根のGWHG厚0→50mmの場合より効果がある。これらを踏まえ、等級6の

UA値(外皮平均熱貫流率：外部へ逃げる熱量を建物全体の外皮面積にて除した値)を0.46以下にする仕様として以下を設定した。

屋根：外張り HP 60mm、充填 なし

壁：外張り HP 45mm、充填 GWHG50mm



図9：S社新築事務所の完成写真(2023年7月)

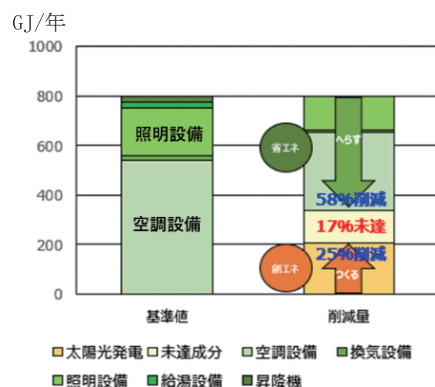


図10：S社新築事務所のNearly ZEB達成の内訳

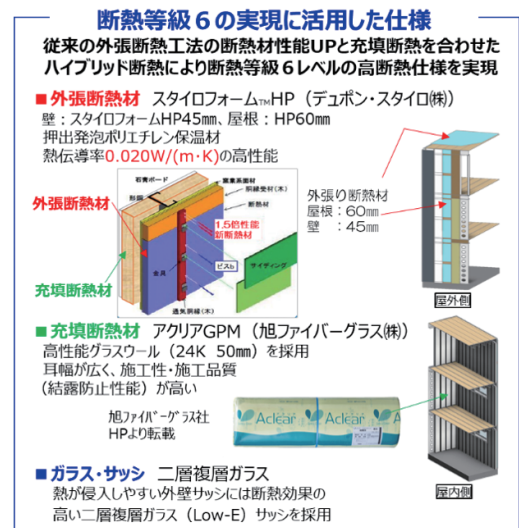


図11：断熱等級6仕様の内訳

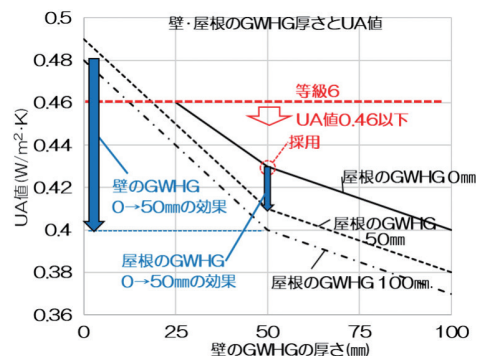


図12：壁と屋根の充填断熱厚さの検討

4.3 SH初の充填断熱、AFG社による施工指導実施

上記のGWHG挿入方法、防湿フィルムの耳の接着、コンセントボックスや配管部の防湿措置について、AFG社による指導会を実施し、安全に、かつ、瑕疵のない施工を実現した(図13)。



図13：AFG社による施工指導

4.4 高断熱化に伴う空調パワーの設定

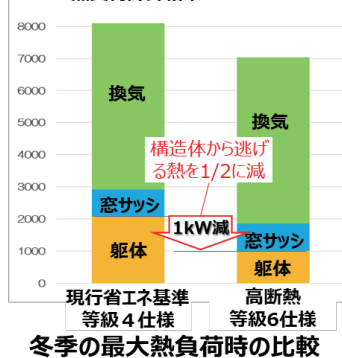
建物躯体の断熱仕様、窓や換気設備の仕様により、各室の暖房の必要パワーを設定した。2階事務室を例に、下記の条件にて冬季の最大負荷時に熱負荷を計算した。

- 対象室：面積134.2m²、天井高2.55m、最大人員27名
- 室温湿度：冬季22℃湿度40%

図14では、等級6の場合、構造体から逃げる熱は等級4に比べ約1/2、熱負荷は1,063W低減、暖房パワーは13%減となる。また、今回は採用していないが、さらなる省エネ+良好な温熱環境の実現には、断熱性能の向上に加えて、全熱交換タイプの換気等の省エネ・ハイテク設備設計技術も重要であることもわかる。

SHの高断熱化による省エネ効果

場所：和歌山 執務室134m²
熱負荷計算結果



対象：S社新築事務所
2階執務室
面積：134.2m²
天井高：2.55m
最大人員：27名
室温：冬季22℃
湿度：40%

換気：第三種機械排気

図14：冬季の最大負荷時の熱負荷計算結果

5 S社新築事務所の 冬季・夏季の温度測定結果

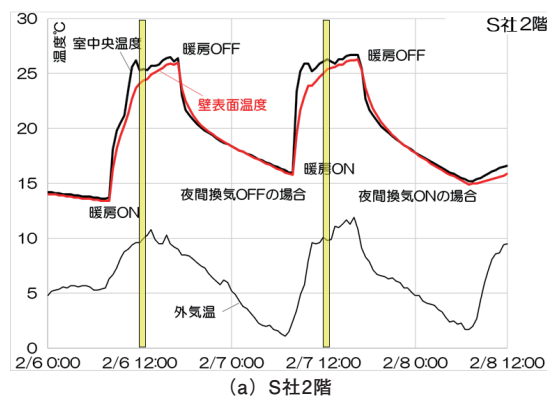
今回の断熱等級6仕様のS社新築事務所（以下、S社と略）と、3年前に竣工した断熱等級4仕様の自社研修所（所在地:大府、以下、大府と略）の冬季の温度測定結果を比較

し図15に示す。測定箇所は室内温度と壁表面温度ならびに外気温である。S社と大府では、場所・日時・設備機器・執務状況等に違いがあるものの、壁表面温度と室温の差により、壁の断熱性能を大凡評価できる(図15a,b)。いずれも平日の8時前後に空調ON、18時以降に空調OFFとした2日間を抜出している。黄色の網掛けの正午付近では、外気10℃程、室内25℃程であり、大府の壁表面温度(図bの青線)に比べてS社の壁表面温度(図aの赤線)のほうが室温に近いことがわかる。一般に、人が感じる温度は、壁面の輻射熱にも影響され、室温と壁面温度の大凡平均といわれていることからS社のほうが快適であるといえる。

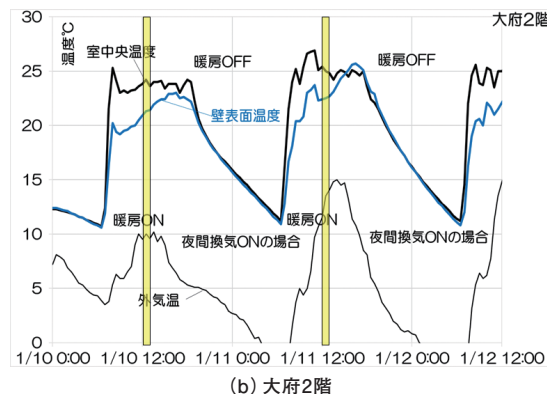
次に壁内の温度分布の計算結果(図16a,b)と照合する。いずれも外気温10度、室温26℃としており、図aのS社では、外張り断熱と充填断熱の効果が大きく(温度差大)、室内の空気と壁表面での熱伝達による温度差が小さいことがわかる。一方で、図bの大府では外張り断熱の効果はS社ほど高くなく、室内の空気と壁表面温度差が若干大きいことがわかる。上述の測定結果と同じ傾向にある。

測定結果に戻る。図17に冬季の室内上,中,下の温度と外気温の推移を示す。S社(左)は大府(右)に比べて室内温度差も小さいことがわかる。いずれも天井からの空調による足元の温度が低い状況については、今後の課題である。

最後に、図18,19に夏季の室内中央温度、壁表面温度ならびに室内上,中,下の温度の推移を示す。夏季も冬季と同様に、S社の壁表面温度が室温に近く、室内温度差も小さいことから快適な空間であるといえる。

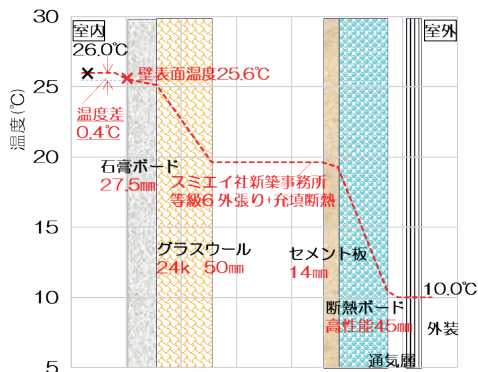


(a) S社2階

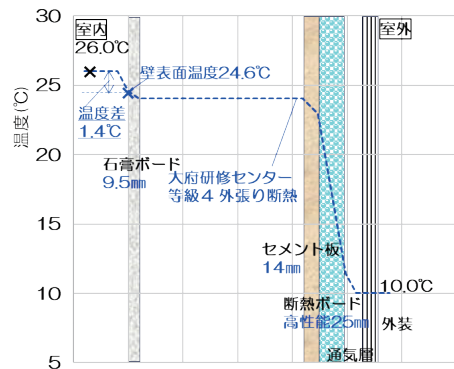


(b) 大府2階

図15：冬季 室内中央温度、壁表面温度、外気温の推移

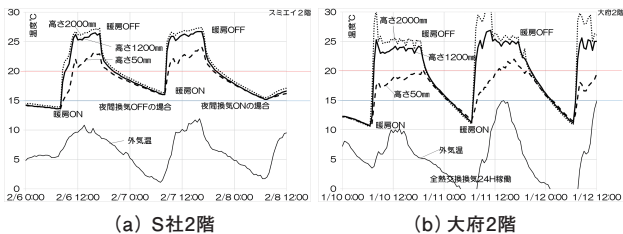


(a) S社 (等級6仕様)

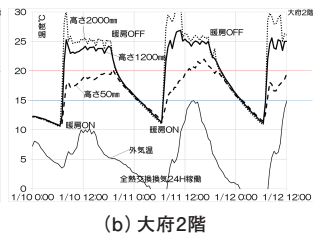


(b) 大府 (等級4仕様)

図16: 壁の温度分布計算比較 (等級6仕様と等級4仕様)

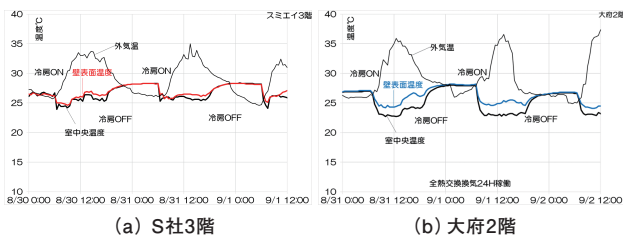


(a) S社2階

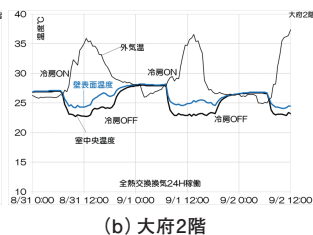


(b) 大府2階

図17: 冬季 室内上、中、下の温度、外気温の推移

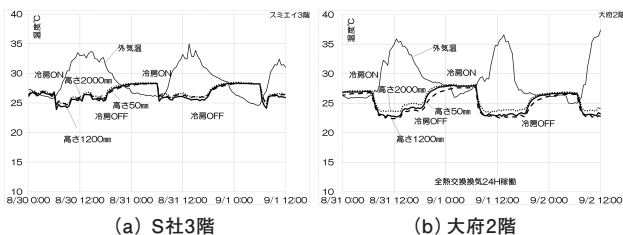


(a) S社3階

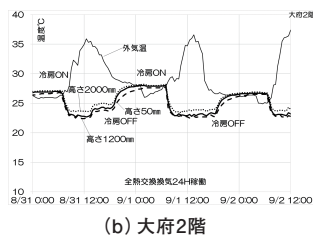


(b) 大府2階

図18: 夏季 室内中央温度、壁表面温度、外気温の推移



(a) S社3階



(b) 大府2階

図19: 夏季 室内上、中、下の温度、外気温の推移

6 まとめ

S社新築事務所の建設にあたり、優れた温熱性能といわれてきたSHの断熱仕様を事務所向けに改善・改良し、外張り断熱と充填断熱を併用することにより同性能を2倍以上に向上させた。本報告では、SHの断熱コンセプトである①壁面温度均一の断熱、②内部結露の防止、③壁内乾燥の維持を紹介し、これらを踏襲した新たな断熱仕様 (外張り+充填断熱) の構築と、その設計方法、さらに、実測による性能確認を示した。近年のカーボンニュートラルへの移行や急激な気候変動さらに健康・快適な指向を踏まえると、将来には、さらなる省エネ+良好な温熱環境が求められると推測でき、これらの要求に応えられるように、断熱性能の向上に加え、ハイテク・省エネ設備等のトータルの設計技術力を高めていく必要がある。

最後に、スチールハウスの断熱設計技術の確立及び改善への取り組みにあたり、近畿大学建築学部 岩前篤教授ならびに研究室の皆様にご指導いただきました。株式会社スミエイ殿には、スチールハウスの新たな等級6仕様のご採用ならびに竣工後の温度測定にも快諾いただきました。日本製鉄株式会社 建材薄板室殿、NSハイパーツ株式会社殿には、NSスーパーフレーム工法®の新たな断熱仕様の設定にあたり多大なご協力をいただきました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) TEXENG Report2020 No.003
スチールハウスによる保育所建設における取組と今後の展開
- 2) TEXENG Report2023 No.006
スチールハウスの性能・強みを活かしたSH-ZEB提案
- 3) TEXENG Report2024 No.007
スチールハウス (NSSF™) 工法の商品力・魅力向上 (意匠性・施工性) への取り組み
- 4) 日本製鉄技報 第405 (2016) 土木建築技術特集
スチールハウスの設計・施工の実際と今後の取組み
- 5) 日本製鉄技報 第420 (2023) 建設技術特集
建材薄板商品の多様化/省資源で施工性と断熱性能に優れたスチールハウス

お問い合わせ先

建設事業部

【メールの場合】:

more_information-kensetsu@tex.nipponsteel.com