

2.8 松栄建設（株）／（一社）YUCACO システム研究会

1. 建築物の仕様一覧

事業名		松栄建設本社・高性能CLTオフィス建築の実証事業		
実施者（担当者）		松栄建設株式会社／（一社）YUCACOシステム研究会		
建築物の概要	用途	事務所		
	建設地	福井県坂井市		
	構造・工法	CLT工法、在来軸組工法		
	階数	2		
	高さ（m）	7.75		
	軒高（m）	6.95		
	敷地面積（㎡）	1976.08		
	建築面積（㎡）	204		
	延べ面積（㎡）	408		
	階別面積	1階	204	
	2階	204		
	3階	0		
CLTの仕様	CLT採用部位		壁、床、屋根	
	CLT使用量（㎡）		加工前製品量133.00㎡、建築物使用量119.00㎡	
	壁パネル	寸法	150mm厚	
		ラミナ構成	5層5プライ	
		強度区分	S60A相当	
		樹種	スギ	
	床パネル	寸法	210mm厚	
		ラミナ構成	5層7プライ	
		強度区分	Mx60A相当	
		樹種	スギ	
屋根パネル	寸法	150mm厚		
	ラミナ構成	5層5プライ		
	強度区分	S60A相当		
	樹種	スギ		
木材	主な使用部位（CLT以外の構造材）		柱：WW 梁：WW	
	木材使用量（㎡）※構造材、羽柄材、下地材、仕上材等とし、CLT以外とする		23.51㎡	
仕上	主な外部仕上	屋根	ハゼ式折版葺き t=0.8 山高170 水勾配1/100	
		外壁	防火サイディング(ア)14、ニュー角波鉄板張り	
		開口部	アルミサッシ+三層複層ガラス（Low-E、断熱ガス、日射遮蔽型、中空層幅16mm）	
	主な内部仕上	界壁		
		間仕切り壁	下地45mm PB12.5m クロス貼	
		床	下地30mm+構造用合板(ア)12+タイルカーペット敷き(ア)6	
	天井	軽天地下+ジプトーン9.5		
構造	構造計算ルート		保有水平耐力計算(ルート3)、許容応力度計算(ルート1)	
	接合方法		ビス接合+U字金物	
	最大スパン		6m	
	問題点・課題とその解決策		告示金物の量が多い為、建て方後のビス打ちに時間がかかる。長尺スクリーの方が後施工が省ける為、施工性が良い	
防火	防火上の地域区分		その他地域	
	耐火建築物等の要件		無	
	本建築物の防耐火仕様		無	
	問題点・課題とその解決策			
温熱	建築物省エネ法の該当有無		届け出対象	
	温熱環境確保に関する課題と解決策		CLTパネル同士の接合部における隙間の処理としてテープ処理を施工	
	主な断熱仕様（断熱材の種類・厚さ）	屋根（又は天井）	硬質ウレタンフォームA種3(ア)200mm	
		外壁	高性能・押出法ポリスチレンフォーム 保温板 1種・40mm	
床		硬質ウレタンフォームA種3(ア)50mm		
施工	遮音性確保に関する課題と解決策			
	建て方における課題と解決策		土台伏せ時のレベル調整	
	給排水・電気配線設置上の工夫			
工程	劣化対策			
	設計期間		H29.1月～9月（9ヵ月）	
	施工期間		H29.10月～H30.1月（3ヵ月）	
	CLT躯体施工期間		H29.11月初旬～中旬（1週間）	
竣工（予定）年月日		平成30年1月22日		
体制	発注者		松栄建設(株)	
	設計者（複数の場合はそれぞれ役割を記載）		M.A.建築設計事務所	
	構造設計者		(株)日本システム設計	
	施工者		(株)SR	
	CLT供給者		(株)中東、山佐木材(株)	
ラミナ供給者		中西木材(株) 福井県産材		

実証事業名： 松栄建設本社・高性能CLTオフィス建築の実証事業

実施者／協議会運営者または担当者：松栄建設（株）／（一社）YUCACO システム研究会

1. 実証した建築物の概要

用途	事務所		
建設地	福井県坂井市		
構造・工法	CLT工法（一部、木造軸組工法）		
階数	2		
高さ（m）	7.75	軒高（m）	6.95
敷地面積（㎡）	1976.08	建築面積（㎡）	204.00
階別面積 （㎡）	1階	204.00	延べ面積（㎡） 408.00
	2階	204.00	
	3階	—	
CLT採用部位	外壁、間仕切壁、2階床、屋根		
CLT使用量（m ³ ）	加工前製品量 133 m ³ 、加工後建築物使用量 119 m ³		
CLTを除く木材使用量（m ³ ）	24 m ³		
CLTの仕様	（部位）	（寸法／ラミナ構成／強度区分／樹種）	
	壁	150mm厚/5層5プライ/S60/スギ	
	床	210mm厚/5層7プライ/Mx60/スギ	
	屋根	150mm厚/5層5プライ/S60/スギ	
設計期間	H29.1月～9月（9ヵ月）		
施工期間	H29.10月～H30.1月（3ヵ月）		
CLT躯体施工期間	H29.11月（7日間）		
竣工（予定）年月日	H30年1月22日		

2. 実証事業の目的と設定した課題

CLT建築を促進するためには、CLT建築の設計・施工において現代社会のニーズに応えられる技術向上が必須である。現代社会のニーズとは、様々な災害に対する安全性の確保、地球温暖化防止のための「省エネ性」・「創エネ性」・「木材利用」・「耐久性」などに対する取り組み、さらには、機能性・快適性の確保や合理的な施工によるコスト縮減などであり、一言でいえば「高性能化」や「高度化」と言われるものと考えられる。こうした様々な高性能化や高度化を一挙に成し遂げることは難しいが、本実証事業においては、高性能化に関わる技術開発として、構造分野では「CLT建築における長尺スクリー接合仕様の開発と評価」を、環境分野では「断熱・気密性能の評価と全館空調システムの性能検証」を取り上げ、CLT建築の普及・促進に資することを目的とした。課題は、以下の4つである。

①長尺スクリー接合仕様の試験と構造設計ルート確立：CLTの施工は、現行の建築基準法告示においてはU字又はL字金物などが主体となっている（いわゆる「告示金物工法」）

が、EU等では改良が進み、スクリーや簡易型接合金物を用いたより簡単な施工に移行し、施工の合理化と省力化が実現している。それゆえ、本事業では、長尺スクリー接合仕様について、建築基準法・告示に応じた接合部パネ特性を試験によって把握し、告示に従った構造設計を行って実際に建物を建設し、告示に従った構造設計ルートを確認する。

②長尺スクリー接合工法の施工性評価：CLT 長尺スクリー接合工法（A棟）、及び、CLT 告示金物工法（B棟）を用いて実際に建物を建設し、両者の施工性について比較・評価を行い、長尺スクリー接合工法の省力性・合理性などを調べる。

③CLT 建築の断熱・気密性能の測定評価：CLT 建築は、木質のパネル工法であるので断熱・気密性能の点では有利であると考えられている。しかし、日本においてはまだ測定評価を行った事例はないので、ここで実測を行って断熱・気密を確認し、課題があれば示す。

④高性能オフィスに最適な全館空調システムの導入とその性能検証：高断熱の CLT 小規模オフィスは日本では類例がなく、その空調システムについてはどのようなものが適しているか、検討はされていない。省エネ性能が高く妥当なコストの空調システムとして、本実証事業では床チャンバー方式の全館空調システムを導入し、その性能検証を行う。

3. 実証事業の実施体制（または協議会構成員）

【設計】M. A. 建築設計事務所：由比浩夫

【構造設計】(株)日本システム設計：三宅辰哉

【施工】(株)SR：小角裕一

【CLT 製造】(株)中東、山佐木材(株) 【長尺スクリーの金物提供】若井産業(株)

【性能検証】(一社)YUCACO システム研究会、松栄建設(株)

4. 課題解決の方法と実施工程

<協議会の開催>

H29.1.23：第1回開催、プラン計画、全体計画の打合せ

3.27：第2回開催、プラン、試験体案・加工構成の確認、全体スケジュール確認

4.25：第3回開催、プラン確認、試験体C案に決定

4.28：第4回開催、平面プラン決定、計算ルートの確認、試験のスケジュール、試験体加工構成確認

6.23：第5回開催、全体スケジュールの確認、意匠図・構造図の照合

8.21：第6回開催、実施設計進捗確認、確認申請機関に事前相談

10.10：第7回開催、工事進捗確認

11.13：第8回開催、工事進捗確認

<設計>

H29. 1～6月：基本設計、架構構成 7～8月：実施設計

8.31：適合判定事前提出 9.20：建築確認申請提出 9.29：適合判定申請書提出

<施工>

H29.3.30:工事契約 10月:地盤改良・基礎工事 11～12月:本体工事 12月:設備工事

<接合部試験>

H29.5～7月：接合部圧縮試験、引張り試験、せん断試験、認証の取得

<温熱関係の性能確認>

H30.1月～2月：気密性能・断熱性能の測定 H30.2月～：全館空調システムの性能測定

5. 得られた実証データ等の詳細

①長尺スクリー接合仕様の試験は17ケース行い、告示ルート3の構造設計において必要となる接合部パネなどを設定した。試験結果の一例を図1に示す。

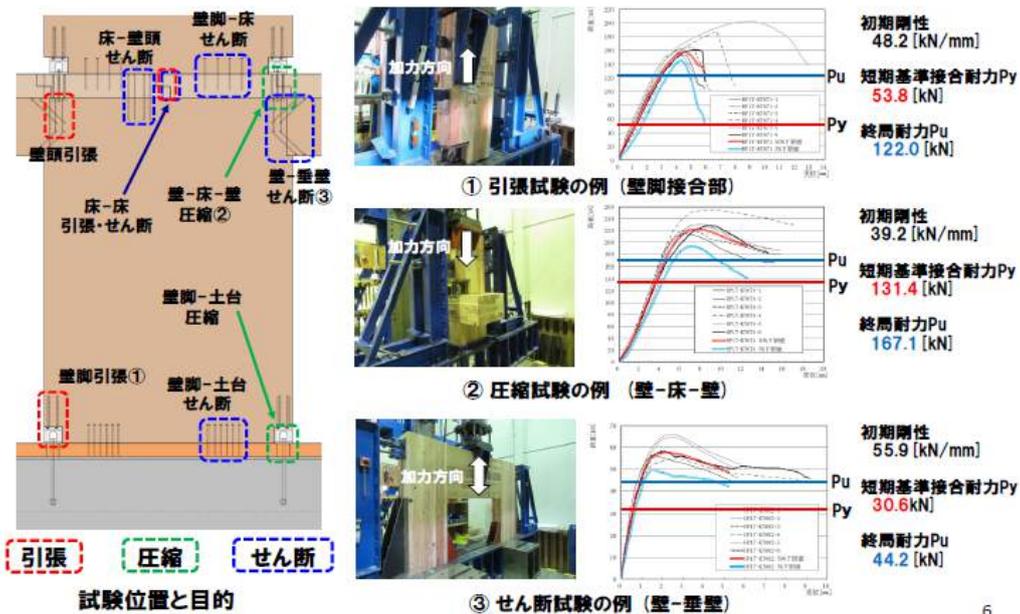


図1 長尺スクリー接合仕様の接合部試験の一例

②本事業における CLT 建物の建設工事の経験から、長尺スクリー接合法 (A 棟) は、告示金物工法 (B 棟) と比較して、接合仕様の材料費がやや安く、且つ、CLT の建入れ時の調整が容易であり、上棟後にビス打ちが不要であるなどの利点を有していることが分かった。また、上棟のための施工時間は両者ともそれほど差がないことも確認できた。

③本実証事業で建設した高断熱の CLT 建築の全体の気密性能を実測した。実測された C 値 (床面積あたりの相当隙間面積) は 2.3c m²/m²であった。また、断熱性能については、U_A 値 (外皮の平均熱貫流率) の設計値は 0.322W/(m²・K)、実測値は 0.31W/(m²・K)であった。両者の実測において取得したデータを図2と図3に示す。また、建物全体の熱画像写真を

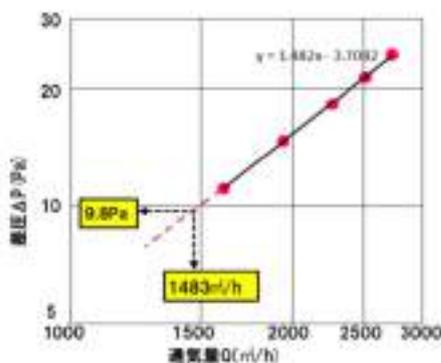


図2 気密性能の実測でのデータ

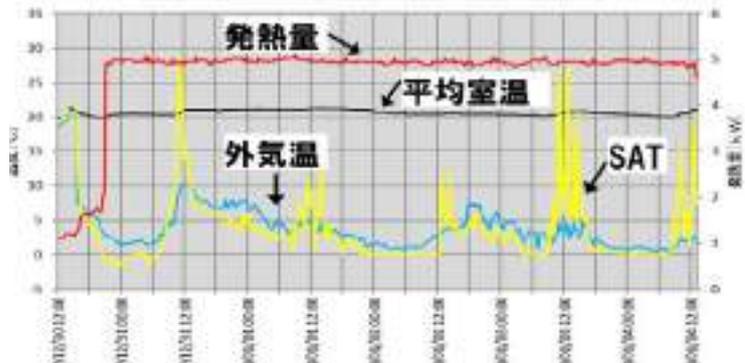


図3 断熱性能の実測でのデータ

撮り、熱漏れがないか確認した。また、外皮の熱画像写真から U_A 値を実測した。

④高性能オフィスに最適な全館空調システム(YUCACO システム)の導入し、その性能検証を行うとともに、年間のエネルギー消費と室内環境の実測に着手した。

6. 本実証により得られた成果

①長尺スクリー接合仕様の接合部試験を行い、建築基準法・告示に従った構造設計計算に必要な接合部バネのデータを取得すると共に、それらを使用して3次元応力解析を行い、長尺スクリー接合仕様に対する構造設計ルートを確立した。

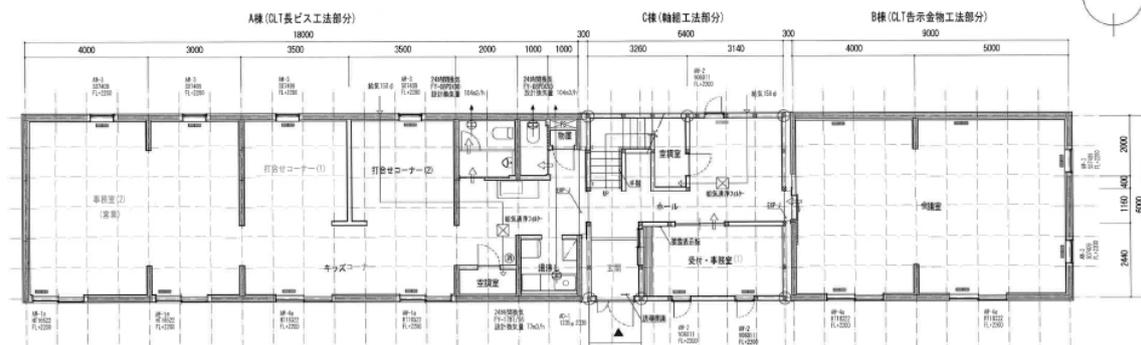
②長尺スクリー接合工法及び告示金物工法を用いて建物を建設し、長尺スクリー接合工法の施工性は、告示金物工法よりやや優れていることを確認した。

③CLT 建築の気密性能を実測し、CLT の工法自体には大きな問題はないことを確認した。断熱性能についても Q 値の実測を行い、実測値と設計値(計算値)がほぼ一致しており、CLT 建築においても高断熱化は問題がないことが実証された。

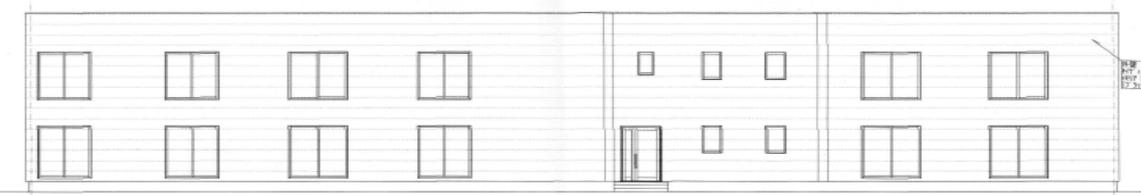
④高性能オフィスに最適な全館空調システムの導入し、その性能検証を行い、設計通りの性能が発揮されていることを確認した。省エネルギー性能については平成31年2月まで実測を行い評価する予定である。

7. 建築物の平面図・立面図・写真等

【1階平面図】



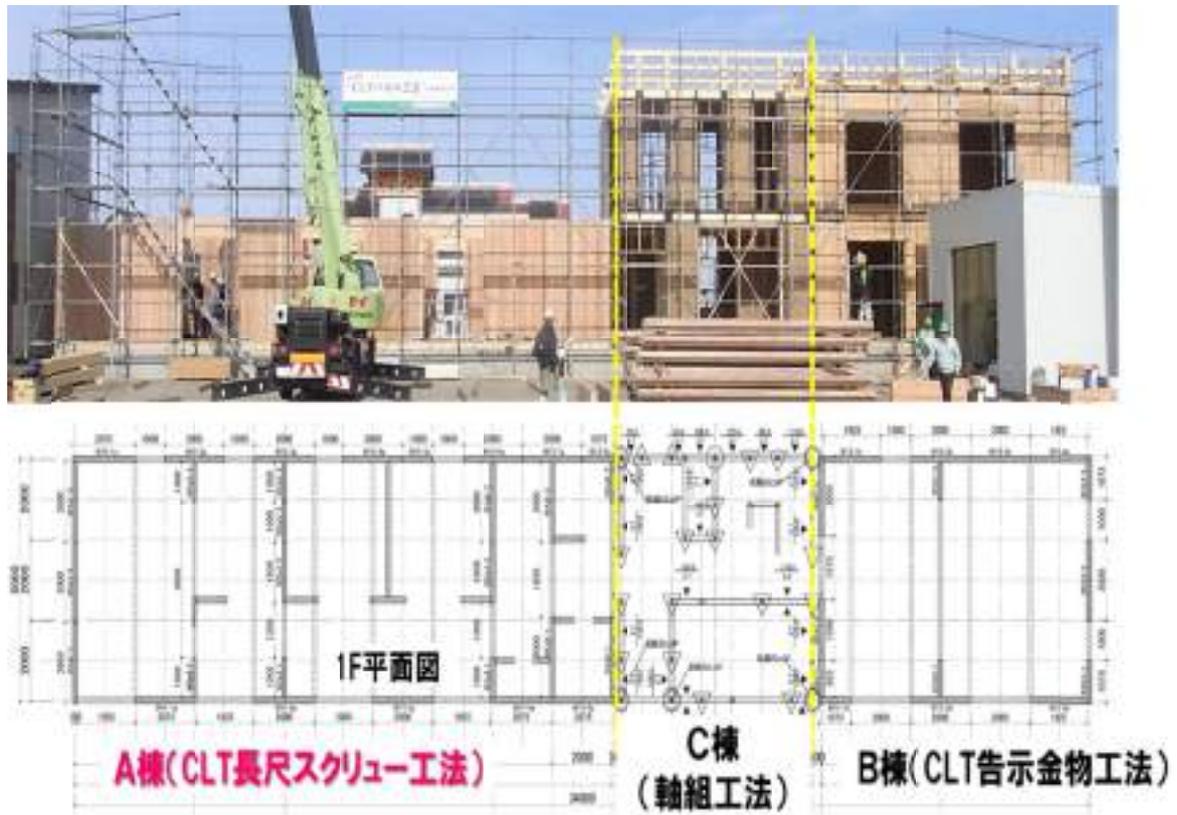
【南面の立面図】



【南面全景写真】



1：長尺スクリー接合仕様試験、構造計算ルートの確立



- ・この建物は構造・工法が異なる3つの棟に分かれて建設。

A棟：CLT長尺スクリー工法

B棟：CLT告示金物工法

C棟：在来軸組工法

黄色の破線が各棟の境界を示す。

各工法の堺はエキスパンションジョイント。

- ・設計ルート

A棟(CLT長尺スクリー工法)：ルート3

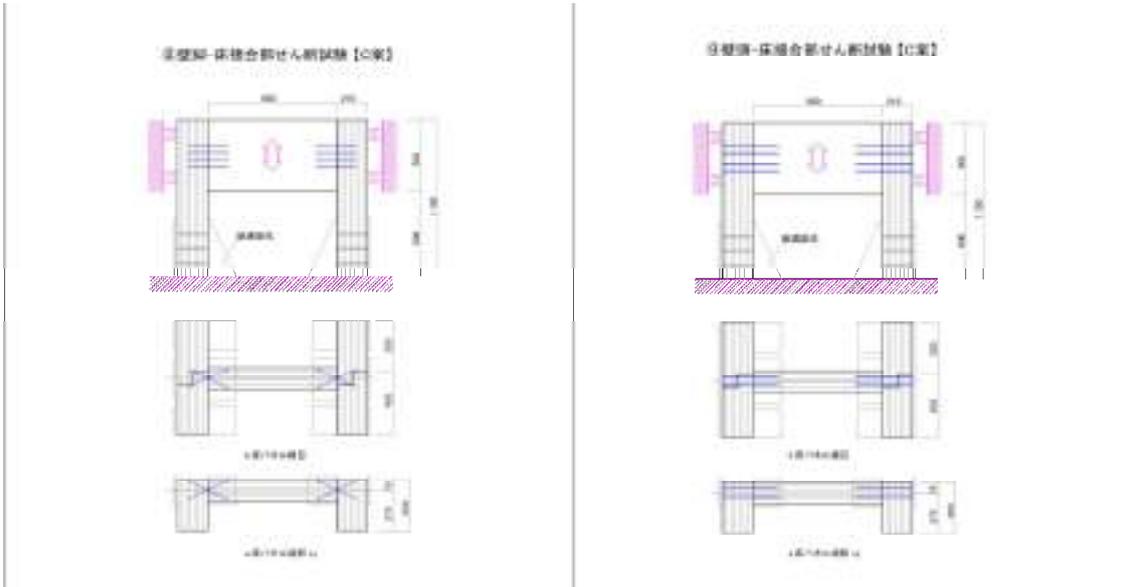
B棟(CLT告示金物工法)：ルート1

C棟(在来軸組工法)：ルート1

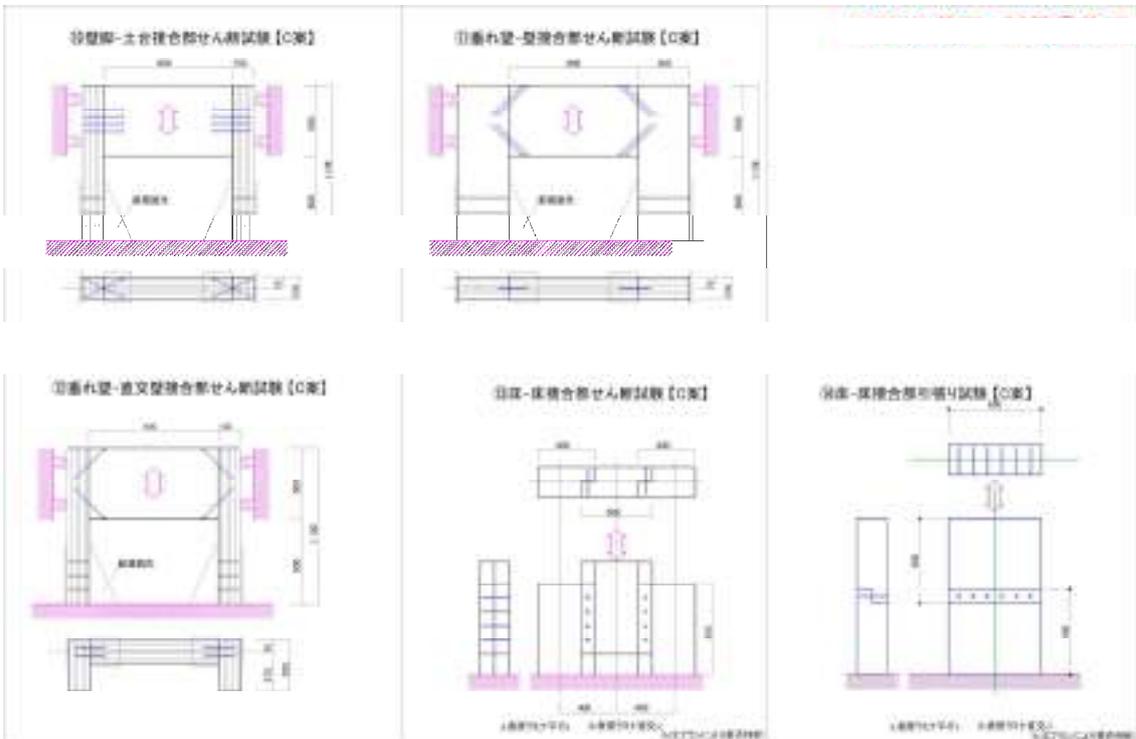
- ・基礎

全て一体でルート3で設計

- ・C棟は、CLTで建てたA棟とB棟の間の緩衝躯体として想定して建てたもので、施工中の予期せぬ事態を避ける為。

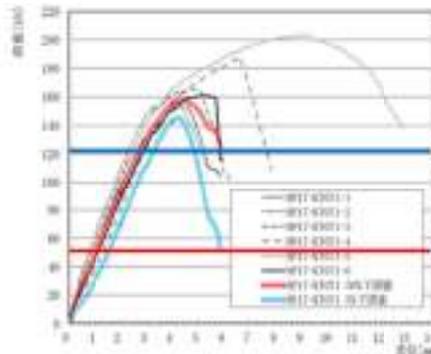


株式会社日本システム設計 有限 会社				図面番号	01-001	図名	01-001	図尺	1/20	単位	mm
株式会社日本システム設計 有限 会社				作成者	田中 浩二	承認者	田中 浩二	図面内容	01-001	図名	01-001



株式会社日本システム設計 有限 会社				図面番号	01-001	図名	01-001	図尺	1/20	単位	mm
株式会社日本システム設計 有限 会社				作成者	田中 浩二	承認者	田中 浩二	図面内容	01-001	図名	01-001

- ・試験風景、試験耐力

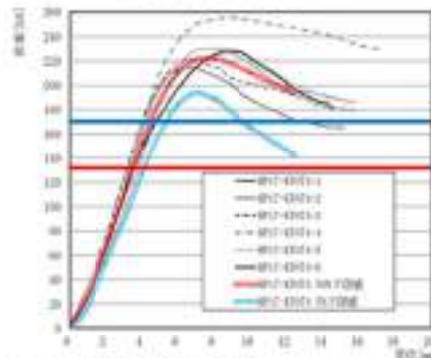


初期剛性
48.2 [kN/mm]

Pu 短期基準接合耐力Py
53.8 [kN]

Py 終局耐力Pu
122.0 [kN]

① 引張試験の例 (壁脚接合部)

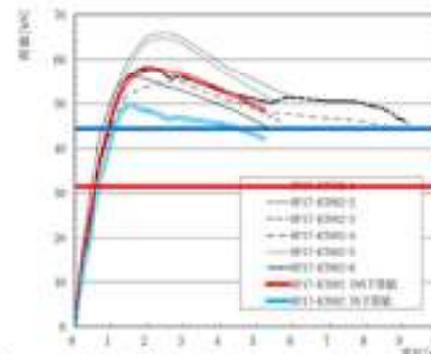


初期剛性
39.2 [kN/mm]

Pu 短期基準接合耐力Py
131.4 [kN]

Py 終局耐力Pu
167.1 [kN]

② 圧縮試験の例 (壁-床-壁)



初期剛性
55.9 [kN/mm]

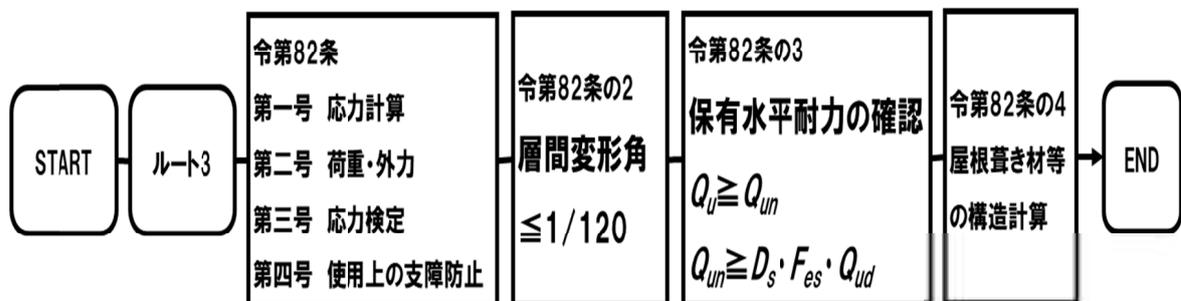
Pu 短期基準接合耐力Py
30.6 [kN]

Py 終局耐力Pu
44.2 [kN]

③ せん断試験の例 (壁-垂壁)

- ・これらの試験結果に基づいて、接合部のバネ特性を設定。
- ・試験方法及び評価方法 2016 年度 CLT を用いた建築物の設計施工マニュアル 第 10 章」に準拠。

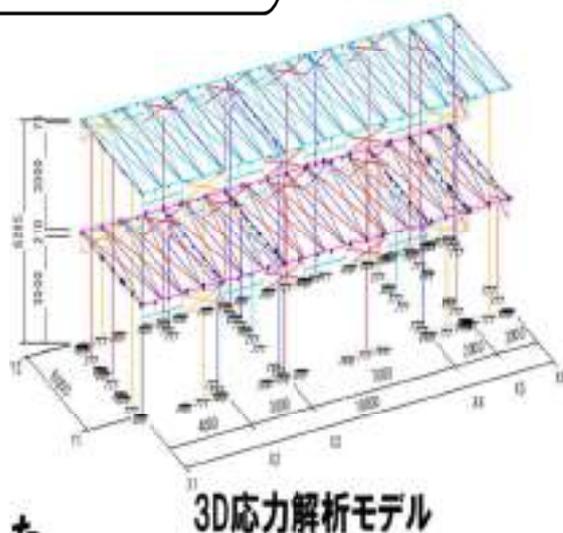
A棟(CLT長尺スクリュー工法の部分)の構造設計ルート



各接合部における接合試験を行い、
その結果と評価に基づき、
3次元応力解析モデルを作成した。

3次元応力解析を実施し、
各部の応力と変形を特定した。

応力と変形が許容値以内であることを検定した。



- A棟はルート3で設計。
- 令第82条から令第82条の3の検定を実施するにあたり、3次元応力解析モデルによる解析を行って、各部の応力と変形を特定。
- 3次元応力解析モデルを作成し、解析を行うためには、長尺スクリュー接合仕様における接合部バネの特性が必要。
- 本設計では、接合部試験を行い、その試験結果と評価に基づき、接合部バネを設定し、3次元応力解析モデルによって解析。

2：長尺スクリー接合工法の施工性評価



壁パネル建て込み



壁パネル（壁脚、壁頭金物取付）



長尺スクリュー施工状況（壁-垂壁）



2階の床パネル敷き込み

「長尺スクリュー接合仕様」の施工性評価		
	A棟(長尺スクリュー)	B棟(告示金物)
金額	B棟の0.87倍	A棟より1.15倍
上棟時	長尺スクリューの打込み完了 CLTの建入の調整が容易	告示金物のビスが仮止め状態 CLTの建入の調整が難解
上棟後	特になし	ビス打ちには25人/坪が必要
上棟施工時間	なし	なし
仕上げ	金物自体がCLT内で収まっているので通気も可能	CLTよりも金物が出てきてしまうので、下地調整が必要 (内側も外側も)
備考	<ul style="list-style-type: none"> ・接合箇所によって、スクリューの長さ、角度によって調整できる。 ・現在の規格が日本ではない為、価格が高騰しているが日本で製造できれば価格も抑えられて活用されやすい。 ・現在の建築基準法ではスクリューを使う場合、各接合部の試験が必要。(コスト、日数がかかる) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ビスの打込み本数が多い為、上棟後のビス打ちに時間がかかる。上棟時の建入調整が難しい。 ・1F壁脚の金物取付時、土台の裏の穴あけ等手間がかかる。 ・壁パネルと金物の間にクリアがある為、ビスの打つ方向により壁パネルのズレが生じる。(クリアがないと逆にはいりにくい)

・接合金物金額比較

A棟、B棟の接合金物の金額に対して坪単価を算出し、金額比較したもの。

長尺スクリューの方が15%程安価

・土台伏せ時

告示金物の場合：土台の裏にアンカーボルト、ナット分を傷めないと収まらない部分があり、時間がかかる。

土台のサイズが90限定の金物しかなくて、土台の天端を他の工法と合わせるのが難しい。

共通：アンカーボルトの箇所(16mm)が多く、位置についても制度が求められる。

・上棟時の施工性比較

長尺スクリューの場合

- ・壁パネルの建入調整がボルトの締め込み具合で調整できる。
- ・スクリューの本数が告示のビスに比べて少ない為、時間がかからない。
- ・長尺スクリューを打ち込む時、現場作業に危険が生じる。

告示金物の場合

- ・上棟時にビスを全て打込むのは時間がかかってしまうので、数本だけの打込み。
- ・壁脚金物のクリアの分でパネルのズレが生じる。
逆にクリアがないとパネルが収まらない所もでてくる。
- ・建入の調整が困難。

上棟時間を比較すると坪単位の時間はほぼ同じであるが、上棟後に告示金物の方は5人
工を要する。

・仕上げ

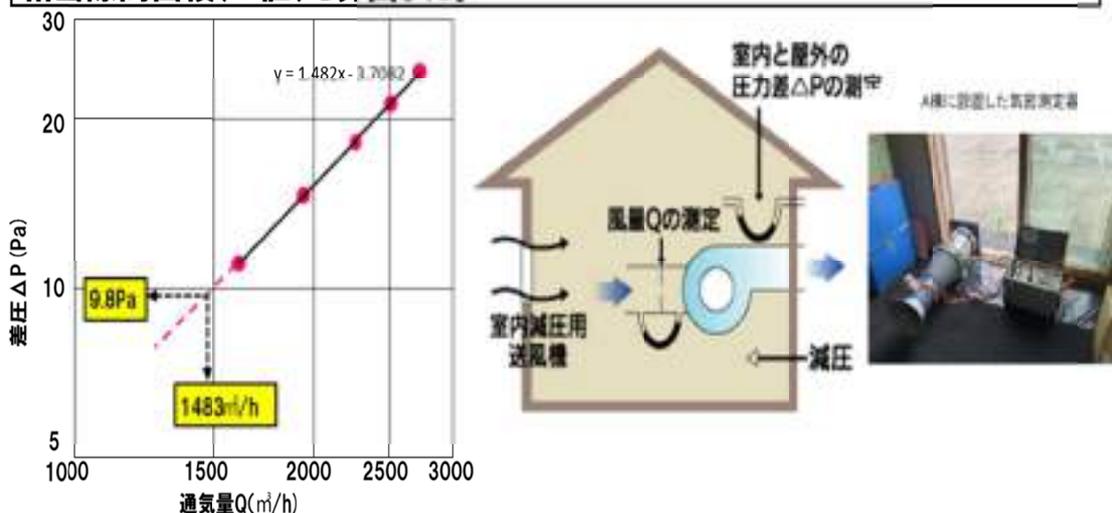
告示金物はパネルの外側に金物がでてくるので、何かしらの下地が必要。(パネルの内
外両方) 一方長尺スクリューの場合、パネルの面で収まるので、下地不要。

壁パネルの厚みが150mmあり、それに下地の厚みをたすと、壁厚がおおきくなりす
ぎる。

3 : CLT 建築の断熱、気密性能の測定評価

気密性能の実施と評価

A棟とC棟に送風ファンを設置し、二つのファンの合計風量と差圧の平均値から
相当隙間面積(C値)を算出した。



基礎式 $Q = 0.36 \alpha A (2\Delta P / \rho)^{1/n}$
 測定結果から上図を描き、近似式から、
 $n = 1.48$ と $Q_{9.8} = 1483 \text{ m}^3/\text{h}$ を得る。
 $\alpha A = 0.7 \times Q_{9.8} = 1045 \text{ cm}^2$
 よって、 $C = \alpha A / S = 2.3 \text{ cm}^2/\text{m}^2$

2 < C < 5であり、予想ほど
 気密性は高くなかった。棟
 間の気密施工が不十分な
 ためか？

- ・一般に実施されている気密性能測定(JIS A 2201)の結果は、送風ファンで建物内外に圧力差を創り出したときの、差圧と通気量を測定したグラフ。
- ・この測定結果から、いわゆるC値(床面積あたりの相当隙間面積)を求めると、2.3c m²/m²となる。

- ・以前、省エネ基準の基準となっていた、寒冷地は2以下、それ以外は5以下という基準値、及び、この建物が気密化しやすいと考えられる CLT パネル工法で建てられている事を勘案すると、やや不十分な気密性のように感じる。
- ・この原因は、十分に検証されているわけではないが、A棟とC棟、及び、B棟とC棟とのジョイント部分の気密施工が不十分であったことにあると想像される。

断熱仕様と UA 値(計算値)

・断熱仕様

屋根：A棟、B棟C棟共通(下記の表参照)

外壁：A棟、B棟 南面 木質繊維断熱材40mm

南面以外 ウレタンA種100mm

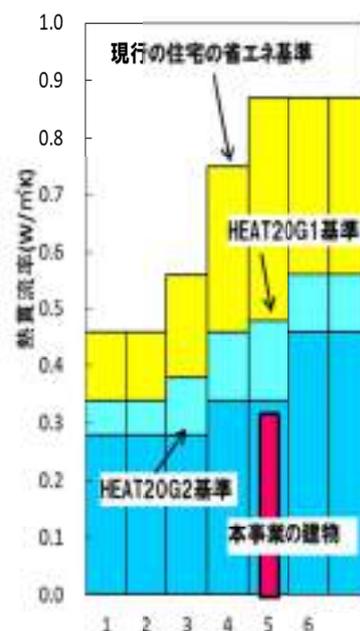
C棟 ウレタンA種100mm

窓： A棟、B棟C棟共通南面 樹脂サッシ2層ガラス+密閉空気層+木製インナーサッシ3層ガラス

南面以外 樹脂サッシ3層ガラス

基礎：A棟、B棟C棟共通(下記の表参照)

部位	主たる仕様	U値 W/m ² K	面積 m ²	熱損失量 W/K
屋根	鋼製折板0.8mm+CLT150mm +ウレタンA種200mm+石膏ボード9.5mm	0.154	204	31.6
外壁	[A棟]CLT150mm+木質繊維断熱材40mm+石膏ボード12.5mm	0.396	459	173.1
窓など	樹脂サッシ2層ガラス+密閉空気層+木製インナーサッシ3層ガラス	0.940	61	62.8
基礎	コンクリート350mm+吹付硬質ウレタンA種50mm	0.395	80m 周長	31.4
合計熱損失				298.9



$$\text{設計}U_A\text{値} = \text{合計熱損失} \div \text{全外皮面積} = 298.9 \div 928 = 0.322\text{W/m}^2\text{K}$$

HEAT20のG2基準を満たしており、住宅と想定しても断熱性は十分である。

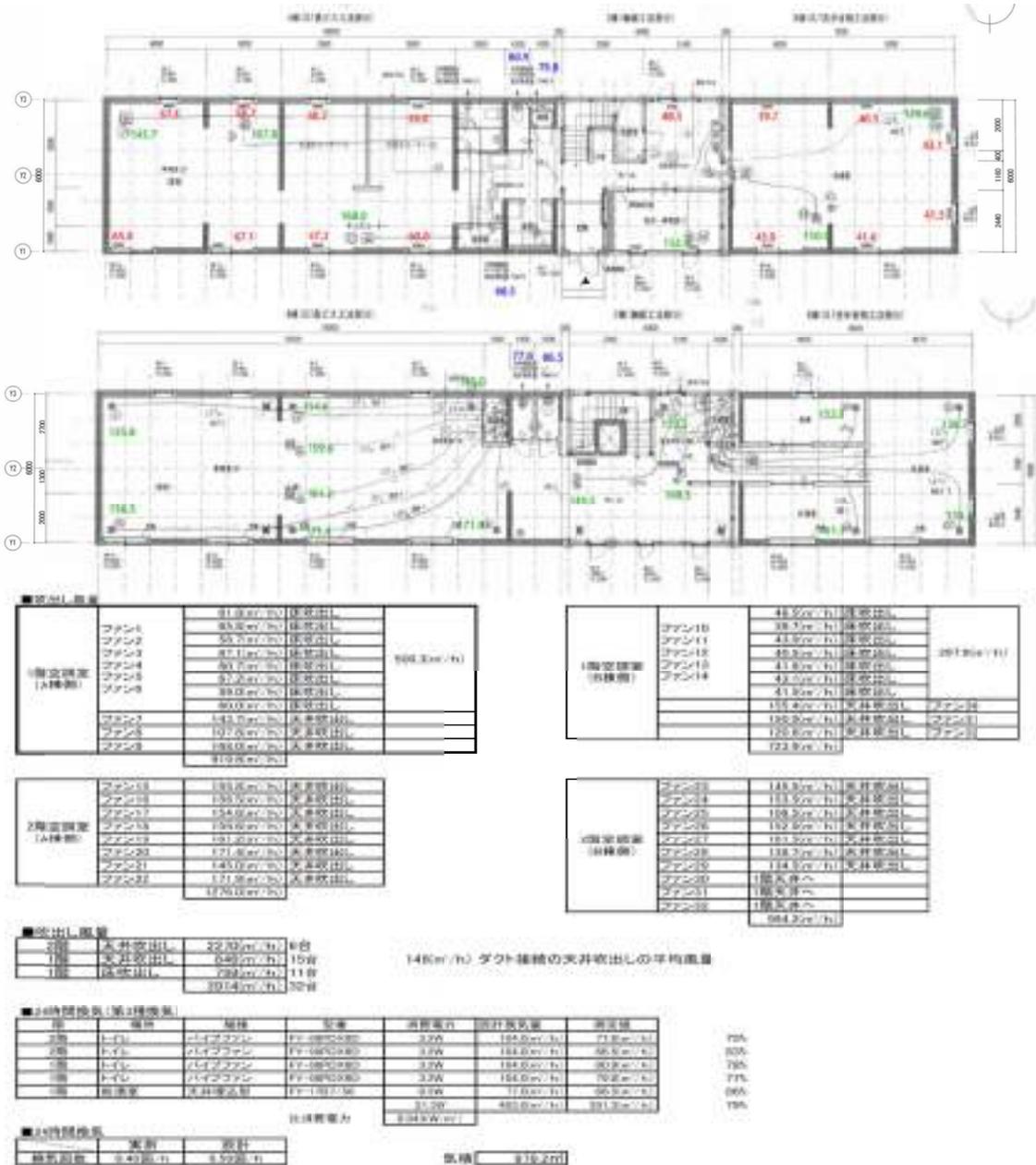
※無断熱・複層ガラスでもCLT建築であれば、 U_A 値=0.78で省エネ基準は満たす(λ=0.12W/m・Kを使用)。

- ・特筆すべきは、窓の仕様で、通常の複層ガラス・樹脂サッシに3層ガラスの木製インナーサッシが取り付けられており、非常に断熱性が高い。

その結果、外皮の断熱性を示す UA の計算値は $0.322\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ となって、現在の日本で最高水準の断熱基準である HEAT20 の G2 基準を満たすものとなっている。

- ・CLT は木材というかなり熱伝導率の小さな建材 ($\lambda=0.12\text{W}/\text{mK}$) を厚いパネルとしたものなので、今回の建物では断熱材を使わなくても、UA は 0.78 と計算されていて、現行の住宅の省エネ基準を満たすことが分かった。

建物全体の断熱性能(Q 値 or UA 値)に実測



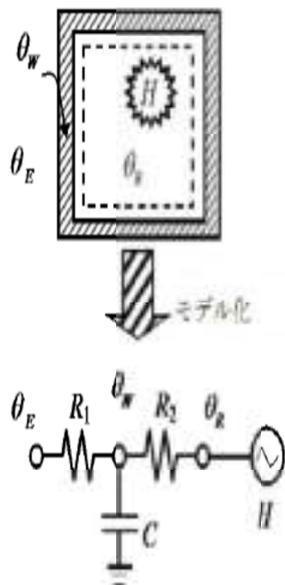
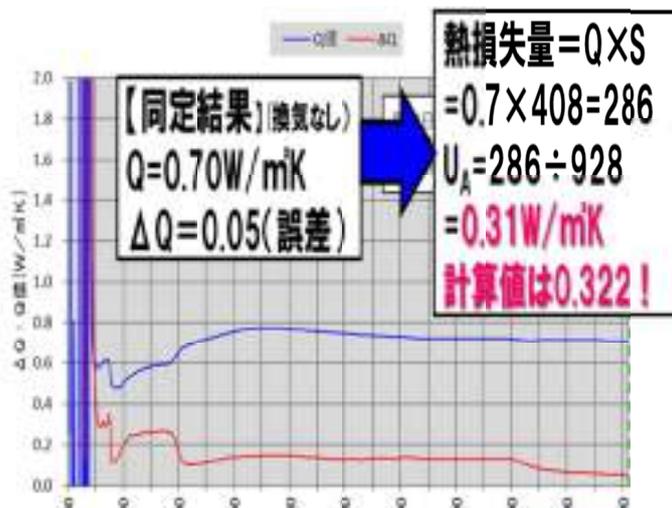
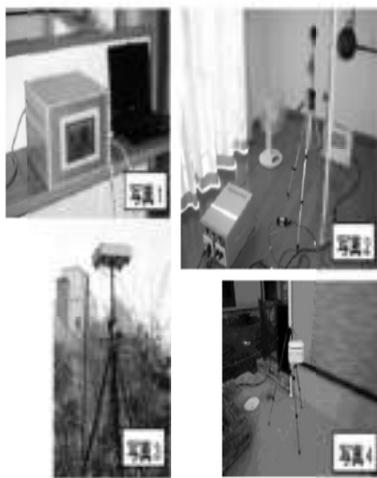
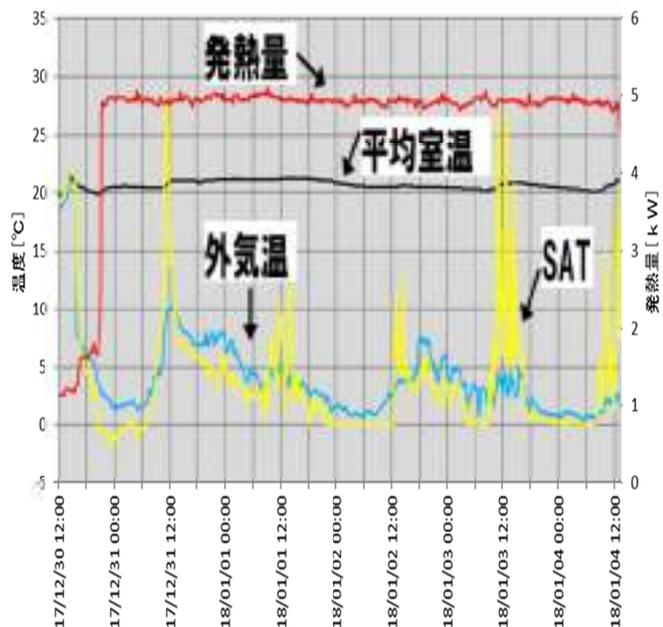
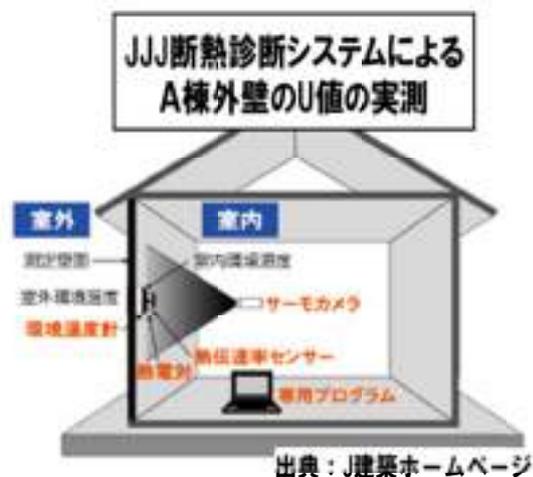
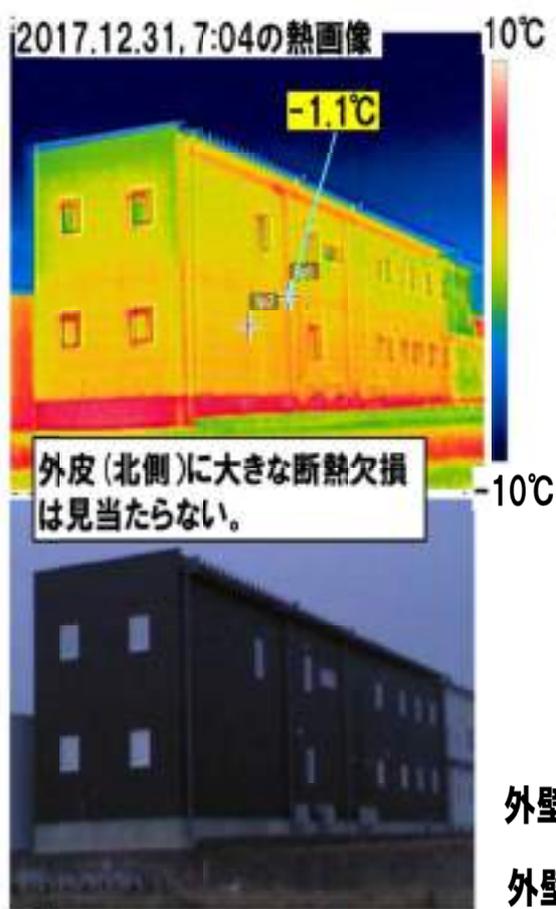


図1. Q値の同定のための熱回路モデル



- ・非常にシンプルな建物伝熱モデルを使用して、建物内の発熱量と内外温度差などの測定値から、Q値あるいはUA値を同定する手法を用いて求めた結果。
- ・結果は、UA値が0.31と同定され、前のスライドの計算値0.322と非常に近い値となった。
- ・UAの計算値は信頼できる数値であり、本建物の高断熱性が実証された。

外皮の熱画像と外壁 U 値の実測



記号	説明	計測数値 (1時間平均)	計測機
h	総合熱伝達率	12.13W/mK	専用センサー
θ_{ni}	室内側環境温度	18.33°C	SAT計
θ_{no}	外気側環境温度	-0.66°C	SAT計
θ_s	室内側表面温度	18.88°C	サーモカメラ

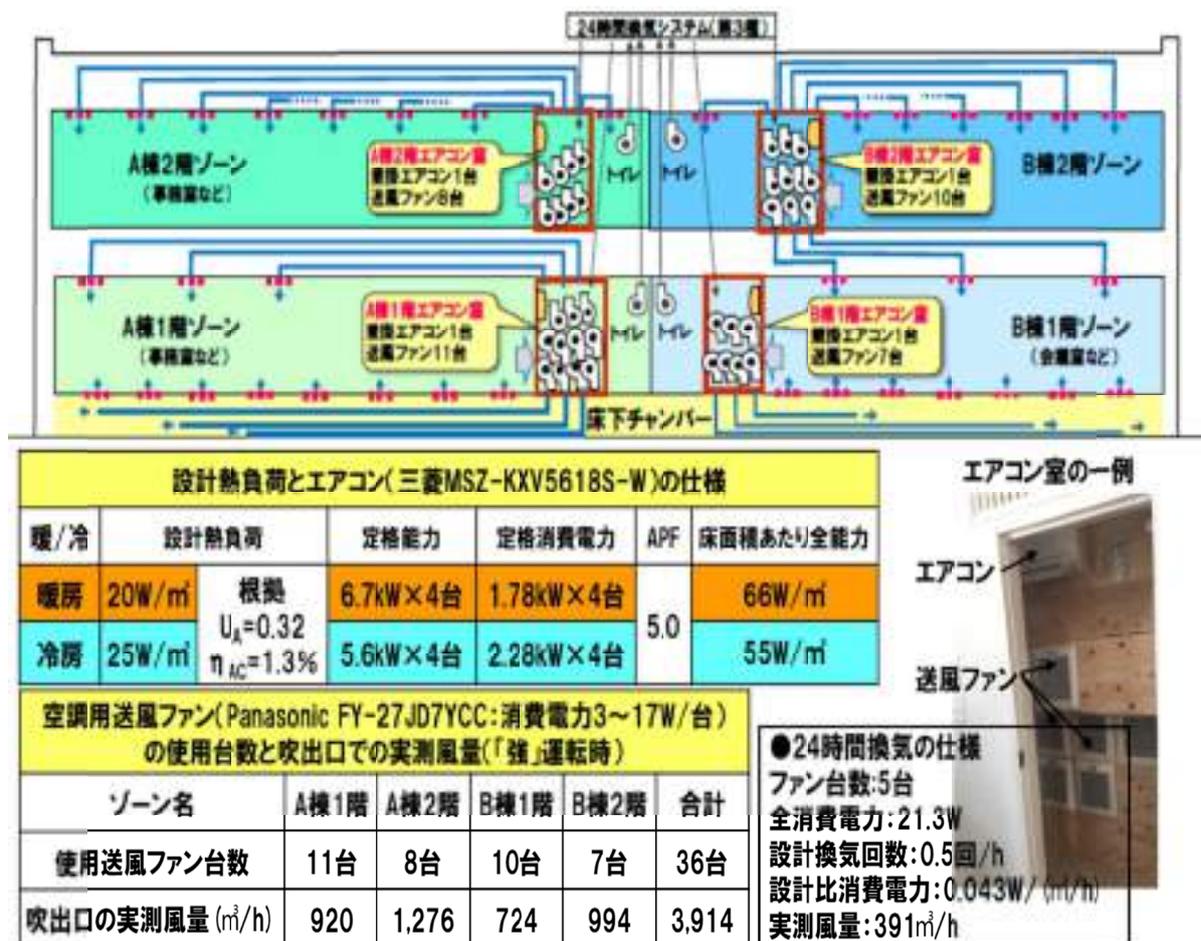
$$\text{外壁の実測U値} = \frac{h(\theta_{ni} - \theta_s)}{(\theta_{ni} - \theta_{no})} = 0.34\text{W/mK}$$

$$\text{外壁の計算U値} = 0.396\text{W/mK} \leftarrow \text{近い}$$

外皮の熱画像写真と外壁 U 値の実測値

- 熱画像を見ると、布基礎がやや高めの温度になっている以外は、高めの温度の部分存在せず、断熱欠損部分などはないことが分かる。
- 外壁の U 値測定の結果は 0.34 であり、計算値の 0.396 より低い数値。
- 結果 本建物の高断熱性を実証することになると考える。

4：全館空調システムの導入と性能実証



- ・このシステムは、家庭用の壁掛けエアコンと、通常は換気扇として使用する直流モーターの高効率送風ファンを多数使用した「YUCACO システム」と称されるもので、高断熱の建物においてイニシャルコストもランニングコストも安価になるシステムである。
- ・壁掛けエアコンと送風ファンを設置するエアコン室を設けることがこのシステムの特徴。本建物では、4つのエアコン室が設けられ、エアコンが合計4台、送風ファンが合計36台を取付。
- ・送風ファンの風量が実測され、本システムは適切に稼動していることを確認。
- ・これから1年間、このシステムの消費電力と室内環境などを確認し、本建物の高い環境性能と省エネルギー性能について実証する予定。

5：まとめと展望

・構造分野

- ・省力的なパネル接合仕様として「長尺スクリュー接合仕様」を検討し、接合部試験を行い、建築基準法・告示に則った構造設計ルートを確立。
- ・「長尺スクリュー接合法」と「告示金物工法」を用いて実際に建物を建てた。両者の比較から、「長尺スクリュー接合法」は施工性がやや高いことが分かった。
- ・在来軸組工法と CLT 工法の比較
在来軸組工法部分は在来工法+壁パネル工法を採用している為、施工的には若干の差であるが、CLT パネルの場合レッカーで吊り込みする為、時間を要する。

・環境分野

- ・ CLT パネル工法を用いた高断熱の建物において、気密性(C 値)と断熱性(Q 値 or UA 値など)を実測し、大きな問題はないことを確認。
- ・ 建物に全館空調システム(YUCACO システム)を導入し、性能検証を行った。省エネ性能と環境性能については、これから 1 年間、実測して評価する予定。
その結果を待って、小規模な木造建築において、本システムが安価で高性能な空調システムであることを示す予定。