

課題名：木曽ヒノキ材による超断熱木製サッシの開発

有限会社和建築設計事務所 代表取締役 あおきかずとし 青木和壽

要旨

木曽ヒノキ材による断熱性能の高い木製窓の枠材、障子材開発を行い、窓の熱貫流率（ $U_w = 0.5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ 未満）の超断熱木製サッシ開発をしました。地域良質木材を新たな高付加価値部材として活用した取組みをしました。

はじめに

ヒノキ材は、耐久性、断熱性、安定性に優れた木材で、高断熱・高气密を要する木製サッシに適しています。しかし、日本の住宅や建築物では欧米のように窓の断熱性能が求められる制度は整備されていないため、窓の断熱性能は欧米に比べ低く、断熱性能の高い木製窓の需要も少ない現状でした。

開発は2020年に義務化される住宅・建築物の省エネルギー化に必要な断熱性能の高い窓「超断熱木製サッシ」の開発を行い、国内の木製サッシ技術の向上に寄与するため実施しました。

1 開発経緯

2011年に良質な木曽ヒノキ材、信州カラマツ材、信州アカマツ材の無垢無欠点部材による窓部材性能検証を行いました。窓部材として適している木曽ヒノキ材を米国の既存高速大量生産システムにて、窓の枠材と障子材加工を行い木製サッシの製作をしました。製作した木製サッシを国内の性能評価機関にて窓の性能試験を行い、木曽ヒノキ材による木製サッシの高性能を確認しました。

2012年から、断熱性能をより高めた「超断熱木製サッシ」開発を実施しました。

2 開発内容

(1) 窓の木部材開発

木曽ヒノキ材、信州アカマツ、信州カラマツ材による、窓の枠材、障子材としての性能検証を、木材の寸法安定性、木材の断熱性、木材強度試験（曲げ強度、引張り強度、圧縮強度）にて行いました。

木材の品質は、高齢級の木材から製材された芯去り材の無節材とし、人工乾燥後、養生期間を2カ月以上確保した材としました。

木材断面を写真2. (1) — 1、— 2、— 3に示します。

窓の枠及び障子の仕上げ（素地、塗装等）は、現場における判断となるため、枠材及び障子材の見付け面、見込み面の見え掛り面の木目（柾目、板目）は、考慮しないものとなりました。

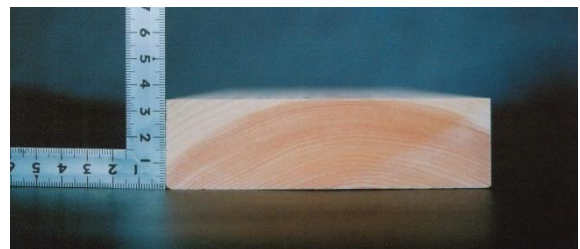


写真2. (1) — 1 木曽ヒノキ材

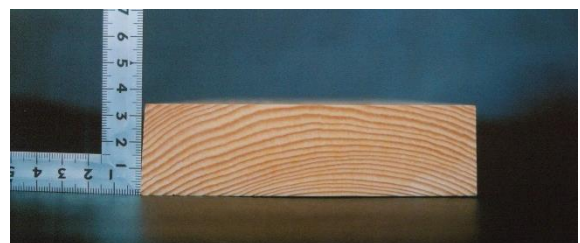


写真2. (1) — 2 信州アカマツ材



写真2. (1) — 3 信州カラマツ材

ア 木材の断熱性能

JIS A 1412-2 (熱絶縁材の熱抵抗及び熱伝導率の測定方法 第2部:熱流計法 (HFM法))により、半径方向に測定しました。結果を表2.(1).イに示します。

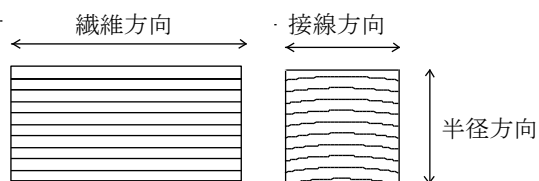


表2.(1).イ 熱伝導率試験結果

項目	ヒノキ	アカマツ	カラマツ
密度 (kg/m ³)	422	509	517
質量含水率 (10 ⁻² kg/kg)	12.9	11.1	10.6
熱伝導率 λ [W/(m・K)]	0.0957	0.127	0.121

イ 木材の寸法安定性

JIS Z 2101 (木材の試験方法) 6.収縮率の測定により、木材の半径方向、接線方向、繊維方向の収縮率を測定しました。結果を表2.(1).アに示します。

表2.(1).ア 収縮率試験結果

樹種	方向	気乾状態までの収縮率(%)	標準状態までの収縮率(%)	全収縮率(%)
ヒノキ	半径方向	2.14	1.62	2.81
	接線方向	5.35	4.35	6.78
	繊維方向	0.21	0.10	0.29
アカマツ	半径方向	4.03	3.35	5.08
	接線方向	6.77	5.68	8.55
	繊維方向	0.18	0.13	0.35
カラマツ	半径方向	2.32	1.82	3.18
	接線方向	5.12	4.00	6.82
	繊維方向	0.08	0.05	0.26

ウ 木材の強度

木材の強度試験は、曲げ強度、引張り強度、圧縮強度の試験をしました。含水率試験片は強度試験後に採取しました。圧縮試験体は曲げ試験体の非破壊部分から採取しました。信州カラマツ材は、無欠点試験体の生産が困難なため、無欠点材を縦継ぎした材で試験しました。結果を表2.(1).ウに示します。

表2.(1).ウ 木材強度試験結果

項目	ヒノキ無垢材				アカマツ無垢材				カラマツ縦継ぎ材			
	平均	最大	最小	標準偏差	平均	最大	最小	標準偏差	平均	最大	最小	標準偏差
曲げヤング係数 (kN/mm ²)	10.66	13.28	7.84	1.313	12.28	16.63	6.96	2.142	12.63	18.94	9.86	1.940
曲げ強度 (N/mm ²)	65.30	78.70	51.20	6.780	74.50	97.60	46.70	12.300	44.30	98.60	28.50	15.200
含水率 (% 全乾法)	13.40	15.20	11.70	0.770	10.90	11.90	10.20	0.420	15.70	18.00	14.10	1.020
試験時密度 (g/cm ³)	0.427	0.496	0.371	0.030	0.512	0.613	0.419	0.052	0.600	0.686	0.515	0.039
引張り強度 (N/mm ²)	69.00	95.50	31.30	15.470	55.70	81.30	32.60	11.660	20.90	27.90	9.70	3.710
含水率 (% 全乾法)	12.60	14.70	10.10	1.040	11.30	12.70	9.90	0.450	15.30	17.80	13.20	1.240
試験時密度 (g/cm ³)	0.432	0.506	0.361	0.038	0.521	0.639	0.435	0.047	0.596	0.686	0.526	0.037
圧縮ヤング係数 (kN/mm ²)	6.90	8.41	5.12	0.755	8.89	12.53	5.40	1.563				
圧縮強度 (N/mm ²)	38.30	48.40	30.20	3.930	54.00	75.70	38.20	8.190				
試験時密度 (g/cm ³)	0.423	0.492	0.369	0.030	0.509	0.619	0.414	0.051				

エ 木材樹種の選定

木材の寸法安定性、断熱性能、強度試験の結果、木材の断熱性能（熱伝導率）に優れる木曽ヒノキ材を窓の木部材として選定しました。

(2) 木材の窓加工

窓の木部材として選定した木曽ヒノキ材が、窓の加工に適しているか検証するため、米国の既存高速大量生産システムにて行いました。加工形状を写真2. (2) — 1に示します。

ミリ単位の凹凸形状や、端部の丸面取り加工等細部にわたる加工が可能であり、加工後の割れや反り、ねじれが無く、木材加工後の安定性を確認しました。

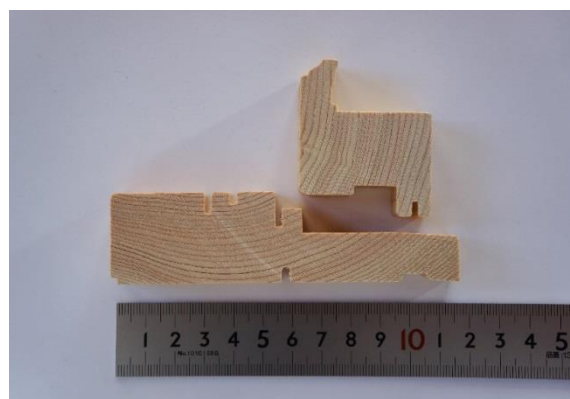


写真2. (2) — 1
高速大量生産システムによる窓加工形状

(3) 木製サッシ開発

木曽ヒノキ材による木製サッシの製作を米国の木製サッシ製作会社で行い、JIS規格による窓性能試験を国内で実施しました。製作した木製サッシを写真2. (2) — 1に示します。

ア 窓の仕様

製作した窓の形状は矩形で、開閉方式はたてすべり出し、寸法は幅711mm、高さ1400mm、重さ25kg、枠の見込みは116mm、見付け寸法は30mm、障子の見込みは43mm、見付け寸法は48mmです。複層ガラスの構成は、3mm (LowE) + 12mm (中空層 アルゴンガス) + 3mmです。

イ 窓の性能試験

窓の性能試験は、耐風圧性能試験 (JIS A 4706)、気密性能試験 (JIS A 4706)、水密性能試験 (JIS A 4706)、断熱性能試験 (JIS A 4710)、遮音性能試験 (JIS A 1416)、結露防止性能試験 (JIS A 1514) を実施しました。

ウ 窓の性能

窓の性能は、耐風圧性能はS—5等級、気密性能A—4等級、水密性能W—4等級、断熱性能H—5等級 ($1.49 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$)、遮音性能T—1等級、結露防止性能 (室内外温度差30度、湿度60%) 小水滴) でした。



写真2. (3) — 1
木曽ヒノキ材による木製サッシ

(4) 超断熱木製サッシ開発

木曽ヒノキ材による断熱性能を高めた「超断熱木製サッシ」の開発をしました。断熱性能を向上させるために、断熱性能を高めた枠材及び障子材、複層ガラス材の開発をしました。断熱性能試験及び断熱性能計算により、 $0.5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ 以下を確認しました。

ア 枠材・障子材開発

木曽ヒノキ材の枠材及び障子材の断熱性能を向上させるために、枠材及び障子材に断熱材（フェノール樹脂断熱材）を組み込みました。断熱材は廃棄時に簡単にとれる構造としました。

枠材と障子材の断熱性能を、ISO EN 12412-2の試験（i f t ROSENHEIM/ドイツ）を行い、熱貫流率（U f） $0.43 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ を確認しました。

枠の見込みは153mm、見付け寸法は40mm、障子の見込みは85mm、見付け寸法は69mmとしました。枠材と障子材の木材と断熱材の体積比率は6.2 : 3.7でした。超断熱木製サッシに使用する木材積量は、枠材と障子材合計で、約 1 m^3 （H=1.5mm W=0.75mm）で、 0.11 m^3 でした。超断熱サッシの加工断面を写真2.（4）.アに示します。

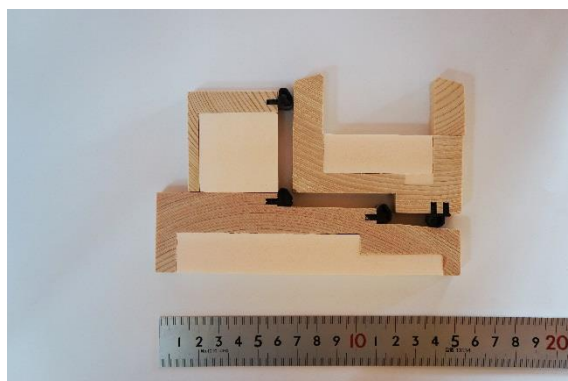


写真2.（4）.ア
超断熱サッシの加工断面

イ 複層ガラス開発

複層ガラスの構成を、4mm（LowE）+12mm（中空層 クリプトンガス）+4mm（LowE）+12mm（中空層 クリプトンガス）+4mm+12mm（中空層 クリプトンガス）+4mm（LowE）とし、JIS A 1412-1（熱絶縁材の熱抵抗及び熱伝導率の測定方法 第1部：保護熱板法（GHP法））の試験により、ガラスの断熱性能を、熱貫流率（U g） $0.35 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ を確認しました。

ウ 超断熱木製サッシの断熱性能試験

超断熱木製サッシの断熱性能試験は、ISO ISO 12567-1（i f t ROSENHEIM/ドイツ）を行い、熱貫流率（U w） $0.47 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ を確認しました。

試験した窓の形状は矩形で、開閉方式はたてすべり出し、寸法は幅750mm、高さ1500mm、重さ48.5kgでした。超断熱木製サッシの断面を図2.（4）.ウに示します。

エ 断熱性能計算

超断熱木製サッシの断熱性能を、ISO 10077-1、ISO 10077-2（熱貫流率の計算）の計算（WinIso 2D（Ver. 7.6））にて熱貫流率（U w） $0.47 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ を確認しました。

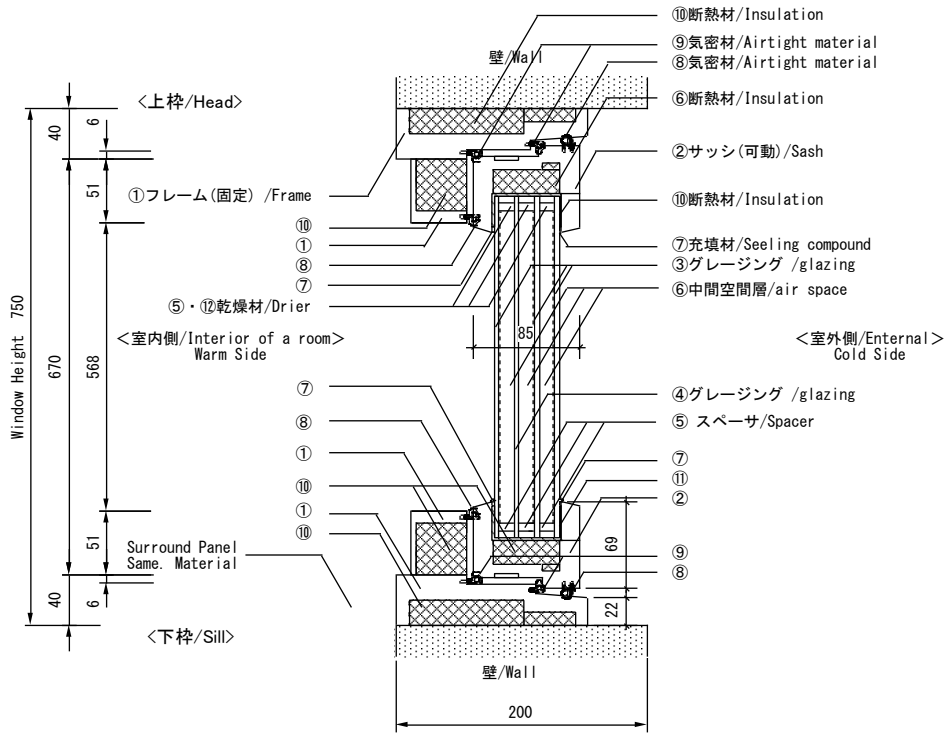


図2. (4).ウ 超断熱木製サッシ縦断面

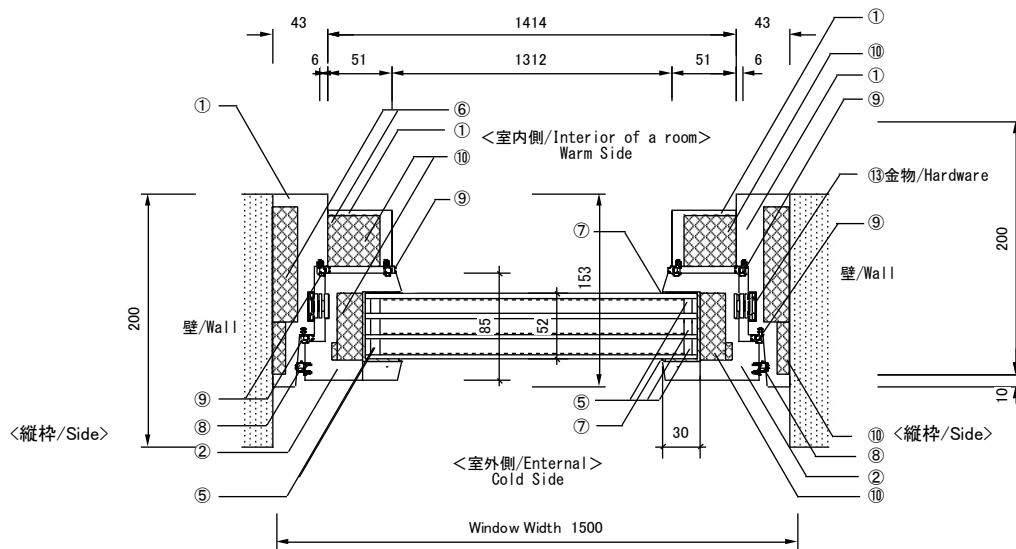


図2. (4).ウ 超断熱木製サッシ横断面

オ 開閉方式及び形状の開発

超断熱木製サッシの開閉方式は、たてすべり出し、片外開き、両外開き、形状は矩形と丸型を開発しました。たてすべり出しと片外開きの違いは、開閉動作の違いと開閉金物（丁番等）が隠ぺい（たてすべり出し）か露出（片外開き）かの違いです。開発した超断熱木製サッシを写真2. (4). オー1、2、3、4に示します。



写真2.(4).オー1 超断熱木製サッシ
たてすべり出し 左外部 右内部



写真2.(4).オー2 超断熱木製サッシ
片外開き 左外部 右内部



写真2.(4).オー3 超断熱木製サッシ
両外開き 左外部 右内部



写真2.(4).オー4
超断熱木製サッシ 丸窓 上外部 下内部

カ その他の窓性能

J I S規格による窓の性能試験を実施しました。窓の性能は、耐風圧性能はS-6等級、気密性能A-4等級、水密性能W-5等級、断熱性能H-5等級、遮音性能T-2等級でした。

面内せん断は最大荷重時、荷重7.5KN、変形角0.068radでした。遮炎性能は屋外側が15分、屋内側が25分でした。

試験実施状況を写真2.(4).カに示します。



写真2.(4).カ
超断熱木製サッシ性能試験
左 面内せん断試験状況
右 遮炎性能試験状況

3 結果

木曽ヒノキ材による超断熱サッシを製作し、JISによる性能評価試験（仕口強度、面内せん断、遮炎性能、水密・気密・耐風圧性能、遮音性能断熱性能）と、ISOによる性能評価試験（断熱性能）を実施しました。その結果、JISでは、全てにおいて優れた性能値を示し、ISOでは、熱貫流率（Uw） $0.47\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ という世界最高の性能が確認されました。

4 今後の課題

（1）木材品質確保

超断熱木製サッシは、これまで国内で生産されてきた木製建具とは異なり、あらゆる性能面で優れた建具です。そのため超断熱木製サッシの主材料である木曽ヒノキ材の品質を保つことが重要となります。木曽ヒノキ材を供給する木材素材生産者、製材業者の理解と協力が必要となります。



写真4.（1）－1
超断熱木製サッシ用丸太



写真4.（1）－1
超断熱木製サッシ用原板



写真4.（1）－1
超断熱木製サッシ用枠材



写真4.（1）－1
超断熱木製サッシ用障子材

（2）生産コストの検討

ア 窓の生産システムによるコスト低減

超断熱木製サッシの生産システムは、木製サッシ専用の完全制御された機械により行われます。これは木製サッシの断熱性と気密性を確保するため、枠材と障子材の召し合わせ部分や仕口部分、複層ガラス、気密材、金物類との取り合いを1/10ミリ単位で加工する必要があるた

めです。この生産システムは、24時間稼働が可能のため、木製サッシ生産量を多くすることができます。

複層ガラスや金物類全てを工場で行われるため、部材費やこれまでの現場施工における費用（運搬費、人件費、交通費経費等）の低減を図ることができます。

新しい生産システムの導入と、必要部材の大量発注方式により、生産コスト低減を検討する必要があります。木製サッシ加工専用の完全5軸加工機を写真4.(2).アに示します。



写真4.(2).ア
木製サッシ加工専用の完全制御5軸加工機

イ 木部材コスト低減

無垢木曽ヒノキ材による超断熱木製サッシは、実用性能を大きく上回る性能が確保できました。高品質な無垢木材費は高いため、枠材及び障子材の木材費低減のため、集成材によるフレーム開発を今後行う必要があります。

集成材生産において、ラミナー材の品質、接着剤、木材加工面の見え掛りとラミナーの厚さ等検討すべき課題はあります。超断熱木製サッシ用のヒノキ集成材を写真4.(2).イに示します。



写真4.(2).イ
超断熱木製サッシ用ヒノキ集成材断面

おわりに

地域良質木材を新たな高付加価値部材として活用した取組みは、建築用部材に限らず他の用途においても活用検討が必要と考えます。針葉樹だけではなく広葉樹による木製窓開発も可能なため、広葉樹二次林の持続的活用のための木材利用（行政課題）に寄与すると考えます。