

平成29年度 セルロースナノファイバー活用製品の性能評価事業委託業務  
(竹CNFを活用した建材の開発と、既築集合住宅への実装によるCO2削減効果の実証)

## 成 果 報 告 書

平成30年3月

<事業代表者>

株式会社日建ハウジングシステム

<共同実施者>

株式会社LIXIL

フィグラ株式会社

株式会社田島技術



## 【サマリ】

本実証は、老朽化が進む既築集合住宅を主な対象に、簡易的かつ費用を抑えつつ、省CO2 効果が高い対策となる建材等の開発・設計に取り組み、効果の実証を行うものである。本実証で取り組む建材は、特に熱の出入が大きい開口部のサッシと窓ガラス、更に、屋根・外壁を対象とする。

以下に、今年度の実証概要を示す。

### (1) CNF 樹脂サッシの開発・試作に向けた検討

CNF 樹脂サッシの目標必要性能（断熱性、強度）を、熱貫流率は  $1.5\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 、曲げ弾性率は樹脂単体比 30%向上と設定して、樹脂サッシ部材に適する CNF を混練した塩ビコンポジットの試作と、この CNF コンポジットの成形試作を実施し、性能の評価を行った。

### (2) CNF 遮熱合わせガラスの開発・試作に向けた検討

CNF を混合した遮熱フィルムを製作するにあたり、CNF を混練するフィルム材料について選定を行った。過去の知見とある程度の透明性の確保から、ポリエチレンを選定した。ポリエチレン CNF コンポジットを製作し、最終的に CNF 配合のフィルムを製作した。上記 CNF 配合のフィルムを用いて合わせガラスを製作し、合わせガラスに関する JIS 試験を実施した。また、フィルムと合わせガラスのサンプルを用いて、フィルムの内部構造観察、光学特性等の評価を行った。

### (3) CNF 遮断熱コーティング材の開発・試作に向けた検討

従来の遮熱コーティング材に CNF を混合することによって、効果の継続年数を延長することを目標として、CNF を従来の遮熱コーティング材に混入することで遮熱、断熱、耐久性に対して、どのような影響があるのかの確認と目標性能の検討を行うために CNF の種類、形態、混合条件等を検討し、サンプルの作製を行い遮熱、断熱、耐久性に対応する試験を行った。

### (4) 開発した CNF 活用建材の市営住宅への導入、省 CO2 効果、室内温熱環境の評価に向けた検討

開発した CNF 活用建材による省 CO2 効果、室内環境向上効果を実測と数値シミュレーションで定量的に把握するために、実測対象となる市営住宅を調査し、実測対象住戸を決定した。更に、省 CO2 効果と室内環境向上効果を検証するために、エアコンの電力使用量や、室内の温湿度などの測定システム構築し、実測を開始した。

また、実測を行う市営住宅をモデルとして、数値シミュレーションでエネルギー消費量、室内温熱環境の計算を実施するための、建物モデルの構築、現状の仕様での計算の試行を実施した。

#### **(5) CNF 素材の改質、コンポジット化、機能評価**

試作体の目標必要性能の設定に向けて、①試作体中の CNF の分散状態や熱伝導特性の評価、②CNF 複合フィルムの透過率や屈折率、分光特性などの光学特性の評価、③CNF 複合樹脂の内部構造の観察や CNF とバルク材との間の界面状態を調査し、機械強度等の評価等、CNF の改質・分散に関わる試験・評価を実施した。

#### **(6) CNF 素材の安全性評価**

CNF の安全性試験として、CNF 繊維が空中飛散した際の安全性を確認するため、使用する 2 種類の CNF に対して各種の試験を行った。

## **【 S u m m a r y 】**

In this verification, we demonstrate the effectiveness of efforts to develop and design construction materials for simple, economical, and low carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emission application to the refurbishment of older, multi-family dwellings. We focus on materials for use in sashes/windows (which are notable for a particularly high degree of heat exchange with the outside environment), roofing, and external walls.

Related studies are outlined below.

### **(1) Study toward the development and prototyping of CNF sashes**

Taking necessary thermal and strength parameters for the design of a CNF (cellulose nanofiber) resin sash to be a coefficient of heat transmission of 1.5W/(m<sup>2</sup> K) and a flexural modulus of at least 1.3 times that of the resin itself, we kneaded CNF into PVC to create a composite material suitable for use as a sash. We then formed this material into sash prototypes and tested them for performance.

### **(2) Study toward the development and prototyping of CNF laminated glass**

Toward the manufacture of a CNF-containing heat-barrier film, we selected a film material suitable for CNF inclusion (kneading). Here, we went with polyethylene, which we knew from experience to provide a degree of transparency. We then mixed a polyethylene/CNF composite and, from that, formed a prototype film. Then, using this CNF-containing film, we produced laminated glass sheets, which we evaluated with JIS test procedures for such material. We also fabricated film/glass laminate samples, which we evaluated in terms of internal structure, optical properties, etc.

### **(3) Study toward the development and prototyping of CNF heat-barrier film**

Here, we sought to extend the service life (years) of a conventional heat-resisting coating material by mixing it with CNF. Here, to examine the influence of CNF additions on heat shielding, thermal insulation and durability, we prepared a number of CNF sample mixtures, varied by type, morphology, mixing parameters and the like, and tested them to determine their properties and ability to meet target parameters.

**(4) Study toward the test application of a newly developed CNF-containing material to municipal (public) housing, together with assessments of CO<sub>2</sub> reduction and interior heating environment improvement**

Ahead of the simulation and actual measurement of our newly developed CNF-containing material in terms of CO<sub>2</sub> reduction and interior heating environment improvement, we investigated a number of municipal (public) housing buildings and determined a suitable unit. There we measured AC power consumption, room temperature, room humidity, and other such parameters necessary for such assessments.

We also numerically modeled this unit, calculating current parameters/specifications for application to simulations of energy consumption and interior environment.

**(5) CNF material modification, compositing and functional assessment**

We conducted a number of tests/assessments covering the modification and dispersion of CNF. In addition to measurements of mechanical strength and the like, these include: (1) an evaluation of the CNF dispersion and heat conduction characteristics of prototypes; (2) an evaluation of the transmittance, refractive index, and spectral characteristics of CNF composite film; and (3) an observation of the internal structure of the CNF composite film and CNF/bulk boundary condition.

**(6) Assessment of CNF material safety**

As for CNF safety, we conducted a variety of tests with two types of CNF to explore safety issues presented by airborne CNF fibers.

平成 29 年度 セルロースナノファイバー活用製品の性能評価事業委託業務  
(竹 CNF を活用した建材の開発と、既築集合住宅への実装による CO2 削減効果の実証)

－ 目次 －

<b>I. 業務概要</b> .....	<b>1</b>
1. 業務目的 .....	1
2. 業務期間 .....	1
3. 業務内容 .....	1
4. 業務目標 .....	3
5. 業務体制 .....	5
6. 定例会の開催 .....	6
<b>II. 業務結果</b> .....	<b>7</b>
1. CNF 樹脂サッシの開発・試作に向けた検討 .....	7
1-1. 検討概要 .....	7
1-2. 検討結果 .....	7
1-3. まとめと今後の課題 .....	15
2. CNF 遮熱合わせガラスの開発・試作に向けた検討 .....	16
2-1. 検討概要 .....	16
2-2. 検討結果 .....	20
2-3. まとめと今後の課題 .....	32
3. CNF 遮断熱コーティング材の開発・試作に向けた検討 .....	33
3-1. 検討概要 .....	33
3-2. 検討結果 .....	33
3-3. まとめと今後の課題 .....	37
4. 開発した CNF 活用建材の市営住宅への導入、省 CO2 効果、室内温熱環境の評価に向けた検討 .....	38
4-1. 検討概要 .....	38
4-2. 市営住宅での実測 .....	39
4-3. シミュレーションによる検討 .....	47
4-4. まとめと今後の課題 .....	55
5. CNF 素材の改質、コンポジット化、機能評価 .....	56
5-1. CNF 塩ビコンポジット試作体の CNF の分散状態、熱伝導特性の評価 .....	56
5-2. CNF 含有ポリエチレンフィルムおよび合わせガラスの特性評価 .....	61
6. CNF 素材の安全性評価 .....	69
6-1. 評価概要 .....	69
6-2. 評価結果 .....	69

## I. 業務概要

### 1. 業務目的

環境省では、植物由来の素材で鋼鉄の 5 分の 1 の軽さで 5 倍の強度等の特性を有するセルロースナノファイバー（以下「CNF」という。）に着目し、さまざまな製品等の基盤となる樹脂材料を CNF で補強した CNF 活用材料（複合樹脂等）を使用することで、CO<sub>2</sub> の効果的な削減を図ることを目的とした、CNF 性能評価モデル事業を推進している。

CNF は植物由来のカーボンニュートラルな材料で、素材の軽量・高強度な特長から自動車、家電、住宅建材などの様々な分野の製品への活用が期待され、国内において精力的な活動がされている。

本実証では、老朽化が進む既築集合住宅を主な対象に、簡易的かつ費用を抑えつつ、省 CO<sub>2</sub> 効果が高い対策となる建材等の開発・設計に取り組み、効果の実証を行う。本実証で取り組む建材は、特に熱の出入が大きい開口部のサッシと窓ガラス、更に、屋根・外壁を対象とし、CNF の活用による遮熱・強度の向上効果によって、既築集合住宅へ実装を検討する。

### 2. 業務期間

2017 年 9 月 25 日～2018 年 3 月 31 日

### 3. 業務内容

#### (1) CNF 樹脂サッシの開発・試作に向けた検討

CO<sub>2</sub> 削減、普及促進のために必要な CNF 樹脂サッシの目標必要性能（断熱性、強度など）を設定する。市営住宅に実装する樹脂サッシの種類を決定し、樹脂サッシ製造に向けての課題の洗い出しを行う。LIXIL は、樹脂サッシ部材に適する CNF を混練した塩ビコンポジット材料を外注の活用により検討し、この CNF コンポジット材料の成形試作を行ない、成形材の性能を検証する。外注先の中越パルプ工業は、LIXIL と協議しながら CNF コンポジット材料の試作・改善を行い、LIXIL に提供する。

#### (2) CNF 遮熱合わせガラスの開発・試作に向けた検討

CO<sub>2</sub> 削減、普及促進のために必要な CNF 断熱合わせガラスの目標必要性能（遮熱性、断熱性など）を設定する。ポリエチレン等の樹脂と CNF を混練し、近赤外線をカットする遮熱フィルムの開発・試作を行う。その際に樹脂と CNF の混練比率や遮熱フィルム厚などをパラメータとして試作する。また透明性を上げるための手法の開発を進める。試作した遮熱フィルムについて、エチレン-酢酸ビニル共重合体のフィルムと複合して合わせガラスの試験体を製作し、JIS に基づき性能試験を行い、建材単体としての目標性能達成状況を検証する。合わせガラス強度の向上も目指す。



### (3) CNF 遮断熱コーティング材の開発・試作に向けた検討

C02削減、普及促進のために必要なCNF遮断熱コーティング材の目標必要性能（遮熱性、断熱性、耐久性など）を設定する。CNFを混合した遮断熱コーティング材の開発・試作を行い、建材単体としての目標性能達成状況を検証する。CNFの加工や製造プロセスおよび塗料への混合割合などの条件による遮熱性、断熱性、耐久性への影響を把握する。CNFの分散性を高めるためにナノ粒子塗料を製造できる会社を選定しCNFとの混合作業を外注する。

### (4) 開発したCNF活用建材の市営住宅への導入、省C02効果、室内温熱環境の評価に向けた検討

シミュレーションを活用し、開発したCNF活用建材の集合住宅への導入による省C02効果を定量的に把握する。時刻別の年間を通じたエネルギー消費量の計算を行い、季節別や年間合計の省C02効果を把握する。併せて、室内気温、壁・窓表面温度の計算も行い、放射環境も考慮した室内温熱環境改善効果を把握する。住戸位置（中住戸、妻側住戸等）や、住戸方位による省C02効果の違いの把握、開発建材実装のための、設計監理や施工方法等の課題抽出のため、市営住宅の調査を行い、試験計画を策定する。また、実環境に即したシミュレーション用のモデルを作成し、予測性能値での試算に取り掛かる。CNF活用建材導入対象の市営住宅の導入前の温熱環境や、エネルギー消費量の実測を行い、現状の把握およびシミュレーションの妥当性検証に活用する。

### (5) CNF素材の改質、コンポジット化、機能評価および安全性の評価

#### (5) -1 試作体の目標必要性能の設定

下記に示す、CNFの改質・分散に関わる試験・評価を実施しながら、得られた試作体の目標必要性能を設定する。

- ・試作体中のCNFの分散状態、熱伝導特性を評価する。
- ・CNFコンポジットフィルムについて、透過率や屈折率、分光特性などの光学特性を評価する。
- ・CNFコンポジット樹脂の内部構造を観察し、CNFとバルク材との間の界面状態を調査し、機械強度等を評価する。

#### (5) -2 CNFの安全性試験

材料が植物由来であり、経口毒性が低いことは既に確認されている為、安全性に問題はないとされているが、建材は生活の場に近く存在するので、CNF繊維が空中飛散した際の安全性の確認を行う。

#### 4. 業務目標

本業務の目標は、下表のとおりである。

表 I-4 業務目標

	項目	採択時の技術の状況	平成 29 年度初めの状況	本年度（最終）の目標
0	<p>全体目標</p> <p>CNF活用による建材3種類の開発、集合住宅への導入によるCO2削減効果、室内環境改善効果の検討。</p>	<p>建材におけるCNF活用は、着手されたばかりであり、業界的にはあまり認知されていない。</p>	<p>既築集合住宅は、居住者もいること等により、大規模な省エネ改修がしづらい。一方、特に昭和56年以降に増加した集合住宅は、省エネ性能が低く、老朽化が進んでいる。</p>	<p>CNF活用による建材3種類を、開発・設計する上での要件定義、目標値を設定。</p>
1	<p>CNF樹脂サッシの開発・試作に向けた検討</p> <p>アルミサッシと比較した場合で、30%のCO2削減効果の向上を図る</p> <p>また、最終目標として、曲げ弾性率の30%の向上を目指す。熱貫流率は、既存の樹脂サッシを下回らないことを目指す。</p> <p>強度の向上の結果から、将来的には10%の荷重の低減ができる道筋をつけ、実装可能な住宅の適応範囲を拡大する。</p>	<p>樹脂サッシが普及していない原因としては、①強度や耐火性能の問題から、適応可能な建物が制限されている②強度が無い為、厚みを上げたり、金属製の補強材を入れたりすることで重量が上がる③普及率が低く、高価であるため、採用が見送られる事などが考えられる。また、日本の断熱基準が緩いという問題もある。</p>	<p>樹脂サッシは、アルミサッシに比べ熱ロスが少ないためCO2削減効果が期待できる。一方、普及率が60%を超える先進諸外国に比べ、日本国内での普及率は7%と進んでいない。</p>	<p>CO2削減、普及促進のために必要なCNF樹脂サッシの目標必要性能(断熱性、強度など)を設定する。</p> <p>樹脂サッシ部材に適するCNFを混練した塩ビコンポジット材料を試作し、このCNFコンポジット材料の成形試作を行ない、建材単体としての目標性能達成状況を検証する。</p>
2	<p>CNF遮熱合わせガラスの開発・試作に向けた検討</p> <p>単板ガラスと比較した場合で、太陽光線の近赤外線を約30%以上遮断することを目指す。</p>	<p>断熱効果が高い複層ガラスに改修するためには、サッシを含めて改修が必要となる場合があり、コストがかかり、採用されないことがある。</p>	<p>老朽化が進む集合住宅の窓ガラスは、主として単板ガラスであり、断熱・遮熱性能が低い。</p>	<p>CO2削減、普及促進のために必要なCNF断熱合わせガラスの目標必要性能(遮熱性、断熱性など)を設定する。</p> <p>CNFを混合した遮熱フィルムを製作し、エチレン酢酸ビニル共重合体のフィルムと複合した合わせガラスを試作・開発し、建材単体としての目標性能達成状況を検証する。</p> <p>合わせガラス強度の向上も目指す。</p>
3	<p>CNF断熱コーティング材の開発・試作に向けた検討</p> <p>CNFにより表面平滑性を上げることで、耐汚染性を上げ、また塗膜強度を上げることで、遮熱効果の継続年</p>	<p>現状 CNF と断熱コーティング材の混練を行っており、0.1%添加で分散性の悪さが出ている。</p> <p>表面の状態が滑らかになる傾向が出ている。</p>	<p>老朽化が進む集合住宅の外壁・屋根は、無断熱の場合もあり断熱性能が低い。外壁等の省エネ効果を高めるためには、断熱材敷設することが考えられるが、改修が大規模になる。そこ</p>	<p>CO2削減、普及促進のために必要な CNF 断熱コーティング材の目標必要性能(遮熱性、断熱性、耐久性など)を設定する。</p> <p>CNFを混合した断熱コーティング材の開発・試作し、建</p>

	<p>数を延ばし、現在10年の耐用年数を約1.3倍に延ばすことを目標とする。CNFの混合率を上げて、CNFの分散性をさらに向上させて、強度を約1.2倍以上の向上を図る。</p>		<p>で、外壁等の簡易的な省エネ改修手法が求められている。</p>	<p>材単体としての目標性能達成状況を検証する。CNFを混合割合などによる遮熱性、耐久性への影響を把握する。</p>
4	<p>開発したCNF活用建材を市営住宅に導入し、省CO2効果、室内温熱環境の評価に向けた検討</p> <p>開発したCNF活用建材を市営住宅に導入した場合の、CO2削減効果、室内環境改善効果を、実環境に即したシミュレーションおよび実住宅での実測により検証する。</p>	<p>一定条件下での、建材単体の断熱性能、遮熱性能等を検証することは、実験値にて示すことが可能である。しかし、実際の住宅における省CO2効果は、日々異なる外界条件の影響、省エネ施策の相乗効果による影響、実建物の設置状況による影響などで、簡易に検証することは困難である。また、省CO2施策の普及には、省CO2効果と並んで、室内環境改善効果も重要である。近年、健康に対する国民の関心は高く、室内環境改善は、省CO2施策の普及、促進には欠かせない事項となる傾向がある。</p>	<p>現在、実証フィールドとなる市営住宅について、薩摩川内市と調整を進めているところである。</p>	<p>シミュレーションを活用し、開発したCNF活用建材の集合住宅への導入による省CO2効果を定量的に把握する。</p> <p>時刻別の年間を通したエネルギー消費量の計算を行い、季節別や年間合計の省CO2効果を把握する。併せて、室内気温、壁・窓表面温度の計算も行い、放射環境も考慮した室内温熱環境改善効果を把握する。住戸位置(中住戸、妻側住戸等)や、住戸方位による省CO2効果の違いの把握、開発建材実装のための、施工方法等の課題抽出のため、薩摩川内市の市営住宅の把握も行う。</p>

## 5. 業務体制

本業務の体制は、下図のとおりである。

事業代表者として日建ハウジングシステムが全体統括を行い、共同実施者の(株)LIXILは CNF 樹脂サッシの開発・試作を、フィグラ(株)は CNF 遮熱合わせガラスの開発・試作を、(株)田島技術は CNF 遮断熱コーティング材の開発・試作をそれぞれ担当し、素材の開発や性能評価などの知見を持つ外注先と連携しながら業務を遂行する。

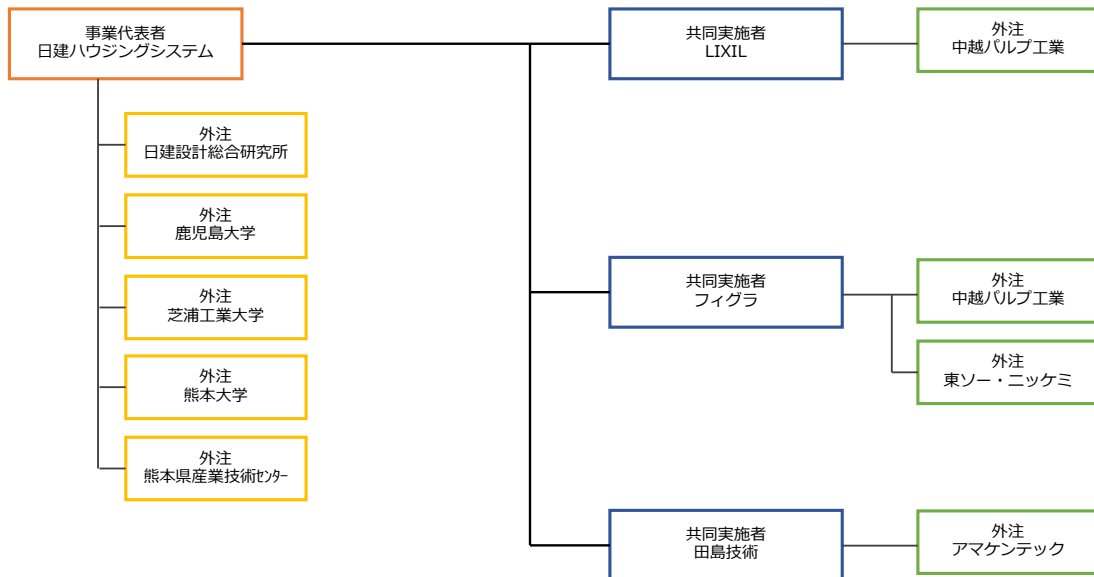


図 I -5 業務体制

## 6. 定例会の開催

本業務の実施にあたって、下表のとおり、定例会を開催した。

表 I-6 定例会の開催

開催	日時	会場	参加事業者等	議題
第1回	2017年10月5日(木) 15:00~18:30	薩摩川内市 スマートハウス	(株)日建ハウジングシステム、(株)LIXIL、 フィグラ(株)、(株)田島技術、(株)アマケン テック、(株)日建設計総合研究所、熊本 大学、熊本県産業技術センター、中越 パルプ工業(株)、薩摩川内市(次世代エ ネルギー対策課、建築住宅課)	0. 議事録の確認(環境省との打合せ議 事録) 1. 体制の確認 2. 今年度業務の確認 3. スケジュールの確認(実施計画書の 確認) 4. その他
第2回	2017年11月9日(木) 13:00~15:30	薩摩川内市 スマートハウス	(株)日建ハウジングシステム、(株)LIXIL、 フィグラ(株)、(株)田島技術、(株)アマケン テック、熊本大学、熊本県産業技術セ ンター、中越パルプ工業(株)、薩摩川内 市(次世代エネルギー対策課、建築住 宅課)、(株)富士通総研	0. 議事録の確認 1. 今年度業務の確認(仕様書の確認) 2. スケジュールの確認(実施計画書の 確認) 3. 実証候補の市営住宅について 4. 協定締結について 5. その他
第3回	2017年12月20日(水) 13:30~17:00	熊本大学	(株)日建ハウジングシステム、(株)LIXIL、 フィグラ(株)、(株)田島技術、(株)アマケン テック、熊本大学、熊本県産業技術セ ンター、中越パルプ工業(株)、薩摩川内 市(次世代エネルギー対策課)、(株)富士 通総研	0. 議事録の確認 1. 実証候補の市営住宅について 2. スケジュールの確認 3. 安全性試験の報告 4. 継続審査について 5. その他
第4回	2018年1月18日(木) 13:30~17:30	薩摩川内市 スマートハウス	(株)日建ハウジングシステム、(株)LIXIL、 フィグラ(株)、(株)田島技術、(株)アマケン テック、熊本大学、熊本県産業技術セ ンター、中越パルプ工業(株)、薩摩川内 市(次世代エネルギー対策課、建築住 宅課)、(株)富士通総研	0. 議事録の確認 1. 中間審査資料について 2. その他
第5回	2018年2月22日(木) 14:00~16:30	エコホテル アシスト	(株)日建ハウジングシステム、(株)LIXIL、 フィグラ(株)、(株)田島技術、(株)アマケン テック、(株)日建設計総合研究所、鹿児 島大学、熊本大学、熊本県産業技術セ ンター、中越パルプ工業(株)、(株)富士通 総研	0. 議事録の確認 1. スケジュール(進捗状況)の確認 2. 報告書作成に向けた確認 3. 平成30年度スケジュールについて 4. その他
第6回	2018年3月15日(木) 13:30~18:30	薩摩川内市 スマートハウス	(株)日建ハウジングシステム、(株)LIXIL、 フィグラ(株)、(株)田島技術、(株)アマケン テック、(株)日建設計総合研究所、熊本 大学、熊本県産業技術センター、中越 パルプ工業(株)、薩摩川内市(次世代エ ネルギー対策課)、(株)富士通総研	0. 議事録の確認 1. 報告書、サマリの確認 2. 今年度のスケジュールの確認 3. 来年度の仕様書 4. 来年度の見積 5. 平成30年度スケジュールについて 6. その他

## II. 業務結果

### 1. CNF 樹脂サッシの開発・試作に向けた検討

#### 1-1. 検討概要

##### (1) CNF樹脂サッシの目標必要性能（断熱性、強度）の設定

①熱貫流率

②曲げ弾性率

##### (2) CNFを混練した塩ビコンポジットの試作、及び、成形試作体の建材単体としての目標性能達成状況の検証

①CNFを混練した塩ビコンポジットの試作

②CNFを混練した塩ビコンポジット料の成形試作、および、成形試作体の建材単体としての目標性能達成状況

#### 1-2. 検討結果

##### (1) 目標必要性能（断熱性、強度）の設定

###### ①熱貫流率

建物の断熱性は屋内外の熱移動を示す指標である熱貫流率を基にして表すことができ、窓の熱貫流率を求める際には、一般に、窓をガラス中央部（グレージング部）と周辺部（フレーム部）とに分けてそれぞれの熱貫流率を求めておき、その面積比や周長から窓全体の平均的な性能を算出する方法が用いられている（ISO 15099:2003、ISO 10077-1:2000 参照）。

今回 CNF 樹脂サッシの熱貫流率は、既存の樹脂サッシの熱貫流率を下回らないことを目指していることから、既存の樹脂サッシの熱貫流率を求めることとし、グレージング部についてはJISR3107を基に、フレーム部についてはJISA2102を基に計算を行ない、目標値を得ることとした。

なお、計算に必要なグレージング部にあたる樹脂サッシ部材で使う塩ビ材料の成形品の熱伝導率は、下表のとおり測定を行ない、数値(a)を得た。

表 II-1-2-1 熱伝導率の測定条件

測定試料	後述試料 E-1
試料サイズ	10mm×10mm×t2 mm(※切削加工)
試験方法	熱拡散率測定；レーザーフラッシュ法 比熱測定；DSC
試験条件	測定温度；23℃
測定装置	熱定数測定装置 TC-3000 型 真空理工社製 示差走査熱量計 DSC-7 型 パーキンエルマー社製

表Ⅱ-1-2-2 熱伝導率の測定結果

試料	熱拡散率 $\times 10^{-4}(\text{m}^2/\text{s})$	密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	比熱 ( $\text{J}/(\text{g} \cdot \text{K})$ )	熱伝導率 ( $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ )
E-1	0.00153	1.42	1.031	0.22 … (a)

※計算式：熱伝導率＝熱拡散率×密度×比熱×100

この値(a)及び下表の前提条件を基に計算を行ない、数値(b)を得た。

表Ⅱ-1-2-3 熱貫流率目標設定の前提条件、計算結果

構造	樹脂サッシ 開きテラスタイプ
サイズ	W1, 730mm×H1, 800mm
ガラス種別	ペアガラス FL3mm-16mm-FL3 mm、Ar ガス入り、Low-E
計算条件	室外 0℃、室内 20℃
計算結果	1.5 ( $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ) …(b)

以上より、今回の CNF 樹脂サッシの熱貫流率の目標必要性能は数値(b)と設定する。

## ②曲げ弾性率

サッシの重要な性能である耐風圧等を担保する曲げ弾性率については、今回の CNF の供給元である中越パルプ工業社でのポリプロピレン成形品の実績を基に樹脂単体比 30%の向上を目指すこととする。

(2) CNF を混練した塩ビコンポジットの試作、及び、成形試作体の建材単体としての目標性能達成状況の検証

①CNF を混練した塩ビコンポジットの試作

LIXIL と中越パルプ工業で協議し、中越パルプ工業から、CNF を含まないニート塩ビコンポジット、及び、竹 CNF を含む塩ビコンポジット 4 種類の供給を受けた（表Ⅱ-1-2-4）。

S-2 において、S-1 と比較して外観にザラツキが発生したことから竹 CNF の影響によると考え、S-3～S-5 においては、ペレット製造時の条件を調整し、更に S-5 では竹 CNF の量を調整した。

表Ⅱ-1-2-4 竹 CNF 含有塩ビコンポジットの製造条件と形状・外観

試料名	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5
竹 CNF	無し	有り	←	←	S-2 の 1/2 量
ペレット 製造条件	一般的 塩ビ条件	←	配合条件 変更	混練条件 変更	配合条件 変更
形状	ペレット状	←	←	←	←
外観	-	ザラツキ あり	←	←	ザラツキ S-2 より 少



サンプル S-1 以外すべてのサンプルはザラツキがあり、拡大観察を行なうと樹脂様物質の中に点状で白色物の存在が見られ (図 II-1-2-2)、ザラツキの一要因であることが示唆された。

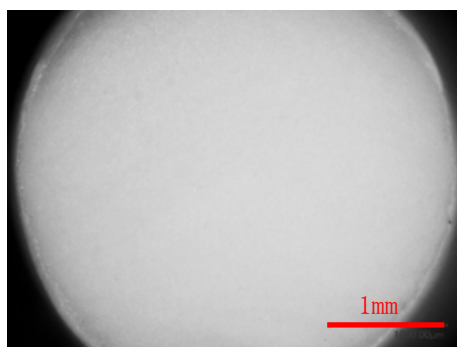


図 II-1-2-1  
S-1 の拡大写真

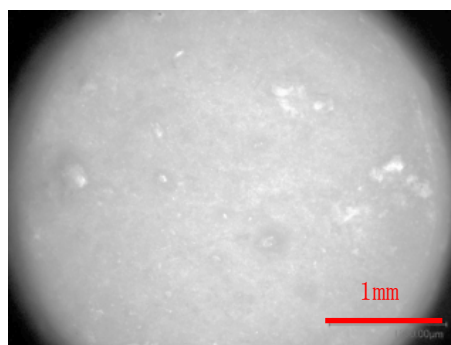


図 II-1-2-2  
S-2 の拡大写真

さらに、これらサンプルをロール混練・プレス成形して、その成形品を SEM 観察・EDX 分析をすると、班らに異物様物質が存在していることが観察でき、また、異物様物質域は炭素成分が多く塩素成分が少なく見られることから塩ビ樹脂が少ないことが想定され、竹繊維が CNF にはならず存在していることや樹脂への CNF の分散が十分ではない可能性が示唆された (図 II-1-2-3, 4)。

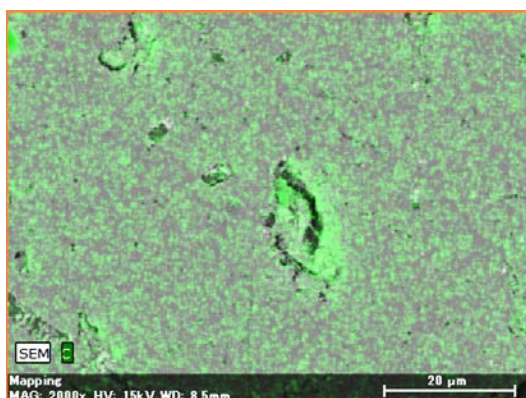


図 II-1-2-3  
S-2 成形品の SEM 観察・EDX 分析写真  
緑色：炭素元素

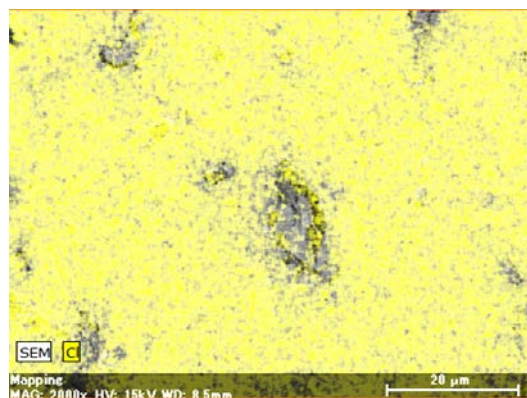


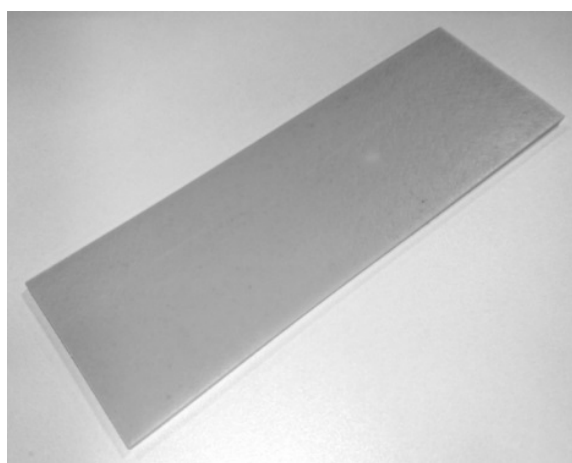
図 II-1-2-4  
S-2 成形品の SEM 観察・EDX 分析写真  
黄色：塩素元素

②CNF を混練した塩ビコンポジットの成形試作、および、成形試作体の  
 建材単体としての目標性能達成状況

①で調製した竹 CNF を含む塩ビコンポジットを下表のとおり設備・条件で  
 押出成形を実施した（表Ⅱ-1-2-5）。成形品サンプルの試料名は E-1～E-6 とす  
 る。

表Ⅱ-1-2-5 竹 CNF 含有塩ビコンポジットの押出成形条件と成形品の評価結果

試料名	E-1	E-2	E-3	E-4	E-5	E-6	JIS A5558 規格
塩ビ コンポジット 試料名	S-1	S-2	S-2	S-3	S-4	S-5	—
押出機	混練 弱	混練 弱	混練 強	混練 強	混練 強	混練 強	—
成形樹脂 温度 (°C)	180	←	←	←	←	←	—
熱伝導率 (W/(m・K))	0.22	—	0.24	0.25	0.23	0.23	—
曲げ弾性率 (MPa)	2,300	2,500	2,800	2,400	2,500	2,600	2,000 以上
曲げ応力 (MPa)	55	55	59	55	58	59	—



厚み 約 2.5 mm、短手長さ(幅) 約 45 mm

図Ⅱ-1-2-5 竹 CNF 含有塩ビコンポジットの押出成形品 (E-3)

熱伝導率の計算は、(1)と同様の条件で実施した（表Ⅱ-1-2-6）。

表Ⅱ-1-2-6 熱伝導率の測定条件

測定試料	E-1（既述）、E-3～E-6
試料サイズ	10mm×10mm×t2 mm（※切削加工）
試験方法	熱拡散率測定；レーザーフラッシュ法 比熱測定；DSC
試験条件	測定温度；23℃
測定装置	熱定数測定装置 TC-3000 型 真空理工社製 示差走査熱量計 DSC-7 型 パーキンエルマー社製

●熱貫流率

熱貫流率は(1)と同様の条件（表Ⅱ-1-2-7）で計算して求め、曲げ強度が優れている E-3 の熱伝導率の値を用いて計算の結果、下記表Ⅱ-1-2-8 のとおりとなり、目指していた値になることが確認できた。なお、今回の熱伝導率の各値においては熱貫流率への影響は少ないことが示唆された。

表Ⅱ-1-2-7 熱貫流率の計算前提条件

構造	樹脂サッシ 開きテラスタイプ
サイズ	W1730mm×H1,800mm
ガラス種別	ペアガラス FL3mm-16mm-FL3 mm、Ar ガス入り、片面 Low-E
計算条件	室外 0℃、室内 20℃

表Ⅱ-1-2-8 熱貫流率の計算結果

試料名	E-1 (目標)	E-3	E-4	E-5	E-6
熱貫流率 (W/(m <sup>2</sup> ・K))	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5

## ●曲げ弾性率

混練能力の弱い押出機による成形で得た E-2 では E-1 に対して約 9%の向上、混練能力の強い押出機による成形で得た E-3 では約 21%の向上となったが、目指していた値には到らなかった。

E-2、E-3 を SEM 観察・EDX 分析をすると、S-2 のロール成形品同様に異物様物質が存在しており、E-2 においての方が大きな異物様物質が多く観察できた。また、異物様物質域は炭素成分が多く塩素成分が少なく見られることから、塩ビ樹脂が少ないことが想定され、各押出機を通して、竹繊維が CNF にはならず存在していることや樹脂への CNF の分散が進んでいないことにより、曲げ弾性率の向上に必ずしも寄与出来ていない可能性が示唆された（図 II-1-2-6～9）。

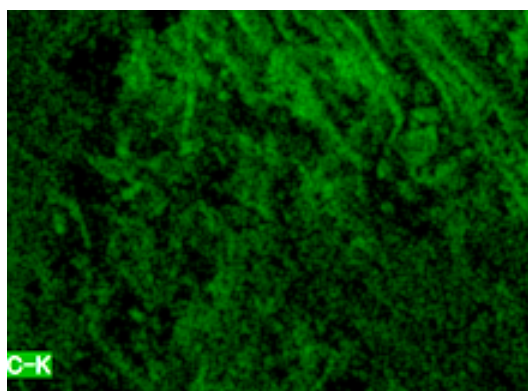


図 II-1-2-6  
サンプル E-2 の EDX 分析写真  
(撮影倍率 500 倍)  
緑色:炭素元素

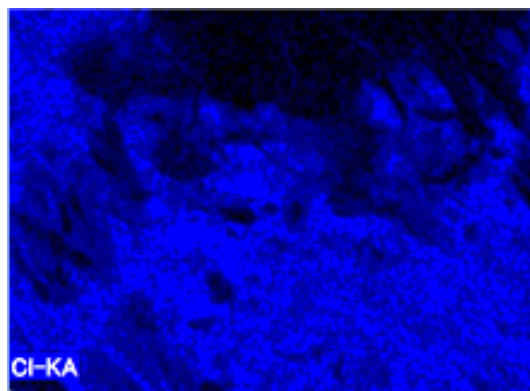


図 II-1-2-7  
サンプル E-2 の EDX 分析写真  
(撮影倍率 500 倍)  
青色:塩素元素

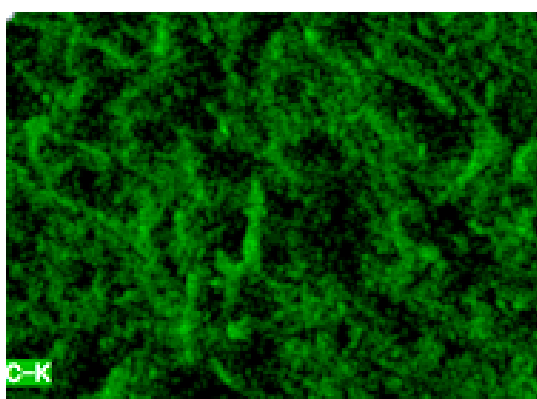


図 II-1-2-8  
サンプル E-3 の EDX 分析写真  
(撮影倍率 500 倍)  
緑色:炭素元素

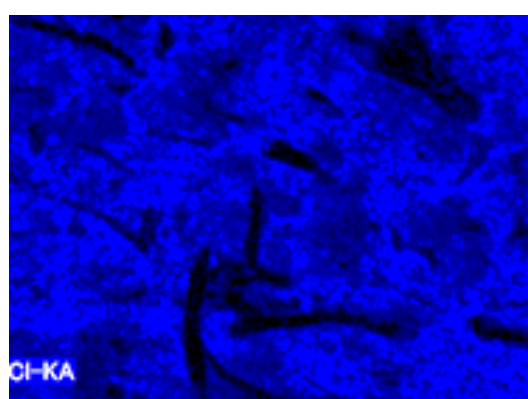


図 II-1-2-9  
サンプル E-3 の EDX 分析写真  
(撮影倍率 500 倍)  
青色:塩素元素

上記の示唆を受け LIXIL と中越パルプ工業で協議し、中越パルプ工業から、新たな竹 CNF を含む塩ビコンポジットの供給を受けた（表Ⅱ-1-2-9）。

表Ⅱ-1-2-9 竹 CNF 含有塩ビコンポジットの製造条件と形状・外観

試料名	竹 CNF 配合量	ペレット 製造条件	形状	外観
S-6	S-2 の 1.7 倍量	混練条件変更	ペレット状	ガラツキ あり

上記の材料（S-6）を下表のとおり設備・条件でロール混練・プレス成形を実施した（表Ⅱ-1-2-10）。成形品サンプルの試料名は E-7 とする。

表Ⅱ-1-2-10 竹 CNF 含有塩ビコンポジットのロール混練・プレス成形品の評価結果

試料名	塩ビ コンポジット 試料名	曲げ 弾性率 (MPa)	曲げ 応力 (MPa)
E-7	S-6	3,000	75
JIS A5558 規格	—	2,000 以上	—

上記の E-7 は E-1 に対して 30.4%の曲げ弾性率の向上となり、目指していた値になることが確認できた。

なお、上記の S-6 配合材料を用いた押出成形及び評価を今後予定している。

### 1-3. まとめと今後の課題

#### (1) CNF 樹脂サッシの目標必要性能の設定

熱貫流率 : 1.5 W/(m<sup>2</sup>・K)  
曲げ弾性率 : 樹脂単体比 30%向上

#### (2) 竹 CNF を含む塩ビコンポジット成形試作体の建材単体としての目標性能達成状況

熱貫流率 : 1.5 W/(m<sup>2</sup>・K)  
曲げ弾性率 : 樹脂単体比 30.4%向上 (2, 300MPa に対して 3, 000MPa)

#### (3) 今後の課題

##### ① 押出成形による成形体での曲げ弾性率の向上

押出成形体でもロール混練・プレス成形体と同等の弾性率が得られるかを確認する。

##### ② 曲げ弾性率向上のメカニズム把握、成形条件の設定、材料の改良等のため、成形体中の CNF の観察手法や性状評価方法等の検討、及び、材料改良の検討

熊本大学、熊本県産業技術センターの協力を得ながら、塩ビ樹脂中における CNF の分散状態を確認し、性能改善の可能性を調査する。

##### ③ 実証試作品作製に向けた設備の整備、成形部材の試作、組立の準備

部材の成形に必要な成形金型や引取機キャタピラ等の設備を整備し、また、成形部材を実証試作体へ組立てるために必要な設備を確認・準備する。

成形部材の成形性（金型転写性、寸法具合など）を確認して成形条件を設定し、得られた成形体の曲げ弾性率や熱伝導率などを評価する。

## 2. CNF 遮熱合わせガラスの開発・試作に向けた検討

### 2-1. 検討概要

#### (1) CNF 遮熱合わせガラスの構成

まずは CNF 遮熱合わせガラスについて説明する。

図 II-2-1-1 に、その構成を示す。

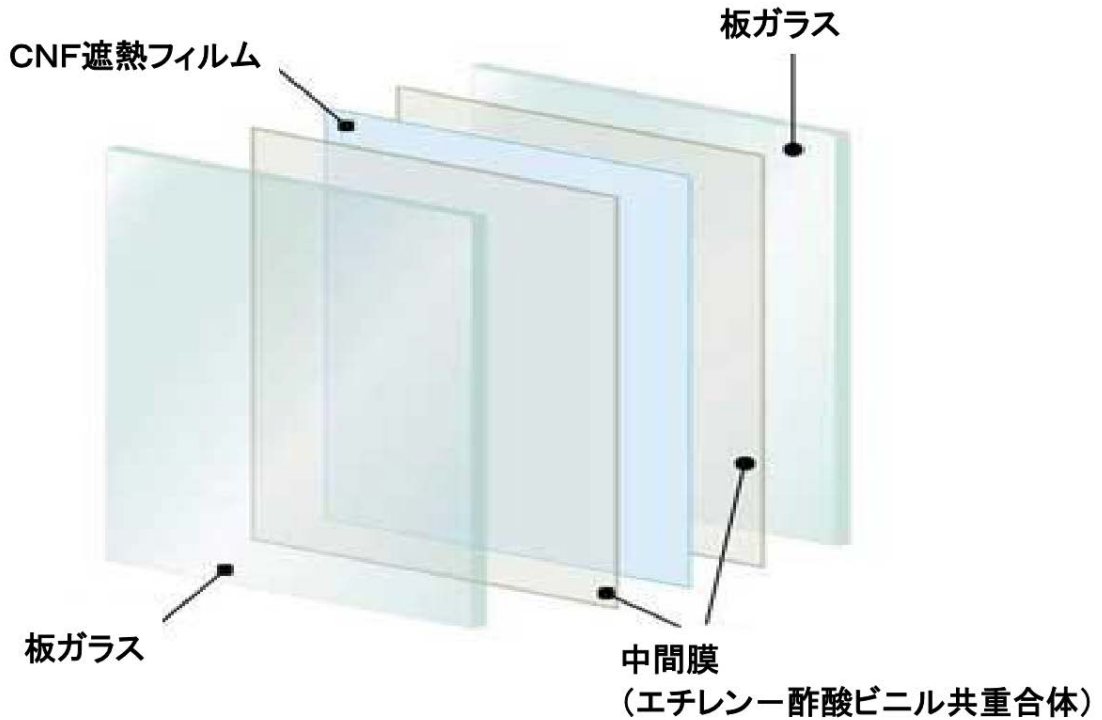


図 II-2-1-1 CNF 遮熱合わせガラスの構成

CNF 遮熱フィルムの両側に中間膜を 1 枚ずつ配置し、それを板ガラスで挟み込む。これを真空中で加熱することにより、ガラスと CNF 遮熱フィルムを一体化させる。中間膜とは接着剤の様なもので、EVA (エチレン-酢酸ビニル共重合体) を使用している。

合わせガラスの特徴としては、中間膜で 2 枚のガラスを接着し一体化しているため、割れてもガラスの破片が飛び散らず、また耐貫通性能も高いので防犯ガラスとしても使用される。

## (2) CNF 遮熱フィルム製作

CNF 遮熱フィルムを製作するに当たり、CNF を混練するフィルム材料について選定を行った。求められる性能は、CNF が良く混ざることおよび透明性であるが、今までの知見をもとにポリエチレンを選定した。

メーカー：東ソー・ニッケミ

型名：ペトロセン175R

製作手順としては、中越パルプ工業にてポリエチレン CNF コンポジットを製作し、東ソー・ニッケミにてフィルム製作時にポリエチレンを加え、最終的に CNF 遮熱フィルムを製作した。またフィルム厚は、合わせガラス用中間膜と同じ 0.4mm とした。

この CNF 濃度とフィルム厚については、今回の試作の評価結果をもとに今後、検討を重ね最適化していく。

## (3) CNF 遮熱合わせガラス製作

製作した CNF 遮熱フィルムを、中間膜により 2 枚のガラスの間に挟み込み合わせガラスを製作した。この合わせガラスについて、JIS の合わせガラスに適合するか確認するために試験を行った。

JIS 試験方法：JIS R3205(2005) 合わせガラスに準ずる

表 II-2-1-2 に、試験の概要を示す。



表Ⅱ-2-1-2 JIS R3205 (2005) 試験概要

試験項目	試験方法	判定基準
耐光性	寸法 300×76mm の試験体に対して、QUV（デューパネル光ウェザーメーター）を用い、45±5℃に保持された装置内に、光源から 230mm の距離に試験体を置き、2,000 時間、紫外線照射する。	試験体 3 枚について試験を行い、ガラス部分にヒビが入ることは許されるが、ガラスの縁から 15mm を超える部分に、およびヒビから 10mm を超える部分に、著しい変色および使用上差支えのある泡、はく離および濁りを生じてはならない。
耐熱性	寸法 300×300mm の試験体に対して、約 65℃の温水中に鉛直に立てて 3 分間経過後、手早く沸騰水中に 2 時間浸す。	試験体 3 枚について試験を行い、ガラス部分にヒビが入ることは許されるが、ガラスの縁から 15mm を超える部分に、およびヒビから 10mm を超える部分に、著しい変色および使用上差支えのある泡、はく離および濁りを生じてはならない。
耐湿性	寸法 300×300mm の試験体に対して、恒温恒湿槽を用い、温度 50±2℃、相対湿度 95±4%に調整し、試験体を垂直に置き、2 週間保持する。	
落球	寸法 610×610 の試験体に対して、試験の直前まで少なくとも 4 時間、23±2℃の室中に保持する。試験体を試験枠に水平に支持し、質量 1,040±10g の鋼球を、試験体の表面から 120cm の高さに置き、中心に向かって自由落下させる。構成するガラス板が 1 枚以上破壊しない場合は、落下高さを 150, 190, 240, 300, 380, 480 と上げて行う。	試験体 6 枚について試験を行い、構成するガラス板が 1 枚以上破壊したとき、5 枚以上の試験体の中間膜に切断またはガラスの欠落による露出部分が無いこと。
ショットバック	寸法 1930×864mm の試験体に対して、試験の直前まで少なくとも 4 時間、23±5℃の室中に保持する。試験体を試験枠に垂直に設置し、質量 45±0.1kg の加撃体を中心に向かって 30mm の高さから、振り子式に自由落下させる。構成するガラス板が 1 枚しか破壊しないときは、同じ高さから更に 1 回だけ加撃する。それでも破壊しないとき、または 2 枚とも破壊しないときは、下記の順序に従い高さを上げて同様に加撃する。 38、48、61、77、96、120、150、190、230	試験体 4 枚について試験を行い、4 枚とも以下のいずれかに適合すること。 ・ガラスが破壊した場合、破壊した部分に直径 75mm の球が自由に通過する開口を生じないこと ・ガラスが破壊しないもの

#### (4) CNF 遮熱フィルムの内部構造観察と屈折率測定

製作した CNF 遮熱フィルムについて、熊本大学にて偏光顕微鏡を使用して内部構造の観察、および下記装置を用いて屈折率の測定を行った。

##### 【使用装置】

メーカー：SAIRON TECHNOLOGY, INC

型 名：SPA-4000

#### (5) CNF 遮熱フィルムおよび合わせガラスの光学特性評価

製作した CNF 遮熱フィルムおよび合わせガラスについて、熊本大学にて透過率と反射率の測定を行った。

##### 【使用装置】

メーカー：島津製作所

型 名：UV-3600 Plus (積分球 ISR-603 付属)

試験体は、以下の仕様のとおりである。

F-1 ポリエチレン(PE) フィルム (厚さ 0.4mm)

F-2 CNF 遮熱フィルム (厚さ 0.4mm)

F-3 合わせガラス 1 (ガラス+EVA+PE フィルム+EVA+ガラス)

F-4 合わせガラス 2 (ガラス+EVA1 枚+ガラス)

F-5 合わせガラス 3 (ガラス+EVA2 枚+ガラス)

F-6 合わせガラス 4 (ガラス+EVA3 枚+ガラス)

F-7 CNF 遮熱合わせガラス(ガラス+EVA+CNF 遮熱フィルム+EVA+ガラス)

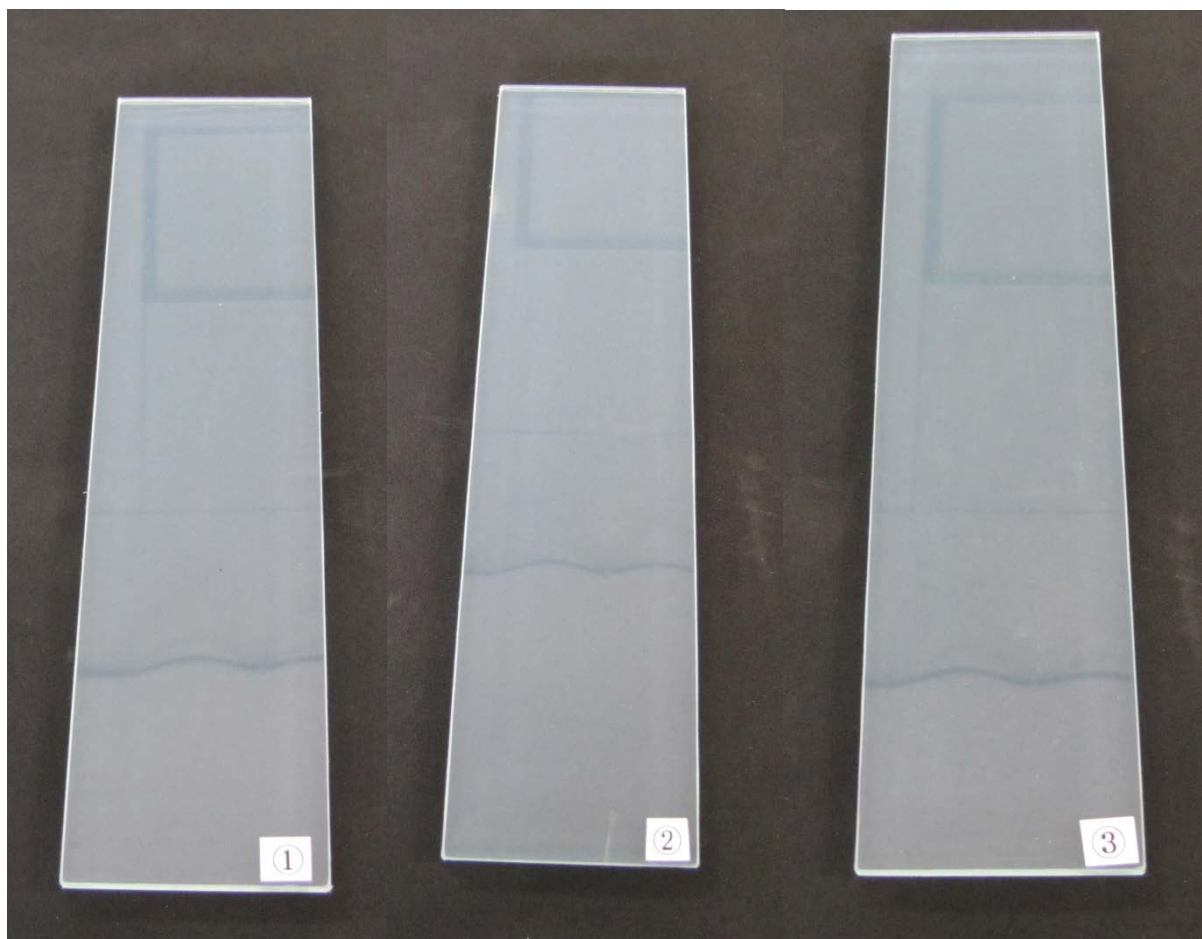
F-1 と F-2 および F-3 と F-7 は、CNF の有無での比較評価、F-4～ F-6 は中間膜に CNF を混練して遮熱フィルムを製作したときの比較評価用である。

## 2-2. 検討結果

### (1) CNF 遮熱合わせガラスの JIS 試験

#### ①耐光性

試験前の試験体の外観写真を図Ⅱ-2-2-1 に示す。



図Ⅱ-2-2-1 耐光性試験前の外観写真

現在、試験を開始してから約 1,000 時間が経過している。このまま継続し、2,000 時間経過後の試験体の評価を行う。

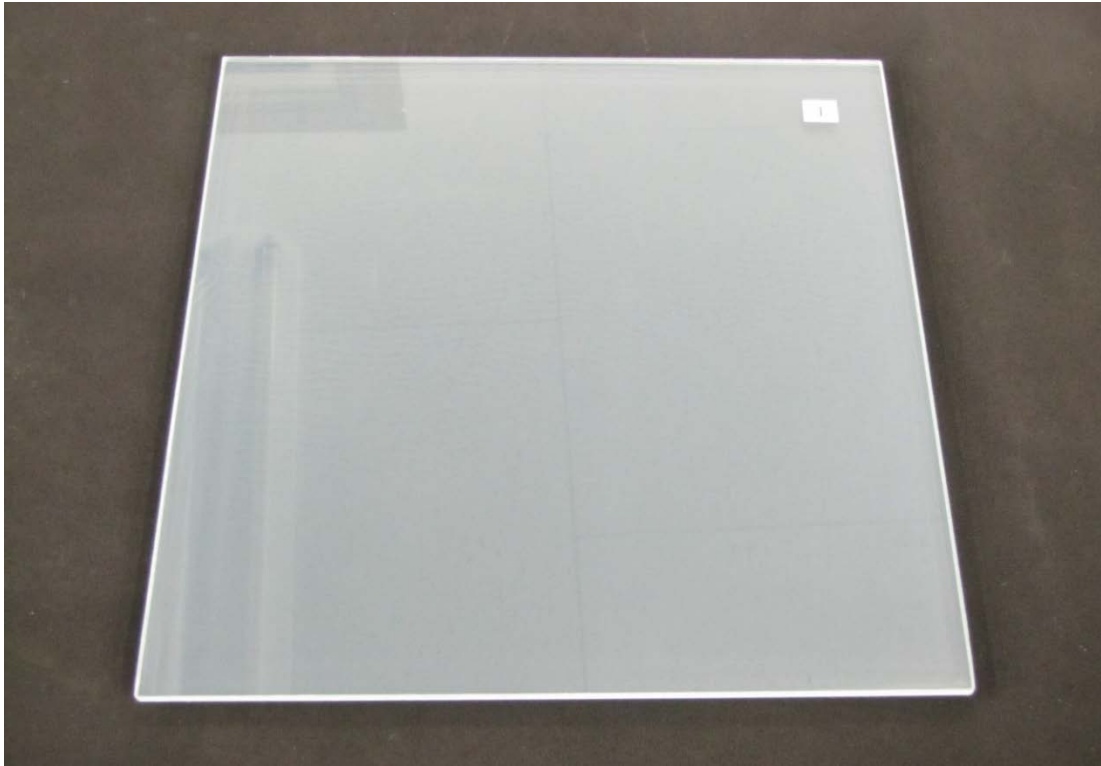
#### ②耐熱性

試験前の試験体の外観写真を、図Ⅱ-2-2-2～4 に示す。

また、試験後の試験体の外観写真を、図Ⅱ-2-2-5～7 に示す。

試験体①～③の全てにおいて、四周に泡が 2～3mm 幅で発生したが、いずれもガラスの縁から 15mm 以内のため問題はない。なお、ヒビ、はく離および濁りなどは生じていない。

よって、耐熱性試験は適合となる。



図Ⅱ-2-2-2 耐熱性試験前の試験体①の外観写真



図Ⅱ-2-2-3 耐熱性試験前の試験体②の外観写真

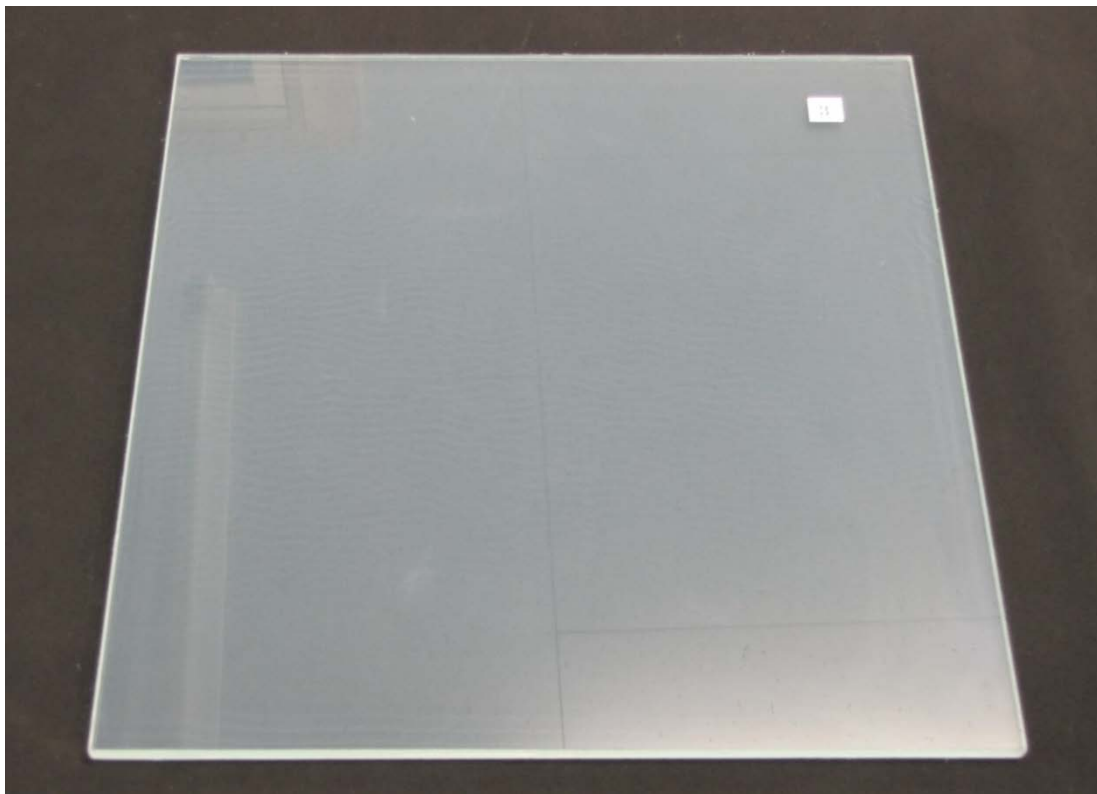


図 II-2-2-4 耐熱性試験前の試験体③の外観写真

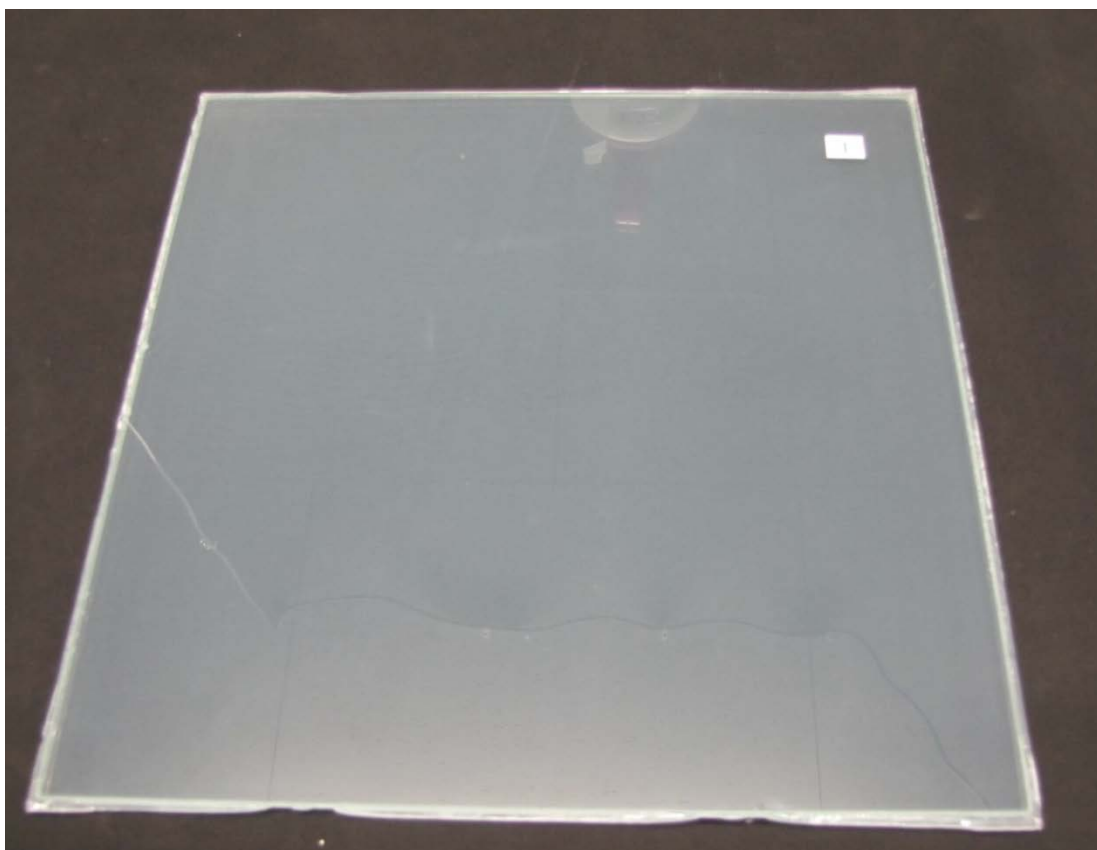


図 II-2-2-5 耐熱性試験後の試験体①の外観写真

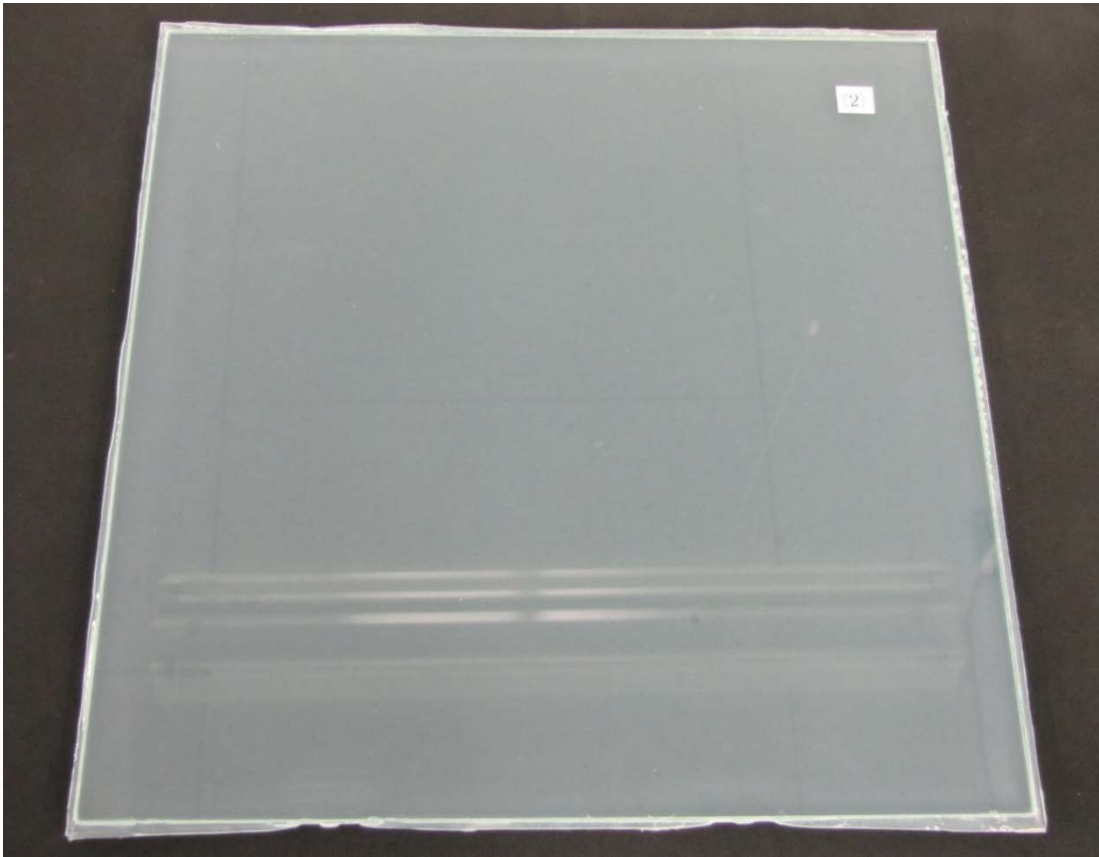


図 II-2-2-6 耐熱性試験後の試験体②の外観写真

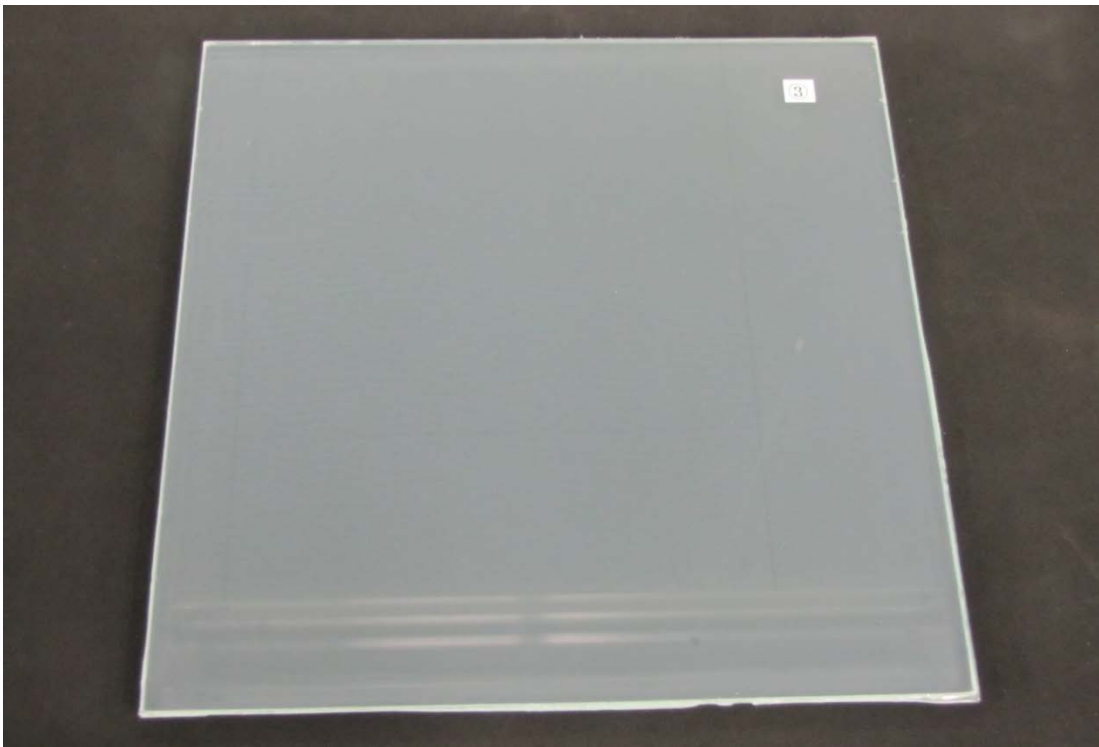


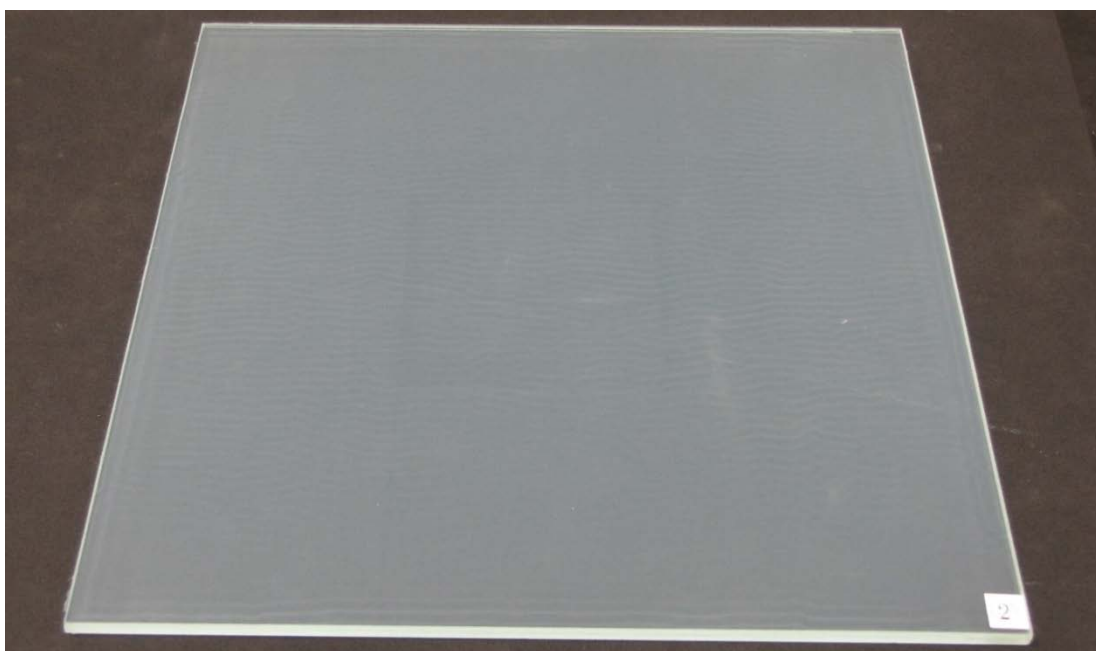
図 II-2-2-7 耐熱性試験後の試験体③の外観写真

### ③耐湿性

試験前の試験体の外観写真を、図Ⅱ-2-2-8～10に示す。

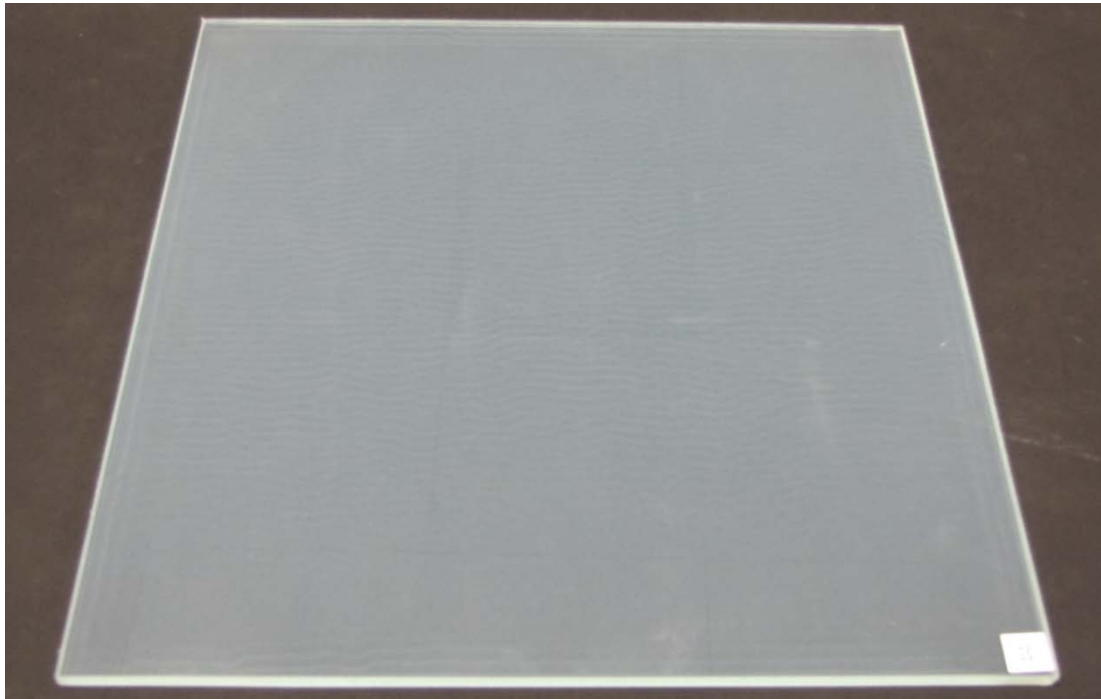


図Ⅱ-2-2-8 耐湿性試験前の試験体①の外観写真



図Ⅱ-2-2-9 耐湿性試験前の試験体②の外観写真





図Ⅱ-2-2-10 耐湿性試験前の試験体③の外観写真

また、試験後の試験体の外観写真を、図Ⅱ-2-2-11～13に示す。



図Ⅱ-2-2-11 耐湿性試験後の試験体①の外観写真





図Ⅱ-2-2-12 耐湿性試験後の試験体②の外観写真



図Ⅱ-2-2-13 耐湿性試験後の試験体③の外観写真

試験体①～③の全てにおいて、ヒビ、変色、泡、はく離および濁りなどは生じていない。

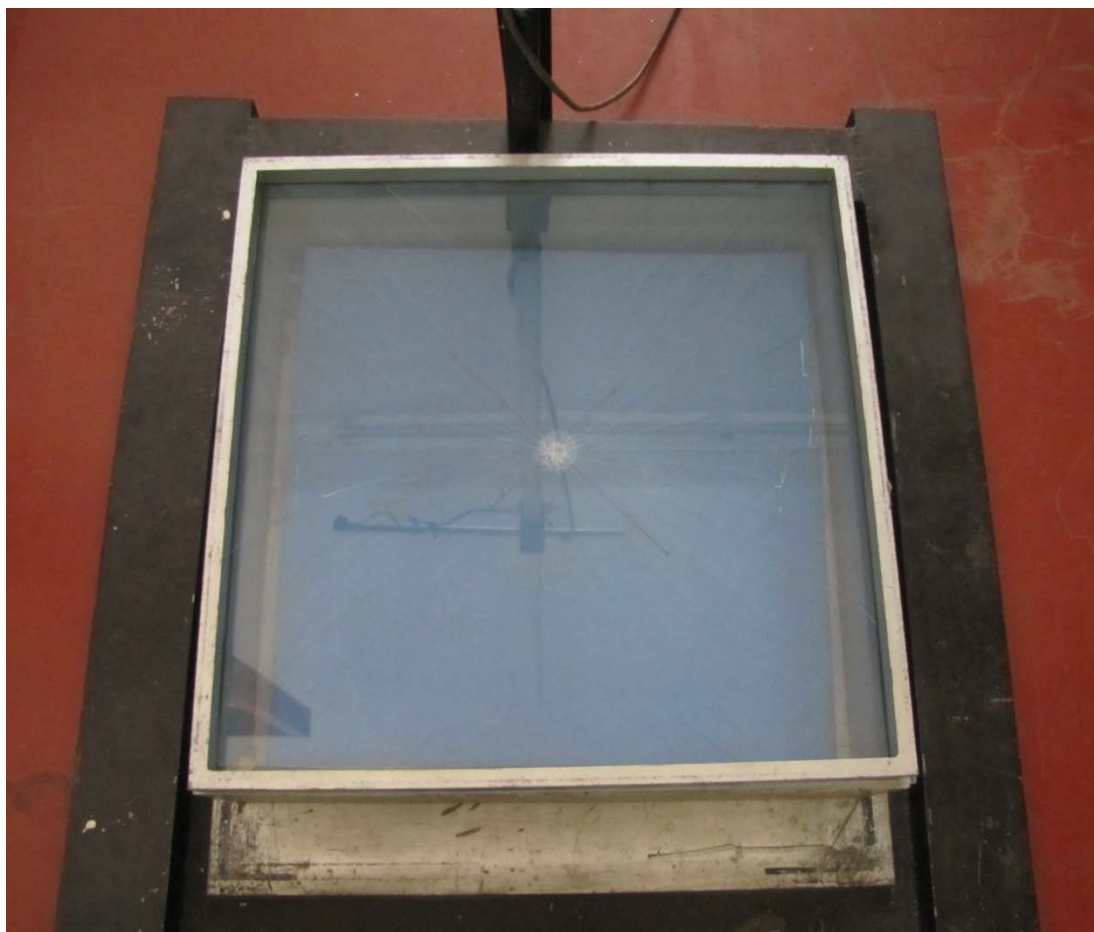
よって、耐湿性試験は適合となる。

#### ④落球

試験後の試験体の外観写真を、図Ⅱ-2-2-14～18に示す。

試験体①～⑤の全てにおいて、中間膜の切断やガラスの欠落による露出部分はなかった。

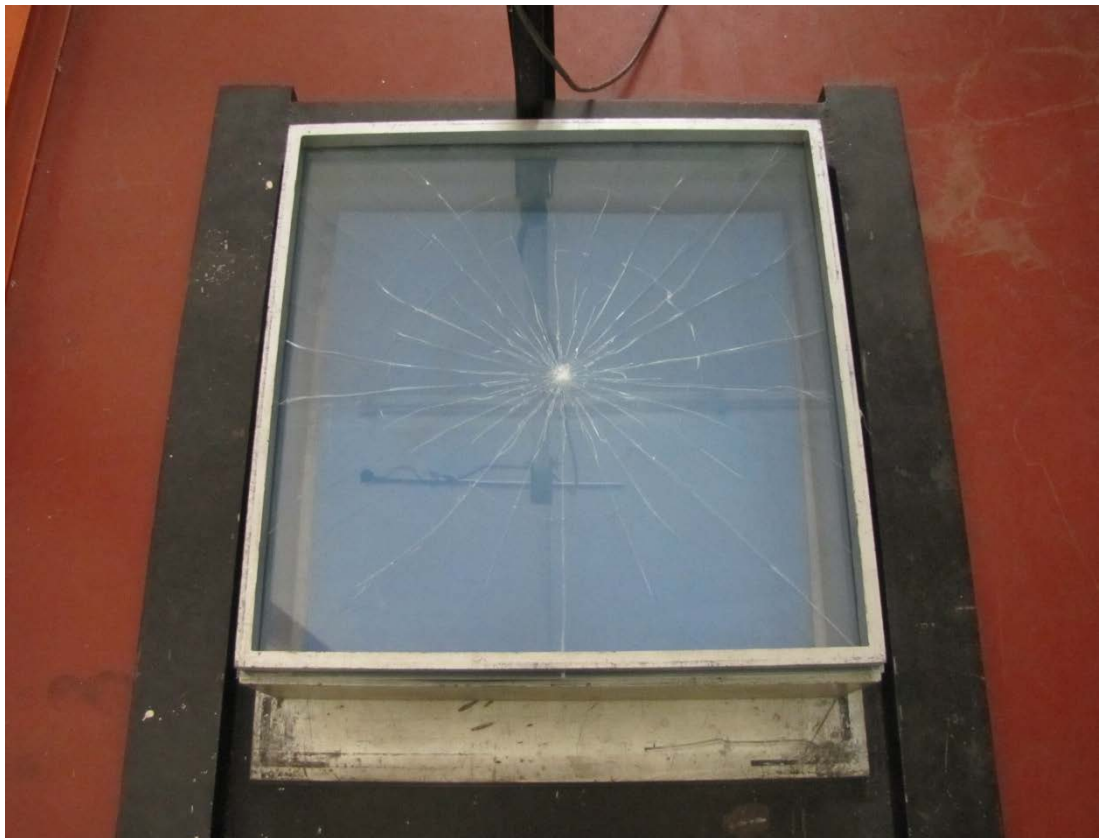
よって、落球試験は適合となる。



図Ⅱ-2-2-14 落球試験後の試験体①の外観写真



図Ⅱ-2-2-15 落球試験後の試験体②の外観写真



図Ⅱ-2-2-16 落球試験後の試験体③の外観写真



図 II -2-2-17 落球試験後の試験体④の外観写真

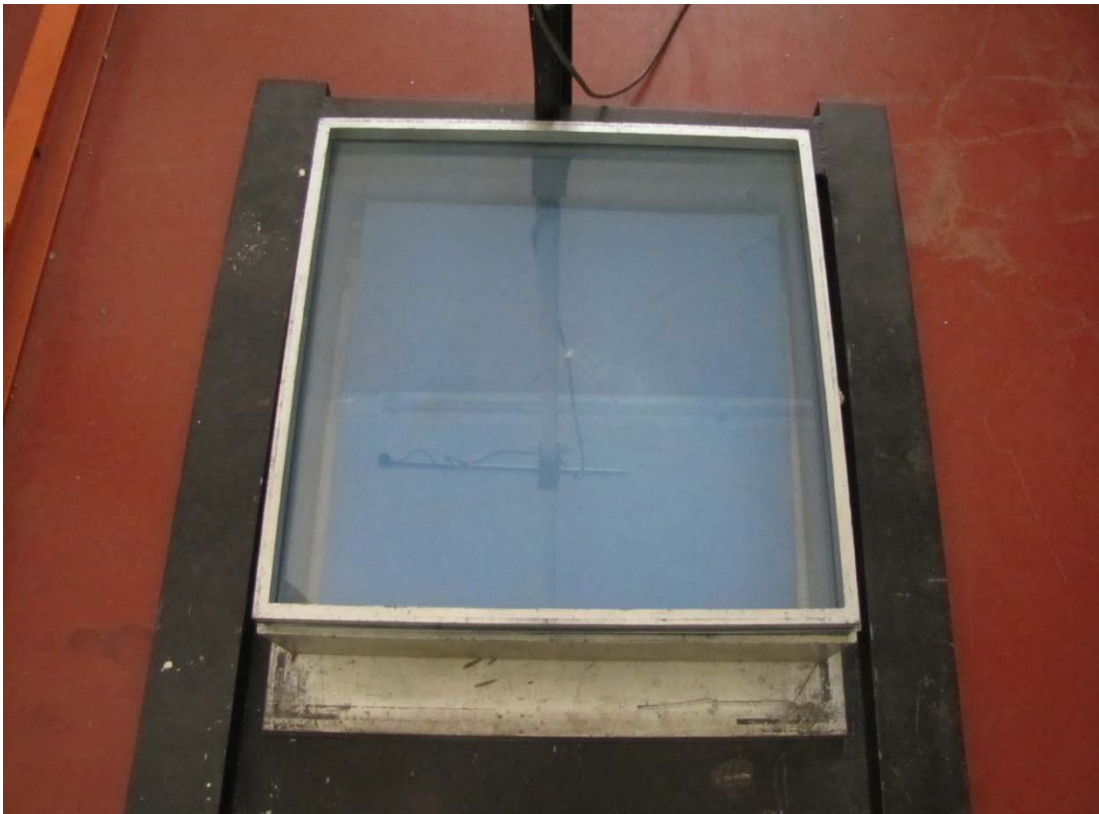


図 II -2-2-18 落球試験後の試験体⑤の外観写真



⑤ショットバック

試験後の試験体の外観写真を、図Ⅱ-2-2-19～22 に示す。



図Ⅱ-2-2-19 ショットバック試験後の試験体①の外観写真



図Ⅱ-2-2-20 ショットバック試験後の試験体②の外観写真



図Ⅱ-2-2-21 ショットバック後の試験体③の外観写真



図表Ⅱ-2-2-22 ショットバック試験後の試験体④の外観写真

試験体①～④の全てにおいて、破壊したガラス部分に直径 75mm の球が自由に通過する開口を生じなかった。

よって、ショットバック試験は適合となる。

### (2) CNF 遮熱フィルムの内部構造観察

詳細は「5. CNF 素材の改質、コンポジット化、機能評価」にて記載されるが、CNF は均一に分散しておらず凝集体となって、ポリエチレン中に混在していることが確認された。

### (3) CNF 遮熱フィルムおよび合わせガラスの光学特性評価

こちらも詳細は「5. CNF 素材の改質、コンポジット化、機能評価」にて記載されるが、透過率と反射率について CNF の有無で差異が認められなかった。

## 2-3. まとめと今後の課題

### (1) まとめ

CNF を混練したフィルムを製作し、合わせガラスにすることは出来た。しかし、CNF が均一に分散しておらず、光学特性に差異が認められなかった。また、透明度に関しても僅かに白い濁りが見られ、半透明であった。

### (2) 今後の課題

まずは透明性の高い材料で、CNF が良く混ざるものを調査・選定する。現在検討しているのが、中間膜に使われている EVA である。こちらは合わせガラス中に 3 枚挿入しても透明性は高いことが確認できた。今後は試作を繰り返し、混練手法を確立していく。またさらに透明性を上げる手法について、調査・検討を行う。

光学特性について、CNF の有無で差が無かったのは、今回のフィルムが CNF の分散が均一でなかったことが原因の 1 つと考えられるため、まずは混練手法の確立と、CNF の濃度を上げること、またフィルムを厚くすることなどを検討していく。

来年度については、薩摩川内市の実測用市営住宅の窓に CNF 遮熱合わせガラスを実装する計画であるため、それにあわせて試作・検討を進め実装用の CNF 合わせガラスを製作する。

### 3. CNF 遮断熱コーティング材の開発・試作に向けた検討

#### 3-1. 検討概要

##### (1) 使用材料の選定

- ① CNF の選定
- ② コーティング材の選定

##### (2) 遮断熱コーティング材の試作

##### (3) 遮断熱コーティング材の目標性能達成状況の検証と設定

- ① 遮熱性
- ② 断熱性
- ③ 耐久性



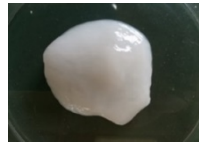


#### 3-2. 検討結果

##### (1) 使用材料の選定

##### ① CNF の選定

本開発で遮断熱コーティング材に使用する CNF は、竹セルロースナノファイバー(以下 CNF)を使用する。表Ⅱ-3-2-1 に含水 CNF 試作体(購入品)に関する CNF の濃度、解繊度および外観を示した。

表Ⅱ-3-2-1 含水 CNF 試作体の調製条件と外観

試作体No.	CNFの濃度 (wt. %)	解繊度	外観
T1-1-A	1	低	
T1-1-B	1	中	-
T1-1-C	1	高	-
T1-2-A	10	低	
T1-2-B	10	中	-
T1-2-C	10	高	-
T1-3-A	2	低	
T1-4-A	30	低	
T1-5-A	15	低	



表Ⅱ-3-2-1 に示す T1-1 シリーズから T1-5 の含水 CNF 試作体を既存の遮熱コーティング材に混合した。その結果、T1-1-A, -B, -C、T1-2-A, -B, -C、T1-3-A および T1-5-A は 99, 90, 98 および 85 wt.% と含水率が高いため、混合液から水を除去するのに時間がかかることが確認された。それに対して、CNF を 30 wt.% 含有する T1-4-A は他の試作体よりも含水率が 70 wt.% と比較的低下するため、水の除去に時間がかからない。したがって、今回は CNF 分散液として工程時間の短縮が期待できる T1-4-A を採用した。

## ②コーティング材の選定

本開発では水性系のコーティング材を使用する。選定の理由としてコーティング材は、有機溶剤系と水性系とに区分されるが、サンプル提供されている CNF は親水性のため、有機溶剤系に対しては混合攪拌することは難しく、水性系にはなじみやすい。自然由来の CNF を混合させる対象として環境に対してやさしいことも重要な条件であると考え、水性系のコーティング材を選定した。一方、CNF を混ぜるコーティング材もナノサイズであることが混合に有利であると考え、ナノサイズの水性コーティング材を選定した(表Ⅱ-3-2-2)。

表Ⅱ-3-2-2 材料として使用する遮熱コーティング材

試作体 No.	材料種別	概要
T2-1	ナノ遮熱コーティング材 (以下、遮熱コーティング材)	<p>高分子水性エマルジョン樹脂の粒径 塗装表面 直径 1 μm 塗布素材面</p> <p>ナノ化された高分子水性エマルジョン樹脂の粒径 塗装表面 直径 100nm 塗布素材面</p>

## (2) 遮断熱コーティング材の試作

遮断熱コーティング材の試作体の調製条件を表Ⅱ-3-2-3に示した。

表Ⅱ-3-2-3 試作したコーティング材料

試作体 No.	遮断熱コーティング材の濃度 (wt%)	水の濃度 (wt%)	CNF 純分 (wt%)	混合前の CNF の状態
T3-1	100	0	0	—
T3-2	98.3	1.2	0.5	水分散体
T3-3	96.7	2.3	1.0	水分散体
T3-4	99.0	0	1.0	粉末
T3-5	97.0	0	3.0	粉末

水分散体：T1-4-A，粉末：T1-4-A を乾燥した粉末

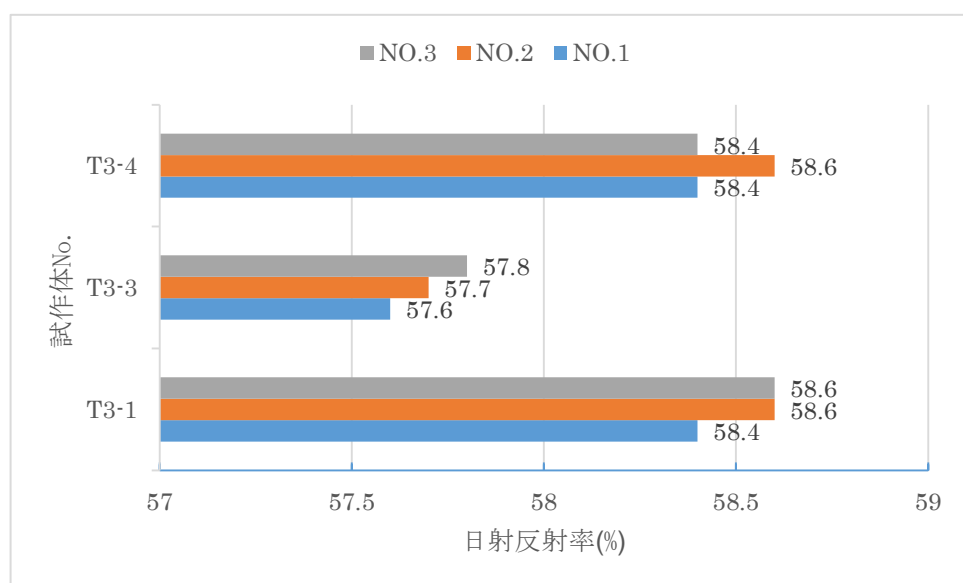
※ T3 シリーズ：遮断熱コーティング材と CNF を遮断熱コーティング材に混合し、調製。

## (3) 遮断熱コーティング材の目標性能達成状況の検証と設定

### ① 遮熱性

遮熱性の評価として日射反射率試験を行った。当該試験の概要は 300～2500nm の波長 (紫外線、可視光、赤外線) の光を試作体に照射し、反射率を測定した。

図Ⅱ-3-1に示すように、T3-1、-3 および-4 をそれぞれ 3 枚 (No. 1, 2 および 3) 作製し、日射反射率試験 (JIS K 5602 塗膜の日射反射率の求め方) を行った。CNF 含有、非含有における反射率の差が 1% 以下であることから、CNF を混合しても遮断熱コーティング材の遮熱性能を阻害しないことを確認した (図Ⅱ-3-2-1)。



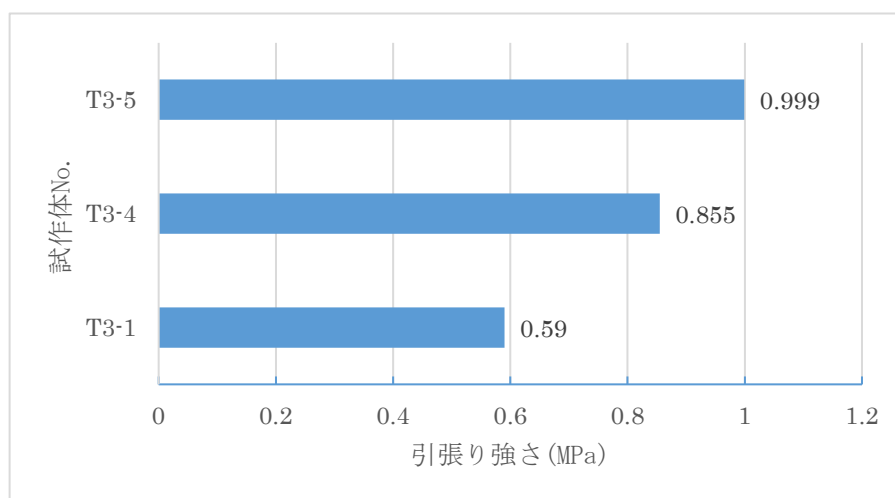
図Ⅱ-3-2-1 日射反射率試験 (全波長域)

## ②断熱性

T3-1 および-3 に対し、表面、裏面に温度センサーを取付けライトにより、表面を昇温させながら、温度測定を自社の評価装置を使用して、データの取得を行った。今回、調製した遮断熱コーティング材は、従来の遮断熱コーティング材と比較したところ、塗布裏面の温度が数℃低下することが確認された。

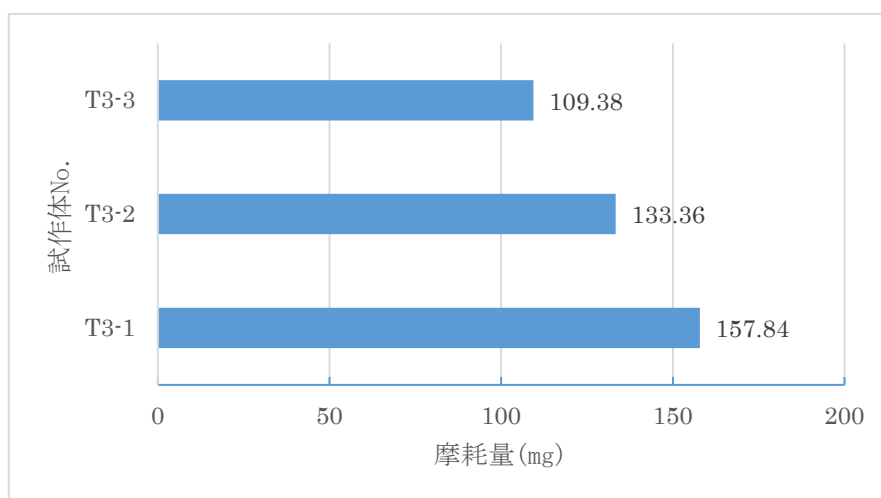
## ③耐久性

T3-1, -4 および-5 に対して引張試験(JIS K-7127-1999 プラスチックフィルム及びシートの引張試験方法)を鹿児島県工業技術センターで行った結果、CNF含有物は、非含有物と比較して最大約 1.7 倍の引張り強度の向上を確認した。なお、T3-2 および-3 は、分散性に偏りが確認されたため、耐久性試験は行わなかった(図Ⅱ-3-2-2)。



図Ⅱ-3-2-2 引張試験

T3-1, -2 および-3 に対して、耐摩耗試験(JIS K 5665 路面標示用塗料に準じた耐摩耗性試験)を行った。T3-1 と T3-3 の比較で約 30%摩耗量減となり、遮断熱コーティング材表面の硬さが向上していることを確認した(図Ⅱ-3-2-3)。



図Ⅱ-3-2-3 耐摩耗試験

耐久性の確認を行った結果、CNF ありは、引張強度が 1.4~1.7 倍となったことにより、耐汚染性の向上を進める中で検討する条件変更等に伴う強度変動のマーヅンを確保することができた。このことから、引張強度の目標値を 1.2 倍以上に設定する。

### 3-3. まとめと今後の課題

#### (1) まとめ

遮熱性に関しては、既存の遮断コーティング材が持っている遮熱性能を CNF が阻害しないことが確認できた。一方、断熱性に関しては、従来の遮熱コーティング材と比較して塗布裏面の温度が数℃低下することを確認した。CNF を混合した遮断熱コーティング材の耐久年数延長を実現するためには、建材単体としての引張強度が重要な要素の一つである。今回、引張強度が CNF 非含有物に対して最大で約 1.7 倍に向上することがわかった。

#### (2) 今後の課題

##### ①塗膜強度の均一化

CNF 分散性の向上が課題であるため、検査研究機関の協力を受けて遮断熱コーティング材の内部構造や分散状況を確認しつつ、配合する CNF の形態や混入条件等の変更を行い、分散性を向上させる検討を進めて行く。

##### ②断熱、耐汚染性の向上と乾燥時間の短縮化

評価方法の検討を行い、試験体を作製して評価を行いながら性能の向上を進めていく。

##### ③コストバランスの検討

実施工への展開を考慮したコストバランスの検討を進めて行く。

## 4. 開発した CNF 活用建材の市営住宅への導入、省 CO2 効果、室内温熱環境の評価に向けた検討

### 4-1. 検討概要

#### (1) 検討項目

##### ①市営住宅での実測

CNF 活用建材を市営住宅に設置して、エアコンの電力使用量の実測を行い、省 CO2 効果を測定する。また、室内の気温、壁や窓の表面温度などの測定を行い、室内の温熱環境の向上効果を測定する。実測は、市営住宅の同じ住戸プラン、同じ方位の 2 住戸で行い、1 住戸は既存のまま、1 住戸は CNF 活用建材を設置するものとして、両者を比較することによって、CNF 活用建材の省 CO2 効果、室内温熱環境向上効果を定量的に把握する。本年度は、実測対象住戸の選定、基本的な計測装置の設置を行った。2 住戸とも、CNF 活用建材設置前の状態で計測を行い、両者の性能の差異を把握する実測を開始した。

##### ②シミュレーションによる検討

実測を行う市営住宅をモデルとして、数値シミュレーションでエネルギー消費量、室内温熱環境の計算を実施するための、建物モデルの構築、計算の試行を実施した。

#### (2) スケジュール

実測による評価は、夏期及び冬期で、以下の期間を中心に行うが、計測は年間を通して実施する。

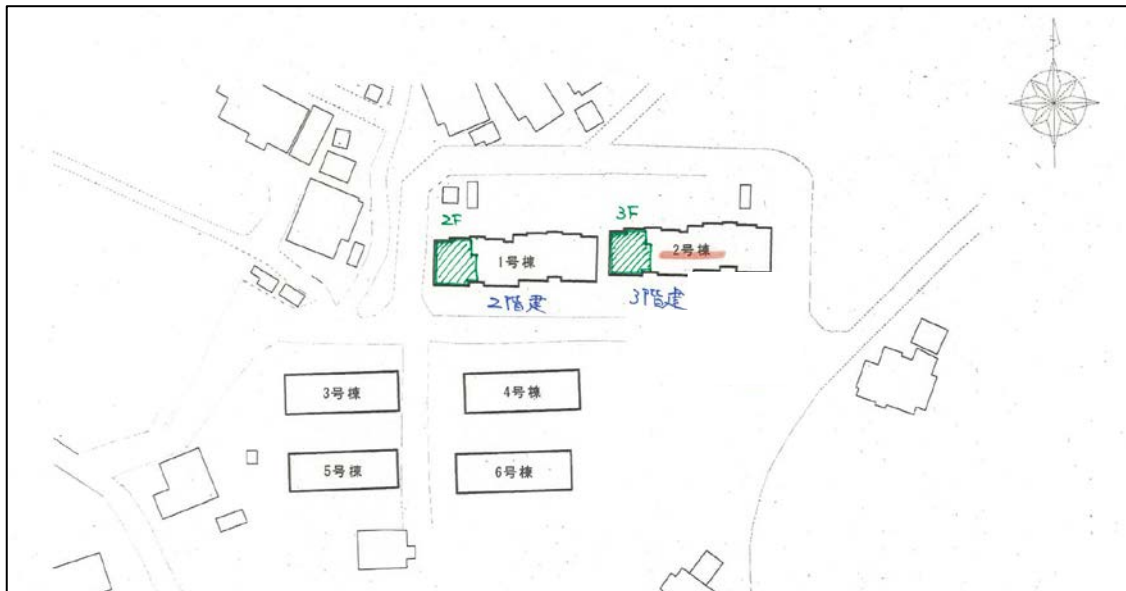
- ・ 改修前冬期計測 : 2018 年 1 月～3 月 (1 月 29, 30 日に計測器設置)
- ・ 改修前夏期計測 : 2018 年 7 月
- ・ 一部改修後夏期計測 : 2018 年 8 月～9 月
- ・ 一部改修後冬期計測 : 2018 年 12 月～2019 年 3 月
- ・ 改修後夏期計測 : 2019 年 7 月～9 月
- ・ 改修後冬期計測 : 2019 年 12 月～2020 年 2 月

※一部改修は、CNF 遮熱合わせガラス、CNF 遮断熱コーティング材を予定している。

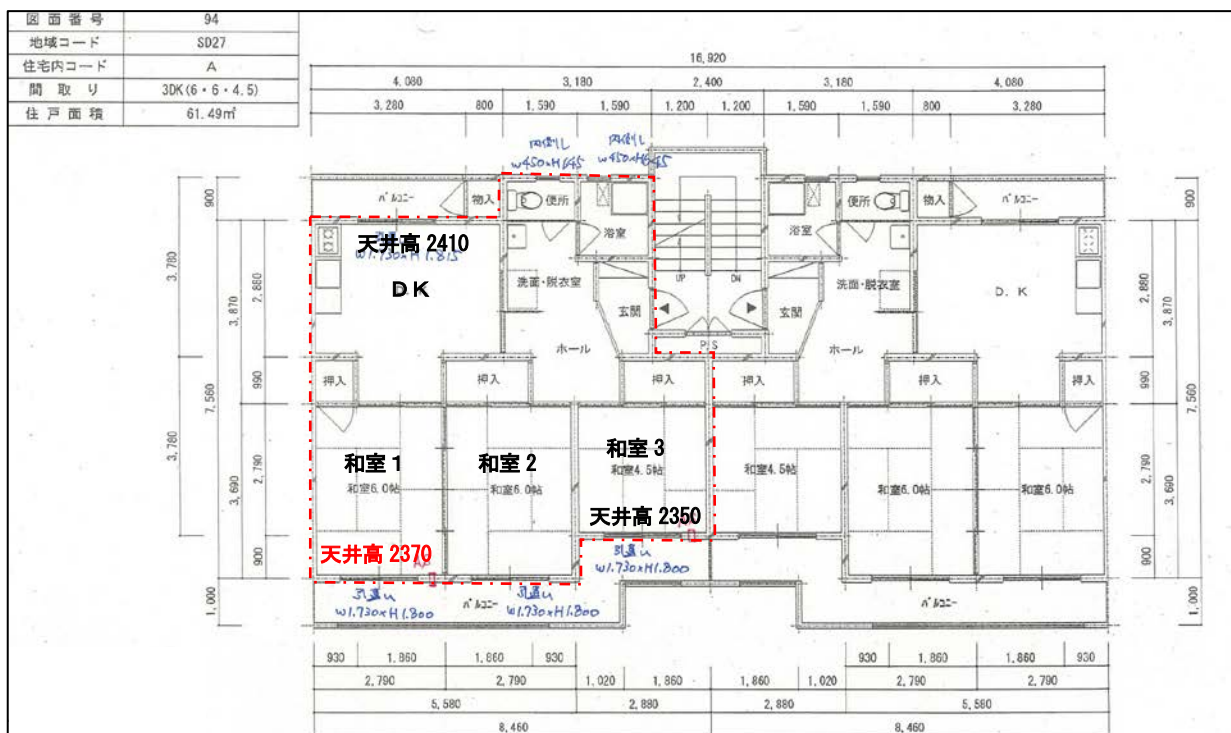
## 4-2. 市営住宅での実測

### (1) 対象住戸

実測対象住戸は、薩摩川内市営 城上住宅の2住戸とした。2住戸とも、最上階西側妻住戸である。1住戸は1号棟(2階建)の最上階、1住戸は2号棟(3階建)の最上階である。2号棟の住戸の隣には、1号棟があるが、1号棟の方が階数が低いため、日照条件としては、1号棟の住戸と同様と思われる。両住戸とも間取りは、3DK(延床面積61.49㎡)で同じである。



図Ⅱ-4-2-1 実験住宅配置図



図Ⅱ-4-2-2 実験住宅平面図





図Ⅱ-4-2-3 実験住宅南側外観



図Ⅱ-4-2-4 実験住宅北側外観

## (2) 計測項目

測定は、各室（和室 1、和室 2、和室 3、DK）の室内上下温湿度分布、窓・外壁表面温度を計測する。室中央高さでグローブ温度を測定し、平均放射温度を算出する。屋上にて、日射量、外気温湿度等の外気条件の測定を行う。計測した温湿度、平均放射温度から、温冷感指標である PMV<sup>※</sup>を算出し、室内温熱環境の評価を行う。

また、エアコンの消費電力量測定を行い、両住戸の比較を行うことで、省エネルギー、省 CO2 効果を把握する。

※1 PMV とは、人体の熱的快適感に影響する 6 要素（気温、湿度、放射温度、風速、着衣量、作業量）を考慮して、人間がその時に暖かいと感じるか、寒いと感じるかを 7 段階評価尺度による数値で表したものの。

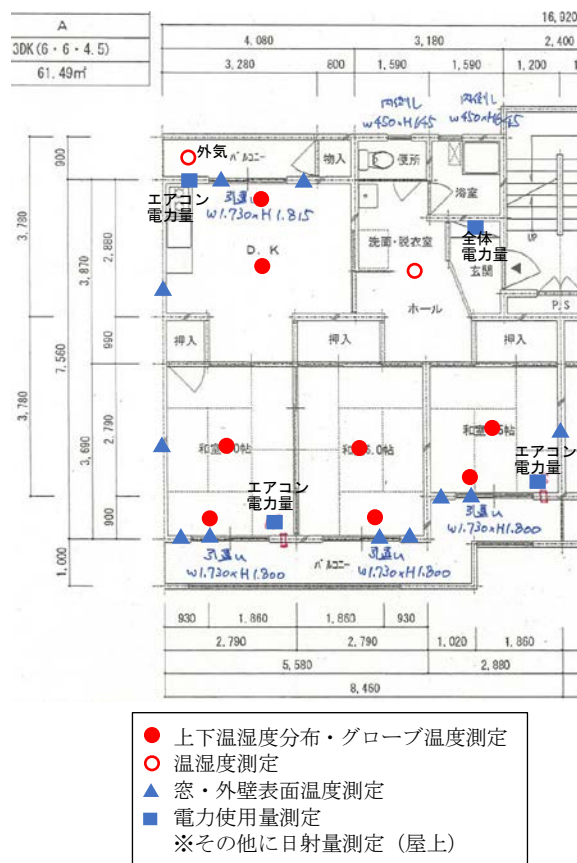
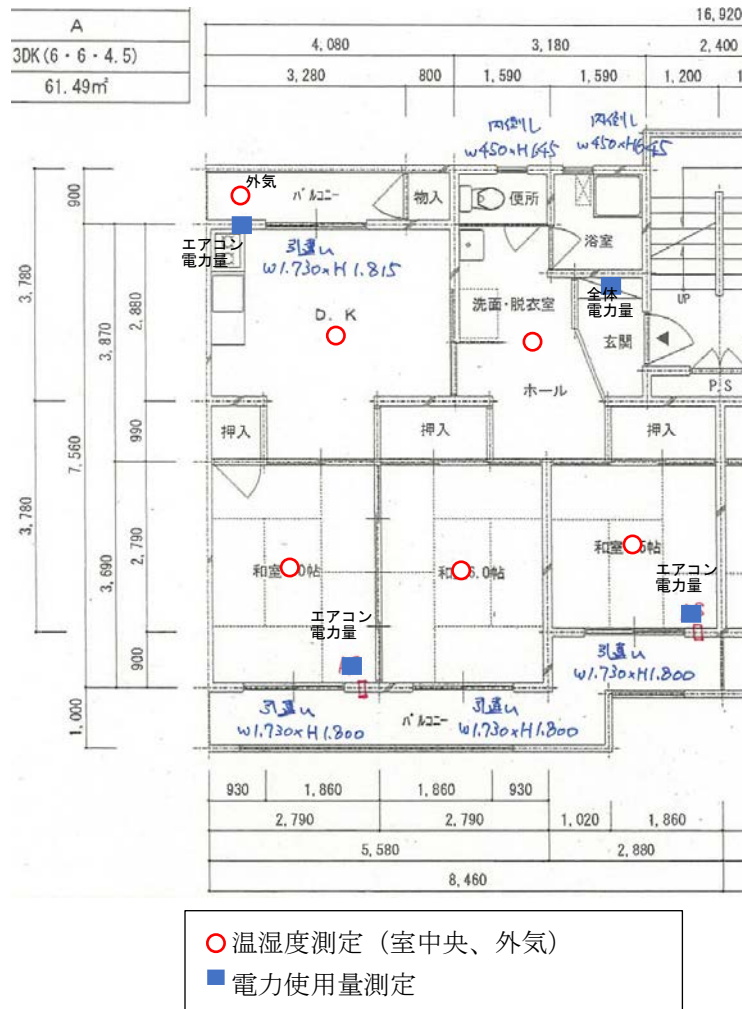


図 II-4-2-5 室内環境計測予定位置および計測器設置状態イメージ

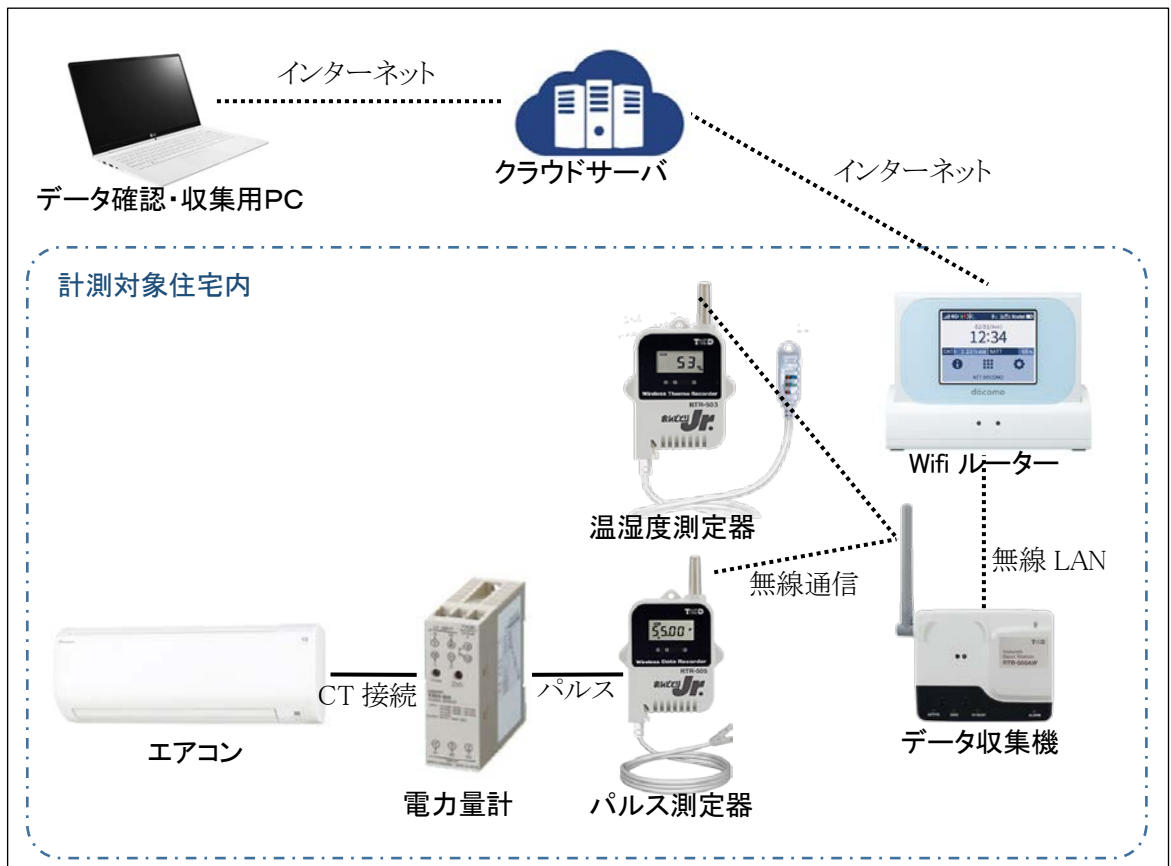


本年度の実測実施内容としては、各室（和室1、和室2、和室3、DK）および玄関ホールの中央高さ（FL+1200mm）における温湿度、北側バルコニーでの外気温湿度測定を開始した。また、和室1、和室3、DKの3室にエアコンを設置し、各エアコンの消費電力量、および住戸全体での消費電力量の測定を開始した。



図Ⅱ-4-2-6 室内環境計測項目（2018年1月30日以降）

各計測装置、エアコンの運転は、インターネットを経由して、遠隔で監視、操作ができるものとした。将来的には、照明の発停も遠隔で実施できるようにする予定である。



図Ⅱ-4-2-7 遠隔データ計測措置の概要

#### 【設置機器一覧】

- ① クラウド型データ収集装置
  - ・ Wifi ルーター NTT ドコモ Wi-Fi STATION N-01J
  - ・ クラウドサーバ T&D おんどとり Web Storage
  - ・ データ収集機 T&D RTR-500AW(無線 LAN)
- ② 温湿度測定（和室3室、DK、ホール、外気）
  - ・ 温湿度測定器 T&D RTR-503(温湿度)
- ③ 電力量測定（エアコン3台、住戸全体1点）
  - ・ パルス測定器 T&D RTR-505-P
  - ・ 電力量計 オムロン 小型電力量センサ KM20-B40  
(分割型変流器(CT) 形 KM20-CTF-50A)



図Ⅱ-4-2-8 2号棟 231 室の計測器設置の様子（左：和室 1、右：和室 2）



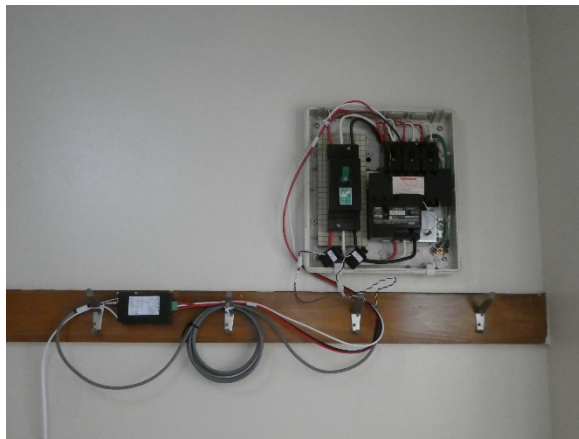
図Ⅱ-4-2-9 2号棟 231 室の計測器設置の様子（左：DK、右：和室 3）



図Ⅱ-4-2-10 2号棟 231 室の計測器設置の様子（左：室内温湿度、右：外気温湿度）



図Ⅱ-4-2-11 2号棟 231 室のエアコン消費電力量計測器設置の様子  
(左：エアコンと CT、右：電力量計とパルス測定器)



図Ⅱ-4-2-12 住宅全体消費電力量計測器 (左)、データ収集機と Wifi ルーター (右)



### (3) 実測条件

各室にエアコンを設置し、室内を一定の温度に冷暖房し、エアコンの消費電力、室内の温湿度の違いを測定して比較を行う。冬期は、エアコンの設定温度 22℃で、24 時間の連続運転で実測を行った。和室 1 と和室 2 は、開放した状態での運用とし、和室 1 のエアコンで、和室 2 も暖冷房される状態となっている。



図 II-4-2-13 エアコン設置位置、冷暖房範囲

### 4-3. シミュレーションによる検討

#### (1) 検討概要

##### ① 計算プログラム概要

本検討では、温熱環境シミュレーションプログラム AE-Sim/Heat を使用して、実験対象住宅の年間を通しての室内温熱環境、空調熱負荷、エアコンの消費電力量の計算を行う。AE-Sim/Heat は、汎用入力インターフェイスの AE-CAD によって作成された計算建物モデルを基にシミュレーションを行い、冷暖房負荷をはじめとする温熱環境を表示・加工などを行うソフトウェアである。入力した計算建物モデルを使用して、暖冷房負荷をはじめとする以下に示す温熱環境をシミュレーションする。

- ◆ 各空間の毎時の暖冷房負荷
- ◆ 各空間の毎時の気温、相対湿度、絶対湿度、露点温度
- ◆ 各部位の毎時の表面温度
- ◆ 各空間の毎時の PMV、作用温度、平均放射温度
- ◆ 窓、ドア等の自然換気量
- ◆ 熱損失係数 (Q 値)、夏期日射取得係数 ( $\mu$  値)

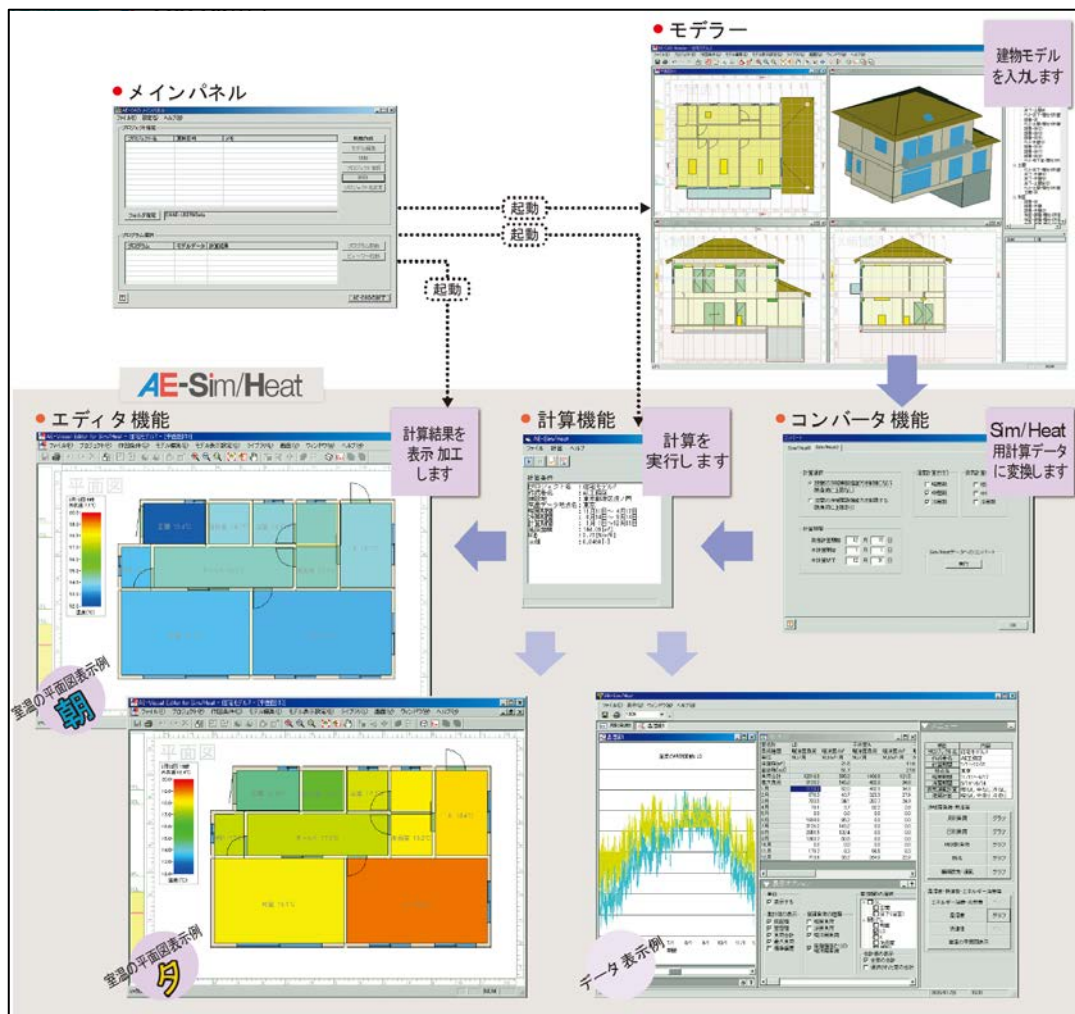
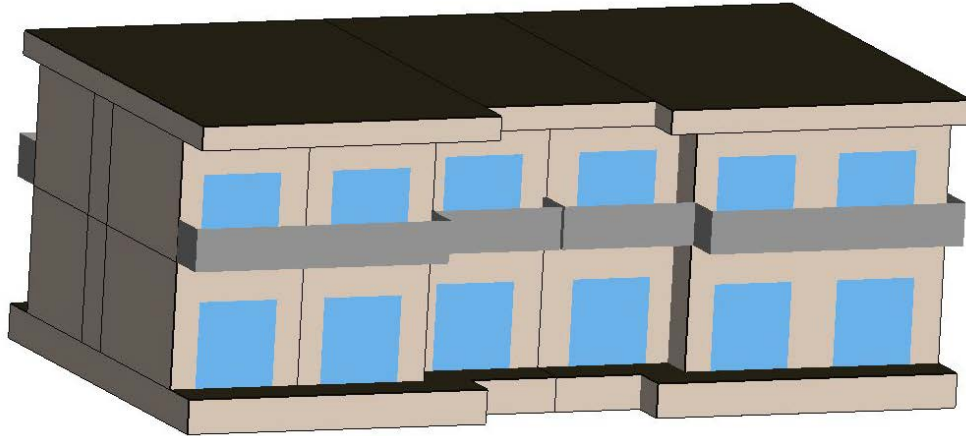


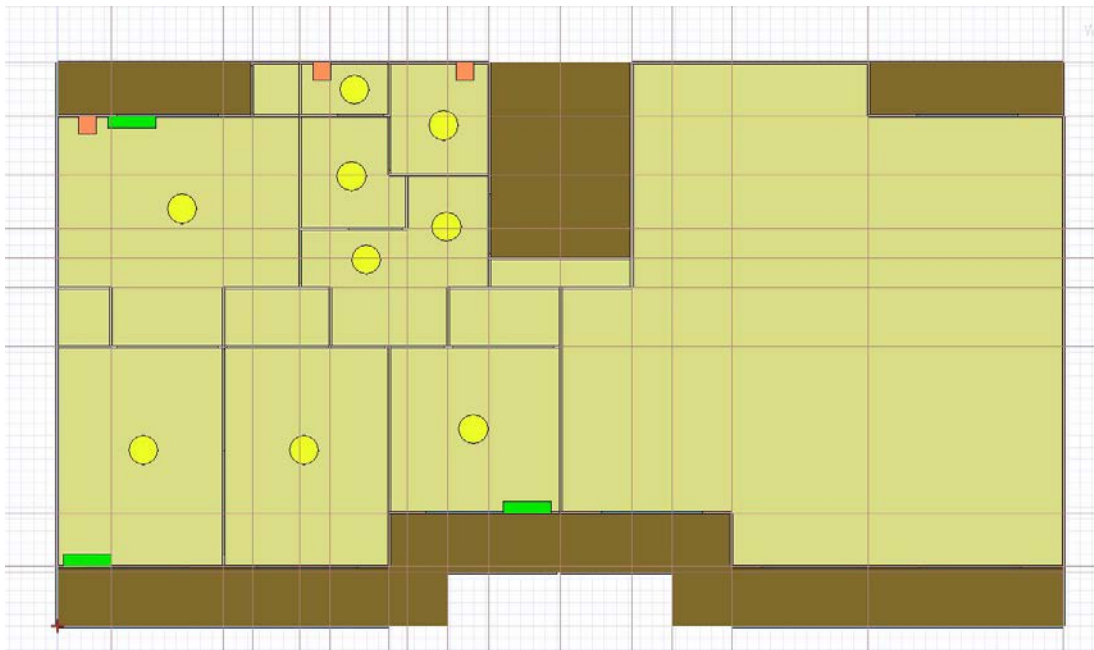
図 II-4-3-1 シミュレーションプログラムの計算フロー

## ②計算建物モデル

計測対象住戸である最上階西側妻住戸の計算建物モデルを作成し、検討を行う。なお、本年度は、1号棟2階の121室を検討とした。2号棟の対象住戸も、同じ平面計上のため、同じ計算建物モデルで計算可能である。本年度の計算条件として、隣接住戸は空家として、発熱等は一切ない状態とした。図表Ⅱ-4-3-2, 3にAE-CADで作成した建物モデルの様子を示す。



図Ⅱ-4-3-2 計算建物モデル立面



図Ⅱ-4-3-3 計算対象室平面図

### ③計算条件

以下に計算条件を示す。計算は年間計算を実施し、冬期暖房運転期間を12月18日～3月14日とし、実測住宅と同じ、設定温度22℃で24時間暖房運転とした。夏期冷房運転期間を5月8日～10月22日とし、設定温度26℃で、24時間冷房運転で計算を実施した。気象データは、鹿児島県の拡張アメダス気象データ(標準年)を使用した。壁および窓の計算条件を以下に示す。本年度の計算では、現状での建物の再現を目的として、現状での壁および窓の仕様を想定して入力した。

表Ⅱ-4-3-1 計算条件および空調設定

シミュレーション期間	1月1日～12月30日
冷房運転期間	5月8日～10月22日
冷房設定温湿度	温度26℃、湿度50%
暖房運転期間	12月18日～3月14日
暖房設定温湿度	温度22℃、湿度50%
冷暖房稼働設定	運転期間中は24時間稼働
外気条件	拡張アメダス気象データ (鹿児島、標準年)

表Ⅱ-4-3-2 各部材の層構成

部材	材料	厚さ [mm]	熱貫流率 [W/m <sup>2</sup> ・K]
屋根	コンクリート	200	3.92
天井	石膏ボード	12.5	4.22
外壁	コンクリート	135	4.27
基礎壁	コンクリート	220	3.48
間仕切り壁	石膏ボード	12.5	1.60
	中空層	40	
	コンクリート	180	
	石膏ボード	12.5	
床	合板	12	2.68
土間床	コンクリート	200	2.36

表Ⅱ-4-3-3 窓の熱および光学的性能

	サイズ [mm]	フレーム面積 率[%]	窓全体の 熱貫流率 [W/m <sup>2</sup> ・K]	ガラスのみ				
				熱貫流 率 [W/m <sup>2</sup> ・K]	日射透 過率[%]	日射反 射率[%]	日射遮 蔽係数	可視光 透過率 [%]
窓大	1700× 1800	18.2	6.33	6.0	86.7	7.7	1.01	90.4
窓小	400× 650	54.9	5.91					



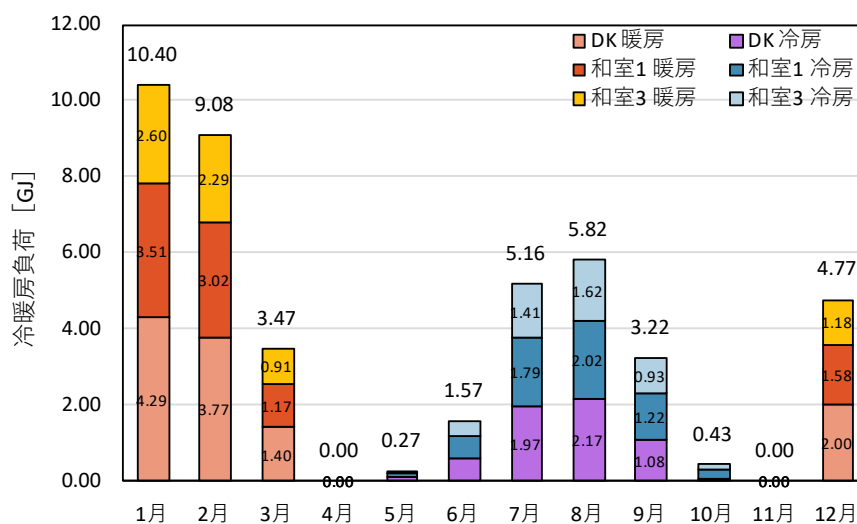
## (2) 計算結果

### ① 冷暖房負荷

DK、和室1（和室2を含む）、和室3の各エアコンの処理熱量の計算結果を月別に示す。暖房負荷は1月、冷房負荷は8月が最大となった。北側のDKの負荷が多少大きい、3室とも概ね同等の負荷となった。

表Ⅱ-4-3-4 各室の月別冷暖房負荷

部屋名称	DK	DK	和室1	和室1	和室3	和室3
負荷種類	暖房負荷	冷房負荷	暖房負荷	冷房負荷	暖房負荷	冷房負荷
単位	GJ/h	GJ/h	GJ/h	GJ/h	GJ/h	GJ/h
1月	4.29	0.00	3.51	0.00	2.60	0.00
2月	3.77	0.00	3.02	0.00	2.29	0.00
3月	1.40	0.00	1.17	0.00	0.91	0.00
4月	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5月	0.00	0.08	0.00	0.14	0.00	0.04
6月	0.00	0.58	0.00	0.60	0.00	0.39
7月	0.00	1.97	0.00	1.79	0.00	1.41
8月	0.00	2.17	0.00	2.02	0.00	1.62
9月	0.00	1.08	0.00	1.22	0.00	0.93
10月	0.00	0.06	0.00	0.24	0.00	0.13
11月	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12月	2.00	0.00	1.58	0.00	1.18	0.00
合計	11.47	5.95	9.28	6.00	6.98	4.51

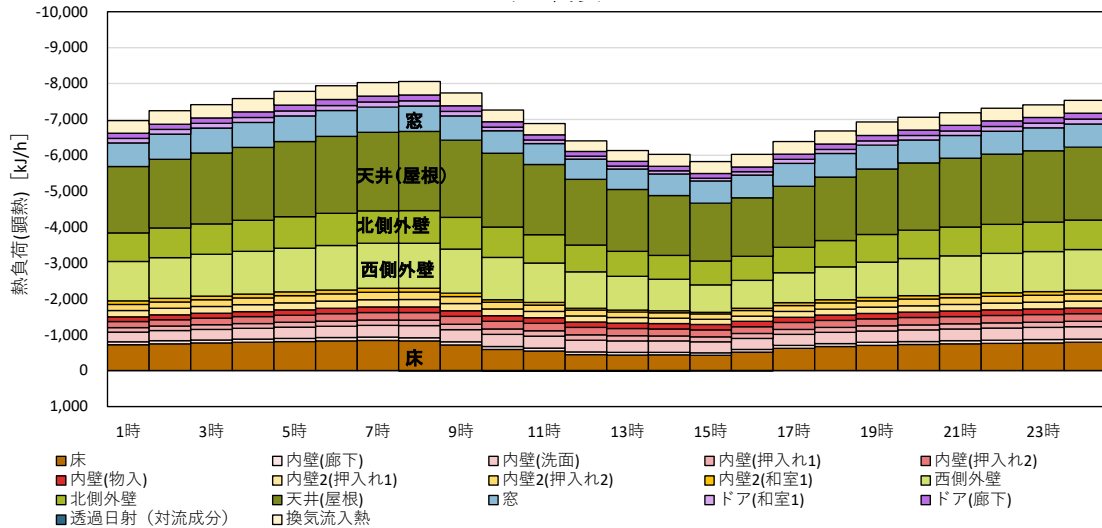


図Ⅱ-4-3-4 各室の月別冷暖房負荷

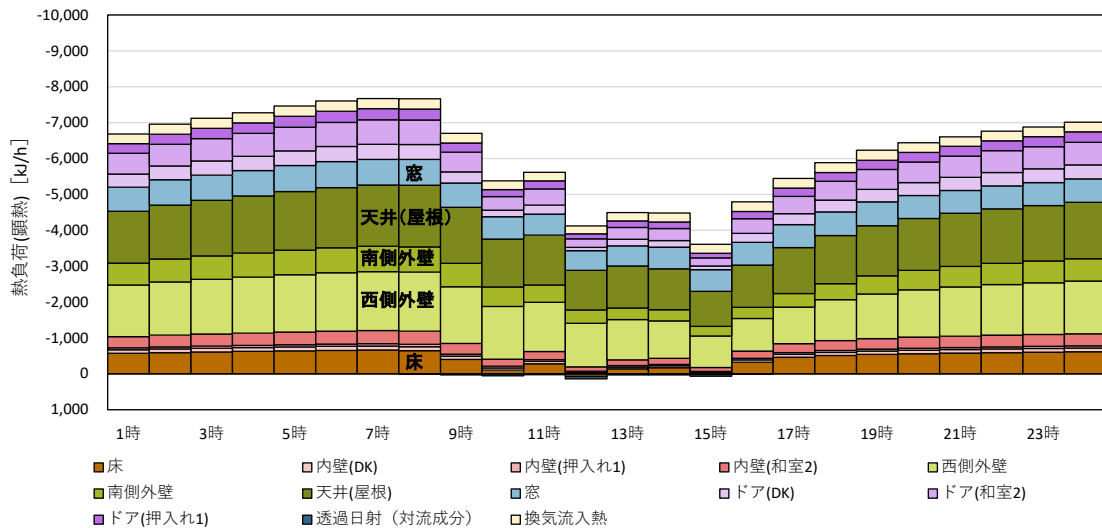
## ②時刻別熱負荷

DK、和室1（和室2を含む）、和室3の冷暖房負荷の要因となる壁やガラスからの熱負荷を冬期および夏期代表日で、時刻別に示した。

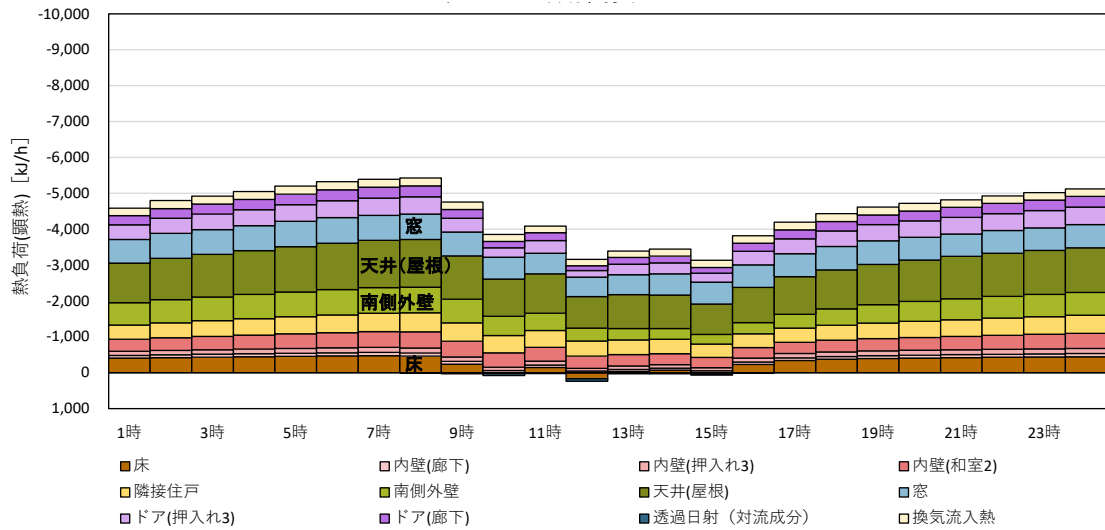
冬期代表日では、8時にピーク負荷が発生して、15時に最も負荷が少なくなっている。この傾向は、各室とも同じである。負荷の部位としては、天井面が最も大きく、次いで各外壁となっている。天井面は面積が大きいいため、熱負荷の割合も大きく、天井面（屋根）からの熱負荷削減は重要である。



図Ⅱ-4-3-5 時刻別・部位別熱負荷（DK、冬期代表日）

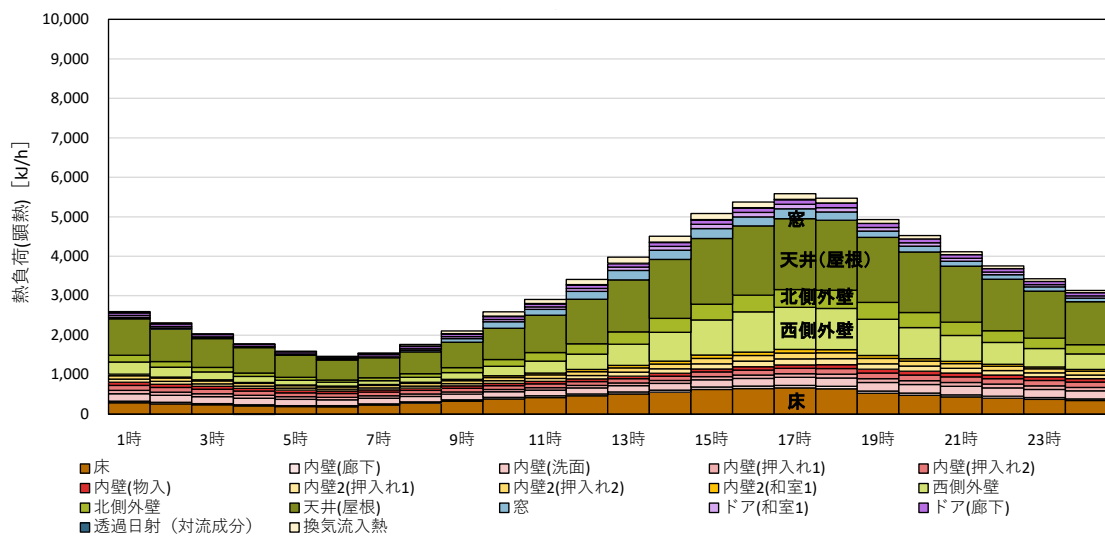


図Ⅱ-4-3-6 時刻別・部位別熱負荷（和室1、冬期代表日）



図Ⅱ-4-3-7 時刻別・部位別熱負荷（和室3、冬期代表日）

夏期代表日では、17時にピーク負荷が発生している。住戸の妻側が西向きであることが影響していると思われる。この傾向は、各室とも同じである。負荷の部位としては、冬期と同じく天井面が最も大きく、次いで各外壁となっている。天井面は面積が大きいいため、熱負荷の割合も大きく、天井面（屋根）からの熱負荷削減は重要である。



図Ⅱ-4-3-8 時刻別・部位別熱負荷（DK、夏期代表日）

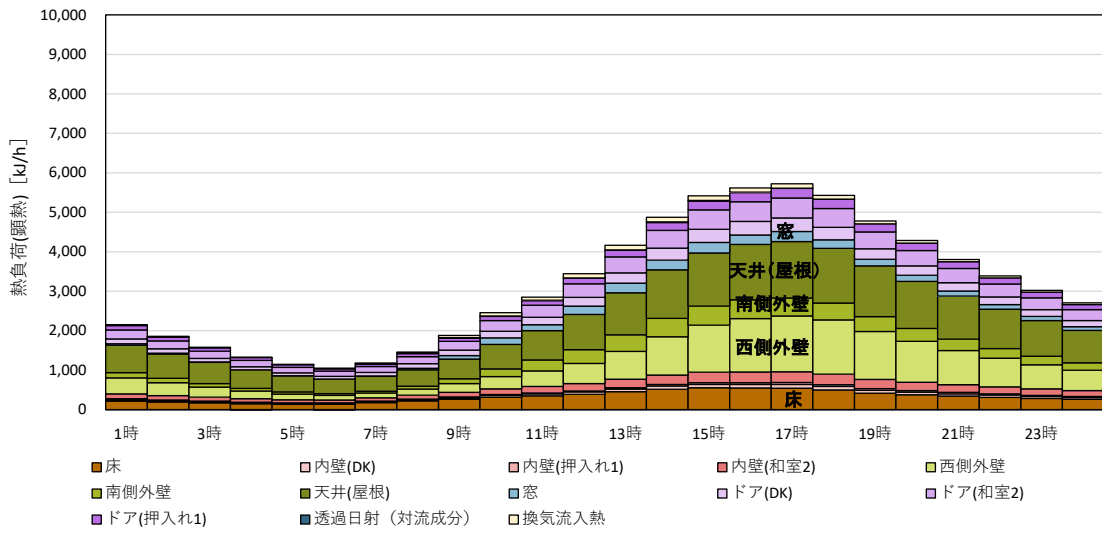


図 II-4-3-9 時刻別・部位別熱負荷（和室1、夏期代表日）

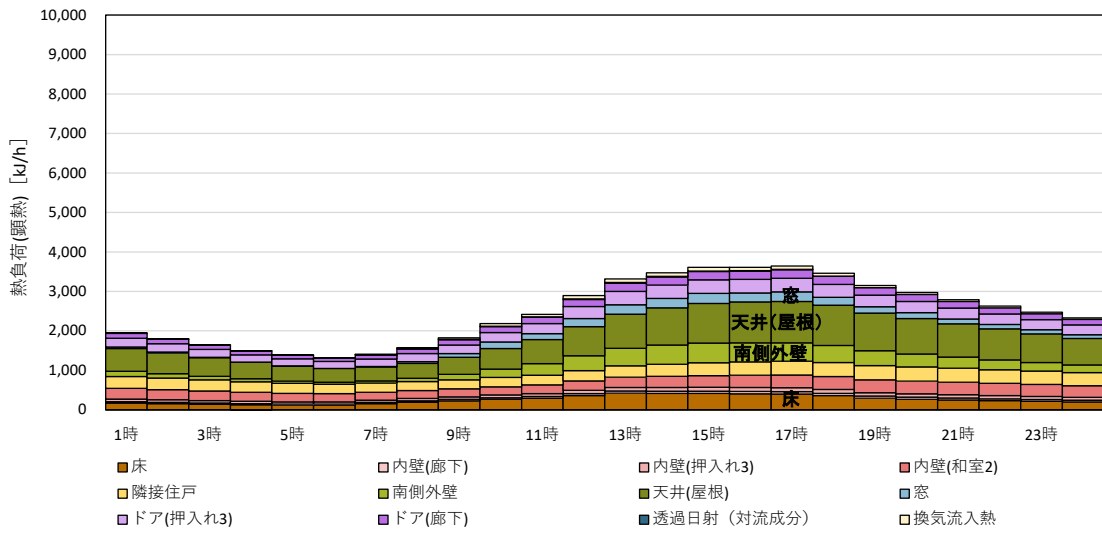


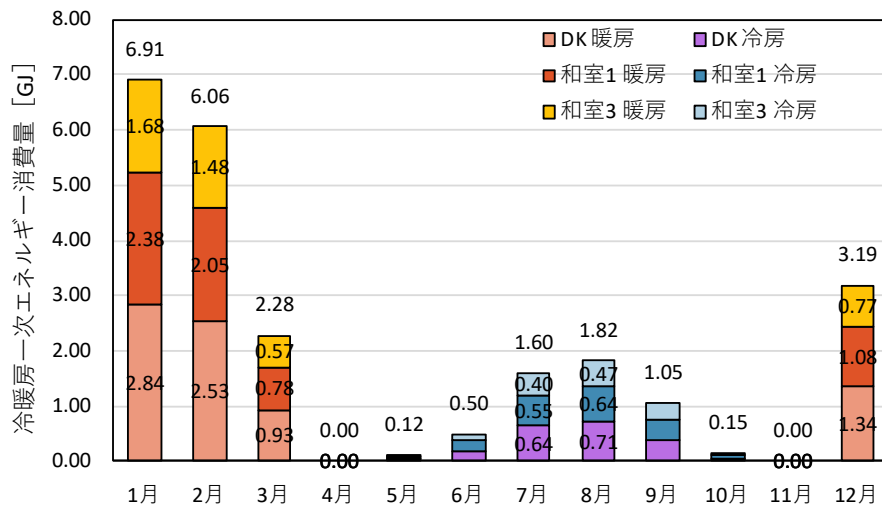
図 II-4-3-10 時刻別・部位別熱負荷（和室3、夏期代表日）

### ③一次エネルギー消費量

各室のエアコンの処理熱量から冷暖房の一次エネルギー消費量を算出し、月別に示した。エアコンの一次エネルギー消費量の合計値は、暖房 18.4[GJ/年]、冷房 5.2[GJ/年]で、合計 23.7[GJ/年]となった。暖房が全体の 78%を占める結果となった。単位床面積当たりの一次エネルギー消費量（一次エネルギー消費量原単位）は、暖房 300[MJ/m<sup>2</sup>・年]、冷房 85[MJ/m<sup>2</sup>・年]、合計 385[MJ/m<sup>2</sup>・年]となった。

表Ⅱ-4-3-5 各室の月別冷暖房一次エネルギー消費量

部屋名称	DK	DK	和室1	和室1	和室3	和室3
種類	暖房	冷房	暖房	冷房	暖房	冷房
単位	GJ	GJ	GJ	GJ	GJ	GJ
1月	2.84	0.00	2.38	0.00	1.68	0.00
2月	2.53	0.00	2.05	0.00	1.48	0.00
3月	0.93	0.00	0.78	0.00	0.57	0.00
4月	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5月	0.00	0.04	0.00	0.05	0.00	0.02
6月	0.00	0.20	0.00	0.18	0.00	0.12
7月	0.00	0.64	0.00	0.55	0.00	0.40
8月	0.00	0.71	0.00	0.64	0.00	0.47
9月	0.00	0.38	0.00	0.38	0.00	0.28
10月	0.00	0.04	0.00	0.07	0.00	0.05
11月	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12月	1.34	0.00	1.08	0.00	0.77	0.00
合計	7.65	2.01	6.29	1.88	4.50	1.35



図Ⅱ-4-3-11 各室の月別冷暖房一次エネルギー消費量

表Ⅱ-4-3-6 冷暖房の年間一次エネルギー消費量

	年間一次エネルギー消費量		
	総量 [GJ/年]	原単位 [MJ/m <sup>2</sup> ・年]	割合
暖房	18.4	299.9	78%
冷房	5.2	85.1	22%
合計	23.7	384.9	100%

#### 4-4. まとめと今後の課題

CNF 活用建材を市営住宅に設置して、エアコンの電力使用量の実測を行い、省 CO2 効果を測定する。また、室内の気温、壁や窓の表面温度などの測定を行い、室内の温熱環境の向上効果を測定する。実測は、市営住宅の同じ住戸プラン、同じ方位の 2 住戸で行い、1 住戸は現状のまま、1 住戸は CNF 活用建材を設置するものとして、両者を比較することによって、CNF 活用建材の省 CO2 効果、室内温熱環境向上効果を定量的に把握する。

本年度は、実測対象住戸の選定、基本的な計測装置を設置し、計測を開始した。更に、実測を行う市営住宅をモデルとして、数値シミュレーションでエネルギー消費量、室内温熱環境の計算を実施するための、建物モデルの構築、現状の仕様での計算を行い、冷暖房熱負荷およびエアコンの一次エネルギー消費量を算出した。

今後、実測結果より、CNF 活用建材設置前の状態での両住宅の性能の差異を把握する。その上で、1 住宅に CNF 活用建材を設置して、比較実測を行う。その際には、現在の計測ポイントに加えて、ガラス、サッシおよび外壁の表面温度、上下温度分布などのより詳細な計測ポイントを追加する予定である。CNF 活用建材の適用スケジュールとしては、2018 年夏期に、CNF 遮熱合わせガラス、CNF 遮断熱コーティング材の導入を予定している。CNF 樹脂サッシの導入は、2019 年夏期を予定している。数値シミュレーションでは、開発する CNF 活用建材の物性値を想定し、CNF 活用建材を設置した場合の省 CO2 効果、室内温熱環境向上効果を、年間シミュレーションにより評価する。

## 5. CNF 素材の改質、コンポジット化、機能評価

### 5-1. CNF 塩ビコンポジット試作体の CNF の分散状態、熱伝導特性の評価

#### ①評価する CNF 塩ビコンポジット試作体の概要

表 II-5-1-1 に試作体の組成および混練条件を示した。

試作体	組成	混練
E-1	塩ビ	—
E-2	塩ビ, CNF	混練強
E-3	塩ビ, CNF	混練弱

試作体は縦 3 cm×横 10 cm×厚み 3 mm を使用。

#### ②評価方法

##### ②-1 外観観察

目視により外観を観察し、デジタルカメラにより記録した。

##### ②-2 断面構造の観察

CNF 塩ビコンポジット試作体 E-1、E-2、および E-3 を 1cm 角に（縦 1 cm×横 1 cm×厚み 3 mm）に切断し、ウルトラマイクロトームシステム（既存設備、ライカマイクロシステムズ（株）製 EMUC7K）に装着した。ウルトラマイクロトームにガラスナイフを取り付けて、試作体を削り、平滑な断面を作製した（図 II-5-1-1）。微視的観察は電界放射型走査型電子顕微鏡（既存設備、（株）日立ハイテクノロジーズ製 SU-8000）を用い、CNF の分散状態を確認した。目視により外観を観察し、デジタルカメラにより記録した。

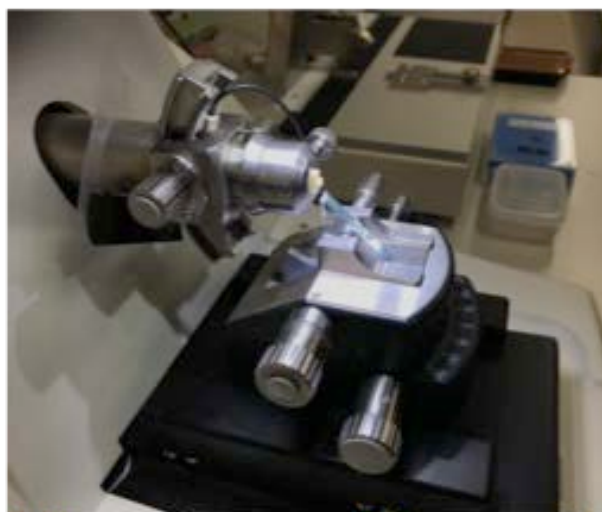


図 II-5-1-1 ウルトラマイクロトームシステムによる成形板の断面の作製

### ②-3 熱伝導率の測定

CNF が配合されたコンポジット (樹脂サッシ、コーティング材、合わせガラス) の熱伝導率の評価の指標を決定するために、定常法、レーザフラッシュ法、キセノンフラッシュ法およびスポット周期加熱放射測温法を原理とする熱伝導率測定装置を比較検討した。

選定ポイントは下記のとおりとした。

- (a) 試料厚みは薄いところから厚いものまで測定できる。(10 μm～数mm)
- (b) 試料の外形も小さいサイズから大きいサイズにまで対応できる。
- (c) どんな形状にも対応できる。厚み方向、面内方向の測定が非破壊でできる。
- (d) JIS R 1611 に則っている。
- (e) 熱拡散率において、測定範囲が広い。樹脂からアルミ等金属までの熱拡散率に対応できる。
- (f) フィルム、樹脂板などの表面の熱伝導の分布が測定できる。

表 II-5-1-2 に各測定法の各項目の仕様の比較を行った。

表 II-5-1-2 熱伝導率の測定方法の比較

測定法	定常法	レーザフラッシュ法	キセノンフラッシュ法	スポット周期加熱放射測温法
熱拡散率測定範囲	0.1～10W/mK	0.5～120 ×10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup>	0.01～1000 ×10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup>	0.1～1000 ×10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup>
試料厚み	0.2mm～25mm	1mm～3mm	樹脂で20 μm程度から	10 μm～数mm
試料外形	φ 50～62mm	φ 10or φ 5mm	φ 10or φ 5mm □25.4mm等	φ 10～□100mm
試料加工	定型 試料サイズ大	定型	定型	形状自由
試料表面処理	熱抵抗低減のため、グ リースなどが必要。	両面にグラファイトス プレー。試料によって金属膜 の蒸着を施す。	両面にグラファイトス プレー。試料によって金属膜 の蒸着を施す。	両面にグラファイトス プレー。試料によって金属膜 の蒸着を施す。
厚み方向の測定	可能	可能	可能	可能
面内方向の測定	不可能	不可能	可能*1	可能
分布測定	不可能	不可能	不可能	可能
測定センサー	熱電対	InSb(非接触)	InSb(非接触)	InSb(非接触)
加熱源	ヒーター	レーザ	キセノンランプ	レーザ ※スポット加熱
取得規格	JIS-A1412	JIS R 1611	JIS R 1611	JIS R 1611

6つの必要条件を満たすものとして、測定原理が異なる5つの機種を鋭意検討した結果、スポット周期加熱放射測温法を測定原理とした(株)ベテルハドソン研究所製のサーモウェーブアナライザ TA35を採用した(図 II-5-1-2)。スポット周期加熱放射測温法は、レーザー光により交流加熱を行い、放射温度計で温度変化を捉える方法で、垂直方向、水平方向での測定が可能である(図 II-5-1-3)。





図 II-5-1-2 (株)ベテルハドソン研究所製のサーモウェーブアナライザ(TA35)

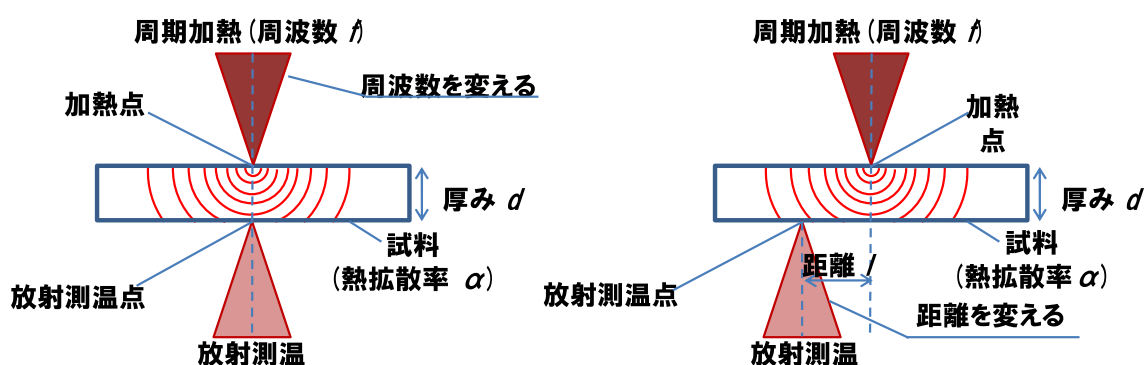


図 II-5-1-3 スポット周期加熱放射測温法

サーモウェーブアナライザ TA35 を用いて、樹脂等の熱伝導率が比較的低いサンプルの熱伝導特性を評価する場合、熱が滞留するため、樹脂の膜厚を  $500 \mu\text{m}$  程度にする必要がある。試作体は膜厚が  $3 \text{ mm}$  であるため、自動精密切断機（既存設備、BUEHLER 製 ISOMET）を用いて、ダイヤモンドブレードにより、膜厚を  $500 \mu\text{m}$  程度に切断（スライス）して、熱伝導特性評価用のサンプルを作製した（図 II-5-1-4）。

今回は CNF 塩ビコンポジット試作体の厚み方向の熱拡散率を測定した。

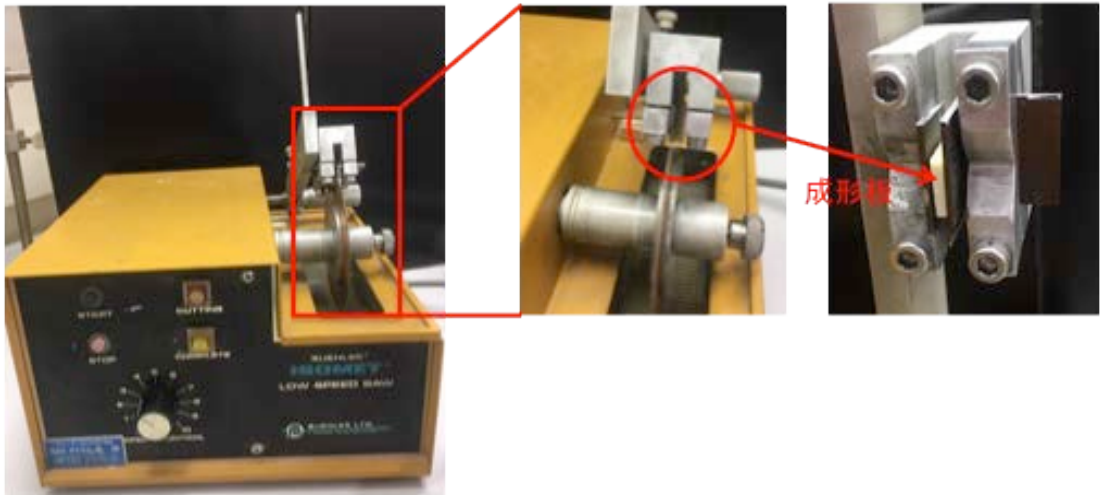


図 II-5-1-4 自動精密切断機による成形板のスライシング

### ③評価結果

#### ③-1 外観観察

外観観察の結果を図 II-5-1-5 に示す。CNF 塩ビコンポジット試作体 E-2 では、長さ 1 mm 以上の白色ドメインが見られた。これは CNF の凝集物であると考えられる。一方、CNF 塩ビコンポジット試作体 E-3 では、E-2 で確認された大きなドメインは確認されなかった。

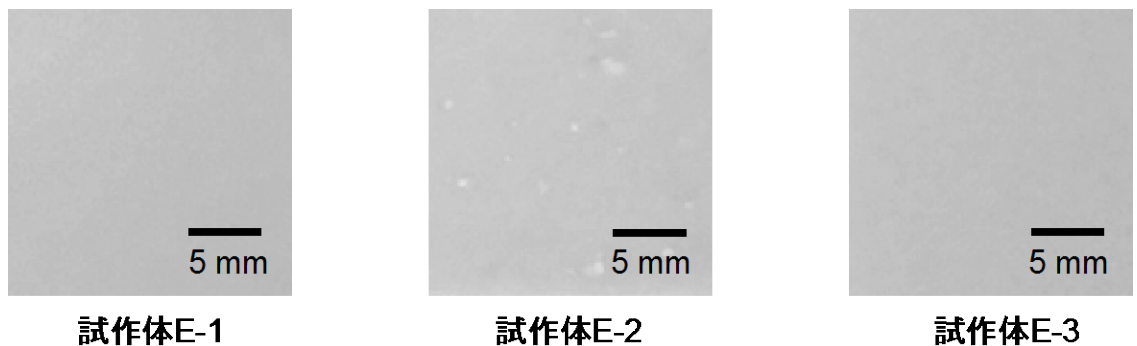
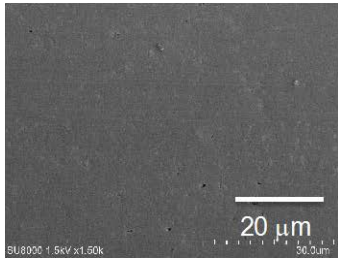


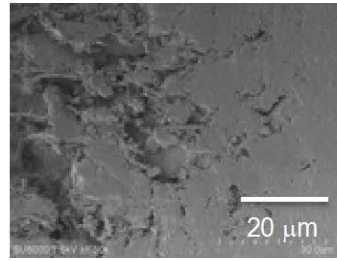
図 II-5-1-5 CNF 塩ビコンポジット試作体の外観

#### ③-2 断面構造の観察

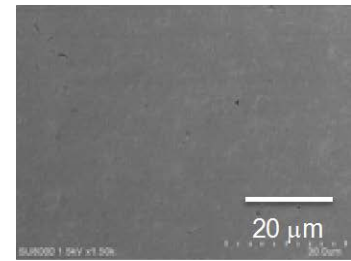
電界放射型走査型電子顕微鏡による CNF 塩ビコンポジット試作体の微視的な断面観察の結果を図 II-5-1-6 に示す。CNF 塩ビコンポジット試作体 E-2 では、空隙が見られ、CNF の凝集物と考えられる塊が観察された。他の試作体では空隙は確認されなかった。CNF と塩化ビニルの混練による均一性は、混練弱の成形よりも混練強の成形の方が良好であることが推測できる。



試作体E-1



試作体E-2



試作体E-3

図 II-5-1-6 CNF 塩ビコンポジット試作体の走査型電子顕微鏡による微視的観察

### ③-3 熱伝導率の測定

CNF 塩ビコンポジット試作体の垂直方向の熱拡散率測定の結果を表 II-5-1-3 に示す。

表 II-5-1-3 CNF 塩ビコンポジット試作体の熱拡散率測定の結果

試作体	熱拡散率 ( $\times 10^{-8} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ )
E-1	8.2
E-2	7.8
E-3	16.8

熱物性ハンドブックに記載されている塩化ビニル樹脂の熱拡散率は、 $8 \times 10^{-8}$  ~  $15 \times 10^{-8} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$  であり、今回の E-1 の熱拡散率の値は文献値の範囲内であることを確認した。試作体 E-2 は、E-1 よりも少し低い値を示した。これは走査型電子顕微鏡で観察された成形体内の空隙が影響している可能性がある。一方、試作体 E-3 に関しては、熱拡散率が明らかに大きくなっている。熱伝導性が高いセルロースナノファイバーが塩ビのマトリックス中で比較的、分散しているため、熱伝導パスが形成している可能性が考えられる[1]。今回は、垂直方向のみの測定を行った。今後、水平方向の分析、並びに測定ポイントを増加させることにより熱拡散率とドメインの関連性を検討することが必要である。

[1]Uetani, K. Biomacromolecules 2015, 16, 2220-2227

## 5-2. CNF 含有ポリエチレンフィルムおよび合わせガラスの特性評価

### (1) CNF 含有ポリエチレンフィルムの透過率や屈折率、分光スペクトルなどの光学特性の評価

#### ①評価する合わせガラス試作体の概要

表Ⅱ-5-2-1 に示す合わせガラス試作体を評価対象とした。

表Ⅱ-5-2-1 中間膜用フィルムおよび合わせガラス試作体の概要

試作体		中間膜の構成		
名称	略号	1層	2層	3層
中間膜用フィルム1	F-1	-	PE	-
中間膜用フィルム2	F-2	-	CNF-PE	-
合わせガラスA	F-7	EVA	CNF-PE	EVA
合わせガラスB	F-3	EVA	PE	EVA
合わせガラスC	F-4	EVA	-	-
合わせガラスD	F-5	EVA	EVA	-
合わせガラスE	F-6	EVA	EVA	EVA

各層の厚みは約 0.4 mm。PE はポリエチレン、CNF-PE は 0.5 wt% CNF 含有 PE フィルム、EVA はエチレン酢酸ビニルコポリマーを示す。

ガラスは縦 5 cm×横 5 cm×厚み 2.5 mm を使用。

F-1～F-7 は、フィグラ社の試作体略号。

#### ②評価方法

##### ②-1 性状観察

目視により外観を観察し、デジタルカメラにより記録した。

##### ②-2 屈折率測定

中間膜用フィルム 1 (F-1) およびフィルム 2 (F-2) を、現有の三次元光屈折率・膜厚測定装置 (SAIRON TECHNOLOGY, INC./SPA-4000, 図Ⅱ-5-2-1) を用いて屈折率を測定した。屈折率の測定条件は以下の通りとした。

- ・ レーザー波長 : 632.8 nm
- ・ 測定範囲 :  $-10^{\circ}$  ~  $10^{\circ}$
- ・ プリズム : ガリウム-ガドリニウム-ガーネット (GGG)

### ②-3 透過率および反射率測定

中間膜用フィルム (F-1、F-2) および合わせガラス試作体 (F-3～F-7) の透過率および反射率を、積分球 (島津製作所, ISR-603) を付属した現有の紫外可視近赤外分光光度計 (島津製作所, UV-3600 Plus, 図 II-5-2-2) を用いて測定を行った。透過率および反射率の測定条件は以下の通りとした。

- ・ 測定波長範囲 : 200 nm ~ 2500 nm
- ・ バンド幅 : 12 nm (透過スペクトル)、20 nm (反射スペクトル)



図 II-5-2-1 サイロンテクノロジー社の三次元光屈折率・膜厚測定装置 (SPA-4000)



図 II-5-2-2 (株)島津製作所の紫外可視近赤外分光光度計 (UV-3600 Plus)

### ③評価結果

#### ③-1 性状観察

##### (1) 中間膜用フィルムの観察

中間膜用フィルム 1 (F-1) およびフィルム 2 (F-2) の写真を図 II-5-2-3 に示す。目視では、CNF を含有している中間膜用フィルム 2 は若干白濁が見られた。0.5 mm 以下の粒状のドメインが存在するためであると考えられる。



中間膜用フィルム 1 (F-1)      中間膜用フィルム 2 (F-2)

図 II-5-2-3 中間膜用フィルム 1 (F-1) およびフィルム 2 (F-2) の写真

##### (2) 合わせガラスの観察

合わせガラス試作体 (F-3~F-7) の写真を図 II-5-2-4 に示す。

F-3 および F-7 では、背景の罫線が若干青みがかっており、これは中間膜が若干白濁しているためと考えられる。一方、PE を含まない F-4、F-5 および F-6 では、このような罫線の色の変化は見られないので、色の変化、白濁は PE によるものであると考えられる。

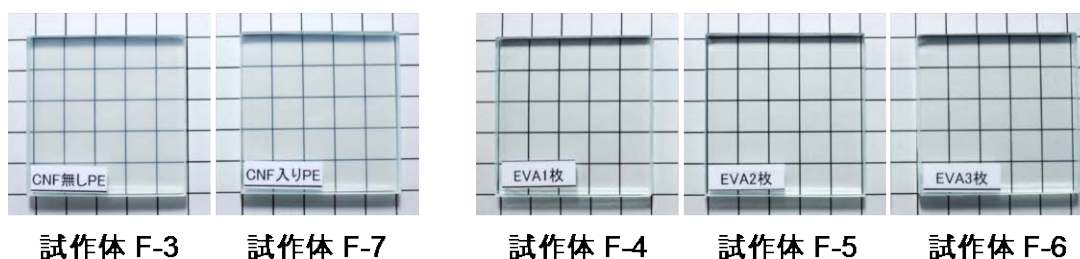


図 II-5-2-4 合わせガラス試作体の外観比較

#### ③-2 断面構造の観察

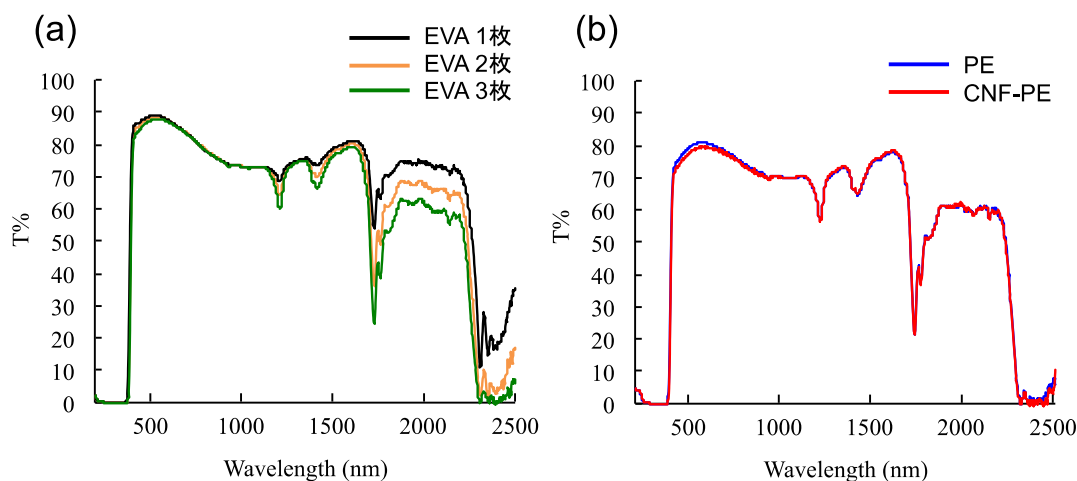
中間膜用フィルム F-1 および F-2 の屈折率を測定した結果、いずれも 1.53 という値が得られた。この値は、高密度 PE の屈折率 1.54 の値に近似しているので、0.5 wt% CNF の有無による透過率の差は認められなかった。

### ③-3 透過率および反射率測定

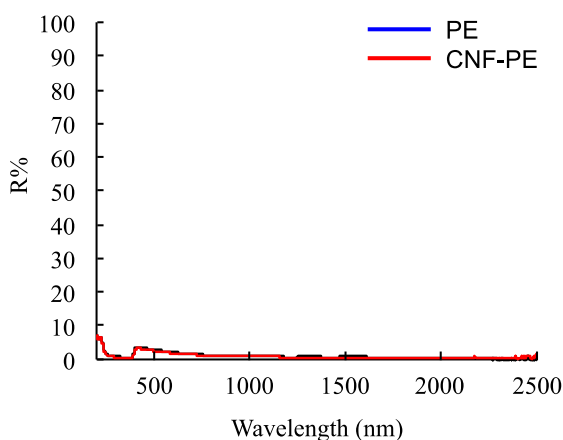
図Ⅱ-5-2-5a に、合わせガラス試作体 F-4、F-5 および F-6 の透過スペクトルを示している。可視光領域の透過率は、500 nm で約 90%程度となった。300 nm で観察される大きな吸収（透過率の著しい低下）はガラスによるものである。一方、1214 nm、1418 nm、1730 nm 付近の吸収帯は EVA によるものであり、EVA の貼り合わせ枚数が増えるほど吸収が大きくなっている。

図Ⅱ-5-2-5b は、合わせガラス試作体 F-3、F-5 および F-7 の透過スペクトルを示している。可視光領域での透過率は 500 nm で約 80%に低下しているが、ガラスおよび EVA による吸収は図Ⅱ-5-2-5a と同様であるため、透過率の低下は PE によるものと考えられる。なお、0.5 wt% CNF の有無による透過率の差は認められなかった。

図Ⅱ-5-2-6 は、合わせガラス試作体 F-3 および F-7 の反射スペクトルを示している。いずれも反射率は低く CNF の有無による反射率の差は認められなかった。



図Ⅱ-5-2-5 合わせガラス試作体の透過スペクトルの比較



図Ⅱ-5-2-6 合わせガラス試作体の反射スペクトルの比較



表Ⅱ-5-2-2 に各波長における透過率および反射率をまとめた。

表Ⅱ-5-2-2 中間膜用フィルムおよび合わせガラス試作体の透過率および反射率

試作体		透過率 (%)						反射率 (%)			
		300 nm (UVB 領域)	350 nm (UVA 領域)	550 nm (可視光領域)	1200 nm (近赤外領域)	1700 nm (近赤外領域)	300 nm (UVB 領域)	350 nm (UVA 領域)	550 nm (可視光領域)	1200 nm (近赤外領域)	1700 nm (近赤外領域)
中間膜用フィルム 1	F-1	71.3	79.7	85.3	84.4	84.9	15.4 <sup>①</sup>	18.5	11.9	4.92	4.92
中間膜用フィルム 2	F-2	70.8	78.3	85.9	86.7	85.5	11.6 <sup>②</sup>	12.9	9.22	3.70	1.51
合わせガラス A	F-7	$0.27 \times 10^{-2}$	$0.11 \times 10^{-2}$	80.8	60.8	58.3	0.564	0.439	2.26	0.45	3.17
合わせガラス B	F-3	$1.52 \times 10^{-2}$	$1.67 \times 10^{-2}$	79.2	61.1	61.0	0.611	0.465	2.06	0.44	0.00
合わせガラス C	F-4	$1.19 \times 10^{-2}$	$1.17 \times 10^{-2}$	88.8	69.7	72.4	0.571	0.452	0.446	0.198	1.01 <sup>③</sup>
合わせガラス D	F-5	$1.24 \times 10^{-2}$	$1.04 \times 10^{-2}$	88.6	66.3	64.3	0.732	0.597	0.985	0.279	0.587
合わせガラス E	F-6	$1.15 \times 10^{-2}$	$0.95 \times 10^{-2}$	87.9	63.0	57.3	0.759	0.598	0.966	0.217	0.00



## (2) CNF 含有ポリエチレンフィルムの内部構造評価

### ①評価する中間膜用フィルム試作体の概要

表Ⅱ-5-2-1 に示す中間膜用フィルム試作体を調査対象とした。

### ②評価方法

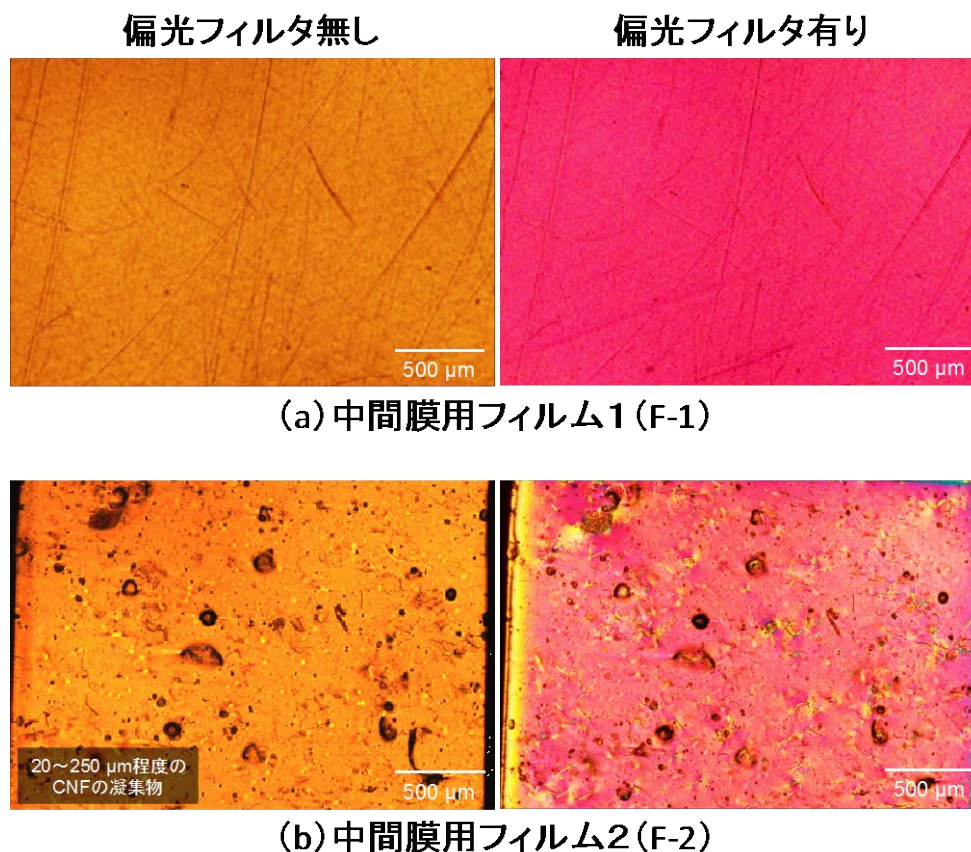
#### ②-1 内部構造観察

現有の偏光顕微鏡を用いて、中間膜用フィルム F-1 および F-2 を観察した。フィルムの一部を切り取り、スライドガラスへ固定した後、偏光フィルタの有無での内部構造を観察した。

### ③評価結果

#### ③-1 内部構造観察

中間膜用フィルム F-1 および F-2 の顕微鏡写真を図Ⅱ-5-2-7 に示す。F-1 では繊維状の様相が観察されたが、ほぼ均質であると考えられる。一方、F-2 では約 100  $\mu\text{m}$  程度の粒状の塊が観察された。また、偏光フィルタで観察することにより、粒状物に散乱光が見られたことから、粒状物中に CNF が存在しているものと考えられる。これらの結果から、CNF の分散状態を評価するにあたって、偏光顕微鏡法が有効であることが判明した。



図Ⅱ-5-2-7 中間膜用フィルムの偏光顕微鏡写真

### (3) 内部構造観察のための装置選定

CNF を含有したコンポジット(樹脂サッシ、合わせガラス、遮断熱コーティング材)の顕微鏡によるナノレベルでの内部構造観察のために、ナノ表面作製装置およびナノ構造観察装置の選定を行った。

#### ①ナノ表面作製装置の選定

選定ポイントは下記の通りとした。

- (a) ナノレベルでの断面構造を得ることができる。
- (b) 樹脂からアルミ等の金属まで幅広く適用できる。
- (c) 硬度の異なる複合材料に適応できる。
- (d) レーザー顕微鏡観察や電子顕微鏡観察に必要な範囲の試料加工面が得られる。
- (e) 試料変形や変性が小さいこと。

以上、5つの必要条件を満たすものとして、原理が異なる4つの機種(凍結切断法、マイクロトム法、機械研磨法、イオンミリング法)を比較検討した結果、イオンミリング法を原理とした(株)日立ハイテクノロジーズ製のイオンミリング装置(IM4000)が最も適していると判断し、H30.2.27に導入した(図Ⅱ-5-2-8)。



図Ⅱ-5-2-8 (株)日立ハイテクノロジーズ製のイオンミリング装置 (IM4000)

## ②ナノ構造観察装置の選定

一般的な電子顕微鏡観察においては強毒性の四酸化オスミウム等による蒸着のような前処理が必要であり、また微細構造が埋没するためナノレベルの観察が困難となる。そこで、蒸着等の前処理が不要なナノ構造観察法として、以下の条件を満たすレーザー顕微鏡の導入を検討した。選定ポイントは下記の通りとした。

- (a) 数ナノメートルオーダーでの微細構造の観察が可能である。
- (b) 広範囲の微細構造を観察できる。
- (c) 高低差の大きい表面構造に対応できる。
- (d) 高さのある試料にも対応できる（約1 cm程度）。
- (e) 試料変形や変性が小さいこと。

以上、4つの必要条件を満たすものとして、4社（（株）キーエンス、（株）日立ハイテクノロジーズ、（株）ハイロックス、（株）島津製作所）の機種を比較検討した結果、（株）キーエンス製の形状解析レーザー顕微鏡（VK-X1000）がもっとも適していると判断しH30.2.26に導入した（図Ⅱ-5-2-9）。



図Ⅱ-5-2-9（株）キーエンス製の形状解析レーザー顕微鏡（VK-X1000）

## 6. CNF 素材の安全性評価

### 6-1. 評価概要

CNF の安全性試験として、CNF 繊維が空中飛散した際の安全性を確認するため、使用する 2 種類の CNF に対して各種の試験を行った。

### 6-2. 評価結果

#### (1) nanoforest-S の EpiOcular™ EIT (OCL-200) を用いる in vitro 眼刺激性試験

##### ①表題

nanoforest-S の EpiOcular™ EIT (OCL-200) を用いる in vitro 眼刺激性試験

##### ②試験目的

EpiOcular™ EIT (OCL-200) を用いて、被験物質の眼刺激性の有無を評価する。

##### ③試験法

“OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, No. 492, Reconstructed human Cornea-like Epithelium (RhCE) test method for identifying chemicals not requiring classification and labelling for eye irritation or serious eye damage” (Adopted: July 28, 2015)

##### ④要約

EpiOcular™ EIT (OCL-200) を用いて、nanoforest-S の眼刺激性の有無を評価した。

眼刺激性試験において、nanoforest-S の細胞生存率は 99.8%となり、判定基準である 60%を超えた。

したがって、本試験条件下では、nanoforest-S は「非刺激性 (Non-irritant)」(UN GHS 区分外) と判定された。

#### (2) nanoforest-S の LabCyte EPI-MODEL24 SIT を用いる in vitro 皮膚刺激性試験

##### ①表題

nanoforest-S の LabCyte EPI-MODEL24 SIT を用いる in vitro 皮膚刺激性試験

##### ②試験目的

LabCyte EPI-MODEL24 SIT を用いて、被験物質の皮膚刺激性の有無を評価する。

##### ③試験法

“OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, No. 439, In Vitro Skin Irritation: Reconstructed Human Epidermis Test Method” (Adopted: July 28, 2015)

#### ④要約

LabCyte EPI-MODEL24 SIT を用いて、nanoforest-S の皮膚刺激性の有無を評価した。

皮膚刺激性試験において、nanoforest-S の細胞生存率は 104.5%となり、判定基準である 50%を超えた。

したがって、本試験条件下では、nanoforest-S は「非刺激性 (Non-irritant)」(UN GHS 区分外 (区分 3 を含む)) と判定された。

### (3) nanoforest-PDP の EpiOcular™ EIT (OCL-200) を用いる in vitro 眼刺激性試験

#### ①表題

nanoforest-PDP の EpiOcular™ EIT (OCL-200) を用いる in vitro 眼刺激性試験

#### ②試験目的

EpiOcular™ EIT (OCL-200) を用いて、被験物質の眼刺激性の有無を評価する。

#### ③試験法

“OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, No. 492, Reconstructed human Cornea-like Epithelium (RhCE) test method for identifying chemicals not requiring classification and labelling for eye irritation or serious eye damage” (Adopted: July 28, 2015)

#### ④要約

EpiOcular™ EIT (OCL-200) を用いて、nanoforest-PDP の眼刺激性の有無を評価した。

眼刺激性試験において、nanoforest-PDP の細胞生存率は 96.7%となり、判定基準である 60%を超えた。

したがって、本試験条件下では、nanoforest-PDP は「非刺激性 (Non-irritant)」(UN GHS 区分外) と判定された。

#### (4) nanoforest-PDP の LabCyte EPI-MODEL24 SIT を用いる in vitro 皮膚刺激性試験

##### ①表題

nanoforest-PDP の LabCyte EPI-MODEL24 SIT を用いる in vitro 皮膚刺激性試験

##### ②試験目的

LabCyte EPI-MODEL24 SIT を用いて、被験物質の皮膚刺激性の有無を評価する。

##### ③試験法

“OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, No. 439, In Vitro Skin Irritation: Reconstructed Human Epidermis Test Method” (Adopted: July 28, 2015)

##### ④要約

LabCyte EPI-MODEL24 SIT を用いて、nanoforest-PDP の皮膚刺激性の有無を評価した。

皮膚刺激性試験において、nanoforest-PDP の細胞生存率は 98.3%となり、判定基準である 50%を超えた。

したがって、本試験条件下では、nanoforest-PDP は「非刺激性 (Non-irritant)」(UN GHS 区分外 (区分 3 を含む)) と判定された。

#### (5) nanoforest-S のマウス小核試験

##### ①表題

nanoforest-S のマウス小核試験

##### ②試験目的

マウスを用いて、被験物質の小核誘発能の有無を骨髓細胞で検討する。

##### ③試験法

“OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, No. 474, Mammalian Erythrocyte Micronucleus Test” (Adopted: July 29, 2016)

##### ④要約

7 週齢の雄 CrE-3D1 (ICR) マウスを用いて、nanoforest-S の小核誘発能の有無を検討した。投与は 24 時間間隔の 2 回連続強制経口投与とした。

90.0~360 mg/kg/day を設定した予備試験において、動物の死亡を指標とした被験物質の最大耐量が、雌雄のいずれにおいても 360 mg/kg/day 以上と推定された。したがって、実施可能な最大用量である 360 mg/kg/day を被験物質の最高用

量とし、公比 2 で希釈した 180 及び 90.0 mg/kg/day の計 3 用量を設定し、小核試験を実施した。毒性に性差がないと判断されたため、動物は雄のみを使用した。対照群には、陰性対照群及び陽性対照群を設定し、陰性対照群には媒体（蒸留水）を 20 mL/kg で 2 回連続の強制経口投与を行った。陽性対照群にはマイトマイシン C を 2 mg/kg/day で単回腹腔内投与を行った。

小核試験では、標本作製時期とした 2 回目投与 24 時間後においても、最高用量の 360 mg/kg/day までの被験物質群のすべての用量で死亡はみられなかったため、設定した 3 用量を被験物質の標本観察用量とし、骨髓細胞の小核を有する多染性赤血球の出現頻度（MNPCE/PCE）を調べた。

標本観察した被験物質群のすべての用量において、MNPCE/PCE は、陰性対照の背景データの範囲内であったため、被験物質投与により小核を有する多染性赤血球の出現は増加しないものと判断した。

以上の結果から、nanoforest-S は、本試験条件下では小核を誘発しないものと判断した。

## (6) nanoforest-PDP のマウス小核試験

### ①表題

nanoforest-PDP のマウス小核試験

### ②試験目的

マウスを用いて、被験物質の小核誘発能の有無を骨髓細胞で検討する。

### ③試験法

“OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, No. 474, Mammalian Erythrocyte Micronucleus Test” (Adopted: July 29, 2016)

### ④要約

7 週齢の雄 CrE-3D1 (ICR) マウスを用いて、nanoforest-PDP の小核誘発能の有無を検討した。投与は 24 時間間隔の 2 回連続強制経口投与とした。

250~1000 mg/kg/day を設定した予備試験において、動物の死亡を指標とした被験物質の最大耐量が、雌雄のいずれにおいても 1000 mg/kg/day 以上と推定された。したがって、実施可能な最大用量である 1000 mg/kg/day を被験物質の最高用量とし、公比 2 で希釈した 500 及び 250 mg/kg/day の計 3 用量を設定し、小核試験を実施した。毒性に性差がないと判断されたため、動物は雄のみを使用した。対照群には、陰性対照群及び陽性対照群を設定し、陰性対照群には媒体（オリーブ油）を 10 mL/kg で 2 回連続の強制経口投与を行った。陽性対照群にはマイトマイシン C を 2 mg/kg/day で単回腹腔内投与を行った。

小核試験では、標本作製時期とした 2 回目投与 24 時間後においても、最高用量

の 1000 mg/kg/day までの被験物質群のすべての用量で死亡はみられなかったため、設定した 3 用量を被験物質の標本観察用量とし、骨髓細胞の小核を有する多染性赤血球の出現頻度 (MNPCE/PCE) を調べた。

標本観察した被験物質群のすべての用量において、MNPCE/PCE は、陰性対照の背景データの範囲内であったため、被験物質投与により小核を有する多染性赤血球の出現は増加しないものと判断した。

以上の結果から、nanoforest-PDP は、本試験条件下では小核を誘発しないものと判断した。

## (7) nanoforest-S の哺乳類培養細胞を用いる染色体異常試験

### ①表題

nanoforest-S の哺乳類培養細胞を用いる染色体異常試験

### ②試験目的

チャイニーズハムスターの肺線維芽細胞 (CHL/IU 細胞) を用いて、被験物質の染色体異常誘発能の有無を検索する。

### ③試験法

“OECD Guideline for the Testing of Chemicals, No. 473, In Vitro Mammalian Chromosome Aberration Test” (Adopted: July 29, 2016)

### ④要約

チャイニーズハムスターの肺線維芽細胞 (CHL/IU 細胞) を用い、nanoforest-S の染色体異常誘発能の有無を検討した。

染色体異常試験の結果、構造異常を持つ細胞及び数的異常細胞の出現頻度は、短時間処理法の S9 mix 非存在下及び S9 mix 存在下並びに 24 時間連続処理法のいずれにおいても、観察したすべての被験物質用量で、陰性対照の背景データの範囲内であったため、構造異常及び数的異常ともに陰性と判定した。

以上の結果から、nanoforest-S は、本試験条件下では染色体異常を誘発しないものと判断した。



## (8) nanoforest-PDP の哺乳類培養細胞を用いる染色体異常試験

### ①表題

nanoforest-PDP の哺乳類培養細胞を用いる染色体異常試験

### ②試験目的

チャイニーズハムスターの肺線維芽細胞（CHL/IU 細胞）を用いて、被験物質の染色体異常誘発能の有無を検索する。

### ③試験法

“OECD Guideline for the Testing of Chemicals, No. 473, In Vitro Mammalian Chromosome Aberration Test” (Adopted: July 29, 2016)

### ④要約

チャイニーズハムスターの肺線維芽細胞（CHL/IU 細胞）を用い、nanoforest-PDP の染色体異常誘発能の有無を検討した。

染色体異常試験の結果、構造異常を持つ細胞及び数的異常細胞の出現頻度は、短時間処理法の S9 mix 非存在下及び S9 mix 存在下並びに 24 時間連続処理法のいずれにおいても、観察したすべての被験物質用量で、陰性対照の背景データの範囲内であったため、構造異常及び数的異常ともに陰性と判定した。

以上の結果から、nanoforest-PDP は、本試験条件下では染色体異常を誘発しないものと判断した。



リサイクル適性の表示：印刷用の紙にリサイクルできます

この印刷物は、グリーン購入法に基づく基本方針における「印刷」に係る判断の基準にしたがい、印刷用の紙へのリサイクルに適した材料[Aランク]のみを用いて作製しています。