

平成30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31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

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改良試作と、この CNF コンポジットでの押出成形による部材試作と、この部材を用いた生産ラインでの CNF 樹脂サッシの組立試行を行なった。部材に対しては建材単体として、CNF 樹脂サッシに対してはサッシ製品としての目標性能（断熱性、曲げ弾性率）に対する評価を行ない、目標達成を確認した。既存の生産ラインの活用で樹脂サッシ製品へ加工できたことから、今後の実証住宅への CNF 樹脂サッシの実装に目途がついた。

課題としては、強度目標は達成したものの、成形した部材において CNF の解繊度合いにバラツキがあり、ナノ分散化の不十分な部分が散見されたことと、加工時にサッシ部材に割れ・欠けが生じ易いことが挙げられる。

今後は、①実証製品となる CNF 樹脂サッシの作製、及び、CNF 遮熱合わせガラスと合わせて実証住宅への納入・実装、②CNF を混練した塩ビコンポジットのナノ分散化不良の改善に向け、材料や製造条件の改良を検討する。成形物の目標性能に対する建材単体としての適合度を確認し、改善状況を検証する。

(2) CNF 遮熱合わせガラスの開発・試作に向けた検討

透明性および遮熱性能を上げるための手法の調査・検討を行い、以下の方法で開発・試作を行った。

まずは CASE1 として、CNF と中間膜 EVA（エチレン-酢酸ビニール共重合体）の原料とを混練してマスターバッチを製作し、これを基にフィルムを製作して、EVA で挟んで合わせガラスを製作した。可視光透過率は 80%を超えており透明性には問題無いが、日射透過率が 70%を超えており、CNF 配合による遮熱性の向上は見られなかった。

そこで CASE2 として、ポリ（3,4-エチレンジオキシチオフェン）（PEDOT）で複合化した CNF とポリマーを混合し、PET フィルムの片面に塗工してフィルムを製作し、これを中間膜 EVA で挟んで CNF 遮熱合わせガラスを製作した。可視光透過率は 66.2%であり、窓ガラスとしては十分な透明性を有しており、かつ近赤外透過率が 58.1%で遮熱性能も備えていることが確認された。

また CASE3 として、界面改質した CNF と中間膜 EVA の原料とを混練してフィルムを試作した結果、高い透明性が確認された。

上記結果により、遮熱性能と量産化の観点から、CASE2にて実証住宅用窓ガラスと樹脂サッシ評価用試作体および JIS 試作体を作成した。JIS 試験は、継続中の耐光性試験を除き適合を確認した（耐光性試験は4月中旬に終了予定）。

今後の課題としては、今年度試作した PEDOT-CNF 遮熱合わせガラスを実証住宅に設置し、遮熱効果の実証評価を行ない、評価結果をフィードバックしながら遮熱中間膜のコア材料である CNF 近赤外遮光材料の最適化を図る。また、促進耐候性試験を実施し耐久性を検証すると共に、CNF 遮熱中間膜の生産効率の向上も検討し、CNF 遮熱合わせガラスの製品化を目指す。

(3) CNF 遮断熱コーティング材の開発・試作に向けた検討

今年度は、耐光性試験前後において、CNF 遮断熱コーティング材の遮熱性、断熱性の確認と強度の確認を行った。CNF 配合有無の製造コストを算出し比較した。実証住宅へ CNF 遮断熱コーティング材の塗布を行なった。

その結果、耐光性試験前後において、CNF の添加に関わらず、日射反射率は維持されており、すべての試作体において熱拡散率は同等であった。CNF を添加した試作体は、耐摩耗性の向上が確認された。

CNF を添加することで、製造費コストは、約 1.1 倍となった。実証住宅への CNF 遮断熱コーティング材の塗布を完了した。

今後は、CNF 遮断熱コーティング材の耐久性について、引き続き性能向上のため開発・試作を行い、性能を評価する。長期耐候性性能の確認を進める。製造コスト全般の最適化によりコスト高への対応を進める。社会実装に向けての製造工程、規格等の整備を進める。

(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

実証住宅での実測と数値シミュレーションで、開発した CNF 活用建材の集合住宅への導入による省 CO2 効果や室内温熱環境向上効果を定量的に把握した。

実測では、間取り・方位が同じ市営住宅 2 住戸で、CNF 活用建材設置による効果を把握するため、実証住宅にエアコンの使用電力量測定、室内環境測定の計測装置を設置し、実測体制を整えた。さらに、CNF 活用建材設置前の冷暖房のエネルギー性能、室内温熱環境の冬期・夏期実測を行った。測定したエアコンの使用電力量や室内温度変動が、両住戸ともほぼ同等であり、両住戸の断熱性能などが同等であることを確認した。年度内に開発した CNF 遮断熱コーティング材のプロトタイプを 1 住戸に設置し、冷暖房のエネルギー性能、室内温熱環境の実測を行い、非設置住戸との比較を開始した。

シミュレーションによる検討では、実証住宅に CNF 活用建材（CNF 樹脂サッシ、CNF 遮熱合わせガラス、CNF 遮断熱コーティング材）を導入した場合の省エネ（省 CO2）効果、室内温熱環境向上効果を算出した。CNF 活用建材を導入した場合、エアコンの電力使用量が約 6 %削減される結果となった。室内環境も快適な温熱環境になってい

る時間の割合が増加している結果となった。

次年度は、実測では、開発した CNF 活用建材（CNF 遮熱合わせガラス、CNF 遮断熱コーティング材、CNF 樹脂サッシ）を、実証住宅の 1 住戸に設置し、エアコンの使用電力量、各種温湿度測定を行う。CNF 活用建材非設置住戸の実測結果と比較し、CNF 活用建材による省 CO2 効果、室内温熱向上効果を確認する。

シミュレーションによる検討では、開発した CNF 活用建材の部材での性能値の試験結果を使用して、実証住宅でのエアコンの使用電力量、室内温度状況の年間シミュレーションを行う。CNF 活用建材非設置住戸のシミュレーション結果と比較し、年間を通しての省 CO2 効果、室内温熱環境向上効果を算出する。

(5) CNF 素材の改質、コンポジット化、機能評価

CNF 複合化ポリマー材料の開発に向けて、①CNF の表面改質およびポリマー材料とのコンポジットフィルムの試作、②CNF コンポジットフィルムの機械的強度の評価、③CNF コンポジットフィルムを中間膜とする合わせガラスの試作と透過率測定および遮熱特性の評価、④CNF とポリマー材間の界面状態を調査、ならびに CNF の改質と分散に関わる試験・評価を実施した。

(6) CNF 素材の安全性の評価

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、昨年度と異なる防腐剤を添加した CNF に対して各種の試験を実施した。

(7) CNF 活用建材の経済性評価

「(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」での実測およびシミュレーションの結果をもとに、CNF 活用建材導入後の建物全体（1 住戸あたり）における年間冷暖房消費電力量減少による、CO2 排出量削減効果とコスト削減効果を算出した。その結果、CO2 排出量削減効果は 0.04t-CO2/年・戸（5.8%減）、コスト削減効果は 1,839 円/年・戸（7.0%減）となった。

さらに、CO2 排出量削減効果については、目標年度を 2030 年度、2050 年度に設定し、九州地域における既築リフォーム住宅、公営住宅それぞれを対象として、CNF 活用建材が普及した場合のシミュレーションを実施した。その結果、既築リフォーム住宅では、2030 年までに、CNF 活用建材が 10%導入されると仮定した場合、2030 年度には約 2.5 万 t-CO2、2050 年度には約 7.2 万 t-CO2 の CO2 排出量削減効果が見込まれる。公営住宅では、定期修繕にあわせて CNF 活用建材が 1%ずつ導入されると仮定した場合、2030 年度には約 1.1 千 t-CO2、2050 年度には約 3.1 千 t-CO2 の CO2 排出量削減効果が見込まれる。今後は、次年度に実施される実測および数値シミュレーションの結果を反映し、CO2 削減効果およびコスト削減効果を算出する。

【 S u m m a r y 】

These demonstrations are to show our initiatives in the development and design of building materials, etc. mainly for existing apartment buildings where deterioration is progressing as countermeasures which offer high CO2 reduction effects while being simple and low cost, and demonstrating their effectiveness. The materials in these demonstrations are focused on the sashes and window glass of large open areas where heat flow is particularly large, as well as roofs and exterior walls.

The following is a summary of this fiscal year's demonstrations.

(1) Studies toward development and trial production of CNF resin sashes

Improved trial production of a CNF-blended polyvinyl composite suitable for resin sash material, trial production of parts by extrusion molding of this CNF composite, and assembly trials of CNF resin sashes using these parts on a production line were conducted. Evaluation of the parts as individual building materials and of the CNF resin sashes as sash products was conducted relative to the target performance (heat-insulating properties, flexural modulus), and it was confirmed that the targets were achieved. Since it was possible to manufacture the resin sash products utilizing existing production lines, we have set mounting of CNF resin sashes in demonstration dwellings as the next goal.

One issue was that although the strength targets were achieved, there was some variation in the degree of CNF defibration in the molded parts and portions with insufficient nanodispersion were seen, which are likely to lead to the sash parts being more easily cracked or chipped during processing.

In the future, we will proceed by (1) performing production of CNF resin sashes which will be demonstration products and combining them with CNF heat-shielding laminated glass for supply and installation in demonstration dwellings, and (2) improving the nanodispersion characteristics, etc. of CNF-blended polyvinyl composites by improving materials and manufacturing conditions. We will also verify the target performance achievement status of the molded parts as individual building materials and the improvement status.

(2) Studies toward development and trial production of CNF heat-shielding laminated glass

Methods for improving transparency and heat-shielding performance were investigated and studied, and development and trial production was performed using the following methods.

First, in Case 1, CNF and intermediate-layer EVA (ethylene-vinyl acetate copolymer) raw materials were blended together to create a master batch, film was produced based on this, and the film was sandwiched between EVA films to produce laminated glass. Although the visible-light transmittance exceeds 80% and there were no problems with transparency, the solar transmittance exceeds 70% and no improvements in heat-shielding characteristics due to blending with CNF were observed.

In Case 2, poly (3,4-ethylenedioxythiophene) (PEDOT) compounded with CNF was mixed with a polymer and this was applied to one side of a PET film to manufacture a film, and this was sandwiched between intermediate-layer EVA to produce CNF heat-shielding laminated glass. Visible-light transmittance is 66.2% and transparency is sufficient for window glass, and in addition it was confirmed to have heat-shielding performance with a near-infrared radiation transmittance of 58.1%.

In Case 3, modified-interface CNF and intermediate-layer EVA raw material were blended and trial production of film was performed, with the result that high transparency was verified.

Based on the above results, from the viewpoint of heat-shielding performance and mass-production capabilities, window glass and resin sash test specimens for evaluation in demonstration dwellings and JIS test specimens were produced based on the method of Case 2. In JIS testing, conformance was verified except for continuing photodurability testing. (The photodurability testing is scheduled to be completed in mid-April.)

As future subjects, we plan to install the PEDOT-CNF heat-shielding laminated glass which was trial produced this fiscal year in demonstration dwellings, perform practical evaluation of the heat-shielding effects, and feed back the evaluation results while optimizing the CNF near-infrared radiation shielding material which is the core material of the heat-shielding intermediate layer. We will also conduct accelerated weather-resistance testing to verify durability and also study how to improve the production efficiency of the CNF heat-shielding intermediate layer with the aim of commercializing CNF heat-shielding laminated glass.

(3) Studies toward development and trial production of CNF heat-shielding heat-insulating coating material

This fiscal year, the heat-shielding and heat-insulating characteristics of the CNF heat-shielding heat-insulating coating material and the strength were checked before and after the photodurability tests. The manufacturing costs with and without CNF blending were calculated and compared. The CNF heat-shielding heat-insulating coating material was applied to a demonstration dwelling.

As a result, before and after the photodurability tests, solar reflectance was maintained and the thermal diffusivity was the same for all test specimens regardless of whether CNF was added or not. It was confirmed that wearing resistance of test specimens which had been blended with CNF was improved.

The manufacturing cost when adding CNF is approximately 1.1 times. Application of the CNF heat-shielding heat-insulating coating to the demonstration dwelling was completed.

In the future, we will continue development and trial production to continue to improve the performance of the CNF heat-shielding heat-insulating coating with respect to durability, and evaluate its performance. We will proceed with verifying its long-term weather resistance. We will deal with the higher cost through optimization of all manufacturing costs. We will promote the development of manufacturing processes, standards, etc. toward applications in society.

(4) Introduction of the developed CNF-based building materials to public housing and studies toward evaluation of CO₂ reduction effect and indoor thermal environment

The CO₂ reduction effect and indoor thermal environment improvement effects due to installation of the developed CNF-based building materials in multi-family housing were quantitatively grasped through actual measurements at demonstration dwellings and numerical simulations.

For actual measurements, in order to grasp the effects of installing CNF-based building materials, actual measurement systems were set up in 2 public housing dwelling units with the same layout and orientation by installing equipment for measuring air conditioner electrical power usage and measuring the indoor thermal environment in the demonstration dwellings. In addition, actual measurements were taken of the heating/cooling performance and indoor thermal environment in the winter and summer periods before installing the CNF-based building materials. It was verified that the fluctuations in the measured air conditioner electrical power usage and indoor thermal environment were almost

the same for both dwelling units, and the heat-insulating performance, etc. of both units were equivalent. Within this fiscal year, a prototype of the developed CNF heat-shielding heat-insulating coating material was installed in 1 dwelling unit, and we have started to take actual measurements of the cooling/heating energy performance and indoor thermal environment, and comparing it to the dwelling unit where the coating was not installed.

In the simulation studies, the energy reduction (CO₂ reduction) effect and thermal environment improvement effects of introducing the CNF-based building materials (CNF resin sashes, CNF heat-shielding laminated glass, and CNF heat-shielding heat-insulating coating material) into the demonstration dwelling were calculated. If the CNF-based building materials were introduced, air conditioner electrical power usage would be reduced by approximately 6%. The results showed that the proportion of time during which indoor thermal environment stayed comfortably warm also increased.

In the next fiscal year, for actual measurements, we will install the developed CNF-based building materials (CNF heat-shielding laminated glass, CNF heat-shielding heat-insulating coating material, and CNF resin sashes) in one demonstration dwelling and measure the air conditioning electrical power usage and take various temperature and humidity measurements. Compared to the measurement results for the dwelling in which CNF-based building materials had not been installed, it was verified that there were CO₂ reduction effects and indoor thermal environment improvement effects due to the CNF-based building materials.

For the studies using simulations, we will use the performance value test results of the CNF-based building material parts and perform a one-year simulation of the air conditioner electrical power usage and indoor temperature status of the demonstration dwelling. The CO₂ reduction effect and indoor thermal environment improvement effect throughout the year compared to the dwelling in which CNF-based building materials had not been installed will be calculated.

(5) CNF material improvement, compositing, and function evaluation

For the development of CNF composite polymer materials, we performed (1) CNF surface modification and trial production of composite films with polymer materials, (2) evaluation of the mechanical strength of CNF composite films, (3) trial manufacture of laminated glass using CNF composite film as an intermediate layer, measurements of its transparency, and evaluation of its heat-shielding characteristics, and (4) investigation of the interface surface between CNF and polymer materials, together with testing and evaluation related to CNF improvement and dispersion.

(6) Safety evaluation of CNF materials

As safety tests for CNF, in order to verify the safety when CNF fibers were scattered in the air, various tests were conducted on CNF doped with a different preservative than last year.

(7) Economical evaluation of CNF-based building materials

Based on the results of actual measurements and simulations performed in "(4) Introduction of the developed CNF-based building materials to public housing and studies toward evaluation of CO₂ reduction effect and indoor thermal environment", the CO₂ emission reduction effect and cost reduction effect due to reduced annual heating/cooling electrical power consumption for an entire building (per dwelling) after the introduction of CNF-based building materials were calculated. As a result, the CO₂ emission reduction effect was 0.04t-CO₂/year*dwelling (5.8% reduction) and the cost reduction effect was ¥1,839/year*dwelling (7.0% reduction).

Furthermore, regarding the CO₂ emission reduction effect, simulations were conducted for the case of CNF-based building materials becoming popular for remodeling of existing homes and public housing in the Kyushu region with the target fiscal year set to FY 2030 and FY 2050. The results showed that for reforming existing homes, by 2030 if it is supposed that CNF-based building materials were introduced in 10% of cases, a CO₂ emission reduction effect of approximately 25K t-CO₂ in FY 2030 and approximately 72K t-CO₂ in FY 2050 can be expected. For public housing, if it is assumed that CNF-based building materials would be introduced during periodic repairs at the rate of 1% per period, a CO₂ emission reduction effect of approximately 1.1K t-CO₂ in FY 2030 and approximately 3.1K t-CO₂ in FY 2050 can be expected. In the future, the results of the actual measurements and numerical simulations conducted next fiscal year will be reflected, and the CO₂ emission reduction effect and cost reduction effect will be calculated.

平成 30 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 —

I . 業務概要	1
1. 業務目的	1
2. 業務期間	1
3. 業務内容	1
4. 業務目標	5
5. 業務体制	7
6. 定例会の開催	8
II . 業務結果	10
1. CNF 樹脂サッシの開発・試作に向けた検討	10
2. CNF 遮熱合わせガラスの開発・試作に向けた検討	24
3. CNF 遮断熱コーティング材の開発・試作に向けた検討	42
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	49
5. CNF 素材の改質、コンポジット化、機能評価	80
6. CNF 素材の安全性の評価	97
7. CNF 活用建材の経済性評価	103

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、CO₂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。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。

また、図表I-4に示す目標の達成を目指す。

2. 業務期間

2018年4月1日～2019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

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を外注等の活用により試作する。またCNFコンポジットの成形試作を行ない、成形材の性能を検証する。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し、CNFコンポジットの試作・改善を行う。

また実証試作品に向けた樹脂サッシ部材の試作を進める。事前に、部材の成形に必要な成形金型や設備を整備し、また部材を実証試作品へ組立てるために必要な設備を確認・準備する。

なお、CNFコンポジット、樹脂サッシ部材の評価についても再委託を可とする。

(2) CNF遮熱合わせガラスの開発・試作に向けた検討

透明性を上げるための手法の調査・検討を行う。まずは中間膜に使用しているEVAにCNFを混練し、フィルムを試作する。さらに光学特性の向上を目指し、CNFの濃度を上げること、フィルム厚を厚くすることなども検討する。試作したフィルムについては、合わせガラス試験体を製作し、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。また、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して計測を行うため、実装用のCNF遮熱合わせガラスを製作する。遮熱効果の評価においては、冬期の日射遮蔽によるデメリットと、断熱性向上と夏期の日射遮蔽によるメリットを比較して検討する。

(3) CNF 遮断熱コーティング材の開発・試作に向けた検討

CO₂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必要性能(遮熱性、断熱性、耐久性)について、前年度に引き続き性能向上のため開発・試作を行い性能を評価する。材料、製造、施工性および市場状況などの調査を行い、製造コストを検討する。実装試験用遮断熱コーティング材を製造し、実装試験施設への試験施工作業を行う。遮断熱コーティング材の評価においても、冬期の遮熱によるデメリットと、断熱性向上と夏期の遮熱によるメリットを比較して検討する。

(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

実測とシミュレーションで、開発したCNF活用建材の集合住宅への導入による省CO₂効果や室内温熱環境向上効果を定量的に把握する。

実測では、間取り・方位が同じ市営住宅2住戸で、CNF活用建材設置による効果を把握する。2住戸とも同じ設定温度で、エアコンによる冷暖房を行い、エアコンの使用電力量を計測・比較し、省CO₂効果を測定する。また、室内の温湿度、ガラス、サッシおよび外壁の表面温度を測定し、室内の温熱環境向上効果を測定する。実測期間は、2018年4月から2019年3月までの、年間を通しての連続計測を行う。

2018年4月から7月は、CNF活用建材設置前の状態での両住宅の性能が同等であることを確認する。その上で、1住戸にCNF活用建材を設置して、比較実測を行う。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行う。CNF樹脂サッシの導入は、2019年夏期を予定している。

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。実測を行う市営住宅をモデルとして、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CO₂効果を把握する。併せて、室内温湿度、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。

(5) CNF素材の改質、コンポジット化、機能評価

(5)-1 CNFコンポジット試作体について、CNFの分散状態と熱拡散率や熱伝導率、比熱容量などの熱特性との関係を調査する。

(5)-2 CNFコンポジット試作体について、CNFの分散状態と透過率や反射率、偏光特性などの光学特性との関係を調査する。

(5)-3 CNFコンポジット試作体の内部構造を直接観察し、CNFの分散状態やバルク材との間の界面状態の調査、ならびに試作体の弾性率や機械強度等を評価する。

(6) CNF 素材の安全性の評価

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。昨年の安全性試験の結果を踏まえ、追加の試験を行う。

(7) CNF 活用建材の経済性評価

CNF コンポジットについて、試作段階、実用段階の双方を想定し、費用対効果の検証を行う。

(8) 協議・打ち合わせ

事務局を設け、月 1 回程度の定例打合せを開催。以下の事項について、関係各社間での連携・調整・協力を行う。

- ・進捗確認
- ・仕様書、実施計画等に関する達成状況の調査
- ・共通的な課題の抽出・整理・調整
- ・既築集合住宅への実装に向けた調整

(9) 技術熟度の評価

環境省が作成している、技術熟度評価制度 (TRA: Technology Readiness Assessment) に基づき環境省担当官の指示する TRL (Technology Readiness Level) 計算ツールの記載を、年度末までに実施すること。

(10) 関係者間の連携

本業務の遂行にあたっては、別途業務委託を予定している「平成 30 年度地球温暖化対策に係る技術実証事業管理・検討等事業委託業務」及び CNF 関連事業の受託者が実施する以下の事項について、協力・連携すること。

- ・現状把握
- ・実施計画等に関する達成状況の調査
- ・CO2 削減効果の検証・評価
- ・共通的な事業課題の抽出・整理
- ・広報資料の作成
- ・展示会への出展 ※東京都区内、2 イベント程度
- ・(仮称) モデル事業受託者意見交換会の開催 ※東京都区内、年度内に 1 回程度
- ・LCA に関する委託調査 (情報提供等)

(11) 協議・打ち合わせ

事業内容や進捗等の報告等を行うことを目的に環境省と適宜打ち合わせを行うこと。

(12) 報告書の作成

業務の内容についての最終的な取りまとめを行い、業務報告書を作成し、提出すること。

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 30 年度初めの状況	本年度（最終）の目標
0	全体目標 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。	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。	平成29年度は期間が短く、CO2の削減というレベルまでは達成できなかったが、建材を製作するための素材の試作や、実測に向けた市営住宅の準備は行えた。	各建材開発スケジュール調整と、CNF素材の改質、コンポジット化、機能評価。先行して完成する建材を市営住宅に設置する。
1	CNF樹脂サッシの開発・試作に向けた検討 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。 また、最終目標として、曲げ弾性率の30%の向上（樹脂単体比）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。 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。	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。	CNF 樹脂サッシの目標必要性能（強度、断熱性）として、曲げ弾性率は 30%の向上を、熱貫流率は既存の樹脂サッシを下回らないことを目指し、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、性能の評価を行なった。その結果、曲げ弾性率は成形試作品により 30%の向上を、熱貫流率は既存の樹脂サッシを下回らないことを計算より確認している。	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を改良試作し、このCNFコンポジットでの押出成形試作を行ない、建材単体としての目標性能達成状況を検証する。 実証試作品作製に向けた設備の整備、樹脂サッシ部材の試作、組立の準備等を進める。
2	CNF遮熱合わせガラスの開発・試作に向けた検討 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。	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、コストがかかる。採用されないことがある。	ポリエチレンに CNF を混練してフィルムを試作し、CNF 遮熱合わせガラスを製作した。また、合わせガラスに関する JIS の試験を実施した（耐光性に係る試験は継続中であるが、他の項目は適合を確認済）。しかし、分散が均一では無く、透明性も低かった。また、光学特性についても CNF の有無で差が無かった。	・ CNF遮熱フィルムの透明性を上げる手法の調査・検討 ・ 光学特性を向上させる手法の調査・検討 ・ 改良を加えたCNF遮熱合わせガラスを製作し、JISの規定により性能を確認する。 ・ 実測用市営住宅の窓用にCNF遮熱合わせガラスを製作する。
3	CNF断熱コーティング材の開発・試作に向けた検討 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、遮熱効果の継続年数を延ばし、現在10年の耐用年数を約1.3倍に延ばす	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。 表面の状態が滑らかになる傾向が出ている。	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	・ 遮熱、断熱、耐久性の評価を行う。 ・ 製造コストの検討を行う。 ・ 実装試験用遮断熱コーティング材を製造する。 ・ 実装試験施設への試験施工作業を行う。

	項目	採択時の技術の状況	平成 30 年度初めの状況	本年度（最終）の目標
	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。		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	<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>実証フィールドとなる市営住宅の実測住宅 2 住戸を決定した。基本的な計測器の設置、エアコンの設置を完了し、CNF 活用建材設置前のエネルギー性能把握の実測を開始した。</p> <p>数値シミュレーションは、実測住宅をモデルとした計算モデルを構築し、CNF 活用建材設置前の冷暖房熱負荷、冷暖房エネルギー消費量の年間計算を実施した。</p>	<p>試験住宅のCNF活用建材設置前のエネルギー性能、室内温熱環境の冬期・夏期実測により、両住戸が同等の性能であることを確認する。</p> <p>開発したCNF遮熱合わせガラス、CNF遮断熱コーティング材のプロトタイプを1住戸に設置し、省CO2性能、室内温熱環境向上効果を定量的に把握する。</p> <p>数値シミュレーションにて、CNF活用建材設置時の年間を通しての省CO2効果、室内温熱環境の算出を行う。</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。

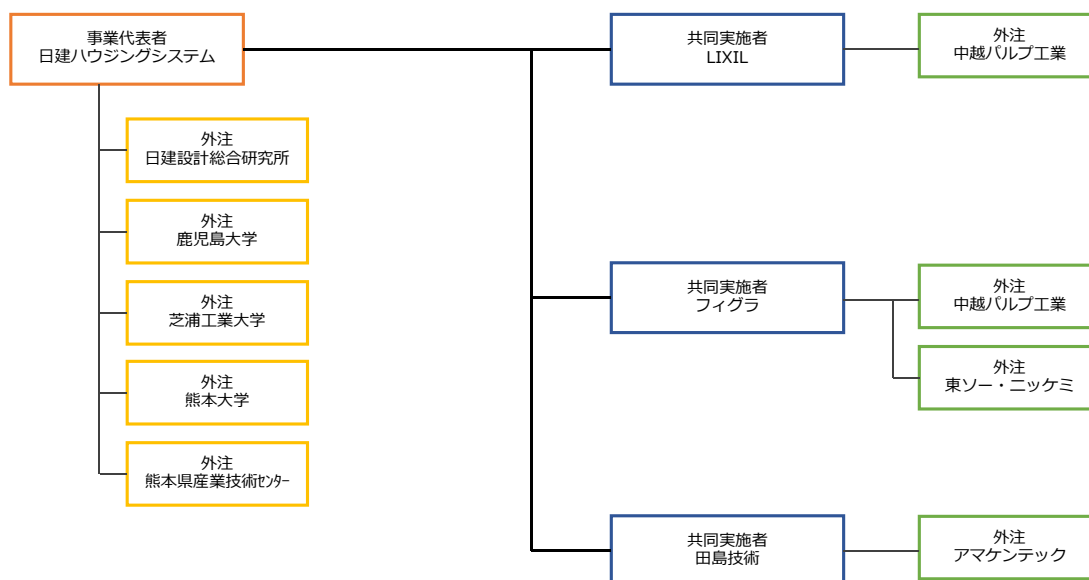


図 I -5 業務体制

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	2018年4月26日(木) 13:00~15:00	中越パルプ工業	(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 県産業技術センター、中越パルプ工業 (株)、(株)富士通総研、薩摩川内市(次世 代エネルギー対策課)	0. 議事録の確認 1. 仕様書、内示書の確認 2. 今年度のスケジュールの確認 3. 進捗確認 4. その他
第2回	2018年5月30日(水) 14:00~17:00	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)スペック、 (株)アマケンテック、(株)日建設計総合研 究所、鹿児島大学、芝浦工業大学、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、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 1. 今年度のスケジュールの確認 2. 進捗確認 3. その他
第3回	2018年6月20日(水) 15:00~17:30	日建ハウジング システム	(株)日建ハウジングシステム、(株)LIXIL、 フィグラ(株)、(株)田島技術、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. 今年度のスケジュールの確認 2. 進捗確認 3. 竹 CNF を活用した建材における CO2 排出量削減の費用対効果の 算定の方針 4. その他
第4回	2018年7月18日(水) 14:00~17:00	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、芝浦 工業大学、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、薩摩川内市(次世代エネルギ ー対策課)	0. 議事録の確認 1. 今年度のスケジュールの確認 2. 進捗確認 3. CNF 活用製品の評価について 4. その他
第5回	2018年8月22日(水) 13:00~15:00	フィグラ	(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)日建設計 総合研究所、芝浦工業大学、熊本大学、 熊本県産業技術センター、(株)富士通総 研	0. 議事録の確認 1. 今年度のスケジュールの確認 2. 進捗確認 3. CNF 活用製品の評価について 4. 進捗管理表について 5. その他
第6回	2018年9月21日(金) 14:00~17:00	薩摩川内市役所	(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、鹿児 島大学、(株)富士通総研、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 1. 今年度のスケジュールの確認 2. 進捗確認 3. CNF 活用製品の評価について 4. その他

開催	日時	会場	参加事業者等	議題
第7回	2018年10月17日(水) 10:00~14:00	LIXIL	(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)日建設計 総合研究所、芝浦工業大学、熊本大学、 熊本県産業技術センター、芝浦工業大 学、中越パルプ工業(株)、(株)富士通総研、 薩摩川内市(次世代エネルギー対策課)	0. 議事録の確認 1. 今年度のスケジュールの確認 2. 進捗確認 3. 中間精算書類について 4. その他
第8回	2018年11月16日(水) 10:00~13:00	鹿児島大学	(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、(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、薩摩川内市(次世代エネルギー 対策課)	0. 議事録の確認 1. 今年度のスケジュールの確認 2. 進捗確認 3. 環境省報告書類について 4. CNF 活用製品の評価について 5. その他
第9回	2018年12月14日(金) 14:00~17:00	富士通総研	(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)日建設計 総合研究所、芝浦工業大学、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、薩摩川内市(次 世代エネルギー対策課)	0. 議事録の確認 1. 今年度のスケジュールの確認 2. 進捗確認 3. 中間評価について 4. 報告書について 5. 来年度仕様書、見積書について 6. その他
第10回	2019年1月25日(金) 9:00~13:30	熊本大学	(株)日建ハウジングシステム、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)、(株)富士通総研、薩摩川内市(次 世代エネルギー対策課)	0. 議事録の確認 1. 今年度のスケジュールの確認 2. 進捗確認 3. 報告書について 4. その他
第11回	2019年2月18日(月) 13:00~17:30	薩摩川内市役所	(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、芝浦工業大学、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、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 1. 今年度のスケジュールの確認 2. 進捗確認 3. 報告書内容の確認 4. 来年度仕様書に関して 5. その他
第12回	2019年3月6日(水) 13:00~18:00	薩摩川内市	(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、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、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 1. 今年度のスケジュールの確認 2. 進捗確認 3. 報告書内容の確認 4. 内示書の確認 5. 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（断熱性、曲げ弾性率）の検証

- ① CNF を混練した塩ビコンポジットの試作
- ② CNF 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

(2) 実証試作品に向けた樹脂サッシ部材の試作、及び、成形試作体の建材単体としての目標性能達成状況（断熱性、曲げ弾性率）の検証や製品としての性能確認

- ① 実証試作品に向けた樹脂サッシ部材の試作、及び、成形試作体の建材単体としての目標性能達成状況（断熱性、曲げ弾性率）の検証
- ② 樹脂サッシの組立試行による実証住宅への実装前に窓サッシ製造における加工性評価（生産ライン）による課題抽出と製品性能評価による事前検証

1-2. 検討結果

(1) 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（断熱性、曲げ弾性率）の検証

- ① CNF 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竹 CNF を含む塩ビコンポジット 3 種類（S-7～9）の供給を受けた（表Ⅱ-1-2-1）。なお S-1, 6 は昨年度に供給を受けた塩ビコンポジットで、S-1 は CNF を含まないニート塩ビコンポジット、S-6 は竹 CNF を含む塩ビコンポジットで、比較として示す。

S-7, 9 の配合変更は、部材の押出成形性を向上するためトルクや滑性を調整したものである。S-8, 9 の混練条件は、分散性を向上するため調整したものである。

表Ⅱ-1-2-1 竹 CNF 含有塩ビコンポジットの製造条件と形状

試料名		S-1	S-6	S-7	S-8	S-9
竹 CNF		無し	18%含有	←	←	←
ペレット 製造条件	配合	一般的 塩ビ条件	←	トルク調整 剤量変更	S-7 と同じ	滑性調整 剤量変更
	混練		混練 強	S-1 同様	S-6 同様	混練 強 多量設備
形状		ペレット状	←	←	←	←

② 成形試作体の建材単体としての目標性能達成状況（断熱性、曲げ弾性率）の検証

● 熱貫流率と熱伝導率

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おり、グレージング部については JIS R3107 を基に、フレーム部については JIS A2102 を基に計算を行なう。

ここで、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コンポジットの成形品の熱伝導率は、下表（表Ⅱ-1-2-2）のと通りの測定を行ない、部材としてはこちらで評価する。

表Ⅱ-1-2-2 熱伝導率の測定条件

測定資料	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

● 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、樹脂サッシの評価に使われる JIS A5558 規格を基に行なう。

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、目標性能評価の結果を合わせて記載する（表Ⅱ-1-2-3）。

今年度の成形品サンプルの試料名は E-9～E-11 であり、E-1、E-8 は昨年度に提供された塩ビコンポジットでの成形品サンプルで比較として示す。E-8～E-11 の押出成形条件は同等である。

曲げ弾性率において、E-1 に対して E-8～11 は 30%以上の曲げ弾性率の向上となり、強度目標は達成した。

熱伝導率において、CNF を含まないニート塩ビコンポジットの成形品 (E-1) と竹 CNF を含む塩ビコンポジットの成形品 (E-8～11) は同値となり、熱貫流率も同等となることが示唆された。

表Ⅱ-1-2-3 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-8	E-9	E-10	E-11	JIS A5558 規格
塩ビ コンポジット 試料名	S-1	S-6	S-7	S-8	S-9	—
押出機	混練 弱	混練 強	←	←	←	—
成形樹脂 温度 (°C)	180	←	←	←	←	—
熱伝導率 (W/(m・K))	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	—
曲げ弾性率 (MPa)	2,300	3,200	3,100	3,200	3,000	2,000 以上
曲げ応力 (MPa)	55	61	62	65	69	—

(2) 実証試作品に向けた樹脂サッシ部材の試作、及び、成形試作体の建材単体としての目標性能達成状況（断熱性、曲げ弾性率）の検証や製品としての性能確認

① 実証試作品に向けた樹脂サッシ部材の試作、及び、成形試作体の建材単体としての目標性能達成状況（断熱性、曲げ弾性率）の検証

樹脂サッシ部材を押し出し成形するため、押し出し金型ならびに冷却成形金型を設計・製作・調整の上、弊社既存の樹脂押し出し機にセッティングして、竹 CNF を含む塩ビコンポジット (S-9) を用いて、成形・試作を実施した。

なお、今回は事業代表者等と協議のうえ、框部材を対象としている。



図 II-1-2-4 成形した樹脂サッシ部材

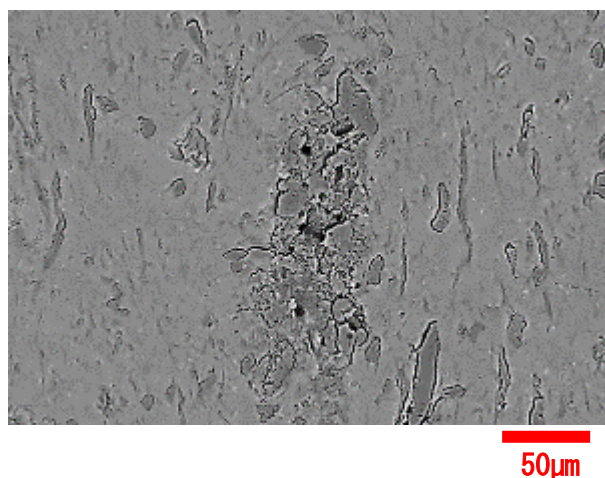
樹脂サッシ部材の押出成形条件と評価結果を表Ⅱ-1-2-5に示す。
E-12の押出成形条件はE-8～E-11と同等である。

曲げ弾性率において、E-1に対して30%以上の曲げ弾性率の向上となり、
強度目標は達成できた。

表Ⅱ-1-2-5 樹脂サッシ部材の押出成形条件と評価結果

試料名	(再掲) E-1	E-12	JIS A5558 規格
塩ビコンポジット 試料名	S-1	S-9	—
押出機	混練 弱	混練 強	—
成形樹脂温度 (°C)	180	←	—
熱伝導率 (W/(m・K))	0.22	0.22	—
曲げ弾性率 (MPa)	2,300	3,200	2,000 以上
曲げ応力 (MPa)	55	76	—

一方、成形した部材においてCNFの解繊度合いにバラツキがあり、ナノ分散化の不十分な部分が散見されたため、今後、引き続き外注等も活用して、CNF塩ビコンポジットや製造条件での改良を検討する。



図Ⅱ-1-2-6 成形部材の断面SEM画像

熱伝導率においては、CNF を含まないニート塩ビコンポジットの成形品 (E-1) と同値となった。

この熱伝導率の値を用い、熱貫流率を先述 (1-2. (1)②) の手法を基に下記の条件 (表 II-1-2-7) で計算して求めた結果、下記表 II-1-2-8 に示すとおりとなり、今回の CNF 樹脂サッシの熱貫流率が、既存の樹脂サッシの熱貫流率を下回らないことを確認した。

表 II-1-2-7 熱貫流率の計算前提条件

構造	樹脂サッシ 引違いタイプ
サイズ	W1, 654mm×H1, 773.4mm
ガラス種別	合わせガラス FL3mm-60mil-FL3 mm
計算条件	室外 0℃、室内 20℃

※サイズは、後述の実証住宅に納まるサイズ

表 II-1-2-8 熱貫流率の計算結果

試料名	E-1	E-12
熱貫流率 (W/(m ² ・K))	4.4	4.4

また、実証住宅の既設サッシを想定した一般的なアルミサッシの熱貫流率を下記の条件 (表 II-1-2-9) で計算して求めた結果、下記表 II-1-2-10 のとおりとなり、今回の CNF 樹脂サッシが一般的なアルミサッシより断熱性が優れていることを確認した。

表 II-1-2-9 熱貫流率の計算前提条件

構造	アルミサッシ 引違い窓タイプ 中棧有り
サイズ	W1, 654mm×H1, 773.4mm
ガラス種別	フロートガラス (FL) 5mm
計算条件	室外 0℃、室内 20℃

表 II-1-2-10 熱貫流率の計算結果

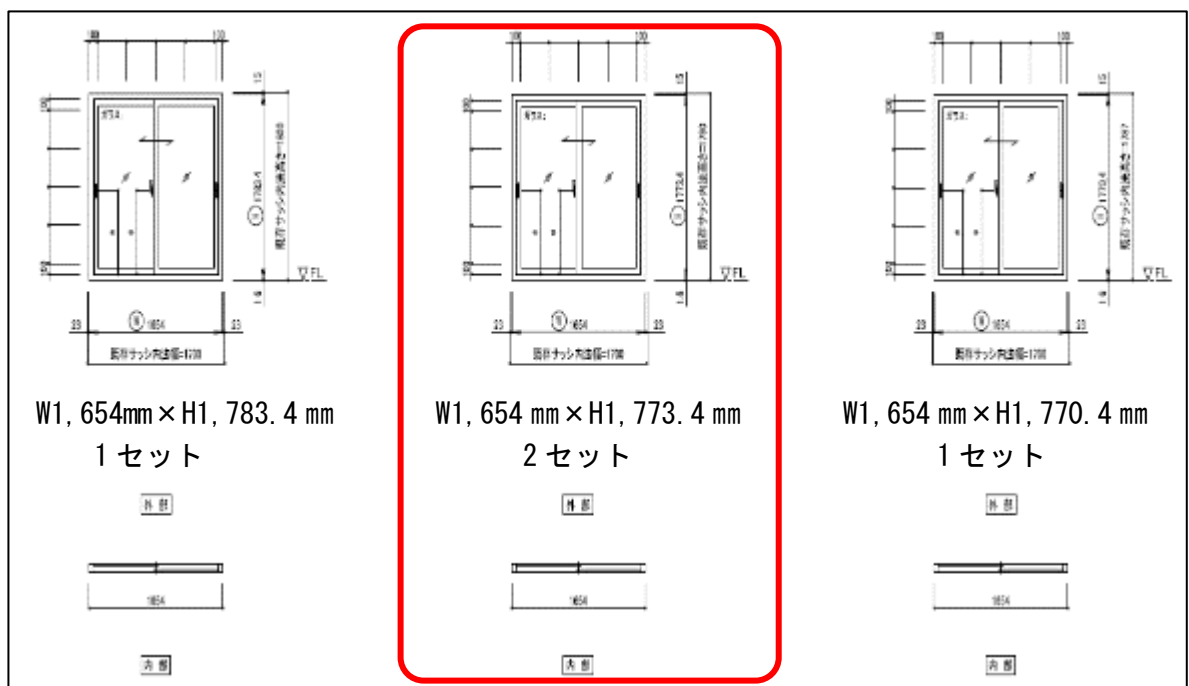
熱貫流率 (W/(m ² ・K))	6.3
---------------------------------	-----

- ② 樹脂サッシの組立試行による実証住宅への実装前に窓サッシ製造における加工性評価（生産ライン）による課題抽出と製品性能評価による事前検証

● 実証用 CNF 樹脂サッシ

実証用 CNF 樹脂サッシは、事業代表者等との協議により引違い窓タイプとすることとし、実証住宅の既設サッシ実寸に基づき下記の図Ⅱ-1-2-11にあるサイズと数の CNF 樹脂サッシを用意する必要がある。

今回の試作・検証は、実証用に必要な数が一番多く中間のサイズでもある「W1, 654 mm×H1, 773.4 mm」サイズで行なう。



図Ⅱ-1-2-11 実証用 CNF 樹脂サッシのサイズと数

● CNF 樹脂サッシの組立試行と加工性評価

①で成形した CNF 樹脂サッシ部材に対し、生産ラインでの切断、穴あけ、縦横部材接合(溶着)、部品取付等の加工を行ない、CNF 樹脂サッシを組み上げた。



図 II-1-2-12 切断後加工途中の CNF 樹脂サッシ部材



図 II-1-2-13 組立(溶着)後の CNF 樹脂サッシ部材



図 II-1-2-14 部品取付後の CNF 樹脂サッシ部材

この組み上げた CNF 樹脂サッシ部材に、フィグラで試作した CNF 遮熱合わせガラス（板ガラス 3 mm+EVA+PEDOT-CNF 複合フィルム+EVA+板ガラス 3 mm；W703 mm×H1,565 mm）を嵌めこみ、CNF 樹脂サッシの組立試行を完了した。



図Ⅱ-1-2-15 CNF 遮熱合わせガラス嵌めこみ後の CNF 樹脂サッシ部材

今回、樹脂サッシ製品への加工が可能であることが分かり、今後の実証住宅への CNF 樹脂サッシの実装に目途がついた。

他方、加工時にサッシ部材に割れ・欠けが生じ易いことも分かった。今後、先述のナノ分散化不良の改善等に向けて材料や製造条件の改良を検討する。

●製品性能評価による事前検証

試作した CNF 樹脂サッシに対し、製品としての性能評価である下記 3 種の試験を実施した。なお比較のため既存の樹脂サッシも同様に実施した。表 II-1-2-16 に試作体を示す。

表 II-1-2-16 試作体

試作体名	①CNF 樹脂サッシ	②既存樹脂サッシ
構造	樹脂サッシ 引違い窓タイプ	
サイズ	W1, 654mm×H1, 773. 4mm	
ガラス種別	フィグラ社製 CNF 遮熱合わせガラス 板ガラス 3 mm+EVA+PEDOT-CNF 複合フィルム+EVA+板ガラス 3 mm W703 mm×H1, 565 mm	
框部材	CNF 樹脂部材	既存塩ビ部材

断熱性評価試験について、表 II-1-2-17 に示す（試験の様子は図 II-1-2-18 を参照）。

今回の CNF 樹脂サッシの熱貫流率が、計算値同様、既存の樹脂サッシの熱貫流率を下回らないことを実際の製品状態において確認した。

表 II-1-2-17 断熱性試験の試作体、試験方法、結果

試作体名	試験方法	熱貫流率 (W/(m ² ・K))	
		計算値(再掲)	試験値
①CNF 樹脂サッシ	JIS A4710 による	4.4	4.2
②既存樹脂サッシ		4.4	4.2



図 II-1-2-18 断熱性評価試験

耐風圧性評価試験について、表Ⅱ-1-2-19に示す（試験の様子は図Ⅱ-1-2-20を参照）。

今回のCNF樹脂サッシの耐風圧性が、既存の樹脂サッシと同じ等級で、JIS基準のたわみ以下であることを製品状態において確認した。試験において、加圧中の戸外れや除圧後の開閉異常といった支障等が無いことも確認できた。

表Ⅱ-1-2-19 耐風圧性評価試験の試作体、試験方法、結果

試作体名	試験方法	評価	
		狙い	試験結果
①CNF樹脂サッシ	JIS A 4706に基づく JIS A 1515による (1,600Paにおいて)	S-3等級	S-3等級
②既存樹脂サッシ			S-3等級



図Ⅱ-1-2-20 耐風圧性評価試験

耐熱耐寒性評価試験について、表Ⅱ-1-2-21に示す（試験の様子は図Ⅱ-1-2-22を参照）。

今回の CNF 樹脂サッシの耐熱耐寒性について、既存の樹脂サッシと比較して同等であることを確認した。試験後の開閉異常といった支障等が無いことも確認できた。

表Ⅱ-1-2-21 耐熱耐寒性評価試験の試作体、試験方法、結果

試作体名	試験方法	評価	
		評価項目	結果・判定
①CNF 樹脂サッシ	耐熱性試験サイクル (形材表面温度 70℃、 室内温度 20℃) 2回 耐熱性試験後、 耐寒性試験サイクル (室内温度 22℃、 室外温度-15℃) 1回	異常発生の 有無	異常発生 無
②既存樹脂サッシ			異常発生 無



図Ⅱ-1-2-22 耐熱耐寒性評価試験

1-3. まとめと今後の課題

(1) 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

- 曲げ弾性率：樹脂単体比 30%以上向上 (2, 300MPa に対して 3, 000MPa 以上)

強度目標は達成したものの、成形した部材において CNF の解繊度合いにバラツキがあり、ナノ分散化の不十分な部分が散見された。

- 熱貫流率 : 4.4 W/(m²・K)

条件：引違い窓タイプ W1, 654mm×H1, 773.4mm

合わせガラス (FL3-60mil-FL3 mm)、室外 0℃、室内 20℃

JIS A4710-2015 に基づく計算値

既存の樹脂サッシの熱貫流率と同値で下回らないことを、また、同様の計算・条件で求めた一般的なアルミサッシの熱貫流率 (6.3 W/(m²・K)) より良い値で断熱性が優れていることを、それぞれ確認した。

(2) 樹脂サッシの組立試行による実証住宅への実装前に窓サッシ製造における加工性評価 (生産ライン) による課題抽出と製品性能評価による事前検証

既存の生産ラインの活用で樹脂サッシ製品へ加工でき、今後の実証住宅への CNF 樹脂サッシの実装に目途がついたこと、および、加工時にサッシ部材に割れ・欠けが生じ易いことを確認した。

- 断熱性 : 熱貫流率 4.2 W/(m²・K)

条件：引違い窓タイプ W1, 654mm×H1, 773.4mm

フィグラ社製 CNF 遮熱合わせガラス

(板ガラス 3 mm+EVA+PEDOT-CNF 複合フィルム+EVA+板ガラス 3 mm ; W703 mm×H1, 565 mm)、

室外 0℃、室内 20℃

JIS A4710-2015 に基づく試験値

既存の樹脂サッシの熱貫流率と同値で下回らないことを確認した。

- 耐風圧性 :

今回の CNF 樹脂サッシの耐風圧性が、既存の樹脂サッシと同じ等級で、JIS 基準のたわみ以下であることを製品状態において確認した。試験において、加圧中の戸外れや除圧後の開閉異常といった支障等が無いことも確認できた。

●耐熱耐寒性：

今回の CNF 樹脂サッシの耐熱耐寒性が、既存の樹脂サッシと比較して同等であることを確認した。試験後に開閉異常といった支障等が無いことも確認できた。

(3) 今後の課題

- ① 実証製品となる CNF 樹脂サッシを作製し、CNF 遮熱合わせガラスと合わせて、実証住宅へ納入・実装する。
- ② CNF を混練した塩ビコンポジットのナノ分散化不良の改善に向け、材料や製造条件の改良を検討する。成形物の目標性能に対する建材単体としての適合度を確認し、改善状況を検証する。

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遮熱合わせガラス開発の方策



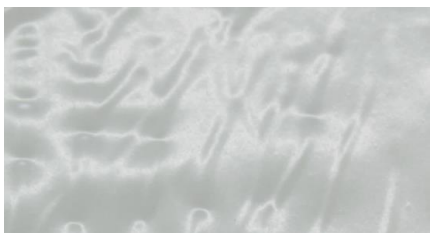


CNF 遮熱合わせガラスについて、透明性および遮熱性能を上げるための手法の調査・検討を行い、以下3種類の方法で開発・試作を行った。

①CASE1

CNF と中間膜 EVA（エチレン-酢酸ビニール共重合体）の原料とを混練してマスターバッチを製作し、これを基にフィルムを製作した。

（マスターバッチにおける CNF 配合率：30wt%）

表 II-2-1-1 CNF 配合 or 無し EVA フィルム

No	フィルム厚	CNF 配合	写真
F-1	50 μ m	無し	
F-2	50 μ m	0.5%	
F-3	50 μ m	1%	
F-4	200 μ m	無し	
F-5	200 μ m	1%	

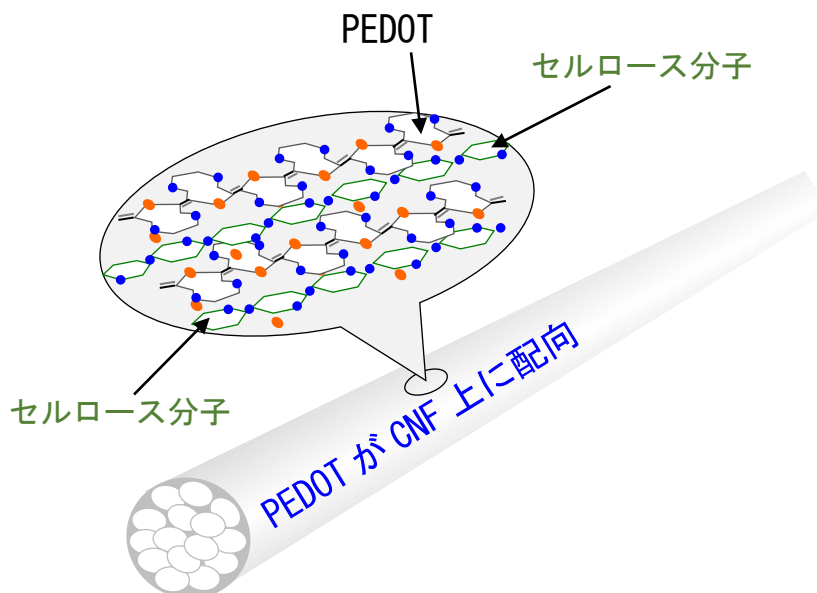
上記フィルムを 0.5mm 厚の中間膜 EVA で挟んで、光学特性測定用合わせガラス試作体を製作した（サイズ：50×60mm、板ガラス厚は 3mm）。

表 II-2-1-2 合わせガラス試作体

No	フィルム厚	CNF 配合	写真
G-1	50 μ m	無し	
G-2	50 μ m	0.5%	
G-3	50 μ m	1%	
G-4	200 μ m	無し	
G-5	200 μ m	1%	

②CASE2

遮光材料として期待できるポリ(3,4-エチレンジオキシチオフェン) (PEDOT) は、ポリアニオンのもとで合成可能であるため、このポリアニオンとして竹由来のCNFアニオン化物を採用した。PEDOTが直線的なCNF表面に配向しながら生成することにより、分散性が向上し、透明性と遮光性も向上する。



図Ⅱ-2-1-1 PEDOTの配向イメージ

このPEDOT-CNFをフィルムの基材となるポリマー水溶液中に分散させる。
ポリマーはポリビニールアルコールを使用する。

配合比率は、ポリマー：PEDOT-CNF=1:0.02（乾燥重量比）

上記PEDOT-CNFとポリマーの水溶液を、PETフィルムの片面に塗工してPEDOT-CNF複合フィルムを製作した。PETフィルム厚は50 μ m、PEDOT-CNF+ポリマー塗工厚は約11 μ mとした。詳細については、「5-1. CNFとPVAとの複合化」にて記載する。

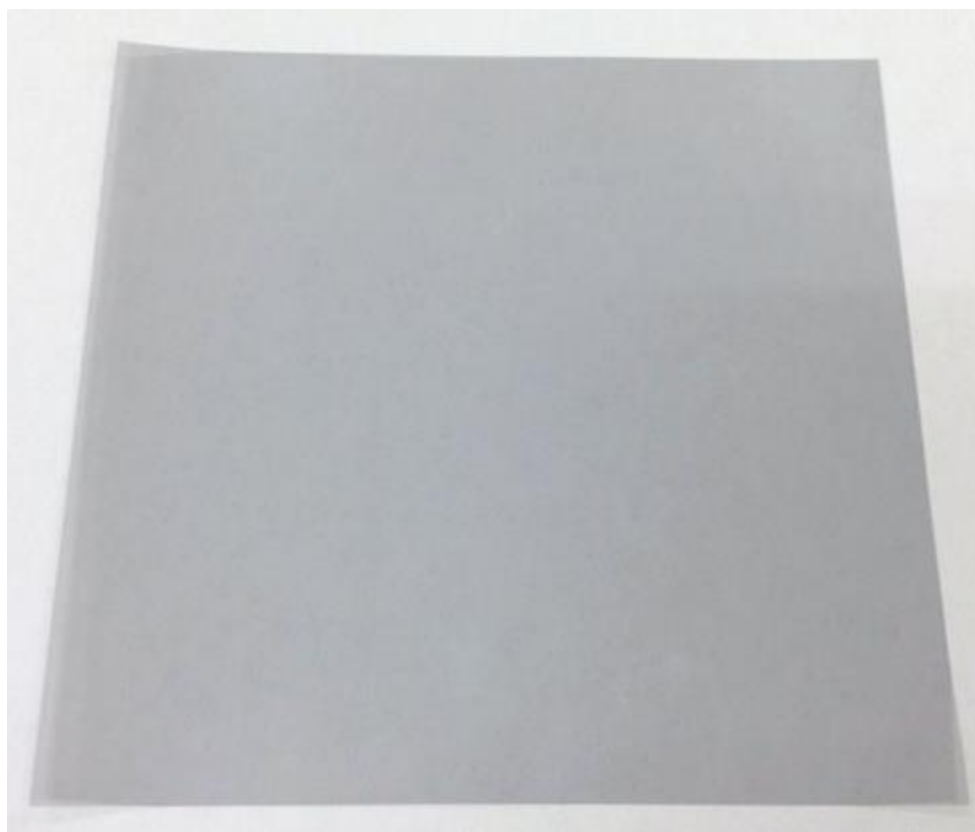


図 II-2-1-2 PEDOT-CNF 複合フィルム

上記 PEDOT-CNF 複合フィルムを 0.5mm 厚の中間膜 EVA で挟んで CNF 遮熱合わせガラスを製作した (板ガラス厚は 3mm)。

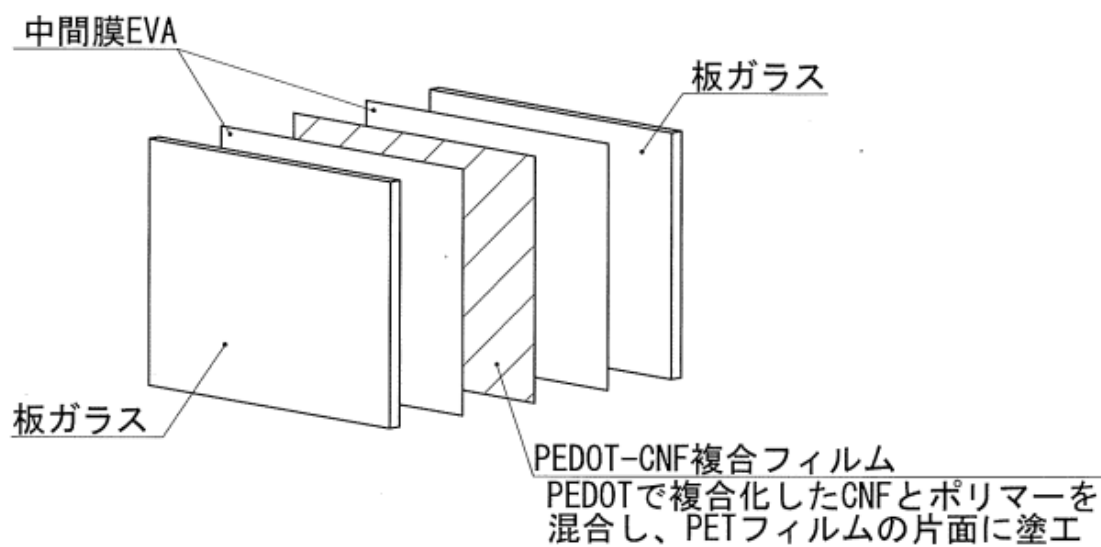
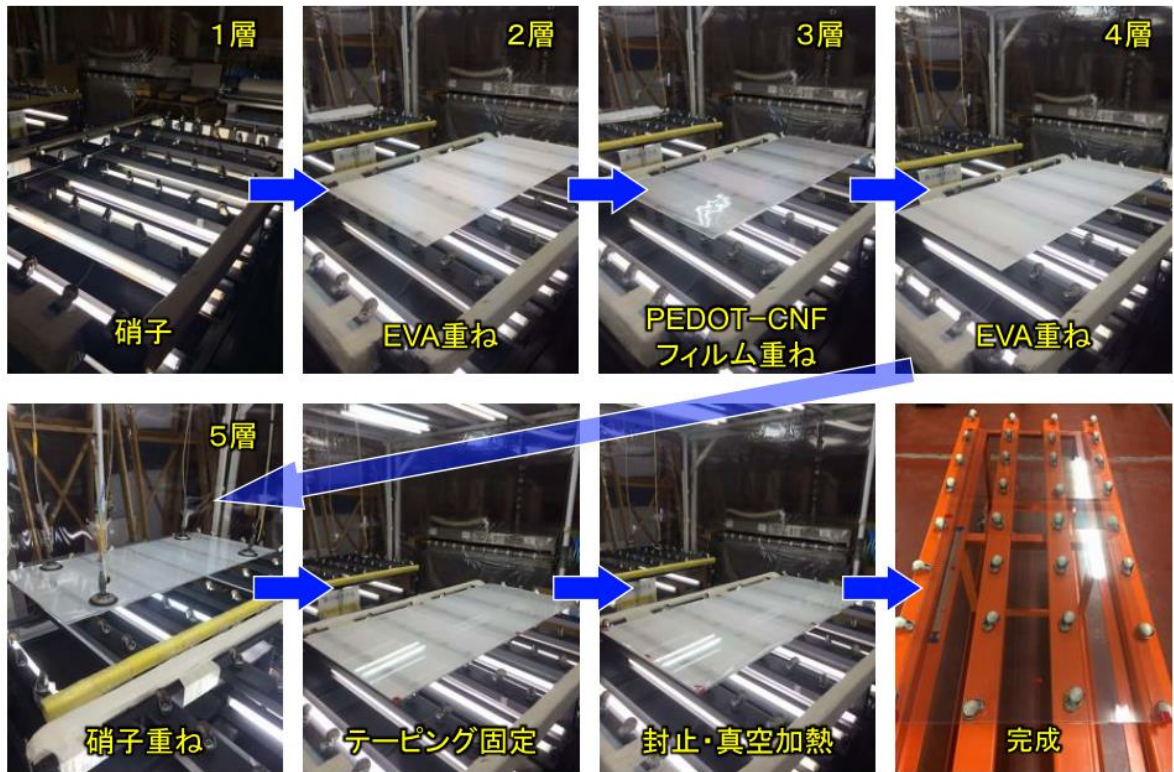


図 II-2-1-3 PEDOT-CNF 遮熱合わせガラスの構成



図Ⅱ-2-1-4 PEDOT-CNF 遮熱合わせガラス製造工程



図Ⅱ-2-1-5 PEDOT-CNF 遮熱合わせガラス

製作したものは、以下の合わせガラスである。

表Ⅱ-2-1-3 光学特性測定用試作体（サイズ：50×60mm）

仕様	枚数
PEDOT-CNF 複合フィルム	3
PET フィルム	3

表Ⅱ-2-1-4 樹脂サッシ評価用試作体（サイズ：W703×H1565mm）

仕様	枚数
PEDOT-CNF 複合フィルム	6
PET フィルム	6

表Ⅱ-2-1-5 JIS 試作体（PEDOT-CNF 複合フィルム仕様）

適用試験	サイズ	枚数
耐光性試験	300×76mm	3
耐熱性試験	300×300mm	3
耐湿性試験	300×300mm	3
落球試験	610×610mm	10
ショットバック試験	1930×864mm	4

表Ⅱ-2-1-6 実証住宅用窓ガラス（PEDOT-CNF 複合フィルム仕様）

サイズ	枚数
W703×H1575mm	3
W703×H1565mm	6
W703×H1562mm	3

③CASE3

界面改質した CNF と中間膜 EVA の原料とを混練してフィルムを試作し、光学性能等を測定した。

詳細については、「5-2. 表面疎水化 CNF の作製と機能評価」にて記載する。

(2) 顕微鏡観察

CASE1のフィルムF-1～5について、以下の装置で顕微鏡観察を行った。

観察装置：形状解析レーザー顕微鏡 VK-X1000（熊本大学保有）
（キーエンス製）

(3) 光学特性測定

各試作体について透過率の測定を行い、透明性や遮熱性能等の検証を行った。

(4) JIS試験

CASE2について、合わせガラスに関するJIS試験を実施した。

表Ⅱ-2-1-7 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 の試作体に対して、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の距離に試作体を置き、2,000時間、紫外線照射する。	試作体 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 の試作体に対して、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。	
耐湿性	寸法 300×300mm の試作体に対して、恒温恒湿槽を用い、温度 50±2℃、相対湿度 95±4%に調整し、試作体を垂直に置き、2 週間保持する。	
落球	寸法 610×610 の試作体に対して、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。試作体を試験枠に水平に支持し、質量 1,040±10g の鋼球を、試作体の表面から 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。	試作体 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 枚以上の試作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 の試作体に対して、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。試作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	試作体 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

2-2. 検討結果

(1) 顕微鏡観察

CASE1のフィルムについて、膜厚 $50\mu\text{m}$ 、 $200\mu\text{m}$ およびCNF配合 $0.5\text{wt}\%$ 、 $1\text{wt}\%$ のいずれの場合においても、フィルムの内部および表面に凝集体が観察されるため、CNFのナノ分散化は十分ではないと考えられる。

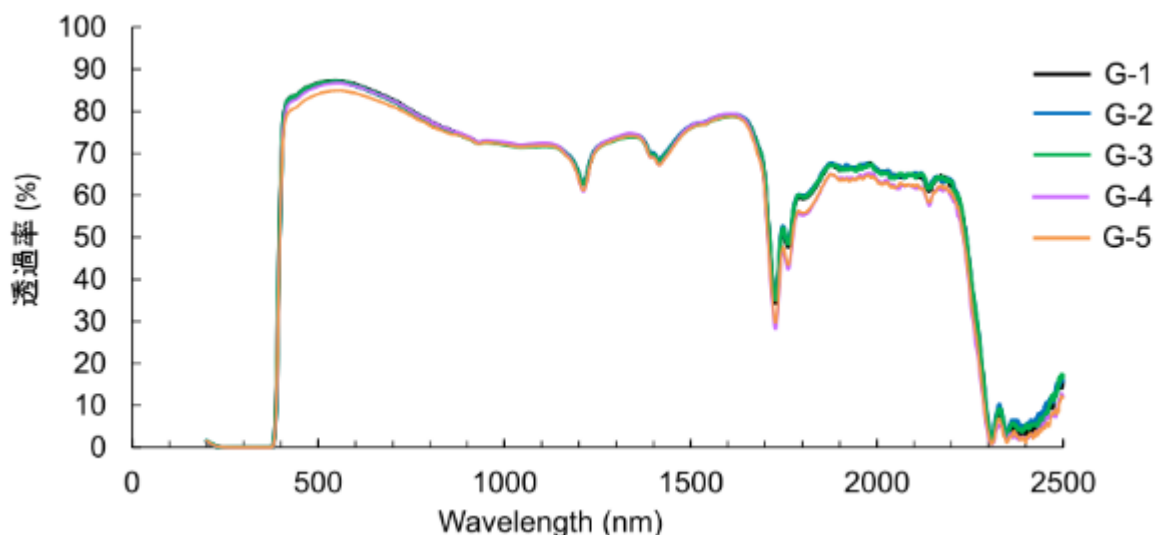
(2) 光学特性測定

①CASE1

G-1～5の試作体について、透過率の測定を行った。

各試作体の透過スペクトルを図II-2-2-1に示す。

可視光（代表値： 500nm ）透過率は、いずれも 80% を超えており、透明なCNF配合の合わせガラスは製作できたが、近赤外（代表値： 1000nm ）透過率がいずれも 70% を超えており、またCNF有無での差が僅かなため、CNF配合による遮熱性の向上は見られなかった。



図II-2-2-1 CASE1 各試作体の透過スペクトル

②CASE2

以下の試作体について透過率の測定を行った。

- 板ガラス（板厚 6mm ）単体
- PETフィルム合わせガラス

ガラス構成：板ガラス+EVA+PETフィルム+EVA+板ガラス

板ガラス厚： 3mm

EVA膜厚： 0.5mm

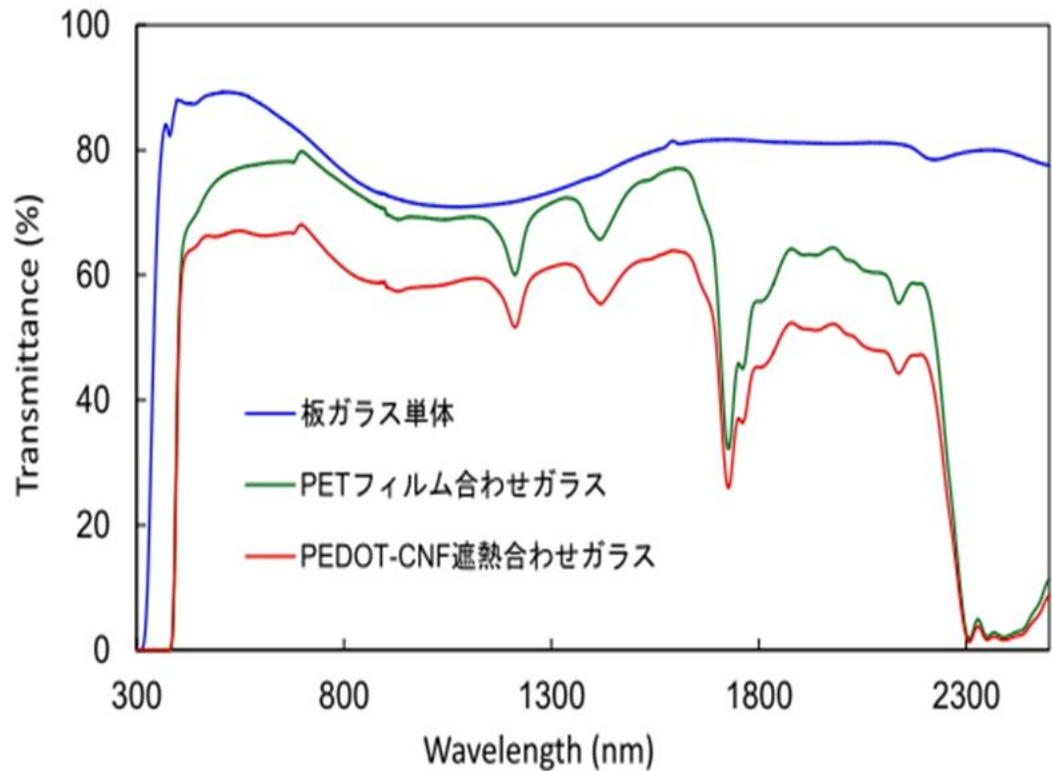
- PEDOT-CNF遮熱合わせガラス

ガラス構成：板ガラス+EVA+PEDOT-CNF複合フィルム+EVA+板ガラス

板ガラス厚： 3mm

EVA膜厚： 0.5mm

各試作体の透過スペクトルを、図Ⅱ-2-2-2 に示す。



図Ⅱ-2-2-2 CASE2 試作体の透過スペクトル

可視光（代表値：500nm）透過率と近赤外（代表値：1000nm）透過率について、表Ⅱ-2-2-1 に示す。

PEDOT-CNF 遮熱合わせガラスは、可視光透過率が 66.2%であり、窓ガラスとしては十分な透明性を有しており、かつ近赤外透過率が 58.1%で遮熱性能も備えている。なお、市販の赤外線カット合わせガラスの近赤外透過率も約 57%程度であり、同等の遮熱性能があると言える。

表Ⅱ-2-2-1 可視光と近赤外透過率

試作体	可視光透過率 (%)	近赤外透過率 (%)
板ガラス単体	89.2	71.2
PET フィルム合わせガラス	75.5	69.1
PEDOT-CNF 遮熱合わせガラス	66.2	58.1

(3) JIS 試験実施

遮熱ガラスとして必要とされる特性を備えている PEDOT-CNF 遮熱合わせガラスについて、合わせガラスに関する JIS 試験を実施した。

① 耐光性試験

試験前の試作体の外観写真を、図 II-2-2-3 に示す。

現在、試験を開始してから約 1,500 時間が経過している。このまま継続し、2,000 時間経過後の試作体の評価を行なう。

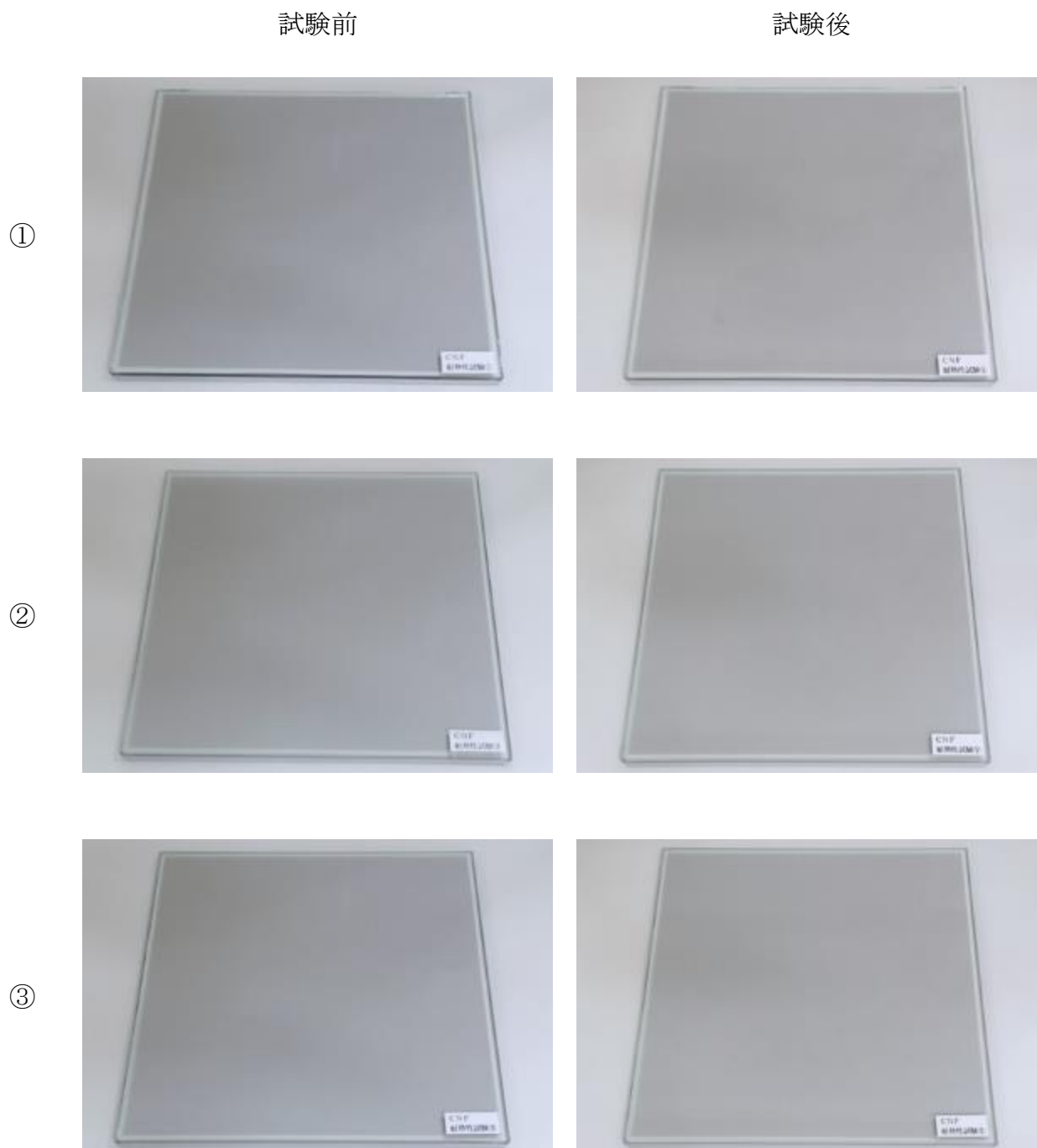


図 II-2-2-3 耐光性試験前の試作体

②耐熱性試験

試験前後の試作体の外観写真を、図Ⅱ-2-2-4に示す。

試作体①～③において、泡、ヒビ、はく離、濁りが発生せず、耐熱性試験は適合となる。

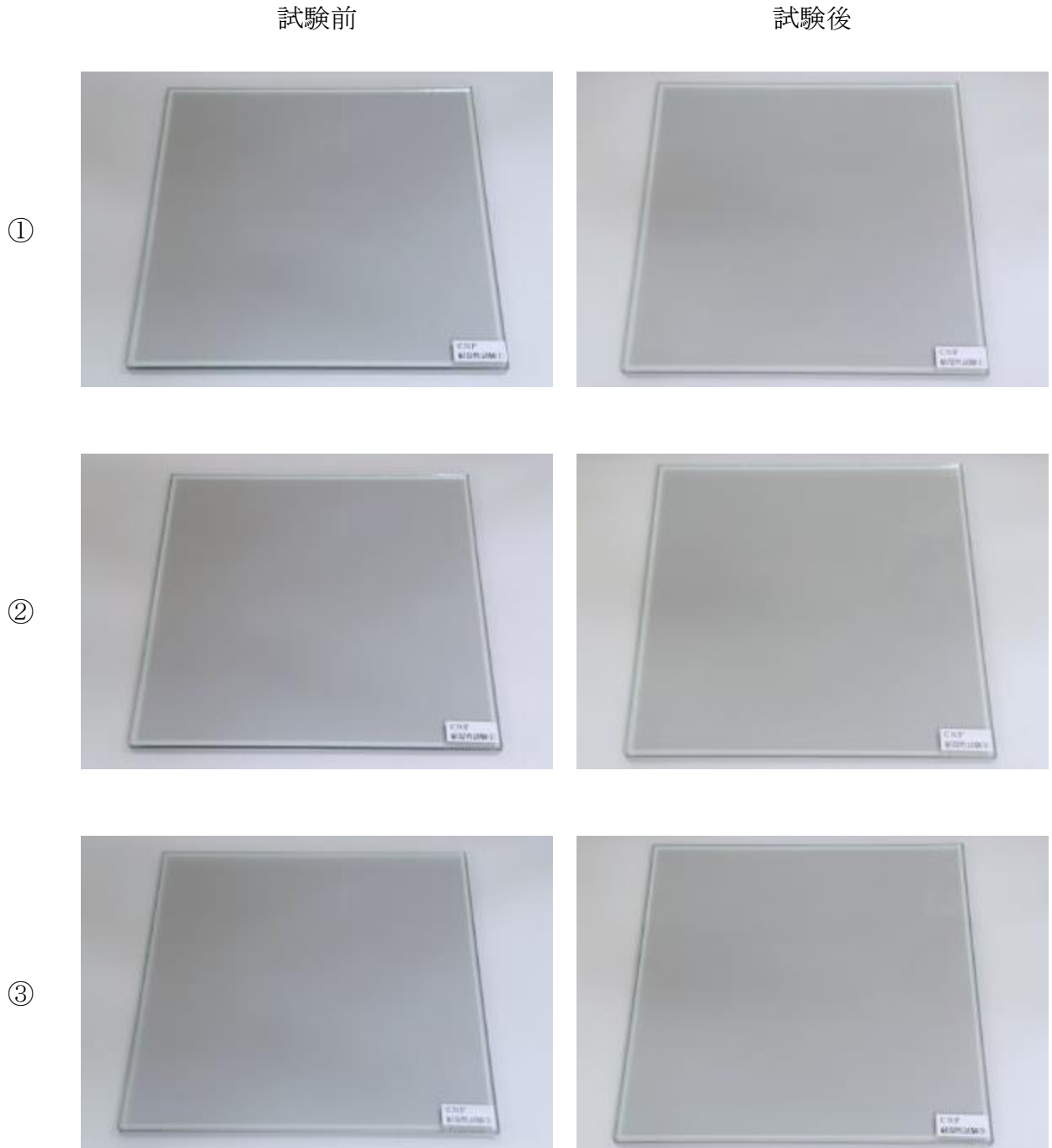


図Ⅱ-2-2-4 耐熱性試験前後の試作体

③耐湿性試験

試験前後の試作体の外観写真を、図Ⅱ-2-2-5に示す。

試作体①～③において、泡、ヒビ、はく離、濁りが発生せず、耐湿性試験は適合となる。



図Ⅱ-2-2-5 耐湿性試験前後の試作体

④落球試験

試験後の試作体の外観写真を、図Ⅱ-2-2-6～11に示す。

試作体①～⑥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く、落球試験は適合となる。



図Ⅱ-2-2-6 試作体①



図Ⅱ-2-2-7 試作体②



図 II-2-2-8 試作体③



図 II-2-2-9 試作体④



図 II-2-2-10 試作体⑤



図 II-2-2-11 試作体⑥

⑤ショットバック試験

試験後の試作体の外観写真を、図Ⅱ-2-2-12～15に示す。

試作体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は発生せず、ショットバック試験は適合となる。



図Ⅱ-2-2-12 試作体①



図Ⅱ-2-2-13 試作体②



図 II-2-2-14 試作体③



図 II-2-2-15 試作体④

2-3. まとめと今後の課題

(1) CNF 遮熱合わせガラス開発の方策

CNF 遮熱合わせガラスについて、透明性および遮熱性能を上げるための手法の調査・検討を行い、以下 3 種類の方法で開発・試作を行った。

①CASE1

CNF と中間膜 EVA の原料とを混練してマスターバッチを製作し、これを基にフィルムを製作した。

②CASE2

PEDOT で複合化した CNF とポリマーを混合し、PET フィルムの片面に塗工してフィルムを製作し、これを中間膜 EVA で挟んで CNF 遮熱合わせガラスを製作した。

③CASE3

界面改質した CNF と中間膜 EVA の原料とを混練してフィルムを試作した。

(2) 顕微鏡観察

CASE1 のフィルムについて、膜厚 $50\ \mu\text{m}$ 、 $200\ \mu\text{m}$ および CNF 配合 0.5wt%、1wt% のいずれの場合においても、フィルムの内部および表面に凝集体が観察されるため、CNF のナノ分散化は十分ではないと考えられる。

(3) 光学特性測定

CASE1 については高い透明性を確認することが出来たが、近赤外透過率が CNF の有無で殆ど差が無く、また 70% を超えており CNF 配合による遮熱性の向上は見られなかった。

CASE2 については可視光透過率が 66.2% で窓ガラスとしては十分な透明性を有しており、かつ近赤外透過率が 58.1% で遮熱性能も備えていることが確認された。

(4) JIS 試験

継続中の耐光性試験を除き適合を確認した（耐光性試験は 4 月中旬に終了予定）。

(5) 今後の課題

今年度試作した PEDOT-CNF 遮熱合わせガラスを実証住宅に設置し、遮熱効果の実証評価を行ない、評価結果をフィードバックしながら遮熱中間膜のコア材料である CNF 近赤外遮光材料の最適化を図る。また、促進耐候性試験を実施し耐久性を検証すると共に、CNF 遮熱中間膜の生産効率の向上も検討し、PEDOT-CNF 遮熱合わせガラスの製品化を目指す。

3. CNF 遮断熱コーティング材の開発・試作に向けた検討

3-1. 検討概要

検討の内容は、以下の3項目になる。

(1) 遮熱、断熱、耐久性の評価

CNF 配合の有無によって遮断熱コーティング材の遮熱性、断熱性の性能に対する影響を確認する。

ナノ分散化装置を使用して遮断熱コーティング材への CNF の分散性を高めることで、強度の向上に繋がることを確認する。

耐光性試験前後の試作体の評価を行い、遮熱、断熱、引っ張り強度の状況から耐光性との関係を検証する。

(2) 製造コストの検討

CNF 配合前のコーティング材と CNF 遮断熱コーティング材の製造コストを算出し、比較検討を行う。

(3) 実証住宅への試験施工

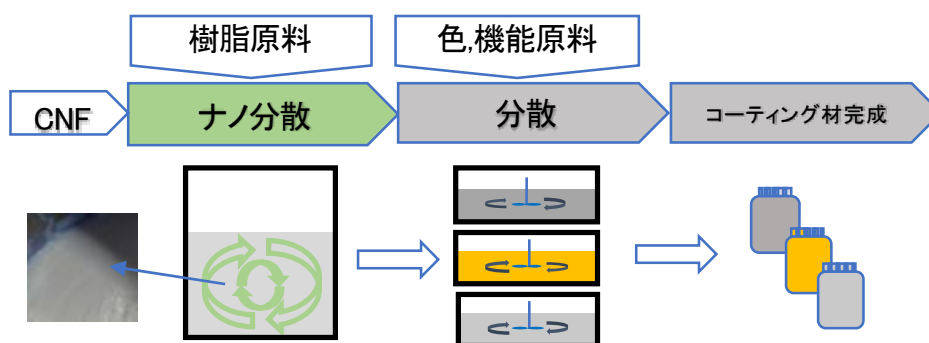
CNF 遮断熱コーティング材の施工性の確認と省 CO2 効果、室内温熱環境評価のために、実証住宅の屋根と壁面に CNF 遮断熱コーティング材の塗布を行う。

3-2. 検討結果

(1) 遮熱、断熱、耐久性の評価

① 試作体の調製

図Ⅱ-3-2-1 に CNF 遮断熱コーティング材の工程を示した。樹脂原料と CNF を表Ⅱ-3-2-1 に示すように、所定量、ナノ分散機に投与し、分散させた。さらに色調を合わせるため、色材等の機能材料を添加し、コーティング材を調製した。また、前年度の結果を受けて、CNF は 0.25 wt%配合することとした。



図Ⅱ-3-2-1 CNF の配合工程

表Ⅱ-3-2-1 試作体の調製条件とその L*a*b*色調

試作体No.	樹脂原料 および色材 (wt%)	CNF (wt%)	L*a*b*色調		
			L*	a*	b*
T1-1	97.5	0	63.1	0.58	0.51
T1-2	97.25	0.25	65.5	0.53	0.38
T1-3(市販品)	100	0	64.6	0.38	1.97

*配合割合は乾燥重量

② 耐光性の検討

塗膜の耐光性を評価するために、日射反射率、熱拡散率および引っ張り強度を調査することにより、コーティング材の耐久性を評価した。

(熊本県産業技術センター測定依頼)

②-1 耐光性試験の方法

図Ⅱ-3-2-2 に示す、Q-Lab 製の QUV 試験機により、耐光性試験を実施した。照射条件として、UVA340 (340 nm) の蛍光灯 8 本により、0.83W/m² の照射強度、ブラックパネル温度 50°C で、40 日間、試作体に照射した。



図Ⅱ-3-2-2 UVA-340 ランプを用いた耐光性試験機(熊本県産業技術センター保有)

②-2 耐光性試験前後のL*a*b*色調測定による色の変化

耐光性試験前後のL*a*b*表色系による、色差の変化を調査した。L*a*b*は日本分光製の積分級ユニット ISN-923 搭載の紫外可視近赤外分光光度計を用いて、JIS Z8781-4:2013 に則って、計測した。

表Ⅱ-3-2-2 に示すように、耐光性試験前後では、L*a*b*表色系から変化が小さく、また、色差 ΔE^*_{ab} は0.8よりも小さいため、品質管理上、問題ないことが確認された。

表Ⅱ-3-2-2 耐光性試験前後のL*a*b*色調の変化

試作体No.	照射前のL*a*b*			照射後(40日)のL*a*b*			ΔE^*_{ab}
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	
T1-1	63.1	0.58	0.51	63.7	0.47	0.64	0.662
T1-2	65.5	0.53	0.38	65.7	0.40	0.47	0.263
T1-3(市販品)	64.6	0.38	1.97	64.9	0.30	2.28	0.446

$$\Delta E^*_{ab} = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

(引用: <https://www.keyence.co.jp/ss/imagemeasure/sokushiri/news/006/>)

②-3 耐光性試験前後の日射反射率の検討

耐光性試験前後の日射反射率を調査した。日射反射率の測定は②-2 の評価と同様に日本分光製の積分級ユニット ISN-923 を用いた。日射反射率は JIS K5602:2008 に則って、計測した。

表Ⅱ-3-2-3 から、CNF の添加に関わらず、耐光性試験前後の日射反射率はほぼ変化がなく、日射反射率は維持されていることが確認された。

表Ⅱ-3-2-3 耐光性試験前後の日射反射率

試作体No.	光照射前の日射反射率			光照射後(40日)の日射反射率		
	近紫外及び 可視域 (%)	近赤外域 (%)	全波長域 (%)	近紫外及び 可視域 (%)	近赤外域 (%)	全波長域 (%)
T1-1	38.7	72.7	53.6	39.5	73.8	54.5
T1-2	41.6	75.2	56.3	41.7	74.5	56.1
T1-3(市販品)	41.5	78.1	57.5	41.8	79.1	58.1

②-4 耐光性試験前後の熱拡散率の検討



図Ⅱ-3-2-3 熱拡散率測定装置(熊本県産業技術センター保有)

熱拡散率の測定にはスポット周期加熱放射測温法を測定原理とした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 を用いた(図Ⅱ-3-2-3)。表Ⅱ-3-2-4 に耐光性試験前後の試作体の熱拡散率を示した。すべての試作体において、熱拡散率は、 $7 \times 10^{-8} \text{ms}^{-1}$ 程度となり、同等であった。また、耐光性試験後において、市販品とも同等の結果となった。

表 II-3-2-4 耐光性試験前後の熱拡散率

試作体No.	光照射前の熱拡散率 ($\times 10^{-8} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$)	光照射後(40日)の熱拡散率 ($\times 10^{-8} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$)
T1-1	5.35	7.69
T1-2	5.62	7.65
T1-3(市販品)	7.24	7.53

②-5 耐光性試験前後の力学特性(引っ張り強度、硬度)の比較

表 II-3-2-5 に耐光性試験前後の力学特性を評価するために、引っ張り強度を示した。引っ張り強度の測定には、島津製作所製 AG-Xplus を用いた(図 II-3-2-4)。

オートグラフによる耐光性試験前後の試作体の引っ張り強度を調査した結果を、表 II-3-2-5 に示す。耐光性試験前の T1-1 と T1-2 の引っ張り強度を比較したところ、CNF が配合されている T1-2 の方が強度は大きくなっていることが確認できる。

一方、耐光性試験後において、T1-2 の引っ張り強度は小さくなった。

鉛筆硬度を測定したところ、表 II-3-2-5 に示すように、5H と硬度が大きく、耐摩耗性に優れていることが示唆された。

比較として、市販品の T1-3 は引っ張り強度が小さく、鉛筆硬度も 3H と最も小さくなった。

T1-2 が適度な引っ張り強度と表面硬度を有し、CNF を配合する効果が確認された。これらの結果から、試験施工には T1-2 を採用することとした。

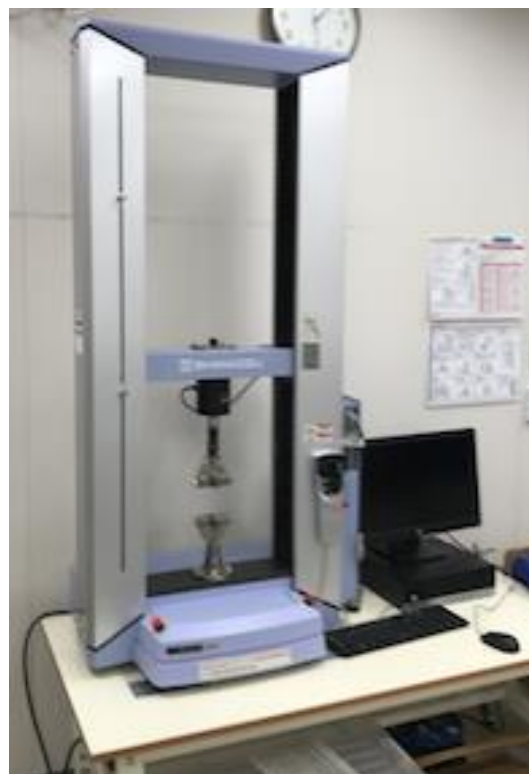


図 II-3-2-4 引っ張り強度測定装置
(熊本県産業技術センター保有)

表 II-3-2-5 耐光性試験前後の引っ張り強度と鉛筆硬度

試作体No.	光照射前の 引っ張り強度 (MPa)	光照射後(40日)の 引っ張り強度 (MPa)	鉛筆硬度 (H)
T1-1	0.50	7.30	4
T1-2	0.65	4.80	5
T1-3(市販品)	1.02	2.33	3

(2) 製造コストの検討

① CNF を配合した場合との材料費比較

現段階での T1-1 と T1-2 の材料費と製造費も含んだコストの比較は、表 II-3-2-6 のとおりとなった。

表 II-3-2-6 試作体の製造費

試作体No.	比率	
	材料	材料費+製造費
T1-1	1.0	1.0
T1-2	1.04	1.07

CNF を配合したことによって増加したコストは、CNF を配合していないものと比較して、材料費比で 1.04 倍、製造費を合わせた比は 1.07 倍となった。

今後は、CNF 配合と製造プロセス全般の最適化を検討し、コーティング材の出荷量の増加を想定したコスト試算を行い、一般に市販されている遮熱塗料との価格を比較しながら、コスト低減を検討する。

(3) 実証住宅への試験施工

① 試験施工

省 CO2 効果、室内温熱環境評価のために、実証住宅の屋根と壁面に CNF 遮断熱コーティング材の塗布を行った。屋上、南側、西側、北側の塗布前後の実証住宅の写真を図 II-3-2-5 に示す。



図 II-3-2-5 実証住宅試験施工塗布前後の写真

3-3. まとめと今後の課題

(1) 遮熱、断熱、耐久性の評価

耐光性試験前後において、CNF の添加に関わらず、日射反射率はほぼ変化なく、日射反射率は維持されていることが確認された。また、すべての試作体において熱拡散率は、 $7 \times 10^{-8} \text{ms}^{-1}$ 程度となり、同等であった。

CNF を添加した試作体は、他の試作体と比較して硬度が高く、耐摩耗性に優れていることが示唆された。

(2) 製造コストの検討

CNF を添加することで、材料費の比率は 1.04 倍、材料費に製造費を加えると比率は 1.07 倍になった。

(3) 実証住宅への試験施工

平成 31 年 3 月に試験施工完了。

(4) 今後の課題

- ① CNF 遮断熱コーティング材の耐久性について、引き続き性能向上のため開発・試作を行い、性能を評価。
- ② 長期耐候性性能の確認。
- ③ 製造コスト全般の最適化によるコスト高への対応。
- ④ 社会実装に向けての製造工程、規格等の整備と JIS 等の規格取得。

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

実測とシミュレーションで、開発した CNF 活用建材の集合住宅への導入による省 CO2 効果や室内温熱環境向上効果を定量的に把握する。

①市営住宅での実測

実測では、間取り・方位が同じ市営住宅 2 住戸で、CNF 活用建材設置による効果を把握する。2 住戸とも同じ設定温度で、エアコンによる冷暖房を行い、エアコンの使用電力量を計測・比較し、省 CO2 効果を測定する。また、室内の温湿度、ガラス、サッシおよび外壁の表面温度を測定し、室内の温熱環境向上効果を測定する。実測期間は、2018 年 4 月から 2019 年 3 月までの、年間を通しての連続計測を行った。

本年度は、CNF 活用建材設置前の状態での両住宅の性能が同等であることを確認した。その上で、1 住戸に CNF 活用建材を設置して、比較実測を行った。CNF 活用建材の適用スケジュールとしては、2018 年度末に、CNF 遮断熱コーティング材の導入を行う。CNF 遮熱合わせガラス、CNF 樹脂サッシの導入は、2019 年夏期を予定している。

②シミュレーションによる検討

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した。実測を行う市営住宅をモデルとして、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 CO2 効果を把握した。併せて、室内温湿度、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した。

(2) スケジュール

実測による評価は、夏期及び冬期を中心に行うが、計測は年間を通して実施する。本年度は、CNF 樹脂サッシや CNF 遮断熱コーティング材の設置を想定して、外壁・ガラス・サッシの表面温度センサーを追加設置した。

- ・ 継続計測 : 2018 年 4 月～2019 年 3 月
- ・ 日射計、外気温湿度センサー設置 : 2018 年 5 月 9 日
- ・ 外壁・ガラス表面温度センサー設置 : 2018 年 11 月 30 日
- ・ CNF 遮断熱コーティング材塗布 : 2019 年 3 月

4-2. 市営住宅での実測

(1) 対象住戸

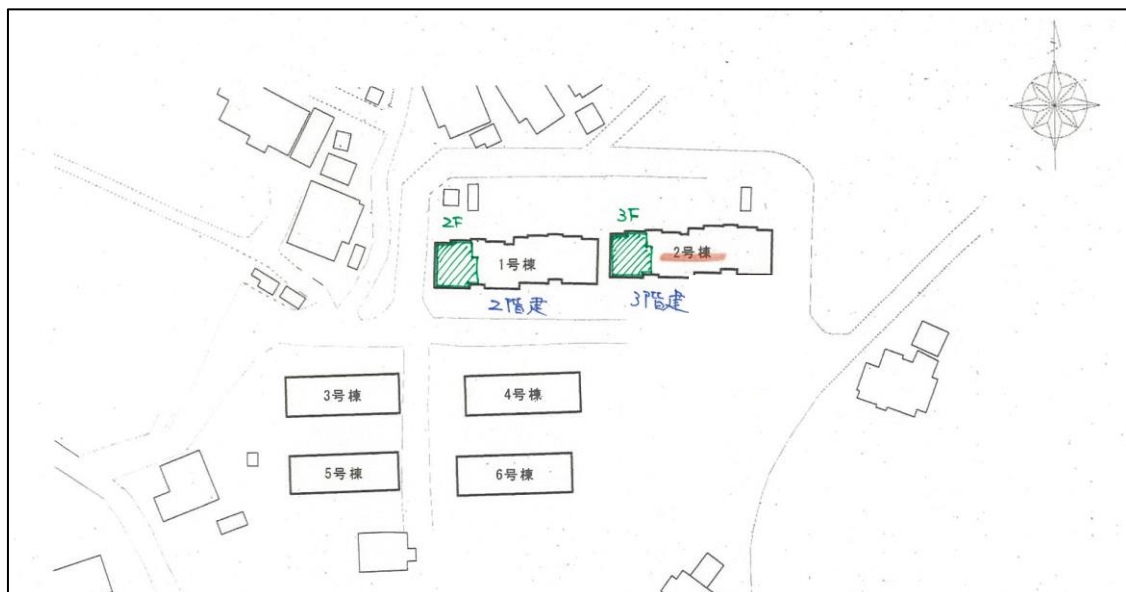
実測対象住戸は、薩摩川内市営 城上住宅の2住戸とした。2住戸とも、最上階西側妻住戸である。1住戸は1号棟（2階建）の最上階、1住戸は2号棟（3階建）の最上階である。2号棟の住戸の隣には、1号棟があるが、1号棟の方が、階数が低いため、日照条件としては、1号棟の住戸と同様と思われる。両住戸とも間取りは、3DK（延床面積 61.49 m²）で同じである。

表Ⅱ-4-2-1 実証住宅概要

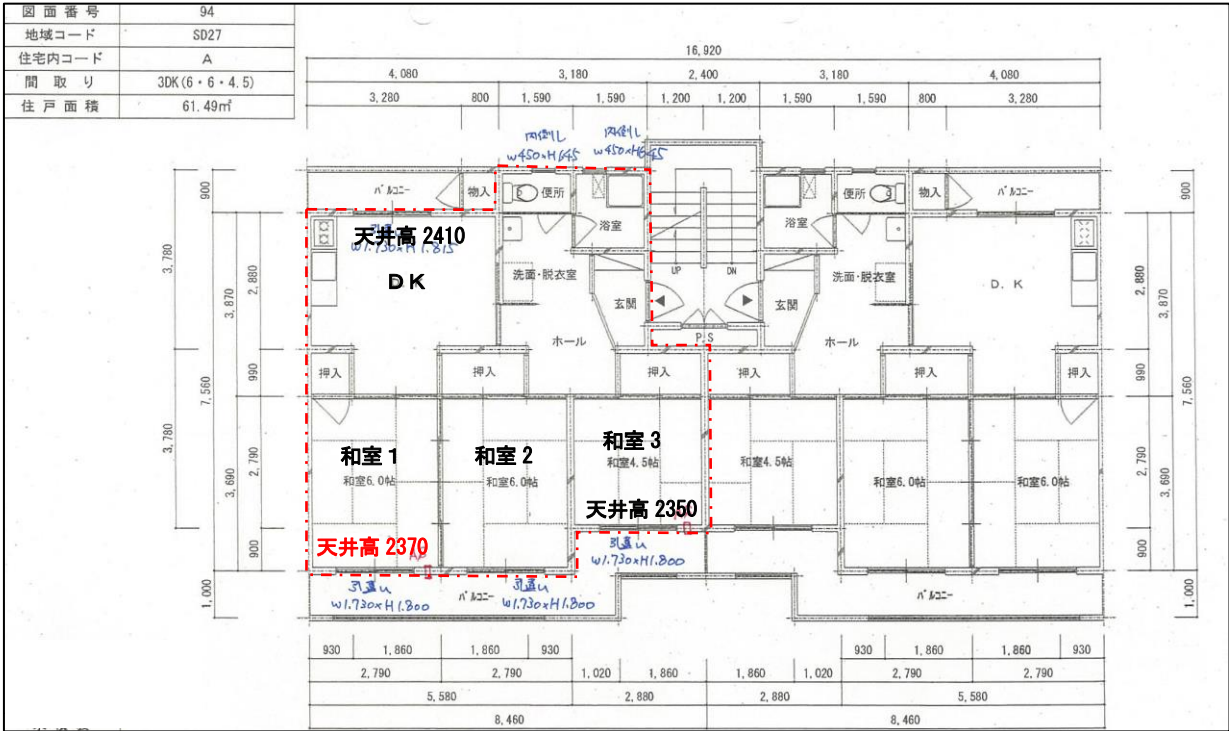
対象住棟	1号棟（CNF活用建材設置住戸）	2号棟（比較対象住戸）
建築地	鹿児島県薩摩川内市	
構造	鉄筋コンクリート造	
規模	地上2階建	地上3階建
建築年	1981年（昭和56年）	1981年（昭和56年）
建築面積	約267m ²	約267m ²
延床面積	約530m ²	約795m ²
総住戸数	8戸	12戸

表Ⅱ-4-2-2 実証住戸概要

対象住棟	1号棟（CNF活用建材設置住戸）	2号棟（比較対象住戸）
住戸位置	最上階西側妻住戸(121室)	最上階西側妻住戸(231室)
間取り	3DK(6, 6, 4.5畳)	
住戸面積	61.49 m ²	
冷暖房設備	各室にエアコン1台設置	
空調室	DK、和室1・2、和室3	



図Ⅱ-4-2-1 実証住宅配置図



図Ⅱ-4-2-2 実証住宅平面図



図Ⅱ-4-2-3 実証住宅南側外観



図Ⅱ-4-2-4 実証住宅北側外観

(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^{*}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。

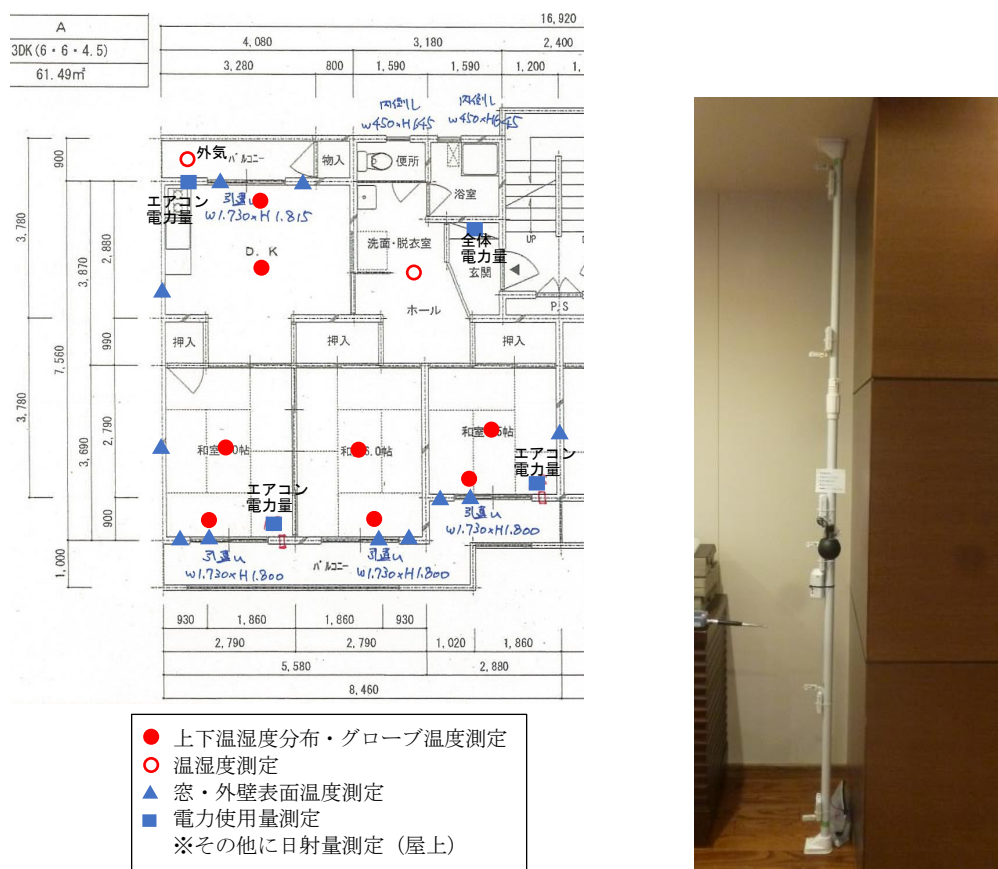
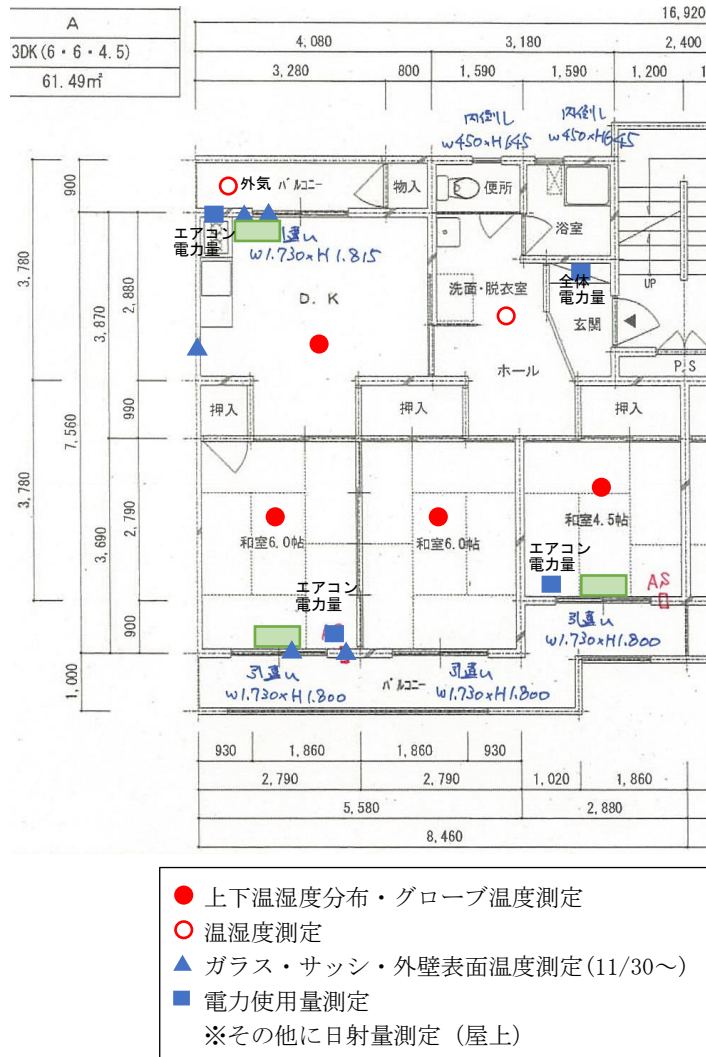


図 II-4-2-5 室内環境計測予定位置および計測器設置状態イメージ

本年度の実測実施内容としては、両対象住戸各室（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、各室のグローブ温度、和室1とDKの外壁・窓ガラス・サッシ表面温度の測定を実施した。また、2号棟対象住戸の北側バルコニーでの外気温湿度、屋上で日射量と屋根表面温度の測定を開始した。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11月30日以降)

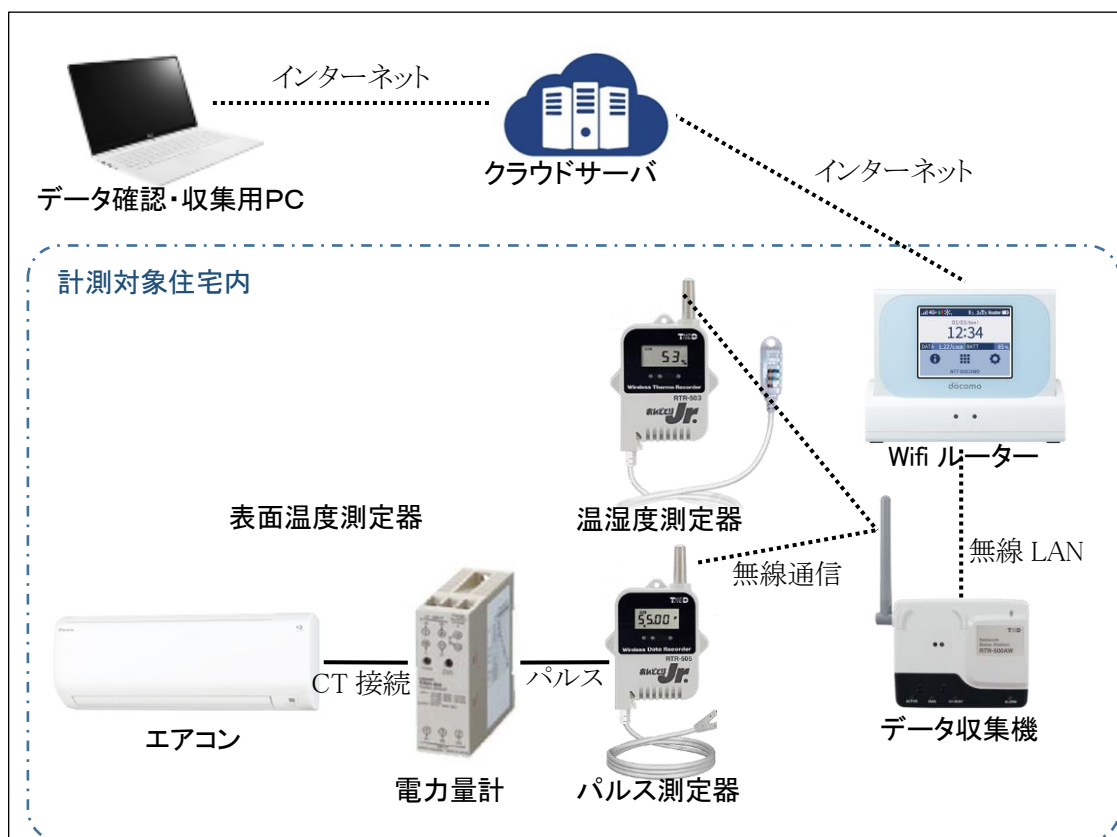
表Ⅱ-4-2-3 計測ポイント一覧

対象住戸	室名	計測項目	機種型番	機器名	備考		
1号棟121室	DK	FL+1100	温湿度	RTR-503	1D1IT110	2018/1/30設置	
	和室1	FL+1100	温湿度	RTR-503	1W1IT110	2018/1/30設置	
	和室2	FL+1100	温湿度	RTR-503	1W2IT110	2018/1/30設置	
	和室3	FL+1100	温湿度	RTR-503	1W3IT110	2018/1/30設置	
	ホール	FL+1100	温湿度	RTR-503	1H1IT110	2018/1/30設置	
	外気		温湿度	RTR-503	10AT	2018/1/30設置	
	DK	FL+1100	グローブ温度	RTR-502	1D1IG110	2018/5/2設置	
	和室1	FL+1100	グローブ温度	RTR-502	1W1IG110	2018/5/2設置	
	和室2	FL+1100	グローブ温度	RTR-502	1W2IG110	2018/5/2設置	
	和室3	FL+1100	グローブ温度	RTR-502	1W3IG110	2018/5/2設置	
	DK	FL+1100	北側ガラス表面温度	RTR-505-TC	1D1WNS11	2018/11/30設置	
	DK	FL+1100	北側外壁表面温度	RTR-505-TC	1D1KNS11	2018/11/30設置	
	DK	FL+1100	西側外壁表面温度	RTR-505-TC	1D1KWS11	2018/11/30設置	
	和室1	FL+1100	南側ガラス表面温度	RTR-505-TC	1W1WSS11	2018/11/30設置	
	和室1	FL+1100	南側外壁表面温度	RTR-505-TC	1W1KSS11	2018/11/30設置	
	DK	エアコン	電力量	RTR-505-P	1D1PAC	2018/1/30設置	
	和室1	エアコン	電力量	RTR-505-P	1W1PAC	2018/1/30設置	
	和室3	エアコン	電力量	RTR-505-P	1W3PAC	2018/1/30設置	
	住戸全体		電力量	RTR-505-P	1PALL	2018/1/30設置	
	和室2	FL+1100	気温	熱電対		2018/5/9設置	
	和室2		天井表面温度	熱電対		2018/5/9設置	
	外気		温湿度	ヴァイサラHMP155		2018/5/9設置	
	屋上		全天日射量	プリードCMP-11		2018/5/9設置	
	2号棟231室	DK	FL+1100	温湿度	RTR-503	2D1IT110	2018/1/30設置
		ホール	FL+1100	温湿度	RTR-503	2H1IT110	2018/1/30設置
		外気		温湿度	RTR-503	20AT	2018/1/30設置
和室1		FL+1100	温湿度	RTR-503	2W1IT110	2018/1/30設置	
和室2		FL+1100	温湿度	RTR-503	2W2IT110	2018/1/30設置	
和室3		FL+1100	温湿度	RTR-503	2W3IT110	2018/1/30設置	
DK		FL+1100	グローブ温度	RTR-502	2D1IG110	2018/5/2設置	
和室1		FL+1100	グローブ温度	RTR-502	2W1IG110	2018/5/2設置	
和室2		FL+1100	グローブ温度	RTR-502	2W2IG110	2018/5/2設置	
和室3		FL+1100	グローブ温度	RTR-502	2W3IG110	2018/5/2設置	
DK		FL+1100	北側ガラス表面温度	RTR-505-TC	2D1WNS11	2018/11/30設置	
DK		FL+1100	北側外壁表面温度	RTR-505-TC	2D1KNS11	2018/11/30設置	
DK		FL+1100	西側外壁表面温度	RTR-505-TC	2D1KWS11	2018/11/30設置	
和室1		FL+1100	南側ガラス表面温度	RTR-505-TC	2W1WSS11	2018/11/30設置	
和室1		FL+1100	南側外壁表面温度	RTR-505-TC	2W1KSS11	2018/11/30設置	
DK		エアコン	電力量	RTR-505-P	2D1PAC	2018/1/30設置	
和室1		エアコン	電力量	RTR-505-P	2W1PAC	2018/1/30設置	
和室3		エアコン	電力量	RTR-505-P	2W3PAC	2018/1/30設置	
住戸全体			電力量	RTR-505-P	2PALL	2018/1/30設置	
和室2		FL+1100	気温	熱電対		2018/5/9設置	
和室2			天井表面温度	熱電対		2018/5/9設置	

【機器名凡例】

1文字目	2,3文字目	5文字目	6-8文字目
1:1号棟121室	D1:DK	T:温湿度	110:高さ1100mm
2:2号棟231室	W1:和室1	G:グローブ温度	
	W2:和室2	S:表面温度	
	W3:和室3	AC:エアコン	
	H1:ホール	ALL:住戸全体	
	OA:外気		

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、遠隔でデータ収集ができるものとした。



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）
 - ・ 温度測定器 T&D RTR-503(温湿度)
- ③ グローブ温度測定（和室 3 室、DK）
 - ・ 温度測定器 T&D RTR-502(温度)
 - ・ グローブ球 φ 75mm
- ④ 表面温度測定（和室、DK）
 - ・ 温湿度測定器 T&D RTR-505-TC(T 型熱電対)
- ⑤ 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)

⑥ 日射量測定 (2号棟屋上1点)

- ・ 日射計 プリード製 CMP-11

⑦ 外気温湿度 (2号棟北側ベランダ)

- ・ 湿度温度プローブ ヴァイサラ HMP155
- ・ 温湿度用放射シールド プリード製 PRS-120
- ・ データロガー HIOKI LR8432



図Ⅱ-4-2-8 計測器設置の様子 (和室1、和室2)



図Ⅱ-4-2-9 計測器設置の様子 (左: DK、右: 和室3)



図Ⅱ-4-2-10 計測器設置の様子（外気温湿度）



図Ⅱ-4-2-11 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）



図Ⅱ-4-2-13 壁・ガラス表面温度測定（和室1）



図Ⅱ-4-2-14 壁・ガラス表面温度測定（DK）



図Ⅱ-4-2-15 左：屋上に設置した日射計、右、屋根表面温度測定（2号棟）

(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℃、夏期は設定温度 26℃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 も冷暖房される状態となっている。

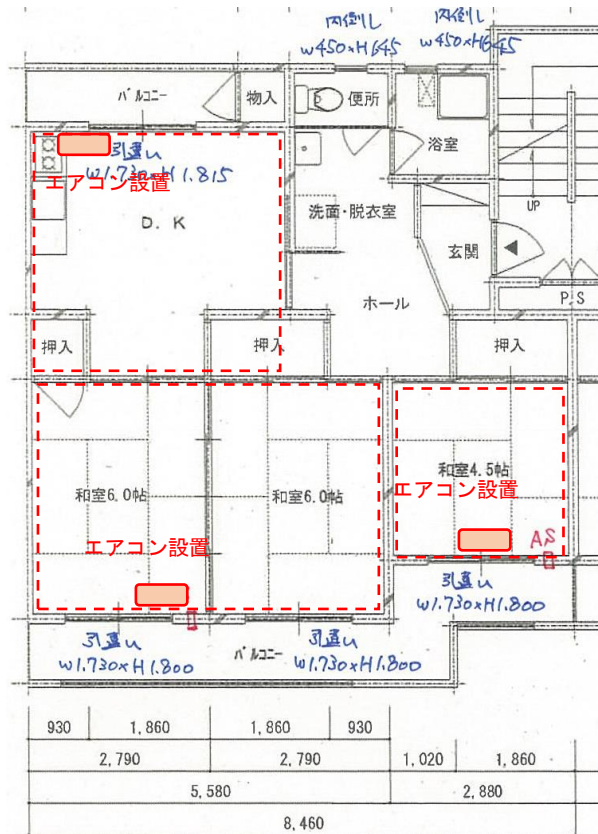
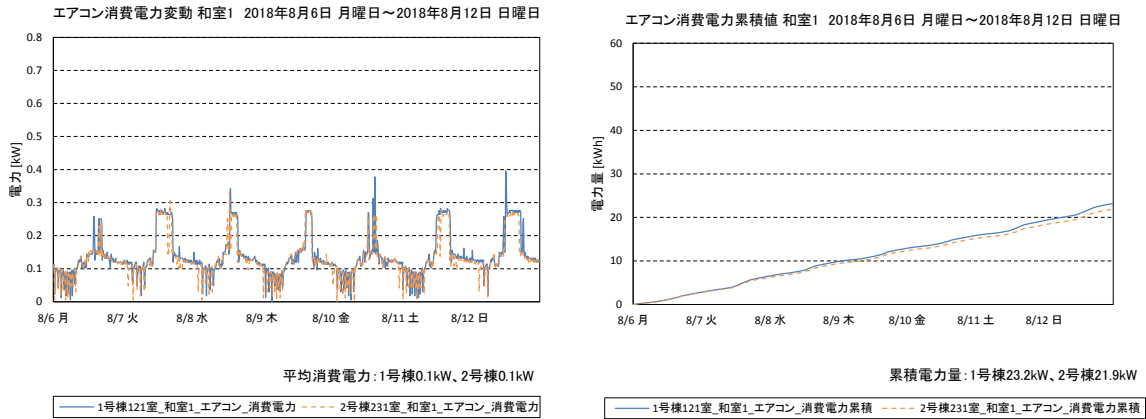


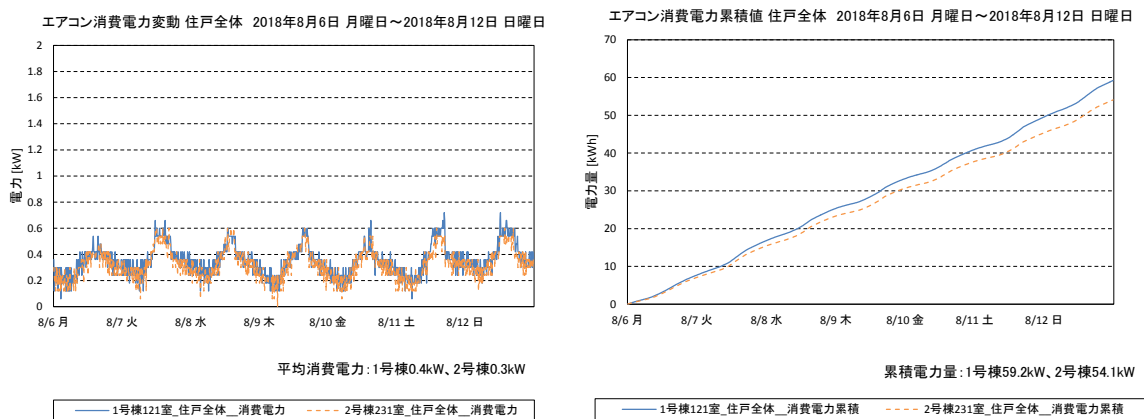
図 II-4-2-16 エアコン設置位置、冷暖房範囲

(4) 実測結果

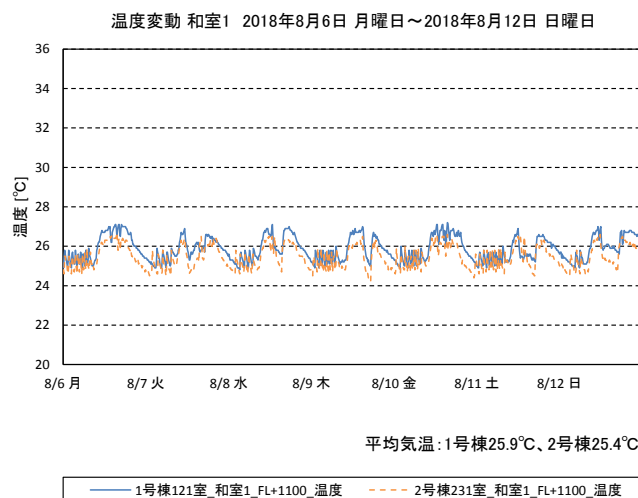
実測対象の2棟は概ね同等のエアコンの電力使用量、室内環境となり、同等の建物性能であることが確認できた。ただし、2号棟のエアコン消費電力が、少ない傾向にあるため、最終的な省CO2効果算出の際には、補正した上での算出を検討する。



図Ⅱ-4-2-17 エアコン消費電力（和室1）



図Ⅱ-4-2-18 エアコン消費電力（住戸合計）



図Ⅱ-4-2-19 室内気温変動（和室1）

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、実証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、冷暖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。

- ◆ 各空間の毎時の冷暖房負荷
- ◆ 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 (μ 値)

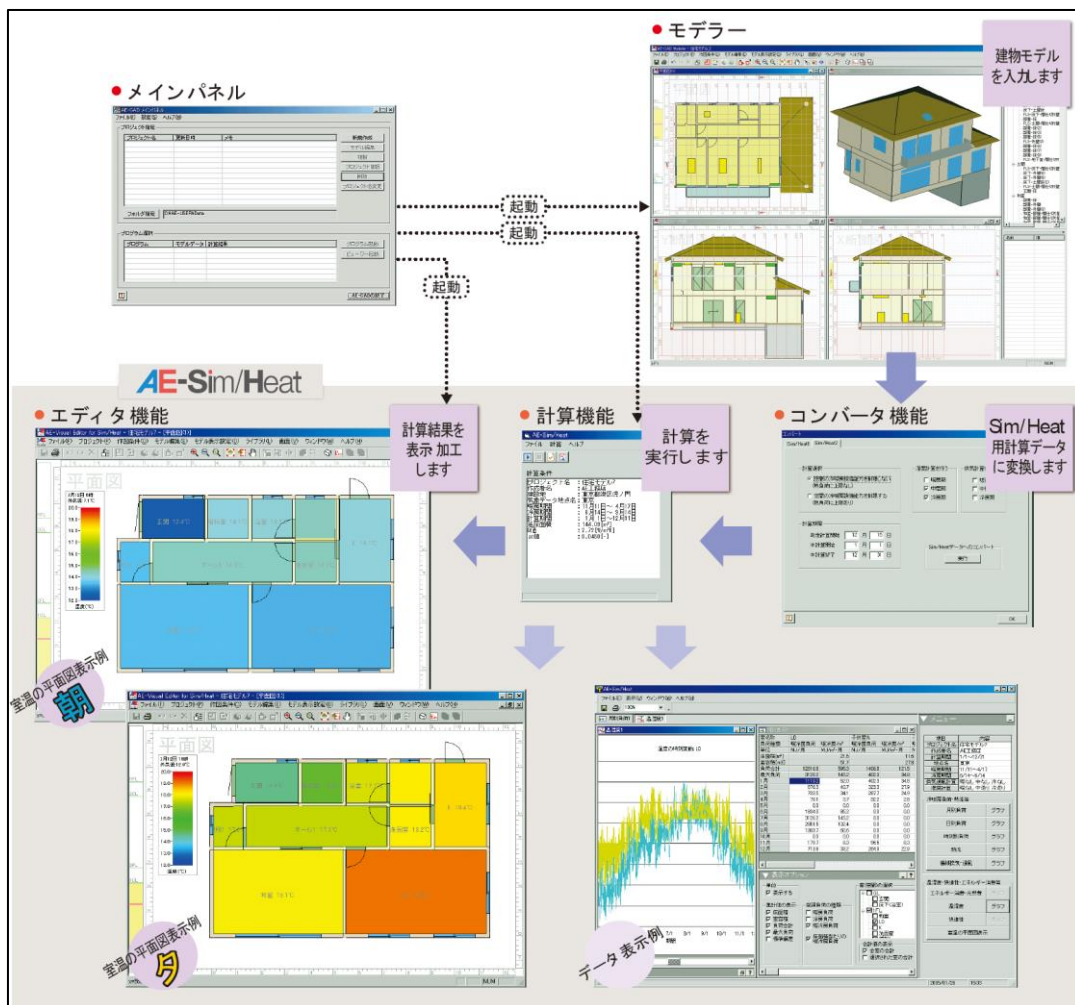
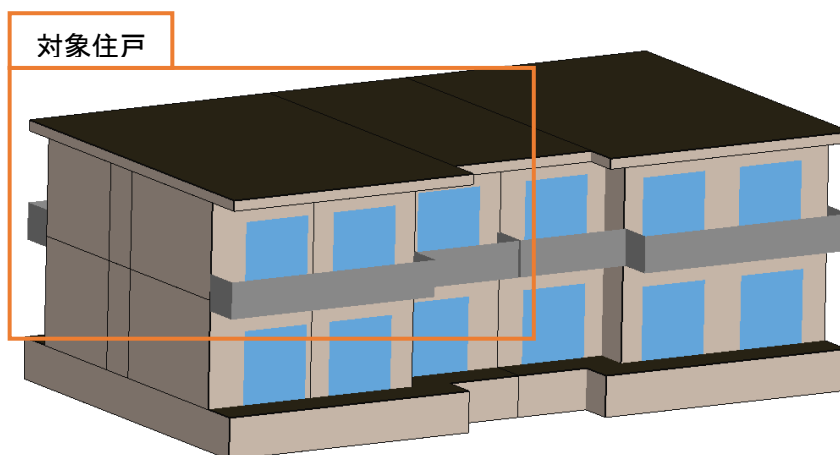


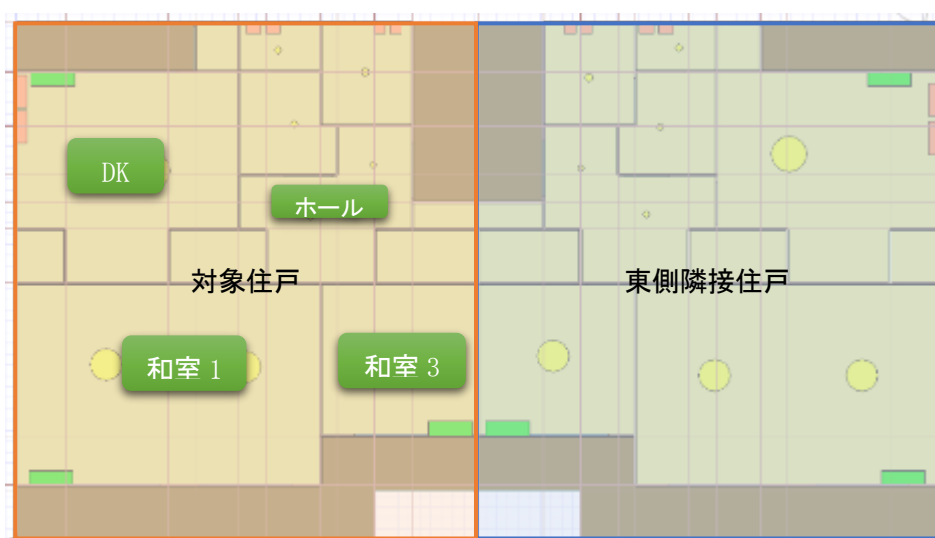
図 II-4-3-1 シミュレーションプログラムの計算フロー

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室を検討対象とした。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



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24日～3月7日とし、実証住宅と同じ、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6日～10月24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。計算では、まずは、現状での建物の再現（CaseA 基準モデル）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31日
暖房期間	12月24日～3月7日
暖房設定温湿度	温度：22℃ 湿度：50%
冷房期間	5月6日～10月24日
冷房設定温湿度	温度：26℃ 湿度：50%
世帯構成	3人世帯(夫婦、高校生1人)
空調条件	常時連続空調
窓開け条件	常時閉、レースカーテン付
外気条件	拡張アメダス気象データ（標準年）※ （鹿児島標準年 1981～2000年）
隣室条件	東側住戸：室内発熱あり、間欠空調 下側住戸：室内発熱あり、間欠空調

※標準年 拡張アメダス気象データ（EA 気象データ）とは、全国842の地点別に、十数年間のEA 気象データから、月別にそれぞれ平均的な年(平均月)を選択して、1年間分をつなぎ合わせた仮想の気象データのこと。当解析では1991年～2000年の10年間のEA 気象データから作成された2000年版の標準年EA 気象データを適用した

表Ⅱ-4-3-2 各部材の層構成（Case A 基準モデル）

部材	材料	厚さ[mm]	熱貫流率 [W/m ² K]
外壁(和室)	コンクリート	180.0	1.34
	中空層	40.0	
	合板	20.0	
外壁(DK)	コンクリート	180.0	3.67
	セメント・モルタル	15.0	
外壁(基礎)	コンクリート	220.0	3.48
戸境壁	合板	20.0	0.88
	中空層	30.0	
	コンクリート	180.0	
	中空層	30.0	
	合板	20.0	
屋根	コンクリート	180.0	1.01
	押出法ポリスチレンフォーム	30.0	
天井(和室)	合板	20.0	3.28
天井(DK)	せっこうボード	9.0	4.52
床(和室)	畳床	55.0	0.35
	ネダフォーム	65.0	
	コンクリート	150.0	
	中空層	35.0	
	合板	15.0	
床(DK)	合板	15.0	0.37
	ネダフォーム	80.0	
	コンクリート	130.0	
	せっこうボード	9.0	

(2) 実測市営住宅への CNF 活用建材の導入効果検討

① 検討ケース

実測を行っている市営住宅に、CNF 活用建材を導入した場合の効果を算出する。各 CNF 活用建材の導入効果と、CNF 活用建材を複数導入した場合の効果を把握するために、CNF 活用建材の導入パターンを組み合わせた計 6 ケースでシミュレーションを行う。表 II-4-3-3 に解析パターン、表 II-4-3-4 に窓の検討パターンを示す。建物の断熱性能などの躯体モデルに関しては、実証住戸と同条件の基準モデルを使用する。

窓は対象既築集合住宅全てに、遮熱コーティング材は対象既築集合住宅の外壁・屋根の表面全体に塗布するものとする。窓の性能値を表 II-4-3-5、表 II-4-3-6 に示す。

表 II-4-3-3 解析パターン

解析パターン	窓・外壁変更点
Case1	アルミ単板
Case2	アルミ合わせ
Case3	樹脂単板
Case4	樹脂合わせ
Case5	アルミ単板+遮熱コーティング材
Case6	樹脂合わせ+遮熱コーティング材

表 II-4-3-4 窓の検討パターン

パターン名称	サッシ	ガラス
アルミ単板	アルミサッシ	普通単板ガラス
アルミ合わせ	アルミサッシ	合わせガラス
樹脂単板	樹脂サッシ	普通単板ガラス
樹脂合わせ	樹脂サッシ	合わせガラス

表 II-4-3-5 窓の熱貫流率

	総合熱貫流率
アルミ単板	6.19 [W/m ² K]
アルミ合わせ	5.93 [W/m ² K]
樹脂単板	4.70 [W/m ² K]
樹脂合わせ	4.48 [W/m ² K]

表 II-4-3-6 ガラスの熱および光学性能値

	日射透過率	日射反射率	日射遮蔽係数	可視光線透過率
単板ガラス	86.7%	7.7%	1.01	90.4%
合わせガラス	48.6%	5.7%	0.73	79.4%

② エアコン消費電力量による省エネ効果検討

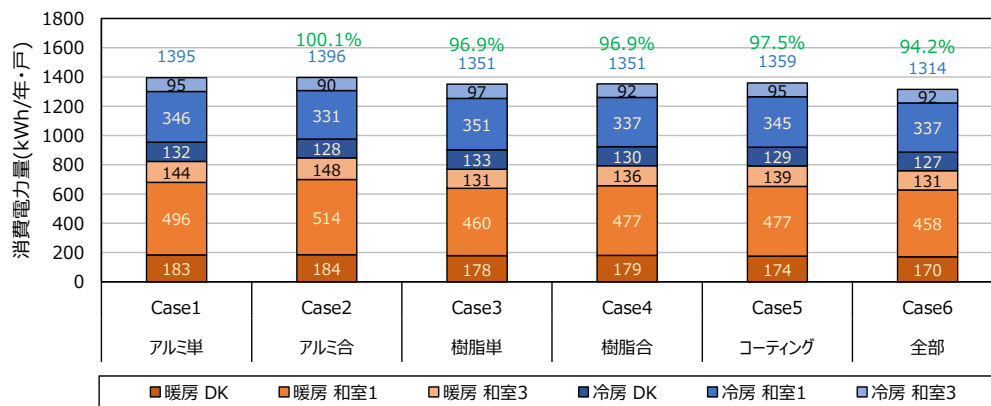
各ケースにおけるエアコンの年間冷暖房消費電力量を図Ⅱ-4-3-4に示す。各積み上げグラフの上に冷暖房消費電力量合計値とCase1に対する割合を示す。また、Case1に対する年間冷暖房消費電力量の増減量を図Ⅱ-4-3-5左に、部屋別冷暖房消費電力量の増減率を図Ⅱ-4-3-5右に示す。

Case2は、暖房は増加で冷房は減少となっており、年間収支でみると消費電力量が0.1%増加している。これは合わせガラスの日射遮蔽効果の影響により、暖房期に各部屋に日射が入りにくくなったためと考えられる。

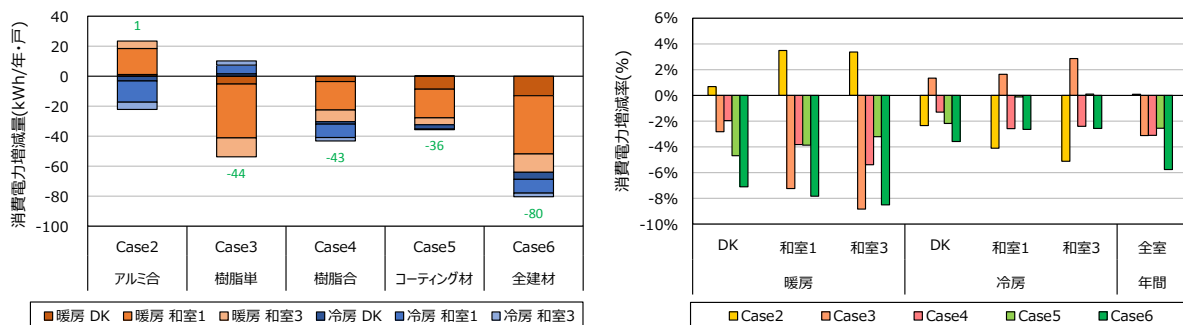
Case3は、暖房は減少で冷房は増加となっており、年間収支でみると44[kWh]、3.1%の削減効果が得られた。樹脂サッシの導入により開口部の断熱性が向上し、室内の熱が逃げにくくなったためと考えられる。

Case4は、合わせガラスと樹脂サッシの導入により、冷房暖房ともに消費電力量が減少しており、合計で約43[kWh]、3.1%の削減効果が得られた。冷房期に合わせガラスによる遮熱効果が得られたためと思われる。Case5は、冷房暖房ともに消費電力量が減少しており、合計で36[kWh]、2.5%の削減効果が得られた。

全ての手法を導入したCase6は、冷暖房ともに消費電力量が減少しており、合計で80[kWh]、5.8%の削減効果が得られた。



図Ⅱ-4-3-4 年間冷暖房消費電力量



図Ⅱ-4-3-5 年間冷暖房消費電力量増減量・増減率

③ PMVによる室内環境評価

室内の居住者が感じる温熱感には、温度、湿度、放射、気流、そして人体の代謝量と着衣量が関係している。これらの要素による対流、放射、電熱、蒸発、呼吸による人体の熱収支から温熱感を評価したものがPMVである。PMVは-3から+3の値で示され、0を中間として値が小さいほど寒い状態を、値が大きいほど暑い状態を示す。PMVは国際規格であるISO7730として認証されており、 $-0.5 < PMV < +0.5$ を快適領域として推奨している。本研究においても $-0.5 < PMV < +0.5$ を快適領域として室内温熱環境の評価を行うこととする。PMV算出にあたり用いた条件を表II-4-3-7に示す。

表II-4-3-7 PMV算出条件

風速		0.1[m/s]
代謝量		1.2[met](立位安静時)
着衣量	暖房期	1.0[clo]
	中間期	0.6[clo]
	冷房期	0.3[clo]

空調 ON/OFF 別の PMV 快適範囲時間および評価対象時間を表 II-4-3-8 に示す。
また、空調 ON/OFF 別の PMV 快適範囲時間割合を表 II-4-3-9、図 II-4-3-6 に示す。

年間評価対象時間に対する PMV 快適範囲時間の割合は、空調 ON 時は DK は約 64~70%と低いが、その他の室は約 86~90%と高く、合計では約 84~87%であった。空調 OFF 時は 31~39%程度であった。空調 ON、OFF 時ともに Case6 での割合が最も高く、Case1→6 で空調 ON 時は約 3%、空調 OFF 時は 1.5%の増加がみられた。冷房期に合わせガラスと遮熱コーティング材の導入により、日射を遮蔽したことが要因と考えられる。

表 II-4-3-8 PMV 快適範囲時間および評価対象時間

単位 (h)	空調室													
	空調 ON							空調 OFF						
	Case	評価対象時間	PMV 快適範囲時間						評価対象時間	PMV 快適範囲時間				
1			2	3	4	5	6	1		2	3	4	5	6
DK	1551	987	1007	998	1020	1045	1092	7189	2250	2244	2281	2281	2314	2345
和室 1	5241	4519	4622	4502	4616	4555	4669	3499	1255	1212	1309	1279	1283	1308
和室 3	3306	2971	3027	2954	2995	2970	2993	5434	1994	1875	2118	2026	2027	2092
合計	10098	8477	8656	8454	8631	8570	8754	16122	5499	5331	5708	5586	5624	5745

表 II-4-3-9 空調別 PMV 快適範囲時間割合

単位 (%)	空調室											
	空調 ON						空調 OFF					
	Case	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5
DK	63.6%	64.9%	64.3%	65.8%	67.4%	70.4%	31.3%	31.2%	31.7%	31.7%	32.2%	32.6%
和室 1	86.2%	88.2%	85.9%	88.1%	86.9%	89.1%	35.9%	34.6%	37.4%	36.6%	36.7%	37.4%
和室 3	89.9%	91.6%	89.4%	90.6%	89.8%	90.5%	36.7%	34.5%	39.0%	37.3%	37.3%	38.5%
合計	83.9%	85.7%	83.7%	85.5%	84.9%	86.7%	34.1%	33.1%	35.4%	34.6%	34.9%	35.6%

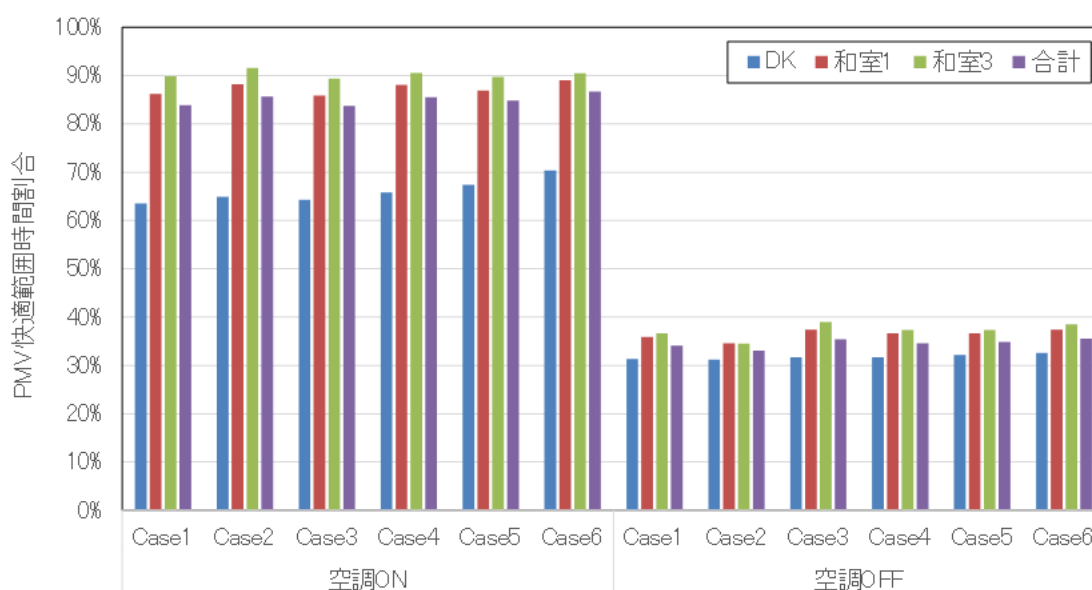


図 II-4-3-6 年間 PMV 快適範囲時間割合 空調別比較

表Ⅱ-4-3-10 に空調 ON/OFF に合わせた年間 PMV 快適範囲時間、表Ⅱ-4-3-11、
 図Ⅱ-4-3-7 に空調 ON/OFF に合わせた年間 PMV 快適範囲時間割合を示す。

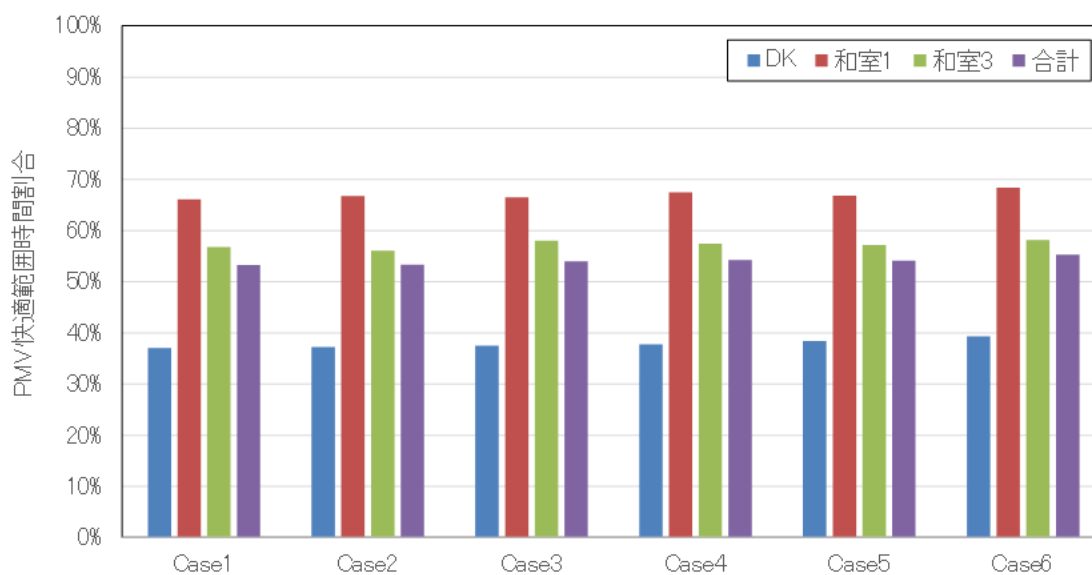
Case1～Case6 の順に PMV 快適範囲時間割合が高くなっており、Case1→6 で約
 2.0%の増加がみられ、CNF 活用建材の導入によって、室内環境が向上したことが
 確認できた。

表Ⅱ-4-3-10 年間 PMV 快適範囲時間および対象時間

単位 (h)		空調室						
Case		評価対象時間	1	2	3	4	5	6
空調 ON/OFF 合計	DK	8740	3237	3251	3279	3301	3359	3437
	和室 1	8740	5774	5834	5811	5895	5838	5977
	和室 3	8740	4965	4902	5072	5021	4997	5085
合計 (3 室延べ時間)		26220	13976	13987	14162	14217	14194	14499

表Ⅱ-4-3-11 年間 PMV 快適範囲時間割合

単位 (%)		空調室					
Case		1	2	3	4	5	6
空調 ON/OFF 合計	DK	37.0%	37.2%	37.5%	37.8%	38.4%	39.3%
	和室 1	66.1%	66.8%	66.5%	67.4%	66.8%	68.4%
	和室 3	56.8%	56.1%	58.0%	57.4%	57.2%	58.2%
合計		53.3%	53.3%	54.0%	54.2%	54.1%	55.3%



図Ⅱ-4-3-7 年間 PMV 快適範囲時間割合

(3) 断熱性能の異なる住宅への CNF 活用建材の導入効果検討

① 検討ケース

前項では、実測を行っている既存の市営住宅への CNF 活用建材の導入効果を検討した。既存の市営住宅は、断熱性能が低い住宅であるが、今後の普及を考慮して断熱性能の異なる住宅に導入した場合の効果も検討した。

検討した断熱性能の異なる躯体モデルとしては、表Ⅱ-4-3-12 に示す 3 種類の躯体モデルとした。実測住戸と同等の断熱性能の「CaseA：基準モデル」、昭和 55 年省エネ基準の「CaseB：昭和 55 年モデル(S55)」、現在の省エネ基準の「CaseC：平成 25 年モデル(H25)」の 3 モデルを設定した。表Ⅱ-4-3-13 に CaseB・CaseC の躯体モデルの熱性能に相当する省エネルギー基準での断熱性能および日射熱取得率を示す。数値は、実測建物の所在地である鹿児島県薩摩川内市における数値である。

隣接住戸に面する床・天井・壁（戸境壁）には断熱材がなく、窓にはアルミサッシと単板ガラスのものを使用した状態で、省エネルギー基準の外皮断熱性能となるよう外壁等の断熱材を調整した。

表Ⅱ-4-3-12 解析パターン

躯体モデル	窓・外壁変更点
CaseA：基準モデル	1：アルミ単板
CaseB：昭和 55 年モデル(S55)	2：アルミ合わせ
CaseC：平成 25 年モデル(H25)	3：樹脂合わせ
	4：樹脂合わせ＋遮熱コーティング材

表Ⅱ-4-3-13 年代別省エネルギー基準と本検討 Case での外皮断熱性能および日射熱取得率

改正(制定)年	名称	断熱性能	日射熱取得率
昭和 55 年	旧省エネルギー基準	Q 値 5.2[W/(m ² ・K)]以下	—
平成 25 年	次世代省エネルギー基準	U _A 値 0.87[W/(m ² ・K)] 以下	η _{AC} 値=2.7
Case A	基準モデル	U _A 値 2.12[W/(m ² ・K)] 以下	η _{AC} 値=4.9
Case B	S55 モデル	U _A 値 1.34[W/(m ² ・K)] 以下	η _{AC} 値=4.0
Case C	H25 モデル	U _A 値 0.74[W/(m ² ・K)] 以下	η _{AC} 値=2.9

1) 躯体の性能値 (Case A : 基準モデル)

CaseA (基準モデル) の各部材の層構成を表Ⅱ-4-3-14に示す。基準モデルは対象住戸の再現となっており、外壁は無断熱、屋根・床にのみ断熱材が使用されている。基準モデルのUA値計算書(外皮平均熱貫流率)を表Ⅱ-4-3-15に示す。

表Ⅱ-4-3-14 各部材の層構成(基準モデル)

部材	材料	厚さ [mm]	熱貫流率 [W/m ² K]
外壁(和室)	コンクリート	180.0	1.34
	中空層	40.0	
	合板	20.0	
外壁(DK)	コンクリート	180.0	3.67
	セメント・モルタル	15.0	
外壁(基礎)	コンクリート	220.0	3.48
戸境壁	合板	20.0	0.88
	中空層	30.0	
	コンクリート	180.0	
	中空層	30.0	
	合板	20.0	
屋根	コンクリート	180.0	1.01
	押出法ポリスチレンフォーム	30.0	
天井(和室)	合板	20.0	3.28
天井(DK)	せっこうボード	9.0	4.52
床(和室)	畳床	55.0	0.35
	ネダフォーム	65.0	
	コンクリート	150.0	
	中空層	35.0	
	合板	15.0	
床(DK)	合板	15.0	0.37
	ネダフォーム	80.0	
	コンクリート	130.0	
	せっこうボード	9.0	

表Ⅱ-4-3-15 UA値および η_{AC} 値計算書(基準モデル)

計算結果と判定

	単位	計算結果	基準値	判定
外皮等面積合計	m ²	674.72		
外皮平均熱貫流率(UA)	W/m ² K	2.10	0.87	×
冷房期外皮平均日射熱取得率(η_A)	-	4.9	2.7	×
単位温度差当たりの外皮熱損失量(q)	W/K	1415.5		
単位日射強度当たりの冷房期日射熱取得量(mC)	-	33.16		
単位日射強度当たりの暖房期日射熱取得量(mH)	-	39.16		

内訳

方位・部位	外皮等面積[m ²]			熱損失			
	窓	ドア	外壁等	窓	ドア	外壁等	
						UA用	q用
北	14.32	0.00	96.02	88.495	0.000	348.964	348.964
北東	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000
東	0.00	3.20	37.63	0.000	14.880	107.343	107.343
南東	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000
南	36.72	0.00	73.59	227.297	0.000	203.748	203.748
南西	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000
西	0.00	4.00	30.91	0.000	18.600	95.970	95.970
北西	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000
屋根・天井	0.00		189.17	0.000		190.599	190.599
床			32.49			119.562	119.562
基礎立ち上がり			0.00			0.000	0.000
その他			0.00			0.000	0.000
土間床			156.67				
基礎						0.000	0.000
小計	51.04	7.20	616.48	315.792	33.480	1066.187	1066.187
合計	674.72			UA用	1415.459		
				q用	1415.459		

方位・部位	冷房期日射熱取得量			暖房期日射熱取得量		
	窓	ドア	外壁等	窓	ドア	外壁等
北	3.6320	0.0000	3.6425	1.4727	0.0000	2.6933
北東	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
東	0.0000	0.2575	1.8577	0.0000	0.2747	1.9818
南東	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
南	12.5079	0.0000	2.8541	17.0314	0.0000	7.0868
南西	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
西	0.0000	0.3130	1.6152	0.0000	0.3466	1.7881
北西	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
屋根・天井	0.0000		6.4804	0.0000		6.4804
小計	16.1399	0.5706	16.4498	18.5041	0.6213	20.0303
合計	33.1603			39.1557		

2) 躯体の性能値 (Case B : S55 モデル)

表Ⅱ-4-3-16 に昭和 55 年基準に相当する躯体モデルの各部材の層構成を示す。S55 モデルは、基準モデルを基に、外壁及び屋根に断熱材を導入したモデルとなっている。表Ⅱ-4-3-17 に S55 モデルの UA 値(外皮平均熱貫流率)及び η_{AC} 値(冷房期日射熱取得率)計算書を示す。Q 値(熱損失係数)は別で計算しており、昭和 55 年の省エネ基準の基準値を満たしている。

表Ⅱ-4-3-16 各部材の層構成 (S55 モデル)

部材	材料	厚さ [mm]	熱貫流率 [W/m ² K]
外壁(和室)	コンクリート	180.0	0.74
	住宅用グラスウール断熱材 10K	30.0	
	中空層	40.0	
	合板	20.0	
外壁(DK)	コンクリート	180.0	1.14
	住宅用グラスウール断熱材 10K	30.0	
	セメント・モルタル	15.0	
外壁(基礎)	コンクリート	220.0	3.48
戸境壁	合板	20.0	0.88
	中空層	30.0	
	コンクリート	180.0	
	中空層	30.0	
	合板	20.0	
屋根	コンクリート	180.0	0.96
	住宅用グラスウール断熱材 10K	40.0	
天井(和室)	合板	20.0	3.28
天井(DK)	せっこうボード	9.0	4.52
床(和室)	畳床	55.0	0.35
	ネダフォーム	65.0	
	コンクリート	150.0	
	中空層	35.0	
	合板	15.0	
床(DK)	合板	15.0	0.37
	ネダフォーム	80.0	
	コンクリート	130.0	
	せっこうボード	9.0	

表Ⅱ-4-3-17 UA値および η_{AC} 値計算書(S55モデル)

計算結果と判定

	単位	計算結果	基準値	判定
外皮等面積合計	m ²	674.72		
外皮平均熱貫流率(UA)	W/m ² K	1.34	0.87	×
冷房期外皮平均日射熱取得率(η_A)	-	4.0	2.7	×
単位温度差当たりの外皮熱損失量(q)	W/K	905.6		
単位日射強度当たりの冷房期日射熱取得量(mC)	-	27.30		
単位日射強度当たりの暖房期日射熱取得量(mH)	-	31.81		

内訳

方位・部位	外皮等面積[m ²]			熱損失			
	窓	ドア	外壁等	窓	ドア	外壁等	
						UA用	q用
北	14.32	0.00	96.02	88.495	0.000	149.495	149.495
北東	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000
東	0.00	3.20	37.63	0.000	14.880	39.155	39.155
南東	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000
南	36.72	0.00	73.59	227.297	0.000	115.653	115.653
南西	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000
西	0.00	4.00	30.91	0.000	18.600	33.174	33.174
北西	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000
屋根・天井	0.00		189.17	0.000		181.458	181.458
床			32.49			37.387	37.387
基礎立ち上がり			0.00			0.000	0.000
その他			0.00			0.000	0.000
土間床			156.67				
基礎						0.000	0.000
小計	51.04	7.20	616.48	315.792	33.480	556.323	556.323
合計	674.72			UA用			905.595
				q用			905.595

方位・部位	冷房期日射熱取得量			暖房期日射熱取得量		
	窓	ドア	外壁等	窓	ドア	外壁等
北	3.6320	0.0000	1.5604	1.4727	0.0000	1.1538
北東	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
東	0.0000	0.2575	0.6776	0.0000	0.2747	0.7229
南東	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
南	12.5079	0.0000	1.6201	17.0314	0.0000	4.0227
南西	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
西	0.0000	0.3130	0.5583	0.0000	0.3466	0.6181
北西	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
屋根・天井	0.0000		6.1696	0.0000		6.1696
小計	16.1399	0.5706	10.5860	18.5041	0.6213	12.6870
合計	27.2965			31.8124		

3) 躯体の性能値 (Case C : H25 モデル)

表Ⅱ-4-3-18 に平成 25 年基準に相当する躯体モデルの各部材の層構成を示す。H25 モデルは、基準モデルを基に外壁及び屋根に断熱材を導入したモデルとなっている。平成 25 年省エネルギー基準の標準仕様では複層ガラス等を導入しているが、本検討では単板ガラスと合わせガラスでの比較を行うため単板ガラスを使用する。しかし、単板ガラスでは日射平均取得率基準値を満たすことは困難であるため、H25 モデルはアルミペアガラスを使用した際に日射熱取得率基準値を満たす程度に外壁・屋根の断熱材を導入したモデルとする。表Ⅱ-4-3-19 に H25 モデルの UA 値 (外皮平均熱貫流率) 及び η_{AC} 値 (冷房期日射熱取得率) 計算書を示す。

表Ⅱ-4-3-18 各部材の層構成 (H25 モデル)

部材	材料	厚さ [mm]	熱貫流率 [W/m ² K]
外壁 (和室)	コンクリート	180.0	0.30
	住宅用ロックウール断熱材	92.0	
	中空層	40.0	
	合板	20.0	
外壁 (DK)	コンクリート	180.0	0.35
	住宅用ロックウール断熱材	92.0	
	セメント・モルタル	15.0	
外壁 (基礎)	コンクリート	220.0	3.48
戸境壁	合板	20.0	0.88
	中空層	30.0	
	コンクリート	180.0	
	中空層	30.0	
	合板	20.0	
屋根	コンクリート	180.0	0.19
住宅用ロックウール断熱材	177.0		
天井 (和室)	合板	20.0	3.28
天井 (DK)	せっこうボード	9.0	4.52
床 (和室)	畳床	55.0	0.35
	ネダフォーム	65.0	
	コンクリート	150.0	
	中空層	35.0	
	合板	15.0	
床 (DK)	合板	15.0	0.37
	ネダフォーム	80.0	
	コンクリート	130.0	
	せっこうボード	9.0	

表Ⅱ-4-3-19 UA値および η_{AC} 値計算書(H25モデル)

計算結果と判定

	単位	計算結果	基準値	判定
外皮等面積合計	m ²	674.72		
外皮平均熱貫流率(UA)	W/m ² K	0.74	0.87	○
冷房期外皮平均日射熱取得率(η_A)	-	2.9	2.7	×
単位温度差当たりの外皮熱損失量(q)	W/K	496.8		
単位日射強度当たりの冷房期日射熱取得量(mC)	-	19.27		
単位日射強度当たりの暖房期日射熱取得量(mH)	-	22.30		

内訳

方位・部位	外皮等面積[m ²]			熱損失			
	窓	ドア	外壁等	窓	ドア	外壁等	
						UA用	q用
北	14.32	0.00	96.02	88.495	0.000	42.182	42.182
北東	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000
東	0.00	3.20	37.63	0.000	14.880	12.885	12.885
南東	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000
南	36.72	0.00	73.59	227.297	0.000	33.389	33.389
南西	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000
西	0.00	4.00	30.91	0.000	18.600	10.691	10.691
北西	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000
屋根・天井	0.00		189.17	0.000		36.667	36.667
床			32.49			11.728	11.728
基礎立ち上がり			0.00			0.000	0.000
その他			0.00			0.000	0.000
土間床			156.67				
基礎						0.000	0.000
小計	51.04	7.20	616.48	315.792	33.480	147.542	147.542
合計	674.72			UA用	496.814		
				q用	496.814		

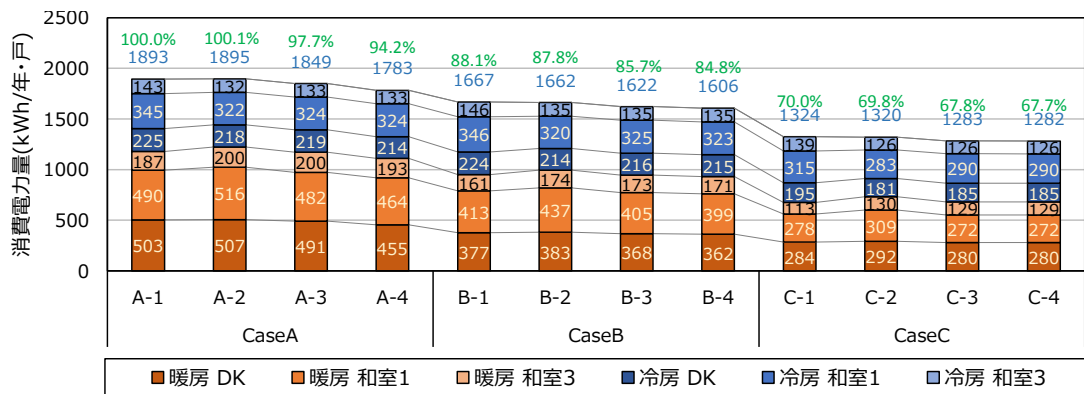
方位・部位	冷房期日射熱取得量			暖房期日射熱取得量		
	窓	ドア	外壁等	窓	ドア	外壁等
北	3.6320	0.0000	0.4403	1.4727	0.0000	0.3256
北東	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
東	0.0000	0.2575	0.2230	0.0000	0.2747	0.2379
南東	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
南	12.5079	0.0000	0.4677	17.0314	0.0000	1.1613
南西	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
西	0.0000	0.3130	0.1799	0.0000	0.3466	0.1992
北西	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
屋根・天井	0.0000		1.2467	0.0000		1.2467
小計	16.1399	0.5706	2.5576	18.5041	0.6213	3.1706
合計	19.2681			22.2960		

② エアコン消費電力量による省エネ効果検討

図Ⅱ-4-3-8 に各パターンの対象住戸における年間冷暖房消費電力量を室別に積み上げたものを示す。積み上げグラフの上部には、冷暖房消費電力量の合計値と CaseA-1(基準モデル・アルミ単板)を 100%とした場合の、年間消費電力量の割合を示している。

各躯体モデルの年間冷暖房消費電力量は、外皮の断熱性に比例して CaseA～CaseC の順に減少している。最も断熱性能が低い CaseA に対し、CaseB は 85～88%、CaseC は 68～70%程の消費電力量となっており、断熱性能が向上するほど年間冷暖房消費電力量が削減されることが分かる。冷房比率が、関東などと比較して高く、CaseA での冷暖房比率は概ね暖房 6 割、冷房 4 割、最も断熱性能の高い CaseC では冷房比率がさらに高く、概ね暖房 5 割、冷房 5 割となっている。

CaseA-1→CaseC-4 で、冷暖房消費電力量の削減量は 611 (kWh/年・戸)で、32.3%の削減が確認できた。



図Ⅱ-4-3-8 年間冷暖房消費電力量

図Ⅱ-4-3-9 に各躯体モデルにおける Case1(アルミ単板)を基準とした削減率を示す。Case2 で合わせガラス導入効果、Case3 で樹脂合わせガラス導入効果、Case4 で樹脂合わせ+遮熱塗料導入効果による省エネ効果を示している。

合わせガラス導入による効果(Case2)は、各躯体モデルで-0.1%～0.3%の削減効果がみられた。CaseA 削減効果は見られないが、CaseB では0.3%の削減効果がみられた。これは、CaseB、CaseC では、躯体の断熱性向上により冷房の比率が上がり、合わせガラスの日射遮蔽効果が有効になったためと考えられる。

樹脂合わせ導入効果(Case3)は、各躯体モデルで2.3%～3.1%の削減効果が得られた。これは樹脂サッシの導入により開口部の断熱性能が大幅に向上したためと考えられる。また、CaseC～CaseA の躯体の断熱性能が高いほど、削減率が高くなっている。導入効果が最大となるのは CaseC(H25)で、年間冷暖房消費電力量が3.1%削減された。

樹脂合わせ+遮熱塗料導入効果(Case4)は、各躯体モデルで3.2%～5.8%の削減効果がみられた。CaseA～CaseC の躯体の断熱性能が低い順に削減率が高い。これは外壁及び屋根に断熱材が使用されていない CaseA に遮熱塗料を導入

したため、外皮の断熱性能が大幅に向上したためと考えられる。樹脂合わせ+遮熱塗料の導入効果が最大となるのは CaseA で、年間冷暖房消費電力量が 5.8%削減された。

この結果より、開発中の CNF 活用建材は、断熱性能の低い住宅に導入する方が、より効果が高いことが分かった。一方、CNF 樹脂サッシ、CNF 遮熱合わせガラスのみの導入の場合は、断熱性能の高い住宅への効果が高い。

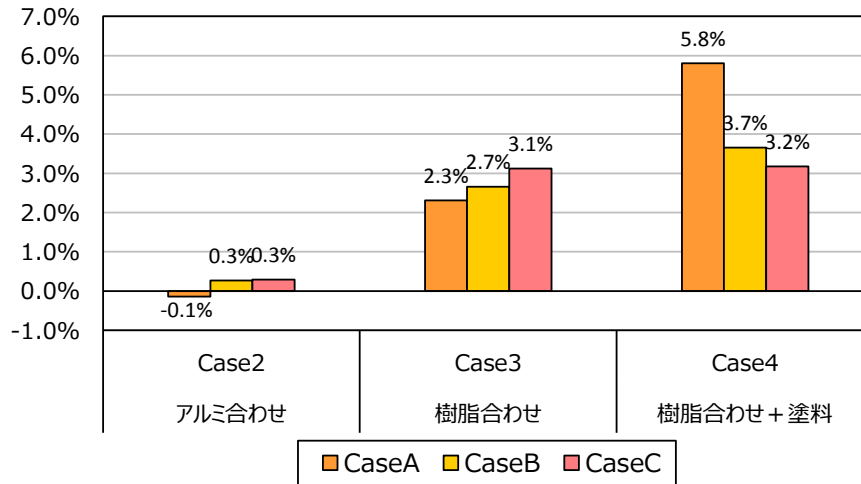


図 II-4-3-9 年間冷暖房消費電力削減率

4-4. まとめと今後の課題

(1) 市営住宅での実測

実証住宅にエアコンの使用電力量測定、室内環境測定の計測装置を設置し、実測体制を整えた。更に、CNF 活用建材設置前のエネルギー性能、室内温熱環境の冬期・夏期実測を行った。測定した室内温度変動やエアコンの使用電力量が、両住戸ともほぼ同等であり、両住宅の断熱性能などが同等であることを確認した。

また、開発した CNF 遮断熱コーティング材のプロトタイプを 1 住戸に設置し、エネルギー性能、室内温熱環境の実測を開始した。

(2) シミュレーションによる検討

実証住宅に CNF 活用建材（CNF 樹脂サッシ、CNF 遮熱合わせガラス、CNF 遮断熱コーティング材）を導入した場合の省エネ（省 CO2）効果、室内温熱環境向上効果を、数値シミュレーションにて算出した。CNF 活用建材を導入した場合、エアコンの電力使用量が 6%程度削減される結果となった。室内環境も快適な温熱環境になっている時間の割合が増加している結果となった。

(3) 今後の課題

次年度は、開発した CNF 活用建材（CNF 遮熱合わせガラス、CNF 遮断熱コーティング材、CNF 樹脂サッシ）を、試験住宅の 1 住戸に設置し、エアコンの使用電力量、温湿度測定を行う。CNF 活用建材非住戸の実測結果と比較し、CNF 活用建材による省 CO2 効果、室内温熱向上効果を確認する。

更に、開発した CNF 活用建材の部材での性能値の試験結果を使用して、数値シミュレーションにて、実証住宅でのエアコンの使用電力量、室内温度状況の年間シミュレーションを行う。CNF 活用建材非住戸のシミュレーション結果と比較し、年間を通しての省 CO2 効果、室内温熱環境向上効果を算出する。

5. CNF 素材の改質、コンポジット化、機能評価

5-1. CNF と PVA との複合化

「2. CNF 遮熱合わせガラスの開発・試作に向けた検討」の② CASE2 の中間膜フィルムに関する調査を行なった。

(1) PVA と未改質 CNF の複合化

① 分散剤を用いない CNF 複合 PVA フィルムの試作

CNF 表面には極性基が多数存在するため、極性の高いポリマーに対して相溶性が高いことが期待される。そこで汎用性ポリマーの一つであるポリビニルアルコール (PVA) をポリマー材として選択し、改質していない CNF との複合化フィルムを試作するとともに複合フィルムの光学特性について調査した。

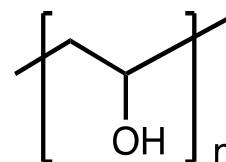


図 II-5-1-1 PVA の化学構造 (一般式)

PVA には、極性の異なる PVA1 (ケン化度 89 mol%) と PVA2 (ケン化度 98.5 mol%) を選択した。CNF には、10 wt% 水分散体 (中越パルプ工業製の解繊度 C タイプ) を用いた。まず、2.5 g の PVA を 25 ml のイオン交換水に加え、80°C で 2 時間かき混ぜることにより 0.1 g/ml の PVA 水溶液を調製した。調製した PVA 水溶液 10 ml と 0.5 wt% に希釈した CNF 水分散液 2 g を混合し、CNF/PVA 混合水溶液を調製した。所定量の CNF/PVA 混合水溶液をアルミカップに入れ、室温で静置し乾燥させた後、アルミカップから CNF/PVA 複合フィルムを剥ぎとった。同様の方法で CNF 未添加の PVA フィルムも作製した。表 II-5-1-1 に各フィルムの調製条件をまとめた。

表 II-5-1-1 CNF 複合 PVA フィルム調製条件

サンプル名	PVA ケン化度 (mol%)	PVA 水溶液 ^{a)} (ml)	CNF 水溶液 ^{b)} (g)	CNF 含有率 (wt%)
PVA1	89.0	10	-	0
CNF/PVA1	89.0	10	2 g	1.0
PVA2	98.5	10	-	0
CNF/PVA2	98.5	10	2 g	1.0

a) 0.1 g/ml b) 0.5 wt%

② CNF 複合 PVA フィルムの性状観察

図 II-5-1-2 に、CNF/PVA 混合水溶液および CNF/PVA 複合フィルムの写真を示した。CNF を複合化したフィルムでは、PVA1 より PVA2 において、やや透明性の高いフィルムが得られた。この差は、ポリマー中の水酸基の含有量が高いほど CNF との相溶性が高いことを示唆している。

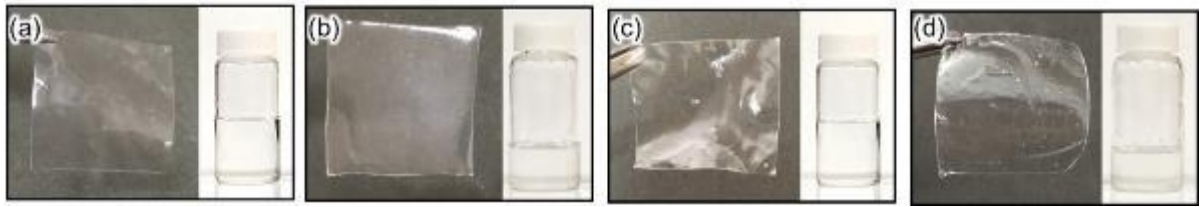


図 II-5-1-2 PVA と未改質 CNF の混合水溶液（右）および混合溶液から作製された CNF 複合 PVA フィルム(左)
(a) PVA1、(b) CNF/PVA1、(c) PVA2、(d) CNF/PVA2

(2) PVA と改質 CNF の複合化

(1)の結果を下に、より水酸基含有量の高い PVA として新たに PVA3 を選択した。また CNF を改質することにより、近赤外光領域に吸収特性を示すポリ(3,4-エチレンジオキシチオフェン) (PEDOT) との複合化を行わない、PVA3 をポリマー材とする遮熱性フィルムの試作を行った。

① 硫酸化 CNF の調製

所定量の CNF を N,N-ジメチルホルムアミド (DMF) に加え、室温にて所定時間かき混ぜた。次に、水浴の温度を 10°C にし、内部超音波を照射した後、窒素通気下、所定量のクロスルホン酸を 50 分かけて徐々に滴下し、混合した。次いで、反応液を 10 倍容量の酢酸ナトリウムの飽和エタノール溶液に添加し、生成した沈殿物を酢酸ナトリウム飽和エタノール溶液で洗浄し、さらにエタノールで上澄み液が中性となるまで洗浄操作を繰り返した。固形物を水に溶解させ、透析を行った後、水分散液の状態での回収し、硫酸化 CNF を得た (図 II-5-1-3)。スルホン酸基の導入率置換度は、元素分析の結果から算出した。



図 II-5-1-3 硫酸化 CNF の水溶液

② PEDOT と CNF の複合化

0.2 wt%の硫酸化 CNF の水分散液 50ml を調製し、濃塩酸を加えて酸性にした。この溶液に 3, 4-エチレンジオキシチオフェン (EDOT) を所定量、加えた後、内部超音波を照射し、EDOT を分散させた。次いで、重合開始剤としてペルオキシ二硫酸カリウムと硫酸鉄 (III)・n 水和物水溶液を所定量、添加した。室温で 24 時間かき混ぜ、透析膜を用いて透析・精製を行った。固形分を 0.6 wt%まで濃縮し、PEDOT 複合化 CNF の水分散液を得た。

③ PEDOT 複合化 CNF の光学特性

紫外可視分光光度計により、光学特性を評価した。図 II-5-1-4 は、キャスト法により作製した PEDOT 複合化 CNF フィルム (膜厚 94.5 nm) の可視-近赤外吸収スペクトルを示している。可視光領域では、89% (500 nm 付近) と高い透過率を示したのに対し、近赤外領域 (800 nm 付近) では 73% の透過率となり、膜厚 95 nm 程度の極薄フィルムにおいて十分な近赤外領域の光吸収性を有することが確認された。

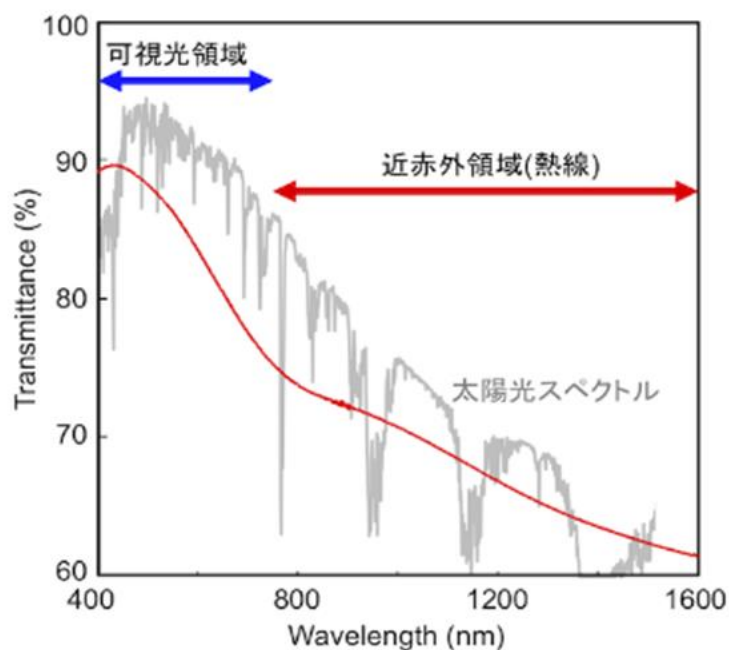


図 II-5-1-4 PEDOT 複合化 CNF 薄膜の光吸収特性
膜厚: 94.5 nm

④ 遮光性中間膜のための予備検討

④-1 PEDOT 複合化 CNF 塗工液の調製

PEDOT 複合化 CNF を塗布法により製膜するためには、塗工液の粘度を 200 mPa・s 以上に向上させなければならない。そこで、塗工液の粘性を上げるため、表 II-5-1-2 および表 II-5-1-3 に示すように、PEDOT 複合化 CNF を含有する塗工液の調製条件を検討した。

表 II-5-1-2 PEDOT-CNF 分散液と PVA3 水溶液を用いたポリマー混合溶液の調製

PEDOT-CNF ポリマー溶液	ポリマー溶液		PEDOT-CNF dis.		PEDOT-CNF 含有率 (wt%)
	PVA3濃度 (wt%)	配合量 (g)	濃度 (wt%)	配合量 (g)	
溶液A	10	30	0.6	5	1
溶液B	20	50	1.2	8.3	1
溶液C	10	30	1.2	5	2

表 II-5-1-3 塗工液の調製

塗工液	PEDOT-CNF ポリマー溶液 (g)		添加剤 (g)		膜厚 (μm)
No. 1	溶液A	10	-	-	15
No. 2	溶液B	10	-	-	38
No. 3	溶液A	9.0	エタノール	1.0	8
No. 4	溶液A	10	界面活性剤	0.02	11
No. 5	溶液C	10	界面活性剤	0.02	11

上記の塗工液をドクターブレード法により、ガラス板上にコーティングした。なお、ガラス基板は、濡れ性を向上するために、コーティングの前に、UV オゾンクリーナーにより、30分処理した。コーティング後、自然乾燥を行った。

図 II-5-1-5 に、コーティング後のガラスの外観を示した。PEDOT-CNF 分散液が配合された塗工液 (No. 1~5) では、配合されていないものより青みがかった色を示した。また、5種類のサンプルの中では添加剤として、界面活性剤を用いた No. 4 と No. 5 が比較的均質で、高い透明性が得られた。

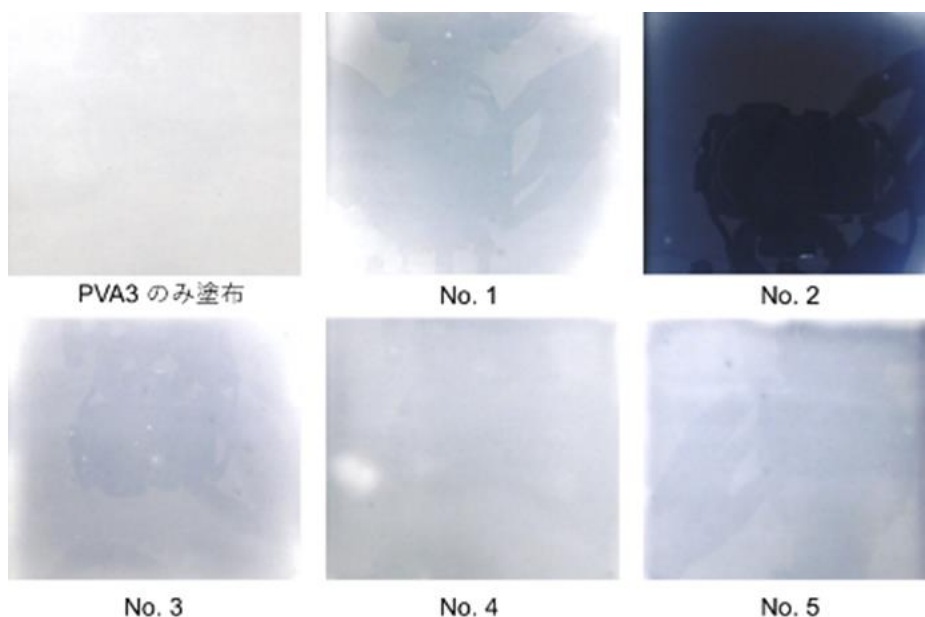


図 II-5-1-5 コーティング後のガラスの外観
塗工液の塗布量: 5 ml

④-2 PEDOT 複合化 CNF 薄膜の遮光性の評価

PEDOT 複合化 CNF コーティングガラスを用いて、遮光性を評価した。

図 II-5-1-6 に示すように、上面が開いた発泡スチロール製ボックスにガラス板を設置し、上方から、擬似太陽光を照射しながら、1 秒毎に内部温度の上昇を追跡した。また、近赤外の光の遮断効果を明確にするために、可視光カットフィルターを試作体の上に置いて評価した。結果として、表 II-5-1-4 および図 II-5-1-7 に示すように、No. 2 の被覆ガラスで最も高い遮熱効果が得られた。しかしながら、No. 2 の被覆ガラスは $38\mu\text{m}$ 膜厚が厚く PEDOT-CNF の濃度が高く、色の青みが強いため、窓ガラスとしては不適である。また、均質性も低かったため、製膜時に添加剤を加えたところ均一な薄膜の作製が可能となった。とくに、No. 5 の被覆ガラス試作体は、未被覆のガラス板よりも約 3°C 温度上昇を抑制し、結果として、温度低減率が 25.5% と最も高くなった。したがって、遮光中間膜の原料の調製条件として、No. 5 のサンプルの調製条件が最適であると判断した。

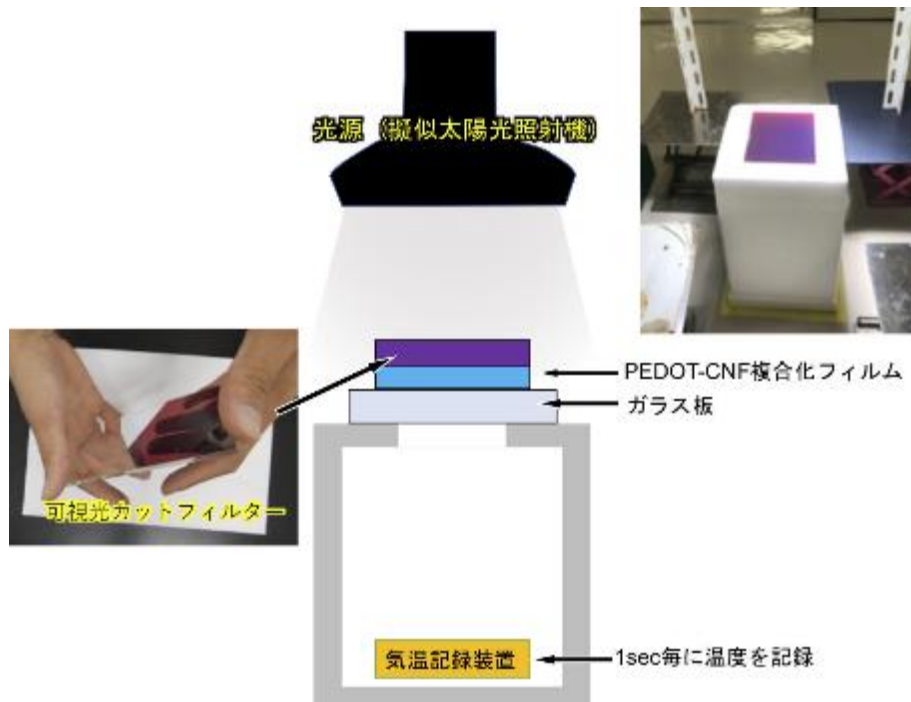


図 II-5-1-6 擬似太陽光による断熱チャンバーの温度上昇の実験装置

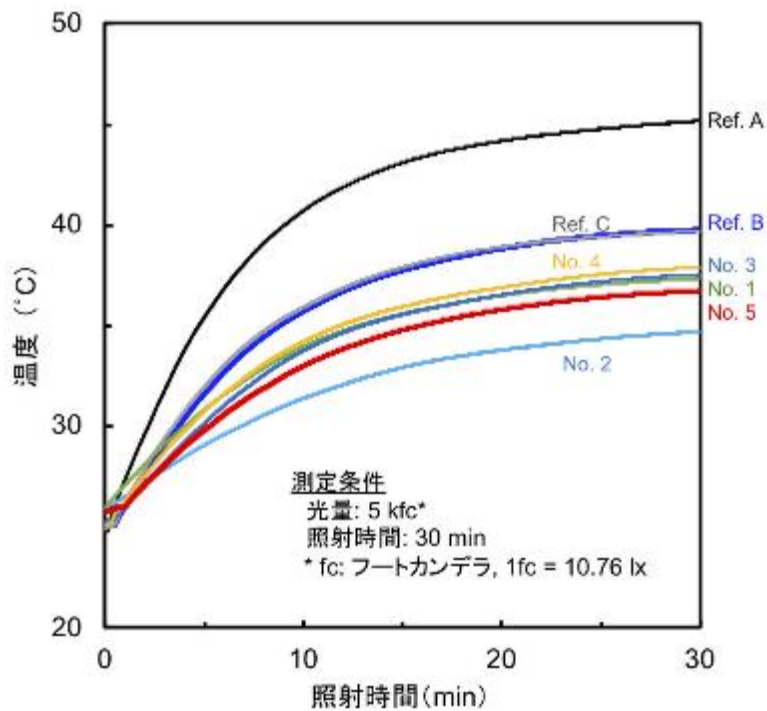


図 II-5-1-7 擬似太陽光によるチャンバー内の温度上昇の挙動

表 II-5-1-4 ガラス基板の温度上昇抑制効果

基板	初期温度 (°C)	30 min後の温度 (°C)	温度低減率* (%)
Reference A	24.8	46.4	-
Reference B	25.1(R ₁ 値)	40.0(R ₂ 値)	-
Reference C	24.9	39.7	0.67
No. 1	25.5	37.7	18.1
No. 2	25.8	34.7	40.2
No. 3	25.3	37.6	17.4
No. 4	25.1	38.0	13.4
No. 5	25.8	36.9	25.5

Reference A: ガラスのみ

Reference B: ガラス+可視光カットフィルター

Reference C: ガラス+可視光カットフィルター+PVA3

$$*温度低減率(\%) = \frac{(R_2 - R_1) - (T_2 - T_1)}{(R_2 - R_1)} \times 100$$

④-3 引っ張り強度および熱拡散率の評価

PEDOT-CNF 配合フィルムの引っ張り強度を調査した。比較として、PVA3 単独フィルムおよび市販の PEDOT-PSS (PSS はポリスチレンスルホン酸) が 2% 配合されたフィルムを用いた。表 II-5-1-5 に示すように、引っ張り強度は PEDOT-CNF を配合することにより 1.4 倍高くなり、遮光性だけでなく、強度も高くなることが確認された。また、熱拡散率は 1.03 倍となった。

表 II-5-1-5 ポリマーフィルムの引っ張り強度

フィルム	PEDOT 含有量(wt%)	PVA3 含有量(wt%)	膜厚 (μm)	引っ張り強度 MPa
無添加PVA3フィルム	0	100	40	22.4
PEDOT-PSS配合 PVA3フィルム	2.0	98	40	22.7
PEDOT-CNF配合 PVA3フィルム	2.0	98	40	31.9

⑤ PEDOT 複合化 CNF 配合塗工液の検討

⑤-1 PEDOT 複合化 CNF のスケールアップ合成

ロール to ロールのグラビア印刷法で塗工することを念頭に置いて、PEDOT 複合化 CNF の 20 リットルタンクレベルでの合成を実施した。PEDOT 複合化 CNF の合成は、予備実験の 270 倍のスケールで実施した(図 II-5-1-8)。



図 II-5-1-8 PEDOT 複合化 CNF のスケールアップ合成

⑤-2 PEDOT 複合化 CNF 塗工液のスケールアップ調製

塗工液は、PVA3 を 1.35 kg を用い、図 II-5-1-9 記載の条件で調製した。結果として、粘度は 285 mPa・s、pH 4.83 となり、ロール to ロールのグラビア印刷法でコーティングに最適な溶液を調製することが可能となった。



図 II-5-1-9 塗工液の調製

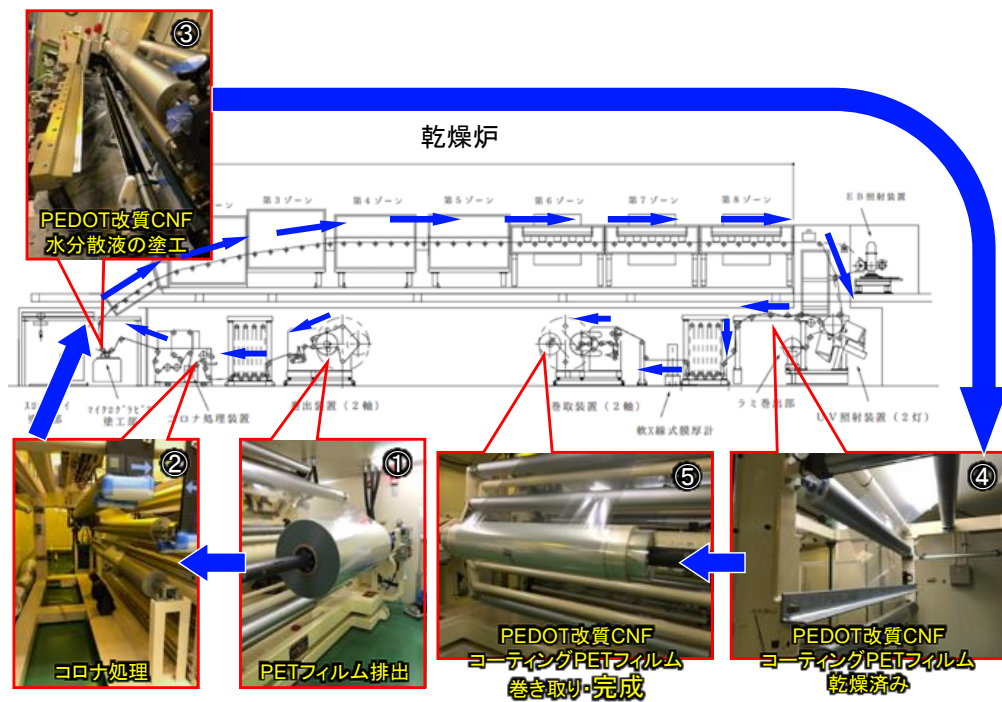
⑥ PEDOT 複合化 CNF 塗工液を用いた PET フィルムへのグラビア製膜

得られた塗工液からのロール to ロールによるグラビア成膜を検討した。当初計画では、中間膜の基材としてエチレン-酢酸ビニル共重合体 (EVA) フィルムを用いる予定であったが、塗工液からの水の乾燥工程には 110°C への加熱が必要となり、EVA フィルム基材の溶融が確認されたため、フィルム基板を PET に変更した。

図 II-5-1-10 に、PET フィルム (50 μm) を基材に用いたロール to ロールによるコーティング工程を示す。下記に工程を示した。

- 工程① PET フィルムの排出 (排出速度 10 m/min)
- 工程② 親水化を付与するためのコロナ処理
- 工程③ マイクログラビア塗工装置による印刷
- 工程④ 乾燥工程 (入口温度 80°C-出口温度 110°C)
- 工程⑤ 巻き取り工程

試作された大型フィルムは、均質な色味を示し、PEDOT 複合化 CNF の膜厚は 11 μm 程度となった (図 II-5-1-10)。また透過率は波長 500 nm において 74%程度で、近赤外光の吸収も確認された。フィグラにおいて、EVA フィルムによる PEDOT 複合化 CNF フィルムのラミネート化を実施した。これを遮光中間膜として、合わせガラスの製造に適用した (「2. CNF 遮熱合わせガラスの開発・試作に向けた検討」2-1 参照)。



図Ⅱ-5-1-10 ロール to ロールによるコーティング工程による PEDOT 改質 CNF の製造

5-2. 表面疎水化 CNF の作製と機能評価

「2. CNF 遮熱合わせガラスの開発・試作に向けた検討」の③ CASE3 の中間膜フィルムに関する調査を行なった。

(1) 表面疎水化 CNF の調製

① 表面疎水化 CNF の調製

合わせガラス用中間膜に用いられるポリエチレン-酢酸ビニル共重合体 (EVA) は、PVA と比較して疎水的なポリマーである。そのため、表面に多数の極性基を有する CNF は EVA に対する相溶性が低いと考えられる。そこで、EVA との相溶性を向上させることを目的として、CNF 表面の疎水化処理を試みた。CNF 表面の疎水化法として、アセチル化やエステル結合を介した疎水基の導入などの方法が知られているが、これらは強酸などの危険な試薬の利用や調製ステップの多さなどに課題がある。そこで穏和かつ簡便な方法による CNF 表面の疎水化法を検討し、ワンステップで CNF 表面を疎水的なポリマーで被覆する手法の開発を目指した。

実施した疎水化法は、各種のフェノール系モノマーとアミン系の架橋剤を溶媒中に溶解させ、これに CNF (中越パルプ工業製の解繊度 C タイプ) を分散させた後、一定時間加熱かき混ぜることにより、CNF 表面にポリマー架橋体の薄膜を形成させる簡便な疎水化法である。具体的には、CNF 250 mg に対してモノマーおよび架橋剤合わせて 50 mg、かつモノマーと架橋剤はモル比が等しくなるように加えた。フェノール系モノマーとして 5 種のモノマー (A, B, C, D, E) を用い、CNF のポリマー被覆を試みた。以下、表面疎水化 CNF をそれぞれ *pA*-CNF、*pB*-CNF、*pC*-CNF、*pD*-CNF、*pE*-CNF と表記する。図 II-5-2-1 には各種表面疎水化 CNF の 0.5 wt% DMF 分散液の写真を示した。*pA*-CNF では、原料として用いたモノマーの構造に依存して赤茶色となった。

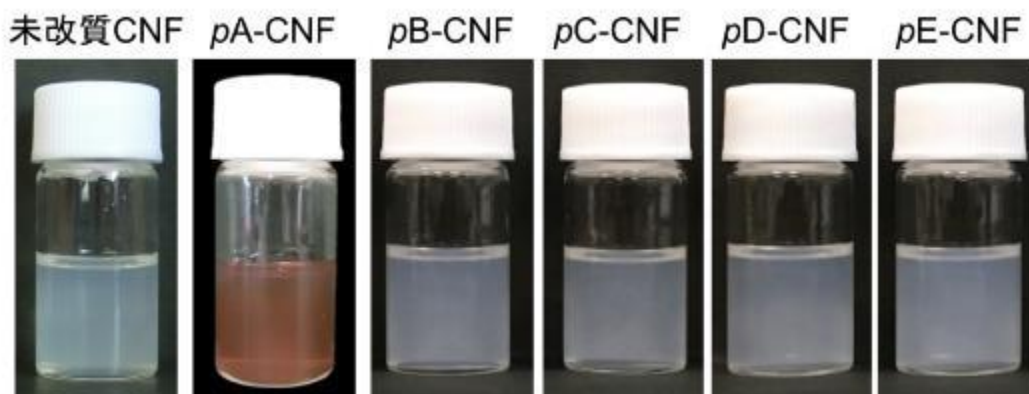


図 II-5-2-1 未改質 CNF および表面疎水化 CNF 0.5 wt%分散液の外観
分散溶媒：DMF

② 評価の方法

②-1 表面疎水化 CNF の電子顕微鏡観察

透過型電子顕微鏡 (TEM、日本電子、JEM-1400 plus) を用いて、加速電圧 80 kV にて未改質 CNF および表面疎水化 CNF の形態観察を行った。

②-2 表面疎水化 CNF の有機溶媒への分散性評価

未改質 CNF および表面疎水化 CNF が 0.1 wt% となるように各溶媒 (水、DMF、エタノール、アセトン、THF) に加え、プローブ型の超音波照射装置で 1 分間超音波照射したのち、分散液を目視で観察し、デジタルカメラにより記録した。

③ 表面疎水化 CNF の評価結果

③-1 表面疎水化 CNF の電子顕微鏡観察

図 II-5-2-2 に未改質および表面疎水化 CNF の TEM 観察画像をまとめた。表面疎水化 CNF はいずれも未改質 CNF と同様なナノファイバーが観察された。*pA*-CNF では 50 nm 以下の微粒子の混在が観察された。これに対して、*pB*-CNF、*pC*-CNF、*pD*-CNF、*pE*-CNF では、このようなナノサイズの粒子は観察されなかった。

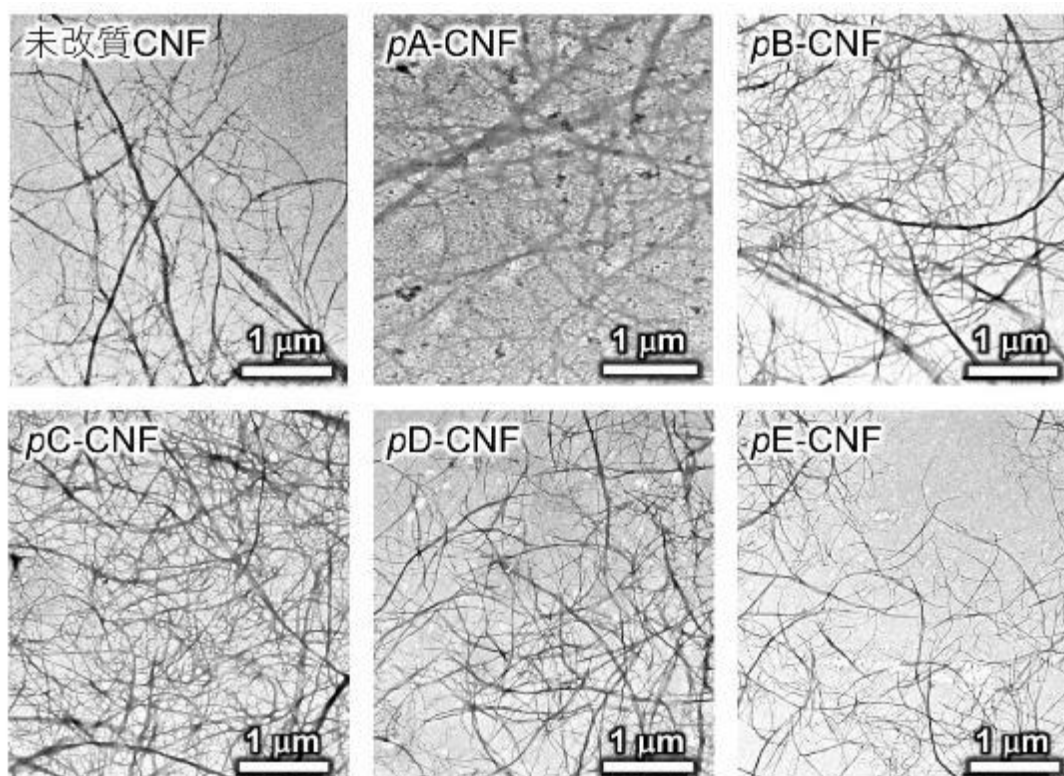


図 II-5-2-2 未改質および表面疎水化 CNF の TEM 観察画像

③-2 表面疎水化 CNF の有機溶媒への分散特性の評価

図 II-5-2-3 に、未改質 CNF および表面疎水化 CNF を各溶媒中に 0.1 wt% で分散させた分散液の写真を示した。未改質 CNF では水と DMF のみに均一に分散し、他の溶媒中では白色の凝集物が観察された。これに対して表面疎水化 CNF では、水、DMF に加え、より疎水的な溶媒中にも分散することが確認された。*pA*-CNF はエタノール、アセトンに、また *pB*-CNF、*pC*-CNF はエタノールに良く分散した。また、*pD*-CNF と *pE*-CNF では、エタノール中においてわずかに析出物が確認されたが、ほぼ分散した。これらの結果は、ポリマー被覆により CNF 表面が疎水化されたことを示している。

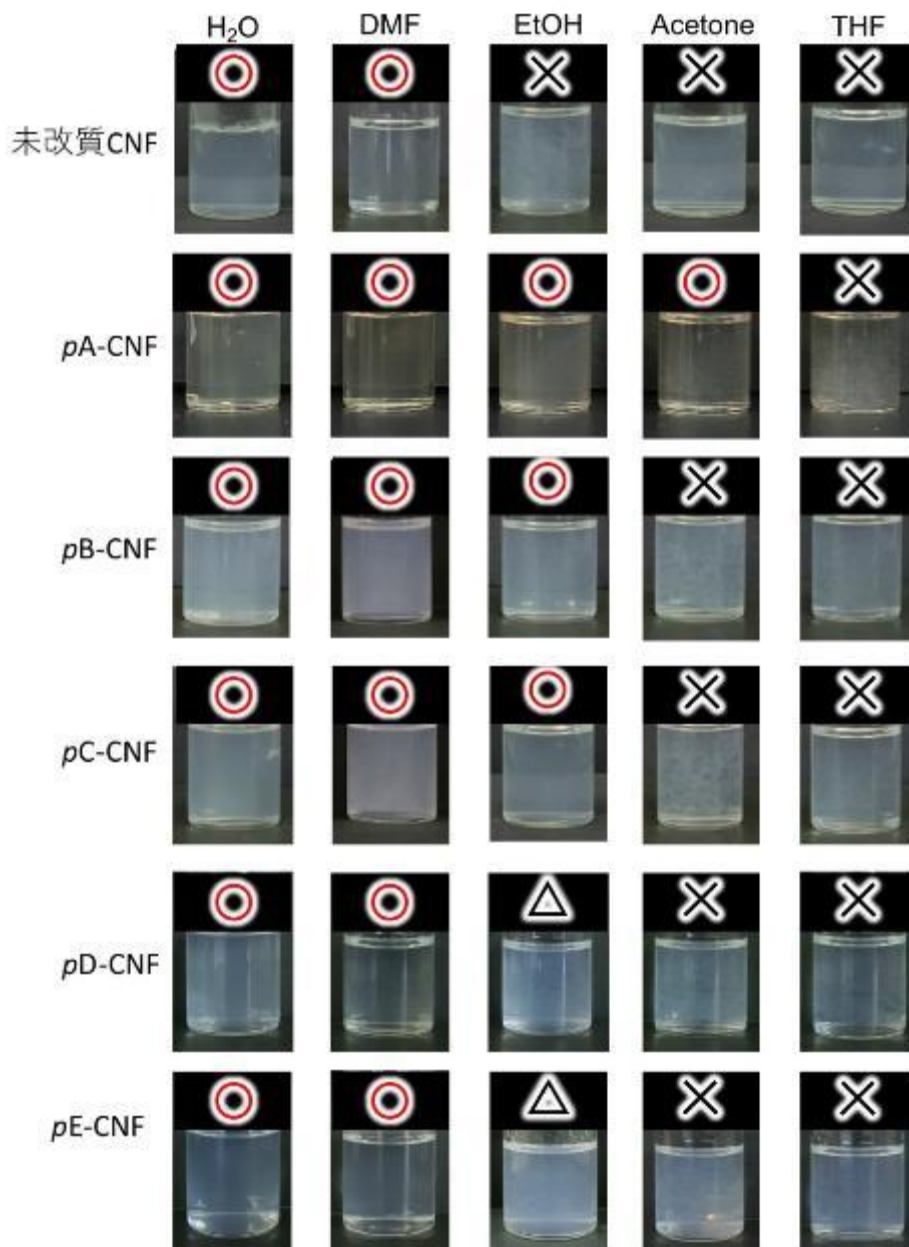


図 II-5-2-3 未改質 CNF および表面疎水化 CNF 分散液の外観（超音波照射直後）

○：均一分散、△：ほぼ分散、×：非分散

(2) 表面疎水化 CNF と EVA の複合化

① 表面疎水化 CNF と EVA の複合化フィルムの試作

EVA (酢酸ビニル成分 40wt%、シグマアルドリッチ社製) の THF 分散液および CNF の DMF 分散液をそれぞれ作製し、混合した。得られた CNF/EVA 混合液をアルミカップ中 60°C で加熱しながら静置し、溶媒を除去した。アルミカップから CNF/EVA 複合フィルムを剥ぎとり、性状等の評価に用いた。表 II-5-2-1 に各フィルムの調製条件をまとめた。

表 II-5-2-1 CNF 複合 EVA フィルムの調製条件

サンプル名	CNF の種類	EVA/THF 分散液		CNF/DMF 分散液	
		濃度 (wt%)	使用量 (g)	濃度 (wt%)	使用量 (g)
EVA	-	10	10	-	-
未改質 CNF/EVA	未改質 CNF	10	10	0.50	1.0
ρ A-CNF/EVA	ρ A-CNF	10	10	0.50	1.0
ρ B-CNF/EVA	ρ B-CNF	10	10	0.46	2.2
ρ C-CNF/EVA	ρ C-CNF	10	10	0.49	2.0
ρ D-CNF/EVA	ρ D-CNF	10	10	0.43	2.3
ρ E-CNF/EVA	ρ E-CNF	10	10	0.55	1.8

CNF は EVA に対し 1 wt%

② フィルムの性状観察

図 II-5-2-4 に CNF/EVA 混合分散液 (DMF:THF=1:10, wt/wt) および CNF/EVA 複合フィルムの写真を示した。表面疎水化 CNF の DMF 分散液と EVA の THF 分散液を混合した場合、いずれも未改質 CNF を用いた場合と比較して高い透明性が確認された。これはポリマー被覆により、CNF の表面が疎水化された結果であると考えられる。CNF/EVA 混合液をキャストして作製した複合フィルムにおいても、表面疎水化 CNF を複合化した EVA フィルムで高い透明性が得られた。

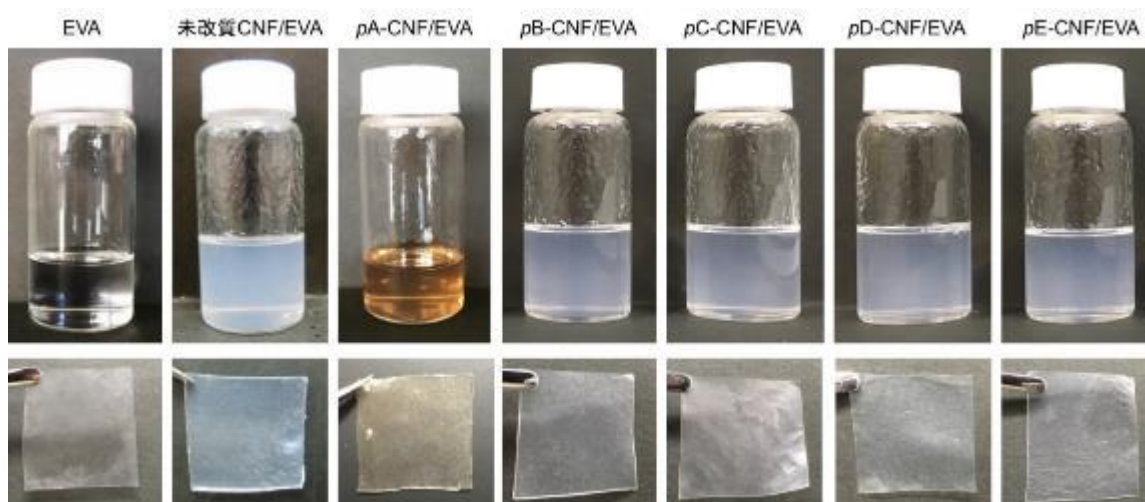


図 II-5-2-4 CNF と EVA の混合液 (上段) および複合フィルム (下段)

CNF は EVA に対し 1wt%、分散溶媒は DMF:THF=1:10 (wt/wt)

(3) 表面疎水化 CNF 複合 EVA フィルムの合わせガラス化および光学特性評価

① 表面疎水化 CNF 複合 EVA フィルムを用いた合わせガラスの試作

表面疎水化 CNF/EVA 複合フィルムを中間膜とする合わせガラスは、CNF/EVA 複合フィルムを 2.5 cm×2.5 cm にカットしたガラス（ソーダ石灰ガラス、松浪硝子工業製）で挟み、70℃で15分間熱プレスすることにより作製した。

② 評価方法

②-1 性状観察

試作した合わせガラスを目視で観察し、デジタルカメラにより記録した。

②-2 透過スペクトル測定

試作した合わせガラスの透過スペクトルを、紫外可視近赤外分光光度計（UV 3600-Plus、島津製作所製）および積分球付属装置（ISR-3100、島津製作所製）を用いて 300 nm から 2500 nm の範囲で測定した。日射透過率の算出には、日射透過率測定ソフトウェア（DLT-UVPC、島津製作所製）を利用した。

③ 評価結果

③-1 性状観察

図 II-5-2-5 に作製した合わせガラスの写真をまとめた。試作した中間膜用ポリマーフィルムは、ガラスで挟むことにより、表面の凹凸がなくなり、透明性が向上した。

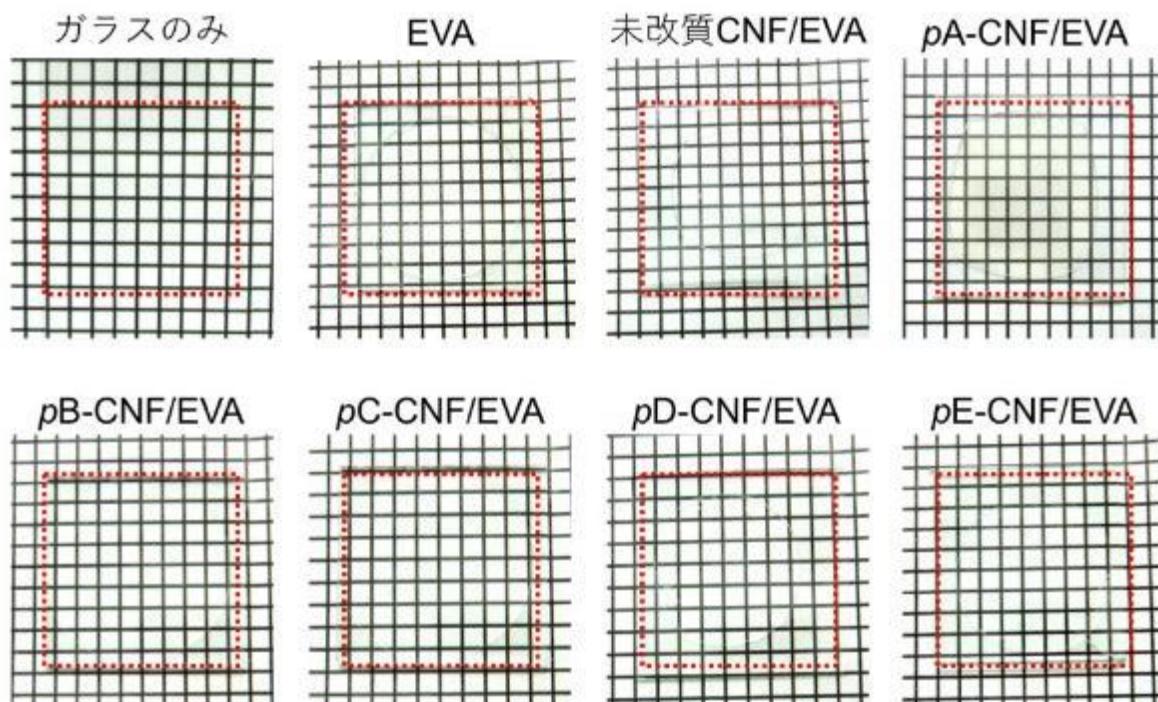
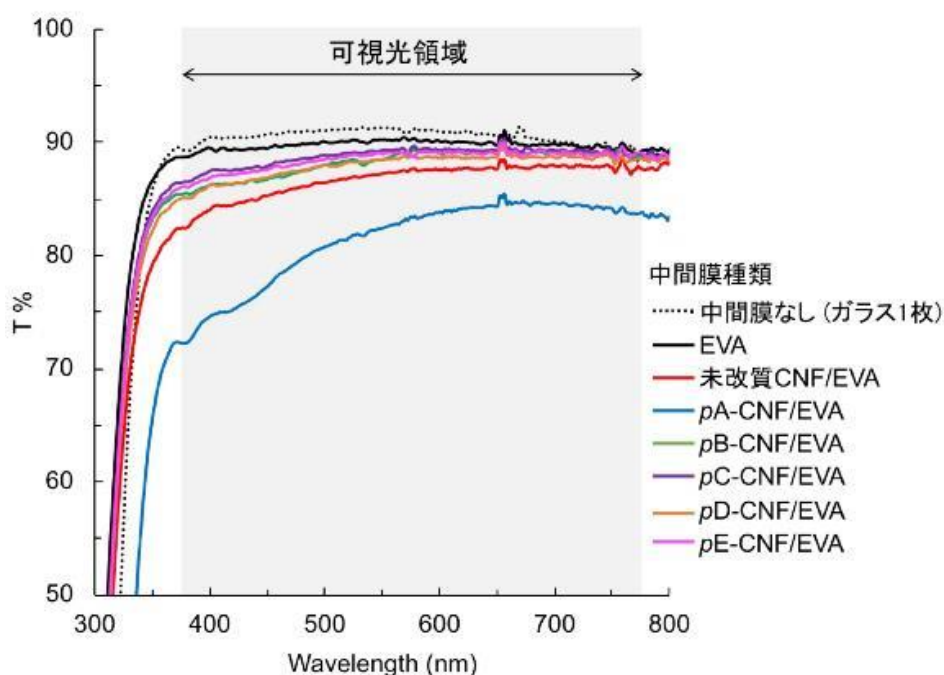


図 II-5-2-5 ガラス単体および合わせガラスの外観（赤点線はガラスの縁）

③-2 透過スペクトル測定

図Ⅱ-5-2-6 に試作した合わせガラスおよび試作に用いたガラス 1 枚の可視光領域付近の透過スペクトルを示す。CNF を含まない EVA を中間膜とする場合と比較すると、CNF を複合することで可視光領域の透過率が全体的に低下した。しかしながら、表面疎水化 CNF と未改質 CNF により作製した合わせガラスのスペクトルを比較すると、*p*A-CNF/EVA を除く全ての表面疎水化 CNF の場合で、未改質 CNF の場合よりも透過率が向上することが確認できた。これらの結果は、CNF の表面疎水化に伴い EVA と CNF の相溶性が向上したためであると考えられる。表Ⅱ-5-2-2 に算出した日射透過率をまとめた。赤味を帯びた *p*A-CNF/EVA では若干低い値となったが、それ以外の全ての表面疎水化 CNF の場合で、未改質 CNF の場合より高い値が得られている。



図Ⅱ-5-2-6 合わせガラスの透過スペクトル

表Ⅱ-5-2-2 合わせガラスの日射透過率

中間膜	日射透過率 (%)
なし	90.8
EVA	89.2
未改質 CNF/EVA	87.1
<i>p</i> A-CNF/EVA	82.2
<i>p</i> B-CNF/EVA	88.2
<i>p</i> C-CNF/EVA	88.4
<i>p</i> D-CNF/EVA	88.0
<i>p</i> E-CNF/EVA	88.5

日射透過率は日射透過率測定ソフトウェア (DLT-UVPC、島津製作所製) にて算出

5-3. CNF 含有塩ビコンポジット試作体の CNF の分散状態

「1. CNF 樹脂サッシの開発・試作に向けた検討」において開発された CNF 含有塩ビコンポジット中における CNF の分散状態の評価を行なった。

① CNF 含有塩ビコンポジット試作体の概要

評価は、表 II-1-2-1 に示した LIXIL が試作した CNF 含有塩ビコンポジット S-7、S-8、S-9 および、ブランクとして CNF を配合せずに S-7 と同条件で作製した塩ビ樹脂の破断片を用いて行なった。

② 評価方法

②-1 外観観察

CNF 含有塩ビコンポジットの外観を目視で観察しデジタルカメラにより記録した。

②-2 破断面の観察

レーザー顕微鏡 (VK-X1000、キーエンス社製) を用いて、断面観察を行った。

③ 評価結果

③-1 外観観察

図 II-5-3-1 に、CNF 含有塩ビコンポジットの側面および破断面の画像を示した。CNF を含む S-7、S-8 および S-9 では、ブランクには見られない白色のドメインが断面に観察された。

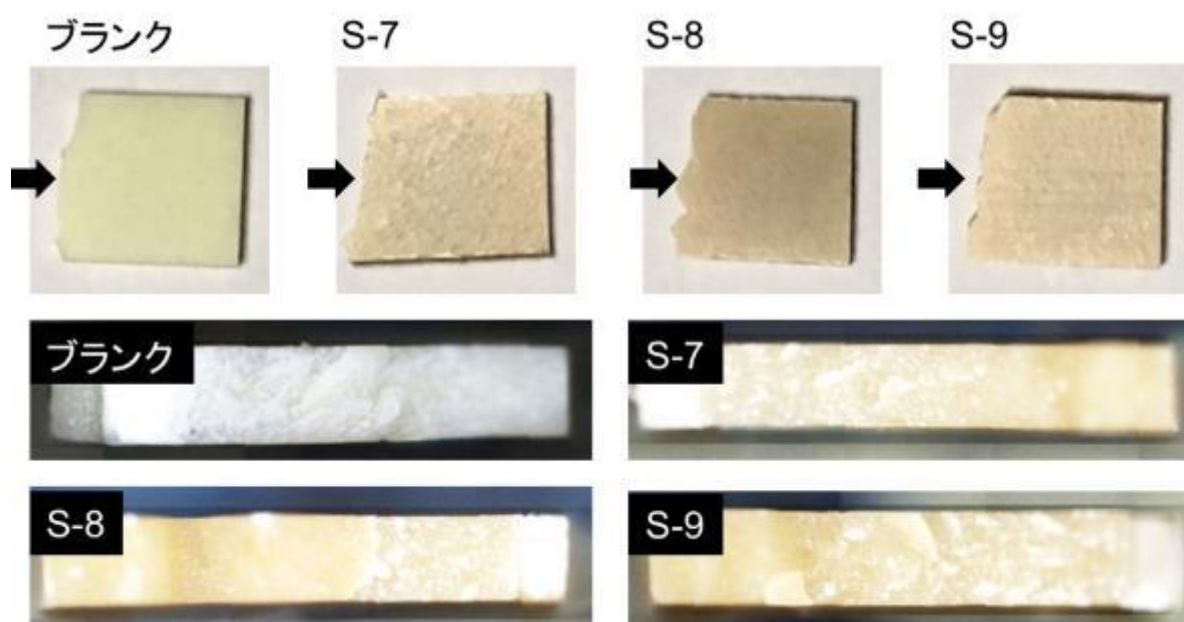
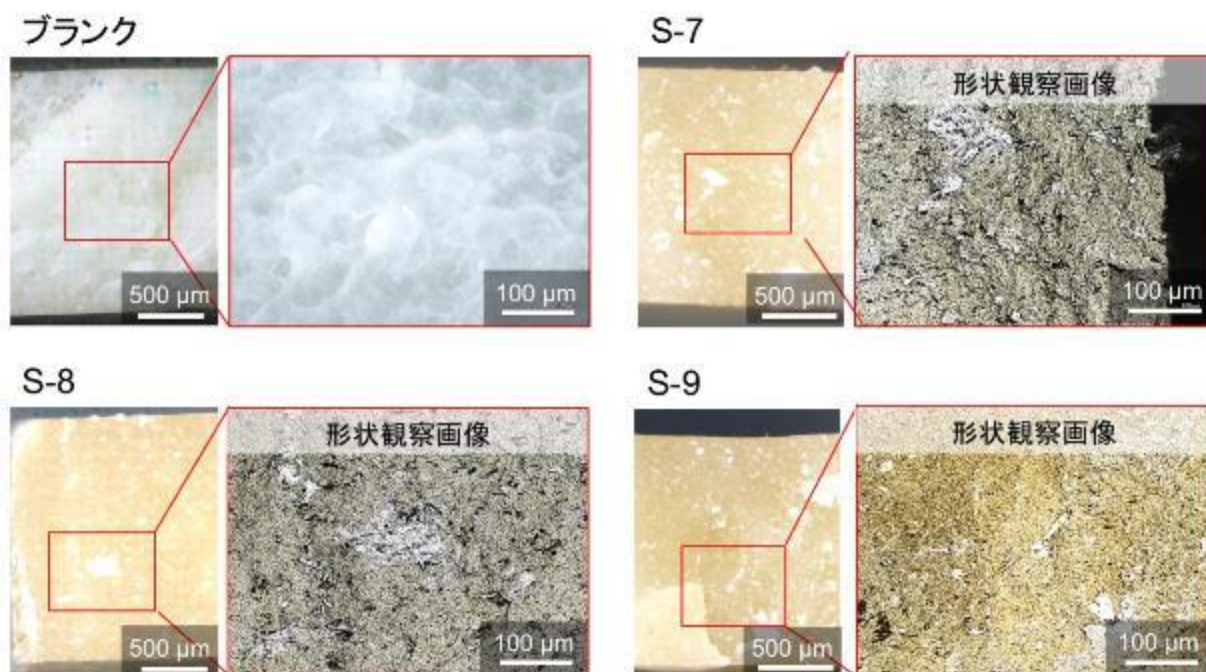


図 II-5-3-1 CNF 含有塩ビコンポジットの側面 (上段) および断面 (下段)
矢印は、断面観察位置

③-2 破断面の観察

図Ⅱ-5-3-2に、CNF含有塩ビコンポジット断面のレーザー顕微鏡による観察結果を示した。レーザー顕微鏡を用いた形状観察により、S-7、S-8およびS-9では、CNFもしくはCNF原料のパルプの凝集体とみられるドメインが観察された。これらの結果より、塩ビ中でのCNFの分散が不十分であると考えられる。



図Ⅱ-5-3-2 CNF含有塩ビコンポジットの光学・レーザー顕微鏡観察結果

③-3 まとめ

種々の条件で作製されたCNF含有塩ビ樹脂は曲げ弾性率および曲げ応力の向上が確認された(表Ⅱ-1-2-3 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)。一方、CNF含有塩ビコンポジットは、CNFを含まない塩ビ樹脂と比べ、加工時にサッシ部材に割れ・欠けが生じやすい。コンポジット樹脂の破断面観察を行なった結果、CNFの凝集体と考えられる構造体が塩ビ樹脂中に確認されたことから、加工時の割れ・欠けの原因として、塩ビ樹脂中におけるCNFの分散の不十分さが考えられる。

6. CNF 素材の安全性の評価

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、昨年度と異なる防腐剤を添加した CNF に対して各種の試験を行った。

6-2. 評価結果

(1) nanoforest-S(防腐剤なし)の微生物を用いる変異原性試験

①表題

nanoforest-S(防腐剤なし)の微生物を用いる変異原性試験

②試験目的

ネズミチフス菌及び大腸菌を用いて、被験物質の突然変異誘発能の有無を検索する。

③試験法

a) 「労働安全衛生法第 57 条の 2 第 1 項（現行＝第 57 条の 4 第 1 項）の規定に基づき厚生労働大臣の定める基準を定める告示」（労働省告示第 77 号 昭和 63 年 9 月 1 日、最終改正：厚生労働省告示第 208 号 平成 28 年 4 月 18 日）及び「微生物を用いる変異原性試験の具体的手法及び試験結果の評価方法について」（労働省労働基準局安全衛生部化学物質調査課長 事務連絡 平成 11 年 2 月 8 日）

b) 「新規化学物質等に係る試験の方法について」（平成 23 年 3 月 31 日、薬食発 0331 第 7 号、平成 23・03・29 製局第 5 号、環保企発第 110331009 号、最終改正：平成 30 年 3 月 29 日、薬生発 0329 第 13 号、20180326 製局第 1 号、環保企発第 1803293 号）に定める「変異原性試験」の「細菌を用いる復帰突然変異試験」

④要約

nanoforest-S(防腐剤なし)の突然変異誘発能の有無を、代謝活性化系非存在下及び存在下でネズミチフス菌 TA100、TA1535、TA98、TA1537 及び大腸菌 WP2uvrA を用いてプレインキュベーション法により検討した。

試験の結果、すべての試験菌株において復帰変異コロニー数が陰性対照値の 2 倍未満であったことから、変異原性は陰性と判定した。

したがって、nanoforest-S(防腐剤なし)には突然変異誘発能がないものと判断された。

(2) nanoforest-S(新規防腐剤)の微生物を用いる変異原性試験

①表題

nanoforest-S(新規防腐剤)の微生物を用いる変異原性試験

②試験目的

ネズミチフス菌及び大腸菌を用いて、被験物質の突然変異誘発能の有無を検索する。

③試験法

a) 「労働安全衛生法第 57 条の 2 第 1 項（現行＝第 57 条の 4 第 1 項）の規定に基づき厚生労働大臣の定める基準を定める告示」（労働省告示第 77 号 昭和 63 年 9 月 1 日、最終改正：厚生労働省告示第 208 号 平成 28 年 4 月 18 日）及び「微生物を用いる変異原性試験の具体的手法及び試験結果の評価方法について」（労働省労働基準局安全衛生部化学物質調査課長 事務連絡 平成 11 年 2 月 8 日）

b) 「新規化学物質等に係る試験の方法について」（平成 23 年 3 月 31 日、薬食発 0331 第 7 号、平成 23・03・29 製局第 5 号、環保企発第 110331009 号、最終改正：平成 30 年 3 月 29 日、薬生発 0329 第 13 号、20180326 製局第 1 号、環保企発第 1803293 号）に定める「変異原性試験」の「細菌を用いる復帰突然変異試験」

④要約

nanoforest-S(新規防腐剤)の突然変異誘発能の有無を、代謝活性化系非存在下及び存在下でネズミチフス菌 TA100、TA1535、TA98、TA1537 及び大腸菌 WP2uvrA を用いてプレインキュベーション法により検討した。

試験の結果、S9 mix 非存在下及び存在下とも、すべての試験菌株において陰性対照値の 2 倍以上の復帰変異コロニー数の増加が認められ、その増加に再現性が認められたため、変異原性は陽性と判定した。

なお、試験施設にて同時に実施した「nanoforest-S(防腐剤なし)の微生物を用いる変異原性試験」（試験番号 K01-6864）において、nanoforest-S(防腐剤なし)は、変異原性は陰性の結果であったため、nanoforest-S(新規防腐剤)に含まれている薬剤成分が、本試験の陽性結果に関与した可能性が高いと考えられる。

したがって、nanoforest-S(新規防腐剤)には突然変異誘発能があるものと判断された。

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

①表題

nanoforest-S(新規防腐剤)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: June 25, 2018)

④要約

EpiOcular™ EIT (OCL-200) を用いて、nanoforest-S(新規防腐剤)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(新規防腐剤)群の細胞生存率の平均値は88.2%となり、眼刺激性の判定基準である60%を超えた。

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

(4) nanoforest-S(新規防腐剤)の LabCyte EPI-MODEL24 SIT を用いる in vitro 皮膚刺激性試験

①表題

nanoforest-S(新規防腐剤)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(新規防腐剤)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(新規防腐剤)群の細胞生存率の平均値は110.1%となり、皮膚刺激性の判定基準である50%を超えた。

したがって、本試験条件下では、nanoforest-S(新規防腐剤)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(新規防腐剤)の哺乳類培養細胞を用いる染色体異常試験

①表題

nanoforest-S(新規防腐剤)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 Chromosomal 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(新規防腐剤)の染色体異常誘発能の有無を検討した。

短時間処理法の S9 mix 非存在下では、1000、1400 及び 1800 µg/mL、S9 mix 存在下では、500、1400 及び 1800 µg/mL、24 時間連続処理法では、250、500 及び 1400 µg/mL の標本を観察した。

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(新規防腐剤)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。

(6) nanoforest-S(新規防腐剤)のマウス小核試験

①表題

nanoforest-S(新規防腐剤)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髄細胞で検討する。

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 Cr1:CD1(ICR)マウスを用いて、nanoforest-S(新規防腐剤)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。85.0~340 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340 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340 mg/kg/day を被験物質の最高用量とし、公比2で希釈した170及び85.0 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340 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、骨髄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(新規防腐剤)は、本試験条件下では小核を誘発しないものと判断した。

6-3. まとめと今後の課題

本年度は、竹セルロースナノファイバー(nanoforest-S)の安全性試験として、変異原性試験、眼刺激性試験、皮膚刺激性試験、染色体異常試験、マウス小核試験を行った。防腐剤を添加しない nanoforest-S サンプル、及び防腐剤メーカーが変異原性陰性として推奨する防腐剤に変更した評価を行った。昨年度の防腐剤の成分は、有機窒素硫黄系複合物と有機臭素系化合物の混合剤であり、本年度の防腐剤成分は、2種の有機窒素硫黄系化合物の混合剤であった。

本年度の安全性試験の結果、新規防腐剤を添加した nanoforest-S の変異原性試験のみが陽性と判定され、防腐剤を添加していない nanoforest-S の変異原性試験は陰性、さらに変異原性試験以外の安全性試験は全て陰性の結果であった。

唯一陽性判定となった変異原性試験について考察すると、防腐剤添加なしの nanoforest-S は陰性のため、今年度使用した新規防腐剤に含まれる2種類の成分が、変異原性試験の陽性結果に関与した可能性が高いと考えられる。防腐剤成分の変異原性試験情報を確認したところ、昨年度使用した防腐剤中の有機窒素硫黄系複合物のみ変異原性試験陽性との情報であり、本年度使用した防腐剤中の有機窒素硫黄系化合物は2種類ともに変異原性試験陰性の成分であったが、その2種類を混合剤とした防腐剤製品についての変異原性試験は実施されていなかった。そこで、防腐剤メーカーにおいて新規防腐剤に含まれる2つの成分において変異原性試験陰性の結果となった試験の詳細条件、および2種複合化した製品の変異原性試験の検討を進めて頂くよう依頼しているところである。

変異原性試験は発癌性を簡易に評価するための試験であり、今回は新規防腐剤を添加した nanoforest-S は、この試験で陽性の結果となったが、今回行ったさらに詳細な安全性評価（眼刺激性試験、皮膚刺激性試験、染色体異常試験、マウス小核試験）においては全て陰性となっているため、本事業を推進する上で大きな問題はないと思われる。しかしながら、委託事業終了後の普及を考えると、変異原性試験も含めた全ての試験の陰性結果を求める企業もあることから、今後はさらに安全な防腐剤の検討や防腐剤を添加しない製品の開発などが期待される。

発癌性について詳細に検証するための調査には、今回実施した「マウス小核試験」の他にも「哺乳類細胞を用いた突然変異試験」、「トランスジェニックマウスを用いた突然変異試験」、「Pig-A 試験(血液)」がある。これらの試験の実施などにより安全性の検証をさらに進めることについても今後の検討課題である。

7. CNF 活用建材の経済性評価

7-1. 検討概要

(1) CNF 活用建材導入によるCO2排出量削減効果及びコスト削減効果の算出

①CO2 排出量削減効果の算出

CO2 排出量削減効果は、「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」での実測およびシミュレーションの結果をもとに、CNF 活用建材導入後の建物全体（1 住戸あたり）における年間の冷暖房消費電力量の減少による CO2 排出量削減効果を算出する。

②コスト削減効果の算出

コスト削減効果は、CNF 活用建材導入後の建物全体（1 住戸あたり）における、年間の冷暖房費削減による効果と、メンテナンスコスト削減による効果を算出する。

(2) CO2排出量削減効果シミュレーションの実施

今後 CNF 活用建材が普及した場合の、CO2 排出量削減効果のシミュレーションを行う。シミュレーションにあたっては、目標年度を 2030 年（パリ協定目標年度）、2050 年（脱炭素社会目標年度）として設定する。

なお、本事業は薩摩川内市の市営住宅を対象に実施しているため、九州地域における住宅への CNF 活用建材導入を想定する。また、対象とする住宅の種別については、「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」において既築の公営集合住宅を対象としていることを踏まえ、省エネルギー施策を実施するための母数を確保することを想定して「既築リフォーム住宅を対象とした場合」と、より実効力をもって省エネルギー対策を実施することを想定して「既築の公営住宅を対象とした場合」としてそれぞれ算出する。

7-2. CO2 排出量削減効果及びコスト削減効果の算出結果

(1) CO2排出量削減効果

CNF 活用建材導入後の建物全体（1 住戸あたり）における CO2 排出量は、下記 (a) の方法により算出した。結果は表 II-7-2-1 のとおり。

年間の冷暖房消費電力量は、導入前 1,395kWh/年・戸、導入後 1,314kWh/年・戸となる。これをもとに、九州電力の CO2 排出係数 0.463kg-CO2/kWh で CO2 排出量を試算すると、導入前 0.65t-CO2/年・戸、導入後 0.61t-CO2/年・戸となり、CO2 排出量削減効果は 0.04t-CO2/年・戸（5.8%減）となる。

$$\begin{aligned} \text{(a) CNF 活用建材導入後の建物全体（1 住戸あたり）における CO2 排出量削減効果} = \\ & \text{(CNF 活用建材導入前の建物全体（1 住戸あたり）の冷暖房消費電力量} \\ & \quad - \text{CNF 活用建材導入後の建物全体（1 住戸あたり）の冷暖房消費電力量}) \\ & \quad \times \text{九州電力の CO2 排出係数} \end{aligned}$$

表Ⅱ-7-2-1 CNF 活用建材を既築住宅 1 戸に導入した場合の CO2 排出削減量

	冷暖房消費電力量 (kWh/年・戸) [A]	CO2排出量 (kg-CO2/年・戸) [B]=[A]×九州電力のCO2排出係数 (0.463kg-CO2/kWh)	CO2排出量 (t-CO2/年・戸) [C]=[B]/1,000
CNF活用建材導入前	1,395.00	645.89	0.65
CNF活用建材導入後	1,314.00	608.38	0.61
削減幅	-81.00	-37.50	-0.04
削減率	-5.81%	-5.81%	-5.81%

(2) コスト削減効果

CNF 活用建材導入後の建物全体（1 住戸あたり）における冷暖房費削減額は、下記 (b) の方法により算出した。なお、冷暖房運転期間は「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」での計算条件とあわせ、年間約 8 ヶ月稼働しているものとして算出する。結果は表Ⅱ-7-2-2 のとおり。

年間の冷暖房消費電力量は、導入前 1,395kWh/年・戸、導入後 1,314kWh/年・戸となる。これをもとに、九州電力の電力単価 17.19 円/kWh および 22.69 円/kWh¹（電力使用量に応じる）で冷暖房費を試算すると、導入前 26,373 円/年・戸、導入後 24,535 円/年・戸となり、コスト削減効果は 1,839 円/年・戸（7.0%減）となる。

(b) CNF 活用建材導入後の建物全体（1 住戸あたり）におけるコスト削減効果＝ （CNF 活用建材導入前の建物全体（1 住戸あたり）の冷暖房消費電力量 － CNF 活用建材導入後の建物全体（1 住戸あたり）の冷暖房消費電力量） × 九州電力の電力単価
--

表Ⅱ-7-2-2 CNF 活用建材を既築住宅 1 戸に導入した場合の冷暖房費削減額

	冷暖房消費電力量 (kWh/年・戸) [A]	冷暖房消費電力量 (kWh/月・戸) [D]=[A]/8ヶ月	冷暖房費 (円/月・戸) [E]=[D]×九州電力の電力単価 (~120kWh : 17.19円/kWh, 120~300kWh : 22.69円/kWh)	冷暖房費 (円/年・戸) [F]=[E]×8ヶ月
CNF活用建材導入前	1,395.00	174.38	3,296.68	26,373
CNF活用建材導入後	1,314.00	164.25	3,066.83	24,535
削減幅	-81.00	-10.13	-229.85	-1,839
削減率	-5.81%	-5.81%	-6.97%	-6.97%

¹ 九州電力が提供している家庭向け料金プラン「スマートファミリープラン」（契約電流 10 アンペア以上、60 アンペア以下）で、第 1 段階（～120kWh）、第 2 段階（120kWh～300kWh）での電力使用量における従量料金単価（2019 年 3 月 15 日現在）。

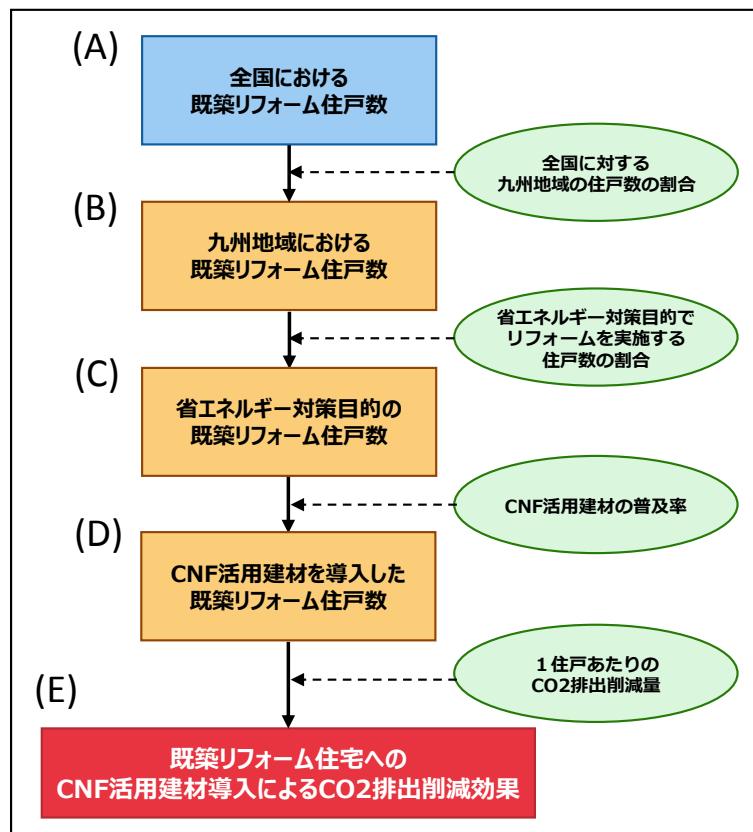
7-3. CO2 排出量削減効果シミュレーションの実施結果

(1) 既築リフォーム住宅を対象とした場合の実施結果

シミュレーションの実施にあたり、目標年度までに CNF 活用建材を導入する既築リフォーム住戸数を、以下の手順で推計する（図Ⅱ-7-3-1）。

①実施手順

- (A) 全国における既築リフォーム住戸数を算出
- (B) (A)の結果に、全国の既築住戸数に対する九州地域の既築住戸数の割合を掛け合わせることで、九州地域における既築リフォーム住戸数を算出
- (C) (B)の結果に、省エネルギー対策を目的としてリフォームを実施した住戸数の割合を掛け合わせることで、省エネルギー対策を目的とした既築リフォーム住戸数を算出
- (D) (C)の結果に、CNF 活用建材の普及率を掛け合わせることで、CNF 活用建材を導入した既築リフォーム住戸数を算出
- (E) (D)で算出した、CNF 活用建材を導入した既築リフォーム住戸数に、1 住戸あたりの CO2 排出削減量を掛け合わせることで、既築リフォーム住宅への CNF 活用建材導入による CO2 排出削減効果を算出



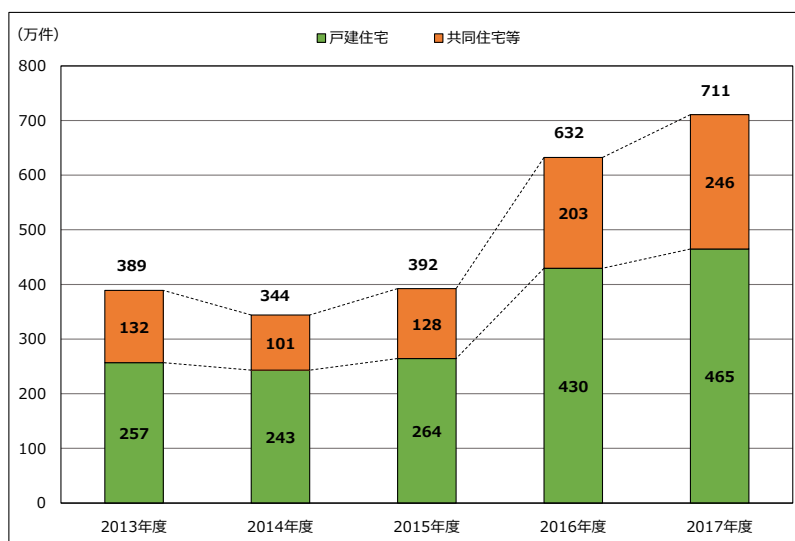
図Ⅱ-7-3-1 既築リフォーム住宅への CNF 活用建材導入による CO2 排出削減効果の推計手順

②実施結果

(A) 全国における既築リフォーム住戸数の算出結果

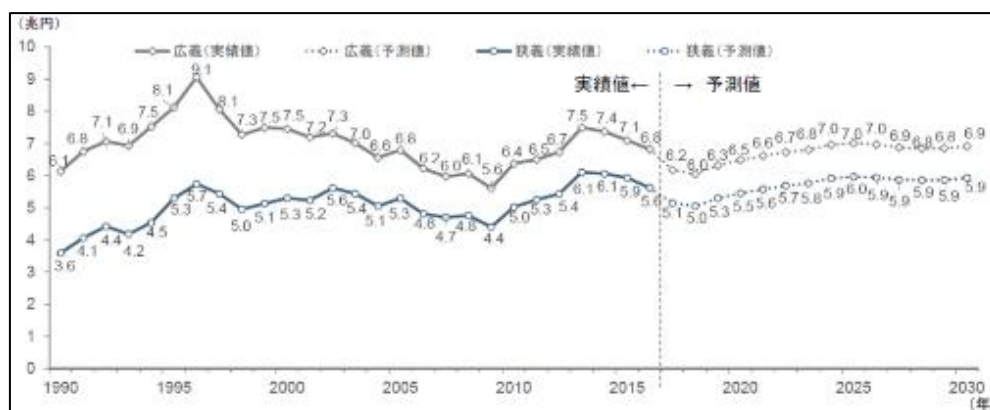
既築リフォーム住戸数は、国土交通省が公表している「建築物リフォーム・リニューアル調査²」の結果、および野村総合研究所（以下、「NRI」）の「<2018年度版>2030年の住宅市場と課題」を参考に算出する。

建築物リフォーム・リニューアル調査にて公表されている、最新5ヶ年の住宅リフォーム工事受注件数の推移を見ると、近年は増加傾向にある（図Ⅱ-7-3-2）。一方、NRIの推計によると、リフォーム市場規模は2030年度まで横ばいの傾向が続くと予測されている（図Ⅱ-7-3-3）。



図Ⅱ-7-3-2 建て方別住宅リフォーム工事受注件数の推移

資料：国土交通省「建築物リフォーム・リニューアル調査」をもとに作成



図Ⅱ-7-3-3 リフォーム市場規模の実績と予測

資料：野村総合研究所「<2018年度版>2030年の住宅市場と課題」

² 「建築物リフォーム・リニューアル」の定義は、建築物の増築、一部改築及び改装等を対象とし、新築工事及び全部を取り壊し改築する場合を含まない。なお、建築物本体及び建築物と一体となった設備に係る工事等を対象とし、点検、清掃、少額の消耗部品の交換（住宅の場合は10万円未満、非住宅の場合は20万円未満）、故障修理等の軽微なものは除く。建築部材の設置・更新・修繕を含む。

そこで、直近の住宅リフォーム工事受注件数が目標年度まで横ばいで推移すると仮定する。全国における1年あたりの既築リフォーム住戸数として、直近3ヶ年の住宅リフォーム工事受注件数の平均値を(c)の算出方法で算出すると、1年あたり約578.5万件ずつ発生すると考えられる。それを目標年度までの既築リフォーム住戸数として積み上げて推計した結果は、表Ⅱ-7-3-1のとおりである。

(c)住宅リフォーム工事受注件数の単年度平均値＝(直近3ヶ年の住宅リフォーム工事受注件数の合計)÷3年

表Ⅱ-7-3-1 全国の既築リフォーム住宅の累積住戸数

年度	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
既築リフォーム住宅 累積住戸数(万戸)	578.5	3,471.0	6,363.5	9,256.0	12,148.5	15,041.0	17,933.5

(B) 九州地域における既築リフォーム住戸数の算出結果

九州地域における既築リフォーム住戸数の算出にあたり、全国の住戸数に占める九州地域の住戸数の割合を算出し、(A)で算出した全国における既築リフォーム住戸数に掛け合わせることで、九州地域における既築リフォーム住戸数として扱うこととした。

「住宅・土地統計」の調査最新年である2013年において、九州地域における既築住戸数は全国の10.3% (表Ⅱ-7-3-2)を占めていたことから、全国の住戸数に対して約1割を九州地域の住戸数とみなして算出する。結果は表Ⅱ-7-3-3のとおり。

表Ⅱ-7-3-2 全国の既築住戸数に占める九州地域の住戸数の割合
(戸)

		一戸建	共同住宅等	合計
全国		28,598,700	23,503,400	52,102,100
九州地域		3,155,700	2,192,400	5,348,100
	福岡県	996,600	1,166,600	2,163,200
	佐賀県	214,900	78,400	293,300
	長崎県	369,600	185,600	555,200
	熊本県	448,400	238,700	687,100
	大分県	304,200	173,200	477,400
	宮崎県	329,600	128,600	458,200
	鹿児島県	492,400	221,300	713,700
全国の住戸数に対する 九州地域の住戸数の割合 (%)		11.0	9.3	10.3

表Ⅱ-7-3-3 九州地域における既築リフォーム住宅の累積住戸数

年度	全国の既築リフォーム住宅の累積住戸数（戸）	九州地域における 既築リフォーム住宅の累積住戸数（戸）
	[A]	[B]=[A]×0.1
2020	5,785,000	578,500
2025	34,710,000	3,471,000
2030	63,635,000	6,363,500
2035	92,560,000	9,256,000
2040	121,485,000	12,148,500
2045	150,410,000	15,041,000
2050	179,335,000	17,933,500

(C) 省エネルギー対策を目的とした既築リフォーム住戸数の算出結果

ここでは、既築リフォーム住戸数の中でも、CNF活用建材を導入する可能性が高いと見込まれる、省エネルギー対策を目的としたリフォームを実施した既築住宅を対象とする。全てのリフォームに対し、約1割を省エネルギー対策目的の既築リフォーム住戸数と仮定して算出する。結果は表Ⅱ-7-3-4のとおり。

表Ⅱ-7-3-4 省エネルギー対策を目的とした既築リフォーム住宅の累積住戸数

年度	九州地域における 既築リフォーム住宅の累積住戸数（戸）	省エネルギー対策目的でリフォームを実施する 既築リフォーム住宅の累積住戸数（戸）
	[B]	[C]=[B]×0.1
2020	578,500	57,850
2025	3,471,000	347,100
2030	6,363,500	636,350
2035	9,256,000	925,600
2040	12,148,500	1,214,850
2045	15,041,000	1,504,100
2050	17,933,500	1,793,350

(D) CNF活用建材を導入した既築リフォーム住戸数の算出結果

(C)で算出した省エネルギー対策目的の既築リフォーム住戸数のうち、約1割にCNF活用建材が導入されたと仮定して算出する。結果は表Ⅱ-7-3-5のとおり。

表Ⅱ-7-3-5 CNF活用建材を導入した既築リフォーム住宅の累積住戸数

年度	省エネルギー対策目的でリフォームを実施する 既築リフォーム住宅の累積住戸数（戸）	CNF活用建材が2030年までに 10%導入される場合の係数	CNF活用建材を導入した 既築リフォーム住宅の累積住戸数（戸）
	[C]	[D]	[E]=[C]×[D]
2020	57,850	0.01	5,259
2025	347,100	0.05	189,327
2030	636,350	0.10	636,350
2035	925,600	0.10	925,600
2040	1,214,850	0.10	1,214,850
2045	1,504,100	0.10	1,504,100
2050	1,793,350	0.10	1,793,350

(E) 既築リフォーム住宅への CNF 活用建材導入による CO2 排出削減効果の算出結果

(D)で算出した CNF 活用建材導入住戸数に、7-2. (1)で求めた 1 住戸あたりの CO2 排出削減量 (0.04t-CO2/年・戸) (表 II-7-2-1) を掛け合わせるにより算出する。

2030 年までに、CNF 活用建材が、九州地域においてリフォームを実施する既築住宅の 10%に導入されて、その後継続すると仮定した場合、2030 年度には約 2.5 万 t-CO2、2050 年度には約 7.2 万 t-CO2 の CO2 排出量削減効果が見込まれる (表 II-7-3-6、図 II-7-3-4)。

表 II-7-3-6 九州地域における既築リフォーム住宅への CNF 活用建材導入による CO2 排出量削減効果

年度	CNF活用建材を導入した既築リフォーム住宅の累積住戸数 (戸)	CO2削減量 (t-CO2)
	[E]	[F]=[E]×CNF活用建材導入によるCO2削減量 (0.04t-CO2/年・戸)
2020	5,259	210.36
2025	189,327	7,573.09
2030	636,350	25,454.00
2035	925,600	37,024.00
2040	1,214,850	48,594.00
2045	1,504,100	60,164.00
2050	1,793,350	71,734.00

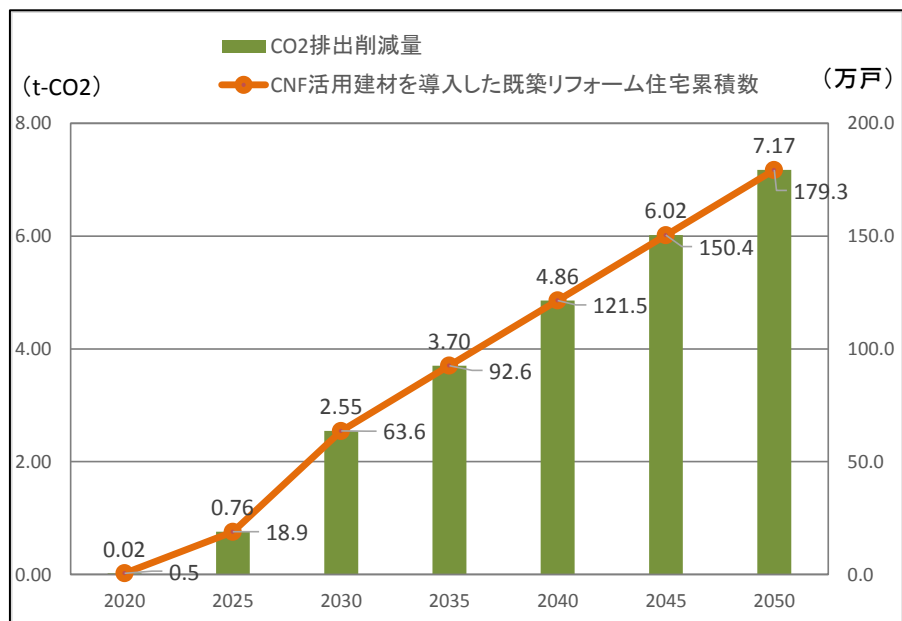


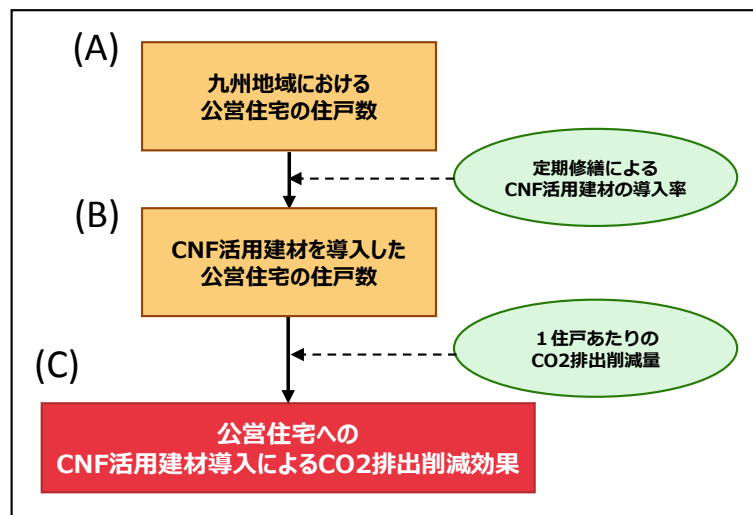
図 II-7-3-4 既築リフォーム住宅への CNF 活用建材導入による CO2 排出削減効果シミュレーション

(2) 公営住宅を対象とした場合の実施結果

シミュレーションの実施にあたり、目標年度までに CNF 活用建材を導入する公営住宅の住戸数を、以下の手順で推計する（図Ⅱ-7-3-5）。

①実施手順

- (A) 九州地域における公営住宅の住戸数を設定
- (B) (A)の結果に、公営住宅の定期修繕によって CNF 活用建材が導入される住戸数の割合を掛け合わせることで、CNF 活用建材を導入した公営住宅の住戸数を算出
- (C) (B)で算出した、CNF 活用建材を導入した公営住宅の住戸数に、1 住戸あたりの CO2 排出削減量を掛け合わせることで、公営住宅への CNF 活用建材導入による CO2 排出削減効果を算出



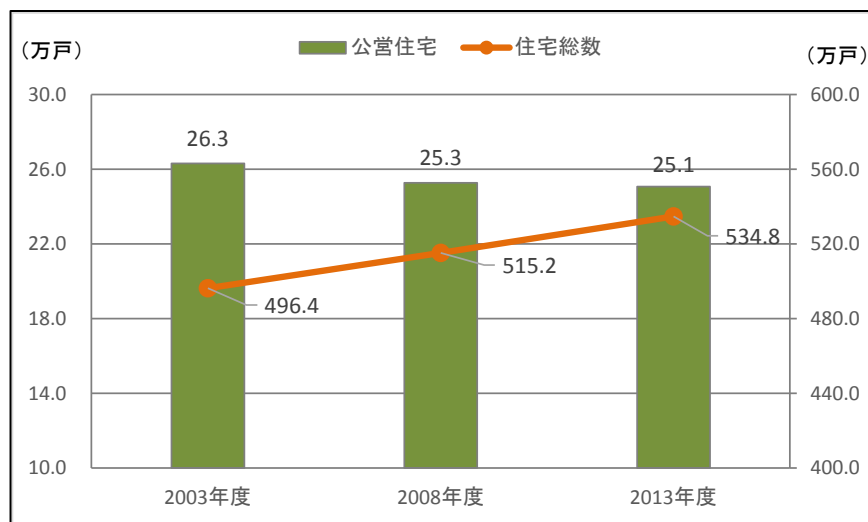
図Ⅱ-7-3-5 公営住宅への CNF 活用建材導入による CO2 排出削減効果の推計手順

②実施結果

(A) 九州地域における公営住宅の住戸数の設定

九州地域における公営住宅の住戸数は、総務省の「住宅・土地統計」にて公表されている、最新10ヶ年（3時点）の公営住宅の住戸数の推移を見ると、概ね横ばいの傾向にある（図Ⅱ-7-3-6）。

そこで、最新時点の2013年度における九州地域の公営住宅の住戸数である25.1万戸を、CNF活用建材を導入する住戸数の母数と設定する。



図Ⅱ-7-3-6 公営住宅の住戸数の推移

資料：総務省「住宅・土地統計」をもとに作成

(B) CNF活用建材を導入した公営住宅の住戸数の算出結果

(A)で設定した九州地域の公営住宅の住戸数のうち、公営住宅の定期修繕により、毎年度約1%にCNF活用建材が導入されると仮定して算出する。結果は表Ⅱ-7-3-7のとおり。

表Ⅱ-7-3-7 CNF活用建材を導入した公営住宅の累積住戸数

年度	九州地域における公営住宅の住戸数 (戸)	定期修繕によりCNF活用建材が1%導入される場合の公営住宅の累積住戸数 (戸)
	[A]	[B] = 前年度累積住戸数 + ([A] × 0.01)
2020	250,700	2,507
2025	250,700	15,042
2030	250,700	27,577
2035	250,700	40,112
2040	250,700	52,647
2045	250,700	65,182
2050	250,700	77,717

(C) 公営住宅への CNF 活用建材導入による CO2 排出削減効果の算出結果

(B)で算出した CNF 活用建材導入住戸数に、7-2. (1)で求めた 1 住戸あたりの CO2 排出削減量 (0.04t-CO2/年・戸) (表 II-7-2-1) を掛け合わせるにより算出する。

九州地域における公営住宅の定期修繕にあわせ、CNF 活用建材が 1%導入されると仮定した場合、2030 年度には約 1.1 千 t-CO2、2050 年度には約 3.1 千 t-CO2 の CO2 排出量削減効果が見込まれる (表 II-7-3-8、図 II-7-3-7)。

表 II-7-3-8 九州地域における公営住宅への CNF 活用建材導入による CO2 排出量削減効果

年度	定期修繕によりCNF活用建材が1%導入される場合の公営住宅の累積住戸数 (戸)	CO2削減量 (t-CO2)
	[B]=前年度累積住戸数+(A)×0.01	[C]=[B]×CNF活用建材導入によるCO2削減量 (0.04t-CO2/年・戸)
2020	2,507	100.28
2025	15,042	601.68
2030	27,577	1,103.08
2035	40,112	1,604.48
2040	52,647	2,105.88
2045	65,182	2,607.28
2050	77,717	3,108.68

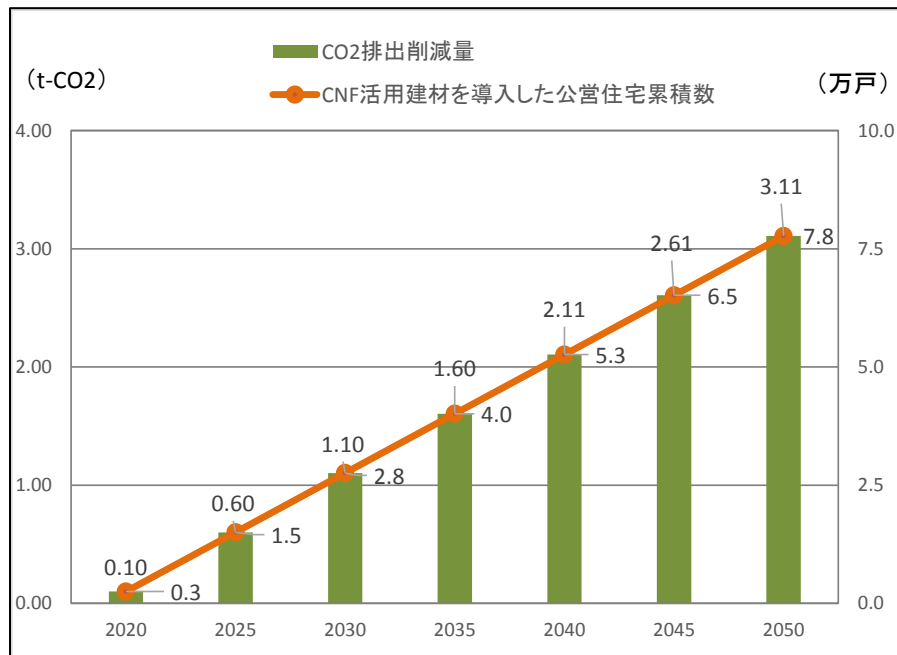


図 II-7-3-7 公営住宅への CNF 活用建材導入による CO2 排出削減効果シミュレーション

7-4. まとめと今後の課題

(1) CO2排出量削減効果及びコスト削減効果の算出

「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」での実測およびシミュレーションの結果をもとに、CNF 活用建材導入後の建物全体（1 住戸あたり）における CO2 排出量削減効果とコスト削減効果を算出した。その結果、CO2 排出量削減効果は 0.04t-CO2/年・戸（5.8%減）、コスト削減効果は 1,839 円/年・戸（7.0%減）となり、一定の効果が得られることが確認できた。

(2) CO2排出量削減効果シミュレーションの実施

九州地域における既築リフォーム住宅、公営住宅それぞれを対象として、CNF 活用建材が普及した場合の CO2 削減効果のシミュレーションを実施した。その結果、既築リフォーム住宅では、2030 年度には約 2.5 万 t-CO2、2050 年度には約 7.2 万 t-CO2 の削減効果が、公営住宅では、2030 年度には約 1.1 千 t-CO2、2050 年度には約 3.1 千 t-CO2 の削減効果が見込まれる。

(3) 今後の課題

今後は、開発した CNF 活用建材をもとにした実測および数値シミュレーションの結果を反映した場合の、CO2 削減効果およびコスト削減効果を算出し、結果の精度を高める。また、九州以外の地域を想定した場合の削減効果や、既築住宅以外の住宅を対象とした場合の削減効果の算出について検討する。

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。