

平成31年度 セルローズ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

令和2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

今年度は、CNF を混練した塩ビコンポジットを成形した樹脂サッシ部材を用いて実証製品となる CNF 樹脂サッシを試作し、CNF 遮熱合わせガラスと合わせて、実証住宅（薩摩川内市宮城上住宅 1 号棟 121 室）の南面 3 窓、北面 1 窓へ設置した。

材料の検討においては、改良した CNF 塩ビコンポジットが、昨年度までの CNF 塩ビコンポジット中の CNF 量 18wt%より少量の 7wt%であっても、目標とした曲げ弾性率の 30%の向上（樹脂単体比）を達成した。CNF を樹脂中に相溶化させる添加剤の種類と量を変更した改良効果であり、衝撃強度低下の抑制への有効性も確認できた。また、熱貫流率は、既存の樹脂サッシと同等であること（熱貫流率 $4.4 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; 高 $1.65 \times$ 幅 1.77m 、合わせガラス、計算値)、並びに、アルミサッシ（熱貫流率 $6.3 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; 高 $1.65 \times$ 幅 1.77m 、フロートガラス、計算値）と比較して、冷暖房の貫流による熱負荷が 30%削減となることを確認した。

(2) CNF 遮熱合わせガラスの開発・試作に向けた検討

昨年度に試作した CNF 遮熱合わせガラスを実証住宅に設置した。このときの日射透過率は 63.6%であり、単板ガラスの 81.5%に対して約 22%の低減であった。

今年度は、昨年度試作について問題点の改善を行った。まずは白濁感の解消であるが、硫酸化 CNF (*s*-CNF) 合成時、より均一になるように、攪拌方法を攪拌子から攪拌翼に変更した。この結果、CNF 遮熱合わせガラスの白濁感は解消された。次に耐光性試験不適合について、昨年度の耐光性試験後、紫色に変色したため、対策として PEDOT/*s*-CNF 塗工液に紫外線吸収剤を添加し、かつ PET フィルムを耐光性 PET に変更および枚数を 1 枚追加して PEDOT/*s*-CNF を耐光性 PET で挟むことを行った。この結果、耐光性試験は適合となった。なお、最終的に PET フィルムの追加は必要ないことを確認した。次に遮熱性能の向上に関して、PEDOT/*s*-CNF の pH を下げることで、導電率が上がり近赤外領域に対する光の吸収性能も向上することが分かってきたため、濃塩酸の量を調整し、pH をさらに低下させた。この結果、日射透過率が 56.4%となり、単板ガラスと比較して 30.8%低減し、目標の 30%低減をクリアした。最後に製品コスト削減に関して、PET フィルムを 1 枚にして合わせガラスを試作し耐光性試験を行い、適合を確認した。これにより中間膜 (EVA) 1 枚と PET フィルム 1 枚の合計 2 枚のフィルムを削減することができ、合わせ工程での材料費および作

業費の削減が可能となった。塗工液調製工程においても、*s*-CNF 合成時の CNF 濃度を上げることができれば、溶媒の量を減らし生産コストを下げる事が可能となるため、CNF 濃度を上げて試作・検証を行った。

(3) CNF 遮断熱コーティング材の開発・試作に向けた検討

分散プロセスの改善を行い CNF の配合割合を昨年度よりも増加させ、配合割合による物理的強度および耐候性等の変化を調査した。また、工場装置での製造プロセスの改善と試験製造の確認を行った。耐候性延長の確認として、促進耐候性試験を行い塗面状態の確認を行った。社会実装に向けた規格の整備、製造コストの削減を進めた。

CNF の配合量を昨年度の 0.25wt% から 1.5wt% に増大させた。CNF の配合量による引張り強度との関係は、CNF 無添加が 0.5MPa、CNF1.0wt% が 1.33MPa、CNF1.5wt% が 1.7MPa と増大し、目標の約 1.2 倍に対して CNF1.5wt% で 3.4 倍となった。耐候性を向上させる検討に関して、光沢保持率、色差 (ΔE) の低下速度が減少し、CNF1.5wt% で目標値である約 1.3 倍となっていることを確認した。コスト面に関しては、材料、工程の検討を行い CNF 配合によるコスト上昇率を 3% 増加にとどめた。今後は、社会実装に向けて機能・性能の向上とコスト改善を進めていく。

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

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エネ・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、室内環境測定計測装置を設置し、実測体制を整えた。開発した 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 1 住戸に設置し、冷暖房のエネルギー消費量、室内温熱環境の実測を行い、非設置住戸との比較を行った。CNF 活用建材を導入した場合、エアコンの電力使用量が夏期で 6.5%、冬期で 2.4% 削減される結果となった。

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。

(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、①無修飾 CNF および疎水化 CNF (*h*-CNF) とエチレン-酢酸ビニル共重合体 (EVA) あるいはポリ塩化ビニル (PVC) とのコンポジット化およびその物性評価を実施し、また、②導電性ポリマーによって修飾された CNF (PEDOT/*s*-CNF) とポリビニルアルコール (PVA) とのコンポジット化および合わせガラス用中間膜としての機能評価を実施した。

(6) 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 0.05[t-CO₂/(年・戸)]（1.59%減）、コスト削減効果は 3,567[円/(年・戸)]（1.59%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、2030 年までに CNF 活用建材が 10%導入されると仮定して、「九州地域の集合住宅を対象とした場合」と「全国の住宅を対象とした場合」の 2 パターンで、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、「九州地域の集合住宅を対象とした場合」では、2030 年度には約 5.1 万 t-CO₂、2050 年度には約 24.1 万 t-CO₂ の CO2 排出量削減効果が見込まれ、「全国の住宅を対象とした場合」では、2030 年度には約 144.3 万 t-CO₂、2050 年度には約 678.1 万 t-CO₂ の CO2 排出量削減効果が見込まれる結果となった。

(7) CNF 活用建材の製品化に向けた検討

CNF 活用建材の社会実装に向け、各建材において想定される課題の洗い出しを行い、対応時期の目安を製品化ロードマップとして整理した。性能向上のための検討や製品化、生産体制、市場投入時期といった観点で検討し、今後は製品化に向けた課題の解決や目標達成のための取組の推進を目指す。

CNF 活用建材の製品化に向けた市場ニーズ等の把握のため、不動産事業者を対象にヒアリングを実施した。CNF 活用建材について、各建材それぞれの差別化につながる視点を得た。想定される導入市場としては、大規模修繕を行う既築集合住宅や温熱環境の快適性を求める施設が挙げられた。利用者のニーズとしては、経済的なメリットを重視する傾向が強いため、金銭的なメリットを分かりやすく伝える必要がある。導入促進のために求められる取組としては、他の製品と差別化を図れる価格の設定のほか、エンドユーザー側と事業者側の双方において導入のメリットを感じられる政策的支援のアプローチ検討が挙げられた。今後は聴取した意見を参考に、製品化に向けて検討を進めていく。

【 S u m m a r y 】

These demonstrations work on the development and design of building materials, etc. which will become countermeasures with high CO₂ reduction effect while being simple and keeping costs down mainly for existing housing complexes which are deteriorating, and verify the effects thereof. The building materials in these demonstrations are those used for openings where heat flow in and out is particularly large, such as sashes and window glass, as well as roofs and external walls.

Below is a summary of this fiscal year's demonstrations.

(1) Investigations for development and trial production of CNF resin sashes

This year, we performed trial production of a CNF resin sash using formed resin sash members made of polyvinyl chloride dispersed with CNF as a demonstration product, combined it with CNF heat-blocking laminated glass, and installed it in 3 windows on the south side and 1 window on the north side of a demonstration dwelling unit (Apt. 121, Bldg. 1, Johkami Municipal Apartments, Satsumasendai).

For material investigation, even when the modified CNF polyvinyl chloride composite had a CNF content of 7wt%, less than the 18wt% CNF content of the CNF polyvinyl composite used until last year, the target flexural modulus improvement of 30% (compared to the resin alone) was achieved. This is an improvement effect of changing the type and amount of the agent used to compatibilize the CNF in the resin, and the effectiveness in suppressing impact strength reduction was also confirmed. In addition, the heat transfer coefficient was equivalent to that of existing resin sashes (heat transfer coefficient: 4.4 W/(m² · K); H1.65 × W1.77m, laminated glass; calculated value), and it was verified that the thermal load from heating and cooling flows was reduced by 30% compared to aluminum sashes (heat transfer coefficient: 6.3 W/(m² · K); H1.65 × W1.77m, float glass; calculated value).

(2) Investigations for development and trial production of CNF heat-blocking laminated glass

Last year, trial production of CNF heat-blocking laminated glass was performed and it was installed in a demonstration dwelling unit. At that time, the solar transmittance was 63.6%, which is a reduction of approximately 22% compared to the 81.5% for single-layer glass.

This year, we improved the problems with last year's trial production. First was the elimination of cloudiness. This was done by changing the stirring method used during synthesis of sulfated CNF (s-CNF) from a stirring bar to a stirring blade to achieve better uniformity. As a result, the cloudiness of CNF heat-blocking laminated glass was

eliminated. Next was the nonconformity in the lightfastness test, in which the color changed to purple last year after the color fastness test. As a countermeasure, a UV absorbing agent was added to the PEDOT/s-CNF coating solution, plus the PET film was changed to lightfast PET and the number of layers was increased by one to sandwich the PEDOT/s-CNF between lightfast PET layers. The result was that the glass passed the lightfastness test. Further, in the end it was confirmed that adding PET film was not necessary. Next, for improvement of heat insulation performance, it was found that decreasing the pH of PEDOT/s-CNF increases its conductivity and improves its light absorption in the near-infrared region, so the amount of concentrated hydrochloric acid was adjusted to further reduce the pH. As a result, the solar transmittance became 56.4%, which is a reduction of 30.8% compared to single-layer glass and clears the goal of 30% reduction. Finally, regarding reducing the product cost, laminated glass with a single PET film layer was trial produced and the lightfastness test was performed, and its conformance was verified. Therefore, it was possible to eliminate a total of 2 film layers (1 interlayer (EVA) and 1 PET film layer), enabling reductions in material cost and labor cost in the lamination process. Also, in the coating solution preparation process, since if the CNF concentration during synthesis of s-CNF can be increased the amount of solvent can be reduced, which would enable production costs to be reduced, trial production and verification using a higher CNF concentration was performed.

(3) Investigations for development and trial production of CNF thermal barrier coating material

The dispersion process was improved and the CNF compounding ratio was increased over that of last year, and changes in physical strength, weather resistance, etc. according to the compounding ratio were investigated. In addition, manufacturing processes using factory equipment were improved and trial production was performed. As verification of extended weather resistance, accelerated weather resistance testing was performed and the condition of the coated surface was checked. We proceeded with developing standards for societal implementation and reducing manufacturing costs.

The CNF compounding amount was increased from last year's 0.25wt% to 1.5wt%. The tensile strength and CNF compounding amount relationship was 0.5MPa for no added CNF, 1.33MPa for 1.0wt% CNF, and 1.7MPa for 1.5wt% CNF, achieving 3.4 times the tensile strength at 1.5wt% CNF compared to the goal of approximately 1.2 times. Regarding investigation of weather resistance improvements, it was confirmed that the rate of decrease of gloss retention and color difference (ΔE) was reduced, and at CNF 1.5wt% it was at the target value of approximately 1.3 times. Regarding the cost aspect, materials and processes were examined, and the cost increase due to

CNF compounding was kept to 3%. In the future, we will work to increase functionality and performance and improve costs toward societal implementation.

(4) Investigations for introduction of the developed CNF-based building materials into municipal housing complexes and evaluation of the CO₂ reduction effects and indoor thermal environment

The energy-saving and CO₂ reduction effects and the indoor thermal environment improvement effects of introducing the developed CNF-based building materials into housing complexes were quantitatively determined through actual measurement in a demonstration dwelling unit and numerical simulation.

For actual measurements, in order to determine the effects of installation of CNF-based building materials, measurement systems were prepared by installing devices for measuring the indoor environment and air conditioner power consumption in two dwelling units with identical layouts and orientations. The developed CNF-based building materials (CNF resin sashes, CNF heat-blocking laminated glass, and CNF thermal barrier coating material) were installed in one of the dwelling units and measurements of heating/cooling energy consumption and indoor thermal environment were taken and compared to values from the dwelling unit where the materials were not installed. The introduction of CNF-based building materials had the effect of reducing air conditioner power consumption by 6.5% in summer and 2.4% in winter.

In the simulation-based investigations, the energy-saving and CO₂ reduction effects and the indoor thermal environment improvement effect from the introduction of CNF-based building materials into a demonstration dwelling unit were calculated. The introduction of CNF-based building materials had the effect of reducing air conditioner power consumption by approximately 6%. It also had the effect of increasing the proportion of time in which the indoor environment was a comfortable thermal environment.

(5) CNF material improvement and evaluation of composites and functions

Toward the development of CNF composite polymer materials, we ① made composites of unmodified CNF and hydrophobic CNF (h-CNF) with ethylene-vinyl acetate copolymer (EVA) or polyvinyl chloride (PVC) and evaluated their physical properties, and ② made a composite of CNF modified with a conductive polymer (PEDOT/s-CNF) and polyvinyl alcohol (PVA) and evaluated its functionality as an interlayer for laminated glass.

(6) Economic evaluation of CNF-based building materials

Based on the results of actual measurements and simulations in "(4) Investigations toward introduction of the developed CNF-based building materials into municipal housing and evaluation of the CO₂ reduction effects and indoor thermal environment", the CO₂ exhaust amount reduction effect and cost reduction effect due to the reduction of annual power consumption for heating/cooling after the introduction of CNF-based building materials were calculated for the entire building (per dwelling unit). The results were a CO₂ exhaust reduction effect of 0.05t CO₂/(year • unit) (1.59% reduction) and a cost reduction effect of ¥3,567/(year • unit) (1.59% reduction).

Furthermore, for the CO₂ exhaust reduction effect, target years of 2030 and 2050 were set, and simulations for the popularization of CNF-based building materials assuming 10% introduction of CNF-based building materials in two patterns, with housing complexes in the Kyushu region as the subject and all housing nationwide as the subject, were performed. The result was that for the case of housing complexes in the Kyushu region as the subject, CO₂ exhaust reduction effects of approximately 51K t-CO₂ in 2030 and approximately 241K t-CO₂ in 2050 were forecast, and in the case of all housing nationwide as the subject, CO₂ exhaust reduction effects of approximately 1.44M t-CO₂ in 2030 and approximately 6.78M t-CO₂ in 2050 were forecast.

(7) Investigations for the commercialization of CNF-based building materials

For the societal implementation of CNF-based building materials, we identified potential issues, set target values, and criteria for handling timing for each type of building material to create a commercialization roadmap. Investigations for improved functionality and investigations from the aspects of commercialization, production systems, and market introduction timing were conducted, and we aim to promote efforts for resolution of commercialization issues and achieving targets in the future.

In order to determine market needs, etc. toward the commercialization of CNF-based building materials, we held hearings with real estate companies. We obtained viewpoints which can lead to differentiation of CNF-based building materials for each type of building material. Assumed markets for introduction include existing housing complexes where large-scale repairs will be performed and facilities requiring thermal environment comfort. For user needs, since there is a strong trend to focus on economic merits, it is necessary to communicate in ways that make the financial merits easy to understand. Initiatives to promote introduction include setting prices that will provide differentiation from other products as well as the approach of strategic support that enables both end users and businesses to feel the merits. In the future we will proceed with investigations toward commercialization taking the opinions that we heard into consideration.

平成 31 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	4
5. 業務体制	6
6. 定例会の開催	7
II . 業務結果	9
1. CNF 樹脂サッシの開発・試作に向けた検討	9
2. CNF 遮熱合わせガラスの開発・試作に向けた検討	23
3. CNF 遮断熱コーティング材の開発・試作に向けた検討	36
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	50
5. CNF 素材の改質、コンポジット化、機能評価	105
6. CNF 活用建材の経済性評価	123
7. CNF 活用建材の製品化に向けた検討	137

I. 業務概要

1. 業務目的

CNF は、植物由来のカーボンニュートラルな材料で、高い比表面積と空孔率を有していることから、軽量でありながら高い強度や弾性を持つ素材として、様々な基盤素材への活用が期待され、精力的な開発が進められている。

特に、高強度材料（自動車部品、家電製品筐体）や高機能材料（住宅建材、内装材）への活用は、軽量化や高効率化等によるエネルギー消費の削減に繋がることから、地球温暖化対策への多大なる貢献が期待されている。

一方、CNF の多種多様な機能を生かし、実用化に結び付けるためには、例えば樹脂材料を CNF で補強した CNF 軽量材料（複合樹脂）の製造を担う材料メーカーや、最終製品の製造を担うメーカー等と連携した用途開発が不可欠である。

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 効果が高い建材等の開発・設計に取り組み、効果の実証を行う。本実証は、熱の出入が大きい開口部のサッシと窓ガラス、更に、屋根・外壁について、CNF を活用した建材を既築集合住宅に実装し、遮熱・断熱性能向上効果を実用規模で定量的に検証する。

また、表 I-4 に示す目標の達成を目指す。

2. 業務期間

2019 年 4 月 1 日～2020 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

モデル住宅へ実装する実証用 CNF 樹脂サッシ製品作製に必要な部品や組立の手配、設置段取り、組立、実装および実証評価を実施する。実証製品に使う CNF 樹脂サッシ部材の曲げ弾性率や熱伝導率、熱貫流率等を確認する。

平成 30 年度の結果より、強度目標は達成できたが、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強度不足となる課題があったため、引続き、外注等も活用して材料（CNF コンポジット）や製造条件の改良を進め、今後の実用化に向けての強度向上等の可能性や、サッシ形材としての耐久性、より少ない CNF 量での効果等を検証する。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。

また、製品化に向けたロードマップの検討を行う。

(2) CNF 遮熱合わせガラスの開発・試作に向けた検討

平成 30 年度試作の“CNF 遮熱中間膜を用いた合わせガラス”をモデル住宅へ設置し、遮熱効果の実証評価を行う。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。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。

また、製品化に向けたロードマップの検討を行う。

(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。社会実装に向けて規格取得の準備、製造コスト低減の検討を行う。

また、製品化に向けたロードマップの検討を行う。

(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、2019 年 4 月から 2020 年 2 月まで、年間を通しての連続計測を行う。

2019 年 4 月から 5 月は、1 住戸に CNF 遮断熱コーティング材を設置して、比較実測を行う。6 月には CNF 遮熱合わせガラスを組み込んだ CNF 樹脂サッシを追加導入し、夏期、中間期、冬期の比較実測を行う

シミュレーションでは、開発した CNF 活用建材の物性値を設定し、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並びに、断熱性能の異なる住戸 3 タイプをモデルとして、時刻別の年間を通したエネルギー消費量の計算を行い、季節別や年間合計の 1 戸当たり省 CO₂ 効果を把握する。省 CO₂ 効果は、開発した CNF 活用建材を全て導入した場合に加えて、CNF 活用建材個別の省 CO₂ 効果も推計する。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、熱拡散率や熱伝導率、比熱容量などの熱特性を調査し、製品化を支援する。

(5)-2 CNF コンポジット試作体について、光透過率や光反射および光吸収率、偏光特性などの光学特性を調査し、製品化を支援する。

(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調査し、製品化を支援する。

(6) 製品化に向けたロードマップの作製

開発した CNF 建材の製品化に向けたロードマップの作製を行う。

(7) 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

(8) 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。

(9) 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 31 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」、CNF 関連事業及び広報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、1 イベント程度 (12 月頃予定)
- ・(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)

(10) 環境省との協議・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。

(11) 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	今年度（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。	CNFを活用した建材に関して、遮断熱コーティング材は試作品が完成しており、樹脂サッシ、合わせガラスは試作品完成の目途が立っている。	① 完成した建材を市営住宅に適正に設置するための設計監理を行う。 ② CNF活用建材の特性や、市営住宅での実測やシミュレーション結果を評価し、各建材の製品化に向けたロードマップを作成する。
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必要性能（強度、断熱性）として、曲げ弾性率は 30%の向上（樹脂単体比）を、熱貫流率は既存の樹脂サッシと同等であることを確認している。 実証住宅へ実装する CNF 樹脂サッシの作製目途が立っている。 CNF 樹脂サッシの材料となる CNF 塩ビコンポジット材料において、CNF のナノ分散化の均質性確保が課題。	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 樹脂サッシ部材に適するCNFを混練した塩ビコンポジット材料を改良試作し、このCNFコンポジット材料での成形試作を行ない、建材単体としての目標性能達成状況を検証する。
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、コストがかかり、採用されないことがある。	PEDOT/CNF 分散ポリマー溶液をコーティング装置を用いてロール状のPETフィルムに塗工して、CNF 遮熱フィルムを試作し、中間膜EVAにて挟んでCNF 遮熱合わせガラスを試作した。 12 月末に LIXIL の実証用サッシ確認試験の試験体を製作した。平成30年度末までには実測用市営住宅の窓用に CNF 遮熱合わせガラスの製作、および光学特性の測定と JIS 性能試験を行う。	平成30年度試作の“CNF遮熱中間膜を用いた合わせガラス”をモデル住宅へ設置し、遮熱効果の実証評価を行う。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。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。

	項目	採択時の技術の状況	平成 30 年度初めの状況	今年度（最終）の目標
3	<p>CNF断熱コーティング材の開発・試作に向けた検討</p> <p>CNFにより表面平滑性を上げることで、耐汚染性を上げ、また塗膜強度を上げることで、遮熱効果の継続年数を延ばし、現在10年の耐用年数を約1.3倍に延ばすことを目標とする。CNFの混合率を上げて、CNFの分散性をさらに向上させて、強度を約1.2倍以上の向上を図る。</p>	<p>現状 CNF と断熱コーティング材の混練を行っており、0.1%添加で分散性の悪さが出ている。</p> <p>CNF表面の状態が滑らかになる傾向が出ている。</p>	<p>耐候性試験(40日)後の引張強さは、CNF無配合品に対して CNF0.25%配合品の強度は、約1.8倍。CNF配合品において、日射反射率(遮熱性)、熱拡散率(断熱性)の性能は維持されている。</p>	<p>CNF無配合品と比較して配合品の耐候性性能、約1.3倍。</p> <p>社会実装に向けて規格取得の準備と製造コスト低減の検討。</p>
4	<p>開発したCNF活用建材を市営住宅に導入し、省CO2効果、室内温熱環境の評価に向けた検討</p> <p>開発したCNF活用建材を市営住宅に導入した場合の、CO2削減効果、室内環境改善効果を、実環境に即したシミュレーションおよび実住宅での実測により検証する。</p>	<p>一定条件下での、建材単体の断熱性能、遮熱性能等を検証することは、実験値にて示すことが可能である。しかし、実際の住宅における省CO2効果は、日々異なる外界条件の影響、省エネ施策の相乗効果による影響、実建物の設置状況による影響などで、簡易に検証することは困難である。</p> <p>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住戸に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。また、平成30年度末に1住戸にCNF断熱コーティング材を設置し、比較検討の実測を開始する。</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、および想定したCNF活用建材の部材性能を入力したモデルでCNF活用建材設置後の冷暖房熱負荷、冷暖房エネルギー消費量の年間計算を実施し、省CO2効果、室内環境向上効果を算出した。</p>	<p>試験住宅の1住戸に開発したCNF活用建材(CNF遮断熱コーティング材、CNF遮熱合わせガラス、CNF樹脂サッシ)を導入して、エアコンの電力使用量、室内温度環境等の実測を行う。</p> <p>CNF活用建材を導入しない住戸の実測結果と比較し、省CO2効果、室内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は、実測住宅等をモデルとした計算モデルに開発したCNF活用建材の部材性能を入力したモデルで、CNF活用建材設置後の冷暖房熱負荷、冷暖房エネルギー消費量の年間計算を実施し、省CO2効果、室内環境向上効果を算出する。</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。

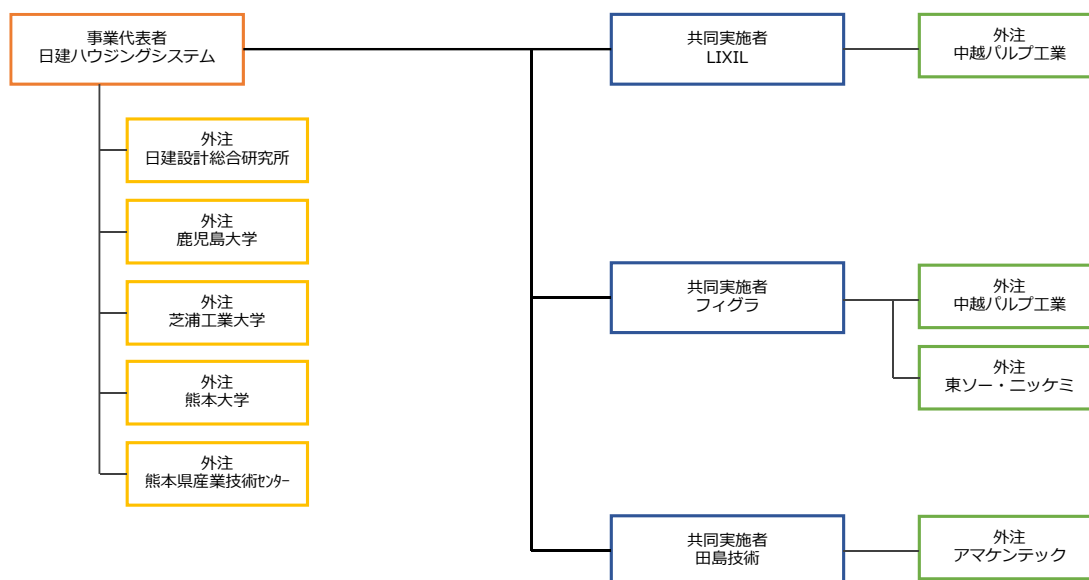


図 I -5 業務体制

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	2019年4月19日(金) 13:30~15:30	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)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)	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2回	2019年5月24日(金) 14:00~17:00	薩摩川内市 商工会議所	(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、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. 社会実装に向けたロードマップ 4. 継続課題の内示通知の確認 5. その他
第3回	2019年6月19日(水) 14:00~17:00	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、(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 活用製品の社会実装に向け た検討 4. その他
第4回	2019年7月19日(金) 14:30~17:00	薩摩川内市 商工会議所	(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、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)	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 活用製品の社会実装に向け た検討 4. その他
第5回	2019年8月20日(火) 14:30~18:00	芝浦工業大学	(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)スペック、 (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. その他
第6回	2019年9月18日(水) 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、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. その他

開催	日時	会場	参加事業者等	議題
第7回	2019年10月23日(水) 14:30～17:30	天草市	(株)日建ハウジングシステム、フィグラ(株)、(株)田島技術、(有)スペック、(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、(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. その他
第8回	2019年11月15日(金) 14:00～17:00	薩摩川内市 商工会議所	(株)日建ハウジングシステム、(株)LIXIL、フィグラ(株)、(株)田島技術、(有)スペック、(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. その他
第9回	2019年12月16日(月) 14:00～17:30	熊本県産業技術センター	(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	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10回	2020年1月20日(月) 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、(有)スペック、(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. 終了課題ヒアリングについて 4. 報告書作成について 5. その他
第11回	2020年2月14日(金) 13:00～18:00	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、(有)スペック、(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. 報告書内容の確認 4. その他
第12回	2020年3月12日(木) 13:00～18:00	薩摩川内市 商工会議所	(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、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. 進捗確認 2. 報告書内容の確認 3. 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) 実証製品となるCNF樹脂サッシを作製、および、CNF遮熱合わせガラスと合わせての実証住宅への納入・実装
- (2) 樹脂サッシ部材に適するCNFを混練した塩ビコンポジットの試作、このCNF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（断熱性、曲げ弾性率）の検証

1-2. 検討結果

- (1) 実証製品となるCNF樹脂サッシを作製、および、CNF遮熱合わせガラスと合わせての実証住宅への納入・実装

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（CNF 活用対象は障子用框部材、合わせガラス）として、実証住宅の既設サッシ実寸に基づき、下記の図 II-1-2-1 にあるサイズと数の CNF 樹脂サッシを用意した。

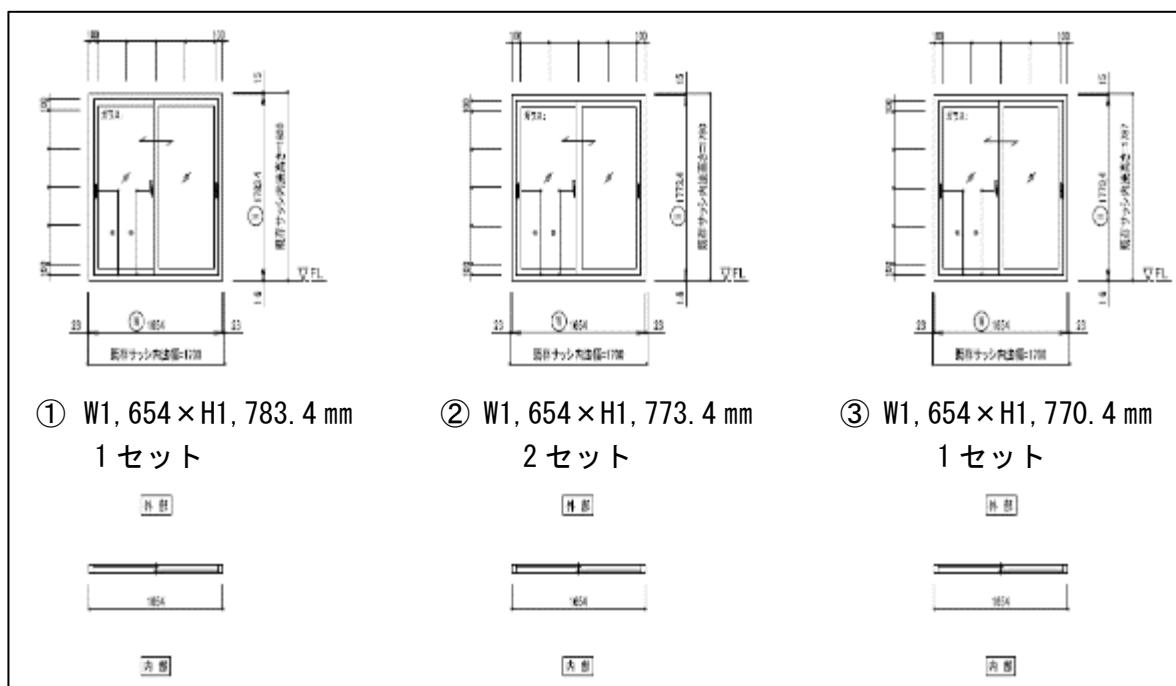


図 II-1-2-1 実証用 CNF 樹脂サッシのサイズと数

● CNF 樹脂サッシ部材の押出成形

押出金型ならびに冷却成形金型を、LIXIL 社既存の樹脂押出機にセッティングして、CNF を含む塩ビコンポジット(後述 No. S-9 ; CNF 含有 18wt%)を用いて、CNF 樹脂サッシ部材を押出成形した。この部材は昨年度の試料 E-12 と同材料内容・同製造条件の試料である。

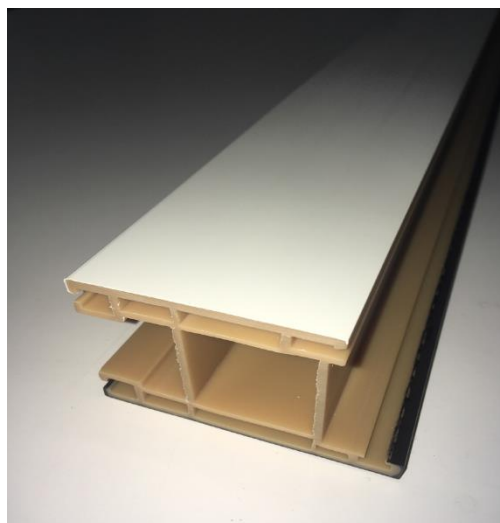


図 II-1-2-2 成形した樹脂サッシ部材

● CNF 樹脂サッシの作製

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、LIXIL 社工場既存設備で行い、CNF 樹脂サッシ部材を障子形状に組み上げた。



図 II-1-2-3 加工中の CNF 樹脂サッシ部材

この組み上げた CNF 樹脂サッシ部材に、フィグラ社で試作した CNF 遮熱合わせガラスを嵌めこみシールすることで、CNF 樹脂サッシ障子の作製を完了した。



図 II-1-2-4 CNF 遮熱合わせガラス嵌めこみ完了後の CNF 樹脂サッシ障子

別途、既製の樹脂サッシ枠を準備した。CNF 樹脂サッシの主要材料は表 II-1-2-1 のとおりである。

表 II-1-2-1 CNF樹脂サッシの主要材料

枠	基材	PVC樹脂を主とする材料（JISA5558準拠）：アイボリー色
	表層（室外）	アクリル樹脂を主とする材料：ブラック色
	芯材	アルミ、スチール
障子	基材	CNF塩ビコンポジットNo.S-9（昨年度参照）
	表層（室内）	PVC樹脂を主とする材料（JISA5558準拠）：アイボリー色
	表層（室外）	アクリル樹脂を主とする材料：ブラック色
	芯材	アルミ、スチール
合わせガラス	表層（室内外）	フロートガラス3mm
	中間層	フィグラ社製CNF遮熱合わせガラス用フィルム試作品（EVA+PEDOT/s-CNF複合PETフィルム+EVA）
シール	ガラス押さえ	オートイクシード（オート化学工業社製）：白色

● CNF 樹脂サッシの施工

実証住宅（鹿児島県薩摩川内市城上町 4311 番地 薩摩川内市宮城上住宅 1 号棟 121 室）への CNF 樹脂サッシ取付けをカバー工法（図 II-1-2-5, 6）で実施した。

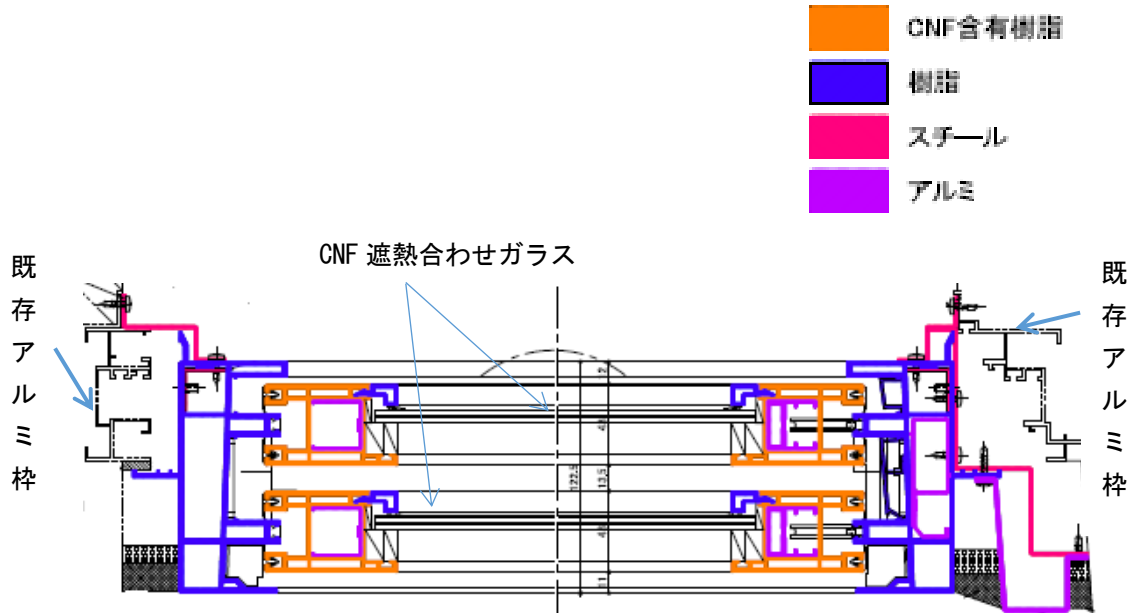


図 II-1-2-5 CNF 樹脂サッシ取付け図（縦断面）

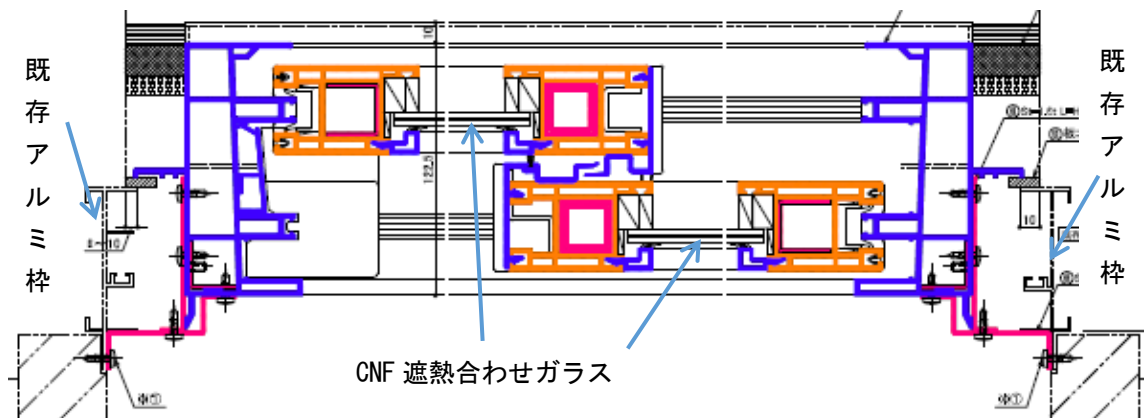
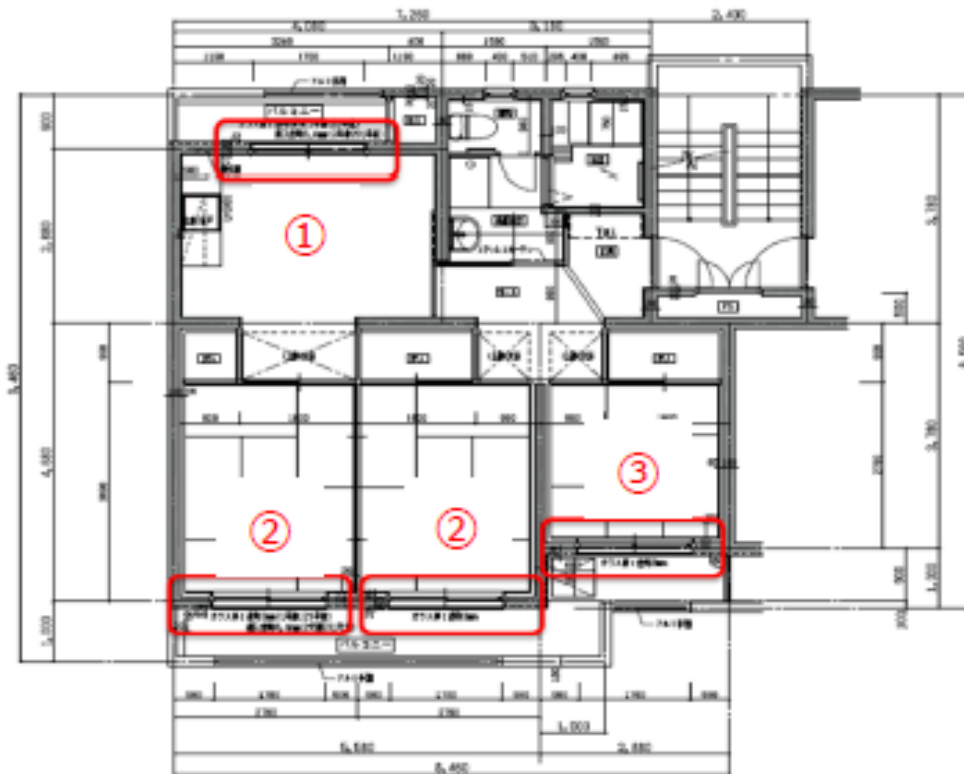


図 II-1-2-6 CNF 樹脂サッシ取付け図（横断面）



図Ⅱ-1-2-7 実証住宅間取りと CNF 樹脂サッシ施工箇所（4 窓）



図Ⅱ-1-2-8 CNF 樹脂サッシの搬入状況（2019 年 5 月 21 日）



図Ⅱ-1-2-9 既設アルミサッシ枠上への樹脂サッシ枠の取付け（2019年5月21日）



図Ⅱ-1-2-10 樹脂サッシ枠へのCNF樹脂サッシ障子の建込み（2019年5月21日）



シーリング前



シーリング後

図Ⅱ-1-2-11 樹脂サッシ枠のシーリング・養生（2019年5月22日）



図Ⅱ-1-2-12 CNF樹脂サッシ施工状態（2階住戸部；南面3窓）

(2) 樹脂サッシ部材に適するCNFを混練した塩ビコンポジットの試作、このCNF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（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 社と中越パルプ工業社で協議し、中越パルプ工業社から CNF を含む塩ビコンポジット (S-10~12) の供給を受けた (表 II-1-2-2)。なお S-1, 9 は一昨年度、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-9 は CNF を含む塩ビコンポジットで、比較として示す。

S-10 の相溶化剤の種類の変更は、塩ビ樹脂との相溶性を上げて分散性を向上させるためである。S-11, 12, 13 の CNF の含有割合の変更と相溶化剤の量の変更は、物性のバランスをとるため調整したものである。相溶化剤は CNF の表面に被覆させているため CNF 量と比例する。相溶化剤の量を下表より少なくすることは設備の都合により困難であった。

表 II-1-2-2 CNF 含有塩ビコンポジットの諸元とスクリーニング結果

試料名		S-1	S-9	S-10	S-11	S-12	S-13	指標
CNF 塩 ビ コ ン ポ ジ ツ ト	含有 CNF (wt%)	無し	18			10	1	-
	相 溶 化 剤	種類 無し	当初品	変更	S-10 と同じ			-
			当初量	S-9 と 同じ	S-9 の 0.12 倍	S-9 の 0.07 倍	S-9 の 0.01 倍	-
形状	ペレット状						-	
成 形 サ ン プ ル	成形方法	混練熱プレス						-
	成形温度 (°C)	180						-
	曲げ弾性 率 (MPa)	2,300	3,200	3,400	3,700	3,000	2,500	事業目標 3,000
	シャルピー 衝撃値 (KJ/m ²)	50	2	3	4	6	20	参考値 JISA5558:2010 13

事業目標であり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」や、サッシ作成時の加工等に影響のある「衝撃強度(シャルピー衝撃値)」を基にスクリーニングすることとして、具体的には、樹脂サッシの評価に使われる JIS A5558 : 2010 規格を基に評価した。

新たな相溶化剤を用いることで、昨年度の S-9 より曲げ弾性率あるいはシャルピー衝撃値の向上が見られたため、事業目標の曲げ弾性率を優先し(シャルピー衝撃値については今後の課題)、その下限値を示した S-12 (CNF 含有率 10wt%) を基にあらためてコンポジットを調製して成形試作へ進め、建材単体としての目標性能達成状況(断熱性、曲げ弾性率)の検証を行った。

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の算出方法

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-1-2-3)のと通りの測定を行い、部材としてはこちらで評価する。

表 II-1-2-3 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

● 目標性能達成状況（断熱性、曲げ弾性率）

上記①の結果に基づき調製した CNF を含む塩ビコンポジットを下表にある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-1-2-4）。S-14 は曲げ弾性率の下限值を示していた S-12 に対して確実に目標値を達成すべく CNF 量を増量したものになる。S-15 は S-14 の評価結果（E-13）を受けてシャルピー衝撃値の向上を企図して CNF 量を減量したものである。

今年度の成形品サンプルの試料名は E-13, 14 であり、E-1、E-12 は一昨年度、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あり、比較として示す。E-1、E-12～E-14 の押出成形条件は同等である。

表Ⅱ-1-2-4 CNF 含有塩ビコンポジット成形品の評価結果

成形試料名		E-1	E-12	E-13	E-14	指標	
		試料名	S-1	S-9	S-14	S-15	-
CNF 塩 ビ コ ン ポ ジ ット	含有 CNF (wt%)	無し	18	12	7	-	
	相 溶 化 剤	種類	無し	当初品	変更	S-14 と 同じ	-
				当初量	S-9 の 0.08 倍	S-9 の 0.05 倍	-
	形状		ペレット状				-
成 形 サ ン プ ル	成形方法	押出				-	
	成形温度 (°C)	180				-	
	曲げ弾性率 (MPa)	2,300	3,200	3,900	3,200	事業目標 3,000	
	シャルピー 衝撃値 (kJ/m ²)	50	2	6	10	参考 13 JISA5558:2010	
	熱伝導率 (W/(m・K))	0.22	0.22	0.24	0.21		

曲げ弾性率において、E-1 に対して E-13, 14 は 30%以上の曲げ弾性率の向上となり、特に E-14 は昨年度までの CNF 塩ビコンポジット中の CNF 量 18wt%より少量の 7wt%であっても、事業目標を達成した。

これは CNF を樹脂中に相溶化させる添加剤の種類と量を変更した改良効果であり、衝撃強度低下の抑制への有効性も確認できた。昨年度まで散見された CNF の解繊度合いのバラツキやナノ分散化が不十分な部分を低減できたためと考える。

S-12の結果よりも E-13, 14 の強度物性が良いことも押出成形によりこの影響がより顕著に出たものと考ええる。

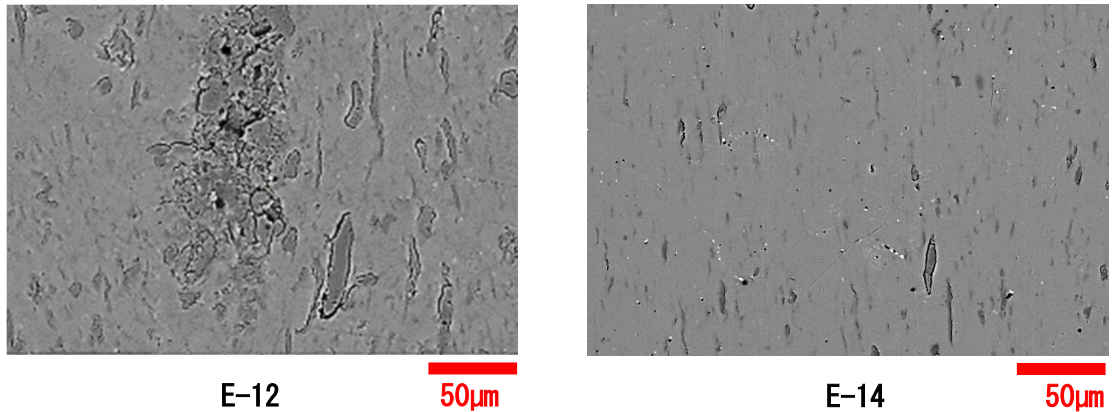


図 II-1-2-13 成形部材の断面 SEM 画像

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 CNF を含む塩ビコンポジットの成形品 (E-13, 14) は同等の値となった。

この熱伝導率 (E-1, 14) の値を用い、熱貫流率を先述 (1-2. (2)②) の手法を基に下記の条件 (表 II-1-2-5) で計算して求めた結果、下記表 II-1-2-6 に示すとおりとなり、E-14 に基づく CNF 樹脂サッシの熱貫流率は既存の樹脂サッシと同等であること (熱貫流率 $4.4\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$; 計算値) を確認した。

表 II-1-2-5 熱貫流率の計算前提条件

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	合わせガラス FL3mm-60mil-FL3 mm
計算条件	室外 0℃、室内 20℃

※サイズ：実証住宅に施工した②サイズ

表Ⅱ-1-2-6 熱貫流率の計算結果

試料名	E-1	E-14
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（計算条件；表Ⅱ-1-2-7、昨年度の計算値；表Ⅱ-1-2-8）と比較すると、本事業で検討のCNF樹脂サッシは、冷暖房の貫流による熱負荷が30%削減となり、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-1-2-7 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-1-2-8 熱貫流率の計算値

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

以上より、今後への一定の見通しを得られたと考える。

1-3. まとめ

(1) 実証製品となるCNF樹脂サッシを作製、および、CNF遮熱合わせガラスと合わせての実証住宅への納入・実装

CNF塩ビコンポジット材料を成形した樹脂サッシ部材から実証製品となるCNF樹脂サッシを作成し、実証住宅（薩摩川内市城上住宅1号棟121室）へ設置（南面3窓、北面1窓；2019年5月22日完了）。

(2) 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)

昨年度より少ない CNF 量でも強度目標を達成したが、CNF を樹脂中に相溶化させる添加剤の種類と量を変更した改良効果と考えられ、衝撃強度低下の抑制への有効性も確認できた。昨年度まで散見された CNF の解繊度合いのバラツキやナノ分散化の不十分な部分を低減できたためと考える。

- 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、同様に計算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。

以上より、今後への一定の見通しを得られたと考える。

(3) 今後の実装化への課題

- CNF 材料に関する検討
 - ・ CNF やコンポジットのコストが高価
 - ・ CNF コンポジットの更なる高強度化
 - ・ CNF コンポジットにおける CNF の更なる良分散化
 - ・ CNF コンポジットの改良（商品ごとの各種要求品質への対応）

- 製品化に関する検討
 - ・ 各種要求品質に対する商品としての検証
（改良した CNF コンポジットに基づく耐久性確認や実大試験評価など）
 - ・ CNF コンポジットに合わせた設備（成形金型、加工機など）への投資
 - ・ 製造原価をふまえた競争力向上のための検討
（CNF 使用による製造費用の上昇分は、販売価格への転嫁あるいは利益幅の削減で吸収する必要があるため、価格設定と価格以外の商品としての競争力向上の方法検討が必要）

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

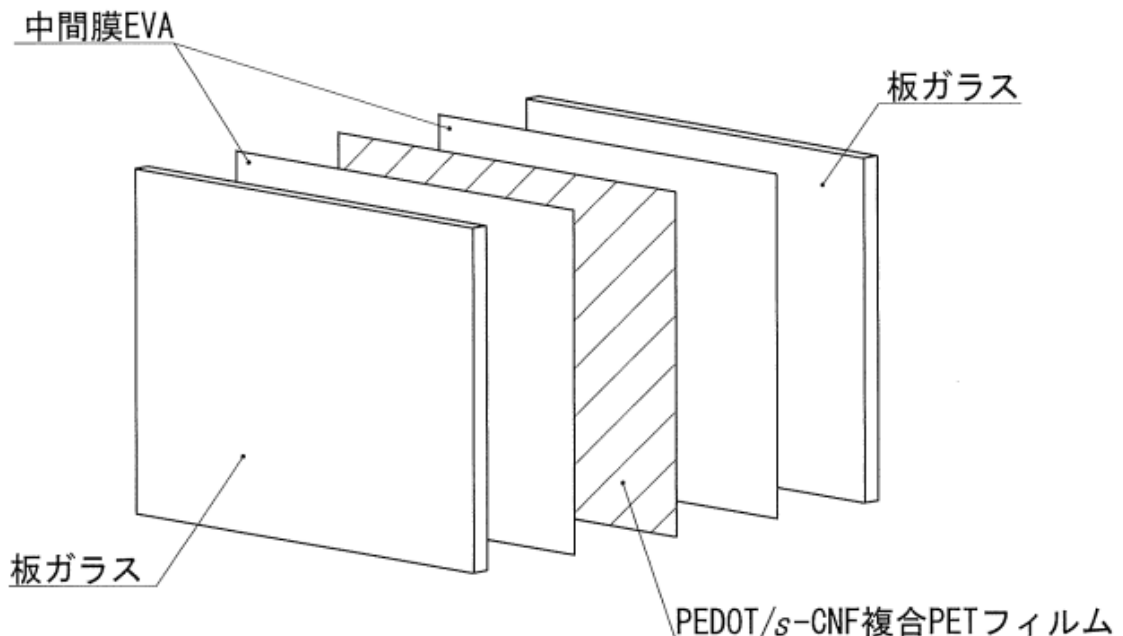
- (1) 実証住宅へのCNF遮熱合わせガラス設置
- (2) 昨年度試作に対する問題点の改善
 - ① 白濁感の解消
 - ② 耐光性試験不適合の改善
 - ③ 遮熱性能の向上に関する検討
 - ④ 製品コスト削減に関する検討

2-2. 検討結果

(1) 実証住宅へのCNF遮熱合わせガラス設置

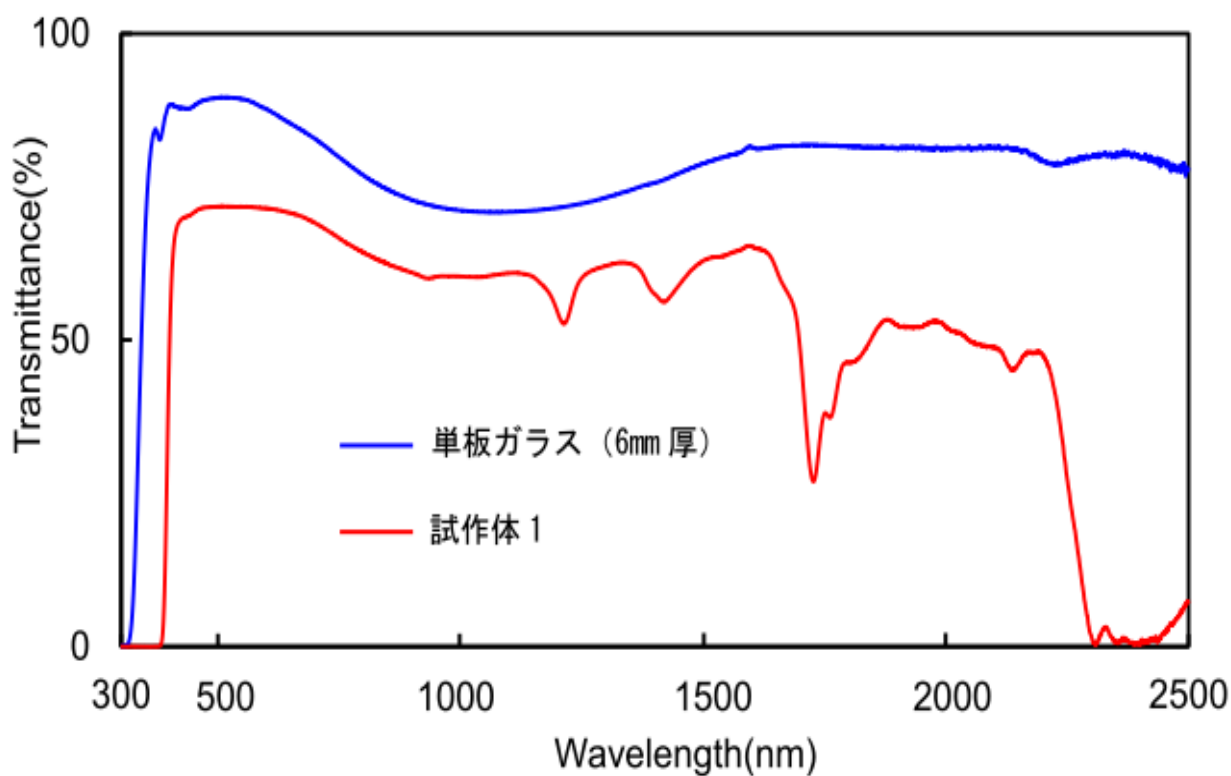
昨年度に試作したCNF遮熱合わせガラス（試作1）を実証住宅に設置した。

- ・ PEDOT/*s*-CNF配合比率：2wt%（乾燥重量比）
注）配合比率は、遮熱性能および透明度のバランスを検証し決定した。
- ・ ガラス構成（構成記号㊦、図Ⅱ-2-2-1）
板ガラス＋中間膜＋PEDOT/*s*-CNF複合PETフィルム＋中間膜＋板ガラス
注）板ガラス厚は3mm
PEDOT/*s*-CNFの塗工膜厚は11 μ m



図Ⅱ-2-2-1 ガラス構成㊦

試作体1および単板ガラス（6mm厚）の透過スペクトルを図Ⅱ-2-2-2に示す。



図Ⅱ-2-2-2 試作体 1 および単板ガラスの透過スペクトル

試作体 1 および単板ガラス（6mm厚）の可視光透過率と日射透過率を表Ⅱ-2-2-1に示す。

表Ⅱ-2-2-1 可視光透過率と日射透過率

	可視光透過率 (%)	日射透過率 (%)
単板ガラス (6mm厚)	89.4	81.5
試作体 1	71.9	63.6

日射透過率については、単板ガラスに対して約 22%の低減であった。

(2) 昨年度試作に対する問題点の改善

以下の記述について、塗工液調製の詳細は、「第5章5-2. 導電性ポリマーによって修飾されたCNF (PEDOT/*s*-CNF) とポリビニールアルコール (PVA) とのコンポジット化および合わせガラス用中間膜としての機能評価」を参照のこと。

① 白濁感の解消

実証住宅に設置した試作体について、設置前と比較して白濁していることが確認された。

これについて検討の結果、*s*-CNF 合成時に CNF が溶媒の N,N-ジメチルホルムアミド (DMF) に、均一に混ざっていなかったことが想定された。

図 II-2-2-3 に *s*-CNF 合成工程を示す。

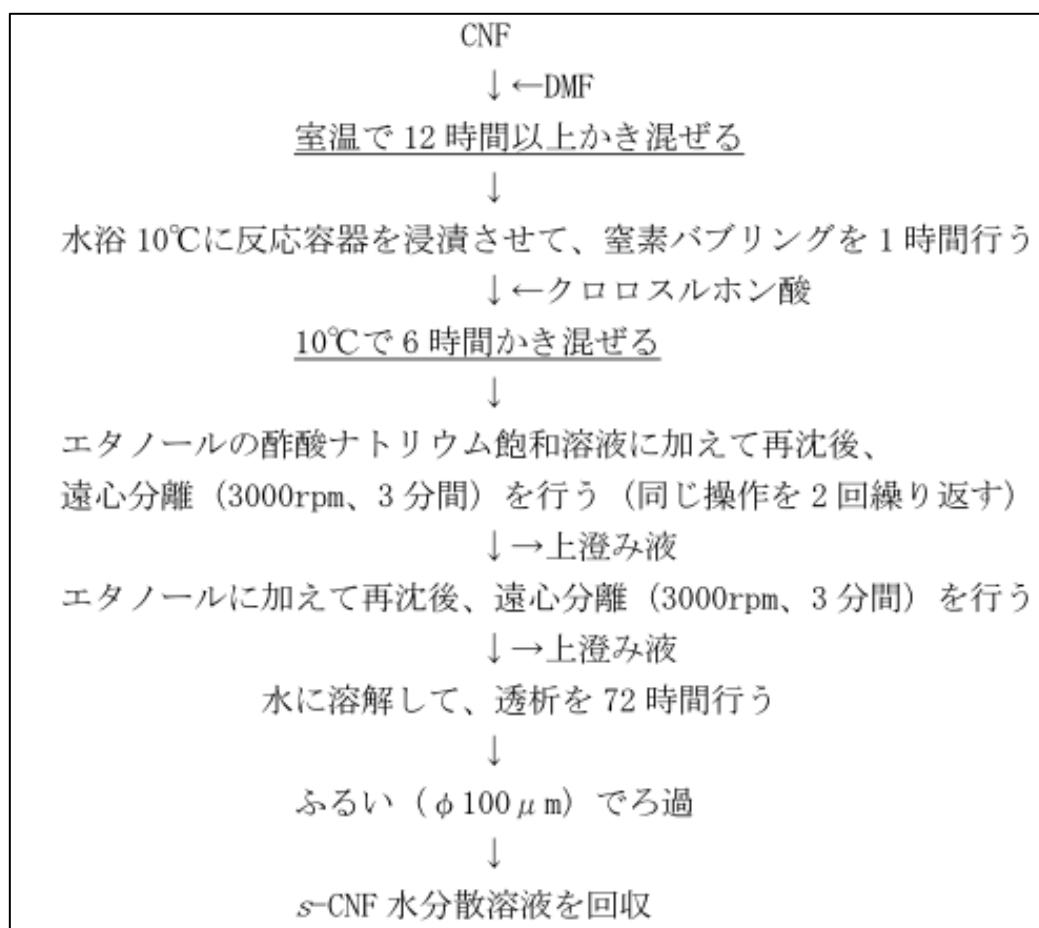


図 II-2-2-3 *s*-CNF 合成工程

図中の下線部の工程について、従来は攪拌子にて行っていたが、これを攪拌翼に変更し試作を行った（試作2）。図Ⅱ-2-2-4に写真を示すが、左側が攪拌子で右側が攪拌翼である。



図Ⅱ-2-2-4 攪拌子（左）と攪拌翼（右）

改善前と改善後での試作体について、比較検証した。写真を図Ⅱ-2-2-5（改善前）、図Ⅱ-2-2-6（改善後）に示す。



図Ⅱ-2-2-5 改善前の試作体の写真

図Ⅱ-2-2-6 改善後の試作体の写真

写真から分かるように、白濁感は綺麗に解消された。

② 耐光性試験不適合の改善

昨年度において、JIS 試験の耐光性試験が完了していなかったが、規定の 2000 時間（実使用では 8 年に相当）が経過したため、結果を図 II-2-2-7 に示す。



【試験前】 【試験後】

図 II-2-2-7 耐光性試験後の試作体（試作 1）の写真

写真から分かるように、紫色に著しく変色してしまっている。

この対策として、まずは紫外線吸収性能のある中間膜エチレン-酢酸ビニル共重合体(EVA)の膜厚を 0.5mm から 0.8mm に変更、および PET フィルムの PEDOT/*s*-CNF 塗工側にもう 1 枚 PET フィルムを追加し、耐光性試験を実施したが、変色を抑えることはできなかった。

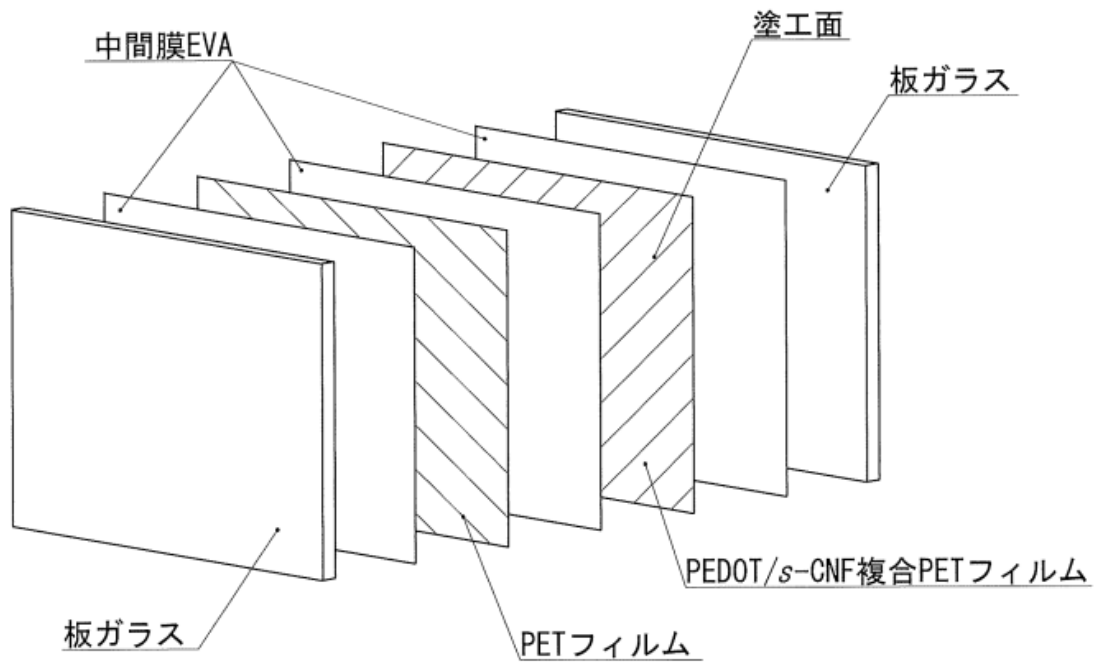
これと並行して、紫外線吸収剤の添加および PET フィルムを耐光性 PET に変更することを検討した。

- ・紫外線吸収剤
添加量：1wt%（乾燥重量比）
- ・耐光性 PET
厚み：50 μ m

この PET フィルムに、紫外線吸収剤を添加した塗工液を塗工し、合わせガラスを試作した（試作 2）。その際に PET フィルムの塗工側にもう 1 枚 PET フィルムを追加し、PEDOT/*s*-CNF を耐光性 PET で挟むようにした。

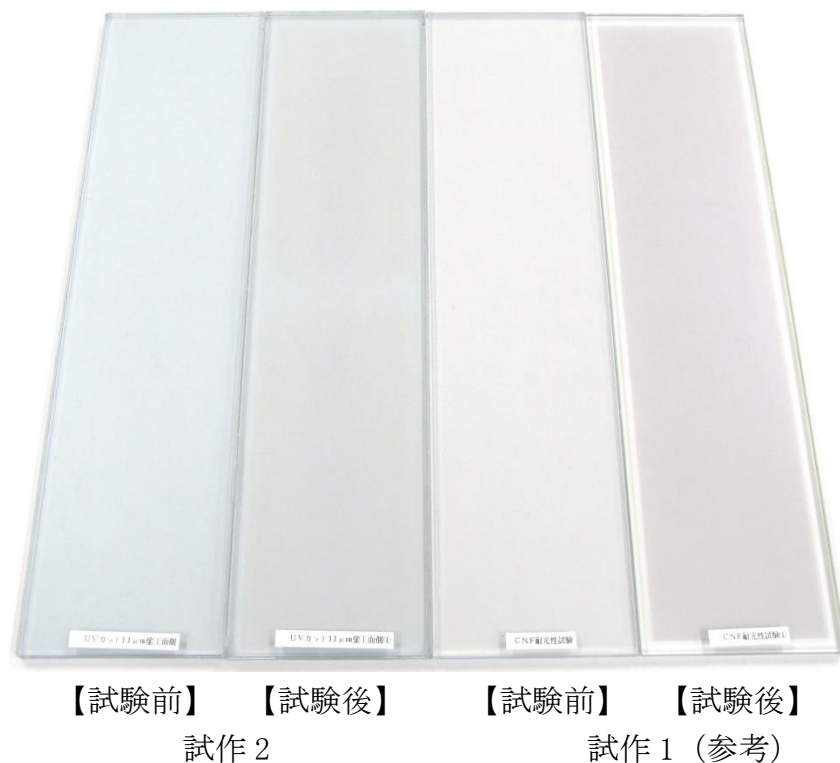
・ガラス構成（構成記号①、図Ⅱ-2-2-8）

板ガラス+EVA+PET+EVA+PEDOT/*s*-CNF 複合 PET フィルム+EVA+板ガラス



図Ⅱ-2-2-8 ガラス構成①

耐光性試験の結果を、図Ⅱ-2-2-9 に示す。



図Ⅱ-2-2-9 耐光性試験結果

写真から分かるように、若干の変色はあるものの著しい変色ではないため、耐光性試験は適合となった。

③ 遮熱性能の向上に関する検討

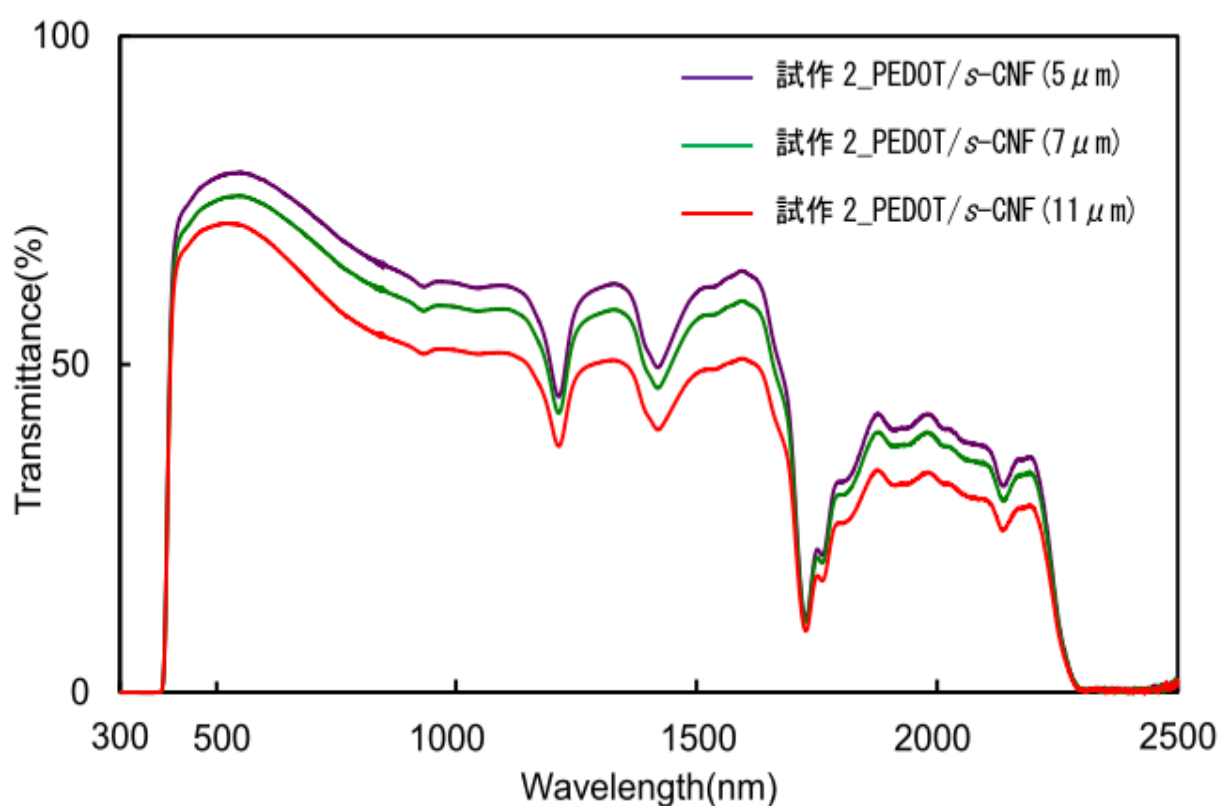
実証住宅に設置した試作体について、日射透過率が単板ガラスに対して目標の30%低減に達していなかったため、検討を行った。

PEDOT/*s*-CNF については、pH を下げることで導電率が上がり近赤外領域に対する光の吸収性能も向上することが分かってきたため、PEDOT/*s*-CNF 合成時に濃塩酸の量を調整し、pH を1.2に変更した（昨年度試作時はpH1.5）。なお、pH を下げ過ぎると塗工機のマイクログラビアヘッドを損傷させる可能性がある。

この条件にて耐光性PETに塗工し、合わせガラスを試作した（試作2）。

塗工膜厚は、5、7、11 μ mの3パターンで行った。

各膜厚での透過スペクトルを図II-2-2-10に示す（ガラス構成①）。



図II-2-2-10 各膜厚での透過スペクトル（試作2）

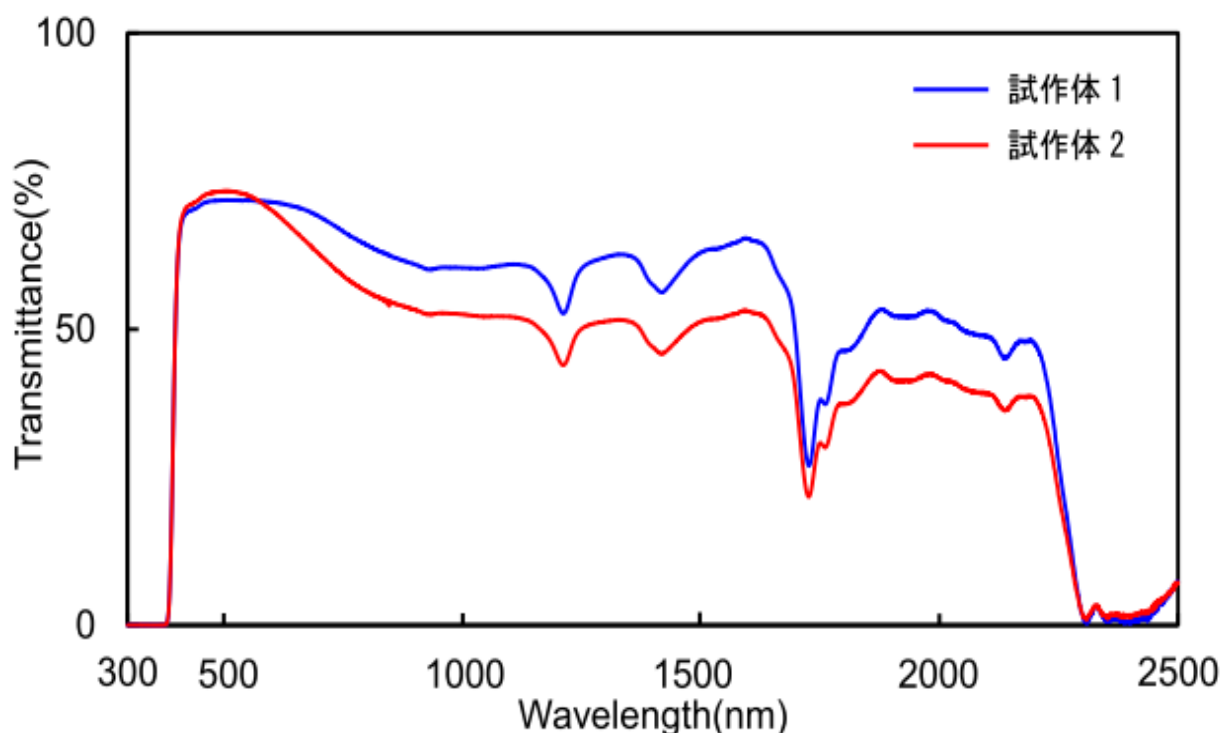
各膜厚での可視光透過率と日射透過率を表Ⅱ-2-2-2に示す(ガラス構成①)。

表Ⅱ-2-2-2 各膜厚での可視光透過率と日射透過率

PEDOT/ <i>s</i> -CNF 膜厚 (μm)	可視光透過率 (%)	日射透過率 (%)
5	78.5	65.5
7	74.9	62.0
11	70.5	56.4

PEDOT/*s*-CNF 膜厚 $11\mu\text{m}$ では日射透過率が、単板ガラスの 81.5%に対して、30.8%低減となっており、目標の 30%低減をクリアしている。

試作 1 との光学性能比較のため、ガラス構成②、PEDOT/*s*-CNF 膜厚 $11\mu\text{m}$ での透過スペクトルを図Ⅱ-2-2-11に示す。



図Ⅱ-2-2-11 各試作での透過スペクトル比較

各試作での可視光透過率と日射透過率を表Ⅱ-2-2-3に示す(ガラス構成②)。

表Ⅱ-2-2-3 各試作での可視光透過率と日射透過率比較

試作体	可視光透過率 (%)	日射透過率 (%)	透過率の差 (%)
試作体 1	71.9	63.6	8.3
試作体 2	73.3	59.0	14.3

可視光透過率と日射透過率の差が大きければ大きいほど、透明度が高く遮熱性能も高いことになるが、試作体 2の方が6%大きくなっている。これは、pHの効果が出ているものと考えられる。

④ 製品コスト削減に関する検討

④-1 ガラス合わせ工程での検討

耐光性向上のために、PET フィルムを 1 枚追加しガラス構成を①に変更したが、これにより EVA も 1 枚追加となってしまう、ガラスの合わせ工程での材料費や作業費が増えることになる。よって、ガラス構成を②に戻して試作し、耐光性試験を行った。

耐光性試験の結果を図Ⅱ-2-2-12 に示す。



【耐光性試験前】 【耐光性試験後】

図Ⅱ-2-2-12 耐光性試験結果

やはり若干の変色はあるものの著しい変色ではないため、耐光性試験は適合となる。

これにより、PET フィルムおよび EVA を各 1 枚削除し、ガラス構成は②とすることが可能となった。

④-2 塗工液調製工程での検討

s-CNF 合成時の CNF 濃度を上げることができれば、溶媒の量を減らし生産コストを下げる事が可能となるため、CNF 濃度を上げて試作・検証を行った。試作 2 の時の CNF 濃度は 1.05wt% であったが、まずはこれを 2.99wt% にすることを試みた。しかし、均一に混ぜ合わせることができず、最終的に 2.50wt% および 1.80wt% にて調製を行った。また、pH を 1.0 に下げた。

この条件にて耐光性 PET に塗工し、合わせガラスを試作した (CNF 濃度 2.50wt% : 試作 3、CNF 濃度 1.80wt% : 試作 4)。

塗工膜厚は、11、13、15 μm の 3 パターンで行った。また、これまでの試作体との光学性能比較のため、ガラス構成は⑦にて試作した。

各膜厚での透過スペクトルを図 II-2-2-13 および図 II-2-2-14 に示す。

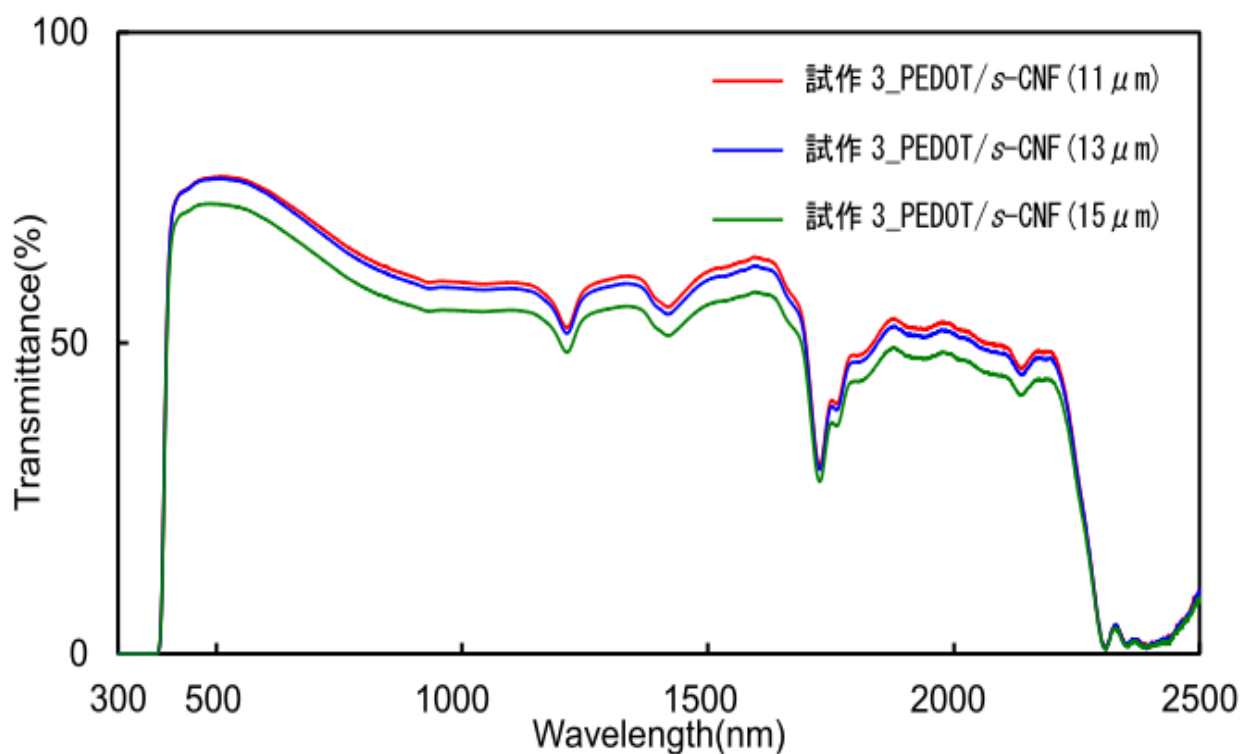


図 II-2-2-13 各膜厚での透過スペクトル (試作 3)

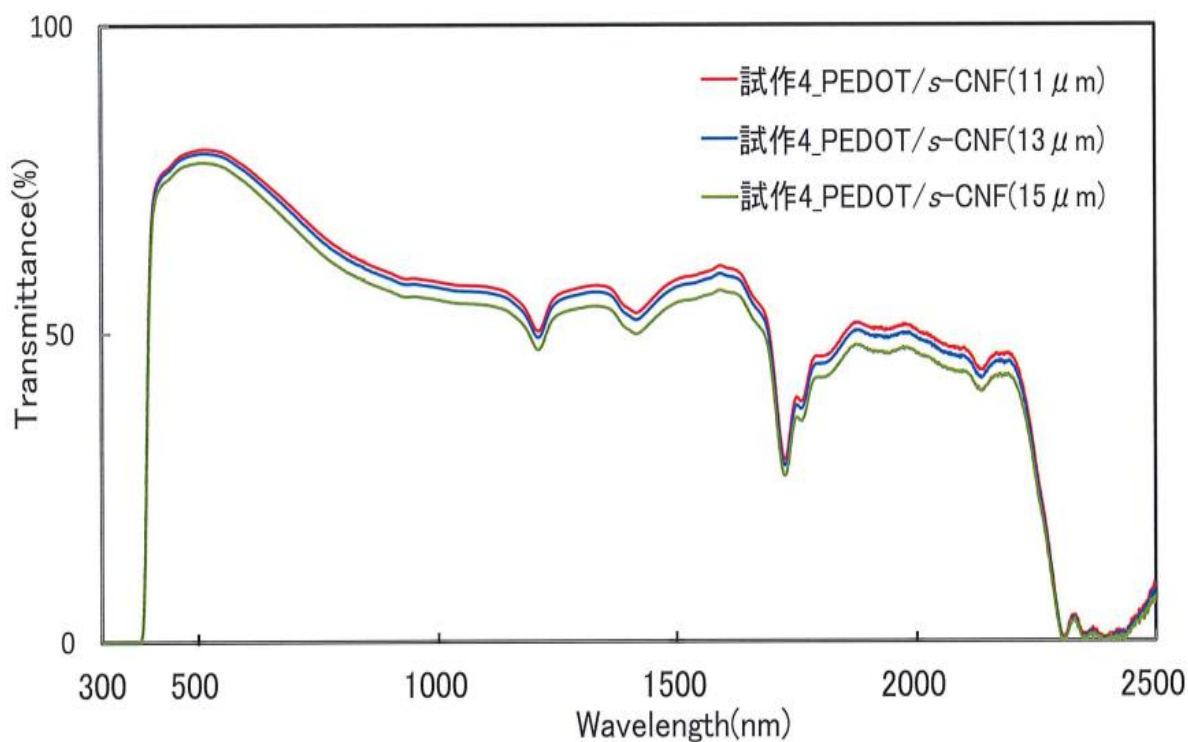


図 II-2-2-14 各膜厚での透過スペクトル (試作 4)

各膜厚での可視光透過率と日射透過率を表 II-2-2-4 および表 II-2-2-5 に示す。

表 II-2-2-4 各膜厚での可視光透過率と日射透過率 (試作 3)

PEDOT/ <i>s</i> -CNF 膜厚 (μm)	可視光透過率 (%)	日射透過率 (%)
11	75.8	64.6
13	75.3	63.8
15	71.2	60.0

表 II-2-2-5 各膜厚での可視光透過率と日射透過率 (試作 4)

PEDOT/ <i>s</i> -CNF 膜厚 (μm)	可視光透過率 (%)	日射透過率 (%)
11	78.7	64.8
13	78.0	64.0
15	76.4	62.1

これまでの試作との光学性能比較のため、ガラス構成⑦、PEDOT/*s*-CNF 膜厚 11 μm での透過スペクトルを図 II-2-2-15 に示す。

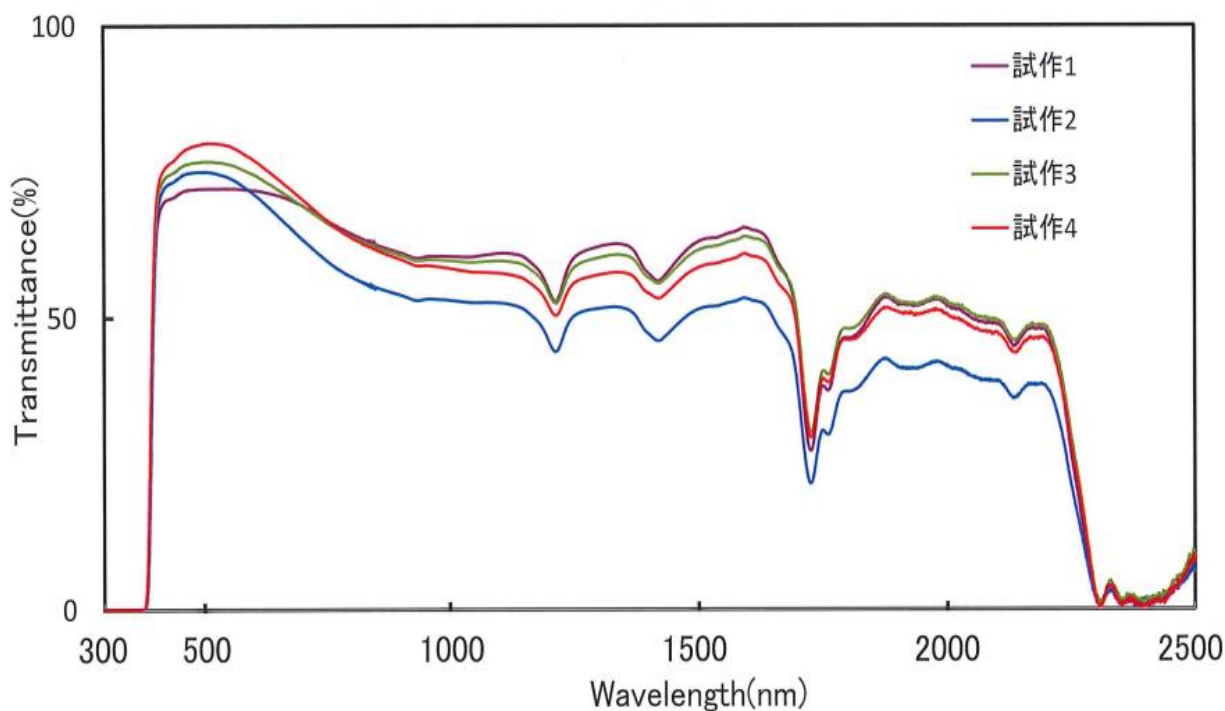


図 II-2-2-15 各試作での透過スペクトル比較

各試作での可視光透過率と日射透過率を表 II-2-2-6 に示す。

表 II-2-2-6 各試作での可視光透過率と日射透過率

試作体	可視光透過率 (%)	日射透過率 (%)	透過率の差 (%)
試作体 1	71.9	63.6	8.3
試作体 2	73.3	59.0	14.3
試作体 3	75.8	64.6	11.2
試作体 4	78.7	64.8	13.9

試作体 3 について、試作体 2 よりも光学性能が劣る結果となってしまった。これは、*s*-CNF 合成時の CNF 濃度を 2.50wt% にしたが、これが高すぎて均一に混ぜ合わせることができていないと考えられる。

試作体 4 については、試作体 2 とほぼ同等の結果を得ることができた。また、透過率が高めになっていることから、PEDOT/*s*-CNF の膜厚を厚くする必要があると思われるが、膜厚 15 μm では透過率の差は試作体 2 と同じ 14.3% であるため、光学性能的には試作体 2 と同等と考えられる。

2-3. まとめ

昨年度試作について、問題点の改善を行った。

(1) 白濁感の解消

s-CNF 合成時、より均一になるように、攪拌方法を攪拌子から攪拌翼に変更した。改善前後の試作体を用いて比較検証したが、白濁感は綺麗に解消された。

(2) 耐光性試験不適合の改善

PEDOT/*s*-CNF 塗工液に紫外線吸収剤を 1wt% 添加し、PET フィルムを耐光性 PET に変更した。また、PET フィルムを 1 枚追加し、PEDOT/*s*-CNF を耐光性 PET で挟むようにした。この結果、耐光性試験は適合となった。なお、項目 (4) にて記述するが、PET フィルムの追加は必要ないことを確認した。

(3) 遮熱性能の向上に関する検討

PEDOT/*s*-CNF 塗工液の pH を 1.2 に下げることで、光学性能が向上し、日射透過率が単板ガラスと比較して 30.8% 低減した。これにより目標の 30% 低減をクリアした。

(4) 製品コスト削減に関する検討

① ガラス合わせ工程での検討

項目 (2) において、当初 PET フィルムを 2 枚にして耐光性の確認を行ったが、PET フィルム 1 枚に戻しても耐光性試験に適合した。これにより、中間膜 (EVA) 1 枚と PET フィルム 1 枚の合計 2 枚のフィルムを削減することができ、合わせ工程での材料費および作業費の削減が可能となった。ガラス構成は以下ようになる。

板ガラス + EVA + PEDOT/*s*-CNF 複合 PET フィルム + EVA + 板ガラス

② 塗工液調製工程での検討

s-CNF 合成時の CNF 濃度を、1.05wt% から 1.80wt% に上げて、溶媒の量を減らし試作・検証した。光学性能的には 1.05wt% とほぼ同等の結果を得ることができたため、溶媒の量を減らし生産コストを下げる事が可能となる。

(5) 今後の課題

今後の製品化に向けては、コストダウンが必須となってくる。このためには、塗工液調製工程や合わせガラス工程において、必要な設備を導入し生産効率を上げていく必要がある。

また、断熱性能を向上させることにより、新築の建物にも導入を図ることが可能となるため、合わせ複層化や、フィグラ社の製品である発熱ガラスとの組み合わせも検討することにより、市場性が広がると考える。

3. CNF 遮断熱コーティング材の開発・試作に向けた検討

3-1. 検討概要

(1) 性能の改善と評価

- ① 試作体の調製
- ② 試作体の比較評価
- ③ 工場試験製造品の評価
- ④ 耐候性の評価

(2) 製造コストの検討

- ① 材料・製造コスト
- ② 塗り替え頻度の延長

3-2. 検討結果

(1) 性能の改善と評価

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製造工程を示した。試作体の調製は、CNF スラリーに所定量の水を加えたものと原料樹脂を 1:4 で配合して、攪拌機で混合後、高速せん断処理を行い、減圧吸引処理を行う。

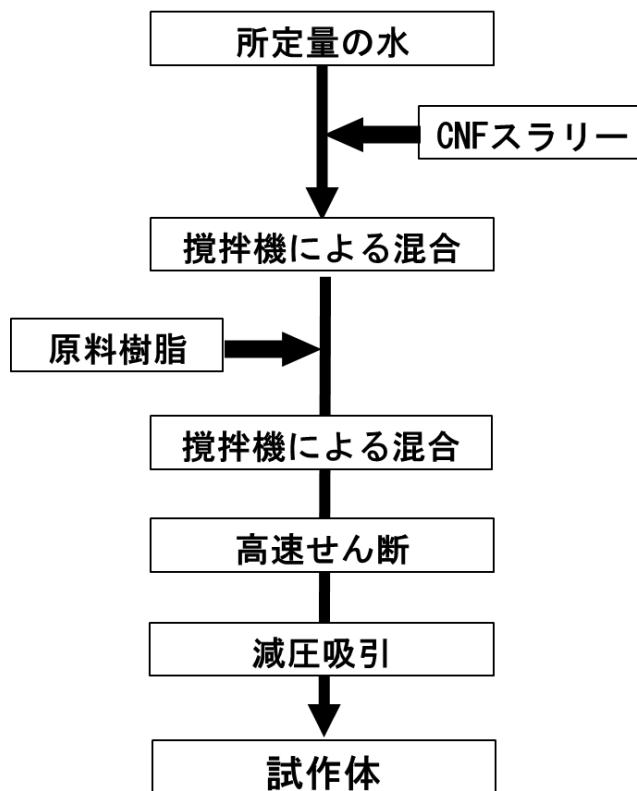


図 II-3-2-1 CNF 遮断熱コーティング材の製造工程

試作体の調製条件を表 II-3-2-1 に示した。試作体の材料の分類は、CNF スラリーの解繊度と水に分散している CNF の配合量、試作体に配合する CNF の量で分けられ、製造環境の違いで実験機器で製造したものと工場装置で製造したものに分類される。解繊度は、コストを考慮して低解繊度を選択し、試作体の CNF 配合量は、昨年度の 0.25wt% から 1.5wt% に増加させた。

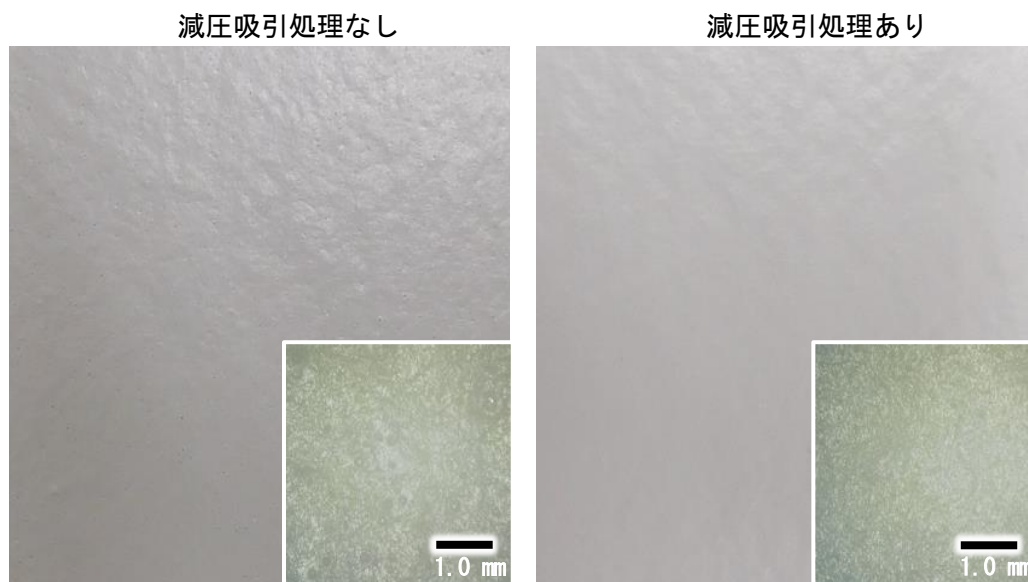
表 II-3-2-1 試作体の調製条件

試作体 No.	CNF 解繊度	CNF スラリー (wt%)	CNF 配合量 (wt%)	製造情報
T1-1	—	—	—	CNF 無添加
T1-2	低解繊	30	0.25	実験機器
T1-3	低解繊	30	1.00	実験機器
T1-4	低解繊	30	1.50	実験機器
T1-5	低解繊	30	1.50	工場装置

② 試作体の比較評価

● 処理の違いによる塗面の評価

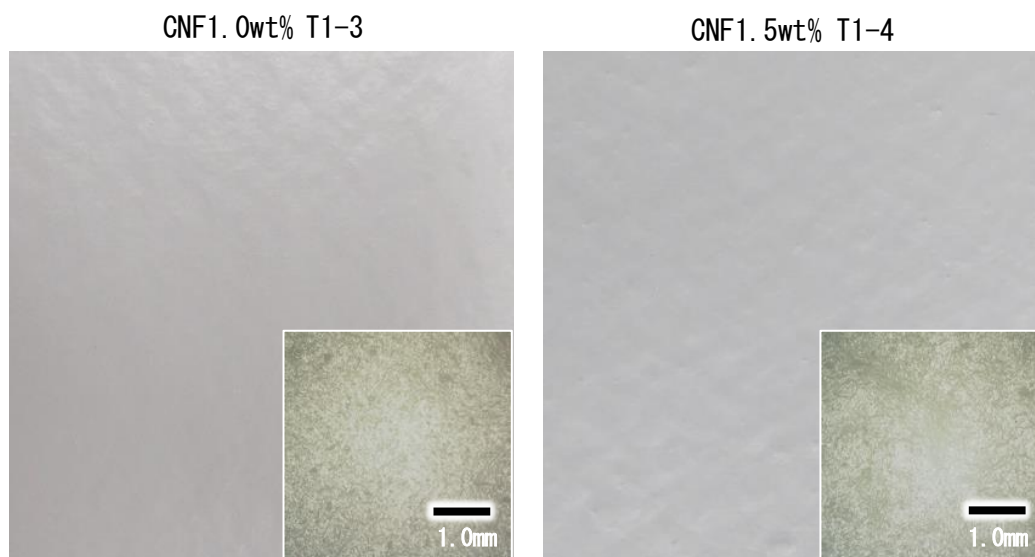
高速せん断処理のみの場合、塗面に気泡の残存が確認された。高速せん断後に減圧吸引処理を行うことで、気泡の消滅を確認したことを受けて、CNFを配合した試作体の調製は、減圧吸引処理を行うこととした。図II-3-2-2にCNF1.0wt%のT1-3の減圧吸引処理の有無比較を示す。



図II-3-2-2 CNF1.0wt%を配合する試作体の減圧吸引処理有無の比較

● CNF配合率の違いによる塗面の比較

CNF1.0wt%のT1-3とCNF1.5wt%のT1-4のマイクロスコープによる塗面観察を図II-3-2-3に示す。0.5wt%の差で塗面状態の違いが確認された。違いを詳しく観察するために電子顕微鏡によるモルフォロジー観察を行った。図II-3-2-4にT1-3、T1-4のモルフォロジーを示す。



図II-3-2-3 CNF1.0wt%とCNF1.5wt%配合品の塗面比較

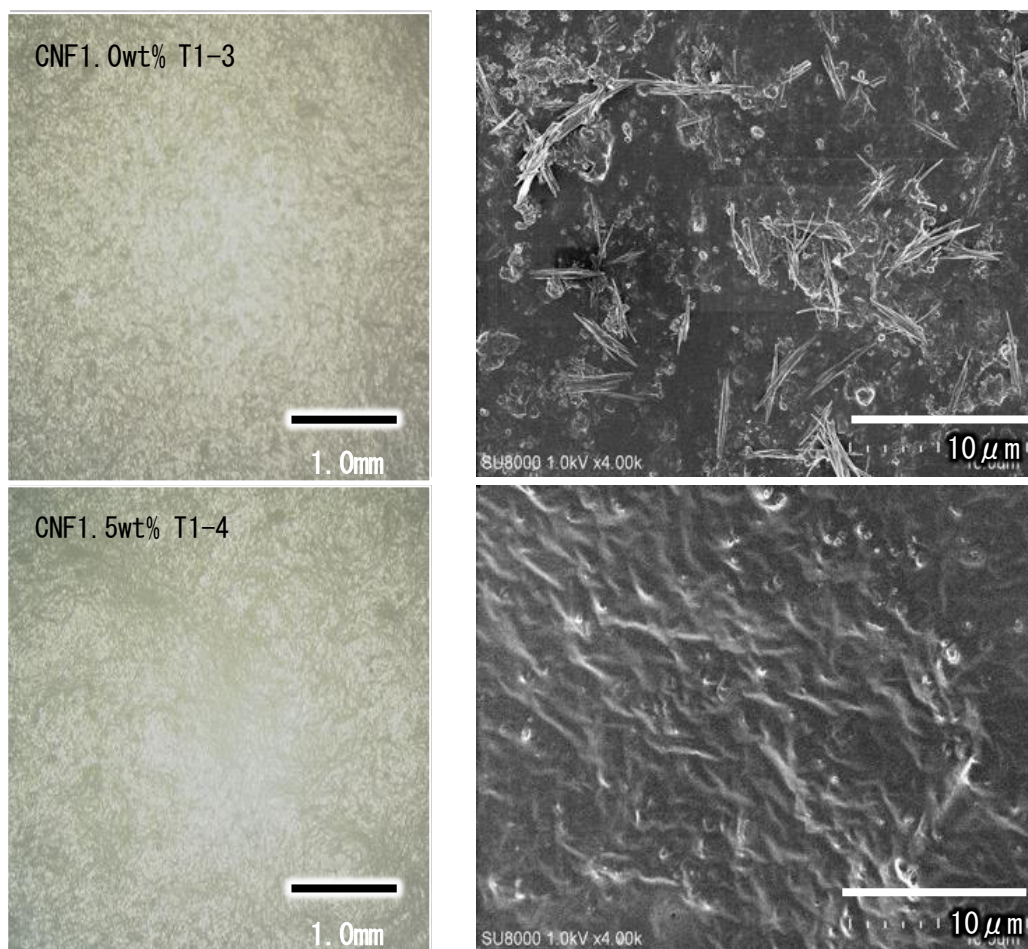


図 II-3-2-4 CNF1.0wt%と 1.5wt%の配合塗品の塗面比較（モルフォロジー）

T1-3 では、パルプ質が表面に出てきている。T1-4 では、パルプ質が表面に出てきていないことから表面状態が良好であることが確認された。

● CNF 配合率と定常流粘度の評価

定常流粘度を確認することで、施工性に関する材料特性が確認できるため CNF 無添加の T1-1 と CNF の配合量の違う試作体の粘度の比較を行った。CNF 配合率と粘度を図 II-3-2-5 に示す。

CNF の配合比が増加すると粘度が向上し、CNF1.0wt%の T1-3 と CNF1.5wt%の T1-4 の間に T1-1 があることから、T1-1、T1-3、T1-4 は、同等の粘度であり、T1-1 の施工性に近いことが示唆された。

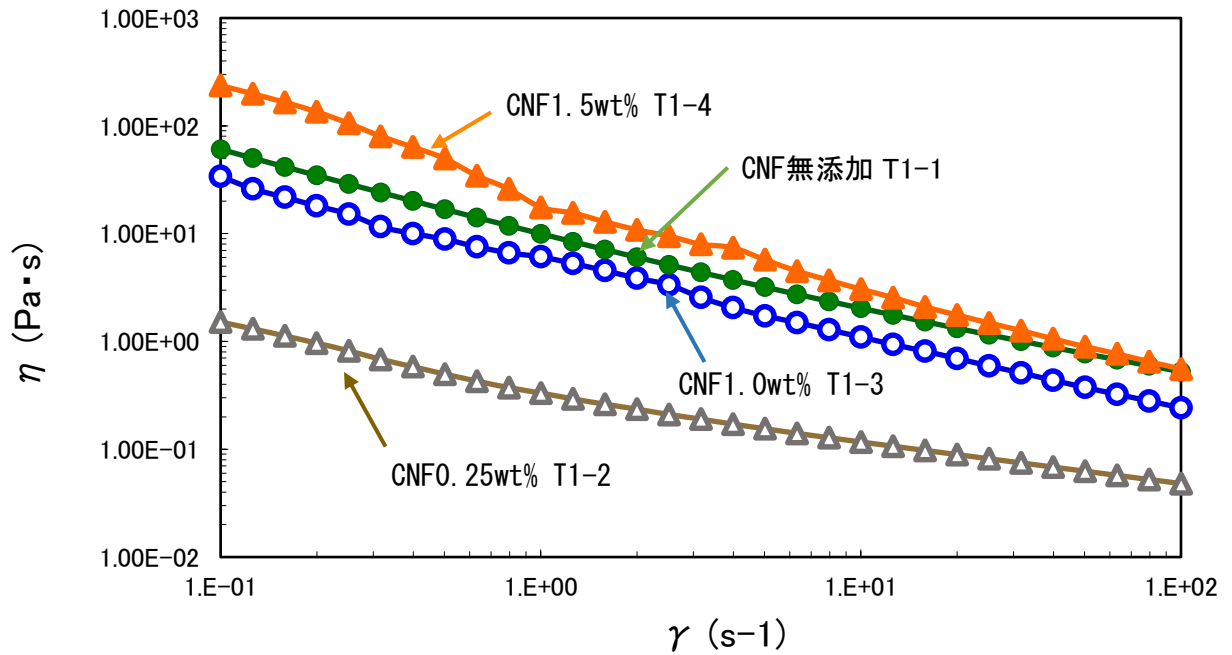


図 II-3-2-5 CNF 配合率と定常流粘度

● 色彩と日射反射率の評価

色彩の変化を JIS Z 8701:1999、日射反射率を JIS K 5602:2008 に沿って計測した。日射反射率の測定は、日本分光製の積分球ユニット ISN-923（熊本県産業技術センター保有）を用いた。色彩と日射反射率測定の結果を表 II-3-2-2 に示す。測定した全ての試作体の色彩は、同等となった。CNF の配合率が高くなるに従い、日射反射率（近赤外波長領域）は、高くなる傾向を示した。

表 II-3-2-2 色彩と日射反射率測定の結果

	項目	試作体 No.			
		T1-1	T1-2	T1-3	T1-4
色彩	L	63.15	57.97	58.25	59.86
	a	0.61	0.22	0.54	0.64
	b	0.39	-2.33	-1.19	-0.34
	X	39.31	33.01	33.44	35.34
	Y	39.88	33.60	33.92	35.83
	Z	46.67	41.94	41.22	42.65
	x	0.31	0.30	0.31	0.31
	y	0.32	0.31	0.31	0.31
日射反射率 (%)	紫外可視波長領域	38.87	32.47	33.29	35.20
	近赤外波長領域	73.97	67.31	68.46	70.88
	全波長領域	54.28	47.83	48.75	50.87

● 熱拡散率の評価

表Ⅱ-3-2-3 に熱拡散率の測定結果を示す。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のサーモウエーブアナライザ TA35（熊本県産業技術センター保有）を用いた。CNF を配合することで、熱拡散率の増大が確認された。熱伝導パスが形成されていると考えられる。

表Ⅱ-3-2-3 熱拡散率測定の結果

試作体 No.	熱拡散率 ($10^{-8}\text{m}^2\text{s}^{-1}$)
T1-1	4.68
T1-2	6.08
T1-3	6.58
T1-4	11.1

● 耐汚染性の評価

耐汚染性の評価として JIS K 5651 : 2002 (7.23) を参考にして行った。試作体は、ガラス板に CNF 無添加の T1-1、CNF1.5wt% の T1-4 を塗布し 4 日間常温で乾燥させた塗膜を用いた。

結果、色・つやの変化が大きくなり、膨れが認められなかった。

醤油やクレヨン、疎水性の物質なので CNF が多くなると水をはじき、水溶性の色素は、親水性の物質なので CNF が多くなると水に親和し付着して残った。表Ⅱ-3-2-4 に耐汚染性評価を示す。

表Ⅱ-3-2-4 耐汚染性の評価

	T1-1	T1-4
醤油	変化なし	変化なし
食用色素	変化なし	軽微な変化
クレヨン	軽微な変化	変化なし

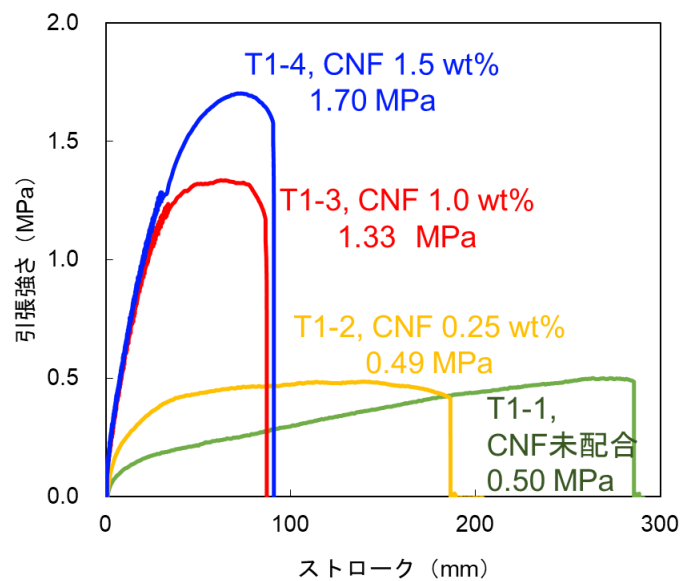
● 引張り強度の評価

表Ⅱ-3-2-5にCNFの配合量と引張り強度との関係を示した。引張り強度の測定には、島津製作所AG-Xplus(熊本県産業技術センター保有)を用いた。CNFの配合比の増大に伴い、引張り強度が大きくなることが確認された。CNF無添加のT1-1の引張り強度と比較して、CNF1.0wt%のT1-3は2.7倍、CNF1.5wt%のT1-4は3.4倍となり、CNFの補強効果が発現していることが確認され、目標値である1.2倍の強度向上を達成した。

表Ⅱ-3-2-5 CNFの配合量と引張り強度との関係

試作体 No.	引張り強度 (MPa)
T1-1	0.50
T1-2	0.49
T1-3	1.33
T1-4	1.70

試作体の伸び量と引張り強度との関係を図Ⅱ-3-2-6に示した。T1-1と比較して、CNFの配合量が1wt%を超えるT1-3,T1-4で伸び量は約1/3となり、寸法安定性が向上していることを確認した。



図Ⅱ-3-2-6 伸び量と引張り強度

● 工場試験製造品の製造条件の検討

CNF1.5wt%のT1-4は、塗面状態が良好であること、粘弾性の傾向がCNF無添加のT1-1の性質に近いこと、日射反射率がCNFの配合量が多いほど高くなる傾向であること、耐候性向上に繋がると考えている引張り強度の値が試作体の中で最高値であること等から、工場装置で試験製造するCNF遮断熱コーティング材のCNFの配合量を1.5wt%とすることにした。

③ 工場試験製造品の評価

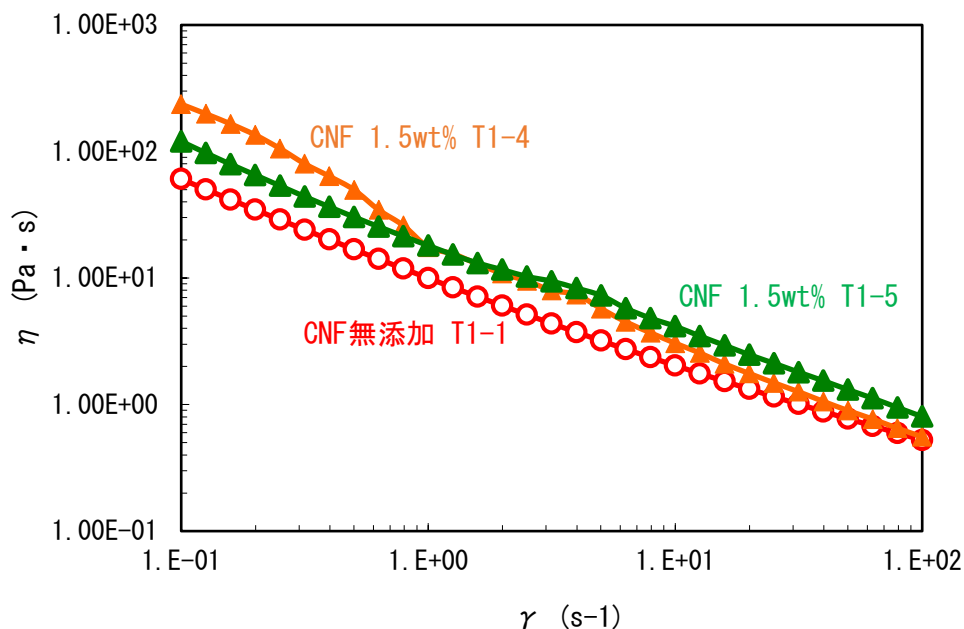
図II-3-2-1 CNF遮断熱コーティング材の製造工程で示した工程を工場の製造装置に適用するために工程を調整・改善し、CNF1.5wt%のT1-5(工場試験製造品)の調製を行い、実験機器で調製したT1-4との比較を行った。

表II-3-2-6に実験機器と工場の製造装置で調製した試作体の比較、図II-3-2-7にCNFの配合率と粘性の関係を示した。

T1-5の引張り強度、日射反射率、粘性は、T1-4と材料特性が同等であることが確認された。

表II-3-2-6 実験機器と製造装置で調製した試作体の比較

試作体 No.	引張り強度 (MPa)	日射反射率 (%)		
		紫外および可視領域	近赤外域	全波長域
T1-4	1.70	35.20	70.88	50.87
T1-5	1.85	36.17	71.56	51.70



図II-3-2-7 CNF配合率と定常流粘度

④ 耐候性の評価

CNF を配合することで耐候性が延長されることの確認として、促進耐候性試験を CNF 無添加の T1-1 と CNF1.5wt%の T1-5（工場試験製造品）で行った。

測定は、JIS K 5600-7-7 促進耐候性および促進耐光性（キセノンランプ法）に則して行い、測定装置は、180w のキセノンランプを搭載したスガ試験機製 キセノンウェザーメーター SX75 を用いた。

● 色差（ ΔE ）の評価

色差（ ΔE ）は、値が大きくなるほど色あせの劣化が進んでいることを示す。試験装置から 500 時間毎に試作体を取り出して色差（ ΔE ）の測定を行った。L*a*b*色調と色差（ ΔE ）の変化のデータを表 II-3-2-7 に、促進耐候性試験による色差（ ΔE ）の変化を図 II-3-2-8 に示した。

T1-5 の劣化スピードは、T1-1 よりも遅く、約 13 年後（社内規格により 150 時間を 1 年）において T1-5 は T1-1 に対して、色差（ ΔE ）の優位性を保っていることが確認された。

表 II-3-2-7 促進耐候性試験による L*a*b*色調と色差（ ΔE ）の変化

経過時間 (h)	試作体 No.							
	T1-1				T1-5			
	L*	a*	b*	ΔE	L*	a*	b*	ΔE
初期値	70.39	0.59	0.99	—	68.70	0.60	0.75	—
500	69.41	0.21	2.61	1.93	68.01	0.20	2.12	1.59
1000	68.94	0.10	2.72	2.33	68.15	0.13	2.31	1.78
1500	68.83	0.17	2.86	2.49	68.12	0.20	2.44	1.89
2000	68.79	0.17	2.88	2.53	67.88	0.19	2.40	1.95

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

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

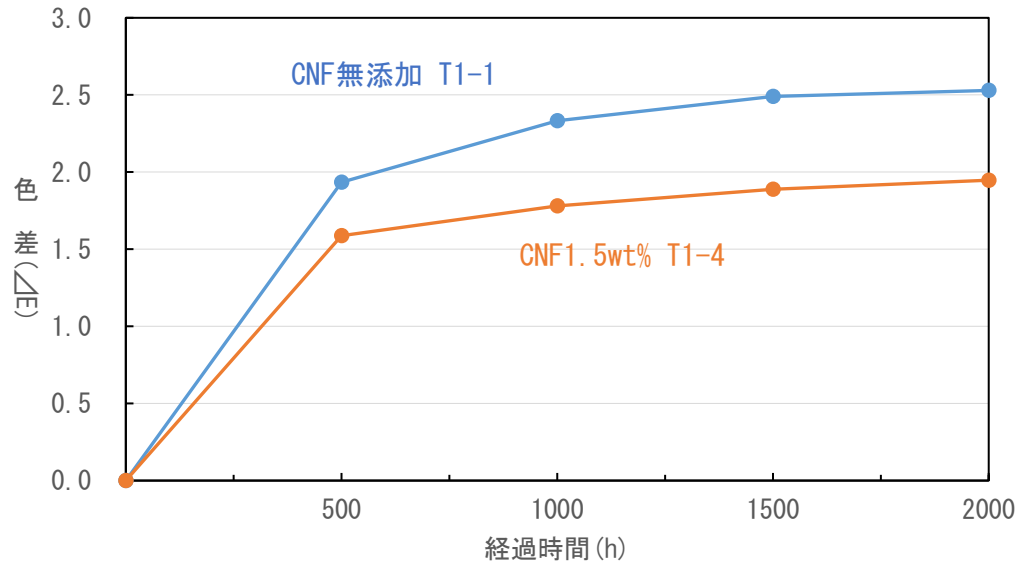


図 II-3-2-8 促進耐候性試験による色差 (ΔE) の変化

● 光沢保持率

社内規定で光沢保持率が80%以下になると白亜化現象(チョーキング現象)が始まると規定。光沢保持率の低下は塗膜形成が崩れ、遮熱性能の低下を引き起こす要因となる。

CNF 無添加の T1-1、CNF1.5wt%の T1-5 (工場試験製造品) を促進耐候性の試験機に投入し 500 時間毎に取り出し光沢保持率の変化を観察した。光沢保持率の変化のデータを表 II-3-2-8 に、グラフを図 II-3-2-9 に示す。

表 II-3-2-8 促進耐候性試験による光沢保持率の変化

試作体 No	経過時間(h)における光沢保持率(%)			
	500h	1000h	1500h	2000h
T1-1	93.18	87.90	83.49	78.21
T1-5	98.47	95.41	90.51	84.70

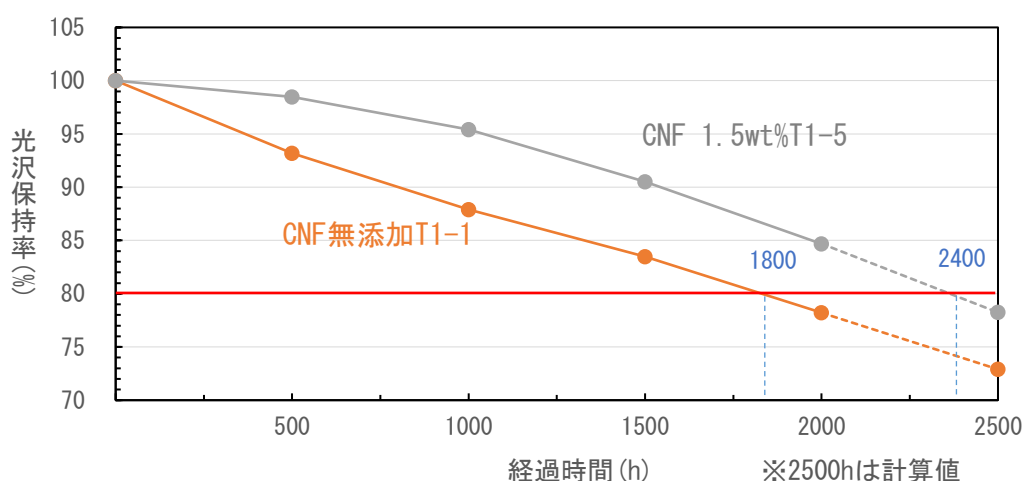


図 II-3-2-9 促進耐候性試験による光沢保持率の変化

T1-1 の光沢保持率が 80%に到達する時間は、1800 時間となり年数に換算(社内規格により 150 時間を 1 年)すると約 12 年相当であることを確認した。これに対して、CNF1.5wt%の T1-5 の光沢保持率が 80%になる予測時間は、約 2400 時間(計算値)であることから、16 年相当となり耐候性が目標の約 1.3 倍を達成していることを確認した。

(2) 製造コストの検討

① 材料・製造コスト

CNF 無添加の T1-1 と T1-5 (工場試験製造品) の材料費と製造費も含んだコストの比較を表 II-3-2-9 に示す。コスト面に関しては、耐候性・引張り強度等を向上させるために CNF を増加した分上昇したが、CNF 以外の材料コストの低減の検討と製造工程を 1 工程にまとめることができたため、昨年度のコスト上昇率 7% に対して 3% にとどめた。図 II-3-2-10 に本年度の工場試験製造品の工程を示す。

表 II-3-2-9 試作体の製造コスト比較

試作体 No.	製造コスト比率
T1-1	1.00
T1-5	1.03

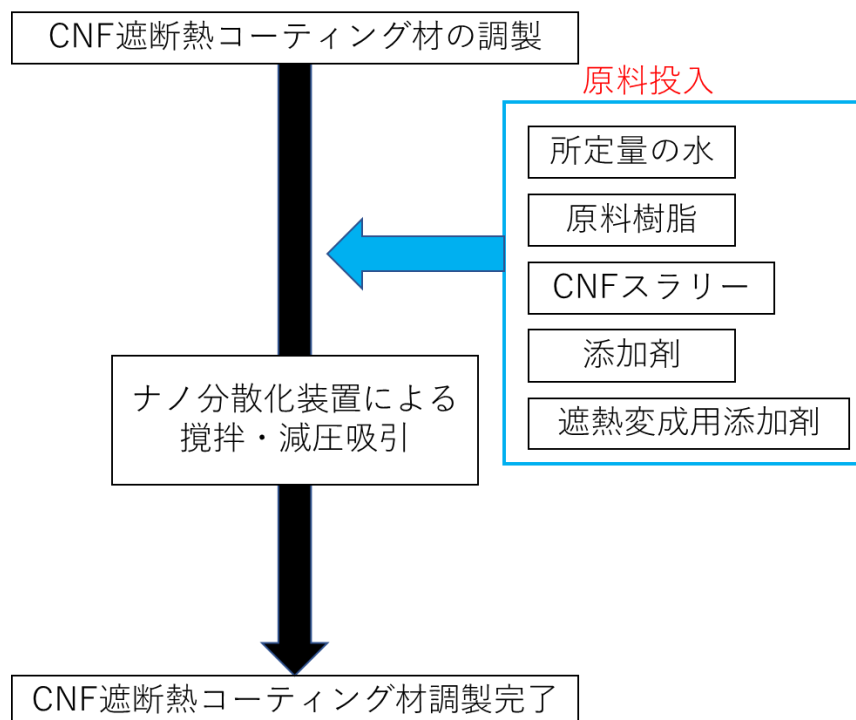


図 II-3-2-10 本年度の工場試験製造品の工程

② 塗り替え頻度の延長

光沢保持率から求めた耐用年数が CNF 無添加の T1-1 で 12 年、CNF1.5wt% の T1-5 で 16 年となったことから CNF を 1.5wt%配合することで耐候性が約 1.3 倍となった。耐候性が延長されることで、従来品よりも塗り替え頻度が少なくなりライフサイクルコストの削減に繋がる。CO₂ の削減は、T1-1 に対して耐候性が延長された期間、遮熱性能を維持することで CO₂ を削減する。

T1-1 と T1-5 の耐用年数の比較を図 II-3-2-11 に示す。

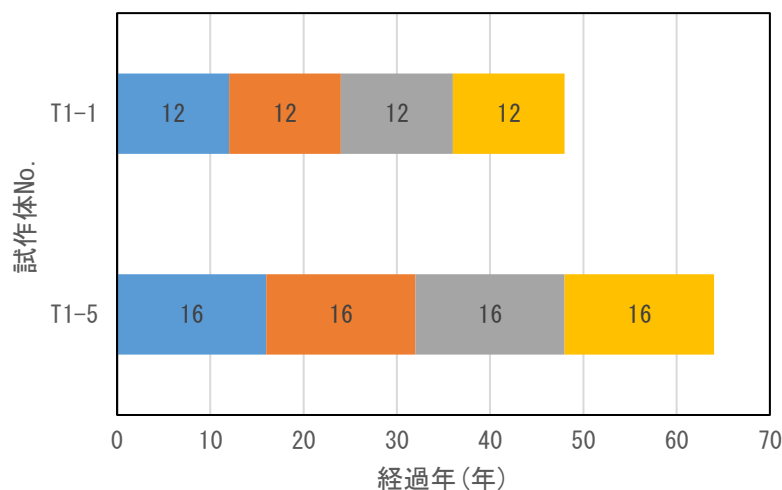


図 II-3-2-11 耐用年数延長の比較

3-3. まとめ

CNF の配合量を昨年度の 0.25wt%から 1.5wt%に増大させた。CNF の配合量と引張り強度との関係は、CNF 無添加が 0.5MPa、CNF1.0wt%が 1.33MPa、CNF1.5wt%が 1.7MPa となり、CNF を 1.5wt%配合した場合、CNF 無添加に対して 3.4 倍となり目標値の 1.2 倍を達成した。

耐候性を向上させる検討では、光沢保持率、色差 (ΔE) を指標として検討し、光沢保持率から求めた耐用年数が CNF 無添加で 12 年、CNF1.5wt%で 16 年となったことで、CNF を 1.5wt%配合することで耐候性が約 1.3 倍となり、目標値を達成した。コスト面に関しては、耐候性・引張り強度等を向上させるために CNF を増加した分上昇したが、材料、工程の検討を行いコスト上昇率を昨年度の 7%に対して 3%にとどめた。今後は、社会実装に向けて機能・性能の向上とコスト改善を進めていく。

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

4-1. 検討概要

(1) 検討項目

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。本検討では、省 CO2 効果は、使用電力量の省エネルギー効果と同じであるため、省エネ効果を結果として示した。

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した。2 住戸とも同じ設定温度（冷房 26℃、暖房 22℃）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 効果を測定した。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した。比較実測期間は、2019 年 6 月から 2020 年 2 月までの、年間を通しての連続計測を行った。

昨年度は、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、2019 年 3 月 15 日に 1 住戸に CNF 遮断熱コーティング材を敷設、2019 年 5 月 22 日に CNF 遮熱合わせガラスを組み込んだ CNF 樹脂サッシを設置した上で、実測を実施した。

② シミュレーションによる検討

シミュレーションでは、開発した CNF 活用建材の物性値を適用し、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温冷感指標での室内温熱環境改善効果を把握した。更に、実証住宅とは異なる断熱性能の建物、住戸の主方位が異なる建物でのシミュレーションを行い、建物性能の違いによる CNF 活用建材設置による省 CO2 効果を把握した。また、実証住宅のある鹿児島県以外の地域でのシミュレーションを行い CNF 活用建材設置による省 CO2 効果が高い地域の検討も行った。

(2) スケジュール

実測による評価は、夏期および冬期を中心に行うが、計測は年間を通して実施する。今年度は、CNF 樹脂サッシや CNF 遮断熱コーティング材の設置した上で、外壁・ガラス・サッシの表面温度センサー、冬期は窓からのコールドドラフトの効果を把握するための上下温度分布測定用センサーを追加設置した。

- ・ 継続計測 : 2018 年 2 月～2020 年 2 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 15 日
- ・ CNF 樹脂サッシ設置 (1 号棟) : 2019 年 5 月 22 日
- ・ サッシ、外壁表面温度測定追加 : 2019 年 5 月 23 日
- ・ 上下温度分布測定センサー設置 : 2020 年 1 月 10 日

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	

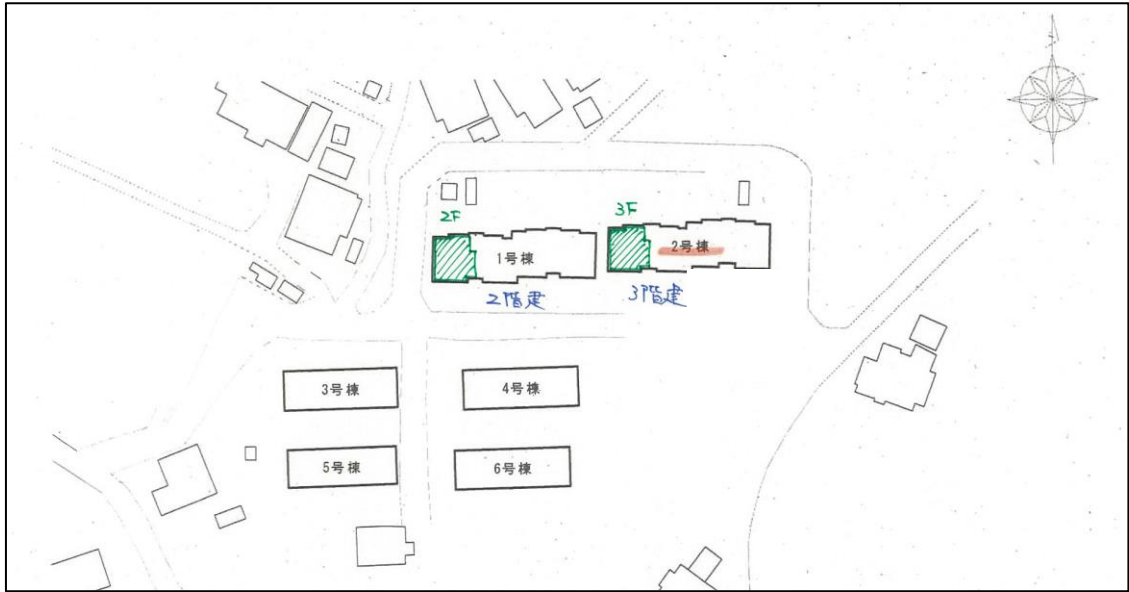


図 II-4-2-1 実証住宅配置図

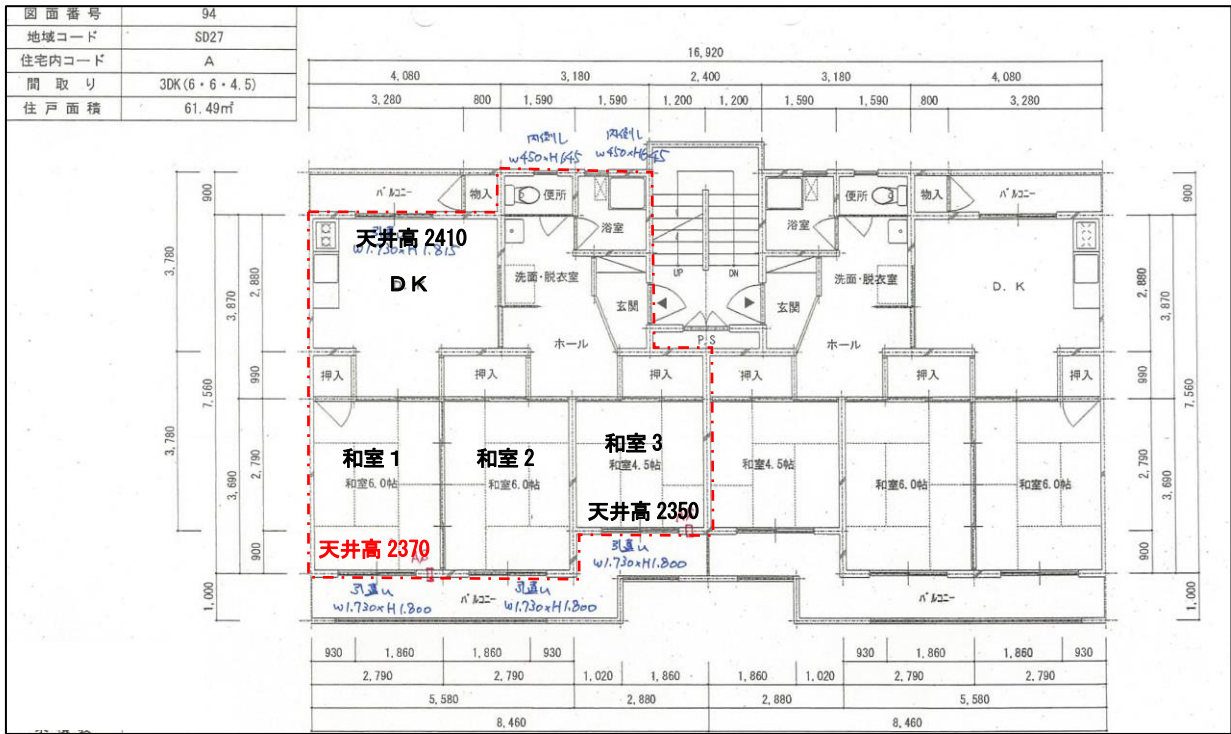


図 II-4-2-2 実証住宅平面図



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

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+1100mm）における温湿度、各室のグローブ温度、外壁・窓ガラス・サッシ表面温度の測定を実施した。また、1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。計測した温湿度、平均放射温度（グローブ温度）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。2020年1月より、和室 1、和室 2、DK に上下温度分布（FL+100、600、1100、1700mm）の測定を追加し、窓面からのコールドドラフトの効果を把握した。

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行った。両住戸のエアコンの消費電力量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。

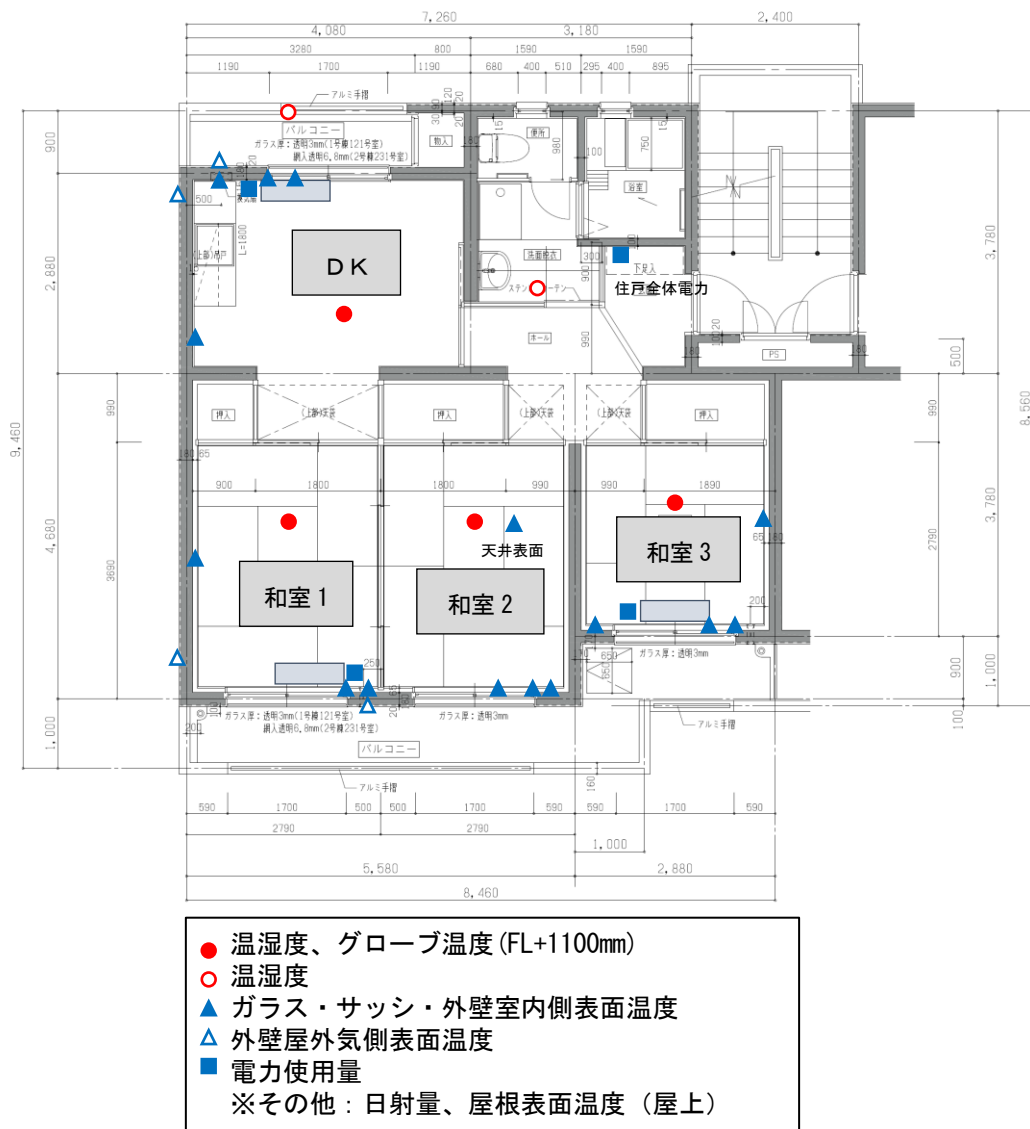


図 II-4-2-5 室内環境計測位置

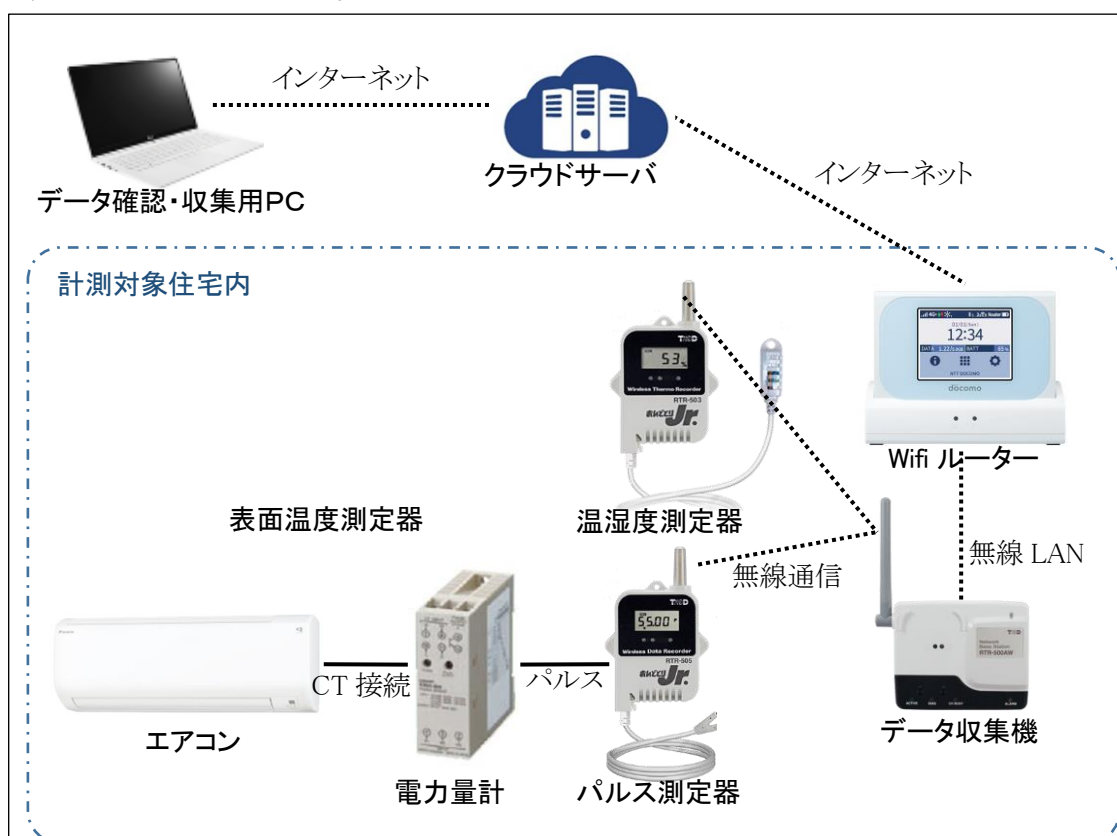
表Ⅱ-4-2-3 計測ポイント一覧 (1号棟)

建物	室名	計測位置	計測項目	単位	型番	機器名	備考
1号棟121室 CNF改修住戸	DK	FL+1100	温度	[°C]	RTR-503	1D1IT110	2018/1/30設置
	和室1	FL+1100	温度	[°C]	RTR-503	1W1IT110	
	和室2	FL+1100	温度	[°C]	RTR-503	1W2IT110	
	和室3	FL+1100	温度	[°C]	RTR-503	1W3IT110	
	ホール	FL+1100	温度	[°C]	RTR-503	1H1IT110	
	外気		温度	[°C]	RTR-503	1OAT	
	DK	FL+1100	湿度	[%]			温度測定と同一機器で計測
	和室1	FL+1100	湿度	[%]			
	和室2	FL+1100	湿度	[%]			
	和室3	FL+1100	湿度	[%]			
	ホール	FL+1100	湿度	[%]			
	外気		湿度	[%]			
	DK	FL+1100	グローブ温度	[°C]	RTR-502	1D1IG110	2018/5/2設置
	和室1	FL+1100	グローブ温度	[°C]	RTR-502	1W1IG110	
	和室2	FL+1100	グローブ温度	[°C]	RTR-502	1W2IG110	
	和室3	FL+1100	グローブ温度	[°C]	RTR-502	1W3IG110	
	DK	FL+1100	北側ガラス室内側表面温度	[°C]	RTR-505-TC	1D1WNS11	2018/11/30設置
	DK	FL+1100	北側外壁室内側表面温度	[°C]	RTR-505-TC	1D1KNS11	
	DK	FL+1100	西側外壁室内側表面温度	[°C]	RTR-505-TC	1D1KWS11	
	和室1	FL+1100	南側ガラス室内側表面温度	[°C]	RTR-505-TC	1W1WSS11	
	和室1	FL+1100	南側外壁室内側表面温度	[°C]	RTR-505-TC	1W1KSS11	
	DK	FL+1100	北側サッシ室内側表面温度	[°C]	RTR-505-TC	1D1SNS11	
	和室1	FL+1100	南側サッシ室内側表面温度	[°C]	RTR-505-TC	1W1SSS11	2019/5/23設置
	和室1	FL+1100	西側外壁室内側表面温度	[°C]	RTR-505-TC	1W1WWS11	
	和室2	FL+1100	南側ガラス室内側表面温度	[°C]	RTR-505-TC	1W2WSS11	
	和室2	FL+1100	南側サッシ室内側表面温度	[°C]	RTR-505-TC	1W2SSS11	
	和室2	FL+1100	南側外壁室内側表面温度	[°C]	RTR-505-TC	1W2KSS11	
和室3	FL+1100	南側ガラス室内側表面温度	[°C]	RTR-505-TC	1W3WSS11		
和室3	FL+1100	南側サッシ室内側表面温度	[°C]	RTR-505-TC	1W3SSS11		
和室3	FL+1100	南側外壁室内側表面温度	[°C]	RTR-505-TC	1W3KSS11		
和室3	FL+1100	東側戸境壁室内側表面温度	[°C]	RTR-505-TC	1W3NES11		
DK	FL+100	温度	[°C]	RTR-503	1D1IT010	2020/1/10設置	
DK	FL+600	温度	[°C]	RTR-503	1D1IT060		
DK	FL+1700	温度	[°C]	RTR-503	1D1IT170		
和室1	FL+100	温度	[°C]	RTR-503	1W1IT010		
和室1	FL+600	温度	[°C]	RTR-503	1W1IT060		
和室1	FL+1700	温度	[°C]	RTR-503	1W1IT170		
和室2	FL+100	温度	[°C]	RTR-503	1W2IT010		
和室2	FL+600	温度	[°C]	RTR-503	1W2IT060		
和室2	FL+1700	温度	[°C]	RTR-503	1W2IT170		
DK	FL+100	湿度	[%]				
DK	FL+600	湿度	[%]				
DK	FL+1700	湿度	[%]				
和室1	FL+100	湿度	[%]			温度測定と同一機器で計測	
和室1	FL+600	湿度	[%]				
和室1	FL+1700	湿度	[%]				
和室2	FL+100	湿度	[%]				
和室2	FL+600	湿度	[%]				
和室2	FL+1700	湿度	[%]				
DK	エアコン	電力量	[1Wh/pulse]	RTR-505-P	1D1PAC	2018/1/30設置	
和室1	エアコン	電力量	[1Wh/pulse]	RTR-505-P	1W1PAC		
和室3	エアコン	電力量	[1Wh/pulse]	RTR-505-P	1W3PAC		
住戸全体		電力量	[10Wh/pulse]	RTR-505-P	1PALL		
和室2		天井表面温度	[°C]	熱電対		2018/5/10設置	
和室2		屋根表面温度 (市販塗料)	[°C]	熱電対		2019/6/5設置	
和室2		屋根表面温度	[°C]	熱電対		2018/5/10設置	
和室1		南側外壁外側表面温度	[°C]	熱電対		2019/3/28設置	
和室1		西側外壁外側表面温度 1	[°C]	熱電対		2019/6/5設置	
DK		西側外壁外側表面温度 2	[°C]	熱電対		2019/6/5設置	
DK		北側外壁外側表面温度	[°C]	熱電対		2019/3/28設置	
外気		温度	[°C]			2018/5/10設置	
外気		相対湿度	[%]			2018/5/10設置	
屋上		全日射量	[MJ/m ²]			2018/5/10設置	

表Ⅱ-4-2-4 計測ポイント一覧 (2号棟)

建物	室名	計測位置	計測項目	単位	型番	機器名	備考
2号棟231室 比較住戸	DK	FL+1100	温湿度	[°C]	RTR-503	2D1IT110	2018/1/30設置
	ホール	FL+1100	温湿度	[°C]	RTR-503	2H1IT110	
	外気		温湿度	[°C]	RTR-503	20AT	
	和室1	FL+1100	温湿度	[°C]	RTR-503	2W1IT110	
	和室2	FL+1100	温湿度	[°C]	RTR-503	2W2IT110	
	和室3	FL+1100	温湿度	[°C]	RTR-503	2W3IT110	
	DK	FL+1100	湿度	[%]			温度測定と同一機 器で計測
	和室1	FL+1100	湿度	[%]			
	和室2	FL+1100	湿度	[%]			
	和室3	FL+1100	湿度	[%]			
	ホール	FL+1100	湿度	[%]			
	外気		湿度	[%]			
	DK	FL+1100	グローブ温度	[°C]	RTR-502	2D1IG110	2018/5/2設置
	和室1	FL+1100	グローブ温度	[°C]	RTR-502	2W1IG110	
	和室2	FL+1100	グローブ温度	[°C]	RTR-502	2W2IG110	
	和室3	FL+1100	グローブ温度	[°C]	RTR-502	2W3IG110	
	DK	FL+1100	北側ガラス室内側表面温度	[°C]	RTR-505-TC	2D1WNS11	2018/11/30設置
	DK	FL+1100	北側外壁室内側表面温度	[°C]	RTR-505-TC	2D1KNS11	
	DK	FL+1100	西側外壁室内側表面温度	[°C]	RTR-505-TC	2D1KWS11	
	和室1	FL+1100	南側ガラス室内側表面温度	[°C]	RTR-505-TC	2W1WSS11	
	和室1	FL+1100	南側外壁室内側表面温度	[°C]	RTR-505-TC	2W1KSS11	
	DK	FL+1100	北側サッシ室内側表面温度	[°C]	RTR-505-TC	2D1SNS11	2019/5/23設置
	和室1	FL+1100	南側サッシ室内側表面温度	[°C]	RTR-505-TC	2W1SSS11	
	和室1	FL+1100	西側外壁室内側表面温度	[°C]	RTR-505-TC	2W1WWS11	
	和室2	FL+1100	南側ガラス室内側表面温度	[°C]	RTR-505-TC	2W2WSS11	
	和室2	FL+1100	南側サッシ室内側表面温度	[°C]	RTR-505-TC	2W2SSS11	
和室2	FL+1100	南側外壁室内側表面温度	[°C]	RTR-505-TC	2W2KSS11		
和室3	FL+1100	南側ガラス室内側表面温度	[°C]	RTR-505-TC	2W3WSS11		
和室3	FL+1100	南側サッシ室内側表面温度	[°C]	RTR-505-TC	2W3SSS11		
和室3	FL+1100	南側外壁室内側表面温度	[°C]	RTR-505-TC	2W3KSS11		
和室3	FL+1100	東側戸境壁室内側表面温度	[°C]	RTR-505-TC	2W3NES11		
DK	FL+100	温度	[°C]	RTR-503	2D1IT010	2020/1/10設置	
DK	FL+600	温度	[°C]	RTR-503	2D1IT060		
DK	FL+1700	温度	[°C]	RTR-503	2D1IT170		
和室1	FL+100	温度	[°C]	RTR-503	2W1IT010		
和室1	FL+600	温度	[°C]	RTR-503	2W1IT060		
和室1	FL+1700	温度	[°C]	RTR-503	2W1IT170		
和室2	FL+100	温度	[°C]	RTR-503	2W2IT010		
和室2	FL+600	温度	[°C]	RTR-503	2W2IT060		
和室2	FL+1700	温度	[°C]	RTR-503	2W2IT170		
DK	FL+100	湿度	[%]				温度測定と同一機 器で計測
DK	FL+600	湿度	[%]				
DK	FL+1700	湿度	[%]				
和室1	FL+100	湿度	[%]				
和室1	FL+600	湿度	[%]				
和室1	FL+1700	湿度	[%]				
和室2	FL+100	湿度	[%]				
和室2	FL+600	湿度	[%]				
和室2	FL+1700	湿度	[%]				
DK							
DK	エアコン	電力量	[1Wh/pulse]	RTR-505-P	2D1PAC	2018/1/30設置	
和室1	エアコン	電力量	[1Wh/pulse]	RTR-505-P	2W1PAC		
和室3	エアコン	電力量	[1Wh/pulse]	RTR-505-P	2W3PAC		
住戸全体		電力量	[10Wh/pulse]	RTR-505-P	2PALL		
和室2		天井表面温度	[°C]	熱電対		2019/5/16設置	
和室2		屋根表面温度 1	[°C]	熱電対		2019/3/28設置	
和室2		屋根表面温度 2	[°C]	熱電対		2019/3/28設置	
和室1		南側外壁外側表面温度	[°C]	熱電対		2019/3/28設置	
和室1		西側外壁外側表面温度 1	[°C]	熱電対		2019/3/28設置	
DK		西側外壁外側表面温度 2	[°C]	熱電対		2019/3/28設置	
DK		北側外壁外側表面温度	[°C]	熱電対		2019/3/28設置	

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-4-2-6 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 3 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-4-2-7 計測器設置の様子 (1号棟 和室1、和室2)



図Ⅱ-4-2-8 計測器設置の様子 (左: 1号棟DK、右: 1号棟和室3)



図Ⅱ-4-2-9 計測器設置の様子 (外気温湿度)



図Ⅱ-4-2-10 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-4-2-11 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)



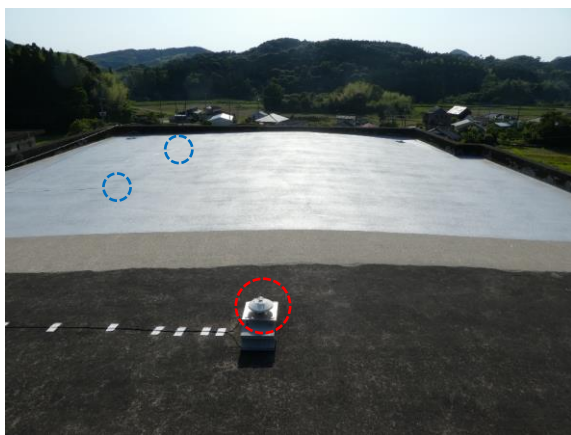
図Ⅱ-4-2-12 壁・ガラス表面温度測定 (和室1)



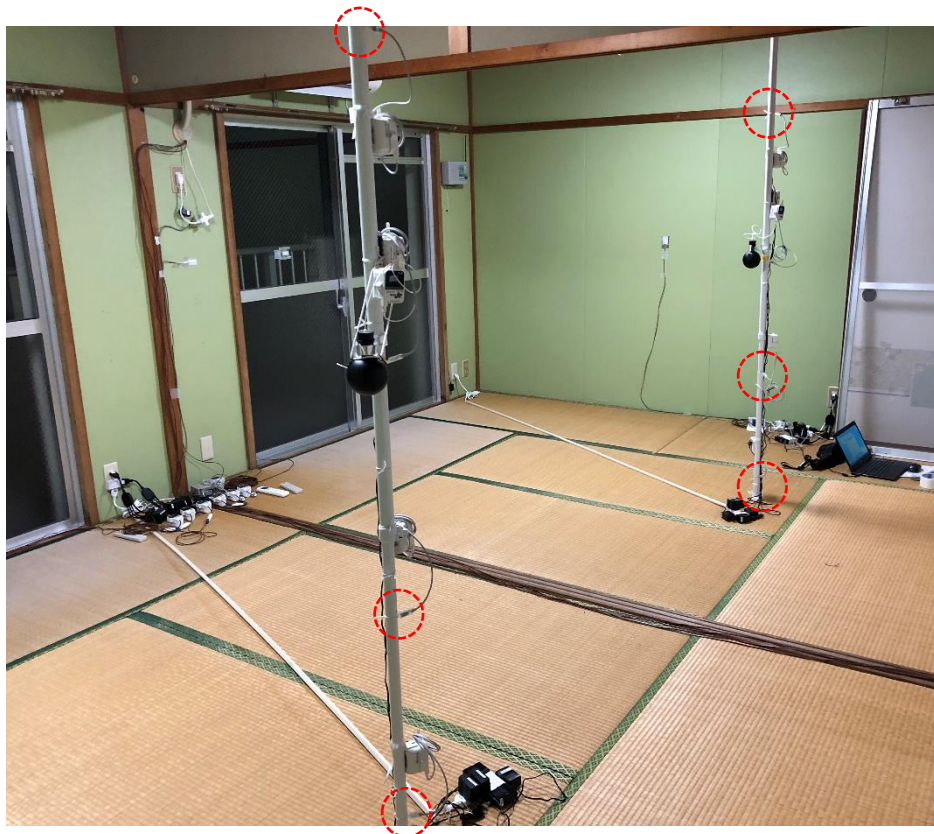
図Ⅱ-4-2-13 壁・ガラス表面温度測定 (DK)



図Ⅱ-4-2-14 南外壁外気側表面温度



図Ⅱ-4-2-15 屋根表面温度測定と日射計 (左: 1号棟、右: 2号棟)



図Ⅱ-4-2-16 上下温度分布計測器設置の様子（和室1、和室2）（2020年1月10日より）



図Ⅱ-4-2-17 上下温度分布計測器設置の様子（DK）（2020年1月10日より）

(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った。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。ただし、一部の期間でエアコンが停止していた。

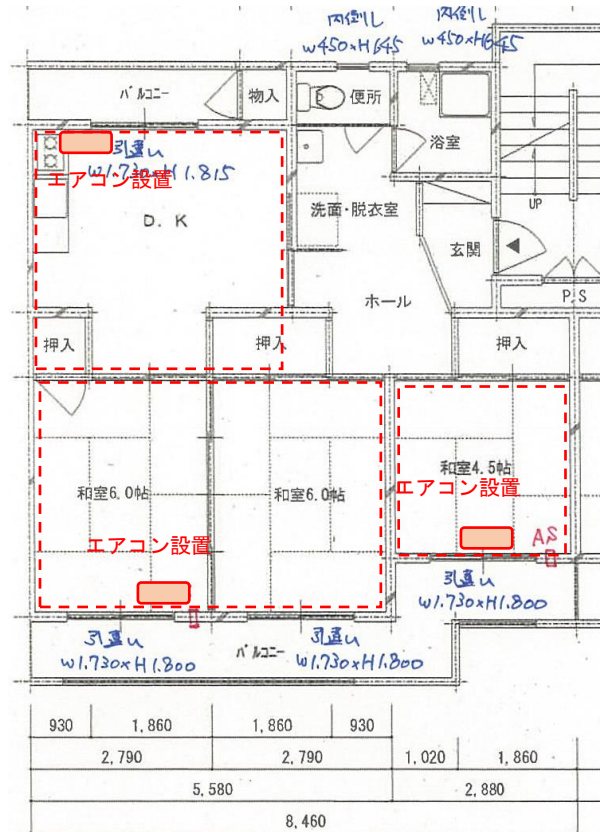


図 II-4-2-18 エアコン設置位置、冷暖房範囲

(4) 実測結果「夏期実測結果」

1) 省エネ効果

CNF 活用建材設置後の夏期の実測結果を示す。1号棟（CNF 建材設置住戸）、2号棟（比較棟）とも、エアコン 26℃設定で 24 時間冷房運転を行った状態での実測を行った。

和室 1 と和室 2 の 8 月 1 カ月間の温度変動では、両室とも同様の温度変動で 25℃程度に制御されていた。ただし、和室 2 は、1号棟の温度が僅かに高い状況であった。そこで、両棟とも室内温度が同じ場合を想定してエアコンの消費電力量の補正を行った。夏期の温度補正したエアコンの消費電力量は、6 月～10 月の 4 カ月間の累積で 2号棟に比べ、1号棟が 10.4%削減された結果となった。補正前の実測値では 10.9%削減の結果であった。

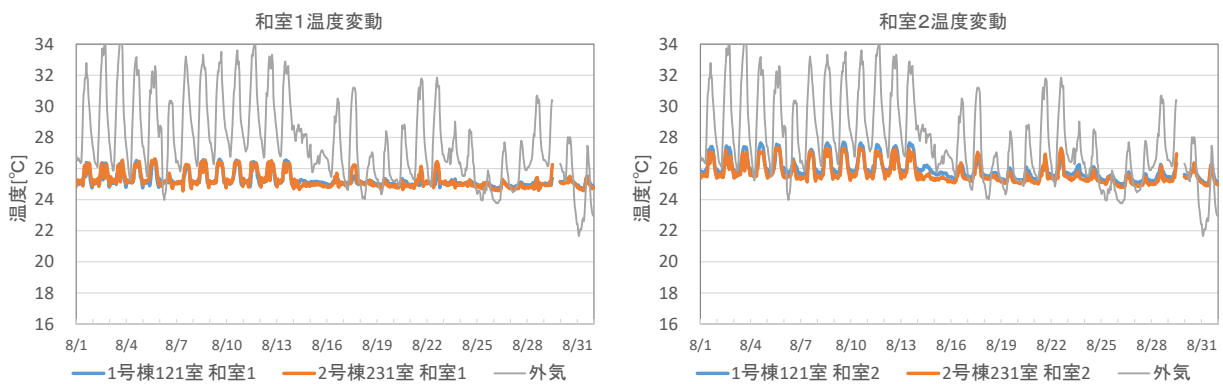


図 II-4-2-19 室内温度 (FL+1100mm) 変動 8 月 (左 : 和室 1、右 : 和室 2)

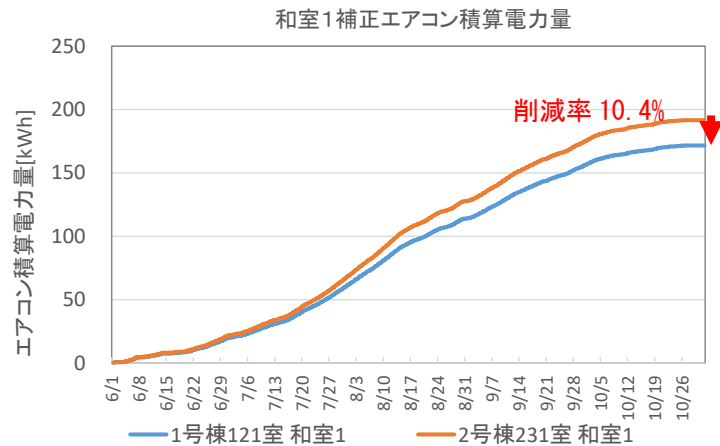
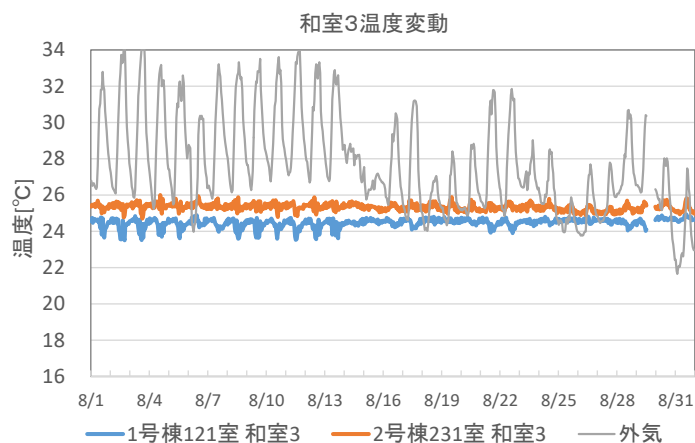
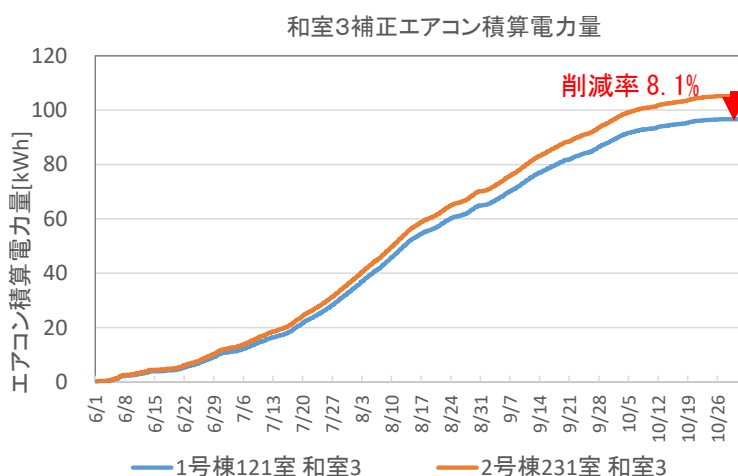


図 II-4-2-20 補正エアコン積算消費電力 6～10 月 (和室 1)

和室3の8月1カ月間の温度変動では、1号棟の平均温度が0.88℃低い状況であった。両棟とも室内温度が同じ場合を想定してエアコンの消費電力量の補正を行った。夏期の温度補正したエアコンの消費電力量は、6月～10月の4カ月間の累積で2号棟に比べ、1号棟が8.1%削減された結果となった。補正前の実測値では6.5%増加の結果であった。



図Ⅱ-4-2-21 室内温度 (FL+1100mm) 変動 8月 (和室3)



図Ⅱ-4-2-22 補正エアコン積算消費電力 6～10月 (和室3)

ダイニング・キッチン(DK)の8月1カ月間の温度変動では、1号棟の平均温度が0.87℃高い状況であった。両棟とも室内温度が同じ場合を想定してエアコンの消費電力量の補正を行った。夏期の温度補正したエアコンの消費電力量は、6月～10月の4カ月間の累積で2号棟に比べ、1号棟が1.6%増加した結果となった。補正前の実測値では11.4%削減の結果であった。北側の居室であるDKは、直達日射が少ないためガラスや外壁の遮熱による省エネ効果を得にくかったと思われる。

※1号棟DKのエアコンの電力量が、計測器のエラーのため未計測だったため、建物全体の電力使用量より、他のエアコンの電力量、その他の電力量を差し引いて推定した。その他の電力は、2019年10月25日～11月14日の全室のエアコンを停止した際の電力を使用した。

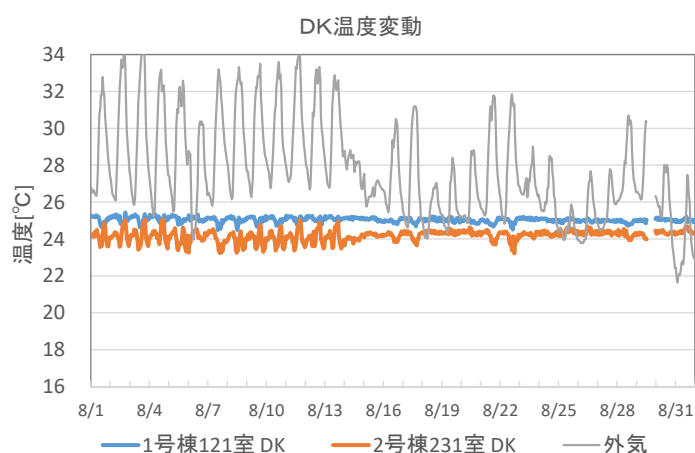


図 II-4-2-23 室内温度 (FL+1100mm) 変動 8月 (DK)

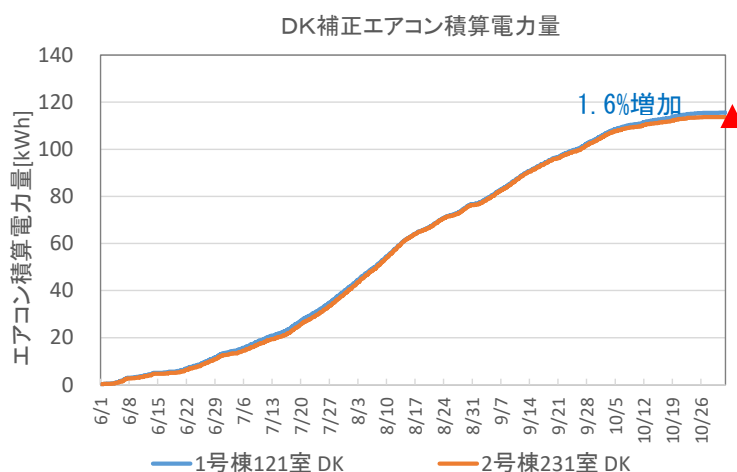
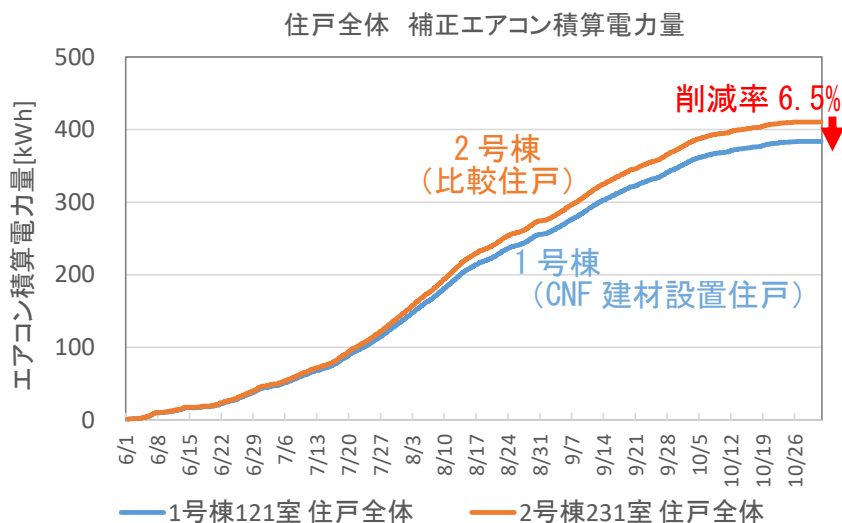
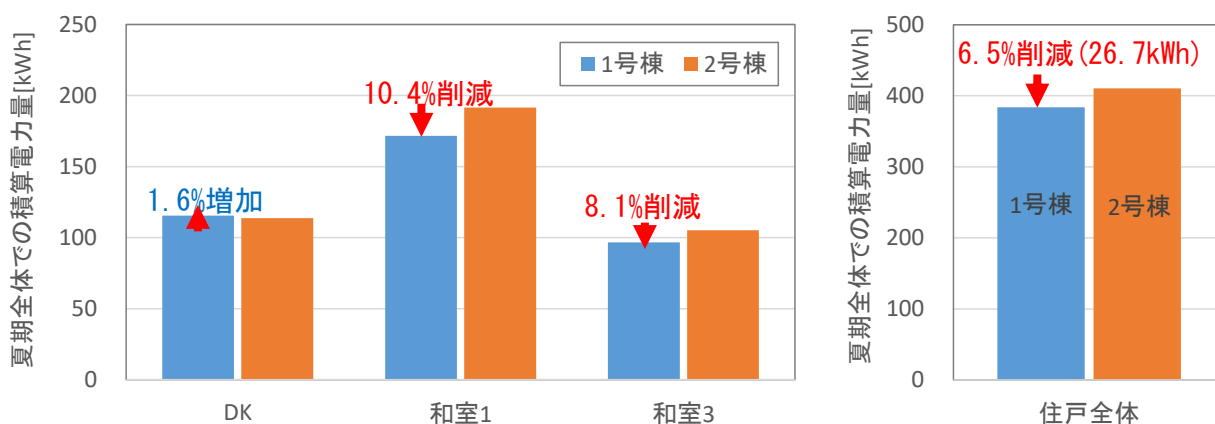


図 II-4-2-24 補正エアコン積算消費電力 6～10月 (DK)

住戸全体の夏期の温度補正したエアコンの消費電力量は、6月～10月の4カ月間の累積で2号棟に比べ、1号棟が6.5%削減された結果となった。補正前の実測値では6.9%削減の結果であった。



図Ⅱ-4-2-25 補正エアコン積算消費電力量6～10月（住戸全体）



図Ⅱ-4-2-26 補正エアコン積算消費電力量6～10月（室別、住戸全体）

表Ⅱ-4-2-5 補正エアコン積算消費電力量6～10月（室別、住戸全体）

補正值		DK	和室1	和室3	住戸全体
夏期全体(6～10月)で 積算電力量[kWh]	1号棟	115.5	171.6	96.6	383.7
	2号棟	113.7	191.6	105.2	410.4
夏期全体での削減量[kWh]		-1.9	20.0	8.6	26.7
削減率		-1.6%	10.4%	8.1%	6.5%

2019/6/1～10/31までの補正積算

表Ⅱ-4-2-6 補正前（実績）エアコン積算消費電力量6～10月（室別、住戸全体）

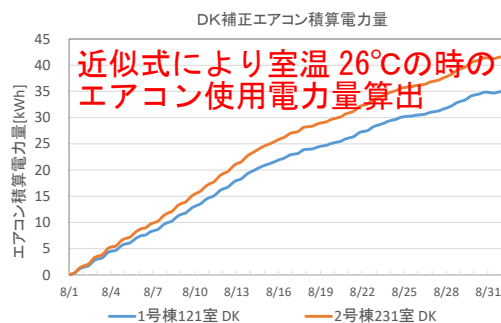
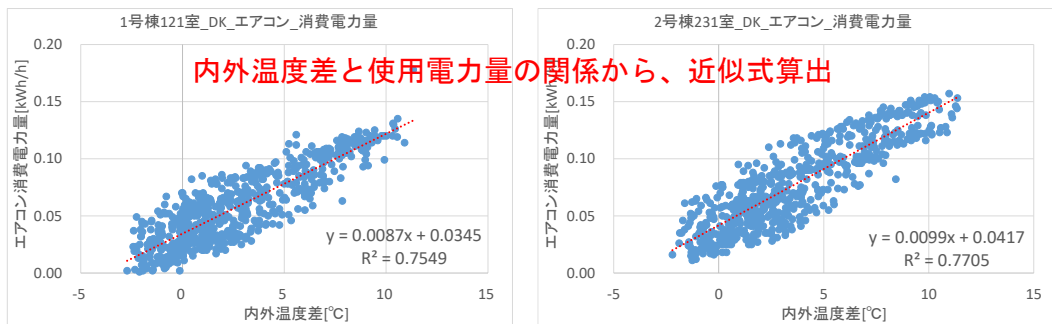
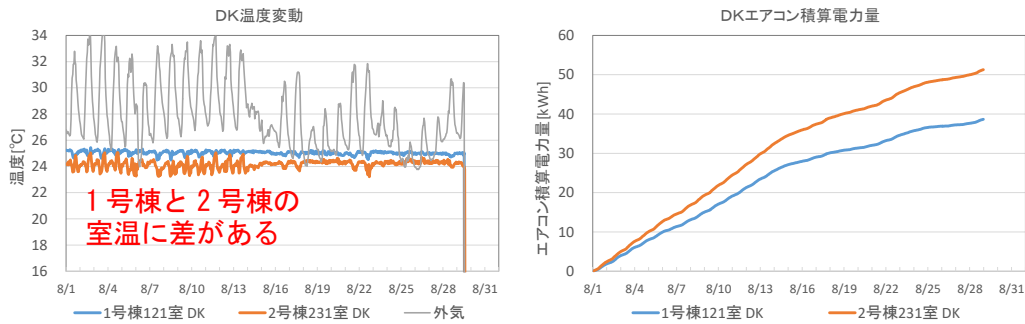
実測値		DK	和室1	和室3	住戸全体
夏期の 積算電力量[kWh]	1号棟	138.8	189.3	125.1	453.1
	2号棟	156.7	212.4	117.5	486.6
削減量[kWh]		17.9	23.1	-7.6	33.4
削減率		11.4%	10.9%	-6.5%	7.4%

2019/6/1～10/22までの積算

【参考】室内温度によるエアコン消費使用電力量の補正

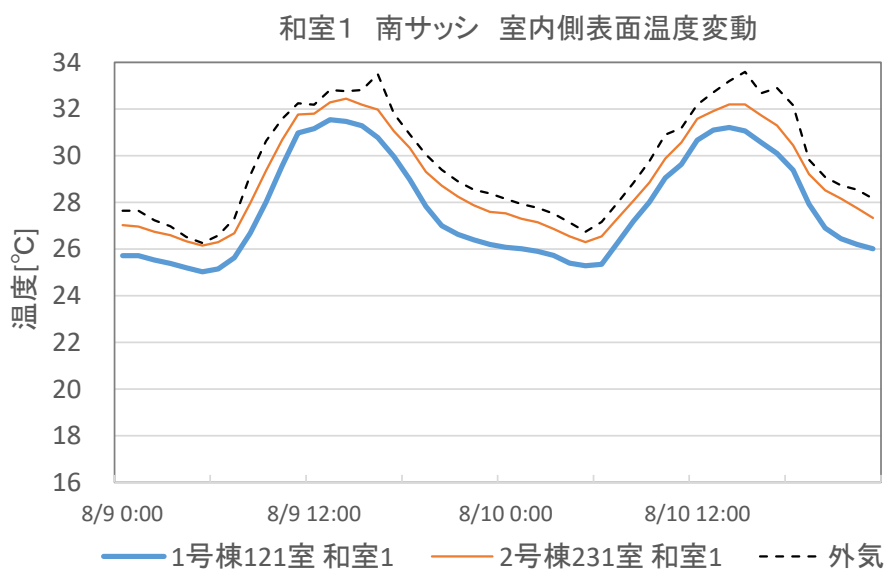
エアコンの設定温度は全室夏期 26℃で冷房、冬期 22℃で暖房であったが、結果として各室の室温に違いが生じている。室により室内環境が異なるため、単純はエアコンの使用電力量の比較ができない。よって、以下の手順で、室温が夏期 26℃、冬期 22℃だった場合のエアコンの使用電力量を推計し、補正した。

- ・ 室毎に外気と室内の温度差とエアコン消費電力量の関係から、近似式を求める。
- ・ 近似式を使用して、室温が 26℃の場合のエアコンの消費電力量を算出する。

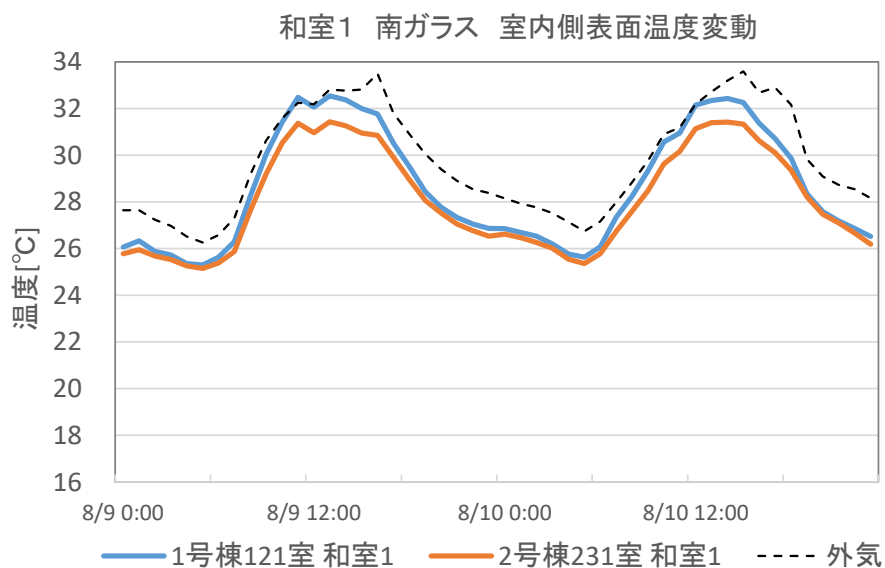


2) 表面温度変動

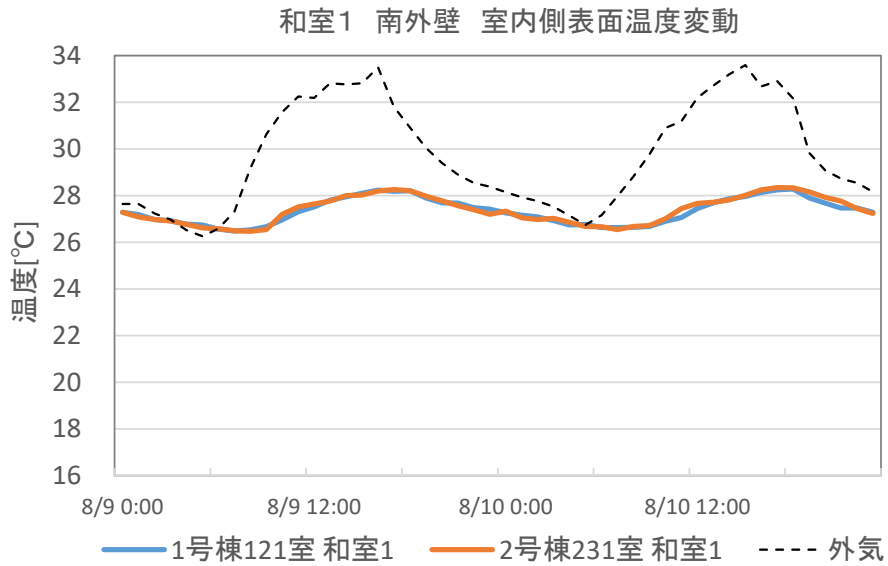
8月代表日(8月9日~10日)の室内側表面温度変動を示す。サッシ表面温度は、1号棟(CNF樹脂サッシ)の温度が1℃程度低い傾向であった。ガラス表面温度は、日射のある昼間に1号棟(CNF合わせガラス)の温度が1℃程度高い状況であった。南側外壁表面温度は、両棟で大きな差異はなかった。



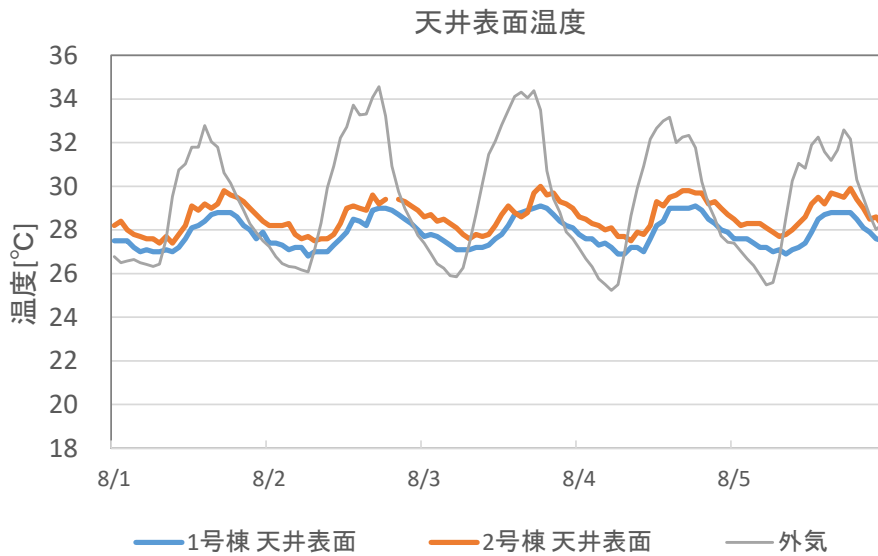
図Ⅱ-4-2-27 南側サッシ室内側表面温度変動8月代表日(和室1)



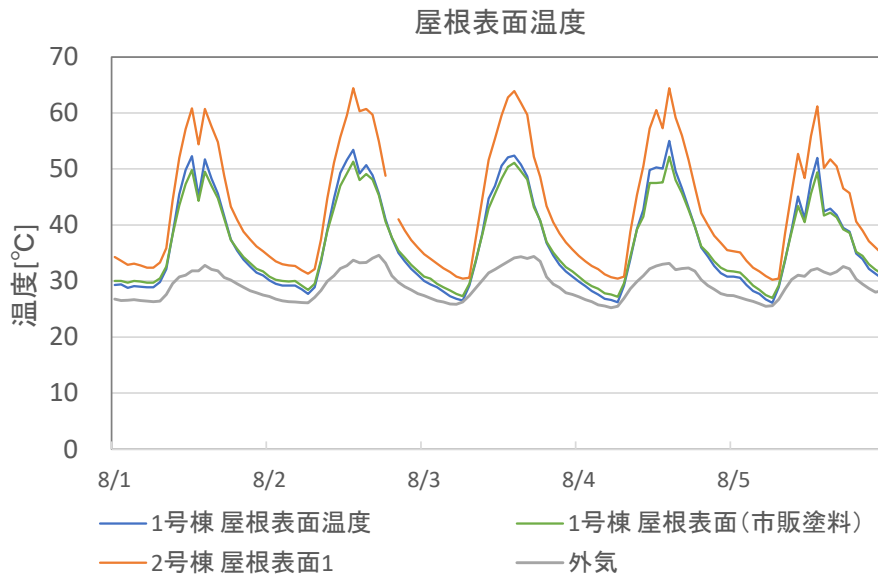
図Ⅱ-4-2-28 南側ガラス室内側表面温度変動8月代表日(和室1)



図Ⅱ-4-2-29 南側外壁室内側表面温度變動 8月代表日 (和室1)



図Ⅱ-4-2-30 天井室内側表面温度變動 8月代表日 (和室1)



図Ⅱ-4-2-31 屋根表面温度變動 8月代表日

3) 表面温度熱画像

外壁の外気側表面温度の熱画像より、1号棟の表面温度が高いことが分かる。室内からの冷熱の流失が少ないためと想定される。室内側のサッシ表面温度、外壁表面温度は2号棟より低くなった。DKの外壁、窓は大きな差異はない。屋根表面温度は、遮断熱コーティング材により、表面温度が低下している

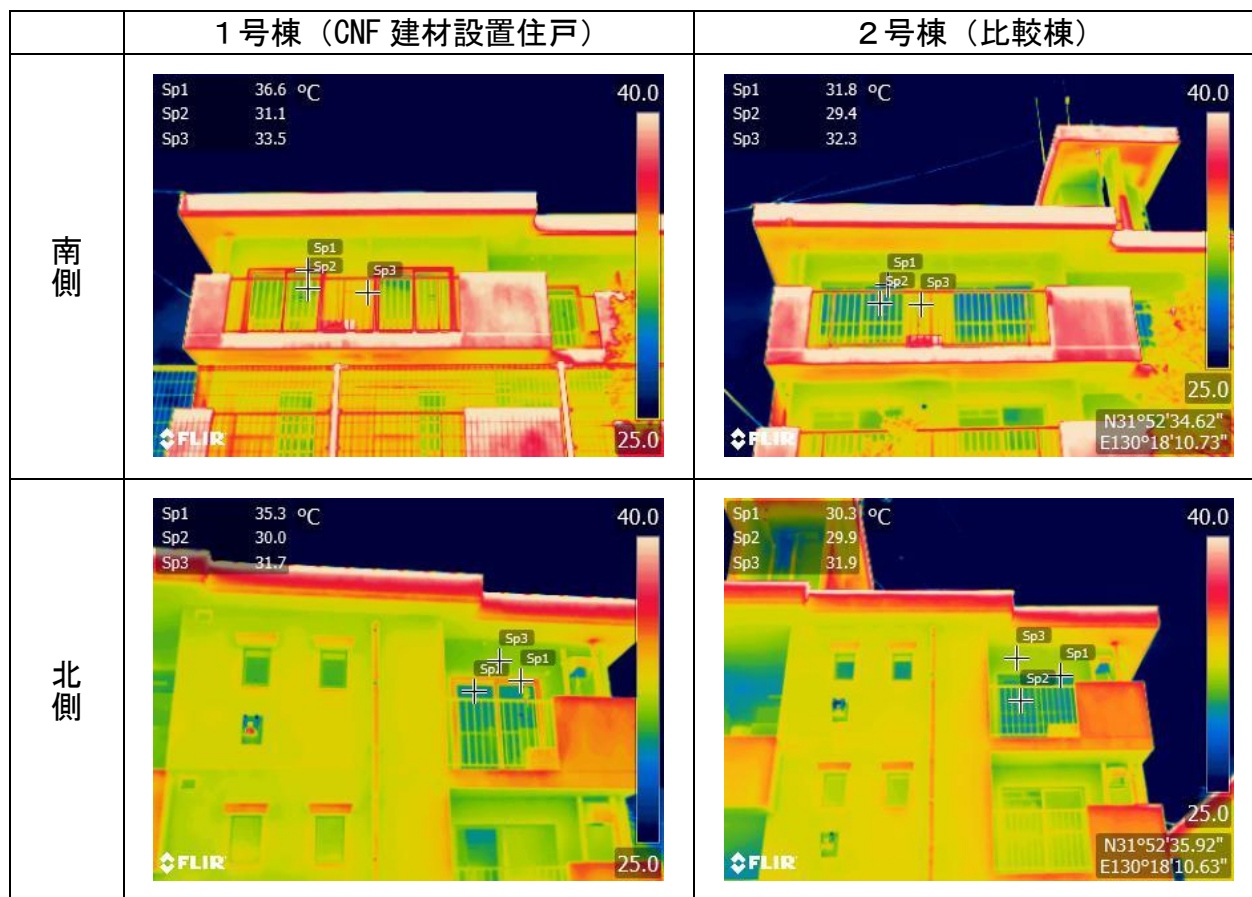


図 II-4-2-32 外側表面温度 熱画像 (8月29日)

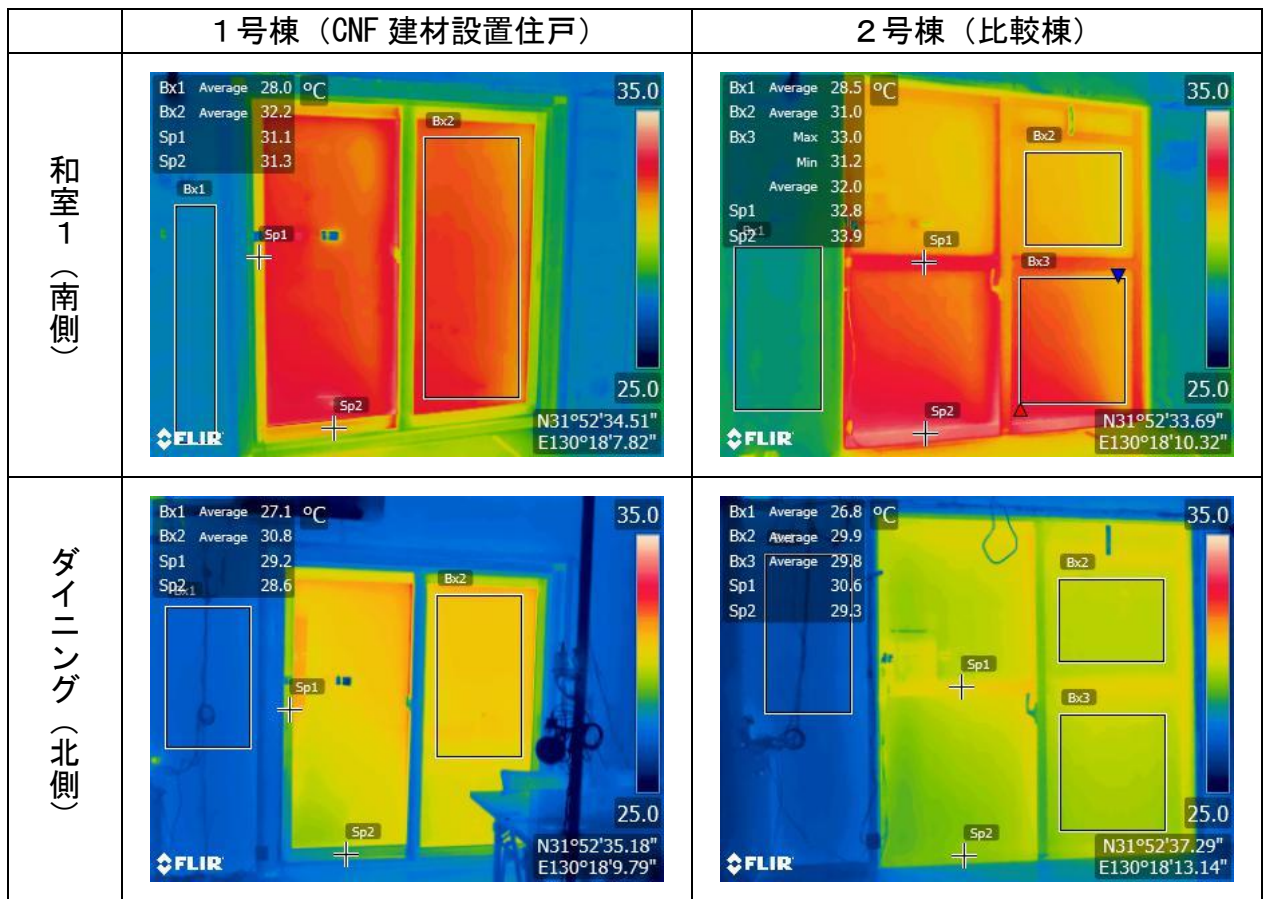


図 II-4-2-33 室内側表面温度 熱画像 (8月29日)

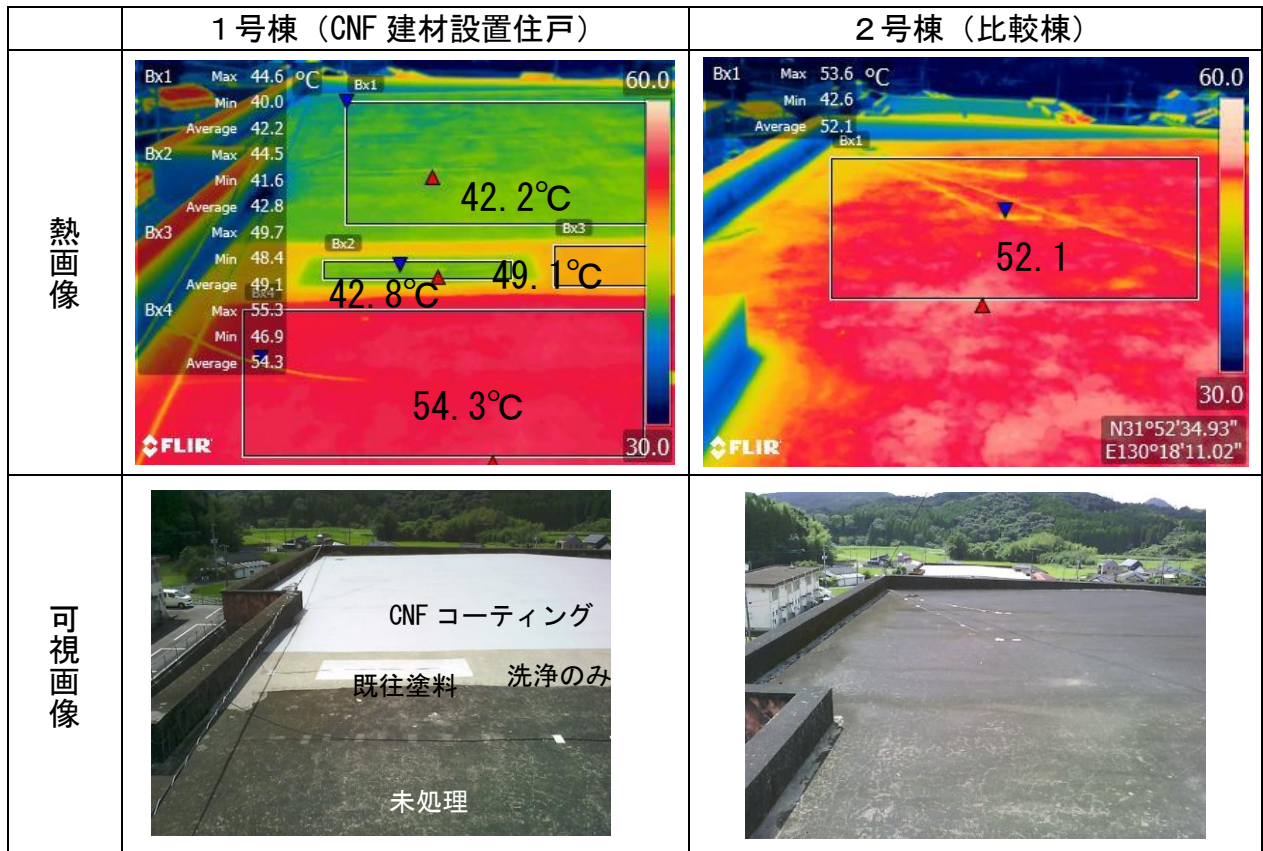


図 II-4-2-34 屋根表面温度 熱画像 (8月29日)

(5) 実測結果「冬期実測結果」

1) 省エネ効果

CNF 活用建材設置後の冬期の実測結果を示す。1号棟（CNF 建材設置住戸）、2号棟（比較棟）とも、エアコン 22℃設定で 24 時間暖房運転を行った状態での実測を行った。

和室 1 と和室 2 は、12 月 18 日からエアコンの暖房運転を再開したが、日射の影響で昼間に 30℃位まで温度が上がっていた。2号棟より 1号棟の温度が、和室 1 で平均 0.91℃、和室 2 で平均 0.97℃低い。エアコンの消費電力量は、2号棟に比べ、1号棟が 8.8%削減された結果となった。

※11 月 15 日 13 時より暖房運転を開始（設定温度 22℃）したが、11 月 24 日 11 時～12 月 17 日 15 時の間エアコンが停止していた。

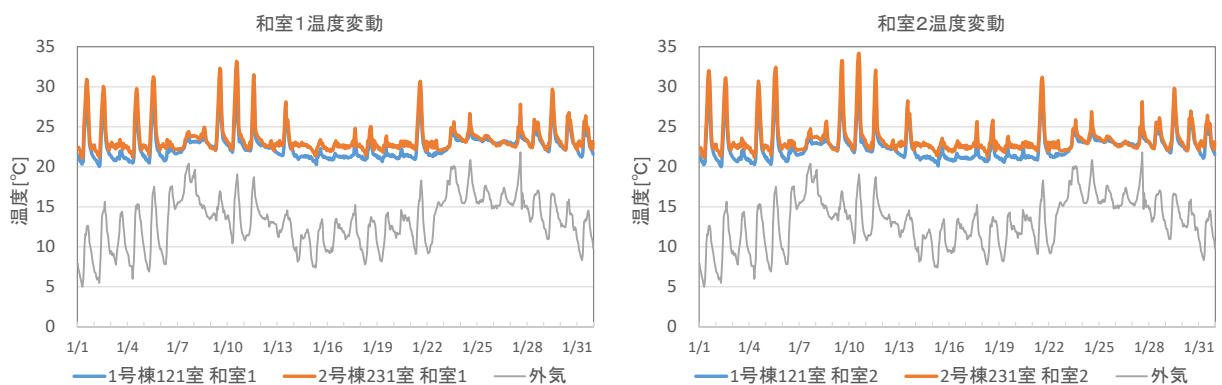


図 II-4-2-35 室内温度 (FL+1100mm) 変動 1 月 (左 : 和室 1、右 : 和室 2)

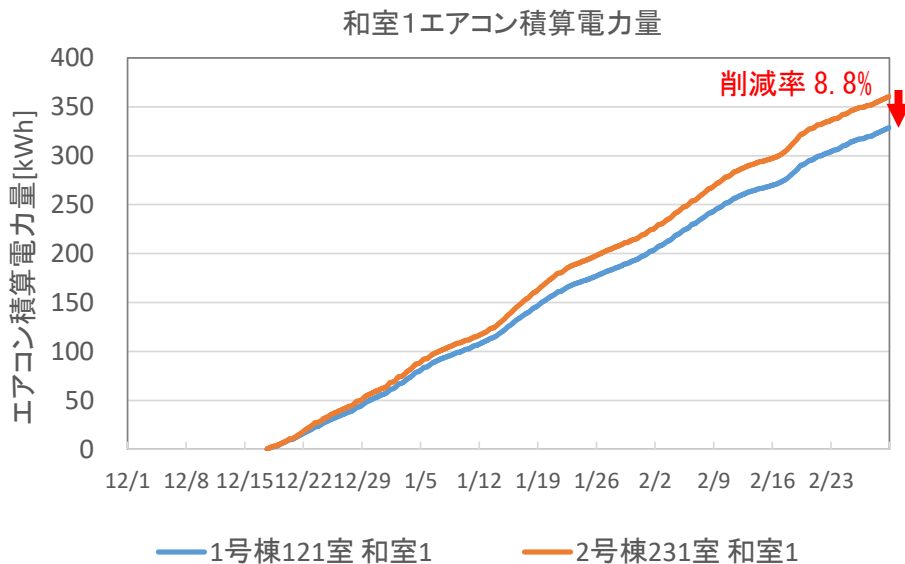
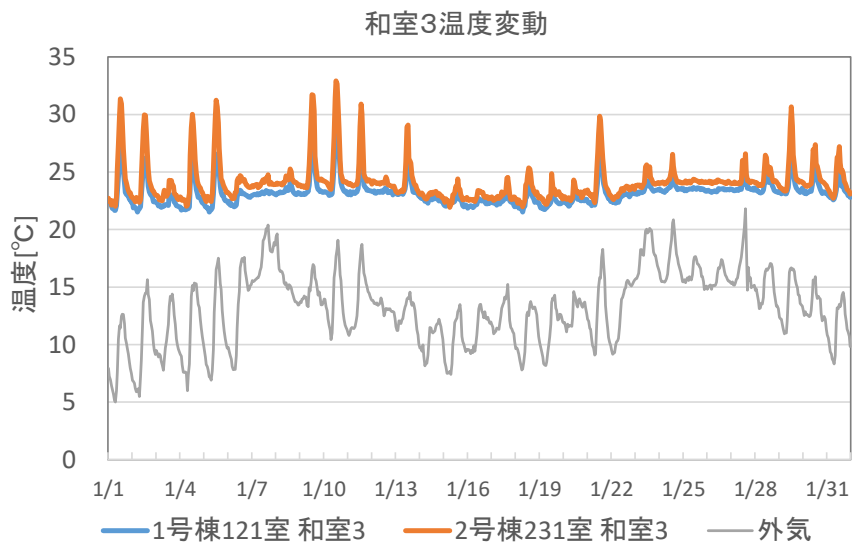
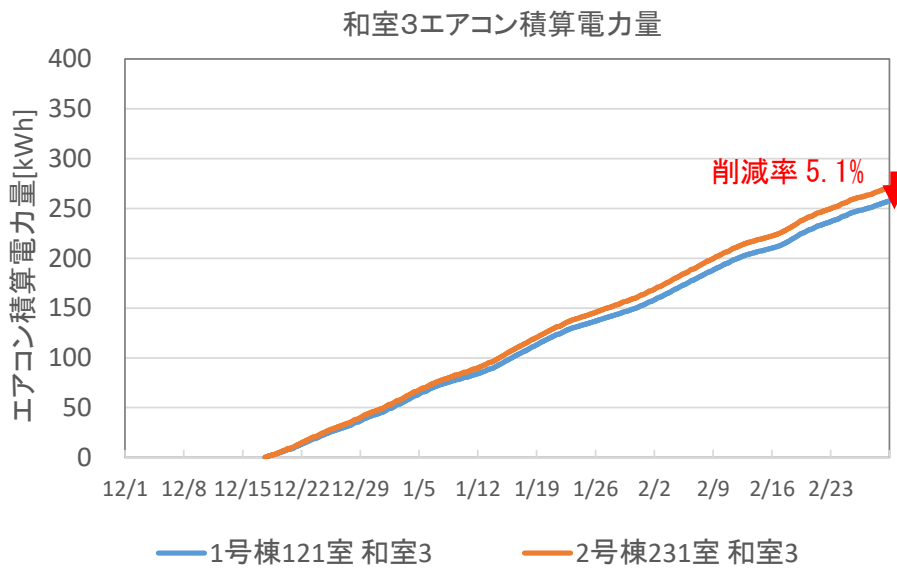


図 II-4-2-36 エアコン積算消費電力 12 月～2 月 (和室 1)

和室3の温度変動では、1号棟の平均温度が0.89℃低い状況であった。エアコンの消費電力量は、2号棟に比べ、1号棟が5.1%削減された結果となった。



図Ⅱ-4-2-37 室内温度 (FL+1100mm) 変動 1 月 (和室 3)



図Ⅱ-4-2-38 エアコン積算消費電力 12 月～2 月 (和室 3)

ダイニング・キッチン(DK)の温度変動では、1号棟の平均温度が0.30℃高い状況であった。エアコンの消費電力量は、2号棟に比べ、1号棟が7.2%増加した結果となった。冬期は、ガラスや外壁の遮熱によって、日射による加温効果が削減されるため、省エネ効果を得にくかったと思われる。南側の居室も同様であるが、日射のある昼間は、日射遮蔽されても、室内温度が日射の影響で暖房設定温度以上に上昇する時間が長いため、日射遮蔽による増エネの影響が少ないものと思われる。

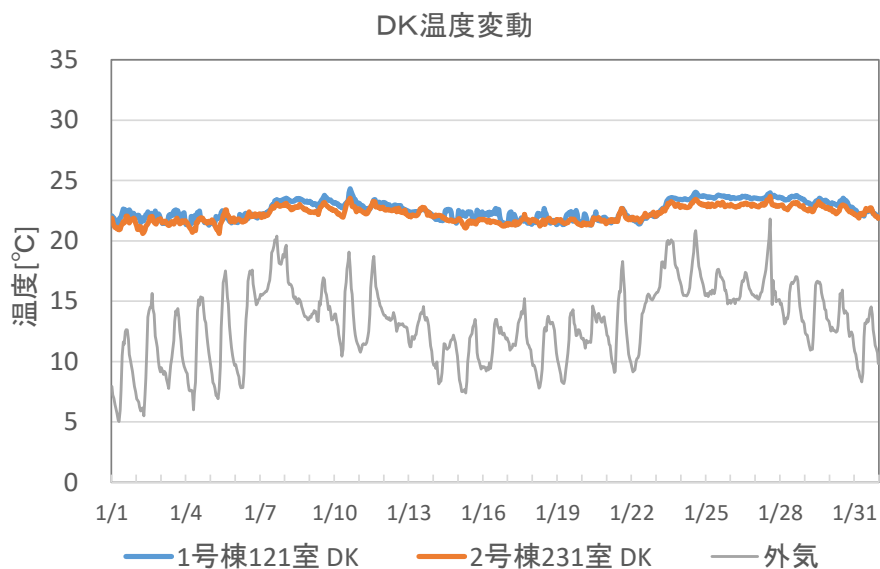


図 II-4-2-39 室内温度 (FL+1100mm) 変動 1 月 (DK)

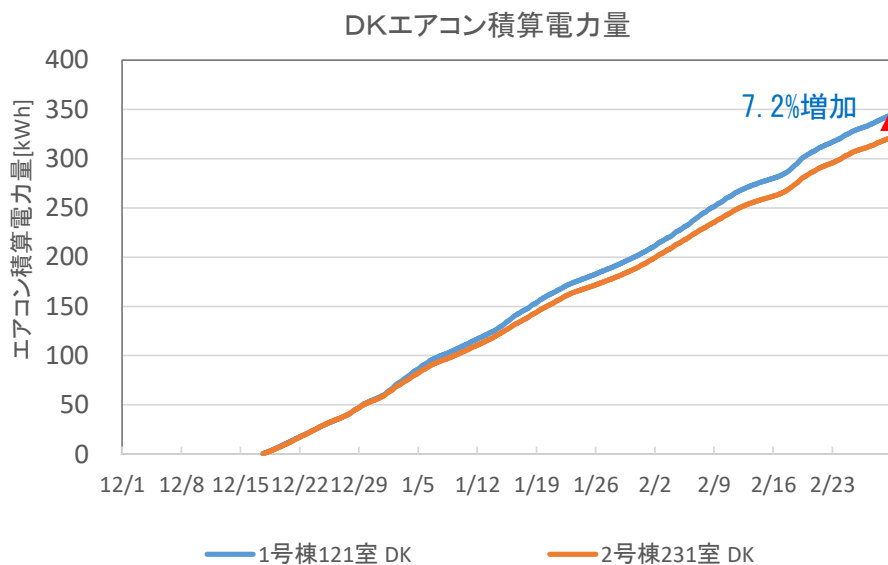
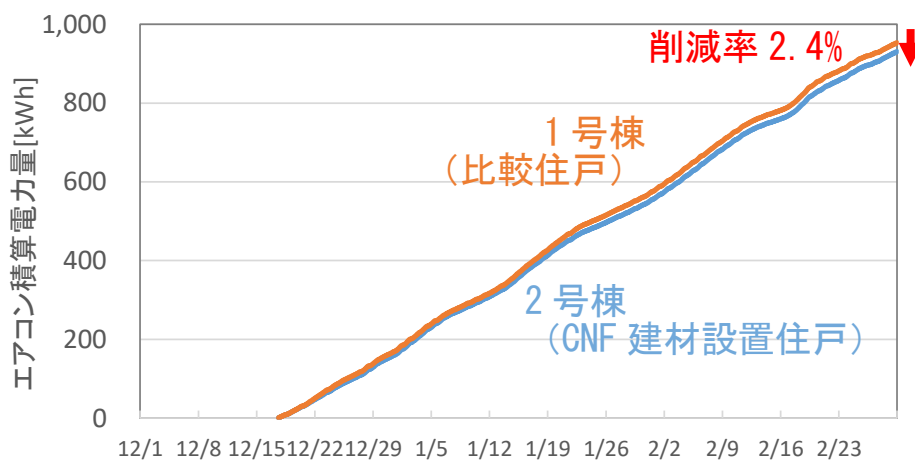
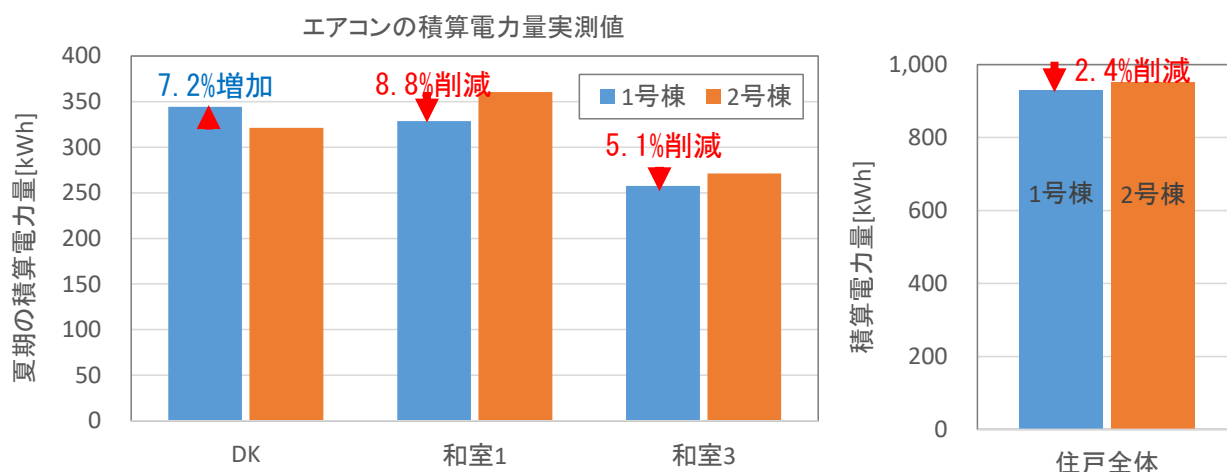


図 II-4-2-40 エアコン積算消費電力 12 月～2 月 (DK)

住戸全体の夏期の温度補正したエアコンの消費電力量は、12月～2月の約3カ月の累積で2号棟に比べ、1号棟が2.4%削減された結果となった。



図Ⅱ-4-2-41 エアコン積算消費電力量 12月～2月（住戸全体）



図Ⅱ-4-2-42 エアコン積算消費電力量 12月～2月（室別、住戸全体）

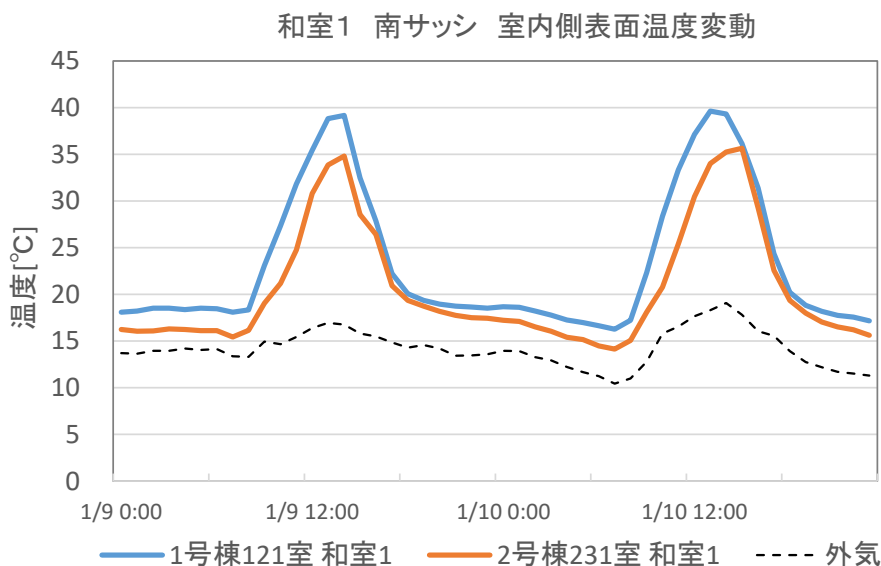
表Ⅱ-4-2-7 エアコン積算消費電力量 12～2月（室別、住戸全体）

実測値 2019/12/18～2/29までの積算74日間

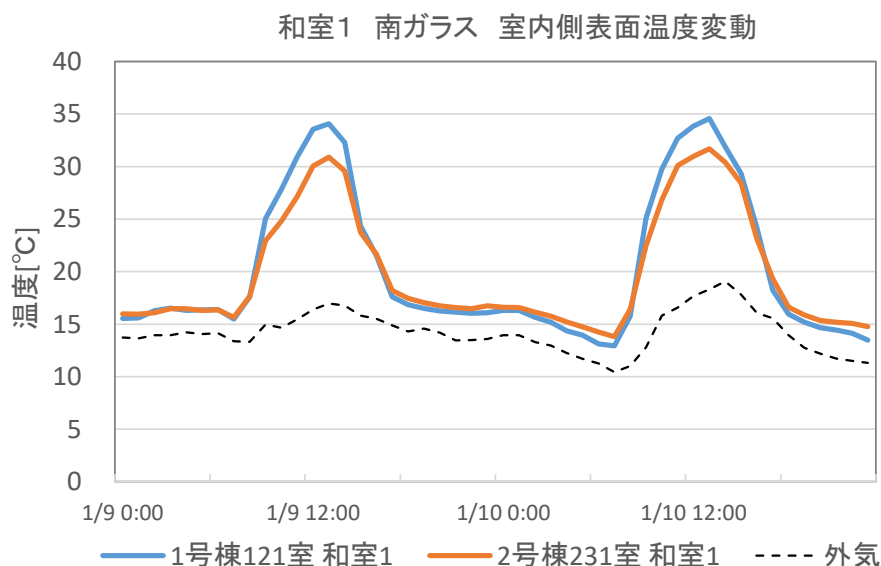
		DK	和室1	和室3	住戸全体
積算電力量[kWh]	1号棟	344.4	328.8	257.5	930.7
	2号棟	321.4	360.6	271.3	953.3
削減量[kWh]		-23.0	31.8	13.8	22.6
削減率		-7.2%	8.8%	5.1%	2.4%

2) 表面温度変動

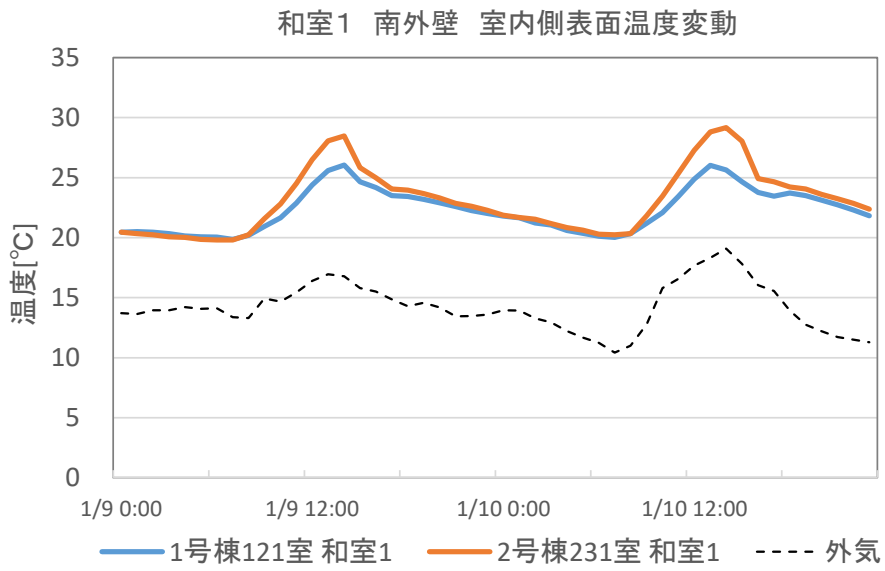
1月代表日(1月9日~10日)の室内側表面温度変動を示す。サッシ表面温度は、1号棟(CNF樹脂サッシ)の温度が昼間5°C程度、夜間2°C程度高い傾向となり、断熱性能向上効果が確認できた。ガラス表面温度は、日射のある昼間に1号棟(CNF合わせガラス)の温度が4°C程度高い状況であった。日射のある昼間に1号棟(CNF遮断熱コーティング材)の温度が3°C程度低い状況であった。



図Ⅱ-4-2-43 南側サッシ室内側表面温度変動 8月代表日(和室1)



図Ⅱ-4-2-44 南側ガラス室内側表面温度変動 8月代表日(和室1)

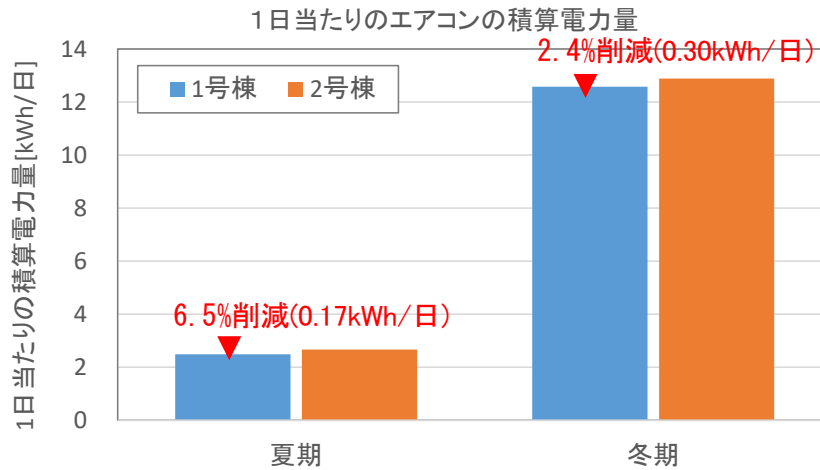


図Ⅱ-4-2-45 南側外壁室内側表面温度變動 8月代表日（和室1）

(6) 実測結果まとめ

実証住宅に敷設した、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による効果を分析した。

住戸全体のエアコンの積算電力量は、2号棟（比較棟）に比べ、1号棟（CNF 建材設置住戸）で、夏期 6.5%、冬期 2.4%の削減効果が確認された。



図Ⅱ-4-2-46 1日当たりのエアコン積算消費電力量（夏期、冬期）

表Ⅱ-4-2-8 1日当たりのエアコン積算消費電力量（夏期、冬期）

		夏期	冬期
1日当たりの積算電力量[kWh/日]	1号棟	2.49	12.58
	2号棟	2.67	12.88
1日当たりの削減量[kWh/日]		0.17	0.30
削減率		6.5%	2.4%

夏期：2019/6/1～10/31（154日間）の積算
冬期：2019/12/18～2/14（74日間）の積算

夏期（6～10月）のエアコンの積算電力量は、2号棟（比較棟）に比べ、1号棟（CNF 建材設置住戸）が削減された。室別の削減率は、DK：1.6%増加、和室1：10.4%、和室3：8.1%、住戸全体：6.5%削減であった。

夏期の室内の表面温度は、以下の傾向であった。

- ・外壁：1号棟（CNF 樹脂サッシ）の0.5℃程度温度が低い
- ・サッシ：1号棟（CNF 樹脂サッシ）の2℃程度温度が低い
- ・ガラス：日射のある昼間に1号棟（CNF 合わせガラス）の1℃程度温度が高い
- ・屋根表面温度は、CNF 遮断熱コーティング材によって、10℃程度低下した

冬期（12/1～2/14、76日間）のエアコンの積算電力量は、2号棟（比較棟）に比べ、1号棟（CNF 建材設置住戸）が2.4%削減された。室別の削減率は、DK：7.2%増加、和室1：8.8%、和室3：5.1%削減であった。

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)

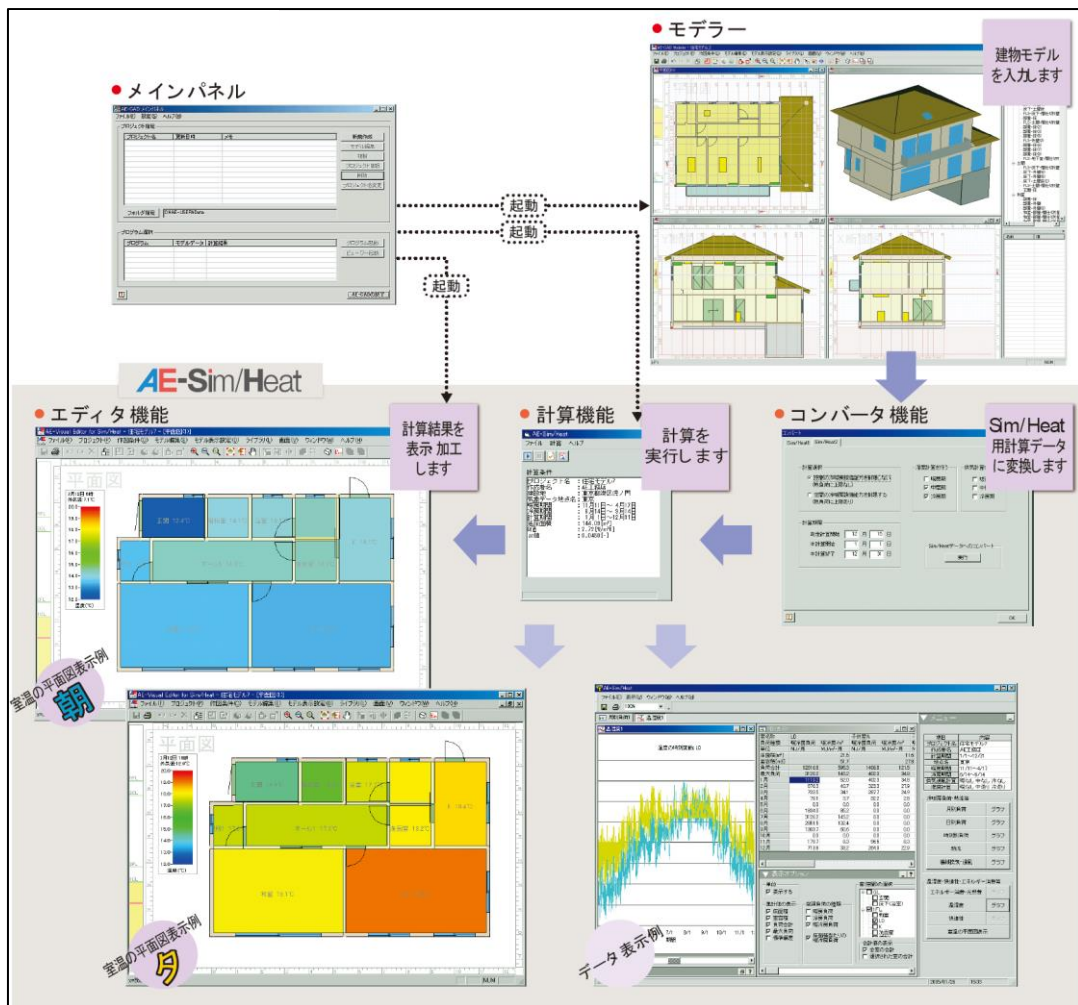
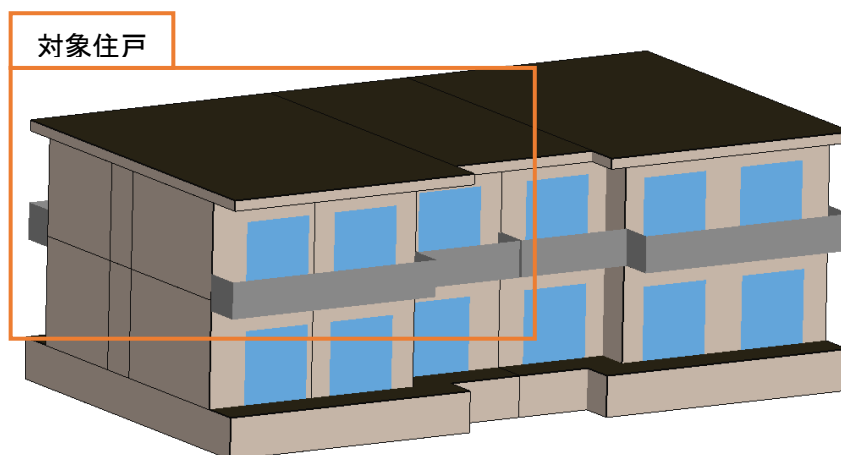


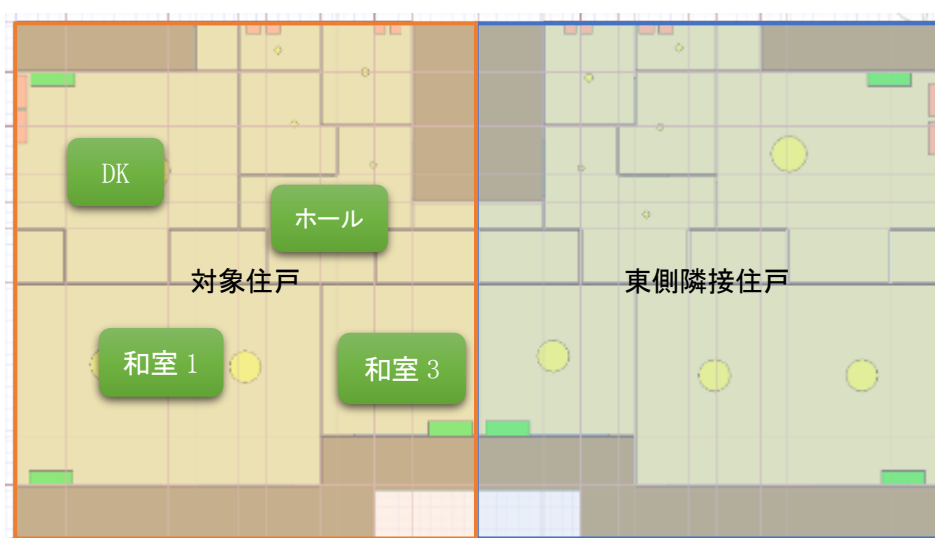
図 II-4-3-1 シミュレーションプログラムの計算フロー

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、今年度は、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。今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（Model A：基本モデル）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 2001～2010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2001年～2010年の10年間のEA 気象データから作成された2010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（Model A：基本モデル）

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 昨年度との違い

昨年度では、開発した CNF 活用建材の物性値を想定して、既築集合住宅への導入効果について、シミュレーション手法を用いて検討した。

今年度では、部材試験により得られた物性値を使用して解析し、省エネ効果および温熱環境向上効果の把握を行う。

さらに、CNF 活用建材導入に最適な住戸の検討を行う。シミュレーション対象住戸における、躯体の断熱性能、住戸向き、地域等の条件を変えて、シミュレーション手法により評価する。これにより、CNF 活用建材を普及するにあたり、どの断熱レベルの既築集合住宅に導入するのが最適なのか、どの地域に導入するのが最適なのか等の適正を把握する。

② 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本モデルを使用する。

窓は対象既築集合住宅全てに、CNF 遮断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 解析ケース（基本モデル）

解析ケース	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+CNF 遮断熱コーティング材
Case6	樹脂合わせ+CNF 遮断熱コーティング材

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	CNF 遮熱合わせガラス
樹脂単板	CNF 樹脂サッシ	普通単板ガラス
樹脂合わせ	CNF 樹脂サッシ	CNF 遮熱合わせガラス

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	6.02[W/m ² K]
樹脂単板	4.86[W/m ² K]
樹脂合わせ	4.40[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
普通単板ガラス	86.7%	7.7%	1.00	90.4%
CNF 遮熱合わせガラス	62.0%	7.6%	0.82	71.9%

③ 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 Case1 に対する削減率を示す。また、Case1 に対する年間冷暖房消費電力量の削減量および削減率を図Ⅱ-4-3-5 に示す。

Case2 は、暖房は、削減量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 0.03%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/(年・戸)]、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/(年・戸)]、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/(年・戸)]、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/(年・戸)]、5.8%の削減効果が得られた。

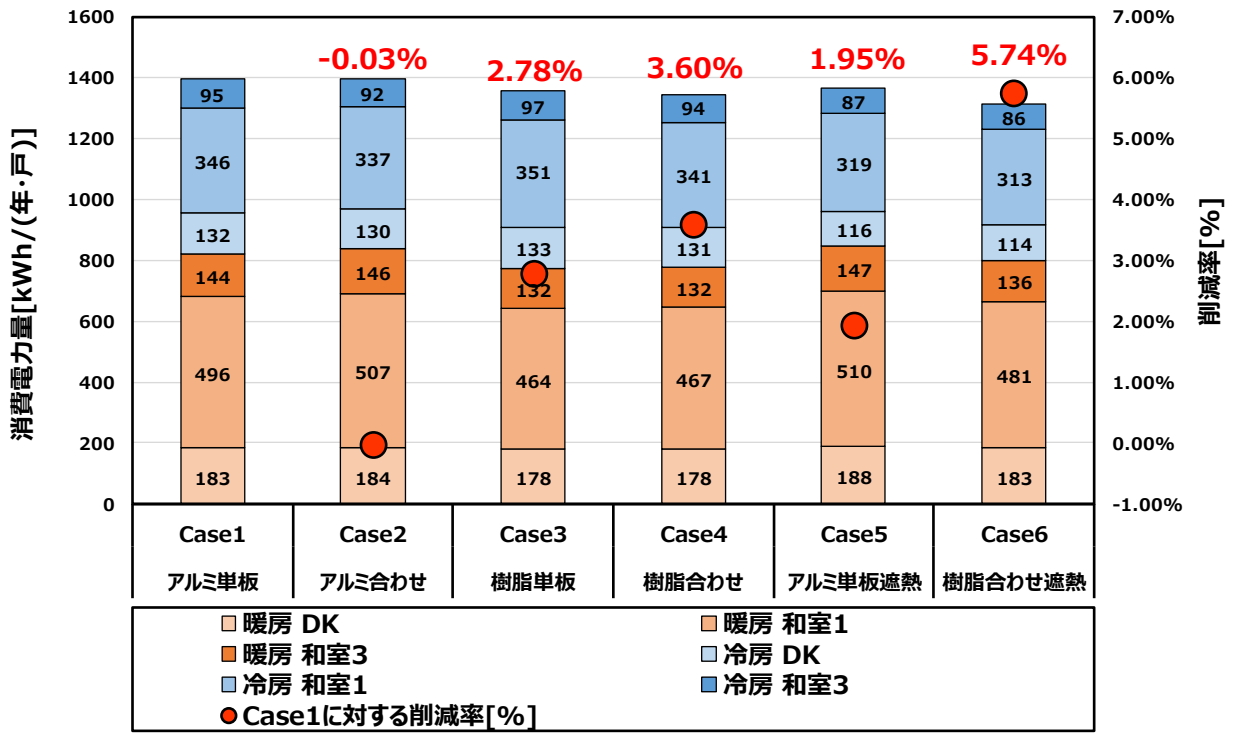


図 II-4-3-4 年間冷暖房消費電力量 (Model A : 基本モデル)

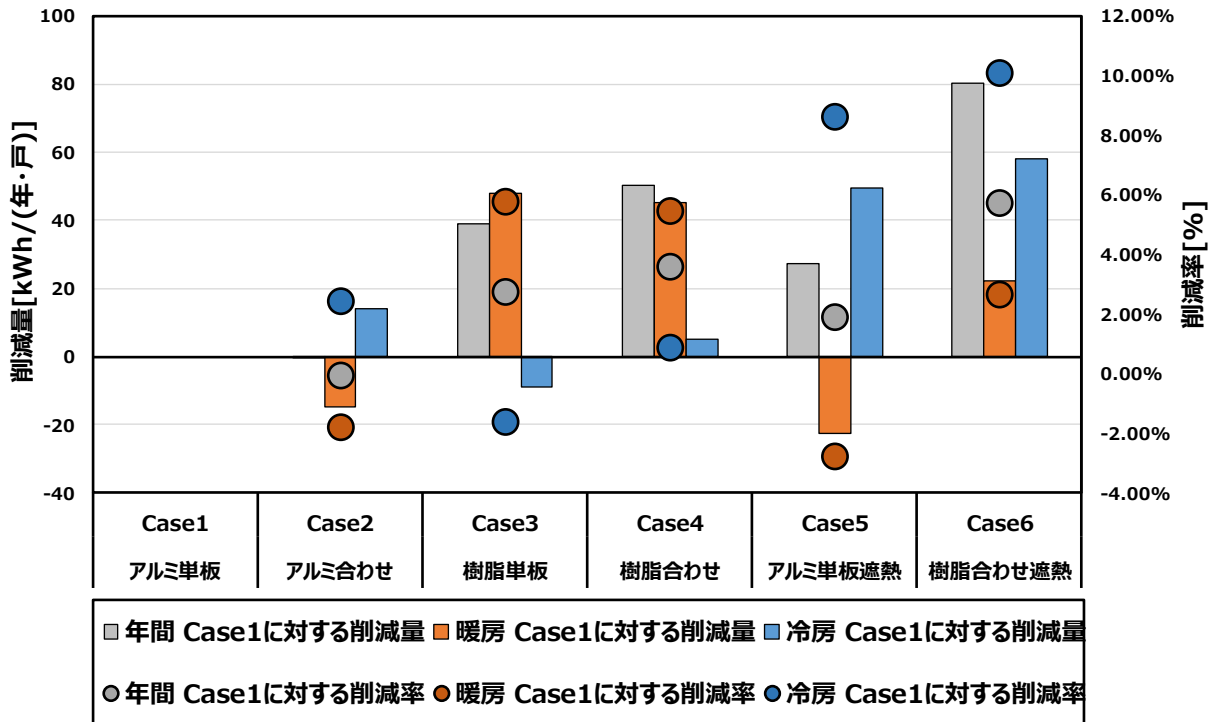


図 II-4-3-5 年間冷暖房消費電力量削減量・削減率 (Model A : 基本モデル)

④ 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。本検討においても $-0.5 < PMV < +0.5$ 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	0.8[clo]
	冷房期	0.5[clo]

空調 ON/OFF 別の PMV 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 時に DK は約 48～51%とかなり低い、その他の室は約 67～73%とわりと高く、合計では約 65～69%であった。空調 OFF 時は約 46%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%の増加がみられた。冷房期に合わせガラスと遮断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 評価対象時間

単位 (h)	空調室	
	空調 ON	空調 OFF
DK	1551	7189
和室 1	5241	3499
和室 3	3306	5434
合計	10098	16122

表 II-4-3-9 空調別 PMV 快適範囲時間割合 (Model A : 基本モデル)

単位 (%)	空調室											
	空調 ON						空調 OFF					
Case	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
DK	48.3	48.7	48.2	48.8	49.6	51.1	27.2	27.0	27.6	27.6	26.5	27.0
和室 1	67.5	68.8	67.5	69.4	69.9	72.0	30.3	29.4	31.1	31.3	28.5	29.0
和室 3	69.3	70.8	68.5	70.8	71.1	73.4	31.3	29.8	32.7	32.3	29.5	30.7
合計	65.1	66.4	64.9	66.7	67.2	69.2	46.9	45.6	48.2	48.0	44.8	46.0

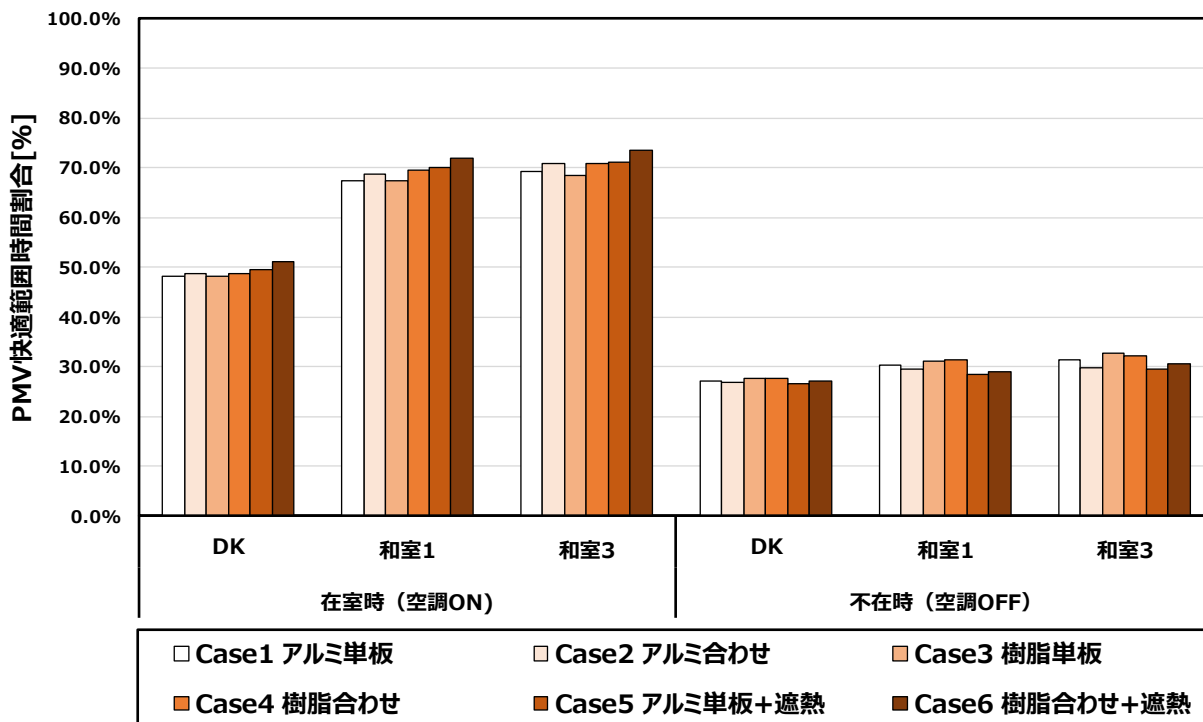


図 II-4-3-6 年間 PMV 快適範囲時間割合 空調別比較 (Model A : 基本モデル)

(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

(2)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建物モデルを、表Ⅱ-4-3-10 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「Model A：基本モデル」、現在の省エネ基準の「Model B：平成 25 年モデル(H25)」、ZEH 基準を満たした「Model C：ZEH モデル」の 3 モデルを設定した。表Ⅱ-4-3-11 に Model B・Model C 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-4-3-10 解析ケース（断熱性能変更）

断熱性能変更 建物モデル	解析ケース
Model A：基本モデル Model B：平成 25 年モデル(H25) Model C：ZEH モデル	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+CNF 遮断熱コーティング材 Case6：樹脂合わせ+CNF 遮断熱コーティング材

表Ⅱ-4-3-11 本検討モデルと省エネルギー基準での外皮断熱性能および日射熱取得率

躯体モデル	名称	断熱性能	日射熱取得率
Model A	基本モデル	U_A 値 2.12[W/(m ² ・K)] 以下	η_{AC} 値=4.9
Model B	H25 モデル	U_A 値 0.74[W/(m ² ・K)] 以下	η_{AC} 値=2.9
Model C	ZEH モデル	U_A 値 0.60[W/(m ² ・K)] 以下	η_{AC} 値=2.8
平成 25 年省エネルギー基準 基準値		U_A 値 0.87[W/(m ² ・K)] 以下	η_{AC} 値=2.7

1) 躯体の性能値 (Model A : 基本モデル)

Model A (基本モデル) の各部材の層構成を表Ⅱ-4-3-12 に示す。基本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。基本モデルの U_A 値計算書(外皮平均熱貫流率)および η_{AC} 値(冷房期日射熱取得率)計算書を表Ⅱ-4-3-13 に示す。

表Ⅱ-4-3-12 各部材の層構成 (Model A : 基本モデル)

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-4-3-13 U_A値およびη_{AC}値計算書(Model A:基本モデル)

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(ηA)	-	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 (Model B : H25 モデル)

表Ⅱ-4-3-14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、基本モデルを基に外壁および屋根に断熱材を導入したモデルとなっている。表Ⅱ-4-3-14において、下線の部材は、基本モデルより変更した断熱材を示している。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CNF遮熱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-4-3-15にH25モデルの U_A 値(外皮平均熱貫流率)および η_{AC} 値(冷房期日射熱取得率)計算書を示す。

表Ⅱ-4-3-14 各部材の層構成 (Model B : 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
	<u>住宅用ロックウール断熱材</u>	92.0	
	中空層	40.0	
	合板	20.0	
外壁(DK)	コンクリート	180.0	0.35
	<u>住宅用ロックウール断熱材</u>	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
<u>住宅用ロックウール断熱材</u>	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-4-3-15 U_A値およびη_{AC}値計算書(Model B : 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		

3) 躯体の性能値 (Model C : ZEH モデル)

表Ⅱ-4-3-16 に ZEH 基準に相当する躯体モデルの各部材の層構成を示す。ZEH モデルは、基本モデルを基に外壁および屋根に断熱材を導入したモデルとなっている。表Ⅱ-4-3-16 において、下線の部材は、基本モデルより変更した断熱材を示している。ZEH 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 CNF 遮熱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、ZEH 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-4-3-17 に ZEH モデルの U_A 値 (外皮平均熱貫流率) および η_{AC} 値 (冷房期日射熱取得率) 計算書を示す。

表Ⅱ-4-3-16 各部材の層構成 (Model C : ZEH 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	0.22
	住宅用ロックウール断熱材	150.0	
	中空層	40.0	
	合板	20.0	
外壁 (DK)	コンクリート	180.0	0.23
	住宅用ロックウール断熱材	150.0	
	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	0.17
	住宅用ロックウール断熱材	200.0	
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 U_A値およびη_{AC}値計算書(Model C: ZEH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	674.56		
外皮平均熱貫流率(UA)	W/m ² K	0.58	0.87	○
冷房期外皮平均日射熱取得率(η _A)	-	1.8	2.7	○
単位温度差当たりの外皮熱損失量(q)	W/K	391.3		
単位日射強度当たりの冷房期日射熱取得量(mC)	-	12.17		
単位日射強度当たりの暖房期日射熱取得量(mH)	-	13.93		

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	14.52	0.00	95.78	70.576	0.000	31.978	31.978
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	8.303	8.303
南東	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000
南	37.32	0.00	72.87	173.538	0.000	26.466	26.466
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	6.864	6.864
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		32.626	32.626
床			32.49			7.506	7.506
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	51.84	7.20	615.52	244.114	33.480	113.743	113.743
合計	674.56			UA用		391.337	
				q用		391.337	

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	2.3153	0.0000	0.3338	0.9388	0.0000	0.2468
北東	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
東	0.0000	0.2575	0.1437	0.0000	0.2747	0.1533
南東	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
南	7.2070	0.0000	0.3707	9.8134	0.0000	0.9205
南西	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
西	0.0000	0.3130	0.1155	0.0000	0.3466	0.1279
北西	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
屋根・天井	0.0000		1.1093	0.0000		1.1093
小計	9.5223	0.5706	2.0730	10.7522	0.6213	2.5578
合計	12.1659			13.9313		

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-4-3-7に示す。各積み上げグラフの上に各躯体モデルのCase1に対する削減率を示す。また、Case1に対する年間冷暖房消費電力量の削減量および削減率を図Ⅱ-4-3-8に示す。

Case2では合わせガラス導入効果を示している。Model Aでは削減効果は見られないが、Model Bでは0.25%、Model Cでは0.18%の削減効果がみられた。これは、Model B、Model C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。

Case3では樹脂サッシの導入効果を示している。Model Aの年間削減率は2.8%であるのに対してModel Bは3.7%、Model Cは3.8%と削減効果が高くなっている。躯体の断熱性能向上により、開口部以外での熱流出が抑制されたためと考えられる。これにより、樹脂サッシの導入がより効果的となったと考えられ、暖房削減率についてModel Aは5.8%であるのに対してModel Bは10.5%、Model Cは11.5%と削減効果が向上している。

Case4では合わせガラスと樹脂サッシの導入効果を示しており、Case3と同様の傾向がみられた。

Case5では遮断熱コーティング材の導入効果を示している。各躯体モデルで1.9%~0.8%の削減効果がみられた。Model A~Model Cの躯体の断熱性能が低い順に削減率が高い。これは外壁および屋根に断熱材が使用されていないModel A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。遮熱塗料の導入効果が最大となるのはModel Aで、年間冷暖房消費電力量が1.9%削減された。

全ての手法を導入したCase6は、各躯体モデルで5.7%~5.9%の削減効果がみられた。

この結果より、開発中のCNF活用建材は、断熱性能の高い住宅に導入する方が、より効果が高いことが分かった。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く、一方で、CNF遮断熱コーティング材のみの導入の場合は、断熱性能の低い住宅への効果が高い。

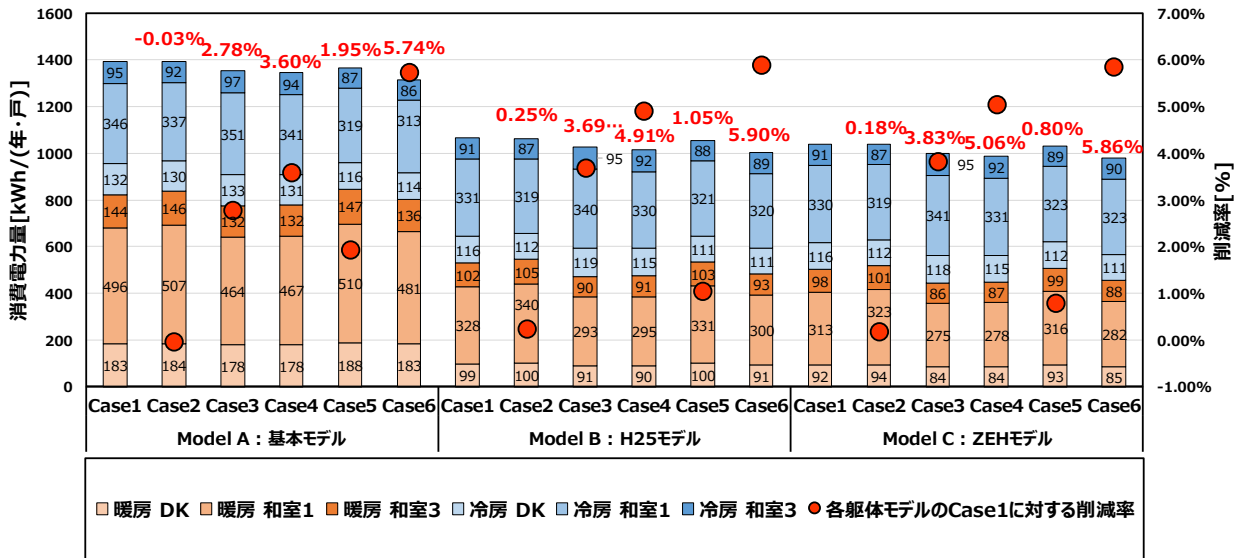


図 II-4-3-7 年間冷暖房消費電力量 (躯体の断熱性能変更)

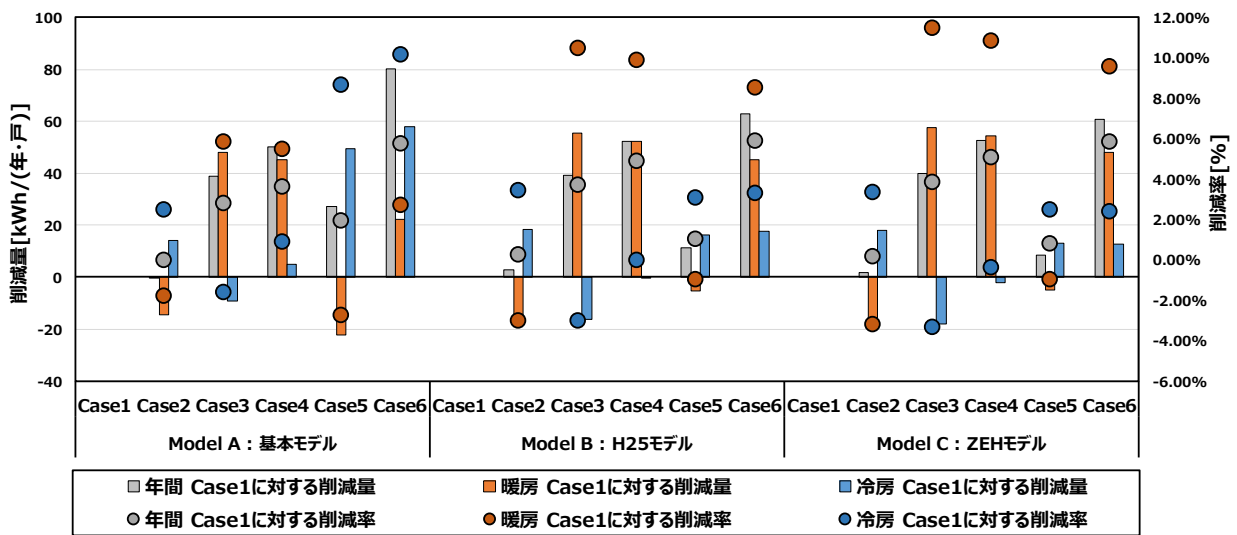


図 II-4-3-8 年間冷暖房消費電力量削減量・削減率 (躯体の断熱性能変更)

③ PMV による室内環境評価

PMV による室内環境評価について、PMV 算出条件は(2)④と同様で、表Ⅱ-4-3-7 に示す。空調 ON/OFF 別の PMV 評価対象時間を表Ⅱ-4-3-18 に示す。

表Ⅱ-4-3-18 PMV 評価対象時間

単位 (h)	空調室	
	空調 ON	空調 OFF
DK	1551	7189
和室 1	5241	3499
和室 3	3306	5434
合計	10098	16122

H25 モデル(Model B)における空調 ON/OFF 別の PMV 快適範囲時間割合を表Ⅱ-4-3-19、図Ⅱ-4-3-9 に、ZEH モデル(Model C)における空調 ON/OFF 別の PMV 快適範囲時間割合を表Ⅱ-4-3-20、図Ⅱ-4-3-10 に示す。

空調 ON 時、DK における PMV 快適範囲時間の割合について、Model A は約 48～51%とかなり低いのに対し、Model B および Model C は約 61～63%と約 10%以上高くなっている。また、和室 1・和室 3 の空調 ON 時・空調 OFF 時共に Model B、Model C において快適時間割合が増加している。和室 1・和室 3 において空調 ON、OFF 時ともに Case2、Case4、Case6 での割合が高い。冷房期に合わせガラスと遮断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。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-4-3-19 空調別 PMV 快適範囲時間割合 (Model B : H25 モデル)

単位 (%)	空調室											
	空調 ON						空調 OFF					
Case	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
DK	60.5	62.5	59.5	61.2	62.5	63.0	37.5	37.1	39.8	40.1	37.6	40.1
和室1	73.2	76.3	72.7	76.1	74.4	77.8	39.2	38.4	41.2	42.2	38.6	41.7
和室3	75.3	77.7	74.0	77.6	76.0	79.3	39.1	38.1	41.8	42.8	38.4	42.1

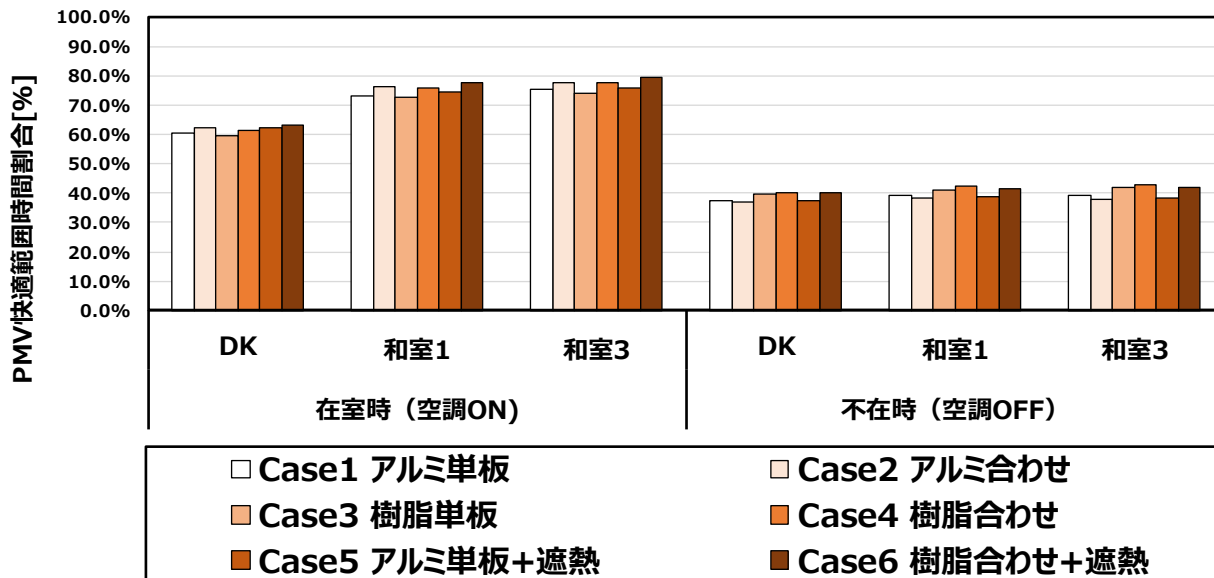


図 II-4-3-9 年間 PMV 快適範囲時間割合 空調別比較 (Model B : H25 モデル)

表 II-4-3-20 空調別 PMV 快適範囲時間割合 (Model C : ZEH モデル)

単位 (%)	空調室											
	空調 ON						空調 OFF					
Case	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
DK	60.5	62.3	59.2	60.9	62.2	62.7	39.2	38.8	42.0	42.5	39.4	42.8
和室1	73.7	76.8	72.8	76.7	74.7	77.8	40.0	39.6	42.0	43.2	39.8	42.9
和室3	75.8	78.5	74.3	78.4	76.3	79.8	40.3	39.4	42.6	43.7	40.0	43.4

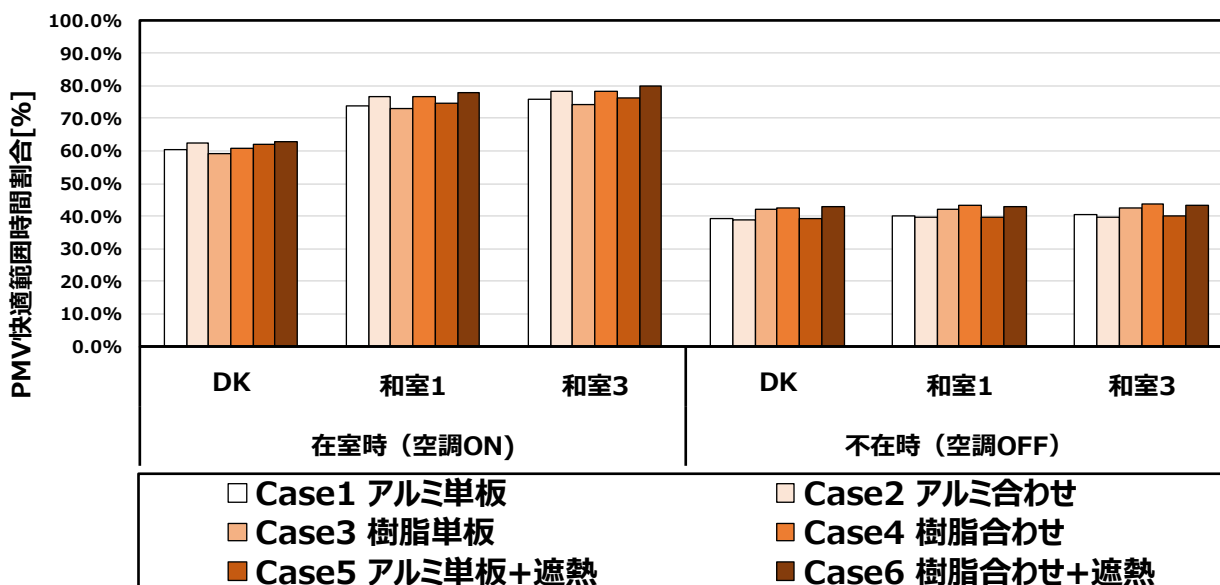


図 II-4-3-10 年間 PMV 快適範囲時間割合 空調別比較 (Model C : ZEH モデル)

(4) 住戸向きの異なる住宅への CNF 活用建材の導入効果検討

① 検討ケース

(2) 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。方位の異なる住戸への普及を考慮し、住戸向きの異なる住宅に導入した場合の効果も検討した。

住戸の向きに関して、リビングに当たる和室 1、和室 3 が南向きである既存の市営住宅を南向きモデル (Model A : 基本モデル) とする。方位を 4 方向に変更したモデルを住戸向きモデル (Model D~Model F) として検討した。

(2) 項の基本モデルである Case1~6 より Case1 (CNF 活用建材なし)、Case6 (CNF 活用建材あり) のみ抽出して、Model A および Model D~Model F と組み合わせ比べて比較を行った。

表 II-4-3-21 解析ケース (住戸向き変更)

住戸向き変更 建物モデル	解析ケース
Model A : 南向きモデル (基本モデル) Model D : 西向きモデル Model E : 北向きモデル Model F : 東向きモデル	Case1 : アルミ単板 Case6 : 樹脂合わせ+CNF 遮断熱コーティング材

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-4-3-11 に示す。各積み上げグラフの上に各住戸向きモデルの Case1 に対する削減率を示す。また、Case1 に対する年間冷暖房消費電力量の削減量および削減率を図 II-4-3-12 に示す。

Case1 に対する Case6 の年間削減率について、南向き (Model A) では 5.7% であるのに対し、他方位 (Model D~Model F) では、6.3~6.4% と削減効果が高く、削減量も 91~96 [kWh/(年・戸)] に増加した。暖房削減率についても、南向き (Model A) では 2.7% であるのに対し、他方位 (Model D~Model F) では、3.2~4.0% と削減効果が高くなっており、削減量は 28~35 [kWh/(年・戸)] に増加している。南向きと比較してその他方位は日照時間が短いため、CNF 樹脂サッシおよび CNF 遮断熱コーティング材の導入による断熱性能向上が効果的であったと考えられる。

一方で、冷房削減率については、南向き (Model A) では 10.1% であるのに対し、削減効果が高いのは北向きと東向きであるが、削減量としては西向き、東向きが高く、60~67 [kWh/(年・戸)] に増加している。西向き・東向きは太陽高度が低く窓からの日射が入り込みやすいため、CNF 遮熱合わせガラス・CNF 遮断熱コーティング材の日射遮蔽効果が効果的であったと考えられる。

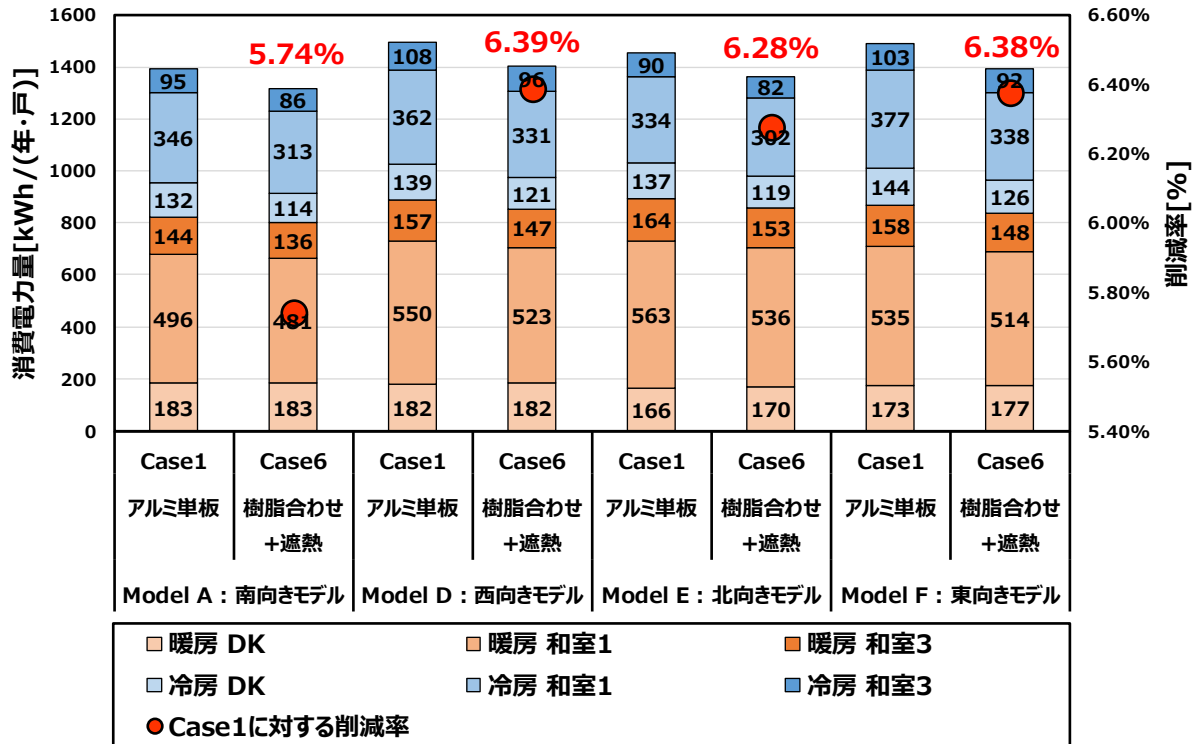


図 II-4-3-11 年間冷暖房消費電力量(住戸向き変更)

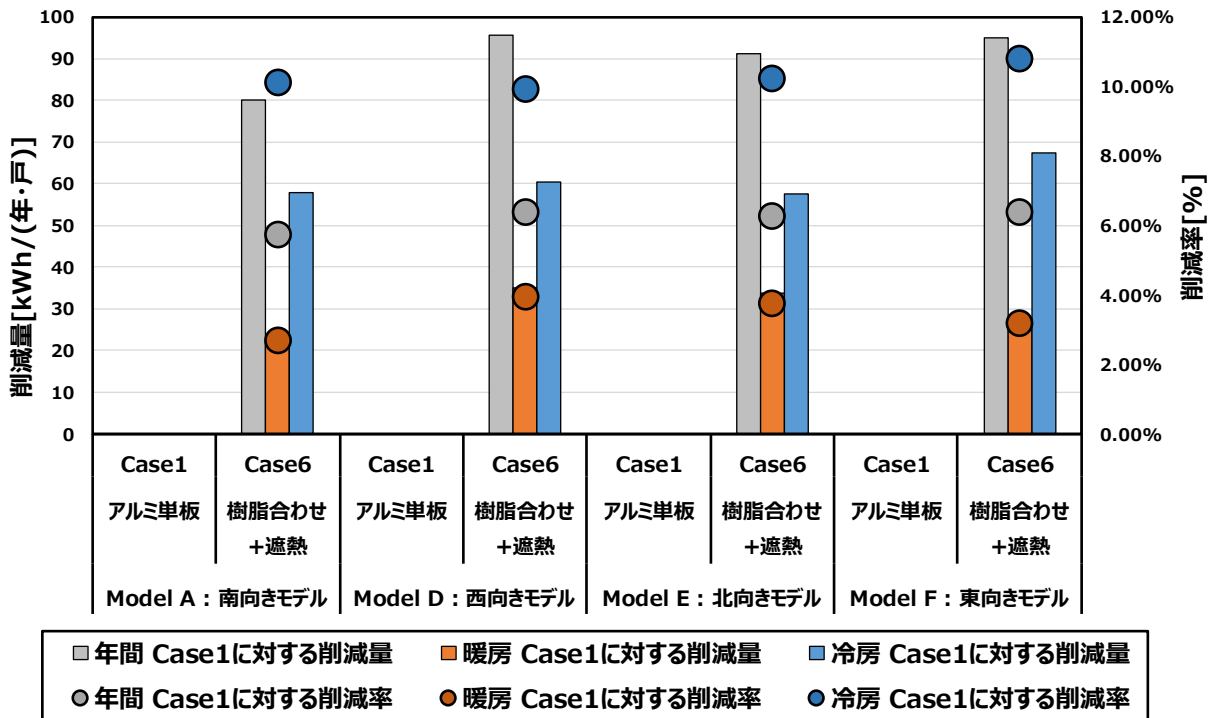


図 II-4-3-12 年間冷暖房消費電力量削減量・削減率(住戸向き変更)

(5) 地域の異なる住宅への CNF 活用建材の導入効果検討

① 検討ケース

(2) 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、比較的温暖な気候の土地である鹿児島にある住宅であるが、今後、様々な気候の地域への普及を考慮して地域の異なる住宅に導入した場合の効果も検討した。

検討した地域の異なる地域モデルとしては、(3) 項の表Ⅱ-4-3-11 に示す「次世代省エネルギー基準」を地域ごとに分けた「省エネ基準地域区分」を元を選択した 6 種類の地域モデルとした。

(4) 項の住戸向き変更と同様に、(2) 項の基本モデルである Case1~6 より Case1 (CNF 活用建材なし)、Case6 (CNF 活用建材あり) のみ抽出して、Model A および Model G~Model K と組み合わせて比較を行った。

表Ⅱ-4-3-22 解析ケース (地域変更)

地域変更 建物モデル	解析ケース
Model A : 7 地域 (鹿児島) モデル	Case1 : アルミ単板 Case6 : 樹脂合わせ + CNF 遮断熱コーティング材
Model G : 4 地域 (仙台) モデル	
Model H : 5 地域 (宇都宮) モデル	
Model I : 6 地域 (東京) モデル	
Model J : 6 地域 (大阪) モデル	
Model K : 8 地域 (那覇) モデル	

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-4-3-13に示す。各積み上げグラフの上に各地域モデルのCase1に対する削減率を示す。また、Case1に対する年間冷暖房消費電力量の削減量および削減率を図Ⅱ-4-3-14に示す。

Case1に対するCase6の年間削減率については、より南にある地域がより高い削減率を示しており、最小の4地域(仙台)の3.5%に対して、最大の8地域(那覇)において9.7%である。また、削減量については、5地域(宇都宮)において最大で、119[kWh/(年・戸)]であり、7地域(鹿児島)にて最小で、80[kWh/(年・戸)]である。なお、8地域(那覇)においては、暖房の消費電力がないため、年間の消費電力=冷房の電力になるため、年間削減率の値がとて高くなる。

暖房については、比較的内陸にある地域がより高い削減率を示しており、最小の7地域(鹿児島)の2.7%に対して、最大の6地域(大阪)において3.5%である。開口部と躯体の断熱性能を向上させることで、暖房期においてより熱が逃げにくくなったため、CNF樹脂サッシおよびCNF遮熱合わせガラスの導入による断熱性能向上が効果的であったと考えられる。

一方で、冷房については、より南にある地域がより高い削減量を示しており、最小の4地域(仙台)の13[kWh/(年・戸)]に対して、最大の8地域(那覇)において93[kWh/(年・戸)]である。冷房期においてCNF遮断熱コーティング材の日射遮蔽効果が効果的であったと考えられる。

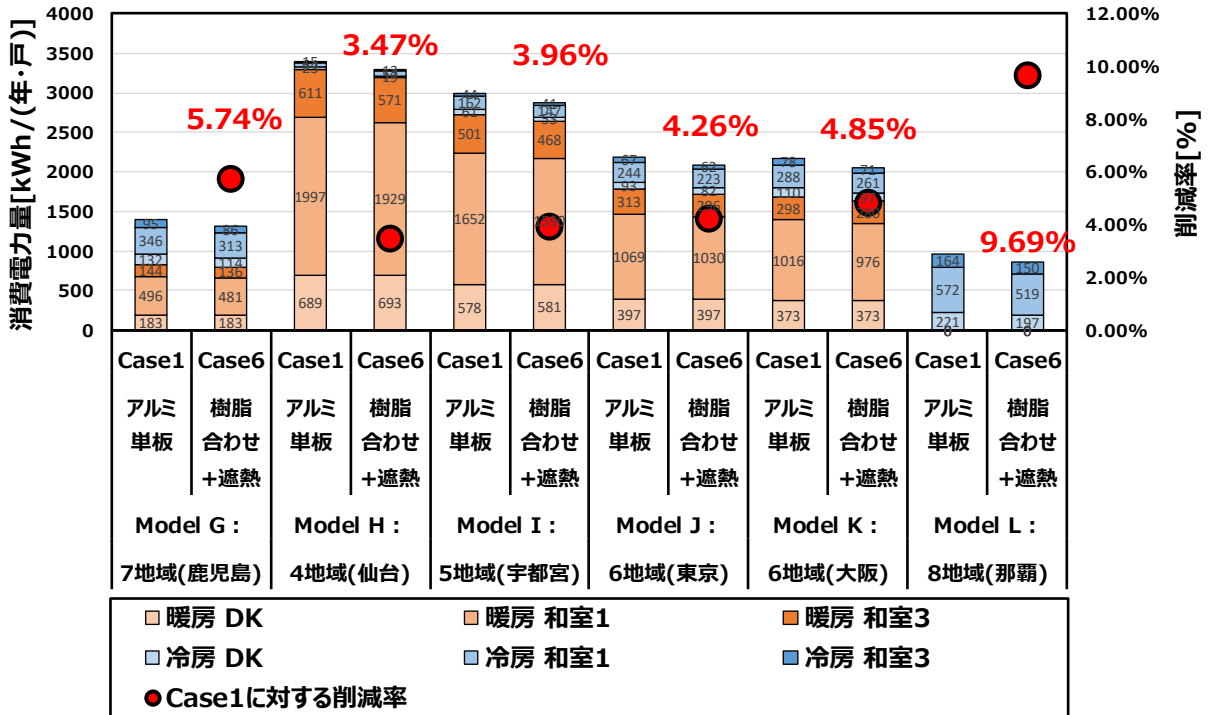


図 II-4-3-13 年間冷暖房消費電力量(地域変更)

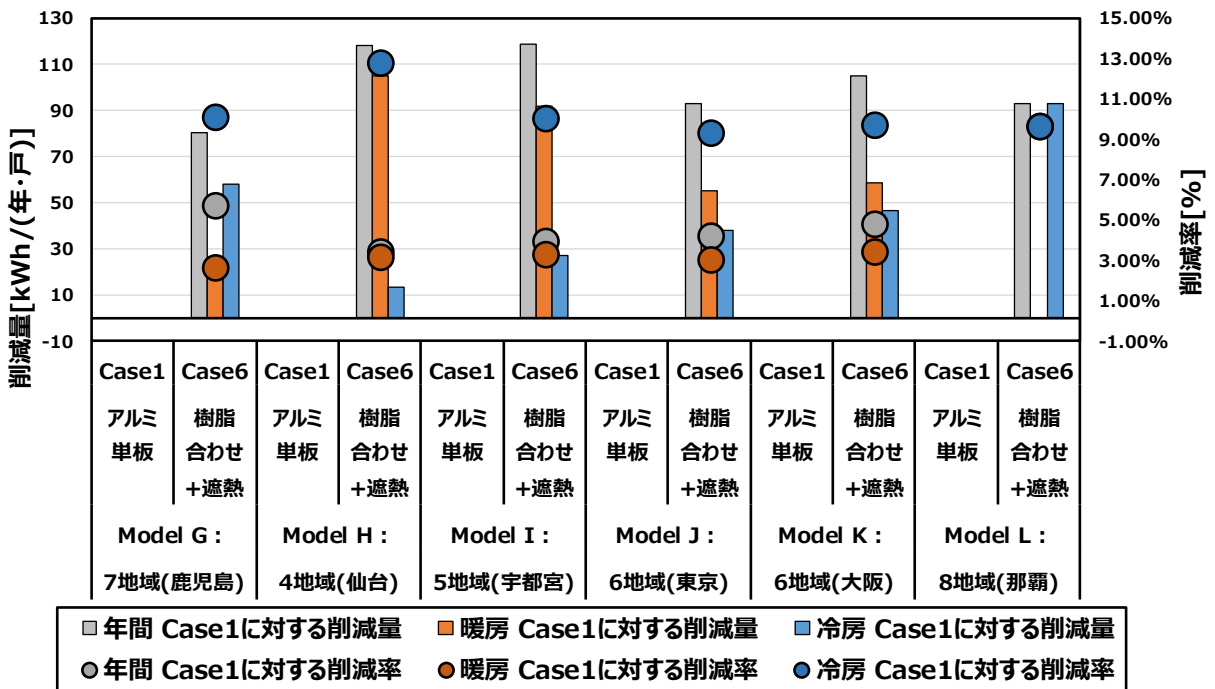


図 II-4-3-14 年間冷暖房消費電力量削減量・削減率(地域変更)

(6) シミュレーションによる検討まとめ

実証住宅に、開発した 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) の物性値を設定し、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。また、CNF 活用建材導入に最適な住戸を検討するために、断熱性能の異なる住戸、住戸向きの異なる住戸および地域の異なる住戸への CNF 活用建材の導入効果を検討した。

断熱性能の異なる住戸での検討では、実測を行う市営住宅並びに、断熱性能の異なる住戸 3 タイプをモデルとして、時刻別の年間を通したエネルギー消費量の計算を行い、季節別や年間合計の 1 戸当たり省 CO2 効果を把握した。省 CO2 効果は、開発した CNF 活用建材を全て導入した場合に加えて、CNF 活用建材個別の省 CO2 効果も推計した。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。また、住戸向きの異なる住戸および地域の異なる住戸での検討では、CNF 活用建材を導入した住戸と導入していない住戸のみを比較して、省 CO2 効果を把握した。

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。

断熱性の異なる住戸検討では、Model A:基本モデルよりも断熱性を向上させたモデル (Model B: H25 モデル、Model C: ZEH モデル) の方が電力使用量の削減率が高く、開発中の CNF 活用建材は、断熱性能の高い住宅に導入する方が、より効果が高いことが分かった。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く、一方で、CNF 遮断熱コーティング材のみの導入の場合は、断熱性能の低い住宅への効果が高い結果となった。

住戸向きの異なる住戸検討で、暖房削減率については、南向き (Model A) より他方位 (Model D~Model F) の方が削減効果が高い結果となった。これは、南向きと比較してその他方位は日照時間が短いため、CNF 樹脂サッシおよび CNF 遮断熱コーティング材の導入による断熱性能向上が効果的であったと考えられる。一方で、冷房削減率については、南向き (Model A) より削減効果が高いのは北向きと東向きであるが、削減量としては西向き、東向きが高い。西向き・東向きは太陽高度が低く窓からの日射が入り込みやすいため、CNF 遮熱合わせガラス・CNF 遮断熱コーティング材の日射遮蔽効果が効果的であったと考えられる。総じて、年間削減率で見ると、南向き (Model A) より他方位 (Model D~Model F) の方が、削減効果が高く、削減量も増加した結果となった。

地域の異なる住戸検討で、年間削減率については、より南にある地域がより高い削減率を示しており、最小の 4 地域 (仙台) の 3.5%に対して、最大の 8 地域 (那覇) において 9.7%の削減効果の結果となった。

5. CNF 素材の改質、コンポジット化、機能評価

本項では、「1. CNF 樹脂サッシの開発・試作に向けた検討」および「2. CNF 遮熱合わせガラスの開発・試作に向けた検討」に関する調査を行った。

5-1. CNF コンポジットの調製と機能評価

(1) EVAコンポジットの調製と物性評価

① 無修飾 CNF および疎水化 CNF (*h*-CNF) と EVA とのコンポジット化

ここでは、無溶媒および溶媒を使用した場合の2種類の複合法で CNF-EVA コンポジットフィルムを作製した。

方法 1: 溶媒を使用しない複合法 (無溶媒混練法)

昨年度調製した *h*-CNF および無修飾 CNF (中越パルプ工業製の解繊度 C タイプ水分分散液、CNF: 10.4 wt%) を 0.5 wt% になるように水に分散後、凍結乾燥を行い図 II-5-1-1 の3種類の CNF 乾燥物を得た。昨年度実施した *h*-CNF の調製方法は下記のとおりである。CNF 250 mg に対してフェノール系モノマーおよびアミン系の架橋剤を合わせて 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溶媒中に溶解させ、これに CNF を分散させた後、一定時間加熱し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した。フェノール系モノマーとして2種のモノマー (A, B) を用い、CNF のポリマー被覆を行った。得られた CNF 乾燥物 (*hA*-CNF、*hB*-CNF) 0.3 g と EVA ペレット (エバフレックス EV260、酢酸ビニル含量: 28 wt%、三井・ダウ ポリケミカル製 (提供: フィグラ社)) 30 g を固体状態で混合した後、微量二軸混練押出機 (図 II-5-1-2、井元製作所製 IMC-9B00 (2019年7月1日導入)) を用いて混練し、CNF と EVA の2種類のコンポジット物を作製した。得られたコンポジット物を、100 °C で1分間、2 MPa で熱プレスすることにより CNF-EVA コンポジットフィルムを作製した。図 II-5-1-3 に混練後の CNF-EVA コンポジット物および熱プレス後の CNF-EVA コンポジットフィルムの外観写真を示した。

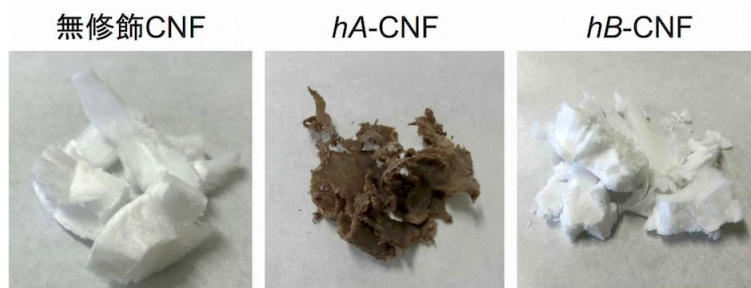


図 II-5-1-1 無修飾 CNF および疎水化 CNF の乾燥物の外観写真



図 II-5-1-2 微量二軸混練押出機 (IMC-9B00、井元製作所製)

2019年7月1日導入

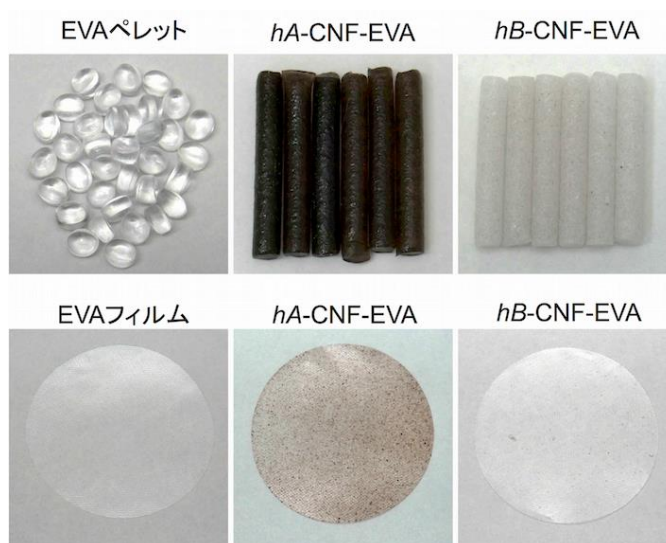


図 II-5-1-3 EVA ペレットおよび混練後の CNF-EVA コンポジット物 (上段)、
CNF-EVA コンポジットフィルム (下段) の外観写真

方法 2: 溶媒を使用する複合化 (溶媒混合法)

図 II-5-1-3 で明らかなように、*hA*-CNF は着色度が高いため、以降の検討では、着色のない *hB*-CNF を用いて検討を行った。

CNF 乾燥物 (無修飾 CNF、*hB*-CNF) 0.2 g にテトラヒドロフラン (THF) 40 mL を加え、ホモジナイザーを用いて 26,000 rpm で 10 分間処理し、CNF の THF 分散液を調製した。得られた CNF 分散液を 20 wt% の EVA の THF 溶液と混合し、CNF-EVA 混合分散液を調製した。得られた分散液をアルミカップに流し入れ、25 °C で 24 時間、大気圧下で乾燥し、CNF-EVA コンポジット物を作製した。その後、CNF-EVA コンポジット物を、100 °C で 1 分間、2 MPa で熱プレスすることにより CNF-EVA コンポジットフィルムを作製した (図 II-5-1-4)。

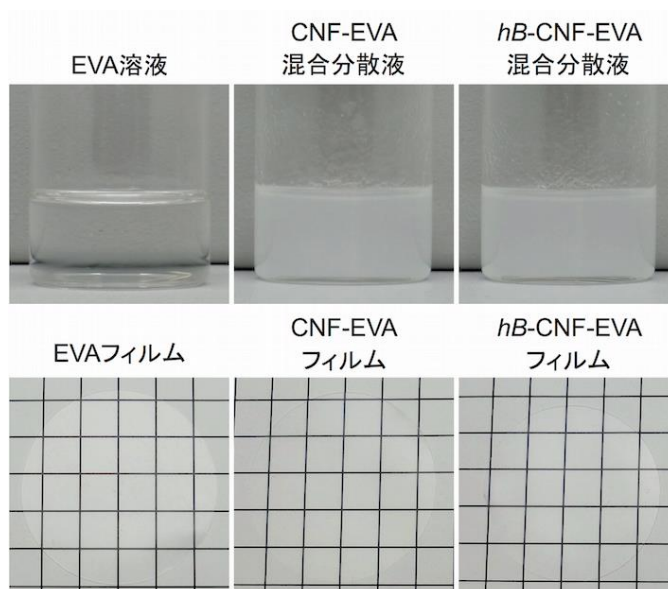


図 II-5-1-4 EVA 溶液および CNF-EVA 混合分散液（上段）、
CNF-EVA コンポジットフィルム（下段）の外観写真

② コンポジットフィルムの物性評価

②-1 評価用サンプルの作製

CNF のコンポジット中での分散性を評価するため、作製した CNF-EVA コンポジットフィルムを 76 mm×26 mm（厚み：1 mm）のソーダ石灰ガラス（松浪硝子工業製）に挟み、100 °C で1分間、2 MPa で熱プレスすることにより合わせガラスを作製した。図 II-5-1-5 に得られた合わせガラスの外観写真を示した。

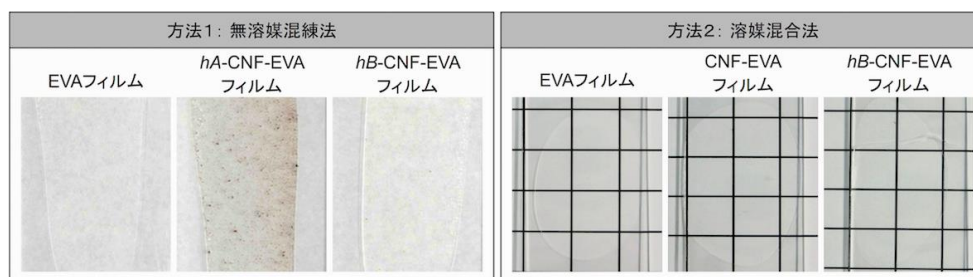


図 II-5-1-5 CNF-EVA コンポジットフィルムを中間膜とした合わせガラスの外観写真

②-2 透明性および CNF の分散状態の評価法

EVA フィルム中における CNF の分散性を評価するために、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。また、レーザー顕微鏡（VK-X1000、キーエンス社製）を用いてフィルム中における CNF の分散状態を観察した。

③ コンポジットフィルムの光学特性の評価

③-1 透明性の評価結果

図 II-5-1-6 に、試作に用いたガラスおよび試作した合わせガラスサンプルの可視光領域付近の透過スペクトルを示す。CNF を複合化しても、EVA 単独の合わせガラスに比べて可視光領域の透過率がほとんど低下しないことが明らかとなった。ただし、*hA*-CNF-EVA では CNF 自体に着色があるため、透過率が著しく低下し、本課題の目的に適していないことが明らかとなった。

無溶媒混練法と溶媒混合法を *hB*-CNF-EVA の系において比較すると、表 II-5-1-1 に示すように、550 nm の波長では透過率に大きな差はみられなかった。一方、350 nm の波長領域では、無溶媒混練法よりも溶媒混合法で作製したほうが、2%程度透明性が高いことが明らかとなった。このことより、無溶媒混練法では短波長側（紫外領域）において CNF のバンドル化により光が散乱していることが示唆された。そこで次に、フィルム中での CNF の分散状態を評価した。

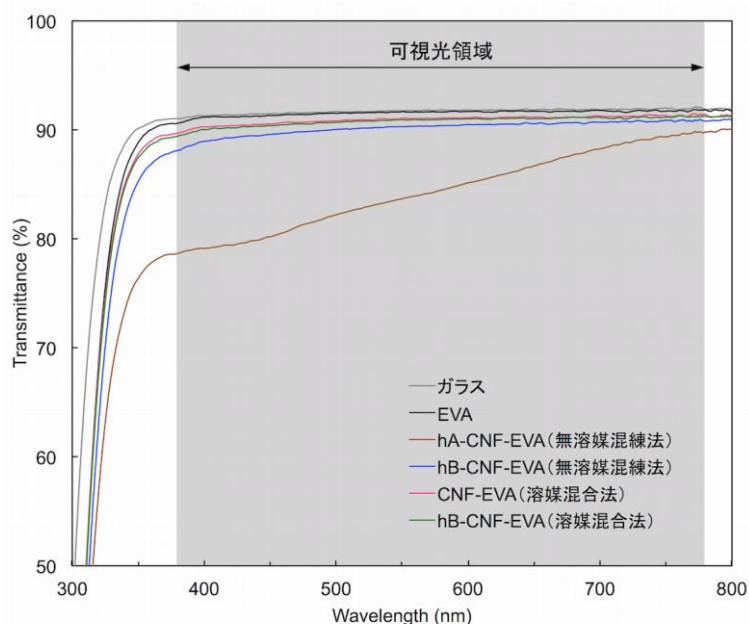


図 II-5-1-6 CNF-EVA コンポジットフィルムを中間膜とした合わせガラスの透過スペクトル

表 II-5-1-1 各フィルムの 350 nm および 550 nm における透過率

波長	ガラス	EVA	無溶媒混練法		溶媒混合法	
			<i>hA</i> -CNF-EVA	<i>hB</i> -CNF-EVA	CNF-EVA	<i>hB</i> -CNF-EVA
550 nm	91.8%	91.7%	83.7%	90.3%	91.1%	90.9%
350 nm	90.1%	88.8%	76.4%	85.3%	87.8%	87.5%

③-2 CNF の分散状態の評価結果

フィルム中における CNF の分散状態を評価するために、レーザー顕微鏡を用いて直接観察した。図 II-5-1-7 に、3 種類の CNF-EVA コンポジットフィルムおよび比較として EVA 単独のフィルムを中間膜とした合わせガラスのレーザー顕微鏡による観察結果を示した。溶媒混合法では、CNF-EVA、*hB*-CNF-EVA のいずれの場合も、CNF が均質に EVA 中に分散していることが確認された。一方、無溶媒混練法で作製した *hB*-CNF-EVA コンポジットフィルムでは、CNF の凝集体とみられるドメインが観察された。これらの結果および前述した透明性評価の結果から、溶媒混合法を利用することで、CNF を EVA 中により均質に分散させることが可能であり、コンポジット化に有効な方法であると判断し、これ以降のコンポジットフィルム作製では、溶媒混合法を用いた。

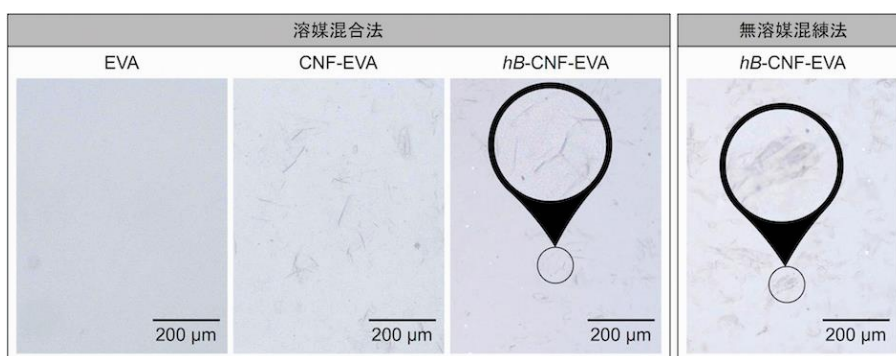


図 II-5-1-7 CNF-EVA コンポジットフィルムを中間膜とした合わせガラスのレーザー顕微鏡写真

(2) PVCコンポジットの調製と物性評価

① 無修飾 CNF と PVC とのコンポジット化

PVC のコンポジット化においては EVA で分散性が高かった溶媒混合法を採用した。無修飾 CNF 乾燥物と 20 wt% の PVC (TK-1000、信越化学工業製 (提供:LIXIL 社)) の THF 溶液と混合し、CNF 含有量の異なる 5 種類の CNF-PVC の混合分散液を調製した (図 II-5-1-8)。調製した分散液をアルミカップに流し入れ、25 °C で 24 時間、大気圧下で乾燥し、CNF-PVC コンポジット物を作製した (図 II-5-1-9)。得られたコンポジット物を、180 °C で 1 分間、10 MPa で熱プレスすることにより CNF-PVC コンポジットフィルムを作製した (図 II-5-1-10)。表 II-5-1-2 に各コンポジット物の調製条件をまとめた。

表 II-5-1-2 CNF-PVC コンポジット物の調製条件

サンプル名	CNF (g)	PVC (g)	CNF : PVC
PVC	0	2.0	0 : 100
CNF(0.5)-PVC	0.01	2.0	0.5 : 100
CNF(1)-PVC	0.02	2.0	1 : 100
CNF(5)-PVC	0.1	2.0	5 : 100
CNF(10)-PVC	0.2	2.0	10 : 100
CNF(20)-PVC	0.4	2.0	20 : 100

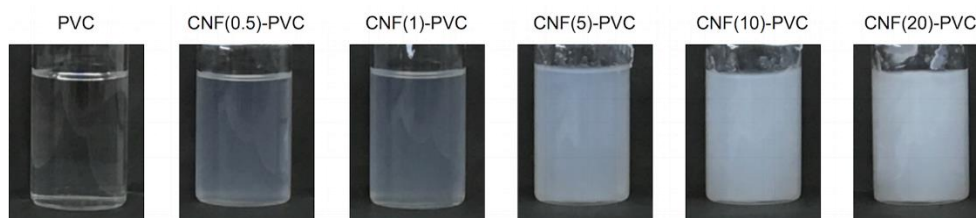


図 II-5-1-8 CNF-PVC 混合分散液の外観写真

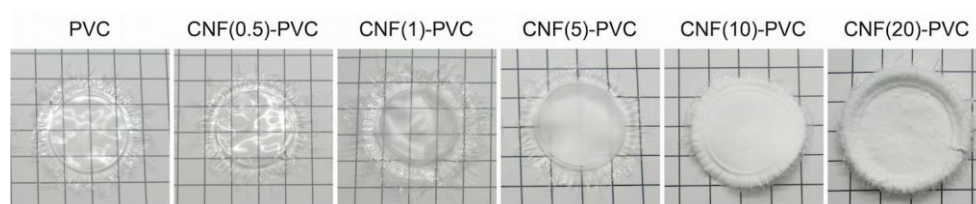


図 II-5-1-9 CNF-PVC コンポジット物の外観写真

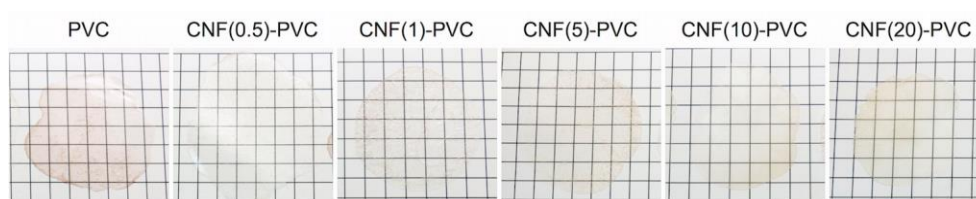


図 II-5-1-10 CNF-PVC コンポジットフィルムの外観写真 (熱プレス成形後)

② コンポジットフィルムの物性評価

②-1 引張強度試験の評価法

CNF-PVC コンポジットフィルムの引張強度試験を、小型卓上試験機 (EZ-LX、島津製作所製) を用いて行った。

③ コンポジットフィルムの引張強度試験の評価

③-1 引張強度試験の評価結果

図 II-5-1-11 に CNF-PVC コンポジットフィルムの引張強度試験の結果を示す。CNF の濃度が高くなるにしたがい、フィルムの引張弾性率および 1%モジュラス (伸度 1%時の強度) が大幅に向上することが明らかとなった。CNF を 1.0 wt% 複合化したコンポジットフィルムは PVC 単独のフィルムに比べて、引張弾性率が 52%、1%モジュラスが 65%増大したことから、少量の CNF 添加量でも十分に PVC の高強度化が可能であることが示唆された。これらの結果から、これ以降は、少量の CNF を用いてコンポジットプロセスの簡素化に関する検討を行った。

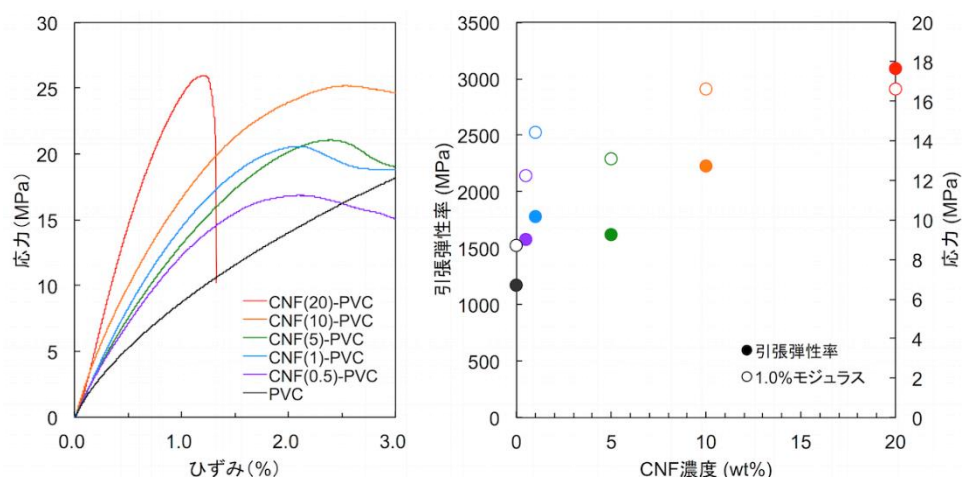


図 II-5-1-11 CNF-PVC コンポジットフィルムの引張強度測定結果

左：応力-ひずみ曲線、右：各フィルムの引張弾性率および 1.0%モジュラスのプロット

④ コンポジット化プロセスの簡素化

複合化プロセスの簡素化を目的として、凍結乾燥プロセスを経ずに、直接 CNF 分散液を混合するプロセスについて検討した。水分散 CNF（中越パルプ工業製の解繊度 C タイプ、CNF: 10.4 wt%）4.0 g を 20 wt% の PVC の THF 溶液 100 mL と混合し、CNF-PVC の混合分散液を調製後、エバポレーターを用いて THF および水を留去し、CNF-PVC コンポジット物を作製した。得られた CNF-PVC コンポジット物をそのままフィルム成形した結果、数 μm の気泡が多数観察された。これは、水分散 CNF を直接混合したことでコンポジット中にわずかに存在していた溶媒がフィルム成形の際に熱プレスで押し出され、気泡となったためであると考えられる。そこで、表面に気泡のない均質なフィルムを作製するために、脱気泡処理として、 $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、30 s、6 MPa で 2 回の熱プレスをしたのち、 $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、120 s、2 MPa で熱プレスして、CNF-PVC コンポジットフィルムを作製した。図 II-5-1-12 に作製スキームと得られた CNF-PVC コンポジット物および CNF-PVC コンポジットフィルムの外観写真を示した。また、図 II-5-1-13 に示した走査型電子顕微鏡写真から、脱気泡処理することでフィルム表面の気泡が除去できていることを確認した。

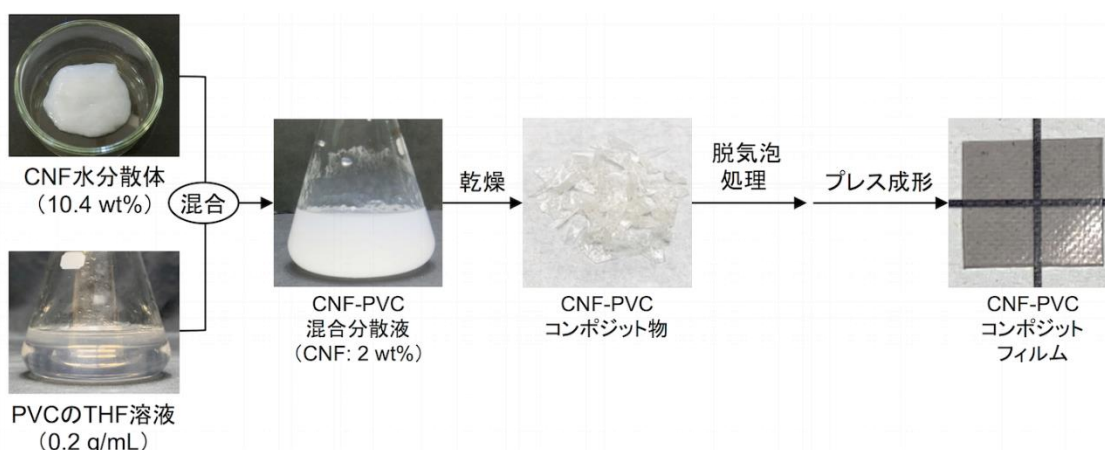


図 II-5-1-12 CNF-PVC コンポジットフィルムの作製スキーム

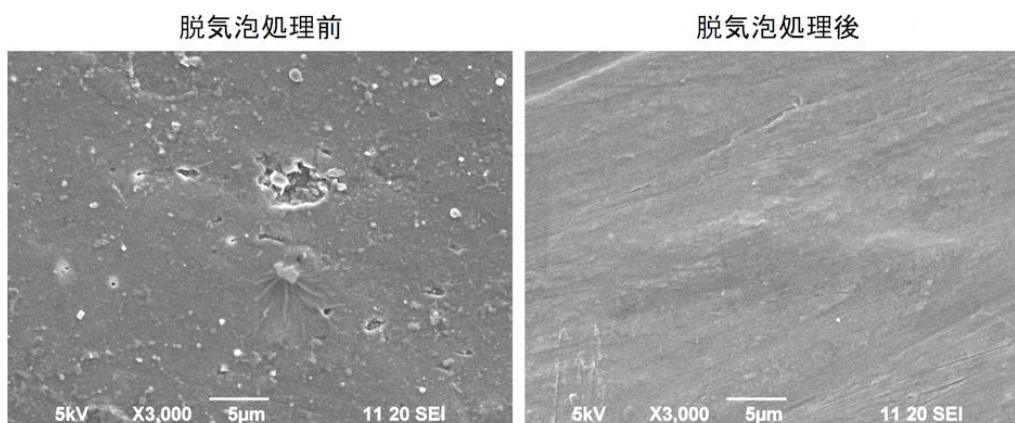


図 II-5-1-13 CNF-PVC コンポジットフィルムの走査型電子顕微鏡写真

⑤ 簡素化プロセスで作製したコンポジットフィルムの物性評価

⑤-1 引張強度試験の評価法

CNF-PVC コンポジットフィルムの引張強度試験を、小型卓上試験機 (EZ-LX、島津製作所製) を用いて行った。

⑤-2 熱的特性の評価法

CNF-PVC コンポジットの熱分解特性を、熱重量分析装置 (TG/DTA6200、SII 社製) を用いて評価した。

⑥ 簡素化プロセスで作製したコンポジットフィルムの物性評価結果

⑥-1 引張強度試験の評価結果

簡素化プロセスによる引張破断強度の低下がないことを確認し、脱気泡処理前後のコンポジットフィルムの引張強度試験を行った。図 II-5-1-14 に、簡素化プロセスで作製したフィルムの脱気泡処理を実施した場合と実施していない場合の引張強度試験の結果を示す。脱気泡処理を実施したフィルムが脱気泡処理を実施していないフィルムよりも引張破断強度が大きくなることが明らかとなった。これらの結果から、脱気泡処理は均質なフィルムを作製できるだけでなく、フィルムの強度も増大させることが可能であることが示唆された。

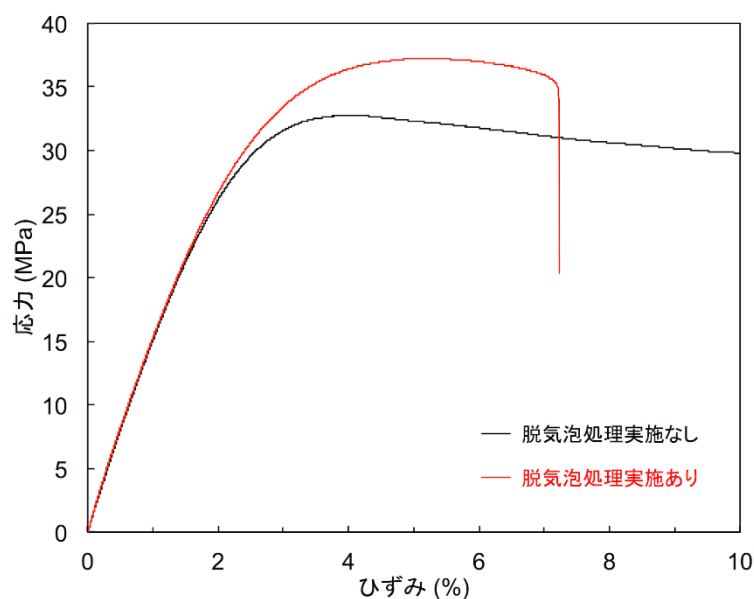
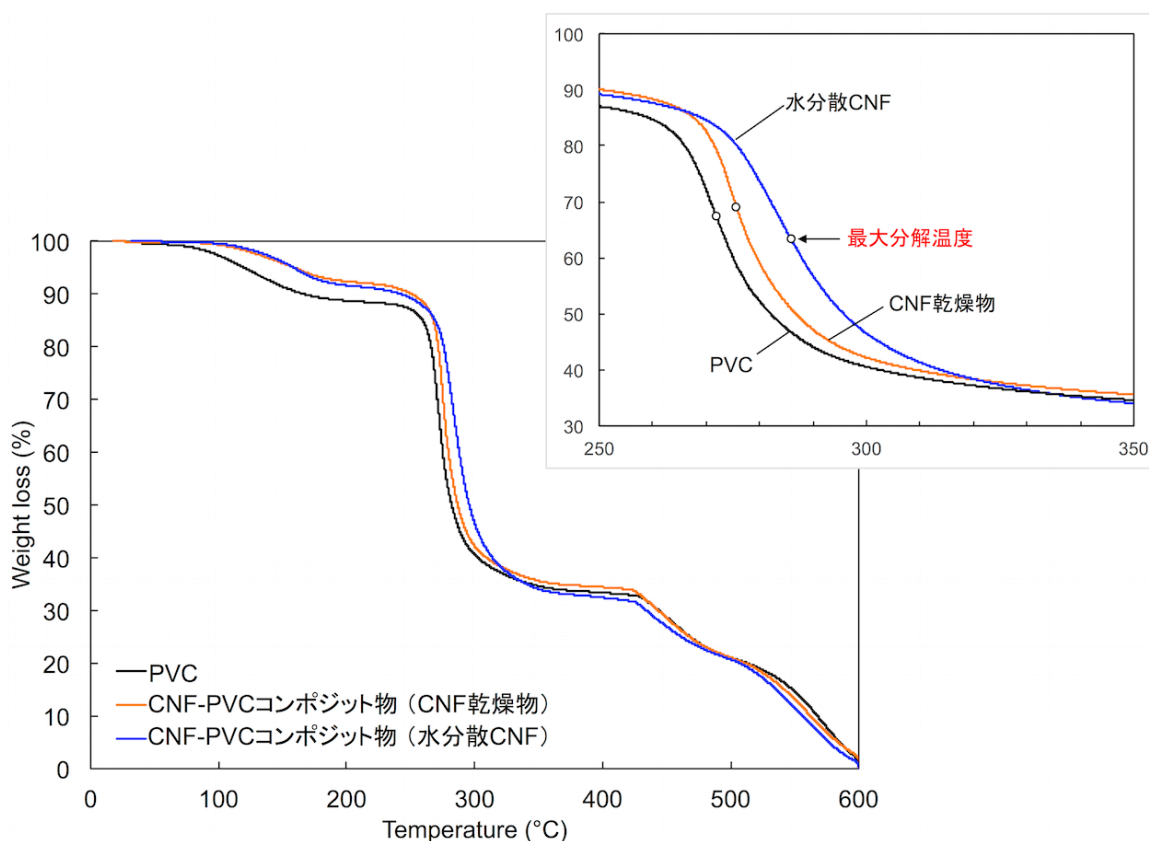


図 II-5-1-14 CNF-PVC コンポジットフィルムの引張強度測定結果

⑥-2 熱的特性の評価結果

図Ⅱ-5-1-15に、PVCおよび2種類のCNF-PVCコンポジット物の熱重量分析結果を示す。CNF-PVCコンポジット物は、簡素化プロセス検討前後のCNF（CNF乾燥物、水分散CNF）の2種類を用いて作製した。PVCとCNF-PVCコンポジット物（CNF乾燥物使用）の最大分解温度を比較すると、PVCが272.0℃であったのに対して、CNF-PVCコンポジット物が275.6℃となり、3.6℃高くなることが確認された。また、水分散CNFを直接複合した場合には、PVCよりも13.9℃高い最大分解温度を示した。これらの結果から、PVCにCNFを複合化することで最大分解温度が高温側にシフトするとともに、コンポジットプロセスの簡素化は、PVCの耐熱性を向上させる可能性があることが明らかとなった。



図Ⅱ-5-1-15 PVC および CNF-PVC コンポジット物の熱重量分析結果

5-2. 導電性ポリマーによって修飾された CNF (PEDOT/*s*-CNF) とポリビニルアルコール (PVA) とのコンポジット化および合わせガラス用中間膜としての機能評価

導電性ポリマーによって修飾された CNF (PEDOT/*s*-CNF) とポリビニルアルコール (PVA) とのコンポジット化について、4 回の試作を行った。合わせガラス用中間膜として用いるために、界面活性剤および紫外線吸収剤の添加量の最適化についても検討を行った。塗工性能の評価のため、PEDOT/*s*-CNF 塗工液の粘度測定を行った。

(1) PEDOT/*s*-CNF 塗工液の調製

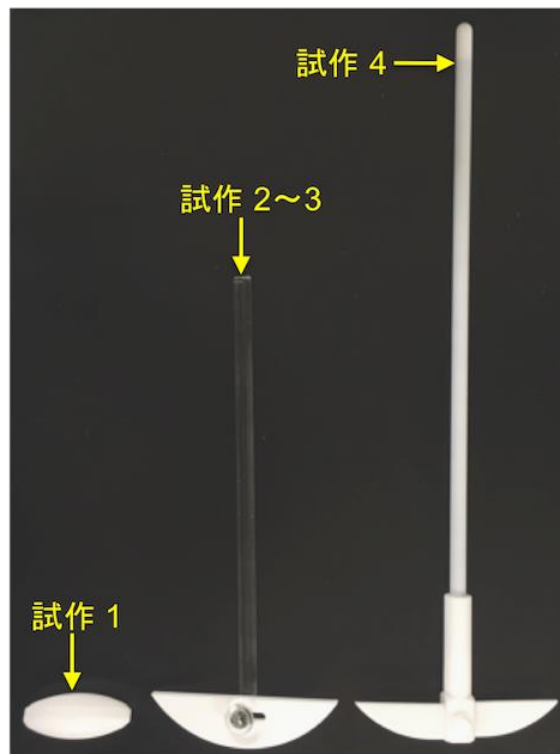
① *s*-CNF の調製

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。試作 1 から試作 4 までの仕込みの CNF 濃度を表 II-5-2-1 に示す。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、所定量のクロロスルホン酸を徐々に滴下し、6 時間かき混ぜた。試作 1 では、撈拌子を用いてかき混ぜを行ったところ、最終的に得られた PEDOT/*s*-CNF 合わせガラスは、若干の白濁が見られた。硫酸化反応時のかき混ぜが不十分であるため CNF が分散しておらず、反応が不均一であったことが考えられた。試作 2 以降では、CNF の分散性を向上させるため、撈拌翼を用いてかき混ぜを行い (図 II-5-2-1)、CNF 合わせガラスの白濁は改善された。硫酸化反応が発熱反応であるため、試作 1~試作 3 までは、水浴中で冷却しながら反応を行っていたが、プラントでの大量合成を想定して、試作 4 ではさらに熱交換を効率的に行うことができるジャケット付きのセパラブルフラスコを用いた (図 II-5-2-2)。

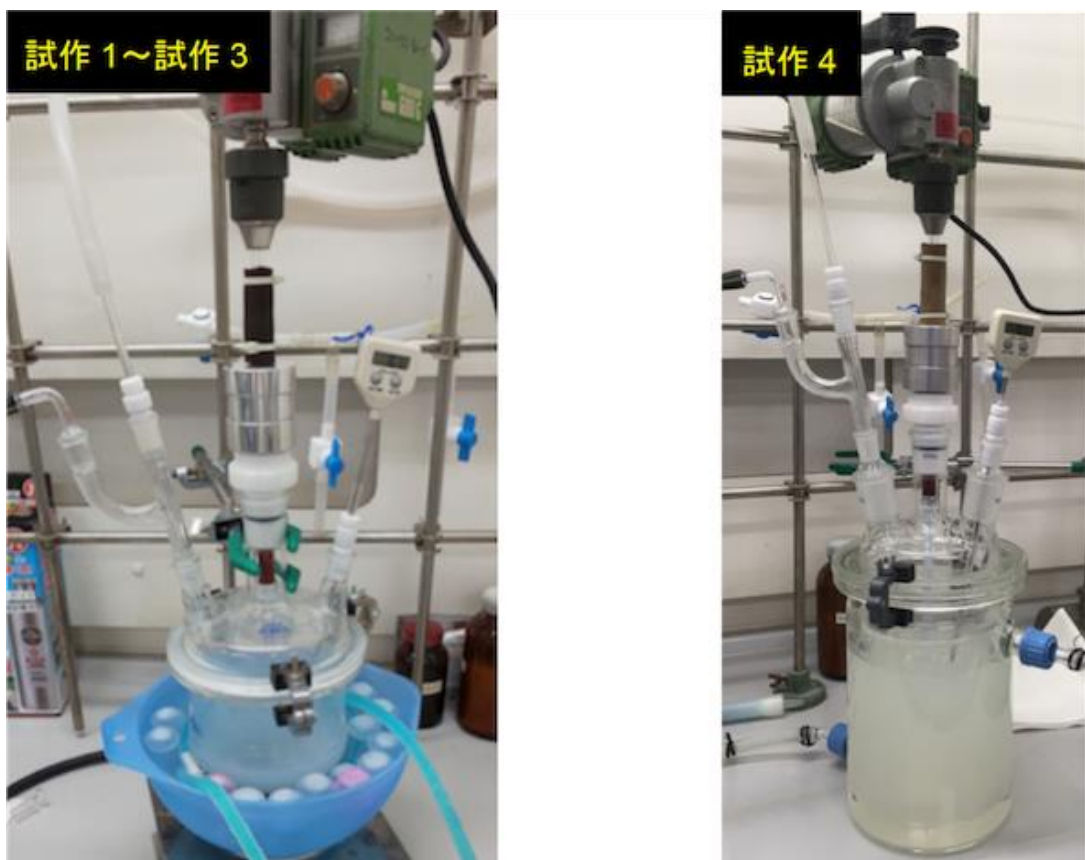
次いで、反応液を 10 倍量の酢酸ナトリウムの飽和エタノール溶液に添加し、生成した沈殿物を得た (図 II-5-2-3)。得られた沈殿物を酢酸ナトリウム飽和エタノール溶液で洗浄し、さらにエタノールで上澄み液が中性となるまで洗浄操作を繰り返した。試作 1~試作 3 までは、遠心分離装置を用いて沈殿物の洗浄、分離を行ったが、試作 4 ではスケールアップによるプラントでの製造を想定して、遠心分離ではなく、減圧ろ過により沈殿物の洗浄、分離を行った (図 II-5-2-4)。減圧ろ過に変更したことにより、分離工程にかかる時間を 1/2 程度に短縮することができた。

表 II-5-2-1 *s*-CNF の調製条件

	CNF 濃度 (wt%)	DS 値	撈拌方法
試作体 1	1.88	0.85	撈拌子
試作体 2	1.05	0.81	撈拌翼
試作体 3	2.50	0.74	撈拌翼
試作体 4	1.80	1.69	撈拌翼



図Ⅱ-5-2-1 かき混ぜに使用した攪拌子および攪拌翼



図Ⅱ-5-2-2 s-CNF の調製に使用した装置

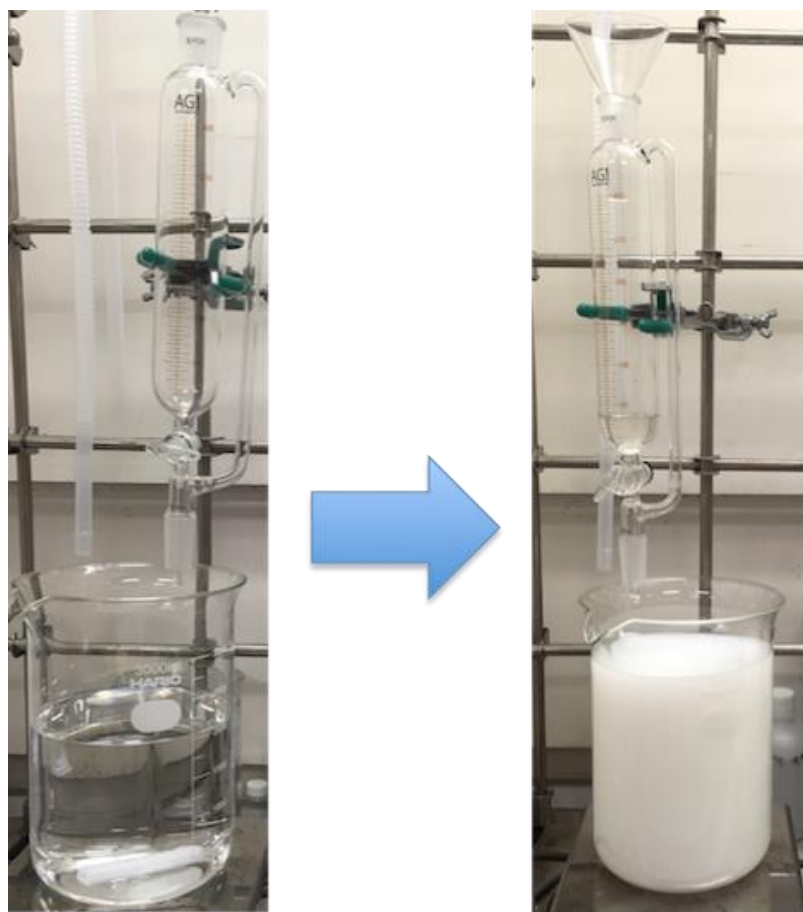


図 II-5-2-3 再沈殿工程で得られた沈殿物（生成物）

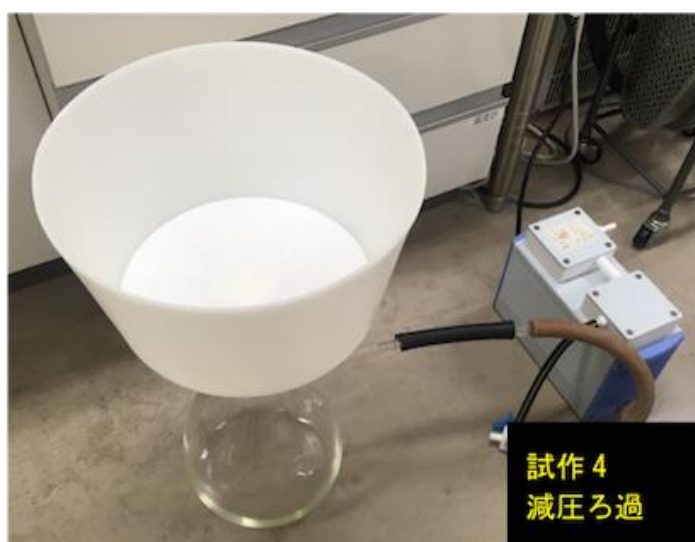
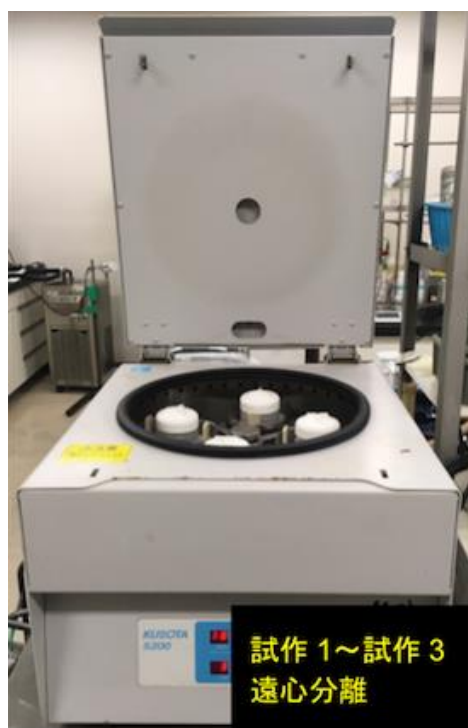


図 II-5-2-4 沈殿物の分離方法

次いで、固形物を水に溶解させ、透析を行った後、水分散液の状態を回収し、*s*-CNF を得た。スルホン酸基の導入率置換度 (DS) は、元素分析の結果から算出し、表 II-5-2-1 に示した。試作 4 では DS 値が 1.69 となり、試作 1~試作 3 の DS 値の 2 倍以上大きな値を示した。試作 4 では、反応装置をジャケット付きセパラブルフラスコに変えたことにより硫酸化の反応熱の除去が効率的に行なわれて、反応が進みやすくなったことが考えられる。試作 3 までの遠心分離では DS 値がより高い *s*-CNF が上澄み液に若干含まれている状態を取り除かれていた可能性があるが、試作 4 では減圧ろ過を行ったことにより、これらのロスがなくなり、DS 値が大きくなったことが考えられる。

② PEDOT/*s*-CNF の調製

今まで検討した結果、PEDOT/*s*-CNF を調製する際、反応溶液の pH が低い方が導電性が高くなり、さらに熱線吸収能が高いことが分かってきた。そこで試作 1 から試作 4 では、pH を変えて、PEDOT/*s*-CNF の調製を行った (表 II-5-2-2)。また、試作 1、試作 2 および試作 4 では、EDOT と *s*-CNF の仕込みのモル比を 2 : 1 としたが、試作 3 では、4 : 1 に変更して検討を行った (表 II-5-2-2)。

1 wt% の *s*-CNF の水分散液を調製し、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。濃塩酸を加えて酸性にした。重合開始剤としてペルオキソ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 時間かき混ぜた。反応溶液の経時変化を図 II-5-2-5 に示す。重合開始時、反応溶液は白濁しているが、これは EDOT が水にも溶剤にも溶けにくく、*s*-CNF 水溶液中にエマルジョンとして分散しているためである。酸化重合が進むにつれて、PEDOT の共役系が伸びることにより、反応溶液の色は濃青色に変化していく様子が見られた (図 II-5-2-5)。酸化重合終了後、反応溶液を透析膜に入れて、透析・精製を行い、PEDOT/*s*-CNF の水分散液を得た。

表 II-5-2-2 *s*-CNF の調製条件 PEDOT/*s*-CNF の調製条件

	DS 値	原料仕込み比 (モル比)			pH	導電率 (S/cm)
		<i>s</i> -CNF	EDOT	KPS		
試作体 1	0.85	1	1.8	0.9	1.50	1.05
試作体 2	0.81	1	1.8	0.9	1.20	5.71
試作体 3	0.74	1	4.0	0.9	1.00	1.78
試作体 4	1.69	1	1.8	0.9	1.00	0.98

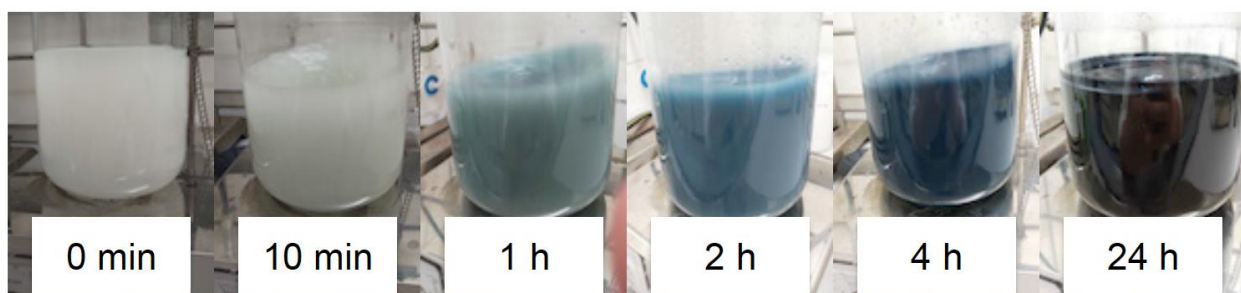


図 II-5-2-5 EDOT の酸化重合時の経時変化

③ 界面活性剤の添加量の最適化

試作 1 では、PEDOT/*s*-CNF 塗工液中の固形分に対して、界面活性剤を 2 wt% 加えていたが、コスト削減なども考慮して、添加量の削減を検討した。界面活性剤の量を PEDOT/*s*-CNF 塗工液中の固形分に対して、0~2 wt% まで変えて、PET フィルム基板に塗布した。室温で 1 日静置して乾燥させた後、目視にて塗膜を観察した (図 II-5-2-6)。界面活性剤を添加しない場合、塗工液を PET 基板に均一に塗ることは難しかった。添加量 0.5 wt% 以上では、均一な塗工が可能であり、乾燥後も均一な膜が得られることを確認した。試作 2 以降では、界面活性剤の量を PEDOT/*s*-CNF 塗工液中の固形分に対して 0.5 wt% とした。

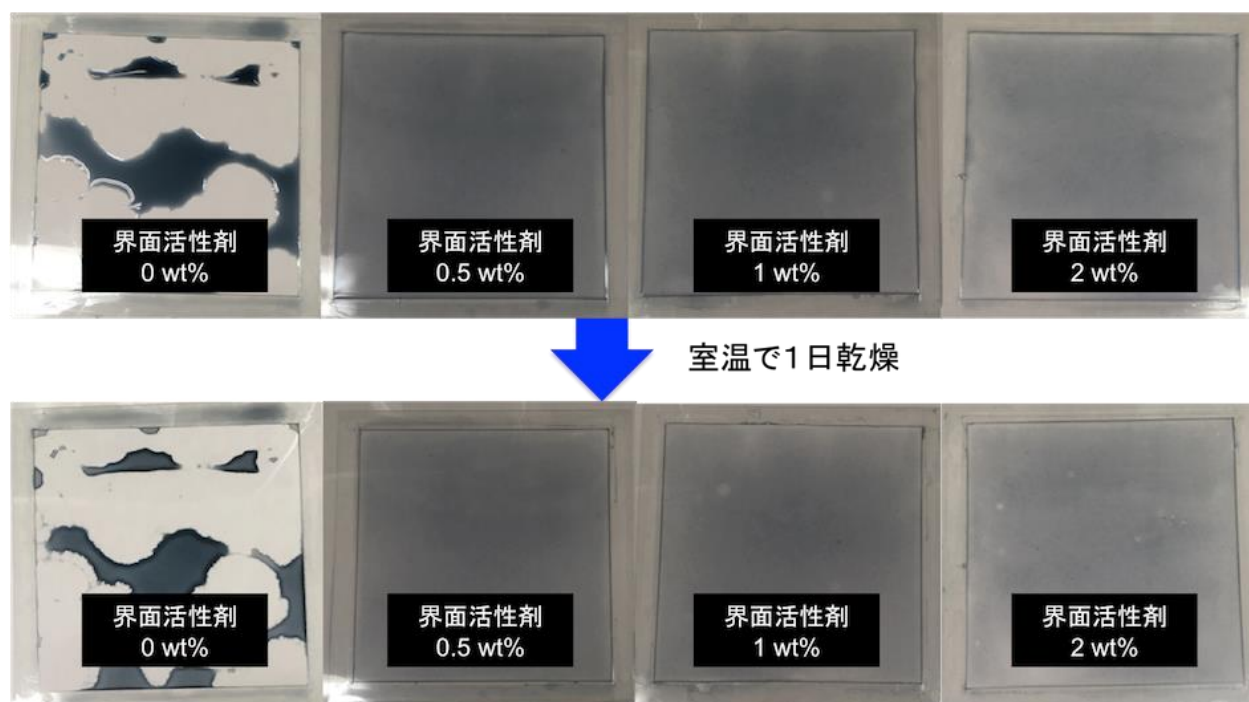


図 II-5-2-6 界面活性剤の添加量を変えた場合の PEDOT/*s*-CNF 膜

④ 紫外線吸収剤の添加量の最適化

試作1のPEDOT/*s*-CNF 合わせガラスの促進耐候性試験では、若干の変色が見られた。これは紫外線の影響であることが推定されたため、紫外線吸収剤を添加することにより、変色の抑制を検討した。紫外線吸収剤の量を、PEDOT/*s*-CNF 塗工液中の固形分に対して0~3 wt%まで変えて溶液の調製を行い、ガラス基板に塗布して、室温で1日乾燥させた。このとき、界面活性剤の量はPEDOT/*s*-CNF 塗工液中の固形分に対して0.5 wt%とした。得られた膜は封止はせずに、直接、擬似太陽光を30分間照射して、色の変化を観察した。擬似太陽光を照射した前後の写真を図II-5-2-7に示す。紫外線吸収剤無しでは、照射後に赤紫色に変化する様子が見られたのに対して、紫外線吸収剤を1 wt%以上添加することで変色が見られないことを確認した。以上の結果から、試作2以降では、紫外線吸収剤の量をPEDOT/*s*-CNF 塗工液中の固形分に対して1 wt%とした。

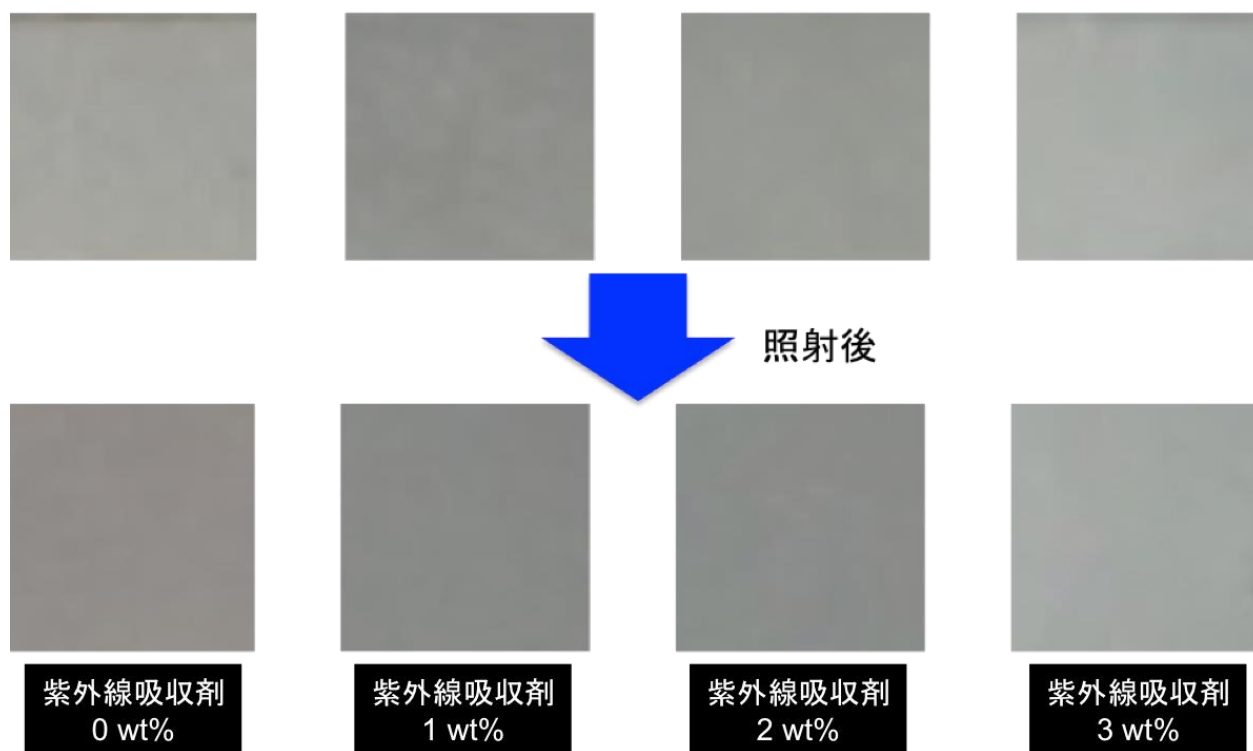


図 II-5-2-7 PEDOT/*s*-CNF 膜への擬似太陽光照射による界面活性剤の添加量の最適化

⑤ PEDOT/*s*-CNF 塗工液の調製

PVA 粉末と水を所定量加えて、室温でかき混ぜて、PVA 水溶液を調製した。ふるい（目開き：100 μm）を用いてろ過を行い、得られたろ液に PEDOT/*s*-CNF 水溶液と界面活性剤および紫外線吸収剤を加えてかき混ぜた。再度、ふるい（目開き：100 μm）を用いてろ過を行い、PEDOT/*s*-CNF 塗工液を得た（図 II-5-2-8）。試作 1 から試作 4 までの PEDOT/*s*-CNF 塗工液の組成および調製量を表 II-5-2-3 に示す。

表 II-5-2-3 PEDOT/*s*-CNF 塗工液の組成および調製した重量

	試作 1	試作 2	試作 3	試作 4
PEDOT/ <i>s</i> -CNF	0.2	0.2	0.2	0.2
PVA	10.0	10.0	10.0	10.0
塗工液組成 (wt%)				
界面活性剤	0.2	0.05	0.05	0.05
紫外線吸収剤	0	0.1	0.1	0.1
水	89.6	89.65	89.65	89.65
合計	100.0	100.0	100.0	100.0
調製重量 (kg)	16	23	19	88

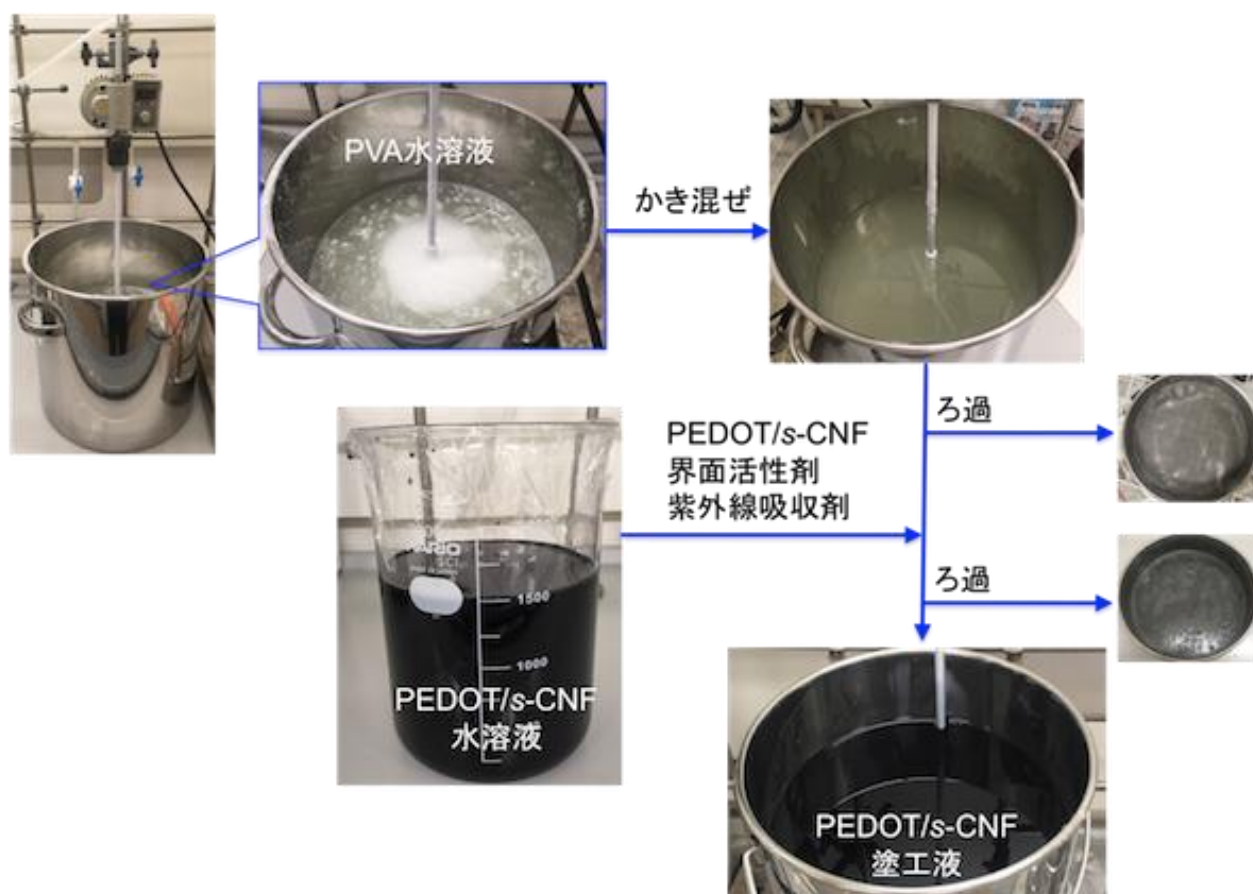
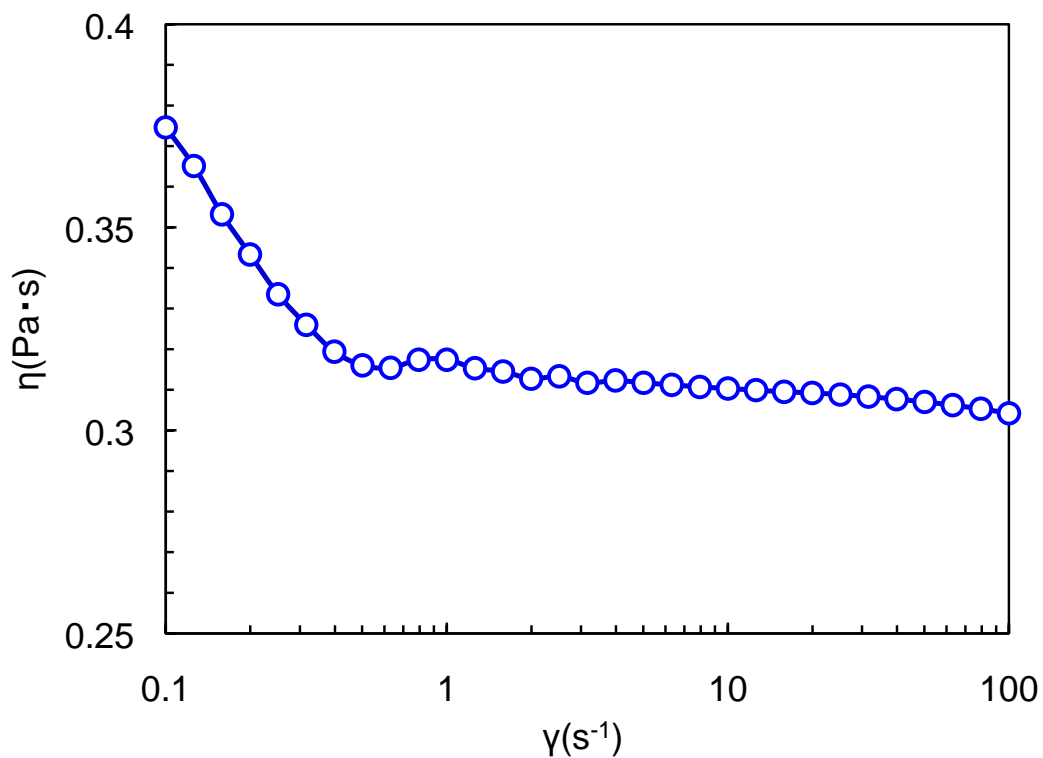


図 II-5-2-8 PEDOT/*s*-CNF 塗工液の調製

⑥ PEDOT/*s*-CNF 塗工液のレオロジーの評価

試作4のPEDOT/*s*-CNF塗工液について、振動式粘度計を用いて、粘度の測定を行った。粘度は267 mPa・sであった。回転型レオメーターを用いて、レオロジーの測定を行った。図II-5-2-9にPEDOT/*s*-CNF塗工液の粘度とせん断速度との関係を示す。せん断速度が0.1 s⁻¹から0.5 s⁻¹にかけて、急激な粘度低下が見られ、せん断速度が0.5 s⁻¹以上では、大きな粘度変化は見られないことが分かった。



図II-5-2-9 PEDOT/*s*-CNF塗工液の粘度とせん断速度の関係

6. CNF 活用建材の経済性評価

6-1. 検討概要

(1) CNF 活用建材導入によるCO2排出量削減効果およ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、本事業では薩摩川内市の市営住宅を対象に実施しているため、この条件を踏まえた「九州地域の集合住宅を対象とした場合」と、省エネルギー施策を実施した際の最大値での効果を把握するため、全国の住宅数を母数として設定する「全国の住宅を対象とした場合」の 2 パターンでそれぞれ算出を行う。

6-2. CO2 排出量削減効果およ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。その際、建築時期等により住宅の断熱性能が異なる場合も想定されるため、前述の実測およびシミュレーションを参考に、実証住宅と同等の断熱性能を有する建築物モデルでの数値を「既築住宅」向けに（以下、「基本モデル」）、平成 25 年の省エネ基準にもとづく断熱性能を有する建築物モデルでの数値を「新築住宅」向け（以下、「H25 モデル」）として設定し、これら 2 種類の数値を用いて算出を行った。また、住宅の家庭部門におけるエネルギー消費種別ごとの割合をもとに、住戸全体に対する冷暖房による電力消費量を換算し算定した。結果は表 II-6-2-1 のとおり。

年間の冷暖房消費電力量は、既築住宅においては、導入前 4,663[kWh/(年・戸)]、導入後 4,583[kWh/(年・戸)]となる。これをもとに、九州電力の CO2 排出係数 0.347[kg-CO2/kWh]（2018 年度実績）で CO2 排出量を試算すると、導入前 1.62[t-CO2/(年・戸)]、導入後 1.59[t-CO2/(年・戸)]となり、CO2 排出量削減効果は 0.03[t-CO2/(年・戸)]（1.72%減）となる。新築住宅においては、導入前 4,335[kWh/(年・戸)]、導入後 4,272[kWh/(年・戸)]となる。これをもとに、九州電力の CO2 排出係数 0.347[kg-CO2/kWh]で CO2 排出量を試算すると、導入前 1.50[t-CO2/(年・

戸)、導入後 1.48[t-CO₂/(年・戸)]となり、CO₂ 排出量削減効果は 0.02[t-CO₂/(年・戸)] (1.45%減) となる。すなわち、既築住宅および新築住宅の合計での CO₂ 排出量削減効果は、0.05[t-CO₂/(年・戸)] (1.59%減) となる。

$$(a) \text{ CNF 活用建材導入後の建物全体 (1 住戸あたり) における CO}_2 \text{ 排出量削減効果} = \\ (\text{CNF 活用建材導入前の建物全体 (1 住戸あたり) の冷暖房消費電力量} \\ - \text{ CNF 活用建材導入後の建物全体 (1 住戸あたり) の冷暖房消費電力量}) \\ \times \text{ 九州電力の CO}_2 \text{ 排出係数}$$

表 II-6-2-1 家庭部門におけるエネルギー消費割合と断熱性能別 CO₂ 排出量削減効果

	基本モデル (既築住宅向け)				H25モデル (新築住宅向け)			
	消費量 割合	電力消費量[kWh/(年・戸)]		CO ₂ 排出量 削減率	消費量 割合	電力消費量[kWh/(年・戸)]		CO ₂ 排出量 削減率
		CNF建材導入前	CNF建材導入後			CNF建材導入前	CNF建材導入後	
冷房	29.9%	571.8	513.9	5.74%	24.6%	537.5	519.7	5.89%
暖房		822.8	800.6			528.8	483.8	
給湯	26.9%	1,252.7	1,252.7	-	28.9%	1,252.7	1,252.7	-
厨房	8.6%	403.1	403.1	-	9.3%	403.1	403.1	-
照明・コンセント等	34.6%	1,612.5	1,612.5	-	37.2%	1,612.5	1,612.5	-
合計 (1住戸)	100.0%	4,662.9	4,582.8	1.72%	100%	4,334.6	4,271.8	1.45%

資料：「エネルギー白書 2017」を参考に作成

表 II-6-2-2 CNF 活用建材を住宅 1 戸に導入した場合の断熱性能別 CO₂ 排出削減量

	基本モデル (既築住宅向け)			H25モデル (新築住宅向け)		
	冷暖房消費電力量 [kWh/(年・戸)]	CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂ /(年・戸)]	CO ₂ 排出量 [t-CO ₂ /(年・戸)]	冷暖房消費電力量 [kWh/(年・戸)]	CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂ /(年・戸)]	CO ₂ 排出量 [t-CO ₂ /(年・戸)]
	[A]	[B] = [A] × 九州電力のCO ₂ 排出係数 (0.347[kg-CO ₂ /kWh])	[C] = [B]/1,000	[A]	[B] = [A] × 九州電力のCO ₂ 排出係数 (0.347[kg-CO ₂ /kWh])	[C] = [B]/1,000
CNF活用建材導入前	4,662.85	1,618.01	1.62	4,334.55	1,504.09	1.50
CNF活用建材導入後	4,582.75	1,590.22	1.59	4,271.75	1,482.30	1.48
削減幅	-80.10	-27.79	-0.03	-62.80	-21.79	-0.02
削減率	-1.72	-1.72	-1.72	-1.45	-1.45	-1.45

(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 12 ヶ月稼働しているものとして算出する。結果は表 II-6-2-3 のとおり。

既築住宅および新築住宅の合計での年間の冷暖房消費電力量は、導入前 8,997[kWh/(年・戸)]、導入後 8,855[kWh/(年・戸)]となる。これをもとに、九州電力の電力単価 24.96[円/kWh]¹(電力使用量に応じる)で冷暖房費を試算すると、既築住宅および新築住宅の合計では導入前 224,575[円/(年・戸)]、導入後 221,008[円/(年・戸)]となり、コスト削減効果は 3,567[円/(年・戸)] (1.59%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-6-2-3 CNF 活用建材を住宅 1 戸に導入した場合の断熱性能別冷暖房費削減額

	基本モデル（既築住宅向け）			
	冷暖房消費電力量 [kWh/(年・戸)]	冷暖房消費電力量 [kWh/(年・戸)]	冷暖房費 [円/(月・戸)]	冷暖房費 [円/(年・戸)]
	[A]	[D] = [A]/12ヶ月	[E] = [D] × 九州電力の電力単価 (~120kWh : 17.46[円/kWh] 121~300kWh : 23.06[円/kWh] 301kWh~ : 24.96[円/kWh])	[F] = [E] × 12ヶ月
CNF活用建材導入前	4,662.85	388.57		9,699
CNF活用建材導入後	4,582.75	381.90		114,386
削減幅	-80.10	-6.68		-1,999
削減率	-1.72	-0.14		-1.72

	H25モデル（新築住宅向け）			
	冷暖房消費電力量 [kWh/(年・戸)]	冷暖房消費電力量 [kWh/(年・戸)]	冷暖房費 [円/(月・戸)]	冷暖房費 [円/(年・戸)]
	[A]	[D] = [A]/12ヶ月	[E] = [D] × 九州電力の電力単価 (~120kWh : 17.46[円/kWh] 121~300kWh : 23.06[円/kWh] 301kWh~ : 24.96[円/kWh])	[F] = [E] × 12ヶ月
CNF活用建材導入前	4,334.55	361.21		108,190
CNF活用建材導入後	4,271.75	355.98		106,623
削減幅	-62.80	-5.23		-1,567
削減率	-1.45	-0.12		-1.45

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（121kWh～300kWh）、第 3 段階（301kWh～）での電力使用量における従量料金単価（2020 年 3 月 17 日現在）。

6-3. CO2 排出量削減効果シミュレーションの実施結果

本シミュレーションにおいては、本事業での実証条件を踏まえた「九州地域の集合住宅を対象とした場合」と、全国の住宅数を母数として設定する「全国の住宅を対象とした場合」の2パターンで算出を行う（図Ⅱ-6-3-1）。

	パターン①（実証条件想定）	パターン②（最大市場想定）
住宅の種類	<p>新築・既築住宅のうち、 集合住宅の合計を母数とする。</p>	<p>集合・戸建てにかかわらず、 新築+既築住宅の合計を母数とする。</p>
対象地域	九州地域	全国
CNF活用建材導入率	10%	10%

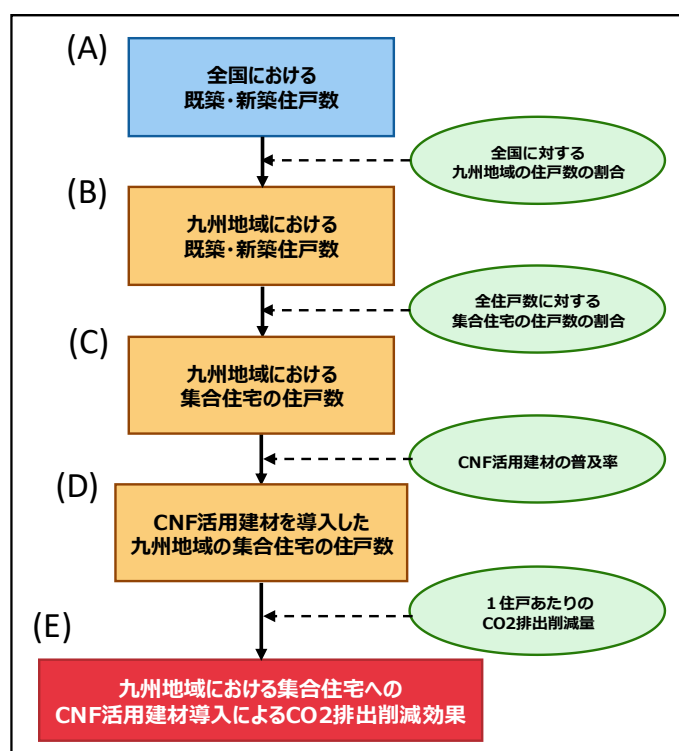
図Ⅱ-6-3-1 CO2 排出量削減効果シミュレーションの考え方

(1) 九州地域の集合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九州地域の集合住宅の住戸数を、以下の手順で推計する（図Ⅱ-6-3-2）。

①実施手順

- (A) 全国における既築および新築住宅の住戸数を算出
- (B) (A)の結果に、全国の既築住戸数に対する九州地域の住戸数の割合を掛け合わせることにより、九州地域における住戸数を算出
- (C) (B)の結果に、全住戸数に対する集合住宅の住戸数の割合を掛け合わせることにより、集合住宅の住戸数を算出
- (D) (C)の結果に、CNF 活用建材の普及率を掛け合わせることにより、CNF 活用建材を導入した集合住宅の住戸数を算出
- (E) (D)で算出した、CNF 活用建材を導入した集合住宅の住戸数に、1 住戸あたりの CO2 排出削減量を掛け合わせることにより、九州地域における集合住宅への CNF 活用建材導入による CO2 排出削減効果を算出

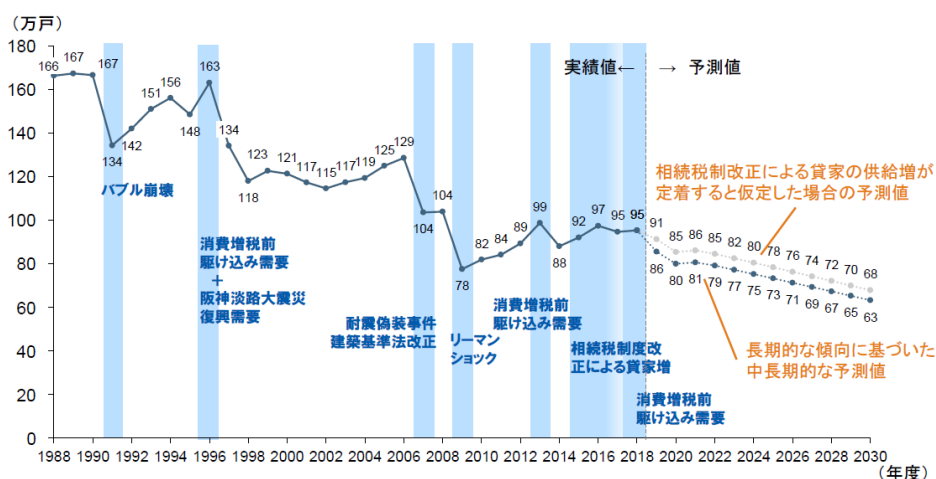


図Ⅱ-6-3-2 九州地域における集合住宅への CNF 活用建材導入による CO2 排出削減効果の推計手順

②実施結果

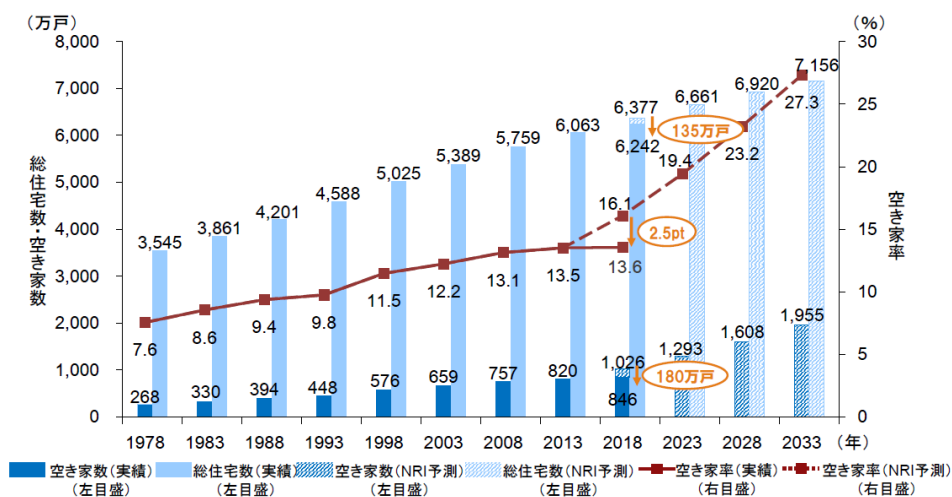
(A) 全国における住戸数

全国における住宅の住戸数は、既築住宅は総務省の「住宅・土地統計」、新築住宅は国土交通省の「住宅着工統計」にて公表されている、2018年度の実績値を利用した。また、野村総合研究所（以下、「NRI」）の「<2019年度版>2030年の住宅市場と課題」における推計値を参考に算出した（図Ⅱ-6-3-3、図Ⅱ-6-3-4）。今後の予測値は、NRIによる推計等を用いながら、既築住宅は2013～2033年、新築住宅は2020～2030年の増減率の平均値で単純推移すると仮定し、2019～2050年までの各年において、既築住宅数および新築住宅数を算定した。



図Ⅱ-6-3-3 新築住宅着工戸数の実績と予測

資料：野村総合研究所「<2019年度版>2030年の住宅市場と課題」



図Ⅱ-6-3-4 総住宅数の実績と予測

資料：野村総合研究所「<2019年度版>2030年の住宅市場と課題」

既築住宅は、2023～2033 年の増減率の平均値で単純推移すると仮定すると、(c)の算出方法で算出でき、1 年あたり約 57.9 万戸ずつ増加すると考えられる。それを目標年度までの既築住宅住戸数として推計した結果は、表Ⅱ-6-3-1 のとおりである。

(c)既築住宅数の単年度平均値＝(2023～2033 年の住宅数の増加分合計)／10 年

表Ⅱ-6-3-1 全国の既築住宅の住戸数

年度	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
既築住宅住戸数（万戸）	6,329.6	6,691.6	6,951.4	7,220.3	7,521.2	7,822.1	8,123.0

新築住宅は、2020～2030 年の増減率の平均値で単純推移すると仮定すると、(d)の算出方法で算出でき、1 年あたり約 2.3 万戸ずつ減少すると考えられる。それを目標年度までの新築住宅住戸数として推計した結果は、表Ⅱ-6-3-2 のとおりである。

(d)新築住宅数の単年度平均値＝(2020～2030 年の住宅数の増加分合計)／10 年

表Ⅱ-6-3-2 全国の新築住宅の住戸数

年度	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
新築住宅住戸数（万戸）	80.0	73.0	63.0	51.5	40.0	28.5	17.0

(B) 九州地域における住戸数の算出結果

九州地域における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住戸数に掛け合わせることに
より、九州地域における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 2018 年において、九州地域における
既築住戸数は全国の 10.2% (表Ⅱ-6-3-3) を占めていたことから、全国の住戸数
に対して約 10%を九州地域の住戸数とみなして算出する。結果は表Ⅱ-6-3-4 のと
おり。

表Ⅱ-6-3-3 全国の既築住戸数に占める九州地域の住戸数の割合

	一戸建	共同住宅等	合計 (戸)
全国	28,758,600	24,857,800	53,616,300
九州地域	3,097,400	2,346,200	5,443,600
福岡県	991,200	1,247,800	2,239,000
佐賀県	207,700	92,700	300,300
長崎県	357,700	197,500	555,200
熊本県	440,600	257,500	698,100
大分県	304,000	177,800	481,800
宮崎県	314,700	145,400	460,200
鹿児島県	481,500	227,500	709,000
全国の住戸数に対する 九州地域の住戸数の割合 (%)	10.8	9.4	10.2

表Ⅱ-6-3-4 九州地域における住宅の住戸数

年度	全国		
	全国の既築住宅の 住戸数 (万戸)	全国の新築着工住宅の 住戸数 (万戸)	全国の住宅数 (万戸)
	[A]	[B]	[C] = [A] + [B]
2020	6,329.6	80.0	6,409.6
2025	6,691.6	73.0	6,764.6
2030	6,951.4	63.0	7,014.4
2035	7,220.3	51.5	7,271.8
2040	7,521.2	40.0	7,561.2
2045	7,822.1	28.5	7,850.6
2050	8,123.0	17.0	8,140.0

年度	九州地域		
	九州地域の 既築住宅の 住戸数 (万戸)	九州地域の 新築着工住宅の 住戸数 (万戸)	九州地域の住宅数 (万戸)
	[D] = [A] × 0.1	[E] = [B] × 0.1	[F] = [D] + [E]
2020	633.0	8.0	641.0
2025	669.2	7.3	676.5
2030	695.1	6.3	701.4
2035	722.0	5.2	727.2
2040	752.1	4.0	756.1
2045	782.2	2.9	785.1
2050	812.3	1.7	814.0

(C) 九州地域における集合住宅の住戸数の算出結果

九州地域における集合住宅の住戸数の算出にあたり、全住戸数に対する集合住宅の住戸数の割合を算出し、(B)で算出した九州地域における住戸数に掛け合わせるにより、九州地域における集合住宅の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2018年において、集合住宅の住戸数は全体に対して46.4%（表Ⅱ-6-3-5）を占めていたことから、全住戸数に対して約45%を集合住宅の住戸数とみなして算出する。結果は表Ⅱ-6-3-6のとおり。

表Ⅱ-6-3-5 全住戸数に占める集合住宅の住戸数の割合

	全国の住宅数（戸）	全国の住宅数に対する 集合住宅の住戸数の割合（％）
一戸建	28,758,600	53.6
共同住宅等	24,857,800	46.4
合計	53,616,300	100.0

表Ⅱ-6-3-6 九州地域における集合住宅の住戸数

年度	集合住宅		
	集合住宅の 既築住宅の 住戸数（万戸）	集合住宅の 新築着工住宅の 住戸数（万戸）	集合住宅の住宅数 （万戸）
	$[G] = [D] \times 0.45$	$[H] = [E] \times 0.45$	$[I] = [G] + [H]$
2020	284.8	3.6	288.4
2025	301.1	3.3	304.4
2030	312.8	2.8	315.6
2035	324.9	2.3	327.2
2040	338.5	1.8	340.3
2045	352.0	1.3	353.3
2050	365.5	0.8	366.3

(D) CNF 活用建材を導入した集合住宅の住戸数の算出結果

(C)で算出した九州地域における集合住宅の住戸数のうち、10%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-6-3-7のとおり。

表Ⅱ-6-3-7 CNF 活用建材を導入した九州地域の集合住宅の住戸数

年度	CNF活用建材導入			
	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 既築住宅の住戸数（戸）	CNF活用建材を導入した 新築着工住宅の住戸数（戸）	CNF活用建材を導入した 住戸数（戸）
	導入率	$[J] = [G] \times \text{導入率} \times 1\text{万}$	$[K] = [H] \times \text{導入率} \times 1\text{万}$	$[L] = [J] + [K]$
2020	0.01	25,894	327	26,221
2025	0.05	164,248	1,792	166,040
2030	0.10	312,813	2,835	315,648
2035	0.10	324,912	2,318	327,229
2040	0.10	338,452	1,800	340,252
2045	0.10	351,993	1,283	353,275
2050	0.10	365,533	765	366,298

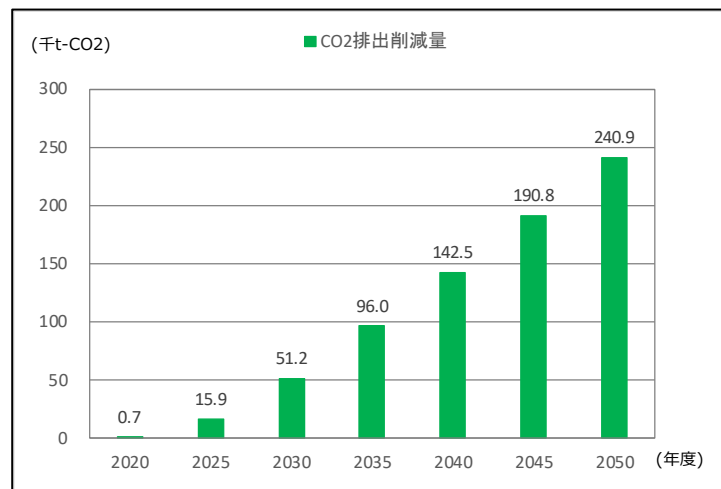
(E) 九州地域の集合住宅へのCNF活用建材導入によるCO2排出削減効果の算出結果

(D)で算出したCNF活用建材導入住戸数に、6-2.(1)で求めた1住戸あたりのCO2排出削減量を掛け合わせるにより算出する。このとき、既築住宅向けには0.03[t-CO2/(年・戸)]、新築住宅向けには0.02[t-CO2/(年・戸)]のCO2排出削減量を使用する。

2030年までにCNF活用建材が10%導入された場合、2030年度には約5.1万t-CO2、2050年度には約24.1万t-CO2のCO2排出量削減効果が見込まれる(表II-6-3-8、図II-6-3-5)。

表II-6-3-8 九州地域における集合住宅へのCNF活用建材導入によるCO2排出量削減効果

年度	CO2排出削減量		
	既築住宅におけるCO2削減量 (t-CO2)	新築着工住宅におけるCO2削減量 (t-CO2)	累積CO2削減量 (t-CO2)
	[M] = [J] × CNF活用建材導入による CO2削減量 (0.03[t-CO2/(年・戸)])	[N] = [K] × CNF活用建材導入による CO2削減量 (0.02[t-CO2/(年・戸)])	[O] = [M] + [N]
2020	719.7	7.1	726.8
2025	4,565.2	39.0	15,870.8
2030	8,694.5	61.8	51,247.3
2035	9,030.8	50.5	95,963.9
2040	9,407.2	39.2	142,465.7
2045	9,783.5	27.9	190,793.0
2050	10,159.9	16.7	240,945.6



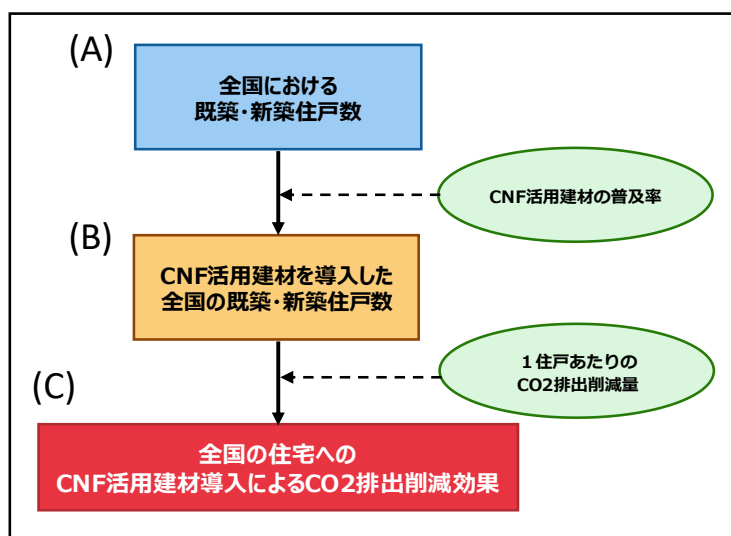
図II-6-3-5 九州地域における集合住宅へのCNF活用建材導入によるCO2排出削減効果シミュレーション

(2) 全国の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住戸数を、以下の手順で推計する（図Ⅱ-6-3-6）。

①実施手順

- (A) 全国における既築および新築住宅の住戸数を算出
- (B) (A)に CNF 活用建材が導入される住戸数の割合を掛け合わせるにより、CNF 活用建材を導入した住戸数を算出
- (C) (B)で算出した、CNF 活用建材を導入した住戸数に、1 住戸あたりの CO2 排出削減量を掛け合わせるにより、CNF 活用建材導入による CO2 排出削減効果を算出



図Ⅱ-6-3-6 全国の住宅への 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) 全国における住戸数の設定

6-3. (1)②-(A)において設定した、全国における既築および新築住宅の住戸数を利用する。

(B) CNF 活用建材を導入した住戸数の算出結果

(A)で設定した全国の住戸数のうち、2030年までにCNF活用建材が10%導入されると仮定して算出する。結果は表Ⅱ-6-3-9のとおり。

表Ⅱ-6-3-9 CNF活用建材を導入した住宅の住戸数

年度	全国		
	全国の既築住宅の住戸数(万戸)	全国の新築着工住宅の住戸数(万戸)	全国の住宅数(万戸)
	【A】	【B】	【C】=【A】+【B】
2020	6,329.6	80.0	6,409.6
2025	6,691.6	73.0	6,764.6
2030	6,951.4	63.0	7,014.4
2035	7,220.3	51.5	7,271.8
2040	7,521.2	40.0	7,561.2
2045	7,822.1	28.5	7,850.6
2050	8,123.0	17.0	8,140.0

年度	CNF活用建材導入			
	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住宅の住戸数(戸)	CNF活用建材を導入した新築着工住宅の住戸数(戸)	CNF活用建材を導入した住戸数(戸)
	導入率	【P】=【A】×導入率×1万	【Q】=【B】×導入率×1万	【R】=【P】+【Q】
2020	0.01	575,418	7,273	582,691
2025	0.05	3,649,964	39,818	3,689,782
2030	0.10	6,951,400	63,000	7,014,400
2035	0.10	7,220,260	51,500	7,271,760
2040	0.10	7,521,160	40,000	7,561,160
2045	0.10	7,822,060	28,500	7,850,560
2050	0.10	8,122,960	17,000	8,139,960

(C) 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、1 住戸あたりの CO2 排出削減量を掛け合わせるにより算出する。ここで使用する CO2 排出削減量 (0.04[t-CO2/(年・戸)]) は、「4-3. (5) 地域の異なる住宅への CNF 活用建材の導入効果検討」において検討対象とされている「省エネ基準地域区分」に基づく 5 地域における CO2 排出削減率の平均値を用いて算出している。

全国の既築および新築住宅に、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 144.3 万 t-CO2、2050 年度には約 678.1 万 t-CO2 の CO2 排出量削減効果が見込まれる (表 II-6-3-10、図 II-6-3-7)。

表 II-6-3-10 全国の住宅への CNF 活用建材導入による CO2 排出量削減効果

年度	CO2排出削減量		
	既築住宅におけるCO2削減量 (t-CO2)	新築着工住宅におけるCO2削減量 (t-CO2)	累積CO2削減量 (t-CO2)
	[S] = [P]×CNF活用建材導入による CO2削減量 (0.04[t-CO2/(年・戸)])	[T] = [Q]×CNF活用建材導入による CO2削減量 (0.04[t-CO2/(年・戸)])	[U] = [S] + [T]
2020	20,222.9	255.6	20,478.5
2025	128,276.9	1,399.4	447,052.1
2030	244,304.9	2,214.1	1,443,151.4
2035	253,753.9	1,810.0	2,701,754.8
2040	264,328.9	1,405.8	4,010,086.7
2045	274,904.0	1,001.6	5,369,272.9
2050	285,479.0	597.5	6,779,313.4

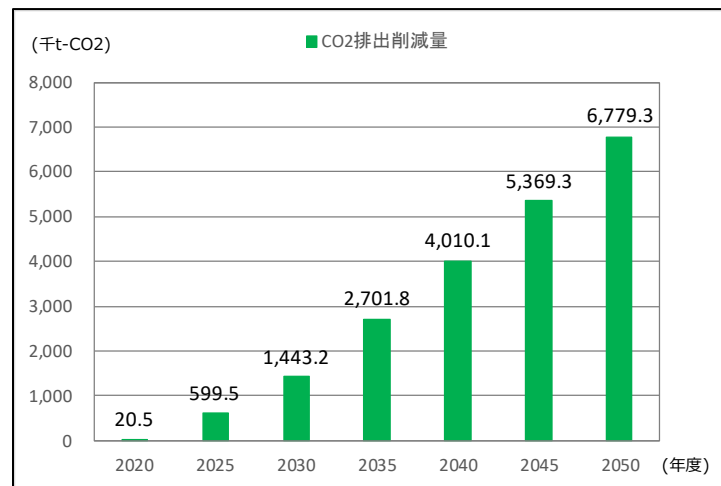


図 II-6-3-7 CNF 活用建材導入による CO2 排出削減効果シミュレーション

6-4. まとめ

(1) CO2排出量削減効果およ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 0.05[t-CO2/(年・戸)](1.59%減)、コスト削減効果は 3,567[円/(年・戸)](1.59%減)となった。

(2) CO2排出量削減効果シミュレーションの実施

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、2030 年までに CNF 活用建材が 10%導入されると仮定して、「九州地域の集合住宅を対象とした場合」と「全国の住宅を対象とした場合」の 2 パターンで、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、「九州地域の集合住宅を対象とした場合」では、2030 年度には約 5.1 万 t-CO2、2050 年度には約 24.1 万 t-CO2 の CO2 排出量削減効果が見込まれ、「全国の住宅を対象とした場合」では、2030 年度には約 144.3 万 t-CO2、2050 年度には約 678.1 万 t-CO2 の CO2 排出量削減効果が見込まれる結果となった。

(3) 今後の課題

本章では、目標年度における CO2 排出量削減効果のシミュレーションを実施するにあたり、今後の ZEH(ネット・ゼロ・エネルギー・ハウス)の普及などの動向を踏まえ、本事業で開発した製品の普及率を全国の住宅で 10%まで向上させることができると考えて条件を設定した。その結果、2030 年度には 144.3 万 t-CO2、2050 年度には 678.1 万 t-CO2 まで CO2 排出量を削減できる結果となった。

一方で、今後、CNF 活用建材導入による CO2 排出量削減効果をさらに向上させるための取組も必要である。例えば、本事業では既築住宅の改修を前提としており、ガラスの開発においては、比較対象が単板ガラスであったことから、合わせガラスを対象とした CNF 活用の検討を行ったが、CNF 遮熱合わせガラスを複層ガラスへ適用することにより遮熱性能の向上を図り、住宅のエネルギー消費量の削減につなげることが考えられる。

また、「(4)開発した CNF 活用建材の市営住宅への導入、省 CO2 効果、室内温熱環境の評価に向けた検討」において、住宅の性能や建物の仕様、地域性を考慮したシミュレーションを実施した結果、断熱性能の高い住宅、主開口の方位が南以外の住宅、沖縄など冷房負荷の大きい住宅といった条件下では、冷暖房のエネルギー消費量の削減率が大きくなる傾向が得られた。今後の新築住宅は断熱性能が高くなり、暖房負荷より冷房負荷が大きくなることが予測されるため、新築住宅をもターゲットとして CNF 活用建材の普及を進めることで、さらなる CO2 排出量削減効果を目指す。

7. CNF 活用建材の製品化に向けた検討

7-1. 検討概要

(1) CNF 活用建材の製品化に向けたロードマップの検討

CNF 活用建材の社会実装に向け、各建材において想定される課題の洗い出しを行い、対応時期の目安を製品化ロードマップとして作成した。

(2) 市場・ニーズ調査のための事業者ヒアリングの実施

CNF 活用建材の製品化にあたり、各建材に対する意見や反応を検討の参考とし、市場やニーズを把握するため、今後の市場動向や利用者のニーズ、導入意向等について、不動産事業者を対象にヒアリングを実施した。

7-2. 実施結果


(1) 製品化に向けたロードマップ

CNF 活用建材の早期の社会実装に向け、本事業開始年度である 2017 年度から 2030 年度までの製品化ロードマップを作成した。下表の観点から、各建材において想定される課題を洗い出し、対応時期の目安を整理した（表Ⅱ-7-2-1）。

表Ⅱ-7-2-1 製品化に向けたロードマップにおける整理の観点

整理の観点	検討項目例
製品改良・性能向上のための試作開発	各種性能の向上に向けた試作 等
製品化・差別化のための検討	規格への対応、差別化要素の検討、特許取得 等
生産体制の確立	量産化に向けた設備の整備、製造工程の効率化、体制確保 等
市場への投入	製品化のタイミング検討 等

【CNF 樹脂サッシの製品化に向けたロードマップ】

 : 対応期間

CNF 樹脂サッシの開発・検討	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	2023年度	2024年度	2025年度	2026年度	2027年度	2028年度	2029年度	2030年度 第一次目標年度
製品改良・性能向上のための試作開発	[Blue shaded area]													
強度向上の検討	[Blue shaded area]													
加工性向上の検討	[Blue shaded area]													
製品化・差別化のための検討	[Blue shaded area]													
標準化に向けた評価・試験	[Blue shaded area]													
差別化のためのデザイン検討	[Blue shaded area]													
生産体制の確立	[Blue shaded area]													
量産化に向けた検討（製造ライン）	[Blue shaded area]													
量産化に向けた検討（製造コスト） （CNF材料コストダウン含む）	[Blue shaded area]													
市場への投入（投入準備含む）	[Blue shaded area]													
一部市場向け展開	[Blue shaded area]													
一般市場向け展開	[Blue shaded area]													

【CNF 遮熱合わせガラスの製品化に向けたロードマップ】

CNF 遮熱合わせガラスの開発・検討	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	2023年度	2024年度	2025年度	2026年度	2027年度	2028年度	2029年度	2030年度 第一次目標年度
製品改良・性能向上のための試作開発	[Shaded Area]													
透明性向上のための検討	[Shaded Area]													
遮熱性向上のための検討	[Shaded Area]													
製品化・差別化のための検討	[Shaded Area]													
製品化に向けた試験 (JIS R3205) (耐熱、耐湿、耐光、落球、ショットバック)				[Shaded Area]										
差別化のためのガラス構成検討				[Shaded Area]										
特許取得に向けた対応				[Shaded Area]										
生産体制の確立	[Shaded Area]													
量産化に向けた検討 (設備導入)				[Shaded Area]										
量産化に向けた検討 (コストダウン)				[Shaded Area]										
市場への投入	[Shaded Area]													
CNF遮熱合わせガラス市場展開							[Shaded Area]							

【CNF 遮断熱コーティング材の製品化に向けたロードマップ】

CNF 遮断熱コーティング材の開発・検討	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	2023年度	2024年度	2025年度	2026年度	2027年度	2028年度	2029年度	2030年度 第一次目標年度
製品改良・性能向上のための試作開発	[Shaded Area]													
耐久性向上のための検討	[Shaded Area]													
長期耐候性向上のための検討	[Shaded Area]													
製品化・差別化のための検討	[Shaded Area]													
標準化に向けた試験						[Shaded Area]								
特許取得に向けた対応			[Shaded Area]											
差別化のための性能検討 (耐候年延長・断熱性)			[Shaded Area]											
生産体制の確立	[Shaded Area]													
量産化に向けた検討 (製造ライン)				[Shaded Area]										
量産化に向けた検討 (製造コスト)				[Shaded Area]										
市場への投入	[Shaded Area]													
一般市場向け展開							[Shaded Area]							
工業向け展開											[Shaded Area]			

(2) 事業者ヒアリングの実施結果

CNF 活用建材を製品化するにあたり、各建材に対する意見を検討に活用するとともに、市場やニーズを把握するため、今後の市場動向や利用者のニーズ、導入意向等について、不動産事業者を対象にヒアリングを実施した。主な質問項目は、以下のとおり（表Ⅱ-7-2-2）。

表Ⅱ-7-2-2 事業者ヒアリングにおける主な質問項目

質問項目	内容例
① CNF 活用製品について	CNF 活用製品に対するメリット・デメリット、求める付加価値、既製品との差別化のポイント 等
② 想定される導入市場、市場動向	住宅等に関わる市場動向、ニーズのありそうな建物の種別・分野 等
③ 利用者のニーズ	住む人や利用する人の重視するポイント、近年の傾向 等
④ 導入意向、導入促進に効果のありそうな取組・条件	補助金・支援制度、価格設定、環境への取組としての CSR 等

【事業者ヒアリングにおける主な意見】

①CNF 活用建材について

◆CNF 樹脂サッシ：性能強化や意匠の工夫による差別化

樹脂サッシは、従来からその安価さゆえに選択されやすいイメージがあるため、見付幅のスリム化による意匠性の向上や商品名の工夫などにより、イメージ転換を図ることで差別化できる可能性がある。また、CNF 樹脂サッシの強度や断熱効果の性能を追求し、他の開口部建材と組み合わせれば相乗効果を発揮し得る。

◆CNF 遮熱合わせガラス：カラー展開や複層ガラス化による差別化

ガラスの色に関しては、透明よりもカラーバリエーションがあった方が建物の景観に馴染みやすく、使い勝手がよい。ガラス色の違いによる性能評価等も含めて検討してはどうか。また、CNF 遮熱合わせガラスを用いて複層ガラスとすることにより、断熱性能も付与できると差別化につながると考えられる。

◆CNF 遮断熱コーティング材：耐用年数の延伸と修繕費の低減による差別化

CNF 遮断熱コーティング材は、さらなる耐久性の向上による耐用年数の延伸ができることにより利用しやすい建材となると考えられる。また、高い耐候性を有することによる修繕費用の低減を可視化することで PR しやすくなる。

②想定される導入市場、市場動向

◆既築集合住宅の大規模修繕への導入

パリ協定で定められた温室効果ガスの排出削減目標の達成には、新築住宅だけでなく、数多くのストックがある既築住宅における省エネルギーの取組が不可欠である。公営住宅等の既築集合住宅の大規模修繕の機会にあわせ、CNF 活用建材を導入することで省 CO2 効果が期待できる。

◆快適な温熱環境への需要の高まり

国ではスマートウェルネス住宅事業として、多様な世帯が安心して健康に暮らせる住環境の実現が推進されている。健康の維持・増進といった観点では、住宅の温熱環境は居住者に大きな影響を与える。CNF 活用建材の導入により快適性が向上するのであれば、環境の影響を受けやすい高齢者等が過ごす高齢者向け住宅や施設等でニーズがあると考えられる。

③利用者のニーズ

◆エンドユーザーへの訴求力ある導入メリットの提示

住宅を選択する際に、環境関連の取組や性能を重視している人は少なく、エンドユーザーへは訴求しにくい。そのため、エンドユーザーが直接的に分かりやすくメリットを理解できるよう、光熱費や更新費用の低減などで経済的なメリットを示すなどの工夫が必要である。

④導入意向、導入促進に効果のありそうな取組・条件

◆適切な価格設定

CNF 活用建材は、原材料である CNF の価格がまだ高いことから、現時点においては総じて製品価格が高い印象がある。今後は製品価格自体のコストダウンや補助制度の活用など、導入しやすい価格に設定していただけるとよい。

◆国による補助制度や導入支援の見直し

エンドユーザー側が CNF 活用建材や省エネ建材の導入を有利に感じる省エネ促進のための補助金制度や、不動産や建設会社等の事業者側が導入のインセンティブを持つことのできる支援策など、双方の立場の目線から政策的支援のアプローチを検討できるとよい。

7-3. まとめ

(1) 製品化に向けたロードマップの検討

CNF 活用建材の社会実装に向け、各建材において想定される課題の洗い出しを行い、対応時期の目安を製品化ロードマップとして整理した。性能向上のための検討や製品化、生産体制、市場投入時期といった観点で検討し、今後は製品化に向けた課題の解決や目標達成のための取組の推進を目指す。

(2) 事業者ヒアリングの実施

CNF 活用建材の製品化に向けた市場ニーズ等の把握のため、不動産事業者を対象にヒアリングを実施した。CNF 活用建材について、各建材それぞれの差別化につながる視点を得た。想定される導入市場としては、大規模修繕を行う既築集合住宅や温熱環境の快適性を求める施設が挙げられた。利用者のニーズとしては、経済的なメリットを重視する傾向が強いため、金銭的なメリットを分かりやすく伝える必要がある。導入促進のために求められる取組としては、他の製品と差別化を図れる価格の設定のほか、エンドユーザー側と事業者側の双方において導入のメリットを感じられる政策的支援のアプローチ検討が挙げられた。今後は聴取した意見を参考に、製品化に向けて検討を進めていく。

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。