

平成 28 年度セルロースナノファイバー
製品製造工程の低炭素化対策の立案事業
委託業務 成果報告書

平成 29 年 3 月

愛媛大学 紙産業イノベーションセンター

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。

平成 28 年度セルロースナノファイバー
製品製造工程の低炭素化対策の立案事業
委託業務 成果報告書

非加熱プロセスによる樹脂混練用 CNF の製造
－CNF 脱水・溶媒置換法の確立－

平成 29 年 3 月

愛媛大学 紙産業イノベーションセンター

平成 28 年度セルロースナノファイバー製品製造工程の低炭素化対策の立案事業委託業務（非加熱プロセスによる樹脂混練用 CNF の製造－CNF 脱水・溶媒置換法の確立）

日本語サマリ

1. 事業の目的

CNF は、植物等を原料とし、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、エネルギー消費を削減することから、地球温暖化対策への多大なる貢献が期待されている。しかしながら CNF は、製品への適用初期段階にあるため、今後 CNF の適用範囲が拡大していく段階には様々な課題が発生することが想定される。

本業務では、CNF の早期社会実装に向けて、従来材料に対する CO₂ 削減効果の評価するため、現状製法によって作製された製品と同等以上の性能を確保しつつ、製造時の CO₂ 排出量の総量（CNF 複合樹脂製造時や製品の成形加工時、また素材使用量などを考慮する）が従来材料より少ない CNF 複合樹脂製品を実現するとともに、CNF 複合樹脂の製造工程の低炭素化対策の立案を行うことを目的とする。

2. 事業概要

本年度はラボベース連続脱水処理装置で 1%CNF 分散液の水分を 90%除去する条件の確立を目指した。さらに、脱水した CNF の生産性向上のために連続脱水装置の設計、試作を行った。また、27 年度から継続して、各種混練法を利用する CNF の樹脂混練条件の探索を行った。以上の結果を基に、CNF 複合樹脂の製造工程の CO₂ 排出量のシミュレーションを行い、低炭素化対策に向けた立案作業を実施した。

3. 事業進捗

ラボベース装置を利用した脱水用ワイヤー条件の検討を行った。3 層以上積層した 300 メッシュのワイヤーを用いて、初期のサクション圧を穏和に印加することで CNF 固形分濃度を 1%から 9%以上（脱水率 90%以上）に脱水することが出来た。プロトタイプ連続的脱水装置の試作のために、予備実験として実験抄

紙機で脱水実験を行った。ワイヤー種、サクシヨン圧、サクシヨン回数、両面サクシヨンなどの条件検討の結果、90%脱水条件を確立した。予備試験結果を基に CNF の連続的な供給と脱水機構を有するプロトタイプ連続脱水装置の設計を行い、28 年 11 月末に試作機の完成および設置が完了した。28 年度末までに、試作機の立ち上げ、付帯設備の導入、安全設備の実証を行った。

CNF の混練適性の把握のために、2 本ロール法、2 軸押し出し法、キャスト法による混練条件を検討した。PMMA 中の CNF 分散性向上に添加剤が寄与することが判明した。さらに、CNF の分散性向上を目指して高せん断力加工機による実験を行ったところ、高せん断力は CNF の分散性に良好な効果をもたらすことが明らかとなった。その結果、全光線透過率 92%の CNF 混練 PMMA (1%配合) が得られた。

本年度の CNF 混練 PMMA の試料調製過程について、積算電力測定結果を基に CO₂ 排出シミュレーションを実施した。CNF 混練 PMMA 製品製造において最も CO₂ 負荷の高いプロセスは CNF を PMMA に混練する過程であった。CNF に含まれる水分が混練時の樹脂温度を低下させるため、水分の多い CNF の場合には加工温度を高く設定することと、樹脂混練加工速度を低くすることが必要となり、生産物の単位重量あたりの CO₂ 排出負荷が高くなる。反対に脱水により水分含量を少なくした CNF では加工温度を低く、かつ樹脂混練加工速度を高く設定できるため、CNF 混練 PMMA 生産性を高めることが出来る。CNF-PMMA 1kg 製造に係る CO₂ 排出量は、6.07 (CNF1%配合時、混練速度 2 kg h⁻¹) → 5.02 (CNF10%配合時、混練速度 5 kg h⁻¹) と、CNF の脱水に伴い約 10%減少できることが分かった。すなわち CNF の脱水は単位重量あたりの CO₂ 排出を大きく下げることが出来る。さらに、CNF 樹脂混練時の分散性向上に寄与した添加剤が、混練時の電力消費も低減することが積算電力測定の結果として確認された。

Production of cellulose nanofibers for use with polymerized resin by non-heating process –development of a water removal and solvent exchange technique for cellulose nanofibers

1. Purpose of this project

Cellulose nanofibers (CNFs) are obtained from plants. CNFs show excellent potential for use as basic industrial resources because they have high mechanical and elastic strength, which can be attributed to their large specific surface and pore rate. Besides, CNFs are carbon-neutral compounds, and hence, they are possible candidates for the reduction of carbon dioxide (CO₂) emission during waste combustion processes. Currently, numerous researchers and companies are working to realize the applications of CNFs in automobile, household, and electrical components.

As part of our previous year's (2015) project, we proposed a plan to reduce CO₂ emissions through the development of strategies for the effective removal of water from a CNF slurry and new polymeric materials with blended CNFs. This year, we upgraded the plan to include the development of a prototype machine to continuously remove water from a CNF slurry and CNF-blended transparent plastics.

2. Contents

Last year, we tested a laboratory-based batch system for water removal from CNFs and achieved an efficiency of 90% for water removal of from a 1% CNF solution. The system was based on cloud point extraction and multilayered wire filtration. Thus, a prototype machine for the continuous operation of a multilayer wire system was designed as part of this year's project. Prior to designing the system, we attempted to conduct water removal tests using laboratory-based suction boxes and a paper making prototype machine.

We have obtained 90% total light transmittance for CNF-blended poly (methylmethacrylate) (PMMA) resin. However, visible aggregates have been contained into the CNF blended PMMA. Thus, we tried to optimize the preparation conditions for the transparent CNF-blended PMMA by carrying out tests using mixing machines and additives for increasing the affinity of CNF to PMMA. The target transparency for the CNF-blended PMMA was set to 90% total light transmittance.

3. Results

In the experiment using cloud point extraction and multi-layered wire filtration techniques, the number of layers and mesh size of the wire affected the efficiency of CNF collection. We achieved the targeted 90% water removal efficiency for a 1% CNF dispersion. Next, pilot tests were performed using a paper making prototype machine of Ehime Institute of Industrial Technology Paper Technology Center to design the prototype multi-layered wire filtration machine. From the results, the CNF content was varied from 2% to 10 %. We also designed a prototype machine for the removal of water in CNF based on the results of the test. The prototype machine was developed and installed in Ehime University in Nov. 2016. We have started testing operations to load CNF slurry used with the machine. The test is designed to optimize the operation and handling of the prototype machine.

We tested several mixing techniques, including a two-roller mill machine, twin-screw extruder, high sharing machine, and casting to prepare CNF-blended PMMA. From the results, applying high sharing on the mixing resulted in a positive effect on the dispersibility of CNFs into PMMA. The resulting CNF-blended PMMA showed a total light transmittance of 92%. Furthermore, some additives were favorable for the dispersion of the CNFs and for suppression of the brown coloration of PMMA after high sharing mixing.

The CO₂ emission for the production of the CNF-blended PMMA developed in this project was estimated and compared to that when using conventional techniques. By simulation of the experimental results of electrical consumption, CO₂ emission during the making of the CNF-blended PMMA mostly consisted of the blending process. Furthermore, it was found that water removal from the CNFs effectively helped in the reduction of CO₂ emission during the blending process. Lastly, the additive used for blending CNFs with PMMA significantly suppressed the electrical consumption during the blending process.

[目次]

1. 業務の目的	1
2. 業務の内容	1
(1) 多層ワイヤー脱水技術の開発	2
① ラボベース脱水装置での検討（愛媛大学）	3
② 脱水装置の試作（特種東海製紙株式会社、愛媛大学）	27
(2) 脱水および溶媒置換 CNF の樹脂混練	30
① CNF の樹脂混練適性の評価	30
(ア) 脱水 CNF の混練透明樹脂の評価（愛媛大学）	30
(イ) 樹脂混練後の CNF 分散性の評価（愛媛県紙産業技術センター）	35
② 混練条件の検討（愛媛大学）	38
③ CNF 混練樹脂の透明性試験と強度評価	45
(ア) CNF 混練樹脂の透明性評価（愛媛大学）	45
(イ) CNF 混練樹脂の強度評価（愛媛県紙産業技術センター）	53
(3) 製造工程の低炭素化対策の立案（愛媛大学）	55
(4) CNF の利活用に関する現況の調査の実施（愛媛大学）	105
(5) 協議・打合せ（愛媛大学、愛媛県紙産業技術センター、特種東海製紙株式会社）	132
(6) 情報発信の実績	136

平成28年度セルロースナノファイバー製品製造工程の低炭素化対策の立案事業委託業務（非加熱プロセスによる樹脂混練用 CNF の製造－CNF 脱水・溶媒置換法の確立）報告書

1. 業務の目的

CNF は、植物等を原料とし、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、エネルギー消費を削減することから、地球温暖化対策への多大なる貢献が期待されている。しかしながら CNF は、製品への適用初期段階にあるため、今後 CNF の適用範囲が拡大していく段階には様々な課題が発生することが想定される。

本業務では、CNF の早期社会実装に向けて、従来材料に対する CO₂ 削減効果を評価するため、現状製法によって作製された製品と同等以上の性能を確保しつつ、製造時の CO₂ 排出量の総量（CNF 複合樹脂製造時や製品の成形加工時、また素材使用量などを考慮する）が従来材料より少ない CNF 複合樹脂製品を実現するとともに、CNF 複合樹脂の製造工程の低炭素化対策の立案を行うことを目的とする。

2. 業務の内容

本業務では、脱水装置で 1%CNF 分散液の 90%脱水を目指して条件検討する。また、繊維の状態解析のために回収した CNF の各種分析を実施する。

本年度は、ラボベース脱水処理装置で 1%CNF 分散液の水分を 90%除去する条件の確立を目指す。さらに、脱水プロトタイプ装置の試作を行うとともに、CNF の樹脂混練条件の探索を行った。また、部材・製品を成形し、各段階での CO₂ 排出量を評価した。

（１）多層ワイヤー脱水技術の開発

緒言

セルロースナノファイバー（CNF）は製造時に水に分散した形で調製されることから、通常は 95%以上含水した状態で供試される。CNF は微細かつ繊維内外に多数の水分子を包含しており、従来技術ではろ別、沈殿分離等の固液分離が困難である。通常は、加熱蒸発を選択しがちであるが、加熱蒸発は固形分濃度を上げるために多大な燃料が必要であり、典型的な多エネルギー消費プロセスである。また、CNF に含まれる水分は混練時の加熱操作において激しく蒸発して樹脂温度を下げる要因となり、樹脂粘度を上げるためにさらなる加熱が必要となる。更に、疎水性の高い樹脂やポリマーとの混練においても分散性を妨げる要因となる。このように、CNF の脱水は加工時の燃料消費の減量、運搬時や樹脂製品加工時のエネルギーコストの低減などの低炭素化に資するとともに、樹脂混練性向上を図ることができる。

ワイヤー脱水は抄紙工程でも使われるように、大量の試料の脱水、シート化に重要な工程である。ただ、パルプに比べてより微細な CNF については従来のワイヤー脱水工程では、メッシュを通過して捕捉することが困難である。遠心ろ過等についても、試料処理量や強力な遠心システムの採用等、コスト面で問題となる。一般的に、このような微細な物質を脱水するには、対象より小さな孔径（網目）をもつワイヤーを利用する必要がある。しかし、目の細かいワイヤーによる脱水は、高い圧力損失のためろ過に非常に時間がかかること、減圧に強力なポンプが必要など、製造の高速化とランニングコストに問題点がある。効果的な脱水・減容プロセス技術の開発は、輸送や乾燥コストの低減のみならず、紙やパルプの利用性の向上や新規なシート製品の創成に直結する。そこで、CNF や再利用紙製造工程で生産される脱墨パルプなどに含まれる微細繊維の「濃縮（小容量化）」ならびに「脱水」をほぼ同時に実施可能な方法として、多層のワイヤーを利用した脱水プロセスの構築を行った。昨年度は実験室レベルでガラスろ過装置と金属製と樹脂性ワイヤーを利用して、多層ワイヤー脱水についての基礎的な実験を実施した。そこでは、ワイヤーの多層化が有効であることが示されている。特に希薄な CNF について多層化が効果を示した。

本年度は、多層ワイヤー脱水のプロトタイプ機の試作を念頭に置いて、実際の脱水システムに近い線圧による減圧を印可した状態での脱水、ワイヤー種による脱水への影響について検討した。大量の脱水 CNF を製造可能な装置の構築を行うため、多層ワイヤーを利用した脱水方式として CNF の 90%脱水条件の確立を目指すとともに、脱水装置を試作した。

① ラボベース脱水装置での検討（愛媛大学）

A. ろ過用スポンジまき付けロールによる脱水予備試験

スポンジのように微細孔を多数有する脱水材料（フエルト）を円筒型の搾水ロールに巻きつけた連続脱水装置による脱水試験を試みた。脱水機構としては、ろ過によるものであり、円筒ロール表面に多孔性フエルトを装着したものを上下に配置して、孔を通じてサクション圧がかかるとともに、ロールプレスを押可できるようになっている。すなわち、CNF に対して陰圧とプレス圧を同時に加えることが出来る。円筒ロールであることから、試料は連続的に搾水可能な仕組みとなっている。本装置を有するメーカーに実験を実施した。実施手順は以下の通りである。

ろ過用スポンジまき付けロールの実験手順

1. 既知重量のプラスチックワイヤー上にシリンジで適量の CNF（固形分濃度 2 %）採取
2. ガラス棒でワイヤー上に CNF を薄く展開
3. CNF が塗布されたワイヤーの重量を測定
4. CNF が塗布されたワイヤーをラップで被覆
5. 4 の試料をろ過用スポンジまき付けロール試験機の最上部に載せて表面をラップで被覆
6. 2-3 分間程度ロール上部にワイヤーを押し当てた後、ワイヤー上部の CNF を回収（あるいはロールプレスを押加）
7. 回収された CNF の重量と固形分率から脱水量と回収率を算出

$$\text{回収率 (\%)} = [\text{脱水後回収 CNF 乾燥重量 (g)} / \text{キャスト乾燥重量(g)}] \times 100$$

ただし、

$$\text{キャスト乾燥重量(g)} = \text{キャスト湿重量 (g)} \times 0.02$$

$$\text{脱水後回収 CNF 乾燥重量(g)} = [\text{キャスト量} - \text{脱水量}] \times \text{固形分率}$$

結果

CNF については脱水効率を高めることを意図して、面圧を押加するために表面をラップで被覆した。CNF 固形分濃度については赤外線水分計から算出した。

まず、CNF 展開ワイヤーをフエルト上に載せて陰圧を押加したところ、固形分濃度は最高で 4.5%程度であり、脱水は想定よりも低い結果となった。脱水効率を高めるためにロールを接近させてプレス圧を押加するとワイヤーか

らの CNF 試料の漏洩が発生した。CNF の漏洩を低減するためには、プレス圧の微調整が必要であるものの、それは非常に難しく漏洩を完全に防ぐことが出来なかった。漏洩した CNF は、フエルト表面で吸引されて微細孔を閉塞させており、一旦閉塞が発生すると、洗浄が困難であった。フエルトの微細孔の閉塞は最終的にフエルト表面の研磨（表面を少しずつ切削すること）が必要となり、連続脱水時のコスト上昇にも繋がるため、現状では本機構の試作機への搭載は見送ることとなった。

B. 実機ウェットパートを想定したワイヤー脱水効率化に関する研究

B-1 緒言

本プロジェクトでは、非加熱による効率的な脱水方法の確立を目指している。これまで愛媛大学ではワイヤー固定式（以下「バッチ式」）の実験を行うことにより、サクションをういた CNF の脱水において、ワイヤーメッシュの細かさと重ね合わせ枚数が CNF の収率に大きく影響することを見出した。しかし、実際の抄紙機（以下「実機」）におけるウェットパートを考えた場合、常にワイヤーが動いた条件でサクションがかけられる。そのため、実機上ではサクションで脱水されている時間は極めて短く、且つ脱水時の原料の挙動には動的な要因が影響することが考えられる。

今後、プロトタイプ機を設計・作製することで連続的な脱水条件の検証を進めていくが、プロトタイプ機の設計に当たってさらに条件の洗い出しが必要であると考えた。そのため本研究においては、プロトタイプ機の設計に必要な条件を見極めるために、これまでのバッチ式よりもさらに実機条件に近づけた実験系を組み立て、CNF 脱水法の検証を行った。

B-2 サクション実験装置の検討

B-2-1 材料および実験方法

サクション実験装置：

特種東海製紙が独自に製作したサクション実験装置（以下「本装置」）を使用した。本装置の概要を図 1 に示す。本装置はウェットパートのサクションボックスを模したものであり、装置上部の金属板には 3 mm×100 mm のスリットを設けており、付属のポンプを用いることで、スリット部分から最大 18 kpa 程度の力で吸引することが可能である。そのため、金属板上で原料をキャストしたワイヤーをスライドさせることにより、実機の抄紙ワイヤーのように短時間で且つ動的な吸引を再現することが可能である。

供試サンプル：

木材パルプをマスコロイダーで解繊することにより MFC または CNF の水分散液を得た。なお MFC は特種東海製紙において解繊したものを、CNF は愛媛大学において解繊したものを実験に供した。

ワイヤー：

CNF 脱水用のワイヤーとして 100、200、300 メッシュのステンレス製ワイヤーを用いた。

サクション条件：

1.0%に希釈した MFC および CNF 分散液 30 g を直径約 10 cm の円形に広がるようステンレスワイヤー上にキャストし、さらに上部からステンレスワイヤーを乗せることでステンレスワイヤー間に分散液を挟み込んだ。次にステンレスワイヤーを装置に乗せ、所定の吸引力でサクションしながら約 1 m/min の速度でスリット上をスライドさせることにより脱水を行った。

なお、本装置の吸引力を真空度で表すと、弱条件で約 5 kPa、中条件で約 11 kPa、強条件で約 18 kPa（当装置の真空度計の値）である。

ウエットプレス条件：

サクションにより脱水した後のサンプルは、ステンレスワイヤー間に試料を挟み込んだまま、さらに表裏を厚紙で挟んだ状態で、上から 13 kg の金属ロールを 4 往復転がすことにより脱水を行った。

収率及び濃度測定方法：

脱水後のサンプルをワイヤー表面から掻き取ることでペースト状の MFC または CNF を得た。ペースト状 MFC または CNF の乾燥前の重量を測定後、105℃のオーブンで 4 時間以上乾燥させたのち再度乾燥後の重量を測定し、以下の計算式を用いることで収率及び濃度を求めた。

$$\text{「収率（％）」} = \frac{\text{乾燥後の重量（g）}}{\text{キャストしたサンプルの固形分（g）}} \times 100$$

$$\text{「濃度（％）」} = \frac{\text{乾燥後の重量（g）}}{\text{乾燥前の重量（g）}} \times 100$$



図 1-1. サクション実験装置

B-2-2 結果および考察

本装置による実験結果を表 1-1 に示す。まず、今回実験に供したサンプル原液の固形分濃度は約 1.7%であったが、原液のままでは液の流動性が極めて悪く、実機を想定した場合、抄紙ワイヤーへ均一にキャストすることが困難であると考えた。そのため、濃度を 1.0%まで希釈することにより流動性を確保したサンプルを用いて脱水実験を行った。

MFC を用いた実験では、サクションによる脱水のみで 8%以上の固形分濃度に濃縮することができた。一般的な抄紙ワイヤーのように片面 1 層でサクションした場合の収率は、200 メッシュ以上のワイヤーであれば 90%前後の高い収率を確保できたが（表 1 : No1-3、1-4）、100 メッシュのワイヤーではメッシュからの MFC の脱落が多く、収率は 50%程度に留まった（表 1:No1-1）。しかし、100 メッシュのワイヤーを 3 層重ね合わせることで収率は 90%近くまで向上させることができた（表 1-1 : No1-2）。そのため、バッチ式の実験結果と同様にワイヤーを多層にすることでメッシュからの MFC の脱落を抑制できることが確認できた。サクション脱水を行ったサンプルにウェットプレスを想定して金属ロールで線圧を加えた結果、収率を殆ど落とすことなく 11%以上の濃度まで脱水することができた（表 1-1 : No1-5）。

CNF を用いた実験では、メッシュからの CNF の脱落がひどく、300 メッシュのワイヤーを用いても、ほとんどの CNF が脱落してしまう結果となった（表 1-1 : No1-9）。MFC よりも微細である CNF の脱水においては、本装置での実験条件はより過酷な条件であることが確認できた。

次の実験では本装置を用いた脱水においても CNF のメッシュからの脱落を抑制可能な条件を模索した。

表 1-1. ウェットパートを想定したラボ実験結果

実験No.	サンプル	ワイヤー		サクシオン条件 ※1	プレス条件	試験結果	
		表面	裏面			収率	MFC, CNF濃度
1-1	1.0% MFC	#100:1枚	#100:1枚	表: 中(11kPa) 20回 裏: 中(11kPa) 20回	-	52.2±15.8%	9.1±1.4%
1-2	1.0% MFC	#100:3枚	#100:3枚	表: 中(11kPa) 20回 裏: 中(11kPa) 20回	-	88.9±1.9%	7.6±0.4%
1-3	1.0% MFC	#200:1枚	#200:1枚	表: 中(11kPa) 20回 裏: 中(11kPa) 20回	-	87.8±3.8%	8.3±0.3%
1-4	1.0% MFC	#300:1枚	#300:1枚	表: 中(11kPa) 20回 裏: 中(11kPa) 20回	-	95.6±3.8%	8.7±0.1%
1-5	1.0% MFC	#300:1枚	#300:1枚	表: 中(11kPa) 20回 裏: 中(11kPa) 20回	ロールプレス 4回	92.2±5.1%	11.4±0.5%
1-6	1.0% CNF	#100:1枚	#100:1枚	表: 中(11kPa) 20回 裏: 中(11kPa) 20回	-	< 5%	ND
1-7	1.0% CNF	#100:3枚	#100:3枚	表: 中(11kPa) 20回 裏: 中(11kPa) 20回	-	< 5%	ND
1-8	1.0% CNF	#200:1枚	#200:1枚	表: 中(11kPa) 20回 裏: 中(11kPa) 20回	-	< 5%	ND
1-9	1.0% CNF	#300:1枚	#300:1枚	表: 中(11kPa) 20回 裏: 中(11kPa) 20回	-	< 5%	ND

(※1) サクシオン条件
 当社装置の真空度計の値: 弱=約 5 kPa、中=約 11 kPa、強=約 18 kPa
 Pass 回数: 約 1 m/min で 20 回

B-3 CNF 脱水条件の最適化

B-3-1 材料および実験方法

材料及び実験方法は B-2 に準じて実験を行った。

B-3-2 結果および考察

特種東海製紙が独自に製作したサクシオン実験装置（以下、本装置）を用いた CNF 脱水条件最適化に関する実験結果を表 1-2 に示す。まずはワイヤーの改良を検討した。これまで 300 メッシュのワイヤーを 1 層（1 枚）で脱水していたのを 300 メッシュのワイヤーを 3 層（3 枚）重ねあわせて多層状のワイヤー構成にすることで、CNF の収率が 5%未満であったものが約 42%まで向上した（表 1-2：No.2-1、2-2）。

次にサクシオン条件の再検討実験を行った。サクシオン条件を「中（11 kPa）20 回」から「弱（5 kPa）20 回」に弱めることにより、CNF のメッシュからの脱落を抑制することができ、CNF 収率が約 42%から約 77%に向上した（表 1-2：No.2-3）。しかし、吸引力が弱いため CNF 濃度は 3%程度までしか濃縮することができなかった。そこで、1 段目のサクシオン条件「弱（5 kPa）20 回」で脱水したサンプルをさらに 2 段目のサクシオン「中（11 kPa）20 回」で脱水した結果、CNF 収率が約 77%から約 83%に向上するとともに、CNF 濃度も約 3%から 5.5%に高めることができた（表 1-2：No.2-4）。また、2 段目のワイヤー枚数を減らすことにより、同じサクシオン条件でも収率と CNF

濃度が向上することも確認できた（表 1-2：No2-5）。これは、1 段目のサクシオンを弱くして CNF の脱落を抑制しながら徐々に CNF 濃度を上げれば、2 段目のメッシュを 1 層に減らしても CNF のメッシュからの脱落が起こりにくく、またメッシュを 1 層に減らすことで効率よく脱水ができることを裏付けられる結果であった。実験 No2-5 で脱水したサンプルにもう 1 段（3 段目の）サクシオン条件「強（18 kPa）20 回」を加えることで、CNF 収率 90% 以上、CNF 濃度 9% 以上を達成できた（表 1-2：No2-6）。CNF のメッシュからの脱落が抑えられた理由は、1 段目の弱いサクシオンにより CNF が濃縮された結果 CNF の粘度が向上したためと考える。実機においてもサクシオン条件に勾配（サクシオン条件：弱→中→強）を設けることにより CNF のメッシュからの脱落を抑制できる可能性が高いと考える。

なお、実験結果では脱水が進むと見かけの収率が向上する傾向にあった。その理由は脱水が不十分だとメッシュの網目に CNF が入り込み容易に掻き落とすことができないためであると推察する。実生産においても、CNF 脱水率が低いと CNF がメッシュの網目に入り込み掻き落とし切れずに収率が低下することが想定されるとともに、メッシュの目詰まりが発生することで操業性が悪化することが予想される。そのため、CNF に関しては、ワイヤー上である程度脱水した状態で次工程に移す必要があると考えられる。

ワイヤーを用いた 3 段階のサクシオンにより脱水した CNF（実験 No2-6 の試料）にロールで線圧を加えることでさらに CNF 収率と CNF 濃度の向上が可能か検証した。CNF のメッシュからの脱落が発生し、収率は 20% 程度まで大きく低下した（表 1-2：No2-8）。したがって、ロールプレス等の強い線圧を加えることは CNF のような微細な繊維の脱水には適さないと思われる。

まだ試行段階だが、CNF 濃度 9% 以上に脱水した試料（実験 No2-6 の試料）に、ロールプレスよりも弱い面圧を加えると CNF の脱落が発生せずに水のみが滲み出してくる現象を確認している。CNF の脱水のためにウェットプレスを用いる場合、弱い圧力で時間をかけて加圧脱水することが適している可能性があり、今後の検討課題としたい。

表 1-2. CNF 脱水条件の最適化

実験No.	サンプル		サクシオン条件 ※1						プレス条件		脱水結果	
			1段目		2段目		3段目		ワイヤー	プレス	収率	CNF濃度
			ワイヤー	サクシオン	ワイヤー	サクシオン	ワイヤー	サクシオン				
2-1	1.0% CNF	表面	#300:1枚	中(11kPa) 20回	-	-	-	-	-	-	<5%	ND
		裏面	#300:1枚	中(11kPa) 20回	-	-	-	-	-	-		
2-2	1.0% CNF	表面	#300:3枚	中(11kPa) 20回	-	-	-	-	-	-	42.2±5.1%	3.8±0.4%
		裏面	#300:3枚	中(11kPa) 20回	-	-	-	-	-	-		
2-3	1.0% CNF	表面	#300:3枚	弱(5kPa) 20回	-	-	-	-	-	-	76.7±8.8%	2.9±0.8%
		裏面	#300:3枚	弱(5kPa) 20回	-	-	-	-	-	-		
2-4	1.0% CNF	表面	#300:3枚	弱(5kPa) 20回	#300:3枚	中(11kPa) 20回	-	-	-	-	83.3±5.8%	5.5±0.7%
		裏面	#300:3枚	弱(5kPa) 20回	#300:3枚	中(11kPa) 20回	-	-	-	-		
2-5	1.0% CNF	表面	#300:3枚	弱(5kPa) 20回	#300:1枚	中(11kPa) 20回	-	-	-	-	90.0±6.7%	6.3±0.6%
		裏面	#300:3枚	弱(5kPa) 20回	#300:1枚	中(11kPa) 20回	-	-	-	-		
2-6	1.0% CNF	表面	#300:3枚	弱(5kPa) 20回	#300:1枚	中(11kPa) 20回	#300:1枚	強(18kPa) 20回	-	-	95.6±3.8%	9.6±0.8%
		裏面	#300:3枚	弱(5kPa) 20回	#300:1枚	中(11kPa) 20回	#300:1枚	強(18kPa) 20回	-	-		
2-7	1.0% CNF	表面	#300:1枚 #100:2枚	弱(5kPa) 20回	#300:1枚	中(11kPa) 20回	-	-	-	-	66.7±3.3%	7.0±0.3%
		裏面	#300:1枚 #100:2枚	弱(5kPa) 20回	#300:1枚	中(11kPa) 20回	-	-	-	-		
2-8	1.0% CNF	表面	#300:3枚	弱(5kPa) 20回	#300:1枚	中(11kPa) 20回	#300:1枚	強(18kPa) 20回	#300:3枚 厚紙	ロールプレス 2回	20.0±8.8%	12.2±3.8%
		裏面	#300:3枚	弱(5kPa) 20回	#300:1枚	中(11kPa) 20回	#300:1枚	強(18kPa) 20回	#300:3枚 厚紙	ロールプレス 2回		

(※1) サクシオン条件

当社装置の真空度計の値： 弱＝約 5 kPa、中＝約 11 kPa、強＝約 18 kPa
Pass 回数： 約 1 m/min で 20 回



図 1-2. サクシオンのみで脱水された CNF

(左：脱水条件最適化前（実験 No2-1 の試料）、右：脱水条件最適化後（実験 No2-6 の試料）)

B-4 プラスチックワイヤーの検討

B-4-1 材料および実験方法

脱水用の基材として製紙用プラスチックワイヤーを用いた以外は、基本的には B-2 と同様の材料及び方法で実験を行った。

B-4-2 結果および考察

抄紙ワイヤーとして実機で用いる場合には、ワイヤーを継げてループ状の構造にする、いわゆるエンドレス加工が施されるのがごく一般的である。しかし、今回実験に供したステンレスワイヤーは従来製紙用に用いられてい

るものではなく、既存の製紙用ステンレスワイヤーに比べ極端にメッシュの細かいものであるため、溶接等によるエンドレス加工が困難であると考え。そこで、実際の抄紙機で使用されているプラスチック製の抄紙用ワイヤー（すなわち、エンドレス加工が可能なワイヤー）の中から特にメッシュの細かいワイヤーを選定し、脱水実験を行った。

選定したプラスチックワイヤーを用いた脱水実験結果を表 1-3 に示す。ステンレスワイヤーでは、ワイヤーの 3 層重ね 且つ「弱（5 kPa）20 回」サクシオンで吸引する条件（表 2：実験 No2-3 及び No.2-6 の条件）で、CNF のメッシュからの脱落を抑制することができた。しかし、今回入手した抄紙用プラスチックワイヤーを用いて実験 No2-3 及び No.2-6 の条件で脱水実験を行ったところ、いずれのプラスチックワイヤーも CNF のメッシュからの脱落をステンレスワイヤー（表 1-2.No2-3 及び No.2-6）ほど抑制することができなかった。

そこで、抄紙用プラスチックワイヤー以外のプラスチックワイヤーに調査範囲を広げ実験を行った。抄紙用ワイヤーと同様にエンドレス加工が可能なプラスチックワイヤーとしてベルトプレス用プラスチックワイヤーを用いた脱水実験結果を表 1-4 に示す。抄紙用プラスチックワイヤーと比べ、ベルトプレス用ワイヤーのメッシュ数は少ないが線径の太いワイヤーを緻密に織っているため、通気度が低いのが特徴である。しかし、ベルトプレス用プラスチックワイヤーを用いて実験 No2-3 及び No.2-6 の条件で脱水実験を行った場合も、これまでの抄紙用プラスチックワイヤーと同様に CNF のメッシュからの脱落をステンレスワイヤー実験（表 1-2：No2-3 及び No.2-6）ほど抑制することが出来なかった。

次に、用途の異なるプラスチックワイヤーから更にメッシュの細かいものとして、200 メッシュ及び 300 メッシュのプラスチックワイヤーを用いた脱水実験結果を表 1-5 に示す。200 メッシュのプラスチックワイヤーの使用で 84%の収率を、300 メッシュのプラスチックワイヤーの使用で、98%の収率を確保することが可能であった。（表 1-5：No.5-1,5-2）

なお、CNF のメッシュからの脱落とワイヤー構造の関係を整理するため、顕微鏡によるワイヤーの形態観察を行った。その結果を図 1-3 に示す。メッシュからの脱落が抑制できた 300 メッシュのステンレスワイヤーや抄紙用プラスチックワイヤーはいずれも一重織で 60 μm 四方未満の微細な貫通孔が規則的に配列している構造である。しかし、ベルトプレス用プラスチックワイヤーや多重織のプラスチックワイヤーの方が、表面上の貫通孔が少ないように見える。表面上の貫通孔が少ないにもかかわらずメッシュからの脱落を抑制できなかった理由については、Z 軸方向で貫通孔の分布状態に相違があるためであると推察する。ベルトプレス用プラスチックワイヤーは線径の太いワイヤーを使用しているため、Z 軸方向で考えた場合織り目の部分に

隙間が生じているおり、多重織りのプラスチックワイヤーは層間に隙間が生じていると考えられる。CNFは非常に微細な繊維であるため、この隙間をすり抜けて脱落しているものと推察する。

したがって、CNFの脱落を抑制するためには、線径の細い一重織のワイヤーを選定する必要があるが、今回選定した200メッシュ以上のプラスチックワイヤーはエンドレス加工が困難であり、且つプラスチックワイヤーはステンレスワイヤーと比べて強度が弱いため抄紙機上でかかる張力に耐えうる強度が確保できない可能性が高いと考える。

表 1-3. 抄紙用プラスチックワイヤー用いた脱水試験結果

実験No.	サンプル	プラスチックワイヤー				サクシオン条件 ※1		脱水結果	
						1段目			
		織り方	素材	メッシュ(縦/横)		ワイヤー枚数	サクシオン	収率	CNF濃度
3-1	1.0% CNF	3.5重織	ポリエステル	206/97	表面	3枚	弱(5kPa) 20回	<5%	ND
					裏面	3枚	弱(5kPa) 20回		
3-2	1.0% CNF	3重織	ポリエステル	94/92	表面	3枚	弱(5kPa) 20回	<5%	ND
					裏面	3枚	弱(5kPa) 20回		
3-3	1.0% CNF	3重織	ポリエステル ／ポリアミド	112/102	表面	3枚	弱(5kPa) 20回	<5%	ND
					裏面	3枚	弱(5kPa) 20回		
3-4	1.0% CNF	1重織	ポリエステル ／ポリアミド	60/44	表面	3枚	弱(5kPa) 20回	<5%	ND
					裏面	3枚	弱(5kPa) 20回		
3-5	1.0% CNF	1重織	ポリエステル ／ポリアミド	75/95	表面	3枚	弱(5kPa) 20回	<5%	ND
					裏面	3枚	弱(5kPa) 20回		
3-6	1.0% CNF	1重織	ポリエステル ／ポリアミド	87/59	表面	3枚	弱(5kPa) 20回	<5%	ND
					裏面	3枚	弱(5kPa) 20回		

(※1) サクシオン条件
 当社装置の真空度計の値： 弱＝約5kPa、中＝約11kPa、強＝約18kPa
 Pass回数： 約1m/minで20回

表 1-4. ベルトプレス用プラスチックワイヤーを用いた脱水試験結果

実験No.	プラスチックワイヤー				サクシオン条件 ※1		脱水結果	
	織り方	メッシュ (縦/横)	通気度 (cm3 / cm2 / sec)		1段目			
					ワイヤー枚数	サクシオン	収率	CNF濃度
4-1	変則朱子織	63 / 28	90	表面	3枚	弱(5kPa) 20回	< 5%	ND
				裏面	3枚	弱(5kPa) 20回		

(※1) サクシオン条件
 当社装置の真空度計の値： 弱＝約5kPa、中＝約11kPa、強＝約18kPa
 Pass回数： 約1m/minで20回

表 1-5. 抄紙用途以外のプラスチックワイヤー用いた脱水試験結果

実験No.	サンプル		サクシオン条件 ※1						実験結果	
			1段目		2段目		3段目		収率	CNF濃度
			ワイヤー	サクシオン	ワイヤー	サクシオン	ワイヤー	サクシオン		
5-1	1% CNF	表面	#200:3枚	弱(5kPa) 20回	#200:1枚	中(11kPa) 20回	#200:1枚	強(18kPa) 20回	84±7%	7.6±1.3%
		裏面	#200:3枚	弱(5kPa) 20回	#200:1枚	中(11kPa) 20回	#200:1枚	強(18kPa) 20回		
5-2	1% CNF	表面	#200:1枚 #300:2枚	弱(5kPa) 20回	#200:1枚 #300:1枚	中(11kPa) 20回	#200:1枚 #300:1枚	強(18kPa) 20回	98±5%	9.9±1.3%
		裏面	#200:1枚 #300:2枚	弱(5kPa) 20回	#200:1枚 #300:1枚	中(11kPa) 20回	#200:1枚 #300:1枚	強(18kPa) 20回		

(※1) サクシオン条件

当社装置の真空度計の値： 弱＝約 5 kPa、中＝約 11 kPa、強＝約 18 kPa
Pass 回数： 約 1m/min で 20 回

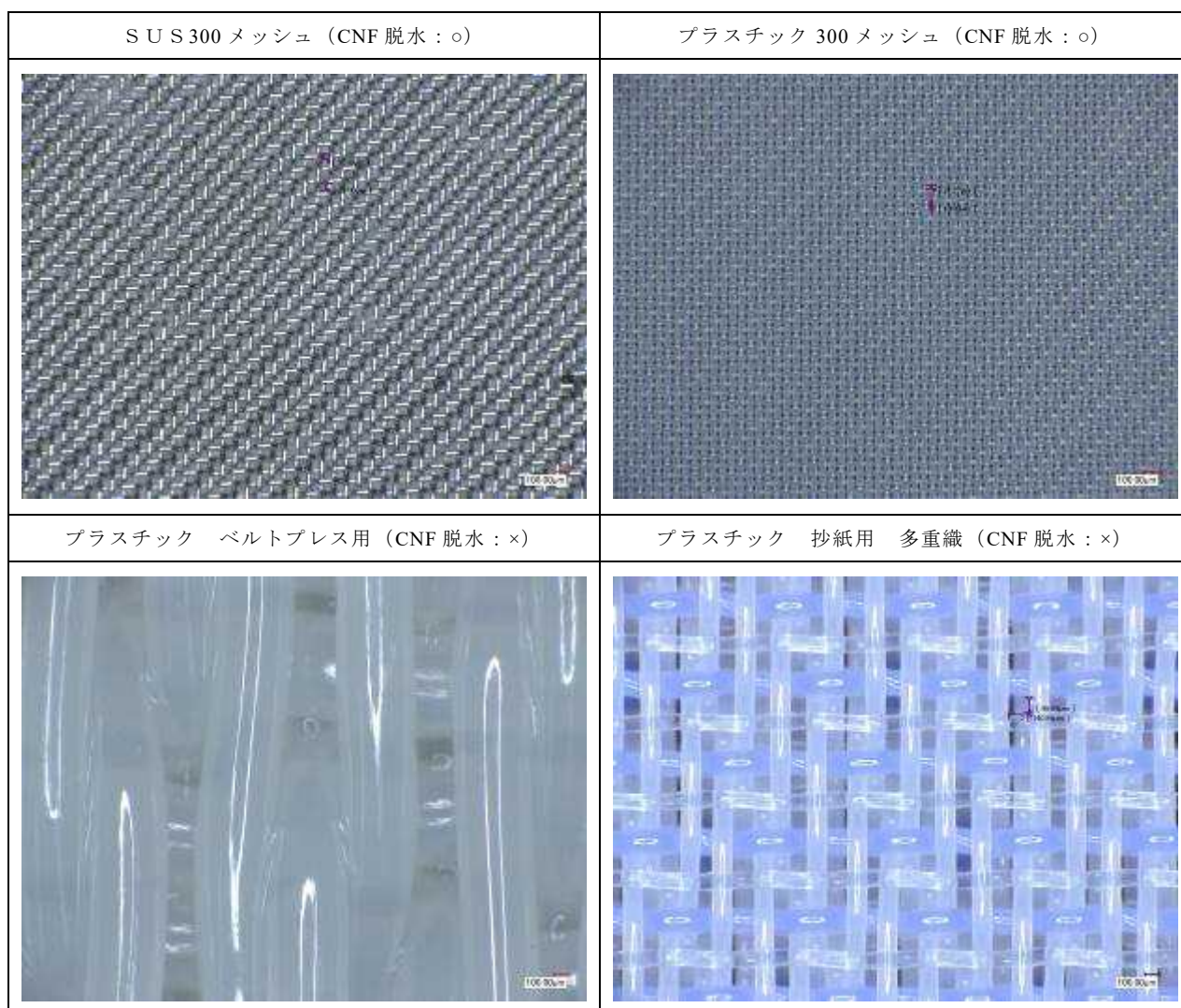


図 1-3. 顕微鏡による各種ワイヤーの形状観察

B-5 ドデカノールの脱水への影響

B-5-1 材料および実験方法

ドデカノールを添加した CNF 分散液を用いた以外は、1-2 で使用した材料及び方法で実験を行った。なおドデカノールを添加した CNF 分散液は、愛媛大学が調製した試料を用いた。

B-5-2 結果および考察

実験結果を表 1-6 に示す。樹脂混練時の樹脂との親和性を向上させるため、ドデカノールで溶媒置換した場合に、サクシオンによる脱水効果への影響度を確認した。結果、これまで CNF に対して最適化された条件（表 1-2：実験 No2-6 の条件）で脱水すれば、ドデカノールで溶媒置換を行った試料でも、90%以上の収率が得られた。ドデカノールを添加した試料は、ドデカノールを添加しない試料と比べ、脱水後の CNF 濃度が低下した。ドデカノール単独で同様のドデカノールを添加した試料を脱水する場合には、ドデカノールを添加しない試料よりも長い脱水工程が必要であることが示唆された。

表 1-6. CNF 脱水に対するドデカノールの影響

実験No.	サンプル		サクシオン条件 ※1						脱水結果	
			1段目		2段目		3段目			
			ワイヤー	サクシオン	ワイヤー	サクシオン	ワイヤー	サクシオン	収率	CNF濃度
6-1	1.0% CNF	表面	#300:3枚	弱(5kPa) 20回	#300:1枚	中(11kPa) 20回	#300:1枚	強(18kPa) 20回	95.6±3.8%	9.6±0.8%
		裏面	#300:3枚	弱(5kPa) 20回	#300:1枚	中(11kPa) 20回	#300:1枚	強(18kPa) 20回		
6-2	1.0% CNF +1.0% ドデカノール	表面	#300:3枚	弱(5kPa) 20回	#300:1枚	中(11kPa) 20回	#300:1枚	強(18kPa) 20回	91.1±5.1%	6.9±0.5%
		裏面	#300:3枚	弱(5kPa) 20回	#300:1枚	中(11kPa) 20回	#300:1枚	強(18kPa) 20回		

(※1) サクシオン条件

当社装置の真空度計の値： 弱＝約 5kPa、中＝約 11kPa、強＝約 18kPa
Pass 回数： 約 1m/min で 20 回

B-6 小括

バッチ式（＝固定ワイヤー方式）による、CNF のメッシュからの脱落を抑制するための実験方法を、より実機のウェットパートを想定した実験に近づけるために特種東海製紙が考案し独自に製作したサクシオン実験装置（以下、本装置）を用いて、CNF 脱水実験を行った。その結果、本装置を用いた脱水実験ではバッチ式よりもより過酷なサクシオン条件となるため、固形分濃度 1%の低濃度の CNF はメッシュからの脱落が著しく、さらなる脱水条件の最適化が必要であることが判明した。実験・検証を重ねた結果「300 メッシュのワイヤーを 3 層以上積層」し、且つ「初期脱水を緩やかにする」ことで、サクシオンのみで CNF 固形分濃度を 1%から 9%以上にまで脱水し、且

つ 90%以上の高い CNF 収率を達成した。ただし、今回実験に供したステンレスワイヤーは通常のステンレス製抄紙ワイヤーに比べメッシュが細かすぎるため、抄紙ワイヤーとして必要なエンドレス加工が困難であると考え。そのため、既存の抄紙用プラスチックワイヤーから特にメッシュの細かいものを選定し脱水実験を行ったが、既存の抄紙用プラスチックワイヤーでは、CNF のメッシュからの脱落を抑制することが困難であった。

そこで、抄紙用以外のプラスチックワイヤーを調査した結果、プラスチックワイヤーでも 200 メッシュ以上の細かいものを使用することで、CNF のメッシュからの脱落を抑制可能であることが見出された。なお、CNF のメッシュからの脱落を抑制できなかったプラスチックワイヤーでも、顕微鏡観察では線径の太いものや多重織のものの方が表面からの貫通孔は少なく見えるが、実際には織り目や層間には隙間があり、そこから CNF がすり抜けていると推察する。そのため、CNF の脱落を抑制するためには、線径の細い一重織のワイヤーを選定する必要があると考える。なお、今回選定した 200 メッシュ以上の一重織のプラスチックワイヤーはエンドレス加工が困難である。また、プラスチックワイヤーはステンレスワイヤーと比べて強度が弱いため、抄紙機上でかかる張力に耐えうる強度を確保することが困難である。以上の検証結果から、本件検討においてはプラスチックワイヤーよりもステンレスワイヤーを用いることが妥当であると考え。今後の検討課題として、細かいメッシュのステンレスワイヤーでもエンドレス加工できる手段やエンドレス加工を施さずに連続脱水できる手段の検討が必要と考える。

樹脂混練時の樹脂への分散性向上のためにドデカノールを添加して溶媒置換処理した CNF の脱水実験を実施した。その結果、ドデカノールを添加した試料は、CNF の収率は 90%以上の高い収率を維持できたが、ドデカノールを添加しない試料と比べ脱水後の CNF 濃度が低下した。ドデカノールを添加した試料を脱水する場合には、ドデカノールを添加しない試料よりも長い脱水工程が必要であることが示唆された。

なお、サクシオン以外の脱水方法としてウェットプレスによる脱水方法を検討した。CNF のような微細な繊維に関しては、ロールプレスによる強い線圧を加えると CNF がメッシュから脱落してしまうので、CNF の脱水には「弱い圧力で時間をかけて加圧脱水すること」が適している可能性があるため、今後の検討課題としたい。

C. CNF の水分散挙動の解析

緒言

抄紙機による CNF の脱水試験を実施するにあたって、CNF の水分散挙動を予め調べておく必要がある。昨年度の報告から、見かけの粒度分布測定は、個々の CNF の平均径について正確な値は得られないものの、ピーク形状の経時変化を調べる事で、CNF の再分散挙動を追う一つの手がかりになる事が分かっている。そこで、原料および固形分濃度が同一で調製方法の異なる 2 種類の CNF を用いて、見かけの粒度分布の経時変化を解析することで、水中への分散挙動を調べた。

実験

材料

本実験では下記 2 種類の CNF をそれぞれ用いた。

- ・ 固形分濃度 2%の原料を用いて調製された市販 CNF 短繊維（機械的解繊）
- ・ 固形分濃度 10%の原料を用いて調製された市販 CNF 短繊維（機械的解繊）

なお、10%の原料から調製された CNF については、粒度分布測定前に、水道水を用いて固形分濃度 2%に調製した。

方法

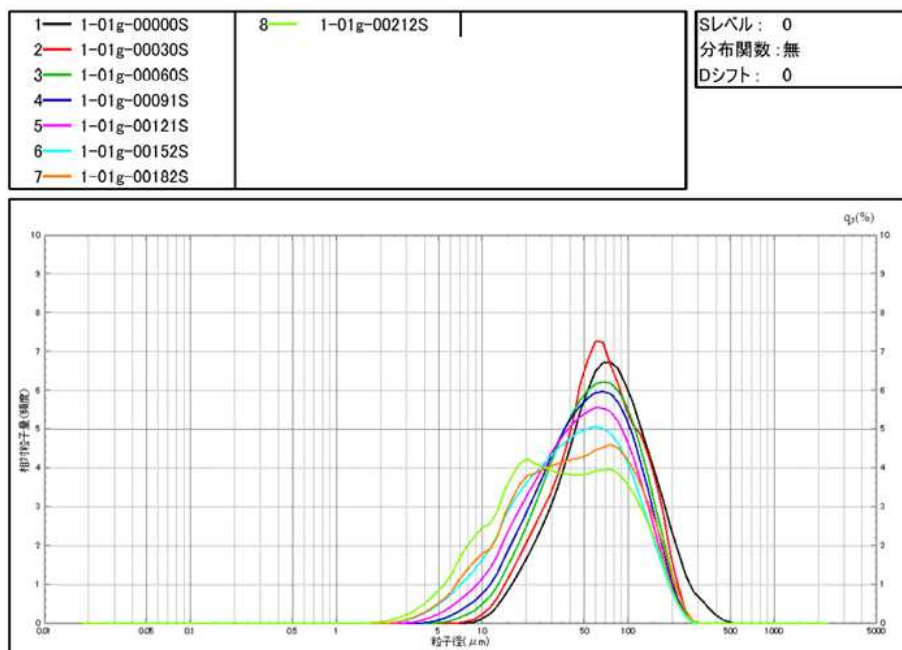
粒度分布測定装置は、島津レーザ回折式粒度分布測定装置（SALD-2300, (株) 島津製作所）を用いた。分散溶媒として純水を用い、装置内の分散には本体に内蔵された超音波照射機（40 W）を連続照射した。予め純水で装置流路内を満たし、ポンプをスタートさせておいたサンプラーバス中に、測定試料を 1 g 投入し、超音波照射によって分散処理を行いながら、30 秒毎に 20 回連続で測定した。

結果

市販 CNF 短繊維 2 種類（固形分濃度 2%）をそれぞれ用いて、30 秒毎に 20 回連続で測定して得られた粒度分布（体積基準）の経時変化を図 1-4 に示す。固形分濃度 10%の原料を用いて CNF 調製後、2%に希釈した試料については、測定開始 30 秒後の見かけの平均径約 7.8 μm から、577 秒後には平均径約 3.0 μm まで時間を経る毎に減少したものの、測定開始直後から終了までの差は約 4.8 μm であった（図 1-4 (a)）。グラフのピーク形状は、一つの大きなピークが存在し、時間を経る毎にピークが粒子径の小さな方に移行した。一方、2%の原料から調製された CNF については、測定開始 30 秒後の見かけの平均径約 68 μm と比較的大きく、577 秒後には平均径約 12 μm まで大きく減少するものの、全体的に 10% 調製試料より見かけの平均径が大きかった（図 1-4 (b)）。さらに、ピーク形状

の経時変化を重ね描きすると、大きく 2 つのピークが得られた。この事は、水中への再分散に時間がかかる事を示している。電界形放出形電子顕微鏡の観察結果から、10%調製試料には数 μm の幅および繊維長を有する大きな繊維が数多く観察されると共に、ナノスケールの幅まで解繊された部分については、1 μm 未満の比較的短い繊維長のナノファイバー確認された。一方、2%調製試料については、全体的にナノスケールまで解繊され、繊維長も比較的長い事が確認された (Data not shown)。これらの結果から、低濃度の原料で調製された試料は、解繊処理が進み、全体的にナノスケールの幅を有しつつ、繊維長の長いナノファイバーであり、水中に再分散される際、それらのナノファイバーが絡み合うと共に水素結合を形成する事で、見かけの平均径が大きくなると考えられる。見かけの平均径が大きい CNF は、脱水する際、ワイヤー抜けが抑えられ、ワイヤー上に留まる可能性が大きいと推察される。特に分散開始から約 1 分間程度の見かけの平均径は、サクションによる脱水において、CNF の歩留まりと強い相関があると予想される。本実験により、抄紙機を用いた CNF の脱水において、基礎的且つ有用な知見を得た。

(a)



(b)

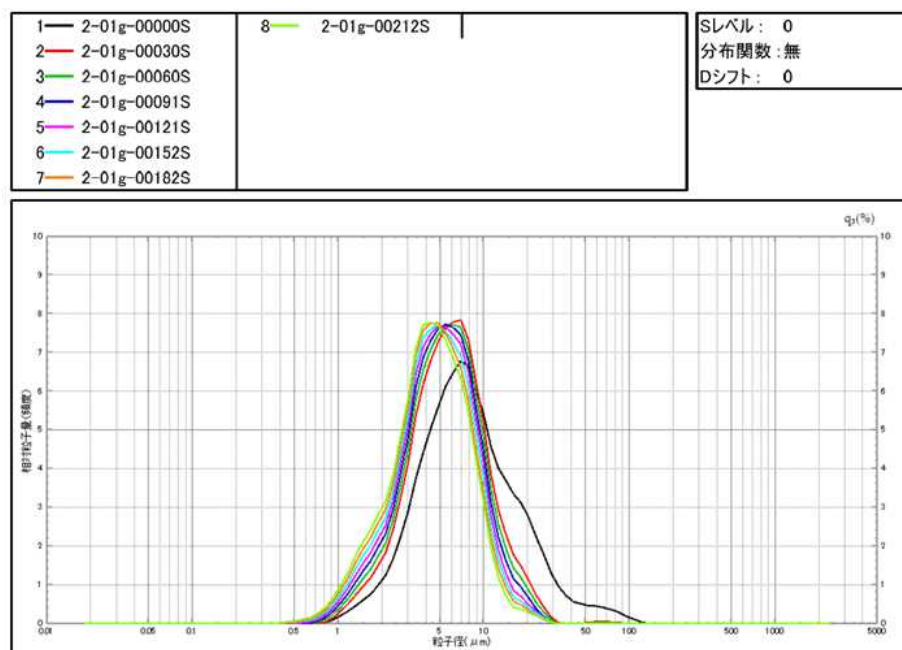


図 1-4 CNF スラリーの水への分散性評価 (見かけの粒度分布の経時変化)

(a) 10%原料の CNF 調製試料を水道水で 2%に希釈した試料

(b) 2%原料の CNF 調製試料

D.抄紙実験機のサクシオンを利用したワイヤー脱水予備試験

緒言

抄紙実験機（愛媛県産業技術総合研究所 紙産業技術センター）のサクシオン機構を利用した予備実験を実施した。抄紙機は、国内製紙業界で広く利用される機械であり、CNF の脱水に利用するワイヤー、フェルト、サクシオン機構が装備されている。試料を連続的に脱水するためのロール（無限軌道）システムであることから、予備試験にふさわしい設備と判断した。

今回は抄紙機のサクシオンボックスに試作で使用予定のワイヤーを載せて脱水を試みた。CNF 試料はスキージであらかじめワイヤー上に薄く展開させておいて、サクシオンボックス上を通過させた際の CNF の固形分量の変化を記録した。

実験

実験は図 1-5 に示すように、愛媛県産業技術総合研究所 紙産業技術センターの実験抄紙機で行った。実験の概要は 1-6 に示す。まず、CNF 試料は A4 サイズのワイヤー上にスキージで薄く塗布し、そのワイヤーを実験抄紙機のフェルト上に載せた。その後、抄速を 2 m min^{-1} としてサクシオンボックス上に移動、減圧させて脱水を試みた。ワイヤーごと回収後、CNF の回収量と固形分率を求めた。実験のスキームを以下に示す。

1. 既知重量のプラスチックワイヤー上にシリンジで適量の CNF 採取
2. ガラス棒でワイヤー上に CNF を薄く展開
3. CNF が塗布されたワイヤーの重量を測定
4. CNF が塗布されたワイヤーをラップで被覆
5. 4 の試料をフェルト上に設置
6. サクシオンボックス上へ移動
7. 回収された CNF の重量と固形分率から脱水量と回収率を算出

$$\text{回収率 (\%)} = [\text{脱水後回収 CNF 乾燥重量 (g)} / \text{キャスト乾燥重量(g)}] \times 100$$

ただし、

$$\text{キャスト乾燥重量(g)} = \text{キャスト湿重量 (g)} \times 0.02$$

$$\text{脱水後回収 CNF 乾燥重量(g)} = [\text{キャスト量} - \text{脱水量}] \times \text{固形分率}$$



図 1-5 実験抄紙機 （愛媛県産業技術研究所 紙産業技術センター）



図 1-6 CNF 展開ワイヤーの作製（上）及びサクションボックスでの脱水試験（下）



図 1-7 脱水後のワイヤー上の CNF

表 1-7 実験抄紙機による CNF 種類ごとの試験脱水結果

試料	ワイヤ	脱水状況	備考
A	乾	◎	裏抜けほとんど無し
A	湿	◎	裏抜けほとんど無し
B	乾	×	ワイヤ上にほとんど残存せず
C	乾	×	ワイヤ上に若干の残渣
D	乾	○	若干の裏抜けあり

抄速：2 m min⁻¹, ゲージ圧：8-10 kPa

脱水処理時の試料固形分は全て 2 %

A：市販品 極短繊維長

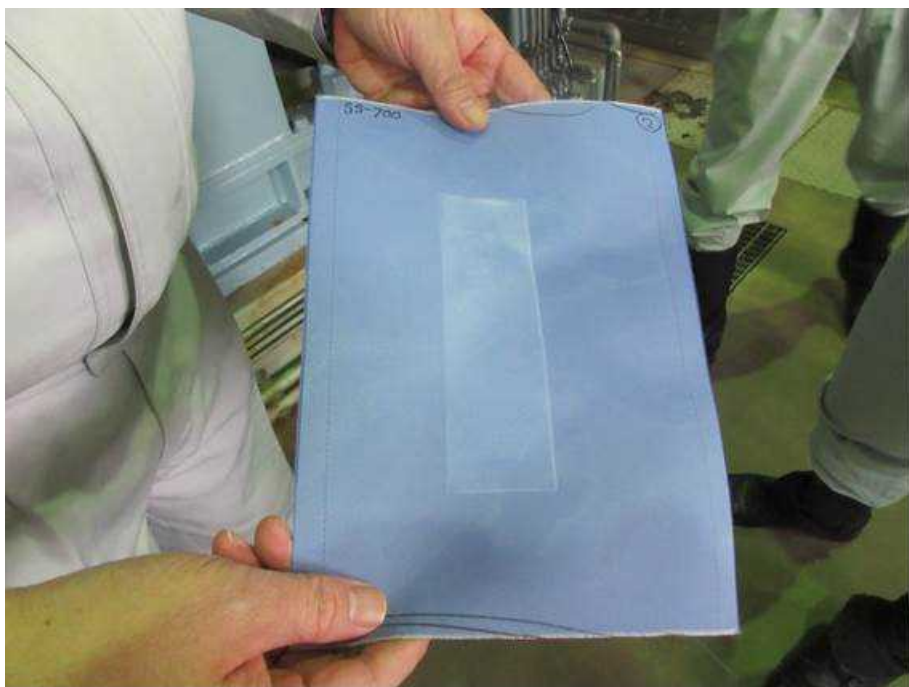
B：市販品 短繊維長 再調製品

C：市販品 標準長 再調製品

D：2% 愛媛大学グラインダー処理



A 試料の脱水処理後



含水ワイヤ利用時の A 試料の脱水処理後

図 1-8 実験抄紙機での脱水試験後の CNF

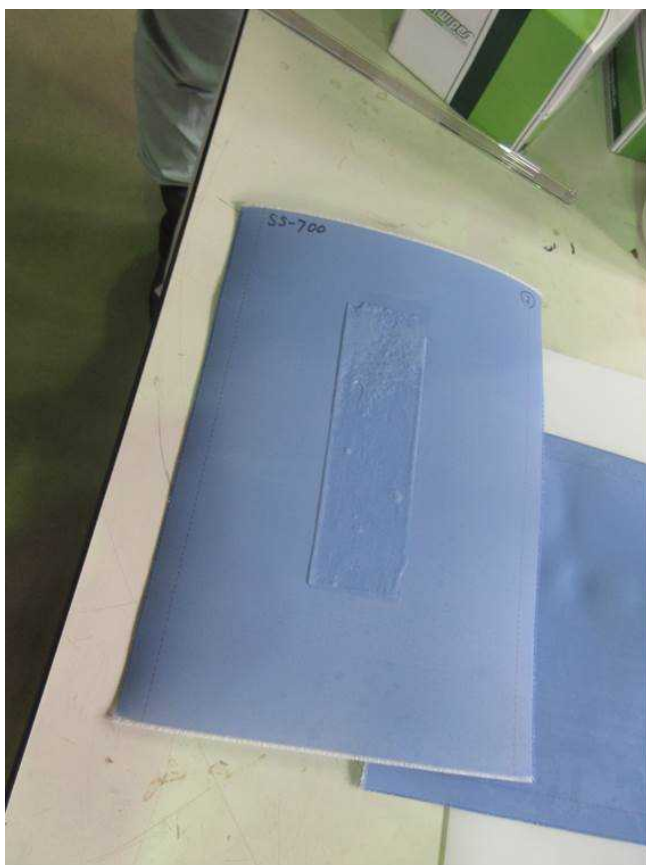


B 試料の脱水処理後



C 試料の脱水処理後

図 1-8 実験抄紙機での脱水試験後の CNF（続き）



D 試料の脱水処理後

図 1-8 実験抄紙機での脱水試験後の CNF（続き）

まず、繊維長や解繊方法の異なる CNF を利用した場合の脱水試験の結果を表 1-7 に示し、それぞれの試料の脱水後のワイヤ表面の写真を図 1-7, 1-8 に示す。

A の試料の場合、ワイヤーからの CNF の漏洩はほとんど確認されなかった。一方、市販品を当方で再調製した試料では CNF がワイヤを抜ける現象（裏抜け）が生じた。愛媛大学でグラインダー処理を行った試料については、ほとんど裏抜けが無かった。以上より CNF の調製条件で大きく脱水状況が変わることが判明した。現在、試料の顕微鏡観察等を行い、CNF の形状、粘性等の影響を調査中である。プロトタイプ試作機についてはワイヤを洗浄後、幾分含水した状況でワイヤ表面に CNF が展開される予定であることから、ワイヤの含水状況の及ぼす脱水への影響についても調査した。その結果、含水状況はそれほど影響しないことが判明した。

そこで、CNF の脱水状況の定量的把握のための実験を行った。CNF 試料のサクションボックス通過回数、サクション減圧度をパラメータとして、試料の重量と固形分率の変化を調査した。

その結果を表 1-8 に示す。10 kPa の陰圧を負荷した場合に、7wt%まで脱水することが確認された。同一試料を繰り返し脱水することで 10wt%まで脱水することが出来た。本試験で、ワイヤーとフェルトを重ねた機構で CNF の目立った

漏洩が見られなかった。本実験では、ワイヤとフェルトを重ねた状態でサクシジョン圧を印加することで、効果的に脱水できることを示している。

さらに、両面から脱水することも脱水に効果的であった。CNF が減圧されて、フェルト上でマットが一旦形成されると流路抵抗が増加して、その上部からの水の移動が制限される。そのために、ワイヤ接着面に比べて、反対方向の上部の CNF についてはサクシジョン圧が印加されにくくなっている。このことから、一方向だけでなく、両面にサクシジョン圧を印加することが、脱水度向上に効果的であることが判明した。この結果を受けて、両面からの減圧印加以外に、片面でのサクシジョンボックス通過でも効果的にサクシジョン圧を印加する方法として、CNF をワイヤー同士で挟むことを試みた。ここでは、ラップの辺縁部にサクシジョン圧が印加されることで、CNF の上部（ワイヤー、フェルトと密着していない側）に位置するラップからの面圧が負荷できることになる。表 1-8 に示したように CNF の脱水が促進されていることから、CNF の脱水には CNF 全体に面圧を徐々に印加することが効果的であると言える。

一方、ロールプレスを加えた場合には、ワイヤーから CNF が漏洩した。やはり、A のスポンジロールでの実験でもあったように、CNF 脱水には、非常に弱く線圧を加える必要があるものと思われる。

表 1-8 実験抄紙機での CNF 脱水試験

脱水方法	減圧度 /kPa	脱水回数	CNF 回収率 (%)	固形分濃度
両面脱水	3	2	70.1	3.23
両面脱水	5	2	70.2	5.03
両面脱水	10	2	59.1	6.99
CNF をワイヤ 2 枚で挟み込む	10	1	79.1	4.73
CNF をワイヤ 2 枚で挟み込む	10	1	91.7	3.33
ラップで挟み片面脱水	10	1	51.7	6.57
ラップで挟み片面脱水	10	3	50.4	7.16
5 回脱水後ロールプレス	10	1	-	-
CNF をワイヤ 2 枚で挟み込む(1-4 回 : プラスチックワイヤー面脱水; 5-8 回 : SUS ワイヤー面脱水) さらにロールプレス	10	8	-	-
CNF をワイヤ 2 枚で挟み込む(1-4 回 : プラスチックワイヤー面脱水; 5-10 回 : SUS ワイヤー面脱水)	10	10	69.8	10.14

脱水回数 : サクションボックスを通過した回数

抄速 : 2 m min⁻¹, 試料 A (表 1-7)

- : CNF がワイヤーから漏洩した。

②脱水装置の試作

緒言

上記の実験抄紙機での実験結果を参考に、連続的な試料供給と減圧機構を搭載した装置とした。設置場所のスペースとオペレータの人数を考慮して、全長を数メートルとして、サクションボックスを複数配置している。原料はスクリュウポンプでヘッドボックスに移送し、ヘッドボックスからスリットを通じて、ワイヤー上に CNF を薄く載せた後、サクションボックスで減圧脱水する仕組みとなっている。サクションボックスには減圧条件を調整できる調整弁を取り付けた。最終的に脱水した CNF は最終的にドクターで掻き落とす仕組みとしている。装置の概要としては、スライス幅 300 mm, ワイヤー幅 400 mm である。なお、積算電力計を搭載し脱水に伴う消費電力量を算出可能とした。

11 月にプロトタイプ脱水装置が完成し、愛媛県産業技術研究所 紙産業技術センターに設置された。CNF 試料送液、減圧、ワイヤー駆動、洗浄の各機構について操作上の不具合について修正を行った。また、本装置はワイヤー駆動系や電気設備を配置している関係上、安全対策は必須である。要員の配置をシミュレーションして、緊急停止ボタンを複数配備した。

実験

プロトタイプ試作機上に、枚葉のワイヤー上に展開した CNF を用いて脱水試験を試みた。実験概要については①の D での実験と同様である。

表 1-9 プロトタイプ試作機による CNF 展開枚葉ワイヤーでの脱水試験結果 ^{a)}

減圧印加状態	圧力 /kPa ^{b)}			固形分濃度 /%	回収率 /%
	1-6 番	7-10 番	11,12 番		
前段サクション強	5	3	3	4.16 ± 0.78	100.3 ± 12.6
前段サクション強	8	0	0	3.77 ± 0.21	91.1 ± 5.3
後段サクション強	2	5	5	3.23 ± 0.24	98.8 ± 3.3
後段サクション強	2	6	7	2.95 ± 0.41	102.6 ± 2.5

a)抄速：2 m min⁻¹，試料 A 試料（表 1-7），脱水処理時の試料固形分は全て 2 %、市販品 極短繊維長

b)圧力ゲージ測定値

結果

試料は表 1-7 の A を利用して、まず①・D の実験と同様に、A4 程度のワイヤー上に CNF を薄く載せたものを利用して脱水試験を試みた。本プロトタイプ試作機は、サクションボックスが複数段設置されており、それぞれの減圧度調整が可能である。そこでサクションボックスの減圧度を変化させた際の固形分量と CNF の回収率について調査した。その結果を表 1-9 に示す。図 1-9 にも示したように、ワイヤー上に載せた CNF はほぼそのまま残存していることが伺えた。赤外線水分計での測定による結果、回収率は 90-100%であり、ほとんど漏洩は見られなかった。固形分濃度は前段サクションが強い方がやや高い結果となっている。固形分の高濃度化に前段サクションがどのように寄与しているのかについては今後の実験検討で明らかにしていく必要がある。

次に、CNF 試料をヘッドボックスからスリットを通してワイヤー上に展開させて、連続的な脱水について実施した。ワイヤー末端での脱水 CNF の掻き取り状況について図 1-10 に示す。その結果、若干の漏洩が確認された。一部の CNF は CNF 末端に到達し、ドクターで掻き取ることが出来た。現在、連続的脱水への圧力、抄速等のパラメータの影響について実験を行っている。

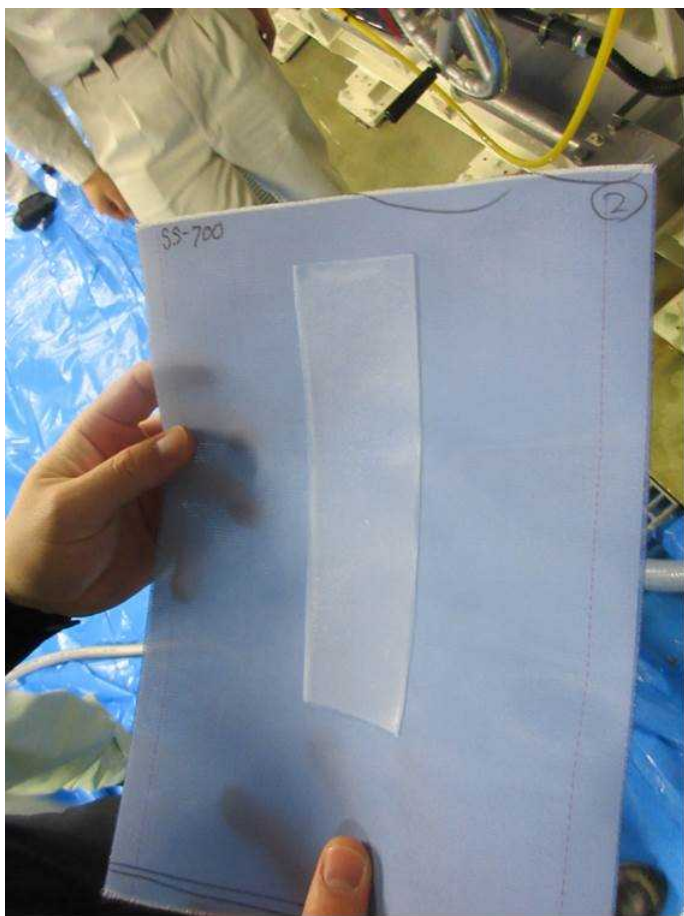


図 1-9 プロトタイプ試作機での CNF 脱水後の状況（枚葉での試験）

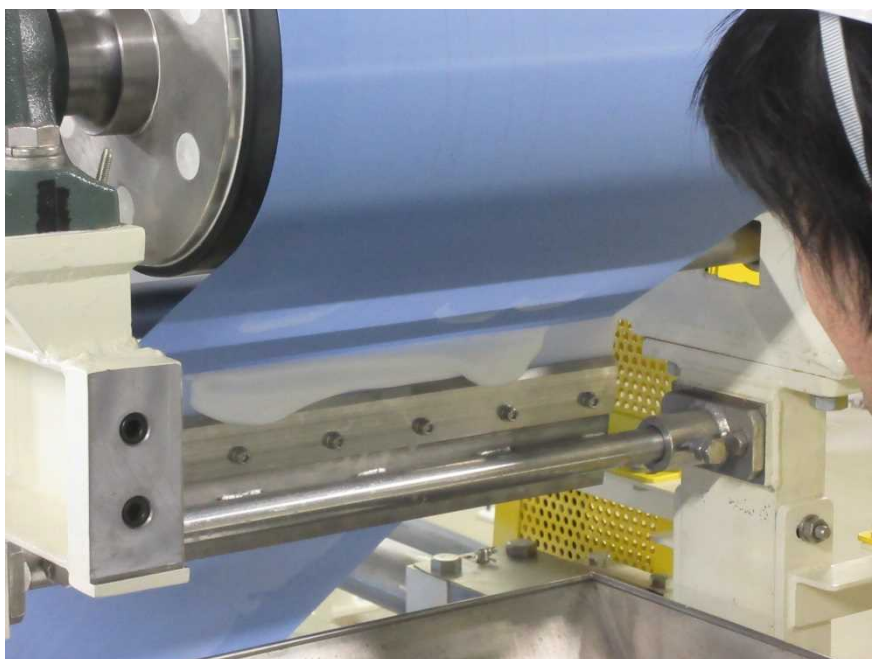


図 1-10 プロトタイプ試作機での脱水 CNF のドクターによる掻き取り

(2) 脱水および溶媒置換 CNF の樹脂混練

① CNF の樹脂混練適性の評価

(ア) 脱水 CNF の混練透明樹脂の評価 (愛媛大学)

緒言

セルロースナノファイバー (以下「CNF」) をポリメタクリル酸メチル (以下「PMMA」) に混練して、強度と透明性を両立した樹脂の作製を行い、CNF と PMMA の混練適性を評価する。昨年の結果として、CNF のみを PMMA に混練しても、CNF 分散性は低く、凝集体を形成した。そこで、PMMA に対する CNF の分散性を高めるため、CNF と PMMA の混練に対して、CNF の種類および濃度や、添加剤の至適化を目的とした。

実験

材料：

CNF を含むセルロース試料は、下記の A~D の 4 種を使用した。

- A: 市販セルロース粉末
- B: 市販 CNF 短繊維 (機械的解繊)
- C: 市販セルロース誘導体
- D: 市販 CNF 極細

添加剤については下記(a)~(g)の 7 種を用いた。

- (a) 試薬-1
- (b) 試薬-2
- (c) 試薬-3
- (d) 試薬-4
- (e) 化合物-1
- (f) 製紙用薬品-1
- (g) 製紙用薬品-2

混練する樹脂については、80℃ で乾燥した PMMA ペレットを用いた。

方法

CNF を含む各種セルロース試料と各種添加剤を混ぜた後、樹脂中のセルロース濃度が 1%となるよう、PMMA ペレットと 2 本ロール法（図 2-1）にて混練し、熱プレスによりプレートを作成した。CNF 混練 PMMA プレートの概観を観察すると共に全光線透過率を測定した。

結果

CNF 混練 PMMA に対する CNF の種類および添加剤の効果を表 2-1 に、各種 CNF/PMMA 混練プレートの概観を図 2-2 に示す。PMMA に混練する際、水の影響を無くしたセルロース試料を検討する為、CNF スラリーでは無く、A: 市販セルロース粉末を用いたところ、PMMA に均一に分散させるのが困難であり、透明性を維持するのは不可能であった。一方、B: 市販 CNF 短繊維を用いた検討により、希釈した低濃度 CNF において、PMMA に対する分散性の向上が見られた。PMMA への CNF の分散性向上を狙い、化合物を添加したところ、分散性は向上したが、透明性は低く、白濁や着色があった。製紙用薬品の添加効果も確認されたが、同様に透明性は低く、褐変も確認された。分散性向上において、試薬類も効果があり、中でも(b) 試薬-2 の特定の薬剤において結果が良かった。樹脂に混練する際、CNF 濃度を下げ、(b) 試薬-2 を添加することで、最も分散性が良く、CNF の凝集物は確認できず（図 2-2）、透明性も比較的高い結果が得られた。しかし、C: 市販セルロース誘導体や、D: 市販 CNF 極細に対して(b) 試薬-2 の添加効果は無く、PMMA に対する分散性は低かったことから、B: 市販 CNF 短繊維のような機械的解繊処理によって調製された CNF と添加剤(b) 試薬-2 の組み合わせによって、PMMA に対する分散性が大幅に改善される事がわかった。しかし、(b) 試薬-2 を添加することで、分散性が向上しても、CNF/PMMA 複合樹脂は薄く白濁しており、透明性が損なわれたことから、混練法の更なる検討が必要であった。

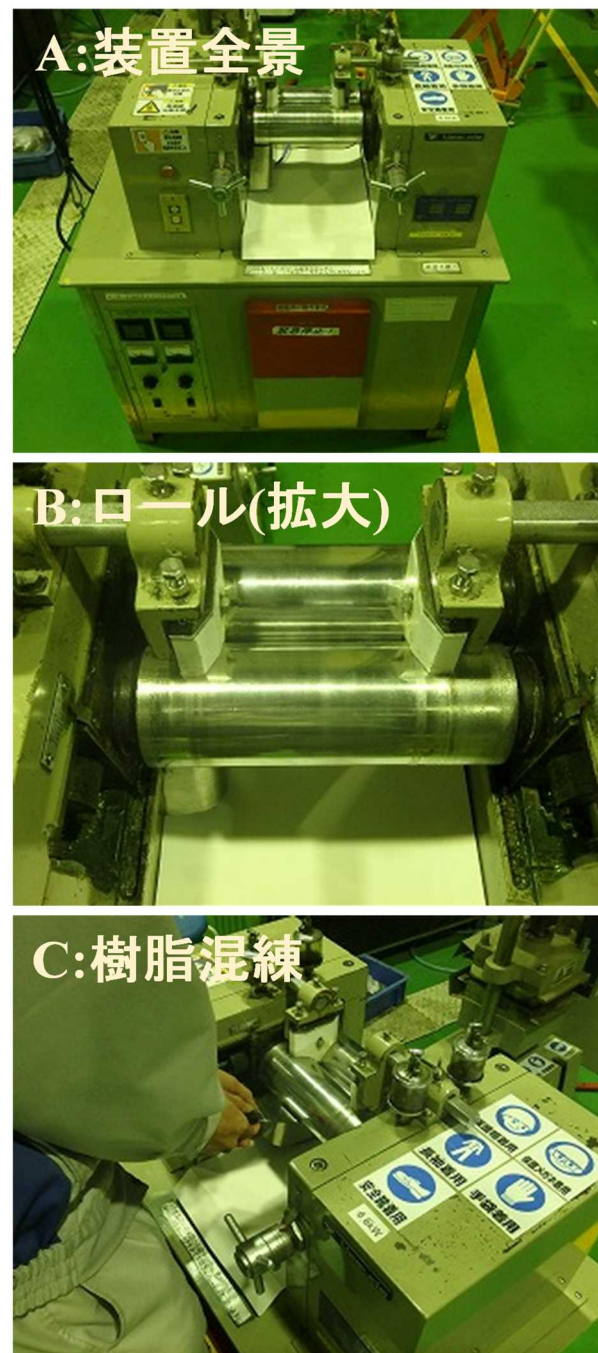


図 2-1 2 本ロール機

表 2-1 2 本ロール法により作成した各種 CNF 混練 PMMA の特徴

CNF またはセルロースの 種類および濃度 (% w/w)	添加剤および濃度 (% w/w)	厚み (mm)	全光線 透過率 (%)	概観 (目視)
A: 市販セルロース粉末	無	0.94	87.3	凝集物は多数確認でき、分散性も悪く、透明性が低い。全体的に白濁。
B: 市販 CNF 短繊維 10%	無	0.70	87.5	凝集物は大きく、多数確認でき、分散性も悪く、透明性が低い。大きな凝集塊がある。
B: 市販 CNF 短繊維 28%	(a) 試薬1 1%	0.73	86.5	凝集物は大きく、分散性も悪く、透明性が低い。全体的に白濁。
B: 市販 CNF 短繊維 2%	(a) 試薬1 2%	0.72	86.4	凝集物は小さく、分散性も悪く、透明性が低い。全体的に白濁。
B: 市販 CNF 短繊維 10%	(b) 試薬2(I) 10%	0.74	85.7	凝集物は小さく、分散性もやや良好だが、透明性は低い。
B: 市販 CNF 短繊維 10%	(b) 試薬2(II) 10%	0.73	86.3	凝集物は小さく、分散性も良好だが、透明性は低い。
B: 市販 CNF 短繊維 9.1%	(b) 試薬2(III) 9.1%	0.72	88.1	凝集物は小さく、分散性も良好だが、透明性は低い。
B: 市販 CNF 短繊維 9.1%	(b) 試薬2(IV) 9.1%	0.74	86.7	凝集物は小さく、分散性も良好だが、透明性は低い。
B: 市販 CNF 短繊維 2%	(b) 試薬2(III) 2%	0.73	87.0	凝集物は極小で目視で観察できないレベルであり、分散性も良好で、透明性もやや良好。
B: 市販 CNF 短繊維 9.5%	(c) 試薬3 1%	0.72	86.1	凝集物は小さく、分散性もやや良好だが、透明性は低い。
B: 市販 CNF 短繊維 9.5%	(d) 試薬4 1%	0.72	86.7	凝集物は小さく、分散性もやや良好だが、透明性は低い。
B: 市販 CNF 短繊維 9.5%	(e) 化合物1 1%	0.73	86.5	凝集物は小さく、分散性もやや良好だが、透明性は低い。全体的に白濁。
B: 市販 CNF 短繊維 9.5%	(f) 製紙用薬品-1(I) 0.5%	0.72	83.4	凝集物は小さく、分散性も良好だが、透明性は低い。全体が薄く褐変。
B: 市販 CNF 短繊維 9.6%	(f) 製紙用薬品-1(II) 0.4%	0.72	73.6	凝集物は小さく、分散性も良好だが、透明性は低い。全体が濃く褐変。
B: 市販 CNF 短繊維 9.6%	(f) 製紙用薬品-1(III) 0.4%	0.75	80.8	凝集物は小さく、分散性も良好だが、透明性は低い。全体が薄く褐変。
B: 市販 CNF 短繊維 8.7%	(g) 製紙用薬品2	0.74	87.2	凝集物は小さく、分散性もやや良好だが、透明性は低い。
C: 市販セルロース誘導体 2%	(b) 試薬2(III) 4%	0.70	83.6	凝集物が小～中だが、分散性が悪く、透明性も低い。
C: 市販セルロース誘導体 10%	(b) 試薬2(III) 20%	0.76	86.2	凝集物が小～中だが、分散性が悪く、透明性はやや良好。
D: 市販 CNF 極細 2%	(b) 試薬2(III) 2%	0.73	83.2	凝集物は小～中で、分散性は悪く、透明性も低い。全体的に褐変。
D: 市販 CNF 極細 2%	(b) 試薬2(III) 4%	0.76	82.3	凝集物が小～中だが、分散性が悪く、透明性も低い。

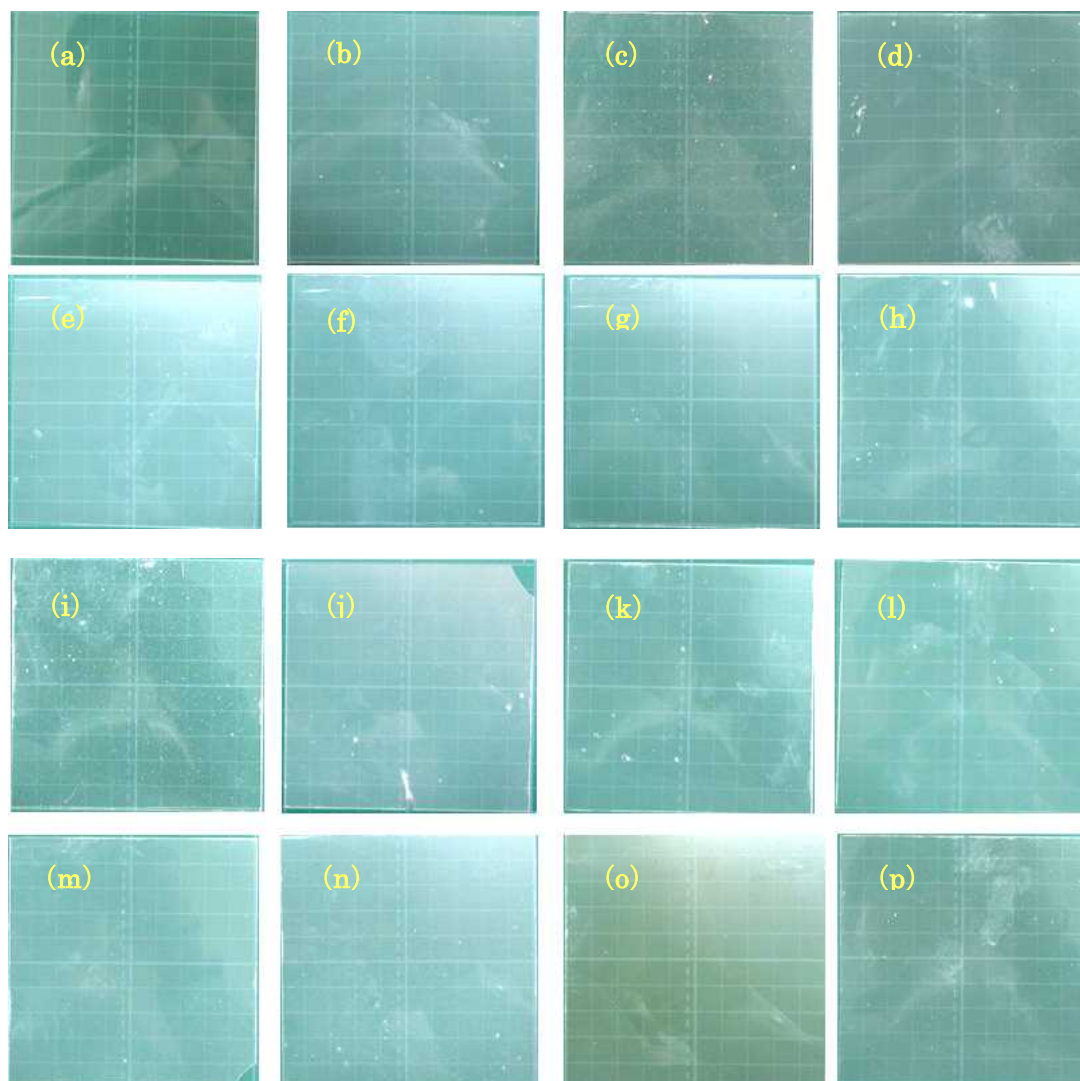


図 2-2 2 本ロール法により作成した各種 CNF 混練 PMMA プレート概観

(a) PMMA, (b) 市販 CNF 短繊維 10%, (c) 市販 CNF 短繊維 28%+試薬 1 1%, (d) 市販 CNF 短繊維 2%+試薬 1 2%, (e) 市販 CNF 短繊維 10%+試薬 2(I) 10%, (f) 市販 CNF 短繊維 10%+試薬 2(II) 10%, (g) 市販 CNF 短繊維 9.1%+試薬 2(III) 9.1%, (h) 市販 CNF 短繊維 9.1%+試薬 2(IV) 9.1%, (i) 市販セルロース誘導体 10%+試薬 2(III) 20%, (j) 市販 CNF 短繊維 8.7%+製紙用薬品-2 0.4%, (k) 市販 CNF 短繊維 9.5%+試薬 3 1%, (l) 市販 CNF 短繊維 9.5%+試薬 4 1%, (m) 市販 CNF 短繊維 9.5%+化合物 2 1%, (n) 市販 CNF 短繊維 9.5%+製紙用薬品-1(I) 0.5%, (o) 市販 CNF 短繊維 9.6%+製紙用薬品-1(II) 0.4%, (p) 市販セルロース誘導体 2%+試薬 2(III) 4%

(イ) 樹脂混練後の CNF 分散性の評価（愛媛県紙産業技術センター）

a. CNF の共焦点レーザー顕微鏡観察結果

これまで、製造した CNF を観察するためには、乾燥後電子顕微鏡で観察することが一般的であった。しかし、通常の乾燥では CNF 同士が強固に結合し観察が困難になるため溶媒置換乾燥が必要であり、多大な労力と時間を必要とした。また、CNF はウェット状態で製造・利用するものであるため、乾燥は本来の形状を損なう可能性がある。そこで、蛍光染色後、共焦点レーザー顕微鏡で観察する手法を検討した。

愛媛大学のグラインダーで試作した解繊回数が異なる CNF をカルコフルオールホワイト（ベクトン・ディッキンソン）により蛍光染色し、励起波長 405 nm の共焦点レーザー顕微鏡（カール・ツァイス、LSM PASCAL MAT）により観察した。結果を図 2-3 に示す。また、脱水試験や樹脂混練試験に用いた CNF（市販 CNF 短繊維、極短繊維、標準繊維）を、同様の方法により観察した。結果を図 2-4 に示す。

グラインダーで試作した CNF は、解繊回数が増加するにつれ繊維が細かくほぐれていくことが観察できた。繊維径や繊維長の測定などは不可能だが、ウェット状態での CNF 分散状態が観察できることが確認され、これは CNF の品質管理に有効であると考えられる。また、市販 CNF は標準繊維に比べ短繊維および極短繊維の繊維径が細く、繊維長が短くなっていることが確認された。これらは、脱水性や樹脂混練性および混練樹脂の物性に大きな影響を与えることが推測された。

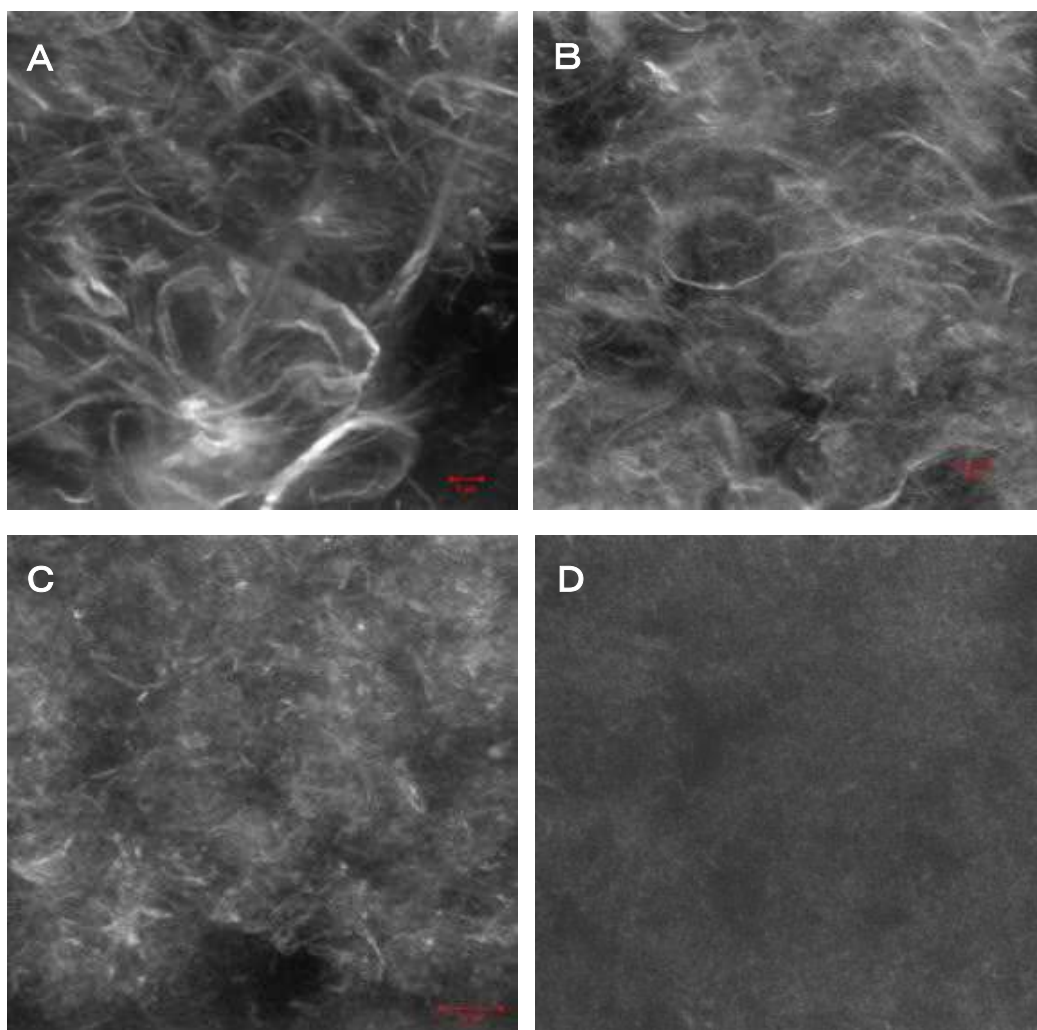


図 2-3 グラインダー試作 CNF の共焦点レーザー顕微鏡による観察結果

A : 2 回解繊 B : 5 回解繊 C : 7 回解繊 D : 10 回解繊

観察は 50 倍対物レンズによる

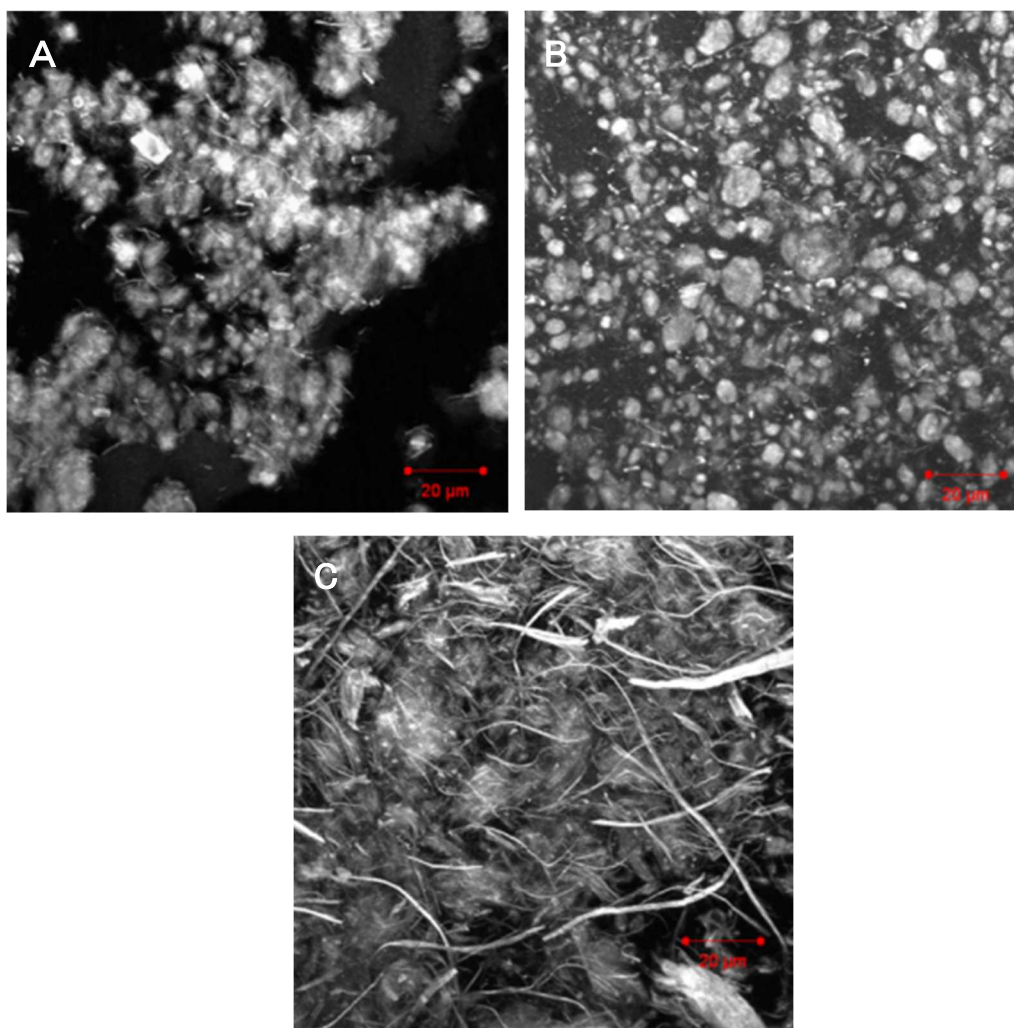


図 2-4 市販 CNF の共焦点レーザー顕微鏡による観察結果

A：市販 CNF 短繊維 B：市販 CNF 極短繊維 C：市販 CNF 標準繊維

観察は 63 倍油浸対物レンズによる

② 混練条件の検討（愛媛大学）

緒言

前節の2本ロール法の検討結果から、機械的解繊処理によって調製されたCNFと特定の試薬を混ぜる事によって、PMMAに対する分散性が大幅に改善した。しかし、特定の試薬を添加しても、CNFを混練することでCNF/PMMA複合樹脂が薄く白濁し、透明性が損なわれることから、さらなる検討が必要である。そこで、2本ロール混練法から2軸押出混練法に変更し、混練時の機械的せん断力による効果を確認する事を目的とした。

実験

材料

CNFおよび添加剤並びにPMMAペレットについては、(2)①(ア)で選択したものをを用いた。

方法

CNFと添加剤を混ぜた後、樹脂中のセルロース濃度が1%となるよう、PMMAペレットと2軸押出混練法（図2-5）にて混練し、ペレットを調製した後、熱プレスによりプレートを形成した。CNF混練PMMAプレートの概観を観察すると共に全光線透過率を測定した。

結果

CNFとPMMAの2軸押出混練に対するCNFの種類・濃度および添加剤の効果に関する検討結果を表2-2にまとめ、作製したCNF/PMMA混練樹脂試験片の概観を図2-6に示す。2軸押出混練法に変更すると、添加剤を入れなくても、2本ロール法に比べて分散性が上がったことから、CNFの混練にせん断力が重要である事を確認した。さらに、2軸押出混練法においても、(b)試薬-2の添加効果を確認した。添加剤の濃度としては、CNFの倍量入れると分散性が向上し、混練時のCNFの添加濃度として10%程度まで高める事が可能であった。しかし、操作性の問題から、混練時のCNFの添加濃度としては5%が妥当であった。

興味深い結果として、(a) 試薬-1 だけでは分散性が増加しなかったが、(b) 試薬-2 と併せて添加することで、(b) 試薬-2 単独で添加するよりも分散性が向上した。

添加剤(b) 試薬-2 と CNF、PMMA を混練し調製したプレートの側面を削り出し、走査型プローブ顕微鏡 (SPM) によって観察した結果と、参考として添加剤を加えない SPM 画像を併せて図 2-7 に示す。高低差を画像化した図から、白い斑点もしくは白いロッドが分散した様子を観察した。これらは CNF と推察された。白いロッドを拡大すると、不定形状物質に覆われており、CNF が添加剤(b) 試薬-2 に覆われた様子と考えられる。なお、観察したロッドは通常の CNF に比べて太く短い形状であったが、市販品の品質によるものである。位相モードで観察した結果、白い斑点だった部分が黒く示されたことから、PMMA に比べて粘性が高い（柔らかい）物質、すなわち CNF そのものか、添加剤(b) 試薬-2 に覆われた CNF が分散した様子と考えられる。一方、添加剤を加えなかったプレートは、CNF が凝集塊を形成した様子が観察された。本観察結果から、添加剤(b) 試薬-2 は CNF 表面を覆い、CNF 同士の凝集を防ぐことで、PMMA に対する分散性を高めていると示唆される。さらに、SPM を用いて、高さモードおよび位相モードで観察し、それらを合成した画像を図 2-8 に示す。PMMA に CNF を混練しただけでは、比較的大きな凝集塊があったのに対し、PMMA に CNF および添加剤(b) 試薬を混練したところ、大きな凝集塊は見えなかった。添加剤によって、PMMA 中に CNF が比較的均一に分散したものと考えられる。1 μm 角の観察画像 (Data not shown) から、小さな黒い斑点もしくは繊維状のものが確認できたが、これらが添加剤によって分散した CNF の一部と考えられる。これらの CNF の繊維長は、500 nm 未満であり、混練時に CNF が切断され、短くなった可能性がある。

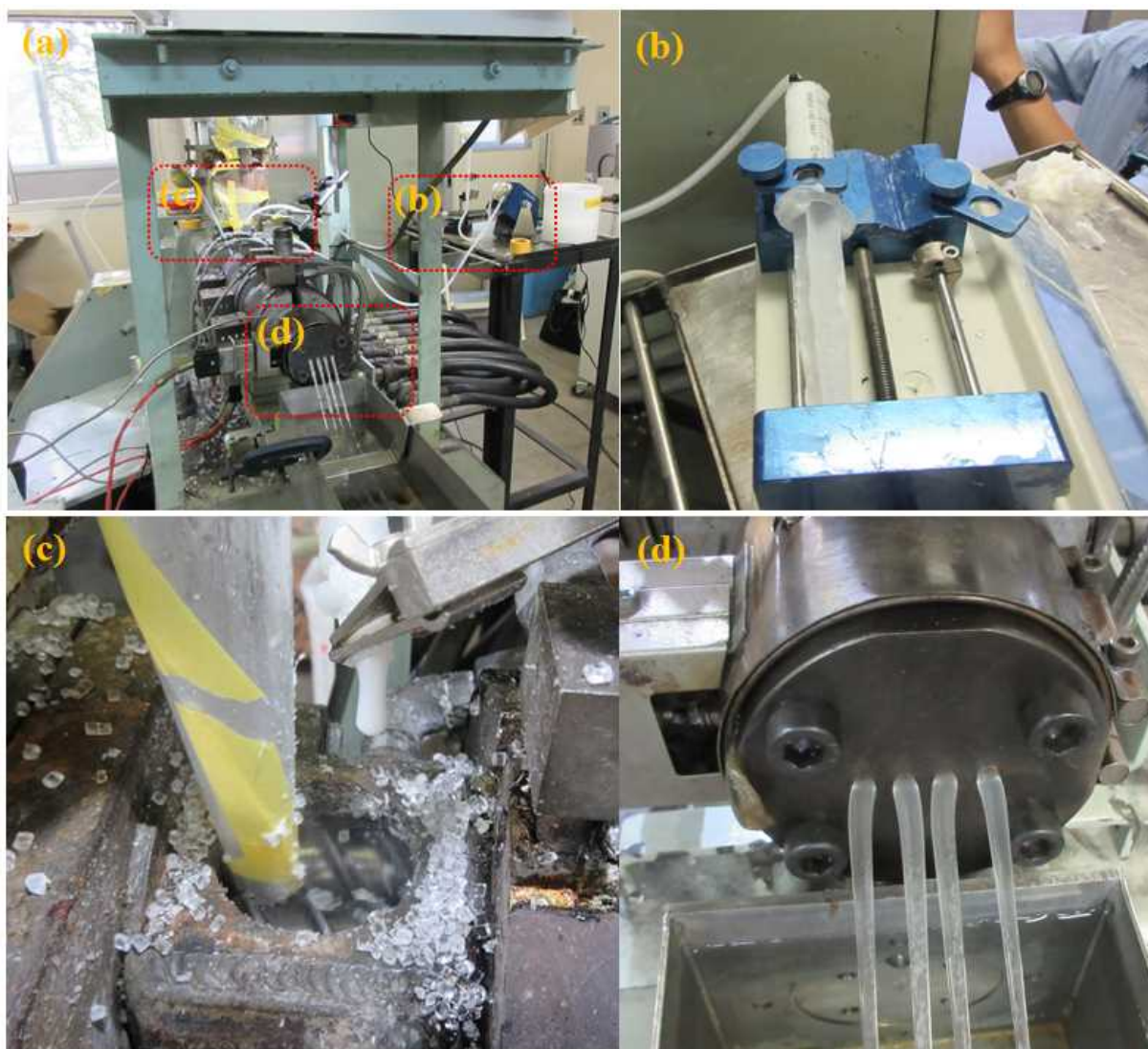


図 2-5 2 軸押出機による CNF/PMMA 混練試験の概観

表 2-2 2 軸押出法により作成した各種 CNF 混練 PMMA の特徴

CNF またはセルロースの種類および濃度 (% w/w)	添加剤および濃度 (% w/w)	厚み (mm)	全光線透過率 (%)	概観 (目視)
B: 市販 CNF 短繊維 5%		0.74	87.6	凝集物は小さく、分散性もやや良好で、透明性もやや良好。2 本ロール法で添加剤を入れた試料比べて透明性はやや高い。
B: 市販 CNF 短繊維 5%	(e) 化合物 5%	0.75	88.9	凝集物は小さく、分散性もやや良好だが、透明性は低い。(b) 試薬-2 と凝集サイズは同程度だが、透明性はやや劣る。
B: 市販 CNF 短繊維 5%	(b) 試薬-2 5%	0.74	87.7	凝集物は極小で目視で観察できないレベルであり、分散性も良好だが、透明性は低い。
B: 市販 CNF 短繊維 4.6%	(b) 試薬-2 9.1%	0.73	91.1	凝集物は極小で目視で観察できないレベルであり、分散性も良好で、透明性もやや良好。全体が薄く白く曇っている。
B: 市販 CNF 短繊維 4.6%	(a) 試薬-1 1.36%, (b) 試薬-2 9.1%	0.75	91.6	凝集物は極小で目視で観察できないレベルであり、分散性も良好で、透明性もやや良好。(b) 試薬-2 の効果により、(a) 試薬-1 添加 CNF もうまく分散可能
B: 市販 CNF 短繊維 9.9%	(b) 試薬-2 1%	0.76	88.5	凝集物は小さく、分散性もやや良好で、透明性もやや良好だが、若干褐変。
B: 市販 CNF 短繊維 9.5%	(b) 試薬-2 5%	0.77	89.9	凝集物は小さく、分散性もやや良好で、透明性もやや良好で、変色もない。細かい凝集物は確認できる。
B: 市販 CNF 短繊維 8.3%	(b) 試薬-2 20%	0.74	91.2	凝集物は極小で目視で観察できないレベルであり、分散性も良好で、透明性もやや良好。全体が薄く白く曇っている。
B: 市販 CNF 短繊維 15.4%	(b) 試薬-2 17%	0.75	87.8	凝集物は小さく、分散性もやや良好で、透明性もやや良好だが、細かい凝集物が視認される。

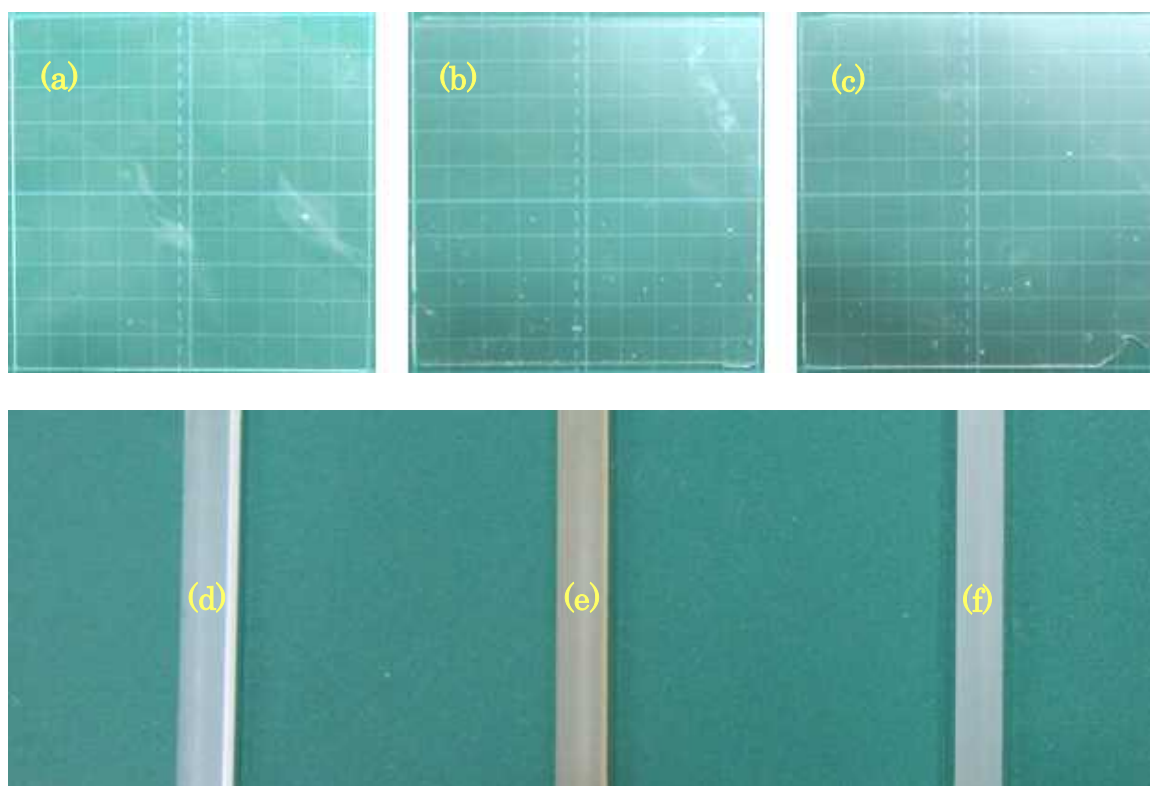


図 2-6 2 軸押出法により作成した各種 CNF 混練 PMMA 試験片 概観

(a) PMMA プレート試験片

(b) 市販 CNF 短繊維 5% プレート試験片

(c) 市販 CNF 短繊維 5%+試薬 2(III) 5% プレート試験片

(d) PMMA 試験片

(e) 市販 CNF 短繊維 5%試験片

(f) 市販 CNF 短繊維 5%+試薬 2(III) 5%試験片

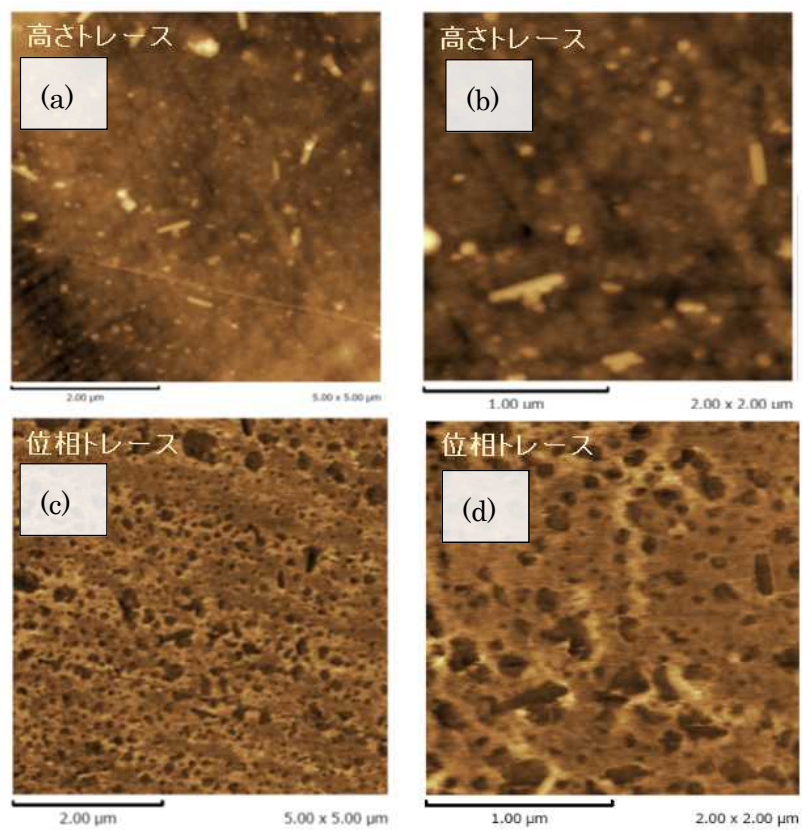


図 2-7 CNF 混練樹脂の走査型プローブ顕微鏡観察画像

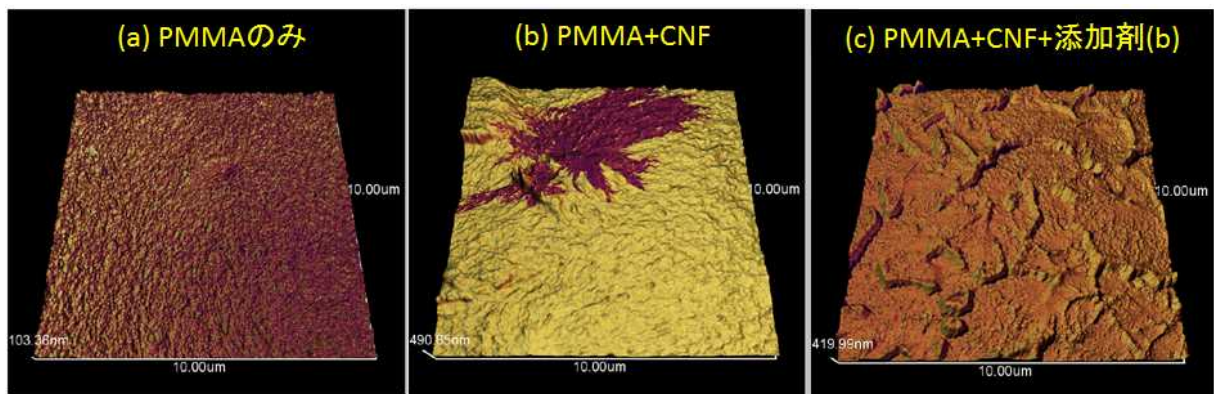


図 2-8 CNF 混練樹脂の走査型プローブ顕微鏡観察画像
(高さモードおよび位相モードで観察し、それらを合成した画像)

③ CNF 混練樹脂の透明性試験と強度評価

(ア) CNF 混練樹脂の透明性試験 (愛媛大学)

緒言

2 本ロール法および 2 軸押出混練法の検討結果から、機械的解繊処理によって調製された CNF と特定の添加剤の組み合わせによって、PMMA に対する混練適性が大幅に改善されると共に、機械的せん断力を高める事によってさらに分散性が向上することを明らかにした。そこで、さらにせん断力を高めた高せん断加工装置による混練を試みた。

実験

(2) ②と同様の CNF および添加剤並びに PMMA ペレットを用いた。

方法

CNF と添加剤を混ぜた後、樹脂中のセルロース濃度が 1%となるよう、PMMA ペレットと 2 軸押出混練法 (図 2-5) にて混練し、CNF/PMMA ペレットを調製した後、乾燥させ、高せん断加工装置にて再び混練した。高せん断加工試料については、熱プレスによりプレートを形成し、プレート内部の CNF 分散状況を偏光顕微鏡で観察するとともに、全光線透過率を測定した。

結果

CNF アクリル樹脂混練品の分散性評価

CNF をアクリル樹脂に混練した際、CNF の分散性を評価することが重要である。そこで、試作した CNF 混練樹脂を偏光顕微鏡 (ニコン、ECLIPSE LV100ND、鋭敏色板使用) により観察した。また、CNF 混練樹脂を X 線 CT (ブルカーマイクロ CT 社、skyscan1272) により観察した結果を図 2-9 に示す。

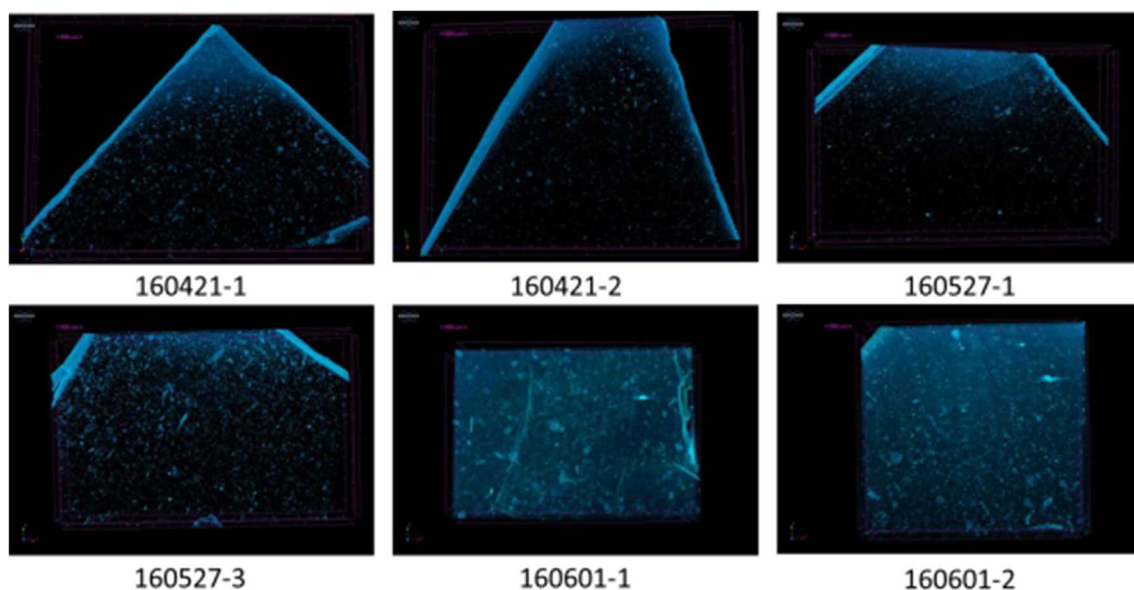


図 2-9 CNF 混練樹脂の X 線 CT 像

高せん断加工処理後の CNF/PMMA 混練樹脂プレート概観を図 2-10 に示し、混練効果について整理した表を 2-3 に示す。添加剤を入れずに CNF のみを PMMA に混練した場合にはせん断加工後に樹脂が褐変した。この高せん断加工機には、せん断加工ユニットの温度モニタリングが可能であり、せん断時間は非常に短いものの温度が 300 度付近まで上昇していた。通常は、セルロースは 250-260℃から熱分解が始まることから、せん断加工時にセルロースが熱分解し、その熱分解物が褐変の原因であると予想される。一方、混練時に試薬 2 を加えた CNF/PMMA 混練プレートは、褐変が抑制された。さらに試薬 1 および試薬 2 を組み合わせた場合には、CNF のみに比べて明らかに褐変が抑制された。

全光線透過率を測定した結果、e, f の条件である CNF に試薬 1 および試薬 2 を加えた樹脂では、90%を超える全光線透過率となった。先述のとおり、褐変もほとんど無く、若干白くなっているものの、透明性も高い結果となった。高せん断加工装置後の CNF/PMMA 混練樹脂試料断片を破碎し、メタノール抽出したものをガスクロマトグラフ質量分析 (GCMS) に供し、得られたクロマトグラムを図 2-11 に示す。試薬 2 の熱分解物と推定されたピーク (矢印赤) および添加剤 (a) のピーク (矢印青) が確認された。保持時間約 22 分で確認されたピーク (矢

印赤) は、興味深い事に、試薬 1 と近い化学構造を有するものであった。一方、セルロースの熱分解物と推定されるピーク (矢印緑) も確認したが、比較的小さく、CNF の熱分解が抑制されたと考えられる。この添加剤の熱分解物が混練時におこる CNF の着色および熱分解を抑制しているかもしれない。

CNF の分散性を評価するために、混練後の樹脂プレートの偏光顕微鏡観察像について図 2-12 に示す。その結果、CNF のみの試料では 100 μm を超える粒子状物質が存在するが、試薬 1、試薬 1 および試薬 2 を加えた試料ではそのような粗大な粒子は見られなかった。これらの試料でも高せん断加工時の樹脂温度は 300°C を超えているが、添加剤が CNF の熱分解を抑制している原因については現在調査中である。我々の選択した添加剤の組み合わせによって、CNF の熱分解を抑制するとともに、PMMA に対する CNF 分散性も高めているという非常に興味深い重要な知見を得た。

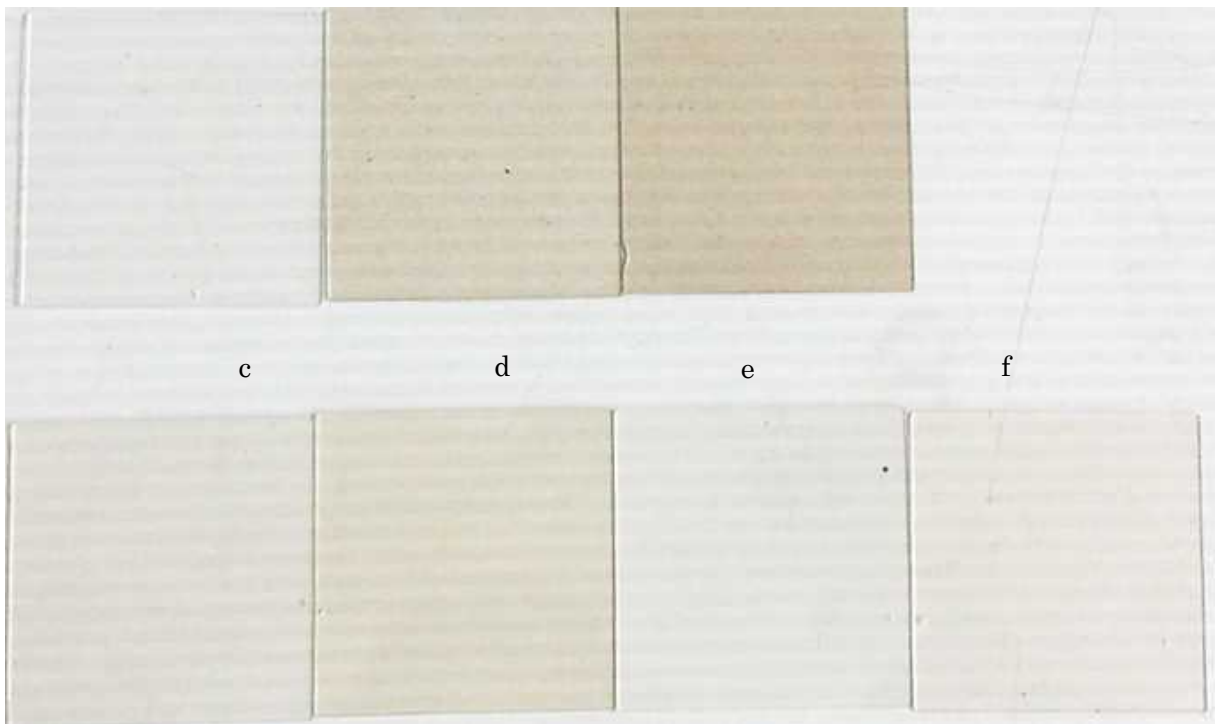
一方で、我々が今回使用した市販 CNF について FE-SEM により観察したところ、数 μm の幅を有する繊維断片が複数観察された (図 2-13)。さらに、一見解繊されたように見える部分も拡大すると、幅 100 nm 程度のファイバーが観察された。これらの 100 nm~数 μm の解繊が不十分な繊維の存在によって、複合樹脂の透明性が損なわれた可能性がある。今後、これらの比較的大きな繊維を除去する、あるいは他の CNF を用意し、本研究で見出した添加剤を組み合わせることにより、さらに分散性および透明性の高い複合樹脂を作製できる可能性がある。



PMMA のみ

a

b



c

d

e

f

図 2-10 高せん断条件下での CNF 混練樹脂

上左：CNF と PMMA の混練樹脂、上右：CNF+試薬 1+試薬 2 での混練樹脂

下：高せん断加工後の樹脂をプレート成形（試料は表 2-3 参照）

表 2-3 高せん断条件下での CNF 混練樹脂の透明性

			厚み (mm)	全光線 透過率 (%)	概観 (目視)
a	B:市販 CNF 短繊維	高せん断 + 処理時間 5 s	0.56	80.8	凝集物が小～中だが、分散性が悪く、透明性も低い。濃く褐変。
b	B:市販 CNF 短繊維	高せん断 + 処理時間 30 s	0.54	76.3	凝集物が小～中だが、分散性が悪く、透明性も低い。さらに濃く褐変。
c	B:市販 CNF 短繊維 + (b) 試薬-2	高せん断 + 処理時間 5 s	0.56	90.4	凝集物は極小で目視で観察できないレベルであり、分散性も良好で、透明性も良好。やや黄ばみ。
d	B:市販 CNF 短繊維 + (b) 試薬-2	高せん断 + 処理時間 30 s	0.55	88.0	凝集物は極小で目視で観察できないレベルであり、分散性も良好で、透明性も良好。やや濃く黄ばみ。
e	B:市販 CNF 短繊維 + (a) 試薬-1 + (b) 試薬-2	高せん断 + 処理時間 5 s	0.55	92.1	凝集物は極小で目視で観察できないレベルであり、分散性も良好で、透明性も良好。非常に薄い白に着色。
f	B:市販 CNF 短繊維 + (a) 試薬-1 + (b) 試薬-2	高せん断 + 処理時間 30 s	0.54	91.1	凝集物は極小で目視で観察できないレベルであり、分散性も良好で、透明性も良好。薄く黄ばみ。

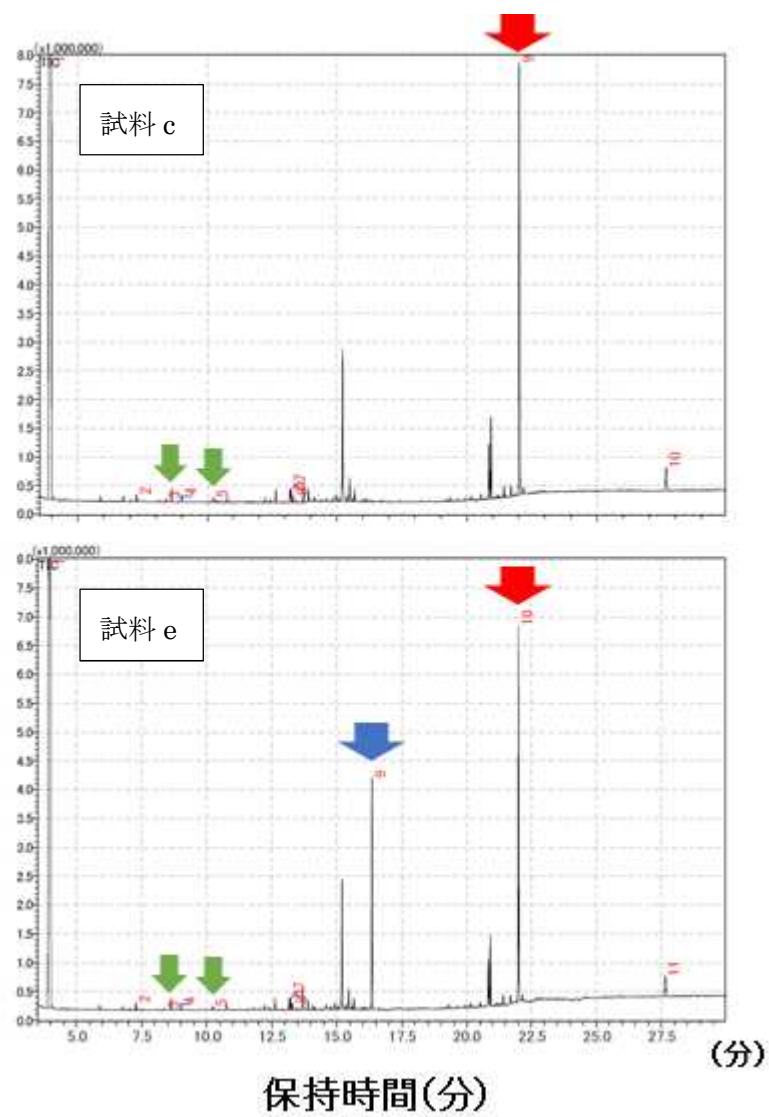
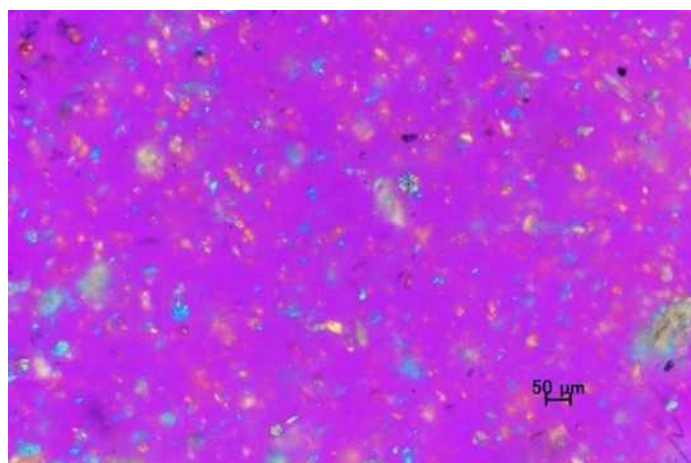
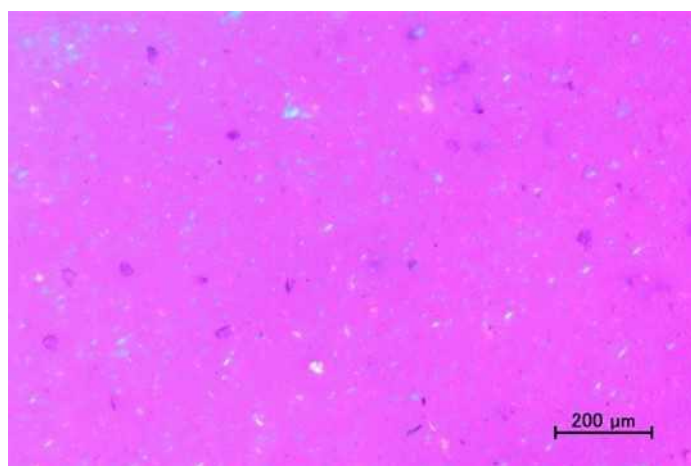


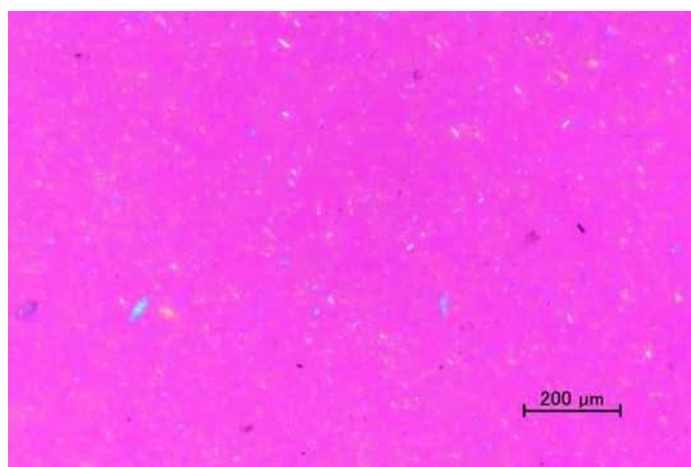
図 2-11 ガスクロマトグラフ質量分析クロマトグラム



試料 a



試料 c



試料 e

図 2-12 高せん断条件下 CNF 混練樹脂プレートの偏光顕微鏡像

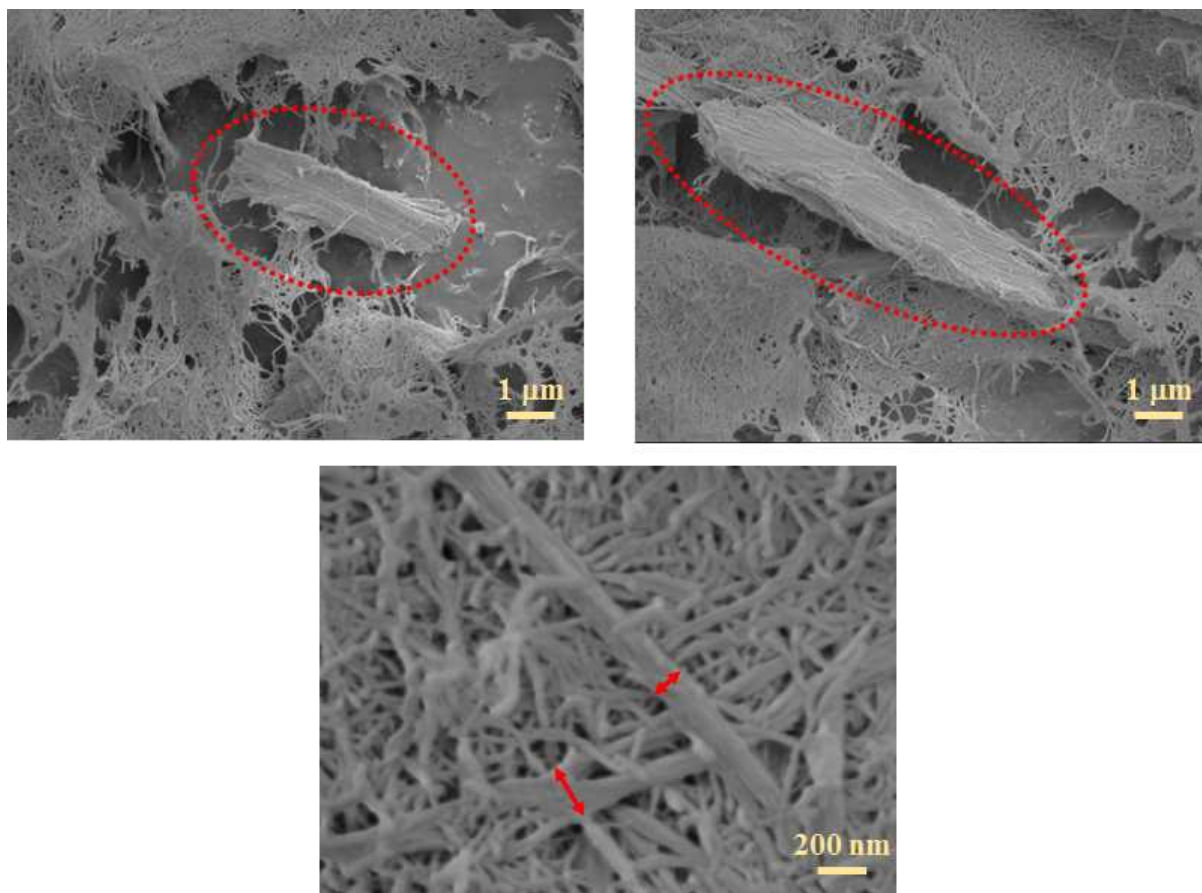


図 2-13 B: 市販 CNF 短繊維の電界放出形電子顕微鏡画像

(イ) CNF 混練樹脂の強度評価（愛媛県紙産業技術センター）

緒言

前節までの 2 本ロール法および 2 軸押出混練法の検討結果から、機械的解繊処理によって調製された CNF と特定の添加剤の組み合わせによって、PMMA に対する混練適性が大幅に改善されることが明らかになっている。本節では、CNF および添加剤が複合樹脂の強度に与える影響を評価する事を目的として、耐衝撃試験を実施した。

実験

試験片として 100 mm 角、厚み約 0.17 mm のプレートを用意し、2 kN のロードセルを装着したパンクチャ衝撃試験機（HITS-P10、（株）島津製作所）を用いて、室温下（23℃）、試験速度 3.33 m/sec で打ち抜き試験を行った。

結果

パンクチャ衝撃試験の結果を図 2-14 に示す。最大衝撃力点試験力を比較すると、PMMA 単独に比較して、CNF 混練樹脂は約 84%まで減少した。SPM の結果から、CNF が大きな凝集塊を形成しており、PMMA に分散しなかった事が要因の一つと考えられる（図 2-8）。添加剤を加えた CNF 混練樹脂の最大衝撃力点試験力は、元の PMMA とほぼ同等であり、強度向上は確認できなかったものの、添加剤によって CNF が PMMA 中に均一に分散することで、衝撃強度が回復したと考えられる。SPM の結果から、CNF が PMMA 中に均一に分散している事は確認されたが、それらはネットワークを形成せず、単独で存在していた（図 2-8）。CNF 複合樹脂の強度向上が今後の課題の一つであるが、PMMA と混練する CNF の割合を最大で 10%程度まで増やし、添加剤の量および種類を至適化することで、PMMA 中で CNF のネットワークが均一に形成し、樹脂の強度向上が達成されると推察される。

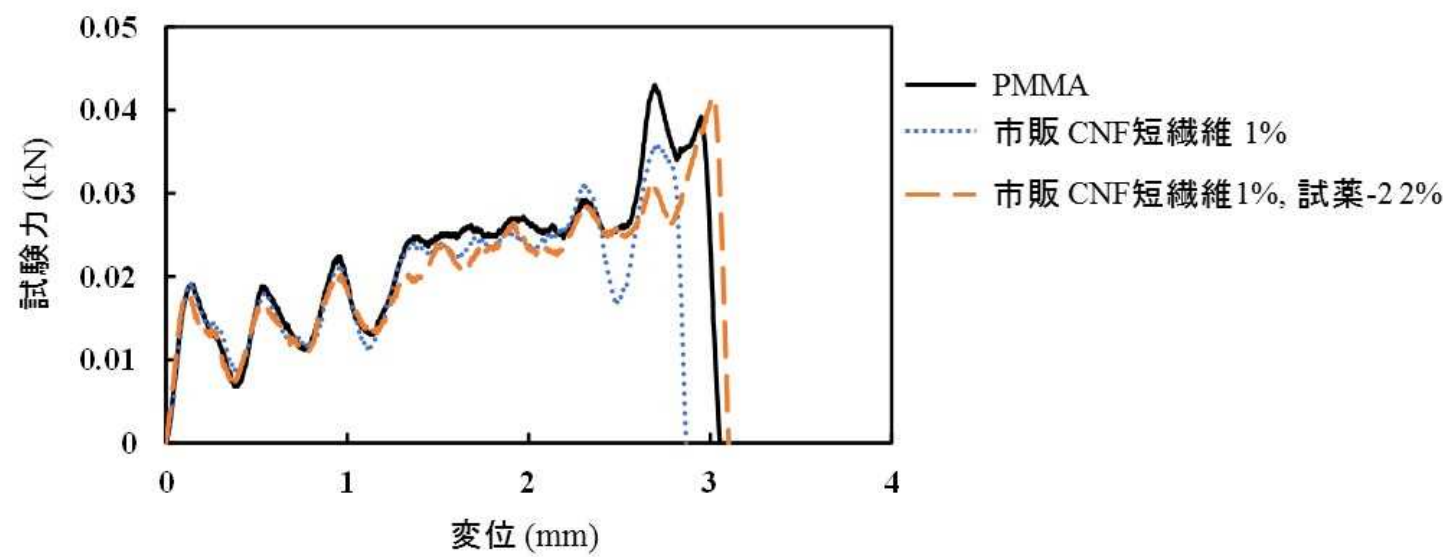


図 2-14 CNF 複合樹脂の試験力－変位線図

（３）製造工程の低炭素化対策の立案（愛媛大学）

緒言

従来材料に対する CO₂ 削減効果を評価するため、現状製法によって作製された製品と同等以上の性能を確保しつつ、製造時の CO₂ 排出量の総量（CNF 複合樹脂製造時や製品の成形加工時、また素材使用量などを考慮する）が従来材料より少ない CNF 複合樹脂製品の実現製造の工程の低炭素対策を立案する。

本年度は、従来材料と本業務での製造工程における CO₂ 排出量の総量を推計し、本業務の製造工程による CO₂ 削減効果の評価と低炭素対策の立案に向けた課題を整理した。

目的

従来よりも消費エネルギーの少ない手法で製造された CNF 添加 PMMA について、製造までの CO₂ 排出量を評価する。

方法

3-1-1 評価項目

- A. 新規技術条件 1 による CNF-PMMA 製造に係る CO₂ 排出量
- B. 新規技術条件 2 による CNF-PMMA 製造に係る CO₂ 排出量
- C. 新規技術条件 3 による CNF-PMMA 製造に係る CO₂ 排出量
- D. 従来技術による CNF-PMMA 製造に係る CO₂ 排出量
- E. 新規技術条件 4 による CNF-PMMA 製造に係る CO₂ 排出量

なお、各評価項目において、次の 7 件の事例を評価した。

- 1. 混練時濃度 CNF1%→最終製品含有率 CNF1%
- 2. 混練時濃度 CNF2%→最終製品含有率 CNF1%
- 3. 混練時濃度 CNF5%→最終製品含有率 CNF1%
- 4. 混練時濃度 CNF10%→最終製品含有率 CNF1%
- 5. 混練時濃度 CNF5%→最終製品含有率 CNF5%
- 6. 混練時濃度 CNF5%→最終製品含有率 CNF2%、試薬-2 4%添加
- 7. 混練時濃度 CNF5%→最終製品含有率 CNF5%、試薬-2 10%添加

3-1-2 評価範囲と評価条件

評価範囲（システム境界）を図 3-1 に示した。

A. 新規技術条件 1 による CNF-PMMA 製造に係る CO₂ 排出量

木材原料となるパルプを解繊して CNF 水分散液を調整した後、非加熱の脱水処理を行った上で、プラスチック原料となる PMMA と混練して CNF-PMMA ペレットを製造する工程を評価範囲とする。

ここで言う新規技術とは、パルプを解繊して得られる CNF 水分散液を、加熱をせずに脱水する技術であり、消費される電力負荷の加算により評価を行う。なお、この脱水工程では、ロスを伴うため、これを考慮した評価とする。

投入物は、パルプと PMMA、水および試薬 2 ((2)① (ア) 参照) である。同工程から副製品の製造はない。ロス分は産業廃棄物処理として評価する。

条件 1 の詳細は以下のとおりである。

脱水工程データ：27 年度実測データ

混練工程生産速度：2 kg/hr

B. 新規技術条件 2 による CNF-PMMA 製造に係る CO₂ 排出量

木材原料となるパルプを解繊して CNF 水分散液を調整した後、非加熱の脱水処理を行った上で、プラスチック原料となる PMMA と混練して CNF-PMMA ペレットを製造する工程を評価範囲とする。

条件 2 の詳細は以下のとおりである。その他は A に準ずる。

脱水工程データ：28 年度実測データ

混練工程生産速度：2 kg/hr

C. 新規技術条件 3 による CNF-PMMA 製造に係る CO₂ 排出量

木材原料となるパルプを解繊して CNF 水分散液を調整した後、非加熱の脱水処理を行った上で、プラスチック原料となる PMMA と混練して CNF-PMMA ペレットを製造する工程を評価範囲とする。

条件 3 の詳細は以下のとおりである。その他は A に準ずる

脱水工程データ：28 年度実測データ

混練工程生産速度：2 kg/hr (1 および 2%CNF) , 3 kg/hr (5%CNF) ,
5 kg/hr (10%CNF)

D. 加熱脱水技術による CNF-PMMA 製造に係る CO₂ 排出量

木材原料となるパルプを解繊して CNF 水分散液を調整し、加熱脱水により脱水して濃度を調整後、プラスチック原料となる PMMA と混練して CNF-PMMA ペレットを製造する工程を評価範囲とする。

投入物は、パルプと PMMA、水および試薬 2 である。同工程から副製品の製造はない。ロス分は産業廃棄物処理として評価する。

ここで言う従来技術とは、パルプを解繊して得られる CNF 水分散液を脱水するにあたり、電力による加熱を行うことを想定しており、評価は、除去が必要な水分量を加熱蒸発させるために必要な電力負荷の加算により行う。

評価条件は以下の通りである。

脱水工程データ：加熱蒸発エネルギーベースデータ

混練工程生産速度：2 kg/hr (1 および 2%CNF) , 3 kg/hr (5%CNF) ,
5 kg/hr (10%CNF)

E. 新規技術条件 4 による CNF-PMMA 製造に係る CO₂ 排出量

木材原料となるパルプを解繊して CNF 水分散液を調整した後、非加熱の脱水処理を行った上で、プラスチック原料となる PMMA と混練して CNF-PMMA ペレットを製造する工程を評価範囲とする。

条件 4 の詳細は以下のとおりである。その他は A に準ずる

脱水工程データ：参考データ

混練工程生産速度：3 kg/hr. (5%CNF) , 5 kg/hr. (10%CNF)

ここでいう参考データとは、脱水工程の生産性を、実現可能な範囲でより高く見積もった仮のデータである。

3-1-3 データ収集

以下のプロセスについて、データ収集を行った。

A. 新規技術条件 1 による CNF-PMMA 製造に係る CO₂ 排出量

- ・ CNF 水分散液製造工程の原材料使用量およびロス発生量、エネルギー消費量

パルプを水に浸漬し、グラインダーで解繊する製法で実際に生産を行い、データを実測した。固形分濃度 2% のパルプ水分散液 30 L をグラインダーに投入し、6 時間の連続運転により生産を行った。収率は 80%、グラインダーの使用電力は 4 kW/hr であった。電力消費量については、使用電力に使用時間を乗じて算出した。

- ・ CNF 水分散液の脱水工程の原材料使用量およびロス発生量、エネルギー消費量

1%CNF 水分散液 30 g を、小型の真空ポンプを利用したワイヤー減圧脱水により CNF が 10% 濃度になるまで脱水した際の消費電力量を算出した。使用する真空ポンプの必要電力は 150 W/hr、所要時間は 5 分であった。収率は 90% とした。

- ・ CNF-PMMA 製造工程の原材料使用量およびロス発生量、エネルギー消費量

CNF 水分散液と PMMA のペレットを 2 軸押出成形機に投入して混練することで、CNF-PMMA を実際に生産し、データを実測した。生産速度は 2 kg/hr とし、電力消費量は、生産前と生産後の積算電力量の差から求めた。収率は 99% であった。なお、混練の際に添加剤として試薬-2 を添加した系についても同様に実測を行った。

B. 新規技術条件 2 による CNF-PMMA 製造に係る CO₂ 排出量

- ・ CNF 水分散液製造工程の原材料使用量およびロス発生量、エネルギー消費量

A. のデータをそのまま使用した。

- ・ CNF 水分散液の脱水工程の原材料使用量およびロス発生量、エネルギー消費量
プロトタイプ試作機ベースでの脱水の場合の原材料使用量およびロス発生量、エネルギー消費量を積算した。2%CNF 水分散液 36 kg を、真空ポンプを利用したワイヤー減圧脱水により CNF が 5%濃度になるまで脱水した際の消費電力量を計算した。使用電力は本脱水機の過半の電力を消費するブロワの電力量をベースに消費電力を算出した。なお、本ブロワの消費電力を 25.7 kW/h、所要時間 1 時間として見積もっている。収率は 90% とした。なお、10%の CNF 濃度まで脱水した場合の消費電力量は、5%の場合の 2 倍と仮定した。

- ・ CNF-PMMA 製造工程の原材料使用量およびロス発生量、エネルギー消費量
A. のデータをそのまま使用した。

C. 新規技術条件 3 による CNF-PMMA 製造に係る CO₂ 排出量

- ・ CNF 水分散液製造工程の原材料使用量およびロス発生量、エネルギー消費量
A. のデータをそのまま使用した。
- ・ CNF 水分散液の脱水工程の原材料使用量およびロス発生量、エネルギー消費量
B. のデータをそのまま使用した。
- ・ CNF-PMMA 製造工程の原材料使用量およびロス発生量、エネルギー消費量
A. のデータを使用した。なお、2 軸押出成形機に投入する CNF 水分散液は高濃度になるほど混練 PMMA 生産速度が上がるということがわかっているため、投入時の CNF 濃度が 5%、および 10%の場合の生産速度を、それぞれ 3 kg/hr、5 kg/hr として評価を行った。

D. 従来技術による CNF-PMMA 製造に係る CO₂ 排出量

- ・ CNF 水分散液製造工程の原材料使用量およびロス発生量、エネルギー消費量
A. のデータをそのまま使用した。

- ・ CNF 水分散液の脱水工程の原材料使用量およびロス発生量、エネルギー消費量
従来技術による脱水工程の評価は、除去する水分量を蒸発させるためのエネルギーを電力消費量に換算して行った。加熱釜への付着ロス等を考慮して回収率を 90%とした。

換算は、20℃の水 1 kg を蒸発させるためのエネルギーを 2,590 kJ、効率を 70%として行った。

- ・ CNF-PMMA 製造工程原材料使用量およびロス発生量、エネルギー消費量
C. のデータをそのまま使用した。

E. 新規技術条件 4 による CNF-PMMA 製造に係る CO₂ 排出量

- ・ CNF 水分散液製造工程の原材料使用量およびロス発生量、エネルギー消費量
A. のデータをそのまま使用した。

- ・ CNF 水分散液の脱水工程の原材料使用量およびロス発生量、エネルギー消費量
C. のデータをベースとして、28 年度のプロトタイプ機での脱水試験時の 2%CNF 水分散液の処理量を 72 kg、すなわち B および C での処理量の 2 倍と脱水 CNF 生産量を高く仮定し、真空ポンプを利用したワイヤー減圧脱水により CNF が 5%濃度、および 10%濃度になるまで脱水した際の消費電力量を試算した。

- ・ CNF-PMMA 製造工程の原材料使用量およびロス発生量、エネルギー消費量
C. のデータをそのまま使用した。

3-1-4 原単位

各工程に投入される原材料およびエネルギーの負荷については、その上流側を含めた単位あたりのライフサイクル GHG 排出量（原単位）を、LCA ソフト「MiLCA v1.2」を用いて、データベース「IDEA」から求めて使用した。

プラスチック類の焼却処理の際に当該プラスチックの燃焼により発生する CO₂ 量は、メタクリル酸メチルの化学式 C₅O₂H₈ から算出した。

結果

A. 新規技術条件 1 による CNF-PMMA 製造に係る CO₂ 排出量

CNF-PMMA 1 kg のインベントリ分析結果を表 3-A-1～A-7、および図 3-2 にまとめた。各表は以下の分析条件の結果を示したものである。

3-A-1. 脱水工程なし、生産速度 2 kg/hr、CNF1%→CNF1%

3-A-2. 脱水工程なし、生産速度 2 kg/hr、CNF2%→CNF1%

3-A-3. 脱水工程 27 年度データ、生産速度 2 kg/hr、CNF5%→CNF1%

3-A-4. 脱水工程 27 年度データ、生産速度 2 kg/hr、CNF10%→CNF1%

3-A-5. 脱水工程 27 年度データ、生産速度 2 kg/hr、CNF5%→CNF5%

3-A-6. 脱水工程 27 年度データ、生産速度 2 kg/hr、CNF5%→CNF2%、
試薬 2 4%

3-A-7. 脱水工程 27 年度データ、生産速度 2 kg/hr、CNF5%→CNF5%、
試薬 2 10%

いずれの条件においても、CNF 水分散液の製造工程については全く同じであるため、CNF 水分散液 1 kg あたりの GHG 排出量は同じ値となる。

脱水工程の負荷は、全工程における寄与率としてはそれほど高くない。最終製品への CNF の含有率が高いほど寄与率は上がるが、CNF 含有率 5% の製品で、9% ほどの寄与率であった。一方、混練工程の寄与率は高く、70-90% を占める結果となった。そのため、混練工程に投入する CNF 水分散液の濃度を 5% まで脱水濃縮すると、脱水を経ずに 2% CNF 水分散液を投入する場合と比較して脱水工程の負荷が加わるが、混練時の電力消費量が下がることから、全体の GHG 排出量は小さくなることがわかった（表 3-A-2：5.84 kg-CO₂e、表 A-3：5.77 kg-CO₂e）。10% まで脱水濃縮した場合でも、5.83 kg-CO₂e（表 3-A-4）であり、GHG 排出量の上昇は見られない。

最終製品への CNF の含有率が上がると、全体の GHG 排出量は増加するが（表 A-5：8.22 kg-CO₂e）、試薬 2 を加えることで、増加を抑えることができることがわかった（表 A-7：7.33 kg-CO₂e）。

表 3-A-1 脱水工程なし、生産速度 2 kg/hr、CNF1%→CNF1%

	投入量		GHG 原単位 (100 年指数, IPCC, 2007) (kg-CO ₂ e/単位)		GHG 排出量 kg-CO ₂ e
[CNF 製造]					
水	1.225	kg	0.002	純水, イオン交換膜法	0.00
パルプ	0.025	kg	0.882	パルプ	0.02
生産電力	1.000	kWh	0.554	系統電力	0.55
廃水	0.245	kg	0.020	工業排水処理サービス	0.01
廃棄木粉	0.005	kg	2.708	焼却処理(産廃)サービス	0.01
(合計) CNF2%水 1 kg 製造					0.60
[CNF 脱水]					
CNF2%水	0.500	kg	0.597		0.30
水	0.500	kg	0.002	純水, イオン交換膜法	0.00
生産電力	0.000	kWh	0.554	系統電力	0.00
廃水	0.000	kg	0.020	工業排水処理サービス	0.00
廃棄木粉	0.000	kg	2.708	焼却処理(産廃)サービス	0.00
(合計) CNF1%水 1 kg 製造					0.30
[混練]					
CNF1%水	1.010	kg	0.299		0.30
PMMA	1.000	kg	3.507	メタクリル樹脂	3.51
生産電力	3.984	kWh	0.554	系統電力	2.21
廃木粉・プラスチック	0.010	kg	2.708	焼却処理(産廃)サービス	0.03
プラスチック炭素	0.010	kg	2.200	C ₂ O ₂ H ₈	0.02
(合計) CNF-PMMA ペレット 1 kg 製造					6.07

表 3-A-2 脱水工程なし、生産速度 2 kg/hr、CNF2%→CNF1%

	投入量		GHG 原単位 (100 年指数, IPCC, 2007) (kg-CO ₂ e/単位)		GHG 排出量 kg-CO ₂ e
[CNF 製造]					
水	1.225	kg	0.002	純水, イオン交換膜法	0.00
パルプ	0.025	kg	0.882	パルプ	0.02
生産電力	1.000	kWh	0.554	系統電力	0.55
廃水	0.245	kg	0.020	工業排水処理サービス	0.01
廃棄木粉	0.005	kg	2.708	焼却処理(産廃)サービス	0.01
(合計) CNF2%水 1 kg 製造					0.60
[CNF 脱水]					
CNF2%水	1.000	kg	0.597		0.60
水	0.000	kg	0.002	純水, イオン交換膜法	0.00
生産電力	0.000	kWh	0.554	系統電力	0.00
廃水	0.000	kg	0.020	工業排水処理サービス	0.00
廃棄木粉	0.000	kg	2.708	焼却処理(産廃)サービス	0.00
(合計) CNF2%水 1 kg 製造					0.60
[混練]					
CNF2%水	0.505	kg	0.597		0.30
PMMA	1.000	kg	3.507	メタクリル樹脂	3.51
生産電力	3.585	kWh	0.554	系統電力	1.99
廃木粉・プラスチック	0.010	kg	2.708	焼却処理(産廃)サービス	0.03
プラスチック炭素	0.010	kg	2.200	C ₂ O ₂ H ₈	0.02
(合計) CNF-PMMA ペレット 1 kg 製造					5.84

表 3-A-3 脱水工程 27 年度データ、生産速度 2 kg/hr、CNF5%→CNF1%

	投入量		GHG 原単位 (100 年指数, IPCC, 2007) (kg-CO ₂ e/単位)		GHG 排出量 kg-CO ₂ e
[CNF 製造]					
水	1.225	kg	0.002	純水, イオン交換膜法	0.00
パルプ	0.025	kg	0.882	パルプ	0.02
生産電力	1.000	kWh	0.554	系統電力	0.55
廃水	0.245	kg	0.020	工業排水処理サービス	0.01
廃棄木粉	0.005	kg	2.708	焼却処理(産廃)サービス	0.01
(合計) CNF2%水 1 kg 製造					0.60
[CNF 脱水]					
CNF2%水	2.778	kg	0.597		1.66
水	2.778	kg	0.002	純水, イオン交換膜法	0.01
生産電力	1.157	kWh	0.554	系統電力	0.64
廃水	4.550	kg	0.020	工業排水処理サービス	0.09
廃棄木粉	0.006	kg	2.708	焼却処理(産廃)サービス	0.02
(合計) CNF5%水 1 kg 製造					2.41
[混練]					
CNF5%水	0.202	kg	2.413		0.49
PMMA	1.000	kg	3.507	メタクリル樹脂	3.51
生産電力	3.117	kWh	0.554	系統電力	1.73
廃木粉・プラスチック	0.010	kg	2.708	焼却処理(産廃)サービス	0.03
プラスチック炭素	0.010	kg	2.200	C ₂ O ₂ H ₈	0.02
(合計) CNF-PMMA ペレット 1 kg 製造					5.77

表 3-A-4 脱水工程 27 年度データ、生産速度 2 kg/hr、CNF10%→CNF1%

	投入量			GHG 原単位 (100 年指数, IPCC, 2007) (kg-CO ₂ e/単位)	GHG 排出量 kg-CO ₂ e
[CNF 製造]					
水	1.225	kg	0.002	純水, イオン交換膜法	0.00
パルプ	0.025	kg	0.882	パルプ	0.02
生産電力	1.000	kWh	0.554	系統電力	0.55
廃水	0.245	kg	0.020	工業排水処理サービス	0.01
廃棄木粉	0.005	kg	2.708	焼却処理(産廃)サービス	0.01
(合計) CNF2%水 1 kg 製造					0.60
[CNF 脱水]					
CNF2%水	5.556	kg	0.597		3.32
水	5.556	kg	0.002	純水, イオン交換膜法	0.01
生産電力	4.630	kWh	0.554	系統電力	2.56
廃水	10.100	kg	0.020	工業排水処理サービス	0.21
廃棄木粉	0.011	kg	2.708	焼却処理(産廃)サービス	0.03
(合計) CNF10%水 1 kg 製造					6.13
[混練]					
CNF10%水	0.101	kg	6.128		0.62
PMMA	1.000	kg	3.507	メタクリル樹脂	3.51
生産電力	2.993	kWh	0.554	系統電力	1.66
廃木粉・プラスチック	0.010	kg	2.708	焼却処理(産廃)サービス	0.03
プラスチック炭素	0.010	kg	2.200	C ₂ O ₂ H ₈	0.02
(合計) CNF-PMMA ペレット 1 kg 製造					5.83

表 3-A-5 脱水工程 27 年度データ、生産速度 2 kg/hr、CNF5%→CNF5%

	投入量		GHG 原単位 (100 年指数, IPCC, 2007) (kg-CO ₂ e/単位)		GHG 排出量 kg-CO ₂ e
[CNF 製造]					
水	1.225	kg	0.002	純水, イオン交換膜法	0.00
パルプ	0.025	kg	0.882	パルプ	0.02
生産電力	1.000	kWh	0.554	系統電力	0.55
廃水	0.245	kg	0.020	工業排水処理サービス	0.01
廃棄木粉	0.005	kg	2.708	焼却処理(産廃)サービス	0.01
(合計) CNF2%水 1 kg 製造					0.60
[CNF 脱水]					
CNF2%水	2.778	kg	0.597		1.66
水	2.778	kg	0.002	純水, イオン交換膜法	0.01
生産電力	1.157	kWh	0.554	系統電力	0.64
廃水	4.550	kg	0.020	工業排水処理サービス	0.09
廃棄木粉	0.006	kg	2.708	焼却処理(産廃)サービス	0.02
(合計) CNF5%水 1 kg 製造					2.41
[混練]					
CNF5%水	1.010	kg	2.413		2.44
PMMA	0.960	kg	3.507	メタクリル樹脂	3.37
生産電力	4.285	kWh	0.554	系統電力	2.37
廃木粉・プラスチック	0.010	kg	2.708	焼却処理(産廃)サービス	0.03
プラスチック炭素	0.010	kg	2.200	C ₂ O ₂ H ₈	0.02
(合計) CNF-PMMA ペレット 1 kg 製造					8.22

表 3-A-6 脱水工程 27 年度データ、生産速度 2 kg/hr、CNF5%→CNF2%、
試薬-2 4%

	投入量		GHG 原単位 (100 年指数, IPCC, 2007) (kg-CO ₂ e/単位)		GHG 排出量 kg-CO ₂ e
[CNF 製造]					
水	1.225	kg	0.002	純水, イオン交換膜法	0.00
パルプ	0.025	kg	0.882	パルプ	0.02
生産電力	1.000	kWh	0.554	系統電力	0.55
廃水	0.245	kg	0.020	工業排水処理サービス	0.01
廃棄木粉	0.005	kg	2.708	焼却処理(産廃)サービス	0.01
(合計) CNF2%水 1 kg 製造					0.60
[CNF 脱水]					
CNF2%水	2.778	kg	0.597		1.66
水	2.778	kg	0.002	純水, イオン交換膜法	0.01
生産電力	1.157	kWh	0.554	系統電力	0.64
廃水	4.550	kg	0.020	工業排水処理サービス	0.09
廃棄木粉	0.006	kg	2.708	焼却処理(産廃)サービス	0.02
(合計) CNF5%水 1 kg 製造					2.41
[混練]					
CNF5%水	0.389	kg	2.413		0.94
PMMA	0.952	kg	3.507	メタクリル樹脂	3.34
生産電力	3.036	kWh	0.554	系統電力	1.68
添加剤	0.039	kg	1.690	試薬 2	0.07
廃木粉・プラスチック	0.010	kg	2.708	焼却処理(産廃)サービス	0.03
プラスチック炭素	0.010	kg	2.200	C ₂ O ₂ H ₈	0.02
(合計) CNF-PMMA ペレット 1 kg 製造					6.07

表 3-A-7 脱水工程 27 年度データ、生産速度 2 kg/hr、CNF5%→CNF5%、
試薬-2 10%

	投入量		GHG 原単位 (100 年指数, IPCC, 2007) (kg-CO ₂ e/単位)		GHG 排出量 kg-CO ₂ e
[CNF 製造]					
水	1.225	kg	0.002	純水, イオン交換膜法	0.00
パルプ	0.025	kg	0.882	パルプ	0.02
生産電力	1.000	kWh	0.554	系統電力	0.55
廃水	0.245	kg	0.020	工業排水処理サービス	0.01
廃棄木粉	0.005	kg	2.708	焼却処理(産廃)サービス	0.01
(合計) CNF2%水 1 kg 製造					0.60
[CNF 脱水]					
CNF2%水	2.778	kg	0.597		1.66
水	2.778	kg	0.002	純水, イオン交換膜法	0.01
生産電力	1.157	kWh	0.554	系統電力	0.64
廃水	4.550	kg	0.020	工業排水処理サービス	0.09
廃棄木粉	0.006	kg	2.708	焼却処理(産廃)サービス	0.02
(合計) CNF5%水 1 kg 製造					2.41
[混練]					
CNF5%水	0.918	kg	2.413		2.22
PMMA	0.872	kg	3.507	メタクリル樹脂	3.06
生産電力	3.345	kWh	0.554	系統電力	1.85
添加剤	0.092	kg	1.690	試薬 2	0.16
廃木粉・プラスチック	0.010	kg	2.708	焼却処理(産廃)サービス	0.03
プラスチック炭素	0.009	kg	2.200	C ₂ O ₂ H ₈	0.02
(合計) CNF-PMMA ペレット 1 kg 製造					7.33

B. 新規技術条件 2 による CNF-PMMA 製造に係る CO₂ 排出量

CNF-PMMA 1 kg のインベントリ分析結果を表 3-B-1～B-5、および図 3-3 にまとめた。各表は以下の分析条件の結果を示したものである。

- 3-B-1. 脱水工程 28 年度データ、生産速度 2 kg/hr、CNF5%→CNF1%
- 3-B-2. 脱水工程 28 年度データ、生産速度 2 kg/hr、CNF10%→CNF1%
- 3-B-3. 脱水工程 28 年度データ、生産速度 2 kg/hr、CNF5%→CNF5%
- 3-B-4. 脱水工程 28 年度データ、生産速度 2 kg/hr、CNF5%→CNF2%、
試薬 2 4%
- 3-B-5. 脱水工程 28 年度データ、生産速度 2 kg/hr、CNF5%→CNF5%、
試薬 2 10%

28 年度の脱水工程データは、27 年度のデータと比較してやや高い負荷となった。これには、算定に使用した機器の定格電力値が、実際の消費電力と比べてかなり大きい可能性があることが原因として考えられる。本工程の消費電力量を実測することによる新規技術の実態に即した負荷量評価が望まれる。

表 3-B-1 脱水工程 28 年度データ、生産速度 2 kg/hr、CNF5%→CNF1%

	投入量		GHG 原単位 (100 年指数, IPCC, 2007) (kg-CO ₂ e/単位)		GHG 排出量 kg-CO ₂ e
[CNF 製造]					
水	1.225	kg	0.002	純水, イオン交換膜法	0.00
パルプ	0.025	kg	0.882	パルプ	0.02
生産電力	1.000	kWh	0.554	系統電力	0.55
廃水	0.245	kg	0.020	工業排水処理サービス	0.01
廃棄木粉	0.005	kg	2.708	焼却処理(産廃)サービス	0.01
(合計) CNF2%水 1 kg 製造					0.60
[CNF 脱水]					
CNF2%水	2.778	kg	0.597		1.66
水	2.778	kg	0.002	純水, イオン交換膜法	0.01
生産電力	1.983	kWh	0.554	系統電力	1.10
廃水	4.550	kg	0.020	工業排水処理サービス	0.09
廃棄木粉	0.006	kg	2.708	焼却処理(産廃)サービス	0.02
(合計) CNF5%水 1 kg 製造					2.87
[混練]					
CNF5%水	0.202	kg	2.870		0.58
PMMA	1.000	kg	3.507	メタクリル樹脂	3.51
生産電力	3.117	kWh	0.554	系統電力	1.73
廃木粉・プラスチック	0.010	kg	2.708	焼却処理(産廃)サービス	0.03
プラスチック炭素	0.010	kg	2.200	C ₂ O ₂ H ₈	0.02
(合計) CNF-PMMA ペレット 1 kg 製造					5.86

表 3-B-2 脱水工程 28 年度データ、生産速度 2 kg/hr、CNF10%→CNF1%

	投入量		GHG 原単位 (100 年指数, IPCC, 2007) (kg-CO ₂ e/単位)		GHG 排出量 kg-CO ₂ e
[CNF 製造]					
水	1.225	kg	0.002	純水, イオン交換膜法	0.00
パルプ	0.025	kg	0.882	パルプ	0.02
生産電力	1.000	kWh	0.554	系統電力	0.55
廃水	0.245	kg	0.020	工業排水処理サービス	0.01
廃棄木粉	0.005	kg	2.708	焼却処理(産廃)サービス	0.01
(合計) CNF2%水 1 kg 製造					0.60
[CNF 脱水]					
CNF2%水	5.556	kg	0.597		3.32
水	5.556	kg	0.002	純水, イオン交換膜法	0.01
生産電力	7.932	kWh	0.554	系統電力	4.39
廃水	10.100	kg	0.020	工業排水処理サービス	0.21
廃棄木粉	0.011	kg	2.708	焼却処理(産廃)サービス	0.03
(合計) CNF10%水 1 kg 製造					7.96
[混練]					
CNF10%水	0.101	kg	7.958		0.80
PMMA	1.000	kg	3.507	メタクリル樹脂	3.51
生産電力	2.993	kWh	0.554	系統電力	1.66
廃木粉・プラスチック	0.010	kg	2.708	焼却処理(産廃)サービス	0.03
プラスチック炭素	0.010	kg	2.200	C ₂ O ₂ H ₈	0.02
(合計) CNF-PMMA ペレット 1 kg 製造					6.02

表 3-B-3 脱水工程 28 年度データ、生産速度 2 kg/hr、CNF5%→CNF5%

	投入量		GHG 原単位 (100 年指数, IPCC, 2007) (kg-CO ₂ e/単位)		GHG 排出量 kg-CO ₂ e
[CNF 製造]					
水	1.225	kg	0.002	純水, イオン交換膜法	0.00
パルプ	0.025	kg	0.882	パルプ	0.02
生産電力	1.000	kWh	0.554	系統電力	0.55
廃水	0.245	kg	0.020	工業排水処理サービス	0.01
廃棄木粉	0.005	kg	2.708	焼却処理(産廃)サービス	0.01
(合計) CNF2%水 1 kg 製造					0.60
[CNF 脱水]					
CNF2%水	2.778	kg	0.597		1.66
水	2.778	kg	0.002	純水, イオン交換膜法	0.01
生産電力	1.983	kWh	0.554	系統電力	1.10
廃水	4.550	kg	0.020	工業排水処理サービス	0.09
廃棄木粉	0.006	kg	2.708	焼却処理(産廃)サービス	0.02
(合計) CNF5%水 1 kg 製造					2.87
[混練]					
CNF5%水	1.010	kg	2.870		2.90
PMMA	0.960	kg	3.507	メタクリル樹脂	3.37
生産電力	4.285	kWh	0.554	系統電力	2.37
廃木粉・プラスチック	0.010	kg	2.708	焼却処理(産廃)サービス	0.03
プラスチック炭素	0.010	kg	2.200	C ₂ O ₂ H ₈	0.02
(合計) CNF-PMMA ペレット 1 kg 製造					8.69

表 3-B-4 脱水工程 28 年度データ、生産速度 2 kg/hr、CNF5%→CNF2%、
試薬 2 4%

	投入量		GHG 原単位 (100 年指数, IPCC, 2007) (kg-CO ₂ e/単位)		GHG 排出量 kg-CO ₂ e
[CNF 製造]					
水	1.225	kg	0.002	純水, イオン交換膜法	0.00
パルプ	0.025	kg	0.882	パルプ	0.02
生産電力	1.000	kWh	0.554	系統電力	0.55
廃水	0.245	kg	0.020	工業排水処理サービス	0.01
廃棄木粉	0.005	kg	2.708	焼却処理(産廃)サービス	0.01
(合計) CNF2%水 1 kg 製造					0.60
[CNF 脱水]					
CNF2%水	2.778	kg	0.597		1.66
水	2.778	kg	0.002	純水, イオン交換膜法	0.01
生産電力	1.983	kWh	0.554	系統電力	1.10
廃水	4.550	kg	0.020	工業排水処理サービス	0.09
廃棄木粉	0.006	kg	2.708	焼却処理(産廃)サービス	0.02
(合計) CNF5%水 1 kg 製造					2.87
[混練]					
CNF5%水	0.389	kg	2.870		1.12
PMMA	0.952	kg	3.507	メタクリル樹脂	3.34
生産電力	3.036	kWh	0.554	系統電力	1.68
添加剤	0.039	kg	1.690	試薬 2	0.07
廃木粉・プラスチック	0.010	kg	2.708	焼却処理(産廃)サービス	0.03
プラスチック炭素	0.010	kg	2.200	C ₂ O ₂ H ₈	0.02
(合計) CNF-PMMA ペレット 1 kg 製造					6.25

表 3-B-5 脱水工程 28 年度データ、生産速度 2 kg/hr、CNF5%→CNF5%、
試薬 2 10%

	投入量		GHG 原単位 (100 年指数, IPCC, 2007) (kg-CO ₂ e/単位)		GHG 排出量 kg-CO ₂ e
[CNF 製造]					
水	1.225	kg	0.002	純水, イオン交換膜法	0.00
パルプ	0.025	kg	0.882	パルプ	0.02
生産電力	1.000	kWh	0.554	系統電力	0.55
廃水	0.245	kg	0.020	工業排水処理サービス	0.01
廃棄木粉	0.005	kg	2.708	焼却処理(産廃)サービス	0.01
(合計) CNF2%水 1 kg 製造					0.60
[CNF 脱水]					
CNF2%水	2.778	kg	0.597		1.66
水	2.778	kg	0.002	純水, イオン交換膜法	0.01
生産電力	1.983	kWh	0.554	系統電力	1.10
廃水	4.550	kg	0.020	工業排水処理サービス	0.09
廃棄木粉	0.006	kg	2.708	焼却処理(産廃)サービス	0.02
(合計) CNF5%水 1 kg 製造					2.87
[混練]					
CNF5%水	0.918	kg	2.870		2.64
PMMA	0.872	kg	3.507	メタクリル樹脂	3.06
生産電力	3.345	kWh	0.554	系統電力	1.85
添加剤	0.092	kg	1.690	試薬 2	0.16
廃木粉・プラスチック	0.010	kg	2.708	焼却処理(産廃)サービス	0.03
プラスチック炭素	0.009	kg	2.200	C ₂ O ₂ H ₈	0.02
(合計) CNF-PMMA ペレット 1 kg 製造					7.75

C. 新規技術条件 3 による CNF-PMMA 製造に係る CO₂ 排出量

CNF-PMMA 1 kg のインベントリ分析結果を表 3-C-1～C-5、および図 3-4 にまとめた。各表は以下の分析条件の結果を示したものである。

3-C-1. 脱水工程 28 年度データ、生産速度 3 kg/hr、CNF5%→CNF1%

3-C-2. 脱水工程 28 年度データ、生産速度 5 kg/hr、CNF10%→CNF1%

3-C-3. 脱水工程 28 年度データ、生産速度 3 kg/hr、CNF5%→CNF5%

3-C-4. 脱水工程 28 年度データ、生産速度 3 kg/hr、CNF5%→CNF2%、
試薬-2 4%

3-C-5. 脱水工程 28 年度データ、生産速度 3 kg/hr、CNF5%→CNF5%、
試薬-2 10%

混練工程の生産速度は、投入する CNF 水分散液の濃度が高いほど、上がることが想定されることから、5%CNF 水分散液を投入する場合と 10%CNF 水分散液を投入する場合とで生産速度をそれぞれ、3 kg/hr、5 kg/hr として評価した。1%CNF 水分散液を使用して 1%CNF 含有率の製品を製造した場合、全体の GHG 排出量が 6.07 kg-CO₂e (表 3-A-1) であるのに対して、10%CNF 水分散液を使用して同じ 1%CNF 含有率の製品を製造すると 5.02 kg-CO₂e (表 3-C-2) まで削減されることがわかった。また、最終製品の CNF 濃度が高い場合でも、混練工程の寄与率上昇をより抑えることができることがわかった (表 3-C-3 : 7.90 kg-CO₂e、表 3-C-5 : 7.13 kg-CO₂e)。

表 3-C-1 脱水工程 28 年度データ、生産速度 3 kg/hr、CNF5%→CNF1%

	投入量		GHG 原単位 (100 年指数, IPCC, 2007) (kg-CO ₂ e/単位)		GHG 排出量 kg-CO ₂ e
[CNF 製造]					
水	1.225	kg	0.002	純水, イオン交換膜法	0.00
パルプ	0.025	kg	0.882	パルプ	0.02
生産電力	1.000	kWh	0.554	系統電力	0.55
廃水	0.245	kg	0.020	工業排水処理サービス	0.01
廃棄木粉	0.005	kg	2.708	焼却処理(産廃)サービス	0.01
(合計) CNF2%水 1 kg 製造					0.60
[CNF 脱水]					
CNF2%水	2.778	kg	0.597		1.66
水	2.778	kg	0.002	純水, イオン交換膜法	0.01
生産電力	1.983	kWh	0.554	系統電力	1.10
廃水	4.550	kg	0.020	工業排水処理サービス	0.09
廃棄木粉	0.006	kg	2.708	焼却処理(産廃)サービス	0.02
(合計) CNF5%水 1 kg 製造					2.87
[混練]					
CNF5%水	0.202	kg	2.870		0.58
PMMA	1.000	kg	3.507	メタクリル樹脂	3.51
生産電力	2.078	kWh	0.554	系統電力	1.15
廃木粉・プラスチック	0.010	kg	2.708	焼却処理(産廃)サービス	0.03
プラスチック炭素	0.010	kg	2.200	C ₂ O ₂ H ₈	0.02
(合計) CNF-PMMA ペレット 1 kg 製造					5.29

表 3-C-2 脱水工程 28 年度データ、生産速度 5 kg/hr、CNF10%→CNF1%

	投入量		GHG 原単位 (100 年指数, IPCC, 2007) (kg-CO ₂ e/単位)		GHG 排出量 kg-CO ₂ e
[CNF 製造]					
水	1.225	kg	0.002	純水, イオン交換膜法	0.00
パルプ	0.025	kg	0.882	パルプ	0.02
生産電力	1.000	kWh	0.554	系統電力	0.55
廃水	0.245	kg	0.020	工業排水処理サービス	0.01
廃棄木粉	0.005	kg	2.708	焼却処理(産廃)サービス	0.01
(合計) CNF2%水 1 kg 製造					0.60
[CNF 脱水]					
CNF2%水	5.556	kg	0.597		3.32
水	5.556	kg	0.002	純水, イオン交換膜法	0.01
生産電力	7.932	kWh	0.554	系統電力	4.39
廃水	10.100	kg	0.020	工業排水処理サービス	0.21
廃棄木粉	0.011	kg	2.708	焼却処理(産廃)サービス	0.03
(合計) CNF10%水 1 kg 製造					7.96
[混練]					
CNF10%水	0.101	kg	7.958		0.80
PMMA	1.000	kg	3.507	メタクリル樹脂	3.51
生産電力	1.196	kWh	0.554	系統電力	0.66
廃木粉・プラスチック	0.010	kg	2.708	焼却処理(産廃)サービス	0.03
プラスチック炭素	0.010	kg	2.200	C ₂ O ₂ H ₈	0.02
(合計) CNF-PMMA ペレット 1 kg 製造					5.02

表 3-C-3 脱水工程 28 年度データ、生産速度 3 kg/hr、CNF5%→CNF5%

	投入量		GHG 原単位 (100 年指数, IPCC, 2007) (kg-CO ₂ e/単位)		GHG 排出量 kg-CO ₂ e
[CNF 製造]					
水	1.225	kg	0.002	純水, イオン交換膜法	0.00
パルプ	0.025	kg	0.882	パルプ	0.02
生産電力	1.000	kWh	0.554	系統電力	0.55
廃水	0.245	kg	0.020	工業排水処理サービス	0.01
廃棄木粉	0.005	kg	2.708	焼却処理(産廃)サービス	0.01
(合計) CNF2%水 1 kg 製造					0.60
[CNF 脱水]					
CNF2%水	2.778	kg	0.597		1.66
水	2.778	kg	0.002	純水, イオン交換膜法	0.01
生産電力	1.983	kWh	0.554	系統電力	1.10
廃水	4.550	kg	0.020	工業排水処理サービス	0.09
廃棄木粉	0.006	kg	2.708	焼却処理(産廃)サービス	0.02
(合計) CNF5%水 1 kg 製造					2.87
[混練]					
CNF5%水	1.010	kg	2.870		2.90
PMMA	0.960	kg	3.507	メタクリル樹脂	3.37
生産電力	2.858	kWh	0.554	系統電力	1.58
廃木粉・プラスチック	0.010	kg	2.708	焼却処理(産廃)サービス	0.03
プラスチック炭素	0.010	kg	2.200	C ₂ O ₂ H ₈	0.02
(合計) CNF-PMMA ペレット 1 kg 製造					7.90

表 3-C-4 脱水工程 28 年度データ、生産速度 3 kg/hr、CNF5%→CNF2%、
試薬-2 4%

	投入量		GHG 原単位 (100 年指数, IPCC, 2007) (kg-CO ₂ e/単位)		GHG 排出量 kg-CO ₂ e
[CNF 製造]					
水	1.225	kg	0.002	純水, イオン交換膜法	0.00
パルプ	0.025	kg	0.882	パルプ	0.02
生産電力	1.000	kWh	0.554	系統電力	0.55
廃水	0.245	kg	0.020	工業排水処理サービス	0.01
廃棄木粉	0.005	kg	2.708	焼却処理(産廃)サービス	0.01
(合計) CNF2%水 1 kg 製造					0.60
[CNF 脱水]					
CNF2%水	2.778	kg	0.597		1.66
水	2.778	kg	0.002	純水, イオン交換膜法	0.01
生産電力	1.983	kWh	0.554	系統電力	1.10
廃水	4.550	kg	0.020	工業排水処理サービス	0.09
廃棄木粉	0.006	kg	2.708	焼却処理(産廃)サービス	0.02
(合計) CNF5%水 1 kg 製造					2.87
[混練]					
CNF5%水	0.389	kg	2.870		1.12
PMMA	0.952	kg	3.507	メタクリル樹脂	3.34
生産電力	2.023	kWh	0.554	系統電力	1.12
添加剤	0.039	kg	1.690	試薬 2	0.07
廃木粉・プラスチック	0.010	kg	2.708	焼却処理(産廃)サービス	0.03
プラスチック炭素	0.010	kg	2.200	C ₂ O ₂ H ₈	0.02
(合計) CNF-PMMA ペレット 1 kg 製造					5.69

表 3-C-5 脱水工程 28 年度データ、生産速度 3 kg/hr、CNF5%→CNF5%、
試薬-2 10%

	投入量		GHG 原単位 (100 年指数, IPCC, 2007) (kg-CO ₂ e/単位)		GHG 排出量 kg-CO ₂ e
[CNF 製造]					
水	1.225	kg	0.002	純水, イオン交換膜法	0.00
パルプ	0.025	kg	0.882	パルプ	0.02
生産電力	1.000	kWh	0.554	系統電力	0.55
廃水	0.245	kg	0.020	工業排水処理サービス	0.01
廃棄木粉	0.005	kg	2.708	焼却処理(産廃)サービス	0.01
(合計) CNF2%水 1 kg 製造					0.60
[CNF 脱水]					
CNF2%水	2.778	kg	0.597		1.66
水	2.778	kg	0.002	純水, イオン交換膜法	0.01
生産電力	1.983	kWh	0.554	系統電力	1.10
廃水	4.550	kg	0.020	工業排水処理サービス	0.09
廃棄木粉	0.006	kg	2.708	焼却処理(産廃)サービス	0.02
(合計) CNF5%水 1 kg 製造					2.87
[混練]					
CNF5%水	0.918	kg	2.870		2.64
PMMA	0.872	kg	3.507	メタクリル樹脂	3.06
生産電力	2.230	kWh	0.554	系統電力	1.24
添加剤	0.092	kg	1.690	試薬 2	0.16
廃木粉・プラスチック	0.010	kg	2.708	焼却処理(産廃)サービス	0.03
プラスチック炭素	0.009	kg	2.200	C ₂ O ₂ H ₈	0.02
(合計) CNF-PMMA ペレット 1 kg 製造					7.13

D. 従来技術による CNF-PMMA 製造に係る CO₂ 排出量

CNF-PMMA 1 kg のインベントリ分析結果を表 3-D-1～D-5、および図 3-5 にまとめた。各表は以下の分析条件の結果を示したものである。

3-D-1. 脱水工程エネルギーベースデータ、生産速度 3 kg/hr、CNF5%→
CNF1%

3-D-2. 脱水工程エネルギーベースデータ、生産速度 5 kg/hr、CNF10%→
CNF1%

3-D-3. 脱水工程エネルギーベースデータ、生産速度 3 kg/hr、CNF5%→
CNF5%

3-D-4. 脱水工程エネルギーベースデータ、生産速度 3 kg/hr、CNF5%→
CNF2%、試薬-2 4%

3-D-5. 脱水工程エネルギーベースデータ、生産速度 3 kg/hr、CNF5%→
CNF5%、試薬-2 10%

従来技術の評価として、脱水工程の負荷を、除去が必要な水分量に対する加熱蒸発のためのエネルギー量を電力量に換算することで評価した。

現状では、新規技術である非加熱脱水による負荷とほぼ同等となっている。

表 3-D-1 脱水工程エネルギーベースデータ、生産速度 3 kg/hr.、CNF5%→
CNF1%

	投入量		GHG 原単位 (100 年指数, IPCC, 2007) (kg-CO ₂ e/単位)		GHG 排出量 kg-CO ₂ e
[CNF 製造]					
水	1.225	kg	0.002	純水, イオン交換膜法	0.00
パルプ	0.025	kg	0.882	パルプ	0.02
生産電力	1.000	kWh	0.554	系統電力	0.55
廃水	0.245	kg	0.020	工業排水処理サービス	0.01
廃棄木粉	0.005	kg	2.708	焼却処理(産廃)サービス	0.01
(合計) CNF2%水 1 kg 製造					0.60
[CNF 脱水]					
CNF2%水	2.778	kg	0.597		1.66
水	0.000	kg	0.002	純水, イオン交換膜法	0.00
生産電力	1.542	kWh	0.554	系統電力	0.85
廃水	1.772	kg	0.020	工業排水処理サービス	0.00
廃棄木粉	0.006	kg	2.708	焼却処理(産廃)サービス	0.02
(合計) CNF5%水 1 kg 製造					2.53
[混練]					
CNF5%水	0.202	kg	2.528		0.51
PMMA	1.000	kg	3.507	メタクリル樹脂	3.51
生産電力	2.078	kWh	0.554	系統電力	1.15
廃木粉・プラスチック	0.010	kg	2.708	焼却処理(産廃)サービス	0.03
プラスチック炭素	0.010	kg	2.200	C ₂ O ₂ H ₈	0.02
(合計) CNF-PMMA ペレット 1 kg 製造					5.22

表 3-D-2 脱水工程エネルギーベースデータ、生産速度 5 kg/hr、CNF10%→
CNF1%

	投入量		GHG 原単位 (100 年指数, IPCC, 2007) (kg-CO ₂ e/単位)		GHG 排出量 kg-CO ₂ e
[CNF 製造]					
水	1.225	kg	0.002	純水, イオン交換膜法	0.00
パルプ	0.025	kg	0.882	パルプ	0.02
生産電力	1.000	kWh	0.554	系統電力	0.55
廃水	0.245	kg	0.020	工業排水処理サービス	0.01
廃棄木粉	0.005	kg	2.708	焼却処理(産廃)サービス	0.01
(合計) CNF2%水 1 kg 製造					0.60
[CNF 脱水]					
CNF2%水	5.556	kg	0.597		3.32
水	0.000	kg	0.002	純水, イオン交換膜法	0.00
生産電力	4.111	kWh	0.554	系統電力	2.28
廃水	4.544	kg	0.020	工業排水処理サービス	0.00
廃棄木粉	0.011	kg	2.708	焼却処理(産廃)サービス	0.03
(合計) CNF10%水 1 kg 製造					5.62
[混練]					
CNF10%水	0.101	kg	5.624		0.57
PMMA	1.000	kg	3.507	メタクリル樹脂	3.51
生産電力	1.196	kWh	0.554	系統電力	0.66
廃木粉・プラスチック	0.010	kg	2.708	焼却処理(産廃)サービス	0.03
プラスチック炭素	0.010	kg	2.200	C ₂ O ₂ H ₈	0.02
(合計) CNF-PMMA ペレット 1 kg 製造					4.79

表 3-D-3 脱水工程エネルギーベースデータ、生産速度 3 kg/hr.、CNF5%→
CNF5%

	投入量		GHG 原単位 (100 年指数, IPCC, 2007) (kg-CO ₂ e/単位)		GHG 排出量 kg-CO ₂ e
[CNF 製造]					
水	1.225	kg	0.002	純水, イオン交換膜法	0.00
パルプ	0.025	kg	0.882	パルプ	0.02
生産電力	1.000	kWh	0.554	系統電力	0.55
廃水	0.245	kg	0.020	工業排水処理サービス	0.01
廃棄木粉	0.005	kg	2.708	焼却処理(産廃)サービス	0.01
(合計) CNF2%水 1 kg 製造					0.60
[CNF 脱水]					
CNF2%水	2.778	kg	0.597		1.66
水	0.000	kg	0.002	純水, イオン交換膜法	0.00
生産電力	1.542	kWh	0.554	系統電力	0.85
廃水	1.772	kg	0.020	工業排水処理サービス	0.00
廃棄木粉	0.006	kg	2.708	焼却処理(産廃)サービス	0.02
(合計) CNF5%水 1 kg 製造					2.53
[混練]					
CNF5%水	1.010	kg	2.528		2.55
PMMA	0.960	kg	3.507	メタクリル樹脂	3.37
生産電力	2.858	kWh	0.554	系統電力	1.58
廃木粉・プラスチック	0.010	kg	2.708	焼却処理(産廃)サービス	0.03
プラスチック炭素	0.010	kg	2.200	C ₂ O ₂ H ₈	0.02
(合計) CNF-PMMA ペレット 1 kg 製造					7.55

表 3-D-4 脱水工程エネルギーベースデータ、生産速度 3 kg/hr、CNF5%→
CNF2%、試薬-2 4%

	投入量		GHG 原単位 (100 年指数, IPCC, 2007) (kg-CO ₂ e/単位)		GHG 排出量 kg-CO ₂ e
[CNF 製造]					
水	1.225	kg	0.002	純水, イオン交換膜法	0.00
パルプ	0.025	kg	0.882	パルプ	0.02
生産電力	1.000	kWh	0.554	系統電力	0.55
廃水	0.245	kg	0.020	工業排水処理サービス	0.01
廃棄木粉	0.005	kg	2.708	焼却処理(産廃)サービス	0.01
(合計) CNF2%水 1 kg 製造					0.60
[CNF 脱水]					
CNF2%水	2.778	kg	0.597		1.66
水	0.000	kg	0.002	純水, イオン交換膜法	0.00
生産電力	1.542	kWh	0.554	系統電力	0.85
廃水	1.772	kg	0.020	工業排水処理サービス	0.00
廃棄木粉	0.006	kg	2.708	焼却処理(産廃)サービス	0.02
(合計) CNF5%水 1 kg 製造					2.53
[混練]					
CNF5%水	0.389	kg	2.528		0.98
PMMA	0.952	kg	3.507	メタクリル樹脂	3.34
生産電力	2.023	kWh	0.554	系統電力	1.12
添加剤	0.039	kg	1.690	試薬 2	0.07
廃木粉・プラスチック	0.010	kg	2.708	焼却処理(産廃)サービス	0.03
プラスチック炭素	0.010	kg	2.200	C ₂ O ₂ H ₈	0.02
(合計) CNF-PMMA ペレット 1 kg 製造					5.55

表 3-D-5 脱水工程エネルギーベースデータ、生産速度 3 kg/hr.、CNF5%→
CNF5%、試薬-2 10%

	投入量		GHG 原単位 (100 年指数, IPCC, 2007) (kg-CO ₂ e/単位)		GHG 排出量 kg-CO ₂ e
[CNF 製造]					
水	1.225	kg	0.002	純水, イオン交換膜法	0.00
パルプ	0.025	kg	0.882	パルプ	0.02
生産電力	1.000	kWh	0.554	系統電力	0.55
廃水	0.245	kg	0.020	工業排水処理サービス	0.01
廃棄木粉	0.005	kg	2.708	焼却処理(産廃)サービス	0.01
(合計) CNF2%水 1 kg 製造					0.60
[CNF 脱水]					
CNF2%水	2.778	kg	0.597		1.66
水	0.000	kg	0.002	純水, イオン交換膜法	0.00
生産電力	1.542	kWh	0.554	系統電力	0.85
廃水	1.772	kg	0.020	工業排水処理サービス	0.00
廃棄木粉	0.006	kg	2.708	焼却処理(産廃)サービス	0.02
(合計) CNF5%水 1 kg 製造					2.53
[混練]					
CNF5%水	0.918	kg	2.528		2.32
PMMA	0.872	kg	3.507	メタクリル樹脂	3.06
生産電力	2.230	kWh	0.554	系統電力	1.24
添加剤	0.092	kg	1.690	試薬 2	0.16
廃木粉・プラスチック	0.010	kg	2.708	焼却処理(産廃)サービス	0.03
プラスチック炭素	0.009	kg	2.200	C ₂ O ₂ H ₈	0.02
(合計) CNF-PMMA ペレット 1 kg 製造					6.82

E. 新規技術条件 4 による CNF-PMMA 製造に係る CO₂ 排出量

CNF-PMMA 1 kg のインベントリ分析結果を表 3-E-1～E-5、および図 3-6 にまとめた。各表は以下の分析条件の結果を示したものである。

3-E-1. 脱水工程参考データ (処理量 2 倍ベース)、生産速度 3 kg/hr.、CNF5%
→CNF1%

3-E-2. 脱水工程参考データ (処理量 2 倍ベース)、生産速度 5 kg/hr.、CNF10%
→CNF1%

3-E-3. 脱水工程参考データ (処理量 2 倍ベース)、生産速度 3 kg/hr.、CNF5%
→CNF5%

3-E-4. 脱水工程参考データ (処理量 2 倍ベース)、生産速度 3 kg/hr.、CNF5%
→CNF2%、試薬-2 4%

3-E-5. 脱水工程参考データ (処理量 2 倍ベース)、生産速度 3 kg/hr.、CNF5%
→CNF5%、試薬-2 10%

脱水工程の電力消費量を、実現可能な範囲で抑えた場合の影響を確認した。脱水工程に投入される 1%CNF 水分散液の処理量は、現状での実施条件としては 1 時間に 36 kg であるが、その 2 倍の 72 kg になった場合の消費電力量を試算し、それを基に GHG 排出量を評価した。最終製品における CNF 含有量が小さい場合 (1%CNF) は、加熱脱水の場合と比較して優位性は得られなかったが、CNF 含有量が高く (5%, 10%) になると、新規技術 (非加熱脱水) の効果が見られることが分かった (表 E-3 : 7.34 kg-CO₂e、表 D-3 : 7.37 kg-CO₂e)。非加熱脱水工程の効率をさらに高めること、ロスを減らすことで、さらなる負荷削減効果が期待される。

表 3-E-1 脱水工程参考値（処理量 2 倍ベース）、生産速度 3 kg/hr、CNF5%
→CNF1%

	投入量		GHG 原単位 (100 年指数, IPCC, 2007) (kg-CO ₂ e/単位)		GHG 排出量 kg-CO ₂ e
[CNF 製造]					
水	1.225	kg	0.002	純水, イオン交換膜法	0.00
パルプ	0.025	kg	0.882	パルプ	0.02
生産電力	1.000	kWh	0.554	系統電力	0.55
廃水	0.245	kg	0.020	工業排水処理サービス	0.01
廃棄木粉	0.005	kg	2.708	焼却処理(産廃)サービス	0.01
(合計) CNF2%水 1 kg 製造					0.60
[CNF 脱水]					
CNF2%水	2.778	kg	0.597		1.66
水	2.778	kg	0.002	純水, イオン交換膜法	0.01
生産電力	0.992	kWh	0.554	系統電力	0.55
廃水	4.550	kg	0.020	工業排水処理サービス	0.09
廃棄木粉	0.006	kg	2.708	焼却処理(産廃)サービス	0.02
(合計) CNF5%水 1 kg 製造					2.32
[混練]					
CNF5%水	0.202	kg	2.321		0.47
PMMA	1.000	kg	3.507	メタクリル樹脂	3.51
生産電力	2.078	kWh	0.554	系統電力	1.15
廃木粉・プラスチック	0.010	kg	2.708	焼却処理(産廃)サービス	0.03
プラスチック炭素	0.010	kg	2.200	C ₂ O ₂ H ₈	0.02
(合計) CNF-PMMA ペレット 1 kg 製造					5.18

表 3-E-2 脱水工程参考値（処理量 2 倍ベース）、生産速度 5 kg/hr.、CNF10%
→CNF1%

	投入量			GHG 原単位 (100 年指数, IPCC, 2007) (kg-CO ₂ e/単位)	GHG 排出量 kg-CO ₂ e
[CNF 製造]					
水	1.225	kg	0.002	純水, イオン交換膜法	0.00
パルプ	0.025	kg	0.882	パルプ	0.02
生産電力	1.000	kWh	0.554	系統電力	0.55
廃水	0.245	kg	0.020	工業排水処理サービス	0.01
廃棄木粉	0.005	kg	2.708	焼却処理(産廃)サービス	0.01
(合計) CNF2%水 1 kg 製造					0.60
[CNF 脱水]					
CNF2%水	5.556	kg	0.597		3.32
水	5.556	kg	0.002	純水, イオン交換膜法	0.01
生産電力	3.966	kWh	0.554	系統電力	2.20
廃水	10.100	kg	0.020	工業排水処理サービス	0.21
廃棄木粉	0.011	kg	2.708	焼却処理(産廃)サービス	0.03
(合計) CNF10%水 1 kg 製造					5.76
[混練]					
CNF10%水	0.101	kg	5.761		0.58
PMMA	1.000	kg	3.507	メタクリル樹脂	3.51
生産電力	1.196	kWh	0.554	系統電力	0.66
廃木粉・プラスチック	0.010	kg	2.708	焼却処理(産廃)サービス	0.03
プラスチック炭素	0.010	kg	2.200	C ₂ O ₂ H ₈	0.02
(合計) CNF-PMMA ペレット 1 kg 製造					4.80

表 3-E-3 脱水工程参考データ（処理量 2 倍ベース）、生産速度 3 kg/hr.、
CNF5%→CNF5%

	投入量		GHG 原単位 (100 年指数, IPCC, 2007) (kg-CO ₂ e/単位)		GHG 排出量 kg-CO ₂ e
[CNF 製造]					
水	1.225	kg	0.002	純水, イオン交換膜法	0.00
パルプ	0.025	kg	0.882	パルプ	0.02
生産電力	1.000	kWh	0.554	系統電力	0.55
廃水	0.245	kg	0.020	工業排水処理サービス	0.01
廃棄木粉	0.005	kg	2.708	焼却処理(産廃)サービス	0.01
(合計) CNF2%水 1 kg 製造					0.60
[CNF 脱水]					
CNF2%水	2.778	kg	0.597		1.66
水	2.778	kg	0.002	純水, イオン交換膜法	0.01
生産電力	0.992	kWh	0.554	系統電力	0.55
廃水	4.550	kg	0.020	工業排水処理サービス	0.09
廃棄木粉	0.006	kg	2.708	焼却処理(産廃)サービス	0.02
(合計) CNF5%水 1 kg 製造					2.32
[混練]					
CNF5%水	1.010	kg	2.321		2.34
PMMA	0.960	kg	3.507	メタクリル樹脂	3.37
生産電力	2.858	kWh	0.554	系統電力	1.58
廃木粉・プラスチック	0.010	kg	2.708	焼却処理(産廃)サービス	0.03
プラスチック炭素	0.010	kg	2.200	C ₂ O ₂ H ₈	0.02
(合計) CNF-PMMA ペレット 1 kg 製造					7.34

表 3-E-4 脱水工程参考値（処理量 2 倍ベース）、生産速度 3 kg/hr.、CNF5%
→CNF2%、試薬-2 4%

	投入量		GHG 原単位 (100 年指数, IPCC, 2007) (kg-CO ₂ e/単位)		GHG 排出量 kg-CO ₂ e
[CNF 製造]					
水	1.225	kg	0.002	純水, イオン交換膜法	0.00
パルプ	0.025	kg	0.882	パルプ	0.02
生産電力	1.000	kWh	0.554	系統電力	0.55
廃水	0.245	kg	0.020	工業排水処理サービス	0.01
廃棄木粉	0.005	kg	2.708	焼却処理(産廃)サービス	0.01
(合計) CNF2%水 1 kg 製造					0.60
[CNF 脱水]					
CNF2%水	2.778	kg	0.597		1.66
水	2.778	kg	0.002	純水, イオン交換膜法	0.01
生産電力	0.992	kWh	0.554	系統電力	0.55
廃水	4.550	kg	0.020	工業排水処理サービス	0.09
廃棄木粉	0.006	kg	2.708	焼却処理(産廃)サービス	0.02
(合計) CNF5%水 1 kg 製造					2.32
[混練]					
CNF5%水	0.389	kg	2.321		0.90
PMMA	0.952	kg	3.507	メタクリル樹脂	3.34
生産電力	2.023	kWh	0.554	系統電力	1.12
添加剤	0.039	kg	1.690	試薬 2	0.07
廃木粉・プラスチック	0.010	kg	2.708	焼却処理(産廃)サービス	0.03
プラスチック炭素	0.010	kg	2.200	C ₂ O ₂ H ₈	0.02
(合計) CNF-PMMA ペレット 1 kg 製造					5.47

表 3-E-5 脱水工程参考値（処理量 2 倍ベース）、生産速度 3 kg/hr.CNF5%→
CNF5%、試薬-2 10%

	投入量		GHG 原単位 (100 年指数, IPCC, 2007) (kg-CO ₂ e/単位)		GHG 排出量 kg-CO ₂ e
[CNF 製造]					
水	1.225	kg	0.002	純水, イオン交換膜法	0.00
パルプ	0.025	kg	0.882	パルプ	0.02
生産電力	1.000	kWh	0.554	系統電力	0.55
廃水	0.245	kg	0.020	工業排水処理サービス	0.01
廃棄木粉	0.005	kg	2.708	焼却処理(産廃)サービス	0.01
(合計) CNF2%水 1 kg 製造					0.60
[CNF 脱水]					
CNF2%水	2.778	kg	0.597		1.66
水	2.778	kg	0.002	純水, イオン交換膜法	0.01
生産電力	0.992	kWh	0.554	系統電力	0.55
廃水	4.550	kg	0.020	工業排水処理サービス	0.09
廃棄木粉	0.006	kg	2.708	焼却処理(産廃)サービス	0.02
(合計) CNF5%水 1 kg 製造					2.32
[混練]					
CNF5%水	0.918	kg	2.321		2.13
PMMA	0.872	kg	3.507	メタクリル樹脂	3.06
生産電力	2.230	kWh	0.554	系統電力	1.24
添加剤	0.092	kg	1.690	試薬 2	0.16
廃木粉・プラスチック	0.010	kg	2.708	焼却処理(産廃)サービス	0.03
プラスチック炭素	0.009	kg	2.200	C ₂ O ₂ H ₈	0.02
(合計) CNF-PMMA ペレット 1 kg 製造					6.63

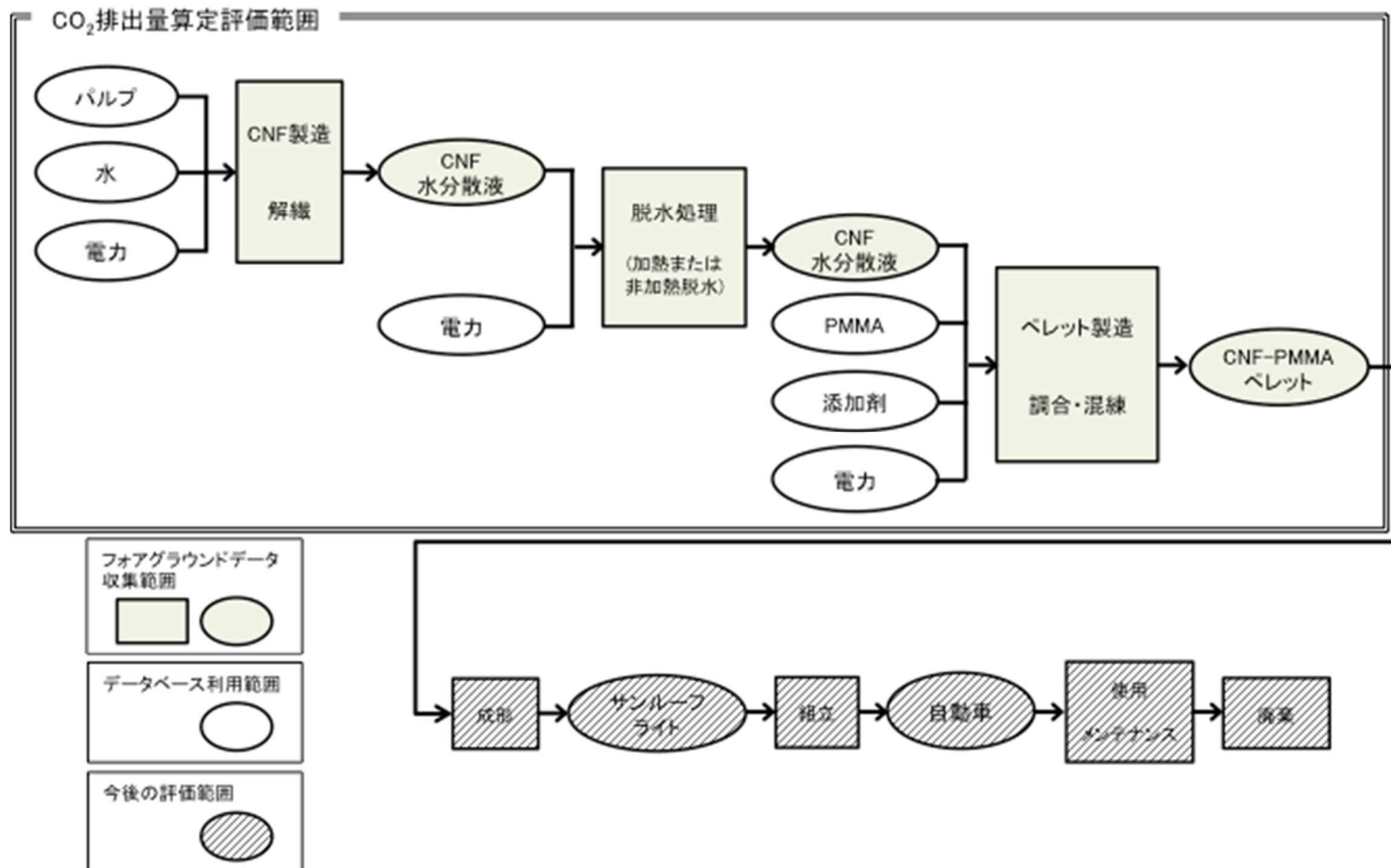


図 3-1 CNF-PMMA の評価範囲（システム境界）とフォアグラウンドデータ収集範囲

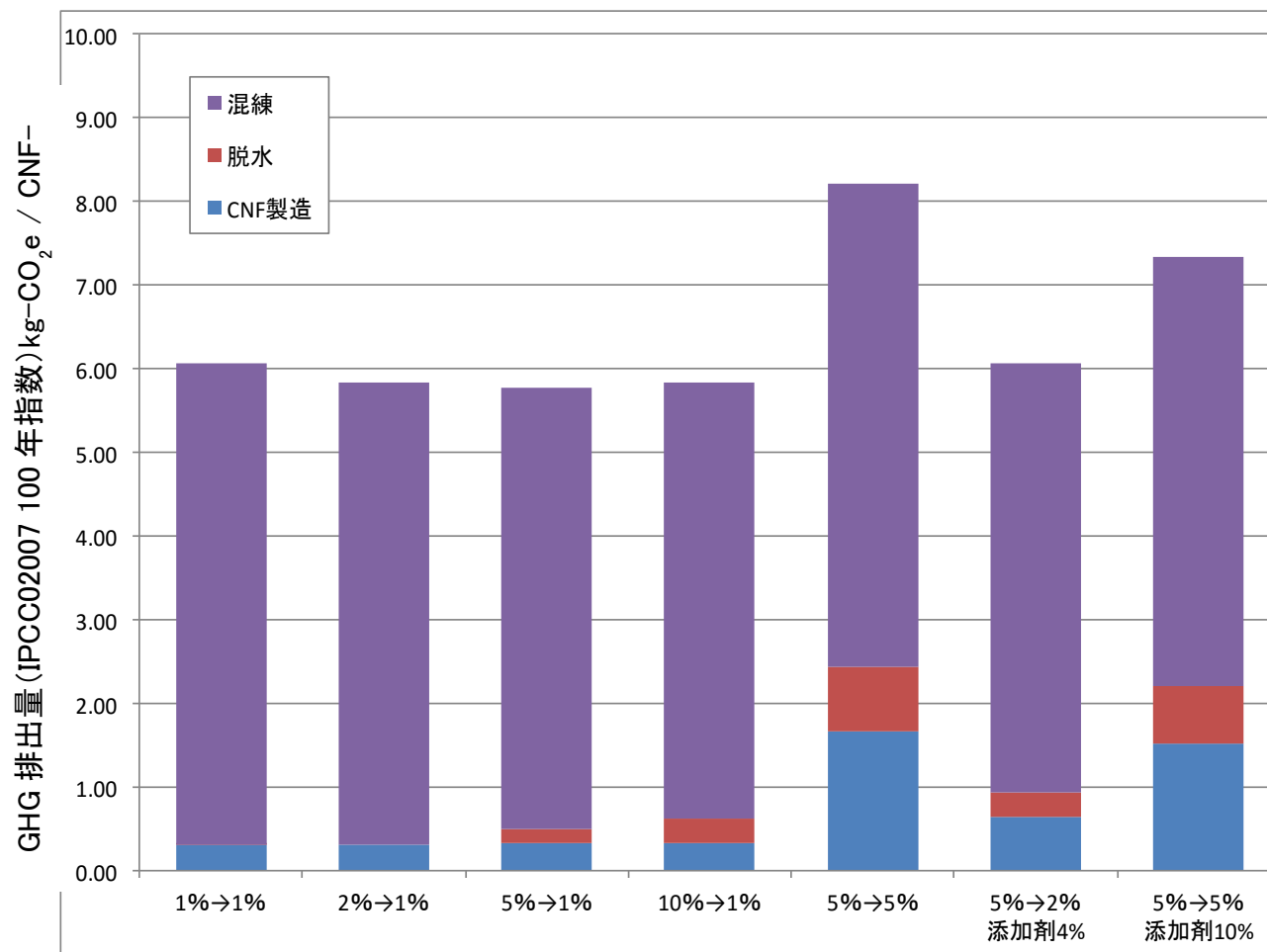


図 3-2 CNF-PMMA 1 kg 製造に係る GHG 排出量
[脱水工程データ:27 年度, 混練工程生産速度:2 kg/hr]

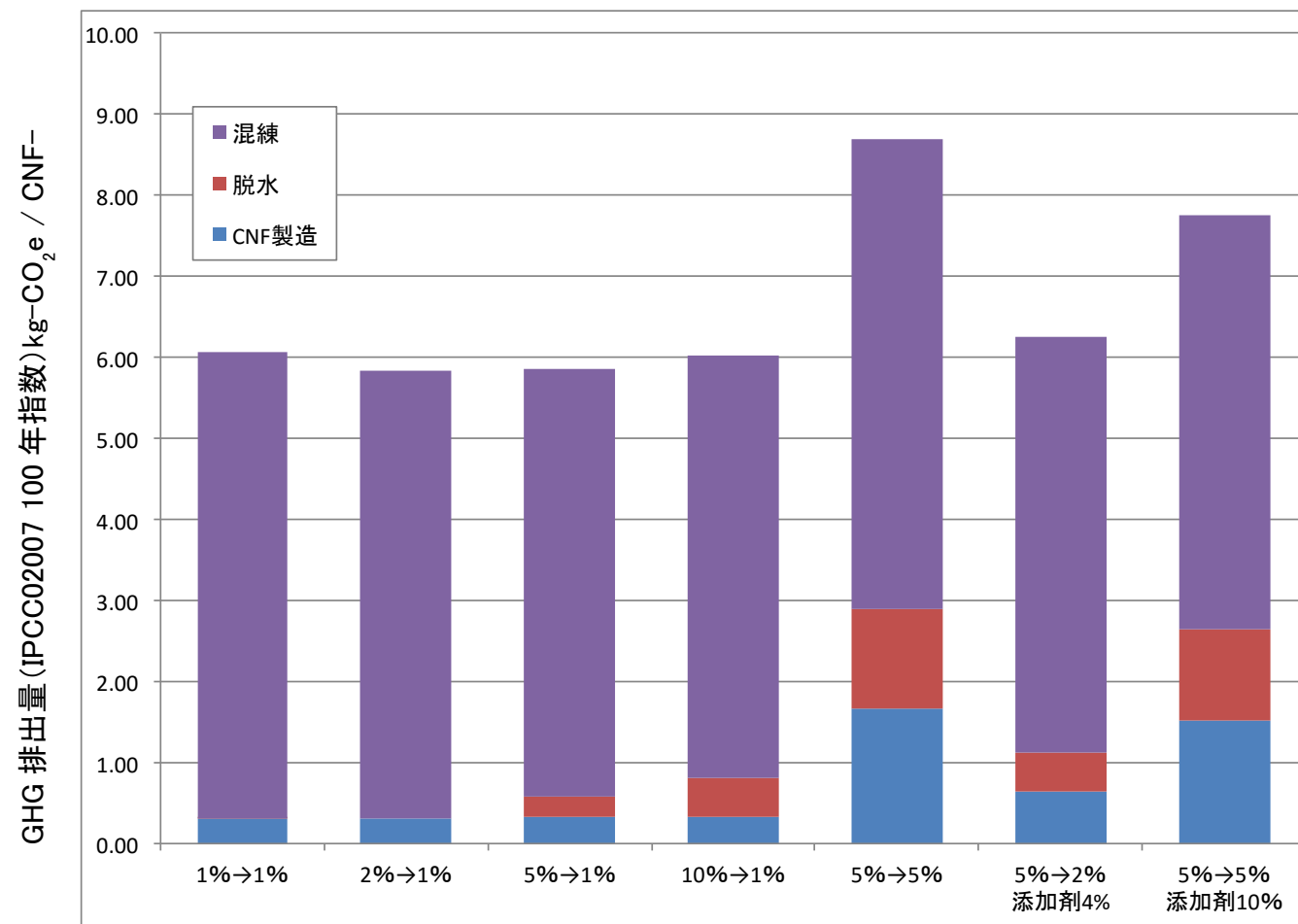


図 3-3 CNF-PMMA 1 kg 製造に係る GHG 排出量
 [脱水工程データ：28 年度，混練工程生産速度：2 kg/hr]

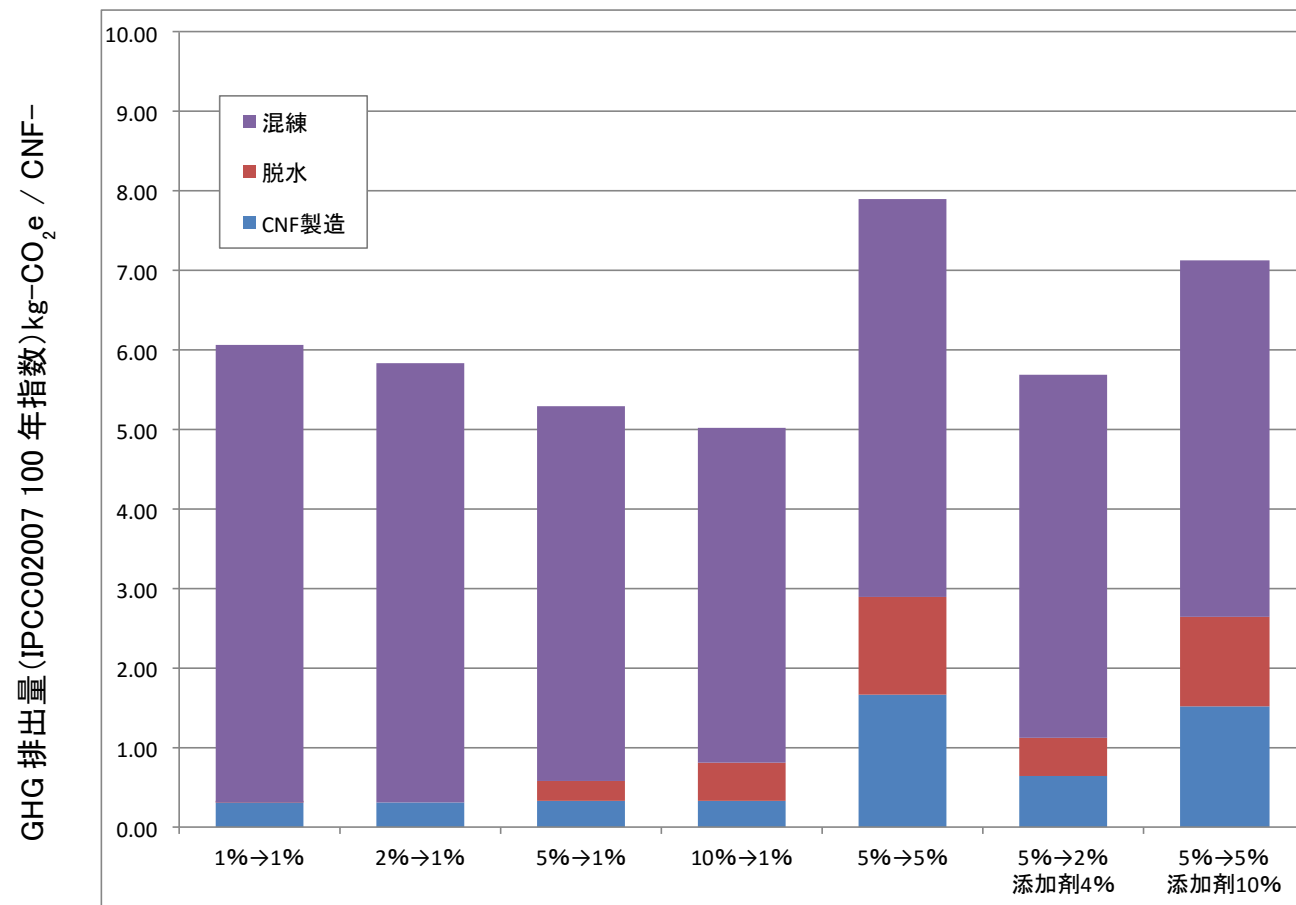


図 3-4 CNF-PMMA 1 kg 製造に係る GHG 排出量

[脱水工程データ：28 年度，混練工程生産速度：2 kg/hr（1, 2%CNF），3 kg/hr（5%CNF），5 kg/hr（10%CNF）]

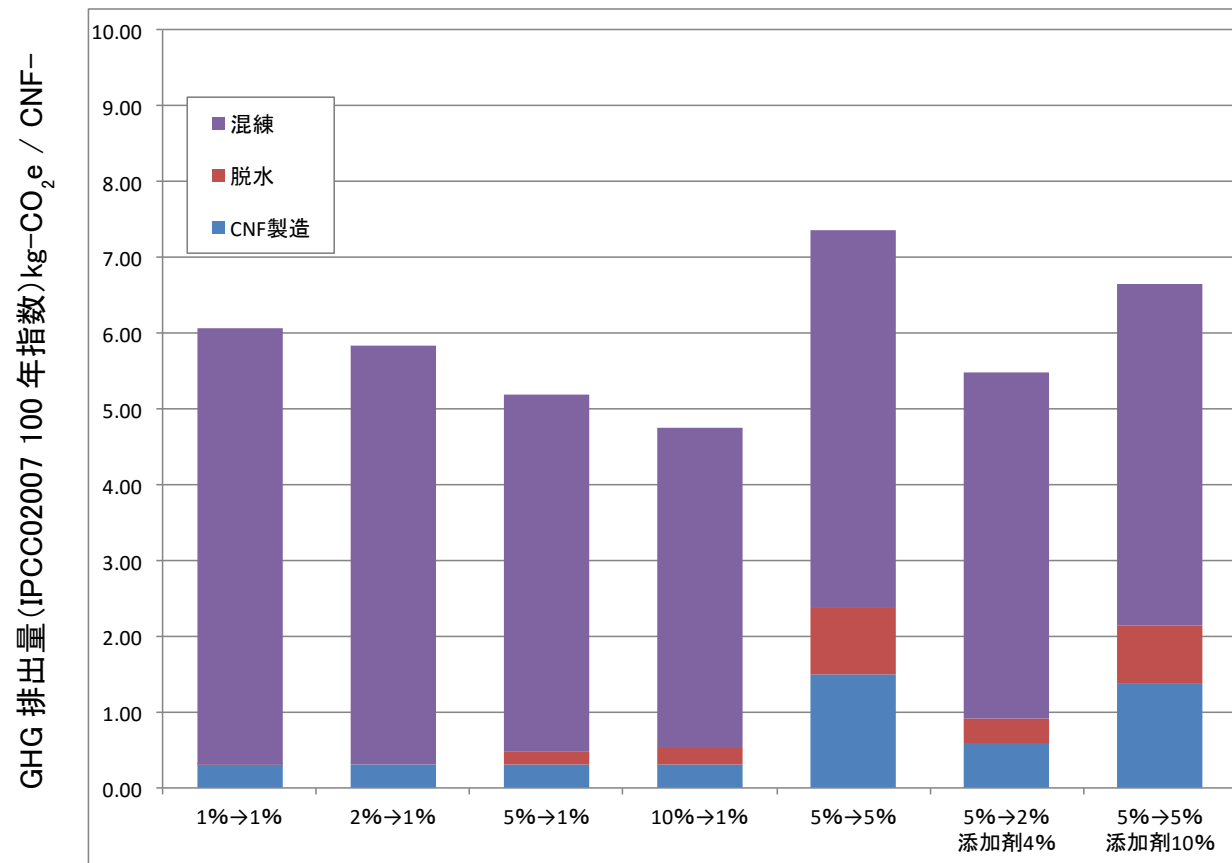


図 3-5 CNF-PMMA 1 kg 製造に係る GHG 排出量

[脱水工程データ：加熱脱水エネルギーベース, 混練工程生産速度：2 kg/hr (1,2%CNF) , 3 kg/hr (5%CNF) , 5 kg/hr (10%CNF)]

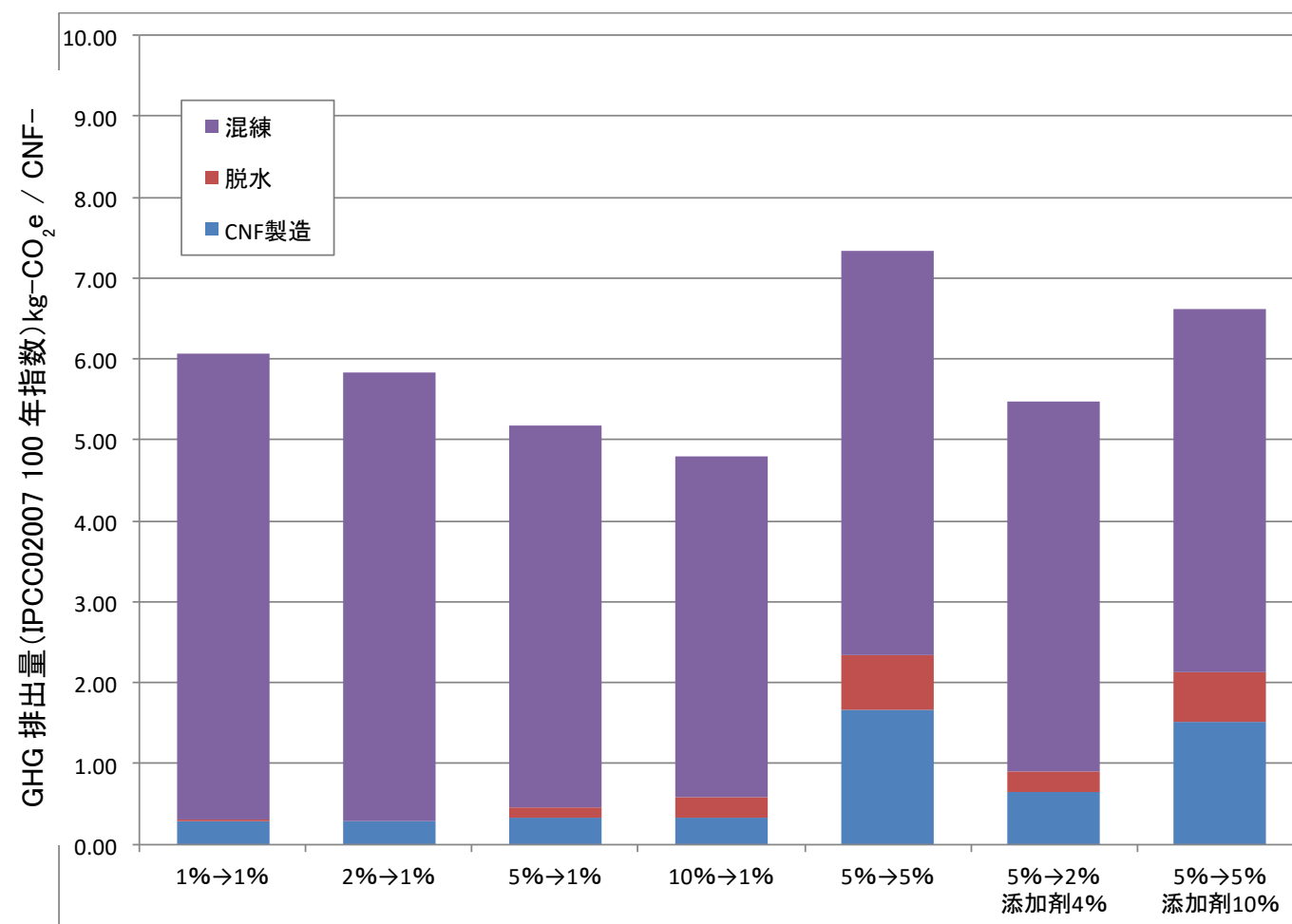


図 3-6 CNF-PMMA 1 kg 製造に係る GHG 排出量

[脱水工程データ：28 年度の処理量 2 倍ベース, 混練工程生産速度：2 kg/hr. (1, 2%CNF), 3 kg/hr. (5%CNF), 5 kg/hr. (10%CNF)]

3-2-1 目的

新規技術による CNF 添加 PMMA 製造に係る CO₂ 排出量を算出し、既存の自動車用樹脂部品を CNF 添加 PMMA 部品で代替した際の CO₂ 削減効果を評価する。

3-2-2 方法

3-2-2-1 評価範囲と評価条件

自動車部品のライフサイクル評価範囲（システム境界）を図 3-7 に示す。

評価範囲は、自動車部品を製造する工程、自動車が走行する工程とする。なお、今回は既存の樹脂部品の一部を新規素材で代替することの影響を評価することが目的であるため、自動車部品としては、対象とするポリカーボネート部品のみを考慮し、その他の部品については影響がないと想定して評価範囲に含めない。また、自動車の組立工程についても、新規素材に代替されることにより変化はないと想定し、評価範囲から除く。

走行工程に関しては、既存部品が新規部品に代替されることで見込まれる軽量化分を考慮し、走行時の燃費が変化することによる影響を評価する。

機能単位は、乗用車 1 台の 10 年間の走行とする。

3-2-2-2 データ収集

以下のプロセスについて、データ収集を行った。

- ・ 自動車（軽・小型・普通乗用車）の 1 台あたりの平均重量
「乗用車（自家用・営業用）の大型化（重量化）の推移（環境省）」
- ・ ガソリン乗用車の JC08 モード燃費平均値（平成 24 年度、国土交通省）
- ・ 車両重量あたりの燃費変化量（10%軽量化あたり燃費変化率）
「自動車アルミ化に関するライフサイクルアセスメント、（平成 17 年産総研）」
- ・ 1 台あたりのライフサイクル走行距離
1 年あたり 10,000 km、つまりライフサイクルあたりでは 100,000 km とした。

3-2-2-3 原単位

ガソリンの製造、および使用に係る GHG 排出量原単位、およびポリカーボネート製造に係る GHG 排出原単位については、LCA ソフト「MiLCA」を用いて、データベース「IDEA」から求めて使用した。なお、GHG 排出量を算出する際の特性化係数には、IPCC の第 4 次報告書（2007 年）の地球温暖化係数（100 年値）を使用した。

3-2-3 結果

表 3-2-1 に、評価に用いたデータを示す。CNF-PMMA1 kg 製造に係る GHG 排出量は、第 1 章の表 3-C-4 で算出した値を用いた。

評価は、自動車 1 台における代替対象材料の使用量 10 kg に対し、これが CNF-PMMA に代替された場合の重量変化を、-10%と設定し、軽量化分による燃費向上率から、ライフサイクルにおけるガソリン使用量の変化を求めることを行った。

表 3-2-1 自動車のライフサイクル CO₂ 排出量評価用データ

	データ	備考
燃費	19.4 km/L	ガソリン乗用車の JC08 モード燃費平均値（平成 24 年度，国土交通省）
10%軽量化あたり燃費変化率	6 %	自動車アルミ化に関するライフサイクルアセスメント（平成 17 年，産総研）
乗用車重量	1,348 kg/台	乗用車（自家用・営業用）の大型化（重量化）の推移（環境省）
自動車 1 台に対する対象とする従来材料の使用量	10 kg	
代替率	10 %	
強度アップによる部材軽量化	10 %	
1 台あたりの重量減少	0.0074 %	
1 台あたり走行距離	100,000 km/10 年	
排出係数（GHG 排出量：IPCC2007,100 年係数）		
ガソリン	2.81 kg-CO ₂ e/L	IDEA ガソリン （原料・製造・使用）
ポリカーボネート	7.85 kg-CO ₂ e/kg	IDEA ポリカーボネート ホスゲン法 （原料・製造）
CNF-PMMA	5.69 kg-CO ₂ e/kg	算定排出係数 （原料・製造）

表 3-2-2 に、自動車 1 台あたりのライフサイクル CO₂ 排出量の評価結果を示す。

CNF-PMMA が従来材料から 10%軽量化できた場合、ライフサイクル（10 年）におけるガソリン消費量は、0.23 L 削減される。ライフサイクル CO₂ 排出量は、3.38 kg-CO₂e の削減となり、1 年あたりでは 0.34 kg-CO₂e の削減となる。

表 3-2-2 自動車のライフサイクル CO₂ 排出量評価結果

	燃費 (Km/L)	ガソリン量 (L)	CO ₂ 排出量 [原料・製造・廃棄] (kg-CO ₂ e)	CO ₂ 排出量 [使用] (kg-CO ₂ e)	CO ₂ 排出量 [全体] (kg-CO ₂ e)	1 年あたり CO ₂ 排出量 [全体] (kg-CO ₂ e)
従来材料	19.40	5154.64	7.85	14,494.85	14,502.70	1,450.27
新規材料	19.40	5154.41	5.12	14,494.20	14,499.32	1,449.93
削減量/改善量		0.23	2.73	0.65	3.38	0.34

日本全体の影響をみるために、CNF-PMMA により代替された自動車の市場導入量（表 3-2-3）による推計を行った結果を表 3-2-4 に示す。市場導入量を、2020 年に現販売量の 5%、2025 年に 30%とすると、2020 年には 71 kg-CO₂e、2025 年には 1,490 kg-CO₂e の削減が見込まれる結果となった。

表 3-2-3 市場導入量設定値（千台）

軽・小型・普通乗用車 年間販売台数	4,200
市場導入量	
2020 年（5%）	210
2021 年（10%）	420
2022 年（15%）	630
2023 年（20%）	840
2024 年（25%）	1,050
2025 年（30%）	1,260
市場普及台数（2025 年）	4,410

表 3-2-4 日本における CO₂ 排出量削減量

(kg-CO₂e/年)

	2020 年	2025 年
CNF-PMMA 車	71	1,490

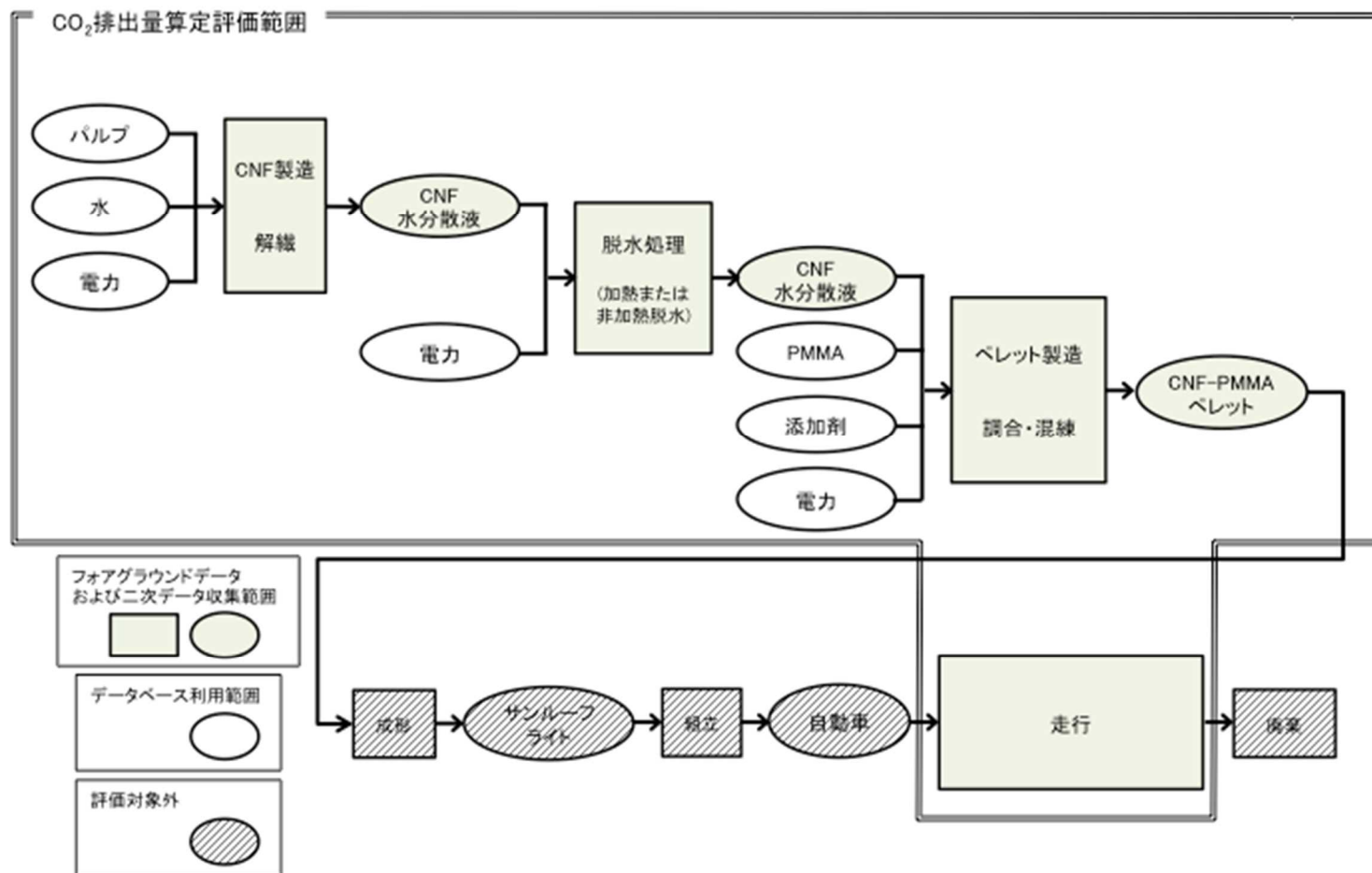


図 3-7 CNF-PMMA 自動車部品のライフサイクル評価範囲（システム境界）とフォアグラウンドデータ収集範囲

3-3 今後の展望

新規脱水技術を用いた CNF 添加 PMMA 製造に係る CO₂ 排出量を算出し、従来の脱水技術により製造した場合と比較した。また、自動車用樹脂部品を新規技術による CNF 添加 PMMA 部品で代替した際の CO₂ 削減効果について評価を行った。

得られた結果は、以下の通りである。

- ・ 3 つの工程（CNF 製造工程、CNF 水分散液脱水工程、CNF と PMMA との混練工程）からなる CNF-PMMA の製造における CO₂ 排出量のうち、混練工程の寄与率が最も高く、全体の 70-90%を占める。
- ・ 混練工程に投入する CNF 水分散液の CNF 濃度を上げる（水分量を減らす）と、混練工程のエネルギー消費量が減少し、脱水による負荷が加算されるにも関わらず、全体の CO₂ 排出量は減少する傾向にある。
- ・ 混練の際に添加剤を加えることで、混練工程の負荷を軽減することができる。
- ・ 混練工程の生産速度を上げると、全体の CO₂ 排出量は有意に減少する。
- ・ 現状の新規脱水技術の条件では、従来の脱水技術による場合と同等の負荷を示すにとどまるが、新規脱水技術の条件をさらに効率化することで、脱水工程の負荷を従来技術より軽減することが可能である。
- ・ 自動車樹脂部品の代替による CO₂ 削減効果に関しては、現状では、代替分の重量割合、代替率、および新規素材の軽量化率の設定が小さいため、効果が見えにくい結果となっている。

これらの結果をふまえ、今後の展望としては以下が挙げられる。

1. 新規脱水技術、混練技術のさらなる効率化による、CNF-PMMA の CO₂ 排出量のさらなる低減化の検討
2. CNF-PMMA の強度向上による材料使用量低減に伴う CO₂ 排出量削減の検討
3. ポリカーボネート代替に伴う低炭素化への寄与の検討
4. 自動車以外の用途への拡大とその低炭素化への寄与の検討

（４）CNF の利活用に関する現況の調査の実施（愛媛大学）

4-1 調査目的

CNF の製造、応用に関する技術の進展は速いので、現状の CNF の利活用における技術動向を調査し、その結果を速やかにフィードバックすることにより事業の円滑な推進を図ることを目的とした。

本調査では、CNF の製造において、水溶媒中に分散した CNF の水分除去技術および CNF 混練技術に関する技術動向を調査した。

4-2 調査の背景

CNF は、軽量、高弾性、高強度、低線熱膨張性を有しており、繊維径が光の波長よりも短く素材そのものにほとんど可視光吸収が無いため、光散乱・吸収が抑制されるという性質を有している。このため、近年、CNF は、様々な分野における製品への利用が検討されてきている。

CNF とは、植物起因のセルロースをナノ化处理(機械的解繊や TEMPO 触媒酸化など)した、繊維幅が数～数十 nm、繊維長が数百 nm の微小繊維であり、非常に親水性が高い物質である。一般的に、CNF は、ナノ化处理して製造されるが、上述したように CNF は非常に親水性が高いので、製造時における水分との分離が困難とされている。

このため、製造された CNF は、水溶媒中に分散した状態で一般的に提供される。CNF を製造現場から加工工場に運搬するには、大量の水分とともに CNF を運搬しなければならない、多大な運送コストとエネルギーが必要となる。搬送先の製造現場では、搬送された水溶液状態の CNF から水分を除去して、CNF の水分量を減少させた上で加工する必要がある。

以上のごとく、CNF は、優れた性質を有していることから様々な利活用が想定されているにも関わらず、上述したような水分除去が技術上の問題となっており、かかる問題を解決することができれば、これまで以上の速さで製品展開が見込まれる。

一方、照明材、光学材料、雑貨等の素材として、アクリルやメタクリルポリマー（PMMA）が使用されている。このアクリルや PMMA は、硬度に優れ、耐候性と透明性を兼備した材料である。しかし、物理的強度などではポリカーボネート（PC）等の他の透明性ポリマーに対して低いので、使用する用途が限定されている。

このため、上述した高強度等の特性を有する CNF をアクリル等の樹脂と適切に混合することができれば、その透明性を維持しつつ物理的強度を増大できる可能性があるので、新たな機能を有する製品展開が見込まれる。

4-3 現在の技術

CNF を加熱乾燥して脱水すれば、CNF の水分を減少させることができる可能性はある。しかし、加熱乾燥のために多大なエネルギーを必要とするし、加熱乾燥の段階で CNF が変質してしまう可能性もある。

一方、CNF の懸濁液を吸引濾過して CNF シートを製造する方法も検討されている。しかし、濾過に非常に時間がかかり脱水効率が悪い。

混練技術に関して、従来、浸漬法による複合化ではあるが、CNF とアクリルやメタクリルポリマー (PMMA) 等のポリマー原料を複合利用することによって透明材料を構築した例がある。

しかし、上述したポリマー原料は、高疎水性、高粘性のものも多い。このため、ポリマー原料と水を多く含む親水性の CNF を混合して均一分散させることは難しい。均一に分散させようとすれば、強い機械的剪断力を加えて混練しなければならず、多大なエネルギーが必要になる。CNF を疎水性に改質すれば均一分散はさせやすくなるが、改質のために試薬を使用しなければならず、改質に多大なコストが発生するなどの問題が存在するというのが実情である。

4-4 技術動向

4-4-1 脱水技術

(1) 特許出願に基づく技術動向

ア) CNF の水分除去技術について

CNF から水分を除去する技術を把握するために、特許出願件数の動向を確認した。

検索エンジンには、JP-NET を使用し、1995 年～2017 年の出願を対象として、以下の検索で絞り込みを行った。

表 4-1 検索に利用した CNF 関連キーワード

セルロースナノファイバーから水分を除去する技術	
検索式	
1	VTC=セルロース<5W>ナノファイバ
2	VTC=セルロース<5W>マイクロファイバ
3	VTC=セルロース<3W>マイクロファイバ
4	VTC=セルロース<5W>マイクロフィブリル
5	VTC=セルロース<5W>微細繊維
6	VTC=セルロース<5W>ミクロ繊維
7	VTC=セルロース<5W>マイクロ繊維
8	VTC=セルロース<5W>ナノ繊維
9	VTC=セルロースナノ<5W>粒子
10	VTC=ナノフィブリル<5W>セルロース
11	VTC=マイクロフィブリル<5W>セルロース
12	VTC=微細繊維<5W>セルロース
13	VTC=微小繊維<5W>セルロース
14	VTC=ナノ<5W>セルロース
15	VTC=マイクロ繊維<5W>セルロース
16	HTC=ナノセルロース+ミクロセルロース+マイクロセルロース+微細植物繊維
17	HTC=セルロース微小繊維+セルロースナノ繊維
18	HTC=微細セルロース繊維+微小セルロース繊維+微細セルロースファイバ+微細化セルロース繊維+微細化セルロースファイバ
19	HTC=セルロースナノフィブリル+マイクロファイバーセルロース
20	T=#1-#19
21	AD=1995*-
22	PAD=1995*-
23	T=#21+#22 // 1995年以降の出願
24	T=#20 // セルロースナノファイバ 全体
25	HTC=脱水+乾燥+水分除去+水分除外+水除去+水分離+水除外+水分を除去+水分を分離+水分を除外+水分の除去+水分の分離+水分の除外
26	HTC=液体を除去+液体を分離+液体を除外+液体の除去+液体の分離+液体の除外+液体除去+液体除外+液体分離
27	HTC=濃縮+抄紙
28	T=#24&(#25+#26+#27) // 分析対象1:セルロースナノファイバーから水分を除去する技術
合計 466件 (出願ベース・公開優先)	

イ) CNF から水分を除去する技術に関する特許出願件数の動向

図 4-1 に示したように近年、CNF から水分を除去する技術に関する特許出願は、増加傾向にあることが確認できる。

なお、2015 年以降に出願件数が減少しているのは、公開期間が到来していない出願が存在するからと推測される。

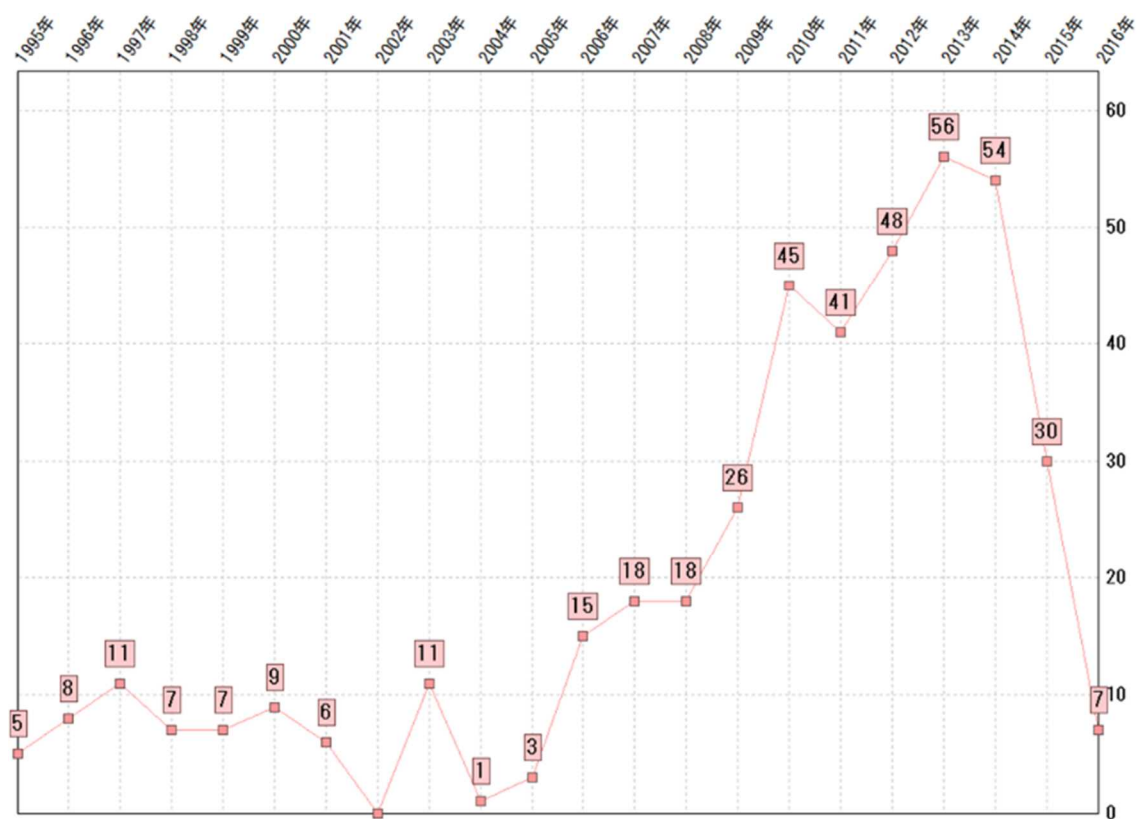


図 4-1 CNF から水分を除去する技術に関する特許出願件数の推移

ウ) ナノファイバーのサイズによる区分

図 4-2 は繊維をサイズ別（ナノ、マイクロ）で区分した際のグラフである。
ナノレベルのサイズに関する開発が増加傾向にあることが確認できる。

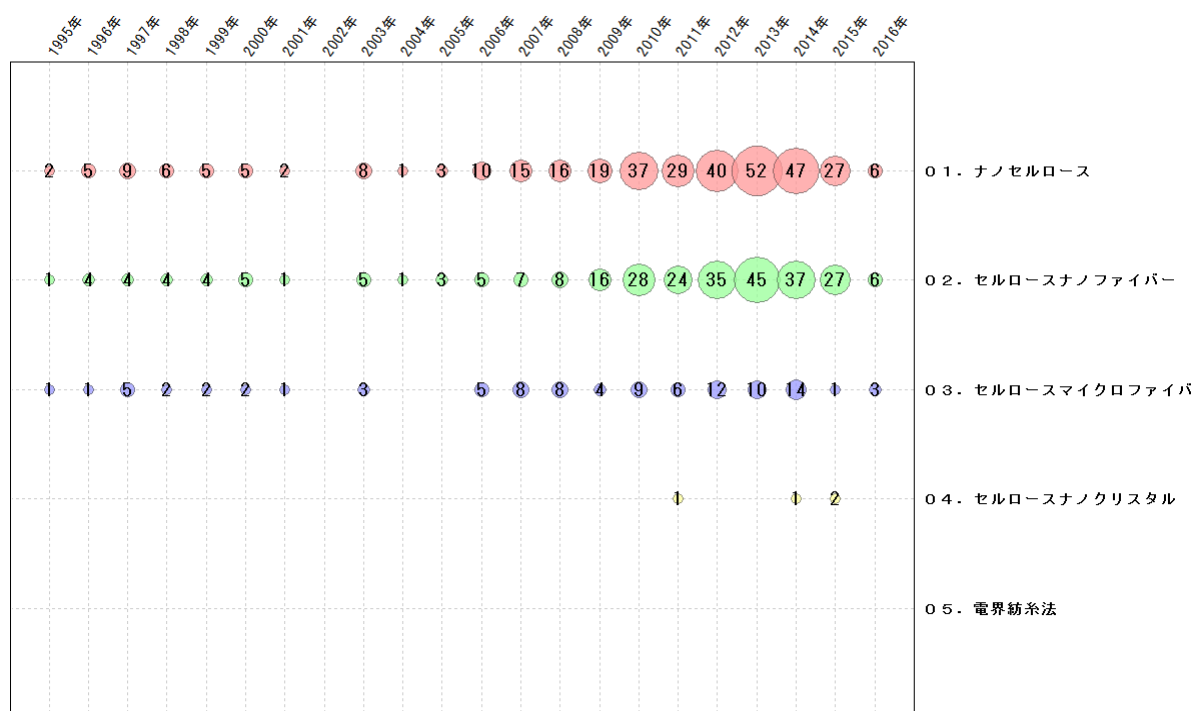


図 4-2 繊維サイズ別（ナノ、マイクロ）の年次ごとの開発件数

エ) 工程による区分

図 4-3 のグラフは、工程で区分した際のものであり、かかる工程のうち、乾燥工程における詳細カテゴリを区分したものが図 4-4 のグラフである。

近年の出願では、水分を除去する工程として乾燥工程を採用する傾向にあることが確認できる。

また、凍結乾燥および加熱乾燥が多く採用されていることが確認できる。

とくに、近年では、乾燥工程として超臨界乾燥が活用され始めていることが確認できる。

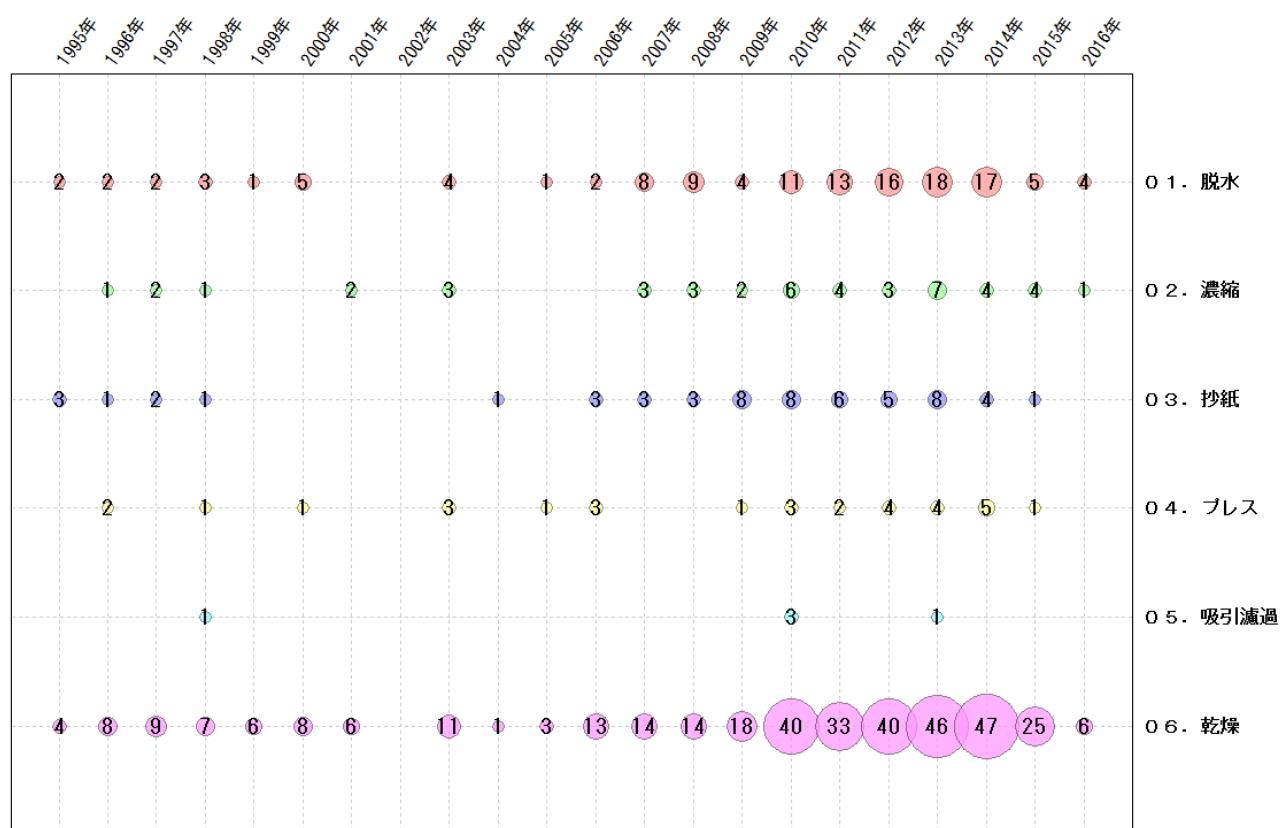


図 4-3 脱水工程別の年次ごとの開発件数

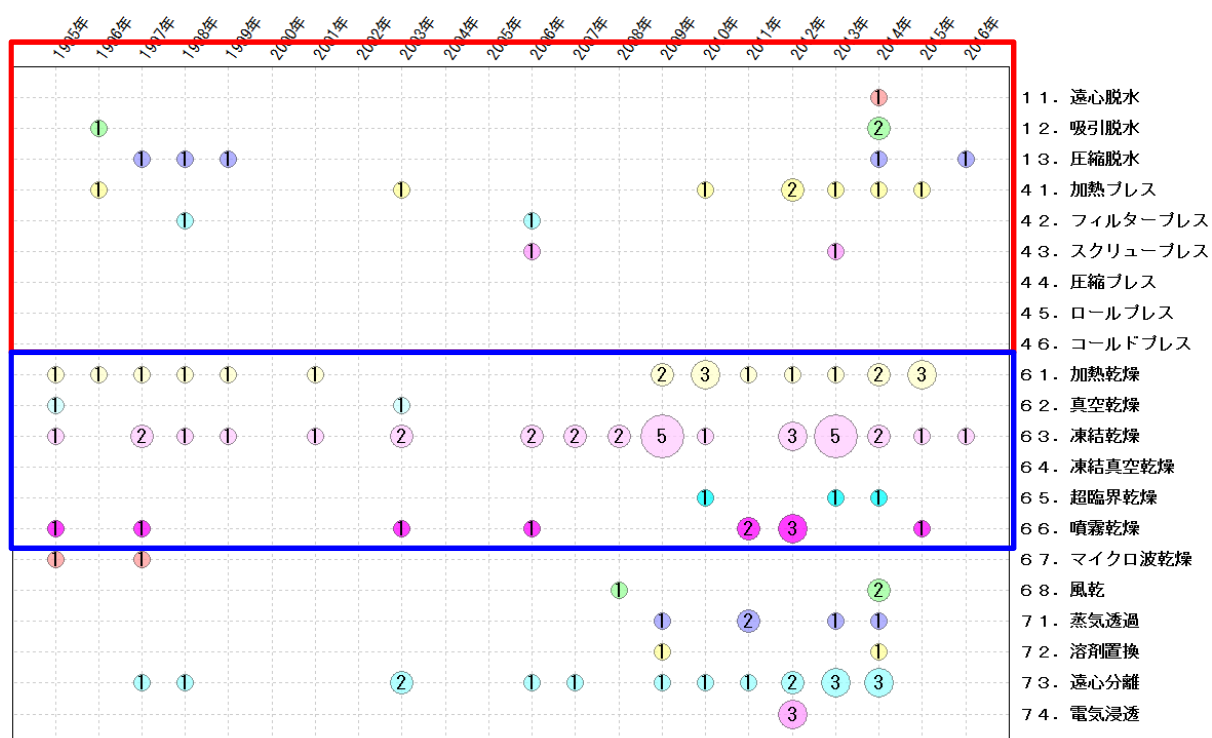


図 4-4 乾燥工程別の年次ごとの開発件数

オ) 使用器具について

図 4-5 は各工程に使用される主要器具で区分したグラフである。

近年の出願から、水分除去工程には主要器具として抄紙機およびワイヤーが比較的多く採用されていることが確認できる。

また、2008 年以前には、採用されていなかった吸水フェルトや給水紙などの吸水紙関連を水分除去工程に採用した出願が近年増加しつつあることから、かかる技術が今後発展する可能性がある。



図 4-5 乾燥工程での器具別の年次ごとの開発件数

カ) 製造物（成果物）について

図 4-6 は製造物（成果物）で区分したグラフである。

製造物（成果物）として複合材や成形品の開発は、2006 年ごろから継続して行われていることが確認できる。

また、2010 年からは、製造物（成果物）としては CNF を利用した液や紙、シートなどの開発が継続的に行われていることが確認できる。

とくに、近年（2014 年以降）では、シート、紙、多孔体、樹脂、液などの形態に関する開発が進展しているものと推察される。

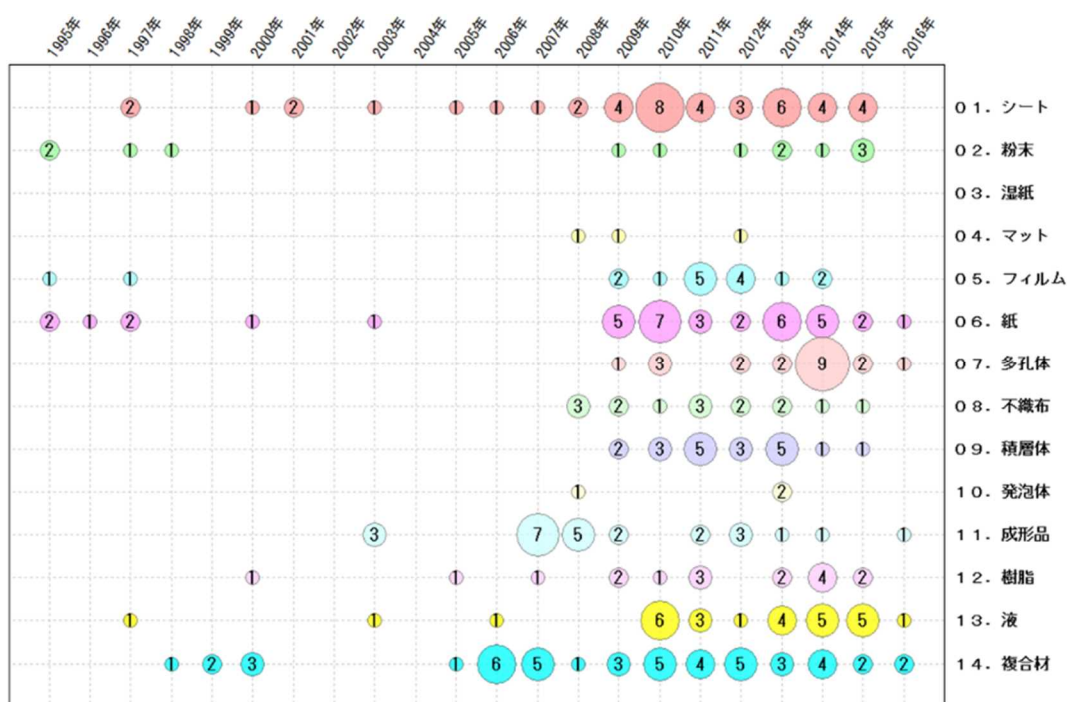


図 4-6 製造物（成果物）の年次ごとの開発件数

キ) 製造物（成果物）の用途について

図 4-7 は製造物（成果物）の用途で区分したグラフである。

製造物（成果物）の用途としては、電池系、基板系、塗料、インク、化粧品、包装材料、増粘剤などが開発対象となっていることが確認できる。



図 4-7 製造物（成果物）の年次ごとの開発件数

（２）Web 上の技術動向

ア) 検索エンジンとして Google を使用して、検索式（セルローズナノファイバー×（シート＋パウダー＋粉末））で絞り込みを行った。

イ) 製造物（成果物）の用途

図 4-8 で示したように Web 上では、CNF を用いた製造物（成果物）の用途としては、オムツ、ディスプレイ、化粧品が多い傾向にある。

一方、企業・大学別のグラフ（図 4-9）からは、オムツに関しては日本製紙、ディスプレイに関しては王子ホールディングスが注力していることが推察される。

なお、王子ホールディングスは、透明連続シートを生産する設備を導入し、かかるシートを 2017 年後半から量産することを 2016 年 10 月 25 日付けで発表している。

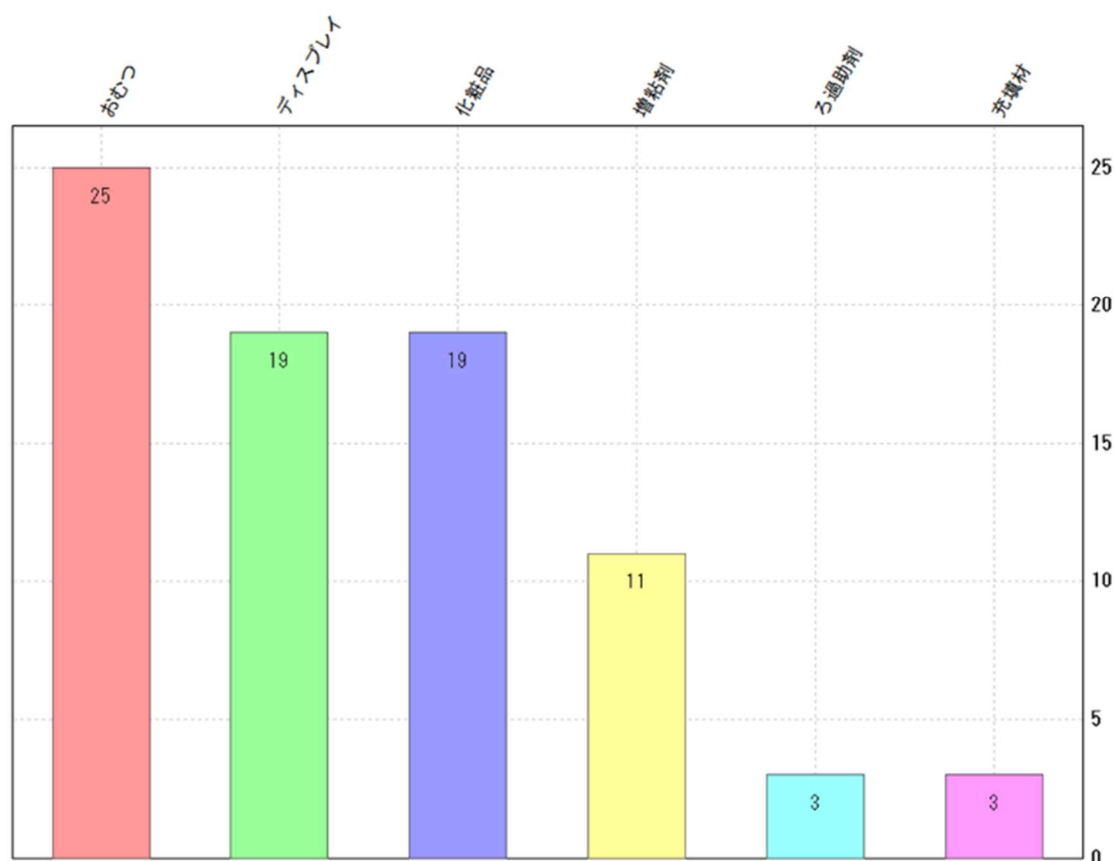


図 4-8 Web 検索による製造物（成果物）別の開発件数

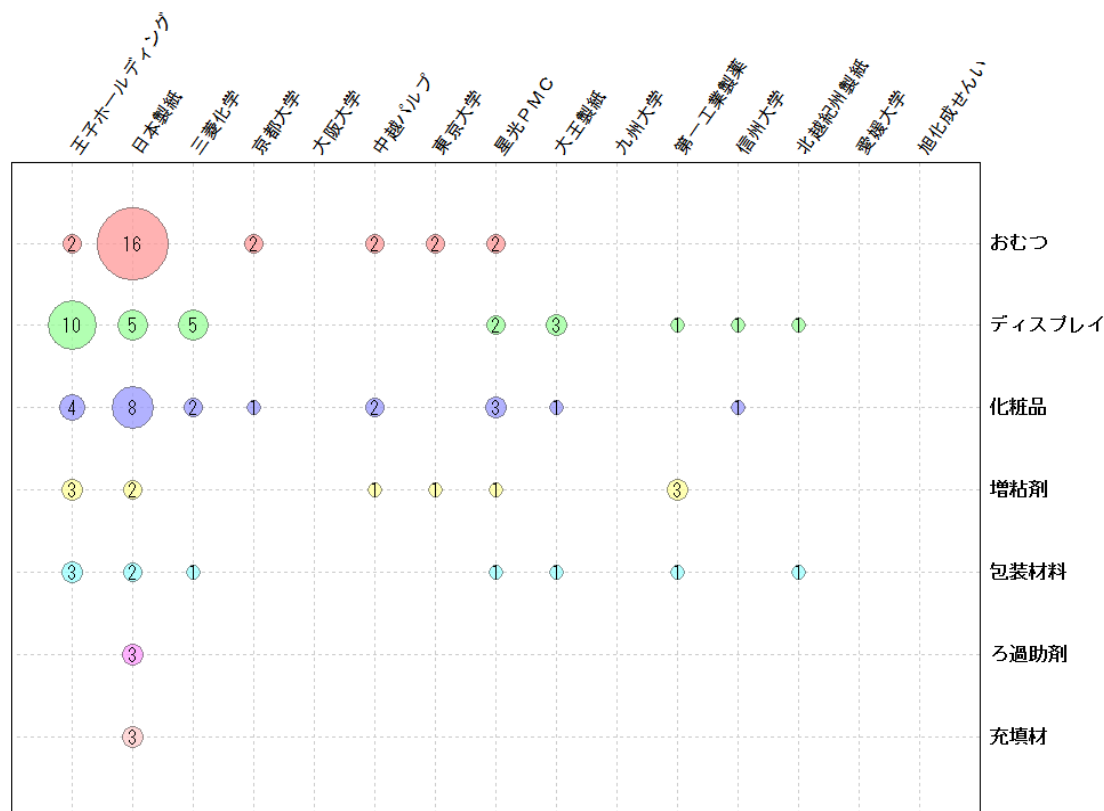


図 4-9 Web 検索による製造物（成果物）及び出願組織別の開発件数

ウ) 製造物（成果物）の機能について

図 4-10 には Web 検索による製造物（成果物）の機能ごとの開発件数を示した。製造物（成果物）としては、透明性を有する製品が最も多く確認された。かかる理由として、ディスプレイ関連に必要な機能であることが推察される。

また、ディスプレイ関連の他では、消臭、抗菌などの機能を有する生活製品が多いことが確認できる。

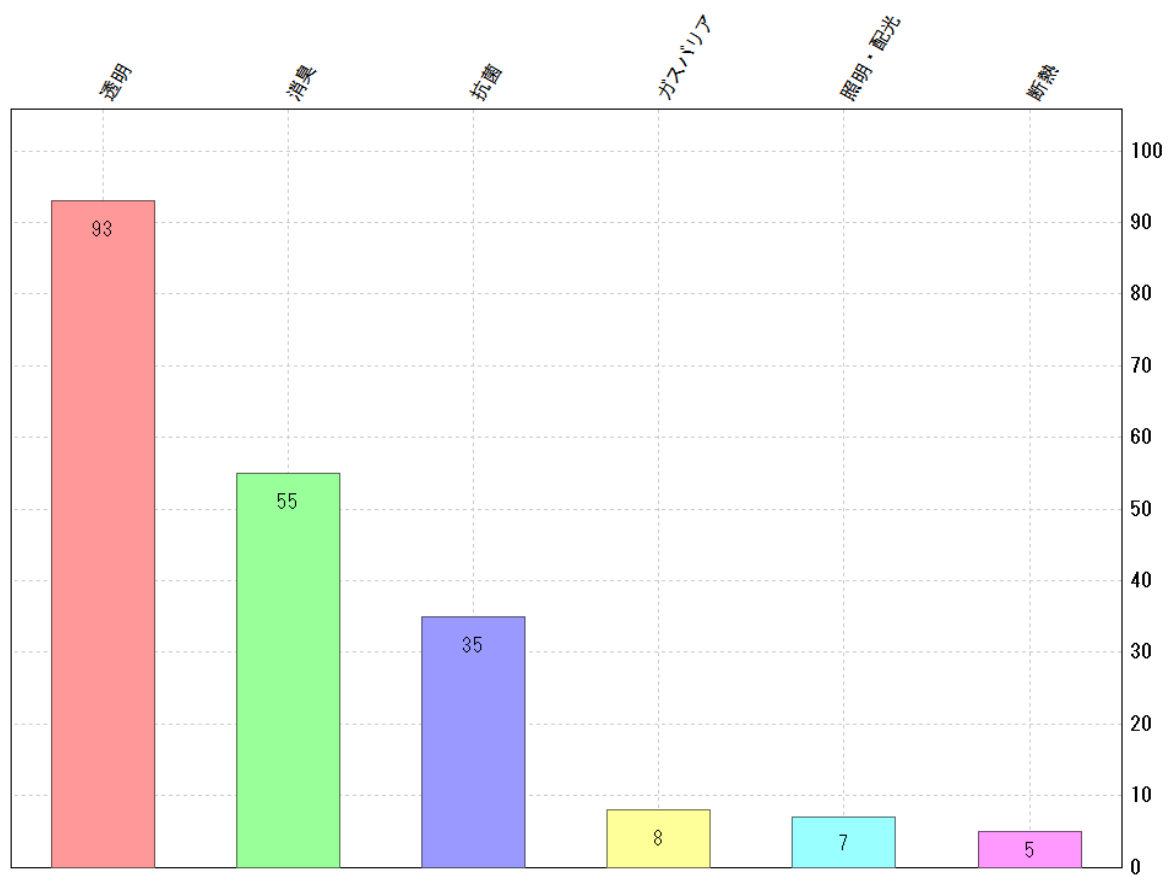


図 4-10 Web 検索による製造物（成果物）の機能ごとの開発件数

エ) 製造物（成果物）の機能と用途との関係

以下のグラフは、製造物（成果物）の機能を横軸とし、製造物（成果物）の用途を縦軸として示した。

ディスプレイの分野では、透明性を有する関連製品の割合が高い傾向にあることが確認できる。つまり、かかる分野では、CNF の透明性の機能を活用した技術の重要度が増加していることが推察される。

また、オムツの分野では、消臭機能がもっとも関連性が高くなっていることから、CNF と消臭機能を有する物質とを関連させた技術の重要度が増加していることが推察される。

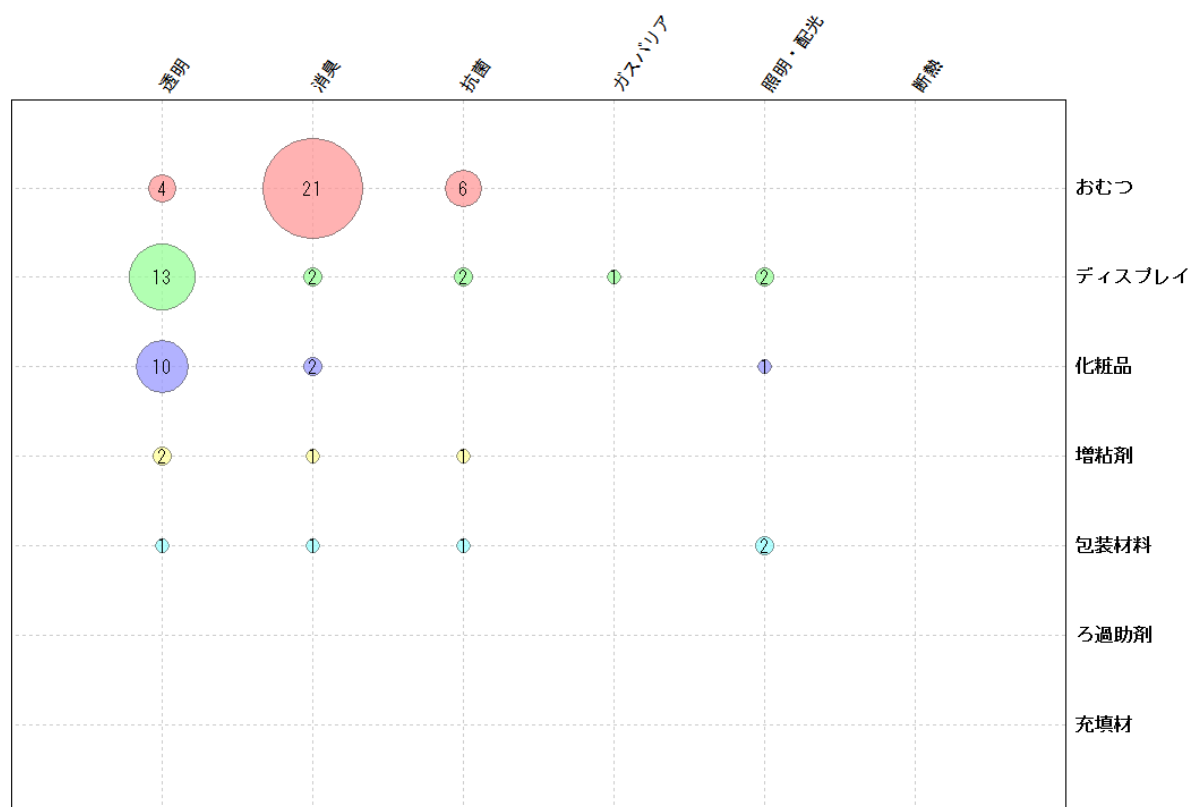


図 4-11 Web 検索による製造物（成果物）と機能別の開発件数相関解析

4-4-2 混練技術

(1) 特許出願に基づく技術動向

ア) CNF を樹脂に混練する技術について

CNF を樹脂に混練する技術を把握するために、特許出願件数の動向を確認した。

検索エンジンには、JP-NET を使用し、1995 年～2017 年の出願を対象として、表 4-2 に示すように検索の絞り込みを行った。

表 4-2 検索に利用した CNF 混練関連キーワード

セルロースナノファイバーを樹脂に混練する技術	
検索式	
1	VTC=セルロース<5W>ナノファイバ
2	VTC=セルロース<5W>マイクロファイバ
3	VTC=セルロース<3W>マイクロファイバ
4	VTC=セルロース<5W>マイクロフィブリル
5	VTC=セルロース<5W>微細繊維
6	VTC=セルロース<5W>マイクロ繊維
7	VTC=セルロース<5W>マイクロ繊維
8	VTC=セルロース<5W>ナノ繊維
9	VTC=セルロースナノ<5W>粒子
10	VTC=ナノフィブリル<5W>セルロース
11	VTC=マイクロフィブリル<5W>セルロース
12	VTC=微細繊維<5W>セルロース
13	VTC=微小繊維<5W>セルロース
14	VTC=ナノ<5W>セルロース
15	VTC=マイクロ繊維<5W>セルロース
16	HTC=ナノセルロース+マイクロセルロース+マイクロセルロース+微細植物繊維
17	HTC=セルロース微小繊維+セルロースナノ繊維
18	HTC=微細セルロース繊維+微小セルロース繊維+微細セルロースファイバ+微細化セルロース繊維+微細化セルロースファイバ
19	HTC=セルロースナノフィブリル+マイクロファイバーセルロース
20	T=#1-#19
21	AD=1995*-
22	PAD=1995*-
23	T=#21+#22 // 1995年以降の出願
24	T=#20 // セルロースナノファイバ 全体
25	VTC=#24 & (樹脂 + プラスチック + プラスティック + レジン) & (混 + 複合 + 結合 + 含浸) // 一文中
26	VTC=#24 & (ビニル + ポリプロピレン + ポリアミド + フェノール + アクリル + メタクリル) & (混 + 複合 + 結合 + 含浸) // 一文中
27	T=#25+#26 // 分析対象2:セルロースナノファイバーを樹脂に混練する技術
合計 276件 (出願ベース・公開優先)	

イ) CNF を樹脂に混練する技術に関する特許出願件数の動向

図 4-12 に示したように近年、CNF を樹脂に混練する技術に関する特許出願は、増加傾向にあることが確認できる。

なお、2015 年以降に出願件数が減少しているのは、公開期間が到来していない出願が存在するからと推測される。

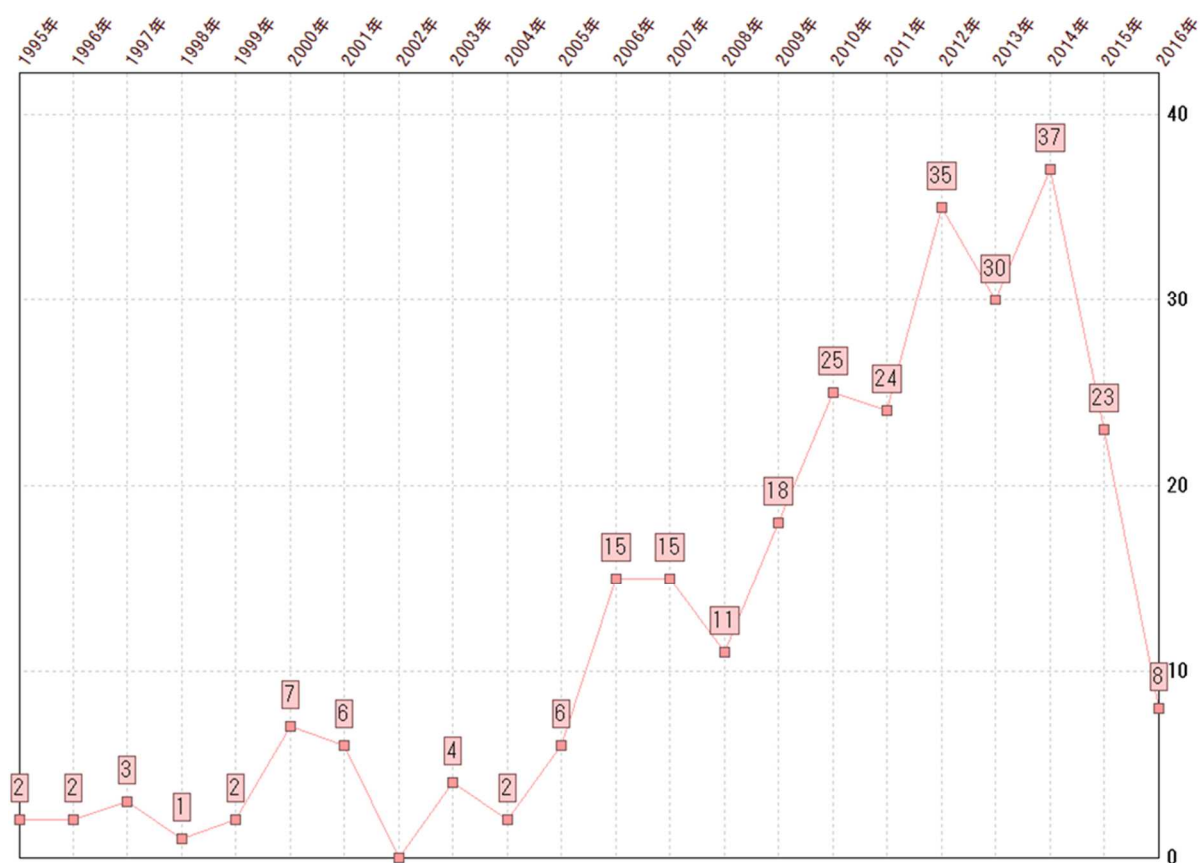


図 4-12 CNF 樹脂混練技術の開発件数の年次推移

ウ) ナノファイバーのサイズによる区分

図 4-13 には繊維をサイズ別（ナノ、マイクロ）で区分した際のグラフを示した。

ナノレベルのサイズに関する開発が、マイクロレベルのものに比べて増加傾向にあることが確認できる。

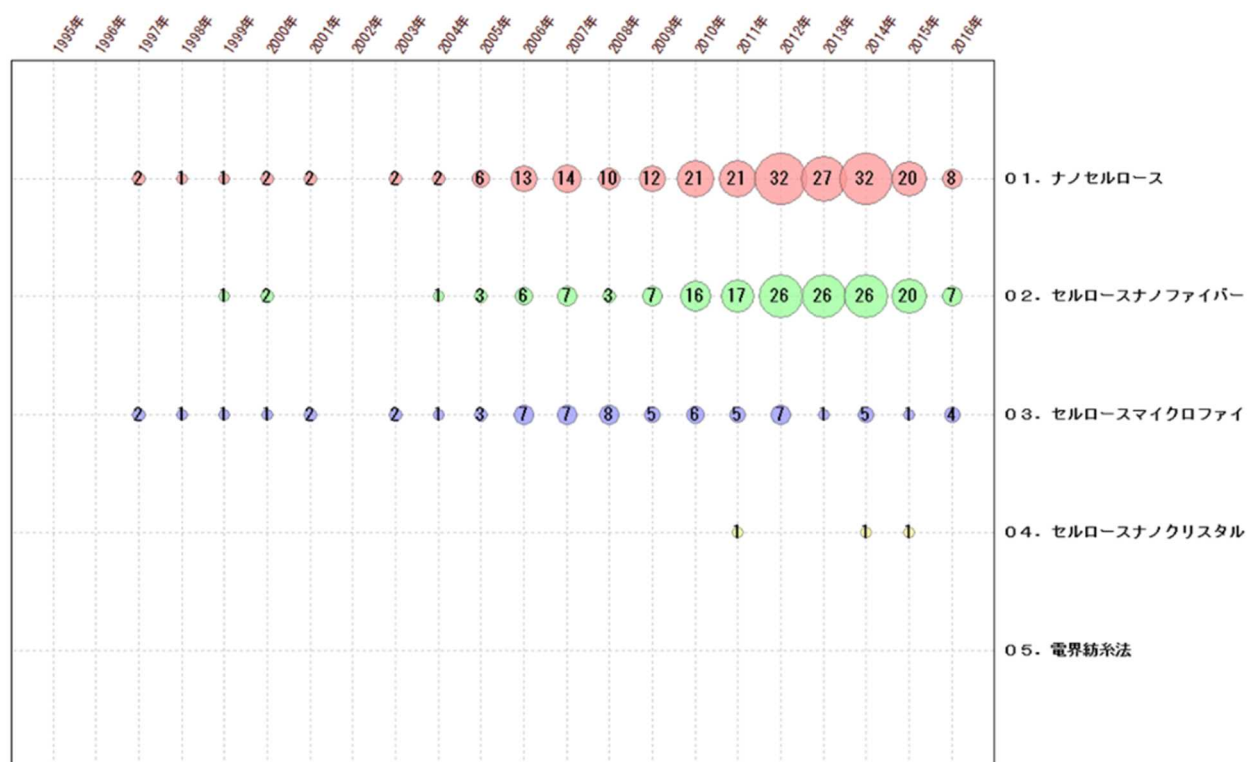


図 4-13 CNF 樹脂混練技術のサイズ別の開発件数の年次推移

エ) 混練工程で使用する技術（装置）による区分

図 4-14 に混練工程で使用する技術（装置）で区分した際のグラフを示す。

混練工程では、主として、混練機を用いて機械的に CNF と樹脂とを混練する技術と、溶剤等に CNF を溶解等させた状態で混練する溶融混練技術と、二軸混練が採用されていることが確認できる。

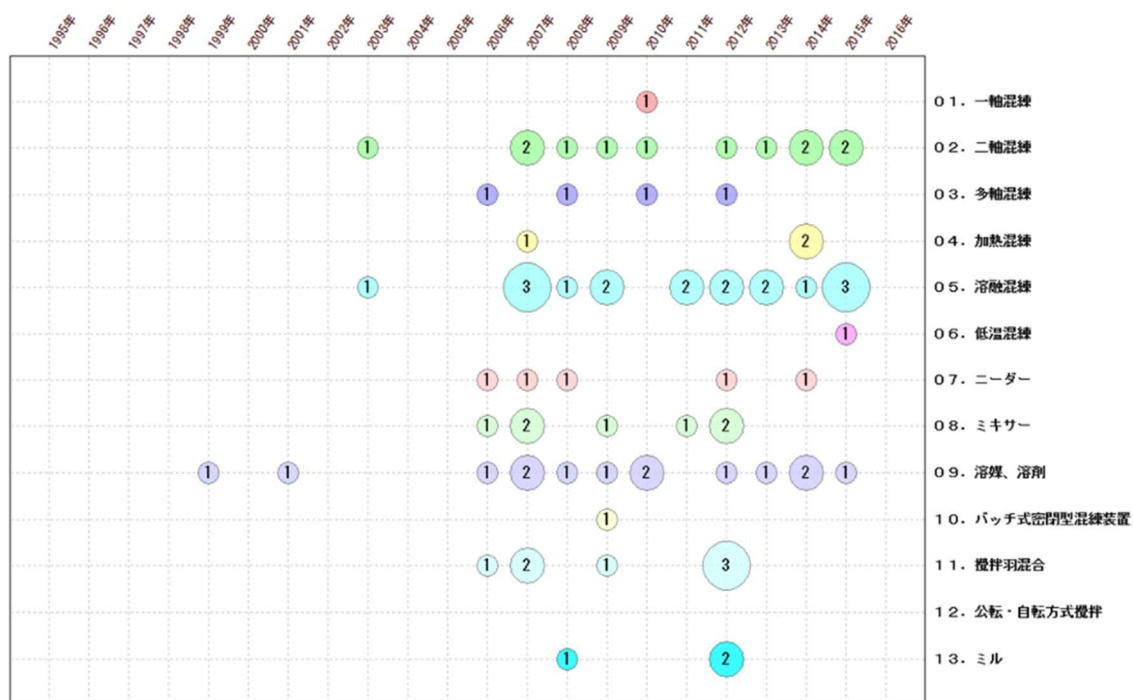


図 4-14 CNF 樹脂混練技術の装置別の開発件数の年次推移

オ) 混練工程における課題

図 4-15 には混練工程における課題別に区分したグラフを示した。

近年の出願から、ナノファイバーの均一分散に関する課題が重要視されていることが確認できる。

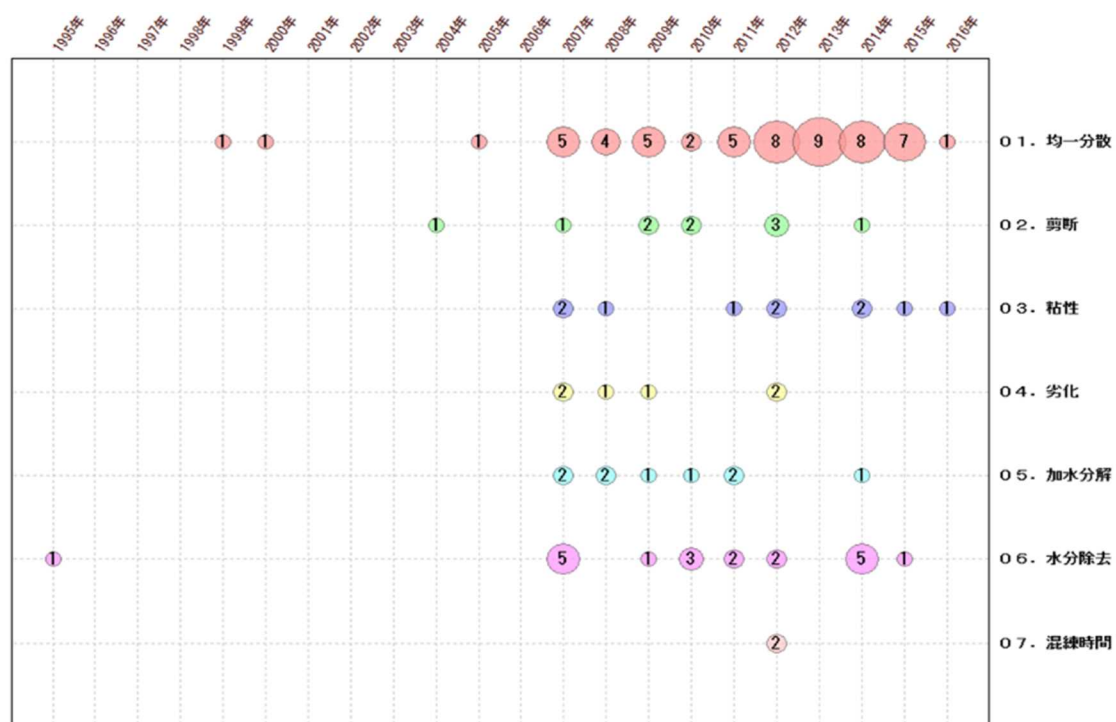


図 4-15 CNF 樹脂混練技術の課題別の開発件数の年次推移

カ) 製造物（成果物）について

図 4-16 のグラフは、製造物（成果物）で区分したグラフであり、図 4-16 のグラフは、製造物（成果物）の特性で区分したグラフである。

図 4-17 のグラフから、製造物（成果物）として、CNF を混練した樹脂やその複合材料の開発が継続して行われていることが確認できる。

また、製造物（成果物）の特性で区分した図 4-16 のグラフからは、透明性、強度性または経済性（コスト）を意識した製造物（成果物）の開発が継続的に行われていることが確認できる。つまり、CNF を混練した樹脂やその複合材料の開発において、上記三要素は、重要視されていることが確認できる。

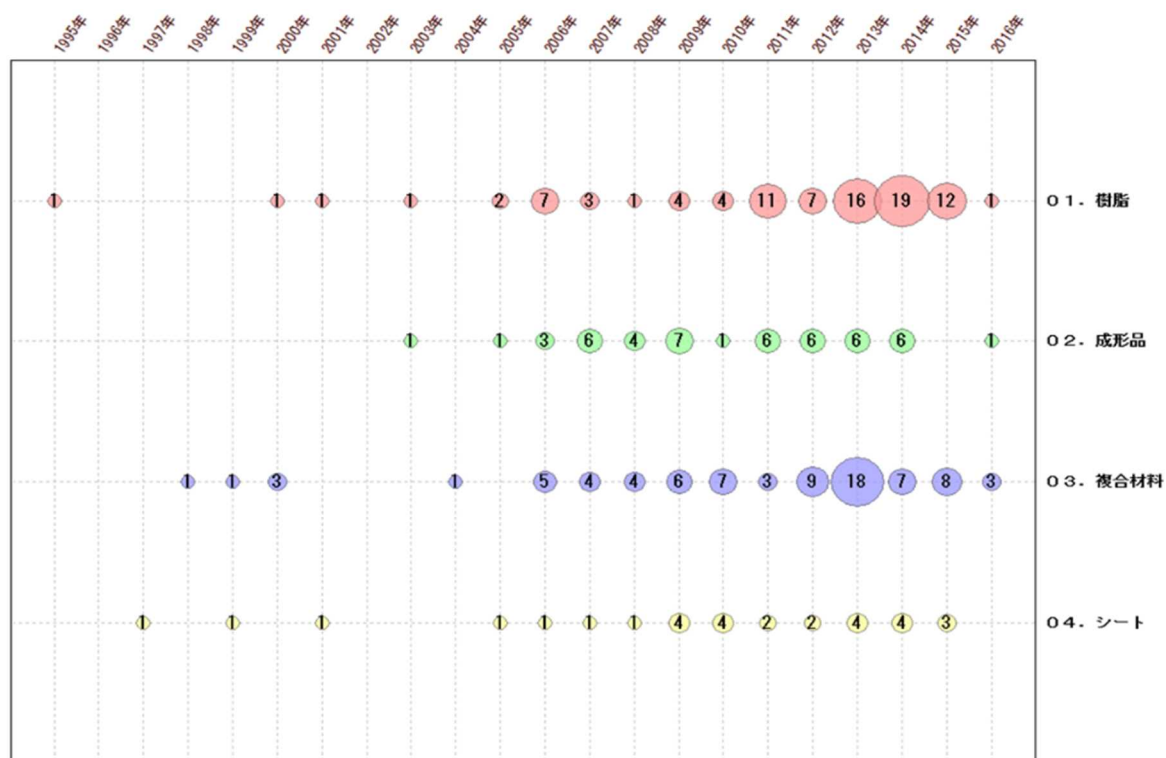


図 4-16 CNF 樹脂混練技術の製造物（成果物）別の開発件数の年次推移

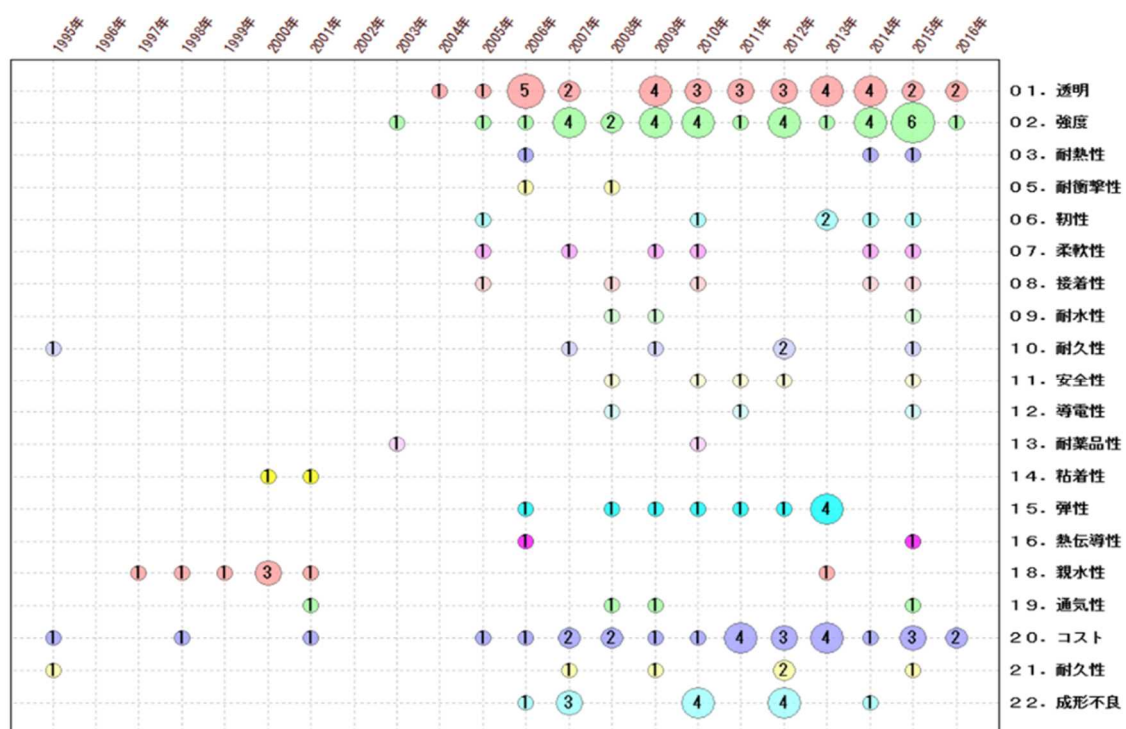


図 4-17 CNF 樹脂混練技術の製造物（成果物）の特性別の開発件数の年次推移

キ) CNF と混練される樹脂

図 4-18 には CNF と混練される樹脂の種類で区分したグラフを示した。

耐候性や透明性を有するアクリルのほか、近年では、ポリオレフィンやエポキシ、ポリエステルなどの樹脂と CNF を混練する技術の開発が活発化していることが確認できる。

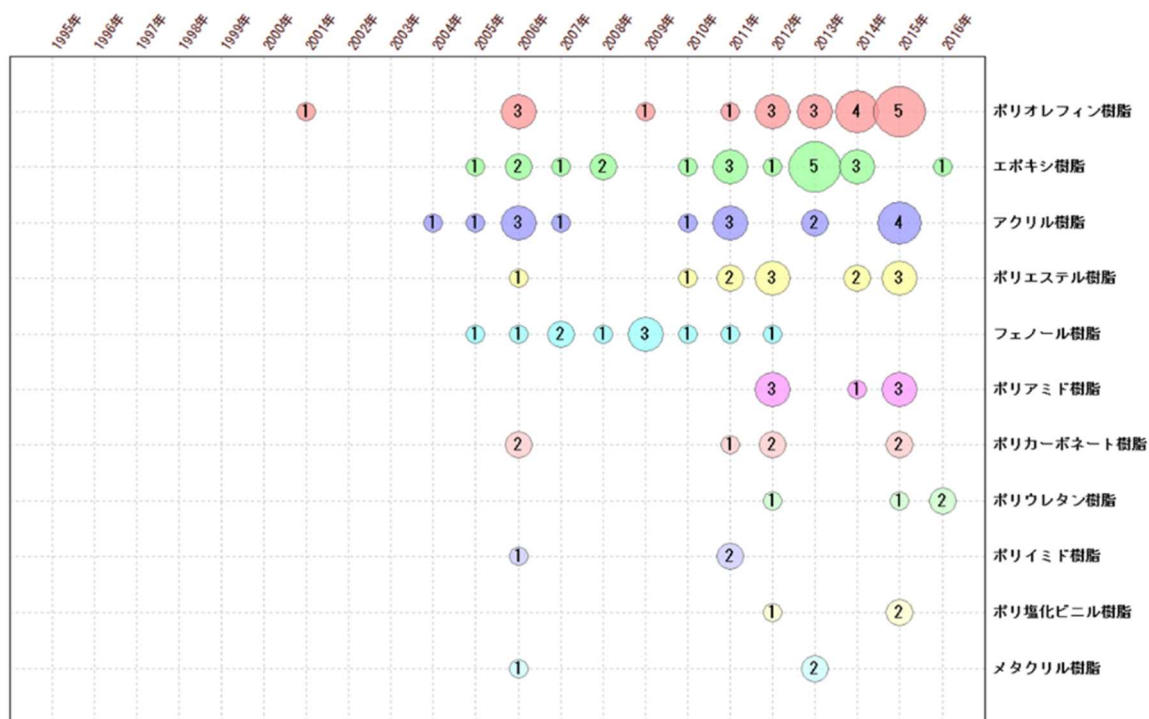


図 4-18 CNF 樹脂混練技術の樹脂種類別の開発件数の年次推移

ク) 製造物（成果物）の用途

図 4-19 は製造物（成果物）の用途別で区分したグラフである。

製造物（成果物）の用途としては、電池系その他、基板系、塗料、インク、化粧品、包装材料、増粘剤などの開発が重点的な用途となっていることが確認できる。



図 4-19 CNF 樹脂混練材料の用途別の開発件数の年次推移

(2) Web 上の技術動向

ア) 検索エンジンとして Google を使用して、検索式（セルローズナノファイバー×（樹脂＋プラスチック））で絞り込みを行った。

イ) 製造物（成果物）の用途

図 4-20 で示したように、Web 上では、CNF と樹脂等を混合等することによって製造された製造物（成果物）の用途としては、自動車部品が他の用途（ディスプレイや包装材等）と比べて圧倒的に多い傾向にあることが確認できる。

2017 年 1 月 12 日付の日本経済新聞（電子版）には、「クルマでも実用化視野新材料『CNF』1 兆円市場へ」と題して、CNF を樹脂と混合することによって強度を維持しつつ軽量化が可能な複合材料をクルマの部品に採用することが可能となってきた旨の記載がある。

つまり、CNF の透明性を活用した技術開発が行われている一方、CNF の高強度かつ軽量という特性を活用した技術開発も活発に行われていることが確認できる。

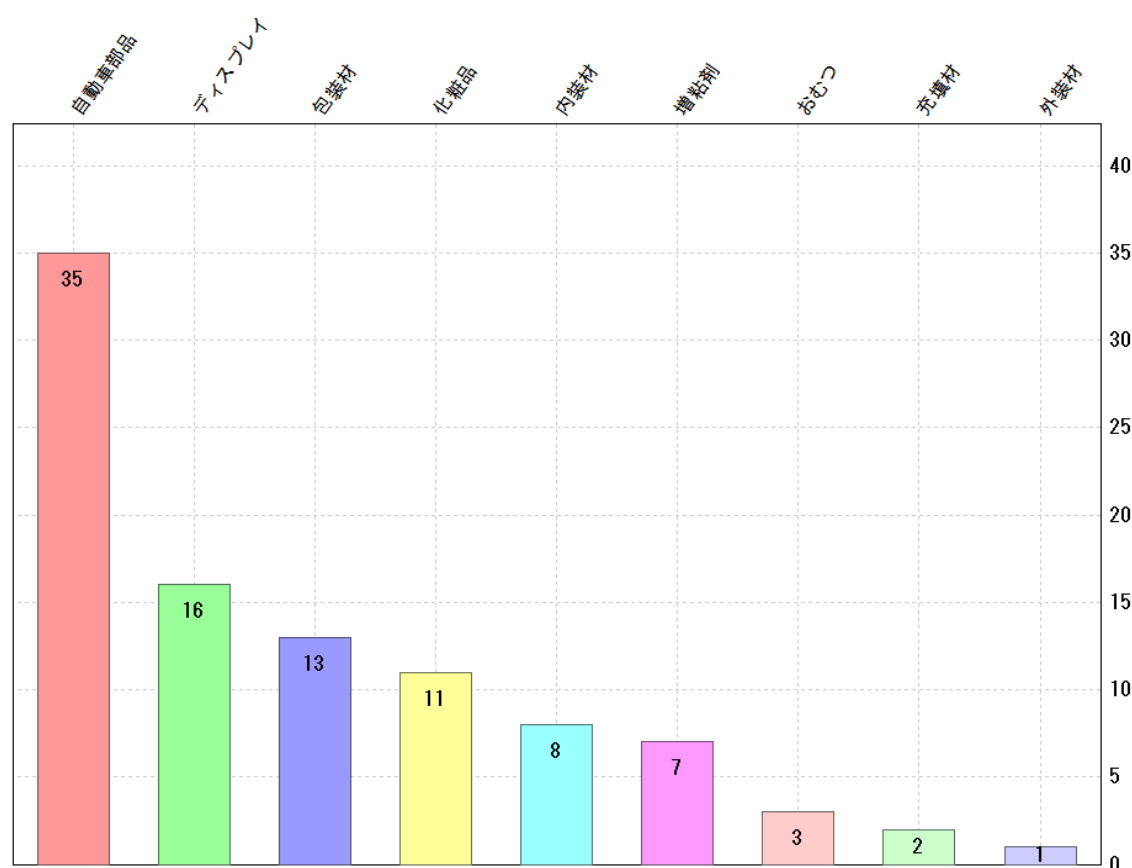


図 4-20 樹脂混練用途別開発件数の Web ベースでの調査結果

ウ) 製造物（成果物）の機能

図 4-21 に示したように、製造物（成果物）としては、軽量を目的とした製品が透明性を有する製品と比べて多くなっていることが確認できる。つまり、市場ニーズとしては、透明性よりも、強度を維持しつつ透明性を図る技術に比べて、強度を維持しつつ軽量化を図れる技術の開発が求められているものと推察される。

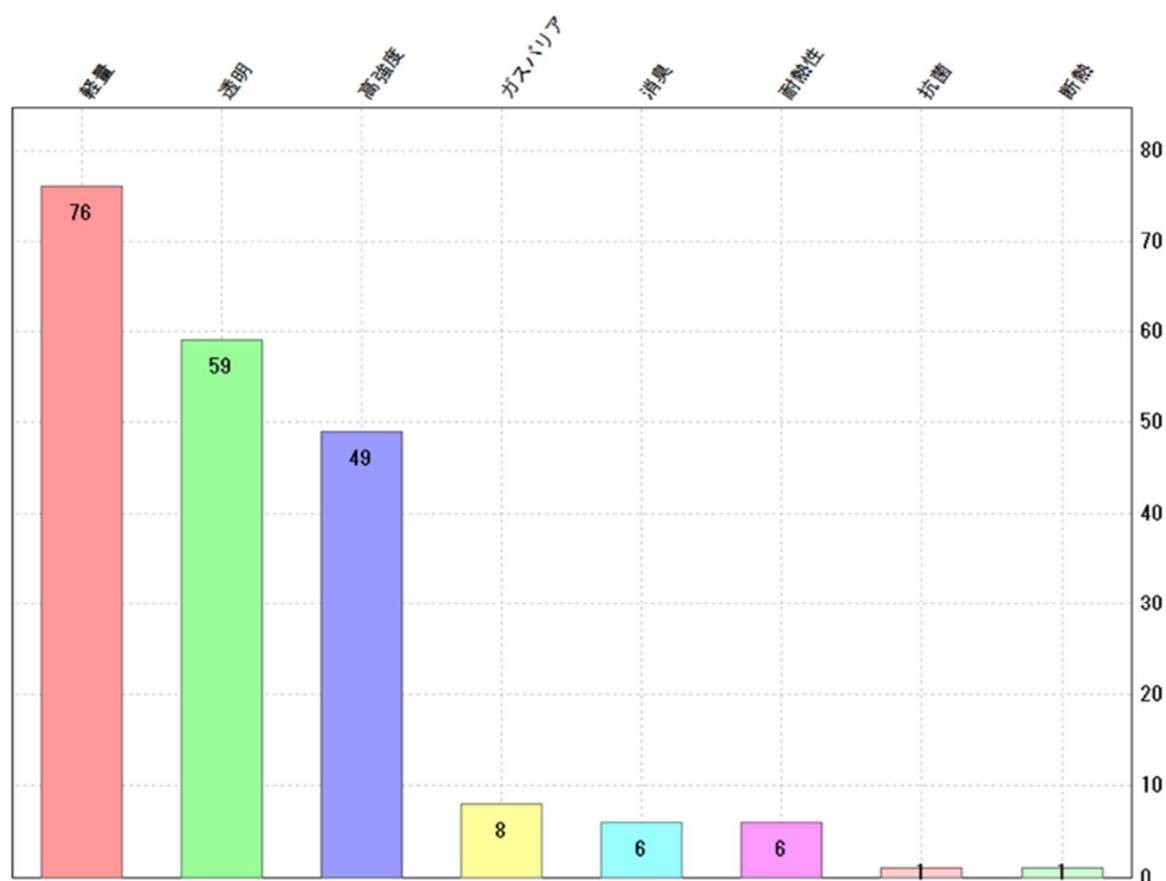


図 4-21 樹脂混練製造物（成果物）ごとのの開発件数の Web ベースでの調査結果

エ) 製造物（成果物）の機能と用途との関係

図 4-22 には、製造物（成果物）の機能を横軸とし、製造物（成果物）の用途を縦軸として示した。

自動車部品以外にも主要な用途として期待されているディスプレイや内装材の分野においても、透明性に比べて強度を維持しつつ軽量化を図れる技術の開発が活発に行われていることが推察される。

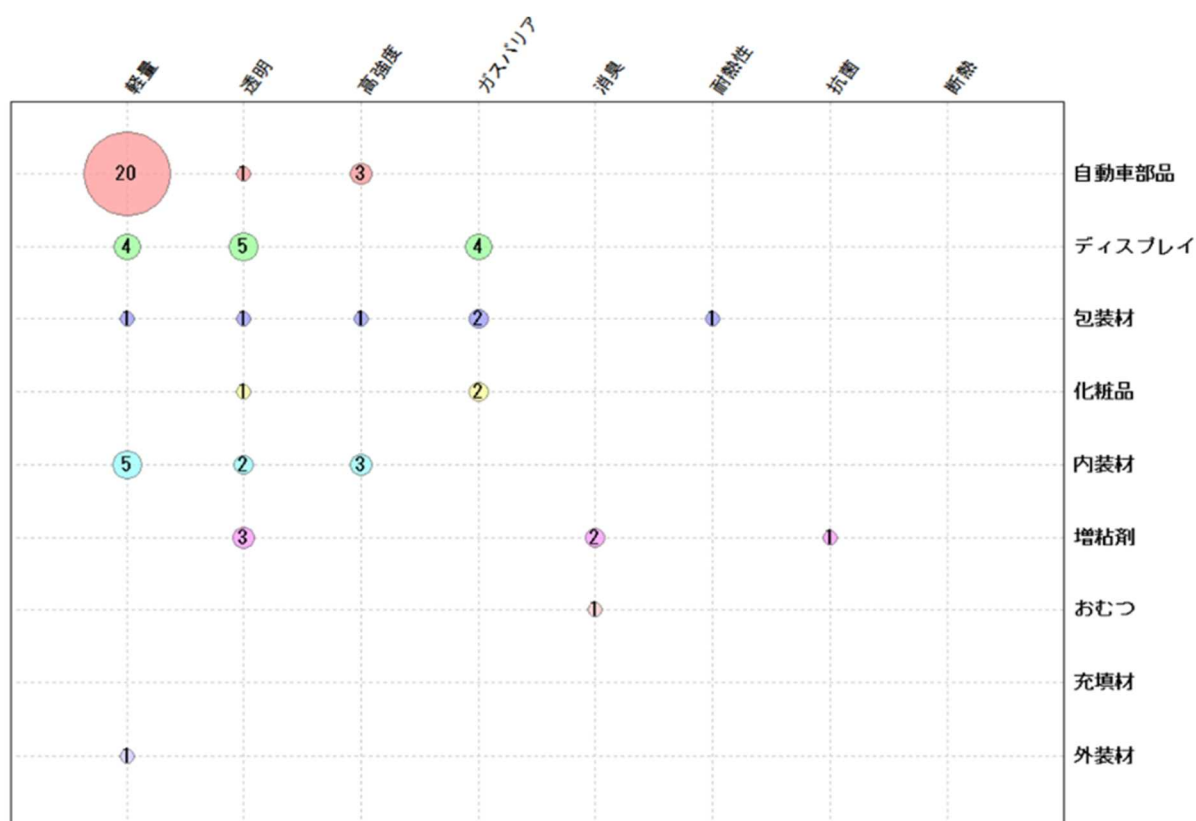


図 4-22 樹脂混練製造物（成果物）と機能ごとのの開発件数の相関解析
(Web ベースでの調査結果)

4-5. まとめ

上記調査により、CNF を含有した水溶液等から水分を除去する水分除去工程においては、乾燥脱水工程に関する技術開発が機械的脱水工程に比べて増加傾向にある。とくに、凍結乾燥および加熱乾燥の技術が注目されている。かかる原因として、機械的脱水工程に関する技術開発が停滞傾向にあるものと推察される。言い換えれば、停滞の原因となる課題を解決する技術が開発できれば、CNF の製造がより効率化されるものと考ええる。

なお、近年、超臨界技術を応用した超臨界乾燥の利用が検討されている。ただし、超臨界技術に関する出願は、特定の大学であるため、かかる技術については研究レベルであると推察される。

水分を除去する工程に使用される主要器具としては、従来から使用されている抄紙機およびワイヤーが現状でも比較的多くの出願で採用されている。一方、吸水フェルトや給水紙などの吸水紙関連を採用した技術も増加しつつある。

CNF を活用した関連製品としては、シート、紙、多孔体、樹脂、液などの形態に係る発明に関する出願が増加傾向にある。これらの製品の用途としては、電池系、基板系その他、塗料、インク、化粧品、包装材料、増粘剤など様々なものが提案されている。

一方、CNF を活用した近年の Web 上の技術では、オムツ、ディスプレイ、化粧品に関する製品の発表が増加傾向にある。

また、機能としては、透明性に関するものはもちろん、消臭、抗菌などの機能を有する製品の増加も目立っている。

CNF と樹脂の混練工程に関して、CNF と樹脂を混練した樹脂やその複合材料としての用途としては、透明性、強度性または経済性（コスト）を意識した基板系、塗料、インク、化粧品、包装材料、増粘剤などの開発が増加傾向にある。一方、近年、強度を維持しつつ軽量化を図れるという CNF の特性を活用した技術として、日本の重要産業の一つである自動車用の部品材料を製造する技術に注目が集まっている。そして、この市場規模は 1 兆円と予想されていることから、今後さらに CNF の需要が増加してくるものと考ええる。

一方、製品に対して CNF の特性を発揮させる上では、樹脂中における CNF の均一性が重要である。しかし、かかる課題に関連した出願が増加傾向にあることから、かかる課題を解決するには至っていないというのが実情であると推察される。

つまり、上記需要を考慮すれば、今後の CNF の技術開発として重要視されるものの一つとして、CNF と樹脂の混練技術における「ナノファイバーの均一分散」に関する課題を解決する技術の開発を挙げることができると考える。そして、かかる技術開発の重要度は今度さらに増すものと推察される。

(5) 協議・打合せ(愛媛大学、愛媛県紙産業技術センター、特種東海製紙株式会社)

5-1

日程：平成 28 年 4 月 7 日

会場：愛媛県産業技術研究所紙産業技術センター

参加者：

愛媛大学・・・紙産業イノベーションセンター・センター長・教授・内村浩美、
同・副センター長・教授・藪谷智規、同・講師・秀野晃大
社会連携推進機構・准教授・入野和朗

愛媛県産業技術研究所・・・紙産業技術センター・主任研究員・大橋俊平、同・
主任研究員・西田典由

特種東海製紙株式会社・・・関係者 4 名

議事要旨：プロトタイプ装置構成に関する基本コンセプトを策定した。また、
試作にあたり必要となる予備試験計画について協議した。

5-2

日程：平成 28 年 4 月 12 日

会場：部材メーカー

参加者：

愛媛大学・・・紙産業イノベーションセンター・副センター長・教授・藪谷智
規、同・講師・秀野晃大

愛媛県産業技術研究所・・・紙産業技術センター・主任研究員・高橋雅樹、同・
主任研究員・大橋俊平、同・主任研究員・西田典
由

特種東海製紙株式会社・・・関係者 4 名

装置試作メーカー・・・関係者 1 名

議事要旨：脱水装置の設計に向けて、連続的減圧脱水機構を有する装置を用い
た CNF 脱水実験を実施した。

5-3

日程：平成 28 年 5 月 19 日

会場：愛媛県産業技術研究所紙産業技術センター

参加者：

愛媛大学・・・紙産業イノベーションセンター・センター長・教授・内村浩美、
同・副センター長・教授・藪谷智規、同・講師・秀野晃大
社会連携推進機構・准教授・入野和朗、同・客員准教授・玉井
浩二

社会連携支援部社会連携課・副課長・西野弘親、同・事務補佐

員・武村智子

愛媛県産業技術研究所・・・紙産業技術センター・主任研究員・高橋雅樹、同・主任研究員・大橋俊平、同・主任研究員・西田典由

特種東海製紙株式会社・・・関係者 3 名

装置試作メーカー・・・関係者 2 名

議事要旨：愛媛県紙産業技術センターでの予備試験結果のとりまとめを行った。試験結果を基にプロトタイプ試作機の装置仕様など設計に関する協議を行った。また、本年度実施の試験計画について確認した。

5-4

日程：平成 28 年 6 月 24 日

会場：愛媛県産業技術研究所紙産業技術センター

参加者：

愛媛大学・・・紙産業イノベーションセンター・センター長・教授・内村浩美
社会連携支援部社会連携課・副課長・西野弘親

愛媛県産業技術研究所・・・紙産業技術センター・センター長・青野洋一、同・技術支援室・室長・菅忠明、同・主任研究員・大橋俊平

議事要旨：脱水装置を設置後の脱水装置の管理担当、業務について協議した。

5-5

日程：平成 28 年 7 月 15 日

会場：愛媛県産業技術研究所紙産業技術センター

参加者：

愛媛大学・・・紙産業イノベーションセンター・センター長・教授・内村浩美、
同・副センター長・教授・藪谷智規
社会連携支援部社会連携課・副課長・西野弘親、同・事務補佐員・武村智子

愛媛県産業技術研究所・・・紙産業技術センター・主任研究員・高橋雅樹、同・主任研究員・大橋俊平、同・主任研究員・西田典由

特種東海製紙株式会社・・・関係者 3 名

装置試作メーカー・・・関係者 2 名

議事要旨：脱水装置を設計するにあたって、脱水装置設計書、見積仕様書の内容確認と、意見交換を行った。また、装置設置予定場所を視察し、稼働上必要となる付帯設備等の確認を行った。

5-6

日程：平成 28 年 10 月 4 日

会場：愛媛大学紙産業イノベーションセンター

参加者：

愛媛大学・・・紙産業イノベーションセンター・副センター長・教授・藪谷智規、同講師・秀野晃大、同・助教・伊佐亜希子

愛媛県産業技術研究所・・・紙産業技術センター・主任研究員・大橋俊平、同・主任研究員・西田典由

特種東海製紙株式会社・・・関係者 1 名

議事要旨：脱水装置を設置するにあたって、設置後の試作データ採取試験について協議した。さらに各実施機関における事業進捗確認も行った。

5-7

日程：平成 28 年 11 月 21 日

会場：装置試作メーカー

参加者：

愛媛大学・・・紙産業イノベーションセンター・講師・秀野晃大
社会連携推進機構・准教授・入野和朗

愛媛県産業技術研究所・・・紙産業技術センター・主任研究員・西田典由

特種東海製紙株式会社・・・関係者 1 名

装置試作メーカー・・・関係者 4 名

議事要旨：脱水装置を設置するにあたって、現地にて脱水装置の組み立てについて立会検査を行った。

5-8

日程：平成 28 年 11 月 22 日

会場：装置試作メーカー

参加者：

愛媛大学・・・紙産業イノベーションセンター・センター長・教授・内村浩美、同・副センター長・教授・藪谷智規、同・講師・秀野晃大

愛媛県産業技術研究所・・・紙産業技術センター・主任研究員・高橋雅樹、同・主任研究員・大橋俊平

装置試作メーカー・・・関係者 4 名

議事要旨：脱水装置を設置するにあたって、現地にて脱水装置の組み立てについて引き続き立会検査を行った。さらに、立会検査に基づき装置への付帯設備等の追加などの意見交換を行った。

5-9

日程：平成 29 年 1 月 25 日

会場：愛媛大学紙産業イノベーションセンター

参加者：

愛媛大学・・・紙産業イノベーションセンター・副センター長・教授・薮谷智規、同・講師・秀野晃大、同・助教・伊佐亜希子
社会連携推進機構・准教授・入野和朗
社会連携支援部社会連携課・チームリーダー・渡邊弘昇、同・技術補佐員・竹中有紀、同・事務補佐員・武村智子

議事要旨：本年度の事業進捗状況を確認し、報告書作成、事業審査会報告に向けた今後の実施計画について協議した。

5-10

日程：平成 29 年 2 月 15 日

会場：愛媛大学紙産業イノベーションセンター

参加者：

愛媛大学・・・紙産業イノベーションセンター・副センター長・教授・薮谷智規、同・講師・秀野晃大、同・助教・伊佐亜希子
社会連携推進機構・准教授・入野和朗
社会連携支援部社会連携課・チームリーダー・渡邊弘昇、同・事務補佐員・武村智子

議事要旨：本年度の中間報告に向けて、報告内容の最終確認と報告書及び事業審査会報告に向けたスケジュール管理を行った。

5-11

日程：平成 29 年 3 月 10 日

会場：特種東海製紙株式会社 東京本社

参加者：

愛媛大学・・・紙産業イノベーションセンター・センター長・教授・内村浩美、同・講師・秀野晃大
特種東海製紙株式会社・・・関係者 2 名

議事要旨：本年度の中間審査結果について報告を行うとともに、今後の進め方について協議した。

(6) 情報発信の実績

CNF の利活用に関して積極的な情報発信を行った。以下に時系列順に列挙する。

- ・平成 28 年 5 月 26 日 川之江紙商組合総会にて講演
愛媛大学 紙産業イノベーションセンター 内村 浩美
「CNF 用途展開の可能性～中小企業様も取り組める CNF 事業～」
- ・平成 28 年 7 月 1 日 薩摩川内市 CNF 活用促進セミナーにて講演
愛媛大学 紙産業イノベーションセンター 内村 浩美
「CNF 用途展開の可能性と四国 CNF プラットフォームの取組み」
- ・平成 28 年 7 月 13 日 環境省 白石 徹 政務官来訪
環境省事業「セルロースナノファイバー（CNF）製品製造工程の低炭素化対策の立案事業委託業務」の研究開発状況及び当センターの研究内容について説明を行った。
- ・平成 28 年 7 月 25 日 愛媛大学研究協力会にて講演
愛媛大学 紙産業イノベーションセンター 内村 浩美
「地域産業と大学連携による新素材の開発～セルロースナノファイバー用途展開の可能性～」
- ・平成 28 年 7 月 26 日 日本学術会議公開シンポジウムにて講演
愛媛大学 紙産業イノベーションセンター 内村 浩美
「地域産業における産学連携 ～ 紙産業の事例から ～」
- ・平成 28 年 8 月 6 日 地域産業創生講演会
(四国中央市市議会 地域産業創成特別委員会) にて講演
愛媛大学 紙産業イノベーションセンター 内村 浩美
「地域産業と大学連携による新たな紙製品開発の可能性」
- ・平成 28 年 9 月 5 日～9 月 9 日
四国 CNF プラットフォーム事業「セルロースナノファイバー（CNF）製造セミナー」が当センターで開催された。
 - 主催：経済産業省四国経済産業局、一般財団法人四国産業・技術振興センター
 - 後援：愛媛県産業技術研究所 紙産業技術センター
 - 協力：愛媛大学 社会連携推進機構 紙産業イノベーションセンター

- ・平成 28 年 9 月 12 日 日本木材学会 中国・四国支部 第 28 回研究発表会にて講演
 愛媛大学 紙産業イノベーションセンター 内村 浩美
 「セルロースナノファイバーの特性と用途展開に向けた取り組み」
- ・平成 28 年 9 月 13 日 山本 公一 環境大臣来訪
 環境省事業「セルロースナノファイバー（CNF）製品製造工程の低炭素化
 対策の立案事業委託業務」の視察に際し、当センターの研究開発状況及び
 研究内容について説明を行った。
- ・平成 28 年 9 月 15 日 日本複合材料学会 第 41 回複合材料シンポジウムにて講演
 愛媛大学 紙産業イノベーションセンター 内村 浩美
 「セルロースナノファイバー（CNF） 用途展開の可能性と四国 CNF プラ
 ットフォームの取り組み」
- ・平成 28 年 9 月 23 日 新居浜機械産業協同組合青年部 若手経営者（後継者）
 セミナーにて講演
 愛媛大学 紙産業イノベーションセンター 秀野 晃大
 「低炭素社会に向けた新たな産業資材 セルロースナノファイバーの特性
 と用途開発の拡がり」
- ・平成 28 年 10 月 29 日 地域未来創造塾にて講演
 愛媛大学 紙産業イノベーションセンター 内村 浩美
 「紙のイノベーションが未来を拓く」
- ・平成 28 年 10 月 29 日 とくしま高機能素材活用促進フォーラムにて講演
 愛媛大学 紙産業イノベーションセンター 内村 浩美
 「四国 CNF プラットフォームの取り組みについて」
- ・平成 28 年 11 月 18 日 公設試研究者勉強会にて講演
 愛媛大学 紙産業イノベーションセンター 内村 浩美
 「ガスバリア紙の開発と四国 CNF プラットフォームの取り組み」
- ・平成 28 年 11 月 25 日 日本化学会中国四国支部 第 64 回中国四国産学連携化学
 フォーラムにて講演
 愛媛大学 紙産業イノベーションセンター 薮谷 智規
 「『製紙科学研究の最先端』～セルロースナノファイバー・診断検査キッ
 トの開発、製紙廃棄物の利用～」

- ・平成 29 年 1 月 24 日 経済産業省四国経済産業局 訪問
愛媛大学 紙産業イノベーションセンター 内村 浩美
「紙産業イノベーションセンターにおける研究開発と地域産業への貢献」
- ・平成 29 年 3 月 13 日 Nanocellulose Symposium 2017 第 337 回
生存圏シンポジウムにて講演
愛媛大学 紙産業イノベーションセンター 内村 浩美
「四国 CNF プラットフォームの活動状況について」