



図 2-6 製材廃材の利用用途 (文献 2-4, p.43 より引用)

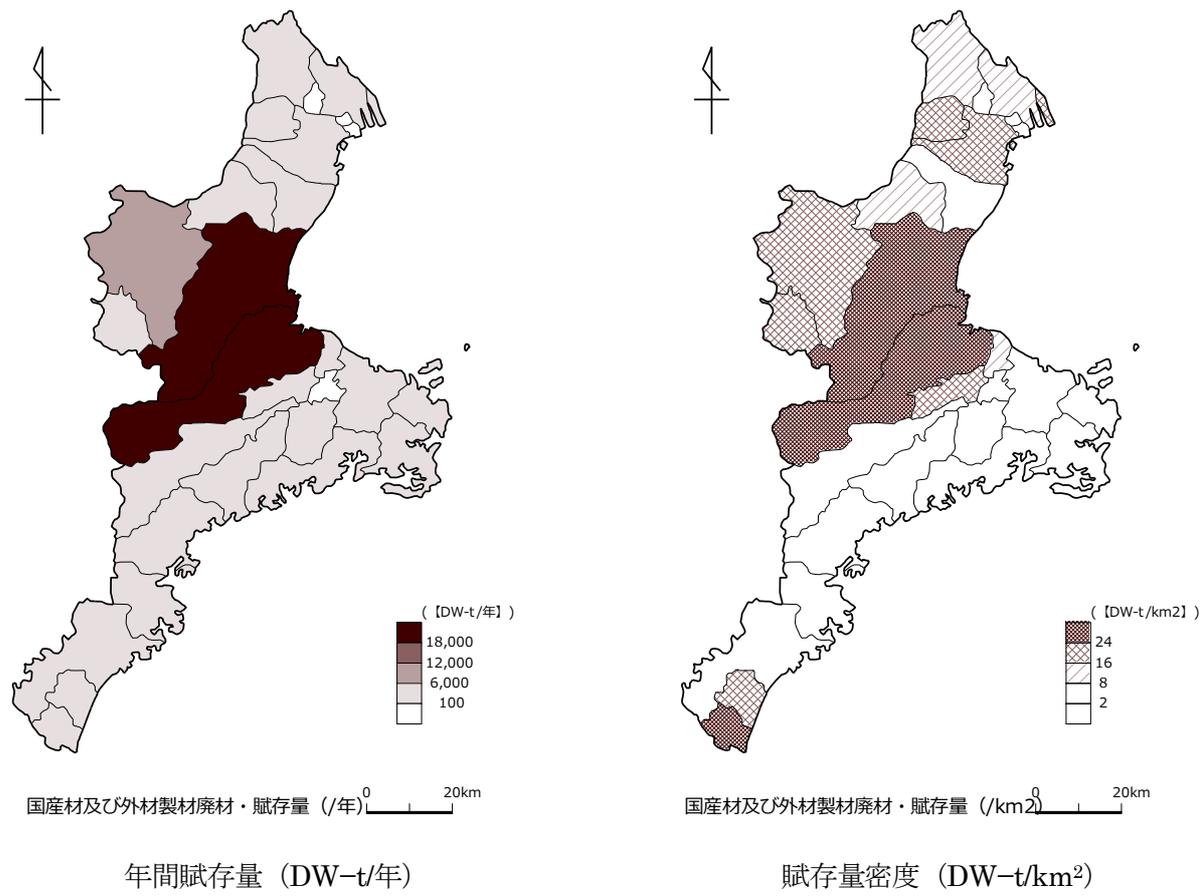


図 2-7 三重県内の市町村別製材廃材の賦存量

## 2.4 木質系の未利用バイオマス資源（タケ、果樹剪定枝）について

### 2.4.1 タケ

三重県内のタケの賦存量は1.3万DW-tで、その有効利用可能量は1.2万DW-t(94%)と資源量は豊富である。タケの生育地は、標高の低い山地、丘陵地などが多いため、収集等に関する経済性は良好であり、現状ではエネルギー利用等もされていないため、他の木質系バイオマス種に比べ、有効利用可能率が高い。生育も早いことから、CNF原料としては有望と考えられ、すでに鹿児島県薩摩川内市で利用が始まっている。鹿児島県内のタケの賦存量は約9万DW-tで、有効利用可能量は4.7万DW-t(52%)である。タケ利用で先行している鹿児島県に比べ、賦存量は劣るが、有効利用可能率は高く、高度部材利用など比較的少ない需要量であれば、三重県においてはCNF原料として有望な材料と考えられる。薩摩川内市には、中越パルプ工業株式会社の川内工場が立地しており、利用技術も有している。中越パルプ工業では、九州大学・近藤教授らの技術である水中カウンターコリジョン(ACC)法によりCNFを製造しているが、この方法によるタケ由来CNFは樹脂との混練などで利用され、市場性もあると思われる。

環境省の「平成27年度セルロースナノファイバー活用製品の性能評価事業委託業務」においても、九州大学大学院農学研究院が、九州産のタケを利用したACC法によるタケ由来CNFを用いた樹脂の性能評価に取り組んでいる。

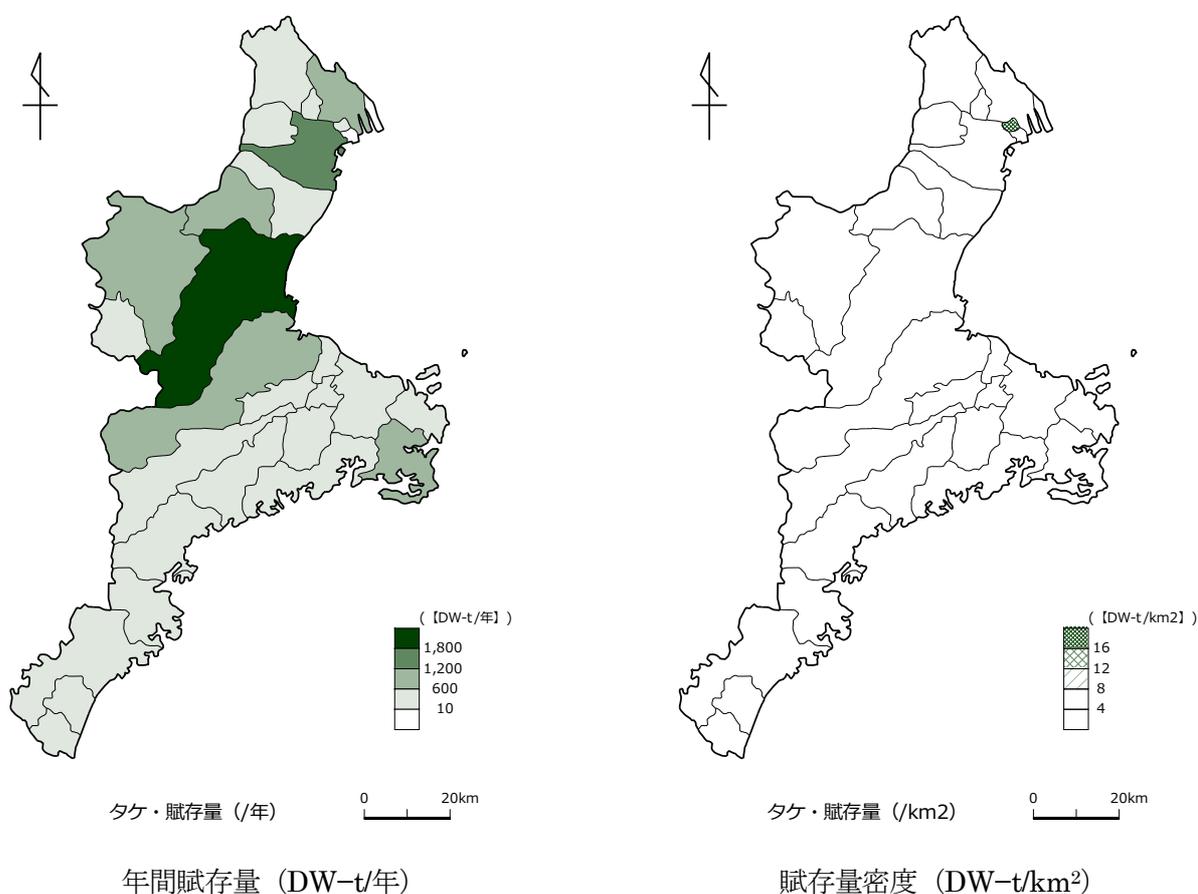


図 2-8 三重県内の市町村別タケの賦存量

三重県内の市町村別の賦存量 (DW-t/年)、およびその密度 (DW-t/km<sup>2</sup>) を図 2-8 に示す。賦存量の多い市町村は、津市、四日市市、松阪市などで、賦存密度が高い市町村は、朝日町、四日市市、桑名市など、人口が多い市街地であり、多くの製造業関係も立地している地域である。近隣に工場もあることから、流通の課題は少なく、CNF 原料として供給するインフラは有している。

また、多気郡では、タケに関する環境団体等も設立されていることから、その活用への関心も高く、市町村行政との連携による CNF 原料としての活用の検討なども期待できる。

タケの生育地は市街地にあることから、森林のように架線集材による高コスト化にはつながらず、機材的にも森林機材の流用が簡易化が見込まれ、集材コストは低くなると思われるが、現状では確立された技術ではないため、今後の開発が必要である。タケからの CNF 製造は、全国でも薩摩川内市でしか、実用化されておらず、そのノウハウが得られ無い場合は、加工方法などの開発が必要となり、コスト高となるとともに、実用化までの期間が長くなる。

#### 2.4.2 果樹剪定枝

三重県内の果樹剪定枝の賦存量は 0.7 万 DW-t と多くはないが、その有効利用可能量は 0.5 万 DW-t (76%) で、切捨間伐材の 0.6 万 DW-t と同じ程度の資源量がある。

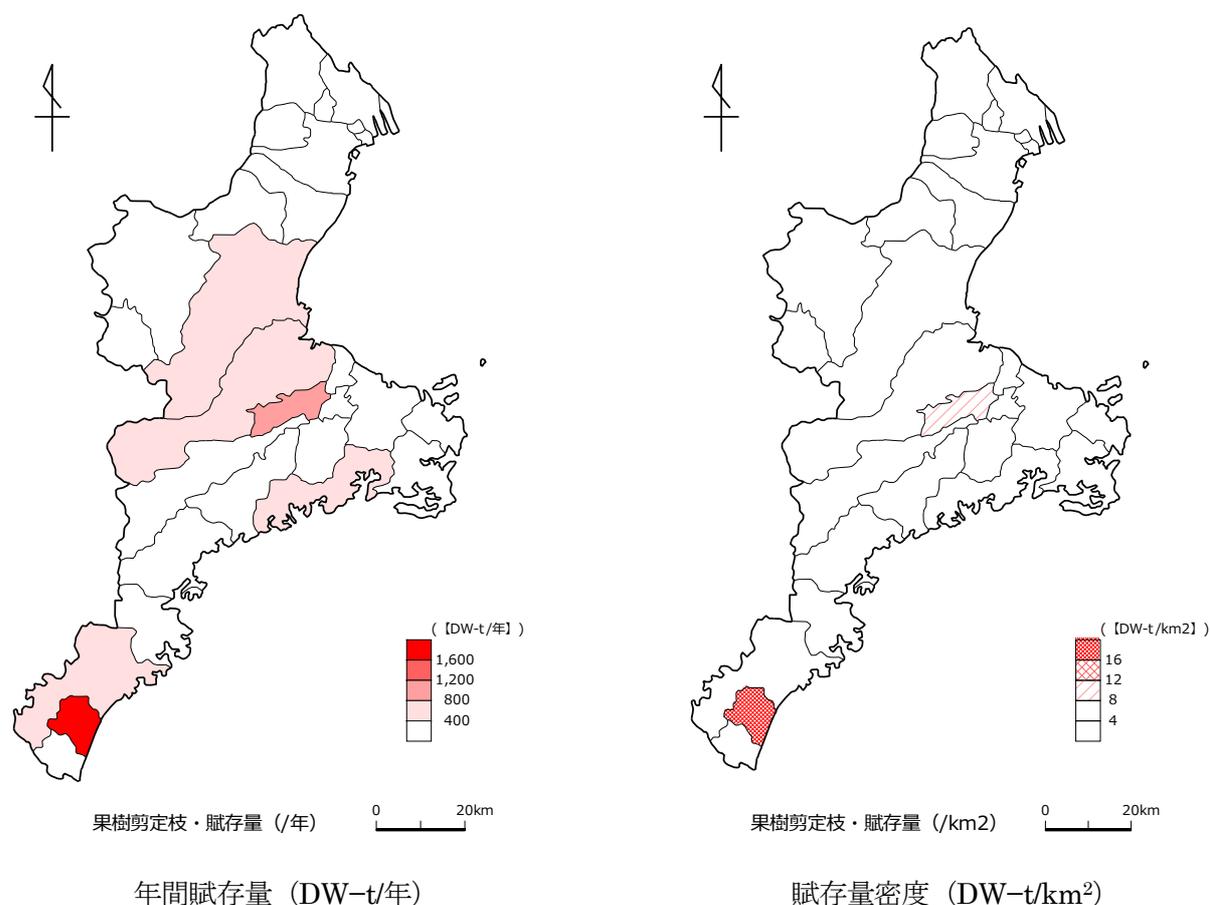


図 2-9 三重県内の市町村別果樹剪定枝の賦存量

しかし、果樹剪定枝は、枝部分であるので、多くの樹皮、葉を含むと考えられ、CNF原料としての利用可能量は少ないと思われる。

三重県内の市町村別の賦存量 (DW-t/年)、およびその密度 (DW-t/km<sup>2</sup>) を図 2-9 に示す。賦存量及び賦存密度ともに柑橘栽培が盛んな御浜町が県内トップである。すでに、柑橘類の栽培、出荷が行われていることから資源の集積があり、収集、流通に関する経済性では有利である。間伐材からのチップ化の工程が流用できると仮定すれば、収集コストで有利であるので、コスト的には問題はないと思われる。

## 2.5 農業残渣系のバイオマス資源 (稲わら、もみ殻、麦わら、農業残渣) について

農業残渣系のバイオマス資源である稲わら、もみ殻、麦わら、農業残渣などは、ソフトバイオマスと呼ばれ、農作物の非食用部であるため、食料と競合しない未利用バイオマス資源として注目されている。日本各地で、稲わらからのバイオエタノール製造が検討されており、農林水産省のソフトセルロース利活用技術確立事業 (ソフトセルロース利活用モデル事業) も実施されており、CNF原料として検討する場合、必ず、競合するものである。

これらのソフトバイオマスの成分分析値が、東京大学生産技術研究所によって調べられている (文献 2-5)。表 2-7 より、セルロース成分では、稲わらが 33%、もみ殻が 38% であり、木材の約 50% と比較して少ない。また、灰分は稲わらで 16%、もみ殻で 19% 含まれており、木材の木部では 0.5%、樹皮、枝、葉でも数% であり、他の材料と比べ、多くなっている。エネルギー利用でも、灰分が多いとその処理に費用が必要となり、CNF原料としての利用でも処理は必要となるので、稲作残渣系資源の利用上の課題となっている。

表 2-3 バイオマス試料の成分分析値 (文献 2-5, p.294 より引用)

wt. %	イナワラ	モミガラ	リンゴ (枝)	ススキ (茎)	竹 (葉)
ヘミセルロース	31	19	23	32	35
セルロース	33	38	46	48	37
リグニン	6	17	14	10	13
灰分	16	19	2	7	4
計	86	93	85	97	89

### 2.5.1 稲作残渣・稲わら

三重県内の稲わら賦存量は14.4万DW-tで、有効利用可能量が2.2万DW-t(15%)である。日本各地で、稲わらからのバイオエタノール製造が検討されており、将来的に資源の確保が難しくなると思われる。しかし、バイオエタノール原料等の資源として提供する場合、稲わらは収穫時の含水率が60%程度と高いため、これを腐敗させずに保管する必要があるため、乾燥方法や刈り取り技術で課題が残っており、急速に資源確保が難しくなるとは考えにくい。CNF原料として利用する場合でも同様の課題となり、乾燥や保管のコスト、技術開発が必要である。現在は、汎用コンバインで細断され、圃場に排出されているが、バイオマス資源として利用するために、コンバインに乾燥工程を導入するなどの技術開発が行われており、活用に向けての取り組みが進んでいる。

三重県内の市町村別の賦存量(DW-t/年)、およびその密度(DW-t/km<sup>2</sup>)を図2-10に示す。賦存量では、津市、松阪市ついで伊賀市が多くなっているが、密度では、明和町と玉城町が大きくなっている。

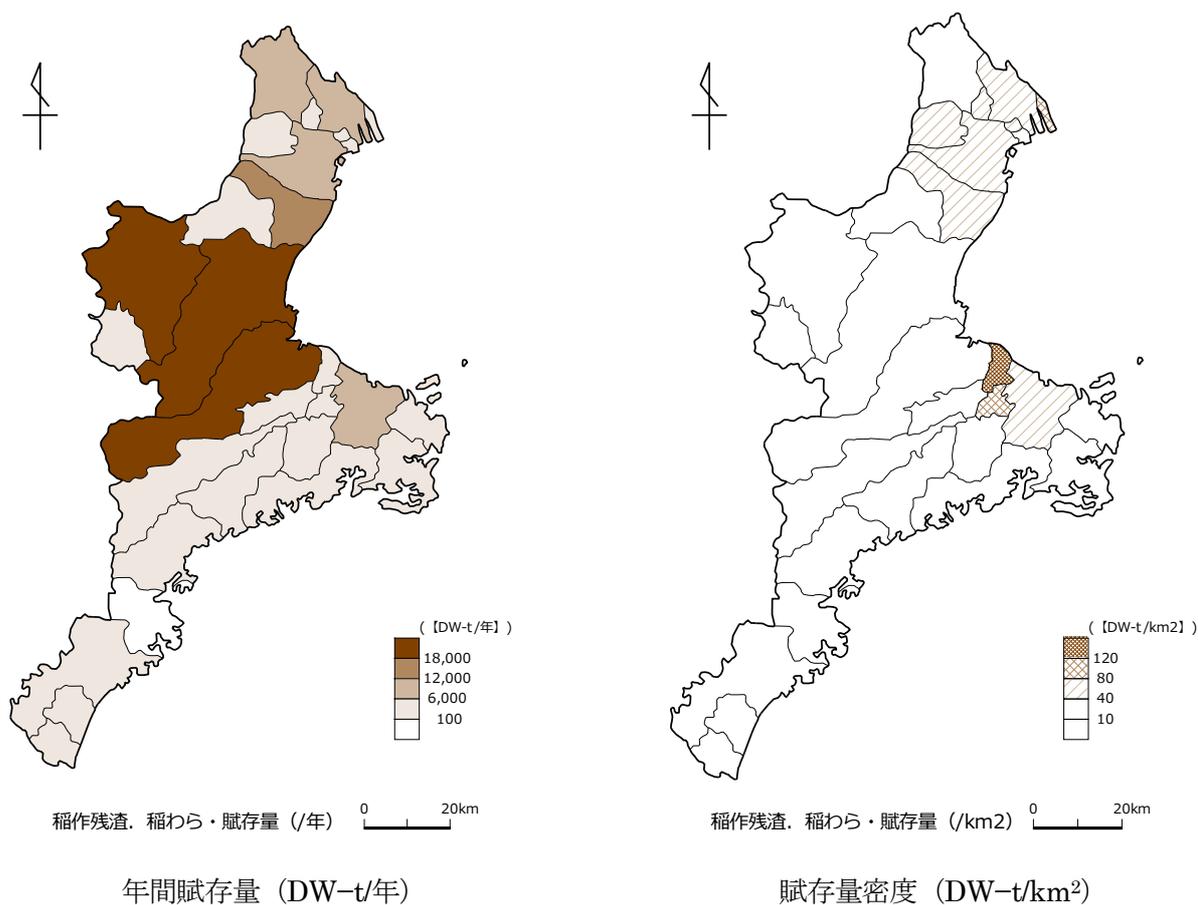


図 2-10 三重県内の市町村別稲作残渣・稲わらの賦存量

## 2.5.2 稲作残渣・もみ殻

三重県内のもみ殻賦存量は1.9万DW-tで、有効利用可能量が0.3万DW-t（15%）である。もみ殻もソフトセルロースに位置づけられるので、稲わらと同様の利用が図られている。しかし、稲わらが圃場での保管であるのに対し、もみ殻は収穫時にコントリーエレベーターなどの穀物の貯蔵施設に集積され、保管される。そして、米の出荷時にもみ殻が残渣となって出るので、年間を通じて、安定した品質と量が供給されることになる。全国米麦改良協会の農業機械化公報によると、三重県内には、コントリーエレベーターが15か所、ライスセンターが63か所設置されており、県内全域でもみ殻の供給が可能と思われる。すなわち、工業用原料としては、安定した供給が得られるため、有望と考えられる。しかしながら、CNF原料としては、もみ殻の組成に灰分が約19%と多く含まれるため、セルロースを精製する前処理でのコストで不利となろう。

三重県内の市町村別の賦存量（DW-t/年）、およびその密度（DW-t/km<sup>2</sup>）を図2-11に示す。図2-10の稲わらの賦存量分布と同様の分布となっている。

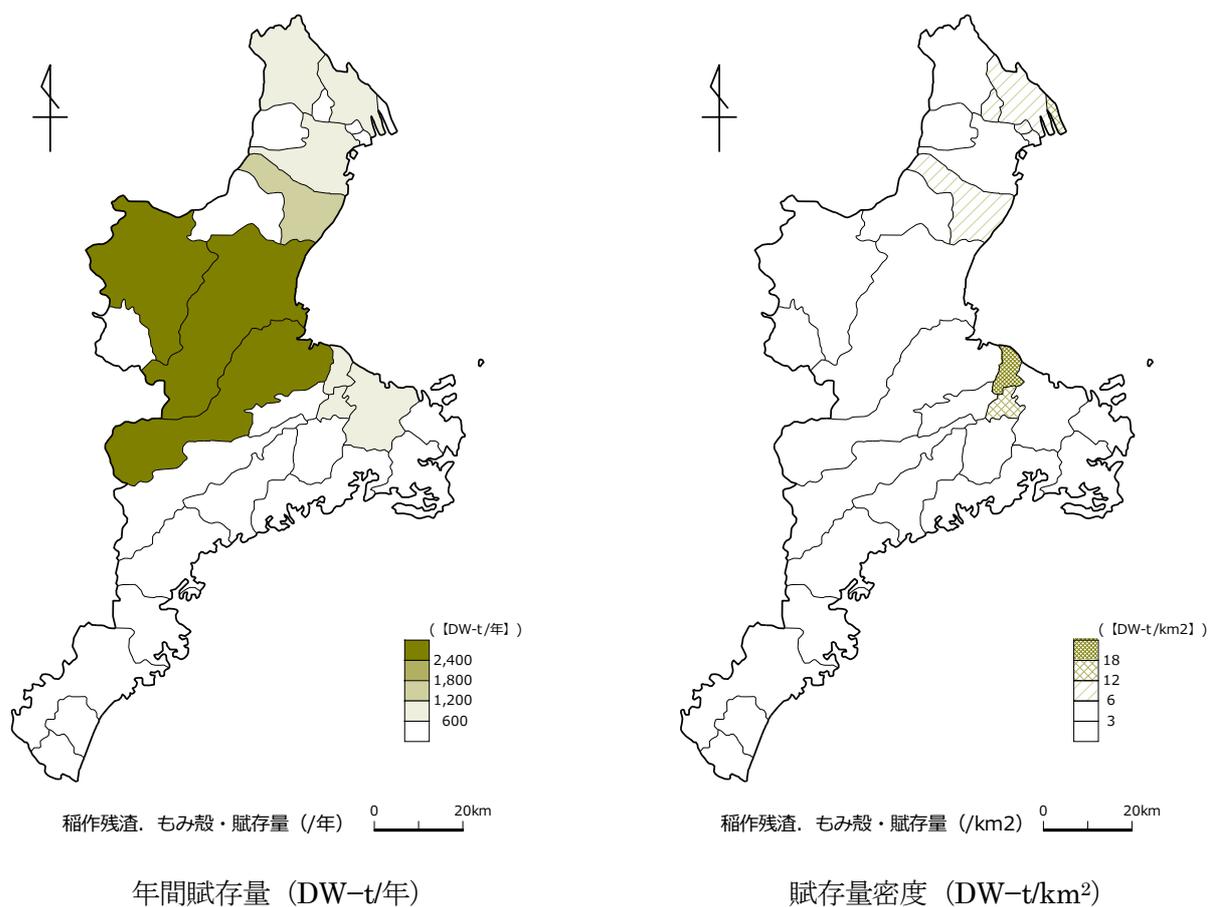


図 2-11 三重県内の市町村別稲作残渣・もみ殻の賦存量

### 2.5.3 麦わら

三重県内の麦わら賦存量は1.5万DW-tで、有効利用可能量が0.2万DW-t(15%)で、稲わらに比べると約1/10である。麦わらもソフトセルローズに位置づけられるので、稲わらと同様の利用が図られている。機械装置も稲麦用であるので、賦存量が多い稲で乾燥方法や刈り取り技術が開発できれば、麦でも利用できるため、麦わらの利用が進むこととなる。

三重県内の市町村別の賦存量(DW-t/年)、およびその密度(DW-t/km<sup>2</sup>)を図2-12に示す。賦存量では、松阪市、津市が多いが、密度では、明和町と東員町が大きくなっている。

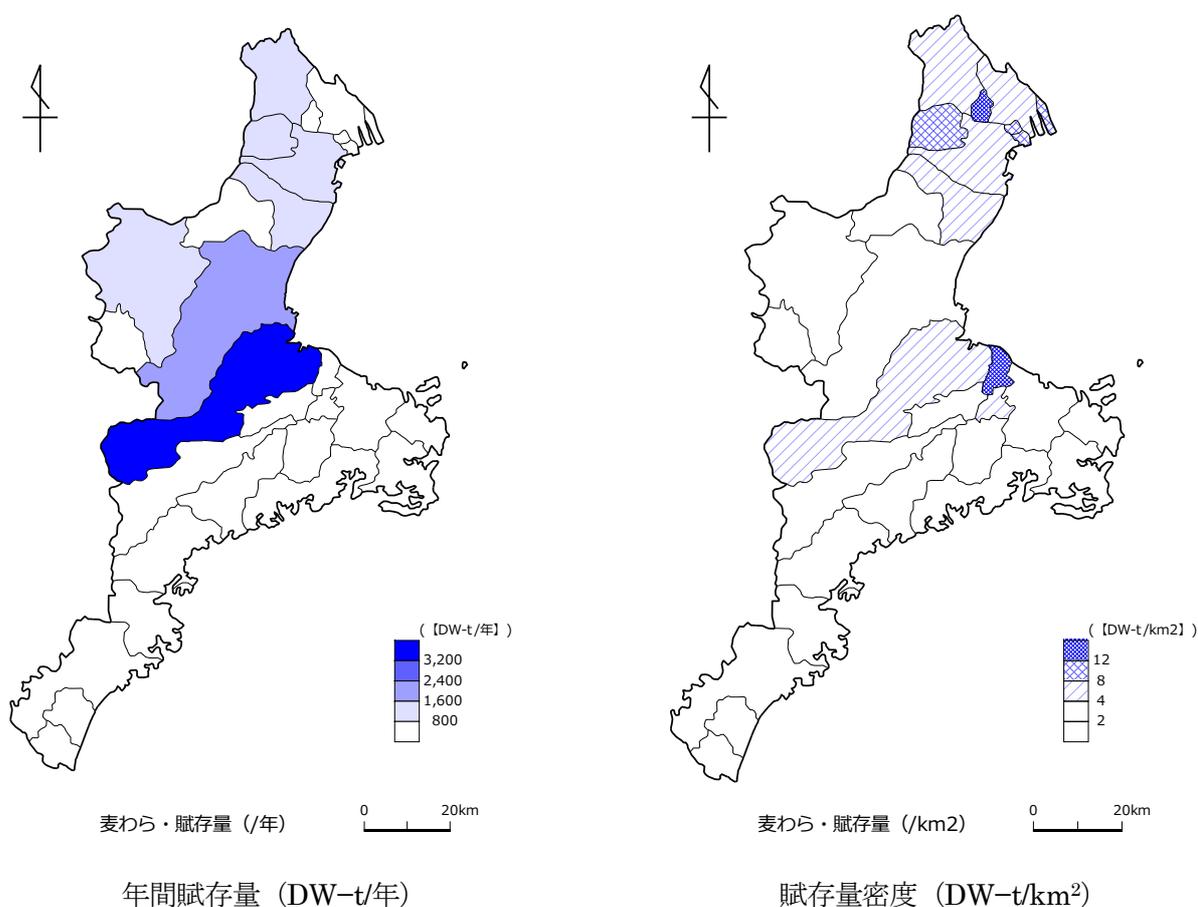


図2-12 三重県内の市町村別麦わらの賦存量

### 2.5.4 その他の農業残渣

三重県の農業生産量は、みかん、キャベツ、なばな、茶などが多いが、三重県に限らず、農業生産物は多様である。みかんの残渣は、果樹剪定枝に含まれると思われるが、生産物が多様であるため、残渣の種類も多様であり、また、季節性もあるため、まとまった量の供給、通年の安定した供給は期待できないと思われる。トマトのハウス栽培など、通年の安定した供給が可能な生産物もあるが、稲わらと同様に収穫時の水分含有量が多いため、その保存方法を検討する必要がある。これらのことから、県内の農業残渣のCNF原料としての利用は期待できない。しかし、近年、開発が進む植物工場との連携ができれば、品種の選択により、残渣利用の可能性はあると思われる。

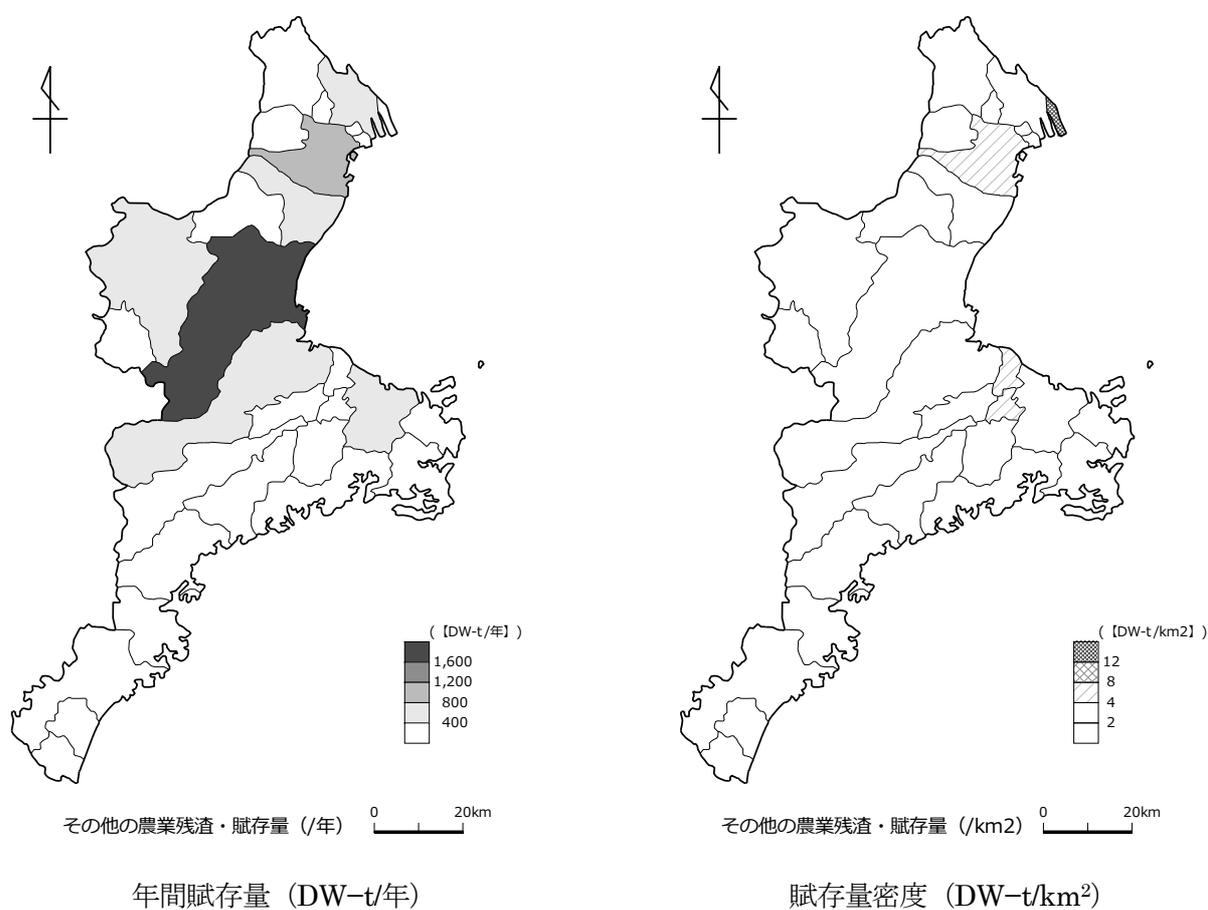


図 2-13 三重県内の市町村別その他の農業残渣の賦存量

## 2.6 草本系のバイオマス

### 2.6.1 ササ

三重県内のササ賦存量は0.04万DW-tで、有効利用可能率は100%であるが、同じ草本系のススキの賦存量に比べ1%程度であり、資源としては期待できない。賦存密度は県内全域で一様ではあるが、量的に少ないため、面積当たりに換算すると、このような結果となる。工業規模とならないため、コスト面でも不利である。

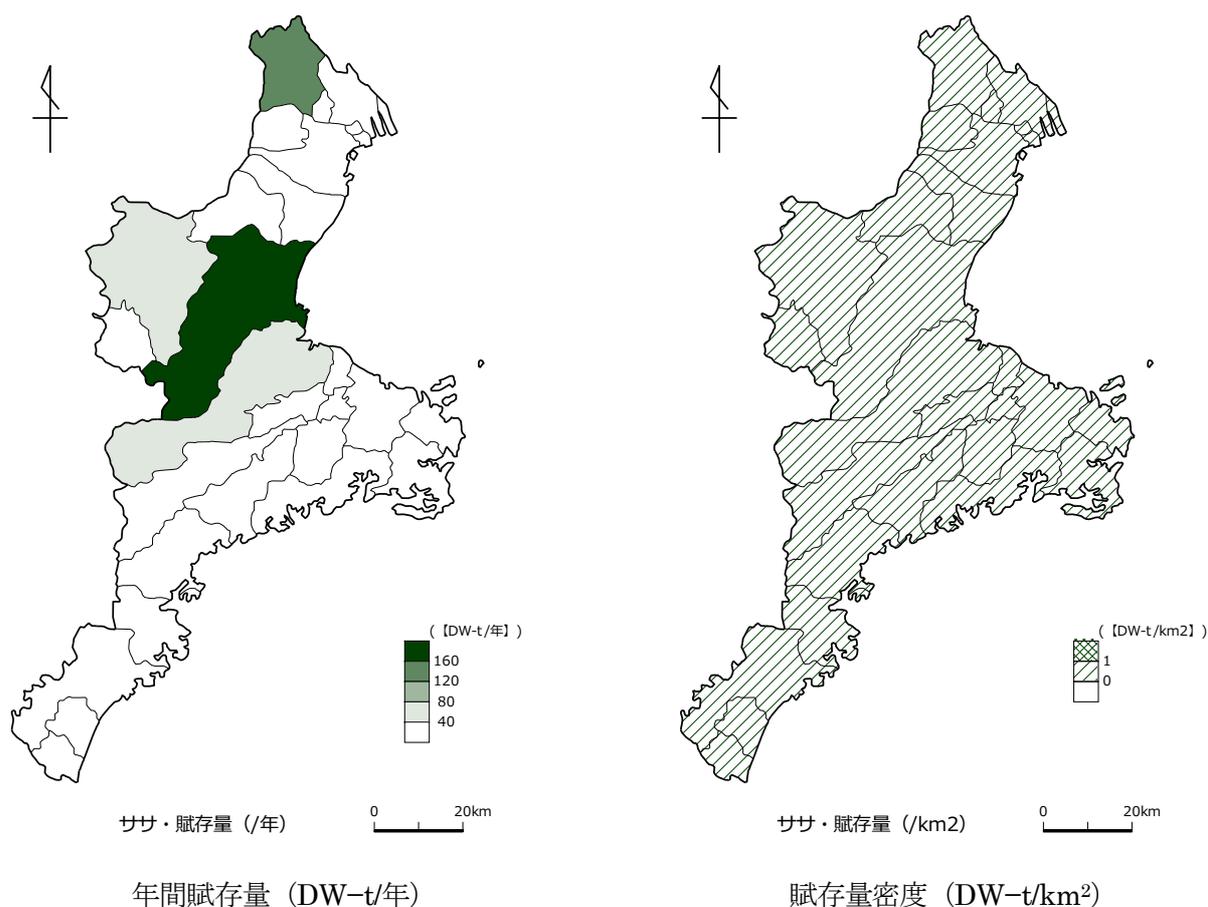


図 2-14 三重県内の市町村別ササの賦存量

### 2.6.2 ススキ

三重県内のススキ賦存量は3.4万DW-tで、タケの2.6倍の賦存量がある。有効利用可能量は3.4万DW-tで賦存量と同じ、つまり、有効利用可能率は100%であり、エネルギー利用、堆肥利用も無く、収集等に関する経済性からの利用不可能分も無い。

三重県内の市町村別の賦存量 (DW-t/年)、およびその密度 (DW-t/km<sup>2</sup>) を図 2-15 に示す。賦存量では、桑名市、伊賀市、いなべ市、津市が多いが、密度では、木曾岬町が168DW-t/km<sup>2</sup>と飛び抜けており、次いで、川越町、東員町など、北勢地域に集中している。鈴鹿市を除く、北勢、中勢地域では、タケの有効利用可能量を上回っており、明和町と東員町が大きくなっている。隣接する桑名市と木曾岬町だけでも、有効利用可能量は1

万 DW-t で県内の 30%の量を占め、北勢地域に範囲を広げると 40%となる。ススキの茎のセルロース分は約 48%であり、稲わら、もみ殻よりも高く、また、灰分も稲わら、もみ殻より低い点でも、CNF 原料として期待できるものである。しかし、CNF 化の技術だけでなく、未利用資源であるため、刈り取りや収集など原料集材のための技術開発も必要であり、現時点では、周辺コストが未知であり、コスト的には、有利とは言えない。生育については、1950 年から 60 年代にはススキを飼料作物として利用する目的で育種学的研究が三重大学や岐阜大学などで実施されたが、ススキは頻繁な刈取りに耐えられないなどの理由で、飼料作物としての研究は途絶えている、との報告（文献 2-6）もあり、検討が必要となる。

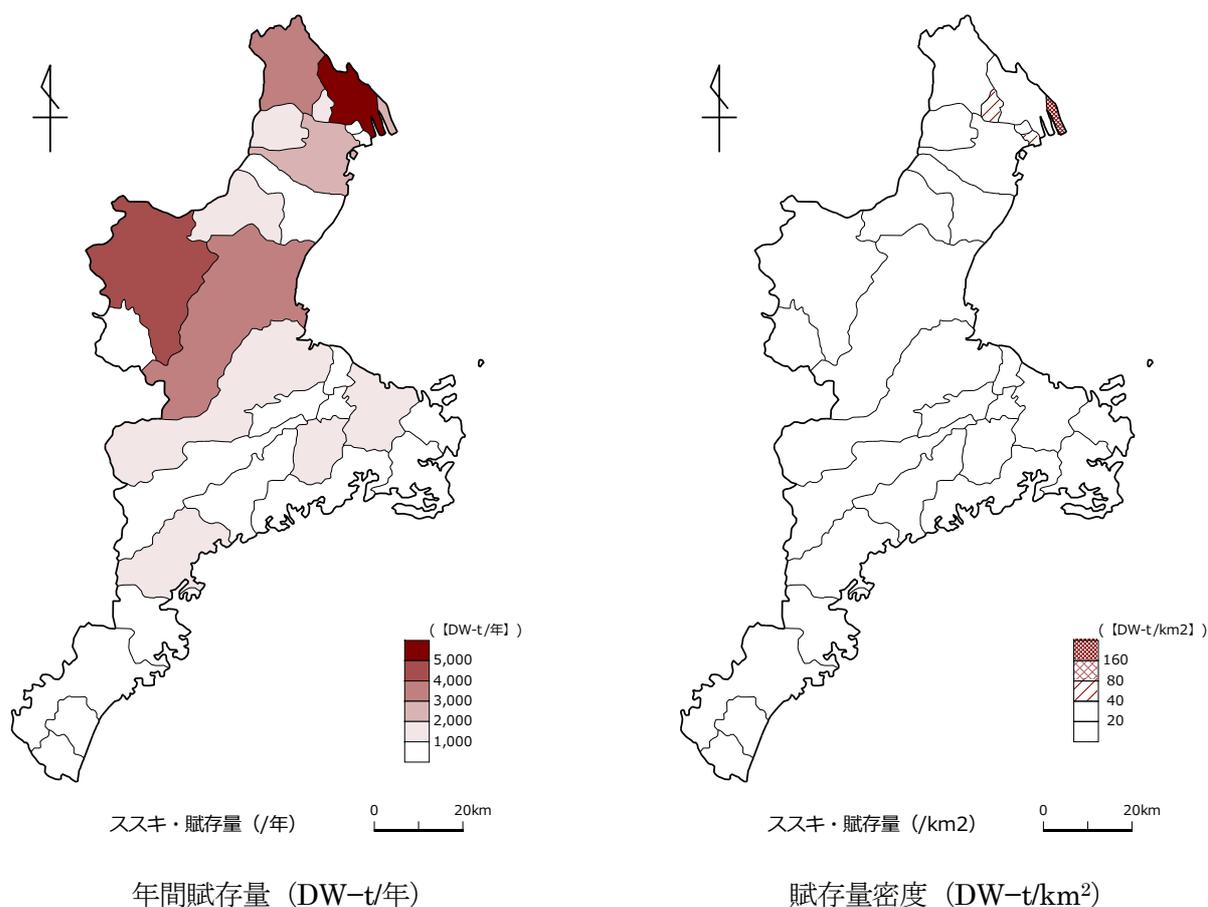


図 2-15 三重県内の市町村別ススキの賦存量

## 2.7 廃棄物系のバイオマス

### 2.7.1 建築廃材、新・増築廃材、公園剪定枝

三重県内の建築系廃材として、建築廃材、新・増築廃材の市町村別の賦存量 (DW-t/年) を図 2-16 に示す。建築物に由来するものであるため、県内の人口の分布と似た結果である。建築系廃材の賦存量は、建築廃材が 4 万 DW-t、新・増築廃材が 1.2DW-t、合わせて 5.2 万 DW-t で、有効利用可能量は合わせて 1.8 万 DW-t (34%) となっている。木材系という点で、製材廃材と比べると、賦存量では 63% であるが、有効利用可能量は 4 倍以上である。しかし、製材廃材よりも他の資源の混在があると思われ、工業原料としては期待できない。

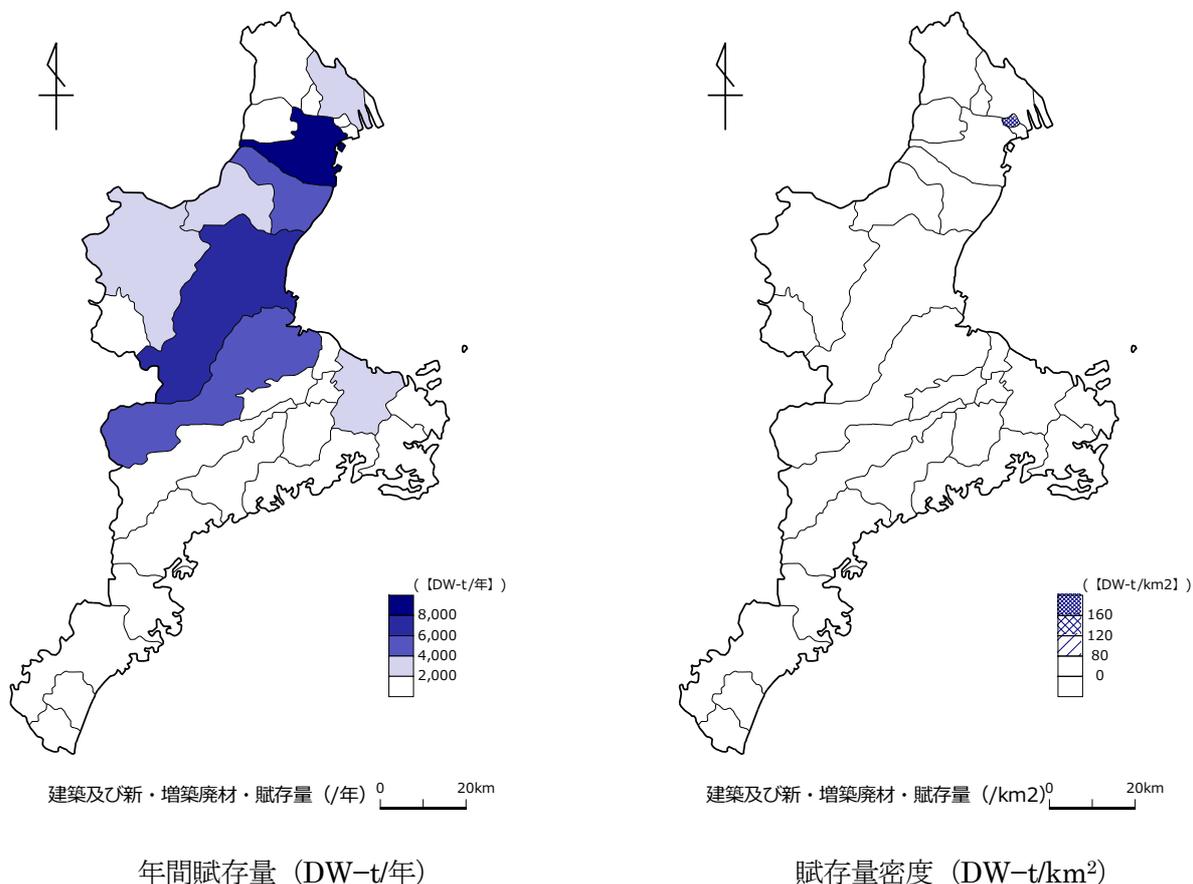


図 2-16 三重県内の市町村別建築系廃材の賦存量

## 2.8 海藻資源について

天然資源のうち、セルロースナノファイバー原料として期待される資源の一つに、海藻類がある。海藻は、褐藻、紅藻、緑藻に分類され、コンブなどの褐藻、アオサ等の緑藻など、一部食料として利用されるものはあるが、ほとんどは食料としての利用はなく、手つかずの未利用バイオマスといえ、エタノール利用などの研究も盛んに行われている。緑藻、褐藻、紅藻の大型海藻全体の資源量をみると、コンブやワカメ、ホンダワラなどが属する褐藻が圧倒的に多いが、褐藻は炭水化物としてセルロース系多糖も含むが、マンニトール、ラミナラン、アルギン酸など、複雑な成分を含んでいるためエタノール発酵が困難である。一方、アオサなどの緑藻は含まれる多糖が陸上植物に似たセルロースやデンプンであり、比較的容易にエタノールの製造が可能と言われている。セルロースナノファイバーの製造に関しても、やはり陸上植物に似ている点は注目すべきであり、海藻由来のセルロースに関する研究も緑藻類を対象としたものが見られる。

海藻由来のセルロースについては、以下の文献でその特徴が調べられている。

Nanodomains of  $I_{\alpha}$  and  $I_{\beta}$  Cellulose in Algal Microfibrils, Tomoya Imai and Junji Sugiyama, *Macromolecules*, 31 (18), pp 6275–6279, 1998 (文献 2-7)

《概要》天然の結晶性セルロースは、2つのファミリーに分類され、すなわち、 $I_{\alpha}$ 量に富んでいる藻類とバクテリア由来のグループと、 $I_{\beta}$ が多いコットン、ラミーなどの高等植物由来のグループであると報告されており、藻類由来のセルロースが高等植物由来のセルロースとは異なる特徴があることが示されている。

Entire Surface Oxidation of Various Cellulose Microfibrils by TEMPO-Mediated Oxidation, Yusuke Okita, Tsuguyuki Saito and Akira Isogai, *Biomacromolecules*, 11 (6), pp 1696–1700, 2011 (文献 2-8)

《概要》針葉樹由来の漂白パルプ、広葉樹由来の漂白パルプ、綿、バクテリア、ホヤ、シオグサ属の海草を試料として、TEMPO 触媒酸化により、セルロースナノファイバーを調整した。天然セルロースサンプルの結晶構造、結晶サイズ、マイクロフィブリルの形態は、それぞれ異なる特性を有しており、木材や綿などに比べ、シオグサ属セルロースは、結晶幅が大きいことが示され、比表面積が小さくなるため、表面に露出している単位重量あたりの1級水酸基量が少なく、結晶幅の小さな木材セルロースは、逆に多くなると報告されている。

表 2-4 TEMPO 酸化セルロースのプロファイル（文献 2-8 より、引用）

Table 1. Profiles of the TEMPO-Oxidized Native Celluloses

origin of cellulose sample	crystal size (nm) <sup>a</sup>			oxidation end point (h) <sup>b</sup>	carboxylate content (mmol/g)	aldehyde content (mmol/g)	total content of functional groups <sup>c</sup>	
	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>A</sub>				(mmol/g)	(mol/mol of monomer unit)
softwood	3.5	4.1	3.8	4.0	1.65	0.07	1.72	0.30
hardwood	3.5	4.1	3.8	4.3	1.69	0.00	1.69	0.29
cotton	4.5	6.2	5.4	3.7	1.36	0.00	1.36	0.23
bacteria	5.4	6.2	5.8	2.7	1.05	0.10	1.15	0.19
<i>Halocynthia</i>	7.6	10.6	9.1	2.5	0.59	0.06	0.65	0.11
<i>Cladophora</i>	11.9	14.4	13.1	3.0	0.52	0.00	0.52	0.09

<sup>a</sup> The C<sub>1</sub> and C<sub>2</sub> are crystal sizes of the planes corresponding to *d*-spacings of 0.60–0.61 and 0.53–0.54 nm, respectively. The C<sub>A</sub> is the average value of C<sub>1</sub> and C<sub>2</sub>. <sup>b</sup> The time when almost no consumption of NaOH, monitored with a pH stat, was observed during the reaction for 5 h. <sup>c</sup> Total content of carboxylate and aldehyde groups, expressed as mmol/g and mol/mol of monomer unit in the oxidized sample.

これらの文献は、一部の海藻に関する結果ではあるが、木材由来のパルプ等とは異なるセルロースナノファイバーとしての特徴を報告したものであり、海藻への期待が窺えるものである。

そこで、水産資源が豊富な三重県の状況を調査して、CNFの原料としての可能性を調査した。

### 2.8.1 三重県の実藻資源について

三重県沿岸は、南北に約 1,000km に及ぶ長い海岸線が連なり、外洋およびリアス式の内湾を有するため、地理的、海況的な環境に恵まれている。海藻の種類は非常に豊富であり、おおむね 200 種類ほどの海藻があると言われている。

海岸線は、伊勢湾海域と熊野灘海域に区分され、伊勢湾内の砂泥の浅い海底には海草（アマモ、コアマモ）が、伊勢湾南部から熊野灘沿岸の波あたりの穏やかな岩や石の海底ではホンダワラ類（ガラモ場）、岩場の波あたりの激しいところでは、アサメやカジメが多くなっている。

海藻の分布は藻場の分布として調査されており、日本における代表的な藻場は、アマモ場、アサメ・カジメ場、ガラモ場、コンブ場であり、他に、テングサ場、アササ場、ワカメ場などがある。藻場における海藻の鉛直分布は、図 2-18 のように分布している。

三重県では、これまでにアマモ場の再生に取り組んでおり、海藻や海草の生育環境、藻場の管理、利用について知見を有している。三重県の藻場については、三重県農林水産部水産基盤整備課が調査しており、その分布については、「藻場・干潟等分布状況マップ作成委託業務報告書（平成 22 年度）」にまとめられている。それを元に、三重県の藻場の分布

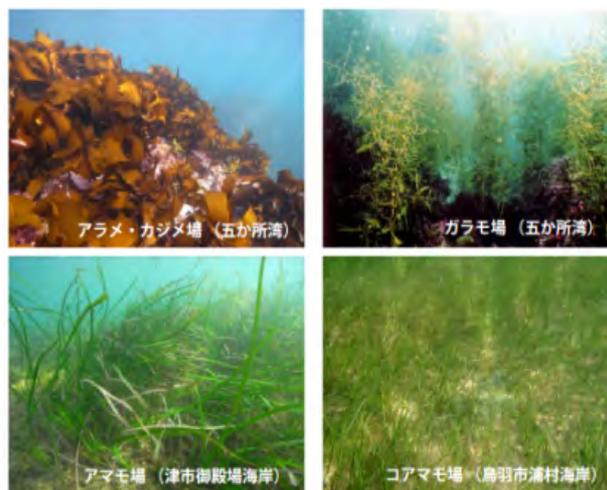


図 2-17 三重県で生育する海藻例

について表 2-5 (次頁)、図 2-19 (次々頁) のとおりまとめた。三重県においては、コンブ場を除いて、藻場が広範に分布しているが、特に、松阪地区 (表 2-5 及び図 2-19 中の(8)) 以南から五カ所湾 (表 2-5 及び図 2-19 中の(24)) の面積が大きいことがわかる。

三重県の松阪地区 (表 2-5 及び図 2-19 中の(8)) 以南では、ヒトエグサ (Monostroma、アオノリ (地方名：あおさ)) の養殖が盛んで、その生産量は日本で約 500 トン、シェアは 6 割程度である。ここで、この養殖のアオサはヒトエグサの「あおさのり」を言い、海藻の分類上のアオサとは異なる。分類上のアオサ (アナアオサ、リボンアオサ、ナガアオサなど) は、食用に供されることはなく、富栄養化した湾内では大量発生し、漁業等に被害を及ぼすことがある。

三重県の主な海藻の生産量と生産額を表 2-6 のとおり、まとめた。(表に記載以外の海藻類は、生産量、生産額共に少ないため、ここには記載していない。)

表 2-6 三重県の主な海藻の生産量と生産額

	黒ノリ	青ノリ	ヒジキ	ワカメ
生産量 (トン)	714	461.9	280.7	700
生産額 (億円)	23.6	16.1	3.7	5.6

- ※ ヒジキは天然の収穫量、他は養殖による生産量
- ※ 三重漁連資料、漁業・養殖業生産統計などからまとめた

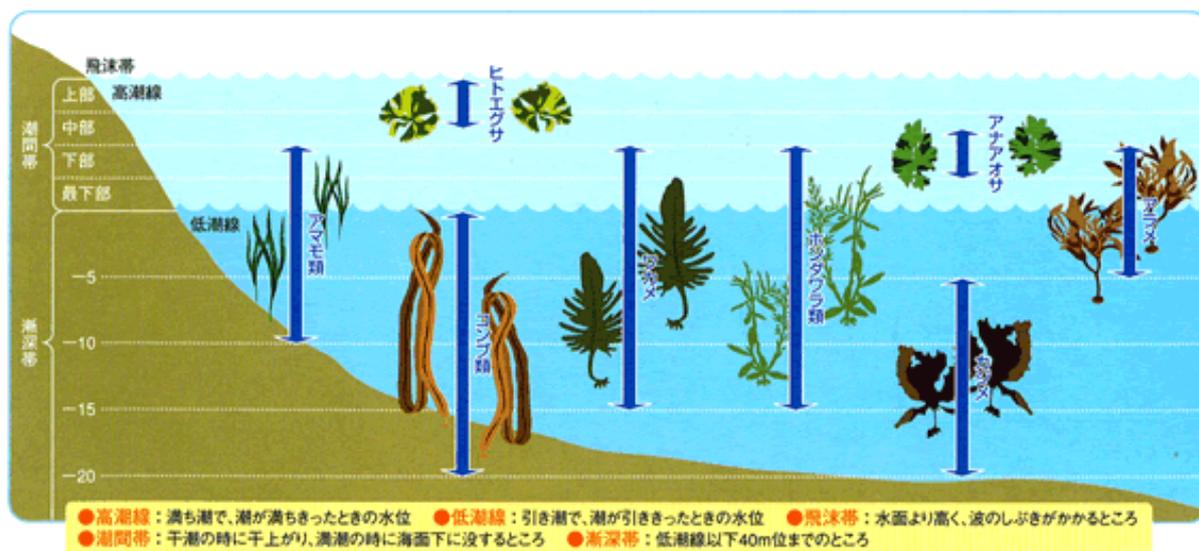


図 2-18 藻場の鉛直分布

([http://www.jfa.maff.go.jp/j/kikaku/tamenteki/kaisetu/moba/moba\\_genjou/](http://www.jfa.maff.go.jp/j/kikaku/tamenteki/kaisetu/moba/moba_genjou/)より引用)

表 2-5 三重県の海域区分ごとの藻場分布

[http://www.pref.mie.lg.jp/SUIKIBAN/HP/moba/Map/H22\\_Map/Map.html](http://www.pref.mie.lg.jp/SUIKIBAN/HP/moba/Map/H22_Map/Map.html)

海域区分藻場面積	(ha)	主な藻場
(1)長島地区	0.7	その他
(2)四日市地区	2	アオサ場
(3)楠地区	17.3	その他
(4)鈴鹿地区	14.7	その他
(5)白子地区	0	
(6)津地区	7.7	アオサ場
(7)雲出地区	2	アオサ場
(8)松阪地区	196.4	アマモ場
(9)明和地区	179.8	アマモ場
(10)伊勢地区	86.4	アマモ場
(11)二見地区	100.7	アマモ場
(12)答志島地区	201.5	アラメ・カジメ場
(13)神島地区	77.4	アラメ・カジメ場
(14)鳥羽北地区	358.7	アラメ・カジメ場
(15)鯛島礁地区	6.6	アラメ・カジメ場
(16)鳥羽南地区	258.3	アラメ・カジメ場
(17)的矢地区	298.3	アラメ・カジメ場
(18)的矢東地区	151.7	アラメ・カジメ場
(19)阿児地区	475	アラメ・カジメ場
(20)大王地区	607	アラメ・カジメ場
(21)英虞湾地区	242.7	アマモ場
(22)志摩外海地区	1,379.90	アラメ・カジメ場
(23)五ヶ所湾北地区	31.2	アラメ・カジメ場
(24)五ヶ所湾南地区	249.4	アラメ・カジメ場
(25)賢湾北地区	20	アラメ・カジメ場
(26)賢湾南地区	17.4	アラメ・カジメ場
(27)奈屋浦、神前浦地区	13	ワカメ場
(28)方座浦、古和浦地区	37.9	ガラモ場
(29)古和浦、錦地区	86.5	アラメ・カジメ場
(30)紀伊長島北地区	34.8	アラメ・カジメ場
(31)紀伊長島南地区	124	アラメ・カジメ場
(32)島勝地区	1.3	アラメ・カジメ場
(33)九鬼地区	16.1	ガラモ場
(34)早田地区	30.9	ガラモ場
(35)海山地区	19.6	ガラモ場
(36)尾鷲湾地区	2.2	その他
(37)賀田湾地区	41.6	テングサ場
(38)二木島地区	53.6	ガラモ場
(39)新鹿湾地区	32.6	ガラモ場
(40)磯崎地区	27.9	テングサ場
(41)木本地区	6.2	テングサ場
(42)御浜地区	6	アラメ・カジメ場
(43)紀宝地区	30.5	アラメ・カジメ場
(44)鶴殿地区	3.1	アラメ・カジメ場
合計	5,544.20	

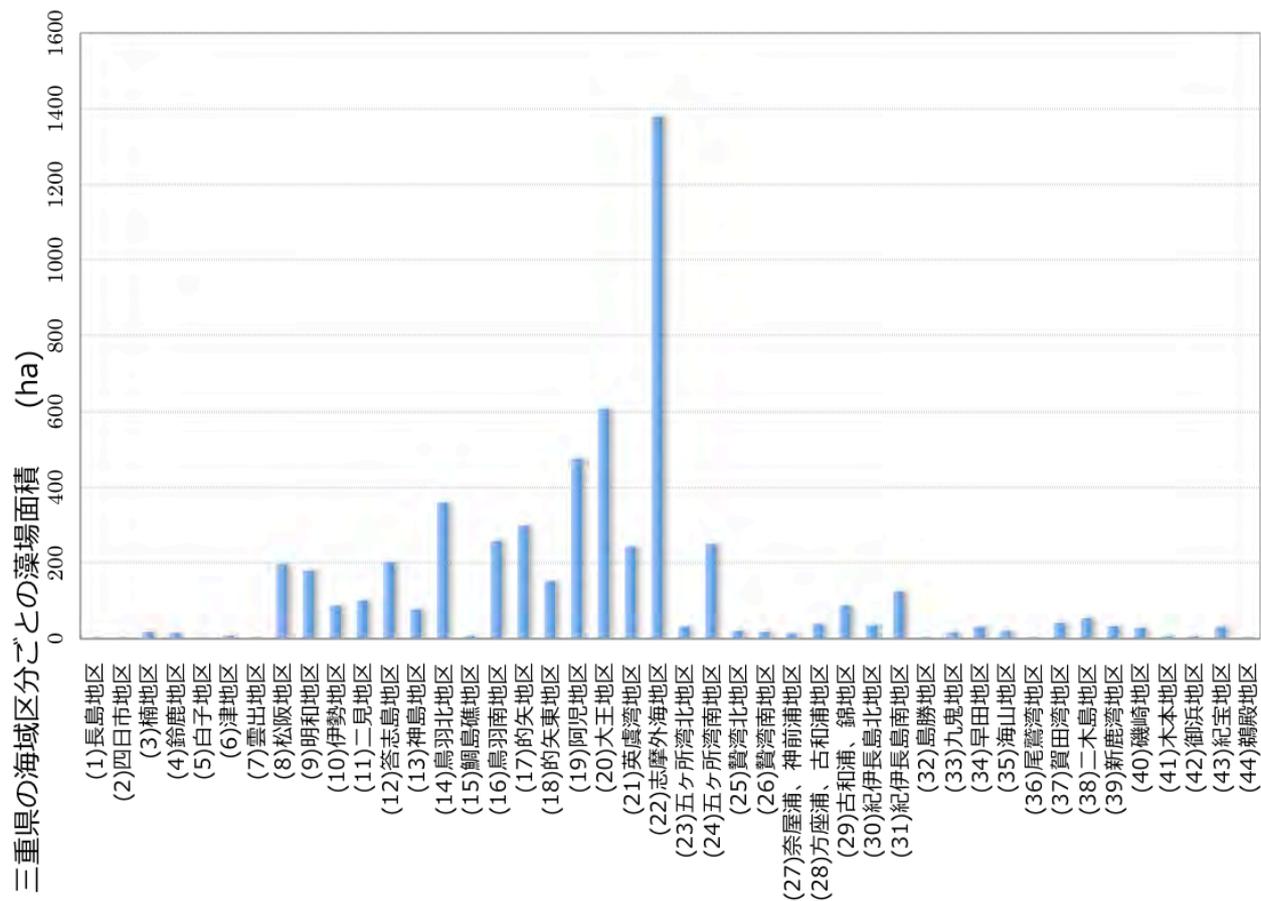
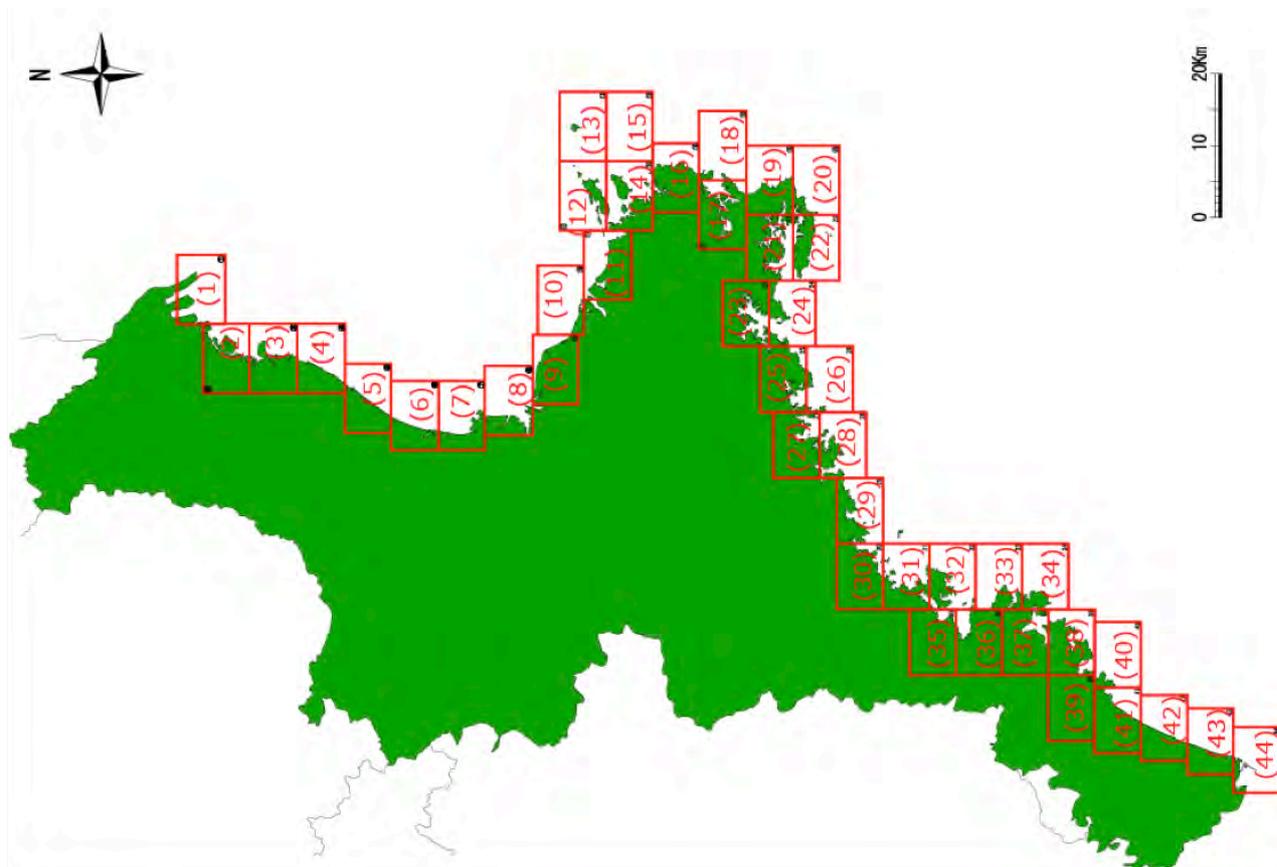


図 2-19 三重県内の海域区分ごとの藻場面積

## 2.8.2 海藻を利用するための必要資源量の算出

これらの海藻を原料として、年産 50 トン (CNF : 2wt%) を製造するプラントを想定して、資源の必要量を試算する。

不溶性植物繊維が乾燥物あたりで約 40% であるが、この不溶性食物繊維をすべてセルロースと仮定して、 $50,000 \text{ kg} * 0.02 / 0.40 = 2,500 \text{ kg}$  の乾燥物が必要となる。海藻類の水分は 88% (文献 2-9) より、三重工研調査 14 種類の平均値) として、海藻の水分を含む収穫量は、20,800kg が必要となる。

資源名	年産量(t)	CNF wt%	Cellulose 分	資源量(dry)(kg)	水分量	必要資源量(kg)
海藻	50	2%	40%	2,500	88%	20,833

黒ノリ、青ノリの生産量に近い値となっているが、これらは既に利用されている資源であり、海藻をセルロースナノファイバー化する場合、これらと同等の規模での養殖生産が必要であることがわかる。

Okita (文献 2-8) らは、*Cladophora sp.* (シオグサ目) を試料として、ナノファイバー化を行っている。*Cladophorales* シオグサ目とは、緑藻植物門のアオサ藻綱の下位分類に含まれる科目で、マリモ、ジュズモ、バロニア、アオモグサ、マガタマモなどである。この科目は、アオサ場に生息しており、三重県内にも分布している。シオグサ目は太平洋沿岸域の潮間帯に生息し、その分布は広範に渡るが、潮間帯に生息するため線状の分布となるため面積としては大きいとは言えず、また、その形態が微細な糸状であるため、資源量としては、少ないものと思われる。

しかしながら、Okita らの文献で対象となっている試料が含まれる緑藻類として考えた場合、緑藻類は、干潮時に干上がるような場所や海面近くで生育することが知られており、干満の差が大きい太平洋側での生育に向いていると言われ、全体の資源量は豊富であり、三重県での生育にも適した資源である。緑藻類は、褐藻類、紅藻類よりも、陸上植物に近い組織で構成されていることから、セルロースナノファイバー化に適していると思われ、期待ができる資源である。

## 2.8.3 海藻を利用するための課題整理

三重県での生産量は多くない (全国の 3%程度) が、海苔 (黒ノリ) は色落ちなどの問題から市場に出荷できないものもあり、生産者 (ノリ養殖業者) が廃棄している場合もある。未利用資源として考えた場合、養殖品であるので他品種の混入や夾雑物が比較的少ないと思われるが、その供給量が気候や海況によって大きく左右されるため、安定した入手が困難となり、セルロースナノファイバー原料としての利用は難しいと思われる。

褐藻におけるセルロース成分以外の成分は、有用成分ではあるもののセルロースナノファイバーの製造においても、エタノール製造と同様に残渣として扱われるため、緑藻が有利である。しかしながら、加工技術の開発により、褐藻から、化粧品分野などで海藻エキスとされているような成分を抽出できれば、資源としての海藻の価値が上がり、海藻エキスの残渣としてセルロースが扱われれば、価格的には有利となるであろう。

例えば、三重県では、未利用の海藻資源を高付加価値化する取り組みの中で、褐藻類のアカモク（図 2-20、ホンダワラの仲間、海のじゃまものなどと言われる）から、有用成分の抽出を研究開発している。成分抽出後の殻は廃棄物となるが、有用成分の抽出時に前処理がされているため、夾雑物の混入は少なく、セルロースナノファイバー化のための前処理加工が少なくなるため、資源としては有利である。



図 2-20 アカモク

緑藻類は、高機能な海藻として注目され、養殖も研究されている。褐藻と同様に、有用成分の抽出が目的であるが、その残渣はセルロースである。緑藻は、褐藻よりも収穫は容易であり、また、陸上植物に似ているという点からも、セルロース資源としては有利であると考えられる。

緑藻類は、海面近くの分布となり、主に潮間帯に分布する。すなわち、三重県内での分布可能域は広く、地理的にも有利である。

三好らの海藻類の調査（文献 2-10）では、発酵原料としての利用を前提に、その収集特性も調査しており、アオサ類の収集適性は、「A」（1 人 10 分の作業で藻体 1kg(湿重量)以上の収集が可能であったもの）に分類されており、資源として集材しやすいものである。

三重県の海藻資源について、非食用の海藻資源での可能性があることは、注目すべきである。

CNF 化のための技術開発が必要であることは言うまでもない。加えて、海面からの集材については、機械化などについても調査しながら、三重県における集材特性について、調査する必要がある。また、先行利用が検討されている海藻については、資源利用において共存できるかも検討する必要がある。

海洋資源のことであり、現在の工業系のグループのみでは解決できない課題が多く、三重県水産研究所などと協力しながら、さらなる課題の抽出と整理を行い、三重の地域資源としての可能性を探りたい。

## 2.9 三重県内地域資源の CNF 原料としての可能性

三重県内のバイオマス資源を、NEDO による「バイオマス賦存量・有効利用可能量の推計」等の調査に基づいて、調査、分析した。その結果をもとに、CNF 原料としての可能性について、評価を行うこととした。

平成 25 年度製造基盤技術実態等調査（製紙産業の将来展望と課題に関する調査）報告書（文献 2-11）では、セルロースナノファイバーの生産量規模イメージとして、現在が 50t、2020 年では 600t～900t、2030 年では 150,000t から 225,000t と、予測している。全てのバイオマス資源が CNF になるものと仮定して、有効利用可能量とセルロース成分の割合から、10%CNF の年産量を試算した。2030 年の 150,000t を基に、次のように評価した。

◎ : >150,000t、 ○ : >100,000t、 △ : >10,000t、 × : <10,000t

その結果を表 2-7 に示す。ここでは、製造コストは考えずに、有効利用賦存量から生産できる量を算出したのみであるが、2020 年の生産規模イメージでは、全てのバイオマス種で CNF 原料として十分な量が供給されると評価された。

表 2-7 三重県内のバイオマス資源からの 10wt%CNF の年産量試算結果

バイオマス種	分類	分類	有効利用可能量 (DW-t/年)	Cellulose 成分	CNF 年産量(t)	評価
林地残材	木質系	未利用系	1,242	50%	6,210	×
切捨間伐材	木質系	未利用系	6,267	50%	31,335	△
製材廃材	木質系	廃棄物系	4,086	50%	20,430	△
タケ	木質系	未利用系	12,376	50%	61,880	△
果樹剪定枝	木質系	未利用系	5,177	45%	23,297	△
稲わら	農業残渣	未利用系	21,577	35%	75,520	△
もみ殻	農業残渣	未利用系	2,895	40%	11,580	△
麦わら	農業残渣	未利用系	2,194	35%	7,679	×
農業残渣	農業残渣	未利用系	3,341	40%	13,364	△
ササ	草本系	未利用系	435	40%	1,740	×
ススキ	草本系	未利用系	33,701	45%	151,665	◎
建築系廃材	木質系	廃棄物系	17,606	50%	88,030	△
公園剪定枝	木質系	廃棄物系	1,776	45%	7,992	×

次に、バイオマス資源の可能性調査のまとめとして、賦存量、有効利用可能量に加えて、各バイオマス種を様々な項目から評価を行った。各項目の説明は以下のとおりである。

集材コストは、既存の集材の仕組みがあることなどは集材に有利であるとして、また、分布が極端に偏っているもの不利であるなどとして、評価を行った。

加工コストは、原材料の加工方法が確立されているか、パルプ化、CNF 化の仕組みがあ

るか、その他の周辺コストなどを検討した結果から、評価を行った。

安定性は、CNF メーカーが工業原料として扱う場合、天然資源の材料としての安定性が課題となる。合成品に対して、天然資源由来の材料は、気象状況や季節、産地による品質のバラツキ、収量の増減は避けられず、このバラツキを検討した結果を記載した。

そして、これらに有効利用可能量や集材コスト、加工コストなどに重み付けをして、総合評価を算出した。その結果を表 2-8 に示す。

三重県内の資源で、CNF 原料として可能性が高いものは、切捨間伐材、製材廃材という結果となった。他に、林地残材、タケ、稲わら、もみ殻、ススキも、加工方法や集材方法などの課題が残るが期待される資源であるとの結果を得た。特に、ススキに関しては、未利用であり、かつ、利用可能賦存量も多いため、大いに期待できるものと思われ、引き続き、可能性を検討したい。

海藻資源については、未利用資源であり、賦存量など不明な点が多いが、地域の特徴的な資源として、期待したい資源である。

表 2-8 三重県内のバイオマス資源調査結果のまとめ

バイオマス種	分類	分類	賦存量	利用可能量	集材コスト	加工コスト	安定性	総合評価
林地残材	木質系	未利用系	△	×	○	◎	○	○
切捨間伐材	木質系	未利用系	○	△	○	◎	○	◎
製材廃材	木質系	廃棄物系	○	△	◎	◎	◎	◎
タケ	木質系	未利用系	◎	△	△	○	○	○
果樹剪定枝	木質系	未利用系	○	△	×	○	○	△
稲わら	農業残渣	未利用系	◎	△	○	△	△	○
もみ殻	農業残渣	未利用系	△	△	○	△	△	○
麦わら	農業残渣	未利用系	△	×	△	△	△	×
農業残渣	農業残渣	未利用系	△	△	○	×	×	×
ササ	草本系	未利用系	×	×	×	×	△	×
ススキ	草本系	未利用系	◎	◎	△	△	△	○
建築系廃材	木質系	廃棄物系	◎	△	△	△	△	△
公園剪定枝	木質系	廃棄物系	△	×	○	○	△	△
海藻資源	海藻系	未利用系	-	-	◎	×	△	△

## 参考文献

- 2-1 新村博, 植物柔組織セルロースの存在形態に関する研究, 東京大学博士論文(2012)
- 2-2 磯貝明, TEMPO 酸化セルロースナノファイバーの調整と特製解析, 東京大学農学部演習林報告, 126, 1-43 (2011)
- 2-3 伊神裕司, 村田光司, 製材工場における木質残廃材の発生と利用, *Bulletin of FFPRI*, Vol.2, 111-114 (2003)
- 2-4 農業工学研究所, バイオマス利活用システムの設計と評価, (2006)
- 2-5 藤井隆夫, 他, 熱重量解析による迅速簡便なリグノセルロースの成分分析, 廃棄物資源循環学会論文誌, Vol. 22, (2011)
- 2-6 山田敏彦, エネルギー作物としてのススキ属植物への期待, *Journal of Japanese Society of Grassland Science*, 55, 263-269(2009)
- 2-7 Tomoya Imai and Junji Sugiyama, Nanodomains of I<sub>α</sub> and I<sub>β</sub> Cellulose in Algal Microfibrils, *Macromolecules*, 31, pp 6275-6279 (1998)
- 2-8 Yusuke Okita, Tsuguyuki Saito and Akira Isogai, Entire Surface Oxidation of Various Cellulose Microfibrils by TEMPO-Mediated Oxidation, *Biomacromolecules*, 11, pp 1696-1700 (2011)
- 2-9 藤原孝之, 栗田修, 苔庵泰志, 地域天然資源の有効成分データベース (第3報), 平成 20 年度三重県工業研究所研究報告, No.33, 120-133 (2009)
- 2-10 三好達夫, 内田基晴, 金庭正樹, 吉田吾郎, 発酵原料としての利用を視野とした海藻草類の収集と成分調査, *水産技術*, 6, 109-124 (2013)
- 2-11 株式会社三菱化学テクノリサーチ, 平成 25 年度製造基盤技術実態等調査 (製紙産業

### 3. 短期的に実現可能と考えられる CNF 用途開発分野の選定と CO2 削減ポテンシャルの推計

#### 3.1 断熱材分野に関する調査

セルロースナノファイバーの用途開発として、強固なナノ多孔体を有する CNF に着目し、加工性に優れた高分子材料とのコンポジット化を想定した、断熱材への応用の可能性について調査した。また、それらの用途の CO2 削減ポテンシャルについても調査した。

##### 3.1.1 断熱材分野での用途開発に向けた市場調査

断熱材分野での用途開発にあたり、国土交通省により発表された、断熱材の種類ならびに要求される熱伝導率を下記に示す。

(別添 2)

断熱材区分	熱伝導率 [W/(m・K)]	断熱材の種類例
A-1	0.052~0.051	<ul style="list-style-type: none"> <li>・吹込み用グラスウール (施工密度 13K、18K)</li> <li>・タタミボード (15mm)</li> <li>・A 級インシュレーションボード (9mm)</li> <li>・シーキングボード (9mm)</li> </ul>
A-2	0.050~0.046	<ul style="list-style-type: none"> <li>・住宅用グラスウール断熱材 10K 相当</li> <li>・吹込み用ロックウール断熱材 25K</li> </ul>
B	0.045~0.041	<ul style="list-style-type: none"> <li>・住宅用グラスウール断熱材 16K 相当</li> <li>・住宅用グラスウール断熱材 20K 相当</li> <li>・A 種ビーズ法ポリスチレンフォーム保温板 4 号</li> <li>・A 種ポリスチレンフォーム保温板 1 種 1 号</li> <li>・A 種ポリスチレンフォーム保温板 1 種 2 号</li> </ul>
C	0.040~0.035	<ul style="list-style-type: none"> <li>・住宅用グラスウール断熱材 24K 相当</li> <li>・住宅用グラスウール断熱材 32K 相当</li> <li>・高性能グラスウール断熱材 16K 相当</li> <li>・高性能グラスウール断熱材 24K 相当</li> <li>・高性能グラスウール断熱材 32K 相当</li> <li>・吹込み用グラスウール断熱材 30K、35K 相当</li> <li>・住宅用ロックウール断熱材 (マット)</li> <li>・ロックウール断熱材 (フェルト)</li> <li>・ロックウール断熱材 (ボード)</li> <li>・A 種ビーズ法ポリスチレンフォーム保温板 1 号</li> <li>・A 種ビーズ法ポリスチレンフォーム保温板 2 号</li> <li>・A 種ビーズ法ポリスチレンフォーム保温板 3 号</li> <li>・A 種押出法ポリスチレンフォーム保温板 1 種</li> <li>・建築物断熱用吹付け硬質ウレタンフォーム A 種 3</li> <li>・A 種ポリエチレンフォーム保温板 2 種</li> <li>・A 種フェノールフォーム保温板 2 種 1 号</li> <li>・A 種フェノールフォーム保温板 3 種 1 号</li> <li>・A 種フェノールフォーム保温板 3 種 2 号</li> <li>・吹込みセルローズファイバー 25K</li> <li>・吹込みセルローズファイバー 45K、55K</li> <li>・吹込みロックウール断熱材 65K 相当</li> </ul>
D	0.034~0.029	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高性能グラスウール断熱材 40K 相当</li> <li>・高性能グラスウール断熱材 48K 相当</li> <li>・A 種ビーズ法ポリスチレンフォーム保温板特号</li> <li>・A 種押出法ポリスチレンフォーム保温板 2 種</li> <li>・A 種硬質ウレタンフォーム保温板 1 種</li> <li>・建築物断熱用吹付け硬質ウレタンフォーム A 種 1</li> <li>・建築物断熱用吹付け硬質ウレタンフォーム A 種 2</li> <li>・A 種ポリエチレンフォーム保温板 3 種</li> <li>・A 種フェノールフォーム保温板 2 種 2 号</li> </ul>
E	0.028~0.023	<ul style="list-style-type: none"> <li>・A 種押出法ポリスチレンフォーム保温板 3 種</li> <li>・A 種硬質ウレタンフォーム保温板 2 種 1 号</li> <li>・A 種硬質ウレタンフォーム保温板 2 種 2 号</li> <li>・A 種硬質ウレタンフォーム保温板 2 種 3 号</li> <li>・A 種硬質ウレタンフォーム保温板 2 種 4 号</li> <li>・A 種フェノールフォーム保温板 2 種 3 号</li> </ul>
F	0.022 以下	<ul style="list-style-type: none"> <li>・A 種フェノールフォーム保温板 1 種 1 号</li> <li>・A 種フェノールフォーム保温板 1 種 2 号</li> </ul>

表 3-1-1 断熱材の種類とその要求性能 (国土交通省資料より)

東京大学磯貝教授、齋藤准教授らによると、TEMPO 酸化セルロースナノファイバー (TOCN) により形成されたエアロゲルの熱伝導率は 0.018 W/mK とされており、上記の断熱材と比較すると非常に低いことがわかる。そこで、断熱材の薄膜化、植物由来資源の適用による CO2 削減の観点から、断熱材市場、および同分野への TOCN の適用について調査を実施した。

矢野経済研究所による断熱材の市場調査を図 3-1-1、3-1-2 に示す。住宅用断熱材の出荷推移は総じて変化はないが、新築住宅数は減る傍ら、1 棟当たりを使用される断熱材は増加している。この調査より、消費者による断熱材への期待の高さ、並びに住宅・建設会社による断熱材の積極適用が見込められる。

また、断熱材の有力メーカーにヒヤリングしたところ、住宅用断熱材のうち約 8~9 割近くが新築住宅向けと言われており、新築での需要確保が断熱材メーカーにとって大きな課題となっている。新築住宅向けの断熱材については、長期優良住宅への動きや 2020 年新建築物の省エネ基準に向けて、市場環境が追い風となっているようである。特に、住宅の ZEH (ネット・ゼロ・エネルギー・ハウス) 化や建材トップランナー制度などにより、住宅用断熱材の高性能化が進み、住宅の更なる高気密・高断熱化により住宅用断熱材の使用量の増加が期待できる。高齢化社会においても、冬場でのヒートショック対策としての関心が高まりつつあり、安全・安心の観点からも断熱材の見直しが始まっているようである。

中長期視点では人口減少による新設住宅着工戸数は減少傾向が予測されている。日本の住宅の断熱基準は先進国の中でも最低レベル

であり、また住宅の断熱化率の最低レベルである。先進国並みの高いレベルの基準や断熱化率が求められており、ビルなど、企業の CSR 活動を取り入れながら、住宅の高断熱化を狙う取り組みが必要であるだろう。行政と産業が一体化したエコシステムの構築が重要になると思われる。



図 3-1-1 住宅用断熱材の出荷量の推移

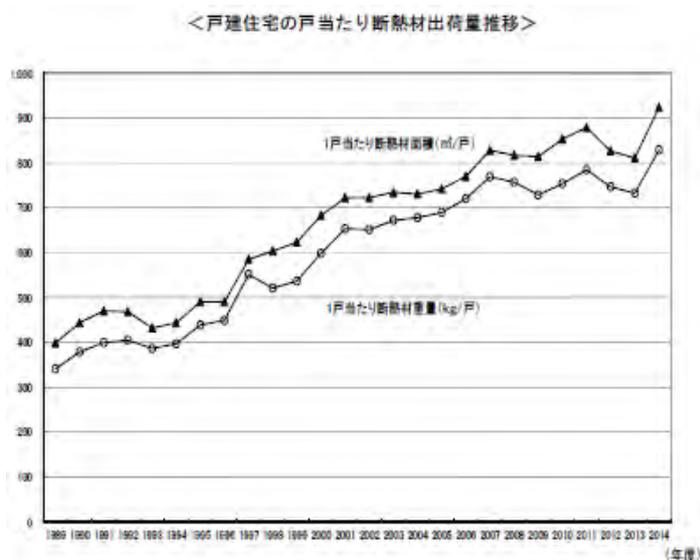


図 3-1-2 戸建住宅の断熱材出荷量の推移

断熱材の有力メーカーにヒヤリングした内容を下記にまとめる。特に、リフォームを活用した「断熱リフォーム」を活用した施策がひとつのきっかけになりそうである。

調査日	調査先	調査者	概要
H27.10.29	旭ファイバー グラス (電話調査)	JSR (株) 濱田	<ul style="list-style-type: none"> <li>・2014年より住宅営業部内にリフォームグループを新設し、リフォーム時の断熱材の適用の加速に着手。</li> <li>・「アクリアブロー」「アクリア U ボード」等の有力商品のほか、断熱リフォームに的を絞った「リフォエコ」シリーズを発売。既存の壁の上から短期間で施工可能なうえ、手頃な価格で断熱リフォームを可能とする。</li> <li>・壁の断熱改修では、浴室などの水周りや窓のリフォームに合わせて行い、費用を抑えた効果的な断熱リフォーム工事を提案中。</li> <li>・天然物からの断熱材は、外部へのアピールの上でも非常に興味はあるが、性能低下や大幅なコストアップは避けたいとのこと。一方で、断熱性の向上には興味があるとのこと。</li> </ul>
H27.11.25	ダウ加工 (電話調査)	JSR (株) 濱田	<ul style="list-style-type: none"> <li>・断熱リフォーム需要は今のところ非常に少ないが、今後拡大する余地があり、施工が容易でコストを抑える断熱リフォーム用商品と工法の開発を行っている。</li> <li>・スタイロフォーム芯畳の「かるい匠」と簡単施工の床断熱「Z 工法」の組み合わせで、夏場の侵入熱や室内の火照りを防止し、快適性の改善に繋がり、エコリフォームでの採用促進を図っている。</li> <li>・天然素材による高断熱材は興味があるようだが、コストとのバランスが重要とのこと。</li> </ul>
H27.11.27	積水化成成品工業	JSR (株) 濱田	<ul style="list-style-type: none"> <li>・リフォーム分野については、RC 造の外断熱需要などではみられるが、本格的な住宅リフォーム需要には顕在しておらず、具体的な取り組みはまだ出来ていない。</li> <li>・リフォーム分野への商品開発や販売強化を検討しており、グループ企業内で競合する技術も検討中である様子（詳細開示はなし）。</li> <li>・天然素材による断熱材を用いた CO2 削減は興味があるものの、国規制等のドライバーが欲しいところ。企業からのアプローチは難しいとのコメントあり。</li> </ul>
H27.12.8	JFE ロックファイバー	JSR (株) 濱田	<ul style="list-style-type: none"> <li>・6,000 万戸に達した既存住宅の断熱性能は、H11 年基準に相当する住宅が 5%しかなく、無断熱も 39%あり、市場は有望と認識。</li> <li>・現在、充填断熱が中心のロックウールは、既存の壁</li> </ul>

			<p>を開けないと工事が難しく、なかなか顕在化してこないという認識もある。しかし、「中古住宅・リフォームトータルプラン」の必須項目が「耐震性」と「劣化対策」であり、耐震工事には壁を解放することが多く、充填断熱の可能性が増えるとも見ている。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・環境の意識は強いため、行政を巻き込んだキャンペーンでCO2削減素材は興味あり。ただ、懸念はコストアップ。</li> </ul>
H27.12.10	旭化成建材	JSR (株) 濱田	<ul style="list-style-type: none"> <li>・2014年に内装断熱リフォーム用として石膏ボード(9.5mm)複合で準不燃材料認定の「ネオマ断熱ボード」を発売。</li> <li>・「ネオマ断熱ボード」は既存壁・天井に取り付けるだけの簡単な施工で、住みながらの断熱リフォームが可能であり、日常生活におけるゾーン断熱ができる。</li> <li>・今後は新耐震制度以前の住宅リフォームや建て直しもターゲットとして捉えている。</li> <li>・ナノセルロースを用いた技術は天然素材と言う観点から興味がある。断熱ボードの薄膜化で可能かどうかであるが、高価格はNG。</li> </ul>
H27.12.14	積水化学工業	JSR (株) 濱田	<ul style="list-style-type: none"> <li>・現状は地域ビルダー向けの営業を主とし、リフォーム専門の営業は行っていない。また断熱リフォームは一般的に壁面積等の大掛かりな工事になるという認識が強く、あまりリフォームの動きは出てきていない。</li> <li>・一方、リフォームニーズに対応した商品開発も行っており、耐震と断熱を組み合わせたリフォームも目指している。</li> <li>・ウッドワンと共同開発した「あったかべ」を展開中。「フェノバボード」の高断熱性能を活かし、薄くても断熱性能を発揮することができるため、必要な部屋だけ内側から増し貼りすることで断熱性能を向上させるとともに、空間を広く確保でき、施主が居住したまま短期間で施工が可能となっている。</li> <li>・現行はフェノールフォームであり、価格微増でも、天然素材であればCO2削減の点から興味深い。</li> </ul>
H27.12.25	LIXIL	JSR (株) 濱田、藤岡	<ul style="list-style-type: none"> <li>・断熱性と透明性を両立した材料であれば、窓ガラスの断熱(サッシ)に有望性あり。</li> <li>・過去にシリカの真空バールンを使ったことがあり、厚みを1/2にすることが出来たが、コストが高いところが懸念である。</li> </ul>

			<ul style="list-style-type: none"> <li>・コスト意識が高く、TOCN の低価格化が必要となる。高付加価値としては難しそう。</li> </ul>
H28.1.11	フクビ化学	JSR (株) 濱田	<ul style="list-style-type: none"> <li>・同社の商材をトータル的に提供するリフォームサービス「システム」を展開しているが、断熱工事は付加的な位置づけであり、断熱のみを求めるリフォームは少ない。</li> <li>・ビーズ法ポリスチレンフォーム断熱材のリフォーム用途は約 10%と推定されるが、リフォーム分野の営業・開発を強化していく方向にある。</li> <li>・仮説通りの断熱性が出せるのであれば非常に興味深く、FS として検討したいとのこと。</li> </ul>

このように、断熱材メーカーのうち、数社はリフォームやリノベーションに向けた取り組みを実施しているが、他の有力企業においては、期待はあるものの本格的な取り組みが行われていないことが多く、多くは市場変化の様子を伺っている状況にある。

一方、TOCN を用いた断熱材の最大の課題はコストであり、高断熱性化がそのまま高付加価値として受け入れられるわけではないと思われ、断熱性に加え、別な機能性を付与することも必要であろう。例えば、住宅向けの断熱材であれば、ひとつは CO2 規制が挙げられる。有機材料を用いている現状からみると、CNF の利用は断熱材の製造に対する大きなメリットとなりそうである。もう一つは、軽量化である。高断熱・高軽量化として期待できるアプリケーションは断熱窓と思われ、樹脂窓は、樹脂加工や調光材料の観点から、光量、熱量を制御する動きもある。断熱性に加え、透明性確保も可能であれば、これらの用途への展開は期待できる。

### 3.2.2 断熱材分野の用途開発に関する CO2 削減量の算出

断熱材分野の材料開発では、従来、高断熱用途多孔材料としては、シリカ粒子等ゾルゲル反応を利用したエアロゲルが報告されているが、多孔性の規則性が乏しいため材料として脆く実用化に課題が残る。これに対して、TOCN を用いたエアロゲルは、自己組織化されたナノ空隙構造を有し、十分な多孔性を持ちながらも高強度という特徴を有するため、新たな高断熱用途多孔材料として期待できるものである。最終製品としては、住宅、自動車用途の断熱材、断熱フィルム、樹脂窓等が想定され、それらの用途の CO2 削減ポテンシャルについても、調査、検討した。

石油製品の代替として、マイクロフィブリル単位まで分散された TOCN を用い、自己組織化されたナノ空隙構造を有するエアロゲル（以下、TOCN エアロゾル）を検討した。空隙率のターゲットは、シリカ粒子を用いたエアロゲル（以下、シリカエアロゲル）相当の 99%を目標としており、現行品であるウレタンフォームや発泡ポリスチレンと比較すると約 3~5 倍の断熱性が期待される。これら断熱性の向上による CO2 削減効果を下記に示す。

(a).断熱材の製造に関する CO2 削減量の算出

【建材】外壁、屋根、天井、床を合わせた 1 棟あたりの断熱材は平均 50Kgであり、平成 25 年の年間住宅着工数 (980,025 万戸) に適用されたと仮定して換算すると、49,001t/年の使用量に相当する。

硬質ウレタンフォームの製造にあたり使用される石油使用量を 1.2mL/gと仮定すると、年間石油使用量は 58,801KL/年と算出される。

CNFは植物由来のカーボンニュートラルの材料であり、本材料の製造に必要な石油使用量を 70%カットできると仮定すると、CO2 排出量：57,549t/年の削減効果が見込まれる。

【樹脂窓】住宅 1 棟あたりに適用可能な断熱シートは平均 10Kgであり、断熱シートの製造にあたり使用される石油使用量を 1.9mL/g、TEMPO酸化CNFエアロゲルシートの製造に必要な石油使用量を 70%カットできると仮定し、上記同様に計算すると、排出量：18,224t/年の削減効果が見込まれる。

(b).断熱材としての製品活用時 (CNF 出口製品) に関する CO2 削減量の算出

【建材】建築環境・省エネルギー機構 (IBEC) の「自立循環型住宅への設計ガイドライン」(文献 3-1-1) に準じて計算する。

シリカエアロゲルの熱伝導率 (<0.02 W/mK) (文献 3-1-2) から計算された冷暖房エネルギー削減量を 55%と仮定すると、住宅 1 棟あたりの省エネルギー基準相当の断熱水準による年間CO2 排出量 583Kg-CO2 から計算されるCO2 削減量は 320Kg-CO2 となり、平成 25 年の年間住宅着工総数 (980,025 万戸) (文献 3-1-3) に適用されたと仮定して換算すると、CO2 排出量：313,608t/年の削減効果が見込まれる。

【樹脂窓】上記同様、期待される熱伝導率から計算された冷暖房エネルギー削減量を 35%と仮定すると、住宅 1 棟あたりの省エネルギー基準相当の断熱水準による年間CO2 排出量 577Kg-CO2 (文献 3-1-1) から計算されるCO2 削減量は 202Kg-CO2 となり、年間住宅着工層数に適用されたと仮定して計算すると、CO2 排出量：197,916t/年の削減効果が見込まれる。更に、断熱性以外に透明性等課題はあるものの、本樹脂窓が自動車に適用された場合、フロントガラスを除き、1 台あたり 20Kgの軽量化に繋がる。この場合、1Km走行あたり 5g-CO2 の削減が可能であり、1 台あたりの年間走行距離 5,400Km、年間販売台数を 499 万台 (2014 年度集計) (文献 3-1-4) すべてに適用されたと仮定すると、CO2 排出量：134,730t/年の削減効果が期待できる。

参考文献

3-1-1 <http://www.jjj-design.org/elements/06.html>, 一般財団法人建築環境・省エネルギー機構

3-1-2 [http://www.jfcc.or.jp/23\\_develop/13t20.html](http://www.jfcc.or.jp/23_develop/13t20.html), 一般財団法人 ファインセラミックスセンター

3-1-3 [http://www.mlit.go.jp/report/press/joho04\\_hh\\_000506.html](http://www.mlit.go.jp/report/press/joho04_hh_000506.html), 国土交通省

3-1-4 [http://www.mlit.go.jp/statistics/details/jidosha\\_list.html](http://www.mlit.go.jp/statistics/details/jidosha_list.html), 国土交通省

## 3.2 水素透過膜分野に関する調査

### 3.2.1 水素透過膜分野の用途開発に関する調査

セルロースナノファイバーの用途開発として、バイオエタノールを利用した水素製造システムでの利用可能性を調査した。最終的には、燃料電池自動車（FCV）や定置型燃料電池への水素供給システムとしての成立可能性を調査、検討した。

主な調査の概要は、以下のとおりである。

調査日	調査先	調査者	概要
H27.10.15	京都大学 平尾研究室 (京都市)	工業研究所 庄山	<p>固体水素源から発生した水素ガスの透過特性について検討した。京都大学では、化石燃料に頼らない水素製造技術を研究開発している(下記化学反応式)。</p> $\text{CaH}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{Ca(OH)}_2$ <p>特徴としては、水素発生時に残差として <math>\text{Ca(OH)}_2</math> (水酸化カルシウム) が生成するのみであり、有害物質は一切排出しないことである。この水素発生装置において、装置起動初期に発生水素中に空気が混入することがあり、その除外を検討しているとのことであった。</p> <p>CNF 膜が省エネルギーで水素ガス分離ができるのであれば、検討したいとのことであった。</p>
H27.10.26	第100回SOFC 研究会 (東京)	工業研究所 橋本	<p>SOFC のターゲットも家庭用から大規模なコージェネレーションシステムまでと様々であり、SOFC の特徴として燃料の多様性が挙げられる。都市ガスなどを改質して水素を製造する際に発生する <math>\text{CO}_2</math> を除去することは、水素濃度を上げ、性能向上につなげるために重要。CNF 利用はその手法の1つとして可能性があると思われる。</p>
H27.11.18	山梨大学クリーンエネルギー研究センター (山梨県)	工業研究所 庄山、橋本	<p>CNF の利用先について、調査を行った。CNF の用途としては、燃料電池や水素製造に用いる電解質膜への応用について、可能性のあると思われるとのこと。フィルターではないが、炭化水素系電解質への CNF の添加によって、高強度化なども期待でき、更に低コスト化も期待できるのではないかとのこと。</p>
H27.12.3~ H27.12.4	第35回水素エネルギー協会 (東京)	工業研究所 庄山、丸林	<p>水素透過膜にはポリマーや金属 Pd などが検討されているが、ここでは CVD 法にて作製されたシリカ膜にて報告された。様々なシリカ源6種類を用いて成膜し、水素、窒素、<math>\text{SF}_6</math> ガスでの気体透過性能を評価した。その結果、有機官能基サイズが大きくなるほど膜の中の細孔径が大きくなり、有機官能基のサイズから水素</p>

			<p>透過性の予測が可能となった。</p> <p>機械的強度、化学的安定性に優れるゼオライト (0.55nm_MFI) をシリカ基材上に成膜し高いガス透過性を持つ膜を開発。さらに、結晶化促進効果のある NaF を添加する際の量や合成時間の検討を実施。その結果、水素透過率 <math>9.8 \times 10^{-6} \text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}\text{Pa}^{-1}</math>、窒素透過率 <math>3.7 \times 10^{-6} \text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}\text{Pa}^{-1}</math>、H<sub>2</sub>/SF<sub>6</sub> 透過率比 186、N<sub>2</sub>/SF<sub>6</sub> 透過比 93.9 と高い性能の MFI 膜を得ている。</p>
H28.1.6 ～ H28.1.7	セラミックス基礎科学討論会 (佐賀市)	工業研究所 庄山、橋本	<p>高温の熱を用いて水を分解し水素を製造する IS プロセスの技術開発を進めている。IS プロセスによる水分解の反応式を示す。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) <math>\text{I}_2 + \text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{HI} + \text{H}_2\text{SO}_4</math></li> <li>2) <math>2\text{HI} \rightarrow \text{H}_2 + \text{I}_2</math></li> <li>3) <math>\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{SO}_2 + 0.5\text{O}_2</math></li> </ol> <p>IS プロセスは、原料水をヨウ素や硫黄の化合物と反応させ、その生成物であるヨウ化水素及び硫酸の熱分解反応によって、水素と酸素を製造する。この方法では、原料として水を用いるため、二酸化炭素は一切排出されないが、硫酸の熱分解反応には、900℃程度の温度が必要である。</p> <p>IS プロセスによる水素製造のためのプロセス上の課題は、反応生成物の分離とること。すなわち、上記式 2) における水素発生時にヨウ素を分離する必要がある。このような状況に CNF による水素透過特性が応用可能ではないかと思われる。</p>
H28.2.8	東京大学 齋藤研究室 (東京) (技術アドバイザー打合せ)	工業研究所 庄山、橋本	<p>東京大学作製の CNF 薄膜については、第一工業製薬製とは異なり、分散剤や防腐剤が含まれておらず、その含有量は 0.1%。この溶液をペトリ皿に分取し、1cm 程度の厚みから 40℃程度でゆっくりと薄膜化を行っている。水素透過の評価方法については、100kPa 以下の比較的低压で試験をしている。水素ガスの分析には FT-IR(TCD 検出器)により実施している。</p> <p>CNF 膜によるガス透過特性に関する研究は、ここ 1 年ほどで急激に盛んになってきている。</p> <p>東京大学と第一工業製薬製の CNF 膜による水素透過特性の違いは、添加剤等の影響の可能性がある。</p>
H28.2.8	東芝 中島様 (川崎市)	工業研究所 庄山、橋本	<p>現在の CNF 由来水素透過膜の状況について、耐窒素比で 2000 倍以上の水素透過特性があること、ただしこれは、完全ドライ条件が必要であり、湿度を含むと水素</p>

	(技術推進委員 打合せ)		<p>ガスの選択性が低下することなどを説明した。</p> <p>東芝から CNF 系水素透過膜について、下記のコメントをいただいた。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・水電解における酸素発生側に微量の水素が混じる場合がある。これは危険なので、そこから水素を選択的に取り除けるのであれば、用途の一つに考えられるのではないか。</li> <li>・コンビナートにおける副生水素などにおいても、その高純度化を低コスト（加熱等の追加エネルギーなし）で達成できるのであれば、用途が広がるのではないか。</li> <li>・コスト的には Pd がコストターゲットとなるので、水素透過特性等の性能が同等まで向上すれば、可能性があるのではないかとのこと。</li> </ul>
H28.3.2 ～ H28.3.4	FC-EXPO2016 (東京)	工業研究所 庄山、橋本	水素用高圧水素容器について調査を行った。現在は、 <b>Type3</b> （金属ライナー）とタイプ4（樹脂ライナー）があり、軽量化のため樹脂ライナーが使用されつつあるとのことであった。
H28.1.22	三重大学 田丸研究室 (津市)	工業研究所 庄山	バイオリファイナリー研究会における水素製造について検討した。現在はバイオマスから糖化反応を用いて約 80%の収率が達成されており、価格については、まだ高コストであるものの、原料や酵素、さらにはプロセス効率化により 100 円/L が見えつつあるとのこと。現在のバイオエタノールの用途としては、エコガソリン（E3・E10）のほかに、燃料電池利用に対する大きな期待があるとのこと。
H28.1.28 他（随時）	鈴鹿高専 南部研究室 (鈴鹿市)	工業研究所 庄山、橋本	水素透過試験の実施、金属系水素透過膜との比較検討調査及び可能性試験を実施した。

※ 調査日を記載。調査内容により、移動日が含まれるため、出張期間とは異なる。

#### 水素透過膜としての可能性調査

従来、水素透過膜には高価なパラジウム（Pd）膜が使用されているが、Pd は白金と同族の希少金属であり、代替技術が求められている。Pd（約 5,000 円/g）を CNF 膜（約 5,000 円/kg）に代替することで、希少金属の使用抑制と同時に、従来の 1/1000 以下のコストが予想され、コスト面でも期待できる。また、2030 年の水素の予想需要は約 200 億 Nm<sup>3</sup>とされており、莫大な水素需要が見込まれていることから、それに伴い CNF 透過膜の需要も大幅に増加するものと思われ、市場性も期待できる。

そこで、TEMPO 酸化処理 CNF 膜(TO CN)の水素透過特性について、現在の開発水準や将来的な用途の可能性について調査を実施した。