



技報



K O M A K U S A ・ 2021.10

工学の守備範囲—基礎から応用まで—

一般財団法人信州大学工学部若里会 評議員 中澤 達夫

研究助成報告

建物浸水後の床下空間の乾燥手順の策定

建築学科 中谷 岳史

植物細胞壁構造から迫るバイオマス利活用に向けた酵素機能解明

物質化学科 水野 正浩

材料コストを考慮したアルミニウム張弦橋の最適形態の創造と体系化

水環境・土木工学科 近広 雄希

研究室紹介

新しい機能性ソフトマテリアルを目指して(奥村・佐伯研究室)

物質化学科 教授 奥村 幸久

物質化学科 助教 佐伯 大輔

機能性薄膜材料研究室の紹介

電子情報システム工学科 助教 浦上 法之

清野研究室紹介

水環境・土木工学科 准教授 清野 竜太郎

プラズマ研究室(澤田研究室)の紹介

工学基礎部門(機械システム工学科) 教授 澤田 圭司

地方都市における「自然環境とすまい」 岩井研究室紹介

建築学科 准教授 岩井 一博

目 次

工学の守備範囲 ー基礎から応用までー ／一般財団法人信州大学工学部若里会 評議員 中澤 達夫	1
研究助成報告	
建物浸水後の床下空間の乾燥手順の策定 ／建築学科 中谷 岳史	2
植物細胞壁構造から迫るバイオマス利活用に向けた酵素機能解明 ／物質化学科 水野 正浩	8
材料コストを考慮したアルミニウム張弦橋の最適形態の創造と体系化 ／水環境・土木工学科 近広 雄希	14
研究室紹介	
新しい機能性ソフトマテリアルを目指して（奥村・佐伯研究室） ／物質化学科 教授 奥村 幸久 物質化学科 助教 佐伯 大輔	18
機能性薄膜材料研究室の紹介 ／電子情報システム工学科 助教 浦上 法之	20
清野研究室紹介 ／水環境・土木工学科 准教授 清野 竜太郎	22
プラズマ研究室（澤田研究室）の紹介 ／工学基礎部門（機械システム工学科） 教授 澤田 圭司	24
地方都市における「自然環境とすまい」 岩井研究室紹介 ／建築学科 准教授 岩井 一博	25

工学の守備範囲 —基礎から応用まで—

一般財団法人信州大学工学部若里会
評議員 中澤 達夫

現在、コロナウイルス禍がなかなか収まらず先が見通せない状況で、社会活動もいろいろ変わらざるを得なくなっています。こうした中で、例えばテレワーク・リモートワークと呼ばれる働き方が広まっていますが、これらを支えるネットワークや通信の技術は工学応用分野の成果が大いに貢献しています。コロナウイルス禍そのものに関して、患者さんの直接の治療やワクチンの開発は医学・薬学の分野の研究が中心になりますが、ワクチンの量産化や治療に必要な医療機器などには工学分野の研究開発が不可欠です。信州大学工学部の研究者の皆さんも、そうした大事な役割を担って日々研究に邁進しておられます。

この巻頭言の参考にしようと、「工学とは何か？」についてインターネットで検索していたところ「工学の研究者がめざしているのは、(基礎を扱うか応用を扱うかを問わず)究極的には人類の幸福です。」と書かれている記事を見つけました*。私には大いに共感できる考え方で、工学分野の研究は基礎か応用かにはっきり分かれるものではなく、一体となって人・社会への貢献を目的にして推進されているものだと思います。

「基礎研究を大事にしなければならない」という言葉は、ノーベル賞受賞者からもよく聞かれます。これは、いたずらに「すぐに役立つ」応用にばかり目を向けるのではなく、基礎を固めてじっくりとその展開をはかる必要があるという意味だと思いますが、工学という分野は、ややもすると「応用」のみに力点が置かれていると思われがちです。極端な場合、「基礎は地味でお金になりにくい、応用はビジネスになって儲かることがある」などと誤解されることさえあるようです。しかし、本学工学部の研究者の中には、応用分野は言うに及ばず、基礎分野の研究に携わっている方も多数おられます。工学分野(工学部)の魅力は、まさに基礎から応用まで幅広く対応できる懐の深さにあると思います。信州大学工学部は本学の8つの学部の中でも学生数が最も多く、教員数も医学部に次ぐ人数を擁する大規模な学部で、多様な分野で基礎から応用までの研究が展開されています。

今回お届けする技報「こまくさ19号」では、工学部の5つの学科からそれぞれお一人ずつの研究者が、ご自身の最近の研究内容をわかりやすく説明しています。また、若里会が工学部の若手研究者向けに平成23年度から毎年行っている「研究助成事業」において昨年度(令和2年度)採択された3名の先生方の研究実施報告も掲載されています。この8件の研究紹介の中にも、基礎寄りのものも応用寄りのものもあり、バラエティに富んだ研究活動が活発になされていることが分かっていただけたと思います。

さらにご興味をお持ちでしたら、是非とも工学部ホームページの「教員紹介ページ」**を覗いてみてください。120名を超える工学部所属の先生方が、基礎から応用までの幅広い分野でそれぞれの研究を展開されている様子が易しく紹介されています。また、信州大学全体として設置されている「先鋭領域融合研究群***」の6つの研究所・研究拠点の内、先端材料研究所、社会基盤研究所、航空宇宙システム研究拠点などで、工学部が大きな役割を果たしています。

基礎から応用まで幅広く対応できる工学部は、「コロナ後」にさらに変革していくと思われる社会にとって、まちがいなく大きな力となる組織です。この「こまくさ」を手にした皆様も、是非信州大学工学部に大いに期待いただき、技術のご相談にも活用していただくとともに、変わらぬご支援をお願いいたします。

*https://www.koichihori.tech/kougaku_jp.html

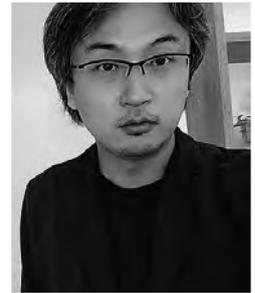
**<http://www.shinshu-u.ac.jp/faculty/engineering/labo/teacher.html>

***<https://www.shinshu-u.ac.jp/institution/iccer/about-iccer.html>

(以上の URL は 2021 年 8 月 20 日に確認)

建物浸水後の床下空間の乾燥手順の策定

信州大学工学部 建築学科
助教 中谷 岳史



1. 背景目的

河川の氾濫により地域の住宅が浸水すると、含水した各部位の耐久性や断熱性、衛生性が著しく損なわれる。浸水レベルに応じて、建物の一部破損や半壊、全壊の程度は異なってくるが、倒壊には至らず床上、床下浸水にとどまった住宅の居住者の多くは、その後も被災した住宅で生活を送る場合が多い。台風19号による住家被害においては、その9割以上が床上1m未満の浸水による半壊・一部損壊に該当すると報告（総務省消防庁）されている。通常、浸水被害後には目視できる範囲において清掃や除菌・消毒が実施される。特に、建物の構造的なダメージが小さい場合には、床下や壁体内空間に対しては処

置が施されないまま被害後も居住し続ける場合が多い。しかしながら、浸水した部位の内部には水が侵入しており、大半の住宅においては、いずれかの隙間等を介して床下や壁体内まで浸水している。一度含水した木材や断熱材は、そのまま放置されると含水率が高い状態が維持されるため真菌・細菌などの微生物が繁殖し易い条件が整ってしまう。このような木材や断熱材は、微生物の汚染源となり建物の衛生環境を劣下させ、居住者等の健康に悪影響を及ぼす可能性が高い。現状では、被害後の室内環境を適切に保つための処置の方法は整理されておらず、そのための技術も開発されていない。また、浸水を想定した事前対策も十分に整えられている訳ではな

a) 外観



b) 室内①



c) 室内②



写真1 室内空間の復旧(被災後1日目)

a) 搬出



b) 廃棄



c) 清掃



写真2 室内空間の復旧(被災後2~4日目)

a) 中間ファンの設置



b) 被災直後の床下



c) 被災後16日目



写真3 床下空間の復旧(被災後2~16日目)

い。

そこで、本調査では、長野市内の住宅を対象とした衛生環境に関する実測調査を実施し、居室と床下の温湿度、真菌濃度、MVOC濃度等の推移を観察しながら衛生環境を評価する。特に、被災直後の処置の有無がその後の衛生環境に及ぼす影響に注目し、このような被害に備えた建築的な対応策の構築に資する資料を提供することを目的とする。

2. 調査対象

本報告の調査対象住宅は、戸建住宅（N邸、写真1）と集合住宅（AP邸）である。いずれも木造であり、壁はグラスウールの充填断熱、床はポリエチレン系断熱材による床断熱である。N邸には土間コンクリートがなく、AP邸には土間コンクリートがあった。

建物が所在する長野県長野市篠ノ井会地区は、千曲川北側に位置する。2019年10月13日未明に塩崎地区や横田地区で越水し、午前1時から2時にかけて1階床面に流入した。浸水深さは道路から1m、1階床から30cmである。建物の浸水時間は12～24時間であり、室内だけでなく、床下空間に大量の水分が蓄積された。N邸は10月14日から復旧活動を開始したのに対し、AP邸は室内空間・床下空間共に放置された。

室内空間は、被災直後から復旧作業を行った（写真2）。またトイレや洗面空間の床のクッションフロアを除去した。床の断熱はポリエチレンであり、

脱落や顕著な含水がなかった為、経過観察した。壁は、石膏ボードと充填断熱を除去した。十分な乾燥後に構造用合板や構造材を消毒して、復旧した。

床下空間は、N邸に被災2日目に一階床と床下空間間にファンを設置した。外→室内→床下→外の換気経路を確保することで、床下空間乾燥と汚染物質の拡散防止を意図した。表面の濡れは、約2週間で解消された（写真3）。

3. 調査結果

3.1 温湿度・含水率

N邸（戸建住宅）を対象に温湿度測定を行った。2019年12月2日～2020年1月13日の外気温湿度、1階室内温湿度、床下温湿度の関係を捉えるため、図1に各部の温湿度変動を示す。また、外気と床下、1階室内と床下の温度・絶対湿度の関連性を把握するため、図2にそれぞれの散布図を示す。なお、外気温は気象庁のデータを使用した。

図1より外気温湿度、1階室内温度、床下温度はそれぞれ $-5^{\circ}\text{C}\sim 10^{\circ}\text{C}$ 、 $10^{\circ}\text{C}\sim 25^{\circ}\text{C}$ 、 $10^{\circ}\text{C}\sim 20^{\circ}\text{C}$ の範囲で変動している。外気絶対湿度、1階室内絶対湿度、床下絶対湿度はそれぞれ $0.0\sim 7.1\text{g}/\text{kg}^{\prime}$ 、 $4.2\sim 10.2\text{g}/\text{kg}^{\prime}$ 、 $3.3\sim 8.2\text{g}/\text{kg}^{\prime}$ の範囲で変動している。また、図2より外気温湿度、1階室内温度、床下温度の平均値はそれぞれ 2.8°C 、 18.5°C 、 12.8°C であり、1階室内、床下、外気の順に温度が低くなっている。外気絶対湿度、1階室内絶対湿度、床下絶対湿度は、それぞれ $3.8\text{g}/\text{kg}^{\prime}$ 、 $6.2\text{g}/\text{kg}^{\prime}$ 、 $5.0\text{g}/\text{kg}^{\prime}$ であり、1階

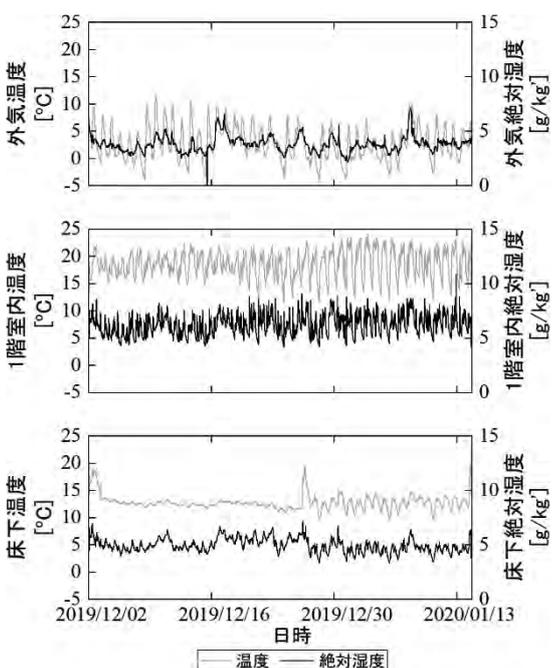


図1 N邸の温湿度変動

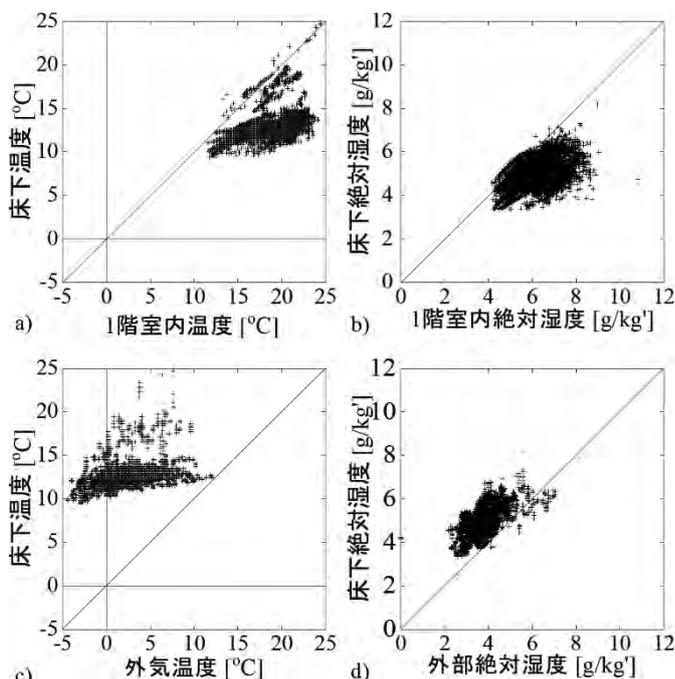


図2 外気と床下の温湿度の関係(N邸)

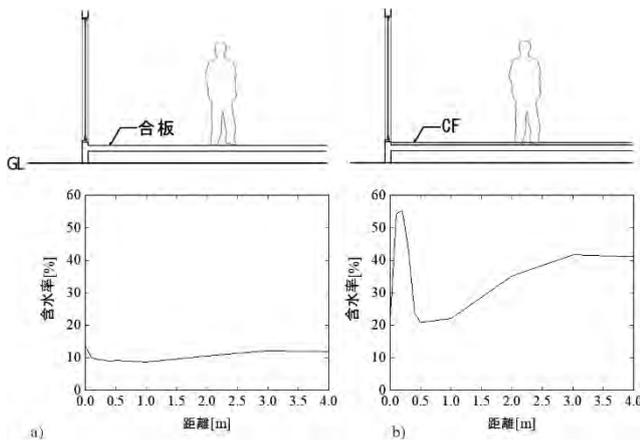


図3 合板とCF仕上げの床材における含水率の測定例

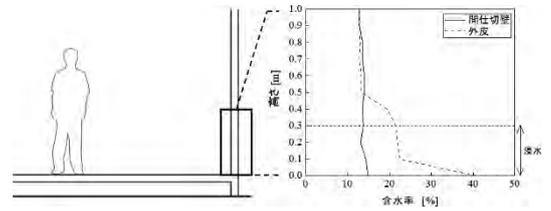


図4 外皮と間仕切り壁における垂直方向の木材含水率の分布

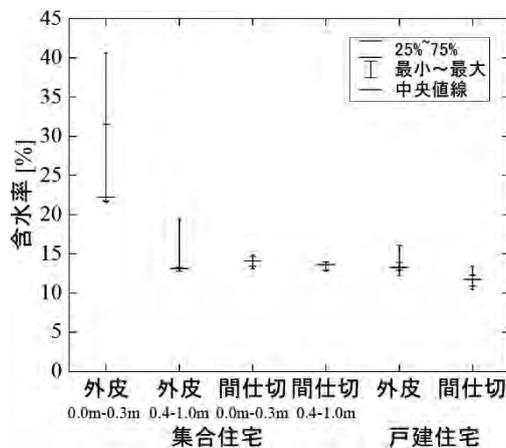


図5 戸建住宅(N邸)と集合住宅(AP邸)の各部位の含水率分布

室内、床下、外気の順に絶対湿度が低い。この理由として、石油ストーブを用いて暖房していたため室内の温度・湿度ともに高くなったことが考えられる。さらに、床下では、室内と外気の両方から空気が流入したため、温度・湿度ともに室内より低く、外気よりも高い結果になったと推察される。

浸水した住宅に処置を施さず、放置した場合の乾燥状況について調べるため、浸水から3ヶ月後の床面と壁面の含水率を測定した。図3(a)は床面が合板の場合の木材含水率、図3(b)は床面がクッションフロア(CF)で覆われた場合の木材含水率を示す。また、図4は壁面である間仕切り壁及び外皮の木材含水率を示す。浸水深は床上30cmである。

図3(a)より合板が露出していた場合は浸水から3ヶ月後には木材が乾燥し、木材含水率の基準である20%を下回っていた。一方、図3(b)より合板がCFで覆われたまま3か月間放置された場合、床面の木材含水率は20%を超えており、壁面から0.2m地点においては含水率が55.3%と最も高い。合板の上にCFが貼付されると木材内の水分が蒸発しにくくなると考えられ、浸水後は即座にCFをはがすこ

とが重要と考えられる。

図4より間仕切り壁では木材含水率が20%を下回っており、浸水域である0.3m以下の平均含水率においても14.1%であった。一方、外皮の木材含水率は床上0.5m以上の高さで上昇し、床高の木材含水率は40.6%であり乾燥していない。外皮は間仕切り壁に比べ乾燥しにくいと考えられるため、浸水した際は外皮の乾燥に重点を置くべきといえる。また、その場合は浸水域よりもさらに0.2m高い位置までを対象とする必要がある。

浸水後の処置の有無による違いについて検討するため、図5に処置を行わなかった集合住宅と処置を行った戸建住宅の3か月後の鉛直方向の木材含水率を示す。図5より処置を行わなかった集合住宅では、浸水域である0.0m~0.3mの外皮の含水率は最大値・最小値・中央値がそれぞれ40.6%、21.6%、22.2%であり高い値のままであるが、浸水していない外皮や間仕切り壁での含水率の中央値は13.1%、14.1%(0.0m-0.3m)、13.6%(0.4m-1.0m)であり乾燥傾向が確認できる。一方、処置を行った戸建住宅では外皮の含水率の最大値・最小値・中央値は

16.1%、12.2%、13.3%、間仕切壁の含水率の最大値・最小値・中央値は13.4%、10.5%、11.8%であり外皮・間仕切り壁ともに乾燥傾向にある。これらの事例から判断すると、浸水から3か月後において処置の有無で乾燥状況に差が生じているため、浸水後に直ぐに対処することが望ましい。

3.2 真菌濃度

N邸とAP邸を対象に各室の浮遊真菌濃度を測定した。測定箇所は、N邸では居間、階段下収納、床下の3か所、AP邸では居間、床下の2か所である。浮遊真菌濃度はエアサンプラー（写真4(a))にてPDA培地（好湿性真菌用）とDG18培地（好乾性真菌用）に吸引採取（空気量100リットル）した後、25℃にて5日間程度培養し、コロニー数をカウントした。また、真菌の形態観察により真菌種・属を同

定した。

N邸では、浸水被害後に速やかに改善対策が施されており、水没した部分の内壁を床から60cm程度切り取り（写真4(b))、断熱材（グラスウール）が撤去された。その後、バイクアウト（強制的な加温）により木材・床下の水分蒸発により乾燥を促進させ、各部の除菌も実施された。一方で、AP邸では、災害直後、排水と掃除を徹底したが、乾燥のための対策をしていない。数日後に、壁・床面から真菌が繁殖し始めたため、居住を続けることができず、別の住宅へ転居している。2019年11月の時点では、北側の壁面に多くの真菌が繁殖し（写真4(c))、壁材の一部が剥がれ落ちている。

図6と図7に、2019年11月と2020年1月に測定した結果を示す。浮遊真菌濃度の環境基準の目安を1000CFU/m³とすると、11月の時点でN邸とAP

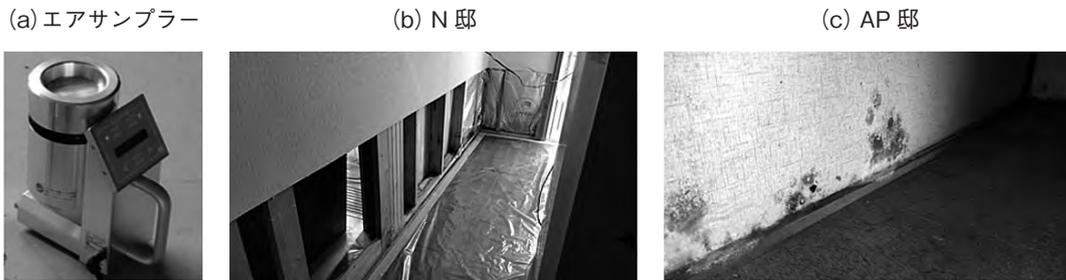


写真4 真菌測定に用いたエアサンプラーと測定対象住宅の様子

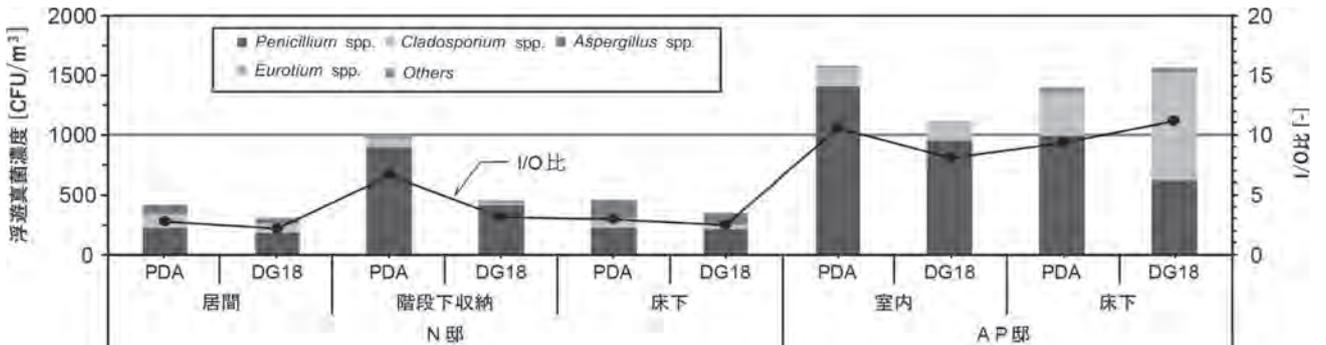


図6 真菌濃度の測定結果(2019年11月測定)

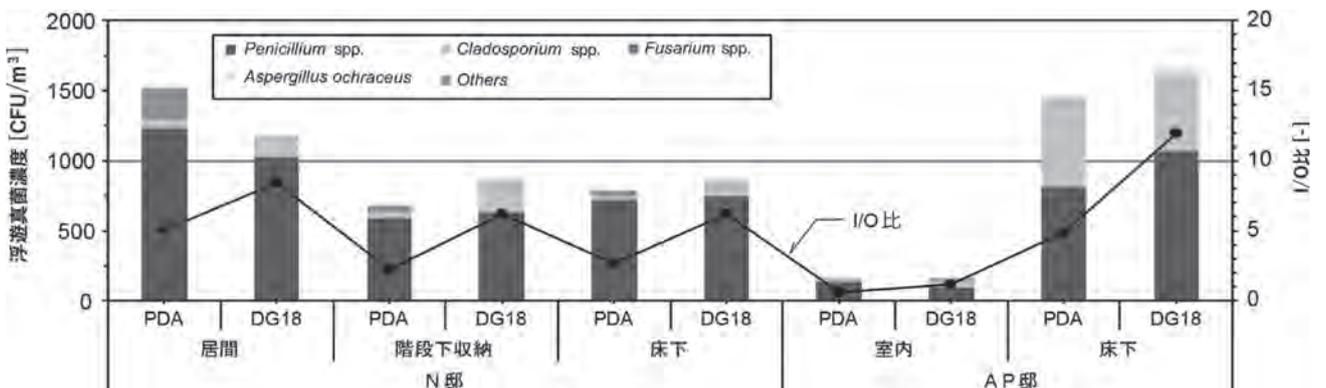


図7 真菌濃度の測定結果(2020年1月測定)

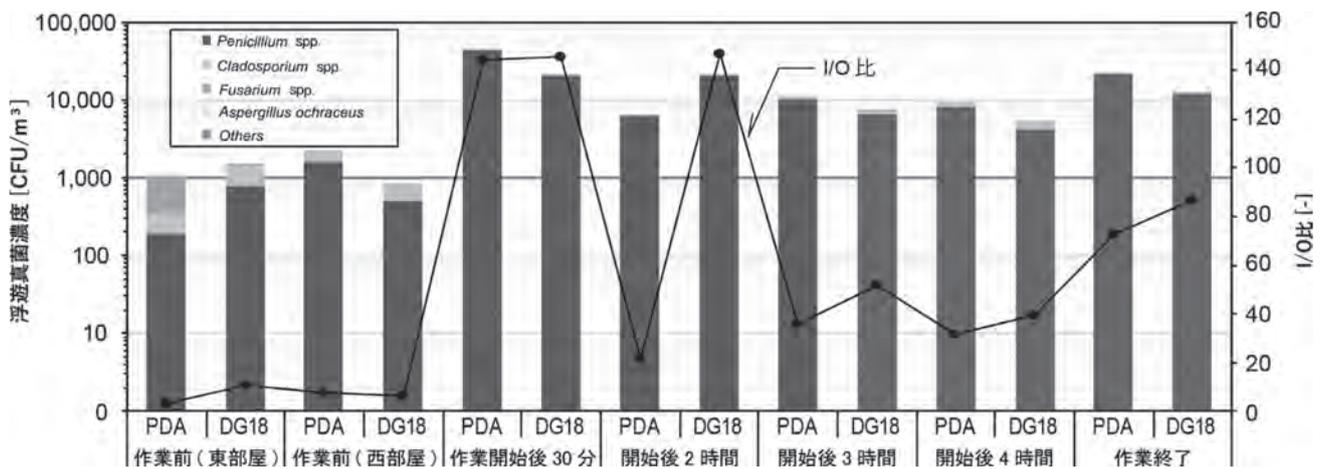


図8 豊野地区にある戸建住宅の改修作業に伴う浮遊真菌濃度の変化(2020年1月)

化学物質(太字はMVOC)	濃度[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]		化学物質(太字はMVOC)	濃度[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	
	居間	床下		居間	床下
Formaldehyde	22.5	N.D.	Styrene	0.5	0.2
Acet aldehyde	66.8	3.2	Cyclotetrasiloxane, octamethyl-	0.3	0.4
Acetone	4.2	1.3	Benzene, 1,4-dichloro-	0.2	N.D.
Ethanol	4.4	N.D.	1-Hexanol, 2-ethyl-	1.4	N.D.
Ethyl Acetate	0.9	0.1	D-Limonene	1.4	N.D.
2-Methyl-1-propanol	0.1	N.D.	Nonanal	0.4	N.D.
Methyl Isobutyl Ketone	0.1	0.0	Cyclopentasiloxane, decamethyl-	45.3	0.4
Toluene	7.6	1.9	Dodecane	2.1	N.D.
Ethylbenzene	1.0	0.7	Pentasiloxane, dodecamethyl-	76.1	N.D.
Xylene	1.1	0.7	TVOC	188.1	16.3

表1 気中の化学物質濃度の測定結果(篠ノ井地区の被害住宅)

邸との差は大きく、改善対策を実施したN邸の方が真菌濃度は低いですが、1月になると両住宅の差は小さくなった。AP邸の壁面には真菌が目視できたが、非居住であるため気流が乱されない状態では真菌が浮遊することが少ないことが原因と考えられる。

図8に、浸水被害を受けた戸建住宅を対象とした改修現場にて、作業工程に合わせて測定した浮遊真菌濃度の変化を示す。作業開始後の真菌濃度は極めて高く、I/O比は100を超える時点もある。これらは作業員の健康リスクに密接に関わっており、作業現場における安全対策に十分な配慮が不可欠であることを示唆している。

3.3 化学物質濃度

真菌繁殖に伴い発生が懸念されるMVOC(生物由来の揮発性有機化合物)の実態を把握するため、篠ノ井地区の被害住宅1件を対象として、気中の化学物質濃度を測定した。結果を表1に示す。総じて、化学物質濃度は高くなく、MVOCに該当する化学物質濃度(表中の太字)についても高い値ではない。今回は、一件のみの測定であったが、今後、真

菌繁殖が顕著な対象に対して測定を継続する予定である。また、アセトアルデヒドは指針値($48\mu\text{g}/\text{m}^3$)を超過し、環状シロキサンの濃度が高い。現時点では、浸水の影響によるかは不明だが、アセトアルデヒドは木材からも発生する物質であり、シロキサン類はシール材より発生する物質であるため、浸水により湿潤した建材の影響も考えられる。

4. 衛生環境の維持の観点から見た建築対応

東日本台風は10月中旬であり温度が低い季節であったにも関わらず、被災後1週間程度で床下や壁内部にカビが発生した。室内空間は、浸水した家具や建具などは早急に清掃して消毒と乾燥を行う必要がある。洗面やトイレなどに用いられるクッションフロアは、乾燥を阻害する為、取り除かなければいけない。また衛生環境維持の観点から、被災後は、壁内部空間と床下空間の早急な対応が求められる。

床下空間は、水をポンプで排出した後、室内空間の空気を床下に送風することが有効と思われる(図9)。ファンを1階床点検口に配置して、室内空間を負圧、床下空間を正圧にすることで、外気→室内→床下→外気の換気経路を形成できる。居室空間全体

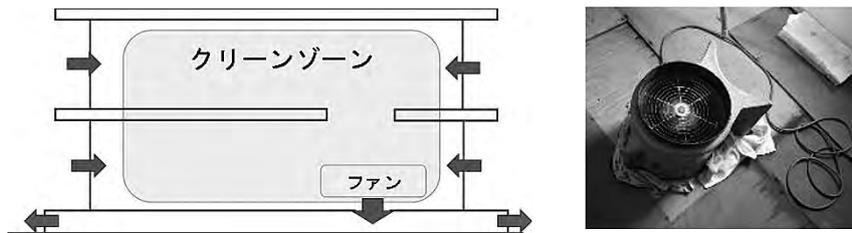


図9 提案する換気システムの概要



図10 壁内部空間の復旧(被災後16~23日目)

に外気の新鮮空気を取り込み、汚染物質の拡散を抑制すること、また1階空間と床下空間を換気経路にすることで乾燥の促進が期待できる。

壁は、浸水水位+30cmより下の部位の断熱材と石膏ボードを取り除かなければいけない(図10)。繊維系断熱材や石膏ボードが乾燥するには時間がかかり、カビがほぼ確実に発生する。また独立気泡の発泡系断熱材であったとしても、構造用合板や柱を乾燥させる必要があるため、断熱材の除去は必要である。浴室や洗面空間の壁は、室内側から部分解体すると復旧費用が高額になる為、外気側から解体して、乾燥消毒後に部分補強する。

まとめ

室内の衛生環境を維持するためには、建物浸水後の早急な対応が求められる。浸水水位プラス0.3mを目処に壁面の断熱材や石膏ボードを取り除くことや、送風機を用いた床下空間の乾燥促進などにより、著しい室内環境汚染を抑制する可能性を確認した。速やかな復旧には現場でのノウハウが必要であるが、そのためのマニュアルを早急に整備するべきである。併せて、機材や現場作業に係るコストを適切に見積り、標準的なコストを提示する必要がある。

植物細胞壁構造から迫る バイオマス利活用に向けた酵素機能解明

信州大学工学部 物質化学科
准教授 水野 正浩



1. はじめに

酵素は生物が作り出す触媒機能をもった蛋白質であり、生物の生命活動を維持するために必要な様々な化学反応を支える重要な物質である。酵素は特定の化合物（=基質）にのみ作用し、特定の化学反応を触媒する。この性質は基質特異性と呼ばれ、無機触媒とは異なる酵素に特徴的な性質の一つである。

筆者は2006年1月に信州大学工学部に赴任して以降、セルロースをはじめとする植物細胞壁に含まれる糖質を分解する酵素の研究に従事している。化石資源の枯渇や地球温暖化、プラスチック製品による環境汚染問題などを背景に、セルロース系バイオマスの利活用が世界的な課題となっている中、酵素による植物細胞壁分解は重要なプロセスとなっている。現在ではバイオエタノールなどの液体燃料だけでなく、化成品原料生産においても酵素による糖化技術が用いられている。

植物細胞壁の酵素糖化に際しては、酸やアルカリ、水熱処理などによる前処理が不可欠とされる。これはセルロースを取り囲むように存在するヘミセルロースやリグニンなどを取り除き、セルロースに対する酵素のアクセシビリティを高めるためや、結晶性の高いセルロースの構造を緩め、酵素の反応性を高めるためである。

一方で自然界に目を向けると、こうした植物細胞壁を効率よく分解している生物がいる。それが担子菌類、いわゆる“きのこ”と呼ばれる生物である。きのこは生育に必要なエネルギーを獲得するために、様々な植物細胞壁分解酵素を生産し、細胞壁の分解を行っている（図1）。分解スピードはゆっくりかもしれないが、前処理を必要とすることなく、分解を行っている。このことは何を意味するのだろうか。

植物細胞壁は主にセルロース、ヘミセルロース、リグニンの3成分から構成される。このように書くと植物細胞壁は一見単純なように見えるが、実は非常に複雑である。ヘミセルロースは、水や希薄なア



図1 工学部の桜の老木に生えたきのこ
きのこは多くの植物細胞壁分解酵素を生産し、木を分解している。つまり、バイオマスを上手に活用しているのである。

ルカリには不溶であるが、4~5% 水酸化ナトリウム水溶液に溶けるセルロース以外の多糖の総称である。例えば、草や広葉樹であればキシラン、針葉樹であればマンナンがヘミセルロースの主成分となる。また、キシランもキシロースを構成単糖とする多糖の総称であり、植物種によって側鎖糖の種類やアセチル基などの修飾基の付加率が異なってくる。更には、ヘミセルロースの一部はリグニンと共有結合し、リグニン-糖複合体（LCC）を形成している。このように、植物細胞壁を構成する物質の構造は多様性に富んでおり、極めて複雑な構造体として存在しているのである。

酵素研究に従事する研究者の興味の見点は、酵素に向けられることが多い。酵素の触媒機能を解明するためには“基質”が重要となるが、その基質は既にあることが前提となっているか、または、あまり注意を払われることはない。では、植物細胞壁分解酵素研究ではどうだろうか。もちろん、キシランやマンナンなどは試薬としても市販されており、これらを基質として利用することが可能である。しかし、こうした基質の構造は、必ずしも複雑な構造を有する天然の植物細胞壁を反映させたものではない。つまり、天然における酵素の機能を正しく評価できていない可能性が高く、ここにバイオマス糖化技術におけるボトルネックが存在していると考えられる。

筆者らは、これまでに水熱処理法¹⁻³⁾及びイオン液体 (IL) 抽出法⁴⁾によって、植物細胞壁の構成成分であるセルロース、キシラン、及び、リグニンを天然状態に近い状態で分離可能であることを見つけてきた。本稿では IL 抽出法を用いた最近の研究状況⁵⁾を紹介したい。

2. IL によるバイオマス成分の溶解と分画

植物細胞壁中に含まれる構成成分を、なるべく天然に近い状態で得るためには、共有結合などの化学結合を切断することなく保持することが重要となる。IL は植物細胞壁を構成するセルロース、キシラン、リグニンの全てを溶解することが可能であると同時に、化学結合の分解を最小限に抑えることができる。植物細胞壁を IL に溶解させた後、脱イオン水を添加すると、構成成分の中でセルロースだけが速やかに再析出する。その結果、IL を含む水溶液中にはキシラン及びリグニンが残存することになる。ここから透析膜を用いて IL を除去することで、キシラン及びリグニンを含む画分を回収するというのが、我々が開発した IL 抽出方法である (図 2)。本手法を用いると透析による IL 除去後に、水への溶解性が異なるキシラン及びリグニンを含む画分 (透析沈澱及び透析上清) が得られ、両画分にはリグニンとキシランの複合体 (Lignin-Xylan Complex, LXC) が含まれる可能性が強く示唆されている。

草本としてイネ科の資源作物であるエリアンサス、木本として広葉樹のナラを原料に用い、1-ethyl-3-methylimidazolium acetate ([Emim] [OAc]) を

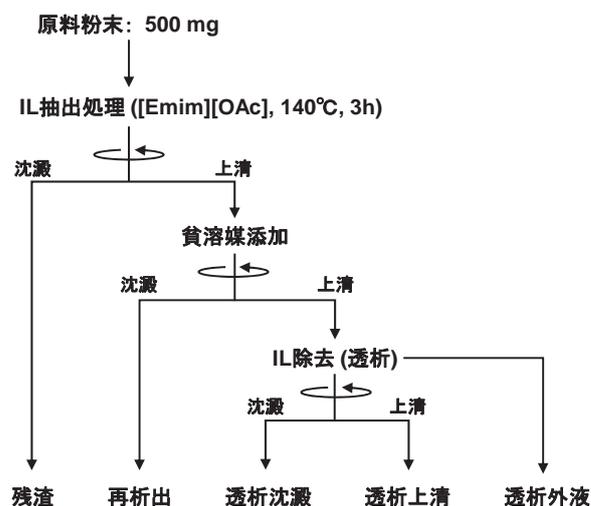


図 2 IL 抽出方法の流れ

IL に用いた IL 抽出法に従って得られた各画分の成分を表 1 に示した。エリアンサス及びナラは共に約 60% の糖質を含んでおり、リグニン量については木本であるナラでやや多く含まれていた。糖質を構成する単糖について見てみると、ナラでは糖質中の多くがセルロースに由来すると考えられるグルコース (66%) であり、続いてキシランに由来するキシロース (26%) であった。また、キシランの側鎖として存在するグルクロン酸及びアラビノースについて見てみると、アラビノースはほとんど含まれておらず、グルクロン酸が中心であった。一方、エリアンサスでは、ナラよりもキシランが多く含まれており、側鎖もアラビノースが中心であった。このことは、草本ではアラビノキシランが多いのに対して、木質ではグルグルノキシランが多いこととも一致してい

表 1 IL 抽出法によるナラ及びエリアンサスから得られた各画分の構成成分割合^{a)}

	組成 (wt%) ^{b)}		単糖組成 ^{c)}								
	リグニン	糖	Glc	Xyl	GlcA	Ara	Man	Gal	GalA	Rha	Fuc
エリアンサス											
未処理	20.4	59.4	58.5	35.3	0.5	2.8	N.D.	0.1	N.D.	0.1	0.1
残渣	50.1	47.1	50.8	38.2	N.D.	5.8	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
再析出	4.6	75.4	87.7	11.9	N.D.	0.5	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
透析沈澱	27.1	57.7	N.D.	90.6	0.9	4.8	N.D.	N.D.	N.D.	0.2	0.2
透析上清	9.9	62.8	5.6	69.1	1.7	13.9	N.D.	2.2	0.4	0.2	0.8
ナラ											
未処理	26.6	63.0	66.3	25.5	2.5	0.5	1.7	0.8	0.7	0.3	0.4
残渣	26.0	61.2	94.1	4.5	N.D.	1.0	0.1	0.1	N.D.	0.1	N.D.
再析出	7.0	81.1	97.5	2.4	N.D.						
透析沈澱	38.0	45.8	0.3	96.4	2.7	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.1	0.7
透析上清	9.8	63.5	1.6	84.2	4.3	1.1	2.9	2.0	0.3	0.7	0.2

^{a)} 実験値は、平均値 (n=3) によって示した。N.D.、未検出。

^{b)} 乾燥粉末 100g 当たりに含まれるリグニン及び多糖類の重量。リグニン量は、クラークソンリグニン定量法に従って算出される酸不溶性リグニン及び酸可溶性リグニンの総和として算出した。

^{c)} 酸加水分解物として HPLC によって分析されたグルコース (Glc)、キシロース (Xyl)、グルクロン酸 (GlcA)、アラビノース (Ara)、マンノース (Man)、ガラクトース (Gal)、ガラツクロン酸 (GalA)、ラムノース (Rha)、フコース (Fuc) の総量を 100 とした際の各単糖の割合を示した。

た。再析出画分についてみると、エリアンサス及びナラともに、88%~98%がグルコースで構成されていることから、ほぼセルロースだけが沈澱物として再析出していることが分かる。尚、筆者のこれまでの研究で、II に溶解した後に水などの貧溶媒の添加によって析出するセルロースは、II 型結晶を示す再生セルロースに変化しており、処理前の I 型結晶のセルロースと比べ、セルラーゼによる酵素分解性が高くなることが明らかとなっている⁶⁾。一方、透析チューブによる II 除去操作によって水不溶性の透析沈澱と水可溶性の透析上清の2つの画分が得られるが、いずれもリグニンとキシランを主成分として含んでいる。それぞれにおいて、親水性の高いキシランと疎水性の高いリグニンの含量が異なっており、このことが水溶性の違いに影響を及ぼしていると考えられる。

3. II 抽出法で得られるキシランの構造的特徴

植物細胞壁成分をより天然に近い状態で得ようという目的において最も重要になるのが、II 抽出法における II 除去後の透析沈澱と透析上清に含まれているキシランの構造的特徴である。

II 抽出法により分画されたエリアンサスの透析沈澱と透析上清に含まれているキシラン成分の構造的特徴を明らかにするため、FT-IR による分析を

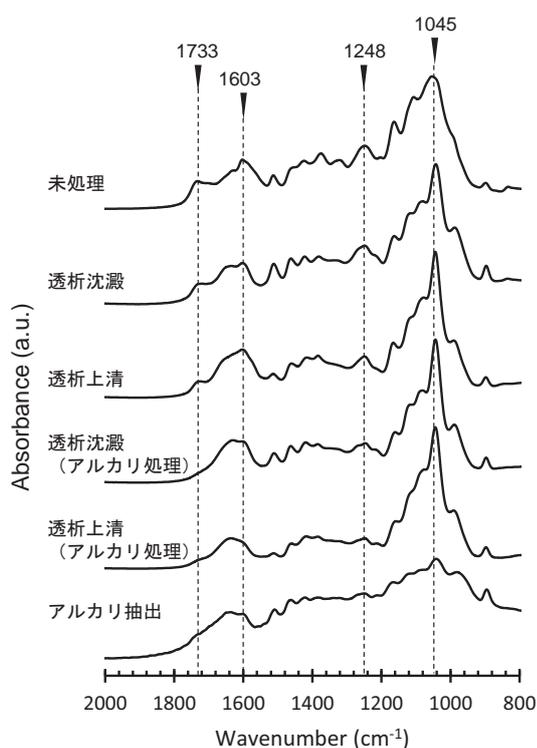


図3 II 抽出法により分画されたエリアンサスの透析沈澱及び透析上清のFT-IR スペクトル

行った(図3)。糖のC-O伸縮運動に起因する 1045cm^{-1} とリグニンの芳香環骨格振動に起因する 1600cm^{-1} に加え、エステル結合に関連するカルボニル基のC=O結合伸縮運動に起因する 1730cm^{-1} とC-O結合伸縮運動に起因する 1245cm^{-1} のピークが観察された。一方、透析沈澱と透析上清をアルカリ処理した試料のスペクトルには、これらのエステル結合に関連するピークが消失していた。また、アルカリ抽出法によって調製したエリアンサスのキシランには、エステル結合に関連するピークは観察されなかった。以上の結果より、II抽出によって得られたキシランには、アルカリ抽出法では加水分解されてしまうエステル結合が保持されたまま残存していることが明らかとなった。

次に、サイズ排除クロマトグラフィー (SEC) によって透析沈澱と透析上清に含まれている成分の分子量分布を測定した。この際、リグニンと多糖の両成分を検出可能なRI検出器と、リグニンの検出が可能なUV-vis検出器とを連結させることで、同時に両成分の検出を試みた。エリアンサスの透析沈澱と透析上清のSECクロマトグラムを図4に示した。透析沈澱のRI検出では高分子領域(M.W. 23000)と低分子領域(M.W. < 6000)に分離される2つのピークが検出された。また、透析上清のRI検出では、高分子領域に1つのピークが観察され、これは

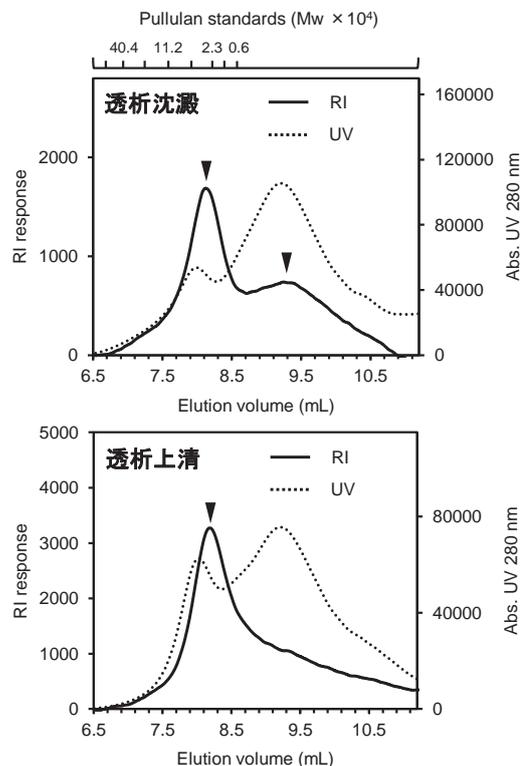


図4 II 抽出法により分画されたエリアンサスの透析沈澱及び透析上清のSEC クロマトグラム

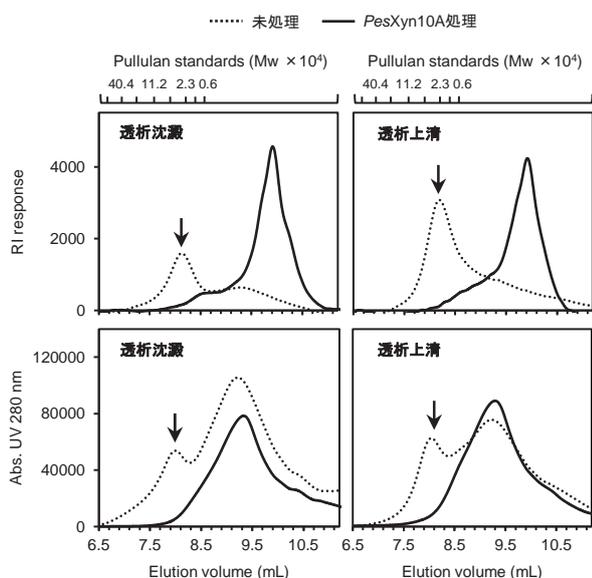


図5 IL抽出法により分画されたエリアンサスの透析沈澱及び透析上清のキシラナーゼ処理前後のSECクロマトグラム

アルカリ処理で得られたキシランのピークとほぼ一致していた。一方、UV検出の場合、透析沈澱及び透析上清のいずれにおいても、高分子領域と低分子領域の2つのピークとして現れた。これらのことより、透析沈澱と透析上清に含まれるリグニン成分は分子量分布が異なる2つの成分として存在していることが明らかとなった。特に高分子領域のUVピークについては、RIピークとも一致してくるため、LXCとしての可能性が強く示唆された。

そこで、エリアンサスの透析沈澱と透析上清に対して、後述する精製された単一のキシラナーゼ

(*PesXyn10A*) を作用させ、その反応前後における分子量分布の変化をSECにより解析した(図5)。その結果、透析沈澱と透析上清の両画分において*PesXyn10A*による加水分解反応後に、高分子領域のRI及びUVピークが共に完全に消失し、低分子領域にシフトした。このことから、高分子領域のピークは、キシランに対し低分子のリグニン成分が結合していることが強く示唆される。現在、キシランとリグニンを架橋する結合の存在をNMRによって直接的に証明する実験を行なっている。

4. キシラン/リグニン複合体に作用する酵素

ここまでは基質側の研究例を紹介してきたが、最後に酵素側の研究例についても簡単に紹介する。植物細胞壁分解酵素を得るために筆者らが着目したのは、白色腐朽菌である*Irpex lacteus*(和名ウスバタケ)と子嚢菌である*Pestalotiopsis* sp. AN-7である。*I. lacteus*は担子菌類(白色腐朽菌)であり、木材の腐朽性が高い。一方、*Pestalotiopsis* sp. AN-7は植物病原性の子嚢菌類であり、植物に感染、侵入する際に植物細胞壁の分解を必要とすると考えられる。筆者らは現在、この2つの菌からキシランに作用する5つの酵素遺伝子をクローニングし、メタノール資化性酵母である*Pichia pastoris*による組換え体の作製に成功している(図6)。本稿ではキシラン分解に関与する2つの酵素について紹介する。

1つ目は、*Pestalotiopsis* sp. AN-7より取得したキシランを加水分解するキシラナーゼ(*PesXyn10A*)である。本酵素は、キシロースが β -1,4結合で重合

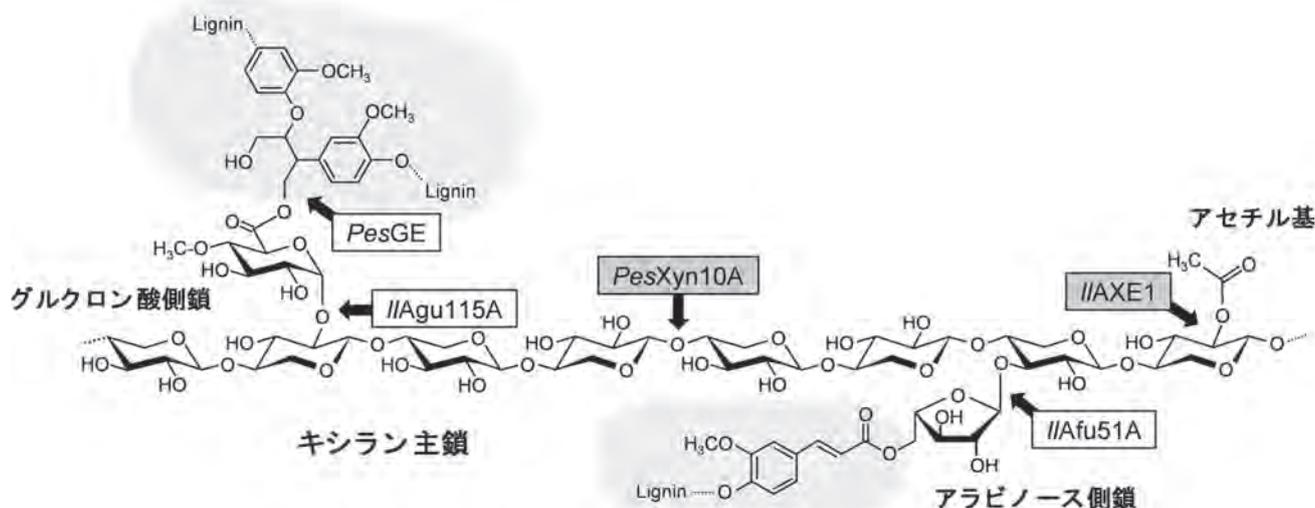


図6 リグニンとの架橋構造を含むキシランの模式構造と酵素の作用部位

PesXyn10A, *Pestalotiopsis* sp. AN-7 由来キシラナーゼ; *PesGE*, *Pestalotiopsis* sp. AN-7 由来 4-O-メチルグルクロノイルエステラーゼ; *IIAXE1*, *I. lacteus* 由来アセチルキシランエステラーゼ; *IIAgu115A*, *I. lacteus* 由来 α -グルクロニダーゼ; *IIAfu51A*, *I. lacteus* 由来 α -L-アラビノフラノシダーゼ

したキシラン主鎖を加水分解する。従って、キシラン分解における中心的な酵素とも言えるが、前述した通りキシラン主鎖には植物の種類によって様々な側鎖や修飾基の付加が起こるため、本酵素だけでは完全なキシラン分解を行うことはできない。尚、本酵素は海水と同程度の塩存在下において、非存在下と比較して酵素活性が140%にまで上昇するという面白い特徴を有していた⁷⁾。これは、本酵素を生産する *Pestalotiopsis* sp. AN-7 がマングローブ林の土壌から単離されており、汽水域の環境に適応していることと関係があるかもしれない。

2つ目は、*I. lacteus* より取得したキシランを構成するキシロースの水酸基にエステル結合によって修飾されたアセチル基を加水分解するアセチルキシランエステラーゼ (*IIAXE1*) である。*PesXyn10A* などのキシラナーゼは、キシロース残基を認識してキシロース間の β -1,4-結合を加水分解するが、この際、キシロースの2位や3位の水酸基にアセチル基が付加していると、立体障害が起こりキシラナーゼはキシランと結合することができなくなる。*IIAXE1* は、キシラン主鎖からアセチル基を取り除くことで、キシラン主鎖に対する *PesXyn10A* の作用を補助することが可能となる⁸⁾。

また、これら以外にも、キシラン主鎖から枝分かれた側鎖である4-O-メチルグルクロン酸を遊離する α -グルクロニダーゼ (*IIAgu115A*) や、同じく側鎖であるアラビノースを遊離する α -L-アラビノフラノシダーゼ (*IIAfu51A*)、4-O-メチルグルクロン酸とリグニンとの間に形成されるエステル結合を加水分解する4-O-メチルグルクロノイルエステラーゼ (*PesGE*) についても、徐々にその性質が明らかになりつつある。

5. おわりに

酵素はアミノ酸から構成される蛋白質であるので、そのアミノ酸配列情報は生物のゲノム中に遺伝子として存在している。近年のゲノム解析技術の飛躍的な進歩は、微生物のゲノム情報を短時間で明らかにすることを可能とし、その中に含まれる遺伝子配列を同定することを容易にした。世界中のデータベースには多くの遺伝子やそれらがコードする蛋白質のアミノ酸配列が登録されており、その数は年々増加を続けている。しかし、その中で機能が明らかになっているものは極僅かである。

酵素とはある特定の触媒機能を有する蛋白質のことであり、その機能が何であるかが分かなければ、そもそも酵素であるかどうかも分からない。そし

て、その機能を明らかにするためには、適切な基質がなければ始まらない。逆にいえば、適切な基質を用意することができれば、今まで気付いてこなかった新規酵素を発見することができるかもしれない。そしてここに、冒頭に記した、「何故、きのこは前処理を必要とすることなく植物細胞壁を分解しているのか」という問いに対する答えがあるように感じている。

現在、植物細胞壁分解酵素研究において、酵素と基質の両方から研究を行っている拠点はほとんど存在しておらず、ここに我々の強みがあると自負している。これまでに西澤一俊先生、神田鷹久先生、天野良彦先生、野崎功一先生らの諸先輩方が、この信州大学で蓄積してきた、約80年にわたるこの酵素研究の歴史と成果、そして、そこに基質調製とその構造解析という新たなアプローチを組み合わせ、これからもバイオマス研究に邁進していきたいと考えている。

謝辞

本研究は、一般財団法人信州大学工学部若里会の令和2年度研究助成を受け実施したものです。研究の遂行に際し、多大なご支援をいただきましたことに改めて御礼申し上げます。本研究助成での成果は、2件の学会発表（日本応用糖質科学会、木材学会）、1報の学術雑誌（参考文献7）として発信することができました。

また、本研究には生物化学研究室に所属する多くの学部生と大学院生が携わってくれました。表に出てくる一部の実験データの裏には、バイオマス試料（丸太など）を砕いて微粉砕化するなど、非常に泥臭く、地道な作業が多くあります。特に2020年は新型コロナウイルス感染症（COVID-19）の流行拡大の中にあり、研究室への登校制限や学会の開催中止による発表の場の喪失など、学生諸子もそれぞれが大変な環境におかれていました。そうした中、苦勞をしながらも着実に実験を進めてくれたことに敬意を表するとともに、心より感謝します。

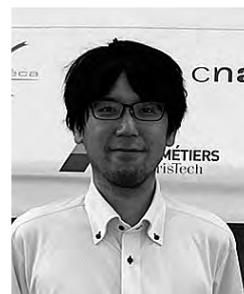
参考文献

1. S. Makishima, *et al.* : Development of continuous flow type hydrothermal reactor for hemicellulose fraction recovery from corncob. *Bioresour. Technol.*, **100**, 2842-2848 (2009).
2. N. Sato, *et al.* : Production of feruloylated arabino-oligosaccharides (FA-AOs) from beet fiber by hydrothermal treatment. *J. Supercrit.*

- fluids*, **79**, 84-91 (2013).
3. T. Arai, *et al.* : Structural characterization of hemicellulose released from corn cob in continuous flow type hydrothermal reactor. *J. Biosci. Bioeng.*, **127**, 222-230 (2019).
 4. 水野正浩 : セルロースの高次構造改変とその酵素分解性の評価。 *応用糖質科学*, **7**, 10-15 (2017)。
 5. 高相昊, 他 : イオン液体を用いた天然型キシランの抽出とその構造的特徴。 *応用糖質科学*, **10**, 76-82 (2020)。
 6. Mizuno, *et al.* : *Aust. J. Chem.*, **65**, 1491-1496 (2012).
 7. S. Koh, *et al.* : Xylanase from marine filamentous fungus *Pestalotiopsis* sp. AN-7 was activated with diluted salt solution like brackish water. *J. Appl. Glycosci.*, **68**, 11-18 (2021).
 8. S. Koh, *et al.* : Characterization of acetylxylan esterase from white-rot fungus *Irpex lacteus*. *J. Appl. Glycosci.*, **66**, 131-137 (2019).

材料コストを考慮した アルミニウム張弦橋の最適形態の創造と体系化

信州大学工学部 水環境・土木工学科
助教 近広 雄希



1. はじめに

アルミニウム合金材は、鋼材と比べて材料密度が約1/3と軽量で耐腐食性にも優れるため、鋼橋よりもライフサイクルコスト(LCC)が安価であると言われる。一方、材料密度だけでなく弾性係数も約1/3と低く、たわみ抑制の点から余裕のある断面設計が行われる。また、アルミニウム合金材の単位重量あたりの材料コストも鋼材と比べて高いため、国内における道路橋への適用例は兵庫県の金慶橋の1例に限られ、海岸部のように塩害が懸念される箇所に架設される歩道橋への適用例が多い^[1]。しかしながら、アルミニウム合金材を用いた歩道橋の総数も決して多いとは言えず、橋梁の主構造というよりも、床板や防護柵といった付属物への適用が近年模索されている^[2,3]。これは、アルミニウム合金材だけに限らず、FRPやCFRPのような軽量材料にも当てはまり、橋梁分野において材料の低コスト化の壁が立ちだかっている。

本研究では、アルミニウム合金橋の剛性向上とコスト低減を両立するために、偏心ケーブル材によるアルミニウム張弦橋を提案し、その最適形態を明らかにすることを目的とする。張弦構造とは、建築分野の屋根構造物に空間性を持たせるために発案された構造であり、梁構造の曲げモーメントの一部をケーブル材の張力で負担させる構造系から成り立つ^[4]。本研究では、アルミニウム張弦橋の最適形態を探るために、位相最適化とコスト最小化問題を考慮した2段階の最適化問題を考える。すなわち、はじめに任意の設計領域を持つアルミニウム合金橋の形態創成をグラウンドストラクチャー法に基づいて行い、得られた骨組部材に対して材料コストを考慮した複数の材料選択問題と部材断面の寸法最適化問題と合わせて検討する。ここでは、位相最適化とコスト最小化問題に対する数値最適化の途中結果を報告し、今後の展望について述べる。

2. 最適化手法

2.1 最適化問題の定式化

本研究における最適化問題の手順を図1に示す。材料コストを意識した張弦橋のレイアウトを導くために、図1のように前半部ではグラウンドストラクチャー法による位相最適化を行い、後半部では導かれた形態に対して差分進化法(Differential Evolution = DE)を用いたコスト最小化を実施する。本研究では、これら2つの最適化問題を数式処理システム Mathematica 12.0 によってプログラミングを行った。

(a) 位相最適化問題

グラウンドストラクチャー法は、設計領域 Ω に配置した節点間を有限の線要素で結んだグラウンドストラクチャーと呼ばれる下地構造(図2参照)に対して、数学的最適化手法によって不要な要素を除いた後に残った形状が最適位相となるものである。

本研究では、文献^[5]に基づく部材総体積とコンプ

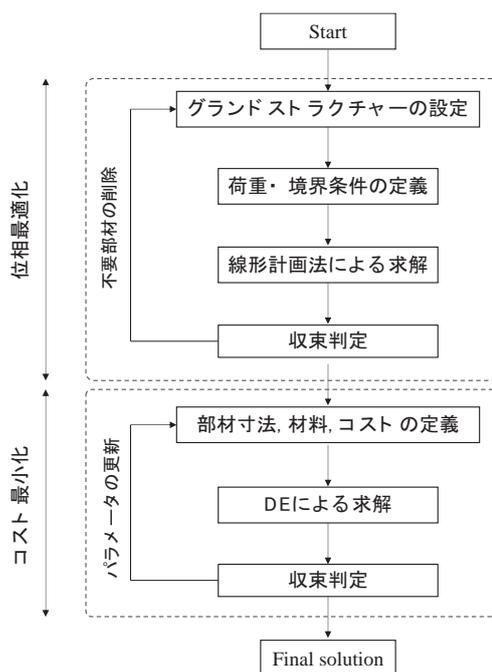


図1 最適化問題のフローチャート

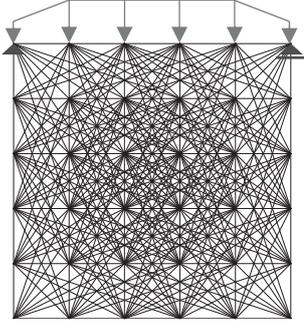


図2 節点を結んだグラウンドストラクチャーの例

ライアンスを目的とした位相最適化問題を対象に、パレート最適解となる応力制約下の最小体積解を線形計画法により求める。高田らによると、この多目的最適化問題における一定外力下のトラス構造物のパレート最適解は、部材断面に依存せず力の釣合いのみで算定することができる。とされる。

トラス部材の総体積 V とコンプライアンス C の最小化を目標とした多目的最適化問題では、次のように定式化される。

$$\{V, C\} \rightarrow \min. \quad (1)$$

$$\begin{cases} V = \mathbf{A}^T \mathbf{l} \\ C = \mathbf{N}^T \boldsymbol{\delta} \end{cases} \quad (2)$$

ここで、部材断面ベクトル $\mathbf{A} (= \{A_1, \dots, A_m\}^T)$ 、部材長ベクトル $\mathbf{l} (= \{l_1, \dots, l_m\}^T)$ 、部材の軸方向力ベクトル $\mathbf{N} (\in \mathcal{R}^m)$ 、部材の軸方向変形ベクトル $\boldsymbol{\delta} (\in \mathcal{R}^m)$ をそれぞれ表す。

パレート最適解におけるトラス部材の総体積 V とコンプライアンス C の関係は次式となる。

$$C = \frac{\sigma^2 V}{E} \quad (3)$$

$$VC = \frac{(|\mathbf{N}|^T \mathbf{l})^2}{E} \quad (4)$$

ここで、 σ は全部材の応力の絶対値、 E は全部材の弾性係数である。式(4)を考慮すると、式(1)の多目的最適化問題は、次式のように断面積や弾性係数線形計画問題として考えることができる。

$$\begin{aligned} \text{Min.} \quad & f = \mathbf{l}^T \mathbf{N}_+ + \mathbf{l}^T \mathbf{N}_- \\ \text{s.t.} \quad & \mathbf{P} = \mathbf{B} \mathbf{N}_+ - \mathbf{B} \mathbf{N}_- \end{aligned} \quad (5)$$

なお、初期計算により求めた最適位相には、軸

力が小さく細長い部材も混在している。そのため、次式のように初期計算により求めた軸力の最大値 N_{\max} を基準に、軸力の下限值 iN_{\max} を定義し、不要部材が集合する節点群を除いた新しい節点群を再計算の初期値として定義することによって、より滑らかな形態を導くことを試みた。

$$iN_{\max} < N_+^* + N_-^* < N_{\max} \quad (6)$$

ここで、 N_+^*, N_-^* は最適解の部材方向ベクトルを表す。

(b) コスト最小化問題^[6]

部材の許容応力を σ_a とおくと、パレート最適解では式(3)が成立するので、制約条件は総体積 V とコンプライアンス C を用いて次式で表される。

$$C \leq \frac{\sigma_a^2 V}{E} \quad (7)$$

このとき、最適解 N_+^*, N_-^* および最小目的関数値 f_{\min} とすると、最小体積 V_{\min} および最適部材断面積 A_{opt} は次式で表される。

$$V_{\min} = f_{\min} / \sigma_a \quad (8)$$

$$A_{\text{opt}} = (N_+^* + N_-^*) / \sigma_a \quad (9)$$

コスト最小化問題は、図2(c)のように位相最適化から求めたレイアウトに対して、次式のように定式化した。

$$\begin{aligned} \text{Min.} \quad & f(\mathbf{x}) = \alpha_i W_i \\ \text{s.t.} \quad & g_k(\mathbf{x}) < b \quad (k = 1, \dots, n) \\ & \mathbf{x} \in \mathbf{X} \in \mathcal{R}^n \end{aligned} \quad (10)$$

目的関数 $f(\mathbf{x})$ は、各部材のコスト $\alpha_i W_i$ の総和で表現できる。部材重量 W_i は、密度 ρ_i 、断面積 A_i 、部材長 l_i を用いて示せる。コスト指数 α_i は、単位質量あたりの相対的な材料コストを表したものであり、鋼材の価格を1とした場合、アルミニウム合金材は6.5倍の、ケーブル材（ステンレス製）は6.0倍の価格である仮定した^[7]。 $g_k(\mathbf{x})$ は、次に示す応力、たわみに関する制約条件を並べたものである。

$$\begin{cases} |\sigma_S| < \text{Min.}(\sigma_{crE}, \sigma_a) \\ |\sigma_A| < \text{Min.}(\sigma_{crE}, \sigma_a) \\ \sigma_C < \sigma_a \\ \delta_{max} < \frac{L}{600} \\ 0 < A < A_{max} \end{cases} \quad (11)$$

ここで、 $\sigma_S, \sigma_A, \sigma_C$ は鋼材、アルミニウム合金材、ケーブル材の応力を、 σ_{crE} はBernulli-Euler 梁から算出した座屈応力、 σ_a は材料の許容応力、 δ_{max} は最大たわみを、 A_{max} は最大断面積をそれぞれ示す。なお、最大たわみ δ_{max} は断面積と材料を割り当て際にFEMによる骨組解析を実施して評価する。

3. 最適化の結果

数値最適化の途中経過の一例として、位相最適化問題とコスト最小化問題を個別に扱った際の結果について述べる。

(a) 位相最適化問題

位相最適化では、図2のようにグラッドストラクチャー上部の両端にヒンジ支点とローラー支点を設け、最上部に荷重を与えた。設計領域は、グラッドストラクチャーの縦横比が1:2, 1:5, 1:10になるように設定をした。この問題を解くにあたり、線形計画法を用いた。

図3、図4に位相最適化における初期形態と最終形態をそれぞれ示す。各コンター図において、赤色に近づくほど大きな引張力が、青色に近づくほど大きな圧縮力が作用していることを示す。位相最適化の過程で、縦横比1:2, 1:5, 1:10に対して、節点数は約20%、60%、50%減少した。各最終形態に着目すると、図4(a)では設計領域下部の最外縁がアーチ状になっているが、図4(b)では設計領域下部の最外縁の約1/3に直線形状が現れ、図4(c)ではこの直線部分がより広がっていた。また各最終形態に

おいて、図4(a)では比較的等間隔で鉛直材が出現しており、図4(b)では直線部の終始点から設計領域上部の中央近傍にかけて太い斜材が出現した。さらに図4(c)では、図4(b)よりも斜材が目立つようになり、ワーレントラス型に近づく傾向が見られた。

(b) コスト最小化問題

本来ならばコスト最小化問題の初期形態は位相最適化問題により得られたものを用いるが、ここでは図4(b)のように支間中央付近にケーブル材を支えるだろう束材が現れることを踏まえ、図5のような張弦梁モデルに対して、コスト最小化を試みた。

梁の材料には、鋼材とアルミニウム合金材を仮定し、鋼材の弾性係数、密度、降伏応力は $E = 200$ GPa、 $\rho = 7.9 \times 10^9$ ton/mm³、 $\sigma_y = 255$ MPaと、アルミニウム合金材の弾性係数、密度、降伏応力は $E = 70$ GPa、 $\rho = 2.7 \times 10^9$ ton/mm³、 $\sigma_y = 235$ MPaとそれぞれした。また、梁の断面積は $A_{max} = 3.0 \times 10^5$ mm²とした。ケーブル材には直径が $D = 14, 20, 28$ mmの3種類を仮定し、弾性係数は全て $E = 88$ GPa、破断荷重を $P_{max} = 121, 234, 432$ kNとそれぞれした。

束材が二本の場合のコスト最小化問題の結果を図6に示す。図中の黒線は鋼単純梁の、赤線はアルミニウム合金製単純梁の結果をそれぞれ示し、各材料の任意の支間長に対するコストを○印で、制約条件を満たす最大支間長に対するコストを×印でそれぞれ示す。また、図中の緑色の点線、破線、実線は、ケーブル径を $D = 14, 20, 28$ mmとした場合の最適解をそれぞれ示す。図6より、鋼橋はアルミニウム合金橋よりも低コストで最大支間長も長くなるが、張弦構造とすることで低コスト化が見込まれる結果になった。例えば $L = 10$ mの場合には、ケーブル径が $D = 14, 20, 28$ mmと変わることによって $C = 31182$ (29%減)、 10253 (77%減)、 8836 (80%減)となり、ケーブル径が $D = 28$ mmの張弦梁のコス

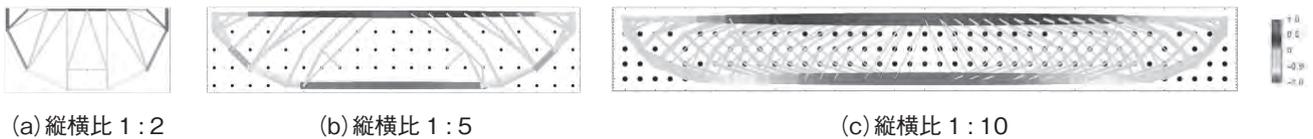


図3 橋梁の桁高を意識し縦横比を変えた位相最適化の結果(初期形態)

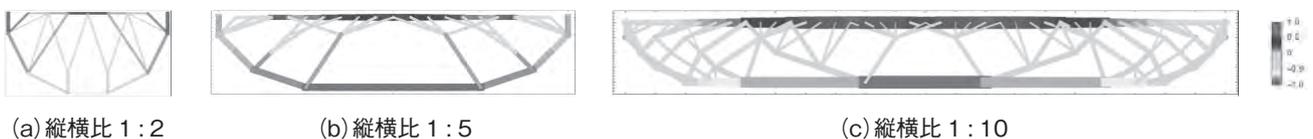


図4 橋梁の桁高を意識し縦横比を変えた位相最適化の結果(繰り返し計算後)

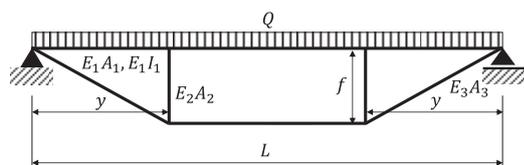


図5 束材が二本の張弦梁モデル

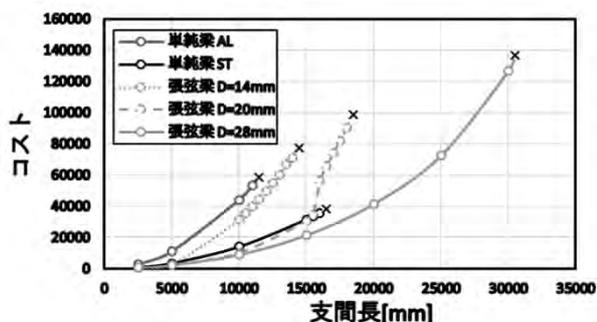


図6 束材が二本の張弦梁におけるコストと支間長の関係

トは鋼単純梁よりも低い値となった。また $D = 28$ mm の張弦梁の最大支間長は $L_{\max} = 30.5$ m と鋼単純梁よりも 1.8 倍ほど長くなった。

以上のことから、位相最適化より導かれる橋梁形態に対してケーブル材を用いた張弦構造とすることによって、アルミニウム合金橋の低コスト化が期待できることが分かった。今後は、位相最適化とコスト最小化の一連化を図るとともに、3次元問題に展開した最適形態を探る予定である。

4. おわりに

今回報告した研究成果は、まだ未発表のものもあり公表できないものも多いが、位相最適化とコスト最小化問題を組み合わせることによって、軽量かつ低コストなアルミニウム合金製張弦橋が実現できるだろうという見込みができてきた。今後は、この軽量性を活かした防災分野への展開も期待している。

最後に、一般財団法人信州大学工学部若里会による多大なる支援に感謝申し上げます。

参考文献

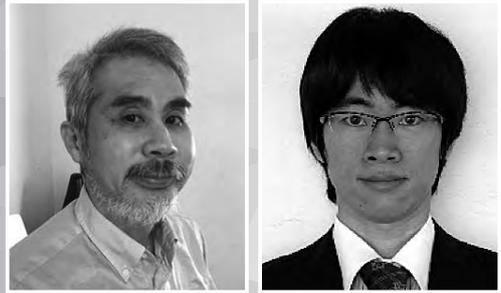
- [1] 大倉一郎、萩澤亘保、岩田節雄、北村幸嗣：アルミニウム橋実現のための技術開発、軽金属、54(9)、pp.380-387、2004.
- [2] 大倉一郎、長尾隆史、萩澤亘保：アルミニウム床版の移動トラックタイヤ載荷試験による疲労耐久性評価、構造工学論文集、56(A)、pp.1217-1226、2010.
- [3] 伊藤義人、吉野彰宏、酒見真志、佐藤遼一：アルミニウム合金押出形材を用いた新しい橋梁用

ビーム型防護柵開発に関する研究、土木学会論文集 A1 (構造・地震工学)、71(2)、pp.186-198、2015.

- [4] 斎藤公男、岡田章：建築におけるケーブル構造の課題と展開、鋼構造論文集、1(3)、pp.1-16、1994.
- [5] 高田豊文、松岡貴士：体積とコンプライアンスを目的関数としたトラス・トポロジー最適化問題への線形計画法の適用、日本建築学会構造系論文集、70(598)、pp.87-91、2005.
- [6] 水野翔太、近広雄希、小山茂：張弦構造によるアルミニウム合金梁の材料コスト最小化に関する一検討、令和2年度土木学会中部支部研究発表会、I-03、2021.
- [7] David R.H.Jones, Michael Ashby.: Engineering Materials 15th Edition, Butterworth - Heinemann, 2018.

新しい機能性ソフトマテリアルを 目指して(奥村・佐伯研究室)

物質化学科 教授 奥村 幸久
物質化学科 助教 佐伯 大輔



「何の研究をしている研究室なのですか?」と尋ねられることがあります。「膜の研究を主にしています。」と答えたりするのですが、「膜」と言っても分野によってイメージするものが異なるようです。当研究室では、細胞膜をはじめとする生体膜に見られる脂質二分子膜、また高分子をベースとした機能膜を中心に、新しい機能性ソフトマテリアルを得るための基盤となる研究をしています。

脂質二分子膜

生命体の基本単位である細胞は細胞膜により外界から区分されています。細胞活動の維持には、物質移動の制御や分子認識など多くの高度な機能が必要となります。このような複数の高度な機能を単一の分子で実現するのは困難ですが、細胞膜では脂質分子が自己集合して形成される脂質二分子膜を基本構造として、これにタンパク質分子や糖鎖などの機能分子が複合することで実現しています。

生命現象の詳細な解明にあたって、細胞から一部の分子群を抽出してシンプルな形で再構成するのは有力な手法です。実細胞において細胞膜を舞台とする現象の研究では細胞と同程度以上の大きさの脂質二分子膜小胞体(巨大リポソーム)に再構成が求められます。

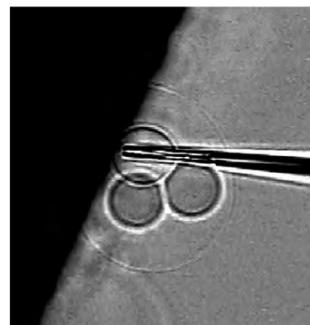
そこで、この基盤となる巨大リポソームをいかに得るか、さらにはどのようにして適切な形で機能分

子群を組み込むかが課題となります。例えば、細胞膜を通した物質輸送に方向性がある場合には、輸送をつかさどる分子は特定の向きに組みこまれねばなりません。当研究室では、比較的容易かつ確実に細胞と同程度以上の大きさの巨大リポソームが得られるエレクトロフォーメーション法を中心に、巨大リポソームの形成法の開発に取り組んでいます。

細胞における生命現象の解明の進展により、細胞は微小で極めて複雑な化学システムであることが明らかにされてきました。これを受けて細胞同様の化学的原理に基づいたマイクロ化学システムを構築する試みが始まっています。

細胞をシステムとして観ると、細胞内部には核やミトコンドリアなど細胞小器官と呼ばれる部分構造があり、細胞の活動に必要な機能を分担することで全体として高度な機能の発現を可能にしています。これは、より高度な細胞機能のモデル化には、内部に細胞小器官に相当する区分されたコンパートメントが必要であることを示しています。

細胞小器官の多くはやはり膜構造からできています。当研究室では、これを模す形で、小さな膜小胞を内部に持つ巨大リポソーム(オリゴベシキュラーベシクル)の形成方法の開発に取り組み、これまでに浸透圧差を利用した方法、脂質膜の直接操作による変形を利用する方法などにより、オリゴベシキュラーベシクルの基本構造の形成に成功しています。

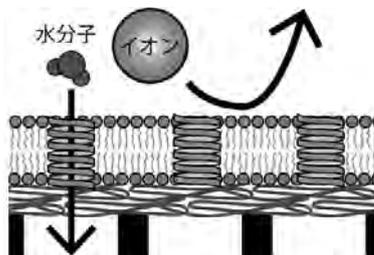


<図>細胞模式図とオリゴベシキュラーベシクル形成

機能性高分子膜、脂質－高分子複合膜構造体

機能性高分子膜の中でも、水処理膜は、浄水確保、また排水処理などの重要性から多くの研究がされています。当研究室では、界面重合法により形成したポリアミド膜をベースとして、その性能向上を目指して、モノマー構造の工夫、カーボンナノチューブとの複合化などの検討をおこなっています。

先に述べたとおり、脂質二分子膜は分子集合膜である点を活かして、分子複合による多彩かつ精緻な機能化、また細胞分裂に見られるように分子レベルでの再構成が可能という特長を持ちますが、物理的な強度では高分子膜に劣ります。一方、高分子膜は物理的な強度は得やすいのですが、機能分子との精緻な複合や形成後の再構成は難しいという課題を持ちます。このように、脂質分子集合膜と高分子膜とは相補的な特徴を持つので、両者を複合することにより、精緻な機能と強度を合わせ持つ新しい脂質－高分子複合膜構造体が可能になると考え、その開発にも取り組んでいます。具体的には、高分子膜表面に機能分子を組み込んだ脂質二分子膜層を形成する試み、また、脂質二分子膜を高分子ハイドロゲル粒子上に担持した構造とすることでシンプルなりポソームよりも高い強度を持たせたハイドロゲル支持ベシクルの開発もおこなっています。



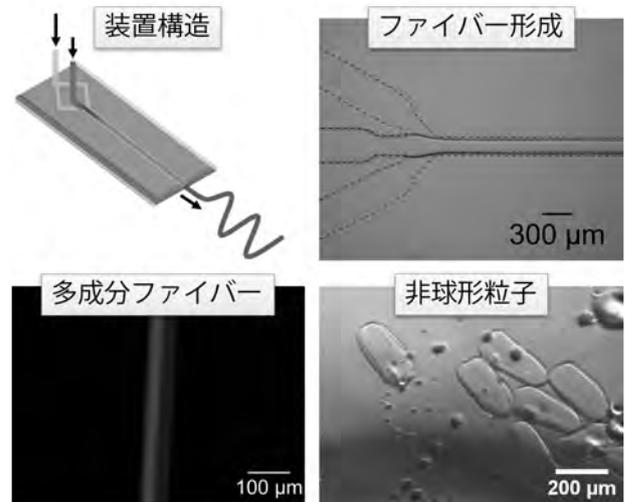
＜図＞生体膜分子を組み込んだ、選択的透過分離機能を持つ脂質－高分子複合膜

マイクロ流体デバイスを使った微粒子・ファイバー作製

以上のように脂質二分子膜と高分子膜を中心とした研究を多くおこなっていますが、この他にも、新たな機能性ソフトマテリアルをめざした様々なテーマに取り組んでいます。

その一つが、マイクロ流体デバイスを使った微粒子・ファイバー作製です。マイクロ流体デバイスは数百 μm 程度の幅を持つ流路で、内部を流れる流体の流れを詳細に制御することができます。このデバイスを使って油と水とが分離層を形成しながら流路内を流れるようにし、これを場として高分子のゲル化反応をコントロールすることで、ファイバー状、

あるいはそれを分断した粒子状の高分子ゲルの作製を可能にしました。特に、生体適合性の高いアルギン酸のゲルファイバー、ゲル粒子は医療用の糸や放出制御機能を持つ製剤などへの応用が期待できます。



＜図＞マイクロ流体デバイスを使ったハイドロゲルファイバーや微粒子の作製

研究室について

学部学生7名程、修士学生6名程と教員（奥村、佐伯）が研究室のメンバーです。研究を通して、大学を出てから技術者・開発者として必要となる、論理的な考え方、方法論、コミュニケーション能力（連絡、報告、相談、発表、文書作成）を涵養する場となるよう活動しています。

機能性薄膜材料研究室の紹介

電子情報システム工学科 助教 浦上 法之



1. はじめに

機能性薄膜材料と銘打つ筆者の運営する研究室では、様々な性質を有する電気電子材料を扱っている。我々の生活で欠かせない電子機器を構成しているものは多数の素子いわゆる“デバイス”であるが、材料はそれらの性能を決める重要な要素の1つである。企業のものづくりにおいて素子の性能の7割は材料が担っているという話を聞いたことがあるが、これは歩留まりも含めて素材が不安定なものだと実用化しないといった考えに繋がっている。また「実現したい機能を有する電気電子素子を作製するためには素材から考えなくてはいけない」、と筆者の考えを補足しておく。

当研究室は、2015年4月に筆者が工学部の旧電気電子工学科に助教として着任以降、学科内外の先生方のご指導の下で、学生の入れ替わりがあるものの10名程度で構成されている。この度、研究内容を紹介する機会を頂戴したため、筆者が掲げる研究内容の一部を簡単に述べる。

2. 研究紹介

2021年現在、まだまだ新たな電気電子材料が発見されているだけでなく、古くから知られている材料の再検討により新たな性質が発見されている。申請者の研究室では、層状物質と呼ばれる材料群を扱っている(図1)。最も身近な層状物質は黒鉛(グラファイト)であり、鉛筆の芯やリチウムイオン電池の電極に利用されている。層状物質は1nm以下の厚さの各層が非常に狭い空間を隔てて積み重なった構造をしており、金属(超電導)や半導体の性質を示すものが多い。興味深いことに、材料の厚さが数層と数えられる程度になると、層数に依存してその物理性質が変化することが2000年代に入って明らかになった。例えば、天然に存在し潤滑材に用いられている二硫化モリブデンは、電気的な性質は半導体であるが単層の時のみ赤色に強く発光することが分かっている。層状物質が単層になると、積層し

ている場合の各層間の相互作用がなくなり、材料のエネルギー状態が変化するためと定性的に理解されている(詳細は量子力学の詳細な理解が必要なため省く)。当研究室は新たな層状物質の発見と工学的な応用を目指し、以下のような研究内容で推進している。

1つ目としてグラファイト状窒化炭素($g-C_3N_4$)について紹介する。これは研究室発足から最も研究期間が長い材料であるが、まだまだ新たな知見が多くみられている。注目すべきことは、その面内結晶構造(原子配列)に特異的な逆三角形の穴が存在することである。その穴が積層しているのか層間で位置を変えているのかはまだ定かでないが、この穴があるからこそ材料として様々な機能を発現することが分かっている。 $g-C_3N_4$ は理論計算によるとその電子状態は発光を可能とするそれではないと示されているにも関わらず、青色で発光する。これは先述した、面内にある特異な穴が電子状態を変化させて発光を実現している。その一方で、 $g-C_3N_4$ は半導体であるために電圧を印加することで適度に電流を流す。一般的な層状物質において、積層方向は狭いとはいえ空間があるために抵抗が高く、原子同士が結合している面内は抵抗が低い。しかし $g-C_3N_4$ では、積層方向は一般的なものと同程度に抵抗が高いが、面内方向はそれ以上に抵抗が高く絶縁体と表現してもよい程度である。この要因は、面内にある特異な穴が電流を担うキャリア(電子や正孔)を捕獲し移動できないようにしているためである。最近筆者は、素子化することで面内へ沿う電流の制御を実現し、スイッチ化することに成功した。電流が流れた際の大きさはまだ十分でないが、この機能により圧電体でもある $g-C_3N_4$ による振動検出など、次世代のセンサ社会への展開が期待できる。

2つ目として層状物質とそうでない一般的な材料の融合について紹介する。窒化ガリウム系材料から成る青色発光ダイオードの実現に対して、我々の生活はより明るくなっていくものと期待され2014年

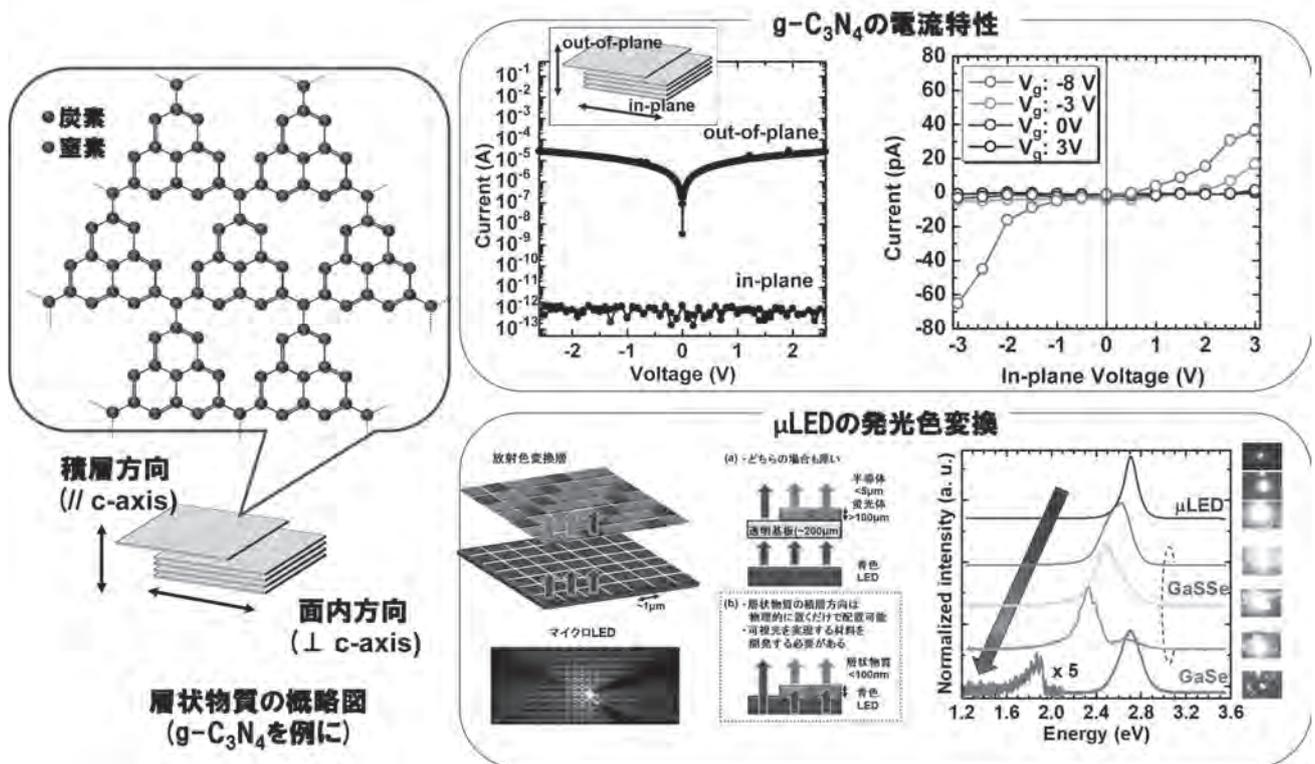


図1 機能性薄膜研究室が推進する研究内容。層状物質の概略図および得られた成果の一部。

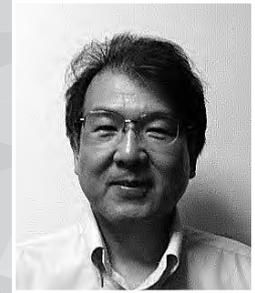
にノーベル物理学賞が与えられたことは記憶に新しい。最近では微細加工技術の進展により同一基板に微小な素子を集積したマイクロ発光ダイオード (μ LED) へと進化し、ディスプレイや融合分野において重要な素子として認識されつつある。 μ LEDの発光色は基本的に青色であるが、色変換技術により赤色や緑色を実現することが基本的なコンセプトである。一般的には蛍光体や発光する微粒子を分散したコロイド溶液を塗布することにより青色発光を他の色へ変換するが、 $100\mu\text{m}$ 以上の厚さを必要とするためより薄くできる技術が求められる。筆者はこの色変換材料に2次元材料とも称される層状物質を利用することを考え、その手法や高効率化を目指している。その概念を赤色および緑色発光する層状物質により検証したところ、不十分ではあるものの可能性を示すことができた。より高効率に発光し、より薄膜化する技術を検討中である。

3. おわりに

筆者は、その可能性が無限に広がる層状物質に興味を惹かれている。実用化には様々な障壁があり一筋縄ではいかないといった状況であるが、多様化しこれまでの常識が当たり前でなくなっている現代において、これまでにない新たな概念を構築するために日々精進していきたい。ここで紹介した内容の一部は、一般財団法人信州大学工学部若里会の平成30年度研究助成を受けて実施したものであり、多大なる支援に深謝申し上げます。

清野研究室紹介

水環境・土木工学科 准教授 清野 竜太郎



2016年の工学部改組に伴い、化学系学科から水環境・土木工学科に異動しました。異動後も、清野研究室では、高分子分離膜の研究に取り組んでいます。

高分子分離膜の主な役割は、必要な物質を分離・回収し、不要な物質を分離・除去することです。研究室では、海水淡水化や浄水処理を目的とした膜プロセスの構築や工場廃液中の有価物質の分離・回収、食品の脱塩処理など、多種多様な分離膜を作製しています。本稿では、研究室で取り組んでいる最近のトピックスを2つ紹介します。

1. 炭化繊維膜を利用した海水淡水化と浄水処理

世界的な人口増加や気候の変化などにより深刻な水不足の危機が叫ばれている中、海水淡水化は必須の事業として多くの研究がなされ、逆浸透膜などを利用した分離技術が実用化されています。ただ、かなりの高圧操作であることや膜汚染等の課題もあり、新しいプロセスが期待されています。その中の一つに膜蒸留があります。これは、膜の両側の温度差を利用した分離プロセスです。膜の片側に塩水を置き、これを60℃程度まで加温します。温度差がある系では、膜両側で蒸気圧差が発生し、これを駆動力に水蒸気が高温側から低温側に移動します。移動した水蒸気は、低温側で凝縮され水が回収されるプロセスです。膜蒸留では、疎水性多孔質膜が使用されます。塩水の加温に、工場などの排熱が利用できれば、極めて低エネルギーで淡水化が可能となります。

炭素化繊維膜は、繊維を布状に加工（製布）した後、高温で炭化処理して得られる材料です。布繊維が元来有する高い多孔性を維持したまま、炭化により非常に高い疎水性が付与された膜です。膜蒸留には、一般に、ポリフッ化ビニリデン（PVDF）多孔質膜が利用されていますが、炭素化繊維膜は、PVDF膜と比較して高い撥水性と表面多孔度を示すことがわかりました。そして、膜蒸留測定の結果、炭素化繊維膜では、PVDF膜より、5倍ほど高い淡水が回

収されました。実用化を考えるとさらに回収量を増やす必要がありますが、繊維の素材種類や編み方を変えるなどすれば、回収量をさらに増やすことは十分に可能性があります。

2. 膜ろ過によるインク廃液中の有機溶媒の分離、回収

環境汚染を引き起こす恐れのある有機溶媒が含まれたインク廃液は、そのまま工場から排出することができないため、蒸留や活性炭を使う方法で分離回収されてきました。これらは熱源に高いエネルギーが必要ですが、高分子膜を使ってろ過することができれば、省エネと装置の小型化が実現できます。すでに高分子膜を使った研究もありますが、研究室では、より効率の良い分離膜の開発を目指しています。膜分離では、膜の素材に透過させる物質となじみやすい（親和性が高い）材料を用いるとよりスムーズにその物質は透過します。そこで、有機溶媒と親和性の高いシリコンを膜素材として用い、孔をつくる孔形成剤にプロピレングリコール（PG）を使用して膜を作製したところ、図1に示すように、多孔体の一方の表面に孔のない緻密層（図の上部）を有する非対称な多孔質膜がワンステップで作製できることがわかりました。この膜を用いて、実際に青色のインク廃液に0.2 MPaの比較的低い圧力をかけて廃

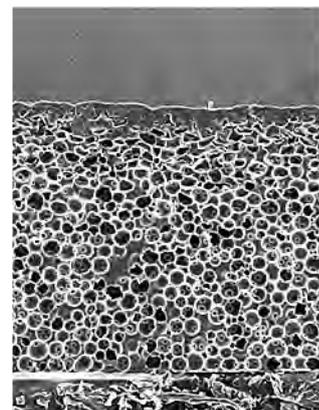


図1. 非対称多孔質シリコン膜

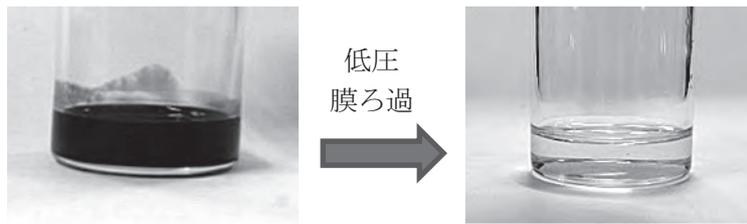


図 2. 青色インク廃液(左)と膜ろ過で得られた回収液(右)

液を透過させたところ、この緻密層がインクの顔料を排除して、ほぼ無色の透明な有機溶媒を回収することがわかりました(図2)。この回収液であれば、有機溶媒を新しいインクの方法に、あるいは燃料としての再利用が可能となります。

安全な水の確保は、国連の持続可能な開発目標(SDGs)の中の一つに掲げられています。膜分離技術は、世界的な水不足という課題を克服できる極め

て重要な技術の一つです。材料の選択や構造設計により様々なタイプの分離膜を創出できます。また、作製した分離膜と膜プロセス(分離工程)の組み合わせで、様々な物質を分離、回収できる可能性があります。現在研究室には、博士課程学生1名、修士課程学生5名、学部生4名が所属しています。今後も、研究室の学生とともに、新しい分離膜や膜プロセスの開発に注力していきたいと考えています。

プラズマ研究室(澤田研究室)の紹介

工学基礎部門(機械システム工学科) 教授 澤田 圭司



私たちの研究室では、核融合プラズマ中の原子・分子について研究を行っています。学生の皆さんは機械システム工学科の方々です。

1. 研究内容

核融合発電は、高温・高密度のプラズマ中の重水素と三重水素の核融合反応により発電します。燃料となる重水素とリチウムは海水中に無尽蔵にあります。装置にトラブルが起こったときはプラズマが消えて反応が止まるので、重大な事故になりません。現在、容器中心部では核融合発電が可能となる1億度以上の高温プラズマが生成されており、プラズマと接触する容器の損耗の解決が最重要課題となっています。

プラズマが接触する容器表面付近には、電気的に中性である水素原子や水素分子が存在します。これらを、容器形状の工夫などにより密度を高めて、プラズマから容器を守る緩衝材とする方向で核融合炉の設計・研究が進められています。水素分子は特に大きな役割を果たすことが予想され、その定量的な評価は重要な研究課題です。

ところで、私が学生のときは、核融合プラズマの周辺部に原子が存在することは知られていたのですが、分子が存在するとは思っていませんでした。私は修士の学生のとき水素原子バルマー系列発光線の分光計測をしていたのですが、その強度の合理的な解釈には、水素分子が必要であることが、指導教員の指導のもとですが、世界に先駆けてわかりました。それ以降、このアドバンテージを生かしつつ、水素原子・水素分子とプラズマ中の荷電粒子との衝突(反応)を扱うモデルの整備を進めて現在に至ります。核融合発電実証を目指した国際熱核融合炉ITERがフランスで建設中なのですが、設計には私たちの計算も利用されています。

2. 研究室の活動

核融合プラズマ中の原子や分子の反応は多種多様

であり、研究課題には事欠きません。最近では、研究室の学生の皆さんには、水素分子の回転・振動状態を精密に扱う計算機コードの開発を進めてもらっています。また計算機コードの信頼性の検証として、核融合プラズマの容器表面付近のプラズマと似たプラズマを研究室で生成し(図1)、そこで観測される原子や分子の発光線が計算機コードで再現されるかどうかを調べてもらっています。

プラズマ中の原子や分子の反応を扱うにはプラズマや量子力学の勉強が必要です。これらは研究室配属後に勉強してもらっています。修士の皆さんは学会発表をします(図2)。私も驚くほどの難しい量子力学計算を自発的にやって学会発表をした学生さんもいました。必要な勉強は必要なときにすればいいでしょう。

多くの方の就職先は、機械システム工学科の一般的な就職先とだいたい同じのようです。核融合科学研究所等で、大学院生としてプラズマの研究を続ける人もいます。



図1 研究室の高周波プラズマ装置



図2 2019 プラズマ・核融合学会での右田龍星君(写真中央付近右)の発表風景:大勢の皆様にご覧いただくことができました。

地方都市における「自然環境とすまい」 岩井研究室紹介



建築学科 准教授 岩井 一博

1. はじめに

建物の設計を行う上では、当該建設地の気象状況を明らかにしておくことが必要です。例えば、建物の熱負荷シミュレーション計算や有効なパッシブ手法を検討する場合、その地点における具体的な気象データが必要になります。即ち、それは建物の断熱性をどのようにすれば良いのか？自然エネルギーは何を利用することができるのか？を、事前に知ることを意味しています。今までに、岩井研究室では様々な地方都市における温度や相対湿度などの各種データと、人工衛星によるリモートセンシングデータによる気象解析を行ってきました。研究室ではこれらの分析データを用い、当該地域におけるすまいについての検討を行っています。



本年度の研究室メンバー

2. 本年度における研究テーマ

研究のスローガンは前記のとおりですが、実際には学生自身が探求したいと申し出た意見を尊重し、研究テーマを設定しています。その結果、岩井研究室の本年度における研究テーマは次のとおりになります。

1) 気象と地勢データを用いたデータベースの構築
長野県上伊那地域を対象に、研究室で観測した湿度などの気象データと様々な地勢データによる

データベース化を図り、ピンポイントの場所におけるデータの見える化を実現しています。

2) 中心市街地における公園のクールスポット効果
長野市中心市街地に設けられた公園を対象に、温熱環境の改善効果について実測と熱環境シミュレーションにより明らかにしています。

3) 海水や湧き水が近接する地域の都市気候
京都府伊根地区における舟屋や、静岡県三島の湧き水地帯の都市気候の特性を調査しています。

4) 消雪パイプを用いた夏期の暑熱緩和効果
長野県飯山市における消雪パイプを夏期に稼働させ、熱中症対策に活用する事を提案しています。

5) 公共建築物における木材の利用促進
沖縄県那覇市におけるコンクリート系建物の受熱緩和策として、屋上緑化と外壁表面に高反射塗料を施した熱処理木材の設置を提案し、その効果についてシミュレーション解析により検証しています。



6) 災害時におけるトレーラーハウスの活用と応用
令和元年台風19号における災害時に導入されたトレーラーハウスの室内環境面での特性を明らかにし、今後の活用方法などの応用を検討しています。



災害時に用いるトレーラーハウスの外観



農学部学生が建築の授業を受講している様子

7) 災害時の避難所及び仮設住宅の必要数の算定

長野市における過去に発生した災害を調査し、市内におけるハザードマップを整備しています。それに避難者数、避難所、仮設住宅の必要数を合成したデータベースの作成を行っています。

以上のとおり、研究テーマは多種多様になりますが、週2回のゼミで経過報告を行い意見交換しています。

3. 教育面での特徴

岩井研究室における教育面での特徴は、「森林から建築」の領域を担う人材養成のための教育プログラムを実施している点になります。

これは、信州大学工学部建築学科の学生と信州大学農学部農学生命科学科 森林・環境共生学コースの学生を対象に、「森林から建築」の領域を担う人材養成を行うことを目的としています。これを実現するため、両学科に共通する「木質資源」をキーワードとした、講義、演習、実験を横断的に教育するシステムを考案しました。具体的には、建築学科の学生は、森林系の講義、演習、実験を受講することができるように、また農学生命科学科森林・環境共生学コースの学生については、建築系の講義、演習、実験を受講することができるようにしました。これにより、「木」に関する上流側から下流側の全領域を見渡せる人材を社会に送り出すことを最終目標にしています。

毎年、この取り組みをサポートするために研究室の学生が参加し、農学部の学生に対してティーチングアシスタントをしてくれています。

なお、この取り組みは信州大学内に設けられた学内版GP^{注1}の制度による採択を頂き、2016年～現在まで毎年継続的に実施しています。

4. おわりに

岩井研究室の学生は、ここに記した研究や教育を通して、受け身ではなく、自発の気持ちを持って日々精力的に取り組んでいます。この経験を活かし、社会に出てからも活躍してくれることを願っている次第です。

注1：学内版GPは、信州大学における教育の質の向上につながる取り組みの中から、中期目標・中期計画の遂行という観点で特に優れたものを選定するために公募を行い、書面審査・ヒアリング審査を経て採択されたものに対して支援を行う制度です。

「技報 こまくさ」 第 19 号 令和 3 年 10 月発行
(非売品)

発行者 一般財団法人信州大学工学部若里会
〒 380-8553

住 所 長野県長野市若里 4 丁目 17-1
TEL (026) 266-8209 (FAX 共有)
E-mail : wakasat@shinshu-u.ac.jp

印刷・製本 株式会社アイデスク
〒 381-0025 長野市北長池 1263-1
TEL (026) 244-4551



一般財団法人 信州大学工学部 若里会