

工学基礎としての情報教育

一般財団法人信州大学工学部若里会 理事 山本 博章

| 研 | 究 | 室 | 紹 | 介 |

光触媒材料の内部と表面(錦織・影島研究室)

物質化学科 教授 錦織 広昌・物質化学科 准教授 影島 洋介

高効率な電磁エネルギー変換システムを目指して(水野・佐藤(光)研究室)

電子情報システム工学科 助教 佐藤 光秀

水環境と水インフラの良好な関係を目指して

水環境・土木工学科 教授 小松 一弘

エネルギーを有効に活用することでエネルギー問題の解決を目指す応用熱工学研究室(浅岡研)の紹介

機械システム工学科 准教授 浅岡 龍徳

鉄筋コンクリート造建物の損傷制御を目指して(諏訪田研究室)

建築学科 教授 諏訪田 晴彦

目 次

工学基礎としての情報教育

| | |
|----------------------------------|---|
| ／一般財団法人信州大学工学部若里会 理事 山本 博章 | 1 |
|----------------------------------|---|

研究室紹介

光触媒材料の内部と表面（錦織・影島研究室）

| | |
|-----------------------|---|
| ／物質化学科 教授 錦織 広昌 | |
| 物質化学科 准教授 影島 洋介 | 2 |

高効率な電磁エネルギー変換システムを目指して（水野・佐藤(光)研究室）

| | |
|-----------------------------|---|
| ／電子情報システム工学科 助教 佐藤 光秀 | 4 |
|-----------------------------|---|

水環境と水インフラの良好な関係を目指して

| | |
|---------------------------|---|
| ／水環境・土木工学科 教授 小松 一弘 | 7 |
|---------------------------|---|

エネルギーを有効に活用することでエネルギー問題の解決を目指す

応用熱工学研究室（浅岡研）の紹介

| | |
|----------------------------|---|
| ／機械システム工学科 准教授 浅岡 龍徳 | 9 |
|----------------------------|---|

鉄筋コンクリート造建物の損傷制御を目指して（諏訪田研究室）

| | |
|-----------------------|----|
| ／建築学科 教授 諏訪田 晴彦 | 11 |
|-----------------------|----|

なお、研究助成報告において、物質化学科 田川聡美先生の報告を論文発表後に行うため、次号で公開する予定です。

工学基礎としての情報教育

一般財団法人信州大学工学部若里会
理事 山本 博章

昨今、ChatGPTをはじめとする生成系 AI が話題となっています。各種メディアで取り上げられ、いろいろな分野の専門家がメリット・デメリットを論じています。ハードウェアの進歩に伴って、画像処理、自然言語処理などの分野で AI を活用した研究が進展し、多くの人が利用可能になったことがその原因として挙げられます。いったん加速した研究は止まることを知りません。今後は加速的に進化していくものと思われます。このような新技術を避けて通ることはできず、自身の分野でうまく利活用していくことが必要となることでしょう。そのためにも、学校での情報教育が重要となるかと思えます。

国立情報学研究所 (NII) が ChatGPT の利用に関するアンケート調査を実施しており、寄せられた意見を公開しています。公開されている回答を見ると、分野によってまだその有用性には差があります。私が関連する分野では、ソフトウェアの開発などプログラミング作業にはかなり役に立ちそうです。ただし、これも使い方によります。一方、論理的な思考を要するような作業は苦手なようです。例えば、これも NII のシンポジウムで紹介されたものですが、4 桁以上の数の掛け算は間違える確率が高いようです。私も試しに無料版の ChatGPT を使ってみました。結構計算を間違えます。小学生は掛け算の計算法を知っていますから桁数が多くても計算できますが、ChatGPT は計算法を学習しているわけではないので桁数が増えれば計算できないということでしょう。人間の仕事はより創造的、論理的な思考を要するものになっていくのではないかと思えます。

このように情報技術が発展する中、小中高での情報教育はどうなっているのでしょうか。小学校では 2020 年度からプログラミング教育が導入されています。これはコンピュータが社会のあらゆる面で活用されていくことに鑑み、コンピュータを活用する能力を身に付けることが子供たちの将来の可能性を広げる重要な要素になるということを取り入れたものです。ただし、小学校から生成 AI のような技術に頼りすぎると創造的な思考力の育成を妨げてしまうことになるかもしれません。中学校では、2021 年度から情報教育が必修化されました。各授業でのコンピュータの活用が広がっています。高等学校では、以前から共通教科「情報」がありましたが、選択必修科目で、概論程度で終わっていたのではないかと思います。2022 年度から施行の新学習指導要領では、共通教科「情報」で科目「情報Ⅰ」と「情報Ⅱ」が新設され、「情報Ⅰ」が必修となりました。これに合わせ、2025 年度大学入学共通テストから出題教科として「情報」が新設され、「情報Ⅰ」から出題されます。高等学校での授業の扱いは大学入試に大きく依存していますので、大学入学共通テストに取り入れられることにより、高等学校での扱いも大きく変わるのではないかと思います。私はスーパーサイエンスハイスクール (SSH) の全国生徒研究発表会の審査員をしていますが、近年、数理・情報系の研究発表が増えており、レベルの高い発表も見受けられ、将来性を感じます。大学においても数理・データサイエンス教育がすべての大学生に広がっています。信州大学でも全学生向けに数理・データサイエンスのリテラシーレベルの授業を提供し、工学部ではさらに応用基礎レベルを提供しています。生成 AI に関しては、各大学でその利用方法について指針を定めているようです。

このように、小学校から情報教育の必修化が始まっており、数学、理科と同じように情報も工学の基礎になりつつあります。これからの技術者は当然のようにコンピュータを活用できるようになっているのではないのでしょうか。工学分野においては情報×化学、情報×電気、情報×機械というように情報と掛け合わせた形で各分野の技術が発展していくかと思えます。今後の新たな技術の誕生に期待したいと思えます。

光触媒材料の内部と表面 (錦織・影島研究室)

物質化学科 教授 錦織 広昌 (写真・左)

物質化学科 准教授 影島 洋介 (写真・右)



1. はじめに

環境光化学研究室(錦織研究室)は、2010年に旧環境機能工学科にてスタートしました。その後2018年3月に、著者の一人である影島が助教として着任し、現在の体制となって6年目になります。影島は2023年4月に現職(准教授)に昇進しました。2023年度は、修士課程12名、学部4年生9名の計21名の学生が所属しています(図1は2022年度卒修了生集合写真)。我々の研究室は、光化学、触媒、電気化学などに関連して、材料開発、分光分析、反応設計など幅広いトピックスを興味の対象としています。本稿では、当研究室で最近実施している研究内容の概要をご紹介します。

2. 水分解用粉末光触媒の開発

光触媒を用いた水分解反応は、太陽光エネルギーを貯蔵・輸送に有利な水素の形態に変換する、有望な「人工光合成」の基幹技術として注目されています。多くの場合、光触媒としては半導体材料が用いられます。バンドギャップよりエネルギーの大きな光を半導体が吸収すると、光励起電子・正孔が生成し、これらが表面でそれぞれ還元・酸化反応を駆動させることで、光触媒反応が進行します。ここで、光吸収や光励起キャリアの移動等が「半導体内部で

の物理過程」であるのに対し、触媒表面で進行する水分解反応は「化学過程」であり、また、反応物の拡散・生成物の脱離などの「溶液内での物理化学過程(拡散)」も全体での反応速度に影響します。つまり、一口に「光触媒反応」と言っても、タイムスケールの大きく異なる複数プロセスが関与する、相当に複雑な反応系と言えます。当研究室では、こうした各プロセスの個別での理解・制御を目指した材料開発を試みています(図2)。

半導体内部での物理過程の改善を志向した場合、(ある種伝統的な)固体材料化学的なアプローチをとります。光触媒の組成によって吸収可能な波長域を制御したり(*J. Am. Chem. Soc.* **2021**, *143*, 15, 5698-5708)、合成ルートの改良によって結晶微粒子の品質を向上したり(*ACS Appl. Mater. Interfaces* **2023**, *15*, 10, 13108-13120)することで、水素生成活性を向上させます。他方、化学反応の舞台となる表面の設計も重要です。水素・酸素生成に適した反応場の設計(*Appl. Phys. Lett.* **2021**, *119*, 123902)や、固液界面近傍の溶液中での反応物供給を促進する新しい表面修飾手法(*Angew. Chem. Int. Ed.* **2021**, *60*, 7, 3654-3660)なども報告しています。最近では、光触媒を利用したバイオマスのエネルギー変換に関する材料・反応設計にも挑戦しています(*Appl. Catal. B* **2023**, *327*, 122431)。

3. 触媒表面の光化学プロービング

前節でご紹介したような研究を実施するにあたって、「触媒活性」は一般に生成物をガスクロマトグラフィーで分析するか、電流値などのパラメータとしてモニターすることによって求めます。これは、どんなに頑張ってもミリ秒オーダー程度までの時間スケールしか反応を追跡できないことを意味します。他方、より短い時間スケールで半導体内部で進行する物理過程(すなわち光励起キャリアのダイナミクス)に関しては、種々の時間分解分光に基づく分析が多数報告されています。ここで、これらの中間的



図1. 2022年度卒修了生集合写真

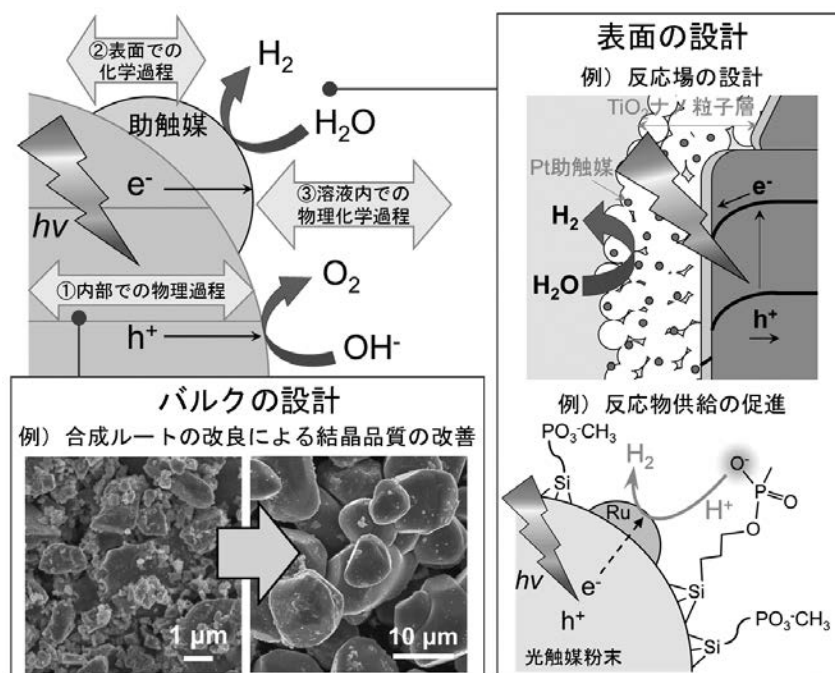


図2. 光触媒反応に関与する各プロセス（左上）、及び当研究室で目指す光触媒のバルク及び表面設計アプローチの模式図

な時間スケールで光触媒表面で進行する、化学変化と直結する素過程の観測が可能となれば、反応の全体像の理解と更なる高活性な材料の設計に大きく貢献するだろうと考えられます。

これまで当研究室では、有機色素をプローブとすることで、照射下のごく微小時間での光触媒表面の変化のモニタリングに挑戦してきました（図3）。例えば、pHに応じて吸収・発光特性が変化するプローブ分子を光触媒表面に吸着させることで、照射開始直後の触媒表面でのプロトン移動を、過渡吸収分光や時間分解蛍光分光によって明らかにしてきました（*J. Phys. Chem. C* **2021**, *125*, 40, 21958–21963; *J. Phys. Chem. C* **2020**, *124*, 7, 4172–4178 など）。このような表面での反応過程を一般的な分光分析で直接観測することは、その感度に限界があり容易なことではありません。プローブ分子を用いた間接的な手法によって表面での短時間の反応素過程を明らか

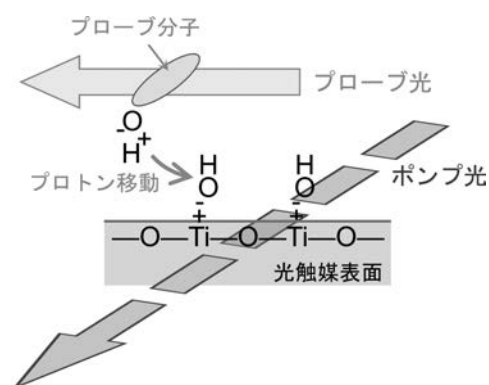


図3. 有機色素をプローブとした短時間での表面反応の追跡の模式図

にすることが出来れば、これまで得られなかった触媒表面での分子の反応の本質的な理解に繋がると期待しています。今後、表面で瞬時に起こるプロトン移動過程と定常状態での水素生成速度を関連付けて議論していくことで、前節でご紹介したような水分解用光触媒材料の更なる開発へとフィードバックしていきたいと考えています。

4. おわりに

我々の研究室では、「粉末光触媒材料の開発」を軸に、固体材料そのものの開発から、全く新しいコンセプトの提案まで、とにかく新しいことに挑戦しています。こうした成果が、将来的な人工光合成系の構築・水素社会の実現に貢献できることを目指して、日々研究に取り組んでいます。ただしこれは、半分はある意味申請書的な「お題目」であって、根底には「光触媒」という題材で何か面白くて新しいことを開拓していきたいという、基礎研究的なモチベーションを常に持ち続けていたとも考えています。同時に、研究室に所属している学生には、こうした大学での研究を通して、（目先で何に役に立つかより）目の前で起きている現象そのものの面白さ、原理・原則に基づいて現象を理解すること、そこから何か新しいアイデアを考えること、等々を経験してもらいたいと考えています。卒修了後、技術者・研究者として活動していくうえで必要な、論理的な考え方を身につけられる場を提供できるように尽力していきたいと考えています。

高効率な電磁エネルギー変換システムを 目指して（水野・佐藤(光)研究室）

電子情報システム工学科 助教 佐藤 光秀



1. はじめに

工学部 電子情報システム工学科 水野・佐藤(光)研究室は、水野 勉 教授、佐藤 光秀 助教(筆者)、ト 穎剛 特任准教授の教員3名と、高沢 溪吾 技術職員、研究支援推進員4名で運営しています。また、2023年度の学生は博士課程4名(うち社会人特別選抜3名)、修士課程学生3名、学部4年生9名が在籍しています(図1)。

当研究室では、『エネルギー変換・磁気応用』の分野を専門とし、「モータ」、「パワエレ」、「リニア発電」、「非接触給電」、「磁気センサ」に関するテーマの研究に取り組んでいます。これらの研究は、科研費助成事業をはじめNEDO、JSTなどの公的事業や、複数企業との共同により進めています。本報ではこの中から3つのテーマの内容についてご紹介します。

2. モータに関する研究紹介

あまり知られていませんが、モータは身の回りのあらゆるところで使われており、世界の消費電力の約半分を占めています。今後は自動車電動化やロボット需要の増大などが予測され、SDGsを達成するためにもモータの高効率化がますます重要になっ

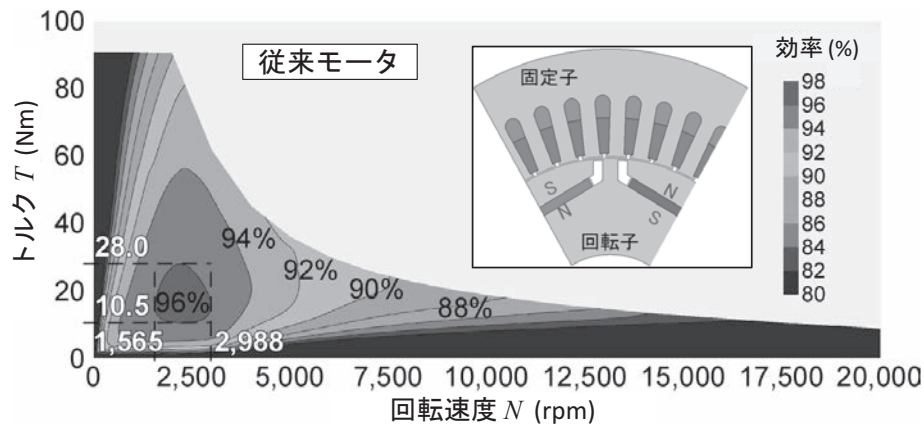
てきます。

電気自動車は市街地走行時の低速運転、高速道路走行時の高速運転までを1台のモータで駆動するため、走行距離向上のために幅広い運転領域で高効率化することが求められます。また、家電に目を向けても、洗濯機は、洗い/すすぎと脱水でトルク・回転速度の異なる領域で運転されることから、消費電力低減のためにモータの高効率運転領域を可能な限り拡大する技術が必要とされています。

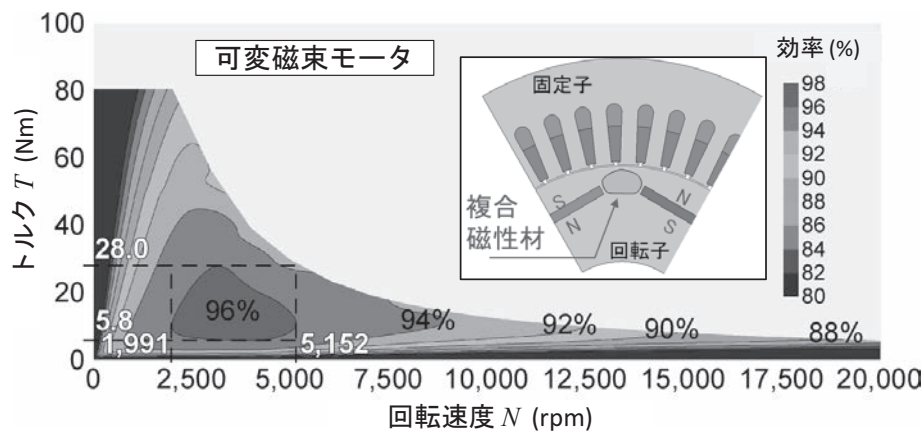
これに対し、低速から高速まで幅広い運転領域での高効率化を実現するために、当研究室では「複合磁性材を用いた可変磁束モータ」を開発しています。複合磁性材は軟磁性粉と樹脂を混合・焼結した材料で、磁気特性を自在に調整可能という特徴を有し、信州大学では世界に先駆けて開発しています。この複合磁性材をモータの回転子に挿入することで、運転状態に合わせてモータ内の磁束分布を受動的に制御する「可変磁束」を実現します。これまでに、可変磁束を利用することで、図2のように96%の最大効率領域が従来モータに比べて3倍近くまで拡大することを明らかにしました。



図1 2023年度研究室メンバー



(a) 従来モータ



(b) 可変磁束モータ

図2 モータの効率マップ：複合磁性材を回転子に挿入した可変磁束モータは96%の最大効率領域が3倍以上拡大しています。

3. パワエレに関する研究紹介

パワーエレクトロニクス(パワエレ)とは、電力用半導体素子と受動素子を用いて電気機器の制御や電力の供給を行う技術です。スマホ充電のACアダプタや電気自動車の駆動用インバータなどでパワエレは不可欠な技術であり、電化社会の根幹を支えています。

パワエレに用いる回路には小型・高効率化に対す

る強い要求があります。小型化に対しては、SiC、GaN半導体を用いた駆動周波数の向上が有効です。一方で、パワエレで使用するインダクタやトランスなどの磁気部品は、図3に示したように機器の大部分の体積を占有するとともに、駆動周波数の高周波化に伴って損失が大きくなりやすいため、小型・高効率化の弊害となっています。

そこで、当研究室ではこの課題を解消するために、

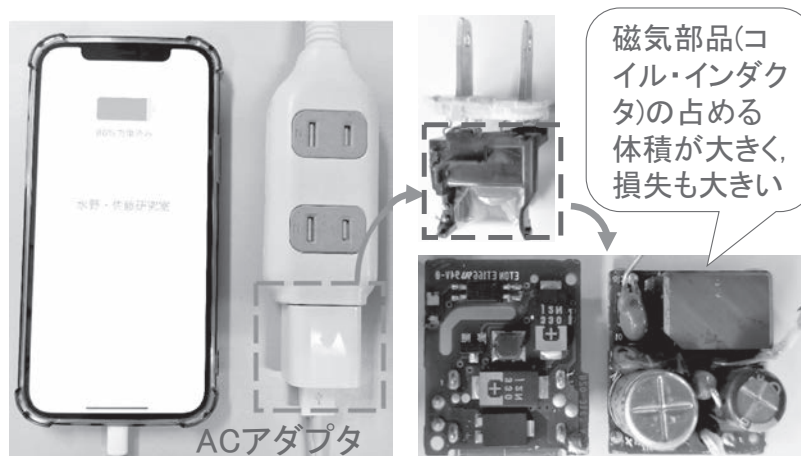


図3 パワエレ機器の内部構造：電力変換機器の小型化には磁気部品の高効率化が欠かせません。

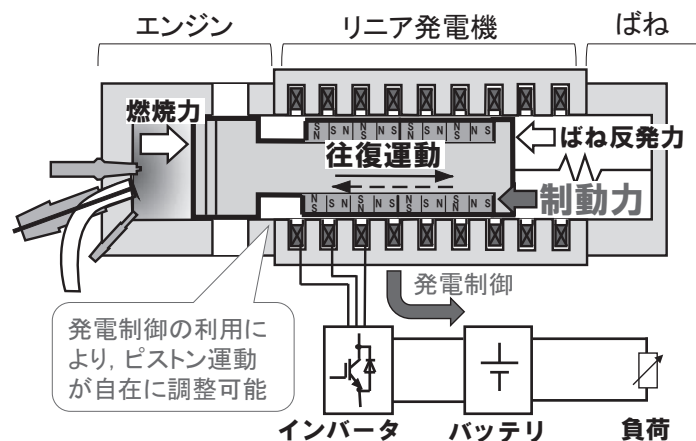


図4 フリーピストンリニア発電機の構成：エンジンとリニア発電機を直結できるため効率向上が可能となります。

磁気部品の損失低減に関する研究開発を進めています。磁気部品を構成するコイル巻線の周囲に複合磁性材を配置することで、磁束の誘導効果を引き起こし、損失の低減を実現します。これまでに、複合磁性材の磁気特性を向上させるとともに、コイル巻線への配置位置・量を調整することで、高周波駆動時の損失が最大で50%低減することを明らかにしました。

4. リニア発電に関する研究紹介

日本では、走行距離や車両サイズに合わせて電気自動車(BEV)、ハイブリッド自動車(HEV)、燃料電池自動車(FCV)などのモビリティの使い分けが検討されており、次世代自動車に関しては多様な開発が求められています。特に、ハイブリッド自動車の保有比率は今後も増加することが予測されており、電気自動車と同様に重要な役割を担うことが期待されています。

その中でも、車載のエンジン発電機で発電した電力で走行するシリーズハイブリッド自動車の販売台数が増えています。効率の良い状態で発電ができる一方で、クランク・カムやバランスウェイトなどの回転運動変換機構を用いてピストンの往復動力を回

転運動に変換しているため、機械損失の増大が課題となっています。

この課題に対し、図4のフリーピストンリニア発電機(FPEG)が注目されています。FPEGでは、クランク・カムを利用せずにエンジンがダイレクトにリニア発電機に接続されています。そのため、従来のクランク式に比べて40%以上の機械損失低減が可能となります。さらに、FPEGのピストンはクランクの制約を受けないため、インバータで発電量を制御することで、自在なピストン運動モードの設定が可能となります。当研究室では、ピストン運動モードの可変性を利用して、クランク式エンジンでは困難であった熱効率改善や低エミッション化を実現するための発電制御技術の研究を進めています。

5. おわりに

本報では、当研究室で取り組んでいる研究内容を中心に説明しました。当研究室の学生の皆さんには、研究を通じて物理的思考力や人間力を培い、卒業・修了した後に社会で活躍できる人材に育てられることを願っています。さらに、卒業生・修了生が就職した後に、当研究室の共同研究のパートナーとして来研してくれる日を心待ちにしています。



図5 修了生の電気学会優秀論文発表賞授賞式にて

水環境と水インフラの良好な関係を目指して

水環境・土木工学科 教授 小松 一弘



1. はじめに

当研究室は 2021 年度に発足以来、今年度で 3 年目を迎えました。現在は教員 1 名、修士課程学生 2 名、学部 4 年生 4 名で構成されています。

当研究室は「水環境と人間社会の関係における最適化」を大きな目標としています。図 1 に示す通り、人間社会は用水(上水道 etc)と排水(下水道 etc)といった水インフラを通じて水環境と関わっています。そのため、研究対象とする工学的課題を、①水インフラに関する研究②水環境に関する研究に分け、それぞれ並行して活動しています。

2. 水インフラに関する研究

我が国では、水供給と汚水排除が安定して機能しており、他国と比べて水インフラに係る課題は多くありませんが、全く問題がないわけではありません。当研究室では我が国の水インフラが抱える 2 つの問題に焦点を絞りました。1 つは老朽化の問題、もう 1 つは非意図的間接飲用の問題です。

(1) 小規模分散型水循環システムの構築

我が国の上下水道網は 1960 年代～1980 年代にかけて一気に整備されました。「一気に整備された」と言うことは一気に老朽化が進行することを意味します。水道管の耐用年数は 50 年前後ですので、ここ数年、管路経年化率が急激に上昇し始めており、特に配管設備での事故が頻発化しています。近い将来、大規模な水インフラの再整備が求められるでしょう。一方、少子高齢化が進行するこれからの社会において、これまでのような大規模集約型の水インフラをそのまま再整備するのは効率的ではありません。今後は大規模集約型に加え、小規模分散型の新しい仕組みを導入し、併用することが現実的であると考えています。しかし小規模分散型の水インフラを実用化するためにはまだ多くの課題があります。

当研究室は、図 2 に示すような小規模分散型水循環システムを提案しました。この図では分かりやす

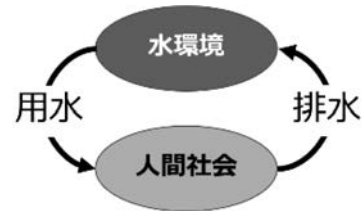


図 1：水環境と人間社会の関係

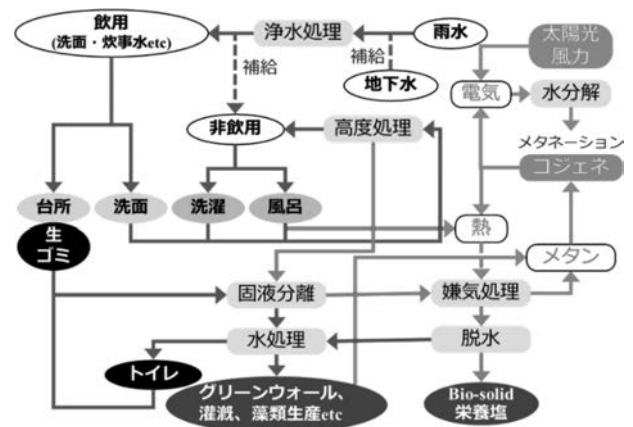


図 2：小規模分散型水循環システムの概要

くするため、各家庭での超小規模水循環システムにしていますが、より取り組みやすい集落単位での循環システムを構築することから始める予定です。この循環システムを実現するためには、どのような処理法を導入すればいいか？コストや使いやすさも視野に入れてその処理法の最適化を図るにはどのように変更すればいいか？当研究室では複数の民間企業との共同研究を通じて、それらの課題克服に努めています。

(2) 下水探知センサーの開発

我が国の特に人口が集中している地域では、一つの川に沿って複数の浄水場や下水処理場がひしめき合っています。その結果、下水処理場の放流口の少し下流に浄水場の取水口が位置するような地点が存在します。つまり間接的ではありますが非意図的に下水処理水を飲用していることとなります(De

Facto Reuse)。ただ、下水処理水が下流の浄水場の取水口まで到達していない、または到達していたとしても十分に拡散しているためその影響はほぼ無視できることが説明できれば問題ありません。放流河川域で下水処理水が何%残存しているのか?を定量的に示す必要がありますが、下水処理水のトレーサー物質(または指標)がないため、これまで実現することができませんでした。

当研究室ではこの問題を解決するために、蛍光分析法の一種である EEM 法 (Excitation Emission Matrix) を利用することにしました。EEM 法は、一般的には水試料に含まれる溶存有機物の特性を評価するための手法の一種です。この方法で水試料を測定すると、図 3(a) に示すような等高線図を得ることができ、そのピークの位置と高さから、含まれている溶存有機物の種類(フミン酸様、フルボ酸様、タンパク質様など)と、その濃度を大雑把に把握することができます。EEM 法で下水関係の試料を測定すると図 3 (b) に示す通り、励起 / 蛍光 = 490nm/520nm 付近に特異的なピーク (以下、Peak X) が検出されます。Peak X は、下水関係の試料でしか検出されず、河川水、湖水、地下水などその他の試料では検出されません。そのため、下水処理水のトレーサー指標としての活用が期待されます。現在、Peak X を利用して、下水処理水を探知するセンサーの開発を進めています。なお、Peak X は各家庭で利用される入浴剤に含まれる Fluorescein という物質に由来することを世界で初めて突き止めています。

3. 水環境に関する研究

教員自身が長らく湖沼に関する研究に携わっていたため、長野県内の湖沼水質に関する研究を行っています。特に長野県北部に位置する野尻湖を対象とした研究を重点的に行っています。

長野県が公開しているデータを解析したところ、野尻湖湖心の底層では 2011 年を境に急激な貧酸素化が進行していることが判明しました(図 4)。その要因として、有機物分解に伴う酸素消費の上昇と水温躍層の常態化が挙げられますが、野尻湖の場合、どちらが主要因かを調査しています。そのため、ロガーセンサーを用いた連続観測や底泥酸素要求量の計測などを実施し、まずは現状の把握に努めているところです。なお、長野県は湖沼だけでなく山間部を縫うように流れる特徴的な河川や、豊富な地下水など様々な水環境を擁しています。今後、研究対象の幅を広げていきたいと考えています。

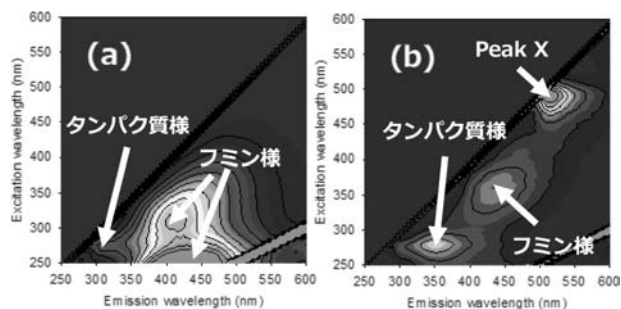


図 3：EEM の測定結果
(a) 霞ヶ浦湖水 (b) 下水流入水

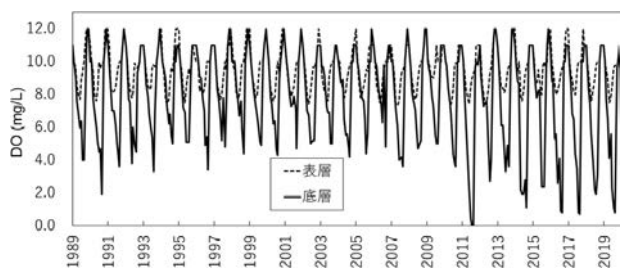


図 4：野尻湖湖心における溶存酸素濃度

4. おわりに

当研究室では、他にも連続 EEM 法による水質事故の迅速探知に関する研究や、タンザニアにおけるフッ素汚染に関する研究なども実施しています。当研究室が目標として掲げる「水環境と人間社会の関係における最適化」を達成するには、まだまだ多くの課題に取り組んでいかななくてはなりません。

日々の活動は、週に 1 回の打合せをベースにしています。内容は、研究の進捗確認と輪読で、特別な事は特にしていません。こうした日々の地道な活動の中で、学生一人一人が持つ独自の発想力と自主性を引き出すのが教員の役割と考えています。研究計画の作成から調査・実験、結果のとりまとめまで一通り自分だけの力でやり遂げる経験を通じて、自信と誇りをもって社会に羽ばたいていって欲しいと願っています。勿論！大学院生として残っていただくことについては大歓迎です。

エネルギーを有効に活用することで エネルギー問題の解決を目指す 応用熱工学研究室（浅岡研）の紹介

機械システム工学科 准教授 浅岡 龍徳



1. はじめに

応用熱工学研究室（浅岡研）は、2013年からスタートし11年目を迎えました。研究室の学生は、少ない時には5名しかいないこともありましたが、現在は大学院への進学率が高いこともあり、修士が9名、学部4年生が5名配属されています。研究室の運営をサポートしていただいている阿部駿佑特任助教と祢津栄治技術職員を含めて研究室メンバーは17名であり、今までで一番の大所帯になっています。研究室の学生たちにとっては、人数が増えることで、譲り合いなど苦労することも多いはずですが、研究室内での交流を大切にすることで研究活動を充実させ、明るい雰囲気をつくってくれています。うれしいことに、感染症の行動制限が緩和されてからは、合宿やスポーツ大会などの学生たち主導の恒例行事が自然と復活しつつあり、かつての活気が戻ってきたように感じています。こうした学生たちのパワーを非常に頼もしく感じています。

2. 研究紹介

当研究室では、世界的なエネルギー問題の解決のため、未利用エネルギーの有効利用に関する研究を行っています。異常気象・災害による停電や政情不安による電力価格の高騰など、エネルギー問題は我々の生活に深刻な影響をもたらします。また、近年カーボンニュートラルといわれるように、化石燃料などの有限なエネルギー資源を守るためにも省エネは喫緊の課題です。



エネルギーの有効利用を目指すうえで「熱は電気よりも不便なエネルギーである」という考え方が重要なポイントです。私たちが暮らしの中で利用するエネルギーといえば、主に電気と熱です。パソコンや家電製品を使うためには電気が必要で、冷暖房や給湯には熱が必要です。電気は非常に使い勝手がよく、エアコンや電気温水器を使えば、電気を使って熱を得ることもできます。しかしながら、熱をどんなにうまく使っても電気なしには家電製品を動かさないことは知っての通りです。熱を電気に変えて使うという方法もありますが、発電機は非常に高い温度で動かす必要があり、温度の低い熱ではうまく発電できません。そのため、工場などで排出された200℃以下の熱（廃熱）はちょうどいい使い道がなければ利用できずに捨てられることが多く、未利用エネルギーとよばれています。これらの未利用エネルギーをうまく貯めて冷暖房などの熱利用に有効に使うことができれば、冷暖房・給湯などの電気製品による電力使用を抑えることができ、トータルとしてエネルギー消費量を削減できます。

このような無駄のないエネルギー社会を実現するための熱利用技術に関する研究を紹介します。

2.1 効率的に熱を貯める・運ぶ～スラリー熱媒体～

工場廃熱などの熱を捨てずに家庭用の給湯や暖房に利用できれば非常に効果的です。しかし、工場から家庭に運ぶ間に冷えては役に立たなくなってしまうため、温度維持性の高い熱輸送媒体が必要です。当研究室では、そのような用途にこたえる新しい熱輸送媒体であるスラリー熱媒体について研究しています。スラリー熱媒体は、写真のように固体と液体が共存してシャーベットのような状態になったものです。液体の流動性による扱いやすさを維持しつつ、固体の融解熱を使うことで高い蓄熱密度と温度維持性を有しています。高温用には融点約100℃の糖系の蓄熱材であるエリスリトール、低温用には水が適しています。まだ新しい熱媒体であるため、物



氷スラリー

性や流動特性・熱伝達特性が十分に解明されていません。この優れた熱媒体を実用化につなげるため基礎研究を続けています。

2.2 廃熱で動く冷凍装置～吸収式氷スラリー生成機～

廃熱利用設備を導入しても、工場の規模によっては大量に出る廃熱が給湯・暖房に利用しきれずに余ってしまうケースが少なくありません。この余った熱を他の用途で利用することができれば無駄に捨てられる熱を減らすことができます。

すでに普及している技術ですが、吸収式冷凍機は80～200℃の熱を主な動力源として動作し、ほとんど電気を使わずに約5℃まで水や空気を冷やすことができます。当研究室では、この吸収式冷凍機の原理で、氷スラリーを生成する装置の研究をしています。この吸収式氷スラリー生成装置を使えば、未利用エネルギーを利用価値の高い0℃以下の氷に生まれ変わらせて、冷房・冷蔵の冷熱源として有効に利用することができます。氷スラリーは冷熱の貯蔵・輸送に適するため、既存の吸収式冷凍機よりも広い場所・用途に冷熱を供給することが可能になります。

2.3 太陽熱利用によるCO₂の燃料化

太陽光は、生物が生きるために不可欠であるだけでなく、ソーラーパネルで発電もできる非常にありがたいエネルギーです。太陽のエネルギーは、持続可能かつクリーンであり、それだけで世界中の人が暮らせるようになればまさに夢の技術です。

新しい太陽エネルギーの利用方法としてCO₂の燃料化技術が注目されています。当研究室では、NEDO 国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構の委託を受けて、新潟大・東京大・コロラド大（米国）と協力してこの技術の研究を行っ

ています。不定比化合物からなる反応器に高倍率で集光された太陽光を照射することで生じる化学反応を利用してCO₂から燃料ガスを生成することができます。研究成果はNEDOのホームページなどで公開されています。

3. 機械システム工学プロジェクト

機械システム工学科では3年次に「機械システム工学プロジェクト(IおよびII)」という授業があり、4年次に正式に研究室所属する前に、授業として研究室を体験することができます。当研究室では、「熱機関/冷凍機をつくってみる」というテーマで毎年6名程度の学生(3年生)を受け入れており、授業時間の中で熱機関の模型の設計・制作に挑戦してもらっています。時間が限られているため、しっかり動くものを完成させるのは難しいですが、それまでの授業で学んだことを実際のものづくりに役立てる経験や、未知の課題に試行錯誤しながら取り組む楽しさを学んでいただくことをねらっています。授業を通して熱やエネルギーに興味を持って、将来エネルギーの関連分野で活躍する技術者になってくれたらうれしいと思っています。

4. おわりに

今の学生の皆さんは、感染症対策の行動制限の最も深刻な時期を経験し、たくさんの苦労があったと思います。ようやく自由な大学生活が戻りつつあります。信州大学でのこれからの日々を、これまで我慢してきた分まで楽しく活気のあるものにしてほしいと願っています。



機械システム工学プロジェクト成果発表会の様子

鉄筋コンクリート造建物の損傷制御を 目指して（諏訪田研究室）



建築学科 教授 諏訪田 晴彦

1. はじめに

大地震に対する日本の耐震設計基準は、倒壊や崩壊を防ぎ、あくまでも人命を確保することが目標とされています。つまり、大地震後の建物の継続使用性や修復性などの性能までは考慮されてはいません。そのため、2011年の東日本大震災や2016年の熊本地震などでは、倒壊や崩壊はしなかったものの写真1に示すような損傷によって継続使用ができなくなった鉄筋コンクリート（以下、RC）造建物が散見され、多くの人々の生活に多大な支障（避難所生活や修復費用の支出）が生じてしまいました。こうした地震災害の教訓に対して、諏訪田研究室では、RC造建築物を対象に、大地震に対して損傷を抑制する構造技術と設計法に関する研究を実施しています。

2. 研究内容の紹介

諏訪田研究室で最も重視している研究のキーワードは「RC造建物の損傷制御」です。これに関連して現在、以下のような研究課題に取り組んでいます。

① RC造袖壁・腰壁・垂れ壁を活用した損傷制御型建築物の設計法に関する研究

建築物においては、用途に応じた室内空間を構成



写真1 建築基準法上は問題ないが、地震後に継続使用が困難になった被害事例

するための立面計画、様々な“壁”を計画する必要があります。例えば、隣室との間に計画される戸境壁は基本的には窓やドアなどは必要としないので、無開口の耐震壁をして計画されます。一方で、外壁となる壁や廊下と接する壁はドアや窓といった開口部が必要となり、耐震壁として扱うことができない袖壁、腰壁、垂れ壁、方立壁として計画されることが多くなります。これらの壁は地震時に損傷を受けやすく、構造計算において考慮する場合の計算方法も複雑であるため、一般的には柱や梁との境界部に構造スリット（耐震スリット）と呼ばれる数cmの隙間を設けて、地震時の力を逃がすように計画されることが多く、このような構造計画が不十分な場合、写真1に示したような被害が生じてしまいます。しかしこれは、壁が持っている耐震性能を全く利用しないといったネガティブな設計思想であるとも言えます。ポジティブに考えれば、構造スリット（耐震スリット）など設けずに壁の地震時損傷を制御しつつ、構造計算に積極的に取り入れるための適切な設計法が整備できれば、壁自体が持っている剛性や強度なども余すところなく活用できることになります（図1参照）。

諏訪田研究室では、こうした考え方に基づいて、従来のRC造袖壁、腰壁、垂れ壁を積極的に活用した損傷制御型建築物の設計法に関する研究を行っています。

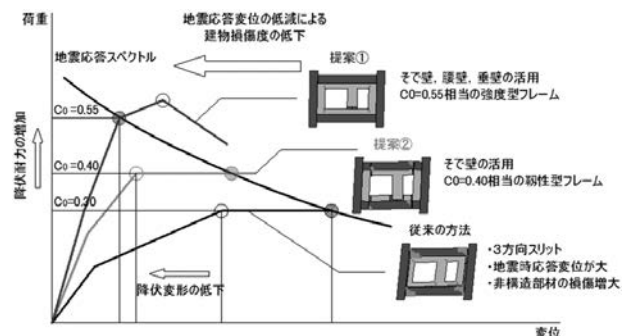


図1 RC造袖壁・腰壁・垂れ壁を活用した損傷制御型建築物のコンセプト

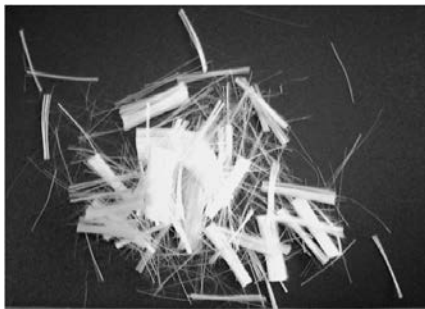
② 高靱性セメント系複合材料を活用した損傷制御型建築物の設計法に関する研究

①の研究は、一般的な建築材料である鉄筋とコンクリートを使用しつつ、新しい設計思想に基づいて従来の鉄筋コンクリート造袖壁、腰壁、垂れ壁を積極的に活用するための具体的な計算方法などを構築することを目的とした研究ですが、一般的にコンクリートのようなセメント系の建築材料の場合、ひび割れに大変脆いというのが最大の短所です。そのため、損傷制御のためにはどうしても部材の断面が大きくなり、鉄筋を大量に使用することになってしまいます。そこで諏訪田研究室では、新材料の活用にも着目し、図2に示すような高靱性セメント系複合材料 (High Performance Fiber Reinforced Cementitious Composite: 以下、HPFRCC) と呼ばれる全く新しい材料を利用した研究も実施しています。HPFRCCは髪の毛程度の合成繊維をセメント系材料の中に混入することによって、まるで鉄のような粘り強さを実現した新材料であり、諏訪田研究室では、このHPFRCCを①の研究課題でも述べたような損傷制御が難しい壁に適用した場合の損傷制御効果や設計法に関する研究も実施しています。図3はRC造壁とHPFRCC造壁に地震時を想定した正負繰り返し

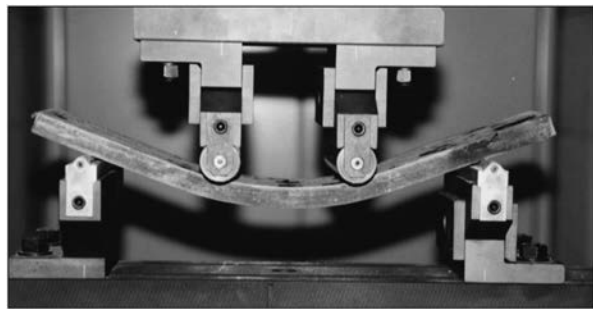
水平力を与えた構造実験結果を示したのですが、RC造壁に比べてHPFRCC造壁の損傷が明らかに小さいことがわかります。

3. おわりに

人の命は最も尊重されるべきものであり、耐震設計においても人命の保護が目標性能とされていることに疑いの余地はありませんが、命が助かったとしても人間の生活にとって極めて重要な衣・食・住のうち“住”の部分に支障をきたすということは、想像以上にストレスとなるはずで、こうした観点から諏訪田研究室の研究課題は、大地震後も建物機能に大きな支障を生じさせないことを目標性能としています。災害への備えには想像力がとても重要です。皆さんは大地震の際、命さえ助かれれば、建物が継続使用できなくなって、かなりの修復費用が見込まれることを許容しますか？



使用繊維の一例



HPFRCC 板の曲げ試験

図2 高靱性セメント系複合材料 (HPFRCC)



RC造壁



HPFRCC造壁

図3 RC造壁とHPFRCC造壁の地震時の損傷の違いに関する構造実験例

本書の内容の一部あるいは全部を無断で複写（コピー）することは、法律で認められた場合を除き、著作者および本会の権利の侵害になります。複写とそれ以外の許諾（著作物の引用、転載、翻訳等）に関しては、（一財）信州大学工学部若里会へお問い合わせください。

「技報 こまくさ」 第 21 号 令和 5 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 : kdoso@wakasatokai.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

技報
こまくさ
KOMAKUSA

一般財団法人 信州大学工学部 若里会

