

2023年  
12月

# 技術士みえ No.23 (101)



2023年度 第1回見学会 参加者集合写真 (2023.11.9)

東海環状自動車道養老トンネル北工事

公益社団法人 日本技術士会  
中部本部 **三重県支部**

## 技術士みえ No. 23 (101)

コーナー	タイトル	筆者	ページ
巻頭言	下水処理場に対するニーズの変化と施設の管理	奥野 徹	1
第53回みえテクノロジーカフェ	(夏休み親子理科教室) 水から水素を作ってみよう！ ～水素の歴史とその利用～	山口昇吾	4
2023年度第3回セミナー	会員講演 生成系AIの概要と実演	石川英司	10
2023年度第3回セミナー	特別講演 コンピュータと脳神経系をつなぐ次世代のライフサポート	林田祐樹	15
今後の行事予定など			18



## 巻頭言

### 下水処理場に対するニーズ の変化と施設の管理

三重県支部 幹事

奥野 徹 技術士(上下水道、総合技術監理)

#### 「きれいな」水環境を目指して



昭和45年に下水道法が改正され、旧下水道法(昭和33年公布)で、下水道が「都市の健全な発達及び公衆衛生の向上

に寄与する」ことを目的にしていたものに「公共用水域の水質保全」が加えられました。これは高度経済成長期に公共用水域の水質汚濁が顕在化したことを受けてのことでした。これ以降、汚水処理施設の普及や高度処理施設の整備が進められてきました。

そして、昭和53年に水質汚濁防止法に基づく排水基準(濃度基準)のみによっては、COD等の環境基準達成が困難な、人口・産業が集中する広域的な閉鎖性海域を対象として、内陸府県を含め海域に流入する汚濁負荷を総合的に削減する、水質総量削減制度が創設されています。

三重県支部長 池田 和人

〒510-0034

三重県四日市市滝川町16-2-501

池田和人技術士事務所

TEL : 090-9890-4559

E-mail : spuk3vz9@outlook.com

この時、規制項目としてCODが設定されました。窒素やりんが総量規制項目となるのは、平成13年からです。このように、下水道は、①生活環境の改善(汚水の排除、トイレの水洗化)②浸水の防除(雨水を速やかに排除し、浸水を防ぐ)及び③公共用水域の水質保全(海、湖沼等をきれいにする)を目的に進んできました。

#### 「きれいから」から「ゆたかな」水環境に

従来の水質規制を中心とした水環境行政の大きな転換点を図る契機として、令和3年に瀬戸内海環境保全特別措置法が改正され、「栄養塩類管理制度」が創設されるなど、生物多様性の確保及び水産資源の持続的な利用の確保の観点から「きれいな」だけでなく、「ゆたかな」水環境を求めるニーズの高まりに応じていくという方針転換が行われました。

同法の「栄養塩類管理制度」とは、瀬戸内海における関係府県知事が策定する計画に基づき、計画区域水質の目標値及び栄養塩類供給の実施方法を定めることで、特定の海域への栄養塩類の供給を可能とするものです。

そして、令和4年10月には、「栄養塩類管理制度」に基づき、兵庫県栄養塩類

管理計画が初めて策定され、窒素とりんを対象物質として、対象海域の水質目標値及び栄養塩類増加措置の対象が設定されました。また、栄養塩類増加措置実施者として28か所の下水処理場が、栄養塩類を供給するため季節別に能動的運転管理を実施することとなりました。

ここで能動的運転管理とは、年間のある一定期間または通年で栄養塩類の放流濃度を従来の運転よりも増加させるために行う、きめ細やかな運転管理をいいます。

三重県においても、水質汚濁防止法に基づき、第9次水質総量削減計画（令和4年11月1日）で、従来の水質総量削減制度は維持しつつ、これまで、削減一辺倒であった海域への窒素及びりんの汚濁負荷量について、海域の生物（海苔・わかめ）生産性を考慮して、三重県としては初めて増加させる見直しが行われました。その取り組みの一つとして、下水処理場の能動的運転管理が試行されることになりました。

これにより、冬場の汚濁負荷量（（窒素、りん濃度）×放流流量）を上げる運転が始まりました。今までできるだけ汚濁負荷量を下げることが目標としてきた運転を、法規制の範囲内で、できるだけ高く運転する技術が、要求されるようになりました。



能動的運転管理を行う下水処理場

三重県内の流域下水道では、能動的運転管理のテストを令和2年の冬から開始し、令和4年11月の本番に向け、下水処理場ごとに運転方法や操作基準を確立していきました。この2年間で課題をすべて解決出来たわけではないですが、あとは、実際に能動的運転管理を行いながら、課題を解決していくことになると思います。

現在、下水道が持つ目的として、上述しました他に④下水道資源等の有効利用（汚泥を肥料や建設資材や燃料として、汚水はエネルギー源としての有効利用）⑤水循環・水環境の創出（憩いと潤いをもたらす水辺空間の創出）が追加されています。

そして、下水道では有効利用という積極的な変化と、下水道施設の老朽化、下水道職員の減少、使用料収入の減少、そしてゲリラ豪雨などの自然災害への対応という課題解決としての変化が、起こっています。

これらの行政の変化に追随できるように会社として努力していくのは、当然のこととして、それらに加えて直面する人口減少（社員確保）、社員の技術力向上

(技術継承や新技術の習得)、そして PFI や指定管理者制度のような発注仕様の変更への対応は、当社にとって喫緊の課題となっております。

私自身微力ではありますが、これらの課題解決において、技術士として専門的なアドバイスを送るとともに、常に社会への貢献を念頭に、尽力していきたいと考えております。

－以上－

(参考：国土交通省水管理・国土保全局  
下水道部編「栄養塩類の能動的運転管理  
の効果的実施に向けたガイドライン  
(案)」)

## 第53回

### みえテクノロジーカフェ

#### 水から水素を作ってみよう！

#### ～水素の歴史とその利用～

日 時：2023年7月23日（日）

場 所： MG YOKKAICHI

ゲスト

山口昇吾 技術士（機械、CPD 認定）



#### 1、はじめに

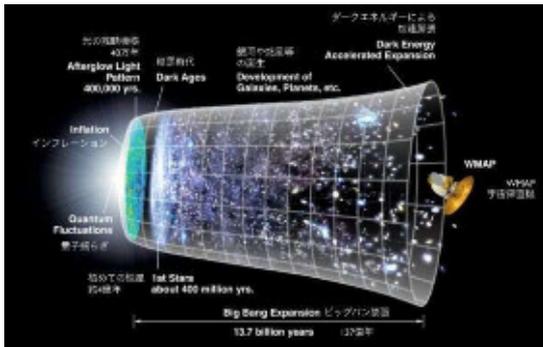
2019年末から始まったコロナ禍も漸く第5類になり色々な制約が緩和されて、みえテクノロジーカフェも4年ぶりに対面でミニ実験を行いながらの開催が出来るようになりました。開催のタイミングも、丁度夏休みと重なり「夏休み親子理科教室」となりました。テーマは、今、世界的に話題の「地球温暖化防止/CO<sub>2</sub>排出低減」に結びつけて次世代のエネルギー源として注目されている“水素”に目を向けた標記のものとして参加者を募りました。当日参加戴いたのは5家族でそのお子さん達7名（5歳～14歳）を含む全18名でした。そして地元

のケーブルテレビ局“CTV”の取材があり、実験終了後に参加した子供達へのインタビュー取材もありました。開催した水素に関する講演や、水素を実際に発生させる理科実験の様子、そしてインタビューなどを上手く纏めてケーブルテレビで放映して戴き、地域の皆さんへの技術士会三重支部の活動がPRされた事と思います。

#### 2、水素に関する知識:その歴史とその利用

講演では、まずは最初に“水素”が今注目されており、それは何故か？との、問題投げ掛けでスタートしました。地球温暖化の原因の一つとして大気中のCO<sub>2</sub>増加がありその排出低減のためのエネルギー源としての水素利用。将来的に化石燃料の枯渇問題があり、環境破壊防止とあわせて「再生可能エネルギーの活用」で水素を製造してエネルギー源とする事や、新素材合成の重要原料である事などを紹介しました。

そもそも水素って何なのか？水素原子の発見は1776年と247年ほど前であり、原子番号が「1」のものです。名前は聞くけど何処にあるかわかりません。宇宙の始まりに話を遡らせて、137億年前にビッグバンが起こり最初に出来たのが“水素”ですが、宇宙全体でダークエネルギーとダークマターが95%を占め、存在する各種物体（元素）は高々約5%です。そして驚く事にその内約90%が水素であり、圧倒的に多い物質が“水素”です。



ビッグバン直後に“素粒子”が生まれ、約3分後に水素とヘリウムの原子核が誕生しそれから約7億年後の130億年前に銀河系が誕生して、そして銀河系誕生の84億年後、太陽系は今から46億年前に誕生しました。

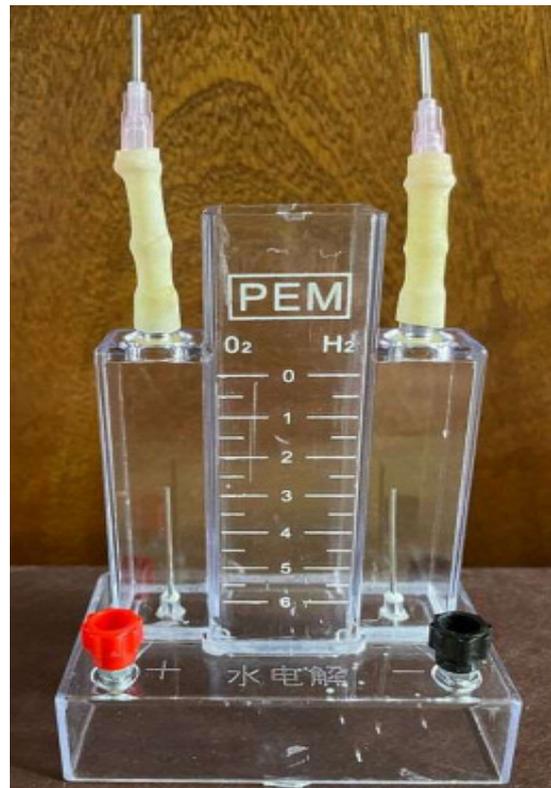
太陽系の中心である太陽は、太陽系の全質量の99.86%を占めます。そして太陽は75%が水素でできています。太陽系の惑星の一つである地球の元素重量組成は、酸素、ケイ素、アルミ、鉄、カルシウム、カリウム、マグネシウム、水素の順です。水素元素は地球の全重量の0.87%ですが多くは水の形で存在しており、水は地球重量の十数%を占めます。そして近年の研究で地

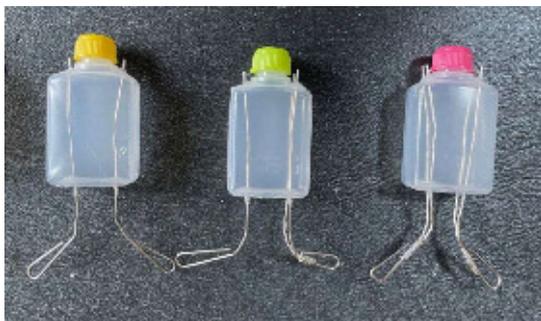
球コアに大量の水素が存在していると言われています。地球上の水は約14億km<sup>3</sup>あり、海水が97.5%で最も多く、それ以外は地下水、氷河、地表の淡水です。

新エネルギーとして注目される“水素”の地球表面での存在はほとんどありませんが、地表にある水から色々な方法で製造する事が出来、その一つが水の電気分解です。

### 3、さあ～これから“水素”を作ろう！

まず最初に予め準備した実験装置の紹介です。最初は市販のプラスチック製の Hoffman 電解装置を紹介。次に手作りの電解装置で、市販の“タレ用小型容器（醤油など調味料入れ）にゼムクリップを伸ばして差し込んで電極にしたもの各種準備しました。

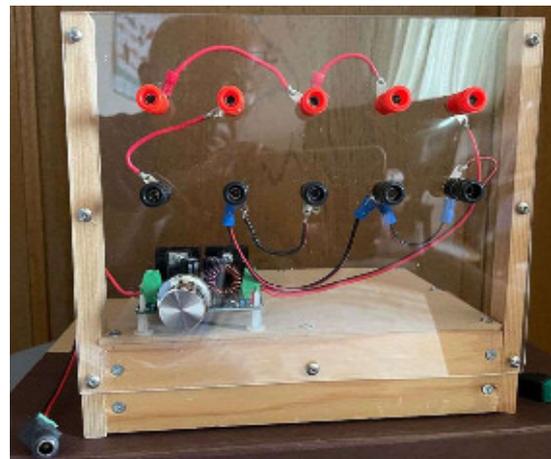




タレビンに、電極（陽極／陰極）をそれぞれ1本のゼムクリップを刺したモノ、片方を1本ともう一つを2本にしたモノ。更に両方とも2本にしたモノを準備しました。また、陽極と陰極の違いを調べる目的でタ

レビン2個の双子型電解装置（2個のタレビンの貼合せ部分に穴が開けてあり電気イオンが通るような構造）も準備しました。

次は電気分解の電源の供給装置です。手作りの分電盤を用意しました。大元の電源はAC100Vで、家庭で使っているLEDランプの読書灯への電気供給用AC／DC変換器で出力はDC24Vのものです。このDC電源を分電盤のDC－DC電圧変換器を介して、複数の電解装置にDC電気の電圧を0～24Vに可変供給が出来ます。電圧と電流測定をする接続端子も付けて、複数の電解装置を同時に実験可能な分電盤です。

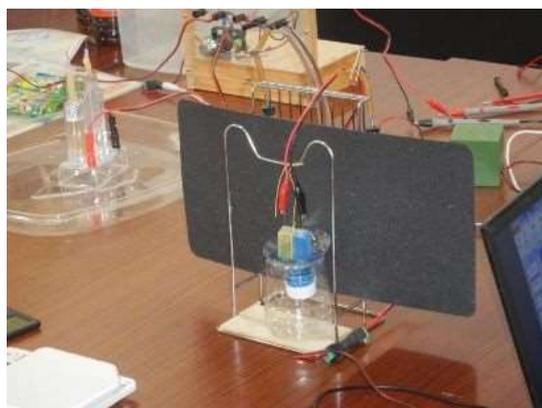


更に、電源として乾電池を使って実験したい場合用として、市販の単3電池を最多8個使って、1.5V～12Vを取出して実験する方法も準備しました。



実験を始める前に“安全”に関する説明を行い、電解液を準備して実験開始です。最初は、単なる水道水を電解装置に入れて、DC（直流）電圧をかけてみます。電圧を上げていっても水の電気分解は発生しません。そこで“ミョウバン”を加えて少しずつ電圧を上げていくと電極のまわりから微細な気泡が発生して電気分解が始まります。

ホフマン電解装置と双子型電解装置の電気分解ではプラス電極に“酸素”が溜り、マイナス電極に“水素”が溜まります。その生成量は容積比で1：2である事が可視化できました。



そして双子型電解装置の電解液に“BTB水溶液”を入れて電気分解をしてみます。電気分解が進むと、プラス電極側で酸素が生成する方の電解液は薄緑色から黄色に、マイナス電極側で水素が発生する方の電解液は薄緑色から青色に変化して電解液のpHが変化するのを観察しました。



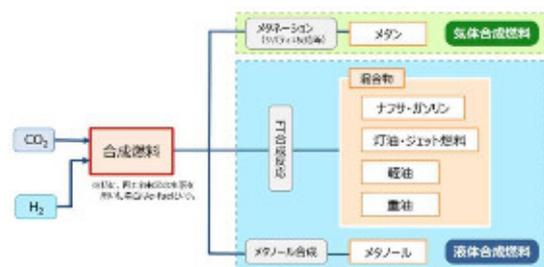
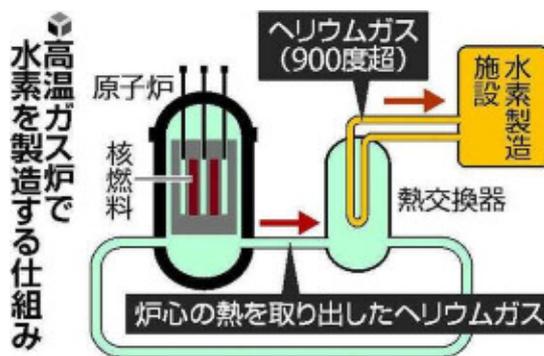
今回参加戴いた子供達やご家族の皆さんは、実際に電解装置を使って手探りながらも、色々な条件（電圧を変えたり、電極数の違いを比較したり、酸素と水素の発生量の違いを観察など）で実験・実体験して戴きました。そして最後に、小さい方（内容積6m

1) のタレビンを使った電解装置で発生したガス（酸素1：水素2の混合ガス）を溜めて、ビンのねじ栓外し、ライターの火をビン口に近づけます。すると大きな音が生じ、ビンの中に火炎が走り、爆発するのを見る事が出来ます。この実験は安全上、ゲストの私がやって見せ、水素爆発の怖さを知ってもらいました。



#### 4、実験を終えての纏め

小さな実験でしたが、自分達で実際に実験の体験をした後に、水素（H<sub>2</sub>）の各種生成方法と、水素の各種利用の現状と将来について豆知識についてお話ししました。



現時点の水素生成はコスト高で本格的生成はまだ先ですが、既に将来に向けて色々なパイロット設備があり、研究も沢山行われております。それらの中で、自然エネルギー（太陽光／風力など）を使った電力で水の電気分解で水素を生成する方法は、大きく期待されています。

具体的には、福島の水素エネルギー研究フィールドがあり、そして外洋での風力発電利用の水素製造の構想・計画もあります。





外洋での水素製造 (イメージ)

洋上風力と水電発電機の配置 (イメージ)

最新情報では、宇宙で太陽光発電して無線送電 (マイクロ波) のプロジェクト「SSPP」が本年1月から稼働開始しています。



短い2時間でお話と実験を行い、また場所の制約 (水をこぼしたり汚さない) や、参加戴いた子供たちの年齢が5歳~14歳と幅広くて中々難しいみえテクノロジーカフェでしたが、これから先さらなる“経験と工夫・改善の積重ね”でより良いテクノロジーカフェになればと思います。

最後に、会場の準備を始め参加者の募集・広報など企画して戴いた運用幹事及び当日実験の手助けと支援戴いた技術士会の皆様に御礼申し上げます。

— 以上 —

## 2023年度第3回セミナー

### 会員講演レジュメ

日時 10月8日(日)

場所 じばさん三重

[講演題目]生成系AIの概要と実演

[講師]石川 英司 (情報工学)



#### 1. はじめに

近年、ChatGPTをはじめとする生成系AI（生成AIと表現される場合もある）が身近なものとなり、誰もが

が気軽に利用できるようになっている。生成系AIが出力する文章や画像等は、従来の技術で自動生成されたものに比べ、質が高く、人が生成したものと区別がつかないレベルのものも登場している。生成系AIは、報道等で取り上げられることも多く、技術者のみならず、一般にも広く認知されるようになった。しかし、実際に生成系AIを利用したことのない人にとっては、どのようなものであるか具体的にイメージしづらく、従来のAIとの違いについてもよく分からないのが現状である。本講演は生成系AIとはどういったものであるか、従来のAIとの違いは何かについて簡単に述べた後、生成系AIについて具体的なイメージをつかんでいただくために、Webブラウザで利用できる、いくつかの生成系AIの実演を行う。

#### 2. 生成系AIとは

生成系AIという言葉に厳密な定義は存在しないが、「文章や画像等のさまざまなコンテンツを出力できるAI」という意味で使われることが多い。英語では、生成系AIを“Generative AI”と呼んでおり、

Cambridge Dictionary [1]によると、“Generative”は“able to produce or create something”という意味となっている。“Generative AI”という言葉の意味から生成AIが何であるか説明すると「何かを生産または作成できるAI」となる。生成系AIが生産または作成する「何か」は、文章、画像（写真・イラスト等）、音声、動画、プログラムと多様であるが、現在提供されている生成系AIサービスには得意とする分野がある。例えば、ChatGPTは主に文章、Stable Diffusionは画像の生成を得意としている。



#### 3. 生成系AIと従来のAIとの違い

生成系AIと従来のAIのいずれも、ニューラルネットワークをアルゴリズムとして使用している点は同じである。何かを生成する場合に、従来のAIを使うことも可能である。しかし、従来のAIは、分類や予測を行うためにデータや文章を学習する仕組みとなっているため、新しいものを生成することには不向きである。一方、生成系AIは、はじめから何かを生成するために学習する仕組みが組み込まれている。ここ数年、この仕組みについて、新しい工夫が発見されていることが、生成系AIが飛躍的に進化している理由の一つである。

#### 4. 生成系AIの仕組み

生成系AIの仕組みには様々なものがあるが、今回は視覚的に理解しやすいことから、

画像生成系の仕組みの一つである、DDPM(Denoising Diffusion Probabilistic Models) [2]を取り上げる。これは、画像生成AIである Stable Diffusion に使用されている仕組みであり、日本語では「ノイズ除去拡散確率モデル」と呼ばれているものである。数学的な表現を避けて簡潔に説明すると、このモデルは「ノイズから画像を生成できるようにする仕組み」である (図 1)。



図 1 ノイズから犬の画像を生成

ノイズから画像を生成できるように AI を学習させるために、事前に画像 (例えば犬の画像) とそれにノイズを少しずつ加えた複数の画像を用意する (図 2)。



図 2 元画像にノイズを少しずつ加えた複数の画像

用意した画像を用いて、ノイズを含んだ画像からノイズが一段階薄い画像を推定できるように、AI を学習させる。学習は、AI がノイズを除去した画像とノイズを加える前の画像を比較し、差が小さくなるように行う (図 5)。

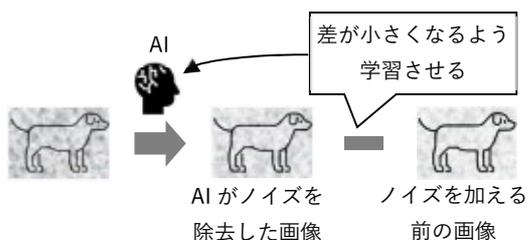


図 3 ノイズを除去する AI の学習

この一段階分のノイズ除去を何段階も行うことで、AI がノイズから元画像を生成できるようになる (図 4)。



図 4 ノイズから犬の画像を生成

AI が「悲しそう」などの言葉 (プロンプト) と画像を関連づけられるようにするため、「悲しそう」というテキストと悲しそうな画像を用いて AI を学習させる。言葉が画像に及ぼす影響を得られるよう、ノイズ除去だけを行った画像とテキストを追加してノイズを除去した画像の 2 つの画像の差分を学習に反映する (図 5)。



図 5 テキストの影響を得るための AI の学習  
画像とテキストといった種類の異なるデータを混合して扱えるようにするため、事前に、これらを特徴量とよばれるものに変換しておく (図 6)。

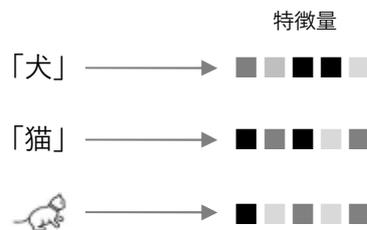


図 6 特徴量への変換

画像・テキストから特徴量への変換（エンコード）と、特徴量から画像・テキストへの変換（デコード）は双方向で行うことができ、異なる種類への変換も可能である（図7）。

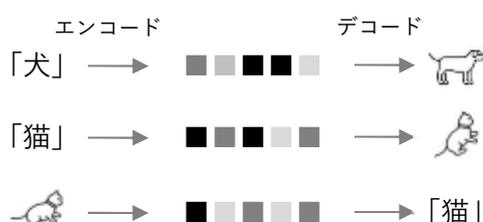


図7 エンコード・デコード

## 5. 主な生成系 AI

ここでは、現在利用可能な生成系 AI を分野別に、いくつかリストアップする。

### テキスト生成 AI

- ① ChatGPT：高度な自然言語処理モデルにより、様々なコンテンツを柔軟に生成可能。
- ② Bard：一般文書の他に、詩・歌・エッセイなども生成可能。
- ③ Catchy：マーケティング分野に特化し、コピー・ニュースレターなどを生成可能。
- ④ Jasper：マーケティングメールなど、長文の生成に向いている。
- ⑤ ELYZA Pencil：東京大学の AI プロ集団 ELYZA が開発したもの。
- ⑥ AI のべりすと：指定した単語に基づいて文章を生成する。
- ⑦ PlayAI(ぶれあい)：入力された冒頭の文をもとに記事を生成する。

### 画像生成 AI

- ① Midjourney：構図の似ている画像を出力できる点などが便利。
- ② Stable Diffusion：照明などの調整ができ、汎用性に優れる。
- ③ DALL・E2：写真・アニメ風・絵画風の画像を生成可能。
- ④ Bing Image Creator：Microsoft アカウントを持っていれば利用可能。
- ⑤ Adobe Firefly：著作権に問題のない学習データを使っているため、著作権の不安なく利用することが可能。
- ⑥ Stable Studio：Stable Diffusion の無料版(オープンソース)。
- ⑦ Visual ChatGPT：チャットに画像を表示する。
- ⑧ Sketch Rendering：ラフスケッチから画像を生成、プロンプトも使用可能。

### 音声生成 AI

- ① CoeFont：テキストから生成。実在するナレーター、声優の声で生成可能。自分の声をリアルタイムに別の声に変換するボイスチェンジャー機能有。
- ② Murf AI：多言語に対応。ピッチやスピード、息継ぎを編集可能。ボイスチェンジャー機能有。

### 動画生成 AI

- ① Flex Clip：日本語にも対応。ビデオテンプレートが豊富。
- ② Fliki：75 言語以上に対応。テキストから適切な動画を選択。Google, Meta など 60 万人以上のクリエイターが使用している。

## 6. 生成系 AI 実演

テキスト生成 AI、画像生成 AI、音声生成 AI、動画生成 AI の実演を行った。実演結果については、著作権の問題が発生しないよう、ここには掲載しない。参考文献に記載してある各生成 AI の URL をブラウザで開き、ユーザ登録等を行った後、スクリプト等を入力することで、実演を再現できる。ただし、生成 AI は日々アップデートされているため、実演当日と同じ応答・結果を得られるとは限らない。

### テキスト生成 AI

Chat GPT[3]に以下の質問・会話を入力し、応答を見る実演を行った。

質問「技術士は役に立つ資格ですか」

質問「手の届かない場所にあるバナナを取る方法を教えて」

会話「今日は良い天気ですね」

会話「私はもうだめです」

依頼「技術士の歌を作ってください」

次に、Bing-AI[4]に以下の質問を入力し、応答を見る実演を行った。

質問「技術士は役に立つ資格ですか」

質問「2023 年の技術士全国大会について教えてください。」

### 画像生成 AI

Sketch Rendering[5]にマウスで書いた、2枚の手書き画像（人の顔、ひよこ）を入力し、生成された画像を見る実演を行った。

次に、Stable Diffusion[6]に以下のスクリプトを入力し、生成された画像を見る実演を行った。

スクリプト：“contrail over mountains”（山と飛行機雲）

スクリプト：“Japanese professional engineers”（日本の技術士）

次に、Bing Image Creator[7]に以下のスクリプトを入力し、生成された画像を見る実演を行った。

スクリプト：「山と飛行機雲」

スクリプト：「日本の技術士」

### 音声生成 AI

CoeFont[8]に短い文章を入力し、有名人の声で文章を読み上げる実演を行った。

### 動画生成 AI

Fliki[9]に BingAI の回答（「2023 年の技術士全国大会について教えてください。」の回答）を入力してシーンを作成後、BGM および各シーンの映像を選択し、技術士全国大会を紹介する動画を生成し、上映する実演を行った。

## 7. 生成系 AI のリスクと問題点

生成系 AI には様々なリスクや問題点があるが、今回は ZDNET の記事[10]に基づいて、代表的なものを簡単に紹介する。

これから生成系 AI を利用する場合、これらのリスクや問題点に注意しながら、適切に利用することが望ましい。

- ① ハルシネーション：不正確な回答を生成する問題
- ② ディープフェイク：実在する人間を模倣した偽の動画・写真・音声を生成できる問題

- ③ データプライバシー：入力データが不正に収集され、情報漏えいにつながる可能性がある問題
- ④ サイバーセキュリティ：コーディング AI が悪意あるコードの生成を容易にしてしまう問題
- ⑤ 著作権：生成 AI が学習に使用したデータなどの著作権を直接/間接的に侵害する問題

## 8. さいごに

生成系 AI について、その概要と従来の AI との違いについて述べた。生成系 AI の仕組みについては、理解のしやすさを優先して、可能な限り簡略化し、図を使った表現を用いて概説した。次に、現在利用可能な生成系 AI を紹介した後、テキスト生成 AI、画像生成 AI、音声生成 AI、動画生成 AI、それぞれの実演を行った。生成系 AI のリスクや問題点についても代表的なものを紹介した。

## 参考文献

- [1]Cambridge Dictionary,  
<https://dictionary.cambridge.org/ja/dictionary/english/generative>
- [2]Ho, Jonathan, Ajay Jain, and Pieter Abbeel. "Denoising diffusion probabilistic models." Advances in neural information processing systems 33 (2020): 6840-6851.
- [3]Chat GPT-3.5,  
<https://chat.openai.com/>
- [4]Bing-AI,  
<https://www.bing.com/search?q=Bing%20AI&showconv=1&form=MW00X7>
- [5]Sketch Rendering,  
<https://www.promeai.com/blender/>
- [6]Stable Diffusion,  
<https://stablediffusionweb.com/#demo>
- [7]Bing Image Creator,  
<https://www.bing.com/create/>
- [8]CoeFont,  
<https://coefont.cloud/tts/ja/>
- [9]Fliki, <https://app.fliki.ai/>
- [10]ZDNET, 「生成系AIに潜む5つの重大なリスクーハルシネーション、著作権問題など」,  
<https://japan.zdnet.com/article/35203156/>

## 2023年度第3回セミナー

### 特別講演レジュメ

日時 10月8日(日)

場所 じばさん三重 (およびオンライン)

[講演題目] コンピュータと脳神経系とをつなぐ次世代のライフサポート

[講師] 三重大学大学院工学研究科

情報工学専攻教授 林田 祐樹



情報工学の分野が、年々とその領域を広げているなか、医療や保健への応用においては、次世代に向けたライフサポートの知能化が注目されています。その一例として、ヒトの臓器の活動について様々な観測や計測を個人毎に行い、そこから得られるデータや情報に基づく機械学習や解釈等を通じて、それら臓器の活動に何らかの不全がある場合には、これを人工的な刺激や制御によって補助・代行するといったことが考えられます(図1)。そのためには、ヒトの心と体を支える神経系・筋骨格系・循環器系を知的な情報システムとして捉え、コンピュータを含む人工システムとそれらとを繋ぐ技術が不可欠となります。

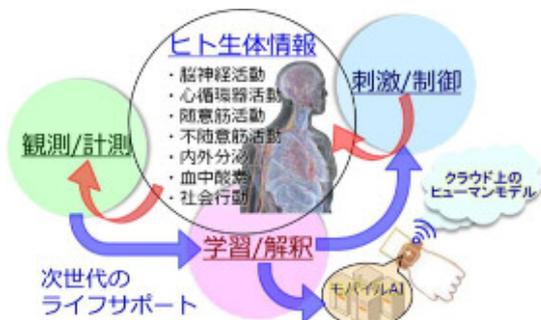


図1. 知能化ライフサポートの例

そしてこの“繋ぐ技術”を確立するには、生体理工学的な手法による観測・計測および刺激・制御の技術向上、生物物理学や情報理論などに基づく定量解析と数理モデリング、さらに人工神経回路ハードウェアや生体模倣デバイスといった特定の高度演算を行う組み込みコンピュータの研究開発などが重要です。今回の講演では、脳神経系と人工システムとを“繋ぐ技術”の具体例として、脳刺激型の視覚補綴(人工視覚)を挙げ、その実現に向けた情報工学と医用生体工学の融合技術について説明させて頂きました。

ヒトを含む脊椎動物の視覚は、眼底に存在する膜状の網膜神経組織に始まります。網膜神経組織は、レンズを通して投影される外界像の光学的な信号を電気化学的な信号に変換するだけでなく、その動物種にとって重要な意味を持つ情報を、内部の神経回路によって実時間並列的に加工・抽出し、それらを神経スパイクと呼ばれる二値の電気信号の時間系列へ符号化します。そして、符号化された情報は、網膜から延びる100万本前後の並列な信号線(視神経繊維束)を通り脳へ送られます(図2)。したがって脳は、それら二値信号の時空間的な系列を元に、さらなる分析・加工等を行って外界像を再構成し“視覚”を実現しています。

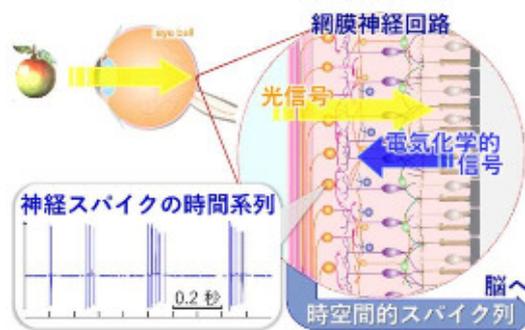


図2. 視覚の始まり～網膜神経回路

近年の神経科学の研究によって、網膜内の神経回路が、単純なノイズ除去やコントラスト強調などの処理だけでなく、“図と地の分離”（視野中の対象物体の領域と背景の領域の分離）のような比較的高度な処理も、複数並列して実行することが明らかになってきました。また、その神経回路を構成する個々のニューロンが、動的かつ非線形な電気的特性と、それらに基づくミリ秒精度の信号処理特性を持つことも分かっています。もちろん網膜組織に内在する無数の分子の確率的挙動の影響はあるものの、外界からの入力に対する神経回路の出力は、決定論的な数理モデルでほぼ説明できることが、私たちの研究でも示されています。

網膜神経回路の構造と機能については、未だ部分的しか解明されていませんが、私たちの研究グループは、それらの知見を集約し、神経回路の数理モデルをアナログ-デジタル混在の集積電子回路システムに実装することで、いわゆる生体模倣型の網膜回路エミュレータを開発してきました。このエミュレータは、実験動物から計測される神経スパイクの時間系列を精度よく再現することが可能です。したがって、自律ロボットの視覚フロントエンドとしての利用はもとより、バイオンニック医療の人工視覚のシステムにも応用可能と考えています（図3）。

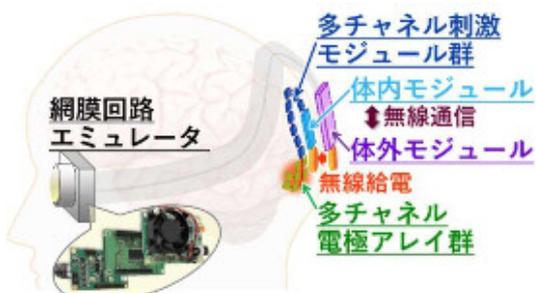


図3. 脳刺激型視覚補綴システム

脳刺激型の人工視覚に関する過去の臨床研究では、失明者の方の後頭部付近に存在する脳の‘第1次視覚領野’と呼ばれる部位に、直径数十マイクロメートルの針状の電極が刺入埋植され、それらを通じた微小電流の通電刺激が与えられました。失明後20年以上経っていたにも関わらず、その患者の方の視野上には、刺激に応じて点状の光の知覚（光覚）が誘発され、しかもそれら光覚の視野上の位置は、脳内の電極の位置に対応することが示されました。このことは、生来の視覚における外界像の再構成には及ばないながら、外界像を点状光覚の時空間パターンで代用しようとする人工的な視覚の再建可能性を示すものでした。

こうした結果を受けて欧州、米国、豪州をはじめとする海外では、現在も研究開発が進められています。その多くは脳刺激システムの開発や臨床研究に関わるものです。私達の研究グループでも、世界最多の数千電極を駆動可能な脳刺激システムの試作開発を行い、さらに、これまでに前例のない網膜回路エミュレータと脳刺激システムの統合システム開発も進めています。これらの試作開発は、将来的な臨床応用にも対応するものですが、しかし現時点では、動物実験を含む研究用ツールとしての有用性に主眼を置いています。それは、主に以下の理由によるものです。

今までのヒト臨床研究においても、脳への微小刺激のパラメータと、これに誘発される光覚との関係が調査されました。しかしながら、誘発される光覚については、当然ながら当該患者さんの口頭による報告のみであるため、その定量性には限界があります。また臨床研究の性質から、試験可能な刺

刺激パラメータにも厳密な制限があります。そこで私たちは、げっ歯類動物を用いた実験研究をとおして、脳内微小刺激のパラメータと、これに誘発される脳内神経細胞群の活動応答との間の定量的な関係を調査しています。今までの結果から、動物実験ながら、ヒト臨床研究で明らかとなっている光覚誘発に必要な刺激の閾値について、これを定量的に説明する実験データが得られています。さらに、刺激のパラメータを調整することによって、光覚誘発に要する刺激強度を低減できる可能性も示されました。このことは、脳神経組織が持つ特有の非線形性を巧妙に利用することで、複雑ながらも刺激パラメータの最適設計が可能なことを示唆しており、将来的なヒト臨床応用における安全性と精度の向上において、極めて重要と考えています。

脳刺激型人工視覚の実用化には、他にも複数の技術的な課題が存在しています。しかしそれらを確実に解決していくことが、失明のような重度障害の軽減につながると信じています。そのために、人工視覚を一つのパラダイムとし、脳神経系とをコンピュータとをつなぐ次世代のバイオニック医療、そしてライフサポートの知能化に貢献したいと考えます。

## 今後の行事予定など

### ★セミナー★

1) 2023年度 第4回セミナー

日程：2024年1月6日（土）PM

場所：アスト津 会議室1（津市）

会員講演

池田 和人 技術士（化学、総合技術監理）

「人と技術は世を変える ～オランダの  
農業と二酸化炭素の循環を題材に～」

特別講演

三重大学大学院 工学研究科

機械工学専攻 准教授

川上 博士 様

### ★みえテクノロジーカフェ★

第55回みえテクノロジーカフェ

日程：2023年12月10日（日）

10:00～12:00

ゲスト：

井上 正喜 技術士（機械、総合技術監理）

場所：MG YOKKAICHI

参加費：500円 お菓子・ドリンク付

### ★中部本部行事★

『中部本部 技術士研究・業績発表会』

[日時] 来年3月2日（土）午後

[場所] ツドイコ名駅東 ルームC

技術士講師を募集中（12/31まで）。

詳しくは、三重県支部 池田和人まで。

メール：spuk3vz9@outlook.com

公益社団法人 日本技術士会 中部本部 三重県支部

「技術士みえ」発行及び責任者

池田和人 技術士（化学、総合技術監理）

〒510-0034 三重県四日市滝川町16-2-501

池田和人技術士事務所

TEL 090-9890-4559

E-mail: spuk3vz9@outlook.com

広報委員

西方伸広 技術士（機械）

井上正喜 技術士（機械、総合技術監理）