

No.33 Jun. 2023

FEATURE STORY

Aiming for natural spoken dialogue between machines and humans

Currently, speech recognition technologies are installed in smartphones, smart speakers, and so on...

[Read More...](#)

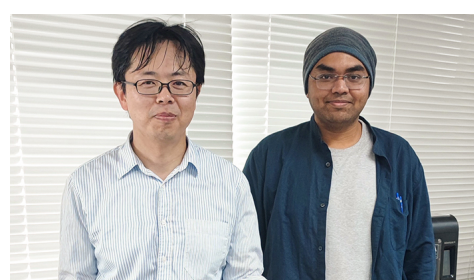


Research Highlights



A statistical model for ensuring children can move around safely

Efficient identification of potential traffic accident risk locations



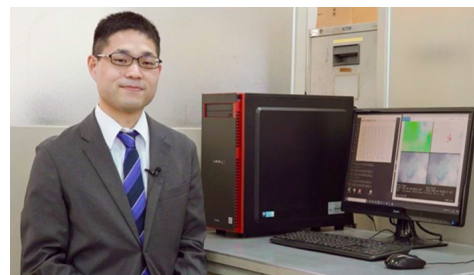
Automated detection of isolated single cells using microscope images and AI

Contributing to the development of new treatments with single-cell analysis and isolation



High-speed, high-precision positioning of stages with unknown vibration characteristics

Simple design of high-speed, ultra-precise positioning control system without dynamic model



Understanding the mechanism of non-uniform formation of diamond film on tools

Paving the way to a dry process with less environmental impact



"Magic" in the flickering of flames

Fluctuation can be controlled by adjusting the distance between two flames

Pick Up

Takeshi Hizawa, Senior Research Specialist from the Research Promotion Division received an "Outstanding Support for Research Award" in the field of science and technology for 2023 from the Minister of Education, Culture, Sports, Science and Technology.



Aiming for natural spoken dialogue between machines and humans

Norihide Kitaoka



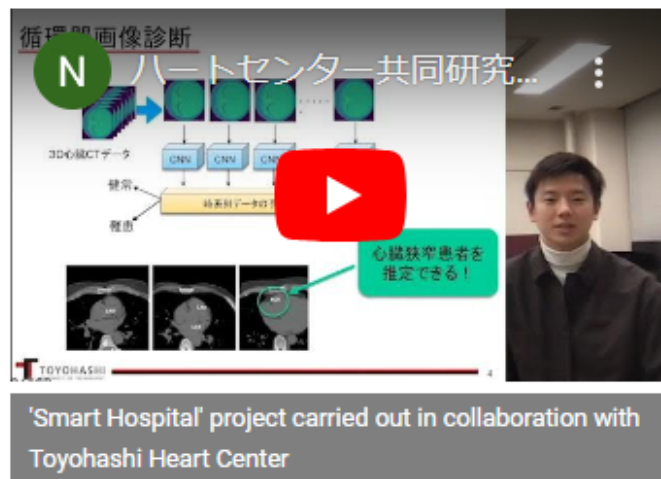
Nowadays, speech recognition technology is used in devices such as smartphones and smart speakers for a variety of purposes in work and daily life. Nevertheless, there are still limitations to its capabilities, in particular when attempting to create natural dialogue with humans. To fill this gap, Professor Norihide Kitaoka has been researching ways to enable spoken dialogue systems to be "usable" in a wide range of scenarios. The key to natural dialogue, he says, lies not only in giving computers the necessary knowledge for conversation, but also in teaching them how to realize human-like responses, such as the timing of utterances and conversational signals.

Interview and report by Madoka Tainaka

Reducing burden of healthcare workers with voice-input system that supports creation of medical charts

In less than a decade, speech recognition technologies such as Apple's "Siri" and Amazon's "Alexa", have advanced to the extent that they have become household names, thanks to deep learning-based end-to-end learning (i.e. network learning that is carried out by a single large neural network model until an output is obtained from inputs). Professor Norihide Kitaoka, whose 30 years of involvement in speech recognition stretch back to the early days of this field, believes that moving forward it will be less important to achieve a high level of precision for speech recognition itself, than to identify specific applications of this technology, and ways in which they can be used.

"Thanks to the advancement of deep learning," he noted, "and the utilization of huge amounts of speech data, the accuracy of speech recognition itself has been improving substantially. Nevertheless, the ways in which these technologies can actually be used are still limited. That is why we are focusing our efforts on researching interfaces that are appropriate to the application."



As a part of this, Prof. Kitaoka and his colleagues are currently working on the development of a "voice-input medical-chart creation support system" that can be utilized at medical workplaces. This is a tool that creates medical charts on the spot. When doctors perform rounds, the system listens to pick up information on physical condition, body temperature, and so on from dialogues with the patients, and at the same time, it automatically converts the utterances into text, and understands and structures the information.

"This research is part of the 'smart hospital' project that the Toyohashi Heart Center (a hospital specializing in cardiovascular diseases) and Toyohashi University of Technology have been jointly carrying out since 2021, which has already led to the development of a prototype. For example, the system picks up comments such as, 'There are no particular problems with your physical condition,' and 'You are on schedule to be able to leave the hospital next week,' automatically transcribes them, and then generates a summary of the information. Thus, this is a system that enables doctors to easily create medical charts, simply by selecting the relevant results for summary on the screen of a smartphone or tablet," explains Professor Kitaoka.

In fact, when they first began their joint research, they had no idea how speech recognition technology could be used in the medical field. Thus, before starting the development, they observed conditions on the ground at the hospital, held extensive discussions with doctors, and identified key challenges.

As Prof. Kitaoka explains, "Although there are already many existing types of software for preparing medical charts using voice input, what doctors needed was a system that could create records on the spot during their rounds. This is because doctors had previously been unable to input the information they had received from patients while visiting their rooms. They would have to take notes, and then input the information into personal computers in the hallways later on. Using our current system makes it possible to create medical charts while listening to patients on the spot, which saves time and effort. Going forward, we will work on linking our system with the electronic medical-chart systems that have already been introduced, and at the same time, we plan to perform fine tuning on our system to facilitate its wider use."

I Utilizing ChatGPT for creation of training data and medical charts

In addition to being labor saving for doctors, the medical support systems also need to be capable of outputting correct results by learning the technical terms and information essential for medical practice in advance. The key to achieving this is to have training data to improve accuracy.

"In the smart hospital project," says Prof. Kitaoka, "we are also developing a diagnostic support system using CT images of the heart, but again, the creation of training data is a challenge. When creating training data, we have to avoid overloading the already busy doctors and technicians. As such, we have been attempting to proactively use the existing technologies that are applicable in this area. For example, we have been using the technology of the moment, ChatGPT, along with existing databases in order to summarize information that has been picked up during rounds, and to reinforce the training data."

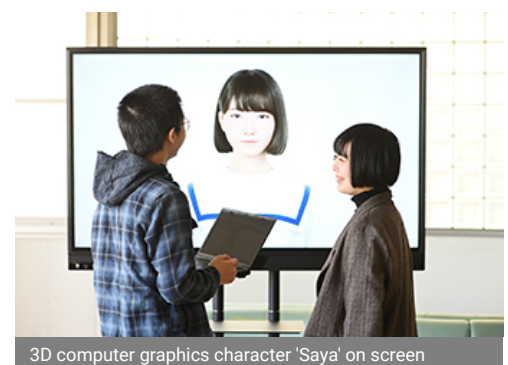
Meanwhile, Prof. Kitaoka points out that the emergence of ChatGPT presents us an opportunity for fundamentally rethinking the nature of artificial intelligence research.

"It seems that even without expressly making an effort to reproduce the thoughts of humans in computers, if one has access to a large-scale language model, in other words vast amounts of data, one can produce dialogue that is human-like in text form. In this sense, it appears that our research is standing at a crossroads. This is because we cannot keep up in terms of data volume. Thus, we intend to focus meticulously on our area of expertise, which is 'speech,' and thereby pursue a more natural dialogue between humans and machines."

I Natural dialogues with CG character

In his quest to realize a more natural dialogue system, Professor Kitaoka has been focusing on "the timing of responses." Over a decade ago, he developed a chat dialogue system that incorporates the unique characteristics of human dialogue, such as conversational backchanneling that is well-timed or slightly interruptive, and instances of taking over the conversation midway through utterances of the conversation partner. In addition, he has been working on a system that uses machine learning to predict whether a conversation will continue or end based on the pitch of the other person's voice and intonation patterns, and on speech synthesis that can change the tone of the voice to express anger, joy, and other emotions.

"One area in which this research can be applied is the development of a dialogue system with the 3D computer graphic character 'Saya' which was launched in 2015 by the 3D computer graphic artist TELYUKA. Saya shot to fame when, in spite of her being an imaginary character, she was selected as the winner of one of the 'Miss iD' auditions for entertainers hosted by a publishing company. Saya is now able to interact with humans by incorporating speech recognition, text-to-speech, and chatting functions, as well as image recognition technology provided by Aisin (Kariya, Japan). She is equipped with functions that enable her to pick out 'focus words' when she is listening to someone speaking, and to change the topic of conversation after there has been an extended pause. Furthermore, we have continuously been making improvements so that she is able to express herself more naturally by conversational backchanneling and the conveyance of feelings."



3D computer graphics character 'Saya' on screen

Prof. Kitaoka adds that, going forward, his team hope to expand the Saya dialogue system to include giving street directions, as well as watching over elderly persons and children at facilities.

Prof. Kitaoka is still looking to the future, examining whether it will be possible to install the same system in anime characters other than Saya. "Machines can talk to humans indefinitely, without ever getting tired" he points out. "If you think about this point, you can see how the potential for applications will likely multiply."

Shifting to multimodal communication

If one is aiming for truly natural dialogue between humans and machines however, conversational ability alone is not enough. To this end, Prof. Kitaoka and his colleagues have been working on the development of a "multimodal dialogue" system, which means that they not only engage in communication through speech but also incorporate gestures such as body and hand motions, eye movements, and so on.



"I worked on a similar application while at Tokushima University in 2018, where we jointly developed a multimodal interactive self-driving car in collaboration with Nagoya University and Aisin Seiki (now Aisin). The experience of using this system was designed to function something like giving instructions to a taxi driver. While the vehicle is in motion, it is possible to look at something and ask the vehicle what it is, and to instruct the vehicle to change directions through gestures."

Multimodal communication enabled autonomous vehicle

Prof. Kitaoka has also been working on developing a system that can, for example recognize information written on a blackboard that is pointed to with one's finger, such as angles during a math class for example, and then can input the information as symbols or formulas on a display.

"In the future, I believe that it may be possible for us to release our dialogue system as a toolkit that can be integrated into existing spoken dialogue applications," says Professor Kitaoka. If he can achieve this, people will surely be able to enjoy more natural dialogue with their smartphones and PCs, such as by using gestures. We look forward to future developments.

Reporter's Note

Prof. Kitaoka has been fascinated by personal computers since he was in elementary school, where they were introduced for the first time. Although he did not have a personal computer, his parents were sufficiently moved to see him copying programming notes on paper that they eventually bought him one. This led him towards his long held dream of a place in a natural language processing laboratory at university, but the overwhelming number of applicants there persuaded him to switch to speech research. Since then, he has never looked back.

He points out, "When I initially began my research, it was the middle of the second AI boom, and I wanted to find an elegant way to engage in dialogue with machines by giving the machines human-like intelligence. Now however, I have come to believe that 'human-like' qualities reside in behaviors that are expressed outside of language. Realizing these is the real challenge."

It is precisely in these difficult-to-quantify aspects that I believe the key lies in removing the sense of discomfort that arises when communicating with machines.

機械と人間の自然な音声対話をめざして

いまや、音声認識技術はスマートフォンやスマートスピーカーなどにも搭載され、仕事や生活のなかでさまざまに活用されている。しかし、どんな場面でも十分に使える、さらには人間と同じように対話できる、とまではいかない。この溝を埋めるべく、北岡教英教授は音声対話システムをさまざまな場面で「使える」ものにしようと研究している。自然な対話のポイントは、会話に必要な知識もさることながら、発話や相槌のタイミングなど、人間ならではの応答をいかにコンピュータ上で実現するかにあるという。

■ 音声入力カルテ作成支援システムで、医療従事者の負担軽減を

Appleの「Siri」やAmazonの「Alexa」でおなじみのように、音声認識技術は、深層学習によるEnd-to-end学習（入力から出力を得るまでを一つの大きなニューラルネットワークモデルで行う際のネットワークの学習のこと）によって、ここ10年足らずで飛躍的に進展を遂げてきた。黎明期から30年にわたり音声認識研究に携わってきた北岡教英教授は、これからは音声認識自体の高精度化をめざすというより、どんな場面で使うのか、具体的な応用先を見出すことが重要だと語る。

「深層学習の進展、さらには大規模な音声データの活用により、音声認識自体の精度はかなり向上してきています。ただ、実際にはまだ使える場面は限られている。そこで、われわれはその応用先に応じたインタフェースの研究に注力しているのです」

その一つとして、現在、北岡教授らは医療現場で活用される「音声入力カルテ作成支援システム」の開発に取り組んでいる。これは医師らが回診時に、患者との対話を通して体調や体温などを聞き取る際、発話を自動で文字化し、その内容を理解・構造化して、その場でカルテを作成するツールだ。

「この研究は、2021年から医療法人澄心会（豊橋ハートセンター）と豊橋技術科学大学が共同で進めている『スマートホスピタル』プロジェクトの一環で、すでにプロトタイプを開発しました。たとえば、『体調はとくに問題ありません』『来週には退院できる予定です』といった発話を聞き取って自動で書き起こし、これらの内容の要約結果を自動で生成します。医師らは、その要約結果をスマホやタブレットの画面上で選択するだけで、簡単にカルテを作成できる、というシステムです」と北岡教授は説明する。

実は共同研究を始めた当初、医療現場のこういった場面で音声認識技術が使えるのか、まったく見当がつかなかったという。実際に病院の現場を見学し、医師らと議論を重ね課題を見つけ、開発に至ったという。

「すでに音声入力でカルテを作成するソフトは多数存在しますが、お医者さんたちが必要としていたのは、回診の際にその場で記録できるシステムだったんですね。というも従来、患者さんから聞き取った内容を病室で入力するわけにいかず、メモをしておいて、後から廊下でパソコンに打ち込んでいたからです。このシステムを使えば、病室で聞き取りながらカルテが作成できるため、手間も時間も省ける。今後は、実際に導入される電子カルテシステムと連携を図りながら、現場で使えるシステムとしてチューニングしていく予定です」

■ ChatGPTを教師データやカルテ作成に活用

医療支援システムは、医師らがストレスなく使えることに加え、医療現場に不可欠な専門用語や情報をあらかじめ学習させておき、正しい結果を出力するものでなければならない。その際の鍵を握るのが、精度を高めるための教師データの存在だ。

「スマートホスピタル・プロジェクトでは、そのほかにも心臓のCT画像による診断支援システムの開発も手掛けているのですが、そこでも教師データの作成が課題です。教師データ作成のために、それだけでなく忙しい医師や技師の方たちの手を煩わせるわけにはいきません。そこで使える既存の技術は積極的に使おうと、たとえば回診の聞き取り内容の要約や学習データの補強には、いま注目のChatGPTや既存のデータベースを活用しています」

一方で、ChatGPTの出現は人工知能研究のあり方を根本から問い直す、大きなきっかけにもなっていると北岡教授は指摘する。

「わざわざ人間の思考をコンピュータ上に再現しようとかがんばらなくても、大規模言語モデル、すなわち大量のデータがあれば、それらしい対話がテキスト上ではできてしまうわけですね。そういった意味では我々の研究も岐路に立たされている。データ量ではとういて及びませんからね。そこで、われわれはあくまでも自分たちの専門である『音声』にこだわって、人間と機械のより自然な対話を追究しようと考えています」

■ CGキャラクターとの自然な対話

より自然な対話システムの実現をめざすにあたり、北岡教授が早くから注目してきたのが「応答のタイミング」だ。すでに十数年前には、タイミングよく、あるいは少し食い気味に相槌を打ち、ときには相手の発話の途中で会話を奪うといった、人間特有の対話の特徴を織り込んだ雑談対話システムを開発。さらに機械学習を取り入れて、相手の声の高さやイントネーションのパターンから、会話がまだ続くのか、終わるのかを予測するシステムや、声のトーンを変え、怒りや喜びなどの感情を表現できる音声合成の研究も行なってきた。

「こうした研究の応用先の一つが、3DCGのSayaとの対話システムの開発です。これは、3DCGアーティストのTELYUKAさんによって2015年に発表されたキャラクターで、出版社主催のオーディション『ミスID』において、架空キャラクターでありながら選出されたことで一躍注目を集めました。このSayaに、音声認識や音声合成、雑談機能、さらには『アイシン』（刈谷市）が提供する画像認識技術を搭載することで、人間との対話ができるようになりました。相手の話を聴く際には、焦点となる言葉を掘り起こしたり、沈黙が続いたら他の話題に切り替えたりといった機能も搭載されています。さらに、相槌や感情表現をより自然に表現できるよう、改良を重ねているところです」と北岡教授。

Sayaとの対話システムは今後、街頭での道案内や高齢者や子どもの施設での見守りなどへの展開をめざすという。さらには、Sayaに限らず、別のアニメキャラクターなどにもシステムを搭載できないかと、夢は広がる。

「機械であれば、長時間だろうがまったく疲れることなく人間の相手ができますからね。そう考えると、応用の場面はもっとうんと広がっていくと思います」

■ マルチモーダルなコミュニケーションへ

もっとも、人間と機械のより自然な対話をめざすなら、会話だけでは不十分だ。そこで北岡教授らが取り組むのが、マルチモーダルの対話、すなわち音声による言葉だけでなく、身振り手振りなどのジェスチャーや視線の動きなども取り入れたシステムの開発である。

「応用の一つとして、わたしが徳島大学に在籍していた2018年に、名古屋大学とアイシン精機（現・アイシン）と共同で、マルチモーダル対話型自動運転車を開発しました。これは、タクシーの運転手に指示するような感覚で、走行中に視線を向けて『あれは何？』と尋ねたり、身振りで道順変更を伝えたりできるシステムです」

そのほかに、例えば数学の授業で『この角度』と板書を指差した箇所を認識し、ディスプレイ上に記号や式を入力できるといったシステムの開発も進めている。

「将来的には、私たちの対話システムを既存の音声対話のアプリなどに、一つの機能として組み込めるツールキットとして公開できないかと思っているのです」と北岡教授。そうなれば、スマホやパソコンともっと自然に、ジェスチャーなども交えながら対話を楽しめるようになるにちがいない。今後の展開に期待したい。

（取材・文＝田井中 麻都佳）

■ 取材後記

小学生の頃、誕生したばかりのパーソナルコンピュータに夢中になったという北岡教授。パソコンを持っていないのに、見様見真似でプログラミングを紙に書いていたら、見かねたご両親が買ってくれたのだという。それが高じて、大学では念願の自然言語処理の研究室に所属するも、希望者が重なって音声研究へ。以来、音声研究一筋できた。

「研究を始めた当初は第二次AIブームの最中で、もっとエレガントな方法で機械に人間のような知能を持たせて対話したいと思っていたのです。でもいまは、人間らしさというのは、むしろ言語外に表れる振る舞いに宿るのだと思うようになりました。その実現こそが難しいのですが」と、北岡教授。

まさにそうした定量化しにくい部分にこそ、機械とのコミュニケーションで生じる違和感を取り除くカギがあるように思う。

Researcher Profile



Norihide Kitaoka

Norihide Kitaoka received PhD degree in 2000 from Toyohashi University of Technology, Aichi, Japan. Since he started his career at Toyohashi University of Technology as a research associate in 2001, has been involved in speech information processing. He is currently a professor at the Department of Computer Science and Engineering.

■ Reporter Profile



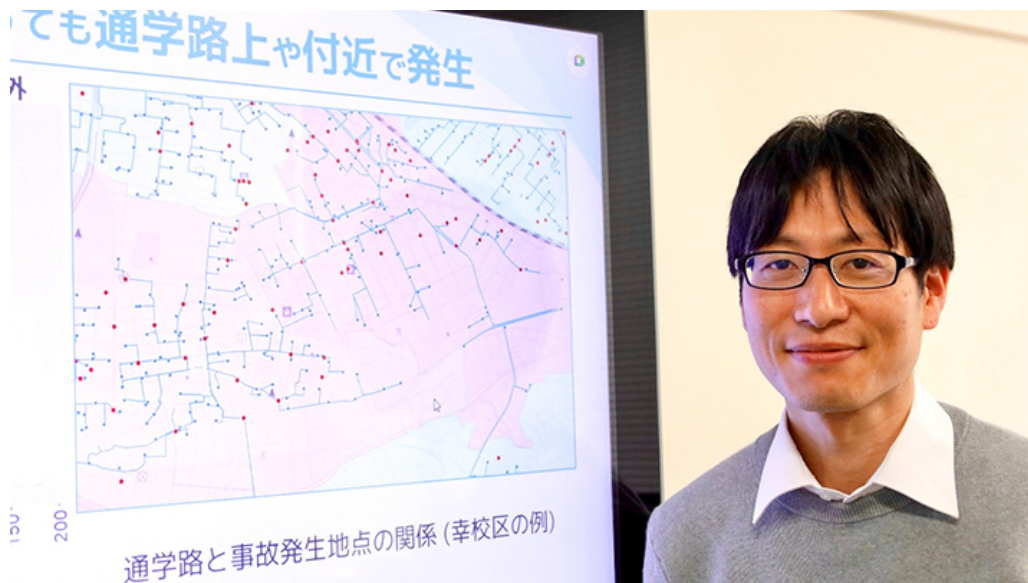
Madoka Tainaka

Editor and writer. Former committee member on the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology Council for Science and Technology, Information Science Technology Committee and editor at NII Today, a publication from the National Institute of Informatics. She interviews researchers at universities and businesses, produces content for executives, and also plans, edits, and writes books.

A statistical model for ensuring children can move around safely

Efficient identification of potential traffic accident risk locations

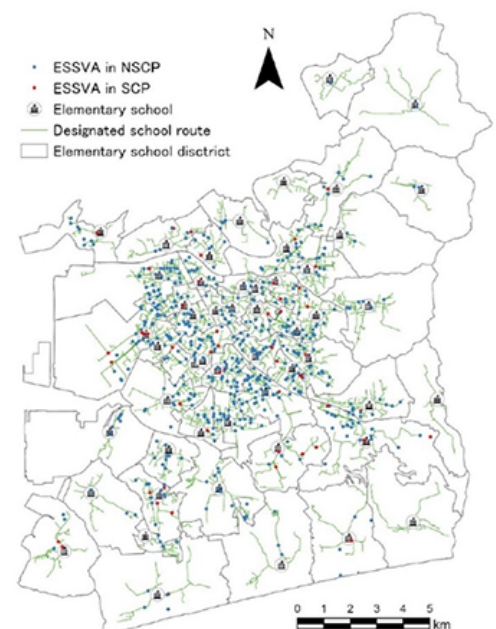
Kojiro Matsuo



A research team led by Kojiro Matsuo, an associate professor at the Department of Architecture and Civil Engineering within the Toyohashi University of Technology, and Kosuke Miyazaki, a professor at the Department of Civil Engineering within the National Institute of Technology – Kagawa College, has established an efficient means of identifying high risk road intersections in terms of accidents involving children. A statistical model is used to prevent accidents by identifying locations at high potential risk of accidents, even where none have occurred, based on a variety of factors. These include unique geo-informatized data for school commuting routes and school walking groups held by Toyohashi City, road traffic big data, past accident data, intersection structures and land-use.

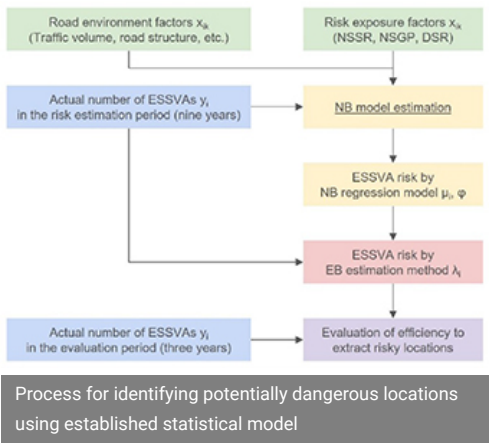
Children in Japan often wander around by themselves from around seven years old (1st and 2nd grades of elementary school). Although this is somewhat unusual from an international perspective, in Japan it is considered to be an essential part of the children's health and development. In order to safeguard this tradition, improving the safety of children's travel is therefore a requirement.

Achieving this however, is easier said than done, due to the difficulties involved in identifying the zones and locations where traffic safety measures should be implemented. While the number of locations used by child pedestrians is enormous, traffic incidents involving children are rare, making data computation challenging. The goal is to evaluate quantitatively the potential risk at each location, while efficiently identifying places where additional measures are required.



Geo-informatized data for school commuting routes and locations of elementary school student-vehicle accidents (ESSVA)

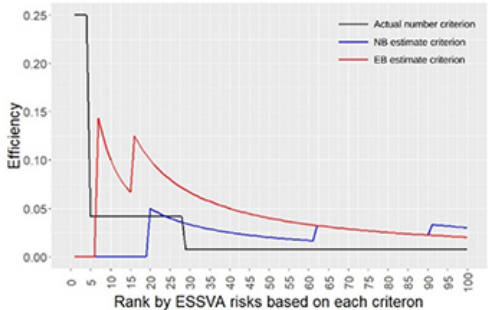
Accordingly, the research team established a method using a statistical model to efficiently identify potentially dangerous intersections in terms of traffic accidents involving children.



Associate Prof. Matsuo, as lead researcher, explained, "This statistical model has two main characteristics. The first uses Empirical Bayesian estimation to combine the average impact of environmental road traffic conditions, such as traffic volume, intersection structure, and land usage status – as obtained from road traffic big data – balanced appropriately with past accident data. The second is to incorporate data on how much children travel with road traffic conditions using unique geo-informatized data on school commuting routes and walking groups held by Toyohashi City.

Ultimately, the fact that it identified seven or more potentially dangerous spots proved that it is more efficient and effective at such identification than methods based simply on past accident data. Furthermore, we validated the current policy of "implementing traffic safety measures primarily on school commuting routes," because Japanese children tend to use familiar routes not only on their way to and from school, but also during any daily outings, even while accidents along these routes are increasing."

Associate Prof. Matsuo added, "This research would not have been possible without the geo-informatized data on school commuting routes and walking groups made available by Toyohashi City. I had been acting as an advisor to Toyohashi City on safety measures for school commuting routes, and as an administrative initiative, I planned the efficient management and utilization of data on school commuting routes and walking groups in 2015. After proposing the use of geo-informatized data and the data structure, this was officially adopted from 2016. Back in those days, I never imagined that this data would become useful for my research, but I am delighted that the measures implemented six years ago are still being used. I hope that in the future, other municipalities will also promote the use of geo-informatized data with school commuting routes."



Comparison of each method's efficiency at identifying potential dangerous locations Black line: Identification based only on past accident data Blue line: Identification based on Negative Binomial Regression Model Red line: Identification based on the Empirical Bayes estimation established through this research

Through this research, we devised a way to identify potentially dangerous locations based on objective information acquired from various data. However, real-world traffic is complicated, and data represents only a part of it. The research team would like to promote research into how best to efficiently combine subjective information held by the public, such as close calls, with objective information.

Reference

Kojiro Matsuo, Kosuke Miyazaki, Nao Sugiki (2022). A Method for Locational Risk Estimation of Vehicle–Children Accidents Considering Children's Travel Purposes. International Journal of Environmental Research and Public Health. <https://doi.org/10.3390/ijerph192114123>

子供の安全で健やかな移動を守るための統計モデル

潜在的な交通事故危険地点を効率的に抽出

松尾 幸二郎

豊橋技術科学大学建築・都市システム学系 松尾 幸二郎准教授らと香川高等専門学校建設環境工学科 宮崎 耕輔教授の研究チームは、子供が巻き込まれる交通事故の潜在的な危険交差点を効率的に抽出するための手法を構築しました。過去の事故データ、自動車交通ビッグデータ、交差点構造や土地利用等のデータに加えて、豊橋市が独自で地理情報化している通学路・通学班データを活用した統計モデルにより、まだ事故が起きていなくても、今後起こる可能性の高い地点の抽出を行い、未然防止対策に役立てることができます。

日本の子供は7歳（小学1～2年生）頃から、子供達だけで外出することがしばしばあります。これは国際的に見ると貴重な状況であり、また子供の健康や発達にも寄与していると考えられています。従って、この状況を今後も継続していくことは大変重要であり、そのためには、子供の移動における安全性の向上が必須要件です。子供の移動の安全性を向上させるための交通安全マネジメントにおいては、交通安全対策を実施すべき地区や地点を適切に抽出することが必要ですが、交通事故自体が稀な現象であるとともに、子供が通る地点は非常に多くあることから、抽出は決して容易ではありません。各地点の潜在的な危険性を定量的に評価し、対策すべき箇所を効率的に抽出することが求められます。

そこで、研究チームは、統計モデルを用いて子供の交通事故の潜在的な危険交差点を効率的に抽出するための手法を構築しました。「本統計モデルの特徴は大きく2点あります。1つ目は、自動車交通ビッグデータから得られる交通量の多寡、交差点構造、土地利用状況といった道路交通環境条件が事故危険性に与える平均的な影響と、過去の事故発生状況を、経験ベイズ法を用いて適切なバランスで組み合わせている点です。2つ目は、豊橋市が独自で地理情報化している通学路・通学班データを用いて、子供の移動量の多寡を道路交通条件の中に組み込んでいる点です。

結果として、潜在的な危険地点を7地点以上抽出する場合には、過去の事故情報だけで抽出するよりも効率的かつ効果的に抽出することができることが示されました。また、日本の子供達は登下校中に限らず、普段の外出においても、慣れ親しんでいる通学路を通る傾向にあり、通学路上での事故が多くなっていることから、『通学路を中心とした交通安全対策を実施する』という現在の方針が間違っていないことも検証することができました。」と研究リーダーである松尾准教授は説明します。

さらに松尾准教授は「本研究は、豊橋市により地理情報化された通学路・通学班データが無ければ成しえませんでした。私は、以前から豊橋市の通学路安全対策アドバイザーを務めており、行政における取り組みとして、2015年に通学路・通学班データの効率的管理・活用を企図し、地理情報化とそのデータ構造を提案した結果、2016年から本格導入されました。当時は、このデータを自分の研究に用いることは全く考えていませんでしたが、6年前の取り組みが現在に活きていると思うと、感慨深いです。今後、他の自治体でも、通学路データの地理情報化や活用が進んでいくことを期待しています。」と述べています。

本研究では、様々なデータから得られる客観的な情報を基に、潜在的危険地点の抽出を行う手法を構築しました。しかしながら、現実の交通状況は複雑であり、データはその一部を切り取っているだけに過ぎません。研究チームは、今後、市民によるヒヤリハットといった主観的な情報を、客観的な情報とどのように効果的に組み合わせるのかについて、研究を進めていきたいと考えています。

Researcher Profile

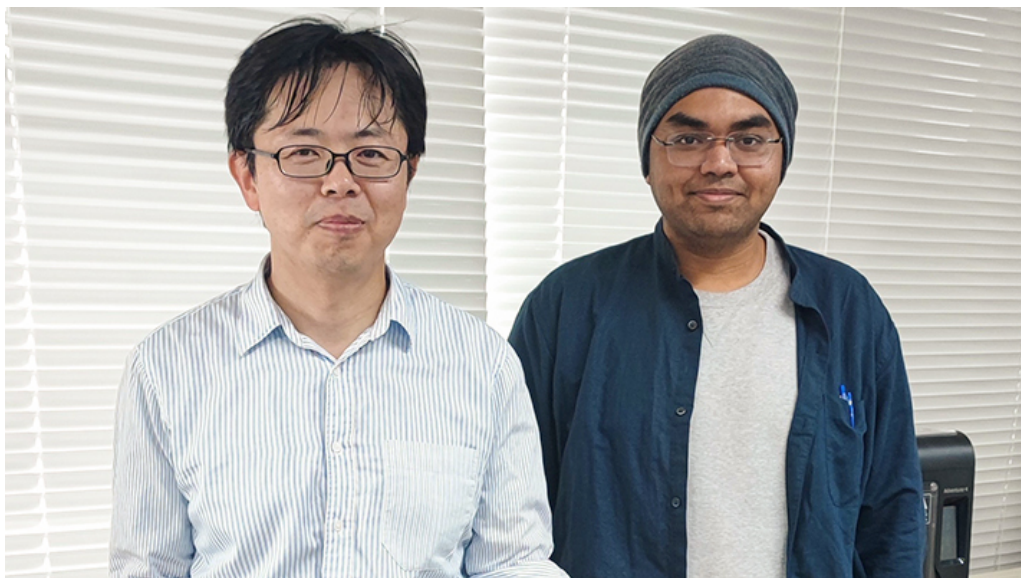


Name	Kojiro Matsuo
Affiliation	Department of Architecture and Civil Engineering
Title	Associate Professor
Fields of Research	Traffic Engineering / Infrastructure Planning
Graduated KOSEN	National Institute of Technology, Nagano College

Automated detection of isolated single cells using microscope images and AI

Contributing to the development of new treatments with single-cell analysis and isolation

Moeto Nagai and Tanmay Debnath



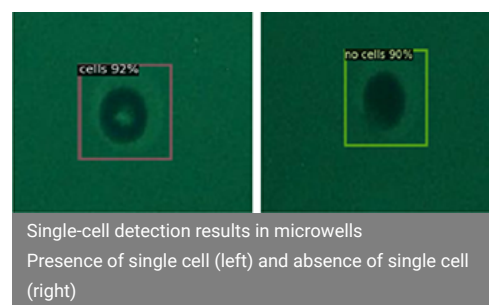
Prof. Moeto Nagai (Left) and Tanmay Debnath (Right)

A research team, led by Professor Moeto Nagai and comprised of researchers from the Department of Mechanical Engineering and Institute for Research on Next-generation Semiconductor and Sensing Science (formerly known as the Electronics Inspired Interdisciplinary Research Institute (EIIRIS), Toyohashi University of Technology, has successfully used AI to achieve single-cell isolation. The method involves using microwells to isolate single cells and then applying deep learning to the microscopic images containing single cells in the microwells. The machine learning model prepared by the team makes it possible to automatically detect single cells in microscopic images and reduce human effort. The acquisition of a large volume of single-cell data allows researchers to efficiently investigate the characteristics and functions of individual cells, which can lead to the establishment of new treatment methods.

A cell is the most basic unit of life, and elucidation of cell characteristics can contribute to a better understanding of diseased cells and thus to the development of new treatment methods. There has been a growing interest in developing methods of isolating single cells to study their functions. However, the physical isolation of single cells requires cell patterning tools. In addition, as the detection of single cells often relies on human eyes and classification, the required human effort has created a bottleneck that has hindered the acquisition of data.

Initially, the research team developed a method of isolating and trapping single cells in microwells of 30 μ m diameter formed in a hydrogel patterned by optical patterning. The micro-patterned hydrogel offers the advantages of convenience and stability. These microwell structures allowed the research team to successfully isolate single human cells from a cell suspension. As hydrogel is highly biocompatible and can withstand a long incubation time in a cell medium, it was possible to extend the observation period of cell behavior.

Next, the research team classified the cells trapped in microwells of 30 μ m diameter in terms of the presence or absence of single cells and used the images as training data to perform deep learning. The object detection model resulting from the learning could then be used to detect the presence of single cells based on input images. This made it possible to predict the presence of single cells with a mean Average Precision (mAP) of 0.989 (the higher the better) and an average inference time of 0.06 seconds (the shorter the better). This algorithm offers high detection accuracy while reducing experiment time, which leads to improving high-throughput single-cell analysis.




At first, the research team used bright-field microscopy images as input datasets, which are commonly used for the observation of single cells, but as these images did not offer high contrast, there were limits to the improvement of the detection capability. Performance stagnated at an mAP of 0.801 and an average inference time of 0.09 seconds. The team then switched to cells stained with fluorescent dyes and the use of fluorescence microscopy images as the input datasets, which allowed them to achieve convergence at an mAP of 0.989 after 1,200 epochs of training. This indicates that preparing high-contrast input datasets, which make it easier for humans to detect the presence of the cells, is also important for the use of AI.

Research team leader Moeto Nagai explains: "We wanted to apply AI to the detection of single cells. As I had been performing mostly experiment-based research, the use of experimental data for AI research seemed to me to be a significant obstacle. However, the participation of graduate student Tanmay Debnath, the lead author of our study, who has experience in the research and development of AI technology, meant that we could rapidly make use of AI and ultimately led to the success of our development."

The single-cell isolation and detection developed by this research can also be used to automatically monitor the activities of single cells. This research achieves accurate and highly reliable automated cell detection, while reducing human labor. Future applications for single-cell analysis include medical engineering applications in a wide range of areas such as cancer diagnosis, immune response, and drug discovery screening, which will contribute to the discovery of new treatment methods.

Reference

Tanmay Debnath, Ren Hattori, Shunya Okamoto, Takayuki Shibata, Tuhin Subhra Santra, Moeto Nagai (2022). Automated detection of patterned single-cells within hydrogel using deep learning, Scientific Reports volume 12, Article number: 18343, DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-22774-0> 

AIで顕微鏡画像から分離した単一細胞を自動検出する

単一細胞解析や分離による新規治療法の確立に向けて

永井 萌土、タンメイ デブナス

豊橋技術科学大学機械工学系と次世代半導体・センサ科学研究所（旧称：エレクトロニクス先端融合研究所）の研究チーム（永井萌土教授ら）は、マイクロウェルで単一細胞を分離後、ウェル内の単一細胞を含む顕微鏡画像に深層学習を適用して、AIを用いた単一細胞検出を実現しました。構築した機械学習モデルにより人の関与を減らしながら、顕微鏡画像から自動的に単一細胞を検出できます。単一細胞データの大量取得により、細胞個々の特徴や機能を効率的に調査することができ、新規治療法の確立につながります。

細胞は生命の最も基本的な単位で、細胞の特性解明は、細胞の病気の理解や新規治療法の確立につながります。単一細胞を分離し、機能を調査するための手法の開発に強い関心が寄せられています。ただし単一細胞を物理的に分離するには、規格化する道具が必要です。さらに単一細胞の検出は、人間の目と判断で行われることが多く、人間の関与が律速となり、データの取得を妨げていました。

最初に、光パターニングで作製した直径30μmのハイドロゲルを用い、内部に単一細胞を分離して捕獲する方法を開発しました。微細加工のフォトリソグラフィーで規格化するハイドロゲルは、簡便かつ安定な利点を持ちます。このマイクロウェル状の構造体により、細胞懸濁液からヒト単一細胞を分離捕獲しました。ハイドロゲルは生体適合性も高く、細胞培地中での長い培養時間に耐えることができ、細胞の挙動を観察する時間も延長できました。

続いて、サイズ30μmのマイクロウェルアレイ内の単一細胞を分類し、細胞ありとなしの画像を教師データとして深層学習を行いました。学習済みの物体検出モデルは、入力画像を元に単一細胞を検出するようになりました。平均適合率0.989（1.0に近いほど良い）、平均推論時間0.06秒（短いほど良い）で単一細胞の存在を予測するようになりました。このアルゴリズムは、高い検出精度かつ実験時間の短縮を可能にし、ハイスループットな単一細胞分析の強化につながるものです。

最初は、入力データに一般的に用いられる観察法である明視野顕微鏡の画像を用いていましたが、コントラストが低いこともあり、検出能力の向上に限界がありました。性能は平均適合率0.801、平均推論時間0.09秒に留まりました。ここで細胞を蛍光染色し、入力データを蛍光顕微鏡画像に変更したところ、上述の平均適合率0.989に1200エポックで収束させることができました。このことは、入力データにコントラストが高く、人間でも見つけやすいデータを用意することが、AIにとっても重要なことを示しています。

研究チームのリーダーである永井萌土は「単一細胞の検出に対し、AIのアプローチを適用したいと考えていました。私は実験系の研究を中心に進めていたことから、実験データをAIの研究に展開することにハードルの高さを感じていました。ここでAI技術の研究開発を行ってきた、筆頭著者で大学院生のTanmay Debnathさんがプロジェクトに参画したことにより、AIの利用を迅速に進められ、開発の成功につながりました」と説明しています。

本研究で開発した単一細胞の分離と検出は、単一細胞の活動の自動観察に用いることができます。本研究により、人間の労力を減らしながら、正確で信頼性の高い細胞の自動検出をすることができます。今後は、シングルセル解析として、がん診断、免疫応答、創薬スクリーニングなどの種々の医用工学応用に展開し、新しい治療法の発見にも結びつけていきます。

Researcher Profile



Name	Moeto Nagai
Affiliation	Institute for Research on Next-generation Semiconductor and Sensing Science (formerly known as Electronics Inspired Interdisciplinary Research Institute)
Title	Professor
Fields of Research	BioMEMS / Biohybrid System / Micro-Nano Mechatronics / MicroTAS / Biofabrication / Micromachining

High-speed, high-precision positioning of stages with unknown vibration characteristics

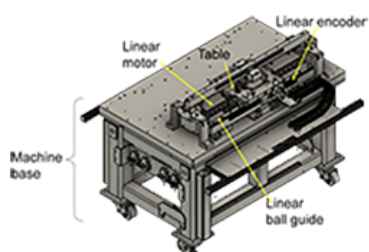
Simple design of high-speed, ultra-precise positioning control system without dynamic model

Kaiji Sato



Professor Kaiji Sato (Center) and his lab members

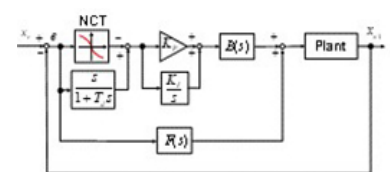
A research team led by Professor Kaiji Sato (Robotics and Mechatronics Laboratory, Department of Mechanical Engineering, Toyohashi University of Technology) revealed a method for designing with ease an ultra-precise positioning control system on the order of 10nm, even if the dynamic model and model parameters of the motion mechanism and the machine base on which it is installed are unknown. This design method provides a control system with an NCTF controller that compensates for unknown nonlinear characteristics, including frictional characteristics, to reach the target position with high speed and high precision and a vibration suppression compensator that quickly compensates for unknown vibration characteristics caused by high-speed driving. Its design is simple, and it can be designed without expertise in control system design or mechanical characteristics.



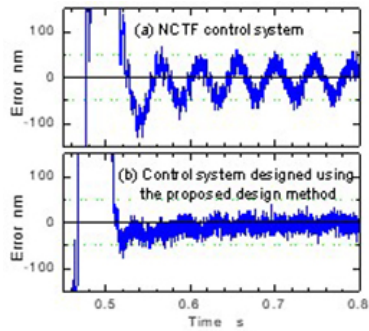
Overview of the ultra-precision stage used in the experiment

In industrial machinery such as machine tools and semiconductor manufacturing equipment, positioning accuracy and high-speed response of the mechanism are basic and important characteristics that affect the performance of the equipment. However, as the required accuracy becomes higher, the micro-dynamic characteristics caused by the mechanism and the machine base on which it is placed (which were not previously an issue) become problematic. A high-speed response generates a large reaction force, which excites each part of the mechanism. The use of active damping devices and hardware improvements are effective in suppressing vibrations, but they limit the range of applications and increase costs. Using a controller that uses detailed mechanical property information is also effective, but it requires more labor and time, and requires the assistance of an expert to make adjustments. Therefore, we propose a method to effectively suppress vibration and achieve ultra-precision positioning by simple controller design and adjustment, while using the hardware as it is, without the need for mechanical property information in advance.

The control system consists of Nominal Characteristic Trajectory Following (NCTF) proposed by Professor Sato and the vibration suppression compensator consisting of a bandpass filter and a differential compensator, and is determined sequentially. The role of the compensator is straightforward, there are few variables to adjust, and it is easy to determine without expert knowledge. The former can be designed by incorporating an open-loop response waveform for a given input signal and adjusting the two gains step-by-step. The latter is completed by determining the two gains sequentially. The resulting control system achieves ultra-precise positioning even for mechanisms with marked nonlinear characteristics such as frictional characteristics. The latter can also be used in combination with other control systems. The effectiveness of the proposed control system design method has been demonstrated by experiments.



Configuration of proposed control system



Benefit of proposed control system

(a) Error of conventional NCTF control system

(b) Error of proposed control system

There is increasing demand for high acceleration, high speed, and improved accuracy in industrial machinery, making it an important issue when developing high-performance industrial machinery. This research was carried out jointly by Professor Kaiji Sato who wants to make use of the insights of his university laboratory in the real world and NEOMAX Engineering which wants to solve problems in cooperation with universities. This paper shows the achievement of the original goal and the basic results.

In the paper, the control system is adjusted to suppress two types of vibration with different properties. There are also scenarios where vibration with many different frequencies occurs, scenarios where the criteria of the vibration to be suppressed are different, and scenarios where the nature of the vibration is different. We want to increase the number of scenarios that can be addressed, and ultimately reveal how to solve these problems holistically.

Reference

Kaiji Sato, Ryouhei Hisamatsu, Kaoru Akamatsu (2023). Controller design for high-speed, ultra-precision positioning of a linear motion stage on a vibrating machine base stage control on a vibrating base. Precision Engineering,

Doi: <https://doi.org/10.1016/j.precisioneng.2022.11.008>

未知の振動特性を持つステージの高速・高精度位置決め

高速・超精密位置決め制御系を力学モデルなしで簡単に設計する

佐藤 海二

豊橋技術科学大学機械工学系ロボティクス・メカトロニクス研究室の佐藤海二教授らの研究チームは、運動機構やそれを設置した機械台の力学モデルやモデルパラメータが未知であっても、10nmオーダの超精密位置決め制御系を簡単に設計できる方法を明らかにしました。この設計法は、摩擦特性を含む未知の非線形特性を補償し、高速・高精度に目標位置に到達させるNCTF補償器と、高速駆動により起振される未知の振動特性を速やかに補償する振動抑制補償器をもつ制御系を提供します。その設計は簡単で、制御系設計に関する専門的知識や力学特性の情報なしで、設計することが可能です。

工作機械や半導体製造装置に代表される産業機械において、機構の位置決め精度と高速応答性は、装置性能を左右する基本かつ重要な特性です。しかし要求精度が高くなると、機構やそれを載せる機械台に起因する、従来問題とならなかった微動特性が問題となります。高速な応答は大きな反力を発生するため、機構各部を励振します。微動振動の抑制には能動制振装置の利用やハードウェア的な改良が効果的ですが、応用範囲が制限され、コストが増大してしまいます。詳細な力学特性の情報を利用したコントローラを利用する方法も有効ですが、必要な労力、時間を増大させ、専門家に調整依頼する必要があります。そこで、ハードウェアはそのまま利用し、事前に力学特性情報を必要とせず、簡単なコントローラ設計・調整により、振動を効果的に抑制し超精密位置決めを実現する方法を提示しています。

制御系は、佐藤教授が提案しているNominal Characteristic Trajectory Following (NCTF) 制御系と、バンドパスフィルタや微分補償器からなる振動抑制補償器より構成され、順次決定されます。補償器の役割は単純明快で、調整する変数が少なく、専門的知識なしで簡単に決定できます。前者は、指定の入力信号に対する開ループ応答波形を組み込み、2個のゲインを手順通りに調整することで設計できます。後者は2個のゲインを順次決定すれば完了します。得られた制御系は、摩擦特性に代表される顕著な非線形特性を持つ機構でも超精密な位置決めを実現します。また後者は他の制御系と組み合わせることも可能です。提示された制御系設計法の有効性は、実験により実証されています。

産業機械の高加速・高速化と精度向上の要求は、ますます高くなっており、高性能な産業機械を開発する際の重要な課題となっています。本研究は、大学研究室の知見を実社会で役立てたいと考える佐藤海二教授と、大学と協力して課題を解決したいというNEOMAXエンジニアリング株式会社の考えが一致し、共同で取り組んで実施されました。当初の目標を達成し、その基本成果を示したのがこの論文です。

論文では、性質が異なる2種類の振動を抑制するように制御系が調整されていますが、さらに多くの周波数の異なる振動が生じる場合や、抑制したい振動の基準が異なる場合、振動の性質が異なる場合などもあります。対応できる場合を増やし、最終的にこれらの問題を総合的に解決する方法を明らかにしたいと考えています。

Researcher Profile



Name	Kaiji Sato
Affiliation	Department of Mechanical Engineering
Title	Professor
Fields of Research	Precision Mechatronics / Robotics /Control Engineering/ Actuator

Understanding the mechanism of non-uniform formation of diamond film on tools

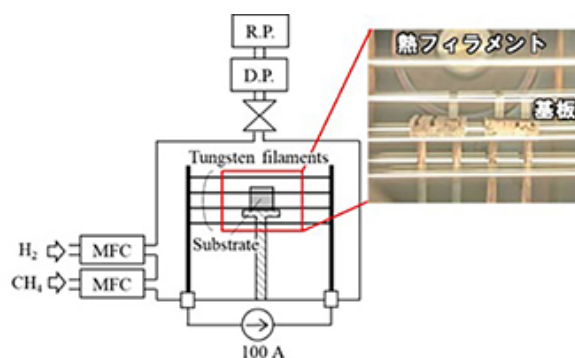
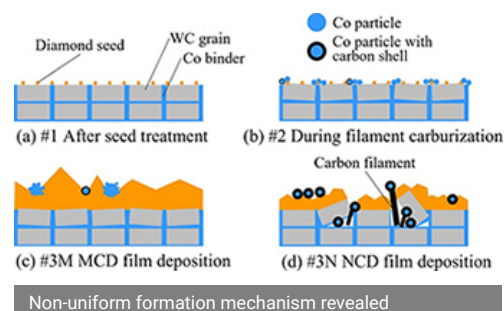
Paving the way to a dry process with less environmental impact

Takahiro Bando



Tools coated with diamond film (diamond-coated tools) are used for difficult-to-machine materials such as CFRP. In the manufacture of diamond-coated tools, a pretreatment is required to remove cobalt from the tool using a liquid in order to achieve a uniform diamond film surface. However, there are concerns about the environmental impact of liquid waste from liquid pretreatment (wet processing), and there is a need to develop a process that does not use liquids (dry processing). A research team led by master's student Yoshinori Saiki, Assistant Professor Takahiro Bando, Lecturer Toru Harigai and Professor Hirofumi Takikawa from the Department of Electrical and Electronic Information Engineering at Toyohashi University of Technology, has revealed the mechanism by which cobalt makes the diamond film surface non-uniform with the aim of developing a pretreatment that does not require wet processing. In particular, the team found that carbon filaments cause non-uniform formation in smooth, low-friction nanocrystalline diamond films, and that inhibition of carbon filaments is key. This study was conducted in collaboration with OSG Corporation (a leading company in the Higashimikawa region) and Nagaoka University of Technology (which has strong ties with our university), making it a unique research project for Toyohashi University of Technology.

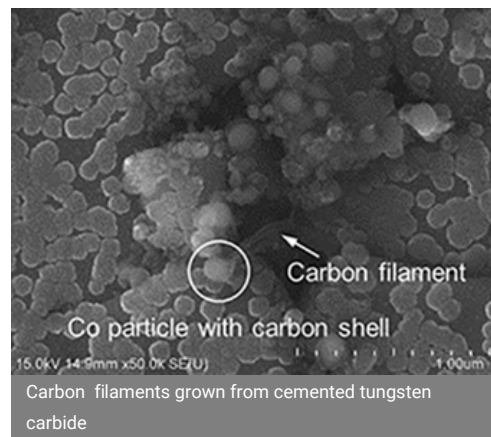
Tools coated with diamond film (diamond-coated tools) are used for difficult-to-machine materials. A typical example of difficult-to-machine materials is carbon fiber-reinforced plastic (CFRP), which is used as a light and hard material to reduce the weight of aircraft and automobile bodies.



Conceptual diagram of HF-CVD deposition apparatus

Tungsten carbide with cobalt as a bonding agent is usually used as a tool for diamond film deposition. Hot filament chemical vapor deposition (HF-CVD) is used as the film deposition technique. The following figure shows the film deposition process. When diamond film is deposited on cemented tungsten carbide by HF-CVD, it is known that the quality of diamond-coated tools deteriorates as the diamond film becomes non-uniform due to cobalt grains. Therefore, a liquid pretreatment is required to remove the cobalt on the cemented tungsten carbide. However, there are concerns about the environmental impact of liquid waste from this treatment (wet processing), so there is a need to develop a process that does not use liquids (dry processing). Our research team initially revealed the mechanism by which cobalt makes the diamond film surface non-uniform with the aim of developing a pretreatment that does not require wet processing. There are two types of diamond films deposited on tools: microcrystalline diamonds and nanocrystalline diamonds. Previous research has proposed a mechanism for non-uniform formation only for microcrystalline diamonds. However, there were no findings about nanocrystalline diamonds, which are considered to be smooth, less frictional, and be more suitable for tools. Secondary, the research team revealed the non-uniform formation mechanism for nanocrystalline diamonds as well as microcrystalline diamonds with time-resolved observation of the deposition process for each. In particular, we found that in nanodiamond, the non-uniform formation is caused by carbon filaments lifting particles on the carbide substrate and making the substrate non-uniform.

The research team also showed that it is important to inhibit carbon filament growth in the initial stage of deposition in order to inhibit the non-uniform formation of nanocrystalline diamond films in dry processing. In future, we plan to develop a deposition technique using HF-CVD in a high-temperature environment that can inhibit the growth of carbon filaments. Furthermore, after establishing a uniform formation process for nanocrystalline diamond films, we plan to apply the process to actual tools and investigate their machining performance.



Reference

Yoshinori Saiki, Takahiro Bando, Toru Harigai, Hirofumi Takikawa, Takahiro Hattori, Hiroaki Sugita, Natsue Kawahara, and Kunihiro Tanaka. Sequential morphology of cobalt from cemented tungsten carbide in microcrystalline and nanocrystalline diamond films by HF-CVD. *Diamond and Related Materials* 132, 109643 (2023), <https://doi.org/10.1016/j.diamond.2022.109643>

工具上ダイヤモンド膜の不均一形成メカニズムを解明

環境負荷の少ないドライプロセスへの道を開拓

坂東 隆宏

ダイヤモンド膜をコーティングした工具（ダイヤモンドコート工具）は、CFRPといった難削材向けの工具として利用されています。ダイヤモンドコート工具の作製においては、ダイヤモンド膜表面を均一とするため、工具上のコバルトを液体により除去する前処理が必要になります。一方で、液体による前処理（ウェットプロセス）では廃液による環境負荷が懸念され、液体を用いない処理（ドライプロセス）の開発が求められています。豊橋技術科学大学 大学院博士前期課程 税木善則、電気・電子情報工学系 坂東隆宏助教、針谷達講師、滝川浩史教授らの研究チームは、ウェットプロセスを必要としない前処理開発に向け、まずは、コバルトがダイヤモンド膜表面を不均一にするメカニズムを明らかにしました。特に、滑らかで摩擦が小さいナノダイヤモンド膜においては、カーボンフィラメントにより不均一形成が引き起こされていることを明らかにし、カーボンフィラメント抑制が鍵となることを明らかにしました。また、本研究は、東三河を代表する企業であるオーエスジー株式会社及び本学と強い結びつきのある長岡技術科学大学との共同研究により実施し、豊橋技術科学大学としての特色ある研究となりました。

ダイヤモンド膜をコーティングした工具（ダイヤモンドコート工具）は、難削材向けの工具として利用されています。難削材の代表例は炭素繊維複合材料（CFRP）であり、軽くて硬い材料として、航空機や自動車の車体の軽量化といった目的に利用されています。

ダイヤモンド膜を成膜する工具としては、通常、コバルトを結合剤として用いた超硬が用いられます。成膜手法としては、熱フィラメントを用いた化学気相成長法（HF-CVD）が用いられます。前述の図に成膜時の様子を示しています。HF-CVDにより超硬上へダイヤモンド膜を成膜する場合、コバルト粒によりダイヤモンド膜が不均一になり、ダイヤモンドコート工具の品質が劣化することが知られています。そのため、超硬上のコバルトを液体により除去する前処理が必要になります。一方で、液体による処理（ウェットプロセス）では廃液による環境負荷が懸念され、液体を用いない処理（ドライプロセス）の開発が求められています。本研究においては、ウェットプロセスを必要としない前処理開発に向け、まずは、コバルトがダイヤモンド膜表面を不均一にするメカニズムを明らかにしました。

工具上に成膜するダイヤモンド膜には、マイクロダイヤモンドとナノダイヤモンドの2種類があり、これまでの研究ではマイクロダイヤモンドのみ不均一形成のメカニズムが提示されていました。一方で、滑らかで摩擦が少なく、工具により適しているとされるナノダイヤモンドについては知見がありませんでした。本研究では、マイクロダイヤモンド及びナノダイヤモンドについて、成膜過程を時分解して観察することで、マイクロダイヤモンドに加えて、ナノダイヤモンドにおける不均一形成メカニズムを明らかにしました。特に、ナノダイヤモンドにおいては、カーボンフィラメントが超硬基板上の粒子を持ち上げ、基板を不均一にすることで、不均一形成が引き起こされていることを明らかにしました。

研究チームは、ドライプロセスにおいて、ナノダイヤモンド膜の不均一形成を抑制するためには、成膜初期段階におけるカーボンフィラメント成長を抑制することが重要であることを示しました。今後は、カーボンフィラメントの成長を抑制可能な、高温環境でのHF-CVDによる成膜手法を開発する予定です。さらに、ナノダイヤモンド膜の均一形成プロセスを確立後、実際に工具へ適用し、切削性能を検証する予定です。

Researcher Profile



Name	Takahiro Bando
Affiliation	Department of Electrical and Electronic Information Engineering
Title	Assistant Professor
Fields of Research	Plasma Physics

"Magic" in the flickering of flames

Fluctuation can be controlled by adjusting the distance between two flames

Yuji Nakamura

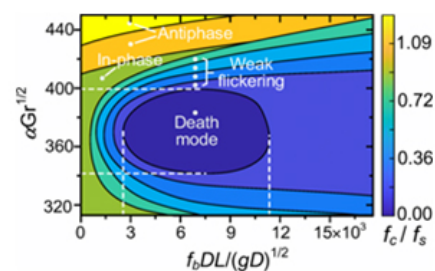
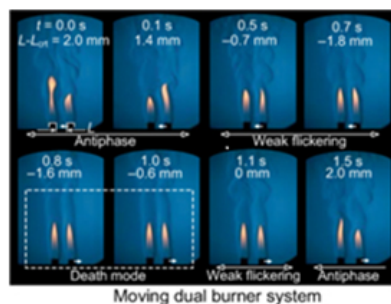


Professor Yuji Nakamura (Center) and his lab members

A research team, led by Professor Yuji Nakamura of the Department of Mechanical Engineering at Toyohashi University of Technology, discovered that the flickering of flames can be freely controlled by moving two flames closer together or further apart. Until now, it had been known that interference between flames separated by a certain distance causes the flames to flicker during in-phase or anti-phase. However, it was not possible to stably express the state of "stopping the flickering of flames" that should occur under critical conditions where the phase changes. The research team succeeded in stably expressing the state of "stopping the flickering of flames" by periodically adjusting the distance between flames closer and further apart. This makes it possible to freely control the flickering of the flames, and to elucidate the essence of flickering flames.

The flickering of flames is a very familiar phenomenon that is easy to observe. At the same time, it is also a mysterious and interesting phenomenon with vast complexity. For example, once the flickering flames have interfered with each other, only the stable flickering mode is selectively expressed. Depending on the distance between the flames, the "in-phase mode" that fluctuates in the same phase and the "anti-phase mode" that fluctuates in the opposite phase are selectively expressed. Also, the frequency of the fluctuation differs among these modes, which is a curious phenomenon. Although it is possible to achieve various fluctuating states in this way, there is no example that shows "stopping the flickering by interfering with the fluctuating flames." In the past, it was shown that this state can be achieved by arranging three flames (known as "death mode" in reference to the complete absence of movement). However, researchers have yet to understand the reason why death mode cannot be achieved with two flames.

When examining this theme, the research team found that the death mode is expressed by adjusting the distance between the two flames closer or further apart in a certain cycle.

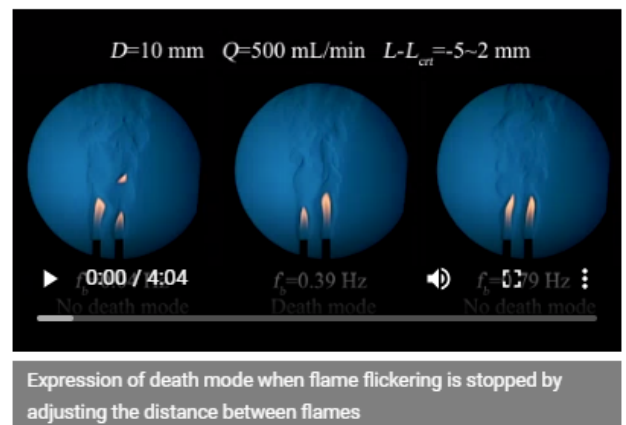


Expression of death mode when flame flickering is stopped by adjusting the distance between flames
Condition when flames are moved (left), Diagram of state (right)

"When conducting experiments involving flame-to-flame interference, flickering will temporarily stop if the flames are gradually brought closer or further apart," explains Dr. Ju Xiaoyu, lead author and researcher at the time of the project. "However, if the flames are kept in that position, they will eventually start flickering again. Since the flames eventually flicker, we know that flickering is a stable state. The fact that there is a delay period until the flames settle into a stable state means that if we can create a situation where flickering can be stopped within that time scale, the flickering should be stopped permanently. We were able to prove that this prediction is correct by periodically adjusting the distance between flames closer and further apart. We also demonstrated that the reason for this phenomenon can be explained by hydrodynamic properties. Moving forward, we will proceed with research aimed at constructing a theory."

"It has been known that the flame flickering mode is determined by interference between flames," says Professor Yuji Nakamura, leader of the research team. "Researchers in applied physics have attempted to explain this phenomenon as nonlinear physics instead of combustion engineering. Nevertheless, their explanation felt inadequate to me due to its failure to consider hydrodynamics. In response, I began to research this theme in earnest. I was amazed to witness a phenomenon in which flickering temporarily stopped in an intermediate state between in-phase and anti-phase flickering. I felt a strong desire to elucidate this mysterious transition state, a theme which has not been addressed by previous research. From the beginning, I had the idea of constantly adjusting the distance between flames to take advantage of the time delay until they settled into a stable state. Ultimately, I was able to organize this method with the help of Dr. Ju."

Professor Nakamura concludes: "Introducing this phenomenon at events such as academic conference is guaranteed to capture the interest of the audience. However, it is just as certain that the audience will, raise questions about possible practical applications, such as 'What is it useful for?' When facing such questions, I always respond by posing a question of my own—"To be honest, I only began researching this phenomenon out of personal curiosity, so let me ask you, in what ways do you think my findings can be used?" This experience has led me to start my research presentations by asking the audience to refrain from questions on practical application. I believe that one appeal of conducting basic research at a university is being able to purely immerse yourself in curiosity, without the need to consider practical application."



Although the research team is not considering practical applications of their research at the present time, they plan to delve deeper into the theme not only through experiments, but also through numerical and theoretical analysis. This will be done in the name of basic research that is unique to universities; that is, through the elucidation of mysterious phenomenon. The team plans to proceed as an international joint research in collaboration with Dr. Ju and many other international researchers who have expressed interest in their research. Through the international dissemination of research ideas originating in Japan, the team would like to showcase to the world that Japan is a place where this kind of (currently impractical) basic research can be pursued to the fullest extent.

Reference

Ju, X., Bunkwang, A., Yamazaki, T., Matsuoka, T., and Nakamura, Y., "Flame Flickering Can Cease under Normal Gravity and Atmospheric Pressure in a Horizontally Moving Dual Burner System", Physical Review Applied, Vol.19, No.1 (2023.1) eid 014060
DOI: 10.1103/PhysRevApplied.19.014060
<https://journals.aps.org/prapplied/abstract/10.1103/PhysRevApplied.19.014060>

ゆらぐ炎の「摩訶不思議」を解き明かす

2つの炎の距離を動かすことでゆらぎは制御できる

中村 祐二

豊橋技術科学大学機械工学系中村祐二教授の研究チームは、2つの炎を互いに近づけたり遠ざけたりすることで火炎のゆらぎを自在に制御できることを見出しました。これまで、ある距離を離れた炎同士が干渉することで、同位相・逆位相で炎がゆらぐことは知られていましたが、位相が移り変わる臨界条件で発現するはずの「炎のゆらぎが止まる」状態を安定して発現させることはできませんでした。研究チームは、「炎のゆらぎが止まる」状態を、炎同士の距離を周期的に近づけたり遠ざけたりすることで安定的に発現させることに成功しました。これにより、炎のゆらぎ状態を自由自在に制御することができ、炎のゆらぎの本質に迫ることができます。

炎のゆらぎとは、普段から容易に観察される馴染み深いものである一方、様々な様相を示す不思議で面白いものでもあります。例えば、一旦ゆらいでいる炎同士が干渉すると安定的なゆらぎモードだけが選択的に発現します。炎の距離に応じて、同じ位相でゆらぐ「同位相モード」、逆の位相でゆらぐ「逆位相モード」が選択的に発現します。また、それらのモードではゆらぎの周波数が異なるといった不思議なことが起きます。このように様々なゆらぎ状態が実現できるのですが、「ゆらいでいる炎を干渉させてゆらぎを止める」ことを示した例はありません。この状態は、過去に3つの炎をある配列することで実現されることが示されましたが（動かない、という意味で「デス・モード」と名付けられました）、何故それが2つの炎ではできないのかが明確になっていませんでした。

そこで研究チームは、2つの炎同士の距離をある周期で近づけたり遠ざけたりすることでデス・モードを発現させることを見出しました。「炎と炎の干渉実験を行うにあたり、徐々に近づけるまたは遠ざけると、途中でゆらぎが一時的に止まります。ところが、その位置に留めておくと、いずれまたゆらぎ始めます。最終的にはゆらぐので、その状態が安定状態であることはわかるのですが、安定状態に落ち着くまでの「遅れ時間」があるならば、その時間スケール内でゆらぎを静止できる状況を作れば、ずっと静止させられる可能性があるのでは、と考えました。そこで、炎の距離を周期的に近づけたり遠ざけたりすることでこの推定が正しかったことを証明することができました。また、この理由は流体力学的な特性で説明できることを示しました。今後は理論構築に向けた研究を進めていきます。」と筆頭著者である研究員（当時）のJu Xiaoyu博士は説明します。

研究チームのリーダーである中村祐二教授は「もともと炎同士の干渉により炎のゆらぎモードが決まることは知られていました。この現象は燃焼工学ではなく非線形物理学として応用物理の研究者によって説明が試みられていましたが、その説明では流体力学的な考察が含まれておらず、無理があると感じました。そこで本格的にこの研究に取り組み始めたのですが、同位相と逆位相のゆらぎの中間状態で一時的に制止する現象を目のあたりにして、こんなことがあるのか、と衝撃を受けました。これまでの研究では一切触れられていないこの奇抜な遷移状態をどうしても解明したいと思いました。安定状態に落ち着くまでの時間遅れを利用するために、炎同士の距離を絶え間なく動かすという発想は当初からもっていたのですが、丁寧な制御が不可欠でした。Ju博士の協力を得てようやく整理することができました。」

中村教授はこう結びます。「この現象を学会等で紹介すると、例外なく聴講者の興味を鷲掴みにできますが、やはり例外なく「一体何の役に立つのですか？」という応用例への質問を受けます。もともと私自身も興味本位で始めただけなので、あなたはと思いますが、と質問で切り返していたのですが、キリがありません。最近では、紹介の冒頭で「役に立たないので応用に関する質問はNGです」と伝えることにしています。応用は一切考えないと割り切り、純粋に知りたいことに没頭できることも大学での基礎研究の魅力と信じています。」

この研究の応用展開は、今も全く考えていませんが、不思議な現象解明を通じて掘り下げるといふ、大学らしい基礎研究として、実験のみならず数値解析や理論解析を通じてさらに進めていく予定です。Ju博士や本研究に対して打診をいただく多くの欧米研究者と共に、国際共同研究として展開してゆきます。この活動を通じて、日本ではこんな（役に立たない）基礎研究が存分にできること、それが許されること自体が他の国と比べられない日本の大学の良いところなのだとすることを、世界に向けて発信し続けたいと考えています。

Researcher Profile



Name	Yuji Nakamura
Affiliation	Department of Mechanical Engineering
Title	Professor
Fields of Research	Combustion / Fire Dynamics / Scale Modeling / Space Engineering / Safety Engineering

Pick Up

I Takeshi Hizawa, Senior Research Specialist from the Research Promotion Division received an "Outstanding Support for Research Award" in the field of science and technology for 2023 from the Minister of Education, Culture, Sports, Science and Technology.

Takeshi Hizawa being awarded an "Outstanding Support for Research Award" in 2023 marked a first for our university. This award was established in 2020 with a view to commending those such as technical support staff who have contributed to the promotion of research and development through their advanced and specialized technical contributions in the field of research.

The award described Dr. Hizawa's achievement as a "Contribution to Advanced Device Research by the Construction of a New Semiconductor Fabrication Environment."

Highly Skilled Professional Staff Takeshi Hizawa of Research Promotion Division
Ph.D. (Eng.) (Toyohashi University of Technology)

On receiving this award, Dr. Hizawa made the following comments:

I am very honored to have received the "Outstanding Support for Research Award" by commendation of the Minister of Education, Culture, Sports, Science and Technology. I would like to convey my heartfelt appreciation to everyone who has provided me with support.

The Institute for Research on Next-generation Semiconductor and Sensing Science at our university has the Venture Business Laboratory (LSI factory) where it is possible to carry out all of the operations involved in the prototyping of semiconductor devices, from design right through to manufacturing and evaluation. Nevertheless, our education and research worksites lacked the equipment required for prototyping, not to mention the required human resources, namely those equipped with advanced, specialized knowledge and the ability to provide technical support for semiconductor fabrication. I examined cutting-edge elemental technologies such as microfabrication and thin-film deposition, as well as integration technologies that optimize the combination of these technologies, and created a new semiconductor fabrication environment to provide tailor-made support to meet the needs of students and researchers. As a result, we were better able to facilitate the inspiration of students and researchers to create new advanced semiconductor devices, which led to numerous academic papers and conference presentations. I believe that the award was a recognition of my efforts to contribute to the progression of research in the abovementioned field.

Moving forward, I shall continue to do my utmost to contribute to the progression of research on next-generation semiconductor devices.



A scene from practical training in the LSI factory



Takeshi Hizawa (Left) and President Kazuhiko Terashima (Right)

On April 19, the award ceremony was held at the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (in an onsite and online hybrid format.) On May 30, our President Kazuhiko Terashima presented the award certificate and a certificate of merit to Dr. Hizawa.

■ 令和5年度科学技術分野の文部科学大臣表彰 研究支援賞を研究推進課 飛沢 健 高度専門員が受賞しました

令和5年度科学技術分野の文部科学大臣表彰において、研究推進課 飛沢 健 高度専門員が研究支援賞を受賞しました。研究支援賞の受賞は、本学初となります。

「研究支援賞」は、研究現場において高度で専門的な技術的貢献を通じ、研究開発の推進に寄与する活動を行った技術職員等を顕彰するべく、令和2年度に創設されたものです。

【研究支援賞】

業績名「新規半導体製作環境構築による先端デバイス研究への貢献」

研究推進課 飛沢 健 高度専門員

学位：博士（工学）（豊橋技術科学大学）

受賞コメント：

このたび文部科学大臣表彰 研究支援賞を賜り、たいへん光栄に思います。支えてくださった皆様に、心から感謝申し上げます。

本学の次世代半導体・センサ科学研究所は、半導体試作における設計・製作・評価までを一貫して行うことのできるベンチャー・ビジネス・ラボラトリー（LSI工場）を有していますが、試作に必要な設備機器と共に、高度な専門知識を有し、半導体製作の技術支援ができる人材が教育・研究の現場から求められていました。私は微細加工、薄膜成膜などの先端の要素技術およびそれらの組み合わせを最適化したインテグレーション技術を検討、新規半導体製作環境を構築し、学生や研究者の要望に応じたオーダーメイド支援を行いました。その結果、学生や研究者の自由な発想から新たな半導体先端デバイスが創造され、多数の学術論文や学会発表に繋がり、当該研究の発展に貢献できた点をご評価いただいたと考えております。

これからも、次世代半導体デバイス研究の発展に少しでも貢献できるように、より一層精進して参ります。

4月19日、文部科学省での表彰式（現地とオンラインのハイブリッド方式）が行われたのち、5月30日、本学にて寺嶋一彦学長が賞状及び記念品を授与し、その栄誉を讃えました。