



# DYNAMICS



機械力学・計測制御部門ニュースNo.73

Feb 13, 2024

## 国際的活動と研究 今までを振り返った教訓

横浜国立大学 大学院環境情報研究院 白石 俊彦

### 1. はじめに

この度、栄えある2022年度日本機械学会機械力学・計測制御部門 部門国際賞を賜り、それに伴い、部門ニュースレターへの寄稿を依頼された。思案した末、自身の経験を書くしかないので、筆者のこれまでの国際的活動とそれに伴う研究について駄文ながら記す。筆者の思い出話だけでは読者の皆様の利益にならないので、そこから得た教訓をお伝えし、特に若手研究者の皆様の今後のご活躍の一助になり得たら幸いである。

### 2. 学生時代：国際的活動の芽生え

最初の国際会議での発表は、博士課程1年のときに長崎で開催されたThe International Tribology Conference Nagasaki 2000 (ITC Nagasaki 2000)で、粒子分散系機能性流体の一種の電気粘性流体 (Electrorheological fluid, ER流体) の機能発現機構の提案とその数値シミュレーションによる検証に関するものだった (Morishita and Shiraiishi, 2000)。当時は、周りに国際会議で発表している学生がいなかったり、インターネットを利用して気軽に英会話学習できるような環境になかったりしたこともあり、非常に手探りで準備を始め、会話での質疑応答については実践的な準備はほとんどできていなかった。発表は、できる限り自分の言葉でその場で考えて伝えるように努力しながらも、よくはないのだが、緊張で言葉が出て来ないときの保険として暗記もしていたので何とかあった。質疑応答で最初の質問は、イスラエルの研究者だった。しかし、質問の内容が、何一つわからない。本当にわからない。非常に熱心に話されていたので、私も何とか答えようと頑張ったが、当時の私には何一つ聞き取れなかった。ただ、聴衆の誰もわからなかった訳ではなく、最前列にいた東京農工大学の山本隆司先生が、小声で日本語で質問内容を教えてくれたので、わかる人にはわかったのだと思う。この経験は非常に強く記憶に残り、それ以降、もう一度あの方に

会ったら聞き取れるようになりたいと強く思い、どうしたらそれができるようになるかを考えるようになった。それまでも英語の授業などで全く聞き取れないということはなかったが、授業のリスニングでの英語は、米国式英語のネイティブスピーカーが話すきれいな発音のものである。英語は、様々な国の方がコミュニケーションを取るための共通言語であることを強く認識した。

教訓：国際会議で刺激を受け次のステップのモチベーションになる。

翌年の2001年の博士課程2年のときには、指導教員の横浜国立大学の森下信先生のご紹介で、米国・ノースカロライナ州のDuke大学のHenri P. Gavin先生の下に、短期の客員研究員として渡航する機会に恵まれた (図1)。Gavin先生は、機能性流体のER流体や磁気粘性流体 (Magnetorheological fluid, MR流体) の装置応用の理論的・実験的研究で著名な先生であり、私の博士論文の内容と大きく関連していた。それまで、私は海外旅行もしたことがなく、いきなり海外で生活することなっ



図1 2001年、Duke大学近くの自身のアパートにて、Gavin先生とのお子様と、帰国直前の緊張味の筆者。

た。今ではノートパソコンやクラウドにデータを入れて行けるが、当時は大きいトランク一杯に書籍や研究資料を詰めて、重い荷物を引きずり、緊張しながら最寄りのローリー・ダーラム国際空港に降り立った。そんな私を、Gavin先生は優しく車で迎えに来てくれた。数日間はホテルに滞在しながら、アパートの契約、電話・電気の契約、銀行口座の開設、電化製品や家具のレンタルなどを一人で四苦八苦しながら英語でやり取りをして何とかこなした。米国の南部であるノースカロライナの英語は難しく、近所を歩いていても、この街で自分が一番英語ができない！と焦るほどだった。何とか生活のセットアップを済ませ、さあ研究を本格的に進めよう、と思った矢先、2001年9月11日の米国同時多発テロが発生した。朝、大学に行くと、ざわついていて様子がおかしく、生協のテレビの前に学生が集まって動向を注視していた。その影響で、爆弾が設置された偽情報があってみんなで非難したり、ATMに入れたキャッシュカードが出て来なくて使えなくなったりと、落ち着かない日々を送った。米国の観光ビザで2か月程度の滞在予定で行ったので、早く何とか研究成果を上げようとしたが、入国後のセットアップと帰国前の準備もあり、思うようには進まなかった。それでも、目に見える研究成果に結びつけようと、帰国後もやり取りをし、何とか米国機械学会（American Society of Mechanical Engineers, ASME）のJournal of Applied MechanicsにGavin先生との国際共同研究の成果を掲載することができた（Shiraishi, et al., 2004）。2か月間で力は付き切らなかつたが、海外でコミュニケーションを取ってやっていくのに何が足りていなくて、どんな勉強や準備をすればよいかを実感できた。その感覚は、当時のノースカロライナの8月の差すような日の光のまぶしさや街の風のおいとともに、今でも昨日のここのように鮮明に記憶している。準備は十分でなくとも、様々な刺激が記憶として鮮明に残る、できる限り若いうちに海外へ飛び出して生活してやっていくことが重要であると強く思う。おそらく、そのような思慮を巡らせて、まだ博士課程の学生で心配な面もある私を、快く海外へ送り出していただいた森下先生には、心から感謝している。

教訓：若いうちの海外生活は自身に何が足りないかを実感させる。

### 3. 若手研究者時代：自身のオリジナルな研究の構築

その後、運よく、20代後半の2003年に横浜国立大学に助手の職を得て、大学教員としてのスタートを切った。研究では、博士論文のER流体・MR流体の基礎・応用研究から、新たに細胞のダイナミクスの研究も立ち上げて、国際会議では機会があるたびに、積極的に発表した。国際会議の中でも、日本人が多いものは、国内の研究者へのアピールとしてはよいが、居心地が良過ぎてどうしても日本人どうしで集まり、海外の研究者との交



図2 2007年、ラスベガスでの国際会議にて、華やかな講演会場でAl-Jumaily先生とリラックスしている筆者。

流が薄くなってしまふ。そこで、厳しくはあるが、日本人があまりいない国際会議でも発表して、海外の研究者と一からコミュニケーションを取るように心掛け、継続的に活動した。そんな中、ASMEの年次大会の国際会議International Mechanical Engineering Congress and Exposition (IMECE)での発表をきっかけに、何の伝手もなかったが、ニュージーランドのAuckland University of TechnologyのAhmed Al-Jumaily先生と親しくなり、2007年からIMECEで「Vibration and Acoustics in Biomedical Applications」というオーガナイズド・セッション(OS)を立ち上げ、毎年オーガナイザとして活動している(図2)。筆者は、機械的振動が細胞に及ぼす影響の研究を行っているが(Shikata, et al., 2008)、国際会議で発表しても、面白がってはくれるが、なかなか真に理解していただけないことも多かった。そこで、Al-Jumaily先生と相談して自らIMECEでOSを立ち上げて活動することとなった。その翌年の2008年には、ASME出版から英文で、他の研究者とも共著で「Biomedical Applications of Vibration and Acoustics in Therapy, Bioeffects and Modeling」という書籍を出版した(Shiraishi, et al., 2008)。さらに、2018年には、Al-Jumaily先生がEditor-in-Chiefとなり、ASMEの学術ジャーナル「ASME Journal of Engineering and Science in Medical Diagnostics and Therapy」の立ち上げメンバーとなり、Associate editorを担当している。この一連の活動をAl-Jumaily先生と行う中で、そのリーダーシップとして、誰とでも積極的に話して密な関係を築いて交遊を広げること、業務連絡やルーチンワークなどは簡潔で非常に素早く、密な関係が築けているからこそ重要なときは少々強引なくらいに道を切り拓いて進めるといったメリハリなど、アカデミアの世界でのリーダーシップの取り方をそばで身をもって学んだ。また、このような人間関係や講演・論文公表の場を築けたからこそ、他の研究者と毛色の違う研究をやっても不安に駆られることなく、海外へ向けても継続して自身のオリジナルな研究を示し続けることができたと思う。その研究成果は、この学

術ジャーナルにて、MR流体を用いた小型ブレーキ付き装具の制御による歩行障害者の転倒防止や (Yamamoto et al., 2022), 低出力超音波パルス治療のための超音波振動子アレイを用いた音響ホログラフィによる力場制御 (Shinato and Shiraiishi, 2024) として掲載するに至った。

教訓：海外で一から活動することはオリジナルな研究構築に繋がる。

#### 4. 中堅研究者時代：国際会議の実行委員長、幹事、プログラム委員長

30代後半には、日本機械学会の機械力学・計測制御部門が中心となる国際会議の運営にも深く関わることになった。2014年には、The 12th International Conference on Motion and Vibration Control (MoViC2014) で幹事を仰せつかった (図3)。国際会議だと様々なイベントや海外研究者の基調講演のための招待などがあるので、予算が豊富かが重要である。実行委員長の慶應大学の西村秀和先生が、ご多用のところ、出張中の航空機の中で書き上げた科学研究費補助金の申請書が採択されて、760万円の外部資金を確保した。これにより、予算に余裕を持って様々なイベントを企画して、多くの参加者を集めることができ、参加者のみなさんに喜んでいただけたのではないかと思う。MoViCで長年先輩方が積み上げられた実績はもちろんだが、忙しい中でも予算のような重要事項は素早く確実に対応することを学んだ。また、30代後半の若い時期に幹事に抜擢いただき、イベントの企画・宣伝・運営、海外の各種委員とのやり取り、様々な国からの参加者の質問や要望に対応など負荷は軽くはないが、MoViCという大きい国際会議の最初から最後まで運営の全体を見渡すことができたことは財産となった。

教訓：負荷があっても運営に携われれば国際会議の全体を見渡せる。

2017年には、隔年で日本と韓国で交互に開催され、日本では4年に1回、Dynamics and Design Conference (D&D) と併催されるThe 5th Japan-Korea Joint Symposium on Dynamics and Control (J-K



図3 2014年、MoViC2014の集合写真にて、笑顔で収まる世界各国からの参加者 (MoViC2014 Website, 2014)。

Symposium) の実行委員長を仰せつかった。これは、機械力学・計測制御部門運営委員会の国際交流委員会の委員長が当時は一人で担当するのが慣例だったが、運良く (運悪く?) その4年に1回の担当に当たった。併催のD&D2017の実行委員長の豊橋技術科学大学の河村庄造先生は私に、「すべて任せたま」と仰られた。現地の対応で河村先生に非常に助けられながら、自身の裁量で自由にできるものの、責任を負いながら企画・運営を行った。まず、講演会場は決まっていたが、懇親会会場は決まっていなかったので検討した。国際会議の懇親会は非常に重要で、特に海外の参加者は楽しみにしているため、決められた予算内でできる限り喜んでいただけるように、現地の方々にリサーチして、事前に自身でも店に足を運んで決めた。その甲斐もあって、参加者には喜んでいただいたようだった (図4)。その際、国内の方々には海外の参加者を誘って懇親会に参加して盛り上げていただき、表に現れない助けのありがたさを実感した。講演会でもこのような助けをいただきながら、前述のとおり運営の全体を見渡した経験があったため、大きな問題もなく実行でき、何とか実行委員長を全うできたのではと思う。

教訓：国際会議の運営の全体を見渡した経験があると実行しやすい。

2020年には、MoViC2020のプログラム委員長を仰せつかった。このときは、コロナ禍で、対面開催にするかリモート開催にするか、開催時期はいつにするかを、日々変化する新型コロナの感染状況を見ながら実行委員会での対応を迫られた。当初は9月に対面開催の予定であった。私事であるが、7月に子供が生まれる予定であったが、その前にはプログラム編成は一段落しそう



図4 2017年、5th J-K Symposiumの懇親会にて、司会をする筆者。現地の方々により店をリサーチし、事前に足を運んで雰囲気を確認して会場決定。

だったため、新生児の世話を考えても何とかかなと思っていた。しかし、新型コロナウイルス感染拡大の影響で、12月にリモート開催となり、講演論文の原稿締切が7月となった。そのため、プログラム委員長としての忙しい時期が、生まれた子供の世話と重なり、また大学教員としては授業などのリモート教材準備や対応が多くあった。新型コロナウイルスの影響で大学に入構できず自宅待機の時期もあり、なかなか思うように対応できなかった。そのため、MoViC2020の実行委員長の日本大学の渡辺亨先生にはご迷惑をおかけして申し訳なく思いながらも、助けていただく場面が多々あり、非常にありがたく思った。これまでは何かあれば24時間すべてを仕事に向けることができたが、家庭を持ったことで、各自のワークライフバランスの中で、そのときのライフステージに応じて、助け合うのこの重要性やありがたさを身を持って認識した。

教訓：ワークライフバランスやライフステージに応じた互助は重要。

これらの国際会議での活動により、国際会議の企画・運営能力を身に付けられただけでなく、研究の進展にも大きく寄与した。委員をしていることで自然と顔や名前を覚えられ、海外の研究者と研究の話をする機会を多く得て、研究を深めることができた。国際会議の後に学術ジャーナルに掲載されるに至ったり (Shiraishi et al., 2022; Nagamatsu and Shiraishi, 2022; Morimura et al., 2022) , 国際会議で議論した海外研究者に学術ジャーナル掲載論文をレビュー論文で取り上げていただいたりした (Masa'id et al., 2023) 。インターネットで多くの情報が得られる時代だが、広く様々な研究に触れ、研究やその研究者について深く知り、互いに強く刺激し合える最良の場として国際会議はあると思う。

教訓：国際会議で運営に参加することは研究の進展にも繋がる。

## 5. おわりに

本稿で述べた様々な貴重な経験を、若いときから筆者に与えていただいた方々に心より感謝申し上げます。国際会議を取り仕切る立場としては、過去に経験がある方々を実行委員に登用すると非常に安心であるが、一方でこのような貴重な経験を多くの方々にしていただきたいとも思う。若手研究者には国際会議などでアピールいただき、また国際会議を取り仕切る立場では新たな人材の育成や登用を積極的に行っていくことが、機械力学・計測制御部門の益々の発展に繋がると考える。

## 文 献

- Masa'id, A., Lenggana, BW., Ubaidillah, U., Susilo, DD., Choi, SB., A review on vibration control strategies using magnetorheological materials actuators: application perspective, *Actuators*, Vol. 12, No. 3 (2023), pp. 113-1-113-34.
- Morimura, K., Yamamoto, R. and Shiraishi, T., Orthosis with a controllable plantar height for fall prevention using a compact magnetorheological fluid brake, *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, Vol. 33, No. 7 (2022), pp. 928-941.
- Morishita, S. and Shiraishi, T., Rheological properties of suspension under electric field—simulation of cluster formation of suspended particles—, *Proceedings of the International Tribology Conference Nagasaki 2000*, Vol. 1 (2000), pp. 529-534.
- Nagamatsu, S. and Shiraishi, T., A simple and novel control strategy for semi-active vibration suppression by a magnetorheological damper, *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, Vol. 33, No. 6 (2022), pp. 811-821.
- Shikata, T., Shiraishi, T., Morishita, S., Takeuchi, R. and Saito, T., Effects of amplitude and frequency of mechanical vibration stimulation on cultured osteoblasts, *Journal of System Design and Dynamics*, Vol. 2, No. 1 (2008), pp. 382-388.
- Shinato, T. and Shiraishi, T., An algorithm for rendering force fields at many and close control points using acoustic holography for ultrasound therapy, *ASME Journal of Engineering and Science in Medical Diagnostics and Therapy*, Vol. 7, No. 1 (2024), pp. 011003-1-011003-8.
- Shiraishi, T., Morishita, S. and Gavin, H. P., Estimation of equivalent permeability in magnetorheological fluid considering cluster formation of particles, *Journal of Applied Mechanics—Transactions of the ASME*, Vol. 71, No. 2 (2004), pp. 201-207.
- Shiraishi, T., Morishita, S. and Takeuchi, R., Effects of mechanical vibration on cultured osteoblasts in relation to fracture healing, *Biomedical Applications of Vibration and Acoustics in Therapy, Bioeffects and Modeling*, Ahmed Al-Jumaily, Azra Alizad, ed., Chapter 4 (2008), pp. 83-93, ASME PRESS.
- Shiraishi, T., Nagamatsu, S. and Misaki, H., High dynamic range and high dispersion stability of a magnetorheological grease damper for semi-active vibration suppression, *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, Vol. 33, No. 3 (2022), pp. 419-431.
- The 12th International Conference on Motion and Vibration Control (MoViC2014) Website, available from < <https://www.jsme.or.jp/conference/MOVIC2014/>>, (参照日 2024年1月29日).
- Yamamoto, R., Itami, S., Kawabata, M. and Shiraishi, T., Effectiveness of an intelligent foot orthosis in lateral fall prevention, *ASME Journal of Engineering and Science in Medical Diagnostics and Therapy*, Vol. 5, No. 4 (2022), pp. 041009-1-041009-10.

# ロータダイナミクスの研究 (製品開発, トラブル対応, 基礎研究)

金子康智  
(龍谷大学 先端理工学部)



## 1. はじめに

この原稿を書き始める一週間前に、二泊三日で熱海で開催された RD セミナー 2023 において「ロータダイナミクスの研究 (製品開発, トラブル対応, 基礎研究)」というタイトルで、若手研究者や技術者向けに 90 分の講演を行いました。この講演は、名古屋大学・井上先生から、ロータダイナミクス分野を活性化させるために、これまでの経験を話して欲しいと依頼されて引き受けたものであり、これまでに担当してきた多くの製品開発の中から特に印象に残っている経験を話しました。講演内容の資料は配布しないということだったので、ありのままの経験を話すことができ、講演後には若手の参加者から多くの質問があり、比較的好評だったようです。今回依頼された「後輩へのメッセージ」では、このときの講演内容の概要を文字に起こして原稿にすることにしました。文字に残すとなると生々しい部分を省かざるを得ないため伝わりにくい部分もあると思いますが、少しでも参考にして頂ければ幸いです。

## 2. 蒸気タービン翼 (綴り翼構造) の開発の経験

学部の卒論や大学院の修論のテーマが「連続体の振動」であったため、修士課程修了後の就職先には、多少なりとも学んだ知識が役に立つのではないかと考え、振動と名の付く研究室がある三菱重工の研究所を志望しました。1981 年 4 月に希望通り、三菱重工業 (株) 高砂研究所振動・騒音研究室に配属され、機械振動グループの一員になりました。入社後 1 年間は見習い期間であり定時退社の毎日でしたが、入社 2 年目から蒸気タービン長翼の開発プロジェクトに投入され、突然忙しくなりました。この開発プロジェクトは、最新技術を利用して既存の蒸気タービン長翼を改良設計するというプロジェクトであり、設計だけでも 3~4 年間は続いたと思います。

当時、三菱重工は米国の Westinghouse 社 (W 社) と技術提携しており、蒸気タービン長翼には、図 1 に示すようにスタブと呼ばれる連結部材を溶接して数枚の翼を結合する綴り翼構造を採用していました。このプロジェクトでは W 社から導入した設計プログラムを使用し、W 社の設計マニュアルを金科玉条にして、設計作業を行いました。

長翼の設計では、性能・強度・工作上の多くの設計クライテリアを同時にバランス良く満足させる必要があります。特に、綴り

翼構造では長翼になるほど多数の振動モードのチューニング (固有振動数の調整) をしなければならないため、設計クライテリアを満足させる翼形状を得るのは本当に大変でした。このため、長翼の設計と並行して設計業務を効率化するためのツールも幾つか開発しました。その一つが自動チューニングシステムです。長翼の設計では、空力設計終了後、基本 5 断面の翼形状のパラメータ (図 2) を調整して、振動数のチューニングを行います。自動チューニングシステムでは、最初に設計変数 (基本 5 断面の翼形状のパラメータ) に対する翼振動数の感度解析を行い、目標の振動数や翼形状に対する制約条件を与えて最適化手法を適用して、設計クライテリアを満足する翼形状が自動的に求まるようにしました。この自動チューニングシステムは結構上手く行き、綴り翼の設計業務に威力を発揮しました。これらの設計システムを開発したのは入社 4 年目頃だったと思いますが、当時は開発業務があまりにも多忙であり、開発したシステムを学会で発表することなどは全く考えていませんでした。その後、多少の余裕が出てきた入社 10 年目頃に当時の上司の勧めもあり、機械学会の論文集に内容を少し修正して、第一著者の最初の論文として投稿しました。

蒸気タービン長翼の開発は製品開発の最初の経験でしたが、この開発では翼の設計だけでなく、製作後のブロック試験 (静止時の振動試験)、テストロータの回転振動試験、実機ロータの工場出荷前回転振動試験、実機ロータの現地テレメータ試験まで一連の業務を経験することができ、その後自分の専門分野になる翼振動の理解に大変役立ちました。

## 3. 蒸気タービン翼 (新構造翼 ISB) の開発の経験

W 社から導入した綴り翼構造 (図 1) には、①溶接部の疲労強度が低下する、②離調しなければならない多数の振動モードが現れる、③翼根が小さく減衰が小さい、などの弱点があり振動に起因する様々なトラブルを起しました。このため、1990 年頃に自主技術で長翼を開発しようという気運が高まり、色々な翼構造について試設計を行い、ベストな翼構造はどうあるべきかを議論しました。その結果、到達した結論が図 3 の ISB (Integral Shroud Blade) 構造です。この ISB 構造は翼とシュラウドを一体にした構造であり、回転中に生じる翼のねじり戻り変形を利用して、隣接するシュラウドやスタブをコンタクトさせます。このようなシュラウド翼構造にす

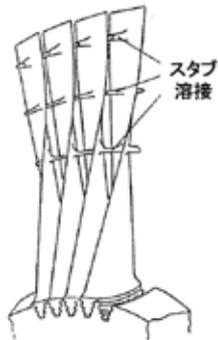


図1 綴り翼構造

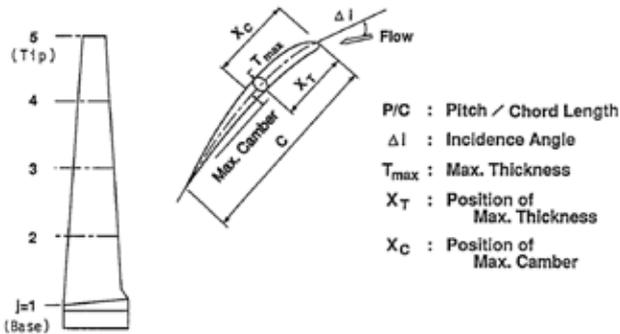


図2 翼の設計パラメータ

ると、溶接部がなくなるだけでなく運転中に全翼を結合した全周リング翼構造にすることにより、振動強度を大幅に向上させることができます。また、機械加工だけで製作することができるため品質も安定します。

翼構造の変更を決めた後は、実負荷試験設備を利用して様々な検証試験を行い、共振応力や摩擦減衰の予測技術を確立しました。結果的には、この翼構造の採用により、蒸気タービン長翼の信頼性が飛躍的に向上しました。過去のトラブル原因を分析し、様々な翼構造について試設計を行い、工作部門、設計部門、研究所の多くの専門家を交えて解決策を議論したことが成功に繋がったと思います。

1995年頃には、技術提携先のW社にISBの振動強度設計法を説明(伝授)するために、設計部門の責任者と二人で米国に出張しました。このときに、蒸気タービン長翼の設計技術はW社の技術から完全に脱却できた

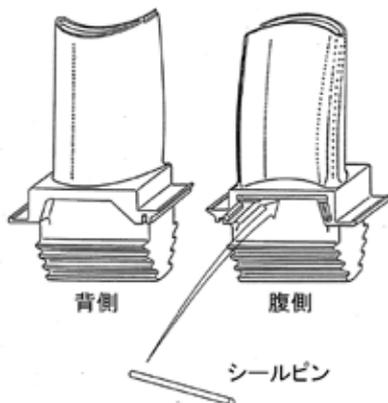


図4 ガスタービン動翼とシールピン

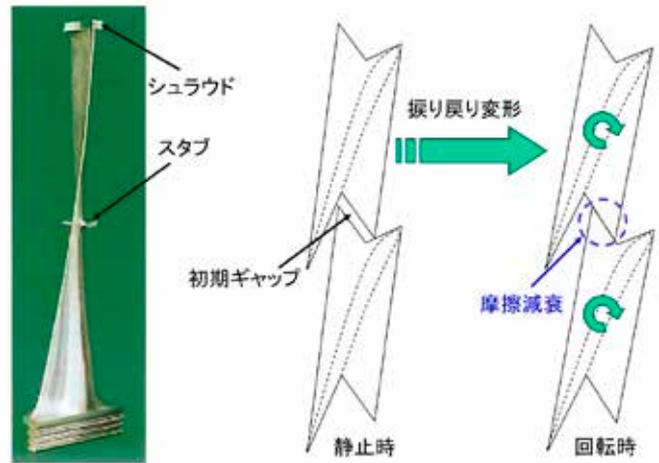


図3 ISB (Integral Shroud Blade) 構造

感じました。因みに筆者は1995年に学位を取得しましたが、学位論文にはISBの開発に適用した振動強度設計技術を纏めています。製品開発やトラブル対応を通して必要に迫られて行った研究で学位が取得できたのは、ある意味幸運だったのかなと思っています。

#### 4. ガスタービン翼の開発の経験

ガスタービン翼の開発には1990年頃から本格的に参入しました。ガスタービン翼でも様々な経験をしましたが、一番印象に残り、かつ最後まで苦しめられたのは、直径約6mmの円筒状のピン(シールピン)でした。図4にガスタービン1段動翼とシールピンの構造を示していますが、シールピンは、本来、主流の高温ガスが翼根部へ流入するのをシールする役目を担っており、回転中は隣接翼のプラットフォーム間に遠心力で押し付けられています。このシールピンも当時の技術提携先であるW社から導入した技術です。ガスタービン翼の設計を開始したときはシールピンを無視して振動計算をしていましたが、試作後の回転振動試験を実施した結果、直径僅か6mmのシールピンが動翼の回転時の振動数や減衰特性に信じがたいほどの影響を及ぼすということを知りました。また、同時期に技術提携先のW社が、シールピンに起因するガスタービン翼の折損事故(共振による折損事故)をASMEの論文で公表したため、シールピンの重要性は社内でも認識されるようになりました。このため直ぐに、ハーモニックバランス法を利用してシールピンを有する翼(シールピンダンパ翼)の摩擦減衰特性を予測する設計ツールの開発に着手するとともに、モデル翼や実翼を利用した検証試験などを行いました。これにより、定性的にはシールピンダンパ翼の減衰特性を予測できるようになりました。しかしながら、摩擦減衰は元々ばらつきが大きく、シールピンの経年的な変形などを考慮すると減衰特性を定量的に予測するのは至難の業でした。摩擦減衰を利用したシールピンダンパ翼は正しく設計すれば信頼性向上に寄与しますが、設計を間違えるとトラブルの原因になり得るなど、直径僅か6mmのシールピンからは多くのことを学びました。

シールピンダンパ翼の減衰特性予測技術に関しては、現在も三菱重工の後輩が予測技術の改良を続けているため予測精度は格段に向上していますが、更なる改良を続けて欲しいと思っています。

### 5. ポンプ水車ランナの開発の経験

蒸気タービンやガスタービンでは、翼設計を通して製品知識を得てからトラブル業務に対応しましたが、ポンプ水車ランナでは入社3年目位に重大トラブルが発生したため、製品知識がほとんどないままトラブル業務に対応しました。ポンプ水車ランナは、図5に示すように二重円板の間にランナベーンを挿入する構造であり、ランナの振動モードは節直径を有する円板型の振動モードになります。1970年代後半からポンプ水車の大容量化、高落差化を進めていく過程で、ガイドベーンとの翼列干渉力による共振が原因で、落差500m級のポンプ水車のランナベーンに多数の亀裂が発生しました。このトラブルについては多くの論文が公表されているので、ご存じの方も多いと思います。国内全てのメーカーが同じトラブルを同じ時期に経験し、当時は大きな問題になりました。このトラブルの原因は、大容量化のためにランナの直径を大きくしたため円板モードの固有振動数が下がり、これまで問題にならなかった翼列干渉力との共振が発生したということですが、この事故原因を究明していく過程でポンプ水車ランナに特有の多くの振動事象を学びました。

式(1)はランナ(羽根車)の共振条件式です。この式は、今では、羽根車の設計者であれば誰でも知っていると思います。

$$\omega_k = nZ_g\omega, \quad nZ_g \pm k = mZ_r \quad (1)$$

$Z_g$ はガイドベーンの枚数、 $Z_r$ はランナベーンの枚数、 $\omega$ は回転数、 $\omega_k$ はランナの固有振動数、 $k$ は振動モードの節直径数、 $n$ 、 $m$ は任意の整数です。式(1)の最初の式は加振力の振動数とランナの固有振動数が一致するという条件であり、2番目の式は加振力からランナへ供給されるエネルギーが零にならないための条件です。当時は全てのメーカーが $Z_g = 20$ 、 $Z_r = 6$ を採用してお

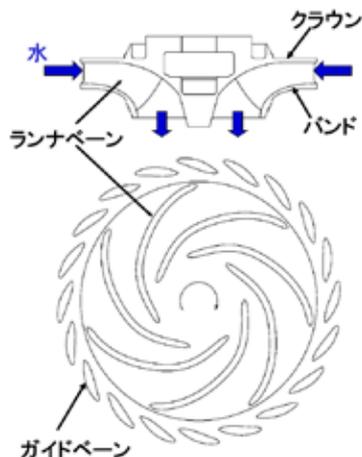


図5 ポンプ水車ランナの構造

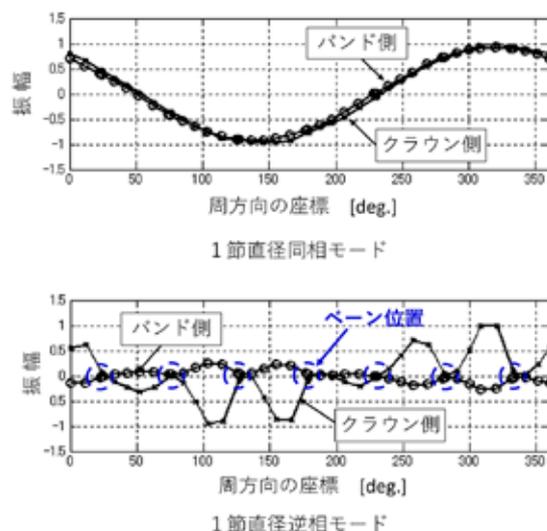


図6 ポンプ水車ランナの1節直径モード ( $Z_r=7$ )

り、ランナの直径を大きくしたため $\omega_k$ が低下して2節直径モード ( $20-3 \times 6=2$ ) の共振が発生したことがこのトラブルの直接の原因です。ただし、式(1)自体はCampbellの時代から蒸気タービン翼の設計者には良く知られていました。機種毎の技術の横通しがなかったこともこの事故の遠因になっているように思います。

このトラブルの原因究明を開始した当初は、式(1)から誰もが2節直径の1次モード(クラウンとバンドが同相で振動するモード)が共振したと思っていました。当時はランナの水中固有振動数を解析する技術がなく、付加質量のマニュアルを使用して水中の固有振動数を見積もると空気中の7~8割になるため、2節直径の1次モードの共振と信じて色々な検討をしていました。ところが、ランナに歪ゲージを貼り付けて共振応力を計測すると、クラウンとバンドが逆相のモードが応答し、同相モードは全く応答しないことが分かりました。その後の検討により、上カバーとクラウンとの間の隙間の水の付加質量効果により固有振動数が空気中の4割位まで低下すること、翼列干渉力による圧力変動はクラウンとバンドを押し広げるように作用するので逆相モードしか応答しないことなど、今では常識として語られることがこのとき始めて分かりました。また、図6に $Z_r=7$ の1節直径同相モードと逆相モードの例を示していますが、 $k=1$ の逆相モードは周方向に1個、および $Z_r \pm k=6, 8$ 個の波の重ね合わせになり、ベーンが取り付けられている位置で相対変位が零になるモードを形成するなど、実機で発生する事象が理論通りに説明できることも分かりました。

大学へ異動後は学会の講習会などで羽根車の振動について講演する機会がありますが、そのほとんどはこのトラブルの原因を究明していく過程で学んだことがベースになっています。また、このトラブルを契機にして開発した解析技術はポンプ水車だけでなく遠心圧縮機やターボチャージャにも適用されており、このトラブルから得た教訓は羽根車の振動強度設計技術の向上に大きく貢献していると思います。

## 6. 大学に異動後の基礎研究

三菱重工で約30年間勤務した後、大学に異動しました。企業時代と大学では研究環境が全く変わりましたが、大規模解析モデルの作成や実験装置の製作などは企業時代の関係者にサポートして頂くことができたので、大学でも企業時代と同じ研究テーマに取り組むことができました。また、企業時代の研究はビジネスであり、研究成果を適用する製品や時期、さらには得られる利益を説明できなければ認めて貰えませんでした。大学に異動後は自由に研究テーマを選べるようになったため、物理現象に着目した興味本位の研究を行うことができました。

大学に異動後もロータダイナミクス分野の色々なテーマに取り組みました。その中でも一番時間を割いて取り組んだ研究テーマは、企業時代から継続的に取り組んでいる翼・ディスク系のミスチューニング現象です。この研究については、ニュースレター No.71 で紹介させて頂いているので割愛させていただきますが、興味の尽きることのないテーマでした。

## 7. おわりに

改めて自分の研究経歴を振り返ると、製品開発とトラブル対応がその原点にあるような気がします。これまでの研究テーマは、製品開発やトラブル対応を通して必要に迫られて行った研究が全てですが、40年以上に渡りこの分野の研究を続けることができたのは、実機で発生する摩訶不思議な現象に興味と好奇心を持ち続けたためだと思います。ロータダイナミクスの分野には未解明な現象がまだまだ数多く残されています。研究テーマは尽きることがありません。つぎの世代を担う若手研究者、エンジニアの活躍に期待したいと思います。

# No. 24-15 Dynamics and Design Conference 2024

## 併催：第 67 回理論応用力学講演会

総合テーマ：「ダイナミクスを礎に全体俯瞰・共創・共育し未来を拓く」

URL <https://pub.conf.atlas.jp/ja/event/dmconf24>

**企画** 機械力学・計測制御部門  
**開催日** 2024年9月3日(火)～7日(土)  
**会場** 神奈川大学 みなとみらいキャンパス  
**協賛** 計測自動制御学会, システム制御情報学会, 自動車技術会, 情報処理学会, 人工知能学会, 精密工学会, 電気学会, 電子情報通信学会, 土木学会, 日本音響学会, 日本原子力学会, 日本建築学会, 日本工学教育協会, 日本航空宇宙学会, 日本神経回路学会, 日本スポーツ産業学会, 日本設計工学会, 日本船舶海洋工学会, 日本鉄鋼協会, 日本トライボロジー学会, 日本知能情報ファジィ学会, 日本フルードパワーシステム学会, 日本ロボット学会, 農業食料工学会, バイオメカニズム学会, 日刊工業新聞社, 日本地震工学会, 日本非破壊検査協会 (予定含む)

**要旨** Dynamics and Design Conference 2024 (D&D2024) は、「ダイナミクスを礎に全体俯瞰・共創・共育し未来を拓く」を総合テーマとして、神奈川県横浜市中区で、発表は対面を基本とするハイブリッドで開催(予定)いたします。例年のように、機械力学・計測制御分野に関連したオーガナイズド・セッションの各テーマのほか、第67回理論応用力学講演会が併催され、また、日本機械学会分野連携企画として、5部門(交通・物流部門、ロボティクス・メカトロニクス部門、バイオエンジニアリング部門、情報・知能・精密機器部門、環境工学部門)との合同セッションも企画いたします。さらに、特別講演、懇親会、機器展示、フォーラム、チュートリアル、パネルディスカッション、特別企画などの付随行事も予定しております。

多くの皆様のご参加を心よりお待ちしております。

**備考** 研究発表は、1頁から12頁までの予稿で発表いただけますので、企業などの皆様も積極的にお申し込みをいただき、活発な議論にご参加ください。また、優秀な講演発表者は、学会本部(若手優秀講演フェロー賞)および当部門(オーディエンス表彰)の規定に従って表彰されます。さらに、部門連携に係るセッションでの発表については、新たな分野融合研究表彰も適用されます。

JSTの人材求人サイトJREC-INの研究分野において、当該部門に関する分野が「ものづくり技術」から「情報通信」に移行されました。当該部門の社会に対する貢献は多岐に渡るためわかりにくさがあります。D&D2024においては、当該部門のメッセージを配信するため、部門の社会に対する貢献を表すキャッチフレーズを募集し、コンテストを実施いたします。募集は開催前から開始いたしますので、別途ご案内をご覧ください。

**講演申込締切** 2024年3月15日(金)

**申込方法・募集分野**

上記のホームページにてご確認ください。

**論文提出締切** 2024年7月1日(月)

**問合せ先**

**D&D2024 実行委員会** (dd2024@jsme.or.jp)

**D&D2024 実行委員長** 山崎 徹 (神奈川大学)

**副委員長** 高橋 正樹 (慶應大学)

**幹事** 中村 弘毅 (日本自動車研究所)

## 年間カレンダー

機械力学・計測制御部門講演会等行事予定一覧

### - 2024 年度の開催予定行事について -

新型コロナウイルス感染症の拡大の影響に応じて、各行事のスケジュールや開催形態に大きな変更が予想されます。詳細につきましては、部門ホームページまたは学会ホームページにて最新情報をご確認ください。

開催行事予定(講演会)

開催日	名称	開催地※1
2024年 8月 5日～ 8日	第17回「運動と振動の制御」国際会議(MoViC2024) & 第20回アジア太平洋振動会議(APVC2024)	日本大学 駿河台キャンパス
2024年 9月 3日～ 7日	Dynamics and Design Conference 2024 & 第67回理論応用力学講演会(※併催)	神奈川大学 みなとみらいキャンパス
2024年 9月 8日～11日	2024年度年次大会	愛媛大学 城北キャンパス

開催行事予定(講習会)

開催日	名称	開催地※1
2024年10月頃	講習会 回転機械(ターボ+モータ)の振動:基礎および事例研究ならびにデモ実習	ハイブリッド開催※2
2024年10月末	振動分野の有限要素解析講習会(計算力学技術者2級認定試験対策講習会)	オンライン開催
2024年11月頃	講習会 マルチボディダイナミクス入門	オンライン開催
2024年12月頃	講習会 振動モード解析実用入門-実習付き-	ハイブリッド開催※2
2025年1月下旬	講習会 回転機械の振動	ハイブリッド開催※2
2025年2月上旬	講習会 Pythonによる機械システムの振動解析の基礎	ハイブリッド開催※2

※1 情勢にあわせてオンライン開催となる可能性もございます。

※2 日本機械学会 会議室と Zoom でのオンライン併催

## 部門主催講習会情報

総務委員会 委員長 中村 弘毅 (日本自動車研究所)

企画委員会 委員長 高橋 正樹 (慶應義塾大学)

今年度は以下の通り部門主催講習会を開催してまいりました。

- 「モータ駆動およびその電動システムの騒音・振動低減化技術」  
(2023年7月11日(土)、JSME会議室+オンライン開催、参加者数54名)
- 「回転機械(ターボ+モータ)の振動: 基礎および事例研究ならびにデモ実習」  
(2023年10月11日(水)~12日(木)、JSME会議室+オンライン開催、参加者数12名、講師: 松下修己先生ほか)
- 「振動分野の有限要素解析講習会」  
(計算力学技術者 2 級認定試験対策講習会)  
(2023年10月28日(土)、オンライン開催、参加者数35名、講師: 吉村卓也先生、山本崇史先生)
- 「マルチボディダイナミクス入門」  
(2023年11月20日(月)、オンライン開催、参加者数26名、講師: 安藝雅彦先生、岩村誠人先生)
- 「振動モード解析実用入門 -実習付き-」  
(2023年12月19日(火)~20日(水)、JSME会議室+オンライン開催、参加者数34名、講師: 御法川学先生ほか)

### ●「回転機械の振動」

(2024年1月24日(水)~25日(木)、JSME会議室+オンライン開催、参加者数15名、講師: 松下修己先生ほか)

また以下の講習会を開催予定です。

### ●「Python による機械システムの振動解析の基礎」

(2024年2月15日(木)、JSME会議室+オンライン開催、講師: 松下修己先生ほか)

今年度はオンラインならびに対面+オンラインのハイブリッドでの開催となりました。ハイブリッド開催の講習会へのオンライン参加も好評ということもあり、来年度もハイブリッドでの開催を軸に各種講習会の開催を企画しております。詳細決定後にインフォメーションメール等でご案内いたしますので、積極的なご参加をお願い申し上げます。

また、ご希望の講習会テーマや、講習を聞きたい講師の方などがございましたら、総務委員会または企画委員会までお知らせ下さい。

## 広報委員会からのお知らせ

委員長 森 博輝 (九州大学)

副委員長 貝塚 勉 (工学院大学)

広報委員会では、HPの設置を検討中の部門所属研究会の一助となることを目的として、予め最低限の情報が記載されており手軽に利用することのできるGoogleサイトのひな型を用意いたしました。HP設置後の管理および運営に部門として関わるものではありませんが、利用を希望される研究会はdmckohou@gmail.com (広報委員会メールアドレス)までご連絡いただければ幸いです。

年2回のニュースレターの発行、部門ホームページの管理運営、インフォメーションメールの配信依頼、機械工学年鑑の執筆依頼に関する対応についても継続して進めています。引き続き皆様のご協力をお願い申し上げます。

# 表彰委員会からのお知らせ -2022年度部門表彰式の報告-

委員長 矢部 一明 (東洋エンジニアリング)

副委員長 小松崎俊彦 (金沢大学)

2022年度の部門賞と一般表彰の表彰式が、2023年8月30日(水)に名古屋大学東山キャンパス(愛知県名古屋市)で開催されたD&D2023にて執り行われました。

2022年度部門長兼D&D2023実行委員長である井上剛志教授より、5名の部門賞受賞者と6名の部門一般表彰受賞者に表彰状と記念品が贈呈されました。受賞者は下記の通りです。なお、受賞者の紹介と業績等の詳細は、D&D2022のWEBページ、日本機械学会の当部門のWEBページの部門賞にも掲載されます。

受賞者の皆様の栄誉を讃えると共に今後の益々のご活躍を祈念いたします。(所属等は受賞決定当時のもの)

## 1. 部門賞受賞者

### ○部門功績賞 雉本 信哉 (九州大学)

96期部門長(2018.4~2019.3)を務め、部門活動に精力的に取り組まれました。また、2019年8月に開催されたD&D2019では実行委員長を務め、部門の発展に大きく寄与されました。

### ○部門国際賞 白石 俊彦 (横浜国立大学)

国際連携委員会の委員を8年以上継続され、MoViC2020のProgram Committee Chair, 第5回JKシンポジウムOrganizerを担当するなど、部門国際会議運営に大きく貢献されました。

### ○学術業績賞 梶原 逸朗 (北海道大学)

知的構造システムに関する研究に長年取り組み、同分野において多くの業績を上げており、さらに後進の研究者育成にも大きく貢献されました。

### ○技術業績賞 廣田 和生 (三菱重工業株式会社)

「高速炉の炉心耐震解析」, 「蒸気発生器U字型伝熱管群の流力弾性振動評価手法の高度化」など、原子力機器の流体関連振動及び耐震設計の研究において顕著な成果を挙げられました。

### ○パイオニア賞 石川 論 (九州大学)

数値流体力学の新しいモデル化手法を提案され、従来の非線形振動解析の適用範囲を拡大するとともに、従来の数値流体力学では難しい求解、安定判別、モデルの縮減を実現されました。

## 2. 部門一般表彰受賞者

### ○部門貢献表彰 (4名, 順不同)

瀧上 唯夫 (公益財団法人鉄道総合技術研究所)

2021年度機械力学・計測制御部門幹事として部門の活性化に寄与されるとともに、D&D2022では実行委員会幹事として尽力され講演会を盛会に導かれました。

有我 祐一 (山形大学)

機械力学・計測制御部門に関する深い造詣から関連する多くの論文の査読に携わり、論文集の発刊ひいては学術の振興や本学会の発展に大いに貢献されました。

川合 忠雄 (大阪公立大学)

「診断・メンテナンス技術に関する研究会」の発足当時から幹事・主査を歴任しその活動を中心に支え、長年にわたる「評価・診断に関するシンポジウム」の開催等、分野・学会横断活動にも大きく貢献されました。

松田 博行 (新川電機株式会社)

機械状態監視資格認証事業においては20年以上当該事業に関わり委員長等要職を歴任され、振動工学データベース研究会(通称 v\_BASE)においても幹事を務め同会の発展に大きく貢献されました。

### ○オーディエンス表彰 (2名, 順不同)

(D&D2022 優秀発表者)

加藤 由幹 (広島商船高等専門学校)

「画像相関法と圧縮センシングを用いた構造物の振動モード同定手法の開発」

齊藤 亜由子 (工学院大学)

「痙性麻痺に起因する歩行障害の運動学的評価に関する研究」

## 企画委員会からのお知らせ

委員長 高橋 正樹 (慶應義塾大学)

幹事 萬 礼応 (筑波大学)

企画委員会は、次期以降の当部門の活動について広く扱う委員会で、委員長は次期部門長(現副部門長)、幹事は次期部門幹事候補が務めています。主な活動は、1) 次期予算編成、2) 講習会の計画・企画、3) 次期以降の部門運営に関わる企画立案、4) 次期以降の学術交流活動に関わる企画立案、です。

当部門はD&Dをはじめとする講演会や学術誌への論文投稿など、日本機械学会の活動に大きく貢献しています。また、伝統的に多数の研究會活動を通じた産官学の技術者交流も活発で、機械力学・計測・制御に関する講習会も多数企画・開催されています。

今年度の企画委員会は、山崎部門長と中村部門幹事と共に部門活性化のために、他部門との連携企画の立案に注力いたしました。具体的には、来年度のD&D2024において、

以下の部門との合同OSなどを企画しております。

- ・交通・物流部門
- ・ロボティクス・メカトロニクス部門
- ・バイオエンジニアリング部門
- ・情報・知能・精密機器部門
- ・環境工学部門

他部門との連携を図る機会を設け、学際的な連携、議論の場を提供してまいりたいと考えております。

当部門登録会員の皆様のなかにも部門行事に対する様々な期待や要望・アイデアをお持ちの方が多くおられると思います。それらのご意見やお考えを、簡単でも結構ですのでぜひ企画委員会へお寄せください。当部門を少しでもより活気のある部門にして次につないでいきたいと考えておりますので、どうぞよろしくご厚意申し上げます。

## 国際交流委員会からのお知らせ

委員長 松岡 太一 (明治大学)

副委員長 齋藤 彰 (明治大学)

2023年8月30日に、名古屋大学において、D&D2023に併催という形で、第7回JSME-KSMEダイナミクスと制御に関するジョイントシンポジウム(The 7th Japan-Korea Joint Symposium on Dynamics & Control)を開催しました。当初、8月30日および31日の二日間を予定していましたが、発表件数を鑑みて30日の一日間での開催に変更しました。

2008年に、本会機械力学・計測制御部門と韓国機械学会(KSME)機械力学・制御部門の間で部門交流協定が締結されました。この協定では、日韓両国が交代で2年に一度、部門講演会に併催の形で「ジョイントシンポジウム」を開催し、両国の研究者・学生の学術的・人的交流を行うことを定めております。第1回は2009年8月に札幌、第2回は2011年5月に韓国・釜山、第3回は2013年8月に福岡、第4回は2015年5月に韓国・釜山、第5回は2017年8月に豊橋、第6回は2019年5月に韓国・ソウルで開催されました。

第7回は、本来は2021年に行われる予定でしたが、コロナ感染症予防のため延期が続き、4年ぶり、コロナ感染症が収束して初めての開催となりました。参加者数が読めない点や本シンポジウムが日韓両国の研究者同士の対面での交流を重視している点を鑑み、KSME側の窓口であるJeong Hyun

Sohn氏(Pukyong National University)と事前に協議し、特別講演は用意せず、ジョイントシンポジウムをリスタートさせるという意志を相互に確認し、事を進めました。

事務局側の負担軽減を目指して、講演申込は3月下旬にWeb上のFormsで行い、Final Paperは6月末を期日として事務局宛にメール送付としました。講演論文集およびプログラムはWeb(<https://www.jsme.or.jp/conference/jks2023>)上での公開とし、参加登録についてもWeb上で事前にクレジットカード決済(会員14,000円、学生4,000円、懇親会費含む)としました。今回のシンポジウムでは、日本から24件、韓国から10件(申込時11件)の計34件の発表がありました。シンポジウム当日は、来日された7名の教授陣と共にランチ会で懇談し、交流を深めました。懇親会は30日夕に行われたD&Dの懇親会に相乗りする形で行い、KSMEのDynamics and Control部門長であるJin Hwan Choi氏(Kyung Hee University)からの挨拶を頂き、参加者からは好感を得ました。

開催に当たり、機械力学・計測制御部門の関係者、および現地の実行委員と学生に、多大なご協力をいただきました。厚く御礼申し上げます。

## 資格認定委員会からのお知らせ

委員長 山崎 徹 (神奈川大学)

日本機械学会「計算力学技術者」認定事業「振動分野の有限要素法解析技術者」の2023年度の認定試験が、12月1日(金)に1級、12月7日(木)に2級がCBT (Computer Based Testing) 式にて実施されました。2級は181名、1級は83名が受験し、合否発表は3月上中旬となります。上級アナリスト認定試験では、2023年度は4名が認定されました。初級は毎年1月から12月の書類審査にて、2023年度は14名が認定されました。

また、機械力学・計測制御部門では、計算力学技術者資格2級の受験サポートのために、対策講習会を開催しており、2023年度は10月28日(土)にオンラインにて開催いたしました。2024年度も同様に10月の土曜にオンライン開催で実施する予定であります。詳細は、機械力学・計測制御部門 ホームページ内のイベントカレンダー (<https://www.jsme.or.jp/dmc/Lecture/index.html>) で案内いたしますのでご確認ください。

さらに、本認定事業は2023年度に20周年を迎え、以下のように20周年イベント事業を企画しております。詳細は、学会ホームページなどをご覧いただき、ご参加をご検討ください。

案内：計算力学技術者資格認定事業20周年式典

開催日時：2024年3月24日(日)

式典：15:00～17:00 祝賀パーティ：17:10～19:10

定員：対面：100名、オンライン：定員制限なし

※対面参加者は上級アナリスト認定者を優先します

対面会場：明治記念館・鳳凰の間

(東京都港区元赤坂2-2-23)

式典参加費用 無料



編集室

日本機械学会機械力学・計測制御部門  
〒162-0814 東京都新宿区新小川町4番1号  
KDX飯田橋スクエア2階

電話 03-4335-7610

FAX 03-4335-7618

編集責任者 森 博輝 (九州大学)

編集委員 貝塚 勉 (工学院大学)

部門ホームページ：<https://www.jsme.or.jp/dmc/>

発行日 2024年2月13日