

令和の研究スタイルで進める衝撃波工学

工学研究院機械知能工学研究系 テニユアトラック准教授

市原 大輔



をさせていただいた後、研究ハイライトとして我々の研究グループにおける主要なテーマであるプラスト波で駆動する高速粒子射出器について主要な概説させていただきます。

自己紹介

明専会会員の皆さま、こんにちは、市原大輔と申します。2024年度より工学研究院機械知能工学研究系にテニユアトラック准教授として着任しました。この度、明専会広報委員会からのご依頼を受け、自己・研究紹介をさせていただく次第です。現在私は高速流れの象徴的な現象である「衝撃波」と、物質の第4の状態として知られる「プラズマ」の2つのキーワードを基に、航空宇宙分野での応用を想定した研究を展開しています。また、4年ほど前より衝撃波の医療・アグリ分野への応用にも注力し研究の対象を広げてまいりました。本記事では初めに自己紹介

幼いころより空を飛ぶ物が大好きで、ジブリ映画「紅の豚」とマイケル・ベイ監督の映画「アルマゲドン」とを何度も何度も見ていた記憶があります。その流れで『将来の夢は宇宙飛行士!』と宣言するようになり名古屋大学工学部機械航空工学科(現・機械航空宇宙工学科)に進学しました。学部・修士課程と宇宙工学に係る研究に従事し、宇宙好きの大学生として過ごしたと思います。修士課程修了後は民間企業の知的財産統括本部へ新卒として入社しました。ただ、民間企業での就労は1年で終了し、名古屋大学の出身研究室へ博士後期課程の学生として戻りま

した。電気宇宙推進機に係る研究で学位を取得後、助教として研究室に残りました。結果的に7年間を助教として過ごすわけですが、その間に結婚や育児などライフイベントも経験しました。実家に帰るとばあば・じいじのありがたさを身に染みて感じます。5歳になる息子は目新しいおもちゃとおいしいご飯とで大満足ですし、我々パパママはつかの間の自由時間を各々に満喫します。普段はといいますと、今どきの共働き夫婦らしく、朝の登園は僕が担当し、お迎え・夕飯作りは妻が担当、19:00過ぎに家族揃って夕飯を食べて、その後は家事・入浴・着替え保湿、子どもと遊んで歯磨きからの寝かしつけ、翌日保育園の準備を済ませてから(ここまでで22:00過ぎ)、25:00までデスクワークといった平日ルーティーンです。しかしながら非日常が日常という世界線ではこの流れはあっさりと言われ「すみませーん、〇〇ちゃんお熱ですのでお迎えに来ていただけませんか」という保育園からの電話1本で急変します。妻と相談しつつスケジュールを調整し、互いに有給を消費しながら持ちこたえ、

波が収まればまた平常運転、の繰り返しです。今でこそ「板に付いた」感がありますが、一方で研究活動が停滞気味であることも事実です。24時間365日研究に専念できていた頃とは違い、可処分時間は2分の1程度ですが研究効率が2倍とはならないのでアウトプットは減少します。業績評価でこの点は一切考慮されません。育児が終わったからと言って育児が終わるわけでもありません。「男が育児を言い訳にするな。成果が少ないのなら睡眠時間や休日を削ってでも研究しろ」という風潮は確かにあります(し、実際にそう言われたことも何度もあります)。最近是对面での学会開催が多く(そして歓迎されています)、子育て世代の自分としてはオンライン開催の方がよほど参加しやすく有難かったです。託児所さえ設ければ万事解決ではないのです。『家事も育児も研究も、全てが充実したキラキラ研究者!』にはなれませんでした。ですが、どれほど文句を言おうとも、「じゃあ、研究者辞めるか」とはならないから不思議です。長いキャリアの中で逆風に煽られるのは当たり前ですし、

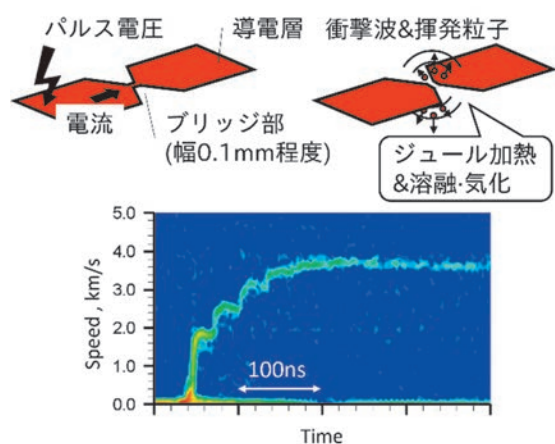
それに何より、子どもが子どもでいられる期間は極めて短いと思っています。ワークライフバランスは毎日の瞬時値ではなくキャリア全体を通しての平均値で考えるといいのかもしれない。これからの時代に即した研究スタイルを模索し未来の「若手研究者」へ少しでも継承できればと思います。

研究ハイライト

空気や水などの媒質中を物体が運動する場合、物体周りの流れ場は流体力学の法則に沿って形成されます。特に、媒質中での音速に対して物体の移動速度が25〜30%を超える程度から媒質の圧縮性を考慮する必要があります。移動速度が音速以上に達する場合は超音速流れと呼ばれる高速流体が研究対象となります。中でも「空気の壁」として知られる衝撃波は平均自由行程ほどの領域で状態量が不連続に変化する非線形波動として表されます。衝撃波の詳細については私が一般公演した際のアーカイブ動画がYouTubeに掲載

されておりますのでご覧いただけますと幸いです(左上QRコード参照)。衝撃波の中でも私はプラスト波(「爆風」を活用した粒子射出器の研究を行ってまいりました。火薬やレーザーパルスなど投入したエネルギーが短時間に解放される現象ではプラスト波が発生し周囲に過剰な圧力上昇とこれに伴う力積とを発生させます。私はこれまで電気エネルギーを用いた火工品の一種である電気ヒューズ(下図)を取り扱ってきました。火工品の爆／不爆は単位面積当たりの力積値に依存するため電気ヒューズの設計には極微細な粒子質量を高精度に測定する必要があります。光ドップラー式速度計による速度測定手法と微小力積測定手法とを組み合わせて、射出粒子の実効質量を算出しました。その結果電気ヒューズの作動時には1 μ g級の粒子が秒速1km以上にまで加速されており、その際のエネルギー変換効率率は最大30%であることを世界で初めて実測しました。本成果は極微小質量の高精度測定手法として高く評価されアメリカ物理学会の刊行する学術誌にて2021年度のSpecial collectionに

も採択されております。本手法は空気力学的作用を駆動力とした高速粒子射出器として捉えることができ、火工品のみならず医療機器への応用も期待できます。現在我々の研究グループではプラスト波発生時の力積を利用し直径10マイクロメートル程度の微粒子を1km/s程度の高速で動植物に向け高速射出することで針を使わずに薬剤や遺伝子を導入する針なし注射器の開発を進めています(下図)。これまで人皮膚を模したシリコーンゲルやマウス摘出皮膚への貫入試験を通じて、投入電気エネルギーと貫入距離との関係を実験



的に取得した他、染色観察を通じて貫入後の皮膚細胞の損傷を評価してきました(左図)。フィルムメーカー様、製薬メーカー様と共に実用化へ向けた共同研究を進めています。また、本技術は植物組織への遺伝子導入にも適用できます。これまで蛍光タンパク質を組み込んだプラスミドDNAをタマネギ表皮細胞に射出し標的組織のみからの蛍光を観察することに成功しています(左図)。今後は植物幹細胞や乾燥花粉に向けた遺伝子導入を試み植物種に依らない汎用的な遺伝子導入手法としての確立を目指します。

