Computational Science & Engineering

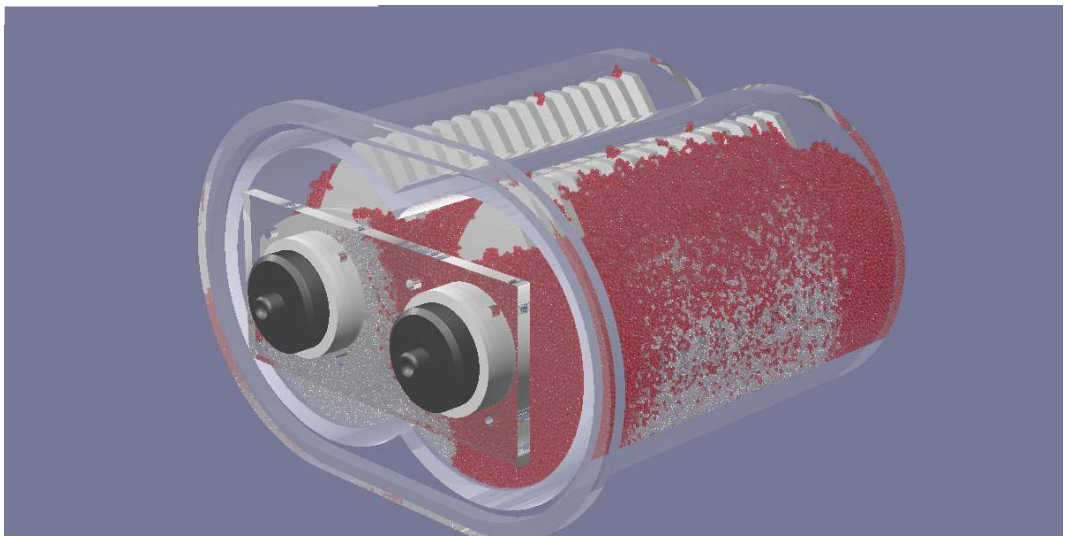
計算科学技術部会　ニュースレター　第 32 号

AESJ-CSED　NEWSLETTER (No.32)

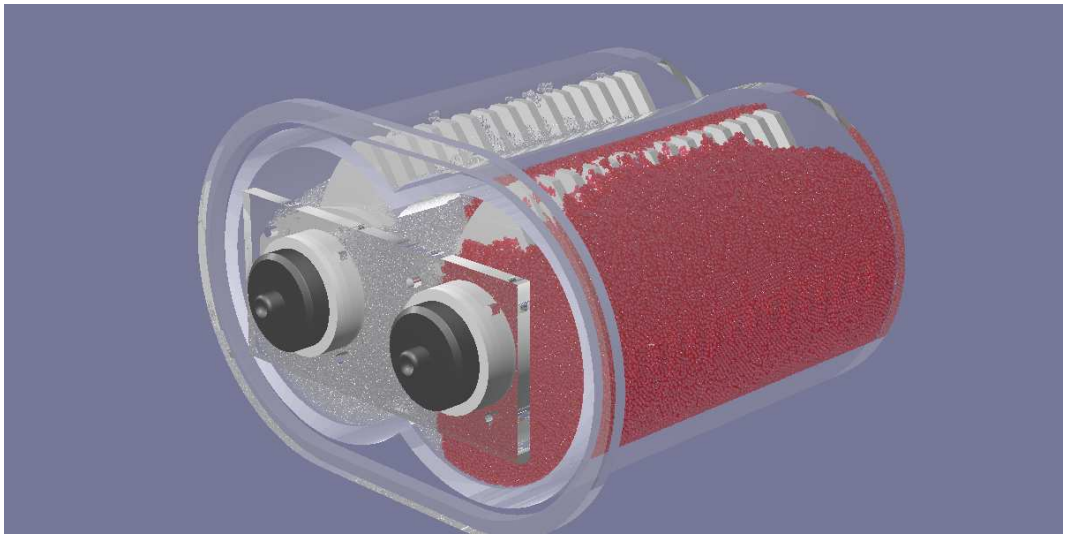
August 2019

撹拌槽内における固液混相流の数値シミュレーション

湿潤粉体(含水率　5%)



湿潤粉体(含水率　10%)



日本原子力学会 計算科学技術部会
ニュースレター 第 32 号

2019 年 8 月

1. 巻頭言

2019 年度 部会長 茶木 雅夫 氏 1

2. 2018 年度 計算科学技術部会 部会賞 贈賞報告 3

3. 2018 年春の年会 計算科学技術部会全体会議 開催報告 10

4. 2019 年度 計算科学技術部会 役員紹介 12

5. 2019 年秋の大会 計算科学技術部会全体会議 開催案内 14

6. 2019 年秋の大会 計算科学技術部会 一般セッション開催案内 15

7. 2019 年秋の大会 計算科学技術部会 企画セッション開催案内 17

8. 一言一語 「熱流体工学分野における AI 技術の応用」

北海道大学 三輪 修一郎 先生 18

9. 講習会・ワークショップ等の開催報告・連絡事項等 31

10. 年間予定 34

編集後記 35

表紙図提供：田村　耕太郎　氏（東京大学大学院）

（2018 年度　計算科学技術部会 CG 賞）

液架橋力モデル(Sun & Sakai, 2018)を用いることで、既存の手法では扱えなかった液量の多い湿潤粉体の挙動が計算できるようになり、数値解析手法の適用可能範囲が大きく広がった。図は、液架橋力モデルを導入した離散要素法(DEM)を用いて二軸混錬機内部における含水率の異なる湿潤粉体の挙動を比較した結果である。上段が含水率５％、下段が含水率１０％の湿潤粉体の結果であり、含水率５％の湿潤粉体では容器右側壁付近で赤と白の粒子の混合が進む様子が見られている一方、含水率１０％の湿潤粉体では塊となって動くため混合の進展が遅いことが見出された。

巻頭言

計算科学技術部会部会長挨拶

（一財）エネルギー総合工学研究所

茶木　雅夫

計算科学技術部会はある意味、ユニークな部会と考えます。それは「計算科学技術」というほぼすべての部会で使われている技術に関する部会であるからです。改めて本部会の設立趣旨の最後の方の記載から以下、二か所の記載を抜粋させて頂きます。

・「原子力に係わる全ての計算工学の分野の研究者が一堂に集まり、計算工学の研究をとおして交流することは、原子力が培ってきた研究技術をさらに発展させ、より広く社会貢献を行なう上で意義の深いことと考え」

・「応用数理等、関連学協会との連携も視野に入れ、さらに広範な計算工学分野にわたることも考えられる」

最初の引用部分は端的に言えば異分野交流であり、部会設立の目的としています、次はさらに広い分野・視野を考慮していると推察し、現在だと AI、IOT も入ると考えます。1 番目の異分野交流のイノベーション創出における重要性は大昔から言われ続けてきている一方、縦割りシステム等の影響でなかなか進まない面が多いのではと考えます。実際、今まで当部会の運営に関わって来られた方々の多大な努力にもかかわらず、当部会の年会・大会での発表件数は残念ながら単調増加とはなっておりません。このような状況で、当部会としてどう状況を打開していくかについて思うところを 3 点述べさせて頂きます。

第一は、「異分野交流」の機会として「計算科学」を切り口として一度、当部会での発表を検討して頂けないでしょうか。各分野の専門の部会で発表した方がより専門的で深い議論が出来るのはもっともで

しょう。一方で、当部会のセッションは発表者、聴講者とも他分野という特長があり、今までと異なる視点での（革新的）モデル開発や新たな技術交流の機会となる可能性も期待できるかもしれません。

第二は CG を活用した原子力理解活動の推進です。当部会では毎年、年会・大会の発表から CG 賞を表彰し、それら CG を集めた DB を作成しております。これらを部会 HP から容易に閲覧可能とすることにより計算科学技術から原子力へ、若手を中心に関心を持ってもらうことを考えています。

最後は、近年、進歩の著しい AI, IoT 等活用へのチャレンジです。当部会では AI 関係の企画セッションの実績もあります。熱流動解析等への AI 活用も試みられているようです。原子力はこれらの技術活用が最も難しい分野の一つではありますが、CG と合わせて今後、原子力関連の計算科学技術をより魅力的にするには重要と考えます。

最後に、当部会の運営側になって感じたことと期待を記します。当部会は、全体的に若い人が多く、意見交換も自由闊達で所謂「原子力村」、「重電」的な雰囲気が殆どないように感じます。この状況を継続させつつ、部会員の皆様におかれましては、周りにも声掛けして頂き、当部会の活動をより活発にしていくことにご協力して頂けると幸いです。これらにより、当部会が、設立趣旨にある「原子力が培ってきた研究技術をさらに発展させ、より広く社会貢献を行なう」ことをより活発に進められるようになることを期待しつつ、挨拶とさせて頂きます。

以上

2018 年度　計算科学技術部会　部会賞　贈賞報告

選考経緯

平成 30 年 12 月 21 日（金）を締め切りとして、部会メーリングリストおよび部会ホームページを通して、本年度部会賞候補者の募集を行いました。

平成 31 年 1 月 11 日（金）に表彰小委員会を開催し、推薦者の推薦書、業績（論文、予稿、部会のセッションでの聴講者の評価シート等）をまとめた資料を基に、慎重に審議致しました。その選考結果を同日開催された部会運営委員会にお諮りし、最終的に、部会功績賞 1 件、部会業績賞 1 件、部会奨励賞 1 件、部会 CG 賞 2 件、部会学生優秀講演賞 3 件、部会功労賞 1 件の受賞候補者を決定致しました。

その後、受賞候補者が受賞条件を満たしているかどうかの確認を行い、部会学生優秀講演賞 3 件のうち 1 件について贈賞を見送り、部会学生優秀講演賞は 2 件とし、受賞者として確定致しました。結果は以下の通りです。

部会功績賞

計算科学技術分野において幅広くかつ顕著な貢献のあった個人を対象とし,毎年 1 名以内とする。

受賞者名：吉村　忍　氏（東京大学大学院）(0114310)

業績名　：「大規模計算力学システムに関する研究とその原子力分野への応用による貢献」

（英訳）Research on Large-scale Computational Mechanics System and Contribution to Nuclear Field by its Application

贈賞理由：

吉村氏は、ハイパフォーマンス知的シミュレーションの研究開発と、その工学，社会・環境防災問題への応用に関する研究開発を精力的に進めている。研究活動の基盤には、環境は人間・人工物・自然が相互に深く関連する複雑システムであり現代的諸課題の根本的解決には、その複雑システムの理解とモデリング、それに基づく高度定量予測とデザインが必須であるという根本認識がある。それに基づき、計算力学解析の高精度化・高速化に関する研究開発、設計及びシミュレーションのインテリジェント化・大衆化に関する研究開発、設計・逆解析の数理と応用に関する研究開発、実機構造物の破壊・強度解析と保守・寿命評価システムに関する研究開発、社会・環境シミュレーションに関する研究開発に取り組んでこられた。中でも汎用並列計算力学システム ADVENTURE の開発、ADVENTURE を用いた、原子力発電プラントの地震耐力予測シミュレーションでは、10 億自由度を超える実構造機器の解析が実現され、原子力施設の耐震評価に大きな成果を

あげた。本技術をはじめ、多分野における研究成果は、計算力学の学術分野にとどまらず、産業界からも高く評価され、社会的に大きなインパクトを与えている。また、計算力学技術者認定事業を立ち上げ、計算力学解析技術者への教育、解析者の質保証にも尽力し、本分野の発展に大きく貢献している。

さらに、計算科学技術部会発足当初より副部会長兼総務小委員会委員を務め、その後、部会長を務めるまで、部会の活性化に貢献した。副部会長兼企画小委員長の任期においては、部会長を補佐し、部会全体の様々な運営に尽力した。部会長の任期においては、ニュースレターの発刊、Dr.フォーラムの開催等に尽力している。

以上の理由から部会功績賞を贈呈することを決定した。

部会業績賞

計算科学技術分野において顕著な学術または技術上の業績のあった個人またはグループ（連名）を対象とし，毎年2件以内とする。原則として，当該年度の応募締切日時点で，学会和文論文誌あるいは英文論文誌のいずれかに，論文が掲載されていることを条件とする。

受賞者名：山本　章夫　氏（名古屋大学）(0116163)

業績名　:「先進的炉心解析シミュレーション技術開発への貢献」

(英訳) Contributions to development of advanced core simulation methods

贈賞理由：

山本氏は、1989年に京都大学工学研究科原子核工学専攻を修了後、約30年にわたり、民間企業(原子燃料工業(株))及び大学(名古屋大学)において、計算炉物理、特に先進的な炉心解析システムの研究開発に従事してきた。同氏の業績のうち、①炉心解析コード SCOPE2 の開発、②集合体計算コードAEGISの開発、③三次元非均質輸送計算コードGENESISの開発について以下に概要を述べる。

SCOPE2は、燃料棒単位の3次元輸送計算による炉心解析コードである。中性子エネルギー群2群、集合体内を均質化した近代ノード法が主流であった開発当時(2000年頃)において、エネルギー9 群の多群計算、SP3 輸送計算法の採用、燃料棒毎の詳細メッシュ計算といった高解像度の炉心シミュレーションを、高効率加速計算法・並列計算法など先駆的な技術開発を通じて、世界で初めて実用化することに成功した。この成果は、H16年度の日本原子力学会技術賞を受賞した。

AEGISコードは、キャラクタリスティクス法を用いた2次元非均質体系輸送計算に基づく集合体及び炉心解析コードである。この開発過程で、高効率な収束加速法、超多群スペクトル計算を用いた高速な共鳴計算、燃焼ステップを粗くとっても精度の低下が小さい燃焼計算法、効率的な

極角分点など、様々な計算アルゴリズムを開発した。特に、新たに開発した極角分点(TY 角度分点と呼ばれている)は、世界中の多くの集合体計算コードのキャラクタリスティクス法の計算に利用されており、世界的なデファクトスタンダードになっている。これらの成果のうち一部が H22 年度及び H26 年度の日本原子力学会論文賞を受賞している。

GENESIS コードは、新規開発された 3 次元中性子輸送計算法である LEAF 法を用いた三次元非均質体系を取り扱える炉心解析コードである。これまで、2 次元体系におけるキャラクタリスティクス法を軸方向に積み重ねることにより、三次元体系の炉心解析を実施する planar MOC 法が実用化されている。しかし、planar MOC 法では、軸方向の中性子漏洩量の評価を近似的に行うため、軸方向への中性子漏れが大きな条件、例えば、過酷事故時に現れる高ボイド条件において、計算精度の低下、収束性の悪化といった課題がある。これに対し、LEAF 法は、軸方向の中性子輸送を厳密に取り扱うため、このような課題は発生しない。GENESIS コードは、2018 年 6 月に初版がリリースされ、国内の大学や研究機関に配布されている。

以上のように、同氏は、炉心解析の分野において、計算科学技術に基づく先端的な解析アルゴリズム、解析手法を多数開発し、これらが高く評価されているとともに、これらの手法は実機の炉心解析に使用され、炉心の安全性の確保に役立っており、大きな貢献をしている。

また、計算科学技術部会への貢献としては、2011 年度から 2014 年度にかけて、副部会長及び部会長を歴任しており、部会の運営及び活動に尽力されている。

以上の理由から部会業績賞を贈呈することを決定した。

部会奨励賞

部会奨励賞：計算科学技術分野において顕著な学術または技術上の業績のあった，おおむね 40 才まで（当該年度 3 月 31 日において）の個人を対象とし，毎年 3 名以内とする。少なくとも，応募締切日時点で学会が主催ないしは共催する国内外の会議等で口頭発表の実績を有していることを条件とする。

受賞者名：ファン　ローイエン　氏（福井大学附属国際原子力工学研究所）(0204271)

業績名　：「IGA 法を用いた中性子輸送計算手法の研究」

(英訳) Investigation of neutron transport calculation using Iso-Geometric method (IGA)

贈賞理由：

2002 年にオランダのデルフト工科大学大学院に入学し、博士号取得においては、「第 4 世代高温高速ガス炉」をテーマとして研究を行った。ここで、主要な研究課題は、原子炉物理学であったが、原子炉設計、原子炉工学、計算機科学（解析コード開発、解析手法の開発)、核燃料サイク

ル、熱流動、核データ評価などにも取り組んだ。

2010 年に高速増殖原型炉「もんじゅ」の再稼働に参加し、2010 年にもんじゅで得られた原子炉物理学の実験結果を解析した。特に、グリッドプレートの膨張による反応度に注目し、従来の計算コード（ERANOS）では直接計算できなかった「幾何変形した体系の計算手法」について考察を行った。

福井大学の他の教授と連携し、国際ベンチマーク「IAEA Benchmark Analysis of EBR-II Shutdown Heat Removal Tests」（IAEA-TECDOC-1819（2017））に参加した。ここで、EBR-II の炉心を解析し、ドップラー効果がほとんどないこと、原子炉のフィードバックは「温度膨張」からなることが分かったが、従来の計算コードでは、EBR-II の実験における温度膨張による変形、または変形した体験の炉物理的な解析は、直接（近似なし）は不可能であることが分かった。この解決に向け、PHYSOR2012 における英国の発表者による発表「IGA 法に基づく中性子の拡散理論」の聴講をきっかけに、IGA の基本となる NURBS 理論の研究に取り組んだ。これまで、NURBS 理論を計算するソフトウェアがなかったため、本計算ソフトを開発し、第一段階として、NURBS 理論に「キャラクタリスティックス法」を適応した（日本原子力学会、2014 年秋の大会、「W.F.G. van Rooijen, “On the use of NURBS for particle transport calculations”」）。ただし、試計算において、あまりよい結果が得られなかったため、次の段階として、SN 法の中性子輸送計算に対して IGA 法を開発し、IGA 法に基づく SN 中性子輸送計算ソフトを開発した。

IGA の計算手法は偏微分方程式を解く計算手法であるため、中性子の輸送理論に適応できるが、中性子の拡散理論にも適応できる。また、温度膨張の評価のための温度分布と応力分布も計算できるため、「マルチフィジックスの基本」にもなると考えられることから、今後、さらに IGA 法の計算手法の開発の促進が期待される。

以上の理由から部会奨励賞を贈呈することを決定した。

<u>部会 CG 賞</u>

原子力の計算科学技術分野において結果の表示・可視化について優秀な業績のあった個人またはグループ（連名）を対象とし，毎年 2 件以内とする。 少なくとも，応募締切日時点で国内外の会議等で口頭発表の実績を有していることを条件とする。

受賞者名：岩田　順敬　氏（東京工業大学科学技術創成研究院）（0226981）

業績名　:「スペクトル法を用いた非線形クライン・ゴルドン方程式の精密計算スキームの開発」

（英訳） Development of spectral-method-based high precision numerical scheme for nonlinear Klein-Gordon equations

贈賞理由：

岩田順敬氏らはフーリエ・スペクトル法を用いた非線形クライン・ゴルドン方程式を精密に計算するための新たなスキームを考案した。線形計算において 14 桁の精度が保たれるという計算結果が示されたうえで、これを分数冪型の非線形項を持つ場合に応用した結果が動画で示された。また非線形解法を工夫することで、非線形項を N logN 次のオーダーで計算する計算法も併せて提案された。結果として高精度でありながら、高速な計算スキームが提示された。

素粒子の衝突過程を可視化するということに関しては、媒質の時間発展を可視化したものに加えて、それに対応した相空間を可視化した結果が示された。常微分方程式とは異なり、偏微分方程式の相空間は無限次元になることからその様相を可視化することはこれまで困難とされてきた。提案された可視化法では無限次元相空間上の一点一点の内部構造を有限次元力学系として捉えなおして可視化するという手法が新たに導入された。ここで、高精度計算スキームが用いられなければ、具象化して得られた幾何学的図形の形が衝突するたびに少しずつ変形してしまう。とくに線形の場合には衝突の前後で図形の形状が保持されることが運動量の保存に対応するが、差分法では１回の衝突計算で幾何学的図形が誤差によって変形してしまう。発表においては、30 回を超える多重衝突の計算においても、図形が変形しないことが動画によって示された。

非線形外力が働く場合には、カオス理論などでも知られているように、非常に高い初期値依存性が方程式に内在していることがある（バタフライ効果などはその例としてよく知られている）。提案された相空間の可視化法はこういった初期値依存性がどのように発現するかを理解するための有効な手段ともなり得る。発表においては、非線形方程式では幾何学的な図形が衝突を繰り返すたびに変形し、特定の場所に線素が局在する様子が示された。素粒子の衝突過程に対する非線形性の寄与を解明するという応用だけなく、”保存則”というキーワードのもとで様々な応用研究への突破口を与える基礎技術としての性格も備えている。

岩田氏らの研究によって示された可視化法は、これまでに例のないもので高い新規性を備えている。高精度計算スキームと可視化という各々の部分が丁寧に作りこまれており、それぞれの部分に応用可能性が期待できる。

以上の理由から部会 CG 賞を贈呈することを決定した。

受賞者名：田村 耕太郎　氏（東京大学大学院）(5095778)

業績名　:「撹拌槽内における固液混相流の数値シミュレーション」

(英訳) Numerical simulation of solid-liquid flows in a stirred vessel

贈賞理由：

田村耕太郎氏は、現在、東京大学大学院工学系研究科原子力国際専攻修士課程に所属しており、

撹拌槽内の固液分離に関する研究に取り組んでいる。懸濁液の固液分離は、燃料デブリの安全な取り出しにおいて極めて重要である。本研究は、燃料デブリ取り出し時に生じる懸濁液における微粒子の分離に応用されることが期待されており、燃料取り出し時の固体粒子の分離状況や固体粒子の軌道をリアリティのある可視化映像を生成しながら評価できる点が画期的である。このように田村氏の取り組んだ研究は、高度化コンピュータグラフィック技術を固液分離評価に取り入れた独創的な研究である。

以上の理由から部会 CG 賞を贈呈することを決定した。

部会学生優秀講演賞

部会学生優秀講演賞：計算科学技術分野において，他の模範となる講演を行った学生を対象とし，毎年 4 名程度とする。日本原子力学会「春の年会」あるいは「秋の大会」での計算科学技術セッション（区分コード 307-1）で口答発表していることを条件とする。

受賞者名：川満　昭英　氏　（東京大学大学院）(5098480)

業績名　:「MD 法による中性子照射-ひずみ負荷環境下での欠陥形成過程に及ぼす材料物性の影響に関する研究」

(英訳) MD simulations to clarify effects of the material property on defect formation process under neutron irradiation and applied strain

贈賞理由：

川満昭英氏は、軽水炉炉内構造材料として使用されるオーステナイト鋼を対象とし、中性子照射環境下での微細欠陥形成過程を定量化する研究を行ってきた。実機環境における構造材料は、ひずみ負荷下で使用されるため、照射欠陥形成過程を材料物性、温度の影響のみならず、ひずみ量の影響も取り入れて評価することが求められる。川満氏は、分子動力学法を用いて、これらの影響を系統的に解析し、ひずみ負荷により照射欠陥数が大幅に増加し、より大きな集合体が形成すること、ひずみの影響は高エネルギー中性子、高温でより顕著になることを明らかにした。この研究成果により、材料劣化予測モデルにおける入力パラメータを確立することが可能となった。計算科学に基づいて、原子力プラントの劣化予測モデル構築に寄与する同研究は、分野の発展に関する貢献が大きいと考えられる。

以上の理由から部会学生優秀講演賞を贈呈することを決定した。

受賞者名：堀田　理穂　氏　（福井大学大学院）(5096045)

業績名　:「IGA 法を用いた中性子輸送計算手法の研究」

(英訳) Investigation of neutron transport calculation using Iso-Geometric (IGA) method
贈賞理由：

堀田氏はオランダのデルフト工科大学で国際研修（4 ヶ月、若狭湾エネルギー研究センターの奨学金）；国際会議に参加（参加 2 回、口頭発表（英語）1 回）；日本原子力学会の大会で複数の口頭発表とポスター発表の業績がある。

福井大学敦賀キャンパスの大学院生の中心にとなり、キャンパスの学生の社会活動にも大きな貢献がある。また、就職先でも卒業研究テーマに近い仕事をするため、同氏の原子力分野と原子力業界への貢献は大きく期待できる。

以上の理由から部会学生優秀講演賞を贈呈することを決定した。

<u>部会功労賞</u>

計算科学技術部会の発展に顕著な功労のあった個人を対象とし、毎年２名以内とする。

受賞者名：大塚　雅哉　氏　（㈱日立製作所）(159831)
業績名　：「計算科学技術部会運営の円滑化と適正化への貢献」
(英訳) Contribution to the Facilitation and Optimization of Management of CSED
贈賞理由：

大塚氏は、平成 26 年度から 29 年度にかけて、計算科学技術部会副部会長を務められた。ここで、運営小委員会の体制に関する規約改正や、2020 年度に開催予定の SNA+MC2020 の主催を部会が引き受ける際の審議をはじめ、様々の審議事項に対して、常に俯瞰的な視点に基づきけん引することで、委員会活動の円滑化および適正化に貢献された。また、ニュースレターにおいて「IoT 時代の計算科学」について言及し、計算科学の IoT 応用、原子力分野への IoT 活用に関する考えを発信することで、部会員に対して計算科学技術への新たな発想と取り組みに関する方向性の一つを示された。さらに、日本原子力学会平成 29・30 年度代議員に就任し、部会の発展に貢献された。

以上の理由から部会功労賞を贈呈することを決定した。

以上

2018年度　計算科学技術部会
第16回部会賞贈賞報告及び第25回全体会議　議事録

1．日時：平成31年3月21日（木） 12:00～13:00

2．場所：茨城大学 水戸キャンパス K会場

3．議事次第

平成30年度第16回部会賞表彰式

1）部会賞表彰

平成30年度第25回全体会議

1）　部会長挨拶

2）　小委員会活動報告

a. 総務小委員会

b. 企画小委員会

c. 広報小委員会

d. 出版・編集小委員会

e. 経理小委員会

f. 国際会議準備小委員会

g. 表彰小委員会

3）その他

4）次期役員選出

5）次期部会長挨拶

6）告知等

4．議事概要および決定事項（敬称略）

（1）平成30年度第16回部会賞表彰式

1）部会賞表彰

受賞者は以下の 6 件 8 名である。

①	部会功績賞	吉村　忍　氏	（東京大学大学院）
②	部会業績賞	山本　章夫　氏	（名古屋大学大学院）
③	部会奨励賞	Van Rooijen Willem　氏	（福井大学附属国際原子力工学研究所）
④	部会 CG 賞	田村　耕太郎　氏	（東京大学大学院）
	同上	岩田　順敬　氏	（東京工業大学）
⑤	部会学生優秀講演賞	堀田　理穂　氏	（福井大学大学院）

同上	川満　昭英　氏	（東京大学）
⑥　部会功労賞	大塚　雅哉　氏	（日立製作所）

（2）平成 30 年度第 25 回全体会議

1）部会長挨拶

伊藤部会長より挨拶がなされた。

2）小委員会活動報告

各小委員会の委員長より今年度活動と次年度活動計画の報告がなされた。

3）その他

ニュースレターに新コーナーとして『部会員の掲示板』を新設する案について、田中出版・編集小委員長より補足説明があり、引き続き新設する方向で検討を進めることが合意された。

4）次期役員選出

次期役員として、以下の5名が選出された。

部会長	茶木　雅夫	（エネルギー総合工学研究所）
副部会長	光安　岳	（日立製作所）
副部会長	鈴木　喜雄	（日本原子力研究開発機構）
副部会長	田中　正暁	（日本原子力研究開発機構）
副部会長	伊藤　啓	（京都大学）

また、各委員会の委員長等が選出された。

総務小委員会	板倉　充洋	（日本原子力研究開発機構）
企画小委員会	鈴木　正昭	（東京理科大学）
広報小委員会	酒井　幹夫	（東京大学）
出版・編集小委員会	田中　正暁	（日本原子力研究開発機構）
経理小委員会	光安　岳	（日立製作所）
国際会議準備小委員会	大谷　孝之	（日本原子力研究開発機構）
表彰小委員会	茶木　雅夫	（エネルギー総合工学研究所）
部会等運営委員会	鈴木　喜雄	（日本原子力研究開発機構）

5）次期部会長挨拶

茶木次期部会長より挨拶がなされた。

6）告知等

企画セッションの告知がなされた。

以上

2019 年度　計算技術部会　役員紹介

執行部

部会長	茶木 雅夫	（エネルギー総合工学研究所）
副部会長	光安 岳	（日立製作所）
副部会長	鈴木 喜雄	（日本原子力研究開発機構）
副部会長	田中 正暁	（日本原子力研究開発機構）
副部会長	伊藤 啓	（京都大学）

総務小委員会

委員長	板倉 充洋	（日本原子力研究開発機構）
	奥村 雅彦	（日本原子力研究開発機構）

経理小委員会

委員長	光安 岳	（日立製作所）
	和田 怜志	（東芝）

広報小委員会

委員長	酒井 幹夫	（東京大学）
	緒方 智明	（MHI-NS エンジニアリング）
	木村 佳央	（中電 CTI）

企画小委員会

委員長	鈴木 正昭	（東京理科大学）
	稲垣 健太	（電力中央研究所）

出版・編集小委員会

委員長	田中 正暁	（日本原子力研究開発機構）
	田村 明紀	（日立製作所）
	村上 貴裕	（電力中央研究所）
	山下 晋	（日本原子力研究開発機構）
	張 承賢	（東京大学）

国際会議準備小委員会

委員長	大谷 孝之	（日本原子力研究開発機構）
	町田 昌彦	（日本原子力研究開発機構）
	長家 康展	（日本原子力研究開発機構）
	佐藤 達彦	（日本原子力研究開発機構）
	井戸村 泰宏	（日本原子力研究開発機構）
	板倉 充洋	（日本原子力研究開発機構）
	鈴木 喜雄	（日本原子力研究開発機構）

表彰小委員会

委員長	茶木　雅夫	（エネルギー総合工学研究所）

部会等運営委員会

茶木　雅夫	（エネルギー総合工学研究所）
鈴木 喜雄	（日本原子力研究開発機構）

プログラム編成委員会

鈴木 喜雄	（日本原子力研究開発機構）

以上

2019 年秋の大会　計算科学技術部会全体会議　開催案内

１．日時：　2019年9月11日(水)　12:00 ～ 13:00

２．場所：　K会場（共通教育棟 2F E21）

３．議事次第（案）

（１）部会長挨拶

（２）小委員会上期活動報告

a. 総務小委員会

b. 企画小委員会

c. 広報小委員会

d. 出版・編集小委員会

e. 経理小委員会

f.　表彰小委員会

（３）告知等、その他

以上

2019 年秋の大会　計算科学技術部会

一般セッション開催案内

[1K01~05] 微視的解析

2019 年 9 月 11 日(水) 14:45 ～ 16:10 K 会場（共通教育棟 2F E21）

座長:杉野 和輝(JAEA)

[1K01]高速荷電平衡化機構を用いた LLFP 核変換技術のための基礎計算

岩田 順敬(関西大学)、西川 崇(東京工業大学)、王 浩然（芝浦工業大学）

[1K02]MD 法を用いた高エネルギー中性子照射下における欠陥形成過程の解明

寺山 怜志、岩瀬 祐樹、早川 頌、沖田 泰良(東大)、板倉 充洋（JAEA）

[1K03]Zr 中における c タイプ転位ループ形成過程の解明と Fe に関する影響の研究

強 光友、沖田 泰良、安達 悠希也、早川 頌(東大)、板倉 充洋（原子力機構）

[1K04]機械学習分子動力学による二酸化トリウムの物性値評価

小林 恵太(高度情報科学技術研究機構)、奥村 雅彦、中村 博樹、板倉 充洋、町田 昌彦（日本原子力研究開発機構）

[1K05]機械学習分子動力学法によるコンクリート中セシウム拡散シミュレーション

奥村 雅彦(JAEA)、小林 恵太(RIST)、中村 博樹、板倉 充洋、町田 昌彦(JAEA)

[1K06-09] 安全・炉心解析

2019 年 9 月 11 日(水) 16:10 ～ 17:15 K 会場（共通教育棟 2F E21）

座長:稲垣 健太(電中研)

[1K06]密閉容器内における水素 - 空気予混合気のしわ状火炎面の挙動に及ぼす解析格子サイズの影響：XiFoam を用いた数値シミュレーション

Thwe Thwe Aung1、寺田 敦彦、日野 竜太郎(日本原子力研究開発機構)、門脇 敏(長岡技術科学大学)

[1K07]現象相関ダイアグラムを用いた高速炉レベル 2PRA 評価手法の検討(1)ULOF 事象への適用

性検討

石津 朋子、渡辺 大貴、藤田 哲史、井上 正明（規制庁）

[1K08]補正計算を伴わない詳細炉心計算による高速炉核特性解析

杉野 和輝、大木 繁夫（JAEA）

[1K09]敵対的生成ネットワークを適用した燃料装荷パターン作成の検討

高野 渉、木間 暁（GNF-J）

以上

2019 年秋の大会　計算科学技術部会

企画セッション開催案内

◆ [1K_PL] 不確かさの有効活用によるシミュレーションの信頼性確保

日時：2019 年 9 月 11 日(水) 13:00 ～ 14:30 K 会場（共通教育棟 2F E21）

座長：田中　正暁（原子力機構）

（1）シミュレーションの信頼性確保及び不確かさの活用

中田　耕太郎（東芝 ESS）

（2）統計的安全評価における信頼性確保及び不確かさの活用

工藤　義朗（東京電力 HD）

（3）放出源の有効高さ評価における信頼性確保及び不確かさの活用

佐田　幸一（電中研）

【要旨】原子力分野でのシミュレーションの信頼性確保及びそれを支えるモデル V&V は，不確かさの取扱いと合わせて原子力関連施設の設計，建設及び運転に適用される各技術分野のシミュレーションにとって重要なテーマである。本企画セッションでは，モデル V&V 及び不確かさの取扱いを柱としたシミュレーションの信頼性確保に関わる取組みに関して、原子力学会から発行されている標準（ガイドライン）を代表事例として，個別分野のガイドラインにおけるモデル V&V への展開状況、今後の取組み、シミュレーションによる評価結果の信頼性確保のために必要なアクションなどについて、それぞれの不確かさの取扱いを軸に相互の関係も整理して最新の動向を議論する。

以上

一言一語

熱流体工学分野におけるAI技術の応用

北海道大学　三輪　修一郎

はじめに

この度、計算部会のニュースレター「一言一語」に寄稿させて頂く機会を頂戴した。筆者の所属は熱流動部会であるが、米国 Purdue 大学所属時期から研鑽に携わってきた気液二相流現象の理解と応用には、RELAP5、TRACE 等のシステム安全解析コードや、多次元数値流体力学（CFD）解析等の計算技術は必要不可欠である。計算処理能力ならびに汎用ソフトウェアの性能が日進月歩で向上する昨今において計算ツールの重要性は益々顕著になっている。筆者が Purdue 大学院在籍時に所属していた Ishii-Hibiki 研では ANSYS CFX に界面積濃度輸送方程式を組み込む研究が行われており、最新の CFD パッケージには界面積濃度モデルがオプションとして搭載されているものもある。筆者が現在所属する北海道大学原子力システム安全工学研究室においても、Purdue 大学や複数の国内企業との共同研究を通して二流体モデルの高度化をはじめ、福島第一原子力発電所の多次元熱解析にも携わっており、計算部会員の方々が取り組んでおられる研究課題とも関りが深いトピックかと考える。

第三次 AI ブームの Momentum が続く昨今、深層学習（Deep Learning）をはじめとした機械学習による解析技術も、近い将来一次元解析コードや汎用 CFD のような身近なツールとなるポテンシャルを秘めている。現に、Google の Tensorflow 等、Python ベースの機械学習ライブラリーは全てオープンソースで使用可能であり、高性能 GPU 搭載マシンが推奨される画像識別系のデータが対象でなければ、個人 PC へのインストール後に直ちに解析が始められ、汎用 CFD コードである OpenFoam の設定以上に容易である。コードを保持する者が強かった時代から、他ユーザーに使われるコードを公表する者が評価され、世界中のユーザーが Github でコードを公開し合う時代となった。新たな解析結果は会議や学会誌の場に加え、arXiv や Twitter といった査読無しの無料 Web フレームで公開されるのが常である。いい加減な研究結果は引用されないままビッグデータの深海に沈むだけの話である。一昔前では考えられなかったことが現に起きており、技術の遷移期である Exciting な時期に我々は居るのかもしれない。そのような中、日本の原子力熱流動分野の時間軸は平成初期のまま停滞しているように思えてならない。国内大学に割り当てられた研究費や外部資金等の国富が、莫大なライセンス料として外資系企業へ流れてしまっているのと同様、熱流動を理解しない AI 技術者に大金を叩いて原子力安全の業務委託をする時代が来るのではと危機感を感じている次第である。計算技術分野においても早い段階で AI

主技術の理解と、研究課題への積極的な取り入れの検討が必須かと考える。

本稿においては、少しばかり筆者の自己紹介も兼ねた雑筆にお付き合い頂いた後、熱流動と AI 技術をリンクさせた研究課題の紹介と、筆者が現在取り組んでいる機械学習を用いた熱流体解析について紹介する。

1. 日米工学部における計算技術教育環境の比較

1.1 逆カルチャーショック！

博士課程終了後に北大着任が決まり、23 年ぶりに日本へ本帰国となった 2013 年以降、学内外において様々な逆カルチャーショックを味わってきた。特に大きかったのが国内大学の計算リソース事情の乏しさである（筆者の知る国内大学とは北海道大学であるため、状況は様々であることは承知であるが、その点はご容赦願いたい）。 CFD ソフトウェア等のライセンス契約は原則として研究室単位で行い、ライセンス数と予算のやりくりに教員は毎年頭を悩ます。ライセンスを持たない研究室が配属先となった学生は、「修士」であるにも関わらず、業界最新の解析ツールに触れる機会も無い。着任直後に研究室内の PC を何気に起ち上げてみたところ、MS Office と Adobe しか入っていなかったことに衝撃を受けたものである（「北大では Office が無料で使えるんです！」と学生に自慢げに語られた記憶がある... 苦笑）。Purdue 工学部が運営するコンピューターネットワークにおいては（申請すれば）FLUENT が使い放題で、大規模実験装置の設計では必ず CFD を用いて設計の検証を行っていたし、大学院レベルの授業のプロジェクトや、実験装置の設計においては CFD を検証ツールとして使用するのが常であった。計算リソースと言う意味で、日本の大学はスタートラインにすら立てていない現状かもしれない。勿論、これには日米大学システムの違い、寄付文化の違い、次世代教育への投資を重要視する風土の違いがあることは事実であろう（Purdue では毎年卒業生有志の寄付金によって新たな建物がキャンパス内に次から次へと建っており、訪問する度に建設工事が行われている。米国の大学や公共の建物の名前に人名が多い理由の一つだ）。ただ、筆者が思うに、この「差」は Parallel Computing・ビッグデータ・IoT・AI 技術が当たり前の昨今ますます深刻になってきており、将来の計算技術者を養う上で、教育システムや文化の違いのみでは単純に片付けてはならない問題と考える。

国内大学がこのような状況にある中、計算技術部会の皆様におかれても、次世代人材育成を含め、筆者が到底理解することのできない困難な課題が多い時期なのかと示唆される。計算リソースに頼らない独創的な着眼点で、若手の刺激となる研究成果を「地道にコツコツ」（近頃の若手が毛嫌いする言葉かもしれないが、日本人が世界に誇れる側面であると思う）と世界に向けて発信して頂くことが有効打なのかと考える。貴部会 HP に掲載されている設立趣旨を拝見させて頂いたが、原子力分野に関わる全ての計算工学分野の研究者が集まり、意見交換を行う「横のつながり」は大切である。ただ、業界内でガラパゴス化しないためにも、各分野においては他業界の計算分野とも意見交換を行う「縦の繋がり」が今

後ますます重要になるのかと考える。第 33 回数値流体力学シンポジウムは 11 月下旬に北海道大学で開催予定であり、筆者も現地実行委員として~~駆り出され~~積極的に携わっている。計算部会の皆様にも奮ってご参加頂ければ幸いである（**9 月 30 日が講演申込〆切です！**）。

1.2 Purdue 大学工学部での計算技術教育

せっかくの機会なので、Purdue 大学工学部における計算技術教育について少しばかり言及したい。筆者は学部から大学院卒業まで米国 Purdue 大学工学部に所属していたが、学部 1 年次は専門的な専攻には割り振られず入学者全員が Freshman Engineering というカリキュラムから始まる。2001 年当時はこの段階で、UNIX（当時の工学部ネットワークが UNIX ベースであった）と Fortran、C、MATLAB を徹底的に叩き込まれ、このカリキュラムについていけない学生は Dropout を余儀なくされる。当時 UNIX に触れたことで、（結果的に）Python や AI 関連のコードを回す上で必要不可欠な LINUX にも臆することなく触れることができたのはプラスであった。コンピューターの好き嫌い関係なしに、工学部に入部する学生全員がこの登竜門を通ることになる。一年目で姿を消し、他専攻に移る学生も多い。「就活予備校」とも揶揄される日本の大学からこのカリキュラムを振り返ると、まずまず理にかなっていたように思える。今の時代、実験屋や理論屋さんでも最低限のプログラミングの知識は必要不可欠であろう。学部や大学院の選択科目（Technical Elective）には機械工学科や航空宇宙工学科が開講する複数の Numerical Analysis や CFD の授業があり、興味があれば誰でも受講可能である。学内のリソースが整備されているが故に可能なシステムであるが、毎週課せられるコーディングの課題に、無事 Compile させるまで何度も徹夜をした記憶がある。因みに、これらの授業の担当教員は毎年ローテーションで決まるが、（少なくとも筆者が在籍していた頃の Purdue では）現役でバリバリと研究室を回している教員が熱意をもって担当する。2010 年ノーベル化学賞を受賞した根岸栄一教授も、受賞アナウンスの当日は学部生向けの有機化学の授業を大講義室で担当されていたのは Purdue では有名な話である。授業時間を昔話や自慢話、研究室 PR にでも使おうものなら、米国では訴訟問題に発展する可能性大である。

MS オフィスしか入っていない北大研究室パソコンに衝撃を受けたのは前述したとおりだが、RETRAN コードを使った解析が研究課題の学生に問いただしてみると、そもそも MATLAB や Mathematica をはじめ、原子力工学者であれば一度は触れるモンテカルロ計算について耳にしたこともないという。授業で Fortran に少し触れたが、その後一切使わないため綺麗サッパリ忘れてしまったとのこと。リソースのみならずカリキュラムでも完敗かもしれない。北大では年度末が近づくと全研究室に一斉メールが入り、必要な MATLAB Toolbox の数を Excel にまとめる作業が始まるが、これを取り纏めているのが副工学院長と知った時はなんとも複雑な気持ちになったのは言うまでも無い。計算リソースはごく一例であり、国内大学には、論文数や世界大学ランキング向上の議論以前に解決すべき組

織的・制度的課題が山積みのような気がしてならない。

もし本寄稿を読んでいる学生や20代の若手研究者がいるのであれば、交換留学やインターンシップ、長期滞在制度等を利用し、身軽に動ける学生時代に海外に出てカルチャーショックを肌で感じ取り、自らの手でレベルアップを図るためにチャレンジされることをお勧めする。就職活動時期やアルバイトの関係等あるのだろうが、若いうちに一度は日本を出る経験を持たれてはいかがだろうか。そして、外から日本を見つめて欲しい。日本が「技術立国」「ものづくり大国」とグローバルの舞台でもてはやされていたのはもはや一昔前の話である。米国大手家電屋に溢れかえっていた日本製電子機器や白物家電は2000 年代に入って次第に姿を消し始め、いまや、胸を張って日本製と言えるのはカメラと車ぐらいである。素材や材料、各種部品、イメージセンサーにおいては世界シェア上位を保っているように見えるが、見方を変えると、日本がインテグレーターとしての力を失い下請けとなってしまった結果とも言えるかもしれない。「日本は凄い」特集のテレビ番組を楽しむのも大いに結構だが、若いうちには自らの足を動かし、目と肌で海外を体験して欲しいと思う。レベルアップと一言に言っても捉え方は人それぞれだろう。自分が成長するためには何が必要か、自らに問いかけて欲しい。英語はもちろんのこと、新たな知識・技術をいち早く・正確に・率先して習得し、日本という狭い枠を越えた舞台で応用できる力がこれからの「人財」に求められるのではないだろうか。業界としても、そのような若手を積極的に技術的・経済的に支援する体制が必要であるかと考える。

2. 原子力熱流動における AI 技術の応用

2.1 ニューラルネットと深層学習

第三次 AI ブームと言われているだけあり、AI 業界はかなりの盛り上がり様である。筆者は 6 月に人工知能学会＠新潟へ参加してきたが、国内会議であるにも関わらず 2,000 人以上の参加者があり、企業展示も大盛況であった。何よりも、そのような雰囲気の下で研究発表をしている学生の目が活き活きとしていたのが印象的であった。会議やセミナー主催の度に人集めや企業スポンサー集めに忙殺される熱流体関連の国内学会とは対照的である。

AI と原子力技術は長きに渡って関わりがある。筆者が Purdue 大学原子力工学科の修士課程に入学した際の学科長（Prof. Lefteri Tsoukalas）の学位は Computer Science で AI の研鑽に励んでおられた。彼が大学院のカリキュラムで開講していたニューラルネットワークやファジィ理論の講義を興味本位で受講したことが、筆者が AI 技術に関心を持つようになったきっかけだ。博士課程時には電子工学科の大学院生が受講する機械学習の授業も受講した。Purdue 大の授業の特筆すべき点として、大学院の授業には中間・期末試験に加え、必ず「プロジェクト」なる課題が課せられ、レポートと全クラスメートの前での口頭発表が求められる。グループワーク形式の授業もあれば、個人で行う場合もある。答えありきの与えられた課題を単に解くのでは無く、自らの考えで問題を設定し、文献調査を行い、授業で

習得した内容の応用を検討し、レポート提出と口頭発表が義務付けられる課題がほぼ全ての大学院の授業にあった。研究を行う上での基礎が繰り返し叩き込まれると同時に、自身の修士や博士課程の研究課題にヒントを与えるきっかけにもなる。AI の授業でも同じで、筆者はニューラルネットを MATLAB で利用して水平気液二相流の解析や、KNN でのクラスタリングをプロジェクトとして行なった記憶がある。先進的な概念をいち早く教育カリキュラムに取り入れる点、又、学生自らが問題設定を行う力を養う教育は日本の大学も大いに見習うべきかと考える。

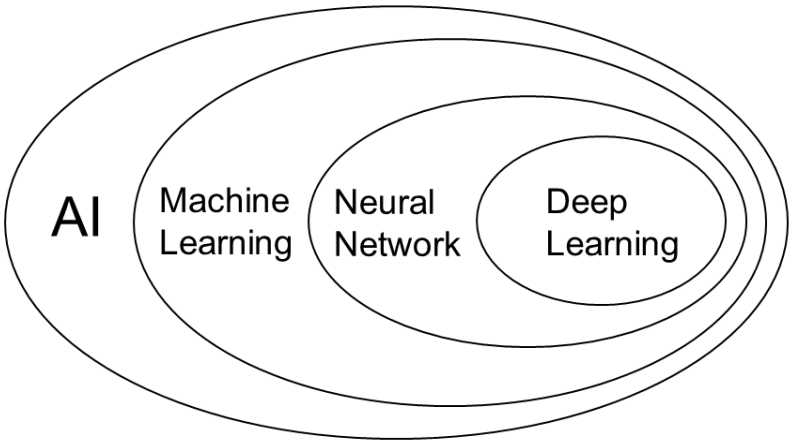


図１：人工知能・機械学習・ニューラルネットワーク・深層学習の関係性

では、そもそも我々が耳にする AI 技術とは何なのか？ 近年 AI 業界を席巻している深層学習（Deep Learning）の基盤として知られているのがニューラルネットワークである（図１）。機械学習（Machine Learning）の定義は色々とあるようだが、一般的には A.L. Samuel による「明示的にプログラミングすることなく、コンピューターに学ぶ能力を与えようとする研究分野」との定義が広く引用されている。ニューラルネットワークは機械学習の一種であり、人間の神経細胞（ニューロン）を数学的モデルとして模擬したものである。入力層より入力されたパラメータ（x_1, x_2）を活性化関数（Activation Function）で z 値に変換し、最終的に出力 y が得られるというものである（図２）。この活性化関数の導入により、非線形性への対応が可能になった。出力は一般的に 0~1、或いは、-1~1 とされているが、基本、入力値に対し何らかの形で出力値を変化させることができれば良い。1980 年代以降、脳神経を模倣したシグモイド関数、ハード双曲線正接関数（hard tanh)、式（１）に示した正規化線形関数（ReLU）等の様々な活性化関数が提案されているが、解析に適した活性化関数の明確な選択基準はいまだ存在せず、経験則やトライアルアンドエラーに依存している状況である。

$$f(u) = \max\{0, u\} = \begin{cases} u \ (x > 0) \\ 0 \ (x \leq 0) \end{cases} \tag{1}$$

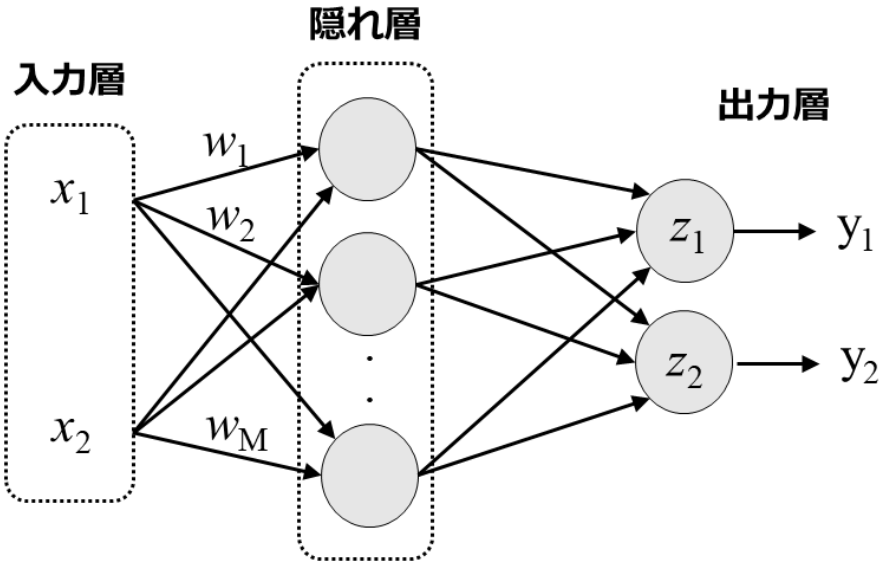


図２：複数層のノードからなるニューラルネットワーク

隠れ層を導入し、多層にすることでネットワークの構成はより複雑化する。つまり、隠れ層を含まない単相構造ネットワークに比べ、より複雑なデータ配置への対応が可能となり、精度の高い出力が得られると言われている（一般に、隠れ層が 3 以上のネットワークを「深層学習」と呼ぶ)。ReLU 関数による隠れ層数の影響について調査を行った先行研究では、入力数 n_0、隠れ層数 L、ノード数 n の場合、出力可能な下界(lower bound)が次式により提案されている[1]。

$$\Omega\left(\left(\frac{n}{n_0}\right)^{(L-1)n_0}(n)^{n_0}\right) \tag{2}$$

式（２）から、層数 L を増やした多層構造を構築する場合、出力のオーダーは指数関数的に上昇するため、ノード数（n）を増加させるよりも効果的であることが言える。

出力値（y）を識別関数として与えた場合、重み係数（w）を調整（フィッティング）することで入力値 x に対する近似モデルが構築できる。簡単な例として、入力値 x と係数 w に対する出力値 y が次式より算出可能と仮定しよう。

$$y = w_0 + w_1 x + w_2 x^2 + w_3 x^3 \tag{3}$$

実際のデータ(t)との間の二乗誤差(E)は次式より表される。

$$E = \frac{1}{2}\sum_{n=1}^{M}(y_n - t_n)^2 \tag{4}$$

この E 値（誤差関数とも呼ばれる）を最小にするため、未知数パラメータである係数 w を調整し、入力 x から y を予測するモデルが構築される。つまり、ニューラルネットワークを用いた学習は、与えられた出力層（答え）をもとに、ニューロン内の関数近似モデルを調整（訓練）することで、データをフィッティングする仕組みであることが言える（シンプルな説明ではあるが、ニューラルネットは非線形性や最適化の課題に直面しながら 1950～2000 年代に幾度もの黄金期と氷河期を乗り越えることとなる）。誤差関数を最小化するためには当然ながら偏微分を計算することになり、出力層から入力層に向かって計算を進める方法が用いられる。1986 年に Rumelhart らによって開発されたこの手法を誤差逆伝搬（バックプロパゲーション）アルゴリズムと呼び、これを機に多層化したニューラルネットの黄金期を迎えたが、当時の計算機パフォーマンスでは最適化が困難等の課題が多々あった。2000 年代以降のビッグデータ、64 ビットマシン、GPGPU 等の登場を経て、2010 年代に超多層ニューラルネットである深層学習が注目されはじめ、畳み込みニューラルネット（CNN）や時系列予測用の LSTM 等、超多層モデルを取り込んだ手法が脚光を浴びるようになる。

工学的分野への応用が広がる中、AI 技術の課題点も明らかになってきている。深層学習はデータ群のクラスタリング等といったいわゆるパターン認識・識別は得意であるものの、結果の再現性が保証できない点や、出力結果の説明ができない（ブラックボックス計算）等の課題があるのも事実である。ただ、我々が取り組む工学的課題・現象・計算の全てがホワイトボックスでは無いのも事実ではないだろうか。原子力分野も例外では無く、サブクール沸騰や直接接触凝縮現象等といった未だ未解明の現象の多くは実験相関式に依存しているのに加え、計算コード中のコマンドがハードで如何にキャッシングされ出力値を得るか等を理解している方は希少ではないであろうか。深層学習技術の応用が進むにつれ、時代の流れとともに徐々に主要ツールとしてある程度 Accept されていく（せざるを得ない）流れになっていくかと予想される。

2.2 原子力安全、熱流体における応用

原子力安全における先行研究事例として、PWR や高温ガス炉の異常事象検証等にニューラルネットワークを取り入れた研究が挙げられる [2, 3]。こちらの事例は深層学習以前の解析であるため、ネットワーク構造そのものはシンプルであるが、目視では確認できない異常信号の兆候をいち早くキャプチャ可能なツールとなっている。このように、ニューラルネットワークを採用する利点として、警報システムや監視信号のモニタリングのみでは対処が困難な原子炉システム全域の把握が可能な点が挙げられる。また、過去の正常な運転例を膨大な訓練データとして学習し、構築されたモデルを運用することに

より、運転員の主観を伴うことなく、定めたルールに基づいた客観的自動検知が可能な点も挙げられる。これにより、運転員が（パニックに陥り）正しい判断が出来ずに事故に至ったスリーマイル島や、（政治的要素が強い特殊な事例ではある）チェルノブイリ原発事故等、計器類が異常信号を発信する以前に、微小な異常兆候や状態量変動をモデルが感知することで、原子炉施設の安全性は大きく向上するものと期待される。

また、安全解析コードへの AI 導入例として、Iterative 処理にて計算時間を有するパラメータ（熱伝達係数, CHF 時の壁面温度等）を事前に深層学習に学習させ、ネットワークを構築することで、瞬時に出力を得ることが可能な、言わば Look Up Table 的な使用例も発表されている[4]。また、最近では電熱面における熱流束と電熱面形状を入力パラメータとして深層学習ネットワークを訓練させ、平均ボイド率や壁面温度等を出力する研究報告も存在する。CFD と深層学習をカプリングさせ、境界条件から熱流動場のパラメータを多次元で予測可能な研究事例も今後増えていくものと考えられる。

このように、AI は大量のデータに潜むパターンや特徴を機械が汲み取り、どのようにすれば効率よくグループ化（又は、グループ分け）が可能かを自動的に学習するシステムと言える。また、前述した例では正常時のプラント情報を教師データとして与えることでネットワークを訓練させる「教師あり学習（Supervised Learning）」であり深層学習の基礎として知られる。（正解をあたえずに学習させる「教師なし学習（Unsupervised Learning）」や「強化学習（Reinforced Learning）」等の方法も存在する。）従って、入力データと出力データのペアを訓練データとして用いる必要があり、データが大容量化するにつれ、ラベルやタグ付け作業（アノテーション）も膨大となる。高精度の学習モデルはアノテーションの精度に依存していると言っても過言では無く、画像・映像、テキスト、セマンティック等、様々な種類が存在する。自動運転等の分野においては自動化の研究が進んでいるが、人の手作業に依存している分野も未だ多い。ただ、世界中の AI 技術者が最新の研究成果を Web 上でリアルタイムで公開しあっている昨今、訓練作業の全自動化が実現するのも時間の問題かと考えられる。AI ユーザー側として大事になるのが、的確な訓練・検証データを選択する知見、（ネットワークが構築された）条件の正確な把握等であろうか。熱流体現象やプラント事象の説明に必要な「良いデータ」を取得する技術は今後ますます重要になるのではと考える。

逆に、深層学習の方が遥かに早く優れた処理能力を持つ、画像処理や信号処理の役割は今後一挙に AI に置き換えられていくであろう。画像処理専門の技術者や、物理的意味を考察せずにただひたすら計算機を回す解析屋さん等は今後減少していくものと考えられる。更に言えば、いかに優れたアルゴリズムを開発したとしても、ソースコードを開示せず、第三者が再現できないような仕事や論文（しばしば遭遇する）を発表する研究者は急速に信頼を失ってしまうであろう。

2.3 AI 技術を用いた管内気液二相流解析

AI 技術（ここでは”ディープ”ニューラルネット）を用いた熱流体研究の一例として、管内気液二相流の研究について紹介したい。筆者は管内気液二相流による流体励起振動評価の研究に携わってきたが、重要となるのが流動様式の正確且つ客観的な識別である。ドリフトフラックスモデルや二流体モデルを閉じるために必要な構成方程式の多くは流動様式に依存しているため、流動様式の把握は機器・プラントの設計や安全解析において重要となる。また、石油、天然ガス輸送ライン等においては著しい振動を生成するスラグの存在が問題となる。

流動様式識別手法として、一般には、(1) 流動様式線図（Flow Regime Map)、(2) 計測器出力信号からの判定等の方法が挙げられる [6-8]。流動様式線図を用いるアプローチでは、 Taitel−Dukler や Mishima−Ishii 線図といった流動様式線図を用い、入り口流速（正確には見かけ流速）から内部の流動様式を判断する（著作権の問題もあるため、流動様式線図の詳細について気液二相流技術ハンドブックをご参照願いたい)。この方法を用いるためには気液両相の流速を把握する必要があるが、オンサイト場面や、複雑な配管系の場合は困難なのが現状である。また、流動様式線図は複雑で非定常な二相流形態の代表的形状を仮定しているため、具体的な遷移領域については曖昧さが残る。

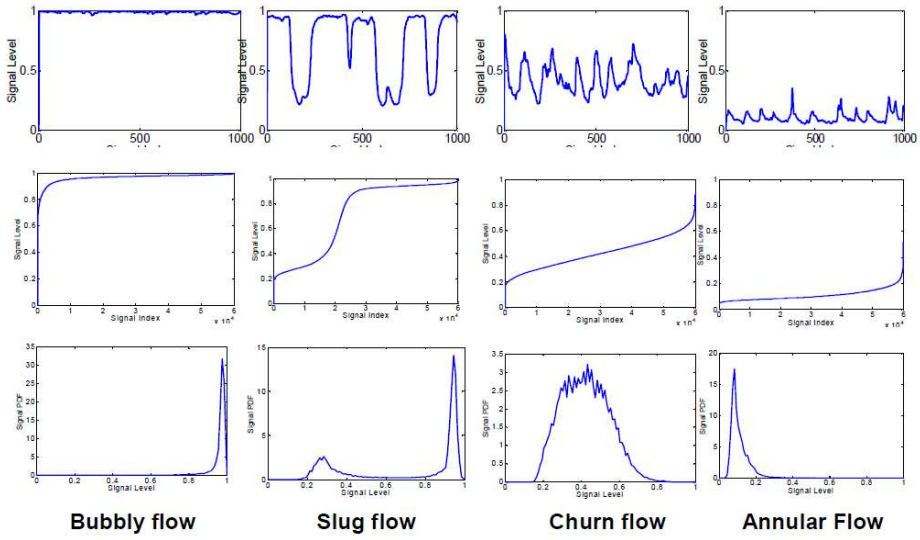


図３：インピーダンスセンサーによる垂直上昇流におけるボイド率信号特性

計測器による流動様式判定の研究は古くから行われており、インピーダンスセンサーからの断面平均ボイド率計測値や、差圧系による圧損値を用いた手法等が提案されている[6]。図３に垂直上昇二相流ループ内部に設置したインピーダンスセンサーからの出力を示す。気泡流、スラグ流、チャーン流、環状流と遷移するにつれ、確率密度分布値（最下段プロット）のピーク位置が著しく変動することが分かる。この出力に流動様式ラベルをセットにしたものを教師データとしてニューラルネットの訓練に使用す

ることで、ラベル無しのデータを取り込む際に流動様式名を出力するネットワーク構築が可能となる。ボイド率出力信号の判定にニューラルネットを用いることで客観的流動様式識別手法を確立する技術は Purdue 大学で提案され、小口径に加え、大口径、矩形管、バンドル体系にも応用されている[7]。この際、ネットワークへの入力信号は流動様式毎の信号識別が比較的容易な PDF 又は CPDF 値が良いとされている。同様に、差圧計を用いた手法も Matsui らにより提案されている[8]。

以上の方法は画期的な客観的識別手法ながら、双方とも計測器を直接試験部に取り込む必要があるのに加え、計測器の精度や校正に依存してしまうといった短所がある。そこで、配管外部に取り付けた力覚センサーによる計測値から流動様式判定ができないか検討を行った。例えば、著しい振動が生じやすい配管曲がり部やチーズ部における力のバランス式を一次元と仮定して解き、フーリエ変換を施すことで励振力変動のスペクトルが得られる[9,10]。

$$F_{\mathrm{FSx}}(t) \xrightarrow{F} F_{\mathrm{FSx}}(f)$$

$$= -A\rho_f j_t^2 A_{\mathrm{f}}(x_0, f) e^{-i2\pi\frac{f}{j_t}(L_2 - x_0)} \left[\frac{i2\pi R f j_t e^{i\frac{f\pi^2 R}{j_t}} + j_t^2}{-4\pi^2 R^2 f^2 + j_t^2} \right] - P_{\mathrm{out}}(f) A \tag{5}$$

式導出の詳細については論文を参照願いたいが、右辺項はそれぞれ運動量変動、圧力変動であり、運動量変動についてはボイド率スペクトルに依存する。先行研究から、管内ボイド率ならびに圧力変動は流動様式により異なる点が知られていることから、励振力スペクトルの解析による流動様式識別の可能性は上式に示される通りである。従って、力覚センサー又は加速度計により配管の振動を計測し、その信号を教師データとしてネットワークに用いることで、振動特性と流動様式の関係性を客観的に判別することが可能であると考える。

図４に管内水平気液二相流による励振力信号計測結果を示す。この励振力は配管壁面に取り付けた力覚センサーにより取得したものであり、流動様式毎に時系列信号ならびにパワースペクトル密度（PSD）の特性が変動していることが分かる。従って、時系列データからは励振力信号の振幅情報、周波数領域からは励振力ピーク周波数等の情報が「特徴量」の候補として挙げられる。従来の機械学習においては、この特徴量の選定を人間が行う必要があり、ネットワークの精度もユーザーによる訓練方法（入力パラメータの選定）に依存する傾向にあった。結局のところ、人間が主要なパラメータを Select＆Feed してやる点は短所ともとらえられるが、ネットワークへ入力した特徴量が既知であるため、超多層ネットワークを用いた手法（言わば力業）よりも判断根拠を説明しやすいのも事実である。近年の深層学習においてはネットワーク自体が独自の特徴量を抽出する手法が注目されている。所謂 Blackbox 的計算手法であり、その判断根拠をどの範囲まで理解する必要があるかは AI 技術を取り入れる上で課題となる

と考える。

抽出した特徴量は、訓練用（Training）、検証用（Validation）、テスト（Testing）用に分類される。訓練データはニューラルネットの訓練に用いられ、与えられた「正解」を基にネットワーク内の重みとバイアス等のパラメータをチューニングする。訓練済みのネットワークをテストするために用いられるのが学習に使用していない検証データであり、モデルの学習を完了させる。モデルの最後の答え合わせに用いられるのが訓練にも検証にも使用していないテストデータとなる。検証・テストのステップを用いる理由は、検証データの特性が学習の過程でネットワークに取り込まれてしまうため。テストデータ（本試験問題）を用いることで、検証データ（過去問）への過学習を防ぐことが可能となる。実験等により取得した有限個のデータセットを如何に分割するかというのがポイントとなる。K 分割交差検証法、ホールドアウト法、ブートストラップ法等が挙げられる。また、入力データの前処理として、データ群を汎用化・Normalize するのが一般である。

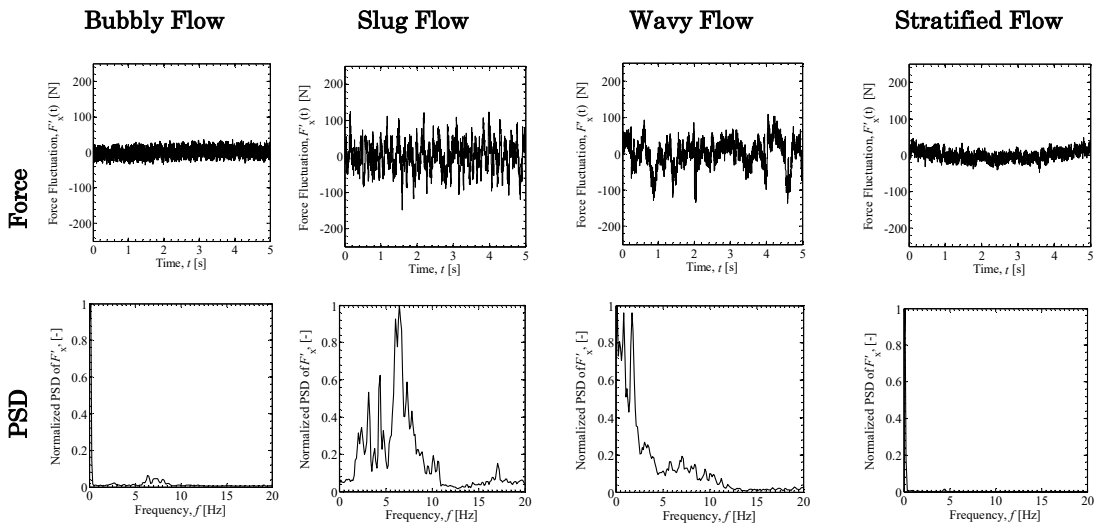


図４：水平気液二相流における励振力信号とパワースペクトル

ニューラルネットのパラメータを最適化するための学習を行う際には、隠れ層とノードの数を予め決定する必要があるが、確立された手法は存在しない。隠れ層が多ければ多い程より膨大なデータ群や複雑なデータ配置への対応が可能とされているが、計算時間が膨大になるとともに、ネットワークが未知のデータへ対応できなくなる過学習に陥る可能性もある。このような過学習を防ぐために様々な（正則化）手法が提案されており、一定のノード出力を敢えてゼロに設定するドロップアウト（Dropout）は、より汎用性のある特徴量の抽出が可能となる。

本データからは、時刻歴データより最大振幅、標準偏差等を含めた 5 つの特徴量を、PSD より得られる周波数領域からピーク周波数値、最大ピーク 5 点値を含めた 6 つの特徴量を足し合わせた合計 11 のパラメータを入力値としてネットワークの学習を行った。加速度計により取得したデータと比較し、力

覚センサーのデータは識別に適しており、90%以上の精度での流動様式判別が可能であることが分かった。特に、顕著な配管振動を誘発するスラグ流は特徴的な振動波形を有するため、機械学習にとって容易に識別が可能な流動様式であることが分かった。これに対し、水平流の Wavy Flow や、垂直上昇流の Churn Flow 等に代表される遷移近傍の流動様式については流動様式の定義そのものも曖昧であることから、データセットへのアノテーションに、どうしても主観が混在してしまい、識別精度が低下する傾向にある。既存の流動様式線図に基づいた機械学習の短所且つ限界でもあり、80 年代に提案された理論ならびに目視実験に基づいた数々の流動様式線図の見直しが必須であるかと考える。

おわりに

バブル期を経験された方々が AI 技術と聞いて思い浮かべるのが通商産業省の「第五世代コンピュータープロジェクト」では無いだろうか。当時を知る AI 技術者によれば、世界一奪取を本気で狙った壮絶なプロジェクトであったそうだ（当時のレートで 570 億円）。このプロジェクトの反響は世界的にも大きく、日本に遅れをとらんとばかりにイギリスやアメリカ DARPA も後を追うように巨大な AI 関連プロジェクトを起ち上げた。当時の日本が世界に与えたインパクトはバブル時代の資金力のみならず、斬新なプロジェクト構想と研究クオリティであったようだ。

あれから 40 年経った今、AI 技術においては米国企業が市場を席巻している状況だ。インテグレーション力を失った日本企業は部品や素材供給がメインとなり、（少なくともグローバルの舞台では）キープレーヤーと認知されるには厳しいのが現状だ。第五世代コンピュータープロジェクトは失敗に終わったが、提言内容は正しかったというのが当時を知る多くの技術者の意見だ。Web の出現がもう少し早ければ日本の今の立ち位置は違っていたという声も耳にする。いずれにせよ、今の Google と同じような取り組みを日本独自で発案し、（本気でムーンショットを狙った）国プロに挑戦した時代があったという事実に、筆者はこの国の持つ潜在能力に少なからずのポテンシャルを感じている。日本の原子力業界に足りないのも、このようなチャレンジャー的な姿勢、（クラーク博士の言葉を借りれば）Ambition では無いだろうか。学会でお会いする国内メーカーの方々から「モノを造ったら負け」「SMR の開発も良いが、2・3 番手ぐらいが丁度良い」等、消極的な意見をしばしば耳にするのが残念だ。

2019 年 8 月にポートランドで開催された NURETH 会議では、機械学習やディープニューラルネットと熱流動をリンクさせた研究発表が大学、国立研究所、メーカー等多岐にわたる機関より行われた。AI 技術を活かした熱流動解析手法の検討は世界中で活発に進行している様子がうかがえた。今の日本で見られるような AI バブルは数年後に落ち着くと思われるが、深層学習を軸とした高次元解析、パターン認識技術は、汎用計算機的なツールとして定着していくものと考えられる。「AI 技術を理解する〇〇エキスパート」とも表現可能なダブルメジャー的な人財は、グローバル人材と同様に今後需要が高まっていくものと思われる。日本政府が 2019 年に打ち出した AI 戦略によれば、年間 2000 人のエキスパート

輩出が一つの目標のとされている。AI 技術の根幹は計算技術部会のお家芸とも言える数学と統計学、そしてプログラミング力である。今一度、この基礎部分を強化し、若手を刺激するような勉強会、セミナー、連載等をご検討頂き、業界全体での次世代人財育成に努める時期かと考える。

参考文献

[1] G. Montufar, R. Pascanu, K. Cho, Y. Bengio "On the Number of Linear Regions of Deep Neural Networks", Advances in Neural Information Processing Systems, 2014.

[2] K. Nabeshima, S. Nose, K. Kudo, K. Suzuki "PWR プラントシミュレータを用いたニューラルネットワーク原子炉異常診断技術の研究" JAERI-Research 96-051, Japan Atomic Energy Research Institute, October 1996

[3] A. Shimizu, K. Nabeshima, and S. Nakagawa "HTTR Operation Monitoring with Neural Network in 30 Days Operation at 850 °C" JAEA-Technology 2008-082, Japan Atomic Energy Agency, January 2009

[4] H.M. Park, K.D. Kim "A Deep Learning Model to Predict Wall Temperature at Critical Heat Flux in Space Code", #N11P0112, NTHAS-11, November, 2018.

[5] L. Tsoukalas, M. Ishii and Y. Mi "A Nurofuzzy Methocology for Impedance-based Multiphase Flow Identification", Engineering Application in Artificial Intelligence, Vol. 10 (1997), No. 6, pp. 545-555

[6] O.C. Jones, N. Zuber, "The interrelation between void fraction fluctuations and flow patterns in two phase flow", Int. J. Multiphase Flow, Vol. 2 (1975), pp. 273-306.

[7] Y. Mi, M. Ishii, and L. Tsoukalas, "Flow Regime Identification Methodology with Neural Networks and Two-phase Flow Models", Nuclear Engineering and Design, Vol. 204 (2001), pp. 87-100.

[8] G. Matsui, "Flow Pattern Identification and Flow Visualization", Japanese J. Multiphase Flow, Vol. 14 (2000), pp. 24-38.

[9] S. Miwa et al., "Two-phase Flow Induced Vibration in Piping Systems", Progress in Nuclear Energy, Vol. 78 (2015), pp. 270-284.

[10] S. Miwa et al., "配管エルボー内における気液二相流励振力に関する研究（第一報，垂直管内二相流における励振力評価)" 日本機械学会論文集 Vol. 80 (2014), No. 809, FE0005

講習会・ワークショップ等の開催報告・連絡事項等

● SNA+MC 2020, Japan

Joint International Conference on Supercomputing in Nuclear Applications + Monte Carlo 2020

Tokyo Metropolitan Area (Chiba), Makuhari, Japan, 18-22 May 2020

[Main Topics]

・Computational Nuclear Applications

・High Performance Computing & Visualization

・Monte Carlo Simulation for Radiation Transport

[Special Topics]

・Fukushima Recovery & Decommissioning Issues

・Virtual Reactor & Virtual ADS

・AI Technology for the Nuclear Field

・Monte Carlo Simulation for Medical and Life Science

[Selected Paper]

Selected manuscripts will be published in a special edition of the Journal of Nuclear Science and Technology (JNST) published by the Atomic Energy Society of Japan (AESJ).

[Key Dates]

・Call for Abstracts: April 2019

・**Deadline for Abstract Submissions: September 30 2019**

・Notification of Acceptance: October 2019

・Deadline for Early Registration: January 2020

[Contact]

・email: sna_mc2020secret@csed.sakura.ne.jp

・web: http://snamc2020.jpn.org/

※計算科学技術部会が主催する国際会議です。

9 月 30 日まで発表申込を受け付けておりますので、ご応募をお待ちしております。

400 字の Abstract で採否決定し、会期中に選抜された発表は、後日、選抜論文として JNST に掲載されます。また、学生アワードもあります。

● 協賛会議

Sixteen International Conference on Flow Dynamics

「第 16 回流動ダイナミクスに関する国際会議」

https://www.tohoku.ac.jp/japanese/2019/04/event20190409-02.html

本会議は熱流動に関する国内外の研究者が集まり、研究者や学生が研究発表を通じて学術交流を行うもので、今年で 16 回目を迎えます。多くの方々のご講演及びご参加をお待ちしております。

日　時：　2019 年 11 月 6 日（水）～11 月 8 日（金）

会　場：　仙台国際センター

詳細・申し込み：　http://www.ifs.tohoku.ac.jp/icfd2019/

問い合わせ先：　流体科学研究所 ICFD 事務局

TEL&FAX：022-217-5301

Email：icfd2019*fmail.ifs.tohoku.ac.jp　（*を@に置き換えてください）

● 日本原子力学会　計算科学技術部会 懇親会のご案内

日本原子力学会　計算科学技術部会では、部会員の親睦をはかるため、下記の通り懇親会を開催致します。是非お誘いあわせの上、ご参加くださいますようお願い申し上げます。

日時：　2019 年 9 月 11 日（水）19:00～21:00

場所：　海鮮居酒屋「だい人」（富山県富山市新富町２丁目５－１）

富山駅、県庁前駅から徒歩 5 分

電話　076-431-0122

ホームページ　http://www.daito-m.net

会費：　6,000 円(料理 4000 円＋飲み放題 2000 円、学生割引検討中)

ご参加いただける方は

・ご所属

・お名前

・お電話番号

を以下の宛先までお知らせください。

【8 月 30 日（金）】までにお願い致します。

（期日を超えている場合は、個別にご相談下さい）

返送先(懇親会幹事　奥村) okumura.masahiko@jaea.go.jp

年　間　予　定

2019 年

５月　　第１回運営小委員会

８月　　第２回運営小委員会

９月　　秋の大会（全体会議：9 月 11 日 12:00～13:00　K 会場）

会期：　2019 年 9 月 11 日（水）～13 日（金）

会場：　富山大学（富山市）

１１月　「第 16 回流動ダイナミクスに関する国際会議」

（Sixteenth International Conference on Flow Dynamics）

会期：　2019 年 11 月 6 日（水）～11 月 8 日（金）

会場：　仙台国際センター

2020 年

１月　　第３回運営小委員会

３月　　第４回運営小委員会

３月　　春の年会（全体会議）

会期：　2019 年 3 月 16 日（月）～18 日（水）

会場：　福島大学（福島市）

５月　　SNA+MC 2020, Japan

Joint International Conference on Supercomputing in Nuclear Applications + Monte Carlo 2020

会期：　2020 年 5 月 18 日（月）～22 日（金）

会場：　幕張メッセ（千葉市）

＜編集後記＞

日本原子力学会　計算科学技術部会　ニュースレター　第 32 号
2019 年 8 月

編集・発行責任：　計算科学技術部会　出版・編集小委員会
田中　正暁　（委員長）
（原子力機構、tanaka.masaaki@jaea.go.jp）
田村　明紀
（日立製作所、akinori.tamura.mt@hitachi.com）
村上　貴裕
（電中研、murakami@criepi.denken.or.jp）
山下　晋
（原子力機構、yamashita.susumu@jaea.go.jp）
張　承賢
（東京大学、jang@n.t.u-tokyo.ac.jp）

ニュースレター第 32 号をお届け致します。本号は令和初の発刊となりますが、実は計算科学技術部会 10 周年特集号(第 18 号)の際にも編集後記を書かせて頂いており、度々記念となる号で担当させて頂き嬉しく感じております。今回は 10 周年特集号の時のような大ボリュームではありませんが、原稿の執筆を引き受けて頂いた方々をはじめ、関係各位には多大なご協力を頂き、皆様の参考となる情報を多数記載できたかと思います。本部会では引き続き皆様に役立つ情報を発信できるよう努めて参りますので部会員の皆様をはじめ今後ともご支援・ご協力頂ければ幸いです。

（村上　貴裕）

※出版・編集小委員会からのお知らせ

過去のニュースレターは以下の計算科学技術部会ホームページからダウンロードできます。

http://csed.sakura.ne.jp/archives/category/2_newsletter