

東洋大学計算力学研究センター

2020 年度 年報



2021 年 3 月

2020 Annual Report of
Center for Computational Mechanics Research
Toyo University



March 2021

目次

1.	まえがき	1
2.	センターの概要	2
2.1.	センター設置について	2
2.2.	組織	3
2.3.	構成メンバー	4
3.	研究成果	5
3.1.	連成解析グループ	5
3.1.1.	変形性膝関節症のための温熱リハビリテーションシステムの開発	5
3.1.2.	オープンソース CAE を用いた弾塑性 J 積分無次元解の蓄積	8
3.1.3.	大規模構造解析のための領域分割法に基づく並列 FEM ソルバーの性能最適化	11
3.1.4.	ヴァイオリンの構造と周辺音場の連成数値シミュレーション	15
3.1.5.	新規実験計測グループ：柔軟被膜を有する物体に作用する空気力特性	18
3.2.	AI グループ	22
3.2.1.	マテリアルズ・インテグレーションのための材料オントロジーの開発	22
3.2.2.	Wasserstein GAN を用いた人物動作生成モデルの構築	25
3.2.3.	CNN を用いた鶏の白肝の分類	31
3.3.	新規実験計測グループ	33
4.	共同研究	34
4.1.	埼玉 AI プロジェクト	34
4.2.	「知」の集積と活用の中場プロジェクト	34
4.2.1.	研究実施内容	34
4.2.2.	研究実施体制	35
5.	学術活動	37
5.1.	論文投稿	37
5.2.	学会発表	40
5.3.	招待講演	42
5.4.	総説・解説	43
5.5.	出版	43
5.6.	受賞	43
6.	終わりに	44

1. まえがき

2012年に私立大学戦略的研究基盤形成支援事業に選定されたプロジェクト「大規模高精度流体-構造連成解析手法の開発と詳細実験による精度・妥当性検証」が2017年に終了となり、一昨年度ここから東洋大学計算力学研究センターはまた新たなスタートとなっている。本報告はその4年目の活動を中心にとりまとめたものである。

研究内容は、これまでのように中心となるプロジェクトは持たないが、大きく2つの分野(グループ)を作っている。1つは、これまでのプロジェクトの延長線上の位置づけで、流体-構造連成を中心とした連成解析分野、もう1つはさらに1つ前のプロジェクトでテーマとしていた逆問題・最適化からの流れを発展させた人工知能分野の研究である。前者についてはこれまでの研究成果の上に、より幅広い応用を考え、後者は計算力学における逆問題や最適化を踏まえつつ最新の人工知能技術をどのように適用していくかといった新しい分野の開拓を目指している。

今年度はコロナウイルス感染症の影響が大きく、予定していた海外との共同研究や、国際会議への参加など、叶わなかったものも多いが、その中でもオンラインを活用していくつかの産官学連携などを行った。これらについても報告している。

本センターの活動にあたっては、学内外の研究者・技術者の方々、また、本学担当事務部にも多大なご支援・ご協力を賜っている。各々名前を挙げることはしないが、ここにあらためて謝意を表するとともに、関係各位にはさらなるご批判とご指導を賜れば幸いである。

2021年2月

東洋大学計算力学研究センター長

田村 善昭

2. センターの概要

本センターは、わが国の私立大学学術フロンティア拠点のひとつとして文部科学省から設置が認められ、平成 17 年度に活動を開始した。その後、平成 23 年度に科学技術振興機構の戦略的研究推進事業 CREST の選定、続いて平成 24 年度に文部科学省の私立大学戦略的研究基盤形成支援事業の選定を受け、今日に至っている。

本センターに参加する研究員は、東洋大学の複数学部の教員（国際学部，総合情報学部，理工学部），研究助手，大学院生などを中核とし，また客員研究員として関連分野の研究者から構成されている。

各自の専門分野は，構造解析，流体解析，破壊解析，逆問題・最適化，大規模並列計算，可視化など，計算力学分野で必要とされるほぼ全ての分野に跨っており，この分野における専門家集団である。平成 23 年度に採択を受けた CREST では「京」コンピュータ利用のための超大規模解析技術に関して，また平成 24 年度からは，私立大学戦略的研究基盤形成支援事業の選定を受け，連成解析や計算力学の精度検証・妥当性検証にも積極的に取り組んでいる。

さらに，東洋大学 125 周年を契機とした国際化に合わせて海外の関連する大学と積極的に交流を進め，若手の人材育成にも寄与したいと考えている。

2.1. センター設置について

東洋大学計算力学研究センター設置の経緯とこれまでの概要は以下の通りである。

- 平成 17 年 6 月文部科学省私立大学学術研究高度化推進事業「学術フロンティア推進事業」に研究題目「数値逆解析手法の開発とその構造健全性向上のための応用」で採択され，計算力学研究センター発足
- 平成 17 年 12 月センター開所式開催のあと，白山第 2 キャンパス内計算力学研究センター棟に入居し本格活動開始
- 平成 22 年 3 月「学術フロンティア推進事業」終了
- 平成 23 年 8 月科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業 CREST「ポストペタスケール高性能計算に資するシステムソフトウェア技術の創出」に研究題目「ポストペタスケールシミュレーションのための階層分割型数値解法ライブラリ開発」で採択される
- 平成 24 年 4 月文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業に研究題目「大規模高精度流体-構造連成解析手法の開発と詳細実験による精度・妥当性検証」で採択される
- 平成 29 年 3 月「私立大学戦略的研究基盤形成支援事業」終了
- 平成 30 年 3 月「科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業 CREST」終了

2.2. 組織

計算力学研究センターの組織は以下の通りである.

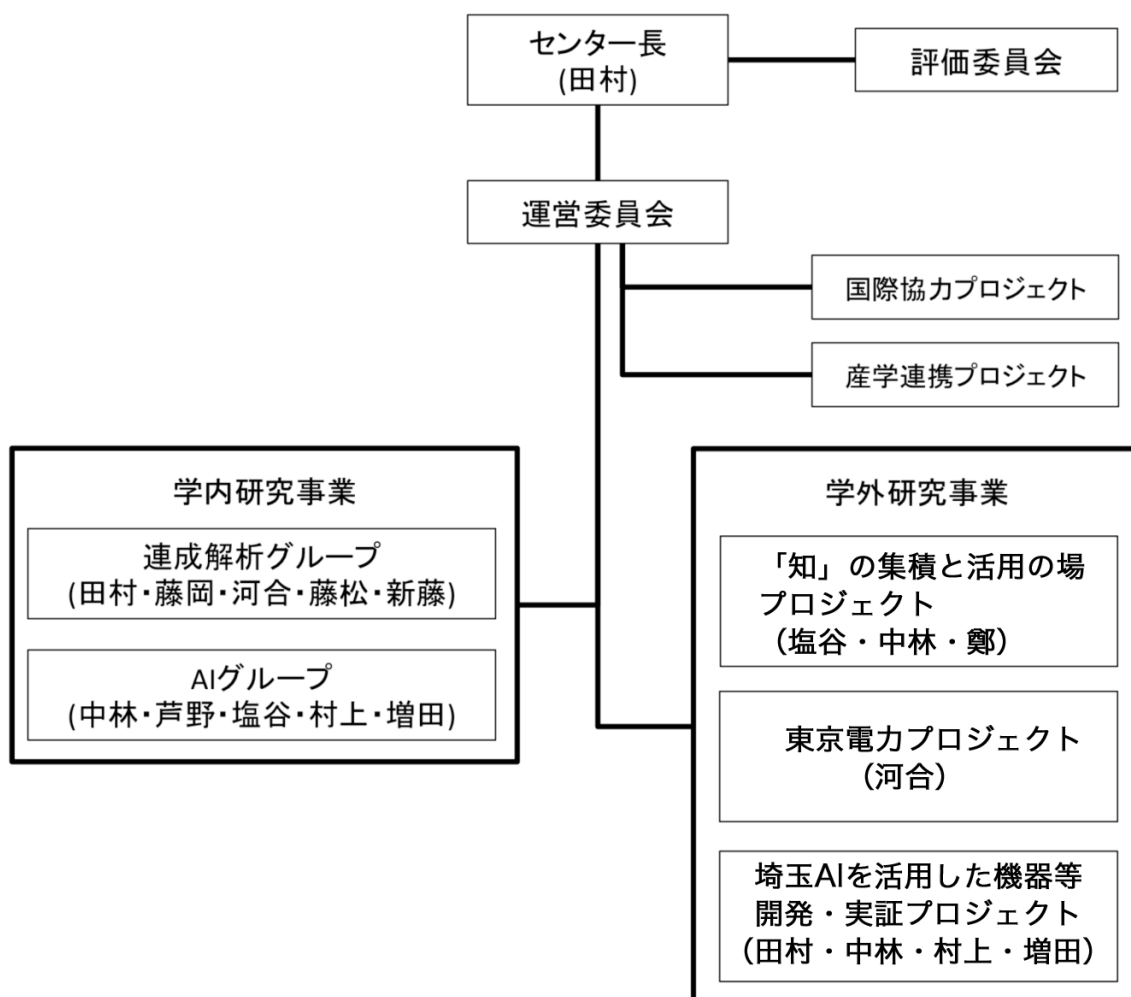


Fig.2.1. センターの組織

2.3. 構成メンバー

計算力学研究センターは以下のメンバーで構成されている。

センター長

田村 善昭（東洋大学総合情報学部総合情報学科教授）

研究員

芦野 俊宏（東洋大学国際学部国際地域学科教授）

河合 浩志（東洋大学総合情報学部総合情報学科教授）

塩谷 隆二（東洋大学総合情報学部総合情報学科教授）

新藤 康弘（東洋大学理工学部機械工学科准教授）

田村 善昭（東洋大学総合情報学部総合情報学科教授）

鄭 宏杰（東洋大学理工学部機械工学科助教）

中林 靖（東洋大学総合情報学部総合情報学科教授）

藤岡 照高（東洋大学理工学部機械工学科教授）

藤松 信義（東洋大学理工学部機械工学科准教授）

村上 真（東洋大学総合情報学部総合情報学科准教授）

客員研究員

江澤 良孝（工学院大学非常勤講師，元東洋大学総合情報学部教授）

大石 篤哉（徳島大学大学院理工学研究部准教授）

金山 寛（日本女子大学特任教授，九州大学名誉教授）

杉本 振一郎（八戸工業大学工学部機械工学科）

富山 潤（琉球大学工学部准教授）

増田 正人（東京大学大学院農学生命科学研究科応用動物科学専攻特任研究員）

松原 仁（琉球大学工学部助教）

矢川 元基（前東洋大学計算力学研究センター長，東京大学名誉教授，東洋大学名誉教授）

横山 真男（明星大学情報学部准教授）

3. 研究成果

3.1. 連成解析グループ

3.1.1. 変形性膝関節症のための温熱リハビリテーションシステムの開発

(1) 目標・計画

変形性膝関節症とは、病変の進行とともに軟骨組織の菲薄化、骨の新生増殖などが生じ、関節機能を著しく阻害する変性疾患である。コフォート研究によれば、日本の変形性膝関節症の患者数は約800万人と推定されている。その多くが中高齢者であり、高齢者になるほど罹患率は高くなる。現在、変形性膝関節の進行阻害、痛みの緩和などを目的としてホットパック、パラフィン浴等の温熱療法が行われている。温熱療法では関節腔内を36～38℃程度に温めることで、関節症による痛みの緩和、病状の進行の抑制に効果があるとされている。しかし、臨床で使用される治療器の加温領域は人体表面から2～3cm程度であり、深部組織の加温が困難である。特に効果的な温熱リハビリテーションを行うには損傷した関節腔内深部の組織を集中加温することが必要である。

このような問題を解決するために、先行研究では簡易形状ファントムを用いた深部加温技術を提案し、有限要素法による数値解析および試作加温装置での加温実験を行い、加温特性についての検討を行ってきた。

本研究では、先行研究で培った深部加温技術を応用し、2次元のCT画像から再構築した、3次元人体脚部モデルを用いて、FDTD法による開放型空洞共振器の加温特性解析を行った。

(2) 意義・国際社会との比較

国際社会においても高齢化は深刻な問題であり、特に関節症に起因するQOLの低下は世界的に解決すべき課題の一つといえる。本アプリケーションが実用化されることで、中高齢者の社会的活躍の向上を図ることができるため、社会的意義は極めて高いといえる。

(3) 研究内容

(i) 解析方法

これまで空洞共振器加温方式を提案し、臨床試験においても高い効果を確認してきた。しかし、電磁気学的特徴から共振器内部で電磁気学的共振パターンを形成するためには全面が導電壁で覆われている必要がある。しかしながら、臨床での利便性を考えた際に開放形状のアプリケーションを考案する必要が出てきたため、本研究では新たに開放面を持つ空洞

共振器アプリケーションを設計しその有用性についてFDTD法による電磁界解析を実施し，深部集中加温の可能性について数値的に検討を行った．

空洞共振器内部に発生する電磁界分布は，一般的に以下の波動方程式により求めることができる．

$$\nabla^2 E + k^2 E = 0 \quad (1)$$

$$\nabla^2 H + k^2 H = 0 \quad (2)$$

$$k^2 = \omega^2 \epsilon \mu \quad (3)$$

$$SAR = \frac{1}{2\rho} \sigma |E|^2 \quad (4)$$

ここで， E ：電界強度， H ：磁界強度， k ：伝搬係数， ω ：角周波数， ϵ ：誘電率， μ ：透磁率， ρ ：体積密度， σ ：電気伝導率 を表している．解析には，電子機器の人体評価にも用いられるFDTD法解析ソフトSim4LifeTMを用いて周波数応答解析を行った．

解析に用いた共振器形状および3次元人体脚部モデルを図1に示す．共振器は直径300 mm，高さ400mmの円筒形状で，脚部を挿入する開放面を有している．解析モデル周辺は空気領域で囲まれている．共振器導体壁は完全導体(PEC)とし，電磁波の励振源には共振器内のビーム要素を設定した．人体脚部モデルは先行研究で作成したものを使用し，本研究では筋肉，大腿骨，脛骨の3パーツで構成した．各組織の電気的特性値を表1に示す．本研究では400MHzにおける人体組織の物性値を使用した．

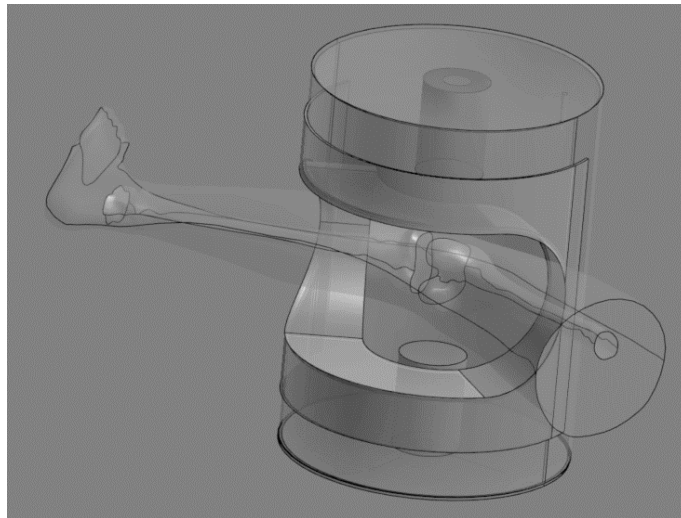


Fig. 1 Resonant cavity applicator with anatomical knee model

Table I Electromagnetic properties (400MHz)

	Relative permittivity	Electrical conductivity [S/m]
Muscle	56.75	0.809
Bone	13.03	0.096
Air	1.0	0.0

(ii) 解析結果

図2に人体モデル関節中央の矢状断面および横断面におけるSAR分布解析結果を示す。周波数応答解析の結果より共振周波数は396MHzであることが分かった。SAR分布解析結果が対称性を持っていることから、空洞共振器が開放面を持っていても、共振器内部に電磁気学的共振パターンが形成されていることが確認できる。また、関節腔の深部まで電磁エネルギーが集中していることを数値的に示した。このことから、開放面を持つ空洞共振器を用いることで、脚部挿入をより簡便にしつつ、深部加温も実現できることの可能性を示した。

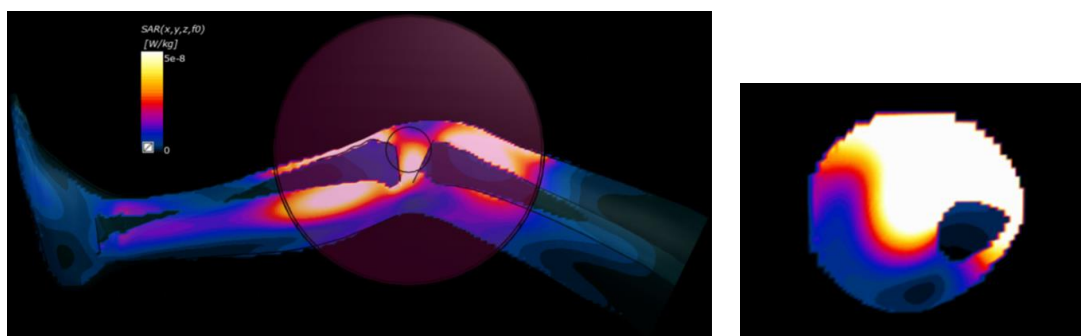


Fig.2 Estimated SAR distribution on sagittal slice of knee model

(4) 2020 年度進捗状況

2020 年度はコロナによる影響もあり、実験など研究室で行う研究が期待通りには進めることができなかったが、有限要素法解析ソフトや FDTD 法解析ソフトにより数値的に性能評価とシミュレーションを行うことができた。また基礎的な研究については実験を行うことができた。上記の研究成果をはじめ、幅広い課題に着手し、研究成果の一部は論文としてまとめた。また今後、実際の試作加温装置を用いて、人体脚部形状の寒天ファントムの加温を行いたいと考えている。

(5) まとめ

変形性関節症のための温熱リハビリテーションを目的として、新たに開放型空洞共振器を提案しその加温特性について、FDTD 法による SAR 分布解析を行い関節深部への加温ね得る儀の集中を確認した。

3.1.2. オープンソース CAE を用いた弾塑性 J 積分無次元解の蓄積

(1) 目標・計画

機器・構造物の安全な使用にあたって、使用中に検出されたき裂状欠陥の有害性評価が求められることがある。小規模降伏条件下でのき裂進展挙動は弾性解である応力拡大係数を用いて評価可能と考えられており、無次元化が可能な線形解のデータベース化と近似式の作成によって、ある程度の実用化がなされつつある。しかし、降伏域が広がると線形解の有効性が失われ、代わって J 積分型の非線形破壊力学パラメータの使用が有望視される[1-2]。非線形解であるから、解析の労力は膨大となり、解析パラメータが増えることと併せて、実用の上で必要とされる形状に対する解の蓄積の難易度を高くしている。本研究では、微小変形・弾塑性条件下で次元的に厳密な非線形解を与える改良参照応力法に着目し、特別な FEM ソルバを使用しなくとも、解析者が自力で解を追加できる仕組みを開発する。FEM には、オープンソースである Salome-Meca/Code-Aster[3]を使用した。

(2) 意義・国際社会との比較

基本的に無償で環境が整備できるオープンソースの利用価値を高めることで、新興国等での活用が促進され、CAE 技術へのアクセス性における地域格差を軽減できる。

(3) 研究内容

(i) 改良参照応力法の概要

低サイクル疲労のような弾塑性状態でき裂進展速度との実験的な対応関係[1] を有するとされる弾塑性 J 積分型破壊力学パラメータの理論は、微小変形と次式の Ramberg-Osgood 則型の弾塑性構成式の条件下で物理的に厳密な意味を持つとされる。

$$\varepsilon = \sigma/E + \kappa(\sigma/\sigma_y)^n \quad (1)$$

ここに ε はひずみ、 σ は応力、 E はヤング率、 σ_y と κ, n は応力ひずみ曲線を近似するよう定める材料定数である。次元解析を根拠として、弾塑性 J 積分は次式で表現できる。

$$J = J_e(E\varepsilon_{ref}/\sigma_{ref}) \quad (2)$$

ここに J は弾塑性 J 積分、 J_e は弾性体の J 積分、 ε_{ref} は参照ひずみ、 σ_{ref} は参照応力であ

り、以下で定義される。また、参照ひずみ ε_{ref} は、 σ_{ref} と式(1)上で対応するよう定める。

$$\sigma_{ref} = \sigma_y (P / \gamma P_L) \quad (3)$$

ここに、 P は作用荷重、 P_L は弾完全塑性体の同一形状物体に対する極限荷重である。オリジナルの参照応力法[4]では、補正係数 g は導入されておらず、式(2)と式(3)は厳密解と次元的には一致するものの数値自体は必ずしも高精度ではなかったが、Kim ら[5]によって補正係数の考え方が導入され精度が改善されている。また、著者[6]によって非弾性ひずみ式をべき乗型に限定すれば全面塑性状態で厳密解に漸近することが示されている。 P_L についても、弾完全塑性解析を行うことで、物体の寸法や降伏応力の大きさによらない無次元解を算出できる。

つまり、弾完全塑性解析によって P_L の無次元解を、Ramberg-Osgood 則を仮定した弾塑性解析の結果から γ の収束解を求めておけば、荷重の大きさや物体の形状、 n 以外の材料特性にはよらない、再利用可能な非線形解が取得できる。

(ii) 解析例

図1の中央き裂入り平板（CCP）と片側き裂入り平板（SECP）について解析を行った。表1のように、き裂寸法、荷重条件、平板モデル、材料特性などを解析パラメータとした。解析の結果得られた無次元化応力拡大係数 F は Tada と Paris の弾性解[7]と良好な一致を確認した。改良前のオリジナルの参照応力法（ $\gamma=1$ で固定）と本研究で得られた γ を用いた改良参照応力法とがき裂入り部材の弾塑性解析に基づく直接 FEA 解析と良好に一致することを確認した。FEA は商用ソルバの MSC.Marc[8]とも比較したが、Code-Aster と若干の差異を生じた。

Table 1 Dimensions, modeling, and material properties analyzed

Case.No	Common	Loading	Element	Gauge length L (mm)	Dimensionless crack length a/w
1	$\sigma_Y = 200 \text{ MPa}$	Tension	Plane stress	10	1/2
2			Plane strain		3/4
3					1/2
4	$\nu = 0.3$	Three-point bending	Plane stress	100	1/2
5	$w = 10 \text{ mm}$		Plane strain	20	
6			Plane stress	100	

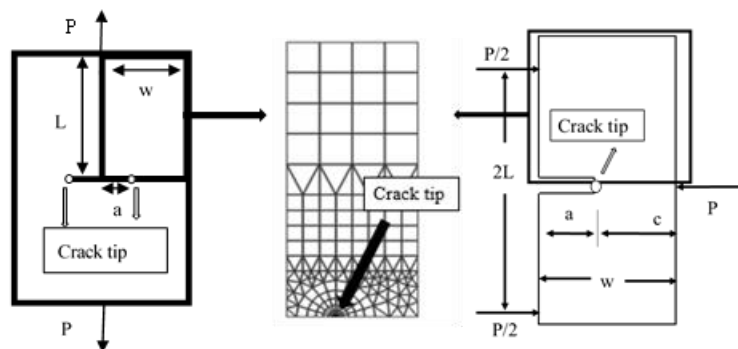


Fig. 1 Configuration of specimens analyzed

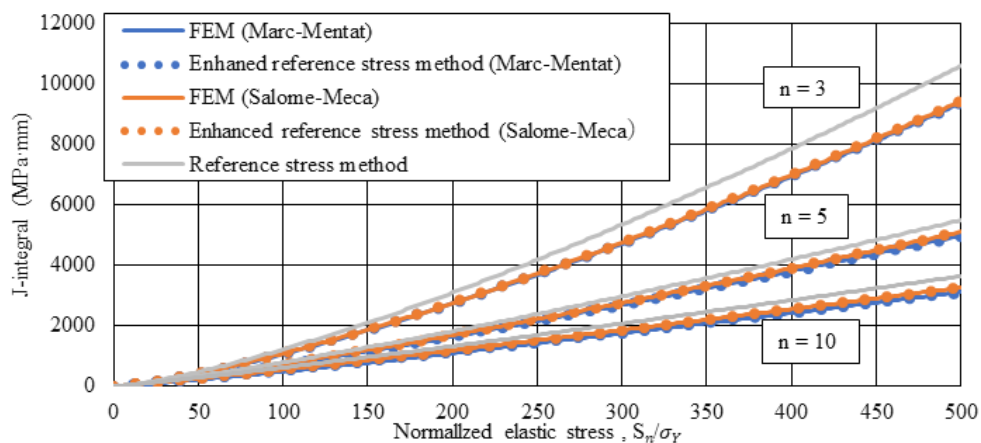


Fig. 2 Comparisons between J-integrals by the enhanced reference stress method and direct estimates by elastic-plastic FEA (MSC.Marc or Code-Aster).

(4) 2020 年度進捗状況

部材の形状は無数にあり、すべてをカバーする破壊力学パラメータを蓄積することは無理があるものの、解析方法や表示方法を標準化し、データベース化を図るとともに、知識工学的手法などによる補間を可能とすることで破壊力学の実用性を高める可能性がある。このための共通プラットフォームとしてオープンソース FEA が有望と考えられる。今後は、より実用性が高い表面3次元き裂の解析や実験的検証事例の蓄積を進める予定である。改良参照応力法に基づき、非弾性 J 積分を理論的には厳密に評価できる。

(5) まとめ

オープンソース CAE の価値を高めるとともに、新興国等での利用など、CAE 技術へのアクセシビリティにおける地域差を軽減する付加価値を高める利用方法の一つとして、非線形破壊力学パラメー

タのデータベース化とその利用方法を示した。本研究の一部は科学研究費補助金(18K02963, 代表: 藤岡照高)の助成を受けて実施した。

参考文献

- [1] S. Taira, R. Ohtani, and T. Kitamura, Trans. ASME, J. Pres. Ves. Tech., 101, 2, 1979, pp. 154-161.
- [2] R. A. Ainsworth, M. B. Ruggles, Y. Takahashi, Trans. ASME, J. Pres. Ves. Tech., 114, 2, 1992, pp. 166-170.
- [3] <https://www.code-aster.org/>. (Accessed Feb. 23, 2021)
- [4] R. A. Ainsworth, Engng. Fracture Mechanics, 19, 4, 1984, pp. 633-642.
- [5] Y. J. Kim, N. S. Huh, and Y. J. Kim, Fatigue & Fracture of Engng. Mats. & Structure, 24, 4, 2001, pp. 243-254.
- [6] T. Fujioka, Int. J. Pres. Ves. & Piping, 108-109, 2013, pp. 28-39.
- [7] H. Tada, P. C. Paris, and G. R. Irwin, The Stress Analysis of Cracks Handbook, DEL Research, 2000, Wiley.
- [8] <https://www.mscsoftware.com/>. (Accessed Feb. 23, 2021)

3.1.3. 大規模構造解析のための領域分割法に基づく並列 FEM ソルバーの性能最適化

(1) 目標・計画

近年マイクロプロセッサアーキテクチャのマルチコア化,あるいは今後のさらなるメニーコア化に伴い,スパコンをはじめとする HPC 環境において新たな性能上の問題が生じている。これはスパコンにおける並列ソルバーの利用コア数に関して,数千・数万はもとより場合により百万単位のコアを用いた超高並列環境の登場を意味する。特に,スパコンを構成する各計算ノード内におけるマルチスレッド環境での並列性能が問題となってきた。本研究では領域分割法にもとづく大規模並列有限要素解析について検討する。

領域分割法 (Domain Decomposition Method : DDM) は有限要素解析の並列化,大規模化のための主要な方法の一つであるが,これに基づく FEM ソルバーの設計において,部分領域ローカル FE ソルバーの実装は DDM コード全体の性能を決定する重要部分であり,従来から計算上におけるホットスポットとなってきた。また, BDD 前処理のために必要とされるコースグリッド修正のためのコース問題向けソルバーの実装もまた,近年の超高並列環境において性能上問題となっている。

そこで本研究では、ここ数年における計算機アーキテクチャの劇的な変化を踏まえ、領域分割法における部分領域ローカル FE ソルバーおよび BDD 前処理のためのコースソルバーの実装についてそれぞれ再検討を行う。

(2) 意義・国際社会との比較

計算機技術の発展に伴い、複雑形状を有する人工物の挙動を精緻に予測するために大自由度規模の三次元有限要素解析が用いられるようになってきた。このような大自由度規模の問題をスーパーコンピュータ等の先端計算機資源で効率よく解くためには並列計算が不可欠であり、領域分割法は有限要素法の並列計算手法のうち、最も有効なものの一つとして認知され、研究開発が進められてきた。

一方、プロセッサのマルチコア化に伴い浮動小数点演算性能が強化される一方で、メモリバンド幅向上がこれに追いついていけないこと、すなわち Byte/FLOPS 値 (B/F 値) の低下が懸念されている。その結果として、メインメモリをただ読み書きしているだけのアプリケーションはマルチコア環境においてスケールしなくなり、キャッシュメモリを有効に利用する工夫が必要となる。

こういった状況から、領域分割法ソルバーにおける部分領域ローカルソルバーおよび BDD 前処理のためのコースソルバーの実装を再検討する必要性が生じているように思われる。より具体的には、部分領域サイズとして数千から数万自由度規模を想定し、これに対しキャッシュを有効利用し、かつスレッド並列化が容易なローカルソルバーおよびコースソルバー設計が望まれている。プロセッサのマルチコア化に伴い浮動小数点演算性能が強化される一方で、メモリバンド幅向上がこれに追いついていけないこと、すなわち Byte/FLOPS 値 (B/F 値) の低下が懸念されている。その結果として、メインメモリをただ読み書きしているだけのアプリケーションはマルチコア環境においてスケールしなくなり、キャッシュメモリを有効に利用する工夫が必要となる。

(3) 研究内容

DDM ではまず、解析領域全体を複数の重ならない部分領域に分割する。続いて、部分領域についてそれぞれ適当な境界条件を設定したうえで独立に解析を行う。領域間境界におけるつり合いが取れるように境界条件を修正しながらこれを繰り返す。

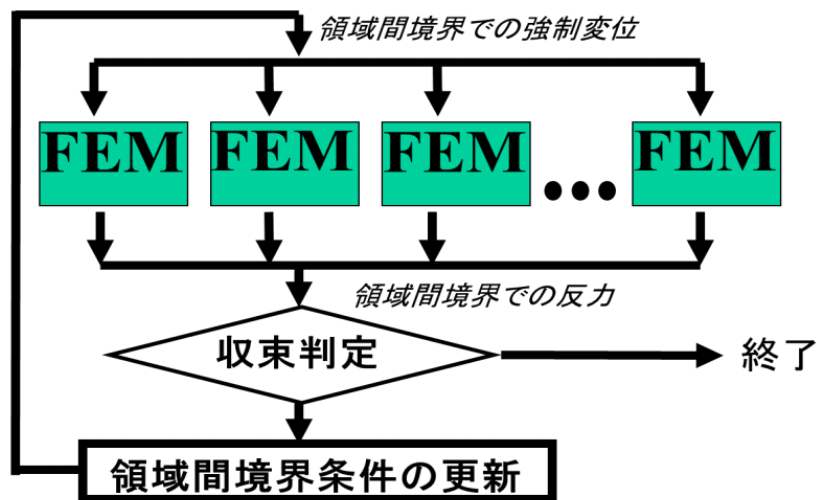


図1 領域分割法のフロー

領域分割法ソルバーにおけるこれまでの実装では、その部分領域ローカル FE ソルバーにおける有限要素解析に関して、線形代数ソルバーとしては直接法ソルバーが用いられていた (DS-Sky). まず DDM ループの最初に、部分領域ごとの剛性行列を組み立て、行列分解しておく. 以後 DDM 反復ごとに、すでに分解済みの行列データに対し前進後退代入 (Forward and Back-Substitution : FBS) により解を求める. 部分領域サイズの増大に伴い、このアプローチでは大量のメモリが必要となる. また、その FBS 部分がメモリバンド幅依存となり、マルチコア環境でのスケール性に劣る.

これに対し、DDM の部分領域ローカルソルバーについて、その線形代数ソルバーを直接法から反復法に切り替えることもできる. 反復法ソルバーでは、本来疎行列である剛性行列の非ゼロ成分のみをコンパクトに利用することができるため省メモリである. さらに部分領域サイズによってはプロセッサのキャッシュ容量に収めることも可能であり、マルチコア環境においてスケールしやすい. よって反復法の前処理によっては、直接法ソルバーに拮抗する性能が得られる可能性がある.

一方で、部分領域ローカルソルバーの実装に、部分領域単位の Shur 補元行列を用いる方法、ローカル Shur 補元アプローチも可能である. この場合、最初に一度部分領域ごとにローカルな Shur 補元行列を求めておき、以後 DDM の反復ごとにこれらローカル Shur 補元行列とベクトルとの行列ベクトル積を評価することにより、部分領域単位での FEM 計算を代替することができる.

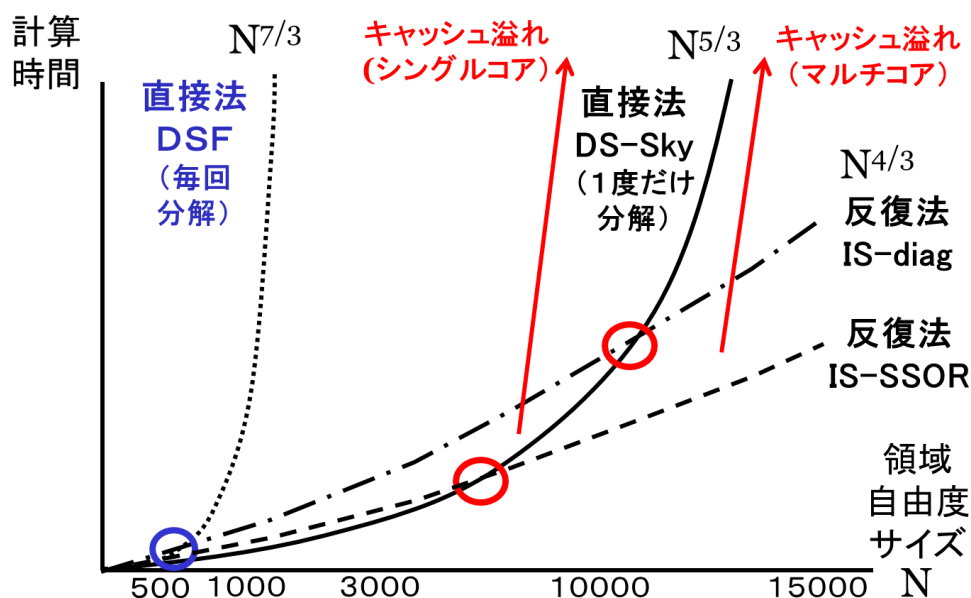


図2 部分領域ローカルソルバーにおける領域自由度と計算時間との関係

(4) 2020 年度進捗状況 (NEC 社との共同研究)

本年度は、DS-LSC アプローチにもとづく DDM ソルバーを、ベクトルプロセッサをアクセラレータとして搭載したワークステーション上に実装することを考える。

DS-LSC アプローチにもとづく DDM 実装をベクトル化する際に考慮すべき点として、LSC 行列のサイズに応じて2種類の方針が考えられる。一つは、行列サイズ方向でのベクトル化、もう一つは、領域数方向でのベクトル化である。どちらについても、ベクトル長を十分に確保できるという前提で、効率的なベクトル化実装が可能である。

なお、後者の領域数方向でのベクトル化の場合、実問題において複雑な形状モデルを扱う場合、LSC 行列サイズが部分領域すべてを通して同一となることはありえないが、ベクトル化を行うには、ベクトル化の対象となる領域グループについて行列サイズを同一に揃える必要がある。結果、パディングが必要となり、いくらかの無駄な計算が生じることになる。

今回は計算機環境として、アクセラレータとしてベクトルプロセッサを備えるワークステーション一台の利用を想定する。利用可能なベクトルプロセッサの数は一つないしせいぜい数個程度となる。このような環境において、数百万から数千万自由度程度の中規模問題を解くことを考える。この場合、部分領域の平均サイズを小さめにとり、一方で部分領域数が十分多い場合を想定できるため、ベクトル化の実装としては領域数方向

にベクトル化を行う。より具体的には、アクセラレータのメモリ容量を数十 GB 程度とすれば、平均 LSC 行列サイズを数百程度として、数千から数万個分の LSC 行列をメモリ上に展開することが可能である。

(5) まとめ

領域分割法に基づく並列有限要素解析において、その部分領域ローカル FE ソルバーの実装にローカル Schur 補元アプローチの導入を検討し、高速化及びメモリ量の削減を試みた。

3.1.4. ヴァイオリンの構造と周辺音場の連成数値シミュレーション

(1) 目標・計画

ヴァイオリンの振動解析や音響解析の目的はいくつかあるが、その一つにストラディヴァリのようなオールド楽器の音色と新作のそれとの違いを解明することが挙げられる。そのためにアーチの形状や板の厚みの他、板の機械的性質がどのように振動や音響に影響を与えるのかといった解剖学的な理解が目的となることが多い。そこには、ストラディヴァリに代表されるようなオールドイタリアンの音を再現される方法を見つけたいというヴァイオリン製作者や音響学者の夢がある。本研究では、イタリアのガエルネリー族の製作したオールド楽器をマイクロ CT スキャンにて 3D 形状を取得し、COMSOL Multiphysics™を用いた有限要素法による魂柱やバスバーを含む楽器本体の数値シミュレーションによる可視化を行い、材質の変化によるモード振動と周辺音場の影響について解析を行う。

(2) 意義・国際社会との比較

近年では、コンピュータの性能向上につれて有限要素法や境界要素法を用いた数値シミュレーションによる解析が進んでいる。また 3 次元データ解析のためにレーザースキャナや CT スキャナも用いられている。ヴァイオリンの解析のように数多い変動要因を減らし定性的・定量的に振動や音響の特徴を捉えるのに、コンピュータによる数値解析は有効である。また、数値シミュレーションによる解析は 300 年以上も経つオールド楽器の振動や音響の解析に役立つことが期待できる。というのも、歴史的な文化財となったイタリアのオールド楽器などは、かつてのように分解してクラドニ法のような実験をすることはもちろん、インパクトハンマなどによる振動解析もすることはほぼ許されない現状があるからである。よって、近年は貴重な楽器の振動特性や音響特性の予想に非侵襲な手法として数値シミュレーションに期待が寄せられている。

(3) 研究内容

数値シミュレーションに用いる 3D のジオメトリデータの取得について概要を示す．東京都産業技術総合研究所にあるマイクロ CT スキャナを用いて，17 世紀から 18 世紀のイタリアのヴァイオリン製作者の一人である Guarneri Giuseppe Filius Andrea の作品(1698 年)をスキャンした．

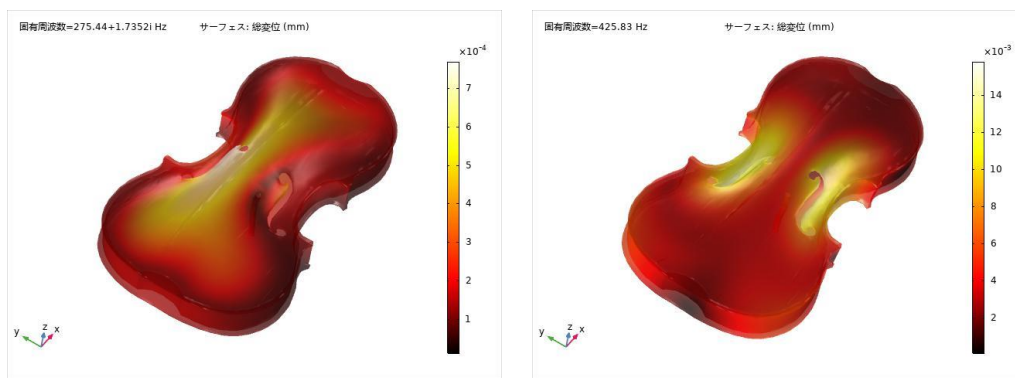
実際のヴァイオリンの板の厚みは均一ではなく，中央部が厚く周辺部へかけて緩やかに薄くなっている．数値シミュレーションにおいても，この厚みを考慮しないと正しい計算結果が得られなく，表面のアーチの形状のみをスキャンするだけでは不十分である．よって，本研究のように CT スキャンなどにより楽器の内側の座標の取得による正しい厚みの情報が重要である．なお，今回の解析ではネックを取り除いた本体のみの解析を行った．ネックの振動や音への影響はもちろんあるが，現段階では計算コストなどの制約もあり，楽器の共鳴箱である本体のみの振動と周辺音場に絞って計算を行った．

Table 1 Frequencies of A0, A1, B1⁻, B1⁺ and CBR

Mode	Frequency
A0 (first cavity mode)	270 - 290
CBR (Center bout rotation)	380 - 420
B1 ⁻ (corpus mode, body mode)	445 - 465
B1 ⁺ (corpus mode, body mode)	520 - 540
A1 (second cavity mode)	460 (near B1 ⁻)

Table 1 にヴァイオリン本体の振動モードを示す(Kreit, P. “The Sound of Stradivari.” (2018)より)．A0 は breath mode と呼び表板全体が上下に振動する吸込み湧き出しの単極子のような振動モードで，音量に関連すると言われる．また，CBR (Center Bout Rotation)モードというねじれモードや，表板の振動に関連する B1⁻と裏板の振動に関連する B1⁺(Corpus mode)がある．B1⁻は音のダイナミクスや音色(明るい，暗い)に，そして B1⁺はパワーに関係すると言われている．

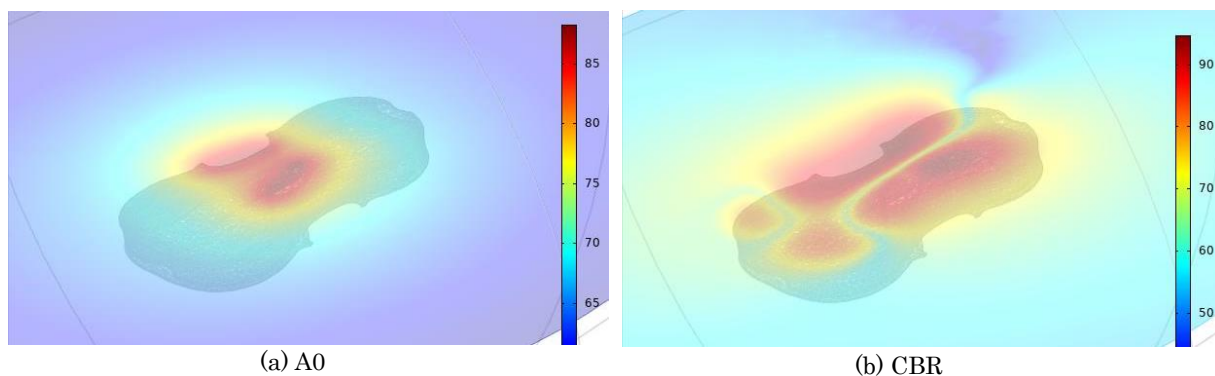
Fig.1 は本体の表板側と裏板側の振動モード A0, CBR の計算結果である．Kreit のクロドニ法による振動モードの観察に近い形状が得られている．表板／裏板だけの状態ではノードラインは対称であるが，バスバーや魂柱がセットされた本体ではノードラインは非対称となる．Fig.2 は，同振動モードにおける周辺の音圧分布(dB)を示したものである．f 字孔の音圧が高いことから，f 字孔が音場へ与える影響が大きいことが分かる．CBR では左右交互に音が放射されている．



(a) A0 275.4Hz

(b) CBR 425.8Hz

Fig.1 Displacement of violin in mode A0 and CBR



(a) A0

(b) CBR

Fig. 2 Acoustic radiation around violin (Sound pressure level, dB)

(4) 2020 年度進捗状況

これまで 3D レーザースキャナを用いてヴァイオリンの裏板・裏板をスキャンし有限要素法による数値シミュレーションを行ってきた。2020 年度では、イタリアのオールド楽器をマイクロ CT スキャンにて 3D 形状を取得し、魂柱やバスバーを含む楽器本体の数値シミュレーションによる可視化を行った。

(5) まとめ

本研究では、COMSOL Multiphysics を用いた有限要素法によるヴァイオリンの本体の振動モードと周辺音場の連成数値シミュレーションを行った。将来は弦の加振による楽器の振動と音場の解析にまで拡張したい。そのために、現在、スーパーコンピュータの利用による大規模数値計算による解析の検討を行っている。

3.1.5. 新規実験計測グループ：柔軟被膜を有する物体に作用する空気力特性

新規実験計測グループでは、計算力学研究センターのプロジェクト名である「大規模高精度流体－構造連成解析手法の開発と詳細実験による精度・妥当性検証」のうち、「標準問題実験の検討」に焦点を当てた活動を行っている。

流体－構造連成問題について高い信頼性で実験するには、実験モデルの精度や実験装置の信頼性を高めた上で、物理量を計測する必要がある。新規実験計測グループでは、標準問題として弾性円柱の振動実験とシートフラッタ試験を行い、実験環境の整備に取り組んでいる。また応用的課題として、柔軟被膜を有する物体に作用する抵抗低減メカニズムの解明に取り組み始めている。今年度は、柔軟被膜表面の境界層計測を行い、アクリル平板上の境界層特性との比較を試みたので報告する。

(1) 目標・計画

柔軟被膜による抵抗低減メカニズムの解明することが目的である。昨年度までの取り組みで、柔軟被膜を有する物体に作用する空気力計測を行い、抵抗低減効果があることを確認できた。今年度は、柔軟被膜表面の乱流境界層測定を行ったので報告する。

(2) 意義・国際社会との比較

流体抵抗の低減は主要な研究課題の一つである。航空機は抵抗を低減することで燃費が改善され、配管の抵抗低減は損失ヘッドの改善に繋がる。様々な抵抗低減法の一つに、水棲生物に着目した研究がある。例えばイルカは、体を覆う柔らかい表皮を利用して抵抗を低減していると考えられている[1]。Kramer の研究を契機として、ゴムやゲルのような軟質のコーティング材による摩擦抵抗低減効果に関する研究が半世紀以上に亘り行われてきた⁽¹⁻³⁾。これまでの研究は材料特性の違いによる摩擦抵抗低減効果に着目した研究事例が殆どである。その効果を、航空機の翼表面に応用するには、材料特性と抵抗低減効果の仕組みを明らかにすることが不可欠である。そこで本研究では、イルカの表皮を軟質のコーティング材でモデル化した風洞実験を行い、摩擦抵抗低減のメカニズムを解明したいと考えている。

(3) 研究内容

Fig.1 は風路と計測システムの概要図である。風路断面積は 260[mm]×300[mm]、長さは 3000[mm]である。乱流境界層の発達を促進するために、下流 100[mm]と 105[mm]地点に直径、高さ共に 1.5[mm]の円柱を中心間距離 10[mm]で千鳥状に配置している。下流 2600[mm]地点には 200×100[mm]の試験片を取り付ける部分を設けた。

本研究では、 $Re=3.0 \times 10^5$ から 1.0×10^6 の範囲で 1.0×10^5 ずつ流速を変化させて実験を行った。レイノルズ数は代表流速を主流流速、代表長さを $1m$ とした。乱流境界層の計測には熱線流速計(Dantec DYNAMICS 社製)を使用し、熱線プローブは風路上部に設置されたトラバース装置を PC で制御することで移動させた。計測データは A/D 変換器(エルメック社製)を通して取得し、全ての計測においてサンプル周波数 $10kHz$ 、計測時間 60 秒とした。

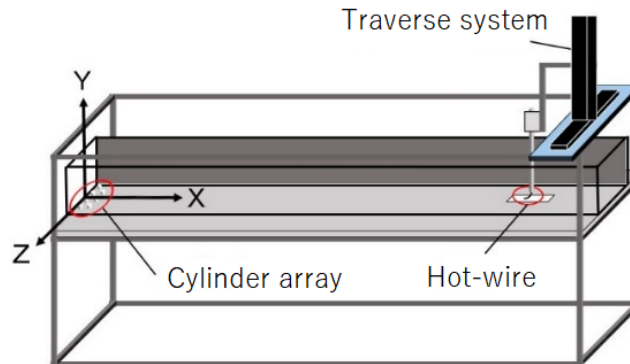


Fig. 1 風路及び座標系

本研究では柔軟被膜として、2 液式タイプのシリコーンゲル(KE-1052, 信越シリコーン)を使用した。原液 A と硬化剤 B の配合比によって硬さを容易に変えることができ、硬さの異なる 2 種類の柔軟被膜を用いて実験を行った。柔軟被膜の硬さは、電子天秤とデプスマイクログージを組み合わせたシステムを用いて測定した。弾性率の測定は式(1)に示すフックの法則に基づいて算出した。

$$\sigma = E\varepsilon \quad (1)$$

上式を変形して、弾性率は次式から算出した。

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{F}{A} \cdot \frac{\Delta l}{l} \quad (2)$$

ここで、 F はデプスマイクログージによって加えられた荷重、 A は測定端子の断面積、 Δl はゲルの変形量、 l はゲルの厚さを表す。

Table 1 は弾性率の測定結果を表す。弾性率の値は、それぞれ 5 回ずつ測定した平均値を示している。2 つの柔軟被膜の弾性率は明らかに異なることが確認できる。

Table 1 柔軟被膜材料特性.

	配合比 (A:B)	弾性率 [MPa]
Si1	1 : 1	2.57
Si2	1 : 2	19.1

Fig.2 に各レイノルズ数における固体壁と柔軟被膜表面上の局所摩擦係数の変化を表す。境界層の測定は全て 5 回ずつ行い、その平均値を示している。局所摩擦係数は測定で得られ

た速度分布から算出した. $Re=5.0 \times 10^5$ よりも小さい領域では, 柔軟壁の摩擦係数は固体壁よりも大きくなっている. 一方で, レイノルズ数が大きくなると柔軟壁の摩擦係数は減少し, $Re=1.0 \times 10^6$ において Si1 の柔軟壁を用いたとき, 最大で 11.2% の低減を確認した. また, レイノルズ数と被膜の弾性率の違いによって摩擦の低減率が異なり, レイノルズ数が大きいほど低減率は増していることが分かる.

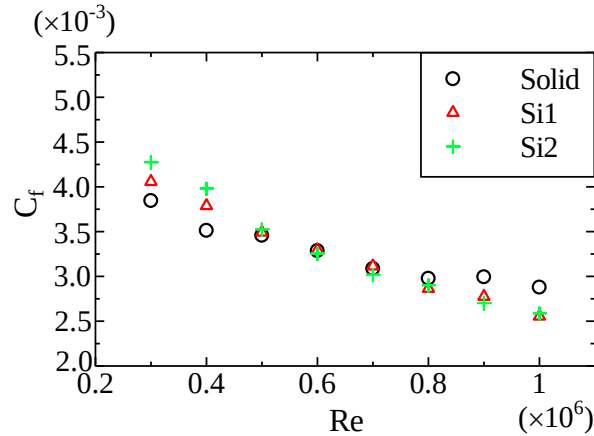


Fig. 2 Local skin friction coefficient.

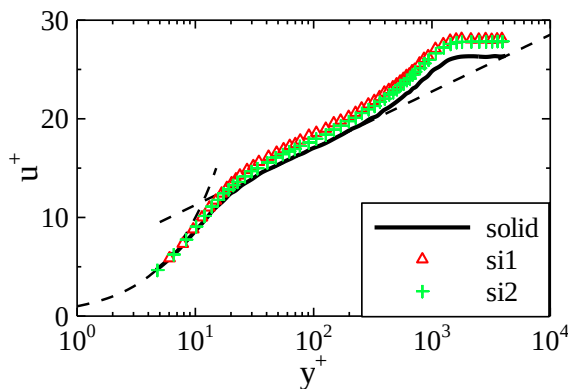


Fig. 3 Logarithmic velocity profile ($Re=1.0 \times 10^6$).

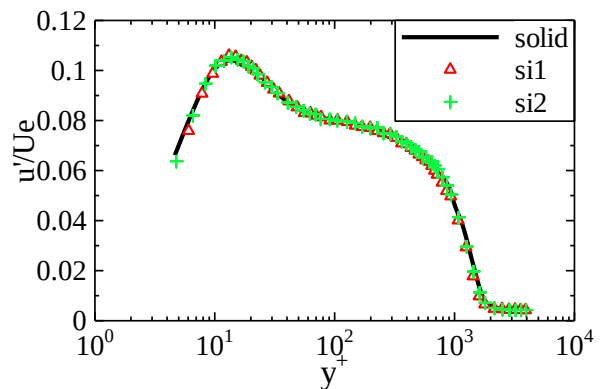


Fig. 4 Turbulence intensity ($Re=1.0 \times 10^6$).

Fig.3 は最も摩擦が低減されていた $Re=1.0 \times 10^6$ における対数速度分布を表している. それぞれの分布を比較すると, 対数領域において柔軟被膜の結果は固体壁の結果よりも上に分布していることが分かる. これは, 柔軟壁面上で摩擦が低減されたことによる影響であると考えられる. また, 摩擦が減少していた柔軟壁面上の乱流境界層において, 粘性底層の厚さが増していた.

Fig.4 は同様に $Re=1.0 \times 10^6$ における流れ方向の乱れ強さを表している. 固体壁と柔軟被膜

で乱れの最大値とピーク位置に変化は見られなかった。しかし、壁面近傍では固体壁に比べて柔軟壁表面上の乱れは減少していた。よって、柔軟被膜の壁面近傍において、乱れエネルギーが抑制されていると考えられる。

(4) 2020 年度進捗状況

柔軟被膜による摩擦抵抗低減効果を確認できた。摩擦抵抗係数はレイノルズ数が高くなるにつれて低下した。固体壁と柔軟被膜の乱れ強さを比較した結果、その最大値とピーク位置に変化は見られなかった。柔軟被膜により抵抗低減効果を得た場合、乱れ強さは壁面近傍でのみ低くなることが分かった。今後、壁近傍の流速と柔軟被膜表面の変位の同時計測を行い、抵抗低減メカニズムを詳細に調べたいと考えている。

(5) まとめ

固体壁と硬さの異なる柔軟被膜表面上の乱流境界層を測定した。柔軟壁面の摩擦は、レイノルズ数が大きいほど減少し、被膜の硬さによって低減率は異なっていた。また、摩擦が減少していた柔軟壁の対数速度分布は、固体壁よりも上に位置し、柔軟壁面近傍の乱れが減少していた。よって、柔軟壁には壁面近傍の乱れを抑制する効果があり、適切な材料特性を選ぶことで効果的に摩擦を低減できると考えられる。

参考文献

- [1] Kramer, M.O. ; Boundary layer stabilization by distributed damping, J. Aero. Sci., 24, pp.459-460, (1957).
- [2] K.-S.Choi, X.Yang, B.R.Clayton, E.J.Glover, M.Atlar, B.N.Semenov and V.M.Kulik ; Turbulent drag reduction using compliant surfaces, Roy. Soc. Lond. A453, pp.2229-2240, (1997)
- [3] A. Dinkelacker ; Preliminary experiments on the influence of flexible walls on boundary layer turbulence, J. Sound Vib. 4, pp.187-214, (1966).
- [4] 一ノ瀬順識、藤松信義、乱流測定のための風路の作製と境界層測定による性能評価、日本実験力学会 2019 年度年次講演会, (2019).

謝辞

実験装置の製作、実験データの取得は、東洋大学大学院修士課程機能システム専攻の一ノ瀬順識君の協力によるものである。ここに記し、謝意を表す。

3.2. AI グループ

計算力学研究センターに本年度より設置された AI グループは、近年流行している深層学習や機械学習を始めとした種々の人工知能関連技術を計算力学分野に応用することを目的としている。

よく知られているように、近年流行している AI 技術は Convolutional Neural Network (CNN) を用いて画像認識を行ったり、Recurrent Neural Network (RNN) または Long-Short Term Memory (LSTM) を用いて音声認識を行ったりと、所謂メディア情報分野に特化して研究開発が先行されている。このような状況に対して、本グループでは従来行われてきた計算力学分野の様々な研究分野に対して AI 技術を融合してより高度なシステムを構築することを目指している。本年度は主に以下の 3 テーマについて研究活動を行った。

1. マテリアルズ・インテグレーションのための材料オントロジーの開発
2. Wasserstein GAN を用いた人物動作生成モデルの構築
3. CNN を用いた鶏の白肝の分類

3.2.1. マテリアルズ・インテグレーションのための材料オントロジーの開発

(1) 目標・計画

近年各国において、物質・材料設計、また開発された材料の実用化に必要とされるリードタイムを短縮するためにデータ、異なったスケールのシミュレーション、過去の経験式などを総合的に活用しようという研究開発が活発化している。我が国では 2014 年度から内閣府戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)において、革新的構造材料がテーマとして採択された。芦野は同プロジェクトにおけるマテリアルズ・インテグレーション(MI)の分担者として複数の情報資源を連携させるためのデータ表現の開発、これに基づいたプロトタイプシステムの開発を行った。

2018 年から始まった SIP 第二期では物質・材料研究所を中心とした課題「統合型材料開発システムによるマテリアル革命」が採択された。芦野は第一期のマテリアルズ・インテグレーションに続いて第二期にも参画し、A 領域「先端的構造材料・プロセスに対応した逆問題 MI 基盤の構築」にある五つのサブグループの一つ、A5 において Co-Leader として構造材料データベースのデータ構造開発を行なっている。また、分担者としては材料のオントロジー開発を担当し、2020 年の見直しを含み最大 5 年間、2022 年までマイクロ組織とその相互関係について表現することのできる構造材料データベースの開発を行っている。

(2) 意義・国際社会との比較

米国では 2011 年に材料開発に計算機シミュレーション, データを活用しようという研究を統合する形でマテリアルズ・ゲノム・イニシアティブ(MGI)が国策として推進されるようになった. これにより我が国でも材料のデータ・シミュレーションが注目され, 2014 年に始まった内閣府戦略イノベーション創造プログラム(SIP)では, テーマの一つとして革新的構造材料分野が取り上げられた. 引き続き SIP 第二期においても材料開発基盤, 統合型材料開発システムが課題となり, その中で材料の性能に関わるマイクロ構造を表現することのできるデータ構造がサブテーマとして取り上げられ, 芦野がこのサブグループの Co-Leader となっている.

第二期ではデータ統合のための共通の辞書・概念構造として材料に関するオントロジーを開発することとしている. オントロジーを用いてデータの意味的關係を表記することは, オープンデータの世界において異なった情報リソースから得られるデータを統合する上での基盤としてその重要性が認識されており, 多くの分野で研究・開発が行われている. 欧州では従来からの EMMC (European Materials Modeling Council), に加え The Open Databases Integration for Materials Design (OPTIMADE) consortium でもオントロジーに関するワークショップが企画されている.

また, マテリアルズ・インフォマティクスに関連してアメリカにおいては NSF の主導により MaRDa (Materials Research Data Alliance)が設立され, National Science and Technology Council (NSTC)では MGI 2.0 の計画案が策定されたと伝えられるなど, 引き続き推進されている.

(3) 研究内容

第二期構造材料データベースのデータ構造開発では, XML-Schema を用いて試験データについて拡張性の高いデータ構造を開発するボトムアップに加え, 材料専門家の持つ知見をオントロジーとして記述するトップダウンを同時に行っている. これらを連携して専門家の持つ概念構造をベースとしたデータの活用を可能とするアプローチを採り, 芦野はこのうちトップダウンのオントロジー開発を分担している. (Fig.1)

現在は, 物質・材料研究機構との共同で構造材料データベースのデータ構造を開発するとともに, 分担者としてはマイクロ組織の材料パフォーマンスへの影響など材料学の専門家の知見のオントロジー記述を進めている. 逆問題を考える上では, 現在は大量のデータから機械学習を用いて分類を行う手法が注目されているが, 専門家が材料の性能向上を目指す際にどのような特徴量を用いて判断しているかを考えることも重要である. 現在このような知見はワークフローのアルゴリズムの中に埋め込まれているが, 機械可読な形式で書き下して可視化することで逆問題へのアプローチを行っている.

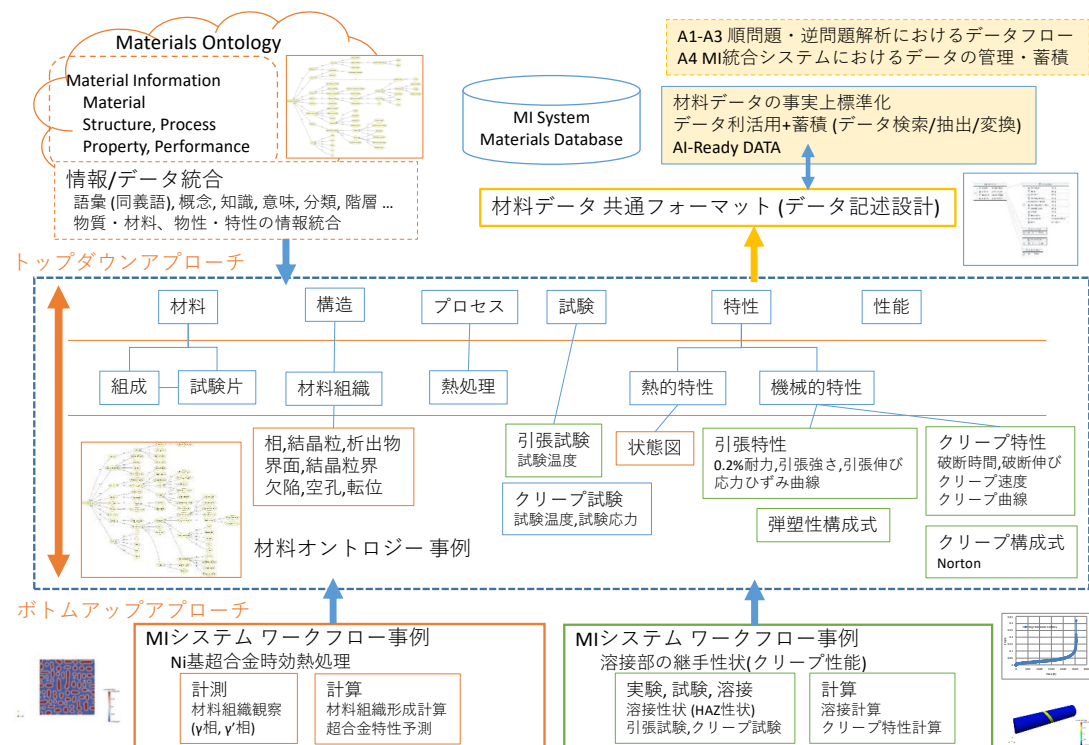


Fig.1 Design Approach of Structural Materials Database.

(4) 2020 年度進捗状況

2020 年度はプロジェクト中間目標である材料設計の逆問題の具体的事例として選択したクリープ特性と Ni 基超合金の性能予測のワークフローを検討し、関連するミクロ組織とこれらと試験データのスキーマ、性能との関連性記述を進めてきた。トップダウンであるオントロジーとボトムアップであるデータスキーマの間の接続関係を記述するためには RDF (Resource Description Framework)を用いることとし、これを SPARQL エンドポイントに格納して管理することで、オントロジーのネットワークからのクラスの選択、これを用いて RDF を検索し、そこにある記述から XML Schema で記述されたデータを引き出すプロトタイプシステムを開発し、デモンストレーションを行った。(Fig.2)

この構造は中間層に RDF を用いることでデータベースの構築に必要な作業量が増加するが、中間層におけるマッピングによって、現在プロジェクトにおいて開発中のものとは異なったスキーマを持つデータベース、計算や経験式など異なった情報源からのデータ項目を統一されたオントロジーからアクセスすることが可能なシステムを考えている。

然な動作を生成することができるため、よく使用されている。近年、深層ニューラルネットワークを使用し、モーションキャプチャデータから学習することで動作を制御する手法が提案された[2],[3]。一方、深層ニューラルネットワークを用いた生成モデルである variational autoencoder[4],[5]や Generative Adversarial Networks (GAN)[6]が提案され、主に画像を生成する問題に適用されている。本研究では、Wasserstein GAN[7],[8]を使用し、モーションキャプチャデータから学習することで、多様で自然な動作を生成することができるモデルを構築する。

(3) 研究内容

(a) Wasserstein GAN

GAN は generator(生成器)と discriminator(識別機)の2つのニューラルネットワークから構成され、それぞれのネットワークのパラメータは訓練データを用いて最適化される。画像の生成モデルの場合、generator は一様分布からサンプリングされた潜在変数 z から訓練データに近い画像を生成し、discriminator は入力された画像が訓練データの画像か、generator が生成した画像かを識別する。したがって、discriminator は訓練データと生成データに対して正しくラベル付けを行う確率を最大化しようと、generator は discriminator に生成データと見破られた回数を最小化しようと学習する。このときの目的関数を式(1)に示す。

$$\min_G \max_D V(D, G) = \mathbb{E}_{x \sim p_{\text{data}}(x)} [\log(D(x))] + \mathbb{E}_{z \sim p_z(z)} [\log(1 - D(G(z)))] \quad (1)$$

ここで、 $D(x)$ は discriminator が画像 x を訓練データであると判断する確率であり、 $G(z)$ は潜在変数 z から生成された画像を表す。discriminator の性能が向上すると $D(x)$ が大きくなり、 $D(G(z))$ は小さくなる。一方、generator が生成するデータの精度が向上すれば $D(G(z))$ が大きくなる。このように discriminator と generator はお互い敵対しながら学習を行う。

式(1)で表される目的関数によってネットワークパラメータを最適化することは、実際のデータの分布とモデルが生成するデータの分布の Jensen-Shannon divergence を最小化することを意味する。

分布間の非類似度の尺度として Jensen-Shannon divergence を使用することは generator が実際のデータの分布の一部だけを生成するようになる mode collapse を引き起こす。そこで、分布間の類似度の尺度として Wasserstein divergence を使用する Wasserstein GAN (WGAN)が提案された[7]。実際のデータの分布 P_r と生成されたデータの分布 P_g の Wasserstein divergence は

$$W(P_r, P_g) = \max_D \mathbb{E}_{x \sim P_r} [D(x)] - \mathbb{E}_{g \sim P_g} [D(g)]. \quad (2)$$

と表され、WGAN の目的関数は

$$\min_G \max_D V_{\text{WGAN}}(D, G) = \mathbb{E}_{z \sim p_z(z)} [D(G(z))] - \mathbb{E}_{x \sim p_{\text{data}}(x)} [D(x)] \quad (3)$$

と表される。WGAN の識別関数には 1-Lipschitz 連続であるという制約があり、Arjovsky らは

weight clipping を使用してこの条件を満たそうとしたが、生成されるデータが不十分となることがあった。そこで、Gullajani ら[8]は式(4)に示す gradient penalty を導入することで 1-Lipschitz 制約を満たす手法 (WGAN-GP) を提案した。

$$\mathbb{E}_{\hat{\mathbf{x}} \sim p_{\hat{\mathbf{x}}}}[(\|\nabla_{\hat{\mathbf{x}}} D(\hat{\mathbf{x}})\|_2 - 1)^2], \quad (4)$$

ここで、 $\hat{\mathbf{x}}$ は、データ空間において実際のデータ $\mathbf{x}$ と生成されたデータ $G(\mathbf{z})$ を結んだ線分から一様分布によりサンプリングしたデータを表し、具体的には

$$\hat{\mathbf{x}} = \epsilon \mathbf{x} + (1 - \epsilon) G(\mathbf{z}), \quad (5)$$

$$\epsilon \sim U[0, 1]. \quad (6)$$

と求められるものである。WGAN-GP の目的関数は

$$\min_G \max_D V_{\text{WGAN-GP}}(D, G) = \mathbb{E}_{\mathbf{z} \sim p_z(\mathbf{z})}[D(G(\mathbf{z}))] - \mathbb{E}_{\mathbf{x} \sim p_{\text{data}}(\mathbf{x})}[D(\mathbf{x})] + \lambda \mathbb{E}_{\hat{\mathbf{x}} \sim p_{\hat{\mathbf{x}}}}[(\|\nabla_{\hat{\mathbf{x}}} D(\hat{\mathbf{x}})\|_2 - 1)^2]. \quad (7)$$

となる。

(b) 動作データセットと前処理

本研究で使用したモーションキャプチャデータは CMU Graphics Lab MotionCapture Database[9] である。元データのフレームレートは 120fps であるが、本研究では 30fps にダウンサンプリングしたものを使用した。元データは、Fig.1 に示す 19 関節のローカル座標系における 3 軸方向の回転角度と、ルート関節(Hip)の 3 軸方向の平行移動量として表現されている。本研究では、これらを、ルート関節(Hip)を地面に垂直に投影した点を原点とし、右方向を x 軸、上方向を y 軸、正面方向を z 軸としたローカル座標に変換し、ルート関節(Hip)の y 座標とその他の 18 関節の xyz 座標と xz 平面における速度と y 軸中心の角速度の 58 次元ベクトルを動作データとして使用した。次に、各データを 60 フレーム(2 秒)ずつシフトし、120 フレーム(4 秒)の固定長データに変換し、14,122 個の動作データを得た。最後に、平均ベクトルを引き、標準偏差で割ることで、データの標準化を行った。

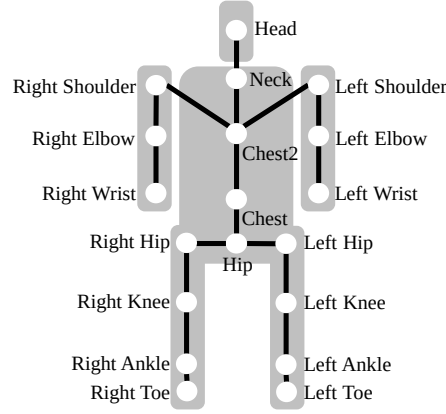


Fig.1 Joint structure in motion data.

(c)人物動作生成モデル

本研究で構築した GAN の discriminator の構造を Fig.2 に示す. 本研究で使用する動作データは空間方向に 58 次元・時間方向に 120 次元のベクトルとなる. discriminator の第 1 層では空間方向に 58・時間方向に 15 のサイズのフィルタを 64 種類用意し, 空間方向のストライドを 58 とし, 58 次元の関節位置を全て畳み込んでいる. また, 時間方向のストライドは 2 とし, 時間方向の次元数を半分にしている. discriminator の第 2 層では, 時間方向に 15 のサイズのフィルタを 128 種類用意し, ストライドを 4 とし畳み込みを行った. 第 1 層・第 2 層ともに 25% の結合をドロップアウトし, 活性化関数としてネガティブスロープが 0.2 である LeakyReLU を使用した. 最後に, 全結合層によりユニット数 1 のデータが出力される.

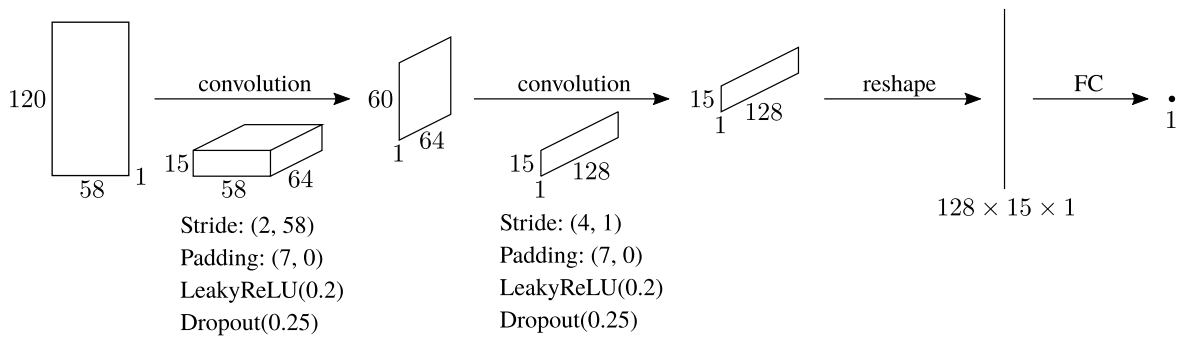


Fig.2 Network structure of discriminator.

generator の構造を Fig.3 に示す. 本研究では潜在空間を 512 次元とし, 一様分布からサンプリングされた潜在変数から discriminator と逆の変換を行うことで動作データを出力する. generator の第 1 層は全結合層であり, 512 次元の潜在変数から $15 \times 1 \times 128$ 次元の特徴量を復元する. 第 2 層では, 時間方向に 15 のサイズのフィルタを 64 種類用意し畳込みを行い, 時間方向に 4 倍にアップサンプリングを行うことで $60 \times 1 \times 64$ 次元の特徴量を復元する. 活性化関数にはネガティブスロープが 0.2 の LeakyReLU を使用し, Batch Normalization を行っている. 第 3 層では, 時間方向に 15 のサイズのフィルタを 58 種類用意し畳込みを行い, 時間方向に 2 倍にアップサンプリングを行うことで時間方向に 120・空間方向に 58 次元の動作データを復元する. 活性化関数には tanh を使用した.

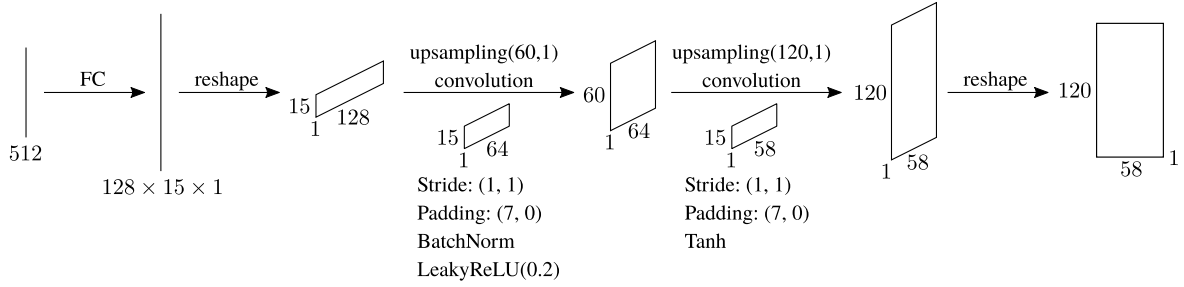


Fig.3 Network structure of generator.

(d) 実験

式(7)に示す WGAN-GP の目的関数を使用して提案した動作生成モデルの学習を行った. 学習データ数は 12,720 であり, バッチサイズを 100, エポック数を 200 として学習を行った. また, 式(7)のパラメータ λ を 10 とし, 最適化手法には adam を使用した.

ランダムにサンプリングした 64 個の潜在変数 $\mathbf{z}$ から生成した動作データを Fig.4 示す. 自然で多様な動作が生成できることが確認できた.

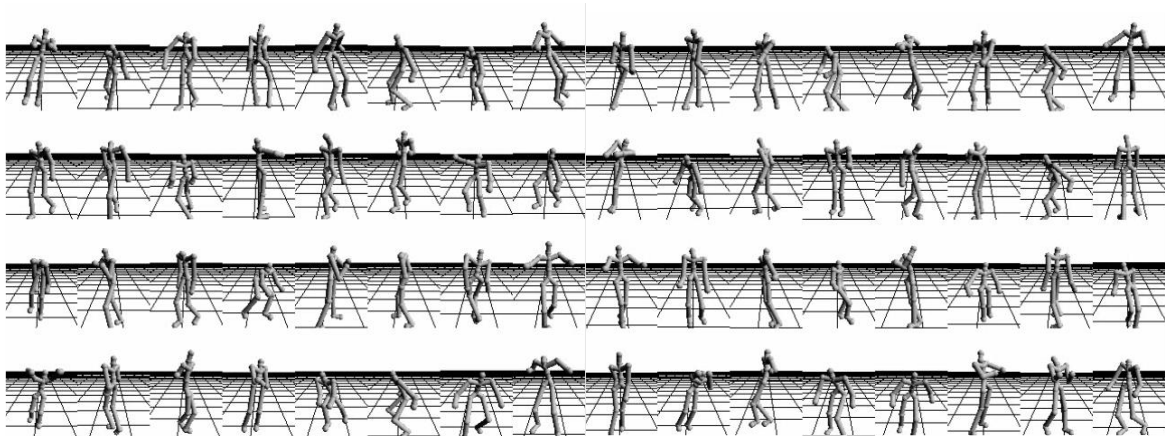


Fig.4 64 randomly generated motions.

(4) 2020 年度進捗状況

WGAN を使用してモーションキャプチャデータセットから学習を行い, 512 次元の潜在変数空間からサンプリングを行うことで動作を生成可能なシステムを構築した. 実験の結果, 多様で自然な動作が生成できることが確認できた.

(5) まとめ

本研究では, 3 次元コンピュータグラフィックスのキャラクタの動作生成を目的とし, WGAN を使用した動作生成モデルを構築した. 実験の結果, 512 次元の潜在変数空間からサンプリングすることで多様で自然な動作が生成できることを示した.

参考文献

- [1] X. Wang, Q. Chen, and W. Wang, “3D Human Motion Editing and Synthesis: A Survey,” Computational and Mathematical Methods in Medicine, 2014.
- [2] D. Holden, J. Saito, T. Komura, and T. Joyce, “Learning Motion Manifolds with Convolutional Autoencoders,” SIGGRAPH Asia 2015 Technical Briefs, SA'15, 18:1-18:4, 2015.
- [3] D. Holden, J. Saito, and T. Komura, “A Deep Learning Framework for Character Motion Synthesis and Editing,” ACM Trans. Graph., vol.35, no.4, 138:1-138:11, 2016.
- [4] D. P. Kingma and M. Welling, “Auto-Encoding Variational Bayes,” International Conference on Learning Representations 2013, 2013.
- [5] D. P. Kingma, D. J. Rezende, S. Mohamed, and M. Welling, “Semi-Supervised Learning with Deep Generative Models,” Proceedings of Neural Information Processing Systems 2014, 2014.
- [6] A. Radford, L. Metz, and S. Chintala, “Unsupervised Representation Learning with Deep Convolutional Generative Adversarial Networks,” International Conference on Learning Representations 2016, 2016.
- [7] M. Arjovsky, S. Chintala, and L. Bottou, “Wasserstein GAN,” Proceedings of the 34th International Conference on Machine Learning 2017, 2017.
- [8] I. Gulrajani, F. Ahmed, M. Arjovsky, V. Dumoulin, and A. Courville, “Improved training of wasserstein GANs,” Advances in Neural Information Processing Systems, 2017.
- [9] CMU. Carnegie Mellon University - CMU Graphics Lab - motion capture library. <http://mocap.cs.cmu.edu>.

3.2.3. CNN を用いた鶏の白肝の分類

(1) 目標・計画

食肉の評価法として、人間の五感による官能検査と機器による理化学分析の二つの手法がある[1]。官能検査は総合的な評価法として用いられているが、経験豊かな検査員でも主観的な評価になりやすいので、数値はバラツキがあり、絶対的なものではない。一方、理化学的な分析値より官能検査値を数値化できるが、特別な機器が必要となると共に、評価には時間がかかる。そこで本研究では、畜産物及び畜産副産物の評価方法として、より客観的で簡便かつ迅速に測定する方法の開発を目指す。

(2) 意義・国際社会との比較

実際の畜産物及び畜産副産物の生産・加工現場においては、理化学分析を行ったサンプルは商品価値がなくなり、すべての商品を仕分けする際に各々のサンプルを取り、理化学分析は不可能である。一方、労働人口の減少や熟練者の高齢化が進む環境下、AI 技術を活用した外観検査の自動化は現場を支援するための大きな存在となっている。

(3) 研究内容

本研究では、畳み込みニューラルネットワーク(Convolutional Neural Networks: CNN) [2] を用い、鶏肝臓の画像から脂肪肝と正常肝臓を予測(分類)する。具体的には、鶏の生産農場で撮影した鶏肝臓の画像と理化学分析による肝臓脂肪含量を対象に CNN によって学習を行う。鶏肝臓の脂肪含有の状態を認識するため、特徴抽出手法として深層学習モデルVGG16[3]を用いて転移学習を行った。

以下の四つの学習モデル(A~D)を用いて精度検証を行った。詳細は参考文献の[4]を参照する。

Model A: ベースラインとして訓練した普通の CNN ネットワークである。4つの畳み込み層を持つ。

Model B: VGG16 モデルの畳み込み層(Block1~Block5)をすべて凍結し、学習済みの畳み込みベースの重みとパラメータの情報を利用する。最後の VGG16 モデルの全結合分類器を外して、追加した全結合分類器のみを訓練する。

Model C: VGG16 モデルの畳み込みベースの浅い層を再利用し、Block5 以降は再訓練し、学習させる。

Model D: Model C と同じネットワーク校正とし、訓練データは画像水増し法で拡張する。元画像から回転、左右水平移動、上下垂直移動、拡大縮小、左右反転、シアー変換を学習が

繰り返されるごとに無作為に適用する。

本研究では学習用データを訓練用データとテスト用データに分割する際に、k-分割交差検証を行わないと行う二つ分割手法を用いた。各モデルの予測精度は Fig.1 に示す。

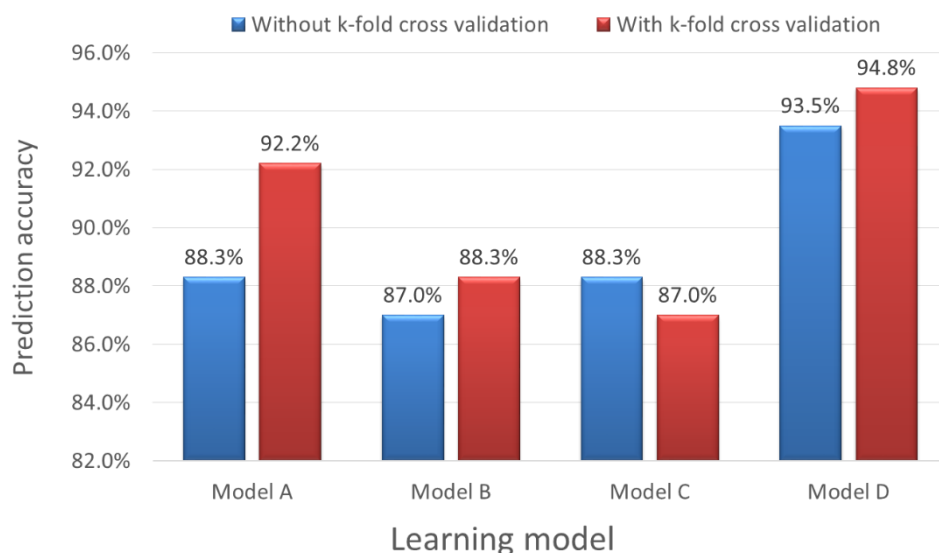


Fig.1 Prediction accuracy in each learning model.

(4) 2020 年度進捗状況

上記の成果を論文として発表した。なお、ここで詳細記載していかなかった内容は、発表した論文に参照をお願いしたい[4]。

(5) まとめ

CNN を用いて鶏肝臓の外観状態を認識することによって、鶏の正常な肝臓と脂肪肝を分類した。転移学習を行わないベースラインモデルと比較して、学習済みの VGG16 を用いた転移学習の有効性を確認した。また、k-分割交差検証の有効性について検討した。今後は二値分類問題においてさらなる認識精度の向上を目指す。

参考文献

- [1] 食肉の理化学分析及び官能評価マニュアル，独立行政法人家畜改良センター，<http://www.nlbc.go.jp/research/nikushitsuhyoka/technical.html>（最終アクセス 2021 年 2 月 20 日）
- [2] Y. LeCun, B. Boser, J.S. Denker, D. Henderson, R.E. Howard, W. Hubbard, L.D. Jackel, Backpropagation applied to handwritten zip code recognition, Neural Comput. 1 (4), pp.541–551,

1989.

[3] Simonyan, K., & Zisserman, A., Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition. CoRR, abs/1409.1556, 2014.

[4] 鄭 宏杰, 中林 靖, 増田 正人, 西 宏起, 山中 大介, 高橋 伸一郎, 伯野 史彦, 宮内 陽介, 岡崎 敬, 吉田 一寛, 塩谷 隆二(2020), CNN に基づく鶏肝臓画像における脂肪肝分類に対する転移学習の効果検証, 日本計算工学会論文集, 2020 巻, 1 号, p. 20201003.

3.3. 新規実験計測グループ

4. 共同研究

4.1. 埼玉 AI プロジェクト

2019 年度に「埼玉県 AI を活用した機器等開発・実証補助金」について、「光学ガラス部品及び金属加工部品に関する外観検査サービス提供基盤の開発」の題目で交付を受け、研究・開発を行った。本補助金は 2019 年度単年度のものであったが、その後の製品開発に向けて 2020 年度は共同開発体を構成した株式会社タナカ技研と共同研究を行った。

まず、上記事業の概要は以下の通りである。

「本事業は、スマートフォンや車載カメラに必須の光学ガラス部品である IR (Infrared rays : 赤外線) カットフィルタや車載カメラの鏡筒部分を構成する金属加工部品等の外観検査を最新の AI 技術により自動化し、クラウドベースの外観検査サービス実現のための基盤構築を目的とするものである。実現のために、同種複数種、異種複数種に対応する高効率の学習方式の開発とクラウドベースのサービスビジネスアーキテクチャ開発を行い、実装検証する。」

これに対し、今年度は主に CNN (Convolutional Neural Network) を用いた不良品判定について、より判定精度を上げることを目的とし、ネットワーク構成の改善やクロスバリデーションの実施を行った。共同研究との関係で、画像等を載せることはできないが、結論としては、劇的な改善はなく、前年度同様、データによって判定率に差が出る結果となっている。なお、この補助金自体は単年度であるが、今後、これを事業化するために 3 年ほどは継続的に県に経過報告を行うことになっているため、何らかの形で研究は継続する予定である。

4.2. 「知」の集積と活用の中場プロジェクト

平成 28 年 12 月より「「知」の集積と活用の中場による革新的技術創造促進事業」(うち「知」の集積と活用の中場による研究開発モデル事業)において、研究課題名「アミノ酸の代謝制御性シグナルを利用した高品質食肉の研究開発とそのグローバル展開」が採択され、研究代表機関である東京大学より再委託を受け、令和 3 年 3 月までの予定で研究を実施している。

4.2.1. 研究実施内容

栄養学的根拠に基づく食餌改良により、世界の消費者の嗜好にマッチした品質の食肉(霜降り肉や、柔らかい肉など)の安定生産を可能にし、様々な業種の企業との連携により、肉質の科学的評価系、トレーサビリティの向上を実現してバリューチェーンを確立し、海外産食肉と明確に差別化される高付加価値な日本産食肉のブランド力の強化を目指す。これまでのアミノ酸シグナルを用いた代謝調節に関する知見をもとに、飼料形態や給与法の工夫

により、高付加価値食肉を安定生産し、肉質の評価系を確立、伊藤ハム株式会社の販路を活用してグローバルに消費者に届け事業創出することを目指している。

具体的には、筋肉内脂肪含量が高い霜降り豚肉を生産するには、低リジン飼料の給与が現実的であることをこれまでに確認している。しかし、飼料効率の低下や肥育期間の延長という課題が残された。また、筋肉内脂肪含量に焦点を定めて研究を進めたので、筋肉の硬さや色調などの物性、筋肉の遊離アミノ酸含量や脂肪酸組成など、味や脂肪の口どけに影響をおよぼす要因、さらに、官能特性については検討できなかった。本研究では、「ボーノポークぎふ」を生産するブタのリジン要求量を再検討し、そのうえで高温期用の低リジン飼料を開発することで、年間を通して安定して霜降り豚肉を生産する技術を開発する。このことにより、「ボーノポークぎふ」の認定基準である筋肉内脂肪含量 5%を 70%の LW ボーノがクリアできる技術の確立を目標とする。さらに、物性、遊離アミノ酸組成と脂肪酸組成、官能特性の解析を通して、脂肪交雑のある豚肉をわかりやすく消費者にアピールする指標の取得を目指す。

東洋大学チームでは、モデル動物（ラット）および他の共同研究機関から供給されるブタの血中アミノ酸濃度、血中中間代謝物濃度、血中ホルモン濃度、筋肉切片の脂肪交雑量から、機械学習（ニューラルネットワーク）や自己組織化マップ(SOM)を行い、血中のアミノ酸とホルモンの濃度から筋肉内脂肪含量を予測する人工知能プログラム (AI) を作成する。さらに、血中のアミノ酸とホルモンの濃度の変化を予測する AI も作成する。この 2 つの AI を使えば、飼料中のリジン濃度→血中のアミノ酸とホルモン濃度→筋肉内脂肪含量と予測できるようになる。GPU 環境でアミノ酸濃度から豚の枝肉の重量を予測した。また、特徴選択によって学習するパラメータを選択し、予測精度を改善した。食餌中のアミノ酸量と血中アミノ酸量の相互関係を機械学習によって分析した..

畜産業における食肉の品質評価は、成分検査、生物・物理学的検査及び官能検査を組合せ、総合的に評価されている。官能検査は総合的な評価として用いられているが、経験豊かな検査員でも主観的な評価なりやすいので、数値はバラつきがあり、絶対的なものではない。そこで客観的で簡便かつ迅速に官能検査を行うため、鶏の白レバーという付加価値高い副産物に画像認識手法を適用した。具体的には画像認識でよく使われる代表的な手法畳み込みニューラルネットワーク(Convolutional Neural Networks: CNN)を用い、鶏肝臓の画像から脂肪肝と正常肝臓を分類し、認識精度について検証した。

4.2.2. 研究実施体制

(1) 研究コンソーシアム

代謝制御性アミノ酸シグナルを利用した高品質食肉開発コンソーシアム

(2) 研究代表者：高橋伸一郎（東京大学大学院農学生命科学研究科，教授）

(3) 構成員

伊藤ハム株式会社，株式会社ゼンショーホールディングス基盤技術研究所，日本農産工業株式会社畜産技術センター，株式会社リバネス，株式会社塚原牧場，中濃ミート事業協同組合，秋田県畜産試験場比内地鶏研究部，学校法人麻布獣医学園麻布大学獣医学部獣医学科栄養学研究室，学校法人明治大学機能性食品開発基盤研究所，学校法人東洋大学計算力学研究センター，公益財団法人 未来工学研究所，ネットスマイル株式会社

5. 学術活動

2020 年 1 月から 2021 年 1 月までの業績を掲載する.

5.1. 論文投稿

1. Bashir Ahmad Aasim, Abdul Khaliq Karimi, Jun Tomiyama & Ömer Aydan, "Numerical verification of accelerometer-based assessment of hollow-type pretensioned concrete girder", Journal: Asian Journal of Civil Engineering (AJCE), 21(3), 437-447, 2020, (Springer).
2. A. Oishi, G.Yagawa, "A surface-to-surface contact search method enhanced by deep learning", International Journal of Computational Mechanics, Vol. 65, pp.1125–1147, 9 January 2020.
3. Koki Tazoe, Hiroto Tanaka, Masanori Oka, Genki Yagawa, "An approach for fatigue crack propagation analysis by smoothed particle hydrodynamics method", Strength, Fracture and Complexity, Vol.12, pp.127-133, 26 March 2020.
4. Koki Tazoe, Hiroto Tanaka, Masanori Oka, Genki Yagawa, "Analyses of Fatigue Crack Propagation with Smoothed Particle Hydrodynamics Method", Engineering Fracture Mechanics, Vol.228, 106819, 1 April 2020.
5. Hongjie Zheng, Ryuji Shioya, Hiroshi Kawai, Sebastian Reiter, Gabriel Wittum, "Performance Comparisons of Geometric Multigrid Solvers and Balancing Domain Decomposition Solvers", Computing and Visualization in Science, 23-5, pp.1-8, 27 April 2020.
6. 佐伯竜彦, 富山潤, 中村文則, 中村亮太, 花岡大伸, 安琳, 佐々木巖, 遠藤裕丈, "飛来塩分環境下にあるコンクリートの表面塩化物イオン濃度評価式の検討", 土木学会論文集 E2 (材料・コンクリート構造), Vol.76, No. 2, pp. 98-108, 2020.
7. Koki Tazoe, Hiroto Tanaka, Masanori Oka, Genki Yagawa, "Near-threshold fatigue crack propagation without oxide-induced crack closure", Nature Scientific Reports, Volume 10, Article number 7926, 13 May 2020.
8. Hongjie Zheng, Shogo Komatsu, Koichiro Aoki, Chieko Kato, "Analysis of the Impressions before and after Appreciation of Japanese, Chinese and Korean Traditional Dance Based on Text Mining", Psychology, 11-6, pp.845-864, 2020.
9. Hongjie Zheng, Ryuji Shioya, A Comparison between Artificial Intelligence Method and

Standard Diagnosis Methods for Power Transformer Dissolved Gas Analysis Using Two Public Databases, IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering, 15-9, pp.1305-1311, July, 2020.

10. 富山潤, 金城聡一郎, 佐藤智, 渡瀬博, “流水による洗い流し作用を受けるコンクリート表面の塩化物イオン濃度の経時変化と洗い流し時期に関する基礎検討”, コンクリート工学年次論文集, Vol.42, No.1, pp.617-622, 2020.
11. 須田裕哉, 安藤大晃, 立原知美, 富山潤, “高炉スラグ微粉末を用いたセメントペーストの炭酸化による気体の拡散性状の変化と相組成および空隙構造との関係”, コンクリート工学年次論文集, Vol.42, No.1, pp.125-130, 2020.
12. Bruno Ribeiro, Tadaaki Uchiyama, Jun Tomiyama, Takashi Yamamoto and Yosuke Yamashiki, “An environmental assessment of interlocking concrete blocks mixed with sugarcane residues produced in Okinawa”, Resources(MDPI), 2020.8.
13. Abdul Khaliq Karimi, Bashir Ahmad Aasim, Jun Tomiyama, Yuya Suda, Omer Aydan and Kazou KANEDA, “Experimental and numerical studies on the control of horizontal cracking at the ends of hollow-type pretensioned girders”, SN Applied Sciences volume 2, Article number: 1641, 2020, (Springer).
14. Bruno Ribeiro, Tadaaki Uchiyama, Jun Tomiyama, Takashi Yamamoto and Yosuke Yamashiki, “Development of interlocking concrete blocks with added sugarcane residues”, Fibers(MDPI), 2020.9.
15. Kazuhiro HARADA, Kenji TAKAHASHI, Futoshi IKUTA, Yasuhiro SHINDO, Kazuo KATO, Yuya ISEKI, Yasushi OSHIMA, Tokifumi MAJIMA, “Efficacy of a deep thermal therapy system for osteoarthritis of the knee”, Journal of Nippon Medical School, 論文 ID JNMS.2021_88-505, (2020 年), (日医大医会).
16. A. Oishi, G. Yagawa, “Finite elements using neural networks and a posteriori error”, Archives of Computational Methods in Engineering, Online first paper, 15 October 2020.
17. 古田泰祐, 富山潤, 牧野敏明, 宮城敏明, 山口真, “ASR 劣化したコンクリート構造物の詳細調査に対する X 線回折法の適用性に関する基礎検討”, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, Vol.20, pp.209-214, 2020.

18. Hongjie Zheng, Shogo Komatsu, Chieko Kato, Koichiro Aoki, Zihan Zhang, “Comparison of the Impressions of Chinese on Japanese, Chinese and Korean Dance Found by Text Mining”, *Psychology*, 11, 1740-1756, 2020.
19. Hongjie Zheng, Takeru Hatachi, Masato Masuda, Koichiro Aoki, Chieko Kato, “Psychological Analysis of Rugby Players Based on Self-Organizing Map (SOM) and Ward’s Method”, *Advances in Physical Education*, 10-4, pp410-420, 2020.
20. 鄭宏杰, 中林靖, 増田正人, 西宏起, 山中大介, 高橋伸一郎, 伯野史彦, 宮内陽介, 岡崎敬, 吉田一寛, 塩谷隆二, ”CNNに基づく鶏肝臓画像における脂肪肝分類に対する転移学習の効果検証”, 日本計算工学会論文集, 2020 巻 1 号, pp.1-7, 2020.
21. R. SAKAKIBARA, Y. SHINDO, K. KATO, P.K. CHOI and A. TAKEUCHI "Basic Study of 3-D Non-Invasive Measurement of Temperature Distribution Using Ultrasound Images during HIFU Heating", *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal*, vol. 5, no. 6, pp. 1306-1311 (2020 年 12 月), (ASTESJ-Science).
22. Y. SHINDO, K. TAKAHASHI, F. IKUTA, Y. ISEKI, K. HARADA, K. KATO, “Deep heat therapy system with resonant cavity applicator for articular cartilage in knee osteoarthritis” , *The Journal of Physical Therapy Science*, vol. 32, Issue 12, pp. 823-827, (2020 年 12 月), (Society of Physical Therapy Science).
23. Hiroshi Kanayama, Masao Ogino, Shin-ichiro Sugimoto and Kaworu Yodo, “A Relation of Preconditioners for Magnetostatic Domain Decomposition Analysis”, *J. ADV.SIMULAT.SCI. ENG.*, Vol.8, No.1, pp.27-39, 2021.
24. Hiroshi Kanayama, Masao Ogino, Shin-ichiro Sugimoto, Hongjie Zheng and Kaworu Yodo, “A Relation of Preconditioners in Domain Decomposition Method for Magnetostatic Problems”, to appear in *International Journal of Computational Methods*, 2021.
25. Bashir Ahmad Aasim, Abdul Khaliq Karimi, Jun Tomiyama, Yuya Suda, ”Horizontal end cracks control and load-bearing capacity performance of hollow-type pretensioned girders through experimentally calibrated finite element models”, *Engineering science and Technology, An international journal (JESTECH)*, 2021.2, (Elsevier), Accepted..

5.2. 学会発表

1. Hiroshi Kanayama, Masao Ogino, Shin-ichiro Sugimoto and Kaworu Yodo, “The Asymptotic Convergence of BDD-DIAG to diag”, 第 32 回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム (SEAD32)講演論文集, pp.217-220, 2020.5.
2. Y. ZHAO, Y. Shindo, T. KYOYA, D. ONUMA and A. TAKEUCHI, "Needle insertion simulator for effective RF hyperthermia treatment," 2020 13th International Conference on Human System Interaction (HSI), Tokyo, Japan, 2020, pp. 200-203, (6-8 June 2020).
3. 塩原歩, 村上真, “Wasserstein GAN を用いた人物動作生成モデルの構築”, 情報処理学会 CGVI 研究会(オンライン), 2020.6
4. N. HAYASHI, K. KATO, Y. SHINDO, Y. ISEKI, “Heating Characteristics of Developed Thermal Rehabilitation System Using Rectangular Resonant Cavity Applicator”, 42nd Annual International Conferences of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society in conjunction with the 43rd Annual Conference of the Canadian Medical and Biological Engineering Society (IEEE EMBC2020), Canada, MoAT14.23, (20-24, July, 2020).
5. Shosuke Miyahira and Terutaka Fujioka, “Assessment of a Thermal Fatigue Test Under Cyclic Non-Proportional Loading Using Open Source CAE and Finite Element Analysis Methods”, The 8th International Conference on Fracture, Fatigue and Wear (FFW 2020), August 26-27, Online, 2020.8.
6. 加藤 千恵子, 吉沼 智, 鄭 宏杰, 青木 滉一郎, “ヨーガ実施時の心理状態が身体動作およびリラクセス感に及ぼす影響”, ダンス・セラピー第 29 回全国学術研究大会(オンライン), 2020.8.
7. 青木 滉一郎, 小松 昭吾, 鄭 宏杰, 加藤 千恵子, “日中韓の伝統舞踊が与える印象の比較分析”, ダンス・セラピー第 29 回全国学術研究大会(オンライン), 2020.8.
8. 金山寛, 荻野正雄, 杉本振一郎, 淀薫, 静磁場の領域分割解析におけるコース問題の解法について(第 2 報), 電気学会 静止器・回転機合同研究会資料 SA-20-037, RM-20-061, pp.33-38, オンライン, 2020/09/03-04.
9. Hiroshi Kanayama, Masao Ogino, Shin-ichiro Sugimoto and Kaworu Yodo, “On the Coarse Matrix Solver of Preconditioners for Magnetostatic Domain Decomposition Analysis 2”, 電気学会静止器/回転機合同研究会, 電磁界数値計算技術とその応用, 2020.9.
10. 宮平将輔, 藤岡照高, “オープンソース CAE を用いた非比例負荷下における熱疲労評価”, 日本機械学会 2020 年度年次大会, 名古屋 (オンライン), 2020.9.
11. 李博華, 藤岡照高, “オープンソース CAE を用いた改良参照応力法に基づく非弾性 J 積

- 分の簡易評価”, 日本機械学会 2020 年度年次大会, 名古屋 (オンライン), 2020.9.
12. 鄭宏杰, 小松昭吾, 加藤千恵子, 青木滉一郎, “韓国舞踊の動作特徴の解明——専門家・初心者による踊りの動作解析”, 日本機械学会 2020 年度年次大会 (オンライン), 2020.9.
 13. 青木滉一郎, 小松昭吾, 鄭宏杰, 加藤千恵子, “韓国舞踊の体験が心身にもたらす効果の検証”, 日本機械学会 2020 年度年次大会 (オンライン), 2020.9.
 14. 浅野美代子, 鄭宏杰, “年輪画像を用いた CNN 解析”, 2020 年度統計関連学会連合大会 (オンライン), 2020.9.
 15. H. Kawai, Skyline Solver for Many-Core Architecture, The 3rd International Conference on Computational Engineering and Science for Safety and Environmental Problems (COMPSAFE 2020), Kobe, Japan, 2020.11 (virtual congress)
 16. Hongjie Zheng, Kawai Hiroshi, Ryuji Shioya, “Design optimization with finite element method and artificial intelligence”, The 3rd International Conference on Computational Engineering and Science for Safety and Environmental Problems (COMPSAFE2020), Kobe, Japan, 2020.11 (virtual congress).
 17. Shin-ichiro Sugimoto, Amane Takei, Masao Ogino, “FE Analysis with 100 Billion DOFs in a High-frequency Electromagnetic Field”, The 3rd International Conference on Computational Engineering and Science for Safety and Environmental Problems (COMPSAFE 2020), 2020.11(virtual congress).
 18. 藤岡照高, “材料力学教育への Salome-Meca/Code-Aster の利用”, オープン CAE・FrontISTR 合同シンポジウム 2020 (オンライン), 2020.12.
 19. D. ONUMA, Y. SHINDO, “Development of AR system to visualize electromagnetic fields based on numerical analysis results”, 2021 virtual USNC-URSI National Radio Science Meeting (NRSM), paper No. 1038, (4-9, January 2021).
 20. T. TAKAMATSU, Y. SHINDO, Y. ISEKI, K. KATO, “Non-contact method of controlling heated area using developed rectangular resonant cavity applicator”, 2021 virtual USNC-URSI National Radio Science Meeting (NRSM), paper No. 1024, (4-9, January 2021).
 21. Yoshiaki Tamura and Masato Masuda, “Automatic Flow Visualization Using Self-Organizing Map,” 14th WCCM and ECCOMAS Congress 2020, Jan. 11-15, 2021 (virtual congress).
 22. Changming Sun, Masato Masuda, Hongjie Zheng and Yasushi Nakabayashi, “Development of daily necessities identification system by transfer learning”, 14th WCCM and ECCOMAS Congress 2020, Jan. 11-15, 2021 (virtual congress).
 23. Jiaheng Li, Yasushi Nakabayashi, Masato Masuda and Hongjie Zheng, “Development of fire protection system based on YOLO”, 14th WCCM and ECCOMAS Congress 2020, Jan. 11-15,

2021 (virtual congress).

24. Ryuji Shioya and Hongjie Zheng, “Artificial intelligence simulation to predict of liver lipid levels”, 14th WCCM and ECCOMAS Congress 2020, Jan. 11-15, 2021 (virtual congress).
25. Hiroshi Kawai and Ryuji Shioya, “High performance implementation for small-sized abstract data type in numerical simulation”, 14th WCCM and ECCOMAS Congress 2020, Jan. 11-15, 2021 (virtual congress).
26. A M M Mukaddes, Sannyal Mridul and Ryuji Shioya, “Simulation of the human skin burns and evaluation of defferent treatments using ADVENTURE system”, 14th WCCM and ECCOMAS Congress 2020, Jan. 11-15, 2021 (virtual congress).
27. 杉本振一郎, 武居周, 荻野正雄, “数値人体モデルの電磁界-熱伝導連成解析に関する検討”, 第 25 回計算工学講演会, 北九州, 新型コロナウイルスの影響により講演会中止・予稿集の発行のみ, 2020.
28. 金山寛, 荻野正雄, 杉本振一郎, 淀薫, “BDD-DIAG の diag への漸近的収束性”, 第 32 回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム(SEAD32), 岐阜, 新型コロナウイルスの影響によりシンポジウム中止・予稿集の発行のみ, 2020.
29. 杉本振一郎, 武居周, 荻野正雄数値人体モデルの高周波電磁界-熱伝導連成解析に関する検討, 第 32 回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム(SEAD32), 新型コロナウイルスの影響によりシンポジウム中止・予稿集の発行のみ, 2020.
30. 杉本振一郎, “温熱治療解析のための数値人体モデルの検討”, 第 4 回 大規模電磁界数値解析手法に関する研究シンポジウム(LSCEM2021), オンライン, 2021.
31. Hiroshi Kanayama, Masao Ogino, Shin-ichiro Sugimoto and Kaworu Yodo, “A Revised relation of preconditioners for magnetostatic domain decomposition analysis”,電気学会静止器/回転機合同研究会電磁界数値計算技術とその応用, 2021.3 (予定) .
32. 金山寛, “BDD-DIAG と diag の関連性について”, 第 4 回大規模電磁界数値解析手法に関する研究シンポジウム(LSCEM2021), 2021.3 (予定) .
33. 藤岡照高, “オープンソース CAE を用いた材料力学遠隔学習教材”, 日本機械学会関東支部第 27 期総会・講演会, 横浜 (オンライン), 2021.3 (予定) .

5.3. 招待講演

1. 矢川元基, “「知らぬが仏」から「知る権利」へ”, 安心感に関するシンポジウム, 日本学術会議, 2020.5.28 (東京) .
2. 矢川元基, “2011 年東日本大震災・福島原発事故の真相”, 東京理科大学特別講義, 2020.10.24 (野田) .

5.4. 総説・解説

なし

5.5. 出版

1. G. Yagawa and A. Oishi, “Computational Mechanics with Neural Networks”, Springer, 2021.3.

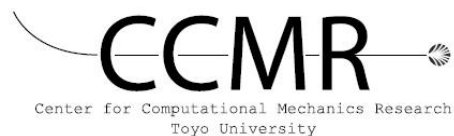
5.6. 受賞

1. Hiroshi Kanayama, APACM Senior Scientist Award, 2019 年 12 月.

6. 終わりに

本報は、2020 年度の活動を取りまとめたものである。なお、2020 年度中に予定されているシンポジウムに間に合わせるために原稿締め切りを 2020 年 2 月とした。したがって、それ以降のデータについては掲載されていないことをお断りしたい。

今日、計算力学は製造業のみならず、社会の安心・安全をはじめさまざまな分野に大きく広がりをみせている。さらに、計算力学と AI を関連づけた研究も盛んになってきている。社会不安が増す中で、より広い視点で計算力学の発展に資するようセンター研究員一同、今後とも努力していきたい。



東洋大学 計算力学研究センター 2020 年度年報

この資料の転載，引用などをご遠慮ください。

本資料に関するお問い合わせは下記へお願いいたします。

編集・発行 東洋大学計算力学研究センター

〒350-8585 埼玉県川越市鯨井 2100

URL: <http://www.toyo.ac.jp/site/ccmr/>

TEL・FAX: 049-239-1475