

Proceedings of the Open CAE Symposium 2017@Nagoya

オープン CAE シンポジウム 2017@名古屋

講演会

講演概要集

会場:名古屋大学(東山キャンパス)

情報基盤センター・ES 総合館

開催日:2017年12月8日(金)~9日(土)

主催:(社)オープン CAE 学会

12月7日(木)トレーニングスケジュール【情報基盤センター】

時間	小講義室(5階セミナー室)	中講義室(1階多目的室)	大講義室(4階演習室)			
9:30	受付開始(1階多目的室前受付)【大講義室(0み9:00開始】					
10:00~ 11:30	Python-GUI入門 講師:藤井成樹	3次元形状モデリングトレーニング 基礎からの FreeCAD 講師:坪田遼(Xsim)	【本講義のみの受講は無料、時間は9:30-12:00です】 FX100システム利用型MP講習会(初級) 講師:片桐孝洋(名古屋大学)情報基盤センター)			
		昼休み(11:30~12:30)				
12:30~ 14:00	OpenModelica講習初級:「OpenModelicalこよる モデルベースデザイン基礎」 講師:西剛伺(オーブンCAE学会モデルベース デザイン委員会)	Salome-Mecaによる固体のFEA(入門)(*1) 講師・藤岡照高(東洋大学理工学部)	OpenFOAMIこよる熱流体シミュレーション(入門)(*2) 講師: 中川慎二 (富山県立大学)			
14:15~ 15:45	OpenModelics講習中級:「Modelica.Fluid ライブラリ解説」 講師・田中周(有限会社アマネ流研)	Salome-Mecaによる固体のFEA(初級)(*1) 講師 藤岡照高(東洋大学理工学部)	OpenFOAMによる熱流体シミュレーション(初級) (*2) 講師:中川慎二(富山県立大学)			
16:00~ 17:30	ParaView講習 一可視化処理の操作方法とPython スクリプトを用いた可視化処理の自動化— 講師:中山勝之(オーブンCAE秘強会@富山)	粒子モデル破壊解析理論Peridynamicsによる 破壊解析基礎演習 講師柴田良一(岐阜工業高等専門学校)	OpenFOAM講習(中級) OpenFOAMに使用するメッシュ生成法 講師野村 悦治(OCSE2)			

Salome-Meca(*1)とOpenFOAM(*2)については、入門+ 初級を受講すると機械学会計算力学技術者認定受験資格のコースとなります。

12月8日(金)~9日(土)講演会スケジュール【情報基盤センター+ES総合館】

12/08	講演会A会場(4階演習室)	講演会B会場(1階多目的室)	
9:30	受付開始	(1階多目的室前)	
10:00~ 12:00	情報基盤センターおよび5 各施設を1時間程度2班補	未来社会創造機構への施設見学会 構成(各20名) ※先着40名限定※	
	昼休み	(12:00~12:45)	
	開会式(12:45~12:55)		
13:00~ 14:30	一般講演A1【流本解析1:6件】 座長:今野 雅(株式会社OCAEL)	一般講演B1(構造・破壊解析:6件) 座長:酒井秀久(富士通アドバンストテクノロジ株式会社)	
	休憩(14:30~14:45)	
14:45~ 16:15	一般講演A2(燃焼・伝熱解析1:6件) 座長:野村悦治(OCSE^2)	一般講演B2(1D-CAE·企業内利用:6件) 座長:柴田良一(岐阜工業高等専門学校)	
	休憩((16:15~16:30)	
16:30~ 18:00	バネルディスカッション「テーマ:これからのCAEを考える」 モデレータ:岩田進吉((有)ィワタシステムサポート)		
			懇親会【18:15~20:15】 レストラン花の木
12/09	講演会C会場(1階ESホール)	講演会D会場(1階ES会議室)	
12/09 9:30	講演会C会場(1階ESホール) 受付開始	講演会D会場(1階ES会議室) (ES館エントランス)	
12/09 9:30	請演会C会場(1階ESホール) 受付開始 賛助会員LT(10:00~10:20)	請演会D会場(1階ES会議室) (ES館エントランス)	
12/09 9:30 10:30~ 12:00	請演会C会場(1階ESホール) 受付開始 登助会員LT(10:00~10:20) 特別講演 「トヨタ自動車での自動車の衝突シミュレーション技術の現状」 トヨタ自動車株式会社 先進技術開発カンパニー 安木剛博士	請演会D会場(1階ES会議室) (ES館エントランス)	
12/09 9:30 10:30~ 12:00	講演会C会場(1階ESホール) 受付開始 登助会員LT(1000~1020) 特別講演 「トヨタ自動車での自動車の衝突シミュレーション技術の現状」 トヨタ自動車株式会社 先進技術開発カンパニー 安木剛博士 昼休み	請演会D会場(1階ES会議室) (ES館エントランス) ·(12:00~13:00)	賛助会員:技術展示
12/09 9:30 10:30~ 12:00 13:00~	請演会C会場(1階ESホール) 受付開始 登助会員LT(10:00~10:20) 特別講演 「トヨタ自動車での自動車の衝突シミュレーション技術の現状」 トヨタ自動車株式会社 先進技術開発カンパニー 安木剛 博士 昼休み 一般講演C1(流体解析2:7件)	請演会D会場(1階ES会議室) (ES館エントランス) ・ (12:00~13:00) 一般講演D1(企業内利用・支援ツール:7件)	替助会員:技術展示 ポスターセッション
12/09 9:30 10:30~ 12:00 13:00~ 14:45	講演会C会場(1階ESホール) 受付開始 賛助会員LT(10:00~10:20) 特別講演 「トヨタ自動車での自動車の衝突シミュレーション技術の現状」 トヨタ自動車株式会社 先進技術開発カンパニー 安木剛 博士 昼休み 一般講演C1(流体解析2:7件) 座長:中川慎二(富山県立大学)	講演会D会場(1階ES会議室) (ES館エントランス) (12:00~13:00) 一般講演D1(企業内利用・支援ツール:7件) 座長:柴田良一(岐阜工業高等専門学校)	替助会員:技術展示 ポスターセッション 【ES館エントランス】
12/09 9:30 10:30~ 12:00 13:00~ 14:45	講演会C会場(1階ESホール) 受付開始 賛助会員LT(10:00~10:20) 特別講演 「トヨタ自動車での自動車の衝突シミュレーション技術の現状」 トヨタ自動車株式会社 先進技術開発カンパニー 安木剛 博士 昼休み 一般講演C1(流体解析2:7件) 座長:中川慎二(富山県立大学) 休憩(講演会D会場(1階ES会議室) (ES館エントランス) (12:00~13:00) 一般講演D1(企業内利用・支援ツール:7件) 座長:柴田良一(岐阜工業高等専門学校) (14:45~15:00)	替助会員:技術展示 ポスターセッション 【ES館エントランス】
12/09 9:30 10:30~ 12:00 13:00~ 14:45 15:00~	講演会C会場(1階ESホール) 受付開始 賛助会員LT(10:00~10:20) 特別講演 「トヨタ自動車での自動車の衝突シミュレーション技術の現状」 トヨタ自動車株式会社 先進技術開発カンパニー 安木剛 博士 昼休み 一般講演C1(流体解析2:7件) 座長:中川慎二(富山県立大学) 休憩(一般講演C2(HPC:7件)	講演会D会場(1階ES会議室) (ES館エントランス) (12:00~13:00) 一般講演D1(企業内利用・支援ツール:7件) 座長:柴田良一(岐阜工業高等専門学校) (14:45~15:00) 一般講演D2(コミュニティ・教育・普及活動:7件)	替助会員:技術展示 ポスターセッション 【ES館エントランス】
12/09 9:30 10:30~ 12:00 13:00~ 14:45 15:00~ 16:45	講演会C会場(1階ESホール) 受付開始 賛助会員LT(10:00~10:20) 特別講演 「トヨタ自動車での自動車の衝突シミュレーション技術の現状」 トヨタ自動車株式会社 先進技術開発カンパニー 安木剛 博士 一般講演C1(流体解析2:7件) 座長:中川慎二(富山県立大学) 休憩(一般講演C2(小PC:7件) 座長:大島聡史(九州大学)	講演会D会場(1階ES会議室) (ES館エントランス) (12:00~13:00) 一般講演D1(企業内利用・支援ツール:7件) 座長:柴田良一(岐阜工業高等専門学校) (14:45~15:00) 一般講演D2(コミュニティ・教育・普及活動:7件) 座長:片山達也(オーブンCAE勉強会@関西)	替助会員:技術展示 ポスターセッション 【ES館エントランス】
12/09 9:30 10:30~ 12:00 13:00~ 14:45 15:00~ 16:45	講演会C会場(1階ESホール) 受付開始 賛助会員LT(10:00~10:20) 特別講演 「トヨタ自動車での自動車の衝突シミュレーション技術の現状」 トヨタ自動車株式会社 先進技術開発カンパニー 安木剛 博士 一般講演C1(流体解析2:7件) 座長:中川慎二(富山県立大学) 休憩(一般講演C2(HPC:7件) 座長:大島聡史(九州大学) 賛助会員LT(1650~17:00) 技術講演 Engl Mandmann	講演会D会場(1階ES会議室) (ES館エントランス) (12:00~13:00) 一般講演D1(企業内利用・支援ツール:7件) 座長:柴田良一(岐阜工業高等専門学校) (14:45~15:00) 一般講演D2(コミュニティ・教育・普及活動:7件) 座長:片山達也(オーブンCAE勉強会@関西)	賛助会員:技術展示 ポスターセッション 【ES館エントランス】
12/09 9:30 10:30~ 12:00 13:00~ 14:45 15:00~ 16:45 17:00~ 17:30	講演会C会場(1階ESホール) 受付開始 賛助会員LT(10:00~10:20) 特別講演 「トヨタ自動車での自動車の衝突シミュレーション技術の現状」 トヨタ自動車株式会社 先進技術開発カンパニー 安木剛 博士 一般講演C1(流体解析2:7件) 座長:中川慎二(富山県立大学) 休憩(一般講演C2(HPC:7件) 座長:大島聡史(九州大学) 賛助会員LT(1650~17:00) 技術講演 Fred Mendonca (Director, FSI-Open(ED Global Operations)	講演会D会場(1階ES会議室) (ES館エントランス) (12:00~13:00) 一般講演D1(企業内利用・支援ツール:7件) 座長:柴田良一(岐阜工業高等専門学校) (14:45~15:00) 一般講演D2(コミュニティ・教育・普及活動:7件) 座長:片山達也(オーブンCAE勉強会@関西)	賛助会員:技術展示 ポスターセッション 【ES館エントランス】
12/09 9:30 10:30~ 12:00 13:00~ 14:45 15:00~ 16:45 17:00~ 17:30	講演会C会場(1階ESホール) 受付開始: 賛助会員LT(10:00~10:20) 特別講演 「トヨタ自動車での自動車の衝突シミュレーション技術の現状」 トヨタ自動車株式会社 先進技術開発カンパニー 安木剛 博士 一般講演C1(流体解析2:7件) 座長:中川慎二(富山県立大学) 休憩(一般講演C2(HPC:7件) 座長:大島聡史(九州大学) 賛助会員LT(1650~17:00) 技術講演 Fred Mendonca (Director,ESI-OpenCFD Global Operations) 閏会式(17:30~17:45)	講演会D会場(1階ES会議室) (ES館エントランス) 	替助会員:技術展示 ポスターセッション 【ES館エントランス】

<オープン CAE シンポジウム 2017@名古屋開催にあたり>

「オープンCAE学会でのシンポジウムについて思うこと」

この概要予稿集をお手に取って読んでいるということは、シンポジウムを何とか開催にこぎつけ皆さんと名古屋大学で有意義な時間を過ごしている事を期待して…この挨拶を記します。

まずはこの文章は代表して柴田が記述しておりますが、本当は共催になって頂いた名古屋大学情報基 盤センターの、現地実行委員長:片桐孝洋教授の多大なる貢献で実現できたことを、最初にお礼申し上 げたいと思います。本当にありがとうございます。また以下に挙げる実行委員の方の、献身的な努力に もお礼申し上げます。

- 今野 雅 (OCAEL) 酒井 秀久 (富士通アドバンストテクノロジ) 田村 守淑 (東邦ガス) 中川 慎二 (富山県立大学) 藤井 成樹 (元アンデン) 吉藤 尚生 (名古屋大学)
- 岩田 進吉(中部 CAE 懇話会) 立松 昌(名古屋市工業研究所) 出川 智啓(名古屋大学)
- 野村 悦治(OCSE^2)
- 藤岡 照高(東洋大学)

さてオープンCAE学会のシンポジウムの短い歴史を紐解きますと、第1回が2010年12月5日に「オープンCAEシンポジウム2010」として、東京大学において今野実行委員長のもと開催されました。その後は、以下のように回を重ねて今回は第8回となります。2013年の大阪開催より、東京と他地域で交互に開催する形式となり、今回の名古屋開催となりました。

2016年11月24日(木)~26日(土):オープン CAE シンポジウム 2016(東京) 2015年11月27日(金)~28日(土):オープン CAE シンポジウム 2015(富山) 2014年11月13日(木)~14日(金):オープン CAE シンポジウム 2014(東京) 2013年12月05日(木)~06日(金):オープン CAE シンポジウム 2013(大阪) 2012年12月14日(金)~15日(土):オープン CAE シンポジウム 2012(岐阜) 2011年12月01日(木)~02日(金):オープン CAE シンポジウム 2011(東京)

オープンCAEの関心の高まりに対応して、シンポジウムの開催規模や徐々に拡大し、内容も充実し てきております。今回は自動車産業をはじめとするものづくりの集積地である東海地方の名古屋での開 催とあって、特別講演では自動車関連の先端的なCAE活用のご講演を企画し、一般講演でもものづく りにおけるオープンCAE活用の事例紹介があり、8セッション52講演と言う多彩な内容となってい ます。またオープンCAE学会の特徴の1つであるトレーニング(講習会)も12講座を開催し、従来の 学会とは異なる存在意義を発揮していると思います。

> オープン CAE シンポジウム 2017@名古屋実行委員長 柴田良一 (岐阜工業高等専門学校)



会場へのアクセス 名古屋市営地下鉄 名城線 名古屋大学駅 3番出口 徒歩3分

<講演会場>名古屋大学(東山キャンパス)

- A 会場:情報基盤センター 4階 演習室
- B会場:情報基盤センター 1階 多目的室
- C 会場: ES 総合館 1階 ES ホール
- D 会場: ES 総合館 1 階 ES 会議室

<懇親会場>レストラン 花の木

特別講演概要【12月9日(土)10:30-12:00】

「トヨタ自動車での自動車の衝突シミュレーション技術の現状」 (Status of car crash simulation at Toyota Motor Corporation)

安木 剛 博士(トヨタ自動車株式会社 先進技術開発カンパニー 車両 CAE 部 主査)

自動衝突のシミュレーションは 1986 年ごろに始まり、現在に至るまで多用な進歩や改良がなされた。車体変形のシミュレーションでは部品や接合の破断を模擬するために損傷関数・応力 3 軸度などを考慮した材料構成則が使用され、エアバッグ展開のシミュレーションでは流体と構造の強連成が使用されるようになった。これらのシミュレーション技術の発展経緯の概要を紹介するとともに、実験とシミュレーションの比較検証の課題について述べる。

技術講演概要【12月9日(土)17:00-17:30】

Delivering a Professional OpenFOAM to a global user base

Fred Mendonca (Director, ESI-OpenCFD Global Operations)

Several years of successful uptake and deployment of OpenFOAM now requires a professional infrastructure for development, release and maintenance. OpenFOAM is no longer just a research tool. It is used by commercial organisations for their everyday engineering design and optimisation. Results from these CFD analyses lead to quality judgements and value decisions. Significant knowledge and understanding arises from the simulations. Therefore it is in the interest of the OpenFOAM user community that all releases are properly Quality Assured, with appropriate validation and regression testing put in place. ESI-OpenCFD provides this professional infrastructure.

Additionally, the open-source nature of OpenFOAM demands that significant CFD contributions and technological advances made by competent users and developers can be reintegrated into the professional release. The Repositories set up by ESI-OpenCFD meet these demands. We wish to continue to disseminate this infrastructure globally, including through the committed focus demonstrated by CEA Society of Japan.

【12 月 8 日(金)プログラム】

※ 一般講演は1件あたり「発表10分+質疑応答5分(含ロスタイム)」(1鈴 8分、2鈴 10分、3鈴 15分)

【A 会場(情報基盤センター 4 階 演習室)】

12:45-12:55 開会式

13:00-14:30 一般講演[流体解析 I]/座長:今野雅(株式会社 OCAEL)

- A11 開放型下掛水車の OpenFOAM による気液二相流解析 渡辺昌俊(国立高専機構長野高専)
- A12 水難事故に与える波場の再現とその検証 長山昭夫(鹿児島大学)
- A13ADVENTURE-REVOCAP_Coupler-ISPH による流体構造連成解析岩間拓也、荻野正雄(名古屋大学)浅井光輝(九州大学)
- A14 OpenFOAM と多質点構造コードを連成させた FSI 解析による建築物の空力不安定振動評価
 挾間貴雅、坂敏秀、伊藤嘉晃、近藤宏二、山本学(鹿島建設技術研究所)田村哲郎(東京工業大学)
 横川三津夫(神戸大学)
- A15 OpenFOAM の OverSetMesh と lumpedPointMotion を使用した FSI 解析 川畑真一(オープン CAE 勉強会@関西)
- A16 旋回流れ対応型 k -ω SST モデルの OpenFOAM への実装
 中山勝之(オープン CAE 勉強会@富山)中川慎二(富山県立大学)

14:45-16:15 一般講演[燃焼・伝熱解析]/座長:野村悦治(OCSE^2)

- A21 OpenFOAM を用いたエルボ管流れにおける熱伝達の LES 計算 恒吉達矢、伊藤高啓、辻義之(名古屋大学)
- A22
 障害物が作り出す衝撃波後方の温度分布

 石隈涼哉、古谷正広(名古屋工業大学)
- A23 講演取りやめ
- A24 Fire Dynamic Simulator を用いた挟流路内燃え拡がりの数値解析 村上智志(豊橋技術科学大学大学院 機械工学専攻) 松岡常吉、中村祐二(豊橋技術科学大学大学院 工学研究科)
- A25 OpenFOAM による爆風シミュレーション 吉田正典、チェン スァン ディン、石倉修一(爆発研究所)
- A26 OpenFOAM を用いた天然ガス内燃機関の燃焼解析 田村守淑(東邦ガス株式会社)

16:30-18:00 パネルディスカッション

テーマ :「これからの CAE を考える」

サブテーマ : 「現状を踏まえて、オープン CAE から AI を活用した CAE を考える」

モデレータ:岩田進吉((有)イワタシステムサポート 代表取締役)

パネラー :伊藤隆 ((株) 菱友システムズ 航空宇宙エンジニアリング・ソリューション事業部 主幹)
 加藤久喜(オートデスク(株) 技術営業本部テリトリーアカウント エンジニアマネジャー)
 川上浩 (プロメテック・ソフトウエア株式会社 執行役員 エンジニアマネジャー)
 中川慎二(富山県立大学 機械工学科 教授)
 三好昭生(株式会社 インサイト 代表取締役)
 村田真伸(名古屋工業研究所 生産システム研究室 研究員)

【B 会場(情報基盤センター 1階 多目的室)】

13:00-14:30 ー般講演[構造・破壊解析]/座長:酒井秀久(富士通アドバンストテクノロジ株式会社)

- B11 粒子モデル破壊解析システム FRAXST を用いた衝突破壊解析の検証に関する基礎的研究 柴田良一(岐阜工業高等専門学校)
- B12
 Non-ordinary state based 定式ペリダイナミクスによるき裂進展解析

 増田和之、椎原良典(豊田工業大学)
- B13 三次元地震波速度の地下構造データベースを用いた有限要素法による大規模地震波動シミュレーション 董勤喜(株式会社 エデュサイエンス総合研究所)吉見顕一郎、杉中祐輔(株式会社 計算力学研究センター)
- B14 オープンCAEソルバの性能比較結果に関する報告 鍔田広美(株式会社 エィ・ダブリュ・エンジニアリング)
- B15
 Salome-Meca を用いた大変形接触解析

 小南秀彰(富士フイルムエンジニアリング株式会社)
- B16 CFRP の大規模構造解析に向けた FrontISTR への cohesive 要素の実装 山口太一、奥田洋司、橋本学(東京大学大学院)

14:45-16:15 一般講演[1D-CAE・企業内利用]/座長:柴田良一(岐阜工業高等専門学校)

- B21 オープン CAE による Modelica 活用とモデルベースデザイン委員会年間活動報告
 西剛伺(オープン CAE 学会モデルベースデザイン委員会)
- B22 Modelica による熱回路網の構築とマイクロプロセッサの温度予測 西剛伺(オープン CAE 学会モデルベースデザイン委員会)
- B23 ティータイムにおける OpenModelica の伝熱モデリング
 福江高志(岩手大学)大富浩一(東京大学)
- B24OpenModelica を用いた熱物性値計測装置の伝熱モデルの検討畠山潤平、廣瀬宏一、内舘道正、福江高志(岩手大学)
- B25 富士通グループにおけるオープン CAE の活用 新出孝政、植田晃、大塚晃弘、石川重雄(富士通アドバンストテクノロジ株式会社)
- B26 OpenFOAM による CO₂インキュベーター内の熱流体解析 山本圭一朗(福岡県工業技術センター 機械電子研究所)堤 泰憲(株式会社アステック)

【12月9日(土)プログラム】

※ 一般講演は1件あたり「発表10分+質疑応答5分(含ロスタイム)」(1鈴 8分、2鈴 10分、3鈴 15分)

【C 会場(ES 総合館 1 階 ES ホール】

10:00-10:20 賛助会員ライトニングトーク(その1) 司会:柴田良一(岐阜工業高等専門学校) 株式会社 CAE ソリューションズ、NUMECA ジャパン株式会社

10:30-12:00 特別講演 「トヨタ自動車での自動車の衝突シミュレーション技術の現状」 安木剛 博士(トヨタ自動車株式会社 先進技術開発カンパニー 車両 CAE 部 主査)

座長:柴田良一(岐阜工業高等専門学校)

13:00-14:45 一般講演[流体解析 II] / 座長:中川慎二(富山県立大学)

- C11 3D プリンタの印字プロセスの数値再現に向けた固液相変化モデルの開発に関する基礎検討 持田楓、福江高志(岩手大学)山本卓也(東北大学)竹内清人、廣瀬宏一(岩手大学) 寺尾博年、和宇慶知子(アルプス電気)
- C12 Conjugate heat transfer analysis of a thin liquid cooling heat sink using OpenFOAM Thomas Schiano、広瀬良平、飯田圭祐、清家美帆、畠山友行、中川慎二(富山県立大学)
- C13 OpenFOAM による減圧下における立方体容器内の自然対流の数値計算 熊本翔乃、山本萌絵、平野博之、桑木賢也(岡山理科大学)
- C14 粒子法オープンソース実装 OpenMPS の V&V 吉藤尚生(OpenMPS プロジェクト)
- C15 CFDEM マイクロスケールからメータースケールへの結合フローの例とその問題点 Richard Kenny(CAE ソリューションズ)
- C16 OpenFOAM による壁面に凹凸を有するマイクロ流路内の液々二相交互流の数値解析 西山真由、平井貴大、平野博之、木原朝彦(岡山理科大学)野村悦治(OCSE^2)
- C17
 遷音速における OpenFOAM の圧縮性ソルバーの比較

 松原大輔(オープン CAE 勉強会@関西)

15:00-16:45 一般講演[HPC]/座長:大島聡史(九州大学)

- C21 「京」コンピュータにおける interThermalPhaseChangeFoam の大規模計算 丸岡直矢、大島伸行(北海道大学)砂山良彦(スズキ株式会社)福井淳一、橋場数宏(株式会社ヴァイナス)
- C22 OpenFOAM スレッド並列化のための基礎検討 富岡稔、伊藤優希、丸石崇史、吉藤尚生(株式会社フィックスターズ)
- C23 OpenFOAMのメニーコア・GPUへの対応に向けた取り組みの紹介 山岸孝輝、井上義昭、青柳哲雄、浅見暁(高度情報科学技術研究機構)
- C24 OpenFOAM における Communication-Avoiding CG 法の実装と性能評価
 今野雅(株式会社 OCAEL・東京大学情報基盤センター客員研究員)
- C25 Amazon Web Services を利用した OpenFOAM バッチジョブの実行
 白鳥貴久(株式会社サーバーワークス)
- C26 オープンソースを用いた大規模並列計算における前処理の比較 鄭宏杰、塩谷隆二、河合浩志(東洋大学)
- C27
 自動チューニング言語 ppOpen-AT の機能とオープン CAE への展開

 片桐孝洋(名古屋大学)情報基盤センター)

- 16:50-17:00 賛助会員ライトニングトーク(その2) 日本イーエスアイ株式会社
- 司会:今野雅(株式会社 OCAEL)
- 17:00-17:30 技術講演 Delivering a Professional OpenFOAM to a global user base Fred Mendonca (ESI-OpenCFD Global Operations Director)

座長:今野雅(株式会社 OCAEL)

17:30-17:45 閉会式

【D 会場(ES 総合館 1階 ES 会議室)】

- 13:00-14:45 一般講演[企業内利用・支援ツール]/座長:柴田良一(岐阜工業高等専門学校)
- D11 オープンソースベースソルバ「iconCFD」の設計者 CAE 適用事例
 萩原慎一(トヨタ紡織株式会社)
- D12 オープンソース構造/流体解析シミュレーション社内活用 小南秀彰(富士フイルムエンジニアリング株式会社)
- D13 パブリッククラウド/コンテナを用いた数値流体解析基盤と技術情報発信の重要性 阿佐志保(TIS株式会社)
- D14 LED 用溶液成長開発における機械系 CAE 活用の問題点と Office 適用例 諏澤寛源(一般社団法人 日本機械学会会員)
- D15 Peridigm を有効活用するための統合支援ツール FRAXST の開発 藤田耕平、柴田良一(岐阜工業高等専門学校)
- D16 TreeFoam 上から名大スパコン、FOCUS に接続し、OpenFOAM で計算藤井成樹(岐阜工業高等専門学校)
- D17生成モデルによる CFD 結果の予測片山達也(オープン CAE 勉強会@関西)

15:00-16:45 ー 一般講演[コミュニティ・教育・普及活動]/座長:片山達也(オープン CAE 勉強会@関西)

- D21 高等学校専攻科におけるオープン CAE を用いた計算力学実習カリキュラムの検討 田渕英樹(愛知県立愛知総合工科高等学校専攻科)柴田良一(岐阜工業高等専門学校)藤井成樹(元アンデン)
- D22 高大連携教育へのオープン CAE 活用(教室のどこに扇風機をおくべきか,熱流体シミュレーションで調査する)
 毛利柊斗、中森一輝、小林春輝(富山県立小杉高校)広瀬良平、飴谷功佑、西田樹生、清家美帆、畠山友行、
 中川慎二(富山県立大学)
- D23 EFD/CFD 融合による空気力学に関する学生実験の紹介 中谷淳、柴田良一、野村悦治(岐阜工業高等専門学校)
- D24 オープン CAE の岐阜県における普及活動と木質パネルの変形解析への適用事例の紹介 今西祐志(岐阜県生活技術研究所)柴田良一(岐阜工業高等専門学校)
- D25オープン CAE 勉強会@関西の取り組み片山達也(オープン CAE 勉強会@関西)
- D26オープンCAE勉強会@岐阜での活動の報告柴田良一(岐阜工業高等専門学校)
- D27
 北東北地域のオープン CAE 活動の概況

 福江高志(岩手大学)足立高弘(秋田大)若嶋振一郎(一関高専)久保田健、葛西昭治(弘前大学)

開放型下掛水車の OpenFOAM による気液二相流解析

渡辺昌俊*(国立高専機構長野高専)

Gas-liquid Two-phase Flow Simulation of an Undershot Wheel Hydraulic Turbine with OpenFOAM

Masatoshi WATANABE * (National Institute of Technology, Nagano College)

Key Words : Hydraulic Turbine, Flow Simulation, Undershot Wheel, OpenFOAM, interDyMFoam

1. 緒言

水力発電設備に用いられる水車は衝動水車(高落差), 反動水車(低~中落差),重力水車(超低落差)に分類され,落差が必要な水車ほど出力が大きい一方,管路の設 置を必要とするものが多い.重力水車は,発電量は小さいものの,設置にかかるコストが低く河川や用水など超 低落差向けとして普及の可能性を持っている.しかし, 羽根車形状,自由表面である水面への着水状態の性能に 与える影響等,十分な知見が得られておらず,コスト低 減や効率向上に向けた研究が必要である.

本研究では、フィールド試験を実施した形状の異なる 羽根車⁽¹⁾の性能と着水時の水面の状態の再現を OpenFOAMで試みた.

2. 解析対象

2.1 平板水車 半径方向に放射状に羽根を持つ一般的 な羽根車で,図1(a)に示す.

2.2 山形水車 羽根の幅方向中間に向けて回転方向に 向かう山の頂のような形状を持つ羽根車で,図1(b)に示 す.この頂は着水する時に水面を左右に逃がし着水時の 抵抗を減らす目的がある.



(a) Flat plate wheel.(b) Mountain shaped wheel.Fig. 1 Hydraulic turbine wheel test models.

3. 解析モデル

3.1 境界条件と解析格子 オープンソースソフトウエ ア OpenFOAM® v1706 (ESI Group の OpenCFD 社が商標登録 をもつ)の Volume Of Fluid (VOF)法による二相流ソル バーである interDyMFoam を用いた.回転領域と静止領域 を分けて解析し,それぞれの領域が接する面で, cyclicAMI という非1対1境界接続手法により領域間の 情報を伝達することで移動する物体周りの流れ解析が可 能となる.本解析では,水車を内包する円筒状領域を回 転領域とし, OpenFOAM の境界適合メッシャーである snappyHexMesh を用いて解析格子を生成した.境界条件 は上流側では,液相は水流一定,気相は速度0,下流は 自由流出,側面は滑り壁の条件とした.

3.2 解析手法 支配方程式は非圧縮流れの連続の式,

CSF (Continuous Surface Force) モデルで表面張力項を表 した非圧縮性ナビエ・ストークス方程式及び,相の体積 分率の輸送方程式である.本解析では特徴的な差である 羽根形状の影響を定性的に把握することを目的としたた め,乱流モデルは用いていない.

4. 解析結果と効果の考察

水面の状態を図 2 に示す.フィールド試験⁽¹⁾で見られ たように(a)平板水車では上流側で水面をたたくことに よる漲水や,羽根間の水を上流側に戻してしまう現象が 見受けられる.これに対し,(b)山形にすることで上流側 の流れが安定化していることがわかる.



(a) Flat plate wheel



(b) Mountain shaped wheel.Fig. 2 Comparison of water surface

5. 結言

水車回転による自由表面形状の再現を目的とし,解析 を行った.定性的ではあるが,羽根着水時の水の飛散状 態,性能優劣においてフィールド試験と良い一致を得る ことが出来た.定量的には差異があるために,今後,空 間分解能の解に与える影響や乱流モデルの検討を行う.

参考文献

 (1) 高専-技科大 新技術説明会,佐藤孝幸, "水流からの エネルギー回収効率を高めた開水路型水車", 2014.12.9

水難事故に与える波場の再現とその検証

長山昭夫*(鹿児島大学)

Reproduction and verification of a wave field affecting water accident

Akio NAGAYAMA* (Kagoshima University)

Key Words : olaFoam, interFoam, Water Accident, Nearshore Current, OpenFOAM

1. はじめに

平成29年8月11日に福岡県古賀市古賀海岸の突堤と 潜堤に挟まれた砂浜領域において子供を含む計4人が亡 くなった.またこの領域では前年同時期にも水難事故が 発生していることから水難者はこの砂浜で発生する特有 の波場に影響を受けたことが推測される.一方,沿岸域 で発生する水難事故と周辺海浜流との因果関係を詳細に 検討した知見は,目撃情報のバイアスや事故当時の波場 の再現性の難しさから多くはない.以上より本研究は, 現地観測で得られた地形形状と風場の情報をもとに砂浜 領域の波場の再現を試みた.

2. 事故概要

事故が発生した古賀海岸は,沖合は玄界灘,北側にあ る大峰山から南側の磯崎鼻に挟まれた南北に約 10km 続 く砂浜の中央付近に位置する.事故が発生した砂浜は北 側にある小河川と南側の2級河川の大根川に挟まれた汀 線距離 400mの領域であり,河口にそれぞれ突堤が設置 されている.さらにこの突堤先端から沖合 50mの位置に 潜堤があり,沿岸方向に 200mほどの長さで設置されて いる. Nowphas, AMeDASと衛星画像による検討により 事故当時は有義波高 1.5m,周期 6s となり,波向きが NW からNに変動していることがわかった.この海域におい ては高波浪が作用し,砂浜領域では広範囲の砕波が発生 していたことを確認した.

水難事故は、小学生兄弟の2人が砂浜領域の中央付近 の波打ち際で遊泳しながら、徐々に南側突堤付近に流さ れ、遂には突堤周辺の沖側に向かう流れ(4m/s を超すと の証言有)に流されたことで両足が接地しなくなり、一気 に沖合に流され溺れた. さらにその一部始終を見ていた 父親と磯干狩りをしていた男性が救助に向かい溺れ、そ の結果4人が溺死した.

3. 計算条件

対象領域は汀線付近から潜堤周辺の水深 4m 付近まで を現地観測により実測した.支配方程式は非圧縮性流体 の Navier-Stokes 方程式,連続の式と混層流の移流方程式 であり,混相流ソルバ interFoam に造波と反射波抑制機 能を追加した olaFoam を使用した.入射波条件は波高 1.0m,周期 6.0s の 1 次近似 Stokes 波とした.また計算負 荷と計算領域全体の定性的な傾向を検討するため層流で 計算を実施した.

4. 結果

図1に静水位における平均流速Uのスカラー値を示す. この図より一般的な海浜で発生する沿岸に沿う流れ,突 堤周辺での流速が大きな流れを再現していることがわか り,今回はこの流れを海浜流と定義する.また左図は水 難事故前の主な波向NWであり,この波向きで波が入射 すると,砂浜中央付近で2m/s程度の海浜流が発生してい ることがわかる.一方,右図は水難事故時の主な波向N であり,左図と比べると海浜流発生位置が異なり,2m/s の海浜流の発生位置が南側突堤に近づいていることがわ かる.さらに波向きNの場合,突堤周辺で発生する海浜 流の流速も大きくなる傾向にあることがわかる.これら は,波向が変化することで砂浜領域での平均水面上昇や 水の質量輸送に起因する沖側への流れが助長された可能 性がある.



Fig. 1 Map of scalar value UMean (L)WD:NW(R)WD:N

5. まとめ

- (1)地形形状と風場の現地情報を用い平均流速を算出す ることで砂浜の海浜流が擬似的ではあるが再現可能で あることがわっかた.
- (2)水難者である子供達は砂浜中央から南側突堤に流された後、突堤付近で沖側に向かう流れに流されたといった水難の一因として、事故前後で風場が変化することで海浜流発生位置が南下したことが何らかの影響を与えていた可能性がある。
- (3)今回の条件下では目撃証言である突堤周辺での沖側 に向かう 4m/s を超す流れは確認できなかった.

謝辞

現地観測データは水難学会現地調査団から提供を受けた ものである.ここに謝意を表す.

ADVENTURE-REVOCAP_Coupler-ISPH による流体構造連成解析

岩間 拓也*(名古屋大学) 浅井 光輝(九州大学) 荻野 正雄(名古屋大学)

Fluid structure interaction analysis by ADVENTURE-REVOCAP_Coupler-ISPH

Takuya IWAMA * (Nagoya Univ.) Mitsuteru ASAI (Kyushu Univ.) Masao OGINO (Nagoya Univ.)

Key Words : ADVENTURE, REVOCAP, Incompressible SPH method, FEM, Fluid-structure interaction

1. はじめに

沿岸構造物への動的津波荷重の影響や相互作用を考慮 するには、流体構造連成(FSI)解析が必要となる.特に重 要な複雑構造物への影響を評価するためには大規模計算 が必要となる.近年、自由表面流れ解析には粒子型解法 が利用され、構造解析には有限要素法(FEM)が広く用い られている.粒子型解法と FEM による FSI 解析として 様々な報告⁽¹⁾があるが、多くが 2 次元解析を対象とし、 将来の3 次元・大規模解析に適さない.そこで著者らは 3 次元粒子法コードと汎用 FEM コード ADVENTURE を マルチ力学解析エンジン REVOCAP_Coupler で結合させ、 3 次元大規模解析に利用可能な FSI 解析システムの構築 を行ってきた⁽²⁾.

本研究では, REVOCAP_Coupler で粒子法コードを結 合するための概要を紹介し,数値実験結果を報告する.

2. 流体構造連成解析システム

流れ解析には、半陰解法ベースであり、圧力の数値振動を抑えるように圧力ポアソン方程式のソース項を修正 する安定化 ISPH 法⁽³⁾の独自コードを用いる.構造解析に は、ADVENTURE プロジェクトで開発されているオープ ンソースの ADVENTURE_Solid を用いる.静的・動的弾 塑性問題の有限要素解析機能を有し、階層型領域分割法 による高性能な線形ソルバによって、大規模計算を効率 的に実施可能な特徴がある.これらソルバ用ソフトウェ アは MPI-OpenMP ハイブリッド並列化されており、単一 PC, PC クラスタ、「京」や名古屋大学 FX100 など多様な 計算機環境で稼働実績がある.

連成計算に際しては東京大学革新的シミュレーション 研究センターで公開されているオープンソースのマルチ 力学解析エンジン REVOCAP_Coupler を用いる.界面メ ッシュ形状が不一致となるモデル間でも物理量補間が可 能という特徴がある.また異なる MPI プロセス数で実行 されるソルバ間でも通信が可能であり,各ソルバの計算 性能を損なうことなく連成計算が可能である.ただし, FEM 等格子型解法コードを結合することを前提とし、3 次元メッシュ情報を入力として必要とするため,粒子型 解法コードの結合には適用できない.そこで,連成界面

で FEM メッシュの面対称となる流れ解析向けダミーメ ッシュを生成することで REVOCAP_Coupler の利用を可 能とした. ダミーメッシュは連成界面上節点を含む要素 のみで生成することで効率化を図っている.

3. 数值実験

弾性ゲート付き水中崩壊問題⁽¹⁾を用いて,開発システ ムの性能評価を行う.流れ解析の粒子数約130万,FEM の要素(四面体一次)数約7,500,連成界面の節点数約1万 である.時間刻み幅はSPH法とFEM共に10⁴[sec]とし, 連成解析手法として逐次時差解法を用いる.計算機には 名古屋大学 SGI UV2000を用いる. OpenMP スレッド数 は8で固定し,FEM は問題規模が小さいため MPIプロ セス数を1で固定,SPH 法のみ MPIプロセス数を変化さ せて並列効率を測定した.FSI サイクル 1回あたりの計 算時間とSPH コードの並列化効率を図1に示す.16MPI では1FSIサイクルあたりの計算時間は約16秒であった. 図より,十分な効率が得られることが示された.



Fig. 1 Performance evaluation per one FSI cycle

4. 今後の展望

今後は REVOCAP_Coupler へのサブサイクル法の導入 による FSI 解析の効率化や大規模問題を用いた性能評価 を行う予定である.

- Q. Yang, et al.: Free-surface flow interactions with deformable structures using an SPH-FEM model, Ocean Engineering, 55, pp.136-147, 2012.
- (2) 岩間ら: 粒子法コードと ADVENTURE による REVOCAP_Coupler を用いた並列 FSI 解析に関する 検討,日本機械学会第 30 回計算力学講演会,2017
- (3) M. Asai, et al.: A Stabilized Incompressible SPH Method by Relaxing the Density Invariance Condition, Journal of Applied Mathematics, Volume 2012, Article ID 139583, 2012.

OpenFOAM と多質点構造コードを連成させた FSI 解析による 建築物の空力不安定振動評価

挾間貴雅*(鹿島建設) 伊藤嘉晃(鹿島建設) 山本学(鹿島建設) 横川三津夫(神戸大学) 坂敏秀(鹿島建設) 近藤宏二(鹿島建設) 田村哲郎(東京工業大学)

Evaluation of Aerodynamic Unstable Vibration for Building by FSI Analysis combined OpenFOAM with Multi-Degree of Freedom Structure Code

Takamasa HASAMA * (Kajima Corp.) Yoshiaki ITOH (Kajima Corp.) Manabu YAMAMOTO (Kajima Corp.) Mitsuo YOKOKAWA (Kobe Univ.) Toshihide SAKA (Kajima Corp.) Koji KONDO (Kajima Corp.) Tetsuro TAMURA (Tokyo Inst. Tech.)

Key Words: Aerodynamic Unstable Vibration, Fluid-Structure Interaction Analysis, High-Rise Building, Torsional oscillation, Wind Resistant Design

1. はじめに

近年の高層化や複雑形状化,免震層を有する建築物の 増加を受けて,構造物の耐風設計において高次およびね じれ振動モードを考慮した空力不安定振動評価の必要性 が高まっている.そのような評価の場合,多質点自由度 の構造模型を用いた風洞実験が考えられるが,実建物に 合わせた構造モデルの再現性難易度が非常に高いことか ら,実務での運用は難しい状況にある.そのような振動 モードを考慮するべく,本研究では多質点モデル構造計 算と OpenFOAM を連成させた Fluid-Structure Interaction (FSI)解析コードを開発し,FSI解析と既往の多質点弾 性模型による風洞実験を比較した結果について示す.

2. 計算条件概要

流体解析は OpenFOAM-v1606+の pimpleDyMFoam を使用し, Sub-grid Scale モデルには, Wall-adaptive Local Eddy-viscosity モデル (Cw=0.39) を利用した. 構造解析には自社開発の多質点構造コードを使用し、各 質点は3自由度(水平方向:x・y, z軸回りのねじれ方 向: θ) を有する. 1回の時間ステップ内において構造お よび流体計算を順次実施する弱連成計算となる.本解析 の予測精度を検証するため,多質点空力弾性模型による 風洞実験(1)と結果を比較した.建物模型は6質点を有す る空力弾性モデルで, 見附幅 B(=0.14m)を基準とし, 高さ H=7.14B, 頂部高さ辺長比 D/B=2, アスペクト比 H/ √BD=5.05, 密度ps=200kg/m³, 応答周波数 fx=4.6 Hz, fy=5.75Hz, f₀=6.07Hz, 減衰定数 hx=0.007, hy=0.08, f₀=0.05 である. 質量および剛性の分布を調整することにより, 1次および2次振動モードを実験模型(2次はねじれを 除く)と一致させた.変動流入風は合成変動風と周期境 界条件を組み合わせて生成した.計算ケースは Uin=3.6 m/s, 6.4 m/s, 8.3 m/s (無次元時間: Vr=U_{in}/f_x√BD=3.2, 5.6, 7.2) で, 評価時間は風洞スケールで 30 秒とした.

3. 結果概要

建物の応答スペクトルについて、風洞実験とFSI解析 はほぼ一致する結果となった.1次振動モードは、発生 周期およびピーク値とも風洞実験と一致しており、2次 振動モードも、実験条件を再現していないねじれ方向を 除き、良好な対応結果となった.建物頂部変位の振幅に 関しては、風方向および風直交方向は風洞実験とほぼ同 じ結果になり、ねじれ方向については、低風速域で過大 評価する傾向にあるものの、風洞実験においてスペクト ルモーダル解析から大きく乖離する風速域にて実験と同 様にねじれフラッター振動を生じる結果となった(図1・ 図2).



Fig.1 Top Displacement R.M.S

Fig.2 Building Deformation

辞

謝

本成果は,理化学研究所の「京」コンピュータ平成29 年度産業利用枠テーマ(課題番号:hp160171)を利用した.

参考文献

(1) 丸川ら,多質点系弾性模型の開発と高層建築物の風
 応答評価についての検討,日本建築学会構造系論文
 集,第484号,pp.39-48,(1996).

OpenFOAM の Overset Mesh と lumpedPointMotion を使用した FSI 計算

川畑真一*(オープンCAE勉強会@関西)

FSI calculation using OpenFOAM overset mesh and lumpedPointMotion

Shinichi KAWABATA* (OpenCAE Local User Group@Kansai)

Key Words : OpenFOAM, FSI, Overset, lumpedPointMotion,

1. はじめに

ESI 社が提供している **OpenFOAM v1706** において, い くつかの新機能が追加された. その中でも **Overset** メッ シュ⁽¹⁾ は,回転体や移動物体の計算などでネックとな っていたメッシュ作成の時間を短縮できる機能として注 目されている.

Overset メッシュは重合メッシュとも呼ばれ, 複数の異 なるメッシュを同一計算領域上に重複させ, 同じメッシ ュであるかのようにデータを連続させることができる.

本発表では Overset メッシュと同じく追加された新機 能の lumpedPointMotion⁽²⁾ を組み合わせた FSI 計算の手 法を構築し,適用性を確認した結果を報告する.

2. Overset メッシュについて

Overset メッシュは独立したメッシュ間でデータのや り取りをする機能である. Overset メッシュを使用するこ とで回転体や浮遊物など,これまでスライディングメッ シュやメッシュモーフィングで計算してきた問題に対し て,より容易にメッシュを準備することができるように なった. Overset メッシュでは従来の手法で発生していた メッシュ変形によるセルのゆがみやインターフェースの 繋がりの変化によるエラーを気にしなくていいため,こ れら問題が発生していたケースに対して収束解を得られ る可能性がある.

3. lumpedPointMotion について

lumpedPointMotion もv1706から導入された機能である. lumpedPointMotion は集中点に境界面のメッシュを連結 させる機能である.この機能により,集中点を通じて, 境界面に発生する力とモーメントを外部アプリケーショ ンに,外部アプリケーションから境界面に移動と回転を 返すことができる機能である.返された集中点の移動と 回転は境界面の変形として計算にフィードバックされる. 外部アプリケーションで実行する計算では境界面上のフ ェースに対応する要素を作る必要ないため,一般的な FSIの計算のように流体,構造間のフェースの対応など を考えずにFSIを実行することができると考えられる.

3. 計算について

Overset メッシュと lumpedPointMotion を組み合わせた 計算手法の検証として Turek ら⁽³⁾の論文のモデルを使用 した計算を実施した.論文では非圧縮のチャネル流中に 存在する弾性体の振動を計測し,参考値と比較している. 本発表のFSI計算では論文中に記されたモデル寸法を 元にチャネル流のメッシュと弾性体付近のメッシュを 別々に作成し, Overset メッシュ機能で一つの流れとして 計算した.弾性体部分には lumpedPointMotion を定義し, 外部の構造解析アプリケーションと連携させた.弾性体 部分の集中点と接続する境界面の割り当ては文献の振動 波形から分割数を決めた.



5. まとめ

Overset メッシュはメッシュ自体が変位,回転する問題 を比較的容易に計算できる.lumpedPointMotion は FSI の ために OpenFOAM 上で簡便なインターフェースを用意 している.今回の発表では基本機能の組み合わせででき る計算の事例を紹介した.今後は他の文献についても今 回の手法でトレース計算を実施し,適用性を確認してい きたい.

- OpenCFD Ltd, "OpenFOAM® v1706: New and improved numerics", OpenCFD Ltd web site, https://www.openfoam.com/releases/openfoam-v1706/so lver-and-physics.php#solver-and-physics-lumped-point
- (2) OpenCFD Ltd, "OpenFOAM® v1706: New and updated solvers and physics", OpenCFD Ltd web site, https://www.openfoam.com/releases/openfoam-v1706/nu merics.php#numerics-overset
- (3) Stefan Turek, Jaroslav Hron, "Proposal for numerical benchmarking of fluid-structure interaction between an elastic object and laminar incompressible flow", Springer, Fluid-Structure Interaction, 2006, p. 371-385

旋回流れ対応型 $k - \omega$ SST モデルの OpenFOAM への実装

中山 勝之*(オープン CAE 勉強会@富山) 中川 慎二(富山県立大学)

Implementation of the $k - \omega$ SST model to rotation and curvature on OpenFOAM

Katsuyuki NAKAYAMA*Shinji NAKAGAWA(Open CAE @ Toyama)(Toyama Prefectural Univ.)

Key Words: Computational Fluid Dynamics, Rotation and curvature flow, Turbulence Model, OpenFOAM

1. はじめに

OpenFOAM はソースコードが公開されており, ユーザー は自由にコードのカスタマイズを行うことが可能である. OpenFOAM では既に多くの乱流モデルが実装されているが, 実装されていない, または新たに提案されたモデルに関し てはユーザーがコードを作成する必要がある.今回我々は Hellsten⁽¹⁾ により提案された旋回流れに対応した k-ω SST モ デルの OpenFOAM への実装を行った.本講演では本モデル の概要と OpenFOAM への実装について述べる.また本モデ ルのデモ計算を行い,実験データや他の乱流モデルを用いた 計算結果と比較した内容を報告する.

2. シミュレーション手法と結果

2 次元定常非圧縮性流れを対象とする. ソルバーは simpleFoam (OpenFOAM 4.x)を使用する. 図1 に回転流れのシ ミュレーションを行うためのモデル (U-turn ダクト)を示す. レイノルズ数は 3.28×10⁶, 289×161 グリッドで計算を行う.

乱流モデルは OpenFOAM に実装してある kOmegaSST モ デルをベースに, Hellsten⁽¹⁾ により提案された方法の実装を 行う. (詳細は本講演で述べる)

計算結果の一例として各位置での速度分布を図 2 に示す. 図 2 は実装したモデル (kOmegaSSTRCH), OpenFOAM に実 装されている $k - \omega$ SST モデル (kOmegaSST), そして実験結 果⁽²⁾ との比較を行っている. 図より流れが旋回する前の位 置($\theta = 0^{\circ}$) では kOmegaSSTRCH と kOmegaSST の結果は 一致するが, 旋回が進むにつれて両者の結果に差が出てくる ことがわかる. 実験結果との比較, また境界条件が計算結果 に与える影響などについては本講演で詳細を述べる.

参考文献

- Hellsten, A., "Some Improvements in Menter's k ω SST turbulence model", AIAA Paper, 98-2554 (1998).
- (2) Monson, D. J., Seegmiller, H. L., McConnaughey, P. K. and Chen, Y. S., "Comparison of experiment with calculations using curvature-correctedzero and two equation turbulence models for a two-dimensional U-duct", *AIAA Paper*, **90-1484** (1990).



Fig. 1 Schematic of the flow geometry for U-turn flow.



Fig. 2 Velocity profiles across the duct; comparison with experiment Monson et al.⁽²⁾

OpenFOAM を用いたエルボ管流れにおける熱伝達の LES 計算

恒吉	達矢*(名古屋大学)	室矢*
辻	義之(名古屋大学)	之(

伊藤 高啓(名古屋大学)

LES of turbulent flow and heat transfer in elbow pipe using OpenFOAM

Tatsuya TSUNEYOSHI* (Nagoya Univ.) Yoshiyuki TSUJI (Nagoya Univ.)

Takahiro ITO (Nagoya Univ.)

Key Words : Large Eddy Simulation, Elbow pipe, Heat transfer

1. 緒言

複雑な乱流流動場における熱や物質の輸送メカニズム を理解することは、エネルギーの効率的な利用や安全な 制御を図る上で非常に重要である.非定常性の強い流動 場に関しては、LES による解析が有効である.LES では グリッドスケール以下の渦の影響をモデル化することに より、計算負荷を低減しつつ、流動場の特徴的な構造を 高い精度で解析することを可能としている.ただし、高 レイノルズ数条件の流動場や、高プラントル数条件の温 度場に対して計算精度を維持するためには、相応にメッ シュ数を増加させた大規模計算を必要とする.本研究で は、レイノルズ数が最大で10⁵ オーダーのエルボ管流れ を対象に、流動場と温度場のLES を行った.計算コード に OpenFOAM、計算機にスパコンを用いた熱伝達現象の 解析について検討する.

2. 数值計算方法

計算には OpenFOAM-2.2.1 を用いた.本計算では温度 場をパッシブスカラーとして計算する. pimpleFoam をベ ースに,流動場計算に浮力項は含めず,温度場計算をす るようにコードの追加および修正を行った. LES の乱流 モデルは動的スマゴリンスキーモデルを用いた.標準ラ イブラリのモデルに対して,壁乱流の計算で使用するた めの修正⁽¹⁾を適用している.作動流体の物性値は,温度 **300** K の水として定数で与えている.このとき,プラン トル数は約 5.8 である.時間発展は 2 次精度後退差分を 用いた陰解法である.移流項は制限関数に superbee を用 いた TVD スキームを適用した.拡散項は 2 次精度中心 差分である.

エルボ管の形状は,曲りが 90 度,管軸中心で定義され る曲率が1である.計算領域は,管直径 D に対して,エ ルボの上流側および下流側に 6D の長さを設定した.入 口には mappedPatch という境界条件を用いて,下流方向 長さ 4D の位置の断面における物理量を参照して入口境 界の値を定めている.これにより,入口から下流方向長 さ 4D の区間は発達乱流を生成するドライバーとして機 能する.レイノルズ数は最大で 5.4×10⁵ とした.

メッシュはマルチブロック法を用いて全領域を6面体 セルで切っている.はじめに,blockMesh あるいは, ANSYS 社の ICEM CFD を用いて円管断面の2次元メッ シュを作製し,extrudeMesh により流れ方向に押し出して 3次元化している.メッシュ数はレイノルズ数により異 なるが,最大で約6億セルである.大規模メッシュに対応するために、メッシュラベルは64ビット化している. 計算機に名古屋大学の CX400 および,東京大学の CX600 (Oakforest-PACS)を用いて並列計算を実施した.プ リポスト処理の一部には、大規模共有メモリシステムで ある名古屋大学の UV 2000 を用いた.

3. 計算結果

時系列データの出力および時間平均統計量の算出には Function Object の機能を用いた. 全領域の時系列データ の出力は行わず, cuttingPlane による断面データの取得を 行った. 図 1(a)には垂直断面における瞬時温度場のコン ターを示す. 乱流の擾乱による温度乱れの様子が確認で きる. 図 1(b)に示す時間平均値は, fieldAverage によるラ ンタイム処理で算出した. 乱流熱流束等の高次の統計量 については, 出力した時系列データをもとに解析した.



Fig. 1 (a) Contour of instantaneous temperature. (b) Contour of time averaged temperature.

4. まとめ

レイノルズ数が最大で 5.4×10⁵のエルボ管流れを対象 に,流動場と温度場の LES 計算を行った.計算コードに OpenFOAM,計算機にスパコンを用いた大規模並列計算 により,数億セル規模のメッシュの熱流体解析が十分に 可能であることを確認した.

参考文献

 OpenFOAM Foundation, Bug Reporting (issue #99), http://www.openfoam.org, (accessed 2015-5-26).

障害物が作り出す衝撃波後方の温度分布

石隈 涼也*(名工大)

古谷 正広 (名工大)

Numerical simulation of temperature distributions behind a shock wave formed by obstacles installed inside a single pulse shock tube

Ryoya ISHIKUMA* (N. I. T.)

Masahiro FURUTANI (N. I. T.)

Key Words : Shock wave, Ignition, Shock tube, Internal combustion engine, Obstacles

1. はじめに

内燃機関の燃料室内に人為的に局所的な高温領域を作 る物理的な手法を探している⁽¹⁾. 混合気が自発着火する ときの着火遅れは燃料の分子構造, 混合気の組成, 密度 や温度の関数であることが知られており, 特に温度の影 響が強い. 混合気の温度を局所的に高くできれば着火時 期や着火炎の位置を人為的に制御できる.

衝撃波管は高温場を容易に得られることと、その温度 を衝撃波の伝播速度から算出できるために、混合気の着 火遅れやその間に進行する化学反応機構を調べられる装 置として使われており、我々も永らく衝撃波管での実験 データを蓄積してきている.

どのようなガス流動を作れば効率的に高温場を構成で きるのかを衝撃波管の内壁面に障害物を設置することで 調べる予定であるが,その前に OpenFOAM ver. 2.3.0 に 含まれる sonicFOAM ソルバーを用いての数値シミュ レーションを先行させる.

2. 計算条件

解析領域は実験に用いる衝撃波管の断面形状と同じで あり、正方断面(縦 60 mm,横 60 mm)である.高圧室 長さ 50mm,低圧室長さ 450 mm である.障害物の断面 は台形であり、衝撃波管のチャネル全幅に設置する.乱 流モデルには SST-k- Ω モデルを選んでいる.メッシ ュの作成は Salome で行う.初期温度は 25℃,低圧室の 初期圧は 100 kPa,高圧室の初期圧は 2.5 MPa である. 破膜は瞬間的に起こるとして衝撃波を形成させる.壁面 温度条件は等温壁面としており、試料流体にはアルゴン の物性値を与える.



Fig. 1 Magnitude of velocity contours showing the propagation of the incident shock wave



Fig. 2 Temperature contours showing the propagation of the reflected shock wave

3. 計算結果および考察

図 1 は入射衝撃波が障害物を通過した直後での絶対 速度分布である.入射衝撃波によって誘起される流れは 障害物によって中心部に寄せられ,かつそこでの流速は 高くなっていることがわかる.

図 2 は反射衝撃波が障害物に近づいている時期の温 度分布である.中央部の温度は他の場所よりも高くなっ ている.反射衝撃波後方の温度は入射衝撃波後方の流体 がせき止められることで上昇する.障害物によって中央 部での管端方向への流速が高くなることで反射衝撃波後 方では温度が高くなることがわかる.

図 2 の障害物の管端側にも高温領域が形成されてい る.この場所は入射衝撃波が障害物を通過するときに膨 張波領域となる.この領域に反射衝撃波が近づくと,反 射衝撃波は加速される.衝撃波の伝播速度が高い方が衝 撃波後方の温度は高くなる.

4. おわりに

衝撃波を利用した二つの種類の高温領域の形成過程が 見出された.検証実験では衝撃波後方の密度変化を撮影 することでもあり,OpenFOAM に含まれる密度ベース のソルバーでの解析を行う予定である.

参考文献

(1) 湯本ら, 機論 B, 78-786, pp.172-184 (2012).

Fire Dynamics Simulator を用いた挟流路内燃え拡がりの数値解析

村上智志*(豊橋技術科学大学大学院) 中村祐二 (豊橋技術科学大学大学院) 松岡常吉 (豊橋技術科学大学大学院)

Numerical analysis of flame spread within narrow channel using Fire Dynamics Simulator

Satoshi MURAKAMI* (Toyohashi Univ. Tsuneyoshi MATSUOKA (Toyohashi Univ. Tech.) Tech.) Yuji NAKAMURA (Toyohashi Univ.

Tech.)

Key Words: Fire Dynamics Simulator, Narrow channel, Flame spread, Instability, Symmetry breaking

1. 緒言

火災による被害拡大を防ぐには、火災の初期段階であ る可燃性固体の燃え拡がり現象を理解することが重要で ある.これまでに単一の固体表面上の燃え拡がりについ ては多くの研究例が存在するが、そのほとんどは燃焼域 の上部に天井のない「開いた空間」での現象を対象とし ており、円筒内部や平行平板間隙などの可燃性固体に囲 まれた挟流路内(=「閉じた空間」)での燃え拡がりに関 して検討した事例は限られている.著者らは近年このよ うな空間における燃え拡がり特性を系統的に調べてきた. その中で、流路高さが小さくなると対称に伝ばしていた 炎が「自動的に」非対称に再配列するという興味深い事 実を観測したが⁽¹⁾、この理由は定かではない.

本研究では狭流路内の燃え拡がりで見られる非対称配 列へと遷移する条件を明らかにすることを目的とする. 可燃性固体からなる平行平板間の燃え拡がりを対象とし て,流路高さと流入酸素流速を変えた数値実験を行い, 非対称性の発現条件を整理する.さらに,対称と非対称 の比較から火炎の安定性と発現メカニズムについて検討 した.

2. 解析モデル

解析には米国の研究機関である National Institute of Standards and Technology (NIST) で開発されたオープン ソースコードである Fire Dynamics Simulator (FDS Ver.6.5.2)を用いた.流路の両側を可燃性固体で挟まれ た平行平板間の燃え拡がりを対象にして,二次元平面の 計算領域について解析を行った.使用した計算格子サイ ズは計算領域の大きさによらず 0.5 mm とした.固体燃 料は厚さ 20 mm のアクリルとした.流路下端から十分に 発達した酸素ガスを流入させ,下端から 140 mm の位置 に設置した高温熱源を用いて強制的に着火させた.流路 高さ *d* [mm] および流入酸素流速 *U* [m/s]をパラメタと して数値実験を行った.なお,FDS では固体内部につい ては厚み方向のみ 1 次元熱伝導方程式を解くため,固体 内で火炎進行方向への熱輸送は存在しない.

3.結果および考察

Fig.1 は非対称性への遷移が起きた場合と起きなかっ

た場合について,発熱速度分布の時系列画像を示したも のである.図左の*d* = 12 mm, *U* = 0.5 m/s の条件では着 火から流路下部まで火炎は対称を保ったまま燃え拡がる. 一方で図右の*d* = 12 mm, *U* = 2.0 m/s の条件では,初期 には流路両側の火炎が対称に燃え拡がっていたが,約15 秒経過後は左側の炎が上流側に先行し,右側の炎の進行 が一時的に遅れるようにして非対称状態へと遷移した. 火炎間の距離がある程度離れると,その距離を保つよう に右側の火炎も伝播を再開する.なお,非対称になる火 炎同士の距離は酸化剤流速と隙間高さによって異なる. 火炎の消炎限界近傍で分裂が起こることから,非対称性 への遷移は対称な燃え拡がりから消炎の間で見られる不 安定な現象であると考えられる.



Fig.1 Symmetric flame (left) and the asymmetric flame (right); left: d=12mm,U=0.5m/s, right: d=12mm,U=2.0m/s

4. 結言

可燃性固体平板で挟まれた流路内の燃え拡がりを対象 に,流路高さおよび流入酸素流速をパラメタとして数値 実験を行い,非対称性が発現する条件を整理した.また, 非対称火炎が消炎限界近傍で見られる不安定挙動である 可能性が示唆された.

参考文献

 松岡ら."可燃性固体からなる狭流路内で発現する非 対称な燃え拡がり",日本機械学会論文集. Vol. 83 (2017) No. 852 p. 17-00009

OpenFOAM を用いた天然ガス内燃機関の燃焼解析

田村守淑*(東邦ガス(株)

Combustion Analyisis for a Natural Gas Engine by using OpenFOAM

Moriyoshi TAMURA * (TOHOGAS Co., LTD)

Key Words : Internal Combustion Engine Combustion, Natural Gas, OpenFOAM, Validation, Remesh and Mapping

1. はじめに

天然ガス燃料を用いた内燃機関は電気エネルギー機器 との競争が年々厳しさを増しており,継続的なエネルギ ー効率の向上が求められている.東邦ガスでは台上試験 だけでなく商用 CFD コードを用いて天然ガス内燃機関 の高効率化の研究開発を行っている.

但し,ライセンス費用や計算時間の低減が課題の一つ であり,天然ガス内燃機関の燃焼解析についてオープン ソフトウエアの OpenFOAM の検討を行った.

OpenFOAM には火花点火エンジン向けのソルバーと して engineFOAM があり,4 サイクル機関では圧縮・膨張 行程について解析が可能である.メッシュはレイヤー状 のメッシュが使用でき、ピストン境界の移動により伸縮 したメッシュを時間ごとに生成する.只、上死点近くでは セルはかなり縮小変形しメッシュ品質が悪くなっている. 燃焼室の形状によっては発散したり,計算結果に大きな 影響を与える場合がある.境界が移動した領域だけセル の生成・消滅する手法が望ましいが engineFOAM ではそ のようなメッシュ操作はできない.

上死点付近でリメッシュし前の時間データをマッピン グして計算を継続する手法について検討した.ま た,engineFOAMの乱流燃焼速度モデルである algbraic を 用いて台上試験結果に適合する計算を行った.

2. 計算モデル

エンジンはボア 102mm,ストローク 106mm,行程容積 866cc,圧縮比 12,燃焼室形状はカップ型の4ストロークエ ンジン.エンジン回転数 1200rpm,燃料は天然ガス,空気過 剰率1.1の場合を計算条件とした.OpenFOAMはver2.4を 使用し,乱流燃焼速度モデルは algebraic を選択した.

台上試験結果を参考に圧縮下死点-180°での筒内圧力 100kPa,温度 330K,乱流エネルギー15.4m²/s²,乱流渦消散率 1350m²/s³,壁面温度 400K,当量比 1.1 とし,スワール比 2.2 のスワール流を初期条件として与えた.点火条件は点火 領域直径 4mm,点火時期-9degATDC,点火期間を 14deg と した.

θ=-180deg におけるメッシュを Fig.1 に示す.セル数



Initial mesh(19406cells)



Remesh(34643cells)

Fig. 1 Mesh

は18592 である.計算を進めていくと-30deg 以降でメッシュの歪のため計算が発散した.そこで, θ =-30deg でリメッシュ後,初期メッシュの計算値をリメッシュにマッピングして計算を継続し θ =60deg まで計算を行った.リメッシュのセル数は 34643 である.

3. 計算結果

Algebraic 乱流燃焼速度モデルについてパラメータス タディを行い台上試験で得られた圧力履歴に適合させ た.XiCoeff=0.335,XiShapeCoeff=0,uPrimeCoeff=1の場合の 結果をFig.2,温度コンターをFig3に示す.燃焼前期の最高 圧力までの履歴の適合性は良いが,燃焼後期は計算値の 圧力が多少高くなった.火炎は、点火位置から同心円上に 進展して θ =12degATDC でほぼ燃焼室全体を満たしてお り、良好な燃焼状態であった。



-8deg-4degOdeg..................4deg..

Fig.3 Temperature contour

4. おわりに

OpenFOAM を用いて天然ガス内燃機関の燃焼解析を 検討した.リメッシュ&マッピングと algbraic 乱流燃焼速 度モデルの使用で圧力履歴を台上試験の結果に良好に適 合し、燃焼室内の火炎の進展を解析した。

参考文献

 塩路,川那辺,坂越,木戸口,池上,火花点火機関の燃焼 と NO 生成の CFD シミュレーション,日本機械学会 論文集(B 編), 65 巻 639 号(1999-11) pp3825-3830.

粒子モデル破壊解析システム FRAXST を用いた 衝突破壊解析の検証に関する基礎的研究

柴田良一(岐阜高専)

Fundamental study on verification of collision fracture analysis using FRAXST particle model fracture analysis system

柴田良一(岐阜高専)

Key Words : Peridynamics, Fracture Analysis, Steel Structure and Toughness Destruction

1. はじめに

粒子モデル破壊解析は、従来の連続体モデルによる有 限要素法と比較して、様々な破壊形式に対応して解析が 可能であり、ものづくりでの安全性確保に向けての破壊 現象の検証に期待がもたれている.そこで本報告では、 実践的活用例の1つとして、建設現場における保護施設 の落下衝突における安全性検証について、破壊解析シス テム Peridigm を活用した検証結果を示す.

建設現場において,作業員の不注意による工具や建築 材料の落下は重大な事故をもたらす危険性がある.これ を防止するために,朝顔養生という設備がある.本研究 では,朝顔養生を対象として落下物に対する鋼板の貫通 評価を,破壊解析システム Peridigm を用いて行う.

2. 予備解析

動的降伏強度を 4.32×108N/m2 とすることで,正確な 貫通評価が可能であるかを検証する.動的降伏強度以外 の物性値はヤング率 2.05×1011N/m2,破断伸び 5.0%と 設定して解析を行った.BRL 式より板厚 6mm の鋼板を 円柱が貫通する速度を算出すると 28.1m/s となる.

本研究では、円柱衝突速度 25m/s の時に貫通せず、速度 30m/s の時に貫通をすれば正しく貫通を評価できたとする.では、貫通評価解析結果を表-1 に示す.

及一 助的時代強度の過差による時間相未				
衝突速度 v(m/s)	動的	解析	BRL 式	
	降伏強度	貫通評価	貫通評価	
	$\sigma_{y,d}(N/m^2)$	$(\bigcirc_{\mathrm{or}} \times)$	$(\bigcirc_{or} \times)$	
25	4.32×10^{8}	×	×	
30		×	0	

表-1 動的降伏強度の調整による解析結果

○貫通,×貫通せず

3. 実験との比較解析

破断伸び以外の破壊解析に関する物性値は予備実験と 同じ値として,破断伸びの調整を行い,適切な値を模索 した.その結果として鋼板板厚が6mmの予備解析では破 断伸びを2.3%にすることで,BRL式と同等の貫通評価が 可能であるとわかった.さらに,鋼板板厚9mm,12mmの 場合にも破断伸びの調整を行った結果,板厚9mmでは 3.2%,板厚12mmでは4.2%と設定することで,BRL式と同 等の貫通評価を行うことができた.貫通の状態は図1に 示す通り.



図-1 Peridigm による貫通の結果

これらの値は、解析対象の板厚に依存した数値になっ ており、単純な材料特性として評価できていない.これ は Peridynamics が粒子モデルにより解析対象を表現し ており、板厚を含めて粒子間の結合力特性に材料特性を 含める必要があるためであり、今後の検討が必要である.

変形に関する評価

破断伸びの調整に伴い鋼材の変形特性に変化が生じる かを調べるために、衝突部に発生した鋼板の凹み深さを 衝突実験と比較する.実験結果と比べ、解析による凹み 深さは小さくなった.破断伸びを小さくすることで貫通 評価は可能となるが、変形についてはうまく再現できな かった.

この原因としては、飛来物の形状による違いが考えら れる.実験での衝突は先端部に飛来物治具が取り付けら れており、先端部が貫通した後に飛来物治具が引っかか ることで、その分の衝突エネルギーが鋼板の変形に使わ れている.解析では計算時間を短縮するため、飛来物治 具を省略し先端部のみを再現している.そのため、飛来 物が完全に貫通するとエネルギーは鋼板へ伝達されない ため、変形が実験に比べ小さくなった.飛来物が貫通し なかった場合の解析も行ったが、その場合は鋼板中央の 変位は実験結果とほぼ一致した.

5. まとめ

破断伸びを調整することで,Peridigm を用いた鋼板の 貫通評価を行える可能性があることが判明した.そして 実験に近い挙動を表現するには,板厚を大きくするほど, 破断伸びを大きくしなくてはならないとわかった.しか しながら,本研究では具体的な破断伸びの算出方法を明 確にできていないため,これは今後の課題とする.

Non-ordinary state based 定式ペリダイナミクスによるき裂進展解析

增田 和之 (豊田工大)

椎原 良典 (豊田工大)

Crack propagation analysis by non-ordinary state based Peridynamics

Kazuyuki Masuda(Toyota Technological Institute) Yoshinori Shiihara(Toyota Technological Institute)

Key Words : Peridynamics, Crack propagation, Energy release rate, Elastic analysis

1. 緒言

材料の破壊は局所的に起こる現象である.しかし,一 軸引張試験等の材料試験では、その破壊基準を平均化さ れた情報としてのみしか取り出せない. そのため, 破壊 を精微に再現できるシミュレーション法の需要は高い. 破壊基準の設定を変更したシミュレーションの結果を実 験結果に合わせ込むことで、その材料における破壊基準 を推測することができるためである.

ペリダイナミクス(PD)^[2]は連続体の変形を粒子で表現 するシミュレーション法であり、破壊の表現に優れる. 具体的には、任意位置での破壊をモデル化できることが 有限要素法等の既往の手法に対する利点である.しかし, PD の開発の歴史は有限要素法に比して短く、定式、精 度,数値安定性,その応用先について検討すべき点が多 く残されている. このことから, スクラッチからプログ ラムを開発することは改変の自由度という面から利益が 大きいと考える. このような理由から, 筆者らはペリダ イナミクスの自作プログラムの開発に取り組んでいる. 本稿では,任意の構成則を導入できる Non-ordinary state-based 定式によるペリダイナミクスプログラムを構 築し、き裂進展の問題に適用した例を紹介する.

2. NOSB ペリダイナミクスの概要

本研究では構成則に基づき相互作用力を決定する Non-ordinary state-based(NOSB)定式^[1]を用いた. NOSB 定 式での運動方程式は、粒子に生じる力を二粒子間の作用 力の和として表現する.

$$\rho_i \ddot{\mathbf{u}}_i = \sum_{j=1} \left(\mathbf{t}_{ij} - \mathbf{t}_{ji} \right) V_j \tag{1}$$

図1にペリダイナミクスにおける変形と材料点間に生じ る力の関係を示す. PD では破壊を粒子間結合の破断と して表現する. 近接粒子間の結合各々にはエネルギー値 が設定されており、この結合エネルギーが一定値に達し た時に破断する.破断を判定する臨界結合エネルギーwc はエネルギー解放率 Gを用いて表現される.

$$w_c = 4G/\rho d^4 \tag{2}$$

き裂進展問題適用例 3

NOSB 定式ペリダイナミクスを薄板におけるき裂進展 問題に適用した例を示す. 図2左図に解析モデルを示し た.ペリダイナミクスでは、粒子直径および影響半径が 精度の支配因子である. 有限要素法での弾性解を再現す



Fig. 1 Forces acting on particle *i* in Peridynamics



Fig. 2 Schematic of model and simulation result

Table 1 Material properties

Young's modulus[GPa]	Poisson ratio	Density [kg/m ³]
211	0.3	7874

るために、粒子直径、影響半径をそれぞれ 1.0 mm、 3.0D (D は粒子直径)とした. z 方向に単軸引張負荷を受け る平滑材内部に, x 方向長さの半分(25 mm)まで予き裂を 設定した.材料は線形弾性体とした.図2右図のように, 応力集中部である予き裂先端部からき裂が進展する様子 を定性的に再現している.

4. 結言

NOSB 定式ペリダイナミクスをき裂進展問題に適用し た例を示した. 今後はこのプログラムを様々な破壊問題 に適用し、その定量的妥当性を検証していく. 参考文献

[1] Madenci, E. et al., Peridynamic theory and its applications (Splinger, New York, 2014).

- [2] 田中彰己, 東京大学大学院, 修士論文 (2016).

三次元地震波速度の地下構造データベースを用いた 有限要素法による大規模地震波動シミュレーション

董勤喜*(株)エデュサイエンス総合研究所 吉見 顕一郎,杉中 佑輔 (株)計算力学研究センター

Large-scale Finite Element Simulation of Seismic Wave Propagation by the Digital Database of 3D Seismic Velocity

Qinxi DONG* EduScience Research Institute Kenichiro YOSHIMI, Yusuke SUGINAKA Research Center of Computational Mechanics Inc.

Key Words : FEM, Digital Database, 3D Seismic Velocity, J-SHIS, Elevation and bathymetry

1. はじめに

FrontISTR⁽¹⁾(オープンソース・ソフトウェア)の並列環 境プラットフォームに、地震波動シミュレーションを行 う研究環境であるハイパフォーマンスな3次元有限要素 法コード「EduS/FrontISTR」を新規に導入した.これは、 標高・地下深度を考慮した高速なメッシュ生成機能,地 下構造データベース機能および地面波の動画や観測点に おける波形などの可視化機能から構成される.

近年、標高・深度の地下構造データベースは,1kmの 空間解像度で利用可能であり,EduS/FrontISTRのメッシ ュ生成機能内で容易にモデルを構築可能である.また, 日本の地下構造モデルとして,地震ハザードステーショ ン(J-SHIS)⁽²⁾と松原地震波速度モデル⁽³⁾の2つが利用可 能である.地下構造モデルは工学的基盤から地震基盤ま では J-SHIS,地震基盤以深は松原地震波速度モデルを 適用し統合して作成した.

2. 解析モデルと計算条件

1995 年兵庫県南部地震を例とし、文献⁽⁴⁾ に示される解 析領域と断層モデルを用いた. 解析モデルの深さは 40kmとし、深部地盤モデルの速度境界を図1に示す. せ ん断速度分布は図 2 に示す. メッシュは有効振動数 1Hz を満たすサイズで分割した.



Fig.1 地盤モデルの速度境界形状 (J-SHIS より)

3. 解析結果

解析時間刻みは 0.005 秒とし,解析時間は 100 秒とした. 解析された工学的基盤上の最大速度分布を図 3 に示す. 六甲山麓の沖積層の影響を受け,地震動の強い帯状領域 が見られ,震災の帯を適切に再現できていることが分か った. 観測地点における計算結果も, 観測データと良い 一致を見られた.



Fig. 2 解析モデルの Vs 分布図



Fig.3 最大速度分布(3成分ベクトル合成値)

- (1) <u>http://www.multi.k.u-tokyo.ac.jp/FrontISTR/</u>
- (2) http://www.j-shis.bosai.go.jp/
- (3) M. Matsubara, K. Obara and K. Kasahara: Three-dimensional P-and S-wave velocity structures beneath the Japan islands obtained by high-density seismic stations by Seismic tomography, Tectonophysics, 454, pp.86-103, 2008.
- (4) 平井ほか:分岐断層の特性化震源モデルを用いた兵庫県南部地震の強震動シミュレーション、日本地震工学論文集 Vol.6, No.3, pp.1-11,2006.

オープン CAE ソルバの性能比較結果に関する報告 鍔田広美*(株式会社エイ・ダブリュ・エンジニアリング)

The report on the performance comparison results of OpenCAE solver Hiromi Tsubata * (AW ENGINEERING CO.,LTD.)

Key Words : Code_Aster, FrontISTR, ccx, Functional Assessment, Computation scale

1. 背景·目的

弊社では自動車部品の強度剛性解析を業務として実施 している. 解析時は Abaqus, CATIA といった商用 CAE を 使用しているが、昨今の解析多様化により活用場面も増 加しており、購入・維持費用の増加、ライセンス不足と いった問題がある.そこで更なる CAE 活用推進を狙いと して商用 CAE の一部をオープン CAE に置き換えを目指し た活動を開始した. その活動の中で3つの主要なソルバ

(Code_Aster, FrontISTR, ccx) に注目した. 置き換え 可能な機能が搭載されているか確認するため、評価を実 施する.

2. 方法

評価として,図1に示す自動車部品を想定した簡易モ デルを使用して機能・計算規模・計算速度の観点から検 証を実施した.各ソルバの検証時に使用した3つの構造 解析システムを図 2 に示す. それぞれ, Salome-Meca, DEXCS-WinXistr, Calculix を使用し、プリ・ポストに関 しても原則としてオープン CAE のソフトを活用した.た だし ccx の検証時, cgx では設定が困難な解析条件も存 在したため、その際は商用 CAE を活用して手動でファイ ル変換等の処理を行い検証した.



Multiple parts Fig. 1 The model using by verification

	Salome-Meca	DEXCS-WinXistr	Calculix
プリ	Salome	Salome	cgx
		变换 EasyISTR	
ソルバ	Code_Aster	FrontISTR	ссх
		^{変換} EasyISTR	
ポスト	ParaVis	ParaView	cgx

The list of OpenCAE soft used in the document Fig. 2

3. 結果 3 つのソルバを検証した結果、設定出来た解析条件に 関しては、どのソルバも商用同様の精度で解析可能であ った。各ソルバの機能を比較すると, ccx がほぼ商用同 等の機能を有していることが分かった.また, ccx はフ ァイル形式が Abaqus に酷似した形式で作成されている ことから、弊社で活用する上で、最も有用性が高いこと を確認できた.図 3~5 に ccx で解析した簡易解析の結果 を示す.



The analysis result of drum(von Mises stress)

Fig. 4







Fig. 5 The analysis result of multiple parts (von Mises stress)

Salome-Mecaを用いた大変形接触解析 薄膜金属ベルトの応力解析

小南秀彰*(富士フイルムエンジニアリング株式会社)

Large deformation and contact analysis used with Salome-Meca Stress analysis of thin metal belt

Hideaki KOMINAMI * (FUJIFILM Engineering Co., Ltd.)

Key Words : OpenCAE, Salome-Meca, Large deformation, Contact

1.今回の取組の背景

1.1 DEXCS-Salome-Meca 導入の経緯 これまで当 社は富士フイルム(株)の製品に特有な製造設備の設計を 行っている.報告者は主に CFD と CAE の商用ソフトを 用いた化学プラント装置内の工程現象と装置の強度の解 析を,社内からの依頼により行ってきた.比較的に簡単 な解析を設計者と開発者が自ら行えるようにして,設計 と開発部門との打ち合わせや報告のための時間を減らし てリードタイムの短縮化を図り,かつ設計と開発のレベ ルを更に向上できるように,当社と富士フイルムグルー プ内への普及展開を目指している.

効率的にグループ内へ展開をするには,講習会を受講 する者を出来るだけ多くしてソフトを操作できる環境を 整備することが重要だが,高額な商用ソフトに追加投資 することを回避したかった.その仮題に対してオープン CAE は有効な解決法だと考えられた.

1.2 事例選定の理由 1.1 の目的に沿って先ず線形 弾性変形での社内講習会を展開した結果,受講者の潜在 ニーズが広いことが判った.そこで,解析対象拡大のた めの大変形接触解析の事例として,表題に取り組むこと にした.

2.シミュレーション内容

2.1 解析対象装置と解析目的 図 1 は解析対象装置 の模式図である.薄膜金属製エンドレスベルトが巻きつ いた大径駆動ロールは摩擦力によって金属ベルトに動力 を伝える.金属ベルトの蛇行制御用に小径ステアリング



ミュレーション解析の目的とした.

2.2 実験との比較 図 2 は最大発生応力について

CAE と実測を比較した結果で,良好な一致が見られる. 実験は 1mm×1mm の小型ひずみゲージを金属製ベルト に貼り付けて,ばね秤を使って静止状態での応力を測定 した.CAEは,金属製ベルトとロールとの接触を考慮す るが摩擦なしの,大変形解析という解析条件とした.



図2最大発生応力の比較 ヤング率:185[GPa] ポアソン比:0.3

2.3 装置要素開発への活用 図 3 は使用範囲の模式 図で、図中に示す(a)~(d)で囲まれた範囲内で使用する必 要性があることを示している.予め、疲労限度を超える 可能性のあるラップ角θとテンションTの組合せを把握 しておくことで効率的な開発に貢献した.



3. 今後の展開 接触解析については,既に社内講習会 用の例題を作成して希望者に配布して活用が始まってい る.大変形解析についても同様に展開を図っていきたい.

CFRPの大規模構造解析に向けたFrontISTRへのcohesive要素の実装

山口 太一*(東京大学) 橋本 学(東京大学) 奥田 洋司 (東京大学)

Implementation of cohesive elements into FrontISTR for large-scale structural analysis of carbon fiber reinforced plastic

Taichi YAMAGUCHI * (The University of Tokyo) Gaku HASHIMOTO (The University of Tokyo)

Hiroshi OKUDA (The University of Tokyo)

Key Words : FrontISTR, CFRP, large-scale structural analysis, cohesive elements, failure

1. はじめに

CFRP(炭素繊維強化プラスチック)は、比強度、比弾 性に優れた材料であり,航空機等への適用が進んでいる. しかし、CFRP は繊維と樹脂から成る複合構造であるた め、図1のように様々な損傷が複雑に生じるため(1)、正 確に破壊を予測することが難しい. そのため, 航空機で は CFRP の適用拡大に伴い,構造認証に必要な材料試験, 部分構造試験等の試験数が増大しており⁽²⁾,精度の良い CFRP の損傷シミュレーションが求められている. CFRP の実際の損傷を精度良く再現する方法として、繊維、樹 脂,界面を詳細にモデル化する方法が考えられるが、モ デルが大規模になるため,一般的な有限要素法ソフトウ ェアでは解析を行うことが難しい. そこで, 大規模解析 において実績のある並列構造解析ソフトウェアである FrontISTR を用いて, CFRP の大規模構造解析を行う. そ のための第一歩として,界面をモデル化するための cohesive 要素⁽³⁾をFrontISTR に実装し, 精度検証を行った. オープンソースソフトウェアでは、プログラムの構造を 理解し,自由にカスタマイズできるという利点があるが, 商用ソフトウェアのようにサポートやマニュアルが充実 していない等の欠点もある. それに対して, FrontISTR では, FrontISTR 研究会(4)において, カスタマイズ方法(新 しい要素や材料モデルの追加等)についての情報を得る ことができるため、新しい機能を比較的実装し易い.



2. cohesive 要素の実装

cohesive 要素は、接着界面をモデル化するための要素 で、複合材料の繊維と樹脂の界面や層間のモデル化など に利用されている.本研究では、文献⁽³⁾での定式化をも とにして、FrontISTR に cohesive 要素を実装した.精度 確認のため、実績のある商用ソフトウェアとの比較を行った.





Fig.2 Contour plot of displacement

FrontISTR での解析結果を図 2 の上図に示す. モデル 上部を完全に固定して, 1/4 に分割した円柱部の片方の 端面に荷重を負荷している. cohesive 要素は, 円柱部の 側面に初期の厚みが0としてモデル化している. cohesive 要素は, 一つの垂直ひずみと二つのせん断ひずみを持つ ため, それら三つを比較検証できるモデルとした. この モデルにおいて, 商用ソフトウェアとの比較を行ったと ころ, 精度良く解析結果は一致していた.

4. まとめ

FrontISTR に cohesive 要素を実装し, 商用ソフトウェ アの結果と精度良く一致していることを確認した.今後, CFRP の大規模構造解析に利用していく予定である.

- 福田博,邊吾一,末益博志:新版複合材料・技術総覧, 産業技術サービスセンター (2011).
- (2) 川崎重工株式会社:航空機構造認証における課題と シミュレーション援用による効率化への期待,東北 大学大学院工学研究科次世代航空機研究センター第 2回航空機 CAE 研究会 (2014).
- (3) P.P. Camanho, C.G. Davila: Mixed-mode decohesion finite elements for the simulation of delamination in composite materials. NASA/TM-2002-211737(2002).
- (4) FrontISTR 研究会 http://www.multi.k.u-tokyo.ac.jp/Fro ntISTR/, (accessed 2017-11-6).

オープン CAE による Modelica 活用と モデルベースデザイン委員会年間活動報告

西 剛伺*(オープン CAE 学会モデルベースデザイン委員会)

Modelica Use with OpenCAE Environment and Annual Report of Model Based Design Committee Activities

Koji NISHI * (Model Based Design Committee, The Open CAE Society of Japan)

Key Words : Model Based Design, Modelica, OpenModelica, Annual Report

1. はじめに

オープン CAE 学会モデルベースデザイン委員会では, Modelica 言語⁽¹⁾をベースとするオープンソースソフトウ ェアを活用したシミュレーション技術について調査及び 普及活動を推進している.本稿では, Modelicaの概要と 本委員会における最近の活動について報告する.

2. Modelica 概要

Modelica は、複雑な物理系を効率的にモデル化するた めの、数式ベースのオブジェクト指向言語である. Modelica には有償、無償の様々なライブラリが存在する が、その中心的役割を果たすのがオープンソースの Modelica Standard Library (以下, MSL)⁽²⁾である. MSL には、電気 (Electrical)、磁気 (Magnetics)、熱 (Thermal) といった物理ドメインの基本的なコンポーネント群が収 録されており、これらのドメインを跨ぐモデルを GUI (Graphical User Interface)を用いて効率良く構築できる (図 1). GUI の実行環境には、商用ソフトウェアの他、 オープンソースの OpenModelica⁽³⁾、Scilab⁽⁴⁾がある. Windows 版もあり、初期コストをかけずに、かつ手軽に 評価を開始することが可能である.

3. モデルベースデザイン委員会における活動

モデルベースデザイン委員会では、OpenModelica, MSL の活用を中心に活動を展開中である.メンバの日頃の活 動成果は主にオープン CAE 勉強会@関東(流体など)で 進捗を報告している.昨年度のシンポジウムから OpenModelicaを用いた講習会、モデルベースデザインの セッションを開催した.本年度はシンポジウムに加え、 10/14(土)に初の公開研究会を開催し、各人の活動成果 の詳細を発表している.また、外部発信として、日本機 械学会⁽⁵⁾⁻⁽⁷⁾、日本学術振興会⁽⁸⁾でオープンソースに関す る活動について報告している.

4. まとめ

Modelica は、非常に使い勝手の良いモデル化環境を提供しているが、日本国内での本格普及はこれからという 段階である.2016年には、日本での初の国際カンファレ ンス Modelica Conference⁽⁹⁾が開催されており、2018年に も開催予定⁽¹⁰⁾のようであるが、当学会では今後もオープ ンソース活用の視点から活動を推進する予定である.

- Modelica® A Unified Object-Oriented Language for Systems Modeling Language Specification, Version 3.4, Modelica Association (2017).
- (2) Modelica Standard Library Version 3.2.2, The Modelica Association, <u>http://doc.modelica.org/help/Modelica.html</u> (accessed 2017-11-17).
- (3) OpenModelica, <u>https://openmodelica.org/</u> (accessed 2017-11-17).
- (4) Scilab, <u>https://www.scilab.org/</u> (accessed 2017-11-17).
- (5) 西剛伺, "モデルベースデザインへの誘い Modelica による物理モデリング -", 流体工学シンポジウム 2016, 日本機械学会北陸流体工学研究会 (2016).
- (6) 西剛伺, "Modelica によるモデルベースデザインの紹介と熱回路網の構築",日本機械学会 RC271 研究分科会 (2017).
- (7) 西剛伺, "Modelica 概要と OpenModelica によるモデ ル構築", 日本機械学会 RC271 研究分科会熱 WG (2017).
- (8) 高木洋平, "オープンソースソフトウェアを活用した 熱流動現象の解析とプロセス設計", 日本学術振興会 プロセスシステム工学第143委員会 (2017).
- Japanese Modelica Conference 2016, <u>https://www.modelica.org/events/modelica2016japan</u> (accessed 2017-11-17).
- (10) Japanese Modelica Conference 2018, <u>https://www.modelica.org/events/modelica2018japan</u> (accessed 2017-11-17).



Fig. 1 Multi-Domain Model Example⁽²⁾

Modelica による熱回路網の構築とマイクロプロセッサの温度予測

西 剛伺*(オープン CAE 学会モデルベースデザイン委員会)

Thermal Network Creation with Modelica and Temperature Prediction of Microprocessor

Koji NISHI * (Model Based Design Committee, The Open CAE Society of Japan)

Key Words : Modelica, Thermal Network, Analytical Solution, Temperature Prediction, Microprocessor

1. はじめに

熱が直線的に流れる場合,熱抵抗の値は自明である. 一方,熱が拡がる際に生じるいわゆる拡大熱抵抗には一 般的に解析解は存在せず,3次元のシミュレーションを 用いて離散化して求める必要がある.しかし,特定の条 件下では拡大熱抵抗はフーリエ級数による解析解として 得られることが知られている⁽¹⁾.本稿では,この解析解 を近似的に用いることで,コンパクトな熱回路網を Modelica⁽²⁾言語で構築した事例を示す.

2. 因果的な記述による拡大熱抵抗の実装

Modelica では、フーリエ級数のようなΣに相当する繰 り返し計算をループとして記述できる. なお、解析解は 代入式、つまり、因果的な記述で実装した. 図1に示す 等方性熱伝導率を有する 50×50×5.0mm の部材の底面 中央 10×10mm のエリアが均一発熱、上面を一様な熱伝 達率で冷却する場合⁽³⁾を例として挙げると、熱伝達率の 変化により、熱抵抗値が変動することが分かる(図2).

3. 非因果的な記述によるマイクロプロセッサシステム の温度予測

上述の解析解を用いた拡大熱抵抗コンポーネントと Modelica Standard Library⁽⁴⁾の熱抵抗コンポーネントを組 み合わせることで熱回路網を構成し,温度予測を行うこ とができる.発表では,Modelicaの非因果的な記述によ って熱回路網を実装し,マイクロプロセッサシステム⁽³⁾ の温度予測を行った結果について報告する.

- Muzychka, Y. S., Culham, J. R and Yovanovich, M. M.: Thermal Spreading Resistance of Eccentric Heat Sources on Rectangular Flux Channels, Journal of Electronic Packaging, 125, pp.178-185 (2003).
- (2) Modelica® A Unified Object-Oriented Language for Systems Modeling Language Specification, Version 3.4, Modelica Association (2017).
- (3) K. Nishi, T. Hatakeyama, S. Nakagawa and M. Ishizuka, "Thermal Spreading Resistance and Thermal Local Resistance Evaluations by Iterative Calculation", 39, ISTP-25 (2014).
- (4) Modelica Standard Library Version 3.2.2, The Modelica Association, <u>http://doc.modelica.org/help/Modelica.html</u> (accessed 2017-11-17).



Fig. 2 Thermal Resistance Variation by Heat Transfer Coefficient



Fig. 3 Thermal Network of The Microprocessor System⁽³⁾

富士通グループにおけるオープン CAE の活用

新出孝政*(富士通アドバンストテクノロジ株式会社) 植田晃(富士通アドバンストテクノロジ株式会社) 大塚晃弘(富士通アドバンストテクノロジ株式会社) 石川重雄(富士通アドバンストテクノロジ株式会社)

Utilizing open source CAE in FUJITSU Group

Takamasa SHINDE * (Fujitsu Advanced Technologies Limited) Akira UEDA (Fujitsu Advanced Technologies Limited) Akihiro OTSUKA (Fujitsu Advanced Technologies Limited) Shigeo ISHIKAWA (Fujitsu Advanced Technologies Limited)

Key Words : OpenCAE, OpenFOAM, CFD

1. 電子機器の熱流体解析の課題

半導体素子の発熱量増加や実装技術の高密度化により, 効率的な熱設計を行うため,熱流体解析が利用されてい る.当社でも電子機器の熱設計を行う過程で,熱流体解 析の技術開発と製品適用に取り組んでいる.

近年のICT製品では、IoT時代に向けてのあらゆる製品の電子機器化、ビックデータ対応に向けての処理能力向上に伴い、熱設計の期間短縮と高度化が求められており、熱流体解析の重要性が増している.電子機器の熱流体解析の流れは、CADデータに始まり、モデリング(形状簡略化)、発熱量などの条件入力、メッシュ分割、計算へと至る.電子機器では部品点数が多いため、CAD形状のままではメッシュ数が膨大となり、計算時間が増加する.計算時間の増加を防ぐ対策の一つとして、並列計算による高速化があるが、利用可能なライセンス数などの制限があるため、実際には形状の簡略を行い現実的な計算時間となるようにメッシュの削減を実施している.部品数の多いサーバ装置では形状の簡略化モデリングなどに数日程度の時間を要している.

本稿では、熱設計の高度化、詳細化による解析規模の 増大に対し、計算時間、モデリング時間の短縮化を目的 として取り組んだオープン CAE による熱流体解析環境 の構築について述べる.

2. オープン CAE の利用環境の構築と活用

まず大規模化を実現するためのソルバー選定を行った。 条件として、ライセンスにしばられず高並列計算が可能 であること、並列計算性能が高いこと、電子機器で用い る機能(輻射計算,流体・固体連成計算など)の充実が 要求される.弊社ではこれらの条件を満たすソルバーと して、オープンソースでありかつ複数台のマシンでの並 列計算も可能であること、及び実験値や市販ソルバーと の比較を実施し計算精度に問題がないことを確認し、 OpenFOAM®を選定した.また、OpenFOAM®の利用に 伴い、解析の条件やメッシュデータを引き渡すプリポス ト環境の構築を行った.まず条件設定や結果表示を行う GUIとして、内製で社内の設計標準ツールとなっている DMU(Digital Mock-Up)の技術を利用し、操作感を標準ツ ールに合わせ, DMU データに設定されている情報(材 料名)を利用し,条件設定の効率化を図った.次に, OpenFOAM®の入力ファイルを作成するメッシャーとし てロバスト性に優れ,大規模解析に対応しやすい直交格 子を採用した.このようにオープン CAE を解析専任者以 外でもスムーズに利用できるプリポスト環境を構築し, 解析 TAT として 40%程度の時間短縮を実現した.

3. 今後の展開

熱流体解析と並行して,構造解析についても同様のオ ープン CAE を用いた大規模解析技術を確立させており, 今後,熱流体,構造,電磁界,回路に及ぶ複数の解析ツ ール間の連成問題をはじめとした複合問題の解決をオー プン CAE の利点を生かした他ツールとの連携などによ り複合現象の解決を図り ICT 製品の品質向上を目指して いく.

- (1) 山岡 伸嘉,鈴木 正博,有田 裕一,石川 重雄, 「CAD/CAE 一体化環境によるシミュレーションの 取り組み」、オープン CAE シンポジウム 2015@富山 講演会講演概要集, p.25, 2015
- (2) 山岡 伸嘉,石川 重雄,登坂 正喜,久保田 哲行, 「ICT機器開発におけるオープン CAE の活用-現状 と今後の課題-」,オープン CAE シンポジウム 2016 @東京 講演会講演概要集, B25, 2016

OpenFOAMによる CO2インキュベーター内の熱流体解析

山本 圭一朗*(福岡県工技センター) 堤 泰憲(株式会社アステック)

Thermal Fluid Analysis of CO2 Incubator with OpenFOAM

Keiichiro YAMAMOTO * (Fukuoka Industrial Technology Center) Yasunori TSUTSUMI (ASTEC CO., LTD.)

Key Words : OpenFOAM, chtMultiRegionFoam, snappyHexMesh, cyclic

1. はじめに

 CO_2 インキュベーターは細胞を培養するために、内部 を一定の環境で保持する装置である.一般的な庫内の運 転条件は温度:37℃,湿度:95%, CO_2 :5%である.温 度を均一に保持することが重要であることから、 OpenFOAM で CO_2 インキュベーター内の熱流体解析に 取り組んだ.



図1 CO₂インキュベーターの外観

2. 解析方法

図1に解析対象とした $CO_2 インキュベーターの外観を$ 示す. ウォータージャケット構造ではなく, ヒーターで庫内を直接加熱する構造で,庫内寸法は幅 310mm,奥行き 295mm,高さ 330mm である. ソルバーは OpenFOAM4.0の chtMultiRegionSimpleFoam を使用した. メッシュ生成では,領域を分割する splitMeshRegions は使用せず,部品ごと個別に, snappyHexMesh でメッシュを生成し,境界タイプを mappedWall として,固体一流体,固体同士 $の境界を取り合うように設定した.境界名は air_to_ins1$ のように splitMeshRegions で生成される境界名とした.

内部にある循環用のファンは createBaffles にて流体領 域中に面(cyclic)を作成し、熱線式風速計で測定した風 量が得られるよう、圧力差を与えることでファンを模擬 した. ヒーターは表面に熱流束を与えた. CO₂の流入に よる流動への影響と湿度については考慮していない.

比較のために㈱ソフトウエアクレイドルの SCRYU/Tetra⁽¹⁾でも解析を行った.低Re型の乱流モデル を使用し、OpenFOAMではLaunder and Sharma low-Re k- ϵ モデル、SCRYU/Tetra では、AKN k- ϵ モデルに Kato-Launder 補正を加えたモデル⁽²⁾を用いた.解析に用 いたメッシュは SCRYU/Tetra で生成したものを使用し ており、OpenFOAM のものと異なっている.

3. 解析結果

図2及び図3に OpenFOAM と SCRYU/Tetra での温度 分布の解析結果を示す.本結果は CO₂インキュベーター の構造を簡略化したもので行った計算結果である.両者 の温度分布は定性的に同様の傾向を示した.

4. まとめ

chtMultiRegionSimpleFoam で得られた結果は SCRYU/Tetra と定性的に同様の傾向を示しており, OpenFOAMで実製品の流体・固体連成解析が商用ソフト と同等のレベルで行えることを確認できた.



図3 温度コンター (SCRYU/Tetra)

- Software Cradle, http://www.cradle.co.jp/ (accessed 2017-11-16)
- (2) 近藤・村上・持田, "第8回数値流体シンポジウム論 文集", 1994, pp.363-366.

3 D プリンタの印字プロセスの数値再現に向けた 固液相変化モデルの開発に関する基礎検討

持田楓*(岩手大学)
 山本卓也(東北大学)
 廣瀬宏一(岩手大学)
 和宇慶知子(アルプス電気)

福江高志(岩手大学) 竹内清人(岩手大学) 寺尾博年(アルプス電気)

Basic Investigation of Development of Solid-Liquid Phase-Change Analysis Model for Numerical Simulation of Printing Process of (FDM) 3D Printers

Kaede MOCHIDA * (Iwate Univ.) Takuya YAMAMOTO (Tohoku Univ.) Kouichi HIROSE (Iwate Univ.) Tomoko WAUKE (ALPS Electric) Takashi FYKUE (Iwate Univ.) Kiyoto TAKEUCHI (Iwate Univ.) Hirotoshi TERAO (ALPS Electric)

Key Words : 3D Printer, Fused Deposition Modeling (FDM), Solid-Liquid Phase Change, Thermal-Fluid Analysis

1. 緒言

3D プリンタによるデジタルものづくりが急速に普及 している.廉価な手法として,溶解した熱可塑性樹脂を ノズルから吐出し積層・固化を繰り返すことで3次元形 状を造形する熱溶解積層法(Fused Deposition Modeling: FDM)が広く利用されている⁽¹⁾. FDM は構造がシンプル で小型化もでき,オープンソースの FDM システムを提 供する RepRap (Replicating Rapid Prototyper)もある⁽²⁾.

FDM による 3D 造形は, ものづくりに一定の貢献を成 している一方, 造形の失敗や精度の問題が散見される. 例えば第1層の反りの課題がある. 第1層の印刷におけ る熱応力や熱収縮の発生, 印刷面の接着力の不足などで ベッドから造形物が剝がれてしまい造形の失敗に繋がる. この課題は, 一品物の試作品を制作する観点からは大き な課題となり得ないが, 今後の FDM のマスプロダクシ ョンへの応用において, 歩留まりの観点から致命的な課 題となる⁽³⁾. FDM における樹脂の流動・伝熱現象の詳細 を可視化し, 系の最適化設計を行うことは有益である.

そこで本研究では、FDM の最適設計法の構築を目的に、 樹脂の流動および固液相変化現象の可視化を行うことと した.特に印刷時の温度場の可視化実験と、印刷プロセ スを数値再現するための OpenFOAM の導入を検討して いる.本稿ではその現在の状況について報告する.

2. 温度場の可視化実験

まず FDM における印字プロセスで見られる伝熱現象 をマクロに観察するため、赤外線カメラで温度場の可視 化実験を行った. RepRap プロジェクトに準拠した 3D プ リンタ (Genkei LCC. 製 atom)を使用し、直径 50 mm、 厚み 10 mm の円柱を積層幅 0.3mm,充填密度 100% で造 形した.造形時の温度履歴を赤外線カメラ (CHINO, CPA-T440)で撮影した.使用した材料は PLA でノズル 温度 200 °C,ベッド温度 80°C で積層した.可視化結果 の一例を図1に示す.時間経過に伴い、最上層と最下層 の温度差が顕著になっていることがわかる.また,射出 された樹脂の容量が小さいこともあり,溶解した樹脂は 射出後すぐ低温になり固化に繋がることも確認できた.

3. OpenFOAM による可視化

以上の伝熱現象を再現できる OpenFOAM の solver を開 発した. solver の基礎は山本ら⁽⁴⁾の開発した温度場を含む 気液混相モデル(VOF 法)を用い, Enthalpy-Porosity 法によ る溶融凝固モデルと組み合わせた。VOF 法には Laplace Filter をかけることで界面の曲率計算の精度を向上させ た. 熱物性値等は別途 3D プリンタ用樹脂を直接計測し OpenFOAM に取り込んだ. 3D プリンタの樹脂流動を再 現できるよう改造を進めている.



(a) 20 minutes later (b) 110 minutes later Fig. 1 Visualization of temperature field

謝辞

本研究の実施に際し㈱リコー 三矢輝章氏,長山智男氏の御協力を得た.記して謝意を表する.

- (1) 下川·他3名, 2012 年度精密工学学会春季大会, L68.
- (2) 吉村·千田, Journal of Computer Chemistry Japan, 15-1
 (2016), 7-12.
- (3) Fukue, T., et al., Proc. IS&T NIP33 (2017), x.
- (4) Yamamoto, T., et al., Int. J. Numer. Meth. Fluids, 83 (2017), 223-244.

Conjugate heat transfer analysis of a thin liquid cooling heat sink using **OpenFOAM**

Thomas Schiano * (Toyama Pref. Univ.) Keisuke Iida (Toyama Pref. Univ.) Tomoyuki Hatakeyama (Toyama Pref. Univ.) Shinji Nakagawa (Toyama Pref. Univ.)

Ryohei Hirose (Toyama Pref. Univ.) Miho Seike (Toyama Pref. Univ.)

Key Words: Electronics cooling, Liquid cooling, CFD, OpenFOAM, Heat transfer

1. Introduction

Recent developments in the IT industry, such as the use of 3D integrated circuits, have brought a sharp increase in the density of heat generation of such products. The cooling technology used has become a restricting factor for further development, and thus needs to be investigated. As such, the technology of micro/mini channels, proposed by Tuckerman and Pease⁽¹⁾, is being significantly investigated⁽²⁾. Therefore, we wish to investigate the performance of such heat sinks using the CFD toolbox OpenFOAM. In order to create and modify complex geometries and meshes used for the simulation of the heat sink, we use Salome-Meca.

2. Modelling using Salome-Meca

Using Salome-Meca, we have created a geometry (Figure 1) corresponding to the heat sink that we used experimentally in order to validate the performances of the CFD approach used. The heatsink is a 60mm x 60mm x 10 mm box wherein a rectangular 6mm x 5mm flow path resides. We have separated the solid and fluid region into two different objects that we meshed separately. A hexahedral mesh is used for the fluid region, with viscous layers near the walls, and a tetrahedral mesh is used for the solid region. We then exported those meshes using a Python code⁽³⁾, creating patches needed for the creation of boundary conditions by OpenFOAM.



Figure 1 : geometry of the heatsink used

3. Simulation with OpenFOAM

We set up a case using the chtMultiRegionSimpleFoam solver, pre-processing the mesh and initial conditions of both regions, before unifying them. We used the transformPoints

and polyDualMesh applications in order to adapt the mesh of both regions to case. Thus, the mesh of the solid region is converted from a tetrahedral mesh to a polyhedral mesh. The stability of calculation is increased with the polyhedral mesh.



Figure 2 : Mesh of solid (bright) and fluid (dark) regions

We then unified the regions by using the changeDict dictionary to create a boundary condition on the shared boundary of both regions, for them to be coupled. A constant heat flux condition is applied to the top of the solid part to model a heater. The flow is considered turbulent with a low Reynolds, hence $k - \omega$ SST model is applied. Using those, we wish to solve the case and improve the cooling properties of the heat sink.

4. Pursuit

Using those tools, we wish to modify the geometry of the flow path in order to create a more efficient heat sink, using micro/mini channels. The use of Salome-Meca enables us to modify the geometry in order to create complex flow paths, without proceeding to heavy changes to the OpenFOAM case, improving the efficiency of our research.

References

- (1) Tuckerman, D. B., & Pease, R. F. W. (1981). High-performance heat sinking for VLSI. IEEE Electron Device Letters, 2(5), 126-129. https://doi.org/10.1109/EDL.1981.2536
- (2) Dixit, T., & Ghosh, I. (2015). Review of micro- and mini-channel heat sinks and heat exchangers for single phase fluids. Renewable and Sustainable Energy Reviews. https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.09.0247
- (3) https://github.com/nicolasedh/salomeToOpenFOAM

OpenFOAM による減圧下における立方体容器内の自然対流の数値計算

熊本	翔乃*	(岡山理科大学)	山本	萌絵	(岡山理科大学)
平野	博之	(岡山理科大学)	桑木	賢也	(岡山理科大学)

Numerical computation of natural convection in cube below atmospheric pressure with OpenFOAM

Shono KUMAMOTO*(Okayama Univ. Sci.) Moe YAMAMOTO (Okayama Univ. Sci.) Hiroyuki HIRANO (Okayama Univ. Sci.) Kenya KUWAGI (Okayama Univ. Sci.)

Key Words : Natural Convection, Low Pressure, Kinetic Theory of Gases, OpenFOAM

1. 緒言

流体中で外力場に直角な面内で,温度あるいは濃度の 違いによって生じた密度の不均一が浮力の差となる.こ の不均一を無くすように流れが発生し持続するものが自 然対流である.自然対流における熱伝達特性は,無次元 数であるレイリー数(Ra)によって整理できる.Raを小 さくすることで,気体は熱伝導状態に漸近し,伝熱抑制 されることとなり,各種容器等の断熱に利用される.し かしながら実験によりその流動様相を検討しようとする と,Raを小さくするために,容器体積や温度差を小さく することになるが,実験条件としては限界がある.そこ で本研究では気体分子運動論に着目し,流体として気体 (空気)を用いて減圧することで Raを小さくし,その 流動様相について実験的かつ数値解析的に検討すること を目的とする.

2. 実験および計算方法

2.1 実験方法

1辺が 50 mm の立方体容器内を対象として,対向する 鉛直側面を恒温循環槽により一定温度の水を通じて加熱 および冷却壁とすることで,2面間に温度差を課した. 流動様相の可視化には,トレーサーとしてタバコの煙を 用い,真空ポンプで減圧して Ra を小さくし,スリット 光を用いた.

2.2 計算方法

数値解析においては、流体解析のオープンソースコー ドとして現在広く用いられている OpenFOAM を用いて、 実験に対応する条件において数値解析を行った.ソルバ ーには buoyantPimpleFoam を用い、密度は理想気体の状 態方程式を用いて与えた.モデル作成には FreeCAD で stl ファイルを作成後、HELYX-OS で格子作成と各種条件 を設定後に解析を行い、計算結果の可視化には ParaView を用いた.初期条件としては目的の圧力で一様かつ静止 条件とした.

3. 結果および考察

容器内を減圧し,流動様相が安定した後の実験結果の 一例を Fig.1 に示した. X=0 と X=50 mm の 2 面をそれぞ れ加熱面,冷却面とし, Z=25 mm の面においてシート光 を当てて可視化した結果である. このとき Ra = 2270 で あり非常に小さい. 実験の結果, Ra が小さくなるにした がって容器内には 2 つのトーラス構造が安定して存在す ることが確認できた. そこで, Fig.1 に対応する数値解析 を行った結果を Fig.2 に示した. 図は容器全体で Stream Tracer による粒子軌跡を描き Z=25 mm の面で Slice し, かつ Glyph による速度ベクトルを合わせて記してある. Fig.1 で確認された 2 つのトーラスの断面に相当する,合 わせて 4 つの円形断面を確認できる.



Fig.1 Experimental result at P = 13825 Pa, Ra= 2.27×10^3 , Z = 25 mm. Temperature difference of 10 K is imposed between hot (left) and cold (right) walls. (F4, SS=1/100 s, ISO 16000, +1/2 ev).



Fig.2 Numerical result at P=14000 Pa, Ra= 2.27×10^3 , Time=100 s, Slice at Z=25 mm.

4. 結言

Ra が小さくなると2つのトーラス構造が存在する.また,容器内を減圧していくと,Raの伝熱および対流は抑制され,熱伝導状態に漸近していくことが確認できた.

- オープン CAE 学会; OpenFOAM による熱移動と流 れの数値解析, 森北出版 (2016)
- (2) 平野博之;流れの数値計算と可視化 第3版, 丸善(2011)

粒子法オープンソース実装 OpenMPS の V&V

吉藤尚生*(OpenMPS プロジェクト)

Verification and Validation of OpenMPS

Naoki YOSHIFUJI * (OpenMPS project)

Key Words : Particle Method, MPS, Verification, Validation, Hydrostatic pressure

1. 背景

MPS 法は、東京大学の越塚ら⁽¹⁾が 1996 年に開発した、 射影法型の粒子法である。特徴として、格子法に比べ自 由表面の大変形に容易に追従できるなどの長所があり、 近年注目が集まっている。

OpenMPS プロジェクト⁽²⁾は、この **MPS** 法のオープン ソース実装として Bitbucket 上で開発・公開されているも のである。昨年のシンポジウム⁽³⁾ではその概要が報告さ れたが、課題として「V&V」が挙げられている通り、単 純なベンチマーク等での Verification と Validation、つま り検証と妥当性確認が必要である。

本発表では、最も単純なベンチマーク問題として静水 問題を用いて、OpenMPSのV&Vを実施した結果を報告 する。

2. OpenMPS

今回用いた OpenMPS のバージョンは v2.1 である。こ のバージョンでは、高精度粒子法⁽⁴⁾のうち、以下が実装 されている。

- 高精度生成項(HS)
- 高精度ラプラシアン(HL)
- 誤差修正項(ECS)
- 勾配修正行列(GC)
- 動的人工斥力(DS)

これらのうち、特に HS や HL などが圧力方程式に直 接関わる高精度化である。

今回、この OpenMPS の V&V を実施するため、問題を 1 次元に単純化した OpenMps1D⁽⁵⁾を開発し、OpenMPS 本 体との比較に用いた。

3. 検証(Verification)と妥当性確認(Validation)

最初に、OpenMPS の検証モデルとして、OpenMps1D を開発し、コードを比較した。その結果、HS と標準ラ プラシアンモデルに問題が発見されたため、Pull Request 修正された。この修正を加えたものを v2.2 としてリリー ス済みである。

次に、静水圧問題を用いた妥当性確認を実施した。こ の問題は単純な水槽に水を入れた時の水位変動が一定で あることを確認する問題である。図-1 に、OpenMps1D での結果を示す。このように、従来型モデルでは計算が 安定せず発散してしまうこと、高精度であっても時間刻 みを細かくしないと体積保存が難しくなることが明らか となった。これは、高精度にすることで、数値誤差の影 響を受けやすくなったことが原因と考えられる。



Fig.1 静水問題における自由表面位置の比較

最後に、2次元での静水圧問題を計算した。水槽中心 での結果も図-1に示す。概ね結果は理論通りとなってい ることが分かる。ただし、1次元に比べ、擾乱が大きく なっていることが分かる。2次元になり、自由度が上が った分、安定状態が確定せず、tensile instabilityの影響を 受けやすいからと考えられる。

4. まとめ

以上のように、本発表では、OpenMPS に対して、V&V を実施した。まず、実装を単純化した 1 次元版の OpenMps1D を開発し比較する検証により、問題点を 2 点改善することができた。また、静水圧問題を用いた妥 当性確認においては、OpenMPS の高精度粒子法の有効性 と、時間刻みに対する注意点を明らかにした。

今後は、他の問題についても妥当性確認を実施してい きたい。

- Koshizuka, S. and Oka, y. (1996) : "Moving-Particle Semi-implicit Method for Fragmentation of Incompressible Fluid", Nucl. Sci. Eng.
- (2) OpenMPS http://openmps.bitbucket.org/
- (3) 青子守歌. (2016): 『粒子法オープンソース実装 OpenMPS プロジェクトの開発』、オープン CAE シン ポジウム 2016@東京 講演概要集、A11。
- (4) Gotoh, H. and Khayyer, A. (2016) : "Current achievements and future perspectives for projection-based particle methods with applications in ocean engineering", J. Ocean Eng. Mar. Energy.
- (5) OpenMps1D https://bitbucket.org/OpenMps/openmps1d

CFDEM - マイクロスケールからメータースケールへの 結合フローの例とその問題点

リチャード ケニー * (CAE ソリューションズ)

CFDEM - Examples of coupled-flows at micro to meter scales and their issues

Richard KENNY * (CAE Solutions)

Key Words : CFDEM, LIGGGHTS, coupled fluid-particle flows, fluidized bed, filters

1. Introduction

The Open Source project CFDEM [1] provides a framework in which to model coupled fluid-particle flows by interleaving the solution methodolgies of the open source CFD library OpenFOAM with those of the open source granular particle DEM package called LIGGGHTS, cf. Fig1.



Fig. 1. Map of CFDEM dependencies

In this scheme the Eulerian CFD equations describing the fluid volume fraction and the Lagrangian equations of the discrete solid phase (DEM representation) are coupled by inter-phase momentum and thermal exchange source terms. These terms are described by experimentally-verified correlation relations (e.g. the drag models of Gidaspow [2] and Koch & Hill [3]) over micro to millimeter lengthscales and so allow for sub-grid scale modelling on typically coarse-grained CFD meshes.

The lagrange equations describing particle motions are also 'coarse-grained' by combining particles into parcels. This 'upscaling' is made possible by making use of dimensionless parameters characteristic of the 'spring and dashpot' model for a colliding two particle system namely,

$$\Pi_1 = I, \ \Pi_2 = \frac{k_n}{R_i \rho_p U_0^2}, \ \Pi_3 = \frac{c_n}{R_i \rho_p U_0^2}$$

formulated in terms of particle diameter ratio, density, typical velocity and spring-dashpot coefficients.

The resulting coarse-graining permits the 4-way (i.e. fluid-solid, solid-fluid, solid-neighbour,

neighbour-solid) unresolved equations of CFDEM to be solved for a large population of particles using reasonable computational resources.

Compared to OpenFOAM and LIGGGHTS, CFDEM has a much smaller user-base with a more limited range of example cases. With this in mind we present here a selection of coupled-flow examples from millimeter to meter scales that hopefully illustrate some of the more unfamiliar possibilities of CFDEM. In each case we indicate what issues might need careful consideration.

2. Example flows

In the presentation the following flows will be considered: micro-scale filtering, millimeter-scale filtering, centimeter-scale dusty tornado, meterscale dust flow over a car.



Fig. 2. Millimeter-scale filter flow

References

- (1) http://www.cfdem.com
- (2) Gidaspow, D., Multiphase Flow and Fluidization-Continuum and Kinetic Theory Descriptions. Academic Press, San Diego, (1994).
- (3) Koch, D. L., and Hill, R. J., Inertial effects in suspensions and porous-media flows. Ann. Rev. Fluid Mech. 33, 619–647 (2001)

OpenFOAM による壁面に凹凸を有するマイクロ流路内の 液々二相交互流の数値解析

西山	真由*	(岡山理科大学)	平井 貴大(岡山理科大学)
平野	博之	(岡山理科大学)	木原 朝彦(岡山理科大学)
野村	悦治	$(OCSE^2)$	

Numerical computation of alternating flow of two-phase liquids in micro-channel with uneven wall by OpenFOAM

Mayu NISHIYAMA* (Okayama Univ. Sci) Takahiro HIRAI (Okayama Univ Sci) Hiroyuki HIRANO (Okayama Univ. Sci) Tomohiko KIHARA (Okayama Univ. Sci.) Etsuji NOMURA (OCSE^2)

Key Words : Micro-channel, Two-phase Flow, Alternating Flow, OpenFOAM

1. 緒言

1 mm以下の空間で化学反応を行うマイクロ化学チップ は、従来の大型プラントよりも高効率に、抽出などの化 学工学的単位操作や合成などの化学反応を行うことがで き、環境分析や化学合成,DNA解析など様々な分野で用 いられている⁽¹⁾.本研究では、水相と有機相のような相 溶性のない二相の流体をマイクロ流路内で合流させて生 じる交互流を取り上げる.交互流は各々のセグメントを 短くできれば、あるいは効果的な渦の生成が可能となれ ば、各種効率の大幅な向上が見込める.そこで本研究で は、化学工業装置の小型化などを目的とし、交互流の流 動特性について実験的、数値的解析的に検討する.

2. 実験方法及び計算方法

2.1. 実験方法

青色ポリスチレンマトリックス粒子を分散させた水相 と有機相(cyclohexane)からなる二相系について、シリン ジポンプを用いて Fig.1 に示すような壁面に凹凸を有す る厚さ 0.3 mm のステレンス製流路にこれら 2 つの相を 導入、合流させ、流路内に交互流を生じさせ可視化する とともに、PIV (Particle Image Velocimetry) 解析した.

2.1. 数值解析方法

オープンソースコードとして広く用いられている OpenFOAMを用いて水相と有機相(cyclohexane)の交互流 について CFD 解析を行った. FreeCAD を用いて Fig.1 に 示した流路の stl ファイルを作成し, snappyHexMesh を用 い格子を作成した. ソルバーには, multiphaseInterFoam (多相流解析ソルバー)を用い,計算結果を ParaView に より可視化した.

3. 結果および考察

計算結果を Fig.2 に示した. 合流前の流速は 1.1 mm/s であり,体積流量は 0.001 mL/min である. 二相による交 互流が生成している様子が確認できる. Fig.3 には, Fig.2 に対応した実験結果を示した. 定性的ではあるが,継続 して形を変形させる交互流となっているという点におい て両者は一致しているといえる. さらにセグメント内部 には渦が生じており,各種効率の向上を期待できるとい える. ただし,セグメント長の観点からいうと定量的な 一致までには至っていない.



Fig.1 Schematic of micro-channel (Patent no. 5504526)



Fig.2 Computed result by OpenFOAM. (Volume flow rate: 0.01 mL/min, Flow velocity at confluent point: 1.1 mm/s.)



Fig.3 Experimental result corresponding to Fig.2. 参考文献 (1) 草壁克己, 外輪健一郎; マイクロリアクタ 入門, 産業図書 (2008)

遷音速における OpenFOAM の圧縮性ソルバーの比較

松原大輔*(オープンCAE勉強会@関西)

Comparison of Compressible Solver at Transonic Speeds

Daisuke MATSUBARA * (Open CAE @Kansai)

Key Words : rhoCentralFoam, sonicFoam, Density-based solver, Pressure-based solver, OpenFOAM

1. はじめに

一般的に圧縮性流体の計算には密度ベースソルバー又 は圧力ベースソルバーが用いられる.密度ベースソルバ ーは高マッハ数の圧縮性流れで使うのが一般的であり高 いロバスト性から安定して計算を行うことができる. OpenFOAMではrhoCentralFoamが実装されており遷音速 から極超音速の領域まで扱うことができる.一方で,圧 力ベースソルバーは,計算スピードの面で利があるもの の,遷音速以上のマッハ数の領域で計算の安定性に問題 が生じる恐れがある.OpenFOAMでは遷音速から超音速 に適用できる sonicFoam が実装されている.本研究では 遷音速領域で sonicFoam とrhoCentralFoamの計算を行い, 計算スピードと精度の比較を行った.

2. 解析手法

計算対象は、NACA0012 翼型周りの遷音速流れとし、 迎角 2.05 deg, 主流のマッハ数 0.775, レイノルズ数 10 ×10⁶の層流とした(図 1 を参照). 熱物性値は速度がマッ ハ数と一致する条件, つまり音速が 1.0 m/s となる条件と した. sonicFoam の発散項の離散化は LimitedLinear(V) 1.0 とし, rhoCentralFoam の数値フラックスの評価は Kuraganov,物理量の再構成は vanLeer(V)を用いた. 計算 格子は二次元 O 型格子で作成されたものを使用した⁽¹⁾. 速度の境界条件は流入出境界で inletOutlet 条件, 翼表面 で noSlip 条件に, 圧力の境界条件は流入出境界及び翼表 面で勾配ゼロに, 温度の境界条件は流入出境界及び翼表 面で 1.0 K を与えた. 計算時間は 50 s とし, 微小時間幅 はクーラン数が最大 0.7 となる条件で計算した.



Fig. 1 Computational domain of the naca0012 airfoil

3. 結果と考察

t=50 sにおける圧力分布を図2に, 翼表面の圧力係数 Cp と, 計算と同条件の実験結果⁽²⁾を図3 に示す. rhoCentralFoam は sonicFoam と比べて衝撃波面をシャー プに捉えられており、実験値と近いことがわかる. 両者 の executionTime を比較したところ, rhoCentralFoam と比 べて sonicFoam の方が 20%ほど早く終了時間に達した.



4. まとめ

OpenFOAM の sonicFoam と rhoCentralFoam を用いて遷 音速における翼周りの流れを計算した. その結果, sonicFoam の方が rhoCentralFoam と比べて計算時間が 20%ほど短く, 衝撃波の波面は rhoCentralFoam の方がシ ャープに捉えられることがわかった.

- bareHull.3D H.P.: http://3d.uskudar.biz/barehull/cae-case-files/cfd/naca-001 2-2d-grid-for-openfoam.html, (accessed 2017-11-1).
- (2) Mcdevitt, J.B. and Okuno, A.F., "Static and Dynamic Pressure Measurements on a NACA 0012 Airfoil in the Ames Reynolds Number Facility", NADA TP 2485,1985.

「京」コンピュータにおける interThermalPhaseChangeFoam の 大規模計算

丸岡 直矢*(北海道大学) 砂山 良彦(スズキ株式会社) 橋場 数宏(株式会社ヴァイナス) 大島 伸行(北海道大学) 福井 淳一(株式会社ヴァイナス)

Large Scale Calculation of InterThermalPhaseChangeFoam in "K" computer

Naoya MARUOKA * (Hokkaido University) Yoshihiko SUNAYAMA (SUZUKI MOTOR CORPORATION) Kazuhiro HASHIBA (VINAS Co., Ltd.) Nobuyuki OSHIMA (Hokkaido University)

Junichi FUKUI (VINAS Co., Ltd.)

Key Words : OpenFOAM, K computer, VOF method, Phase change, Large Scale Calculation

1. はじめに

近年,オープンソース流体解析ツールボックスの一つ である OpenFOAM⁽¹⁾に含まれるソルバーの内, VOF 法を 用いた二相流解析ソルバーである interFoam に,相変化 に伴う熱輸送を考慮した interThermalPhaseChangeFoam⁽²⁾ が開発された.このソルバーは沸騰や凝縮を伴う二相流 問題への適用が期待できる.実機における問題に適用す る場合は計算格子数が1000万を超えることが予想される ため,大規模計算を行う際に必要とする計算資源と並列 化効率の調査をする必要がある.本研究では,理化学研 究所が所有する「京」コンピュータを用いて気泡凝縮問 題を対象として計算を行った.

2. 計算手法

3 次元気泡凝縮問題を計算対象として解析を行った. 計算領域の初期状態と,計算に用いた格子数と並列数の 一覧を図1に示す.



Fig. 1 Initial calculation region and calculation cases

3. 計算結果

3.1 Weak Scalability 1CPU あたりの格子数が約6万 で等しい3つの並列数におけるケースについて,64並列 (400万格子)の結果を基準値とした実行効率の変化を図2 に示す.512並列(3200万格子)における計算では64並列 におけるケースの7割以上の実行効率が得られたが, 3072並列(1億9300万格子)の計算では大きく低下した.



Fig. 2 Performance of calculation

3.2 Strong Scalability 3200 万格子モデルにおける並 列数に対する計算速度の加速率については、512 並列に おける計算では計算速度が向上するものの、その速度は 256 並列に比べ 1.3 倍程度だった.また、1024 並列にお ける計算速度は 512 並列の時よりも低下したため、3.1 節の結果も踏まえて、並列計算のスケーラビリティの点 からこのソルバーでは3000 万格子付近の規模が妥当と考 えられる.また、並列数についても 1000 以下が妥当と考 えられる.

4. おわりに

interThermalPhaseChangeFoam について、「京」コンピ ュータ上において大規模計算を行った.本解析の結果か ら、このソルバーでは 3000 万格子付近の規模の解析が妥 当であり、並列数についても 1000 以下が妥当であること が確認できた.

謝辞: 本研究は HPCI 課題(hp170150)による「京」コン ピュータを用いて行われた.

- (1) OpenFOAM : https://www.openfoam.com/
- (2) M. Nabil, A. S. Rattner., "interThermalPhaseChange Foam — A framework for two-phase flow simulations with thermally driven phase change", SoftwareX, Volume 5, 2016, Pages 216–226.

OpenFOAM スレッド並列化のための基礎検討

富岡 稔*(株式会社フィックスターズ) 伊藤 優希(株式会社フィックスターズ) 丸石 崇史(株式会社フィックスターズ) 吉藤 尚生(株式会社フィックスターズ)

Progress Report of Thread-Parallelize OpenFOAM

Minoru TOMIOKA * (Fixstars) Takafumi MARUISHI (Fixstars) Yuki ITO (Fixstars) Naoki YOSHIFUJI (Fixstars)

Key Words : OpenFOAM, Multithread, Sparse Matrix, PCG

1. はじめに

現在 OpenFOAM は MPI によるプロセス並列計算にし か対応していない.しかし,現代のプロセッサ,特にメ ニーコア CPU で効率的に計算するためには,スレッド並 列も用いることが望ましい. OpenFOAM のスレッド並列 化に関して内山ら⁽¹⁾は PCG および BiCG 法を対象にして MPI とスレッド並列を組み合わせた Hybrid 並列を実装 し,「京」コンピュータにて性能評価を行った.その結果, MPI のみの並列と同等の性能であったと報告している.

現在,著者らは Intel Xeon Phi などのメニーコアプロセッサ上での高速化を目標に, OpenFOAM のスレッド並列 化を実施している.その基礎検討として, pimpleFoam な どで使用される IduMatrix クラスの線形ソルバである PCG のスレッド並列化の可能性を検討した.本発表では その結果を報告する.

2. PCG

PCG で行われる主な処理として,前処理,内積,ベク トル和,ベクトルのスカラー倍,疎行列ベクトル積が挙 げられる.前処理を対角ベース不完全コレスキー分解 (DIC)とした際の PCG の実行時間を,オープン CAE 学会 がベンチマークとして作成したチャネル流問題⁽²⁾を用い て計測したところ,実行時間の大部分を疎行列ベクトル 積と DIC が占めていた.そのため,これらのスレッド並 列化から検討を始めることとした.どちらの演算も行列 演算であり,pimpleFoam からは IduMatrix クラスが用い られている.

3. 疎行列格納形式

lduMatrix クラスの行列格納形式を図1に示す.このように,lduMatrix クラスは行列を対角部分と上三角部分,下三角部分に分け,それぞれの非ゼロ要素を保持している.図の矢印は非ゼロ要素の格納順を示している.また,この非ゼロ要素の値に加えて,その要素に対応する行と列の情報も保持している.これは COO 形式と呼ばれる 疎行列格納形式と等価である.

この形式では要素の格納順が定まっていないため、各 要素の行番号が飛び飛びになりうる.そのため、疎行列 ベクトル積などの行列演算をスレッド並列で行う場合に、 結果を書き込む部分でアクセス競合が発生してしまう. 特に lduMatrix クラスでは下三角部分 L を列優先で格納



Fig. 1 lduMatrix

しているため大きな問題となり、この形式のままではス レッド並列化が困難である.今回は、疎行列格納形式と して一般的に用いられる CSR 形式を使用した. CSR 形 式は行列を、先頭行から順に見たときの各非ゼロ要素の 値・列を保持する配列と、その配列の各行がどの範囲で あるかを示すための配列で表す. CSR 形式ではその構造 から行単位でのアクセスが連続するため、疎行列ベクト ル積が並列化可能であり、DIC も Cuthill-McKee 法や Multicolor 法を適用することによって並列化が可能とな る.

4. まとめ

本稿では OpenFOAM のスレッド並列化に向けての基 礎検討を行った. OpenFOAM で用いられている lduMatrix クラスの行列格納形式から CSR 形式に変換することで PCG のスレッド並列化の可能性を示唆した. 今後, メニ ーコア CPU の環境でスレッド並列化した PCG の実行時 間の計測を行い, フラット MPI による並列計算と比較し てスレッド並列化の効果を確認したのち, コードを公開 する予定である. また, DIC 以外の前処理, PCG 以外の ソルバ, lduMatrix 以外の処理に関してもスレッド並列化 し, OpenFOAM 全体のスレッド並列化を実施していきた い.

- 内山学、ファム バン フック、千葉修一、井上義 昭、浅見暁、OpenFOAM による流体コードの Hybrid 並列化の評価、情報処理学会研究報告、 Vol.2015-HPC-151, No.20, pp.1-6, (2015)
- (2) OpenFOAM Benchmark Test for Channel Flow (Re_tau=110), https://github.com/opencae/OpenFOAM-BenchmarkTest/tree/master/channelReTau110, (accessed 2017-11-17)

OpenFOAMのメニーコア・GPU への対応に向けた取り組みの紹介

山岸孝輝*(高度情報科学技術研究機構)井上義昭(高度情報科学技術研究機構) 青柳哲雄(高度情報科学技術研究機構)浅見暁(高度情報科学技術研究機構)

Introduction of our approach to optimize OpenFOAM on manycore processors and GPUs

Takateru YAMAGISHI * (RIST)	Yoshiaki INOUE (RIST)
Tetsuo AOYAGI (RIST)	Akira AZAMI (RIST)

Key Words : OpenFOAM, RapidCFD, GPU, Intel KNL, CUDA, Performance evaluation, Optimization

1. はじめに

近年の科学技術計算においては、従来の CPU よりも多数の演算コアを用いたいわゆるメニーコア・GPU への対応が求められている. SimFlow 社が GPU 対応版 OpenFOAM として RapiCFD を公開しているが (1), 複数 GPU にて性能がスケールしないことが報告されている (1, 2). 我々は OpenFOAM のメニーコア・GPU への対応を進めることを目的として、RapidCFDを TSUBAME 3.0 にて性能評価した. 性能阻害箇所での Thrust ライブ ラリによる GPU 実装を CUDA による実装へと変更した上で、最適化を施すことによって単体性能並びにスケー リング性能を改善した. 並びに OpenFOAM の Intel KNL 搭載 PC クラスタでの性能評価を行った. これらに加え て OpenFOAM 5.0 の CUDA を用いた GPU 実装版開発に 向けての取り組みについても紹介する.

2. 性能計測と分析

2.1 計測環境と設定東京工業大学のTSUBAME 3.0 並びに自所有のIntel KNL (Xeon Phi 7250) 搭載 PC クラス タを用いた. RapidCFD の計測では、1 プロセスを 200 万 格子として 1GPU に割り当て、GPU 数に応じて格子数が 線形に増加する弱スケーリング設定とした.実験の仕様 は、pisoFoam ソルバを用いた一様な流体解析である.

2.2 計測結果と分析 TSUBAME 3.0 単体ノード内にお ける GPU の増加(1->4)ではコストが大幅に増加した が、各ノードの1GPUのみに実行プロセスを配置したノ ード間並列では良いスケーリング性能を示している(図 1 左).ノード内並列での性能阻害要因を調べるべく、処 理の性質に基づいてソースコードを分類した上で計測を 行った結果,総和計算を行う箇所の影響が大きいことが 示された.さらに、個々の演算カーネル・CUDA APIを 単位とした分析を NVIDIA Visual Profiler にて行った結果, 総和計算ライブラリ呼び出しの都度に発生する GPU 上 メモリの確保・解放コストが原因と判明した.

2.3 コード修正による最適化 総和計算を CUDA にて 実装することで,冗長なメモリの確保・解放を削除する と共に総和計算の最適化を行った.その結果、1GPU で の性能が向上すると共に、ノード内並列でのスケーリン グ性能が改善した(図1右).

3. OpenFOAM 5.0 の GPU 対応に向けて

現行の RapiCFD はベースとなる OpenFOAM の version が 2.3 と最新の 5.0 から約 3 年経過していることに加え, thrust ライブラリによる GPU 実装はプロファイラによる 分析や柔軟なコード改変による最適化を適用し難いこと などの問題点が挙げられる.

そこで, 我々は OpenFOAM 5.0 をベースとした GPU 実装版の開発に取り組んでいる. CUDA を用いて実装することで,これまでよりも柔軟な最適化が実施できることを期待している。



Fig. 1 Weak scaling profile from 1 GPU to 4 GPU.

4. おわりに

異なる粒度での性能分析と CUDA 実装より RapidCFD の性能を改善することができた.これは, OpenFOAM の GPU 対応への可能性を示したと言える. Intel KNL での 性能分析を進めると共に、これまでの分析結果を基に OpenFOAM 5.0 の GPU 実装を進めていく予定である. 謝辞

本発表の内容は, HPCI システム利用研究課題「流体・ 粒子の大規模連成解析を用いた竜巻中飛散物による建物 被害の検討(課題番号:hp170055),課題代表者: 菊池浩 利(清水建設(株)技術研究所)」の高度化支援に基づく ものです.

- RapidCFD GPU OpenFOAM® on GPU https://sim-flow.com/rapid-cfd-gpu/
- (2) 東京大学新スパコン Reedbush-U での OpenFOAM ベンチマークテストとオープン CAE 学会の紹介, 今野 雅, 第4回 OpenFOAM ワークショップ, 2016 年 12 月, 秋葉原 UDX

OpenFOAM における Communication Avoiding CG 法の実装と性能評価

今野 雅 (OCAEL, 東京大学情報基盤センター客員研究員)

Evaluation of Communication Avoiding Conjugate Gradient Method for OpenFOAM Masashi IMANO (OCAEL Co. Ltd., The University of Tokyo)

Key Words: Communication Avoiding, MPI, Conjugate Gradient, Benchmark, OpenFOAM, HPC

1 **はじめに**

圧力 Poisson 方程式に対するソルバーとして前処理 共役勾配法 (以下, PCG) を用いた場合, MPI のプロ セッサ数が大きくなるにつれ, CG 法自体や前処理に おける本来の計算量に比べ, MPI 通信時間が卓越する ようになる.このため、並列化性能を向上させるには、 MPI 通信時間を削減、または隠蔽することが重要である が, Communication avoiding(通信回避)の Pipelined PCG[1](以下 CACG) では、内積の集団通信に対して MPI-3 で採用された非同期集団通信 (MPI_Iallreduce) を用いることにより、集団通信を隠蔽することが可能な アリゴリズムとなっている。本報では、OpenFOAM に CACG を実装し、オープン CAE 学会 V&V 委員会が策 定した OpenFOAM ベンチマークである摩擦速度 Re_τ が110のチャネル流れを対象に、圧力 Poisson 方程式に 対する線型ソルバーとして PCG と CACG を用いた場 合の性能評価を行なったので報告する.

2 計算条件・計算結果・まとめ

表1に計算条件や検討ケースを示す.また,図1に各 検討ケースでの計算速度と,CGに対する CACG の計 算速度比を示すが,以下の知見が得られた.

- 格子 M1 の 256 プロセス以上では、C3(MVA-PICH2)のCACGがほぼ最速である.また、C2(Intel MPI 2017.3)を除けば、相対的に CG より CACG が高速である。格子 M2 でも、2048 プロ セス以上で同様の傾向であった。
- 格子 M3 は、今回検討した 4096 プロセッサまでの 範囲では、CACG による高速化はほぼ得られない。
- C2(Intel MPI 2017.3) では CACG が低速となる.

HardwareReedbush-U (The Univ. of Tokyo)SolverOpenFOAM 4.1, pimpleFoamProblemChannel flow (Re_{τ} =110, laminar)Processors per node32 (Decomposition merthod: scotch)Mesh divisionM1: 120 × 65 × 48=374,400(uniform division)M2: 240 × 130 × 96=2,995,200M3: 480 × 260 × 192=23,961,600Compiler andC1: Icc 2016.4, Intel MPI 5.1.3.258MPI libraryC2: Icc 2017.4, Intel MPI 2017.3C3: Icc 2017.4, MVAPICH2 2.2Processor columnCC: Opicinal CACC: Binglingd[1]		
SolverOpenFOAM 4.1, pimpleFoamProblemChannel flow $(Re_{\tau}=110, \text{ laminar})$ Processors per node32 (Decomposition merthod: scotch)Mesh divisionM1: 120 × 65 × 48=374,400(uniform division)M2: 240 × 130 × 96=2,995,200M3: 480 × 260 × 192=23,961,600Compiler andC1: Icc 2016.4, Intel MPI 5.1.3.258MPI libraryC2: Icc 2017.4, Intel MPI 2017.3C3: Icc 2017.4, MVAPICH2 2.2Pressure column	Hardware	Reedbush-U (The Univ. of Tokyo)
Problem Channel flow (Re_{τ} =110, laminar) Processors per node 32 (Decomposition merthod: scotch) Mesh division M1: 120 × 65 × 48=374,400 (uniform division) M2: 240 × 130 × 96=2,995,200 M3: 480 × 260 × 192=23,961,600 M3: 480 × 260 × 192=23,961,600 Compiler and C1: Icc 2016.4, Intel MPI 5.1.3.258 MPI library C2: Icc 2017.4, Intel MPI 2017.3 C3: Icc 2017.4, MVAPICH2 2.2 Processor column CC: Opicinal CACC: Binglingd[1]	Solver	OpenFOAM 4.1, pimpleFoam
$\begin{tabular}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	Problem	Channel flow ($Re_{\tau}=110$, laminar)
$ \begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	Processors per node	32 (Decomposition merthod: scotch)
$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	Mesh division	M1: $120 \times 65 \times 48 = 374,400$
$\begin{tabular}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	(uniform division)	M2: $240 \times 130 \times 96 = 2,995,200$
Compiler and C1: Icc 2016.4, Intel MPI 5.1.3.258 MPI library C2: Icc 2017.4, Intel MPI 2017.3 C3: Icc 2017.4, MVAPICH2 2.2 Pressure column CC: Opicinal CACC: Bindingd[1]		M3: $480 \times 260 \times 192 = 23,961,600$
MPI library C2: Icc 2017.4, Intel MPI 2017.3 C3: Icc 2017.4, MVAPICH2 2.2 CC: Opicinal CACC: Bindingd[1]	Compiler and	C1: Icc 2016.4, Intel MPI 5.1.3.258
C3: Icc 2017.4, MVAPICH2 2.2	MPI library	C2: Icc 2017.4, Intel MPI 2017.3
Processing column CC: Original CACC: Pipelined[1]		C3: Icc 2017.4, MVAPICH2 2.2
riessure solver U.G. Original, CAUG. ripelined[1]	Pressure solver	CG: Original, CACG: Pipelined[1]

今後はより多くのプロセッサ数で検討する予定である.

Table 1 Calculation condition	ns
-------------------------------	----

参考文献

 P. Ghysels, W. Vanroose: Hiding global synchronization latency in the preconditioned Conjugate Gradient algorihm, Parallel Computing, 40-7, pp.224-238, 2014.



Fig. 1 Calculation speed and relative speed

Amazon Web Services を利用した OpenFOAM バッチジョブの実行

白鳥 貴久*(株式会社サーバーワークス)

Execution of OpenFOAM batch jobs on Amazon Web Services

Takahisa SHIRATORI* (Serverworks Co., Ltd.)

Key Words : Public Cloud, Amazon Web Services, OpenFOAM

1. 背景

サーバの仮想化技術の進歩に伴い,情報インフラとして パブリッククラウド(以下クラウド)が利用される機会 が増えている.クラウドは,オンプレミスにはない特長 を活かしながら利用されてきた.例えば Web 画面上の操 作でサーバを短時間で構築できることから,一時的な検 証環境として利用されるケースがある.また負荷に応じ てサーバを自動で増減できることから,特定の時期にア クセスが集中する Web サーバにも適している.

近年クラウド上の仮想サーバの性能が向上しており, 流体解析などの CAE 用途でクラウドを利用するケース が出てきている.クラウド導入の判断材料として,複数 のクラウドサービスを比較するベンチマークテストの結 果も参照できる⁽¹⁾.構築期間の短さやサーバの自動増減 機能は,時期によって計算量が増減する CAE 環境におい ても有用である.

本稿では、クラウドを利用した流体解析の一例を示す ため、OpenFOAM による解析を複数条件で同時実行した. Amazon Web Services (AWS)が提供する機能である AWS Batch を使用し、同一環境の構築と検証を容易にした. 当社ブログ記事⁽³⁾に記載した手順に従うことにより、任 意の AWS アカウント上に環境を構築して検証が可能で ある.

2. 実行内容

OpenFOAMのチュートリアルの1つである pitzDailyを, 流入境界条件を少しずつ変えながら実行した.表1に従 って流入境界条件を変化させ,計 720条件の計算を実行 した.メッシュ数は 12,225,使用したソルバーは simpleFoamである.

今回使用した AWS Batch は,実行待ちジョブの量に応じて仮想サーバ(EC2)が自動的に増減するサービスである. 仮想 CPU 数の上限と下限を設定できるため,上限を200,下限を0に設定してジョブを実行した.

Table1 Boundary conditions for the inco	ming flow	
---	-----------	--

	Min [m/s]	Max [m/s]	Increment [m/s]	
u_x	1	20	1	
u_y	0	10	2	
u_z	0	10	2	

3. 実行結果

3.1 計算の出力 得られた計算結果について,速度の絶対値の空間分布をparaFoamで可視化したものを図1に示す.計算した720条件のうち,主要な9条件のみを示している.それぞれの条件において,予想通り異なる計算結果が得られており,流入境界条件をパラメータとして

引渡すことができている. 例えば,流入時の uxを大きく 設定した条件では,速度の絶対値が全体的に大きくなっ ている. uyの uxに対する比が大きい条件においては,流 れが上側壁面に偏って卓越している.

3.2 **利用料金** 表 2 に 1 時間当たりの AWS 利用料の試 算を示す.3 種類のスペックの仮想サーバが計 7 台,自 動起動した.仮想サーバを割安な時価で利用できる Spot instance を使用したため,通常の価格 (On-Demand instance)よりもコストを抑制できている.計算は 15 分

(0.25 時間) 程度で完了したため、今回のジョブ実行に かかった費用は\$1 未満と見積もられる.



Fig. 1 Distribution of velocity magnitude

Table2 Estimation of hourly cost to execute the batch job					
Instance type	# of inst.	Spot bid price	Cost		
(# of vCPU)		[\$/h/inst.]	[\$/h]		
c4.8xlarge (36)	5	0.636	3.182		
c4.4xlarge (16)	1	0.318	0.318		
c4.xlarge (4)	1	0.080	0.080		
Total	7		3.58		

4. 結論

AWS上で,最大200CPUまでスケールする環境を利用し, \$1程度で720条件の計算を実行できた.計算環境を短期 間で調達したい場合や,一時的に増設したい場合にパブ リッククラウドは有効な選択肢となる.

- スーパーコンピューターとクラウドでの OpenFOAM 性能・費用ベンチマークテスト, 今野 雅, 住友 正紀(2016).
 https://www.slideshare.net/masanorisumitomo9/openfoa m-61300606, (accessed 2017-11-17).
- (2) AWS Batch にいろんな条件の OpenFOAM のジョブ を投入する,白鳥 貴久 (2017).
 http://blog.serverworks.co.jp/tech/2017/10/23/aws-batchopenfoam/, (accessed 2017-11-17).

オープンソースを用いた大規模並列計算における前処理の比較

鄭	宏杰*	(東洋大学)
河合	浩志	(東洋大学)

塩谷 隆二 (東洋大学)

Comparison of Preconditioners in Large Scale Parallel Computation Using Open Source

Hongjie ZHENG * (Toyo University) Hiroshi KAWAI (Toyo University) Ryuji SHIOYA (Toyo University)

Key Words : Parallel, Large Scale, Preconditioning, Geometric Multigrid Method, Iterative Solver.

1. はじめに

近年,エクサスケール・スーパーコンピュータの開 発が進められている中で,その性能を最大限に引き出す ために,ソフトウェアは数百万から数千万個のプロセッ サコアに対し,いかに大規模な解析を高速に行うことが 可能かが重要な課題となっている.

大規模な並列計算においては、反復法ソルバの利用 が有効である.しかしながら、大規模問題は悪条件問題 となりやすく、反復法による求解が困難となる.したが って、安定かつ高速な収束性を持つ前処理法の開発が重 要となる.そこで、本論文では2つオープンソースソフ トウェア(UG4 フレームワーク⁽¹⁾と ADVENTURE シス テム⁽²⁾)を用いて、同一モデルに対するソルバおよび前 処理の性能を比較する.

2. 解析例

2.1 メッシュのリファインと領域分割

性能比較のため、PC クラスタ 64 台を利用し、熱伝 導解析を行った. Base mesh の一次要素数は 20,320, 節 点数は 5,738 である. Base mesh を 3 回リファイン(再分 割)し、UG4 と ADVENTURE_Thermal を用いて解析を 行った. 3 回リファインされたメッシュの要素数は 10,403,840, 節 点 数 は 1,893,428 と なった. ADVENTURE_Thermal の領域分割は、パート数 64、各パ ートの部分領域数 16 とした.

2.2 解析ソルバ及び前処理性能の比較

UG4の計算には、BiCGStab ソルバに、前処理はJacobi, ILU 及び GMG (Geometric Multigrid Method)^(3, 4)を用い た. ADVENTURE_Thermal においては、HDDM、BDD-diag 及び BDD ソルバ⁽⁵⁾を用いた. UG4 と ADVENTURE_Thermal 各ソルバの収束履歴をFig. 1 に示 す(系列名は上から下まで反復回数が少ない順で並べて いる).他のソルバと比べて GMG ソルバは非常に少ない 反復回数で収束した.解析する際に、GMG ソルバは有 効な限り粗いメッシュを用いた方が収束が速くなる. 一 方構造が複雑で最初から粗いメッシュの作成が困難であ る場合は、ADVENTURE システムのソルバが、詳細なモ デルを丸ごと計算するには有効であることが分かった.

3. おわりに

本論文では、2 つのオープンソースソフトウェア UG4フレームワークと ADVENTURE システムを用いて、 反復ソルバ及び前処理の性能を比較した.今後の課題と しては、さらに大規模自由度問題を解く際に、両者のソ ルバの挙動を分析し、解く問題によって効率よく計算で きるソルバを提案する予定である.



Fig. 1 Residual history of UG4 and AEVENTURE_Thermal.

謝辞

本研究は科学技術振興機構 JST CREST とドイツ研 究振興協会 DFG の助成を受け行なわれた. プロジェク ト名称は「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」である.

- (1) UG4 framework, http://gcsc.uni-frankfurt.de/simulation-and-modelling/ug4.
- ADVENTURE プロジェクトホームページ: http://adventure.sys.t.u-tokyo.ac.jp/
- (3) Reiter, S., Vogel, A., Heppner, I., Rupp, M., and Wittum, G A massively parallel geometric multigrid solver on hierarchically distributed grids. Computing and visualization in science 16, 4 (2013), 151-164.
- (4) Vogel, A., Reiter, S., Rupp, M., Nagel, A., and Wittum, G. UG4 -- a novel flexible software system for simulating pde based models on high performance computers. Computing and visualization in science 16, 4 (2013), 165-179.
- (5) Mukaddes, A. M. M., Ogino, M., Kanayama, H., and Shioya, R., A Scalable Balancing Domain Decomposition Based Preconditioner for Large Scale Heat Transfer Problems, JSME International Journal Series B, Vol.49, No.2, pp.533-540, 2006.

自動チューニング言語 pp0pen-AT の機能とオープン CAE への展開

片桐 孝洋 * (名古屋大学)

Functions of Auto-tuning Language ppOpen-AT and Expansion to Open CAE

Takahiro Katagiri * (Nagoya University)

Key Words : Auto-tuning, Code Generation, Loop Transformation, ppOpen-AT, Code Optimization

1. 自動チューニング言語 ppOpen-AT

近年の計算機ハードウェアの進化や多様化を考慮すると、ソ フトウェアを全面的に書き換える必要がある.しかし、数値シ ミュレーション分野においては、オープンソースソフトウェアを 含め従来の資産が蓄積しており、従来コードが簡単に変更 できない.すなわち、過去の資産(レガシーコード)を再利用 し、将来の計算機環境でも高性能を実現するソフトウェアフ レームワークを模索することが現実的である.

以上の鍵となる技術の1つとして,計算機ハードウェアの 性能に合わせてソフトウェアを自動的に高速化するパラダイ ムである,自動チューニング(Auto-Tuning, AT)機能の研究 がなされている.この AT 研究の中で,任意のソースコードに AT 機能を自動的に付加する AT 言語の 1 つとして, ppOpen-AT の研究⁽¹⁾が著者らにより行われている.

2. ppOpen-AT の機能と性能

2.1 ループ変換機能 ppOpen-AT では,以下に示すループ変換による AT 機能を実装している.

- ループアンローリング (unrolling 節) 機能
- 変数調整(variable 節)機能
- 実装選択 (コード選択) (selection 節) 機能
- レジスタ最適化のためのループ分割 (Loop Split), および式の並び替え機能
- スレッド最適化のためのループ長を長くする変換 であるループ融合(Loop Collapse)機能

2.2 階層型 AT 処理 階層型 AT 処理とは、ある箇所に AT が記述されている時、その箇所から呼び出す手続き内 にも AT が記述されている処理をいう.例えば、あるル ープに AT が記述されている時、そのループ内からコー ルされる手続き内にも AT が記述されているような処理 である.ppOpen-AT では、階層型 AT 処理も可能である.

2.3 コード選択処理 select 節を利用することで, コード選択処理を簡単に記述することができる.

2.4 適用事例 東京大学古村教授が開発した地震波解 析コード (Seism_3D) を数値ミドルウェア ppOpen-HPC に整備した ppOpen-APPL/FDM を利用し, ppOpen-AT の 諸機能,特に,ループ分割,ループ融合,およびコード 選択機能を,これまで実装してきた.ppOpen-APPL/FDM は,有限差分法 (FDM) に基づく3 次元シミュレーショ ンのコードである.

ppOpen-APPL/FDM で従来用いてきたのは「ベクトル 計算機向きコード」である.我々は,このコードを基に した AT 実装を開発してきた.近年,複数のスカラ計算 機向きコードを開発した.そのため,対象の計算機環境 に応じて,適するコード選択を行う AT が必要となる. この理由から,ppOpen-AT のコード選択機能を用いて AT 機能を実装した.

2.5 性能実例 名古屋大学情報基盤センター設置の Fujitsu PRIMEHPC FX100 (以降, FX100) を利用し性能 評価を行った.以下に FX100 のスペックを以下に簡単に まとめる: CPU: SPARC64 XIfx (2.2GHz) 32 コア (+2 ア シスタントコア),記憶容量: 32 GB,理論ピーク性能(ノ ード):1.1264 TFLOPS(倍精度),2.2528 TFLOPS(単精度), 2 ソケット (16 コア/ソケット)の NUMA 構成.

図1に, ppOpen-APPL/FDM の主カーネル(update_stress) に対する AT による速度向上を示す.図1から,FX100 では,コード選択による AT (Full AT) が効果的であり, 1.64 倍から 2.03 倍の速度向上を得る.



Fig. 1 Speedup factors by ppOpen-AT in the FX100. PXTY means execution type with X MPI processes and Y threads.

3. オープン CAE への展開

オープン CAE コードの中には FDM コードがあり, 2.4 節の例と同様にATによる高速化が可能と考える.また, OpenFOAM では,主計算が疎行列ベクトル積(SpMV) の時間となるケースが多く, ppOpen-AT によるループア ンローリング機能や,コード選択機能による疎行列デー タ構造の選択の AT が有効になると予想されるため, ppOpen-AT の適用評価が期待される.

謝辞 本研究の一部は、科学技術研究費補助金、基盤研 究(B)、「複合的・階層的な自動チューニングを実現する数理 基盤手法の研究とライブラリの開発」(課題番号:15H02708)、 および、科学技術研究費補助金、基盤研究(B)、「通信回 避・削減アルゴリズムのための自動チューニング技術の新展 開」(課題番号:16H02823)の支援による.

参考文献

 T. Katagiri, S. Ohshima, M. Matsumoto Auto-tuning on NUMA and Many-core Environments with an FDM code Proc. of IEEE IPDPSW2017, 1399-1407 (2017).

オープンソースベースソルバ「iconCFD」の設計者 CAE 適用事例

萩原慎一*(トヨタ紡織株式会社)

Application of iconCFD based on open source solver to designer-conducted CAE

Shinichi HAGIWARA * (Toyota Boshoku Corporation)

Key Words : open source, iconCFD, designer-conducted CAE, pressure loss, Paraview

1. はじめに

近年 CAE(Computer Aided Engineering)は設計検討で欠 かせないツールとなっている.しかし単に CAE を実施し ただけでは大きな効果は期待できず各設計現場に合った 使い方が重要である. CAE が身近になった今だからこそ 更なる有効活用が求められている.

弊社では形状検討と CAE による性能予測を設計者が 一貫して行う方式を推進してきた.本報では設計者 CAE に対する弊社の取り組みを述べた後,新たな取り組みと してオープンソースをベースとした iconCFD を設計者向 け流体解析に適用した事例を紹介する.

2. 設計者 CAE の推進

2.1 設計者 CAE の狙い 従来 CAE は専門的な知識を有 した専任者が実施する事が一般的であった.しかし設計 者自らが CAE を実施し,直接結果を確認し即座に形状へ 反映できれば更なる図面完成度向上と開発期間短縮が期 待できると考えられる.

2.2 設計者 CAE の範囲 製品開発に適用される全ての CAE を設計者が実施する事は難しい. そこで設計者が行う 範囲は標準化された計算に限っている.弊社の場合,最も 頻度が高くて容易な単相流の定常流れ解析のみを設計者が 行う事としている.この様に設計者が行う範囲を明確にす る事は設計者 CAE を推進する上で重要な事である.

3. 商用ソルバの問題点

3.1 自動化による背反 設計者 CAE を推進する上で設定に多くの時間を掛ける事は本質ではなく,過去に商用 ソルバを自動化し使い易い環境を構築した例がある.自動化しただけでなく日々のサポート等も行う事で性能予 測ツールとして広く浸透をした.そんな中,ベンダーの 意向で強制的なバージョンアップを強いられ,自動化シ ステムが使えなくなった経緯がある.ベンダー主導の商 用ソフトウェアの欠点が露呈した結果である.

3.2 ニーズの変化 設計者 CAE 導入当初は特定の部署 での利用に留まっていたが他部署や海外拠点からの利用 ニーズが挙がり始めた.しかしニーズが増える毎に高額 なライセンスを購入する事は決して得策とは言えず、商 用ソルバの利用に疑問が生じ始めた.

3.3 オープンソースへの着眼 OpenFOAM に代表され るオープンソースは全て自己完結で行う必要があり企業 で活用される例は多くなかった.そんな中ソフトウェア ベンダーがオープンソースの技術サポートを有償で開始 する動きが見られた.またサポートするだけでなく改変 し販売するベンダーも現れた.こういった動きの中で企 業でも気軽に使える可能性が見えてきた.そこで商用ソ ルバからオープンソースへ置き換える検討を開始した.

4. 流体解析のオープンソース化

4.1 導入のモチベーション オープンソース導入のモ チベーションとして2点挙げられる.まず1点目はユー ザー主体で運用ができる事によるリスク回避,2点目は ユーザーが増える毎にライセンスを購入する従来のライ センスビジネスからの脱却である.

4.2 iconCFD のベンチマーク 弊社では(株) IDAJ 社 が OpenFOAM を改変して販売する iconCFD に着目し調 査を行なった. 図1に自動車吸気系部品の圧力損失を商 用ソルバ A 及び B と比較した結果を示す.



Fig1. Comparison result of the value of pressure loss

iconCFD の計算結果は従来の商用ソルバとほぼ同等の 結果を示しており,利用可能と判断し導入する事とした.

5. 設計者向け環境の構築

4.1 設計者が利用する上での課題 iconCFD を設計者 が利用する上での問題点は2つある.1つ目はCADのネ イティブファイルが読み込めず従来行なっていた境界の 自動判定ができない事,2つ目はオープンソース独自の 複雑な構成の計算用ファイルをいかに作成するかである. 4.2 課題の解決方法 前項で挙げた課題の解決手段と して境界面の認識は境界面毎の stl ファイルを出力し、フ ァイル名から判定させる事とした.また計算用ファイル の作成については専用の GUI を作成し,入力した情報を 基にファイルを自動作成するシステムを構築した.結果 処理にはフリーソフトの Paraview を用いる事とした.

6. まとめ

従来商用ソルバで行なっていた設計者向け流体解析を iconCFD へ置き換え 2014 年 4 月より運用を開始した. オ ープンソースは適用範囲を絞り,システム化等で使い易 さを改善する事で企業でも十分に利用可能である.

オープンソース構造/流体解析シミュレーション社内活用 実践的活用と効率的な習得を目指したエ夫

小南秀彰*(富士フイルムエンジニアリング株式会社)

Utilization of open-source CAE/CFD within the company Invent with the aim of practical utilization and efficient learning

Hideaki KOMINAMI * (FUJIFILM Engineering Co., Ltd.)

Key Words : OpenCAE, Salome-Meca, OpenFOAM, Corporate training

1.DEXCS(Salome-Meca/OpenFOAM)導入の経緯

1.1 企業内講習会について これまで当社は富士フ イルム(株)の製品に特有な製造設備の設計を行っている. 報告者は主に CFD と CAE の商用ソフトを用いた化学プ ラント装置内の工程現象と装置の強度の解析を,社内か らの依頼により行ってきた.

今後は、比較的に簡単な解析を設計者と開発者が自ら 行えるようにして、設計と開発部門との打ち合わせや報 告のための時間を減らしてリードタイムの短縮化を図り、 かつ設計と開発のレベルを更に向上できるように、当社 と富士フイルムグループ内への普及展開を目指している.

効率的にグループ内への展開をするには,講習会を受 講する者を出来るだけ多くしてソフトを操作できる環境 を整備することが重要だが,高額な商用ソフトに追加投 資することを回避したかった.その課題に対してオープ ン CAE は有効な解決法だと考えられた.

Salome-Meca は、講習会の用途に留まらずに実務にも 活用でき、また設計者自らが行う簡単な解析内容だけで なく更に高度な解析機能を持っている点でも望ましいと 考えた. OpenFoam については DEXCS ランチャーが組み込 まれた環境で熱流体に限れば設計者でも活用できると判 断して、講習会の準備中である.

既に開催中の CAE 講習会の風景を図1に示す. PC 研修 室を使って一人一台の実習環境を用意している. CFD 講 習会については開催準備中である.

1.2 使用者への支援体制について オープン CAE は 商用ソフトと比べると、取扱説明書等が不十分なため新 たに習得しようとする人への支援体制が著しく劣ってい る.この問題に対して、報告者自身がサポートセンター になることによって解決を図った.富士フイルムグルー プ内への普及を目指すことにより、初期の準備作業とそ の後の継続的な支援にかかる作業負荷に対して費用対効 果を高めた.

1.3 多彩な対象者 これまで CAE や CFD を使ってい なかった者が対象で FEM/FVM も知らず,出身学科が機械 工学に限らず,物理工学,化学工学,金属工学など多彩 である.連続体力学,材料力学,流体工学を体系的に学 ぶ機会が無かった者もいるし,エンジニアリング部門を 除く開発部門では,ある装置もしくは工程という単位で 担当者となるため,これまで経験がなかった部品強度の 計算手法を学びたいというような切実な動機で参加して いる者もいる.

2. 講習会内容の工夫

2.1 講習会の体系 段階的に理解が進むように, a.基本操作の説明会 b.自習用の練習問題による一連の解析 作業の練習と要素の種類と疎密による結果への影響の体験 c.解析理論の講習会とモデル化を行う演習 d.実地 課題の OJT, という順序とした.

2.2 最小限の背景理論 CAE/CFD ソフトを適切に使 うには、FEM/FVD などの背景理論の知識が必要だと言わ れている. 商用ソフトのベンダーが主催するセミナーや 市販書籍では数値解析理論の定式化過程を詳しく解説し ているのが常のように思われる. しかし, そのような理 論を詳しく習得することを受講者に課すと, 学習のため の負荷が高く心理的な抵抗も生じると思われた. 実践的 な活用の場面では知らなくても良いとあえて割り切って, 数式をできるだけ使わずに図などの説明で済むように工 夫した.

2.3 実践的教育のための工夫 前述の 2.1.c.では, 企 業内での講習会という利点と,報告者自身もかつて設計 者や開発者として様々な社内設備に携わってきた経験か ら,受講者が抱えている課題についてモデル化の演習が 出来ている.このことが受講者の動機付けに有利に働い ていると考えている.図2に示す"たわみを測定する簡 易実験装置"で、座学とCAE操作と実現象との関連を体 験するのを意図している.前述の2.1.d.までを講習会の範 囲とし、CAEを実践活用できることを教育目的としてい るため受講生の職場からの理解と賛同が得られている.



図1CAE 講習会風景

3. CFD 講習会の開催準備 CAE 講習会と同様の体系 (2.1)を予定しており,現在 は自習用の練習問題の作成 中である。図3に例題の一 例を示す。



図2 たわみの実習装置

図3室内空調解析

パブリッククラウド/コンテナを用いた数値流体解析と 技術情報発信の重要性

~Microsoft Azure Batch Shipyard を用いた OpenFOAM 解析例~

阿佐 志保*(TIS 株式会社)

Computational fluid dynamics using Public Cloud/Container and importance of spread technical information
Analysis example using Microsoft Azure Batch Shipyard -Shiho Asa * (TIS Inc.)

Key Words : Microsoft Azure , Docker, Amazon Web Services, OpenFOAM

1. はじめに

昨今,深層学習分野では豊富なコンピューティングリ ソースをもつパブリッククラウドやコンテナ技術⁽¹⁾を用 いて大量データもとに学習し,実ビジネスへの適用を行 う事例が増えている. CFD 分野においてはワークステー ションからスパコンまでさまざまな基盤で解析が行われ ているが⁽²⁾特にオープン CAE では導入の敷居の低さや 拡張性の観点からクラウドを使った解析が有効であると 考えられる.本発表ではクラウド各社の HPC への取り組 みの概要と,その代表である Microsoft Azure を使った OpenFOAM の解析基盤を紹介する.

2. パブリッククラウドの HPC への取り組み

2.1 Amazon Web Services AWS では科学技術計算 向けサービスである「AWS Batch」を提供している.こ れは大規模スケール可能な並列分散処理基盤で,コンテ ナ実行基盤である ECS が内部で利用されているのが特 徴である. AWS Batch はジョブの要件に応じて AWS の コンピューティングリソースを動的に制御可能で,クラ スタ構成情報はすべて定義ベースで管理する.また AWS はコミュニティ活動が活発であり「JAWS-UG HPC 専門 支部」などを通して研究者/解析技術者/IT エンジニア が垣根を超えて技術情報共有を行っているのも特筆すべ きポイントである.

2.2 Microsoft Azure 「Big Compute」というラインナ ップで HPC 向けのサービスやソリューションが多数提 供されており、並列分散処理基盤「Azure Batch」がその 代表である.また商用 CAE ソルバーを提供する企業との パートナー戦略も進めているため、同社がこれまで製造 業分野で培ってきたノウハウがサービスやソリューショ ンに生かされていると考えられる.

2.3 Google Cloud Platform Google は他社とは異な り深層学習に特化したマネージドサービスに注力してい るのが特徴である. ゲノム解析のためのサービスも提供 しており,高い技術力と資本力を持つ同社の今後の HPC に対する動向に注目したい.

3. Azure Batch Shipyard を使った OpenFOAM による CDF 解析の例

Azure Batch Shipyard (以降 Shipyard) は, Azure Batch を使いコンテナベースのバッチ処理と HPC ワークロー

ドのプロビジョニングを実行するためのツールである. Shipyard は, OpenFOAM が動作する Docker コンテナを もとに, 次に Azure の仮想マシンインスタンスからなる クラスタ内の計算ノード群でコンテナアプリをジョブノ タスクとして実行する(Fig.1). このクラスタ構成は定義 ファイルで指定でき, HPC 向けインスタンスである NVIDIA 社の GPU を搭載した N シリーズだけでなく Lo Priority VM と呼ばれる低価格仮想マシンインスタンス が利用可能である. クラウド HPC の最大の利点であるオ ートスケールが可能で、オンデマンドでリソースを拡張 および制御できる. なお CAE ソルバーは Docker コンテ ナ内に隔離するため可搬性が高く、バージョン管理など 環境構築負荷も低減できる. 解析結果は Azure が提供す る各種ストレージサービスで管理するため、高い可用性 を維持して安価に大量データを長期間保管可能である. また MPI や InfiniBand もサポートされている. Azure Batch はテンプレートやドキュメントも整備されている ため新規導入にかかる負荷も少ない.



Fig. 1 Analysis example using Azure Batch Shipyard

4. おわりに

極めて早いスピードで技術革新が進むクラウド HPC は、導入の敷居の低さと拡張性の観点からオープン CAE の実行基盤としての親和性が高い. コンテナなどの要素 技術や各サービスの利用例、クラウドネイティブな HPC アーキテクチャ、OpenFOAM でのベンチマークなどに関 する技術情報の発信は CFD のみならずオープン CAE 分 野全体でのクラウド HPC 普及の鍵となるであろう.

- Joshua Cook,Docker for Data Science:Building Scalable and Extensible Data Infrastructure Around the Jupyter Notebook Server(2017)
- (2) 今野 雅, OpenFOAM 入門(2017)

LED 用溶液成長開発における機械系 CAE 活用の問題点と Office 適用例

諏澤寬源*(一般社団法人日本機械学会会員)

Problems in utilizing mechanical CAE for developing solution growth processes used for LED and an example of appling Office

Hiromoto SUSAWA *(a member of The Japan Society of Mechanical Engineers)

Key Words : Continuum mechanics, Applied physics, Spreadsheet, Error, Gradient

1. 緒言

Light-emitting diode (LED)の開発は、応用物理(応物)分野 で行われてきたが、革新的発明には機械系 CAE が必要であ る.反射層付 LED (DBR-LED)を創始したときに、溶液成長 は性能向上に有効な方法であることを確認した.本研究では、 従来の方法で分類された分野を横断するので、問題が発生 する.機械系学会は溶液成長を知らない.日本機械学会で、 それを説明した(1)が、オープン CAE 学会でも同様と思われる.

数値シミュレーションでは,発生する誤差の把握が難しい. 計算処理の検証にOfficeを使用した例を紹介する.

2. 溶液成長に関連する用語と課題

溶液成長とは,溶液から固体が成長する現象である.「成長」 とは固体が大きくなることである.例えば,食塩水の水を蒸発 させると塩ができる現象である.現在,LEDを製造する主流 の方法は気相成長なため,応物専門家でも溶液成長を知ら ない場合がある.溶液成長と気相成長は補完関係にある.

誤解をまねく表現として、「bulk 成長」がある.これは,bulk から成長するのではなく,bulk が大きくなる現象である.固溶 体の bulk 成長は,30 年以上研究されているが,LED 用は,未 だ実用的な方法がない.装置を白紙から見直す価値がある.

溶液成長には化学反応を伴う場合があるが,本研究では, 特に,LED本体の製造を考えているので,化学反応がなく,成 長界面がほぼ平衡の場合を扱う.

3. 機械工学的アプローチ

3.1 必要性 原装置は cm 以上の大きさである.装置全体 を見渡し,原料が供給されて成長する現象は,マクロに扱う必 要がある.しかし,応用物理分野はナノテクノロジーに特化し てしまった.連続体力学を習得していない場合が多い.LED を製造するための科学を取捨選択して修得するのが理想で あるが,現状は,そうはなっていない.工学の中で,連続体力学 の体系を修得している分野は,それほど多くない.機械工学 は革新的装置を発明する可能のある分野と考えられる.

3.2 条件設定に関する問題 機械工学の体系を活用する が,要求される条件は,最終製品に由来する.LEDの場合,お お元は固体の電磁現象に由来し,LED 製造に見合った条件 設定が必要になる.

例えば,直方体装置内に置かれた基板上に成長する固溶 体の組成を求める場合,渦の微細構造を解明することよりも, ある方針の元で,溶質の拡散を正確に解くことが重要である.

4. オープンソース活用例: 勾配の検証

厚膜の固溶体は LED 性能を向上させる.この製造には溶液 成長が適する.これを記述する拡散律速モデルは,成長速度 が成長界面における溶質モル分率の勾配に比例する.この 勾配を正確に求めることが重要になる.化学工学では物質収 支が重要視されるが,勾配を正確に求めることとは直接関係 がない.必要条件でもなければ十分条件でもない.実験と比 較するのは,モデルの検証であり,計算処理の検証ではない. 計算処理の検証方法は独自に考案しなければならない.

成長の driving force が初期過飽和のみで,溶液内の物質 移動が拡散のみの条件は,最も基本的である.溶液が半無限 領域に広がっている理想的な場合は,解析的に,機械系専門 家にとって簡単に表現できる.見通しが良くなり,系統的研究 の基礎になる.この理想的な条件をベースにする.

実際の装置や数値 simulation モデルは有限である.この 場合の上記勾配には解析解があるが,無限級数であり,活用 方法は確立していない.一方,新型コンピュータにはソフトウ ェアが十分実装されない場合がある.長いプログラムはバグ の原因になる.検証には,パソコンで普及しているオープンソ ースを使用したい.Office は普及しているので,Linux に付属 している表計算ソフトで検証する.数学を駆使するが,そのソ フトに付属する数個の関数で表現できる.有限な場合と理想 的な場合で,勾配の差は下記グラフの値より下である.





5. 結言

溶液成長は LED の性能向上に有効である.製造方法の 革新に機械系 CAE を活用すべきである.計算処理の検証に は,独自の方法が必要であり,Office を適用した例を紹介した.

参考文献

 (1) 諏澤寛源, Light Emitting Diodeを作成する溶液成長と 機械工学 OS22-1 015,29 回計算力学講演会 (2016).

Peridigm を有効活用するための統合支援ツール FRAXST の開発

藤田耕平*(岐阜工業高等専門学校)

柴田良一(岐阜工業高等専門学校)

Development of an integrated support tool FRAXST to make effective use of Peridigm

Kohei FUJITA* (National Institute of Technology, Gifu)

Ryoichi SHIBATA (National Institute of Technology, Gifu)

Key Words : Peridynamics, Fracture Analysis, Initial imperfection)

1. 序論

構造物における構造解析は主に有限要素法が用いられ ている.しかし有限要素法では分割された要素を元に計 算をするため要素が分離する解析は離散化が激しく計算 の収束が難しいという欠点がある.そこで要素を用いず に構造解析が可能な粒子モデルによる解析が注目されて いる.本稿ではその中でも Peridynamics を元としたソフ トウェア Peridigm を用いる.Peridynamics では影響半径 と呼ばれる有限の距離内で相互作用をもたらす粒子の運 動によって,連続体を表現するため大変形や破壊現象を 扱うことに長けている.

しかし, Peridigm の解析モデルを作成するためには有 償ソフトウェアである Cubit を用いる必要があり普及に 問題があった. FRAXST ではオープンソース 3DCAD か ら出力したモデルデータを Python とオープンソースソ フトウェアライブラリのパッケージである Trilinos を組 み合わせることにより, Cubit と同等の作業をオープンソ ースソフトウェアで行うことができる.また Peridigm に 必要な解析条件を制御するファイルも作成し,計算の実 行までを GUI 操作で行える.本稿では FRAXST の基本 的な機能の他に, WindowsOS への機能移植,海外需要へ の対応策である FRAXST の多言語化について報告する.

2. FRAXST の機能

FRAXST では、Python とその拡張モジュールである Cythonを用いてPeridigmで扱えるモデルデータや制御フ ァイルを作成することで効率良く解析を行う.FRAXST の機能は大きく2種類あり、unvファイルをPeridigmで 扱えるモデルデータに変換する事とモデルデータに対す る物性値や境界条件の設定する事が挙げられる.

2-1. モデル変換 Salome により要素分割をした作成し たモデルから出力された unv ファイルのデータを自動的 にジェネシスファイルに変換するために Python を用い る. モデルの要素数が多いと大量の反復処理が必要とな り Python の処理速度では変換の高速化は難しい. そのた め処理速度が速い C 言語による Python の拡張モジュー ルである Cython を組み込むことで Python ベースのソー スコードを高速で処理することができる. Cython では Python でありながら C 言語の様に変数に対してデータ型 の宣言をすることができるためループの高速化が可能で ある. FRAXST においては特に高負荷な立体要素の出力 を Cython で行っているループの反復回数を整数でデー タ型の宣言をすることでループ処理が C 言語レベルに最 適化される.

3. FRAXST の展開

3-1. WindowsOS への対応 Peridigm は本来 Linux ベース で計算を行うため, FRAXST も同じく WindowsOS での 使用はできなかった. しかし, Windows10 から導入され た新機能であり, Windows 上で Bash シェルを動かすこ とができる新機能である Windows Subsystem for Linux と 連携させることで WindowsOS ベースでありながら FRAXST を用いた Peridigm の計算を行うことができる. 従来の方法では仮想マシンを作成し, その中に計算環境 を構築する必要があるため本来のマシンの性能を最大限 発揮することができなかったが, Windows ネイティブで 計算可能となったため, マシンが持つ性能を無駄なく計 算に用いることが可能となった.

3-2. 多言語化 Peridynamics の活用が盛んに行われている海外需要への高まりから, FRAXST の GUI 上で日本語と英語を切り替える機能を追加した.

4. FRAXST の有効性

FRAXSTの有効性を確認するために平板への衝突解析 を行った.材料はアルミニウムとし、衝突物をZ方向へ -50m/sの初速度を与えて平板に衝突させる.解析を行う と、図1のように対角線上に亀裂が入り平板が破断して いる様子が確認できる.



5. 結言

FRAXSTを開発することによりPeridigmによる破壊解 析に必要なデータを効率よく作成することが可能となっ た.また,WindowsOSへの対応や多言語化により,今後 のPeridigm 及び FRAXST 普及への足がかりを作成する ことができた.

TreeFoam 上から名大スパコン、FOCUS に接続し、OpenFOAM で計算 GUI 上でスパコンに接続し、GUI 上で操作して計算

藤井 成樹*(岐阜工業高等専門学校)

Connecting to Nagoya university's Supercomputer and FOCUS using TreeFoam, calculating by OpenFOAM Connecting to Supercomputer on GUI, operating and calculating on GUI

Shigeki FUJII * (Gifu College)

Key Words : TreeFoam, supercomputer, FOCUS, OpenFOAM

1. はじめに

TreeFoam は、OpenFOAM の操作性向上を目的とし て、OpenFOAMの各種設定をGUI上で可能にしたもの。 11/4 月より open source として TreeFoam を作成開始し、 約 6 年間バージョンアップを繰り返し、最新版ではイン ターネットを通じて外部のサーバに接続できる状態にな っている。特に名大スパコン、FOCUS については、接 続だけでなく、計算させる Job 管理用の GUI も備えて おり、容易に Job 投入、Job 停止、Job 実行状況確認等 が容易に行える状態になっている。

2. サーバへの接続方法

インターネットを通じて外部のサーバへの接続する方 法は、基本的に SSH で秘密鍵を使って接続する方法を とっている。(秘密鍵を使わず、直接 SSH で接続する方 法も可能である。)

2.1 サーバへの接続 以下の3項目の設定が必要。

2.1.1 設定ファイルの作成 接続の為に、ssh 設定ファ イルと TreeFoam 設定ファイルの作成が必要になる。ssh 設定ファイルは、ssh 接続為の設定ファイルになる。 TreeFoam 設定ファイルでは、ssh 設定ファイルで定義 した Host 名を引用し、その他必要な項目(サーバマウ ントの為の項目と login 時の環境設定内容)を定義する。 ここで定義している Host 名がサーバマウントする時の 名前になる。

2.1.2 login 時の環境設定 前項で定義している環境設 定内容 (setEnviron) が有効に働く様に設定する。まず、 サーバ側の[~]/.bash_profileの最終行に「.setEnviron」 を追加しておき、login 時に setEnviron が実行される様 に設定する。setEnvironの内容は、TreeFoam 側で作ら れ、login に先立ちサーバ側に転送され、login し、環境 設定を行う。この環境設定の内容は、login した時に使 用する OpenFOAM の環境設定と TreeFoam 側で指定し

た directory に移動する設定にしてある。 2.1.3 TreeFoamServer の設定 通信でサーバに接続 する為、タイムロスが生じるが、このタイムロスを極力 少なくする為に、サーバ側で処理してその結果のみ受け 取る形式をとっている。サーバ側で処理させる為にオリ ジナルのコマンド群を準備しており、このコマンド群が TreeFoamServer になる。TreeFoam 内に同梱している **TreeFoamServer** をフォルダ毎サーバ側の**\$HOME** 直下に コピーする事で設定できる。

この TreeFoamServer 内のコマンド群は全て python スクリプトの為、サーバ側に python がインストールさ れている必要がある。(名大スパコン、FOCUS 共 python はインストールされている。)

3. サーバを local にマウント

local 側にマウントする為の空フォルダを作成し、この 場所にサーバをマウントする。サーバのマウントは、 TreeFoam 設定ファイルで定義した Host 名を GUI 上か ら選択するのみでサーバがマウントできる。

サーバマウント後は、TreeFoam 上から空フォルダだ ったフォルダ内にサーバ側のフォルダが確認できる状態 になり、サーバと意識する事なく操作できる。

4. サーバに Job 投入

名大スパコン(CX400、FX100)とFOCUSについて は、Job管理用のGUIを備えている為、Job投入、Job 停止、Jobの実行状況の管理が容易に行える。Job投入 時には、Job管理スクリプトを自動作成するので、使用 システムを選択、ノード数、並列数の入力で済む。

実際に、名大スパコン(CX400、FX100)と FOCUS に Job を投入して計算させた。

5. まとめ

OpenFOAM に関しては、**TreeFoam** を使用する事に よって、GUI 上で外部サーバにアクセスでき、Job 管理 も GUI 上で容易にできる様になっている。

- 名古屋大学教育研究用高性能コンピュータシステム 利用者マニュアル(FX100, CX400) http://www.icts.nagoya-u.ac.jp/ja/sc/pdf/UserGuid e.pdf
- (2) FOCUS スパコン利用の手引き http://www.j-focus.jp/user_guide/
- (3) TreeFoam 操作マニュアル http://opencae.gifu-nct.ac.jp/pukiwiki/index.php? AboutTreeFoam

高等学校専攻科におけるオープン CAE を用いた 計算力学実習カリキュラムの検討

田渕英樹*(県立愛知総合工科高校専攻科)柴田良一(岐阜工業高等専門学校) 藤井成樹(元アンデン株式会社)

Consideration of Curriculum of Computation Mechanics Training using Open CAE in High School of Advanced Course

HIDEKI TABUCHI *

(Aichi High School of Technology and Engineering Advanced Course) SHIGEKI FUJII (Anden co.,LTD) **RYOICHI SHIBATA**

(National Institute of Technology, Gifu College, NIT, Gifu College)

Key Words : High School, Advanced Course, Curriculum, Open CAE, Training

1. 背景

近年 CAE 解析は機械設計を行う上で欠かせない技術と なっており,その活用範囲は広がってきている.しか し,CAE 解析を行うためには材料力学・有限要素法などの 工学知識の習得,解析ソフトウェアの利用方法の習得が 必要であり,それらを習得したとしても,解析のノウハウ の蓄積に多くの時間を要する.そのため,CAE 解析の有効 性に気が付いていたとしても導入に踏み切れない企業は 多い.

今回,研究対象の愛知県立愛知総合工科高等学校専攻 科(以下「専攻科」という.)は、高等学校で学んだ工業 に関する知識や技術・技能を深化、高度化、熟練化するこ とにより、産業基盤を支える高度な技術・技能を習得させ ることを、生徒指導の目的に挙げられており、そのカリキ ュラムの一環として CAE 実習を導入した.今回、専攻科に おけるオープン CAE を用いた計算力学実習カリキュラム の検討について考察する.

2. 対象

専攻科2年生 先端技術システム科
 自動車航空産業コース 9名
 総単位数117単位

(教養科目 40 単位, 専門科目 67 単位)

専攻科 1 年次では,材料学・材料力学 I,工業力学 I, 弾塑性力学 I も修得させている.また,実技を伴う実習も 16 単位修得している.2 年次では,材料学・材料力学 II, 工業力学 II,弾塑性力学 II の他,流体力学についても修得 する.

本研究は、2 年次の実技を伴う実習での 1 単元に当 て、90 分×4 コマ×6日分実施する.実施に当たり、上記 科目の履修により基礎的な工学知識の他、製図や CAD 実 習の中で、CAD の利用方法も事前に習得させたうえでの CAE 実習の導入を検討する.

3. 教育目標

本研究では,弾塑性力学の基礎を学んだ事のある CAE 未経験者が,本カリキュラムの修了することで,抵抗感を 払拭し,CAE に対する『興味』を高め,将来的にCAE技 術者としての仕事にも従事できる『自信』をつけさせる. また,アクティブラーニング形式の講義を通して,生徒の 『問題解決能力』や『コミュニケーション力』の育成を 図る.下記に,具体的な教育目標を示す.

CAE 解析に伴う一連の処理の流れを体験させ, CAE に対する理解と興味を高める.

3.2 理論値,解析値,実験値をそれぞれ理解し活用でき るような人材に育成する.

3.3 グループワークを通じて,技術者として必要なコミ ュニケーション力を育成する.

3.4 ソフトウェア操作に慣れ,必要があれば単独でも CAEを導入しようと動ける人材を育成する.

4. 弾性応力解析

はじめて CAE に取り組む生徒において, グループワー クでの梁の CAE 解析値と 3D プリンタを用いた実験値の 比較検証作業を行うことで, CAE における工学知識の活 用方法の習得と, 解析ソフトウェアの利用方法を習得す る.



Fig.1 3Dプリンタを用いた梁の実験風景

5. DEXCS-Wistr を用いた CAE 解析の要素技術の習得

弾性応力解析を通して CAE 解析の基礎基本, プリ・ソル バ・ポスト処理の流れを理解した生徒において, シェル要 素, ビーム要素, 熱応力解析, 接触解析, 振動特性解析, 仮 想風洞による流体解析を経験することで, 解析ノウハウ を蓄積し, 工学知識の活用方法やソフトウェア利用のノ ウハウを習得する.

参考文献

(1) 柴田良一. オープン CAE で学ぶ構造解析入門. 2017.

U22

高大連携教育へのオープン CAE 活用 (教室のどこに扇風機をおくべきか、熱流体シミュレーションで調査する)

毛利柊斗*(富山県立小杉高校) 小林春輝(富山県立小杉高校) 飴谷功佑 (富山県立大学) 清家美帆 (富山県立大学) 中川慎二(富山県立大学)

中森一輝 (富山県立小杉高校) 広瀬良平 (富山県立大学) 西田樹生 (富山県立大学) 畠山友行(富山県立大学)

OpenCAE for cooperative education with high school and university (Does thermal-fluid simulation find the best place of an electric fan in a classroom?)

Haruki Kobayashi (Kosugi Senior High School) Kousuke Ametani (Toyama Pref. Univ.) Miho Seike (Toyama Pref. Univ.) Shinji Nakagawa (Toyama Pref. Univ.)

Syuuto Mouri* (Kosugi Senior High School) Kazuki Nakamori (Kosugi Senior High School) Ryohei Hirose (Toyama Pref. Univ.) Tatsuki Nishida (Toyama Pref. Univ.) Tomoyuki Hatakeyama (Toyama Pref. Univ.)

Key Words : OpenFOAM, cooperative education, high school, university,

1. はじめに

富山県立大学では、文部科学省の「地(知)の拠点~ Center of Community (COC) ~」 整備事業の一環として, 高大連携に取り組んでいる。大学の近隣にある富山県立 小杉高校の生徒が放課後に研究室を定期的に通い、大学 生・大学院生から工学の楽しさなどを学ぶ。

今年度は、4 つの研究室に高校生が通った。著者らは そのうちの1つである。オープン CAE 勉強会@富山を主 催する研究室に3人の高校生が加わり、「熱流体シミュレ ーションへの挑戦」に取り組んだ。

2. 取組み概要

5月から10月の間の計14日間,おおよそ週に1度の 頻度で活動した。小杉高校と富山県立大学は、徒歩で30 分ほどの距離にある。高校の授業後,17:30頃に大学の 研究室に集合し、90分程度の活動時間であった。

今回の取組みでは、熱流体シミュレーションの難しい 理論を学ぶのではなく、シミュレーションを実践してみ ることを目的とした。3人の高校生が1グループとして 活動することが決まったあと、各自の関心がある内容を 話しあった。その中から、身近な課題として、夏の暑い 教室におく扇風機の場所によって,温度がどう変わるか を調べるという課題を選定した。

シミュレーションソフトウェアとして OpenFOAM を 使った。使用方法は、オープン CAE 勉強会@富山や中川 研究室で開発された教材を使い、大学院生が講師となっ て高校生に指導された。

小杉高校の教室を計算対象とした。教室の大きさを測 り, SALOME-MECA を使って図1の3次元形状モデル を作成した。開放された窓のある教室に、20人の生徒 (90W/人の発熱)が着席している状態を図1のようにモ デル化した。窓には一定の風速を与えた。扇風機のモデ ルを作成し、その設置場所を変更して、温度分布に与え る影響を調べた。

図2に温度分布と速度ベクトルの一例を示す。



Fig. 1 3D model of classroom with 20 students



Fig. 2 Temperature distribution and velocity vector map

3. さいごに

高校生は、高度なシミュレーション技術に触れること で科学への関心が高まった。大学院生は、高校生への指 導を通じて,シミュレーション技術に関する理解を深め ることができた。大学教員は、高校生と大学院生の成長 に心を動かされた。

多少の手間はかかるがコストの低いオープン CAE は, このような取組みに大きく貢献した。

EFD/CFD 融合による空気力学に関する学生実験の紹介

中谷	淳*	(岐阜高専)
野村	悦治	(岐阜高専)

柴田 良一(岐阜高専)

Introduction of Laboratory Experiment about Aerydynamics by Integration of EFD and CFD in NIT Gifu College

Jun NAKAYA * (NIT, Gifu College) Etsuji NOMURA (NIT, Gifu College) Ryoichi SHIBATA (NIT, Gifu College)

Key Words : OpenFOAM, Wind Tunnel Testing, Aerodynamics, Airfoil, Education

1. はじめに

宇宙航空研究開発機構(JAXA)では"将来の航空宇 宙機の研究開発における実験流体力学(EFD)と数値流 体力学(CFD)両者の有機的な融合の必要性・重要性" が認識されている⁽¹⁾.事実,研究開発において実験と解 析双方を生かすことが肝要である.岐阜高専専攻科では, 学生に実験と解析の特性を認識して貰うため,平成28 年度から風洞実験と流体解析による空気力学に関する学 生実験を実施している.本稿ではその概略を述べる.

2. 学生実験概要

2.1 学生実験の目的 本学生実験では,航空宇宙工学の 空気力学的立場から翼型まわりの流れを実験,解析双方 から観察し,それぞれの特徴とともに空気力学の基礎を 理解して貰うことを目的としている.

2.2 設備 風洞装置として小型風洞実験装置 AF100, 流 体解析ツールとして DEXCS2016 for OpenFOAM を用いる. また,計算機として大型計算機を活用している.

2.3 翼型 実験と解析で用いる翼型は,空力解析で一般 的に用いられる NACA0012 翼型とする. NACA0012 の風 洞試験模型には NACA0012 翼モデル AF-104, 計算格子 にはアメリカ航空宇宙局 (NASA) が公開している格子 (図 1)⁽²⁾を用いる.



Fig. 1 Computational Grid of 2-D NACA0012

3. 実施状況

3.1 結果の一例 図 2 に学生が実施した結果の一例を 示す.図 2 は実験と解析で得られた揚力係数-迎角,抗 力係数-迎角をプロットしたものである.図 2 から解析, および実験の特徴を的確に捉えていることが分かる.



Fig. 2 Aerodynamic Coefficient of EFD/CFD

3.2 理解状況 図3に平成29年度のアンケート結果の 一例を示す.これは学生の風洞実験,流体解析に対する 理解度を示すものであり,約8割の学生が内容を理解し ていることが示されている.一方,科目として流体力学 を履修している学生は全体の35%に過ぎず,学生実験を 通じて空気力学の基礎を理解している学生が増加してい ることが分かる.



Fig. 3 Questionnaire on understanding

4. おわりに

岐阜高専専攻科では、実験と解析それぞれの特徴を理 解して貰うことを目的として、EFD/CFDを組み合わせた 空気力学の実験を実施しており、学生のアンケート結果 からも本実験の目的をほぼ果たしていることが伺える.

- EFD/CFD 融合ワークショップ, http://www.aero.jaxa.jp/publication/event/event160209.h tml
- (2) 2D NACA0012 Airfoil Validation Case, https://turbmodels.larc.nasa.gov/naca0012_val.html

オープン CAE の岐阜県における普及活動と 木質パネルの変形解析への適用事例の紹介

今西 祐志*(岐阜県生活技術研究所) 柴田 良一(岐阜工業高等専門学校)

Introduction of activities to disseminate open source CAE in Gifu Prefecture and application examples of deformation analysis of wooden panel

Hiroshi IMANISHI * (HLT, Gifu)

Ryoichi SHIBATA (NIT, Gifu)

Key Words : Open source CAE, Dissemination activity, Wooden panel, Deformation analysis

1. はじめに

当所は岐阜県の公設試験研究機関であり、とくに飛騨 地域における地場産業の振興を目的とした技術支援と研 究開発を行っている.企業のものづくりにおける設計と 開発の質を更に向上できるよう、CAEの活用を検討する こととした.商用ソフトの使用は一般にかなり高額な費 用が必要になるが、オープン CAEの活用はその問題を回 避する有効な解決法と考えられた.そこで、県内の産官 学のメンバーによるグループで、県内各地でオープン CAEの研究会及び講習会を企画・開催した.

また、岐阜県は木製建具等の生産が盛んなことから、 その品質向上と設計効率化による競争力強化を目的とし て、温湿度環境負荷を受ける木質パネルの反り変形の抑 制について検討した.変形挙動の解析にオープン CAE を適用し、反り変形の抑制に効果的な芯材構成を調査す るとともに、反り抑制の効果を簡便に推定できる手法に ついて検討した.

2. オープン CAE に関する講習会

オープン CAE は無償で利用できる特長を持つ一方,商 用ソフトに比べて使用方法等に関する情報が十分でなく, サポート体制が非常に劣っていることが,新たに習得し ようとする際の大きな障壁となっている.そこで,岐阜 県内の中小企業の設計や開発に携わっている方々等を対 象として講習会を開催し,オープン CAE への取り組みの きっかけを提供するとともに,活用にあたっての課題等 の情報を収集した.

CAE の使用経験がない方の参加も多く予想されたことから、高度な CAE 活用の前に三次元 CAD の導入が必要と考え、1. 汎用的な三次元 CAD である FreeCAD でのモデル作成、2. FreeCAD の付加機能を用いた構造解析、3. 梁のたわみを対象とした Salome-Meca による解析と実験との比較による妥当性検証、といった段階的な内容とした.

講習会の開催を通して、中小企業のものづくりにおい ても三次元 CAD や CAE への関心は強くなっており、導 入への意欲が高まっていることを認識した.しかし、設 計や開発の担当者が生産や品質管理等を兼務している場 合が多く、個々の現場で抱えている具体的な課題をオー プン CAE で解決するには担当者の負荷が相当に高いと 感じられた.

3. 木質パネルの変形解析

木製建具の多くは、木材で枠を組んで両側から面材を 貼った構成の木質パネルである.木質パネルの構成材の 種類や寸法,数,配置といった設計内容が適当でない場 合には、温湿度環境の変化により過大な反り変形が生じ て問題となる.

本研究では、木質パネルの反り変形挙動について有限 要素法による構造解析を行い、設計の効率化を試みた. 解析には FrontISTR を用いた. 温湿度環境負荷を受ける 木質パネル各部の温度及び含水率の変化の実測値をもと に反り変形挙動を解析し、芯材構成と反り変形との関連 を調査した. その結果、木質パネルの反り抑制に効果的 な芯材構成の特徴が明らかになるとともに、図1に示す 通り、芯材の弾性率・幅・本数から求めた芯材構成指数 により反り抑制効果を簡便に推定できることが分かった.



Fig. 1 Relationship between warp suppression ratio and core composition index

4. おわりに

本稿で紹介した木質パネルの反り変形挙動は、木質パ ネルの仕様や温湿度環境の条件等が極めて限定的で、反 り変形の問題全ての解消には程遠いものであるが、対策 を考える上での参考になる多くの知見を得ることができ た、今後、さらに検討を重ねて有用性を確認していく予 定である.

参考文献

(1) 木質フラッシュパネルにおける膨張収縮による反り 解析(第3報)有限要素法による反り変形抑制の検 討,岐阜県生活技術研究所研究報告, No.19, 2017.

オープンCAE勉強会@岐阜での活動の報告

柴田良一(岐阜高専)

Open CAE Study Group @ Reporting activities at Gifu

柴田良一(岐阜高専)

Key Words : OpenCAE, Study Group, Gifu

1. はじめに

オープンCAE勉強会は、オープンCAE学会と連携 しながら、各地域の草の根的なオープンCAE活動を支 えている。全国各地で世話役の自主的な支援に支えられ て、まさに草の根的に出発し展開している。多くが個人 参加であって休日の土曜に開催しており、業務における オープンCAE活用と関連する方が多いが、義務的な強 制感がなく、参加はあくまで自主的で個人的な意向が大 きいと思われる。

例えば岐阜の場合には、1・2か月に1回の割合で開 催しており、参加は ATND による自由登録であり飛び入 り参加も稀にあり、会場費用の捻出のために少額の実費 により運営している。現在のところは会場として利用し ている岐阜市のハートフルスクエアGが、安価であり予 約も可能なことから継続して運営できている。

各地の勉強会はその参加者の構成や世話役の興味や方 針によって、画一的な形態をとらずに特色ある展開を進 めている。このセッションではこれら各勉強会の情報交 換によって、より充実したオープンCAE活動を進める ための機会となる事を期待している。

2. 岐阜勉強会の特徴

岐阜勉強会では、第1回を平成23年1月29日に開始 して、シンポジウムの直後で第60回を数えるまでに継続 している。この時からの記録を、公式ウエブとして岐阜 高専に「OpenCAE Users Wiki」サイトとして開設してお り、事例紹介を頂いた中で、提供いただいた資料を掲示 している。過去の貴重な発表資料は、オープンCAEの アーカイブとしての役割を担う事にもなっており、何か の検索においてこのサイトが提示されることも度々であ る。実はサイトの運営管理には相当な手間が必要となっ ているが、オープンCAEに関する有用な情報を公開す ると言う使命を持って取り組んでいる。

岐阜勉強会の特徴としては、大学関係者が少なく企業 技術者が殆どであることが挙げられる。よって研究室か らの学生の参加が殆どないため、若手や新規による活性 化については期待が出来ない状態である。しかしながら、 継続メンバーのオープンCAEの活動は非常に活発であ り、たとえ5名以下の参加者であっても意欲的な参加者 からの報告や質疑などが続き、通常開催の土曜午後4時 間はいつも話題満載となっている。

この状況は継続的参加者の固定化と高齢化を促進する 結果となり、学生や女性の参加が皆無と言う若干寂しい 状況を生んでいる。しかしながらオープンCAEの裾野 の広がりにつれて、岐阜勉強会でも新規参加が見受けら れるが、継続的参加に結び付かないことが運営の課題と なっている。

図1は第1~60回での参加者数の推移である。平均して15名程度であるが、稀に30名を超える時は、岐阜勉強会の特徴である夏合宿を行った場合である。毎年お盆休み前後に1泊2日で岐阜県大垣を会場として開催しており、今年度で7回目となっている。2時間の演習を4つ取り組む充実した内容であり、講師陣の努力によって非常に高度で多彩な内容となるため、受講者の殆どが落伍すると言う厳しい合宿である。しかし逆に資料は懇切丁寧に記述されているため、必要に応じて復習などが可能になっている。



3. まとめ

オープンCAE活動では、基盤となるコミュニティの 活性度が学会の展開にも影響すると思われるので、より 充実した勉強会をめざしてゆきたい。



図2 第41回記念大会の懇親会の様子(懐かしい!)

北東北地域のオープンCAE活動の概況

福江高志*(岩手大学)宏高弘(秋田大学)若嶋振一郎(一関高専)及保田健(弘前大学)

Overview of Activities of OpenCAE Kita-Tohoku Community

Takashi FUKUE* (Iwate Univ.)Takahiro ADACHI (Akita Univ.)Shin-ichiro WAKASHIMA (Ichinoseki National College of Technology)Takeshi KUBOTA (Hirosaki Univ.)Shoji KASAI (Hirosaki Univ.)

Key Words : OpenCAE Community in Kita-Tohoku, Digital Engineering Support

1. はじめに

北東北におけるオープン CAE コミュニティの構築を 目標として OpenCAE 初歩情報交換会@北東北(以下, OC 北東北)を立ち上げてから3年が経過した. OC 北東 北も順調に回を重ね,区切りとなる第10回大会を5/20 に一関高専で開催するに至った.また,1/28にはオープ ン CAE 講習会@秋田を秋田大学で開催し,多数の方にご 参加頂くなど,東北地域のオープン CAE に対する期待も 感じている.本稿では,OC 北東北を中心にした最近の 北東北地域のオープン CAE に関する概況を紹介する.

2. OpenCAE 初步情報交換会@北東北

OC 北東北は四半期から半年に一度程度のペースで, 幹事校(秋田大学,一関工業高等専門学校,弘前大学, 岩手大学)の持ち回りで実施している.主に参加学生の オープン CAE を用いた研究事例報告や,運用面で課題に なっている内容の情報交換,ハンズオン講習などを実施 している.北東北地域のデジタル・エンジニアリング支 援⁽¹⁾への貢献も踏まえ,CAE の経験が薄い技術者の皆様 や学生さんにも抵抗感なく触れてもらうために,特にオ ープン CAE の初歩の範囲に着目した情報交換を行って いる.OpenFOAM に関する情報の共有が多いが,最近で は OpenModelica に関する事例紹介もある.直近 3 回は

- 第9回:2016/11/12 (会場:岩手大学)
- 第10回:2017/5/20 (会場:一関高専)
- 第11回:2017/10/7(会場:弘前大学)

のように開催した. 次回は 2018/3/3 に秋田大学で実施 の予定である. 学生さんにとっても,研究に繋がる有益 な情報を交換できる場として機能しているようで,OC 北東北での OpenFOAM に関する討論がきっかけになり, 学生さんが受賞(日本伝熱学会東北支部学生発表会 優秀 プレゼンテーション賞,アメリカ機械学会日本支部英語 プレゼンテーションコンテスト第1位など)するなど, 嬉しいニュースもあった.また北東北地域からもオープ ン CAE シンポジウムで発表させて頂くようになった. OC 北東北に参加している岩手大学の学内カンパニー

「Heat Think Lab.」が自主的に OpenFOAM の初級講習会 を開催するなど、学生さんの積極的な活動もみられた.

参加者の内訳は教員:学生さん:企業所属の方=3: 6:1程度である.学生さんの参加が多いことは教員と して嬉しく思っている.一方,地域企業様からのご参加 がまだ少なく,より地域企業様の目線に立った形の情報 展開や啓蒙活動などができれば有益になると考える.

3. オープン CAE 講習会@秋田

一方,2017/1/28 に秋田大学にて,オープン CAE 学会 主催,秋田大学大学院理工学研究科共催でオープン CAE 講習会を開催した.可視化・構造トレーニングと流体解 析トレーニングを併催し,40名弱の皆様にご参加頂いた. 特に東北地域の企業様から多数の技術者の方にご参加頂 けたことは,北東北においても CAE への潜在的な期待が 大きく,OC 北東北の役割も今後重要になっていくと感 じた.遠路お越し頂き,講師をご担当頂いた中山様(オ ープン CAE 勉強会@富山)および藤岡先生(東洋大学), 準備や運営に御尽力頂いた酒井様,ほか開催に際しご協 力頂いた皆様に深く感謝する次第である.

4. 今後の期待

OC 北東北の活動も4年目を迎え,教育研究の観点からは一定の貢献に繋がったと思っている.また,オープン CAE 講習会の様子などを鑑みると,北東北地域での CAE に対する潜在的需要も感じている.今後は,教育研究への貢献もさることながら,北東北のデジタル・エンジニアリング支援への具体的な貢献ができる骨組みを築くことも重要になると思われる.ものづくりの高度化と効率化に向けて,CAEの適切な活用が重要な要素になってきた反面,これまでCAE に触れたことのない方々にとっては抵抗がまだまだ大きい.OC 北東北の活動においては,CAE 活用の輪を広げていくために,引き続き導入や初級講習などの「初歩」を見落とさないよう,独自性を持った活動を展開できればと考える.

参考文献

 足立高弘, "北東北地域のデジタル・エンジニアリン グ支援",日本機械学会 2017 年度年次大会講論, Paper No. C011002.



主なソルバー・インターフェース

流体解析

AcuSolve, ADINA-CFD, ANSYS Airpak, ANSYS CFX, ANSYS FLUENT, ANSYS Icepak, AVL FIRE, CFD++, CFD-ACE+, CONVERGE, CRUNCH CFD, FIDAP, FINE/Open, FloEFD, FLOW-3D, FrontFlow/blue, FrontFlow/red, iconCFD, KIVA, OpenFOAM, PAM-FLOW, Particleworks, Polyflow, PowerFLOW, RADIOSS-CFD, RFLOW, SCRYU/Tetra, STAR-CD, STAR-CCM+, STREAM, VECTIS, XFlow, 熱設計PAC等

構造解析・衝突解析・振動解析等

ABAQUS, ADINA, ADVENTURECluster, ANSYS AUTODYN, ANSYS Mechanical, Dytran, I-DEAS, Marc, MSC Nastran, NX Nastran, LS-DYNA, PERMAS, RADIOSS-CRASH等

EnSight 独自の簡単なファイルフォーマットも公開されています



http://www.ceisoftware.co.jp

『評価用貸し出し』『デモ』承ります

〒164-8512 東京都中野区中野4-1-1 中野サンプラザ9階 🎧 03-5942-3161 🖶 03-5942-3601 🖂 sales@ceisoftware.co.jp

ADAMS 粒子解析 Barracuda, EDEM, RFLOW 音響解析 ACTRAN, WAON

铸造解析

機構解析

FLOW-3D

その他 Plot3D, TECPLOT, CGNS等

