



TOHOKU
UNIVERSITY

ISSN 0286-7419

東北大学
サイバーサイエンスセンター

大規模科学計算システム広報

SENAC

Vol.52 No.3 2019-7



Cyberscience
Center

Supercomputing System
Tohoku University

www.ss.cc.tohoku.ac.jp

大規模科学計算システム関連案内

<大規模科学計算システム関連業務は、サイバーサイエンスセンター本館内の情報部情報基盤課が担当しています。>

<https://www.ss.cc.tohoku.ac.jp/>

階	係・室名	電話番号(内線)* e-mail	主なサービス内容	サービス時間
				平日
一階	利用相談室	022-795-6153(6153) sodan@cc.tohoku.ac.jp 相談員不在時 022-795-3406(3406)	計算機利用全般に関する相談 大判プリンタ、利用者端末等の利用	8:30~17:15 8:30~21:00
	利用者談話室	(3444)	各センター広報の閲覧 自販機	8:30~21:00
	展示室(分散 コンピュータ博物館)*	*見学をご希望の方は共同利用 支援係までご連絡ください。	歴代の大型計算機等の展示	9:00~17:00
	可視化機器室	(3428)	三次元可視化システムの利用	9:00~21:00
三階	総務係	022-795-3407(3407) som@cc.tohoku.ac.jp	総務に関すること	8:30~17:15
	会計係	022-795-3405(3405) kaikei@cc.tohoku.ac.jp	会計に関すること、負担金の請求に関すること	8:30~17:15
	共同利用支援係 (受付)	022-795-3406(3406) 022-795-6251(6251) uketuke@cc.tohoku.ac.jp	利用手続き、利用相談、講習会、ライブラリ、見学、アプリケーションに関すること	8:30~17:15
	共同研究支援係	022-795-6252(6252) rs-sec@cc.tohoku.ac.jp	共同研究、計算機システムに関すること	8:30~17:15
	ネットワーク係	022-795-6253(6253) net-sec@cc.tohoku.ac.jp	ネットワークに関すること	8:30~17:15
	情報セキュリティ係	022-795-3410(3410) i-security@grp.tohoku.ac.jp	情報セキュリティに関すること	8:30~17:15
四階	研究開発部	022-795-6095(6095)		
五階	端末機室	(3445)	PC 端末機(X 端末)	8:30~17:15

* () 内は東北大学内のみの内線電話番号です。青葉山・川内地区以外からは頭に 92 を加えます。

本誌の名前「SENAC」の由来

昭和 33 年に東北地区の最初の電子計算機として、東北大学電気通信研究所において完成されたパラメロン式計算機の名前で SENAC-1 (SENdai Automatic Computer-1) からとって命名された。

[共同研究成果]

Flamelet approachに基づくガス燃料を対象とした

燃焼シミュレーション

赤尾津翔大：東北大学大学院工学研究科

松下 洋介：東北大学大学院工学研究科

青木 秀之：東北大学大学院工学研究科

Weeratunge Malalasekera : Loughborough University

本研究では、ガス燃料を対象とした乱流燃焼シミュレーションのターゲット・フレイムとして最も実績のある乱流拡散火炎の1つである Sandia Flame D を対象に Flamelet approach の1つである Flame/Progress-Variable approach を用いて乱流燃焼の Large Eddy Simulation を実施し、測定結果と比較することで本乱流燃焼シミュレーションの妥当性を検討した。その結果、混合分率、温度およびラジカルを含む化学種の時間平均値とその分散について解析結果は測定結果とほぼ完全に一致した。今後、同手法を拡張することで NO やすすなどの大気汚染物質の予測精度について検討する予定である。

1. 緒言

調整パラメータを必要としない詳細化学反応機構を用いた燃焼シミュレーションは理想的である。しかしながら、最も単純な炭化水素であるメタンの燃焼ですら、例えばこのメタンの燃焼を対象に対して最も実績のある詳細化学反応機構の1つである GRI-Mech 3.0 [1]には53の化学種と353の化学反応が含まれる。そのため、詳細化学反応機構を用いて三次元の燃焼シミュレーションを実施すると、解くべき化学種の保存式の数が多く、計算負荷が膨大となってしまう。また、一般に詳細化学反応機構を用いた反応解析の時間刻みは流体解析の時間刻みより数オーダー小さい。そのため、時間スケールの小さい化学反応の時間刻みに合わせて三次元の燃焼シミュレーションを実施すると、やはり計算負荷が膨大となってしまう。さらに、詳細化学反応機構に限らず、有限の反応速度を用いて燃焼シミュレーションを実施する場合、化学種の保存式の生成項にアレニウス型の反応速度が現れる。Reynolds-Averaged Navier-Stokes (RANS)あるいは Large Eddy Simulation (LES)を用いて乱流燃焼の計算を行う場合、化学種の保存式に時間平均あるいは空間平均を施すが、この化学種の保存式の生成項に現れるアレニウス型の反応速度に時間平均あるいは空間平均を施す方法論が確立されていない。これはアレニウス型の反応速度式に温度に関する指数関数が含まれ、非線形性が強いためである。LESを用いた乱流燃焼では化学反応速度の項にスケール相似則を適用する Scale Similarity Filtered Reaction Rate (SSFRR) [2]モデルを用いた計算が報告されているものの、その妥当性は十分に確認されているとは言えず、また、解くべき化学種の保存式の数が増えることと時間刻みが小さくなることにより計算負荷が膨大となってしまう問題は解決されない。

Flamelet approach [3,4]では、拡散燃焼において形成される火炎が一次元的な火炎片(Flamelet)の集合で表現できるとする。また、化学反応の時間スケールが流体の時間スケールと比較して極めて小さいことを利用し、化学反応と流体をスケール分離する。すなわち、流体の時間スケールでは化学反応が定常状態に達しているとし、あらかじめ2, 3のパラメータに対してデータベースを作成し、三次元の燃焼シミュレーションではこのパラメータを求め、データベースを参照することで興味ある残りのパラメータすべてを決定する。そのため、Flamelet approach を用いることで、比較的低い計算負荷で間接的ではあるものの詳細化学反応機構を考慮した三次元の燃焼シミュレーションを実施することが可能となる。

本研究では、ガス燃料を対象とした乱流燃焼シミュレーションのターゲット・フレイムとして最も実績のある乱流拡散火炎の1つである Sandia Flame D [5-7]を対象に Flamelet approach の1つである Flamelet/Progress-Variable approach [8]を用いて乱流燃焼の Large Eddy Simulation を実施し、測定結果と比較することで本乱流燃焼シミュレーションの妥当性を検討する。

2. Flamelet approach に基づく燃焼シミュレーション

Flamelet approach では、三次元の燃焼シミュレーションに先立ち、あらかじめ一次元の対向流拡散火炎や予混合火炎などの単純な火炎を対象に詳細化学反応機構を用いて一次元の燃焼シミュレーションを実施し、混合分率 Z や反応の進行を表す Progress Variable (C) と呼ばれるパラメータに対して、温度、化学種の質量分率、密度や粘度などの物性値および C の正味の生成速度を Flamelet table と呼ばれるデータベースに保存する。三次元の燃焼シミュレーションにおいてこの混合分率 Z や C の保存式を解き、あらかじめ作成した Flamelet table を参照することで、燃焼場における温度、化学種の質量分率、密度や粘度などの物性値および正味の C の生成速度などの変数を決定する。なお、Flamelet table から参照する変数のうち、三次元の燃焼シミュレーションに影響を及ぼす変数は密度や粘度などの物性値および C の正味の生成速度である。

2.1 解析対象と解析条件

本研究では、ガス燃料を対象とした乱流燃焼シミュレーションのターゲット・フレイムとして最も実績のある Sandia Flame D を対象とする。図 1 に解析対象と解析領域の概念図を示す。Sandia Flame D は、開放空間において(a)内側のノズルから温度 294 K、体積分率でメタン 0.25 と空気 0.75 の混合気を断面平均流速 49.6 m/s で、(b)その外側からメタンを当量比 0.77 で燃焼させた温度 1880 K のパイロット火炎の燃焼ガスを断面平均流速 11.4 m/s で、(c)周囲から co-flow として温度 291 K の空気を断面平均流速 0.9 m/s で供給することで形成される部分予混合火炎である。なお、燃料ノズルを基準とすると、レイノルズ数は $Re = 22,400$ である。混合分率は酸化剤側の境界面で 0、燃料側の境界面で 1 となる変数であり、境界条件として、(a)では $Z = 1, C = 0$ 、(b)では $Z = 0.27, C = 0.21$ 、(c)では $Z = 0, C = 0$ となる。なお、計算格子には六面体格子のみを用い、総計算格子数を 128 万あるいは 300 万分割とした。

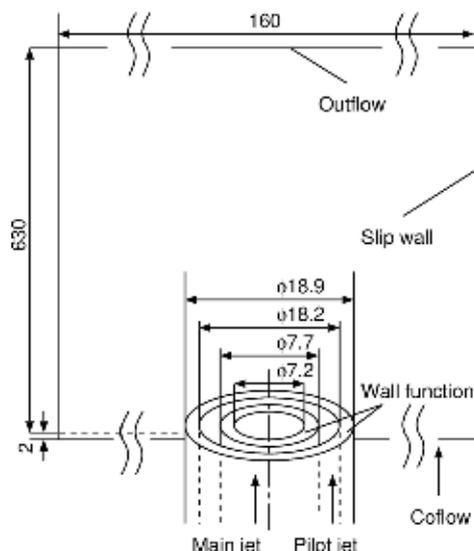


図 1 解析対象と解析領域の概念図 [5-7]

2.2 Sandia Flame D に対する Flamelet table の作成

一次元対向流拡散火炎を対象に、詳細化学反応機構にメタンの燃焼に対して多くの実績がある GRI-Mech 3.0 [1]を採用し、FlameMaster V3.3.10 [9]を用いて一次元の燃焼シミュレーションを実施した。熱損失ゼロおよびいわゆる unity Lewis number を仮定し、混合分率空間において種々のスカラー消散率について一次元対向流拡散火炎の定常解を求め、混合分率 Z とスカラー消散率 χ に対して温度、化学種の質量分率、密度や粘度などの物性値および正味の Progress Variable C の生成速度などの変数 ϕ で表される二次元のデータベースを保存する。その後、混合分率 Z とスカラー消散率 χ に対する変数 ϕ で表される二次元のデータベースを混合分率と Progress Variable C に対する変数 ϕ で表される二次元のデータベースに変換する。さらに、次節で述べるとおり、Large Eddy Simulation を用いて三次元の燃焼シミュレーションを実施するため、混合分率 Z の確率密度関数に β 関数、Progress Variable C の確率密度関数に δ 関数を仮定し、Favre 平均を施した混合分率、その分散と Progress Variable C に対する変数で表される三次元のデータベースを作成する。なお、Flamelet table の作成方法の詳細は著者らの総説[10]で解説したとおりである。

2.3 三次元の燃焼シミュレーションの解析方法

Sandia Flame D を対象とした三次元燃焼シミュレーションの基礎式は低マッハ数近似に Favre フィルタを施した連続の式 (1)、運動量保存式 (2)、混合分率の保存式 (3) と Progress Variable (PV) の保存式 (4) である。

$$\frac{\partial \bar{\rho}}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\bar{\rho} \tilde{u}_j) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\bar{\rho} u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\bar{\rho} \tilde{u}_i \tilde{u}_j) + \frac{\partial}{\partial x_j} [\bar{\rho} (u_i \tilde{u}_j - \tilde{u}_i \tilde{u}_j)] = -\frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial \tilde{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \tilde{u}_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial \tilde{u}_k}{\partial x_k} \right) \right] \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\bar{\rho} \tilde{Z}) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\bar{\rho} \tilde{Z} \tilde{u}_j) + \frac{\partial}{\partial x_j} [\bar{\rho} (\tilde{Z} \tilde{u}_j - \tilde{Z} \tilde{u}_j)] = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\mu}{Sc} \frac{\partial \tilde{Z}}{\partial x_j} \right) \quad (3)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\bar{\rho} \tilde{C}) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\bar{\rho} \tilde{C} \tilde{u}_j) + \frac{\partial}{\partial x_j} [\bar{\rho} (\tilde{C} \tilde{u}_j - \tilde{C} \tilde{u}_j)] = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\mu}{Sc} \frac{\partial \tilde{C}}{\partial x_j} \right) + \bar{\omega}_c \quad (4)$$

ここで、式 (2)–(4) の右辺第 3 項をそれぞれ式 (5)–(7) で近似する。

$$-\bar{\rho} (u_i \tilde{u}_j - \tilde{u}_i \tilde{u}_j) \approx \mu_t \left(\frac{\partial \tilde{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \tilde{u}_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial \tilde{u}_k}{\partial x_k} \right) \quad (5)$$

$$-\bar{\rho} (\tilde{Z} \tilde{u}_j - \tilde{Z} \tilde{u}_j) \approx \frac{\mu_t}{Sc_{Z,t}} \frac{\partial \tilde{Z}}{\partial x_j} \quad (6)$$

$$-\bar{\rho} (\tilde{C} \tilde{u}_j - \tilde{C} \tilde{u}_j) \approx \frac{\mu_t}{Sc_{C,t}} \frac{\partial \tilde{C}}{\partial x_j} \quad (7)$$

式 (5)–(7) 中の μ_t は乱流粘性係数であり、式 (8) に示す Smagorinsky モデル[11]を用いて推算した。

$$\mu_t = \rho (C_S \Delta)^2 S \quad (8)$$

なお、 C_S は Smagorinsky モデルの唯一のモデル定数であり、本研究では 0.1 で一定とした。また、 $Sc_{Z,t}$ と $Sc_{C,t}$ は混合分率と Progress Variable の乱流シュミット数であり、本研究では 0.7 で一定とした。混合分率の分散は式 (9) を用いて推算した。

$$\tilde{Z}''^2 = C_Z \Delta^2 \left(\frac{\partial \tilde{Z}}{\partial x_j} \right)^2 \quad (9)$$

以上より、求めた混合分率、混合分率の分散と Progress Variable を用いて前述した Flamelet table を参照し、密度と Progress Variable の正味の生成速度を求めるとともに温度や化学種の質量分率を決定する。

非構造格子の有限体積法に基づき、運動量保存式の対流項は三次風上差分法を 5% ブレンドした二次中心差分法、拡散項二次中心差分法を用いてそれぞれ離散化し、時間進行法には二次の Adams-Bashforth 法を用いた。計算時間を短縮するため時間刻みを可変とし、クーラン数が 0.4 と

なるように決定した。なお、乱流燃焼場が定常的な挙動を示す際の時間刻みは約 $1 \mu\text{s}$ である。圧力の解法には Simplified Marker And Cell (SMAC)法[12]を適用し、SMAC 法における圧力補正值に関するポアソン方程式の解法には Algebraic Multigrid Solver [13]を用い、各タイム・ステップにおいて収束解が求められるまで反復計算を実施した。混合分率と Progress Variable の保存式の対流項は流束制限関数に min-mod 関数[14]を適用した Total Variation Diminishing を、拡散項は二次中心差分法を用いて離散化し、時間進行法には一次の陰解法を用い、多項式前処理付き安定化双共役勾配法[15]を用い、各タイム・ステップにおいて収束解が求められるまで反復計算を実施した。計算開始から時刻 0.2 s まで乱流燃焼場を発達させ、時刻 0.2–0.3 s のデータを平均化することで各変数の時間平均値を求めた。METIS-5.1.0 [16]を用いて解析領域を分割し、Message Passing Interface (MPI)を用いて領域分割に基づく並列計算を実施した。また、通信の多い領域間から可能な限り同時に通信する独自のアルゴリズム[17]を採用し、通信に要する時間を最小化し、オーバーヘッドを最小化することで並列化効率を向上した。なお、東北大学サイバーサイエンスセンター所有の並列コンピュータ LX 406Re-2 を用い、4 ノード 48 コアを用いた並列計算を実施した。

3. 結果と考察

3.1 混合分率、温度および主要な化学種の質量分率分布の瞬時値

図 2 に $t=0.2 \text{ s}$ において、 $z=0$ の断面における混合分率、温度および主要な化学種の質量分率の分布を示す。混合分率は酸化剤側の境界面で 0、燃料側の境界面で 1 となる変数であり、ノズルから供給された燃料の噴流が減衰するとともに周囲のガスと混合することが示されている。温度については、上流において燃料ノズルの周囲から供給された高温のパイロット火炎の燃焼ガスが高温を示し、また、ノズルから供給された燃料がこの燃焼ガスと混合することで加熱されるとともにパイロット火炎の周囲から供給された co-flow と混合することで燃焼が進行し、中流から下流に向かって高温領域が形成されている。また、燃焼の中間生成物である CO は比較的燃料過濃な領域で、OH は比較的燃料希薄な領域で生成している。さらに、燃焼の最終生成物である CO_2 が中流から下流に向かって生成している。これらの分布は定性的な比較ではあるものの既往の研究[18]と概ね一致している。次節において解析結果を測定結果と詳細に比較する。

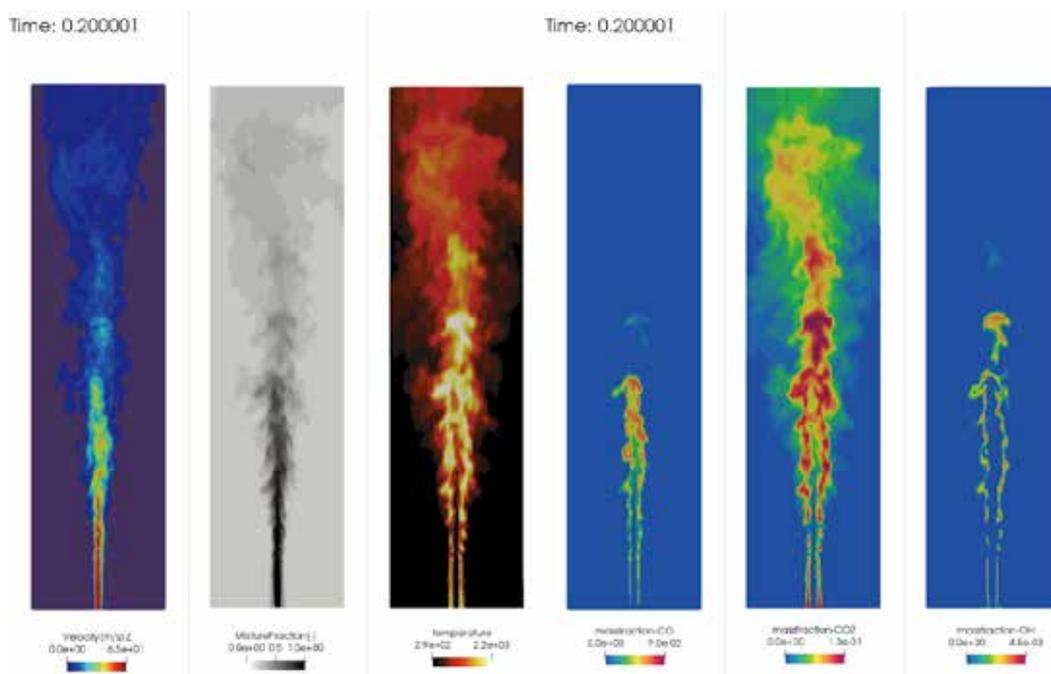


図 2 速度、混合分率、温度および主要な化学種の質量分率の瞬時値の分布

3.2 中心軸上における各変数の時間平均値の比較

図3に中心軸上における混合分率, その Root-Mean-Square (RMS), 温度および化学種(CH_4 , CO , CO_2 , OH , H_2O , H_2)の質量分率の時間平均値を測定結果とともに示す. 解析結果および測定結果はいずれも上流から下流に向かって1から徐々に減衰している. これはノズルから供給された燃料が拡散しながら周囲のガスと混合するためである. 混合分率の時間平均値の解析結果は測定結果とほぼ完全に一致していることから, 本解析はノズルから供給された燃料の噴流が乱流燃焼場において減衰し, 周囲のガスと混合する過程を良好に表現していることを意味する.

混合分率の RMS については解析結果および測定結果はいずれも上流から下流に向かって上昇し, その後減少している. 解析結果は測定結果を概ね再現しているものの, 上流において解析結果は測定結果より若干低い値を示している. これは, 解析では流入境界面において空間的な速度分布を考慮しているものの, その時間的な変動を考慮していないためであると考えられる. 理想的には本解析の流入境界面より上流の燃料を供給するノズルを解析対象に含めることで, 本解析の流入境界面における時間的な速度の変動も再現すべきである. しかしながら, LESにおいて壁せん断が支配となるノズル内の乱流流れの解析を実施するためにはさらに多くの計算格子を必要とし, 計算負荷が大きくなってしまうため現実的ではない. ノズルの下流に位置するある断面における速度などの物理量をノズルの上流に位置する流入境界面に複製するいわゆる *Recycle boundary* を用いることで解析すべきパイプの長さを短くすることはできるものの, それでもなお多くの計算格子を必要とする. 一方, Pierce and Moin [19]は事前にノズルのみを対象とした解析を実施し, 実際の解析の流入境界面に相当する断面における速度などの空間的な分布とその時間的な変動を含む物理量をすべて保存し, 実際の解析でこの保存したデータを流入境界条件として用いることを提案している. この方法では, 流入境界面において妥当な空間的な分布と時間的な変動が求められることが期待されるが, 保存すべきデータ量が膨大となるだけでなく, 異なる解析対象間に生じるメッシュの不整合を処理しなければならない. また, パイプ内の流動が下流の影響を受けないことも確認しなければならないため, 用いるためには解決すべき課題も多い. 実用的な方法として, 流入境界面において人工的に時間的な変動を生成する手法[20]が数多く提案されている. しかしながら, 本解析対象と同じ Sandia Flame D を対象に流入境界面に人工的に時間的な変動を生成する手法を適用した解析結果が報告されているものの, 解析対象ごとに調整すべきパラメータが存在し, 汎用性に欠ける. そのため, LESにおいて妥当な流入境界条件を与えるのは極めて困難であり, 今後の研究課題であると言える.

温度の時間平均値については解析結果および測定結果はいずれも上流から下流に向かって上昇し, 最高温度を示した後に緩やかに減少している. これは, ノズルから供給された燃料がその周囲から供給されたパイロット火炎の高温の燃焼ガスと混合するとともにパイロット火炎のさらに周囲の *co-flow* と混合し, 燃焼するためである. 解析結果は測定結果とほぼ完全に一致しているものの, 最高温度を示した後に解析結果は測定結果と比較して若干過大評価している. これは, 解析結果と測定結果に差が生じる領域では, 燃焼ガスの主成分であり吸収性ガスである CO_2 と H_2O の質量分率が高く, ふく射伝熱により熱損失を考慮していないためであると考ええる. 実際, 本解析対象と同じ Sandia Flame D を対象とした研究においても同様の傾向が報告されており[18], 今回用いた燃焼モデルの範疇ではむしろ妥当な解析結果が求められていると考える. しかしながら, NO など温度に敏感な化学種の質量分率を正確に予測するためには温度をさらに正確に予測する必要があり, ふく射伝熱を連成し, Enthalpy defect [21]と呼ばれる熱損失を考慮可能な Flamelet approach を実施する必要があると考える.

4. 結言

本研究では, ガス燃料を対象とした乱流燃焼シミュレーションのターゲット・フレームとして最も実績のある乱流拡散火炎の1つである Sandia Flame D を対象に Flamelet approach の1つであ

る Flame/Progress-Variable approach を用いて乱流燃焼の Large Eddy Simulation を実施し、測定結果と比較することで本乱流燃焼シミュレーションの妥当性を検討した。その結果、混合分率、温度およびラジカルを含む化学種の時間平均値とその分散について解析結果は測定結果とほぼ完全に一致した。今後、同手法を拡張することで NO やすすなどの大気汚染物質の予測精度について検討する予定である。

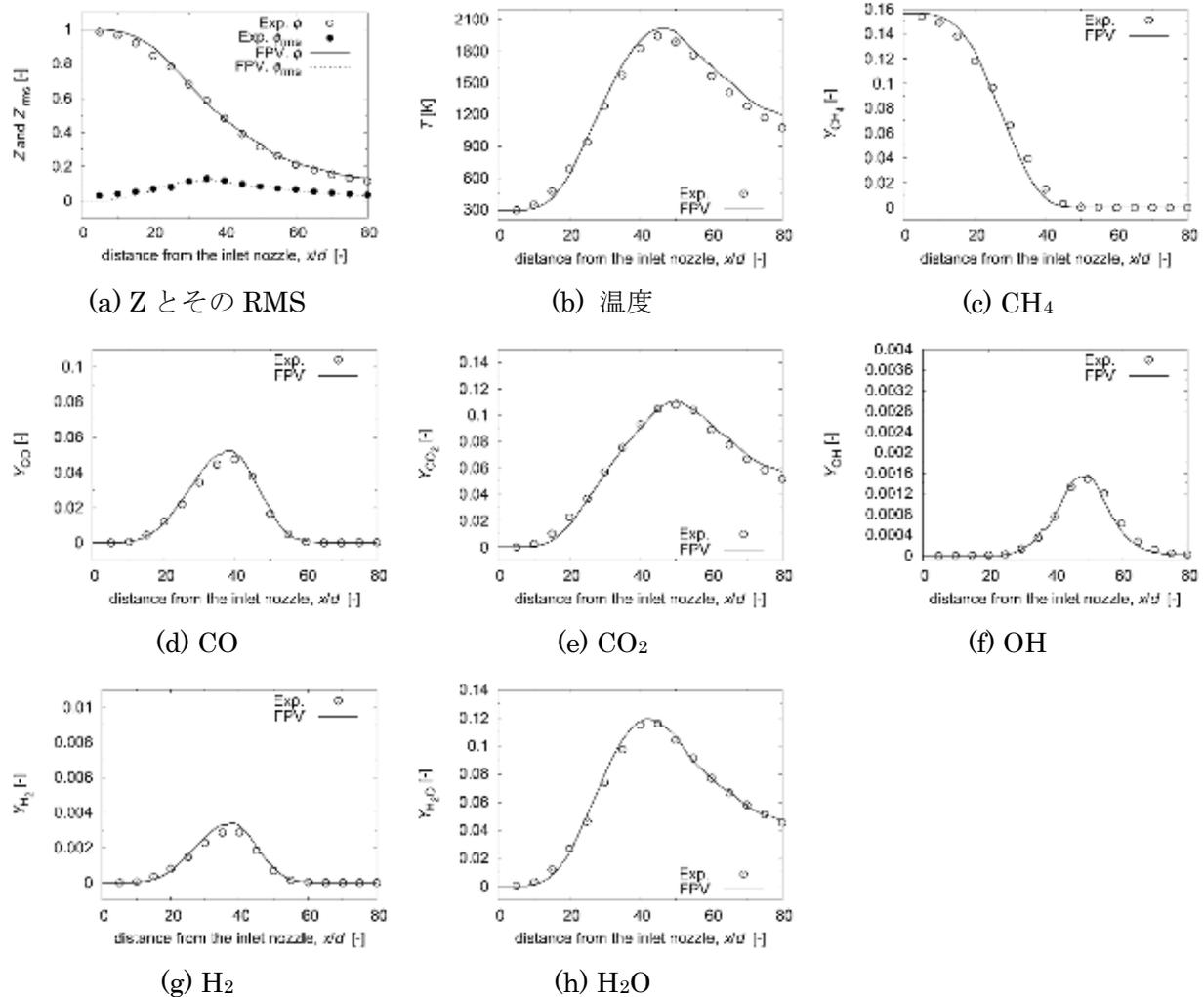


図 3 中心軸上における混合分率、その RMS、温度および化学種の質量分率 [5–7]

謝辞

本研究は、東北大学サイバーサイエンスセンターの並列コンピュータ LX 406Re-2 を利用することで実現することができた。また、本研究の一部は特別研究員奨励費(18J11135)、JSPS 科研費(JP18K03964)、東燃ゼネラル石油研究奨励・奨学財団および東北大学若手リーダー研究者海外派遣プログラムの助成を受けたものであり、ここに謝意を表す。

参考文献

- [1] Smith, G. P. et al., GRI-Mech 3.0, http://www.me.berkeley.edu/gri_mech/
- [2] DesJardin, P. E. and Frankel, S. H., Large eddy simulation of a nonpremixed reacting jet: application and assessment of subgrid-scale combustion model, *Phys. Fluids A*, 10, 2298–2314 (1998)
- [3] Peters, N., Laminar diffusion flamelet models in non-premixed turbulent combustion, *Prog. Energy Combust. Sci.*, 10(3), 319–339 (1984)

- [4] Peters, N., Laminar flamelet concepts in turbulent combustion, Symp. (Int.) on Combust., 21, 1231–1250 (1998)
- [5] Barlow, R. S. and Frank, J. H., Effects of turbulence on species mass fractions in methane/air jet flames, Proc. Combust. Inst. 27, 1087–1095 (1998)
- [6] Barlow, R. S. et al., Piloted methane/air jet flames: Scalar structure and transport effects, Combust. Flame, 143, 433–449 (2005)
- [7] Schneider, Ch. et al., Flow field measurements of stable and locally extinguishing hydrocarbon-fuelled jet flames, Combust. Flame, 135, 185–190 (2003)
- [8] Pierce, C. and Moin, P., Progress-variable approach for large-eddy simulation of non-premixed turbulent combustion, J. Fluid Mech., 504 73–97 (2004)
- [9] Pitsch, H., and Bollig, M., FlameMaster; A Computer Code for Homogeneous Combustion and One-Dimensional Laminar Flame Calculations, Institut für Technische Mechanik, RWTH, Aachen.
- [10] 松下洋介ら, Flamelet Model に基づく乱流燃焼シミュレーション, 金属, 85(11), 915–921 (2015)
- [11] Smagorinsky, J., General circulation experiments with the primitive equations, Mon. Weather Rev., 91(3), 99–164 (1963)
- [12] Harlow, F. H. and Welch, J. E., Numerical calculation of time-dependent viscous incompressible flow of fluid with a free surface, Phys. Fluids, 8 2182–2189 (1965)
- [13] 藤井昭宏ら, 領域分割による並列 AMG アルゴリズム, 情報処理学会論文誌コンピューティングシステム (ACS) , 44, SIG06(ACS1), 9–17 (2003)
- [14] Roe, P. L., Characteristic-based schemes for the Euler equations, Annu. Rev. Fluid Mech., 18, 337–365 (1986)
- [15] Van der Vorst, H. A., Bi-CGSTAB: A Fast and Smoothly Converging Variant of Bi-CG for the Solution of Nonsymmetric Linear Systems, SIAM J. Sci. Stat. Comput., 13(2), 631–644 (1992)
- [16] Karypis, G. and Kumar, V., A Fast and Highly Quality Multilevel Scheme for Partitioning Irregular Graphs, SIAM J. Sci. Comput., 20(1), 359–392, (1999)
- [17] Matsushita, Y. et al., Efficient communication strategy in parallel computation based on domain partitioning, J. Chem. Eng. Jpn., 51(1), 79–82 (2018)
- [18] Raman, V. and Pitsch, H, A consistent LES/filtered-density function formulation for the simulation of turbulent flames with detailed chemistry, Proc. Combust. Inst., 31(2), 1711–1719 (2007)
- [19] Pierce, C. and Moin, P., Method for generating equilibrium swirling inflow conditions, AIAA J., 36(7), 1325–1327 (1998)
- [20] Klein, M., A digital filter based generation of inflow data for spatially developing direct numerical or large eddy simulations, J. Comput. Phys., 186(2), 652–665 (2003)
- [21] Hossain, M. et al., Modelling of a Bluff-Body Nonpremixed Flame using a Coupled Radiation/Flamelet Combustion Model, Flow, Turbul. Combust., 67(3), 217–234 (2001)

[共同研究成果]

民間航空機開発における大規模 CFD 解析の適用（その 3）

前田一郎
三菱航空機株式会社

三菱航空機株式会社では、平成 20 年度の先端的大規模計算利用サービスに始まり、平成 23 年度からは民間企業利用サービスの枠組みで、東北大学サイバーサイエンスセンターにて運用しているベクトル計算機、SX-9/SX-ACE を利用している。このスーパーコンピュータを利用することで、数値流体力学 (CFD) による空力解析シミュレーションを MRJ 開発で本格的に活用することが可能となった。これにより、空力に関連する設計リスクを最小限に抑え、飛行安全上のリスク低減を図ることができた。本稿では、これまでの報告[1, 2]に引き続き、この空力解析シミュレーションの内容と、MRJ 開発における適用状況を紹介する。

1. はじめに

三菱航空機株式会社では、平成 20 年度より YS-11 以来半世紀ぶりとなる国産旅客機、三菱リージョナルジェット (MRJ: 図 1) の開発を進めている。MRJ の開発では、環境負荷低減のため、同クラスの現行ジェット旅客機の燃費に対して、機体の軽量化・低抵抗化と新エンジンの搭載を含めて 2 割以上の燃費削減を目標としており、これを支える要素技術の開発に東北大学や宇宙航空研究開発機構と連携した産官学の共同研究を積極的に活用してきた。その内容は、空気力学、空力弾性、材料/構造、装備、飛行制御等の各要素技術や、多分野統合最適化/多目的設計探索の研究など、広範囲にわたっている。本稿では、東北大学との共同研究で開発した数値流体力学 (CFD) を用いた空力解析コードについて、東北大学所有の SX-9/SX-ACE による解析例と MRJ 開発における適用状況を紹介する。



図 1 三菱リージョナルジェット (MRJ)

2. MRJ 開発における CFD 解析

MRJ の開発においては、平成 20 年度より東北大学サイバーサイエンスセンターのスーパーコンピュータ及び解析ツールを利用して、空力設計、空力データ設定、空力に関連する装備品設計等に対して CFD 解析を活用してきた。本稿では、その中でも設計や現在実施中の飛行試験において特に重要となる項目に対する解析について紹介する。尚、本稿に記載した解析以外にも、本システムの利点を活用した計算も数多く実施しており、MRJ 開発に大きく貢献して頂いている。その例としては、飛行試験（主には荷重飛行試験）のデータ処理に必要な CFD データベースの構築や飛行試験対応解析等が挙げられる。前者の飛行試験データ処理に関しては膨大なケース数の解析が必要となるため、スーパーコンピュータを適用することで飛行試験データ処理を効率的に実施することが出来た。また、後者の飛行試験対応解析に関しては、スーパーコンピュータの適用により迅速により詳細な CFD 解析を実施することが可能となり、飛行試験で観察された事象の把握や理解に役立てることで飛行試験をより効率的かつ効果的に実施することが出来ている。

3. CFD 解析コード

MRJ 開発には主に東北大学の非構造格子ソルバーTAS (Tohoku University Aerodynamic Simulation) コード[3-7]を使用している。主に 3 次元の圧縮性・粘性流体に本ソルバーを適用している。図 2 に解析形状例を、図 3 に解析格子例をそれぞれ示す。

開発した解析コードはベクトル計算機向けにチューニングされており、効率の良い計算領域分割による MPI 並列化を用いて大規模並列計算を実現している。



図 2 解析形状例 (巡航形態)

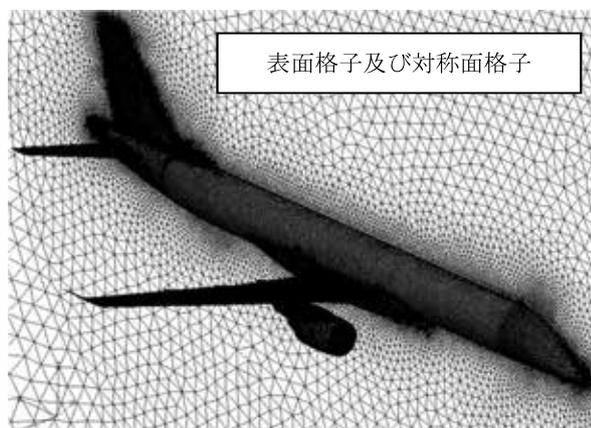


図 3 解析格子例 (巡航形態)

4. 空力解析例

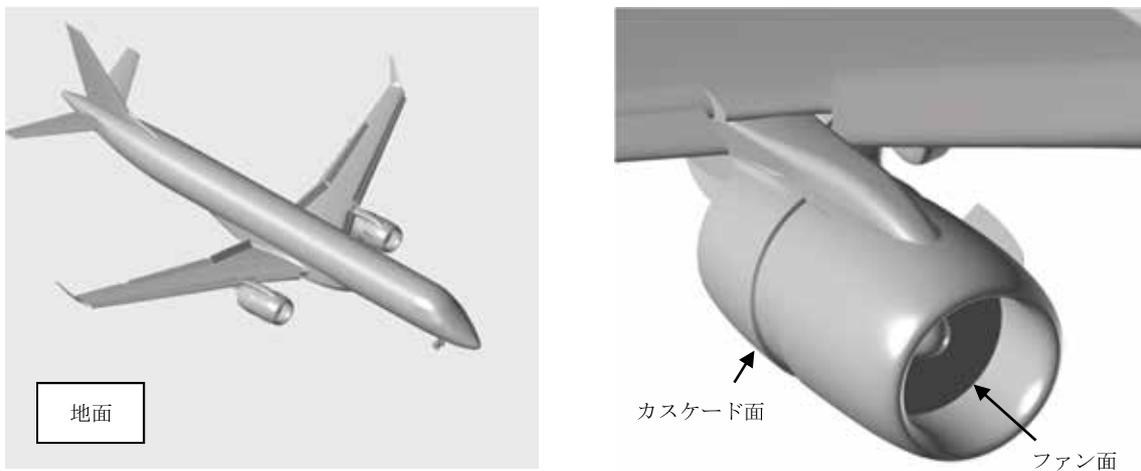
本章では、MRJ の開発における空力関連の設計評価・確認への解析適用例を紹介する。

MRJ の開発においては、航空機の離陸から着陸後の静止までの一連の形態に対して CFD 解析を適用している。その中には、比較的規模の大きな解析が必要となる形態が含まれる。これまでに、各飛行形態への適用例として離着陸形態（脚下げを含む）、舵面操舵形態、地面効果に対する適用例を紹介したが[1, 2]，今回はスラスト・リバーサー作動状態について紹介する（図 4～6）。

航空機は着陸して接地した後、停止するためにスピード・ブレーキやスラスト・リバーサー（逆推力装置：エンジンのファン排気を前方に噴射）により減速（制動）を行う。スラスト・リバーサーの性能は制動距離を評価する上で非常に重要であり、その設計や性能評価のために風洞試験を実施しているが、スラスト・リバーサーの吹き出しを模擬する必要があるため、データが取得出来る試験条件が限定される場合がある。また、飛行試験においては飛行安全上の観点から取得出来るデータが制約される場合がある。CFD 解析ではそれらの制約を受けないため、風洞試験データや飛行試験データを補完することが可能である。ここでは、スラスト・リバーサーの稼働可能条件を確認するために実施されたスラスト・リバーサー排気のエンジンへの再流入

(re-ingestion) の検討に関して、横風のない状態で機体の速度を変化させた場合 ($U=U_1 \sim U_4$, $U_1 > U_2 > U_3 > U_4$) と横風を変化させた場合 ($U=U_2$, $V=V_1, V_2$, $V_1 < V_2$) について紹介する。

図 4 に解析形状を示す。機体は着陸形態（脚下げ状態）であり、脚／脚扉、スポイラー操舵（スピード・ブレーキ）についても模擬されている。また、地面の影響を考慮するため地面もモデル化されている（移動地面）。ナセル部分については、ファン面及びカスケード面（スラスト・リバーサー作動時のファン流の排気面）には解析条件に応じた境界条件を与えて解析を実施している。



(a) 機体全体

(b) ナセル部分

図 4 解析形状

図 5 に機体の速度を変化させた場合におけるスラスト・リバーサー排気の流線を示す（機体表面は圧力分布）。排気は主に斜め上方（内舷側、外舷側）と斜め下方（内舷側、外舷側）の 4 方向に吹き出されている。排気の吹き出し速度は一定としているので、機体の速度を減少させていくと ($U_1 \rightarrow U_4$) 相対的に吹き出し速度が大きくなるため、より機体速度の影響を受けにくくなる。結果として前方に吹き出された排気の一部がファン面に再流入する場が生じる (図 5(c), (d))。斜め下方（内舷側）の吹き出しは地面と対称面の存在により前方への広がりが大きく、ファン面への再流入の可能性が高くなっていることが分かる。

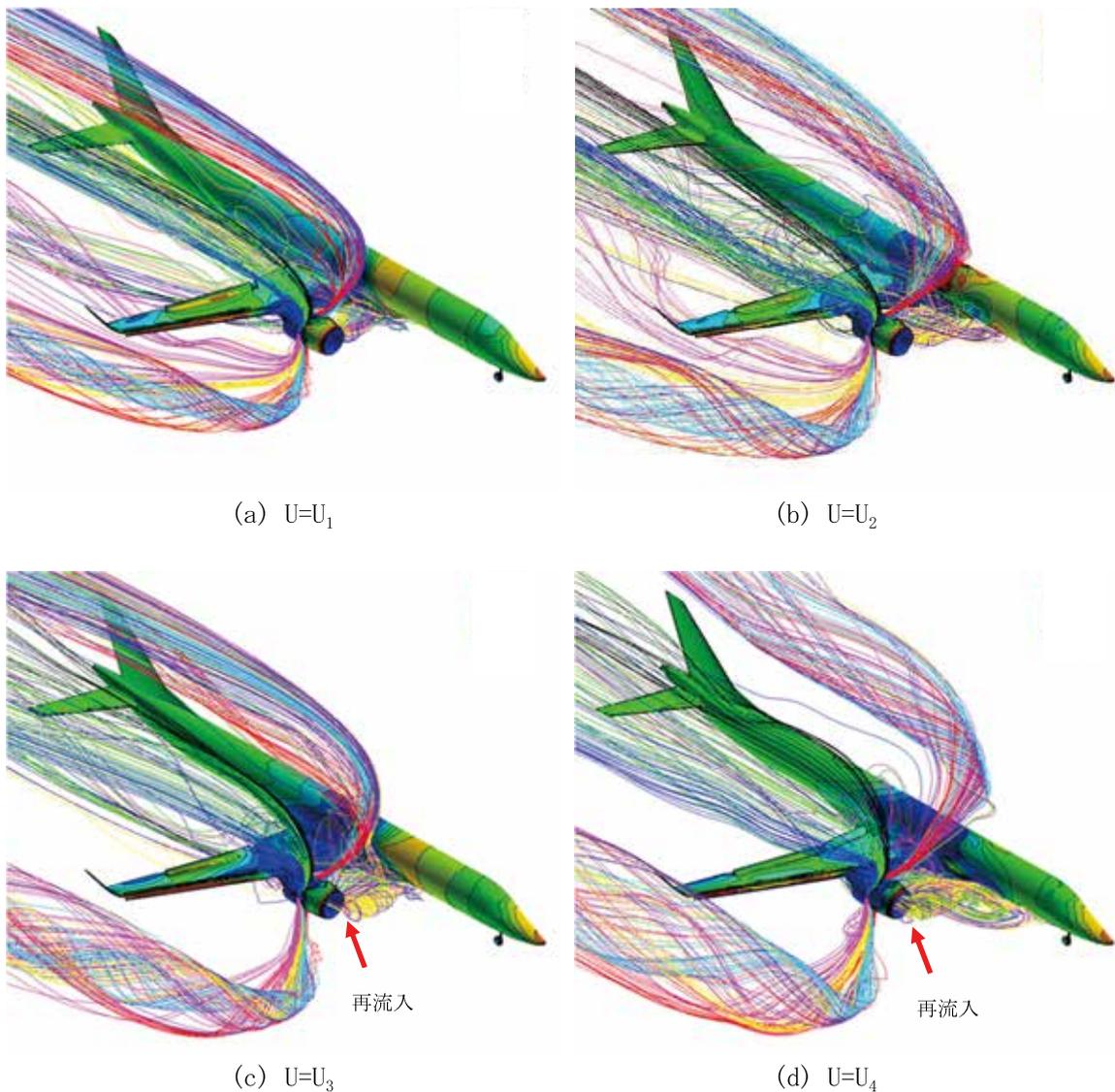


図 5 流線—機体速度変化

5. おわりに

民間企業利用サービスにより、世界でもトップレベルの計算機環境を利用することで、当社の計算機環境では困難であった CFD 空力解析の本格活用を MRJ 開発で実現することができた。東北大学で開発された解析コードやスーパーコンピュータを MRJ の設計段階から積極活用することにより、空力に関連する設計リスクを最小限に抑え、飛行試験における飛行安全上のリスク低減を図ることができた。今後も引き続き飛行試験や設計確認作業のためにスーパーコンピュータを活用させて頂くとともに、飛行試験データを用いて解析コードの検証や精度向上を図る予定である。

謝辞

本研究開発は、東北大学サイバーサイエンスセンターのスーパーコンピュータを利用することで実現することができた。解析コードの開発では、東北大学の大林研究室、旧中橋研究室にご協力いただいた。また、計算機利用と解析コードのチューニングにあたっては、同センター関係各位に有益なご指導とご協力をいただいた。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 前田一郎, “民間航空機開発における大規模 CFD 解析の適用”, SENAC, Vol. 50, No.3, 2017, pp.8-14.
- [2] 前田一郎, “民間航空機開発における大規模 CFD 解析の適用 (その 2) ”, SENAC, Vol. 51, No.3, 2018, pp.9-15.
- [3] Nakahashi, K., Togashi, F., Fujita, T. and Ito, Y., “Numerical Simulations on Separation of Scaled Supersonic Experimental Airplane from Rocket Booster at Supersonic Speed,” AIAA Paper 2002-2843, June 2002.
- [4] Murayama, M. and Yamamoto, K., “Comparison Study of Drag Prediction for the 3rd CFD Drag Prediction Workshop by Structured and Unstructured Mesh Method,” AIAA Paper 2007-0258, June 2002.
- [5] Ito, Y. and Nakahashi, K., “Surface Triangulation for Polygonal Models Based on CAD Data,” *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, Vol. 39, Issue 1, 2002.
- [6] Shrov, D. and Nakahashi, K., “A Boundary Recovery Algorithm for Delaunay Tetrahedral Meshing,” Proceedings of 5th International Conference on Numerical Grid Generation in Computational Fluid Simulations, Mississippi State, Mississippi, 1996, pp.229-238.
- [7] Ito, Y. and Nakahashi, K., “Improvements in the Reliability and Quality of Unstructured Hybrid Mesh Generation,” *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, Vol. 45, Issue 1, May 2004, pp.79-108.

[お知らせ]

サイバーサイエンスセンター講習会(夏期・秋期開催分)のご案内

サイバーサイエンスセンターでは、利用者みなさまに当センターの計算資源を効率的に利用していただくことを目的に講習会を開催しております。初めてスーパーコンピュータを利用される方や現在活用されている方を対象に、幅広いカリキュラムを用意しています。

今後スーパーコンピュータによるシミュレーションを計画している研究者、学生、技術系職員等広い範囲の皆様のご参加をお待ちしております。

No.	講習会名	開催日時	募集人数	講師	内容
9	Gaussian 入門	8月21日(水) 13:00-17:00	20	岸本 (理学研究科)	・ Gaussian の基本的な使い方
10	Mathematica 入門	9月6日(金) 13:00-16:30	20	横井 (尚絅学院大学)	・ Mathematica の基本的な使い方
11	はじめての Linux	9月9日(月) 13:00-16:00	20	佐々木 (情報部情報基盤課)	・ Linux システムの基本的な使い方 ・ エディタの使い方
12	はじめてのスパコン	9月10日(火) 13:00-15:30	20	大泉 (情報部情報基盤課)	・ スーパーコンピュータの紹介と 利用法入門 (見学あり)
13	SX-ACE の性能分析・ 高速化	9月11日(水) 13:00-17:00	20	江川 (サイバーサイエンス センター)	・ スーパーコンピュータでの性能 解析から最適化まで
14	並列プログラミング 入門 I (OpenMP)	9月12日(木) 13:00-17:00	20	小松 (サイバーサイエンス センター)	・ 並列プログラミングの概要 ・ OpenMP による並列プログラミングの 基礎 ・ 利用法
15	並列プログラミング 入門 II (MPI)	9月13日(金) 13:00-17:00	20	小松 (サイバーサイエンス センター)	・ MPI による並列プログラミングの 基礎 ・ 利用法

備考：・申し込みは、ウェブページ <https://www.ss.cc.tohoku.ac.jp/guide/kosyu.cgi> から
お願いします。

- ・プログラムは予定のものです。若干変更になる場合がありますのでお含みおきください。
- ・サイバーサイエンスセンターでは、希望に応じてスーパーコンピュータに関する出張講習会の開催を検討いたします。希望される方は共同利用支援係までご連絡ください。

問合せ先：共同利用支援係 (022-795-3406, uketuke@cc.tohoku.ac.jp)

講習会受講者の感想

はじめてのLinux

- ・初心者にとって、基本的かつ実用的なものであってとても参考になった。
- ・入門として非常にわかりやすかった。
- ・コマンドの復習になってよかった。
- ・資料がよかった。



はじめてのスパコン

- ・スーパーコンピュータのことはまったく知らなかったので興味深かった。
- ・実際に手を動かさず講習だったので判り易く大変ためになる講習だった。
- ・スパコンを実際に見ることができて良かった。

並列プログラミング入門Ⅰ (OpenMP)

- ・全く OpenMP を知らない人にもわかりやすい内容でした。
- ・すぐ応用に使えるようだ。
- ・演習が充実していてとてもよかった。



並列プログラミング入門Ⅱ (MPI)

- ・講習会用の資料がすごくわかりやすかったです (プログラム例、図)。
- ・とても判り易く参考になった。充実していて面白かった。



Gaussian 入門

- ・講義から実践まで新鮮でした。
- ・化学にほとんど詳しくない自分にとっても理解でした、とてもありがたい。
- ・先生の説明は判り易かったです。
- ・コンピュータに関する知識がうといのでかなり難しい内容だった。

Mathematica 入門

- ・基本的なことがよくわかった。丁寧に解説いただきありがとうございました。
- ・自分で操作してそれをチェックしてもらるのでよかった。

<講習会会場>

東北大学サイバーサイエンスセンター
仙台市青葉区荒巻字青葉 6-3
仙台市地下鉄東西線 青葉山駅出口より徒歩 3分



[利用相談室便り]

2019年度の利用相談について

今年度も5月よりサイバーサイエンスセンター本館利用相談室で利用相談を行っています。日程等詳細は次頁をご覧ください。相談内容によってはメーカー等に問い合わせる場合や、時間を要する場合もありますが、利用者の問題解決にむけて努めております。直接面談のほかに、メールや電話での相談も受けておりますのでお気軽にご相談ください。

- ・ プログラムを高速化するにはどうしたらいいの？
- ・ プログラムを並列化してもっと速く計算したい！
- ・ スパコンでプログラムを動かしても速さがPCと変わらないんだけど、どうして？
- ・ 研究室のコンピュータではメモリが足りない！
- ・ 研究室の電気代高騰で困っている。
- ・ コンピュータの管理は面倒。研究に専念したい。
- ・ サービスしているアプリケーションを研究室から利用するにはどうすればいいの？

このような、スーパーコンピュータ利用に関する疑問や問題をお持ちの方、これから利用してみたいとお考えの方、一度相談してみたいはいかがでしょうか。また、サイバーサイエンスセンター本館相談室には、各種マニュアル、書籍も揃えています。相談室での閲覧、貸し出し（一部の書籍、マニュアルを除く）も可能ですのでご活用ください。

東北大学サイバーサイエンスセンター本館1階 利用相談室

所在地： 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-3 （地下鉄東西線青葉山駅 北1出口より徒歩3分）

Tel : 022-795-6153 学内内線 92-6153

不在の場合は 022-795-3406(3階共同利用支援係)

e-mail : sodan@cc.tohoku.ac.jp

e-mail の場合、曜日、時間帯によっては回答に少しお時間をいただくことがあります。あらかじめご了承ください。



サイバーサイエンスセンター本館（右）、
2号館（左）



利用相談室

2019 年度利用相談日程と主な担当分野

曜日・時間		テクニカルアシスタント（所属）	主な担当分野
月	14～16時	佐々木大輔（情報基盤課共同研究支援係）	<ul style="list-style-type: none"> ・スーパーコンピュータ ・並列コンピュータ ・Fortran ・大判プリンタ
火	14～16時	齋藤 敦子（情報基盤課共同研究支援係）	<ul style="list-style-type: none"> ・可視化システム ・スーパーコンピュータ ・並列コンピュータ ・大判プリンタ
水	15～17時 要事前予約	山崎 馨（金属材料研究所）	<ul style="list-style-type: none"> ・アプリケーション（Gaussian）
木	14～16時	森谷 友映（情報基盤課共同研究支援係）	<ul style="list-style-type: none"> ・スーパーコンピュータ ・並列コンピュータ ・Fortran ・大判プリンタ
金	14～16時 要事前予約	小松 一彦（サイバーサイエンスセンター）	<ul style="list-style-type: none"> ・スーパーコンピュータ ・並列コンピュータ ・高速化（ベクトル化、並列化） ・Fortran ・C/C++
要事前予約		山下 毅（情報基盤課共同利用支援係）	<ul style="list-style-type: none"> ・アプリケーション全般 ・高速化（ベクトル化、並列化） ・Fortran ・負担金
<p>*上記以外の時間帯に面談・電話での相談を希望の方は、3階窓口（共同利用支援係）まで相談内容をお申し出ください。センター内担当者に取り次ぎます。</p>			

[JHPCN]

JHPCN 学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点 第 11 回シンポジウム報告

江川 隆輔

東北大学サイバーサイエンスセンター スーパーコンピューティング研究部

【報告記事】

令和元年 7 月 11, 12 日, 第 11 回 学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点 (JHPCN) シンポジウムが, 東京品川 The Grand Hall において開催されました. 今年度のシンポジウムでは昨年度採択された 51 課題に関する講演と今年度採択された課題 58 件のポスター発表に加えて, 各構成拠点から推薦された萌芽課題 30 件のポスター発表があり, 活発な議論が展開されました.

学際大規模情報基盤共同利用・共同研究は, 東北大学, 北海道大学, 東京大学, 東京工業大学, 名古屋大学, 京都大学, 大阪大学, 九州大学にそれぞれ附置するスーパーコンピュータを持つ 8 つの共同利用の施設を構成拠点とする「学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点」が, 超大規模数値計算系応用分野, 超大規模データ処理系応用分野, 超大容量ネットワーク技術分野, およびこれらの技術分野を統合した大規模情報システム関連研究分野, 更には分野間に亘る複合分野の研究者らと取り組む学際的な共同利用・共同研究です.

平成 22 年度から令和元年度の 8 年間に於いて約 350 件を超える課題が学際大規模情報基盤共同利用・共同研究として採択されており, そのうち当センターとの共同研究課題は約 50 件となっております. 今年度は, 7 件が当センターとの共同研究課題として採択されております. 本年度採択された課題のポスターに関しましては, 本報告末尾にポスターを再掲しております. 是非, 高性能計算を用いた多岐にわたる共同研究活動をご覧頂ければと存じます. その他, これまでの採択課題に関する情報は以下の URL で公開されておりますので, 併せてご参考にして頂ければ幸いです. (JHPCN URL : <https://jhpcn-kyoten.itc.u-tokyo.ac.jp/dg/sympo/11th/>)

来年度の学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点の研究公募は 10 月頃に公開予定です. ご興味のあるかたは奮ってご応募ください. また, 応募に際しまして当センターの計算機科学を専門とする教員との共同研究の可能性を検討したい, 手続き方法が分からない等, 本応募に関して不明な点があります場合は, お気軽に当センターまでお問い合わせください.

【平成 31 年度学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠における当センターとの共同研究課題】

熱中症リスク評価シミュレータの開発と応用

研究代表者 平田晃正（名古屋工業大学）

日本全土の洪水氾濫被害推定の高精度化

研究代表者 風間聡（東北大学）

大規模津波浸水被害推計シミュレーションのマルチプラットフォーム向け最適化手法の研究

研究代表者 撫佐昭裕（東北大学）

Investigation of Sound-Flow Interaction of Acoustic Liner using CFD/CAA Hybrid Approach

研究代表者 佐々木大輔（金沢工業大学）

気液二相デトネーションに対する大規模数値解析

研究代表者 松尾亜紀子（慶應義塾大学）

GW space-time コードの大規模な有機-金属界面への適用に向けた高効率化

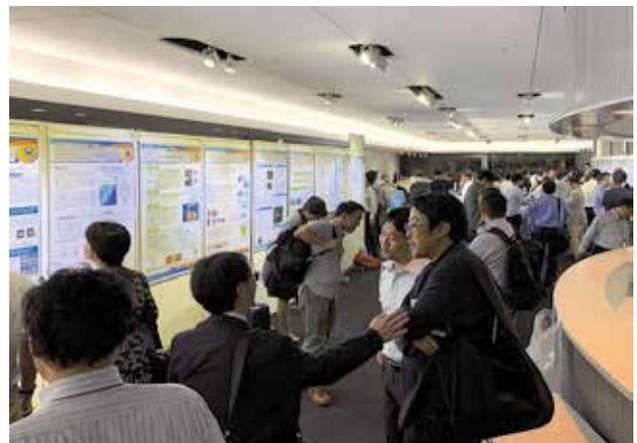
研究代表者 柳澤将（琉球大学）

HPC と高速通信技術の融合による大規模データの拠点間転送技術開発と実データを用いたシステム
実証試験

研究代表者 村田健史（情報通信研究機構）



シンポジウム会場



パネル展示会場

熱中症リスク評価シミュレータの開発と応用

江川 隆輔 (東北大学サイバーサイエンスセンター) 柏 達也、田口 健治(北見工業大学)
堀江 祐圭(日本気象協会) 小寺 紗千子、神谷 俊樹、西村 卓(名古屋工業大学)

研究背景と目的

- 熱中症による死亡者数は増加傾向。死亡例も報告。
- 本研究グループでは日本の夏場などの環境において、熱中症の主な要因である体温上昇、発汗量の解析を実施。
- 解析結果から熱中症のリスク評価を行い、**熱中症予防の普及啓発活動**に寄与することが目的。

解析手法

- 計算機上にて、様々な環境を模擬した仮想空間に人体モデルを配置、図1に示したフローチャートに従って体温変化や発汗量を計算。
- 温度上昇解析は**生体熱輸送方程式**を用いる。組織間の**熱伝導**や体表面から外気への**熱伝達**に加え、体温上昇に伴う**発汗**、**血流量変化**による熱輸送などの**熱調整機能(システムバイオロジー)**、**太陽光**吸収による熱発生を考慮し、時間領域有限差分法で逐次計算。

動脈血・静脈血のモデル化

- 血液温度計算高精度化のため、人体モデルを5分割→**14分割**とし、交流係数を用いて動脈温度および静脈温度を考慮した血液モデルを実装、**全身の血液温度の細分化**を行った。細分化コード部分についてベクトル化、並列化を行い、成人モデルにおける3時間暑熱ばく露の計算時間は**29秒**であった。
- これらのコードを用い、Dufourらの実験条件(外気温:4分間で28℃~40℃まで線形に上昇→86分間40℃を維持、湿度:42%、図2)および、Hardyらの実験条件(外気温:28℃から34℃の範囲の計7条件(1℃刻み)、60分間、湿度:60%、図3)を模擬した。
- 向流係数を調整することにより、優れた非蒸散性熱放散能力をもった、**熱帯生育者**の長期暑熱順化モデルを開発した。これにより、**四肢における体温は低く、頭部・胴体では高い状態**の模擬が可能となった。

今後の展望

- 前日および前々日の気温変化を考慮に入れた**短期暑熱順化**の模擬
- 幼児、成人女性、妊娠女性、前期高齢者、後期高齢者モデルにおいて、様々な気象環境における解析試算
- **冷帯、温帯、熱帯出身者**の長期暑熱順化モデルの確立

解析結果・グラフ

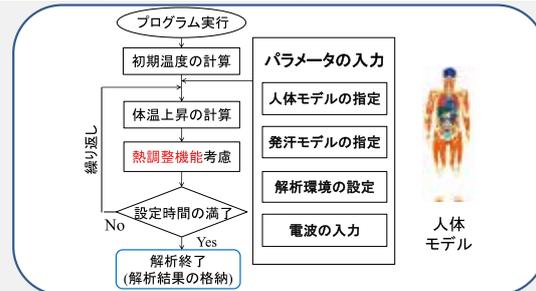


図1. 解析のフローチャート

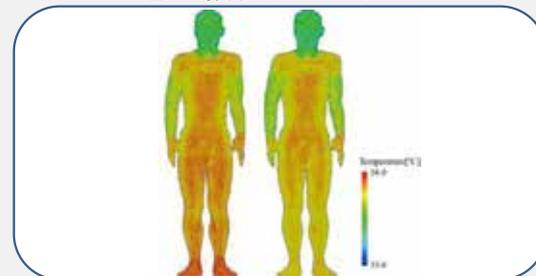


図2. 体表面温度分布
(左:従来手法, 右:提案手法)

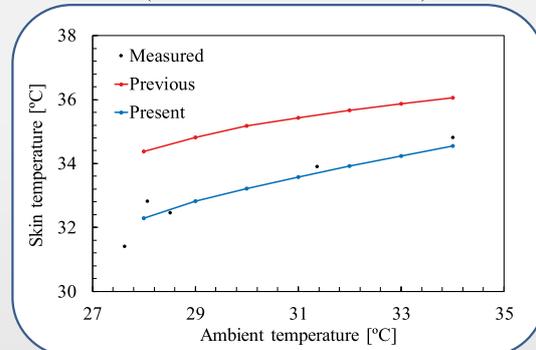


図3. 外気温による足の皮膚温度の変化

- 下半身の皮膚温度分布が大きく異なる(図2参照)。従来の計算手法では、胴体と四肢の血液温度のみ定義されており、足全体を同一の血液温度として扱っていた。提案手法では、**14部位の血液温度を向流係数により定義しているため**、四肢に輸送する熱量がより大きくなり、温度上昇値が小さくなった。
- **足の皮膚温度**は、従来方法と比較して**2.7%**精度が向上した(図3参照)。これは、血液温度が末端に向かうにつれて下がるという、**実際の人体に近い血液温度分布**が模擬できたためである。

日本全土の洪水氾濫被害推定の高精度化



背景・目的

近年、日本各地で洪水被害が多発しており、気候変動の影響で豪雨の増加が見込まれる

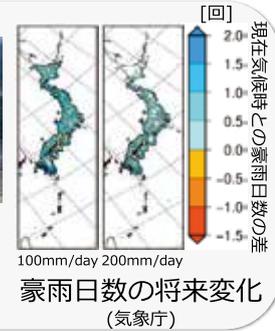
全国で氾濫の危険度が高い地域はどこか

⇒ 危険性の発信・効率的な治水投資

適応策の議論には1km未満の解像度が必須



西日本豪雨 (2018年)



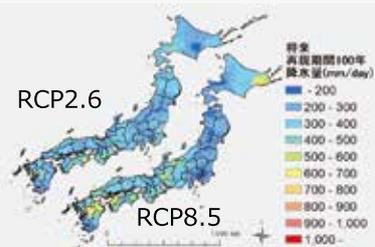
100mm/day 200mm/day

豪雨日数の将来変化 (気象庁)

研究目的：日本全国での高解像度洪水氾濫解析による気候変動影響評価と適応策の定量的検討

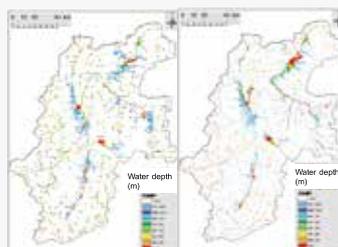
洪水氾濫解析

将来の降水量：全球気候モデル



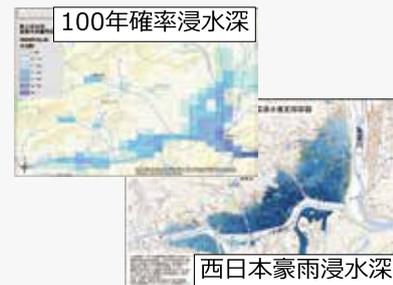
日本各域で再現期間100年洪水を生じさせる日降水量 (2050年時)

高解像度洪水氾濫解析



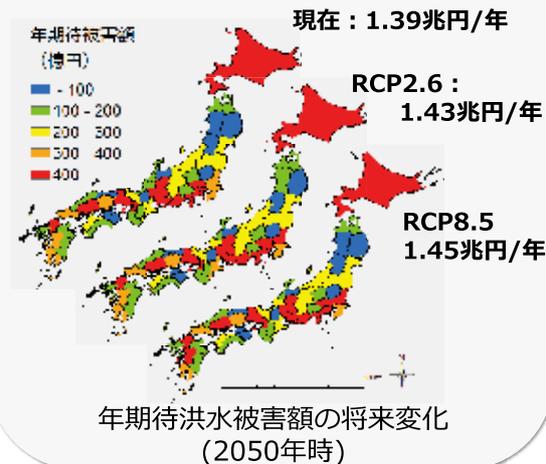
100年確率降雨時の浸水深分布

西日本豪雨事例の浸水深比較



100年確率豪雨(西日本豪雨)とのモデル比較

推定洪水被害額

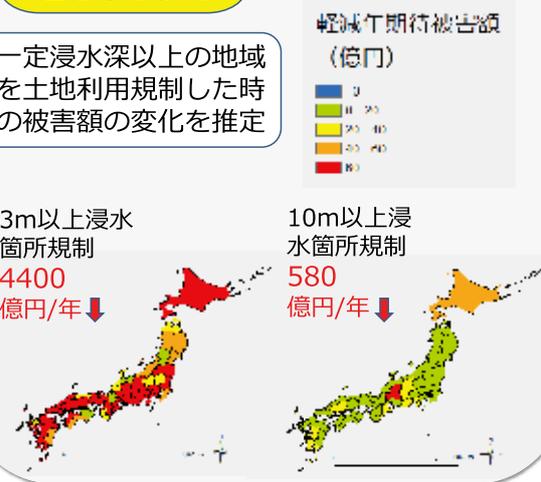


適応策の検討

一定浸水深以上の地域を土地利用規制した時の被害額の変化を推定

3m以上浸水箇所規制
4400 億円/年 ↓

10m以上浸水箇所規制
580 億円/年 ↓



学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点 公募型共同研究 平成31年度採択課題

11th Symposium

jh190030-NAH

Joint Usage / Research Center for Interdisciplinary Large-scale Information Infrastructures

撫佐 昭裕 (東北大学サイバーサイエンスセンター)

大規模津波浸水被害推計シミュレーションのマルチプラットフォーム向け最適化手法の研究



共同研究者: 越村俊一, 阿部孝志(東北大学災害科学国際研究所), 小林広明, 佐藤雅之, 岸谷拓海(東北大学大学院情報科学研究科), 伊達進(大阪大学サイバーメディアセンター), 小松一彦, 下村陽一(東北大学サイバーサイエンスセンター)

研究目的

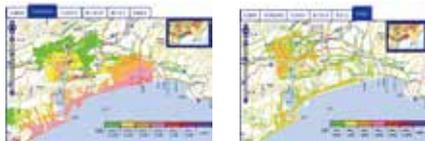
大規模な津波発生時に津波被害を20分以内に推計するシステムをスーパーコンピュータSX-ACEを用いて開発した。大規模な地震では建屋の被害や停電が広域にわたることが多い。津波被害推計を安定的に行うためには、大規模な地震がどの地域で発生しても、被災を免れたスーパーコンピュータを用いて被害推計を行うことが必要である。また、現在、南海トラフ領域の被害推計を行っているが、日本全国へ対象範囲を広げることも必要である。

本研究では、

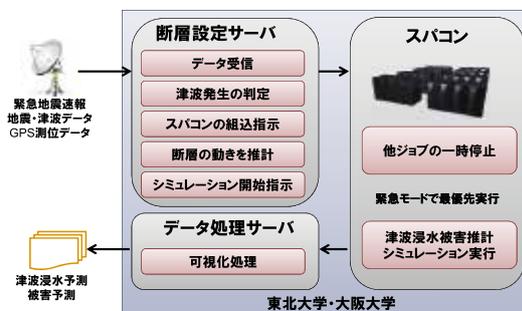
- 複数の異なるアーキテクチャのスーパーコンピュータ上で高速に実行できるモデルを開発する。
- 全国規模の津波浸水被害シミュレーションを実現するため、並列処理の効率化とモデルサイズの最適化を行い、さらに全国規模のシミュレーションを行うためのスーパーコンピュータ資源量を明らかにする。

背景

- 東日本大震災では、津波災害は広域災害であり、被害把握に時間がかかり、初期対応の遅延が発生
- 津波災害発生時には被害状況の早期把握が必要
・シミュレーションを活用して被害状況を早期把握



- 迅速な救援計画や体制の確立
・被災地近隣地域からの迅速な支援



津波浸水被害推計システム概念図

※内閣府総合防災システムの一機能として採用され、南海トラフ地震をターゲットに稼働中。

津波浸水被害シミュレーションの概要

- 非線形長波理論

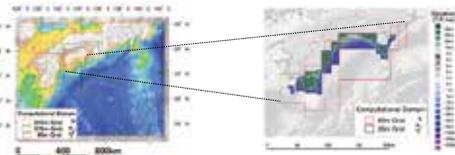
$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{gn^2}{D^{7/3}} M \sqrt{M^2 + N^2} = 0$$

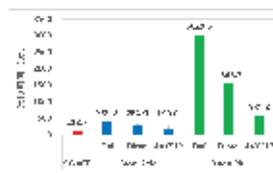
$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{gn^2}{D^{7/3}} N \sqrt{M^2 + N^2} = 0$$

$$M = \int_{-h}^{\eta} u dz = \bar{u}(\eta + h), N = \int_{-h}^{\eta} v dz = \bar{v}(\eta + h)$$

- 階層型グリッド(多角形格子を採用)

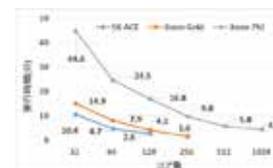


- 現在の処理時間(昨年度の研究成果)
高知県沿岸を10m格子で6時間の津波浸水を計算



SX-ACE, Xeon Gold, Xeon Phiのシングルコアでの実行時間

- ・Def.はコンパイラのデフォルトオプション
- ・Dirac.hはベクトル指示行を利用
- ・AVX512はAVX512命令を利用



SX-ACE, Xeon Gold, Xeon Phiのマルチコアでの実行時間

昨年度の研究により、本シミュレーションを数分で実行可能となった。

研究計画

- ターゲットするスーパーコンピュータ
 - ・Intel Xeon Gold
 - ・Intel Xeon Phi (KNL)
 - ・NVIDIA Tesla P100
 - ・SX-ACE
 - ・SX-Aurora TSUBASA
- NVIDIA Tesla等のGPUでの高速化
OpenACCを用いてGPUでの高速化を実現する。



- 大規模並列化
大規模並列化へ向けた演算ロードインバランスと通信時間の改善を検討する。
- 全国規模のシミュレーションへの検討
5分以内にシミュレーションを完了させるためのモデルサイズと各スーパーコンピュータにおける必要計算機資源量を明らかにする。また、耐障害性のための冗長化と分散配置の検討を行う。

Investigation of Sound-Flow Interaction of Acoustic Liner using CFD/CAA Hybrid Approach

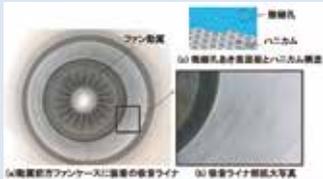


Background and Objective

Background

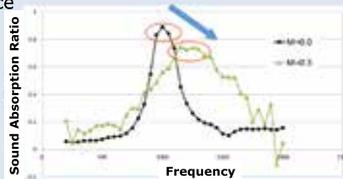
- Fan is one of major noise sources and further noise reduction for the future aircraft development is required
- Ultra High Bypass (UHB) turbofan for higher efficiency
- Acoustic liner is equipped to reduce fan noise
- Structural and weight limitation for acoustic liner

Acoustic liner plays more important role in high sound absorption for wide frequency range



Acoustic liner attached at intake [1]

- The characteristics of acoustic liners:
 - Sound absorption performance is changed due to the existence of grazing flow



JAXA experimental result of acoustic liner model

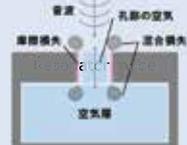
- Non-linear effect appears at high incident sound level and high Mach number grazing flow
- Interaction of sound and flow needs to be investigated for the understanding and design of a new liner

Time-domain direct CFD analysis of acoustic liner model is useful

Fundamental of Helmholtz Resonator

Sound absorption principle (without grazing flow)

- The air in the neck and the air in the cavity works as a mass-spring system (resonant frequency)
- Energy loss caused by a resonator results in sound absorption
- Loss occurs in viscous boundary layer at walls of resonator neck
- Acoustical energy dissipation at edge of resonator



Principle of Helmholtz resonator

Objectives

Objectives

- CFD/CAA algorithm development and validation based on Cartesian mesh for acoustic liner model
- Application of direct CFD/CAA solver to investigate the influence of multiple resonators to sound and flows
- 3D extension of solver for more realistic geometry (multiple orifices, various shapes, etc.)

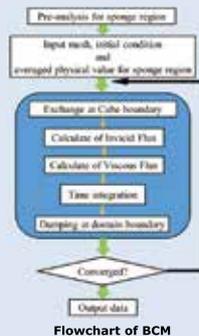
Fundamental Model and Numerical Methods

Numerical Methods

- 2D Compressible BCM (planned for 3D extension)
- Direct Numerical Simulation (DNS)
- 4th-order Runge-Kutta method (time-marching)
- 5th-order WENO scheme (space)

Inflow Boundary Condition

- Mach Number: 0 / 0.088 (Re13123 based on opening width)
- Laminar Boundary Layer (Blasius solution)
- Incident sound wave: plane sine wave (120 dB)
- Acoustic sponge region



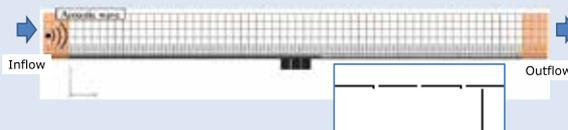
Flowchart of BCM

Outflow Boundary Condition

- Acoustic sponge region

Model Example

- Multiple-resonator case (3 resonators)
- 100 minimum-size cells for opening width



Computational model with Cube allocation (32² Cell in each Cube)

Research Institutes and Members

CFD/CAA Algorithm Development and Applications

- Kanazawa Institute of Technology (D. Sasaki)

3D Extension of Solver

- Cyberscience Center, Tohoku University (R. Egawa, K. Komatsu)

Acoustic Liner Expertise (Analysis of Application Results)

- Institute of Sound and Vibration Research, University of Southampton (R. Sugimoto, P. Murray)

Planned computational resources at Tohoku university

- Vector supercomputer (SX-ACE)
- Scalar parallel computer (LX406Re2)
- 3D Visualization



Project Representative: dsasaki@neptune.kanazawa-it.ac.jp

研究背景

デトネーションとは衝撃波を伴い予混合気中を超音速で伝播する燃焼波である。

- | | | |
|---|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • 衝撃波による高温下での燃焼 • 衝撃波による断熱圧縮 • 伝播速度が超音速 | ➔ | <ul style="list-style-type: none"> • 理論熱効率の向上 • 圧縮機の簡略化・省略 • 小型化 |
|---|---|---|

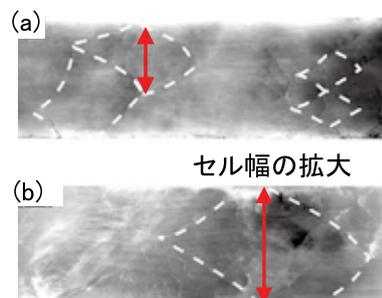
燃焼形態としてデトネーション燃焼器の開発が盛んに行われている。
デトネーション燃焼器の実用化にはエネルギー密度の高い**液体燃料**の使用が必須となる。
しかし、液滴を含む気液二相デトネーションに対する知見が不足している。

先行研究 (Jarsalé *et al.*, Shock Waves 2016)

- 水液滴を含むC₂H₄-air混合気を対象に実験を行なった。
- 水液滴の存在によって伝播速度低下とデトネーションの特性長であるセル幅の拡大を確認した。

μsオーダーかつμmオーダーの現象である事から
詳細な伝播機構や水液滴の挙動について解明されていない。

➔ 大規模数値解析を実施する事で気液二相デトネーションの伝播機構と液滴の挙動を理解する。



Jarsalé *et al.*の実験で得られた煤幕模様
(a)水液滴を含まない場合
(b)水液滴を含む場合(水液滴質量分率0.07)

支配方程式 (Eulerian-Lagrangian) と数値計算手法

気相: 体積平均化された二次元圧縮性Navier-Stokes方程式

$$\frac{\partial}{\partial t} (\alpha_g \mathbf{U}_g) + \nabla \cdot (\alpha_g \mathbf{E}_g) + \mathbf{F}_g \alpha_g - \nabla \cdot (\alpha_g \mathbf{G}_{diffuse}) = \alpha_g \mathbf{S}_{chemical} + \mathbf{S}_{two-phase interaction}$$

水液滴: Newtonの運動方程式

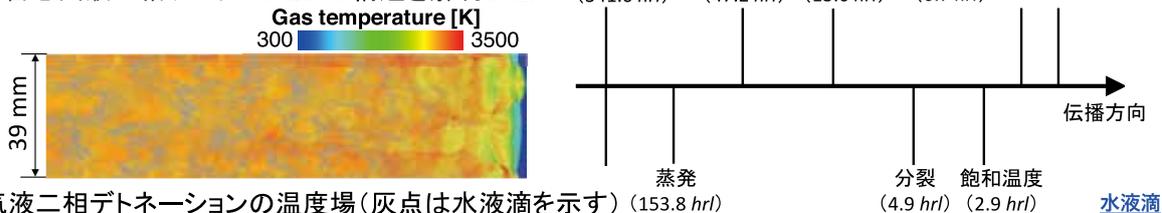
物理モデリング

- 発熱反応: 詳細化学反応モデル
- 水液滴の考慮する現象: 蒸発および分裂

結果

計算条件: 2H₂-O₂-2N₂(初期圧10 kPa, 初期温度300 K). かさ密度5.5 g/m³の均一直径15.9 μmの水液滴

得られた計算結果に対して特性長を算出し、水液滴を含む気液二相デトネーションの構造を解明した。



気液二相デトネーションの温度場(灰点は水液滴を示す)

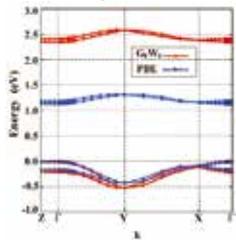


1. 研究背景・目的

有機エレクトロニクス材料物質の基礎電子物性の理解

- ・ バンドギャップ・バンド分散の精密予測

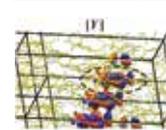
ルブレ単結晶のバンド計算 (GW近似; GW space-time プログラム)



S. Y., Y. Morikawa, and A. Schindlmayr, Phys. Rev. B **88**, 115438 (2013)

有効正孔質量(m_h^*/m_e)

	[Γ-Y]	[Γ-X]
DFT	1.00	2.15
GW	0.90	1.65
Exp.	0.65±0.1	
Exp.	0.8±0.1	1.9±0.3

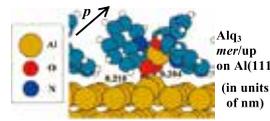


- ・ 有機層と電極金属の界面

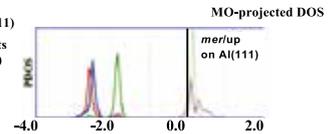
電荷 (正孔・電子) の電極からの注入障壁の形成要因
 - 界面での電荷移動、化学結合
 - 電子密度分布の再構成

H. Ishii et al., Adv. Mater. **11**, 605 (1999).

金属フェルミ準位と有機層の最高占有・最低非占有(HOMO・LUMO) 準位の並び



S. Y. and Y. Morikawa, J. Chem. Phys. **128**, 244704 (2008).



- ・ 結晶構造・分子配置とバンド構造の関係

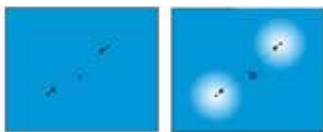
- S. Y., K. Yamauchi, T. Inaoka, T. Oguchi, and I. Hamada, Phys. Rev. B **90**, 245141 (2014)
- S. Y., K. Okuma, T. Inaoka, and I. Hamada, J. Electron. Spectrosc. Relat. Phenom. **204**, 159 (2015)
- S. Y. and I. Hamada, J. Appl. Phys. **121**, 045501 (2017).
- S. Y. and I. Hamada, A Chapter in *Theoretical Chemistry for Advanced Nanomaterials - Functional Analysis by Computation and Experiment* (Springer Nature, October 2019).

本研究の目的:

有機-金属界面での準位接続の予測の精密化のためにGW近似を適用できるように、プログラムを大規模並列計算向けに高度化。

2. 理論

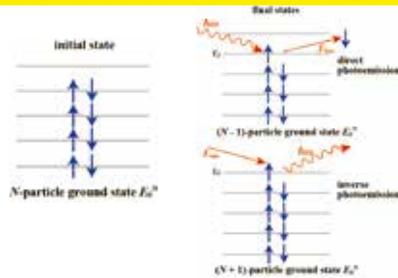
GW近似: 独立粒子模型・平均場近似に対し固体内のクーロン相互作用の遮蔽の効果を取り込む。



自己エネルギー Σ
 $\Sigma \approx GW$

G: 1体グリーン関数

「裸の」クーロン相互作用 W 遮蔽相互作用 W^*
 光電子分光の実験での、準粒子の伝播に物理的に対応



有機層と電極金属の界面での準位接続の再現



J. B. Neaton et al., Phys. Rev. Lett/ **97**, 216405 (2006).

3. 計算方法、プログラムの現状、予定

GW space-time 法

- M. M. Rieger et al., Comput. Phys. Commun. **117**, 211 (1999).
- L. Steinbeck et al., Comput. Phys. Commun. **125**, 105 (2000).
- C. Freysoldt et al., Comput. Phys. Commun. **176**, 1 (2007).

$$W(\mathbf{G}, \mathbf{G}'; i\omega) = \epsilon^{-1}(\mathbf{G}, \mathbf{G}'; i\omega) v(\mathbf{G}, \mathbf{G}')$$

$$\Sigma(\mathbf{r}, \mathbf{r}'; i\tau) = iG(\mathbf{r}, \mathbf{r}'; i\tau)W(\mathbf{r}, \mathbf{r}'; i\tau)$$

$P(\mathbf{r}, \mathbf{r}'; i\tau) = -2iG(\mathbf{r}, \mathbf{r}'; i\tau)G(\mathbf{r}, \mathbf{r}'; -i\tau)$ 量込み積分でなく、積を計算

$$\tilde{\epsilon}_k(\mathbf{G}, \mathbf{G}'; i\omega) = \delta_{\mathbf{G}\mathbf{G}'} - \frac{4\pi}{|\mathbf{k} + \mathbf{G}| |\mathbf{k} + \mathbf{G}'|} P_k(\mathbf{G}, \mathbf{G}'; i\omega)$$

$$W_k(\mathbf{G}, \mathbf{G}'; i\omega) = \frac{4\pi}{|\mathbf{k} + \mathbf{G}| |\mathbf{k} + \mathbf{G}'|} \tilde{\epsilon}_k^{-1}(\mathbf{G}, \mathbf{G}'; i\omega)$$

- ・ 高速フーリエ変換で(\mathbf{r}, \mathbf{r}')と(\mathbf{G}, \mathbf{G}'); ($i\tau$)と($i\omega$)を切替
- ・ 非局所な複素数の量を計算。必要メモリが大きい。

前年度までの実装の状況

- ・ 誘電行列 $\tilde{\epsilon}_{\mathbf{G}\mathbf{G}'}$ の逆行列化を、ScaLapackを使わず、 \mathbf{k} と $i\omega$ のグリッドについて、ノードに分配
- ・ ノード内で逆行列化計算をタスク並列化 (OpenMP)

Lapackのlibrary (ZHETRF/ZHETRI: Mathkeisan) の計測結果 (SX-ACE)。タスク並列化なし、またはタスク並列化 (2, 4スレッド) による20121次元の複素誘電行列のLU分解 (ZHETRF) および逆行列化 (ZHETRI) での経過時間。

	ZHETRF (秒)	ZHETRI (秒)
no OpenMP	181.3 (1.00)	361.1 (1.00)
OpenMP (2 threads)	99.2 (1.83)	234.5 (1.54)
OpenMP (4 threads)	57.5 (3.15)	194.9 (1.85)

- ・ 表面などの計算のための効率的計算法の実装: クーロンカットオフ [S. Ismail-Beigi, Phys. Rev. B **73**, 233103 (2006)]

今年度の予定

- ・ コードの総合的解析、全交換などの通信コストの軽減。
- ・ 有機半導体の表面準位や、金属表面に物理吸着した分子の電子準位の再現を試みる。

Combination of HPC and high-speed data transfer technologies for big-data processing systems



Overview

- Background

With the rapid growth in the information and communication technologies, large volumes of data from computing resources in datacenters and Internet of Things (IoT) sensors are collected and processed in real time. High-speed infrastructure networks play an important role to support the real-time operations, and a high-speed file transfer tool is needed to fully utilize the network bandwidth. In addition, artificial intelligence (AI) enables to improve disaster mitigation applications by quickly processing large volumes of complex and fragmented data.
- Objective

We conduct three case studies to demonstrate large-scale data processing and large-scale information systems. The first is extraction of meteorological information from Himawari-8 satellite data using AI and visualization on tiled display wall (TDW). The second is concurrent processing system for high-speed data transfer and visualization of genomic information. The third is information extraction of visual IoT data using deep learning.

Extraction of Meteorological Information Using AI

- Himawari-8 real-time web
 - Provides Himawari-8 satellite sensed images in real time and with full resolution
 - Mirror sites: Thailand and Philippines



Fig. 1 Himawari-8 real-time web (<https://himawari.asia/>)

- Amaterass web
 - Provides ground weather data (e.g. solar radiation) in real time



Fig. 2 Amaterass web (<http://amaterass.nict.go.jp/>)

- Visualization on TDW
 - Data analytics using AI in NICT and Chiba University
 - Data transmission using high performance copy (HCP)
 - Data processing by supercomputer in Tohoku University and Nagoya University
 - Data visualization on TDW in Chiba University, RIKEN and Kyushu University using STARS by NICT and ChOWDER by Kyushu University

Concurrent Processing System

- Genomic information collected from Illumina Novaseq 6000 in Kyushu University
- Data transmission from Kyushu University to Kyoto University using HCP

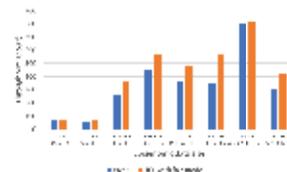


Fig. 3 Data transmission from Kyushu University to Kyoto University

- Visualization on web in real time

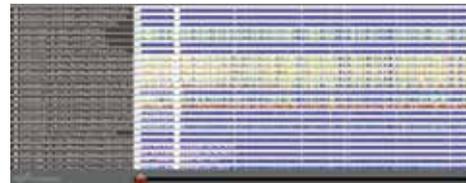


Fig. 4 Example of web application for viewing epigenomic data

Extraction of Visual IoT Data using Deep Learning

- SmartSight camera
 - Visual IoT with video transmission system using Raspberry Pi
 - 20 locations:
 - 12 cameras for weather radar in Kochi prefecture
 - 2 cameras for aurora observation in Arctic region
 - 1 camera for river surveillance
 - 1 camera for landslide monitoring in Hiroasaki University
 - 10 cameras for observation in Chikuma
 - 2 cameras for surveillance in Tokyo
 - etc.
 - Video transmission with high resolution (full HD) and high frame rate (30 fps)
 - Data analytics and processing using deep learning with TensorFlow on supercomputer in Kyoto University
 - Data visualization on TDW in Kyoto University



(a) Visual IoT device (b) Example of real-time monitoring system

Fig. 5 SmartSight camera

Collaborating Researchers

Prapahn Pavarangkoon¹, Kazunori Yamamoto¹, Kazuya Muranaga², Takamichi Mizuhara³, Ayahiro Takaki³, Eizen Kimura⁴, Keiichiro Fukazawa⁵, Ryusuke Egawa⁶, Takuo Suganuma⁶, Osamu Tatebe⁷, Atsushi Higuchi⁸, Takahiro Katagiri⁹, Masao Ogino⁹, Hajime Shimada⁹, Yasuo Okabe⁵, Yasuyuki Ohkawa¹⁰, Kazumitsu Machara¹⁰, Koji Okamura¹⁰, Yoshiaki Kasahara¹⁰, Takeshi Nanri¹⁰, Kenji Ono¹⁰, Tomoki Kimura⁸, Chihiro Tao¹, Fuminori Tsuchiya⁸, Hajime Kita¹¹, Goh Murakami¹¹, Hideaki Takenaka¹¹, Tomohiro Kawanabe¹², Ryuho Kataoka¹³, and Hiroyuki Kusaka⁷

¹National Institute of Information and Communications Technology; ²Systems Engineering Consultants Co., Ltd.; ³CLEALINKTECHNOLOGY Co., Ltd.; ⁴National Institute of Public Health,

⁵Kyoto University; ⁶Tohoku University; ⁷University of Tsukuba; ⁸Chiba University; ⁹Nagoya University; ¹⁰Kyushu University; ¹¹Japan Aerospace Exploration Agency; ¹²RIKEN;

¹³National Institute of Polar Research

[報告]

平成31年度科学技術分野の文部科学大臣表彰において 後藤英昭准教授が科学技術賞（開発部門）を受賞

平成31年度科学技術分野の文部科学大臣表彰において、本センター・後藤英昭准教授らの研究グループが科学技術賞（開発部門）を受賞しました。

後藤准教授らの研究は、全国の大学の共通の認証基盤として、ウェブ認証連携の国際標準に基づく学術認証フェデレーション「学認」、国際無線 LAN 相互利用規格「eduroam」による学術無線 LAN ローミング、オープンドメイン認証局による「UPKI 電子証明書発行サービス」を組み合わせ、統合的な認証連携アーキテクチャを設計・構築し実用化したもので、これらの技術が大学の学術コンテンツや学術ネットワーク資源等の安全な共有・共同利用、遠隔講義や単位互換などの大学間学生交流など国内の大学間だけでなく、国際連携や商用サービスなどに活用されていることが高く評価されたものです。

なお、業績名、受賞者は以下のとおりです。

○ 科学技術分野の文部科学大臣表彰 科学技術賞（開発部門）

業績名：大学間連携のための学術認証フェデレーションの開発

受賞者：岡部寿男（京都大学教授／国立情報学研究所客員教授）（筆頭者）

西村 健（国立情報学研究所特任研究員）

佐藤周行（東京大学准教授）

後藤英昭（東北大学准教授／国立情報学研究所客員准教授）

曾根原登（津田塾大学教授／国立情報学研究所客員教授・名誉教授）



受賞者の方々。（左から2人目が後藤准教授）

[報告]

一般社団法人・電気学会第 107 回通常総会において 江川隆輔准教授が第 75 回電気学術振興賞（進歩賞）を受賞

一般社団法人・電気学会第 107 回通常総会において、本センター・江川隆輔准教授らの研究グループが「第 75 回電気学術振興賞（進歩賞）」を受賞しました。

電気学術振興賞（進歩賞）は、電気に関する学術・技術において新規な概念・理論・材料・デバイス・システム・方法等を新たに提案あるいはこれらの提案を実証した者、および電気に関する製品・設備等を新たに完成または改良し、堅調な成果をあげた者に与えられる賞で、江川准教授らの研究グループは、名古屋工業大学・平田晃正教授らとの共同研究を通して、熱中症リスクを複合物理解析と温熱生理モデルを組み合わせた年代別等の人体モデルに基づき発汗量や体温上昇量など定量的なリスクを表現する技術の開発と、「熱中症セルフチェック」として日本気象協会が推進する「熱中症ゼロへ」プロジェクトの Web サイトにて公開を通して、個人を考慮した熱中症リスクの評価を可能とした新規性、一般の方でも活用しやすい実用性が高く評価されたものです。

同准教授らが所属するスーパーコンピューティング研究部（大学院情報科学研究科・高性能計算論講座）では今後、計算科学を専門とする研究者の皆さまとスーパーコンピュータを活用、その成果を社会に還元できる共同研究を進めていきます。

受賞内容

- ・ 題 目 : 「大規模人体複合物理解析に基づく熱中症リスク管理システムの開発と実用化」
- ・ 対象者 : 平田晃正（名古屋工業大学）、江川隆輔（東北大学）、柏 達也（北見工業大学）、
Laakso, Ilkka（アールト大学）、堀江 祐圭（日本気象協会）

なお、賞の詳細については、下記 HP に掲載されております。

電気学会ページ

<https://www.iee.jp/blog/award2019/>

研究室ページ

<https://www.sc.cc.tohoku.ac.jp/1846.html>

[報告]

大型計算機センター法制化 50 周年記念シンポジウム報告

滝沢 寛之

東北大学サイバーサイエンスセンター スーパーコンピューティング研究部

東北大学 サイバーサイエンスセンターは、以下の 6 センターと共に 2019 年 7 月 10 日(水)に品川 The Grand Hall で「大型計算機センター法制 50 周年記念シンポジウム」を開催しました。

- 北海道大学 情報基盤センター
- 東京大学 情報基盤センター
- 名古屋大学 情報基盤センター
- 京都大学 学術情報メディアセンター
- 大阪大学 サイバーメディアセンター
- 九州大学 情報基盤研究開発センター

歴史を紐解くと、上述の主催 7 センターが発足したタイミングには多少の違いがあるのですが、全国の学術研究者が利用できるように大型計算機センターの制度が整備された 1969 年から数えて 50 周年となることを記念して本シンポジウムは執り行われました。当日のプログラムを以下に示します。

プログラム：

開会の挨拶 東京大学情報基盤センター 田浦 健次郎 センター長

来賓祝辞 文部科学省研究振興局 橋爪 敦 参事官(情報担当)

招待講演 米国テネシー大学 Jack Dongarra 教授

High Performance Computing and Big Data: Challenges for the Future

招待講演 高度情報科学技術研究機構 小柳 義夫 氏

大学計算センターの歩み

パネルディスカッション

テーマ：「10 年後の情報基盤センターの在り方を考える」

司 会：北海道大学情報基盤センター 岩下 武史 教授

パネリスト：

北海道大学 杉木 章義 准教授

東北大学 江川 隆輔 准教授

東京大学 星野 哲也 助教

名古屋大学 嶋田 創 准教授

京都大学 深沢 圭一郎 准教授

大阪大学 伊達 進 准教授

九州大学 嶋吉 隆夫 准教授

主催者を代表して東京大学情報基盤センターの田浦センター長より開会の挨拶があり、文部科学省からは橋爪参事官より法制化 50 周年記念の祝辞をいただきました。

1 人目の招待講演者である Dongarra 教授からは、日本の大学のスパコン整備が中長期的に計画されていることや、スパコンのランキングとして有名な TOP500 List の現状分析、科学技術計算とビッグデータ処理のエコシステムを構築するうえでの課題などについて興味深い講演がありました。2 人目の招待講演者である小柳氏からは、今となっては知っている人が少なくなってきた大型計算機センターの歴史を、その前史から含めてご講演いただきました。また、大学の計算機センターはサービスセンターから研究センターに変わっていくべきだという方向性も示されました。

シンポジウムの後半は「10 年後の情報基盤センターの在り方を考える」というテーマでパネルディスカッションが行われました。北海道大学の岩下教授が司会を担当し、主催の 7 センターから若手・中堅の教員がパネリストとして登壇しました。パネリストはそれぞれの立場や専門分野からの観点で、10 年後の情報基盤センターの在り方を述べました。その後に会場から多くの発言があり、活発なディスカッションが行われました。「仕事は増える一方だが人は増えない」など、現在のセンター教職員が抱える悩みを共有しつつ、小柳先生が招待講演で示唆したとおりに研究センターとして発展していくべきだという方向で意見が一致していたように感じました。

以上、本シンポジウムは現在、過去、未来の情報基盤センターの在り方を学び、考えるうえで大変有意義であり、当初の予想以上に盛会となりました。





東京大学情報基盤センター 田浦健次郎 センター長



文部科学省研究振興局 橋爪敦 参事官



米国テネシー大学 Jack Dongarra 教授 1



米国テネシー大学 Jack Dongarra 教授 2 (質疑応答)



高度情報科学技術研究機構 小柳義夫氏 1



高度情報科学技術研究機構 小柳義夫氏 2



パネルディスカッション
「10年後の情報基盤センターの在り方を考える」



会場の様子

[報 告]

EMC Sapporo & APEMC 2019 報告

東北大学情報部情報基盤課

小野 敏

2019年6月3日～7日に北海道札幌市の札幌コンベンションセンターにおいて、EMC Sapporo & APEMC 2019(2019 Joint International Symposium Electromagnetic Compatibility and Asia-Pacific International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Sapporo)が開催されました。EMCは環境電磁工学に関する国際会議であり、開催された札幌コンベンションセンターでは、企業や大学、研究所などが展示ブースを構え、開発した製品、研究内容等の情報発信をしていました。

サイバーサイエンスセンターでは、本学の高性能計算に関する研究成果の発信を目的に、展示ブースを設置しました。展示ブースでは、本センターのシステム紹介、各研究部の研究内容の紹介、スーパーコンピュータで利用・開発されているアプリケーションの紹介、将来の高性能システムのための研究開発に関する展示・成果発表を行いました。また、将来のユーザ獲得を目指し無料利用アカウントの配布などを行い、展示ブースに多くの訪問者を迎え、広く当センターの活動をアピールできただけでなく、大変有意義な議論と情報交換を行う事ができました。



[紹介]

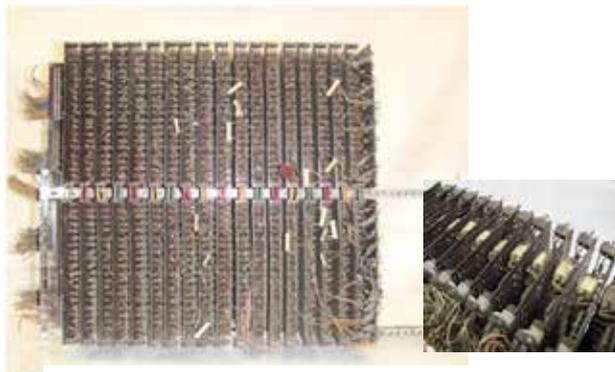
サイバーサイエンスセンター展示室の紹介

サイバーサイエンスセンターの1階にある展示室をご紹介します。この展示室は2010年3月に情報処理学会分散コンピュータ博物館として認定されました。

当センターではコンピュータ技術の発展を広く知っていただくため、センターで実際に使用した計算機等を平成10年頃から収集を始め、平成14年からセンター1階の展示室に展示しています。展示品の主なものとしては、コンピュータの黎明期に東北大学と日本電気が共同開発した科学技術用パラメトロン計算機の資料と、歴代のコンピュータを中心としたその部品や装置、歴代のネットワーク関連機器と資料などです。

展示室はサイバーサイエンスセンター本館1階にあり、2室に分かれています。展示室1にはコンピュータの黎明期の資料、当センターの歴代のコンピュータや関連資料を展示しています。展示室2には、ネットワーク関連の展示と大学関係者から寄贈いただいたMac関連の機器を展示しています。

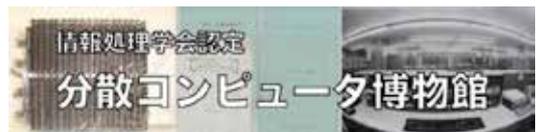
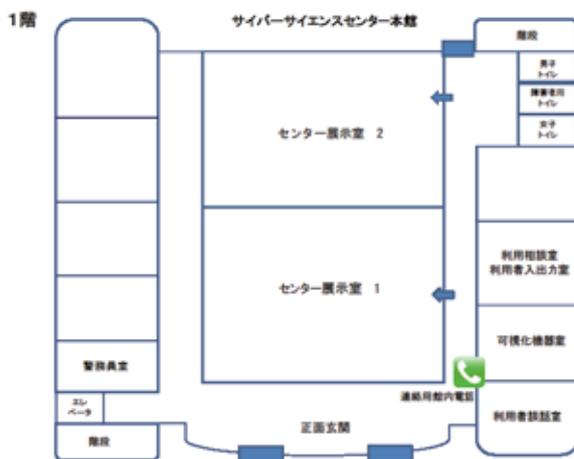
展示室は平日9:00～17:00の公開となっております。見学を希望される方は、センター1Fカウンターの電話で内線801へご連絡ください。どなたでも見学していただけます。係員による説明をご希望の方、見学的人数が10名以上の場合は事前のご連絡をお願いいたします。



パラメトロン演算ユニット



NEAC シリーズ 2200 計算機室 (写真展示)





SX-9 の正面と側面



ルータ (Cisco 社製 Catalyst 6500)

<過去の紹介記事一覧>

分散コンピュータ博物館認定式 (SENAC vol. 43, No. 2)

サイバーサイエンスセンター展示室の紹介 (SENAC vol. 43, No. 3)

- | | |
|-------------------------------|---------------------|
| 展示室便り① (SENAC vol. 44, No. 3) | SENAC-1 |
| 展示室便り② (SENAC vol. 44, No. 4) | SENAC-1 (続) |
| 展示室便り③ (SENAC vol. 45, No. 1) | 大泉充郎先生 |
| 展示室便り④ (SENAC vol. 45, No. 2) | NEAC シリーズ 2200 |
| 展示室便り⑤ (SENAC vol. 45, No. 3) | ACOS シリーズ |
| 展示室便り⑥ (SENAC vol. 45, No. 4) | スーパーコンピュータ SX シリーズ |
| 展示室便り⑦ (SENAC vol. 46, No. 1) | センター刊行物 |
| 展示室便り⑧ (SENAC vol. 46, No. 2) | スカラ並列コンピュータ |
| 展示室便り⑨ (SENAC vol. 46, No. 3) | 磁気ディスク装置と磁気記録媒体 |
| 展示室便り⑩ (SENAC vol. 46, No. 4) | 1960 年代の計算機に関する資料 |
| 展示室便り⑪ (SENAC vol. 47, No. 1) | 地球シミュレータ |
| 展示室便り⑫ (SENAC vol. 47, No. 2) | 古 Mac、ワークステーション、PDA |
| 展示室便り⑬ (SENAC vol. 47, No. 4) | ネットワーク |
| 展示室便り⑭ (SENAC vol. 48, No. 3) | スーパーコンピュータ SX-9 |

<サイバーサイエンスセンター展示室 URL>

<https://www.cc.tohoku.ac.jp/museum/index.html>

<お問合せ先>

東北大学サイバーサイエンスセンター内共同利用支援係

022-795-3406

uketuke@cc.tohoku.ac.jp

[Web 版大規模科学計算システムニュースより]

大規模科学計算システムニュースに掲載された記事の一部を転載しています。 <https://www.ss.cc.tohoku.ac.jp/tayori/>

利用負担金額の表示コマンドについて (No. 278)

本センター大規模科学計算システムでは、利用者の利用額とプロジェクトごとに集計した負担額、請求情報を表示するためのコマンドとして ukakin, pkakin があります。また、利用者のジャーナル情報とプロジェクトごとに集計したジャーナル情報を CSV 形式で出力するコマンド ulist, plist があります。これらのコマンドは、並列コンピュータ (front.cc.tohoku.ac.jp) にログインして使用します。

コマンド名	機 能
ukakin	利用者ごとの利用額を各システム、月ごとに表示
pkakin	プロジェクトごとに集計した負担額、請求情報を表示
ulist	利用者ごとのジャーナルを CSV 形式で出力
plist	プロジェクトごとに集計したジャーナルを CSV 形式で出力

いずれも、前日までご利用いただいた金額を表示します。コマンド使用例は大規模科学計算システムウェブページをご覧ください。

負担金の確認

<https://www.ss.cc.tohoku.ac.jp/utilize/academic.html#負担金の確認>

(共同利用支援係)

利用者番号(アカウント)管理の徹底について (No.278)

当センターの大規模科学計算システムでは、利用に関する内規に記載された利用資格に該当し、利用を承認された本人のみが、利用者番号(アカウント)を利用できます。利用者番号を他者へ貸与することは厳しく禁止されておりますので、改めてご注意をお願いいたします。

利用者番号を登録しても、利用しなければ負担金は発生しませんので、実際に計算機システムを利用する方全員の利用申請を行ってください。また、不正アクセスの危険性が高まりますので、以下のことを行わないよう秘密鍵の管理の徹底もお願いいたします。

- ・パスフレーズなしの秘密鍵の使用
- ・秘密鍵、パスフレーズの使い回し
- ・秘密鍵のメール添付、USB メモリやホームディレクトリに保存

情報セキュリティ対策の強化のため、皆様のご理解とご協力をお願いいたします。

(共同利用支援係)

— SENAC 執筆要項 —

1. お寄せいただきたい投稿内容

サイバーサイエンスセンターでは、研究者・技術者・学生等の方々からの原稿を募集しております。以下の内容で募集しておりますので、皆さまのご投稿をお待ちしております。なお、一般投稿いただいた方には、謝礼として負担金の一部を免除いたします。

- ・一般利用者の方々が関心をもたれる事項に関する論説
- ・センターの計算機を利用して行った研究論文の概要
- ・プログラミングの実例と解説
- ・センターに対する意見、要望
- ・利用者相互の情報交換

2. 執筆にあたってご注意いただく事項

- (1)原稿は横書きです。
- (2)術語以外は、「常用漢字」を用い、かなは「現代かなづかい」を用いるものとします。
- (3)学術あるいは技術に関する原稿の場合、200字～400字程度のアブストラクトをつけてください。
- (4)参考文献は通し番号を付し末尾に一括記載し、本文中の該当箇所に引用番号を記入ください。
 - ・雑誌：著者, タイトル, 雑誌名, 巻, 号, ページ, 発行年
 - ・書籍：著者, 書名, ページ, 発行所, 発行年

3. 原稿の提出方法

原稿のファイル形式はWordを標準としますが、PDFでの提出も可能です。サイズ*は以下を参照してください。ファイルは電子メールで提出してください。

—Wordの場合—

- ・用紙サイズ：A4
- ・余白：上=30mm 下=25mm 左右=25mm 綴じ代=0
- ・標準の文字数（45文字 47行）

<文字サイズ等の目安>

- ・表題=ゴシック体 14pt 中央
- ・副題=明朝体 12pt 中央
- ・氏名=明朝体 10.5pt 中央
- ・所属=明朝体 10.5pt 中央
- ・本文=明朝体 10.5pt
- ・章・見出し番号=ゴシック体 11pt～12pt

*余白サイズ、文字数、文字サイズは目安とお考えください。

4. その他

- (1)執筆者には、希望により本誌（10部以内の希望部数）と本誌PDF版を進呈します。
- (2)一般投稿を頂いた方には謝礼として、負担金の一部を免除いたします。免除額は概ね1ページ1万円を目安とします。詳細は共同利用支援係までお問い合わせください。
- (3)投稿予定の原稿が15ページを越す場合は共同利用支援係まで前もってご連絡ください。
- (4)初回の校正は、執筆者が行って、誤植の防止をはかるものとします。
- (5)原稿の提出先は次のとおりです。

東北大学サイバーサイエンスセンター内 情報部情報基盤課共同利用支援係

e-mail uketuke@cc.tohoku.ac.jp

TEL 022-795-3406

スタッフ便り

令和になって最初の SENAC をお送りします。

昭和から平成になったときには、当然ですが国全体が暗い自粛ムードだったのを今でもよく覚えています。しっくりくる表現が思い浮かびませんが、今回の改元はまるでお正月のような、とにかく前回とはまるで違う雰囲気でした。ゴールデンウィークと合わせて異例の長期休暇だったことも、そんなある種のお祭りムードを盛り上げる要因になったのかもしれませんが。平成生まれの方々にとっては、改元というのは明るく楽しい雰囲気の出来事として記憶に残ることでしょう。

開始当初から明るい幸先のよい令和、これから先も明るくよい時代にしていきましょう！昭和、平成に引き続き、令和も東北大学サイバーサイエンスセンターをよろしくお願ひいたします。(H. T)

去年の夏は猛暑でしたが、今年の夏は平年並みの暑さらしいです。7 月にはオープンキャンパスがあります。いつもは寒いと感じるくらいのスパコン部屋も去年はちょっと涼しいくらいにしか感じられなかったのは、やはり猛暑のせいだったからでしょうか。果たして今年は本当に平年並みなのか、熱中症対策もしっかりしながら、オープンキャンパスを大いに盛り上げていければと思います。

暑い夏を乗り切るためにも、日頃から適度な運動は大事だと思い、一日 8,000 歩を目標に歩くことにしてみました。ですが、車通勤、デスクワークとなるとなかなか達成できず、休日のみなんとか達成できている状況です。

とりあえず、天気の良い日には、昼休みに散歩をしながら体を動かしつつ、健康に留意して、今年の夏も乗り切りたいものです。(Y. I)

情報部情報基盤課スタッフ異動のお知らせ

2019. 7. 1 付け

[転入]

高橋 雄一 総務係主任 (国際文化研究科総務係主任から)
佐藤 充 情報セキュリティ係主任 (情報推進課事務情報係主任から)

[転出]

加藤 美久 総務係主任 (加齢医学研究所総務係主任へ)
小野崎伸久 情報セキュリティ係主任 (情報推進課事務情報係主任へ)



サイバーサイエンスセンター
本館 (右)、2 号館(左)

SENAC 編集部会

滝沢寛之 水木敬明 後藤英昭 江川隆輔
伊藤昭彦 吉田貴子 大泉健治 小野 敏
斉藤くみ子

編集・発行

令和元年 7 月発行
東北大学
サイバーサイエンスセンター
仙台市青葉区荒巻字青葉 6-3
郵便番号 980-8578

印刷

株式会社 東誠社

システム一覧

計算機システム	機種
スーパーコンピュータ	SX-ACE
並列コンピュータ	LX 406Re-2

サーバとホスト名

フロントエンドサーバ	front. cc. tohoku. ac. jp
SSH アクセス認証鍵生成サーバ	key. cc. tohoku. ac. jp

サービス時間

利用システム名等	利用時間帯
スーパーコンピュータ	連続運転
並列コンピュータ	連続運転
サーバ	連続運転
可視化機器室	平日 9:00～21:00
館内利用	平日 8:30～21:00

スーパーコンピュータ (SX-ACE) の利用形態と制限値

利用形態	利用ノード数 ※	実行時間制限 (経過時間)	メモリサイズ制限	-q オプション	-b オプション
通常	1～1,024	規定値：1週間 最大値：1ヶ月	60GB×ノード数	sx	利用ノード数
無料	1	1時間	60GB		f
デバッグ	1～16	2時間	60GB×ノード数	debug	利用ノード数
	17～32	24時間			

※ 2ノード以上を利用した並列実行にはMPIの利用が必用

並列コンピュータ (LX 406Re-2) の利用形態と制限値

利用形態	利用ノード数 ※	実行時間制限 (経過時間)	メモリサイズ制限	-q オプション	-b オプション
通常	1～24	規定値：1週間 最大値：1ヶ月	128GB×ノード数	lx	利用ノード数
アプリケーション	1	なし	128GB		a
会話型	1 (6コアまで)	1時間 (CPU時間合計)	8GB	-	-

※ 2ノード以上を利用した並列実行にはMPIの利用が必用

目次

東北大学サイバーサイエンスセンター

大規模科学計算システム広報 Vol.52 No.3 2019—7

[共同研究成果]

Flamelet approach に基づくガス燃料を対象とした燃焼シミュレーション	赤尾津翔大 1 松下 洋介 青木 秀之 Weeratunge Malalasekera
---	--

民間航空機開発における大規模 CFD 解析の適用 (その 3)	前田 一郎 8
--	---------

[お知らせ]

サイバーサイエンスセンター講習会 (夏期・秋期開催分) のご案内	15
--	----

[利用相談室便り]

2019 年度の利用相談について	17
------------------------	----

[JHPCN シンポジウム]

JHPCN 学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点第 11 回シンポジウム報告	19
---	----

[報告]

平成 31 年度科学技術分野の文部科学大臣表彰において 後藤英昭准教授が科学技術賞 (開発部門) を受賞	28
---	----

一般社団法人・電気学会第 107 回通常総会において 江川隆輔准教授が第 75 回電気学術振興賞 (進歩賞) を受賞	29
---	----

大型計算機センター法制化 50 周年記念シンポジウム報告	30
------------------------------------	----

EMC Sapporo & APEMC 2019 報告	33
-----------------------------------	----

[紹介]

サイバーサイエンスセンター展示室の紹介	34
---------------------------	----

[Web 版大規模科学計算システムニュースより]

利用負担金額の表示コマンドについて (No.278)	36
----------------------------------	----

利用者番号 (アカウント) 管理の徹底について (No.278)	36
--	----

執筆要項	37
------------	----

スタッフ便り	38
--------------	----