



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.4 2019-10



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) cc-som@grp.tohoku.ac.jp	総務に関すること	8:30～17:15
	会計係	022-795-3405 (3405) cc-kaikei@grp.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]

複数領域 FDTD 法を用いた大規模モデル電磁界散乱特性の解析

有馬 卓司, 宇野 亨

東京農工大学 大学院工学研究院 先端電気電子部門

現在, 様々な電子機器において電磁波の利用が広がっている. この電磁波を効率よく利用するには, 電磁界解析を用いて電磁波の放射・伝搬などを精度よくシミュレーションし, 常に安定して電磁波を送受信できるように設計することが重要である. 主要な電磁界解析手法の一つに FDTD (Finite Difference Time Domain) 法があるが, この手法は一般的に解析対象が大きくなると莫大な計算時間が必要になる. 特に電磁波の放射源と散乱体が離れている時の電磁界解析には莫大な計算時間が必要となる. 本稿では, FDTD 法における解析領域を複数に分ける複数領域 FDTD 法を用いて大規模モデルの解析を行いその有効性を示している.

1. はじめに

電磁波の応用範囲はますます広がっている. これまで電磁波の応用は情報通信が主であったが, 近年電力を電磁波で伝送する無線電力伝送技術や, 飛行機などの飛翔体を安全に運行するためのレーダ技術など, 情報通信以外にも広く使用されている. 特に自動車に対するレーダの普及は急速に広がっており, 限定的ながら自動運転が可能な市販車が登場している. また, 軽自動車などにもレーダは普及しつつあり, 安全性の観点より全車に装備する事が義務化される日も遠くないと考える. 一方, これら電磁波を用いた機器において, 効率よく電磁波を利用するには精密な設計が必要となる. 設計方法としては, 実験的手法と電磁界解析を用いたシミュレーションによる手法があるが, 時間とコストの観点よりシミュレーションによる手法の方が有効である. 電磁界解析手法は, モーメント法[1], 有限要素法[2], FDTD 法 (Finite Difference Time Domain method) [3, 4]などがある. これら手法はそれぞれが長所と短所を有するが, なかでも FDTD 法は容易に複雑なモデルを比較的容易に解析できる手法である. さらに FDTD 法は時間領域の解析手法であるために, 刻々と変化する電磁波の放射・伝搬現象について時間を追って調べることができる. また, FDTD 法はマクスウェルの方程式と呼ばれる電磁界を支配する方程式のうち, アンペアの法則とファラデーの法則の2つを時間領域で, 空間と時間について直接差分する差分法である. このために多くの計算時間・計算メモリが必要となることが知られている. さらに電磁波はベクトル場であり, 電界ベクトルと磁界ベクトルによって構成される. 3次元空間では電界磁界がそれぞれ3成分を持つことになりこれは多くのメモリを必要とすることを意味する. 本稿ではレーダなどの電磁波を放射する波源と, レーダで検出する対象である散乱体が離れているモデルの解析を目的としている. これは大規模モデルとなり, FDTD 法での解析は非常に大きな計算時間が必要となる. FDTD 法はモーメント法と異なり, 解析空間全体を解析する手法であり, 空気など媒質が何もない空間も計算が必要である. しかし, 空気中での電磁波の伝搬についてはその特性が良く分かっているので数学的にその伝搬を解析し, 散乱体の近傍で電磁波の振る舞いを再構成することも可能である. この手法は解析領域を放射源と散乱体の領域に分けることから複数領域 FDTD 法[5, 6]と呼ばれる. 本稿ではこの手法について検討している. FDTD 法のアルゴリズムおよびプログラムは本手法を用いても大規模モデルとなることから, 高速計算技術は必要不可欠である. そこで, FDTD 法のプログラミング技術による高速化について, 東北大学サイバーサイエンスセンターの多大な協力を得た.

2. 複数領域 FDTD 法

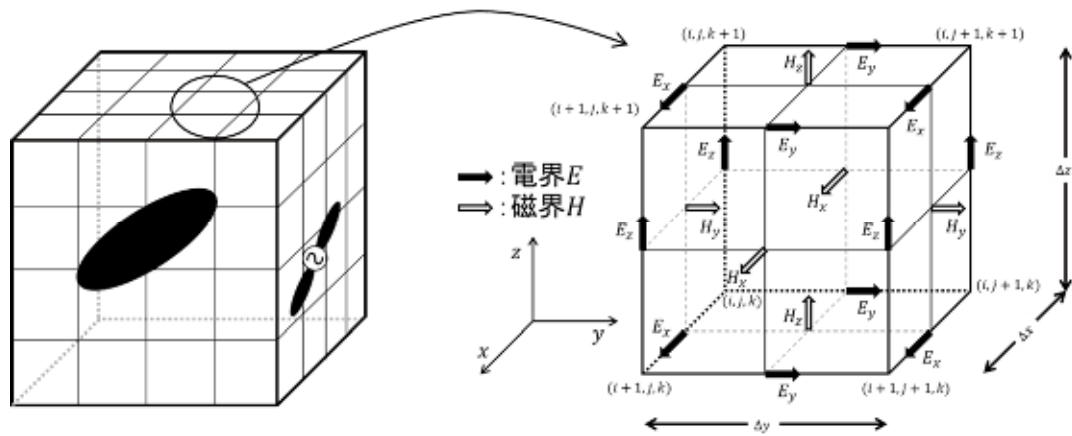


図 1 FDTD 法における解析領域（左）と解析領域を構成する単位電磁界配置（右）

2.1 FDTD 法

図 1 に FDTD 法の解析領域と解析領域を構成する単位電磁界配置を示す．FDTD 法においては、まず解析領域を決め、その解析領域内を各方向の長さ Δx 、 Δy 、 Δz で構成される微小立方体に分ける．この微小立方体は FDTD 法においてセルと呼ばれる．そしてこのセル内に図 1 右図に示すように電界ベクトル、磁界ベクトルの各成分を配置する．このように FDTD 法において、各電磁界成分は同じ場所には配置されていない．そしてこれら電磁界に対してマクスウエルの方程式のうち下記に示すファラデーの法則と、アンペアの法則を差分化し適用する．

$$\nabla \times \mathbf{E}(\mathbf{r}, t) = - \frac{\partial \mathbf{B}(\mathbf{r}, t)}{\partial t}$$

$$\nabla \times \mathbf{H}(\mathbf{r}, t) = \frac{\partial \mathbf{D}(\mathbf{r}, t)}{\partial t} + \mathbf{J}(\mathbf{r}, t)$$

ここで、 \mathbf{E} 、 \mathbf{H} 、 \mathbf{B} 、 \mathbf{D} 、 \mathbf{J} 、 \mathbf{r} 、 t はそれぞれ電界ベクトル、磁界ベクトル、磁束密度、電束密度、電流密度、位置ベクトル、時間である．FDTD 法は前述したように時間領域の手法であるが、FDTD 法においては電界と磁界は計算する時間をずらしている．そのため、ある時間の電界を求めその値を元に次の時間の磁界を求めるといった計算をしている．そしてその計算を繰り返すことにより順次電磁界の時間変化を求める事が出来る．また、周波数領域の値が必要な時はフーリエ変換することにより容易に求める事が出来る．次に FDTD 法の計算に必須の吸収境界条件について述べる．FDTD 法においては閉領域の解析であり、非常に大きな空間中に置かれた放射源や散乱体の解析を行うには、解析領域を反射がない仮想的な境界で閉じておく必要がある．この仮想的な境界を吸収境界(Absorbing Boundary Condition : ABC)という．この条件が不完全であると、境界で反射が起こり、解析結果に顕著な誤差を生じる．FDTD 法において、吸収境界条件は解析精度に影響を与えることから、様々な手法が提案されてきた．本稿では、その中でも最も有効であるとされる Berenger の PML (Perfectly Matched Layer)を用いている．Berenger の PML 吸収境界条件は、必要とされる計算機資源が増加するが、最も有効な吸収境界条件である．PML の基本概念は解析空間のインピーダンスと整合の取れた仮想的な損失媒質を考える．するとこの仮想媒質に入射した電磁波は反射することなく、さらに仮想媒質中を進むにつれて減衰する．よって解析空間から見ると電磁波が吸収され、吸収境界が実現出来る．吸収境界を含む FDTD 法の詳細は、文献[4, 5]に記載されているので参照していただきたい．

2.2 複数領域 FDTD 法

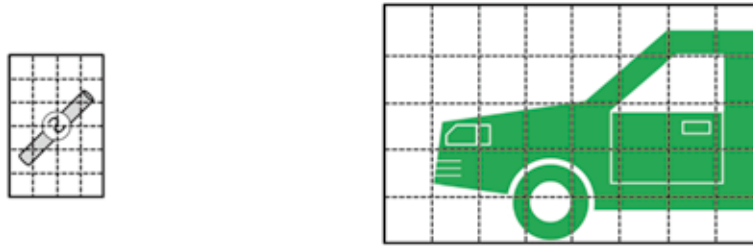


図 2 複数領域 FDTD 法 の概念. 解析領域を散乱体 (左) と自動車 (右) に分ける. それぞれの領域は数学的に結合させるため, 領域同士の間 の空間は FDTD 法では計算をしていない.

複数領域 FDTD 法とは, 図 2 に示すように異なる解析領域を設け, 各領域の電磁界を等価定理によって接続し, 空間的に離れた領域を解析する手法である. ただし, 等価面の外部は散乱界計算領域となっている. 解析領域を分けることで解析対象が存在しない空間における計算を省くことができ, 計算機資源を削減する事が出来る. 各領域で行う解析は FDTD 法と同様であるから, 各領域を接続する際に行う計算手法のみを示す. 複数領域 FDTD 法においては図 3 に示すようにそれぞれの解析領域で等価面および積分面と呼ばれる仮想的な閉曲面を考える. 積分面を S' とすると, 等価面 S 上の電磁界は次式で計算出来る.

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}, \omega) = \int_{S'} [-j\omega\mu\{\hat{\mathbf{n}}' \times \mathbf{H}'_{S'}(\mathbf{r}', \omega)\}G(\mathbf{r} - \mathbf{r}') - \{\mathbf{E}'_{S'}(\mathbf{r}', \omega) \times \hat{\mathbf{n}}'\} \times \nabla' G(\mathbf{r} - \mathbf{r}') + \{\hat{\mathbf{n}}' \cdot \mathbf{E}'_{S'}(\mathbf{r}', \omega)\} \nabla' G(\mathbf{r} - \mathbf{r}')] dS'$$

$$\mathbf{H}(\mathbf{r}, \omega) = \int_{S'} [-j\omega\varepsilon\{\mathbf{E}'_{S'}(\mathbf{r}', \omega) \times \hat{\mathbf{n}}'\}G(\mathbf{r} - \mathbf{r}') + \{\hat{\mathbf{n}}' \times \mathbf{H}'_{S'}(\mathbf{r}', \omega)\} \times \nabla' G(\mathbf{r} - \mathbf{r}') + \{\hat{\mathbf{n}}' \cdot \mathbf{H}'_{S'}(\mathbf{r}', \omega)\} \nabla' G(\mathbf{r} - \mathbf{r}')] dS'$$

ここで, G はグリーン関数と呼ばれる既知の関数である. このように数学的手法により離れたところでの電磁界を計算する事が出来る. この考え方を元に, FDTD 法で計算した片方の計算領域の電磁界を基に等価面上の電磁流を算出し, それを他方の解析領域の波源とすることで異なる領域からの放射界を考慮する事が出来る. 同様の手順より, 図 3 に示すように解析領域 R から解析領域 R' への放射界を算出することで, 解析領域間の相互影響を考慮することができる. FDTD 法での面積分は, 単位セルの面の値を足し合わせることで行われることから, 1 タイムステップあたりの計算は積分面と等価面上のセル数に依存する. したがって, 解析対象が大きい場合, 計算機資源が膨大となる.

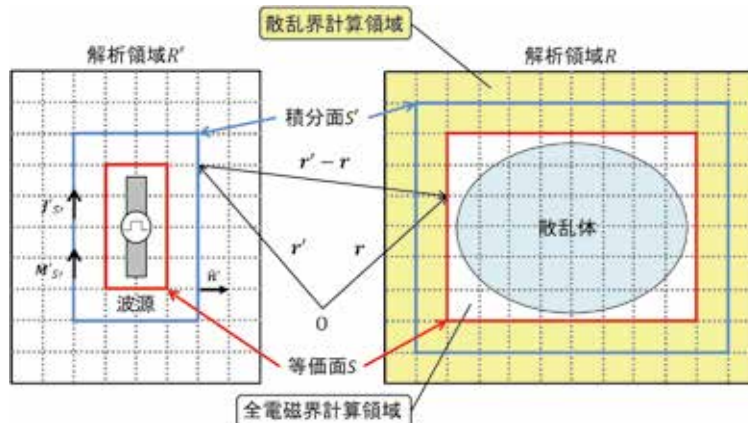


図 3 複数領域 FDTD 法におけるそれぞれの解析領域と結合方法

3. 解析結果

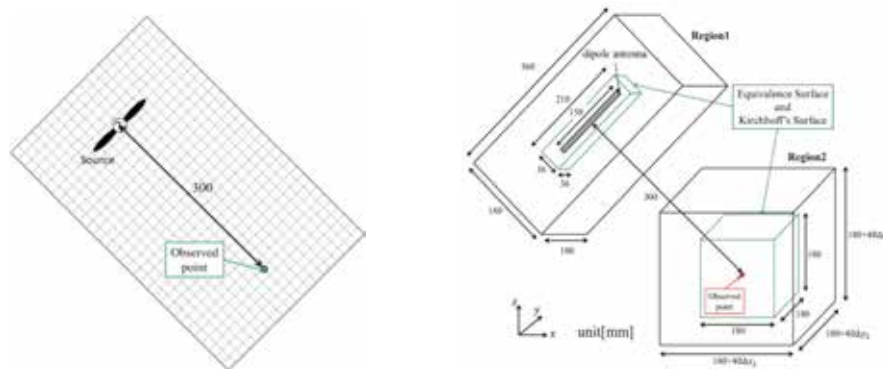


図4 解析モデル：通常の解析モデル（左） 複数領域 FDTD 法でのモデル（右）

図4に示すモデルを解析した結果を示す。このモデルは解析空間に対し斜めにアンテナが配置されており、そこから離れた点での電界を計算するモデルである。図4左図に示す通常の FDTD 法モデルに対し、右図では解析領域を二つに分けている。アンテナから連続波を励振し図4中に示す点での電界の時間変化を解析した。アンテナからは 1GHz の正弦波を入力している。解析領域 1 (Region1) と解析領域 2 (Region2) それぞれの中心間の距離を 0.3m としている。2 節で述べたように吸収境界はそれぞれの領域で PML を用いている。Region1 の領域においてはセルの 1 辺を 3mm とし、Region2 のセルの 1 辺を 3mm, 6mm, 9mm と変化させた。複数領域 FDTD 法では、このように領域ごとで異なるセルサイズを用いる事が出来る。このモデルでの Region2 の電界分布を図5に示す。図5では、左図に Region2 において等価面から Region1 から電磁界が生成される様子、右図に Region2 における電界の時間変化を示す。右図では通常の FDTD 法による解析結果を赤色の実線、複数領域 FDTD 法で、解析空間ごとのセルサイズ比が 1:1 の解析結果を青色の破線、セルサイズ比が 1:2 の解析結果を緑色のバツ、セルサイズ比が 1:3 の解析結果を紫色の四角で示した。図5で示す電界は電界ベクトルの各成分の絶対値としている。このように複数領域 FDTD 法を用いても計算精度は、通常の FDTD 法と変わらないことが分かる。また、領域ごとのセルサイズを変えても計算精度は変化しない。

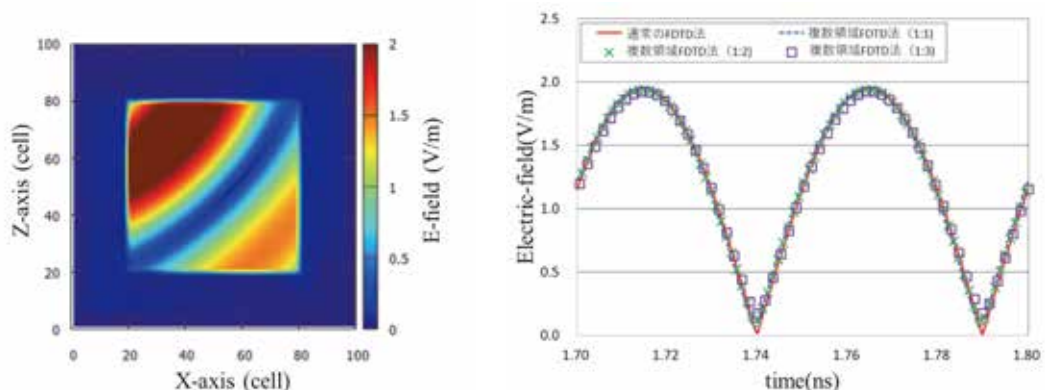


図5 複数領域 FDTD 法による解析結果

4. まとめ

本稿においては、アンテナなどの放射源と散乱体が離れている大規模モデルを効率よく解析する手法について述べた。この手法は複数領域 FDTD 法と呼ばれ、解析領域を分けそれぞれの領域を数学的に結合する手法であった。解析結果は通常の FDTD 法による結果とよく一致していた。以上より本手法は大規模モデルの解析に有効と考える。

謝辞

本研究は、東北大学サイバーサイエンスセンターの協力を頂き実施した。特に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効率的に研究を行うことができた。また、FDTD 法のプログラムの高速化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。

参考文献

- [1] J.R.F. Harrington: Field Computation by Moment Methods, Macmillan, 1968.
- [2] M. V. K. Chari and P. P. Silvester, “Finite Elements in Electrical and Magnetic Field Problems,” John Wiley & Sons, 1980. S. Tretyakov, “Analytical Modelling in Applied Electromagnetics.” Artech House Inc, 2003.
- [3] 宇野亨, FDTD 法による電磁界およびアンテナ解析, コロナ社, 1998.
- [4] 宇野亨, 何一偉, 有馬卓司, 数値電磁界解析のための FDTD 法, コロナ社, 2016.
- [5] P. Bernardi, M. Ca “2002 FDTD, multiple-region FDTD, ray-tracing FDTD a comparison on their applicability for human exposure evaluation,” International Journal of Numerical Modelling 2002; 15:579-593.
- [6] J. Michael Johnson and Yahya Rahmat-Samii, “MR/FDTD: A multiple-region finite-difference-time-domain method,” Microwave and Optical Technology Letters, vol. 14, No. 2, pp. 101-105, February 1997.

[共同研究成果]

自動車エンジン用ピストンリングまわりの気液二相流解析

川本裕樹^{*1}, 蔵本結樹^{*1}, 大栗拓実^{*1}, 高橋俊^{*1}, 落合成行^{*1}, 畔津昭彦^{*1}鹿野みどり^{*2}, 曾我隆^{*2}^{*1} 東海大学^{*2} 日本電気株式会社

自動車エンジンの高効率化のために低張力ピストンリングや低粘度オイルが使用されるが、これらの取り組みによりオイル消費の増加を招くことが知られている。本研究ではこのメカニズムの把握のため埋め込み境界法に基づく気液二相流解析を実施した。オイルリングを考慮した二次元解析においてはリング溝内でのオイル挙動について評価した。リングパックまわりの三次元解析では合口隙間を経由したオイルの輸送が確認された。この解析では隙間が一直線上に配置された場合にオイルの上昇が顕著に見られ、ピストンリングに対する二相流解析の適用性が示された。

1. 研究背景

CO₂ 排出量削減などの環境問題やエネルギー問題の観点から、様々な分野において省エネルギー化が求められている。日本国内での CO₂ 排出量は自動車や船舶などを含む運輸部門が約 18% を占めている^[1]。この運輸部門のうち自動車に起因する割合は 86% であるため、国内の CO₂ 排出量の約 15% が自動車によるものといえる。このことから各所で自動車のエンジンの効率向上に向けた取り組みが進められている。

内燃機関の高効率化に対し摩擦損失の低減は不可欠である。自動車の摩擦損失のなかでもエンジンに関連する要素の割合は大きく^[2]、特にシリンダ内部において往復運動を行うピストンまわりの摩擦低減は効率向上に寄与するといえる。このピストン系の摩擦に対してはシリンダとピストンリング間の潤滑が重要な要素となる。ピストンリングはピストン外周に設けられた溝に取り付けられる部品であり潤滑や燃焼ガスのシールに加え、ピストンの姿勢安定や冷却を担う部品である。一般に一つのピストンに対し 3 点のリングが取り付けられ、主に気密性を保つコンプレッションリングが 2 本、オイルの量を調整するオイルリングが 1 本使用される。

ピストンリングに関連する損失低減への取り組みとして、低張力ピストンリングや低粘度オイルの使用が挙げられる。しかしこれらの取り組みからオイルが燃焼室内まで上昇し消費される傾向が高まる^[3-4]。またシリンダ下部より供給されたオイルの上昇に関する詳細なメカニズムは示されていない。燃焼室までのオイルの輸送経路としては図 1 の①に示すピストンリング摺動面や、②の背面および③の合口隙間が考えられる。しかし各要素がオイル消費に対して如何なる条件下でどの程度影響するかは明らかにされていない。また高温高压下のシリンダ内で高速な往復運動を行うピストン周辺のオイルの挙動の実験的な可視化には課題が残されている。このことから本研究では埋め込み境界法に基づく気液二相流解析によりピストンリングまわりのオイル挙動の予測を行う。

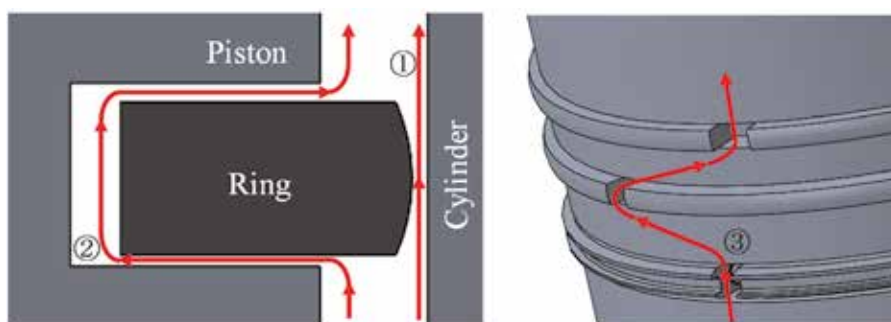


図 1 ピストンリングまわりのオイル輸送経路

先行研究^[5-6]では気液の体積分率に基づいて界面を定義する **diffuse interface model** が用いられている。このモデルを代表する **VOF 法**^[7]は市販のソフトウェアにも広く用いられており工学分野にも応用されてきた。しかしこの手法は体積保存性に優れる反面、気液界面の鮮明な表現に課題を有する。これに伴い界面付近の密度や粘性係数などの物理量も拡散的に捉える必要がある。この問題はピストンリング周辺に形成される薄い油膜の解像に影響を与えると考えられる。これに対しては気液界面を鮮明に解像可能な **sharp interface model** に基づく解析手法が有効である。本研究では各計算格子からの符号付き距離を用いて厚みの無い界面を定義する **level set 法**^[8-9]を用いる。

本研究ではオイル消費等のピストンリングまわりの諸問題のメカニズムの解明に向け、**level set 法**に基づく埋め込み境界法を用いた気液二相流解析による流体挙動の予測を行う。

2. 数値計算法

本研究における支配方程式を連続の式および非圧縮性 Navier-Stokes 方程式とする。

$$\nabla \cdot \mathbf{U} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{d\mathbf{U}}{dt} + \mathbf{U} \cdot \nabla \mathbf{U} = -\frac{1}{\rho} \nabla P + \frac{\mu}{\rho} \nabla^2 \mathbf{U} + \mathbf{g} + \mathbf{a}_p \quad (2)$$

ここで、 \mathbf{U} は流体の速度、 P は圧力、 μ は粘性係数、 ρ は密度、 \mathbf{g} は重力加速度、 \mathbf{a}_p はピストンの加速度である。

本研究では等間隔直交格子上で二相の界面と物体形状を **level set 法**により定義する。**level set 法**は各セルから界面までの符号付き距離である **level set 関数**を用いる。ここで **level set 関数**を ϕ とすれば $\phi = 0$ が界面となり厚みを持たない境界が定義される。本研究では式(3)の **level set 関数**の移流方程式により気液界面の挙動を求める。

$$\frac{d\phi}{dt} + \mathbf{U} \cdot \nabla \phi = 0 \quad (3)$$

ここで ϕ は気液界面の **level set 関数**である。なお移流方程式の計算に伴い **level set 関数**は距離関数としての性質を維持することが困難となるため、**level set 関数**の再初期化を行う。式(3)の **level set 関数**の移流計算は界面近傍の格子のみ行い、その他は式(4)を解くことで **level set 関数**の再初期化を行う。

$$\frac{d\phi}{d\tau} + \text{sign}(\phi) + (1 - |\nabla \phi|) = 0 \quad (4)$$

また本研究では二相の界面近傍の計算格子に対して境界条件を与える **ghost fluid 法**^[10-11]を用いる。本手法は二相をそれぞれ単相流の問題として取り扱うため、アルゴリズムの簡便さに利点を有する。流体として計算するセルおよび境界条件として使用するセルの区分は、界面からの距離関数である **level set 関数**の符号と値を用いて決定する。本研究では液相の速度と気相の法線方向速度および空気の圧力を外挿して求める。これらの境界条件セルの値 q_{GF} の値は式(4)を解くことにより決定される^[12]。また表面張力は液相の圧力の境界条件として式(6)により与えられる。

$$\frac{dq_{GF}}{d\tau} + \text{sign}(\phi) \frac{\nabla \phi}{|\nabla \phi|} \cdot \nabla q_{GF} = 0 \quad (5)$$

$$P_{GF} = P_{GF} + \sigma \kappa \quad (6)$$

ここで σ は表面張力係数、 κ は曲率である。

本研究では物体表面での **non-slip 条件**の決定法として **ghost cell 法**^[13]を用いた。本手法は物体内部のセルの値の決定に **image point** が用いられる。**image point** は物体境界から伸びる法線方向に伸びるプローブの先端にある点を示す。**ghost cell** の値 \mathbf{V}_{GC} は **image point** の値 \mathbf{V}_{IP} を用いて決定する。

$$\mathbf{V}_{GC} = \mathbf{V}_{IP} - \frac{d_{IP} + d_{GC}}{d_{IP}} (\mathbf{V}_{IP} - \mathbf{V}_{IB}) \quad (7)$$

ここで、**image point** の値 \mathbf{V}_{IP} はその点を囲むセルから線形内挿により決定する。 d_{GC} は **ghost cell** から物体表面までの法線方向距離、 d_{IP} はプローブの長さ、 \mathbf{V}_{IB} は物体の移動を速度である。圧力と **level set 関数**は **image point** に内挿された値を **ghost cell** に用いることで物体近傍の勾配が 0 とな

るように決定した。

式(1)と式(2)の時間発展には Fractional Step 法^[14]を用いた。各項の離散化手法としては対流項に 5 次精度 WENO 法^[15]を、粘性項に 2 次精度中心差分法を用い、時間積分は 3 次精度 TVD Runge-Kutta 法^[16]とした。また圧力の Poisson 方程式の解法には SOR 法を用いた。式(3)の移流項には 5 次精度 WENO 法^[15]を、時間積分には 3 次精度 TVD Runge-Kutta 法を用いた。

3. オイルリング周辺の二次元解析

3.1 計算条件

本解析ではピストンリング溝内にオイルを配置し、ピストンの上下動および圧力変化による流れ場とオイル挙動の確認を行う。解析対象を 4 サイクルエンジンの 2 ピースオイルリング周辺とし、溝中心部における油膜厚さを取得した。ここで図 2 に計算領域とリング溝壁面の油膜と計算格子を示した。本項では初期の油膜厚さが 50 μm の Case 1.1 と 100 μm の Case 1.2 により溝内部の油量の影響を調査する。

計算領域上下の外部境界条件には速度に Neumann 条件を、上下の圧力境界条件には実験で計測された圧力を Dirichlet 条件として与えた。また溝内におけるリングの上下動にも実験値を使用した。ただし通常のオイルリング背面に存在するコイル状のエキスパンダは二次元空間では形状の再現が困難であるため本解析では考慮していない。また式(2)で示したように計算領域全体に負のピストン加速度を加えた。計算領域右部のシリンダライナ表面にはこれと逆方向の速度を与えることでシリンダ内の環境を模擬した。なおエンジン回転数は 3000rpm である。またオイルがピストンリング溝内に配置されているため、液相が初期体積を維持するよう level set 関数の補正^[17]を行った。計算領域内の格子は 685,000 点である。本計算は MPI による並列計算により 96 並列で実行した。

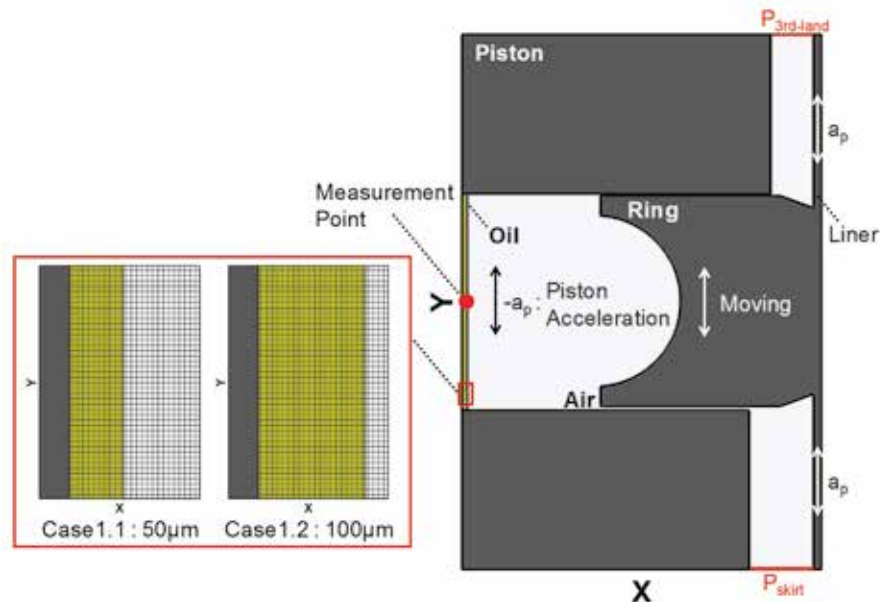


図 2 二次元オイルリング解析の計算領域と壁面の油膜に対する計算格子

3.2 結果および考察

図 3、図 4 に Case 1.1 と Case 1.2 における気液界面と速度分布をそれぞれ示した。各図のクランク角度は各行程の終了時を示しており -180deg.CA が吸気行程、0deg.CA が圧縮行程、180deg.CA が膨張行程、360deg.CA が排気行程である。また図 5 に溝中心部の油膜厚さのクランク角度に対する履歴を示した。

図 3, 図 4 より吸気行程と膨張行程においてはピストンが下降するため慣性力によりオイルがリング溝上部に集中し, 圧縮行程と排気行程においてはピストンの上昇によりオイルが溝下部に集中している. Case 1.2 は Case 1.1 よりも初期油膜厚さが大きいため溝内の油量が多く, 溝の上下面においてオイルが広範囲に分布している. また圧縮行程以降では溝内において渦の発生が見られた. これは筒内圧の上昇に伴う上部境界からの空気の流入に起因する.

図 5 の Case 1.1 と Case 1.2 とともに各行程において油膜厚さのピークが見られる. これはピストンの運動に伴う慣性力によりオイルが溝内を上下し, 計測点の通過時に油膜厚さが増大したためである. また両者ともに油膜厚さの最小値は約 $25\mu\text{m}$ であることから溝内のオイルの大部分が上下に移動していることがわかる. 最小油膜厚さの値が同様であるのは, 油膜が薄い場合は壁面の粘性力がピストンの慣性力を上回るためと考えられる. このことからリング溝の壁面に形成される油膜厚さに対する溝内の油量の影響は少ないと考えられる. また壁面から離れた部分で移動するオイルは慣性力の影響を強く受けるため, 溝内へのオイルの進入が多い状況下ではリング上面のサイドクリアランスよりオイルが流出する可能性がある.

ここで図 6 に膨張行程時の 60 deg.CA における気液界面および速度分布を示した. 図 3, 図 4 の速度分布に比較し溝内に形成される渦の流速が上昇している. これは燃焼室内における圧力上昇のピークが圧縮上死点直後に訪れるためと考えられる. また Case 1.2 では Case 1.1 に比較し溝上部に集中するオイルが気流の進入を妨げる様子が見られ, これに伴いオイルの形状も変化している. このように膨張行程においては溝内の空気とオイルの相互作用が生じることが確認された.

以上より溝内のオイル挙動については膨張行程を除く行程でピストンの慣性力の影響が支配的であると推測される. これに対し膨張行程においては筒内圧の上昇に起因するリング溝内に形成される渦の影響も加わることが確認された. 通常の 2 ピースオイルリングに用いられるエキスパンダを考慮した場合は溝内のオイルと空気の干渉が異なる傾向を示すと考えられる. またエンジン回転数を変更した場合は圧力境界条件とピストンの慣性力が変化するため溝内の流れ場が異なる様相を示すことも考えられる.

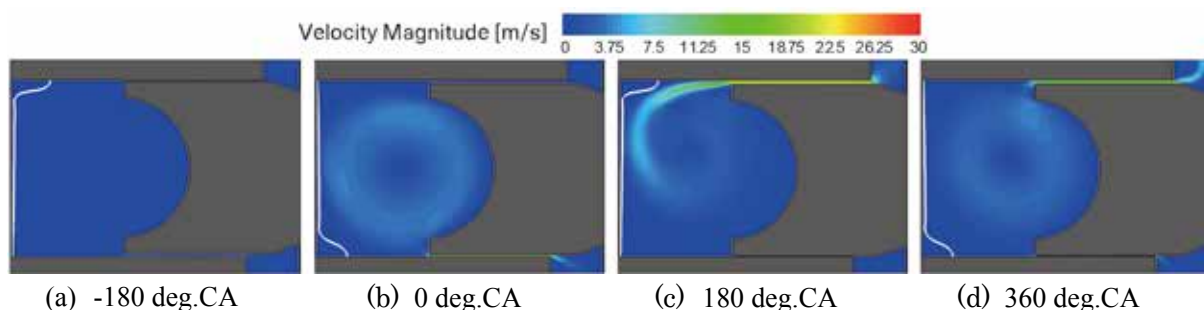


図 3 Case 1.1 における気液界面と速度分布

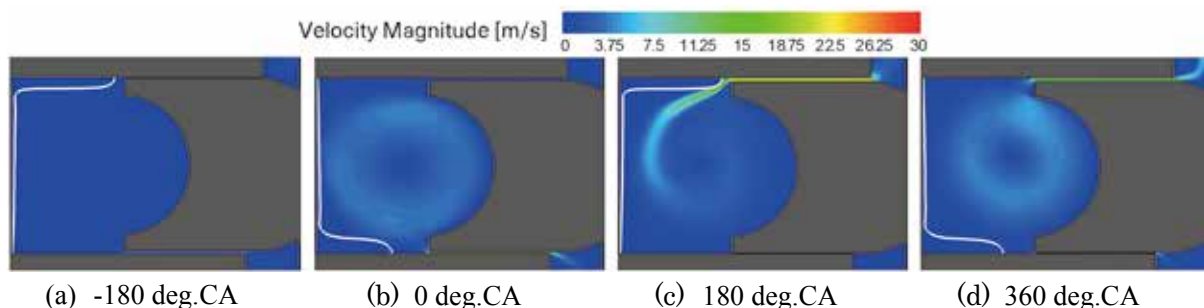


図 4 Case 1.2 における気液界面と速度分布

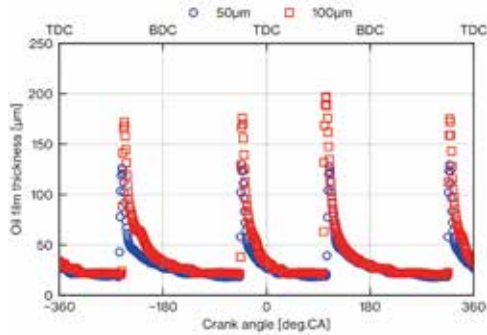
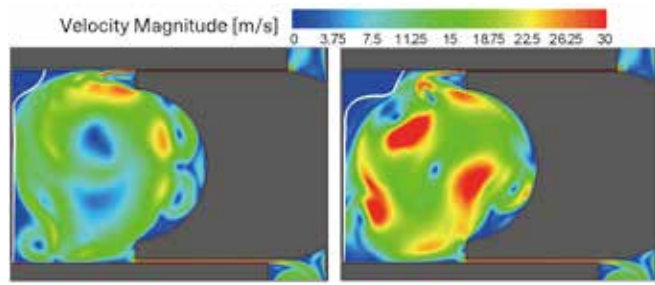


図5 溝中心部での油膜厚さ



(a) Case 1.1 (b) Case 1.2
図6 膨張行程時の気液界面と速度分布

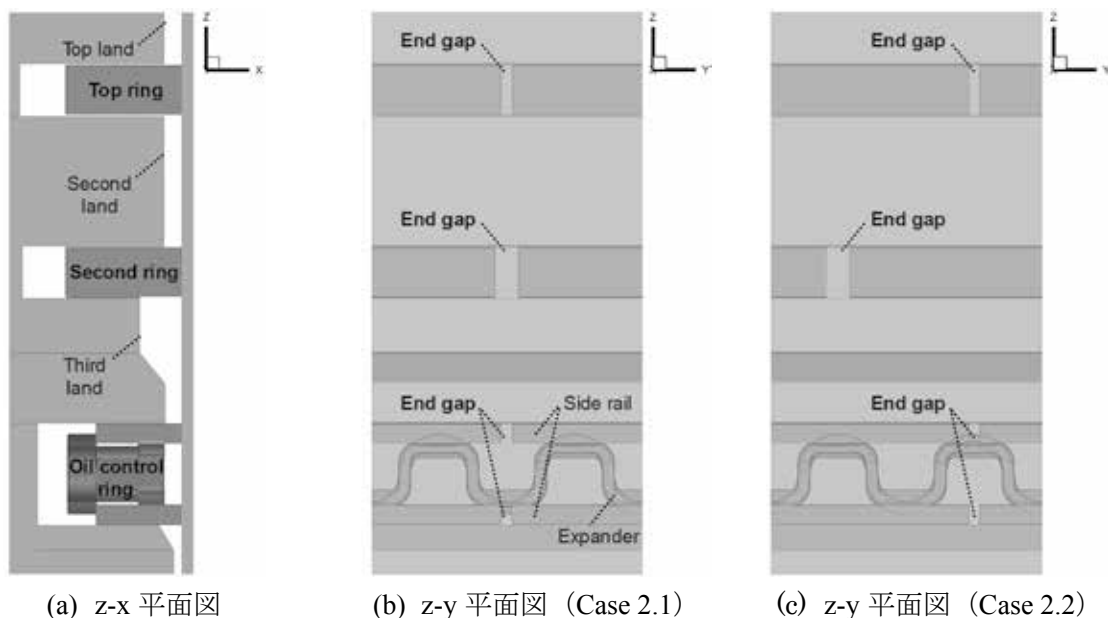
4. リングパック周りの三次元解析

4.1 計算条件

上記の二次元解析においてはピストンリング合口およびオイルリングの複雑形状を考慮することが困難であるため、計算領域を三次元に拡張しピストンの周方向の影響調査を行う。ここで3ピースオイルリングを含むリングパックを対象とした計算領域を図7に示した。ピストンの周方向についてはオイルリングの形状を考慮して領域を設定した。本項では各リングの合口隙間の位置を一直線上に配置した Case 2.1 と、これをオフセットさせた Case 2.2 について比較を行う。

計算領域上下の外部境界条件には速度に Neumann 条件を与えた。また上部の圧力には実験で計測された筒内圧を Dirichlet 条件として与えた。またピストンの周方向に対しては周期境界条件を用いた。トップリングとセカンドリングの上下移動はピストンの慣性力を考慮した運動方程式により求めた。なおエンジン回転数は 600 rpm である。

計算領域内の格子は 27,820,800点である。本計算は MPI による並列計算に加えベクトル計算機向けに最適化したコードにより 256 並列で実行した。



(a) z-x 平面図 (b) z-y 平面図 (Case 2.1) (c) z-y 平面図 (Case 2.2)

図7 三次元リングパックを対象とした計算領域

4.2 結果および考察

図8, 図9に Case 2.1 と Case 2.2 の吸気行程から圧縮行程にかけての各クランク角 (-330 deg.CA から -120 deg.CA) における気液界面を示した。両結果ともに吸気行程時のピストンの下降により

計算領域下部のピストンスカート部からオイルの流入が見られる。-330 deg.CA においてはオイルがオイルリング上部のサイドレール合口を通過しサードランド部に進む様子が確認された。Case 2.1 の-300 deg.CA から-210 deg.CA ではオイルがトップリングとセカンドリングの合口隙間を通過し計算領域上部より燃焼室側に流出した。またトップリング下面の隙間に進入したオイルが徐々に広がる様子も確認された。これに対し Case 2.2 ではオイルがセカンドリング下部でせき止められサードランド部を満たしていく傾向が見られた。しかしセカンドリングの合口隙間をオイルが通過し上昇する様子は見られなかった。また本計算を複数サイクル実施した場合にはサードランド部に残されたオイルが合口を通じて上昇することが予想される。

-180 deg.CA 以降の圧縮行程ではピストンが上昇するためオイルは慣性により計算領域下部へ移動している。Case 2.1 の-150 deg.CA においてはセカンドランドとオイルリング溝でオイルが下部に集中している。また Case 2.2 ではサードランドとオイルリング溝内で同様の傾向が見られた。

-120 deg.CA では両者ともにピストンスカート部のオイルが計算領域外に流出した。

以上より、計算領域を三次元に拡張したことで二次元解析では考慮されない合口隙間を経由したオイルの輸送が確認された。また合口隙間が一直線上に揃う場合には燃焼室へのオイルの流出が急増することが示された。ピストンリングは運転中に周方向に回転することが考えられるため、リングの合口位置によりオイル消費量が変化することが本解析から推測される。

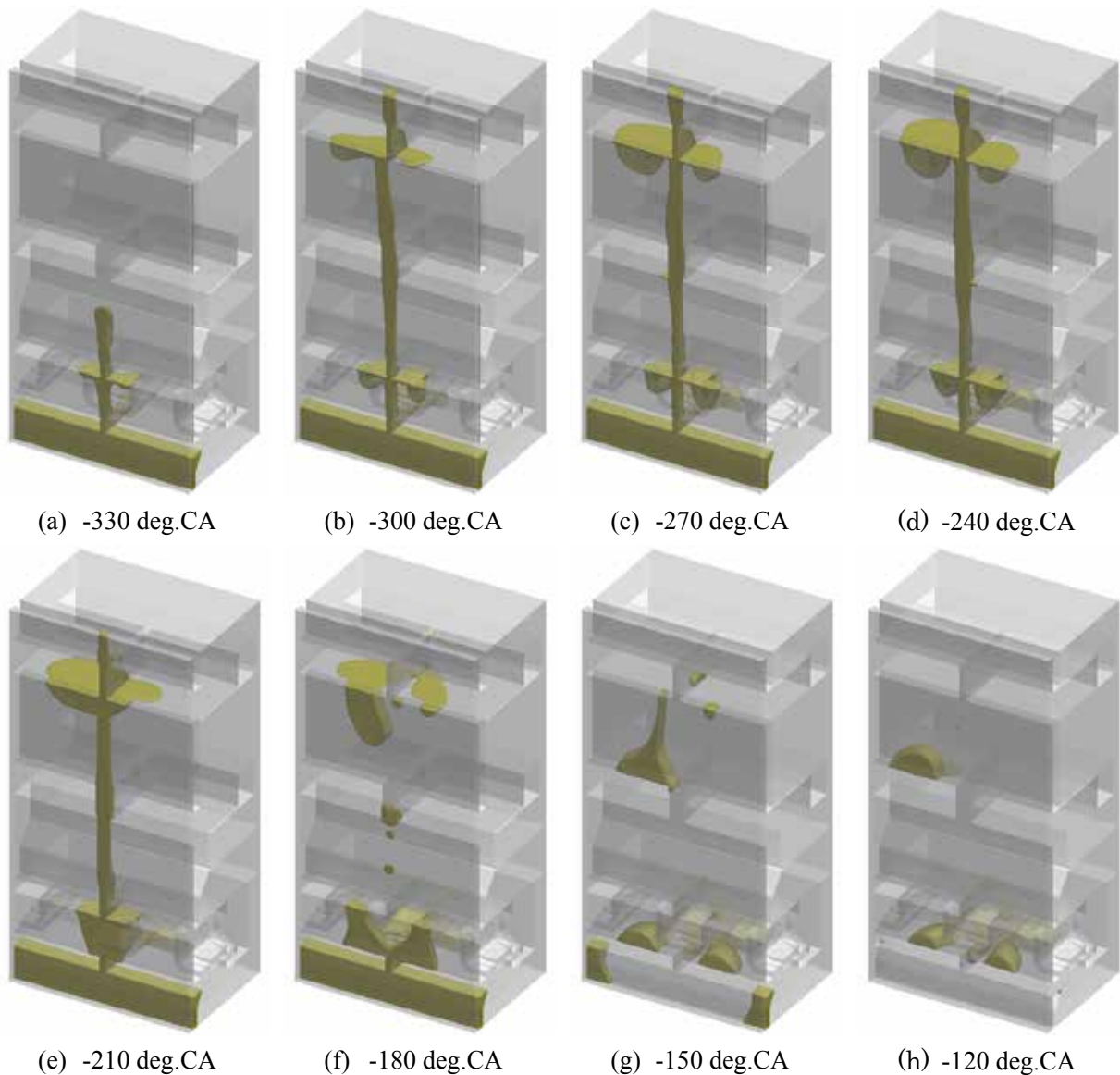


図 8 Case 2.1 における各クランク角度でのオイル挙動の可視化

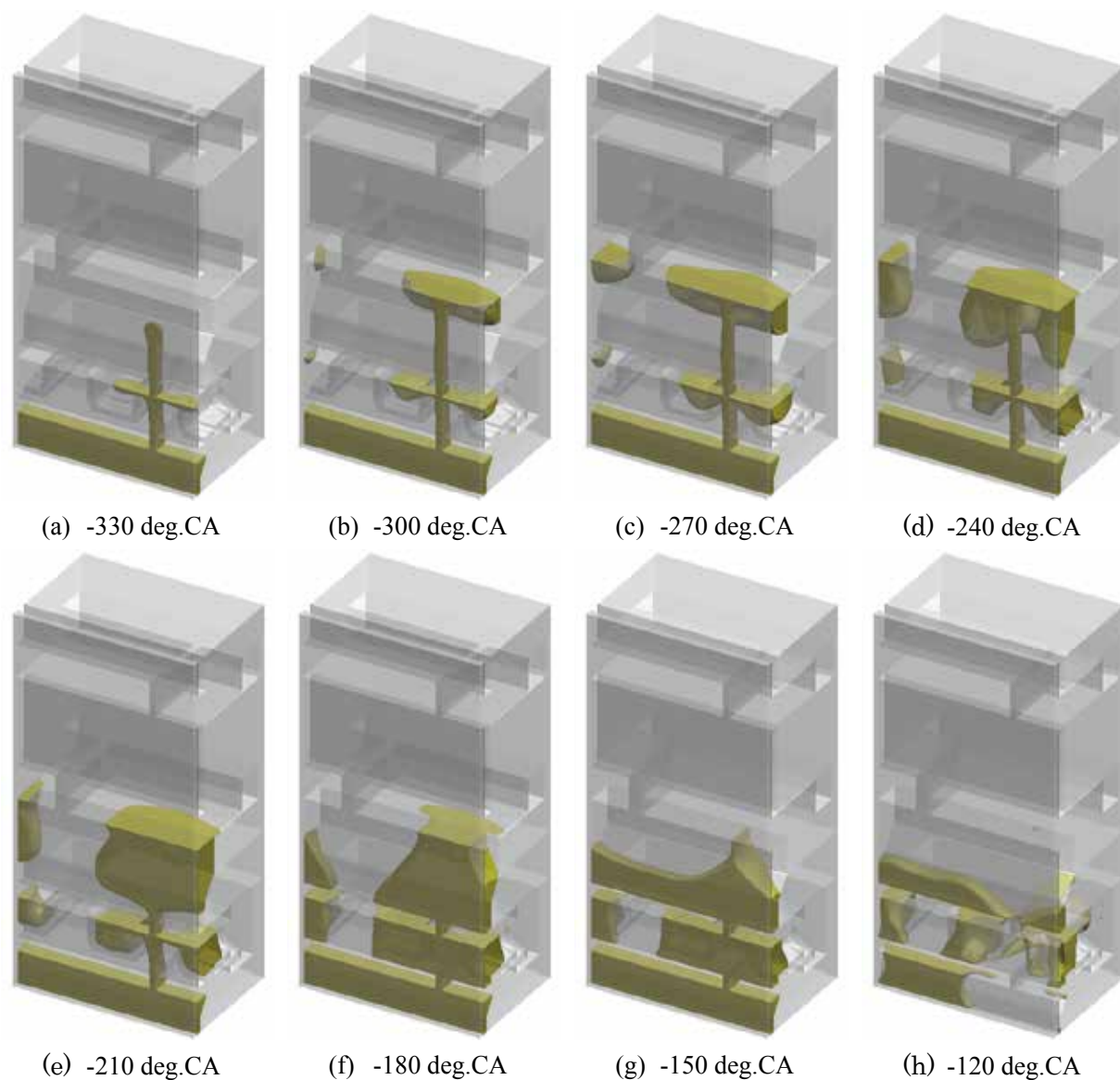


図9 Case 2.2における各クランク角度でのオイル挙動の可視化

5. 結言

埋め込み境界法を用いた気液二相流解析によりピストンリングまわりオイル挙動の予測を実施した。オイルリングまわりの二次元解析においては溝内の壁面に付着したオイルの挙動について評価し、慣性力によるオイルの上下動と壁面の粘性力による油膜の形成を確認した。リングパックまわりの三次元解析においては合口隙間を経由したオイルの輸送が見られた。合口の位置を変化させることでオイルの輸送に差が生じ、合口隙間が一直線上に配置される条件下ではオイルの上昇が顕著に見られた。

以上より埋め込み境界法を用いた二相流解析はピストンリングまわりの現象に適用可能であることが示された。またスーパーコンピュータを用いた大規模解析により三次元的なオイル挙動の可視化が実現された。今後はオイルの輸送に関する定量評価等を実施することでオイル消費のメカニズムの把握を進める。

謝辞

本研究における計算結果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により行われたものであり、同センター関係各位より援助を受けた。また本研究は戦略的イノベーションプログラム(SIP)「革新的燃焼技術」により行われた。実験結果はトヨタ自動車株式会社、株式会社 SOKEN および TPR 株式会社により得られたものである。

参考文献

- [1] 温室ガスイベントリオフィス, 日本の温室効果ガス排出量データ (確報値: 1990~2017年度), 2019
- [2] Richardson, D. E., Review of Power Cylinder Friction for Diesel Engines, *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, 122, 506–519, 2000
- [3] Iijima, N., Sakurai, T., Takiguchi, M., Harigaya, Y., Yamada, T., and Yoshida, H., An Experimental Study on Relationship between Lubricating Oil Consumption and Cylinder Bore Deformation in Conventional Gasoline Engine, *SAE International Journal of Engines*, 2, 106–113, 2009
- [4] Harigaya, Y., Yamasuga, K., Suzuki, M., Iijima, N., Takiguchi, M., and Shimada, A., The Effect of Oil Evaporation From the Cylinder Wall on Oil Consumption of a Gasoline Engine, *ASME 2009 Internal Combustion Engine Division Fall Technical Conference*, 523–531, 2010
- [5] Puthiya Veetil, M., and Shi, F., CFD Analysis of Oil/Gas Flow in Piston Ring-Pack, *SAE Technical Paper Series*, 1, 2011
- [6] Oliva, A., and Held, S., Numerical multiphase simulation and validation of the flow in the piston ring pack of an internal combustion engine, *Tribology International*, 101, 98–109, 2016
- [7] Hirt, C. W., and Nichols, B. D., Volume of fluid (VOF) method for the dynamics of free boundaries, *Journal of Computational Physics*, 39, 201–225, 1981
- [8] Sussman, M., Smereka, P., and Osher, S., A Level Set Approach for Computing Solutions to Incompressible Two-Phase Flow, *Journal of Computational Physics*, 114, 146–159, 1994
- [9] Sethian, J. A., and Smereka, P., Level Set Methods for Fluid Interfaces, *Annual Review of Fluid Mechanics*, 35, 341–372, 2003
- [10] Fedkiw, R. P., Aslam, T., Merriman, B., and Osher, S., A Non-oscillatory Eulerian Approach to Interfaces in Multimaterial Flows (the Ghost Fluid Method), *Journal of Computational Physics*, 152, 457–492, 1999
- [11] Kobayashi, K., Kodama, T., and Takahira, H., Shock wave–bubble interaction near soft and rigid boundaries during lithotripsy: numerical analysis by the improved ghost fluid method, *Physics in Medicine and Biology*, 56, 6421–6440, 2011
- [12] Peng, D., Merriman, B., Osher, S., Zhao, H., and Kang, M., A PDE-Based Fast Local Level Set Method, *Journal of Computational Physics*, 155, 410–438, 1999
- [13] Takahashi, S., Nonomura, T., and Fukuda, K., A numerical scheme based on an immersed boundary method for compressible turbulent flows with shocks: Application to two-dimensional flows around cylinders, *Journal of Applied Mathematics*, 2014, 2014
- [14] Kim, J., and Moin, P., Application of a Fractional-Step Method to Incompressible Navier-Stokes Equations, *Journal of Computational Physics*, 59, 308–323, 1985
- [15] Jiang, G.-S., and Peng, D., Weighted ENO Schemes for Hamilton-Jacobi Equations, *SIAM Journal on Scientific Computing*, 21, 2126–2143, 2000
- [16] Gottlieb, S., and Shu, C.-W., Total Variation Diminishing Runge-Kutta Schemes, *Mathematics of Computation*, 67, 73–85, 2002
- [17] Asai, K., and Tsubogo, K., Study on numerical simulation for rupture of bubble at water surface by Level Set method, *Environmental Hydraulics and Sustainable Water Management*, 215–224, 2005

[解説]

OpenVPN を用いた eduroam/Cityroam/Passpoint 対応 可搬型基地局の開発

後藤英昭

東北大学サイバーサイエンスセンター クラウドサービス基盤研究室

1 はじめに

教育・研究機関向けの国際無線 LAN ローミング基盤である eduroam (エデュローム) は、日本導入から 2019 年 8 月をもって 13 年目を迎えた [1]。現在、国内 260 機関が参加しているが、未参加の大学も多数ある。一方で、国内外ともに、カフェや博物館、空港・鉄道駅などの市街地・公共施設への eduroam 基地局導入が進められている。学術会議が催される会議施設への要望が少なくないものの、なかなか導入が進まないという問題がある。

eduroam 対応基地局のない会議施設や、未参加の大学、未導入部局での一時的利用、試用、デモなどのために、可搬型の eduroam 対応基地局があると便利だと考えられる。しかし、eduroam では利用者認証が必須のため、アクセスポイント (AP) から最寄りの参加機関の認証サーバ (プロキシ) に RADIUS (Remote Authentication Dial In User Service) 連携のための接続が必要であり、基地局の暫定設置には専門知識とネットワーク管理権限が必要になる。このような問題に対処するために、筆者らは 2008 年にセンター管理型キャンパス無線 LAN システムを開発し、図 1 のような可搬型の eduroam 基地局を実現した [2]。この基地局は、DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) とインターネット接続が可能な回線があれば、イーサネットと電源のケーブルを接続するだけで、現地での設定なしに eduroam サービスを提供できる。

このシステムは、学内で全学の eduroam システムが整備される以前の実証実験の段階や、eduroam 基地局が配置されなかった施設での、暫定サービスに用いられた。また、会議におけるデモにも利用された。しかしながら、使用機材の老朽化による故障が目立ってきたことや、Passpoint [3] などの最新技術に対応できないこと、現場のネットワークの制約によって IPsec の通信がブロックされやすいといった問題があった。今回、現代的な技術への対応と可用性の向上、小型化を目指して、後継の可搬型基地局システムを開発した。新しいシステムは、eduroam のみならず、一般市民も利用できるセキュアな無線 LAN ローミング基盤で



図 1 EtherIP 方式可搬型基地局 (2008 年版)

ある Cityroam [4] に対応し、国内外の携帯電話会社 (キャリア) や無線インターネットサービスプロバイダ (ISP) とのローミングにも対応している。通信内容の保護とセンターへの収容には、従来の EtherIP/IPsec に代わり、現地のネットワークでブロックされにくい OpenVPN [5] を採用した。

本稿では、従来の可搬型基地局の概要とユースケースを示した後、新しい可搬型基地局の構成を説明する。なお、この基地局はクラウドサービス基盤研究室で開発し、使用しているものであり、サイバーサイエンスセンターのサービスとして貸出を行っているものではない。従って、本稿の内容は技術紹介に留まる。

2 可搬型基地局とユースケース

2.1 EtherIP 方式の可搬型基地局

SENAC Vol.42 の記事 [2] で既報のとおり、筆者らは EtherIP を利用したセンター管理型のキャンパス無線 LAN システムを開発した。このシステムでは、無線 LAN アクセスポイント (AP) の通信はすべて IPsec で保護された EtherIP のトンネルを通じてセンターのアクセスルータに収容される。AP 側のシステムは、図 1 のように、無線 LAN AP とアクセスルータをセットにしたものである。利用者認証に必要な RADIUS の通信に加えて、利用者の通信も暗号化されてセンターに運ばれるため、設置場所のネットワークにおける盗聴に関して安全である。ただし、AP とア

アクセルータを結ぶイーサネットケーブルは、通信が暗号化されていないため、利用者が抜き差しできないように物理的な保護が必要である。

AP はイーサネットのレイヤ 2 (L2) でセンターに收容されているため、アクセルータの EtherIP の接続が確立している状態ならば、センターからウェブブラウザで設定変更も可能である。このため、仮想ネットワークと SSID の追加・削除などもセンターから容易に実施でき、現地に赴く必要がないという利点があった。

2.2 eduroam 基地局の暫定設置

EtherIP 方式では、アクセルータを接続したネットワークと EtherIP トンネル内のネットワークが論理的に分離されている。このため、前述のように利用者の通信が保護されるのと同様に、トンネル外のネットワークの通信も無線 LAN 利用者から保護される。トンネリング機能のないアクセスポイントを設置する場合は、通常のローカルエリアネットワーク (LAN) とは物理的に独立した、専用の通信ケーブルを敷設するのが一般的である。これに対して、EtherIP 方式では既存のネットワークにアクセルータを接続しても、通信の安全性が保たれる。この性質を利用して、東北大学では、eduroam に対応した「TAINS 無線 LAN システム」(2010 年) の整備の前後、数年間に渡り、希望する部局に基地局を設置して、eduroam の暫定サービスと試用に役立てた。

実際に基地局が設置された建物は、サイバーサイエンスセンターの他に、附属図書館 (川内)、情報科学研究科、電気通信研究所、マルチメディア教育棟 (川内)、工学部 (電気系) であった。

2.3 会議場における eduroam サービス・デモ

会議場等での暫定サービスに用いられることを想定して、センターでは常に一台の可搬型基地局を「おでかけ用」としてリザーブしていた。しかし、手提げ一つ分の大きさと重量があること、2 系統の AC 電源が必要なことなど、扱いやすいと言えるほどのものではなかった。

また、この基地局を実際に会議場などに持ち込んで利用しようとする、会議場やホテルのネットワークで厳しいアクセス制限がかけられていることがあり、IPsec NAT traversal の通信が透過できず、EtherIP の接続が確立できない問題が時折見られた。このため、関係者以外に利用を呼び掛けることが難しく、利用促進できなかつた。

この基地局は会議のために何度か持ち出されたが、

あまり活躍しないまま、休眠状態となった。

2.4 市街地 eduroam 基地局の実証実験

キャンパス外で学生が集まるようなカフェや、博物館、図書館、空港・鉄道駅などの公共施設に eduroam 基地局を設置し、社会全体の教育・研究環境の充実に役立てようという動きが、国内外で活発化している [6]。日本では、2010 年 3 月にライブドア社と国立情報学研究所の共同実証実験として、関東地区の貸し会議施設やカフェの公衆無線 LAN 基地局で eduroam サービスを提供開始した。これは世界の先進事例の一つになり、後継のサービスが現在でも提供されている。2017 年には、公衆無線 LAN のセキュア化と利便性の向上、および、eduroam の市街地展開の推進を目的として、著者が筆頭となって「セキュア公衆無線 LAN ローミング研究会 (NGHSIG)」を立ち上げた [7]。NGHSIG では、一般に「フリー Wi-Fi」と呼ばれる無償の公衆無線 LAN サービスを整備・提供する通信事業者を募り、Cityroam と呼ぶローミング基盤を運営することで、国内各所の民間施設などに eduroam 対応の基地局を整備している。NGHSIG では、国内外の携帯電話会社 (キャリア) や ISP とのローミングも推進しており、参加事業者の基地局ではこれらのアカウントも利用できるようになる。フリー Wi-Fi の永続的な国際ローミング基盤は、執筆時点でまだ立ち上げの段階であるが、Wireless Broadband Alliance (WBA) が過去に実施した City Wi-Fi Roaming trial に NGHSIG も参加し、AT&T や T-Mobile US、Boingo などのアカウントが利用できることを確認済みである。

市街地の eduroam サービスを充実させていく上で、どのような場所に基地局を設置するのが有効かという問いがあった。一方で、ロケーションオーナー (基地局を置く場所の管理人) の協力なくしては、基地局を運用できない。仙台市内で実証実験ができそうな場所を探していたところ、コワーキングスペースが候補に挙がった。利用者に無線 LAN サービスも提供しているということで、第三者利用可能な回線も既にあり、学生や教員も出入りがあるということで、実証実験には最適と思われた。コワーキングスペースとしては、eduroam サービスがあることが集客につながるという期待があった。そこで、仙台市内のコワーキングスペース「ノラヤ」にて実証実験を行うことにした (図 2)。Passpoint 対応の最新仕様の基地局を置きたい気持ちは山々であったが、まだ利用できそうな手頃な製品がなかったことから、学内で回収していた基地局をそのまま流用した。実証実験は 2017 年 3 月から 2019



図2 コワーキングスペースにおける eduroam サービス (2017年3月, ノラヤ様ご協力による)

年6月まで実施したが、大学関係者の出入りの多い店舗だったこともあり、eduroamが有効に活用された。期間内に認証OKになった端末は、ユニーク端末数にして517台であった。この数には、店舗前の通行人の分も含まれる。なお、eduroamにはプライバシー保護の仕組みがあり、基地局の管理者は真の利用者を知ることができない。

3 OpenVPN を用いた可搬型基地局

3.1 システム設計の方針

可搬型基地局システムを新規に設計するにあたり、基本的には従来のユースケースを網羅するもの、特に以下を重視することにした。

- 会議における eduroam/Cityroam/Passpoint の一時サービスやデモ。
- 市街地における実証実験のため、店舗などに貸出・設置。

また、従来の仕様を網羅しつつ、特に以下の性質を重視することにした。

- 次世代ホットスポット (NGH) に対応するため、Passpoint (Hotspot 2.0) が利用できること。
- 現場のネットワークで通信がブロックされにくいこと。
- 利用者の通信が、暗号化された状態でセンターにトンネルされること。これにより、基地局の運用者 (ロケーションオーナーなど) が盗聴などの不正行為を働いた場合であっても、サービス利用者の通信が漏洩しないこと (従来同様)。
- センターから基地局の設定変更が可能なこと (従来同様)。
- 台数を増やせること、および、貸出中の紛失・破損の可能性を考慮し、ハードウェアが安価で、

できればライセンス料が不要であること。

- できれば、有線のイーサネット回線ばかりではなく、携帯データ通信 (LTE) や公衆無線 LAN も上流回線として利用できること。

従来の可搬型基地局では、有線接続しか対応していなかったことから、無線 LAN の設備しかない会場・ホテルなどで利用できないという制約があった。また、無線 LAN の設備すらない会議室もあり、その場合は LTE 回線を利用したいこともある。

価格とライセンス料の制約さえ緩和できるならば、コントローラ型あるいはクラウド型の AP を利用することが考えられる。例えば、Meraki の AP ならば、ネットワークを移動してもクラウドコントローラに自動接続され、どこからでもコントローラのウェブ画面を介して設定変更が可能である。筆者は、実際に何度か Meraki の AP を会議場に持ち込み、デモを行った。Aruba の Remote Access Point (RAP) の場合、現場のネットワークで 443/tcp のポートさえ開いていれば、可搬型基地局として使用できる可能性がある。443/tcp はウェブサイトの HTTPS (Hypertext Transfer Protocol Secure) で広く用いられていることから、インターネット接続を前提とした回線でブロックされることはまずない。コントローラ型のため、AP を一括管理できることや、同じ会場に複数の AP を配置できるという利点もある。しかしながら、エンタープライズ向けの AP は一般に年間ライセンスなどの費用が必要であり、貸出用のように稼働率の低い機器では費用対効果が低くなる。このため、複数台設置による高いスケラビリティと一括管理を諦めつつ、できるだけ安価な構成を探ることにした。

3.2 使用機材とネットワーク構成

高価なコントローラやライセンス費用が必要ないこと、および、技術基準適合証明等があり国内で使用可能という条件の下、Passpoint (Hotspot 2.0) に対応した AP を探した。Passpoint の動作に定評があり、安価な製品として、Ubiquiti Networks UAP-AC-PRO がある。しかし、同社の製品は同一サブネット内にコントローラとなるコンピュータ、または、Cloud Key と呼ばれる小型デバイスが必要である。このため、一か所に少数台の AP しか置かない場合には、センターからのリモート管理の実現にコストがかかる問題があった。

UAP-AC-PRO と小型アクセスルータを組み合わせ、L2 でセンターに収容する方式も、実際に組み立て



図3 UAP-AC-PRO を用いた可搬型基地局の試作機



図5 hAP ac を利用した可搬型基地局 (2019 年版)

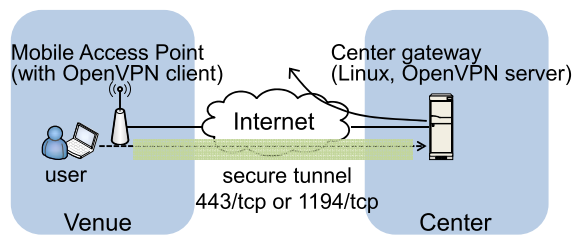


図4 OpenVPN による基地局収容

て評価を行った。必要な機能は実現できたものの、図3のように筐体が複数でケーブルも多くなることから、利便性・携帯性の観点で少し難があった。

もう一つの候補として、MikroTik hAP ac があった。同製品の Passpoint 機能は、設定のためのインタフェースがまだ洗練されておらず、試験的なレベルと言える [8]。しかしながら、2018 年の City Wi-Fi Roaming で運用実績ができたことから、今回はこちらを採用することにした。

hAP ac は、小型・高機能のルータが主機能で、これに 2.4GHz/5GHz デュアルバンドの無線 LAN 機能が搭載されている。家庭向けのルータと同様の使い方も可能であり、上流回線の接続には、PPPoE に加えて L2TP/IPsec や OpenVPN が利用できる。可搬型基地局では、現場のネットワークでブロックされにくいことを考慮して、OpenVPN を採用した。図4に、OpenVPN を利用した端末・AP のセンター収容の様子を示す。OpenVPN の標準的な構成では、ポート 1194/udp が用いられるが、hAP ac に搭載の RouterOS v6 で OpenVPN 機能が UDP に非対応のため、1194/tcp を用いる。また、アクセス制限されにくい 443/tcp を使うことも考慮する。

利用者の通信はすべて、OpenVPN の暗号化トンネルを通じてセンターのゲートウェイに接続され、そこで NATP (Network Address Port Translation) を介してインターネット上の様々なサイトに接続される。

可搬型基地局は、センター側で設定をすべて行った上でロケーションオーナーや会議運営者などの基地局運用者に貸し出し、管理権限は渡さない。このため、運用者が利用者の通信内容を盗み見ることは困難である。図5に、hAP ac による可搬型基地局の外観を示す。hAP ac では、平文の流れる通信線が外に出ていない点も、通信の保護の観点で有利である。

OpenVPN では、L2VPN によるブリッジ接続も可能であるが、この用途では L2 接続が必要ではないこと、および、スケーラビリティを優先させたいことから、L3VPN を採用した。利用者端末は hAP ac 内蔵の DHCP サーバから IP アドレスを取得し、内蔵の NATP を介して OpenVPN のトンネルに接続される。利用者認証のための内蔵 RADIUS クライアントも、同じ OpenVPN のトンネルを通じて、センターのゲートウェイに接続される。hAP ac の WAN 側端子は現場の LAN に接続され、DHCP により IP アドレスを取得するが、このアドレスが変わっても、内蔵 OpenVPN クライアントの設定変更は必要ない。

3.3 センター側の OpenVPN サーバ

複数台の可搬型基地局の通信を集約する、センター側のサーバは、PC と Linux を用いて構築した。サーバ上では、OpenVPN と RADIUS proxy を動かしている。RADIUS proxy は NGHSIG の JP hub に接続され、eduroam や Cityroam、キャリア/ISP と認証連携している。可搬型基地局は、OpenVPN クライアントに相当するが、個体ごとに個別のクライアント証明書を発行して、証明書認証を行うようにした。サーバ上にトンネル (tun) デバイスを設定し、24 ビットネットマスクのプライベートアドレスのサブネットを設けて、OpenVPN の複数のトンネルを収容している。すなわち、複数台の可搬型基地局がこの一つのサブネットに収容されることになる。

クライアント証明書のユーザ名ごとに、トンネルに

固定 IP アドレスを割り当てるようにした。これにより、可搬型基地局とその IP アドレスの対応が固定され、どこに設置された基地局から RADIUS の Access-Request メッセージが送られてきたのかを、サーバ側で容易に知ることができる。また、サーバ上のウェブブラウザや Secure Shell コマンドを用いて、特定の可搬型基地局をリモート操作できる。これらは、利用統計やシステム管理の観点で、大きな利点である。

参考までに、Code 1 に OpenVPN のサーバ側設定ファイルの例を示す。ccd ディレクトリの中には、ユーザ名をファイル名として、Code 2 のような内容のテキストファイルを置く。この例では、hAP ac にアドレス 172.30.2.14 が割り当てられる。

Code 1 tun.conf

```

1 dev tun0
2 proto tcp
3 port 1194
4 tun-mtu 1400
5
6 ca /etc/openvpn/keys/ca.crt
7 cert /etc/openvpn/keys/server.crt
8 key /etc/openvpn/keys/server.key
9 dh /etc/openvpn/keys/dh.pem
10
11 server 172.30.2.0 255.255.255.0
12 ifconfig-pool-persist ipp.txt
13
14 cipher AES-256-CBC
15 keepalive 10 60
16 #comp-lzo
17 persist-key
18 persist-tun
19
20 client-config-dir ccd
21 push "redirect-gateway"
22
23 verb 3

```

Code 2 ccd/map14-user

```

1 ifconfig-push 172.30.2.14 172.30.2.13

```

3.4 性能評価

実装した可搬型基地局 3 台を、研究室内の別サブネットや、住宅の DSL (Digital Subscriber Line) に接続して、自動的に正しく OpenVPN の接続が完了し、利用者認証が正常に行われて端末から通信可能になることを確認した。いずれの場所でも下り 20~28Mbps の速度が得られた。無線 LAN 機能や DSL の



図 6 新旧基地局のサイズ比較

速度からは見劣りするが、10 台程度の端末数ならば実用になると思われる。

同じハードウェア構成で OpenVPN の代わりに L2TP/IPsec による実装も試してみたが、速度が僅かに劣る上に、IPsec のトンネルが時折リンクダウンすること、その復旧に時間を要するという問題があった。従って、この用途とハードウェア構成では、OpenVPN の方が適切である。

図 6 に、新旧の可搬型基地局を並べて示す。新型は本体 (114 × 137 × 29mm) ・ AC アダプタともに小さく、軽量で、旧型より携帯性が大幅に向上した。なお、MikroTik hAP ac シリーズには、さらに小型の hAP ac lite があり、hAP ac の 3/5 程度のサイズであるが、執筆時点で技術基準適合証明等がなく、国内利用が難しい。

3.5 LTE や公衆無線 LAN の利用

hAP ac には USB2.0 ポートがあり、RNDIS (Remote Network Driver Interface Specification) に対応した機器ならば、ネットワーク機器として認識できることがある。モバイルルータ NEC MR05LN を接続してみたところ、自動的に lte1 デバイスとして認識されて、有線ネットワークの代わりに LTE 回線をバックホールとして利用できることが確認できた。ただし、可搬型基地局をこのような構成で不特定多数に使用させる場合は、SIM カード契約の利用条件に注意が必要である。

Android スマートフォンにも、同様にネットワーク機器として利用できるものがある。さらに、一部機種には Wi-Fi ブリッジなどの機能があり、現場の無線 LAN 設備の仕様によっては、無線 LAN を可搬型基地局のバックホールとして利用できることがある。

<https://pirosap.booth.pm/items/1217350>

4 むすび

従来の EtherIP 方式の可搬型 eduroam 基地局が老朽化したことから、eduroam/Cityroam/Passpoint に対応した新しい可搬型基地局のシステムを開発した。EtherIP/IPsec に代わり、OpenVPN を採用することで、会議場やホテル、店舗の DSL などの回線でブロックされにくいネットワーク構成とした。新型の可搬型基地局は、小型・軽量の無線 LAN 機能付きルータのみで構成されており、携帯性が向上している。また、Cityroam を介して国内外のキャリア/ISP のローミングにも対応し、会議などにおける利用者の幅を広げている。

開発した可搬型基地局は、センターの業務としての貸し出しは行っていないが、筆者の研究プロジェクトの範囲内で、モニタのための貸し出しは可能である。今後、市街地の店舗などでも試用を行い、セキュアな公衆無線 LAN の普及のための技術・運用開発に役立つ予定である。

参考文献

- [1] eduroam JP, <https://www.eduroam.jp/>
- [2] 大和純一, 若山永哉, 後藤英昭, 曾根秀昭, “EtherIP を用いたセンター管理型キャンパス無線 LAN,” 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.42, No.1, pp.137-144, 2009.
- [3] Wi-Fi Alliance, “Passpoint – Wi-Fi ホットスポットネットワークへのシームレスでセキュアな接続を実現,” <https://www.wi-fi.org/ja/discover-wi-fi/passpoint/>
- [4] 原田寛之, 後藤英昭, “学術無線 LAN ローミング基盤 eduroam と次世代ホットスポット基盤 Cityroam のキャンパスへの展開,” 大学 ICT 推進協議会 2018 年度年次大会 論文集 MA1-5, 2018.
- [5] OpenVPN, <https://openvpn.net/>
- [6] 後藤英昭, 中村素典, 曾根秀昭, “デジタル時代の教育・研究を支える基盤としての eduroam と次世代ホットスポット,” 大学 ICT 推進協議会 2017 年度年次大会 論文集 TC2-5, 2017.
- [7] セキュア公衆無線 LAN ローミング研究会 (NGH-SIG), <https://nghsig.jp/>
- [8] Harada Hiroyuki, “Passpoint による Wi-Fi 環境の構築と運用 – Passpoint (Hotspot 2.0) Knowledge Book –,” 2019.

[お知らせ]

令和2年度 学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点 公募型共同研究課題募集のご案内

東北大学サイバーサイエンスセンターは「学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点」として文部科学大臣の認定を受け、活動を行っております。「学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点」は、北海道大学、東北大学、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し、各センターからなる「ネットワーク型」共同利用・共同研究拠点として活動しています。

利用可能な研究資源には、計算機、ストレージのほか、SINET5が提供する広帯域ネットワーク(L2VPNサービスなどを含む)の利用を前提とした大規模データ・大規模ネットワークを利用する研究も実施できます。当公募型共同研究(令和2年度)は、令和2年年4月～令和3年3月の期間実施します。

<令和2年度 共同研究の主な日程>

2019年12月12日(木)	課題応募受付開始
2020年 1月 6日(月)	課題応募受付締切【厳守・必須】
2020年 1月14日(火)	紙媒体の課題申込書提出期日【必須】
3月中旬までに	採否結果通知
2020年 4月 1日(水)	共同研究開始
2020年 7月10日(木)/12日(金)	第12回シンポジウム 共同研究内容紹介
2021年 3月31日(水)	共同研究期間終了
2021年 7月中旬	第13回シンポジウム 共同研究成果報告

詳細については下記URLをご覧ください。

<https://jhpcn-kyoten.itc.u-tokyo.ac.jp/>

※ 表示ページの右上「共同研究申込み」アイコンをクリックしてください。

※ 特に、計算機(HPCI-JHPCNシステム)利用の有無で課題申込方法が異なりますのでご注意ください。

※ 具体的な提供資源は募集要項別紙をご覧ください。

ご不明な点がございましたら、以下までお問い合わせください。

東北大学窓口

全体窓口

joint_research@cc.tohoku.ac.jp

jhpcn.adm@gs.mail.u-tokyo.ac.jp

(スーパーコンピューティング研究部, 共同研究支援係, 共同利用支援係)

学部学生のためのスーパーコンピュータ無償提供制度について

東北大学サイバーサイエンスセンターでは、学部学生(3年生、4年生)が、卒業論文等作成のために大規模科学計算システムを無料利用できる制度を実施いたします。希望者は以下を確認頂き申請書に必要事項を記入の上、お申し込みください。

本センター教員が内容を審査の上、採択となった研究課題については、以下の期間大規模科学計算システムを無料で利用する(利用ノード時間に上限あり)ことができます。

1. 応募期間

- ・ ~~第一回 令和元年 10 月 1 日(火)～令和元年 10 月 21 日(月)~~
- ・ 第二回 令和元年 12 月 1 日(日)～令和元年 12 月 21 日(土)

2. 利用期間

採択日～令和 2 年 3 月 29 日(日)

3. 応募詳細

- ・ 研究成果を学術論文誌等において発表する場合は、謝辞等で本センターの貢献を明記してください。
- ・ 年度末に成果報告書を提出して頂きます。
- ・ 申し込みには指導教員の承認が必要となります。
- ・ 高等専門学校生については本科 5 年生および専攻科生を対象といたします。
- ・ 指導教員 1 人につき最大 2 件までの応募となります。

4. 応募方法

応募される方は、本センターのウェブサイト (<https://www.ss.cc.tohoku.ac.jp/>) の「各種申請紙」から「学部学生のためのスーパーコンピュータ無償提供制度申請書」をダウンロードし、必要事項を記入して電子メールでお申し込みください。

(送り先)E-mail:edu-prog@cc.tohoku.ac.jp

5. 問い合わせ先

共同利用支援係

TEL : (022) 795-6251

E-mail : uketuke@cc.tohoku.ac.jp

(スーパーコンピューティング研究部、共同利用支援係)

[報告]

オープンキャンパス 2019 報告

スーパーコンピューティング研究部 江川隆輔

7月30日、31日の2日間、東北大学オープンキャンパスが開催されました。本学のオープンキャンパスは、本学への進学を考えている高校生のみならず、本学の研究、教育活動に興味を持たれている一般の方々への一般公開という形で毎年1度開催される大規模なイベントで、本年度は全学で延べ約68,400人の参加者が集いました。当センターでは、多様な科学技術分野で活用されているスーパーコンピュータシステムや3次元可視化システム、本学のみならず東北地方のネットワークを支えるネットワーク機器、コンピュータの歴史を垣間見ることが出来るコンピュータ博物館の公開の他にも、スーパーコンピュータ研究部、ネットワーク研究部、先端情報技術研究部、情報通信基盤研究部、高性能計算技術開発（NEC）共同研究部門の研究活動と最新の研究成果の展示を行い、2日間で延べ約1,000人の方々にご来場いただきました。

見学に来てくださった若い学生さん達は、初めて見るスーパーコンピュータの大きさや、スーパーコンピュータを用いた多様なシミュレーション成果に大変興味を持っていました。

また、本学教員による模擬授業が以下のとおり開催され大変好評でした。

- ・「スーパーコンピュータで切り拓く電磁波のフロンティア」（両日開催）
今野 佳祐 准教授（工学研究科）
- ・「飛び出すデジタル3D映像でマイクロの世界を体感しよう！～DNA鎖切断や分子モーターの動画公開～」(両日開催)
菅野 学 助教（理学研究科）
- ・「楽しいシミュレーション」（2日目のみ開催）
山本 悟 教授（情報科学研究科）

オープンキャンパス当日は30度を超える猛暑の中、訪れていただいた皆様と当センターの教職員、本学学生と交流を深めることが出来ました。令和2年度のオープンキャンパスは、9月21日（月・祝）、22日（火・祝）に開催予定です。皆様のご参加をお待ちしております。



センター入口



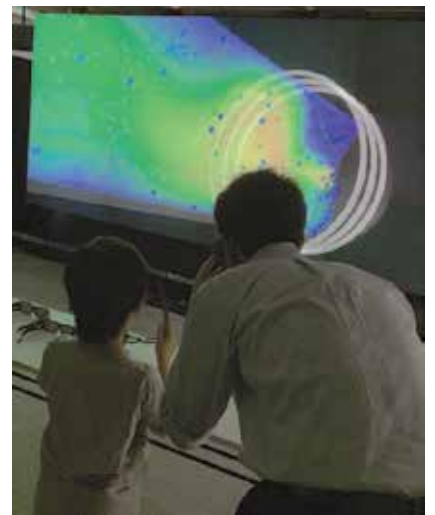
職員によるスパコンの説明



スパコンと記念撮影



模擬授業



三次元可視化システム



研究紹介



センター展示室
(分散コンピュータ博物館)

[報 告] 計算科学・計算機科学人材育成のためのスーパーコンピュータ無償提供利用報告

理学部化学科での計算化学演習

— 物理化学演習 B の Gaussian 実習 —

森田明弘

東北大学大学院理学研究科化学専攻

東北大学理学部化学科では、本サイバーサイエンスセンターの「計算科学・計算機科学人材育成のためのスーパーコンピュータ無償提供」の制度を利用して、3年生を対象として物理化学演習 B が実施されている。この演習（担当：森田明弘教授）は、前期セメスター（5セメスター）の水曜日1限に開講され、化学科3年生の半数程度の学生が受講した。本演習は、物理化学系の学部向け講義の一環として、群論および量子化学の理解を深めることを目的としている。セメスターの前半に群論の演習、後半に量子化学の演習を行い、その量子化学の演習では本センターの並列コンピュータ LX406Re-2 上にインストールされた Gaussian 16 プログラムを利用した。

群論と量子化学は、化学科の学生が学ぶ物理化学の中でも特に演習が必要なテーマである。群論は化学系の学生にとって分子や結晶の対称性を考える基礎知識であり、軌道対称性が支配する化学反応の機構、分光学的解釈、結晶構造解析など化学の広い範囲にわたって必要となる。しかし化学の学生にとっては、数学的な体系を講義するだけでは十分な理解が身に着くとはいえず、実際に学生自ら手を動かして対称性の感覚を分かるようにならないと、今後の研究で使いものにならない。そのためには、演習問題をこなす機会を用意することが有効である。

量子化学も同様であり、近年の計算機の進歩に伴って、量子化学計算は一部の理論化学者だけのものではなく、汎用的な“計測機器”として実験化学者にも日常的に用いられる手法となっている。量子化学を実際の研究に役立てるためには、電子状態の理論を学ぶだけでは十分でなく、実際に計算機を使って計算してみて、その結果を自分で吟味することが不可欠である。

この演習は群論および量子化学の講義を兼ねて行われた。毎回化学科の講義室にて演習で扱う内容をまとめた講義を行い、それに関連する演習問題を宿題とする。学生は各自次回の演習までに、それを解いてレポートをまとめて提出する。次回の演習の初めには、その解答を解説して質問を受け付ける。成績は、提出されたレポートをもとにして評価する。後半の量子化学の演習では、各回のテーマに応じた量子化学計算の問題を出し、学生は Gaussian の入力ファイルを作成してジョブを実行し、その結果を見て解釈することが課題になる。

Gaussian の実行にあたっては、本センターより学生のための教育用アカウントを発行していただき、Gaussian 実行環境を用意した。化学科の教室にも Windows PC を備えた端末室があり、学生はそこで Windows 版の Gaussian を使用することもできる。しかし化学科の端末室は主に学生実験のためのもので、計算機演習を行うには台数も資源も十分でなく、Gaussian の計算環境を別途用意することが本演習にとって必要であった。学生は自宅からインターネット経由でサイバーサイエンスセンターの計算機にアクセスすることができ、演習問題を自宅で勉強することもできるようになった。

以下では、サイバーサイエンスセンターの利用に関わる量子化学演習の内容を簡単に紹介する。その部分の構成は以下の通りである。

量子化学演習（後半）

1. Schrödinger 方程式と電子状態理論の精度
2. 分子内座標、原子単位
3. 基底関数
4. 構造最適化と振動計算
5. 開殻系の波動関数、電子相関
6. Gaussian の実用的な使い方、分子間力、分子内の電荷分布
7. 溶液内の分子、励起状態

量子化学計算は、分子内の電子に関する Schrödinger 方程式の近似解を求めるものであり、長い研究の歴史のなかで、その精度や妥当性に関して多くの知見が蓄積している。精度を無視した計算結果は無意味であり、本演習の第一の目的として、自分が扱いたい分子や物性量を実際に計算してみて、ユーザーの立場からみてその精度を実感してもらうことに置いた。良い結果を得るためには、適切な電子状態理論の手法と基底関数の両方を選ぶことが必要であり、それぞれ実例をもって納得してもらう。

たとえば基底関数について例をあげると、基底関数には最小基底、double zeta、triple zeta という精度の系列があり、さらに分極関数や diffuse 関数が適切に加えられる必要がある。よく知られた例では、アンモニア NH_3 分子の構造を記述するには分極関数が不可欠であること、アニオンの電子状態を描くには広がった基底関数が必要であることなど、実例をあげて演習する。また開殻系や励起状態など、電子状態の特徴をふまえて計算する必要がある場合も学習した。構造最適化や振動数計算、Gaussian の多段ジョブなど、実用的にも役に立つ計算手法も、なるべく紹介するようにした。

一般に精度の高い計算を実行するには大きな計算資源が必要であり、実際の電子状態計算は、精度と計算資源のバランスの中で行われる。本演習のなかでも、可能なかぎり良い精度での計算を学生に体験してもらうためには、本サイバーサイエンスセンターの計算資源の提供は大変有意義であった。

謝辞

本演習は、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。また、研究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。

[報 告] 計算科学・計算機科学人材育成のためのスーパーコンピュータ無償提供利用報告

東北大学数理科学連携研究センター主催 g-RIPS (graduate-level Research in Industrial Projects for Students)- Sendai プログラムにおける量子コンピューターに関するプログラミング実習

水藤 寛

東北大学材料科学高等研究所

1. 概要

2019年6月17日から8月9日まで、数理科学連携研究センターが主催する g-RIPS (graduate-level Research in Industrial Projects for Students)-Sendai プログラムが材料科学高等研究所(AIMR)にて行われました。本プログラムは、UCLA (University of California, Los Angeles) の IPAM (Institute for Pure & Applied Mathematics) がこれまで10年以上にわたり実施してきているもので、近年ではドイツ、シンガポールなどでも開催され、参加学生と企業の双方から高い評価を受けています。昨年からは日本でも東北大学材料科学高等研究所を会場として開催され、カルフォルニア大学サンディエゴ校の博士学生など米国人学生に加え、東北大学の大学院生など日本人学生が多数参加しました。今年度のスポンサー企業はトヨタ自動車株式会社、富士通研究所株式会社、日本電気株式会社 (NEC) の3社で、特に NEC が提示する量子コンピューターに関する研究課題に於いて、サイバーサイエンスセンター計算科学・計算機科学人材育成のためのスーパーコンピュータ無償提供制度を利用させていただきました。

2. 実習内容

米国人学生2名と日本人学生1名からなるグループが、バイクシェア (自転車シェアリング) の最適化問題に取り組み、サイバーサイエンスセンターのスーパーコンピュータと、D-Wave社が提供する量子コンピューター「D-Wave」を利用して、量子コンピューターの計算精度及び計算時間の検証等を行いました。まず、量子コンピューティングに必要な最適化ハミルトニアンを数学的手法により考案し、Pythonを用いてプログラムを作成した後、D-Wave上での計算を行いました。作成したプログラムではD-Wave特有のハードウェア構成に対応するため、クラスター間の通信を最適にするエンベディングという手法を採用しており、世界の代表的な都市を想定したバイクシェアの最適化問題の結果をまとめました。次に、中心課題である量子コンピューターの計算精度及び計算時間の検証を行うため、サイバーサイエンスセンターのスーパーコンピュータ上でD-Waveでの計算に似たアルゴリズムのプログラムを実行し、計算結果と計算時間の比較を行いました。その結果、D-Waveにとってちょうど良いサイズの問題などの特定の条件下では、D-Waveが要する計算時間がスーパーコンピュータのそれを下回るという結

果を得ました。但し、今回の D-Wave の利用法では多くの場合においてスーパーコンピュータの方が計算時間の点で優れており、量子コンピュータの利用におけるさらなる工夫の必要性、特にスーパーコンピュータとの併用という観点で新たな理解が得られました。

3. 今後の課題

今回、スーパーコンピュータで実行したプログラムは、量子コンピュータ (D-Wave) 用に最適化されたプログラムを基にしており、スーパーコンピュータ用に十分な高速化がされたとは言えません。今後は、スーパーコンピュータに最適化されたプログラムとの比較を行う事で、量子コンピュータの実用性や課題を整理することが重要と考えています。

この度、サイバーサイエンスセンターのスーパーコンピュータ無償提供制度を利用できた事は、g-RIPS-Sendai における NEC 様からの課題の実施において大変有意義な結果につながりました。関係の皆様、心より感謝申し上げます。

[報告] 計算科学・計算機科学人材育成のためのスーパーコンピュータ無償提供利用報告

工学部電気情報物理工学科「学生実験 D」講義

—スーパーコンピュータの利用方法と並列プログラミングの基礎—

ムハマド アルフィアン アムリザル¹, 菅沼 拓夫²

¹東北大学電気通信研究所

²東北大学サイバーサイエンスセンター

1. はじめに

工学部電気情報物理工学科では、「学生実験 D」という学部 4 年生向けの講義を提供しています。本講義は配属先の研究室における短期研修として行われるものです。同学科の菅沼・阿部研究室では、研修の一つのトピックとして「スーパーコンピュータの利用方法と並列プログラミングの基礎」という題目で研修を行いました。サイバーサイエンスセンターが提供する無償提供制度を利用して、学生のこれからの研究活動に役立てるため、スーパーコンピュータ（スパコン）の基本的な使い方と初期的な並列プログラミング手法を実際のスパコンを使って学ぶことができました。本稿では、今回実施した研修について報告します。

2. 研修内容

工学部電気情報物理工学科の学生は、情報処理関連やプログラミングの講義等で UNIX/Linux 環境の使い方を習う機会があったかもしれませんが、スパコンを使う機会はほとんどなかったと思われます。両者の大きな違いの一つとして、スパコンではプログラム実行時にジョブ管理システムを使う必要がある点が挙げられます。本研修では、ジョブ管理システムを使わなければならない理由として、スパコンは多数の利用者に共有されており、その公平で効率的な利用が非常に重要であることを説明しました。さらにスパコンにログインして、バッチリクエストを作成し、フロントエンドサーバから計算サーバにジョブを投入する実習を行いました。これは一回の講義（2 時間程度）で行いました。

学生がある程度基本的なスパコンの操作ができるようになったら、並列アルゴリズムを実装するための手段・道具の一つである OpenMP の基本概念と、その実装方法を 2 回の講義（4 時間程度）にわたって学習しました。この講義では、まず OpenMP におけるスレッドの fork-join モデルといった基本的概念や世界観を説明し、いくつかの演習を通してさらに OpenMP の詳しい文法や機能等を学びました。また、実装したプログラムの性能をスパコンで計測しました。実際に計測されたデータを、性能モデルが予測したデータと比較して、実性能と理論性能を比較しながら議論を行いました。

3. 所感など

本稿で述べたように、工学部電気情報物理工学科の講義「学生実験 D」でスパコン無償提供制度を利用することによって、座学では体験できない実践的な内容を実際のスパコンを使って学べるようになりました。並列処理やプログラミングに関する基礎知識はもちろんのこと、具体的なスパコン利用方法など、学生のこれからの研究活動にも役立つ実用的な知識を提供できたものと思います。

[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/>

Gaussian16 のバージョンアップについて (No. 282)

非経験的分子軌道計算プログラム「Gaussian16」のバージョンアップを行いましたのでお知らせいたします。また、Gaussian09 も引き続きご利用いただけます。

Gaussian は、Carnegie-Mellon 大学の Pople を中心として開発された分子軌道計算プログラムパッケージです。広範囲にわたる非経験的モデルおよび半経験的モデルをサポートしています。

バージョン名	:	Gaussian16 C. 01
バージョンアップ日	:	2019 年 8 月 28 日 (水)
サービスホスト	:	front.cc.tohoku.ac.jp (並列コンピュータ)
実行コマンド	:	subg16
	:	subg09 (Gaussian09 E. 01 用コマンド)

新機能の概要、機能の詳細、実行方法については開発元 Web サイト、およびセンターWeb サイトをご覧ください。

開発元 Web サイト

<https://gaussian.com/relnotes/>

HULINKS Gaussian16 製品情報

<https://www.hulinks.co.jp/software/chem/gaussian>

センターWeb サイト

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

(共同利用支援係)

科学技術計算言語 MATLAB のバージョンアップについて (No. 282)

科学技術計算言語「MATLAB」のバージョンアップを行いましたのでお知らせいたします。

MATLAB は、アルゴリズム開発、データの可視化、数値計算を行うための高レベルなテクニカルコンピューティング言語と対話型環境です。MATLAB を利用することにより、C、C++、Fortran といった伝統的なプログラミング言語よりも短時間で科学技術計算の問題を解決することが可能です。

バージョン名 : MATLAB R2019a
バージョンアップ日 : 2019年8月28日 (水)
サービスホスト : front.cc.tohoku.ac.jp (並列コンピュータ)
起動コマンド : matlab (GUI版)
: matlab -nosplash -nodesktop -nodisplay (テキスト版)

新機能の概要、機能の詳細、実行方法については開発元 Web サイト、およびセンターWeb サイトをご覧ください。

開発元 Web サイト
https://www.mathworks.co.jp/products/new_products/latest_features.html

センターWeb サイト
<https://www.ss.cc.tohoku.ac.jp/application/matlab.html>

(共同利用支援係)

数式処理プログラム Mathematica のバージョンアップについて (No. 282)

数式処理プログラム「Mathematica」のバージョンアップを行いましたのでお知らせいたします。
Mathematica は Stephen Wolfram によって作られた、プログラミング言語を備えた数式処理システムです。Mathematica の機能は、数値計算、記号計算、グラフィックスという 3 つに大別でき、この 3 つが一体となって使いやすいインターフェイスを提供しています。

バージョン名 : Mathematica 12.0
バージョンアップ日 : 2019年8月28日 (水)
サービスホスト : front.cc.tohoku.ac.jp (並列コンピュータ)
起動コマンド : mathematica (GUI版)
: math (テキスト版)

新機能の概要、機能の詳細、実行方法については開発元 Web サイト、およびセンターWeb サイトをご覧ください。

開発元 Web サイト
<https://www.wolfram.com/mathematica/new-in-12/>

センターWeb サイト
<https://www.ss.cc.tohoku.ac.jp/application/mathematica.html>

(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

「京」コンピュータの後継機の名称が「富岳」と発表されるなど、スーパーコンピュータへの興味・関心がますます高まってきています。この夏開催された東北大学オープンキャンパスにおいて、サイバーサイエンスセンターでもスーパーコンピュータや並列コンピュータ、コンピュータ博物館などを公開し、非常にたくさんの方々にご来場いただきました。冷房が完備されたコンピュータ室の中で、スーパーコンピュータが熱気を発しながらがんばって計算している様をご覧いただけただけでしょうか。大学・研究所の研究者だけでなく、企業の研究者・開発者を支える、そして、日本の研究分野・産業界を支える社会基盤として、研究者・開発者を支援することができるよう取り組んでまいります。これからもどうぞよろしく願いいたします。(K.K)

先日、久しぶりに魚釣りに行ってきました。釣果としてはまずまず。今回は釣ることのみならず、魚のサバキに挑戦してみました。今までは、魚をさばくなんて自分にはとても無理だと思っていましたが、たまたま魚をさばく動画を見たのが発端となり、自分でもやってみたくなりました。これがやってみると案外、楽しい。自分がハマっているのがわかりました。だんだんと慣れて行くうちに、さばくスピードも上がってきて、自画自賛の出来映えに悦んでおりました。もちろん、味も格別、美味しくいただきました。

今や実りの秋、これからの季節も楽しみですね。(Y.T)

サイバーサイエンスセンタースタッフ異動のお知らせ

2019. 10. 1 付け

[転出]

八巻 俊輔 助教(工学研究科電子工学専攻助教へ)



開発中の青葉山キャンパス

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

令和元年 10 月発行
編集・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.4 2019-10

[共同研究成果]

複数領域 FDTD 法を用いた大規模モデル電磁界散乱特性の解析	有馬 卓司 宇野 亨	1
自動車エンジン用ピストンリングまわりの気液二相流解析	川本 裕樹・蔵本 結樹・大栗 拓実 高橋 俊・落合 成行・畔津 昭彦 鹿野みどり・曾我 隆	6

[解説]

OpenVPN を用いた eduroam/Cityroam/Passpoint 対応可搬型基地局の開発	後藤 英昭	14
--	-------	----

[お知らせ]

令和 2 年度学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点 公募型共同研究課題募集のご案内		20
学部学生のためのスーパーコンピュータ無償提供制度について		21

[報告]

オープンキャンパス 2019 報告	江川 隆輔	22
〈計算科学・計算機科学人材育成のためのスーパーコンピュータ無償提供利用報告〉 理学部化学科での計算化学演習 —物理化学演習 B の Gaussian 実習—	森田 明弘	24
東北大学数理科学連携研究センター主催 g-RIPS (graduate-level Research in Industrial Projects for Students) -Sendai プログラムにおける 量子コンピュータに関するプログラミング実習	水藤 寛	26
工学部電気情報物理工学科「学生実験 D」講義 —スーパーコンピュータの利用方法と並列プログラミングの基礎—	ムハマド アルフィアン アムリザル・菅沼 拓夫	28

[Web 版大規模科学計算システムニュースより]

Gaussian16 のバージョンアップについて (No.282)		29
科学技術計算言語 MATLAB のバージョンアップについて (No.282)		29
数式処理プログラム Mathematica のバージョンアップについて (No.282)		30
執筆要項		31
スタッフ便り		32