



TOHOKU
UNIVERSITY

ISSN 2436-0066

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.57 No.1 2024-1



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デジタルサービス支援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)	計算機利用全般に関する相談	8:30～17:15
		相談員不在時 022-795-3406 (3406)	大判プリンタ、利用者端末等の利用	9:00～21:00
	利用者談話室	(3444)	自販機	8:30～21:00
	展示室* (分散コンピュータ博物館)*	*見学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	9:00～16:00
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) cc-uketuke@grp.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) i-network@grp.tohoku.ac.jp	ネットワークに関すること	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)	

* () 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。

[巻頭言]

スーパーコンピュータ SX と歩んだ研究者人生

東北大学大学院情報科学研究科 教授 山本 悟

私が東北大学大学院工学研究科のD1だった昭和61年(1986)の5月に、NECのスーパーコンピュータ(以降、スパコン)SX-1が東北大学大型計算機センター(以降、大計センター)に導入されて運用が開始しました。それから37年経ちます。私の研究者人生はまさにSXと共にあったと言っても過言ではありません。現役のSXユーザーとしては最年長ではないかと思えます。私は1980年に東北大学工学部に入學して、当時すでに数値流体力学(Computational Fluid Dynamics、以降、CFD)で先駆的な研究を行っていた大宮司久明先生の研究室に配属になり、博士号を取得しました。その後も教員として研究・教育に従事して、現在は情報科学研究科の計算数理科学分野を担当しています。この約40年間、一貫してCFDの研究を続けてきました。

大計センターとの付き合いは大學入學時から始まっています。当時はまだスパコンではなく、大型汎用機ACOSが運用されていました。マークシート式のカードにプログラムを1行ずつ記入して、束ねたカードを学内便で大計センターに送付していました。だいたい1週間後に結果を印刷したA3サイズのシートが返送されてきて、「SYNTAX ERROR」と表示されていたことが何度かありました。學部4年生になって大宮司研究室に配属になり、プリンター型の端末(ディスプレイはありません)に触れた時は感動しました。RS232Cのモデム回線で大計センターのACOSと接続されており、プログラムを1行ずつプリンターに付いたキーボードから入力していました。その後、大学院生になった頃は、デスクトップ型のPCを大計センターに繋いでディスプレイ上でプログラミングできるようになりました。研究室では端末に使うため、最新型のNEC PC9801を毎年のように購入していました。

私は片平キャンパスの近くにあった下宿で大学院が修了するまで暮らしていましたが、当時もめずらしい賄い付きの下宿でした。そのため、日中は大學で研究した後に夕食を食べに下宿に帰り、その後に当時まだ片平キャンパスにあった大計センターに行って、夜9時前に「蛍の光」が聞こえてきて閉館になるまで、引き続きプログラミングする生活をほぼ毎日繰り返していました。直接計算機に繋がった端末を使った方が格段に便利だったのが一番の理由でしたが、計算データをリール式の磁気テープに記録したり、大型プロッターを使って計算結果を出力したり、大計センターでできないこともありました。

SX-1が導入されてからの計算機環境や端末の進化は、日進月歩で凄まじいものがありました。SX-1が、SX-2N、SX/3/44R、SX-4/128H4、SX-7、SX-9、SX-ACEとリプレイスして計算機性能が向上するに従い、私の研究も進化しました。SX-4になって、それまで水冷式だったものが空冷式になったことから、大宮司研究室と他2研究室共同で、2CPUのSX-4を所有していたこともありました。PCの性能が毎年のように向上して、記録媒体が8インチフロッピーディスクから、5インチ、3.5インチ、CD、MOディスク、DVD、外付HDD、そしてUSBと記憶容量が桁違いに増加していき、ネットワークもRS232Cから、TAINS、SuperTAINS、StarTAINSとどんどん高速化しました。計算結果の可視化ソフトも有料、無料といろいろ利用できるようになり、今は手元のPCで何不自由なくCFD研究ができます。

SX-1で計算して大計センターでカラー出力した可視化結果が、1991年の英文広報誌「National Academic Computing Service of Japan」の表紙を飾っていたことを最近思い出しました。ガスタービン圧縮機三次元翼列を通る遷音速流れを計算して可視化した結果でした。このときは翼列1流路のみの計算でしたが、当時としては大規模計算でした。それがSXの進化とともに、現在はSX-Aurora TSUBASA（通称AOBA）を使って、ガスタービン遷音速圧縮機全周（まるごと）計算が1.3日で完了します。この高速化により、様々な異なる作動条件を想定した、まるごと計算を数十ケースまとめて、1週間程度で大規模計算できるようになりました。さらに、計算により得られた数百ケースの時系列ビックデータをクラスタリングして、自己組織化マップ(Self-organizing Map, SOM)にするAI技術も開発しました。これは「デジタルツイン数値タービン」と命名して、その成果は昨年6月にメディアでも報道されました。NECのエンジニアから多大なる技術的な支援を常に受けて、ベクトル化率や並列化率を大幅に向上させて計算を高速化してきた結果、SX-1を利用して以来、37年後に実現しました。合わせて、私が所属する情報科学研究科には、長らく計算機使用料を代わりに支払っていただきました。これらの支援がなければ、決して成し得なかった研究の成果です。この場を借りて、関係各位に心から感謝申し上げます。

長期的な視点で取り組まなければならない研究があります。長年かけてSXと共に研究開発してきた次世代アプリをさらに進化させるためにも、有用なスパコン環境が引き続き提供され続けることを期待しています。

[共同研究成果]

温度の変動の大きさを明らかにするための LES シミュレーション

松川 嘉也：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

本研究では、化学反応を考慮した熱・物質移動を伴う流体計算(CFD)を実施し、壁からの対流伝熱に伴う温度の変動の大きさを検討した。

1. はじめに

熱分解反応は、さまざまな化学工業プロセスにおいて、目的の反応あるいは不本意な副反応として起こっている。プロセスを最適化するために、CFD と化学反応を連成させた解析が多く行われている。化学工業プロセスの多くは乱流場であり、産業界では乱流を表現するモデルとして計算コストの兼ね合いから Reynolds-averaged Navier-Stokes (RANS)や Large Eddy Simulation (LES)による解析が多く行われている。RANS から得られる温度場は時空間的に平均化されたものであり、LES から得られる温度場はフィルター操作が施された速度場によるものである。化学反応速度は Arrhenius の式に代表されるように、温度の上昇に伴い指数関数的に増加するため、温度に変動がある場合に平均温度を絶対反応速度の算出に用いてしまうと実際の化学反応速度とかい離する可能性がある。前報[1]では、RANS によりどの程度があるのかを検討した。また、熱分解において平均温度に対する 1%程度の変動であれば、影響が小さいことを明らかにした。本報では、壁面からの伝熱を伴う LES シミュレーションを行い、RANS より高い精度で温度の変動の大きさを見積もった。

2. シミュレーションに用いるソフトウェア構成の検討

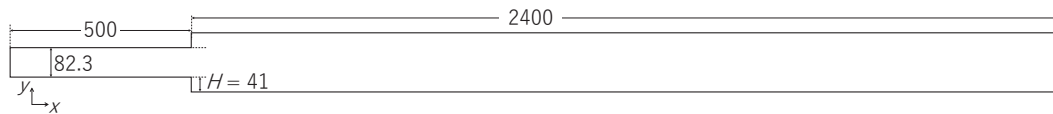
本研究では FORTRAN で記述された in-house コードにより流体計算を実施した。ライブラリとして、表 1 に示す行列計算ライブラリを用いた。Open MPI は AOBA-B にインストールされているものを用いた。AOCL、OpenBLAS および ScaLAPACK について、本研究を開始した 2020 年 11 月当初において、GCC 環境用のライブラリが提供されていなかったか、著者の力不足により使用できなかったため、GCC 環境においてはソースコードからコンパイルしたライブラリを用いた。それ以外のライブラリはソースコードからコンパイルしたものをを用いた。

表 1 シミュレーションに用いたライブラリ

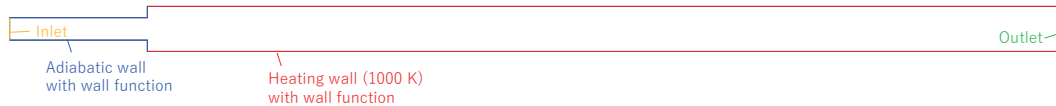
	ライブラリ名	バージョン
Message Passing Interface	Open MPI	4.0
線形代数演算	AOCL	2.2
	OpenBLAS	0.3.10
並列行列計算	ScaLAPACK	2.1.0
疎行列直接解法	MUMPS	5.3.5
メッシュ分割	ParMETIS	4.0.3
疎行列反復解法ソルバー	AMGS 並列版[2]	1.10
	AGMG [3-5]	3.3.5

3. 解析手法・解析対象

熱移動を考慮した Large Eddy Simulation (LES)によって非定常乱流場の急拡大流れを解析することで実施した。解析対象を図 1 に示す。z 軸方向には 80 mm の幅を設け、同程度の格子幅で分割し対称境界とした。解析領域を約 200 万分割した。支配方程式にはフィルター操作を施した非圧縮性 Navier-Stokes 方程式を用いた。有限体積法に基づき離散化した。運動量に関する対流項および拡散項の離散化スキームには二次中心差分法を用いた。時間項の離散化スキームには 3 次の Adams-Bashforth 法を用いた。圧力と速度のカップリングには SMAC 法[6]を適用し、圧力補正值に関する行列方程式の解法には AMG [2]を用いた。収束判定条件には流入質量流量で規格化した離散化した連続の式の誤差の絶対値の総和を用い、 10^{-6} 以下となった時点で収束解が得られたものとした。



(a) 解析対象の大きさ



(b) 境界条件

図 1 LES の解析対象

入口から 500 K の空気を 2 or 4 m/s の速度で流入させ、急拡大後の壁温を 1000 K とすることで大きな温度差を与えた。温度の時間変動に関するサンプリングポイントを図 2 に示す。



図 2 温度の時間変化のサンプリング位置

4. 結果と考察

初めに流入速度を 4 m/s とした場合について、急拡大位置からの x 方向距離 Δx , 壁からの y 方向距離 Δy ごとに図 3 に温度の時間変動を示す。前報[1]の RANS による予想とは反して、比較的大きな温度の変動があることが分かった。壁に近いほど変動が大きく、下流(図 3 (h) and (i))では約 100 K の振幅の振動があり、その振動数は 10 Hz に満たなかった。10–50 K の振幅で 10–20 Hz 程度の振動があった。前報[1]の検討により、この程度の大きさの温度の変動は、熱分解において無視できない大きさであることが明らかになっている。

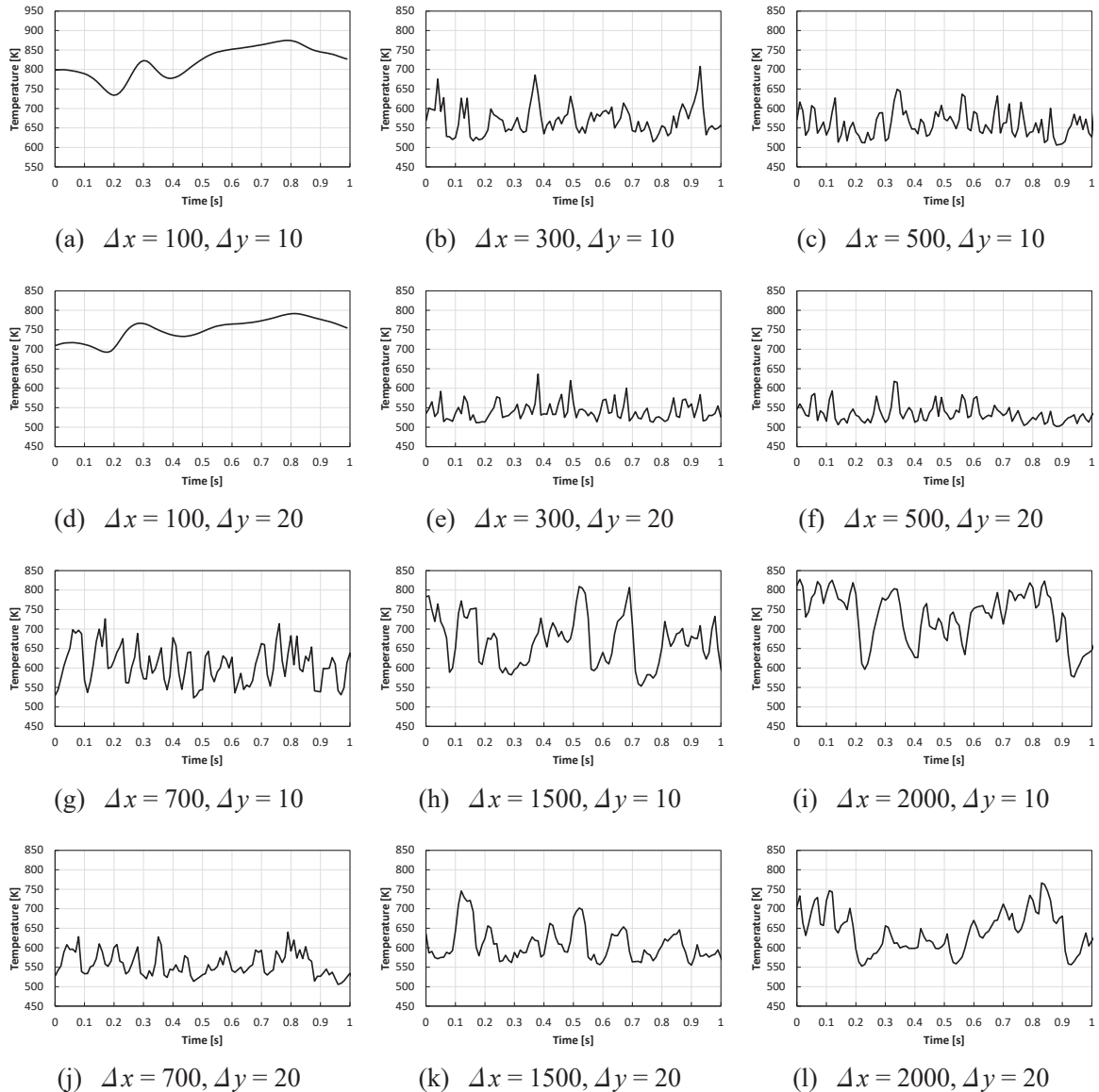


図 3 各位置における温度の時間変化(流入速度 4 m/s、壁温 1000K)

次に流入速度を 2 m/s とした場合について、図 4 に温度の時間変動を示す。流入速度が 4 m/s の場合と比較して大きな温度変動の振動数は 2–3Hz 程度でかなり小さかった。一方で振幅は上流でも壁面では 100 K 程度あり、かなり大きかった(図 4 (a) and (d))。

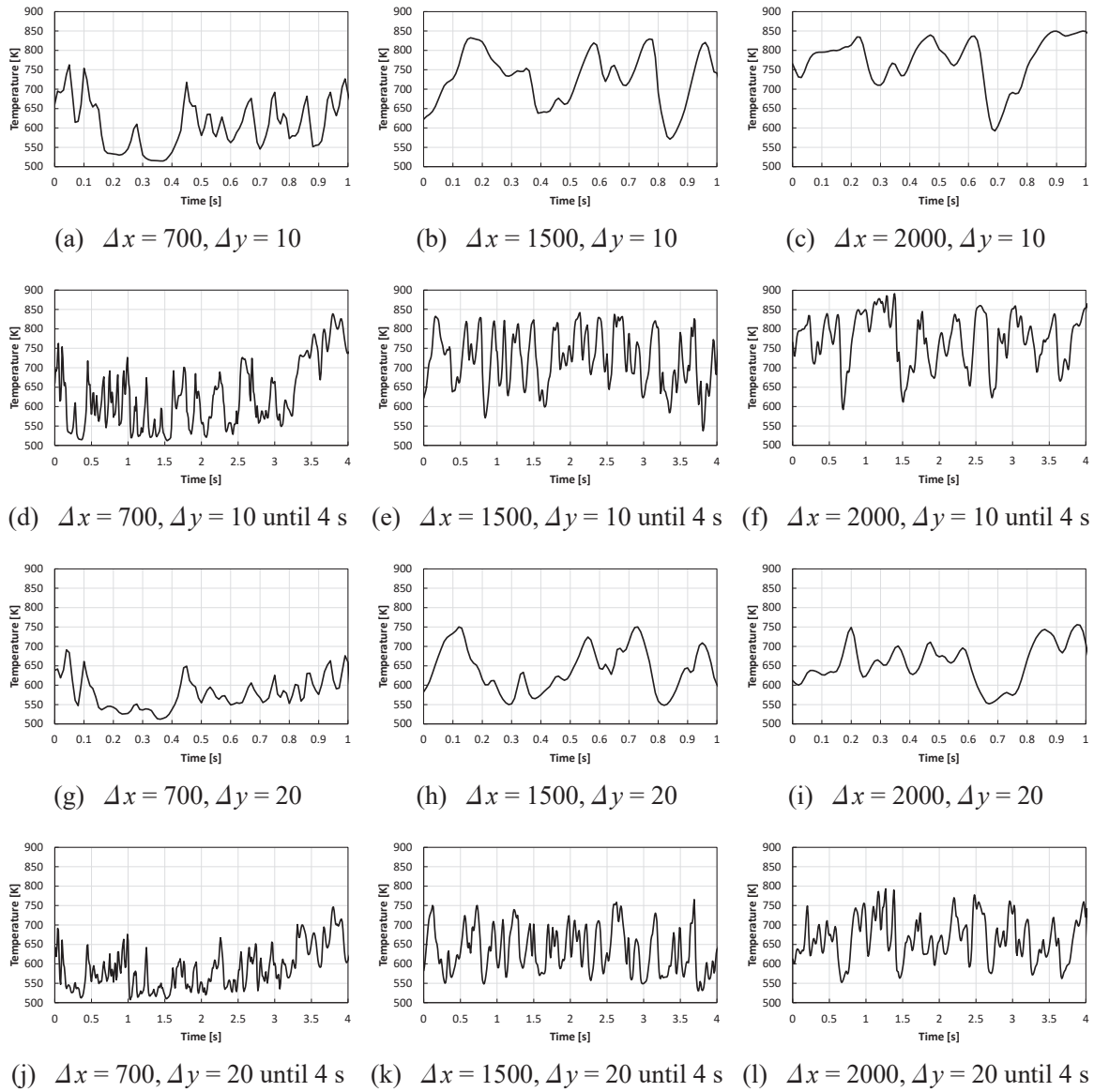


図4 各位置における温度の時間変化(流入速度 2 m/s、壁温 1000K)

4. 結論

本研究の LES シミュレーションにより、壁面からの伝熱に伴う温度の変動の大きさが大きいことが示唆された。これは熱分解速度に大きく影響する変動の大きさのため、温度の変動を考慮するためには、最低でも LES のように非定常の温度変動を考慮可能な手法を用いる必要があることが示唆された。

謝辞

本研究は、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。ここに謝意を示す。

参考文献

- [1] 松川嘉也, 松下洋介, 青木秀之, 熱分解反応シミュレーションにおける温度の変動, SENAC, 2023, 6-12.
- [2] A. Fujii, T. Tanaka, H. P. C. Laboratory, AMGS library, 2010.
- [3] Y. Notay, An aggregation-based algebraic multigrid method, *Electronic Transactions on Numerical Analysis* 37 (2010) 123-146.
- [4] A. Napov, Y. Notay, An Algebraic Multigrid Method with Guaranteed Convergence Rate, *SIAM Journal on Scientific Computing* 34 (2012) A1079-A1109.
- [5] Y. Notay, Aggregation-Based Algebraic Multigrid for Convection-Diffusion Equations, *SIAM Journal on Scientific Computing* 34 (2012) A2288-A2316.
- [6] A.A. Amsden, F.H. Harlow, A simplified MAC technique for incompressible fluid flow calculations, *J. Comput. Phys.* 6 (1970) 322-325.

[共同研究成果]

複雑なコネクタ形状を含むプリント基板の FDTD 解析の実践例

長野工業高等専門学校 春日 貴志
奈良先端科学技術大学院大学 北澤 太基 林 優一

1. はじめに

情報機器同士を接続する方法として、USB や HDMI ケーブルが一般的に用いられている。例えば、USB の通信規格は情報の大容量化に伴い、より高速で大容量データを送ることができるように規格が更新されてきた。2023 年では USB3.2 Gen2 が一般的に普及しているが、更に高速の USB4 (Thunderbolt 3 と互換) が 2019 年にリリースされ、一部のノート PC に搭載されている。USB4 の通信速度は 40Gbps であり、1 レーン 10Gbps×4 レーンで 40Gbps を実現している[1]。

通信速度が高速化する中で、電子機器から発生する電磁ノイズ放射 (Electromagnetic Interference : EMI) の増加や、信号品質 (Signal Integrity : SI) の劣化、電磁波の漏れによるデータ漏洩のリスクが高まっている[2]~[5]。線路構造が変化する場所では信号の反射が発生し、コモンモード成分に比例して EMI が増加することは一般的に周知の事実となっている。しかしながら、基板とケーブルを接続するコネクタでの SI の劣化や EMI の増加について明らかになっていない。この原因としてコネクタを含むモデル構造が複雑で実測による原因究明が困難であり、解析に複雑なコネクタモデルを組み込むことが難しいという背景があると推察される。

本稿では、コネクタを実装したプリント基板の電磁界解析法について提案し、実際の解析における高速化の手法について報告する。

2. コネクタを実装したプリント基板の電磁解析法

2.1 システム概要

USB コネクタを実装したプリント基板の解析モデルを作成するためのシステムの概要図を図 1 に示す。基板ならびに USB コネクタのモデルは、公表されている設計図面を基に 3DCAD により作図する。作成した解析モデルを、3 次元形状を保存するための形式で用いられる stl ファイルとして出力する。CAD から出力した stl ファイルを高さ方向にスライスするため、積層型 3D プリンターで用いられるスライサーソフトを使用する。スライサーソフトで stl ファイルを読み込み、解析モデルを高さ方向にスライスすることで、多層に区切られたデータを gcode ファイルとして出力する。gocode ファイルを Microsoft Visual C#で自作したプログラムによりバイナリ形式の FDTD 解析モデルに変換する。変換したファイルを FDTD 解析を行う際に読み込むことで 3DCAD により作成した解析モデルの解析を可能にする。

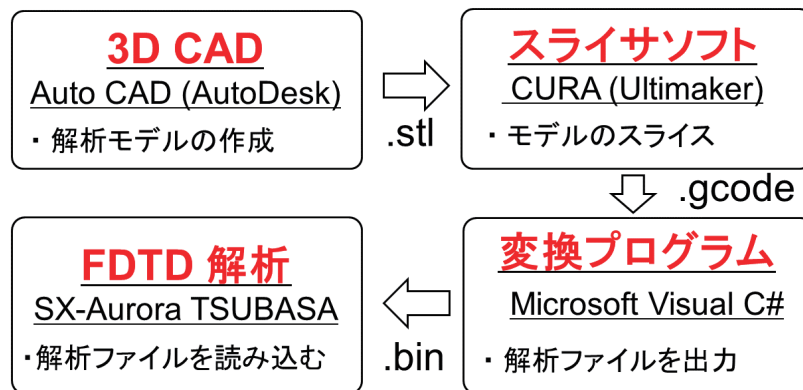


図1 CAD から FDTD 解析へのデータ変換概要図

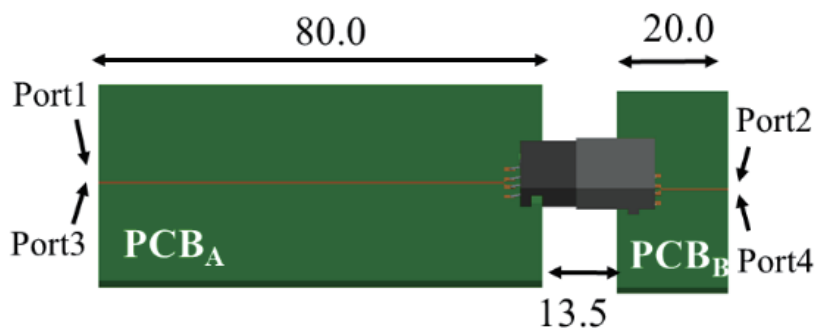


図2 3DCAD で作成した解析モデル

2.2 3DCAD によるモデルの作成

本システムを用いて解析を行うために、AutoDesk 社の Auto-CAD を用いて解析モデルを作成した。

基板同士をコネクタで相互接続したモデルを図2に示す。本研究では PCB_A 基板と PCB_B 基板を接続するために、嵌合状態の USB-TypeA を基板に取り付け、解析モデルとした。図2のように PCB_A が PCB_B よりも y 方向に長いモデルをとっている。このようなモデルを用いた理由として、差動 TDR 法での立ち上がり時間が長くなる際の線路長を確保するためである。解析モデルの大きさは各方向それぞれ $x = 113.5$ mm, $y = 50$ mm, $z = 8.3$ mm である。

2.3 スライサソフトによる gcode ファイルの出力

積層型 3D プリンターで用いられるスライサソフトは無償で提供されているものが多くある。本研究では Ultimaker 社の Cura を用いた。スライサソフトは層の厚さを指定し高さ方向に分割していくことで、各層ごとの印刷経路を決めていく。厚み方向にスライス画像を出力し断層画像を作成する。通常、スライサソフトはモデルをスライスした後、各層における印刷経路が記述された gcode ファイルを出力する。gcode ファイルは積層型 3D プリンターを制御するためコードだが、本システムでは FDTD 法の解析モデルの作成過程で用いる。

2.4 FDTD 解析モデルの出力

2.4.1 gcode ファイルから FDTD 解析モデルへの変換法

スライサソフトによって出力された gcode ファイルはコードが記述されただけのファイルのため、FDTD 法で解析が行えるデータに変換する必要がある。本システムでは図 3 に示す方法により、gcode ファイルをバイナリ形式で記述された FDTD 解析モデルに変換するプログラムを作成した。

層の高さや分解能などを計算した後、水平面 (xy 平面) における 2 次元配列を作成する。この配列は FDTD 解析の分解能と解析空間によってセル数が決定し、FDTD 解析の水平面における格子状のモデルに対応している。

その後 gcode からコマンドやパラメータを読み込み、配列に値を代入する。表 1 に gcode のコマンドの例を示す。主にプリンターの動きは G コマンドと座標値によって制御することができる。また、E パラメータにより、フィラメントの有無 (量) を指定することで印刷物を造形できる仕様になっている。これらのコマンドやパラメータから各層における 3D プリンターの印刷経路を読み取ることができる。

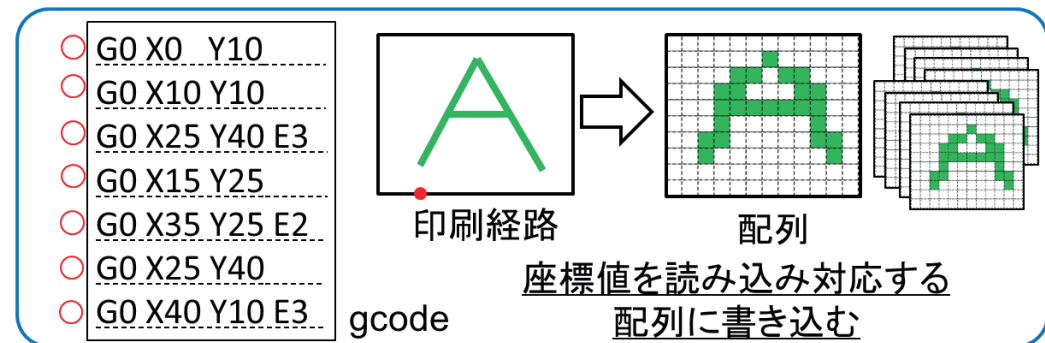


図 3 gcode からラスタデータ (FDTD の材料定数データ) への変換

表 1 G-code の代表的なコマンド

コード	機能
G00	位置決め (早送り)
G01	直線補間
G02	円弧補間 CW (時計回り)
G03	円弧補間 CCW (反時計回り)
E	フィラメントの送り出し距離
F	送り速度

2.4.2 連長圧縮法によるデータの圧縮

配列の作成、gcode ファイルの読み込みなどを各層ごとに行い層を重ねていくことで、格子状の 3 次元 FDTD 解析モデルが完成する。しかし、1cell を 1byte のデータとして出力を行っても、モデルのファイルの容量は数 100MB を超える容量になる。FDTD 解析を行う際に、大容量のファイルを読み込み、メモリに展開する処理は、膨大な計算時間を要することになる。

ファイル容量を減らすために、FDTD 解析の解析分解能を大きくすることや解析モデル自体を小さくすることで、総セル数を小さくすることは解析の汎用性を狭めるため好ましくない。そのため本システムで

はデータの圧縮技術を自作したプログラムに組み込むこととした。

データの圧縮技術として画像処理の分野で多く用いられる連長圧縮 (Run Length Encoding, RLE) 法を用いた [6]。図 4 に連長圧縮法によるデータ削減手法について示す。連長圧縮法は「AAAAACCCCEEEEEEE...」のようなデータがある場合に「A5C4E8...」のように、同じデータは一括りにし、「データ」+「データの個数」のようにデータの形式を変換させ圧縮を行う手法である。

連長圧縮法は簡単な圧縮アルゴリズムであり実装が容易である。また、データが連続していない場合はデータがより膨らんでしまうという特徴があるが、逆に多数のデータが連続してある場合は効果を大きく発揮する。今回の USB を実装したプリント基板モデルでは、スライス画像は自由空間や基板など、同じ媒質が連続して配置しているため、連長圧縮法によるデータの圧縮効果は大きい。圧縮前は 704MB であったのに対し、圧縮後は 1.6MB になった。連長圧縮前は、FDTD 解析の際のデータ読み込み時間が非常にかかり、実際に解析することが困難であったが、圧縮後は読み込み時間が大幅に短縮され、解析が可能になった。

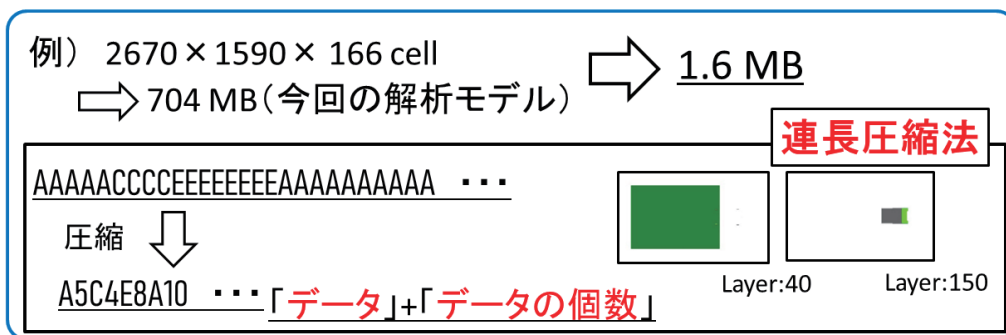


図 4 連長圧縮法によるデータ削減手法

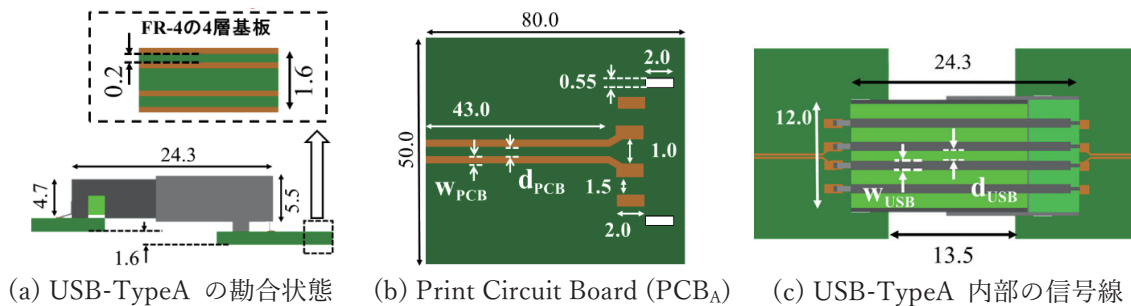


図 5 作成した解析モデルの詳細図

3. 数値解析

3.1 解析モデル

2.2 節では図 2 に解析モデルの全体図を示した。図 5 に基板同士をコネクタで相互接続したモデルの詳細図を示す。図 5(a) は USB-TypeA の勘合状態の詳細図である。PCBA がプラグ (オス) 側、PCBB がレセプタクル (メス) 側となっている。基板間の信号線および GND はコネクタのみで接続されている。また、コネクタ形状の関係から PCBA と PCBB では基板の高さに差が生じている。また、PCBA お

よび PCB_B の基板厚は 1.6mm 厚である。基板は FR-4 基板を用いた。図 5(a) に示すように基板は 4 層の多層基板であり、2 層目はリターン (GND) 層である。表層から 2 層目の距離は 0.2mm である。

図 5(b) は PCB_A の詳細図である。USB2.0 の差動インピーダンスの規定値は $90\Omega \pm 20\Omega$ (70 ~ 110 Ω) である [7]。ここで MSL (Micro Strip Line) の特性インピーダンス Z_0 および差動インピーダンス Z_{diff} は以下の式で求めることができる [8]。

$$Z_0 = \frac{87}{\sqrt{\epsilon_r + 1.414}} \ln \frac{5.98h}{0.8w + t} \quad (1)$$

$$Z_{diff} = 2Z_0 \left(1 - 0.48^{-0.96 \frac{d}{h}} \right) \quad (2)$$

ここで ϵ_r , h は基板の比誘電率と GND 層と信号層の距離であり, w , d , t はそれぞれ線路幅, 線路間の距離, 電極の厚みである。ここで, MSL の差動線路が 90Ω になるように線路幅と線路間の距離を決定した。電極の厚さ t および GND 層と信号層の距離 h がそれぞれ $t = 0.035$ mm, $h = 0.2$ mm なので, MSL は $w_{PCB} = 0.22$ mm, $d_{PCB} = 0.13$ mm となる。本研究で用いた解析モデルは FR-4 の比誘電率を $\epsilon_r(\text{PCB}) = 4.3$ とすると, Z_0 は 63.1Ω となり, Z_{diff} は 91.9Ω となった。

図 5(c) は USB 嵌合部分の内部の詳細図である。USB 内部の信号線の線路幅や線路間の距離, USB の誘電体の厚さなどは文献 [7] をもとに設計した。それぞれ $w_{USB} = 1.0$ mm, $d_{USB} = 1.0$ mm である。また, 誘電体の厚さはプラグ, レセプタクル共に 1.9 mm とした。USB の誘電体は主に PBT (Polybutylene Terephthalate) や液晶ポリマー (Liquid Crystal Polymer, LCP), 熱可塑性エラストマーなどが用いられている。今回は USB の誘電体の比誘電率 $\epsilon_r(\text{USB}) = 3.2$ とした。

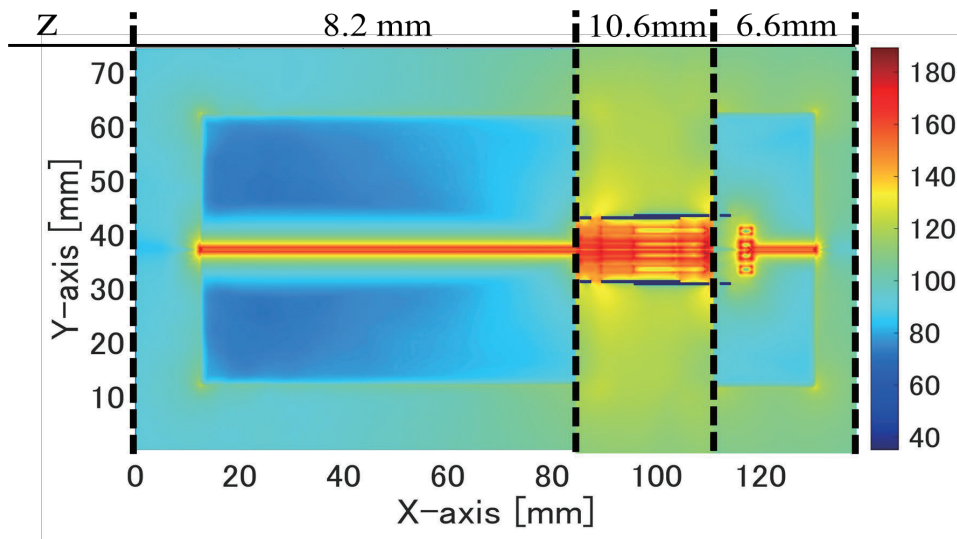
本研究では解析では, 東北大学サイバーサイエンスセンターの SX-Aurora TSUBASA を使用した。解析モデルファイルを読み込むためには連長圧縮法と逆のアルゴリズムを用いて展開を行う。メモリに展開を行った後, 媒質のパラメータなどを計算し, FDTD の更新方程式を解いていく。

解析分解能は $\Delta x = 0.050$ mm, $\Delta y = 0.044$ mm, $\Delta z = 0.050$ mm とした。時間ステップ Δt は Courant の安定化条件より $\Delta t = 91.9$ fs となる。

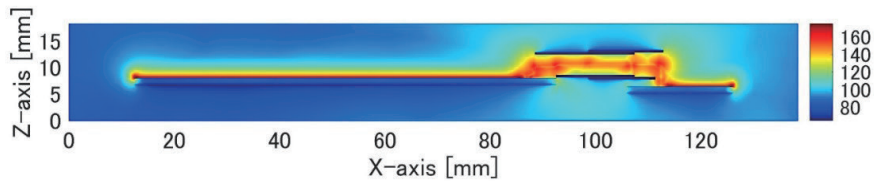
3.2 電磁界分布

本システムで作成した 3D モデルが適切に解析されているか評価するため電磁界分布を図 6 に示す。xy 平面における電界表示は基板の高さや USB 内部の信号線の高さが異なるため, 各信号線の上部の電界分布を表示している。Port1, 3 で印加された電圧は時間経過とともに x 方向に伝搬し, USB 内部を通過して Port2, 4 に到達することが確認できた。このようなことから, FDTD 法において適切にモデルが解析できていることが確認できた。

図 6(b) ではコネクタ内部で多重反射を起こしているため, コネクタ内部や構造の不連続点で電界強度が高くなっていることがわかる。このように, 電磁界分布の画像や動画表示などを用いると, 実測だけではわからないコネクタ内部の反射や伝搬の様子を確認できることがわかる。



(a) xy 平面における電界分布



(b) xz 平面における電界分布

図 6 PCB_A に Gaussian パルスを印加した際の各平面の電界分布

4. 差動 TDR 法による差動インピーダンスの評価

図 2 で示した解析モデルの Port1,3 に、逆位相のステップパルスを印加する。ステップパルスの立ち上がり時間は、USB2.0 規格を想定した 400ps から、USB4 を想定した 10ps まで段階的に変化させた。差動 TDR を行った結果を図 7 に示す。PCB_A の差動線路の差動インピーダンスは約 96Ω であった。コネクタ部の差動インピーダンス値ではいくつかのピークが観測できた。

$T_R=400\text{ ps}$ ではコネクタ部の差動インピーダンスは規定の 70 ~ 110Ω に収まっている。しかし、立ち上がり時間を短くすると、ステップパルスに高周波成分がより含まれ、TDR 距離分解能が上がるため差動インピーダンスのピーク値がより増減し、規定の値を超えていることがわかる。実際、高周波の信号を印加した際の電磁界動画表示ではこれらの部分で信号の反射やコネクタ内部での多重反射が観測できる。よって、これらの構造がインピーダンス不整合の要因になることが改めて確認できた。

さらに、コネクタ部のピークが立っていない部分でもインピーダンス値が 90Ω よりも高く測定された。これらの要因として、コネクタ内部の信号線の設計パラメータが起因していると予想される。コネクタの信号線はプラグ、レセプタクルの誘電体に挟まれ、誘電体のまわりはコネクタの筐体で囲まれている。そのため、コネクタ内部の断面図は SL (Strip Line) の構造と似ている。SL の特性インピーダンス Z_0 および差動インピーダンス Z_{diff} は

$$Z_0 = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_r}} \ln \frac{4b}{0.67\pi w(0.8+t/w)} \quad (3)$$

$$Z_{\text{diff}} = 2Z_0 \left(1 - 0.374e^{-0.29\frac{d}{b}} \right) \quad (4)$$

である[8]. ここで b は誘電体の厚さである. 3.1 節で示した, USB の信号線の設計パラメータを用いると, $Z_0 = 72.4\Omega$ となり, $Z_{\text{diff}} = 119.5\Omega$ となる. 図7においても, $T_R = 10 \sim 100$ ps では USB の信号線部分の差動インピーダンスは約 115Ω となった. 計算結果と解析結果共に, 既定の 90Ω よりも高い値を示した. より正確な結果を得るには, USB 内部の誘電体の誘電率の測定が必要だと考えられる.

USB2.0 の最大のデジタルクロック周波数は 240 Mbps のため, 第 5 次高調波まで考えると 1.2 GHz 程度である. 差動 TDR 法の立ち上がり時間に換算して考えると, $T_R = 300$ ps 程度になるため USB の線路構造の不連続性の影響によるインピーダンス不整合は小さいと考えられる.

一方で, USB3.1 では信号線の本数が 4 本から 9 本に増えるが, 基板の取り付け部分や線路の不連続性の構造は USB2.0 と同様である. USB3.1 の差動 TDR 法の規定の立ち上がり時間は $T_R = 40$ ps (20 ~ 80 %) であり, USB2.0 よりも短い時間である. しかし, USB3.1 の最大デジタルクロック周波数は 2.5 Gbps であるため, 先ほど同様に考えると $T_R = 28$ ps 程度の差動 TDR 法による評価が必要になる. 図7の結果から考えると, 線路構造の不連続性によるインピーダンス不整合は大きくなり, 規定値 (USB3.1 の場合は $90 \pm 10\Omega$) は大幅に超えている[10].

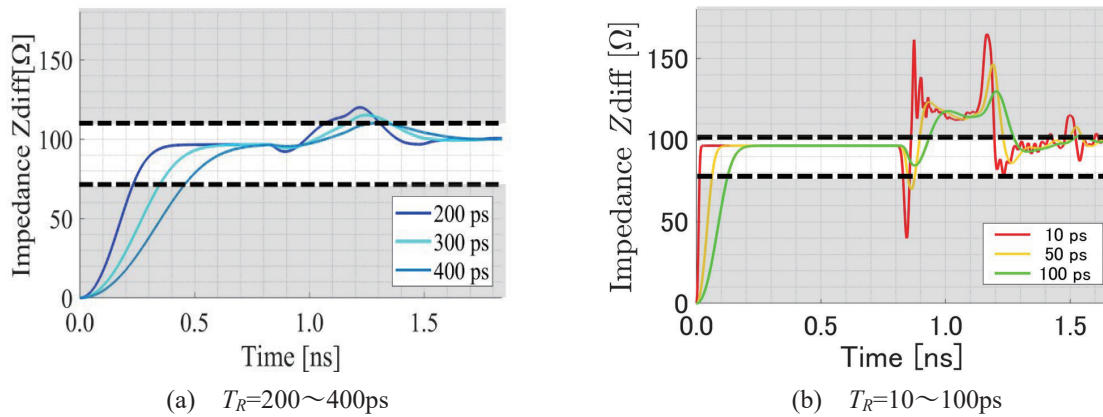


図7 差動 TDR 法による差動インピーダンス Z_{diff} の解析結果

5. まとめ

本研究では, コネクタの構造の不連続性や接触表面の劣化による SI や EMI への影響について明らかにするために, USB コネクタの 3D モデルを作成し, FDTD 解析に組み込むシステムを開発した. 基板同士をコネクタで相互接続した USB-TypeA コネクタを解析モデルとし, FDTD 解析を行った. 電磁界表示により, 適切にモデルが解析できていることが確認でき, 開発したシステムが有効であることが示された. また, 差動 TDR 法によって立ち上がり時間の変化によるコネクタの差動インピーダンスの変化を確認することができた. また, 実波形における高調波や構造の不連続性によるインピーダンスの影響を考えると, 差動 TDR 法による差動インピーダンスの評価は立ち上がり時間を適切に選択する必要があることがわかった.

コネクタのモデルにおいてより正確で効果的な解析を行うには, 実際に使われているコネクタの内部構造を詳しくモデル化する必要がある. 今後は, CT-Scan を活用したモデル製作を行う必要がある.

謝辞：

本研究は、令和4年度萌芽型課題「通信用コネクタ構造を組み込んだプリント基板解析の高速化」として行った。高速化に対して、東北大学サイバーサイエンスセンターからの支援に感謝する。

参考文献

- [1] USB-IF, "USB4TM Specification", [Online] (<https://www.usb.org/document-library/usb4tm-specification>)
- [2] 古賀隆治, "日本における EMC 技術の進歩発展と将来展望", 信学論-B, Vol.J90-B, no.11, pp.1083-1088, Nov.2007
- [3] 佐藤利三郎他編, EMC 電磁環境学ハンドブック, 科学情報出版, 三松, 2009
- [4] 井上浩, 萱野良樹, "プリント回路基板周辺の EMC 問題", 信学論-B, vol.J96-B, no.4, pp.378-388, Apr.2013
- [5] 林優一, "ハードウェアに潜む電磁波セキュリティの脅威とその対策", IEICE Fundamentals Review, Vol.13, No.1, pp.28-37, July 2019
- [6] 奥富正敏, デジタル信号処理, 画像情報教育振興協会, 東京, 2011
- [7] USB-IF, "USB2.0 Specification", [Online] (<https://www.usb.org/document-library/usb-20-specification>)
- [8] Mark I. Montrose, EMC and the Printed Circuit Board: Design, Theory, and Layout Made Simple, IEEE, 1998
- [9] 相原健志, 林優一, 水木敬明, 曾根秀昭, "電気接触の状態が高周波信号伝達特性へ及ぼす影響の研究", 信学技報, Vol.118, No.162, EMCJ2018-32, pp.61-66, July 2018
- [10] USB-IF, "USB3.1 Legacy Cable and Connector Revision 1.0", [Online] (<https://www.usb.org/document-library/usb-31-legacy-cable-and-connector-revision-10>)

[共同研究成果]

レベルセット関数を用いた振動する膜翼の流体解析

佐々木大輔、船田光星
大阪公立大学

高橋俊
東海大学（現所属：宇宙航空研究開発機構）

川本裕樹
東海大学

中矢敦士
金沢工業大学

火星探査航空機を想定した膜翼周りの空力係数を推算するために、等間隔直交格子法において非圧縮性非定常流体解析を実施した。翼形状をレベルセット関数により表現することで、変動する翼を効率的に解析することが可能である。本研究では、強制振動により変形する円弧形状の解析を行い、変動する翼における空力係数を推算すると共に、翼の変動が流れ場に与える影響について調べた。

1. 緒言

火星は他の太陽系惑星に比べて地球に近いが、未だに謎に包まれている部分が多い。そのため、現在でも多くの探査機が送り込まれ調査が進められている。火星は人類が移住可能な惑星として注目されており、どのような資源が存在しているか、生物存在の痕跡がないか、など、火星の環境について調査することは非常に重要である。現在活動している火星探査機は軌道衛星上から地形を観測するオービター、着陸地点から周囲を探索可能なランダーとローバーである。これらの探査機が抱える問題点として、オービターは地表の詳細な情報が確認できないこと、ランダーとローバーは探索範囲が狭いことが挙げられる。これらの課題を克服する新たな探索手法として航空機利用の検討が進められている。航空機による探査では、渓谷や谷など高低差のある場所でも制約なしに移動でき、広く探索が可能となる。

しかし、火星へ航空機を送り込むにあたって解決すべき大きな課題がある。火星の希薄な大気条件において揚力を得るためには面積の大きな翼を必要とし、火星探査用の航空機は大型化せざるを得ない。しかし、火星に輸送する際のペイロードには制約があり、折りたためる、丸められる等、小型化して輸送する必要がある。その一案として、膜翼を主翼に用いることの有効性が検討されている。山本らは、柔軟膜翼の風洞実験を通して、最大揚力係数、最大揚抗比が向上することを示した[1]。その要因は、翼上面の非定常流れ場に応じて膜が振動するためであると述べているが、その詳細なメカニズムについては明らかになっていない。

そこで、本研究では変形した膜翼を模して、強制振動により変形する円弧形状の翼モデルの流体解析を行う。流体解析には等間隔直交格子を採用し、翼形状はレベルセット関数を使用して表現することで、格子の再生成を伴うことなく変動する翼の解析が可能である。解析結果により得られた翼周りの流れ場の変化を可視化し、形状の変動が流れ場へ与える影響を明らかにする。

2. 解析手法

本解析における支配方程式は式(1)の連続の式と式(2)の 2 次元非圧縮性 Navier-Stokes 方程式とする。

$$\nabla \cdot U = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \cdot \nabla U = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \frac{\mu}{\rho} \nabla^2 U \quad (2)$$

ここで、 U は流体の速度、 p は圧力、 μ は粘性係数、 ρ は密度である。式(1)と式(2)の時間発展には **fractional step** 法を用いており、離散化は完全等間隔直交格子で行う。空間の離散化手法として式(2)の対流項に 5 次精度 WENO 法、粘性項に 2 次精度中心差分近似を用い、時間の離散化に対流項では 3 次精度 TVD Runge-Kutta 法、粘性項では 2 次精度 Crank-Nicolson 法を適用した。また、圧力の Poisson 方程式には SOR 法を用いている。

物体境界はレベルセット法を用いた埋め込み境界法で定義する[2, 3]。セルの中心座標から物体境界までの垂直距離であるレベルセット関数で計算領域内のセルを流体セル、物体セル、物体と流体の間に位置するゴーストセルに分類し、ゴーストセルの値に任意の境界条件を与える。本研究ではゴーストセルの値の決定にイメージポイントを用いる。イメージポイントは物体表面から法線方向に伸びるプローブの先端にある点であり、その長さは格子幅の 1.45 倍とした。ゴーストセルの速度 U_{GC} はイメージポイントの値 U_{IP} を用いて式(3)により決定する。

$$U_{GC} = U_{IP} - \frac{d_{IP} + d_{GC}}{d_{IP}} (U_{IP} - U_{IB}) \quad (3)$$

ここで、イメージポイントの値 U_{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} はゴーストセル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、 U_{IB} は物体の移動速度である。ゴーストセルの圧力はイメージポイントに内挿された値をゴーストセルに用いることで物体近傍での勾配が 0 となるように決定した。

3. 解析対象および解析条件

本研究では、図 1 に示す平板翼、上面が変形する翼（上面変形翼）、上下面の両面が変形する翼（両面変形翼）を計算対象として空力係数を算出する。上面変形翼では、平板翼の上面が徐々に膨らみ円弧翼となり、その後また平板翼へと戻る形状変形を繰り返す。両面変形翼は一定の厚みを維持しながら上下共に円弧形状となり、平板翼へと戻る変形を繰り返す。平板翼では翼弦長 c を 40×10^{-3} [m]、翼厚は $0.05c$ とする。上面変形翼では、平板翼と同じく翼弦長 40[mm] とし、変形後の円弧の厚みの最大値を $0.07c$ とする。両面変形翼では厚さ $0.05c$ を維持し、最大変形時は翼端を結ぶ弦から頂点までの距離を $0.07c$ とする。

翼形状の変形による影響を調べるために平板翼、変動する円弧翼ともにレイノルズ数 $Re=1.0 \times 10^4$ で計算を実施する。変動する円弧翼では、平板翼の形状から翼弦長中心を頂点として楕円状に変形し、最大径を $0.07c$ とする形状まで変位を与える。その後、元の平板翼に形状に戻るといった形状変化を繰り返す。この際の振動数は 30[Hz] とする。今回の解析で使用した格子は、格子幅 0.125×10^{-3} [m]、総格子数 512 万(=3200×1600)である。図 2 に両面変形翼まわりの格子と変形形状を示す。



図 1 解析対象の翼モデル

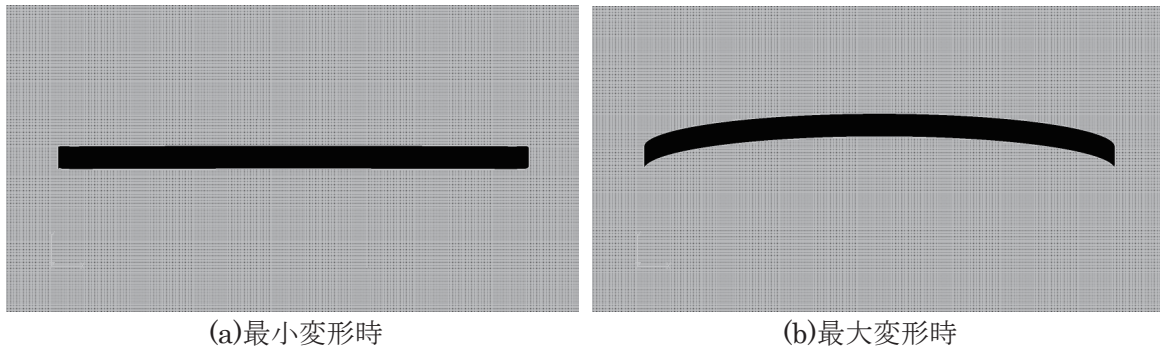
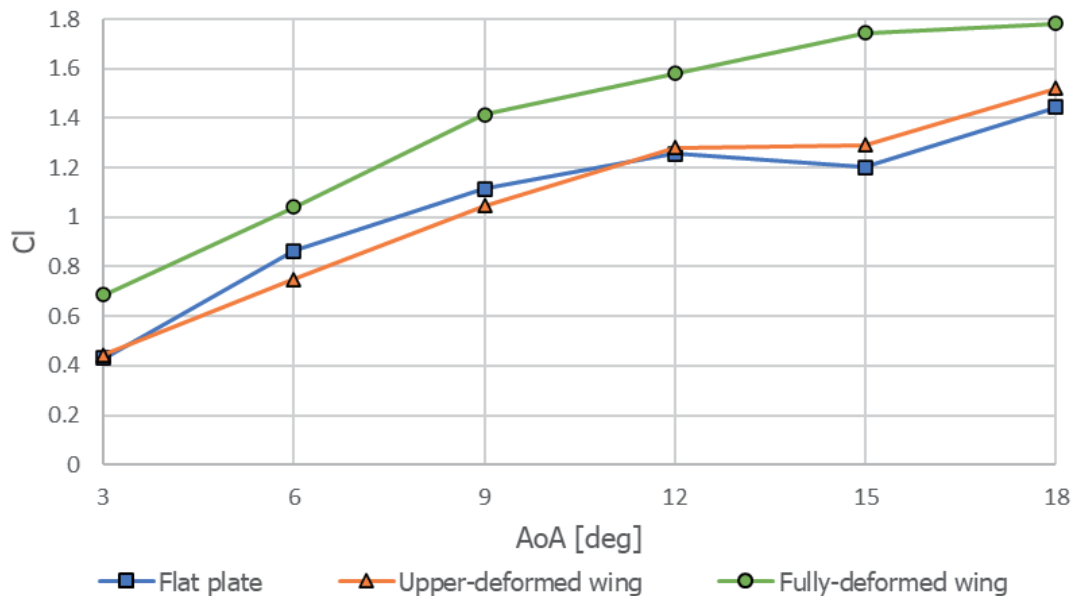


図 2 両面変形翼の変形と格子

4. 解析結果

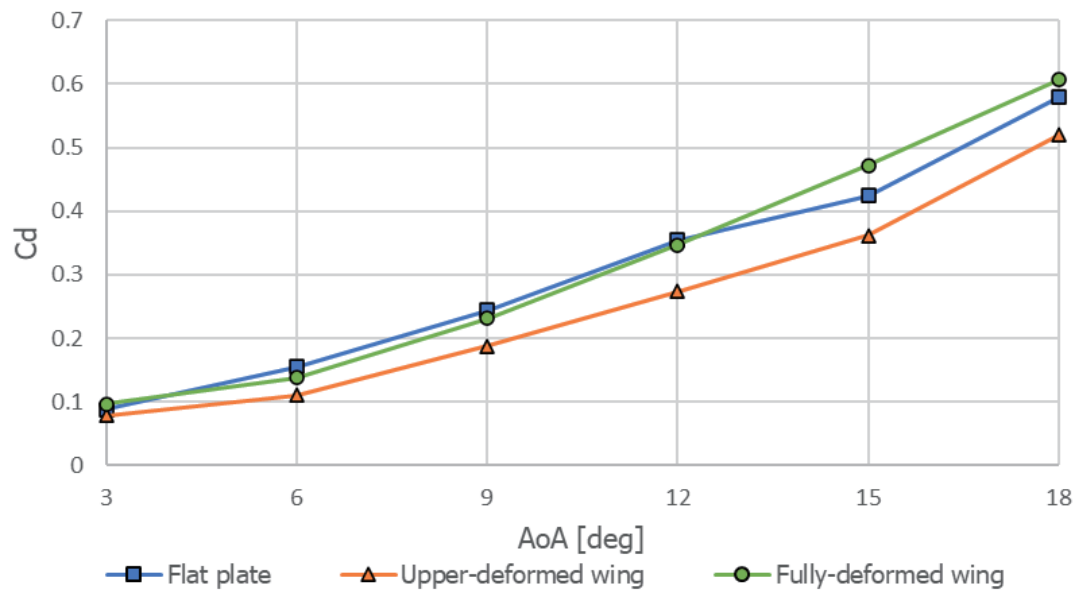
平板翼・上面変形翼・両面変形翼の解析をして得られた平均揚力係数と平均抗力係数を図 3 に示す。平板と上面変形翼を比較すると揚力係数の差は少なく、両面変形翼に比べて低い揚力係数を示す。一方、抗力係数は上面変形翼が低いのに対し、両面変形翼と平板翼は同様の値である。

図 4 に、迎角 3 度における上面変形翼と両面変形翼における主流方向流速分布を示す。両面変形翼では、下面も変動することで、下面の流れ場だけではなく、上面にも低速部が現れている。また、同様に迎角 6 度における主流方向流速分布を図 5 に示す。図 5 より、最小変形時・最大変形時共に、両面変形翼の上面では低速域が上面変形翼に対して広がっている。このことが、両面変形翼は揚力が大きく、かつ抗力も大きくなっている原因と考えられる。



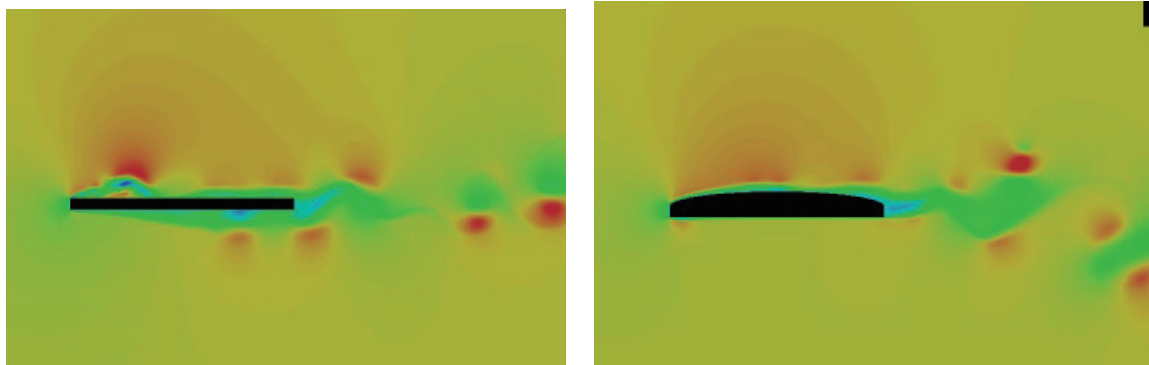
(a) 揚力係数

図 3 時間平均化した空力係数 (続く)

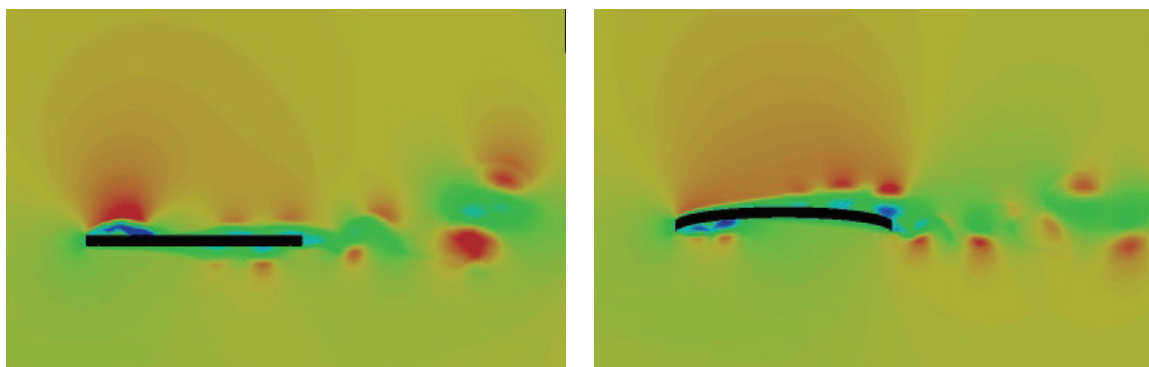


(b) 抗力係数

図 3 時間平均化した空力係数



(a) 上面変形翼



(b) 両面変形翼

図 4 迎角 3 度における瞬間の主流方向流速分布 (左: 最小変形時、右: 最大変形時)

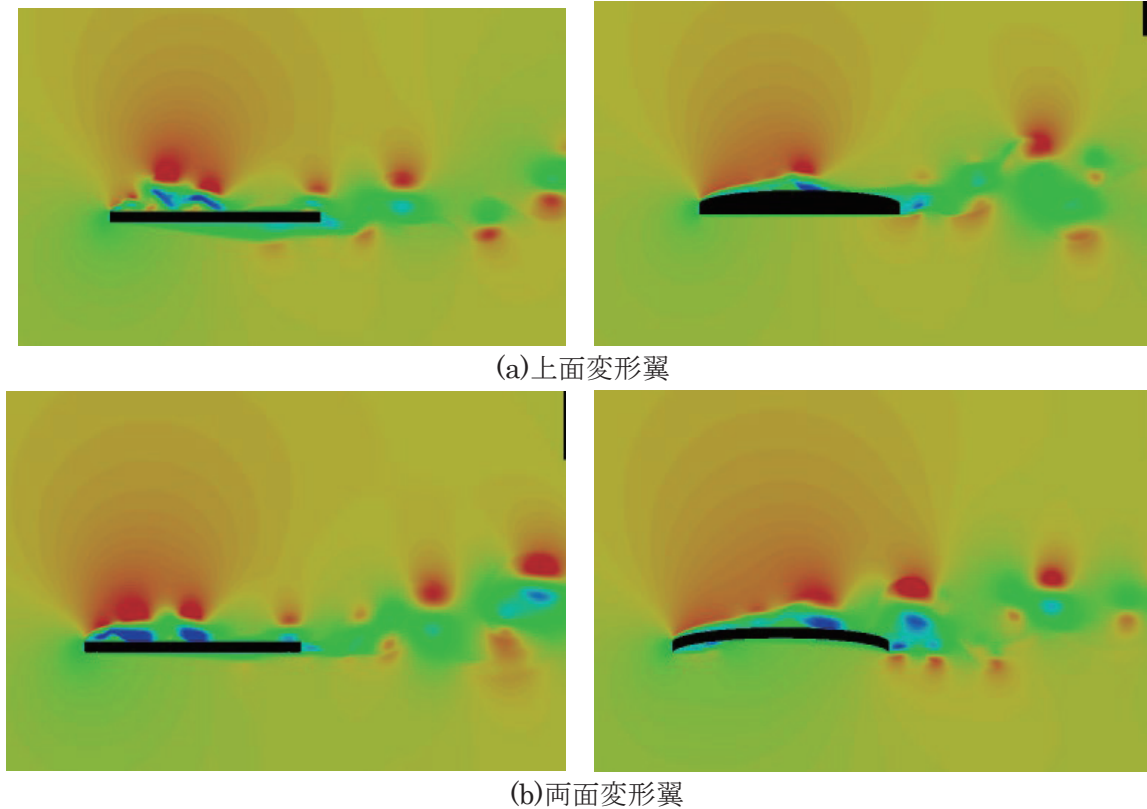


図5 迎角6度における瞬間の主流方向流速分布（左：最小変形時、右：最大変形時）

5. 結言

本研究では、レベルセット法を用いた埋め込み境界法を適用した等間隔直交格子法により、 $Re=1.0 \times 10^4$ における平板翼と変形する翼の流体解析を行った。平板翼と上面変形翼の円弧形状の際の流れ場を比較すると、上面変形翼は剥離領域が小さいことが確認できた。このことが上面変形翼が両面変形翼に比べて揚力・抗力共に低い要因である。今回、強制的に変形させた解析を実施したが、膜翼特有の現象を詳しく調査するためには、流体構造連成解析の実施に加えて、3次元解析など、実際の膜翼に近い条件での解析が必要になる。レベルセット法を用いた埋め込み境界法を適用した等間隔直交格子法では、様々な形状変形に容易に対応可能であるため、本手法を拡張してより現実的な解析を実施する予定である。

謝辞

本研究は、令和4年度共同研究「直交格子法による移動境界問題の解法に関する研究」として実施した。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。また、本解析は、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。

加えて、本解析の可視化には、FieldView CFD社のFieldViewを使用した。

参考文献

- [1] 山本健太郎、藤田昂志、伊神翼、高橋幸一、永井大樹, “低レイノルズ数における柔軟膜翼の非定常流れ場の PIV 解析”, 第 53 回流体力学講演会 / 第 39 回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム講演論文集、東京、2021.
- [2] Takahashi, S., Nonomura, T., 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*, Vol. 20, Article ID 252478, 2014.
- [3] Kawamoto, Y., Takahashi, S., Ochiai, M., Azetsu, A., Yamamoto, K., “Prediction of oil behavior in piston ring groove based on gas-liquid two-phase flow analysis”, *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing*, Vol. 14, No. 6, 2020.

[共同研究成果]

平面大地上の電磁界問題に対して有効な解析方法の開発

有馬 卓司

東京農工大学 工学部 知能情報システム工学科

車などの移動体の多くは路面や海水面上を移動している。移動体の安全運航には電波を用いたレーダが重要である。今後、自動車においては車同士が通信を行い、より高度かつ自律的に交通管制を行う事で、より効率的な移動が行えるようになる。移動体における電波利用を考える際は、大地や海面で電波が反射するためにその影響を定量的に考慮する必要がある。本報告では、電磁界シミュレーション手法の一つである FDTD 法を用いて平面大地上の電磁界問題を効率よく解析する手法について述べる。

1. 平面大地上のアンテナが作る電磁界

図1に本報告で検討する、平面大地上のモデルを示す。このように、大地上のアンテナから放射された電波は、直接届く成分と、大地に反射して届く成分の合成となる。よって、図1に示す、 E_1 と E_2 をそれぞれ求めればよい。一方、電磁界シミュレーション手法はいくつかあるが、なかでも FDTD(Finite Difference Time Domain)法は図2左図に示すように解析したいモデルをセルと呼ばれる微小領域に分割し解析する手法である。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。そしてこのセル内に図2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を差分し適用する手法である。

FDTD 法を用いて、アンテナから放射される電界 $E(r)$ を求めるには、図3に示すように仮想的な閉曲面で囲い、その閉曲面上を流れる電流に対して

$$E(r) = -j\omega\mu_0 \int_v G(r, r') J(r') dv' \quad (1)$$

の計算を行えばよい。ここで、 $G(r, r')$ はグリーン関数と呼ばれる既知の関数である。このグリーン関数は空気中は簡単に求まるが、大地などの複雑な媒質に対して有効な関数は一般化されておらず、求める必要がある。この求め方については後で述べる。一方、本報告で検討するモデルは車などを想定している。車は地面と設置しているために、車全体から放射される電波の放射界を求めるには図3に示すように、大地を横切る形で閉曲面を取る必要がある。そのため(1)式のグリーン関数は、直接波に対して有効な関数と、大地からの反射波に対して有効な関数が必要となる。

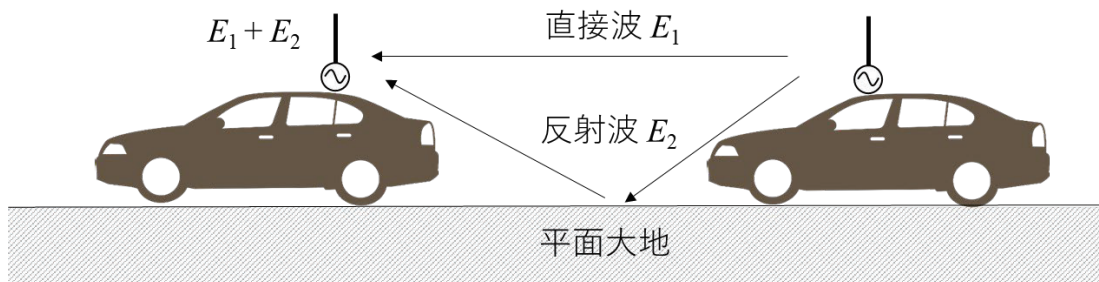


図1 平面大地上の電磁界問題の例

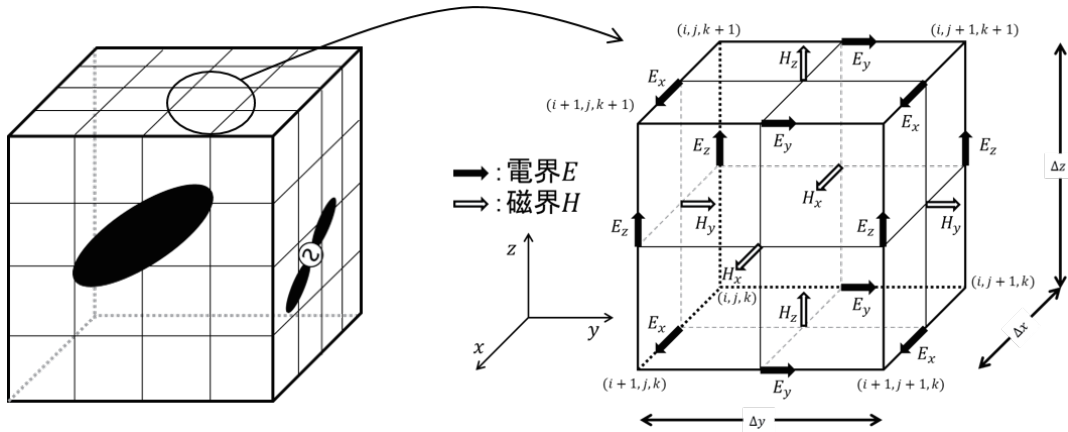


図2 FDTD法の概念

本報告に対して有効なグリーン関数と電流および電界の関係式は次式となる。

$$E^{(1)}(\mathbf{r}) = -j\omega\mu_0 \int_{S_a} \overline{\overline{G}}_{11}^{(e)}(\mathbf{r}, \mathbf{r}') \cdot \mathbf{J}_e^{(1)}(\mathbf{r}') dS' - \int_{S_a} \nabla \times \overline{\overline{G}}_{11}^{(m)}(\mathbf{r}, \mathbf{r}') \cdot \mathbf{J}_m^{(1)}(\mathbf{r}') dS' \quad (2)$$

ここで、 \mathbf{J}_e 、 \mathbf{J}_m はそれぞれ電流、磁流である。

2. 平面大地上に対して有効なグリーン関数

本節では、平面大地に対して有効なグリーン関数の求め方について述べる。(2)式中のグリーン関数は

$$\overline{\overline{G}}_{11}(\mathbf{r}, \mathbf{r}') = \overline{\overline{G}}_0(\mathbf{r}, \mathbf{r}') + \overline{\overline{G}}_s(\mathbf{r}, \mathbf{r}') \quad (3)$$

と表される。ここで $\overline{\overline{G}}_0(\mathbf{r}, \mathbf{r}')$ は真空中のグリーン関数であり、 $\overline{\overline{G}}_s(\mathbf{r}, \mathbf{r}')$ は大地からの反射成分を表すグリーン関数である。本報告では、(2)式をさらに

$$E_1^{(1)}(\mathbf{r}) = \frac{e^{-jk_0 r}}{r} [D_{0\theta}(\theta, \phi) + D_{0\phi}(\theta, \phi)] \quad (4)$$

$$E_2^{(1)}(\mathbf{r}) = \frac{e^{-jk_0 r}}{r} [D_{s\theta}(\theta, \phi) + D_{s\phi}(\theta, \phi)] \quad (5)$$

とそれぞれ簡易な表現として平面大地上の電界を計算した。このように計算し最後に、これらを足し合わせるにより、平面大地上の電界を計算できる。

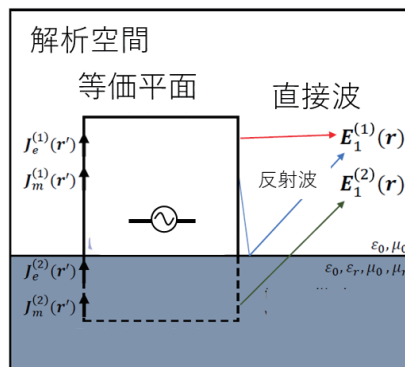


図3 平面大地上の電磁界をFDTD法で求めるための仮想閉曲面

3. 平面大地上の電磁界の計算結果

まず、提案手法の有効性を確認するために簡易なモデルで検討した。検討したモデルは図4に示すように、平面大地上に水平もしくは垂直に微小ダイポールアンテナが配置されたモデルである。これらモデルは厳密解が示されているので、精度の確認が容易に行えるためである。FDTD法のセルサイズは、3mmとし、解析した周波数は5.8GHzである。平面大地は都市環境を考え比誘電率5.31のコンクリートでモデル化した。図4に示すようにどちらもアンテナは大地から25.8mm上方に設置している。これは解析した周波数の半波長に当たる。

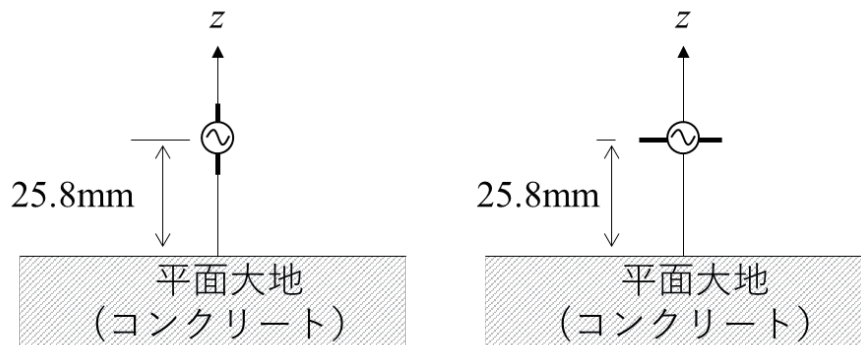


図4 平面大地上の微小ダイポールアンテナモデル (左：垂直、右：水平)

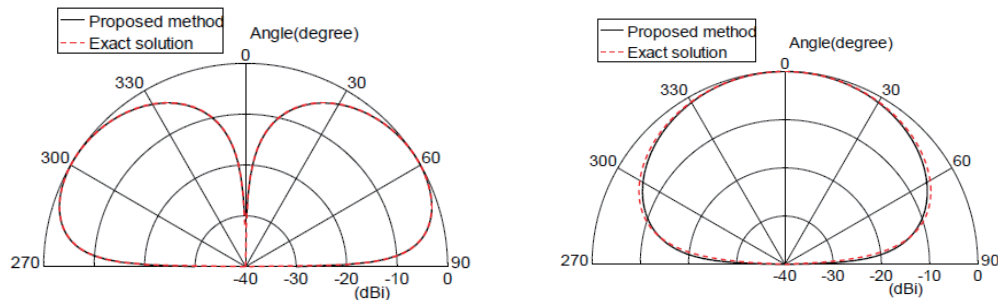


図5 平面大地上の微小ダイポールアンテナの放射電界 (左：垂直、右：水平)

解析結果を図5に示す。実線が本報告の手法、点線が報告されている厳密解を用いて解析した結果である。どちらの結果もよく一致しており、本報告の手法は精度よく解析が出来ていることがわかる。

次に、実際の車が大地上におかれた際の放射電磁界をFDTD法を用いて解析した結果を示す。車は図6に示すように実車サイズとした。本報告で用いた車の大きさは、 $L_y=4.9\text{ m}$ 、 $L_x=1.7\text{ m}$ としている。また、FDTD法のセルサイズは、先と同じく、3mmとし、解析した周波数は5.8GHzである。自動車自体の解析領域は $770 \times 1670 \times 770$ セルとした。FDTD法では解析対象の周りに吸収境界が必要になり、吸収境界を含む余白の領域として30セル用いているので全体の解析領域は $800 \times 1700 \times 800$ セルとしている。よって全体の解析セル数は、計約11億セルを用いている。また、FDTD法の計算タイムステップ数は5万ステップとした。そして、車のガラス部分に全長15mmのダイポールアンテナを貼り付けている。ガラスの比誘電率は6.36とした。平面大地は先と同じく都市空間を考え、コンクリート(比誘電率5.31)としている。解析結果を図6(右)に示す。この結果は、平面大地のがあるとき(点線)と無いとき(実線)を示して、大地に近い部分で差異が見られており、大地の効果が考慮できていることが示されている。

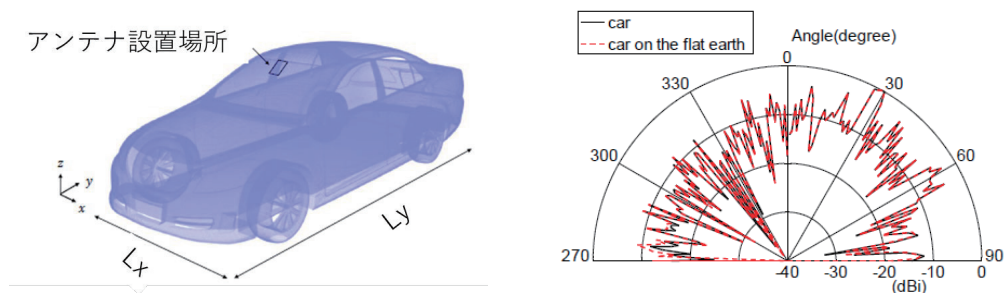


図6 平面大地上の車モデル（左）と平面大地上の放射電磁界の解析結果（右）

4. まとめ

本報告では、大地上を移動する物体の電波の放射状況を調べるために、大地や海面で電波が反射する影響を定量的に評価する手法の開発を行った。電磁界シミュレーション手法はFDTD法に対して有効な方法であった。まず、大地に対して有効なグリーン関数を導出し、実際に厳密解が与えられてる問題の解析を行い、比較する事により提案手法の有効性を確認した。さらに実際の車のモデルの解析を行い、大地の影響が考慮できていることを示した。

謝辞

本研究は、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。

参考文献

- [1] K. Nishikawa, "Land vehicle antennas," IEICE Trans. commun., vol.E86-B, no. 3, pp. 993-1004, Mar, 2003.
- [2] T. KASHIWA, K. TAGUCHI, and S. IMAI, "Analysis of Radio Wave Propagation for Vehicular Communications in IoT Era—Towards Realization of Intersection Collision Prevention Using Inter-Vehicle Communications—," The IEICE Transactions C, vol. J99-C, no. 10, pp. 468-475, 2016.
- [3] T. Shoji, M. Muramoto, T. Hikage, and M. Omiya, "Radiation patterns of on-vehicle antenna for simplified numerical vehicle models," Proc. International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP), Taipei, Taiwan, 2008.
- [4] O.Kagaya, K.Arai, T.Watanabe, T.Arima and T.Uno, "Generation of Surface Wave in C-band Automotive On-glass Antenna and An Easily Realizable Suppression Method for Improving Antenna Characteristics," IEICE TRANS. COMMUN., vol. E105-B, no. 1, Jan, 2022
- [5] T. Uno, Y. He, and T. Arima, FDTD Method for Computational Electromagnetics: Fundamentals and Practical Applications, Corona Publ., Tokyo 2016

[大学 ICT 推進協議会 2023 年度年次大会論文集より]

スーパーコンピュータ AOBA 新サブシステム AOBA-S の紹介

小野 敏¹⁾, 山下 毅¹⁾, 森谷 友映¹⁾, 大泉 健治¹⁾, 高橋 慧智²⁾, 滝沢 寛之²⁾

1) 東北大学 情報部デジタルサービス支援課

2) 東北大学 サイバーサイエンスセンター

ono@tohoku.ac.jp

Introduction of AOBA-S, a new subsystem of supercomputer AOBA

ONO Satoshi¹⁾, YAMASHITA Takeshi¹⁾, MORIYA Tomoaki¹⁾, OIZUMI Kenji¹⁾,
TAKAHASHI Keichi²⁾, TAKIZAWA Hiroyuki²⁾

1) Digital Services Support Division of Information Department, Tohoku Univ.

2) Cyberscience Center, Tohoku Univ.

概要

東北大学サイバーサイエンスセンターは、全国共同利用機関として大規模科学計算システムの整備と、HPCI の資源提供機関としての役割を担っている。本稿では 2023 年 8 月から運用を開始したスーパーコンピュータ AOBA の新サブシステム AOBA-S について紹介する。

1 はじめに

東北大学サイバーサイエンスセンター(以下、本センター)では、2020 年 10 月からスーパーコンピュータ AOBA の運用を開始した。スーパーコンピュータ AOBA はサブシステム AOBA-A(SX-Aurora TSUBASA、日本電気株式会社製)、サブシステム AOBA-B(LX 406Rz-2、日本電気株式会社製)の 2 種類の計算機システムと、ストレージシステム等で構成される。

当初の導入計画では 2022 年にシステム増強を行う予定であったが、半導体製造に関する世界的な需給状況により、必要な設備の調達が困難であること分かり、約 1 年間導入計画を順延した。ただ、計算需要は処理能力を大きく超える状況が続いていたため、クラウドサービス[1]を活用し、2022 年 10 月から 2023 年 7 月までクラウドサービス AOBA-C[2]として計算環境を提供し、計算機システムの混雑緩和を図ってきた。2023 年 8 月からは当初の導入計画で増強予定であった新しいサブシステムとして、AOBA-S(SX-Aurora TSUBASA、日本電気株式会社製)の運用を開始した。

図 1 に本センターの計算機室に設置されたサブシステム AOBA-S の外観写真を示す。また、図 2 に現在のスーパーコンピュータ AOBA のシステム構成図を示す。

本稿では、新たに運用を開始したサブシステム AOBA-S の構成、利用者環境、高速化支援活動について紹介する。



図 1 AOBA-S の外観写真

2 AOBA-S の構成

AOBA-S は、演算サーバ、ストレージシステム、ネットワーク装置のハードウェア群、およびプログラミング環境、利用者管理と課金統計管理のソフトウェア群で構成される。

2.1 ハードウェア

SX-Aurora TSUBASA は、AOBA-A と同じベクトルアーキテクチャを採用している。アプリケーション演算処理を行うベクトルエンジン(以下、

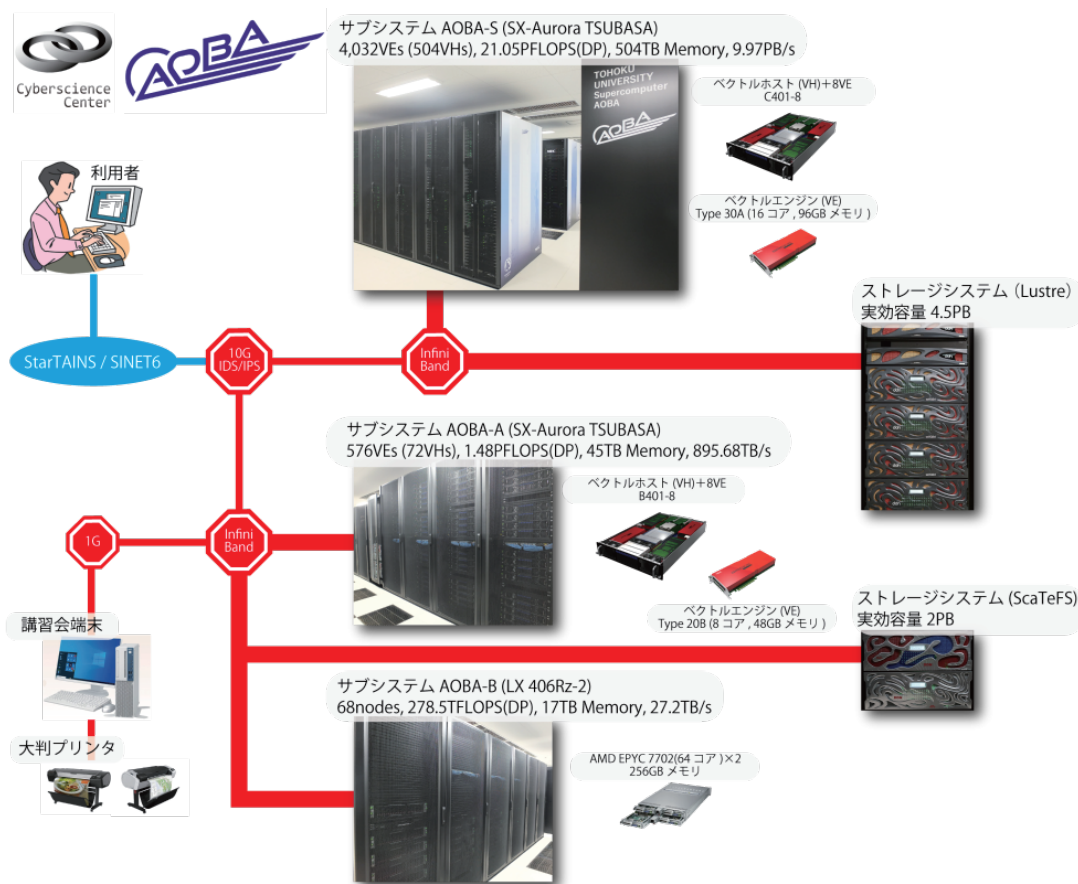


図 2 スーパーコンピュータ AOBA の構成図

VE)部と、主に OS 処理を行うベクトルホスト(以下、VH)部により構成される。PCIe カードに搭載される VE 部はベクトルプロセッサ、および高速メモリから構成され、x86/Linux である VH と PCIe 経由で接続される。

今回導入した VE(Type 30A) は、新規に開発された第三世代の VE で、SX-Aurora TSUBASA の心臓部である。理論演算性能 4.91TFLOPS(倍精度)となるマルチコア(16 コア) ベクトルプロセッサを 1 台、主記憶は 96GB の HBM2e メモリを搭載し、2.45TB/s という高メモリバンド幅でプロセッサと接続されることで、高い演算性能とメモリ性能の両立を実現している。VE の性能評価については文献[3]を参照されたい。本センターの AOBA-S は、1 台の VH と 8 台の VE が構成単位となる C401-8 モデルを採用し、サブシステム全体では 504 台の VH と 4,032 台の VE で構成される。AOBA-S を構成する C401-8 の外観写真を図 3 に示す。

VE と VH を合わせたシステム全体の理論演算性能は、21.05PFLOPS(倍精度)、総主記憶容量は

504TB、総メモリバンド幅は 9.97PB/s となる。504 台の VH は InfiniBand NDR ネットワークで接続され広帯域・低遅延なデータ通信を可能としている。

ストレージシステムは、DDN 社製の Lustre ファイルシステムを採用し、高速アクセスかつ高密度ストレージである DDN ES400NVX2(DDN 社製)を導入した。AOBA-S 利用者専用のホーム領域として利用し、RAID6 で構成され、実効容量は 4.5PB である。



図 3 AOBA-S を構成する C401-8 の外観写真

2.2 ソフトウェア

プログラミング言語は AOBA-A と同じく、アプリケーションの実効性能を向上させる高度な自動ベクトル化・自動並列化機能を備えた Fortran/C/C++コンパイラが利用できる。自動並列化機能および OpenMP による共有メモリ並列実行と、システム構成に最適化された MPI ライブラリによる、分散メモリ並列実行が可能である。また科学技術計算ライブラリとして、VE に最適化された数学ライブラリコレクション NEC Numeric Library Collection(NLC)が利用可能である。

AOBA-A で動作していたプログラムを AOBA-S で実行する場合には、Type 30A に最適化された実行モジュールが必要なため、そのプログラムを再度コンパイルする必要がある。

AOBA-S では、オープンソースソフトウェア(OSS)の Quantum Espresso やオープンソースのコンテナ型プラットフォームである Singularity、第一原理計算コードの一種である FPSEID²¹ が利用できる。また、今後も VE 向けに移植されたアプリケーションを拡充する予定である。

3 利用者環境

表 1 に AOBA-S 用の利用者向けサーバ名とホスト名、および用途を示す。

表 1 AOBA-S 用の利用者向けサーバ

サーバ名	ホスト名	用途
フロントエンドサーバ	sfront.cc.tohoku.ac.jp	コンパイル、ジョブ投入、小規模データ転送
データ転送サーバ	sfile.cc.tohoku.ac.jp	ローカル PC、既存システムとの大規模データ転送
フロントエンドサーバ(HPCI 用)	shpcif.cc.tohoku.ac.jp	HPCI 課題用のフロントエンドサーバ

フロントエンドサーバ上でプログラムをコンパイルし、演算サーバへバッチリクエストとして投入しプログラムを実行する形態は、既存の AOBA-A および AOBA-B システム(以下、既存システム)と同じである。ただし、フロントエンドサーバは AOBA-S 用のサーバを利用する。また、利

用者のファイルを置くストレージも AOBA-S 用のストレージシステムを利用する。

AOBA-S でプログラミングの際は、あらかじめプログラムファイルやデータファイルを AOBA-S 用のストレージシステムへ転送しておく必要がある。

3.1 ログイン認証

AOBA-S 用のフロントエンドサーバ、および AOBA-S 用のデータ転送サーバへのログイン方法は、既存システムと同様に公開鍵認証方式による SSH 接続を採用している。利用者の公開鍵は既存システムで利用していたものと同一としているため、ローカル PC に保存済みの秘密鍵とパスフレーズによるログインが可能であり、既存システムの利用者は改めて鍵の作成をする必要はない。新規利用者は、本センターウェブサイト上に提供される利用者ポータル「SSH 公開鍵登録」機能を用いてログインに必要な秘密鍵を作成することで、既存システム、AOBA-S の両システムへログインすることが可能である。また利用者の利便性を重視し、利用者のローカル PC から直接 AOBA-S 用のフロントエンドサーバへログイン可能としている。利用者は AOBA-S 用のフロントエンドサーバ上でソースコードのコンパイルやバッチリクエストの投入を行う。

3.2 ファイル転送

AOBA-S のストレージシステムは既存システムとは別システムとなる。そのため AOBA-S で実行するプログラムファイルやデータファイルは、あらかじめ転送しておく必要がある。

小規模なデータ転送は、フロントエンドサーバ、大規模なデータ転送はデータ転送サーバの複数構成としており、転送方法としては Windows、macOS のターミナルアプリケーションおよび Linux 上のコマンドによる操作と、SCP(Secure Copy Protocol)や SFTP(SSH File Transfer Protocol)に対応した FTP クライアントアプリケーションを用いる 2 つの方法がある。既存システムとの間でデータを転送する方法は、AOBA-S 用のデータ転送サーバからコピーコマンド(cp)等によるデータ転送が可能である。

3.3 ジョブの実行

フロントエンドサーバでコンパイル作業を行って作成したプログラムの実行は、バッチ処理と呼ばれる方法で計算機に実行を依頼する。本センターではバッチ処理に NEC Network Queuing

System V (以下、NQSV) を採用している。

AOBA-S のバッチリクエストの投入は、AOBA-S 用のフロントエンドサーバで行い、既存システムとは別システムとなっている。またバッチリクエストの基本的な操作手順については、既存システムと同じである。表 2 に AOBA-S のキュー構成を示す。利用者の利便性を考慮し、既存システムと同様に最大経過時間を規定値 72 時間、最大値 720 時間として長時間のリクエストを実行可能とした。利用 VE 数が 1 台という制限はあるが、1 時間以内の実行を無料とするデバッグ用のキューも準備している。また、`qlogin` コマンドにより会話型キューを利用することで、VE 向けプログラムの会話型実行も一部のノードで可能である。

3.4 利用負担金

スーパーコンピュータ AOBA の基本利用負担金表を表 3 に示す。この表は大学・学術利用に適用され、民間企業利用は成果公開型の場合で本表記載の金額の 2 倍、成果非公開型の場合で本表記載の金額の 4 倍となる。共有利用の利用負担額単価は、課金対象時間あたり 100 円とし、後払いの従量制と負担金を前払いすることで一定の課金対象時間まで利用できる定額制がある。繁忙期など他の研究グループのジョブによる影響を受けない方法として、3 ヶ月単位での占有利用も準備している。

4 高速化支援活動

本センターでは 1997 年より、ユーザアプリケーションの高精度化、大規模化の支援を目的とした高速化支援活動を、また 1999 年より共同研究制度を実施している。利用者、計算機科学を専門とするセンター教員、技術職員、およびベンダー技術者が連携してアプリケーションの高速化に取り組んでいる。図 4 に 1999 年から本センターで取り組んでいるセンター独自の共同研究、学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点(JHPCN) 課題および革新的ハイパフォーマンス・コンピューティング・インフラ(HPCI)課題採択数の推移を示す。本センター独自の共同研究は恒常的に年 10 課題ほど実施されていることがわかる。近年では HPCI を介した研究課題数が少ない状況であるが、システム更新が遅れ、必要十分な計算機環境の提供が遅れたことも一因ではないかと考えられる。今後はセンターの共同研究を通してユーザアプリケーションを高度化・大規模化し、JHPCN、

HPCI 採択課題へとステップアップしていくように、我々の高速化支援活動を継続的に続けていきたいと考える。

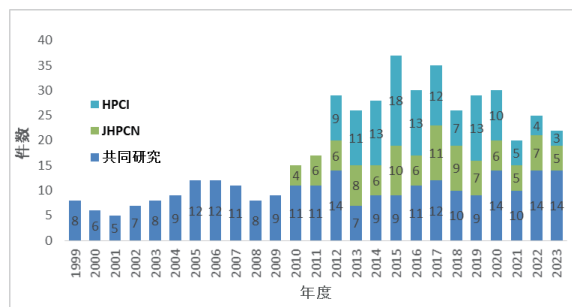


図 4 課題採択件数

5 おわりに

本稿では 2023 年 8 月に運用を開始した、サイバーサイエンスセンターのスーパーコンピュータ AOBA の新サブシステム AOBA-S の構成、利用者環境、高速化支援活動について紹介した。研究室のサーバでは実行できなかったアプリケーションやアイデアを実現する研究の強力なツールとして、最新鋭の AOBA-S を含むスーパーコンピュータ AOBA をご活用いただければ幸いである。今後も本システムを用いた研究をサポートし、様々な研究分野の発展に寄与していきたいと考える。

各システムの利用法の詳細、本センターからのお知らせ、問い合わせ、利用相談および高速化の依頼方法などについては本センターのウェブサイト [4] を参照いただきたい。

参考文献

- [1] https://jpn.nec.com/press/202204/20220425_01.html.
- [2] 大泉 健治, 森谷 友映, 佐々木 大輔, 齋藤 敦子, 山下 毅, 小野 敏, 滝沢 寛之, クラウドサービス AOBA-C の紹介, 大学 ICT 推進協議会 2022 年度年次大会, 2022 年 12 月.
- [3] Keichi Takahashi, Soya Fujimoto, Satoru Nagase, Yoko Isobe, Yoichi Shimomura, Ryusuke Egawa, and Hiroyuki Takizawa, Performance Evaluation of a Next-Generation SX-Aurora TSUBASA Vector Supercomputer, ISC High Performance 2023: High Performance Computing.
- [4] <https://www.ss.cc.tohoku.ac.jp/>

表 2 AOBA-S のキュー構成

利用形態	キュー名	VE 数※	実行形態	最大経過時間 既定値/最大値	メモリサイズ
無料	sxsf	1	1VE	1 時間/1 時間	96GB
共有	inter	1~8	会話型	1 時間/1 時間	96GB×VE 数
共有	sxs	1	1VE	72 時間/720 時間	
		1~2048	8VE 単位で確保		
占有	個別設定				

表 3 基本利用負担金【大学・学術利用】

区 分	項 目	利用 形態	負担額及び課金対象時間	
演算 負担経費	AOBA-S	共有 (無料)	利用 VE 数 1(実行数、実行時間の制限有)	無料
		共有 (従量)	課金対象時間 = (利用 VE 数÷8 を切上げた数) × 経過時間(秒) 課金対象時間 1 時間につき	100 円
		共有 (定額)	負担額 10 万円につき課金対象時間 1,000 時間分使用可能	
		占有	利用 VE 数 8 利用期間 3 ヶ月につき	216,000 円
	AOBA-A	共有 (無料)	利用 VE 数 1(実行数、実行時間の制限有)	無料
		共有 (従量)	課金対象時間 = (利用 VE 数÷8 を切上げた数) × 経過時間(秒) 課金対象時間 1 時間につき	75 円
		共有 (定額)	負担額 10 万円につき課金対象時間 1,400 時間分使用可能	
		占有	利用 VE 数 8 利用期間 3 ヶ月につき	162,000 円
	AOBA-B	共有 (従量)	課金対象時間 = 利用ノード数 × 経過時間(秒) 課金対象時間 1 時間につき	22 円
		共有 (定額)	負担額 10 万円につき課金対象時間 4,600 時間分使用可能	
		占有	利用ノード数 1 利用期間 3 ヶ月につき	47,000 円
	ファイル 負担経費	AOBA-S 固有領域	5TB まで無料、追加容量 1TB につき年額	3,000 円
AOBA-A, B 共有領域		5TB まで無料、追加容量 1TB につき年額	3,000 円	
出力 負担経費	大判プリンタによるカラープリント	フォト光沢用紙 1 枚につき	600 円	
		クロス 1 枚につき	1,200 円	

備考

- 1 負担額が無料となるのは専用のキューで実行されたものとし、制限時間を超えた場合は強制終了する。
- 2 演算負担経費の課金対象時間については半年毎(4 月から 9 月及び 10 月から 3 月)に合計し、1 時間未満を切上げて負担金を請求する。
- 3 演算負担経費について定額制を選択した場合は AOBA-A 及び AOBA-B を課金対象時間の範囲内で共用できる。
- 4 占有利用期間は年度を超えないものとし、期間中に障害、メンテナンス作業が発生した場合においても、原則利用期間の延長はしない。
- 5 ファイル負担経費については申請日から当該年度末までの料金とする。運用期間が 1 年に満たない場合は、月割りをもって計算した額とする。占有利用に申込した場合は 10TB まで無料とする。

[大学 ICT 推進協議会 2023 年度年次大会論文集より]

eduroam/OpenRoaming における現地情報通知

後藤英昭¹⁾, 原田寛之²⁾, 漆谷重雄³⁾

1) 東北大学 サイバーサイエンスセンター

2) 札幌学院大学 情報処理課

3) 国立情報学研究所

Venue Information Notification on eduroam/OpenRoaming

Hideaki Goto¹⁾, Hiroyuki Harada²⁾, Shigeo Urushidani³⁾

1) Cyberscience Center, Tohoku University

2) Information Processing Division, Sapporo Gakuin University

3) National Institute of Informatics

概要

教育・研究機関向けの無線 LAN ローミング基盤である eduroam や、市民一般向けの OpenRoaming では、WPA2/WPA3 Enterprise による利用者認証と無線接続が行われる。この方式では、高いセキュリティと自動接続によって利便性の高い無線 LAN 利用環境が実現されるが、現地に固有の利用規約や注意事項、現地案内などの情報を利用者に提示する手段が十分に整備されていない。eduroam の参加機関や、OpenRoaming を導入する店舗・施設などから、このような情報提示を行いたいという要望が出ることもある。一方、公衆無線 LAN で現在主流のウェブ認証方式は、キャプティブポータルの仕組みを利用した情報提示が可能であるが、セキュリティ上の問題が多く、Enterprise 型のような自動接続が難しい。近年の OpenRoaming の普及に伴い、現地情報の提示が重要視されるようになり、そのための仕様が幾つか現れている。本研究では、現地情報の提供方法と、主要なオペレーティングシステム (OS) によるサポート状況を調査した。また、新しい仕様に対応できていない OS もサポートできるように、キャプティブポータル技術の併用・応用の技術を含めて、情報提示の仕組みとソフトウェアを開発した。Enterprise 型でも、利用者が容易にポータルサイトを見つけ、有益な情報を得ることができ、サービスの利便性向上が期待される。

1 はじめに

教育・研究機関向けの無線 LAN ローミング基盤である eduroam [1] や、市民一般向けの OpenRoaming [2] では、WPA2/WPA3 Enterprise [3] による利用者認証と無線接続が行われる。この方式では、高いセキュリティと自動接続によって利便性の高い無線 LAN 利用環境が実現されるが、現地に固有の利用規約や注意事項、現地案内などの情報を利用者に提示する手段が十分に整備されていない。eduroam の参加機関や、OpenRoaming を導入する店舗・施設などから、このような情報提示を行いたいという要望が出ることもある。一方、公衆無線 LAN で現在主流のウェブ認証方式では、キャプティブポータル (Captive Portal) の仕組みを利用した情報提示が可能であるが、セキュリティ上の問題が多く、Enterprise 型のような自動接続が難しい。

一般にキャプティブポータルは、利用者の通信を遮断し、利用者のログイン後に開放するという利用形態である。このため、自動接続を至上とする無線 LAN システムとは相反するものであり、eduroam や OpenRoaming でキャプティブポータルを併用することは強く非推奨とされている。近年、OpenRoaming の普及に伴い、現地情報の提示が重要視されるようになった。無線 LAN の接続時に、利用者の操作がなくても通信が遮断されないような、情報提示のための仕様が幾つか現れている。

本研究では、現地情報の提供方法と、主要なオペレーティングシステム (OS) によるサポート状況を調査した。また、新しい仕様に対応できていない OS もサポートできるように、キャプティブポータル技術の併用・応用の技術を含めて、情報提示の仕組みとソフトウェアを開発した。これを用いると、WPA2/WPA3 Enterprise のネットワークにおいても、利用者が容易

にポータルサイトを見つけ、有益な情報を得ることを支援できる。サービスの提供者の視点では、利用規約を提示したり、ポータルサイトや車内・機内 Wi-Fi サービスのメニューなどに利用者を誘導できるようになる。これにより、様々な無線 LAN サービスの利便性向上が期待される。

本稿では、初めに、現行のキャプティブポータルの動向と、新しい情報提示の仕組みを説明する。本研究で目標とするシステム要件を明らかにする。続いて、最近の各種 OS における現地情報 (Venue Info) 提示のサポート状況、および、キャプティブポータルの仕組みを利用した代替手段について解説する。最後に、各機関において極力小さなシステム変更で導入できることを目指して開発した、情報提示のためのソフトウェアを紹介する。

2 キャプティブポータルと現地情報提示

公衆無線 LAN で広く使われているキャプティブポータルは、基本的には利用者認証ないし利用規約提示・同意取得、および、アクセス制御を目的としたシステムである。このため、利用者が認証情報を入力するか、利用規約に同意するための操作を行うまでは、ポータルサイト以外への通信は遮断される。

キャプティブポータルの初期の実装では、ルータで ARP (Address Resolution Protocol) テーブルの値を書き換えたり、ポート 80/TCP をリダイレクトすることによって、利用者が任意のウェブサイトへアクセスしようとする通信経路を捻じ曲げて、ポータルサイトに誘導していた。この手法は広く使われているものの、HTTPS (Hypertext Transfer Protocol Secure) の利用が一般的になった現在では、利用者が明示的にウェブブラウザに HTTP のアドレスを入力するまで機能しないという、実用性に乏しいものである。原理的には中間者攻撃 (Man-In-The-Middle (MITM) Attack) と変わらず、HTTPS に適用すると不正な証明書のエラーが表示されるという、セキュリティ上の問題もある。

利便性とセキュリティの向上のために、現在は主要な OS に独自のキャプティブポータル検出 (Captive Portal Detection, CPD) の仕組みが組み込まれており、ネットワークの接続時に自動的に 80/TCP の通信が開始される。基本的な原理としては、OS が特定のウェブページにアクセスして、規定の応答があればキャプティブポータルなしと判断する。もし特定アドレスの通信先が変更されていて、規定と異なる応答が

あれば、キャプティブポータルありと判断して、接続先のシステムから提示されるページを利用者に提示する。ただし、OS ベンダごとの独自手法に依るため、各種 OS に対応したシステムを構築するのは容易ではない。オープンソースの実装としては、CoovaChilli [4] や openNDS [5] などがある。

キャプティブポータルの仕組みの標準化が推進されて、現在は RFC 8908, 8910 としてまとめられている [6, 7]。OS 側の基本的な動作は、以下のようになる。端末が無線 LAN に接続され、DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) によって IP アドレスを取得する際に、DHCP option 114 (DHCPv4) または Router Advertisement option 37 (DHCPv6) によって Captive Portal API のアドレスを受け取る。OS はこの API とやり取りをして、ポータルサイトのアドレスなどを受け取り、必要に応じて利用者に通知したりポップアップ画面を出す。また、必要に応じて、ポータルサイト側で利用者認証や利用許諾の手続きを進める。API では venue-info-url というパラメータが定義されており、これらの処理を省略しても、任意のウェブサイトのアドレスを利用者に通知することができる。現地情報の通知だけが目的で、OS がそのような機能を提供しているなら、僅か数個の固定パラメータを JSON (JavaScript Object Notation) 形式で返すスクリプトと、DHCP サーバへのオプション追加のみで実装できる。

OpenRoaming では、WPA2/WPA3 Enterprise に加えて、Passpoint [8] による基地局自動選択の仕組みが使われている。Passpoint Release 3 で Venue URL と呼ばれる属性値が追加された。この属性値を使うことで、現地情報 (Venue Info) などを含むウェブサイトのアドレスを利用者に通知できる。しかしながら、執筆時点において、この属性値は有効に利用されていないようである。また、Passpoint を使わない eduroam などの無線 LAN では、利用できない。

本研究で開発するシステムでは、現地情報の提示が主目的である。Captive Portal API が利用できない環境では、古いキャプティブポータルの仕組みを使うこともやむを得ないと考えられる。目標とするシステム要件を以下に示す。

- 情報提示を主目的として、利用者の操作をできるだけ排除できること。
- やむを得ず利用者の操作が必要となる場合でも、僅かの操作に留められること。

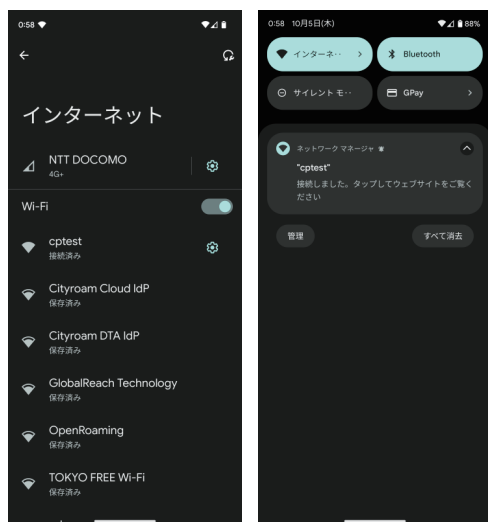


図1 Android の Venue Info 通知 (左上に扇型のアイコン)。

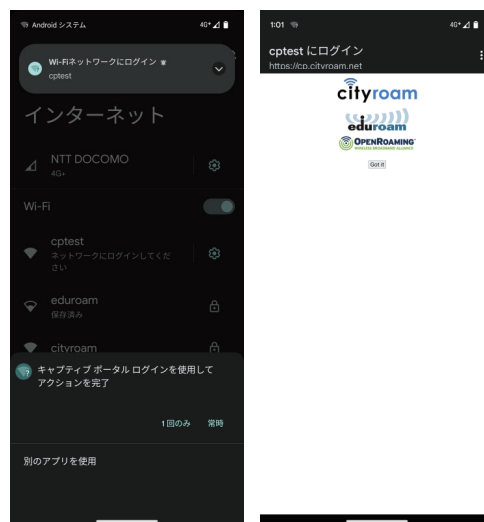


図2 Android のキャプティブポータル の例。

- ネットワーク接続の際に利用者に気付かれやすい通知を出しつつ、あまり邪魔にならないようにできること。
- 新しい Captive Portal API の利用を優先すること。
- モバイル端末で用いられる多様な OS に対応できること。特に、学校・大学で利用されることの多い Android, iOS/iPadOS, macOS, Windows, ChromeOS に対応することが望ましい。
- 極力、実装が容易であり、既存システムに組み入れやすいこと。

3 各種 OS のキャプティブポータル/現地情報通知の対応状況

3.1 Android

Android 11 以降で、Captive Portal API に対応している。API で "captive": false とした JSON データを端末に返すことで、ポータルサイトへのリンクを端末に通知できる。Android 10 以前では、Google の独自仕様によるキャプティブポータルしか利用できない。

Android 11 以降では、無線 LAN に接続されると通知音が鳴り、ステータスバーに通知アイコンが追加される (図 1)。この通知は venue-info-url と関連付けられており、利用者は随時この通知をタップするだけでポータルサイトに移動できる。

この実装は、大きなポップアップ画面で操作を邪魔するようなことがなく、ほぼ確実に利用者にポータル



図3 iOS のポータルページ通知。

サイトを知らせることができるという点で、現時点で最も用途に合致していると考えられる。

Android 11 以降では、Captive Portal API に準拠したログイン画面を表示することもできる。実装例を図 2 に示す。ログイン画面に置かれたリンクをタップすることで、ウェブブラウザがポータルサイトを表示するようになる。

3.2 iOS/iPadOS

実機で調査した限り、iOS/iPadOS 15 以降が Captive Portal API に対応しており、実際に API へのアクセスが確認された。

API で "captive": false を返した場合、15 と 16 では利用者への通知が一切ない。iOS/iPadOS 17 では、Wi-Fi 設定の SSID をタップしたところに「ポータル



図4 iOSのキャプティブポータル。

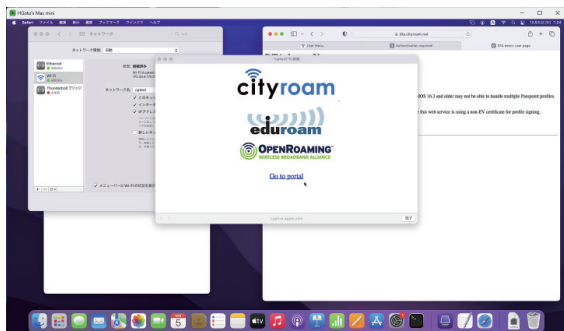


図5 macOSのキャプティブポータル。

ページを開く」という表示が追加された(図3)。しかしながら、通知アイコンも通知音もないため、利用者がこれに気付くのは難しいと考えられる。

APIで”captive”: trueを返した場合、ネットワーク接続時に端末に全画面のポップアップが表示される(図4)。利用者には邪魔になるかもしれないが、ほぼ確実に利用者に見て欲しい情報がある場合には、このような通知方法を採用するしかなさそうである。僅かのタップ数でキャプティブポータル画面を抜けられるような実装が望ましい。

なお、iOS/iPadOSはキャプティブポータルを抜けた後も、定期的にAPIをポーリングして、ネットワーク接続状況を確認する。APIは端末の接続中に”captive”: falseを返し続けるように実装する必要がある。

3.3 macOS

macOS 13 (Ventura)以降がCapport APIに対応しており、実際にAPIへのアクセスが観測された。

しかしながら、APIで”captive”: falseを返した場合は利用者への通知がない。APIで”captive”: trueを返した場合、画面中央にCaptive Network Assistant (CNA)の大きな画面が表示される(図5)。iOS/iPadOSと同様に、利用者に見て欲しい情報がある場合には、このポップアップ画面に頼るしかなさそうである。

macOS 12 (Monterey)では、Capport APIへのアクセスがなかった。Apple独自のキャプティブポータル機能を実装することで、上記と同様のCNA画面を表示させることは可能である。

Appleからは、2020年にCaptive Portal APIの紹介記事[9]が出ている。今後、情報通知のみのユーザーインターフェースが洗練されることを願っている。

3.4 Windows

Windows 10, 11はいずれもCaptive Portal APIに非対応である。

Microsoft独自のキャプティブポータルの実装では、ネットワーク接続の際にまず<http://www.msftconnecttest.com/connecttest.txt>を読み込む(Windows 10 Version 1511以前では動作が異なる)。規定の文字列”Microsoft Connect Test”が返ってきた場合はキャプティブポータルなしと判断する。基地局まわりのネットワークでこの接続を乗っ取り、別の文字列を返す。OSはキャプティブポータルありと判断して、別のファイルからポータルサイトのアドレスを読み取り、ウェブブラウザでそのサイトを自動的に開く。

この実装では、端末が新しいネットワークに接続されるたびにウェブブラウザのタブが増えていくという鬱陶しさがある。しかしながら、確実に情報提示できる上に、利用者が随時参照できるという点では好ましい。

Windowsは、ネットワークの利用中に、上記の確認用ページを20~30秒間隔程度でポーリングする。これはNCISI (Network Connectivity Status Indicator)の機能であり、もし規定の文字列が得られなかった場合はネットワーク切断状態と判断して、画面上のアイコンが地球儀の表示になる。ネットワークが利用可能な状態であっても、このような表示は利用者には不安を与えるため、Windows向けの実装では正常接続の表示を出すような工夫が必要になる。

3.5 ChromeOS

ChromeOSは、学校向けのChromebook端末として採用例が多いことから、十分な利便性の確保が必要である。しかしながら、Androidと同じGoogle発でありながら、現行のバージョン117でもCaptive Portal APIには対応していない。

ChromeOSでは、Google独自のキャプティブポータル機能が利用できる。ネットワーク接続の際に、端末はまずhttp://www.gstatic.com/generate_204にアクセスする。ステータスコード204 No Content



図 6 ChromeOS のポータルサイト通知。

が返ってきた場合は、キャプティブポータルなしと判断する。HTTP のコンテンツが返された場合は、それをウェブブラウザを開くための通知が表示される (図 6)。

4 Venue Info Handler による通知機能の実装

現地情報を通知する機能は、基地局を提供する事業者ごとに実装する必要がある。大学や中小事業者、あるいは個人でも容易に実装できるように、現地情報の提示を主目的とする API プログラム群を開発して、Venue Info Handler という名前でパッケージ化した。このプログラム群は、オープンソースソフトウェアとして GitHub で公開予定である。

openNDS [5] などの既存のキャプティブポータル実装と異なり、Venue Info Handler にはアクセス制御関係のコードが含まれていない。このため、ファイアウォールとの組み合わせを考える必要がなく、HTTP サーバと DHCP サーバ、および、DNS サーバの設定変更のみで実装が可能である。唯一、データベース機能として Redis [11] を用いているが、他のデータベースシステムと比べて、Redis サーバの設定と起動は容易である。

Venue Info Handler では、まず RFC 8908/8910 を利用する情報提示のための API を実装した。具体的には、venue-info-url を含む JSON データを返すだけの、簡便な CGI (Common Gateway Interface) プログラムが主体である。端末に API の所在を知らせるために、DHCP option 114 や RA option 37 を追加するが、これは多くの DHCP サーバで容易に設定できる。

前章で説明したように、最近の主要な OS であっても、Captive Portal API (RFC 8908) のみでは十分な情報提示が難しい。Apple 製の OS (iOS/iPadOS, macOS) では、RFC 8908 に準拠したバージョンで

あっても、利用者のポータルサイトへの誘導が難しい。このため、Apple 独自のキャプティブポータル機能を追加した。

Windows と ChromeOS は、いずれも現行バージョンが RFC 8908 に非対応のため、Microsoft と Google のベンダ独自仕様のキャプティブポータル機能も追加した。

多くのキャプティブポータル実装では、特定の HTTP アクセスを横取りする仕組みが必要である。端末に対して正規と異なる A/AAAA レコードを返すために、手元の実装では Dnsmasq [12] を用いている。Venue Info Handler は DNS サーバの種類に依存しないため、同様のアドレス書き換えが実現できるならば、他の DNS サーバを組み合わせることもできる。

RFC 8908 による venue-info-url の通知を除き、他の手法では、API が個々の端末を識別し、状態を把握しながら応答を返す必要がある。現状の OS の仕様では、OS 内部のキャプティブポータル機能が HTTP サーバにリクエストを送る際に、端末の識別・追跡に利用できるようなユニークな属性値を送り出さない。API 側は、IP アドレスを頼りに端末を識別する以外にない。従って、Venue Info Handler の CGI プログラムは、NAT (Network Address Translation) を越えると正常に動作しない。Venue Info Handler は、基地局と同じネットワークセグメントに設置する必要がある。この制約は実装の手間につながるが、現行の OS の仕様では致し方ない。

評価用の無線 LAN システムを研究室内に構築して、Venue Info Handler を追加した。各種 OS を用いて、OS ごとの挙動を分析しながら、動作確認を行った。図 1~6 は、構築したシステムを利用して実際の画面をキャプチャしたものである。

5 むすび

eduroam や OpenRoaming などの WPA2/WPA3 Enterprise の無線 LAN では、接続が自動化されているため、現地に固有の利用規約や現地案内などの情報を利用者に提示する仕組みが十分に整備されていなかった。ポータルサイトへの誘導のために、キャプティブポータルを併用した場合、利便性の大幅な低下を招く問題があった。本研究では、なるべく利用者負担を強くないように、ポータルサイトへのアクセス手段を提供する仕組みを検討した。

現地情報の提供方法と、主要 OS によるサポート状況を調査した。また、新しい仕様に対応できていない

OS もサポートできるような、情報提示の仕組みとソフトウェアを開発した。これにより、Enterprise 型でも利用者が容易にポータルサイトを見つけ、有益な情報を得ることができるようになり、無線 LAN サービスの利便性向上が期待される。

現時点では、OS ベンダの独自実装によるキャプティブポータルの仕組みに頼らざるを得ないことが多い。今後、Captive Portal API (RFC 8908/8910) の普及に伴って実装の煩わしさは減っていくものと考えられるが、現地情報の提示という観点では必ずしも使いやすいユーザインタフェースにはなっていないことから、OS ベンダや無線 LAN 業界に対して改良を働きかけていく予定である。

なお、キャプティブポータルの画面を強制表示する仕組みは、Enterprise 型の自動接続という利点を少なからず犠牲にする。eduroam や OpenRoaming への採用は慎重に行うべきである。

本研究の一部は、令和 5 年度国立情報学研究所公募型共同研究の助成を受けた。

参考文献

- [1] eduroam JP: <https://www.eduroam.jp/>
(2023 年 10 月 5 日参照)
- [2] WBA OpenRoaming: <https://wballiance.com/openroaming/>
(2023 年 10 月 5 日参照)
- [3] Wi-Fi Alliance, “Discover Wi-Fi, Security.” <https://www.wi-fi.org/ja/discover-wi-fi/security/>
(2023 年 10 月 5 日参照)
- [4] CoovaChilli: <https://coova.github.io/>
(2023 年 10 月 5 日参照)
- [5] openNDS: <https://github.com/openNDS/openNDS/>
(2023 年 10 月 5 日参照)
- [6] T. Pauly and D. Thakore, “Captive Portal API.” <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc8910>
(2023 年 10 月 5 日参照)
- [7] W. Kumari and E. Kline, “Captive-Portal Identification in DHCP and Router Advertisements (RAs).”: <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc8910>
(2023 年 10 月 5 日参照)
- [8] 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/>
(2023 年 10 月 5 日参照)
- [9] Apple, “How to modernize your captive network.” <https://developer.apple.com/news/?id=q78sq5rv>
(2023 年 10 月 5 日参照)
- [10] Venue Info Handler: <https://github.com/hgot07/VenueInfoHandler/>
(2023 年 10 月 5 日参照)
- [11] Redis: <https://redis.io/>
(2023 年 10 月 5 日参照)
- [12] Dnsmasq: <https://thekelleys.org.uk/dnsmasq/doc.html>
(2023 年 10 月 5 日参照)

[大学 ICT 推進協議会 2023 年度年次大会論文集より]

降雪地におけるミリ波拠点間通信を用いたキャンパス LAN の実効性評価

原田 寛之¹⁾, 後藤 英昭²⁾, 漆谷 重雄³⁾

1) 札幌学院大学 情報処理課

2) 東北大学 サイバーサイエンスセンター

3) 国立情報学研究所

se-harada@e.sgu.ac.jp

Evaluation of the Effectiveness of Campus LAN Using Millimeter-wave Inter-site Communications in Snowy Areas

Hiroyuki Harada¹⁾, Hideaki Goto²⁾, Shigeo Urushidani³⁾

1) Information Processing Division, Sapporo Gakuin University

2) Cyberscience Center, Tohoku University

3) National Institute of Informatics

概要

有線での直接接続が難しい拠点間の通信においては、無線通信にて拠点間接続を行うことが可能であるが、降雪地の冬季では悪天候時の伝送遅延や安定性が懸念される。一方、ミリ波を使用する機器では伝送速度・遅延共に有線 LAN に匹敵する性能で接続可能な比較的安価な製品が出てきている。教育研究活動においては、より高速広帯域の無線 LAN を利用できる環境が求められてきていることから、実際にキャンパス内の有線での直接接続が難しい施設をミリ波の中でも届出・免許不要で運用できる 60GHz 帯無線設備で接続し、利用者にキャンパス無線 LAN 接続環境を試験的に提供しながら、その実効性を検証し、降雪地の冬季においてもミリ波による拠点間通信をバックボーンに用いたキャンパス無線 LAN 環境の構築が可能であることを示した。

1 はじめに

教育研究活動において、これまでキャンパス無線 LAN が整備されていなかった体育系施設の利用者からも、無線 LAN を提供してほしいとの要望が出されるようになってきた。それらの施設は LAN が既設されている拠点とは離れている上に敷地内に施設が点在しており、全てにケーブルを敷設した上で無線 LAN 基地局を設置することが難しい。このように有線での直接接続が難しい拠点間を接続する通信方式として、伝送速度や遅延共に有線 LAN に匹敵する性能を持つミリ波無線を用いた製品がある。しかしながら、北海道のような降雪地の冬季の運用については、悪天候時の伝送遅延や安定性が懸念される。

札幌学院大学ではキャンパス無線 LAN を学内の利用者・学外利用者共に教育・研究機関向けの無線 LAN ローミング基盤である eduroam [1]

を認証 VLAN でサービス提供している。また eduroam の加入機関以外の一般市民向けには Passpoint [2] を用いた市民向けの安全で利便性の高い公衆無線 LAN 接続サービスである OpenRoaming [3] を合わせて提供しており、eduroam と OpenRoaming ではどちらも認証に WPA2 Enterprise (IEEE 802.1X) が使用される。このため、エンドユーザーがクライアントの接続を完了するためには IEEE 802.1X による認証を完了させる必要があるが、特に本学が世界に先行して大学キャンパス全域で整備している OpenRoaming においては、降雪地で拠点間通信を組み合わせた構成での構築事例がまだなく、その実効性が明確ではなかった。

これを検証するため、本学の 700m 離れた 2 つのキャンパス間をミリ波の中でも届出・免許不要で運用できる 60GHz 帯ミリ波で拠点間接続し、キャンパス無線 LAN 接続環境を試験的に提供し

ながら、その実効性を検証した。

本稿では、第 2 章で遠隔拠点における通信環境整備のニーズと、拠点間接続するにあたり検討した各接続方式の比較検討、冬季降雪地で 60GHz 帯ミリ波無線設備を用いて拠点間接続した際の実効性評価について述べる。第 3 章では、実際に遠隔拠点に eduroam と OpenRoaming の基地局を設置して行ったキャンパス無線 LAN 基地局の構築と実用性の検証について述べる。第 4 章は本稿のまとめである。

2 冬季降雪地における 60GHz 帯ミリ波無線設備での拠点間接続

2.1 遠隔拠点における通信環境整備のニーズ

札幌学院大学は北海道江別市に教室や研究室を有する第一キャンパスと、体育施設を有する第二キャンパスがあり、うち第二キャンパスではキャンパス LAN は一部の建屋のみに整備されている。第二キャンパス内には弓道場・野球場・室内練習場など複数の小規模な建屋が点在しているが、学生からコロナ禍を契機にキャンパス無線 LAN 環境の整備について要望が上げられるようになってきた。コロナ禍においては、体育会系の部活動においても感染防止のため活動には制限がかけられており、また他大学と実際に競技場で行う練習試合等の実施も難しい状況にあったが、学生達は例えば弓道部においては射場と的場にそれぞれ設置した Web カメラと PC を携帯電話キャリアによるポケット Wi-Fi を用いて他大学と相互接続し、実際に同じ弓道場に集まらずとも練習試合が行える環境を整え活動を継続していた。このような通信環境のニーズはそれまで大学当局が想定していなかったものであるが、コロナ禍のような状況だけでなくとも北海道のような地方に立地する本学の学生にとっては、通信環境が整備されることでより活動の幅を広げることができると考えられ、従来キャンパス LAN を整備していなかった建屋等についてもエリア化する手法の検討を開始する契機となった。

2.2 各接続方式の比較検討

遠隔拠点をキャンパス LAN に收容する方法としてはまず、光ファイバーを敷設して有線 LAN 接続する方法が考えられる。電力用に設置されている自営柱に共架して光ファイバーを敷設することは不可能ではないが、キャンパス LAN が既設されている建屋と接続を検討する建屋の間は総延長でおよそ 1km の距離がある。総務省のデジタル・ディバイド解消戦略会議の 2008 年の報告資料 [4] によれば、光ファイバーの敷設コストは 1km で架空配線の場合およそ 430 万円が示されており、費用が高額となるため候補から外した。

電波を用いた拠点間の接続方法としては、2019 年 12 月に制度開始したローカル 5G がある。ローカル 5G では面でエリアを構成できるため、接続したい建屋が複数近距離にある場合は 1 対多で高速な接続が可能であるメリットがあるが、その運用には免許が必要であり、構築運用費用の高額さに加えて運用の属人化が懸念される。また利用者の持ち込み端末を自由にローカル 5G に接続させることもできないため、各建屋にはそれぞれ無線 LAN 基地局を設置する必要性が生じる。今回の規模では光ファイバー敷設と同等以上の費用が想定されたため、本学での導入は難しいと判断した。

屋外型の無線 LAN 基地局を既設キャンパス LAN がある建屋付近に設置し、直接遠隔拠点をキャンパス無線 LAN のエリア化する方法については、学生のニーズが映像と音声を用いた相互通信であり、数 Mbps～数十 Mbps の帯域では十分なサービスを提供できない懸念があった。また、本学のように冬季降雪地の屋外体育施設の構造は、対積雪や防寒のために頑丈な構造となっており、屋外からの電波を直接利用者端末が利用することは困難である。

また、2022 年 10 月からは米国 SpaceX が運用する低軌道衛星 Starlink [5] による衛星ブロードバンドインターネットサービスが国内でも提供開始されている。このサービスにより従来インターネット接続環境の整備が困難であった地域にも高

速インターネット回線を整備することが可能となったが、キャンパス LAN との接続のためには別途 VPN を構築するなどの必要があり、また商用サービスであるため拠点数分の月額ランニングコストが発生することなどから、検討対象から外した。

これらの検討から、今回の環境構築については以下の要件を満たすものについて導入の検討を行うこととした。

- 構築運用費用が比較的安価であること
- 構築運用にあたり免許を必要としないこと
- 学生の持込端末が自由に接続可能なこと
- 高速な帯域が利用できること
- キャンパス LAN に収容できること

2.3 ミリ波による拠点間通信の検討

拠点間を無線で高速接続する製品として、ミリ波 (30GHz~300GHz) と呼ばれる周波数帯域を用いる製品が実用化されており、国内では 60GHz 帯 (57-66GHz) を使用する V-Band の製品と、70/80GHz 帯 (71-76, 81-86GHz) を使用する E-Band の製品がある。うち、70/80GHz 帯の製品については、2011 年の省令改正により国内でも利用できるようになっているが、無線局の開局にあたっては陸上移動局の免許を受ける必要があり、また運用者も第三級陸上特殊無線技士の資格が必要となるため、今回の候補からは除外した。

一方 60GHz 帯を用いる製品については 2015 年に電波法施行規則が改正され、証明規則第 2 条第 1 項第 19 号の 4 の 3 として、60GHz 帯小電力データ通信システムの無線局 (空中線電力 10mW 以下) が設けられ、アンライセンズバンドとして免許不要での運用が可能となった。この周波数帯域では IEEE 802.11ad (2012 年に標準化完了) の後継規格として、チャンネルボンディングや MIMO を加えた IEEE 802.11ay が 2019 年に標準化を完了している。IEEE802.11ay ではチャンネルあたりの占有帯域幅は 2.16GHz であり、4 チャンネルの約 9GHz 幅の帯域をチャンネルボンディングで使用する

ことができるため、高速大容量での通信が可能である。

しかし、ミリ波は直進性が強く、空気や障害物による減衰が起きやすいことから、本学が立地する降雪地においては、冬季の雪による通信品質への影響が懸念される。

ミリ波による拠点間通信の降雪の影響については、2010 年にミリ波帯高速無線伝送システムに関する調査検討会 (総務省信越総合通信局) が 80GHz 帯の通信装置を用いて行った調査報告 [6] が公表されており、アンテナ着雪対策を施さない場合には距離 1.39km で降雪・着雪による減衰が 30dB 程度発生することが示されている。また、2001 年には 60GHz 帯のミリ波無線伝送システムを用いて東京都で早稲田大学を中心とするグループが高速無線キャンパスネットワークの構成法に関する検討 [7] を行っており、370m 程度の距離までは空気や降雨の減衰が許容できるものとして示されている。いずれも免許不要で利用できる IEEE802.11ay による 60GHz 帯ミリ波拠点間通信にそのまま適用できるものではないが、冬季降雪地の拠点間通信方式として運用できる可能性があると考えられた。IEEE802.11ay による 60GHz 帯ミリ波拠点間通信装置について情報収集を行ったところ、該当する製品を取り扱う株式会社ビーマップより冬季降雪地における検証について協力の申し出があり、2022 年 11 月より 2023 年 3 月末まで共同で長期試験を実施することとなった。

2.4 IEEE802.11ay による 60GHz 帯ミリ波拠点間通信の検証環境の構築

検証環境の構築にあたっては、まずそれぞれの拠点に電源が確保できることが必要である。既設のキャンパス LAN が整備されている建屋であれば PoE による給電も可能であるが、遠隔拠点側の建屋にはキャンパス LAN が未整備であるため、商用電源の確保が必要となる。またミリ波による接続はその電波の直進性から経路の見通しの確保が必要となるが、本学の第二キャンパスに設置されている弓道場は他の建物や森林が障害となって

キャンパス LAN が既設されている建屋を直接視認することができない。このため、キャンパス LAN が既設されており唯一第二キャンパス側から視認できる第一キャンパスの G 館屋上と、電源が確保できる第二キャンパス体育センターの屋上をミリ波で接続し、体育センター屋上からさらにミリ波で延伸する計画とした。第一キャンパス G 館と第二キャンパス体育センターの間には公道や住宅地、他大学のキャンパス等が存在し、距離はおよそ 700m である (図 1)。2022 年度の検証においては、まずこの 700m の距離を冬季降雪時に安定して接続できるか確認することとした。



図 1 検証環境の位置関係。 [8]

検証では、台湾の Accton Technology 製の MLTG-CN LR を両拠点に配置し、P2P モードで稼働させることとした。本製品の最大通信距離は 1km (対向にも MLTG-CN LR を用いて IEEE802.11ay の MCS9 で運用する場合) である。有線 LAN インターフェースとしては 2.5GBASE-T を備えており、最大伝送速度は 1.8Gbps となっている。

機器の設置については、大学の施設管理部門の安全確認のもと、単管パイプによる架台をそれぞれの屋上に設置して取り付けた。

MLTG-CN LR はフェーズドアレイアンテナを搭載しており、対向機器の中心から 3 度のずれまでは許容されるため、700m の距離ではおよそ 36m のずれまでは接続可能である。しかし、伝送速度はずれが無い場合において最大となることから、設置にあたっては専用のターゲットスコープ (図 2) を使用した。



図 2 ターゲットスコープ。

通信品質と機器の状況を継続的に確認するため、映像配信用のカメラと監視機器を両拠点に配置し、次のような構成とした (図 3)。

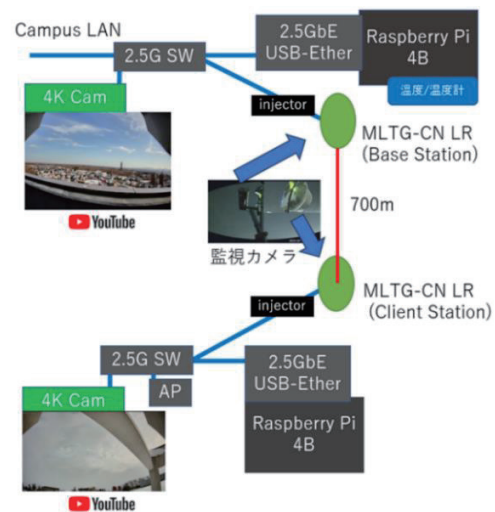


図 3 機器配置図。

両拠点には 2.5GbE の USB-Ethernet にて Raspberry Pi 4 Model B をそれぞれ設置した。Raspberry Pi 間を直接接続した際のスループットを iperf3 にて測定したところ、およそ 1.9Gbps で通信可能であった。合わせて G 館側の Raspberry Pi には湿温度スマートセンサーを接続し、検証環境の天候を簡易的に記録することとした。

キャンパス LAN 自体の安定性を拠点間通信の安定性と混同しないよう、電子計算機センターのサーバ室に設置した計測用サーバにて、両拠点の MLTG-CN LR に対し SmokePing で ping の応答状況によりネットワークの遅延状況を視覚化した。

また、より実際の利用に近い検証として、両拠点に RTMP (Real-Time Messaging Protocol) にてライブ配信可能な 4K カメラを設置し、映像を YouTube Live で公開配信した。YouTube Live は

カメラからの映像送信が途絶えると配信を自動ストップする機能があり、通信の継続性を確認することが可能である。

2.5 IEEE802.11ay による 60GHz 帯ミリ波拠点間通信の検証結果

設置した本環境において、Raspberry Pi 間で iperf3 によりスループットを測定したところ、1.3Gbps に達し、既設キャンパス LAN と遜色ない性能が得られることを確認した (図 4)。検証は設置期間中繰り返し実施し、常時概ね 1Gbps 以上のスループットが得られたことから、遠隔拠点にキャンパス無線 LAN を設置する際のバックホール回線として十分な性能を有していることが確認できた。

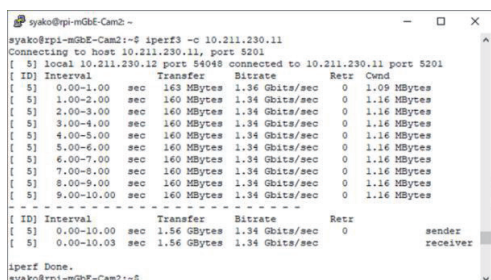


図 4 iperf3 によるスループット測定。

また計測用サーバにて両拠点の MLTG-CN LR に対し SmokePing でネットワークの遅延状況を継続的に計測した (図 5)。



図 5 SmokePing による応答時間計測。

応答時間の平均値は計測用サーバとキャンパス LAN で直接接続されている親機が平均 1.1ms であるのに対し、IEEE802.11ay により 700m の距離を接続している子機が平均 1.6ms となり、0.5ms 程度の遅延が確認できた。

検証期間中、湿温度計のデータは、2023 年 1 月 25 日早朝に -13.5°C を記録した (図 6)。

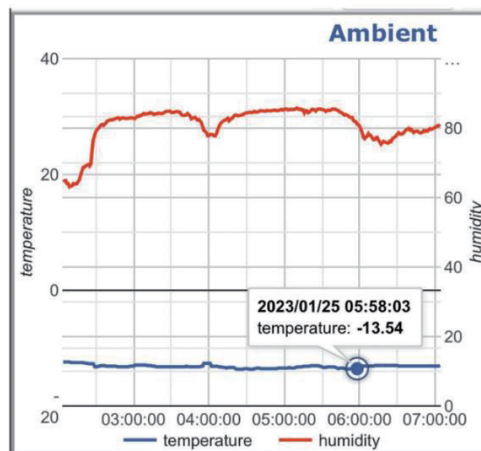


図 6 スマートセンサーによる湿温度計測。

気象庁の観測によれば、江別 (石狩地方) の過去最低気温は 2023 年 1 月 30 日の -26.6°C [9], また江別市の統計によれば近年の日最大降雪量は 2023 年 1 月 4 日の 35cm [10] であった。いずれも検証期間中に記録されたものであるが、YouTube Live のライブ配信は、2022 年 11 月 26 日の配信開始から江別キャンパスの電気設備法定点検に伴う停電を実施した 2023 年 8 月 26 日までの 6,526 時間 (271 日間)、停止することなく配信を継続できた (図 7)。



60GHz 帯長距離無線 LAN 製品「MLTG-CN LR」の寒冷地における長距離通信試験
札幌学院大学 電子計算機センター・924 回視聴・4 週間前に配信済み

図 7 YouTube Live によるライブ配信。

MLTG-CN LR には着雪対策として、アンテナ部に底が設けられており、この有効性と機器の稼働状況を確認するため監視カメラで映像を記録した (図 8)。降雪時においては底上への着雪や、機器下部への氷柱の発生があるものの、アンテナ部への着雪は発生しなかった。しかしながら、監視

カメラの設置に際して建屋の屋根からの雪庇を考慮しておらず、最も積雪が深い時期には機器の状態を確認できない状況が生じた。冬季の屋上での作業は危険で行うことができないため、監視の方法については今後検討が必要である。

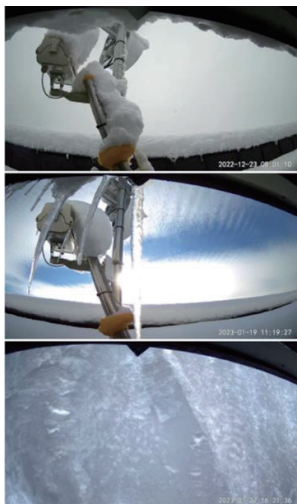


図 8 機器の着雪状況（上：2022/12/23，
中：2023/1/19、下：2023/1/27）。

検証を通じて、着雪対策が施された MLTG-CN LR による IEEE802.11ay での拠点間接続は、バックホール回線として冬季降雪時を含め十分な品質を有することが確認できた。

これらの長期試験環境は、現在も継続して札幌学院大学 Project60GHz のウェブサイト (<https://project60ghz.sgu.ac.jp/>) で公開している。

3 バックホール回線として 60GHz 帯ミリ波拠点間通信を用いた eduroam / OpenRoaming 基地局の実用性評価

3.1 利用者に提供するサービスの構築

バックホール回線としての IEEE802.11ay による 60GHz 帯ミリ波拠点間通信の評価と並行して、利用者が実際に端末を接続する弓道場に向け、拠点間接続の延伸を試みた。具体的には、MLTG-CN LR を設置した第二キャンパス体育センター屋上を中継拠点とし、新たにラトビアの MikroTik 製の Wireless Wire を体育センター屋上と、野球場に隣接するトイレ屋上に設置することで、キャン

パス LAN を野球場付近まで延伸した。Wireless Wire は、IEEE802.11ad を使用する 60GHz 帯ミリ波通信装置であり、対向に Wireless Wire を使用する場合の最大通信距離は 200m、最大伝送速度は 1Gbps であるが、安価に入手可能である。野球場付近には合わせて MikroTik 製の屋外型基地局、mANTBox 52 15s を設置し、eduroam と OpenRoaming をそれぞれ利用できるよう設定した。mANTBox 52 15s は Wi-Fi の 2.4/5GHz 帯が利用可能である。

設置にあたっては、野球場隣接のトイレ屋上では電源ができなかったため、100W の太陽光パネルにパススルー充電が可能な 320Wh のリン酸鉄リチウムイオンバッテリー (LiFePO4) を用いたポータブル電源を設置し、Wireless Wire と mANTBox 52 15s に給電する構成とした (図 9)。

LiFePO4 バッテリーは -20°C の低温環境でも使用 (放電) が可能であるものの、氷点下での充電が行えない特性がある。このため、ポータブル電源を格納するボックスには断熱材で保温措置を施すなどの対策を行った。バッテリー容量が小さいため、特に冬季の日照時間が短い時期には夜間に停止してしまう。停止したポータブル電源はその後充電されても自動的に給電を再開しないため、電源出力にタイマースイッチを設置し、学生の利用がない深夜帯には運用を停止し、翌朝給電を再開する構成とした。しかしながら、給電の停止によりシステムが停止してしまう事象を完全に無くすことは難しく、2023 年度はより大容量のポータブル電源への入れ替えと、将来的には商用電源の設置を計画している。



図 9 太陽光パネルによる基地局の設置。

この屋外型基地局では弓道場の内部までキャンパス無線 LAN のエリア化することが難しいため、株式会社ウェルソックが岩手県矢巾町で提供している屋外型基地局を加入者宅 CPE（Customer Premises Equipment）と組み合わせて行っているサービス事例 [11] を参考に、弓道場に CPE を設置してエリア化することを検討している。

3.2 Passpoint を用いる OpenRoaming 基地局のバックホール回線としての 60GHz 帯ミリ波拠点間通信の実用性検証

OpenRoaming 基地局においては、eduroam でも使用されている IEEE 802.1X 認証の前段として、基地局が発信するローミング情報をクライアント端末が受信し、自らが接続可能な場合にクライアントが自律的に接続試行を開始する Passpoint が使用されている。Passpoint におけるクライアントの接続試行の開始までは単に基地局とのやり取りで完結するが、IEEE 802.1X の認証はバックホール回線の品質が悪いと安定したサービスを提供することができない場合がある。

バックホール回線として 60GHz 帯ミリ波拠点間通信を用いた eduroam / OpenRoaming 基地局の実用性を検証するため、商用電源により安定して稼働できている体育センター屋上の MLTG-CN LR 付近に、別の OpenRoaming 基地局を設置し、検証用のクライアントで定期的に接続を繰り返して認証ログを解析することで、その実用性を評価することとした。

後藤ら（2022）が開発 [12] した Passpoint Provisioning Tools [13] を元に、RADIUS データベースから取得した認証情報を埋め込んだ OpenRoaming 接続プロファイルを発行できる環境を Passpoint Provisioning WebApp として開発した（図 10） [14]。本システムは、Python の Web アプリケーションサーバー Gunicorn で動作するため、セットアップが容易な利点がある。



図 10 開発した Passpoint Provisioning WebApp.

本システムで発行した OpenRoaming プロファイルを Windows11 で動作するスティック PC にインストールし、検証用クライアントとして用いた（図 11）。PC は起動時に自動ログインする設定とし、タスクで 5 分毎に自動的に再起動することで、約 5 分間隔で OpenRoaming に接続を繰り返す。



図 11 OpenRoaming 接続検証端末。

基地局が接続されている RADIUS Proxy で検証用クライアントの認証ログを確認したところ、24 時間で 328 回の認証成功が記録されることが確認できた。5 分毎の認証が発生したとすれば 288 回となり、再認証を含めて安定して接続できていることが確認できた（図 12）。

0時台	12	12時台	17
1時台	12	13時台	13
2時台	13	14時台	17
3時台	12	15時台	14
4時台	16	16時台	13
5時台	12	17時台	14
6時台	12	18時台	13
7時台	12	19時台	12
8時台	13	20時台	16
9時台	13	21時台	16
10時台	13	22時台	13
11時台	15	23時台	15

図 12 接続成功回数 (2023/9/23 計測).

60GHz 帯ミリ波拠点間通信をバックホール回線として用いた OpenRoaming 基地局は実用的であるといえ、2023 年冬季に向けて、継続して安定性を確認していくこととしている。

4 まとめ

本稿では、札幌学院大学における遠隔拠点で 60GHz 帯拠点間通信を用いて、冬季降雪地であっても着雪対策が施された製品であればキャンパス LAN を遠隔地に安定して提供することが可能であることを示した。今後、冬季の遠隔拠点における OpenRoaming 基地局での接続検証を進めるとともに、学生からの要望に応じて従来キャンパス LAN を整備できていなかった拠点において整備を進めていきたい。

本研究の遂行にあたり、協力頂いた株式会社ビーマップに深謝する。本研究の一部は、JSPS 科研費 23H05391 の助成を受けた。Passpoint Provisioning WebApp の開発の部分については、令和 5 年度国立情報学研究所公募型共同研究の助成を受けた。

参考文献

[1] eduroam JP: <https://www.eduroam.jp/> (2023 年 9 月 24 日参照)
 [2] 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/> (2023 年 9 月 24 日参照)
 [3] WBA OpenRoaming: <https://wballiance.com/openroaming/> (2023 年 9 月 24 日参照)

[4] 八嶋弘幸, “ブロードバンドの全国整備に向けた有線・無線技術によるシステム構築モデルと導入コストについて,” デジタル・ディバイド解消戦略会議 第 4 回資料 4-7, : https://www.soumu.go.jp/main_sosiki/joho_tsusin/policyreports/chousa/ddcon/080326_2.html (2023 年 9 月 23 日参照)
 [5] Starlink: <https://www.starlink.com/> (2023 年 9 月 24 日参照)
 [6] 総務省信越総合通信局 ミリ波帯高速無線伝送システムに関する調査検討会, “ミリ波帯高速無線伝送システムに関する調査検討報告書,” : <https://www.soumu.go.jp/soutsu/shinetsu/sbt/kenkyu/kenkyu1.html> (2023 年 9 月 23 日参照)
 [7] 若原俊彦, 大和哲二, カムギシヤカザウラ, 松本充司, 清水隆雄, “高速無線キャンパスネットワークの構成法に関する検討,” 情報処理学会研究報告知能と複雑系 (ICS) 73(2001-ICS-125), 2001 (2023 年 9 月 23 日参照)
 [8] 国土地理院 地図・空中写真閲覧サービス.: <https://mapps.gsi.go.jp/maplibSearch.do?specificationId=1806420> (2023 年 9 月 23 日参照)
 [9] 気象庁 江別 (石狩地方) 観測史上 1~10 位の値 (年間を通じての値) .: https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/ra_ra_a.php?prec_no=14&block_no=1507 (2023 年 9 月 24 日参照)
 [10] 江別市 年間総降雪量・再深積雪量年度別順位.: <https://www.city.ebetsu.hokkaido.jp/soshiki/yukitaisaku/2292.html> (2023 年 9 月 24 日参照)
 [11] やはば WELSOC Wi-Fi: <https://iwate.welsoc-service.com/device/> (2023 年 9 月 24 日参照)
 [12] 後藤英昭, 原田寛之, 漆谷重雄, “Wi-Fi プロファイルを用いた eduroam/OpenRoaming のパスワードレス設定,” 大学 ICT 推進協議会 2022 年度年次大会 論文集 13PM1C-4, 2022. (2023 年 9 月 24 日参照)
 [13] Passpoint Provisioning Tools: <https://github.com/hgot07/PasspointProvisioningTools/> (2023 年 9 月 24 日参照)
 [14] Passpoint Provisioning WebApp: <https://github.com/pirosap/PasspointProvisioningWebApp/> (2023 年 9 月 25 日参照)

[報告]

SC23 出展・参加報告

高橋 慧智

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

2023年11月12日から17日にかけて米国コロラド州デンバー市のコロラドコンベンションセンターにおいて、The International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage, and Analysis (SC23) が開催されました。SC は高性能分野における最大規模の国際会議・展示会ですが、新型コロナウイルスの影響により SC20 はバーチャル開催、SC21 および SC22 は SC19 以前より縮小された規模で開催されました。今年の SC23 は約 14,000 名以上の参加者があり、新型コロナウイルス流行以前の最多記録を超え、SC 史上最多の参加者数となりました。SC23 では 90 件の論文発表、72 件のポスター発表、51 の併設ワークショップ、400 以上の展示ブースなど、多数のプログラムにおいて最新の研究成果・技術の発表と、参加者間での活発な議論と交流が行われました。

当センターでは、本学の流体科学研究所、金属材料研究所、東北メディカル・メガバンク機構と共同で展示ブースを設置・運営しました。当センターからは教員 6 名および大学院生 2 名が参加し、展示ブースにおいてスーパーコンピュータ「AOBA」のシステム構成や利用状況のほか、スーパーコンピューティング研究部および高性能計算技術開発 (NEC) 共同研究部門の研究成果をポスターと動画を用いて紹介しました。



東北大学ブース関係者の集合写真

SCは毎年ドイツで開催されるISC High Performanceと並び、スーパーコンピュータの世界ランキングであるTop500リストが発表される場です。SC23で発表された2023年11月Top500リストでは、米国オークリッジ国立研究所のエクサスケールマシン Frontier が昨年に引き続き首位を維持しました。2位は、米国アルゴンヌ研究所のエクサスケールマシン Frontier でした。しかし、今回の Aurora の性能測定はシステムの約半分のノードのみ使用しており、1 エкса FLOPS に至りませんでした。来年以降、全システムを使用した性能測定結果が待たれます。3位は、米国マイクロソフト社が自社の Azure クラウド上に構築したスーパーコンピュータ Eagle でした。クラウドシステムとしてはTop500 史上最も高い順位であり、参加者より大きく注目を集めていました。

本年 8 月からサービス提供を開始した当センターの新スーパーコンピュータは AOBA-S は、Top500 リストで 50 位を獲得しました。また、Top500 リストで性能測定に用いられる High Performance Linpack (HPL) ベンチマークより実アプリケーションの特徴に即するとされている High Performance Conjugate Gradient (HPCG) ベンチマークを用いた HPCG リストでは、10 位を獲得しました。Top500 リストの編纂者の一人である Erich Strohmaier 氏からは、HPL において 50 位でありながら HPCG において 10 位という高効率性は特筆すべきであり、実アプリケーションにおける高い性能が期待できるという旨の講評がありました。

次回の SC24 は、2024 年 11 月 17 日から 22 日に米国ジョージア州アトランタ市のジョージアワールドコンgressセンターで開催予定です。高性能計算分野にご興味のある方はぜひ参加を検討してみてくださいはいかがでしょうか？

Rank	Site	Manufacturer	Computer	Country	HPCG (PetaFlops)	HPL (Peak)	HPCG/HPL	HPCG/HPL
1			Fugaku	Japan	16.005	442.0	3.0%	3.6%
2	RIKEN-CCS	Fujitsu	Supercomputer Fugaku, A64FX 48C 2.2GHz, Tofu Interconnect D	USA	14.054	1,194.0	0.8%	1.2%
3	Oak Ridge National Laboratory	HPE	Frontier HPE Cray EX235a, AMD EPYC 84C 2.0GHz, Instinct M250X, Slingsh-10	Finland	4.587	379.7	0.9%	1.2%
4	EuroHPC / CSC	HPE	HPE Cray EX235a, AMD EPYC 84C 2.0GHz, Instinct M250X, Slingsh-10	Italy	3.114	238.7	1.0%	1.3%
5	EuroHPC / CINECA	Atos	Leonardo Atos BullSequana XH2000, Xeon 32C 2.6GHz, NVIDIA A100, HDR Infiniband	USA	2.926	148.6	1.5%	2.0%
6	Oak Ridge National Laboratory	IBM	Summit IBM Power System, P9 22C 3.07 GHz, Volta GV100, EDR	USA	1.905	70.9	2.0%	2.7%
7	NERSC - Lawrence Berkeley National Laboratory	HPE	Perlmutter HPE Cray EX235n, AMD EPYC 84C 2.45GHz, NVIDIA A100, Slingshot-10	USA	1.796	94.6	1.4%	1.9%
8	Lawrence Livermore National Laboratory	IBM	Sierra IBM Power System, P9 22C 3.1 GHz, Volta GV100, EDR	USA	1.623	63.5	2.1%	2.6%
9	NVIDIA Corporation	NVIDIA	Selene DGX A100 SuperPOD, AMD 84C 2.25GHz, NVIDIA A100, Mellanox HDR	USA	1.275	44.1	1.8%	2.9%
10	Forschungszentrum Jülich (FZJ)	Atos	JUWELS Booster Module BullSequana XH2000, AMD EPYC 24C 2.8GHz, NVIDIA A100, Mell. HDR	Germany	1.089	17.2	5.5%	6.3%
50	Cyberscience Center, Tohoku University	NEC	AOBA-S SX-Aurora TSUBASA B401-S, Vector Engine Type 30A 16C 1.6GHz, IB NDR 200	Japan	1.089	17.2	5.5%	6.3%

2023 年 11 月版 HPCG リスト (黄色くハイライトされているのが AOBA-S)

[報告]

第 36 回高性能シミュレーションに関するワークショップ (WSSP36) 開催報告

高橋 慧智
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、ドイツのシュトゥットガルト大学高性能計算センター (HLRS), 学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点 (JHPCN), HPCI コンソーシアムおよび NEC のご協力を得て、2023 年 12 月 11 日 (月)～12 日 (火) に高性能計算に関する国際ワークショップ第 36 回 Workshop on Sustained Simulation Performance (WSSP36) を開催しました。本ワークショップは、国際的に活躍している計算科学の研究者およびスーパーコンピュータ設計者を招いて、高性能・高効率大規模科学計算に関する最新の研究成果の情報交換を行うとともに、今後のスーパーコンピュータの研究開発のあり方を議論することを目的としています。

第 36 回 WSSP では技術講演として合計 21 件の発表があり、日本およびドイツの研究者により、HPC 技術動向、システムソフトウェア、アプリケーション開発、データサイエンス、量子計算の幅広い分野のトピックの講演がありました。今回は 64 名もの参加登録があり、すべてのセッションで多くの方々にご参加いただきました。

海外からは、HLRS センター長の Michael Resch 氏によるドイツにおける HPC と AI 技術開発に関する講演、ドイツ気候計算センター (DKRZ) センター長の Thomas Ludwig 氏によるスーパーコンピュータの経済性の考察に関する講演、アーヘン工科大学の Matthias Meinke 氏による階層型直交格子を用いた流体力学計算に関する講演などがありました。

日本からは、理化学研究所の佐藤賢斗氏による次世代計算基盤向けシステムソフトウェアの調査研究に関する講演、核融合科学研究所の伊藤篤史氏による分子動力学法のための近傍粒子探索手法に関する講演、海洋研究開発機構の黒木聖夫氏による海洋大循環モデルの性能分析・最適化に関する講演、大阪大学の田主英之氏によるデータ集約・公開基盤に関する講演に加えて、NEC の技術者らによる講演がありました。さらに、主催である東北大学サイバーサイエンスセンターからも、スーパーコンピュータ AOBA の現状報告と将来展望など合計 2 件の講演を行いました。

昨年の WSSP34 は、新型コロナウイルス感染対策のために聴講者はオンライン参加のみに限定し、講演者と関係者のみが仙台会場で現地参加するというハイブリッド形式で開催しました。今回の WSSP36 は、東北大学の行動指針 (BCP) レベルが 0 に引き下げられたこともあり、講演者および聴講者の全員が現地参加する対面開催の形式で開催しました。新型コロナ以前と同様の形式で対面開催するのは、2019 年 10 月に HLRS で開催された第 30 回 WSSP 以来、4 年ぶりとなります。やはり対面開催では活発に質疑応答が行われ、参加者間の交流も盛んであったように感じました。次回以降の WSSP も、ますます盛況となることを願っています。

第 36 回 WSSP に関するその他の詳細は、以下のページをご覧ください:

<https://www.sc.cc.tohoku.ac.jp/wssp36/ja/index.html>



本センター5F 講義室での講演



本センター5F 大会議室での昼食

[スーパーコンピュータ AOBA のお知らせより]

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ウェブサイトに掲載されたお知らせの一部を転載しています。

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

計算機利用負担金の請求について

令和5年度（2023年度）の計算機利用負担金の請求（請求書の送付または振替請求）は運用システム（AOBA-S）の追加に伴い、8月上旬（4～7月利用分）、10月上旬（8,9月利用分）および4月上旬（10～3月利用分）の計3回となります。

上記以外で請求の必要がある場合は、共同利用支援係（cc-uketuke[at]grp.tohoku.ac.jp）までお問合せください。

4月上旬の利用負担金請求は、次のように実施いたします。

1. 通常の請求【連絡の必要なし】

2023年10月から2024年3月末までの利用実績に基づき、4月上旬に請求を行います。（4～9月利用額が5,000円未満であった場合は、4月上旬の請求に加算します。加算した請求額が5,000円未満の場合は請求はありません。）

2. 4月上旬より前に請求が必要な場合【連絡の必要あり】

請求書到着期日の10日前までに利用金額を確定し、請求処理を行います。

請求書の到着期日を共同利用支援係（cc-uketuke[at]grp.tohoku.ac.jp）までお早めにお知らせください。

請求金額確定日以降の利用分は、4月上旬に請求を行います。

現在の請求予定額については、[利用者ポータル](#)で確認ができます。（課金システムの日次処理により、表示される請求予定額と実際の請求金額が異なることがあります。）

[【鍵ペア作成・LDAPパスワード変更・AOBA-S利用状況確認】](#)

[【AOBA-A, B利用状況確認】](#)

User login -> PJ 課金明細 「今期請求予定額」

(共同利用支援係)

研究成果リスト提出のお願い（第1回）

本センターでは、学術研究を支える世界最高水準の大規模科学計算システムの導入と利用環境の整備・拡充を行い、研究の発展に資することを心掛けてまいりました。今後もシステムの整備を進めていくには、大規模科学計算システムが多くの研究分野で必要不可欠であり、かつ研究成果が得られていることを広くアピールしていく必要があります。

つきましては、本センター大規模科学計算システムを利用して得られた研究成果を、下記により提出くださるようお願いいたします。今回(第1回)提出していただく研究成果は、2023年12月31日までに発表されたものとします。2023年度末までの成果は、後日第2回で提出をお願いいたします。

記

1. 研究成果リスト : ・学術雑誌・国際会議・講演・口頭発表・著書・紀要・受賞・その他に分類し、著者名、論文名、掲載誌、発表年等を提出
＜記入例＞・学術雑誌 Tohoku Taro, Simulation of ～,
Journal of ～, pp10-15, 2023
2. 提出方法 : メールでお願いします。
提出先メールアドレス seika[at]cc.tohoku.ac.jp
3. 締切り日 : 2024年1月31日(水)
4. 問い合わせ先 : cc-uketuke[at]grp.ac.jp

<< 論文等への利用の明記について >>

研究成果を論文等で発表する場合には、本センターを利用した旨を明記くださるようお願いいたします。

— 記入例 —

「本研究の実験結果の一部は、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を利用して得られた。」

Part of the experimental results in this research were obtained using
supercomputing resources at Cyberscience Center, Tohoku University.

(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。

- ・一般利用者の方々に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。

—用紙サイズ・文字サイズ等の目安—

- ・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)
- ・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)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。
- (2)投稿予定の原稿が15ページを超す場合は共同利用支援係まで前もってご連絡ください。
- (3)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。
- (4)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 情報部デジタルサービス支援課共同利用支援係

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

TEL 022-795-3406

スタッフ便り

新年、あけましておめでとうございます。

年末年始は、コロナウイルスが少し落ち着き、家族や親戚と集まることができました。積雪も少なく、過ごしやすく、充実した時期でした。リフレッシュした状態で、新しい年の業務やイベントに取り組んでまいります。今年も、毎日のジョギングなど継続的な運動を取り入れ、食べ過ぎや飲み過ぎに注意しながら、健康的な生活を心がけていきます。

本年もどうぞよろしく願いいたします。(K.K)

新年あけましておめでとうございます。本年もどうぞよろしく願いいたします。

今年の年始は能登半島地震、羽田空港航空機事故と未曾有のお正月で始まりました。被害に遭われた方には、心よりお見舞い申し上げます。

さて、私のお正月は実家のある和歌山県新宮市に家族で帰省し、元旦に八咫鳥で有名な「熊野速玉大社」「熊野本宮大社」「神倉神社」へ初詣巡りに行き、趣味となりつつある御朱印を頂いてまいりました。

その中でも、約30年振りに登った神倉山の中腹にある神倉神社は、熊野三山に祀られる熊野権現が初めて地上に降臨した伝承をもつ古社で、「国指定重要無形民俗文化財」として登録されている御燈祭りが有名です。御燈祭りは約2,000人の白装束の上り子が山の中腹にある神倉神社に集結し、燃え盛るたいまつを持ち一番乗りを目指して、538段の急峻な石段を一気に駆け下りる勇壮な火祭りです。

この石段は、源頼朝が寄進したといわれる自然石で組み上げられた非常に急で険しい石段がお社まで続いており、その道のりは恐怖心と体力との闘いでしたが、登った先の巨大なご神体のゴトビキ岩を間近で見上げたときには、恐怖心も疲れも吹っ飛びとても清々しい気持ちになりました。更に不思議なことに、しばらく痛めていた膝がこの日を境にとっても調子が良くなり、少し不思議体験となったお正月でした。

皆様も、お近くにお越しの際は、是非一度538段の石段にチャレンジしてみてください。(Y.M)



船形山と泉ヶ岳（センター西側窓より）

SENAC 編集部会

滝沢寛之 水木敬明 後藤英昭 高橋慧智
今野義則 早坂和勝 大泉健治 小野 敏
斉藤くみ子

令和6年1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
PDF 作成 株式会社 東誠社

スーパーコンピュータ AOBA システム一覧

計算機システム	機種
サブシステム AOBA-S	SX-Aurora TSUBASA Type 30A
サブシステム AOBA-A	SX-Aurora TSUBASA Type 20B
サブシステム AOBA-B	LX 406Rz-2

サーバとホスト名

フロントエンドサーバ (AOBA-S 用)	sfront. cc. tohoku. ac. jp
データ転送サーバ (AOBA-S 用)	sfile. cc. tohoku. ac. jp
ログインサーバ (AOBA-A, B 用)	login. cc. tohoku. ac. jp
フロントエンド (AOBA-A, B 用)	front. cc. tohoku. ac. jp
データ転送サーバ (AOBA-A, B 用)	file. cc. tohoku. ac. jp

サービス時間

利用システム名等	利用時間帯
サブシステム AOBA-S	連続運転
サブシステム AOBA-A	連続運転
サブシステム AOBA-B	連続運転
各種サーバ	連続運転
大判プリンタ	平日 9:00~21:00

サブシステム AOBA-S の利用形態と制限値

利用形態	キュー名	VE 数※	実行形態	最大経過時間 既定値/最大値	メモリサイズ
無料	sxsf	1	1VE	1 時間/1 時間	96GB
共有	sxs	1~2048	8VE 単位で確保	72 時間/720 時間	96GB×VE 数
占有	個別設定				

※ 2VE以上を利用した並列実行にはMPIの利用が必用

サブシステム AOBA-A の利用形態と制限値

利用形態	キュー名	VE 数※	実行形態	最大経過時間 既定値/最大値	メモリサイズ
無料	sxf	1	1VE	1 時間/1 時間	48GB
共有	sx	1	1VE	72 時間/720 時間	48GB×VE 数
		2~256	8VE 単位で確保		
占有	個別設定				

※ 2VE以上を利用した並列実行にはMPIの利用が必用

サブシステム AOBA-B の利用形態と制限値

利用形態	キュー名	ノード数※	最大経過時間 既定値/最大値	メモリサイズ
共有	lx	1~16	72 時間/720 時間	256GB×ノード数
占有	個別設定			

※ 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.57 No.1 2024-1

[巻頭言]		
スーパーコンピュータSXと歩んだ研究者人生	山本 悟	1
[共同研究成果]		
温度の変動の大きさを明らかにするためのLESシミュレーション	松川 嘉也 青木 秀之	3
複雑なコネクタ形状を含むプリント基板のFDTD解析の実践例	春日 貴志 北澤 太基 林 優一	8
レベルセット関数を用いた振動する膜翼の流体解析	佐々木大輔 船田 光星 高橋 俊 川本 裕樹 中矢 敦士	16
平面大地上の電磁界問題に対して有効な解析方法の開発	有馬 卓司	22
[大学ICT推進協議会 2023年度年次大会論文集より]		
スーパーコンピュータAOBA新サブシステムAOBA-Sの紹介	小野 敏 山下 毅 森谷 友映 大泉 健治 高橋 慧智 滝沢 寛之	26
eduroam/OpenRoaming における現地情報通知	後藤 英昭 原田 寛之 漆谷 重雄	31
降雪地におけるミリ波拠点間通信を用いた キャンパスLANの実効性評価	原田 寛之 後藤 英昭 漆谷 重雄	37
[報告]		
SC23出展・参加報告	高橋 慧智	45
第36回高性能シミュレーションに関するワークショップ (WSSP36) 開催報告	高橋 慧智	47
[スーパーコンピュータAOBAのお知らせより]		
計算機利用負担金の請求について		49
研究成果リスト提出のお願い (第1回)		50
執筆要項		51
スタッフ便り		52