

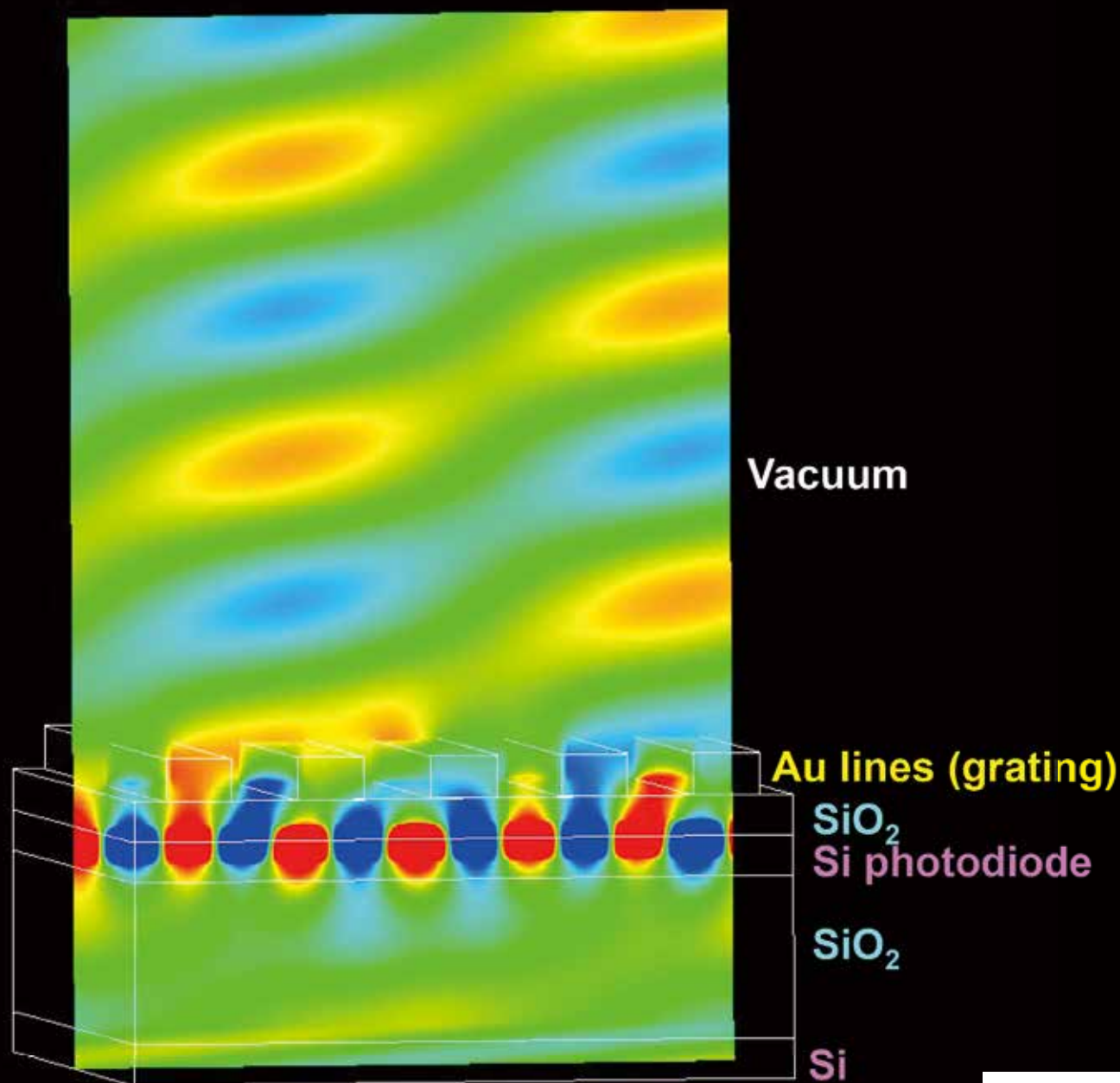


iic-HPC

北海道大学情報基盤センター大型計算機システムニュース

Hokkaido University

High Performance Computing System Information Initiative Center



【特集】

「時空を超えて光を自由に操る
社会の実現」を目指して

Vol.
47

Mar.
2018



表紙の図面は、表面プラズモンアンテナ付SOI(Silicon on Insulator) フォトダイオードに対して平面波を斜めに入射させた場合の磁界瞬時分布を可視化して示しています。シリコン層を横方向に伝搬する導波路モードは、入射平面波との間で位相整合条件が満たされた場合に励起され、フォトダイオードの光感度が高くなります。

上の写真は、静岡大学浜松キャンパス内に設置されている高柳健次郎先生の胸像とIEEEマイルストーンの銘板です。高柳先生は「日本のテレビの父」と呼ばれ、浜松高等工業学校（現・静岡大学工学部）において独自に開発した受像用ブラウン管を用いて、電子映像表示を世界で初めて成功させました（1926年12月25日）。これに続く数々の業績により、わが国のテレビジョン産業と関連産業を発展させ、世界のリーダーへと成長させたことが高く評価され、IEEEマイルストーン「**電子式テレビジョンの開発、1924-1941**」（写真右側）が2009年11月12日に贈呈されました。胸像の下部には、当時開発した受像用ブラウン管の模型が飾られています。

IEEE(アイ・トリプル・イー、電気電子技術者協会) マイルストーンは、電気・電子・情報・通信分野において達成された歴史的に重要な技術に関して、その技術が生み出されてから25年以上が経過し、地域社会や産業の発展に顕著な貢献をしたと認められる歴史的な業績を選定し表彰する制度です。その目的は、(1)過去の優れた業績を知ること、それに携わった技術者に対する社会一般の理解と評価を高めること、(2)今日の技術者が自己の職業や技術に対する認識や意欲を高めること、(3)若い人たちの科学技術への関心や意欲を高めること、(4)歴史的に重要な事物や場所を明確化し保存公開することなどです。IEEEマイルストーンに認定されると、その業績を記した銘板（写真右側）が贈呈され、ゆかりの場所に飾られます。

わが国においては、IEEE Japan Councilのもとに時限付きJapan Council History Committee (JCHC) 委員会が2006年に組織されました。その委員会の目的は、IEEEの技術の歴史に対する取り組みを知るとともに、国内からの情報発信を促進し日本の技術の歴史に対する評価・認識を高めること、IEEEマイルストーンを主たる対象として国内の候補となるテーマを調査・発掘し、国内からの申請促進を図ることです。また、国内におけるIEEEマイルストーンに関するデータの整理・保存を行い、その活用を図ることです。第一回JCHC委員会がIEEEマイルストーンの国内最初のテーマとなった「八木・宇田アンテナ（1924年）」のゆかりの地である東北大学電気通信研究所で2006年9月に行われました。その後、JCHC委員会の精力的な活動により、国内では2017年7月までに33件のテーマがIEEEマイルストーンに認定されています。

参考URL：<https://ieee-jp.org/section/tokyo/milestone.html>

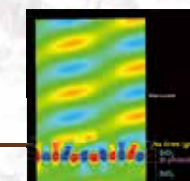


われわれは、スパコンの現在を考えます。

Contents

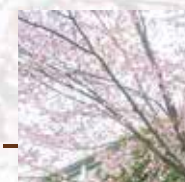
表紙の解説

2



3

情報基盤センター大型計算機システムニュース
目次



特集 《インタビュー》
「時空を超えて光を自由に操る社会の実現」
を目指して

●静岡大学 大学院学院工学領域電子物質科学系列
電子工学研究所極限デバイス研究部門・助教
佐藤弘明 先生

4-9



10-13

スパコン・アカデミー
第43回

CPUの脆弱性「Meltdown」と「Spectre」

●情報基盤センター システムデザイン研究部門 杉木章義

連載
スパコン可視化道場

●番外編 36

「可視化作業を支援するモジュールの紹介」

14-15



16-17

スパコンInfo.

- 平成30年度センター萌芽型共同研究課題の募集
- 平成30年度「京」を中核とするHPCIシステム利用課題の選定結果
- 平成30年度HPCI-JHPCN共同研究採択課題選定結果
- 第4回スパコン「京」・HPCIシステム利用研究課題成果報告
- 客員研究員によるスパコン利用講習会およびユーザ支援活動報告

学際大規模計算機システム

平成30年度の継続手続きと運用スケジュールについて

18-19





浜松市の大学や企業は、昭和初期から電子式テレビジョンなどの歴史的に重要な技術で社会に貢献し、今や世界トップクラスの光の研究を行う日本屈指の拠点を構築するまでになっています。浜松光宣言2013のもと、産学連携による光学分野で新たな技術や製品の開発が進められています。その技術開発にどのように北大スパコンが活用されているのか興味は尽きません。

静岡大学 大学院学術院工学領域電子物質科学系列
電子工学研究所極限デバイス研究部門・助教

佐藤 弘明 先生 インタビュー

「時空を超えて光を自由に操る社会の実現」を目指して



図1. 国際科学イノベーション拠点整備事業
「時空を超えて光を自由に操る社会の実現」

——静岡大学浜松キャンパスにきています。佐藤先生に最新の研究に関してお話をさせていただきます。本日はよろしくお願いします。

佐藤 こちらこそ、よろしくお願いします。

——静岡大学には2つキャンパスがあるのですね...

佐藤 そうです。静岡大学は、静岡市と浜松市にあった5つの師範学校などを統合することで、1949年（昭和24年）に創設されました。工学部は浜松高等工業学校（のちに浜松工業専門学校と改称）を前身としていることから、浜松市を拠点にしています。浜松キャンパスには、工学部のほかに情報学部があります。さらに、私が兼担している電子工学研究所があります。この研究所は新しい世代の画像エレクトロニクス分野の要請に応えるために、ナノビジョン研究部門、極限デバイス研究部門、ナノマテリアル研究部門、生体計測研究部門の4つの研究部門で、画像関連技術の知の拠点を構築すべく研究を行っています。

——ここは光創起イノベーション研究拠点棟ですが、どのような施設なのでしょう？

佐藤 2年前に竣工した、新しい施設です。2013年6月に「浜松を光の先端都市に〜浜松光宣言2013」が出され、産学の協力で「はままつ光研究拠点」を設立することになりました。本学をはじめ、浜松医科大学、光産業創成大学院大学、浜松ホトニクス株式会社が構成機関になっています。ちなみに、光産業創成大学院大学は、浜松ホトニクス株式会社とものづくり企業が2004年に浜松市内に設立した大学院大学です。

文部科学省による地域資源等を活用した産学連携による国際科学イノベーション拠点整備事業の公募が2013年1月から2月にあり、それに対して前述の4機関が提案者となって「時空を超えて光を自由に操る社会の実現」と題した拠点計画で応募しました。それが採択され、それにより浜松キャンパス内に建てられた研究拠点棟になります。この研究拠点棟には、光の未踏研究分野に踏み込むための機器が整備され、さまざまな研究者が互いに刺激を受けながら、時空を超えて光を自由に操る革新的研究開発を行う世界的な光拠点を目指しています。ですから、研究拠点棟は静岡大学じゃないんです。たまたま浜松キャンパスの敷地内にあるということなんです。

——期待しています。

佐藤 皆さんにそう言っていただけるように、浜松から頑張っていこうというのが、光創起イノベーション研究拠点であると思います。

——イノベーション研究拠点ではどのような研究が行われていますか？

佐藤 医学と光学を融合して、今よりももっと高度な診断システムを目指しています。例えば、奥行きや特別な物質を検出できるイメージセンサー、CT画像をカラー画像にするなどです。私たちの研究グループは、光を利用して物質と物質の相互反応を分析するデバイスの開発を行っています。

——主に材料の研究ですか？

佐藤 材料を研究している先生もいますし、回路設計の研究を行っている先生もいます。われわれの研究要素には回路設計を含みますが、光をどうやって高度な情報に変換するかということを検討しています。

——応用対象があるということですか？

佐藤 そうですね。研究室ごとに目標を持って研究を行っています。もちろん、イノベーション研究拠点としての目標がありますので、光学のみの研究にとどまらず、例えば生体に対するレスポンスをどうするのかなどを常に考慮して研究を行っています。

——実験あるいは数値シミュレーションのどちらに重きが置かれてるんですか？

佐藤 数値シミュレーションを行っている研究室は少ないです。私は空間回路網法とかFDTD法に基づく数値解析を専門に行っていましたが、最近ではデバイスを作るようになって、そのための設計を目的とした数値計算を行っています。

——先生が取り組まれている研究についてご紹介いただけますか。

佐藤 図2に示すようにSOI (Silicon on Insulator) と呼ばれる絶縁膜上に薄いシリコン層を載せた構造を有する特殊な半導体基板があります。これは、北大スパコンのプロセッサであるIBM社製Power7で採用されています。薄いシリコンでは浮遊容量を小さくすることができるので、応答速度が速く、電荷1個に対する電圧利得を大きくとれるのが特徴です。バルクシリコンの半導体基板に比べると、大きなメリットがあり

ます。しかも、バルクシリコンで集積回路を組むときは、複雑な構造を設けて隣り合った素子を分離しています。一方、SOIではエッチングすることで、隣り合った素子を簡単に分離することができます。したがって、SOIはバルクシリコン基板に比べて、集積度を上げることができます。私の上司の猪川教授がNTTの研究所に勤務されていたときに、SOI基板を使った単電子トランジスタの研究をされていました。そのようなこともあり、SOIの今までにない応用を検討しています。例えば、光検出器と単電子トランジスタを組み合わせたフォトン検出などです。ただし、シリコン層の厚さはせいぜい数十nmと非常に薄いので、光が入ってきてもそのまま抜けてしまうのが課題でした。

——そうですね。

佐藤 そこで、光の吸収を向上させる方法を研究テーマとしました。そのとき提案したのが、図3に示すようなシリコン上に酸化膜絶縁体を挟み、その上に回折格子(グレーティング)を載せる非常に簡単な構造です。しかも、この回折格子を金、銀、アルミで製作することで、表面プラズモンが発生し、その電界増強効果を利用して回折光を増強できます。さらに、増強された回折光をシリコン層の導波路モードとカップリングさせます。この横方向に走る線が回折格子です。

図4のグラフ内にw/o gratingと記した実線は回折格子がない場合の光感度特性の測定結果です。ただし、グラフの横軸が波長、縦軸は外部量子効率で、光感度と等価です。光感度は照射した光パワーに対する検出した光パワーです。シリコンは短波長側で非常に高い吸収係数を持っているので、波長が450nm程度の青色光ですとかなり薄いシリコンでも光感度が高いことが分かります。一方、波長が600nm以上の緑色から赤色の長波長側では光検出ができません。そこで、図5に示すように表面に回折格子を設けることによって、図4の黒色以外の実線で示す特性となり、波長650～750nmにわたって最大30%程度まで光感度を向上できます。回折格子による向上率としては、だいたい18倍程度に対応します。しかも、回折格子のピッチpを変えることで導波路モードの伝搬波長を変えることができます。光感度が一番高いのはピッチpが300nmの場合ですが、ピッチpを260nm、

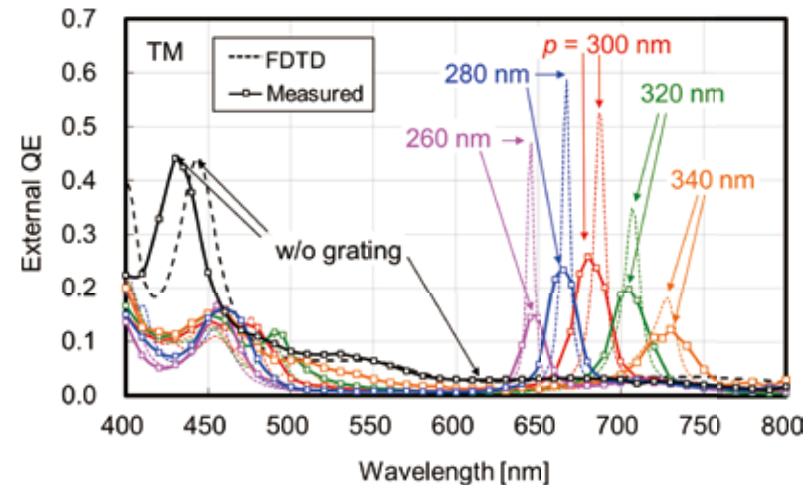


図4. 表面プラズモンアンテナによる光感度向上効果

280nm、320nmあるいは340nmに変えることで、光感度がピークになる波長を変えることができます。すなわち、回折格子のピッチを変えことで光の色(波長)を選別することができるようになります。この研究成果を学術論文として公表しています。

——なるほど。

佐藤 実は、FDTD法に基づく数値解析を行っており、図4の破線で示すとおり比較的一致した結果が得られます。測定結果はピークの高さが低く、ピーク幅が広がっていますが、これらは測定系の問題だと考えています。波長が600nm以上の赤色光ですと、測定および数値解析のほぼ同じ波長でピークが現れます。

さらに、最近検討しているのは、光を斜めに入れる場合です。光を斜めに入れることで、バイオセンシングができそうということが分かってきたんです。それは回折格子の位相整合条件という非常に古い理論に基づいています。光が斜めに入ってくると、波としてはSOIの導波路を前進する導波路モードと後進する導波路モードで波長が異なります。これは、隣り合った平面波の位相差が関係しています。この位相差は入射側の屈折率に依存することから、これを利用することで入射側の屈折率を測定することができます。

屈折率を測定するバイオセンサーで一番有名なのは、表面プラズモン共鳴を利用したものです。光を斜めに入れて、プリズムを介して、エバネッセント光を片側に励起させます。ここに表面プラズモンが発生すると、反対側への反射がなくなります。その反射がなくなる波長または角度を検出します。金の上にインフルエンザウィルスの抗体を固定化しておき、これが抗原と結合することでわずかに屈折率が上がります。その屈折率の上昇によって励起できるSPモードの条件が変わるので、それを光検出器側で観測することで、抗原と抗体の結合のし易さを測定できます。

これは表面プラズモン共鳴センサーといって、医療現場にはずいぶん導入されている装置であると思います。屈折率の変化を反射光の角度や波長の変化として観測することで、抗原と抗体の親和性を判断でき

ます。

——製品化されているのですか？

佐藤 そうですね。市販品は数十mmぐらいの大きさで、光源側と検出器側を外に設けなければならないので、光学系全体を組むのは結構大変です。私たちの研究グループでは、市販品の大型で集積が困難である課題を解決するために、集積回路や光検出器を埋め込み型にした簡易光学系を実現し、高感度かつ高スループットな新規のバイオセンサーの開発を目指しています。いろいろなサンプルについて検体と受容体の親和性を同時並行して測定できれば、短時間に多くのデータを取得することができ、高スループットになります。そのために、集積回路が有効であると考えています。

——検体と受容体が結合してるという前提で測定を行うという理解でいいですか？

佐藤 そうですね。性能評価としては、まずはそこからだと思います。それが確認できたら、結合しにくい組み合わせについても測定することになります。

——1回の測定時間はどれぐらいですか？

佐藤 私たちの測定では相当時間が必要です。5～6時間かかると思います。結局、安定した状態で測定しますので、測定開始直後のノイズが乗ってるような状態を含めるとやはり5～6時間になります。

——なかなか大変な研究ですね。

佐藤 これは結構骨の折れる仕事です。

——この他に取り組んでいらっしゃる研究テーマは？

佐藤 ええ。金属の緻密な周期構造を非常に近接させて製作すると、局在プラズモンを発生させることが

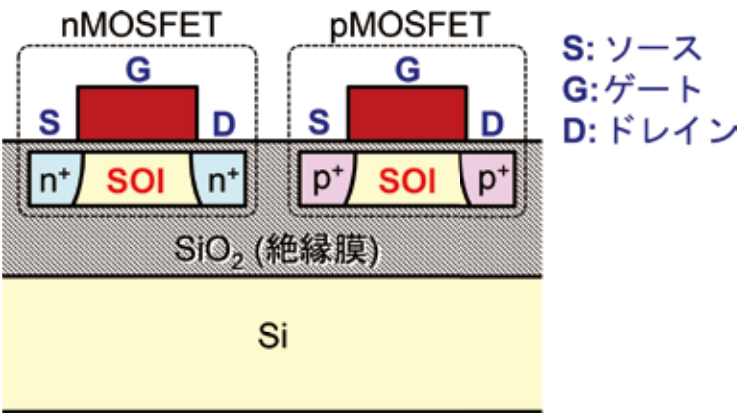


図2. SOI CMOS集積回路

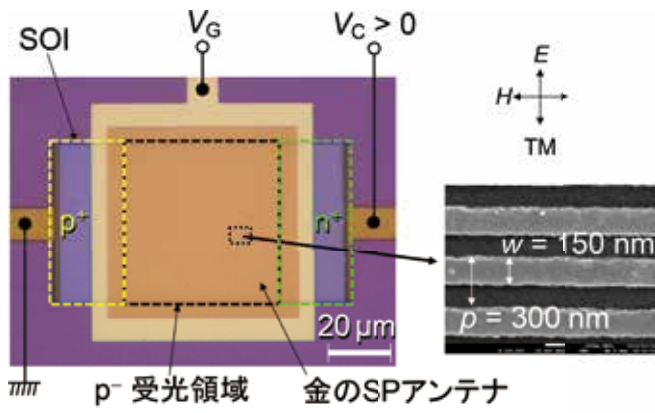


図3. 表面プラズモンアンテナ付SOIフォトダイオード

PROFILE



佐藤 弘明

Hiroaki SATOH

静岡大学 大学院学術院工学領域電子物質科学系列
電子工学研究所極限デバイス研究部門・助教

2004年北海道大学大学院工学研究科博士後期課程修了。
博士（工学）。徳島大学大学院ソシオテクノサイエンス研究部・
助手を経て2007年現職。ドライブや音楽鑑賞が趣味。

できます。これは電界の増強効果としてはかなり大きく、それを応用したアンテナを検討しています。これは共同研究で実施している研究課題です。

——光の領域で使うアンテナ？

佐藤 そうです。その設計のためにはプラズモンを考慮した計算を行わなければなりません。負の誘電率を有する分散性媒質として取り扱わなければならないですし、周期構造も考慮しなければなりません。しかも、周期構造に対して斜めに光が入射する場合、完全に複素数にしないといけないので、単純なFDTD法に比べると演算量は大きいですね。

——センター萌芽型共同研究では、どのような研究課題に取り組んでいらっしゃいますか？

佐藤 はい。プラズモニック構造付きシリコン光検出器の設計です。

——これは今、ご説明いただいたものですか？

佐藤 そうです。もう少し広い範囲を考えていて、先ほどお話したプラズモニックアンテナやプラズモニック導波路なども含まれます。いわゆる、光プラズモンを使って、ある特定の領域に集光するスーパーレンズのようなものを数値解析できるようにして、新しい構

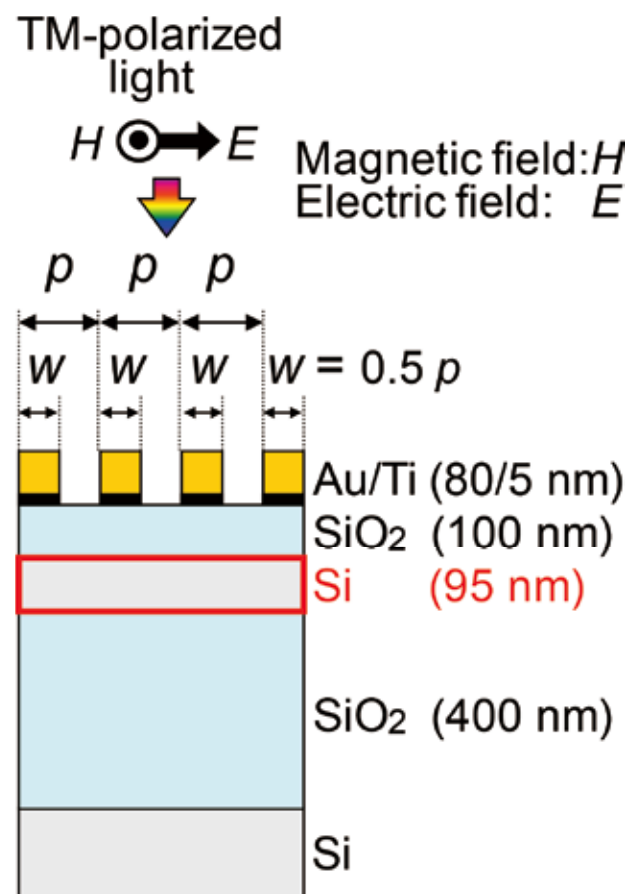


図5. 表面プラズモンアンテナの断面構造

造を考えていきたいと思っています。ですから、かなり広い範囲のテーマであると考えています。

——具体的には？

佐藤 三次元解析ができるプログラムを現在開発中です。それを完成させて、シミュレーションを急ぎたいと考えています。まずは、シミュレーション結果の有効性を確認しながら、オリジナルな研究を行いたいと考えています。折角なので、新しいものを提案したいと思っています。

——FDTD法に基づくプログラムを開発されているのには理由があるのですか？

佐藤 まずはFDTD法です。研究対象は開放型と近接場の計算を含みますので、将来さらに高効率な計算が必要になるだろうと考えています。センター萌芽型共同研究として採択していただいた課題は、最初にFDTD法に基づいて検討するのですが、その後は別の手法を組み合わせながら、簡単に設計できるような解析手法を提案したいと思っています。例えば、ビーム伝搬法とか、解析解を組み込む方法など、いろいろな方法はあると思います。それを北大スパコンで実行し、設計や特性評価の高度化を目指しています。

——最終的には、デバイス全体を対象に...

佐藤 ええ。デバイス全部を取り扱いたいのですが、さすがに計算負荷が大きすぎます。二次元解析ですと難しくないのですが、三次元解析になるとスパコンを利用しても無理だと思います。ですから、全体的に取り扱うマルチメソッドと言えばいいんでしょうか、いろいろな計算方法を組み合わせることを考えています。この構造を例にとれば、導波路のところはビーム伝搬法のようにFDTD法よりも負荷の少ない手法と組み合わせることを目指しています。

——二次元解析をされているということですが、PCで計算できるのですか？

佐藤 いや、PCでは無理です。北大スパコンで実行させていただいて、なんとか計算ができています。

——主記憶容量はどれくらい必要ですか？

佐藤 128GBでなんとか計算できる感じです。普通のPCだと全く無理ですね。

——どれぐらい時間がかかるのですか？

佐藤 先ほど説明したとおり垂直入射の二次元解析はそんなに長い時間はかかりません。3時間ぐらいです。斜め入射の場合、波長分散性を評価しようとする、境界条件が1つの周波数に対してしか満足できないので、波長をスイープさせないといけないんです。そうすると、1回の計算自体は30分から40分程度で終わりますが、波長の数だけ繰り返し計算をしなければなりません。波長400～800nmについて1nm間隔で計算を行うと、計算時間は400倍になるので、これは相当時間かかります。三次元解析ではますます負荷が高くなります。

——北大スパコンに対するご要望は？

佐藤 可視化システムAVS/Expressを利用したいと思っています。学外者はダウンロードサービスを利用できないので残念です。iiC-HPCニュースに掲載されている「可視化道場」は毎号楽しんでいます。

——学外のユーザの方にはご不便をお掛けしています。その他はありますか？

佐藤 スパコンはジョブを投入して、すぐ実行されるので、快適に使わせていただいています。プログラム開発やデバッグもすべてスパコン上で行っています。今は、1演算ノードを利用したSMP並列で利用しています。今後、三次元解析では必要な主記憶容量が数十倍に、かつ演算時間も増加しますので、MPI並列処理は必須であると考えています。

——是非MPI化を行ってください。今後も北大スパコンをお使いいただき、世界トップクラスの研究成果を目指していただきたいと思います。本日はありがとうございました。

佐藤 頑張ります。ありがとうございました。

知って得する!!

第43回

スパコン
アカデミーCPUの脆弱性「Meltdown」と「Spectre」
情報基盤センター システムデザイン研究部門 杉木章義

2018年1月より、Intel製を中心としたCPUの脆弱性が大きな話題となっている。これらの脆弱性に対する攻撃には共通する点があるものの、実際の攻撃は「Meltdown」と「Spectre」の2つとして認識されている。本稿では、これらの2つの攻撃について、私自身はハードウェア・アーキテクチャやOSコアの直接の専門家ではないが、できるだけ正確となるように解説する。

これらの脆弱性は2017年中に発見され、関係者の間で対応が検討されていたものの、リーク記事[1]により、年始から急遽、大騒ぎする事態となった。これらの攻撃は、最新のプロセッサ高速化技術によって初めて成立する攻撃であり、また長年のセキュリティ研究の蓄積により、初めて明らかとなった。そのため、我々のような計算機に関わる者に対して、大きな問題を突きつけていると言える。

現在、さまざまな情報が錯綜しているが、本稿では、MeltdownとSpectreを公式に解説した2つの論文[2,3]、Intelのホワイトペーパー[4]、GoogleのProject Zeroによるブログ記事[5]をもとに解説する。

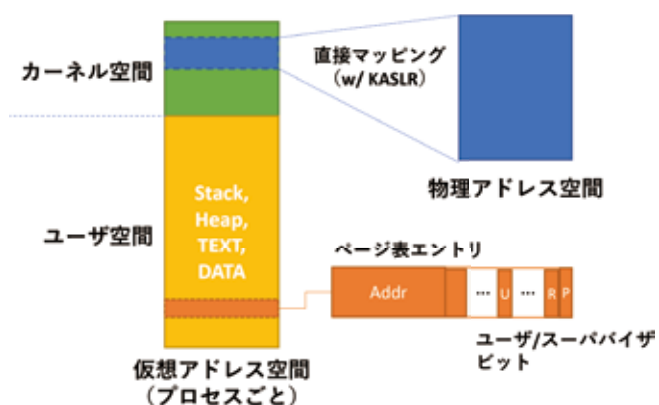


図1: ユーザプロセスの仮想アドレス空間

Meltdown

Meltdownは、**プロセッサのアウトオブオーダー実行 (out-of-order execution)** を悪用し、**ユーザプロセスからカーネル空間の情報を盗み見る攻撃**である。Linuxなどの多くのOSでは、すべての物理ページがカーネル空間にマッピングされており、物理メモリ全体をダンプ可能である。脆弱性管理のためのCVE番号として、下記の1つが割り当てられている。

•Rogue data cache load (CVE-2017-5754)

攻撃の概要

標準的なOSでは、ユーザプロセスごとに独立した**仮想アドレス空間**を有している (図1)。このアドレス空間には、ユーザプロセスとOSカーネルの実行切り替え時の性能を向上させるために、ユーザ空間のメモリページだけではなく、カーネル空間のページもマップされている。アクセス権の管理は各ページの**スーパーバイザビット**により行われている。スーパーバイザビットがセットされたページは、カーネルモードのみアクセス可能であり、ユーザモードでアクセスした場合には、例外が発生し、アクセスが禁止される仕組みとなっている。

Meltdownはこのスーパーバイザビットによるアクセス制限を融解させる攻撃である。脆弱性を有するプロセッサは、アウトオブオーダー実行の間に、権限を有しないプロセスがカーネル空間のアドレスの値を一時的にレジスタに読み込むことを可能とする。さらには、そのレジスタの値に基づいて計算を行うことを可能とする。この際、プロセッサは**レジスタやメモリの値などのアーキテクチャ状態 (architectural**

state) を破棄して、影響を及ぼさないように注意深く設計されている。しかしながら、**キャッシュ**や**TLB (Translation Lookup Buffer)** といった**マイクロアーキテクチャ状態 (microarchitectural state)** には副作用が残されており、これらの状態に情報を残すことで、カーネル空間の機密情報の持ち出しを可能とする。

図2にMeltdown論文[2]に記載されている攻撃コードの例を示す。rcxレジスタには、攻撃者が読み取りたいカーネル空間内のアドレスが格納されている。4行目でこのアドレスから1 byteのデータを読み込む。本来であれば、このアクセスは**例外**が発生し、失敗に終わるはずである。しかしながら、アウトオブオーダー実行により、5行目以降の命令がすでにデコードおよび待機しており、4行目の命令がリタイヤとなり、例外が送出されるのが先か、5-7行目の命令が実行されるのが先か、**競合状態 (race condition)** となる。6行目では、例外の送出が先となり、raxレジスタの値が0となった場合に備えて、3行目から再実行するようになっている。

```
1: ; rcx = kernel address
2: ; rbx = probe array (probe_array)
3: retry:   カーネル空間内のアドレスから読み込み (機密情報の取得)
4: mov al, byte [rcx]           ; data = [rcx]
5: shl rax, 0xc                 ; data *= 4096
6: jz retry                       ; if data = 0, then retry
7: mov rbx, qword [rbx + rax]    ; access(probe_array[data])
```

機密情報をもとに、特定アドレスをキャッシュに載せる

図2: 実際の攻撃コード例 (論文[2]のListing 2より引用)

本攻撃のもう一つのポイントは、キャッシュを利用した**サイドチャネル攻撃**である。ここでは、**Flush+Reload攻撃**が用いられている。レジスタやメモリの状態は破棄されるが、キャッシュ状態はそのままであるために、機密情報をデータがキャッシュされているか否かという情報に変換し、外部から観測可能とする (**covert channelの確立**)。攻撃者はprobe_arrayという配列をあらかじめ用意しておき(2行目のrbx)、cflush命令により、配列全体をキャッシュからフラッシュしておく (**Flush段階**)。次に、機密情報の値に応じた位置の配列要素へのアクセスを行い、その要素をキャッシュさせる (**Reload段階**)。その後、配列の各要素へのアクセス時間を観測し、キャッシュされている要素の位置が分かれば、それが機密情報の値となる。本コードでは、CPUのプリフェッチによる影響を避けるため、4 KB (4096 bytes) のストライドで配列にアクセスしている。本攻撃コードは一度に1 byteの情報しか取得できないが、この攻撃を繰り返すことで、物理メモリ全体の内容が取得可能である。

影響の範囲

本攻撃は、計算機にログインできる状態であれば、攻撃者が記述した攻撃コードを直接実行して、機密情報を取得することが可能であり、そのため、極めて深刻度の高い脆弱性であると言える。アウトオブオーダー実行が導入されたすべてのIntel製CPUに影響し、AMDではまだ影響が確認されていない。ARMは最新のCortex-A75でMeltdownの影響があることを認めている。また原理上、Dockerなどのコンテナ環境、Amazon EC2などの準仮想化による仮想マシン環境で、他のユーザの機密情報が取得可能であり、緊急の対策が進められている。

対策

本攻撃はカーネルを経由した機密情報が取得できる脆弱性であり、OSカーネルでの対策が検討されている。Linuxでは対策として、**KPTI (Kernel Page-Table Isolation)** の導入が進められている。これは元々、**KASLR (Kernel Address Space Location Randomization)** への攻撃対策として検討されていたKAISERを発展させたものである。また、MacOSやWindowsといった他のOSについても、同じような対策が実施されている。

KPTIはユーザモードとカーネルモードでの仮想アドレス空間 (ページテーブル) を分離する根本的なものである。ユーザモード時には、ユーザのページとカーネルとのデータ交換に必要なごく一部のカーネルページのみが仮想アドレス空間にマッピングされる。ただし、ユーザモードとカーネルモードの遷移時に、仮想アドレス空間の切り替えも必要であるため、オーバーヘッドが大きく、性能低下が懸念されている。TLBフラッシュの範囲を制限するPCIDにより多少改善される見込みではあるが、TLBへの影響も大きい。Intelによると、将来のプロセッサで性能低下を改善すると約束している。

Meltdownは深刻度は高いが、対策は明らかであり、普及も進んでいる。そのため、ある意味において、性能低下が一番大きな影響と考えることもできる。特に、スパコンを中心とするHPC、ビッグデータ、機械学習などの高負荷ワークロードでの影響が懸念されており、2%未満から最大20%程度の性能低下が見込まれている。

Spectre

Spectre攻撃は、**プロセッサの投機的実行 (speculative execution)** を悪用し、配列の境界チェックを回避する攻撃であり、**ユーザ空間内**で別プロセスのデータを盗み見る攻撃である。また、LinuxのeBPF

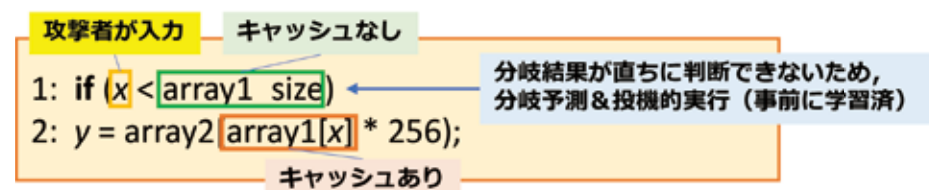


図3：実際の攻撃コード例（論文[3]のListing 1より引用）

（拡張カーネルトレース）などの機能を活用すれば、カーネル空間の情報も取得可能である。また、**分岐予測（branch prediction）**に対して偽の情報を注入する手法も利用されている。Spectreでは、脆弱性管理のためのCVE番号として、下記の2つが割り当てられている。

- **Bounds check bypass (CVE-2017-5753)**
- **Branch target injection (CVE-2017-5715)**

攻撃の概要(1)―Bounds check bypass

図3に論文[3]に記載されている攻撃コードの例を示す。この攻撃は、「**confused deputy**」とも呼ばれる。この例のように、配列の境界をチェックし、配列にアクセスするというのは、バッファオーバーフロー攻撃への対策が進んだ現在では極めて一般的なコードである。この攻撃には、2つの配列が必要であり、この場合、array1とarray2である。xは攻撃者が制御可能な変数であり、関数やシステムコールの入力として外部から与えられるものとする。array1_sizeは配列array1のサイズであるが、キャッシュから外しておく、array1_sizeをメモリから読み込む間に、分岐予測によって投機的実行が行われる。この際、分岐予測器を誤った判断をするようにあらかじめ学習させておけば、array1のサイズを超えた領域にアクセスさせることが可能となる。array1[x]は攻撃者が取得したい機密情報である。

後ほど、array1_sizeのメモリからの読み込み完了

した時点で、分岐予測が誤りだったことが分かり、レジスタやメモリなどの状態はロールバックされる。しかしながら、ここでarray2を利用する。array1[x]の値をもとに大きなストライド（この場合は256）で、配列array2にアクセスしておけば、どの要素がキャッシュされているかで、機密情報を外部から観測することが可能である（Flush+Reload攻撃）。

同様のコードはJavaScriptでも記述可能であり、外部サイトからJavaScriptコードを送り込み、ブラウザの機密情報を取得可能である。また、GoogleのProject Zero[5]により、Intel製およびAMD製のCPUで、eBPFを利用してカーネル情報を取得できたことが報告されている。

攻撃の概要(2) ― Branch target injection

Spectreの最初の攻撃手法で、同一プロセス内の機密情報が取得可能である。他プロセスの機密情報についても、2つめの攻撃手法を組み合わせることで、取得可能なことが報告されている。

Spectre発見者のもう一つの主張は、**branch target injection**攻撃である。攻撃者がプロセッサの分岐先予測器に誤った分岐先アドレスを学習させ、犠牲者が所有する攻撃に使えるコード断片、**ガジェット (gadget)** を次々に実行させることで、Spectreの最初の攻撃のような攻撃を成立させる手法である（図4）。ガジェットを利用し、攻撃を成立させる手法は、**ROP (Return-Oriented Programming)** ですでに

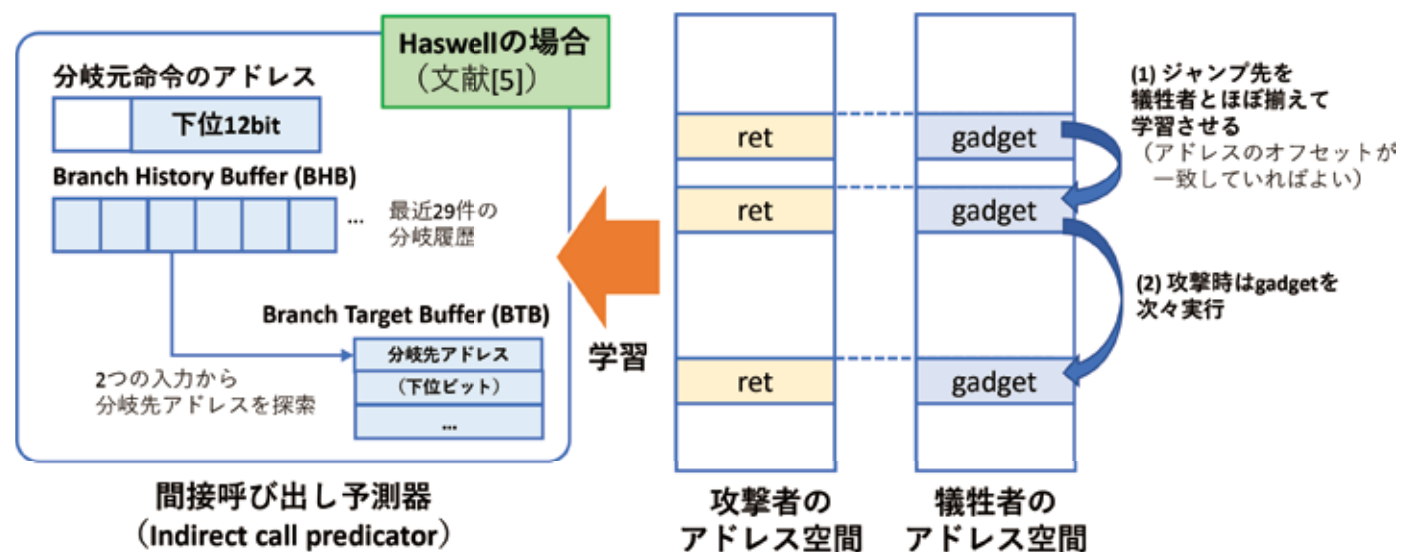


図4：branch target injection攻撃

知られているが、バッファオーバーフローのようなソフトウェア脆弱性が必要でない点で異なる。

間接分岐命令は、`jmp eax` や `jmp [eax]`、`jmp dword ptr [0x12345678]`などのように、レジスタやメモリの内容をもとに分岐先を決定する。直接分岐命令と比較して、より広範囲のアドレスを分岐先とすることができるため、ガジェットの実行に最適である。

分岐先予測器の学習は、同一CPUコアまたは同一コアの**ハイパースレッド（一般的にはSMT (Simultaneous Multithreading)）**からも可能であり、犠牲者のアドレス空間と同様のアドレス空間を攻撃者側に作成し、分岐先予測器を学習させる。ただ、分岐先予測器はIntel Xeonなどの同一CPUでもSkylake、Haswellなどの世代ごとに細かく改良されており、犠牲者のCPU世代に対応した注入が必要である。また、アドレス空間を犠牲者と揃える必要があるため、犠牲者のアドレス空間への詳細な理解が必要である。そのため、攻撃の難易度は高いとされている。

論文[3]では、WindowsのDLLを活用した攻撃例が報告されている。Project Zeroでは、極めて制限された状況ではあるが、KVMのゲストからホストのカーネルメモリが読み出せたことが報告されている[5]。

影響の範囲

Intel製、AMD製、ARMなどのMeltdownよりも広範囲のCPUに影響が及ぶことが指摘されている。根本的な原因は、投機的実行と分岐予測という近年のプロセッサの高速化技術そのものにあり、対策も難しい。

対策

本攻撃は、コンパイラやブラウザなどのユーザ空間での対策が主に検討されている。LLVMやGCCなどのコンパイラでは、branch target injectionの対策のために、Googleの研究者が提案した**retpoline (return trampoline)**[6]の導入が進められている。ChromeやSafariなどのブラウザでは、プロセス構成を工夫し、時間計測に誤差を導入するなど、攻撃の難易度を高めている。

また、プロセッサベンダーによる改良が検討されている。Intelはコード中の適切なタイミングでのLFENCE命令の挿入を推奨している。LFENCEは投機的実行にバリアを設ける命令であり、配列境界チェックの直後に挿入すれば、配列の境界を超えたアクセスは禁止される。

静的解析などによる自動的な挿入が可能であるが、過度な挿入は性能が大幅に低下する。Branch

Target Injectionに関しては、CPUのマイクロコード更新が進められている。IBRS、STIBP、IBPBなどの複雑だが間接分岐予測を制限する機能が導入され、将来のプロセッサではさらに改善するとIntelは主張している。また、SMEP、XDビット、CET、Protection Keys、SMAPなどの最新セキュリティ機能の付帯利用も提案している。

まとめ

本稿では、CPUの脆弱性に対する攻撃である「Meltdown」と「Spectre」について解説した。これらは最新のハードウェア・アーキテクチャの問題であることから、ソフトウェアに脆弱性が存在しなくても攻撃可能であり、情報の窃盗を検知することも難しく、また、マイクロコードの修正でも完全な対応が難しく、本質的にはプロセッサの交換やISA (instruction set architecture) の再設計が必要な攻撃として、業界関係者に大きなショックを与えた。

これらの攻撃の発見は、PattersonとHennessyによる有名なハードウェア・アーキテクチャの教科書[7,8]の改訂時に「Fallacies and Pitfalls」として取り上げられたであろう事件であり、どのような記述となったか楽しみではあるが、今後改訂されない恐れもある。

本稿では、ページ数の制約により攻撃の概要を述べるにとどまったが、不正確な情報に惑わされず、正確な情報の把握や対策のヒントとなれば幸いである。

参考文献

- [1] The Register, "Kernel-memory-leaking Intel processor design flat forces Linux, Windows redesign, Jan. 2, 2018.
- [2] M. Lipp et al., "Meltdown", ArXiv (1801.01207), Jan. 2018.
- [3] P. Kocher et al., "Spectre Attacks: Exploiting Speculative Execution", ArXiv (1081.01203), Jan. 2018.
- [4] Intel, "Intel analysis of speculative execution side channels", Jan. 2018.
- [5] Google Project Zero, "Reading privileged memory with a side-channel", Jan. 3, 2018. <https://googleprojectzero.blogspot.jp/2018/01/reading-privileged-memory-with-side.html>
- [6] P. Turner, "Retpoline: a software construct for preventing branch-target-injection". <https://support.google.com/faqs/answer/7625886>
- [7] D. Patterson and J. Hennessy, "Computer organization and design" (6th: RISC-V edition), 2017.
- [8] J. Hennessy and D. Patterson, "Computer Architecture: A Quantitative Approach" (6th), 2017.

スパコン可視化道場

本センター学際大規模計算機システムで利用サービスを行っているAVS/Expressの最新バージョン8.4がリリースされ、学内ユーザ向けダウンロードサービスを行っています。新バージョンの解説書を確認していたところ、可視化作業において便利なモジュールが存在していることに気がつきました。本記事においては、そのような可視化作業を支援するモジュールについて解説します。

番外編36

可視化作業を支援するモジュールの紹介

マウスピックによる回転中心の指定

可視化結果をさまざまな方向から観察するために、マウスを利用して表示ウインドウ内でオブジェクトを回転させます。このとき、回転中心は表示されているオブジェクトの中心に設定されています。したがって、中心から離れた比較的端に位置する領域をさまざまな方向から観測するためには、回転、移動および拡大などの操作を繰り返し行わなければなりません。この場合、回転中心を注目する観測領域のおよそ中心に設定することで、表示結果の調整を簡単に行うことができます。このような目的のために、モジュール**PickCenter**が利用できます。

モジュール**PickCenter**および後で説明するモジュール**ZoomBox**は、図1に示すとおりライブラリページ**Accessories**、ライブラリ**Graphics**の中のライブラリグループ**Interactivity**の中にあります。ライブラリグループ**Interactivity**をマウスでダブル・クリックすると保存されているモジュールが表示されます。

図2にモジュール**PickCenter**の接続方法を示します。ネットワークエディタのワークスペース内にモ

ジュール**PickCenter**およびモジュール**Uviewer3D**をコピーし、それらを相互に接続します。そのとき、接続するポートまたは色に注意してください。この接続はモジュール**Uviewer3D**に入力されるデータの種類の依存しません。図2においては、モジュール**ReadUCD**の出力をモジュール**Uviewer3D**に直接接続しています。

図3に、可視化結果を示します。これは大規模電磁界解析システム**Jet FDTD**を利用して計算されたアレーアンテナの3次元放射指向特性です。この可視化結果に対して、回転中心に設定したい位置を、マウスを利用して指定します。指定するときは、マウスカーソルを可視化オブジェクトの所望位置に移動し、キーボードの**Ctrl**キーを押しながら**マウスの左ボタン**を押します。そうすると、指定された位置に、図3の左下に赤色で示される3次元座標軸を表すグリフが表示されます。この後、マウスを利用してオブジェクトを回転させることで、指定した位置が回転中心になっていることを確認できます。ただし、可視化オブジェクト以外の空白の位置を指定しようとしても、回転中心を指定できないことに注意してください。

グリフの大きさはコントロールパネルで設定できます。図4にコントロールパネルを示します。パラメータは寸法(**Scale**)のみです。現在の設定は**20**で、可視化オブジェクトに比較して大きく設定しています。グリフを気に入らない程度に小さい寸法にするためには、その値を小さくし、表示させたくないときは**0**に設定してください。



図3.可視化結果と設定された回転中心位置を表すグリフ

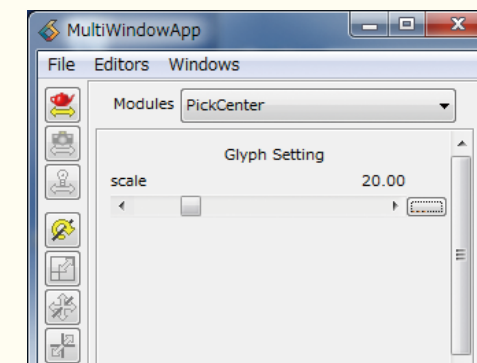


図4.モジュール**PickCenter**のコントロールパネル

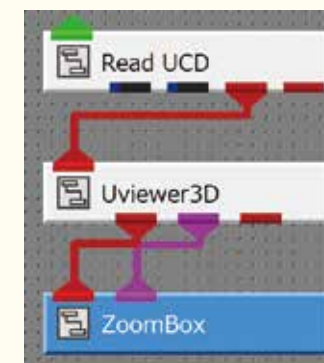


図5.モジュール**ZoomBox**の接続方法

マウスドラッグによる表示拡大

大規模可視化では全体を把握することに加えて、特徴的な部分を詳細に観測したいものです。そのような目的で利用可能な可視化モジュールとして**ZoomBox3D**があり、そのモジュールの利用方法を本誌42号可視化道場・番外編31で紹介しました。モジュール**ZoomBox3D**はAVS/Expressバージョン8.3から利用できるようになった比較的新しいモジュールです。そのコントロールパネルは豊富なパラメータ設定に対応し、高品質な可視化結果が得られるように配慮されています。一方、可視化作業中においては単純な方法で表示拡大を行いたいものです。そのような要望に応えるのがモジュール**ZoomBox**です。モジュール**ZoomBox**はコントロールパネルを持たず、パラメータの設定を行う必要がありません。すべての操作が可視化画面内で行うことができます。

図5に、モジュール**ZoomBox**の接続方法を示します。モジュール**ZoomBox**はモジュール**Uviewer3D**の2つの出力を入力とし、出力ポートがありません。接続の際には同じ色の入出力ポートをそれぞれ接続するようにしてください。

次に、拡大表示したい領域を**マウスの右ボタン**をドラッグすることで指定します。範囲指定中のようすを図6に示します。範囲指定した矩形枠内部が白く塗り潰されていますが、動作上問題はありません。マウスの右ボタンを元に戻すと、直ちに表示が拡大されます。図7は拡大した表示結果であり、指定した範囲が画面内にすべて含まれるような調整が自動的に行われています。同様の操作を繰り返すことで、連続して表示を拡大することができます。

以上のように、モジュール**ZoomBox**を利用することで、表示拡大を単純な操作で実現できます。したがって、可視化のデモンストレーションや注目領域の手動探索などに適用するのが有効であると思います。ただし、モジュール**ZoomBox**を利用する場合、表示画面が透視投影状態になっているとエラーメッセージが表

示され、表示拡大が行われません。必ず、平行投影状態で利用してください。

まとめ

本連載記事においては、可視化作業において便利であろうと思われるモジュールについて解説しました。それらはモジュール**PickCenter**とモジュール**ZoomBox**です。モジュール**PickCenter**を利用することで、注目領域を的確に捉えることができます。また、モジュール**ZoomBox**はすでに解説を行ったモジュール**ZoomBox3D**に比較して単純な操作で表示拡大を実現できます。AVS/Expressには、可視化作業を支援するモジュールが数多く用意されていることから、今後も機会あるごとに紹介したいと考えています。

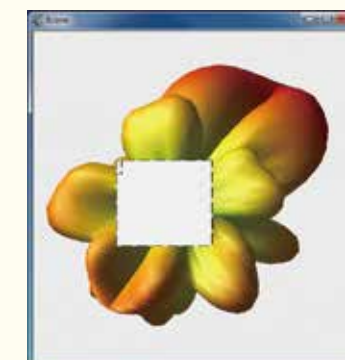


図6.マウスの右ボタンを利用した領域の指定



図7.指定された領域の拡大図

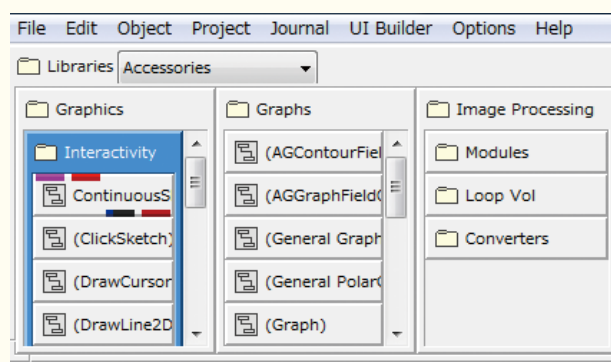


図1.モジュール**PickCenter**およびモジュール**ZoomBox**の保存場所

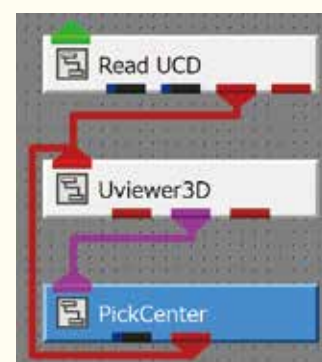


図2.モジュール**PickCenter**の接続方法

平成30年度センター萌芽型共同研究課題の募集

本センターでは、これまで公募型共同研究課題の募集を通じて、学内および学外の研究者とセンター教員が共同で行う研究を継続的に支援してきました。平成30年度は昨年度に続き「萌芽型共同研究」として、情報基盤を利用したグランドチャレンジ的な研究と、これを推進するための学際的な共同利用・共同研究に関する研究課題を募集いたします。応募を希望される方は、「計算資源利用型（JHPCN萌芽型共同研究）」か「研究集会開催支援型」のいずれかを選択し、所定の応募様式に従って、期日までに申請してください。公募要領および申請書については、下記ページで公開しております。

申請受付期間：平成30年3月1日(休)～平成30年4月6日(金)

実施期間：採択決定日（平成30年5月上旬を予定）～平成31年3月31日(日)

公募要領等：http://www.iic.hokudai.ac.jp/kyodo_kenkyu/

平成30年度「京」を中核とするHPCIシステム利用課題の選定結果

本センターが計算資源提供機関として参加しているHPCIでは、平成30年度システム利用課題（年二回募集の第一回目）の選定結果を、平成30年度2月22日(休)に公表しました。「京」以外のHPCIシステムを利用する課題の採択数は66件で、うち60件が一般利用、6件が産業利用でした。北大スパコンを利用する課題は2件（配分合計時間：242,709ノード時間）でした。HITACHI SR16000/M1を中心とする現行システム、および年度途中に稼働する次期システムを通じて、活発なシステム利用による優れた研究成果を期待しております。

ホームページ：<http://www.hpci-office.jp/>

平成30年度HPCI-JHPCN共同研究採択課題選定結果

本センターが構成拠点として参加する「学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点（通称：JHPCN）」では、平成30年度共同研究課題の募集に続いて、課題審査を実施し、下記の表に示す採択結果となりました。（ ）内の数値は本センター利用分で、内数となっております。

応募課題数	採択課題数	採択率
70 (16)	52 (6)	0.74 (0.38)

採択された共同研究は4月1日(日)より実施されます。採択課題の詳細については、下記ホームページをご覧ください。

ホームページ：<https://jhpcn-kyoten.itc.u-tokyo.ac.jp/ja/>

第4回スパコン「京」・HPCIシステム利用研究課題成果報告

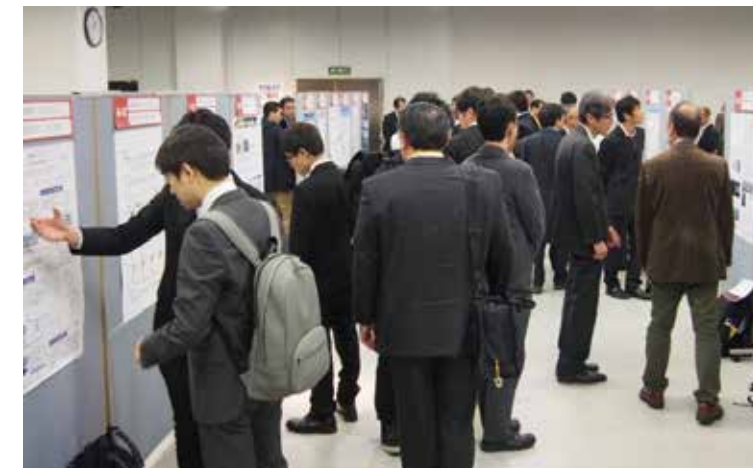
本センターが計算リソース提供機関を担当している「京」を中核とするHPCIシステムについて、第4回成果報告会が下記のとおり開催されました。

この報告会では、招待講演、優秀成果受賞課題による成果発表8件およびポスターセッションが行われました。世界に先駆けたシミュレーション研究が行われており、「京」およびHPCIシステムがこの分野に果たす貢献の大きさを理解することができました。

日時：平成29年11月2日(休) 10:00～18:00

場所：コクヨホール（東京都港区港南）

ホームページ：http://www.hpci-office.jp/pages/h2911_houkokukai



客員研究員によるスパコン利用講習会およびユーザ支援活動報告

客員研究員 高山恒一さんによるスパコン利用講習会ならびにプログラムチューニング等ユーザ支援を、平成29年11月13日(月)から11月17日(金)までの5日間にわたって実施しました。スパコン利用講習会には毎回3名以上のユーザに参加いただき、スパコン活用に際して有効な知識の取得が行われました。また、同時にプログラムの高速化・並列化支援を実施し、スパコンの本格的な研究利用開始に貢献しました。

- 第2回** 11月13日(月) 「HITACHI SR16000の紹介、実行までの手順」
 11月14日(火) 「性能プロファイル（演算と通信）の収集とチューニング1」
 11月15日(水) 「性能プロファイル（演算と通信）の収集とチューニング2」
 11月16日(木) 「MPI並列処理プログラミングと実行1」
 11月17日(金) 「MPI並列処理プログラミングと実行2」
 （いずれも13:30～15:00に実施）

学際大規模計算機システム

〈平成30年度の継続手続きと運用スケジュールについて〉

平成30年度の学際大規模計算機システム利用の継続手続きと運用方針についてご案内いたします。
iiC-HPCニュース45号で案内したシステム更新に関する記載事項に変更がありますので、引き続き本システムをご利用の方も、ご利用を検討されている方もご一読くださいますようお願いいたします。

■ 平成30年度の継続申請手続き期間がまもなく終了します。

申請期限は**平成30年3月27日(火)**までとなっておりますので、お早めの手続きをお願いします。
学際大規模計算機システム利用の継続申請には、利用者番号、バルク番号、クラウドシステム利用、及びストレージサービス利用それぞれの申請が必要になります。利用者番号の継続を行わなかった場合、4月中旬にデータをすべて削除します。また、利用者番号の継続を行っても、クラウドシステム利用の継続を行わなかった場合、4月中旬にサーバ自体を削除しますので、ご注意ください。

■ 大型計算機システムの利用者番号の継続

「利用申請書（継続）」は利用者番号の継続手続きを行うためのものです。平成29年度ご利用いただいた利用者の皆様のうち、利用期限が3月31日となっている支払費目（課金番号）ごとに「利用申請書（継続）」をお送りしておりますので、内容をご確認いただき手続きをお願いいたします。この手続きは北海道大学所属で登録情報に変更の無い利用者様のみ情報基盤センターポータルページでも行うことができます。
また、スパコンの付加サービス（S50コースなど）の他、アプリケーションサービスの付加サービス（A1コース）を同時に行うことができます。

■ クラウドシステム、ストレージサービス、バルク利用の継続

これらのサービスは図1の流れのとおり、利用者番号の継続手続き後に行う必要があります。お忘れのないようお願いいたします。

●クラウドシステム、ストレージサービス利用を継続する場合
情報基盤センターポータルページからそれぞれ「クラウドサービス」タブ、「ストレージサービス」タブから継続申請を行ってください。なお、ストレージサービスの高速オンラインストレージ（WebDAV）において、基本サービス経費内で100GBまで追加負担金なしで利用できますが、この範囲内で翌年度もご利用いただく場合、追加の操作は必要ありません。

●バルク利用を継続する場合
バルク管理者、及びバルクメンバ各自の利用者番号の継続申請が承認済である必要があります。

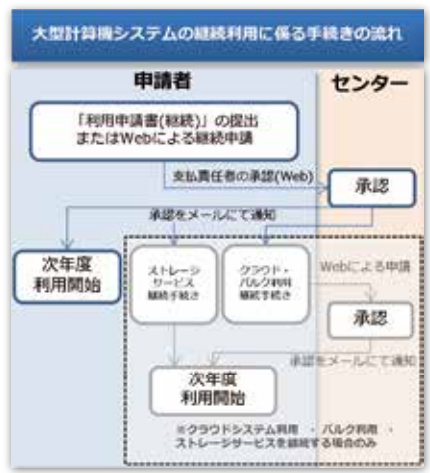


図1. 大型計算機システム利用継続手続きの流れ



図2. 利用申請書（継続）

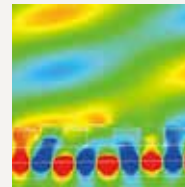
■ システム更新に伴う平成30年度の各サービスについて

平成30年12月にシステムを更新する予定です。このため、平成30年度の各サービスは下記のとおり予定していますので、予めご留意くださいますようお願いいたします。なお、次期システムのサービス概要は次号以降でのご案内を予定しています。

表 平成30年度のサービス提供方針

	現行システム	次期システム
スーパーコンピュータ	平成30年7月末まで	平成30年12月から
ホスティングサーバ	平成30年11月末まで 平成30年4月末までに利用申請したサーバは原則、本センターで次期システムへ移行します。 (サーバ環境によっては移行できない場合があります)	平成30年12月から 本センターが次期システムへ移行するサーバが対象で、新規受付は行いません。
プロジェクトサーバ		平成30年12月から クラウドサーバ（仮想サーバ、物理サーバ、GPU物理サーバ）に名称変更予定です。
アプリケーションサーバ	平成30年11月末まで 以下のアプリケーションは 平成30年3月末 をもってサービスを終了します。 ・Amber ・Marc ・ANSYS ・Marc Mentat ・ANSYS Fluent ・MD. Nastran ・LS_DYNA ・Patran	平成30年12月から
オンラインストレージ (Proself)	平成30年11月末まで	平成30年12月から
WebDAV ストレージ (ownCloud)	平成30年11月末まで	平成30年12月から
AmazonS3 互換 オブジェクトストレージ	平成30年11月末をもってサービスを終了します。	—
ダウンロードサービス ・Mathematica ・AVS/Express	平成30年11月末まで	平成30年12月から
利用者端末室設置の端末	平成30年11月末をもってサービスを終了します。	—
大判プリンタ	平成30年11月末まで	平成30年12月から 新大判プリンタのご利用にあたり、出力端末に改めてアカウント作成が必要となります。

次期システムのサービス開始日時は追ってご案内いたします。なお、スーパーコンピュータ以外の現行システムから次期システムへの切り替えは数時間～1日程度の停止を伴う見込みです。ご理解、ご協力をお願いいたします。



●メールマガジン講読のご案内

本センター学際大規模計算機システムに関するさまざまなお知らせ（運用予定、利用講習会、講演会案内、トピックス）、また、利用法に関するヒントをメールマガジンでお届けしています。メールマガジンを講読されるためには登録が必要です。下記ホームページで登録を受け付けています。本センターの利用登録の有無に関わらず、メールマガジンの講読が可能（無料）ですので、この機会に是非登録されてはいかがでしょうか。

●メールマガジンの登録または削除

<http://mmag.hucc.hokudai.ac.jp/mailman/listinfo/mmag>

●スパコンのための情報サービス一覧

情報サービス	内 容
利 用 者 受 付	学際大規模計算機システム利用のための登録・総合情報 TEL 011-706-2951
利 用 講 習 会	使い方・プログラム講習 http://www.hucc.hokudai.ac.jp/kosyu/kosyukai.html
メルマガ情報	さまざまな学際大規模計算機システム情報の速報 http://mmag.hucc.hokudai.ac.jp/mailman/listinfo/mmag
iiC-HPC	大型計算機システムニュース、その他ダウンロード http://www.hucc.hokudai.ac.jp/koho_syuppan.html

●編集後記

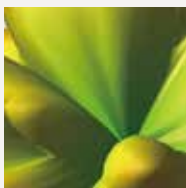
特集記事はいかがでしたでしょうか。取材に対応してくださった静岡大学 佐藤先生は本学大学院博士後期課程を修了されていることから、北大スパコンを継続的に利用されています。このように、多くの利用者が最先端研究に北大スパコンを活用していただいていることに感謝するとともに、今後もきめ細かなユーザ支援と安心・安全で快適な利用環境を維持していきたいと考えています。

●次号の特集予告

本センターでは、平成30年度に学際大規模計算機システムの更新を予定しています。次期システムは、現行システムに比較して性能や使い勝手に優れた魅力的なシステムであり、皆様に引き続き利用していただきたいと考えております。そこで、次号以降2回にわたって、主要システムであるインタークラウドシステムおよびスーパーコンピュータシステムの特集を企画予定です。

●本誌へのご意見をお聞かせください。

連絡先: kyodo@oicte.hokudai.ac.jp
北海道大学 総務企画部 情報企画課 共同利用・共同研究担当
TEL 011-706-2956 FAX 011-706-3460
iiC-HPCニュースは本センターホームページからダウンロード可能です。
http://www.hucc.hokudai.ac.jp/koho_syuppan.html



iiC-HPC 第47号

編集・発行：北海道大学情報基盤センター共同利用・共同研究委員会システム利用専門委員会

● 情報基盤センター	杉 木 章 義	● 理学研究院	石 渡 正 樹
● 情報基盤センター	岩 下 武 史	● 農学研究院	谷 宏
● 情報基盤センター	大 宮 学	● 工学研究院	萩 原 亨
● 情報基盤センター	深 谷 猛	● 総務企画部 情報企画課	更 科 高 広
● 文学研究科	樽 本 英 樹		

平成30年3月発行 印刷：株式会社 正文舎 TEL011-811-7151

