



海野徳幸 研究室

先進工学部 電子システム工学科 准教授
うんの のりゆき
海野 徳幸 先生



微細な気泡の沸騰コントロールで、 ICチップの冷却を改善

車からパソコンまで、世の中のほとんどの製品で使われるICチップの発熱が大きな問題になっている。もちろんチップ自体改良され進歩しているわけだが、より多くの計算をより高速に行おうとすると電力消費量は増加し、発熱も増大していく。生成AIの普及は高発熱のGPUニーズを爆発的に増大させた。

発熱はチップを積んだ機器の動作に影響するにとどまらず、地球温暖化など社会の持続可能性にとっても大きな問題となる。この課題を解決するために重要なのが熱制御技術だ。開設4年目となる先進工学部電子システム工学科海野研究室では、最新の冷却技術である沸騰冷却の研究に取り組んでいる。

データセンターの冷却問題

大量の電力消費を必要とする例としては、クラウドや生成AIサービスを提供するために膨大なコンピュータを収容・稼働するデータセンターが挙げられる。2030年には全世界におけるデータセンターの年間電力消費量が、1000テラワット時に到達するという試算があるが、これは日本全体で消費する電力量の1年分に相当する。このデータセンターの電力消費の半分近くはコンピュータの冷却に使用されている。

従来、ICチップの発熱を冷却するメインの方法は空冷・水冷だったが、チップの発熱量の増加とともに、十分な冷却が期待できなくなった。また、計算速度を向上させるために、従来は一枚の基盤に水平に並べていたICチップを縦に重ねる3次元実装も登場しており、局所的な単位面積あたりの発熱量（発熱密度）はロケットノズルに匹敵する1000 W/cm²を超える可能性もあると危惧されている。

冷却技術は空冷・水冷以外にも、絶縁性の液体に電子デバイスを直接沈め、デバイスの熱を直接冷やして循環させる液浸（沸騰）冷却や、金属容器内にスポンジ（ウィック）を貼り毛細管力により内部の液体の蒸発と還流を行うベイパーチャンバーやヒートパイプ、冷却容器内液体の沸騰を利用して冷却を実現する沸騰冷却などがある。

「冷却技術はいくつかあるが、冷却用の液体を気泡で攪拌する沸騰冷却が省エネルギーな高発熱対策として有望だ」と、海野徳幸先生は説明する。

減圧下で微細化沸騰をコントロール

海野研の研究テーマでもある沸騰冷却は、発熱するICチップに接する冷却容器の内部の液体が沸騰することで放熱が進む。沸騰した気体は冷却フィンや冷却水などで冷却し、液体に戻る。大気圧下で水が沸騰すると100℃で温度が一定になり、投入されたエネルギーのほとんどは液体から気体に変化するための相変化に使われる。しかし、発熱密度が限界値を超えると沸騰の際の大きな気泡が冷却容器内側表面を覆い、液体に直接熱が伝わりづらくなり、熱伝達性能が急速に低下する。

沸騰の際、大きな気泡を発生させずに微細な気泡の状態を継続させることで冷却を継続させるのが「気泡微細化沸騰（Microbubble emission boiling、略称MEB）冷却」だ。気泡の微細化に必要な温度領域がある。この領域を広げるためには、ICチップの温度が上がっても水温をコントロールする必要がある。そこで海野研では、容器内を真空減圧し、沸点を下げることを考えた。

「富士山の上では気圧が低いので、お湯が沸騰する温度が低いと同じだ。基本的には減圧環境でも、発熱量が増えても表面温度はあまり上昇せずに冷却できるということが沸騰冷却のメリットだ」(海野先生)

沸騰現象は複雑でシミュレーションも困難で実験からアプローチするしかなかったが、水の沸点を50℃近くに設定した場合、従来の沸騰冷却限界値が50 W/cm²以下であったのに対して気泡微細化沸騰により冷却可能な領域を300 W/cm²で伝熱面温度104℃まで広げることが成功した。また、内部水温のコントロールに成功した。

「現状はヒーター温度が沸点+30~50℃程度まで

しか上昇しないことが実験的にわかっており、その範囲で気泡微細化沸騰を実現可能にしている。想定したチップ側からの最大熱流をすべて冷却性能範囲内に収めることが基本的な設計指針だ」という。

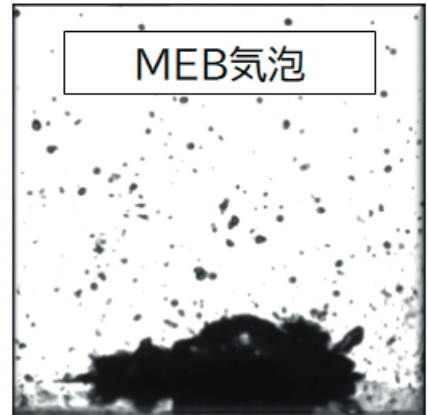
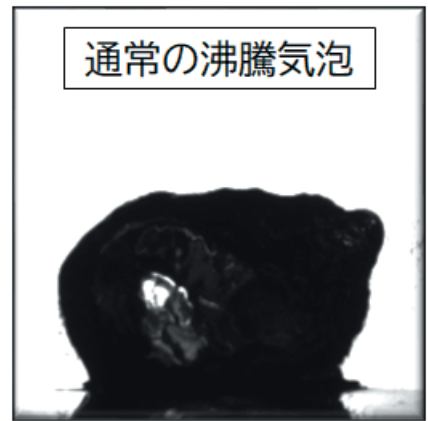
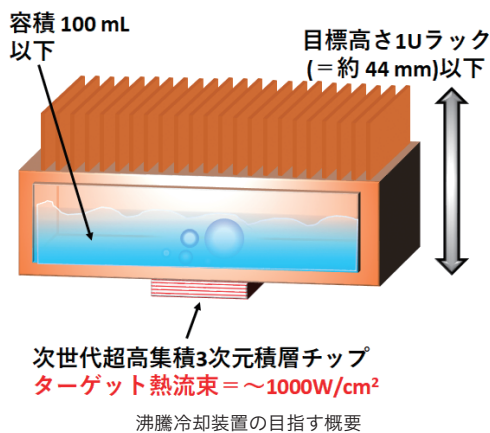
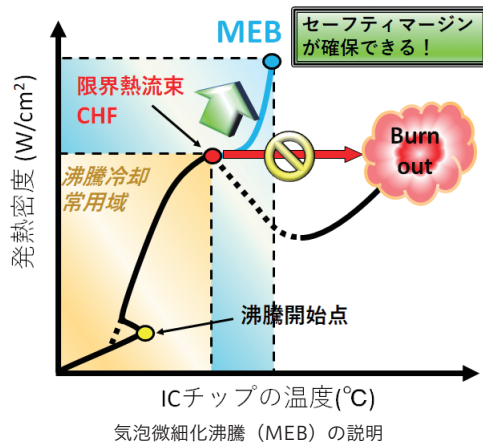
また、海野研ではコンピュータに内蔵して実用化できるように、冷却容器の小型化にも取り組んでいる。データセンターで主に使用されている1Uのサーバーに収納できることを目指しているが、「小さいと沸騰挙動が違ってくることが難しい」(海野先生)という。

「今後は、ナノテクノロジーを利用して伝熱面温度のさらなる低温化と高熱流束化を両立させ、気泡微細化沸騰のための新しい熱制御システムを開発していきたい」と、海野先生は抱負を語る。

モノ作りと実験が一体化した研究室

海野研では気泡微細化沸騰研究のための実験と解析を、所属する院生・学部生がそれぞれパート分けして受け持ち、研究を進めている。

「大きく分けると実験装置などのモノ作り系とソフトウェアによる解析系になる。志望時の面接でそれぞれの興味に合わせて研究テーマを決めていく」(海野先生)



通常の沸騰気泡と気泡微細化沸騰 (MEB) 気泡との違い

M2の熊澤真宏さんはもともと水への関心が大きく、沸騰現象をもっと知りたいと研究室に入ったが、研究室の1期生ということで、実験装置の組み立てなど一から始めたという。モノ作りが好きのため、内定しているメーカーへの就職後もそうした仕事がしたいと話す。

M1の坂野健太さんもモノ作りが好きで、現在は実験装置の改良設計のために図書館で電気制御の資料などを読み込んでいるというが、今後はソフト的なシミュレーションもやってみたいそうだ。

同じくM1の高須建矢さんは入学前から自作PCが趣味で、組み立ての際に必須だった冷却に興味を持っていた。現在は、気泡微細化沸騰をカメラで撮影したデータを元に、遷移予測を行う研究に取り組んでおり、より普遍的な沸騰の法則を発見するために処理プログラムの改良に励んでいる。「皆、研究テーマの正式名称よりも、自分が作ったり実験に使用している装置の名称の方がすんなり言える」(高須さん)。海野研ではモノ作りと実験の流れが一体化した研究が根付いている。

狐塚 淳 (インプレス・デジタル・バリューズ)