

国立研究開発法人 産業技術総合研究所 先端半導体研究センター  
新原理シリコンデバイス研究チーム 研究チーム長  
未踏デバイス試作共用ライン (COLOMODE) リーダー

もり たかひろ  
森 貴洋 様

今回の Interview は、国立研究開発法人 産業技術総合研究所を訪ね、森貴洋先生にシリコン量子ビット型量子コンピュータと集積化技術のご研究についてお話を伺いました。

略 歴	2001年	東北大学工学部応用物理学科 卒業
	2006年	東北大学大学院工学研究科応用物理学専攻博士課程 修了 (博士 (工学))
	2006年 - 2009年	国立研究開発法人理化学研究所に勤務
	2009年 - 現在	国立研究開発法人産業技術総合研究所に勤務 現在、同先端半導体研究センター新原理シリコンデバイス研究チーム、研究チーム長 半導体量子技術および先端ロジックデバイス技術に関する研究開発に従事



「トランジスタの研究で培った集積化技術の知識と、過去に量子デバイスに触れていた経験から、シリコン量子ビットの研究に方向転換し、現在の研究に至っています。」

▶ 先生の現在のご研究について  
ご紹介ください。

現在、私はシリコン量子ビットを用いた量子コンピュータのデバイス技術および集積化技術の研究に取り組んでいます。量子コンピュータは、従来のコンピュータとは全く異なる原理で動作する次世代の計算機です。その心臓部である量子ビットには、様々な方式があり、それぞれに特徴があります。市販されている量子コンピュータでは、超伝導、冷却原子、イオントラップといった方式が用いられています。これらの方式は、それぞれ異なる物理現象を利用して量子ビットを実現しています。

私が研究しているのは、半導体、シリコンを使った量子ビットです。シリコンは、従来のコンピュータの基幹部品であるトランジスタに使われている材料です。シリコンを用いた量子ビットは、既存の半導体製造技術との相性が良く、将来的に大規模な量子コンピュータを実現できる可能性を秘めています。量子ビットの実現方式には、他にも光を用いるなど様々な候補がありますが、どれが最適な方式なのかは、まだ明確にはなっていません。現状では、それぞれの方式に利点と欠点があり、研究開発が続けられています。

▶ ご研究を始められたきっかけと、現在に至る経緯についてご紹介ください。

私が量子コンピュータの研究に触れたのは、約20年前に遡ります。当時、私はポスドクとして理化学研究所で研究をしていました。その頃に、量子デバイスに関わる機会があり、その面白さに惹かれました。それから、産業技術総合研究所に移動して、半導体トランジスタの研究をすることになりました。その後、2014年に理化学研究所当時に一緒に仕事していた研究者と、量子デバイスの研究を細々と始めたの

が、本格的に現在の研究をスタートさせたきっかけです。量子コンピュータの研究開発が盛んになるにつれて、私自身の研究ウェイトも大きくなっていき、2018年には量子デバイス関連のプロジェクトに参画しました。それ以来、量子デバイスの研究開発に専念しています。

学生時代は、どちらかという材料寄りの研究をしていたのですが、博士課程3年生の時に将来のコンピュータ技術について考える中で、量子コンピュータに出会いました。IT技術が発展し、情報化社会が加速する中で、コンピュータの進歩が止まるはずがない、その先のコンピュータはどうなるのだろう、という疑問を抱いていました。そして、様々な文献を調べる中で、量子コンピュータという新しい可能性を知り、理化学研究所の門を叩いたのです。しかし、当時はまだ量子コンピュータの研究は黎明期で、実用化にはほど遠い状況でした。そのため、一度は一般的なトランジスタの研究に戻りましたが、「いつか量子コンピュータの研究を」という気持ちは持ち続けていました。その後、量子コンピュータの研究開発が再び活性化し、シリコン量子ビットの重要性が高まる中で、私はこれまでの経験を活かせるのではないかと考えました。トランジスタの研究で培った集積化技術の知識と、過去に量子デバイスに触れていた経験から、シリコン量子ビットの研究に方向転換し、現在の研究に至っています。

〔指導教官の言葉〕

指導教官である八百隆文先生ひやおさかみの言葉は、今の私があるきっかけを作ってくれたと思っています。当時、卒業を控え、将来について悩んでいた私は、八百先生に相談しました。先生は、「私が君の年だったらね、今と同じことはやらないよ。もっと新しいことをやらなきゃ」とおっしゃりました。今ある技術に目を向けるだけでなく、未来を見据えて、新しいことに挑

戦する重要性を教えてくれたのです。その言葉が、私の心に深く響き、量子コンピュータの研究を志すきっかけになりました。

最近、先生にお会いする機会がありました。「そんなこと言ったっけな?」と笑っておられました。しかし、先生の言葉は当時の私に大きな影響を与え、研究者としての道を歩む上で、大切な指針となりました。

▶ ご研究の今後の展望について  
お聞かせください。

量子コンピュータの実用化には、まだまだ多くの課題があります。現状では、超伝導方式で1,000量子ビット程度の集積が実現されているに過ぎません。量子コンピュータでは100万量子ビットというのが一つの目標となっています。100万量子ビットを達成するには、克服すべき技術的なハードルは高く、時間もかかるでしょう。それでも、量子コンピュータの未来を信じ、研究開発を続けることが重要です。私たちの研究チームは、100万量子ビットの実現を目指せる基盤技術を確認し、将来、誰もが使える量子コンピュータを世に送り出したいと考えています。その過程で、少しでも社会に貢献できれば、研究者としてこれ以上の喜びはありません。新しいコンピュータ技術の登場は、常に人類に夢と希望を与えてきました。コンピュータは、人類の技術発展の基盤であり、計算機なくして技術の進歩はあり得ません。そろばんから始まり、現代のスーパーコンピュータに至るまで、計算能力の向上は、常に技術革新の原動力となってきました。量子コンピュータは、従来のコンピュータとは全く異なる原理で動作する、まさに革新的な技術です。この研究に携わることができるのは、研究者として大きな喜びであり、責任を感じています。

〔シリコン量子ビットの高温動作〕

シリコン量子ビットの高温動作は量子コンピュータの小型化に不可欠な技術であり、重要な研究テーマの一つです。量子コンピュータは、現在、mK台<sup>\*1</sup>の極低温まで冷却する必要があるため、大型の希釈冷凍機が不可欠です。これ

に対し、量子ビットを高温で動作させることができれば、冷凍機を小型化することが可能となり、量子コンピュータの適用範囲を大きく広げることができます。高温といっても、一般的な高温とは違い、mKから数Kへと高くする程度ですが、これにより冷凍機を小型化したり、制御回路の設置場所を変えられるなどの利点があり、将来の集積化につながります。超伝導型量子ビットでは高温動作が難しいため、高温動作できる量子ビットはシリコン量子ビットのみとなります。「Hot Qubit (ホットキュービット)」とも呼ばれ、今、高い注目を集めています。これは技術的に非常に難しい課題ですが、量子コンピュータの小型化に向けて、重要な研究開発テーマです。

## “個々の量子ビットの「特性ばらつき」を抑え、品質を均一にすることが非常に重要”

〔「特性ばらつき」を抑え、集積化技術につながる〕

量子コンピュータの実用化には、多数の量子ビットを集積化する必要があります。集積化とは、単に多数の量子ビットを詰め込むだけでなく、それらを同時に、かつ正確に動作させることを意味します。例えば、私たちのスマートフォンには、10億個を超えるトランジスタが搭載されています。これらのトランジスタが正しく動作することで、スマートフォンは様々な機能を実現しています。量子コンピュータの場合も同様に、100万個を超える量子ビットを同時に、かつ正確に動作させる必要があります。そのためには、個々の量子ビットの「特性ばらつき」を抑え、品質を均一にすることが非常に重要です。

特性ばらつきとは、量子ビットの特性が設計値からばらつき、性能に影響を与えることです。特性ばらつきが大きすぎると、量子ビットが正常に動作せず、量子コンピュータ全体の性能が低下してしまいます。私たちは、集積化技術の研究開発において、特性ばらつきの抑制を最重要課題と捉えています。特性ばらつきを抑え込む技術を開発することで、高性能な量子コンピュータの実現を目指しています。

### ▶ 弊社の装置をご使用いただいておりますが、ご感想をお聞かせください。

20年近くサムコさんの装置とはお付き合いさせていただいています。基本的には、やはり使いやすいと感じています。他の装置と比較するのは難しいかもしれませんが、プロセスが非常に安定しており、信頼性が高い点が魅力です。

3年前に未踏デバイス試作共用ライン(Communal Fabrication Line for Outstanding Modern Devices;



COLOMODEのクリーンルーム内のサムコ製装置4台

COLOMODE; コロモデ)のクリーンルームを立ち上げた際には、サムコさんの装置を4台導入しました。研究においては、信頼できる装置が不可欠です。サムコさんの装置は、まさに研究の大事な相棒のような存在です。

プラズマCVD装置を2台(PD-2201LC)、エッチング装置を2台(RIE-400iPC、RIE-230LC)使用しています。CVD装置は、窒化膜や酸化膜などの絶縁膜やゲート電極としてポリシリコンの成膜に利用しています。

エッチング装置は、ICPとCCPの2種類あり、ICPは絶縁膜や半導体から、薄い膜に限ってゲート金属の加工に使用しています。CCPは配線工程の金属加工に使っています。

### ▶ 日頃のご研究において、心掛けておられることをお聞かせください。

研究現場では、安全確保が何よりも重要です。私たちは実験を行う上で、ガスや高圧ガスなど、危険な物質を扱います。そのため、安全には細心の注意を払っています。

それに加えて、「余裕」を生むことを重視しています。良いアイデアを生み出し、質の高い研究を行うためには、心にゆとりを持つことが重要です。プロジェクトの進行に追われ、プレッシャーを感じ続けるような状況では、創造的な発想は生まれません。本来、研究とは、ゆとりを持って新しいアイデアを考え、未来を創造していくものです。私は、管理職として、チームメンバー全員が余裕を持って研究に取り組めるような雰囲気づくりを心がけています。プレッシャーを感じることなく、自由な発想で研究に取り組める環境こそ、最高の成果を生み出すと信じています。

### ▶ 座右の銘をお教えてください。

特に好きなのは武田信玄の「人は城、人は石垣、人は堀<sup>\*2</sup>」という言葉です。管理職としてチームをまとめる立場として、この言葉は深く心に響きます。研究は、究極的には人によって行われるものです。研究者の能力はもちろん重要ですが、それだけでは十分ではありません。どんな人たちと、どのように協力していくのか。周囲の人たちと良い関係を築き、互いに協力し合うことで、より良い成果が生まれると思います。研究所には、学生、ポスドク、そ



インタビュー中の森様

してプロの研究者など、様々な立場の人がいます。それぞれが成長し、能力を発揮できるように環境を作るためには、一人ひとりの個性や能力を理解し、尊重することが大切です。私自身ではありません。だからこそ、常に周りの人たち

から学び、共に成長していきたいと考えています。人の心の力を信じ、大切にすること。それが、研究活動においても、人生においても、最も重要なことの一つではないでしょうか。

### ▶ 休日とはどのようにお過ごしでしょうか？

休日は、もっぱら子供と過ごす時間に充てています。子供と遊ぶことは何よりも楽しい時間であり、リフレッシュになっています。以前は、野球観戦やランニング、サイクリングなど、自分の趣味を楽しむ時間もありました。しかし、子供が生まれてからは、そういった時間はほとんど取れなくなってしまいました。それでも、子供と一緒に過ごす時間は、以前の趣味に勝るほどの充実感と喜びを与えてくれます。

### ▶ 最後にサムコに対して、一言お願いします。

サムコさんは、日本の半導体技術を支える重要な会社というイメージです。研究から生産まで、幅広い分野で活躍されていることに敬意を表します。特に、生産用の製造装置で培った技術を、研究開発の現場にも展開されている点が素晴らしいと思います。研究者にとって、高品質な装置は研究の成果を大きく左右する重要な要素です。サムコさんの装置は、まさに研究者のニーズを捉え、高い信頼性と性能を提供してくれています。

生産用と研究用の両方に力を入れているからこそ、高いレベルの要求にも応えられる装置を開発できているのだと思います。これからも、研究者に寄り添い、最先端の研究開発を支える装置を提供し続けてください。サムコさんの今後の発展を期待しています。

### お忙しいところ貴重なお時間をいただき、ありがとうございました。

\*1 K(ケルビン) = C(セルシウス) + 273.15。  
1 mKは-273.149℃の極低温となる。

\*2 信玄の「国づくり」の理念は「人は城、人は石垣、人は堀、情けは味方、あだは敵なり」で、国全体が城であり、人の和こそ、まさに山河の険しさに匹敵すると信じた。事実、生涯を通じ、敵に甲斐の地を一步なりとも踏ませることはなかった。山梨県甲府市 Websiteより。

“サムコさんの装置は、まさに研究者のニーズを捉え、高い信頼性と性能を提供してくれています。生産用と研究用の両方に力を入れているからこそ、高いレベルの要求にも応えられる装置を開発できているのだと思います。”