

プロフィール

学 歴 1987年3月 東北大学 大学院工学研究科 電子工学専攻博士後期課程 修了  
工学博士(東北大学)

受賞歴 1992年 (財)日本学術振興会超伝導エレクトロニクス第146委員会賞  
2001年 (財)武田計測先端財団 武田研究奨励賞優秀研究賞  
2004年 (社)未踏科学技術協会 第8回超伝導科学技術賞  
2016年 (公社)応用物理学会フェロー表彰  
2020年 The IEEE Awards for Continuing and Significant Contributions in the Field of Applied Superconductivity

職 歴 1986年4月-1988年3月 日本学術振興会特別研究員(東北大学 大学院工学研究科)  
1988年4月-1992年3月 名古屋大学 工学部 助手  
1992年4月-1993年12月 名古屋大学 工学部 講師  
1994年1月-2004年3月 名古屋大学 大学院工学研究科 助教授  
2004年4月- 名古屋大学 大学院工学研究科 教授  
2019年4月-2020年3月 名古屋大学 理事・副総長  
2020年4月- 東海国立大学機構名古屋大学 副総長



ふじまき あきら  
**藤巻 朗 先生**

東海国立大学機構 名古屋大学 副総長

今回のSamco-Interviewは、名古屋大学の藤巻副総長に、最近注目されている超伝導デバイスなどのご研究についてお話を伺いました。(緊急事態宣言の発令中のため、オンライン形式でお話を伺いました)

▶ 藤巻先生のご研究についてご紹介ください。

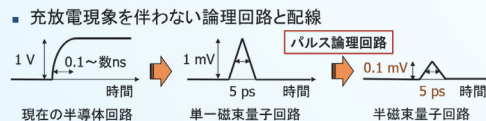
「世界で一番速いコンピュータを作りたい。」という目標を掲げ、超伝導を利用した超高速超低消費電力を有する単一磁性素子回路技術の研究や、磁性ジョセフソン素子を用いた次世代量子デバイスの実現を目指しています。

AIの進展により、ありとあらゆる場にコンピュータの活躍の場が広がる一方、データ量は増大しています。扱うデータ量が増えれば、データセンターの消費電力も増えます。今でも全発電量の約5~10%がデータセンターで使用され、この電力消費の増加が社会問題になろうとしています。より高速で低消費電力なコンピュータが求められる中、私どもは超伝導エレクトロニクスを利用した基盤技術の研究を行っております。

まず、計算速度の話をする。現在の計算機を支える半導体集積回路中では、質量を持った電子が動くわけですが、その電子による信号伝送には必ずエネルギーが必要であり、また光の速度よりどうしても遅くなります。本質的に信号伝送の速い回路を作る場合、光の速度で信号が動くようなものを作らねばなりません。私どもの研究室では、超伝導のループを作り、その中の磁束が量子化されるという超伝導独特の物理現象を用いて、超高速かつ低消費電力を成しえる単一磁束量子回路について研究をしています。磁束には質量はありませんので、動き始めると光の速さで動きます。また、その動きを止めることもできるという特徴も備えています。これらの特徴を活かし、コンピュータの論理回路を構成することを、学生時代に入った研究室で研究をしていました。最近では、より高度なことができるようになり、磁束量子を信号にした8bitのマイクロプロセッサを作れるようになりました。一般的な半導体のマイクロプロセッサは1~2GHzの周波数で動きますが、超伝導技術を使えば50GHz以上の周波数を

実現できるため、単純に速度を約50倍にできる高い可能性を備えています。小さな回路であれば100GHzを超えることも検証済みであり、従来の半導体ではできない高速化を実現しております。

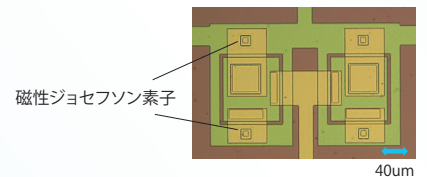
次に、一体どれほどの低消費電力化が可能なのかという話に移ります。単一磁束量子回路の消費電力は、従来の半導体と比べて1万分の1ほどです。ただし、超伝導は冷却を要するというマイナス点があり、そのマイナス分を仮に千倍と考えると、計算上、消費電力は10分の1程度で済むことになります。そこに前述の速度が50倍ともなれば、速度×消費電力という掛け算によって数百倍のアドバンテージがあると考えています。超伝導は抵抗がゼロではありますが、実際は全く電力を消費しない訳ではなく、多少なりとも消費します。停止したり動かしたりするとエネルギーのロスが起こります。



上記の図は、充放電現象を伴わない論理回路と配線の図で、縦軸を電圧、横軸を時間とし、半導体回路と単一磁束量子回路を比較しています。現在の半導体回路では100ピコ秒程度で立ち上がってスイッチします。このスイッチング動作を私どもの単一磁束量子回路ではインパルス状のパルスを用いて行います。パルスの時間幅は5ピコ秒と非常に短時間です。時間軸をなぞってできる三角形の部分でエネルギーを消費し、その後すぐに消費しなくなるというイメージです。面積の大きさが消費エネルギーに対応するため、半導体回路に比べ、消費電力が大幅に削減できます。すでにマイクロプロセッサを50GHzで動かす基盤は構築できています。

一方、磁性体と超伝導体を組み合わせた新しい素子(磁性ジョセフソン素子)を集積回路に使うこ

とも可能となりました。この素子を、単一磁束量子回路の考え方に当てはめると、さらに消費電力が1桁小さい半磁束量子回路が組み上げられます。今は、この回路によって高速低消費電力のメモリーの構築を目指しています。



▶ 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説明ください。

子供の頃から電子工作が好きだったこともあり、東北大学の工学部電子工学科へ進学しました。研究室を選ぶ際、実は超伝導とは全く関係のない生物物理の研究室を希望し、配属も決まっていた。ただ、その教授から兼務している超伝導回路の研究室へ配属を勧められ、結局当初から超伝導の研究に携わることとなりました。その研究室は、磁束量子を情報の担い手とするような世界に先駆けた研究をしていました。先輩もいないという状況でしたが、逆に何でも好きなことができました。喫茶店などで流行していたインベーダーゲームを見て、「これを超伝導で作れば速くて面白そう。じゃあ超伝導で速いものを作ってみよう。」と思って研究を本格的に始め、今の「世界で一番速いコンピュータを作りたい。」という目標に至っています。

▶ 将来の展望についてご説明ください。

超伝導の研究を始めて40年ほどが経ちました。半導体の速度は、1MHzから1GHzまで千倍ほど速くなり、様々なものに応用が進みました。一方で、超伝導には解決すべき課題があり、いまだに研究の域を出ておりません。ただ、この40年間淘汰されずに生き残り、半導体に

は無い高速性と低消費電力性という魅力があるのも事実です。超伝導の研究も2000年頃に、私が学生時代から取り組んでいた磁束量子を使う単一磁束量子回路に方式が置き換わりました。その結果、マイクロプロセッサへの応用や、半磁束量子回路と言ったさらに低消費電力化を図る工夫ができるようになりました。従来の半導体に比べ、速さが100倍、消費電力は1万分の1という優位性があり、冷却のペナルティを考慮しても半導体に太刀打ちできるため、将来は半導体と超伝導の共存も可能であると考えています。

ここでメモリーの話をしていきますと、メモリーは原理的に今以上の低消費電力化、高速化が困難と言われています。メモリーでは1ビットの記憶を担う記憶セルがマトリクス状に並んでおり、x軸とy軸の交点の記憶セルで情報の書き込み、読み出しをします。一般的には、交点を確実に作り出すため、x軸やy軸の配線全体を充電しなければなりません。この長い配線の充電に大きなエネルギーと長い時間を要します。一方、私どもは、磁性ジョセフソン素子を用いて、低電力大容量メモリーを研究室内で作製する研究を進めています。この記憶セルでは、書き込みに必要なエネルギーを熱力学的限界まで低減化させることができます。これにより、インパルス状の電磁波パルスを利用した番地指定が可能となります。パルスは光速でx軸やy軸を伝搬しますし、充電がなくなりますので、高速化と低消費電力化が図られます。このメモリーの集積化については産業技術総合研究所と共同研究をしています。産業技術総合研究所から従来の超伝導集積回路のチップをいただき、そのチップ上に磁性ジョセフソン素子を私どもの研究室で試作します。その工程の中でサムコさんのエッチング装置(RIE-10NR)が活躍しております。

これら超伝導を用いたマイクロプロセッサ、メモリーなどの技術開発が進むにつれて、実用化の障害となっていた課題を解消でき、その先の半導体システムと共存する姿が見えてきたと感じております。また、超伝導量子計算機の研究も進めており、これと結び付けることができれば、名実ともに世界で一番速いコンピュータが実現できます。

#### ▶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。

満足しております。当研究室に、エッチング装置(RIE-10NR)が2台あり、超伝導材料のニオブと窒化ニオブ薄膜のエッチングに加えて、配線層のコンタクトホール形成に向け、シリコン酸化膜(SiO<sub>2</sub>膜)をエッチングする際に使用しております。前述の産業技術総合研究所から提供されるチップは数が限られ非常に貴重であるため、加工の失敗は許されず、エッチング装置には高い制御性と再現性が求められます。技術が未熟な学生もサムコさんの装置を使っていますが、トラブルになったことは聞いたことがなく、非常に優れた制御性、再現性を有した信頼性の高い装置であると感じております。

#### ▶日頃のご研究において心掛けておられることはどのようなことでしょうか？

学部生の頃、研究室の教授から「物事の本質を考えろ」と、指導を受けたことを今でも覚えています。その後は、物事や事象の本質を考えるようになり、研究に打ち込む姿勢も変わりました。今でも常に心掛けており、学生にも伝えるようにしております。

#### ▶座右の銘をお教えください。

研究をしていると自分の思い通りにいかないこともあります。その時は「人事を尽くして天命を待つ」という、ことわざを頭に思い浮かべます。重要なのは前半で、本当に自分のできることを精一杯やったのか?と、自らに問いかけるようにしています。

また、教育に携わる者として「後生畏るべし」という言葉も常に念頭に置いております。実は本学の附属高等学校には、将棋の藤井聡太さんが在学していました。キャンパスで見掛ける機会は無かったのですが、年齢の若い方でも凄い人はいますよね。藤井さんも私よりはるかに年下ですが、将棋で私が藤井さんに勝てるわけがありません。世界には才能を持っている若い人が沢山いますので、「後生畏るべし」の言葉のように、今後も将来有望な若い人達の才能を伸ばしてあげられる教育者でありたいと思っております。

#### ▶休日などはどのようにお過ごしでしょうか？

最近は大学の仕事が多く、休日にゆっくり過ごすことが難しくなっています。元々、モノを作るのが好きだったこともあり、最近はテレワーク用としてPCディスプレイを設置する架台を自作しました。また、今やりたいことは真空管のラジオを作ることです。今の時代、そもそも真空管が売っていないのですが、実は10年ほど前に秋葉原で購入済みです。これで準備万端と思いきや、真空管を装着するソケットを買い忘れてしまい困っております。ドイツの知り合いに話を聞くと、ドイツでは今でも真空管ラジオのキットが販売されているらしく、それを買った方が早いかも思っております。こういった夢を見ながら休日は過ごしております。

#### ▶最後にサムコに対して一言お願いします。

サムコさんには、私たち研究者にとってずっと味方でいてほしいと思っております。研究開発用の装置は、試料の大きさがまちまちだったり、条件がまちまちだったり、高いフレキシビリティが求められます。一方で、必ずしも台数が出ないかもしれません。ただ、いつか大きく化ける技術となるかもしれず、そこに期待して、今後もご協力いただければと思っています。プラズマを用いた装置は、想定外のことが起こりやすいのですが、サムコさんの経験を活かしていただいて、できるだけ制御性、再現性の高い装置を供給していただけますと、我々研究者の成果も出やすくなり、非常に助かります。今後もご支援をお願いいたします。

お忙しいところ貴重なお時間を頂き、誠にありがとうございました。