

■冷凍部会たより

2024年7月1日(月)第2回例会を東京大学物性研究所研究所@柏キャンパスにて開催した。昨今、次世代高性能コンピュータとして超伝導量子コンピュータが注目されているが、本コンピュータの動作に必要な超低温環境を生成・維持する装置は、現状では希釈冷凍機のみである。今回の参加者は講師を含め現地参加者39名、WEB参加者36名の総勢75名という盛大な例会となり、超伝導量子コンピュータの社会的関心度の高さが窺える例会となった。

今回取り上げた希釈冷凍機は1950年代初等にオックスフォード大学のロンドンがその原理を発表し、それから10年以上経過した1960年代中期に実際の希釈冷凍機が実現した比較的新しい技術である。希釈冷凍機は数mKの超低温に到達することが可能であり、当初は低温物性研究目的に最低到達温度を競い合っていたが、近年では超伝導量子の特異性を利用する装置の主要構成機器としても重要になっている。特に最近の希釈冷凍機は理化学機器としてではなく産業機器として、使い易さを求めて液体ヘリウム予冷不要な小型冷凍機搭載機種や大容量冷凍能力機種が製品化されている。そこで、今例会では希釈冷凍機に親しい4名の講師を招き、その冷却原理、応用先、最先端機種の性能等について講演を頂いた。

最初の講演は、大阪公立大学名誉教授の畑徹氏から「希釈冷凍機の冷凍原理と製作上の留意ポイント」という題目で、希釈冷凍機の原理に主眼を置いた講演であった。講演では、Heの相図を示し、Heの特異性や4Heと3Heの差異について丁寧な解説があった。また、昨今普及が著しい小型冷凍機付き希釈冷凍機(世の中では”Dry-Dilution”と呼ばれている)にも言及し、従来の液体ヘリウム利用希釈冷凍機との対比をした。尚、希釈冷凍機を用いる際の注意点としては、「重力場であることが必須」とのこと。冷凍を発生する混合器内では、重力により軽い3He濃密相が重たい希釈相の上部に分離する配置となっている。

2つ目の講演は産業技術総合研究所中川久司氏による「希釈冷凍機のための熱交換器材の研究開発」であった。希釈冷凍機の性能(最低到達温度)を左右する要素機器に熱交換器がある。熱交換器は高温側と低温側とで2つの異なる熱交換器で構成されている。高温側は連続的な温度分布をもつ「Tube-in-tube熱交換器」で、低温側は銀粉末を焼結した多孔質体(銀焼結体)を用いて大きな表面積をもち、不連続な温度分布をもたせた特殊な「ステップ熱交換器」となる。高温側のTube-in-tube熱交換器だけでも希釈冷凍機は50mK~100mKに到達することができる。しかし、固体と液体ヘリウム界面に大きな温度差をつくるキャピツァ熱抵抗(熱抵抗)が問題となるような温度域(10mK)に到達するためには100m²級の表面積をもつステップ熱交換器が不可欠である。中川氏はこのステップ熱交換器について研究をしており、実験データを示しながら実装技

術の説明を行った。また、世界の代表的な希釈冷凍機の性能を図に表し、日本の技術は世界屈指の素地があることを示した。希釈冷凍機の冷凍能力は3Heの循環量を増やせば増大するが、やがて、循環する3Heの粘性発熱等のため冷凍能力が減少に転じる。このため、最低到達温度は3He循環量に対して極小値を持つことも図で示した。

3番目の講演では、東京都市大学の上床美也氏による「希釈冷凍機ユーザーからの視点と要望」を拝聴した。本講演者は、今回の会場である東京大学物性研究所にて、長年希釈冷凍機を用いた超低温且つ高圧環境下での物性研究を行ってきた研究者であり、希釈冷凍機ユーザー視点で講演を行った。従来の液体ヘリウム利用希釈冷凍機とDry-Dilutionを比較して、Dry-Dilutionの特に良い点2つを次のように述べていた。①低温真空封止部が無く、常温Oring真空封止で信頼性が高い、②大きな試料空間が可能であり、大型試料を装着できる。

最後はブルーフォース株式会社大田剛司氏の「BlueFors希釈冷凍機のラインアップと戦略」の講演であった。超伝導量子コンピュータ用の希釈冷凍機として世界を席巻しているBlueFors希釈冷凍機を改めて紹介し、その特長を以下のように纏めていた。①大容量冷凍能力(1mW@100mK, 30μW@20mK)、②4,000本以上の高密度配線、③Side Loading仕様(1スロット毎にまとめてセミリジッド同軸線を取付け後、側方から一括挿入する事が可能)④アクセスが容易な大型冷却空間。講演スクリーンに映し出されたコールドボックス内に高密度配線を実装した写真は実に壮観であり、美しい文様のように配線が施されて、美術品を鑑賞しているような錯覚を感じるほどであった。ブルーフォースの戦略は単に希釈冷凍機を販売するのではなく、信号・計測線や温度センサー等の装備品を充実させ、且つPCソフトによる全自動超低温システムとしてサービスを提供することと述べていた。

さて、講演を聞き終えて思ったことがある。現状超伝導量子コンピュータには希釈冷凍機が不可欠であり、希釈冷凍機は大容量化と量産化が望まれている。その一方で、作動媒体であるヘリウムの入手困難さが気に掛かる。特に3Heは4He以上に入手が困難で価格が極端に高騰している。国家安全保障の観点から、ヘリウム(4He)とその同位体(3He)をどのように確保するかは重要な課題であると言えよう。

尚、今回の会場は東京大学物性研究所低温液化室鷺山様のご好意に寄るところが大であり、誠に感謝している。最近ハイブリッド形式の講演会が要求されており、現地参加者とWEB聴講者とのシームレスな会場運営が要求されているが、それに必要な機材の配置とセッティングも鷺山様の尽力で行うことができた。誠に感謝しきれない程のご支援に頭が下がります。鷺山様に感謝!

(NIFS 吉田茂)