

2020年度第3回関西支部講演会（オンライン）を2021年2月5日（13時30分～16時55分）にWebexを使って開催した。講演者を含め29名（大学・公的機関14名、会社関係・一般15名）の参加者があり、毎年恒例の新年情報交換の集いに加え、次世代の情報技術として近年期待が高まっている量子コンピュータ・量子技術の特別講演を行った。

関西支部支部長の武田実氏による開会の挨拶に続き、以下の5件の講演が行われた。

1. 「神戸製鋼所の製品および技術の紹介」  
川嶋慎也氏
2. 「鈴木商館の製品および技術の紹介」  
中村靖氏
3. 「ジェック東理社の製品および技術の紹介」  
前田実氏
4. 「山本電機製作所の製品および技術の紹介」  
福本祥一氏
5. 「量子コンピュータ・量子技術に関する特別講演」  
根来誠氏（大阪大学）

神戸製鋼所・技術開発本部の川嶋氏の講演では、神戸製鋼所グループおよびジャパンスーパーコンダクタテクノロジー（JASTEC）の事業概要に続きITER向けに開発したNb<sub>3</sub>Sn線材の詳細や今後の線材開発の方針に関する発表があった。

神戸製鋼所グループの事業は、大きく分けて素材分野（60%）、機械分野（34%）、電力分野（4%）、その他（2%）からなっており、超電導事業に関しては、神戸製鋼所総合技術研究所および100%出資子会社のJASTECがそれぞれ新規線材、マグネットの研究開発および線材・マグネットの製造販売を担当している。

JASTECでは、研究用をはじめNMR用、MRI用、単結晶Si引き上げ（MCZ）用、磁場中熱処理（HDDおよびHRAM）用、さらにITERのための磁場核融合炉用の超電導線材やこれらを使った超電導マグネットの製造販売を行っている。このうちITER用のNb<sub>3</sub>Sn線材については、TFコイル用として2008年から2010年の間に40トン（全量の1/10）、またCSコイル用として2012年から2015年の間に60トン（全量の3/7）もの製品を製造して納入した実績があるという。

このITER用の超電導線材の納入に関しては、満たすべき臨界電流密度J<sub>c</sub>や生産量は従来のJASTECの実績を大きく上回るものであった。J<sub>c</sub>はそれまでNMR用の高J<sub>c</sub>タイプのもので~800A/mm<sup>2</sup>であったが、TFコイル用には700A/mm<sup>2</sup>以上、CSコイル用には900A/mm<sup>2</sup>以上@12Tの性能が求められたという。また生産量も従来は年間10トン程度であったものが7年間で100トンと大幅な増産が必要であったという。これらの要求を満たすため、ブロンズ法によるNb<sub>3</sub>Sn線

材の製造工程や線材設計においていくつかの工夫がなされたということである。まず、Sn濃度の減少（16%→15%）を行うことにより安定な製造を実現。またNbフィラメント径を従来の3μm以上のものから2.8μmまたは2.3μmへと細線化し、さらに従来の650℃×100hの熱処理過程に加え、少し低めの570℃での予備的な熱処理過程を導入することによって高J<sub>c</sub>化を達成したという。さらにCSコイル用に高いJ<sub>c</sub>を有する線材を得るために、Nb/Taバリア材を導入することによってACロスの低減を達成したという。

超電導線材の製品開発においてこのような実績を有する神戸製鋼所であるが、さらなる高J<sub>c</sub>化や高強度化に向けて、Cu母材分散Sn法やCu-Zn母材分散Sn法Nb<sub>3</sub>Sn線材の開発を行っているという。

鈴木商館・低温機器部の中村氏の講演では、会社の事業概要に続き、低温機器部における詳細な事業内容の紹介、液体窒素循環装置およびその他低温機器の紹介が行われた。事業部門はガス部門、産業機器部門、空調部門、化学品部門、低温機器部門、技術部門、高圧機器部門、およびこれら部門を支える技術本部からなっているという。さらにこの技術本部には技術部、高圧機器部、生産部、そして極低温関連機器や超電導関連機器の設計・製造販売およびクライオポンプ・極低温冷凍機のメンテナンスなどを担う低温機器部がある。この低温機器部は1979年にクライオポンプ市場に参入したことから始まり、2012年4月までは自社製クライオポンプの製造販売なども行ってきた。しかし、現在は製造を中止し、半導体製造装置メーカーを主な取引先としたメンテナンスのみのサービスを行っているとのことである。

また鈴木商館が商品化している液体窒素循環装置には機械式冷凍機利用方式と液体ヘリウムや液体窒素などの寒剤利用方式があり、それぞれの装置の特徴が紹介された。機械式冷凍機利用方式として、鈴木商館製GM冷凍機3台が取り付けられたSCL-450Nの場合、液体窒素の循環量は2~12L/min、冷凍能力は450/500W（50/60Hz）@80Kであるが、コンプレッサーを使用するため消費する電力は約23kWにもなるという。また立上時の液体窒素消費量が100Lとのことである。

一方寒剤方式の循環冷却システムの場合、液体供給、温度、圧力、流量などの操作はほぼ全自動で行うことが可能であり、液体窒素の循環量は5~12L/min、冷凍能力は1.0kW@80K、消費電力は約0.7kWであり、液体窒素の蒸発量は立上時に200L、500W動作時で350L/day必要とのことである。

る。

その他の商品として、ユーザーの要望に応じて超伝導マグネット冷却用クライオスタットや低振動な光学測定・中性子照射用クライオスタットなどの開発も行っているという。また商社的な活動として海外からの輸入品も取り扱っているとのことである。

ジェック東理社・営業部の前田氏の講演では、会社の概要に続き、取扱製品の紹介、特に真空断熱配管について詳細な紹介が行われた。

現在のジェック東理社は、1932年創業で日本酸素、太陽日酸資本の東理社と1983年創業の鈴木商館資本のジェックが1997年に合併して設立された会社である。

取扱製品群としては、国内シェアの70%を占める規格販売の開放式（シーベル）や自加圧式（セルファー）の液化窒素容器関連、100%オーダーメイドのクライオスタットや真空チャンバーなどの低温機器類、真空断熱配管および関連機器類、低温ポンプ（国内納入実績300台以上）などの大きく分けて4つのカテゴリーに分けられる。

このうち真空断熱配管はVJP（Vacuum Jacketed Piping）の商品名で売り出されており、高断熱性能、ノーメンテナンスで長寿命、省スペースという特徴を有し、経済産業省の大臣認定品であるという。その構造は、外管と内管からなる二重のSUSパイプの間に対流を抑制するための真空スペースと熱伝導抑制のためのスペーサーの挿入、そして輻射抑制のためのスーパーインシュレーションの挿入を行っている。このような多層輻射シールドにより抜群の断熱性能を有している。また配管を接続するためのバヨネット接続部のフランジのパイプの内側も二重構造の真空断熱配管となっており、これにより長距離間の寒剤供給においても高性能と高信頼性を実現している。このような仕様により、SPring-8やKEKでこれまでに納品した真空断熱配管30台以上において過去20年間ノートラブルで液体窒素の供給が行われているという。またこの真空断熱配管は液体窒素以外に液体酸素、液体アルゴン、液体水素、液体ヘリウム、LNGなどにも利用可能であり、京都大学・白井研究室には液体水素実験装置のための液体水素供給パイプ（総パイプ長20m）として稼働しているということである。

またこの断熱配管の実際の熱侵入量であるが、通常配管（保冷なし）、簡易断熱配管（硬質ウレタン保冷）、VJP（バヨネット接続部含まず）の比較で、10Aの場合の熱流入量でそれぞれ97.8、7.2、

0.35W/m、25Aパイプの場合でそれぞれ192.2、8.9、0.46W/mであるという。

以上、通常真空断熱配管VJPの他に、地震多発国の我が国において地震発生時のVJPの破壊を防ぐ配管システムとして回転バヨネット継手を用いた真空断熱配管も作製しているという。

山本電機製作所の福本氏の講演では、会社紹介に続き、同社の主力製品である微差圧計の紹介と近年の水素社会への関心の高まりのなかで開発に取り組んでいる液体水素レベル計についての報告があった。

山本電機製作所は神戸市長田区になる企業で昭和46年の設立。事業内容は微差圧計測機器およびガスタービンエンジン周辺機器の設計、製造、販売である。

微差圧計（同社のオリジナルブランド名は“マノスター”）は普通の圧力計では測定できない非常に小さな圧力差（1000Pa以下）を検出する計測器である。用途はクリーンルームのように外部からの汚染物資の流入を防ぐための部屋や、逆にコロナ患者の感染防止に用いられる陰圧室（外部へのウイルス流出を防ぐための部屋）の監視や空調制御に用いられている。

微差圧計の原理は、アナログの場合には差圧の変化をダイヤフラム（ゴム製）の動作で検知し、バンドリング機構を通して指針の振れに変換することである。これによって、指針の位置から差圧を読み取ることが出来るようになっている。また、デジタルの場合には、ダイヤフラムの動作を差動トランスのコアの移動に変換し、インダクタンスの変化として電氣的に処理することで差圧が分かる仕組みとなっている。

同社では新規分野として水素社会の到来時には液体水素需要が増加し、大量貯蔵・輸送の際には液面の正確な管理が重要となると捉えている。現在の液面センサーでは測定誤差、応答性および長尺性などの課題を抱えていることから、超電導線を用いた高精度・高応答性の液体水素用液面センサーを開発している。

構造はMgB2線材にらせん状にヒーターを巻き付けたものになっている。応答性は100msec以下であり、500mmの試作レベル計では99.9%以上の高い直線性を示している。更に1300mmの試作も行っており、商品化していく予定。用途としては液体水素輸送車、コンテナ、輸送船などでの使用を見込んでいる。

企業からの講演の後、休憩を挟み特別講演とし

て大阪大学の根来誠氏による量子技術と量子コンピュータに関する講演が行われた。内容としては量子コンピュータの歴史的な開発状況やそれに対する世の中の反応、核磁気共鳴を用いた量子コンピュータの具体的な計算方法やその適用などのお話があった。更には量子コンピュータの実用化までには時間がかかるため、量子技術をもっと早く実用化するための技術として超高感度 MRI への応用などなどについても紹介された。

量子技術とは、「量子状態を精密に制御（時間軸）する技術」でありこの技術の適用先とし量子コンピュータをはじめ、量子暗号通信や量子センシングなどの分野で研究がおこなわれている。

今日、量子コンピュータが着目されているのはその計算速度にある。インターネットの暗号化に使われている素因数分解を例にとると、2000 桁を超える計算（スーパーコンピュータでも数年かかる）を数秒で解くことができる性能を持つ。

一方、量子状態を精密に制御する方法論としては様々な方式が提唱されている。（量子ドットやレーザー冷却）その中で核磁気共鳴を応用した事例が紹介された。L-alanine 分子を用いた 5Q ビットの系で、化学シフトを利用して選択的に一つの炭素原子核の核スピンを操作することが出来る。これを 2 つの原子核に対して行えば、XOR に相当する論理回路と見なすことができる。

その適用範囲としては、素因数分解の他に様々な科学計算への応用が想定されており、新材料の開発に用いることができる。

量子コンピュータで暗号解読で行う際には、数千万の Q ビットが必要になるため、実用化までには相当な時間を要するものとみられている。こうした中、根来氏は量子技術を応用しうる分野として量子センシングにも関心を持ち、超高感度 MRI の研究も行っている。3 つの量子技術（DNP、量子鈍感符号化、量子敏感符号化）をもちいて MRI の感度を現行の 1 万倍に高めるプロジェクトに参画されておられる。

最後に、「量子技術はこれから成長が期待される分野であり、多くの方々に興味をもっていたきたく、さらに研究に参加したい方には積極的に声をかけて欲しい」との呼びかけがなされた。

講演会は、関西支部副支部長の野口悟氏による閉会の挨拶で締めくくった。

最後に、今回の講演会の開催にあたり、大変興味深い話題をご紹介頂きました講師の先生方にこの場をお借りして厚くお礼を申し上げます。