

関西支部だより

2021 年度第 3 回関西支部講演会（オンライン Web-ex 使用）が 2022 年 2 月 4 日（14 時～17 時 30 分）に開催された。講演者を含め 37 名（大学・公的機関 15 名、会社関係・一般 22 名）の参加があり、毎年恒例の新年情報交換の集いとして企業による低温関連製品紹介の他、水素エネルギー製品研究試験センターの事業紹介と高圧ガス保安法、超電導市場に関する話題提供および大学研究室の紹介があった。

関西支部支部長の武田実氏による開会の挨拶に続き、6 件の講演が行われた。

1. 「川崎重工の液体水素関連製品について」  
川口 潤氏
2. 「OKAMURA の液体水素気化器について」  
村田博明氏
3. 「岡崎製作所の製品紹介」  
丸山卓也氏
4. 「超電導応用市場について ～超電導の適用される市場の概観と、いくつかの興味ある市場のご紹介（ヘルスケア、半導体）」  
横田泰直氏
5. 「HyTReC 事業紹介および高圧ガス保安法の話題」  
児玉 格氏
6. 「金・植田研究室の研究内容紹介」  
金 錫範氏（大阪大学）

児玉氏の講演では初めに HyTReC の事業が紹介された。HyTReC は正式名称を水素エネルギー製品研究試験センター（**Hydrogen Energy Test and Research Center**）といい、中小・ベンチャー企業が水素エネルギー関連市場参入に新規参入する際に、製品の性能・信頼性を評価するための第三者機関として 2009 年に福岡県が中心となって設立された公益財団法人である。同センターが設立されるまでは、国内には水素向け製品に対する認証機関が存在せず、中小・ベンチャー企業が市場参入する際の阻害要因となっていた。センターは福岡県糸島市にあり、HyTReC 棟（2000m<sup>2</sup>）と CRADLE 棟（2700m<sup>2</sup>）には高額な高圧水素試験装置が多数導入されている。センター内設備は高圧ガス保安法に基づき、水素ガスの滞留防止や防爆、障壁、隔離距離などの安全対策がとられている。例えば高圧水素試験室は壁厚が 250mm の鉄筋コンクリート壁で囲まれており、万一爆発が起きた際には上方に吹抜けられるよう折板屋根が採用されている。試験体は強固な耐爆カバー内に設置されている。試験室は毎時 30 回の換気が行われているほか、室内の電気製品は全て防爆仕様のものが用いられている。また、前処理室との間に設置

されている監視窓は防弾ガラス+耐火ガラスの二重構造になっている。センターでテストを行う具体的なアイテムとしては燃料電池自動車の水素供給システムや水素ステーションのディスプレイなどに用いられるタンク、バルブ、配管、継手などが挙げられる。これらを試験するための装置として HyTReC 棟には前述の高圧試験室の他に、ガス透過試験用気密チャンバーや水圧試験装置、振動試験装置、オートクレーブなどが設置されている。また CRADLE 棟にはセンター内に水素ガス供するために毎時 2400Nm<sup>3</sup> の供給能力を持つ Linde 社製イオニック・コンプレッサが備えられている。また、他の大型設備として直径 1.2m、長さ 6m の円筒型耐爆カバーの他、乗用車をそのまま覆うことが可能な角型耐爆カバー（2.3m x 2m x 5m）が備えられた高圧水素ガス試験室や圧力サイクル試験装置、破裂試験装置、膨張量測定装置などが設置された水圧試験室がおかれている。センターの運営は企業などからの受託試験費によって賄われており、近年は自動車関連や水素ステーション向けの製品が大部分を占めている。講演の後半では高圧ガス保安法に関するお話があった。初めに高圧ガス関係の法体系や高圧ガスの定義などの基本的な説明があり、次に水素ガス社会を作っていく上での法的な規制緩和について述べられた。水素ガスを現在の「産業用途」から「エネルギー用途」へ変換するなかでは、たとえば遠隔監視による水素スタンド運転の無人化や保安監督者の兼任の許容などを検討していることが取り組み事例として紹介された。今後、実用化にむけては水素ガスを日常的に使う上での利便性を向上させかつコストを下げる必要があるということである。最後に、二酸化炭素フリーの水素をオーストラリアから液体水素として輸入する計画が進められており、低温工学技術に大きな期待が寄せられていることにも触れられた。

マーケティングコンサルタントの横田泰直氏は超電導技術の応用市場について紹介された。講演では最初に超電導市場の概要が紹介された。市場を定常/非定常で分けると、MRI と NMR が定常的な需要がある分野であり、半導体分野、エネルギー分野、科学研究分野および輸送機器分野などは大きなプロジェクトに同期して需要が生じる非定常の分野となっている。講演では定常/非定常の分野のなかから MRI、NMR、半導体、エネルギーにおける市場規模や業界の状況などについて述べられた。MRI は超電導技術が適用される市場として

最大であり医療機器全体からみても相当の規模となっている。さらに今後についても年率 5%程度で緩やかに成長することが見込まれている。標準的な MRI メーカーとしては Big-3 とよばれる Siemens、GE、Philips が非常に大きなシェアを占めており、これに続く 2 番手としてキャノンと富士フィルムがある。(キャノンは東芝、富士フィルムは日立の MRI 事業を最近継承したとのこと。)

Big-3 の生産は大西洋の両岸と中国で行われており、欧米とアジア市場へのルートでグローバル対応がなされている。MRI では臨床にもちいられる製品の他に研究用や特殊用途のマグネットの開発も行われている。特徴的なマグネットとして脳研究を目的とした高磁場 MRI がある。臨床用では 1.5T と 3T が大部分を占めるが高磁場化により分解能向上を図れることから、7T のマグネットも販売されている。また人体用 MRI の最高磁場はフランスでつくられた 11.7T である。このマグネットは開発に 10 年以上を要したが、昨年、ようやくカボチャの画像が得られており、今後は本格的に脳研究に供されることになっている。どんなデータが出てくるのか非常に楽しみな分野。この他にも四肢専用 MRI や MgB<sub>2</sub> を用いたオープン型の無冷媒 MRI なども紹介された。なお、技術的な進展として、Big-3 各社では液体ヘリウム量を極端に少なくした製品が発売されている。これらは、従来のようにマグネットを液体ヘリウムに浸漬するのではなく、細いパイプにヘリウムを流すことで冷却する方式である。近年のヘリウムの価格高騰で今後の普及が見込まれている。定常市場のもう一つである NMR も 1970 年代から超電導マグネット市場として継続的な需要が存在している分野である。NMR マグネットでは MRI と比べて高い磁場を用いることから、Nb<sub>3</sub>Sn 線材の定常市場となっている。NMR はこれまでは主に化学分野の分子構造解析に用いられる装置であったが、最近では高磁場化による分解能向上が進み、より大きく複雑な構造をもつ生体分子の構造解析にも用いられるようになってきている。半導体分野では、シリコン単結晶に磁場を印加しながら引きあげる MCZ と呼ばれる製造方法があり、この分野で超電導マグネットが用いられている。単結晶は熔融シリコンに種結晶を浸して引き上げる。熔融したシリコンはるつぼ内で対流しているため結晶内にあるつぼ由来の不純物が入り込む。強磁場を引き上げ中の熔融シリコンに印加することで、ローレンツ力が加わり(熔融シリコンはイオンである)対流を抑制することが原理となっている。この方法は

最近のシリコンインゴット製作においては不可欠な方法となっており、半導体需要の高まりから、今後とも超電導マグネットの需要も相当伸びていくことが想定される。最後に最近地球温暖化対策として関心が高まっている核融合発電にも触れられ、フランスで建設が進む ITER において大量の Nb<sub>3</sub>Sn および NbTi といった超電導材料が用いられていることが紹介された。

岡山大学の金錫範氏は金・植田研究室の研究内容紹介をされた。研究室はスタッフとして金教授、植田准教授、井上助教の 3 名と学生 32 名(修士 13 名、学部 19 名)の総勢 35 名の規模であり、8 つの班に分かれ、それぞれテーマをもって活動している。非接触機器班ではクリーンルーム内の搬送機や医療用攪拌ミキサーなどに適用することを目的として、HTS バルクを用いた 3 次元アクチュエーターや回転機を開発している。実際にモノづくりを行っていくなかで、課題として位置制御の精度や出力効率などが上がってきており、これに対し 3 次元電磁気解析などを用いて最適化を図っている。今後、電気機器の高効率化・小型化にともない鉄心に用いられる電磁鋼板などの磁気特性を正確に評価する装置が必要とされる。さらに超電導機器に用いる場合には低温での磁気特性を把握する必要がある。こうした要請にたいし磁気特性評価班では伝導冷却で低温領域の温度依存性が評価できる小型単板磁気試験機を開発した。装置は従来品のおよそ 1/10 の長さになっており、ハステロイや SUS、電磁鋼板などの 77K と室温での測定データが紹介された。非接触給電班ではシステムに用いる銅コイルを伝導冷却式の超電導交流コイルに代えることにより、大容量を図ったうえで高効率化することを目標として実験および数値解析の両面から開発を進めている。高温超電導加速器班ではスケルトン・サイクロトロン用(鉄芯を用いないサイクロトロン)の HTS コイルの開発を行っている。このサイクロトロンはがんの放射線治療に用いられるラジオアイソトープを製造するためのもので、空芯の超電導コイルの採用により超小型軽量化を目指している。サイクロトロンの開発は早稲田大学や北海道大学などと共同で行われており、岡山大学ではセクターコイルとして用いられる HTS 線材を用いた非円形コイルの高磁場中の応力試験と解析を行っている。簡易型応力解析として、マルチコイルシステムを等価回路に置き換えて電流分布解析を行った後、算出された電流分布を用いて電磁応力の解析を行っている。こ

れまでに非円形コイルにおける補強構造のひずみ軽減効果が検証できている。高温超電導 NMR/MRI 班では高精度高磁場マグネットの解析評価技術の開発に取り組んでおり、HTS コイルの遮蔽電流磁場解析や電磁応力解析を行っている。これらの活動は JST 未来社会創造事業の「高温超電線材接合技術の超高磁場 NMR と鉄道き電線への社会実装」に参加するなかで、1.3GHzNMR マグネットに適用されている。指用小型 NMR/MRI 班では、HTS バルクや HTS 線材を用いた超小型 3T-MRI 用磁石の開発を進めている。MRI 用磁石では均一度が課題となる。HTS バルクでは臨界電流密度の異なるバルクを上手く組み合わせることで均一度の向上が図られている。組合せはリング状バルクを軸方向や径方向に配置するパターンで行われている。磁場特性を評価した結果では、軸方向 240ppm@10mm、径方向 21ppm@20mm φ の均一度が得られた。また、HTS 線材ではテープ線材に特有の不正磁場（運転電流と遮蔽電流の組み合わせで生まれる磁場）により均一度が劣化する。この対策として遺伝的アルゴリズムを用いて遮蔽電流磁場を抑制する磁石形状の特徴を把握し、そのモデルに基づいて巻線配置を決め、10ppm の均一度をみたく設計案が得られている。超電導モーター班では NI コイル（無絶縁線材をもちいて巻いたコイル;Non Insulation コイル）の線間の接触抵抗を測定する方法を開発している。測定には交流が用いられる。線間の接触抵抗は位置によりばらつきがあることから、ピックアップコイルによる径方向の電流分布変化を考慮して測定方法を開発している。これまでに巻線張力を変えた 3 つのサンプルコイルを評価し、計測法の妥当性が確認された。低温超電導線材班では、極細 Nb3Al 線材の臨界特性評価を行っている。この線材は最近、NIMS で開発されたもので、線材の極細化によって従来の欠点である耐歪特性の向上などが期待されている。岡山大学では無冷媒磁場中線材評価システムを用いており、サンプルの熱的安定性などの課題をホルダーの工夫によって解決して、温度-磁場-臨界電流を評価している。このようにテーマも HTS の応用機器から LTS の線材評価まで多岐にわたり、それぞれ活発な研究がおこなわれている研究室という印象をもった。

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方々にはこの場をお借りして厚くお礼を申し上げます。