

## ■関西支部だより

関西支部 2025 年度第 3 回講演会は 1 月 30 日（14 時 30 分～17 時 25 分）に大阪公立大学文化交流センターホール（現地＋オンラインのハイブリッド方式で実施）において開催された。講演会参加者は総数 38 名（講演者 4 名、会員 25 名、非会員 2 名、学生 7 名、うち現地参加 34 名、オンライン参加 4 名）であり、関西支部長の掛谷一弘氏による開会挨拶に続き、下記 4 件の講演が行われた。

1. 「開会挨拶」 関西支部支部長
2. 「真空の基本と、真空機器のトラブル事例に関して」  
岩井竣平氏／伯東株式会社
3. 「TMP の基礎、排気原理と使い方について」  
石森康禎氏／株式会社大阪真空機器製作所
4. 「電磁式ダイヤフラムポンプについて～仕組みと活用例～」  
長谷川達哉氏／株式会社テクノ高槻
5. 「熱エネルギー消費が主体の工場における液体水素を利用した脱炭素への取組み」  
橋本宏一郎氏／株式会社神戸製鋼所
6. 「閉会挨拶」 関西支部副支部長

岩井氏には、真空および真空機器に関する基礎知識とトラブルの事例などについてご講演いただいた。

真空とは、通常の大気圧より低い圧力の気体で満たされた空間の状態であり、その圧力域によって  $10^4 \text{ Pa}$  程度の低真空から  $10^{-9} \text{ Pa}$  以下の極高真空までの 5 段階に分類されている。真空を生成するためには容器となるチャンバーと減圧するための真空ポンプが必要であり、真空ポンプは減圧方式によって大きく気体輸送式と気体ため込み式の二種類に分類される。気体輸送式は物理的に気体を排出して減圧を行うもので、代表的なものとしては容積移送式のロータリーポンプ、運動量移送式のターボ分子ポンプ(以下、TMP と称す)などがあり、気体ため込み式は気体を内部に保持して減圧する方式で、主にクライオポンプなどが挙げられる。真空ポンプは得意とする圧力領域が異なるため、それぞれの特徴を理解し、用途や目標とする到達真空度に応じて、使い分けや組み合わせて使用することが重要とのことであった。

次に真空計について述べられた。真空計には、分子が壁を押す力を利用するもの、熱伝導を利用するもの、振動や回転に対して抵抗の減衰を利用するもの、分子のイオン化を利用するもの、などがあるが 1 種類の原理で全ての圧力領域を測定することはできず、真空ポンプと同様に各々の特徴を理解し、用途や真空度に応じて使い分けや組み合わせて使用することが必要である。ピラニ真空計とコールドカソード真空計の原理について紹介された。さらにシンク

計では大気圧近傍でピラニ真空計の測定精度が悪くなる。これは圧力が高くなり分子流の領域を外れると分子同士の衝突が増えて分子間で熱交換が行われること、温度差によって対流が発生すること、などによりガス分子が何個あるか以外の影響が大きくなることによって測定誤差が大きくなってしまうとのこと。また真空システムの構成例についてもご紹介いただいた。

最後に真空機器のトラブル事例について述べられた。一つ目は TMP のクラッシュの事例である。TMP が急停止した際に発生したクラッシュトルクにより、配管やフランジに過剰な力がかかり変形やゆるみが発生してリークしたというもので、TMP 内部の回転翼や固定翼、ローターステージが酷く損傷している様子が紹介された。その後の調査によつて、クラッシュは TMP の回転翼もしくは固定翼の金属疲労が原因と推測され、対策としては、ポンプの定期的なオーバーホールのほかに、ポンプや配管の固定方法を見直すなど万一クラッシュトルクが発生しても装置全体への影響を最小限に抑える施策を行う必要があるとのことであった。二つ目はピラニ＋コールドカソードのフルレンジ真空計が異常値を表示する事例である。主な原因是、スパッタ現象により窒化物や酸化物がアノードピンやカソード壁面に付着して整面性が失われること、アノードに堆積したスパッタ物質が衝突するイオン等の影響により剥がれて異常放電を起こすこと、によるものだと説明された。ご講演のまとめとして、真空計に限らず何か違和感があった際は早期にメーカー担当者に相談することが問題解決の確実な方法であると述べられた。



岩井竣平氏ご講演の様子

石森氏には TMP について、その歴史や特徴、排気原理、選定方法などについてご講演いただいた。

TMP は、運動量輸送式真空ポンプの中で機械式ポンプに分類される。運動量輸送式真空ポンプには他にも流体作動式ポンプやイオン輸送ポンプなど様々な方式が存在する。TMP の歴史は古く世界初の TMP は 1958 年に発売された。当時は一対のローターが両端に位置する横型構造であったが、その後 1960 年代には現在の TMP の原型となる豊型ボ

ンプが登場、そして1971年に日本初のTMPが大阪真空から販売開始されたとのことであった。

次にTMPの排気原理と性能等について述べられた。TMPはその名が示す通り分子流の領域で動作するポンプであり、ターボ翼には傾きに変化が設けられている。高真空側では大きな排気量を得るためにガス分子が通過しやすいよう翼の傾きは大きく、一方の背圧側ではガス分子が高真空側へ逆流することを防止するためと大きな圧縮比を得るため傾きは小さく作られている。ヘリカル構造については、ローターの回転速度がガス分子の自由運動速度に対して無視できない速さになると、気体が溝に沿って引きずられ排気されていくことにより動作する。この動作は、1~ $10^3$ Pa程度の領域で効率よく動くため、タービン型と組み合わせることで排気範囲が広がり、大流量の排気速度が維持できるとのこと。またTMPは気体を物理的に排気するため、吸着などの性質を用いる他の高真空ポンプと比べてガス種による最大排気速度の差が小さいことが特徴の一つであるが、例えば水素など分子量が小さいガスでは圧縮比が小さくなりやすく排気が難しいこと、逆に分子量が大きいガス、例えば炭化水素などは圧縮比も大きく炭化水素分子の無い清浄な高真空が容易に得られるとの説明があった。更にロータータイプや軸受け別の性能や構造、特徴の比較、特殊仕様の例なども紹介された。

最後に、TMPの選定方法や運転手順、トラブル発生時の動作などについて述べられた。TMP運転時に何らかの原因で停電が発生した場合には、停電時間によってTMPの運転継続もしくは運転停止が決定されることになる。玉軸受形の場合にはフリーラン停止、磁気軸受形の場合には回生ブレーキが発動した後、タッチダウンを経てフリーラン停止となること。また運転中に不意に大気突入をさせてしまった場合については、TMP翼は大気突入に耐える強度設計がなされており、更に新規開発時に大気突入試験にて問題なく再起動できることを確認していることなどから多くは容易に再起動可能である、但し、異物が巻き込まれてTMP翼と接触した場合などは最悪クラッシュにまで至る可能性があると述べられた。



石森康穎氏ご講演の様子

長谷川氏には電磁式ダイヤフラムポンプについて構造と活用事例をご講演いただいた。

始めにテクノ高槻が世界で初めて電磁式ダイヤフラム方式のエアーポンプを発明・商品化したことが述べられ、電磁式ダイヤフラムポンプの構造と原理が説明された。電磁式ダイヤフラムポンプはゴム製のダイヤフラムとE型電磁石、永久磁石付きのロッド、圧縮室と逆止機能を持った空気弁からなる。電磁石には交流電流を流すこと、ダイヤフラムがロッドの両端に固定されていること、ダイヤフラムが片側の壁を形成する圧縮室に2つの空気弁を逆向きに取り付けることがポイントとなる。E型電磁石を励磁するとロッドに固定された2つの永久磁石と電磁石の間にそれぞれ引力と斥力が働き、ロッドが移動してダイヤフラムを変形させる。圧縮室が圧縮された場合は圧縮室の空気が空気弁から押し出され、圧縮室が膨張した場合は空気弁より圧縮室に空気が吸引される。電磁石のコイルに交流電流を印加することで圧縮室が膨張・圧縮を繰り返すことで空気を送り出すことができる。定期的な交換が必要な部品はダイヤフラム程度であり、長寿命、高い信頼性、オイルフリー、低消費電力、小型で強力、低振動、低騒音、安定した風量に特徴があることが述べられた。

次に電磁式ダイヤフラムポンプの活用事例について紹介された。利用される主な分野としては環境、エネルギー、医療があることが説明された。環境分野ではまず養魚・觀賞魚用のポンプとしての利用が紹介された。次に浄化槽用のポンプとして活用されていることが紹介された。浄化槽では好気性微生物への酸素供給のためのばっ気に電磁式ダイヤフラムポンプが活用されているとのこと。エネルギー分野では燃料電池システムで都市ガス、LPガス、空気や水素-窒素-水蒸気混合気体の搬送を担っていることが紹介された。医療分野では家庭用エアマッサージ器に組み込まれ、風船に空気を出し入れしマッサージを行っていることが紹介された。また、日本初のリンパ浮腫治療に特化した医療機器である逐次型空気圧式リンパ流促進装置において、リンパ浮腫患者の患肢と体幹を空気圧で圧迫するのに使用されていることが紹介された。



長谷川達哉氏ご講演の様子

橋本氏には、KOBELCO グループでの水素を活用したカーボンニュートラルへの取り組みをご講演いただいた。

始めに機械系事業において成長追求と同時に生産プロセスでの CO<sub>2</sub> 削減に取り組むことで持続可能な経営の強化を行っていることが説明された。生産プロセスにおける CO<sub>2</sub> 排出量について 2030 年に 2013 年比で 30~40% に削減し、2050 年にカーボンニュートラルを目指すロードマップが示された。同時にソリューション提供による CO<sub>2</sub> 排出削減は 2030 年に 7,800 万 t、2050 年に 1 億万 t 以上を目標にしていることが説明された。

日本のエネルギー消費の約 40% が熱需要であり、工業炉・ボイラーの燃料を水素転換することで脱炭素化が期待される。KOBELCO グループ高砂製作所は鉄鋼、チタン、鉄粉及び産業機械の生産拠点であり、水素利活用に向けた取り組みが行われていることが説明された。

水素ガス供給システムには安定した供給と安価でカーボンニュートラルであることが求められる。これを実現するために、事業所内での太陽光発電による再生可能エネルギーを用いた水の電気分解による水素ガス供給と、事業所外から移送される液体水素による水素ガス供給を組み合わせたハイブリット型水素ガス供給システムの実証が進められていることについて説明された。水の電気分解により水素ガスを生成する水電解式水素発生装置は国内外に 230 基の納入実績があるとのこと。液体水素を氣化させて水素ガスにし、その冷熱を利用する熱交換器・氣化器は、多流構造により様々な冷熱が回収可能な ALEX、コンパクトかつ堅牢で幅広い用途に適用可能な DCHE、海水熱源を利用可能で CO<sub>2</sub> 排出のない ORV、水よりも凝固点の低いプロパンを中心流体に利用することで回避し、様々な冷熱回収用途に適用可能な IFV など幅広いラインナップが揃えられ、実証試験されていることが説明された。

次に高砂製作所の CO<sub>2</sub> 排出量の 69% と 16% を占める直接加熱炉とボイラーの水素への燃料転換の取り組みについて詳細が説明された。最初に都市ガス 13A 規格の範囲内である水素濃度 20vol% をターゲットとした混燃試験について述べられた。最大水素 30vol% の水素混燃試験においても NO<sub>x</sub> の値は問題なく、安定稼働が確認されていることが



橋本宏一郎氏ご講演の様子

説明された。既設炉の水素混焼への改修についても説明された。工事は 2026 年 6 月末に完了しており、今後試験を進めていく予定のこと。また新設計炉でも水素濃度 20vol% 以上の水素混焼と水素専焼による鋼材の加熱試験を行う計画であることが説明された。従来燃料から水素への燃料転換により、火炎形状、火炎温度、輻射伝熱、対流伝熱などが変化するため、バーナーでの安定燃焼に加えて、これらの要素が加熱炉性能に及ぼす影響の評価が必要とのこと。燃焼容量約 2,800 kW、処理温度最大 1,245°C の新設計加熱炉の建設工事は完了しており、鋼材加熱試験に向けて燃焼調整中であることが説明された。



講演会場の様子

最後に関西支部副支部長の斎藤一功氏より閉会の挨拶がなされた。

また講演会終了後には、有志による懇親会が開催され、活発な議論と交流が行われた。

最後に、今回の講演会・見学会の開催にあたり、場所のご提供、オンライン環境のご提供および講演の企画にご協力頂きました皆様、ご講演いただ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。

(宍戸寛明、上野栄作)