

関西支部だより

2017 年度第 3 回関西支部講演会・見学会が 9 月 29 日 (13 時 30 分～17 時 40 分) に住友電気工業株式会社大阪製作所 (大阪市此花区) において開催された。今回は「関西の低温・超電導関連企業の研究開発最前線」と題して講演と見学を行った。参加者総数は講演者を含め 42 (大学・研究所関係 13 名、会社関係・一般 29 名) であった。

関西支部長の白井康之氏による開会の挨拶に続き、以下の 5 件の講演と住友電気工業株式会社大阪製作所のマイクロスマートグリッド実証システム等の見学が行われた。

1. 「水素サプライチェーンの実現に向けた技術開発動向」
猪股昭彦 氏
(川崎重工業株式会社 技術開発本部 技術研究所)
2. 「三菱電機における超電導関連事業と研究開発の状況」
横山彰一 氏
(三菱電機株式会社 先端総合研究所)
3. 「神戸製鋼 Gr における超電導研究開発および事業紹介」
寺尾泰昭 氏
(株式会社 神戸製鋼所 電子技術研究所)
4. 「Bi 系超電導線材の開発状況と今後の展開」
長部吾郎 氏
(住友電気工業株式会社 超電導製品開発部)
5. 「RE 系薄膜超電導線材の超電導接合技術」
大木康太郎 氏
(住友電気工業株式会社 パワーシステム研究開発センター)

川崎重工業 (株) 技術開発本部技術研究所の猪股氏の講演では、水素サプライチェーンの実現に向けた技術開発動向について報告がなされた。水素は CO₂ を排出せず、発電コストも風力や太陽光など他の CO₂ フリーエネルギーに比べ 1/2 から 1/3 である。水素を液化することによって液化天然ガス (LNG) と同様、エネルギー大量輸送が可能である。このように CO₂ の排出を抑制しながらエネルギーを安定供給するという「CO₂ フリー水素チェーン」のコンセプトがまず紹介された。次に、技術開発例として、超高速タービンを用いた水素液化機の開発や、液化水素貯蔵技術としての断熱システムの詳細な検討、大型タンクや液化水素運搬船の支持構造などの紹介があり、さらに船—陸間の荷役操作についてはソフト、ハードの両面における開発状況が報告された。いずれも商用化に必要な経済性、安全性を考慮した要素技術であり、実証事業への移行を目指しているとのことである。最後に、安全性評価に関する報告があった。国際海事機関において日豪が共同提案した、液化水素運搬船の安全要件にかかる暫定勧告が採択され、今回建造される液化水素運搬船がデファクトスタンダードとして

世界をリードするという今後の予測が示された。大変興味深い話題が満載で、実用化開発研究の力強さをひしひしと感じる講演であった。

三菱電機 (株) 先端総合研究所の横山氏の講演では、三菱電機における超電導関連事業と研究開発の状況と題して発表がなされた。はじめに三菱電機における超電導開発について、1961 年国産初のヘリウム液化機完成、1964 年国産初の 6T-NbTi 超電導コイル開発など、さきがけ的な歴史が紹介された。次に超電導マグネット事業例として加速器関連、シリコン単結晶引き上げ用マグネット、MRI 超電導マグネットの 3 例が紹介された。粒子線加速器用超電導磁石については、粒子線ビームを精密に制御するため極めて複雑な形状のコイルを製作する必要があり、かつ十分な安全性、信頼性が要求される。阪神大震災発生時にクエンチしなかったという実績が示された。シリコン単結晶引き上げ用超電導磁石はシリコン融液の対流を抑制するために必要とすることで、室温ボアが直径 1.6m の大口径マグネットが紹介された。MRI 超電導マグネットは市場規模 2-3 兆円の医療用画像診断装置の一角を担い、従来の永久磁石を用いた低磁場型の MRI から高磁場、高分解能の MRI 超電導マグネットへの置き換えが着々と進行していることが示された。最後に高温超電導マグネット開発に関する概要が示された。高温超電導マグネットは巻線加工技術、超電導接続技術、コイル焼損対策、電源の高安定化、システム全体の低コスト化など実用化を促進するための課題が山積している。京都大学、東北大学などと産学官連携で NEDO プロジェクトを推進している現状が報告された。

(株) 神戸製鋼所 電子技術研究所の寺尾氏の講演では、神戸製鋼 Gr における超電導関連事業および研究開発紹介があった。はじめに神戸製鋼所の事業概要および超電導事業について紹介された。超電導事業については、ジャパンスーパーコンダクタテクノロジー (JASTEC) 社で線材・マグネットの製造販売をし、神戸製鋼所の応用物理研究所で線材・マグネットの開発研究を進めているとのことである。次に、分散 Sn 法 Nb₃Sn 超電導線材開発について紹介があった。臨界電流値を向上させるため、Nb₃Sn 生成量の最大化、良質な化学量論組成、結晶粒の微細化、第 3 元素の最適化という 4 つの課題を掲げて開発に取り組んだ。その結果、従来ブロンズ法の 2-3 倍アップの臨界電流値を達成し、さらに、磁場 16T 中で 1000-1500 A/mm² という高い目標値を目指して開発研究が進行中とのことである。次に、超 1 GHz γ -NMR マグネット開発について報告された。NMR は周波数が高いほど高分解能が得られる。ただし、共鳴磁場が 23.5 T (1GHz) に達するため、24 T 級の高磁場マグネットが必要である。そこで、最内層に Bi 系高温超電導線材を用いることで、1.02 GHz を達成したとのこと、高温超電導体の高臨界磁場特性を活用したものである。最後に、3T-MRI 用の高温超電導マグネット開発に関する報告があった。MRI

撮像には厳密な磁場の安定性と均一性が要求される。中間目標の 1.5T-MRI では ± 0.5 ppm の磁場の安定性と 5 ppm の磁場均一度を実現し、撮像にも成功している。その後プロジェクト最終目標の 3.0 T への励磁に 3 度成功したが、3 度目の定格到達後の消磁過程で、コイルが焼損するトラブルが生じた。電圧および温度の測定データを検証することで、起点となったコイルの特定と、トラブル発生直後に起点コイル内部で生じた現象を分析した結果が報告された。



講演会の様子

住友電気工業（株）超電導製品開発部の長部氏の講演では、ビスマス系超電導線材（DI-BSCCO®）の開発について報告がなされた。同線材は、銀チューブに原料粉末を詰めて線引きするパウダーインチューブ法で製作するが、加圧焼結法により密度を 100% 近くまで高くすることで臨界電流密度の向上、機械強度の増加、急速昇温時にフィラメントに液体窒素が浸み込んで線材が膨れるバルーニング現象の解消が図れたとのこと。NMR などの強磁場マグネット用途では銀シースのみの線材は機械強度が不足するため、ステンレス鋼や銅合金の補強材と半田集合することで高強度化させている。半田集合時は、補強材のサプライ張力を高くすることで線材に圧縮応力を印加させ、さらに線材と補強材の熱膨張の差により線材への圧縮応力が増加する。機械特性をさらに向上させるためには、上記特性の他、補強材の高ヤング率化が必要であり、補強材として新たに Ni 合金を選択した。その結果、許容曲げ直径が 40mm に許容引張強度@77K が 400MPa（既存補強材の約 1.5 倍）まで向上した。現在、Ni 合金を半田集合した線材を Type HT-NX として販売している。同線材の運用実績として、NMR 高磁場マグネットにおいて最も負荷がかかる最内層に適用され、理化学研究所の 27.6T マグネット、東北大学の 24.6T 無冷媒マグネットに搭載されている。最後に、線材のスプライス（接続）について説明があった。スプライスは、半田テープを接続する線材と線材の間に挟んで形成するが、接続部分の可撓性向上のため、線材を斜めに切断して（上面か

ら見て）接続を行っている。Type-NX 線材のスプライスについては、Ni 合金の比抵抗が高いため、接続部の Ni 合金を引き剥がし、接続部に銅テープを挿入することで低抵抗化を図った。その結果、86% の抵抗値低下が可能となり、ラップ長 40mm で $52\text{n}\Omega$ の接続抵抗となった。また、曲げながらスプライスする曲げスプライス装置を開発し、曲げ試験を行ったところ、曲げスプライスにより許容片曲げ径が改善することも判明した。現在同社では、スプライス装置も販売している。ビスマス系線材の全体像、最先端情報がよく分かる発表であった。

住友電気工業（株）超電導製品開発部の大木氏の講演では、RE 系薄膜超電導線材の超電導接続技術について発表がなされた。RE 系薄膜超電導線材は NMR 等の高磁場装置への適用が期待されているが、磁場安定性、熱浸入、停電時対策、オペレーションの観点から永久電流モードを実現することが望まれており、そのためには超電導接続が必要である。同社の超電導接続の特徴は、超電導膜上に事前に形成した超電導微結晶層を接続中間体としてこれに圧力を掛けながら他方の超電導膜と貼り合わせて高温熱処理することで微結晶層が配向して接続層になることである。また、1 日以下のプロセス時間という特長もある。接続箇所の断面には空隙や CuO 等の異相が散見されるが、それ以外の部分では高分解能透過型電子顕微鏡により原子レベルで接続ができていることが示された。接続部の超電導臨界電流 (I_c) は 70A~110A 程度で、17 日後の再評価で I_c の劣化がないこと、複数の試料で上記 I_c が得られ高い再現性を有することも示された。また、永久電流モードの評価を直径 40mm のダブルパンケーキコイルを用いて行い、3 日間の測定期間において、顕著な電流低下は見られず、接続部の抵抗は $3 \times 10^{-11} \Omega$ 以下~ $5 \times 10^{-13} \Omega$ 以下であった。永久電流モード動作の NMR の開発を目指しているが、十分に実用的な抵抗値である。最先端のトピックスであり、活発な質疑がなされた。



見学会の様子

見学会終了後、関西支部副支部長の武田実氏による閉会の挨拶で会を締めくくった。

講演会終了後、有志 31 名により恒例の懇親会が開催され、会員相互の交流を深めた。

最後に、今回の講演会の開催にあたり、場所のご提供および見学の企画をして頂きました住友電気工業株式会社様、話題のご提供を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。

(大阪府立大 野口 悟、住友電工 永石 竜起)