

JASTECにおける超電導ビジネスの紹介



企業レポート

宮 武 孝 之*

Introduction to the business of applied superconductivity in JASTEC

Key Words : Superconducting wire, Superconducting magnet

1. はじめに

ジャパンスーパーコンダクタテクノロジー株式会社 (JASTEC) は、株式会社神戸製鋼所 (神鋼) の100%子会社で、技術開発部門で培った超電導技術の事業化を目標に2002年に設立された、国内唯一の超電導専門メーカーである。本企業レポートでは、超電導と応用分野、当社の沿革、製品技術、最近のトピックスを紹介する。

2. 超電導と応用分野

抵抗ゼロで電流が流れることで知られている、超電導現象は、図1に示すように、物質が温度、磁場、電流密度の3つの臨界条件がつくる面の内側に置かれたときに現れる。この3つの臨界条件が高いほど、応用範囲が広くなり、社会的なインパクトが大きくなる。たとえば、臨界温度が高くなるほど、冷却などの使用上のコストが小さくなる。また、臨界磁場が高くなるほど、高い磁場のマグネットが実現でき、臨界電流が高くなるほど、マグネットのコンパクト化や送電容量の増大につながることになる。

現在工業化されている超電導線材は、金属系超電導体に分類される、NbTi線材とNb₃Sn線材のみである。これらを使用するには液体He温度4.2K近傍まで冷却する必要がある。NbTi線材は主に発生磁場10T (1T=10⁴ gauss) 以下のマグネット用途に

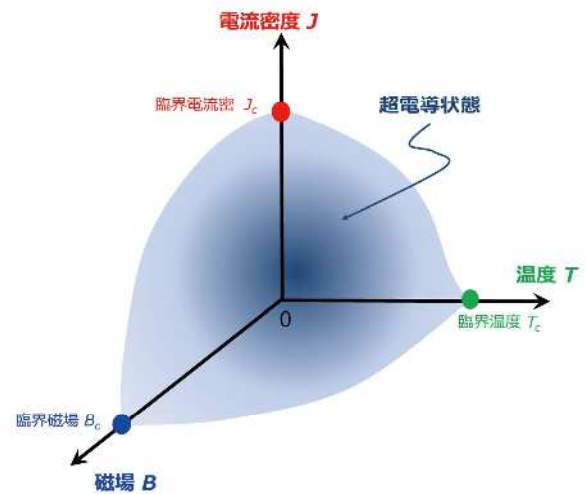


図1. 超電導現象の臨界面

使われ、Nb₃Sn線材はより高磁場 (10-23T) の発生に使われる。高い潜在能力をもつ高温超電導線材は、80年代後半から精力的に研究開発され、著しく特性改善が進んでいるが、線材長や製造コストなどの課題があり、実用化まであと一歩のところである。

次に超電導の応用分野を見ていこう。現在実用化されている超電導応用製品のうち、最も大きな定常市場をもつのは、医療診断に用いられる磁気共鳴イメージング (MRI) 装置である。その他には、核磁気共鳴 (NMR) 装置やシリコン単結晶引き上げ用マグネットなどの研究用や産業用マグネットがある。これらの民生分野に加えて、磁気浮上列車、核融合炉、加速器など、輸送、電力エネルギーやビッグサイエンス分野のインフラを構築する大型システム市場がある。この分野は、投資額もきわめて大きい、プロジェクト的な案件であり、定常市場とはいえない。また、技術力に加え、高度なエンジニアリング能力が要求され、重電・重工メーカーなどが手掛ける分野になっている。



* Takayuki MIYATAKE

1957年9月生まれ
大阪市立大学大学院工学研究科応用物理学専攻 前期博士課程修了 (1983年)
現在、ジャパンスーパーコンダクタテクノロジー株式会社 顧問役 (前代表取締役社長) 工学博士 超電導材料
TEL : 078-991-9445
FAX : 078-991-9446
E-mail : miyatake.takayuki@kobelco.com

3. JASTEC の沿革

JASTEC の超電導技術は、1964 年に神鋼に設立された浅田基礎研究所での研究を嚆矢とする。以後、超電導線材、超電導マグネット、極低温生成技術などの研究開発に取り組んできた。その後、88年に神鋼門司工場に線材の量産設備を整備、また89年に英 Magnex 社の技術を導入してジャパンマグネットテクノロジー株式会社 (JMT) を設立、本格事業化を目指した。事業化にあたり、目標とする製品市場を NMR 用線材、マグネットに置いた。

NMR では、高磁場化するほど、分解能が向上し、信号の S/N 比も改善される。当時は NMR マグネットの高磁場化が世界的に始まったところであり、神鋼 Gr も高磁場 NMR マグネットの開発競争に参画した。まず MIT と 750MHz (17.6T: NMR では水素の共鳴周波数で磁場強度を表現する。23.5T で 1000MHz に相当する) の NMR マグネット開発に取り組み、93年に完成、98年には他社に先駆け長期運転が容易な 4.2K 運転の 800MHz (18.8T) の開発も成功した。この間、95年から物質・材料研究機構の委託を受け、1GHz 級 NMR マグネット開発に着手。99年には世界初の 900MHz (21.1T) の永久電流モード運転に成功、さらに改造を施し、01年に 920MHz (21.6T) を達成、NMR 測定に供せられた。その後、高性能線材によるコイル改造で 930MHz (21.9T) の当時の世界最高磁場を更新した。

事業としては、90年代は業績面で苦しんだものの、2000年頃から次第に安定して黒字を出せるようになった。そこで、神鋼本体で運営していた線材事業と子会社 JMT のマグネット事業を統合し、02年4月に JASTEC として再スタートを切った。世界的にみても超電導線材とマグネットの両事業をもつメーカーは、当社の他には米 Bruker 社だけであり、希少な存在である。その後、17年が経過し、時とともに製品分野も拡大してきた。

4. 製品技術

4.1. 製品ポートフォリオ

JASTEC の製品ポートフォリオを図2に示す。超電導線材は、マグネットの部材であり、これを種々の用途に適したコイルに巻線することで、マグネット製品ができる。よって、線材は各応用製品の共通基盤技術と位置づけられる。当社は、線材を社内使

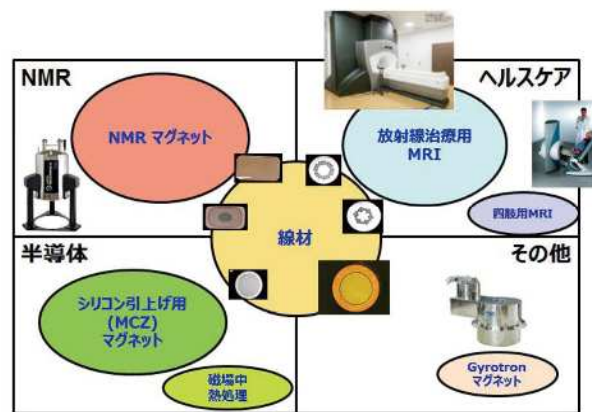


図2. JASTEC の製品ポートフォリオ

用しつつ、社外にも販売している。とくに Nb_3Sn 線材については、高磁場 NMR マグネット開発に必要な高臨界電流密度化、高強度化などに取り組み、特徴ある線材を開発してきた。

マグネット事業は、民生用マグネットを対象にしている。当初は NMR がビジネスの中心であったが、その後ヘルスケア、半導体分野に製品を広げ、3分野で事業を展開中である。さらに将来の柱となる製品育成のため、科学実験用途や産業用途の製品にも積極的に取り組んでいる。

以下に当社製品技術の中核である Nb_3Sn 線材と NMR マグネットについて紹介する。

4.2. Nb_3Sn 線材技術

当社はブロンズ法 Nb_3Sn 線材を工業生産している。ブロンズ法 Nb_3Sn 線材とは Cu-Sn 合金 (ブロンズ) 母相中に多数の Nb フィラメントを配置した複合体を細線加工し、それを熱処理して、Nb フィラメント界面に Nb_3Sn 化合物を生成させる線材である。直径 1-2mm の Nb_3Sn 線材には、通常直径 2-5 μm 程度の Nb フィラメントが数万本含まれている。

ブロンズ法 Nb_3Sn 線材では、ブロンズ中の Sn 濃度を高くするほど、 Nb_3Sn 生成量が増大し、かつ生成した Nb_3Sn 結晶粒の微細化と結晶品質の改善が果たされる。その結果、臨界電流密度が向上することが知られている。一方、ブロンズ中の Sn 固溶限が 15.8mass% であり、これに近づくほど、加工に不都合な析出物が生じやすくなり、細線加工が困難になる。当社は、ブロンズメーカーである株式会社大阪合金工業所と共同で高 Sn 濃度ブロンズ開発とその加工技術確立に取り組む、Sn 濃度 16mass%

を用いたNb₃Sn線材を実用化した。この技術を展開し、NMRマグネットの高磁場化や後述の核融合用Nb₃Sn線材の開発を達成した。

4.3. NMR マグネット技術

NMRは、原子核1個レベルの分解能で信号解析する、きわめて高感度の分析手段で、分子構造の精密解析や未知物質の同定に使われている。それゆえ、NMRマグネットには、高い磁場均一度と磁場安定度が要求され、一般的な仕様は以下のとおりである。

磁場均一度 < 0.01 ppm/Φ 10×20mmL

磁場安定度 < 0.01 ppm/h

数字ではイメージがつかみにくいので、例えを用いて表現すると、磁場均一度の仕様は直径10mm・高さ20mmの円柱空間で磁場のバラツキが0.01ppmであるが、定格磁場を東京-大阪の距離500kmとすると、そのズレが数mm程度しか許されないレベルとなる。この実現には、マグネット電磁設計技術、均一卷線技術、磁場分布の調整技術などが必要である。また、磁場安定度0.01ppm/hは、100年経過しても所定磁場から1%足らずのズレしか起こらないレベルである。これを達成するには、マグネット設計基準の確立、線材の超低抵抗接続技術が要求される。

当社は、このようなNMRマグネットをJMT時代から累積で1,900台(19年3月現在)の出荷実績をもち、19年度中に2,000台を越える見込みである。主要機種は、400MHz(9.4T)、500MHz(11.8T)、600MHz(14.1T)、700MHz(16.5T)、800MHz(18.8T)で、毎年120-140台出荷している。

5. 最近のトピックス

5.1. 核融合用Nb₃Sn超電導線材

現在、南仏カダラッシュで、世界7極(日本、欧州、米国、ロシア、中国、韓、インド)が参加して、2025年の運転開始に向け、図3に示す国際熱核融合実験炉(ITER)が建設されている。このプロジェクトでは、2008年から約10年にわたり大量のNb₃Sn線材が調達された。調達量はトロイダル磁場(TF)コイル用が420トン、中心ソレノイド(CS)コイル用が120トンで、各国が分担して物納した。日本の分担はTF線材の25%、CS線材は100%であったが、当社は前者で40トン余り、後者で60トン余り

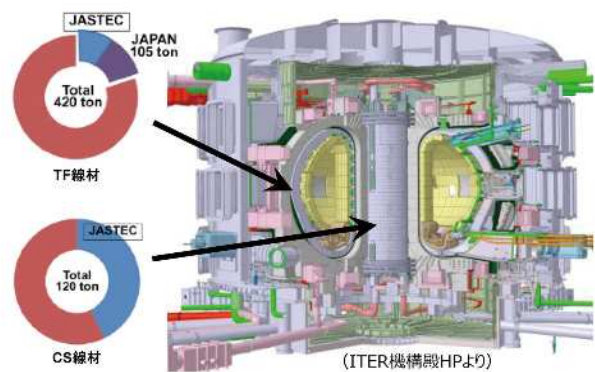


図3. ITERでの線材調達量とJASTECシェア

を出荷した。この量は、ITERに参画した世界の線材メーカーの中で最大であった。

5.2. 世界最高磁場の1.02GHz NMR装置開発

国立研究開発法人科学技術振興機構(JST)の「超1GHz-NMRシステムの開発」プロジェクトにおいて、2015年7月、物質・材料研究機構、理化学研究所、JEOL RESONANCE、神鋼と共同で1.02GHz(24T)という世界最高磁場のNMR装置(図4)を開発した。このマグネットは、最内層コイルに高温超電導線材を使用したもので、コイル設計、巻線などで新技術を確認した。当社は、4者の指導のもと、マグネット製作を請け負った。これらの技術は、現在推進中のJST 未来社会創造事業の永久電流モード運転1.3GHz-NMRマグネットの開発に活かされている。

5.3. Gyrotron用マグネット

核融合プラズマの加熱システムなどに使われるGyrotronの開発が世界各地で行われている。超電導



図4. 1.02GHz-NMRマグネット外観(出所:NIMS)

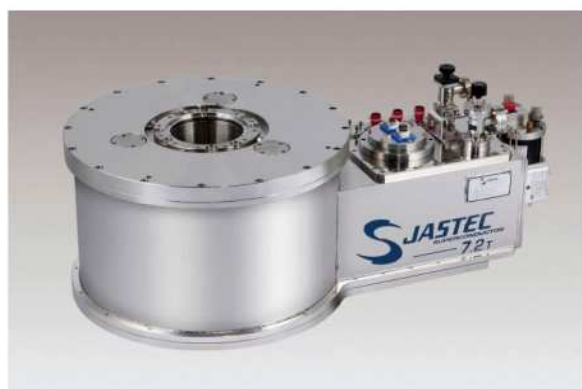


図5. 7T160 Gyrotron 用マグネット外観

マグネットは、Gyrotron 管内で電子を回転させるための磁場を提供する。当社は 50 台を越える Gyrotron 用マグネットの納入実績 (19 年 3 月現在) をもつ。ITER プロジェクト関連では日本だけでなく、ロシアでも当社のマグネットが採用されている。(図 5)

6. おわりに

本レポートでは、当社の事業を主に製品技術の視点から紹介した。民生用超電導製品市場はまだまだ小さく、ニッチな事業であるが、市場は着実に拡大しており、技術主導ビジネスとして今後の成長を期待している。

