

# 2020年度 TIA 連携プログラム探索推進事業「かけはし」

## 調査研究報告書(公開版)

【研究題目】ヘリウムフリー超電導磁石に向けた MgB<sub>2</sub> 線材の調査研究

【整理番号】TK20-002

【代表機関】産業技術総合研究所

【調査研究代表者(氏名)】吉田 良行

【TIA 内連携機関：連携機関代表者】NIMS 高温超伝導線材グループ：松本 明善  
KEK 超伝導低温工学センター：荻津 透

【TIA 外連携機関】日立製作所

【報告書作成者】吉田 良行

【報告書作成年月日】2021年3月30日

【連携推進(具体的な連携推進活動内容とその活動の効果等)】

連携推進活動については、概ね4半期毎を目処に市販 MgB<sub>2</sub>に関する情報共有をかけはし連携チーム内で行うとともに、実験の方針、試料の提供、実験の進捗確認、成果の情報共有などを行った。さらには、ASCOT(つくば応用超電導コンステレーションズ)の活動を利用して、本調査研究メンバーに加えて、住友重機工業、古河電気工業、京都大学を含めた関係者との意見交換を行い、MgB<sub>2</sub>を用いたヘリウムフリー産業用マグネットに関する研究開発についてのプロジェクト提案を目指したが、本年度については公募テーマに本調査研究にフィットするテーマがなく、来年度以降に提案を持ち越した。

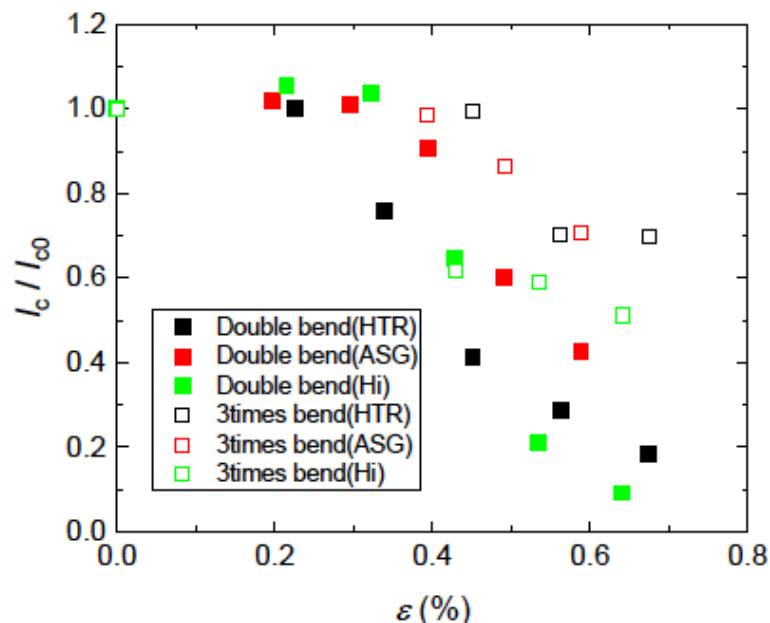
研究会の開催状況に関しては、2020年12月に低温工学・超電導学会に付随した形で MgB<sub>2</sub>線材開発に関する調査研究会を開催し、20名程度の参加者の中、2件の報告を頂いた。1件目はTIA内連携機関であるNIMSの熊倉浩明博士による MgB<sub>2</sub>線材の炭素化合物の添加効果についての報告で、MgB<sub>2</sub>への不純物添加で確実に効果のある様々な炭素化合物についての線材の性能向上効果とそれら添加物のコストに関する報告で、MgB<sub>2</sub>線材の不純物添加効果に関する知見が得られた。2件目は MgB<sub>2</sub>線材の応用技術の現状について、TIA外連携機関である日立製作所の田中秀樹博士よりご報告を頂いた。現状の MgB<sub>2</sub>線材性能として、10K、5.4Tの磁場下で実用的臨界電流密度が250A/mm<sup>2</sup>であり、従来の NbTi の超電導磁石に比べて、温度マージン、クエンチのマージンともに極めて高いことが報告された。それとともに、CERN加速器に現在使用されている常伝導磁石を MgB<sub>2</sub>超電導磁石に置き換えることで、その消費電力は約1/10に低減でき、従来の NbTi の超電導磁石で懸念されるクエンチ時の保護機構の簡素化が可能となること、現在日立が開発中の MgB<sub>2</sub>線材を用いた冷凍機冷却のオープン型磁気共鳴画像法(MRI)用マグネットの最新の開発状況が報告され、0.4Tという磁場ながら、高速に磁場の励磁が可能で、かつ、緊急消磁後の冷却もすぐに可能であることが示され、現在の MgB<sub>2</sub>線材の応用開発の現状に対する知見が得られた。

連携期間の拡大に関しては、KEKでは、現在、ニオブ系超電導磁石開発の評価に関して、東北大学と共同研究を行っており、それを MgB<sub>2</sub>線材に展開することで連携機関の拡大を試みている。

【調査研究内容(実験等中心に背景・課題と実行された課題解決の内容と結果)】

アメリカ(HTR)、イタリア(ASG)、日本(Hi)で入手可能な React & wind で作製された線材の曲げ劣化性能を評価した。曲げ方法は二種類で、過度に曲げプロセスが入ることを想定した Double bend と歪み特性を含んで評価可能な 3times bend を採用した。Double bend は、スプールリールに巻かれている方向と逆向きに1度、さらに反対向きに一度曲げる方法で、3times bend は線材の片端を固定し、曲げ・開放を3回繰り返す方法である。温度4.2K、磁場7T下で測定した結果を下図に示す。縦軸は臨界電流の低減率

(曲げた後の臨界電流値を曲げる前の値で割ったもの  $I_c / I_{c0}$ )、横軸は歪み ( $\varepsilon$ ) を示しており、メーカーにより内部構造が若干異なるが、歪みで 0.3% まではどの線材を使用しても臨界電流の劣化が見られないことが明らかになった。



図：4.2K、7T 下での曲げによる臨界電流の変化と歪みの関係

これと並行して、文献による超電導線材、超電導磁石の市場調査を行った。それによると、超電導線材及び、超電導磁石の市場は、超電導材料の改善と、ワイヤ/ケーブル処理技術の漸進的な強化を受けて成長してきており、医療技術分野がその成長に貢献してきた。超伝導線材（主に NbTi などの低温超電導体）は磁気共鳴画像法 (MRI) や核磁気共鳴 (NMR) 機器で大きく進歩してきたが、現在までに、それを MgB<sub>2</sub> 線材や銅酸化物高温超電導テープ線材に置き換えるという動きはまだ見られていない。

今後の見通しに関しては、全体的には現在の状況が続くと見られるが、超伝導電線及び、超電導磁石の市場は、COVID-19 コロナウイルスの流行を受けて、当面は苦しむ可能性が高いと締めくくられている。

#### 【今後の活動予定】

今後の調査研究チームとしての今後の活動予定は、引き続き入手可能な線材を入手して、曲げ劣化の評価を行う。当面は韓国の MgB<sub>2</sub> 線材のメーカーから線材を入手し、曲げ劣化特性を測定する。さらには、その製造プロセスでの熱処理温度が曲げ劣化に与える影響を評価する。また、今年度に手が回らなかった応力下での臨界電流特性の評価を、東北大学金属材料研究所を含めた形で行っていく予定である。

資金獲得の方針としては、引き続き、2050 年カーボンニュートラル目標に資する MgB<sub>2</sub> を用いたヘリウムフリー産業用マグネットに関する研究開発についての NEDO のプロジェクト提案を目指す。

以上