

平成 22 年度第 1 回（通算第 3 回）超伝導材料の応力・ひずみ効果に関する量子ビーム  
応用研究会報告

本調査研究会は、近年発展してきた量子ビーム（放射光や中性子など）を用いた内部歪み計測を、超伝導材料へ適用することで、超電導材料の応力・ひずみ効果の理解を目的として活動しています。通算第 3 回目（2010 年度第 1 回目）の研究会が、2010 年春季低温工学・超電導学会終了後に開催されました。以下に研究会の報告を致します。

日時：2010 年 5 月 14 日（金）13 時 30 分～15 時 30 分

会場：川崎市産業振興会館 9 階第 2 研修室（春季低温工学・超電導学会 D 会場）

プログラム：

1. 開会の挨拶 . . . . . 淡路智（東北大学）
2. 講演（各 30 分）  
講演（1）「ヘリカル炉 FFHR の概念設計の現状と必要な超伝導マグネットおよび導体」  
. . . . . 柳 長門（核融合研）  
講演（2）「核融合研における先進超伝導材料の研究開発の現状」  
. . . . . 菱沼 良光（核融合研）  
講演（3）「量子ビームを用いた Nb<sub>3</sub>Sn 線材の 3 次元ひずみに関する研究の現状」  
. . . . . 小黒 英俊（茨城大学）
3. 委員会  
（議題：研究会の規約、今後の方針についての打合せ、司会：長村光造）
4. 閉会の挨拶 . . . . . 淡路智（東北大学）

第 3 回目（2010 年度第 1 回目）の研究会は 19 名の参加者があり、主に核融合炉用超伝導導体開発に関連した導体と素線開発に関してそれぞれ 1 件、さらにその代表的な材料である Nb<sub>3</sub>Sn における 3 次元歪みに関する講演 1 件の 3 件を、それぞれ第 1 人者の先生にお願いした。

柳氏（核融合研）は現在設計が進められているヘリカル型核融合エネルギー炉（FFHR）の概要及びそれに用いられる導体やコイル技術について解説した。FFHR の現在の設計では、ヘリカルコイルの大半径 17m、トロイダル磁場 5.1T、最大経験磁場 13T の条件で 100kA 級の通電電流が導体に要求される。FFHR 用材料候補として Nb<sub>3</sub>Sn、Nb<sub>3</sub>Al、V<sub>3</sub>Ga 及び高温超伝導体 YBCO が考えられているが、用いる材料やその導体構造もまだ決定していない。導体構造としては、強制冷却する Cable-in-conduit-conductor (CICC) のほか、間接冷却するラザフォードタイプの 2 種類

があり、候補としては金属系低温超伝導体を用いた CICC、金属系低温超伝導ラザフォード、そして高温超伝導ラザフォード導体の3つの候補が挙げられている。その一部の縮小導体はすでに試作され、素線に近いパフォーマンスが得られるとの事である。これらの導体には強大な電磁力が誘起されることと、0.1W/cc以上の核発熱の冷却などがポイントとなる。ITER用CICCで問題となったように導体内部の歪み状態を理解し、これをどうクリアするかが重要であり、中性子回折による内部歪み測定の有効性が議論され、すでに作製された導体に対する実験について今後検討していくこととなった。

菱沼氏（核融合研）は、核融合炉用導体に対して材料の観点で現状を解説した。強い中性子線に長期間さらされる核融合炉用材料の場合低放射化が重要である。このため半減期の長い $V_3Ga$ や $MgB_2$ 導体の開発が望まれている。講演では、 $V_3Ga$ 、 $Bi2212$ 、 $MgB_2$ 素線開発について紹介された。 $V_3Ga$ の歪み感受性は $Nb_3Sn$ よりも小さく $Nb_3Al$ よりも大きい、これまで高い $J_c$ を示す線材が得られなかった。核融合研では高いGa濃度の前駆体を用いてPIT法 $V_3Ga$ 線材を作製したところ、従来のブロンズ法 $V_3Ga$ 線材よりも高い $J_c$ と $H_{c2}$ を示す線材作製に成功した。また、金属系超伝導材料よりも高い高磁場特性を有する高温超伝導材料のうち、唯一丸線加工が可能な $Bi2212$ に対し、高融点のNiを補強に用いた線材作製に成功した。また、Cu安定化Taシース $MgB_2$ 線材に関して、単芯線と多芯線を作製した結果、多芯化により $I_c$ の歪み依存性が大幅に改善できることを示した。これらの試作線材の評価はまだ進行中のようで、体応力/歪み特性の観点での今後の評価に期待したい。

小黒氏（茨城大）は、 $Nb_3Sn$ 素線に関してその内部歪みを3次元で評価し、その結果にもとづいた歪み依存性モデルについて解説した。中性子や歪みゲージによって測定した線材長手方向と横方向の歪みによって、等方歪み（静水圧歪み）と偏差歪みを算出し、これを用いることで歪み感受性の違いが、3次元歪みによって説明できるとした。特に、 $I_c$ や $H_{c2}$ の歪み依存性は、長手方向の歪みと横方向の歪みの比である有効ポアソン比の大きさによって決まっており、その値は線材構造で変化することを示した。また、最近の中性子回折を用いた $Nb_3Sn$ 線材の内部歪みに関する詳細なデータを紹介し、内部歪みの回折面依存性やその温度依存性についての現状を紹介した。

量子ビームによる歪み計測は、CICCやラザフォードケーブルなどの大容量超伝導導体に対して多大なる威力を発すると期待できる。J-PARC、原研、SPRING8などの量子ビームを用いた、素線の歪み依存性の起源解明から大容量導体開発に至るまで幅広い研究への発展を期待したい。研究会終了後には、今年度からスタートした核融合科学研究所LHD計画研究についての説明と実施計画などについて議論を行い、研究会などを開催して個別のテーマに関して深く議論していくことで合意した。