

研究開発課題別事後評価結果

1. 研究課題名：高温超伝導を用いた高機能・高効率・小型加速器システムへの挑戦

2. プロジェクトマネジャー：雨宮 尚之（京都大学 大学院工学研究科 教授）

3. 課題の概要

本課題では、高温超伝導線材を用いた高温超伝導マグネットの共通基盤技術を確立する事により、医療用・産業用粒子加速器向けの小型化・省電力化・高機能化に挑戦し、今後の高温超伝導マグネット技術を応用した加速器開発への道筋を示した。具体的には、固定磁場強収束(FFAG)加速器を例に取り上げ、重粒子線がん治療装置の炭素イオン加速器と照射ビームライン、加速器駆動未臨界炉(ADSR)用加速器を想定して研究開発を進め、本課題の最終段階では、がん治療で将来的な設置が切望される医療用加速器ビームラインに、これまでの研究開発成果で得られた高温超伝導マグネットを適用して機能実証を行った。

4. 評価結果

（1）研究開発の目標達成度と成果

ステージⅠでは、固定磁場収束(FFAG)、シンクロトロン、医療用等への応用を想定した機能結合型・高効率加速器用高温超伝導マグネット技術に必要となる、高温超伝導による機能結合型マグネット技術、高精度磁場発生技術、高精度三次元巻線技術、高温超伝導加速器システム等の各要素技術の概念を確立した。ステージⅡにて、加速器用高温超伝導マグネットの磁場設計・工学設計をもとに、3次元巻線技術およびネガティブベンド巻線技術を確立させ、それらのマグネットの性能検証を行った。ステージⅢでは、医療用加速器ビームラインに設置して検証を行う目的で、平面ネガティブベンドコイル・立体部形状コイルから構成されるモデルマグネットを試作し励磁試験を行った。励磁試験途中にコイルの保持構造の強度不足に起因するコイル焼損のトラブルにみまわれたが、コイル性能検証は継続する事になった。実際の加速器用ビームライン試験への高温超伝導マグネットの機能検証は RE 系薄膜線材を使用したレーストラック型コイルにて実施し、当初の目標である高温超伝導マグネットを用いた医療用加速器でのビーム試験を実施した。その結果、計算通りのビーム誘導特性が確認された他、ビームロスによる熱暴走や熱焼損（クエンチ）、及びクエンチ保護回路の検証、ならびに発生する磁界を繰り返し変化させた場合の交流損失の検証も実施し目標を達成した。

なお、複合コイルを用いたマグネットはコイル焼損が発生したが、その後、マグネット単体でも追加試験を実施し、マグネット単体の健全性は確認された。

（2）新産業及び新事業創出の可能性

高温超伝導マグネット技術の加速器応用による新事業創出における課題として、産業用の加速器への応用に対しては、超伝導マグネット用のコイルの大型化巻線技術ならびにクエンチ保護技術、高温超伝導応用システムが必須となる。がん治療など医療用加速器では、本研究開発成果で得られた高温超伝導マグネットを応用する事により、従来技術による低温超伝導と比較して小型化、省エネルギー

化が可能になる。また、重粒子線による治療方法に対しては、先端医療保険の適用が開始されたことから、今後の需要が増えることが期待される。早期の応用が期待される高温超伝導マグネット使用による小型軽量の回転ガントリーに使用するに至るまでには、高温超伝導用マグネットのスケールアップ、クエンチ保護技術、システム化技術の研究開発とその実証は、ここ数年レベルで継続される必要がある。

（３） 総合評価

高温超伝導マグネット技術の確立と、それをがん治療用加速器でのビーム試験により実証する研究開発目標については、目標をほぼ達成した。しかしながら三次元巻線、ネガティブバンド巻線を用いたモデルマグネットによるビーム試験は、マグネット保持方法の不具合による焼損の発生により滞ってしまい、モデルマグネットによるビーム試験の実証は今後の継続課題になる。要素技術としては、立体部・ネガティブバンド巻線の電磁力耐性や繰り返し応力に対する信頼性評価試験で確認できたことは評価できる。知的財産として特許出願件数が少なく、巻線技術に関しては参画機関のノウハウとして多く蓄積されたが、巻線技術だけにとらわれず、ハードウェア、システム運用方法、ならびに解析方法等にての積極的な特許出願が望まれた。産業用加速器への展開もできる、海外を含む応用特許を継続して出願することが必要である。

重粒子線によるがん治療は、2017 年より先端医療保険適用の対象となったことから、小型・省エネルギー化の医療用加速器の需要はますます高まりつつある。高温超伝導マグネットによる医療用加速器でのビーム試験が、世界で始めて実証されたことの成果は大きいが、まだ原理確認レベルでの実証段階にあり、実用に向けてマグネットのスケールアップを含めた継続的な研究開発が必要と思われ、新たな公的資金のファンディングへの積極的な応募ならびに、参画機関の継続した研究開発を期待している。

以上の結果から、総合評価を A とする。

以上