

超伝導加速器研究拠点

① ビジョンの概要

超伝導は加速器の高性能化、高効率化、小型化に欠かせない技術である。特に超伝導加速器の特徴である大強度ビームを活用すれば、従来の学術研究はもとより、加速器利用をさらに拡大し広範な応用分野を新しく創出することが可能となるであろう。本ビジョンは超伝導加速器の研究拠点の建設整備を行い加速器開発の飛躍的進展をはかるとともに加速器応用の新分野創出や加速器科学の発展を支える人材育成を推進する。

② ビジョンの内容

現在すでに加速器において不可欠な技術となっている超伝導技術をより高度化することによって加速器科学の未来にむけた諸課題に取り組み、加速器の可能性をさらに開拓し、あわせて若手人材の育成を推進する。

③ 学術研究構想の名称

超伝導加速器研究拠点

④ 学術研究構想の概要

本研究拠点構想は、超伝導技術に特化して加速器の高性能化、高効率化、小型化を実現する提案であり、今後の10年間で超伝導高周波空洞と超伝導電磁石を中心に開発および施設整備を進めるものである(図1)。高周波空洞については(1)超伝導空洞の加速勾配とQ値を高める研究、(2)空洞にNb3Snの薄膜を用いることによる小型化、(3)高性能超伝導加速空洞を用いた大強度電子ビーム照射設備の設計、(4)次世代半導体の製造に用いるEUV-FEL施設の実現にむけた開発、(5)大電力高周波源の高効率化、(6)BNCT用加速器の超伝導化に向けた開発等を行い、(a)小型大強度電子ビーム照射設備、(b)EUV-FEL評価設備、(c)超伝導BNCT設備の整備を行う。超伝導電磁石については従来の超伝導材料が性能限界を迎え、Nb3Snや高温超伝導体などの先進超伝導材料による高磁場超伝導電磁石技術の確立が必須となっており(1)新材料による超伝導電磁石の高磁場化、(2)近年重要性を増している超伝導電磁石の耐放射線性能の向上に関する研究等を行い、(d)超伝導電磁石評価設備を整備する。これらの設備を活用し超伝導加速器の幅広い応用に取り組む人材育成も行う。



図1：設備の概要

⑤ 学術的な意義

超伝導加速空洞の大きな特徴である高いQ値をさらに高める空洞製作技術や表面処理技術は重要な開発要素である。さらに、超伝導空洞の最大の利点である大電流ビーム運転という特徴を生かすためにKEKではエネルギー回収型ライナック(ERL)の開発を行っている。ERLを用いたEUV-FEL評価設備を整備することで、基礎科学分野のみならず、従来の半導体用リソグラフィ光源では到達不可能な出力10kW以上のEUV光源の評価が可能となる。新たな超伝導材料Nb3Snは次世代超伝導加速器に向けた重要な開発要素である。Nb3Snの超伝導転移温度はNbのそれより高く、Nb3Snの薄膜の蒸着法が確立すれば、大型冷凍機を必要とするNbに比べ小型冷凍機を用いた伝導冷却によるコンパクトな超伝導加速器が可能となる。このNb3Sn空洞技術確立し、新たに小型大強度の電子ビーム照射加速器設備を整備する。高効率の高周波源は、従来の約半分の消費電力での運転を可能とし、超伝導加速器のみならずすべての高周波加速器の高効率化に貢献する。BNCTは有効ながん治療法の一つであるが、病院に設置できる加速器ベースBNCT普及の決め手は機器価格の適正化であり、その達成には加速器本体の小型化と省エネ化が必須となる。素粒子原子核物理の分野では、高エネルギーで大強度の加速器実現に向けて高耐放射線性能を持つ高磁場加速器用超伝導電磁石の開発が必須となっ

ている。電磁石の高磁場化は、加速器の小型化にも寄与し産業及び医療用加速器への貢献も大きい。高耐放射線性能を持つ高磁場電磁石はミュオンの産業利用などの幅広い応用にも道を拓く。これらは核融合分野においても必須の技術である。これら4設備からなる超伝導加速器施設を整備することで国内唯一の研究拠点を形成する。

⑥ 国内外の研究動向と当該構想の位置付け

超伝導空洞を用いた FEL 加速器は、ドイツ、アメリカ、中国で建設が進められているが、ERL 型の FEL はエネルギー回収可能な新しい加速器である。KEK では、2025 年より経済安全保障プログラム(K-program)の支援を得て、ERL 型の EUV-FEL 開発を進めている。Nb3Sn 空洞開発はアメリカのフェルミ研究所などと日米共同で行っている。BNCT 用加速器については、標的寿命と機器の放射化を考慮すると陽子エネルギーは 10MeV 前後が望ましいが、加速器の構成が複雑になるため、このエネルギー領域の加速器を使う BNCT の計画は世界的にも少なく、さらに超伝導加速器は皆無である。加速器用高磁場超伝導電磁石の開発は FCC のような将来の大型加速器のために欧米を中心に国際協力での開発が非常に盛んで日本の貢献に対する期待も非常に高い。

⑦ 社会的価値

本施設建設の主要テーマは超伝導での高効率化による「省電力」と「小型化」で SDGs に貢献するものである。EUV-FEL 技術はわが国の半導体用 EUV リソグラフィ加工のスループットを圧倒的に高め、さらに省電力化を狙う革新的な技術である。Nb3Sn での小型大強度照射加速器は、核医学薬剤の国内での大量生産を可能とし、木材からのナノセルロースの高効率生成にも寄与するものである。癌の治療に有効な選択肢を増やすことは平均寿命の伸びた国民の QOL の向上に極めて重要であり、BNCT は既存の治療法と相補的であるため貢献度は高い。高耐放射線・高磁場超伝導電磁石は、高熱負荷条件で高効率・高安定な運転を実現するため、産業・医療応用にも非常に大きく貢献する。

⑧ 実施計画等について

<実施計画・スケジュール>

Nb3Sn を用いた小型大強度電子ビーム照射設備は、前半5年間で Nb3Sn 空洞の開発等を行い、後半5年間に施設建設を行う。次世代半導体用 EUV-FEL 評価設備は、前半5年間で K-Program の支援を得て Nb 超伝導加速空洞の製作、冷凍機増強、アンジュレータの製作及び高輝度大電流電子銃開発を行う。後半5年間は高効率短波長の FEL 発生を目指した加速器の増強を行なう。クライストロンの高効率化は、2年目にプロトタイプの製造、5年目以降に量産モデルを製作し、EUV-FEL 評価施設に実装する。超伝導 BNCT 設備は、最初の2年で基本設計と空洞試作、3年目以降に空洞実機製作と測定・調整、8年目は並行して製作していた冷却系に組み込み、施設を完成させる。超伝導電磁石評価設備は、最初の2年間で線材試験設備と磁石開発設備を整備する。また磁石試験設備の整備を2年目から開始し6年目までに完了する。同時に線材の開発を6年間で段階的に進める。磁石開発は2年目から開始して 12T 大口径二極磁石を7年目までに完成する。またその中で試験するインサートコイルは5年目から開発を始め最終年度までに 20T を目指した試験を行う。

<実施機関と実施体制>

本研究構想では、KEK の加速器研究施設、共通基盤研究施設が中心となり、国内外の研究機関と連携して進める。加速器研究施設には超伝導加速器の開発研究とそれによる人材育成を目的として iCASA (応用超伝導加速器イノベーションセンター) が設置されている。iCASA では、空洞製造から空洞の評価、さらにビーム試験までをすべて行うことができる。共通基盤研究施設の超伝導低温工学センターは加速器や検出器に用いる低温・超伝導磁石の開発研究を長年にわたって先導してきた。本施設構想はこれらの研究基盤と実績に基づいて超伝導加速器開発のさらなる発展を目指す。

<総経費> 243.3 億円

<所要経費>

Nb3Sn を用いた小型大強度電子ビーム照射設備は 81 億円。EUV-FEL 評価設備は 63.3 億円。高効率クライストロンおよび大電力高周波アンプの設備に 27.3 億円、超伝導 BNCT 設備の整備に 23.7 億円、超伝導電磁石評価設備整備に 32 億円。これらの施設を KEK 内に建設し、その運営費に 16 億円を見込んでいる。

⑨ 連絡先

小関 忠 (高エネルギー加速器研究機構・加速器研究施設)