

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 13 日現在

機関番号：63902

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2009～2011

課題番号：21760224

研究課題名（和文） 高度先進ガン治療装置のための複合磁場型超伝導マグネットの実証的開発研究

研究課題名（英文）

Study on combined-function superconducting magnets for cancer therapy

研究代表者

尾花 哲浩（OBANA TETSUHIRO）

核融合科学研究所・ヘリカル研究部・助教

研究者番号：60435518

研究成果の概要（和文）：

■各多極成分（2極成分，4極成分，6極成分，・・・，2n極成分）に対応する様々な $\cos(n\theta)$ 型電流分布を重ね合わせることで、複数のコイルを使用せず、たった1つのコイルのみで、ガントリーに必要な磁場分布を実現できるコイル設計手法を取り入れた設計コードを開発することに成功した。

■超伝導コイルの巻線作業を行う際に使用するコイル巻線機の製作精度の検証し、更に、コイル巻線での樹脂含浸技術の構築のために、開発した超伝導コイル設計コードを用いて設計した超伝導コイルを製作した。

■製作したモデルコイルの常温磁場測定を行った。測定値と設計値の差が非常に小さく、コイル製作精度の高さを実証することができた。

研究成果の概要（英文）：

■ The required magnetic field distribution for “gantry” was realized with the developed program taking into account the coil design technique which can combine several $\cos(n\theta)$ current distributions with single coil layer.

■ The model coil was designed using the developed program and was made, in order to check fabrication accuracy of the coil winding machine and impregnation technology of epoxy resin.

■ Magnetic field generated by the model coil was measured at room temperature. As a result, the fabrication accuracy of the model coil was verified.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	700,000	210,000	910,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
2011年度	1,600,000	480,000	2,080,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学、電力工学・電力変換・電気機器

キーワード：電気機器・超伝導マグネット

1. 研究開始当初の背景

近年、がん治療法の一つとして、陽子や重粒子を利用した“粒子線がん治療”が注目されている。それは、他のがん治療方法に比べて、患者への身体的負担が非常に軽く、特に体力の衰えた高齢者への治療には最適だからである。そのため、各国において、粒子線がん治療装置のハードとソフトの両面の開発研究が進められている。しかし、現状では、粒子線がん治療装置の主要コンポーネントである加速器の開発研究は精力的に進められているが、それに比べると、加速器から取り出した粒子ビームを患者のがん細胞に目掛けて、精度良く照射することを可能にする、いわばがん治療の鍵となる『ガントリー』の開発研究は進んでいない。現在までに開発された陽子線治療用『ガントリー』は、直径が約 10 m で、総重量が約 100 トンという巨大重量の装置を患者の体軸を中心にして、ミリオーダーの位置精度で回転する装置であるため、機械工学的、施設構造的、経済的に非常に厳しいものである。また、重粒子線治療用『ガントリー』では、陽子線より数倍もの高いエネルギーの重粒子に対応するため、より一層の大型化、重量化、高コスト化が必要となる。それゆえ、陽子線治療に比べて、重粒子治療は格段に治療効果が良いと理解されいながら、重粒子線治療用『ガントリー』は、各医療施設において設置が見送られ、現状では、世の中に存在しない。

2. 研究の目的

粒子線がん治療において、粒子ビームを患者のがん細胞に向けて照射するために、粒子ビームを偏向させて、更に、安定したビーム輸送を可能にする装置『ガントリー』の小型・軽量化、及び省エネ・低コスト化を実現する“ガントリーの超伝導化”を、超伝導・低温工学の技術を駆使して実証する。その際、実証機的设计・製作・実験を通して、ガントリーを超伝導化する上で、不可欠な基礎・基盤技術を確立する。

3. 研究の方法

①粒子ビームを曲げる偏向用磁場と安定に粒子ビームを輸送するための強収束用磁場を複合した磁場分布を、“1 万分の 1” の高い磁場精度で発生できる超伝導コイル形状用最適化設計コードを開発する。設計コード開発では、各多極磁場成分 (2 極成分, 4 極成分, 6 極成分, …, 2n 極) に対応する様々な $\cos(n\theta)$ 型電流分布を重ね合わせることで、複数のコイルを使用せずに、たった 1 つ

のコイルのみで、複合磁場を実現できるコイル設計手法を導入する。設計コード開発後には、モデルコイルを設計する。

②開発した設計コードを使用して、モデルコイルを設計し、その後、 $\phi 1 \text{ mm}$ の NbTi/Cu 超伝導線を用いて、モデルコイル巻線作業を行う。その際、ミクロンレベルの高製作精度を可能にする超伝導コイル自動巻線機を利用する。巻線作業後は、コイルを樹脂含浸して、更に、冷却板をコイルに装着する

③常温で、モデルコイルの磁場測定を行い、コイルの製作精度を評価する。

④コイル磁場中心 3 T 程度の実証機用超伝導コイルの概念設計を、開発した設計コード、及び汎用 FEM ソフトを用いて、行う。

4. 研究成果

①『ガントリー用超伝導コイルの最適化形状設計コード開発』

各多極成分 (2 極成分, 4 極成分, 6 極成分, …, 2n 極成分) に対応する様々な $\cos(n\theta)$ 型電流分布を重ね合わせることで、複数のコイルを使用せず、たった 1 つのコイルのみで、ガントリーに必要な磁場分布を実現できるコイル設計手法を取り入れた設計コードを開発することに成功した。

②『超伝導コイルの試作』

超伝導コイルの巻線作業を行う際に使用するコイル巻線機の製作精度の検証し、更に、コイル巻線での樹脂含浸技術の構築のために、成果①で開発した超伝導コイル設計コードを用いて設計した超伝導コイルを試作した。試作した超伝導コイルの詳細は、以下の通りである。コイル内径が 150 mm、コイル長が 810 mm、ターン数が 234、コイル層数が 2、使用した NbTi 超伝導線の径が 1 mm である。また、試作した超伝導コイルは、磁場測定した場合に、設計値と比較し易いように、2 極磁場を発生する直線型コイル形状である。

③『超伝導コイルの磁場測定』

Surface winding 法を用いて製作した超伝導コイル (コイル内径: 150 mm, コイル長: 810 mm, ターン数: 234, コイル層数: 2, 使用した NbTi 超伝導線の径: 1 mm) の常温磁場測定を行った。磁場測定では、通電中の超伝導コイル口径内で、計測用コイルを回転させることにより生じる誘導電圧を解析して、超伝導コイルから発生する磁場を評価した。磁場

測定結果を多極展開して設計値と比較したところ、測定値と設計値の差が非常に小さく、コイル製作精度の高さを実証することができた。

④『超伝導マグネットの設計研究』

開発した超伝導コイル最適化設計コードと汎用有限要素法コードを併用して、超伝導マグネットの設計研究を行った。超伝導マグネットは、26層の超伝導コイルの周りを、鉄カラー（厚さ:130 mm）で囲み、更に、その周りを真空容器（炭素鋼）で囲んだ構造である。本マグネットでは、マグネット中心磁場が3 Tとなるために、鉄カラーで磁気飽和が起きる。そこで、鉄ヨークの飽和の影響を考慮した超伝導コイルの最適化設計に取り組み、最適な超伝導マグネット断面の設計に成功した。また、コイル通電時に生じる電磁力が、超伝導マグネットにもたらす構造的影響も検証した。図1から図3に、概念設計の結果を示す。

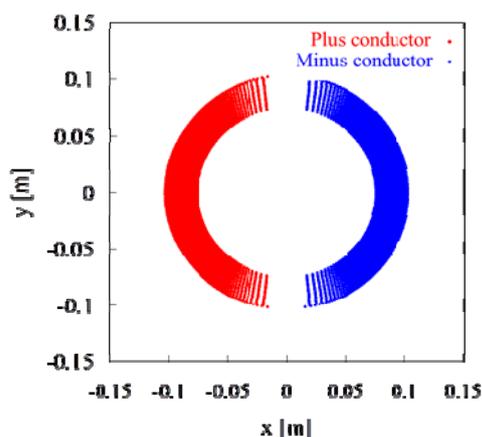


図1 コイル断面図

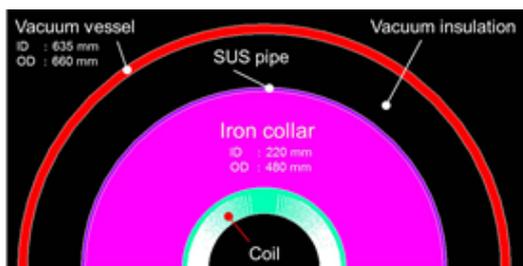


図2 超伝導マグネット断面図

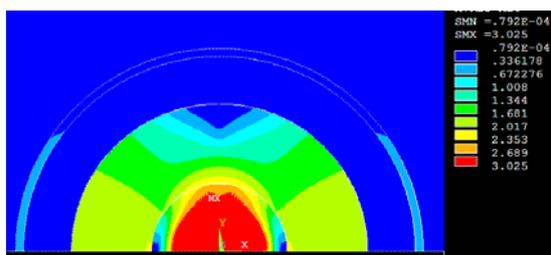


図3 超伝導マグネットの磁場分布

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計1件）

① Tetsuhiro Obana, Toru Ogitsu, Magnetic field and structure analysis of a superconducting dipole magnet for a rotating gantry, Physica C: Superconductivity, Vol.471, 2011 pp.1445-1448

〔学会発表〕（計5件）

① 尾花哲浩、重粒子線がん治療用回転ガントリーのための超伝導マグネットの磁場設計、2010年度春季低温工学・超電導学会、平成22年5月13日、川崎市産業振興会館（川崎市）

② Tetsuhiro Obana、Design study of a superconducting dipole magnet for a rotating gantry, International Cryogenic Engineering Conference 23 (ICEC 23)、平成22年7月21日、ブロッツワフ工科大学（ポーランド）

③ 尾花哲浩、Magnetic field and structure analysis of a superconducting dipole magnet for a rotating gantry、2010年国際超電導シンポジウム、平成22年11月2日、エポカルつくば（つくば市）

④ 尾花哲浩、重粒子線がん治療用回転ガントリーのための超伝導マグネットの構造設計、2010年度秋季低温工学・超電導学会、平成22年12月3日、かごしま県民交流センター（鹿児島市）

⑤ Tetsuhiro Obana、Conceptual Design of a Superconducting Dipole Magnet for a Rotating Gantry、22nd International conference on Magnet technology、平成23年9月13日、フランス マルセイユ

〔図書〕（計0件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計0件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況（計0件）

名称：
発明者：

権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

尾花 哲浩 (OBANA TETSUHIRO)
核融合科学研究所・ヘリカル研究部・助教
研究者番号：60435518

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：