

## 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 8日現在

機関番号：82118

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2011

課題番号：22740184

研究課題名（和文） 大強度ビームの熱吸収体を利用したプロファイル測定方法の研究

研究課題名（英文） Development of beam profile measurements by temperature distribution of beam absorber for high intensity beam line

研究代表者

上利 恵三（AGARI KEIZO）

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・技師

研究者番号：30391741

研究成果の概要（和文）：ビーム吸収体でのエネルギー寄与による発熱を利用したビームプロファイルモニタの開発を行った。85点の温度測定用熱電対を設置したビームダンプを製作し、大阪大学核物理研究センター（RCNP）で65MeVの陽子ビームを使用した。実験はビーム強度を最大4 $\mu$ Aまで変化させ、ビームダンプの温度上昇を計測し、直上流の蛍光板と比較した。実験結果よりビーム吸収体の温度上昇によりビームプロファイルが測定できることがわかった。

研究成果の概要（英文）：Beam profile measurement by the distribution of temperature rise of the beam absorber has been tested in the present research. A prototype beam-absorber with 85 thermocouples attached at the surface of the absorber was fabricated and tested with 65-MeV proton beam at Research Center for Nuclear Physics, Osaka University. In the test experiment, beam profiles at the absorber up to 4 $\mu$ A were well agreed with those measured at the phosphor screen in front of the absorber.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2011年度	1,300,000	390,000	1,690,000
総計	2,300,000	690,000	2,990,000

研究分野：加速器科学

科研費の分科・細目：物理学、素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：加速器、大強度ビームライン、ビーム吸収体

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 近年 J-PARC、LHC などに代表される加速器でのビームの大強度化により、ビームを制御する電磁石・粒子モニター・真空機器・ビームダンプ・コリメータなどの機器に多大な放射化・発熱が予想される。特にビームダンプ・コリメータに代表されるようなビ

ーム吸収体は実験に使用しなかったビームや2次粒子などを吸収するため、他機器より過酷な条件で運転される。

しかしこの大強度化によるビーム吸収体の多大な発熱を利用することにより、プロファイルモニターの研究を行う。その方法としてはビーム吸収体の直接ビームを受け止め

る表面に等間隔に熱電対を設置し、ビーム入射前後による温度差を測定し、各測定点の温度勾配からビームの空間分布が把握することができる。

(2) 従来のビームラインではビームダンプ前にプロファイルモニターを設置することにより、ビーム位置を確認しながら、安全に吸収体への入射していた。この研究が成功するならばこのモニターが不要になり、その前後にあった真空膜・モニター・真空パイプを繋げる機器なども不要になる。そして装置数の減少や熱電対が無機物で耐放射線性を有していることにより、故障の確率やメンテナンス・修理・修復時間も減少し、被曝作業も減少する。

## 2. 研究の目的

(1) この研究に関して、ビームのエネルギー寄与によりビーム吸収体は発熱するが、温度を測定する時間間隔すなわち温度勾配が重要である。

(2) 東北大学サイクロトロン・RI センターで 50MeV 陽子ビームを用い、通常のビーム吸収体に比べ形状の小さい実験モデルを製作し、50MeV 陽子ビームに適した実験をすることで研究を進めたいと考えている。

(3) 東北大学サイクロトロン RI センターではビームは定常的に連続して取り出されるため、取り出し時間を自由に設定することができるが、この温度勾配の定義が問題になる。ビームを吸収した吸収体は初期段階で時間に対して線形的に温度上昇する。ある時間では冷却効果により温度上昇は少なくなり、飽和をむかえるが、冷却効果が及ばないビームを吸収し始めたときの温度勾配が重要となるが、まだ正確にビーム強度が得られる時間が解かっている。そこで熱電対により得られた発熱データを限りなく高速（～0.1sec 周期）で計測することにより最適値を得て、ビームの各位置における正確なビーム強度を測定する。得られた結果からビームの空間分布を導き出し、別途測定した空間分布と比較し空間分解能を割り出す。

## 3. 研究の方法

(1) ビームシミュレーション（ビームエネルギー寄与、有限要素法熱解析）により、モデルの素材（銅・鉄・アルミニウムなど）と形状・ビーム形状・冷却性能などを変化させ、定常および非定常熱伝導解析・構造解析を行い、この研究に適した材質・ビーム性能を選択する。

(2) シミュレーションの結果で得られた素

材、形状、冷却方法などの構造設計を行う。この実験モデルはビームにより発熱するため、モデル外周に冷却装置を付加しなければならないかを検討する。またこのモデルには熱電対を設置するため、モデル中心部の空洞から熱電対を外側に配線する構造を持たなければならない。平成 22 年度後半には構造設計が完了し、実験モデルを製作する予定である。

(3) 温度計測用の熱電対および熱電対用計測機器を購入するが、今回はビームを吸収した直後の温度勾配が重要であるため、0.1sec 以下の間隔で計測できる機器を購入予定である。

(4) 平成 23 年度には実験を行う。前年度製作した実験モデルや購入した温度計測機器を東北大サイクロトロンに持ち込み、陽子ビームを照射する。陽子ビームのパラメータ（ビーム強度、位置など）を変化させ実験を行い、考察を行う。

(5) 実験で得られた結果を学会・研究会や所属する機構・グループの Web ページなどで社会・国民に広く発信する。

## 4. 研究成果

(1) 平成 22 年度はまずビームシミュレーション（ビームエネルギー寄与、有限要素法熱解析）を行った。シミュレーションモデルの素材とその形状・ビーム形状・冷却性能などを変化させ、定常熱伝導解析を行い、この研究に適した材質・形状を選択した。シミュレーションでは素材を銅、鉄、形状を 200×200×250mm にして計算した。陽子ビームは東北大サイクロトロン RI センターのビームを模擬した。シミュレーションを行った結果、銅は熱伝導が高く、局所的な温度上昇が低いため、実験不可能であることがわかった。またビームによる発熱量が低いため、水冷ではなく空冷によって実験ができることがわかった。実験で使用する高速（周期：10msec）で測定出来る温度計測器を購入した。

(2) 図 1 にシミュレーション結果を示す。計算条件はモデルがステンレス鋼で、陽子ビームは東北大サイクロトロンのビームを模擬している。図 1 は 10 秒間ビームを吸収し続けた時の温度分布、図 2 は最高温度点での時間的溫度勾配である。これよりビーム初期（0～1sec）の温度勾配は線形的に変化し、その後冷却の効果（2sec～）が現れ、飽和に達しようとしているのがわかり、この研究には初期の温度勾配が重要だとわかる。

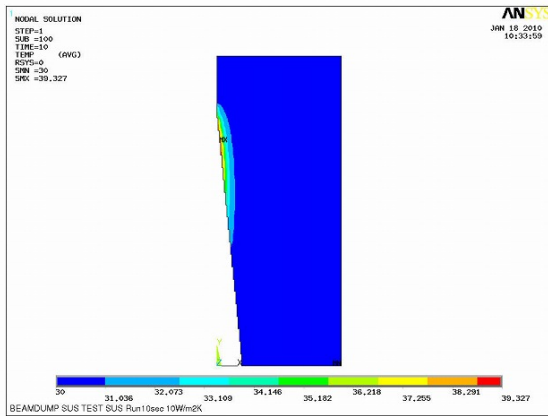


図1 シミュレーション結果

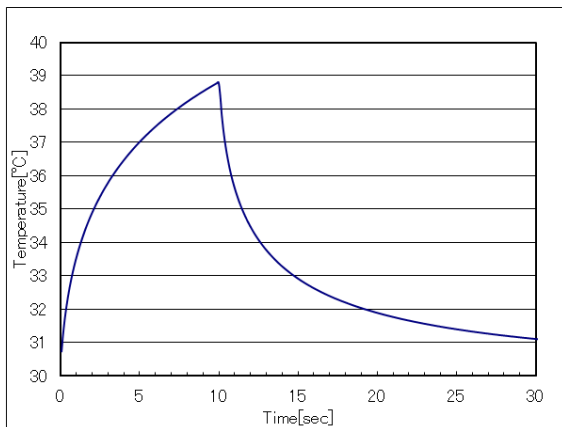


図2 最高温度部の温度勾配

(3) 平成23年度は実験を行うためにまず実験モデルの製作を行った。実験モデルは前年度のビームシミュレーションから材質は鉄、外形は200×200×250mmで製作し、ビームが照射される中心部に熱電対をハンダ付けし温度が測定できるように設置した。実験時に設置したビームダンプを図3に示す。

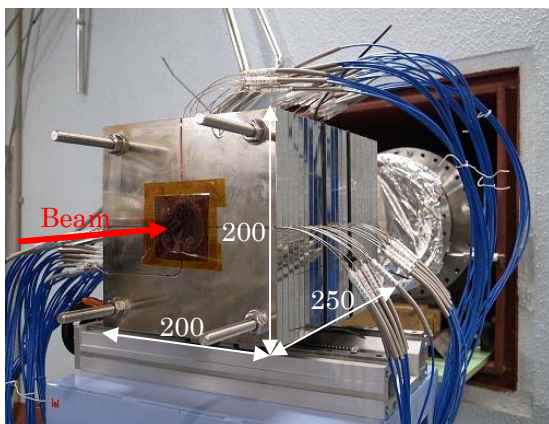


図3 実験モデル

(4) 次に実験を行った。実験は当初東北大サ

イクロトロンRIセンターで予定していたが、東北大震災のためサイクロトロン施設の破損し、実験できなくなった。そのため似たようなビーム性質を持つ大阪大学核物理研究センター、サイクロトロンで実験を行った。実験では65MeV陽子ビームで、ビーム強度、中心位置を変化させ、ビームプロファイルを測定した。

(5) 図4はビーム強度を0.1-4[ $\mu$ A]に変化させ、5秒間ビームを入射した直後のビームプロファイルを示している。横軸は水平および垂直方向での位置、縦軸は温度である。各ビーム強度での温度をガウス分布でフィッティングすることによりビームプロファイルが確認でき、分布から中心位置、標準偏差などがわかった。またビームシミュレーションと比較するなど考察を行った。

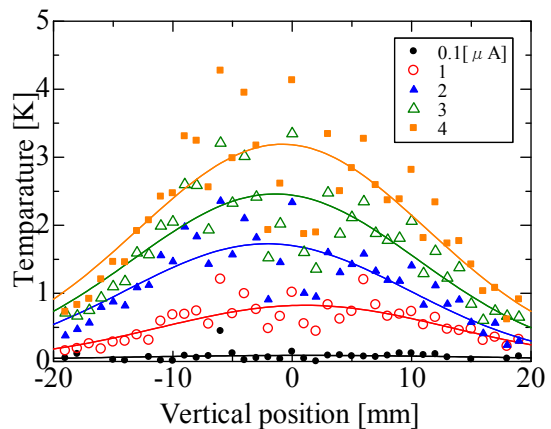
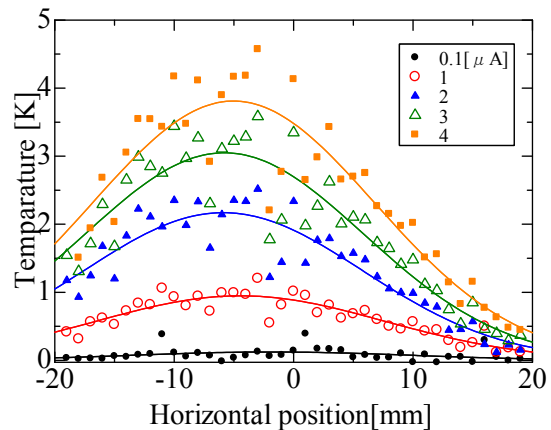


図4 実験結果

(6) 実験で得られた結果を国内や国際学会で発表することにより、社会・国民に広く発信した。

## 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)

[学会発表] (計3件)

- ①“Design and Construction of the Beam Dump for J-PARC Hadron Hall”, AGARI Keizo (他15名)、International Particle Accelerator Conference '11、2011年9月6日、San Sebastian, SPAIN
- ②“J-PARC ハドロンホールビームダンプの設計・開発 (V)”, 上利恵三 (他15名)、第8回日本加速器学会年会報告集、つくば国際会議場 (茨城県)、2011年8月1日
- ③“J-PARC ハドロンホールビームダンプの設計・開発 (IV)”, 上利恵三 (他15名)、第7回日本加速器学会年会報告集、2010年8月4日、姫路市文化センター (兵庫県)

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

上利 恵三 (AGARI KEIZO)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・技師  
研究者番号：30391714

### (2)研究分担者

なし

### (3)連携研究者

なし