

COMET 実験 電子検出器内 エレキボード冷却システムの開発

SATテクノロジー・ショーケース2020

■ はじめに

COMET 実験(図 1)とは、第二世代の荷電レプトンであるミューオンが電子に転換するという、素粒子の標準理論を超える新しい物理モデルにて予言されている事象(荷電レプトンフレーバ保存の破れ)を観測することを目的とした実験であり、J-PARCにて行われる予定である。

COMET 実験において最下流に位置する電子検出器(ストローチューブ飛跡検出器)は真空中に設置されるが、検出器内には出力密度の高い FPGA チップを搭載したエレキボードが多数配置される。これらをアルゴンとエタンの混合低温ガスにより冷却するシステムの開発を行っており、その内容を紹介する。

■ 活動内容

1. 冷却システムの必要条件の算出と概念設計

エレキボードを冷却するためのヒートシンクを開発し、それを設置したエレキボード熱試験結果を基に、冷却に必要なガス流量と入口ガス温度条件を算出した結果、0℃以下のガスを100L/min供給すれば成立することがわかった。更に、必要条件に基づき、冷却システムが実現可能となるような概念設計を実施した(図2)。

2. 概念設計を実現する機器の選定と試運転の実施

考案したエレキボード冷却システムを構築できるような機器のスペックを算出し、それに基づき冷凍機、使用冷媒、熱交換器等を選定した。また、循環ガスの圧力を大気圧近傍とできるような配管の設計を行った。

更に、選定した冷却機器を用いた試運転を行い、-10度以下のガスを大容量供給可能であることを確認した。

3. ガス配管断熱性能評価による冷却機器設置条件算出

熱交換器を介して供給される冷却ガスをどの程度の距離まで輸送可能であることを確認するために、手計算、CFD解析、簡易試験による断熱性能評価を実施した。

I. 手計算評価

外径1インチのSUS配管に50mm厚の断熱材を巻き、入口空気温度を -23°C (250K)として流量75L/minで20m輸送する場合の平均温度上昇率は $2^{\circ}\text{C}/\text{m}$ となった。(図3)

II. CFD解析

手計算と同様の条件で評価したところ、入口から19.5m位置の断面の温度は12~17℃となり、平均温度上昇率は手計算と同等の2℃/mとなった。(図3)

III. ガス配管の断熱性能簡易試験

選定した冷凍機、熱交換器と50mm厚の断熱材を巻いた外径1インチ、長さ4mのSUS管を用い、空気流量約75L/minにてガス配管の断熱性能簡易試験を行った。試験の結果、SUS管の入口温度は-10.5℃、出口温度は-0.8℃となり、平均温度上昇率は2.4℃/mとなった。

図3の手計算評価の線上に簡易試験結果のプロットがほぼ一致することから、手計算評価が妥当であるとわかる。熱交換器から -15°C のガスを供給できると仮定した場合、目標値 0°C 以下で検出器内にガスを輸送可能となるような熱交換機と電子検出器との距離は5m以下であることが導かれた。この結果を踏まえて、図4に示す冷却システムの性能を評価するためのプロトタイプ試験案を策定した。

■ 関連情報等(特許関係、施設)

COMET実験はJ-PARC内のハドロン南実験棟にて実施される予定である。

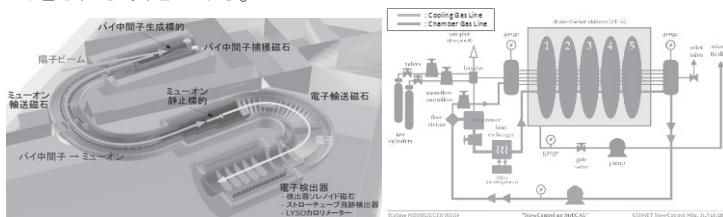


図1 COMET 実験の概略図 図2 冷却システム概要図

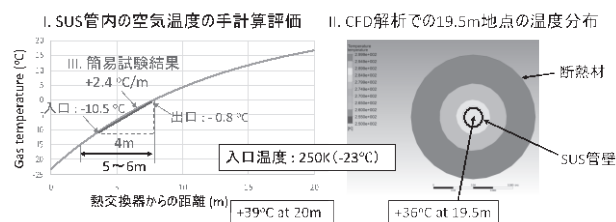


図3 ガス配管断熱性能評価(I.手計算, II.CFD, III.試験)

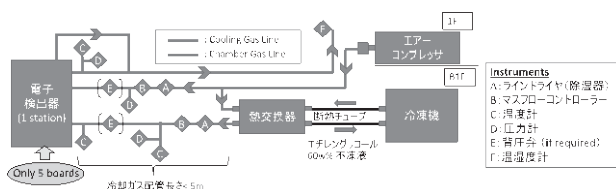


図4 冷却システムのプロトタイプ試験案

代表発表者 亀井 直矢(かめい なおや)

所 属 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

問合せ先 〒305-0801 茨城県つくば市大穂 1-1
TEL: 029-864-5200 (4626) FAX: 029-864-2580
e-mail : naova.kamei@kek.jp

■キーワード: (1)COMET 実験
(2)ガス冷却システム

■共同研究者: 鈴木 純一、西口 創
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