

成果報告書

「超伝導加速による次世代小型高輝度光子ビーム源
の開発」
(高電圧DC電子源開発)

平成22年5月

株式会社日立ハイテクノロジーズ

本報告書は、文部科学省の科学技術試験研究委託事業による委託業務として、株式会社日立ハイテクノロジーズが実施した平成21年度「超伝導加速による次世代小型高輝度光子ビーム源の開発」（高電圧DC電子源開発）の成果をとりまとめたものです。

1. 委託業務の目的

超伝導高周波加速器技術とレーザーパルス蓄積技術の融合によって、ポストゲノム時代の生命科学研究、ナノ構造解析、創薬、医療診断、マイクロリソグラフィへの利用を画期的に飛躍させる軟 X 線から硬 X 線領域の小型高輝度 X 線発生装置(10m × 6m 程度)を実現する。本装置実現のために、高品質大強度電子ビーム生成装置、大強度・高電界超伝導高周波加速装置、高品質短パルス大強度レーザー蓄積装置、ミクロン精度での電子ビーム軌道制御技術及び、レーザー光路精密調整といった技術の実用化を図る。よって、超伝導高周波加速器技術を使った 5 nm~0.025 nm 波長領域の小型高輝度 X 線発生装置の開発とその実用化に必要な基幹技術の確立を行うことを目的とする。

2009 年度から以上の目的に大強度安定化に必要な次の技術開発を加える。500~750kV 数十 mA の高電圧 DC 電子源開発、高性能光 L-band RF Gun 開発、小型高信頼性 L-band 高周波源開発および 3 次元 4 枚ミラーリング光蓄積装置開発を行う。これにより、生成する X 線輝度を 100 倍以上高くすると同時に、レーザー光の偏光を高速で制御することによってのみ可能な世界でも特筆すべき高速可変偏光小型軟 X 線源を実現し、「軟 X 線領域における円二色性光源」として実用化を図る。

このため、大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構、国立大学法人東京大学、独立行政法人日本原子力研究開発機構、国立大学法人広島大学、学校法人早稲田大学、東芝電子管デバイス株式会社及び株式会社日立ハイテクノロジーズと共同で業務を行う。

株式会社日立ハイテクノロジーズでは、高電圧 DC 電子源に関わる研究開発を実施する。

2. 平成 21 年度（報告年度）の実施内容

2.1 実施計画

① 高電圧試験装置の設計と製作

750kV 印加可能な電子銃の実現に必要な要素技術として、耐電圧および暗電流特性に優れた電極、セラミックの研究開発に着手する。今年度は、高電圧試験装置の設計と製作を行う。

2.2 実施内容(成果)

概 要

小型高フラックス X 線源用要素技術開発のために、本プロジェクトによって直流高圧電子源の研究開発を進めている。日立ハイテクノロジーズのグループは、平成 21 年度より本プロジェクトに本格的に参画した。本プロジェクトで開発を行う 500 kV 電子銃の高電圧導入部を小型化・高信頼化することを目的に、高電圧試験装置を製作した。特に、本番の電子銃と同レベルの真空度での評価を可能とするため、チタン製の真空容器を採用し、質量分析によって真空の質と耐電圧の関係を解析可能な装置構成とした。

2.2.1 はじめに

電子源は高輝度光子源（コンプトン光源）の性能を決める重要な構成機器である。光子源の輝度、フラックスを大きくするためには、電子ビームのエミッタンスを小さく、かつ、平均電流を大きくしなければならない。日本原子力研究開発機構のグループは、このような電子ビームの生成を目指して直流高圧電子源（DC 電子銃）の開発を行っている。われわれは、DC 電子銃の小型化・高信頼化に取り組んでいる。小型化・高信頼化のポイントは以下の 2 点である。

- (1) 導電性を制御した高耐電圧セラミックス管を採用し、電子付着による電位分布の変動を回避する。
- (2) 電子銃と高圧電源を高耐電圧ケーブルで接続することで、装置配置の自由度を確保する。

日本原子力研究開発機構のグループが開発中の 500 kV DC 電子銃は、ガードリングを採用しセラミックス管表面への電子付着を防止することで、従来の 250 kV から 500 kV へと耐電圧を大幅に向上した。ただし、ガードリングは組み込みの煩雑性と表面積増大に伴う真空性能の低下が懸念されている。近年開発が進んでいる導電性を制御した高耐電圧セラミックスは、セラミックス表面の体積抵抗率を $10^{7\sim 12} \Omega \cdot \text{cm}$ に制御することで、電子付着による帯電の防止と 4.5kV/mm の沿面耐電圧を実現できている。ガードリング無しでも耐電圧の安定化が期待でき、セラミックス管の形状を最適化して電界を均一化することで寸法を最小化できる。

これまでの DC 電子銃と Cockcroft-Walton 型の高電圧源はセラミックス管を介して直付けした一体型構造が一般的であった。電子顕微鏡でも加速電圧 400 kV 以上では一体型構造が一般的であった。近年の 1MV 超高圧電子顕微鏡では顕微鏡本体と高電圧源を高耐電圧ケーブルでの接続を実現できている。このように優れたポテンシャルを有する関連技術が存在するが、次世代光子源の DC 電子銃に採用するまでには多数の技術的な課題を解決しなければならない。最先端のセラミックスメーカーは単純形状の試験片において体積抵抗率の高精度制御を実現している。しかし、高耐電圧セラミックス管への組立てには、機械加工やロウ付けなどの接合技術、洗浄や加熱脱ガス処理技術の確立が必須である。高耐電圧ケーブルでは特に端末部の構造と材質によって耐電圧が大きく変動する。従って、実体系の高耐電圧セラミックス管の設計に先立って、部品レベル、処理レベルでの耐電圧評価により詳細な基礎データを蓄積する必要がある。

今年度は、部品レベル、処理レベルでの耐電圧評価が可能な高電圧試験装置の設計と製作を行った。これらの成果を以下に述べる。

2.2.2 高電圧試験装置

高電圧試験装置の概念図を図1に示す。Tiチャンバ、セラミックス管、真空計などの真空部品は、日本原子力研究開発機構のグループが開発済みの250kV DC電子銃に準拠して設計した。DC電子銃に近い真空条件で耐電圧試験することで、真空度の違い

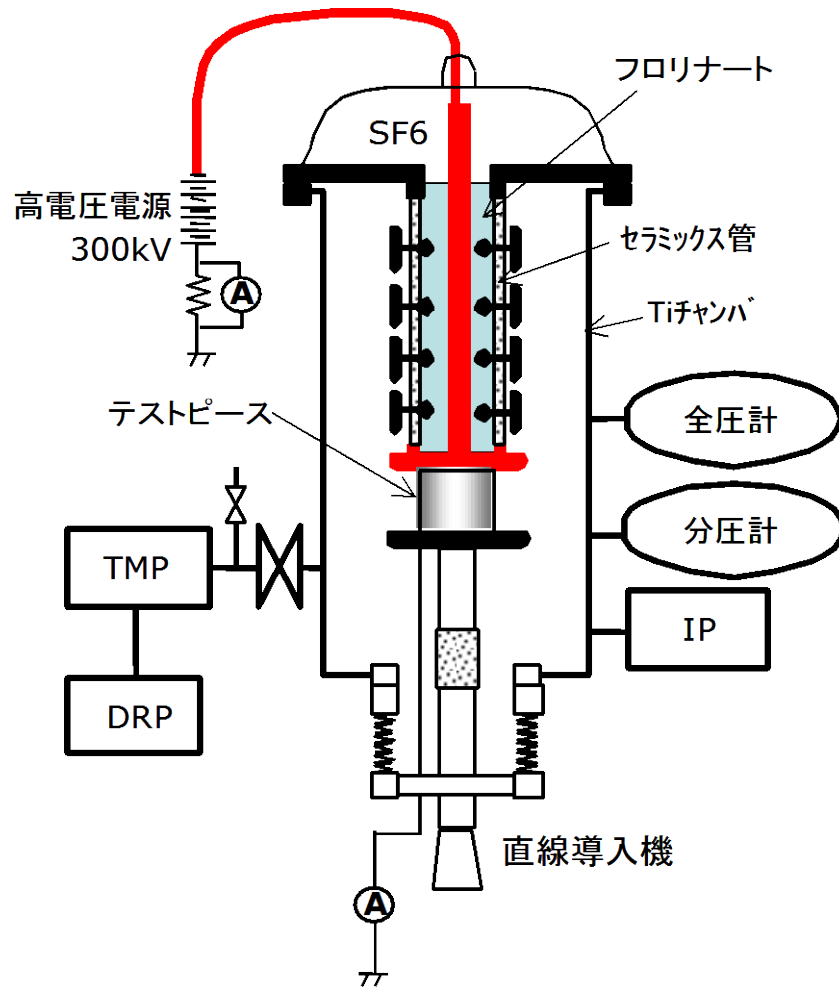


図1 高電圧試験装置の概念図

による不確定さを排除する。

図2は実際の装置外観である。現在は図3の排気特性のようにセラミックス管を未装着状態で真空漏れがないことを確認し、図4の分圧データに示すように常温での排気では質量数18の水と質量数2の水素が残留する予想通りの状態であることが確認できた。

水と水素の排気対策としてベーキング(90hr)とNEG(非蒸発ゲッター)ポンプを追加した。図5および図6の圧力測定結果に示すように、到達圧力 9.0×10^{-9} Pa、水と水素の分圧の1乃至2桁の改善を確認した。

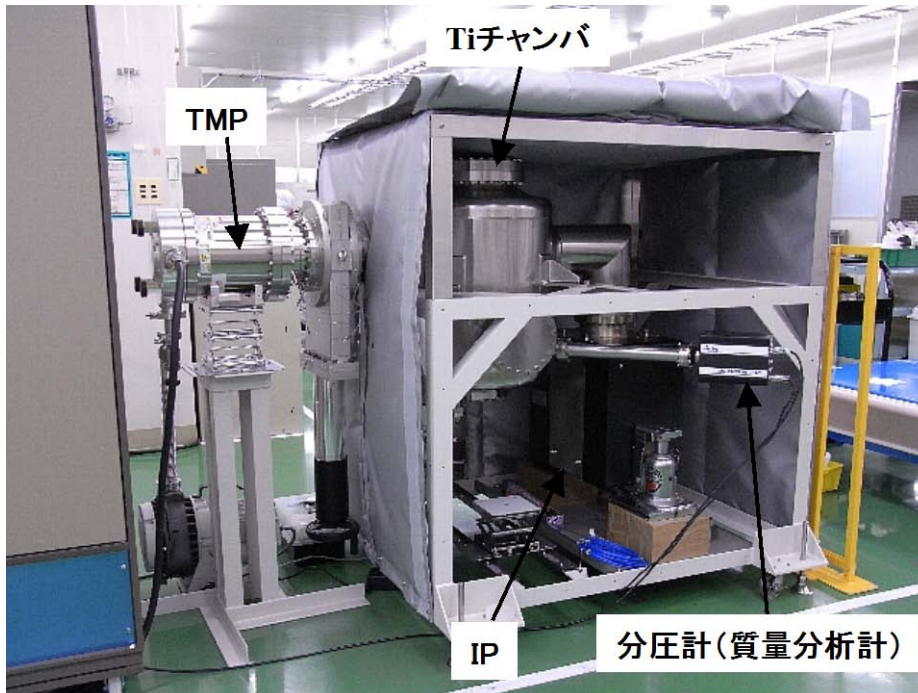


図2 高電圧試験装置の外観

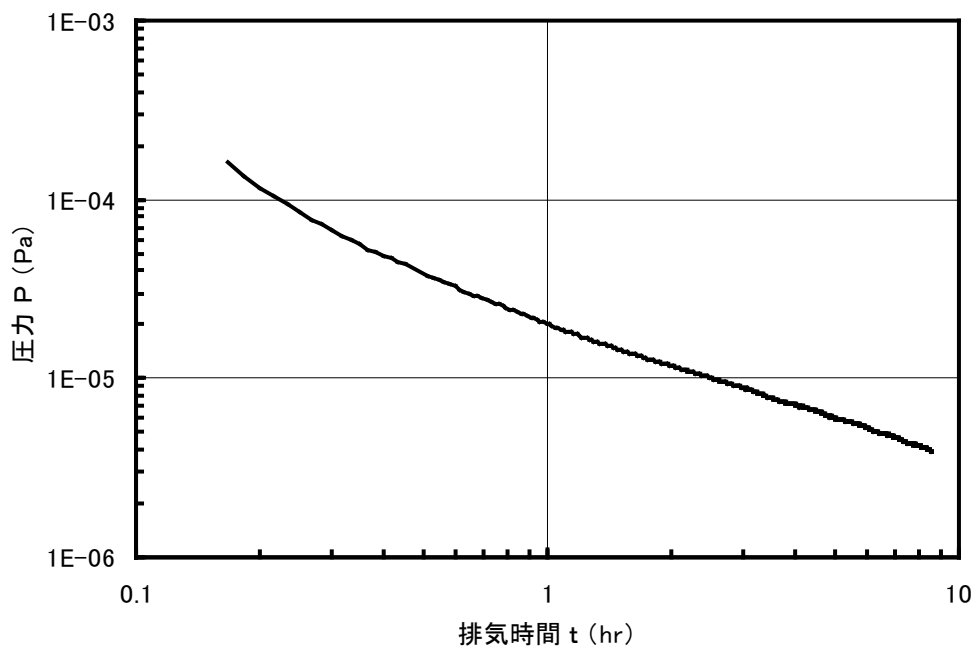


図3 常温での到達真空度

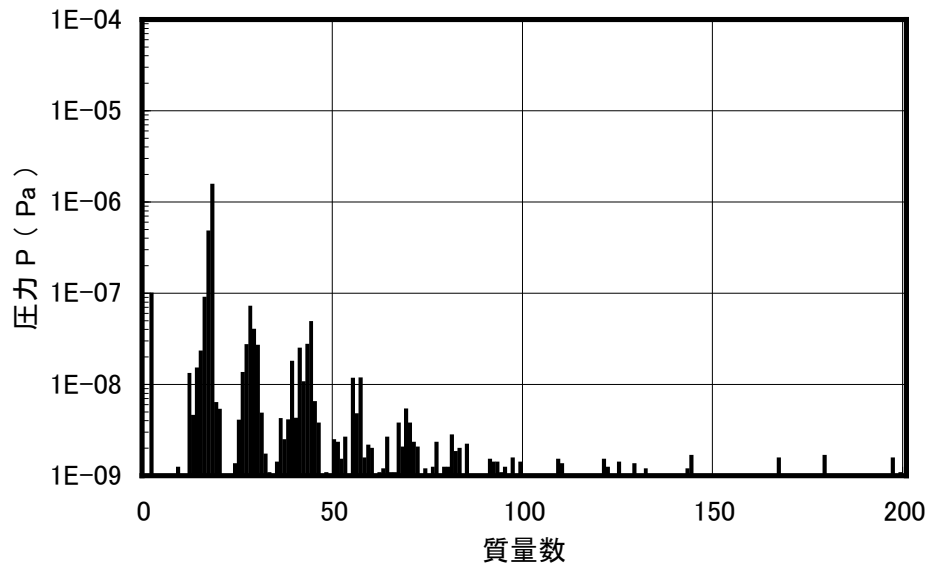


図4 ベーキング前の分圧測定結果

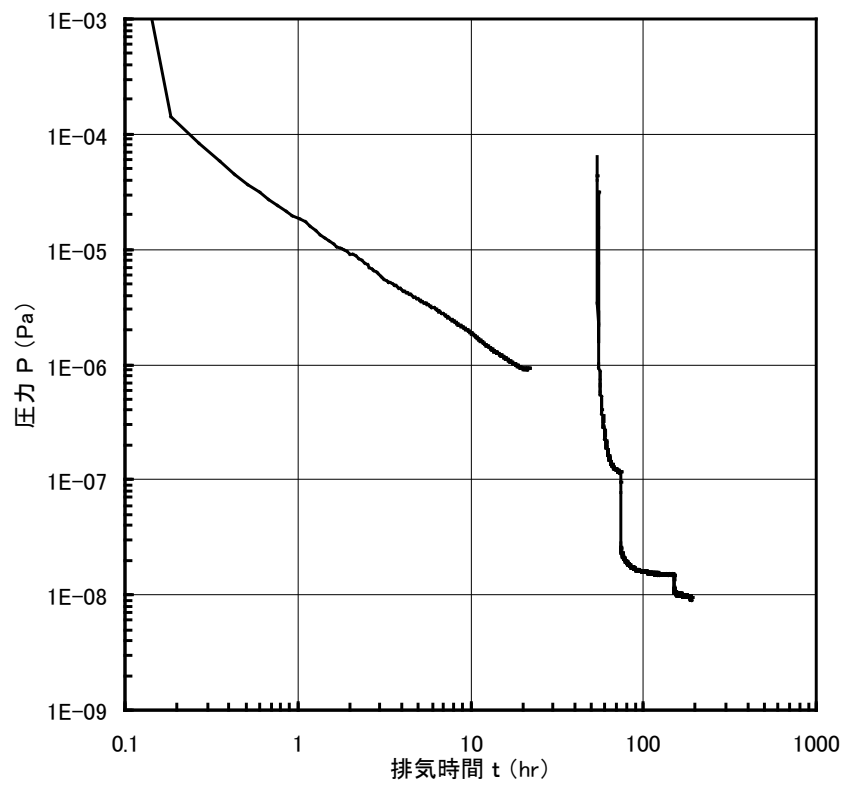
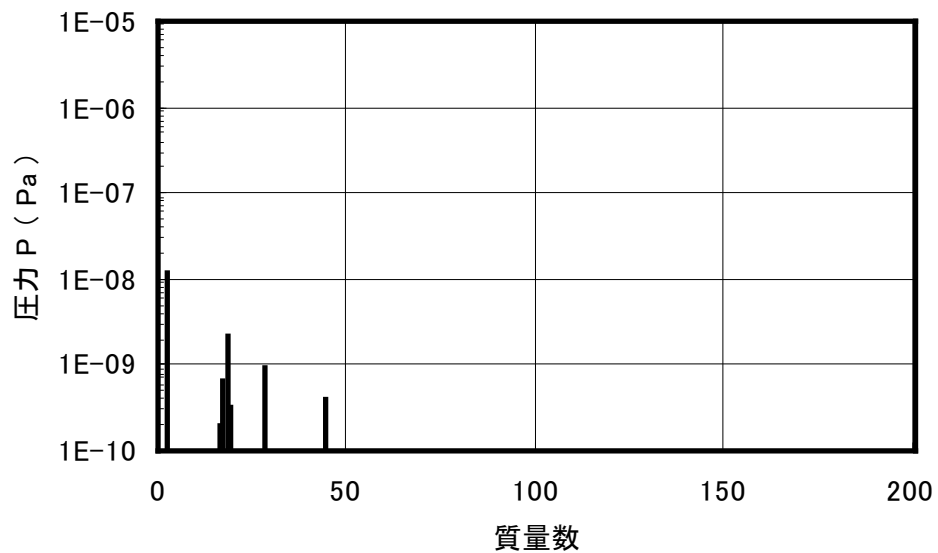


図5 ベーキングと NEG 追加後の到達真空度



ベーク後 90hr後のマススペクトル(TMPタンデム(NEGあり))

図6 ベーキング後の分圧測定結果

2.2.3 まとめ、次年度の予定

2009年度は、DC電子銃の部品レベル、処理レベルでの耐電圧評価が可能な高電圧試験装置を製作した。製作した高電圧試験装置は90hrベーキングでの真空排気試験まで実施した。次年度は、セラミック管を装着し、300kVの電圧印加を確認した後、テストピースを装着して耐電圧試験を行う。これによりDC電子銃の小型化・高信頼化設計・製造に不可欠な耐電圧基礎データを取得する。さらに、耐電圧基礎データに基づいて、小型・高信頼500kV高耐電圧セラミック管の概念設計を完了する予定である。

参考文献（2009年度中の発表および掲載論文）

- [1]. “耐電圧試験装置の開発進捗” 高輝度電子源検討会（2009年12月，高エネルギー加速器研究機構），小瀬洋一

2.3 成果の外部への発表

なし。

2.4 活動（運営委員会等の活動等）

なし。

2.5 実施体制

別表1の通り。

別表1 平成21年度に於ける実施体制

業務項目	担当機関等	研究担当者
① 高電圧試験装置の設計と製作	研究開発本部 主管技師 研究開発本部 第一部 技師 研究開発本部 第一部 主任技師 研究開発本部 第一部 技師 ナノテクノロジー製品事業本部 那珂事業所 先端解析システム第一設計部 主任技師	◎ 小瀬 洋一 ○ 江見 恵子 橘内 浩之 石井 良一 大橋 利幸

注1. ◎:業務主任者、○:実施責任者（業務計画書のⅡ.2章の2.業務項目別実施区分の業務項目と担当責任者に対応）

注2. 本業務に携わっている方(参加者リストに記載されている方)を、全て記入。