

Vacuum system for the Central Japan Synchrotron Radiation Facility

Shinya Matsuda^{#,A)}, Aki Murata^{A)}, Naohisa Tsuzuki^{A)}, Teruyasu Nagafuchi^{A)}, Junko Watanabe^{A)}, Koichi Nakayama^{A)}, Kosuke Sato^{A)}, Yoshifumi Takashima^{B)}, Masahito Hosaka^{B)}, Naoto Yamamoto^{A)}, Kiyoshi Takami^{B)}, Hiroyuki Morimoto^{B)}, Atsushi Mano^{B)}, Takumi Takano^{B)}, Masahiro Katoh^{C),B)}, Yoichiro Hori^{D),B)}, Shigeki Sasaki^{E),B)}, Shigeru Koda^{F),B)}

^{A)} Toshiba Corporation Power System Company, 8 shinsugita, isogo-ku, yokohama 238-8523

^{B)} Synchrotron Radiation Research Center, Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya, 464-8603

^{C)} Institute for Molecular Science, National Institute of Natural Science, Myodaiji-cho, Okazaki 444-8585

^{D)} High Energy Accelerator Research Organization, KEK, 1-1 OHO, Tsukuba, Ibaraki 319-1112

^{E)} Japan Synchrotron Radiation Research Institute (JASRI/Spring-8), Kouto, Sayo-cho, Sayo-gun, Hyogo 679-5198

^{F)} Saga Light Source, 8-7 Yayoigaoka, Tosu, Saga, 841-000

Abstract

Vacuum system for Central Japan Synchrotron Radiation Research Facility (Provisional) has been designed, constructed. This vacuum system consists of 50 MeV injector linac line, beam-transfer line between linac and synchrotron (LBTL), 1.2 GeV synchrotron, beam-transfer line between synchrotron and storage ring (HBTL), and storage ring. Arrangement of vacuum pumps, surface treatment of vacuum chamber, and baking conditions were designed to achieve required vacuum pressure value of each vacuum lines. Especially for storage ring, where required pressure value is below 1.0×10^{-7} Pa, TSP (Titanium sublimation pump) and NEG-pump (Non-evaporation getter pump) were adopted in addition to 50 ion pumps, and electro polishing was applied to vacuum chambers. TSPs and NEG-pumps were activated after construction of whole vacuum system, and vacuum pressure in storage ring, as base pressure before beam injection, reached to 2.0×10^{-8} Pa in average.

中部シンクロトロン光利用施設（仮称）加速器真空システムの設計

1. はじめに

中部シンクロトロン光源利用施設（仮称）^[1]の真空系は、50 MeVライナック^[2]と1.2 GeV ブースターシンクロトロン^[3]を接続する低エネルギービーム輸送系 (LBTL)、ブースターシンクロトロン系（周長 48 m）、ブースターシンクロトロンと光源リングを接続する高エネルギービーム輸送系 (HBTL)、及び光源リング系（周長 72 m）から構成される。粗排気ポンプは各真空系ごとには持たない方式としており、移動型の粗排気ポンプセット（スクロールポンプ及びターボ分子ポンプのセット）3台を全システムで適宜共有することで真空系の立ち上げを現地工程に沿って行った。

全真空系ともに、主排気ポンプとしてはダイオード式イオンポンプを採用している。排気ポンプの総容量は各系で要求される真空度に沿って設計されており、特に 1.0×10^{-7} Pa 以下の超高真空が要求される光源リングに関しては、蒸着形のチタンサブリメーションポンプ及び分散排気型ポンプを導入している。

現在、光源リングへのビーム導入調整試験中で、ビーム導入に伴う初期の真空悪化が生じている状態である^[4]。光脱離によるアウトガスはビーム照射量と照射時間に伴って減少するため、目標とする蓄積電流 300 mA での連続運転に向け、'枯らし運転'を

継続中である。中部シンクロトロンの真空系設計のうち本稿では主にブースターシンクロトロン及び光源リング真空系の構成を取り扱うこととする。

2. ブースターシンクロトロンの構成

ブースターシンクロトロンの真空度は系全体で 1.0×10^{-5} Pa 以下を目標として設計されている。真空系はゲートバルブによって高周波加速空洞部を含めた3つの小区画に分けられ、それぞれの区画単体で粗排気、真空系立ち上げが行えるようイオンポンプおよび各種バルブ類が配置されている。ブースターシンクロトロンの排気ポンプの構成を表1に、また真空機器の配置模式図を図1に示す。

ブースターシンクロトロンの排気ポンプはイオンポンプのみで構成され、排気量は 20 L/s から 500 L/s までの3種類のもが配置されている。特に主たるアウトガス源となる鉄心積層型の入射/出射セプタム、出射用キッカーの下部に大型のイオン

表1：ブースターシンクロトロン排気ポンプ構成

排気ポンプ	排気量 [L/s]	台数	配置部
イオンポンプ	20	3	通常部
イオンポンプ	300	1	空洞部
イオンポンプ	500	3	セプタム部

[#] shinya.matsuda@toshiba.co.jp

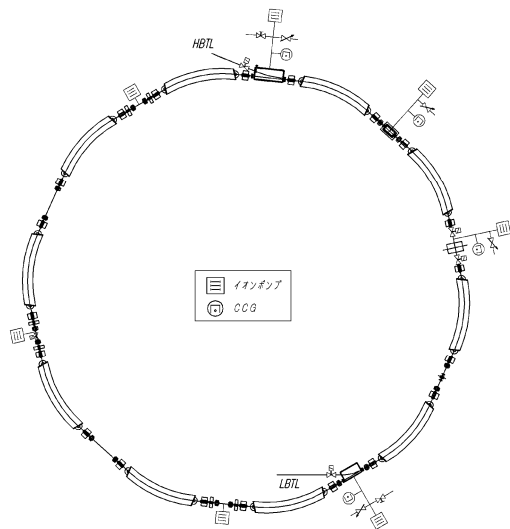


図1. ブースターシンクロトロン排気系模式図

ポンプを配置することで、系全体の真空度の低下を防いでいる。また高周波加速空洞部は単体での空洞のベーキング・エージング用に 300 L/s のイオンポンプが配置されている。

真空ダクトは DCCT 部のように絶縁が必要な一部箇所を除いて全て SUS316L 材で製作され、150°C-24 時間のプリベークを施している。現地での調整時間を短縮し、付帯設備を簡素化するため、現地でのダクトベーキングは実施しない設計とした。

真空引き開始より約 3 ヶ月後の現在、ブースターシンクロトロンの真空度は、コールドカソードゲージによる測定で入射セプタム部が 4.3×10^{-6} Pa、出射セプタム部が 1.6×10^{-5} Pa であり、積層鉄心型で入射部よりも鉄心サイズの長い出射セプタムのアウトガスが現在も比較的大きいことがわかる。

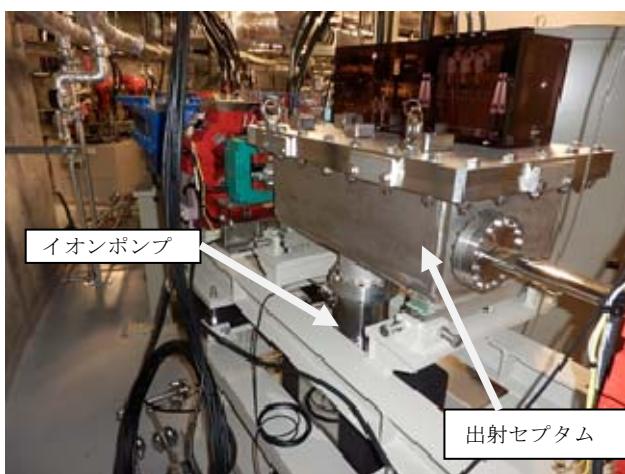


図2. ブースター出射部
ガス源となるセプタム下部に
大型のイオンポンプを配置している。

3. 光源リングの構成

光源リングは1項記載の通り、ビーム寿命確保の観点から要求される到達真空度がブースターシンクロトロンよりも厳しく、 1.0×10^{-7} Pa 以下となる。2項同様に表2に光源リングの排気ポンプ構成、図3に光源リングの真空装置配置模式図を示す。

表2：光源リング排気ポンプ構成

排気ポンプ	排気量 [L/s]	台数	配置部
イオンポンプ	300	50	通常部/空洞部
イオンポンプ	500	1	セプタム部
チタンサブリ メーションポンプ	1000	49	イオンポンプ上 部
NEG ポンプ	100*	8	※排気量は 1 m あたりの値

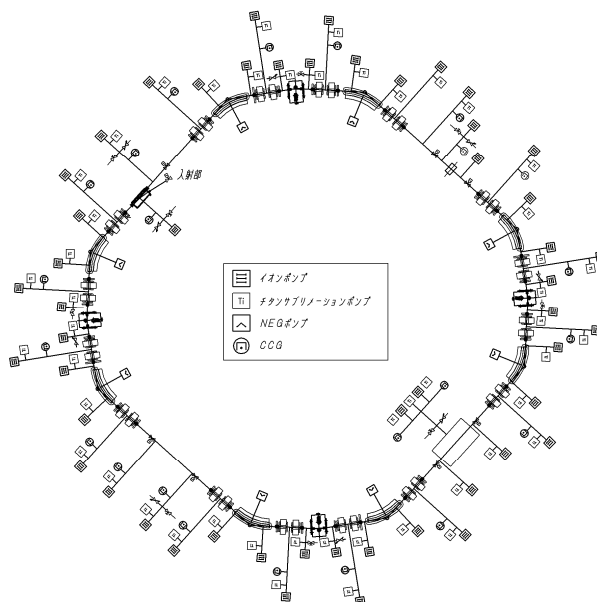


図3. 光源リング排気系模式図

ブースターリングと同様に、ゲートバルブによって高周波加速空洞を含めて全 8 の小区画に分割されており、それぞれの区画で粗排気、真空系立ち上げが行えるようイオンポンプおよび各種バルブ類が配置されている。

光源リングの真空ダクトは SUS316L 材で製作され、真空性能向上のため、内面はすべて電解研磨を施されている。プリベークの条件はブースターシンクロトロンと同様、150°C-24 時間であり現地での再ベーキングに関しても実施していない。

また到達圧力領域及び配置位置に応じて、数種類のタイプの排気ポンプを配置している。

3.1 イオンポンプ

ブースターシンクロトロンと同程度の到達真空度 ($1.0 \times 10^{-5} \sim 1.0 \times 10^{-6}$ Pa) 及び大気からの真空系立ち上げ時には主排気ポンプとして主にダイオード型のイオンポンプを用いる。光源リングでは排気量 300L/s のイオンポンプが系全体で 50 台均等に配置されている。ブースターシンクロトロンよりも投入パワーが高い光源リングの高周波加速部には系単体で 2 台のイオンポンプを配置した。入射部のセプタム電磁石は、ブースターシンクロトロンと同様に積層型の鉄心を用いているため、アウトガスによる真空度悪化防止の目的で電磁石下部に 500 L/s の大型のイオンポンプが配置されている。但し、光源リングの入射部のセプタム電磁石に関しては真空チャンバとセプタム真空容器がカプトン窓によって仕切れ別の真真空系を構成しているため、セプタム電磁石部のアウトガスが光源リングの真空系に直接悪影響を与えることはない設計となっている。

3.2 チタンサブレーションポンプ

到達真空度 1.0×10^{-5} Pa $\sim 1.0 \times 10^{-6}$ Pa 以下の領域では、イオンポンプに加えて蒸着膜形成用のチタンサブレーションポンプが排気の主な部分を担う。TSP モジュールにはアジレントテクノロジー社の TSP カートリッジ^[6]が用いられ、図 4 に示すようにイオンポンプの排気系上部に蒸着膜形成用の内面積を持ったチャンバを設けている。

フィラメントに 50 A を数分通电することでチャンバ内に清浄なチタンの蒸着膜が構築され排気を開始する。排気の継続時間は、周囲の到達真空度自体に大きく左右され、 1.0×10^{-6} Pa 程度の真空度での使用の場合は約半日で蒸着膜の排気能力が無くなる。

そのため、建設直後の立ち上げ時には、排気能力がなくなる毎に各系統のチタンサブレーションポンプを通电するといった作業を定期的に繰り返し行った。



図 4. イオンポンプ及びチタンサブレーションの排気セット

3.3 NEG ポンプ

放射光の照射によって発生するアウトガスが主たるアウトガス要因となる偏向電磁石部は、真空チャンバの形状からイオンポンプを配置することが困難なため、真空チャンバ内の効率良い排気を目的として分散型ポンプである NEG-ポンプ (Non-Evaporation Getter pump) を配置している。

NEG ポンプの真空ダクトへの組み込みの様子を図 5 に示す。NEG ポンプのモジュールは、ストリップ状のコンスタンタン合金 (ST707/CTAM/30D Strip, SAES Getters Spa., Italy^[7]) を 4 段並べた構成で、ストリップ間及び真空チャンバ壁とのショートを防ぐためサポート構造として焼結製のセラミックが用いられている。ストリップの寸法は幅 30 mm、厚さはおよそ 0.3 mm である。NEG ポンプは偏向電磁石部の真空チャンバ内、ビーム室横に設けられた排気室 (高さ 34 mm、幅 70 mm 全長 2m) に挿入され、排気室とビーム室はスリット付の壁によって隔られている。スリット部の様子を図 6 に示す。NEG ポンプのビーム室側での排気量はこのスリット分のコンダクタンスを含めたものとなり 1 m あたり 100 L/s (窒素換算) となる。

NEG ポンプはインストール直後は排気を行っておらず、真空チャンバ側面に設けられた電流導入端子より通电加熱 (活性化) を行うことで排気性能を発揮する。通电電流・電圧とストリップ温度の関係は事前のベンチ試験で検証され (図 7 参照)、NEG ストリップの 100% 活性化条件を満たすように 450°C (35 A) 10 分以上での通电・活性化を行った。

尚チタンサブレーションと同様に、NEG ポンプの排気寿命も周囲の到達真空度に影響を受けるため、活性化はチタンサブレーションの立ち上げの後、偏向電磁石部真空チャンバ内の到達真空度を 1.0×10^{-7} Pa まで下げた状態から行った。この領域での NEG ストリップの排気寿命は半年~1 年であり、初期の光離脱による真空悪化が収まった後は、排気能力維持のため、 150°C 程度でのガス出しを行う定期的なコンディショニング作業が必要となる。

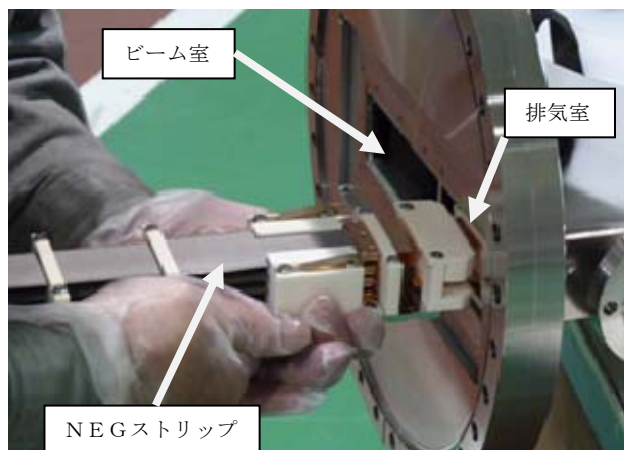


図 5. NEG ポンプ挿入時の様子

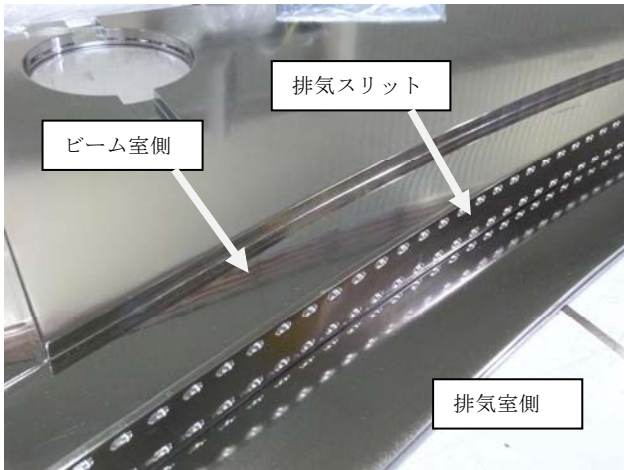


図6. 偏向電磁石部真空チャンバスリット部 (天板および側板の組み立て前の状態)

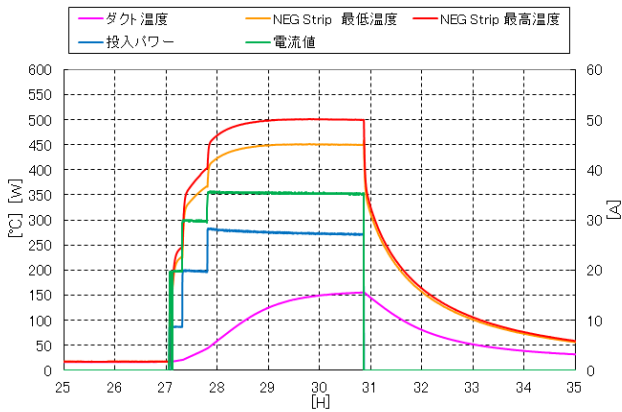


図7. NEG通電試験 (ベンチでの事前検証) 35 A通電時にNEGストリップ 450°C以上となる。その時の真空チャンバ温度は約 150°C

3.4 光源リングの現状及び今後の予定

図7に光源リングの到達真空度 (ビーム蓄積前のベース真空度) を示す。図はリング各所に配置されたCCGによる測定値であり、区間を区切るゲートバルブは全て開の状態での測定である。系全体としての平均到達真空度は 2.0×10^{-8} Pa である。

素材が無酸素銅である高周波加速空洞部 (エージングは実施済み) 及びダクト内面に銅メッキが施されているアンジュレータ部に関しては、到達真空度が他の領域に比べて未だ1桁ほど高くなっている。

現在、光源リングへのビーム導入開始にあたり、真空チャンバ内表面の初期の光脱離によるガス放出によって真空度は蓄積電流 2.5mA に於いて、約 1×10^{-5} Pa に至る程度まで一時的に悪化する。ビーム導入に伴う真空度の推移の様子を図8に示す。

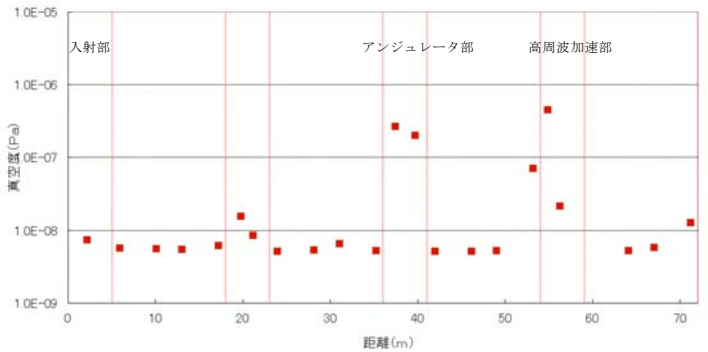


図7. ベース状態での光源リング到達真空度 (CCGによる測定値)

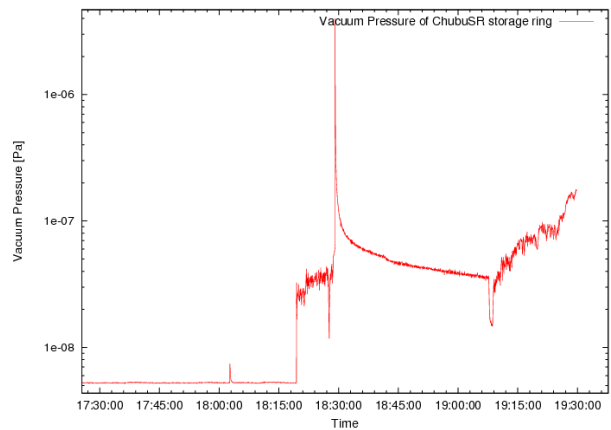


図8. 光源リングへのビーム導入初期の真空度推移

蓄積電流値の増加とともに、チャンバ内表面からの初期のアウトガス量も増していく。アウトガス量の低減には、より多くの照射量・照射時間の累積が必要である。今後は蓄積電流値と真空悪化のバランスを取りながら、運転時間をできるだけ増やすように調整を継続し、最終的な目標となる 300 mA での連続運転を目指していく。

参考文献

[1] Y. Takashima, et al., "Present Status of Accelerators of the Central Japan Synchrotron Radiation Facility", *These Proceedings*, THPS012
 [2] M. Yamamoto, et al., "DESIGN OF THE 50MEV LINAC OF THE CENTRAL JAPAN SYNCHROTRON RADIATION FACILITY", *These Proceedings*, THPS027
 [3] K. Nakayama, et al., "BOOSTER SYNCHROTRON FOR CENTRAL JAPAN SYNCHROTRON RADIATION FACILITY", *These Proceedings*, THPS046
 [4] <http://www.astf-kha.jp/synchrotron/status/kougen/>
 [5] Technical Specification of "Titanium Sublimation Cartridge 916-0050 series" Agilent Technology, America
 [6] Technical Specification of "ST707/CTAM/30DStrip", SAES Getters SpA., Italy