加速器内部のシンクロトロン放射による アルミ合金真空ダクト表面の軽元素数の変化*

金澤 健一**・波戸 芳仁**・矢野 倉実***・荒谷 美智****

(受理1994年11月28日, 掲載決定1995年2月4日)

Depletion of Light Elements on Al-alloy Vacuum Chamber Surface Due to
Synchrotron Radiation in a Storage Ring

Ken-ichi KANAZAWA**, Yoshihito NAMITO**
Minoru YANOKURA*** and Michi ARATANI****

** (National Laboratory for High Energy Physics, 1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan)

*** (The Institute of Physical and Chemical Research, 2-1 Hirosawa, Wako, Saitama 351-01, Japan)

**** (Institute for Environmental Sciences, Rokkasyo-mura, Kamikika-gun, Aomori 039-32, Japan)

(Received November 28, 1994, Accepted February 4, 1995)

1. はじめに

以前に筆者等は, トリスタン入射リングで使用されていたアルミ合金ダクトを調べて, 表面には酸化層を形成する酸素のみならず水素や炭素が $10^{16} \sim 10^{17}$ atoms/cm²の密度で存在しており, シンクロトロン放射が直接当たる部分で密度が大きく減少していることを示した. この結果の一つの帰結は, シンクロトロン放射によるガス放出源は, これら表面に存在する軽元素であるということである¹⁾.

同じ測定でシンクロトロン放射の直射部に対向する位置でも相当数の軽元素数の減少が見られ, 反射・散乱光によるものと解釈された. 一方ダクトの上下の位置ではシンクロトロン放射を受けていないダクトとほぼ同数の軽元素数が得られた.

今回はこの反射・散乱光によるガス放出がダクト内面のどのくらいの範囲で生じているかより詳しく調べるた

めに, 周上の8箇所から試料を切り出し, 軽元素数の変化を調べた.

2. 表面分析

用いた表面分析手法はERDA (Elastic Recoil Detection Analysis) と呼ばれるRBS (Rutherford Back Scattering) と類似の方法である. 1 MeV/nucleon 程度のエネルギーの重粒子を試料に斜めに入射させ, ラザフォード散乱によりはじきとばされた軽元素のエネルギー分析を行う. 詳細は文献に譲るが²⁾, はじきとばされた軽元素のエネルギー分布がその元素の深さ方向の分布に対応し, 水素を含むすべての元素の深さ方向の分布を定量的に得ることができる. またはじきとばされる元素の量は, 元々あった量に比べて極めて小さいので, ほとんど非破壊測定といえることができる. 理化学研究所の重イオン加速器RILACではERDAを恐竜に関することから薄膜まで広く応用しており, 本実験もそこで行った. 本実験では入射粒子として50 MeVのアルゴンビームを使用し, Fig. 1のようなセットアップで測定を行った. Detector-1では, 直前においたアルミフォイルで試料から散乱してくるアルゴンや母材のアルミニウムを遮り, 水素, 炭素, 酸素のみを計測する. Detector-2は散乱さ

* 平成6年10月28日第35回真空に関する連合講演会で講演 (28Ba-7)

** 高エネルギー物理学研究所 (〒305 つくば市大籠 1-1)

*** 理化学研究所 (〒351-01 和光市大沢 2-1)

**** 純環境科学技術研究所 (〒039-32 青森県上北郡六ヶ所村大字尾根字家ノ前 1-7)

Fig. 1 Assembly of the experiment. Relative positioning of the primary beam, samples and detectors are schematically shown. An Al foil is set in front of Detector-1 to stop heavy elements other than H, C, and O.

れる総ての元素を測定し、試料の照射量を一定に保つことと、母材のアルミニウムの密度を用いて水素などの量を求めるために使用する。ただし本実験では試料ごとの相対的な差に興味があったので、各軽元素の相対値のみ示している。なお測定時の真空槽の圧力は 1×10^{-4} Pa程度である。この圧力領域では試料表面に吸着している水分などの影響が気になる。しかしこれまでの経験ではアルミ合金に対するアルカリ洗浄の効果、銅に対する酸洗の結果、複合電解研磨によるステンレス鋼の表面の良質さ等は総て軽元素の数の変化や表面層の厚みの変化として再現性よく明確に読み取ることができており、吸着分子が測定の妨げになっている兆候はない。

3. 試料

試料は、トリスタン入射リングの四重極電磁石部のダクトから、金ノコで切り出した。材質はA6063でアルゴン酸素雰囲気中で押し出されたものである（特殊押し出し）。Fig. 2に各試料の位置を示す。試料2 (Sample 2) がダクトの中心方向から直接シンクロトン放射を受ける。入射リングはいくつかの運動モードを持つが、ダクトは主としてクリティカルエネルギー 26.3 keV のシンクロトン放射を、約 10^{25} photons/m (ダクトの長手方向の光子密度) 受けている。入射角は約2度で、ガス放出係数は約 1×10^{-5} molecules/photon (窒素換算) に達していた。

このダクトは四重極電磁石の内部にあったので、上下及び左右の試料からでた光子による二次電子は放出面

Fig. 2 The original location of samples in the quadrupole magnet chamber. Sample 2 is directly irradiated by synchrotron radiation.

Fig. 3 Relative number density of H, C and O atoms on the surface of samples.

に、しかも放出点のごく近くに戻る。100 eV の電子に対するラーマー半径は、試料0と試料4のところで約100 μm、試料2と試料6のところで約50 μmである。しかし試料1や試料7からでた二次電子は磁力線に添ってそれぞれ試料3や試料5に達する。結局各試料から出た二次電子は、その試料自身か、位置的に等価な試料に入る。

4. 結果と考察

Fig. 3に表面分析の結果を示す。元素数は相対値で与えてある。試料3、試料4、試料0、試料1はほぼ同じ元素密度を示している。これらの値は未照射のダクトとほぼ同じと考えられる¹⁾。(酸素の最も高いところが、約 1×10^{17} atoms/cm²に相当する。) 直接シンクロトン放射の当たる試料2を除くと、試料5から試料7の範囲に反射・散乱光によると思われる軽元素の減少が及んでいることがわかる。

試料5から試料7に及ぶ表面からのガス放出に寄与しているのは一次光の内エネルギーの高い成分であるとは考えられない。たとえばシンクロトロン放射の光子数の約60%を占める10 keV以上の光子がチェンバー内側に散乱される割合を実際の入射角に対して計算機で評価してみると1~2%程度でそもそも非常に少ない。またこれらエネルギーの高い光子の散乱は光子の進行方向に関して等方的であるため、シンクロトロン光直射部に対する立体角の大きい試料ほど多くの散乱光を受けることになる。エネルギーの高い光子の散乱が試料2以外の部分のガス放出の原因とすれば、元素の減少量は試料のシンクロトロン光直射部に対する立体角と相関があるはずである。ビームの進行方向に関する条件は一樣と考えられるので、Fig. 2において試料2から各試料を見込む角が立体角に相当する。この見込み角が試料1では11度、試

料6では6度であるのに元素の減少は試料6の方がはるかに多く、矛盾する。

また3の後半で述べたことから、二次電子がこの分布に関与しているわけではない。

ガス放出は、より低いエネルギーの光子が、シンクロトロン放射直射部付近で反射・散乱を行い反対側に達して起こしているものと考えられる。低エネルギーの光子が試料2の表面でどのような角度分布で反射・散乱するかを検討し本実験の測定と比較するのは今後の課題である。

〔文 献〕

- 1) K. Kanazawa, M. Yanokura, M. Aratani, and H. Akiyama, *Vacuum* 44, 7 (1993)
- 2) L. C. Feldman and J. W. Mayer, *Fundamentals of Surface and Thin Film Analysis*, Elsevier, New York (1986)