

宇宙科学研究所報告

第120号

BepiColombo/MMO搭載カメラ用光学ガラスの
放射線耐性試験

三澤 浩昭・吉川 一朗・高島 健・本田 理恵
内堀 幸夫・北村 尚・武山 芸英

2002年11月

宇宙科学研究所

この研究報告は宇宙科学研究所が、研究成果を発表するために発行する
不定期継続刊行物です。

本報告についてのお問い合わせは下記にご連絡下さい。

宇宙科学研究所 管理部庶務課 法規・出版係

BepiColombo/MMO搭載カメラ用光学ガラスの 放射線耐性試験

三澤 浩昭¹・吉川 一朗²・高島 健³・本田 理恵⁴
内堀 幸夫⁵・北村 尚⁵・武山 芸英⁶

Radiation tests of optical glasses for BepiColombo/ MMO imaging camera

By

H.Misawa¹, I.Yoshikawa², T.Takashima³, R.Honda⁴
Y.Uchihori⁵, H.Kitamura⁵, N.Takeyama⁶

Abstract: Irradiation tests of 9.1MeV and 70MeV protons have been made for optical glasses which are planned for the usage in an imaging camera proposed for one of science instruments on board the next ESA/ISAS collaborative Mercury mission BepiColombo/MMO. It is generally known that ordinary optical glasses are colored particularly in UV and VIS ranges when they are exposed to high-energy radiation because of absorption of light by ionized electrons and holes generated in lattice defects of glasses. The total dose for BepiColombo/MMO is estimated to be about 200krad for the whole mission, which is 5 to 11 times larger than that of earth orbiting spacecraft. A feasibility study of optical elements on board BepiColombo/MMO is therefore quite important for realizing an effective imaging camera system. In the irradiation tests, totally nine kinds of glasses were tested; i.e., two kinds of fluorites(UV and SO grades), six kinds of non-browning glasses, and one normal glass (BK7). As the results, the transmission loss caused by the irradiation was within 10% at the wave length of 600nm and roughly 80% transmission was assured for CaF₂(SO grade) and non-browning glasses with the thickness of 5mm. On the other hand, the transmission loss was more than 35% at the wave length of 600nm for CaF₂(UV grade) and BK7 with the thickness of 5mm. In this study, it is also confirmed that a model of transmission values for irradiated glasses, whose effectiveness has been already confirmed for the irradiations of gamma-ray, is almost applicable to proton irradiation.

概 要

BepiColombo国際水星探査計画の磁気圏オービター (MMO) への搭載を想定して、水星撮像カメラの開発は進められている。本論文では、この水星撮像カメラ光学系への使用を意図し

¹ 東北大学

² 宇宙科学研究所

³ 名古屋大学

⁴ 高知大学

⁵ 放射線医学総合研究所

⁶ (株)ジェネシア

て実施された、光学ガラスへの9.1MeVおよび70MeVのプロトン照射試験の結果について報告する。放射線照射によりガラス内で生じた電離電子や正孔がガラスの分子配列の欠陥部に捕えられた結果、特に紫外から可視域で光を吸収し、ガラスの着色化が生じることが知られている。今回のBepiColombo水星探査ミッションにおける太陽放射線によるトータルドーズは、地球周回軌道の5から11倍にあたる200krad程度と試算されており、水星撮像カメラ光学系にとっては厳しい放射線環境であることが予想される。従って、このような放射線環境下での光学ガラスの放射線耐性の調査は、水星撮像カメラ実現に向け不可欠なものとなっている。

今回の試験では、2種のホタル石（UV grade、SO grade）と6種の耐放射線ガラス、および、1種の放射線耐性のないガラス（BK7）の計9種のガラスの放射線照射試験を実施した。結果として、約200kradのプロトン照射に対し、厚さ5mmのSOグレードのホタル石と各種耐放射線ガラスの透過率低下は600nm付近では10%以下であり、約80%以上の透過率が見込まれることが確認された。一方、過去に実施されたガンマ線照射試験により着色化傾向が大きいことが報告されていたUVグレードのホタル石とBK7に対しては、約200kradのプロトン照射に対し、厚さ5mmのガラス材の場合、600nm付近で35%以上の透過率低下が確認された。また、ガンマ線の照射により、その有用性が従来確認されていた放射線照射ガラスの透過率変化に関するモデルは、プロトン照射に対してもほぼ同様に有用であることが併せて確認された。

第1章 序 論

日欧協力によるBepiColombo国際水星探査計画では、2機のオービター（MPOとMMO）と1機のランダー（MSE）の構成を予定しており、これらの探査機システムは2010年度の打ち上げを予定している。このシステムのうち磁気圏オービター（MMO：Mercury Magnetospheric Orbiter）は、主に宇宙科学研究所が開発・運用を担当するスピン安定型の探査機であるが、その搭載機器の候補の一つとして水星撮像カメラが挙げられている。水星撮像カメラでは、水星希薄大気の微発光を捉え、大気の放出・消失過程と磁気圏のグローバル・ダイナミクスのモニタリングを主目的とする大気観測光学系と、探査機のスピンによる斜め撮像を活かして水星表層の構造、組成、状態を探る地表観測光学系からなる構成が提案されており、いずれの光学系でも可視光を観測帯域とする（590～770nm）。現段階では、総合的に軽量化がはかれることから、水星撮像カメラの各光学系として屈折系が考案されており、複数種の光学ガラスを用いたレンズの使用が見込まれる。

水星は太陽に近い軌道であるために、水星探査機が受ける太陽放射線強度は地球軌道の5～11倍と予想され、直接被曝するカメラの初段レンズ等でのトータルドーズは200krad以上が見込まれる。光学ガラスに放射線を照射すると着色し、主に紫外、可視域の透過率が低下することが知られている。着色の原因は、放射線照射によりガラス内で生じた電離電子や正孔が、ガラスの分子配列の欠陥部に捕えられた結果、光を吸収するためである。水星軌道での太陽放射線強度から鑑みるに、水星撮像カメラで使用する光学ガラスにはこのような着色化が懸念される。

水星探査機用の光学ガラスに関しては、水星軌道での被曝は殆どが太陽フレアに伴うソーラープロトンであると予想されるために、陽子線を用いた照射試験により高エネルギープロトンによる影響を確認しておく必要がある。このため、今回、水星撮像カメラへの使用可能性を探ることを目的として、耐放射線ガラスを含めた複数の光学ガラスに対する高エネルギープロトンの照射試験を実施した。放射線照射による光学ガラスの耐性試験としては、従来、宇宙科学研究所の次期太陽観測衛星Solar-Bへの搭載を念頭に置いたガンマ線の照射によるものが報告されている [2,3]。しかし、光学ガラスに対するプロトン照射の結果は報告がなされておらず、今回の試験は宇宙用屈折光学系の設計を推進するための大切な情報となる。本報告では、試験内容とともに透過率測定の結果を紹介する。

第2章 試験概要

2.1. 被試験光学ガラス材

水星撮像カメラは、水星のナトリウムとカリウム大気のD線でのイメージ、および、特定の元素の際立った発

光輝線のない波長帯での水星表面のイメージを観測することを予定しており、予定される観測波長範囲は590～770nmである。この幅を持つ波長帯を観測するために、使用に適する光学ガラスとしては、可視域での透過率が良好であるとともに色収差の影響を低減させるものが望まれる。色収差の影響を低減するには、互いに屈折率、分散が異なる最低2種類以上のガラス材が必要となる。本研究では、従来の研究により優れた放射線耐性を持つことが確認されている合成石英 (SiO_2) をプライマリなガラス材と位置づけ、高放射線環境下でこの合成石英とともに使用可能なガラス材のサーベイを目的とする。このため、組成の異なる複数の耐放射線ガラスや異常分散ガラスである CaF_2 (ホタル石) に対し放射線照射試験を実施し、組成の違いによる着色化特性の差異の確認を試みた。また、着色化の参照用として、従来のガンマ線照射による着色化特性の差異の確認を試みた。また、着色化の参照用として、従来のガンマ線照射により着色現象が確認されているガラス材 (CaF_2 (UV grade) と S-BSL7 (BK7相当品)) に対しても試験を行った。今回の試験に使用したガラス材について、名称、主な組成、吸収線量を表1に、部分分散比を図1に示す。光学ガラス材の厚さは何れも5mmであり、平行平面状に研磨が施されているものを使用した。

表1：放射線耐性試験用に使用した光学ガラス材の組成と吸収線量

参照番号	光学ガラス名	主組成	トータルドーズ (プロトンエネルギー)
1	CaF_2 (オプトロン製、SO Grade)	CaF_2	200krad (9.1MeV)
2	CaF_2 (UV grade)*	CaF_2	230krad (70MeV)
3	NBSF1 (住田光学ガラス製)	SiO_2 , PbO , K_2O	180krad (9.1MeV)
4	NBLak9 (住田光学ガラス製)	B_2O_3 , La_2O_3 , CaO , PbO , ZrO_2	140krad (9.1MeV)
5	NBBK7 (住田光学ガラス製)	SiO_2 , B_2O_3 , Na_2O , K_2O	220krad (9.1MeV)
6	NBSK4 (住田光学ガラス製)	SiO_2 , B_2O_3 , BaO	160krad (9.1MeV)
7	NBF2 (住田光学ガラス製)	SiO_2 , PbO , K_2O , Na_2O	160krad (9.1MeV)
	〃	〃	220krad (70MeV)
8	NBSK10 (住田光学ガラス製)	SiO_2 , B_2O_3 , BaO , Al_2O_3	220krad (70MeV)
9	S-BSL7 (オハラ製)	SiO_2 , B_2O_3 , Na_2O , K_2O	230krad (70MeV)

*：1996年度にガンマ線2kradを照射した履歴を持つ。

2. 2. 照射試験内容

照射試験は、放射線医学総合研究所のサイクロトロン施設において、平成14年3月1日および3月28日に実施した。照射試験の様子およびガラス材のホルダーと台座を図2に示す。ガラス材はボール紙製のホルダーに固定され、ガラス材脱落防止用の厚さ約0.04mmの半透明紙を介してプロトンが照射されるようになっている。また、紙製のホルダーはアルミ製の台座に固定されており、ガラス材の縁に付けられた銅線が台座に接続され、ガラス材への帯電防止がはかられている。

今回の試験では、参照番号1, 3～6のガラス材と2, 8, 9のガラス材へは、別々の日に、異なったプロトンエネルギーと照射レートで試験を実施した。即ち、前者に対しては9.1MeVのプロトンを約600krad/hのレートで照射、後者に対しては70MeVのプロトンを約800krad/hのレートで照射した。一方、参照番号7のNBF2へは、9.1MeVと70MeV両方のプロトンを照射した。異なった照射エネルギーと照射レートで試験を行った理由は、MMOに使用が検討されている他の搭載部品への照射試験も同じ日に実施されており、この試験との兼ね合いによるものであるが、照射エネルギーの違いによりガラス材中でのプロトンの飛程は異なることとなった。即ち、

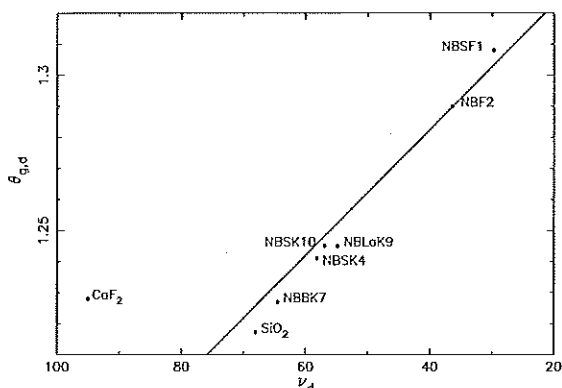


図1：放射線耐性試験に使用した光学ガラス材の部分分散比
縦軸と横軸は、それぞれ、部分分散比とアッペ数を表す。図中の斜線は標準光学ガラス材としてK7とF2を選択し、この2つのガラス材の部分分散比とアッペ数に対応する点を通る直線を示したものである。

9.1MeVの場合の飛程は、今回の試験で使用したガラス材の場合0.4~0.6mmであり、ガラス材の表層付近への影響に留まる。一方、70MeVの場合の飛程は20mm程度であるため、今回使用した厚さ5mmのガラス材ではプロトンは貫通し、ガラス材全体へ影響が及ぶ。なお、プロトンの照射ビームエリアは、ZnS蛍光板をビデオカメラで撮像しビームプロファイルとして観測することで確認しており、9.1MeV照射時には 3.2cm^2 、70MeV照射時には 2.3cm^2 に設定した。

各ガラス材へ照射したプロトンのトータルドーズは表1に示すように200krad前後であるが、ガラス材により若干の違いがある。これは以下の理由による。1) 照射試験において、設定条件の制約等から、照射ビームエリア、照射プロトン数および照射時間をガラス材によらずほぼ一定としたが、ガラス材の比重や組成の違いによるプロトン飛程の違いにより、トータルドーズがガラス材毎に異なった値となった。2) プロトン照射開始時と終了時に計測した照射プロトン数(電流値)の実測値に基づきトータルドーズを導出したが、照射期間中の照射量の変動により(約±10%)、各ガラス材でトータルドーズに違いが生じた。3) 70MeVプロトンの照射試験では照射量の変動も考慮に入れ、トータルドーズが200krad以上になるように、9.1MeV照射の場合より多く照射を実施した。

2.3. 光学特性計測

ガラス材の透過率の測定は、(株)ジェネシア他の協力により、プロトン照射の前後2日以内に実施した。透過率については、分光光度計を用いて、観測予定波長範囲の590nmから770nmを含む、300nmから2500nm(70MeVプロトン照射のガラス材については900nm)迄の範囲を波長分解能2nmで測定した。分光光度計の安定性に起因する測定誤差は、最大約0.4%である。なお、ガラス材で透過率測定に用いた部分は、各ガラス材サンプルの中央部約5mmφ以内の領域であり、照射ビームエリアに対し小さい領域である。また、照射後のガラス材の透過率測定に際しては、分光光度計へのガラス材のセットアップを含め一つのガラス材に対し複数回独立に測定を実施し、それらから平均値を求め照射後の透過率としており、プロトンの照射ムラに起因する透過率誤差の低減化に配慮した。

第3章 結 果

プロトン照射前後の各光学ガラスの透過率を図3から図11に示す。図中の実線は照射前の透過率を示し、点線と一点鎖線は、それぞれ9.1MeVと70MeV照射後の透過率を示す。また、水星探査機カメラの観測帯域となる600nmと750nmの透過率を表2に示す。図12には、70MeVプロトンを照射した後の3種のガラス材(CaF₂(UV grade)、NBF2、SBSL7)の着色化の様子を示す。

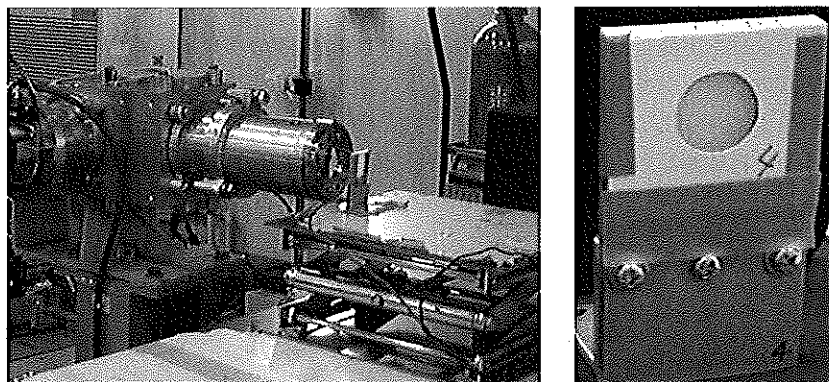


図2：(左)放射線医学総合研究所のサイクロトロン施設におけるガラス材への照射試験の様子。ガラス材はホルダーにセットされ、プロトン出射口直後に置かれている(昇降台上)。(右)プロトン照射前から見た、ガラス材固定用の紙製ホルダーとアルミ製台座。ガラス材縁と台座とは帯電防止のため銅線が接続されている。ホルダー上部の円形くり抜き部に、薄い半透明紙を介してガラス材がセットされている。

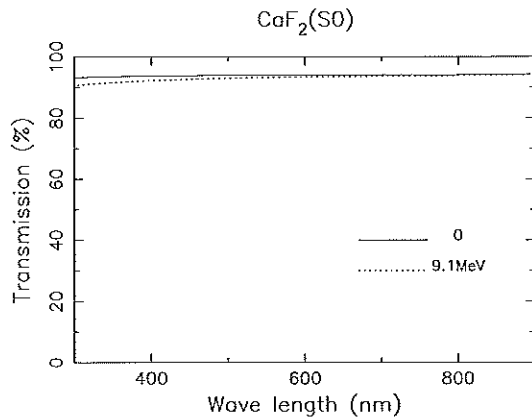


図3：ガラス材CaF₂ (SO grade) の9.1MeVプロトン照射による透過率変化

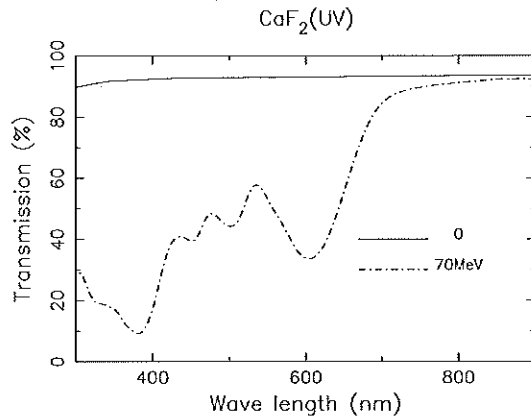


図4：ガラス材CaF₂ (UV grade) の70MeVプロトン照射による透過率変化

第4章 結果の評価

ガラスの分子配列欠陥数は一定であり、且つ、放射線照射により増加しないと仮定するとき、放射線照射後の、波長 λ におけるガラスの透過率は以下の式でモデル化され [2, 3, 4]、ガンマ線照射において、その有用性が示されている [2, 3]。

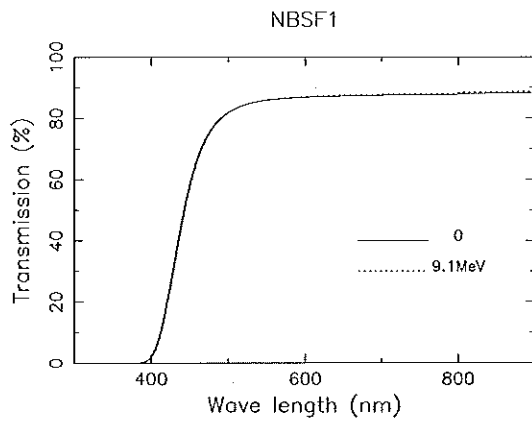


図5：ガラス材NBSF1の9.1MeVプロトン照射による透過率変化

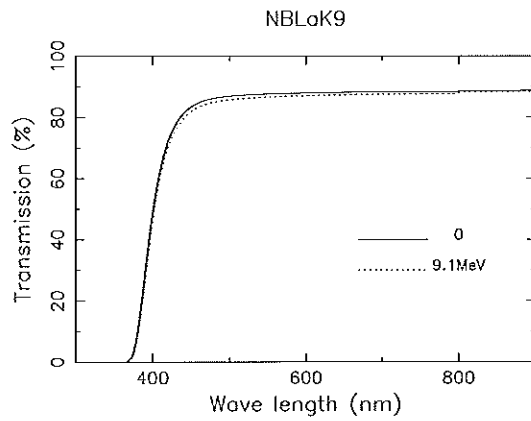


図6：ガラス材NBLaK9の9.1MeVプロトン照射による透過率変化

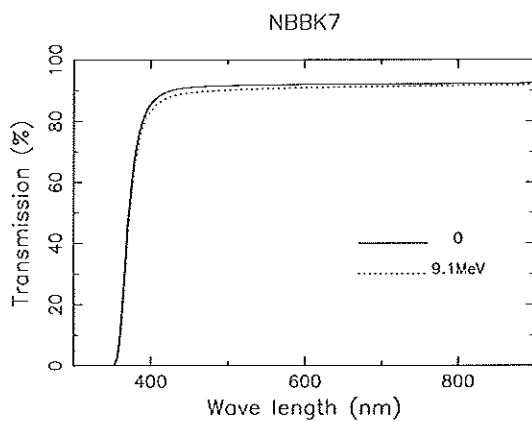


図7：ガラス材NBBK7の9.1MeVプロトン照射による透過率変化

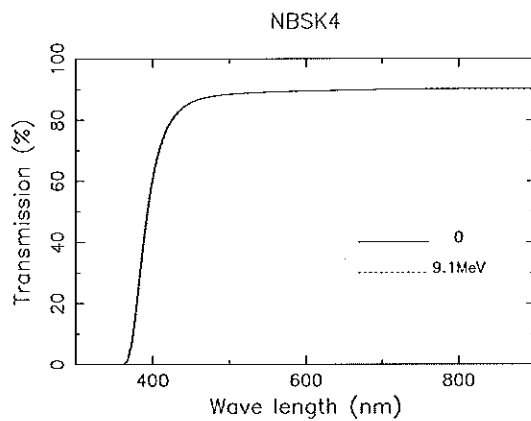


図8：ガラス材NBSK4の9.1MeVプロトン照射による透過率変化

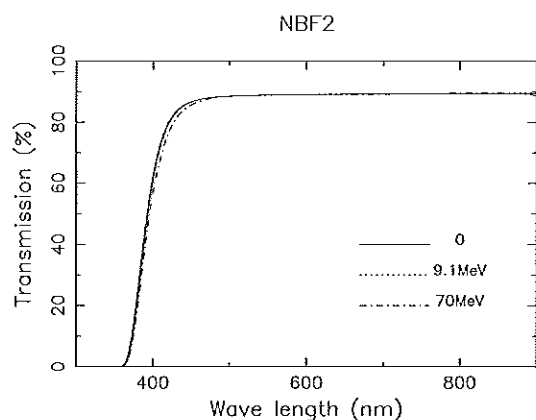


図9：ガラス材NBF2の9.1MeVおよび70MeVプロトン照射による透過率変化

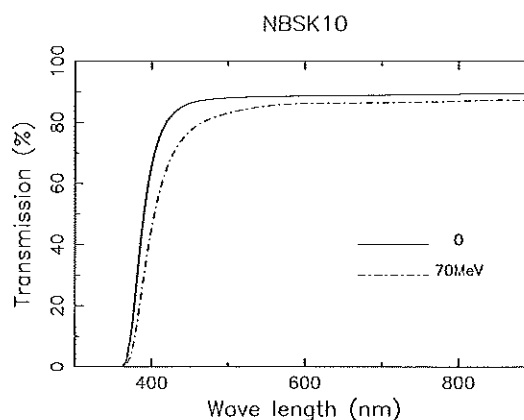


図10：ガラス材NBSK10の70MeVプロトン照射による透過率変化

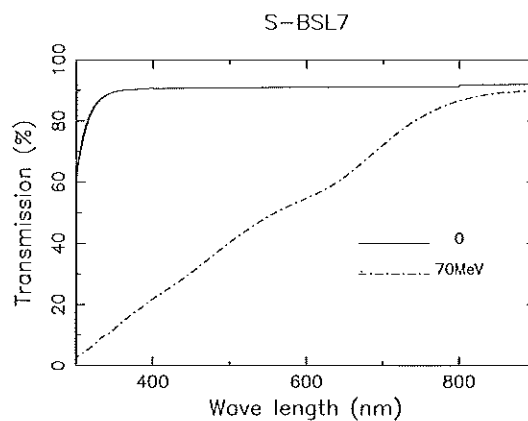


図11：ガラス材S-BSL7の70MeVプロトン照射による透過率変化

表2：プロトン照射による光学ガラス材の600nmと750nmでの透過率変化

参照番号	光学ガラス名	600nm			750nm		
		照射前	照射後 (9.1MeV)	照射後 (70MeV)	照射前	照射後 (9.1MeV)	照射後 (70MeV)
1	CaF ₂ (SO grade)	94.0%	93.4%	—	94.0%	93.7%	—
2	CaF ₂ (UV grade)	92.9%	—	33.4%	93.4%	—	88.9%
3	NBSF1	86.9%	87.1%	—	87.7%	87.9%	—
4	NBLaK9	87.9%	87.0%	—	88.3%	87.6%	—
5	NBBK7	91.9%	90.9%	—	92.1%	91.4%	—
6	NBSK4	89.4%	89.4%	—	90.1%	90.1%	—
7	NBF2	89.6%	89.8%	88.7%	89.9%	90.0%	88.7%
8	NBSK10	88.6%	—	85.8%	89.0%	—	85.9%
9	S-BSL7	91.0%	—	54.4%	91.2%	—	80.6%



図12：70MeVプロトンを照射した後のガラス材の着色化の様子
 (左) CaF₂ (UV grade)、(中央) NBF₂、(右) S-BSL7。照射前のガラス材の発色はほぼ無色透明であり、殆ど着色化が発生しなかったNBF₂ (中央) の発色と同様であった。

$$T(\lambda, D, x) = T_0 \exp(-\alpha_D x) \quad (1)$$

$$T_0 = RT_{\infty} \exp(-k_{abs} x) \quad (2)$$

$$R = \left(1 - \left(\frac{n-1}{n+1} \right)^2 \right)^2 \quad (3)$$

$$\alpha_D = \alpha_{sat} (1 - \exp(-\beta D)) \quad (4)$$

上式で、 D はトータルドーズ値、 x はガラスの厚さを表す。 T_0 と T_{∞} はともに放射線を照射しない場合の透過率であるが、前者は反射損失を含む値、後者は含まない値である。 k_{abs} 、 α_{sat} 、 β はいずれも放射線に対するガラス固有の係数であり、 k_{abs} は単位長さあたりの吸収係数、 α_{sat} はドーズ値無限大の場合の吸収係数、 β は放射線耐性を特徴づける係数である。 n はガラスの屈折率である。

モデルの有用性が示されたガンマ線照射試験 [2, 3] と、本研究で実施した70MeVプロトン照射試験では、同じガラス材を2種使用している (CaF₂ UV gradeとS-BSL7)。ガンマ線照射試験で得られたガラス材固有の係数 [2] を用いて計算した、各ガラス材へ照射したトータルドーズに基づく透過率と、70MeVプロトン照射により得られた今回の試験結果をオーバープロットして図13と図14に示す。トータルドーズに基づく計算結果では、照射安定性に起因する±10%の照射幅も考慮して示してある。CaF₂ UV gradeの場合、特に400から600nmにかけて最大10%強の透過率の不一致がみられるが、大まかな透過率低下量はガンマ線とプロトンでは類似している。尚、400から600nmにみられる透過率の差異は、モデルの有用性が示されたガンマ線照射の場合でも同様の傾向が導出されるため、モデルの不確かさに起因する可能性もある。一方、S-BSL7の場合は、ガンマ線とプロトン照射による透過率は、照射安定性を考慮した透過率の幅内でほぼ一致しており、透過率低下の傾向は両者で合致する。[2, 3, 4] に提唱されたモデルは放射線の線種を特定したものではないが、この結果により、ガンマ線照射とガラス材を貫通するプロトンによる照射は、ほぼ同傾向の透過率低下をもたらすと考えて良いことが示唆される。

ガラス材NBF₂については、9.1MeVプロトンと70MeVプロトンの両方について同じトータルドーズの照射試験を行ったが、図9に示されるように、9.1MeVプロトンによる透過率変化は微小であるのに対し、70MeVプロトンの場合はそれより大きいことがわかる。モデルがプロトン照射でも有効であることを考慮すると、プロトンのエネルギーの違いによる透過率変化の差は、ガラス材中のプロトンの透過厚の差に起因すると解釈される。

9.1MeVプロトン照射試験では、ガラス材中のプロトンの飛程が0.5mm程度と小さいために、ガラス材の透過率変化は小さかったが、ガラスの透過率変化の程度を、飛程の大きい70MeV照射試験の結果と合わせて考えるために、9.1MeVプロトン照射の結果を用いて、飛程が大きい (70MeVの場合と同じく、ガラス材の厚みとする) 場合に想定される透過率変化の度合いを、[2, 3, 4] に提唱されるモデルを用いて求めることにする。9.1MeVプロトン照射による透過率を $T_{9.1}$ とすると、ガラス材を貫通するプロトンによる透過率 T_{70} は、トータルドーズが両照射で変わらない場合、式(1)を用いて次式で与えられる。

$$T_{70} = T_{9.1} \exp(-\alpha_D(x-\rho)) \quad (5)$$

ここで、 ρ は、9.1MeVプロトンのガラス材中の飛程である。9.1MeVプロトン照射により透過率の有意な低下が確認されたガラス材 (CaF₂ (SO grade)、NBLaK9、NBBK7) について、ガラス材を貫通するプロトンによる透過率変化を見積もると、表3に示す結果が得られる。本結果と表2に示した70MeVプロトン照射による結果と合わせ、ガラスを貫通する高エネルギープロトンによる透過率変化をみると、200krad程度の放射線照射の場合、水星探査機用カメラに予定される観測波長帯では、厚さ5mmの耐放射線化したガラス (NBシリーズ) とCaF₂ (SO grade) の透過率低下は10%以下であり、約80%以上の透過が期待されることがわかる。

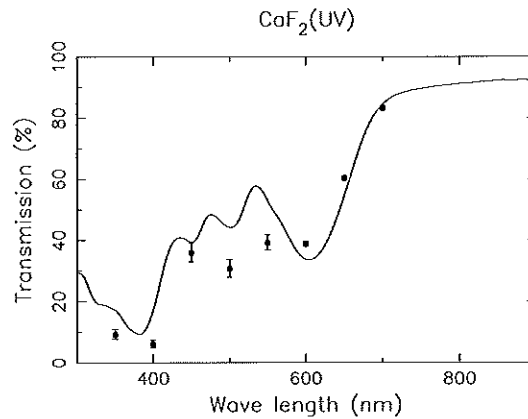


図13：ガラス材CaF₂UV gradeの70MeVプロトン照射による透過率 (曲線) とガンマ線照射 (230krad±10%) による透過率 (黒点)。ガンマ線照射による透過率は西野他 [2] の結果から導出。

表3：9.1MeVプロトン照射結果を用いてモデル計算により導出される、プロトンが厚さ5mmのガラス材を貫通する場合の600nmと750nmでの透過率変化。

参照番号	光学ガラス名	600nm			750nm		
		照射前	照射後 (9.1MeV)	照射後 (貫通時)	照射前	照射後 (9.1MeV)	照射後 (貫通時)
1	CaF ₂ (SO grade)	94.0%	93.4%	88.0%	94.0%	93.7%	91.0%
4	NBLaK9	87.9%	87.0%	81.0%	88.3%	87.6%	83.0%
5	NBBK7	91.9%	90.9%	84.0%	92.1%	91.4%	87.0%

第5章 ま と め

9.1MeVと70MeVのプロトンを用いて、耐放射線ガラスを含む複数の光学ガラス材への約200kradの照射を行った。可視域の透過率の変化について、以下の結果を得た。

- 観測波長帯域における、厚さ5mmのCaF₂ (SO grade) と各種耐放射線ガラスの透過率変化は (光学ガラス着色化に関するモデルに基づく見込み値を含めて) 10%以内であり、約80%以上の透過率が見込まれる。一方、過去に実施されたガンマ線照射試験により着色化傾向が大きいことが報告されていたUV gradeのホタル石とBK7に対しては、厚さ5mmのガラス材の場合、600nm付近で35%以上の透過率低下が確認された。
- ガラス組成の違いによる放射線耐性の差異として、PbOを多く含むSF-F系のガラス材の放射線耐性が高く、NBF2の場合、5mm厚のガラス材の透過率変化は200kradを超える照射に対しても1%程度であり、殆ど低下が見られない。一方、NBLaK9、NBBK7は、光学ガラス着色化に関するモデルの見込みに基づく、他の耐放射線ガラスより透過率低下が大きいことが示唆された。
- ガンマ線照射の場合にその有意性が確認されている光学ガラス着色化のモデルは、プロトン照射の場合に

もほぼ同様に適用可能であることが確認された。このことは、水星探査機への影響が特に懸念されるプロトンの照射について、光学ガラスへの影響をさらに調査してゆく場合に、放射線試験が比較的容易なガンマ線照射の結果を流用可能であることを示唆する。

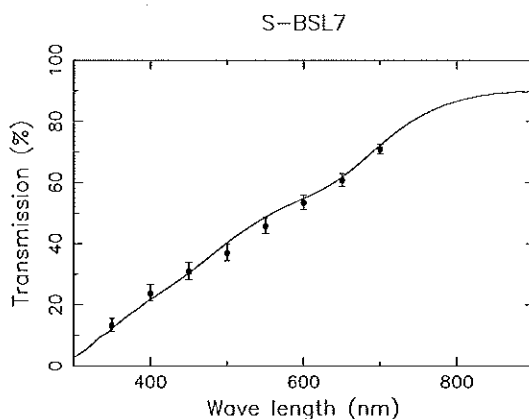


図14：ガラス材S-BSL7の70MeVプロトン照射による透過率（曲線）とガンマ線照射（230krad±10%）による透過率（黒点）。ガンマ線照射による透過率は西野他【2】の結果から導出。

今回の試験は、実際の水星探査ミッション中の被曝に対し、大きく異なるレートの照射条件のもとで行われた（全ミッション期間での被曝を数十分間で照射。）放射線照射に対しガラス材にはアニーリング作用があることが知られており、実際の宇宙環境下では、着色化の度合いは今回の試験結果より小さいことが予想される。従って、今回の試験において、特にガラス材を貫通する高エネルギープロトンによる着色化は、ワースト・ケースを示すものと考えて良いと思われる。しかしながら、現段階ではその実施如何は検討中であるものの、水星探査ミッションで観測光量の絶対計測を行う場合、透過率変化はその多少によらず考慮すべき事項となる。透過率変化をモニターするための較正法としては、発光量の安定した対象を計測し、受光量の変化から透過率の変化を導出する方法がある。安定した発光源の候補としては、カメラ自身に較正用光源を備える方法や、太陽光を利用する方法が考えられるが、前者は光源自身の放射線耐性や経年変化特性等、後者はカメラ視野方向と光源の位置関係による計測条件の成立性等が検討事項となるとと思われる。

ガラスの耐放射線化には、酸化セリウム（ CeO_2 ）の添加が一般的であり【1】、今回のプロトン照射試験で使用する耐放射線ガラスにも CeO_2 が添加されている。今回使用したガラス材のうちNBBK7とS-BSL7は、同じ組成を持つガラス材を耐放射線化したもの（前者）としないもの（後者）であるが、 CeO_2 の添加による放射線耐性は明白であり（図7と図11）、プロトンに対しても CeO_2 の添加が有効であることを示している。色消しレンズ用のガラス材の選択において、本試験結果は、今回試験に供したガラス材だけでなく CeO_2 を添加した一般のガラス材に対しても選択可能であることを示唆する。現在、今回試験に使用したガラス材とは系列の異なるガラス材（弗磷酸系）に対し、 CeO_2 の添加量を0.9wt%、1.2wt%、1.5wt%と変えたサンプルを準備しており、今後これらのガラス材に対しても放射線照射試験を行い、透過率変化の様相を調査することを予定している。

水星撮像カメラ光学系に対する放射線の影響を調査する上での今後の課題としては、反射防止コーティング、赤外反射コーティング材およびカメラ内壁等へ使用する各種塗料への影響を調査することである。これらについては、2002年3月1日と3月28日に一部のサンプルについて試験的にプロトン照射を実施したが、今後、ガラス材とコーティング材に対しては透過率および面相度、塗料に対しては光吸収率、熱放射率、散乱性等への影響を定量化してゆくことを計画している。

謝 辞

国立天文台の末松芳法教授には、CaF₂ (UV grade) をご提供頂くとともに、放射線試験の結果の解釈について御助言を頂いた。ここに深謝する。(株)キャノンの鈴木正治氏には、水星の放射線環境を考慮して紫外線耐性の大きいCaF₂ (SO grade) を推薦しご提供下さったことに感謝する。(株)ジェネシアの榎原佳子氏には、照射前後のガラス材の透過率測定で尽力頂いた。ここに感謝する。東京工芸大学の渋谷真人教授には、ガラス材の着色化モデルの解釈に関し御助言を頂いたことを感謝する。本研究は、宇宙科学研究所戦略的開発研究および放射線医学総合研究所サイクロトロン利用研究の援助を得て実施された。

参 考 文 献

- [1] 久保田広、浮田祐吉、会田軍太夫、光学技術ハンドブック、朝倉書店、東京、1968.
- [2] 西野洋平、末松芳法、常田佐久、一本潔、木挽俊彦、武山芸英、国立天文台報、第3巻、145-150、1998.
- [3] 末松芳法、西野洋平、木挽俊彦、一本潔、常田佐久、武山芸英、平成8-10年度「原研大学原子炉利用共同研究成果報告書」、1-5、1999.
- [4] Treadaway, M.J., and B.C.Passenheim, Radiation effects on optical components, SPIE, 121, 67-70, 1977.

既 刊 行 物

- 第 98 号 (1997年11月) 惑星間空間衝撃波による電子フェルミ加速
第 99 号 (1998年 2月) レールガン・二次アークの挙動
第 100 号 (1998年 3月) 弾性振動に起因するViperロケットの軌道分散
第 101 号 (1998年 6月) 科学衛星「はるか」のアンテナ展開実験
第 102 号 (1999年 2月) 天文観測用科学衛星の姿勢決定系におけるカルマンフィルタ
第 103 号 (1999年 3月) カプセル型物体の動的不安定性についての実験的研究
第 104 号 (1999年 3月) ロケット搭載用テレビジョンシステム
第 105 号 (1999年10月) S-310-27号機による中層大気水蒸気密度の測定
第 106 号 (1999年12月) S-310-27号機によるDCプローブ測定
- ES層中の電子温度について -
第 107 号 (2000年 2月) SEPACプロジェクトのエンジニアリングとマネジメント
第 108 号 (2000年 2月) 飛行時間法を用いた中性ガス質量分析器の開発
第 109 号 (2000年 3月) 金星ホールの生成機構に関する一考察
第 110 号 (2000年 8月) 臼田宇宙空間観測所水素メーザ標準周波数時刻システム
第 111 号 (2000年10月) 臼田宇宙空間観測所用Xバンド冷却低雑音増幅器
第 112 号 (2000年10月) 探査機異常監視・診断システム (ISACS-DOC)
第 113 号 (2000年12月) 宇宙用熱制御材料の太陽光吸収率の入射角依存性と全半球放射率
の温度依存性に関する測定データ
第 114 号 (2001年 3月) 科学惑星「はるか」の位相基準信号電送システム
- 臼田地上局システムを中心にして -
第 115 号 (2001年 3月) 成層圏大気中の多種の微量成分観測を目的とした気球搭載用大気
採取装置の研究
第 116 号 (2001年 3月) 科学衛星「はるか」における位相基準信号伝送のための衛星搭載
システム
第 117 号 (2001年10月) 電磁飛翔体加速装置開発の歩み - (I)
第 118 号 (2001年12月) リングコア磁力計センサの衝撃実験
- ペネトレータ型磁力計開発の基礎実験 -
第 119 号 (2002年 8月) 窒素振動温度測定器の室内実験による較正と解析手法の改良

宇宙科学研究所報告

第120号

2002年11月

発行者 宇宙科学研究所

〒229-8510 神奈川県相模原市山野台 3 - 1 - 1

電話 (042) 759-8009

印刷者 タイヨー印刷株式会社

神奈川県相模原市上溝 4 - 9 - 10

電話 (042) 762-2157

