44 オゾンを含む酸素ジェットの可視化

都立大工^{*}; 太田正広[°]・中村博・平山直道

Visualization of Oxygen-Ozone Mixture Jets

by Masahiro OTA, Hiroshi NAKAMURA and Naomichi HIRAYAMA

The preliminary visualization technique for a low density gas flow is discussed. The optical absorption phenomena of ultraviolet ray by ozone are applied. Ozone has a region of continuous absorption between 2000Å and 3000Å of an ultraviolet light wave length, with a maximum at 2537Å. Therefore, the parallel ultraviolet light from a low pressure mercury lamp is injected from one side wall of a test section. In the reduced pressure test section, oxygen-ozone mixture jets are forced into from a nozzle. The ultraviolet light passing through the jets are absorbed. The radiation emerging, after absorption in the jets is transformed into visible light by fluorescent screen.

1. 緒言

地上30-50Km, 圧力が10-0.5 Torrの成層圏と呼ばれる超高層大気中に比較的多量に存在しているオゾン層は、太陽からの人体に有害な紫外線を吸収することが知られている。そこで、比較的低圧力においてもオゾンが紫外線を吸収する現象を、低真空から中真空領域における希薄気体流れの定性的、定量的測定に利用できる可能性があると思われる。本報告においては、大気圧から1/3気圧程度まで減圧した風洞測定部にオゾンを含んだ酸素ジェットを噴出させ紫外線の吸収による気体流れの可視化を試みた。オゾンが吸収する紫外線は比較的短波長に限られており、最大吸収係数は波長253.7nm(2537Å[°])付近に存在する。したがって光源としては、短波長紫外線を発生する冷陰極型低圧水銀ランプを用いた。風洞側壁の一部は、両側とも可視光遮断・紫外光通過光学フィルタで構成した。2枚の光学フィルタの間にオゾンを含む酸素ジェットを噴出させ、片側の側壁外部よりフィルタ面へ低圧水銀ランプ光を照射させた。オゾンが存在する領域でのみ吸収された紫外線は、その吸収度合に応じて光量を減じて反対側のフィルタから放出される。通常のカメラ用フィルムは、短波長紫外線に対して感度が鈍いので、本報告では透明ガラス面に塗布させた蛍光体により紫外線を変換させてカメラ撮影した。

2. 可視化の原理

オゾン(以下 O₃とする)は、地上30-50kmの成層圏に比較的多量に存在し、その層をO₃層(O_zo_no_sp_he_re⁽¹⁾)と呼ぶ。O₃層は皮膚ガン等の原因となるUV-Bと呼ばれる紫外線を吸収し、地上に照射される紫外線量を減じることが知られている。また、気圧の高度分布を図1に示すが、O₃層の存在する地上30-50kmにおける気圧は10-0.5 Torr付近である。したがって、低・中真空領域においてもO₃が紫外線

^{*} Depart. of Mec. Eng., Tokyo Metropolitan Univ., Fukazawa, Setagaya-ku, Tokyo.

を吸収する性質を持つことがわかる。そこで、この性質を低真空から中真空領域における希薄気体流れの定性的及び定量的測定に利用できる可能性があると思われる。O₃は紫外線波長によりその吸収度合は異なり、図2に示すように2500 Å⁽³⁾付近にその最大吸収係数が存在することが報告されている。O₃層の厚さに比べてはるかに薄い実験室規模で紫外線吸収割合の変化を発生させるには、最大吸収係数付近の紫外線光源が必要となる。また、通常の光学材料は短波長紫外線を吸収してしまうため、紫外線光が入射する測定室材料にも注意する必要があるし、非可視光の光量の変化を可視光変化に変換する方法の開発が必要である。

3. 実験装置及び方法

3. 1 実験装置概要

本研究に用いた実験装置の概要を図3に示す。装置は真空排気装置、真空風洞、オゾン発生器、可視化装置から構成されている。真空排気装置には油回転ポンプ、油拡散ポンプを用いており、真空風洞内を低圧に保つことが出来る。風洞には、オゾン噴出ノズルが設置しており、酸素ポンプより酸素の供給を受けたオゾン発生器がO₃を発生し、風洞内へ送り込んでいる。可視化装置は、光源、フィルタ、蛍光体膜より成り立っている。2枚のフィルタはそれぞれ風洞の両側壁にはめ込まれており、フィルタと側壁及びフィルタと大気側はそれぞれ真空シールされている。蛍光体は、透明板ガラスに膜状に塗布してフィルタとカメラの間に置かれている。また、可視化装置はフードで覆われており、光源より出た紫外線はそのフードの中を通して蛍光体まで達するため、周囲の明りが装置内に入り込む恐れはない。

3. 2 光源

オゾンの最大吸収係数253.7 nm付近の波長用の光源としては発振波長248 nmのエキシマレーザ：KrFがあるが、大変高価であるため、本研究では安価な冷陰極型小型低圧水銀ランプを用いた。使用したランプ、和光電気理科工業（株）製の冷陰極型小型低圧水銀ランプLP-11Bは、ランプ電力4 Wで、遠紫外線を多量に出し特に253.7 nmのスペクトル線は、ランプからでる全エネルギーの90%にも達する。しがって比較的単波長の紫外線ランプとして利用することができる。

3. 3 フィルタ

光源からでた紫外線のなかから最大吸収係数付近の波長の光りに絞りこむために、東芝硝子（株）製の紫外通過・可視吸収色ガラスフィルタ、UV-D33Sを用いた。このフィルタの253.7 nmの紫外線に対する透過率は約60%以上である。

3. 4 蛍光体

波長が約350 nm以下の光に対しては、通常のフィルム（例えばNEOPAN S）は感度が極端に低下するため従来のシャドウグラフ方式では像が見えにくい。そこで紫外線量の大小を可視光の明暗に変換し、その像を観察することを考えた。その手段

として、紫外線吸収により可視光の蛍光を発する安価なランプ用蛍光体をフィルタとカメラの間に置き、通過してきた紫外線を可視光に変換してカメラ撮影した。用いた蛍光体は化成オプトニクス(株)製のランプ蛍光体; KX-514A、LP-REI、LP-G2である。蛍光体は粉末状であるため、アセトンにとかし、透明板ガラスに膜状に塗布して使用した。また、3種類とも短波長紫外線(253.7 nm)によって強く励起され、発光色の異なった可視光の蛍光を発する性質を持つ。各々の組成及び発光状況を表1に示す

3.5 オゾン発生器

本研究に用いたオゾン発生器は、湯川理工工業(株)の携帯型オゾン発生器NG-N-03である。NG-N-03は高周波放電方式であるため、03の発生量が多く所要電力も少なくすむ。原料ガスには酸素を用い、流量は標準状態で200 cc/min. の場合が大部分である。また、オゾン濃度は約2% Volである。

4. 実験方法及び結果

まず、真空排気装置を作動させ真空風洞内を大気圧より減圧させる。次に酸素ポンプより1 at gのO₂を流量200 cc/min. でオゾン発生器に送る込む。減圧された静止空气中にO₃を含む酸素を風洞内のノズルより噴出させた。風洞片側フィルタ面に紫外線を照射し、反対側風洞側壁フィルタよりでた紫外線光を蛍光体スクリーンに照射する。蛍光体により変換されたジェットの可視光像を固定カメラにより撮影した(図4)。可視化結果を図5に示す。ジェットを噴出させない図5aと比較して、真空タンク内圧が765, 678, 584 Torrと減圧させた場合においても、図5b, 5c, 5dのように酸素ジェットが可視化されている。2枚のフィルタ等により紫外線光量が減少させられているため、本実験では撮影時間を長くしなければならなかった(約10秒)。なおノズル及びジェット以外の明暗は、塗布された蛍光体の厚さが不均一のためと思われる。また、O₃の質量流量は、大気圧付近で約0.17 mg/s、濃度約53 mg/lであった。

謝辞

蛍光体に関して貴重な助言をいただいた化成オプトニクス(株)長谷堯氏、実験に協力してくれた、当時学部生、広瀬勝巳君に感謝します。

参考文献

- (1) 永田、等松 ; 超高層大気の物理学、裳華房、1973、45
- (2) 東京天文台編纂; 理科年表、丸善、1977、191
- (3) E. C. Y. INN and Y. TANAKA; Adv. Chemistry Series、21、1959、263

Fig.1 Dependence of altitude on atmospheric pressure

Fig.2 Absorption coefficients of ozone in region of Hartley band, 2000 to 3000 Å.⁽³⁾

Fig.3 Schematic drawing of experimental apparatus

Fig.4 Optical setup

品名	組織	発光状況	
		発光ピーク (nm)	発光色
KX-514A	Ca ₂ B ₅ O ₉ Cl : Eu ²⁺	450	青
LP-REI	Y ₂ O ₃ : Eu	611	赤
LP-G2	LaPO ₄ : Ce, Tb	544	緑

Table 1 Fluorescent substance

Fig.5 Visualization of oxygen-ozone mixture jet