

## 論 文

高気圧 O<sub>2</sub> ガス中における負イオン移動度の測定

林 喬 久\*

(2007年1月25日受付; 2007年7月13日受理)

Measurement of Negative Ion Mobility at High Pressure Condition in O<sub>2</sub> Gas

Takahisa HAYASHI\*

(Received January 25, 2007; Accepted July 13, 2007)

This paper describes the experimental results and discussions on negative ion mobility in oxygen gas under the gas pressure ranging from 450 to 2230 Torr. The obtained negative ion mobility tends to be proportional inversely to the gas pressure. The reduced values of mobility under the standard condition of 760 Torr at 0°C are almost in agreement with the values reported by other researcher. The author confirmed that the values of reduced mobility is 2.08 cm<sup>2</sup>/V·s, which is obtained in this experiment is very close to the reported value of the mobility of O<sub>2</sub><sup>-</sup>.

## 1. はじめに

電界が印加されたガス空間中を荷電粒子が移動する時、荷電粒子の移動速度と印加電界の比を移動度と呼んでいる<sup>1)</sup>。この移動度は、測定時のガス圧力には反比例することが理論的に又実験的にも証明されており、単位ガス圧力当りの値として示されることが多い。そのような中で多くの場合イオン移動度測定は数10Torr以下の低ガス圧力における”スオーム法”<sup>2) 3)</sup>によって行なわれることが多い。これに対し、著者が用いてきた方法<sup>4)~9)</sup>は大気圧下で動作するイオン検出器を備えたドリフトチューブを用いているのでイオンの拡散の影響を小さくした状態で行えることに特長がある。又、高ガス圧力での測定であるのでイオン移動度が、低い換算電界 E/p<sub>0</sub> (E:電界強度, p<sub>0</sub>:0°C換算ガス圧力) に設定でき E/p<sub>0</sub> に対して平坦な特性を描く領域での換算移動度測定が可能となる。

著者の研究に先立ち大気圧中での移動度測定については、Gosho ら<sup>10)</sup>や、Fujibayashi ら<sup>11)</sup>の報告があり、又最近では東山ら<sup>11)</sup>による論文も報告されている、これらをまとめると次のようになる。

Gosho らは大気圧中で換算電界強度  $0.02 \leq E/p_0 \leq 0.8V/cm \cdot Torr$  の範囲で行った結果、 $E/p_0 = 0.15 V/cm \cdot Torr$

キーワード: O<sub>2</sub>, 高気圧、O<sub>2</sub><sup>-</sup>、負イオン、移動度

\* 千葉工業大学 電気電子情報工学科

〒275-0016 千葉県習志野市津田沼 2-17-1

Department of Electrical Electronics and Computer

Engineering, Chiba Institute of Technology.

2-17-1, Tsudanuma, Narashino-shi, Chiba 275-0016

hayashi.takahisa@it-chiba.ac.jp

以下においては殆んど一定の移動度  $\mu = 2.05 \text{cm}^2/V \cdot s$  を観測し、その後 E/p<sub>0</sub> の増加と共に減少したと報告している。Fujibayashi は、高温大気圧中におけるイオンの移動度測定を行った。空気の圧力は 1005hPa、温度変化は 0°C～約 400°C において負イオン移動度を求めた。その結果、移動度は 0°C で約  $2.0 \times 10^{-4} \text{m}^2/V \cdot s$ 、200°C で約  $3.85 \times 10^{-4} \text{m}^2/V \cdot s$ 、420°C で約  $7.8 \times 10^{-4} \text{m}^2/V \cdot s$  であることを報告し、これは高温でのイオン種の変化と二次電子放射による効果であると述べている。

東山は、パルスコロナ放電を利用した空気中での正イオン移動度測定法を開発し、この装置を用いた実験結果として換算電界  $0.7 < E/p < 2.2V/cm \cdot Torr$  において平均移動度  $1.95 \times 10^{-4} \text{m}^2/V \cdot s$  をもつイオン種の存在を報告している。

著者は Gosho ら<sup>10)</sup>が開発したイオンドリフトチューブを用いて O<sub>2</sub> 中<sup>4) 5)</sup> O<sub>2</sub>/O<sub>3</sub> 混合ガス中<sup>6)</sup>、SF<sub>6</sub> 中<sup>7)</sup> 及び CF<sub>4</sub> 中<sup>8)</sup> の移動度測定を大気圧下で行ない、それらの結果について報告した。このような中で特に大気圧 O<sub>2</sub>/O<sub>3</sub> 混合ガス中の負イオン移動度が O<sub>3</sub> 濃度の高くなる程小さくなることを見出し、現在もこの結果について検討している。詳細は今後の検討結果を待たなければならないが、純 O<sub>2</sub> 中で観測した O<sub>2</sub><sup>-</sup> が O<sub>3</sub> 濃度の高くなるのに従ってドリフト空間を飛行しながら O<sub>2</sub> 又は O<sub>3</sub> と衝突をくり返し、別のクラスターを含むイオンに変化しているのではないかと推測している。この結果は Matejcik らの報告<sup>13) 14)</sup>にも関連して興味ある検討事項である。

このような報告がある中で、大気圧以上で測定した負イオン移動度の測定結果についての報告は著者の約 3 気圧における測定結果<sup>9)</sup>以外は見当たらない。そこで本論文は、純 O<sub>2</sub> 中で、450 Torr から 2230 Torr までにおける移動度測定を行った

結果について報告する。大気圧以上の高気圧でも負イオン移動度測定が可能であるという点に注目し実験を行った結果を述べたのが本論文の特長である。その要点は、ガス圧力1277Torrまで、更に、別の測定装置を用いて、2230Torrまで変化した時のイオン移動度は、ガス圧力に反比例して低下するものの、標準状態に換算した移動度はすべて一致し、その値はO<sub>2</sub><sup>-</sup>の移動度であることを確認することができたことがある。

## 2. 実験装置及び方法

### 2.1 放電容器

図1は用いた実験装置の概略図である。これはGoshoらが開発したものと基本的には同じであり、既に報告した実験装置<sup>7)</sup>でもある。ドリフト空間長は、15mmから95mmまで変化できる。放電容器はアクリル樹脂製円筒型（直径200mm、長さ340mm）である。

ギャップG<sub>1</sub>は陰極(C)及び陽極(A)とリング状ガード電極(D)より構成された平等電界ギャップで負イオンドリフト空間である。ガード電極は陰極と陽極間に5つ配置した。いずれも陰極からリング型ガード電極の中心軸までの位置に対応した空間電位を与えるように抵抗R=100MΩにより陽極と陰極間の電圧を分割し印加した。陽極中央には直径15mmの穴を開け、金属メッシュ(M) #32を張った。これはパルス紫外光(UV光と記す)や負イオン群が通過できるようにするためにある。

ギャップG<sub>2</sub>はメッシュ電極(M)と針電極(P)よりなる正コロナギャップ(P-M間は15mm)で、電極間にはガイガーカウンタ領域の直流電圧を直列抵抗Rs=100MΩを通して印加した。針電極の先端には白金線(曲率半径0.2mm、長さ3mm)を使用して強電界を形成した。これは放射線計測に用いられるガイガーカウンタ<sup>15)</sup>と封入ガスは異なるが同じ動作原理によるもので、本実験では負イオン検出器として動作する。

O<sub>2</sub>ガスは陽極側から放電容器に入れ、圧力は0°C換算値で

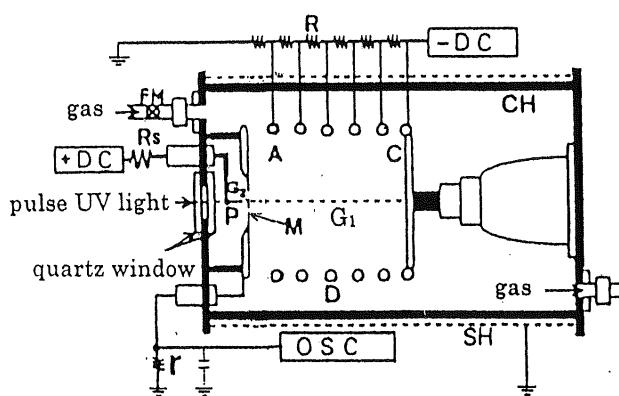
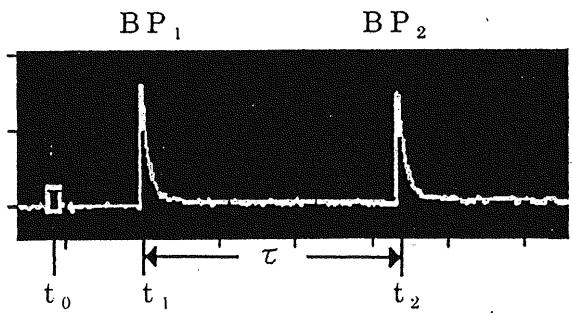


図1 実験装置

Fig.1 Experimental apparatus.



E/p<sub>0</sub>=0.175 (V/cm·Torr), p<sub>0</sub>=760 (Torr), d=45mm

0.5 μ A/div, 5ms/div

図2 バーストパルス波形

Fig.2 Wave form of burst pulses.

450, 600, 760, 980, 1130, 1277 Torr、ドリフト空間長は15, 45, 95mmの下で移動度測定を行なった。一定のE/p<sub>0</sub>の下で少なくとも100回繰り返し測定を行なった。更に、回数を重ねるときは連続して500回行うごとに測定を中断し、ガスを交換した。用いたO<sub>2</sub>ガス純度は99.99%であった。これとは別の装置でドリフト空間長94mm、ガス圧力は760, 1860, 2230 Torrにおいて測定した場合もある。但し、この場合のガス純度は99.9%であった。

**2.2 移動度測定** 負イオン生成用初期電子の供給は、大気圧中直径12.5mmの球電極間の長さ1mmのギャップ中に発生する火花放電によった。以後、これをパルスUV光と呼ぶことにすると、この繰り返し時間は約1秒であった。このパルスUV光を放電容器に設けた石英窓を通して陽極中央部のメッシュと陰極中央部の表面に照射すると、メッシュ電極と陰極から光電子が放出される。この時刻を図2においてt<sub>1</sub>とする。この電子は直ちに電極表面近くでO<sub>2</sub>に付着して負イオンとなり印加電界によりドリフトを開始する。先ずメッシュから出発した負イオン群は、G<sub>2</sub>を横切り針電極近傍の強電界部で電子離脱を起こす。その電子は急速に電子なだれを起こしこの電流は検出抵抗r=100kΩにより検出され、デジタルオシロスコープ上にバーストパルスBP<sub>1</sub>として描き出される。このパルスの出現時刻が図中のt<sub>1</sub>である。一方陰極から出発した負イオンは、平等電界が印加されたイオンドリフト空間G<sub>1</sub>を通り、その一部はメッシュをくぐり抜けG<sub>2</sub>に入る。その後は先にメッシュから出発したイオン群と同じ経路をたどり、同図中の時刻t<sub>2</sub>に2つ目のバーストパルスBP<sub>2</sub>として観測される。このようにして2つの連なったパルスBP<sub>1</sub>, BP<sub>2</sub>の波形が同図に示したように観測される。

図2のt<sub>1</sub>とt<sub>2</sub>の時間差は2つのイオン群の針電極への到着時間差τであり、この値からG<sub>1</sub>を飛行した負イオンのドリフト速度v<sub>d</sub>及び移動度μが次式により決定できる。

$$\tau = t_2 - t_1 \quad (\text{s}) \quad \dots \dots \dots \quad (1)$$

$$v_d = d / \tau \quad (\text{cm/s}) \quad \dots \dots \dots \quad (2)$$

$$\mu = v_d / E \quad (\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}) \quad \dots \dots \dots \quad (3)$$

d : ドリフト空間距離 (cm), E : 電界強度 (V/cm)

BP<sub>1</sub>とBP<sub>2</sub>の時間差 $\tau$ は、同じE/p<sub>0</sub>であっても圧力が変わるとそのつど変動して観測された。しかし、BP<sub>1</sub>の出現時刻t<sub>1</sub>とt<sub>0</sub>の間隔は常に一定であったので、 $\tau$ のばらつきはG<sub>1</sub>とG<sub>2</sub>を横切ったイオン群の作るBP<sub>2</sub>の出現時刻t<sub>2</sub>の変動によるものである。例えばE/p<sub>0</sub>=0.3 V/cm·Torrにおいて、450 Torrの時、 $\tau$ の変動幅は0.7ms、1277 Torrの時、 $\tau$ の変動幅は0.37msであった。そしてこのような測定を100回以上繰り返し、その都度移動度を算出して移動度の観測頻度分布とした。又、同じE/p<sub>0</sub>の下で100回測定した移動度の平均値を $\mu$ とし、これを(4)式により0℃、760Torrの標準状態に換算し $\mu_0$ として表した。

$$\mu_0 = \mu (p / 760) \cdot (273 / T) \quad \dots \dots \dots \quad (4)$$

$\mu$  : 測定した移動度 (cm<sup>2</sup>/V·s)

p : ガス圧力 (Torr), T : 測定時のガス温度 (K)

低電界下では移動度が換算電界に対して平坦になる移動度を持つが、この値を換算移動度 $\mu_{00}$ として表わすこととする。

### 3. 実験結果及び考察

#### 3.1 負イオン検出ギャップのガイガーカウンタ領域

移動度測定に必要なバーストパルスを発生させるには針対

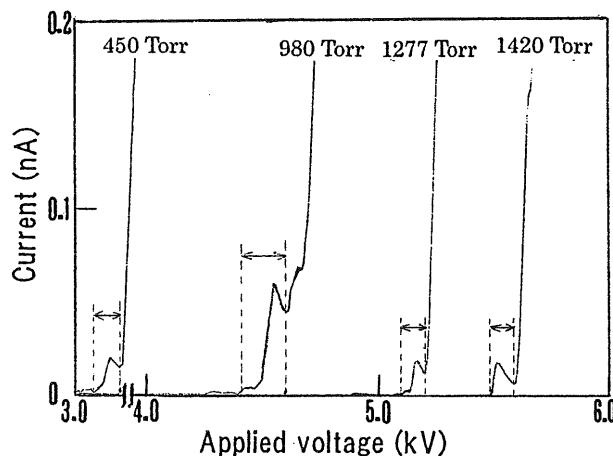


図3 ガス圧力による電圧-電流特性

Fig.3 Characteristics of positive corona gap by gas pressure (gap. 15mm).

メッシュ電極間d=15mm、即ち正コロナギャップを形成したイオン検出空間にガイガーカウンタ領域の電圧を印加しなければならない。今回のように高気圧中で負イオンを検出するには、針電極の印加電圧をガス圧力に応じて変化させることが必要となる。このような例として450, 980, 1277, 1420 Torrにおける正コロナギャップのV-I特性を図3に示す。図中の矢印で示した範囲がガイガーカウンタ領域の電圧であると判断できる<sup>15)</sup>。この領域をガス圧力に対して示したのが図4である。ガス圧力を300~1420 Torrまで変化した場合、針電極への印加電圧は圧力に比例して高くなることがわかる。

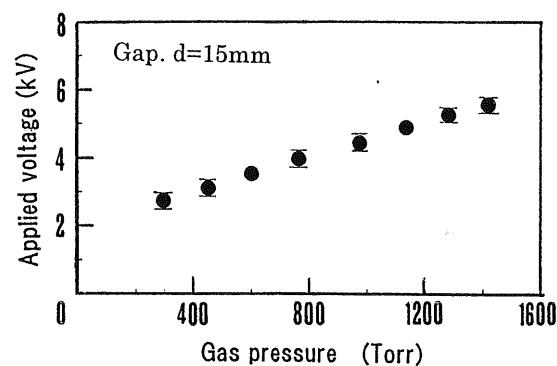


図4 ガス圧力によるガイガーカウンタ領域

Fig.4 Geiger Counter region of positive corona gap (gap. 15mm).

#### 3.2 ガス圧力変化時の移動度測定

図5, 6, 7はイオンドリフト空間長を15, 45, 95 mmとし、E/p<sub>0</sub>に対する移動度を6種類のガス圧力で測定した結果である。図中の1個のプロット点は100回の測定値の平均を示している。

##### (1) ドリフト空間長d=15mmにおける実験

ガス圧力を変化しながら測定した結果を図5に示す。450 Torrの場合、 $0.011 \leq E/p_0 \leq 0.1 \text{ V/cm} \cdot \text{Torr}$ において、移動度はE/p<sub>0</sub>に対しほぼ一定で、平坦な特性を示す。このときの移動度の平均値は $\mu = 3.9 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ 、760 Torrで、 $\mu = 2.1 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ 、1277 Torrでは $\mu = 1.25 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ となった。更に、移動度は $E/p_0 > 0.3 \text{ V/cm} \cdot \text{Torr}$ において増加し、このような増加傾向は1277 Torrまでの測定結果に共通して観測されている。圧力が980Torrから1277TorrになるとE/p<sub>0</sub>>0.3 V/cm·Torrにおける移動度の増加は450 Torrの場合と比較して小さくなる。即ち、ドリフト空間内においてガス圧力を450 Torrより高くすると、ドリフト空間を飛行する負イオンの分子と衝突する機会が増すことから移動度はすべてのE/p<sub>0</sub>において低下した。

## (2) ドリフト空間長 d=45mm における実験

測定結果を図6に示す。450 Torrの場合、移動度は  $0.04 \leq E/p_0 \leq 0.7 \text{ V/cm} \cdot \text{Torr}$ においてほぼ一定値を示し、 $E/p_0$ の低い領域で一定で平坦な値は  $\mu_{00} = 3.92 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$  が得られた。又、 $E/p_0 > 0.7 \text{ V/cm} \cdot \text{Torr}$ において増加傾向を示す。このような移動度の変化特性はドリフト空間長 15mm における  $E/p_0 > 0.4 \text{ V/cm} \cdot \text{Torr}$  の特性とほぼ同じ傾向を示している。又、ガス圧力を 450Torr より高くすると 移動度は順次低下する

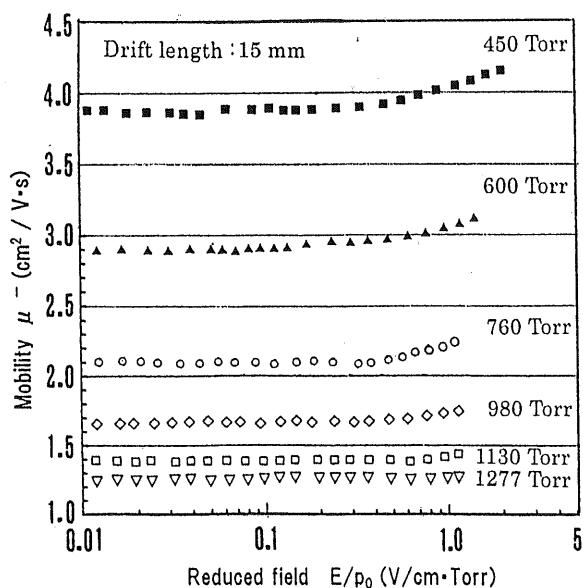


図5 負イオン移動度の測定値 (d=15mm)

Fig.5 Observed negative ion mobility (d=15mm).

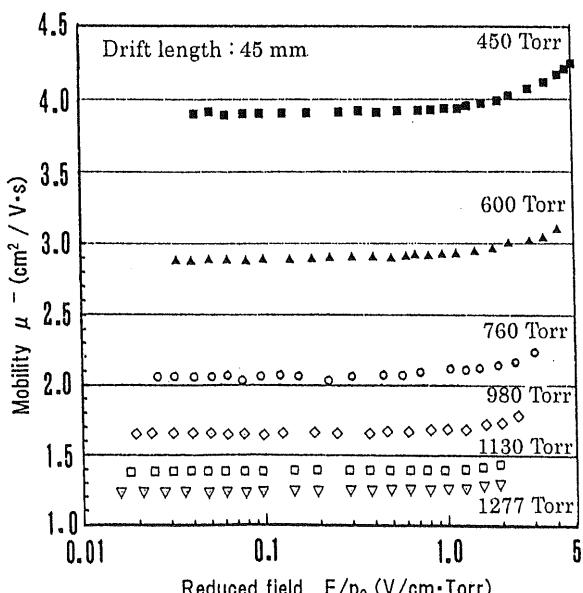


図6 負イオン移動度の測定値 (d=45mm)

Fig.6 Observed negative ion mobility (d=45mm).

が、15mm の場合と同様  $E/p_0 > 1.0 \text{ V/cm} \cdot \text{Torr}$  における移動度の増加傾向は 450Torr の場合よりも小さくなっている。

## (3) ドリフト空間長 d=95mm における実験

測定結果を図7に示す。450 Torrの場合、移動度は  $0.04 < E/p_0 < 0.7 \text{ V/cm} \cdot \text{Torr}$ においてほぼ一定値を示し、 $E/p_0 > 0.7 \text{ V/cm} \cdot \text{Torr}$ において緩やかな上昇傾向を示した。更に  $E/p_0$  が大きくなると 450 と 600Torrにおいて、移動度はドリフト

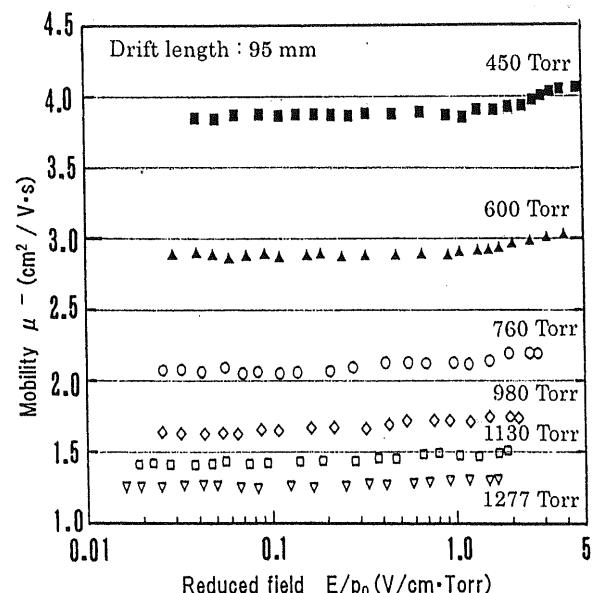


図7 負イオン移動度の測定値 (d=95mm)

Fig.7 Observed negative ion mobility (d=95mm).

空間長 15, 45 mm の時と同様な増加傾向を示すが、760Torr以上の圧力においては、これまでより緩やかな増加になった。又、 $E/p_0 > 1.5 \text{ V/cm} \cdot \text{Torr}$ においても移動度の増加は緩やかになっている。このように、 $E/p_0$ に対する変化も緩やかになるのがドリフト空間長を長くしたときの特長である。 $E/p_0$ の低い部分での一定な値の移動度は、450Torr で  $\mu_{00} = 3.9 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$  が得られ、760Torr では  $\mu_{00} = 2.08 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$  となる。即ち、ガス圧力を 450Torr から 1277Torr の範囲において移動度は順次低下する。ガス圧力が 1277 Torr と高くなると、ここで測定した  $E/p_0 \geq 1.0 \text{ V/cm} \cdot \text{Torr}$  では、ほぼ一定な移動度を示し、これまでのように増加する傾向は小さくなった。

## (4) 標準状態に換算した移動度

図5, 6, 7 の結果を標準状態 (0°C, 760Torr) の換算値としてプロットした結果が図8, 9, 10 である。ここで示した特長は、 $E/p_0 \leq 0.1 \text{ V/cm} \cdot \text{Torr}$ における測定値はガス圧力に関わらず、ドリフト空間長ごとにほぼ一致した移動度特性を描くことである。各ドリフト空間長において  $E/p_0 \leq 0.1 \text{ V/cm} \cdot \text{Torr}$  域で  $E/p_0$  に対して一定で平坦な移動度を換算移動度として求めると、ドリフト空間長にかかわらず  $\mu_{00} =$

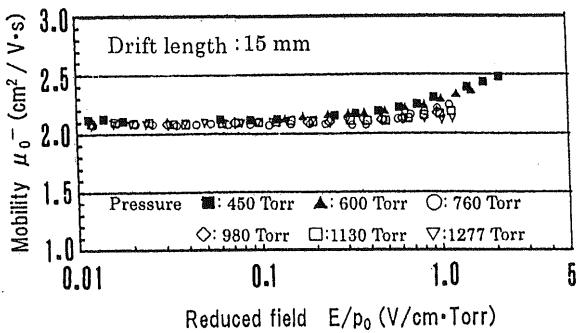


図 8 標準状態に換算した負イオン移動度の測定値

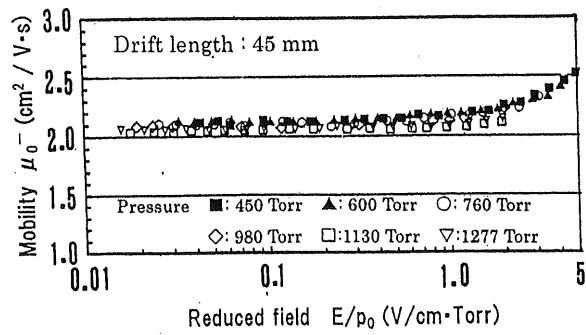
Fig.8 Reduced negative ion mobility ( $d=15\text{mm}$ )

図 9 標準状態に換算した負イオン移動度の測定値

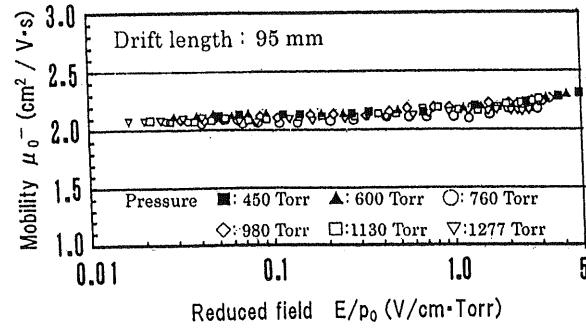
Fig.9 Reduced negative ion mobility ( $d=45\text{mm}$ ).

図 10 標準状態に換算した負イオン移動度の測定値

Fig.10 Reduced negative ion mobility ( $d=95\text{mm}$ ).

$2.08 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$  となり同じであった。しかし、 $E/p_0 \geq 0.1 \text{ V/cm}\cdot\text{Torr}$  での移動度は、同じドリフト空間長であってもガス圧力が低い程増加する傾向が大きい、このような  $E/p_0 \geq 0.1 \text{ V/cm}\cdot\text{Torr}$  での移動度の変化については次の節で述べる。

#### (5) 760~2230 Torrにおける測定結果

今回の実験結果と比較する目的で既に報告した測定結果<sup>9)</sup>

であるが、ここに併せて記述し、まとめて議論する。この時の測定条件は  $\text{O}_2$  の純度は 99.9% で今回のガス純度とは異なる。又、ドリフト空間長は 94mm であり、特にガス圧力は最大 2230Torr までの範囲で測定した。これらの測定結果を標準状態に換算した移動度として図 11 に示した。測定したガス圧力により  $E/p_0$  に対して平坦になるはずの換算移動度が僅かに

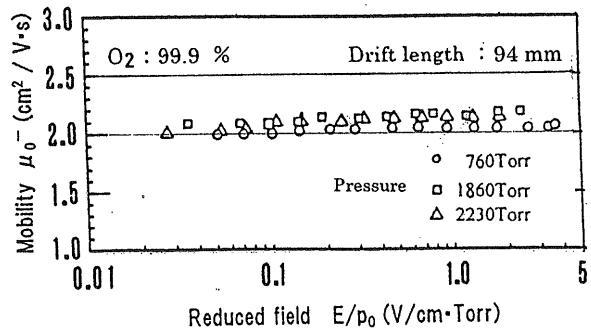


図 11 標準状態に換算した負イオン移動度の測定値

Fig.11 Reduced negative ion mobility ( $d=94\text{mm}$ ).

変動しばらつきも大きい。これは放電容器の違いによるものとも考えられるが、標準状態ではほぼ 1 本の曲線で表現できる。このような移動度特性から換算移動度を求める  $\mu_{00} = 2.08 \pm 3.5\% \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$  となった。

以上の図 8, 9, 10, 11 に示した測定値を各々平均しまとめた結果を図 12 に示す。 $E/p_0 \leq 0.1 \text{ V/cm}\cdot\text{Torr}$  における移動度は、 $E/p_0$  に対し平坦となりその値の  $\mu_{00}$  は  $2.08 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$  であった。即ち、2230Torr までのガス圧力においても換算移動度  $\mu_{00}$  は同じであることが明らかとなった。この移動度は  $\text{O}_2^-$  によるものであると判断できる。それは、この値が質量分析計によりイオン種を同定しながら測定した Snuggs ら<sup>16)</sup> の

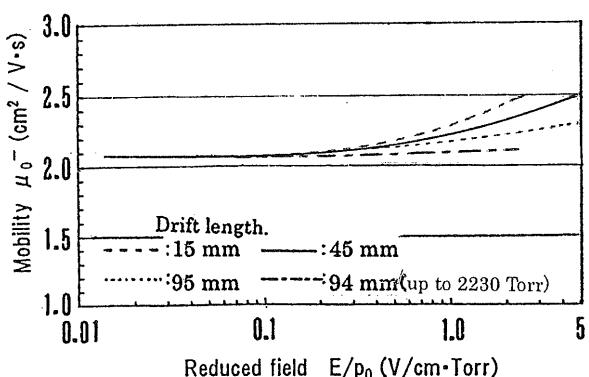


図 12 各ドリフト空間長による負イオン移動度の標準状態に換算した平均値

Fig.12 Averaged values of reduced negative ion mobility at each drift length.

O<sub>2</sub><sup>-</sup>の移動度に近いからである。このように高いガス圧力まで検討した実験結果は本論文が初めての報告であると思われる。

### 3.3 E/p<sub>0</sub>≥0.1V/cm·Torrにおける移動度の上昇について

E/p<sub>0</sub>≥0.1V/cm·Torrにおける移動度特性について考える。ここでの増加は、例えばO<sub>2</sub><sup>-</sup>よりも速い移動度を持つイオン種O<sup>-</sup>やこのガス中で発生するO<sub>3</sub><sup>-</sup>などのイオンによるものとの推測も可能である。Burchら<sup>17)</sup>によるとO<sup>-</sup>は高圧力の下でイオン交換反応を起こしO<sub>3</sub><sup>-</sup>に変化することを指摘している。しかし、Greunberg<sup>18)</sup>の報告によると平均電子エネルギーが高くなると二体解離性付着反応が起り始め、その電界強度はE/p<sub>0</sub>=2.0V/cm·Torrであろうと述べている。従ってE/p<sub>0</sub>=0.1V/cm·Torrを過ぎた辺りからの移動度の増加を説明することはできない。

そこで、図12についてもう一度注目する。ここで示すように、E/p<sub>0</sub><0.1V/cm·TorrにおいてE/p<sub>0</sub>に対して平坦な特性を描く移動度μ<sub>00</sub>を決定した。更に0.1≤E/p<sub>0</sub><0.7V/cm·Torrでは、ドリフト空間長d=94mm(圧力2230Torr)の特性を除いてE/p<sub>0</sub>の増加と共に移動度がドリフト空間長に関係なく一致し緩やかに上昇する。又、0.7<E/p<sub>0</sub>V/cm·Torrではドリフト空間長が短くなると移動度の上昇傾向は大きくなる。このような移動度の緩やかな増加は、イオン種の変化とは別に測定装置の何らかの影響によるものと考えるのが妥当であろう。これについては次節で議論する。

### 3.4 移動度上昇のガス圧力による影響

図8～10の結果を詳細に見るとE/p<sub>0</sub>≥0.1V/cm·Torrにおいては、同じE/p<sub>0</sub>での移動度はガス圧力が高い程小さい値を取るという共通点がある。そこで図8～10の結果よりE/p<sub>0</sub>≈1.0V/cm·Torrにおける移動度μ<sub>0</sub>をμ<sub>00</sub>=2.08 cm<sup>2</sup>/V·sからの変化分として示したのが図13である。言い換えるとこれはE/p<sub>0</sub>≤0.1V/cm·Torrでの換算移動度μ<sub>00</sub>=2.08 cm<sup>2</sup>/V·sに対する変化率で表したものであり、すべてのプロ

ットはガス圧力上昇に対し減少する傾向を示し、かつドリフト空間長の短い程その変化は顕著となる。このような結果が得られた原因として、イオン検出器であるコロナギャップG<sub>2</sub>中の電界がG<sub>1</sub>とG<sub>2</sub>を分けているメッシュ電極で完全に分離できずドリフト空間G<sub>1</sub>側へしみだす。即ち、電界歪によってG<sub>1</sub>側で与える電界よりメッシュ付近の電界が高くなっていることによるものと推測した。この時の電界の変化幅はガス圧力一定であればイオンドリフト空間長が短いほど大きい変化を与え移動度もより大きな変化幅として観測される。図12の移動度の上昇がイオンドリフト空間長により変わる現象はこのように説明できる。

一方、同じドリフト空間長であれば針電極に印加する電圧は一定であるためメッシュ付近の電界歪は同であるがガス圧力が高い程、ドリフトするイオンに作用するE/p<sub>0</sub>としては小さくなるので、イオンの速度上昇幅は小さく、従って、移動度の増加も小さくなる。図13の特性はこのようなメッシュ電極表面近くの電界歪によるものと理解できる。

E/p<sub>0</sub>≥2.0V/cm·Torrにおける移動度の上昇はこれまで述べてきたようにイオン種の変化でO<sub>2</sub><sup>-</sup>だけでなく、O<sup>-</sup>、O<sub>3</sub><sup>-</sup>を検出したものと考えられる。

## 4.まとめ

以上述べてきた実験結果から得られた結論をまとめると次のようになる。

- 1) 2230 Torrまでのガス圧力変化の下で測定した移動度E/p<sub>0</sub>に対して一定な値μ<sub>00</sub>は測定した高ガス圧力に関らず一定であった。これは移動度の理論が確かに成立していることを確認したことになる。又、この値はO<sub>2</sub><sup>-</sup>の移動度であることもわかった。
- 2) 0.2≤E/p<sub>0</sub>≤2.0V/cm·Torrにおける移動度は増加したが、これはメッシュ電極近傍の電界歪がイオンドリフト空間の電界を上昇させたために観測されたものと考えられる。

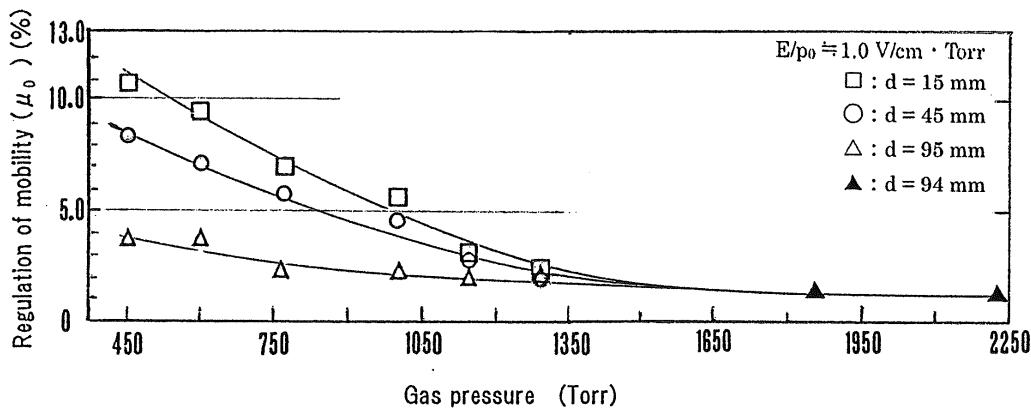


図13 ガス圧力における負イオン移動度の変動率  
Fig. 13 Regulation of negative ion mobility for gas pressure.

終りに、御所康七先生(元 徳島大学、日本工業大学)のご鞭撻と貴重なご意見に深く感謝致します。又、実験結果について討論頂きました本学教授伊藤晴雄先生に厚くお礼申し上げます。

### 参考文献

- 1) J.S.Chang, R.M.Hobson, 市川幸美, 金田輝男 : 電離気体の原子分子過程, p.287 (1982)
- 2) Y.Nakamura : J.Phys.D:Appl.Phys., **21** (1988) 67
- 3) J.de Urquijo, I.Alvarez and C.Cisneros : J.Phys.D:Appl.Phys., **24** (1991) 664
- 4) 乗本幸治, 林喬久, 伊藤晴雄 : 電気学会論文誌, **116-A** (1996) 488
- 5) 林喬久, 伊藤晴雄 : 電気学会論文誌, **120-A** (2000) 350
- 6) 林喬久, 伊藤晴雄 : 電気学会論文誌, **120-A** (2000) 712
- 7) 林喬久: 静電気学会誌, **29** (2005) 74
- 8) T.Hayashi, H.Itoh and S.Garan : Proc. The 4th Inter. Conf. on Electrostatic Precipitation. International Academic Publishers (Beijing), p.387 (1990)
- 9) T.Hayashi and H.Itoh : Proc. of NEDO Symp. on Non-Thermal Discharge Plasma Technology for Air Pollution Control, p.167 (1997)
- 10) Y.Gosho and A.Harada: J .Phys. D: Appl. Phys., **16**, (1983) 1159
- 11) K.Fujibayashi, M.Matsui, H.Kuroki and N.Murasaki: ESA-IEJ Joint Symp. On Electrostatics 1998 Proc., p.202 (1998)
- 12) 東山禎夫, 長岐健志, 八塚京子, 浅野和俊 : 電気学会論文誌, **121-A** (2001) 984
- 13) S. Matejcik, P. Cicman, A. Kiendler, J.D. Skalny, E. Illenberger, A. Stamatovic and T.D. Maerk: Chem. Phys. Lett., **261** (1996) 437
- 14) J.D. Skalny, S. Matejcik, A. Kiendler, A. Stamatovic and T.D. Maerk : Chem. Phys. Lett., **255** (1996) 112
- 15) 御所康七:「放電現象演習」, 堀 孝夫編, p.36, p.106 朝倉書店 (1985)
- 16) R.M. Snuggs, D.J. Volz, J.H. Schummers, D.W. Martin and E.W. McDaniel : Phys. Rev. A, **3** (1971) 477
- 17) D.S. Burch and R. Geballe : Phys. Rev., **106** (1957) 188
- 18) R. Greunberg: Z. Naturforsch., **24a** (1969) 1039