

放電パラメータ測定(36)

— $N_2 + CO_2$ の電子輸送係数の測定 —

長谷川 博 一*・伊 達 広 行**・下 妻 光 夫***

Measurement of Discharge Parameter (36) Measurement of electron transport coefficients in nitrogen and carbon dioxide mixtures

Hirokazu HASEGAWA, Hiroyuki DATE and Mitsuo SHIMOZUMA

要 旨

2重シャッタ・ドリフトチューブを使用して、 $N_2 + CO_2$ 混合ガス中の電子到着時間分布を換算電界 $E/N = 100, 200$ Td で CO_2 の混合率をパラメータにして測定した。測定した時間到着時間分布より、 $N_2 + CO_2$ 混合ガスの電子輸送係数を算出した。その結果、上に凸の相乗効果が電子輸送係数に認められた。

Abstract

The distribution of arrival time of electrons in nitrogen and carbon dioxide mixtures was measured in the double-shutter drift tube over the range of E/N from 100 to 200 Td as a function of percentage pressure in carbon dioxide. The electron transport coefficients in nitrogen and carbon dioxide mixtures was evaluated from their distributions. The results show that the electron transport coefficients have the synergism of upside.

1. はじめに

近年、気体レーザの効率を高めるためにレーザ媒質に使用されている混合ガスに関する研究が盛んに行われている。筆者らも、 CO_2 ガスレーザの主成分である N_2 や CO_2 の単ガス中の電子到着時間分布を2重シャッタ・ドリフトチューブを使用して測定し Gauss 分布近似解析¹⁾や ATS²⁾ (Arrival-time-spectra) 解析を適用して CO_2 レーザ設計における重要な基礎データとなる電子輸送係数を算出し、報告³⁾してきた。今回は、上記測定装置を使用して、さらに $N_2 + CO_2$ 混合ガス中の電子到着時間分布を換算電界 $E/N = 100, 200$ Td で CO_2 の混合率をパラメータにして測定し、この到着時間分布より $N_2 + CO_2$ 混合ガスの電子

輸送係数を算出し検討したので、ここに報告する。

2. 実験方法および解析方法

2重シャッタ・ドリフトチューブ装置の実験方法については、文献3)に詳しく述べてあり、ここでは省略する。また、Gauss 分布近似解析についても同文献に詳しく述べてあるので、ここでは省略する。しかし、解析に使用した TOF 理論に基づいた一次元輸送方程式による Gauss 分布近似解析は、電界が大きくなると電離作用が大きくなり、方程式の電離の項を無視して解析することができなくなり、適用範囲が低 E/N に限定される。そのため、TOF 理論と到着時間分布を測定する TOF 実験とは厳密には対応していない。そこで筆者らは、これらの制限を考慮する必要のない伊達らが提案している ATS 解析法⁴⁾を TOF 実験に適用し、 N_2 単ガスの電子移動速度を算出

* 助教授 電気工学科

** 助 手 北海道大学医療技術短期大学部

*** 助教授 北海道大学医療技術短期大学部

し、ボルツマン方程式解析の数値解析結果と比較した。その結果両者は、よく一致しており、ATS 解析法が TOF 実験に有効な手法であることを報告⁵⁾した。ATS 法の理論については、文献 4) に詳しく述べられており、ここでは省略するが解析に必要な係数についてのみ述べる。ATS 法によって計算された連続の式の 0 ~ 1 次の係数は、電界軸方向 z の位置と時刻 t における電子密度 $n(z, t)$ とすると

$$\alpha^{(0)} = \frac{d\{\log n(z, t)\}}{dz}$$

$$\alpha^{(1)} = \frac{d\langle t \rangle}{dz}$$

のように表される。

ここで $\langle t \rangle$ はある位置での電子平均到着時間、 $\alpha^{(0)}$ は Townsend の一次電離係数 α_T 、 $\alpha^{(1)}$ は平均到着時間の電子移動速度 W_m の逆数を表す。

筆者らは TOF 実験により求めた電子到着時間分布の測定データを上式に適用させるために平滑化スプライン補間を使用して測定データの時間軸の等分化を行うことで各係数を算出することが可能となった。この測定された電子到着時間分布から各係数の算出処理の手順を図 1 に示す。

電子到着時間分布の実験条件は、 $E/N = 100$ Td で気圧 $p = 1.0$ Torr (p は 0°C に換算してある)、 $E/N = 200$ Td で $p = 0.5$ Torr 一定で N_2

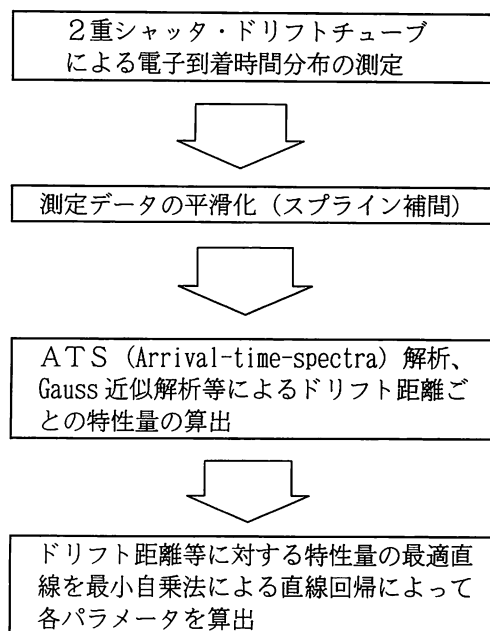


図 1 算出処理の手順

に対する CO_2 の混合率 $k\%$ をパラメータとして気圧を設定した。電極間のドリフト距離 L は $1 \sim 5$ cm の範囲で設定した。なお、実験に使用した試料ガスの純度は、 N_2 ガスが 99.9998% up, CO_2 ガスが 99.99% up である。

3. 実験結果と検討

図 2(a)~(c) に 2 重シャッター・ドリフトチューブによる電子到着時間分布の測定例 ($E/N = 200$ Td, $k = 0, 50, 100\%$) を示す。図 2(a)~(c) ともにドリフト距離 L が増加するにしたがってデルタ関数的にチェンバに注入された電子の拡散作用による電子到着時間のピーク値や時間分布の増加が認められる。また、図 2(a) ではドリフト距離 $L = 1$ cm から 2 cm にかけて測定電流のピーク値が減少しているが、ドリフト距離 $L = 3 \sim 4$ cm になると増加する傾向を示している。さらに、図 2(b), (c) ではドリフト距離 L の増加にともなって測定電流のピーク値および全測定電流量（積

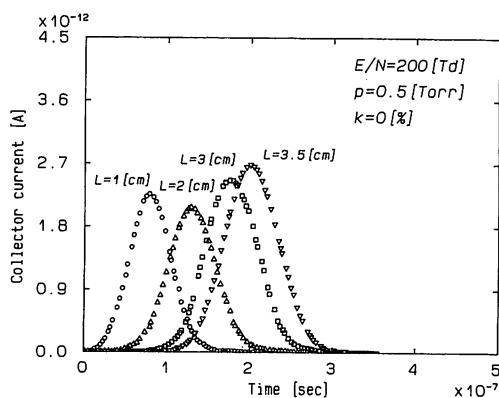


図 2(a) 電子到着時間分布 ($k = 0\%$)

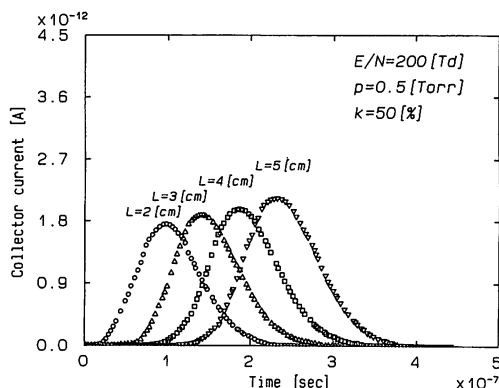
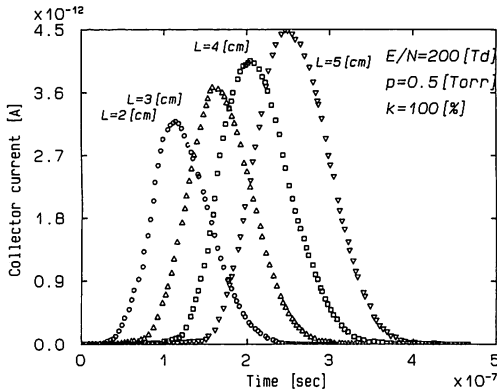


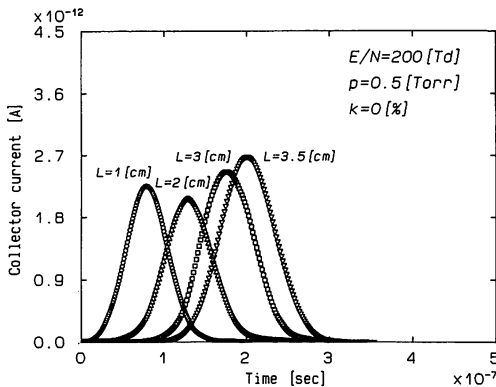
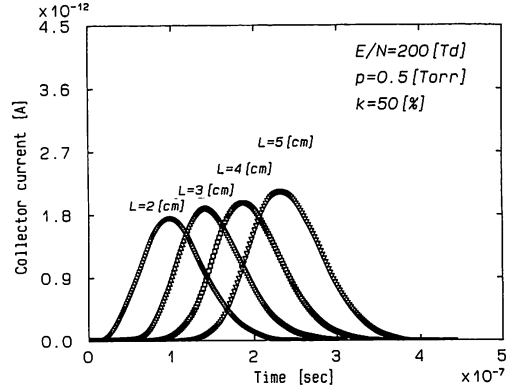
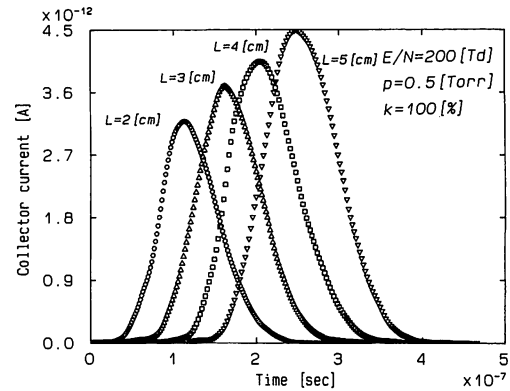
図 2(b) 電子到着時間分布 ($k = 50\%$)

図 2(c) 電子到着時間分布 ($k=100\%$)

分値)が増加していることがわかる。これは、 $E/N=200$ Td においては電離作用が顕著に現れてくるため測定電流のピーク値および電流量ともに増加するものと考えられる。また、混合率 k が増加するほど測定電流のピーク値や全測定電流量が増加する原因は、この電界領域では CO_2 の電離係数⁶⁾が N_2 のそれより大きいため CO_2 の混合率が増加するにともない増加するものと考えられる。

図 3(a)~(c)は、測定データを電算機でスプライン補間による平滑化処理を行った後の電子到着時間分布である。図 3 は、図 2 と比べると分布形状の差異はほとんど無く、時間軸が等分割され (200 分割)、測定時間のバラツキによる平均化の偏りを除くことができる。

図 4 は、図 3 のようにスプライン補間による平滑化処理を行った後、ATS 解析および Gauss 分布近似解析により算出した電子移動速度 W_m の結果を示したものである。ATS 解析の値と

図 3(a) スプライン補間後の電子到着時間分布 ($k=0\%$)図 3(b) スプライン補間後の電子到着時間分布 ($k=50\%$)図 3(c) スプライン補間後の電子到着時間分布 ($k=100\%$)

Gauss 分布近似解析の値は、 E/N や混合率に関わらずよく一致していることがわかる。また、 $E/N=100, 200$ Td ともに混合率 k の増加にともない電子移動速度 W_m は、 N_2 単ガスから増加し、 $k=80\%$ 程度で最大値を持つ上に凸の傾向を示している。例えば、 $E/N=100$ Td で $k=80\%$ の電子移動速度 W_m は、 CO_2 単ガスのそれに比べて 8 % 程度増加しており、 $\text{N}_2 + \text{CO}_2$ 混合ガスにおける電子移動速度 W_m の相乗効果が認められる。この傾向の原因は、混合率に対する各々のガスの各種衝突断面積の割合とそのときの電子エネルギー分布の関係により起こるものと推察されるが本測定実験から明らかにすることはできない。

図 5 は、縦方向拡散係数 (縦方向拡散係数と気体数密度の積) ND_L の算出結果を示す。図 5 に示すように縦方向拡散係数の測定精度は、電子移動速度 W_m に比べあまりよくなく、数十%のバラツキがある。しかし、算出値は、全体的に上に

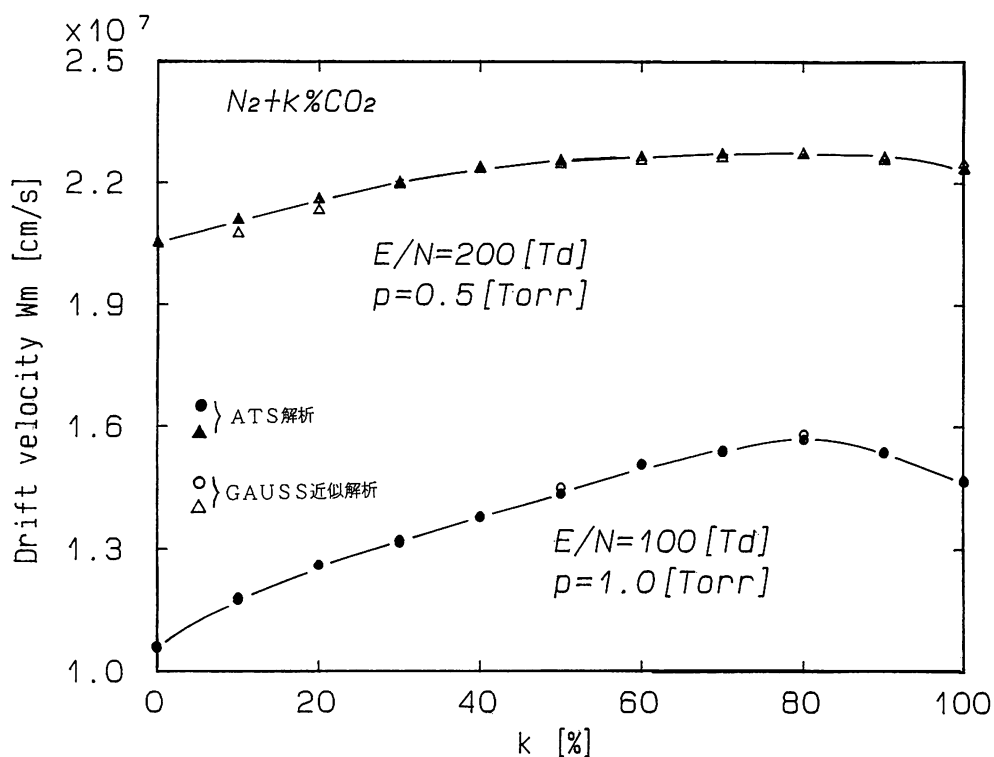


図4 電子移動速度

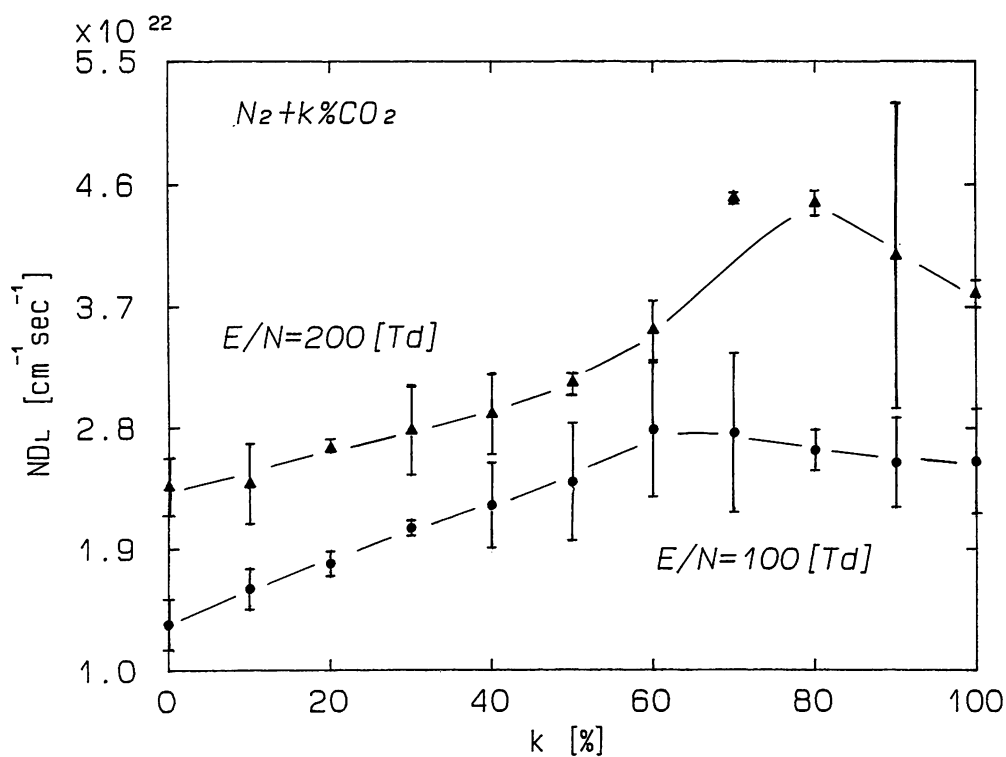


図5 縦方向拡散係数

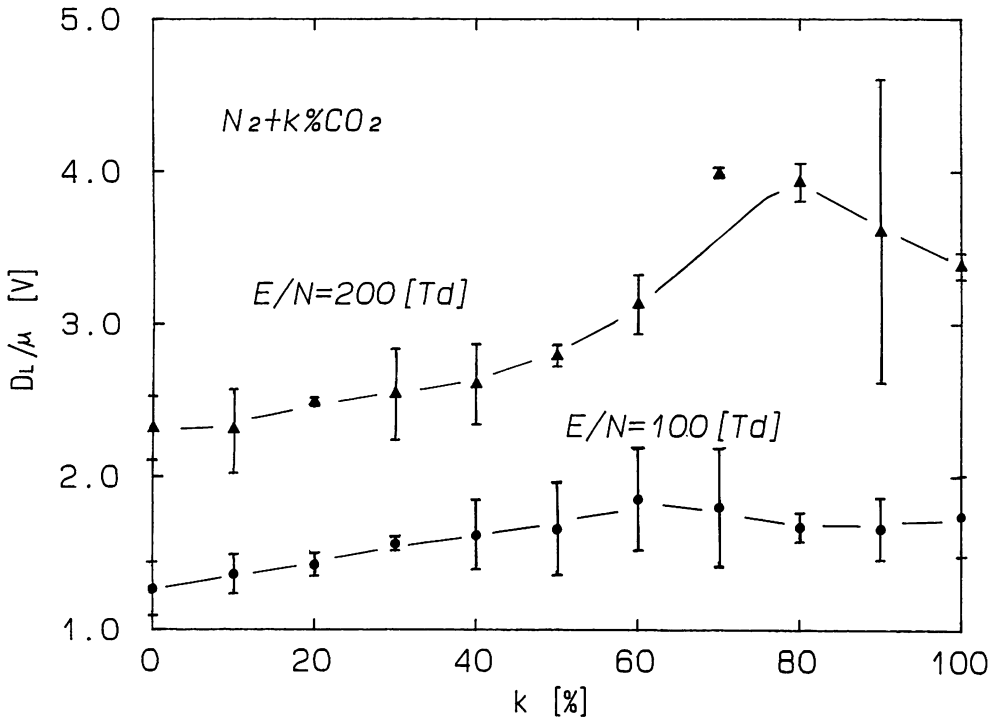


図6 縦方向拡散係数と移動度の比

凸の傾向を示している。また、 E/N が大きくなるほど凸が大きくなる傾向を示していることが認められる。

図6は、縦方向拡散係数と移動度の比 D_L/μ の算出結果を示す。図5と同様に全体に上に凸の傾向を示すが図5より変化量が小さいようである。

4. ま と め

2重シャッター・ドリフトチューブを使用して $N_2 + CO_2$ 混合ガス中の電子到着時間分布を換算電界 $E/N = 100, 200$ Td で CO_2 の混合率をパラメータにして測定しこの時間到着時間分布より $N_2 + CO_2$ 混合ガスの電子輸送係数を算出した。その結果、 $N_2 + CO_2$ 混合ガスの電子移動速度 W_m は、 $E/N = 100, 200$ Td とともに混合率 k の増加にともなって N_2 単ガスから増加し、 $k = 80\%$ 程度で最大値をもつ上に凸の傾向を示す相乗効果が認められた。これまで混合率をパラメータにした $N_2 + CO_2$ 混合ガスの電子輸送係数の報告例は無く、まして電子移動速度 W_m が相乗効果を持つ報告例は、まだ無いと考えられる。この傾向の原因は、混合率に対する各々のガスの各種衝

突断面積の形状の変化と電子エネルギー分布の関係により起こるもの推察される。今後は、ボルツマン方程式解析等の数値解析による検討や測定の範囲を広げて行きたいと考えている。最後に本報告に御指導御助言いただきました北海道大学工学部田頭博昭先生に深く謝意を表します。また、測定ならびに解析プログラムの作成に御協力いただいた第27期生の柏崎君に感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 竹多他, 電気学会論文集, Vol. 102-A, No. 9, 491-498, 1982
- 2) 伊達他, 平成5年度電気学会全国大会講演論文集, 232, 1993
- 3) 長谷川他, 苫小牧高専紀要第28号, 55-59, 1993
- 4) 伊達他, 電気学会論文集, Vol. 113-A, No. 12, 826-834, 1993
- 5) 長谷川他 平成5年度電気関係学会道支部大会講演論文集, 70, 1993
- 6) H. Hasegawa et. al., J. Phys. D: Appl. Phys., 18, 1361-1370, 1985

(平成6年11月30日受理)

