

電子輸送特性と電子衝突断面積

中村 義春
(慶応大学)

電子スオーム研究(1)

- 電子輸送特性の測定値に矛盾のないように、**一般的には試行錯誤的に**、電子衝突断面積を決定する。
- 本質的に**逆問題**であり、求めた断面積の唯一性は原理的に保証されない。
- 低エネルギー域の断面積が求められる。
- 電子ビーム法とは相補的。

電子スチーム研究(2)

- 微量の分子気体をR-T極小をもつ希ガスに混合すると電子輸送特性に顕著な構造
- 分子の振動励起断面積を反映

したがって、

混合気体中の輸送特性→振動励起断面積

純粋分子気体中の輸送特性

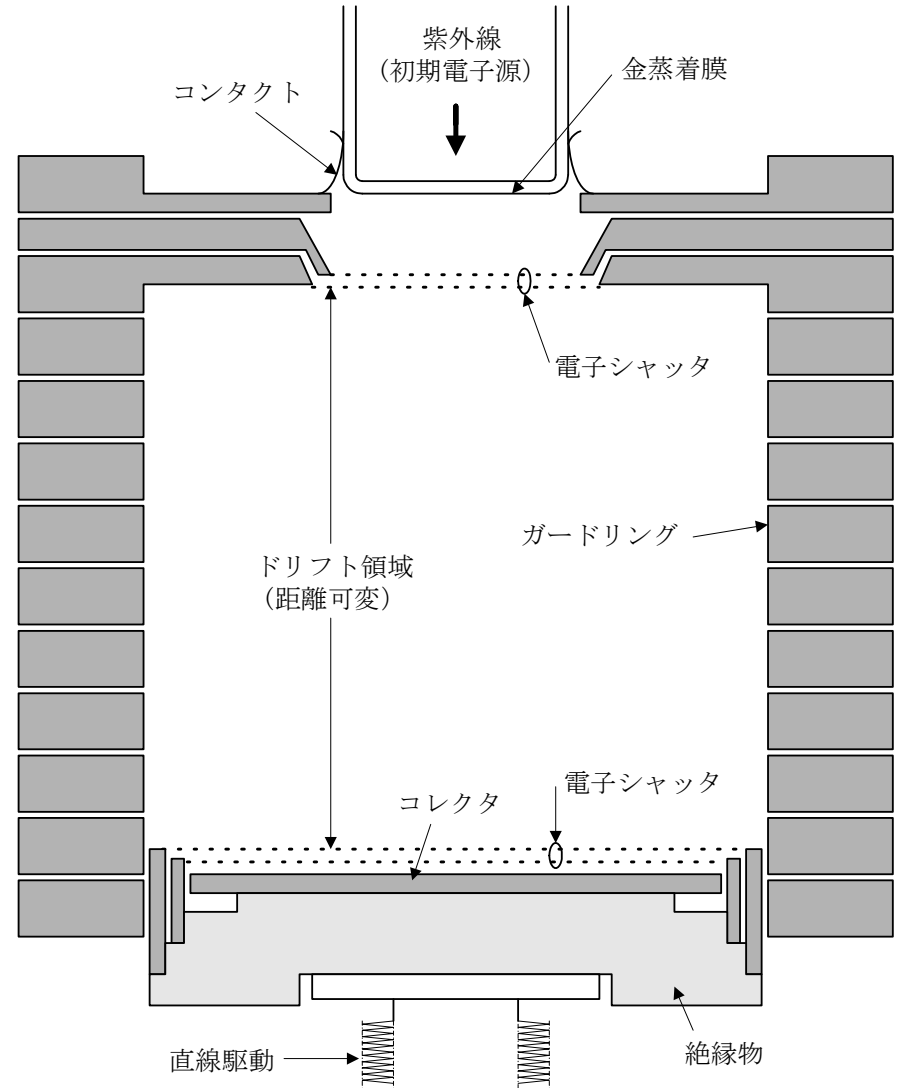
→弾性運動量移行断面積

輸送特性と矛盾のない断面積セットが決定できる

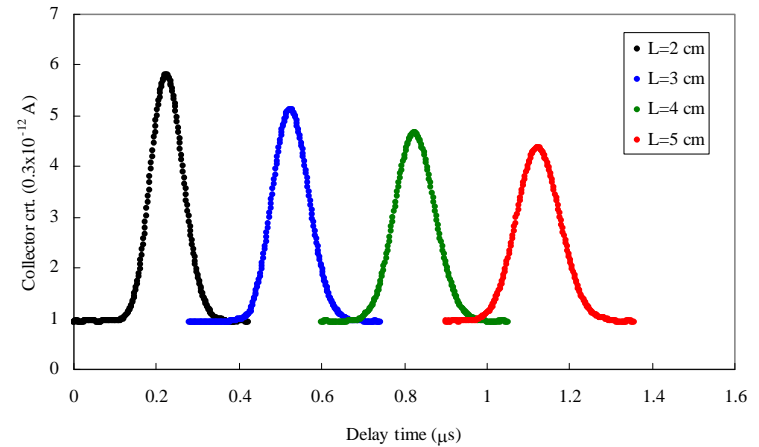
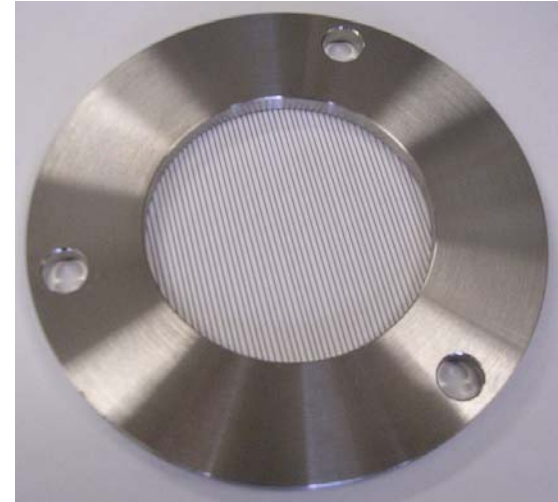
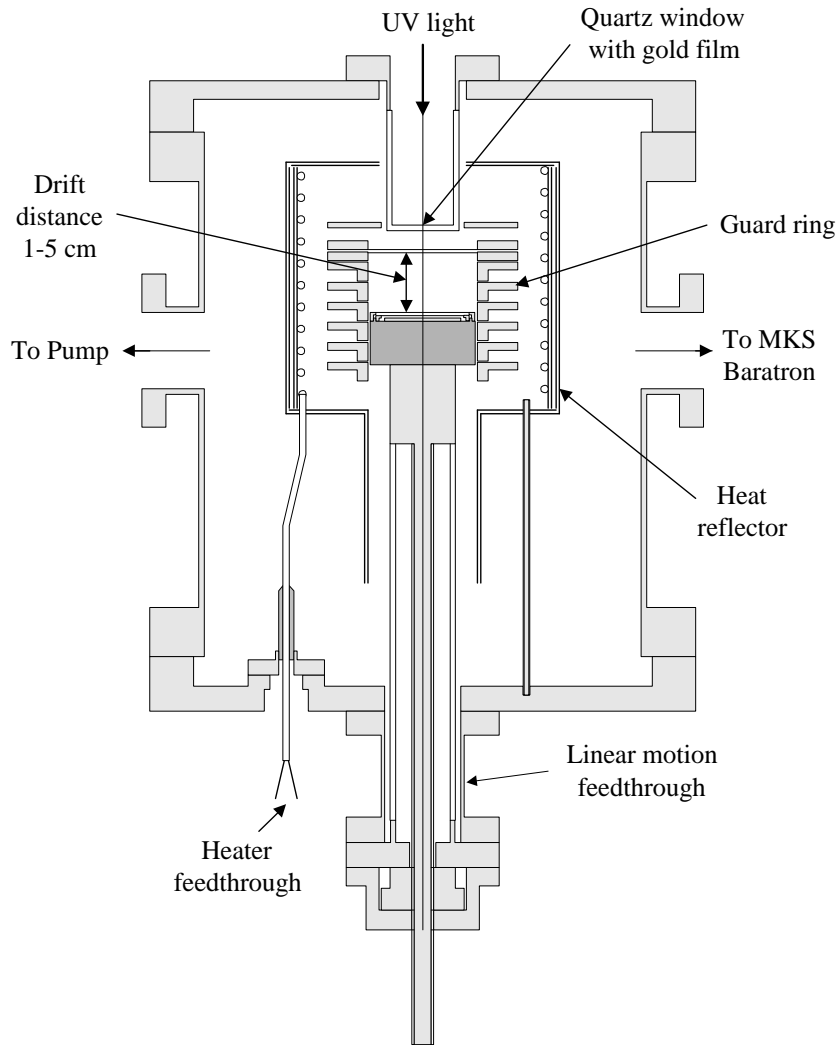
→数値モデリングに不可欠

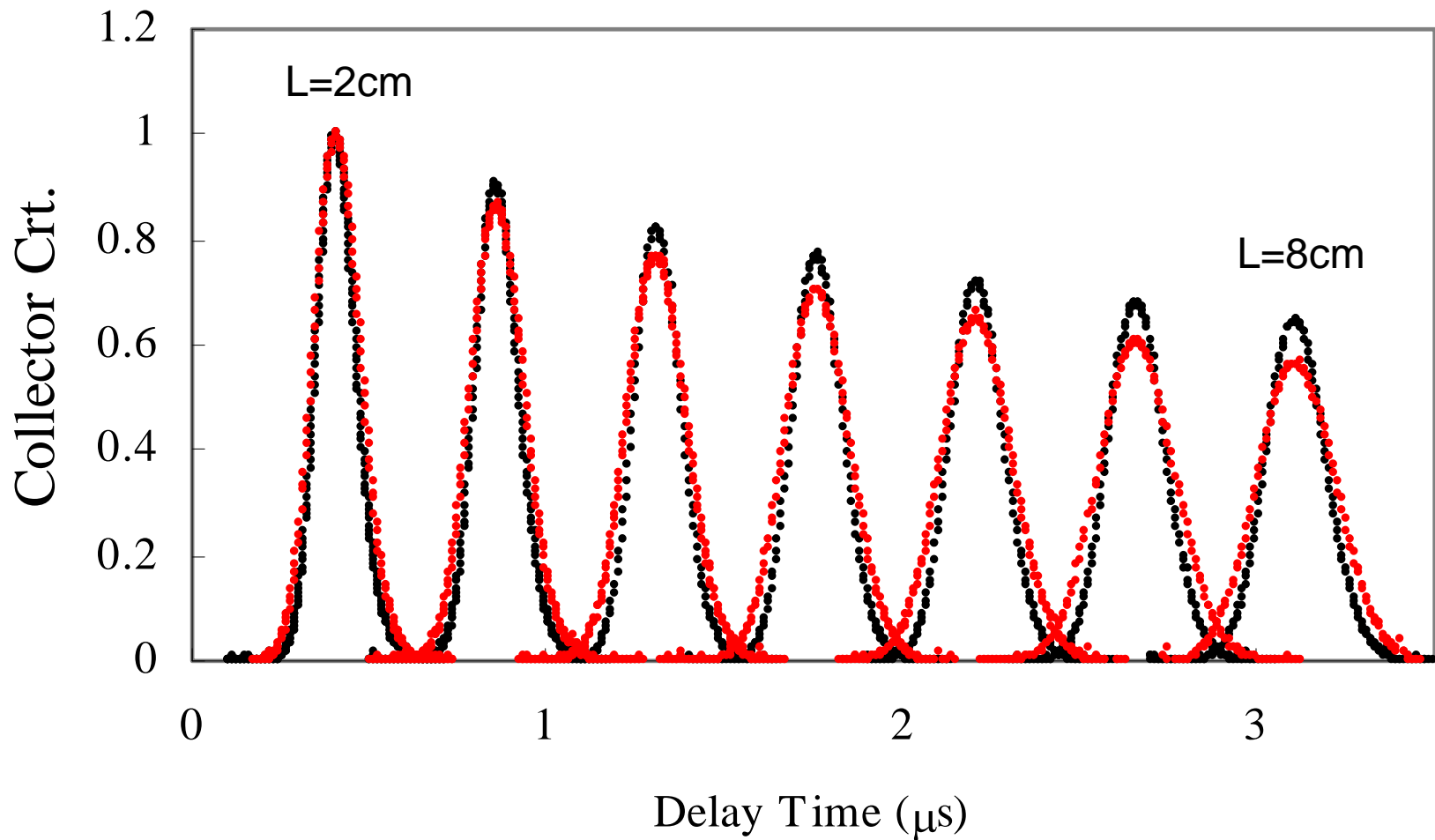
電子輸送特性の測定

ドリフト距離可変2重シャッタードリフト装置



The Experimental Apparatus



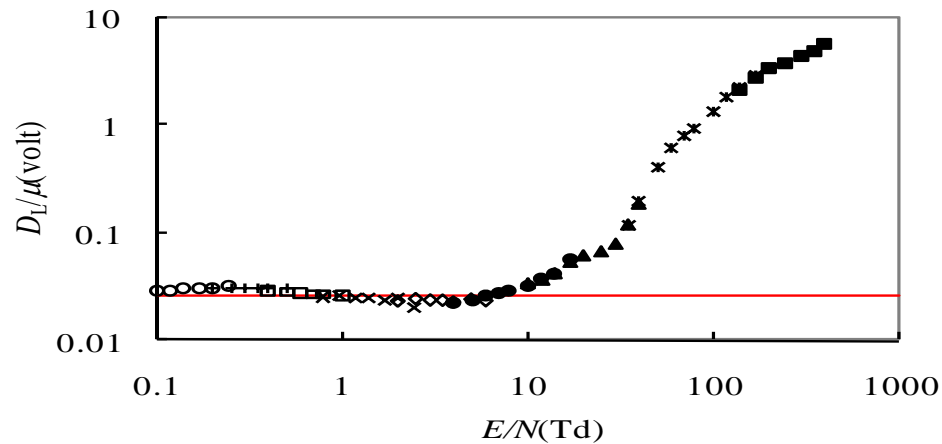
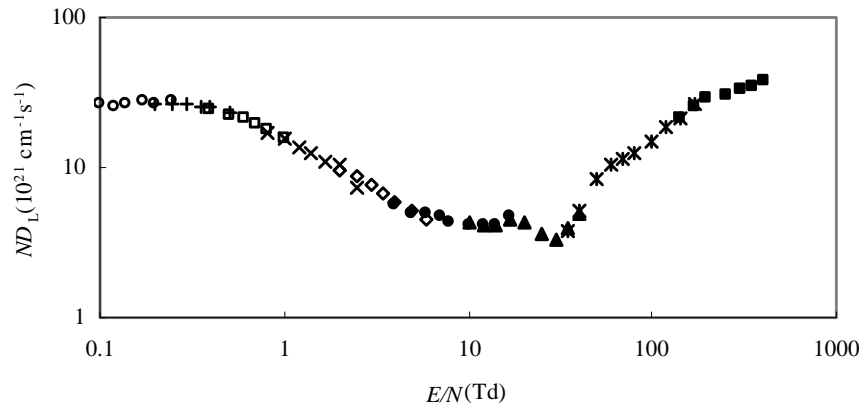
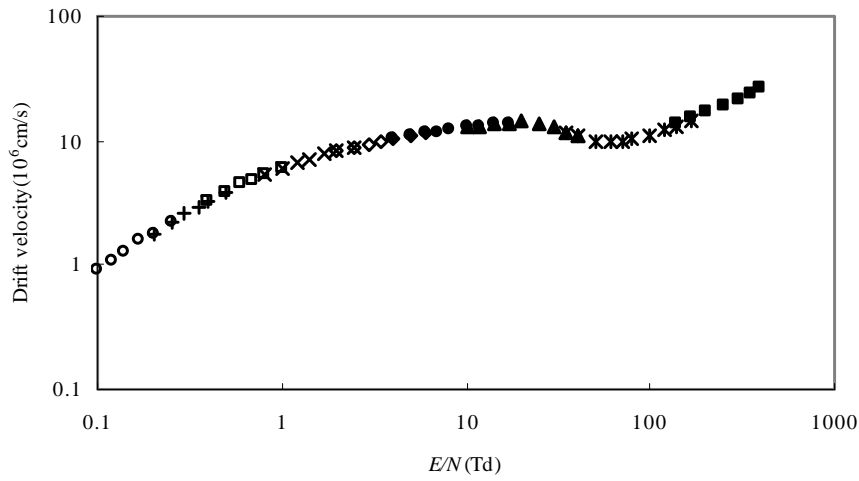


圧力の異なる測定到着時間分布の比較

CF_4 , $E/N=0.25$ Td ●: 200Torr, ●: 100Torr

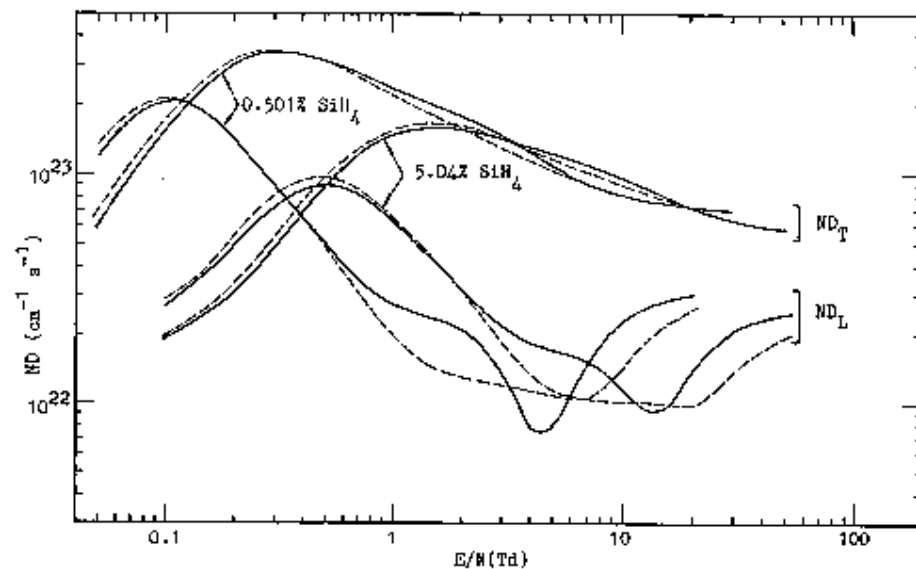
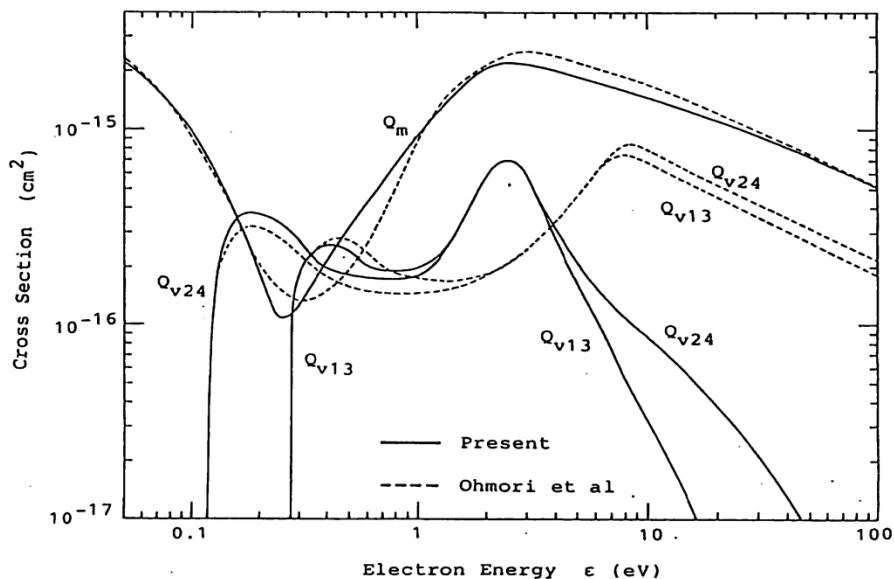
輸送特性: ドリフト速度、縦方向拡散係数、実効電離係数

純粋CF₄中の電子輸送係数の測定結果の例



縦方向拡散係数を測定する意義

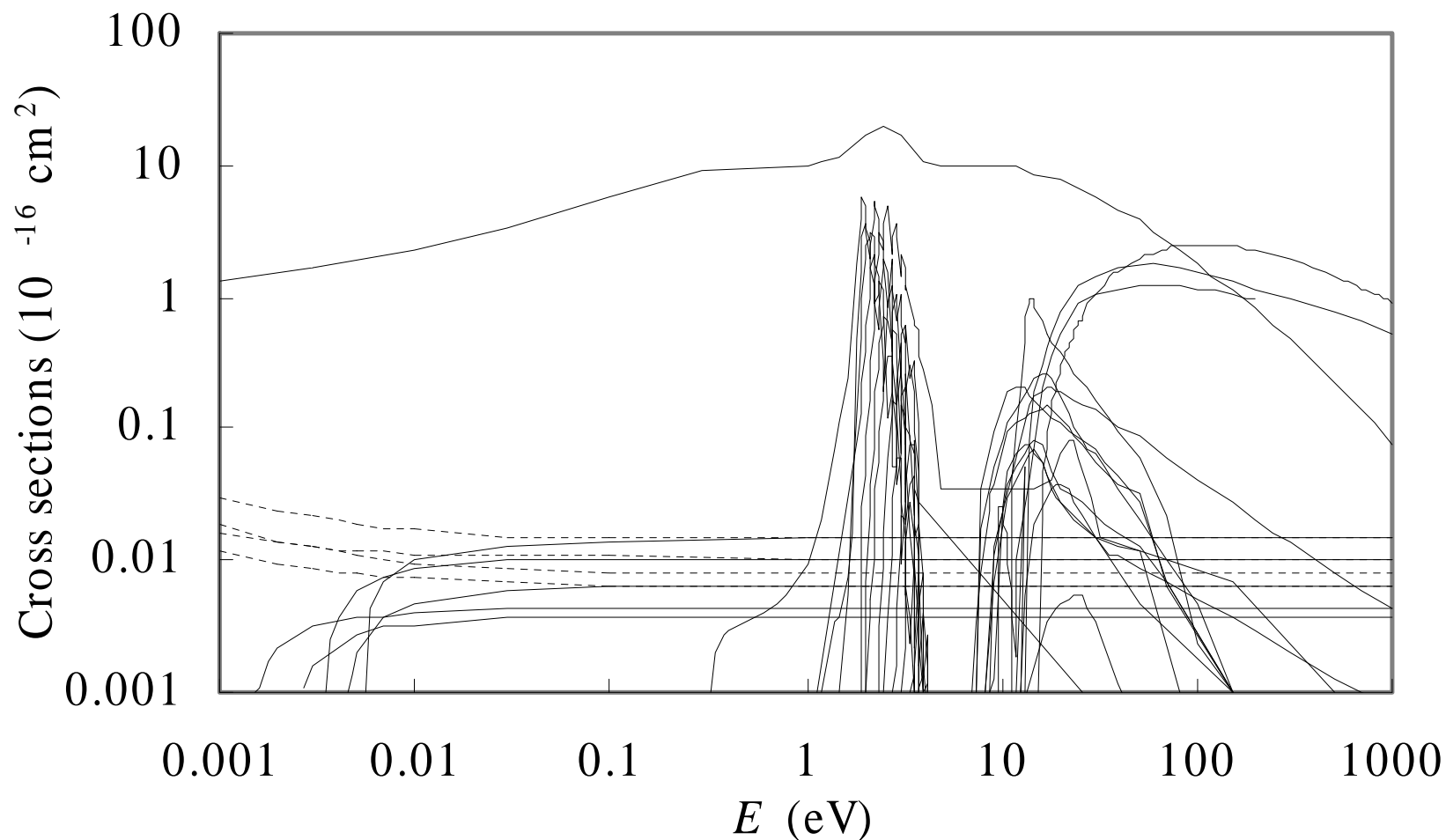
ND_T に比べて ND_L は断面積に敏感



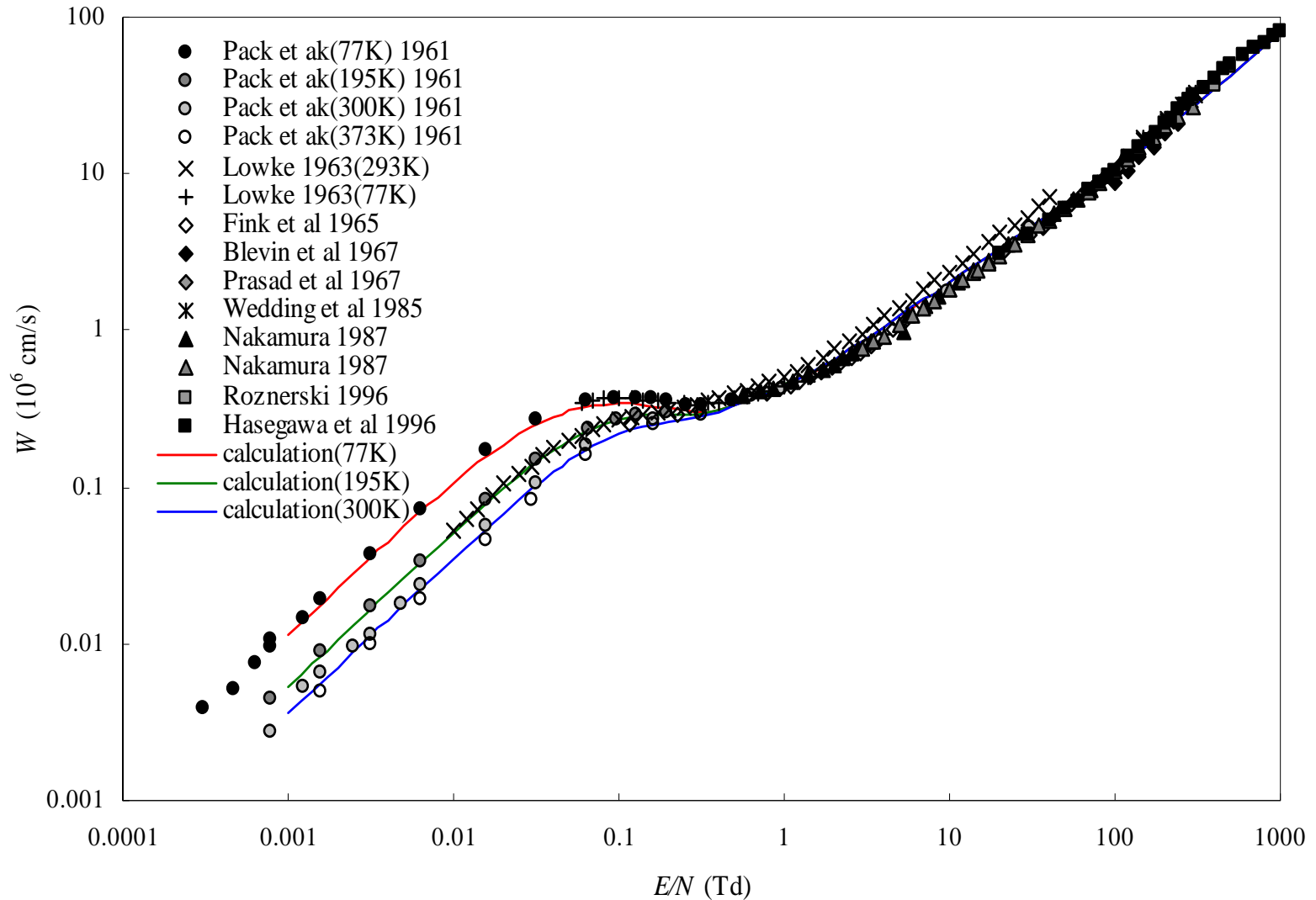
輸送特性から断面積

代表的な例 (N_2)

スチーム法による最近のN₂の断面積セット

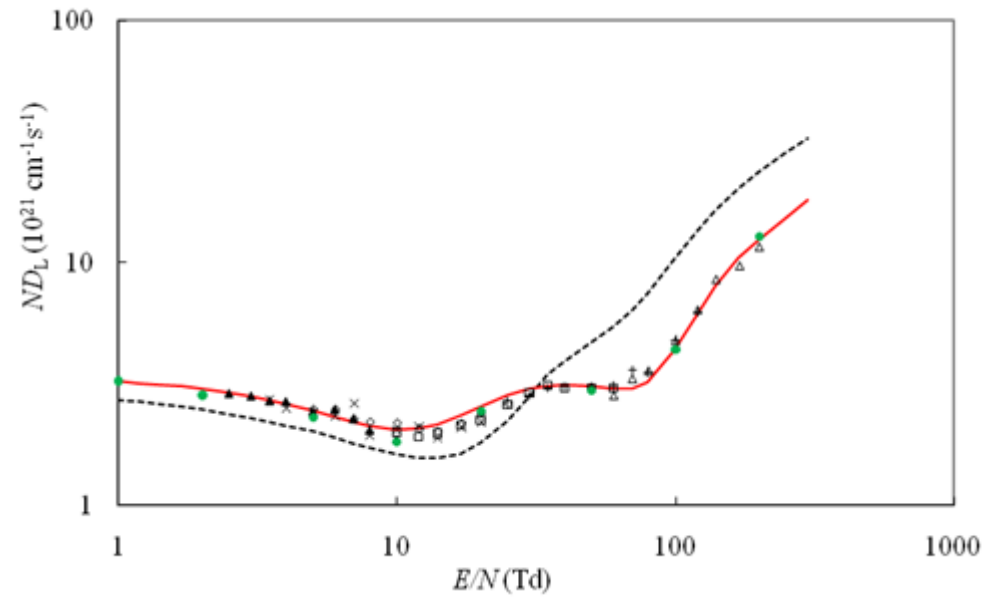
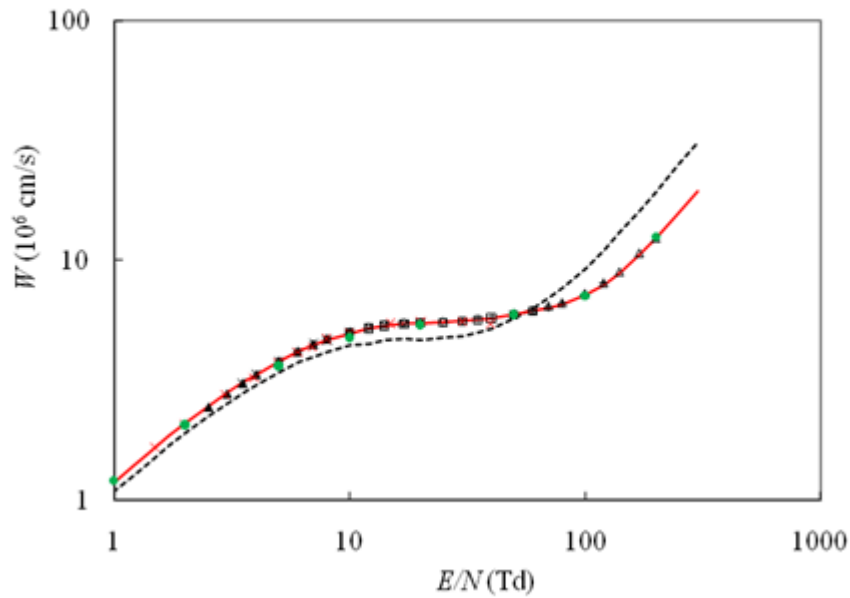


N₂中の電子ドリフト速度の実測値と解析値の比較



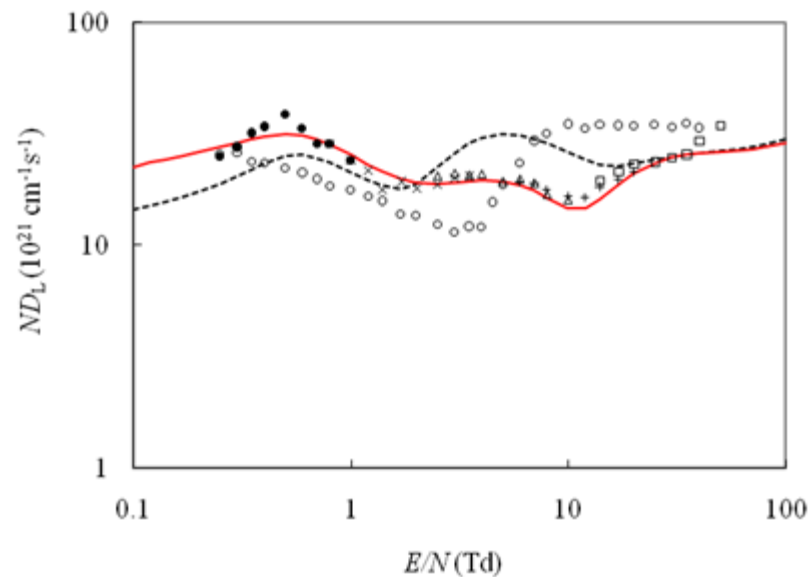
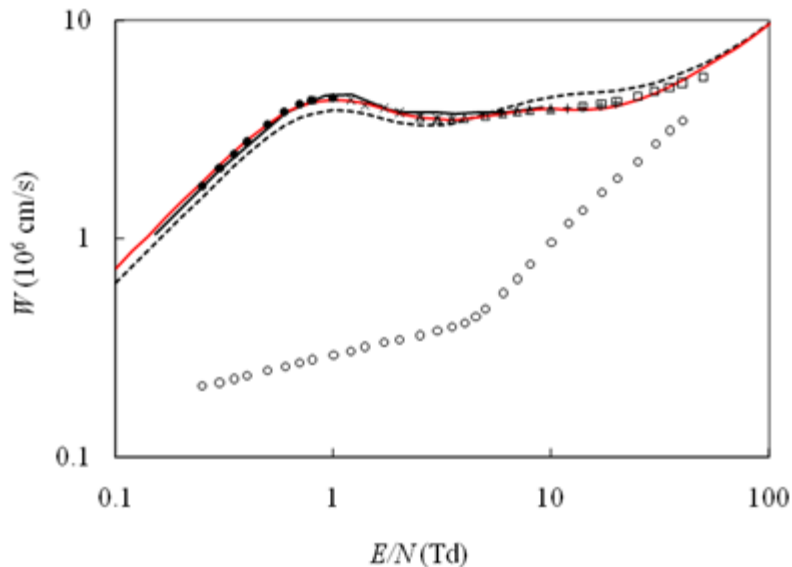
最近の例 (C_2H_2)

Comparison between the cross section sets: pure C₂H₂



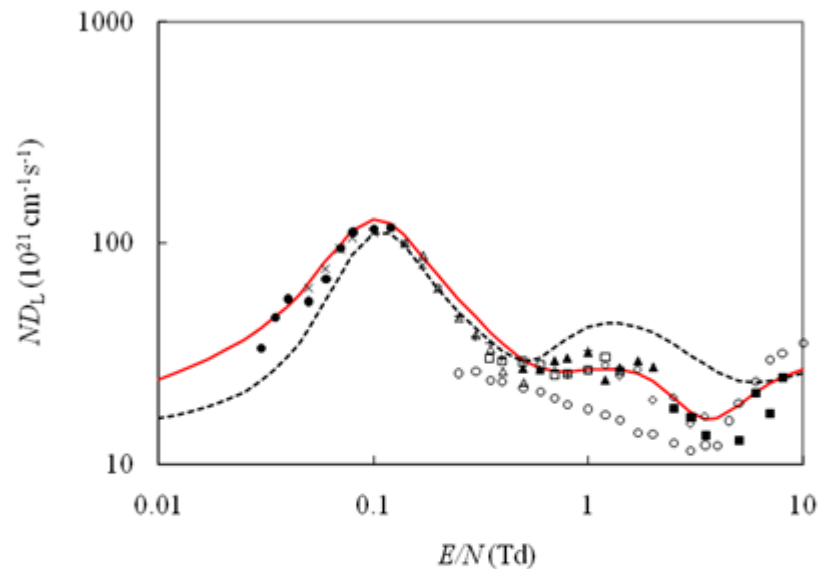
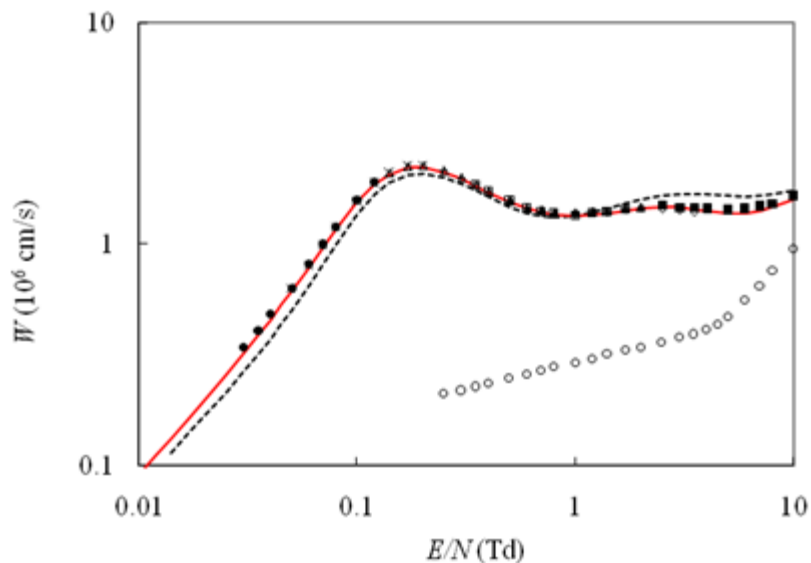
- : present set of cross sections, two-term Boltzmann eq. analysis
- : present set of cross sections, Monte Carlo calculation
- - - : initial set of cross sections

Comparison between the cross section sets: 5% C₂H₂-Ar mixture



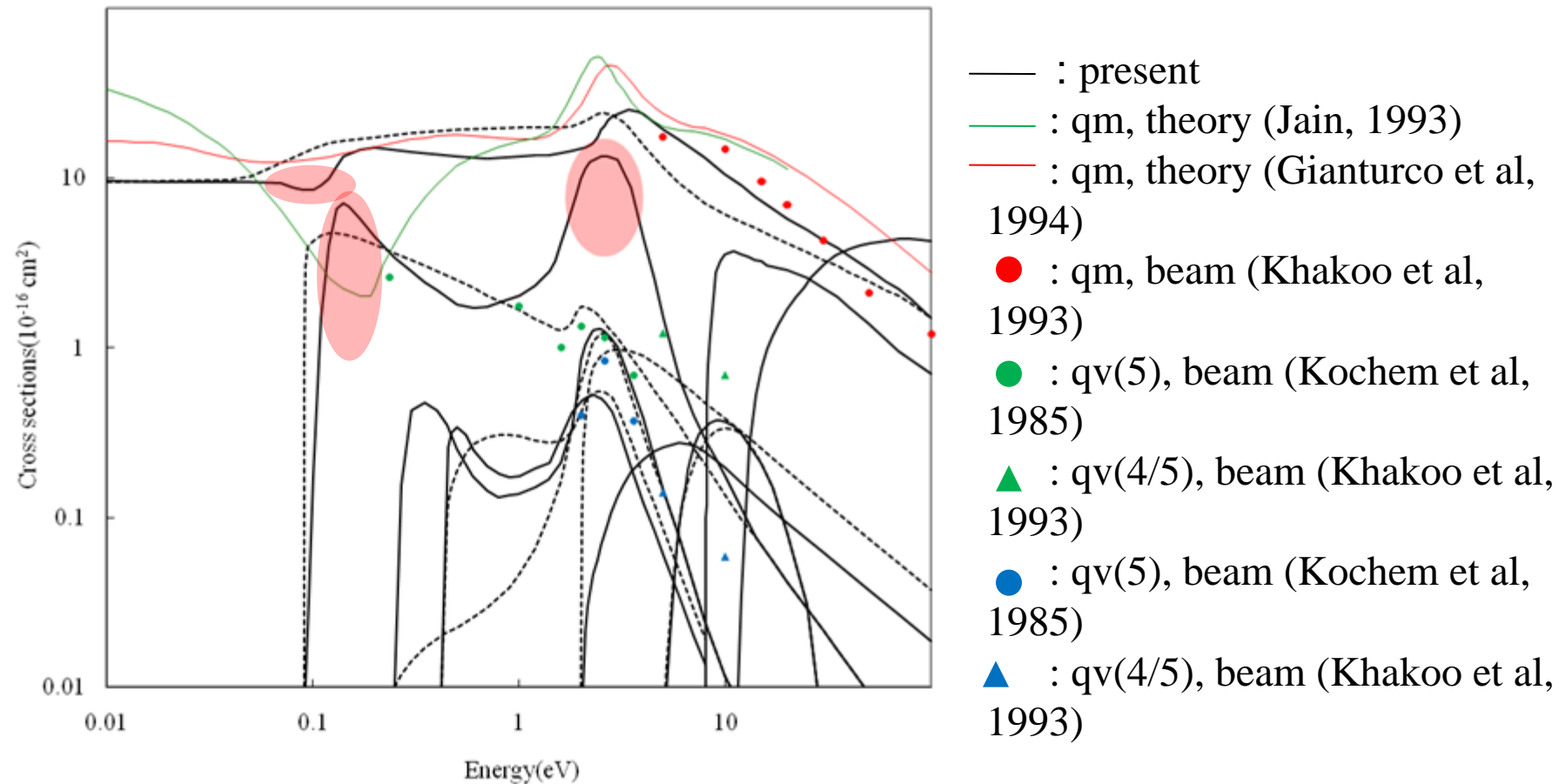
- : present set of cross sections, two-term Boltzmann eq. analysis
- - - : initial set of cross sections

Comparison between the cross section sets: 0.5% C₂H₂-Ar mixture



- : present set of cross sections, two-term Boltzmann eq. analysis
- - - : initial set of cross sections

Comparison of the present cross sections with published cross sections



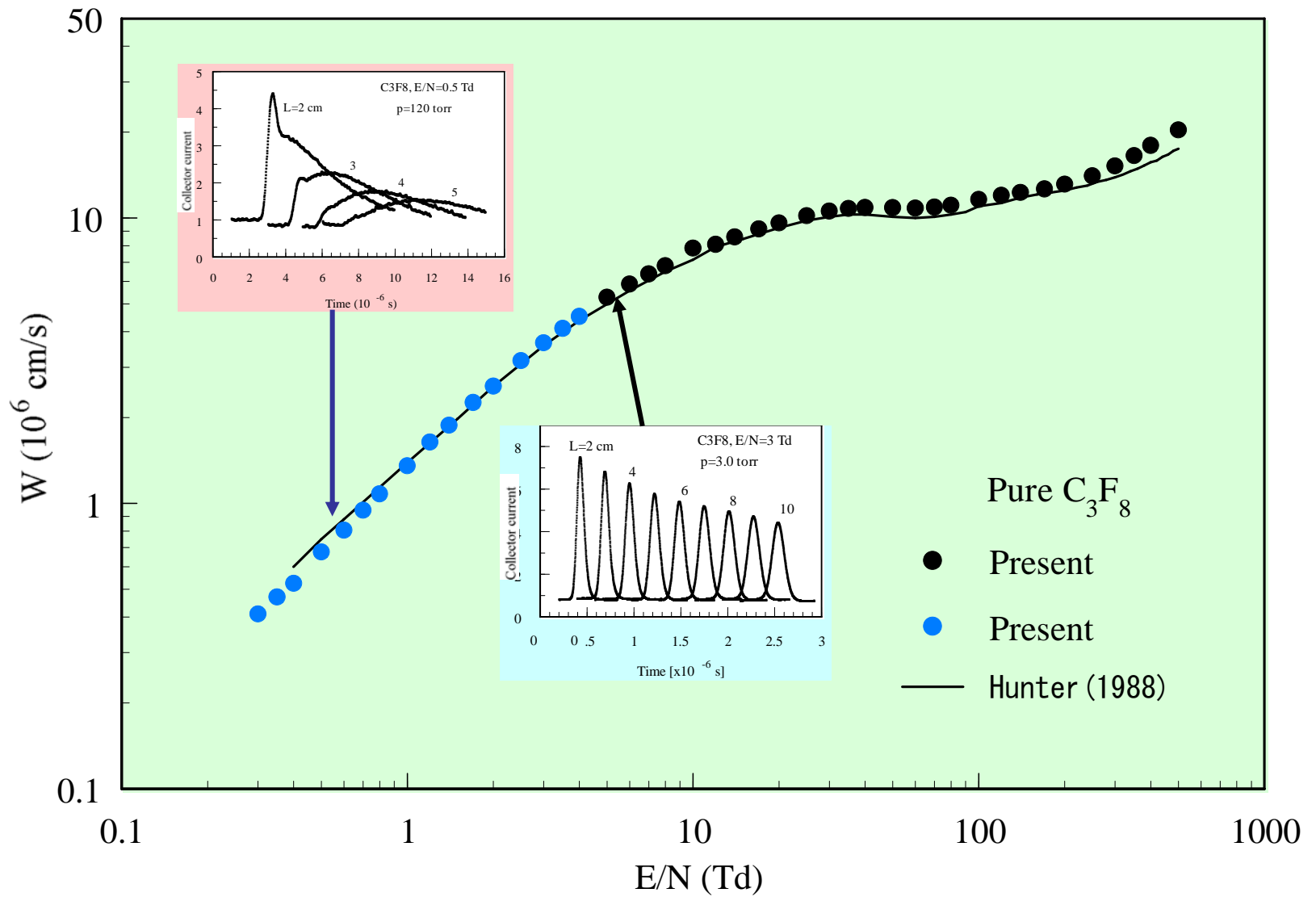
これまで対象とした原子・分子

- 原子: He, Ar, Kr, Xe, (Hg, Na, Rb, Cs, Tl)
- 2原子分子: H_2 , N_2 , O_2 , CO, NO
- 3原子分子: CO_2 , N_2O
- 4原子分子: NH_3 , C_2H_2
- 5原子分子: CH_4 , CF_4 , SiH_4 , GeH_4 , CHF_3 , CF_3I
- 7原子分子: SF_6
- 8原子分子: C_2H_6 , C_2F_6 , Si_2H_6
- それ以上の多原子分子: C_3F_8 , c- C_4F_8 , C_5F_8

(* 金属蒸気中の輸送特性は別法で測定)

非対称到着時間分布

しばしば到着時間分布に特異な非対称が見られる。



Typical arrival time spectra of electrons in pure C_3F_8

Analysis

Electrons $\frac{\partial n_e(z,t)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial z} \left(-D_e \frac{\partial n_e(z,t)}{\partial z} + W_e n_e(z,t) \right) = -(v_{aS} + v_{aU}) n_e(z,t) + \frac{1}{\tau_d} n_{iU}(z,t)$

Unstable ions: $\frac{\partial n_{iU}(z,t)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial z} \left(-D_i \frac{\partial n_{iU}(z,t)}{\partial z} + W_i n_{iU}(z,t) \right) = v_{aU} n_e(z,t) - \frac{1}{\tau_d} n_{iU}(z,t)$

Stable ions: $\frac{\partial n_{iS}(z,t)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial z} \left(-D_i \frac{\partial n_{iS}(z,t)}{\partial z} + W_i n_{iS}(z,t) \right) = v_{aS} n_e(z,t)$

Flux: $\Gamma = \Gamma_e + \Gamma_{iS} + \Gamma_{iU}$, where $\Gamma = nW - D \frac{\partial n}{\partial z}$

n : density

W : drift velocity

D : diffusion coefficient

v_a : attachment frequency

τ_d : life time

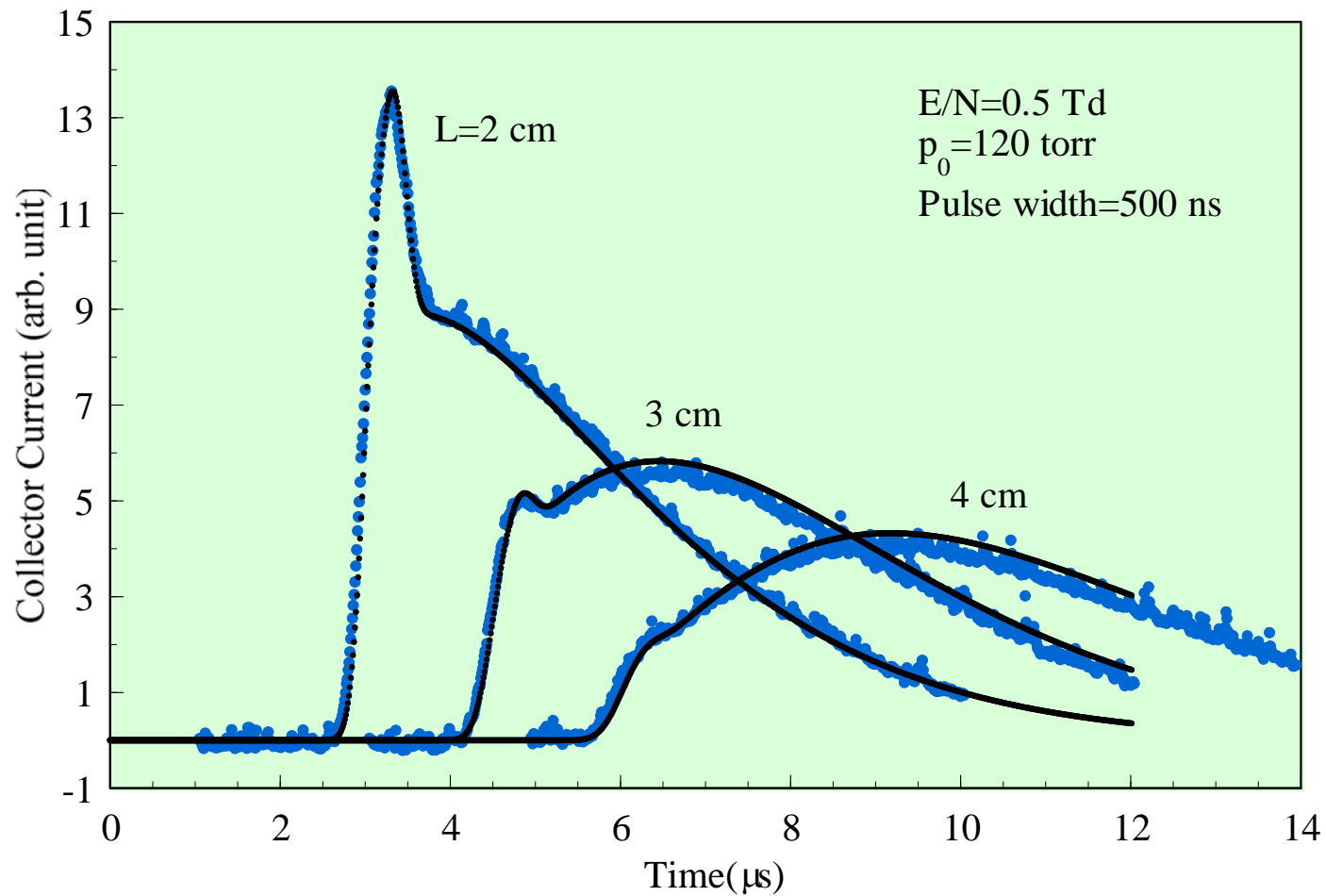
Subscripts

e : electron

i : ion

S : stable ion

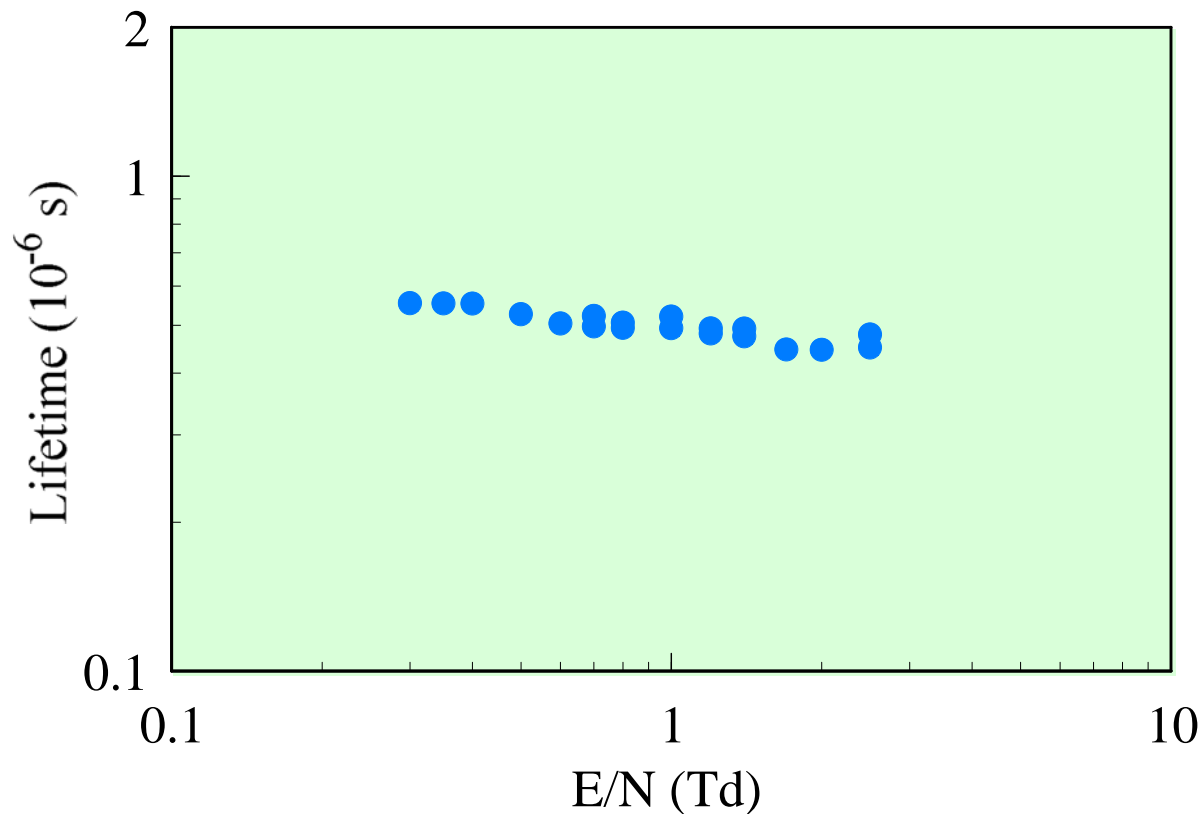
U : unstable ion



Comparison between calculation(-) and measurement(\bullet).

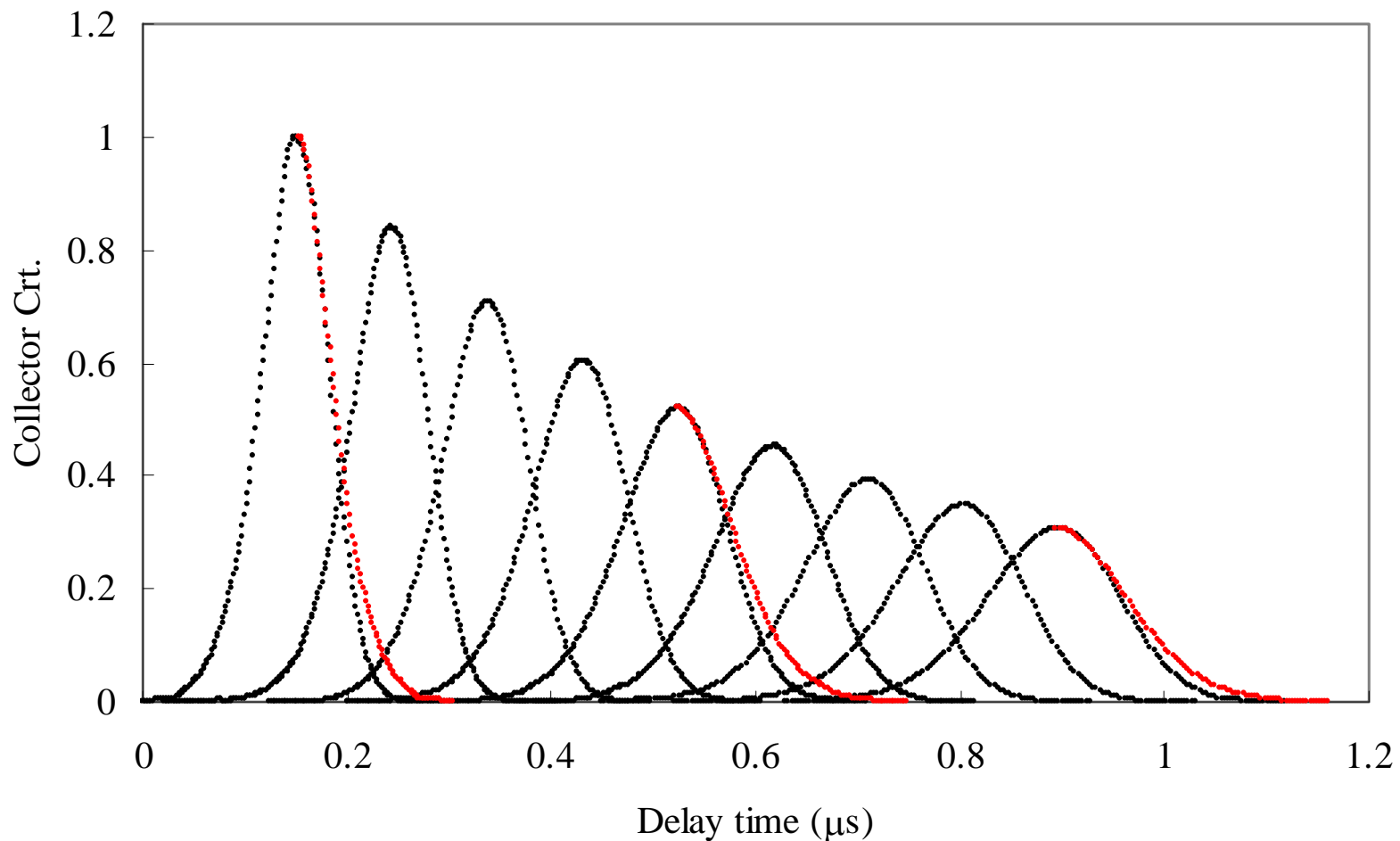
$$W_e=0.676 \text{ cm}/\mu \text{ s}, ND_L=4.50 \times 10^{21} \text{ cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\nu_{aS}/N=1.065 \times 10^{-13} \text{ cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}, \nu_{aU}=0.896 \times 10^{-13} \text{ cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}, \tau_d=0.52 \mu \text{ s}$$



Lifetime, τ_d , of TNI state of C₃F₈ molecule

他法(たとえば質量分析法)では難しい
時間域の負イオン寿命の決定が可能



純粋CF₄中で観測される非対称到着時間分布の例

$E/N=40$ Td, $p_0=0.6$ Torr

赤のプロット: 分布の前半と対称

まとめ

- 電子スオーム法は数値モデリングに必要な断面積セットを供給できる。
- 分子の断面積セットを決めるうえで希ガスとの混合気体中の輸送特性は重要である。
- 縦方向拡散係数は重要な輸送特性である。
- 2重シャッタードリフト装置には新しい可能性が期待される。