



グロー放電陽光柱内の中性気体温度の測定法に関する考察

メタデータ	言語: jpn 出版者: 室蘭工業大学 公開日: 2014-03-04 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 松浦, 勇二, 坂口, 威 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/806

グロー放電陽光柱内の中性気体温度の測定法に関する考察

松 浦 勇 二・坂 口 威

A Study of Methods of Measurement for Neutral Gas Temperature in Positive Column of Glow Discharge

Yuuji Matsuura and Takeshi Sakaguchi

Abstract

Thermocouple or thermistor is widely used in order to measure neutral gas temperature in positive column of glow discharge. Since the state of plasma is disturbed by the setting of thermocouple or thermistor, some inaccuracy for measured values cannot be avoided.

While, the interference method does not remarkably disturb the state of plasma because of the use of weak laser beam. We compare the data obtained by interference method with those by thermocouple.

It is concluded from the comparison that measured values by two different methods almost agree with in the experimental errors in the pressure range from 3 Torr to 40 Torr.

1. ま え が き

最近様々な分野で使用されている、ヘリウム・ネオンレーザや炭酸ガスレーザは、グロー放電の陽光柱の部分を利用して得られるものである。

しかし、陽光柱プラズマに関する理論的な説明¹⁾については、陽光柱内での放電の基礎過程がまだ十分明らかにされていない為に実際のレーザ出力と理論的出力とは異っている。グロー放電陽光柱プラズマの解析には、ガス圧力 P 、電界 E および各種衝突断面積などの諸量に加えて、中性気体の温度 T_g が必要であり、これは多くの場合、測定方法が容易であることから、熱電対又はサーミスタを用いて測られている。

しかしこの場合、プラズマの状態を乱す事の無いように、できる限り細い熱電対等を使用するが、それでもなをプラズマのかく乱が認められる。この為に得られるガス温度は精度の面での不十分さを避けることはできない。

この点を検証する為に、プラズマの状態が乱されない程度の弱い光を発する、ヘリウム・ネオンレーザを用いて、光干渉法^{2),3)}によりガス温度を求め、得られた値と、熱電対で測定したガス温度との比較検討を行った。

干渉法は、プラズマ中を通る光と、別光路の光から作られる干渉縞を利用して、放電により生じる縞の移動数からプラズマ内の気体分子の密度を求め、この密度によりガス温度を得る方法で

あるが、この方法には安定な干渉縞を得る為の防震対策とか、縞の移動数の測定方法に関する、技術的な面での問題点がある。

上に述べた二通りの方法によって求められたガス温度を比較した結果、両者の値は実験誤差の範囲内で一致することが判った。すなわち圧力が3~40 Torr (管半径9 mm) の範囲では、熱電対等でガス温度をしてもさしつかえないと云える。

2. 実験方法

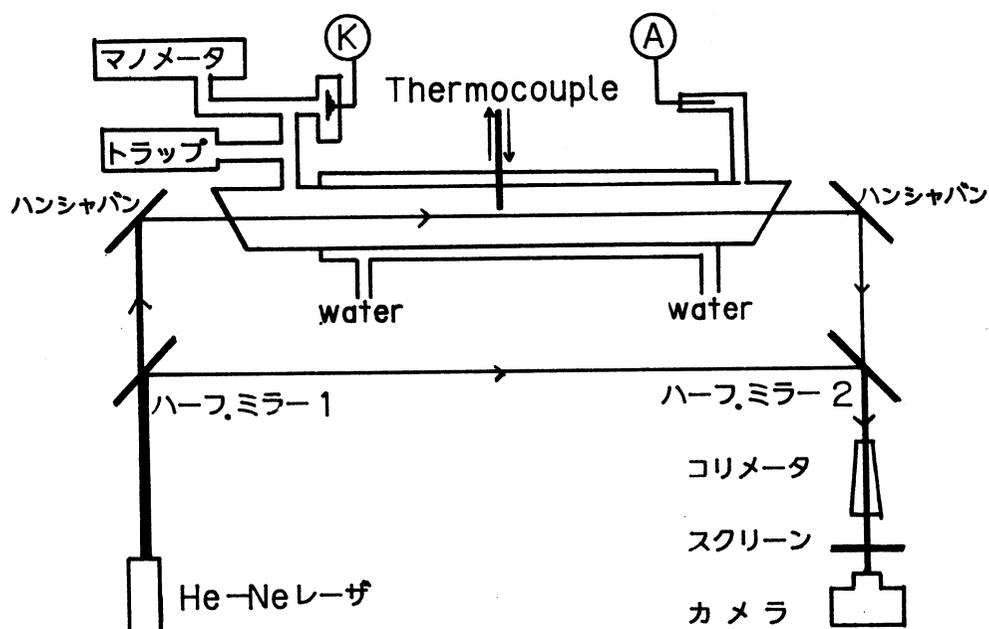


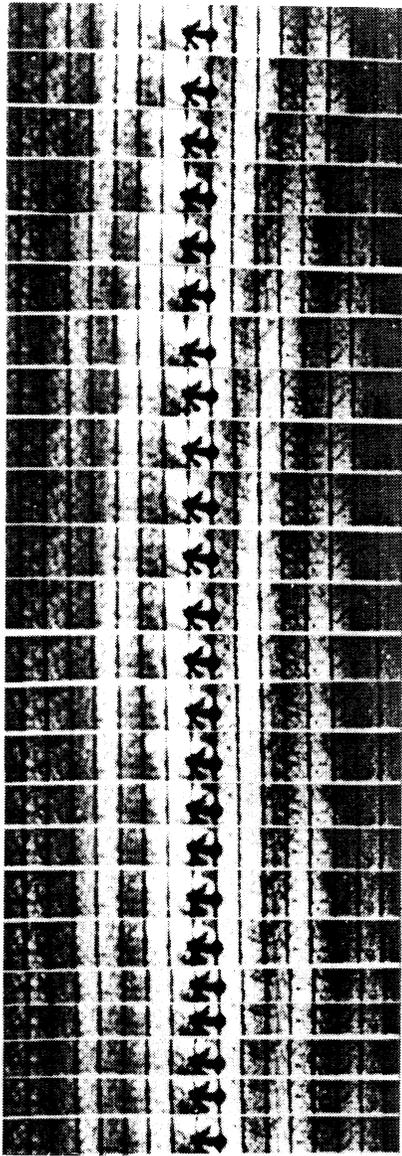
図-1 測定回路

図-1に測定回路図を示す。用いた管は半径9 mm, 陽光柱部の長さ50cmのものである。ヘリウム・ネオンレーザー光はハーフ・ミラー1によって二つの光に分けられ、一方は反射板でプラズマ内に導びかれ、通過した光はもう一つの反射板でハーフ・ミラー2に達する。そこでハーフ・ミラー1で反射した別の光と合さって干渉光となり、コリメータで拡大されてスクリーン上に干渉縞が描き出される。

スクリーン上の干渉縞は、モータドライブ付のカメラによってその動きを観測される。

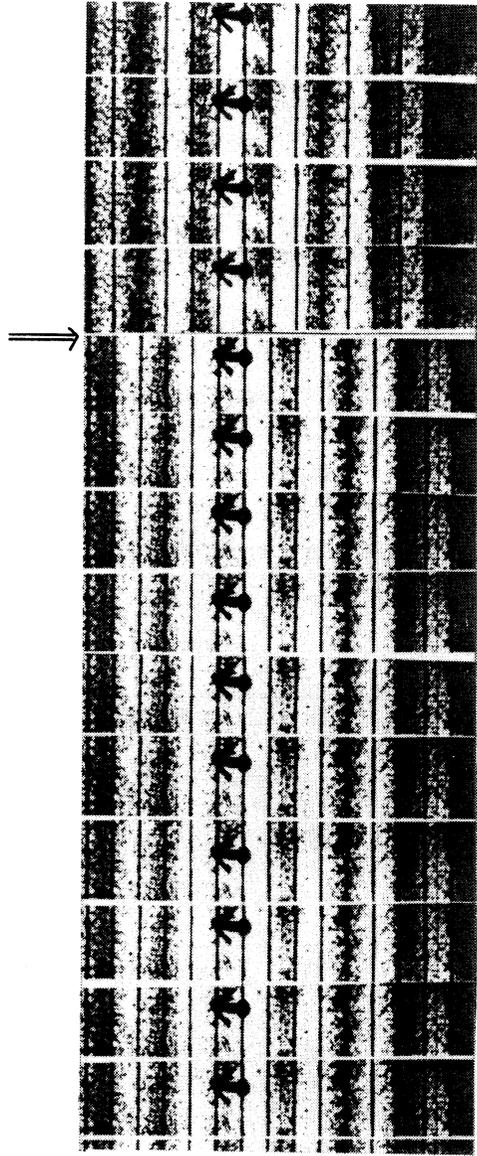
又放電管中央には熱電対が挿入されており、放電前後のガス温度の測定に用いられる。陰極付近には液体窒素トラップが取付られ、発生する不純物が取除かれ、又安定な放電状態を保ち、かつ放電前のガス温度を一定に保つ為に陽光柱部の管を水冷している。

放電管内の圧力を変化させた時の干渉縞の動く様子を図-2に示した。



← Direction →
N₂ 10⁻³ → 4 torr

図-2 圧力変化による縞の移動



← Direction →
N₂=4 torr I_d=28mA

図-3 放電による縞の移動

図-3は、放電前後の縞の移動を示した図であるが、縞の移動は放電の瞬間に生じるだけで、以後は静止の状態を保っている。

放電による縞の移動方向は、ガス圧力を増加させた時に起る方向と全く逆の向きに動く事が肉

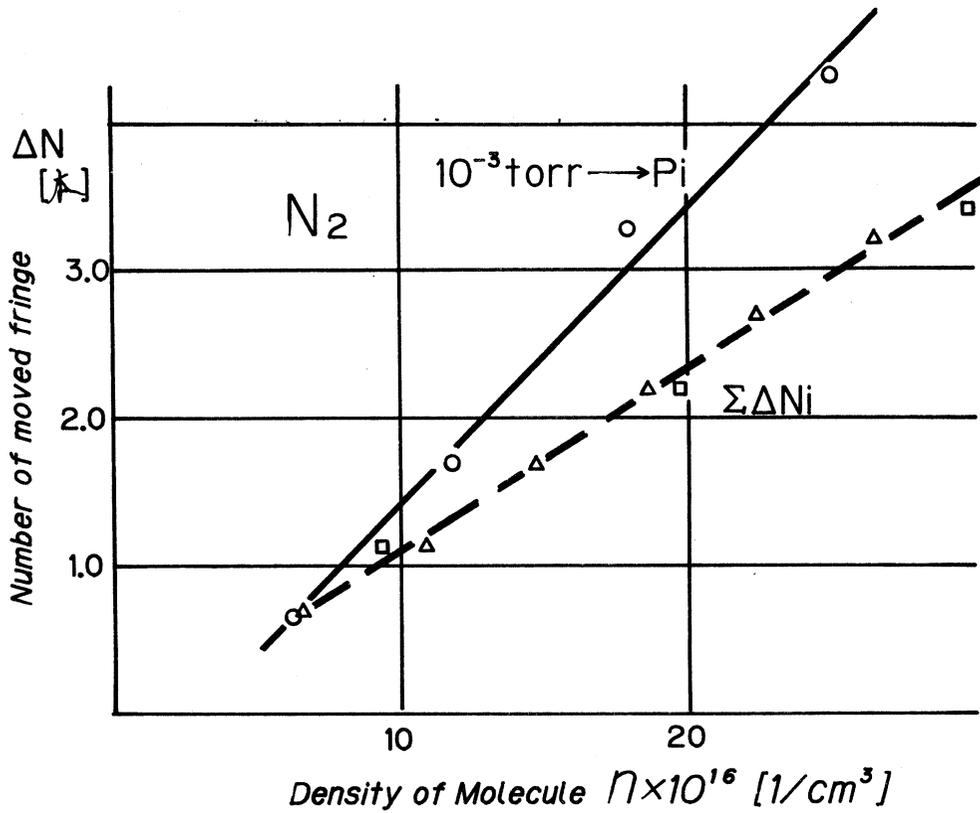


図-4-1 干渉縞移動数の直線性 - N_2

眼で確認された。

この事は、放電が起こる際に、陽光柱内の中性ガス分子の密度が減少する事を示すものと考えられる。

図4-1および図4-2は、 N_2 とNeのガス圧力の変化量に対する縞の移動数の関係を表すものである。

この図より、ガス圧力の変化量と縞の移動数の間には正比例の関係が在る事が判る。

なを図4-1において、 $10^{-3} \rightarrow P_i$ は圧力が 10^{-3} torr から $P_i \text{ torr}$ へ直接変化させた時のもので、 $\Sigma \Delta N_i$ は圧力が、 10^{-3} torr から $P_1 \text{ torr}$ に変化し、さらに $P_1 \rightarrow P_2$ 、 $P_2 \rightarrow P_3$ へと順次変化した時の、各々の移動数を累積させた結果を表したものである。この両者の傾きは異っているが、これは直接 P_i まで変化させた時の圧力 P_i が、オイルマンメータで測られた為少なめに得られた可能性のあることと、累積データにおいて、圧力の変化が小さい為縞の移動数を十分捕捉しきれないことから生じた誤差と思われる。

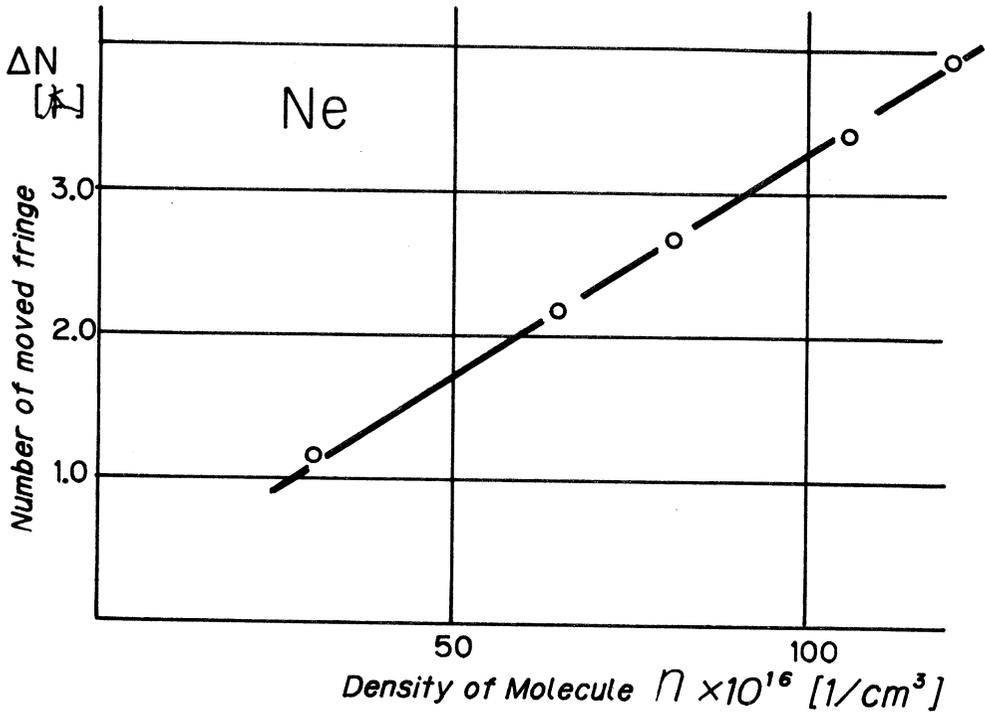


図-4-2 干渉縞移動数の直線性—Ne

今回の実験では、この図は後述のごとく、参考資料として使用しただけであるが、実験を重ねて両者の傾きの差を縮めて、縞の移動数と圧力変化の関係をより正確に求めるなら写真撮影は放電の前後だけで良い為、データ整理の都合上有益なものとなる。

図-5は圧力一定の下での放電電流の大きさと縞の移動数の関係を示したものである。この電流の範囲では移動数は電流値によらず一定となっている。

これは我々が現在取扱っている、低圧力低電流グロー領域では電子の密度は分子のそれと比較して五桁程小さいので、多少の電流の変動で中性分子の密度が左右される事は無いからである。

3. 干渉法による分子温度の決定法

今回扱ったガスは、ネオン（単原子分子）と窒素（二原子分子）であるが、いずれも前述の、図4-1および図4-2に示される通り密度（圧力）変化と干渉縞の移動数は正比例の関係にある。

この結果を利用して、放電時のプラズマ内の分子密度は、次の手順で求められる。

(a). 放電開始前に管内の圧力（密度）を P_1 ($=2.9\text{torr}$) から P_2 ($=5.3\text{torr}$) へ増加さ

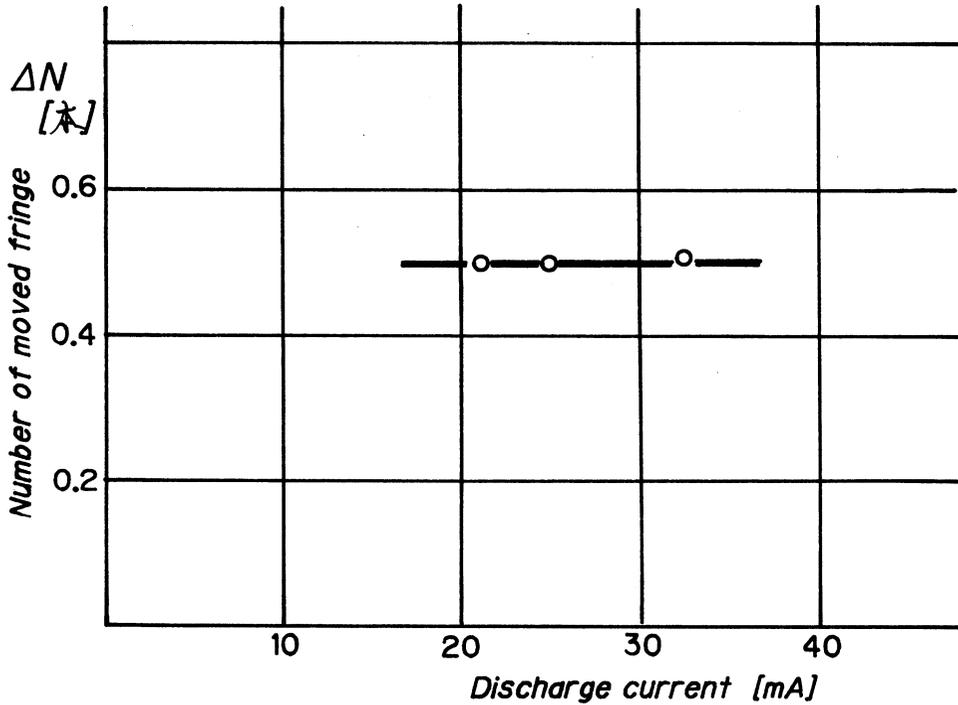


図-5 放電電流と移動数 ΔN

せ、その時の干渉縞の移動数 ΔN ($=1.07$ 本) と方向を観測する。

一方、管内温度を熱電対で測定し、分子密度の計算に使用する。

(b). 放電を起こし、その時の縞の移動数 $\Delta N'$ ($=0.5$ 本) と方向 (圧力増加時と逆方向) を観測する。

(c). 放電後の圧力 P_3 をマンメータで測定する。

(d). 干渉法で得られる温度との比較の為、放電時の温度 T を熱電対で測定する。

以上の手順のうち干渉法に関するものは(a)~(c)であるが、この実験結果より分子密度を求める方法を示したのが図-6である。

放電によって起る縞の移動は、圧力を増す時の方向と正反対である事から、管内の分子密度が減少することが判る。

それ故、放電時の分子密度 (図中 N_3) は図-6 に示される通り、 $\Delta N'' = \Delta N - \Delta N'$ に対応する密度 ($=14.7 \times 10^{16}$ [1/cm³]) として求められる。

こうして得られた密度と放電後の圧力 P_3 から、放電時の中性ガス分子温度 T_g は、

$P = nkT$ (但し、 k はボルツマン定数) の関係式より計算される。

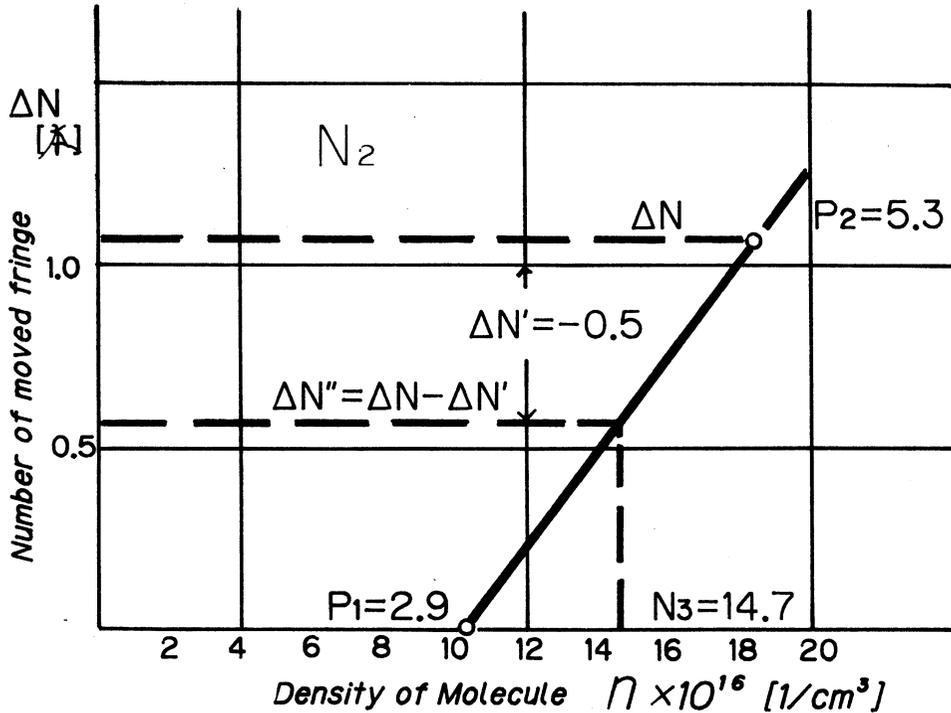


図-6 干渉法による分子密度の決定法

窒素およびネオンについての実験結果は、表-1にまとめてある。

但しデータ番号(8)~(11)は、前述の手順(a)を省略して放電時の縞移動数に関する実験と、(別に求められた)図4-1の圧力変化に対する縞移動数の累積直線から計算したものである。

4. 実験結果および考察

熱電対を用いて測定した中性ガス分子の温度と、干渉法で求めた温度を比較した結果を図-7に示す。

この図から、双方ともあまり大きな差は無く、両者の間の誤差はおよそ5%以内に納っている事が判る。

これは、干渉法において、縞の移動数を求める為に、撮影された写真から読取る方法を用いた事を考慮に入れるなら、かなり良く一致していると云える。

すなわち、今回取扱ったガス圧力の範囲(3 Torr~40 Torr)においては、技術的に煩雑な干渉法によらずとも、放電時における陽光柱プラズマ内の、中性気体の温度を測る手段として、熱電対あるいはサーミスターを用いることは有効な方法であると考えられる。

表-1 分子温度測定結果 = 熱電対法 & 干渉法 =

データ番号	ガスの種類	放電電流 mA	放電前			放電後			干渉移動数本	干渉法による		誤差 $\frac{(T-T_g)}{T}$ %
			管内温度 °K	圧力 P ₂ Torr	分子密度 ×10 ¹⁶	圧力 P ₃ Torr	分子密度 ×10 ¹⁶	測定温度 T °K		分子密度 ×10 ¹⁶	分子温度 T _g °K	
1	チ ッ ソ	25.0	280	4.2	14.5	4.6	12.6	3 5 3	0.3	12.1	3 6 7	-4.0
2		26.0	280	5.7	19.7	6.3	17.0	3 5 8	0.34	16.4	3 7 1	-3.6
3		25.5	279	3.2	11.1	3.6	9.9	3 5 3	0.13	9.8	3 5 5	-0.6
4		27.0	281	6.2	21.3	7.0	17.7	3 8 2	0.5	16.2	4 1 7	-9.2
5		15.0	282	3.3	11.3	3.5	10.0	3 3 8	0.22	9.9	3 4 1	-0.9
6		27.0	278	7.5	26.1	8.4	19.4	4 1 8	0.82	19.2	4 2 3	-1.2
7		25.0	276	5.3	18.6	6.1	14.3	4 1 3	0.5	14.7	4 0 1	+2.9
8	*	25.0	281	3.5	12.0	3.9	10.7	3 5 3	0.29	9.8	3 8 4	-8.8
9	*	25.0	281	4.9	16.8	5.4	14.8	3 5 3	0.29	14.5	3 6 0	-2.0
10	*	25.5	281	6.2	21.3	6.9	17.9	3 7 3	0.5	17.5	3 8 1	-2.1
11	*	27.5	281	7.1	24.4	8.1	20.1	3 8 9	0.5	20.4	3 8 4	+1.3
12	ネ オ	15.8	276	31.0	109.	32.5	104.	3 0 3	0.29	101.	3 1 1	-2.6
13	ソ	15.5	274	21.6	76.2	22.6	74.2	2 9 4	0.15	71.8	3 0 4	-3.4

ただし、データ(8)~(11)は累積直線より求めた。

終りに、本研究はもとより、日頃御指導戴いております、北海道大学応用電気研究所の西辻

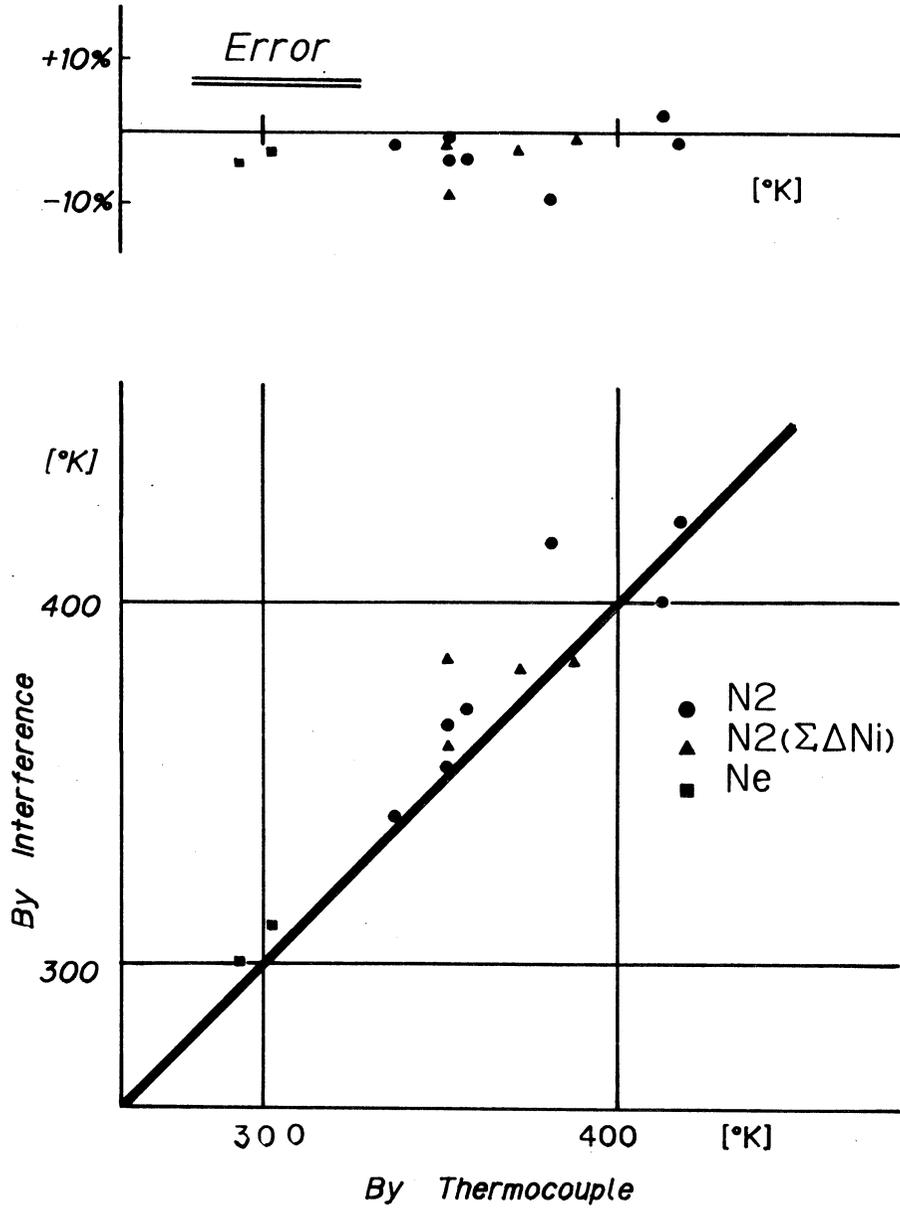


図-7 熱電対法と干渉法の比較

昭助教授に深甚なる謝意を表します。

(昭和60年5月20日 受理)

松 浦 勇 二・坂 口 威

参 考 文 献

- 1) 例えば 坂口・畑中・瀬戸・西辻：電気学会論文誌A 58-A50, p405 (昭58-7)
- 2) 電気学会：放電ハンドブック改訂新版, p329 (昭53-7)
- 3) 関口 忠：現代プラズマ理工学, p210 (オーム社, 昭54-3)