大気圧窒素コロナ放電における窒素原子生成量の推定

正員 藤原 正 純 (電総研)

正員 谷 本 充 司 (電総研)

正員 春 日 康 弘 (電総研)

正員 加 藤 健 (電総研)

正員 恩 田 和 夫 (豊橋技科大)

Estimation of the Amount of N atoms Generated by N₂ Corona Discharges

Masanori Fujiwara, Member, Mitsumori Tanimoto, Member, Yasuhiro Kasuga, Member

Ken Kato, Member(Electrotechnical Laboratory), Kazuo Onda, Member(Toyohashi Univ. Tech)

A pulsed corona discharge at atmospheric pressure can be used for combustion gas treatment. It is expected to remove NO_x and SO₂ with low energy consumption. The main process is estimated to be radical reactions such as N and OH with NO_x. These radicals are produced by the collisions between fast electrons and major species of combustion gas.

This paper presents a new method for the evaluation of the total amount of N atoms produced by corona discharges. The experiment of N₂+NO gas treatment was performed changing the initial NO concentration and keeping the discharge input power constant. Analyzing the data at the high NO concentration region, it was shown that the total amount of N atom production was approximately equal to the reduction quantity of NO_x. The energy efficiency of N atom production was estimated to be about 70eV/N-atom and the utilization rate of the effective energy used for N atom production was about 8%.

キーワード：パルスコロナ放電，非熱平衡プラズマ，排ガス処理，脱硫，脱硝，ラジカル反応，窒素原子

1. はじめに

化石燃料の大量消費と不十分な環境対策の結果、酸性雨による環境破壊が、地球規模の環境問題として解決を迫られている。また、我が国では、大都市圏において、ディーゼル排ガス中の窒素酸化物による大気汚染が深刻化している。このような問題を解決するために、大気圧コロナ放電や無声放電・沿面放電を用いた排ガス処理法の研究が進められている。これらは、放電により生起する高速電子を利用した非熱平衡プロセスが中心であるため、エネルギー効率に優れた脱硫・脱硝が可能であると期待されている。

本方式は既にパイロットプラントによる試験研究⁽¹⁾が行われている他、種々の研究が行われており、吉岡⁽²⁾により諸方式の比較がまとめられている。その後、無声放電によるディーゼル排ガスの処理⁽³⁾⁽⁴⁾や無声放電と沿面放電の組み合わせ⁽⁵⁾、湿式プラズマ⁽⁶⁾や誘導型パルスパワー⁽⁷⁾、正ストリーマコロナ⁽⁸⁾によるガス処理等の研究が

行われてきた。

当グループにおいても、パルスコロナ放電による脱硫・脱硝実験を種々の条件下で行い、実用化に向けた特性抽出を行ってきた⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾。

しかし、実用化に至るには、容積効率やエネルギー効率の向上が必要であり、そのためには、詳細プロセスを明確にすることが重要である。

放電による排ガス処理過程は、次のように推測されている。放電により発生した高速電子が、N₂やH₂Oと衝突し、NやOH等のラジカルを生成する。これらのラジカルとNO_xやSO₂との酸化・還元反応が中心的役割を担っていると考えられている。また、SO₂除去には、熱化学反応の影響も大きいと考えられている⁽¹¹⁾。

NO_x処理については、種々の計算機シミュレーションによる研究^{(11)~(13)}が行われ、ラジカル反応の理解が進められている。この内、Gentileら⁽¹³⁾による詳細なシミュレーションでは、N原子によるNO_xの還元処理が主要

図1 実験装置の構成
Fig. 1. Experimental set up.

図2 放電反応器の電極形状
Fig. 2. Configuration of electrodes in discharge reactor.

な反応過程であるという結果が得られている。同様に、水野ら⁽⁶⁾による湿式プラズマ処理においても NO_x の還元作用が約50%を占めると報告されている。

本論文では、このように NO_x の放電処理過程に重要な役割を果たす窒素原子に関して、大気圧コロナ放電における生成量の推定を行った。ラジカルの測定は、レーザ分光や質量分析により可能ではあるが、大気圧コロナ放電における窒素原子に関しては、未だ測定は行われていない。

放電により生成したラジカルは、 NO 等の被処理ガスと反応を行うと共に、種々の副次的反応を誘起し、複雑な反応系を構成する。そこで、本論文では、ガス組成を $\text{N}_2 + \text{NO}$ に単純化し、パルスコロナ放電による処理実験を行い、その処理特性に関して、特に高濃度領域について反応過程の分析を行った。その結果、生成した N 原子のほとんどが NO と反応するような領域においては、主要な反応過程を限定することが可能であること示した。これに基づいて実験結果を分析することにより、 N 原子の生成量や生成効率

図3 高電圧供給回路
Fig. 3. Electric circuit of high voltage power supply.

図4 放電電圧・電流波形
Fig. 4. Discharge voltage and current waveforms.

についての推定を行った。

2. 実験装置および方法

実験装置の構成を図1に示す。放電反応器にはほぼ大気圧の $\text{N}_2 + \text{NO}$ ガスを流通させ、パルスコロナ放電を適用し NO_x 計(日本サニエイトン 型 5100)を用いて NO 、 NO_2 濃度を測定した。本 NO_x 計は、減圧式の化学発光法を採用しており、 NO_2 の測定は200ppmまで可能であるという点の特徴である。

放電反応器の構造を図2に示す。長さ50cm、40mm×80mmの矩形ダクトの内部に直径0.3mmのステンレス電極3本を配置した構造である。

高電圧電源回路は、図3のような構成である。放電反応器と並列に抵抗 R_p を接続し、短パルス化を図っている。放電波形の一例を図4に示す。

放電波形の測定は、電圧プローブ(Tektronix P6015)と電流プローブ(Pearson 110)からの信号を、デジタル

(a) 正極性

(a) Positive polarity.

(b) 負極性

(b) Negative polarity.

図5 放電による濃度変化量とNO初期濃度の関係

Fig. 5 The relationship between initial NO concentration and concentration change caused by discharge.

オシロスコープ (Tektronix TDS620A) に記録し、パソコンへ転送しデータ処理を行った。放電入力計算は、電圧・電流波形の積を時間積分し、100パルスの平均により求めた。

実験は放電入力を一定として、NOの初期濃度を、0～2000ppmの範囲で変化させた。ガス流量は4 l/min (25℃換算)、放電反応器中のガス温度は100℃、放電の繰り返しは720ppsである。

3. 実験結果

N₂+NOガスを用い、放電入力Pが5Wと10Wの場合の実験結果を図5 (a) (b)に示す。(a)は正極性、(b)は負極性の結果である。[X]はガス成分Xの濃度を、Δは放電処理の有無によるそれらの濃度変化を示し、増加する場合を正、減少する場合を負とする。図中の直線はNOが完全に除去される場合の特性である。

図5より、正極性と負極性とでは、NOとNO_xの除去濃度-Δ[NO]、-Δ[NO_x]に大きな差があることがわかる。いずれにおいても、-Δ[NO]はNO初期濃度の増加に伴い急激に増大した後、緩やかな増加に転ずる。

一方、NO₂はNO初期濃度の増大に伴い増加し、その増加量Δ[NO₂]は、NO初期濃度に対してほぼ直線的に増加する。NO初期濃度の大きい領域では、-Δ[NO]とΔ[NO₂]の増加傾向は同程度であり、その結果、-Δ[NO_x]はNO初期濃度の増大に対して飽和する傾向を有する。以下、この領域を飽和領域と呼ぶことにし、その特性から放電による窒素原子生成量を推定する。

4. 窒素原子生成量の推定

〈4・1〉 電子衝突過程 表1に主な反応とその反応速度定数を示す。表中の速度定数は、100℃の値である。表

表1 主な反応と反応速度定数

Table 1. Dominant reactions and rate coefficients.

反応速度定数は373Kの値を示す。単位はcm³s⁻¹であり、3体反応の速度定数は1気圧、373Kにおける全粒子密度を用いて2体反応に換算した。

番号	反応式	反応速度定数	文献
①	N ₂ +e ⁻ →N+N+e ⁻		14
②	N ₂ +e ⁻ →N ₂ ⁺ +2e ⁻		14
③	N+N+M→N ₂ +M	9.9×10 ⁻¹⁴	15
④	N+NO→N ₂ +O	3.1×10 ⁻¹¹	16
⑤	N+O+M→NO+M	7.7×10 ⁻¹³	17
⑥	O+O+O ₂ →2O ₂	1.4×10 ⁻¹³	15
⑦	O+NO+N ₂ →NO ₂ +N ₂	1.4×10 ⁻¹²	18
⑧	O+NO ₂ →NO+O ₂	9.0×10 ⁻¹²	18
⑨	O+NO ₂ +N ₂ →NO ₃ +N ₂	1.1×10 ⁻¹²	18
⑩	N+NO ₂ →N ₂ O+O	3.0×10 ⁻¹²	16
	N+NO ₂ →2NO		
	N+NO ₂ →N ₂ +2O		
	N+NO ₂ →N ₂ +O ₂		
⑪	N+O ₂ →NO+O	7.8×10 ⁻¹⁶	18

中の3体反応③⑤⑥⑦⑨の速度定数は、cm⁶s⁻¹の単位で与えられた値を、大気圧の全粒子密度を用いて2体反応に換算した。

N₂+NOガスの放電において、本実験ではNO濃度は高々2000ppmであるので、生成した電子のほとんどはN₂と衝突する。そこで、NOと電子の衝突によるNOの解離反応は無視して考える。

電子衝突によるN₂の解離反応①は、約12eV以上の電子

エネルギーにおいて発生する⁽¹⁴⁾。電子エネルギーが約16 eV以上になると、イオン化反応②により N_2^+ が発生する。しかし、 N_2^+ の生成量は小さいと考えられるので、当面、無視して考える。

このように、電子衝突過程においては、電子とNOとの衝突解離反応及び窒素分子のイオン化反応を無視する。

〈4.2〉 NO除去反応 放電により生成したN原子は、表1の③及び④の反応を行う。

NO初期濃度が0の場合には、③の再結合反応のみ生起するが、初期濃度の増大に伴い、④の反応が比重を増す。飽和領域においては、数百ppm以上のNOが残存しており、かつ反応③の速度は反応④に比しかなり小さいことから、飽和領域では再結合反応③はほとんど無視できると考えられる。

そうすると、反応④によりN原子とほぼ等量のO原子が生成する。生成したO原子は、主に反応⑦によりNOと反応を行う。反応⑤⑥の再結合反応は、反応③と同様に無視し得る。

その結果、NO濃度が非常に高い場合には、NOの関与する④⑦の反応のみが進行する。この場合、 $-\Delta[NO]$ と $\Delta[NO_2]$ の間には、

$$-\Delta[NO] = 2\Delta[NO_2] \cdots \cdots \cdots (1)$$

の関係が成立し、N原子の生成量は $-\Delta[NO]/2$ となる。しかし、図5では、 $\Delta[NO_2]$ は漸増しているものの、 $-\Delta[NO]/2$ よりはかなり小さい。従って、NO₂の除去反応も同時に進行していると考えられる。

〈4.3〉 NO₂除去反応 反応⑦により生成したNO₂は、N及びO原子と⑧～⑩の反応を行う。この内、NO₂の関与する最も主要な反応は⑧である。

まず、比較的反応速度の小さい反応⑨⑩は除外して考える。反応⑦と⑧の反応速度を比較すると、反応⑧のNO₂除去反応の方が速い。従って、反応⑦により生成したNO₂の大半は、反応⑧により除去され、再びNOに戻ると考えられる。

〈4.4〉 N原子生成量 反応⑦と⑧を1対として考えると、結局この反応では、

の反応が生ずることになる。全てのO原子がこの対反応を行うとすると、 $\Delta[NO_2] = 0$ となる。しかし、反応⑦により生成したNO₂の全量は還元せず、一部はNO₂の増加として計測されている。

そうすると、反応⑦のO原子との反応により除去された正味のNO除去量は、 $\Delta[NO_2]$ に等しくなる。その結果、残りのNO除去量はN原子により除去されたNOを表し、その値は、

$$-\Delta[NO] - \Delta[NO_2] = -\Delta[NO_x] \cdots \cdots \cdots (2)$$

より、NO_x除去量と等しくなる。反応④より、N原子に

よるNO除去量はN原子生成量とも等しい。従って、 $-\Delta[NO_x]$ の値がN原子生成量の近似的な推定値を与える。ここで、N原子生成量の単位はppmで、流路断面全体で平均した濃度である。

この推定方式において、反応⑨と⑩によるNO₂除去反応は、推定値の誤差になる。他の誤差要因としては、反応③⑤⑥によるNやOの再結合反応や反応②によるイオン化反応等が考えられる。

5. 推定誤差の分析

〈5.1〉 N+NO₂反応の影響 NOやNO₂の反応系を考える上で、反応領域におけるそれぞれの濃度比を見積もることが必要である。反応は、活性種の生成領域の近傍で進行すると考えられる。この領域のNO₂濃度が仮に、反応⑦と⑧による生成・除去反応により規定されたとすると、O原子が十分に生成された場合にはNOとNO₂濃度は平衡が成立し、

$$[NO_2]/[NO] = k_7/k_8 \approx 0.16 \cdots \cdots \cdots (3)$$

である。ここで、 k は添え字に対応する反応の速度定数を表す。さらに、反応⑨と⑩は、NO₂を減少させる方向に作用するため、

$$[NO_2]/[NO] \leq 0.16 \cdots \cdots \cdots (4)$$

となる。O原子の量が不十分な場合にも、この不等号の方向に作用する。

反応⑩即ちN+NO₂の反応速度は、反応④即ちN+NOの1/10以下である。従って、(3)式より、生成した窒素原子の内NO₂との反応に費やされる割合は1.6%以下と推定される。結局、反応⑩に伴う推定誤差は、1.6%以下と見積もられる。

〈5.2〉 O+NO₂→NO₃反応の影響 O原子によるNO₂除去反応の⑧と⑨に関して、反応⑨の占める割合は、 $k_9/k_8 = 0.12$ より、約12%である。実験結果より $[NO_2]$ は増加することが示されており、O原子によるNO₂の除去反応は、反応⑦のNO₂生成反応よりも少ない。従って、反応⑧と⑨に費やされるO原子の割合は、O原子全体の1/2以下である。従って、反応⑨に費やされるO原子の割合は6%以下と見積もられる。反応④によりO原子生成量は、N原子生成量とほぼ等しいから、反応⑨による誤差は6%以下と見積もられる。

〈5.3〉 NやO原子の再結合 再結合反応③⑤⑥については、以下の理由で無視できる。滞留時間19秒の間に合計13,680回の放電を受けた混合ガスが、合計500ppmのN原子と反応したとすると、1パルス当たりのN原子生成量は37ppbである。生成領域が放電領域近傍のみの局所的であるとする、この領域の濃度はさらに高くはなるが、反応④との反応速度を比較しても桁違いに遅いことから、NやOの再結合反応は無視できると考えられる。

なお、パルスの間隔が1ms以上あり、この間にNやOの

反応は終了し、パルスの積算による濃度の蓄積は生じない。なぜならば、反応④による[N]の減衰時定数は $1/k_4$ [NO]で与えられ、[NO]=1000ppmとすると、1.6 μ sである。その他の反応はこれよりも多少遅いが、パルス間隔の1msよりは十分に短い。

〈5.4〉 $N + O_2 \rightarrow NO + O$ 反応の影響 反応⑧により生じた O_2 とN原子によるNO生成反応⑩も、本推定方式の誤差要因である。しかし、反応⑩の反応速度は、反応④と比較して桁違いに小さく、その上、 O_2 濃度もNO濃度よりも低いことから、この反応⑩の影響も無視できる。

〈5.5〉 $NO + O_2$ 反応の影響 NOは O_2 の存在下では、次の反応により NO_2 に変化する。

この反応速度定数 k_{12} は、 $1.37 \times 10^{-38} (\text{cm}^6 \text{s}^{-1})$ であり⁽¹⁸⁾、

$$d[NO]/dt = -2k_{12}[NO]^2[O_2] \dots \dots \dots (5)$$

となる。仮に、 O_2 濃度を500ppm、NO濃度を1000ppmとすると、NO濃度の変化率は約10ppb/sとなる。放電反応器中の滞留時間は19秒であり、その後の濃度計測に要する時間を含めても、本反応の影響は無視できる。

〈5.6〉 その他の誤差要因 他の誤差要因としては、(a) N_2^+ イオンの影響、(b) 電子衝突によるNOの直接解離、(c) 飽和領域と低濃度域のN原子生成量の違いの3点が挙げられる。

(a)は、反応②により生ずる N_2^+ の影響であるが、この影響を直接評価することは困難である。ただし、本論文では、 $\Delta[NO_x]$ よりN原子生成量を推定しているので、イオンを含む活性窒素の総量を推定しているとも解釈できる。

(b)のNO直接解離の影響は、NOの解離断面積が N_2 のそれと大きくは異ならないとすると、NO濃度は高々2000ppmであるので、影響は小さいと考えられる。

(c)の問題は、本推定方式の本質的な問題である。本方式では、放電入力を一定とし、NO濃度を变化させた実験結果に基づいているが、NO濃度の変化に伴い、放電波形そのものは微妙に変化する。従って、飽和領域のN原子生成量が、NO濃度の低い場合にそのまま当てはまるとは限らない。ただし、放電波形には顕著な変化は見受けられないことから、大きな誤差にはならないと考えられる。現時点では、この影響を定量的に見積もることは困難である。

以上の誤差要因の他に、放電入力や NO_x 濃度の測定誤差や再現性の問題がある。これらは、概ね10%以内に収まる。従って、本推定方式の誤差は、数割以内と考えられる。故に、本方式は概略的な推定値としての信頼性は十分に有すると考えられる。

6. 窒素原子の生成効率

本推定方式を用いると、図5(a)の結果より、正極性5Wの放電入力において、N原子生成総量は265ppmと推定され

る。ガス流量4l/min (25℃換算)を用いると、N原子1ヶの生成に必要なエネルギーは、約70eV/N-atomと試算される。電子衝突による N_2 の解離には、最低12eVの電子エネルギーが必要であるから、放電入力の内N原子の生成に利用されたエネルギーの割合を有効利用率とすると、有効利用率は約8%という推定値が得られる。

また、負極性では、生成効率は約1/6~1/7に低下する。この原因としては、負極生では窒素分子の解離に必要な高エネルギー電子が少ないという可能性が考えられる。この点については、今後の検討が必要である。

排ガスの脱硝を行う際のエネルギー効率の目標値としては、ディーゼルエンジン排ガスを対象とする場合が最も厳しく、ガスタービン排ガスの約8倍のエネルギー効率が必要という試算がある⁽²⁾。100馬力のディーゼルエンジンの排ガス流量を1l/s/hpとして、500ppmの脱硝をエンジン出力の10%以内のエネルギー消費で行うには、51eV/ NO_x -moleculeという試算が得られる⁽¹³⁾。本実験で得られた生成効率は、この目標値にかなり近く、生成したN原子の全てが脱硝反応に活用されたとすると、ディーゼルエンジン出力の10%の放電入力により排ガス中の約350ppmの脱硝が可能である。従って、ラジカル生成効率の面では、本方式の有望性は非常に高いことがわかる。

7. むすび

大気圧窒素コロナ放電における窒素原子生成量の推定方式を提示し、実験結果を元に概略の推定を行った。

大気圧の $N_2 + NO$ ガスに対してパルスコロナ放電を適用し、NO濃度を变化させた場合のNO除去量を求めた。その結果、NO濃度の増大に伴いNO除去量は増大するが、NO濃度の高い領域では、除去量の増大は飽和する傾向が認められた。

反応過程を分析することにより、高NO濃度領域においては、放電により生成したN原子のほとんどはNOと反応し、それに続く2次反応も数種類に限定されることを示した。その結果、窒素原子の生成量は、 NO_x の減少量とほぼ対応することが判明した。

本推定方式を実験結果に適用すると、正極性放電によるN原子の生成効率は約70eV/N-atom、放電入力の有効利用率は約8%という概略の推定値が得られた。一方、負極性放電では、生成効率は正極性の1/6~1/7に低下する。

また、70eV/N-atomという効率は、ディーゼル排ガスへの適用においては、エンジン出力の10%のエネルギー投入により、最大350ppmまでの脱硝可能性を示唆する。

(平成9年10月27日受付、平成10年2月3日再受付)

文献

- (1) G. Dinelli, L. Civitano & M. Rea: "Industrial Experiments on Pulse Corona Simultaneous Removal on NO_x and SO_2 from Flue Gas", IEEE Trans. Ind.

- Applicat., Vol. 26, No. 3, p535 (1990)
- (2) 吉岡芳夫:「プラズマによる大気汚染物質処理技術の現状と課題」, 電学論B, 113-5, p463 (1993)
  - (3) 東 学, 藤井寛一:「放電プラズマリアクタを用いた自動車の排ガス処理」, 電学論A, 116-10, p868 (1996)
  - (4) R. Bendahan, M. Higashi & K. Fujii: "Experimental Investigations on the Energy Efficiency of a Dielectric Barrier Discharge for NO_x Decomposition", 電学論A, 117-7, p773 (1997)
  - (5) 宮本秀志, 野村季和, 浦島邦子, 江原由泰, 岸田治夫, 伊藤泰郎:「NO_xの分解における放電重畳効果」, 電学論A, 116-8, p678 (1996)
  - (6) A. Mizuno, K. Shimizu, T. Matsuoka & S. Furuta: "Reactive Absorption of NO_x Using Wet Discharge Plasma Reactor", IEEE Trans. Ind. Applicat. Vol. 31, NO. 6, p1463 (1995)
  - (7) 川村啓介, 塚本俊介, 竹下智洋, 勝木淳, 秋山秀典:「誘導型パルスパワー電源を用いたNO_x除去」, 電学論A, 117-9, p956 (1997)
  - (8) 黄士峯, 猪原哲, 石峯真佐志, 佐藤三郎, 山部長兵衛:「ワイヤ対平板電極を用いた正ストリーマコロナ放電によるNO_x処理」, 電学論A, 117-10, p1034 (1997)
  - (9) 恩田和夫, 加藤健, 春日康弘:「コロナ放電による燃焼排ガスの小型脱硫・脱硝実験」, 機学論B, 60-575, p2607 (1994)
  - (10) 加藤健, 春日康弘, 藤原正純, 恩田和夫:「パルスコロナ放電排ガス脱硫・脱硝におけるガス組成や電極構成による特性変化」, 電学論D, 115-8, p1046 (1995)
  - (11) I. Gallimberti: "Impulse Corona Simulation for Flue Gas Treatment", Pure & Appl. Chem., Vol. 60, No. 5, p663 (1988)
  - (12) B. M. Penetrante et al.: "Comparison of Electrical Discharge Techniques for Non-thermal Plasma Processing of NO in N₂", IEEE Trans. Plasma Sci., Vol. 23, No. 4, p679 (1995)
  - (13) A. C. Gentile & M. J. Kushner: "Reaction Chemistry and Optimization of Plasma Remediation of N_xO_y from Gas Streams", J. Appl. Phys. Vol. 78, No. 3, p2074 (1995)
  - (14) Y. Itikawa et al.: "Cross Sections for Collisions of Electrons and Photons with Nitrogen Molecules", J. Phys. Chem. Ref. Data, Vol. 15, No. 3, p985 (1986)
  - (15) C. Willis & A. W. Boyd: "Excitation in the Radiation Chemistry of Inorganic Gases", Int. J. Radiat. Phys. Chem., Vol. 8, p71 (1976)
  - (16) D. L. Baulch et al.: "Evaluated Kinetics and Photochemical Data for Atmospheric Chemistry: Supplement I", J. Phys. Chem. Ref. Data, Vol. 13, No. 4, p1259 (1984)

- (17) J. C. Person & D. O. Ham: "Removal of SO₂ and NO_x from Stack Gases by Electron Beam Irradiation", Radiat. Phys. Chem., Vol. 31, p1 (1988)
- (18) R. Atkinson et al.: "Evaluated Kinetic and Photochemical Data for Atmospheric Chemistry: Supplement IV", Atmospheric Environment, Vol. 26A, No. 7, p1187 (1992)

藤原 正純

(正員) 昭和29年5月18日生。昭和53年3月京都大学理学部物理学科卒業。昭和55年3月同大学大学院工学研究科修士課程修了。同年4月電子技術総合研究所入所、現在に至る。主として、燃焼排ガスの放電処理に関する研究に従事。応用物理学会会員。工学博士。

谷本 充司

(正員) 昭和18年10月3日生。昭和41年3月東京大学理学部物理学科卒業。昭和46年3月同大学院工学系博士課程修了。同年電子技術総合研究所入所。主として、レーザー、プラズマの応用に関する研究に従事。日本物理学会、プラズマ・核融合学会、レーザー学会会員。工学博士。

加藤 健

(正員) 昭和25年7月14日生。昭和48年3月東京電機大学工学部2部電子工学科卒業。昭和44年4月電気試験所(現電子技術総合研究所)入所。主として、サンゴ礁における炭酸ガス吸収の研究、リチウムイオン電池の研究に従事。

春日 康弘

(正員) 昭和19年4月5日生。昭和42年3月東京電機大学工学部2部電子工学科卒業。昭和38年4月電気試験所(現電子技術総合研究所)入所。主として、発電に関係する技術開発研究に従事。

恩田 和夫

(正員) 昭和16年6月20日生。昭和39年3月東京工業大学理工学部機械工学科卒業。昭和41年3月同大学大学院理工学研究科修士課程修了。同年10月電気試験所(現電子技術総合研究所)入所。平成7年9月豊橋技術科学大学教授(電気電子工学系)。主として、放電脱硝、燃料電池、二次電池の研究に従事。応用物理学会、日本機械学会、エネルギー資源学会、電気化学会会員。工学博士。