メタノール燃料電池の空気極水バランスのシミュレーションと性能安定化の検討

正員 津久井 勤 (日立)
非会員 朝日 聖 隆 (日立機械エンジニアリング)

Simulation of Water Balance at Cathode and Stabilization of Power for Methanol Fuel Cells

Tsutomu Tsukui, Member (Hitachi, Ltd.), Kiyotaka Asahi, Non-member (Hitachi Machinery & Engineering, Ltd.)

On the methanol fuel cell which uses methanol as fuel directly, the important problem to keep high efficient and stable operation is to exhaust water generated in air electrode appropriately and to keep the best water balance without over wetting or drying in air electrode. Therefore, the theoretical equations were introduced to consider the relation between generated water by electrochemical reaction and exhausted water by the flowing air along the air flow direction.

By using these equations, simulation on various conditions of operation and structure were made. As a result, the countermeasure to keep best water balance was found as follows.

(1) The increasing of water reservation in air electrode with thicker electrode and the increasing of hydrophilic ability by addition of electrolyte were effective and applicable methods for practical use.

(2) The reduction of water permeability in electrolyte layer is effective, which was attained by the system with solid polymer electrolyte and without sulfuric acid.

(3) Larger air chamber depth and appropriate humidity control of inlet air are effective. However, these methods are limited to use because of the increasing of size and flow-rate.

キーワード：メタノール燃料電池，空気極，水バランス，性能安定化，電解質，空気流路

1. ま え が き

直接型メタノール-空気燃料電池（以下，メタノール燃料電池と略記）は，常温作動で燃料が液体であることから扱いが容易なため，中小形ポータブル電源として研究開発が行われている⁽¹⁾⁽²⁾。

この燃料電池の高効率高出力で安定な運転にとって重要なことは，(i)燃料の余分な消費量を抑えて高い燃料利用率を維持すること，(ii)空気極で生成する水分を効果的に排出して，濡れ過ぎや乾きのない良好な水バランスを維持することである。

(i)高い燃料利用率を維持するためには，燃料供給

系側においてメタノール極に供給するメタノール濃度を一定範囲内に制御することと，メタノール透過係数の小さいイオン交換膜を電解質として使用すること⁽³⁾⁽⁴⁾である。イオン交換膜のメタノール透過係数の小さいほうが望ましいが，電気抵抗が高くなるので限度がある。従って，メタノール濃度のきめ細かい制御が必要となる。

次に，(ii)空気極の水バランスを良好に保つことであるが，空気極では次の水分の生成と排出がある。まず，空気極では発電に伴う生成水とメタノール極から電解質層を通して移動してきたメタノールと水分があり，このメタノールが空気極で直接酸化して水分を生

成する。これら空気極の水分を空気室へ送風する空気中に蒸発させて、燃料電池外へ排出することとなる。従って、この空気極の水分を送風空気によって過不足なく排出して、水バランスを良好に保つことがなによりも大切である。そのため、この空気極の水分量を送風空気流量との関係において理論的に導き出し、水バランスを好適に保つ方法を提案した⁽⁶⁾。

しかしながら、上記の方法は電極が一点に集中した状況での解析であった。ところが実際には電極が面積をもっており、空気の送風にも方向性をもっているため、空気極内で水分の生成が同じであるとみなしても、空気室の空気の入口付近と出口付近では水分の蒸発量が違ってくると思われる。そのため、空気室内の空気の流路方向に空気極では水分の分布が生じる。燃料電池の空気極の水バランスを更に好適に保ち、安定な性能を維持するためには、この空気流路に沿った水バランスを考慮した解析が必要となる。

本論文は、上記空気極内の空気流路方向の水バランスについての解析を行って、好適な性能を維持するための諸条件を検討した結果について述べている。

2. メタノール燃料電池の原理と空気室内蒸発可能水分量の理論式誘導

〈2・1〉 メタノール燃料電池の原理と性能安定化の指針

(1) メタノール燃料電池の原理 メタノール燃料電池の原理図を図1に示したが、電解質層を介して触媒の添着されたメタノール極と空気極が配置される。電解質層は、希硫酸とイオン交換膜の挿入された構成である。イオン交換膜の機能は、電子伝導性を阻止し良好なイオン導電性と燃料がメタノール極から空気極に浸透するのを防止する機能を有している。ところで、メタノール極には燃料であるメタノールを供給

するが、電解質として希硫酸を用いていることもあって、これが燃料供給系側に流出するのを防止する意味で、あらかじめメタノールと希硫酸の混合液（アノライト）として供給している。このとき、メタノール極では触媒反応によってメタノールの酸化反応が行われ、メタノール M_{11} と水分 W_{11} が消費される。同時に、電解質層を浸透するメタノール M_2 と水 W_2 があり、メタノール極ではメタノール M_1 と水 W_1 が消費される。

一方、空気極には空気流量 Q_N （空気中の水分 W_1 ）が供給され、電気化学反応によって生ずる生成水 W_{31} と浸透メタノール M_2 の空気極での直接酸化による生成水 W_{32} 、ならびに浸透水 W_2 を蒸発させて空気室外に排出される。従って、空気流量 Q_N は図1に示す空気極反応に必要な酸素の供給と同時に空気極の水分を蒸発させるのに必要な量をとることになる。なお、各極における電気化学反応式ならびにその反応によって消費するメタノール M_{11} と水分 W_{11} の量、ならびに空気極における生成水 W_3 ($=W_{31}+W_{32}$) は図1に示した関係にある。また、空気極生成水 W_3 は燃料利用率 η_e との関係において図2のように示される。

(2) 性能安定化の指針 図1において、性能安定化に大きく寄与しているのは緒言でも述べたように、空気極の水バランスがいかに効果的に保たれるかにかかっている。すなわち、空気極における水分を過不足なく供給し、空气中に蒸発させることができるかということである。

燃料電池における空気極での水バランスに関係した性能低下原因を整理すると図3のように示される。同図に示したように、運転条件を誤ると水バランスからの不平衡が生じ、(i)または(iii)の条件になると性能が低下すると考えられる。このような図3に示した

図1 メタノール燃料電池の原理図
Fig. 1. Formation of methanol fuel cell.

図2 燃料利用率と空気極生成水
Fig. 2. Relationships between fuel efficiency and generated water in cathode.

W_p : 空気室出口での蒸発可能水分量, $W_g = \sum_{i=2}^4 W_i$ (図1参照)

図3 燃料電池の性能低下要因

Fig. 3. Factors of performance decrease on fuel cell.

燃料電池における三つの状態が、単セルの空気極内でも空気室の送風空気の入口側から出口側に向かって (i)→(iii)の順序で見られ、この不平衡を緩和することが性能安定化にとって不可欠となる。そのため、空気室内の空気流路方向 x に対して蒸発可能水分量をシミュレートし、空気極水分量との関係で性能安定性を検討した。更に、この結果を基に空気極内での水バランスからの不平衡を緩和する方法について考察した。

〈2・2〉 空気室内蒸発可能水分量についての理論式誘導

空気極に隣接した空気室の送風空気入口から x の位置に dx の微小容積を考え、この中の空気中の水蒸気の濃度を C_x とする。この微小容積中を空気が通過する間に空気中に増加した水蒸気の量が、その間に蒸発した水蒸気の量に等しいという物質収支を考える⁽⁶⁾。この仮定のもとに誘導した空気中の水蒸気の濃度 C_x は先に報告したように⁽⁵⁾次式のように示される。

$$C_x = C_s \left\{ 1 - \left(1 - \frac{C_0}{C_s} \right) \exp(-Z) \right\} \dots \dots \dots (1)$$

ここに、 C_0 : $x=0$ における C_x の値, C_s : 空気室内飽和水蒸気濃度, C_0/C_s , C_x/C_s : それぞれ空気室入口と空気室内での相対湿度
また、 Z は次式で示される。

$$Z = \frac{A}{Q_N} \left[Lx - B \left\{ Q_N (C_x - C_0) - \frac{W_3}{S} Lx \right\} \right] \dots \dots \dots (2)$$

ここに、 S : 電極面積, L : 空気室の横幅,
 A : 物質移動係数⁽⁶⁾に比例する定数, B : 電解質層の水浸透抵抗に逆比例する定数

このうち、 A は実験式が得られており、層流の場合には次のように表される⁽⁷⁾。

$$A = \alpha \cdot \text{Re}^{0.5} \cdot \text{Pr}^{0.33} D_a / d \dots \dots \dots (3)$$

ここに、 Re : レイノズル数, Pr : プランク
トル数, D_a : 水蒸気の拡散係数, d : 空気室
奥行, α : 定数

また、 $Q_N C_x = W(x)$, $Q_N C_s = W_s$ (最大蒸発可能水分量), $Q_N C_0 = W_4$ (供給空気中の水分量) であり、定数 A は (4) 式のように示されるので、(2) 式は (5) 式のように表される。

$$A = k(Q_N/L)^{0.5} \cdot 1/d \dots \dots \dots (4)$$

$$W(x) = W_s \left\{ 1 - \left(1 - \frac{W_4}{W_s} \right) \exp(-Z) \right\} \dots \dots \dots (5)$$

ここに、 Z は次式で表される。

$$Z = k \left(\frac{L}{Q_N} \right)^{0.5} \frac{x}{d} \left\{ 1 - B \left(\frac{W(x) - W_4}{Lx} - \frac{W_3}{S} \right) \right\} \dots \dots \dots (6)$$

すなわち、この (5) 式が空気流量 Q_N において、空気室内の x 点での空気極からの蒸発可能水分量 $W(x)$ を示すことになる。

〈2・3〉 空気極水バランスと性能安定化との対応

一つのセルの空気極内で図3に示した3段階の変化が見られると予想したが、このことを前節の (5) 式を使って以下に述べる。

図4(a)は空気室内流路方向 x に対して、 $W(x)$ と W_3 をモデル的に示したものである。空気極ではどの場所でも単位面積当たりの生成水量 W_3 が同じとみて、図5(a)上では x に比例する。これに対して、 $W(x)$ は空気流量 Q_N によって変わり、 x の増加と共に飽和の傾向にある。そこで、空気極幅方向の分布はないとみなして、 x 方向に対して $dW(x)/dx$ をとると、この値は x における水蒸発可能速さに関係した値となる。この $dW(x)/dx$ は次式のように示される。

$$\frac{dW(x)}{dx} = k \left(\frac{L}{Q_N} \right)^{0.5} \frac{W_s}{d} \left(1 - \frac{W_4}{W_s} \right) \left\{ \left(1 + \frac{W_3}{S} \right) - \frac{B}{L} \frac{dW(x)}{dx} \right\} \exp(-Z) \dots \dots \dots (7)$$

$$\frac{dW(x)}{dx} = \frac{1 + W_3/S}{\frac{B}{L} + \frac{1}{k(L/Q_N)^{0.5}(1/d)\{W_s - W(x)\}}} \dots \dots \dots (8)$$

これより、 $B=0$ のとき

$$\frac{dW(x)}{dx} = k \left(\frac{L}{Q_N} \right)^{0.5} \frac{1}{d} \left(1 + \frac{W_3}{S} \right) \{ W_s - W(x) \} \dots \dots \dots (9)$$

そこで、図4(a)に対応して $dW(x)/dx$ を示すと (b) 図のようになる。ここでは、空気極生成水分量は単位面積当たりどこでも同じとしているので、 $B=0$ とみなして dW_3/dx を示すと一点鎖線のようにフラッ

図 4 空気室内空気中水分量のシミュレーションモデル図

Fig. 4. Simulation model of water in air of air chamber.

トになる (B を変数として取扱う折には、後述のように空気極の生成水分量は一定として、 $W(x)$ の計算のほうで考慮した)。(b)図から、曲線 $dW(x)/dx$ が dW_3/dx より大きい領域では、図 3 に示した(i)の条件が見られ、空気流量 Q_{N3} の場合でみると x が大きくなる (空気室出口に近づく) と共に順次(ii)から(iii)の条件が見られることになる。

性能安定化には空気極の水バランスを保つことが必要であるから、そのためには図 4 (b)で $dW(x)/dx$ と dW_3/dx の差は小さくすることである。そこで便宜上 Δ を (10) 式のように定義すると、この Δ を小さくすることが性能安定化にとって必要条件となる。

$$\Delta = \frac{dW(x)}{dx} \Big|_{x=0} - \frac{dW(x)}{dx} \Big|_{x=p} \dots\dots\dots (10)$$

ここに、 p : 空気極高さ方向の寸法

$B=0$ のとき

$$\Delta = \frac{k}{d} \left(\frac{L}{Q_N} \right)^{0.5} \left(1 + \frac{W_3}{S} \right) (W_P - W_4) \dots\dots\dots (11)$$

ところで、次章で述べるシミュレーション結果の整理方法として、この Δ と $dW(x)/dx|_{x=p} = W/P$ の場合の Q_N (図 4 (b)では Q_{N2} に相当) を Q_{NP} と定義した値とで示す。

以上述べてきたところから、 Δ を小さくする方法として、詳細は後述するが、(8)、(11)式より L を小さくする、 d や W_4 を大きくする、 B を大きくすることなどが考えられる。

3. 空気室内蒸発可能水分量のシミュレーション結果と検討

〈3・1〉 定数 k の算出ならびに $dW(x)/dx$ と dW_3/dx との関係 (5)式や(7)式の計算に当たって、定数 k を算出する必要がある。そこで、この定数を求めるに

図 5 空気流路方向の距離 x とその時点における生成水 $dW(x)/dx$ ならびに蒸発可能水分量 dW_3/dx との関係

Fig. 5. Relationships between x and $dW(x)/dx$, dW_3/dx .

当たって、運転実績のあるセルにおいて空気流量 Q_N が 1 l/min としたとき最も性能が良かった (この場合 $B=0$ としている) ことから、この条件から計算し、 $0.01(l/min \cdot cm)^{0.5}$ が得られた。なお、計算に当たっては特にことわらない限り電池は $60^\circ C$ 、 $40 \text{ mA}/\text{cm}^2$ で、 $25^\circ C$ 、 $60\% \text{ RH}$ の雰囲気 で運転する場合を標準とした。この k を用いて、運転実績のあるセルの Q_N をパラメータとした x と $dW(x)/dx$, dW_3/dx の関係を図 5 に示す。同図では当然ながら Q_N が 1 l/min において、 $x=p$ で曲線と一点鎖線が一致している。また、空気室内で $W(x)$ が蒸発したときの相対湿度 $Y = C_x/C_s$ を見ると、 Q_N が小さいと湿度も高くなり、 Q_N が 1 l/min では空気室出口で約 70% RH になる。

ところで、同図の $dW(x)/dx$ と dW_3/dx を比較した結果をまとめて次に示す。

まず、空気流量をセル当たり 0.6 l/min 送風した折には、空気室入口から中程までは $dW(x)/dx$ が dW_3/dx より大きく、空気極の生成水を蒸発させてもなお能力があまっている。しかし、この程度の状態ではメタノール極からの水分の補給で空気極が乾燥しないように保たれるとみられる。ところが、空気室出口付近では、生成水を蒸発できずに空気極に水分を残すこととなる。これを物理的に除去しないと水がたまりすぎて空気の浸入孔をふさぐことによって性能が不安定になる可能性もでてくる。一方、空気流量が 1.8 l/min まで大きくなりすぎると、空気極のどの場所でも生成水の残留より蒸発能力が上回るので、メタノール極からの水の補給が追いつかないと空気極が乾燥することとなる。特に、空気室入口付近ではそのような可能性が大きい。空気流量が経験的に、1 l/min 前後のところ で安定な性能を維持したことにより、 Δ が

5 $\mu\text{L}/\text{cm}\cdot\text{min}$ 以下に保つよう空気流量を調節する必要があるであろう。

〈3・2〉 セル構造 Δ との関係

(1) 電極面積 S と Δ との関係 前節で算出した k 値を用いて、電極面積の違った場合のセルに対して Δ と Q_{NP} を計算した結果を図6に示す。同図には燃料電池の運転で得られた Q_{NP} の実測値も示した。同図に示すように、 d の寸法が違っているが電極面積比較で S が大きくなると Δ も大きくなるが、 d を大きくすることで改良されることを示唆している。また、燃料電池の運転で性能が安定になるときの経験によって得られた Q_{NP} の実測値はほぼ計算値近傍にあることがわかる。

(2) 空気室奥行 d と Δ との関係 空気室奥行 d と Δ との関係について検討した一例を図7に示す。同時に、同図中には Q_{NP} と Y についても併記した。同図に示したように、 Δ を小さくするうえにおいて d を大きくする効果の大きいことがわかる。このように d を大きくすることによって、 Δ が小さくなるが Q_{NP}

図6 電極面積 S と Δ , Q_{NP} との関係
Fig. 6. Relationships between electrode area and Δ , Q_{NP} .

図7 空気室奥行 d と Δ , Q_{NP} との関係
Fig. 7. Relationships between air chamber depth and Δ , Q_{NP} .

が上昇し、 Y が低下していることからわかるように、空気室内で空気極から空気中への水分の蒸発効率を悪くして Δ を小さくしているためである。

〈3・3〉 定数 B と Δ との関係 定数 B は(2)式中の定数であるが、この値を変えた場合の Δ と Q_{NP} を計算して図8に示す。同図に示すように、 B が大きくなると Q_{NP} がほとんど変わらないで Δ が小さくなるのがわかる。このとき、 $B=0$ の場合に比べ Δ が小さくなった分だけ水の蒸発が増えたとみることができる。 B を大きくするには、電極触媒層を厚くして保水量を増やすか、親水性をあげるなどが考えられる。他の方法はイオン交換膜の水浸透抵抗の小さな材料を選ぶことである。この場合には、水浸透抵抗を小さくすることはメタノールの透過係数を大きくすることにもなり好ましくないで、燃料電池のシステムとして総合的に判断する必要がある。例えば、現在使用しているイオン交換膜の場合、 B は $210 \text{ cm}^2\cdot\text{min}/\text{ml}$ であり、図8から見ると $B=0$ のときに比べ Δ が40~50%小さくなっている。

図8 (6)式における B 値と Δ , Q_{NP} との関係
Fig. 8. Relationships between B value on Eq. (6) and Δ , Q_{NP} .

図9 セル電圧と空気流量との関係
Fig. 9. Relationships between cell voltage and air flow rate.

この B を大きくする効果は、空気室空気入口付近の空気極が水不足の状態から、この不足の程度に応じた水の浸透があり、水バランスを好適に保つ方向に作用することにある。従って、空気流路の下流側では水の浸透が見られず、空気流量も多くすることなく Δ を小さくできることになる。

親水性を強化して性能安定性を示した実験結果を図 9 に示す。すなわち、空気極触媒層に強酸の電解質を処理して親水性を強化したところ、空気流量の小さいところは酸素不足となるため性能低下は否めないが、触媒層の親水性の改善によって、空気流量の大きなところまで空気流量の広い範囲にわたって性能が安定化しており、その効果が認められる。

〈3・4〉 運転条件と Δ との関係

(1) 雰囲気の変化と Δ との関係 雰囲気が変わった場合の Δ を求めるにあたって、雰囲気の変化による空気室へ送風される空気中の水分 W_1 を燃料電池の運転温度である 60°C の相対湿度に換算した値で示した。すなわち、温度 T における飽和水蒸気の密度 σ_T は次式で示される。

$$\sigma_T = 10^{5.652 - 2.175 \times 10^3 / (273.15 + T)} \quad (\text{m/l}) \quad \dots (12)$$

従って、雰囲気の相対湿度を RH_{T_1} とすると、

$$C_0 = \frac{\text{RH}_{T_1}}{100} \times \sigma_{T_1} \quad \dots (13)$$

$C_5 = \sigma_{T_2}$ であるから、換算値 RH_{T_2} を導入した次式によって Δ を計算した。

$$\frac{C_0}{C_5} = \frac{\text{RH}_{T_1}}{100} \frac{\sigma_{T_1}}{\sigma_{T_2}} = \frac{\text{RH}_{T_2}}{100} \quad \dots (14)$$

計算結果の一例を図 10 に示す。同図には Q_{NP} も示した。同図に示すように、雰囲気の水蒸気分圧が増える（あるいは調湿によって、空気室入口部で水分を供給することでもよい）ことによって、 Δ が小さくなっており、性能安定化の改善効果が期待できる。しかしながら、 Q_{NP} を大きくする必要ができてくるので、む

図 10 相対湿度と Δ , Q_{NP} との関係
Fig.10. Relationships between relative humidity and Δ , Q_{NP} .

やみに増すことはできない。

(2) 燃料電池の電流密度、温度変化と Δ との関係 燃料電池の電流密度 J が変わった場合の Δ を計算して図 11 に示す。電流密度が大きくなると、図 2 に示したように空気極生成水が多くなるので、図 11 に示したように Q_{NP} は増加する。

次に、燃料電池温度 T_2 に対して Δ を計算して図 12 に示す。このときには、温度上昇と共にイオン交換膜のメタノール透過係数は大きくなる⁽³⁾として Δ を計算している。同図に示すように、温度上昇と共に Δ は増加するが、 Q_{NP} は減少している。 Q_{NP} が減少するのは、温度上昇にともない飽和水蒸気密度 σ_{T_2} が大きくなるためである。

〈3・5〉 考 察 燃料電池の安定な性能を維持した運転にとって、空気極の水バランスを好適に保つことが最も大切である。そのため、空気極の生成水とこれを送風空气中に蒸発させて排出する過程の計算を

図 11 電流密度 J と Δ , Q_{NP} との関係
Fig.11. Relationships between current density J and Δ , Q_{NP} .

図 12 燃料電池の温度 T_2 と Δ , Q_{NP} との関係
Fig.12. Relationships between temperature of fuel cell and Δ , Q_{NP} .

行った結果、 d を小さくする対策をとることが必要であることがわかった。この対策として d を大きくするか、 B を大きくすることが最も効果がある。 d を大きくすることは、前述のように構造が大きくなることや空気流量が増えることもあって、その適用範囲には制約がある。一方、 B を大きくするためには、空気極を厚くして保水量を増やすか、図9の結果が示すように電解質を付与して親水性を強化することである。このことによって燃料電池の空気室空気流路方向の水の拡散を良くして不均一を防止できる。他の対策として、イオン交換膜の水浸透抵抗を小さくしてメタノール極からの水の移動をよくすることもとりうるが、同時にメタノール透過係数も大きくなるので、そのバランスが問題となる。前報で述べたように⁽⁶⁾、電解質層として高分子固体電解質を用い硫酸を使わない燃料電池においてはイオン交換膜の水浸透抵抗が小さくなり、上記の目的が達成される。

更に、送風空気をあらかじめ調湿することも効果が見られる。しかし、空気流量が増えることにもなるので適用範囲に制限を受ける。

4. む す び

メタノール燃料電池の高効率で安定な性能を維持するうえで、空気極における水バランスを良好に保つことが不可欠である。そこで、空気極における水の生成と送風空気による水排出についての理論式を誘導した。これを基に燃料電池の構造や運転条件が違った場合のシミュレーションを行い、水バランスを好適に保つための対策を検討した。その結果得られた主な結果を以下に示す。

(1) 空気室の奥行を大きくすることは効果が大きい、構造が大きくなることや空気流量が増えるので適用範囲に限界がある。

(2) 空気極を厚くし保水量を増やすか、電解質を付与して親水性を強化することも効果があり、適用範囲が広いので実用的である。

(3) イオン交換膜の水浸透抵抗を小さくすることも効果があり、電解質層に高分子固体電解質を用い硫酸を使用しないシステムではこれが達成される。ただ、メタノール透過量も増えるので燃料の濃度制御を良くする必要がある。

その他、燃料電池運転時の雰囲気の影響や電流密度が変わった場合などについて解析した。

本論文は、メタノール燃料電池ばかりでなく他の燃料電池においても、好適な運転に不可欠な設計上の諸問題解決策を提起できたと考えている。

最後に、本研究に対し種々御指導いただいた当所メタノール燃料電池開発担当者各位に深謝いたします。

(平成3年9月26日受付)

文 献

- (1) 津久井・田村：「液体燃料使用の燃料電池」，電学誌，104，40（昭59-1）
- (2) G. Ciprios：「The Methanol-Air Fuel Cell Battery」，Inter-society Energy Conversion Engi. Conf.，p. 9（1966-11）
- (3) 津久井・土井・清水：「メタノール燃料電池の燃料利用率向上法に関する考察」，電学論B，105，1033（昭60-12）
- (4) 津久井・土井・清水：「メタノール燃料電池の高効率運転方法についての考察」，同上B，107，549（昭62-11）
- (5) 津久井・土井・雨川：「メタノール燃料電池の燃料消費量と空気極の水バランスについての考察」，同上B，109，299（平元-7）
- (6) 化学ハンドブック編集委員会：化学ハンドブック，p. 696（昭53）オーム社
- (7) 日本機械学会編：機械工学便覧，11（昭35）日本機械学会
- (8) 津久井：「メタノール燃料電池のメタノール・水の消費量に与える硫酸濃度の影響」，電学論B，112，185（平成4-2）

津久井 勤（正員）

昭和13年2月22日生。36年名古屋工業大学電気工学科卒業。同年(株)日立製作所入社。日立研究所において高電圧絶縁の研究に従事。主として、回転機用コイル絶縁の開発を担当。その後、放電応用機器、燃料電池の開発、電子機器絶縁の信頼性の研究を担当し、現在に至る。工学博士。58年電気学会論文賞受賞。電気化学協会、プリント回路学会会員。

朝 日 聖 隆（非会員）

昭和39年9月30日生。62年岩手大学応用化学科卒業。同年(株)日立機械エンジニアリング入社。入社以来、燃料電池の開発に従事し、現在に至る。