Effect of Antioxidants on DC Tree and Grounded DC Tree in XLPE

Hiroshi Kawanami Student Member (Chiba Institute of Technology)

Isao Komatsu Student Member (Chiba Institute of Technology)

Yasuo Sekii Member (Chiba Institute of Technology)

Mitsugu Saito Non-member (Chiba Institute of Technology)

Kazuyuki Sugi Non-member (Chiba Institute of Technology)

Keywords : DC tree, grounded DC tree, antioxidant, XLPE, charge trapping effect, charge injection

To study the effects of antioxidants on generation of DC trees and grounded DC trees, experiments were conducted using XLPE samples containing phenolic and sulfur type antioxidants. Table 1 shows samples used for the experiments. Sample No. 1 (N) in Table 1 is XLPE with no additives; Nos. 2 and 3 are XLPE

Table 1. Sample details

No.	Added Antioxidant	Content (%)	Note
1	N	-	XLPE (No additive)
2	A	0.2	XLPE (with phenolic antioxidant)
3	B	0.2	
4	C	0.2	XLPE (with sulfur antioxidant)

N: No additive

A: 4,4'-Tiobis(3-methyl-6-tert-butylphenol)

B: 2,2'-methylene-bis(4-methyl-6-tert-butylphenol)

C: Dilauryl thiodipropionate

samples containing phenolic antioxidants A, B. Number 4 is a sample containing sulfur type antioxidant C.

Experiments were conducted using specimens with an inserted needle electrode with a 3 μm tip radius of curvature. Tree inception voltages (TIVs) of DC trees and grounded DC trees were estimated using an optical microscope (200x).

The 50% TIVs of all samples are shown in Figs. 1 (a) and 1 (b). The results illustrate that the respective inception voltages of the negative DC trees are higher, in all samples, than those of the positive trees. However, the TIVs of the grounded positive DC trees are higher than those of the negative trees. Regarding antioxidant effects, the experiments showed that sulfur type antioxidant C increases the respective TIVs of the DC trees and the grounded DC trees. Phenolic antioxidant A increases the TIVs of DC trees and grounded DC trees.

Fig. 1. 50% TIVs of DC trees and grounded DC trees of XLPE

Based on results of experiments, the mechanisms of tree inception of the DC trees and the grounded DC trees were examined along with the mechanism of polarity effects of those trees. The DC tree is thought to occur at the site where the electric stress is sufficiently high to be greater than the dielectric strength of the material. The reason for the higher TIVs of the negative DC trees was inferred to be the greater stress-relieving effect of the greater amount of injected negative charges than positive charges. In the case of the grounded DC tree, trees are generated at the site of high electric field produced by the returning injected charges when applied DC voltages are grounded. The higher electric field is produced, in this case, by returning a greater amount of negative charges. This could be the reason for lower TIV of grounded negative DC trees than that of the grounded positive DC tree.

Considering these mechanisms of tree inception of the DC trees, and the grounded DC trees, the respective effects of antioxidants on suppressing them were examined. The tree-suppressing effect of sulfur type antioxidants on the grounded DC trees was presumed to cause the trapping effect for the returning charges at grounding. It was also inferred that enhancing effects for charge injection from the metal electrode might be responsible for the increased TIVs of antioxidant-added XLPEs.

架橋ポリエチレンの直流トリートと直流接地トリートに及ぼす 添加剤の効果

学生員 川波 博司* 学生員 小松 功*
正 員 関井 康雄* 非会員 斉藤 貢*
非会員 杉 和幸*

Effect of Antioxidants on DC Tree and Grounded DC Tree in XLPE

Hiroshi Kawanami*, Student Member, Isao Komatsu*, Student Member, Yasuo Sekii*, Member, Mitsugu Saito*, Non-member,
Kazuyuki Sugi*, Non-member

To study the effects of antioxidants on the initiation of the DC tree and the grounded DC tree, experiments were conducted using XLPE specimens containing phenolic and sulfur type antioxidants. Experimental results showed that sulfur type antioxidants in XLPE have the effect of increasing inception voltages of both the DC tree and the grounded DC tree. Based on results of those experiments, the mechanism of increase in the inception voltage of the DC tree and the grounded DC tree by antioxidants was examined along with the mechanism of polarity effects on those trees. Results showed a promotional effect of charge injection from a needle electrode by antioxidants, which are responsible for the increased inception voltages of the DC tree. Charge trapping by antioxidants explains the increase of inception voltages of the grounded DC tree.

キーワード : 直流トリート, 直流接地トリート, 架橋ポリエチレン, 電荷トラップ効果, 電荷注入

Keywords : DC tree, grounded DC tree, antioxidant, XLPE, charge trapping effect, charge injection

1. はじめに

電気トリート現象は絶縁体に生ずる劣化現象であり、ひとたび電気トリートが発生すると絶縁体中を進展し、やがて絶縁破壊に至る。このため、電気トリート現象についてはこれまで多くの研究が行われており、トリート発生・進展のメカニズムやトリートの発生に及ぼす空間電荷の影響、添加剤の効果などについて研究が行われ、その成果が報告されてきた⁽¹⁾⁽²⁾。これらの研究のうち、直流電圧印加時に発生する直流トリートや印加した直流電圧を接地したときに生じる直流接地トリートについては吉村氏⁽³⁾、縄田氏⁽⁴⁾、河村氏⁽⁵⁾⁽⁶⁾、福沢氏⁽⁷⁾、箕田氏⁽⁸⁾らにより実験的研究が行われている。これらの研究により、直流トリートや直流接地トリートの発生メカニズムや、空間電荷効果に関する多くの知見が得られている。例えば、河村氏らは XLPE (架橋ポリエチレン) の直流トリートについて実験を行い、直流トリートの及ぼす架橋剤分解残渣の影響について検討し、分解残渣が残留する未乾燥

XLPE と残渣を揮散させた乾燥 XLPE とで、トリート発生電圧に大きな違いのあることを示し、未乾燥 XLPE のトリート発生電圧が高いのは残渣成分の一つであるアセトフェノンの電荷トラップ効果によると考察している⁽⁵⁾。同氏らはまた VA 含有の異なる EVA (エチレン酢酸ビニル共重合体) の直流トリート現象について検討を行い、VA 含量が大きくなるにつれて直流トリート発生電圧が低下することを実験で示し、これは VA 含有の増加に伴って電圧印加時に電極から注入される電荷量が増加するためと説明している⁽⁶⁾。これら各氏の検討結果から、直流トリートや、直流接地トリートの発生・進展においては、電圧印加時に絶縁体中に形成される空間電荷が大きな役割を果たしていることが明らかにされている。これら先人の研究を踏まえ、今回筆者らは、これ迄あまり検討されていない XLPE 中に添加されている酸化防止剤の直流トリートや直流接地トリートに対する効果について検討するため、フェノール系酸化防止剤とイオウ系酸化防止剤を添加した XLPE 試料を用い、直流トリートと直流接地トリート発生に及ぼす酸化防止剤の効果について検討した。本論文はその結果についてまとめたものである。

* 千葉工業大学
〒275-0016 習志野市津田沼 2-17-1
Chiba Institute of Technology
2-17-1, Tsudanuma, Narashino 275-0016

2. 試料及び実験方法

表 1 に実験に用いた試料の内訳を示す。表 1 中の No.1 は酸化防止剤を含まない XLPE 試料 (無添加試料), No.2, No.3 はフェノール系酸化防止剤を添加した試料, No.4 はイオウ系酸化防止剤を添加した試料である。

表 2 に試料に添加した酸化防止剤の内訳を示す。添加した酸化防止剤はフェノール系酸化防止剤 A, B とイオウ系酸化防止剤 C である。

トリー実験用試料は電線グレードの低密度ポリエチレンを用い, DCP2%と酸化防止剤 0.2%を添加し混練させた後, 加熱プレスを用いて 180℃で架橋させた。作成した試料は, 80℃の真空恒温槽中で 48 時間乾燥し, 架橋剤分解残渣を揮散させた。各試料より図 1 に示すような (25×20×4) mm のブロックを切り出し, 高压側電極として先端曲率半径 3 μm

表 1 供試料の内訳

Table 1. Details of samples.

No	Added Antioxidants	Content (%)	Note
1	-	-	Non-added sample
2	A	0.2	Antioxidants- added sample
3	B	0.2	
4	C	0.2	

表 2 酸化防止剤の内訳

Table 2. Details of Antioxidants added to XLPE samples.

	Antioxidants	Chemical Structure
A	4,4'-Tio bis (3-methyl-6-tert-butylphenol)
B	2,2'-Methylenebis (4-methyl-6-tert-butylphenol)
C	Dilauryl thiodipropionate

図 1 針電極と試料形状

Fig. 1. The needle electrode and specimen configuration.

(先端角度: 30 度)の針電極を電極間距離が 5mm となるように挿入した。対向する試料面には銀ペーストを塗布し, 低压側電極とした。この実験試料を 5 個ずつ準備し, 直流電圧 10kV~40kV (2kV 間隔) を 5 個の試料に同時に 10 分間印加した後, 接地せずに電圧を下げ, 電圧がゼロに達した後に試料をとりはずし, 光学顕微鏡で観察しトリー (直流トリー) 発生の有無を調べた。顕微鏡の倍率は 200 倍とした。これにより最小 5 μm 長のトリーの観察が可能であった。5 個の試料中でトリーが発生しているものの数を数え, トリー発生率を求めた。一方, 直流電圧を 10 分間印加した後に, 接地を行ったときに発生する「直流接地トリー」の有無も 200 倍の光学顕微鏡により調べた。

3. 実験結果

〈3・1〉 無添加試料の実験結果

〈3・1・1〉 トリー発生電圧 図 2 は無添加試料の印加電圧とトリー発生率の関係を示したものである。また, 図 3 は図 2 から求めた 50%トリー発生電圧を棒グラフで示した図である。図 3 より正極性, 負極性何れの場合も直流トリーの方が直流接地トリーよりもトリー発生電圧が高いことがわかる。また直流接地トリーは正極性の方がトリー発生電圧が高いのに対し, 直流トリーは負極性の方がトリー発生電圧が高いことがわかる。

図 2 トリー発生電圧 (無添加試料)

Fig. 2. Tree inception voltages of DC tree and grounded DC tree (XLPE containing no antioxidants).

図 3 50%トリーの発生電圧 (無添加試料)

Fig. 3. 50%tree inception voltages of DC tree and grounded DC tree (XLPE containing no antioxidants).

図4 トリーの顕微鏡写真

Fig. 4. Microphotographs of DC tree and grounded DC tree.

〈3・1・2〉 トリー形状 図4(a)～(d)は正極性と負極性の直流トリートと直流接地トリートの写真である。図4(a),(c)は正極性電圧印加時のトリートで、針先端から枝分かれした太いトリートが発生している。これに対して、図4(b),(d)の負極性電圧印加時のトリートは、針先端から1本もしくは2本だけ細いトリートが発生している。また、正極性のトリートの長さは長い、負極性のトリートは短いことがわかる。図4(a)と図4(c)及び図4(b)と図4(d)を比べてもほとんど違いがないので、個々のトリート形状は異なるが極性が同じであれば、直流トリートと直流接地トリートの形状の特徴はほとんど変わらないことがわかる。

〈3・2〉 酸化防止剤添加試料の実験結果 図5～図8に酸化防止剤添加試料の実験結果を示す。図5は正極性の直流電圧を印加したときの直流トリートの実験結果、図6は正極性の直流電圧を印加したときの直流接地トリートの実験結果である。図5より酸化防止剤C添加試料がトリート発生電圧を上昇させていることがわかる。また図6より、酸化防止剤B添加試料と酸化防止剤C添加試料のトリート発生電圧が僅かながら上昇していることがわかる。図7は負極性の直流電圧を印加したときの直流トリートの実験結果、図8は負極性の直流電圧を印加したときの直流接地トリートの実験結果である。これらの図から、直流トリート、直流接地トリートの何れも酸化防止剤A添加試料と酸化防止剤C添加試料が、無添加試料に比べトリート発生電圧が上昇していることがわかる。

表3は各試料の正、負極性の直流トリートと直流接地トリートの50%トリート発生電圧を示したものであり、図9、図10は表3に示した結果を棒グラフに示したものである。表3

図5 直流トリート発生電圧 (正極性)

Fig. 5. Inception voltages of DC tree (positive polarity).

図6 直流接地トリート発生電圧 (正極性)

Fig. 6. Inception voltages of grounded DC tree (positive polarity).

図7 直流トリート発生電圧 (負極性)

Fig. 7. Inception voltages of DC tree (negative polarity).

と図9、図10から何れの酸化防止剤を添加した場合も、直流トリートでは負極性電圧を印加した場合の方が、正極性を印加した場合よりもトリート発生電圧が高くなっており、直流接地トリートでは正極性の方が、負極性よりもトリート発生電圧が高くなっていることが分かる。酸化防止剤の効果についてみてみると、酸化防止剤Cを添加した試料は正、負何れの極性の場合も直流トリート、直流接地トリートとも無添加試料に比べ50%トリート発生電圧が高くなっていることがわかる。一方、酸化防止剤A添加試料は、負極性の直流トリートと直流接地トリートの50%トリート発生電圧が無添加試料より高くなっている。また、酸化防止剤B添加試料は

図 8 直流接地トリー発生電圧（負極性）

Fig. 8. Inception voltages of grounded DC tree (negative polarity).

表 3 50% トリー発生電圧

Table 3. 50% tree inception voltage of DC tree and grounded DC tree (XLPE containing no antioxidants).

	DC tree		grounded DC tree	
	positive	negative	positive	negative
Non-added sample	25	31	19	13.5
A	23.5	35.5	19	17
B	23	27	21	13.5
C	32	33	21	17.5

図 9 50% トリー発生電圧（直流トリー）

Fig. 9. 50%tree inception voltages (DC tree).

図 10 50% トリー発生電圧（直流接地トリー）

Fig. 10. 50%tree inception voltages (grounded DC tree).

わずかではあるが、正極性の直流接地トリーの発生電圧が高くなっている。このような酸化防止剤のトリー発生に及ぼす効果については次章で考察する。

4. 考 察

〈4・1〉 直流トリーおよび直流接地トリーの発生機構と極性効果

直流トリーは、電極端の電界強度が電極に接する絶縁体の絶縁破壊強度を超えると生じる絶縁破壊の痕跡として観察されるものと考えられる。直流トリーの発生電圧は負極性の方が正極性よりも高いが、これは Mason 氏らが指摘しているように、負電極から絶縁体中に注入される電荷量が正電極からの注入電荷量よりも多いため、図 11(a),(b)に示すように、電極先端の実効的な曲率半径が電極形状で定まる曲率半径よりも大きくなり、(1)式で与えられる針電極先端の電界強度 $E_{\max}^{(9)}$ が実効的に低下する「注入電荷による電界緩和効果」が、負電極端の方が正電極端よりも大きくなるため、同一電圧に対して負電極端の電界強度が、正電極端の最大電界強度より低くなるためと考えられる。⁽³⁾⁽⁹⁾ 一方、直流接地トリーは絶縁体内に注入された電荷が接地時に電極に戻る際に形成される逆方向電界が、絶縁体の絶縁破壊強度を超えると絶縁破壊を生じ、トリーとして観察されることが考えられる。接地時に形成される逆電界の強さは注入電荷量によって異なり、注入電荷量が多いほど強い電界が形成されることが考えられる。図 12 (a),(b)は、正電極端と負電極端の接地時における電荷移動の様子を示したものである。前記の通り、電極からの注入電荷は負電荷の方が正電荷よりも多く、このため、接地時に形成される逆電界も負電荷による電界の方が正電荷による電界よりも強くなるため、負極性の方が低い電圧でトリーが発生すると考えることができる。

$$E_{\max} = \frac{2V}{2.3r \log \left(1 + \frac{4d}{r} \right)} \quad (1)$$

$E_{\max}$: The maximum electric field strength

V : Applied voltage

r : Tip radius of curvature

d : The distance between the needle electrode and the grounded electrode

⊕ Injected Positive ⊖ Injected electron ⊙ Pseudo electrode tip charge

The amount of injected negative charge is greater than that of the positive charge

図 11 針電極端からの注入電荷（無添加試料）

Fig. 11. Injected charges at the tip of needle electrodes (Non-added XLPE).

図 12 電極接地時の電荷の動き (無添加試料)

Fig. 12. Movement of injected charges when electrodes are grounded (Non-added XLPE).

〈4・2〉 直流トリーの発生に及ぼす酸化防止剤の影響

前述のように、直流トリーは印加電圧によって電極端に形成される電界強度が、電極に接する絶縁体の絶縁破壊強度を超えると生じる絶縁破壊の痕跡と考えられる。図 9 に示したように、正極性電圧印加の場合には、酸化防止剤 C を添加した試料のトリー発生電圧が無添加試料のトリー発生電圧よりも上昇しており、また負極性電圧印加の場合には、酸化防止剤 A を添加した試料のトリー発生電圧が、無添加試料のトリー発生電圧よりも上昇している。すなわち、酸化防止剤 C は正極性のトリー発生電圧を、酸化防止剤 A は負極性のトリー発生電圧を上昇させる効果をもたらしている。酸化防止剤添加試料のトリー発生電圧の上昇は、電極からの注入電荷による電界緩和効果が酸化防止剤の添加により増大したためと考えられる。そして、酸化防止剤 C には正電荷の注入を促進する効果があり、酸化防止剤 A には負電荷の注入を促進する効果があると考えられる。これらの電荷注入促進効果によって、電極からより多くの電荷が注入され、電極端の電界をより大きく緩和することにより、トリー発生電圧を上昇させていると考えることができる。図 13(a),(b)は酸化防止剤添加試料の正電極端と負電極端における電荷注入の様相を示したものである。

一方、前述のように直流接地トリーは絶縁体内に注入された電荷が、接地時に電極に戻る際に形成される逆方向電界による絶縁破壊の痕跡と考えられる。接地時に形成される逆電界は電極に戻る電荷が多いほどより強いと考えられる。酸化防止剤添加試料の場合、添加されている酸化防止剤が電荷に対するトラップとして作用することが考えられ、注入電荷の一部がこれらのトラップに捕捉されるため、電極に戻る電荷量が減少し、接地時に形成される逆電界が弱められると考えられる。トリー発生電圧の上昇はこのようなメカニズムにより生じたものと推定される。図 14(a),(b)は正電極端と負電極端の電荷移動の様子を示したものであ

図 13 針電極端からの注入電荷 (酸化防止剤添加試料)

Fig. 13. Injected charges at the tip of needle electrodes (antioxidants-added XLPE).

図 14 電極接地時の電荷の動き (酸化防止剤添加試料)

Fig. 14. Movement of injected charges when electrodes are grounded (antioxidants-added XLPE).

る。前述のように、河村氏らは XLPE 中に残留するアセトフェノンが電荷に対するトラップとして働くと考えられているが⁶⁾、筆者らは XLPE 中に添加された酸化防止剤も同様の効果をもたらすものと推察している。図 10 に示したように、酸化防止剤添加試料の直流接地トリーの発生電圧が無添加試料と比べた結果は、負極性電圧印加の場合には、酸化防止剤 A,C を添加した試料のトリー発生電圧が無添加試料よりも上昇している。すなわち、酸化防止剤 A,C は、負極性の直流接地トリー発生電圧の上昇をもたらしている。この電圧上昇が、トラップ作用によるものとするれば、酸化防止剤 A,C には負電荷をトラップする作用があると考えられる。一方、正極性電圧印加の場合には、わずかであるが酸化防止剤 B,C を添加した試料のトリー発生電圧が無添加試料より

も上昇している。このことから酸化防止剤 B,C に正電荷をトラップする効果があると考えられる。しかし、この場合のトリート発生電圧の上昇は小さいので、トラップ効果によると考えてよいかどうかは疑問で、今後さらに詳しい検討が必要と考えている。

5. むすび

直流電圧印加時に発生する直流トリートと、印加電圧を接地した時に発生する直流接地トリートの極性効果、ならびに直流トリートと直流接地トリートに及ぼす酸化防止剤の効果について検討した。検討結果を要約すれば、次の通りである。

(1) 酸化防止剤添加の有無に拘わらず、直流トリートでは負極性、直流接地トリートでは正極性の方がトリート発生電圧は高いことを確認した。

(2) 試料に添加した酸化防止剤の中で、イオウ系酸化防止剤がトリート発生電圧を高くする効果があることを確認した。

(3) XLPE 中に添加したイオウ系酸化防止剤は、電極注入を促進する効果により直流トリート発生電圧を、また、注入電荷に対するトラップ作用により直流接地トリート発生電圧を上昇させると考察した。

(平成 17 年 6 月 20 日受付, 平成 17 年 12 月 19 日再受付)

文 献

- (1) 「有機絶縁材料のトリートイングについて」, 電気学会技術報告, No.100 (1971-9)
- (2) 「トリートイング劣化機構と高分子高次構造の影響」, 電気学会技術報告, No.854 (2002)
- (3) N. Yoshimura, T. Ota, Y. Satake, and F. Noto : "Tree Initiation in Polyethylene by Application of Impulse and DC Voltage", *T. IEE Japan*, Vol.96-A, No.9, pp.37-43 (1976-9) (in Japanese)
吉村 昇・太田敏久・佐竹良夫・能登文敏「衝撃電圧および直流電圧によるポリエチレン中のトリートの発生」, 電学論 A, **96**, 9, pp.37-43 (1976-9)
- (4) M. Nawata, H. Kawamura, and M. Ieda : "Treeing breakdown phenomenon in polyethylene produced by DC voltage", *T. IEE Japan*, Vol.95-A, No.10, pp.23-30 (1975-10) (in Japanese)
縄田正人・河村英昭・家田正之 : 「直流電圧によるポリエチレンのトリートイング破壊現象」, 電学論 A, **95**, 10, pp.23-30 (1975-10)
- (5) H. Kawamura, M. Nawata, and M. Ieda : "DC Treeing Breakdown of Crosslinked Polyethylene and Influence of Decomposition Remnants of Crosslinking Agent on space Charge Formation", *T. IEE Japan*, Vol.103-A, No.8 (1983-8) (in Japanese)
河村英昭・縄田正人・家田正之 : 「架橋ポリエチレンの直流トリートイング破壊と空間電荷形成に及ぼす架橋分解残渣の影響」, 電学論 A, **103**, 8 (1983-8)
- (6) H. Kawamura, M. Nawata, and M. Ieda : "Treeing Breakdown Phenomena Associated with the Space Charge Formation in Ethylene-Vinyl Acetate Copolymers", *T. IEE Japan*, Vol.104-A, No.2, pp.23-30 (1984-2) (in Japanese)
河村英昭・縄田正人・家田正之 : 「エチレン酢酸ビニル共重合体におけるトリートイング破壊の空間電荷効果」, 電学論 A, **104**, 2, pp.23-30 (1984-2)
- (7) M. Fukuzawa and M. Iwanoto : "Electrical treeing breakdown and measurement of space charge fields in an LDPE under a needle plane electrode system", *T. IEE Japan*, Vol.111-A, No.10, pp.916-922 (1991-10) (in Japanese)

福澤雅弘・岩本光正 : 「針一平板電極系における LDPE のトリートイング破壊と空間電荷測定」, 電学論 A, **111**, 10, pp.916-922 (1991-10)

- (8) A. Minoda, M. Nagao, and M. Kosaki : "Short-Circuit Treeing Phenomena and Space Charge Injection in EPR at Cryogenic Temperature", *T. IEE Japan*, Vol.117-A, No.2, pp.193-198 (1997-2) (in Japanese)
箕田充志・長尾雅行・小崎正光 : 「極低温領域におけるエチレンプロピレンゴムの短絡トリート現象と空間電荷の注入」, 電学論 A, **117**, 2, pp.193-198 (1997-2)
- (9) J. H. Mason : "Breakdown of Solid Dielectrics in Divergent Field", *Proc., IEE*, Vol.102, Pt.C, pp.254-263 (1955)

川 波 博 司

(学生員) 1981 年 7 月 23 日生。2004 年 3 月千葉工業大学工学部電気工学科卒業。同年 4 月同大学院工学研究科電気電子情報工学専攻入学、現在に至る。

小 松 功

(学生員) 1982 年 8 月 3 日生。2005 年 3 月千葉工業大学工学部電気工学科卒業。同年 4 月同大学院工学研究科電気電子情報工学専攻入学、現在に至る。

関 井 康 雄

(正員) 1936 年 9 月 8 日生。1965 年 3 月東京大学大学院修士課程修了。同年日立電線(株)入社。同社パワーシステム研究第一部長、主管研究長歴任。この間、絶縁材料に劣化の研究、高圧 CV ケーブルおよび接続部の開発研究に従事。1994 年 4 月より千葉工業大学教授。工学博士。技術士(電気電子部門)。静電気学会員, IEEE Life fellow。

斉 藤 貢

(非会員) 2003 年 3 月千葉工業大学工学部電気工学科卒業。2005 年 3 月同大学院工学研究科電気工学専攻修了。同年 4 月東京電力(株)入社。

杉 和 幸

(非会員) 1982 年 3 月 28 日生。2004 年 3 月千葉工業大学工学部電気工学科卒業。同年 4 月(株)ユアテック入社。