Vol.2014-CDS-10 No.12
2014/5/23

透明な漏液検知センサーの設計と評価

藤川真樹[†1]　宮﨑健太[†2]

工場や事業所では，製品の生産や顧客へのサービス提供のために何らかの液体を取り扱っており，通常，液体をタンクに貯蔵するとともに液体の漏出を検知できるセンシングデバイスを設置している．既存のセンシングデバイスは透明ではないため，今回著者らは、潜在的なニーズがあると考えられる「透明な漏液センシングデバイス」を開発した．漏液の検知原理は既存のセンシングデバイスと同じであるが，透明な基材（PET シートなど）の表面に形成する導電線の幅を細くすることで可視光透過率を高め，導電線をメッシュ化することで製品生産数比率の向上を図った．有効性と有用性を検証するために，著者らは設計したセンシングデバイスを 100 枚試作するとともに，比較的容易に入手できる数種類の液体を用いて当該デバイスの性能評価を行った．その結果，センシングデバイスがもつ可視光透過率は 84.9%と高く，不良品（ここでは，導電線の導通が確認できなかったもの）が発生することはなかった．また，電気伝導率が低い液体（油，アルコール）を除いた液体（水道水，蒸留水，弱酸・弱アルカリ液体，強酸・強アルカリ液体）をセンシングできることがわかった．導電線の形成には印刷技術を用いているため大量生産に適しており，市場への提供価格を低く設定することが可能である．

Design and Evaluation of Transparent Liquid Leakage Sensor

MASAKI FUJIKAWA[†1]　KENTA MIYAZAKI[†2]

Nowadays, most of manufactures and offices are handling and using certain liquid every day to produce products and to provide services for customers. In general, they store these liquid in their tank and install sensing devices to detect liquid leakage quickly. However, existing liquid leakage sensors are not transparent. Authors are considering that transparent sensing device has potential needs from customers. Because of this, authors have developed a transparent sensing device in this paper. Although our device's principle of liquid leakage detection mechanism is same as existing sensor, we have successfully created transparent sensor with high light transmission rate to reduce the width of conductive line, and it also has high extraction rate by using mesh conductive line. In order to evaluate its effectiveness and usefulness, authors made 100 sheets of sensing devices and conducted some experiences by using several kinds of liquids that are relatively easy to obtain. According to this, authors found that its high light transmission rate (84.9%) and there were no detective sheets those which has failure electrical continuity. Authors also found that this device can detect high electric conductivity liquid (e.g., tap water, distillated water, weak acid/alkali liquid, and strong acid/alkali liquid) with the except of low electric one (e.g., oil and alcohol). Authors adopted printing technology to form conductive line on transparent sheet, so that why it is good for mass production for sensor maker and maker can set lower price for the market.

1. はじめに

1.1 漏液センシングの必要性

工場や事業所では，製品の生産や顧客へのサービス提供のために何らかの液体を日常的に取り扱っている．たとえば，半導体工場であればウエハーの洗浄のために純水を，食品工場であれば惣菜や菓子の調理のために醤油や酢を，オフィスであれば給湯や自家発電のために灯油や軽油を，それぞれ取り扱っている．また，製品の生産やサービスの提供を安定させるために，これらの液体はタンク内に貯蔵されており，そこから配管を経由して必要な量の液体を取り出して使用している．

上記のような工場や事業所にとって，貯蔵してある液体は資産であるとともに，人体や自然環境・住環境に影響を及ぼす可能性を有する物質でもある．このため，工場や事業所では液体が漏出しにくいタンクを使用するとともに，タンクや配管からの液体の漏出を迅速に検知できるセンシングデバイスを取り付けることで資産の損失や影響の拡大の防止に努めている．

1.2 既存の漏液センシングデバイス

ここで，既存の漏水センシングデバイスについて述べる．漏液の検知原理は 2 種類に大別でき（表 1 参照），デバイスの形状は 4 つに大別できる（表 2 参照）．

1.2.1 検知原理

検知原理のうち，電気式はセンシングデバイスが液体に接触することによってデバイスがもつ電気的な振る舞いが変化することを利用する方式であり，電気伝導率が高い液体の検知に適している．一方，光学式はセンシングデバイスが液体に接触することによってデバイスがもつ光学的な振る舞いが変化することを利用する方式であり，電気伝導率が高い液体だけでなく当該率が低い液体（油など）の検知にも適している（これは，液体に対する電気的な振る舞いを利用しないためであり，防爆の観点から油の漏出検知に使用されている）．

1.2.2 デバイスの形状

タブレット状のセンシングデバイス[1][2][3][4][5][6][7]は，漏液を 0 次元的に検知するものである．点検知型であ

* †1 綜合警備保障株式会社
Sohgo Security Services Co., Ltd.
* †2 長岡技術科学大学
Nagaoka University of Technology

ⓒ 2014 Information Processing Society of Japan

るため，タンクや配管の直下に中央をくぼませた防水パンを設置し，その中央に当該デバイスを設置することで漏液を検知しやすくする．

紐状・帯状のセンシングデバイス[8][9][10]は，漏液を 1 次元的に検知するものである．線検知型であり柔軟性を有するため，タンクや配管に直接巻き付けたりタンクや配管の直下にある床面に一筆書きのつづら折りのように配置したりすることで漏液を検知する．

板状のセンシングデバイス[11]は, 漏液を 0 次元または 2 次元的に検知するものであり，紐状・帯状のセンサー（ただし、直径が小さいもの）をプラスチックの基板上に一筆書きのつづら折りのように配置したものである．点または面検知型であるため，タブレット状のセンシングデバイスと同じように設置するか，あるいはタンクの直下に設置することで漏液を検知する．

シート状のセンシングデバイス[12]は，漏液を 2 次元的に検知するものである．面検知型であり柔軟性を有するため，タンクや配管に貼り付けたりタンクや配管の直下にある床面に配置したりすることで漏液を検知する．

表 1　漏液の検知原理.
Table 1　Principles of liquid leakage detection.

タイプ	特徴
電気式	液体がセンシングデバイスに接触したときにデバイスが電気的に短絡する現象を利用したものであり, 抵抗値変化をモニタリングする方式[3][4][8][9][11][12]と，センシングデバイスに送出した信号の電圧変化をモニタリングする方式[5][10]がある．
光学式	液体がセンシングデバイスに接触したときにデバイス内の投光部から送出した光がデバイス内の受光部で受信できなくなる現象を利用したものである[1][2][6][7].

表 2　センシングデバイスの形状.
Table 2　Shape of each sensing devices.

タイプ	特徴
タブレット状（点検知型）	タブレット状（直径 4cm 程度，厚さ 1.5cm 程度）のセンシングデバイスで，漏液を 0 次元的に検知する．検知原理として電気式または光学式を用いる，
紐状・帯状（線検知型）	紐（直径 3.5～5mm 程度）状または帯状（幅 5～8mm 程度，厚さ 1mm 程度）のセンシングデバイスで，漏液を 1 次元的に検知する．検知原理として電気式を用いる．
板状（点・面検知型）	板状のセンシングデバイス（縦 8.5cm, 横 12cm）で，漏液を 0 次元または 2 次元的に検知する．検知原理として電気式を用いる．
シート状（面検知型）	シート状のセンシングデバイスで，漏液を 2 次元的に検知する．検知原理として電気式を用いる．

1.3 透明なセンシングデバイスに対する潜在的なニーズ

さて, 前節で紹介した既存の漏液センシングデバイスは, いずれも透明ではない．これは，これまでに「漏液センシングデバイスは透明でなくてはならない」という要件や「透明であってほしい」という要望が工場・事業所からメーカーに対して寄せられなかったか，あるいは要件・要望が寄せられていたとしても少数意見であったために製品化されなかったのではないかと推測される．

表 3　潜在的な顧客とデバイスの設置例.
Table 3　Example of potential customers.

工場・事業所	センシングデバイスの設置例
熱帯魚販売店／鮮魚店／飲食店／養殖業／水族館	海水または淡水を満たした透明なショーケースや水槽・生簀の側面や底面に透明な漏液センシングデバイスを設置する．
見学者を受け入れている工場・事業者	飲料用の液体や培養物を含む液体を満たした見学者用タンクの側面や底面に透明な漏液センシングデバイスを設置する．

著者らは，透明な漏液センシングデバイスには潜在的なニーズがあると考えている．なぜならば，表 3 に示すような工場や事業所では液体が満たされた透明なタンクやショーケース・配管が設置されているため，透明でない漏液センシングデバイスを設置するとタンクやショーケースの中身を見る人に違和感を与えたり，タンク内の様子が見えにくくなったり，透明性を生かしたショーケースや生簀の意匠を損ねたりすることが考えられるからである．

また，漏液を迅速に検知できるようにするために，漏液のセンシングは 2 次元的であることが望ましい．これは，表 2 で示したシート状のデバイスを除く他のデバイスは，漏液を迅速に検知できるようにするために，防水パンを設置したりデバイスをつづら折りのように設置したりすることで 2 次元的なセンシングを試みているからである. なお，2 次元的なセンシングデバイスは，シート状のセンシングデバイスがもつような柔軟性を備えることが望ましい．これによって，シート状のセンシングデバイスがもつ長所を保つことが可能となる．

ⓒ 2014 Information Processing Society of Japan

以上のことから，著書らは透明かつ 2 次元的に漏液を検知できるシート状のセンシングデバイスを開発することにした．

1.4 本論文の構成

著者らは，本節に続く第 2 章において本論文の前提条件を述べるとともに，透明なシート状のセンシングデバイスが備えるべき機能に関する指針を定義する．第 3 章では，当該デバイスの設計と試作について述べる．第 4 章では，試作したデバイスの有効性と有用性を検証するために行った性能評価試験について述べる．第 5 章では，今回開発したセンシングデバイスの実用化に向けた考察を行う．

2. 前提条件と指針

本章では，本論文の前提条件と試作したセンシングデバイスの性能を評価するための指針について述べる．

2.1 前提条件

- 液体をセンシングできる透明なデバイスの開発事例はこれまでにないため，著者らが調査した限りでは当該デバイスに対する適切な評価方法が存在しない．このため著者らは、開発するセンシングデバイスが備えるべき機能である「可視光透過率」，「2 次元的センシング」，「柔軟性」に関連する指標を設け，当該指標を使って試作したデバイスを評価する．
- センシングデバイスを商品として販売する際には恒温槽を使用するなどして厳密な性能評価を行う必要があるが，今回試作したセンシングデバイスは商品として販売する段階には至っていない．このため著者らは，簡易的な検証環境，すなわちセンシングデバイスに対して結露が発生せず，急激な温度変化がない屋内（室温 18～20℃，湿度 40～50%）を使用して検知性能を評価する．

2.2 指針 1（可視光透過率）

可視光透過率は，物体がもつ透明度を数値化したものであり 0～100%の数値で表現される．著者らは，透明なセンシングデバイスを開発するにあたり，以下に示す指標を設定する．

> センシングデバイスがもつ可視光透過率は 70%以上とする．

当該数値を設定した理由は，高い透明度が求められるパソコンのディスプレイ保護フィルムがもつ可視光透過率が概ね 70%以上となっている[13]こと，および安全に直接関係のある自動車のフロントガラスの可視光透過率が 70%以上と定められていること[14]から，70%以上がひとつの指標となると考えたからである．

2.3 指針 2（2 次元的センシング）

著者らの目標は，液体を 2 次元的に捉えることができるセンシングデバイスを開発することである．このため，以下に示す指標を設定する．

> シート状に形成されたセンシングデバイスを水平面に設置する．つぎに，デバイス上の任意の点を中心にして少量の液体を滴下する．このとき，デバイスがもつ電気的または光学的振る舞いが大きく変化し，センシングデバイスとして機能することを確認する．

著者らが調査したかぎりでは，2 次元的な漏液検知の性能を評価するための規格や指針が存在しない．また，紐状・帯状のセンシングデバイスを製造しているメーカーでは上記のように液体をセンシングデバイスに直接滴下するといった方法によって性能を評価している[15]．これらのことを鑑みて，著者らは上記の指針を用いて評価を行うものとする．

2.4 指針 3（柔軟性）

著者らの目標は，シート状のセンシングデバイスを開発することである．当該デバイスは，タンクや配管といった 3 次元物体に貼り付けて使用することを想定しているが，貼り付けや貼り直しの際に発生する屈曲によってデバイスが破損することがあってはならない．このため，以下に示す指標を設定する．

> 両面テープを使用してセンシングデバイスを垂直面に貼り付けたあと，デバイスの端部を保持しながら 90 度方向に引いてデバイスを引きはがす．このとき，デバイスが破損しないことを確認する．

著者らが調査したかぎりでは，柔軟性というよりは耐久性を評価するという意味合いが強い規格や指針は存在する．たとえば，FPC（フレキシブルプリント基板）のように曲率半径が小さく，屈曲させた状態における可動部の往復運動が繰り返し発生する，透明である必要がない配線がその対象である．今回著者らが開発するデバイスには FPC のような連続した往復運動は加わらないことから，本論文では上記の指標により柔軟性を評価する．ちなみに，上記指針で示した試験方法は接着剤がもつ粘着度を試験する方法として採用されている[16]．デバイスの貼り付けには透明な接着剤が使用されることが考えられるため，上記の指針は適切であると考える．

3. 設計と試作

本章では，センシングデバイスの設計方針と具体的な設計内容，およびデバイスの試作について述べる．

3.1 方針

著者らは，紐状・帯状のセンシングデバイスを 2 次元的に（一筆書きのつづら折りのように）設置する方法からヒントを得て，透明な 2 次元平面上に目視では確認しにくいほど極細な導電線を上記のように配置することで，3 つの指針を満たすことができる透明なセンシングデバイスを開発することにした．採用する検知原理は紐状・帯状のセンシングデバイスと同様に電気式であり，試作したセンシングデバイスの有効性の検証を容易にするために，液体によ

ⓒ 2014 Information Processing Society of Japan

って導電線が短絡して導電線全体の抵抗値が減少するというポピュラーな振る舞いを利用する．

センシングデバイスの試作方法として，著者らはタブレット端末のタッチパネルなどに利用されている導電性透明フィルムの製造技術を活用することにした．当該技術は導電性粒子を用いて透明な PET シート上に導電線を印刷するというものであり，ITO（酸化インジウムスズ）を使用した従来の透明導電性フィルムに比べて以下の点において優れている．

柔軟性，低抵抗性：

ITO は硬質な素材であるためフィルムの屈曲によって導電線が断線するが，導電性粒子は軟質な素材であるため断線が発生しにくい[17]．また，ITO では実現できなかった表面抵抗値を 0.1Ω/sq まで下げることができる[18]．

大量生産：

ITO フィルムの製造には大規模な蒸着設備が必要であり，露光，現像，エッチング，洗浄といった工程が必要であったが，導電性粒子を使用した印刷ではそのような工程が必要ないため大量生産が可能である[17]．

印刷性能：

ITO では実現できなかった任意のパターンの印刷が可能であるため[17]，CAD やドロー系のソフトウェアを用いて作成したパターンをそのまま版下として利用できる．また，PET シートだけでなくガラスやポリカーボネートシートにも印刷ができる[17]．

3.2 設計 1（導電線の様式）

はじめに，透明な 2 次元平面上に印刷する導電線の様式について述べる．

導電性フィルムの製造の場合，導電線の線幅が細いほどフィルムの可視光透過率は高まる．現時点では，線幅 14 μm（±1 μm）の導電線を印刷することができるが，印刷には銀粉などの導電性粒子を用いるため，時として導電線が十分に印刷されない（つまり，印刷がかすれて導電線の一部に「途切れ」が発生して導通が取れなくなる）ことが考えられる．このため，紐状・帯状のセンシングデバイスを設置するようなイメージで 2 次元平面上に単線の導電線を印刷すると，導通が取れない不良品が発生して製品生産数比率が低下する可能性が高い．途切れの発生を少なくするには線幅を太くすればよいが，可視光の遮りによる可視光透過率の低下や導電線の存在が目視によって容易に確認できるようになることが懸念される．

このため著者らは，細い糸を織りあわせたメッシュにヒントを得て，メッシュ状の導電線を様式として使用する．これによって，遮られる可視光の量を抑えながら導電線の視認の難しさを維持できることが期待される．

3.3 設計 2（導電線の配置）

つぎに，透明な 2 次元平面上に印刷する導電線の配置（描き方）について述べる．

著者らは，紐状・帯状のセンシングデバイスと同様に一筆書きのつづら折りのような導電線を 2 次元平面上に描くことを想定しており，液体がデバイスに接触したときに短絡が発生して抵抗値が減少する現象を利用するのだが，当該現象を利用するためには可能な限り導電線を長く配置しておくことで導電線全体の抵抗値を高く設定しておき，液体が接触した際の抵抗値の減少を顕著に観測できることが望ましい．

このため著者らは，図 1 に示すようにメッシュの導電線（灰色で表示）を用いて渦巻（7.2mm 四方，メッシュ幅 1.2mm，絶縁幅 30 μm）を一筆書きに描き，印刷により形成されたリード線（赤色実線で表示）を用いてつづら折り（黄色破線で表示）のように配置することで導電線全体の抵抗値を可能な限り高く設定した．なお，実際の設計では A3 サイズの 2 次元平面上に 1260 個の渦巻（縦 30 個，横 42 個）を配置して一筆書きの導電線を表現した．

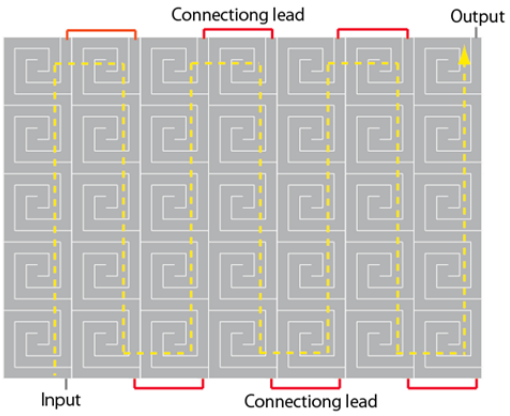

図 1　導電線の配置イメージ．

Figure 1　Arrangement image of conductive lines.

3.4 試作と導通の確認

著者らは，前節において設計した導電線の配置を製版したあと，ポピュラーな素材である PET シートを透明な 2 次元平面として採用し，A3 サイズの PET シート 100 枚の表面に導電線を印刷することでセンシングデバイスを試作した（図 2 にその一部を示す）．つぎに，試作したそれぞれのセンシングデバイスについて導通の良否を確認したところ，導通が取れなかった不良品は発生しなかった．

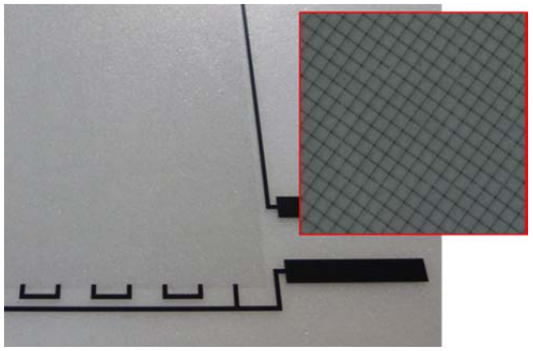

図 2　プロトタイプの一部とその拡大画像（60 倍）．

Figure 2　A part of prototype and expanded image (60-fold).

ⓒ 2014 Information Processing Society of Japan

4. 性能評価

本章では，著者らが設定した 3 つの指標を用いて試作したセンシングデバイスの性能を評価するとともに，4.4 節以降において液体の検知性能を評価する．

4.1 指針 1（可視光透過率）

本節では，デバイスの可視光透過率について述べる．著者らは，ガラスなどの可視光透過率を測定できる機器を使用し，図 3 に示すように光源部と受光部の間にセンシングデバイスを挟みながら任意の 10 か所における可視光透過率を測定してその平均を算出した．その結果，可視光透過率は 84.9%であり目標（70%以上）を大きく上回った．このことから，試作したセンシングデバイスは十分な透明度を有しており，指標 1 を満たしているといえる．

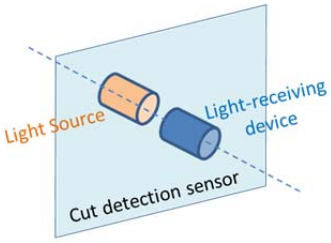

図 3　可視光透過率の測定方法．

Figure 3　Measurement method of transmittance rate.

4.2 指針 2（2 次元的センシング）

本節では，デバイスが液体を 2 次元的にセンシングできることを述べる．著者らが開発したデバイスは，デバイスがもつ液体に対する電気的振る舞いを利用して液体のセンシングを行う．このため，電気導電率が比較的高く手軽に入手できる重曹水溶液を用意して実験を行った．

著者らは，無作為に抽出した 10 枚のセンシングデバイス a～j をそれぞれ水平面に設置したあと，導電線が印刷されている面上の任意の点に重曹水溶液 3ml を滴下しながらデバイスがもつ抵抗値の変化を観測した．その結果，それぞれのデバイスについて，溶液を滴下した直後に抵抗値が急激に低下することが観測できた（図 4 にその様子を示す）．

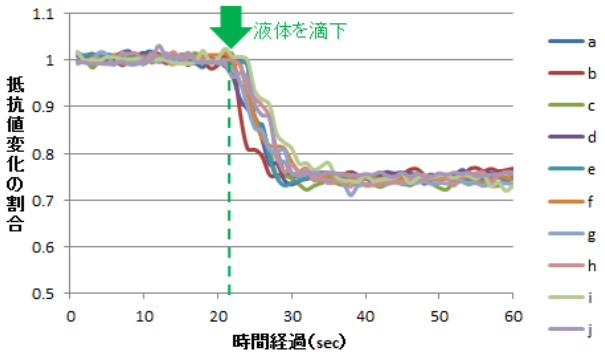

図 4　抵抗値変化の様子．

Figure 4　Appearance of change in resistance.

このことから，試作したセンシングデバイスは導電線が印刷されている面上の任意の点を中心として液体を検知できる機能を有しており，指標 3 を満たしているといえる．

4.3 指針 3（柔軟性）

本節では，デバイスが柔軟性を持つことを述べる．著者らは，4 段階の粘性をもつ両面テープを用意した（ニチバン株式会社製・紙両面テープ，幅 15mm，粘着力：弱，普通，強力，超強力）．つぎに，それぞれの両面テープについて図 5 に示すような 3 パターンの貼り付けを行うことで合計 12 枚のセンシングデバイスを用意した．なお，両面テープは導電線が印刷されていない面に貼り付けた．

つぎに，剝離紙を取り払ってそれぞれのデバイスを滑らかな平面（スチール製のオフィス用ロッカーの背面）に貼り付けたあと，デバイスの端部（図 5 中のマル印の部分）を保持しながら 90 度方向に引きはがした．ちなみに，引きはがし速度は粘着テープの試験方法である JIS Z 0237 に準拠した速度（300mm/分）に設定した．

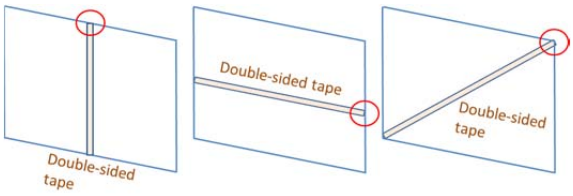

図 5　両面テープの貼り付けとシートの引きはがし．

Figure 5　Paste of double-sided tape and peel off point.

表 4　抵抗値の測定結果

Table 4　Measurement results of resistance

No.	両面テープの種類と貼り付け方		引きはがす前の抵抗値（kΩ）	引きはがした後の抵抗値（kΩ）
1	弱	縦	22.36	22.37
2		横	21.91	21.92
3		斜め	22.30	22.31
4	普通	縦	21.93	21.95
5		横	21.82	21.83
6		斜め	22.82	22.22
7	強	縦	21.23	21.27
8		横	21.41	21.43
9		斜め	21.57	21.72
10	超強力	縦	21.00	21.01
11		横	21.35	21.38
12		斜め	21.50	21.52

ⓒ 2014 Information Processing Society of Japan

上記の要領で引きはがしたそれぞれのデバイスについて，引きはがす前と引きはがした後の平均抵抗値を測定・比較したところ表 4 に示す結果になった．引きはがす前における各デバイスの抵抗値の変動は±3%であることから断線が発生している可能性は低いと考えられる．このことから，試作したデバイスは十分な柔軟性を有しており，要件 3 を満たしているといえる．

4.4 検知性能 1（液体の種類）

本節では，デバイスがどのような液体の検知に適しているのかについて調査する．

(1) 身近な液体

書者らは，手軽に入手できる 5 種類の液体（蒸留水，水道水，エタノール，食用酢，重曹水溶液）を用意して実験を行った（表 5 にそれぞれの液体の特性を示す）．

著者らは，無作為に抽出した 5 枚のセンシングデバイスをそれぞれ水平面に設置したあと，1 枚につき 1 種類の液体 3ml（15℃）をデバイスの中心に滴下しながら抵抗値の変化を観測した（ちなみに，デバイス上に滴下された液体の直径は約 4cm であった）．その結果，水道水，食用酢，重曹水溶液を滴下したときにのみ抵抗値が低下し，水道水の抵抗値変化は食用酢，重曹水溶液よりも小さかった（図 6 参照）．以上のことから，試作したセンシングデバイスは電気伝導率が高い液体ほど感度よく検知できることがわかった．

表 5　液体の特性（15℃）

Table 5　Measurement results of resistance (15 degree C)

名称	pH 値	電気伝導率（μS/cm）
蒸留水	7.9	8
エタノール	5.7	10
水道水	7.7	275
食用酢	2.7	1,410
重曹溶液	8.1	4,430

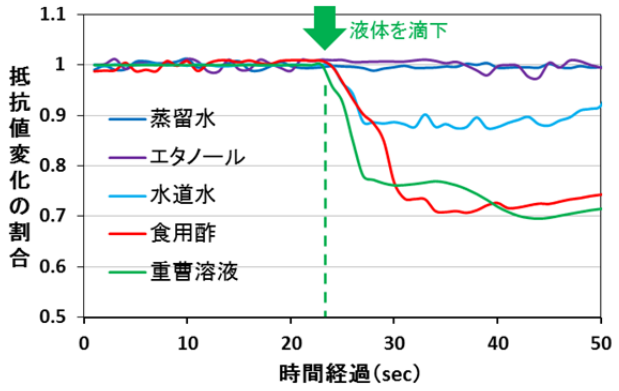

図 6　抵抗値変化の様子．

Figure 6　Appearance of change in resistance.

(2) 強酸性・強アルカリ性液体

著者らは，強酸性液体である塩酸・硫酸と強アルカリ性水溶液である水酸化ナトリウム水溶液を用意して実験を行った（表 6 にそれぞれの液体の特性を示す．なお，(1)において pH 値と電気導電率を測定した機器が強酸性・強アルカリ性液体に対応していないため，pH 値は pH 試験紙を用いた目視による結果を，電気伝導率は文献[19]に掲載されている値を掲載した）．

表 6　液体の特性（25℃）

Table 6　Characteristics of each liquid (25 degrees C).

名称	pH 値	電気伝導率（mS/cm）
15%塩酸	0	820
15%硫酸	0	595
15%水酸化ナトリウム水溶液	14	410

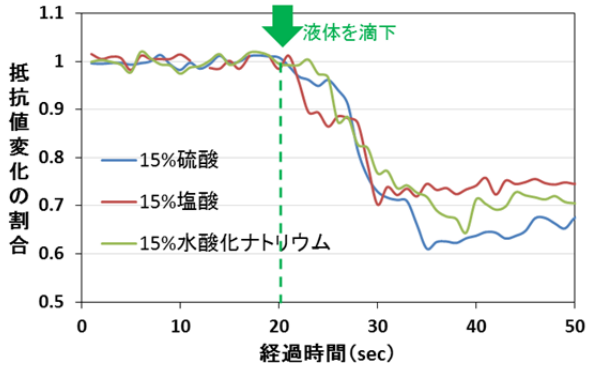

図 7　抵抗値変化の様子．

Figure 7　Appearance of change in resistance.

著者らは，無作為に抽出した 3 枚のセンシングデバイスをそれぞれ水平面に設置したあと，1 枚につき 1 種類の液体 3ml（15℃）をデバイスの中心に滴下しながら抵抗値の変化を観測した（ちなみに，デバイス上に滴下された液体の直径は約 4cm であった）．その結果，いずれの場合にも抵抗値が低下した（図 7 参照）．以上のことから，試作したセンシングデバイスは電気伝導率が高い強酸性・強アルカリ性液体を検知できることがわかった．

4.5 検知性能 2（液量／粒径）

本節では，デバイスがもつ液体の検知感度について調査する．

(1) 液量

書者らは，4.4 節(1)で使用した液体（水道水，食用酢，重曹水溶液）の量を 3ml から 1ml に減らして同様の実験を行った．実験では，無作為に抽出した 3 枚のセンシングデバイスをそれぞれ水平面に設置したあと，1 枚につき 1 種類の液体 1ml（15℃）をデバイスの中心に滴下しながら抵

ⓒ 2014 Information Processing Society of Japan

抗値の変化を観測した（ちなみに，デバイス上に滴下された液体の直径は約 2.5cm であった）．その結果，液体を滴下したときに抵抗値は低下するものの，その割合は 4.4 節(1)の結果よりも小さかった（図 8 参照）．以上のことから，試作したセンシングデバイスは液体の量が多いほど感度よく検知できることがわかった．

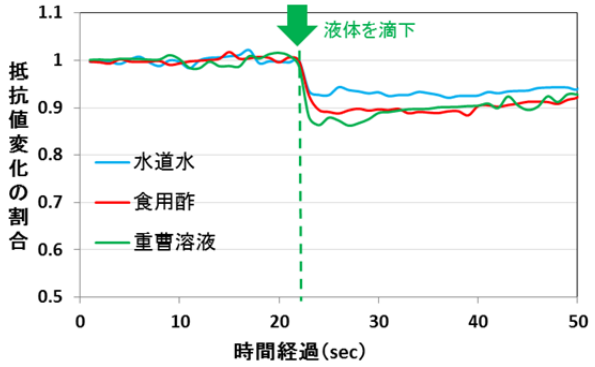

図 8　抵抗値変化の様子．

Figure 8　Appearance of change in resistance.

(2) 粒径

書者らは，センシングデバイス上の範囲内に水道水を噴霧しながら抵抗値の変化を観測する実験を行った．実験では，無作為に抽出した 3 枚のセンシングデバイスをそれぞれ水平面に設置したあと，デバイス全体を覆うことができるマスキングシートを 3 枚用意し，それぞれのシートの中央を切り取った．切り取った形状は，円（直径 2.5cm），円（直径 4.0cm），長方形（7.2×21.5cm：導電線によって形成された 1 つの閉回路の面積）の 3 つであり，1 枚のデバイスにつき 1 枚のシートを用いてデバイスを覆った．つぎに，マスキングシートに対して水道水（15℃）を均等に噴霧しながら抵抗値の変化を観測した．その結果，切り取った形状が円の場合には抵抗値は変化しなかったが，当該形状が長方形だと抵抗値の変化が大きかった（図 9 参照）．以上のことから，試作したセンシングデバイスは液体の粒径が小さな液体に対して，センシングする面積が広いと検知できることがわかった．

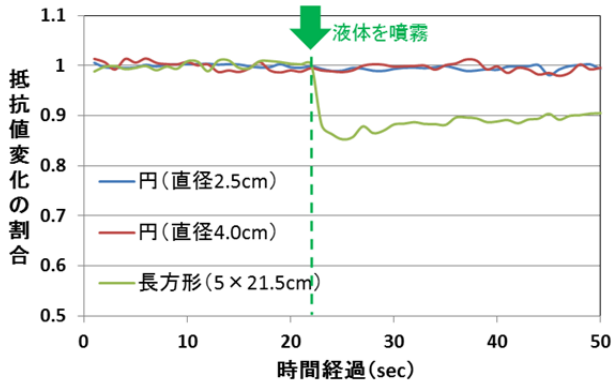

図 9　抵抗値変化の様子．

Figure 9　Appearance of change in resistance.

5. 考察

5.1 対象となる液体・液量・粒径

4.4 節の結果が示すように，著者らが試作したセンシングデバイスは電気伝導率が高い液体ほど感度よく検知できることが分かった．つまり，電気伝導率が低い石油精製油や食用油, 純水などといった液体の検知には不向きである．

また，4.5 節の結果が示すように，著者らが試作したセンシングデバイスは液体の量が多いほど感度よく検知できること，および液体の粒径が細かい場合には液体に曝される面積が大きいほど感度よく検知できることが分かった．つまり，微量な漏液を検知したいというニーズや霧状に漏出する微量の液体を検知したいというニーズへの対応は困難である．

5.2 最適な設置方法

4.4 節および 4.5 節の結果が示すように，著者らが試作したセンシングデバイスは，液体に曝される面積が大きいほど感度よく検知できることが分かっている．このため，導電線が印刷されている面をタンクや配管などの面に対して密着させながら粘着剤などで固定することが最良の設置方法であると考えられる．なぜならば，このように設置することで毛細管現象が働き，すきまのような細い空間を利用して重力や上下左右に関係なく液体が浸透していくため，少量の液体をセンシングデバイス上の広い範囲に拡散させることができるからである．

5.3 漏水位置の特定

著者らが開発しているセンシングデバイスは，2 次元平面上のどの部分で液体を検知したのかがわかることが望ましい．これは，漏液箇所の修繕を迅速に行えるようにするために，紐状・帯状のセンシングデバイスにおいても液体を検知したおおよその位置を特定できる検知器を設置しているためである．

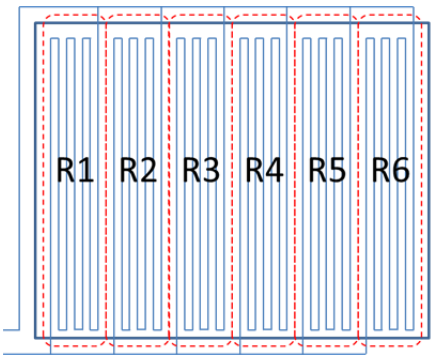

図 10　複数個の閉回路の設定．

Figure 10　Closed circuits depicted by conductive lines.

このため著者らは, 図 10 に示すように導電線によって描かれる閉回路を複数設置するとともに，各閉回路に負荷短絡検知回路を新設することによって，2 次元平面上のどの部分で液体を検知したのかを判断できるようにすることを検

ⓒ 2014 Information Processing Society of Japan

討している．なお，当該検知回路の新設により，短絡によって生じた過電流からの回路保護を実現できるため，安全性の向上が期待できる．

5.4 耐久性・耐候性

PET シート上に形成される導電線は，導電性銀粉と導電性コーティング材によって構成される．試作委託先から，導電性コーティング材の組成，加速試験や寿命予測の結果が公開されていないため，導電線にどの程度の耐久性があるかは不明であるが，文献[20]から推測できるように，導電性銀粉を PET シートに接着させる働きをもつ導電性コーティング材に耐久性・耐候性があれば，センシングデバイスを長期的に使用できるものと考えられる．著者らは引き続き，導電性コーティング材に対する加速試験や寿命の予測についてもウォッチしていく予定である．

5.5 コスト

今回試作したセンシングデバイスの試作委託料は 50 万円だった．費用の内訳が非公開であったため単純に計算すると 1 枚あたり 5,000 円になるが，PET シートの実勢価格が 20,000 円/100 枚，導電性銀粉の実勢価格が 2,000 円/1kg であることを考慮すると，費用のほとんどは製版にかかるプロセス（トレース，製版，校正）にかけられたと考えてよい．一般的に，人手が介在する上記のプロセスにはコストがかかるが，製版後は機械によって大量に印刷ができることから 1 枚あたりの価格は大量生産によって十分に抑制できるものと考えられる．

6. まとめ

今回著者らは、潜在的なニーズがあると考えられる「透明な漏液センシングデバイス」を開発した．漏液の検知原理は既存のセンシングデバイスと同じであるが，透明な基材の表面に形成する導電線の幅を細くすることで可視光透過率を高め，導電線をメッシュ化することで製品生産数比率の向上を図った．

有効性と有用性を検証するために，著者らは設計したセンシングデバイスを試作するとともに，数種類の液体を用いて性能評価を行った．その結果，デバイスがもつ可視光透過率は 84.9%と高く，導電線の導通が確認できなかった不良品が発生することはなかった．また，電気伝導率が高い液体を検知できること，および液体に曝される面積が広いほど検知しやすいことがわかった．導電線の形成には印刷技術を用いているため大量生産に適しており，市場への提供価格を低く設定することが可能である．

今後，著者らはデバイスの透明度を高めるとともに，より感度よく検知できるようにするために適切な導電線の配置方法を検討していく予定である．

謝辞 富士フイルム株式会社の村山裕一郎様にはセンシングデバイスの開発に際して有益なアドバイスを頂いた．謹んで感謝の意を表する．

参考文献

1) パナソニック電工 SUNX，リークセンサーEX-F70 シリーズ /EX-F60 シリーズ，http://Panasonic-denko.co.jp/sunx/
2) 東横化学株式会社，漏液センサー（RS-3000/3500 シリーズ），同社カタログ（2011 年 5 月版）を参照.
3) タツタ電線株式会社，ポイントセンサ（AD-PA），同社カタログ（2013 年 9 月版）を参照.
4) 株式会社潤工社，ポイントタイプ液漏れ検知センサ（FDF-L-10/FDF-H-10/FDF-L-150/FDF/L-150W/FDF-L-200/FDF-L-10N/FDF-H-10N/BE-6），同社カタログ（各種漏油・有機溶剤検知システム）を参照.
5) オムロン株式会社, 漏液ポイントセンサ（F03-16PE/F03/16PS-F），同社カタログ（2004 年 6 月版と 2008 年 12 月版）を参照.
6) 日本電産コバル電子株式会社，液漏検知センサ（WL10），http://copal-electronics.info/jp/00187/wl10_ja.pdf
7) 株式会社ティアンドティ，漏液センサ（LUP シリーズ，KP シリーズ，TFP-T シリーズ，TFP-F シリーズ），各種ダウンロードページ（http://www.techtry.co.jp/download/）より入手したカタログ.
8) 株式会社潤工社，平型・丸型ラインセンサ（DGW012/DGW040/DGW130A）とラインタイプセンサ（DGD010/DGD030A），同社カタログ（「各種漏油・有機溶剤検知システム」,「水・酸・アルカリ溶液検知用システム」）を参照.
9) タツタ電線株式会社，同社カタログ（2013 年 9 月版）を参照,（AD-S/AD-RS/AD-HS/AD-FH/FR-AD/AD-LS）.
10) オムロン株式会社，漏水検知帯（F03-16F/F03-16SFC/F03-16PE/F03-16PT/F03-15）・検知ケーブル（F03-16UP-C シリーズ），同社カタログ（2004 年 6 月版，2007 年 3 月版，2008 年 10 月版，2008 年 12 月版，2009 年 11 月版）を参照.
11) 株式会社潤工社，面状ポイントセンサ（SB-10），同社カタログ（「水・酸・アルカリ溶液検知用システム」,「液漏れ検知システムリークラーン」）を参照.
12) タツタ電線株式会社，漏水シート（研究開発中），同社事業案内「With You」および Web ページ（http://www.tatsuta.com/jp/products/sensor/）を参照.
13) サンワダイレクト：OA・液晶フィルターの販売商品一覧，入手先<http://direct.sanwa.co.jp/contents/sp/lcdfilter/>（参照 2013-11-14）
14) 国土交通省，道路運送車両の保安基準の細目を定める告示【2010.3.29】〈第三節〉第 195 条（窓ガラス），http://www.mlit.go.jp/jidosha/kijyun/saimokukokuji/saikoku_195_00.pdf
15) タツタ電線株式会社，タツタの漏水検知システム技術資料，pp. 5，http://www.tse-sys.com/water/pdf/date_2011.pdf
16) 3M：よくあるご質問（テープ・接着剤製品），入手先<http://www.mmm.co.jp/tape-adh/faq/>（参照 2013-11-14）.
17) 大日本印刷株式会社：印刷方式の透明導電性フィルムを開発，ITO フィルムに比べて生産性が向上，入手先<http://www.dnp.co.jp/news/1205144_2482.html>（参照 2013-11-14）.
18) 日立化成株式会社：転写形透明導電フィルム，入手先<http://www.hitachi-chem.co.jp/japanese/products/do/005.html>（参照 2013-11-14）.
19) T&C Technical：押出工程における導電率の利用法，pp. 9，入手先<www.tactec.co.jp/exhibition/pdf/871FTsensor.pdf>（参照 2013-11-14）
20) 佐々木喜七：導電接着剤実装と部品接合湿度加速試験の検討，入手先<http://www.rcj.or.jp/test-lab/pdf_files/RCJpaper_conductive_adh_joint_reliability.pdf>（参照 2013-11-14）.

ⓒ 2014 Information Processing Society of Japan