

キュウリのバイオフィトンとガス生成量の変化

(Relationship between Biophotons and Gases Generated from Cucumber Pieces)

小久保秀之^{1,2}、小山悟史^{3,1}、高木治¹
(Hideyuki KOKUBO^{1,2}, Satoshi KOYAMA^{3,1} and Osamu TAKAGI¹)

1 国際総合研究機構生体計測研究所 (日本, 千葉)
2 明治大学情報コミュニケーション学部 (日本, 東京)
3 明治大学大学院情報コミュニケーション研究科 (日本, 東京)

要旨: 切断したキュウリを空气中に静置したときに生じるバイオフィトン発光の近似式を作り、ガス生成との対応関係を調べた。総ガス生成速度は切断後 30 分で最大に達した後、単調に減少したが、時間と共にガス組成が変化すると考えられた。近赤外領域のバイオフィトン発光強度の変化は、連鎖反応とロジスチックに変化する反応の和でよく近似できた。また、ホルムアルデヒド検知管 91D が反応するガス量のピーク時刻が連鎖反応のピーク時刻にほぼ対応した。可視光領域の発光強度変化は、複数のロジスチック式の和でよく近似できた。また、非接触ヒーリングを行ったキュウリと何もしなかったキュウリの発光強度の差は連鎖反応式でよく近似できた。酢酸エチル検知管 141L が反応するガス生成量は、冬場と夏場とでピーク時刻が異なった。
キーワード: 極微弱生物光、緑の香、白いぼキュウリ、近赤外線、可視光、ガス検知管、ホルムアルデヒド、酢酸エチル、においセンサ、非接触ヒーリング、近似式

1. はじめに

筆者らは、2006年、白いぼキュウリ (*Cucumis sativus* 'white spin type') の切片から生じるバイオフィトンで非接触ヒーリング (いわゆる手かざし、bio-PK) の効果を定量的に測定する方法を開発し^{1,2)}、その後、多数の研究を行ってきた。バイオフィトン測定法は、たった1・2回の測定でヒーラーの制御されたパワーを見積もれるほど検出力が優れているが³⁾、装置の高額さが普及の障害になっていた。このため、研究の進展と普及を促進するために、安価で簡便な測定法の開発が必要だった。

キュウリの発光機構で同定できているのはビタミンCの酸化反応、緑の香の生合成反応の2種であるが⁴⁾、このうち緑の香の生合成反応ではC9、C6のアルデヒド、アルコールが生成する。生成したガス量は、バイオフィトンの発光量と対応するはずなので、ガス生成量でも制御されたヒーリングパワーを測定できるはずである。この予想に基づき、ガス検知管による簡便法を開発した⁵⁾。

本研究では、キュウリガスとバイオフィトンの対応関係の詳細を調べた。

2. 方法

方法1: においセンサ (XP-329 III R、新コスモス電機) を用いて、切断した白いぼキュウリから生じる総ガス生成速度を測定した。測定試料として厚さ1cmに切り出したキュウリの輪切り4片をラップを敷いたガラスペトリ皿に配置し、さらにそれを容積2.2Lのプラスチック容器⁵⁾に入れた。容器の吸気口に空気清浄器を接続した後、排気口においセンサを接続し、毎分400mlの吸引速度でガスを引き、においレベルを1秒ごとに記録した (**Fig. 1**)。測定は、2009年8月に室温24°Cで行った。

XP-329III Rは酸化インジウム系熱線型焼結半導体センサを内蔵しており、センサ部は約480°Cに保たれている。センサの表面におい分子が吸着されるとセンサの電気伝導度が上がるので、これを抵抗値変化として測定し、0~2000までのにおいレベルとして表示する。吸着された有臭分子はセンサ表面で加熱・分解され、主として二酸化炭素と水が生成される。応答速度は20s以内である。

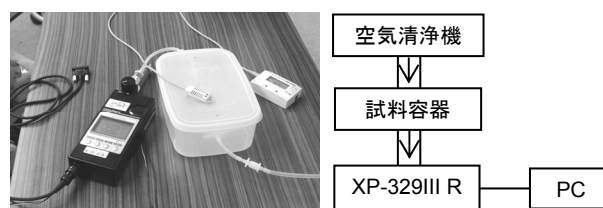


Fig. 1 においセンサによる測定

小久保秀之 kokubo@a-iri.org
263-0051 千葉市稲毛区園生町 1108-2 4階
電話 043-255-5481 FAX 043-255-5482

方法2: 既報^{6,2)}のデータより、切断したキュウリ試料の赤～近赤外領域、可視光領域の発光強度の時系列変化の近似式を作成し、ガス検知管の読み値との対応関係を検討した。ガス検知管はホルムアルデヒド検知管91D (ガステック社) と酢酸エチル検知管141L (ガステック社) を用いた。

キュウリ試料は、4本を1組とした。各キュウリから厚さ1cmの試料対を4対ずつ切り出し、ローテーションを組んでラップを敷いたペトリ皿8枚に4切れずつ配置した⁷⁾。ペトリ皿はそれぞれガス容器に入れた (計8個)。

ホルムアルデヒド検知管は、試料と共に容器に封入し、容器の外から30分ごとに値を読み取った。

酢酸エチル検知管の測定間隔は1時間単位とし、1回の実験で4対 (計8個) のガス容器を使用した。測定は、切断1時間後に1対目の容器のガス濃度を測定し、以降、1時間ごとに2対目、3対目、4対目の測定を行った。同様の手順で、1回に4時点ずつ、24時間分の測定を行った。実験は2009年8・9月に室温24℃で行った。

3. 結果

3-1. 総ガス生成速度

切断したキュウリのガス生成反応は、物質Aが分解してBとなり、さらにBが分解してC (ガス) が生じる連鎖反応と仮定した。ガス生成速度は dC/dt で表される。

$$\begin{aligned} A &= A_0 \times \exp(-k_1 t) \\ dA/dt &= -k_1 \times A \\ dB/dt &= k_1 \times A - k_2 \times B \\ dC/dt &= k_2 B \end{aligned}$$

より

$$dC/dt = k_1 k_2 A_0 / (k_2 - k_1) \times [\exp(-k_1 t) - \exp(-k_2 t)] \quad (式1)$$

においレベルとガス濃度の関係は、ガスの種類ごとに異なっており、たとえば500ppmの酢酸エチルと酢酸のにおいレベルはそれぞれ1600、1000である⁸⁾。また、においレベルLは濃度Cの累乗で近似でき、1ppmから500ppmの範囲では、酢酸エチルのにおいレベルを

$$L = 188.31 \times C^{0.3481}$$

で表すことができる (Fig. 2)。

キュウリから酢酸エチルが生じるわけでないが、便宜的に、酢酸エチル相当としたガス濃度換算値と連鎖反応式による計算結果を示した (Fig. 3)。ここで、 $k_1=5$ [h]、 $k_2=0.37$ [h]、 $A_0=25$ [ppm]である。

総ガス生成速度は切断後30分で最大に達し、その後、単調減少した。

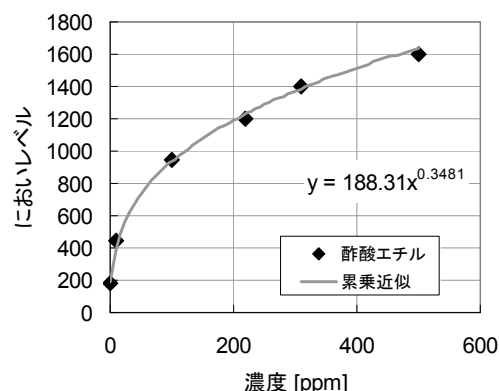


Fig. 2 酢酸エチルの濃度とにおいレベル
文献8の感度特性 (参考値) より算出。

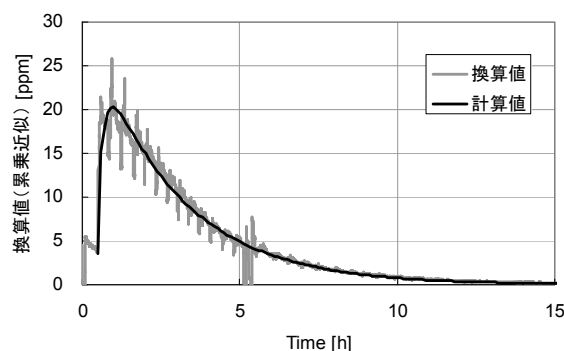


Fig. 3 酢酸エチル換算値と計算値
5時間目の変動は装置の動作確認操作によるもの。

3-2. 近赤外領域の発光と91D

近赤外領域 (< 1000 nm) の発光強度の変化は、連鎖反応 (IR反応1) とロジスティック変化 (IR反応2) の和でよく近似できた。

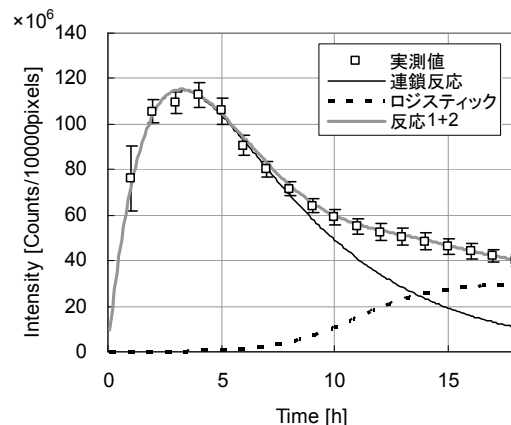


Fig. 4 近赤外領域の発光と近似値
エラーバーは95%信頼区間 (n=4)。

連鎖反応 (IR反応1) : 発光原物質が分解して発光物質 (励起状態) が生成し、さらに基底状態に戻ると仮定する。k₁、k₂を反応係数、Aを発光原物質の個数、B、Cを励起・基底状態の発光物質の個数とすると、単位時間当たりの発光は次の式で表される。

$$dC/dt = k_1 k_2 A_0 / (k_2 - k_1) \times [\exp(-k_1 t) - \exp(-k_2 t)]$$

ロジスチック変化 (IR 反応 2) : 反応 1 とは別に、持続的に発光する物質 (あるいは発光する細胞) がロジスチック式に従って増加すると仮定する。ここで N を発光物質の数、K を環境収容力 (試料の断面積などで決まると思われる)、r を増加率とすると、ある時刻の発光は次の式で表される。

$$N = K / (1 + \exp[rK \{t_0 - t\}])$$

キュウリ切片的の赤外領域の発光強度 I は、IR 反応 1 と IR 反応 2 の和で表すことができる。

$$I = k_2 k_1 A_0 / (k_2 - k_1) \times [\exp(-k_1 \times t) - \exp(-k_2 \times t)] + K / (1 + \exp[rK \{t_0 - t\}]) \quad (式 2)$$

ここで I は 1 時間当たりの発光強度 [個/10000 画素]、t は時間 [h]、A₀=1.1×10⁹[個]、k₁=0.2 [h]、k₂=0.45 [h]、t₀=11 [h]、r=2×10⁻⁸、K=3×10⁷である。

Table 1に、ホルムアルデヒド検知管91Dの読み値を示す。冬季のデータは2008年12月のものである⁵⁾。

Table 1 ホルムアルデヒド検知管91Dの読み値

時間 [h]	夏 [ppm] (n=2)	冬 [ppm] (n=2)
0.00	0.0	-
0.50	2.3	0.0
1.00	4.5	0.8
1.50	6.0	1.4
2.00	7.0	2.3
2.50	8.5	2.8
3.00	9.0	3.0
3.50	10.0	3.0
4.00	8.5	2.8
4.50	7.5	2.4
5.00	7.0	2.4
5.50	7.0	1.6
6.00	7.0	1.1
6.50	6.0	1.1
7.00	5.5	1.0
7.50	5.0	0.9
8.00	4.5	0.8
8.50	4.5	0.6
9.00	-	0.5
9.50	-	0.5
10.00	-	0.4
17.75	1.5	-
21.50	0.5	-

夏場のキュウリの場合、読み値の最大値は冬場の3倍以上あり、より長時間呈色した。なお、91Dは10時間用の検知管であり、10時間目以降の測定は参考値である。また、キュウリから出る混合ガスにホルムアルデヒドが含まれているわけではない。検知管の退色はキュウリの混合ガスと高湿度 (湿度100%) の影響によるものと考えられる。特に、酢酸エチル検知管で呈色反応を示すガスの影響が推測される。

Fig. 5に、近赤外領域の発光と91Dの読み値の推移を、最大値に対する相対比で示す。91Dのピーク時刻は、IR 反応 1 のピーク時刻とほぼ一致することから、両者の間に密接な関係があると推定される。

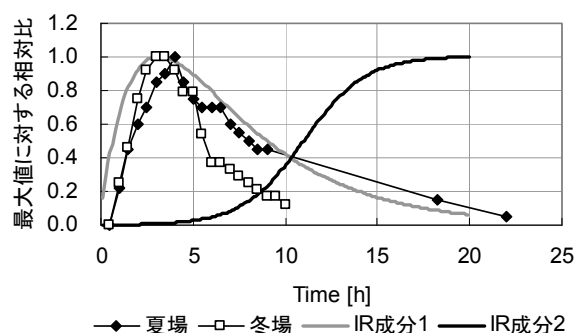


Fig. 5 赤～近赤外の発光と91D読み値の推移

3-3 可視光領域の発光

可視光領域 (< 650 nm) の発光強度の時系列変化は、複数のモデルが可能だが、発光機構の詳細が不明のため、各モデルの適否の判断がむずかしい。ここでは、ある程度の生物学的妥当性をもつモデルの中で、最も単純なモデルとして、ロジスチック変化の組み合わせによる近似を検討した。

仮定：発光が起こる活動箇所がロジスチックに増大し、ある程度活動するとその活動箇所がロジスチックに減少する。さらに、これと別系統の発光が遅れて起こる。

可視光反応1:キュウリを切断してからの時間をt、t₁を変曲点の時間、N₁を発光する活動箇所数、K₁を環境収容力、r₁を増加率とする。

$$dN_1/dt = r_1(K_1 - N_1)N_1$$

より

$$N_1 = K_1 / (1 + \exp[r_1 K_1 \{t_1 - t\}])$$

可視光反応 2 : N₂を発光が終了する箇所数、r₂を増加率とする。また、環境収容力の代わりに k₂N₁を当てはめる。ただし、k₂は係数で 1 と仮定する。

$$N_2 = k_2 N_1 / (1 + \exp[r_2 k_2 N_1 \{t_2 - t\}])$$

可視光反応 3 : 可視光反応 1, 2 とは別系統のゆっ

くりした発光がロジスティック式に従って起こる。

$$N_3 = K_3 / (1 + \exp[r_3 K_3 \{t_3 - t\}])$$

ここで、 $t_1=4.5$ [h], $r_1=0.00012$ [1/h], $K_1=11500$, $t_2=9$ [h], $r_2=0.00003$ [1/h], $t_3=14$ [h], $r_3=0.0005$ [1/h], $K_3=1500$ として反応1-2+3を計算すると、実測データにおおむね合致した (Fig. 6)。

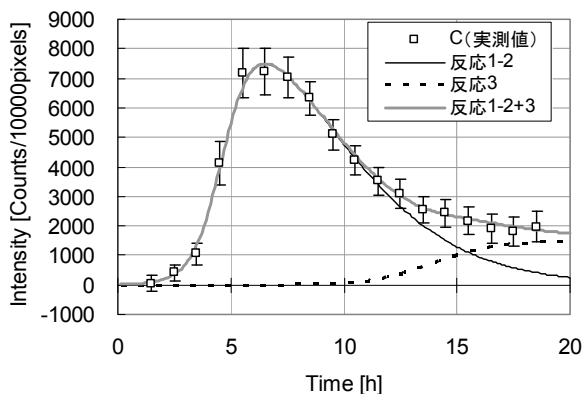


Fig. 6 可視光領域の発光と近似値

実測値は文献2における対照試料Cの発光。試料作成時刻と発光強度を零点補正した。エラーバーは95%信頼区間 (n=102)。

3-4 特殊な反応の近似式

切断したキュウリ (実験試料) に、よく光るようにと念じながら 30 分間の非接触ヒーリングを行うと、何もしなかったキュウリ (対照試料) よりも発光強度が大きくなる。両者の違いは 5 時間目以降に顕著である²⁾。この違いを生じる特殊な反応を仮に bio-PK 反応と呼ぶ。Bio-PK 反応は、式 1 と同様の連鎖反応と仮定するとよく近似できた。ただし、 $A_0 = 12000$ [個/1 万画素], $k_1 = 0.7$ [1/h], $k_2 = 0.25$ [1/h] である。

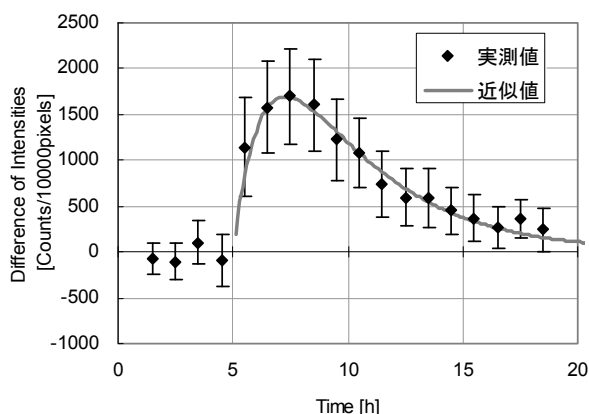


Fig. 7 特殊な反応 (bio-PK反応) と近似値

エラーバーは95%信頼区間 (n=102)。

3-5 酢酸エチル検知管141L

Table 2に、酢酸エチル検知管141Lの読み値を示す。夏場のキュウリガスは冬場⁵⁾よりも値が大きく、立ち上がり時間も早かった。また、理由は不明だが、10時間以降は、約2時間の周期で値が変動するように見受けられた。

Table 2 141Lの読み値 (2009年8・9月)

時間 [h]	実測値 平均 [ppm]	標準偏差	n	時間 [h]	実測値 平均 [ppm]	標準偏差	n
1	21.3	2.5	4	13	487.5	53.8	4
2	84.6	35.9	8	14	587.5	47.9	4
3	158.8	89.1	4	15	557.5	20.6	4
4	285.0	79.9	6	16	598.3	67.9	6
5	354.0	78.9	5	17	537.5	68.5	4
6	340.0	43.4	6	18	525.0	133.0	4
7	440.0	37.4	4	19	655.0	42.0	4
8	495.0	114.8	8	20	547.5	68.0	4
9	527.5	77.6	4	21	545.0	179.0	4
10	566.7	98.3	6	22	585.0	61.4	4
11	478.8	82.7	8	23	532.5	68.5	4
12	577.5	93.2	4	24	615.0	83.8	10

読み値Cは夏・冬ともにロジスティック式で近似可能だが、夏の実測データで5時間目と6時間目の接続が滑らかでなかった点を重視し、冬場の成分に夏場のみの成分が加わっていると暫定的に仮定した。

$$C = \text{夏場のみ成分} + \text{冬場成分} \\ = k \times K_S / (1 + \exp[r_S K_S \{t_S - t\}]) + k \times K_W / (1 + \exp[r_W K_W \{t_W - t\}])$$

ただし、 $K_S=310$, $r_S=0.005$ [1/h], $t_S=3$ [h], $K_W=240$, $r_W=0.005$ [1/h], $t_W=7$ [h], $k=1$ [ppm] である。

Fig. 8と9に141Lの読み値とその増減、さらに、夏場データの近似値を示す。

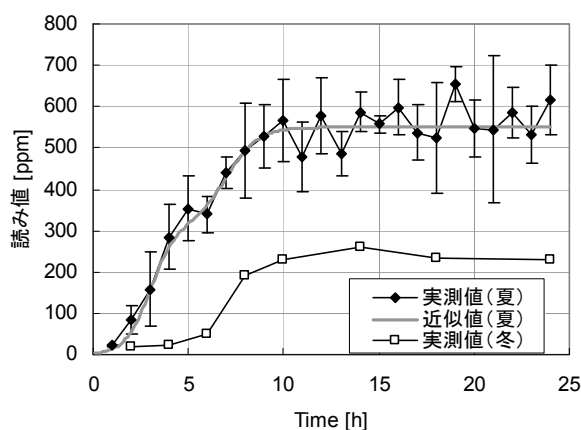


Fig. 8 141Lの読み値と近似値

エラーバーは標準偏差。

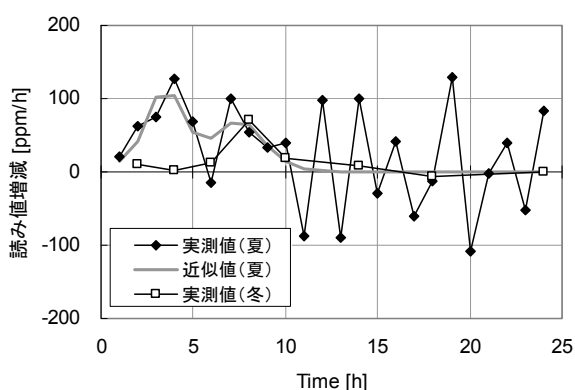


Fig. 9 141L読み値の増減と近似値

4. 考 察

においセンサによる測定の結果、総ガス生成速度は、キュウリ切断30分以降は単調減少することがわかった。ガス検知管の反応の変化と合致しないことから、キュウリガスの組成割合が時間と共に変化すると考えられる。キュウリガスの生成反応は主として緑の香の生合成反応と考えられるが⁴⁾、141L、91Dが検出しているガスは、緑の香の生合成反応の初期段階の急速な反応ではなく、中期以降の反応、あるいはこの反応に誘発された別の反応から生じている可能性がある。同様の可能性がバイオフィトン発光反応についても言える。バイオフィトン測定法、ガス測定法のいずれも、当初に想定していたより、ずっと複雑なものを測っているのかもしれない。

バイオフィトンの近似式から、キュウリ切断後、5時間または10時間経過してから発光するメカニズムの存在が推定される。おそらく、切断面の直下の細胞組織の活動に伴う発光であろう。この細胞活動はガス生成を伴わない。

ピーク時刻の一致から、近赤外領域の発光のうち、IR反応1は91Dが呈色するガスの生成に関係すると考えられる。夏冬の季節によるピーク時刻の相違は、あったとしても小さいと思われる。

これに対し、可視光領域の発光と141Lの呈色反応との関係は複雑である。冬場の141Lの反応ピーク時刻が特殊反応 (bio-PK反応) のピーク時刻に対応することから⁵⁾、両者の間に密接な関係が想定できるが、夏場のデータが冬場成分と夏場成分の合成になっているかどうかは、裏付けデータに乏しく、まだ不確かである。これまでの測定から、夏場も141Lで特殊な効果が検出できることはわかっているが、その効果がどの時間帯で生じるかは未測定である。今後、ガス測定法による効果の検出がどの時間帯で生

じるのか、またそれが季節によって変化するのか検討する必要がある。

5. 結 論

1. 切断したキュウリを空気にさらしたとき、総ガス生成速度は切断30分後に最大に達した後、単調に減少する。
2. キュウリガスの組成割合は時間と共に変化する。
3. キュウリ切断5時間後、または10時間後から発光するメカニズムはガス生成を伴わない。
4. 近赤外領域の発光は91Dで呈色を示す反応系と、可視光領域のbio-PK反応は141Lで呈色を示す反応系と密接な関係がある。ただし、夏場と冬場で141Lの反応に違いがあり、今後、その相違の詳細を調べる必要がある。

謝 辞

本研究の一部は、坂本政道最先端プロジェクトの助成金を得て行った。

文 献

- 1) 小久保秀之、山本幹男、河野貴美子：極微弱生物光による非接触ヒーリング作用の評価法の研究. *Journal of International Society of Life Information Science*, **24**(2): 320-327, 2006.
- 2) 小久保秀之、山本幹男：極微弱生物光による非接触ヒーリング標準評価法の基礎的検討—J 値の正規性、およびヒーリング効果と熱・遮光効果— . *Journal of International Society of Life Information Science*, **25**(2): 219-232, 2007.
- 3) 小久保秀之、山本幹男：非接触ヒーリングの方法とヒーリングパワー. *Journal of International Society of Life Information Science*, **27**(1): 90-105, 2009.
- 4) 小久保秀之、山本幹男：キュウリにおける極微弱生物光の発光機構. *Journal of International Society of Life Information Science*, **26**(1): 53-58, 2008.
- 5) 小久保秀之、高木治、山本幹男：キュウリを生体センサとして用いたガス測定法の開発. *Journal of International Society of Life Information Science*, **27**(2): 200-213, 2009.
- 6) 小久保秀之、山本幹男：異なる波長域で見たキュウリ切片の極微弱発光—70GHz ミリ波照射と非接触ヒーリングとの比較—. *Journal of International Society of Life Information Science*, **27**(1): 78-89, 2009.
- 7) 小久保秀之、高木治、小山悟史：ガス測定法の応用. *Journal of International Society of Life Information Science*, (in this issue).
- 8) 新コスモス電機株式会社：技術資料 ポータブル型ニオイセンサ XP-329IIR 文書番号 IN07NG-001 改訂 1. 2008.