する半値幅が小さくなることから規定したものである。結果として、外見の大きさがほぼ同じ植物でも浄化能力に差があり、濃度変化に対する浄化能力特性にも特徴がある。それらの値は、直径 30 cm の鉢で生育している被験観葉植物で 10～25 前後である。また、植物にとって分子量の大きな汚染物は浄化し難いという結果が得られている。今後は、光や灌水、土壌種などによる能力の違いなどをさらに調べていく必要がある。また、様々な植物に対する浄化能力を求めることにより、排出される汚染種毎の許容濃度に対する指針値や室内環境の設計に大きな役割を果たすものと思われる。

謝 辞

実験のための植物を提供して頂いた竹中庭園緑化・竹中幸三郎氏に感謝申し上げる。また、センサを提供していただいたフィガロ技研(株)・松浦吉展氏にお礼申し上げる。

文 献

- 1) B. C. Wolverton and John D. Wolverton, *Journal of the Mississippi academy of sciences*, 38, 11 (August/September 1993).
- 2) B. C. Wolverton and John D. Wolverton, *INTERIOR-CAPE*, March/April, 6 (1991).
- 3) B. C. Wolverton, *Eco Friendly HOUSE PLANTS*, Weidenfeld & Nicolson, London (1996).
- 4) 近藤, 神保, 奥村, 大西, 大気環境学会誌, 34, 282 (1999).
- 5) T. Kondo, K. Hasegawa, R. Uchida, M. Onishi, A. Mizukami, and K. Omasa, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, 69, 3673 (1996).

- 6) 中西友子, バイオサイエンスとインダストリー, 49, 1081 (1991).
- 7) 青野光子, 大気環境学会誌, 35, A67 (2000).
- 8) 仁科, 中本, 日本建築学会計画系論文集, No.509, 71 (1998).
- 9) T. Oyabu, T. Onodera, T. Nishikawa, and H. Kimura, *The Tenth Annual West Coast Conference on Contaminated Soils and Water*, (Mar. 20-23, 2000, San Diego, California).
- 10) Takashi Oyabu, Takeshi Onodera, Hidehito Nanto, and Naomasa Nakata, *4th International Conference on Engineering Design and Automation*, 876 (Jul. 30-Aug. 2, 2000, Orlando, USA).
- 11) T. Oyabu, T. Misawa, H. Kimura, and H. Nanto, *MATERIAL SCIENCE & ENGINEERING C: Biomimetic Materials, Sensors and Systems*, 12, 89 (2000).
- 12) Wuncheng Wang, Joseph W. Gorsuch, and Jane S. Hughes, *Plant for Environmental Studies*, LEWIS PUBLISHERS, New York (1997).
- 13) 加藤, 大藪, 中本, 小野寺, 上宮, 木村, 南戸, 電気学会ケミカルセンサ研究会, *CHS-00-75*, 75 (2000).

●著者プロフィール

氏名: 大藪多可志 Takashi OYABU
 所属: 金沢経済大学 (〒920-8620 金沢市御所町丑10番地)
 役職: 教授
 趣味: 下手なテニスとスキー, ゴルフ

5 室内環境モニタリング用センサ

福井 清, 石川 博

1 はじめに

現在の住宅用エネルギー消費量は日本のエネルギー消費量全体の1/8に相当し、今後増加する方向にあり2010年には日本の全エネルギー消費量の1/6に増加すると予想されている。従って、住宅の高気密化・高断熱化がエネルギー消費の削減の切り札として推進されているが、それがシックハウス症候群の一因であるといわれている。また、建築コストの低減や簡便な施工を実現するために、優に100種類を超える有害化学物質が使用されている。建材以外の家具、人、ペットなどから発生する揮発性有機化合物や臭いなども滞留し易く、日本の省エネの現代住宅は、大気の何十倍も汚染され、「健康障害」や「快適性」が大きな社会問題として顕在化してきた^{1, 2)}。

現代生活にとって住環境の省エネと健康・快適性とを両立させるには日常的に適切な換気あるいは空気清浄器の適切な作動などが不可欠であり、そのための室内空気質モニタリング技術の開発が切望されている。

一方、簡易測定への当事者のニーズが高まっている^{3, 4)}。

実用されている簡易測定法は、検知管法、検知紙法、吸収・吸光光度あるいは比色法、さらにガス検知器がある。ガスセンサを用いたガス検知器はリアルタイムで連続測定が出来る点で他の方法と比べ優れている。なお、室内空気汚染の実態、その社会的・技術的課題やガスセンサの研究・開発の現状の詳細については環境・福祉ケミカルセンサ調査専門委員会が最近まとめた「電気化学会技術報告」(第814号)⁵⁾を参照されたい。

本稿では、以上のような現状を踏まえ、著者らがこれまで開発してきたガスセンサの中で、室内空気質モニタリングや携帯用の簡易測定(検知)器用として使用できると考えられるセンサについて紹介する。その前に、室内環境に関する技術的諸問題について述べる。

2 室内環境モニタリングに関する技術的諸問題

2.1 従来の室内環境とその考え方

1995年に室内空気汚染の設計基準濃度が空気調和・衛生工学会から出されている。ここでは設計基準濃度が単独指標

では二酸化炭素 (体積濃度 3500 ppm), 一酸化炭素 (10 ppm), 二酸化窒素 (0.210 ppm), 二酸化硫黄 (0.130 ppm), ホルムアルデヒド (0.08 ppm), 総揮発性有機化合物 TVOC (Total Volatile Organic Compound) ($300 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 等が, 総合的指標では CO_2 (1000 ppm) が提案されている. 総合的指標では二酸化炭素濃度が基準となっているが, 空気汚染の一つの基準として二酸化炭素濃度に注目することは室内の空気汚染の主因が人の呼気, 燃焼器具の排ガスやタバコの煙などによる場合には合理的である.

例えば, 従来から問題となっているタバコの煙成分は天然セルロースの熱分解 (燃焼) 成分と類似していると予想される. その熱分解生成物の 40 wt% が炭素, 水, 二酸化炭素濃度, 一酸化炭素および水素で, 残りの 60 wt% がカルボニル, 酸とそのメチルエステル, フラン, ピラン, 炭化水素など 96 種類の揮発性有機化合物である⁶⁾. タバコの煙成分はほぼ決まっているので, 二酸化炭素濃度等どれか適当な成分で代表させても実際上差し支えないと考えられる.

しかし, それに加え, 現在のように建材や家具等から揮発する有機化合物や防虫剤, 防カビ剤, 防蟻剤などがシックハウス症候群の原因物質として問題になる場合には再考する必要がある.

2. 2 最近の室内環境とその考え方

最近, 厚生省は VOCs (Volatile Organic Compounds) の二重規制, 即ち, 物質ごとの指針値と総量規制の方針を出した. 物質ごとの指針値では既にホルムアルデヒド (0.08 ppm), トルエン (0.07 ppm), キシレン (0.20 ppm), パラジクロロベンゼン (0.04 ppm) について出されている. 続いて, フタル酸エステル, エチルベンゼン, スチレン, クロルピリホス, 酢酸ビニルなどが規制物質として挙げられている. 将来的には 20 種類以上を規制することが予定されている.

総量規制の目的は業者が他の毒性の代替物質を使用するのを規制するため, また複合汚染を避けるためといわれている. 総量規制では二種の TVOC の暫定目標値が出されている. ここでは, 通常で $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.10 ppm) と新築 3 ヶ月未満では $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.26) に分けて二種の規制値が出されている. 括弧内の数値は, 一般家庭で通常最も濃度が高いと考えられるトルエンで代表させ見積もった 20°C , 0.1 MPa での体積濃度換算値 (ppm) を示した.

実際, 100 種類以上の VOCs が存在し, 厚生省による規制物質も将来は 20 種以上になる中で, 室内空気質連続モニタリングや簡易測定では個々の成分を測定し評価することは実際上難しく, 総体として評価する合理的な方法が必要となる.

2. 3 VOCs の毒性と悪臭の関係

一方, 工場の敷地境界線, 排水口, 排水などの悪臭を対象とした悪臭防止法 (環境庁) がある. Table 1 に規制された 22 種類の悪臭物質とそれらの規制値および臭いの認知閾値⁷⁾を示した. これは発現場によって悪臭成分がほぼ決まっているため個別規制は合理的と考えられる. ニオイ強度を決める方法として三点比較式臭袋法による官能試験が実施されている.

最近, 環境庁は住宅街などのニオイについて「ニオイの環境指針」を策定した. これは社会の悪臭への関心がいよいよ工場から住環境へと広がってきていることを示している.

ところで, 厚生省が規制を打ち出したもの, あるいは規制

Table 1 Offensive odors regulated in offensive odor protection law (The Ministry of Environment).

Regulated offensive odors	Regulated values (ppm)	Cognitive threshold values ^{a)} (ppm)
Ammonia	1—5	0.59
Methyl thiol	0.002—0.01	6.5×10^{-4}
Hydrogen sulfide	0.02—0.2	5.6×10^{-3}
Methyl sulfide	0.01—0.2	2.3×10^{-3}
Methyl disulfide	0.009—0.1	2.9×10^{-3}
Trimethyl amine	0.005—0.05	1.4×10^{-3}
Acetaldehyde	0.05—0.5	1.5×10^{-2}
Propionaldehyde	0.05—0.5	1.5×10^{-2}
Buthylaldehyde	0.009—0.08	3.8×10^{-3}
Isobuthylaldehyde	0.02—0.2	—
Valeraldehyde	0.009—0.05	—
Isovaleraldehyde	0.003—0.01	—
Isobutanol	0.9—20	0.22
Methyl acetate	3—20	21
Methyl-isobutyl ketone	1—6	0.68
Toluene	10—60	4.8
Stylene	0.4—2	0.17
Xylene	1—5	$0.56^{\text{b)}$
Propionic acid	0.03—0.2	8.4×10^{-3}
Buthric acid	0.001—0.006	7.0×10^{-4}
Valeric acid	0.0009—0.004	—
Isovaleric acid	0.001—0.01	4.4×10^{-4}

(a) from reference 7. (b) the value of m-xylene.

予定のホルムアルデヒドをはじめとする VOCs の内, 例えば, トルエン, キシレン, スチレンなどは悪臭防止法で規制された悪臭物質と共通しており, 即ち, 化学物質過敏症の原因物質の多くが悪臭物質でもあることは注目すべきことである. その他, アンモニア, 硫化水素, メチルチオール, アセトアルデヒド, メチルアミン, 酪酸, イソ吉草酸, そして悪臭防止法には含まれていないがホルムアルデヒド (認知閾値 $1.9 \text{ ppm}^{7)}$), さらに上述した他の規制物質として挙げられている VOCs などが家庭でも存在する悪臭物質に属する. このようにして悪臭と化学物質過敏症 (シックハウス症候群) の原因物質の毒性との接点が見られる. それらの分子がたいてい生理学的に強い作用を与えられられる極性基, 孤立電子対や π 電子を持っていることと関係していると考えられる.

2. 4 室内空気質の olf と decipol による総合評価

一方, 最近ヨーロッパでは室内の汚染物質であるタバコの煙, 体臭, 建材などから出る VOCs などの室内空気汚染物質を総体として定量化する方法として官能試験による総合評価が考え出され, olf と decipol という定義が提案されている⁸⁾.

1 olf とは、標準的に人 1 人から発生するのと等価な不快感を与える臭気の発生量である。発生量 1 olf の時に、 $1 \text{ dm}^3/\text{sec}$ の換気量を与えた場合の室内の臭気強度を 1 pol とし、その 10 分の 1 を 1 decipol と定義する。そして便宜上 decipol は次のようにアセトン蒸気濃度で代用される。ちなみに、アセトンの認知閾値⁷⁾は 110 ppm である。

$$\text{知覚空気質 (decipol)} = K \cdot \text{アセトン蒸気濃度 (ppm)}$$

ここで K は官能試験により前もって決められた比例定数 (相関係数) である。ここで注目すべきことは毒性物質も不快感を与える臭気の一部として把握 (定量化) し不快臭として総合評価することである。即ち、室内空気質を日本のように毒性の視点からでなく快適性の視点から評価する考え方がここにある。これは日本とヨーロッパとの住宅事情や生活文化の違いを反映しているものと考えられる。

以上、室内空気質のモニタリングを、毒性の視点から評価するか、悪臭、不快臭の視点から評価するかは、前者が健康に注目しているのに対して後者は快適性に注目しているという考え方の違いにある。

2.5 大気中水素の影響

従来、大気成分として 0.5 ppm (U.S. Standard Atmosphere 1962 年の報告値) の水素が存在しているといわれている⁹⁾。実際の空気中水素濃度は大気成分の水素 (定常的) と、その場その時間に起きるタバコの煙、燃焼器具の排ガス、腸内ガスなど事象由来の水素 (非定常的) によって決まる。筆者らは社内の室内空気中には 1 ppm 前後の水素が常時存在していることを確かめている¹⁰⁾。

例えば、半導体式ガスセンサでは一般に水素に対する感度が高い場合が多く、大気中に存在する極微量の水素がバックグラウンドガスとしてセンサのベース出力に影響していないかどうか注意しなければならない。例えば、Fig. 1 の概念図が示す如く、大気中の水素でベースが上昇 ($O \rightarrow P$) すると、VOC の低濃度領域での感度曲線が精製空気 (燃焼触媒を通した空気) 中の感度曲線や VOC 濃度 X での感度 (OA) に比べ大きくずれ見かけの感度 (PB) が低くなる。即ち、VOC 感度が大気中の水素濃度により大きく影響を受け、微量の VOCs を検知する上で不利であり、また信頼性に問題が生ずる。ちなみに、S/N 比を支配するもう一つの重要な

Fig. 1 Schematic diagram of the effect of atmospheric hydrogen on the changes in sensor base output and in sensitivity curve.

Fig. 2 Structure of constant potential electrolysis gas sensor.

因子は従来から言われている湿度の影響である。

3 室内空気質モニタリング用センサ

タバコの煙は多成分系なので、その検知には通常非選択性で高感度のセンサが用いられた。また、車室など特別な場合には、タバコの煙をより確実に検知するために水素選択性センサが使用された。一方、シックハウス症候群の原因物質として注目されたホルムアルデヒド検知では、その選択的検知が重視され定電位電解式センサが開発された。その後、トルエン、キシレンなどいくつかの VOCs が注目され、もはやガスセンサによる各ガスの選択的検知は事実上困難となり、総量規制に沿った、TVOC 検知が重要となってきた。前述したように、VOCs として注目されている毒性ガスの多くは、悪臭ガスでもあり、また、それは官能基や不飽和結合など分子構造に特徴を持つ化学的に活性なガスでもある。この知見は、VOCs 検知用センサの開発をする上で重要な指針となった。本稿では、現在実用化されている、ホルムアルデヒド検知用の定電位電解式センサや金属酸化物半導体を用いたいくつかのガスセンサについて紹介する。

3.1 定電位電解式センサ¹¹⁾

3.1.1 センサの構造と検知原理 センサの構造は、Fig. 2 に示す如く、3 種の電極 (作用極、対極、参照極) を取り付け持った構造を持つ電解セル容器とポテンシオスタット回路により構成される。電解液は酸性水溶液である。電極はガス透過性のテフロン膜に貴金属触媒を塗布、焼成したものである。

ホルムアルデヒド (HCHO) の検知の際起きる電極反応は複雑であるが、作用極の動作電位から考えられる反応を式 (1)、(2) 及び (3) に示す。括弧内の数値は標準電極電位 (V) である。

即ち、外部回路に流れる電流を測定すればホルムアルデヒド濃度を測定できる。ホルムアルデヒドに対する選択性は、

Fig. 3 Cross sensitivity to HCHO and various interference gases. The sensitivity ratios of dimethyl ether, acetone, toluene, buthyl acetate and xylene to HCHO are below 0.007.

Fig. 4 (a) Sensor structure (cross sectional view), (b) its operation circuit (bridge electric circuit) and (c) an equivalent electric circuit of hot-wire type semiconductor gas sensor. E : sensor voltage, V : sensor output, $R_{0,1,2}$: fixed resistances, R_s : sensor resistance, r_s : resistance of semiconductor, r_c : resistance of platinum wire coil.

その酸化電位が他の干渉ガスに比べ低いことを利用し、電解（酸化）電位の最適化によって得られる。

3. 1. 2 ガス感度特性 Fig. 3 にホルムアルデヒドとその他の共存頻度が高いと考えられる干渉ガスの相対感度を示す。このセンサを搭載した検知器（商品名：ホルムテクター XP-308）での最小指示単位は 0.01 ppm（ガス濃度指示精度は同一条件下で $\pm 10\%$ ）であり、厚生省のホルムアルデヒドの指針値 0.08 ppm の濃度を測定することが出来る。しかし、感度特性（Fig. 3）から予想される如く、実際の室内環境ではホルムアルデヒド以外にエタノールなど他の干渉ガスが共存している場が多く、指示値は必ずしもホルムアルデヒドの濃度を正しく指示しているとは限らないので注意する必要がある。

3. 2 熱線型半導体式センサ

3. 2. 1 熱線型半導体式センサの構造と動作回路

Fig. 4 に示す如く、このセンサ素子は白金線のコイルに金属酸化物半導体粉末を焼結させた簡単な構造を持ち、コイルは焼結体を加熱するヒータと半導体の抵抗値変化を測る電極の役割とを兼ねている。これによりセンサは 2 端子であり、通

Fig. 5 Cross sensitivity of Au, $\text{La}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2$ system to VOCs, offensive odors and odorless gases.

Fig. 6 Variations in sensor output with absolute humidity in both clean air and air containing ethanol vapor.

常のブリッジ回路の一辺に組み込んで動作させる。センサ温度をブリッジ電圧により制御し、センサ抵抗の変化はブリッジ出力として測定する。なお、このセンサ素子は直径 0.5 mm 以下の球形で小電力（定常動作では通常 90~160 mW）であり、また焼結体内の温度分布もほぼ一様なため動作温度をコントロールしてガス選択性が得られ易い等の特徴を持つ。

3. 2. 2 SnO_2 系センサ

前述したように、室内空気質モニタリング用センサでは特定のガスに対して選択性を得るのではなく、各種の VOCs に対する感度を出来るだけ高くし、特に、微量の VOC 検知において不具合を与える水素に対する感度を出来るだけ抑制することが重要となる。

ところで、酸化スズなど金属酸化物半導体は、水素をはじめとして各種の還元性ガスに対して高い感度を持っている。特に、水素感度は CaO や La_2O_3 などの塩基性金属酸化物を添加し酸化スズの酸化活性を制御する（表面の塩基的改質）ことによって効率よく抑制できることが筆者らによって見出された¹²⁻¹⁴⁾。

この CaO/SnO_2 系センサに関して、特に多数のニオイ分子（物質）に関する感度について調べられた。即ち、ニオイの分野で知られているニオイ強度を支配するニオイ分子の物

理化学的因子（電気陰性度の大きい原子 N, O, S などを含む官能基, 不飽和度, 炭素数など）に関する知見から, ニオイ強度と化学的活性あるいは感度との間の相関が予想され系統的に調べられた¹⁵⁻¹⁷⁾. また, その湿度依存性も抑制され, 酸化スズが持つ大きな湿度依存性が CaO 等の塩基性金属酸化物の添加によって大きく改善されることが見出された. 酸化スズ表面の塩基的改質により吸着酸素や水酸基が安定化され雰囲気湿度の変動に影響され難くなっているものと考えられる.

この知見を基礎にして Au, $\text{La}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2$ 系センサ¹⁸⁾が開発された. Fig. 5 は Au, $\text{La}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2$ 系センサの感度特性を示す. この感度特性はほぼ CaO/SnO₂ 系センサのそれに類似しているが, 感度がより高い. 応答性やアンモニア感度の改善のために Au が添加されている. また, 湿度依存性も CaO/SnO₂ 系センサと同様に抑制されている (Fig. 6 参照).

3. 2. 3 In_2O_3 系センサ $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaO}/\text{In}_2\text{O}_3$ 系センサ¹⁹⁾では, 酸化インジウムの水素に対する感度を抑制するために, CaO/SnO₂ 系センサと同じく CaO が添加されている. 違いはセンサ素子表面に SiO_2 微粒子がシロキサン化合物の化学蒸着 (CVD: chemical vapor deposition) により分散されていることである. シロキサン化合物の化学蒸着により, 水素感度の増加を最小に押さえ, 目的のガスに対する感度を大きく増大させた. 湿度依存性も上述の 2 種のセンサと同様に抑制されている. このセンサの感度特性もほぼ上記 2 種類のセンサと良く似ている.

ちなみに, 一般家庭や事務所などの室内空気には, シロキサン化合物を使用した建材や家庭用品から発生する揮発性シロキサン化合物 (VOCs の一部) が存在する. このシロキサン化合物が, 加熱されたセンサ表面で熱分解して SiO_2 になり, 感度特性にしばしば影響を与える. このセンサはそのような被毒に対して, 完全とはいえないが, ある程度対策されたセンサである. なお, 現場での測定事例については他の文献^{20, 21)}を参照されたい.

4 まとめ

シックハウス症候群の原因物質である毒性物質の多くは悪臭あるいは不快臭のある物質でもあり, 室内空気汚染を評価する場合, 健康性と快適性の二つの視点が可能となる. 前者では特定の毒性物質があるかどうかの大きな関心であり, その同定が重要となり分析機器による成分分析に頼らざるを得ない. それに対し, 後者では何か混合ガス総体の効果としての不快臭に関心があり, ここにガスセンサを用いた簡易測定による評価の可能性, 有効性が出てくる.

室内空気質モニタリング用として使用が可能と考えられる電気化学式と半導体式センサについて紹介した. 分子が持つ毒性, 悪臭そして化学的活性の間にはその物理化学的因子を介して密接な関係があることを述べた. さらに選択的検知およびその S/N 比に大きな影響を与える大気中成分の水素と湿度の改善方法として, 酸化スズや酸化インジウム表面の塩基的改質の有効性を述べた. 今後, 高感度化と同時に S/N 比のさらなる向上が望まれる.

文 献

- 1) 田辺新一, 室内化学汚染—シックハウスの常識と対策, 講談社現代新書, p.90 (1997).
- 2) 能登春男・あきこ, 住まいの複合汚染, 三一書房 (1997).
- 3) 堀 雅宏, 化学物質による室内汚染と測定評価法, ALIA NEWS 37, p.30 (1997).
- 4) 堀 雅宏, 簡易測定・高まる時代のニーズ, 環境新聞 (1998. 9. 16).
- 5) 環境・福祉ケミカルセンサ調査専門委員会編, 環境・福祉ケミカルセンサの技術動向 (電気化学会技術報告), 第 814 号, p.44 (2000).
- 6) 平田利美, 前川麻弥, 能美 隆, *J. Mass Spectrom. Soc. Jpn.*, 46, p.259 (1998).
- 7) 日本環境衛生センター, 悪臭物質の測定等に関する研究報告書 (昭和 54 年度環境庁委託研究) (1980).
- 8) 岩下 剛, 悪臭防止法の改正と対策動向 (第 9 講: 室内環境の臭気評価および悪臭対策), (株)エヌ・ティー・エス, p. 217 (1996).
- 9) Dwight E. Gray (Coordinating Editor), Handbook of materials and science, CRC-RESS, Vol. 1, p.693 (1974).
- 10) 勝木 章, 福井 清, 第 29 回化学センサ研究発表会, p.124 (1999).
- 11) 新コスモス電機技術資料, ホルムテクター: XP-308.
- 12) 福井 清, 小松宏二, 第 4 回化学センサ研究発表会予稿集, p. 51 (1985).
- 13) 福井 清, センサ技術, Vol. 7, No. 13, p.47 (1987).
- 14) K. Fukui and K. Komatsu, 4th ICSSSA, Transducer '87, p.614 (1987).
- 15) 福井 清, 臭気の研究, 20 巻 4 号, p.273 (1989).
- 16) 福井 清, 公害と対策, Vol. 26, p.29 (1990).
- 17) K. Fukui, *Sensors & Actuator B*, 5, p.27 (1991).
- 18) 勝木 章, 福井 清, 特許申請中.
- 19) 勝木 章, 西田幸子, 福井 清, 特許申請中.
- 20) 久世 恭, 塩沢浩明, 日本インテリア学会 第 12 回大会研究発表梗概集, p.53 (2000).
- 21) 中山正樹, 吉岡優樹, 日本インテリア学会 第 12 回大会研究発表梗概集, p.55 (2000).

●著者プロフィール

氏名: 福井 清 Kiyoshi FUKUI
 所属: 新コスモス電機(株) コスモス研究所
 (〒532-0036 大阪市淀川区三津屋中 3-6-25)
 役職: 主任研究員
 趣味: ハイキング, 写真

氏名: 石川 博 Hiroshi ISHIKAWA
 所属: 新コスモス電機(株) コスモス研究所
 (〒532-0036 大阪市淀川区三津屋中 3-6-25)
 役職: 研究開発本部長兼研究所長
 趣味: ゴルフ, 釣り