

香りに優れたガラスの形状設計手法の開発

佐藤 英明*

Developing a Method for Designing Glass Shapes that Excel in Highlighting Fragrance

Hideaki SATO *

『香り』とはアルコール飲料やソフトドリンクの魅力そのものであり、これを最大に引き出すガラスは内容物の価値の向上につながる重要な容器である。これまでに香りに優れたガラスは多く存在するものの、工学的な視点から設計されたものは少なかった。本研究ではアルコールガスの可視化技術と Computer Aided Engineering(CAE)を組み合わせることにより、香りの挙動を模擬する CAE モデルを作成した。本モデルにより、形状の異なるガラスの香りの強さを数値化し、ブレンダーによる官能評価と比較したところ、良好に一致した。本手法を用いることで香りに優れたガラスの形状設計が容易となる。

"Fragrance" is an essence of alcoholic beverages and soft drinks appeal, and a glass which can maximize this is important to improve the value of its contents. While various glasses that show good performance in highlighting fragrance are available, glasses from an engineering perspective are very few. In this study, we have developed a procedure that combines the visualization of alcohol gas and a Computer Aided Engineering (CAE) model for the behavior of a fragrance. We used this procedure to quantify the strength of fragrances for different glass shapes and compared them with sensory evaluations performed by blenders. A good agreement was found between these two in the comparison. This procedure enables the designing of glass shapes that excel in highlighting fragrance.

キーワード：ガラス、香り、アルコール、可視化、CAE、CFD、官能評価

Keywords : Glass, Fragrance, Alcohol, Visualization, CAE, CFD, Sensory Evaluation

1. 緒言

『香り』とはアルコール飲料やソフトドリンクの魅力そのものであり、これを最大に引き出すガラスは内容物の価値の

向上につながる重要な容器である。ワイングラスに代表されるように、人類は古くからさまざまなガラスを作成し、内容物の香りを愉しんできた。ガラスの形状

*原稿受付日の所属 アサヒビール株式会社 容器包装研究所
審査受理日の所属アサヒグループホールディングス株式会社プロセス開発研究所
(〒302-0106 茨城県守谷市緑 1-1-21)
ASAHI GROUP HOLDINGS,LTD., Process Development Laboratories,1-21,MIDORI 1-CHOME,
MORIYA-SHI,IBARAKI, 302-0106, Email: hideaki.sato@asahigroup-holdings.com

と香りの強さの関係は、経験的に知られており、硝子メーカーから多種多様なガラスが市販されていて¹⁾、消費者を楽しませている。

一般的に、ガラスを設計する際、香りのエビデンスという点においてはパネリストによる官能評価が主体であった。このため、ガラスの形状設計の段階で、香りの拡散や残留を予測する手法がなく、試作品を作成し評価を繰り返す必要が生じた。また、試作品による評価で最適な形状を探索できる保証はなく、設計者の勘に頼った形状設計となっているのが現状であった。

一方、近年のコンピューターによる計算科学の発展は著しく、Computer Aided Engineering(CAE)に代表される数値解析手法がものづくりの現場において一般化してきている^{2,3)}。二十年程前のCAEは、高度な専門性や超ハイスペックな計算マシンなどが必要であったが、CAEベンダーの努力によって、そのハードルは明確に下がってきている^{4,5)}。その努力のいかにもあり、食品業界や包装業界にもCAEが導入され、多くの解析事例が報告されている^{6,7)}。

また、新規センシング技術の発展も著しく、応力可視化カメラやハイスピードカメラなど現場に設置可能で迅速に有効なデータを収集できる時代となった。たとえば三林はワイングラスから蒸発するエタノールガスの可視化に成功している

⁸⁾。本研究では、それらの最先端の工学技術を組み合わせ、香りに優れたガラスの形状設計手法の開発を試みた。

なお、本研究は以下の3ステップで構成される。

Step1 赤外線カメラによるアルコールガスの可視化

Step2 CAEによるガラス内空気拡散のモデル化

Step3 官能評価によるCAEモデルの検証

2. 実験

香りは、ガラス内の空気層に存在していることから、この挙動を把握するために、アルコールガス可視化カメラを用いた。液面から揮発されるアルコールガスを空気層の挙動を捉えるマーカーとし、赤外線サーモグラフィカメラ(GF320, FLIR)を使用してアルコールガスの挙動を可視化した。

なお、本論では、揮発したアルコールをアルコールガスと表記した。

2.1 赤外線カメラについて

本カメラは、揮発性有機化合物を検知する携帯型の赤外線サーモグラフィカメラである。検出可能なガスはエタノールなど多種にわたる。受光素子(FPA)／波長感度域は冷却型 InSb/3.2-3.4 μ m である⁹⁾。

測定の原理を以下に記す。背景からは常に赤外エネルギーが放射されているが、ガスが存在すると、その放射エネルギー

を吸収する。そのため、背景とのコントラストにより、ガスを可視化することができる (Fig.1 参照)。

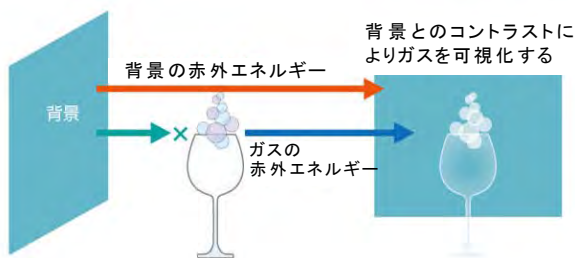
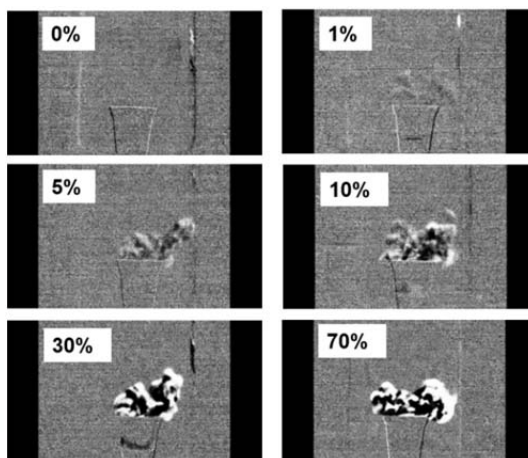


Fig. 1 The principle of visualization

2.2 検証試験

本機の有用性を確認するために、エタノールガスの挙動の可視化試験を行った。プラスチック製の容器にエタノール液を100mL 充填し、その直後に蓋をして30秒間静止した。30秒経過後、蓋を持ち上げた直後のエタノールガスの拡散の挙動を観察した。撮影した画像を Fig.2 に示す。容器内の空気層に溜まったエタノールガスが蓋の持ち上げによって拡散する様子を確認した。充填したエタノール液の濃度が高いほど、エタノールガスが鮮明に拡散した。本結果により、本機の有用性を確認した。



充填したエタノール液の濃度を各画の左上に記す本画像により、エタノールガスの濃度の定量化はできない

Fig. 2 Dispersal of ethanol gas of different concentrations

2.3 実サンプルの可視化実験

形状の異なる4種類のグラスを用いて、アルコールガスの可視化を試みた。グラスは、市販されている赤ワイングラス、シャンパングラス、カクテルグラス、汎用グラスとした。グラスの外観の写真を Fig.3 に示す。寸法は実測値である。



Fig. 3 Photo of glasses used for the test

各グラスにウイスキー（ブラックニッカクリア，アルコール 37%）を 100mL 充填し、その直後に蓋をして 30 秒間静止した。蓋を持ち上げた直後のアルコールガスの挙動を撮影した。

2.4 実験結果と考察

撮影した画像を Fig.4 に示す。各グラスともアルコールガスの挙動は大きく異なっており、赤ワイングラスはアルコールガスの一部がグラスの内部に滞留していた。カクテルグラスにおいては、滞留はなく、液面から広範囲に拡散した。各グラスの形状の視点から考察すると、赤ワイングラスは丸みを帯びており、丸みによってアルコールガスの流れが逆流するため、アルコールガスが滞留したと推察した。アルコールガスをグラス内の空気層の挙動のマーカーストとみなすと、香りは空気層内に存在するため、赤ワイングラスは、空気すなわち香りが残留し、香りが強く残ると推察した。一般的なワイングラスは丸みを帯びているが、香りを強く感じるためには、理にかなっている。

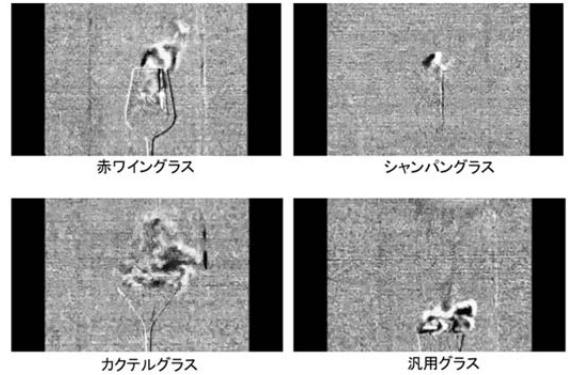


Fig. 4 Dispersal of alcohol gas from different glasses

2.5 実験の結論

香りは、グラス内の空気層に存在していることから、この挙動を把握するために、アルコールガス可視化カメラを用いた。液面から揮発されるアルコールガスを空気層の挙動を捉えるマーカーストとし、赤外線サーモグラフィカメラ (FLIR GF320) を使用してアルコールガスの挙動を可視化した。

(1) エタノールを用いた検証試験を行い、本機の有用性を確認した。

(2) 4 種類の形状の異なるグラスを用いて、アルコールガスの撮影を行った結果、赤ワイングラスはアルコールガスの一部がグラスの内部に滞留した。

(3) 上記の結果より、赤ワイングラスは香りが強く残ると推察した。

3. CAE モデルの作成

実験により、アルコールガスの挙動の撮影に成功したが、グラス内空気層の流

れ場の理解を深めることと、グラスの形状設計への応用のために、CAEモデルの作成を試みた。

3.1 CAE ソフトウェアについて

熱流体解析ソフトウェアは幾多の製品が存在するが、本研究では国産のプリプロセッサ、ソルバー、ポストプロセッサを有し、高い信頼性を誇る SCRYU/Tetra (株式会社ソフトウェアクレイドル)¹⁰⁾を使用した。

3.2 CAE モデル作成手順

CAEモデル作成は、以下の2ステップから成る。

Step1 グラスの形状を測定し、3D-CADソフト (SpaceClaim, ANSYS)で3次元化する

Step2 SCRYU/Tetra によるグラス内空気拡散のモデル化を行う

3.2.1 3D-CAD 化

解析対象とするグラスの外形の形状を輪郭形状測定機で測定し、得られた実線をスキャナーで読み込み、SpaceClaimの編集機能にて2D-CAD化した。さらに中心軸周りにプル機能を使用し、3D-CAD化した。液量は約100mLとした。Fig.5に示す。



Fig. 5 3D-CAD model of different glasses

解析条件を以下に定めた。

解析対象とする空間：縦4m×横4m×高さ3mの空間とした。底面部にグラスを設置した。

蓋：グラスのフチ部にソリッドの加工機能を使用し、フチを埋めて蓋を作成した。

解析の種類：空気層内に拡散物質を定義し、拡散解析を実施した。空気層内の初期に、濃度が1(100%)の状態に充満し、これが空気の流れに沿って拡散していく挙動を解析した。

流れの種類：乱流とした。乱流モデルは標準k-εモデルとした。

解析対象時間：2.0秒とした。時間間隔を0.0001秒とし、20000サイクルの計算とした。

蓋の動きの模擬：蓋をはずすと蓋の動きによって上昇気流が生じる。そこで、

蓋の動きを模擬した体積力をガラス上部で与えた。この上昇気流によって、グラス内の空気層にも上向きの流れが発生する。模式図を Fig.6 に示す。

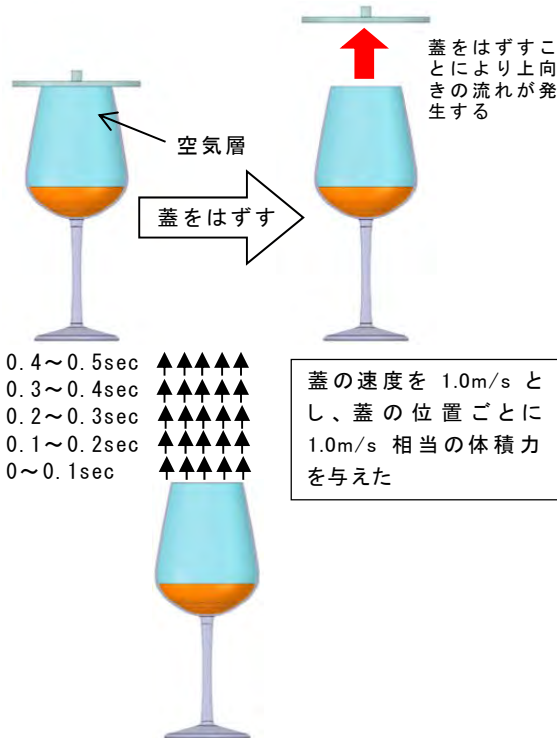


Fig. 6 Model of lid movement from volume force

体積力は、以下の式で表される¹¹⁾。

$$F = -\sin(\psi) * C * |\psi|^B * SCL$$

ψ : U-V

U: 上方向流速成分

$\sin(\psi)$: ψ が正の場合 1, 負の場合 -1

SCL: 要素の体積

今回は C:500, B:2 とした。

V: 1.0 [m/s]

この式は、上向きの流速と V の差に応

じて体積力が発生することを表している。

メッシュ: グラス内空気層、蓋による上昇気流発生箇所のメッシュを細かくした。液面、蓋、グラス側面、解析領域の下面に境界層要素を定義した。中心断面のメッシュを Fig.7 に示す。

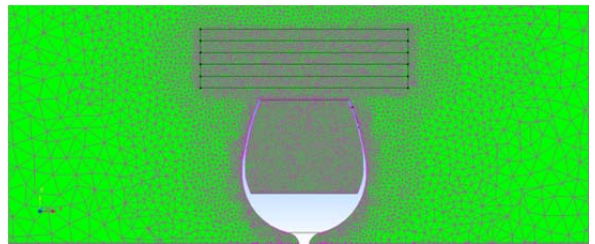


Fig. 7 Mesh of the center cross section of a glass

3.3 CAE 解析結果

蓋を開けて 1.0sec 後の拡散物質の濃度分布を Fig.8 に示す。図中の赤色ほど拡散物質の濃度が高く、青色ほど濃度が低い。赤ワイングラスの濃度が最も高く、シャンパングラス、汎用グラス、カクテルグラスの順となった。

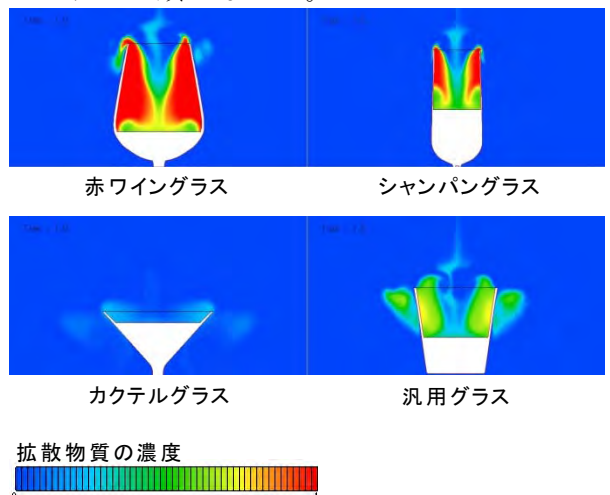


Fig. 8 Distribution of dispersed matter from different glasses (after 1.0 sec)

3.4 解析結果の考察

解析条件や解析結果の妥当性を検証するため、赤外線カメラの画像と比較すると、両者の特徴は大きく異なっていることが分かる。本赤外線カメラは、濃度が高いほど鮮明に映るが、ガスの移動速度が速いほど鮮明に映る特徴がある。そこで、SCRYU/Tetra のポスト処理機能を使用し「拡散物質の濃度×速度」を表示させ、両者を比較したところ、良好に一致した。Fig.9 に示す。

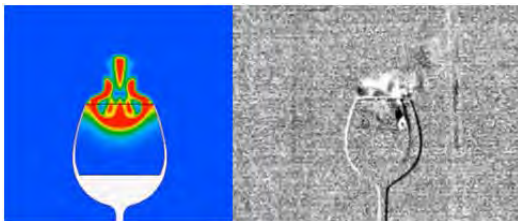


Fig. 9 Comparison of dispersed matter
left : simulation(concentration × speed) ,
right : photo(Infrared Cameras FLIR
GF320)

また、各グラスの流速ベクトルを確認したところ、いずれのグラスも空気層の流れ場は複雑な流れを示していたが、赤ワイングラスにおいては、液面付近に大きな渦が発生していた。蓋を開けて 2.0 秒後の流速ベクトルを Fig.10 に示す。カクテルグラスにおいては、渦は小さくなり、ほぼ消失していたが、赤ワイングラスにおいては、渦は大きさを保ったままであり、流れが滞留していた。よって、空気層内の香りも保たれていることにより、赤ワイングラスは香りが強く残るこ

とが示唆された。

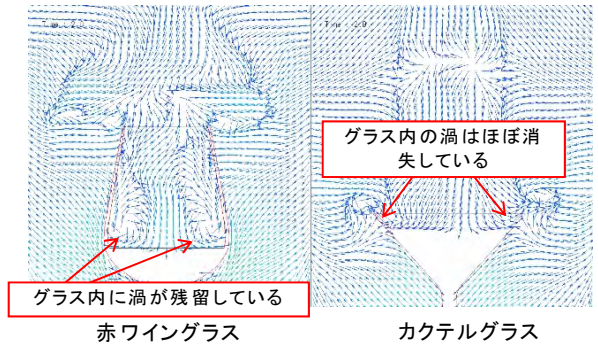


Fig. 10 Comparison of flow rate vector
(after 2.0 sec)

4. 官能評価

ブレンダーによる官能評価を行い、本モデルの検証を行った。Fig.11 に各グラスの 3D-CAD を示す。



Fig. 11 3D-CAD models of different glasses

4.1 官能評価の手順

9名の被験者による官能評価を実施した(順位法)。各グラスにウイスキー(余市, アルコール45%)の50%水割り(アルコール22.5%)を35mL充填し、その直後に蓋をして30秒間静止した。蓋をはずし、直後に鼻をグラスの淵部に近づけて香りを評価した。

4.2 官能評価の結果

Table1に官能評価の結果を示す。グラス1,3,4,2の順に香りが強い結果であった。

Table1 官能評価の結果

	グラス1	グラス2	グラス3	グラス4
平均	1.2	4.0	2.3	2.9
順位	1	4	2	3

1:香りが強い 4:香りが弱い(順位)

4.3 CAE解析結果

Fig.12に各グラスの空気層の拡散物質の平均濃度変化を示す。なお、0.5,1.0,1.5,2.0秒の解析結果をポスト出力し、Microsoft Excelの散布図機能により曲線化した。Fig.13,14に蓋を開けた後の拡散物質の濃度分布を示す。

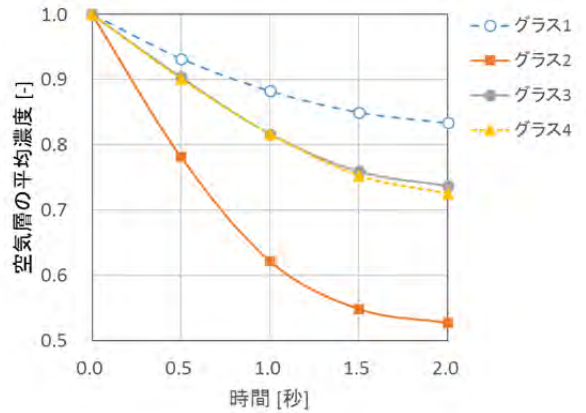


Fig. 12 Relationship between average Concentration of dispersed matter and elapsed time

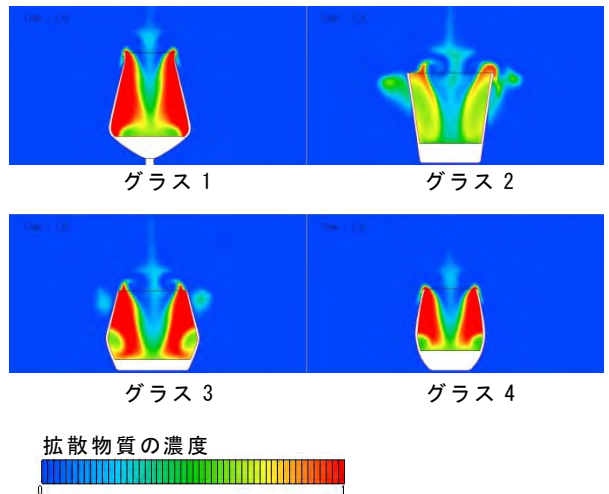


Fig. 13 Distribution of dispersed matter from different glasses (after 1.0 sec)

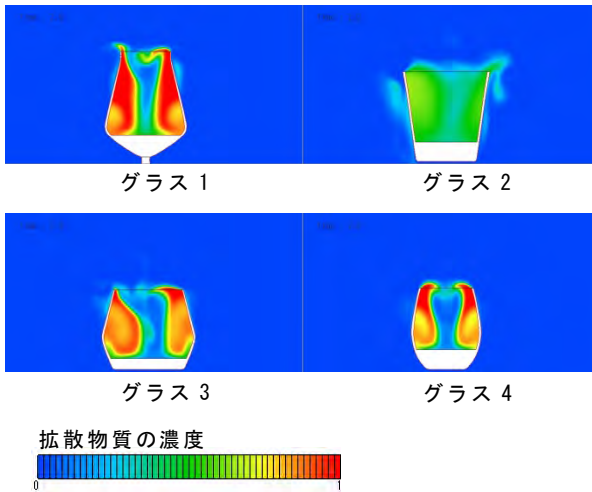


Fig. 14 Distribution of dispersed matter from different glasses (after 2.0 sec)

4.4 考察

官能評価の結果と 2.0 秒後の解析結果を比較すると、両者は定性的に一致している。特に、グラス 3 と 4 において、官能評価の結果は僅差で 3>4 であるが、解析結果においても同様に僅差で 3>4 であったことから、本モデルはグラス間の僅差についても識別可能であると考えられる。僅差のレベルについては、今後精査していく必要がある。

5. 結言

本研究では、グラスの形状から香りの強さを予測可能な CAE モデルの開発を試みた。赤外線サーモグラフィカメラのアルコールガスの拡散の撮影結果と、熱流体解析ソフトウェア SCRYU/Tetra によるグラス内空気層の拡散解析の結果を比較したところ、良好に一致した。さら

に官能評価の結果と比較したところ、定性的に一致した。以上の結果により、本モデルの有用性を示すことができた。なお、本設計手法については特許出願を行った¹²⁾。

6. 今後の展望

本モデルを活用し、グラスを設計するアプリケーションとして、以下の二つが考えられる。

- ①あらかじめ手動で 3D-CAD でグラスの形状を作成しておき、手動で CAE 解析作業を行う。
 - ②上記の手動の解析作業を最適化ソフト¹³⁾で自動化することにより省力化する。
- ①の作業でも試作を作成することなく、香りの拡散の予測が可能となるため、設計が容易となるが、②の自動化作業を組み合わせるとさらに容易となる。形状探索の数も数十から数百パターンは期待できるが、自動化のためのシーケンスを作成する必要がある。この易化が最適化解析の次の課題であろう。

謝辞

CAE 解析において、技術サポートを頂きました株式会社ソフトウェアクレイドルの森様、前田様に心より御礼申し上げます。

＜参考文献＞

- 1) 石塚硝子株式会社、ガラス食器、
<http://www.ishizuka.co.jp/pb/houseware/> (2018年8月20日)
 - 2) サイバネットシステム株式会社、CAE事例一覧、
<http://www.cybernet.co.jp/ansys/case/> (2018年8月20日)
 - 3) 株式会社ソフトウェアクレイドル、解析事例・インタビュー、
http://www.cradle.co.jp/casestudy/user_interview/0000000025 (2018年8月20日)
 - 4) サイバネットシステム株式会社、ANSYS Discovery Live、
<https://www.discovery.cybernet.co.jp/> (2018年8月20日)
 - 5) 株式会社ソフトウェアクレイドル、技術コラム、
<http://www.cradle.co.jp/tec/column01/index.html> (2018年8月20日)
 - 6) Hideaki Sato, Takahiro Miura, Hiroya Furuichi, FEM analysis of tablet hardness and punch strength using ANSYS software, Journal of Computational Science and Technology, **5**(3), PP.120-133(2011)
 - 7) 長谷 貴樹、富田 晋平、包装材料製品開発に役立つマルチフィジックスシミュレーション、日本包装学会誌, **26**(2), p. 61 (2017)
 - 8) 三林浩二、疾病や代謝のメカニズムに基づくにおい成分センシングと探嗅カメラ(可視化)、におい・かおり環境学会誌、**46**(3)、200-208、2015
 - 9) FRIR、赤外線サーモグラフィFLIR GF300/320 製品資料、
http://www.flirmedia.com/MMC/THG/Brochures/OGI_006/OGI_006_JP.pdf (2018年8月20日)
 - 10) 株式会社ソフトウェアクレイドル、SCRYU/Tetra® 製品紹介、
<http://www.cradle.co.jp/products/scryutetra.html> (2018年8月20日)
 - 11) 株式会社ソフトウェアクレイドル、ユーザーズガイド基礎編
 - 12) 佐藤英明、アサヒビール株式会社、特願 2016-155839
 - 13) サイバネットシステム株式会社、Optimus、
<http://www.cybernet.co.jp/optimus/> (2018年8月20日)
- (原稿受付 2018年8月30日)
(審査受理 2018年10月26日)