

セルフ健康管理への生体ガス計測の応用展開

ドコモは、スマートライフ領域としての健康・医療分野において、生体情報を用いたセルフ健康管理に向けた研究開発を進めている。特に呼吸や皮膚表面から放出される生体ガスからは、採血のような痛みを伴うことなく、個人差が反映された生体情報を数多く得ることができるため、多項目計測によるセルフ健康管理への応用が可能である。そこで、脂肪代謝や飲酒などの指標となる複数種類の生体ガス成分を、呼吸や足裏の皮膚表面から自身で簡単に計測できる装置を開発した。これらをユーザが気軽に利用することで、自身の健康の維持や増進、病気の予防や早期発見に役立つものと期待される。

先進技術研究所 やまだ ゆうき ひやま さとし
山田 祐樹 檜山 聡

1. まえがき

ドコモは、2015年4月に発表した「中期目標に向けた新たな取り組み」として、さまざまなパートナーとの協創による価値創造を掲げ、サービスを通じて社会的課題の解決にも取り組んでいる[1]。この社会的課題には、健康・医療分野も含まれ、生活習慣病などライフステージ上でのさまざまな問題を解決し、健康で充実した長生き生活の実現に貢献する研究開発を推進している。中でも重視しているのは、妊娠中における糖尿病や高血圧症候群などの病気予防と、成人期における生活習慣病の改善や予防である(図1)。

前者に対しては、ゲノム情報*1に

加えて定期的な採血などで得られる体内物質に関するデータと、ヘルスケアデータ収集基盤*2を活用して得られる日々のヘルスケアデータを組み合わせた情報解析を行うことで、妊娠に関連する病気の発症予防法や早期発見法の確立をめざした共同研究を東北大学と実施している[2][3]。

後者に対しては、万病の元となり、生活習慣病の発症リスクをあげる肥満を改善・予防するため、脂肪代謝の「見える化」に取り組んでいる。具体的には、脂肪代謝の指標となるアセトン*3を、息を吹きかけて計測する装置[4][5]や、腕に身につけて計測する装置[6][7]などを開発してきている。アセトンのような呼吸や

皮膚表面から放出される生体ガス*4からは、採血のような痛みを伴うことなく個人差が反映された代謝などの生体情報を数多く得ることができ、採取や測定に資格も必要としない。そのため、街中や家庭での気軽な多項目計測によるセルフ健康管理への応用が期待されている。

そこでドコモは、街中でのセルフ健康検査用途として開発されたヘルスキオスクに呼吸計測装置を実装し、また家庭でのセルフ健康管理用途として足裏皮膚ガス*5計測装置を開発した。これらをユーザが気軽に利用することで、健康の維持や増進、病気の予防や早期発見に役立つことが期待される。本稿では、これら開発装置の概要について解説する。

©2017 NTT DOCOMO, INC.
本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

*1 **ゲノム情報**：生物が持っているさまざまな遺伝子に関する情報。

*2 **ヘルスケアデータ収集基盤**：日常的に計測された血圧や活動量などのヘルスケアデータを収集して、生活習慣の一部を高精度かつ高頻度に把握するデータ収集基盤。

*3 **アセトン**：揮発性が高い有機化合物。化学式C₃H₈O。

*4 **生体ガス**：呼吸や皮膚表面から放出されるガス。

*5 **皮膚ガス**：皮膚表面から放出される生体ガス。

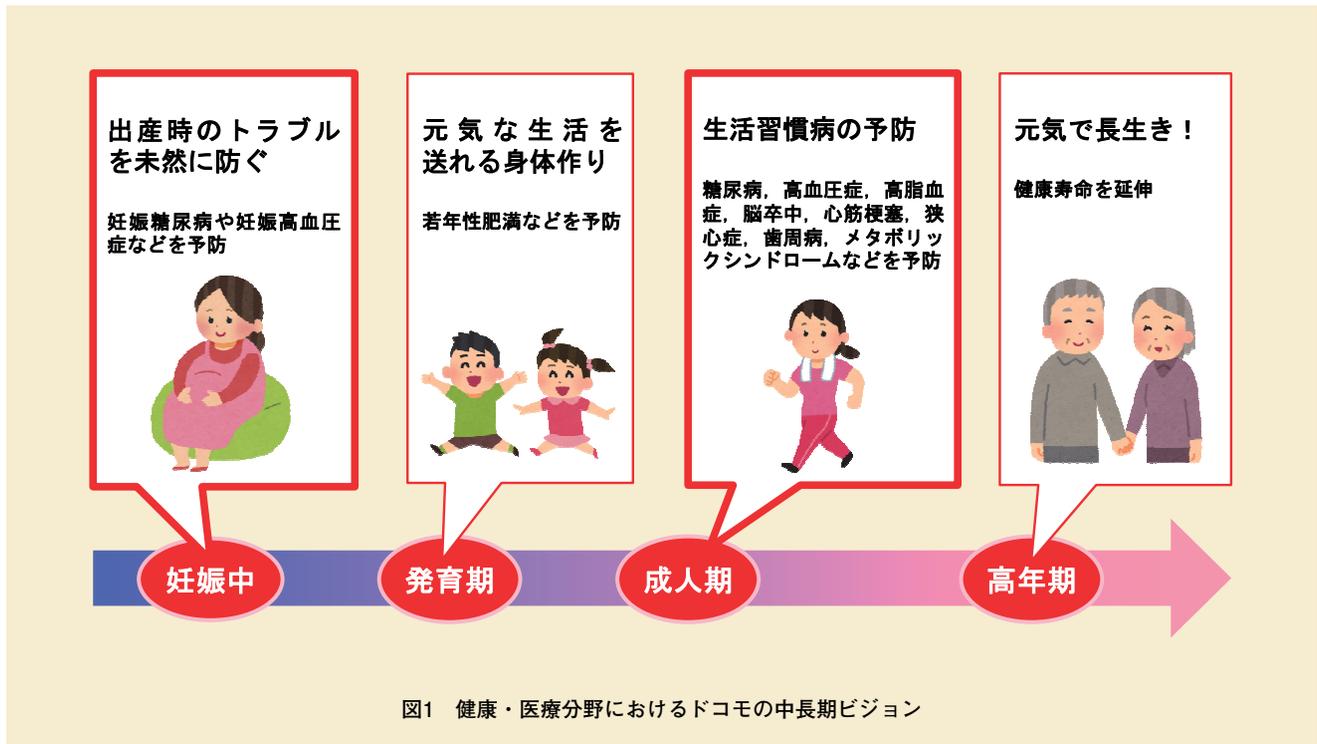


図1 健康・医療分野におけるドコモの中長期ビジョン

2. ヘルスキオスクへの呼気計測装置の実装

2.1 ヘルスキオスクの概要

「ヘルスキオスク」は、ユーザが画面の案内に従いながら備え付けの各種センサや健康管理機器を操作し、自身の健康状態に異常がないかを検査できる機器である。公益財団法人福岡県産業・科学技術振興財団社会システム実証センターと、国立大学法人九州大学システムLSI研究センターの指導の下、株式会社スマートサービステクノロジーズが開発・製造しており、身長、体重、血圧、体脂肪率、体温、脈拍、視力、聴力、肺活量、緑内障、白内障、心電波形、メンタルヘルス、認知症など計21項目以上のセルフ健康検査が可能である（図2）。ユーザはICカードに

よって個人認証され、各項目の検査結果はその場で画面表示されるとともに、ネットワーク上のサーバに蓄積される。蓄積された検査結果は、PCやモバイル端末から閲覧可能である。

2.2 呼気計測装置の実装

呼気中にはアセトン以外にも数百種類ともいわれるガス成分が含まれており、そのうちの一部のガス成分はアセトン計測に誤差を生じさせる。そのため、従来のガス計測装置ではガス成分を分離して計測しており、装置の大型化の主な要因となっていた。そこで、ドコモが開発した呼気計測装置では、感度特性が異なる2種類の半導体式ガスセンサを実装している。第1のガスセンサは酸化タングステンを主なセンサ材料とし、

アセトンに対して特に高い感度を示すものを選定した。一方、第2のガスセンサは酸化スズを主なセンサ材料とし、アセトンとアセトン計測に誤差を生じさせるガス成分に対して感度を示すものを選定した。アセトンとアセトン計測に誤差を生じさせるガス成分に対する半導体式ガスセンサの感度特性評価をあらかじめ行い、それぞれの結果を基にして検量線*6を求めて装置に記録しておくことで、ガス成分を分離することなく、呼気中のアセトン濃度を精度よく算出できる。開発装置は大きさが65×100×25mm、重さが125gであり、ガス成分を分離して厳密なガス分析を行う従来の計測装置と比べて体積で約1/100、重量で約1/50の小型軽量化に成功した。

このドコモが開発した呼気計測装

*6 検量線：あらかじめ量や濃度などが判っている標準物質と、それに対する測定データとの間の関係を示したグラフ。



5～6秒間息を吹きかけるだけで、脂肪代謝の指標となる「アセトン」と、飲酒の指標となる「エタノール」の濃度を同時に計測可能な呼気計測装置を実装

- ①緑内障、白内障、メンタルヘルス、認知症検査および操作案内、結果表示用ディスプレイ
- ②身長計測センサ
- ③聴力検査用ヘッドホン
- ④ICカードリーダー
- ⑤視力検査用リモコン
- ⑥体温センサ
- ⑦肺活量計
- ⑧血圧、脈拍、心電計
- ⑨呼気計測装置
- ⑩視力検査用覗穴
- ⑪体重・体脂肪率計

図2 呼気計測装置を実装したヘルスキオスク

置は小型・軽量であるだけでなく、装置の操作も簡易であるため、ヘルスキオスクにも容易に実装することができ、新たに脂肪代謝の検査機能を追加することができた。装置実装後のヘルスキオスクは、糖尿病や摂食障害、過度なダイエットなどに起因する代謝異常の有無も検査可能な世界最先端のセルフ健康検査機器となっている。

本機器は、病院受診要否の判断や、健康増進、病気の早期発見に役立つと期待され、医師不足の地域や離島などでは特に利用ニーズが高い。今後はそれらの地域住民を対象とした国内外での利用実験を行い、ヘルス

キオスクの有用性を実証していく。また、公共施設や薬局などの街中に設置することで気軽にセルフ健康検査を行えるようにしたいと考えている。

3. 足裏皮膚ガス計測装置の開発

3.1 計測装置の概要

自身の体重を日々計測し、体重管理やダイエットに役立てることは、肥満を改善・予防するうえで重要であり、広く一般的に行われている。近年、体重計・体組成計の高機能化が進み、体重や体脂肪率はもちろん、筋肉量や骨量なども計測できる機器

が市場で販売されている。体重計・体組成計は一家に一台あると言っても過言ではなく、広く一般に普及している代表的な健康機器の1つである。脂肪燃焼の指標となるアセトン、飲酒の指標となるエタノール*7、脱水の指標となる水蒸気などの生体ガス成分は、呼気だけでなく皮膚表面からも放出されているため、体重計測時にアセトンなどの皮膚ガス成分も同時に計測できれば、手軽により多項目の健康チェックが実現できる。そこで、アセトン、エタノール、水蒸気の3種類のガス成分を、体重計を模した装置に乗るだけで同時に計測できる「足裏皮膚

*7 エタノール：揮発性が高い有機化合物で酒類の主成分。化学式C₂H₆O。

ガス計測装置」を世界で初めて開発した(図3) [8].

今回の開発装置は大きさが30×30×3.5cm, 重さが1.7kgであり, 一般的な体重計・体組成計と同等の大きさ, 重さである. 開発装置には4つの皮膚ガス捕集・測定孔があり, 各孔にアセトンに高感度なガスセンサ, エタノールに高感度なガスセンサ, 温度・湿度センサ, ユーザが装置に乗ったことを判定するための物理スイッチを備えている. 皮膚から放出されるガス成分の量は呼吸中のガス成分の量よりも非常に少ないため, ガスセンサ自体の高感度化および, 装置へのガスセンサの実装方法を工夫することで, 極微量な皮膚ガス成分の計測を可能とした. 開発装置に乗ると, 約20秒間で足裏の皮膚から放出されたアセトン, エタノール, 水蒸気の同時計測を行う. なお, ア

セトンなどの生体ガス成分の分子の大きさは数Å^{*8}程度であるのに対し, 靴下やストッキングの繊維の網目は数百μm^{*9}程度であるため, 生体ガス成分の分子は繊維の網目を通り抜けられることから, 靴下やストッキングをはいた状態でも生体ガスの計測は可能である. 計測結果はBluetooth[®]^{*10}による無線伝送で, 対向するスマートフォンまたはタブレットに送信される.

一方, 対向するスマートフォンまたはタブレットには, 開発装置からの送信データを受信し, 計測結果に応じて現在の脂肪代謝レベル, 酒気帯びの有無, 脱水の有無と, それらに関連する健康アドバイスをGUI (Graphical User Interface)^{*11}で視覚的に表現するAndroid[™]^{*12}アプリケーションを開発・実装した. 計測結果の表示例を図4に示す.

3.2 性能評価実験

開発装置のガスセンサによる計測精度を確認するため, 性能評価実験を実施した. 実験方法として, 開発装置と従来の大型のガス計測装置(ガスクロマトグラフィ装置^{*13})で, 複数の被験者の皮膚から放出されるアセトンとエタノールを計測し, 両装置で計測された各ガス成分の量の比較評価を行った. その結果, 開発装置による計測結果と正の高い相関が認められた(アセトンの相関係数^{*14} $R=0.87$, エタノールの相関係数 $R=0.99$) (図5). これらの結果より, ユーザが簡易的に自身の健康状態を家庭で把握する利用用途において, 実用に耐えうるレベルであることがわかった. 開発装置は3種類の皮膚ガス成分のみ計測可能であるが, 今後, 体重などを計測する機能

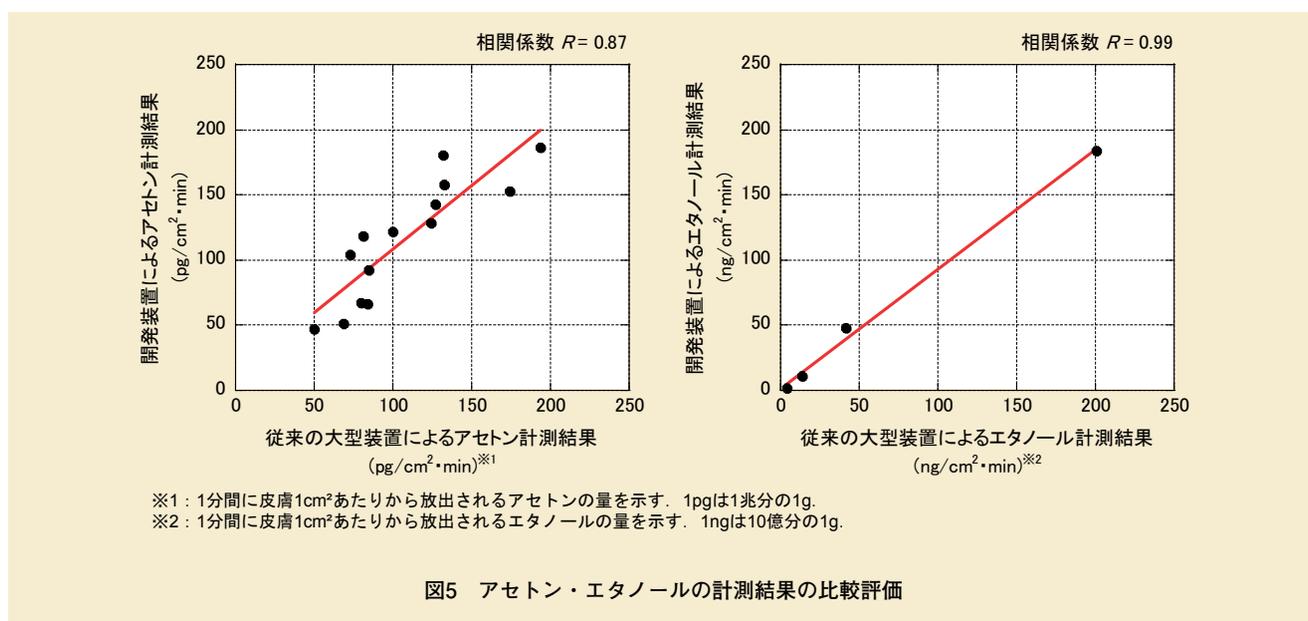


図3 足裏皮膚ガス計測システム

*8 Å: 長さの単位. 1Åは100億分の1m.
*9 μm: 長さの単位. 1μmは100万分の1m.
*10 Bluetooth[®]: 免許申請や使用登録の不要な2.4GHz帯の電波を使った近距離無線通信規格の1つ (IEEE 802.15.1). 米国Bluetooth SIG Inc.の登録商標.

*11 GUI: 操作や表示の対象が絵で表現され, 直感的な操作や視認性に優れたインターフェース.
*12 Android[™]: 米国Google Inc.が開発したLinuxベースのオープンプラットフォームで, 携帯情報端末を主なターゲットとしている.

米国Google Inc.の商標または登録商標.
*13 ガスクロマトグラフィ装置: ガス成分の同一・定量に汎用的に用いられる微量分析装置であり, カラムによってガス成分を分離して計測する.



も実装する予定である。

3.3 期待される効果

(1) ダイエット支援や健康アドバイス
 ダイエットを成功させるためには、水分や筋肉ではなく、体脂肪を減少

させる必要があるが、体重を測るだけでは減量したものが体脂肪であるのか、それとも水分や筋肉であるのかが特定できない。これに対し、アセトンは体脂肪の分解・燃焼に伴って放出される代謝産物であるため、

体重と合わせて計測することで、体脂肪の減少による減量なのか否かを特定することができ、効果的なダイエットを行うことが可能となる。なお、インピーダンス法^{*15}に基づく体組成計では体内の水分量の増減が体

*14 相関係数：2つの変数の間の類似性の度合いを示す統計学的指標。1に近いほど類似性が高く、0に近いほど類似性が低い。

*15 インピーダンス法：体内に微弱な電流を流して電気伝導性を計測することで、体内の水分量や体脂肪率、筋肉量を間接的に求める方法。

脂肪量の計測に影響を与えて大きな計測誤差となりうるが、アセトン計測の場合はそのような影響をうけない。さらに、過度なダイエットを行っている場合には、炭水化物の摂取不足によって体脂肪が過剰に分解・燃焼されてアセトンの放出量が異常に多くなるため、ユーザに注意喚起を行うことで健康損失への抑止にもつながる。ダイエットに興味がある人にとっては、体重計に乗るといった動作は日常的であり、負担なくアセトン計測による脂肪代謝の評価が行える。また、エタノールや水蒸気の計測結果から飲酒頻度などの生活習慣を推定して健康アドバイスをすることも可能である。

(2) ケトアシドーシスの早期発見

アセトンを計測することは糖尿病患者や妊婦などが発症する代謝異常の病気（ケトアシドーシス）の早期発見にも役立つことが期待される。ケトアシドーシスは、ケトン体^{*16}の蓄積により血液が酸性に傾いた状態を示し、早期に適切な治療が行われないと死に至る可能性もある疾患として知られている。また、脱水時には症状がさらに重篤化する危険性もある。糖尿病患者や妊婦は日常的に体重管理を行っているため、体重と合わせて皮膚ガス成分を計測することで、負担なくケトアシドーシスの早期発見につながる可能性が高い。

4. あとがき

本稿では、街中でのセルフ健康検

査用途として呼気計測装置を実装したヘルスキオスクと、家庭でのセルフ健康管理用途として足裏皮膚ガス計測装置の概要を解説した。これらを日常的に気軽にユーザが利用することで、健康の維持や増進、病気の予防や早期発見に役立つものと期待される。

日本における平均寿命と健康寿命^{*17}の差は、平成22年で男性9.13年、女性12.68年もあり、日常生活に制限のある不健康な期間が9年から13年近くもあることがわかる[9]。また、平成13年と平成22年を比べると、日本の平均寿命は、男性が1.48年、女性が1.37年延びているのに対し、健康寿命は、男性が1.02年、女性が0.97年しか延びておらず、平均寿命の延伸よりも健康寿命の延伸が小さい[9]。両者の差は拡大傾向にあり、医療費や介護給付費の多くを消費する不健康な期間が増大しているため、この観点からも健康寿命を延伸する必要がある。

ドコモは、健康・医療分野への研究開発の各種取り組みを通じて、健康寿命のさらなる延伸による平均寿命との差の短縮化など、社会的課題の解決に貢献していく。

文献

- [1] NTTドコモ報道発表資料：“中期目標に向けた新たな取り組み,” Apr. 2015. https://www.nttdocomo.co.jp/info/news_release/2015/04/28_00.html
- [2] 越智, ほか：“ヘルスケアデータとゲノム解析を活用した病気の予防・早期

発見に向けた取り組み,” 本誌, Vol.23, No.3, pp.23-28, Oct. 2015.

- [3] NTTドコモ報道発表資料：“妊婦の病気の予防に向けた研究において参加者募集が完了—世界最大規模のライフログデータと生体データの統合解析を開始—,” Nov. 2016. https://www.nttdocomo.co.jp/info/news_release/notice/2016/11/15_00.html
- [4] 山田, ほか：“「バイオチップ携帯」の実現に向けた呼気アセトン計測装置の開発,” 本誌, Vol.20, No.1, pp.49-54, Apr. 2012.
- [5] T. Toyooka, S. Hiyama and Y. Yamada: “A Prototype Portable Breath Acetone Analyzer for Monitoring Fat Loss,” J. Breath Res., Vol.7, No.3, 036005, Jul. 2013.
- [6] 山田, ほか：“ウェアラブル皮膚アセトン測定装置の開発と健康管理への応用,” 本誌, Vol.23, No.2, pp.74-79, Jul. 2015.
- [7] Y. Yamada, S. Hiyama, T. Toyooka, S. Takeuchi, K. Itabashi, T. Okubo and H. Tabata: “Ultratrace Measurement of Acetone from Skin Using Zeolite: Toward Development of a Wearable Monitor of Fat Metabolism,” Anal. Chem., Vol.87, pp.7588-7594, Jul. 2015.
- [8] NTTドコモ報道発表資料：“足裏から放出される皮膚ガス計測による健康管理装置を開発,” Jul. 2016.
- [9] 厚生科学審議会地域保健健康増進栄養部会・次期国民健康づくり運動プラン策定専門委員会：“健康日本21（第二次）の推進に関する参考資料,” pp.24-27, Jul. 2012.

*16 ケトン体：アセトン、アセト酢酸、 β -ヒドロキシ酪酸の総称。

*17 健康寿命：健康上の問題がない状態で日常生活をおくれる期間。