



< 第 71 回 >

## 生活に密着した着眼点で実用的なデバイスを開発 ～電池・ワイヤレスおむつセンサシステム～

日本ケミコン株式会社 末松 俊造氏, 古賀 淳史氏, 松尾 公人氏に聞く

今世紀初頭から毎年開催され、500社が展示し、5万人が参加する国際ナノテクノロジー総合展・技術会議 (nano tech) は、優れた展示に nano tech 大賞を贈って表彰してきた。2019年1月30日から3日間、東京ビッグサイトで開催された nano tech 2019 では、nano tech 大賞 ライフナノテクノロジー賞に「日本ケミコン (小間番号: 4D-27)」が選ばれた [1]。授賞理由は、「かおりを CMOS イメージセンサで可視化するかおりカメラや、尿を電解質として用いることで電池レスのセンシングが可能なおむつセンサシステムを出展。生活に密着した着眼点で実用的なデバイスを開発した点を賞す。」であった。

今回、授賞理由に記された「電池・ワイヤレスおむつセンサシステム」について、開発の動機・技術内容・共同開発体制や今後の展開を伺うべく、東京・品川区の日本ケミコン株式会社の本社を訪ねた。お話を伺った方々は、研究開発本部 基礎研究センターの機能性材料グループ長 末松 俊造 (すえまつ しゅんぞう) 氏、同 第三製品開発部の主管 古賀 淳史 (こが あつし) 氏、営業本部 営業推進部の機能材料グループ長 松尾 公人 (まつおきみと) 氏であった。なお、経営戦略部 広報グループ長 宮川 尊 (みやかわたかし) 氏にも同席いただいた。



(左から) 松尾 公人氏, 古賀 淳史氏, ライフナノテクノロジー賞の盾, 末松 俊造氏

.....



### 1. アルミ電解コンデンサの世界シェア 1位の日本ケミコン

#### 1.1 日本ケミコン株式会社の創業から今日まで

日本ケミコン株式会社は、1931年にアルミ電解コンデンサを日本で初めて製品化し、まもなく創業90周年を迎える老舗電子部品メーカーである。電解コンデンサは電極表面を化学処理することで誘電体である酸化被膜を形成するため、ケミカルコンデンサとも呼ばれる。1931年の創業時は、創業者の佐藤敏雄氏の名前を冠した佐藤電機工業所と称していたが、1947年に日本ケミカルコンデンサー株式会社、1981年には日本ケミコン株式会社に商

号変更している。

図1は、日本ケミコンの主な製品を示している。各種のアルミ電解コンデンサを事業の柱にして、積層セラミックコンデンサ、電気二重層キャパシタ、さらには CMOS カメラモジュール等、様々な電子部品を開発・提供している。アルミ電解コンデンサは、数 mm サイズの小さなものからペットボトル程の大きいものまでラインナップされ、電源回路の平滑用などエレクトロニクス機器に広く使用されている。日本メーカーが世界需要の約3/4を生産しており、日本が強い電子部品である。その中でも日本ケミコンは、アルミ電解コンデンサの世界市場シェア No.1 サプライヤーとなっている。

電気二重層キャパシタは、電解液と電極との界面に生じる電気二重層を利用して蓄電するデバイスで、近年は



図1 日本ケミコンの主な製品

自動車の減速エネルギー回生システム用などの蓄電デバイスとして注目を集めている。アルミ電解コンデンサよりも蓄電容量を桁違いに大きくすることができ、Liイオン電池よりも寿命が長いなどの特徴がある。

## 1.2 nano tech 2019 での展示内容

日本ケミコンでは国内外の展示会に年間 15 回程度出展しているが、主として売上げの 8 割を占めるコンデンサの最新製品を中心に訴求している。日本ケミコンはコンデンサ向けの材料に強みを持っており、3 年前から出展している nano tech 展では材料技術や微細加工技術を紹介している。また、エレクトロニクス機器向け電子部品以外に、新分野の製品、材料も展示している。

今回の nano tech 2019 では、以下の展示を行った；

- ①電池・ワイヤレスおむつセンサ (次章で詳細を紹介)
- ②かおりカメラ(CMOSイメージセンサ+かおり検出膜)
- ③リチウムイオン電池用の導電助剤 (NH カーボン)
- ④ Si ウェーハ、再生ウェーハ
- ⑤熱電対のウェーハ・基板への取付けサービス

「上記①②で、ライフナノテクノロジー賞を受賞させて

いただいた。展示ブースには、前回出展時に比べて倍以上の方々に立ち寄っていただき、有意義な交流の場となった。」と宮川氏は語った。

## 1.3 アルミ電解コンデンサと電気二重層キャパシタの電極

ここで、次章のおむつセンサの紹介に入る前に、おむつセンサの電極に使用されることになった、アルミ電解コンデンサと電気二重層キャパシタの電極について説明しておく。

図2左は、アルミ電解コンデンサの断面構造を模式的に描いたものである [2]。陽極はアルミ箔で、コンデンサ容量を大きくするために表面を電気化学的にエッチングして表面積を拡大している。また、表面には酸化被膜 ( $Al_2O_3$ ) が電気化学的に生成され、この薄膜がコンデンサの誘電体として機能する。陰極は、電解液と、それを保持する電解紙と、アルミ箔表面をエッチング処理したアルミ箔とで構成される。実際のコンデンサ製品では、陽極アルミ箔 / 電解紙 / 陰極アルミ箔 / 電極端子をロール状に巻き、電解液を含浸後、円筒形のアルミケースに入れ、

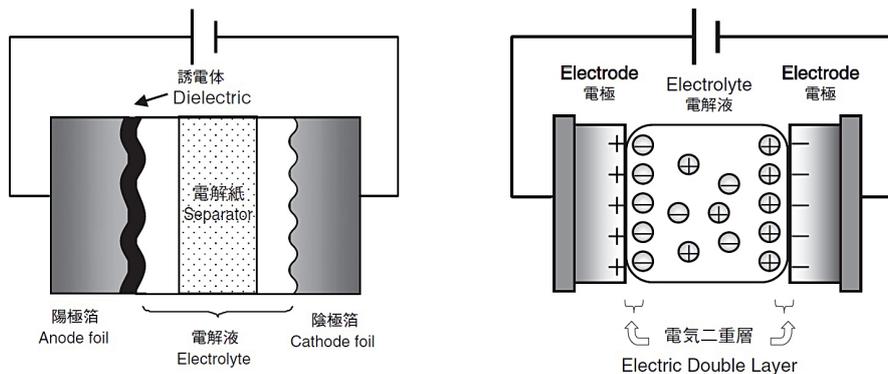


図2 アルミ電解コンデンサ (左) と電気二重層キャパシタ (右) の構成 [3]

封口材（ゴム）で封止する。

図2右の電気二重層キャパシタでは、電解液を陽極と陰極で挟んだ断面構造になっている [3]。充電時、陽極と電解液との界面では、陽極表面に正電荷が、電解液側には極めて短い距離を隔ててマイナスイオンが配列し、電気二重層が形成される。陰極と電解液との界面では、陰極表面に負電荷が、電解液側にはプラスイオンが配列し、電気二重層が形成される。電気二重層の電荷とイオンの間には、分子レベルの極めて薄い層で、アルミ電解コンデンサの電極間距離に匹敵する部分が短くなるため静電容量が桁違いに大きくなる。実際の製品では、アルミ箔上に比表面積が大きな活性炭層を形成した電極間に短絡防止セパレータを挟み込んだものをロール状に巻き込み、電解液を含浸させ、円筒形のアルミケースに入れゴムで封止している。

なお、日本ではコンデンサとキャパシタと2つの用語を使い分けているが、英語ではいずれも capacitor と呼んでいる。日本でのコンデンサの語源は、ドイツ語の kondensator からきている。



## 2. 電池・ワイヤレスおむつセンサシステム

### 2.1 開発の動機、立命館大学との共同研究経緯

日本ケミコンの研究開発本部では、主力製品であるコンデンサ向けの材料開発や、蓄積した材料技術をエレクトロニクス機器向けだけでなく新規分野への展開も模索している。そうした活動の中で、2015年のイノベーション・ジャパン展示会（大学見本市&産学マッチング）にて、立命館大学から出展されていた「尿発電を用いたバッテリーレス無線尿失禁システム」に注目した [4]。立命館大学の特任助教 田中 亜美氏から、おむつに組み込んだ尿センサの電極にアルミ箔と炭素電極を使用しているとの説明を聞き、「日本ケミコンのキー材料であるアルミ電解コ

ンデンサ用アルミ箔や電気二重層キャパシタ用活性炭材料が適用できるのではと考え、興味を持った」と末松氏は、立命館大学との出会いを振り返った。

立命館大学理工学部 電子情報デザイン学科の教授 道関隆国氏の研究室では、10年ほど前から高齢者介護向けのおむつ用尿漏れセンサシステムの開発に取り組んでいる [5][6]。被介護者のおむつに尿漏れセンサを取り付け、センサネットワークで複数人の被介護者のおむつの状態を把握することで、介護者の不要な確認作業の負担を少なくし、被介護者の尿漏れによる不快感が軽減できる。しかし、既存の尿漏れセンサでは電源コードが必要で被介護者の動作を束縛する。また、電源コードが不要な無線型の尿漏れセンサでは電池が必要で、電池交換の必要性やおむつが重くなってしまうという課題があった。この課題に対して道関研究室では、電池が不要でワイヤレスの尿漏れセンサシステムを開発してきた。

「イノベーション・ジャパン2015」の翌年（2016年）から、立命館大学と日本ケミコンの共同研究が開始された。おむつセンサの電極に使う材料として何を使えば、センサとしての検出性能が向上するか、カーボンナノチューブのような新材料も含め検討を進めた。共同研究を進めた結果、日本ケミコンのアルミ電解コンデンサ用アルミ箔を負極に用いると、送信部内での充電特性が大幅に改善することを見出した。さらに電気二重層キャパシタ向けの活性炭電極を正極として用いると、失禁の有無だけでなく、尿の量や尿の回数もモニタできるといった機能が付加されることが判明し、2016年10月には特許を共同出願した [7]。

以下、立命館大学と共同研究して開発した「電池・ワイヤレスおむつセンサシステム」について詳細を紹介する。

### 2.2 おむつセンサの構造・原理、センサシステム構成

図3は、今回開発した電池・ワイヤレスおむつセンサシステムのブロック図である。大きくは3つの部分；発

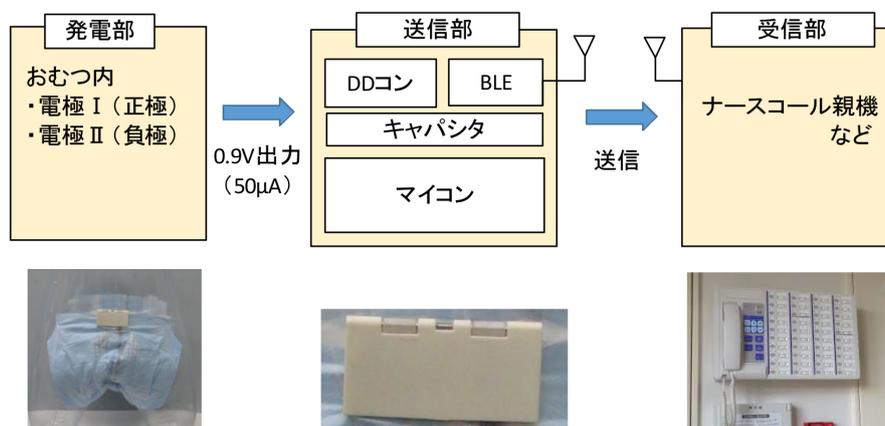


図3 電池・ワイヤレスおむつセンサのシステムブロック図

電部，送信部，受信部から構成されている。

発電部は，図3左下のように，正極と負極の2つのストリップ電極をおむつ内に平行敷設した．2本の電極から発電された電力を，図3下中央の写真に示したクリップ構造の送信機で受けとる．クリップ内には，図3上中央に示した電子部品が組み込まれている．おむつ内電極からの出力電力が，送信部内のキャパシタに蓄積されると，ブルートゥース（BLE）から受信部であるナースコール親機や介護者のスマートフォンなどに向けて各被介護者の尿漏れ量や失禁回数といった情報を送信する．

発電部であるおむつセンサの電極構成と，尿による発電原理を図4に示す．図4左の電極構成図に描いたように，正極となる活性炭シートと負極となるアルミ箔シートを，フレキシブルなプラスチックシート上に平行に貼り付け，それを紙おむつ内に組み込む．おむつ内に尿漏れがあると，図4右に描いた原理で発電する．尿にはプラスイオンであるナトリウムイオンやマイナスイオンである塩化物イオンが含まれ電解液として機能する．負極であるアルミシートではアルミニウムの溶解反応が進行し，アル

ミニウムイオンが電解液中に溶けだし，電子を放出する．放出された電子は負荷を経由して正極である活性炭シートに移動し電解液中のプラスイオン（主にナトリウムイオン）と電気二重層を形成する．このような正負極の電極反応を伴う電子移動により電流が流れ発電する．

図5は，おむつセンサシステムの等価回路図で，左側の赤色破線で囲まれた部分がおむつ側の発電部，右側の青色破線で囲まれた部分が図3中央の送信部に対応する[6]．おむつ側で発電された電力は，送信機側の入力端にあるキャパシタに流れて蓄電される．キャパシタがある電圧に達すると，間欠電源変換回路であるDC-DCコンバータが昇圧して電圧を，間欠的に出力する．昇圧した電圧で送信機内マイコンを駆動し，無線送信機から被介護者のID情報を付加した無線信号を送信する．次節の図6で紹介するように，おむつ内では尿漏れ量に比例して発電量が増加し，また，尿漏れがある毎に発電ピークが生じ失禁回数がわかる．こうした尿発電の特性をマイコンで分析することで，おむつの取替タイミングを知ることができる．

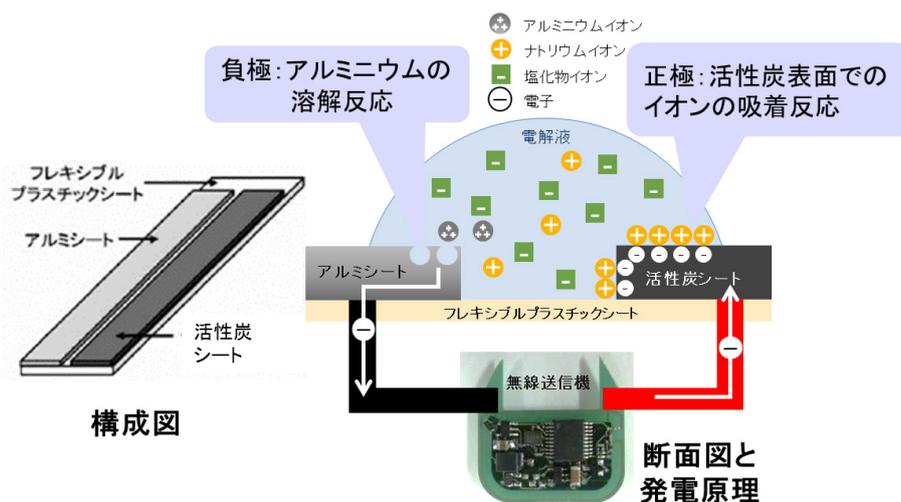


図4 おむつセンサの電極構成（左）と尿発電の原理（右）

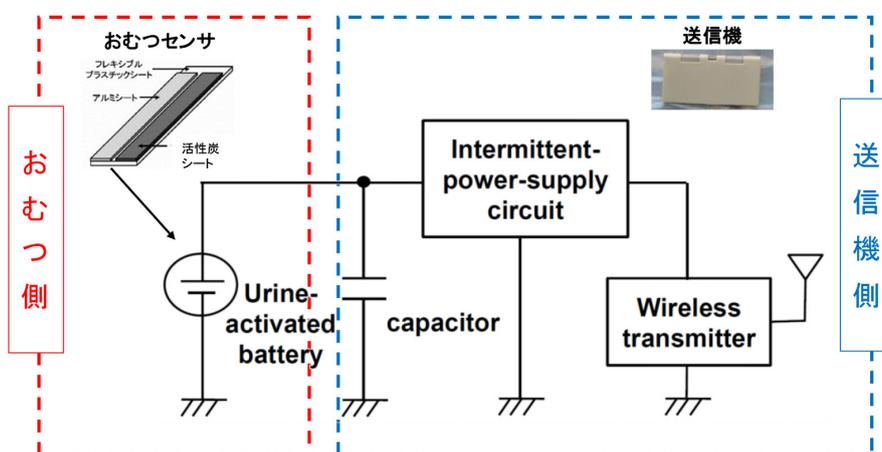


図5 おむつセンサシステムの等価回路 [6]

### 2.3 おむつセンサの発電特性, 特徴

日本ケミコンのアルミ電解コンデンサのアルミニウム電極箔や、電気二重層キャパシタの活性炭電極を、立命館大学のおむつセンサに適用すると図6に示すような発電特性が得られた。縦軸は10kΩの負荷抵抗をおむつセンサに並列接続して測定した発電電流であり、横軸は時間である。オーム則から発電電流と負荷抵抗より発電電圧が算出できるため、図6の縦軸は発電電圧とみなすこともできる。2時間毎に、尿の代替として生理食塩水80mLを滴下して測定した結果である。

1回目の滴下で発電電流は急峻に立上りピーク値に達してから、減少して安定値に移行する。2時間後の2回目の滴下で、再びより大きなピーク値に達してから減少し、1回目の滴下による安定値より大きな安定値に移行している。3回目の滴下後には、2回目の滴下による安定値よりさらに大きな安定値に移行している。こうした滴下毎にピーク値を生じ、時間が経過すると安定値に移行し、滴下回数に応じて階段状に安定値が増加する特性は、尿漏れ量や失禁回数をモニタすることに利用できる。図6の尿による発電特性と、図5の間欠電源回路・無線送信機とを組み合わせることで、尿漏れ量・失禁回数のモニタが可能となる。

おむつセンサに、尿の代わりに生理食塩水を滴下して発電電圧を測定するデモを見せていただいた。図7はデモの様子を撮影した写真で、約200mLの生理食塩水をおむつに滴下し、おむつ内に組み込んだ2電極間の電圧を、左側の電圧計で測定している。生理食塩水の滴下後、急激に電圧が立ち上がりピーク電圧に到達後、電圧は徐々に低下するも、ほぼ一定電圧で安定した。生理食塩水滴下による発電が、図6と同様な特性であることを確認した。

今回共同開発した「電池・ワイヤレスおむつセンサシステム」の特徴を要約すると、

- ①失禁回数、尿漏れ量を明確にセンシング
- ②電池が不要（尿による自己発電を利用）

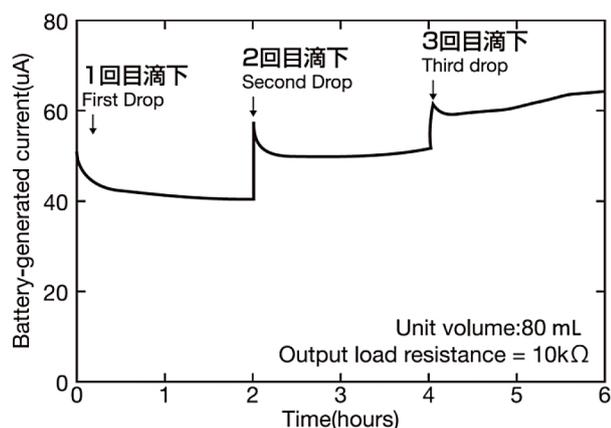


図6 おむつセンサの発電特性 [7]

- ③センサ電極付きおむつは使い捨て可能（アルミや活性炭は環境に優しい材料である）

となる。日本ケミコンの企業理念である「環境と人にやさしい技術への貢献」を体現した開発例と言える。

### 2.4 日本ケミコンの電極優位技術 ~電極の表面積拡大技術~

日本ケミコンとの共同研究に取り組む以前、立命館大学では電極として表面が平坦なアルミ箔や、炭素をシート状にしたものを使用しており、図6のような発電特性は得られなかった。日本ケミコンが長年蓄積してきた電極の表面積拡大技術が、今回のおむつセンサの特性向上に貢献した。

日本ケミコンではアルミ電解コンデンサ向けに、エッチングによる電極表面積の拡大技術に長年取り組んできた。コンデンサの静電容量は、電極表面積に比例して増大するからである。図8は、エッチング加工したアルミニウム電極箔内のエッチピット（酸化レプリカ）をSEM（走査型電子顕微鏡）で観察した写真である [8]。0.1~0.5μmの立方体状ピットが連続的に成長して、表面積が実効的に拡大している。その拡大率は200倍に達する。

アルミ電極箔へのエッチング加工では、大面積のロール状箔に対して均一に表面加工する製造技術も重要で、ノウハウとして蓄積している。日本ケミコンは、アルミニウム電極箔の生産量も世界1位であり、自社のアルミ電解コンデンサに使用するだけでなく、他社にも供給している。

古賀氏は電気二重層キャパシタ用の活性炭電極を開発してきた。活性炭は炭素（カーボン）を主成分とする多孔質物質である。図9は、活性炭電極に使用されているカーボン粒子の内部組織構造を示す模式図で、カーボンの平均的粒子径は数μmであり、カーボン粒子粉末を導電助材、接着剤と混合させ電極にしている。カーボン粒子の内部には、光学顕微鏡では見えないnmオーダーの複雑な孔が開いており、電極表面積拡大に貢献している。1g当た



図7 おむつセンサに食塩水を滴下してセンサ出力電圧を測定するデモ

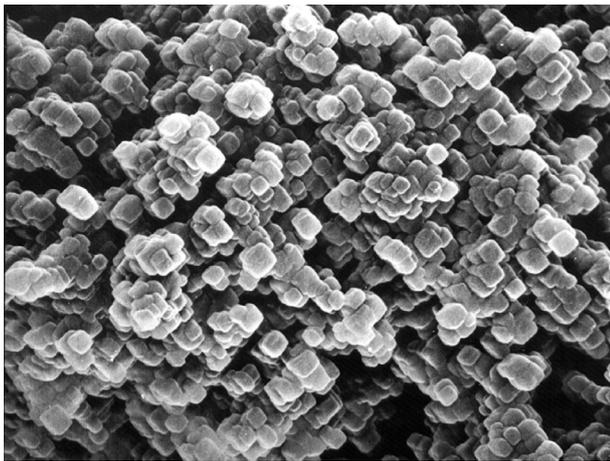


図8 エッチング加工したアルミニウム電極箔内のエッチピットのSEM写真 [8]

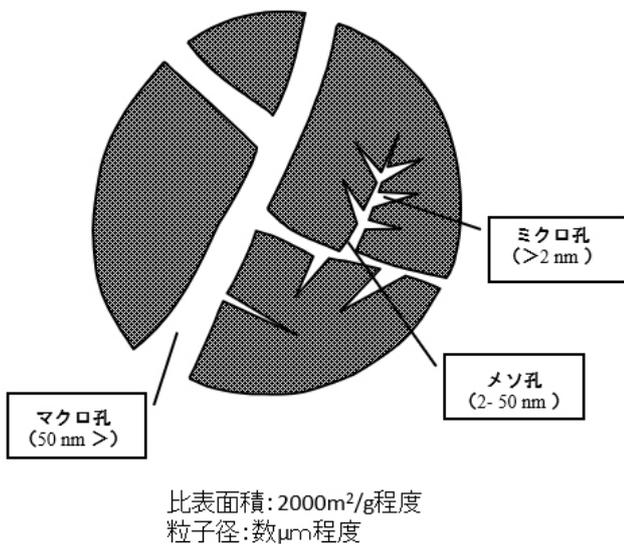


図9 活性炭電極のカーボン内部組織構造の模式図

りの表面積は 2000m<sup>2</sup> にも達する。電解液が活性炭電極に浸み込んで、イオンがカーボン粒子の内部にまで吸着することで、発電性能が向上する。図6の発電特性で生理食塩水の滴下後に発電電流が急激に立ち上がってピーク値を示し、その後緩和して安定値に達するのは、生理食塩水が活性炭のカーボン粒子内部のミクロな孔にまで浸透するのに時間がかかっているためと考えられる。活性炭ではなく純粋な炭素電極では、発電は直ぐに減衰してしまい安定しない。

## 2.5 共同開発体制と今後の事業化計画

松尾氏から、本おむつセンサの共同開発体制と、今後の事業化計画について伺った。図10は、立命館大学の道関教授の研究室を中心にした共同開発体制と役割分担である。日本ケミコンは、おむつに内蔵する電極を供給している。図3中央に示したクリップ構造の送信機は、エイブリック株式会社（セイコーインスツル（SII）株式会社から分社化したアナログ半導体専門メーカー）が立命館大学と共同研究して開発、エイブリック社が送信機の製造を担当している。エイブリック社は、大手医療機器メーカーと提携して受信機を担当してもらっている。おむつメーカーの協力を得るには時間と労力を要したとのことだが、2017年から白十字が参加して、介護施設での実証実験に向けた取り組みを開始している。

おむつセンサに関しては、他社からも異なる方式での開発技術が発表され、一部は実用化されているが、未だ広く普及している状況ではない [9]。今回共同開発した「電池・ワイヤレスおむつセンサシステム」は、①尿漏れ量、失禁回数を明確化しおむつ交換時期を知らせる、②電池が不要、③センサ電極付きおむつは使い捨て可、という特徴があり、早期に製品化して介護施設に広く普及することが期待される。日本ケミコンが供給する電極は、アルミ電解コンデンサや電気二重層キャパシタで使用している材料で、供給/価格面でも有利である。

事業化に向けては、介護施設での実証実験を進める中

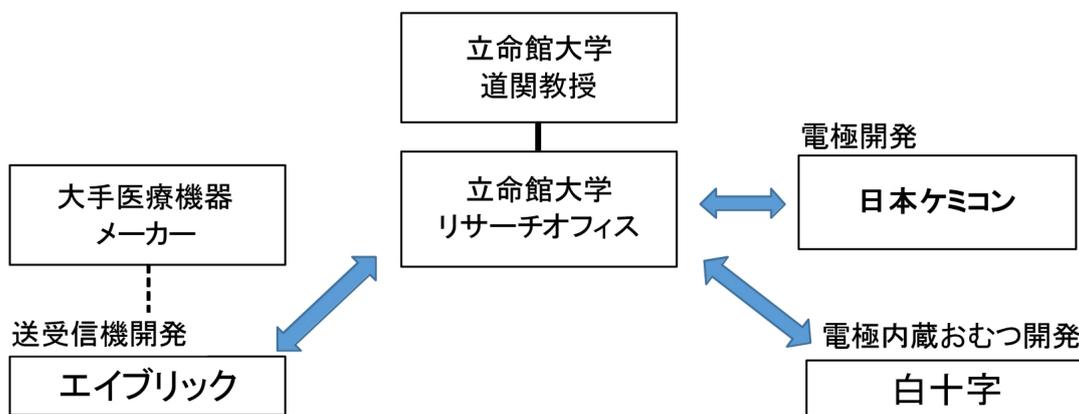


図10 おむつセンサの共同開発体制と役割分担

で課題を抽出し、課題を解決するとともに、関連各社の意見を集約して事業化スケジュールを策定したい、としている。また、電解液の有無・量・暴露回数をカウントできるバッテリーレスセンサとして、おむつ以外への用途開拓も模索、検討している。



### 3. おわりに

コンデンサの老舗電子部品メーカーである日本ケミコンが、おむつセンサというヘルスケアの新規分野に挑戦していること、長年取り組んできたコンデンサ用電極の表面加工技術の蓄積の上におむつセンサ電極への適用が成功していることに、感銘を受けた取材であった。アルミニウム電極箔表面や活性炭カーボン粒子の内部構造などは、ナノテクノロジーとして成立しており、nano tech 大賞 ライフナノテクノロジー賞を受賞した背景をより深く理解することができた。電池・ワイヤレスおむつセンサシステムの早期実用化、国内外での普及を期待したい。



### 参考文献

- [1] nanotech 大賞 2019;  
<https://www.nanotechexpo.jp/2019/main/award2019.html>
- [2] 日本ケミコン, “アルミ電解コンデンサの上手な使い方”;  
<https://www.chemi-con.co.jp/catalog/pdf/al-j/al-sepa-j/001-guide/al-technote-j-2019.pdf>
- [3] 日本ケミコン, “電気二重層キャパシタの技術と応用”;  
<https://www.chemi-con.co.jp/catalog/pdf/dl-je/dl-sepa-je/dl-summary-je-2019.pdf>
- [4] イノベーション・ジャパン 2015 開催報告書, 小間番号 A-10  
[https://www.jst.go.jp/tt/fair/doc/report/report\\_IJ2015.pdf](https://www.jst.go.jp/tt/fair/doc/report/report_IJ2015.pdf)
- [5] 道関隆国, “尿発電（おしっこ発電）によるおむつ用尿漏れセンサシステムを開発”, 立命館大学プレスリリース (2011.12.21)  
[http://www.ritsumei.jp/topics\\_pdf/admin\\_fb97b7d33f66b59b6b52256c0a3dcf1f\\_1324451323\\_.pdf](http://www.ritsumei.jp/topics_pdf/admin_fb97b7d33f66b59b6b52256c0a3dcf1f_1324451323_.pdf)
- [6] 田中亚実, “尿発電を用いたバッテリーレス無線尿失禁センサシステム構成法の研究”, 立命館大学大学院学位論文 (2013 年度)  
[http://r-cube.ritsumei.ac.jp/repo/repository/rcube/5739/k\\_956.pdf](http://r-cube.ritsumei.ac.jp/repo/repository/rcube/5739/k_956.pdf)
- [7] 公開特許公報, 特開 2018-68583, “尿検出電極, その製造方法および尿検出装置” (学校法人立命館, 日本ケミコン株式会社の共同出願)
- [8] 日本ケミコン, “オンリーワンを生み出すシーズ・・・基礎研究”;  
<https://www.chemi-con.co.jp/jigyuu/study.html>
- [9] 日経デジタルヘルス, “もう「お漏らし」は怖くない” (2017.03.03);  
<https://tech.nikkeibp.co.jp/dm/atcl/feature/15/030200065/030200002/?ST=health&P=1>

(図はすべて日本ケミコンから提供された。)

(尾島 正啓)