

# 博士学位論文

題 目

静電容量型電極シートを用いた排尿検知と尿量推定のシステムに関する研究

担当指導教員名 新川 拓也 印

申請年月日 2019年8月5日

申請者専攻名 医療福祉工学専攻

学 生 番 号 DL17A002

氏 名 橘 克典 印

大阪電気通信大学大学院

# 博士学位論文

## 静電容量型電極シートを用いた排尿検知と 尿量推定のシステムに関する研究

橘 克 典

大阪電気通信大学大学院  
医療福祉工学研究科  
医療福祉工学専攻

2019年9月

# 目次

第1章 緒論.....	1
第2章 下肢不自由者の排尿管理に関する知見.....	4
2.1 緒言.....	4
2.2 下肢不自由者における畜尿障害と排尿の介護.....	4
2.2.1 人体の畜尿および排尿のメカニズムと畜尿障害に伴う尿失禁.....	4
2.2.2 紙オムツによる排尿ケア.....	11
2.3 排尿検知に関する従来研究.....	13
2.3.1 排尿検知システムの開発経緯.....	13
2.3.2 パッシブ型RFIDを用いた排尿検知システム.....	16
2.3.3 化学電池を用いた排尿検知システム.....	18
2.4 結言.....	19
第3章 楕型電極シートを用いた排尿量推定システムの構築.....	20
3.1 緒言.....	20
3.2 楕型電極シートの構造.....	21
3.3 楕型電極シートの電気的特性評価.....	23
3.4 楕型電極シートを用いた排尿量推定システムの構成.....	26
3.5 楕型電極シートにおける尿吸収パッドを用いた出力電圧の計測.....	29
3.6 紙オムツを装着したトルソによる模擬尿の検知と尿量の推定.....	30
3.7 模擬尿の拡散方向が出力電圧へおよぼす影響.....	34
3.8 検討.....	35
3.9 結言.....	37

第4章 シート型電極マトリックスによる模擬尿の検知と尿量の推定.....	38
4.1 緒言.....	38
4.2 シート型電極マトリックスの構造.....	39
4.3 シート型電極マトリックスの電気的特性評価と等価回路モデル.....	40
4.4 シート型電極マトリックスを用いた排尿量推定システムの構成.....	43
4.5 模擬尿が異なる方向へ拡散したときの出力信号におよぼす影響.....	44
4.6 尿吸収パッドを用いた出力電圧の計測.....	45
4.7 紙オムツを装着したトルソによる模擬尿の検知と尿量の推定.....	47
4.8 考察.....	51
4.9 結言.....	53
第5章 結論.....	55
参考文献.....	57
謝辞.....	63
研究業績目録.....	64

# 第1章 緒論

平成 28 年度厚生労働省の報告によると、我が国における身体障害者数は 400 万人を超えており、中でも最も多い障害の種類は肢体不自由である。また、不自由部位は下肢であることが多く、下肢不自由者は下部尿路の機能が低下し、その多くが排尿障害をきたすといわれている。この排尿障害は、畜尿障害と尿排出障害に大別され、特に膀胱内へ十分に尿を貯留できない畜尿障害では、尿が不随意に漏れる尿失禁を合併する。本症状は加齢に伴い患者数が多く、寝たきり高齢者の約 60%におよぶ。尿失禁自体は生命維持に直接関与することはほとんどないが、その程度にかかわらず不快感や尿路感染などの身体的な問題にくわえて、人間の尊厳や経済的負担などに影響を及ぼし、QOL (quality of life) を著しく低下させる。

尿失禁への対応については、介護現場では、紙オムツや尿吸収パッドなどの排尿介護用品を一般に使用する。ただし、紙オムツ内に排尿がなされた場合、長時間にわたりそれを放置すると尿による皮膚トラブルの原因となる。尿失禁の治療には排尿回数や排尿量などの定量的な情報の収集が必要となるが、そのためには頻回に紙オムツの中を確認する必要がある、その負担が大きな社会問題となっている。

従来、皮膚トラブルの回避や介護者への負担軽減を目的として、排尿検知を行う支援システムが多数提案されてきた。最初の排尿検知装置は、1904 年にドイツの小児科医 Pfaundler が開発した夜尿アラーム装置とされており、近年では、ハイテク技術を取り入れ排尿の検知を行うため、センサを紙オムツ内に直接挿入するシステムや紙オムツに導電性布電極を内蔵したシステムが実用化されている。また、パッシブ型 RFID を用いた排尿検知システムや化学電池を用いたケーブルレスの排尿検知システムも提案されている。しかし、このようなセンサを用いたウェアラブル型の装置は、センサ部が被介護者の皮膚と直接接触することより、かぶれ・発赤・褥瘡などの原因となる。また、導電性布電極の組み込み式紙オムツは、市販の紙オムツと比較して高価で、経済的な負担が増加する課題がある。さらに、これらのシステムは、排尿の検知は行えるが、尿量の推定には至っていない。

ない。一方、これらのシステムとは別に医療機関で尿失禁のアセスメントのために、超音波技術を用いて膀胱容積を算出することで、残尿量を推定し、事前に尿排泄のタイミングを予測する装置が実用化されている。この装置の活用は、患者の苦痛を伴うカテーテル導尿による計測法と比較して臨床的に有用である。しかし、この装置は、紙オムツ内における排尿の有無を直接的に検知するものではないことから、排尿の放置を回避し皮膚トラブルを予防することは困難である。また、超音波技術を応用していることから、センサ部に超音波用ゲルを塗布し皮膚に接触させる必要があり、皮膚トラブルの観点から本装置を長期間にわたり使用するの是不向きである。したがって、排尿の検知と尿量の推定には汎用の紙オムツをそのまま使用し、特別なセンサを用いる場合は皮膚に接触しない形態が望ましいと言える。

このような背景をもとに、本研究では、紙オムツによる排尿介護を支援するため、紙オムツの外部から排尿の検知と尿量の推定を可能にする静電容量型電極シートを用いた排尿量推定システムを提案する。

具体的には、初めに楕型電極シートを開発し、その電気的特性を評価して排尿量推定システムの構築をした。そして、展開した尿吸収パッドを用いて模擬尿と出力電圧の関係を調べた後、紙オムツを装着したトルソを用いて模擬尿の検知と尿量の推定が可能であるかを確認した。

次に、模擬尿の拡散方向に依存しないシート型電極マトリックスを開発し、薄吸水布を用いた水滴下試験による電極のインピーダンス特性を評価して、楕型電極シートと同様の実験を行い、本システムの有効性を調査した。

以下に各章の概要を示す。

第2章では、下肢不自由者の排尿管理に関する知見について述べる。まず、下肢不自由者における畜尿障害と排尿の介護について概説し、排尿検知に関する従来研究について述べる。さらに、従来の研究における問題点と課題を明らかにする。

第3章では、楕型電極シートを用いた排尿量推定システムの構築について述べる。まず、開発を行った楕型電極シートの構造について説明し、楕型電極シートの電気的特性評価として尿吸収パッドを用いた模擬尿送水試験によるインピーダンス特性評価について述べる。また、交流の基本原則として RC 回路のインピー

ダンスについて説明し、楕型電極シートを用いた排尿量推定システムの構成について述べる。さらに、尿吸収パッドを用いた模擬尿送水試験によるシステムの実出力電圧特性評価について述べ、紙オムツを装着したトルソによる模擬尿の検知と尿量の推定について、その可能性を示す。さらに、模擬尿の拡散方向が出力電圧へおよぼす影響について述べる。

第4章では、シート型電極マトリックスによる模擬尿の検知と尿量の推定システムについて述べる。まず、新たに開発を行ったシート型電極マトリックスの構造について説明し、その電気的特性評価と等価回路モデルについて述べる。また、シート型電極マトリックスを用いた排尿量推定システムの構成について説明し、模擬尿の拡散方向の違いによる出力電圧を計測した結果について示す。さらに、尿吸収パッドを用いた模擬尿送水実験によるシステムの実出力電圧特性評価について述べ、紙オムツを装着したトルソによる模擬尿の検知と尿量の推定を行った結果について述べる。

最後に第5章で本研究の成果をまとめる。

## 第2章 下肢不自由者の排尿管理に関する知見

### 2.1 緒言

本章では、下肢不自由者の排尿管理に関する知見について概観する。すなわち、2.2では、下肢不自由者における畜尿障害と排尿の介護について概説し、2.3では、排尿検知に関する従来研究について述べ、それらにおける問題点と課題を明らかにする。

### 2.2 下肢不自由者における畜尿障害と排尿の介護

#### 2.2.1 人体の畜尿および排尿のメカニズムと畜尿障害に伴う尿失禁

ヒトは、代謝の結果として終末代謝産物を血液中に放出する。これらの代謝産物や余剰な水分・物質が腎臓で集められ、尿が産生される。尿が体外へ排出されることにより、血液の状態は恒常性を維持している。図 2.1 に尿の輸送に関わる器官を示す。尿の輸送には、腎盂、尿管、膀胱、尿道が関与している。このうち、腎盂と尿管を上部尿路、膀胱と尿道を下部尿路という<sup>[1]</sup>。下部尿路の機能は、畜尿機能と排尿機能に分けられる。すなわち、膀胱に尿を蓄える機能と尿道を通して膀胱に蓄えられた尿を体外へ排泄する機能である<sup>[2]</sup>。下肢不自由者は、下部尿路機能が低下することが多く、その結果として排尿障害をきたすことがある。下部尿路機能は、膀胱の排尿筋、内尿道括約筋、外尿道括約筋が関係している。また、これらを支配しているのが3つの末梢神経であり、それらは副交感神経の骨盤神経 (pelvic nerve : S<sub>2~4</sub>)、交感神経の下腹神経 (hypogastric nerve : Th<sub>11~L2</sub>)、体性神経の陰部神経 (pudendal nerve : S<sub>1~4</sub>) である。畜尿と排尿は、主にこれらの神経の反射性調節により行われている。さらに、これらの経路以外にも数多くの神経経路が存在し、それらが協調し合って下部尿路機能が保たれている。交感神経の下腹神経は、膀胱や尿道に分布しており、普段は交感神経優位の状態である



ことから、膀胱の排尿筋は弛緩し内尿道括約筋は収縮している。同時に、陰部神経の刺激で随意筋である外尿道括約筋は収縮している。これらの神経協調により膀胱に畜尿を行うことができる。図 2.2 にヒトの膀胱内圧曲線を示す。畜尿の初期には、尿量に応じて膀胱壁は伸展するので膀胱内圧は 5~10 cmH<sub>2</sub>O を保ったままほとんど上昇しない。しかし、尿量が 150~200 mL に達すると排尿筋内の進展刺激が求心性情報として骨盤神経や知覚神経を介して仙髄・腰髄や橋・延髄にある排尿中枢へ伝えられる。また、この刺激は最終的に大脳皮質の知覚野へ伝えられ尿意が出現する。尿量が 300~500 mL に達すると膀胱内圧は 100 cmH<sub>2</sub>O 程度まで急激に上昇し極限尿意に達する。この場合、副交感神経優位となり、仙髄・腰髄にある排尿反射の中枢から骨盤神経を介して遠心性情報が伝えられ、膀胱壁の排尿筋が収縮し内尿道括約筋が弛緩する。同時に陰部神経の緊張も解除されることより、外尿道括約筋も弛緩する。これより、排尿を行うことができる。また、外尿道括約筋は随意筋であることから排尿の開始および、その途中での抑制が可能である<sup>[3]</sup>。正常な状態の下部尿路機能について以下にまとめる<sup>[2]</sup>。

- 膀胱に少量の尿がたまって尿意を感じないで、150~200 mL に達して初めて尿意を感じる。
- 正常成人の最大膀胱容積は 300~500 mL であり、尿意を感じてもそれをしばらく我慢することができる。
- 随意的に排尿を開始できる。
- 排尿が始まると、尿は尿道を通して勢いよく排出され、途中で尿線を随意的に止めることができる。
- 1 回の排尿によって膀胱は中にたまった尿を完全に排出することができ、残尿がない。

正常排尿には、一定水準以上の全身機能が不可欠であるが、高齢者では下部尿路機能の低下をきたしている割合は高く、加齢に伴いその機能は低下の一途をたどる。特に、下肢不自由者ではこの傾向が強いといわれている。このことから、高齢者は、明らかな疾患がなくても経過とともに下部尿路機能の低下が顕著となる<sup>[4]</sup>。下部尿路機能が損なわれると排尿障害を合併し下部尿路症状が現れるが、その症状は3種類に大別される。すなわち、畜尿症状、排尿症状、排尿後症状である。この中で畜尿症状は、膀胱内へ十分に尿を貯留できない畜尿障害に伴って起こる。畜尿症状の分類を表 2.1、その症状を呈する主な疾患を表 2.2 に示す<sup>[5]</sup>。特に、在宅要介護高齢者は、畜尿症状の尿失禁を合併することが多いと報告されている<sup>[6]・[7]</sup>。わが国では 1993 年時点で約 400 万人の尿失禁罹患者がいるといわれているが、急速に高齢社会が進む中で 50 年後には約 1,000 万人が尿失禁を有すると推計されている<sup>[8]</sup>。尿失禁自体は生命維持に直接関与することはほとんどないが、その程度にかかわらず不快感や尿路感染などの身体的な問題にくわえて、人間の尊厳や経済的負担などに影響を及ぼし、QOL (quality of life) を著しく低下させる<sup>[9]</sup>。尿失禁の症状を呈する患者のその後の治療方法を決定するため、医療機関では、医師や看護師によりいくつかのアセスメントが行われている<sup>[10]</sup>。その中でも、排尿量や排尿パターンの確認は必要不可欠であり、定量的に排尿回数や排尿量を把握するため、排尿日誌の記録、24 時間パッドテスト、カテーテル導尿による計測法などが実施されている。排尿日誌の記録は、看護師もしくは本人による排尿ごとの記録が必要である。24 時間パッドテストは、下着内に尿吸収パッドを装着し、パッドを交換するたびに重さを計測し、使用前後の重量差から失禁の程度を評価する。これらの検査は、医療スタッフや患者にとり、その負担は大きいものとなっている<sup>[11]</sup>。近年では、超音波技術を用いた膀胱内尿量モニタが活用されている。この装置の外観を図 2.3 に示す。本装置は、センサ部に超音波用ゲルを塗布し下腹部に接触させ継続的に膀胱内の尿量を測定・記録できる。つまり、検査における負担軽減だけでなく、従来の被検者の苦痛を伴うカテーテル導尿による計測法と比較して、臨床的に有用であると報告されている<sup>[12]</sup>。しかし、在宅における下肢不自由者の長期にわたる排尿介護において、紙オムツ内の排尿検知を目的とした使用では、センサ部を肌と接触させる必要があり、かぶれ、発疹や褥瘡などの肌トラブルを誘発する危険性が高い。つまり、長期の排尿介護

において、超音波技術を用いる装置の活用は不向きである。また、介護現場において尿による皮膚トラブルを回避するため、排尿後、速やかに紙オムツを交換することが望ましいとされている<sup>[13]</sup>。本装置では、紙オムツ内における排尿の有無を直接的に検知することができない。

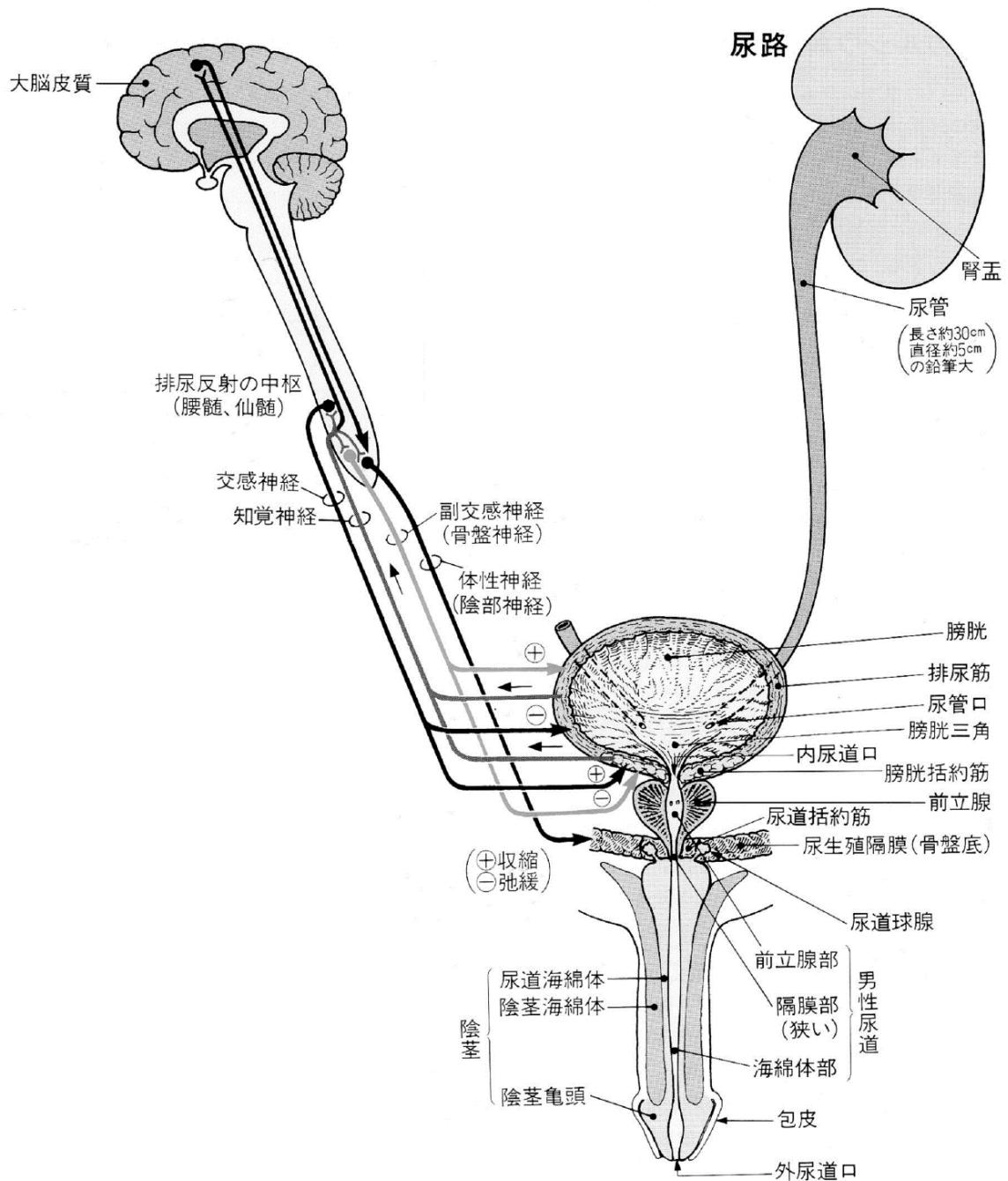


図 2.1 尿の輸送に関わる器官<sup>[1]</sup>

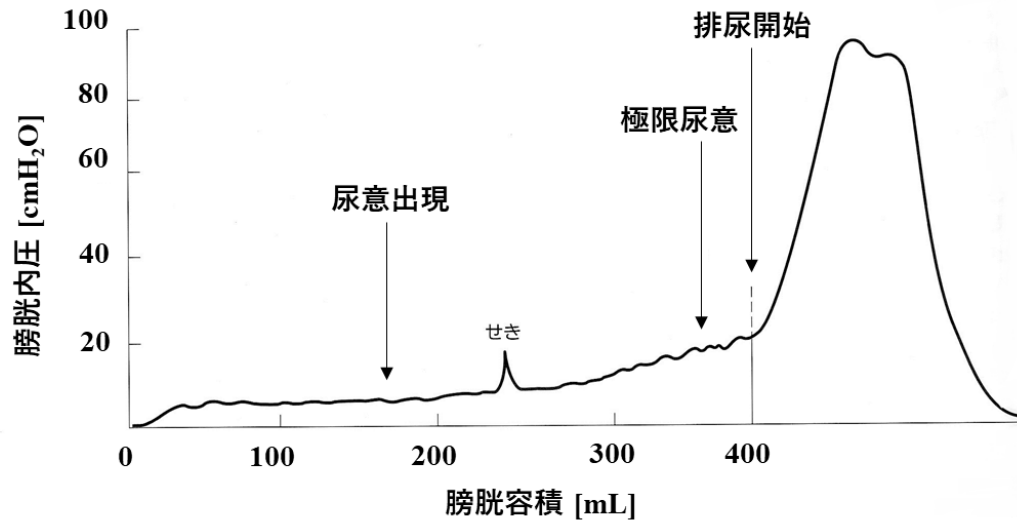


図 2.2 ヒトの膀胱内圧曲線<sup>[3]</sup>

表 2.1 国際禁制学会による畜尿症状<sup>[5]</sup>

畜尿症状
昼間頻尿
夜間頻尿
尿意切迫感
尿失禁 <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 腹圧性尿失禁   ○ 切迫性尿失禁   ○ 混合性尿失禁</li> <li>○ 遺尿   ○ 夜間遺尿   ○ 持続性尿失禁   ○ その他の尿失禁</li> </ul>
膀胱知覚 <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 正常   ○ 亢進   ○ 低下   ○ 欠如   ○ 非特異的</li> </ul>

表 2.2 畜尿症状を呈する主な疾患と病態<sup>[5]</sup>

<p>男女に起こりうる疾患と病態</p>	<p>①膀胱・尿道の疾患と病態</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 尿路感染症 ◦ 膀胱がん ◦ 間質性膀胱炎</li> <li>◦ 膀胱結石 ◦ 膀胱憩室 ◦ 尿道憩室</li> <li>◦ 過活動膀胱</li> </ul> <p>②低コンプライアンス膀胱, 萎縮膀胱</p> <p>③腹圧性尿失禁</p> <p>④神経系の疾患</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 脳血管障害 ◦ パーキンソン病 ◦ 脳腫瘍</li> <li>◦ 多系統萎縮症 ◦ 多発性硬化症 ◦ 脊椎損傷</li> <li>◦ 脳腫瘍 ◦ 脊椎変性疾患 ◦ 脊髄血管障害</li> </ul> <p>⑤その他</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 心因性 ◦ 薬剤性 ◦ 多尿 ◦ 睡眠障害</li> </ul>
<p>女性のみが起こりうる疾患と病態</p>	<p>①女性ホルモン（エストロゲン）欠乏</p> <p>②骨盤臓器脱</p> <p>③子宮筋腫</p>
<p>男性のみが起こりうる疾患と病態</p>	<p>①前立腺肥大症</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 下部尿路閉塞を伴うもの</li> <li>◦ 下部尿路閉塞を伴わないもの</li> </ul> <p>②前立腺炎</p> <p>③前立腺がん</p>



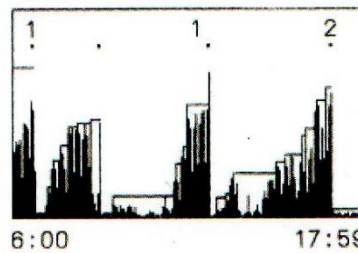
2015-10-18  
膀胱機能評価

最大	695
排尿回数	5
平均排尿量	587
平均残尿量	25
尿意回数	3

排尿日誌

	排尿	残尿	尿意
6:37			1
6:41	701	20	
8:57	449	24	
12:13			1
12:41	677	18	
16:50	582	45	2
23:07	528	22	

膀胱の活動性  
1000



(a) 24時間連続膀胱内尿量モニタ リリウム α-200



(b) リリウムスポット S50C

図 2.3 膀胱用超音波画像診断装置の外観

株式会社リリウム大塚 ホームページより (<https://www.lilium.otsuka/lilium200/> 2019年5月閲覧)

## 2.2.2 紙オムツによる排尿ケア

下肢不自由者における在宅の高齢被介護者と老人施設の高齢入所者に対する排尿管理の実態に関するアンケート、および聞き取り調査で紙オムツの使用率は50%以上であり、多くの下肢不自由者に対して紙オムツが排尿介護に用いられている。また、在宅介護開始前、および老人施設入所前における紙オムツ使用率は80%以上であり、その大多数が医療機関で導入され入院期間中から継続して用いられている<sup>[5]</sup>。紙オムツの使用は、被介護者と介護者のQOLへの影響、すなわち快適性と経済性を判断したうえで開始される。不適切な紙オムツの使用は、被介護者のQOLを低下させることがある<sup>[14]-[15]</sup>。一般的な紙オムツの構造と機能を図2.4と図2.5に示す<sup>[16]-[17]</sup>。表面材は、直接肌に接する部分でポリエステルやポリプロピレンの不織布などが使用されており、尿を素早く吸水材に送り込み、肌が濡れない構造である。漏れ防止の立体ギャザーは、不織布と伸縮性素材で構成されたギャザーで尿や便をせき止め、横漏れを防止する。吸水材は、吸収紙、綿状パルプ、高分子吸水材などの組み合わせで構成されており、尿を吸収し易く、一度吸収したら後戻りをさせない構造である。防水材は、紙オムツの外側を覆う防水シートで、尿などの漏れを防止するカバーの役割を果たす。また、紙オムツの基本的機能は、尿を肌に広げずに「吸収」し、肌から離してオムツの内部に「固める」ことである。

多くの成人用の紙オムツの吸水目安は約600 mL程度であり、これ以上になると横漏れの原因となる。紙オムツの使用において、皮膚の健康面と衛生面から、排尿後はできるだけ早く新しい紙オムツと交換し、肌を清潔に保つことが理想的である。このことから、交換頻度は、3~4時間おきで1日7回程度が推奨されているが、適切な紙オムツの交換タイミングを確認するためには、介護者は紙オムツ内を定期的に何度も排尿の有無を確認しなくてはならず、排尿があるたびに紙オムツの交換を行わなければならない。また、紙オムツ内に尿を長時間放置すると発疹、ただれや褥瘡を誘発することがあることから、紙おむつの交換時には肌トラブルがないか確認をすることが望ましい<sup>[18]</sup>。このような排尿介護の負担が身体的にも精神的にも介護者を追いつめることが社会問題となっている<sup>[19]-[20]</sup>。この問題の対策として厚生労働省は、平成30年度介護報酬改定の中で、排泄に介護

を要する利用者への支援に対する評価として、排せつ支援加算の新設を行っている<sup>[21]</sup>。その一方で、介護の現場において直接的に排尿介護の負担を軽減する手法が求められている。

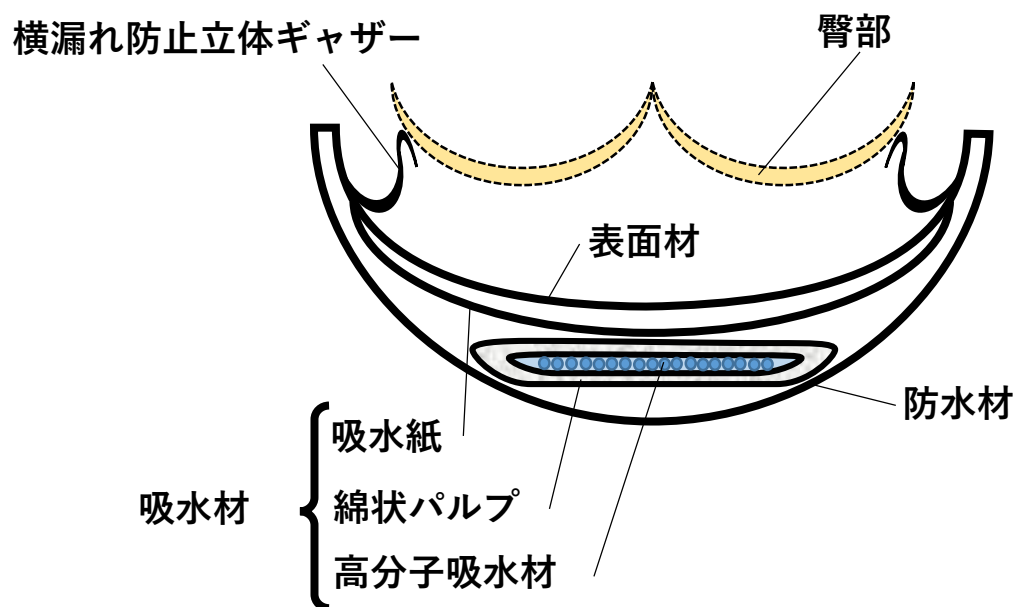


図 2.4 紙オムツの構造<sup>[16]</sup>

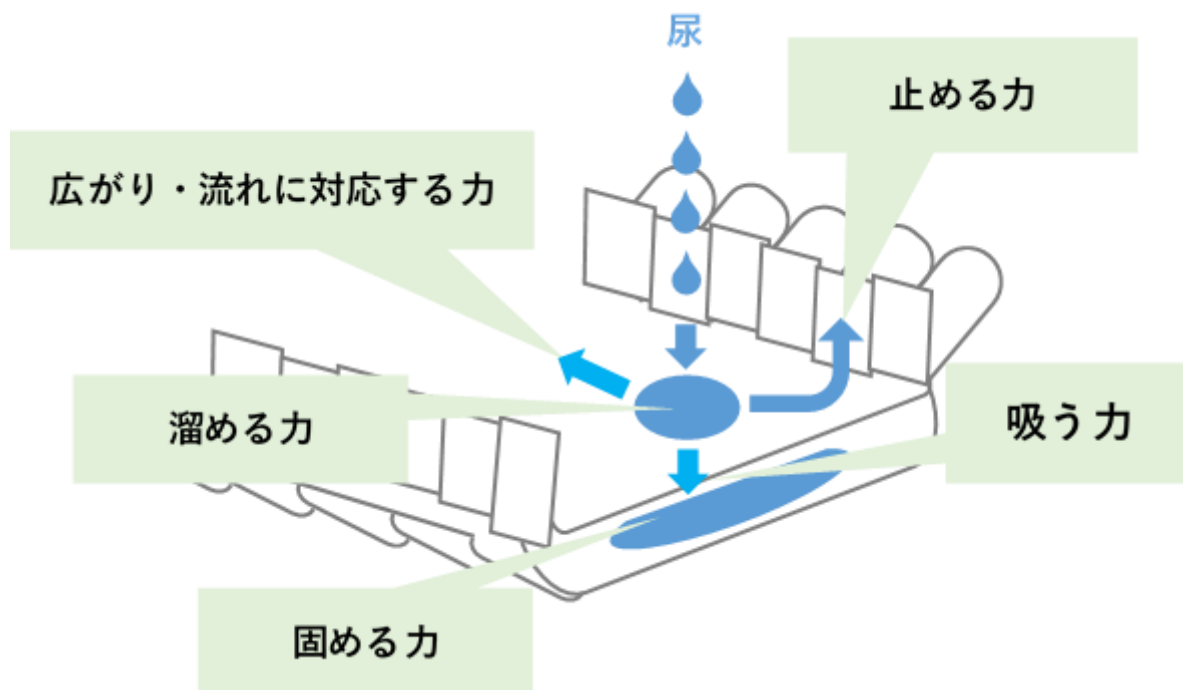


図 2.5 紙オムツの機能<sup>[17]</sup>



## 2.3 排尿検知に関する従来研究

### 2.3.1 排尿検知システムの開発経緯

近年、排尿介護を支援するため、紙オムツ内への尿失禁を早期に検出する排尿検知システムが活用されている。システムの形態は、マット型とウェアラブル型に大別される。マット型の開発経緯は、1904年のドイツの小児科医 Pfaundler が開発した夜尿アラーム装置に始まる<sup>[22]</sup>。これはメッシュ状の金属シート2枚を重ねた状態で寝具上の患者臀部下にシートを挟んで設置し、ベルアラームに有線で接続したものである。尿失禁により電極を含むシートが濡れると金属シート間のインピーダンスが変化して、ベルを鳴らす装置であった。その後、1938年に Mowerel らにより、Pfaundler の夜尿アラーム装置は改良され実用化された<sup>[23]</sup>。また、1942年に Seiger は、ゴムマットの上にニッケルクロム合金にて楕型の電極を配置した夜尿アラーム装置を提案した<sup>[24]–[25]</sup>。さらに、1965年に Coote らがリセス構造を採用し安全性と信頼性を高めた電極シートを提案した<sup>[26]</sup>。この電極シートを用いたシステムは、現在のマット型の排尿検知システムの原型となった。近年では、介護者に尿失禁を無線で伝える高齢者用のマット型排尿検知システムが実用化されている<sup>[27]</sup>。高齢者用のマット型排尿検知システムの外観を図 2.6 に示す。

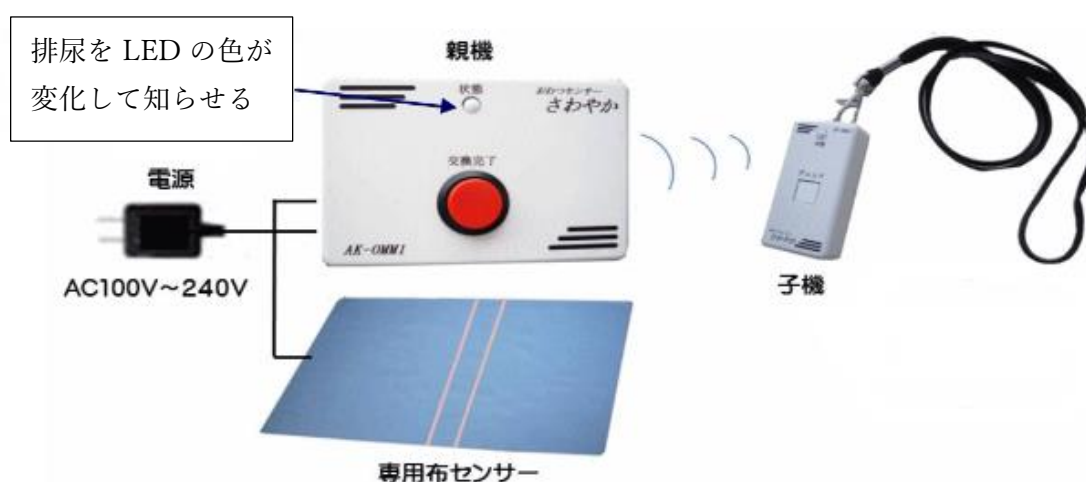


図 2.6 高齢者用のマット型排尿検知システムの外観<sup>[27]</sup>

一方、ウェアラブル型の開発経緯は、マット型の装置が大型、操作に専門的知識が必要、高価であったことより、1982年に Melem により小型、軽量、取り扱いが容易で携帯型の電池駆動式のウェアラブル型夜尿アラーム装置の開発が始まる。Melem の Electronic bed-wetting alarm の外観を図 2.7 に示す<sup>[28]</sup>。これは手のひらサイズで重さ 50 g のアラームと電極をタオルパッド内に縫い込んだセンサ部で構成されており、下着の中にタオルパッドを挿入して有線にて外部のアラームに接続する形態を有している。尿失禁によりタオルパッドが尿を吸水するとセンサ部のインピーダンスが変化することでアラームが発報するシステムであった。2003年に Alpha Consultants 社<sup>[29]</sup>、Palco Labs.社<sup>[30]</sup>や Malem 社<sup>[31]</sup>から導電性のセンサを紙オムツ内に挿入して尿失禁を検知するものやクリップ型センサを下着に挟むだけで検知が行えるものが実用化され、近年では、無線式のものも販売されている。その一例を図 2.8 に示す。また、わが国でも2006年にアワジテック社<sup>[32]</sup>が介護用の紙オムツセンサを開発した。これは導電性塗料にて2本の帯を並列に塗布した専用の紙オムツと帯を挟み込むクリップ型センサで構成されている。尿により2本の導電性の帯が短絡することで排尿を検知するものである。2013年に同社が専用の紙おむつと組み合わせて用いる高齢者用のウェアラブル型排尿検知システムが実用化されている<sup>[33]</sup>。アワジテック社製ピスコールの外観を図 2.9 に示す。さらに、2009年に安田ら<sup>[34]</sup>は、金属処理繊維を用いた尿パッド・オムツ用濡れセンサについて報告をしており、近年、排尿検知システムについてさまざまなアプローチで研究が行われるようになってきた。

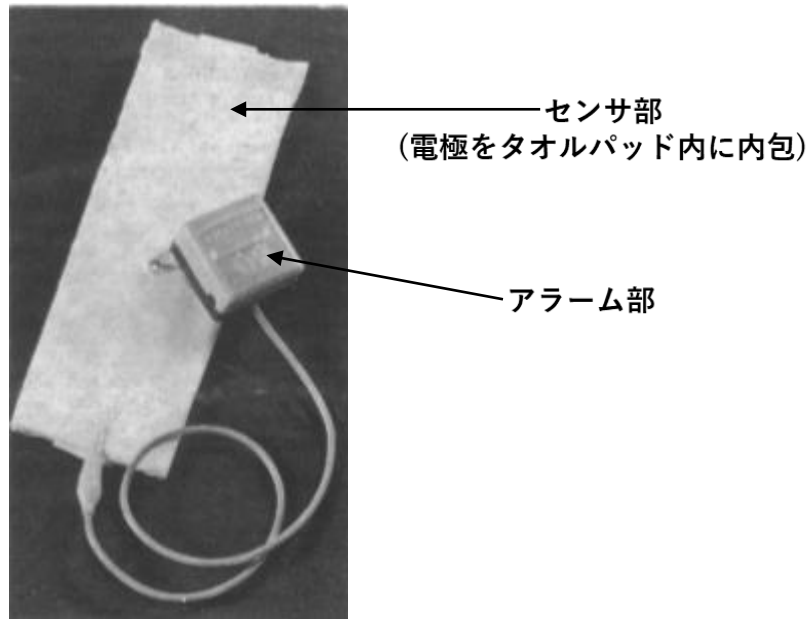
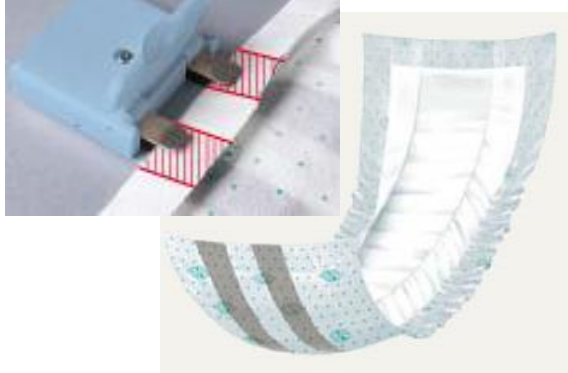


図 2.7 Malem の Electronic bed-wetting alarm の外観<sup>[28]</sup>



図 2.8 Malem 社製 ULTIMATE Bedwetting Alarm<sup>[31]</sup>の外観

帯を挟み込むクリップ型センサ



導電性塗料(2本帯)を塗布した  
専用の紙オムツ



受信機

図 2.9 アワジテック社製 ピスコール<sup>[33]</sup>の外観

### 2.3.2 パッシブ型 RFID を用いた排尿検知システム

現在、実用化されている排尿検知システムにおいて、マット型は排尿の検知は行えるが尿量の推定には至っていない。ウェアラブル型はセンサ部が尿で汚染されるため使用後に洗浄の必要がある。また、無線式のセンサ部は電池駆動となるため、電池の交換が必須でセンサ部のサイズも小さくできない問題点がある。

アンテナ技術の一つに RFID (Radio Frequency Identification) システムがある。RFID システムとは、タグ状に加工されたアンテナ付き IC チップをモノやヒトに付与し、そこに記憶された情報をリーダ・ライタ装置で読み取ることで物体認識や個人認証などを行うものである。アンテナは、パッシブ型とアクティブ型、双方を組み合わせたセミアクティブ型の 3 種類があるが、パッシブ型はリーダ・ライタ装置からの電波をエネルギー源として動作するので、電池を内蔵する必要がない<sup>[35]-[36]</sup>。

中嶋ら<sup>[37]</sup>は RFID を用いた排尿検知システムについて報告した。図 2.10 に RFID を用いた排尿検知システムの概略を示す。成人用の紙オムツにパッシブ型 RFID

タグを埋め込み、排尿の前後でアンテナ特性が変化することを利用して排尿の有無を検知するものである。報告によると、紙オムツが濡れることにより、アンテナと IC チップで整合が取れなくなり通信に必要な利得を大きく下回り、さらに反射係数も大幅に劣化した。その結果より、紙オムツが乾いた状態では通信が行え、濡れた状態では行えないということから排尿の検知が行えることを示した。このシステムは、センサ部に電池を内蔵する必要はなく、そのサイズをさらに小さくすることが可能で、無意識、無拘束なシステムのウェアラブル化に貢献できる可能性がある。しかし、紙オムツは使用後には廃棄することより、RFID タグを埋め込んだ専用の紙オムツを使用する必要がある。また、RFID タグを再利用する場合は、洗浄が必要となり、紙オムツに適切に装着する必要がある。これは、被介護者と介護者の QOL への影響、すなわち快適性と経済性の向上に反する可能性がある。

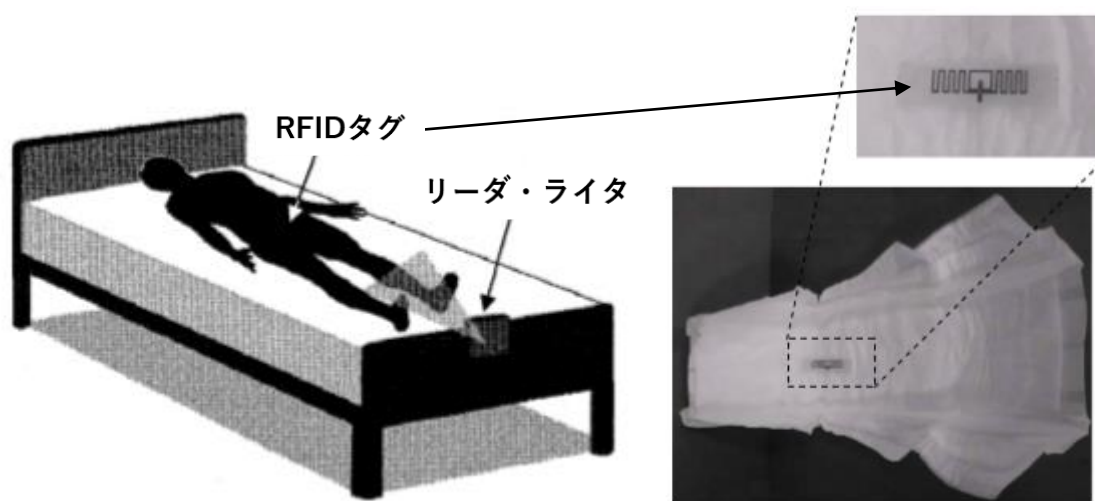


図 2.10 RFID を用いた排尿検知システムの概略図<sup>[37]</sup>

### 2.3.3 化学電池を用いた排尿検知システム

2006年にLeeら<sup>[38]</sup>は化学電池の一種である海水を用いた注水電池<sup>[39]</sup>の原理を応用して、尿発電デバイスを開発した。しかし、デバイスのサイズが大きく、紙オムツに組み込み排尿検知システムとして活用するには至らなかった。田中ら<sup>[40]</sup><sup>[41]</sup>は紙オムツに組み込み可能な小型のコイン型尿発電デバイスを開発し、その発電電力で駆動する無線システムを有した紙オムツ組み込み型バッテリーレス尿失禁センサについて提案した。図 2.11 にコイン型尿発電デバイスの概略図を示す。デバイスは炭素を混合させたアノード電極（亜鉛）、セパレータ、カソード電極（二酸化マンガン）と尿が流入する穴が開いたハウジングで構成されており、尿がハウジングの中で電解液として作用して発電を行う。報告によると、尿を流入させてから 20～25 秒経過後に発電が認められ、約 90 秒後には 1.3 V 以上の出力電圧を得た。その結果より、出力電圧の変化から排尿の検知が行えることを示した。このシステムは、デバイスに電池を内蔵する必要はなく、システムのウェアラブル化に貢献できる可能性がある。しかし、デバイスが肌に接触することから肌トラブルを誘発する可能性があり、排尿量の推定には至らないと推測される。

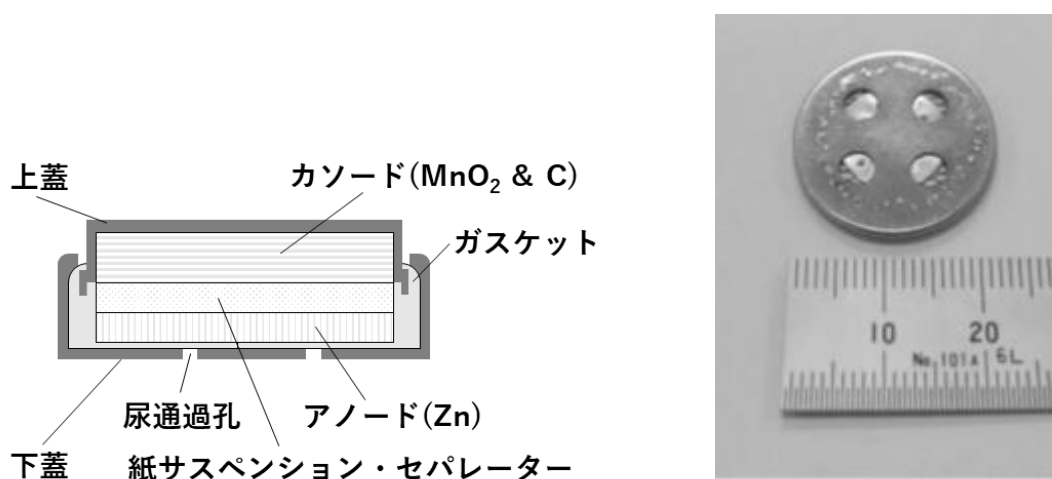


図 2.11 コイン型尿発電デバイスの概略図<sup>[41]</sup>

## 2.4 結言

本章では、下肢不自由者の排尿管理に関する知見について述べた。すなわち、2.2 では、下肢不自由者における畜尿障害と排尿の介護として、人体の畜尿および排尿のメカニズムと畜尿障害に伴う尿失禁について説明し、紙オムツによる排尿ケアについて述べた。2.3 では排尿検知に関する従来研究として、排尿検知システムの開発経緯を概説し、パッシブ型 RFID および、化学電池を用いたケーブルレスの排尿検知システムについて述べることで、従来の研究における問題点と課題を明らかにした。また、被介護者と介護者の両者に対して排泄介護における負担の軽減をめざして、肌と非接触で排尿の検知と尿量の推定を実現するシステムが必要であることを指摘した。

# 第3章 楕型電極シートを用いた排尿量推定システムの構築

## 3.1 緒言

従来の排尿検知システムでは、排泄物を検知する特別な仕組みをオムツや下着の中に内蔵させる必要があり、そのシステムが身体に直接接触し、発疹や褥瘡を誘発する可能性がある。さらに、排泄物と直接接触することより再利用するためには検知センサ部の洗浄や交換が必要である。

本研究では、楕型電極シートを用いた排尿量推定システム<sup>[42]</sup>を開発し、寝具上に電極部を設置するだけで紙オムツの外部から模擬尿の検知と尿量の推定が可能であるかを確かめた。

本章では、楕型電極シートを用いた排尿量推定システムの構築について述べる。すなわち、3.2 では、開発を行った楕型電極シートの構造について説明する。3.3 では、楕型電極シートの電気的特性評価として、尿吸収パッドを用いた模擬尿送水試験によるインピーダンス特性評価について述べる。3.4 では、交流の基本原理として RC 直列回路における出力電圧の理論について説明し、楕型電極シートを用いた排尿量推定システムの構成について述べる。3.5 では、尿吸収パッドを用いた模擬尿送水試験によるシステムの出力電圧特性評価について述べる。3.6 では、紙オムツを装着したトルソによる模擬尿の検知と尿量の推定について、その可能性について述べる。3.7 では、模擬尿の拡散方向が出力電圧へおよぼす影響について述べる。3.8 では、それぞれの結果について検討する。



## 3.2 楕型電極シートの構造

紙オムツの外部から模擬尿の検知と尿量の推定を行うために、電極と紙オムツの接触形態を静電容量型とした。また、電極のサイズ、および形状を決定するため、展開した紙オムツへ送水を行い、その吸水域を確認する実験を行った。

健常な成人において、畜尿により膀胱容積が 150~200 mL に達すると尿意が出現する。このことから、最小の排尿量は 150~200 mL と仮定できる。実験では、展開した成人用の紙オムツ（ユニ・チャーム社製ライフリー®）へ、最小の排尿量より少ない 100 mL の水道水を送水した。その結果、吸水域は、x 軸方向に 70 mm 程度、y 軸方向に 120 mm 程度で固定された。図 3.1 に水道水の吸水域の概略図を示す。さらに、追加して水道水を送水すると吸水域は、主に吸収材に沿って x 軸方向に広がった。このことより、吸水域を検知するためには、その方向と直交する y 軸方向に電極を配置する必要があると考えた。また、100 mL の吸水域の短軸が約 70 mm であったことより、電極は厚さ 0.1 mm の銅板を楕形に成形し、電極幅と電極間隔は 20 mm とした。さらに、PET（ポリエチレンテレフタレート）フィルムで銅板電極全体を内包することで被覆を施して絶縁、折れ、しわ、防水の対策を施した。寝具上に楕型電極シートを設置し、その上に仰臥位で紙オムツを装着した被験者が寝ることより、電極シートは直接的な排泄物による汚染がなく、破損するまで再利用が可能である。開発した楕型電極シートの外観を図 3.2 に、楕型電極シートの外観を図 3.3 に示す。

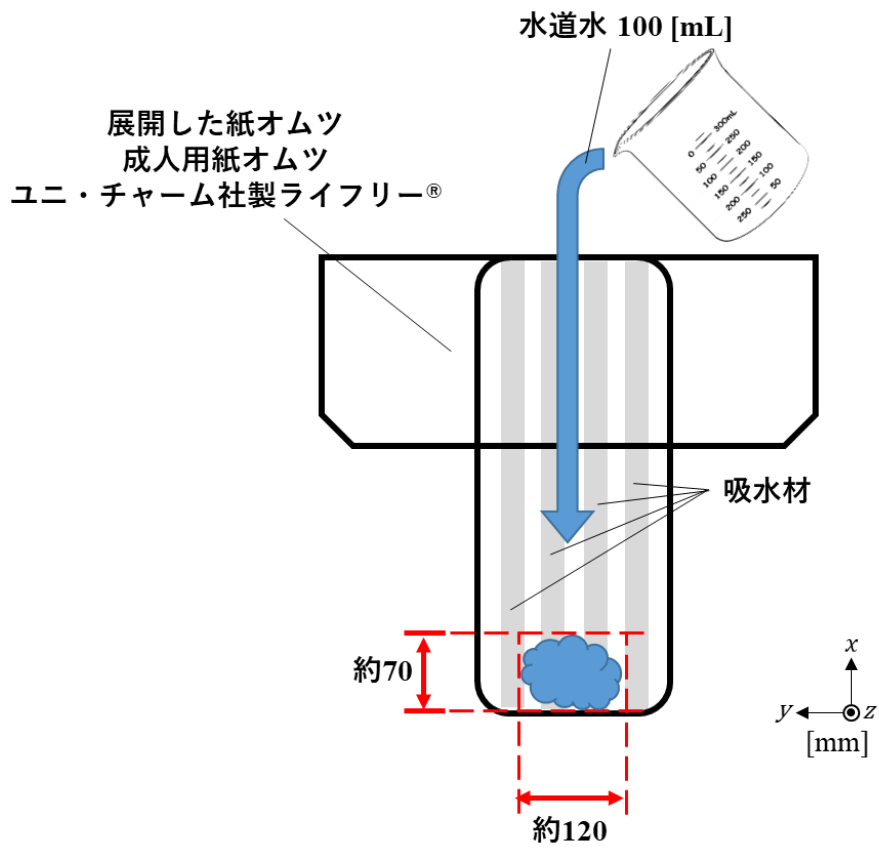


図 3.1 水道水の吸水域の概略図

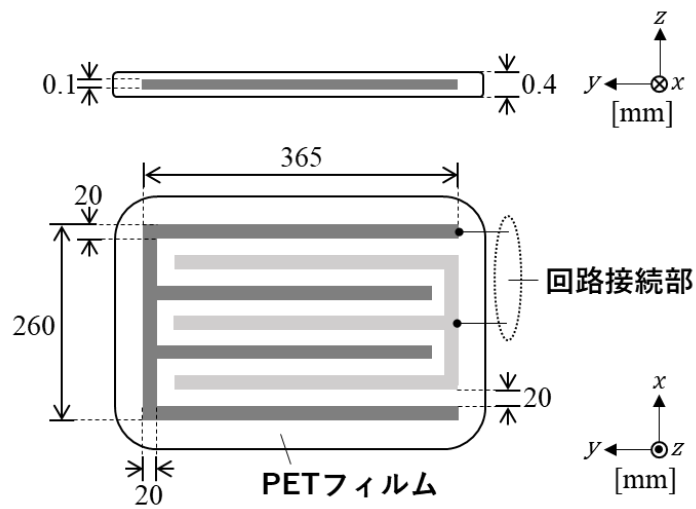


図 3.2 楕型電極シートの図面



図 3.3 楕型電極シートの外観

### 3.3 楕型電極シートの電気的特性評価

本システムで用いる楕型電極シートのインピーダンス特性について模擬尿送水試験を行い評価した。図 3.4 に尿吸収パッドを用いた送水試験の概略図を示す。楕型電極シートの中央に尿吸収パッド(ユニ・チャーム社製 ライフリー<sup>®</sup>：巾 16 cm×長さ 45.5 cm，尿吸収量の目安 300 mL)を展開して設置する。尿吸収パッドと楕型電極シートの接触面における浮き，折れ，しわを防ぐため 1 kg の透明アクリル板で上方から尿吸収パッド全体に圧力を加える。模擬尿は水温 26～27 °C の水道水を使用し，それを点滴ボトルに溜めポリ塩化ビニル製チューブを介して尿吸収パッドの中央へ 5～6 mL/s の速さで送液する。1 回の送液を 100 mL とし，合計 400 mL 送水する。インピーダンス特性は，楕型電極シートにインピーダンスアナライザ(日置電機株式会社製：IM3570，周波数 70 kHz)を接続し，送水ごとのインピーダンスと位相角を計測することで評価する。図 3.5 と表 3.1 に模擬尿送水試験におけるインピーダンスと位相角を計測した結果を示す。すべての計測においてインピーダンスの位相角は $-86.2 \sim -88.3^\circ$ であった。つまり，電極部におけるインピーダンスは容量リアクタンスが支配的であり，楕型電極シート部の電気的特性はコンデンサに近似できる。

楕型電極シート部をコンデンサに近似したとき，その静電容量  $C$  は角周波数を  $\omega$  ，容量リアクタンスを  $X_c$  とすると，

$$C = \frac{1}{\omega Xc} \quad (3.1)$$

となる。図 3.5 で得られた実測値の平均を式(3.1)に代入し、 $C$ を算出した結果を図 3.6 に示す。結果より、電極上の尿吸収パッドに送水されると、その比誘電率  $\varepsilon$  が 2 (紙程度)から 80 (水程度)へ増加し、電極部の  $C$  は模擬尿量に対して直線的( $r = 0.983$ )に変化した。

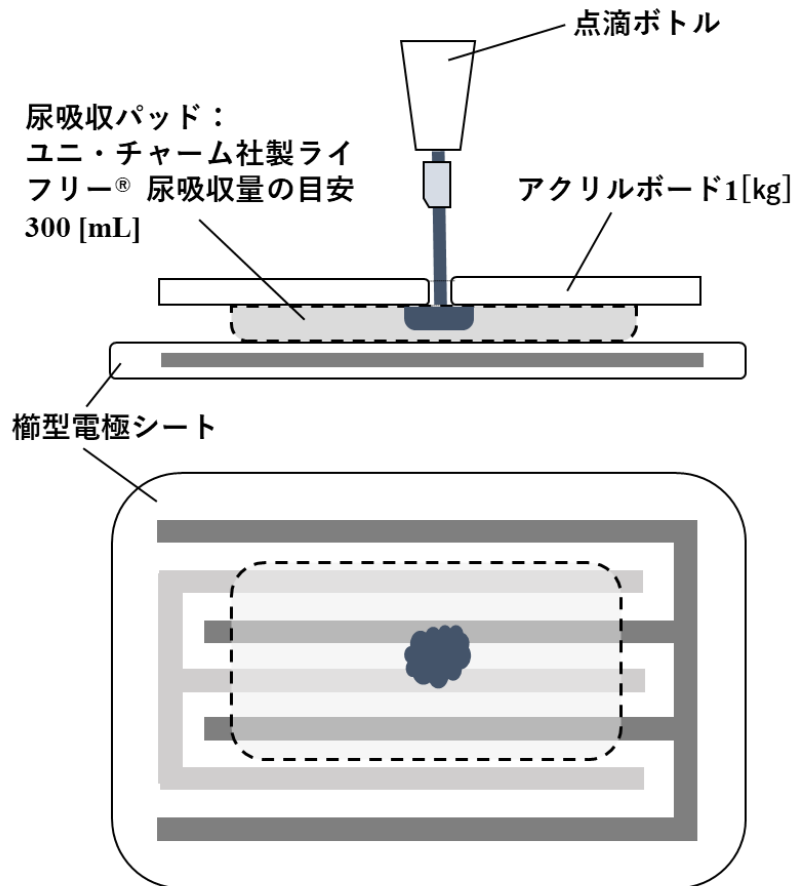


図 3.4 展開した尿吸収パッドを用いた模擬尿送水試験の概略図

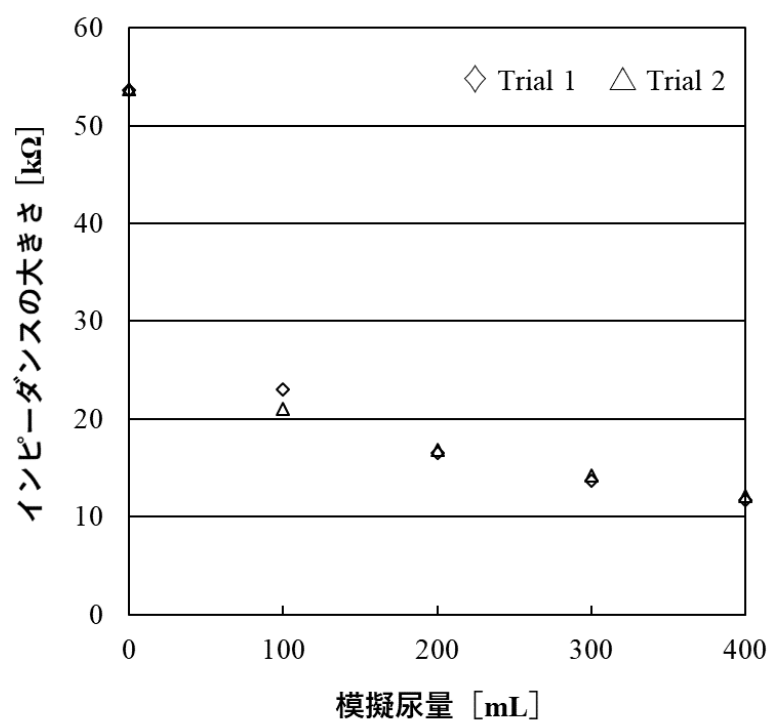


図 3.5 模擬尿送水試験におけるインピーダンスの計測結果

表 3.1 模擬尿送水試験における位相角の計測結果

模擬尿量 [mL]	位相角 [°]	
	Trial 1	Trial 2
0	-87.0	-86.9
100	-86.2	-86.7
200	-87.7	-87.9
300	-87.6	-88.1
400	-88.0	-88.3

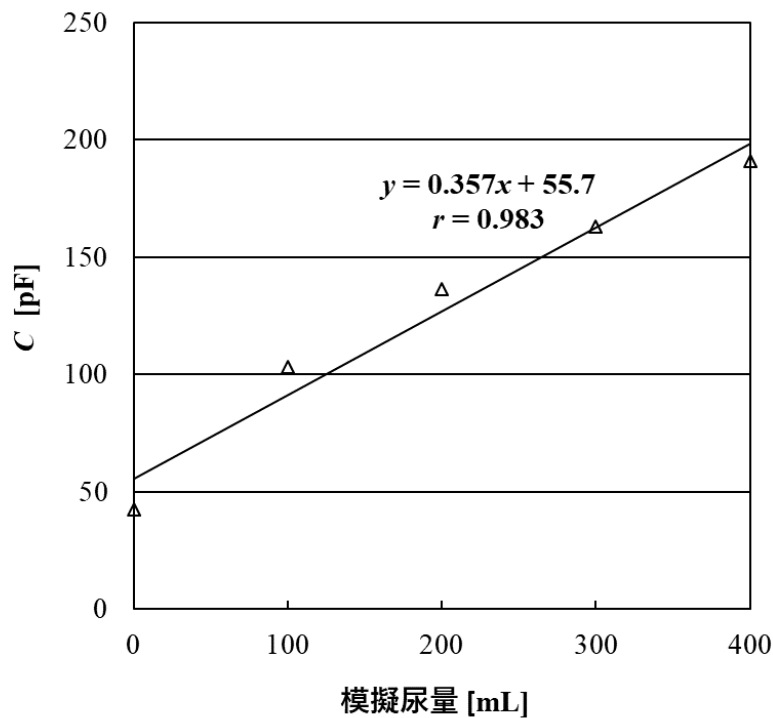


図 3.6 算出した静電容量  $C$

### 3.4 櫛型電極シートを用いた排尿量推定システムの構成

櫛型電極シート部の電気的特性は 3.3 節でコンデンサに近似できることが示されたことより、図 3.7 に示す交流電源を使用した RC 直列回路を等価回路とする排尿量推定システムを構築した。コンデンサの静電容量を  $C$ 、負荷抵抗値を  $R$ 、電源電圧値を  $E$  とすると、回路全体のインピーダンスは  $R + 1/(j\omega C)$  となり、回路に流れる電流  $i$  は  $E / \{R + 1/(j\omega C)\}$  となるので出力電圧  $\dot{V}_{out}$  は、

$$\dot{V}_{out} = \frac{R}{R + 1/(j\omega C)} \times E \quad (3.1)$$

となり、 $\dot{V}_{out}$ の大きさ $V_{out}$ は、

$$V_{out} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + \{1 / (\omega C)\}^2}} \times E \quad (3.2)$$

となる<sup>[43]-[44]</sup>。

$C$ の変化によって $V_{out}$ がどのように変化するか、式(3.2)を用いて算出した。ただし、 $R=100 \text{ k}\Omega$ 、 $E=6 \text{ V}(70 \text{ kHz})$ 、 $C$ は図 3.6 の近似直線から得られた値を用いた。結果を図 3.8 に示す。ただし、縦軸は、 $C=55.7 \text{ pF}$ のときの $V_{out}$ との差 $\Delta V_{out}$ である。3.3 節と算出結果より、楕型電極シート上の試料が水を吸水することで、送水した模擬尿量に依存して $C$ が変化するので $V_{out}$ から模擬尿量を推定できることが示された。

図 3.9 に楕型電極シートを用いた排尿量推定システムの概略図を示す。回路は、楕形電極シートと  $100\text{k}\Omega$  の負荷抵抗を直列に接続しており、電源にはファンクションジェネレータ(岩通計測株式会社:SG-4105)を用いて、回路全体に正弦波電圧  $6 \text{ V}(70\text{kHz})$  を印加している。システムの出力は、負荷抵抗の両端電圧 $\dot{V}_{out}$ である。なお、本稿で使用する電圧はすべて peak-to-peak 値で示している。本システムでは寝具上に楕型電極シートを設置し、汎用的な紙オムツを装着した被介護者がその上に横たわる。すなわち、臀部全体を覆う紙オムツの外部から、その内部における排尿の検知と尿量の推定を可能にするものである。

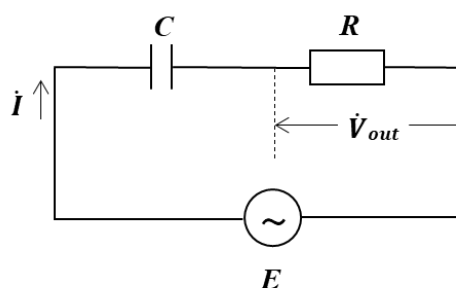


図 3.7 交流電源を使用したRC直列回路

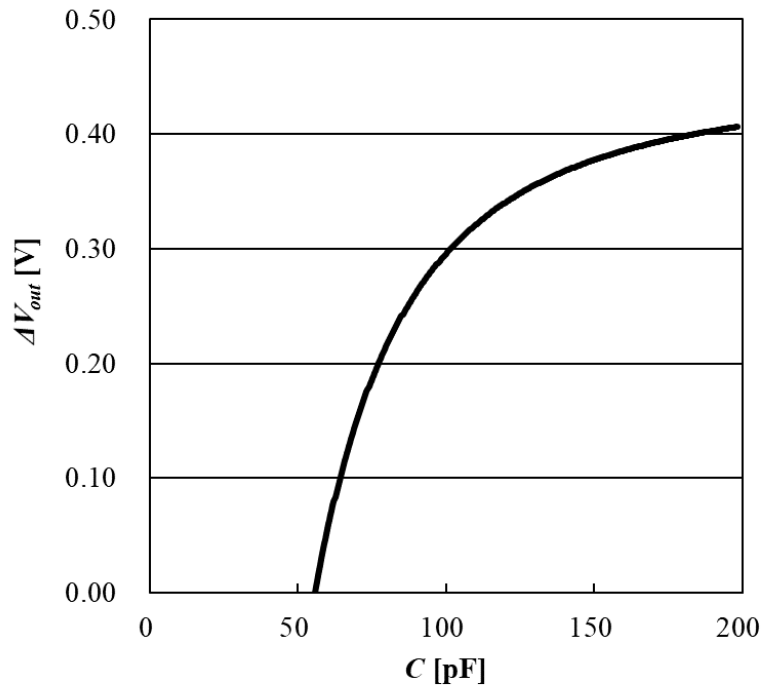


図 3.8 静電容量 $C$ と出力電圧 $\Delta V_{out}$ の関係

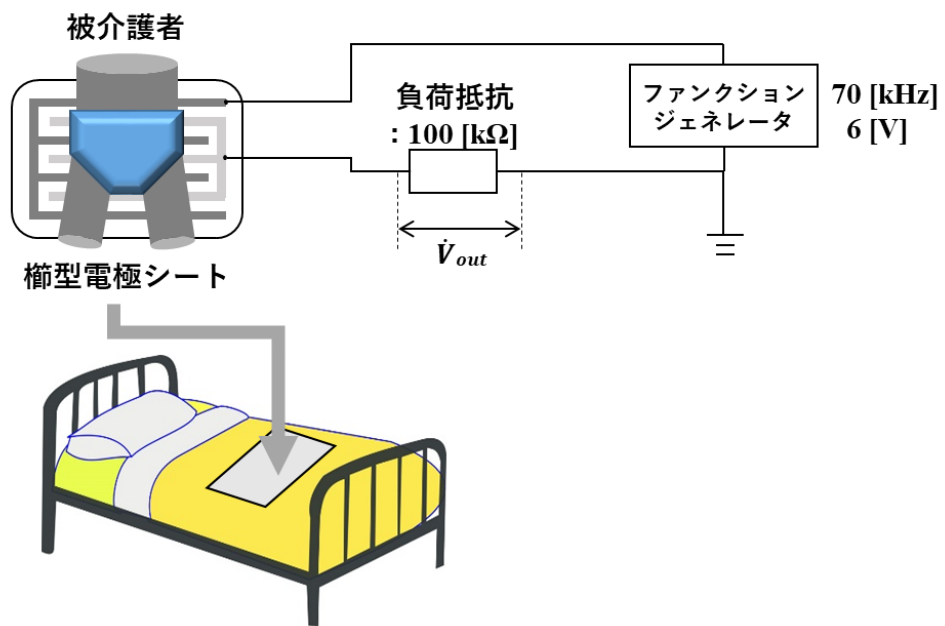


図 3.9 櫛型電極シートを用いた排尿量推定システムの概略図



### 3.5 櫛型電極シートにおける尿吸収パッドを用いた出力電圧の計測

介護現場で広く使用されている尿吸収パッドにて、櫛型電極シートを用いた排尿量推定システムにおける出力電圧の大きさ $V_{out}$ と模擬尿量の関係を調べた。実験は、本システムを用いて3.3節の図3.4と同様の条件で計測する。図3.10に本システムにおける計測の結果を示す。ただし、縦軸は、模擬尿量0 mLのときの $V_{out}$ との差 $\Delta V_{out}$ である。計測の結果は、図3.8と同様の傾向を示した。つまり、模擬尿量が0~100 mLの範囲で $\Delta V_{out}$ に大きな変化を認め、100~400 mLの範囲で各模擬尿量に対応する $\Delta V_{out}$ が確認された。

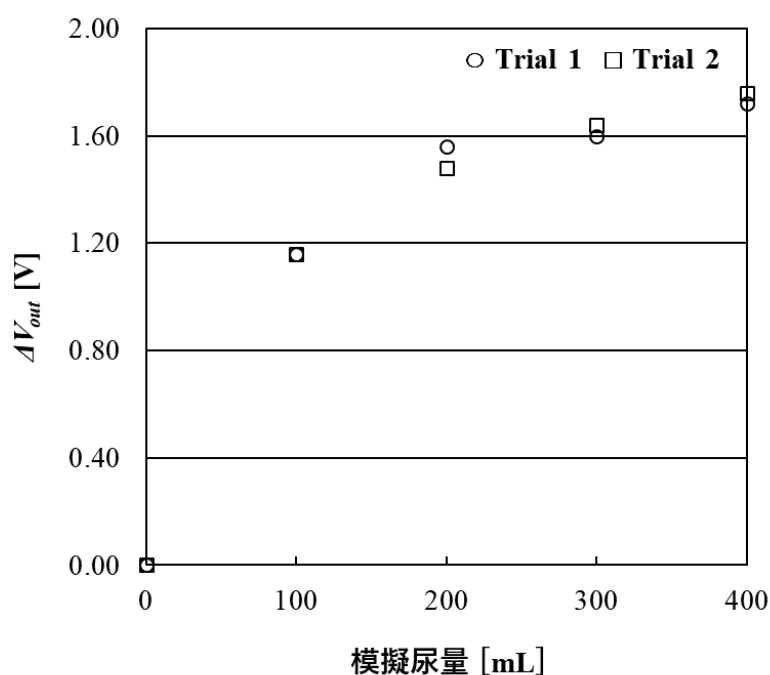


図 3.10 尿吸収パッドを用いた計測実験の結果

## 3.6 紙オムツを装着したトルソによる模擬尿の検知と尿量の推定

人体の臀部は立体形状を有しており，このような形状でも楕型電極シートを用いた排尿量推定システムにて排尿の検知および，尿量の推定が可能か調べた。図 3.10 に紙オムツを装着したトルソにおける実験の概略図を示す。プラスチック製トルソの臀部(ヒップサイズ 92 cm)に成人用紙オムツ(ユニ・チャーム社製 ライフリー®：ヒップサイズ 67～106 cm，尿吸収量の目安 600 mL)を装着した。寝具上に置かれた楕型電極シートの中央にトルソの臀部を仰臥位で設置した。模擬尿は水温 26～27 °Cの水道水を使用し，それを点滴ボトルからポリ塩化ビニル製チューブを介して，紙オムツ内の人体臀部モデルの臀部天井側から送液した。また，送液ごとに模擬尿量に応じて広がる吸水域を視認した。図 3.11 に本システムにおける計測の結果を示す。ただし，縦軸は模擬尿量 0 mL のときの $V_{out}$ との差 $\Delta V_{out}$ である。また，図 3.12 に視認した各送液ごとの紙オムツ内の吸水域の概略図と写真を示す。計測の結果より，模擬尿量が 0～100 mL の範囲では，出力値に大きな変化は確認されなかった。100 mL 以降の範囲では，図 3.8 と同様の傾向を示した。また，模擬尿量が 400，500 mL において $\Delta V_{out}$ に大きなばらつきを認めた。紙オムツ内の視認によると，300 mL まで吸水域は，重力に従って x 軸方向に広がり，400～500 mL ではトルソ臀部辺縁で堰き止められ，y 軸方向に広がった。

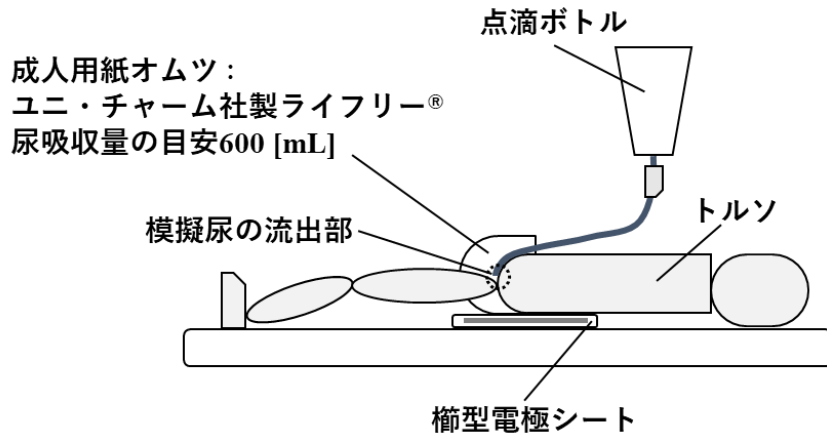


図 3.10 紙オムツを装着したトルソ用いた実験の概略図

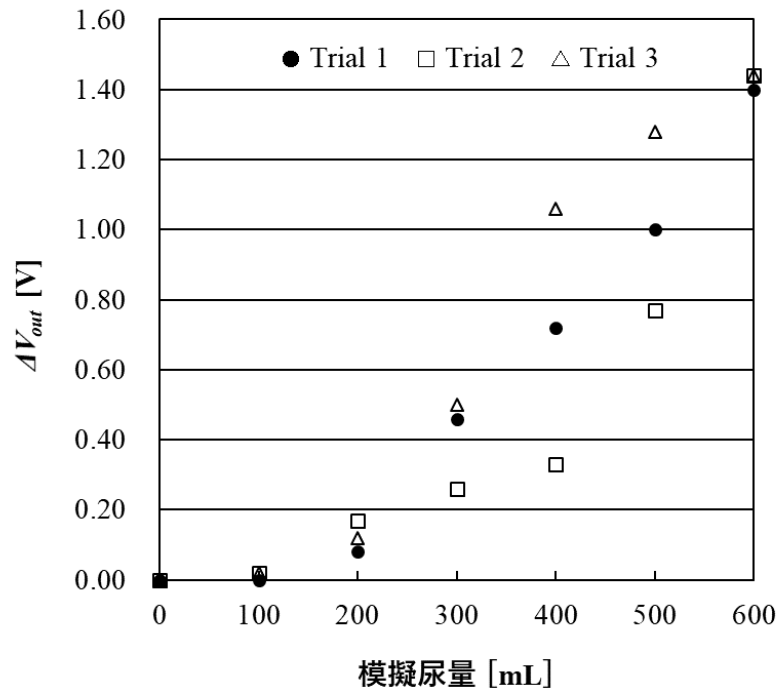
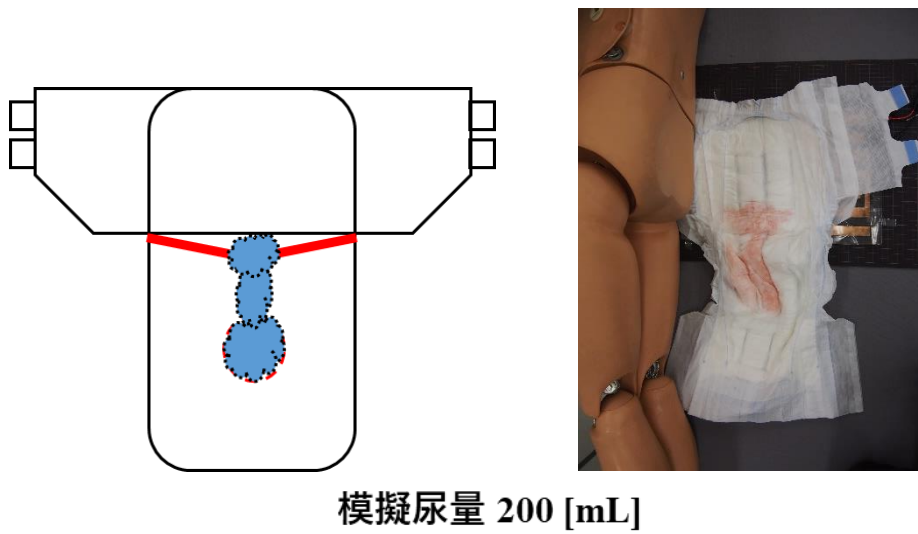
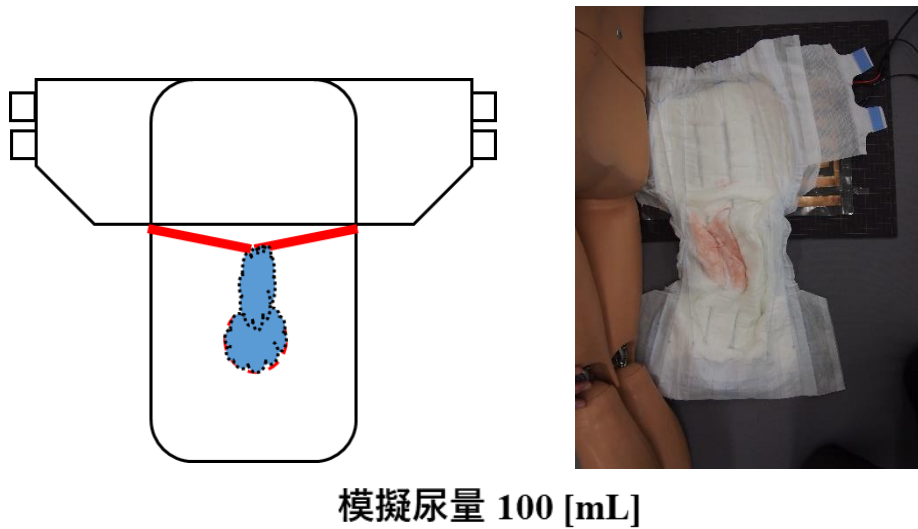
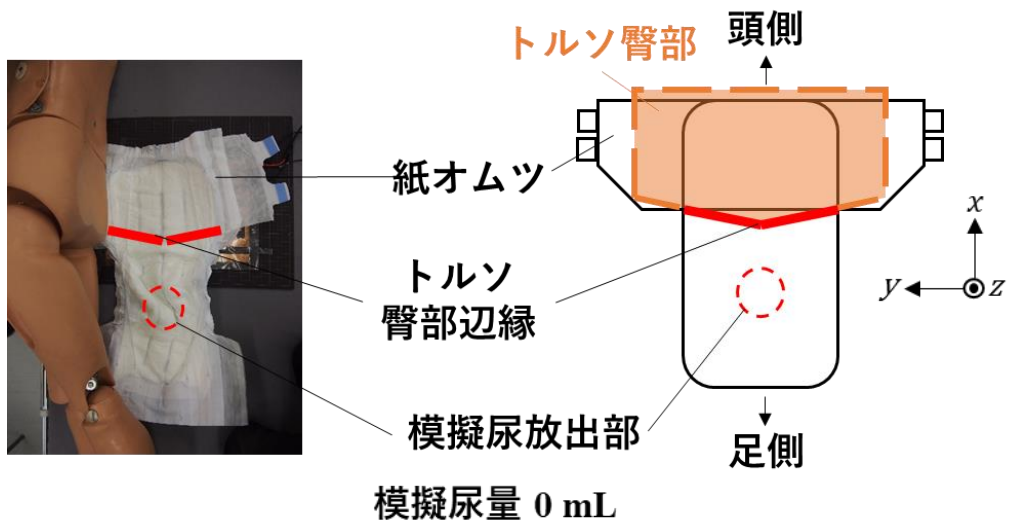
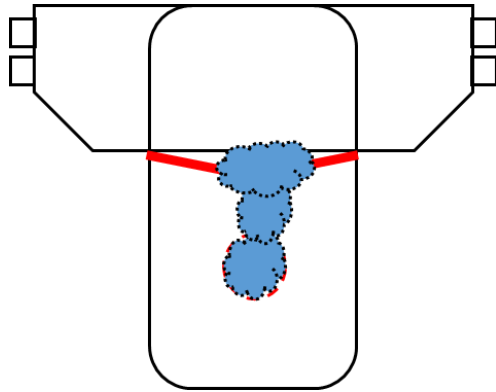
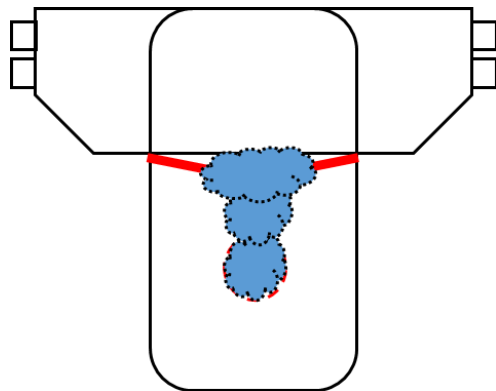


図 3.11 トルソを用いた計測実験の結果

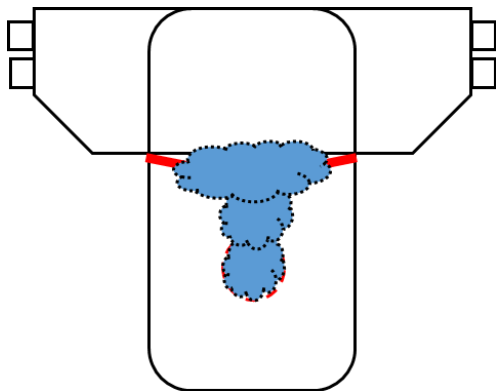




模擬尿量 300 [mL]

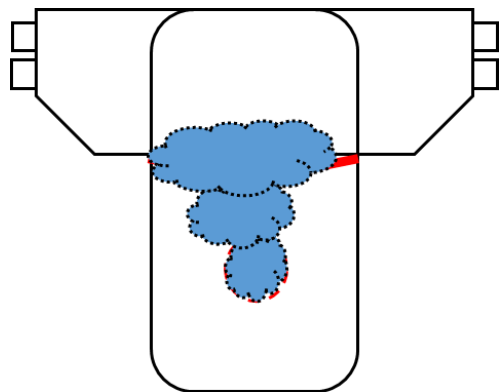


模擬尿量 400 [mL]



模擬尿量 500 [mL]





模擬尿量 600 [mL]

図 3.12 各送液ごとの紙オムツ内の吸水域

### 3.7 模擬尿の拡散方向が出力電圧へおよぼす影響

介護現場において尿吸収パッドや紙オムツが使用されているが、尿が排泄されたとき橢型電極シートに対してその拡散方向は一定ではない。尿の拡散方向が出力電圧へどのような影響をおよぼすか検討した。検討方向は、長方形の尿吸収パッド(ピジョン社製 オムツとれっぴ〜<sup>®</sup>：吸収体部 巾 15 cm×長さ 25 cm, 最大尿吸収量の目安 120 mL)の長軸が電極における橢歯の伸長方向と橢歯の垂直方向の2方向とする。尿吸収パッドに模擬尿を 120 mL 吸収させ、電極の中央部に設置し 1 kg の透明アクリル板で上方から全体に圧力を加える。同じ尿吸収パッドを用いて、各検討方向における出力電圧 $V_{out}$ を計測した。図 3.12 と表 3.1 に尿吸収パッドの設置方法と計測の結果を示す。結果より、橢歯の伸長方向と垂直方向で、0.20 V の差を認めた。

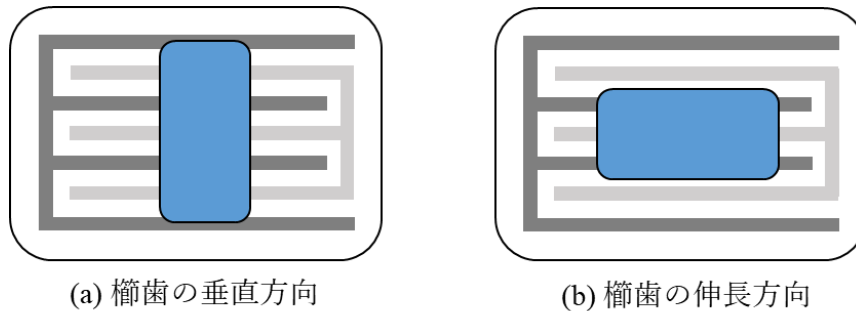


図 3.12 尿吸収パッドの設置方法

表 3.1 各拡散パターンにおける計測の結果

パターン	出力電圧 $V_{out}$ [V]					平均
	Trial 1	Trial 2	Trial 3	Trial 4	Trial 5	
<i>A</i>	4.96	4.96	4.96	5.00	4.96	<b>4.97</b>
<i>B</i>	4.76	4.76	4.76	4.80	4.76	<b>4.77</b>
<i>A - B</i>	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	<b>0.20</b>

### 3.8 検討

本研究では、寝具上にセンサ部を設置するだけで紙オムツの外部から排尿の検知と尿量の推定を行えるシステムの構築を目的とした。このため、紙オムツ内の高分子吸収材で固定された排尿を非接触で検知するため静電容量型の電極形態を採用した。すなわち、楕形に成形した銅板電極を PET フィルムで内包した楕型電極シートを開発した。本研究で開発した電極上に展開した紙オムツを設置して模擬尿送水試験を行い送水ごとの位相角とインピーダンスを計測したところ、電極部はコンデンサに近似できることを確認した。また、電極部における静電容量を実測値から算出したところ、その変化は模擬尿量に対して直線的であった。交流電源を用いる直列 CR 回路において R 両端の出力電圧の理論値は、 $C$  の変化に依

存する。楕型電極シートに負荷抵抗を直列接続し、その両端を出力電圧とする排尿量推定システムを作製した。展開した尿吸収パッドを用いた模擬尿送水試験により出力電圧を計測した結果は、理論値と同様の傾向を示した。電極部の静電容量は試料に送水した模擬尿量に依存するので、模擬尿量を排尿量推定システムの出力電圧 $V_{out}$ から推定できることを示した。また、紙オムツを装着したトルソを用いた模擬尿送水試験により出力電圧を計測した結果、0~100 mL の範囲においては、 $V_{out}$ に大きな変化は認められなかった。これは視認によると、紙オムツの吸水領域がトルソ臀部天井側に限局し、それが電極マトリックス面上に至っていないことが原因であった。模擬尿量が 100 mL を超える範囲においては、 $V_{out}$ の変化を認め、図 3.2 の理論値と同様の傾向を示した。成人では膀胱内尿量が 150~200 mL で尿意が出現する<sup>[12]</sup>ことから、人体の臀部のような立体形状でも初回排尿の検知が可能であることが示された。紙オムツの吸水目安付近である模擬尿量が 400, 500 mL において $\Delta V_{out}$ に大きなばらつきを認め、2 回目以降の排尿量の推定は困難であることが示された。この原因は紙オムツ内で模擬尿が広がる方向とそれを検知する電極形状にあると推測されたことから、模擬尿を 100 mL 送水するたびに紙オムツ内の吸水領域の確認を行った。その結果、模擬尿は 400~500 mL ではトルソ臀部辺縁で堰き止められ、吸水領域は楕型電極の楕歯の伸長方向に広がった。このことより、尿の拡散方向が出力電圧へどのような影響をおよぼすか検討した。実験は、同じ面積の吸水領域において、拡散方向が電極における楕歯の伸長方向と垂直方向の異なる 2 方向で出力電圧を比較した。その結果、最大で 0.20 V の差を認めた。つまり、楕型電極シートを用いた本システムは、初回排尿の検知が可能であることを示した。



## 3.9 結言

本章では、楕型電極シートを用いた排尿量推定システムの構築について述べた。すなわち、3.2 では、開発を行った楕型電極シートの構造について説明した。3.3 では、楕型電極シートの電気的特性評価として、尿吸収パッドを用いた模擬尿送水試験によるインピーダンス特性評価について述べた。楕型電極シート部の電気的特性は、コンデンサに近似できることを示した。また、電極部の静電容量は、模擬尿量に対して直線的に変化することを示した。3.4 では、交流の基本原理として CR 回路のインピーダンスについて説明し、楕型電極シートを用いた排尿量推定システムの構成について述べた。3.5 では、尿吸収パッドを用いた模擬尿送水試験による出力電圧特性評価について述べた。本システムにおける計測値は理論値と同様の傾向を示したことより、模擬尿量を出力電圧から推定できる可能性を示した。3.6 では、紙オムツを装着したトルソによる模擬尿の検知と尿量の推定を行った結果について述べた。人体の臀部のような立体形状でも排尿の検知および、尿量の推定が可能であることが示された。3.7 では、模擬尿の拡散方向が出力電圧へおよぼす影響について述べた。楕型電極シートを用いた本システムは、初回排尿の検知が可能であることを示した。

# 第4章 シート型電極マトリックスによる 模擬尿の検知と尿量の推定

## 4.1 緒言

第3章では、寝具上にセンサ部を設置するだけで紙オムツの外部から模擬尿の検知と模擬尿量の推定を可能とする楕円型電極シートを用いた排尿量推定システム<sup>[42]</sup>について述べた。本システムにおいて、紙オムツ内で楕円の伸長方向もしくは、楕円の垂直方向へ模擬尿が同じ面積で拡散した場合、両方で計測される出力電圧値に差が認められる問題点があった。

本研究では、この問題を解決するためにセンサ部の電極形状について改良を行った。具体的には、正方形に成形された多数の電極を格子状に設置したシート型電極マトリックスをセンサ部とした排尿量推定システムを新たに開発した<sup>[45]</sup>。

本章では、シート型電極マトリックスによる模擬尿の検知と尿量の推定について述べる。すなわち、4.2では、新たに開発を行ったシート型電極マトリックスの構造について説明する。4.3では、シート型電極マトリックスの電気的特性評価として、薄吸水布を用いた模擬尿滴下試験によるインピーダンス特性評価とシート型電極マトリックスの等価回路モデルについて述べる。4.4では、シート型電極マトリックスを用いた排尿量推定システムの構成について説明する。4.5では、模擬尿の拡散方向の違いによる出力電圧を計測した結果について述べる。4.6では、尿吸収パッドを用いたシステムの出力電圧特性評価について述べる。4.7では、紙オムツを装着したトルソにおける模擬尿の検知と尿量の推定を行った結果について述べる。4.8では、それぞれの結果について考察する

## 4.2 シート型電極マトリックスの構造

健常な成人の尿意が出現するのは、畜尿により膀胱容積が 150~200 mL になった場合であることより、最小の排尿量は 150 mL と仮定できる。この排尿量を検知するため、第 3 章の図 3.1 の実験を参考に電極のサイズ、および形状を決定した。紙オムツ内で異なる方向へ尿が拡散した場合でも、計測誤差が最小限になるように電極サイズを縦 20mm、横 20 mm の正方形とした。また、その電極を 5 mm 間隔で格子状に配置した。さらに、隣り合う電極同士の極性を逆になるように配線した。電極全体は、PET(ポリエチレンテレフタレート)フィルムで内包することで絶縁、折れ、しわ、防水の対策が施されている。本研究で開発したシート型電極マトリックスおよび電極配線の図面を図 4.1 に、シート型電極マトリックス電極の外観を図 4.2 に示す。電極マトリックスは、寝具上に設置する形態を採用し、直接的な排泄物による汚染がなく破損するまで再利用が可能である。

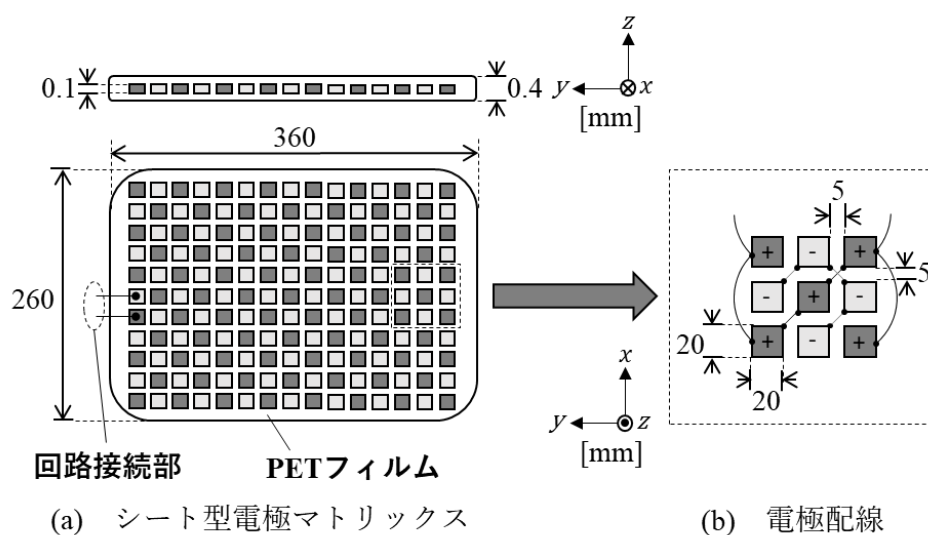


図 4.1 シート型電極マトリックスの図面

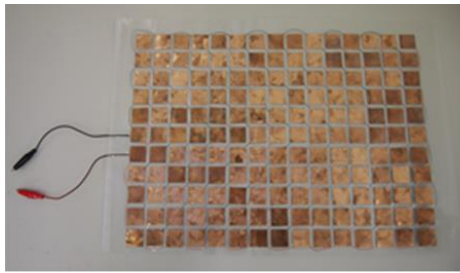


図 4.2 シート型電極マトリックスの外観

### 4.3 シート型電極マトリックスの電気的特性評価と等価回路モデル

シート型電極マトリックスにおいて、1枚の電極上に限局して広がる水量が一定であるとき、水が拡散している電極枚数から水量の推定が可能である。そこで、シート型電極マトリックスのインピーダンス特性から、その電極枚数の推定が可能であるのか、水滴下試験を行い評価した。また、シート型電極マトリックス上に水が拡散する過程の等価回路モデルについて検討した。水滴下試験は、電極 25枚の上に厚さ 1 mm の吸収紙(日本製紙クレシア社製：キムタオル®)を設置し、1枚の電極全面に吸水領域が限局して広がるように上方からシリンジで、水温 26～27 °C の水道水(比誘電率：80)を滴下した。なお、1回の滴下量は約 0.1 mL であった。水の吸水領域が連続して吸水紙の左下端から右上端へ達するまで滴下を繰り返した。インピーダンス特性は、シート型電極マトリックスにインピーダンスアナライザ(日置電機株式会社製：IM3570, 周波数 70 kHz)を接続し、滴下ごとのインピーダンスと位相角を計測することで評価した。図 4.3 と表 4.1 に水滴下試験によるインピーダンス特性の計測の結果と位相角の計測の結果を示す。なお、図 4.3 の縦軸はインピーダンスの大きさ、横軸は吸水領域と重なる電極枚数である。表 4.1 より、すべての計測においてインピーダンスの位相角は $-81.6\sim-88.2^\circ$ であった。これより、電極部におけるインピーダンスは容量リアクタンスが支配的であり、シート型電極マトリックス部の電気的特性はコンデンサに近似できることが示された。

シート型電極マトリックス部をコンデンサに近似したとき，その静電容量  $C$  は角周波数を  $\omega$  ，容量リアクタンスを  $X_c$  とすると，

$$C = \frac{1}{\omega X_c} \quad (4.1)$$

となる。図 4.3 で得られた実測値の平均を式(4.1)に代入して  $C$  を算出した結果を図 4.4 に示す。シート型電極マトリックス上の薄吸水布が吸水することで  $X_c$  が減少し，その結果として  $C$  は直線的( $r=0.997$ )に増加した。これは，薄吸水布に水が滴下されると比誘電率  $\varepsilon$  が 2 (紙程度)から 80 (水程度)へ増加し，シート型電極マトリックス部の静電容量が増加するためである。これより， $C$  の変化は並列接続された各コンデンサの静電容量が次々と増加して行く過程に等価できることが示された。図 4.5 に電極マトリックス部の等価回路を示す。

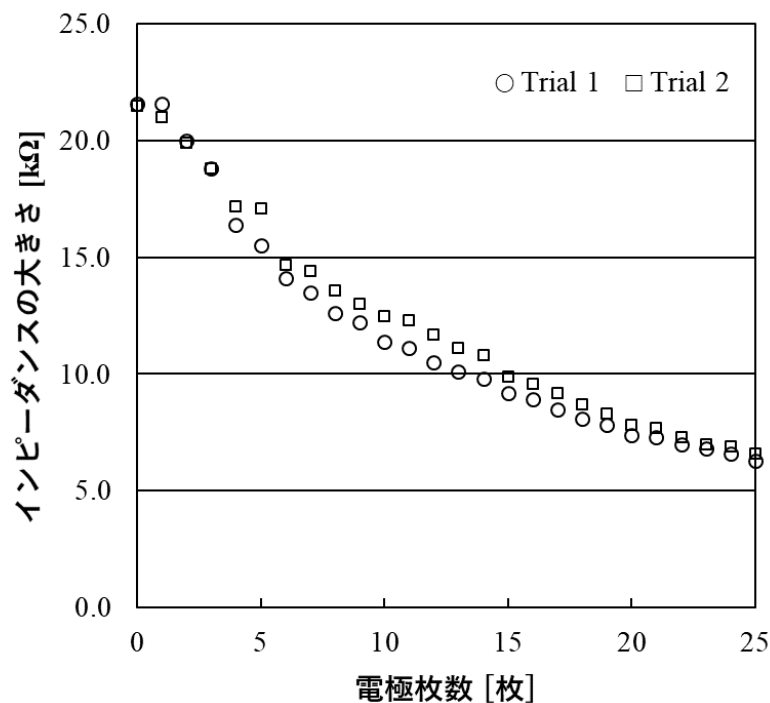


図 4.3 水滴下試験によるインピーダンス特性の結果

表4.1 水滴下試験による位相角の結果

電極枚数 [枚]	位相角 [°]	電極枚数 [枚]	位相角 [°]
0	-88.2	13	-84.1
1	-88.1	14	-83.8
2	-87.5	15	-83.7
3	-87.1	16	-83.6
4	-86.5	17	-83.1
5	-86.3	18	-82.8
6	-86.2	19	-83.0
7	-86.0	20	-82.7
8	-85.5	21	-82.6
9	-85.5	22	-82.0
10	-84.8	23	-81.8
11	-84.6	24	-81.7
12	-84.1	25	-81.6

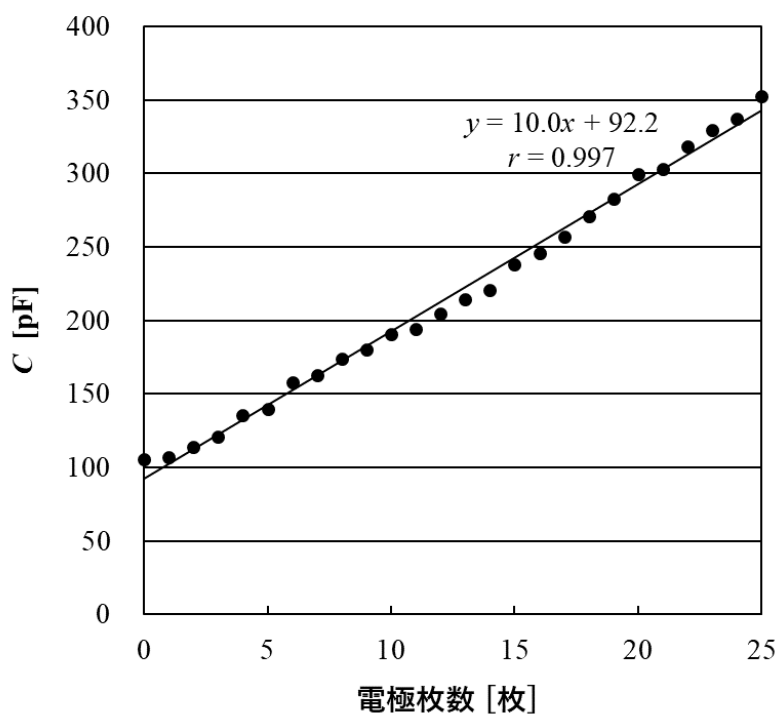


図 4.4 算出した静電容量  $C$

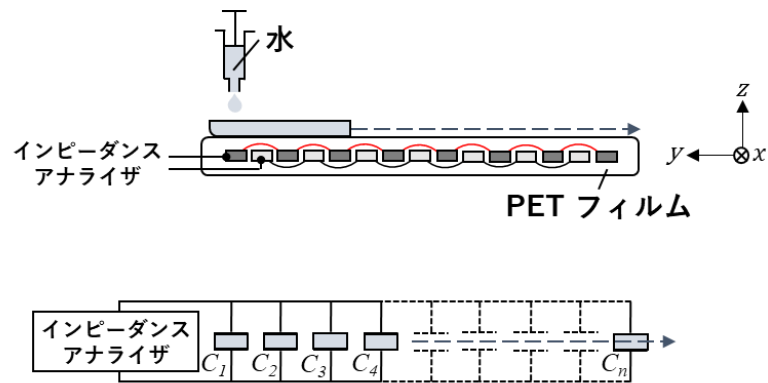


図 4.5 シート型電極マトリックスの等価回路モデル

## 4.4 シート型電極マトリックスを用いた排尿量推定システムの構成

シート型電極マトリックスは寝具上の寝たきり被介護者の臀部下に敷くように設置する。寝たきり被介護者は、排尿ケアのため紙オムツを装着するが、本システムの使用にあたり特別な電極を紙オムツに装着する必要はない。図 4.6 にシート型電極マトリックスを用いた排尿量推定システムの概略図を示す。本システムは、コンデンサに近似したシート型電極マトリックス部と負荷抵抗  $100 \text{ k}\Omega$  を直列接続した回路である。電源にはファンクションジェネレータを用いて、回路全体に正弦波電圧( $70 \text{ kHz}$ ,  $6 \text{ V}$ )を印加している。システムの出力は、負荷抵抗の両端電圧  $\dot{V}_{out}$  である。

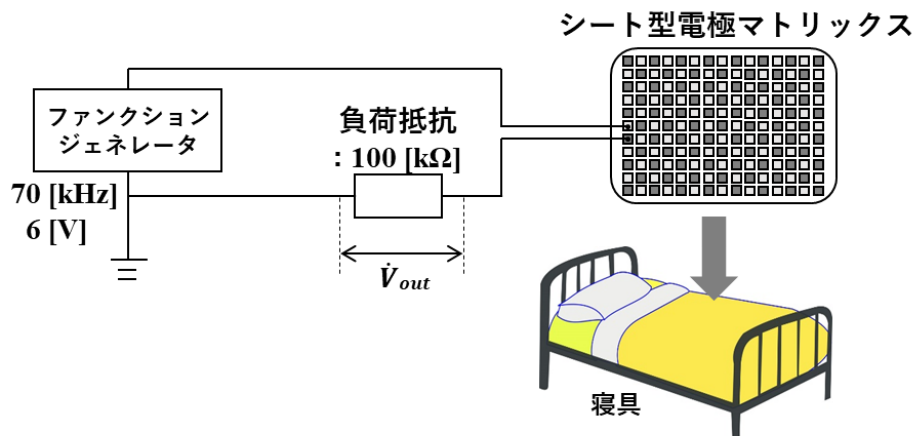


図4.6 シート型電極マトリックスを用いた排尿量推定システムの概略図

## 4.5 模擬尿が異なる方向へ拡散したときの出力信号におよぼす影響

模擬尿が異なる方向へ同じ面積で拡散したとき、シート型電極マトリックスを用いた排尿量推定システムの出力電圧の大きさ $V_{out}$ にどのような影響をおよぼすか調べた。尿の拡散方向の違いのみに着目し、同じ面積にて出力値を比較するため $84\text{ cm}^2$ (縦 $14\text{ cm}$ ×横 $6\text{ cm}$ )の銅板で尿の拡散域を模擬した。設置方法は図4.7に示すように銅板と電極マトリックスの接触面に浮きがないようA~Cの3パターンとした。計測の結果を表4.1に示す。 $V_{out}$ はいずれも $4.96\text{ V}$ であった。

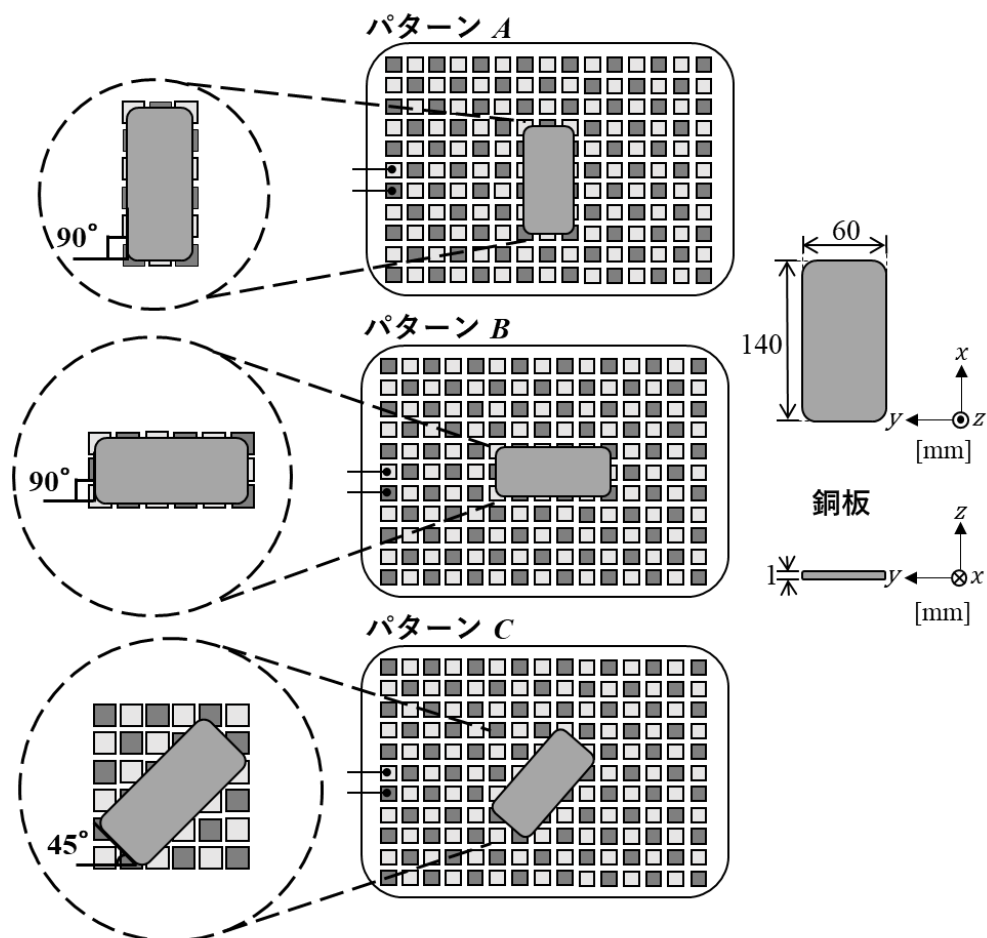


図 4.7 模擬尿の拡散パターン



表 4.1 各拡散パターンにおける計測の結果

パターン	出力電圧 $V_{out}$ [V]					
	Trial 1	Trial 2	Trial 3	Trial 4	Trial 5	平均
A	4.96	4.96	4.96	4.96	4.96	4.96
B	4.96	4.96	4.96	4.96	4.96	4.96
C	4.96	4.96	4.96	4.96	4.96	4.96

## 4.6 尿吸収パッドを用いた出力電圧の計測

介護現場で広く使用されている尿吸収パッドにて、模擬尿量とシート型電極マトリックスを用いた排尿量推定システムにおける出力電圧の大きさ $V_{out}$ の関係を調べた。図 4.8 に尿吸収パッドを用いた実験の概略図を示す。シート型電極マトリックスの中央に尿吸収パッド(ユニ・チャーム社製 ライフリー<sup>®</sup>：巾 16 cm×長さ 45.5 cm, 尿吸収量の目安 300 mL)を展開して設置する。尿吸収パッドとシート型電極マトリックスの接触面における浮き, 折れ, しわを防ぐため 1 kg の透明アクリル板で上方から尿吸収パッド全体に圧力を加える。模擬尿は水温 26～27℃の水道水を使用し, それを点滴ボトルに溜めポリ塩化ビニル製チューブを介して尿吸収パッドの中央へ 5～6 mL/s の速さで送液する。1 回の送液を 100 mL とし, 合計 400 mL とする。送液ごとに尿吸収パッドにおける模擬尿の拡散域を視認する。図 4.9 に本システムにおける計測の結果を示す。ただし, 縦軸は, 模擬尿量 0 mL のときの $V_{out}$ との差 $\Delta V_{out}$ である。各計測の結果は, 図 3.4 と同様の傾向を示した。つまり, 模擬尿量が 0～100 mL の範囲では $\Delta V_{out}$ に大きな変化を認められ, 100～400 mL の範囲では各模擬尿量に対応する $\Delta V_{out}$ が確認された。

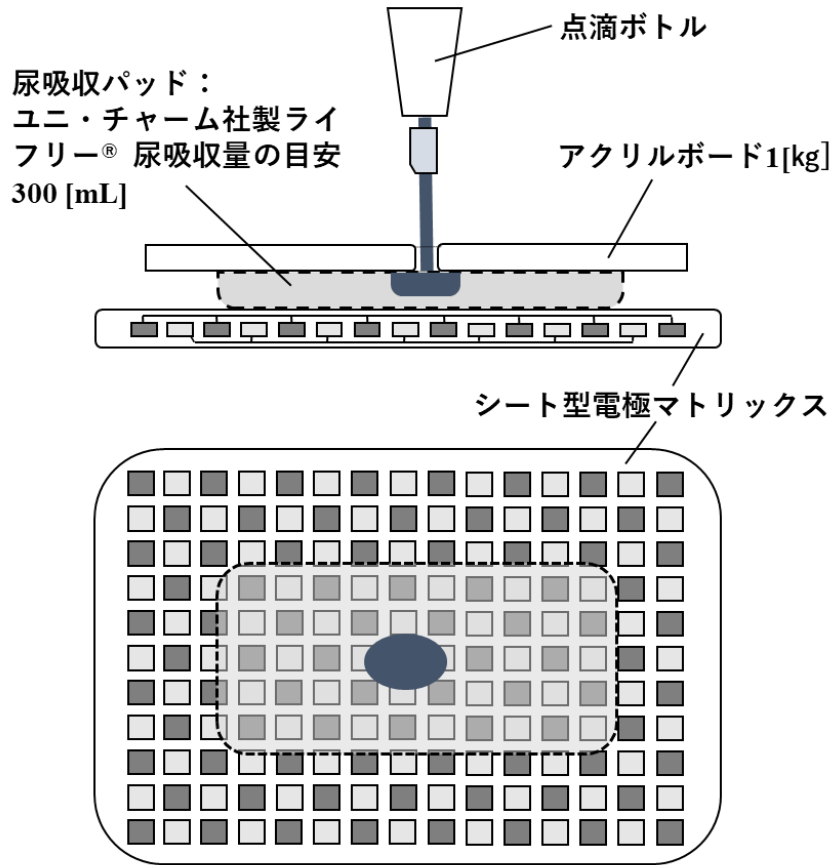


図 4.8 展開した尿吸収パッドを用いた実験系の概略図

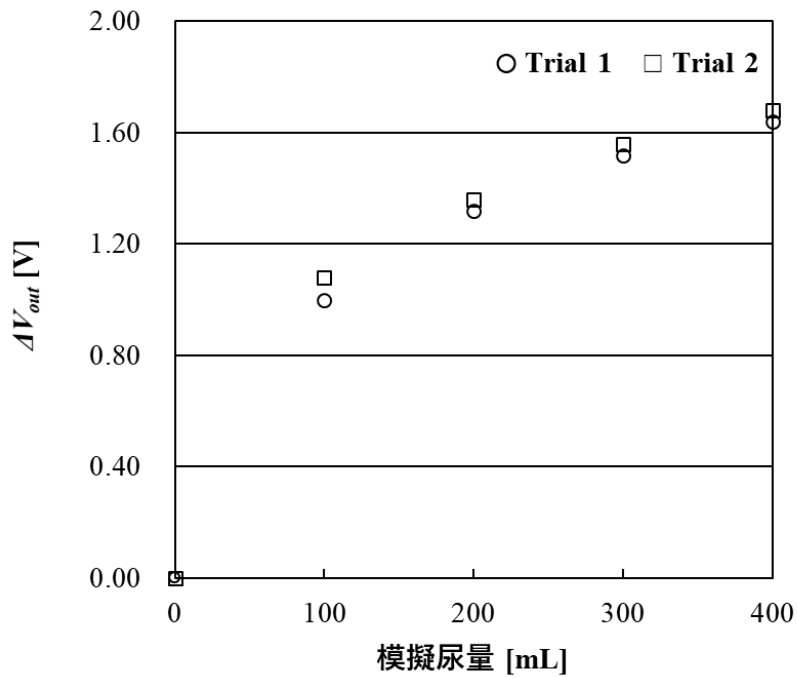


図 4.9 尿吸収パッドを用いた計測実験の結果

## 4.7 紙オムツを装着したトルソにおける模擬尿の検知と尿量の推定

人体の臀部は立体形状を有しており、このような形状でもシート型電極マトリックスを用いた排尿量推定システムにて排尿検知および尿量の推定が可能か調べた。図 4.10 に紙オムツを装着したトルソにおける実験の概略図を示す。プラスチック製トルソの臀部(ヒップサイズ 92 cm)に成人用紙オムツ(ユニ・チャーム社製 ライフリー®: ヒップサイズ 67~106 cm, 尿吸収量の目安 600 mL)を装着する。寝具上に置かれたシート型電極マトリックスの中央にトルソの臀部を仰臥位で設置する。図 4.10 に実験の概略図を示す。模擬尿は水温 26~27 °C の水道水を使用し、それを点滴ボトルからポリ塩化ビニル製チューブを介して紙オムツ内の人体臀部モデルの臀部天井側から送液する。送液ごとに紙オムツにおける模擬尿の拡散域を視認する。図 4.11 に本システムにおける計測の結果を示す。ただし、縦軸は模擬尿量 0 mL のときの  $V_{out}$  との差  $\Delta V_{out}$  である。また、図 4.12 に視認による模擬尿量に応じて広がる吸水域の概略図と写真を示す。各計測の結果より、模擬尿量が 0~100 mL の範囲では、出力値に大きな変化は確認されなかった。また、100 mL 以降の範囲では、図 3.8 と同様の傾向を示した。

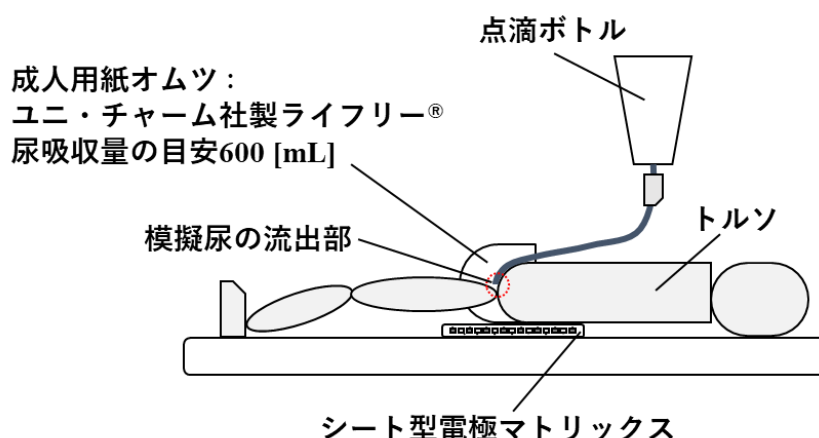


図 4.10 紙オムツを装着したトルソ用いた実験の概略図

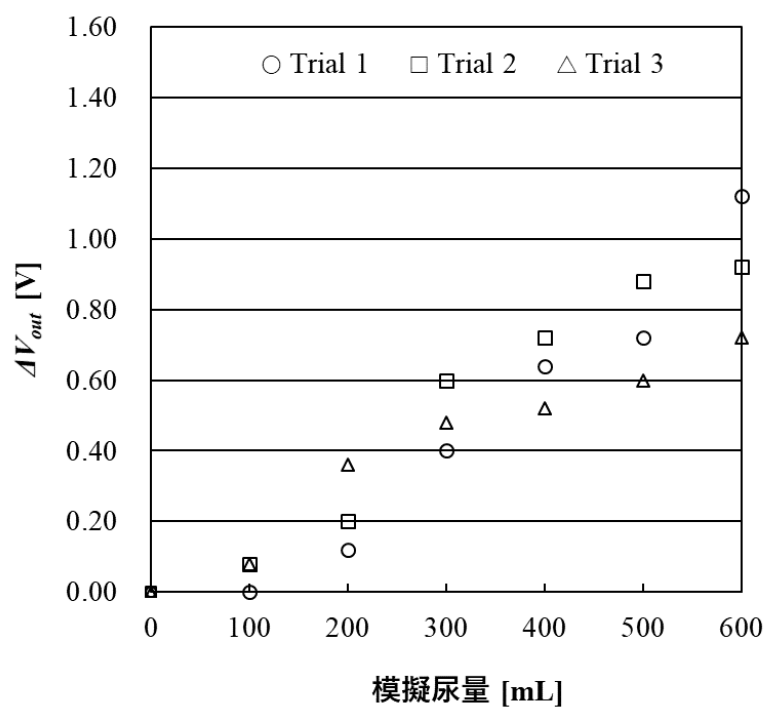
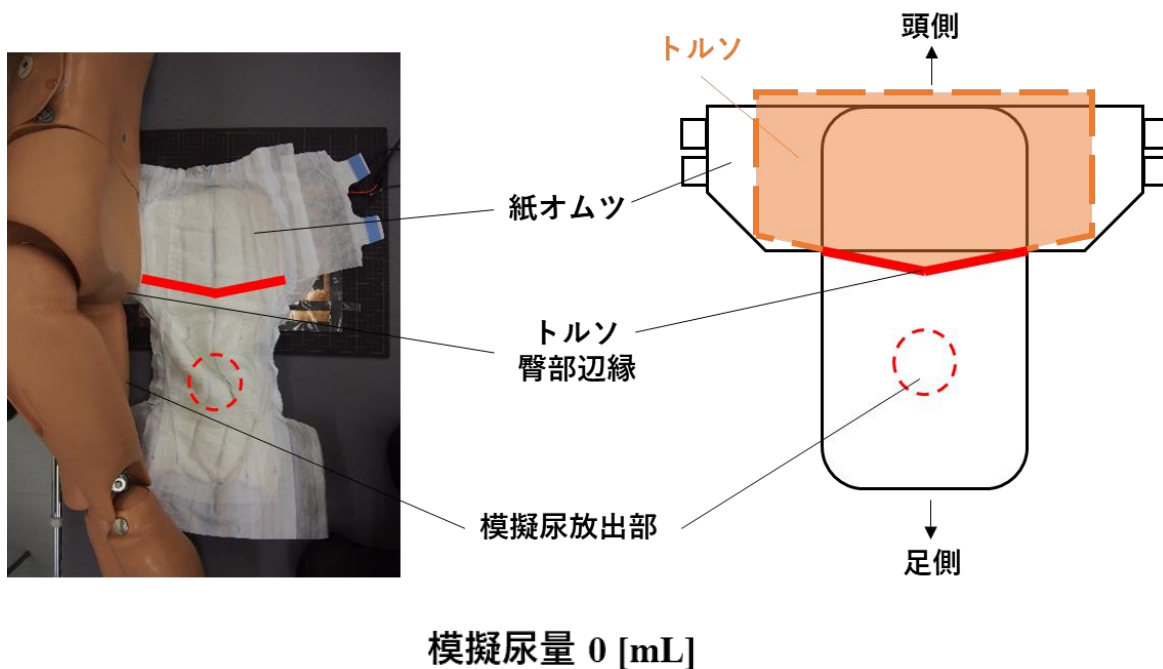
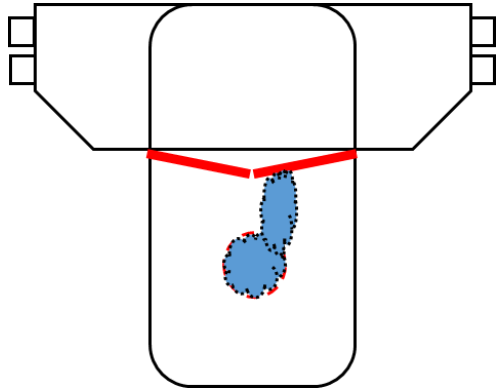
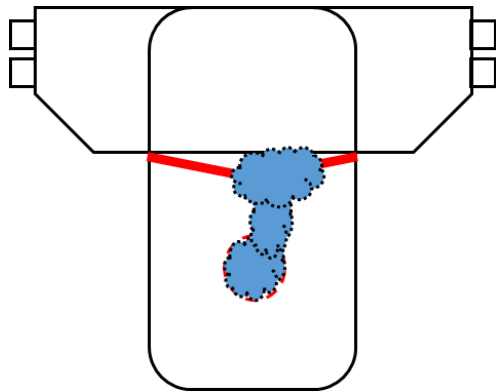


図 4.11 トルソを用いた計測実験の結果

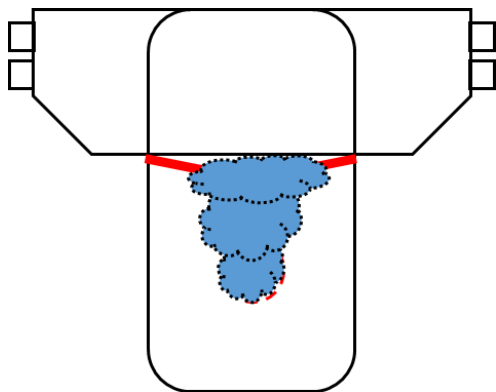




模擬尿量 100 [mL]

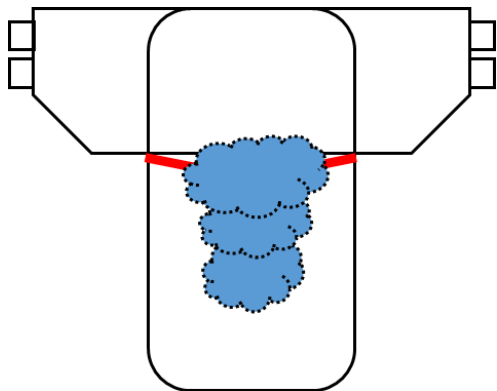


模擬尿量 200 [mL]

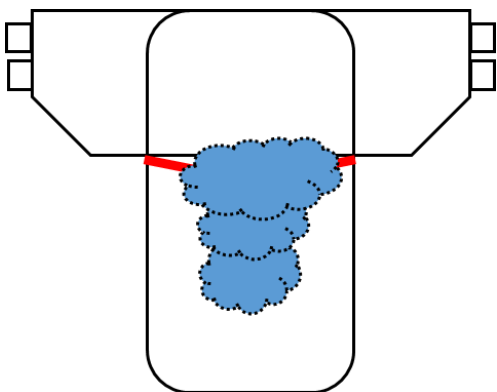


模擬尿量 300 [mL]

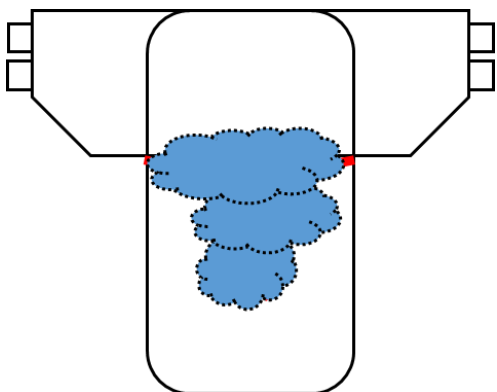




模擬尿量 400 [mL]



模擬尿量 500 [mL]



模擬尿量 600 [mL]



図 4.12 各送液ごとの紙オムツ内の吸水域

## 4.8 考察

本研究では、櫛型電極シートを用いた排尿量推定システムにおいて、紙オムツ内で櫛歯の伸長方向もしくは、櫛歯の垂直方向へ模擬尿が同じ面積で拡散した場合、両者で計測される出力電圧値に差が認められる問題点があった。これを解決するために、正方形に成形された多数の電極を格子状に配列したシート型電極マトリックスを開発した。シート型電極マトリックスの電気的特性を評価するために、薄吸水布を用いて水滴下試験によるインピーダンス特性について計測実験を行った結果、すべての計測においてインピーダンスの位相角は $-81.6\sim-88.2^\circ$ であり、シート型電極マトリックス部はコンデンサに近似できることが示された。

また、シート型電極マトリックス部の等価回路モデルを明らかにするため、計測で得られた容量リアクタンスを用いて静電容量の理論値を算出した。その結果、算出した静電容量と電極枚数の関係に直線近似を行ったところ、その相関係数は、0.997であった。これより、シート型電極マトリックスは、並列接続された多数のコンデンサに近似が可能であり、電極上の薄吸水布に水が拡散する過程は各コンデンサの静電容量が吸水により次々と増加して行く過程に等価できると考えられた。近似式より、電極枚数が0枚のときの静電容量は92.2 pFと推定され、これは水滴下前の静電容量が増加していない等価回路モデルの合成静電容量と考えられる。さらに、水滴下後の電極1枚あたりの静電容量の変化量は10.0 pFであると推定できる。つまり、シート型電極マトリックス部の容量リアクタンスから滴下した領域（吸水領域）の電極枚数が推定できる。さらに、 $V_{out}$ の変化は、等価回路モデルの静電容量が増加したコンデンサの数に依存すると考えられ、この数は電極上の試料に滴下した模擬尿量に依存するので、模擬尿量を $V_{out}$ から推定できることが示された。

本システムでは紙オムツに電極を装着せず、寝具上に置くだけで、被験者に非侵襲、無意識、無拘束な状態で排尿の検知と尿量の推定が可能であると考えられる。シート型電極マトリックスは防水対策が施されており、排泄物で汚染された場合でも清拭するだけで再利用が可能で破損するまで繰り返し使用できる。また、毎回の電極交換作業も不要である。これらのことより、排尿介護における負担の軽減に貢献できる可能性を示した。

楕型電極シートを用いた先行研究<sup>[11]</sup>において、楕歯伸展方向に対して銅板の長軸が垂直となるパターン1と水平となるパターン2で最大0.2 Vの出力値の差が存在した。これは、パターン1では楕形電極の+極と-極の両電極上に銅板が重なるが、パターン2では楕形電極の+極のみに偏って銅板が重なり-極の電極とは重ならず、電極部のインピーダンスの大きさが変化しないことに起因すると考えられる。これに対して本研究で開発したシート型電極マトリックスを用いたパターンA~Cにおける計測結果に出力電圧値の差はなかった。これは、各電極の形状が正方形であり、これらを格子状に配置したことで銅板がパターンA~Cで設置しても電極と重なる面積はほぼ等しくなる。これにより、シート型電極マトリックスは楕型電極シートと比較して排尿量の推定精度が向上すると考えられる。

シート型電極マトリックスを用いた排尿量推定システムを用いて介護現場で広く使用されている尿吸収パッドに対して計測実験を行った結果、出力電圧値の変化は図3.8と同様の傾向を示した。つまり、尿吸収パッドが模擬尿を吸水することで電極部の静電容量が増加し、模擬尿量に応じて出力電圧が増加したと考えられる。このことより、出力電圧値の変化から尿吸収パッドの外部に設置した電極により内部に排出された模擬尿の検知と尿量の推定を可能とすることが示された。

人体の臀部は立体形状を有しており、このような形状でも本システムにて紙オムツの外部から排尿の検知および尿量の推定が可能であるのか検討した。その結果、模擬尿量が0~100 mLの範囲においては、 $\Delta V_{out}$ に大きな変化は認められなかった。これは、ほとんどの尿の吸水域がトルソ臀部天井側の流出部に確認され臀部にはほとんど確認されず、その吸水域はシート型電極マトリックスから離れていたことが原因と考えられる。また、模擬尿量が100 mLから600 mLの範囲では、図3.4と同様の傾向を示した。これは、尿量の増加に伴い吸水域が、重力によってトルソ臀部天井側から床側へ広がりシート型電極マトリックス直上部へ到達して、臀部の電極平面と接触している紙オムツ内で拡散したからだと考えられる。さらに、 $\Delta V_{out}$ のばらつきは最大で0.36 Vであり、楕型電極シートを用いた計測結果と比較して、約50%の減少を示した。これは、正方形の電極を格子状に配置し、隣り合う電極の極性が異なるように配線したことで、吸水域の広がる方向が変化しても、楕型電極シートより計測精度が向上したことを示している。

本研究の結果は、成人の尿意が出現するのは膀胱内尿量が150~200 mLである



ことが知られている<sup>[4]</sup>ことから、ベッド上に設置したシート型電極マトリックスを用いて、 $V_{out}$ から1回目の排尿が完了した際の検知が行えることを示している。また、排尿量の推定は、2回目以降の排尿において可能であると考えられる。

## 4.9 結言

本章では、シート型電極マトリックスを用いた排尿量推定システムの構築について述べた。すなわち、楕型電極シートを用いた排尿量推定システムにおいて模擬尿の拡散方向の違いにより出力電圧値に差を認める課題点を解決するため、新たに開発を行ったシート型電極マトリックスの構造について説明し、シート型電極マトリックスの電気的特性評価として、薄吸水布を用いた模擬尿滴下試験によるインピーダンス特性評価とシート型電極マトリックスの等価回路モデルについて述べた。また、シート型電極マトリックスを用いた排尿量推定システムの構成について説明し、模擬尿の拡散方向の違いによる出力電圧を計測し、楕型電極シートを用いたときの計測と比較した結果について述べた。本システムにて介護現場で広く使用されている尿吸収パッドを用いた出力電圧特性評価について述べた。すなわち、シート型電極マトリックス上に展開した尿吸収パッドを設置し、送水される模擬尿量に対する出力電圧値を計測し、模擬尿の検知と模擬尿量の推定が可能か検討した。また、紙オムツを装着したトルソによる模擬尿の検知と尿量の推定を行った結果について述べた。以下に本章で得られた結果を要約する。

- 1) 薄吸水布を用いて水滴下試験によるインピーダンス特性について計測実験を行った結果、すべての計測においてインピーダンスの位相角は $-81.6 \sim -88.2^\circ$ であり、シート型電極マトリックス部はコンデンサに近似できることが示された。
- 2) 計測で得られた容量リアクタンスを用いて静電容量の理論値を算出した結果、電極枚数に対する静電容量の関係に  $r = 0.997$  の近似直線を得たことより、シート型電極マトリックスは多数のコンデンサが並列接続さ

れた回路に等価が可能であることが示された。

- 3) シート型電極マトリックス部の容量リアクタンスから滴下した領域（吸水領域）の電極枚数が推定でき、システムの実出力電圧値の変化は、等価回路モデルの静電容量が増加したコンデンサの数に依存すると考えられ、この数は電極上の試料に滴下した模擬尿量に依存することより模擬尿量を実出力電圧値から推定できることが示された。
- 4) 模擬尿の拡散方向の違いによる出力電圧値を計測した結果、櫛型電極シートを用いた先行研究<sup>[11]</sup>では最大 0.2 V の差を認めたが、シート型電極マトリックスを用いた計測では出力電圧値に差は認められなかった。
- 5) 介護現場で広く使用されている尿吸収パッドに対して計測実験を行った結果、出力電圧値の変化は、交流電源を用いた  $RC$  直列回路において  $C$  を変数とした  $R$  の両端電圧の理論値と同様の傾向を示した。つまり、尿吸収パッドが模擬尿を吸水すると電極部の静電容量が増加することより、模擬尿量に伴う出力電圧の変化がみられ模擬尿の検知と模擬尿量の推定が可能であることが示された。
- 6) 紙オムツを装着したトルソによる模擬尿の検知と尿量の推定を行った結果、ベッド上に設置したシート型電極マトリックスで 1 回目の排尿が完了した際の検知が行えることを示した。また、排尿量の推定は、2 回目以降の排尿において可能であることが示された。

## 第5章 結論

本論文では、紙オムツによる排尿介護の支援を目指して、汎用の紙オムツをそのまま使用し、その外部から皮膚に接触しない形態で排尿検知と尿量推定を可能にする静電容量型電極シートを用いた排尿量推定システムを提案した。排尿量推定システムの構築を行うため、初めに楕型電極シートを開発し、その電気的特性を評価した。構築したシステムを使用し、展開した尿吸収パッドを用いて模擬尿と出力電圧の関係を調べた。その後、紙オムツを装着したトルソを用い模擬尿の検知と尿量の推定が可能であることを確かめた。次に、シート型電極マトリックスを開発し、システムの出力電圧が模擬尿の拡散方向に依存しないか実験した。また、電極上へ薄吸水布を設置して水滴下試験による電極のインピーダンス特性を評価して楕型電極シートと同様の実験を行い、本システムの有効性を調べた。以下に本研究で得られた成果を示す。

第2章では、下肢不自由者の排尿管理に関する知見について述べた。まず、下肢不自由者における畜尿障害と排尿の介護について概観し、従来の排尿検知システムに関する研究について示し、その手法と解決すべき課題を述べた。具体的には、電極と肌が非接触な形態で排尿検知と尿量推定を実現するシステムが望ましいことを指摘した。

第3章では、楕型電極シートを用いた排尿検知と排尿量推定システムの構築について述べた。すなわち、開発した楕型電極シートの構造について説明し、楕型電極シートの電気的特性評価として、展開した尿吸収パッドを用いた模擬尿送水試験による位相角とインピーダンスを計測した結果について述べた。これより、計測したすべての位相角から電極部におけるインピーダンスは、容量リアクタンスが支配的であり、その電気的特性はコンデンサに近似が可能で、得られたインピーダンスから算出した静電容量は、模擬尿量に対して直線的に変化することを明らかにした。また、本電極シートを用いた排尿量推定システムの構成について述べ、模擬尿送水試験による出力電圧特性評価について述べた。計測値は、理論値と同様の傾向を示し、電極部の静電容量は試料に送水した模擬尿量に依存するので、本システムの出力電圧から尿量の推定ができることを示した。さらに、紙

オムツを装着したトルソに対して本システムを適用し、初回排尿の検知が可能であることを示した。

第4章では、シート型電極マトリックスを用いた排尿検知と排尿量推定システムの構築について述べた。まず、本電極マトリックスの構造について説明し、電気的特性を調査するために電極上へ薄吸水布を設置し、水滴下試験によるインピーダンス特性評価を行い、本電極マトリックスがコンデンサの並列接続モデルに近似できることを示した。次に、模擬尿の拡散方向の違いを再現して出力電圧値を計測した結果、それぞれの間には差を認めないことを確かめた。また、本システムを用いて、展開した尿吸収パッドによる模擬尿送水試験について説明した。その結果、電極部の静電容量は試料に送水した模擬尿量に依存したため、排尿量が本システムの出力電圧から推定できることを明らかにした。さらに、紙オムツを装着したトルソによる試用実験を行い、初回排尿が完了した後に排尿検知ができ、2回目以降の排尿において排尿量の推定が可能であることを示した。

本研究では、被介護者と介護者の両者に対して排尿介護における負担の軽減をめざして、肌と非接触で排尿の検知と尿量の推定を実現するシステムの構築に成功した。このことは、在宅における寝たきり高齢者の長期にわたる排尿介護において、紙オムツの使用が原因となる肌のかぶれ、発疹や褥瘡などのトラブルを未然に予防し、排尿介護の負担軽減に貢献できると考えられる。また、開発したシート型電極マトリックスは、電極配置を格子状としたことで電極1枚ごとのインピーダンス変化を出力することで、紙オムツ外部からその内部における尿の拡散分布状態をリアルタイムにモニタする技術への応用が可能であると考えられる。

## 参考文献

- [1] 堺章：“新訂 目でみるからだのメカニズム”，医学書院， p.102 (2008)
- [2] 小澤澗司，福田康一郎：“標準生理学 第7版”，医学書院， pp.723-725 (2009)
- [3] 中野昭一，吉岡利忠，田中越郎：“図解生理学 第2版”，医学書院， p.290-291 (2010)
- [4] 本間之夫，柿崎秀宏，後藤百万，武井実根雄，山西友典，林邦彦：“排尿に関する疫学的研究”，日本排尿機能学会誌， Vol.14, No.2, pp.266-277 (2003)
- [5] 後藤百万：“WOC Nursing 排尿障害とその対処への実践”，医学出版， Vol.4, No.1, pp.10-38 (2016)
- [6] 田中久美子，竹田恵子，陶山啓子：“在宅要介護高齢者における排尿管理の実態 訪問看護ステーションと居宅介護支援事業所を対象とした質問紙調査から”，川崎医療福祉学会誌， Vol.22, No.21, pp.87-91 (2012)
- [7] 後藤百万，吉川羊子，服部良平，小野佳成，大島伸一：“被在宅看護高齢者における排尿管理の実態調査”，泌尿器科紀要， Vol.48 No.11, pp.653-658 (2002)
- [8] 公益財団法人 日本医療機能評価機構：“EBM に基づく尿失禁診療ガイドライン”， <https://minds.jcqh.or.jp/n/med/4/med0015/G0000039/0010> (2019年5月閲覧)
- [9] 西村和美，荒木田美香子：“尿失禁が他者との交流に及ぼす影響と対処行動 — 自立高齢女性を対象に潜在的なニーズにも着目して —”，日本看護研究学会雑誌， Vol.38, No.4, p.61 (2015)

- [10] 鈴木康之：“WOC Nursing 排尿自立指導料の実際”，医学出版, Vol.5, No.1, pp.34-41 (2017)
- [11] 藤井恵子, 前川厚子, 古川由利子：“エビデンスに基づく痴呆性高齢者尿失禁マネジメント”，日本創傷・オスとミー・失禁ケア研究会誌, Vol.8, No.2, pp.19-28 (2004)
- [12] 秋野裕信, 和田修, 並河, 正晃：“超音波断層法による膀胱内尿量・残尿量の評価”，京都大学 泌尿器科紀要, Vol.36, No.6, pp.655-660(1990)
- [13] 松永美輝恵, 井関智美, 田内雅規：“感度の異なる排尿検知装置と高齢者介護施設における臨床評価”，岡山県立大学保健福祉学部紀要, Vol.20, No.1, pp.53-61 (2014-3)
- [14] 後藤百万, 吉川羊子, 服部良平ほか：“被在宅看護高齢者における排尿管理の実態調査”，泌紀, Vol.48, No.11, pp.653-658 (2002)
- [15] 後藤百万, 吉川羊子, 服部良平ほか：“高齢者排尿管理における排尿管理マニュアル導入の有用性”，日本排尿機能学会雑誌, Vol.13, No.2, pp.290-300 (2002)
- [16] 一般社団法人 日本衛生材料工業連合会：“紙オムツの構造”，  
<http://www.jhpia.or.jp/product/diaper/data/structure.html> (2019年5月閲)
- [17] ユニ・チャーム：“齢者と介護者のための排泄ケアナビ”，  
<http://www.carenavi.jp/basic/omutsu/knowledge/5power.html> (2019年5月閲)

- [18] 一般社団法人 日本衛生材料工業連合会：“大人用紙おむつ編”，  
[http://www.jhpia.or.jp/product/diaper/old/use.html#old\\_q7](http://www.jhpia.or.jp/product/diaper/old/use.html#old_q7) (2019年5月閲覧)
- [19] 井場ヒロ子，宮腰由起子，高瀬美由紀：“在宅高齢者を介護する主介護者の介護負担感—排尿介護に焦点を当てて—”，広島大学保健学ジャーナル，Vol.12, No.1, pp.1-10 (2014)
- [20] 堀田和司，奥野純子，深作貴子，柳久子：“老々介護の現状と主介護者の介護負担感に関する要因”，日本プライマリ・ケア連合学会誌，Vol.33 No.3, pp.256-265 (2010)
- [21] 厚生労働省：“平成30年度介護報酬改定について”，  
[https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/hukushi\\_kaigo/kaigo\\_koureisha/housyu/kaitei30.html](https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/hukushi_kaigo/kaigo_koureisha/housyu/kaitei30.html) (2019年5月閲覧)
- [22] M.Pfaundler：“Demonstration eines Apparates zur Selbsttatigein Signalisierung Stattgehabter Bettnassung”，Verhandlungen der Gesellschaft Fur Kindeheilkunde, Vol.21, pp. 219-220 (1904)
- [23] O.H.Mowrer, W.M.Mowrer：“Enuresis – A Method for its Study and Treatment”，American Journal of Orthopsychiatry, Vol. 8, pp.436-459 (1938)
- [24] H.W.Seiger：“A Practical Urine or Wet Diaper Signal”，Journal of Pediatrics, Vol.28, pp.733-736 (1936)
- [25] H.W.Seiger：“Treatment of Essential Nocturnal Enuresis”，Journal of Pediatrics, Vol.40, pp.738-749 (1952)

- [26] M.A.Coote : “Apparatus for Conditioning Treatment of Enuresis”, Journal of Behavior Research and Therapy, Vol.2, pp.233-238 (1965)
- [27] 有限会社アキテック : “おむつセンサー「さわやか」”,  
<http://akitec.net/product1.html> (2019年5月閲覧)
- [28] H.Malem, M.S.Knapp, E.J.Hiller : “Electronic Bed-wetting Alarm and Toilet Trainer”, British Medical Journal, Vol.285, p.22 (1982)
- [29] Alpha Consultants 社 : “DRI-Sleeper”, <http://www.dri-sleeper.com>  
(2019年5月閲覧)
- [30] Palco Labs.社 : “Wet-stop Alarm”, <http://www.wetstop.com>  
(2019年5月閲覧)
- [31] Malem 社 : “ULTIMATE Bedwetting Alarm”,  
<http://www.malemmedical.com/> (2019年5月閲覧)
- [32] アワジテック社 : “介護用センサ付き尿取りパッド あいパッド”,  
<http://www.awaji-tec.com/aipad06/aipad06top.html> (2019年5月閲覧)
- [33] アワジテック社 : “夜尿症トレーニングシステム ピスコール”,  
<http://www.pisscall.jp/introduction02.html> (2019年5月閲覧)
- [34] 安田篤司, 三浦健史, 丹羽昭夫 : “金属処理繊維を用いた尿パッド・オムツ用濡れセンサの開発”, 愛知県産業技術研究所 研究報告, pp.114-117 (2009)
- [35] 上抜晃一, 高橋応明 : “無線 IC タグにおけるアンテナ技術”, 信学論(B), Vol.J89-B, No.9, pp.1548-1557 (2006)



- [36] 高橋応明：“RFID タグ用アンテナ技術”，電子情報通信学会 通信ソサイエティマガジン 解説論文，2008 巻7号，pp.51-53 (2008)
- [37] 中嶋宏昌，高橋応明，齊藤一幸，伊藤公一：“RFID を用いた排尿検知システムのアンテナ特性”，映像情報メディア学会 技術報告，Vol.35, No.41, pp.29-32 (2011)
- [38] K.B.Lee：“Urine-activated Paper Batteries for Biosystems”，Journal of Micromachines and Microengineering, Vol.15, No.9, pp.S210-S214 (2005)
- [39] 梅尾良之，“新しい電池の科学”，ブルーバックス，p.28 (2006)
- [40] A.Tanaka , Y.Nakagawa , K.Kitamura , F.Utsunomiya , N.Hama and T.Douseki：“A wireless Self-powered Urinary Incontinence Sensor System”，Proceedings of IEEE SENSORS 2009 Conference, pp.1674-1677 (2009)
- [41] A.Tanaka, T.Yamanaka, H.Yoshioka, K.Kobayashi and T.Douseki：“Self-powered Wireless Urinary Incontinence Sensor for Disposable Diapers”，Proceedings of IEEE SENSORS 2011 Conference, pp.1491-1494 (2011)
- [42] 橘克典，浅井健志，細山田格之，新川拓也：“楕円電極シートを用いた排尿量推定システムの検討”，電気学会論文誌 C 電子・情報・システム部門誌，Vol.136, No.8, pp.1180-1184 (2016)
- [43] 大熊康弘：“図解でわかるはじめての電気回路”，技術評論社，pp.193-195(2011)
- [44] 石井聡：“合点！電子回路超入門”，CQ 出版，pp.80-91 (2009)

- [45] 橘 克典, 新川 拓也: “シート型電極マトリックスのインピーダンス変化を用いた排尿量推定システム”, 生体医工学, Vol.57, No.1, pp.15-20 (2019)

## 謝辞

本論文を結ぶにあたり，多くの貴重なご指導，ご助言ならびにご鞭撻を賜りました。大阪電気通信大学大学院医療福祉工学研究科医療福祉工学専攻・新川拓也教授に謹んで感謝の意を表します。

本論文の作成にあたり，大阪電気通信大学大学院医療福祉工学研究科医療福祉工学専攻・松村雅史教授，赤滝久美教授，藤川智彦教授には多くの貴重かつ有益なご助言をいただきました。心より御礼申し上げます。

本研究の遂行に際し，自動排泄処理装置に関する有益なご助言をいただきました，大和ハウス工業株式会社経営企画部真インレット開発プロジェクト室・鈴木大輔氏に心より感謝いたします。

本学大学院医療福祉工学研究科医療福祉工学専攻・海本浩一教授，先生方には，数々のご助言ならびにご協力をいただきました。ここに厚く御礼申し上げます。

本研究に参加され，よき共同研究者となっただいた，本学大学院医療福祉工学研究科医療福祉工学専攻・安井健人氏，本学医療福祉工学科・浅井健志氏，細山田格之氏，吉川大生氏に感謝の意を表します。

また，本研究の遂行において多数有益なご助言ならびにご検討をいただきました，橘研究室の皆様に厚く御礼申し上げます。

最後に，筆者の研究活動を支え続け励まし応援してくれた，また，自身も介護を行いながら意見をくれた家族の皆に心から感謝いたします。

# 研究業績目録

## 学術論文

1. 橘克典, 新川 拓也, “シート型電極マトリックスのインピーダンス変化を用いた排尿量推定システム”, 生体医工学, Vol.57, No.1, pp.15-20 (2019)
2. 橘克典, 浅井健志, 細山田格之, 新川拓也: “橢形電極シートを用いた排尿量推定システムの検討”, 電気学会論文誌 C 電子・情報・システム部門誌, Vol.136, No.8, pp.1180-1184 (2016)

## 国際会議

1. Katsunori Tachibana, Takuya Niikawa : “Development of an Unrestrained System for Estimating Urine Volume using an Electrode Matrix Sheet”, 40th International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (2018)

## 学会発表

1. 安井健人, 橘克典, 新川拓也: “シート型電極マトリックスを用いた排尿量推定システムの周波数特性”, 第 63 回システム制御情報学会研究発表講演会 (2019)
2. 橘克典, 新川拓也: “シート型電極マトリックスを用いた排尿量推定システム”, 生体医工学シンポジウム 2018 (2018)
3. 橘克典, 松井竜也, 末松拓海, 新川拓也: “橢型電極シートを用いた排尿量推定システムの試作－模擬尿における電解質濃度に関する検討－”, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.116, No.263, pp.31-34 (2016)