

令和元年度
戦略的基盤技術高度化・連携支援事業
戦略的基盤技術高度化支援事業

「介護・ヘルスケア応用に向けた大面積シート型脈波センサの開発」

研究開発成果等報告書

令和2年3月

担当局 東北経済産業局
補助事業者 国立大学法人 山形大学

目 次

第1章 研究開発の概要

- 1－1 研究開発の背景・研究目的及び目標
- 1－2 研究体制
- 1－3 成果概要
- 1－4 当該研究開発の連絡窓口

第2章 本論

- 2－1 印刷型シートセンサの開発
- 2－2 ロール to ロール印刷製造技術の開発
- 2－3 実証試験、耐久性試験

最終章 全体総括

- 3－1 研究開発成果
- 3－2 研究開発後の課題・事業化展開

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

○研究開発の背景

高齢者人口の急激な増加により介護・ヘルスケア分野において、患者や入所者（対象者）の日常的なバイタル情報（心拍や呼吸など）を、より簡便に対象者に煩わしさや装着感を感じさせずに、『非拘束』で正確にモニタリングできるセンサデバイスへのニーズが非常に高まっている。腕や体にセンサを取り付けて計測するウェアラブルタイプのデバイスは、センサが体に接触しているため正確な計測ができる反面、対象者の日常行動を制約する場合がある。介護施設や病院でこれらのセンサを活用することで、患者や入所者の日常のバイタル情報をモニターでき、離床（ベッドを離れる）や急な体調変化などに対する見守りの効果も期待できる。また、今後は在宅介護など、病院外での介護も増えていくと予想されるが、上記の使い方により、家族の付きっきり介護の負担軽減にもつながる。

申請企業（株式会社フューチャーリンク）が提案しているベッドセンサは、圧電高分子（PVDF）フィルムを使用しており、厚さが1mm以下で布団の下やマットレスの下に設置して使用することが可能である。センサを設置していることが対象者に分からないほど非常に薄く、設置取り外しも非常に簡便である。PVDFを用いた圧電センサの構造を図1に示した。PVDF層を電極で挟んだ構造で、外部からの圧力や変形によってPVDF層で電圧が発生してそれを信号として取り出すという動作メカニズムで、PVDFは非常に微弱な振動でも電圧発生するため高感度な計測が可能である。その外側をフィルムが覆っているというシンプルな構造である。これまで、PVDFフィルムタイプを用いてセンサの開発を進めてきたが、バイタル計測に対して問題ない感度が得られていることを確認している。

事業展開を進める上で大きな課題となっているのがセンサシートの大面積化と低価格化（川下製造業者等の共通の課題及びニーズ：低コスト化）である。圧電高分子（PVDF）を用いたセンサシートは、現状の技術を用いて製造すると1シート当たり10万円程度になると試算している。本申請では、この課題を解決するため、印刷プロセスを導入したシート型脈波センサの製造技術開発（接合・実装に係る技術における高度化目標達成に資する特定研究開発等の実施方法：（4）①部品製造工程の低コスト化）を行い、川下企業のニーズである1シート当たり3万円以下の製品価格（高度化目標：低コスト化）を実現する。

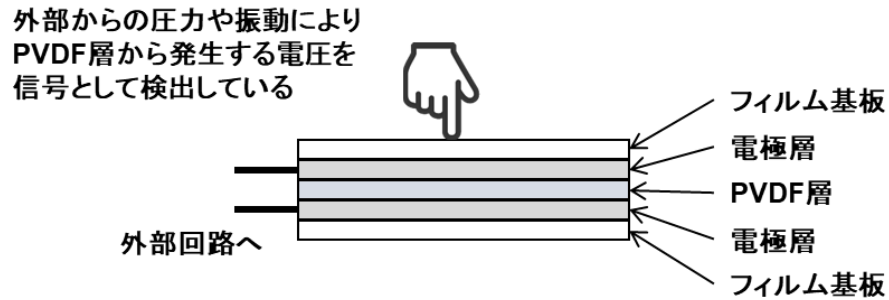


図1 圧電高分子を用いたシート型脈波センサの断面構造と動作原理

○技術課題と開発概要

本申請では、印刷プロセスを導入したシート型脈波センサの製造技術開発に取り組み、高コスト要因となっている高分子圧電材料（PVDF）の材料利用効率の向上や、電極層やPVDF層の形成に関する工程簡略化、高速印刷プロセスによる製造タクトの短縮、ロールtoロール印刷プロセスを導入したシートセンサの大面積化開発を行うことで、センサシートの低コスト化を実現する。

	従来技術 (PVDFフィルム、蒸着電極)	本申請の技術 (全印刷プロセス)
センサシートの構造	各層をラミネート PENフィルム 電極層(蒸着) PVDFフィルム 電極層(蒸着) PENフィルム	下層から積層印刷 PENフィルム 電極層(印刷) PVDF層(印刷) 電極層(印刷) PENフィルム
圧電高分子層の形成法	フィルムをラミネート (不要部分まで材料を使用、 大面積フィルムが非常に高価)	印刷形成 (必要な部位に必要な分だけ、 フィルムの加エコスト分が不要)
電極層の形成法	真空成膜 (真空装置が高価、タクトタイムが長い)	印刷形成 (必要な部位に必要な分だけ、 ロールtoロール印刷により高速製造可能)
プロセス難易度	低	高
大面積化	30cm程度までが限界	1m以上も可能
コストダウン	×	◎
コストダウンに対する課題と解決	・圧電フィルムの価格が非常に高い ・圧電フィルムのサイズの制約により大型化が難しい ・電極層が真空成膜のため大面積化、コストダウンが難しい	・圧電高分子層を印刷形成することで、材料使用料を減らし大幅な低コスト化が可能で、大面積化にも対応できる ・電極も印刷形成することで、低コスト化と大面積化に対応できる。

図2 本申請の技術と従来技術の技術課題の比較

上記の技術課題を考慮して、本事業では以下の3つの開発課題に取り組んだ。

1. 印刷型 PVDF 素子の開発
2. 大面積、高速印刷技術の開発
3. 印刷型センサの耐久性検証と実証試験

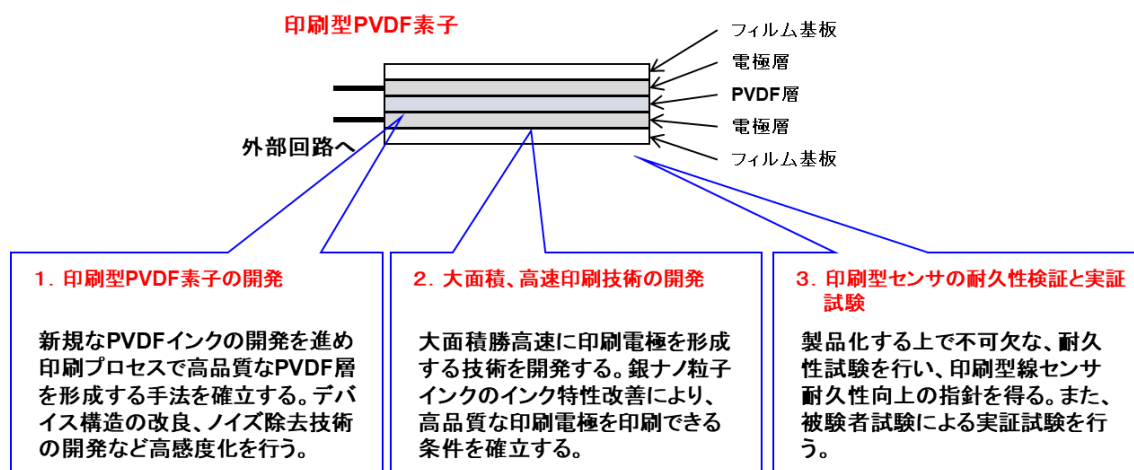


図3 開発概要

○具体的な開発内容

1. 印刷型 PVDF 素子の開発

1-1. PVDF 層の印刷形成技術の開発（平成 29 年度～平成 30 年度実施）

膜厚 $2\mu\text{m}$ 以下で平滑性が $R_a:100\text{nm}$ 以下となる PVDF 層の印刷形成条件を確立する。

1-2. 印刷型 PVDF 素子の高感度化（平成 29 年度～平成 30 年度実施）

印刷型圧力センサ（PVDF 素子）において高い出力信号が取得できるデバイス構造を決定する。

1-3. 印刷型 PVDF 素子のノイズ除去技術の開発（平成 30 年度実施）

センサシートのシールド構造や制御回路を改善し S/N 比を 1 桁向上させる。

2. 大面積、高速印刷技術の開発

2-1. 高精度印刷装置用の銀ナノ粒子インクの開発（平成 29 年度～令和元年度実施）

膜厚 500nm 以下、体積抵抗率 $10\mu\Omega\text{cm}$ 以下、平滑性 $R_a:100\text{nm}$ 以下の印刷配線の形成条件を確立する。

2-2. 大面積印刷プロセスの開発（平成 30 年度～令和元年度実施）

1m 長のセンサシートが印刷できる印刷条件を確立する。

2－3. 高速印刷プロセスの開発（平成 30 年度～令和元年度実施）

5m/min 以上の印刷スピードで印刷配線が形成できる印刷条件を確立する。

3. 印刷型センサの耐久性検証と実証試験

3－1. 屈曲試験による印刷配線の耐久性の評価（平成 30 年度～令和元年度実施）

曲げ試験行い電極やシートセンサの劣化や破壊強度などのデータを取得する。

3－2. センサシートの耐久性試験（平成 30 年度～令和元年度実施）

温度試験や打突試験を行いセンサシートの耐久性を定量的に確認する。

3－3. センサシートの実証試験（令和元年度実施）

試作したセンサシートをベッドに設置して、実際にバイタル信号を計測できるか検証する。

4. 事業管理

4－1. 事業管理（平成 29 年度～令和元年度実施）

本事業の推進や進捗状況等を管理するために、年に 2～3 回程度の研究推進会議を実施する。

1－2 研究体制

以下の体制で本事業に取り組んだ。

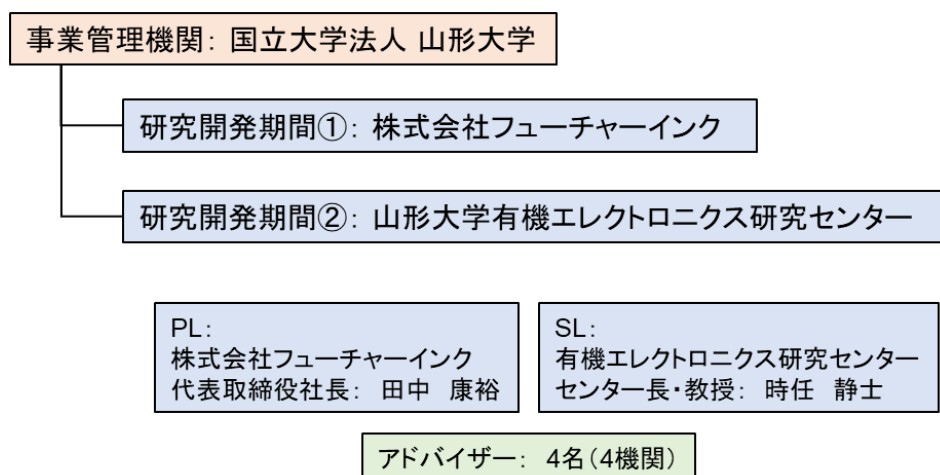


図4 事業の実施体制

1－3 成果概要

【1. 印刷型 PVDF 素子の開発】

1－1．PVDF 層の印刷形成技術の開発（平成 29 年度～平成 30 年度実施）

目標値（膜厚 $2\mu\text{m}$ 以下、 R_a ：100nm 以下）をクリアする PVDF 層の印刷形成条件を確立した。

1－2．印刷型 PVDF 素子の高感度化（平成 29 年度～平成 30 年度実施）

印刷プロセスの最適化で印刷型 PVDF 素子の高出力化に成功した。

1－3．印刷型 PVDF 素子のノイズ除去技術の開発（平成 30 年度実施）

デバイス構造を最適化することで S/N 比を 1 桁向上させることができた。

2．大面積、高速印刷技術の開発

2－1．高精度印刷装置用の銀ナノ粒子インクの開発（平成 29 年度～令和元年度実施）

目標値（膜厚 500nm 以下、体積抵抗率 $10\mu\Omega\text{cm}$ 以下、平滑性 R_a :100nm 以下）をクリアする、フレキシ印刷用銀ナノ粒子インクの開発に成功した。

100g 以上のスケールアップ合成法を確立した。

2－2．大面積印刷プロセスの開発（平成 30 年度～令和元年度実施）

1m のセンサシートが印刷できる印刷条件を確立した。

2－3．高速印刷プロセスの開発（平成 30 年度～令和元年度実施）

5m/min 以上の印刷スピードで印刷配線が形成できる印刷条件を確立した。

3．印刷型センサの耐久性検証と実証試験

3－1．屈曲試験による印刷配線の耐久性の評価（平成 30 年度～令和元年度実施）

曲げ試験により電極層の耐久性を定量化することができた。

3－2．センサシートの耐久性試験（平成 30 年度～令和元年度実施）

温度試験や打突試験に対するセンサシートの耐久性を定量化できた。

3－3．センサシートの実証試験（令和元年度実施）

試作したセンサシートを用いてベッド上でのバイタル信号計測に成功した。

1－4 当該研究開発の連絡窓口

【事業管理機関】

国立大学法人山形大学

米沢キャンパス事務部

研究支援課副課長

菅井 和明

TEL: 0238-26-3004

E-mail: koukenkyu@jm.kj.yamagata-u.ac.jp

【法認定企業】

株式会社フューチャーインク

代表取締役社長

田中 康裕

TEL: 023-626-3336

E-mail: info@futureink.co.jp

第2章 本論

2-1 印刷型シートセンサの開発

OPVDF 層の印刷形成技術の開発

PVDF 層の印刷は、デバイス構造を考えると厚膜印刷が有利となるため厚膜印刷の検討を行った。具体的には、インクチャンバーからアニロックスロールへのインクの供給量を変え最終的に成膜される PVDF 層の膜厚を評価した（図5）。インク供給を行うブレードサイズを変えることで膜厚を変化させることができた。条件を最適化することで $2\mu\text{m}$ 以上まで成膜できることが分かった。成膜した PVDF 層の膜厚分布を計測した結果、分布は $\pm 5\%$ 以下でほぼ均一の成膜が行えていることが確認できた。

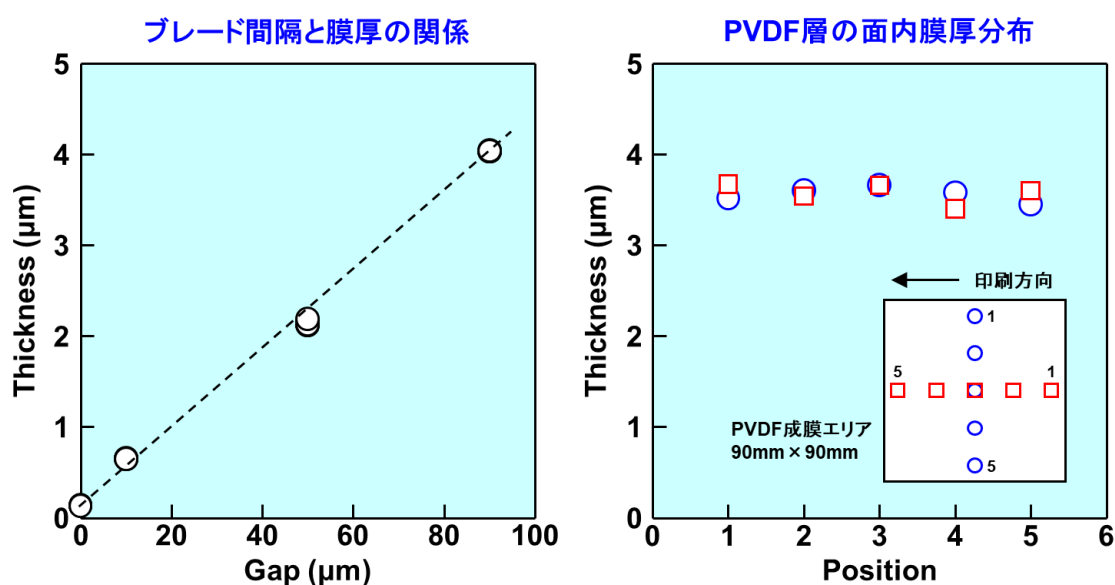


図5 PVDF 層の膜厚変化と膜厚の面内分布

○印刷型 PVDF 素子の高感度化

印刷 PVDF 層の品質を評価するため誘電特性の評価を行った。測定系を図6に、誘電特性の評価を行った結果を図7に示した。測定周波数を変えて計測を行った。ベッドセンサに適用する場合、例えば、呼吸は 0.1Hz 程度、脈波 1~10 Hz 程度のため、その領域の誘電特性を評価した。評価結果を見ると、きれいなヒステリシスカーブが描けており、問題ない誘電特性を有していることが確認できた。いずれも 0kV/cm で $7\mu\text{C}/\text{cm}^2$ をしめした。以上の結果から、印刷型 PVDF 層においても、アニール温度を最適化することで、良好な誘電特性が得られることが確認できた。

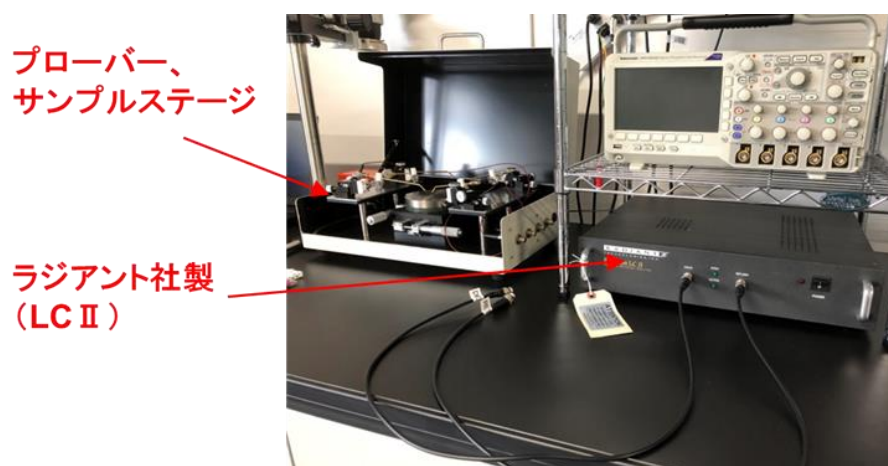


図6 誘電特性評価の評価装置系

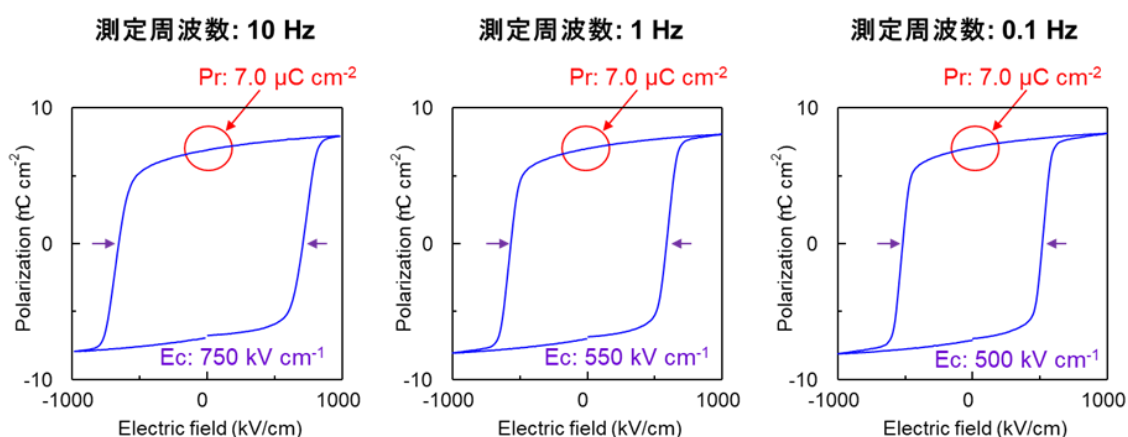


図7 印刷 PVDF 層の誘電特性評価の結果

○印刷型 PVDF 素子のノイズ除去技術の開発

高感度計測が可能な回路の設計を行うため自作の評価システムを構築した。図 8 に試作した評価装置を示した。ある程度の大きさのセンサシートが評価できるステージを組み、そこに、0～50N までの微小量の圧力付加を与えられるマイクロゲージと圧子をセットした。周波数に依存した圧電特性が評価できるように、最大で 800mm/s（三角周波数は 8Hz 程度）の動作速度で計測できる機構を設けた。このステージ圧力センサシートをセットし、加える負荷（周波数を変えた圧力変化）に対して、センサシートから出てくる電圧信号をセットで計測することで正確なセンサシートの圧電特性を評価することができる。

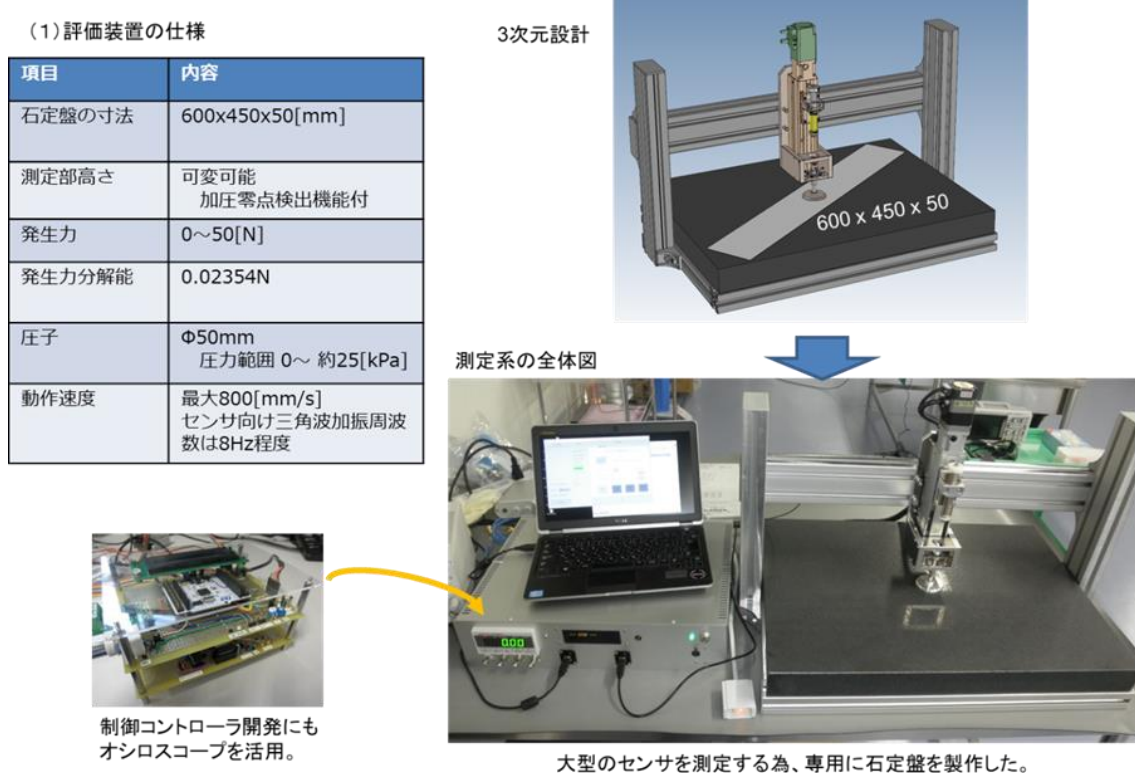


図 8 試作した圧電特性評価用の測定装置系

図 8 の評価装置を用いてセンサシートの出力電圧を計測した典型的な結果を図 9 に示した。ステージ上にセンサシートを固定し、圧子から周波数を変えながら一定の圧力で振動を加えた（黄色）。その負荷に対してセンサシートから出力された信号をオシロスコープ上で観察した（緑色）。従来の評価装置では、正確な圧力付加をかけることが難しく、周波数応答の計測もできなかったが、今回試作した測定装置を用いることで高精度な圧電特性の評価を行えるようになった。これにより、回路設計の精度が上がり SN 比の高い信号を得る

ことが可能になった。

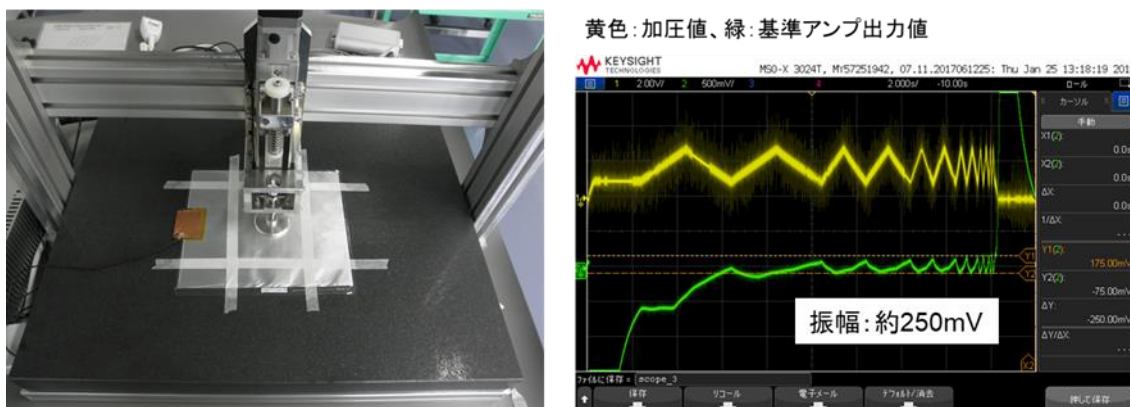


図 9 測定方法と出力信号

2-2 ロール to ロール印刷製造技術の開発

○高精度印刷装置用の銀ナノ粒子インクの開発

開発した 2 種類の銀ナノ粒子の物性を図 9 にまとめた。Ink-A が初年度開発した銀ナノ粒子インクで、Ink-B が 2 年度目に改良した銀ナノ粒子インクである。Ink-B では、フレキシソ印刷、ロール to ロール印刷における印刷適性を考慮して銀ナノ粒子の粒子設計を見直した。溶媒はフレキシソ版の版材にダメージを与えないアルコール系とし、乾燥性をやや高めるため、Ink-A よりも沸点がやや低い 171℃の溶媒を使用した。平滑性を改善するため、固形分濃度と粘度を低下させた。表面張力は Ink-A と同様に、フレキシソ印刷に最適な 25～30mN/m に調整した。

図 10 に印刷した銀電極の平滑性を測定した結果をまとめた。比較のため、スクリーン印刷用銀ペーストを用いて成膜した銀電極、市販のフレキシソ印刷用銀インクを用いて成膜した銀電極、Ink-A を用いてフレキシソ印刷した銀電極、Ink-B を用いてフレキシソ印刷した銀電極の電極表面の平滑性を示した。印刷型 PVDF 素子では、PVDF 層が 2 μm 前後のため、電極表面のラフネスはその 1/10 (0.2 μm) 以下であることが、デバイスの歩留まり上望ましい。スクリーン印刷では、1～3 μm 程度の凹凸があり、PVDF 素子の電極としては不適であることが分かる。市販のフレキシソ印刷用銀インクを用いた場合でも、1 μm 前後の凹凸があり PVDF 素子の電極としては不適である。一方で開発品の Ink-A は非常に平滑な電極面が形成できており、PVDF 素子の電極として適していることが確認できた。Ink-A をさらに改良した Ink-B の電極表面を観察したところ、Ink-A で観察されていた微小な

(100nm 前後の) 突起がほぼなくなっており、さらなる平滑化を実現することができた。

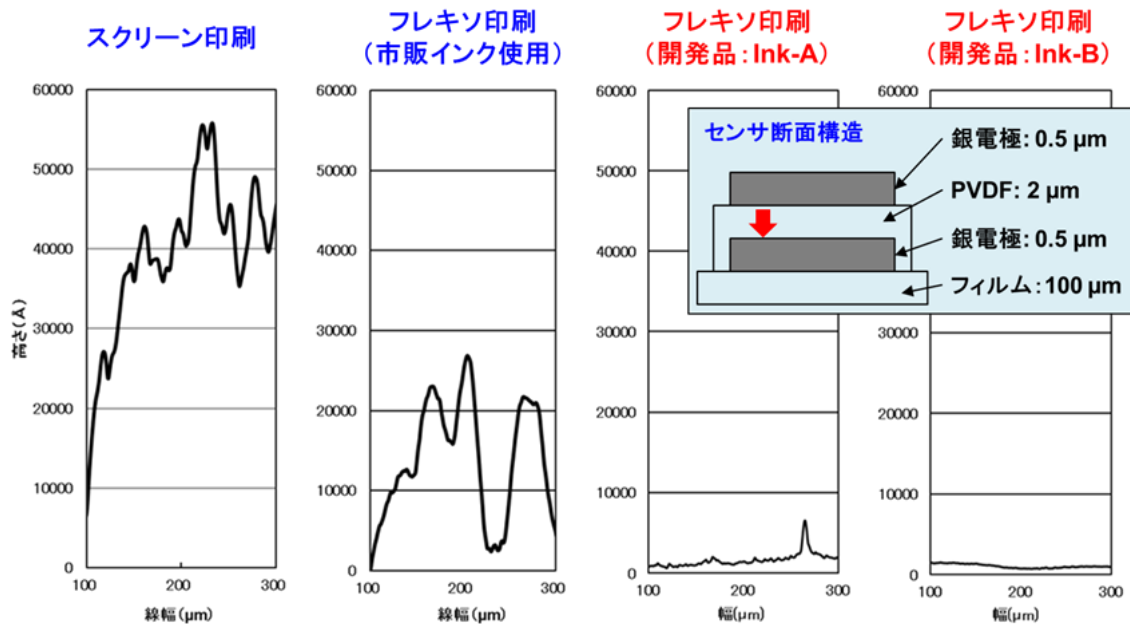


図10 印刷銀電極の平滑性比較

○大面積印刷プロセスの開発

ロール to ロールフレキシソ印刷装置で銀ナノ粒子インクの成膜試験を行った。実験に使用したロール to ロール方式のフレキシソ印刷装置を図11に示した。

アニロックスロールの線数を140線、440線、700線と変化させた。また、印刷の際に印圧を0から押し込み方向に+60 μm まで変化させて印刷を行った。その時の線幅、膜厚、抵抗率を調査し印刷条件の最適化を図った。線幅は、140線で300~500 μm 、440線で60~80 μm 、700線で30~40 μm の線太りが観察された。印圧に対する線幅変化は小さく±0では印刷にカスレがあった。目的の線幅を得るには、上記の線太りを考慮して版の設計線幅を設計すれば良い。膜厚は、440線、700線のアニロックスロールで目標膜厚(0.5 μm 以下)をクリアすることが分かった。印圧に対する膜厚変化は小さく±0では印刷にカスレがり、+30が最適であった。体積抵抗率は、膜厚0.5 μm 以下(目標値)の条件であった440線、700線のアニロックスロールでは、10 $\mu\Omega\text{cm}$ 以下となり、目標抵抗値をクリアすることが分かった。印圧に対する膜厚変化は小さく±0では印刷にカスレがり、+30が最適であった。最も低い抵抗率で3.7 $\mu\Omega\text{cm}$ であった。

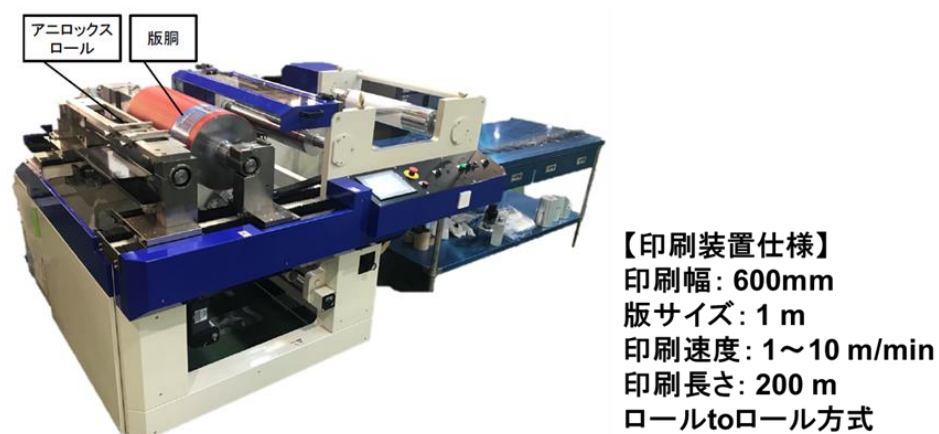


図 1 1 ロール to ロール印刷装置

図 1 2 に、カスレが無く印刷が安定していた印圧+30 の条件で、アニロックスロールの線数を変えて銀ナノ粒子インクを印刷した後の配線パターンの顕微鏡写真をまとめた表を示した。140 線ではパット部が丸くなり、版の形状を正確に転写していないことが確認された。440 線と 700 線では、パターン形状の変形もなく条件的に適していることが分かった。本実験で得られた結果を総合すると、アニロックスロールの線数は 440 線もしくは 700 線で印圧+30 の条件で、目標スペック（膜厚 $0.5\mu\text{m}$ 以下、抵抗率 $10\mu\Omega\text{cm}$ 以下）を達成できることが分かった。

線幅 (μm)	140Lpi ハニカム60° 23cc/m ²	440Lpi ハニカム60° 7.8cc/m ²	700Lpi ハニカム60° 5cc/m ²
150			
200			
250			
500			

図 1 2 印刷パターンの一覧

○高速印刷プロセスの開発

ロール to ロールフレキソ印刷で高速印刷を行うために重要な IR 焼成装置を使った銀電極の焼成条件について検討した。印刷速度を高めるためフィルム基板の搬送速度を上げると、焼成（乾燥炉を通過する）時間が短くなるため、印刷と焼成がトレードオフの関係になる。搬送（印刷）速度を変化させた時の焼成状態を解析し、高速印刷と低抵抗な焼成を両立する搬送条件を確立する。

図 1 3 にロール to ロールフレキソ印刷装置に組み込まれている近赤外（IR）焼成装置の概要を示した。IR ランプは装置上部に配置されており、フィルム搬送方向に垂直に 800mm 長の IR ランプが 440mm 幅の範囲内に 5 本配置されている。IR 焼成炉の底面は SUS 鏡面となっており、輻射熱も利用してチャンバー内部を加熱している。炉内は、IR ランプの出力制御と送風（排気）による冷却を組み合わせることで温度調整を行っている。図 7 に、開発した銀ナノ粒子インクの焼成温度と抵抗率の関係を示した。開発した銀ナノ粒子インクは、100℃程度で金属銀の抵抗率と同程度の $10\mu\Omega\text{cm}$ 以下まで低抵抗化する。この温度を目安として、ロール to ロール方式で搬送しながら IR 焼成で目標とする $10\mu\Omega\text{cm}$ 以下の抵抗値が得られる電極焼成条件を決定する。

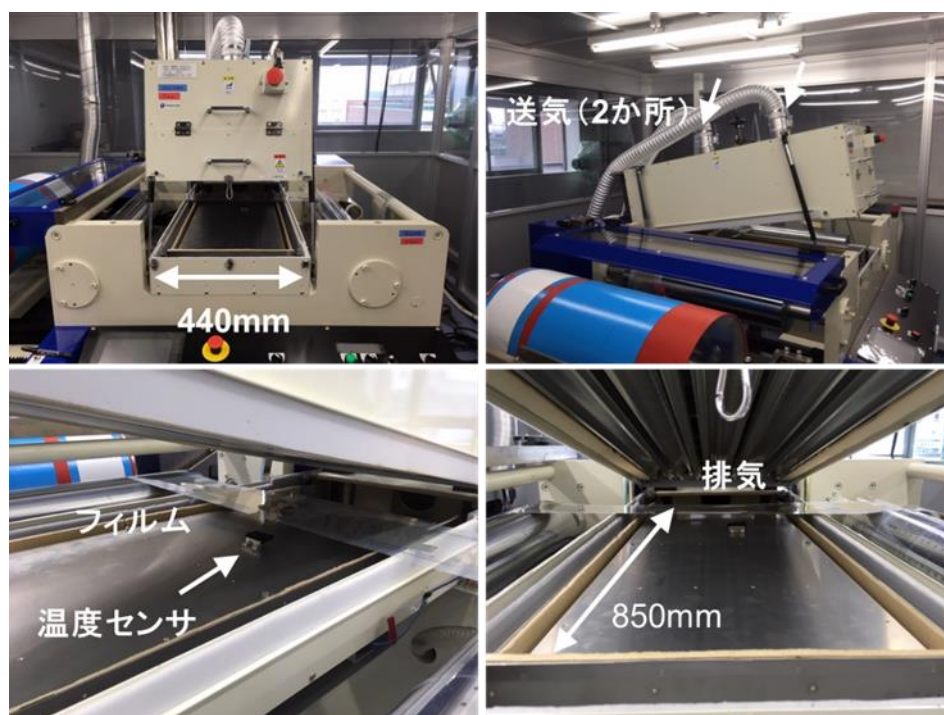


図 1 3 IR 焼成装置

IR 焼成炉の温度が一定となる条件下でテストを行う必要があるため、炉内温度の経時変化を調査した。結果を図 1 4 に示した。IR のランプ出力 100% で冷却送風 40Hz の条件で運転した時の炉内温度の経時変化を測定した。IR 焼成炉内の温度は、IR ランプを点灯させてから 6 分ほどで、120℃程度で一定になることが分かった。この結果から、IR ランプを点灯させてから 6 分以上の温度安定化の時間を取って実験作業を行う事とした。

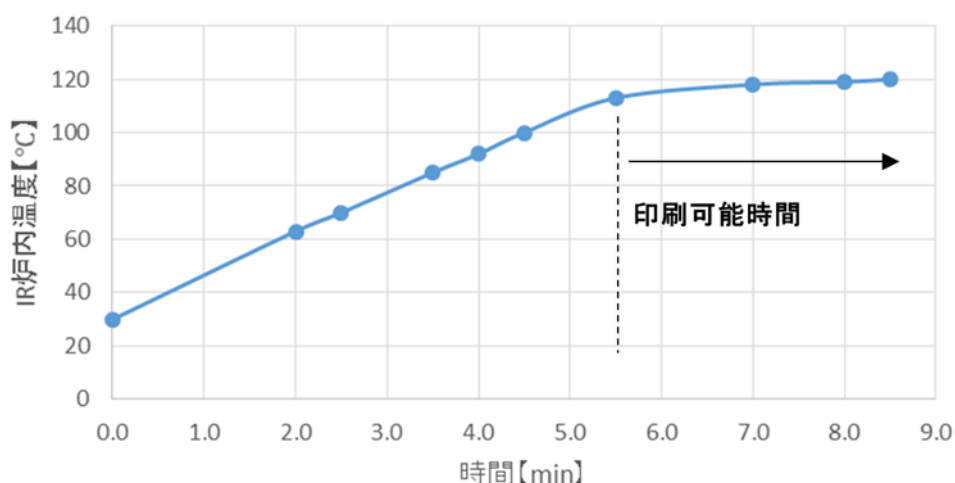


図 1 4 IR 焼成ユニットの炉内温度の経時変化

搬送速度と電極焼成状態の関係について調査した結果を図 1 5 と図 1 6 に示した。図 1 4 と同じ条件で、6~10m/min の異なるスピードでフィルム搬送を行い電極の焼成度合を確認した。図 1 5 を見ると、搬送速度が 8m/min 以下の場合、印刷された銀ナノ粒子パターンの焼成が進んでおり、銀色の金属的な状態であることが確認された。9m/min 以上の搬送速度では、印刷された状態からの見た目の変化がほとんど無く、焼成が進んでいない様子が観察された。図 1 6 は、搬送速度と電極の抵抗値の関係を示している。抵抗値は、図 1 5 に示したように電極の両端をテスターで計測した。搬送速度と抵抗値の関係を見ると、8m/min よりも低速の場合、10Ω以下まで低抵抗化することが分かった。センサ電極として使用することを考えると 8Ω以下であることが望ましいため、7m/min 以下の速度で搬送することで電極焼成できることが分かった。

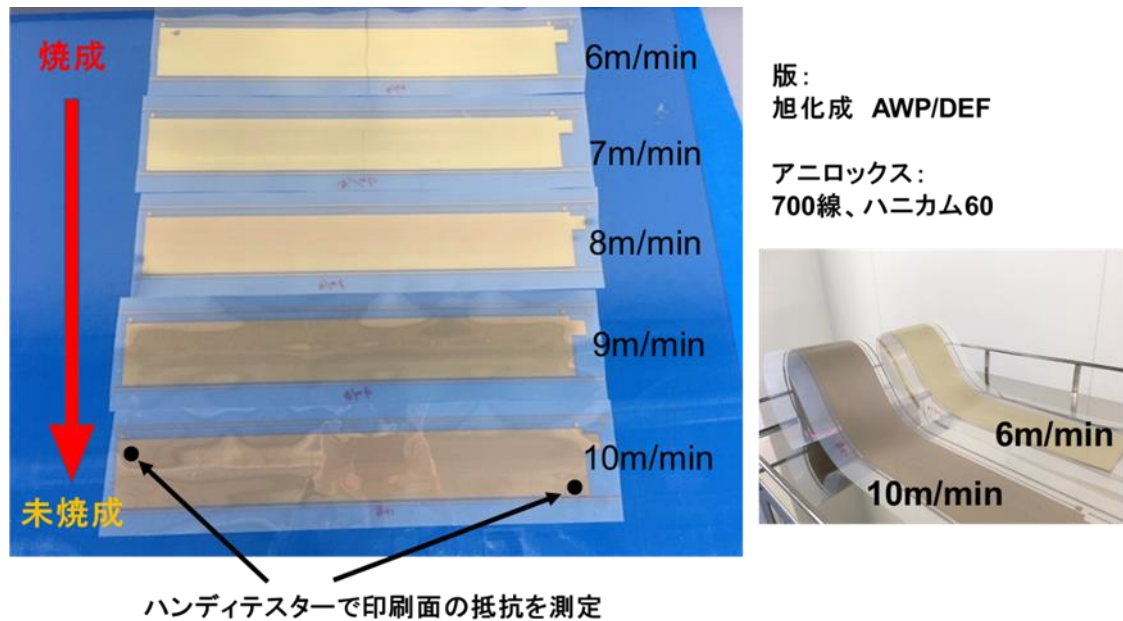


図15 搬送速度の電極焼成への影響

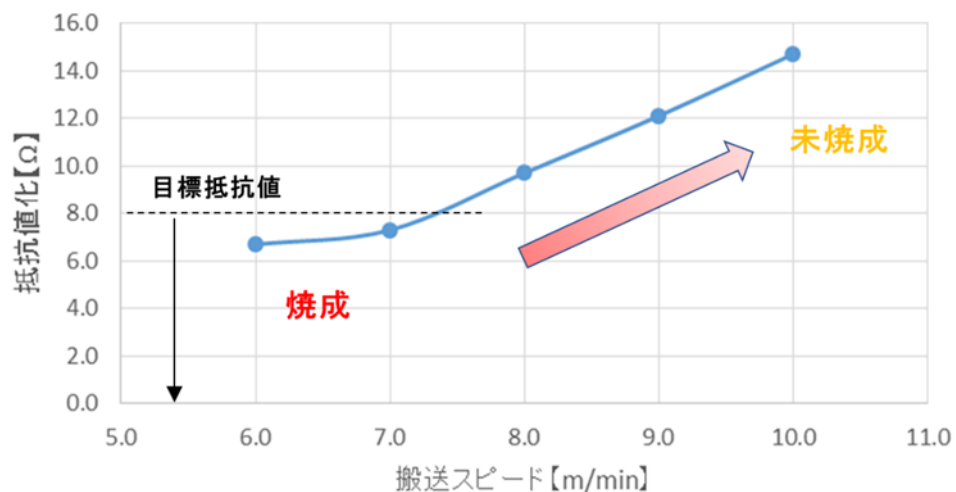


図16 搬送速度と電極の抵抗値の関係

2-3 実証試験、耐久性試験

○屈曲試験による印刷配線の耐久性の評価

図17に、屈曲性試験の様子を示した。試験片（センサ）が設定した半径になるように伸長と屈曲を繰り返し、試験前後での電気特性変化を評価した。フレキシソ印刷で電極層がパターンされたフィルム基板を用意し、曲げ半径 5mm、曲げ速度 40 回／分の条件で 30,000 回の屈曲負荷を与えた。曲げ半径 5mm は、実際のセンサ使用に対して非常に厳しい負荷条件である。屈曲負荷前後の電極層の抵抗値を評価することで屈曲試験に対する耐

久性を評価した。試験方法と抵抗値の測定結果を図 12 に示した。30000 回の屈曲負荷の前後において、電極層の抵抗値はほとんど変化無く、電極層が曲げに対して問題ない耐久性を有していることが確認できた。

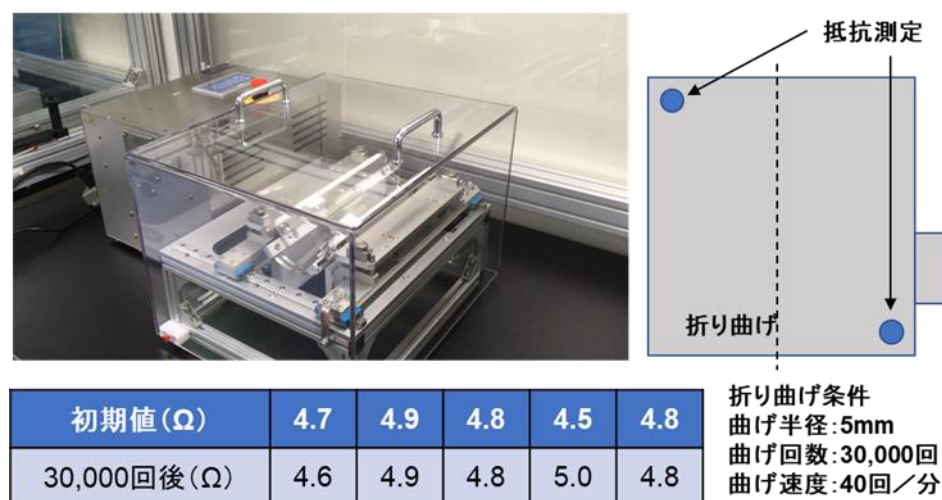
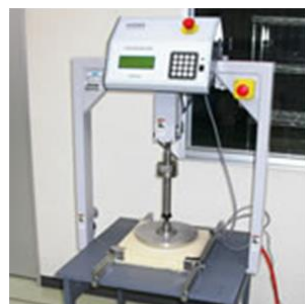


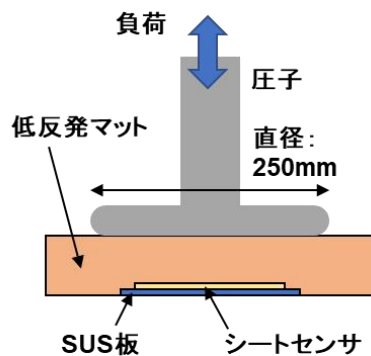
図 1 7 曲げ試験前後の電極の抵抗変化

○センサシートの耐久性試験

ベッドのマットレス下でシートセンサを使用することを想定して、ウレタンマット上から打突試験を行い、その前後での圧電特性を評価した。シートセンサをマットレス下に設置し、マットレス上で行われる寝起きや離床動作によって生じる荷重負荷に対する耐久性を検証するため、シートセンサの打突試験を行った。打突試験の条件を図 18 に示した。シートセンサを 0.1mm 厚の SUS 板に張り付け、打突試験装置の台に固定した。ベッドのマットレスと同等の固さ、厚さ、素材の低反発マットを用意しセンサの上に設置した。ウレタン製マットで厚さ 50mm である。ベッドのマットレスは 50mm 以上（厚いモノでは 150mm 程度）であるため、シートセンサには実際よりも大きな負荷がかかることになる。低反発マットの上から直径 250mm の圧子を押し当て打突負荷を与えた。打突負荷の条件は、押圧 350N もしくは 700N の力で、60 回/分の速度で、50,000 回の負荷を与えた。押圧 350N は 35kg の荷重に相当し、ひとがマットレス上に座っている状態を想定した。押圧 700N は 70kg の荷重に相当し、ひとがマットレス上に寝ている状態を想定した。実際には、マットレスにかかる 70Kg の荷重も寝ていることで分散するため、実際の使用条件よりも高い負荷がかかっていることになる。



打突試験装置外観



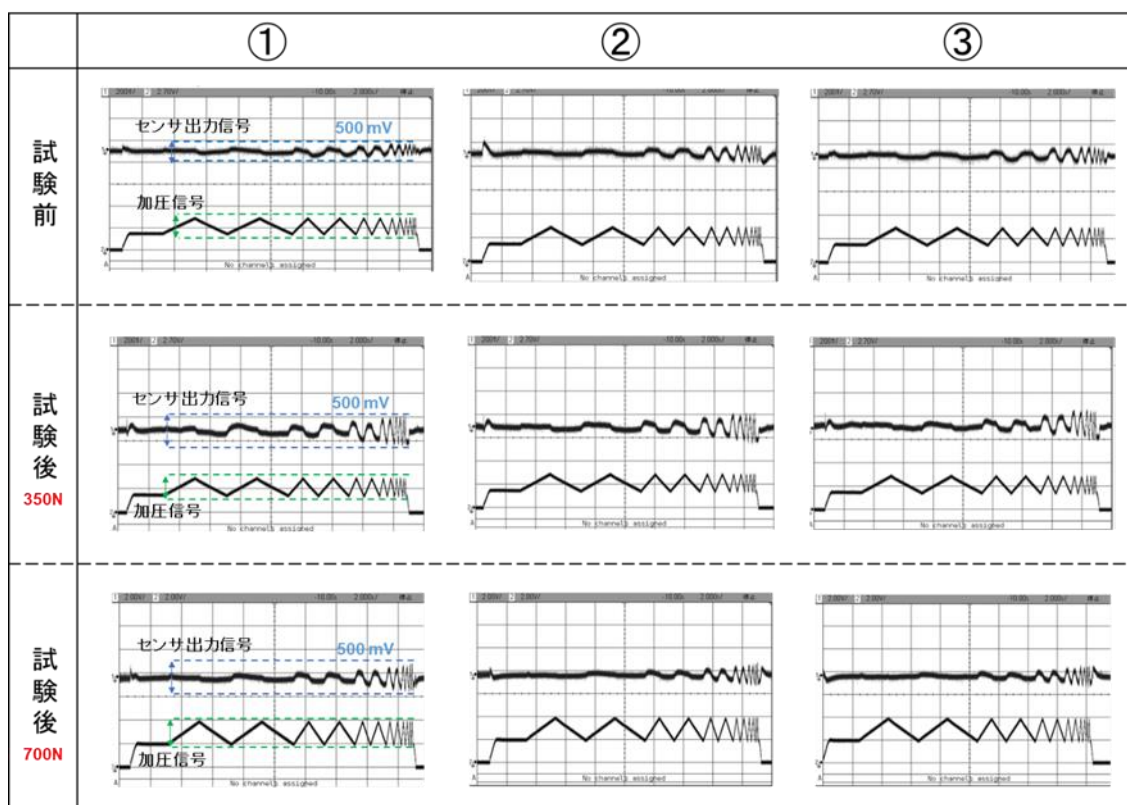
【低反発マット】
 型名：ニトリ製 Nタッチ2 DBR
 サイズ：400mmX400mm
 厚さ：50mm
 充填物：ウレタンフォーム

【負荷条件】
 押圧：350N、700N
 スピード：60回／分
 打突回数：50,000回

※JIS規格 K6400-4 A 軟質発泡材料-物理特性の求め方「圧縮残留ひずみ」を適用



図18 打突試験の条件



※加圧周期：0.25, 0.5, 1, 2, 5, 10Hzで各周期を2サイクルづつ

図19 打倒試験前後のセンサ出力信号強度の比較

押圧周期は、0.25～10Hz（心拍と呼吸の計測周波数帯）で変化させ、各周期に対する出力電圧を計測した。センサ面内の 3 か所の圧電特性を測定した。測定した圧電特性の結果を図 19 に示した。打突負荷前のセンサ出力信号は、押圧周波数によって若干異なるが、どの周期も約 500mV 程度であった。それに対して、350N の打突負荷を 50,000 回かけた後のセンサの出力信号強度は 500mV 程度でほとんど劣化は見られなかった。700N の打突負荷をかけた後のセンサ出力信号強度も 500mV 程度でほとんど劣化は見られなかった。この結果から、打突試験によるシートセンサの劣化は問題にならないことが確認できた。

○センサシートの実証試験（令和元年度実施）

印刷型シートセンサにより、ベッド上でバイタル信号が計測できるかどうかを検証するため、ベッド上で寝ている人のバイタル計測テストを行った。測定系のセットアップを図 20 に示した。センサシートは胸部下の位置で、マットレスとベッドの間に設置して計測を行った。マットレスは、介護施設で標準的に使用されている厚さ 10cm 以下のウレタン製マットレスと、厚さが 20cm 近くのエアクッションが内蔵された床ずれ防止タイプのマットレスの 2 種類をテストした。

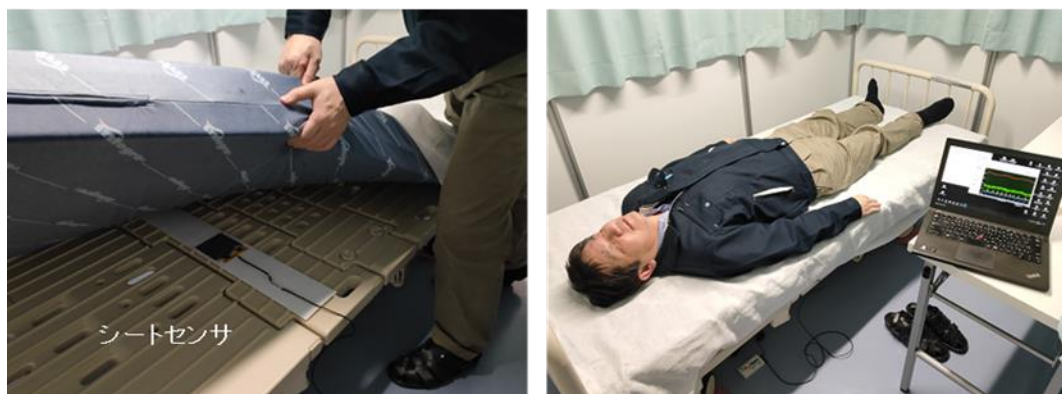
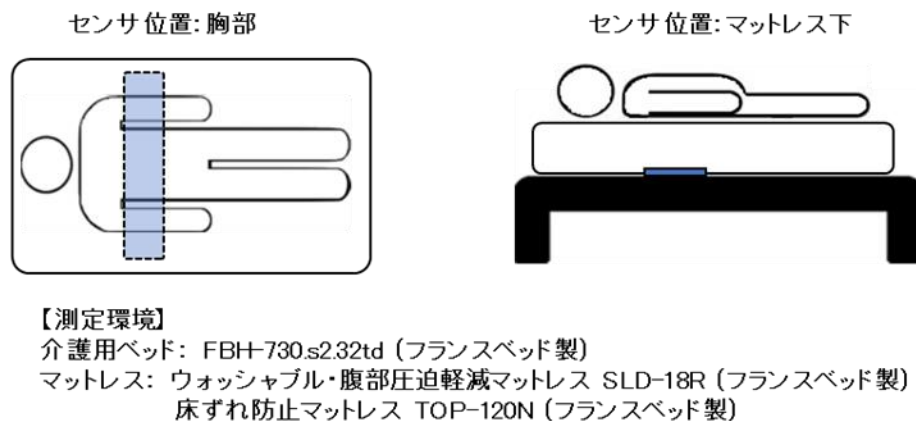


図 20 シートセンサの実証試験の様子

計測した結果を図 2-1 に示した。2 種類のマットレスを使用した時に得られたバイタル信号を示している。グラフはそれぞれ、赤が呼吸信号、緑が源信号（呼吸と心拍の両方を見ている信号）、白が心拍のタイミングを表示している。結果を見ると、標準タイプのウレタン製マットレスでは、呼吸信号、心拍信号共に問題なく計測できていることが確認できた。制御回路との調整を最適化することでさらに精度良く計測できる見込みである。一方で、床ずれ防止タイプのマットレスでは、エアクッションにより心拍や呼吸起因の体振動が減衰しやすい構造のため、呼吸信号、心拍信号ともに微弱となり、計測漏れが起こっているタイミングが多数見られた。しかしながら、わずかであるが、心拍、呼吸信号が見えており、センサシートの構造改良や制御 BOX との調整を最適化することで、従来のベッドセンサでは計測できなかった床ずれ防止タイプのマットレスにも対応できそうであることが確認できた。

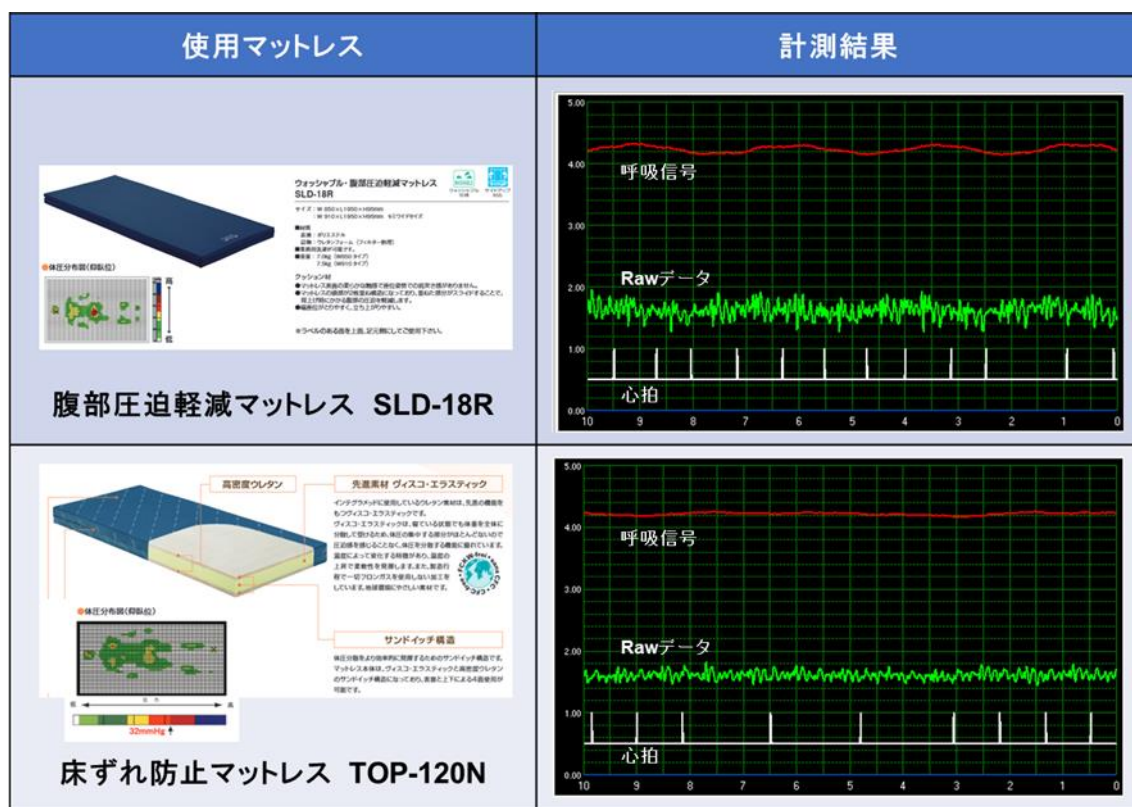


図21 バイタル信号測定の結果

最終章 全体総括

3-1 研究開発成果

本申請では、非拘束で対象者のバイタル情報が計測できるシート型バイタルセンサの製品化を目的として、1. 印刷型 PVDF 素子の開発、2. 大面積、高速印刷技術の開発、3. 印刷

型センサの耐久性検証と実証試験に取り組んだ。

1. 印刷型 PVDF 素子の開発

印刷方式でバイタルセンサの基本となる大面積な PVDF 素子を作製する技術を確立した。成膜工程や焼成工程を最適化することで高感度な PVDF 素子を実現した。また、シートセンサ専用の精密評価技術を確立し、そこから得られた情報を基に制御回路を改良することで、高い SN 比を持つセンサ素子を実現することができた。

2. 大面積、高速印刷技術の開発

ロール to ロール方式で連続的に印刷してシートセンサ製造を行う技術の開発を行った。ロール to ロール方式に合わせた印刷条件の最適化や、高速印刷に対応する近赤外焼成法のプロセスを確立した。最終的に目標としていた、膜厚 500nm 以下、体積抵抗率 $10\mu\Omega\text{cm}$ 以下、平滑性 Ra:100nm 以下の印刷配線の形成条件と、1m サイズで 5m/min 以上の速度で印刷プロセスを確立することができた。

3. 印刷型センサの耐久性検証と実証試験

曲げ耐久性や温度耐久性、打突負荷に対する耐久性など、さまざまな耐久性試験を行い、シートセンサの耐久性に関するデータを定量的に取得することができた。製品仕様に反映されると同時に、製品化時の品質管理項目として活用することができる基礎データを収集する。

本事業の開発により、大面積、高速印刷プロセスを導入したシート型バイタルセンサの製造技術を確立することができ、川下企業のニーズである 1 シート当たり 3 万円以下の製品価格を実現する見通しを得た。

3-2 研究開発後の課題・事業化展開

本事業終了後は、本事業で開発したシート型センサを用いて介護施設などでの実証試験を進め、製品としての完成度を高める。同時に、本格的な製造ラインに落とし込むための設備検討や品質管理工程の構築も進める。医療向けの用途展開の引き合いもあるため、計測精度の検証や医療機器登録などは、今後の課題となる見込みである。