

平成26年度
ものづくり中小企業・小規模事業者等連携事業創造促進事業
戦略的基盤技術高度化支援事業

「健康管理機器として電気インピーダンス装置に
利用できる繊維電極付き伸縮性ベルトの開発」

研究開発成果等報告書概要版

平成27年 3月

委託者 中部経済産業局
委託先 公益財団法人石川県産業創出支援機構

目 次

第1章 研究開発の概要	1
1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標	1
1-2 研究体制	
(研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)	2
1-3 成果概要	5
1-4 当該研究開発の連絡窓口	7
第2章 本論	8
2-1 低コストで生産できる高性能な繊維電極の開発	8
2-2 人体と密着する繊維電極形体についての研究開発と評価	9
2-3 簡単に繊維電極の位置を等間隔に装着できる「繊維電極付き 伸縮性ベルト」の研究開発	10
2-4 高温処理される滅菌処理に対応できる耐久性の実現	13
2-5 事業化の検討	14
最終章 全体総括	15
3-1 低コストで生産できる高性能な繊維電極の開発	15
3-2 人体と密着する繊維電極形体についての研究開発と評価	15
3-3 簡単に繊維電極の位置を等間隔に装着できる「繊維電極付き 伸縮性ベルト」の研究開発	15
3-4 高温処理される滅菌処理に対応できる耐久性の実現	15
3-5 事業化の検討	16

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

【研究開発背景】

現在、日本では肺炎や肺がんを始め、肺疾患で命を落とすケースが増加している。肺疾患の診断には、X線CT撮影が有効とされているが、以下のような課題から、積極的な活用がなされていない。電気インピーダンス装置によって、肺内部の空気量を計測し画像化することにより、肺疾患の診断に活用することができる。電気インピーダンス装置は、X線CT撮影の課題を解決し、医療機器としてだけでなく何処でも誰でも簡単に自己診断が可能な健康管理機器としても期待されている。

従来技術では、価格が高く使いにくいため、健康管理機器としての実用化が困難であった。健康管理機器メーカーからは、使いやすく価格が安い電気インピーダンス装置の開発を求められている。新技術の電気インピーダンス装置は、肺内部の空気量を測定できるだけでなく、血流や内臓脂肪等を測定することが可能となるため、健康管理機器メーカーからは健康管理機器として市場に普及させたのち、高性能な医療機器としても、幅広く事業展開できると期待されている。

【研究目的及び目標】

従来技術では、医療・福祉に使用する電極に、精密機器を使用していたため、高価格や取り扱いに専門性を必要としていたが、今回の研究開発では、低価格化と汎用性を実現し、専門性を必要としない診断を可能とするため、導電性繊維を用いた高性能な繊維電極とテキスタイルを一体化させた、テキスタイルセンサの開発を行う。

本事業で開発される「繊維電極付き伸縮性ベルト」によって、これまで大型かつ高価格であった電気インピーダンス装置は安く、何処でも、誰でも簡単に自身の健康管理を行うことのできる装置となる。電気インピーダンス装置の販路、川下企業として2つの分野の健康管理機器を扱うメーカーを想定して、ヒアリングを行いながらニーズを収集している。

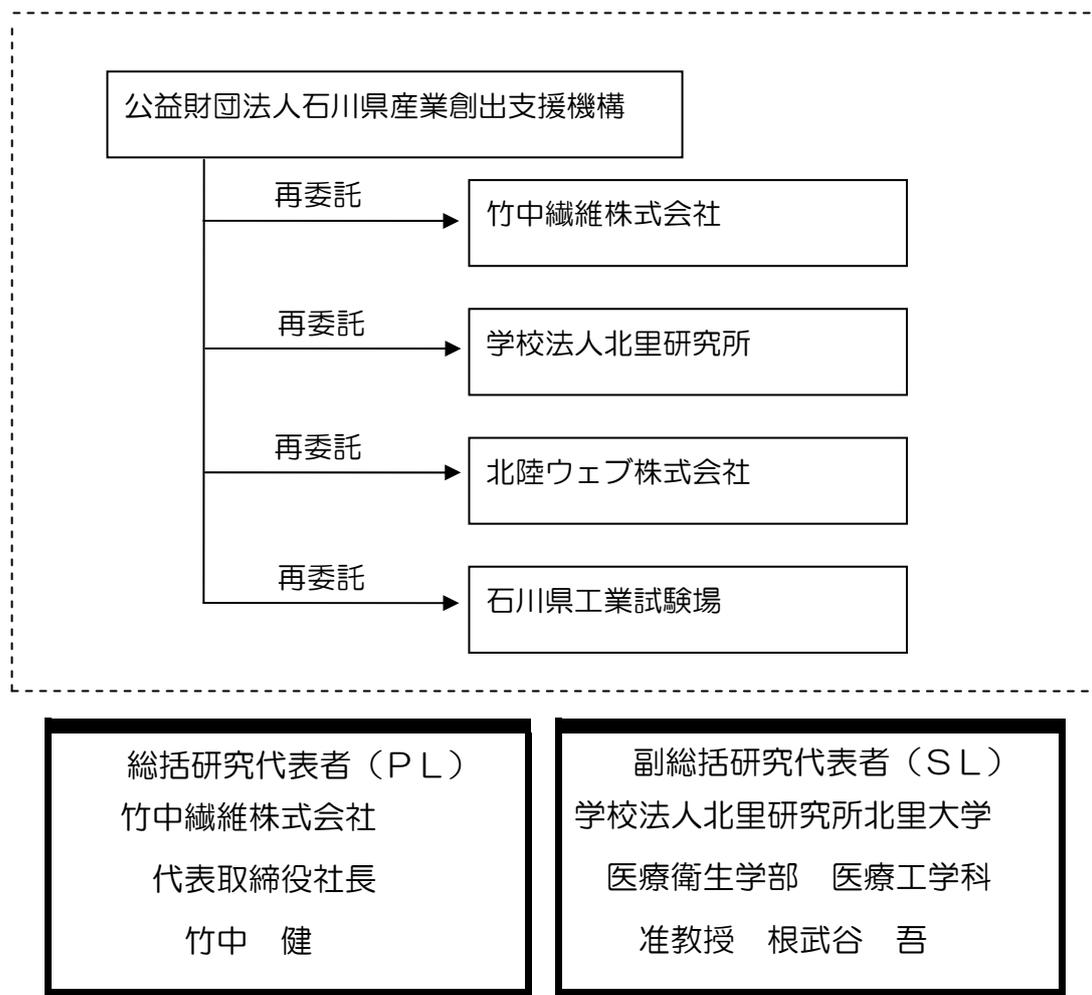
1社は、多種多様な健康管理機器を販売展開し、一般消費者の健康管理を行っている健康管理機器メーカーである。同社は、健康管理機器の更なる拡充に向けて、電気インピーダンス装置に関心を示している。もう1社は、特定保健用食品に代表される機能性

食品を展開している大手健康食品メーカーが挙げられる。同社は、体脂肪を測定し、画像化することができる電気インピーダンス装置は、体脂肪の消費に役立つとされている同社の特保飲料による効果を消費者が自ら実証できると関心を示している。

本事業へのアドバイザーとして参加している国立大学法人三重大学医学部附属病院を中心に、医療関係者からは、低価格かつ使用における医療従事者の負担が軽減される電気インピーダンス装置を求める声は多数存在しており、本研究の波及効果として製品化される電気インピーダンス装置をさらに高性能化(繊維電極の増加や画像精度の向上等)に取り組み、上述のアドバイザーの協力のもと、臨床を行い、想定している健康管理機器メーカーを中心として、医療認可の取得を目指すこととしている。

1-2 研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）

(1) 研究組織

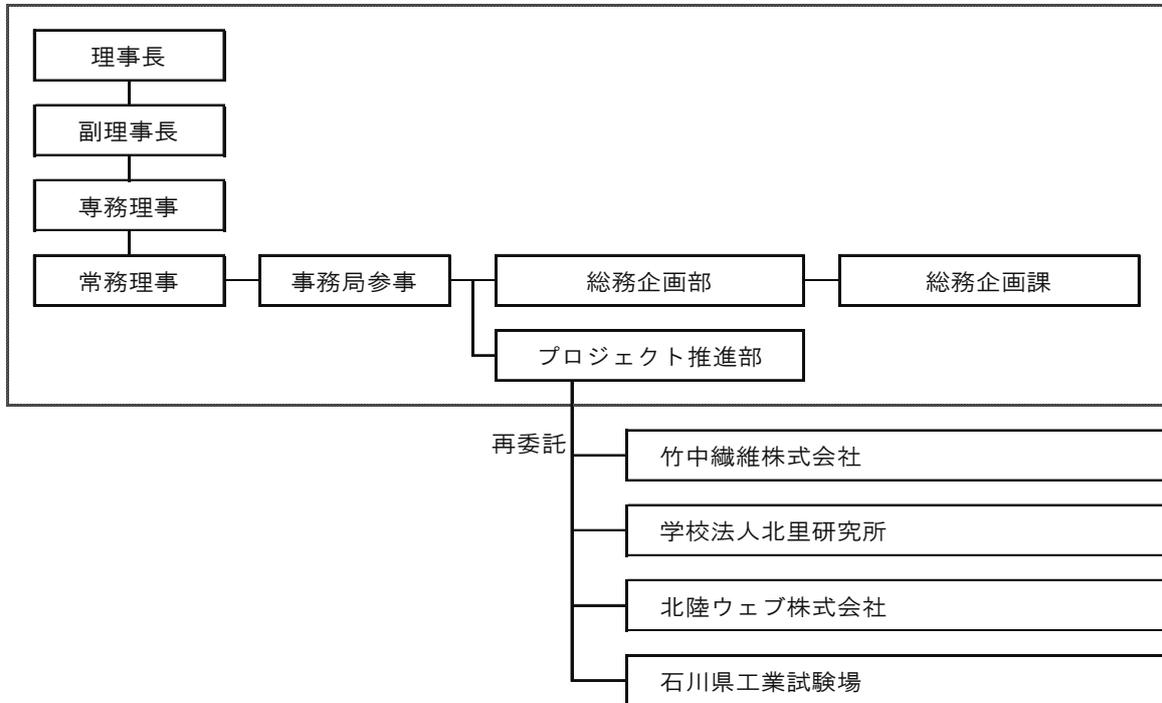


(2) 管理体制

①事業管理者

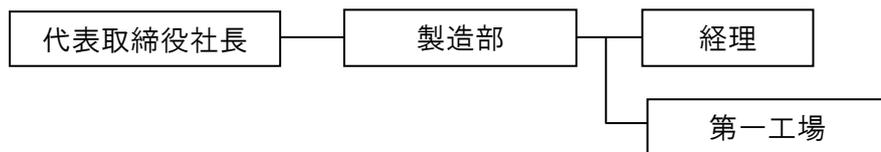
公益財団法人石川県産業創出支援機構

公益財団法人石川県産業創出支援機構

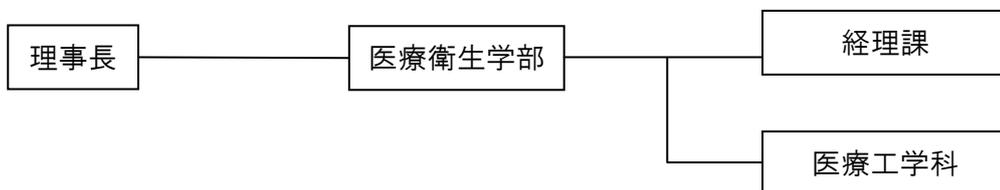


②再委託先

竹中繊維株式会社



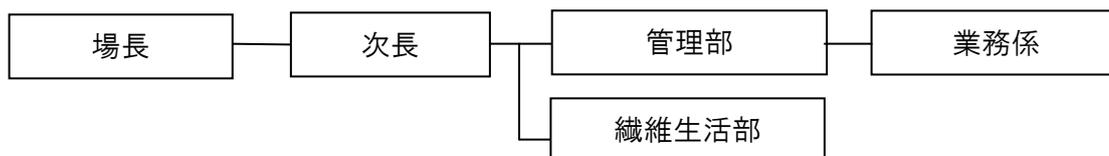
学校法人北里研究所



北陸ウェブ株式会社



石川県工業試験場



(3) 管理員及び研究者

【事業管理機関】

所属企業・団体名	氏名	所属・役職
公益財団法人石川県産業創出支援機構	平崎 直純	プロジェクト推進部 部長
	古川 陽一	プロジェクト推進部 研究交流推進課 主査

【研究者氏名】

所属企業・団体名	氏名	所属・役職
竹中繊維株式会社	竹中 健	代表取締役社長
	元木 忠雄	常務取締役
学校法人北里研究所	根武谷 吾	北里大学医療衛生学部 医療工学科 准教授
北陸ウェブ株式会社	飴谷 嘉治蔵	代表取締役社長
	飴谷 謙三	専務取締役
石川県工業試験場	田畑 裕之	繊維生活部 部長
	守田 啓輔	研究主幹
	中島 明哉	専門研究員

1-3 成果概要

1-3-1 低コストで生産できる高性能な繊維電極の開発

2年間の研究で試作した繊維電極の体積抵抗率は、最小で $0.12\text{m}\Omega\cdot\text{m}$ であり、繊維電極に求められる電極単体の体積抵抗率 $0.1\text{m}\Omega\cdot\text{m}$ の実現には至らなかった。しかし、EIT装置に適応するための指標は十分に達成できていると評価できる。繊維電極の試作において、技術特許を新規出願できたことも評価に値する。また、平成26年度に繊維電極の体積を増加したにもかかわらず、導電性繊維の使用量を減少させることができたため、低コストの指標としていた繊維電極1個辺り120円を大きくクリアすることができた。

1-3-2 人体と密着する繊維電極形体についての研究開発と評価

目標としていた繊維電極の厚みは、最大値 15.0mm でありながら、 12.0mm までの試作までしか至らなかった。しかし、研究前の厚み 1.0mm から厚み 12.0mm と、飛躍的に電極の厚みを増すことができたことは大きな成果である。また、使用する導電性繊維も加工することで、ボリューム感を増加させることができたため、導電性繊維においても、新たな取り組みであったことから、本事業専用の加工方法として更なる独自性を追求することにつながったと考えられる。

1-3-3 簡単に繊維電極の位置を等間隔に装着できる「繊維電極付き伸縮性ベルト」の研究開発

特許を出願した繊維電極の特殊な編組織と幅広い弾性編生地（伸縮性ベルト）を同時に編み込むことができたことは、大きな成果である。しかし、1-3-1にて、低コストな繊維電極の生産を可能としたが、本項での生産においては生産スピードが圧倒的に遅く、大きな課題を残すこととなった。

上述の弾性編生地と縫製する伸縮性細幅織物においては、複数の弾性系ポリウレタンでの試作、糸密度（横糸量）を変化させた試作と多数の試作に取り組み、各ポリウレタンの特性と糸密度（横糸量）の変化による伸縮性能の違いを明確にできたことから、目標を達成した伸縮性細幅織物を試作することができた。ただし、目標達成はあくまでも直線的な評価であり、人体胸部のように凹凸からなる評価は、今後の課題となる。

1-3-4 高温処理される滅菌処理に対応できる耐久性の実現

本事業で試作した繊維電極及び細幅織物に対して滅菌処理を行い、処理に対する特性変化を明確にすることができた。導電性繊維の導電特性に問題は見られなかったこと、導電性繊維の縮みによって素材の弾力（コシ）が増すことなどが判明した。このことから、商品としては滅菌処理を加えたほうがより、EIT装置に適応する結果となった。ただし、滅菌回数と比例するわけではなく、初回の滅菌処理のみ効果的である。

細幅織物においては、使用したポリウレタン素材によって滅菌処理における弾性力の変化に違いがみられたが、試作したすべての細幅織物で目標を下回る劣化はなかった。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

(事業管理者)

公益財団法人石川県産業創出支援機構

(経理担当者)	総務企画部 部長代理兼総務企画課長	中尾 一也
(業務管理者)	プロジェクト推進部 部長	平崎 直純

(再委託先)

竹中繊維株式会社

(経理担当者)	経理	竹中 千賀子
(業務管理者)	代表取締役社長	竹中 健

学校法人北里研究所

(経理担当者)	北里大学医療衛生学部 事務室総務課	
	係長	阿部 祥子
(業務管理者)	北里大学医療衛生学部 医療工学科	
	准教授	根武谷 吾

北陸ウェブ株式会社

(経理担当者)	経理課	西谷 有紀子
(業務管理者)	代表取締役社長	飴谷 嘉治蔵

石川県工業試験場

(経理担当者)	管理部 総務課長	丸本 誠
(業務管理者)	繊維生活部 部長	田畑 裕之

第2章 本論

2-1 低コストで生産できる高性能な繊維電極の開発

(1) 低コストで生産できる高性能な繊維電極の開発

【目標】

導電性繊維を使用した繊維電極を試作し、繊維電極単体の体積抵抗率 $0.1\text{ m}\Omega\cdot\text{m}$ 及び材料コスト120円を実現すること。

【実績】

平成25年度に試作した繊維電極の評価は以下のとおり。

- 体積抵抗率： $0.12\text{ m}\Omega\cdot\text{m}$
- 材料コスト：99円

平成26年度は、繊維電極の形状及び編組織を変更した（詳細は(2)にて記載）ため、以下のとおり。

- 体積抵抗率： $0.16\text{ m}\Omega\cdot\text{m}$
- 材料コスト：81円

繊維電極単体の抵抗値（体積抵抗率）については、「繊維素材」自体の抵抗値、「導電性繊維」の使用量、「編組織」の3つが大きく起因する。そのため、繊維素材自体を2-2により仮燃加工することで、抵抗率を減少させる取り組みを行った。編組織については、コスト面から導電性繊維の使用量を抑えながらも、繊維電極の抵抗率が目標値 $0.1\text{ m}\Omega\cdot\text{m}$ を達成できる編組織とするため、繊維電極を形成する導電性繊維の密着性を高める編組織を厚み、表面積を変化させた複数種類の繊維電極で評価し、適した編組織を検証した。体積抵抗率の評価は北里研究所にて行った。

同繊維電極の試作には、平成25年度には既存設備「クロッシェ編機」と既存設備「ダブルラッセル編機」にて、編組織の研究と試作に取り組んだ。編組織の研究の成果として、平成25年11月に特許を出願した。その成果を踏まえ、繊維電極の形状を変化させた（より厚みを増した）試作を、平成25年度末に導入した当事業専用経編機にて行った。

2-2 人体と密着する繊維電極形体についての研究開発と評価

(1) 導電性繊維の加工

【目標】

2-1の目標を達成できるよう導電性繊維の加工方法及び加工条件を決定すること。

【実績】

導電性繊維の加工には、仮撚加工を選定した。仮撚加工とは、ポリエステルやナイロンなどの合繊糸を ①ねじる ②加熱する ③ねじりを戻す という工程を行うことにより、元々まっすぐな形状であった糸を、縮れさせる加工のことであり、本事業では、3つの条件化で、導電性繊維の仮撚加工を行った。条件によっては、仮撚加工によって、導電性繊維自体の嵩高性（ボリューム感）が増し、効果的と考えられた。しかし、導電性繊維のフィラメント数や仮撚加工の回転数、撚り数、温度等を変化させたところ、以下の問題が生じた。

- ・導電性繊維の糸切れ（フィラメント切れ）
- ・仮撚加工設備に不具合

よって、導電性繊維の製造元を交え、材料についての検証を行った。その結果、使用している導電性繊維は特殊な導電加工が施してあることから、仮撚加工に必要な延伸率設定に耐えられないケースが発生し、糸切れ（フィラメント切れ）することが判明した。仮撚加工設備の不具合に対しては、導電性繊維に施す加工に使用した油分が通常糸より多く、油分が外部へ流出し、設備に不具合を発生させていることが判明した。

この結果を踏まえると、当該導電性繊維へ仮撚加工することは、非常に困難である。しかし、本事業には、当該導電性繊維の導電性と仮撚加工による嵩高性（ボリューム感）向上は不可欠であることから、導電性繊維製造元、仮撚加工工場、竹中繊維株式会社によって加工方法の検討を行った。

新たな仮撚加工の手法として、デニットと言われる加工手法を見出し、導電性繊維の仮撚加工に取り組んだ。デニットとは、フィラメント形状の糸で編み生地を生産し、編み上がった生地を一旦熱セットしたのち、編み生地をほどいて糸に戻すと糸自体に編地の形状が残り、仮撚り加工と類似した糸形状が得られる手法である。

(2) パイル（起毛）の形成と厚みを持たせる編組織の研究

【目標】

厚み15mm以内で装着者の胸部及び電子基板の双方に安定的に密着する繊維電極を試作すること。

【実績】

平成25年度に専用機として経編機を導入し、平成26年度には15mm厚の繊維電極の試作が可能となるように経編機に改良を加えた。改良により、「人体に接する生地面」と「電極プレートに接する生地面」をつなぐ「連結部」の連結部の距離を大きく設けることで、15mmの厚みを実現する繊維電極の試作に取り組んだ。

繊維電極と非繊維電極部の構成についても、繊維電極部分は厚みを持たせる為の編み構造とし、非繊維電極部分は、「電極プレートに接する生地面」のみで編成することで、常に、繊維電極部分が優先して、人体に接するようにした。

2-3 簡単に繊維電極の位置を等間隔に装着できる「繊維電極付き伸縮性ベルト」の研究開発

(1) 繊維電極付き細幅編物において伸長時1,100mmの各電極間の等間隔の実現

【目標】

幅1,100mmの細幅編物に繊維電極を等間隔かつ同時に編み込むこと。

【実績】

平成25年度に、導電性繊維による繊維電極部と非導電性部分によって構成される伸縮ベルトの編組織について検証した。検証した編組織の実現には、専用設備の導入及び改造が不可欠であり、平成25年度に当事業専用として導入した経編機に附帯設備の改良を行い、等間隔に繊維電極を配置し、さらに、電極のサイズ形状を安定させるため、糸量を常に安定的に供給させることを可能とした。

(2) 2-1及び2-2で開発した繊維電極を1,100mmの細幅編物への編み込み

【目標】

(1)の細幅編物に本事業の成果である繊維電極を8つ同時に編み込むこと。

【実績】

平成25年度に試作した繊維電極において、細幅編物への同時編み込みを行った。上

述（１）にて仮検証を行ったことから、容易に達成できた。しかし、繊維電極の厚みを増したことで、編込みスピードが非常に遅くなり、生産スピードに課題を残すこととなった。

（３）無負荷時から伸長した際の伸長距離の検証

【目標】

（２）と縫製される細幅織物において電極位置を等間隔に配置できる織組織を明らかにすること。

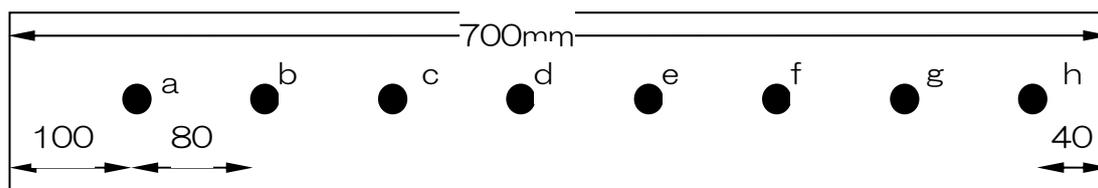
【実績】

ゴム入り細幅織物の伸長特性は、織物の糸の種類、太さ、織密度と密接に関係している。また、上述のように現象的には体言できるが、数値的には明確になっていない。そのため、ゴム入り細幅織物の伸長特性を明確化し、電極位置を等間隔に配置可能な織物の製造方法を明らかにするため、石川県工業試験場が伸長試験装置を製作した。平成 25 年度には以下に示す 5 種類の細幅織物を試作、実験にて評価した。

	よこ糸	打ち込み	たて糸		
			パイル糸	裏糸	ゴム糸
A	PE 300D	12.1 本/cm	Nylon 210D/10F 184 本	Nylon 100/2 184 本	PU 840D (PE150D× PE150D) 49 本
B	PE 300D	14.5 本/cm			
C	PE 300D	9.7 本/cm			
D	PE 250D	12.1 本/cm			
E	PE 200D	12.1 本/cm			
PE：ポリエステル、Ny：ナイロン、PU：ポリウレタン D：デニール（450m で 0.5g が 1 デニール）					

評価方法は、試料に 0、100、180、260、340、420、500、580、660、700mm の位置に印をつけ（下図参照）、0、700mm の箇所をチャックし、この状態から 80mm 毎に 1,100mm まで伸長した後、780mm まで 80mm 毎に戻

した際の各印の固定チャック位置からの距離を測定し、各印間の間隔を算出した。なお、ゴム入り細幅織物は伸長後700mmまで戻らないため、780mmまで戻した後に、可動チャック側を解除した状態を無負荷時の状態とし、その際についても同様の測定を行った。また、同時にロードセルにて負荷荷重の測定を行った。その後、初期位置700mmの印の箇所を再度チャックし、同様の試験を2回繰り返した。



(4) 繊維電極の位置を等間隔に装着できる伸縮性細幅織物の研究開発

【目標】

(2) と縫製される細幅織物において伸縮に係わらず繊維電極が等間隔に配置されること。

【実績】

(3) にて記述した5種類の細幅織物についても、評価結果を基準とし、細幅織物の更なる試作に取り組んだ。しかし、(3)の細幅織物にて、EIT機器への対応として人間に装着したところ、「着圧がきつく装着感が不快」との意見が多数あり、この伸縮性では商品としての展開は困難と判断し、経糸に使用していたポリウレタン素材を840Dから420Dに変更し、着圧力を減少させた。比較対象として、560D柔軟タイプによる細幅織物も試作し、平成25年度の試作品で最も評価が高かった試作品を踏まえ、伸縮性能の評価と人間への装着を想定したマネキンによる着圧力の評価を行った。

(5) 電気インピーダンス装置への適応の評価

【目標】

(2) 及び(4)を接合した「繊維電極付き伸縮性ベルト」において、人体に装着し、電気インピーダンス装置への適応を評価すること。

【実績】

本研究では、電極ベルト測定性能の評価法として、周波数毎の変動係数を測定する方

法を提案した。この変動係数は、測定インピーダンスの平均値に対する標準偏差の割合を意味している。すなわち、変動係数が ECG と同等に小さくなれば、肌と電極の十分な密着性が保たれると考えた。そこで、北里研究所が変動係数を測定するための装置を製作した。

測定は、平成 25 年度に大腿部にて、平成 26 年度は胸部にて行い、変動係数による試作品の適応評価を行った。さらに、平成 26 年度は、EIT 装置の核心でもある画像化についても評価した。

2-4 高温処理される滅菌処理に対応できる耐久性の実現

(1) 滅菌処理に対応できる繊維電極の評価

【目標】

オートクレーブ滅菌処理に対して、体積抵抗率 $0.1 \text{ m}\Omega \cdot \text{m}$ を維持すること。

【実績】

試作した繊維電極を想定される滅菌処理に準じて滅菌し、処理後の体積の変化、体積抵抗率の変化、変動係数の変化等、面から繊維電極を評価し、滅菌処理への耐久性を明確にした。

平成 25 年度は、「温度」「時間」「回数」を変更し、全 16 種類の試験を行った。平成 26 年度に、アドバイザーである医療機関からヒアリングを実施した結果、医療現場での滅菌処理方法や対応回数等が明確になったため、平成 26 年度の滅菌処理に関しては 1 種類の条件で対応することとした。

(2) 滅菌処理に対応できる伸縮性細幅織物の評価

【目標】

オートクレーブ滅菌処理に対して、繊維電極の等間隔誤差 $\pm 5 \text{ mm}$ を維持すること。

【実績】

(1) 同様に、滅菌処理への耐久性を評価した。細幅織物に使用する弾性系ポリウレタンを滅菌処理することで、弾性特性が変化し、繊維電極の間隔が不均一にならないように、ポリウレタン素材毎の特性や糸密度による特性を把握した。

平成 25 年度は、「温度」「時間」「回数」を変更し、全 16 種類の試験を行った。平成 26 年度に、アドバイザーである医療機関からヒアリングを実施した結果、医療現場での

滅菌処理方法や対応回数等が明確になったため、平成 26 年度の滅菌処理については、1 種類の条件で対応することとした。

2-5 事業化の検討

【実績】

本事業のターゲットとして掲げている EIT 装置について記載する。EIT 装置は、2 つの用途に展開を予定している。健康管理を目的とした健康管理機器と、診断を目的とした医療機器である。医療機器は医療認可や販路に大きな課題があることから、現状は、健康管理機器としての展開を優先している。

(1) 健康管理機器

健康管理機器として、EIT 技術を展示会や商談会で紹介している。紹介は主に、連携体である北里研究所が主体である。本研究は繊維素材を用いていることで、ウェアラブル装置として展開できることが強みである。ウェアラブル市場は、飛躍的に拡大しており、多数の川下企業が興味を示している。現状では、大手川下企業 5 社とウェアラブル型健康管理機器として、商品開発及び事業化に向けて取り組んでいるが、川下企業が求める試作品を提供する段階であり、商品化までは至っていない。

(2) 医療機器

医療機器としては、EIT 装置による内蔵部の画像化が主である。この分野においても、多数の川下企業が興味を示し、共同研究を希望している企業も存在している。具体的に、共同研究契約までは至っていないが、医療認可や販売の面からも、連携は不可欠であることから、商談を進めている状況である。

双方の事業化においても、EIT 装置ではなく、繊維素材と本研究の成果をどのように事業化するかが課題であり、特許出願も含め、繊維で実現することのメリットを明確にしていく必要がある。

最終章 全体総括

3-1 低コストで生産できる高性能な繊維電極の開発

繊維電極単体のコスト 120 円以下を実現しながらも、体積抵抗率 $0.1 \text{ m}\Omega \cdot \text{m}$ をほぼ実現した。平成 26 年度に、繊維電極の厚みを 240% 増加したにも関わらず、使用する導電性繊維を 75% 減少させることができた。このことから、コストと抵抗率を両立できる編組織の研究は、ほぼ完了していると考えられる。また、編技術の特許を出願できたことから、事業化を含め、独自性・技術力を高度化できた。

3-2 人体と密着する繊維電極形体についての研究開発と評価

当事業専用機の導入と改良によって、従来では不可能であった厚み 1.2.0mm の繊維電極を試作した。研究前は、1.0mm だったことから、大きな成果と言える。導電性繊維素材も素材加工することで、より、EIT 装置へ適応する素材へと性能向上させることができた。

3-3 簡単に繊維電極の位置を等間隔に装着できる「繊維電極付き伸縮性ベルト」の研究開発

電極を 8 個同時に弾性編み生地に編み込むことができたことで、電極間の等間隔や生産スピードを向上させることができた。弾性編み生地と縫製する細幅織物についても、弾性糸の特性や糸密度（横糸量）の変化による特性変化を明らかにできたことで、伸縮力にかかわらず、繊維電極を等間隔に配置する「繊維電極付き伸縮性ベルト」を試作することができた。

3-4 高温処理される滅菌処理に対応できる耐久性の実現

アドバイザーである医療機関より、現場で求められている滅菌処理をヒアリングすることができた。平成 25 年度は、さらに厳しい条件化で滅菌処理していたこともあり、現場が求める滅菌処理への耐性は十分であると検証することができた。また、滅菌処理により、さらに、EIT 装置への適応性が向上する点もあることから、滅菌処理の効果と耐性が明らかとなった。

3-5 今後の課題について

2年間の研究開発において、繊維電極の編技術の高度化と細幅織物の特殊伸縮性の研究、滅菌処理への耐性は一定の評価ができた。今後は、繊維電極の形状を変化（現状12mmの厚みを減少させる）させながらも、体積抵抗率を維持する研究と評価、伸縮性細幅織物による着圧力の検証、繊維電極と装着者胸部との接触抵抗の低減と安定等の研究が必要である。そのため、本事業は補完研究へと継続し、川下企業が求める低コスト、かつ、信頼性の高い医療機器への展開を目指す。