

令和 2 年 4 月 19 日

## 海外特別研究員最終報告書

独立行政法人日本学術振興会 理事長 殿

採用年度 令和1年度

受付番号 201960596

氏 名 松久直司

(氏名は必ず自署すること)

海外特別研究員としての派遣期間を終了しましたので、下記のとおり報告いたします。

なお、下記及び別紙記載の内容については相違ありません。

## 記

1. 用務地（派遣先国名）用務地： スタンフォード大学 （国名： アメリカ合衆国）

2. 研究課題名（和文）※研究課題名は申請時のものと違わないように記載すること。

皮膚貼付型ワイヤレスウェアラブルセンサのための伸縮性高周波ダイオード3. 派遣期間：平成 31年 4月 1日 ～ 令和 2年 3月 19日

4. 受入機関名及び部局名

スタンフォード大学化学工学科 (Chemical Engineering, Stanford University)5. 所期の目的の遂行状況及び成果…書式任意 **書式任意 (A4 判相当 3 ページ以上、英語で記入也可)**

(研究・調査実施状況及びその成果の発表・関係学会への参加状況等)

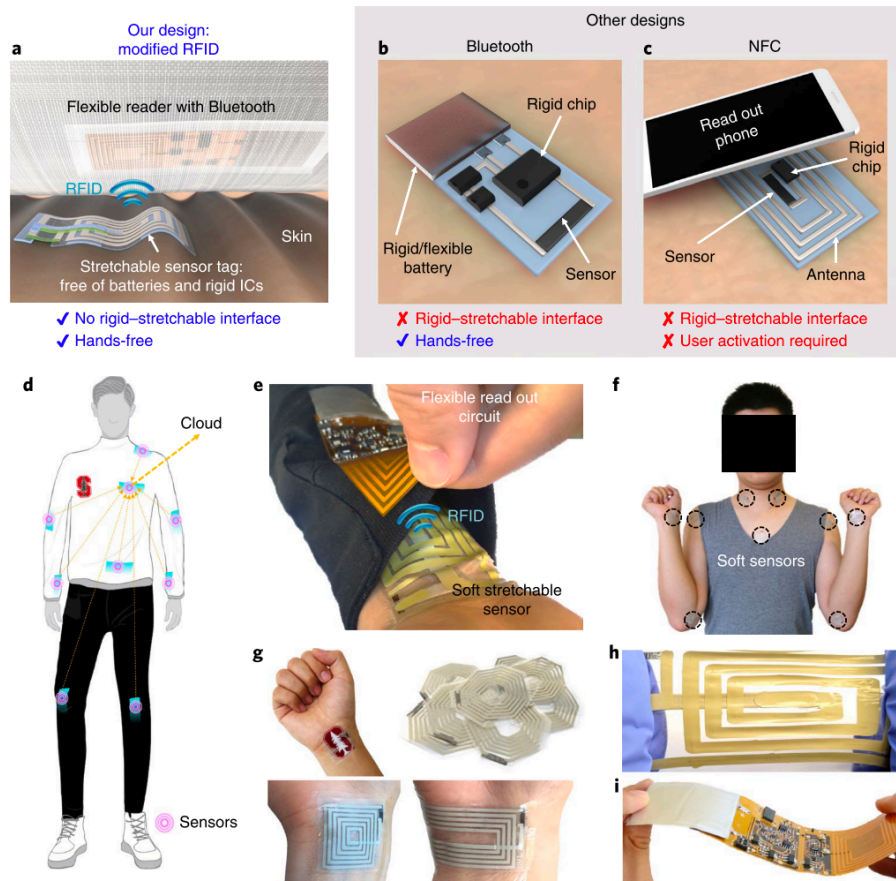
(注)「6. 研究発表」以降については様式 10-別紙 1～4 に記入の上、併せて提出すること。

本制度の支援を受けた研究で、まず特筆すべきなのはワイヤレス伸縮性センサを用いたボディエリアセンサネットワーク(Soft BodyNET)の実現である。本成果は Nature Electronics 誌に掲載され、大きな注目を集めた((† Same contribution) S. Niu†, N. Matsuhisa†, *et al.*, *Nature Electronics* 2, 361-368 (2019).)。Forbes Japan をはじめとする数多くの海外メディアで研究を紹介された(<https://forbesjapan.com/articles/detail/29408>)。柔らかく伸縮性のある電子デバイスは、装着すると皮膚に融け込むように一体化するため、精度良く生体信号を取得できる上に装着感が非常に小さい。よって健康状態を常時モニタリングできるヘルスケアデバイスとして応用が期待されているが、伸縮性デバイスで得た生体信号を如何にスマートフォンやパソコンなどの情報端末に集めるかが大きな課題となっていたため、センサネットワークなどを構築することが困難であった。

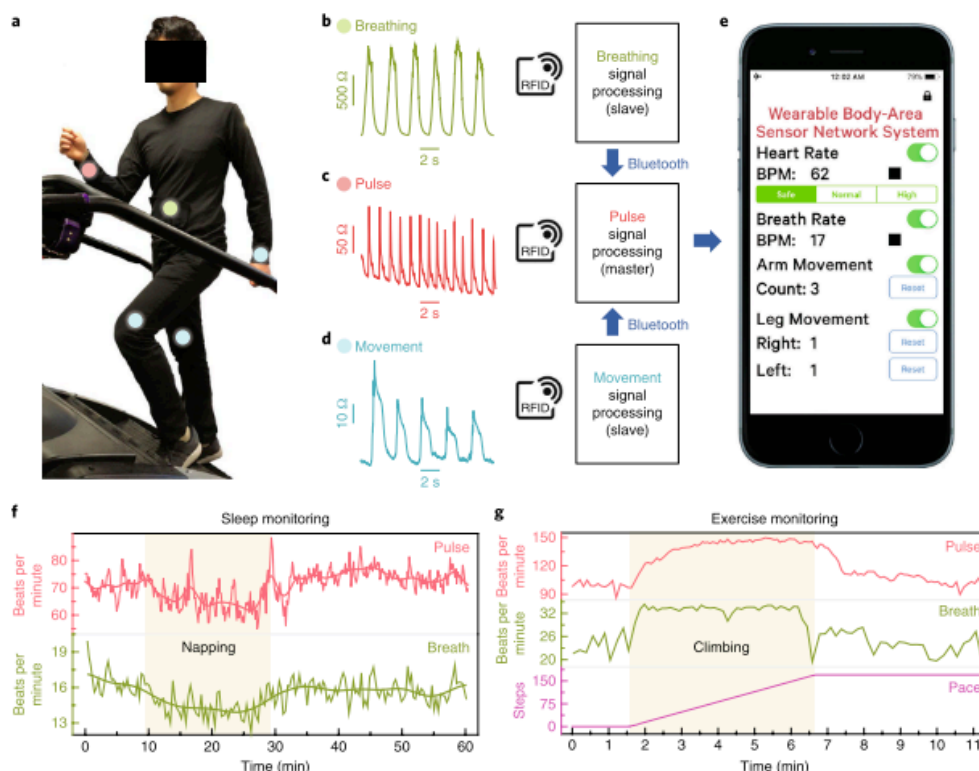
Fig. 1 に今回実現した Soft BodyNET を示す。各センサノードでは、柔らかく皮膚に貼りつく伸縮性センサが衣服に集積化された読出回路と無線で通信を行って生体情報を集める。従来技術では、固い読出回路を伸縮性センサの中に集積化していたため、硬い回路と柔らかい基材の界面でデバイスが壊れやすいという問題があったが、本手法によりこれを解決できた。さらに伸縮性センサは、その伸長により電気特性が大きく変わってしまうため、無線通信を安定して行うことが難しかったが、新しい無線通信方式を開発することでこの問題を解決した。Fig. 2 にこの Soft BodyNET のプロトタイプの動作実験結果を示す。それぞれ手首に取り付けられたセンサで脈波、腹部のセンサで呼吸数、両脚のセンサで足の動きをモニタリングし、得られた信号をスマートフォンに送信して表示することに成功した。さらにこの Soft BodyNET を用いて睡眠時の脈数と呼吸数が深い睡眠に入った時に低下する様子や、逆に運動をした時にこれらが増加する様子を計測することに成功した。今後この研究を発展させることで日常生活の精密な生体計測がより簡便に行えるようになると思う。

さらにこのシステムをより高度なものにするために、13.56 MHz もの高周波の信号を直流の電力に変換できる伸縮性のダイオードの開発にも成功した。伸縮性の半導体デバイスの最高帯域は、

これまで 10 kHz 以下であったため、これは非常に大きな進展と言える。本成果は現在論文執筆中である。

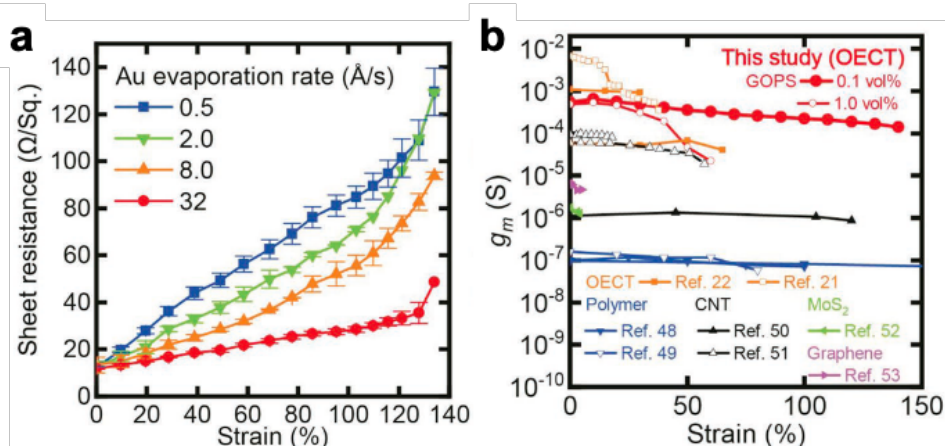


**Figure 1 Soft BodyNET.** a) センサノードの模式図。b, c) 従来のセンサノードの模式図。Bluetooth と NFC を用いたセンサノードでは硬いチップを伸縮性のセンサ上に集積する必要があったため、壊れやすかった。d) Soft BodyNET 全体図。e) センサノードの写真。f-h) 伸縮性センサの写真。i) 読出回路の写真。



**Figure 2 Soft BodyNET プロトタイプの駆動実験。** a) 写真。b-d) 各センサノードで得られる信号波形。e) 得られた生体信号をスマートフォンに表示する様子。f) 睡眠モニタリング。g) 運動モニタリング。

さらに、上記研究を進める中で伸縮性の金電極の性能を劇的に改善する手法を発見し、論文発表した(N. Matsuhisa, et al. *Advanced Electronic Materials*, 1900347 (2019).). 伸縮性をもつ導電材料を実現する手法はいくつかあるが、特に伸縮性の金電極は生体のような電解質下においても安定なため、その性能改善が望まれていた。本研究では、シリコンゴム基材に金蒸着をする際の成膜速度を上げる、という簡単な手法で大きく性能改善することに成功した(Fig. 3a)。さらに本研究ではこれを用いて伸縮性トランジスタを作成し、伸縮性トランジスタとして世界最高のトランスコンダクタンス(トランジスタの信号増幅能力を示す性能指標の一つ)を達成することに成功した(Fig. 3b)。



**Figure 3 高性能伸縮性金配線。** a) 成膜速度を上げることで大きく性能改善できることを示す実験結果。 b) 伸縮性トランジスタのトランスコンダクタンス比較。本研究で作製した伸縮性トランジスタが世界最高性能を示す。

さらに、これまでの研究で関わってきた様々な伸縮性導体材料の開発に関してレビュー論文を発表した(N. Matsuhisa\*, X. Chen, Z. Bao, T. Someya, “Materials and structural designs of stretchable conductors” *Chemical Society Reviews* (2019).). 本論文が掲載された *Chemical Society Reviews* は材料系の研究者から大きな注目を集めており、Impact factor が 40 を超える。本論文により伸縮性エレクトロニクスのさらなる発展に貢献したいと考える。

その他にも、共著者として数多くの論文投稿をしてきた。例えば、伸縮性金電極を用いた伸縮性のリチウムイオン電池の開発に成功した(Fig. 4)。本研究は *Nature Communications* 誌に掲載され、大きな注目を浴びた(D. G. Mackanic et al. *Nature Communications* **10**, 1-11 (2019).)他にも *Advanced Materials* 誌、*Advanced Functional Materials* 誌などで論文発表した。活動を通じて世界中に研究者としてのネットワークを構築することにも成功したので、今後の帰国後の研究活動の発展が期待される。



**Figure 4 伸縮性リチウムイオン電池**

さらに特筆すべきアウトリーチ活動として、2020年2月26日にテレビ朝日系“あいつ今何してる”の“名門校の天才・奇才今何してる?”で松久直司個人が紹介されたことが挙げられる。伸縮性エレクトロニクスに関する研究やその応用についてわかりやすく伝えることができた。

以上の成果を上げるために海外特別研究員制度が非常に役立ったことは言うまでもない。日本学術振興会のスタッフをはじめとする関係者の皆様に深く御礼申し上げる。