

障害者自立支援機器等研究開発プロジェクト

携帯電話の両面にも装着可能な、軽量で薄い(薄さ 1mm)

点字デバイスの開発

平成21年度 総括・分担研究報告書

研究代表者 安積 欣志 (産総研)

研究分担者 阿部 宗光 (アルプス電気株式会社)

染谷 隆夫 (東京大学)

中野 泰志 (慶應義塾大学)

平成 22 (2010) 年 4 月

目 次

I. 総括研究報告

携帯電話の両面にも装着可能な、軽量で薄い(薄さ 1mm)

点字デバイスの開発	-----	1
安積欣志 (産総研)		

II. 分担研究報告

1. ナノカーボン高分子アクチュエータの開発	-----	7
安積欣志 (産総研)		

2. 点字デバイスプロトタイプ製作の製作	-----	19
阿部宗光 (アルプス電気株式会社)		

3. フレキシブルシート型有機トランジスタ ドライバの開発	-----	34
染谷隆夫 (東京大学)		

4-1. シーズとニーズのマッチング調査	-----	40
中野泰志 (慶應義塾大学)		

4-2. ユーザ評価実験	-----	48
中野泰志 (慶應義塾大学)		

IV. 添付資料 1~4	-----	49
--------------	-------	----

**障害者自立支援機器等研究開発プロジェクト
総括研究報告書**

携帯電話の両面にも装着可能な、軽量で薄い(薄さ 1mm)

点字デバイスの開発

研究代表者 安積欣志 (産業技術総合研究所)

研究要旨

本研究開発では、携帯電話にも装着可能な薄くて軽い、点字デバイスの開発を、産総研で開発を進めてきたナノカーボン高分子アクチュエータを用いて行った。それを行うための研究開発内容は、点字デバイス用ナノカーボン高分子アクチュエータの開発、点字デバイスプロトタイプの作製、フレキシブル有機トランジスタドライバの開発、ニーズ調査、プロトタイプのユーザ評価である。その結果、以下の成果を得た。

高分子アクチュエータ素子を点字デバイスの発生力、変位のスペックを満足する様な、電極構造組成、および厚みの最適化を行うことに成功した。さらにその開発をもとに、視覚障害者が実際に識字可能な「厚さ 3 mmの薄型点字デバイス (6 文字)」と「携帯電話モック組み込み型の点字デバイス(2 4 文字)」の 2 つの試作機を開発した。その試作機のユーザ評価実験およびニーズ調査から、本デバイスが必要な用途として、液晶パネルの代替等、様々な用途があることがわかった。さらに有機トランジスタによる本アクチュエータのドライバ開発を行い、A4 サイズなどの大面積点字デバイスの開発も可能となった。

以上の成果より、今後は、本開発で明らかとなった問題点を克服することにより、点字あるいは、点図などの、軽量で薄くかつ、大面積化が可能な触覚デバイスの実用化を目指した研究開発を進めていく方向性が明らかとなった。

研究分担者氏名・所属・職名	アルプス電気他 7 名 (交付申請書参照)
安積欣志・産総研セルエンジニアリング 研究部門・研究グループ長	染谷隆夫・東京大学大学院工学系研究 科・教授
杉野卓司・産総研セルエンジニアリング 研究部門・主任研究員	関谷毅・東京大学大学院工学系研究科・ 助教
阿部宗光・アルプス電気株式会社技術本 部プロセス技術1部・部長	中野泰志・慶應義塾大学自然科学研究セ ンター・教授
高橋功・アルプス電気株式会社技術本 部プロセス技術1部・テマリーダー	新井哲也・慶應義塾大学自然科学研究セ ンター・助教

A 研究開発目的

本研究開発の目的は、携帯電話にも装着可能な、薄くて軽量な点字ディスプレイを、産総研で開発を行ってきた、カーボンナノチューブとイオン液体による電極を用いたナノカーボン高分子（バッキーゲル）アクチュエータを用いて作製し、想定ユーザである視覚障害者によるデモを通じて、使用感などのアドバイスを受けることにより、携帯電話などへの装着実用機開発への問題点を抽出し、実用的な装置の実現を行うことである。

B. 研究開発方法

本開発では、カーボンナノチューブ／イオン液体電極およびイオン液体ゲルからなるナノカーボン高分子アクチュエータ（バッキーゲルアクチュエータ）を用い、携帯電話にも搭載可能な、薄くて軽いフィルム状の点字デバイスのプロトタイプを作製し、その動作検証を視覚障害者であるユーザのデモで行う。それとともに、有機トランジスタアレイによる、ナノカーボン高分子アクチュエータ駆動法の検討を進め、フィルム状点字ディスプレイの面積化技術を開発する。さらに、ユーザのニーズ調査を行い、薄型軽量のフィルム状点字デバイスにどのような用途があるかの調査をすすめる。これらを通じて、薄くて軽いフィルム状点字デバイスの実用化についての問題点を抽出する。以下の5個の研究開発項目からなる。それぞれについて説明する。

(1) ナノカーボン高分子アクチュエータの開発（担当：産総研）

本開発の点字を表示するアクチュエ

ータのサイズは、4 mm長 x 2 mm幅を考えている。点字表示における必要な最低の発生力は3 g重、変位量は0.3mmといわれている。本提案のナノカーボン高分子アクチュエータは、このスペックを満足するポテンシャルはあると考えられる。点字表示速度に関係するアクチュエータの変形速度は、アクチュエータの厚み、電極の成分等に依存し、また速度と力はトレードオフの関係にある。したがって、本開発では、何種類かの厚み、電極成分のアクチュエータを作製し、もっとも最適な速度と力を示すアクチュエータを探索することを目的とする。

(2) 点字デバイスプロトタイプの作製（担当：アルプス電気株式会社）

点字デバイスプロトタイプの作製を行う。点字デバイスの構造仕様の決定・構造開発、点字デバイス用ドライブ・コントローラの開発を行い、プロトタイプ1号機、2号機の試作、評価を行う。作製した試作機のユーザ評価は慶應義塾大学が担当し、またプロトタイプに用いるナノカーボン高分子アクチュエータ技術は、産総研と協力して開発、試作を進める。

(3) フレキシブルシート型有機トランジスタドライバの開発（有機トランジスタアレイによるバッキーゲルアクチュエータ駆動法の研究）（担当：東京大学）

携帯電話などに実際に搭載するフレキシブルなフィルム状点字デバイスの実機を作製するために、有機トランジスタアレイによる、ナノカーボン高分子アクチュエータ駆動法による集積化の研究を行い、フィルム状点字ディスプレイの面積化デバイスを開発する。

(4) 1シーズとニーズのマッチング調

査（担当：慶應義塾大学）

障害者向けの支援機器の開発においては、技術的なシーズが先行し、ニーズと乖離することが問題となる場合がある。そこで、本研究では、開発の各フェーズでユーザのニーズを的確に把握し、シーズとニーズの融合をはかる。東京都盲人福祉協会等の当事者団体、日本ライトハウス等の福祉団体、全国盲学校校長会や国立特別支援教育総合研究所等の教育団体の協力を得て、調査を行う。

(4)－2 ユーザ評価実験（担当：慶應義塾大学）

作成したプロトタイプを用いて、視覚障害者によるユーザ評価を実施する。ユーザ評価の際には、使用感に関する質的評価だけでなく、触読スピード等を心理物理学的測定法で測定し、定量的な評価も加える。また、点字の触読が困難な視覚障害者の中には、点間隔等を変更することで触読可能なケースがあるため、これらの要因についても検討を加える。これらの評価結果を開発にフィードバックすることにより、アクチュエータの発生力、速度、また、それぞれのばらつきなどについて、検討を行い、改良を進める。少なくとも2回以上の評価実験（11月および2月）を行う。

C. 研究開発結果

(1) バッキーゲルアクチュエータの開発（担当：産総研）

本研究開発項目では、薄くて軽いフィルム状点字ディスプレイを開発するために、ナノカーボンとイオン液体電極およびイオン液体ゲル電解質からなるナノカーボン高分子アクチュエータを、点字ディスプレイ用に最適化する開発を

行った。電極層において、電極材として単層カーボンナノチューブにポリアニリン微粒子を添加することで変形量、発生力が大きくなることを確認し、その電極を用いて、電極成分の最適化、および素子厚みの最適化をすすめ、点字ディスプレイとして必要なスペックを満足する素子を作製することに成功した。

(2) 点字デバイスプロトタイプの作製（担当：アルプス電気株式会社）

小型/薄型/多文字の点字デバイス具現の為に、アクチュエータの形状・配置・支持・給電、駆動方法などを検討・新規開発し、視覚障害者が実際に識字可能な「厚さ3mmの薄型点字デバイス（6文字）」と「携帯電話モック組み込み型の点字デバイス（24文字）」の2つの試作機を開発した。開発した点字デバイスは、慶應義塾大学によるユーザ評価実験で、一般の点字よりは触読効率は低い但し識字は充分可能であると云う評価を得た。しかし、その一方、点字高さのばらつきや耐久性など課題も確認された。今後、アクチュエータ特性とデバイス構造の両面からこの改善に取り組むことで実用化を進めていきたい。

(3) フレキシブルシート型有機トランジスタドライバの開発（有機トランジスタアレイによるバッキーゲルアクチュエータ駆動法の研究）（担当：東京大学）

曲面にも実装可能であり、大面積・軽量という特徴を有した点字ディスプレイの実現に向けて、駆動部分となる有機電界効果トランジスタ回路の作製および特性の評価を行った。特に、アクチュエータを点字ディスプレイ用途に駆動

するためには、3V以下の低電圧駆動とミリアンペアの大電流を同時に実現する必要があり、既存の有機トランジスタでは実現困難であった。極薄なゲート絶縁膜として自己組織化単分子膜を用い、新規半導体材料を採用することで3V駆動で3mA以上という高性能を有する有機トランジスタの作製に成功した。また、動作高速化に必要な有機メモリの作製・評価を行い、1.5ミリ秒という高速動作を示した。これらの技術を組み合わせることにより、24文字の点字表示が2秒以下という、非常に高速動作可能であることが示された。これらの開発により、点字ディスプレイ用途のアクチュエータ駆動に世界で初めて成功した。

(4)-1 シーズとニーズのマッチング調査 (担当：慶應義塾大学)

点字に関する視覚障害者のニーズを把握するために、代表的な当事者団体、福祉施設、教育機関、研究機関等で中核的な役割を果たしている有識者に対して非構造化面接法によるヒアリングを実施した。その結果、視覚障害のあるユーザの多くは、家電製品等の液晶パネルを読み取ることができないことに不便さや不安を感じており、それゆえ機器の誤操作が生じやすいという不安や、機能を十分に利用できないという不満等を抱えていることが明らかになった。したがって、操作に応じて点字による表示が変化し、液晶パネルの情報を代替する新しい点字デバイスの必要性が示唆された。また、デバイスを応用する具体的な場面について、視覚障害当事者と盲学校教員の意見を得た。その結果、本デバイスのような薄型デバイスでなければ適応できない機器や場面があることが明

らかになった。

(4)-2 ユーザ評価実験 (担当：慶應義塾大学)

シーズとニーズのマッチング調査に基づいて作成された点字デバイスの試作機を用いて、点字常用視覚障害者に対し、触読効率の測定と、半構造化面接法によるヒアリングを実施した。その結果、数字や単語を読む場合に限れば実用に耐えうる水準であるが、点の高さや発生力に課題のあることが明らかになった。また、ヒアリングから、本デバイスの活用例として、液晶パネルの代替として利用可能であることが示唆された。

D. 考察

本研究開発において研究目標から達成できたことをまとめると以下の通りである。

- ・ 視覚障害者が識字可能な点字デバイス試作機（1号機、2号機）の開発
- ・ 点字デバイス向けに特性・形状等を向上・工夫した高分子アクチュエータの開発
- ・ 有機トランジスタの集積化によるアクチュエータ駆動法の開発
- ・ シーズとニーズのマッチング調査による本開発製品の必要性の確認
- ・ 視覚障害当事者によるプロトタイプを用いたユーザ評価実験

(触読効率等のパフォーマンス評価、生活・学習上の困難や試作機の使いやすさ等に関する半構造化面接によるヒアリング調査：問題点および改善点の評価)

一方、実用化へ向けて下記のような課題も残った。

- ・アクチュエータの基本特性、耐久信頼性、使用温度範囲の向上

- ・アクチュエータ特性ばらつきの改善

- ・点字デバイス構造の最適化

- ・ドライブ回路の小型薄型化

- ・アクチュエータ使用材料（ナノカーボン材料、イオン液体、等）の低コスト化

- ・本システムの製品化に向けた市場調査

アクチュエータ素子の特性向上、および特性ばらつきの改善などの素子改良については、アクチュエータ電極作製における新規分散法の開発、あるいは、導電性微粒子添加に加えて、カーボンナノチューブの表面処理等の開発をさらに進めることで、今後さらに性能向上をすすめることが可能と考えられる。また、点字デバイスとしての改良は、単にアクチュエータ性能のみの改良だけでなくデバイス構造の改良、あるいはドライブ回路の高パワー密度な小型化薄型化により実現可能と考えられる。また、本デバイスはアッセンブリーが従来方式より簡単で、低価格であること軽量、薄型であることと共に特徴であるが、その特徴をいかした実用化のためには、使用材料の低価格化が必要である。カーボンナノチューブ、イオン液体などの使用材料について、現在、量産化が進行中で低価格化が急ピッチで進んでいる。また、今後、製品化のための市場調査を進める必要がある。

E 結論

携帯電話にも装着可能な薄くて軽い、点字デバイスの開発を、産総研で開発を

進めてきたナノカーボン高分子アクチュエータを用いて行った。その結果、以下の成果を得た。

高分子アクチュエータについて、点字デバイスの発生力、変位のスペックを満足する様な素子の開発に、電極構造組成、および厚みの最適化を行うことで成功した。さらにその開発をもとに、視覚障害者が実際に識字可能な「厚さ3mmの薄型点字デバイス（6文字）」と「携帯電話モック組み込み型の点字デバイス（24文字）」の2つの試作機を開発した。その試作機のユーザ評価実験およびニーズ調査から、本デバイスが必要な用途として、液晶パネルの代替等、いくつかの用途があることがわかった。さらに有機トランジスタによる本アクチュエータのドライバを開発し、今後、B5, A4などのノート型の大面積点字デバイスの開発も可能性が出てきた。

以上の成果より、今後は、本開発で明らかとなった問題点を克服することにより、点字あるいは、点図などの、軽量で薄くかつ、大面積化が可能な触覚デバイスの実用化を目指した研究開発を進めていく方向性が明らかとなった。

G. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

なし

3. その他発表（マスコミ報道等）

1) アルプス電気株式会社、点字デバイス1号機出展、第4回人工筋肉コンファレンス（主催：産総研セルエンジニアリング研究部門、理研基幹研究所）、平成21年11月25日～27日、千里ライ

フサイエンスセンター（大阪府豊中市）
2) NHK ニュース放映 「NHK ニュース
ウオッチ9」平成22年2月23日放映
（添付資料1）
3) 毎日新聞、毎日.jp、「最先端技術を
使った薄型点字ディスプレイなどを公
開-厚労省の障害者自立支援プロジェク
ト」（2010年3月11日）、

[http://mainichi.jp/universalon/repor
t/news/20100311mog00m0400130](http://mainichi.jp/universalon/repor
t/news/20100311mog00m0400130)

[00c.html](http://mainichi.jp/universalon/repor
t/news/20100311mog00m0400130) （添付資料2）

4) 毎日新聞、毎日.jp、「点字プリンタ
ーが消える日」（2010年3月12日）、

[http://mainichi.jp/universalon/talk/
news/20100312mog00m07002600](http://mainichi.jp/universalon/talk/
news/20100312mog00m07002600)

[0c.html](http://mainichi.jp/universalon/talk/
news/20100312mog00m07002600) （添付資料3）

5) 産総研ホームページ：主な研究成果
「薄くて軽いフィルム状点字ディスプ
レイを開発」（2010年3月23日）、

[http://www.aist.go.jp/aist_j/new_re
search/nr20100323/nr20100323.ht](http://www.aist.go.jp/aist_j/new_re
search/nr20100323/nr20100323.ht)

[ml](http://www.aist.go.jp/aist_j/new_re
search/nr20100323/nr20100323.ht)

（添付資料4）

H. 知的財産権出願登録状況

アルプス電気株式会社より、以下の特許
出願（準備中を含む）がある。（アクチ
ュエータ材料・製法関連の1件は、産総

研との共同出願)

- ・点字デバイス構造関連 : 4件
- ・点字デバイス駆動方式関連 : 1件
- ・アクチュエータ駆動方式関連 : 2件
- ・アクチュエータ材料・製法関連 : 3件

障害者自立支援機器等研究開発プロジェクト 分担研究報告書

ナノカーボン高分子アクチュエータの開発
研究分担者 安積欣志、杉野卓司

研究要旨

本研究開発項目では、薄くて軽いフィルム状点字ディスプレイを開発するために、ナノカーボンとイオン液体電極およびイオン液体ゲル電解質からなるナノカーボン高分子アクチュエータを、点字ディスプレイ用に最適化する開発を行った。電極層において、電極材として単層カーボンナノチューブにポリアニリン微粒子を添加することで変形量、発生力が大きくなることを確認し、その電極を用いて、電極成分の最適化、および素子厚みの最適化をすすめ、点字ディスプレイとして必要なスペックを満足する素子を作製することに成功した。

A 研究開発目的

本プロジェクトでは、カーボンナノチューブ／イオン液体電極およびイオン液体ゲルからなるナノカーボン高分子アクチュエータを用い、携帯電話に搭載可能なフィルム状の点字デバイスのプロトタイプを作製し、その動作検証を視覚障害者であるユーザのデモで行う。本研究項目では、そのナノカーボン高分子アクチュエータの点字ディスプレイのための最適化開発を行うことを目的とする。

本開発の点字を表示するアクチュエータのサイズは、本開発でのフィルム状点字デバイスの仕様から、駆動部分が4 mm長 x 2 mm幅となる。また、点字表示における必要な最低の発生力は3 g重、変位量は0.3 mmといわれている。実際のアクチュエータ素子単体のポテンシャルとしては、変位量は0.3 mm必要であるが、発生力2 g重あれば、デバイス構造の工夫で発生力が3 g重となることが、本開発のデモ機1号機の実験でわかった（研究開発項目「点字デバイスプロトタイプの製

作」参照）。ナノカーボン高分子アクチュエータは、これらのスペックを満足するポテンシャルを有することがわかっている。一方、点字表示速度に関係するアクチュエータの変形速度は、アクチュエータの厚み、電極の成分等に依存し、また速度と力はトレードオフの関係にある。したがって、本開発では、何種類かの厚み、電極成分のアクチュエータを作製し、もっとも最適な速度と力を示すアクチュエータを探索することを目的とする。

B. 研究開発方法

本研究開発で用いたナノカーボン高分子アクチュエータの構成を図1に示す。ナノカーボン／イオン液体／ベースポリマーからなる電極と同じイオン液体、ベースポリマーからなるイオン液体ゲル電解質からなり、2層の電極で電解質層をサンドイッチにした構造を有している。電極間に電圧を加えるとイオン液体ゲルのイオンがそれぞれの反対の極の電極層内に移動し、それぞれのイオンの体積差か

ら、各々の電極層が伸縮し、その結果、3層の素子が屈曲変形するのが、このアクチュエータ素子の基本動作である(図2)。このアクチュエータ素子の特徴は、以下のとおりである。1. 空中環境下、低電圧(3V以下)で大きく変形すること。空中環境下で動作可能なのは、用いている電解質がイオン液体であり、室温で液体状態を呈し、しかもほとんど不揮発性で、比較的高いイオン伝導性を示すことによる。2. 変形力として、点字表示に必要な3g重(4mm長x2mm幅の先端)を出すポテンシャルのあること。3. 応答速度は、様々な条件によってことなるが、最高で100Hzまで可能であり、ポテンシャルとしては、点字表示として十分な応答速度をもっていること。4. 耐久性も同様に様々な条件によってことなるが、最適な条件では100万回以上の繰り返し耐久性実験のデータがあり、十分なポテンシャルがあること。5. 作製法についても点字ディスプレイをつくるための微細加工を行う上で、非常に簡便な方法を用いることができること。これは、必要な材料を溶媒に分散させた分散液を、テフロンなどの型に流し込み溶媒を蒸発させることによって、電極層、電解質層のフィルムを形成し、それぞれのフィルムを熱プレスで成形することでアクチュエータ素子を作製可能である(図3)。あるいは、各層を分散液から型に流し込み、順々に形成することによっても、作製可能である。このようにして作製したアクチュエータ素子を必要なサイズに切り込み、点字ディスプレイ用の電極に組込むだけで、点字ディスプレイを作製可能である。すなわち、作製コストがきわめて安価となる。

以上のような優れたポテンシャルを持

ったナノカーボンアクチュエータ素子について、本開発では、次のポイントに絞って点字ディスプレイ用アクチュエータとしての開発を進めた。

1. 従来のナノカーボン高分子アクチュエータの電極材料は、単層カーボンナノチューブを用いてきた。単層カーボンナノチューブはすぐれた電気化学特性、および機械特性を持つカーボン材料として、注目を浴びている(図4)。ただ、単層カーボンナノチューブのみとイオン液体、ベースポリマーからなる電極では、アクチュエータの伸縮率、発生力に限界があった。最近、後述するように、単層カーボンナノチューブにカーボンブラック、あるいは導電性ポリマー微粒子などを添加することで、アクチュエータの伸縮率、発生力の特性が向上することを見いだした。本開発では、この電極組成について、さらに最適化をすすめ、点字ディスプレイとして十分な特性を持ったアクチュエータ素子を開発することを目的とした。
2. 一般に本アクチュエータの様な、各層の伸縮により、素子が屈曲するアクチュエータをバイモルフ型のアクチュエータという。バイモルフ型のアクチュエータの場合、各層の伸縮率を α 、厚みを h とすると、素子の変位は、 α に比例、 h に反比例し、発生力は、 α に比例、 h の二乗に比例する。また、応答速度は変位の時間微分で与えられるため、 h の高次の項で反比例することになる。したがって、発生力と変位、応答速度は素子厚に対して、トレードオフの関係にある。従って、以上から、最適な発生力、変位を示すアク

チューエータ素子を見いだすためには、素子の厚み、特に電極層の厚みを調整する必要があることがわかる。

以上のポイントに絞って、本開発では、ナノカーボン高分子アクチュエータの組成と厚みの最適化を行った。試料の作製法と作製したアクチュエータ試料の評価法について以下に述べる。

試料作製法

1) 電極液の調製

50mgの単層カーボンナノチューブ

(HiPco™, Unidym社) (以下CNTと略す)、50mgのポリアニリン微粒子

(Aldrich社(20 wt% polyaniline on carbon black)) (poly-Anと略す) (または40mgのカーボンブラック (デンカブラック電気化学工業社製) (CBと略す))、80mgのベースポリマー、ポリフッ化ビニリデン (ヘキサフルオロプロピレン) 共重合体 (PVDF (HFP)) (Kynar2801, Arkema社)、イオン液体 (EMIBF₄, 120mg (=IL) として、IL, 2IL, 3IL, あるいはこれと同モル量のEMITFS, EMITFSI: 各イオン液体については図5を参照) を9mLの溶媒(ジメチルアセトアミド(DMAC)) に添加し、得られた溶液を室温で攪拌(全工程で4日間)、超音波(全工程で2日間)にて分散することにより、粘性のある電極液を得た。

2) キャスト (電極膜の作成)

上記で得られた電極液を2.5cmx2.5cmのテフロン型中にキャストし、溶媒を乾燥すると黒色のCNT、導電性添加物、イオン液体、ベースポリマーからなる自立した電極膜が得られた。膜厚は、キャスト量により調節した。

3) 電解質液の調製

100mgのイオン液体 ((例)EMIBF₄の場合) と100mgのPVDF(HFP)をメチルペンタノン (MP)とプロピレンカーボネート (PC)の混合溶媒に入れ、加熱、攪拌 (1日) することにより、無色透明な電解質液を得た。

4) キャスト(電解質膜の作成)

2.5cmx2.5cmのアルミ型中に電解質液をキャストし、溶媒を乾燥させることにより、膜厚10~20 μmで半透明な自立した電解質膜を得た。

5) アクチュエータ(三層)素子の作成

上記4) で得られる電解質膜を2) で得られる電極膜2枚で挟み、加熱(70℃) プレス(プレス圧=270MPa)することにより、三層構造のアクチュエータ素子を作成した。これを、所望の形状に切出し変位、発生力を測定した。

試料評価法

アクチュエータの変形量は変位を測定することで行った。アクチュエータ試料片を幅2mm、長さ10mmに切り取り、5mmを金電極で押さえ、電圧を印加した。4mmの位置にレーザーを当てて、レーザー変位計により変位を測定した。その際の電圧、電流も同時に測定した。

アクチュエータ素子の発生力も同様の装置で、レーザー変位計の代わりに、同じ位置に、ロードセルを当てることで、アクチュエータの屈曲の力を測定した。

C. 研究開発結果

1. 予備実験

本開発の予備実験としておこなった、単層カーボンナノチューブのみの電極材のものと、単層カーボンナノチューブにポリアニリン微粒子、カーボンブラックを添加したものについて比較した結果を

表1に示す。表から明らかな様に、ポリアニリン微粒子、カーボンブラックを加えた素子の方が、変形量が大きくなっているのがわかる。これは、アスペクト比の大きな単層カーボンナノチューブのみでは、電極層の密度を大きくすることが難しく、そのことが、電極層の導電率や電極のトータルキャパシタンスなどに影響して、変形量が十分に大きくなりえないことが考えられる。この電極に異質な形状を有する導電性の微粒子を添加することで、空隙を少なくし、電極の密度を大きくすることが可能となると考えられる。さらに、これまでの実験で、CNT/poly-An系、CNT/CB系のそれぞれの組成を変えた実験では、CNT/poly-An(50/50)が最も変形量が大きいことがわかっている。以上から、カーボンナノチューブにポリアニリンを添加した系について最適化を行った。

2. イオン液体の最適化

これまでの実験で、CNT/poly-An(50/50)の組成の電極についてイオン液体の量を変化させた場合の結果について、表1、表2にまとめる。今回の実験の範囲では、表に示す様に、イオン液体2ILの場合が最も特性がよいことがわかった。すなわち、イオン液体の増加とともに電極中でのイオン移動がスムーズになりキャパシタンスなどの電気化学特性が向上するが、ヤング率で表される機械特性は低下し、双方がトレードオフの関係となると考えられる。

3. 厚みの最適化

C-2で最適化した、CNT/poly-An(50/50)、2ILの素子について、キャスト量を変えることで電極層の厚みを変化させ、作製し

たアクチュエータ素子の発生力と変位特性の評価を行った結果を図6と表3に示す。図から、0.1Hz、0.3Hzの方形波電圧に対する結果では、予想通り素子厚が大きくなるに従って、変位が減少して力は増加する。この素子の条件で点字のスペックである変位0.3mm以上を確保するには、厚みが0.3mm以下である必要があることがわかった。また、より低速な条件(0.01Hz)でよければ、表3からわかる様に、より厚い0.45mmの素子厚で、変位0.68mmで発生力21mNが確保され、さらに厚い素子を持ちいけばより大きな発生力で変位0.3mmを確保できる素子作製が可能であることが示唆された。

4. カーボンブラックを添加した系

C-1で述べた様にカーボンブラックを添加しても性能向上が見られる。カーボンブラックはコスト的にはより安価である。表4にカーボンブラックを添加した系の最適化した結果を示した。この表からわかる様に、発生力はポリアニリン微粒子を添加した系に少し劣る程度の値が出たが、変位は非常に小さかった。またイオン液体量を調整したところ、変位量、発生力とも非常に小さくなってしまった。詳細な原因は今のところ不明だが、単層ナノチューブ、ベースポリマー、イオン液体との分散性、相溶性の違いによる、イオン移動性の違い、あるいは機械特性の違い、また両者のバランスの違いなどが原因となっていると考えられる。

5. イオン液体種の変更

これまでの研究ではイオン液体にEMIBF₄を用いている。EMIBF₄は図5に示す様に、導電率が比較的高く、応答性の優れ

たアクチュエータ素子を作製することが可能であるが、問題的として、親水性のイオンであるため、長期的には、大気中の水分を吸収し、分解するということがある。そこで図5に示す、より疎水性で比較的導電性のいいイオン液体を2種類選び、同様の最適化を試みた。その結果を表5、6に示す。いずれにイオンも電極フィルムが柔らかくなってしまい、発生力が低下した。今後、さらにEMIBF₄と類似の構造をもった疎水性のイオン液体の調査、あるいは、EMIBF₄を用いた水分遮断法の検討などを進める必要がある。

6 作製法の検討

本開発のアクチュエータ作製法としては、電極層の作製、電解質層の作製、及びアクチュエータフィルムの作製という3段階のプロセスがあるが、特に重要なのは、電極層の作製における電極液作製プロセスである。このプロセスでナノカーบอนを十分に分散させ、イオン液体とベースポリマーを相溶させる必要がある。本開発では、標準的なプロセスとして、超音波洗浄機による超音波照射を2日間、スターラーでの攪拌を4日間行った。さらに、検討を進めるために、超音波強度が強い超音波照射装置を使ったプロセス、および、分散液同士を高圧で衝突させることによって分散させるジェットミル装置を用いた分散プロセスを検討した。ジェットミルについては、本予算でナノカーボン用に改良を施こした装置を用いた。その結果、ある程度の性能の改良が見られた。また、これらの装置を用いることで、大幅な試料作製時間の短縮がはかられことがわかった。今後、さらに条件の最適化をはかることで、性能の更なる向

上が期待できると考える。

7. 試料提供および試料作製法の技術移転

産総研では、アクチュエータ試料作製法について、東京大学へ技術移転を行った。また、アルプス電気株式会社と個別に議論すすめ、アクチュエータ開発の技術移転を行った。さらに、アルプス電気株式会社における点字デバイスデモ機作製において、点字表示用アクチュエータの一部の作製を行った。

D. 考察

以上述べた様に、電極層において単層カーボンナノチューブにポリアニリン微粒子、あるいはカーボンプラックを添加し、イオン液体種、および、ベースポリマーとの組成の最適化、および、フィルム厚の最適化を行うことで、点字ディスプレイとしての変位、および、発生力がある程度、満足する素子を作製できることがわかった。応答速度については、現在の特性では、十分な性能を得ることができていない。この点については、他の研究開発項目で述べられる様に、有機トランジスタドライバシートの改良、あるいは、点字ディスプレイの機構系の改良で改善できる可能性が十分考えられるが、アクチュエータの性能をさらに改良する為いくつかの点について考察する。

「B. 研究開発方法」で述べた様に、発生力と変位、応答速度はトレードオフの関係にある、これは、一つは弾性体論的な関係によるもの、もう一つは電極層内、電解質層内におけるイオン移動速度による関係である。前者を根本的に解決するためには、素子の伸縮性能を大きくする

のが最も有効な方法である。今回の導電性微粒子添加による最適化によって、従来のCNT単独の電極層の伸縮率1%程度に比較して、2%以上の伸縮率を得ることができる様になった。今後、さらに、様々な微粒子について、分散法を検討することで、伸縮率を大きくすることは可能であると考えられる。後者のイオン移動速度については、現在、市販されているイオン液体はかなり優れたものであり、これらのイオン液体をもちいることを前提とすると、イオン移動速度を上げるためには、電極、電解質などのマトリックスに構造的な変更をいれることにより、イオン移動を向上させる開発を進める必要がある。今後、本点字ディスプレイの具体的な用途、および先述のデバイス構造の改良計画等とも絡めて、アクチュエータ素子にどのような性能が要求されるかも考慮しながら、開発を進めていく必要がある。

E. 結論

本研究開発項目では、薄くて軽いフィルム状点字ディスプレイを開発するために、ナノカーボンとイオン液体電極およびイオン液体ゲル電解質からなるナノカ

ーボン高分子アクチュエータを、点字ディスプレイ用に最適化する開発を行った。電極層において、電極材として単層カーボンナノチューブにポリアニリン微粒子を添加することで変形量、発生力が大きくなることを確認し、その電極を用いて、電極成分の最適化、および素子厚みの最適化をすすめ、点字ディスプレイとして必要なスペックを満足する素子を作製することに成功した。また、その素子を用いて、アルプス電気株式会社で作製を行った点字デバイスデモ機表示用アクチュエータの一部を作製した。今後、本プロジェクトの成果をもとに点字デバイスの実用化へ向けた開発の中で、要求される性能を考えてアクチュエータ素子の改良を進めていきたい。

G. 研究発表

現在のところ、予定はない。

H. 知的財産権の出願・登録状況

アルプス電気株式会社との共同出願で1件、アクチュエータ材料・製法関連に関する特許出願の準備中。

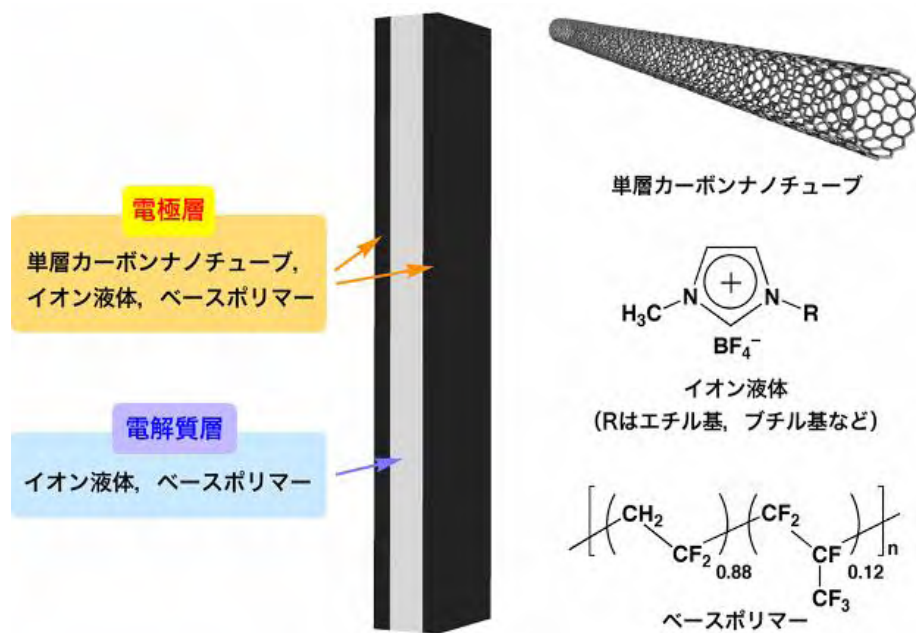


図1 ナノカーボン高分子アクチュエータの構成模式図

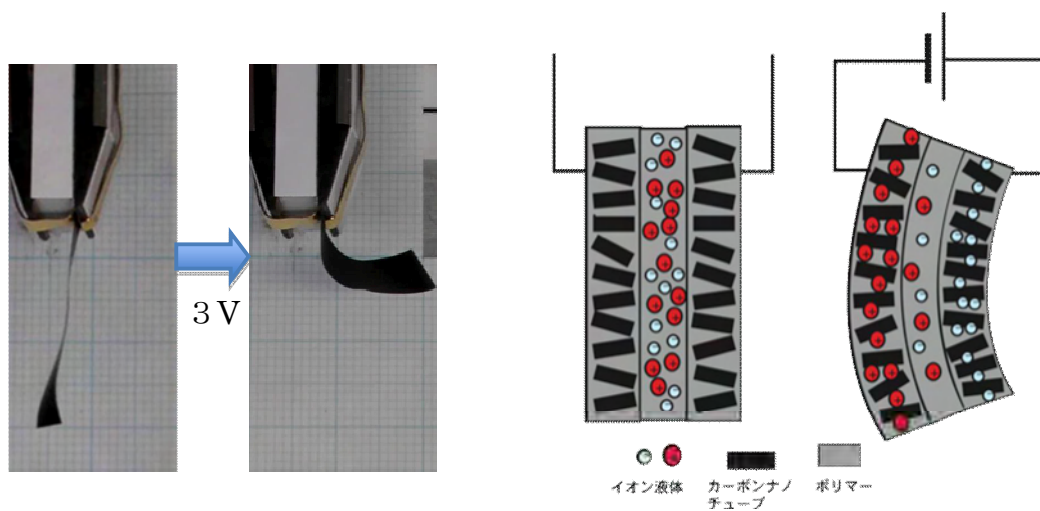


図2 ナノカーボン高分子アクチュエータの基本動作 (左). 電圧を加えた際に、イオンがそれぞれの電極層に移動して、電極層が伸縮することにより屈曲応答する高分子アクチュエータ応答モデル模式図 (右)

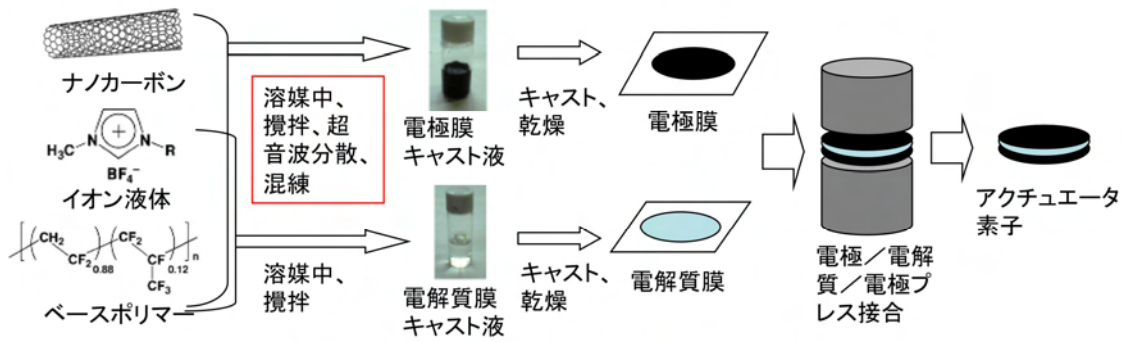


図3 ナノカーボン高分子アクチュエータの作製法模式図

カーボンナノチューブ(CNT)	
単層CNT 直径 1~3nm	
多層CNT 直径 5~50nm	
<u>優れた電気化学的性質</u>	<u>優れた機械的性質</u>
高導電率: $10^2 \sim 10^3 \text{ Scm}^{-1}$	ヤング率: 1TPa
大きな電気化学比表面積 $500 \sim 1000 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$	破断強度: 50GPa
	比重: 1.33gcm ⁻³

図4 カーボンナノチューブ (CNT) の特徴説明図

1-エチル-3-メチルイ ミダゾリウム(EMI) テト ラフルオロボレート (BF ₄)	EMI トリフルオロ スルホン酸(TFS)	EMI トリフルオス ルフオニルイミド (TFSI)
導電率: 13.6mS/cm	導電率: 9.29mS/cm	導電率: 9.29mS/cm
粘度: 31.8cP@25°C	粘度: 42.7cP@25°C	粘度: 42.7cP@25°C
融点: 14.6°C	融点: -10°C	融点: -10°C

図5 用いたイオン液体の分子構造と代表的特性