

## 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<br/>t/news/20100311mog00m0400130)

[00c.html](http://mainichi.jp/universalon/repor<br/>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/<br/>news/20100312mog00m07002600)

[0c.html](http://mainichi.jp/universalon/talk/<br/>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<br/>search/nr20100323/nr20100323.ht)

[ml](http://www.aist.go.jp/aist_j/new_re<br/>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 $\alpha$ 、厚みを $h$ とすると、素子の変位は、 $\alpha$ に比例、 $h$ に反比例し、発生力は、 $\alpha$ 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 (EMIBF<sub>4</sub>, 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)EMIBF<sub>4</sub>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ら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EMIBF<sub>4</sub>を用いている。EMIBF<sub>4</sub>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EMIBF<sub>4</sub>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、EMIBF<sub>4</sub>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。

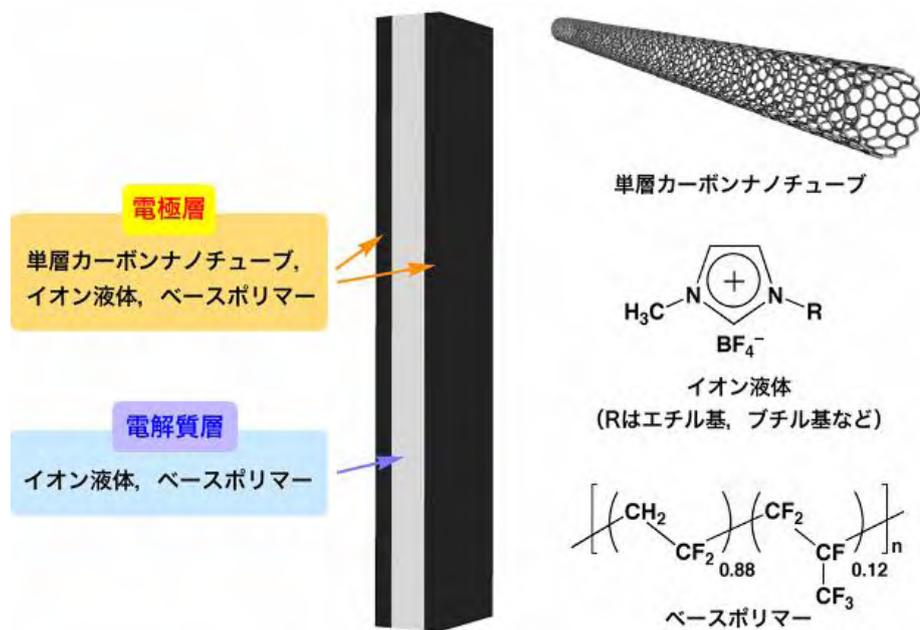


図1 ナノカーボン高分子アクチュエータの構成模式図

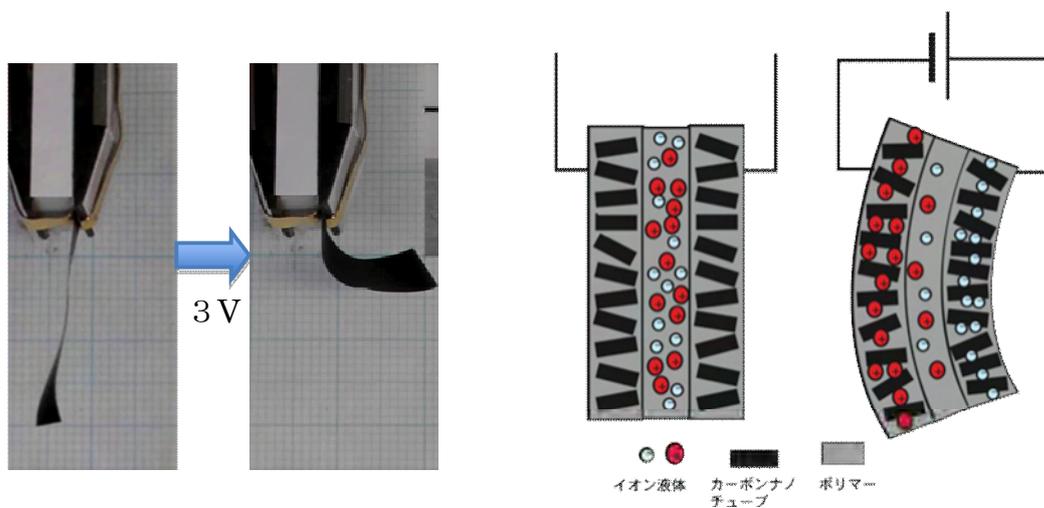


図2 ナノカーボン高分子アクチュエータの基本動作 (左). 電圧を加えた際に、イオンがそれぞれの電極層に移動して、電極層が伸縮することにより屈曲応答する高分子アクチュエータ応答モデル模式図 (右)

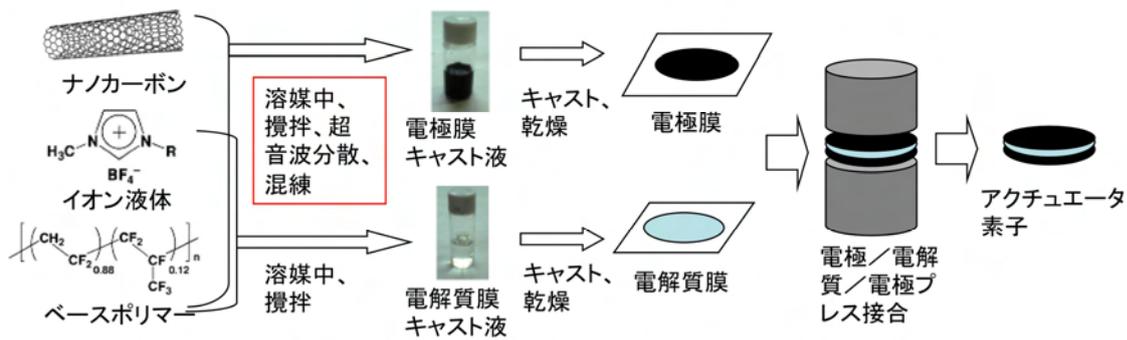


図3 ナノカーボン高分子アクチュエータの作製法模式図

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
優れた電気化学的性質	優れた機械的性質
高導電率: $10^2 \sim 10^3 \text{ Scm}^{-1}$	ヤング率: 1TPa 破断強度: 50GPa
大きな電気化学比表面積 $500 \sim 1000 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$	比重: $1.33 \text{ gcm}^{-3}$

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 ( $\text{BF}_4$ )	EMI トリフルオロスルホン酸(TFS)	EMI トリフルオスルフォニルイミド(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

表 1 ナノカーボン高分子アクチュエータにおける、電極層成分の単層カーボンナノチューブのみの場合、およびポリアニリン微粒子、カーボンブラックを添加した場合の変位と電極伸縮率

素子	イオン 液体量	膜厚(mm) <三層>	電圧(V) <矩形波>	周波数(Hz)	変位(mm) 1mmW×5mmL	伸縮率(%)
CNT(50) (ヤング率:280MPa)	IL	106	2.0	0.1	0.59	0.49
				1.0	0.26	0.22
CNT/poly-An(50/50) (ヤング率:440MPa)	IL	162	2.0	0.1	0.56	0.72
				1.0	0.12	0.15
CNT/CB(50/40) (ヤング率:410MPa)	IL	137	2.0	0.1	1.0	1.1
				1.0	0.30	0.33
CNT/poly-An(50/50) (ヤング率:220MPa)	2IL	225	2.0	0.1	0.75	1.3
				1.0	0.45	0.5

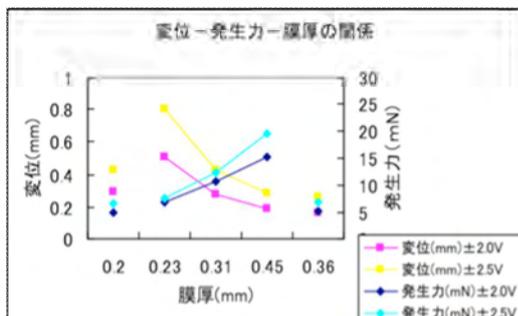
これら4素子の中で最大の伸縮率を示した。

表 2 CNT/poly-An(50/50)素子において、イオン液体量を変化させた場合の発生力と変位

素子	イオン 液体量	膜厚(mm) <三層>	電圧(V) <矩形波>	周波数(Hz)	発生力(mN) 2mmW×4mmL	変位(mm) 2mmW×4mmL
CNT/poly-An(50/50) (ヤング率:220MPa)	2IL EMIBF <sub>4</sub>	204	2.0	0.3	2.6	0.14
				0.1	4.9	0.29
				2.5	3.4	0.20
				0.1	6.7	0.43
CNT/poly-An(50/50) (ヤング率:99MPa)	3IL EMIBF <sub>4</sub>	356	2.0	0.3	3.7	0.091
				0.1	5.2	0.17
				2.5	5.7	0.15
				0.1	6.9	0.26

イオン液体量を 2IL から 3IL にすると、素子厚が増して、発生力はほぼ同じだが、力が減少する。

±2.0V or ±2.5V@0.1Hz



±2.0V or ±2.5V@0.3Hz

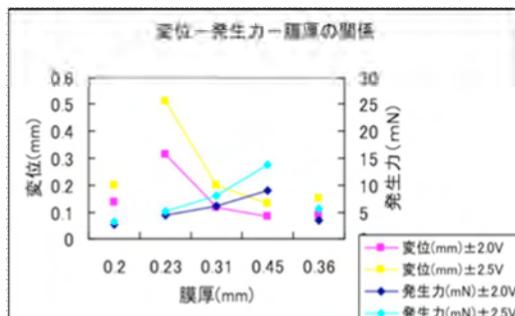


図6 CNT/poly-An(50/50),2IL 素子の変位、発生力特性の素子厚依存性

表3 CNT/poly-An(50/50),2IL 素子の素子厚を変化させた時の変位、発生力

素子	イオン 液体量	膜厚(mm) <三層>	電圧(V) <矩形波>	周波数(Hz)	発生力(mN) 2mmW×4mmL	
CNT/poly-An(50/50) (ヤング率:220MPa)	2IL EMIBF <sub>4</sub>	204	2.0	0.3	2.6	0.14
				0.1	4.9	0.29
				2.5	3.4	0.20
				0.1	6.7	0.43
CNT/poly-An(50/50) (ヤング率:***MPa)	2IL EMIBF <sub>4</sub>	232	2.0	0.3	4.6	0.31
				0.1	6.9	0.51
				2.5	5.4	0.51
				0.1	7.7	0.80
CNT/poly-An(50/50) (ヤング率:210MPa)	2IL EMIBF <sub>4</sub>	308	2.0	0.3	6.3	0.12
				0.1	11	0.28
				2.5	8.0	0.20
				0.1	12	0.43
CNT/poly-An(50/50) (ヤング率:180MPa)	2IL EMIBF <sub>4</sub>	454	2.0	0.3	9.1	0.088
				0.1	15	0.19
				0.01	19	0.51
				2.5	14	0.13
				0.1	20	0.28
				0.01	21	0.68

表4 CNT/CB(50/40)の電極組成において、素子厚とイオン液体量を変化させたときの発生力と変位

素子	改良点	膜厚(mm) <三層>	電圧(V) <矩形波>	周波数(Hz)	発生力(mN)		変位(mm)	
					<実験値> 2mmW×4mmL		<実験値> 2mmW×4mmL	
CNT/CB(50/40) (ヤング率:410MPa)	IL EMIBF <sub>4</sub>	145	2.0	0.3	2.0	0.28		
				0.1	2.1	0.40		
			2.5	0.3	2.3	0.50		
				0.1	—	0.73		
CNT/CB(50/40) (ヤング率:300MPa)	IL EMIBF <sub>4</sub>	290	2.0	0.3	5.2	0.021		
				0.1	7.9	0.099		
			2.5	0.3	7.1	0.11		
				0.1	10	0.20		
CNT/CB(50/40) (ヤング率:47MPa)	3IL EMIBF <sub>4</sub>	323	2.0	0.3	1.2	0.088		
				0.1	1.3	0.13		
			2.5	0.3	1.5	0.16		
				0.1	2.1	0.20		

表5 CNT/poly-An(50/50)素子において、イオン液体を EMITFS に変化させた場合の結果

素子	改良点	膜厚(mm) <三層>	電圧(V) 周波数(Hz)		発生力(mN) 変位(mm)		
			<矩形波>		<実験値> 2mmW×4mmL		
CNT/poly-An(50/50) (ヤング率:162MPa) (導電率:9.5S/cm)	IL EMITFS	219	2.0	0.3	4.2	0.27	
					0.1	6.6	0.58
			2.5	0.3	4.9	0.39	
				0.1	7.5	0.75	
CNT/poly-An(50/50) (ヤング率:161MPa) (導電率:5.7S/cm)	2IL EMITFS	215	2.0	0.3	1.8	0.32	
					0.1	2.2	0.49
			2.5	0.3	2.2	0.51	
				0.1	2.8	0.81	
CNT/poly-An(50/50) (ヤング率:121MPa) (導電率:4.0S/cm)	2IL EMITFS	415	2.0	0.3	3.8	0.11	
					0.1	6.0	0.23
			2.5	0.3	4.8	0.16	
				0.1	7.4	0.32	

表6 CNT/poly-An(50/50)素子において、イオン液体を EMITFSI に変化させた場合と EMIBF<sub>4</sub>との比較

素子	改良点	膜厚(mm) <三層>	電圧(V) 周波数(Hz)		発生力(mN) 変位(mm)		
			<矩形波>		<実験値> 2mmW×4mmL		
CNT/poly-An(50/50) (比較例)	2IL EMIBF <sub>4</sub>	454	2.0	0.3	9.1	0.088	
					0.1	15	0.19
			2.5	0.3	14	0.13	
				0.1	20	0.28	
CNT/poly-An(50/50)	IL EMITFSI	450	2.0	0.3	1.9	0.019	
					0.1	2.6	0.03
			2.5	0.3	5.6	0.042	
				0.1	7.1	0.0485	

# 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

点字デバイスプロトタイプ製作  
(高分子アクチュエータの点字デバイスへの応用に関する研究)  
研究分担者 アルプス電気(株) 阿部 宗光、高橋 功

## 研究要旨

当社(アルプス電気(株))は、産業技術総合研究所 安積先生、杉野先生、東京大学 染谷先生、関谷先生、慶應義塾大学 中野先生、新井先生らと共に、高分子アクチュエータを使った薄型点字デバイスの開発を行った。当社は、点字デバイスプロトタイプ製作を担当し、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ー評価実験で、一般の点字よりは触読効率は低いが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み、実用化検討を進めていきたい。

## A. 研究開発目的

携帯電話にも装着可能な、薄くて軽量の点字ディスプレイを一般化させることで視覚障害者の日常生活の不便性緩和の一助とする為に、産業技術総合研究所(以下、産総研)と当社で共同研究中の薄くて軽い高分子アクチュエータを活用した点字デバイス試作機の開発、及び視覚障害による試作機のデモ評価を通じ、具体的な製品実用化に向けた技術開発を行うことを目的とする。

## B. 研究開発方法

### 1. 開発目標仕様の設定

申請段階時、開発する点字デバイスについて、産総研 安積先生と当社とで大凡の構想をまとめた。プロジェクトの正式発足に伴い、その構想をベースに、点字デバイスに深識のある慶應義塾大学(以下、慶應大学) 中野先生/新井先生、点

字デバイスの開発経験のある東京大学 染谷先生/関谷先生(いずれも、当プロジェクトメンバー)を交えて協議し、開発する点字デバイスの目標仕様の設定および課題の整理を行った。

### 2. 点字デバイスの構造開発

設定した点字デバイスの目標や考察した課題、および現状の高分子アクチュエータの実力値を基に、点字デバイスの構造を検討・立案した。ここで、アクチュエータ支持、通電、配線方法などの重要な周辺技術の検討を実施した。

### 3. ドライブ・コントローラの開発

アクチュエータを駆動するドライブ回路、それを制御するコントローラなどを含めた点字デバイスのシステム開発は、個々に予備実験を行いながら検討を進めた。点字翻訳については、慶應大学の監

修を受けながらプログラム開発を行った。

#### 4. 点字デバイス試作評価と改善

試作した点字デバイスについて、特性目標に対する評価や、課題の抽出および改善策の立案を行った。評価方法として、アクチュエータ特性は、レーザー変位計を使って変位量や応答性を評価し、フォースゲージを使用して発生荷重を評価した。点字デバイス特性の評価も、ほぼ同様の方法を用いたが、点字ドットの発生荷重は、アクチュエータ発生荷重の評価方法(ゼロ変位の状態で発生荷重を測定)では構造的に困難であったため、点字ドットを突出させた状態から、ゼロ変位まで押し下げる力を発生荷重とし評価する方法(図1)をとった。



図1 点字デバイス発生荷重測定

試作した点字デバイスは、プロジェクトメンバで評価後、慶應大学 中野先生や新井先生によって、視覚障害者によるユーザー評価を実施した。それら評価で得られた結果或いは問題点を考察し、次の点字デバイス試作機(試作2号機)の開発を行った。

#### 5. 点字デバイス用アクチュエータ開発

点字デバイス性能の良し悪しの決め手となるのが高分子アクチュエータ特性であるため、点字デバイスの機構や駆動制御などの開発と平行し、産総研と連携し点字デバイス用のアクチュエータ開発を行った。その開発は、産総研と当社とで

研究開発施策を分担しそれぞれの成果(技術情報)の交換や、それぞれが検証した有効施策を組合せる形で進めた。

#### 6. 倫理面の配慮

当社担当の点字デバイスの研究開発そのものについては、研究対象者と直接的な関わりはなく倫理面の配慮は対象外と判断される。対象となるのは、試作したデモ機を使っての視覚障害者デモ評価の立会い時となる。これについては、視覚障害者へのユーザー評価実験およびニーズとシーズのマッチング調査を担当する慶應大学 中野先生、新井先生に一任し、その管理・指揮の下、評価実験が実施されているため、十分な倫理面の配慮がなされたものと判断している。

#### C. 研究開発結果

最初に、点字デバイス開発に使用する高分子アクチュエータについて、簡単に説明する。

この高分子アクチュエータは、一般に、カーボンナノチューブ高分子アクチュエータ、或いはイオン導電ゲル型高分子アクチュエータなどと呼ばれる。本方式は、産総研 安積先生、相田空間プロジェクト 福島先生(現 理化学研究所)らが発明・開発したものである。この高分子アクチュエータは、図2.0や図2.2に示す様に、イオン液体と高分子樹脂から成る電解質膜の両側をカーボンナノチューブなどのナノカーボン材料とイオン液体と高分子樹脂から成る電極膜で挟んだ構造である。この電極膜の両端に数V程度の電圧を印加し内部のイオンを移動させることで、負極側の電極膜が正極側の電極膜より伸張し、図2.1のように湾曲に変位する。軽薄ながら変位量や発生力が大きく、低

消費電力であるなどの特徴が魅力の次世代アクチュエータである。

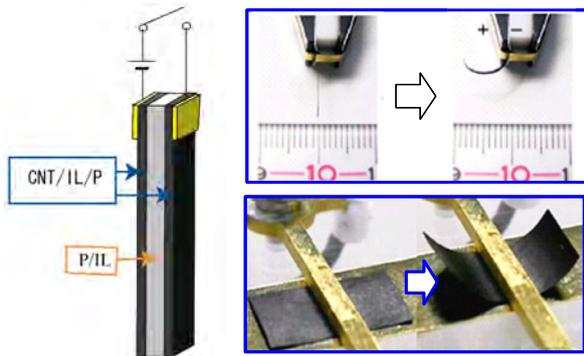


図 2.0 外観 図 2.1 アクチュエータの変位動作

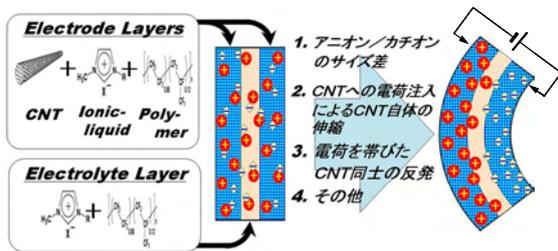


図 2.2 アクチュエータの構造と動作原理

### 1. 開発目標仕様の設定

開発する点字デバイスの目標仕様や機能は、産総研、東京大学、慶應大学、アルプス電気から成るプロジェクトメンバーが集まり協議し決定した。

#### 1.1 点字ドットの仕様

視覚障害者が識字可能な点字ドットの高さとし発生荷重とされる次の仕様を目標とした。

- ・高さ：0.3mm以上
- ・発生荷重：3gf以上

また、点字の突出部の形状が識字率に影響を与える（慶應大）との指摘から、当初想定していた半球状の形状から、識字率が良いとされる図3の形状（慶應大提案）にできるだけ近いものとする事とした。その他、識字率に影響を与えるものとして、

- ・点字ドット高さと、そのばらつき
- ・点字ドット発生荷重と、そのばらつき

- ・点字デバイス表面の材質（識字の際、指が摺動する部分）

などが慶應大 中野先生、東京大学 染谷先生より挙げられ、高分子アクチュエータの特性向上と共に、開発課題とした。

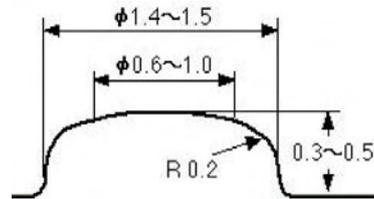


図 3 理想とした点字ドット形状（側面図）

### 1.2 点字サイズ

当初、国内標準的な以下の点字サイズを点字デバイス開発仕様として定めた。

- (1-4) 点間 : 2.13mm
- (1-2) 点間 : 2.37mm
- (4-1) マス間 : 3.27mm
- (3-1) 行間 : 9.17mm

しかし、後のデバイス構造検討で、その困難さが明らかとなった為、1回目の試作については次の仕様に改めた（詳細後述）。

- (1-4) 点間 : 3.0mm
- (1-2) 点間 : 3.0mm
- (4-1) マス間 : 4.5mm
- (3-1) 行間 : 14mm

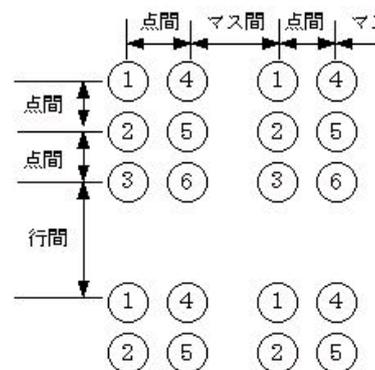


図 4. 点字（点間、マス間、行間）

### 1.3 点字デバイス システム構成・機能

開発の進め方については、最初に、1列のみの“6文字/36ドット”の点字デバイス1号機、その評価結果（課題抽出）を活かした“24文字（6文字×4列）/144ドット”の点字デバイス2号機と、2回に分けて開発し、試作を行うこととした。

点字デバイス 試作1号機は、できるだけ点字部分を薄型化するべく、次の図のように、点字デバイス部分とドライブ・コントロール部分とハーネスで接続する形で分離することとした。

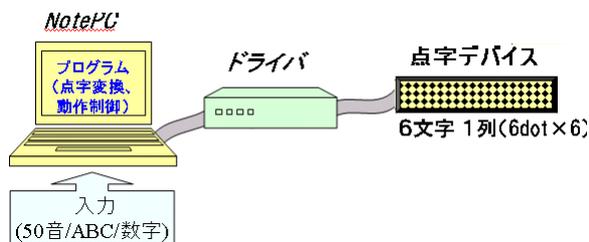


図5 1号機システム構成

このシステムの機能は、ノートパソコンで入力した文字が点字翻訳され、ドライブ回路を介して点字デバイスを駆動し、点字表記するものとした。

試作2号機のシステム構成・機能については、“24文字/144ドット（1列6文字×4列）”についてのみ定め、試作1号機の評価後、改めて検討し判断することとした。

## 2. 点字デバイスの構造検討（開発）

当初、開発するデバイスの構造は、当プロジェクトのメンバーである東京大学染谷先生らが以前に開発されたカード型点字ディスプレイ（2004 発表）をベースに考えていた。

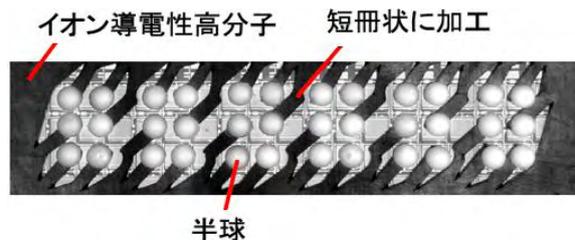


図6. 東京大学の点字ディスプレイ構造

この構造は、1枚のアクチュエータ素子からそれぞれの点字ドット昇降用にアクチュエータ素子を外枠を残した形で一筆書きのように巧みに切り出すもので、その先端には半球状の点字ドットが貼り付けられている。これら個々に機能化した複数のアクチュエータ素子への通電は、一方の電極を共通とし、もう一方の電極は分断し配線することで、個々のアクチュエータを独立して動かすことができるなど、非常に薄型にしやすい大変魅力的な構造である。

そこで、この構造をベースに当プロジェクトでの点字デバイスを検討した。しかし、現状のアクチュエータ特性のばらつき実力では、1枚のアクチュエータ素子から、形状の異なる複数の素子を特性の揃った形で切り出すことは非常に困難であること、点字ドットを素子に貼り付ける形では、複数の視覚障害者による識字評価に耐えられないと予想されることなどから、この構造での開発を断念し、他の構造で立案し開発を行った。

### 2.1 点字ドット昇降構造

デバイスの薄型化の為には、高分子アクチュエータの湾曲変位を点字ドットの昇降に直接利用する図7.0の構造が必要となる。その上で、前述のアクチュエータ特性のばらつきやデバイスの耐久性などを勘案した結果、アクチュエータ素子は同じ形状で各々の点字ドットごとに個

別に設け、点字ドットはアクチュエータと摺動しながら昇降する構造とした。

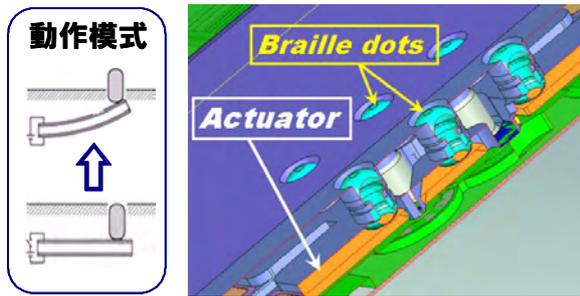


図 7.0 動作模式 図 7.1 点字デバイス断面構造図

## 2.2 アクチュエータ配置と形状

薄型の点字デバイス実現の為、点字ドットを湾曲変位動作で昇降する高分子アクチュエータは、重ならず平面に配置する必要がある。そして、目標とする点字ドットの高さや発生荷重を得やすくする為には、高分子アクチュエータのサイズは、できるだけ大きくする必要がある。また、それぞれの点字ドットの高さや発生荷重は均等であることが求められるため、点字ドットを昇降するそれぞれのアクチュエータの形状は全て同一にし、特性をできるだけ均等に合わせる必要がある。それら制約に、目標点字サイズ（点間：2.13mm/2.37mm、マス間：3.27mm）の制約を加え、アクチュエータの配置とサイズ（形状）の最適化を行なった。その結果、図 8.0 に示すような、全てのアクチュエータの一方の先端を切り欠いた上で、点字ドットの中央部（2の点、5の点）のアクチュエータが40～50度程度で斜めに配置することが最適解であることを見出した。

しかし、この最適解のアクチュエータ寸法は、長さ：3.8mm、幅：2mm（図 8.1）であり、ここからアクチュエータの支持固定部を引き、そして、アクチュエータ素子や他の部品の寸法公差、および、組

み立て性などを考慮して、アクチュエータの実際の動作長を導出すると、長さ：2.1～2.5mm、幅：1.7～1.8mm と非常に小さなものになり、点字ドットを昇降させることは大変困難であると判断された。

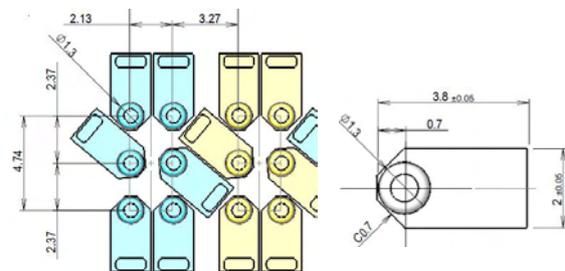


図 8.0 アクチュエータ配置-1 図 8.1 形状-1

それは、現状のアクチュエータ特性実力と、本プロジェクトで点字デバイス用に特性向上させる上積み部分を考察すると、点字ドット昇降用に必要なアクチュエータの動作長は、少なくとも、長さ：3mm、幅 2mmが必要と判断されるからである。

そこで、その解決策として、アクチュエータを平面配置から厚み方向に立体配置化する手段と、点字サイズを大きくする手段の両方を検討することとした。結論として、前者の立体配置する手段は、デバイス構造が複雑となり、その安定化の為にデバイス厚みが倍になってしまうことから不适当と判断し、後者の点字サイズを大きくする手段をとることとした。点字サイズの見直し（大きくする）は、まず、実際に市販されている点字デバイスを調査することで行なった。その結果、実際市販されている製品の中から、点間：3mmの点字サイズが試作する点字デバイス用には好適であると判断された。そこで、この点間：3mmの点字サイズへの変更について慶應大学 中野先生に見解を伺ったところ、「国内では一般的とは言えないが、“ジャイアント”と呼ばれ海

外では普及しているサイズ」であると云うことであったため、この点間サイズに仕様を改め、アクチュエータの配置や形状を再検討することにした。もう1つ重要なマス間については、国内外の製品や資料を調べると、点間：3mmの場合、4～6mmで設定されていることが判った。このとき、携帯電話へ6文字×4列での搭載を考えると、携帯電話のサイズ形状やデバイス構造や配線のスペースを考慮（試作機の構造の場合）すると、点間：3mmの場合、マス間は4.5mmより大きくすることは困難と判断し、最終的に点字サイズの仕様は、

点間：3mm、マス間：4.5mmに決定した。

再検討後のアクチュエータ配置と形状を図8.2、図8.3に示す。

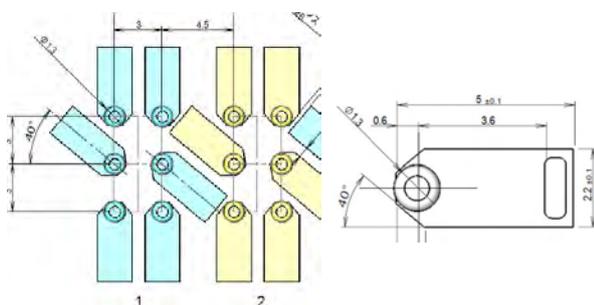


図8.3 アクチュエータ配置-2 図8.4 形状-2

アクチュエータ寸法は、長さ：5mm、幅：2.2mmであり、実際の動作長も長さ：3.5～4mm程度、幅2.0～2.2mm程度となり、点字ドット昇降用に必要な形状を得ることができた。

図8.5に実際のアクチュエータ写真を示す。

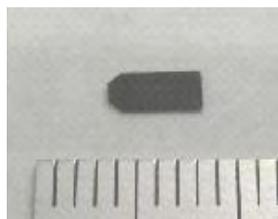


図8.5 点字デバイス用アクチュエータ

## 2.3 アクチュエータの支持と配線

アクチュエータ素子をアクチュエータとして機能させる為には、アクチュエータ素子に駆動用の配線と、カンチレバー構造とする為の支持(固定)が必要となる。特に点字デバイスの場合、点字1文字で6つのアクチュエータが必要であり、6文字ならば72ライン、24文字であれば288ラインと、非常に多い配線が必要であり、工夫が必要である。アクチュエータの支持についても、サイズが小さい中で動作長を得るために支持はできるだけ小面積で行なう必要がある。また、その少ない支持面積で識字に耐える保持力を得ることが求められるため、ここにも工夫が必要となる。

諸案検討の結果、試作機は実験で何度もアクチュエータを交換する必要があることから、組立性および交換作業性を優先させ、次に示す構造とした。

### ◇アクチュエータへの配線

平面配置されたアクチュエータの上側の電極群と下側の電極群ごとに、対のFPCにて(図9.0)配線する構造とした。



図9.0 アクチュエータ配線用FPC

当初、対のFPCではなく、1枚のFPCで配線を行なう構造も検討したが、構造がシンプルで作業性や特性安定性に優れる上記の構造とした。

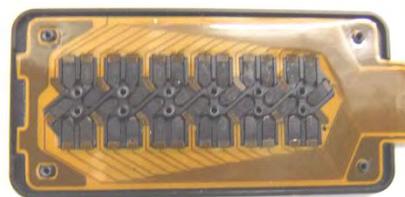


図9.1 FPCによって配線されたアクチュエータ

### ◇アクチュエータの支持

アクチュエータの支持固定は、アクチュエータ端部を上記の配線用FPCと共に両側から点字デバイスの筐体で挟んで行なう構造とした。アクチュエータを押さえ支持する部分は、筐体と一体化した弾性構造をとることで、複数のアクチュエータに所定の圧力が均一にかかり、安定した支持および通電状態が得られるよう工夫した。

### ◇アクチュエータとFPCの接点

FPCの端子部は内部の導体である銅箔が露出したものか、そこにハンダや金などがメッキされたものが一般的である。しかし、アクチュエータ電極膜との安定通電を考えた際、化学的に酸化がないなどの耐腐食性や、接触抵抗が低く、できるだけ面で受け導電性が安定していることが必要である。各種材料を検討した結果、耐腐食性があり適度な弾性を有するカーボン樹脂材料が好適であった為、FPC端子部(アクチュエータとの接点部)はカーボン樹脂材料を塗布する構造とし、安定通電に効果が得られている。

## 3. ドライブ・コントローラの開発

### 3.1 ドライブ回路

現行の高分子アクチュエータは基本構造の場合、 $\pm 2.5\text{V}$ 程度以下で駆動する。点字デバイスの場合、機能的には一方向への変位、つまり印加電圧のON/OFFだけでよい。しかし、一方向に偏って変位を繰り返したり、長時間変位させ続けたりすると材料に歪みが生じ、OFFにしても元に戻りにくくなるなどの問題が生じやすい。また、通電OFFにて湾曲した変位を元に戻す場合、残留電荷状況などによって戻り時間が長くなる場合がある。そこで、点字ドットが凸(突起)状

態から、凹(突起してない)状態に移行する際、或いは凹状態の際に一定時間、凸状態とは逆電位の電圧を印加することが有効である。従って、アクチュエータ素子の駆動には、 $+2\text{V}/-2\text{V}$ など、正負の2系統の電源を用意する必要がある。そこで、アクチュエータの駆動は、一般的なHブリッジで行うこととした。Hブリッジは片電源で両電源が容易に得られる反面、コモンがとれず配線数の増大となること、 $V_{ce(sat)}$ が電流の変化に伴い変化(アクチュエータ印加電圧の変動)するなどの問題があることから、半導体リレーでのSW駆動なども検討した。諸案検討の結果、試作1号機は、36素子/72本の配線で済むこと、 $V_{ce(sat)}$ の変動は、ドライブ最終段のMOS化で対応可能であることなどから、Hブリッジ方式のドライブ回路を開発することとした。開発したドライバは、点字デバイス(試作1号機)と36ピンのFC 2本で接続され、ドライバのコントローラとなるPCとはUSBで接続される。アクチュエータの駆動電圧は、 $\pm 2\text{V}$ 、 $\pm 2.5\text{V}$ の固定電圧出力と、 $\pm 2.5\sim\pm 3.5\text{V}$ の可変電圧出力とした。

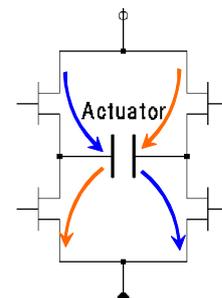


図 10.1 Hブリッジドライバ



図 10.2 試作1号機用ドライバ

### 3.2 コントローラ

ドライブ回路を介し点字デバイスの制御を行うコントローラは、プログラムのメンテナンス性や携帯性を考慮し、小型PCにプログラムを組み込む形態で開発を行った。点字翻訳については、資料によって表記が異なる部分があったが、慶應大学 新井先生と相談し、WEB上での公開翻訳ソフト“e Braille” <<https://ebraille.med.kobe-u.ac.jp/eBraille2/>> が、比較的正確な点字表記とのご評価を頂いたことから、それをベースとし、更に、同新井先生より貸与された“点訳の手びき 第3版 全国視覚障害者情報提供施設協会発行”と“点字表記辞典 改訂新版 視覚障害者支援総合センター”を参考に、点字翻訳を行なった。

次に点字デバイスコントローラの機能概要を示す。図 10.3 はコントローラの操作画面である。アクチュエータの駆動電圧などの一部を除き、点字デバイスの制御は、この操作画面で殆ど行なわれる。

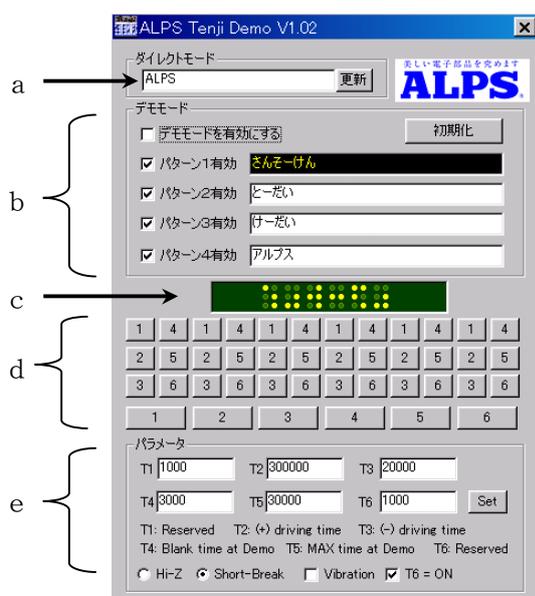


図 10.3 点字デバイス制御 操作画面

点字デバイスの制御は、①ダイレクトモード、②デモモード、③検査モードの

3つのモードがあり、次の機能を有する。

#### ①ダイレクトモード

操作画面（図 10.2）の“a”に6文字までのテキスト文字を入力すると、点字変換されて点字デバイスが点字表記するモード。識字評価なども含む基本動作での使用を想定。

#### ②デモモード

操作画面の“b”に、1列6文字で4列24文字をテキスト文字で予め入力しておき、1列ごと順番に点字デバイスが点字表記されていくモード。主に点字デバイスの動作デモでの使用を想定し設定。

#### ③検査モード

操作画面の“d”の各ボタンをクリックすることで、点字ドット1つ1つ、または、文字ごとに、ドットの昇降を制御するモード。マニュアルで点字文字を表記させることもできるが、アクチュエータやデバイスの調整・検査での使用を想定し設定。

#### ※その他

- 点字デバイスで点字表記される点字文字は、操作画面の“c”に点字で表示される。
- 操作画面の“e”にて、アクチュエータへの通電時間などを設定することができるようにした。一例を図 10-3 に示す。



図 10.4 アクチュエータ通電タイミング

- 点字翻訳できるテキスト文字は、拗音・濁音を含む“ひらがな”、“カタカナ”、

“英数字”、記号(一部を除く)まで対応(漢字入力は非対応)。入力したテキスト文字通りの点字翻訳とし、点字特有の特殊な翻訳(“分かちがき”、“う段・お段の長音の長音符表記”など)には非対応。

#### 4. 点字デバイス試作評価と改善

##### 4.1 点字デバイス1号機 試作結果

完成した試作1号機を図11.1に、その全体構成を図11.2に示す。

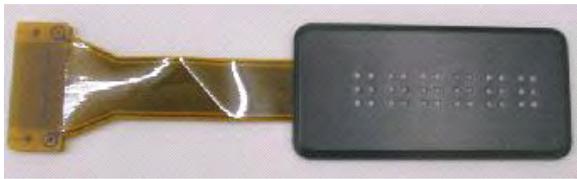


図11.1 点字デバイス試作1号機



図11.2 点字デバイス試作1号機の全体構成

表1に、前項1で設定した点字デバイス開発目標に対しての結果(抜粋)を示す。

項目	目標	結果
ドット高さ [mm]	≥0.3	0.35~0.40
ドット発生力[gf]	≥3	4~5
デバイス厚み[mm]	—	3.0
6文字1列(点間 3mm/マス間 4.5mm)		

表1 (代表的) 開発目標に対する結果

表1に示す通り、試作1号機開発に於いて、点字ドット高さおよびドット発生力(発生荷重)などの目標を達成した。

最終的な点字デバイス1号機の仕様・特性をまとめたものを表2に示す。

項目	仕様・特性
デバイスサイズ	L65×W30×D3mm
ドライバ	外付け
コントローラ	外付け(PCで制御)
点字文字数	6文字1列(36ドット)
点字ドット径	φ0.13mm
点間/マス間	3.0mm/4.5mm
ドット高さ	0.35~0.4mm
ドット発生力	4~5gf
基本的機能	PCで入力したテキスト文字が点字翻訳され点字デバイス表記

表2 試作1号機の基本仕様・特性

##### 4.2 点字デバイスとしての評価・改善

試作1号機は、最終的に表2の特性に至る過程で、プロジェクトメンバ(産総研 安積先生/杉野先生、東京大学 染谷先生/関谷先生、慶應大学 中野先生/新井先生)の触感評価・検討、慶應大学 中野先生、新井先生による視覚障害者のユーザー評価実験を複数回実施した。



図12 ユーザー評価の様子

慶應大学担当のユーザー評価実験では、「一般の点字よりは触読効率は低いが、充分程度の識字が可能」と評価されたが、特に次のような課題も確認された。

- ①点字ドット高さのばらつきが大きい
- ②耐久性
- ③点字マス間が小さい

これらについて、

①の点字高さのばらつきは、突出している点なのか、突出していない点なのかを不明瞭にしまい触読効率に影響を与えるので改善が必要である。

②耐久性とは、長時間 識字評価を行っていると、点字高さや発生荷重が低下したり不均一となる現象が生じるなどの課題である。これは、点字昇降動作でアクチュエータ素子にクセが付いたり、触読操作（ソフトタッチの人と、ハードタッチでぐいぐい押す人など、個人差がある）によってアクチュエータ素子がダメージを受けることなどが原因のようである。これら①、②の課題は、アクチュエータ素子とデバイス構造の両面からの取り組みが必要であると考えられる。

#### 4.3 試作1号機の改善

試作1号機の改善は、(デバイス構造が固まっているため、)主にアクチュエータ素子特性の改善にて課題改善を進めた。(アクチュエータ素子特性の改善は、第5項で説明)。

結果、点字ドットの特性が向上し、高さばらつき(4.2項 ①)も低減されたが、耐久性(4.2項 ②)改善が不十分であった為に、それが高さばらつきに大きな影響を与えてしまい、当プロジェクト期間内で、高さばらつきの顕著な改善を得るまでには至らなかった。

#### 4.4 試作2号機の開発

1.3項に従い、まず、点字24文字表記(1列6文字×4列)の試作2号機をどのような形態にするか検討した。検討した案は大別して次の2つである。

a:ドライブ回路などを外付けとした、薄型の24文字点字デバイス構造

b:ドライブ回路や駆動用電池などを内臓した、携帯電話モック組込み型の24文字点字デバイス構造

結論的には、”b”の携帯電話モック組込み型の形態を選択し開発を行った。その主な理由は、”a”のデバイス構造では300近い配線ラインを小型薄型の点字デバイス内でアクチュエータに配線し、また、外付けドライバーにハーネス接続することの技術確立が(一発の試作で具現化させなければならない)本プロジェクト期間では困難と判断したからである(高コストな多層FPCを採用しても、組立性や耐久信頼性などにリスクあり)。

次に、携帯電話モック組込み型とした試作2号機開発について、1号機の課題(4.2項)の主な改善手段について説明する。

##### ①点字ドット高さのばらつき改善

1号機の点字ドット昇降部は、部品加工精度の影響から、最大高さが0.05mm程度ばらつき、点字ドット高さがアクチュエータ特性ばらつき以外でも生じていた。2号機は、点字高さを目標仕様下限の0.3mmに機構的に制限することなどで改善対応を行なった。

##### ②耐久性の改善

アクチュエータ素子の改善の他、機構・構造的に幾つか有効であろう改善策を立案し、一部は基本設計まで実施した。しかし、プロジェクト日程的にこの施策実施は困難であった為、試作2号機には非対応である。

##### ③マス間の変更

点間を3mmに変更した際に、マス間を4.5mmとした最終的な理由は、国内標準的点間とマス間の比率(約1.5倍)に準じたためである。ユーザー評価の結果で、マス間の拡大(4.5→6mm程度)の要望が

あり、改めて試作2号機への反映を検討した。しかし、1列6文字の点字部が約25mmほど長くなってしまい、携帯電話モックをかなり大型化しないと搭載が難しい為、プロジェクトメンバーの了解をとり、マス間は1号機と同じ4.5mmとした。実際問題として、点字高さがある程度安定していれば、マス間4.5mmでも十分に識字できる人も少なくないようであり、慶應大学の考察のように、点間・マス間・行間などの設定は、点字ドット特性など他の周辺条件と共に最適選定していく研究の必要がありそうである。

こうして完成した試作2号機を図13.0に、その特性・使用を表3に示す。



図13.0 点字デバイス試作2号機

項目	仕様・特性
デバイスサイズ	L110×W55×D24.5mm
ドライバ	内蔵(駆動電池内蔵)
コントローラ	内蔵(駆動電池内蔵)
点字文字数	24文字(144ドット) 1列6文字×4列
点字ドット径	φ0.13mm
点間/マス間	3.0mm/4.5mm
ドット高さ	0.3mm
ドット発生力	3~4gf
基本的機能	[電池駆動]: 予めPCで記憶させた文字(Max 216)を点字表記 [PC接続]: 試作1号機と同様の機能を制御

表3 試作2号機の基本仕様・特性

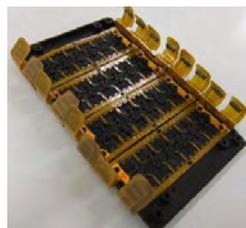


図13.1 アクチュエータ組込み



図13.2 ドライバ実装

試作2号機は、試作1号機の課題であった高さのばらつきも改善が認められ、目標の点字デバイス特性(24文字 & 点字ドット特性仕様)を実現した。

#### 4.5 点字デバイス特性改善結果まとめ

試作1号機、試作2号機の特性改善の結果履歴をまとめたものを図14に示す。

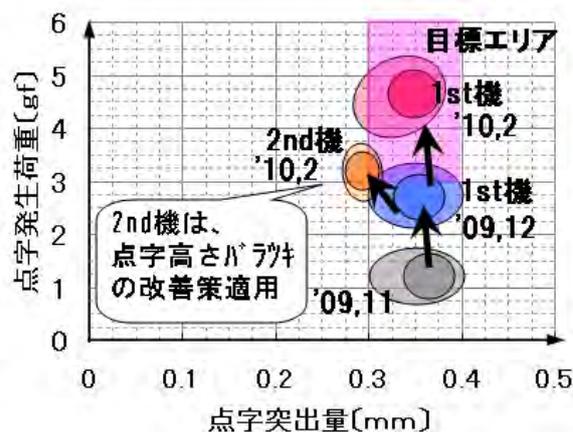


図14 点字デバイス 特性改善まとめ

点字デバイス開発初期は、点字ドット発生荷重が1gf程度であったが、点字デバイス用アクチュエータのアレンジ開発の進行や、デバイス開発の進行と共に徐々に特性が向上し、最終的には、目標の3gfを上回る特性を達成するに至った。

#### 5. 点字デバイス用アクチュエータ開発

点字デバイスの開発と平行し、点字デバイス用高分子アクチュエータ開発についても、産総研と連携し取り組んだ。その結果、図15に示すように、開発当初、高分子アクチュエータを点字デバイス用

に作製すると課題が生じて特性が低い状態であったが、種々検討による改善によって、最終的には目標とする特性まで、点字デバイス用に開発アレンジすることができた。

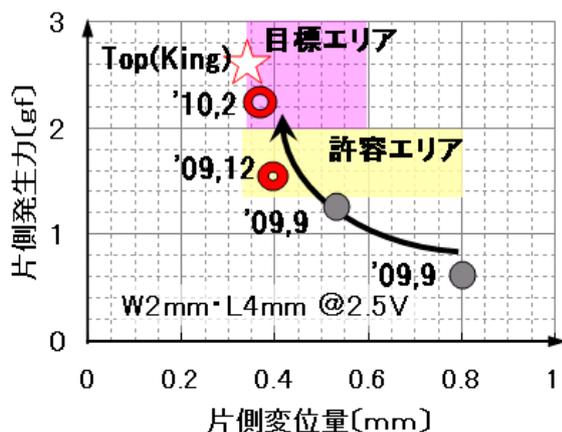


図 15 高分子アクチュエータの特性改善

この開発アレンジは、材料から製法まで広く深く検討を実施することで行なった。その中で幾つか簡単に説明する。

### 5.1 各種条件の見直し・最適化検討

点字デバイス用の高分子アクチュエータは、発生力を得る為の厚膜化と点字サイズからくる小サイズ化の中で、いかに必要な発生力と変位をバランスよく得るかが鍵となる。この開発は、材料・分散～製膜・乾燥～素子化に至る各種条件について、材料アレンジを取入れながら、最適化検討することで導出していく方法で主に行なった。この最適化検討で、特に、開発初期には思惑通りの特性が得られなかった厚膜化の課題が徐々に改善向上し、最終的に点字デバイス特性の目標の達成に、大きく寄与することができた。

### 5.2 応答性の改善

一般に、高分子アクチュエータは、発生力を得ようと厚膜化すると応答性が下がってしまう。この応答性の低下を補う

為に、各種検討を実施し効果を得た。それらの中で代表的な幾つかの検討結果を以下に示す。

#### ◇Auスパッタによる集電膜適用

電極膜の表面にAuスパッタすることで高導電性の集電膜を形成した結果、発生力・変位ともに30～40%、応答性が1.5～2.5倍向上することが確認された。但し、現在、耐久性に難があり改善検討中である。



図 16 Auスパッタした電極膜電解

#### ◇ESDによる電解質膜（後述）

イオン液体の液体状態の量を増やしたことで、変位速度が2～3倍になるなど、応答性の向上が得られた。

#### ◇PEDOTの活用

導電性高分子の中でも際立って高導電性であるPEDOT/PSSは、電極膜への給電や集電材料として応答性向上など各種効果が期待できるが、強酸化しやすく、高分子アクチュエータへの適用が困難であった。

そこで、分子科学(MO法)シミュレーションを用いて、水(比誘電率:78.4)溶媒中と有機溶媒(比誘電率:48.9)中のPEDOTの $\pi$ 電子分布に影響が現れないか検討を実施した。その結果、導電性に寄与するチオフェン環部分の $\pi$ 電子には殆ど影響がないことが判り、種々の検討を経て、強酸化しないPEDOT膜を開発した。今後、点字デバイス用アクチュエータへの適用によって、応答性を含む

種々の特性向上が期待される。

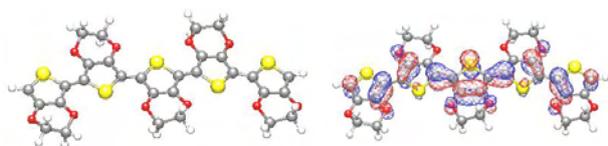


図 17.0 電荷ドープした  
PEDOT3 量体の構造

図 17.1 有機溶媒中  
(誘電率 48.9)

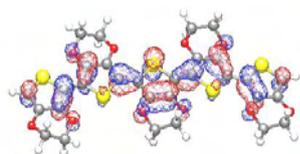


図 17.2 水中  
(誘電率 78.4)



図 17.3 開発した 有機  
溶媒(中性)可溶 PEDOT

### 5.3 特性安定性の改善(歩留まり改善)

点字デバイスは、点字ドットの数だけアクチュエータ素子が必要であり、数多くの素子を効率よく作製するために、特性安定化を目的とした種々の改善検討を行ない効果が得られた。その幾つかを紹介する。

#### ◇ESDによる電解質膜作製

通常、高分子アクチュエータの電解質膜は、キャスト法で製膜した、イオン液体と高分子樹脂から成る電解質膜ゲルである。この電解質膜の特性ばらつき改善の為、ESD(エレクトロスピニングデポジション)装置でイオン液体が含浸されたファイバー状の電解質膜を作製したことで、素子特性の安定性、応答性が改善された。

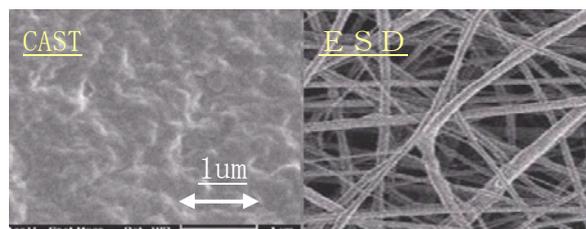


図 18.0 電解質膜 SEM画

ESD による電解質膜

電極膜(CAST 法)

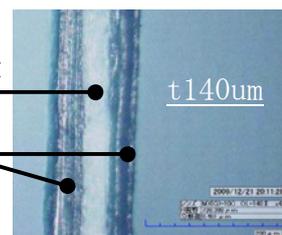


図 18.1 素子断面写真

#### ◇アプリーケータ法による製膜

電極膜や電解質膜などの製膜をアプリーケータ製法で実施(通常:キャスト法)。溶剤濃度や材料条件の調整で、10%程度改善した。

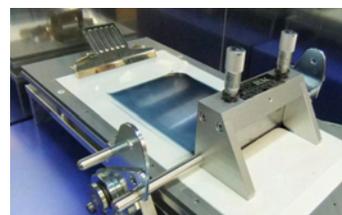


図 19.0 アプリーケータでの製膜

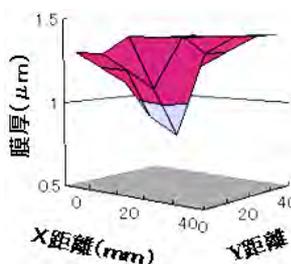


図 19.1 膜厚分布(キャスト)

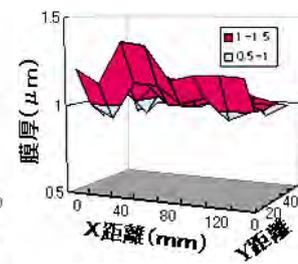


図 19.2 膜厚分布(アプリーケータ)

## D. 考察

### 1. 点字高さのばらつき

ユーザー評価で課題提示の多かった点字高さのばらつきについては、視覚上の高さの影響と同等に、点字ドットの発生荷重のばらつきが大きく影響したものと考えられる。現段階で、それら許容値は判明していないが、多くのユーザーに許容させる為には、少々、点字デバイスの厚みを犠牲にしても、機構的な工夫で点字ドット高さと発生力を高い値で安定化させる必要があるように考える。これ

は、耐久性の改善についても同様で、実用化に幾つか課題があるが優れた点が多い高分子アクチュエータを活かし優れた点字デバイスを早期実用化する為に必要で重要な手段と考えている。

## 2. ドライブ回路

本プロジェクトではドライバ内蔵の点字デバイス試作2号機を開発したが、24文字分の144素子を駆動するようなICを本プロジェクトで開発するわけにもいかず、汎用ICドライバを複数並べることで具現化した。製品実用化する点字デバイスの製品形態によっては専用ICの開発が必要となるかもしれない。その意味に於いても、本プロジェクトで東京大学 染谷先生、関谷先生が開発を担当された「可撓性がある高集積・高駆動電流の有機トランジスタドライバ」の早期実用化が期待される。

## 3. ユーザー評価用試作機

試作2号機は、試作1号機に対して、表示文字数のみならず種々改善された点が多かったが、ユーザー評価などの実験には、専ら試作1号機が試作2号機完成後も多様される形となった。試作2号機は、アクチュエータが144素子実装され且つドライバー一体型であることから、メンテナンス性が悪かったためである。今後、ユーザー評価を想定する対象試作機については、実験メンテナンス性(アクチュエータの交換など)をより考慮した開発の進め方が必要であると考えている。

## E. 結論

高分子アクチュエータを使い、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)」を開発した。今後、課題として確認された点字ドット高さのばらつきや耐久性などについて、アクチュエータ素子特性とデバイス構造の両面からの改善に取り組み、実用化検討を進めていきたい。

## G. 研究発表

平成21年11月25～27日に大阪千里で開催された人工筋肉コンファレンスに、当プロジェクトの中間成果報告として、試作した点字デバイス1号機(6文字/36ドット)を出展した。



図20 人工筋肉コンファレンス出展風景

また、平成22年2月23～24日に国立点字図書館や日本ライトハウスなどで行われたユーザー評価実験(視覚障害者による点字デバイス試作機の実際評価:主管 慶應大学 中野先生、新井先生)に参画させて頂き、この一部の模様は”NHK ニュースウオッチ9 “の番組内で「動く点字の最新技術」として放送された。今後については、“CEATEC JAPAN”や“ALPS SHOW”などの展示会での発表を検討中である。

学術会発表的には、点字デバイスを焦点とした学会発表は未定であるが、高分子アクチュエータの当プロジェクト研究成果をより発展させ、共同研究先の産総研 安積先生、杉野先生らと、日本化学会や日本分析化学会などでの発表を検討中である。

#### H. 知的財産権の出願登録状況

当プロジェクトによって、次の10件の発明が生じた。

- ・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

内9件は、当社単独出願（済）、1件は、産総研 安積先生、杉野先生、三谷先生との共同出願（準備中）である。

以上

# 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

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  
研究分担者 福田 憲二郎、関谷 毅、染谷 隆夫

## 研究要旨

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。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 3 V 駆動で 3 mA 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 SRAM 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。

## A. 研究開発目的

本研究の目的は、軽量・薄型・フレキシブル・低電圧駆動のアクチュエータ駆動用電界効果トランジスタ(FET)回路の開発である。駆動トランジスタの特性は、アクチュエータの駆動電圧とのマッチングから駆動電圧は 3 V 程度、電流値 3 mA 程度が目標値となる。実際に駆動 FET とアクチュエータを集積化し、変位 300  $\mu\text{m}$  を達成させることを目標として研究開発を行った。また、動作高速化実現のために、有機 Static random access memory (SRAM) の作製も行い、その動作評価を行った。

## B. 研究開発方法

### 1. デバイス構造

本研究における回路構成は図 1 で示されている。はじめに有機 SRAM に” high” もしくは” Low” の情報を書き込み、その情報を駆動 FET に伝えることでアクチュエータの上昇・下降を制御するという構成になっている。

低電圧・大電流駆動有機トランジスタの実現を目指し、本研究においてゲート絶縁膜は厚さ約 2 nm の自己組織化単分子膜(SAM)を用い、有機半導体材料として、大気安定、高移動度の性能を持つジナフトチエノチオフェン(DNTT)を用いた。断面構造を図 2 に示す。

### 2. 作製手法

#### ①ゲート絶縁膜成膜

厚さ 75  $\mu\text{m}$  のプラスチック基板の上に、厚さ 20nm のアルミニウムを、真空蒸着装置を用いて成膜した。パターニングにはメタルマスクを使用した。

#### ②ゲート絶縁膜形成

プラズマアッシング装置を用い、アルミニウム表面を酸化させることで厚さ約 4nm の酸化アルミニウムを形成した。その後テトラデシルホスホン酸を溶かした 2-プロパノール溶液に基板全体を浸し、ホスホン酸分子を自己組織的に成膜し、SAM 絶縁膜を形成した。

#### ③有機半導体層成膜

p型有機半導体である DNTT を、真空蒸着措置を用いて 30 nm 堆積させた。パターンニングにはメタルマスクを用いた。

#### ④ソース・ドレイン電極形成

金 50 nm を、真空蒸着を用いて成膜した。アクチュエータ駆動用トランジスタのチャンネル幅(W)及びチャンネル長(L)はそれぞれ 100000  $\mu\text{m}$ 、20  $\mu\text{m}$  である。

通常市販されているメタルマスクの開口精度は、せいぜい 50 $\mu\text{m}$  であるであるが、本研究では、メーカーと共同開発した特殊な工法によって作製された 20  $\mu\text{m}$  精度のマスクを用いた。この電極の微細化により、電流値のみならず動作速度を 2 倍以上高めることが出来た。

有機駆動回路を作製後に、最終的にこの回路をカーボンナノチューブアクチュエータと集積化する必要がある。そのためトランジスタ回路全体を本プロジェクトで購入したパリレンコータにより製膜した。この高品質絶縁薄膜を回路に用いることで、有機トランジスタの移動を損ねることなく、アクチュエータとの集積化を可能にすることができた。絶縁膜の製膜条件を最適化することで、電氣的機械的に優れた保護封止膜を施すことに成功した。

作製した駆動 FET の全体写真・及び拡大写真を図 3 に示す。作製したデバイスの重さは 0.5 g、厚さは 75  $\mu\text{m}$  である。また、限界折り曲げ半径は 4 mm であり、フレキシブル・軽量という特長を有している。また、作製した有機 SRAM の全体写真を図 4 に示す。

### C. 研究開発結果

#### 1. 駆動 FET の特性

駆動 FET の伝達特性及び応答特性を

図 5 に示す。3 V 駆動において、電流値 4.9 mA、オンオフ比  $10^6$  が達成されている。伝達特性から見積もられた、飽和領域での移動度は 1.0  $\text{cm}^2/\text{Vs}$  であった。

#### 2. 駆動 FET とアクチュエータの集積化

駆動 FET とアクチュエータを集積化した際のアクチュエータの変位、及びアクチュエータに流れる電流値を測定した。ソース・ドレイン間電圧( $V_{\text{DS}}$ )を 2 ~ -2 V (周期 0.1 Hz)の印加条件で固定し、ゲート・ソース電圧( $V_{\text{GS}}$ )を -2.5 V から -4 V まで変化させ、それぞれの  $V_{\text{GS}}$  の条件におけるアクチュエータの変位を観測した。図 6 にその結果を示す。駆動 FET の  $V_{\text{GS}} = -2.5 \text{ V}$  の条件では最大変位は 200  $\mu\text{m}$  であったが、 $V_{\text{GS}} = -4 \text{ V}$  の条件では最大変位 450  $\mu\text{m}$  が達成された。また、点字認識に必要なとされる 300  $\mu\text{m}$  の変位を得るまでに必要な時間は、 $V_{\text{GS}} = -3 \text{ V}$  では 3 秒、 $V_{\text{GS}} = -4 \text{ V}$  では 1.8 秒であった。

#### 3. 有機 SRAM の特性

作製した有機 SRAM の書き込み時間の測定を行った。SRAM 測定には 10 電極以上を同時に制御する必要が生じるが、本プロジェクトで購入したマルチファンクションプローブおよびプローブステーションを用いることでこの測定を可能にすることができた。ワードライン(WL)を 2 V の状態から -2 V の状態に変化させた際にビットライン(BL)の電圧値を DATAb に書き込む時間を測定した。BL の電圧値 0 V(Low)および 2 V(High)のそれぞれについて、書き込み時間の測定を行った。その結果 BL = Low の書き込み速度は 0.3 ミリ秒(図 7 左)、BL = High の書き込みは 1.5 ミリ秒(図 7 右)であっ

た。

#### D. 考察

今回、SAM 絶縁膜と DNTT 半導体材料を用いることで、点字表示に必要な電流値 3 mA 以上という性能を 3 V 駆動で達成することが出来た。実際にアクチュエータとの集積化を行った結果、動作時間が 1.8 秒であり、十分に高速動作することが確認された。6 文字×4 列、12×12 ラインの点字ディスプレイを仮定した場合、駆動 FET のみでの全体の表示速度は  $1.8 \text{ s} \times 12 = 21.6 \text{ 秒}$  と見積もられる。

有機 SRAM については 2 V 駆動で 1.5 ミリ秒という非常に高速なデバイスの作製に成功した。これは有機 FET を用いた SRAM としては世界最高性能である。有機 SRAM を用いることで、上記のディスプレイ全体の表示速度は  $0.0015 \times 12 + 1.8 = 1.82 \text{ 秒}$  と見積もられる。これは熟練の点字読者にとってもストレス無く読むことの可能な速度が達成可能であることを示している。また、ディスプレイの素子数が増えた場合にも殆ど表示速度を殆ど低減せずに全体表示が可能である。

#### E. 結論

有機 FET を用いることで、薄型・軽量・フレキシブルなアクチュエータ駆動回路の作製に成功した。これは本研究の点字デバイスが大面積用途・様々な場所に実装化させるために必須の技術であり、有機 FET を用いた回路が点字表示に必要な性能を有していることが示された。

#### G. 研究発表

現時点ではないが、来年度、発表を行う予定である。

#### H. 知的財産権の出願・登録状況

本調査研究そのものの出願・登録はない。

有機SRAM

駆動FET

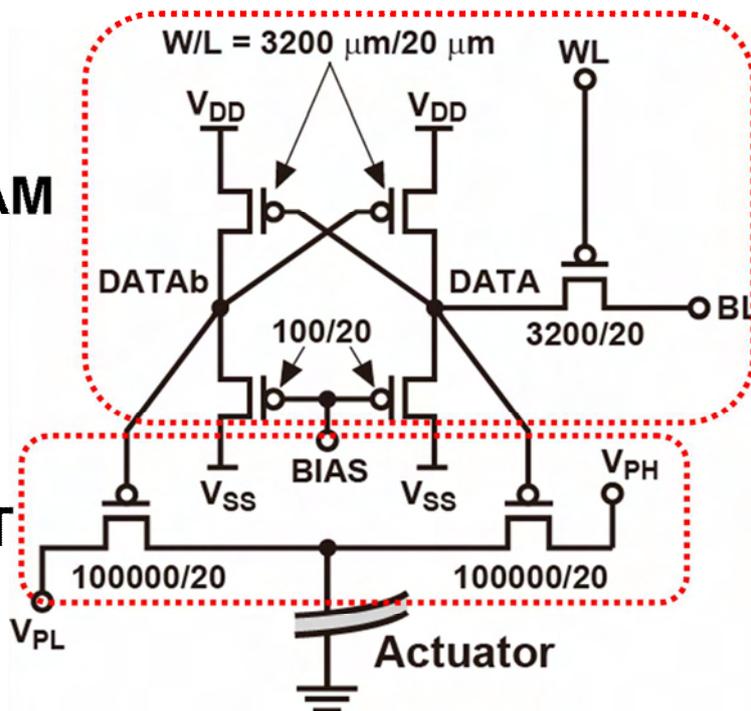


図1 有機FETによるアクチュエータ駆動回路図

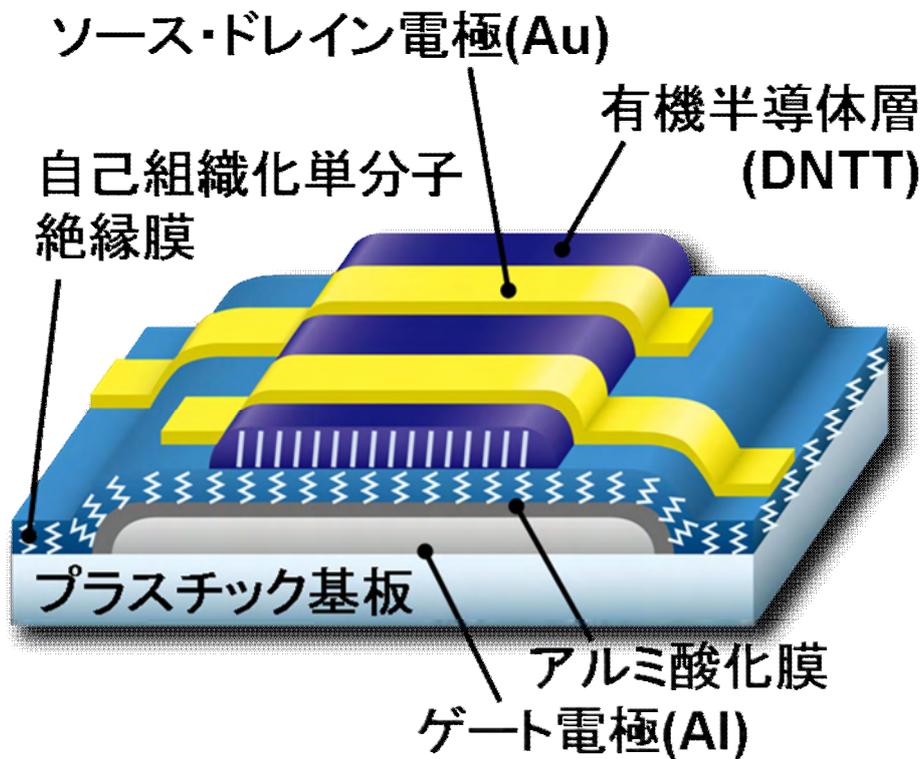
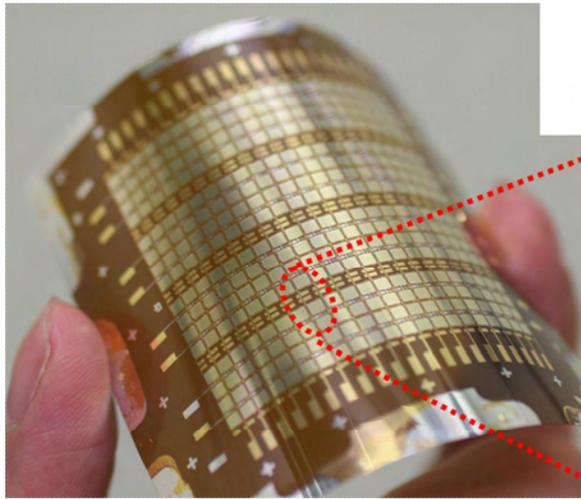


図2 有機FETの断面構造図



重さ: 0.5g 厚み: 75  $\mu\text{m}$   
 最小解像度: 20  $\mu\text{m}$   
 限界折り曲げ半径: 4 mm

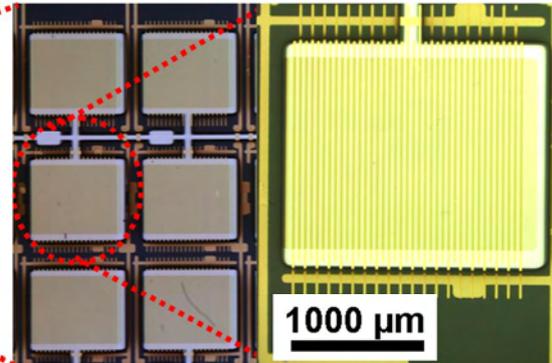


図3 駆動 FET の全体写真及び拡大写真

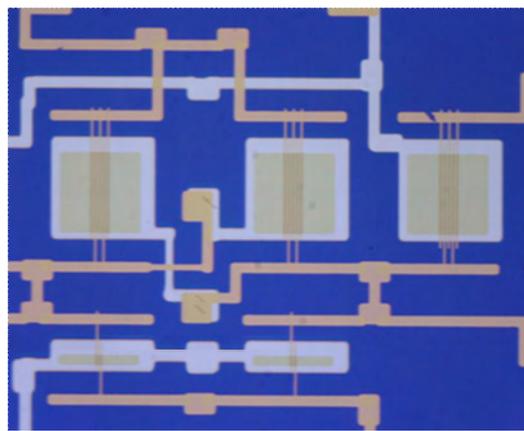


図4 有機 SRAM の顕微鏡写真

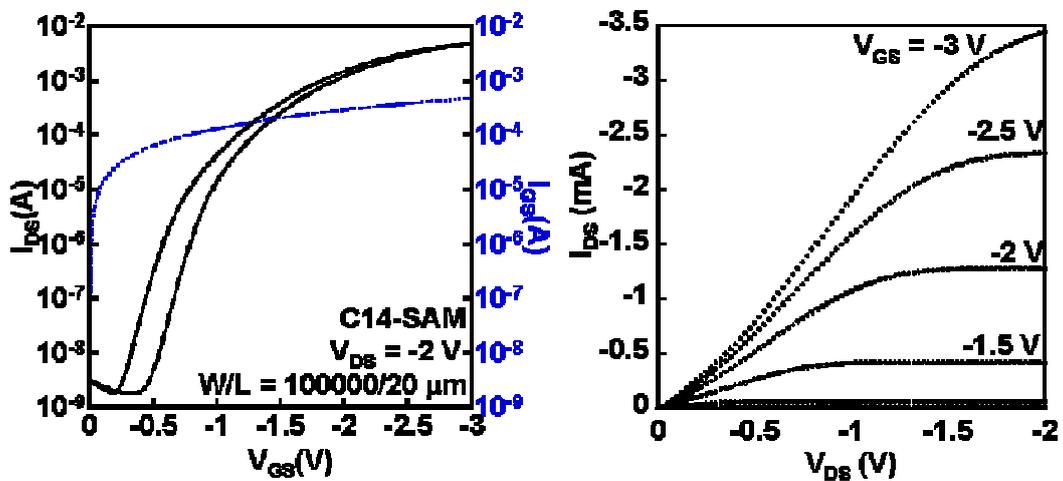


図5 駆動 FET の伝達特性(左)及び応答特性(右)。

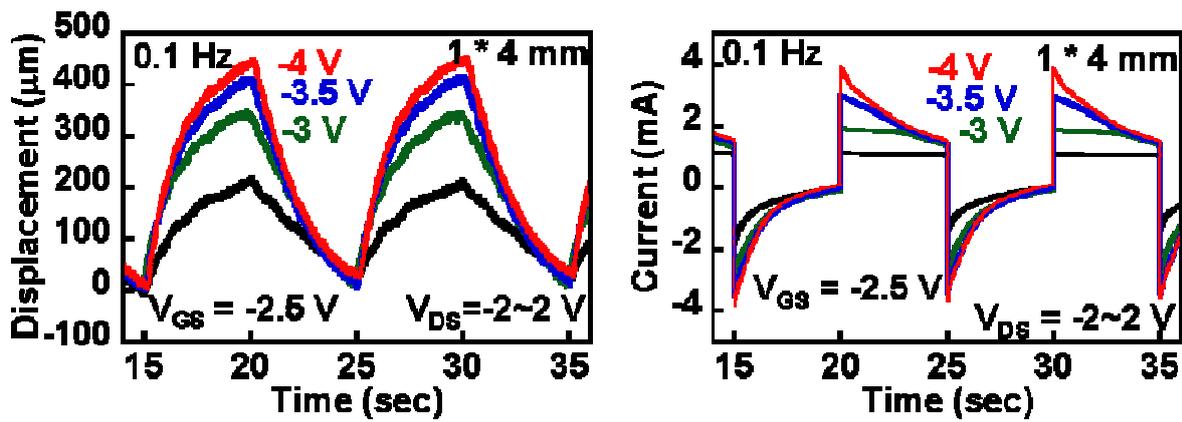


図6 駆動FETと集積化したアクチュエータの変位(左)と、電流値(右)。

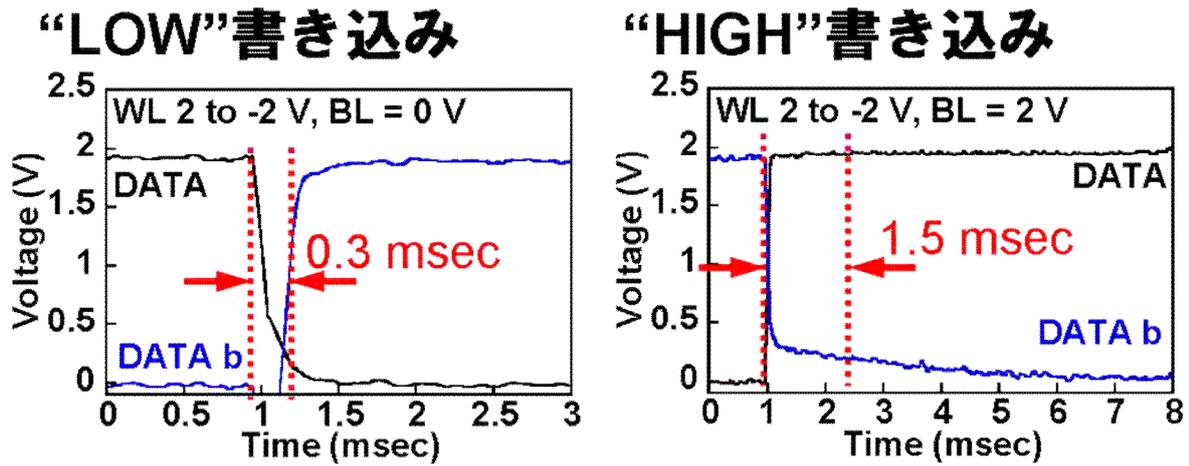


図7 有機SRAMの書き込み速度測定。(左)BL=Low書き込み、(右)BL=HIGH書き込み

# 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

シーズとニーズのマッチング調査  
研究分担者 中野 泰志

## 研究要旨

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。

## A. 研究開発目的

本研究の目的は、点字デバイスのシーズと視覚障害者のニーズのマッチングを実施することである。まず、ニーズに関するヒアリングを行い、その結果をシーズ開発にフィードバックする。同時に、シーズ開発上必要な情報、例えば、点字のサイズに関してユーザに確認をするという相互的なやり取りを行うスパイラルアップ方式のマッチングを目的とした。

調査は2段階で実施した。1次調査では、点字に関する視覚障害者のニーズを把握するため、当事者を対象としたヒアリング調査を実施し、その結果を第一試作機に生かした。2次調査では、改良された第一試作機と第二試作機の利用可能性および問題点を抽出するため、全国の盲学校教員を対象としたヒアリング調査を実施した。

## B. 研究開発方法

### 1. 1次調査

#### 1-1. 対象者

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を調査対象とした。協力団体・施設・機関および対象者の人数を表1にまとめた。対象者は、社会福祉法人日本盲人会連合、社団法人東京都盲人福祉協会、社団法人東京都盲人福祉協会、日本網膜色素変性症協会、NPO 法人View-net 神奈川、全国盲学校長会、国立障害者リハビリテーションセンター、日本ライトハウス、独立行政法人国立特別支援教育総合研究所、筑波大学、筑波技術大学、広島大学、宮城教育大学、福岡教育大学より1～2名ずつであった。また全国の特別支援学校（盲学校）の教職員20名の協力も得たため、対象者は計

36名であった。なお、ヒアリングにあたっての倫理的配慮については後述する。

### 1-2. 調査手続き

点字に関するニーズについて、非構造化面接法によるヒアリングを実施した。ヒアリングは、点字や視覚障害支援技術に詳しく、なおかつ、視覚障害者のカウンセリング経験が豊富な専門家が、記録担当とペアになって実施した。ヒアリングの内容はボイスレコーダーに記録した。

## 2. 2次調査

### 2-1. 対象者

主として全国の盲学校の教員を対象とした。協力校および対象者数を表2に示した。対象としたのは、大阪府立視覚特別支援学校から2名(ロービジョン1名)、徳島県立盲学校から20名(うち全盲3名、ロービジョン2名、盲ろう1名)、福岡県立福岡高等盲学校から3名(うち全盲1名)、熊本県立盲学校から32名(うち全盲6名)、北海道高等盲学校から28名(うち全盲4名、ロービジョン1名)の85名の教員、およびその他視覚障害当事者6名(全盲5名、ロービジョン1名)の計91名であった。

### 2-2. 調査手続き

点字の利用実態とニーズ、想定される本デバイスの活用事例について、当事者および教育者の立場からの意見を求めた。このとき、第一試作機と第二試作機を提示し、実際に触ってもらいながら非構造化面接法によるヒアリングを実施した。ヒアリングの様子をボイスレコーダーで記録し、得られたトランスクリプトを分析にかけた。

## 3. 倫理面への配慮

調査の実施に際しては、人を対象とする研究が世界医師会ヘルシンキ宣言及び関係学会が定める倫理綱領及び諸規則等の趣旨に則って倫理的配慮に基づいて適正に行われることを管理・審査する「慶應義塾総合研究推進機構研究倫理委員会」で研究計画等の承認を受けた。参加者の抽出においては障害当事者団体の協力を得て公募を行い、プライバシーの保護とモニターの権利擁護には細心の注意を払った。研究への参加依頼においては、まず、当事者団体の担当者に研究目的、研究方法、倫理的配慮等に関して説明を行い、了解していただいた上で、モニターを募集していただいた。モニターには研究の目的と意義、個人情報の保護方法、研究成果の公開方法等の説明を行い、同意が得られるかどうかを確認した(インフォームド・コンセントを得られない参加者は対象としなかった)。インフォームド・コンセントを求める際には、当事者団体の責任者立ち会い上で、口頭で説明した。また、研究参加の任意性と撤回の自由を保障することも説明し、いつでも研究参加を撤回できるように配慮すると同時に、モニターの人権を擁護する専門機関である「かながわ権利擁護センター」を紹介し、いつでも相談できる体制を整えた。個人情報保護リスクに関しては、データの匿名化を行い、研究実施期間中は、連結対応表を個人情報管理者(研究代表者)が管理することで対処している。なお、個人情報は、研究代表者が一括して、IDカードで管理された建物の中の鍵のかかる個室で管理している。作業負担リスクに関しては、作業負担に相当するアルバイト謝金を支払うことで対処した。

## C. 研究開発結果

いずれの調査でも、ボイスレコーダーに記録した音声からトランスクリプト（逐語記録）を作成し、分析の対象とした。

### 1. 1次調査の結果

トランスクリプトを分析した結果、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いることがわかった。晴眼者の協力を得て、自作の点字シールを貼付する等の工夫をしようと試みても、ボタン操作によって表示内容が変わるため、パネルの状態や自分の操作に対する内容の変化を的確に把握することができないことがわかった。その結果、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った不満をもっ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するような新しい点字デバイスの必要性が示唆された。

### 2. 2次調査の結果

ヒアリングの結果を内容ごとに分類したところ、(1) 点字の意義、(2) 日常生活における本デバイスの活用、(3) 教育現場における本デバイスの活用の3つに大別することができた。以下に代表的な報告事例を挙げる。

#### (1) 点字の意義について

##### a) 視覚障害者への全ての情報が音声によって代替されることの問題

視覚障害者が情報を取得する方法として音声主流になりつつある。しかしながら、音声だけでは効率よく情報が取れないという問題や、他者に聞かれない情報まで読み上げられてしまう問題が対象者から挙げられた。また、そのよう

な問題を補償するためには、点字による情報が必須であることも指摘された。

##### 事例1：盲学校教員、ロービジョン

「音声で情報を聞き取るのと、点字で読み取るのでは全く異なる。点字は『見ている』という感覚であり、記憶に残りやすい。視覚と聴覚の両方を使うと情報が取りやすいように、聴覚と触覚の両方を使うと情報を取りやすい。そのような理由から、点字文化を残すべきである。全て音声で代替しようとする方針は誤りであると考えられる。」

##### 事例2：元盲学校教員、ロービジョン

「音声は便利だけれども、周囲の人の雑音（邪魔、迷惑）になる場合もある。そのため、自分は音声時計を人前で使うのに抵抗がある。だから、点字で確認できることは大切である。」

#### b) 数文字の点字を読めることの意義

点字ユーザは視覚障害者のうちの1割程度であると推算されているが、これは文章などを読む際に日常的に点字を用いている視覚障害者の数である。しかしながら、長い文章を読めるほどに熟達していなくても、数文字の単語や数字を触読できることにより、情報の取得が飛躍的に効率的になるという指摘があった。

##### 事例1：盲学校教員、全盲

「最近、中途視覚障害者には点字を利用できない人が多いという論理が流布している。しかしながら、これは、すらすらと長い文章を読める人が少ないということである。全く点字を読めない人と5文字でも点字を読める人は生活の観点では不自由さが大きく異なる。例えば、按摩鍼灸の国家試験は音声や口頭で受験することが可能である。しかし、数字の点字がわかっていたら、文章は読めなくと

も自分がどの回答にチェックしたかを確認することができる。また、長い文章が点字で読めなくても『トメ』という点字さえ同定できれば、家電製品の操作が一人でできる。たどたどしくても、5文字程度しか読めなくても、読めると読めないは大きな違いである。自分は中途の視覚障害なので、点字は得意ではないけれど、点字があるとないとでは、とても大きな違いがある。だから、生徒達にも、最低限の指導はして、社会に送り出してきた。」

事例2：元盲学校教員、ロービジョン

「私はロービジョンで、通常は視覚を活用しているが、物によっては視覚で確認するよりも点字の方が楽なことがある。例えば、調味料のラベルは、調理中、時間をかけて確認するよりも、点字で触って確認できた方がスピーディに利用できる。だから、墨字、音声、点字を使い分けられるようになっていくことが大切である。」

c) 技術革新がもたらす墨字利用者への利益と点字利用者への利益の乖離

近年、電気製品の表示に液晶パネルが用いられるようになってきたり、ボタンがタッチパネルに代わるなど、視覚障害者には操作しにくい、あるいは操作できない機器が増えてきている。それにより、視覚障害者が晴眼者と同程度の情報を得ることができないという意見や、新しい技術の恩恵を享受できないといった意見が挙げられた。

事例1：盲学校教員、全盲

「世の中、技術革新が進んで、見える人達はどんどん便利になっている。自分も見えていたときには、その恩恵を受けていたが、途中で見えにくくなり、技術革

新は自分とは関係のないこと、もしくは、自分達の生活の新しいバリアになり兼ねないことだとあきらめかけていた。しかし、新しい点字技術により、見える人に恩恵を与えると同時に、自分達の生活の改善に役立つ可能性があるのは嬉しい。」

(2) 日常生活における本デバイスの活用

a) 携帯電話への応用

本研究プロジェクトのテーマでもある、携帯電話への点字デバイスの装着について、期待される活用方法が挙げられた。点字を組み込むことの大きな利点は、液晶に表示される情報を容易に取得できること、音声と異なり情報の取り直しが容易であること、プライバシーに関わる情報を他人に知られずに取得できることにあると報告された。

事例1：盲学校教員、全盲

「国際電話をかける必要があり、番号を覚えるのに音声だけだととても苦労した。間違えないように、音声を聞きながら別途テープに録音して確認するという面倒な作業を行っていた。もし、携帯電話に点字が表示されるのであれば、そのような苦労は必要なくなる。」

事例2：元盲学校教員、ロービジョン

「本デバイスが携帯電話につけられると、携帯電話のサブ画面が楽に確認できるのでよいと思う。着信や着信履歴の確認、時刻の確認がポケットの中でできるようになる。」

事例3：盲学校教員、全盲

「着信があったときの相手の名前を音声で読み上げられてしまうと、周囲の人にプライベートな情報が漏れてしまうので困る。しかしながら、点字で確認できる

のならば、そのような心配はなくなる。また、メールの文章を読むときに、音声だと聞き直しが面倒であるが、点字であれば簡単に読み直すことができる。」

#### b) 液晶パネルをもった家電製品への応用

携帯電話以外の電気製品への点字デバイス装着を望む声もあった。主として、全ての情報が液晶パネルに表示される機器が例として挙げられた。

##### 事例1：盲学校教員、全盲

「冷蔵庫、炊飯器、エアコン、ウォシュレットの温度設定が点字で表示されるとよい。現状では液晶パネルに表示されるものが多いので、現在の設定を把握することができない。また、自分の操作に対する状態の変化も取れないため、勘に頼って操作するしかない。」

##### 事例2：元盲学校教員、ロービジョン

「ロービジョンでも見えそうである。視覚だけでは限界があるので、点字で読めると助かる。例えば、ビデオやデジタルカメラの液晶表示の状態を把握できると嬉しい。」

#### c) プライバシーに関わる場面への応用

全ての情報を音声で読み上げられてしまうと、プライバシーに関わる情報が他者に漏れてしまう危険性がある。そのような場面への点字デバイスの応用を期待する声があった。

##### 事例1：盲学校教員、全盲

「現状では、銀行のATMを満足に利用することができない。タッチパネル式のものが多いので、振込みをすることができない。他者の支援を得ることはできるが、金銭に関することなので、可能ならば自分一人で操作したい。」

##### 事例2：盲学校教員、晴眼

「暗証番号付きのオートロックキーなどに本デバイスがついているとよい。暗証番号の性質上、音声情報による代替が利かないからである。」

#### (3) 教育現場における本デバイスの活用

電気製品だけではなく、学校での教材として利用できる可能性も指摘された。ディスプレイの面積を広げることにより、数学のグラフや図形、理科の化学式や人体図、また国語の漢字を表示して学習に活用できるのではないかという意見があった。

##### a) 教材：図やグラフの学習

###### 事例1：盲学校教員、ロービジョン

「大きな点字版に化学式やグラフ、図形を表示したり、数式とグラフの対応関係を学ばせる。例えば、 $y=x$  と  $y=2x$  の違いを点図で実感させるような場面で使えると有効である。また筋肉の動きや位置関係といった時間的、空間的变化を伴うものを点図で実感させる等の活用方法が考えられる。」

##### b) 教材：漢字や記号の学習

###### 事例1：盲学校教員、全盲

「漢字の形状を覚えるために触図の表示装置として使えるとよい。漢点字は漢字そのものではないので、漢字を学習したとはいえない。また、様々な記号を触図で表示することも可能になれば、知的障害を併せもつ視覚障害児・者にも有効だと考えられる。」

## D. 考察

### (1) 点字の必要性

点字が利用できる視覚障害者の数は厚生労働省の調査では、1割程度と言われている。これは、視覚障害に占める高齢

中途視覚障害者の割合が多く、点字を学ぶチャンスが少ない人が多いことが原因だと考えられる。事実、本調査研究で、福祉施設等で訓練を受けている視覚障害者の中には高齢でも点字の触読訓練を受けており、書籍を自由に読みこなす段階にまでは到達していなくても、日常生活上、活用可能なケースがあることがわかった。また、盲学校の理療科で学んでいる生徒の中には高齢の視覚障害者も多く、点字の触読速度は遅いものの日常生活で活用する上では有効であるというヒアリング結果を得た。したがって、点字は視覚障害者にとって、重要なコミュニケーション方法であることが確認できた。

## (2) 本デバイスの必要性・有用性

1次調査から、視覚障害者の中には、電気製品の液晶パネルを利用することができず、表示の読み取りや機器の操作に困難を抱えている人がいることが示された(図1～3)。このことは、2次調査のヒアリングで、液晶パネルをもった製品に本デバイスを応用する声が多かったことから裏付けられる結果である。視覚障害ユーザが不満や不便さを感じる具体的な理由として、液晶パネルに表示されている文字を読み取ることができないため、現在の危機の状態や、自分の操作に対するフィードバックが得られないことが挙げられた。そこで、液晶パネル上の情報を代替する手段として、一部製品では音声による読み上げ機能を搭載しているが、聴覚情報は時間的特性をもつため、情報の取り直しが面倒であったり、困難であるという意見があった。また、プライバシーに関わる情報は読み上げてほしくないという報告もあった。したがって、特に点字を読むことのできる視覚障害ユ

ーザにとっては、音声情報と点字による情報を併用すること、または、墨字の代替として点字を電気製品に実装することが望まれていると推察される。また、液晶パネル上の情報の多くはユーザの操作によって変化するため、操作に伴って表示が変化するような点字デバイスが求められる。また、そのようなデバイスを広面積で作成することにより、教科書や図版といった新しい教材として活用できる可能性も示唆された。本研究の点字デバイスは上記のニーズを満たすものであり、視覚障害支援や視覚障害教育に資することができると考えられる。

## E. 結論

本研究の点字デバイスは、点字ユーザのニーズを満たすものであるといえる。また、全国に3万人いると推計されている点字常用ユーザだけでなく、数文字の単語や数字を読むことのできる視覚障害者にとっても利用可能なデバイスであると考えられる。今後は、試作機の評価実験の結果と合わせ、具体的にどのような製品に実装すべきかを調査する。

## G. 研究発表

現時点ではないが、来年度、発表を行う予定である。

## H. 知的財産権の出願・登録状況

本調査研究そのものの出願・登録はない。

表1 協力団体・施設・機関および対象者数

協力団体・施設・機関名	対象人数
社会福祉法人日本盲人会連合	2
社団法人東京都盲人福祉協会	1
日本網膜色素変性症協会	1
NPO法人View-net神奈川	1
全国盲学校長会	1
国立障害者リハビリテーションセンター	1
日本ライトハウス	2
独立行政法人国立特別支援教育総合研究所	1
筑波大学	1
筑波技術大学	1
広島大学	1
宮城教育大学	2
福岡教育大学	1
東京都立文京盲学校	2
愛知県立名古屋盲学校	2
宮城県立視覚支援学校	2
大阪府立視覚支援学校	2
広島中央特別支援学校	2
岩手県立盛岡視覚支援学校	2
徳島県立盲学校	2
福岡県立福岡高等盲学校	2
熊本県立盲学校	2
北海道高等盲学校	2
合計	36

表2 協力校および対象者数

	全体	全盲	ロービジョン	盲聾	晴眼
大阪府立視覚支援学校	2	0	1	0	1
徳島県立盲学校	20	3	2	1	14
福岡県立福岡高等盲学校	3	1	0	0	2
熊本県立盲学校	32	6	0	0	26
北海道高等盲学校	28	4	1	0	23
その他	6	5	1	0	0
合計	91	19	5	1	66

単位は人

## 点字ユーザーの声



図1 液晶表示の問題点



図2 音声・点字対応の家電製品でも詳細情報の確認には点字が必要

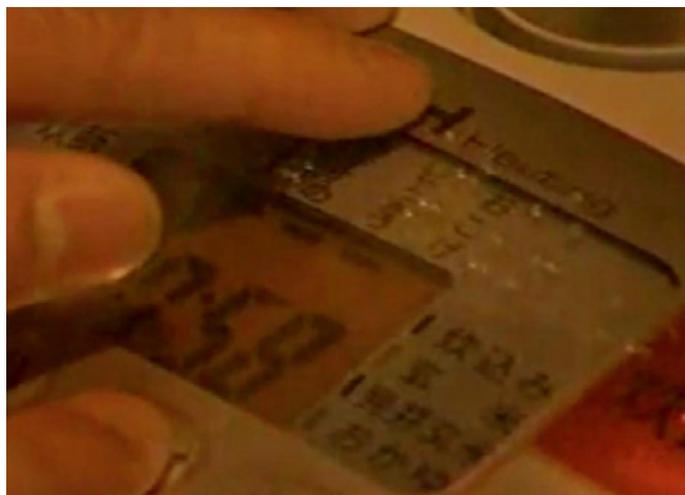


図3 工夫だけでは対応困難な例：炊飯器の予約や炊き方設定には点字が必須

# 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

ユーザ評価実験

研究分担者 中野 泰志

## 研究要旨

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。

## A. 研究開発目的

視覚障害者のニーズと技術的なシーズをマッチングして作成した試作機（分担研究報告書：シーズとニーズのマッチング調査参照）の有効性を把握するため、ユーザ評価実験とヒアリング調査を実施した。実験1では第一試作機の評価を、実験2では、実験1の結果に基づいて改良された第一試作機および第二試作機の評価を実施した。また、点字に関するニーズと本デバイスの利用可能性および改善点に関する言語報告をとった。

## B. 研究開発方法

### 1. 実験1：第一試作機の評価

#### 1-1. 対象者

対象者はマッチング調査において推薦されたリーダー的立場にある点字常用視覚障害者5名であり、事前に後述のインフォームド・コンセントを行った上で研究参加の同意を得た。

#### 1-2. 実験手続き

第一試作機を用い、触読実験と半構造化面接法によるヒアリングを実施した。

ビデオカメラで実験参加者の触読の様子を、また、ICレコーダーで声でのやりとりを記録し、観察記録と言語プロトコルを得た。実験の様子を図1および図2、図3に示した。

### 2. 実験2：改良された第一試作機および第二試作機の評価

#### 2-1. 対象者

視覚障害当事者および、視覚障害者支援・教育・研究に携わる専門家を対象とした。

##### a) モニター

福祉・リハビリテーション・当事者団体関係者から、前述した有識者5名、日本点字図書館より7名、日本盲人会連合・東京都盲人福祉協会より6名、日本ライトハウスより14名の合計32名の視覚障害の専門家の協力を得た。また、盲学校（北海道、大阪、徳島、福岡、熊本）の教員66名の協力を得た。

##### b) 視覚障害当事者モニター

本点字デバイスの視覚障害当事者モニターとして、日本点字図書館より6名(全

員全盲)、日本盲人会連合・東京都盲人福祉協会より5名(全員全盲)、日本ライトハウスより8名(全盲6名、ロービジョン1名、盲ろう1名)、の合計19名の視覚障害当事者の協力を得た。また、盲学校の視覚障害のある教員25名(全盲19名、ロービジョン5名、盲ろう1名)の協力も得た。

## 2-2. 実験手続き

実験1の結果をもとに改良された第一試作機の評価を、1)触読速度を指標としたパフォーマンス評価(客観的評価)、2)半構造化面接法による生活・学習上の困難や試作機の使いやすさ等に関するヒアリング調査(主観的評価)という多角的な観点から実施した。パフォーマンス評価実験は、知覚・認知心理学の手法を用い、定量的分析を実施した。すなわち、課題の妥当性を考慮し、利用場面を想定した条件設定を行った上で、評価の信頼性を向上させるために予測が困難な単語をランダムに第一試作機に提示し、触読効率、エラー、反応時間等のパフォーマンスを測定するという方法を用いた。製品への応用を考慮した評価においては、客観的なパフォーマンスと主観的な好み等が一致しないことが少なくない。また、通常のヒアリングでは本質的な課題等を発見できない。そこで、質的研究の手法を用い、半構造化面接によるヒアリング調査を実施した。半構造化面接は、カウンセリングの技術・知識を有し、なおかつ、視覚障害者の生活・学習・支援技術に関する知識・経験が豊富で、本支援技術についても熟知している面接者が担当し、生活・学習上の課題、支援技術の利用状況、本デバイスの有効性や改善点等についての情報を収集した。また、第二

試作機を対象者に触ってもらい、問題点や改善点に関するヒアリングを行った。

## 3. 倫理面への配慮

評価の実施に際しては、人を対象とする研究が世界医師会ヘルシンキ宣言及び関係学会が定める倫理綱領及び諸規則等の趣旨に則って倫理的配慮に基づいて適正に行われることを管理・審査する「慶應義塾総合研究推進機構研究倫理委員会」で研究計画等の承認を受けた。参加者の抽出においては障害当事者団体の協力を得て公募を行い、プライバシーの保護とモニターの権利擁護には細心の注意を払った。研究への参加依頼においては、まず、当事者団体の担当者に研究目的、研究方法、倫理的配慮等に関して説明を行い、了解していただいた上で、モニターを募集していただいた。モニターには研究の目的と意義、個人情報保護方法、研究成果の公開方法等の説明を行い、同意が得られるかどうかを確認した(インフォームド・コンセントを得られない参加者は対象としなかった)。インフォームド・コンセントを求める際には、当事者団体の責任者立ち会い上で、口頭で説明した。また、研究参加の任意性と撤回の自由を保障することも説明し、いつでも研究参加を撤回できるように配慮すると同時に、モニターの人権を擁護する専門機関である「かながわ権利擁護センター」を紹介し、いつでも相談できる体制を整えた。個人情報保護リスクに関しては、データの匿名化を行い、研究実施期間中は、連結対応表を個人情報管理者(研究代表者)が管理することで対処している。なお、個人情報は、研究代表者が一括して、IDカードで管理された建物の中の鍵

のかかる個室で管理している。作業負担リスクに関しては、作業負担に相当するアルバイト謝金を支払うことで対処した。

## C. 研究開発結果

### 1. 実験1：第一試作機の評価

現状では点の高さが低く、発生力も弱いため、点が不明確で中途視覚障害などの点字初心者には読み取りづらい可能性が示唆された。また、点が発生するまでの応答時間が長いため、用途が限られるという指摘があった。その一方で、今後、上記の問題点が改善されれば、変動的な液晶表示に対応した点字のように、ユーザによって有用なデバイスになり得るという意見も得られた。

### 2. 実験2：改良された第一試作機および第二試作機の評価

#### 2-1. 触読効率を指標としたパフォーマンス評価実験の結果

第一試作機を用いて実施した評価実験の結果、6マスに表示された単語を読み取るのにかかった時間は、最速で3.28秒、平均で8.7秒であった。これを触読スピードに換算すると、最速で110マス/分、平均で41マス/分を読む計算になる。数字や短い文章を読む場合に限定すれば、実用レベルであると考えられるが、従来の点字と比べると遅いため、今後の改善が期待される。

#### 2-2. 半構造化面接の結果

ICレコーダーからトランスクリプトを作成し、トランスクリプトを分析対象とした。以下に、複数の対象者から得られた意見をまとめる。

本デバイスのような薄型で液晶表示の代替として利用できる点字ピンディスプレイ

はこれまでなかったため、このような装置に対して期待が大きいことがわかった。しかし、第一試作機の点字表示の問題点として「通常の点字に比べて点が低く、読みにくい」(9名)という指摘があった。また、第二試作機に関しても、同様の意見を得た。理論的には通常の点字とほぼ同じスペックであったにもかかわらず、読みにくかった理由として「点の高さが一定でない」(4名)ことが最も大きな要因であることが推測でき、今後の改善の指針を得ることができた。

今後の製品への応用可能性についてのヒアリングの結果を表1にまとめた。

- ・液晶パネルをもったリモコン(図4)に実装されると、状態の把握や自分の操作に対する表示の変化を読み取ることができる(10名)。現状では他人に聞くか、当てずっぽうで操作せざるをえない。例としてテレビやエアコンのリモコン、電子レンジが挙げられる。

- ・ボタンを複数回押すことによって機能が切り替わる製品(トグルスイッチ)に実装されると状態の把握や自分の操作に対する表示の変化を読み取ることができる(7名)。現状では、そのような機能を使うことが難しいため、操作が簡単な基本的な機能の使用にとどまっている。例として洗濯機や電子レンジ、室内灯が挙げられる。

- ・予約機能をもった製品に実装されると、自分で時間を設定することができる(5名)。現状では自分で設定できない。例として、ビデオや炊飯器が挙げられる。

- ・携帯電話に実装されると、キャッチフォンの相手や登録情報を早く正確に把握できる(7名)。現状ではキャッチフォンの相手を知るには一度通話を中断しなけ

ればならず、登録情報は音声で聞くしかないため、聞き直しなどに手間がかかる。

・音声による読み上げ機能を備えた製品があるが、プライバシーに関わる情報は音声でなく点字で表示してほしい(3名)。例として ATM 操作時の残高や、電話に着信があったときの相手の名前が挙げられる。

報告事例は少なかったが、製品への応用だけでなく、支援や教育の現場にも応用可能であるという意見が得られた。

・日常生活に必要な家電製品等に搭載される点字が増えれば、リハビリテーションや特別支援教育での点字指導の在り方が変化する可能性がある。

・点字用紙の1ページに相当する「ページディスプレイ」ができれば、点字の電子化も進み、教育現場でも活用可能であると考えられる。

また、点字の利点に関する報告も得られた。

・点字の利点として、音声よりも、情報を正確に判断できること、検索性が良いことが挙げられる。

・音声と点字は機能が異なるため、二者択一ではなく、用途によって点字と音声を使い分ける必要がある。

#### D. 考察

評価実験では、視覚障害リハビリテーションや当事者団体を担っている専門家や当事者を対象とした試作機の評価実験、障害当事者モニターによる評価実験や半構造化面接等を実施した。その結果、主として以下の点が明らかになった。

##### (1) 本デバイスの有効性と課題

本デバイスを点字ユーザが使用すると、通常の点字よりも触読効率は低かったが、

単語や短い文章を読む場合には実用レベルであることが分かった。そのような効率の低さを与える要因として、主観的報告から、点が低くばらついて感じられることが考えられる。設計上は通常の点字と同じスペックであるにもかかわらず、ユーザにはそのように感じられなかったことから、客観的な数値と主観的な判断との間に乖離のあることがわかった。したがって、今後は点の高さや強さを独立変数として操作し、主観的に最適な点を求める実験が必要である。

##### (2) 本デバイスへの期待と改良の方向性

期待される本デバイスの活用事例として、液晶パネル上の情報を点字で表示する、音声による読み上げが難しい情報を点字で表示するといった報告があった。この報告は、「シーズとニーズのマッチング調査」と同じ傾向を示している。また、本研究では想定していなかった、支援・教育現場での活用も期待されると報告されたことから、本デバイスは高い応用可能性を有しているといえる。特に、点字出版所や盲学校から強く出された要望は、ページ単位で情報が表示できるピンディスプレイであった。点字の早い読み手は、図5に示したように両手で触読する。つまり、片手で1行目の後半を読みながら、一方の手で次の行頭を読み始めるという方法で触読するのである。図6、7に示したように、従来の点字ピンディスプレイは、1行しか表示されない。そのため、触読の効率が低下したり、疲れたりすることがヒアリングを通して明らかになったのである。また、図8、9に示したような、点図の作成に応用できないかという要望も強かった。現在、点字図書館や盲学校では、点図を作成する際には、特

別な装置を用い、特別な技術を持つ人に依頼して作成している。また、点字の教科書等が電子化できない最大の理由は、点字と点図をページ単位で同時に表示できなければならないからであることがわかった。本デバイスは、すでに3行の表示が可能になっている。今後、ニーズに合わせてページ単位の表示を可能にする改良を目指す。

## E. 結論

本デバイスは点の高さに課題のあることが明らかになったため、この結果を開発にフィードバックして改善を試みる必要がある。その一方で、視覚障害当事者からデバイスの製品を求める具体的な意見が挙がったことから、改良の後に再び評価実験を実施し、製品化を目指す。特に、ページ単位で表示できる点字ディスプレイや触図ディスプレイに対して、強い期待があることがわかった。点字の書籍を電子化する際にも、ページ単位で点字や触図を表示できるデバイスが必要不可欠であることがわかった。

## F. 研究発表

現時点ではないが、来年度、発表を行う予定である。

## G. 知的財産権の出願・登録状況

本調査研究そのものの出願・登録はない。



図1 評価実験の様子

評価実験の装置。制御用 PC、電源ユニット、デバイスから構成されている。



図2 視覚障害者による触読実験の様子

触読の待機状態の写真。実験者の「用意、はじめ」の合図で指を動かして点字を触読する。



**図3 視覚障害者による触読の様子**

デバイス上に表示されている点字を触察している場面の写真。左手の人差し指で触っている様子。



**図4 リモコンの液晶表示の問題点**

液晶表示付きのリモコンは、表示を確認することができないので、適切に利用できないという声が多かった。

表1 本点字デバイスの応用可能性

期待される応用場面	回答者数 (人)	具体的な製品	現在の使い方
液晶パネル	10	テレビ・エアコンのリモコン、 液晶パネル	他人に聞く、当てずっぽうで操 作する
トグルスイッチ	7	洗濯機、電子レンジ、室内 灯	本来の機能を使用できない
携帯電話	7	—	音声情報を使う
予約機能	5	ビデオ、炊飯器	本来の機能を使用できない
読み上げ機能の代替	3	ATM、携帯電話	プライバシーに関わる情報も 音声で聞かなければならない

N=19、複数回答可

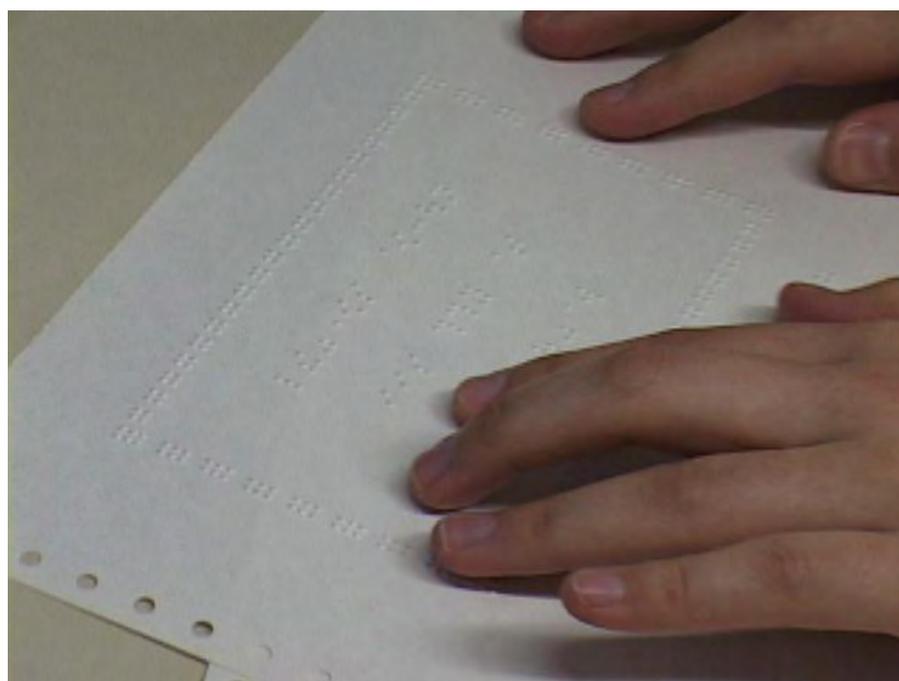


図5 点字を読む際の手の使い方と動き

点字を日常的に利用しているユーザは、両手を使って読む人が多い。1行の途中までは両手の指を一緒動かして触り、行の途中まで読んだところで、右手は残りの行を、左手は次の行を読むという運指をする。



図6 現状の点字ピンディスプレイ



図7 携帯型点字情報端末の点字ピンディスプレイ

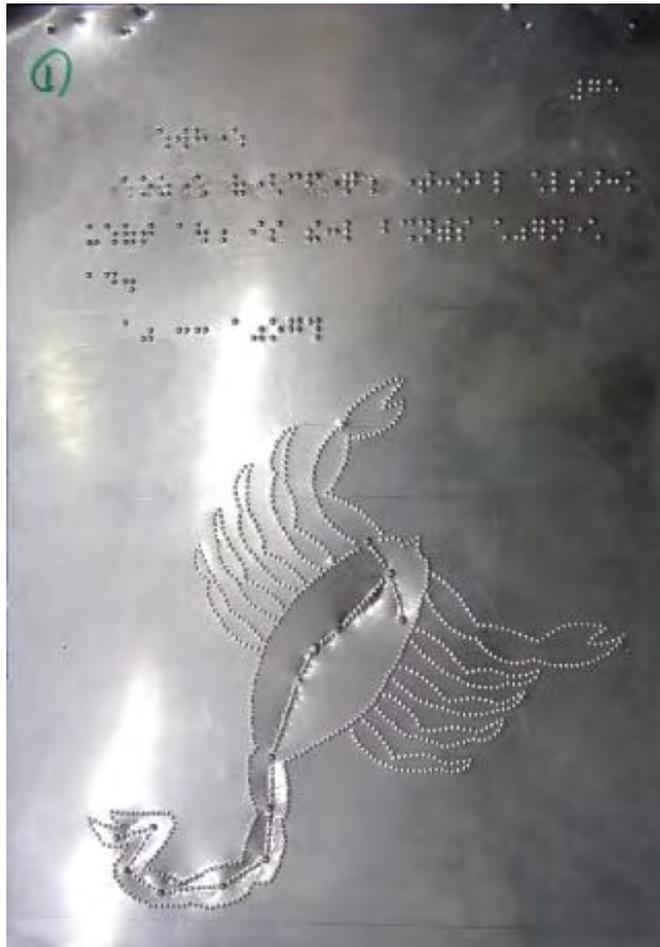


図8 亜鉛版で作成した点図の例



図9 亜鉛版で作成した点図の例2

【添付資料 1】

1. NHK ニュースウォッチ9 (2010年2月23日)「動く点字」の最新技術



## 【添付資料 2】

2. 毎日新聞 (2010年3月11日)「最先端技術使った薄型点字ディスプレイなどを公開ー厚労省の障害者自立支援プロジェクト」 - 毎日.jp (毎日新聞)

<http://mainichi.jp/universalon/report/news/20100311mog00m040013000c.html>

最先端技術使った薄型点字ディスプレイなどを公開ー厚労省の障害者自立支援プロジェクト - 毎日.jp (毎日新聞)

10/03/13 20:07

毎日.jp | 毎日新聞社 | English | まいまいクラブ

サイトマップ 検索

記事 写真

天気 特集 フォト 動画 地域 ランキング ことば 速報一覧 RSS

トップ > ユニバーサロン > ユニバーサロンレポート > 記事

### ユニバーサロンレポート

## 最先端技術使った薄型点字ディスプレイなどを公開ー厚労省の障害者自立支援プロジェクト

障害者の移動や情報アクセスを支援する福祉機器の開発を促す、厚労省の「09年度障害者自立支援機器等研究開発プロジェクト研究成果一般公開」が8日、東京都千代田区の同省で開かれた。脳機能障害、肢体不自由、視覚障害の分野で一般公募を行い採択された12件の技術を展示紹介した。

フィルム状の超小型軽量点字ディスプレイは厚さがわずか1ミリで、チューインガムのように薄く、携帯電話のスクリーンにも使える。独立行政法人産業技術総合研究所が、アルプス電気、東京大学、慶應義塾大学と共同開発したカーボンナノチューブ高分子アクチュエーターで作られている。



写真

展示された2種類の試作品は6文字と24文字表示用で、初心者には点字の凹凸がやや足りない印象を受けたが、「産総研(サンソーケン)」と触読でも読み取ることができた。携帯電話のディスプレイや銀行ATMの金額表示などに応用可能という。

実演した中野泰志慶應大教授は、「ピエゾーやソレノイドといった既存の点字ディスプレイ技術と違って、薄くて折り曲げても大丈夫。点字用紙1ページ分の面型点字ディスプレイも制作可能。低価格なため今後、量産化が期待される」と説明した。

産総研では点字プリンターメーカーなどの協力を得て、2年後の製品化を目指している。

国産点字プリンター大手で、世界最安の点字ディスプレイ「清華」を販売する日本テレソフトは、QR、SP、新型ハイスpekコードなど各種の2次元音声コードの読み上げが可能な携帯端末を展示した。

新型コードの「ハイスpekコード」は、QRコードで160字分の文字データを印刷可能で、文字情報のほかにMIDIの音楽データなども収録再生できるという。廣済堂のスピーチオなど既存の専用再生装置による活字読書が一般的だが、同社では「携帯電話などへの組み込みも可能」と説明している。

一方、「画像・GPS等のセンサ統合による日常利用可能な屋内外視覚障害者歩行支援システムの開発」の研究テーマで、宇都宮大、筑波大、産総研とともに成果発表した静岡県立大学国際関係学部の石川准教授は、自身が代表取締役を務めるエクストラが韓国のHIMS社と共同開発した携帯点字PDA「ブレイルセンスプラス」を用いた視覚障害者用ナビゲーションシステムの試作機を展示した。

歩行支援システムは、測位誤差の避けられないGPSだけに頼らず、画像認識に基づく位置や方位の推定を併用することで屋内や地下道などを含めて視覚障害者により的確な位置情報を提供する。

公開された試作機は、カメラやGPS、磁気加速度センサーなどを携帯端末と別に装着する大きなシステムだったが、プロジェクトでは今後、HIMS社からまもなく発表される18セルの小型点字音声携帯PDA「ブレイルセンスプラス」新型に電子コンパスやGPSセンサーなどナビシステムに必要なデバイスを組み込んで軽量化を図るといふ。【岩下恭士】

## 【添付資料3】

### 3. 毎日新聞（2010年3月12日）「点字プリンターがなくなる日」 - 毎日.jp（毎日新聞）

<http://mainichi.jp/universalon/talk/news/20100312mog00m070026000c.html>

3月12日 点字プリンターが消える日 - 毎日.jp(毎日新聞)

10/03/13 20:07

毎日.jp | 毎日新聞社 | English | まいまいクラブ

サイトマップ

検索

記事

写真

天気

特集

フォト

動画

地域

ランキング

ことば

速報一覧

RSS

[トップ](#) > [ユニバーサロン](#) > [フリートーク](#) > 記事

#### フリートーク

### 3月12日 点字プリンターが消える日

ピンの凹凸で点字を表示する「点字ディスプレイ」が世に出て20年前後だと思うが、普段これを使いながらいつも夢見ていた技術、紙のように1ページ分の点字を表示可能な携帯ディスプレイがついに現れる。

レポート記事でもご紹介した産総研（産業総合研究所）のグループが開発中のカーボンナノチューブ高分子アクチュエーターというフィルム状の点字ディスプレイで、チューインガムのように折り曲げても大丈夫。紙と違って摩擦する心配がなく、いつでも鮮やかな点字表示を保つことができ、瞬時に読みたいページを表示できるという。

8日に厚生労働省の展示会で見た試作品はまだまだ点のピッチが足りない印象を受けたが、開発にかかわる中野泰志・慶応大教授の話では、点の高さはまだまだ上げられるということだった。

だが、カーボンナノチューブがもっと期待されるのは点字製品の劇的なローコスト化だ。これが実用化されれば、100万円以上もする点字プリンターや50万円前後の点字ディスプレイは要らなくなるし、活字よりも上質な用紙が必要な点字用紙も要らなくなるので環境にも優しい。点字文化の新たな一ページが開かれつつある。【岩下恭士】

#### 【関連記事】

[ユニバ・レポート:最先端技術使った薄型点字ディスプレイなどを公開ー厚労省の障害者自立支援プロジェクト](#)

2010年3月12日



[産総研ホーム](#)[ニュース](#)[研究紹介・成果](#)[相談・手続き・問合せ](#)[> 研究紹介・成果 > 主な研究成果 > 薄くて軽いフィルム状の点字ディスプレイを開発](#)

2010年3月23日 掲載

## 薄くて軽いフィルム状の点字ディスプレイを開発

ー カーボンナノチューブ高分子アクチュエーターを用いることで小型化に成功 ー

[セルエンジニアリング研究部門](#)

人工細胞研究グループ

研究グループ長 安積 欣志

E-mail: [asaka-kinji@aist.go.jp](mailto:asaka-kinji@aist.go.jp)

### ポイント

- カーボンナノチューブとイオン液体による高性能高分子アクチュエーターを改良
- このアクチュエーターを用いた薄くて軽いフィルム状点字ディスプレイを実現
- 家電などに組み込み可能で、視覚障害者の社会参加を容易に

### 概要

独立行政法人 産業技術総合研究所【理事長 野間口 有】（以下「産総研」という）[セルエンジニアリング研究部門](#)【研究部門長 大串 始】人工細胞研究グループ 安積 欣志 研究グループ長、杉野 卓司 主任研究員、アルプス電気株式会社（仙台開発センター）、東京大学大学院 工学系研究科 染谷 隆夫 教授、関谷 毅 助教、慶應義塾大学自然科学研究教育センター 中野 泰志 教授、新井 哲也 助教らは、産総研が開発してきた[カーボンナノチューブ](#)高分子[アクチュエーター](#)を用いて、非常に薄型で視覚障害者が実際に識字可能な[点字ディスプレイ](#)の開発に成功した。

本開発で用いたアクチュエーターは、カーボンナノチューブと[イオン液体](#)および[ポリマーバインダー](#)からなる電極2枚の間に、イオン液体とポリマーからなる[ゲル電解質](#)をサンドイッチした構造をしており、3V以下の電圧で大きく変形する素子である。点字ディスプレイに用いるために本アクチュエーターの最適化を進め、点字のドットの凹凸を電圧で制御する形の、いままでになく薄くて軽い点字ディスプレイを作ることに成功した。

そのデモ評価機によるユーザー評価実験を進めるとともに、有機トランジスタによるフレキシブルなフィルム状点字ディスプレイの基盤技術開発も同時に進めている。今後、本成果をもとに、実用化開発を進める。

この点字ディスプレイは、平成21年11月25日～27日に開催された産総研、独立行政法人理化学研究所主催の「第4回人工筋肉コンファレンス」で展示発表された。また、平成22年3月8日(月)厚生労働省障害者保健福祉推進事業（障害者自立支援機器等研究開発プロジェクト）発表会においても展

示発表された。



カーボンナノチューブ高分子アクチュエーターを用いた薄くて軽いフィルム状の点字ディスプレイ

## 開発の社会的背景

点字は視覚障害者が単独で読み書きできる唯一の文字である。コンピューター画面読み上げソフト（スクリーンリーダー）の登場により、音声による情報伝達が注目されているが、音声は時系列でしか理解できず、行き来しながら読むことができない点で文字とは異なっている。特に、電話番号や外国語のスペル等のように、正確に理解する必要がある文字列を認識する際には、一過性の音声と比べ、点字のメリットは大きい。さらに、視覚だけではなく聴覚にも障害がある盲ろう者が使える文字は点字しかない。昨年、2009年は点字を発明したブライユの生誕200年にあたり、世界中で点字の重要性が再認識されている。

点字は文字としての特性は優れているが、家電やコンピューターなどに搭載することが技術的に困難であった。なぜなら、点字を電子的に表示させるためには、従来は、比較的素子サイズの大きいソレノイド式あるいは圧電式アクチュエーターが用いられており、携帯して用いるには、大きく重くなってしまう問題があった。

## 研究の経緯

カーボンナノチューブ高分子アクチュエーターは、独立行政法人 科学技術振興機構(JST)戦略的創造研究推進事業 (ERATO) 相田ナノ空間プロジェクトの相田 卓三 教授（東京大学）、福島 孝典 研究員（現理研）らが見いだした、カーボンナノチューブとイオン液体からなるゲル状物質（特許第3676337号）の応用として、同ERATOのグループと産総研とが共同開発したアクチュエーター技術（特許第4038685号）を基本技術とする。

その後、独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）ナノテク・先端部材実用化研究開発、産総研特許実用化共同研究、アルプス電気株式会社との共同研究等でアクチュエーターの材料開発を進めた結果、発生する力や応答速度などを飛躍的に向上させた。

そこで、2009年より、カーボンナノチューブ高分子アクチュエーターを用いた点字ディスプレイの開発を、厚生労働省障害者保健福祉推進事業（障害者自立支援機器等研究開発プロジェクト）「携帯電話にも装着可能な、軽量で薄い（薄さ1mm）点字デバイスの開発」において、アルプス電気株式会社、東京大学、慶應義塾大学と共同で進めてきた。

## 研究の内容

本開発に用いたアクチュエーター（カーボンナノチューブ高分子アクチュエーター）は、イオン液体とポリマーからなるゲル電解質を、カーボンナノチューブとイオン液体およびポリマーバインダーからなる電極2枚で、サンドイッチした構造(図1)をしており、3 V以下の電圧をくわえると、それぞれ大きさの異なる陽イオンと陰イオンが各電極層に移動して、電極層の体積差が生じることにより、大きく変形する素子(図2)である。このアクチュエーターは耐久性もあることから、これを用いてフィルム状の点字デバイスのプロトタイプを作製した。その動作検証を視覚障害者であるユーザーへのデモで行うことで、さらに点字ディスプレイのプロトタイプの改良を行う形で開発を進めている。

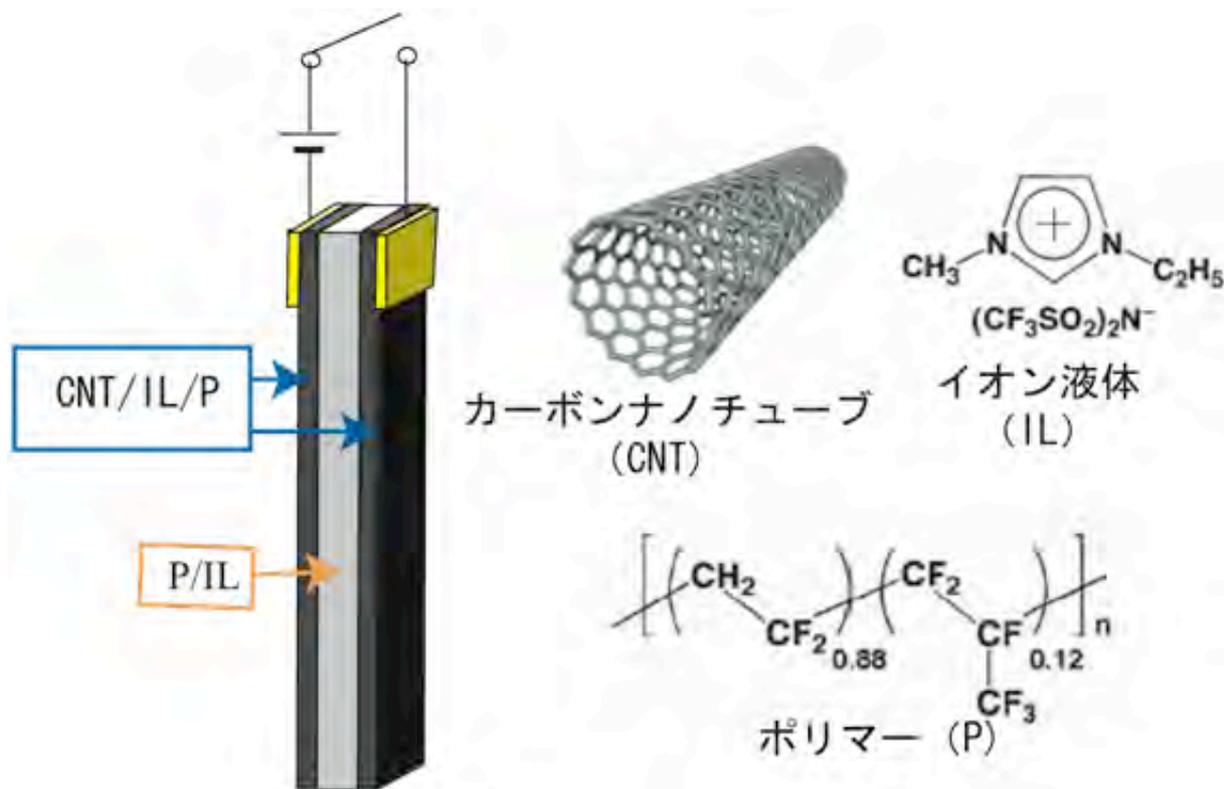


図1 カーボンナノチューブ高分子アクチュエーターの構造

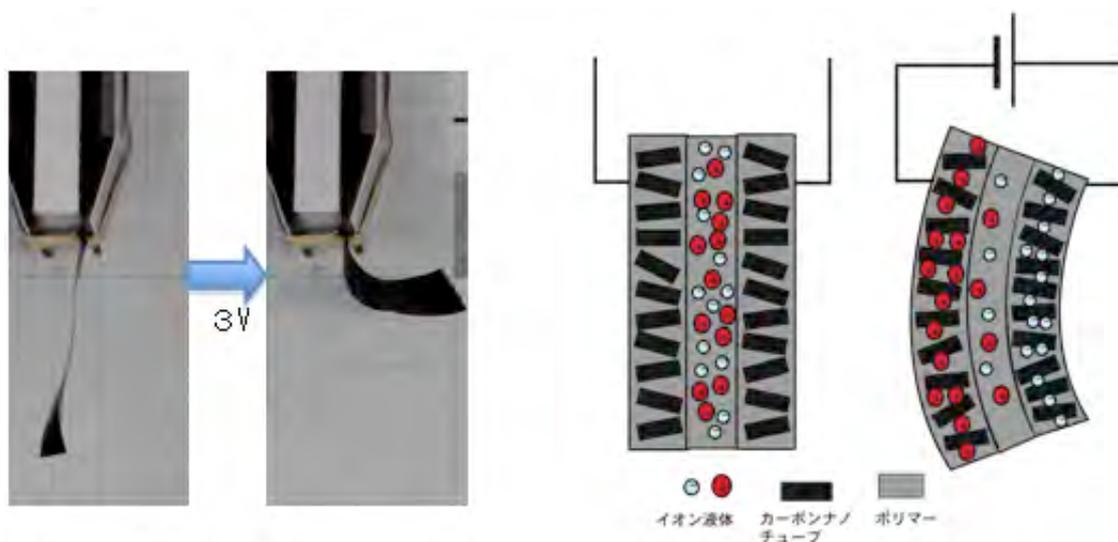
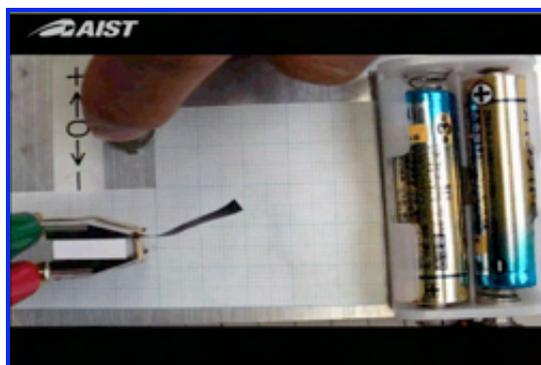


図2 カーボンナノチューブ高分子アクチュエーターの変形

厚み方向に3 Vの電圧をかけることでカーボンナノチューブ高分子アクチュエーターがプラス極側に大きく変形する（左図）。電圧を加えた際、電極層にそれぞれのイオンが移動することにより、電極層の体積差が生じてアクチュエーターが変形するモデル図（右図）

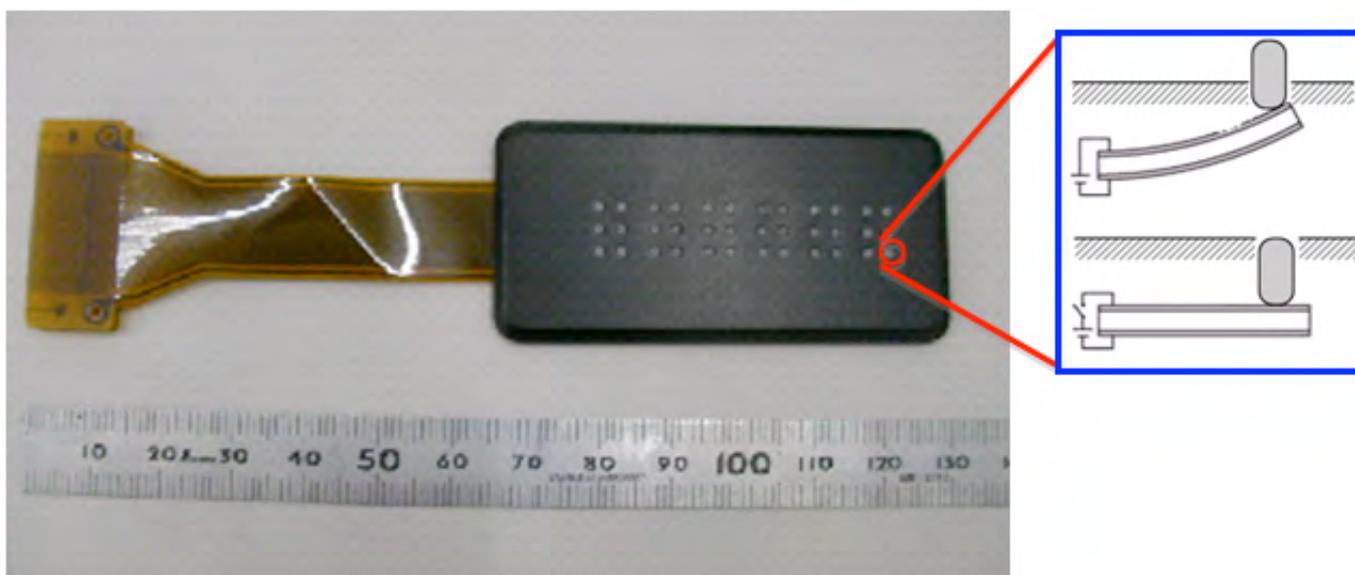


カーボンナノチューブ高分子アクチュエーター

【動画：70秒】（Windows Media形式）

本開発に用いたカーボンナノチューブ高分子アクチュエーターは、もともと点字表示における必要な最低限の発生力や変位量を示していたが、さらに、何種類かの厚み、および電極成分の異なるアクチュエーターを試作し、最適な速度と力を示すアクチュエーターを探索した。その結果、点字ディスプレイに必要な素子の最適な厚みと電極層の組成比を見いだした。

さらに、点字のドットの凹凸を電圧で制御する形の点字ディスプレイのプロトタイプ開発を進め、6文字を表すことのできる点字ディスプレイ本体（幅3 cm×長さ6.5 cm×厚み3 mm、コントロールボックス別）、および、携帯電話の大きさで、24文字表現できるコントロールボックス、電源と一体型のデモ評価機を作製し（図3、アルプス電気）、視覚障害者による評価実験を行っている（慶應義塾大学）。



### 図3 点字ディスプレイデモ評価機

幅3 cm×長さ6.5 cm×厚み3 mm、6文字表示。右上はアクチュエーターによる点字表示原理の模式図



薄くて軽い点字ディスプレイ

【動画：36秒】（Windows Media形式）

また、有機トランジスタの集積化技術の開発により、フレキシブルなフィルム状点字ディスプレイの基盤技術の開発を東京大学で進めている。また、同時に、本開発の様なフィルム状ディスプレイがどのような用途に必要とされているかについて、ユーザー調査も進めている（慶應義塾大学）。

本開発によるカーボンナノチューブ高分子アクチュエーターを用いた触覚デバイスである点字ディスプレイは、いままでになく薄くて軽い上に、きわめて構造が簡単で、組み立てが容易である。しかも低電圧で動作して、消費電力も少ないという特徴から、タッチパネルの上に貼り込む形での搭載も可能である。また、カーボンナノチューブなどの材料費が現在進行している飛躍的な低価格化によって安価になれば、点字ディスプレイもより安価に作製できるものと期待される。

安価になれば、視覚障害者から要望の高い銀行等のATM、タッチパネル式の携帯電話や家電製品をはじめ、創造力を育てる玩具類や教科書バリアフリー法の施行で期待が高まっている電子教科書へも点字ディスプレイを搭載することもでき、視覚障害者の社会参加がより容易になることが期待される。

## 今後の予定

今後、ユーザー評価実験を通じて、明らかになった本点字ディスプレイの問題点を解決し、携帯電話や家電の液晶表示など視覚障害者が必要としているケースを調査して、実用化を目指した研究を進めていく。

## 用語の説明

### ◆カーボンナノチューブ

単層カーボンナノチューブは、グラファイトの一枚面を巻いてできる筒状物質。単層と多層があり、直径はおおよそ1ナノメートルであり、長さは数マイクロメートルから数ミリメートルにも及ぶ。特別な処理をしない限り、何本かのチューブが束となって存在している。多層カーボンナノチューブは、大きさの異なる単層ナノチューブが、何枚も重なってできたもので、直径も重なる数に応じ

て、大きくなる。[\[戻る\]](#)

#### ◆点字ディスプレイ

点字は視覚障害者が触覚で読む文字であり、1825年にフランスのルイ・ブライユによりアルファベットの6点式点字が開発された。その後、石川倉次により日本語の点字が考案され、用いられている。点字ディスプレイは基本的に6個のピンを電気信号で制御されたアクチュエーターにより、上下させて表示するものである。現在、ソレノイド式あるいは圧電式アクチュエーターのものが用いられており、携帯したり、機器の表示部分に貼り付けたりして用いるには、大きく重くなってしまう問題がある。[\[戻る\]](#)

#### ◆アクチュエーター

様々なエネルギーを機械的な仕事に変換するデバイスであり、電磁モーター、油圧、空気圧アクチュエーターが基本的なアクチュエーターとして、ロボットなどのメカトロニクス（機械工学と電子工学を統合した技術）分野で用いられている。近年、新しいアクチュエーターとして、形状記憶合金、水素吸蔵合金、磁歪などの金属材料アクチュエーター、圧電、電歪などのセラミックアクチュエーター等があるが、様々な高分子材料を用いた高分子アクチュエーターが、軽量・ソフトなアクチュエーターとして注目されている。[\[戻る\]](#)

#### ◆イオン液体

塩であるにも係わらず、室温で液体として存在する物質。新しい電解質として、難揮発性、耐熱性、高イオン伝導性などの性質を持つものがあるため注目されている。また最近では、有機反応溶媒としての利用も考えられている。[\[戻る\]](#)

#### ◆ポリマーバインダー

カーボンナノチューブ等の電極微粒子から電極層を作製するためのポリマー(高分子)。電極微粒子の分散性、電解質との相溶性、あるいは、加工性、力学特性などが求められる。[\[戻る\]](#)

#### ◆ゲル電解質

ゲル化した様々な高分子電解質ゲル、あるいは、低分子の電解液で膨潤させたゲルであり、固体の形状を持ちながら、室温でも比較的高いイオン導電性を持つことから、燃料電池、リチウム電池、キャパシター用等電気化学デバイスのためのイオン導電性材料として、開発が進められている。固体の形状を保ちながら、電解液とほぼ同等の導電率を示すゲルの特徴が利用されている。[\[戻る\]](#)

## 問い合わせ

独立行政法人 産業技術総合研究所

セルエンジニアリング研究部門 人工細胞研究グループ

研究グループ長 安積 欣志 E-mail: [asaka-kinji@aist.go.jp](mailto:asaka-kinji@aist.go.jp)

[≡ ページの先頭へ](#)

[| 産総研ホーム](#) | [| ニュース](#) | [| 研究紹介・成果](#) | [| 相談・手続き・問合せ](#) |

[ご利用条件](#) [個人情報保護](#) [関連リンク](#)

©2001-2010 産総研