

Title	印刷技術と高誘電率紙基板を用いた小型フレキシブルアンテナの開発
Author(s)	乾, 哲治
Citation	大阪大学, 2016, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/55945">https://hdl.handle.net/11094/55945</a>
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉</a> 大阪大学の博士論文について <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈/a〉</a> をご参照ください。

***Osaka University Knowledge Archive : OUKA***

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

## 論文内容の要旨

氏 名 ( 乾 哲 治 )	
論文題名	印刷技術と高誘電率紙基板を用いた小型フレキシブルアンテナの開発
論文内容の要旨	
<p>本論文では、従来の技術と比較し、電子デバイスを安価で連続生産可能なプリントドエレクトロニクス技術に着目し、小型フレキシブルで高感度なアンテナの簡便な大量生産プロセスの開発を検討した。</p> <p>第1章では、小型フレキシブルアンテナの技術開発を行うため、IoTの動向、デバイスを安価で大量に作製可能なプリントドエレクトロニクスおよび次世代のエレクトロニクス基板として期待されるナノペーパーに関する背景をまとめた。近い将来、フレキシブルで小型なワイヤレス情報通信電子デバイスが大きく普及すると予測される。そのため、小型でフレキシブルなアンテナの大量生産に向けた簡便な製造プロセスが求められる。そこで、本論文では、「印刷技術と高誘電率紙基板を用いた小型フレキシブルアンテナの開発」を目的とし、プリントドエレクトロニクスにおけるパターンニング、焼成、基板の3つのプロセスについて取り組んだ。すなわち、パターンニング：高粘度銀塩インクの非接触印刷プロセスの開発、焼成：銀塩インクの低温焼成プロセスの開発、基板：アンテナの小型化に向けた高誘電率紙基板の開発を目指した。</p> <p>第2章では、高粘度銀塩インクの非接触印刷に向け、LIFT条件の最適化を行った。トリアゼンポリマー剥離層により効果的なLIFT印刷に成功した。インク溶媒、インク粘度およびドナー・アクセプタ基板間距離がそれぞれヘキシルアミン、60 mPa s、125 <math>\mu\text{m}</math>のとき安定した明瞭な円形の液滴の印刷を実現した。LIFT印刷配線は、焼結後、低体積抵抗率(11.6 <math>\mu\Omega\text{ cm}</math>)を示した。このLIFTアプローチは、銀、銅や金など様々な金属塩インクに応用が可能であるため、プリントドエレクトロニクスのアプリケーションの新たな可能性を示した。</p> <p>第3章では、簡便な熱水処理で銀ナノ粒子の焼結が促進されることを発見し、高導電性印刷配線および印刷アンテナ作製に向けた低温・短時間焼結プロセスとして応用することに成功した。すなわち、80<math>^{\circ}\text{C}</math>、95%RHの環境下でわずか2分間処理することにより、体積抵抗率約6 <math>\mu\Omega\text{ cm}</math>を実現した。また、この手法をプラスチックやナノペーパーといった様々なフレキシブル基材に適用し、高感度な高周波用印刷アンテナも作製することができた。来たるIoT社会に資するワイヤレス情報通信用印刷アンテナの量産技術として期待が持たれる。</p> <p>第4章では、植物セルロースナノファイバーからつくられるナノペーパーに高アスペクト比の導電性銀ナノワイヤを少量添加することで、GHz帯の高周波領域において比誘電率727を示すナノペーパーコンポジットを開発した。また、この高誘電率銀ナノワイヤ/ナノペーパーをアンテナ基板に用いることで、元のナノペーパー基板やさらには汎用プラスチック基板と比べても、送受信感度を損なうことなくアンテナを約半分に小型化することに成功した。さらに、紙と同様に折り曲げ可能なフレキシブル性も実証した。小型かつフレキシブルな新規ペーパーアンテナとして、次世代の高周波無線通信対応型ウェアラブルデバイスへの適用に期待が持たれる。</p> <p>以上、本研究で得られたプリントドエレクトロニクス技術で作製する小型フレキシブルアンテナの知見は、来たるIoT社会に大きく貢献すると予測される。</p>	

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 ( 乾 哲 治 )			
論文審査担当者	(職)	氏	名
	主 査	教 授	菅沼 克昭
	副 査	教 授	安蘇 芳雄
	副 査	教 授	藤原 康文
	副 査	教 授	南埜 宜俊
	副 査	教 授	浅田 稔
	副 査	教 授	中谷 彰宏
	副 査	教 授	平田 勝弘
	副 査	准教授	能木 雅也
	副 査	准教授	長尾 至成

**論文審査の結果の要旨**

近年、ノートパソコンやスマートフォンなどの情報通信端末の普及が急速に拡大している。そして、これらの電子デバイスの小型・軽量化およびフレキシブル化が進み、ありとあらゆるものがインターネットにつながる時代が到来すると考えられる。そのため、小型かつ柔軟なワイヤレス情報通信用アンテナデバイスがこれまでより大量に必要になると予測される。従って、これらの特徴を有するアンテナの大量生産に向けた材料開発とそれに適合する簡便な製造技術が求められる。

そこで、本研究では、従来の製造技術と比較し、簡便で大量生産可能なプリントドエレクトロニクス技術に着目し、重要な開発要素である、導電性インクのバターンニング、印刷した導電性インクの焼成、基板の 3 テーマについて取り組んだ。すなわち、バターンニング:高粘度銀塩インクの高誘電率紙基板の非接触印刷プロセスの開発、焼成:低温焼成プロセスの開発、基板:アンテナの小型・フレキシブル化に向けた高誘電率紙基板の開発を実行した。その結果、以下の成果を得た。

- (1) バターンニング:非接触印刷法は、基板に機械的圧力や損傷を与えることなく、インクを任意の場所・あらゆる基板上にバターンニングすることが可能である。インクジェット印刷は、有望な非接触印刷法であるが、ノズル詰まりの問題があるため、使用できる材料に制限がある。そこで、非接触印刷法であるレーザー転写法に着目し、レーザーエネルギー、銀塩インクの粘度および溶媒などの最適化を行った。その結果、レーザー転写法で作製した配線は、焼成後、幅 141  $\mu\text{m}$ 、体積抵抗率 11.6  $\mu\Omega\text{ cm}$  を実現した。
- (2) 焼成:プリントドエレクトロニクスでは、インクを印刷後、導電性を発現させるため、加熱焼成処理を行う。焼成温度および時間をより低温かつ短時間化できれば、省エネかつ高速で電子デバイスが作製可能となる。本研究では、簡便な熱水処理で銀ナノ粒子の焼結が促進されることを発見し、高導電性印刷配線に向けた低温・短時間焼結プロセスとして応用した。その結果、80 $^{\circ}\text{C}$ 、95%RH の環境下でわずか 2 分間処理することにより、体積抵抗率約 6  $\mu\Omega\text{ cm}$  を実現した。また、この焼成法で作製したアンテナは、高感度を示した。
- (3) 基板:アンテナの小型化には、高誘電率基板が有効である。そこで、セルロースナノファイバーから作製されるナノペーパーに高アスペクト比の導電性銀ナノワイヤを少量複合化することにより、元のナノペーパーの約 140 倍である比誘電率 727 を有するフレキシブルナノペーパーコンポジットを作製した。この高誘電率基板を用いることにより、元のナノペーパー基板や汎用プラスチック基板と比較し、アンテナを約半分に小型・軽量化することに成功した。また、この小型アンテナは、優れたフレキシブル性能を示した。

以上のように本論文から得られた、小型フレキシブルアンテナを実現するプリントドエレクトロニクス技術の知見は、近未来の情報通信社会に貢献すると期待される。よって、本論文は、博士論文として価値あるものと認める。