

氏 名（本籍）	はし 橋	や 谷	だ 田	まさ 真	き 樹
学 位 の 種 類	博 士（医 学）				
学 位 記 番 号	医 第 3 3 6 2 号				
学 位 授 与 年 月 日	平 成 17 年 3 月 2 日				
学 位 授 与 の 条 件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当				
最 終 学 歴	平 成 5 年 3 月 31 日 山形大学工学部高分子化学科卒業				
学 位 論 文 題 目	DNA 個別識別情報の物品認証への応用 －DNA インキの発想とその耐久性・脆弱性の検証－				

（主 査）

論 文 審 査 委 員	教 授 舟 山 真 人	教 授 根 東 義 明
	教 授 辻 一 郎	

論文内容要旨

指紋・虹彩等の生体情報による個人識別はバイオメトリクス認証技術として近年急速に研究・実用化が進展している。生体情報といえば法医学分野で個人識別に利用されている short tandem repeat (STR) 多型もその対象となるが、バイオメトリクス認証として応用するには DNA 解析の時間的制約が大きく、いくつかの技術革新を待たなければならない。そのため、現時点の技術でも実用化が可能な DNA 個人識別情報を利用した物品認証への応用を試みた。物品認証とは物品に何らかの方法でそれが本物であるとの情報を添付し、真贋判定を行うことである。そこで、印刷用のインキに STR 多型情報を基に合成された DNA を混合させた DNA インキを作製し、それによる印刷物の耐久性・脆弱性の検討を行うことが本論文の目的である。

DNA インキの作製方法は、まず STR 15 座位の解析を行い、その繰り返し回数を順に並べて 10 進法数十桁の ID を作成する。次にその ID を個人情報の保護と情報量の圧縮を目的として、一方向性関数であるハッシュ関数を通すことにより 2 進法 160 ビットの数列にする。これを DNA 個人 ID (DNA-ID) と定義した。この一部、40 ビット分を抽出後、2 ビットを 1 塩基に置き換え、新たな塩基配列を作成し、4 塩基ごとに 2 ビットのシフト・チェックビットを挿入した。さらに 5' 側にヘッダー (5 塩基) およびシリアル番号 (15 塩基) を付け加え、全体の両側にプライマー配列 (20 塩基) を付加し、最終的に 85 塩基の配列を持つ DNA を合成した。この合成 DNA を印刷用インキと混合させ、DNA インキとした。

次にこの DNA インキによる展色見本に対し、各種耐久試験を行った後の試験片について DNA 解析を行った。試験片から DNA を抽出後、目的とする合成 DNA 配列のみを polymerase chain reaction (PCR) 法により増幅させ、増幅が確認された後に、サブクロニング・シーケンス反応を行い、塩基配列を決定した。耐久試験の結果、予想されたように紫外線の影響が最も大きく現れたが、混入する合成 DNA の量を調節し、印刷表面に酸化亜鉛でコーティングすることで最終的には通常用いられているグラビアインキ以上の耐久性を持たせることに成功した。

また、機密情報漏洩の可能性を探るため、ランダムプライマーを用いた偽造テストを行い、DNA インキの脆弱性を検証した。その結果、経済面から現実的ではないにせよ DNA の混入だけでは偽造は可能であり、防御対策を施す必要があることが判明した。この問題は、特定の赤外線に発光する顔料、あるいは核磁気共鳴物質等の識別添加物を混入することで対応した。

以上のことから、印刷用のインキを用いることで多種多様な物品に情報を付加することができ、さらに、STR 個人識別情報を基に合成された DNA を混入させることで偽造が困難な DNA インキを作製することが可能となった。この DNA インキを用いることで品物の真贋判定、すなわち物品認証を行うことが現実のもととなり、実際に DNA インキを用いたラベル、シールを作製し、

牛肉のトレーサビリティ・モデル事業、およびパチンコ不正ロム防止シールへの実務応用も図られた。さらに、アクリル樹脂に合成 DNA を混入させた、いわゆる DNA プラスチックと呼べる新しい素材からや、基盤に直接印刷された 2 次元バーコードからの DNA 解析も可能であり、今後いろいろな用途への応用が期待される。

本研究は法医学分野に留まっていた DNA による個人識別情報を、バイオメトリクス認証まで広げたものである。特に現時点での DNA 解析技術の中で社会的に利用可能な物品認証にテーマを絞り、そこから生まれた DNA インキの耐久性・脆弱性を検証し、実用化への道に至ったことは、博士号の学位に十分値する研究及び論文である。

審査結果の要旨

学位論文提出者は、法医学分野の技術職員として法医実務に従事している一方で、DNAによる個人識別の研究を重ね、論文発表や国内外での学会発表も積極的に行い、研究者として申し分のない業績を上げている。さらに、情報セキュリティ分野との共同研究により、これまでは指紋・虹彩等の生体情報によって行われていたバイオメトリクス認証技術にDNAによる個人識別情報を応用すべく邁進している。しかしながら、DNA情報をバイオメトリクス認証として応用するには解析の時間的制約が大きく、いくつかの技術革新を待たなければならない。そのため、現時点の技術でも実用化が可能なDNA個人識別情報を利用した物品認証への応用を試みたものが本論文である。物品認証とは物品に何らかの方法でそれが本物であるとの情報を添付し、真贋判定を行うことである。そこで、法医学分野で個人識別に用いられているshort tandem repeat (STR)多型情報を基に合成されたDNAを印刷用のインキに混合させたDNAインキを作製し、それによる印刷物の耐久性・脆弱性の検討を行なった。混入する合成DNA配列の基になるSTR多型情報は、一方向性関数であるハッシュ関数を通すことにより、個人情報保護、情報量の圧縮が図られている。さらに、配列の両端にプライマー配列を付加することで、polymerase chain reaction (PCR)法での検出を可能にしている。と同時に、プライマー配列を秘匿することで、インキの偽造を困難なものとしている。耐久性についてはDNAインキによる展色見本に対し、各種耐久試験を行った後の試験片からDNA解析を行うことにより評価を行った。その結果、紫外線の影響が最も大きく現れたが、混入する合成DNAの量を調節し、印刷表面に酸化亜鉛でコーティングすることで最終的には通常用いられているグラビアインキ以上の耐久性を持たせることに成功した。また、脆弱性の検討、つまりランダムプライマーを用いた偽造テストの結果、現実的ではないにせよDNAの混入だけでは偽造は可能であり、防御対策を施す必要性があることが判明した。この問題は、特定の波長を持つ赤外線に発光する顔料、あるいは核磁気共鳴物質等の識別添加物を混入することで対応した。実際にDNAインキを用いて、牛肉のトレーサビリティ・モデル事業、およびパチンコ不正ロム防止シールへの実務応用も図られている。さらに、アクリル樹脂に合成DNAを混入させた、いわゆるDNAプラスチックと呼べる新しい素材からや、基盤に直接印刷された2次元バーコードからのDNA解析も可能であった。以上のように本研究内容は世界的に見ても例がないほど独創的な発想であり、今後さらなる実用化への応用が期待できる。従って十分学位に値するものと判断される。

よって、本論文は博士(医学)の学位論文として合格と認める。