新生児指紋認証技術による SDGs ターゲット 16.9 への挑戦

Challenges for SDGs Target 16.9 by Neonate Fingerprint Identification Technology

幸田芳紀 Yoshinori Koda

伊藤康一 Koichi Ito

青木孝文 Takafumi Aoki

アブストラクト 2015年に国連は、「我々の世界を変革する：持続可能な開発のための2030アジェンダ」(Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development)を採択し、その中で Sustainable Development Goals (SDGs)を発表した。このSDGsは17つのゴールと169個のターゲットで構成されており、その目標16ターゲット16.9では、「2030年までに、出生登録を含むすべての人に合法的な身元を提供する」ことを宣言している。これは、出生直後から全ての人が出生国の国民として登録されることで、国民として享受すべき社会保障サービスを受けられる環境を確立することにほかならない。国民の登録・管理に利用できる個人認証技術の一つとして指紋認証がある。現在までに数多くの国々が指紋認証に基づいた国民IDシステムを導入している。しかしながら、新生児に利用可能な指紋認証システムが開発されておらず、そもそも現状の国民IDシステムでは、新生児を含む5歳以下の子供を登録対象としていない。本稿では、SDGsターゲット16.9の実現に向け、指紋認証技術の適用範囲を出生直後の新生児にまで拡大する取組みについて述べる。

キーワード SDGs16.9, 指紋認証, 新生児認証

Abstract In 2015, the United Nations adopted the resolution “Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development”, which defined “Sustainable Development Goals (SDGs).” SDGs consists of 17 goals and 169 targets, One of the action plans is listed at “Goal 16 Target 16.9,” which clearly states “By 2030, provide legal identity for all, including birth registration.” This target is aimed at establishing a society that provides various public services. A fingerprint identification technology is considered as one of the technologies that can contribute to achieving a reliable civil registration and management system. National ID systems utilizing fingerprint identification technology are currently installed into many countries. However, the fact of the matter is that many national ID systems do not include newborn children, infants, or young children less than 5 years of age within their target age range. In this report, research on expanding the capability of fingerprint identification technology to include neonates soon after delivery in order to realize SDGs Target 16.9 is described.

Key words SDGs16.9, fingerprint identification, neonate identification

1. はじめに

2015年に国連サミットで「我々の世界を変革する：持続可能な開発のための2030アジェンダ」(Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development)が採択され、その中で Sustainable Development Goals (以下SDGs)が

発表された。SDGsは、2016年から2030年までの国際目標として、持続可能な世界を実現するための17のゴール・169のターゲットを定義しており、そのゴール16ターゲット9では、出生登録の重要性を裏付けるように、「2030年までに、すべての人々に出生登録を含む法的な身分証明を提供する」ことを国際課題への対応策の一つとして明記している⁽¹⁾。しかしながら、世界銀行のIdentification for Development (ID4D) 2017 Annual Report⁽²⁾では、全世界で11億人が法的人格 (Legal Identity) を持たないと報告されている。法的人格を用いた本人同定ができない状況は、社会保障としての予防接種や食糧供給に加え、教育や就業機会の提供など、開発途上国の貧困脱却の阻害要因となっている。法的人格の付与方法の代表的例として、確実な出生証明・出生登録による自国民の出生数管理がある。出生数を管理できないことは、提供すべき社会保障サービス量を政府組織が適切に判断できないことを意味する。出生時の新生児から本人同定する

幸田芳紀 学生員 東北大学大学院情報科学研究科情報基礎科学専攻
E-mail koda@aoki.ecei.tohoku.ac.jp

伊藤康一 正員 東北大学大学院情報科学研究科情報基礎科学専攻
E-mail ito@aoki.ecei.tohoku.ac.jp

青木孝文 正員 東北大学大学院情報科学研究科情報基礎科学専攻
E-mail aoki@ecei.tohoku.ac.jp

Yoshinori KODA, Student Member, Koichi ITO and Takafumi AOKI, Members (Graduate School of Information Sciences, Tohoku University, Sendai-shi, 980-8579 Japan).

電子情報通信学会 基礎・境界ソサイエティ

Fundamentals Review Vol.13 No.4 pp.312-320 2020年4月

©電子情報通信学会 2020

ことは、自国民が生活をしていく上で非常に数多くの事象を改善する要素になり得る。その存在をもって本人であることを証明可能な生体認証技術により、全ての人々に法的人格を与え、必要なタイミングで確実に本人同定が可能な手段を構築し、発展途上国の発展に寄与することを望む。

2. 国連 SDGs の目的

外務省は、SDGs の前文を「このアジェンダは、人間、地球及び繁栄のための行動計画である。これはまた、より大きな自由における普遍的な平和の強化を追求するものでもある。我々は、極端な貧困を含む、あらゆる形態と側面の貧困を撲滅することが最大の地球規模の課題であり、持続可能な開発のための不可欠な必要条件であると認識する」と記している⁽³⁾。このことから、SDGs が、発展途上国の貧困撲滅に主眼を置いていることが分かる。一方で、各ターゲットは貧困撲滅だけに特化しておらず、先進国と発展途上国との間や男女間にある格差は正、気候変動や環境汚染への取組みなど、世界中の人々が持続可能な未来を築くための目標をも定めている。SDGs は、単に、貧困解消方法としての収入増加を目的とした経済的側面だけでなく、エネルギー消費量や海洋・大気汚染改善などの環境問題や、教育機会の提供や男女差別の解消などの国際課題の解決策などのように将来的に持続的な発展の礎づくりを各国政府に呼び掛けている。

2.1 SDGs と生体認証技術

SDGs に定められているターゲットを読み進めていくと、国民登録による Legal Identity の付与や本人同定手段が解決の一助になり得るものが複数ある。例えば、「Goal 1: End poverty in all its forms everywhere」⁽¹⁾（あらゆる場所のあらゆる形態の貧困を終わらせる⁽³⁾）の Target 1.1 では、「1.1 By 2030, eradicate extreme poverty for all people everywhere, currently measured as people living on less than \$1.25 a day」⁽¹⁾（2030 年までに、現在 1 日 1.25 ドル未満で生活する人々と定義されている極度の貧困をあらゆる場所で終わらせる⁽³⁾）と掲げられている。極度の貧困状態で生活している人々を統計母数としたときに、そのうち法的人格を持たない人がどの程度含まれているかが重要となる。その他にも、「Goal 3: Ensure healthy lives and promote well-being for all at all ages」⁽¹⁾（あらゆる年齢のすべての人々の健康的な生活を確保し、福祉を促進する⁽³⁾）の Target 3.2 では、「3.2 By 2030, end preventable deaths of newborns and children under 5 years of age, with all countries aiming to reduce neonatal mortality to at least as low as 12 per 1,000 live births and under-5 mortality to at least as low as 25 per 1,000 live births.」⁽¹⁾（すべての国が新生児死亡率を少なくとも出生 1,000 件中 12 件以下まで減らし、5 歳以下死亡率を少なくとも出生 1,000 件中 25 件以下まで減らすことを目指し、2030 年までに、新生児及び 5 歳未満児の予防可能な死亡を根絶する⁽³⁾）と掲げている。その前提として

出生数と死亡数を把握できなければ、実態把握時と改善後の差分を正確に把握して統計をとることができない。人口を正確に数値として把握できない原因には、教育が行き届かないことによる識字率の低さ、日付に対する意識の低さ、土地により受け継がれる通り名、宗教名、本名が存在しないこと、カードや冊子を管理することへの意識の低さ、偽造の横行など、様々な点が挙げられる。そのため、本人の存在をもって、その人物が誰であることを証明・確認できる手段が必要であり、それこそが生体認証に寄せられている期待である。

2.2 新生児生体認証への期待

生体認証の特長は、「パスワードなど知識による宣言」(What you know) や、「ID カードなど保有物の提示」(What you have) を行うことができない状況においても、「対象となる人物自身が持つ個人的な特徴」(What you are) を用いて、本人同定ができることである。この「対象となる人物自身が持つ個人的な特徴」を用いた本人同定手段により最も恩恵を受ける存在の一つが新生児である。誕生時に、出生証明書を医療機関で発行し、その証明書をもって生体情報とともに出生登録を行うことができれば、対象者が本人であると証明し、ワクチン接種や食料供給などの社会サービスを適切に享受できる環境を構築できる。既知のとおり、ワクチンの適切な接種は、生存率の向上で非常に重要な役割を担っている。UNICEF は、世界中で定期的な予防接種に代表される医療サービスが受けられないため、予防または治療可能な病気にもかかわらず、年間 5.6 百万人の命が 5 歳未満で、そのうち 2.6 百万人の命は、生後 1 か月未満で失われていることを報告している⁽⁴⁾。そのため、ワクチンの接種を進めるためにワクチン接種の促進活動が実施されている。一方で、母子手帳や投薬履歴手帳のような冊子を配布する仕組みや管理システムが未整備の地域はいまだに多い。また、その日の生活に困窮する余り、ワクチン接種が無料であったとしても医療機関へ行く費用が捻出できない場合もある。その対策として各団体が地域を巡回しワクチン配布を行っているが、配布側も誰に何を接種したかを管理できていない場合が多い。そのため、同一種の二重接種によるワクチンの廃棄ロスや、誤ったワクチンの接種などが頻繁に発生している。出生登録に端を発する生体認証による新生児を含む子供の本人同定は、助かる命を確実に救うだけでなく、適切なタイミングで適切なワクチンを接種することで、支援団体のワクチン手配コストの最適化にも寄与でき、社会サービス以外にも数多くの問題解決の一助となり得る。誘拐を例にとれば、言葉を発することも、所有物を確実に提示することもできず、ただその存在のみが自身の全てであり、悪意に対する抵抗力を持たない新生児であっても、捜査機関や出入国管理で生体認証による本人同定ができれば、その新生児が誰であることを新生児自身が宣言することが可能になる。人身売買に関しても、SDGs では「Goal 5: Gender Equality」⁽¹⁾（ジェンダー平等を達成し、すべての女性及び女児の能力強化を行う⁽³⁾）の Target 5.2 で明確

に撲滅を宣言している。以上から、生体認証が新生児を含む5歳以下の子供を対象にするメリットは非常に大きく、新生児を含めた認証基盤の構築が求められている。

3. 国民 ID システムと新生児

近年では、法的人格の付与及び本人確認手段の実現のため、国民 ID システムの導入が加速している。この国民 ID システムでは、ID カードの発行や冊子の提供などとともに、指紋認証や顔認証のような生体認証技術が認証基盤技術として導入されている。この生体認証技術の導入は、運転免許証やパスポートの交付などの社会保障サービスの向上に大きく寄与している。一方で、国民 ID システムでは、登録対象年齢・利用対象年齢が5歳以上と制限していることが多い。例えば、世界最大級の登録規模で知られるインドの国民 ID (Aadhaar) システムでは、登録が5歳以上に制限されている。指紋認証に例を取れば、特に1歳未満の新生児や乳児の指紋認証精度が大人と同等レベルの認証精度を担保できないなどのように、生体認証の技術的な要因により制限されている側面がある。このような対象年齢の設定は、運営組織や国連機関による宣言の本質的な要求を満たすものではない。年齢制限により、特に確実な出生登録が求められる新生児が存在しつつも、それらを同定できない現状は、人口の確実な把握に影響を及ぼすだけでなく、新生児、乳児、幼児への十分な社会保障の妨げとなっている。それ以外にも、出生時に国民として出生登録されていないことは、その国において教育を受けるべき就学対象者の把握と、就学対象時に教育機会の提供ができないことを意味している。事実、2014年の統計では、61百万人の小学校就学対象者が学校に登録されておらず、彼らの教育機会が奪われている⁽⁵⁾。国が国民へ提供すべき社会保障として大きな役割を果たす医療制度の充実も、教育制度の充実も、出生登録に端をなす国民認証基盤が機能することで、適切に提供され得る。これらの課題は、国民 ID の管理対象を5歳以下の子供にも広げることにより、例えば、生体認証による新生児期の確実な出生登録による本人確認手段を構築することにより解決可能である。なお、これまでの実証実験によるアフリカ諸国訪問により、国によっては、窓がないことによる蚊媒感染症の危険性、ファンなどの空調設備がないことによる熱中症、トイレ設備など水回りが不十分であることによる衛生面など、医療機関そのものの環境が良くないため、最短で生後2~3時間で退院する母子も少なくないことを補足する。この事実、医療機関による生体情報採取を含む出生証明書発行を実現する際、その時間内で生体情報を撮像する能力が必要であることを意味している。

4. 新生児指紋認証研究への取組み

筆者(幸田)は、アフリカや中東の諸国へ国民 ID システムの導入支援を行ってきた。言うまでもなく、それら国民

ID システムの管理対象には、新生児をはじめとする5歳以下の子供たちが含まれていない。そこで、新生児を国民 ID システムの対象とし、社会保障サービスを行き渡らせるために、2014年から国連組織、NPO、財団、大学などの有識者に対して、生体認証技術として何ができるのか、何を求められるのか、現場の意見ヒアリングと協議を重ねた。その結果、国民 ID との親和性(既設機器の流用)、生体情報の継続性(終生不変)、認証精度(国民 ID 規模のデータ数で利用可能な精度)などの要望に基づいて、新生児の生体認証技術として、指紋認証を軸に研究に取り組んだ。本章では、2014年以降の取組みについて論じていく。

4.1 市販品による撮像実験

2014年の新生児指紋認証研究の開始当初は、情報科学分野で新生児の生体認証研究を行った先行文献が限られており、紋様が微細であることや、既存の500 ppiのセンサで撮像が難しいこと以外を知ることができなかった。内部評価において、乳幼児指紋の正確な隆線形状を描画するためには1,000 ppi以上の解像度が必要であることが分かっていた。そこで、まず、NEC製のPU900-10(図1)を実証実験機として利用した。①1,000 ppiを持つ高解像度スキャナであり、②市販品で低価格であり、③FAR(False acceptance rate)=0.00001%の精度を保有していることから、手軽に実証実験を実施できると判断したためである。

2015年にミシガン州立大学から、インドで実施する乳児の撮像実験に対して機器提供参加を打診された。PU900-10を貸与したが、実証実験を開始してすぐに本撮像機が新生児の指紋撮像に利用できないという報告を受けた。報告された問題点は三点あった。一つ目は底面と撮像面の距離(=高さ)である。本PU900-10は、撮像面とCMOSイメージセンサ(以下CMOSセンサ)の焦点距離を確保するため、底面から撮像面まで約38mmの高さがある。新生児は、この高さを許容するほど手を開くことが難しかった。二つ目は、撮像面が機器の中心にあり、指が届かないことである。なお、撮像するためにオペレータが乳児の手を無理やり開くと、不快感による非協力的な態度をとるため、スムーズに撮

図1 PU900-10 エリア型指紋認証スキャナ

図2 指内散乱光直接読取方式 投光部が指内に投光し光が指の中で散乱。隆線部、谷部から FOP を通じ CMOS センサで描画する方式。

像ができないという報告もあった。三つ目は、当該機器の撮像タイミングである。本 PU900-10 は、その他の市販品と同様に、撮像面に指が置かれたことを検知して撮像を行うよう設計されていた。そのため、オペレータの意思に関係なく、撮像面に対象の指が乗せられたと検知した際に、紋様の品質にかかわらず撮像されてしまうため、最適な画像を撮像できないという報告であった。一方で、生後3か月の乳児から撮像された画像を目視確認したところ、PU900-10 で採用されている解像度 1,000 ppi と指内散乱光直接読取方式（後述）の組合せで生後3か月の指紋紋様が撮像可能であった。本結果は、新生児指紋専用撮像機の研究開発において、非常に重要な知見となった。これ以降、市販品を流用することを断念し、三つの問題点への対応策と、1,000 ppi 以上の解像度と指内散乱光直接読取法の組合せを前提に新生児専用指紋撮像機の試作を行った。

4.2 指内散乱光直接読取方式

指内散乱光直接読取方式（図2）は、光が対象物の内部で散乱する特性を応用した方式である。指の内部に近赤外線を照射し、指内部で散乱した光が皮膚表面に到達した際に、接触部と非接触部から CMOS センサへ接着された Fiber Optic Plate（以下 FOP）へ入光する際の屈折差を応用して指紋を画像化する技術である。本方式は、CMOS センサと FOP を直接接着するため、底面から撮像面までの距離（＝高さ）を短縮することが可能である。また、接触する皮膚隆線を経由してセンサ面へ達する光は、FOP を構成するファイバ内を全反射して CMOS センサへ到達する。撮像対象である指そのものから撮像すべき情報を取得する方式であるため、乾燥や湿潤に加え、小さい新生児指紋で想定されるような隆線間の近接による隆線の潰れなど様々な皮膚状況下でも FOP に接触する隆線部のみを撮像することができる。

4.3 新生児専用機の開発と試作——Sensing Capability——

新生児専用機的设计では、「1,000 ppi 超の解像度」に加え、「底面と撮像面の距離をより短く（＝低く）」、「撮像は手

図3 ZAK-002 1,270 ppi CMOS センサと FOP の指内散乱光直接読取方式機能試作機

図4 生後1か月の乳児指紋画像 0.1 mm 幅の最細隆線間隔を描画

動」とすることを優先させた。「1,000 ppi 超の解像度」に対して、幾つかの CMOS センサと FOP の組合せによる試行錯誤を繰り返し、20 μ m ピッチの 1,270 ppi CMOS センサと ϕ 12 μ m の FOP を利用した指内散乱光直接読取方式を組み合わせた機能試作機 ZAK-002（図3）を作成した。内部評価時に複数枚撮像した生後1か月の乳児指紋イメージ（図4）から、本組合せが、最細隆線間隔 0.1 mm を確実に描画する

能力を有することを確認した。一方で、乳幼児指紋の撮像では、撮像センサそのものの解像度や画像強調を含む撮像原理だけでなく、「底面と撮像面の距離をより短く（＝低く）」の報告に含まれる小形化・薄形化・軽量化と、「撮像は手動」の改善点に加え、新生児に非協力的な態度を取らせる「利用時の不快感」を解消するため、撮像時に可能な限り対象者のストレスを排除するデザインを考慮する必要性があった。

4.4 新生児専用機の開発と試作——Ergonomic Capability——

指紋撮像時に新生児に違和感を与えない「底面と撮像面の距離をより短く（＝低く）」するために、CMOS センサの位置と機器の高さを検討した。まず、撮像する指を決定する必要性があった。撮像可能な領域が大きく、また、指紋を利用して幼児の接種履歴管理を行っている NPO が当時利用していた親指を採用することとした。新生児の親指サイズを把握するために、複数の新生児の指を計測した結果、親指末節部の撮像最小エリアサイズを 12 mm×12 mm に、親指の付け根から親指第一関節までの必要最短距離を 8 mm とした（図 5）。ここでの課題は、撮像エリアへ親指末節部を届かせるための親指の付け根から第一関節までの距離が 8 mm しかない点であった、これは、撮像機器の厚みを考慮した上で、機器端からセンサの撮像可能エリア端までを 8 mm 以下にする必要があることを意味している。そのため、完全に親指の付け根まで押し込むことなく撮像可能な機器デザインとするため、撮像機器の縁（撮像機器端）から CMOS センサまでを 3 mm 以下にすることを目標とした（図 6）。この距離は、2019 年の最新撮像試作機でも踏襲されているサイズである。

「撮像は手動」とするために、オペレータが操作しやすい状況を作ることだけでなく、撮像対象者に「利用時の不快感

さ」を与えずスムーズな撮像環境を提供することが求められた。そのため、指紋撮像時に新生児の手を開くことや、指を伸ばすような無理な動作を行わせず、撮像機器そのものが対象者の指に寄り添う形で指紋を撮像する仕組みを検討した。特に新生児においては、手を握っている状態が多いため、手を大きく開かず、親指の腹部下にセンサを滑り込ませるデザインとした。CMOS センサ上に撮像対象を直接接触させることで高さを押さえられる指内散乱光直接読取方式は、握った手に撮像機を滑り込ませるためのエントリ部分を細くするためにも適切な撮像方式であった。一方で、一定時間動作を停止することが難しい新生児に対して手動撮像を実現するためには、PC などにプレビュー表示し、オペレータが目視確認した画像を撮像する方式が求められた。そこで、内部試作した物理スイッチを背面に搭載し、撮像機から手を放すことなく、撮像を可能とする方法を採用した（図 7）。

4.5 実証実験用試作撮像機 ZAK-108

以上の条件を考慮して試作を行った結果、8 世代目の試作

図 6 撮像部との距離 新生児指紋撮像機設計時の目標距離

図 5 対象エリアと距離 新生児指紋撮像機設計時のガイドライン

図 7 背面スイッチ 撮像機背面に配置されたスイッチで撮像を実施

図8 ZAK-108 型新生児指紋撮像試作機 新生児指紋撮像に特化したデザインで目標とした距離を上回るデザインを実現。

図9 生後6時間の新生児指紋型新生児指紋画像 ZAK-108で撮像した画像。1,270 ppiのCMOS センサで生後6時間の指紋撮像が可能と判断。

機 ZAK-108 において、機器端からセンサ部までの距離 2 mm、機器部厚み 7.5 mm、先端エントリ部厚み 3 mm (図 8) となり、全目標を上回ることになった。ZAK-108 では、新生児の指紋撮像という目的を鑑み、エントリ部を最薄部としたテーパ構造の採用や、安全性に配慮し角を落としたデザインを採用した。本試作機は、2015 年にミシガン州立大学と共同で実施したインドでの新生児・乳幼児の指紋紋様撮像実証実験で、生後 6 時間の新生児指紋の紋様撮像に成功した。図 9 は、その際に撮像した画像である。本画像からは、指紋紋様の隆線、谷線や、照合で利用する特徴点に加え隆線間にある汗腺孔も確認できる。この世界初となった生後 6 時間の新生児の指紋撮像結果は、ZAK-108 型で採用された 20 μm ピッチ 1,270 ppi CMOS センサと $\phi 12 \mu\text{m}$ の FOP の組合せが、出生当日の新生児の指紋紋様が撮像可能であることを示した。

5. 実証実験で見えた新生児指紋撮像の課題

実証実験で得られたその他の画像から、新生児指紋の紋様撮像において二つの課題が見つかった。一つ目は、新生児の体内水分量及び発汗量に起因すると思われる汗腺孔肥大による隆線の分割であり、二つ目は、新生児の指の柔らかさに起

因すると思われる弾性変形である。これらの課題は、特に、生後 4 週間未満の新生児において顕著に表れていた。このように特徴抽出の誤りを生じるような影響を裏付けるように、Jain らが実施した 1 : 1 照合精度評価では、 $\text{FAR}=0.1\%$ において、生後 5 週目以降が $\text{TAR}=79.72\%$ であるのに対して、生後 4 週間以下が $\text{TAR}=43.43\%$ であるように顕著な精度低下を示している⁽⁶⁾。

5.1 弾性変形への機器デザインによる対応

弾性変形が発生する原因を特定するため、指紋撮像時の撮像面の新生児指紋の動きを動画像で目視確認した。その結果、センサ表面に新生児の指を接触させた状態でオペレータが対象の指を動かすことで、加重方向にひずみが発生することが確認された。そこで、物理的にセンサ面で指を動かさない構造と、加圧を抑制する構造を追加した ZAK-109 を試作した。ZAK-108 との違いは、CMOS センサ上部に高さ 5 mm のガイド (図 10) を設置し、当該ガイドにより撮像面を制限することで、適切な位置へ指を置くことができ、不要な撮像の抑制と、撮像者が被験者の指を保持しながらセンサに押し付けることで生じていた不要な加圧を抑制することができる。

5.2 ZAK-109 撮像画像評価

ZAK-109 を用いて撮像可能領域と撮像位置の改善効果を確認した。本実験では、オペレータに対して事前に教育を行わずに撮像させた。ZAK-109 による撮像枚数 76 枚中、撮像位置ずれ 0 件、末節部以外の撮像 0 件の結果となり、ガイド追加による一定の効果が見られる結果となった。ガイドを用いた新生児に特化した CMOS センサのサイズ制限と、加圧制限による弾性変形の抑制効果が確認されたため、これ以降の試作で用いる主要な仕様となった。

5.3 2,400 ppi CMOS センサによる更なる高解像度化

ZAK-108 と ZAK-109 を用いた評価により、デザイン面で新生児指紋撮像時の一定の効果は確認できたが、全ての指紋の状況に対して万能ではなく、潰れなどにより不鮮明な領域があることも確認された。隆線と隆線が近接することにより谷線部をきちんと描画できないことに起因しており、1,270 ppi の解像度では、いまだ不足している箇所が存在していた。そこで、1,270 ppi 以上の高解像度 CMOS センサの検討を開始した。本検討では、新生児特有の汗による濡れ指に強い指内散乱光直接読取法を利用するため、FOP を直接貼り付けることが可能な CMOS センサであること、12 mm×12 mm とした新生児の指紋サイズとほぼ同等の撮像

図 10 ガイド部 弾性変形を抑制するため、新生児指紋の動きを制限。

サイズを持つことを前提としつつ 2,000 ppi 以上の高解像度を持つこと、弾性変形対策として従来型 1,270 ppi CMOS センサより早いフレーム (fps) を持つこと、他製品で利用されている CMOS センサを流用することでコストを削減することを目標とした。複数の候補を用いた評価の結果、上記の課題をクリアする高さ 13.6 mm、幅 10.9 mm の 2,400 ppi の CMOS センサを採用することとした。

5.4 治具による解像度評価

新生児指紋用に試作した撮像機の評価で常に課題となることは、評価をしたいときに新生児の指紋を撮像できない点である。特に、出生から 24 時間以内の新生児を撮像対象としたため、試作後に自由に利用できる簡易的な評価方法を考える必要があった。そこで、新生児指紋を模倣した谷線部、汗腺孔部を含む治具を設計・試作した。この治具は、擬似的な谷線として 20 μm と 30 μm の溝と、擬似的な汗腺孔として 10 μm から 80 μm までの直径を持つ円系の穴で構成されている。この治具を用いることで、病院へ行くことなく新生児指紋と同等の微細な紋様の撮像精度が可能となり、撮像機の試作評価時間を大幅に短縮した。また、治具を用いた評価を通して、2,400 ppi の CMOS センサで撮像した画像が 500 ppi 及び 1,270 ppi のセンサよりも精細に描画可能であることを確認した (図 11)。これは、新生児指紋に含まれる 20 μm の谷線部を捉え、より鮮明に新生児の指紋を撮像するために、2,000 ppi 以上の解像度が必要であることを示している。

6. 新生児指紋の特性

以上の検討を通して、新生児の指紋画像は、成人の指紋画

治具パターン

1,270ppiセンサでの撮像結果

500ppiセンサでの撮像結果

2,400ppiセンサでの撮像結果

図 11 治具パターンと撮像結果 新生児指紋紋様を模したパターンにより撮像機試作時の撮像品質評価を簡便に。

像を単純に縮小したものではないことが明らかになった。2015 年及び 2016 年の実証実験後は、新生児の皮膚条件や発汗の仕組みに関する論文を調査し、新生児指紋撮像時に考慮すべき点調査した。なお、以降は、2018 年度 10 月に開催されたバイオメトリクス研究会の発表内容⁽⁷⁾を一部引用する。

新生児の指紋撮像では、指紋表面がどのような状態であるかを理解する必要がある。新生児の皮脂に含まれる脂肪酸など複数の成分が大人と異なる報告⁽⁸⁾や、出生直後の新生児の総体水分量が出生直後に体重比で 78.4% と高いが、生後 1 年の幼児初期に 10～15 歳の対水分量 57.3% と同程度の 58.7% まで減少する報告⁽⁹⁾を確認した。汗腺孔の肥大と深く関連すると思われる発汗に関する先行研究⁽¹⁰⁾では、重要な知見を得た。まず、出生当日の新生児は、ほとんど発汗しておらず、被験者 28 人中 18 名が生後 2 日目から 7 日目までに発汗を開始することである。次に、皮膚 1 m² 当りの量に換算して比較する場合、成人に比べ子供の方が単位当りの汗の量が多く、特に冬季に子供の発汗量は、成人の 2 倍程度になることである。これらより、出生後から数日間であれば、発汗を目的とした汗腺孔の肥大化がないと考えられる。それ以降は、季節によって成人の倍近い発汗を行うため、肥大化した汗腺孔を通じて多量の汗が出る状態が続く、新生児の指が湿潤した状況になることを把握した⁽¹⁰⁾。さらに、生活環境、特に生後 2 年間に滞在した地域の気候に起因して活動する汗腺の数が決まる。例えば、熱帯のフィリピン人と寒帯のロシア人との間では、能動汗腺数の平均値がそれぞれ約 280 万個と約 189 万個であり、地域差で 1.5 倍程度異なることが報告されている⁽¹¹⁾。これらの報告を踏まえ、新生児指紋認証を実現するために、微細な紋様を高品質に撮像する高解像度 CMOS イメージセンサの開発、水分量に起因すると想定される弾性変形を抑制する機器デザインの考案、汗腺孔の肥大化や地域による汗腺数の差を考慮するために必要となる汗腺孔を除去する画像処理技術の開発を課題とした。

6.1 新生児データ収集と分析

出生当日の新生児が発汗を伴わないことが報告されており、出産後すぐに新生児から指紋データを取得することができれば、発汗による指紋撮像への悪影響を最小化することができる。このことを定量的に評価するために、2019 年からケニアにて実証実験を開始した。指紋撮像では、研究助手から参加協力の説明を受けた新生児の両親または後見人により、同意書への署名を取得した対象者のみを被験者としている。撮像は、出産後の母親の身体的回復を待った後とし、出生後 2 時間、3 時間、4 時間、6 時間、12 時間、18 時間、24 時間とした。過去の実証実験で入手した新生児のデータに基づいて、谷線幅を 20 μm とした治具により指紋撮像機の撮像能力を評価しながら試作した。治具設計の有効性を確認するため、生後 2 時間の新生児 40 名の指紋画像を無作為に抽出し、谷線の平均を計測した。今回のサンプル収集で計測された谷線幅の平均値は 30.5 μm であった。これより、20 μm の撮像

図 12 生後 3 時間未満の新生児指紋拡大画像 2,400 ppi CMOS で撮像した画像。2,400 ppi の CMOS センサで 20 μm の谷線を撮像。

素子を採用している 1,270 ppi のスキャナでは、詳細に谷線部と隆線部とを分割することが難しい場合があることが確認できた。指内散乱光直接読取方式では、CMOS センサに FOP を貼り付ける構造であるため、撮像素子そのものの大きさが撮像に大きく影響を及ぼす。1,270 ppi の CMOS センサの持つ 20 μm の撮像素子では、平均値 30.5 μm の谷線部を複数の撮像素子で精細に描画することができないことを確認した。これより、少なくとも 10 μm の撮像素子を使う必要があることが判明した。図 12 は、生後 3 時間未満の新生児の左拇指を 2,400 ppi で撮像した画像である。図 11 で示した 20 μm の描画とほぼ同等の精度で描画できていることが分かる。2,400 ppi の撮像機では、複数のピクセルから成る滑らかな線として谷線を描画している。

6.2 精度評価

1,270 ppi と 2,400 ppi の撮像機で撮像された同一指を用いて精度差を評価した。データセットは、1,270 ppi と 2,400 ppi の撮像機を用いて生後 24 時間以内に撮像された 28 名の新生児から撮像した指紋画像より無作為に抽出した 56 枚とした。照合用ライブラリは、市販指紋認証エンジンの VeriFinger 10.00 を使用した。1,270 ppi の指紋撮像機で撮像されたデータでは、FMR (False match rate) = 0.1% において FNMR (False non-match rate) = 1.4% となった。一方で、2,400 ppi の指紋撮像機で撮像されたデータでは、FMR = 0.1% において FNMR = 0.3% となった。この結果は、明らかに撮像素子のサイズが新生児の指紋をはっきりと捉えるために重要な要素であることを示している。サンプル数が少ない点は今後の改善であるが、本結果は、SDGs16.9 の実現に向けて、生後 24 時間以内に撮像された新生児指紋による認証の可能性を十分に示している。

7. 今後の新生児認証——電子母子手帳システムとの連携——

新生児専用撮像機を用いたフィールドリサーチを通して、約 500 名の新生児のデータ採取に成功したことを先に述べたが、今後は、新生児指紋そのものの研究に加え、実際に利用する場合の実用性や操作感などの評価も必要となる。そのために、新生児指紋撮像機の利用範囲を拡大して、実運用化での評価を計画している。長崎大学の熱帯医学研究所では、妊娠時に妊婦に配布される母子手帳の電子化を進めている。現時点では、母子手帳に記入される内容をパソコン上で動作するソフトウェアに登録するだけである。生体情報の入力機能として、新生児指紋撮像機と顔画像撮像用カメラとの連携、またそれぞれの認証エンジンを組み込むことを検討している。本システムのリリースにより、出生直後の新生児の指紋画像採取から認証までを実装した初めてのシステムが構築されることのメリットは計り知れない。本電子母子手帳のシステムは、既に複数の国や NPO から長崎大学が引き合いを受けており、ユーザによる操作感の評価を通じて機能改善に努めていく予定である。

8. おわりに

発展途上国の貧困脱却のため、全ての人々に Legal Identity を付与する SDGs16.9 は、教育や医療、飢餓をはじめとする各々の SDGs のターゲットの実現に寄与する点が多い。筆者の研究グループでは、SDGs ターゲット 16.9 の実現まで、また、全ての新生児へ出生証明を提供するその日まで継続的に研究を実施する予定である。もちろん、認証精度の側面では、既存の成人用指紋認証精度と比べて改善すべきことが多い。本研究活動を通して、電子的に撮像されたデータに基づいて終生不変と言われる指紋の永久性の確認を行うなど、指紋認証技術の発展に向けた実証実験への貢献を願ってやまない。一方で、これまで国民 ID システムなどで取り残されてきた新生児を含む子供たちに、確実に社会保障サービスを提供できる社会の構築を夢見ることができるスタートラインにたどり着いたことは、20 年もの間、指紋認証の研究開発に身を置いてきたものとして喜ばしく感じるところである。生体認証技術に携わる者として、本研究を通じ、全ての人々に安心・安全で公平な社会を提供できるよう、今後も研究に取り組んでいく。

謝辞 本研究は、ケニア中央医学研究所 (Kenya Medical Research Institute) 倫理委員会の研究承認により、長崎大学熱帯医学研究所及びケニア中央医学研究所の協力の下実施された。

文 献

- (1) United Nations, General assembly 15-15900(E) United Nations,

Sept. 2015.

- (2) World Bank Group, "ID4D identification for development 2017 annual report," p. 1, Feb. 2018.
- (3) 外務省, "持続可能な開発のための 2030 アジェンダ," 2018. <https://www.mofa.go.jp/mofaj/files/000101402.pdf>,
- (4) United Nations Children's Fund, "Levels & trends in child mortality report 2017," pp. 1-3, Oct. 2017.
- (5) United Nations Children's Fund, "Global education monitoring report 2016," p. 15, Oct. 2017.
- (6) A.K. Jain, S.S. Arora, L. Best-Rowden, K. Cao, P.S. Sudhish, A. Bhatnagar, and Y. Koda "Giving infants an identity : Fingerprint sensing and recognition," Proc. Int'l Conf. Information and Communication Technologies and Development, pp. 3-4, June 2016.
- (7) 幸田芳紀, 伊藤康一, 青木孝文, "新生児指紋画像の品質改善に関する考察," 信学技報, BioX2018-20, pp. 7-12, Oct. 2018.
- (8) U.S. Department of Justice, Office of Justice Program, National Institute of Justice, "The fingerprint sourcebook," pp. 7-8, June 2012.
- (9) B. Friis-Hansen, "Body water compartments in children : Changes during growth and related changes in body composition," Pediatrics-Official Journal of the American Academy of Pediatrics, vol. 28, pp. 169-181, Aug. 1961.
- (10) Y. Kuno, "The development of the human sweat apparatus and of their functions," Human Perspiration, Charles C. Thomas, pp. 128-136, July 1956.
- (11) Y. Kuno, "The acclimatization of the human sweat apparatus to heat," Human Perspiration, Charles C. Thomas, pp. 330-331, July 1956.

(BioX 研究会提案, 2019 年 10 月 15 日受付
2019 年 11 月 18 日再受付)

幸田芳紀 (学生員)

2010 早大大学院商学研究科了。東北大学院情報科学研究科博士課程後期 2 年在学中。1997 日本電気株式会社入社。海外向け大規模生体認証システムの実装・実用手法コンサルに 15 年以上携わった後、新生児の生体認証技術研究に従事。現在、バイオメトリクス研究所主任研究員。2016 ミシガン州立大客員研究員。2019 長崎大熱帯医学研究所協力研究員及びケニア中央医学研究所共同研究員兼務。BIOSIG2016 Best Poster Award, BIOSIG2019 Best Paper Award 各受賞。

伊藤康一 (正員)

2000 東北大・工・電子卒。2005 同大学院情報科学研究科博士課程了。同年同大学院情報科学研究科助手。2007 同助教。2018 同准教授。2004~2005 日本学術振興会特別研究員。現在に至る。画像処理及びバイオメトリクスに関する研究に従事。IEEE, 情報処理学会各会員。博士 (情報科学)。

青木孝文 (正員)

1988 東北大・工・電子卒。1992 同大学院工学研究科博士課程了。同年同大学・工・助手。1994 同大学院情報科学研究科助手。1996 同助教。2002 同教授。2018 から理事・副学長を兼任。現在に至る。超高速デジタル計算の理論、画像センシング、映像信号処理、バイオメトリクス、VLSI 設計技術、分子コンピューティングに関する研究に従事。英国電気学会フレミング賞及びマウントバッテン賞ほかを各受賞。IEEE, 計測自動制御学会, 情報処理学会各会員。博士 (工学)。