

フジサンケイ ビジネスアイ賞

高精度顔認証の研究開発

日本電気株式会社 情報・メディアプロセッシング研究所

今岡 仁 佐藤 敦 森下 雄介
早坂 昭裕 広明 敏彦

筆者らは、顔向きや照明変動、経年変化などの認証精度の低下要因に頑強で実用に十分耐えうる、世界最高精度の顔認証を開発した。開発した顔認証技術は、2010年に米国国立標準技術研究所(National Institute of Standards and Technology: NIST)が実施したベンチマークテスト MBE (Multiple Biometric Evaluation) において、圧倒的な性能差で1位を獲得した。世界が注目する先端技術である顔認証において、日本独自技術の優位性が客観的に証明された点で歴史的な快挙の一つであり、永年の人類の夢である、機械が自律的に個人を識別する機能が、いよいよ実用段階に移行しつつある。

1. 緒言

我々人間は、目の前の相手が誰であるかを「顔」で判断している。ロボットという言葉が小説家カレル・チャペックらにより発明され、機械が人のように振る舞うという概念が大衆化してから既に90年が経とうとしているが、人間が当たり前に行っている「他者」の認識・識別を、機械は未だ自在かつ正確には行えない。故に人間は、機械に「自分」を正しく認識させるために、全く面倒な作業にもかかわらず、IDやパスワードを記憶・入力し、あるいは、紛失すると多大な損害を被りかねないカード類を携行し、さらには、手間をかけて指紋や静脈をセンサで読み取らせるなど、日常的に機械への大きな歩み寄りを強いられている。

機械が自律的に人間を認識・識別することへの挑戦は、これまでに何度となく繰り返され、それは現在も続いている。特に顔の認識は最も人にとって馴染みがあり、センサ等への物理的な接触も不要なので、人への負荷が少なく、その実現には大きな期待が寄せられ続けてきた。それは、機械に目の機能を与え、その視覚情報から目前の人や物体を理解する「画像認識技術」の歴史とも重なる。視覚情報は人間が外部から受ける知覚の8割以上を占めると言われており、重要かつ豊富な情報を含んでいる。この視覚情報を自在に扱い人間のように振舞う機械の実現を目指し、画像認識技術はコンピュータの処理能力向上とともに発展してきた。その究極的な目標に向かいつつも直近の現実的な目的は、画像から実世界の有益な情報を抽出・分析して、その結果を実世界へきめ細かにフィードバックすることで、社会や産業全体の生産性や効率を向上させ、あるいは、安心安全で快適な社会を実現することにある。

生産性の向上では、「物」とそれを扱う「人」の位置や状態を機械で自動管理することが重要となる。しかし、これまでは「物」の管理が中心で「人」の管理が十分に行われてきたとは言いがたい。「物」はタグやバーコードを付けるなど条件さえ整えれば正確な識別やトレースが行えるのに比べ、「人」に対しては効果的な識別や追跡が行いにくい。例えば、作業者にRFID(電子タグ)を携行させて位置や行動を管理するシステムでは、必要とする位置精度を得るために読取機を多数配置する必要が生じるため、一般的にコスト高になり適用事例が限られる。また、過失や悪意からRFIDを持たない人間が制御管理下に紛れ込む可能性を考慮すると、結局はRFID等のタグの有無に左右されない管理手段の併用が必要となる。そのため、タグを持たない人間も識別する「顔認証」が、人を管理する上で極めて有効といえる。

また、犯罪の増加やテロの脅威から安心安全への関心が高まり、出入国や公共施設におけるセキュリティチェックや、端末利用時の本人確認が厳密になる傾向にある。その人が誰かを機械が判断する手段は「個人認証」と呼ばれ、本人しか持っていないモノ(ICカードなど)や本人しか知らない知識(パスワードなど)で確認する方法がある。しかし、これらは盗難や

盗聴、破損や紛失、忘却などの恐れがあり、生体情報(指紋や静脈、顔など)を使うバイオメトリクス認証が注目され、中でも顔認証への期待が高まっている。出入国管理や国民ID管理では、パスポートや運転免許証などの身分証明証のチェックを人間が目視で確認できるように、顔写真の掲載が義務付けられているほか、顔画像は離れた所から撮影できるため、例えば指紋の採取が難しいテロリストであっても顔写真の入手は比較的容易である。このように、従来の指紋認証などには無い多くの利点があり、国境管理や監視警備用途を中心として広範な利用が期待されている。実際に米国同時多発テロ以降、出入国管理のブラックリスト照合への顔認証の適用事例が増えている。バイオメトリクス世界市場の成長率は年30%以上で、2014年には90億ドル超が見込まれている(図1)。2009年時点での顔認証の市場占有率は11-12%だが、今後はさらにその比率が高まると予想され、関連する周辺機器やシステムまでを含めると、顔認証単独でも巨大市場の形成が確実視されている。

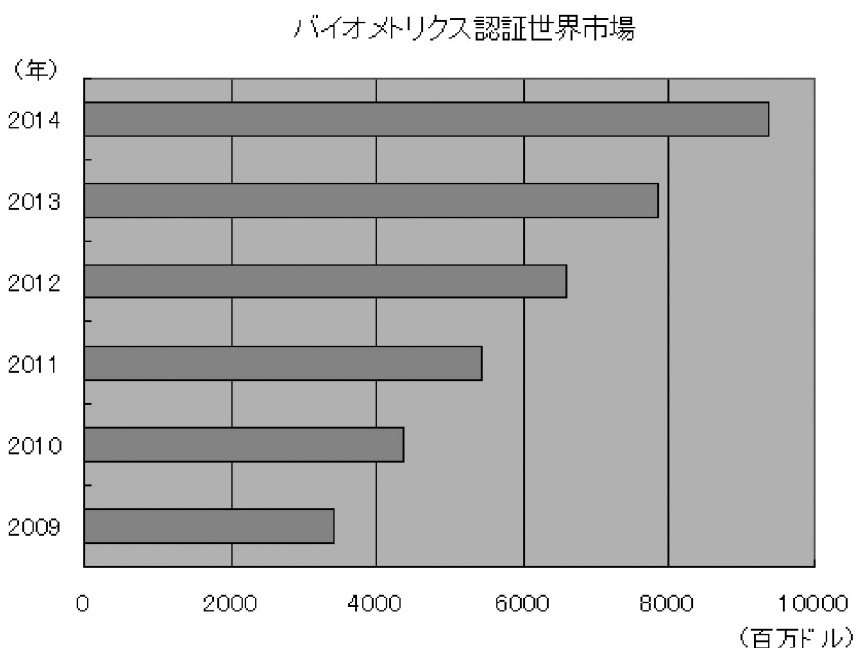


図1 バイオメトリクス世界市場予測 (当社調べ)

2. 研究開発の背景

これまでも顔認証技術への期待は常に大きかったが、その認証精度が実用レベルに達しているとは言い難かった。認証精度が低下する原因は、環境的要因、生体的要因、社会的要因の3つに分類できる。環境的要因とは、撮影環境の違いにより生じる精度低下である。顔は3次元物体なので、姿勢(顔向き)や照明の変化によって画像としての見え方が大きく変化し、これに伴い認証精度は大きく低下する。また、カメラの光学的特性や解像度の違いによる影響も環境的要因に含まれる。生体的要因とは、加齢や表情による変化、あるいは人種や性別の違いなどに起因する精度低下である。社会的要因とは、文化や風習、生活習慣などに起因

する精度の低下であり、眼鏡の有無、化粧の違い、髪型やヒゲの変化などが含まれる。なお、整形手術や変装などは生体的要因と社会的要因の双方を含む。顔認証の技術課題は、これら3つの性能低下要因に頑健で精度の高い認証を実現することにある。

顔認証技術の研究開発自体は1960年代から始まったとされるが、1993-1998年に米国国防総省が主催したFERET (Face Recognition Technology) プログラムを契機に研究が活性化し、その後、NISTがFRVT (Face Recognition Vendor Test) を2000年、2002年、2006年に主催し、大規模な顔画像データベースを用いた系統的なベンチマークが行われた。その後、米国同時多発テロなどの影響を受け、パスポート画像やビザ画像などの実画像を用いた性能評価が実施されてきた。このNISTによるベンチマークには、顔認証の世界トップベンダーの大多数が参加し、かつ、客観性が高いことから、世界で最も権威のあるベンチマークと言われている。

筆者らは2000年から独自に顔認証の研究を行い、前述した認証精度低下の3要因に頑強で実用に耐える技術の開発を目指した。開発した顔認証技術は、2010年にNISTが実施したMBEにおいて、世界の有力ベンダーや大学が数多く参加する中、日本電気株式会社(NEC)は全テスト項目において圧倒的な性能差で1位を獲得した[1]。世界が注目する先端技術である顔認証技術開発において、日本発の独自技術の圧倒的な優位性が、客観的かつ世界的に証明されたという点で、歴史的な快挙の一つとして位置づけられる。以下、筆者らが開発した顔認証技術の概要について述べる。

3. 顔認証技術の概要

顔認証の処理概要を図3.1に示す[2]。顔認証は2枚の顔画像(登録画像と照合画像)を比較して、それらの顔画像に写っている人物が同一人物か否かを判定する技術である。顔認証は、顔検出技術と顔照合技術の大きく2つの処理で構成される。具体的には、まず顔画像に対して顔検出処理を行い、画像中における顔領域を決定する。次に、顔特徴点検出処理を行い、目、鼻、口端などの顔の特徴点位置を決定する。最後に、得られた特徴点位置を用いて顔領域の位置、大きさを正規化した後、比較対象間での照合処理を行う。

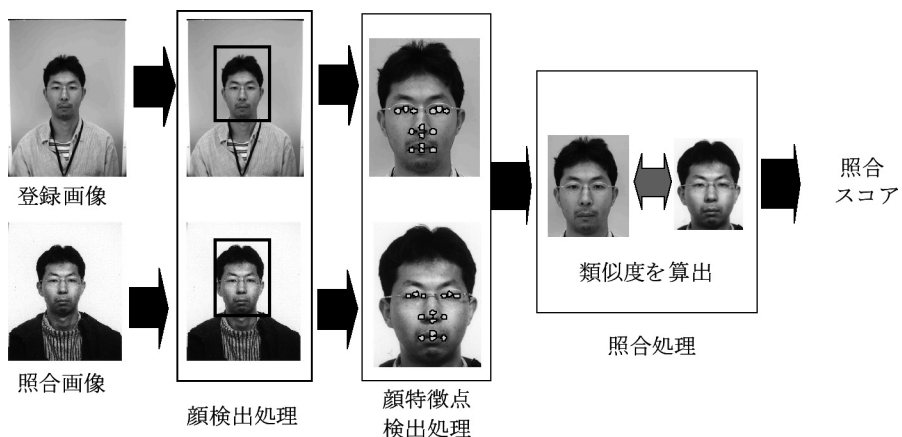


図3.1 顔認証処理の概要

3.1 顔検出処理

図 3.2 に、筆者らの独自技術である一般化学習ベクトル量子化手法 (GLVQ) を用いた顔検出手法 [3] における処理の流れを示す。まず、様々な位置や大きさの顔を検出するため、画像の大きさを一定の比率で縮小した多重解像度画像を生成する。次に、多重解像度画像の端から順に GLVQ により顔と非顔の 2 クラス判別を行い、信頼度画像を生成する。図 3.3 に GLVQ の学習に使用した顔と非顔画像の例を示す。このようにして得られた各信頼度画像について、ラベリングして得た複数の顔領域をマージし顔の位置を求める。GLVQ による顔と非顔の識別手法は、典型的なパターン識別方法のひとつであるサポートベクトルマシン (SVM) と同等以上の精度で、かつ、顔検出速度は SVM より格段に優れている。

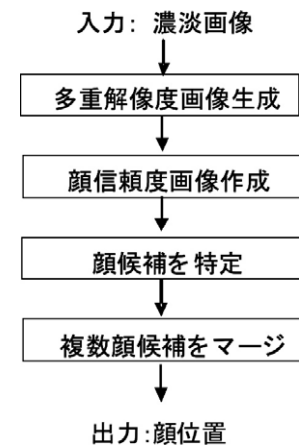


図3.2 顔検出処理の流れ

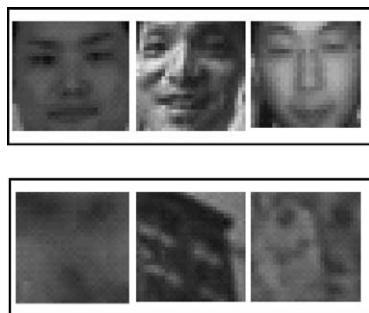


図3.3 顔(上段)と非顔画像(下段)の例

3.2 顔特徴点位置検出処理

文献 [4] で提案した GLVQ と顔形状モデルによる顔特徴点位置検出手法における処理の流れについて述べる。提案手法は、図 3.4 に示すように、顔画像から瞳や口角などの顔特徴点ごとに特徴点候補を抽出する「顔特徴点候補検出」と、特徴点候補の中から最適な顔特徴点位置を決定する「顔形状モデルによる位置最適化」の 2 つの処理から構成される。前段では、瞳、鼻下、口角などの顔特徴点ごとに構築した顔特徴点／非顔特徴点を識別する GLVQ 識別器により各顔特徴点の信頼度画像を生成し、顔特徴点候補位置を決定する。後段では、前段で得られた顔特徴点候補と顔形状モデルから、最小メジアン推定を用いて異常値を判定しながら

ら、尤もらしい顔特徴点位置を選択する。これにより、照明変動や遮蔽により顔特徴点の情報欠落している場合にも、高精度な位置検出が可能になる。

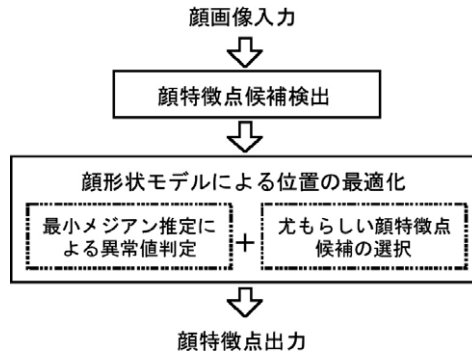


図3.4 顔特徴点位置検出処理の流れ

3.3 顔照合処理

照合画像と登録画像の撮影条件は必ずしも同じとは限らず、姿勢や照明の変化、あるいは表情や経年変化を伴っている場合があり、照合性能が低下する大きな要因になっている。筆者らは、比較的モデル化が容易な姿勢や照明の変化に対しては、1枚の画像から様々な姿勢・照明の異なる画像を生成する「摂動空間法」[5,6]を用い、モデル化が難しい表情や経年変化に対しては、大量の顔画像データから個人を識別するために有効な特徴を抽出する「多元特徴識別法」を用いて性能低下を軽減している [2]。図 3.5 に1枚の元画像から様々な姿勢・照明条件の画像を生成するための処理の流れを示す。姿勢変動画像については顔の3次元形状を推定し、様々な向きの顔にレンダリングすることにより生成する。また、照明変動画像については、拡散反射モデルをベースに構築した顔の照明基底モデルを用いて、照明条件の異なる画像を生成する。一方、「多元特徴識別法」については、顔画像からエッジの方向や局所的なテクスチャなどの様々な種類の特徴を抽出した後、種々の変動に対して安定で、かつ個人を識別するために有効な特徴空間に特徴ベクトルを射影し、特徴空間内のベクトル間の相関により、同一人物か否かを判定する。学習時に、誤照合する可能性が高い顔、例えば眼鏡をかけた人物同士の照合などについては重点的に識別学習を行うことで、線形判別分析などの一般的な識別手法の約 1/10 のエラー率を達成している。このように、2つの手法を併用することにより、様々な変動要因に頑強で高精度な顔照合を実現している。

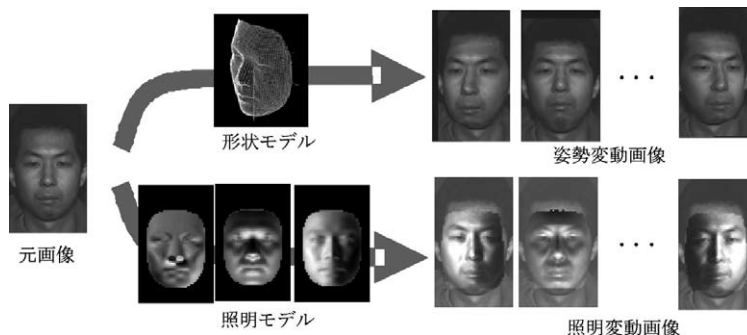


図 3.5 姿勢・照明変動画像を生成するための処理の流れ

3.4 顔認証結果例

図 3.6 に認証結果例を示す。左側が照合画像で、右側が登録画像である。上段の照合画像と登録画像は同一人物の画像であり、下段の照合画像は異なる人物の画像である。照合スコアは中列に棒グラフで表わされ、閾値以上の場合は本人、閾値以下の場合には他人と判定されたことを意味している。上段の結果は照合スコアが閾値よりも高いため本人と判定され、下段の結果は照合スコアが閾値よりも低いため他人と判定され、正しく判定されたことがわかる。



図3.6 認証結果例

4. NIST による顔認証技術の性能評価

顔認証では、処理の概要で述べたように撮影環境の違いや顔自体の変化により大幅に性能低下することが問題となっており、照合の高精度化が最重要課題となってきた。筆者らは、NIST が実施した最新の技術評価プログラムである、MBGC (Multiple Biometric Grand Challenge) と MBE の双方に参加し、両評価プログラムの静止画部門で最高の認証精度を達成した [1,7]。本章では、最新の MBE における評価結果について説明する。

MBE は大規模かつ実運用データによる性能評価を目的としており、2009 年 12 月に仕様が発表され、2010 年 1 月から 5 月にかけて完全なブラインドテストとして実施された(参加者は指定されたプロトコルに従って NIST へプログラムを提出し、性能評価は NIST 自身が行うので、参加者は評価に一切関与できない)。また、今回はビザ申請顔画像や犯罪者顔画像など複数の評価用データベースが用意され、そのデータ規模も過去最大(最大で約 180 万人分)だった。参加は世界 7 か国 10 組織(米 2、日 2、中 2、独 1、仏 1、英 1、リトアニア 1：企業 7+ 大学 3)であった。以下、その評価結果を紹介する。

図 4.1 にビザ申請顔画像データにおける認証精度評価結果を示す。横軸は照合エラー率を表し、縦軸は参加組織を表す。ここで、照合エラー率は他人受け入れ率を 0.1% とした場合の本人拒否率である。本結果では NEC のエラー率が 0.3% であり、その他の参加組織のエラー

率は2%以上であるため、NECの認証アルゴリズムのエラー率は他の参加組織のアルゴリズムと比較して約1/10だった。

表4.1に様々な条件での評価結果についてまとめた表を示す。ビザ申請顔画像の認証精度に関しては上述の通りだが、同様に、8年の経年変化に対するエラー率も2位組織と比較して約1/4であり、人種に対するエラー率は1/2、25度の顔向きの違いがある顔画像についても約1/3と非常に高い認証性能を達成している。また、処理時間についても2位組織の約1/6と非常に高速である。この結果から、筆者らの開発した技術に対する圧倒的な優位性が証明された。また、この高い認識性能の達成によって、従来は性能不足のため適用が困難とされてきた多くの分野に対して、顔認証技術応用の道が切り開けたと考えている。

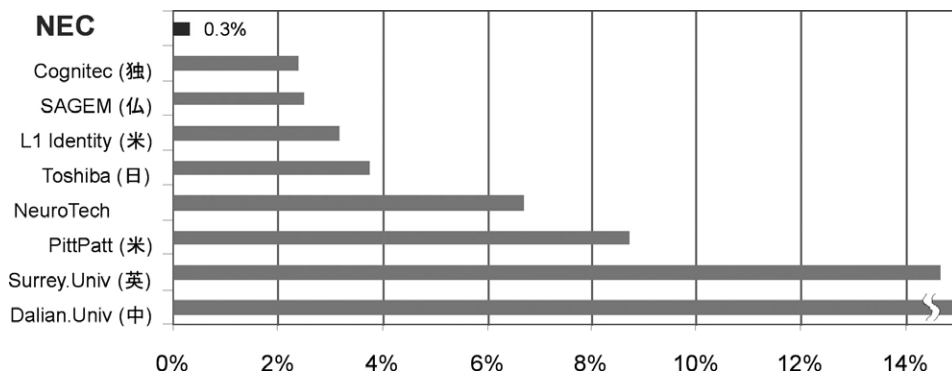


図4.1 ビザ申請顔画像データにおける認証精度評価結果 (横軸は照合エラー率)

表4.1 様々な条件下での評価結果

	NEC	2位組織	実用的なシステム/事業への適用例
認証精度 (エラー率)	0.3%以下	2~3%	出入国システム、利用者ログイン (高精度が要求される用途)
経年変化 (8年でのエラー率)	3%	12%	パスポート認証、ブラックリスト照合 (10年前の写真との照合)
多人種対応 黒人・白人・アジア ・アメリカンインディアン	平均4% 全人種でトップ	平均8%	出入国システム、国際空港内監視 (多様な人種が通過する場所での照合)
顔向き (25度でのエラー率)	7%	20%	街頭・公共施設監視システム (監視カメラによる照合)
処理時間 (160万名)	0.3秒	1.7秒	国民ID、ブラックリスト照合 (リアルタイム性が要求される用途)

5. 利用実績

筆者らが開発した顔認証技術を、NECは2002年から「NeoFace」というブランド名で製品化し [8,9]、その高い認証精度を背景に、携帯電話やペットロボットから、厳重なセキュリティが要求される出入国管理システムまで、多種多様な分野への顔認証技術導入や製品化を果たしてきた [10]。また、今回のNISTによるベンチマーク結果の公表以来、筆者らが開発

した技術に対して、既に世界各国の政府、法務、警察、空港、港湾、国境警備等の関係機関から多数の問い合わせを受けており、その関心の高さが伺える。

セキュリティ分野への代表的な導入例としては、香港やチリなどの海外の入国管理に NeoFace が導入されており、香港では、毎年数百名もの不法入境者を顔認証で検知している [11]。同じく香港において、NeoFace を用いて国境ゲートを通過する車の運転手の出入国検査を、乗車したままで行える世界初のシステムを実現した [12]。このシステムの顧客である香港入国管理局は、国家の安心安全と業務の迅速化・効率化における顔認証技術の有効性について高く評価しており、香港入国管理局自体も、本システムについて2件の香港 IT 関連賞を受賞し、香港政府から感謝状を受けている。

消費者にとって身近な事例としては、ユニバーサル・スタジオ・ジャパン (USJ) の入場管理への導入が挙げられる [13,14]。USJ では、年間パスポート使用者の顔を NeoFace によって認証するシステムを実現した(図 5.1)。この例では、年間パスポートを他人に貸すなどの不正利用の抑止と、入場ゲートを顔パスできるというアミューズメント性を両立させている。また、多人数が登録している年間パスポート会員の照会が瞬時に行えるという点で、大幅な業務効率化にも貢献している。



図5.1 ユニバーサル・スタジオ・ジャパンの顔認証システム

その他、企業での出退勤管理 [15] や大学での入館管理 [16] で本人認証用に NeoFace が使われているのを始め、携帯電話や PC のセキュリティロック (図 5.2) [17,18]、ペットロボットのご主人様認証 (図 5.3) [19] などでも NeoFace が利用され、その使い勝手の良さとアミューズメント性で好評を得ている。

顔認証技術の適用範囲はますます広がっており、今後は端末や IT サービス、家電、自動車など、利用者を特定しきめ細やかな制御やカスタマイズが有効とされる用途への普及が進むと見込まれる。また、従来は困難だった、大規模な人物検索にも応用できると考えられ、例えば、広域の犯罪捜査や徘徊老人の捜索、遊園地や大型店舗内での迷子探し、震災などの避難所における安否確認なども可能となる。



図5.2 携帯電話向け顔認証機能

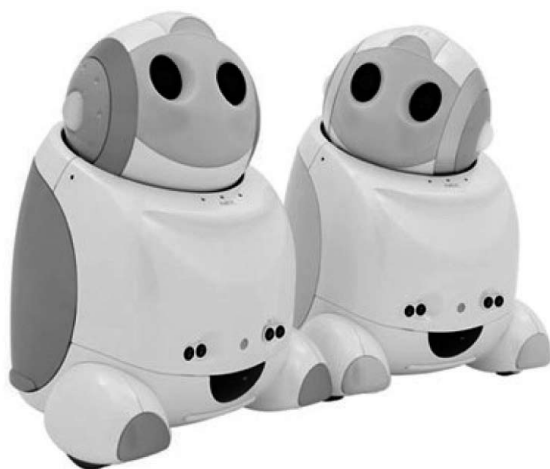


図5.3 パーソナルロボット PaPeRo

6. 結 言

人間と全く同じように振舞う機械は、まだ当分の間は実現しそうもないが、今回の開発成果によって、永年の人類の夢である、機械が自律的に個人を識別する機能が、いよいよ実用段階に移行しつつある。また、数百万人分の顔画像データベースから、瞬時に特定の人物を捜し当てる機能が実現したということは、顔認証技術は人間の能力を超えたという見方もできる。今後は、出入国管理や監視、見守りなどのサービス、映像からの人物検索に加え、大規模災害時の安否確認や、市場調査、操作者の特定によるユーザインタフェースの自動適応、自動販売機の商品リコメンドなど、様々な用途への応用が想定される。さらに顔認証装置の小型化が進めば、人が操作するあらゆる端末や機械に組み込まれ、より人に優しい機械が創り出される原動力になると見られる。機械が人間を理解する技術への挑戦はこれからも続く。我々は今後も、より安全かつ効率的で快適な社会の実現に向けて、顔認証を含む画像認識の技術開発で世界の最先端を突き進んでゆく所存である。

参考文献

- [1] P. J. Grother, G. W. Quinn and P. J. Phillips, "Report on the Evaluation of 2D Still-Image Face Recognition Algorithms", http://biometrics.nist.gov/cs_links/face/mbe/MBE_2D_face_report_NISTIR_7709.pdf
- [2] 今岡, 早坂, 森下, 佐藤, 広明, “顔認証技術とその応用”, NEC 技報, Vol.63, No.3, 2010/9
- [3] 細井, 佐藤, “一般化学習ベクトル量子化による顔検出”, 信学技報, Vol.102, No.651, pp.47-52, 2003
- [4] 森下, 今岡, “一般化学習ベクトル量子化と顔形状モデルによる顔特徴点検出”, FIT, 2010
- [5] 井上, 坂本, 佐藤, “部分領域マッチングと摂動空間法を用いた顔照合”, 画像センシングシンポジウム, 9, pp.555-560, 2003
- [6] 今岡, 佐藤: “判別分析と摂動画像法を用いた顔照合アルゴリズム”, FIT, pp.31-32. 2005
- [7] P. J. Phillips, “MBGC Still Face Challenge Version 2 Preliminary Results”, MBGC Workshop, 2009
- [8] NEC 顔認証システム, “顔検出／顔照合エンジン NeoFace[®]”, <http://www.nec.co.jp/soft/neoface/index.html>
- [9] NEC 製品紹介, “顔検出／顔照合ソフトウェア開発キット「NeoFace[®]」”, <http://www.nec.co.jp/soft/neoface/product/neoface.html>
- [10] NEC 顔認証システム, “顔認証エンジン「NeoFace[®]」を使った事例紹介”, <http://www.nec.co.jp/soft/neoface/case/index.html>
- [11] NEC プレスリリース, “マカオ入国管理局から自動出入国審査システムを受注”, 2008/12/11, <http://www.nec.co.jp/press/ja/0812/1102.html>
- [12] NEC プレスリリース, “世界初、乗車したまま顔認証を行う出入国ゲート管理システムを香港に納入”, 2007/7/29, <http://www.nec.co.jp/press/ja/0707/1901.html>
- [13] NEC プレスリリース, “ユニバーサル・スタジオ・ジャパンのゲートシステムに顔認証エンジン

- 「NeoFace」を納入”, 2007/9/19, <http://www.nec.co.jp/press/ja/0709/1902.html>
- [14] USJ ニュースリリース, “年間スタジオ・パスをお持ちのゲストは顔パスに!”, 2007/9/20, <http://www.usj.co.jp/company/news/2007/0920.html>, 9/20 日刊工業 11 面, 日本経済 経済面 (兵庫)46 面掲載
- [15] NEC NeoFace® 導入事例紹介, “JR 西日本福岡メンテックでの出退勤管理システム”, <http://www.nec.co.jp/library/jirei/jrwm/>
- [16] 東京電機大学ニュースリリース, “全国の大学で初!「顔認証による入館管理システム」導入”, 2004/10/22, http://atom.dendai.ac.jp/release/041022_666.html, 10/23 フジサンケイビジネスアイ 11 面掲載
- [17] NEC プレスリリース, “モバイル機器向け高精度顔認証エンジンを開発”, 2006/4/13, <http://www.nec.co.jp/press/ja/0604/1301.html>, 4/13 日刊工業 24 面, 4/19 日経流通 7 面掲載
- [18] NEC 個人向けノート PC 機能紹介, “パソコンライフが便利で楽しくなる快適機能”, <http://121ware.com/navigate/products/pc/0709/lavie/lvla/strongpoint/index03.html>
- [19] NEC 製品紹介, “人に優しいロボットインターフェイス PaPeRo” <http://www.nec.co.jp/products/robot>