金融業界におけるPKI・電子認証について
―技術面、標準化に関する最近の動向を中心に―

谷口文一（たにぐちふみかず）

要　旨

近年、金融業界において、電子認証および電子認証関連サービスのインフラであるPKI（Public Key Infrastructure）が注目を集めている。PKI・電子認証は、インターネット上で行う電子商取引を安全・確実なものにするためには欠かせない要素技術である。インターネットは、従来のクローズドなネットワークに比べて通信コストが圧倒的に低い、全国・全世界のユーザーと通信可能であるというメリットがある反面、通信相手ややり取りするデータが本当に正しいのかどうか確認することができなかった。PKI・電子認証はこのインターネット上でクローズドなネットワークの場合と同等の安全性を可能とするものである。とくに安全で確実な処理が求められる金融機関にとって、インターネットを通じたサービスの提供を可能にするPKI・電子認証は、顧客との関係を大きく変える契機となる可能性がある。

そこで本稿では、金融業界におけるPKI・電子認証に関する最近の動向について技術面・標準化面を中心とした検討を行うこととする。とくに、PKI・電子認証では公開鍵証明書の発行等管理を行う認証機関（CA）が非常に大きな役割を果たすため、金融業務に利用されるCAが認証サービスを提供する場合に関連する標準の内容や果たすべき技術的役割について検討することとする。なお、PKI・電子認証の実装技術の細部については未だ主流となる技術が確立していない部分も多い。このため、本稿では、今後注目していく必要があると思われる最新の技術動向についても紹介する。

キーワード：PKI、電子認証、認証機関、公開鍵証明書、デジタル署名、公開鍵暗号、X.509

本稿は、1999年11月１日に日本銀行で開催された「第２回情報セキュリティシンポジウム」への提出論文に加筆・修正を施したものである。

谷口文一　日本銀行システム情報局 システム開発課
（E-mail: fumikazu.taniguchi@boj.or.jp）

１．はじめに

近年、金融業界において**電子認証**およびPKI（Public Key Infrastructure）が注目を集めている。米国フォレスター・リサーチ社が1998年に米国の51金融機関に対して行ったアンケート調査では、今後２～３年の間における最も重要な技術として電子認証を挙げた金融機関は43%と最大の割合を占めた（Forrester Research［1998］）。実際、近年インターネット上でのショッピングやバンキング等が普及しつつある背景には、PKI・電子認証の実用化によりインターネット上でも安全な取引が可能となったことが挙げられる。

一般に「認証」と言う場合、英語のauthenticationとcertificationという２つの異なる概念を表わす言葉として使用されることがある。前者は、情報、物、人の真正性（本物性）を確認するという意味を表わし、本人認証やメッセージ認証と呼ばれることがある。一方、後者は他者に対して何かを証明することを示す。「電子認証」と言う場合もその２つの概念を指すことがあり、前者の場合には、電子的な取引において、送信されたデータが確かに本人が送ったものであることおよび途中で改ざんされていないことを、電子的に作成された署名により検証することを意味する。通常「電子認証」と呼ぶ場合には前者を指すことが多いが、デジタル署名と呼ばれる電子的な署名（詳細は第３章（１）を参照）を検証するために必要な公開鍵（詳細は第３章（１）を参照）がたしかに登録されていることを証明する機関は認証機関（CA: Certification Authority）と呼ばれるように、後者の意味でも使用されることがある。また「PKI」とは、公開鍵暗号に基づく技術を広範囲に用いるために必要とされるサービスを提供するインフラである（Ford and Baum［1997］）。

PKI・電子認証が注目される背景には、まず**インターネットの発展**が挙げられる。近年、誰でも自由にアクセス可能なインターネットが普及したことにより、不特定の顧客層を対象にデータ通信を行うことが可能になった。しかし、インターネットは、その自由度の高さとは裏腹にセキュリティを重要視したネットワークではないため、第三者が通信相手に「成りすまし」たり、送信データが途中で盗聴されたり、書き換えられることも想定される。したがって、電子認証の利用によりインターネット上で安全に商取引を行いたいというニーズが高まっている。

また、**暗号関連技術の発達**も、PKI・電子認証が注目される背景として挙げられる。近年、公開鍵暗号（Public Key Cryptography）という暗号技術が発達したため、データを作成した本人やそのデータの真正性を電子的に確認することが可能となってきた（公開鍵暗号の概要については第3章を参照）。このような公開鍵暗号を用いた電子認証は、鍵の生成や保管、公開鍵の発行や廃棄等の維持管理等多くの作業を必要とし、全体としてPKIという一種のインフラを形成しているが、現在、PKIの実現のためにさまざまな技術開発が行われ、各種サービスや製品が提供されるようになっているほか、関連した標準化活動も盛んに行われている。

本稿では、**技術面・標準化面を中心としたPKI・電子認証についての検討**を行うこととする。これは、金融との関わりを中心にPKI・電子認証を解説した文献には、

制度、法整備等の観点からの研究は散見されるものの、技術面・標準化面からの研究はさほど多くないか、あるとしても入門的な概要紹介に留まっているためである。まず、第２章でPKI・電子認証と金融業・金融機関の関わりについて述べることとする。第３章でPKI・電子認証に関する基礎的な事項について整理した後、第４章では、インターオペイラビリティの確保が重要である電子認証にとって欠かすことのできない標準化動向について整理する。第５章では、金融機関が電子認証業務を行う場合に、技術面ではどのようなポイントが重要となるのかということについて説明する。最後に、第６章において電子認証に関する最近の技術動向についていくつか紹介することとする。

２．金融業・金融機関とPKI

（１）PKIが有するポテンシャル

PKI・電子認証の概要については第３章で説明することとするが、まず本章において、PKIと金融機関、金融業界との関係について考えることとする。PKI・電子認証が有する主なポテンシャルを列挙すると以下のとおり。

①PKIは、セキュリティが低いと指摘されていたインターネット上で、取引相手の確認や送信する情報の真正性証明等を可能とする。これまでインターネットは商品案内やニュースの提供等さほど高セキュリティが要求されない業務を中心に使用されてきたが、PKIにより**高度な信頼性や安全性が要求される商取引についてもインターネットを通して行うことが可能となる**ため、従来の対面取引や専用線によるオンライン取引に対して、**取引コストの大幅な削減が期待される**。

②PKIにより、インターネット上で商取引を行うことが可能となるため、劇的に**空間的制約が緩和**される可能性がある。すなわち、従来のように顧客ベースが店舗の周辺に限定される必然性はなく、理念的には全国・全世界のインターネット利用者が対象となり得る。

③PKIにより、商取引をインターネット上で行うようになれば、インターネット上の標準的なプロトコルを用いてデータ通信を行うこととなるため、エクストラネット[1]等を通した外部企業とのシステム連携が容易となり、金融機関のM&Aや

1 エクストラネット：本社と支店間や関連企業グループ間等、特定のグループ内でのみイントラネットを相互に接続した仮想的なプライベート情報システムのことであり、バックボーンにはインターネットを使用する。従来、このようなプライベートな情報システムを実現するためには各サイト間を専用線等で接続する必要があったため、構築コストが高くなりがちであったが、インターネットをバックボーンとして使用できるようになったことにより、比較的安価かつ柔軟にシステムの構築が可能となった。

業務提携等**さまざまな環境変化に対してより迅速に対応することが可能**となる。

④PKIの実現には、公開鍵証明書を発行するCAが非常に重要な役割を果たす。公開鍵証明書への信頼性は、利用者によるCA自体に対する信頼に依存する面が大きく、その信頼が揺らいだ場合、当該CAが管理する電子認証システム全体が崩壊する可能性がある。したがって、今後PKIの普及に向けて、どのような組織がCA業務の中心となっていくかが注目される。なお、CAへの信頼は、ネームバリュー等組織自体に対する信頼に加えて、**認証システムを安全に運営するための技術力に対する信頼が重要な役割を果たす**ものと考えられる（CAが果たすべき技術的な役割については、第５章を参照）。

（２）金融業・金融機関への影響

PKIによりインターネット上で金融取引が行われるようになれば、さまざまな影響が金融業・金融機関に及ぶものと考えられる。具体的な影響は以下のとおり。

①他業態の企業による金融業への新規参入を促進する可能性

PKI・電子認証により多くの金融サービスを電子的に提供することが可能になると、金融業務のより多くの部分を情報システムを中心としたテクノロジーに依存することとなるため、そのようなテクノロジーに競争優位を有する他業態の企業による金融業務への参入が増えてくることが予想される。とくに、当面、テクノロジーの有効活用によるコスト削減効果が大きい一般消費者向け金融商品の提供において他業態の企業の参入が増える可能性が高い。

face-to-faceの取引により金融業務の多くが行われていた時には、店舗のロケーションや数、ネームバリュー等が取引先を選択する重要な要素であったが、電子的な取引においては技術力や技術面でのブランド力の重要性が増してこよう。実際、わが国でもソフトバンクやソニー等技術力に優れた非金融機関が金融業に参入してきている。

②金融サービスの提供形態の変化

本来、預金や有価証券といった金融商品は、預金証書や証券の券面といった物理的な媒体に価値があるのではなく、その媒体に書かれた情報が価値を表象する性質を有するため、インターネット上での取引に適していると考えられる。したがって、電子認証を利用することにより、金融商品の紹介だけではなく、口座開設申請や決済等までもインターネット上で確実・安全に行えるようになれば、従来と比べて金融商品の販売が格段に低コストで行えるようになる可能性がある。例えば、株式売買手数料の自由化が進んでいる米国では、無店舗のオンライントレードが普及することにより、株式の平均売買手数料が２年間で約３分の１に下がった（http://www.zdnet.co.jp等）。

また、現在、電子認証の技術を応用することにより、電子マネーの実証実験が世界各地で行われているほか、CPやCDの電子化が各々大蔵省や法務省で検討されている。これらが実現すれば、各種金融サービスの提供がより低コストで行えるようになるほか、金融取引の最初から最後まで人手を介さずすべて自動化するSTP[2]（Straight Through Processing）の実現により、よりスピーディーで効率的な金融取引の実現に繋がる可能性がある（宮田［1999］）。

これまで金融機関にとっては、広い店舗網等既存の販売チャネルを有していることが新規参入業者に対する大きな優位性として作用してきたが、PKI・電子認証を利用することにより低コストで多くの顧客に対して金融サービスを提供することが容易になってくると、既存の販売チャネルを有することが必ずしも優位に働かない場合があることに留意すべきである。例えば、従来までであれば広い店舗網を有しない外国企業や他業態の企業が金融サービスを一般消費者を対象に広く提供することは非常に困難であったが、それが可能となってきたため、わが国でも小口株式売買手数料の自由化に向けて外国企業や他業態の企業がインターネット・バンキングやインターネット・トレーディングの形態で一般利用者向け金融サービスに新規参入しつつある。

③金融機関（銀行）による一般的な電子認証サービスへの進出

銀行は、企業や個人の預金口座等、各主体の特定の情報を保管・維持管理する主体として長年機能しているという実績がある。また、銀行はそもそも与信業務等において取引相手の審査を行っており、認証業務はその延長線上にあると捉えることも可能である。加えて、電子認証を行う主体は利用者から信頼される必要があるが、一般的に銀行は歴史的に信頼できる組織であると認識されているものと考えられる。このように、銀行は電子認証サービスを行うのに適したポジションにいると考えられる。

したがって、継続的な手数料収入を期待して、自社の金融サービスに付随しない一般的な電子認証サービスに金融機関がCAとして進出することも考えられる。ただし、この点については、銀行法による他業禁止規定との兼合いが問題となる[3]。

この点に関して、米国では、ユタ州に本店があるZions First National Bank of Salt Lake Cityが子会社のDigital Signature Trust（DST）を通じて行っている認証サービスの提供が、米国通貨監督庁（OCC: Office of the Comptroller of the Currency）により銀行の付随業務として1998年に認可されたという例が参考になろう。

2 STP：証券取引を中心に、約定から決済に至るプロセスを、標準化されたメッセージ・フォーマットによりシステム間を自動的に連動させることによって、人手を介さずに一連の作業をシームレスに行うことであり、近年、欧米の金融機関を中心にSTPの実現に向けたさまざまなプロジェクトが行われている。

3 大蔵省銀行局・国際金融局（事務局）［1997］による「電子マネー及び電子決済に関する懇談会報告書」では、「金融機関が電子決済に関連して認証サービスを行う場合には、この認証サービスは高い安全性を有していると考えられるため、こうした金融機関による認証サービスを電子決済に関連したもの以外に活用することも考えられる。電子商取引の円滑な普及の観点から、金融機関の他業禁止の主旨にも配慮しつつ、金融機関による一般的な認証サービスの提供についても検討していくことが適当である。」としている。

また、1999年6月より米国のWells Fargo銀行が、サイバー・トラスト社の技術を用いて、口座を開設した商店に対してホームページの認証を行い自行のブランドで公開鍵証明書を発行するというサービスを開始したという例も存在する。当初は無料であるが、試行期間後は公開鍵証明書発行料を課す予定であり、現時点における公開鍵証明書発行の市場価格は年間約350ドルであると報じられている（1999年5月28日付American Banker）。

英国でも、1998年よりBarclays Bankが、Barclays Endorseというデジタル署名の作成および確認手段の提供を行っている。Barclays Bankは、デジタル署名を作成する際に必要な情報が搭載されているBarclays Endorse cardというICカードを利用者に発行し、これによって作成された署名が真正なものであるかどうかという確認サービスを署名の受信者に対してオンラインで提供している。1998年6月から1999年5月にかけて、英国の税務当局は自営業者がインターネット経由で納税申告を行うために、本サービスを試行的に利用した。

公開鍵証明書の発行・管理等のための認証システムの構築には比較的大きな初期コストが必要である一方、個々の公開鍵証明書の発行にかかるコストは大きくないと予想される。したがって、電子認証は装置産業的な側面が強く、規模の経済が働きやすいサービスであり、一般的な認証サービスに進出する金融機関にとってはどれだけ採用されるウェブサイトや利用ユーザーを早く囲い込めるかということが重要となろう。

（3）金融機関によるPKI・電子認証への取組み方

このように、電子認証は、多くの金融機関にとって非常に重要な技術である。金融機関による電子認証の取組み方法としては、以下のようにいくつかのオプションが考えられる。

①自前で認証システムを構築し、自らCAとして機能。

②認証サービス提供会社による公開鍵証明書作成機能を利用して、自らの名前で公開鍵証明書を発行してもらう。

③認証サービス提供会社が発行する公開鍵証明書を利用。

取組み方法は、大きく、自前でCA機能を提供するか（①）、認証サービス会社にアウトソースするか（②、③）に分類されるが、これらのメリット・デメリットの比較については、いくつかのリサーチ会社が具体的に認証サービスを提供する際のTCO[4]（Total Cost of Ownership）を比較するレポートを公表している（Aberdeen Group［1998］、Giga Information Group［1998］）。試算結果はレポートにより異なるが、定性的にはおおむね表１のように考えられる。

4 TCO：情報システム資産に関する直接コストだけではなく、維持管理や技術の習得、人件費なども含めた総合的なコスト。

表１　認証サービスの提供方法に応じた特徴の比較

自前で認証システムを構築・運営	認証サービスをアウトソース
・システム構築費用、ベンダーによるサポート費用が高い。 ・公開鍵証明書の配布・廃棄のつど、費用がかからない。 ・自らのセキュリティ・ニーズに合わせたPKIを自由に構築できる。 ・顧客から高い信頼を受ける企業は、その信頼の高さを電子認証業務での信頼確保に活かせる。	・システム構築費用、ベンダーによるサポート費用は少ない。 ・公開鍵証明書の配布・廃棄のつど、費用がかかる。 ・初期コストが少なくて済むため、将来の電子認証対応における自由度が高い。

表１のとおり、自らCAとなって認証システムを構築・運営する場合には、公開鍵証明書を管理するためのシステム構築費用がかかる反面、電子認証におけるセキュリティ・レベルや運営において自らのセキュリティ・ニーズにフレキシブルに対応しやすいと考えられる。公開鍵証明書の管理負担については、その規模が大きくなるほど、とくに有効期限到来や秘密鍵の漏洩等に伴う公開鍵証明書の廃棄および再発行にかかる負担が大きいと指摘されることが多い。

また、PKIの構築に当たっては、情報セキュリティに関するスキルが要求され、組織的にそのスキルを高めていく必要があると考えられる。とくに、金融機関自らがCAとなって認証業務を行う場合、技術力は非常に重要であり、暗号関連技術（鍵の管理・保管等、暗号アルゴリズムの安全性評価等）、分散システム関連技術（オンラインディレクトリ・サービス等）等、従来銀行が手掛けてきた大型コンピュータによるオンラインシステムの場合とは異なる技術力が要求される。

（４）金融分野におけるPKI・電子認証の利用目的と利用状況

金融分野におけるPKI・電子認証の利用は、以下のような利用目的に大きく分類することが可能である。

①個人向けのインターネット・バンキング（預金の振替、残高照会等）やインターネット・トレーディング（株式、債券等の売買等）
②企業向けのインターネット・バンキング（従来から存在するエレクトロニック・バンキングのインターネット対応）
③個人向けのインターネット・ショッピングの決済（クレジットカード、銀行口座引き落とし等）
④一般的な電子商取引におけるオンライン店舗サーバーの認証
⑤金融機関社内ネットワーク（イントラネットおよびエクストラネット）での相手認証およびデータの暗号化
⑥①～⑤におけるCAに対する認証（ルートCA等）

これらの利用目的において、具体的には、

（ア）ウェブページ・サーバーが正当なものであることの確認、
（イ）利用者が正当な顧客であることの確認、
（ウ）データ、メッセージの真正性確認、
（エ）秘密通信を行うための共通鍵方式のセッション鍵の交換、
のためにPKI・電子認証が使用されている。

上記①～④の利用目的がウェブ上でサービスされるように、近年の電子商取引の多くはウェブを介して提供されるため、PKI・電子認証に関してもウェブ上での技術に対する注目度が高い。ウェブ上でのクレジットカードやデビットカードの利用にあたっては、２、３年前まではビザとマスターカードが共同で開発したSET（Secure Electronic Transactions）というプロトコルにより認証や暗号化を行うことに注目が集まっていたが、SETでは専用ソフトウェアを顧客が利用するパソコンにインストールする必要があることや、顧客のパソコンでの処理が重いことから、最近ではSSL（Secure Sockets Layer）バージョン3.0というプロトコルを用いて加盟店や利用者の認証、クレジットカード番号の暗号化を行うことが主流になりつつある。なお、SSL における認証については、日本ベリサイン社やサイバートラスト社等の認証ベンダーに公開鍵証明書を発行してもらうという、本章（３）の③のケースが多いようである。

また、本章（２）で紹介したとおり、米国のWells Fargoのように、電子決済において電子認証サービスを提供するのみならず、一般のオンライン商店に対して電子認証サービスを提供する動きも見られる。

個々の金融機関が独自にPKI・電子認証を利用するという動きに加えて、欧米では、ABAecom[5]、GTA[6]（Global Trust Authority）、S.W.I.F.T.[7]（Society for Worldwide Interbank Financial Telecommunications s.c.）のように、業界団体や複数の金融機関が集まって、金融取引のインフラとして電子認証を位置づけようとする動きも見られるようになってきた。これは、PKI・電子認証が個別金融機関内での利用が中心だった段階から企業間でのインターオペイラビリティが求められる段階まで利用が進みつつあることを表わしているものと考えられる。

5 ABAecom：米国銀行協会（American Bankers Association：ABA）の電子認証サービス子会社であり、米国国内で電子認証を行う銀行のルートCAとなることを展望しているものと考えられる。これは、ノンバンクがオンラインサービスに本格参入する前に、オンラインでの決済サービスにおける銀行業界の優位性を強化したいという考えに基づいているものと考えられる。

6 GTA：国際金融の電子取引におけるインターオペイラビリティを確保するために、階層構造で各参加金融機関の認証を行うルートCAを構築するために、欧州を中心に多くの大手銀行が参加して1999年に設立した組織。わが国からはさくら銀行が参加。

7 S.W.I.F.T.：クロスボーダー銀行取引におけるペーパーレス化を、同一のネットワーク、標準化された手続きにより推進することを目的として1973年に欧米15カ国239銀行の出資により設立されたベルギーに本部を置く非営利協同組合。日本の金融機関は1976年より参加している。

表２　金融業界におけるPKI・電子認証技術を採用したプロジェクト例

金融機関・団体名	利用目的	PKI・電子認証を採用するプロジェクト	利用プロトコル	認証ベンダー等	備考
住友銀行	①	個人向けインターネット・バンキング	SSL（128bit）	日本ベリサイン社	――
三和銀行	①	個人向けインターネット・バンキング	SECE[8]	日本認証サービス社	――
野村證券	①	個人向けインターネット・トレード	SSL（128bit）	サイバー・トラスト社	――
日本興業銀行	②	企業向けグローバルキャッシュマネジメント・サービス	SSL	サイバー・トラスト社	暗号鍵や公開鍵証明書はPCカードで保管
JCB	③	個人向けインターネット・ショッピング（J-Mall）でクレジットカード決済を可能化	SET	――	自社でCA機能を遂行
Wells Fargo	④	SureServerサービス：オンライン商店のウェブページ・サーバーの真正性を確認するための公開鍵証明書の発行	――	GTE Cybertrust（Wells Fargo銀行の名で公開鍵証明書を発行）	電子決済における認証ではなく、一般的な認証サービスの提供
大和證券	⑤	社内国際ネットワーク	SSL（128bit）	日本ベリサイン社	インターネットを利用して国際基幹網を構築し、社内システムにおけるデータの暗号化と相手認証を実施
ABAecom	⑥	銀行のウェブページ・サーバーの真正性を確認するための公開鍵証明書の発行	――	Digital Signature Trust（DST）	米国内で電子認証を行う銀行のルートCAとなることを展望
GTA	⑥	国際的なCAの相互運用性の確保に向けた認証サービスの提供	――	――	・国際的な金融業務で電子認証を行う銀行のルートCAとなることを展望 ・階層型構造により、CA間の相互運用性を確保
S.W.I.F.T.	⑥	E-Trust：SWIFTの新ネットワークインフラ（Next Generation）上の業務やインターネット上の金融取引に対して電子認証サービスを提供する予定	――	――	――

8　SECE（Secure Electronic Commerce Environment）：インターネット上でのクレジットカード支払と銀行預金支払を対象とした共通プラットフォームの開発を目的とした日立、富士通、NECの3社によって開発中のソフトウェア開発プロジェクトである。クレジットカード支払についてはSETに準拠しているが、SETバージョン1.0に対して、ボーナス払い等の日本独特の商習慣や日本語のサポート等仕様の拡張が行われている。

３．PKI・電子認証とは

（１）公開鍵暗号

PKI・電子認証の実現にあたっては、公開鍵の真正性を証明する公開鍵証明書が非常に重要な役割を果たす。そもそも、公開鍵暗号では、本人のみが保有する**秘密鍵**と他人にも広く公開する**公開鍵**という、数学的関係はあるが公開鍵からは秘密鍵を類推できない１組の鍵ペアを使用する。ここで、一方の鍵で暗号化したデータは、他方の鍵でしか復号化できないという性質を利用して、**電子認証**および**秘密通信**を実現することができる[9]。

（電子認証）

公開鍵暗号による電子認証を行う場合（図１を参照）、まず、データの送信者が鍵ペアを作成したうえで、受信者がその一方の公開鍵を入手できるようにしておき、他方の秘密鍵のみを秘匿しておく。データの送信者は、送信したいデータを自らの秘密鍵で暗号化して暗号データを作成し[10]、元のデータとともに相手に送信する。この暗号データは、秘密鍵を保有している当人しか作成できないものという意味で、**デジタル署名**や**電子署名**（electronic signature）[11]と呼ばれる。受信者は、送信者の公開鍵を用いてデジタル署名の検証処理を行い、その真正性が確認されれば、送信されたデータは正当な本人が作成したものであり、かつ途中で改ざんされていないということが確認される。このような電子認証を利用することにより、メールの送信者やホームページの作成者が本当に正しい人物・企業であることを確認できる。

（秘密通信）

公開鍵暗号は秘密通信のためにも使用することが可能であり（図２を参照）、その場合、まず、データの受信者が鍵ペアを作成し、その一方の公開鍵をデータの送信者に渡し、他方の秘密鍵のみを秘匿しておく。データの送信者は入手した公開鍵によりデータを暗号化し、暗号データをネットワーク経由等で送信する。暗号化されたデータは、受信者が保有している秘密鍵でしか復号化できないため、秘密通信が可能となる。この場合、公開鍵は第三者に対して秘密にする必要がないため、特に不特定多数の主体と秘密通信を行う時に有用である。

9 実際の公開鍵暗号方式には、電子認証と秘密通信の両方に使える方式の他に、電子認証にしか使用できない方式や秘密通信にしか使用できない方式も存在する。

10 実際には、データの送受信を効率よく行うために、一方向性ハッシュ関数（入力値から出力値を得ることは容易であるが、アルゴリズムを知っていても出力値から入力値を推定するのは困難であり、任意ビット長のビット列をある長さのビット列に変換する関数）により元のデータを圧縮した結果に対して秘密鍵で暗号化を行うケースもある。

11「電子署名」は、公開鍵暗号方式を利用したデジタル署名に加えて、手書きの署名の画像データ等、当人しか作成できない電子的に処理された情報全般を指すより広い概念を指す言葉として使用されることがある。

図１　公開鍵暗号による電子認証

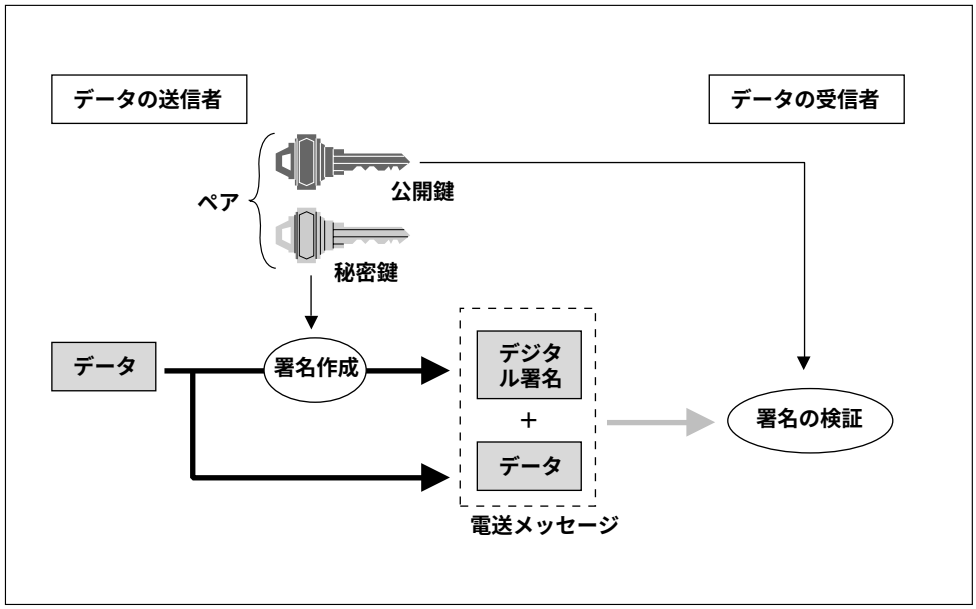
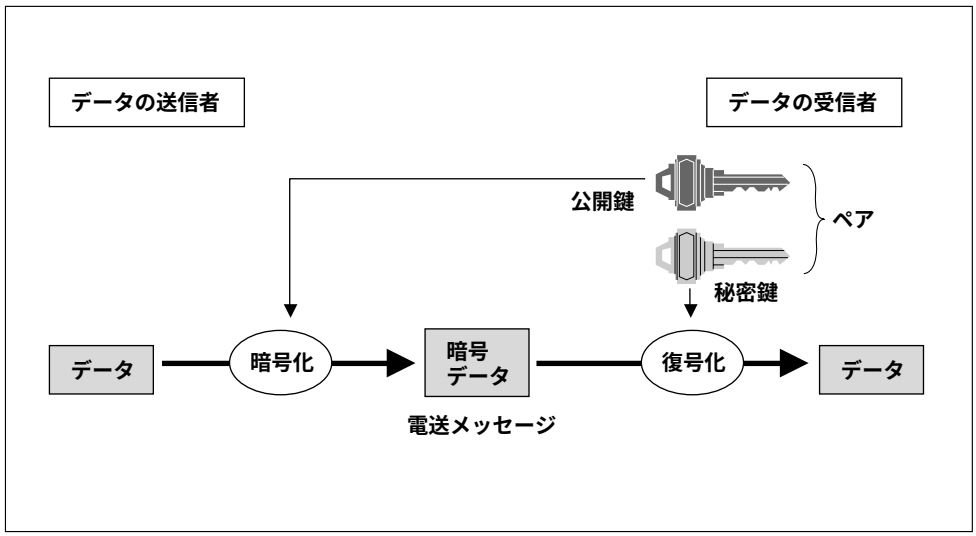


図２　公開鍵暗号による秘密通信



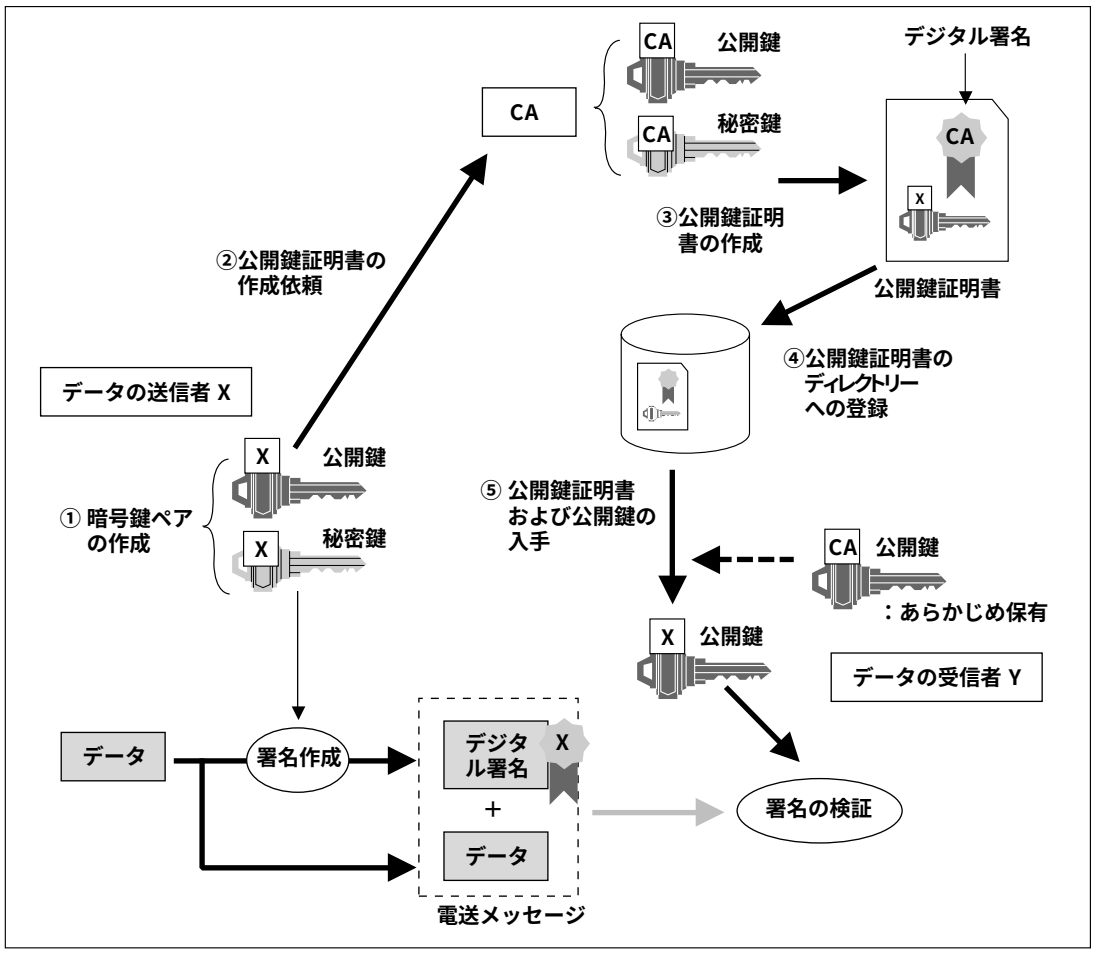
一方、データの送受信者があらかじめ共有しているひとつの暗号鍵を暗号化にも復号化にも使用するような暗号を共通鍵暗号と呼ぶが、公開鍵暗号は共通鍵暗号と比較すると暗号化や復号化に要する計算量が多く、処理に時間がかかるため、公開鍵暗号により共通鍵暗号の暗号鍵を送信し、その後は共通鍵暗号によりデータの送受信を行うことが多い。

（2）公開鍵証明書

（1）で触れたとおり、公開鍵を利用した秘密通信や電子認証では、相手の公開鍵を使用することが前提となっているが、その公開鍵が正当な相手が保有する秘密鍵に対応した正しいものであることを証明するのが、公開鍵証明書である。

図３のとおり、公開鍵証明書は、各主体の公開鍵や関連情報に対して、CAが自らの秘密鍵によりデジタル署名を付したものである。ウェブブラウザーに組み込まれていたり、郵送等の方法により、利用者はあらかじめCAの正しい公開鍵を入手しており、これにより公開鍵証明書がCAにより作成されたものであり、公開鍵証明書に付された取引相手の公開鍵も信頼できるものであることを確認することができる。公開鍵と秘密鍵は数学的関係があるとは言え、公開鍵から秘密鍵を推測することは非常に困難であるため、公開鍵証明書および公開鍵は秘密にする必要がない。したがって、セキュリティ対策が十分とはいえないネットワークやシステムを使っ

図３　公開鍵暗証明書の利用（電子認証の場合）



て公開鍵証明書を配布することが可能である。

次に、公開鍵証明書の作成、配布、廃棄といった一連の流れは以下のとおりである。

①公開鍵と秘密鍵のペアの作成

作成場所は、（ア）秘密鍵を使用する当人が保有するシステム（ICカードやパソコン上のソフトウェア）と、（イ）CAのセンターシステムに大別される。

②公開鍵証明書申請者が公開鍵と必要な情報をCAに提出

③CAが公開鍵証明書に記述する内容の正当性を確認

④CAが公開鍵証明書を作成し、自らの秘密鍵により署名

⑤公開鍵証明書を申請者に送付する他、第三者もアクセス可能な場所に保管

⑥必要に応じて公開鍵証明書の廃棄を行い、公開鍵証明書廃棄リストの形で廃棄した公開鍵証明書を周知

公開鍵証明書が廃棄されたことを確実に周知することは、電子認証にとって重要なポイントである。この点については、第４章で説明する。

（３）PKIの関連主体

公開鍵証明書の作成や廃棄等の管理を行う主体はCAであり、PKIの確実な運用やその安全性に関して非常に重要な役割を果たしている。

公開鍵証明書の発行に際しては､実際に公開鍵証明書申請者とコンタクトをとり、ID等による本人の真正性の確認を行う必要がある場合もある。その場合、登録対象者数が多く、地理的に広がっている場合には、CAだけでは公開鍵証明書発行のための本人確認を行うことは困難である。したがって、本人確認および公開鍵証明書に記載する事項の確認は、複数の登録機関（RA: Registration Authority）が実際に公開鍵証明書申請者とコンタクトをとりながら行うケースもある。この場合、RAは申請事項の確認後にCAに対して公開鍵証明書の作成を要求し、その要求に基づいてCAが公開鍵証明書を作成することとなる。

加えて、近年、属性（attribute）による認証という概念が提案され、その認証を行う主体として属性認証機関（AA: Attribute Authority）が今後一般的になる可能性がある。属性による認証の詳細に関しては、第６章の（１）を参照。

（４）CAの信頼構造

電子認証が幅広く使用されるようになると、１つのCAがすべての公開鍵証明書の発行・管理を行うのは不可能である。したがって、他のCAが公開鍵証明書を発行する主体と取引を行わなければならないケースもあるが、このため、相手のCAが発行した公開鍵証明書を使用するための相互運用の仕組みが必要になってくる。

複数のCAが各々公開鍵証明書を発行する状態での相互運用の仕組みは大きく以下の３つに分類することができる。

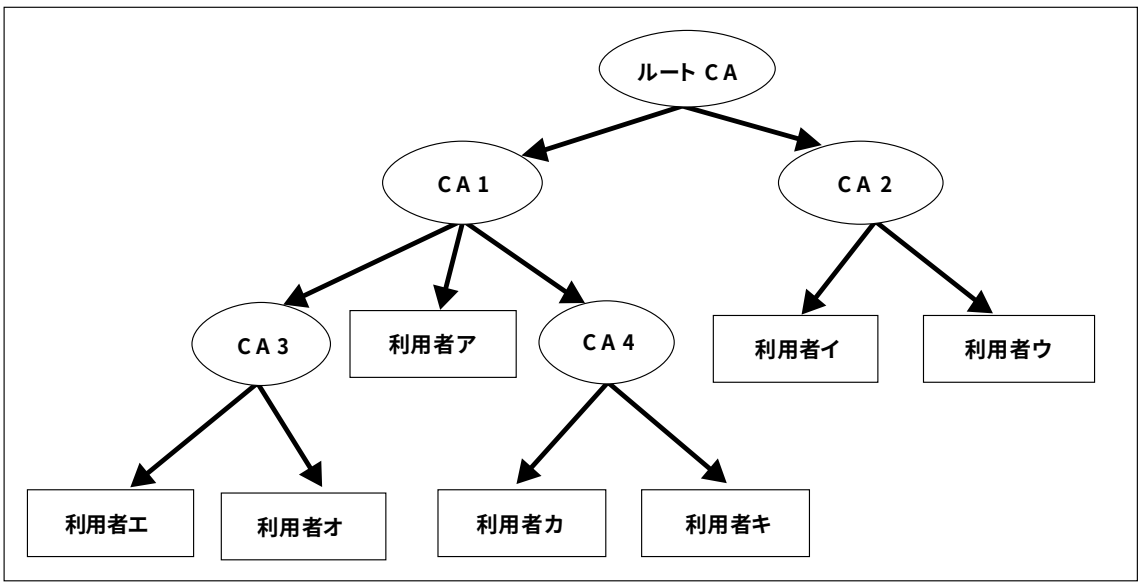
①階層型

階層型構造では、各CAの公開鍵は他のCAにより公開鍵証明書が発行されており、その関係は階層的なピラミッド構造になっている（図4を参照）。本構造では、上位のCAが下位のCAを認証する形となっている。本構造の最上位に位置し、どのCAからも認証されていないCAをルートCAと呼ぶ。ルートCAの秘密鍵が他者に漏れると、本PKI配下の全CAおよび利用者の公開鍵の安全性が脅かされるため、ルートCAには非常に高い安全性が求められる。階層型構造では、ルートCAの公開鍵はどのCAからも認証されていないため、配下の全利用者がルートCAの正しい公開鍵を何らかの方法で確実に入手していることを前提としている。

図４の例で（利用者エ）が（利用者カ）と秘密通信を行いたい場合、まず、（利用者エ）はルートCAの正しい公開鍵を保有しているため、ルートCAのデジタル署名が付された正当なCA1の公開鍵証明書を電子的に入手する。CA1の正当な公開鍵が入手できたため、（利用者エ）は、次にCA1のデジタル署名が付された正当なCA4の公開鍵証明書を電子的に入手する。CA4の正当な公開鍵が入手できたため、CA4のデジタル署名が付された正当な（利用者カ）の公開鍵証明書を電子的に入手できる。（利用者エ）は、入手した（利用者カ）の公開鍵でデータを暗号化して（利用者カ）に送信することにより、秘密通信が可能となる。なお、この例において、（ルートCA）－（CA1）－（CA4）－（利用者カ）という一連の信用の繋がりを認証パス（Certification Path）と呼ぶ。

階層型構造は、各主体に対する認証パスがひとつしかないため見つけやすいというメリットがある反面、規模が大きくなるほど認証パスが長くなり処理負担が増えるというデメリットもある。そのため、後述（第４章）の公開鍵証明書に関する国際標準ISO/IEC/ITU X.509のAnnex Kにおいて、CA用の公開鍵証明書については利用できる認証パスの段数を制限（Path Constraint）できるように考慮されている。

図４　CAの信頼構造（階層型）

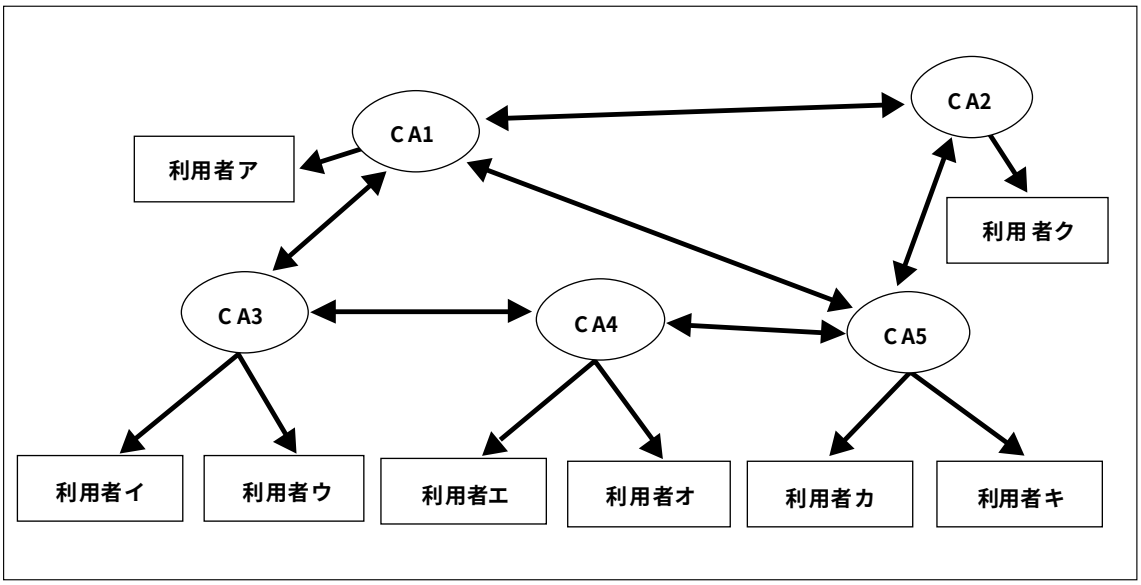


②相互認証型（非階層型）

相互認証型構造では、各利用者は自らの公開鍵を認証してもらっているCAの公開鍵を保有しており、他のCAによる認証の有無に関わらずその公開鍵を信頼するということを前提としている。各CAは他のCAと相互に認証を行っているが、そのパスを追うことにより他CA配下の利用者の公開鍵証明書の有効性を確認することができる。本構造では、あるCAの秘密鍵が他者に漏れた場合でも、その影響は当該CA配下の利用者にとどまるため、その利用者に公開鍵証明書を配布し直すことで対応できるため、秘密鍵漏洩時の負担は階層型と比較して小さい。

図５の例で（利用者ア）が（利用者キ）と秘密通信を行いたい場合、まず、（利用者ア）は自らのCAであるCA1の正当な公開鍵を保有しているため、CA1のデジタル署名が付された正当なCA5の公開鍵証明書を電子的に入手する。（利用者ア）は、CA5の正当な公開鍵が入手できたため、CA5のデジタル署名が付された正当な（利用者キ）の公開鍵証明書の正当性を確認できる。（利用者キ）の公開鍵の正当性を確認できたため、（利用者ア）は、データを（利用者キ）の公開鍵で暗号化し、これを（利用者キ）に送信することによって秘密通信が可能となる。

図５　CAの信頼構造（相互認証型）



③ハイブリッド型

ハイブリッド型は、階層型と相互認証型を組合わせた構造である。階層型構造のブロックが複数存在しており、各ブロックのルートCA同士が相互認証をしているというのが基本的な構造となっている。ただし、必要に応じてルートCAでなくとも他のCAと直接相互認証を行うことも考えられる。

例えば、米国のFPKI[12]（Federal Public Key Infrastructure）においては、各官庁や外部機関による複数のCA（およびその配下のCA、エンドユーザー）間の信用をBridge CA（第６章を参照）が繋ぐというハイブリッド型の構造を採用している。

このような相互運用のための信頼構造のうち、どのような形態が主流となるか、まだ見極められる状況にはない。認証パスの検索技術の動向や公開鍵証明書の正当性チェック技術の動向に応じて、主流となる信頼構造も定まっていくものと考えられる。

（５）電子公証

電子公証とは、電子認証関連技術のアプリケーションの１つであり、当事者間に予想される紛争を解決するために、「誰が」「何を」「いつ」取引したかを、取引の第三者が証明する電子的な仕組みである。電子公証サービスを提供する主体は、信頼される第三者機関（TTP: Trusted Third Party）として第三者の立場で当事者間の取引の事実を電子的に保管し、その内容が正しいことを証明する機能を果たす。

電子商取引実証推進協議会（ECOM）の電子公証システムガイドライン（Ver.1.0）［1998］は、電子公証に要求される機能として、①送受信者特定機能、②到達確認機能、③改ざん検知機能、④時刻付与機能、⑤アクセス記録機能、⑥プロセス記録機能、⑦電子保存機能、を挙げている。このうち、①送受信者特定機能は通常CAにより行われる。

公証と言えば、公的機関が行うサービスであるとイメージされることが多いが、必ずしもその必要はなく、第三者が取引の内容等を電子的な形で証明すれば、民間企業が行う場合も含めて電子公証と呼ぶことが多いようである。公的機関による電子公証への取組みに関しては、現在、法務省が公証人役場で実施している確定日付の付与や公正証書の作成に関するサービスを電子データに対しても提供可能とする「電子公証制度」の開発を行っている。民間企業による電子公証への取組みの一例としては、社内で行う重要データの保管等もその範疇に含まれる。

12 FPKI：米国政府が情報資源を安全に使用する目的で利用するPKIを指し、現在、商務省の下部組織として科学技術全般の標準規格の策定を担当しているNational Institute of Standards and Technology（NIST）において、FPKIで採用するさまざまな認証関連技術やその使用法等について検討が行われている。FPKIの検討は、Part A： Requirements, Part B： Technical Security Policy, Part C： Concept of Operations, Part D： Interoperability Profiles, Part E：X.509 Certificate and CRL Extensions Profileという５つのPartで行われている。

４．PKI・電子認証に関する標準化状況

PKIでは、各主体間でのインターオペイラビリティが確保されていることを前提としており、そのためにも標準化は非常に重要な役割を果たしている。したがって、本章では、PKIに関する標準化状況を紹介することとする（PKIに関する国際標準化活動の一覧は図８、主な標準に関する具体的な対象分野は表４を参照）。

（１）国際標準

①ITU-T X.509

PKIに関する基本的な標準のひとつに、国際通信連合（ITU: International Telecommunication Union）下の通信標準セクター（ITU-T）で作成されたITU-T Recommendation X.509という標準がある。X.509は、公開鍵証明書や公開鍵証明書廃棄リスト（CRL: Certificate Revocation List、詳細は第５章（２）②を参照）のデータ構造等を定めており、他の多くの標準も本標準で定められた形式の公開鍵証明書を使用している[13]。現在有効な形式は1996年に定められたものであり、公開鍵証明書はバージョン３、CRLはバージョン２と呼ばれている。ちなみに、X.509は、国際標準化機構（ISO: International Organization for Standardization）と国際電気標準会議（IEC: International Electrotechnical Commission）が共同で設立したISO/IEC JTC1[14]（Joint Technical Committee 1）のSC6においても同じ内容が標準化されており、その名称はISO/IEC 9594-8である。

X.509 バージョン３による公開鍵証明書は、具体的には図６のような形式となっている。図６のとおり、X.509 バージョン３による公開鍵証明書には拡張フィールドが設けられており、暗号鍵とCAの運用ポリシー（詳細は第５章（３）を参照）、各主体とCAの属性、認証パス、CRL、に関する情報を追加的に記述するために使用されている。

また、X.509で定められているCRLのデータ形式は図７のとおり。

秘密通信や電子認証を行う前に、各ユーザーは、正式な相手の公開鍵証明書と正式なCRLを入手しておく必要があるが、その配布のためにオンラインディレクトリサービスと呼ばれる各種情報を整理、貯蔵するための仕組みが利用されつつある。例えば、秘密通信を行いたい場合、データの送信者は、ディレクトリと呼ばれるデータベースに対してオンライン経由で受信者の公開鍵証明書を請求し、オンライン経由で受け取ることとなる。

13 この他の公開鍵証明書の仕組みとしては、暗号学者のRivestとLampsonが提案したSDSI（Simple Distributed Security Infrastructure）とInternet Society（ISOC）下のInternet Engineering Task Force（IETF）の作業部会によって開発されたSPKI（Simple Public-Key Infrastructure）がある。いずれも、複雑なX.509を簡単にする形で、より容易にPKIを実現することを企図しているが、X.509と比較するとあまり利用されていない。

14 JTC1：ISOとIECが共同で設立した情報技術の国際標準化を担当する技術専門委員会。JTC1では、プログラミング言語からシステム・デバイスまで、さまざまな技術標準を策定している。

図６　X.509公開鍵証明書バージョン３のデータ形式

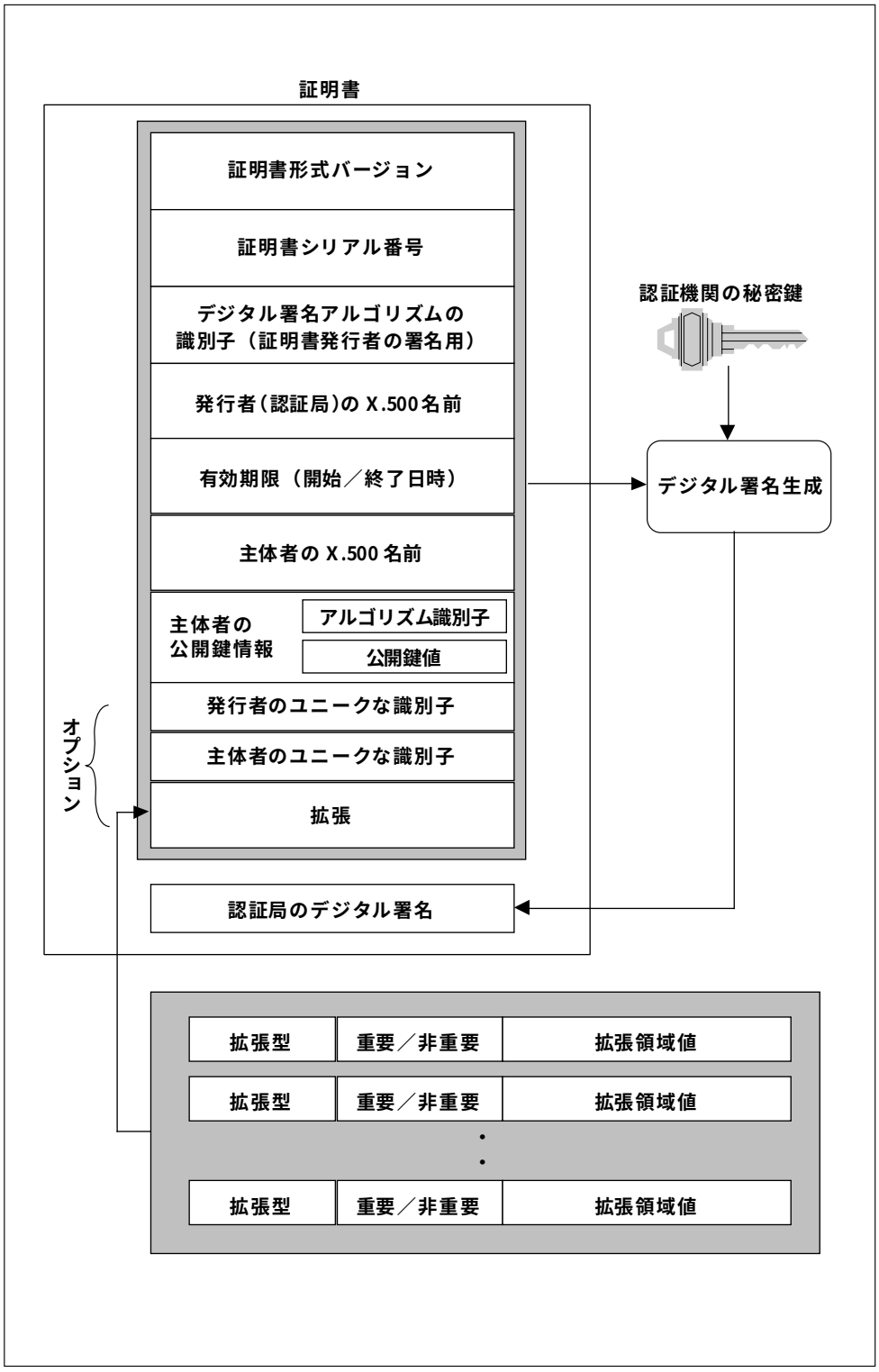
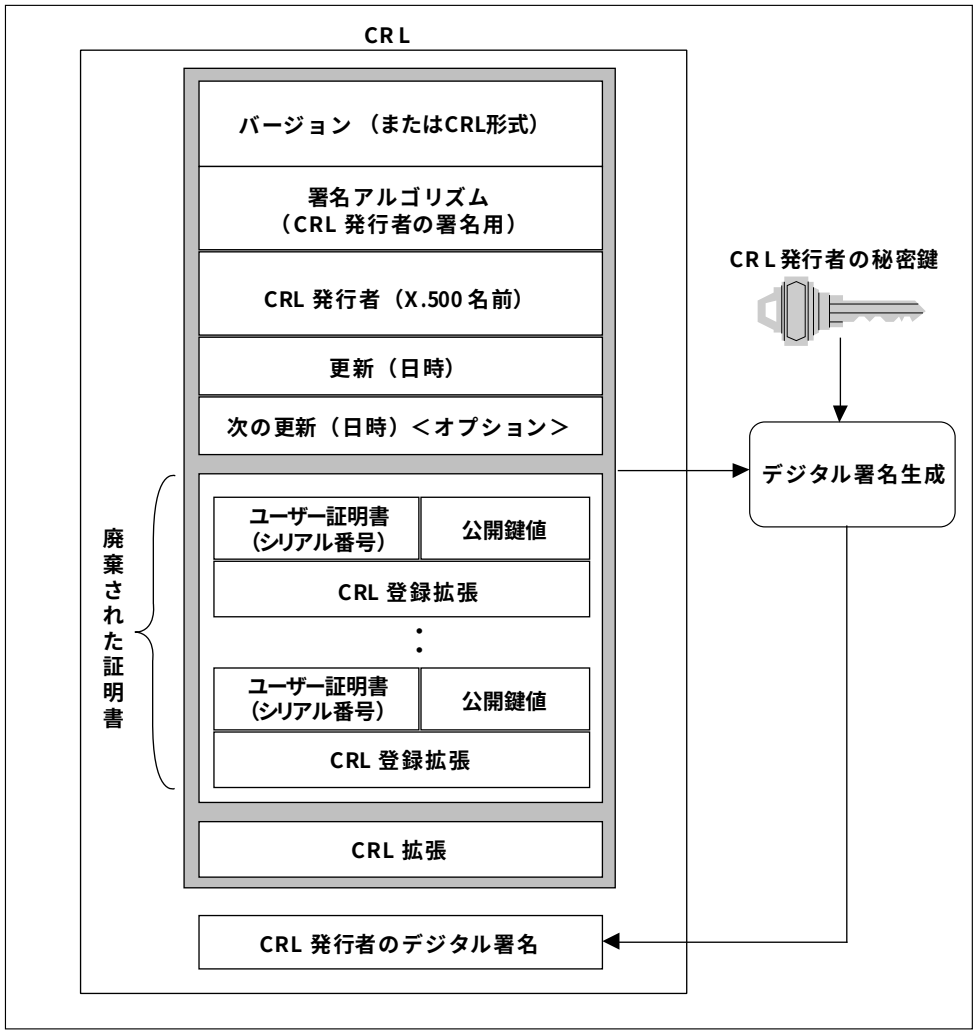


図７　X.509のCRLのデータ形式



オンライン・ディレクトリサービスの標準的な形式は、ITUがX.500として、ISOが同内容をISO 9594として定めており、近年、とくに大企業を中心に使用されるようになってきた。ただし、X.509公開鍵証明書のバージョン１および２ではX.500の使用が必須とされていたが、X.500の名称だけでは各主体をユニークに特定しきれないケースがあることや、アプリケーションによってはX.500の名称ではなく他の名称により特定した方が便利であることから、バージョン３ではX.500の名称以外に、インターネット・ドメイン名、電子メールアドレス、ウェブサイトのURL等を、各主体を特定するための情報として利用できるようになった。また、X.500以外に、LDAP（Internet Lightweight Directory Access Protocol）と呼ばれるX.500よりもシンプルな形式のディレクトリもよく使用されている。LDAPは1997年末に定められたバージョン３が最新版である。

②ISO 15782

X.509で定められた公開鍵証明書やCRLを利用してPKIを実現するためには、金融機関が暗号鍵や公開鍵証明書等をどのように管理していくべきかということに関して、ISOの金融専門委員会であるISO/TC68ではISO 15782の標準化が進められている。ISO 15782は、PKIに関する各種証明書の管理をテーマとしており、３つのパートに分かれている。パート１は公開鍵証明書の管理、パート２は属性証明書の管理、パート３は証明書の拡張、がテーマである。1999年７月現在、パート１は２回目のCD[15]投票、パート３は初めてのCD投票が終わった段階であり、いずれも今後１～２年かけて国際標準化の手続が進められる予定である（以下では、ISO/CD15782と表記する）。本標準は、（ア）金融業務に利用されるCAを対象に、採用すべき高度なセキュリティ要件を具体的に規定していること、（イ）金融機関が電子認証業務を行う場合の義務と責任範囲を明確にしていること、（ウ）技術力の高い米国のベンダーが標準策定に参画していること、（エ）ISO標準として今後国際的に利用されていく蓋然性が高いこと、等の理由から、今後大きな影響力を持つ可能性が高いと考えられる。

（２）米国国内標準

金融分野における国際標準は、米国国内の標準化機関であるANSI（American National Standards Institute）配下で米国金融業界内での標準化を行っているANSI X9が定める各種標準から影響を受けることが多い。PKIに関しても、ANSI X9は以下のような標準を定めている。

・X9.30：非可逆型[16]公開鍵暗号アルゴリズム（DSA、SHA-1）
・X9.31：可逆型公開鍵暗号を用いたデジタル署名（RSA）
・X9.55：公開鍵暗号における公開鍵証明書とCRLの拡張
・X9.57：公開鍵暗号における証明書管理
・X9.62：楕円曲線暗号

特に、X9.57は、米国主要銀行や連邦準備銀行および主要ベンダーの代表者が集まり、公開鍵証明書の管理全般について詳細に纏めたものであり、その内容はISO/CD 15782-1の作成時にも利用された。

15 CD（Committee Draft）：ISOの国際標準策定プロセスにおける委員会原案段階。ISOでは、通常、NP（New work item Proposal：新業務項目提案）、WD（Working Draft：作業原案）、CD（Committee Draft：委員会原案）、DIS（Draft International Standard：国際標準案）、FDIS（Final Draft International Standard：国際標準最終案）、IS（International Standard：国際標準）というプロセスを経て国際標準が作成される。

16 秘密通信には使用できず、電子認証のみに使用できることを指す。これに対して、両方の目的に使用できる公開鍵暗号を可逆型と呼ぶ。

この他、米国では、NISTが政府機関向けに情報処理に関する標準（FIPS: Federal Information Processing Standards）を定めており、PKIに関してはFIPS140-1とFIPS186-1の２つが主な標準である。FIPS140-1は、秘密鍵を保管するための暗号モジュールが満たすべき条件を記述した標準として1994年に定められたものであり、他の多くの標準で使用されている（詳細は第５章を参照）。FIPS 186-1は、電子認証に用いる暗号アルゴリズムを定めている標準であり、具体的には、DSA[17]とRSA[18]の２つが標準アルゴリズムとして定められている。

（３）業界標準等

標準化機関が定めた標準ではないが、業界内で標準的に参照されたり、業界団体等が作成したガイドライン等も存在する。具体的には、RSAを利用した製品の開発・販売を行っている米国RSA社が作成するPKCS（Public Key Cryptography Standards）、認証サービスを提供する米国ベリサイン社が作成した認証実施規定（CPS: Certification Practice Statement、詳細は第５章（３）を参照）、IETF（Internet Engineering Task Force）下のPKIX[19]（Public-Key Infrastructure<X.509>）による各種技術仕様等が頻繁に参照されている。

とくに、PKIXではX.509による公開鍵証明書を用いたPKIをインターネット上で利用するために必要な具体的な規格を多く作成し、その多くがRFC（Request For Comments）と呼ばれる標準としてインターネット上で公開されており、さまざまなプロジェクトで頻繁に参照されている。PKIXにより作成されたドキュメントの例は表３のとおり。

表３　PKIXで作成されたドキュメントの例

ドキュメント名	内容
Internet X.509 Public Infrastructure PKIX Roadmap	PKIXで共有されているPKIに関する基本的な考え方やPKIXで作成されたドキュメントの概要の説明。
Internet X.509 PKI Certificate and CRL Profile（RFC 2459）	X.509バージョン3の公開鍵証明書とバージョン2のCRLの具体的なデータ構造を説明。
Internet X.509 PKI Certificate Policy and Certification Practices Framework（RFC 2527）	CAが認証サービスを提供する際のポリシーについて記述。
Internet X.509 PKI Online Certificate Status Protocol - OCSP（RFC 2560）	CRLを使用せずに公開鍵証明書の現在の状態を確認するためのプロトコルに関する説明。

17 DSA：NISTによって提案されたデジタル署名用の暗号アルゴリズムであり、暗号学者のElGamalによって1985年に発表されたElGamal署名を改良したものである。

18 RSAに関しては、FIPS 186-1では単に標準アルゴリズムとして認定することが記述されているのみで、内容については「ANSI X9.31を参照」と記述されており、詳細な説明はない。

19 PKIX：X.509に基づいたPKIをインターネット上で利用するためのさまざまな規格化を行うためのワーキンググループ。

図８　情報セキュリティ技術、PKI技術に関する国際標準化活動の鳥瞰図

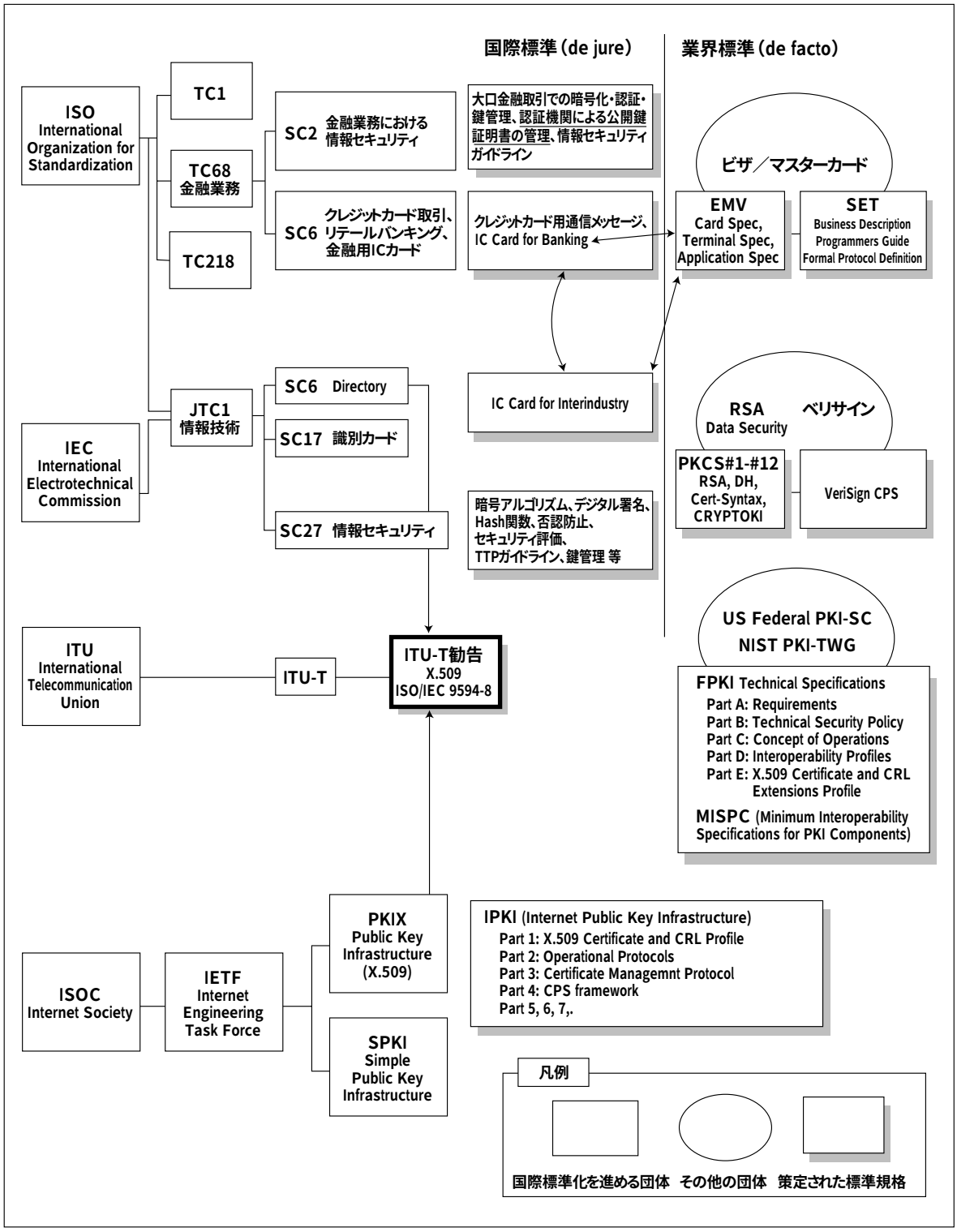


表４　主な標準に関する具体的なPKIの対象分野

		国際標準		米国国内標準		業界標準等			
		ISO 15782 (Part 1 - 3)	ITU-T X.509 (ISO /IEC 9594-8)	ANSI X9 (各種)	FIPS (140-1, 186-1)	PKCS (#1 - 12)	ベリサイン CPS	PKIX (各種)	ECOM 認証局運用ガイドライン
各主体（CA等）の行動指針		○（Part 1）		○（X9.57）					○
公開鍵証明書管理	鍵生成	○（Part 1）	△				○	△（Roadmap）	△
	公開鍵証明書発行申請	○（Part 1）					○		△
	登録手続	○（Part 1）					○	△（Roadmap）	
	公開鍵証明書の発行	○（Part 1）	△	○（X9.57）			○	△（Roadmap）	
	CA公開鍵配布	○（Part 1）		○（X9.57）			○		
	公開鍵証明書の配布	○（Part 1）					○		
	公開鍵証明書の使用	○（Part 1）					○		
	公開鍵証明書の廃棄・中断	○（Part 1）	○	○（X9.57）			○	○（Roadmap） ○（OCSP）	○
	公開鍵証明書の更新	○（Part 1）					○	△（Roadmap）	○
データ構造	公開鍵証明書申請データ	△（Part 1）		○（X9.57）		○（PKCS#10）			
	公開鍵証明書	△（Part 1）	○	○（X9.57）				○（Certificate and CRL Profile）	△
	公開鍵証明書廃棄リスト	△（Part 1）	○	○（X9.57）				○（Certificate and CRL Profile）	△
	公開鍵証明書拡張フィールド	○（Part 3）	○	○（X9.55）		○（PKCS#6）	△	○（Certificate and CRL Profile）	△
	公開鍵証明書廃棄リスト拡張フィールド	○（Part 3）	○	○（X9.55）				○（Certificate and CRL Profile）	△
	属性証明書	○（Part 2）	○	○（X9.57）				○（Attribute Certificate Profile）	
属性証明		○（Part 2）							
監査		○（Part 1）							○
アルゴリズム	DSA			○（X9.30-1）	○（FIPS 186-1）				
	RSA			○（X9.31）	△（FIPS 186-1）	○（PKCS#1）			
組織・人事管理									△
情報開示									△
システム・設備要件									△
秘密鍵保管用暗号モジュールのセキュリティ要件					○（FIPS 140-1）				
PKIの構成（CA間の相互関係）		○（Part 1）	○	○（X9.57）			○		△
CPSの重要性								○（Certificate Policy and CPS）	

○:記述されている。　△:簡単に記述されている。

ここで挙げた標準以外にもPKIに関して多くの標準が存在するが、PKIの場合には他の主体とのインターオペイラビリティが重要になる機会も多いことから、実際のプロジェクトで多く使用される標準を見極め、それを採用していくことが重要であろう。

5．CAが果たす技術的役割

（1）各種ガイドライン等の比較

本章では、金融機関が自らCAとして認証サービスを提供する場合に果たすべき役割について、技術的な観点から検討する。検討にあたっては、すでにCA業務の安全対策について取り纏められたガイドライン等で共通的に強調されている点を取り扱うこととする（各標準の詳細な内容は表５を参照）。参照したガイドライン等は、①ISO/CD 15782-1、②Internet X.509 Public Key Infrastructure PKIX Roadmap、③ECOM認証局運用ガイドライン（1.0版）、④ベリサインCPSバージョン1.2の４つ。

①ISO/CD 15782-1は、公開鍵証明書の管理全般について取り纏められており、具体的には、公開鍵証明書の管理のためにCAやRAが果たすべき機能、公開鍵証明書のライフサイクル、公開鍵証明書の詳細な設定内容等について説明されている。

②Internet X.509 Public Key Infrastructure PKIX Roadmapは、IETFが1999年3月に作成したドラフトであり、PKIXの各ドキュメントの内容を実行に移す際の留意点が記述されている、CAにとってのガイドライン的なドキュメントである。

③ECOM認証局運用ガイドライン（1.0版）は、電子商取引実証推進協議会（ECOM）により、CAを運営するためのガイドラインとして1998年3月に作成されたものである。その内容は、鍵や公開鍵証明書の管理だけではなく、組織管理やシステム・設備の管理等多岐にわたっている。

④ベリサインCPS バージョン 1.2は電子認証サービスを提供しているベリサイン社が1997年5月に作成したものであり、ベリサイン社およびベリサイン社以外の主体が、「ベリサイン・パブリック証明サービス」におけるCAとして機能するための行動指針が纏められている。本資料は、１企業が作成したCPSであるが、CAの運用上の注意点として広く参照されている。

これらのガイドライン等を比較検討した結果、CA業務を行ううえで最も留意すべき技術的事項は、CAの秘密鍵の保護、公開鍵証明書廃棄の周知であると考えられる。これらの点については、（２）、（３）で詳細を説明することとする。また、いくつかのガイドライン等において、CAがCPSを作成して公表することの重要性が示されており、この点について（４）で説明することとする。

表５　CAが果たすべき技術的な役割（主な点のみを列挙）

各種ガイドライン等 / 項目	①ISO/CD 15782-1	②Internet X.509 Public Key Infrastructure PKIX Roadmap	③ECOM 認証局運用ガイドライン（1.0版）	④ベリサインCPS バージョン1.2
公開鍵証明書管理	・公開鍵証明書の廃棄や中断は、時刻情報を付加した（Time-stamped）CRLの配布により周知する。	・X.509では、公開鍵証明書の廃棄を周知する方法としてCRLの配布を定義しておりPKIXでもその概要を説明しているが、CRLを配布する方法には常に最新の廃棄情報を得られるわけではないというデメリットもあるため、PKIXではCAに対してCRLの発行を要求していない。これに代わる方法として、オンラインで公開鍵証明書の状態をチェックするためのOCSPと呼ばれるプロトコルを定義している。	・公開鍵証明書の作成申請があった場合、証明書に記載される公開鍵に対応した正当な秘密鍵を保有していることを確認するために、申請情報に秘密鍵でデジタル署名させるか、チャレンジデータ（申請者があらかじめ予想できないようなデータで通常は乱数を使用）にデジタル署名のうえCAに送付させる。 ・秘密鍵の危瀕や重要な認証情報の変更等で失効した公開鍵証明書は、失効リストとして生成され保管、管理される必要があるとともに、正当な利用者の問い合わせに適宜応じる必要がある。	・公開鍵証明書の廃棄や中断に際しては、CAは以下の方法のうちどれかで周知しなければならない。 ・廃棄または中断された公開鍵証明書のリスト ・ＣＲＬ（高セキュリティ用CA<Class2およびClass3>と配下のCAに対しては毎日、各Classの取り纏めCAに対しては月1回更新） ・各CA作成CRLの合成CRL ・ソフトウェア業者への公開鍵証明書に関しては、廃棄情報を記したメッセージ
鍵管理	・CAの秘密鍵の保管・操作は、エンドユーザーがアクセスおよび制御できない暗号モジュール中で行う必要。高レベルの保護を行う場合には、秘密鍵は最低限FIPS140-1のレベル3を満たす暗号モジュールで内部的に作成（非常に高いリスクを有するアプリケーションの場合にはレベル4）。 ・重要なシステムでは、CAの秘密鍵を分割して複数の暗号モジュールに保管し、各々の暗号モジュールでは一部の署名しか作成できないようにすることも考えられる（Fragmentation）。この場合、Shamirが1979年に公表したSecret Sharing のthreshold schemeのように、すべての鍵が揃わなくても、ある一定数以上の鍵が揃えば元の鍵を復元できるようにすることも可能。 ・秘密鍵がひとつの暗号モジュールで作成・分割された場合、分割された秘密鍵は暗号化して各モジュールに移動させる。移動後は、元の秘密鍵は廃棄する。 ・秘密鍵を分割している場合には、どの主体も2つ以上の分割鍵にアクセスできないようにする。 ・バックアップおよび高スループットのための二重化以外には秘密鍵は暗号モジュールの外では存在できないようにする。	・秘密鍵・公開鍵ペアの作成は、CAのポリシーに応じて、利用者の手元で行うケースと、CAによって行うケースがある。後者の場合、CAから利用者への鍵の配布はファイルを暗号化して送信するか、ICカードやPCのPCMCIAカードにより物理的に渡すことにより行う。	・鍵ペアや共通鍵の生成は、信頼できる暗号鍵生成システムを利用して行う必要がある。なお、暗号鍵生成システムの機能は、暗号鍵管理モジュールの内部に実装されていることが望ましい。 ・暗号鍵生成システムによって生成された鍵は、複数の鍵構成要素に知識分散（（2）①を参照）することによって単独では鍵に関する秘密情報を一切知り得ないように保管するか、あるいは暗号鍵管理モジュール内に保管する必要がある。 ・鍵を知識分散して保管する場合には、知識分散された鍵の情報は各鍵構成要素について、権限を有する者が個別に保管する必要がある。さらに、暗号鍵管理モジュールあるいはそれを使用するシステムは、そこから暗号鍵等の秘密情報を出力する場合に、秘密情報を複数要素に知識分散し、単独の要素だけでは元の情報の1ビットをも知り得ないようにするメカニズムを備えている必要がある。	・ルートCAの鍵の初期サイズは2048bit、その他CAの鍵サイズは1024bitである。ただし、エンドユーザー用ソフトウェアのすべてが2048bitの鍵を認識できないためにルートCAはまだ設置せず、ルートCA配下に存在する各クラスの第一次CAがルートCAの機能を果たしている。 ・CAの秘密鍵は、基本的には「信頼性のあるハードウェア（FIPS140-1レベル3を満たすもの）」上で保管することとしているが、最も信頼性の低い証明書（クラス1）をエンドユーザーに対して発行するための秘密鍵に限っては、「信頼性のあるソフトウェア」での保管も認めている。 ・なお、CAの秘密鍵については、信頼性を高め、かつ鍵の回収を可能にするため、秘密鍵を分割して、分割された各秘密鍵を別の保有者が保有する必要がある（Secret Sharing）。 ・秘密鍵の分割を行う場合、各鍵の所有者を認証するために、パスワードを付与する（Challenge Phrase）。
その他	・CAの運営は、CAのCPSに沿ったものでなければならない。	―――	・CAは、CAが果たすべき義務および公開鍵証明書を取得または利用しようとする者が果たすべき義務を定めておく必要があるとともに、双方の義務を前提とするCAの責任と保証に関するポリシーを定め、開示する必要がある（CPSの公開）。	―――

（２）CAの秘密鍵の保護

①FIPS 140-1

（１）で説明したガイドライン等で共通的に指摘されているのは、公開鍵証明書を作成する**CAの秘密鍵は電子認証の要であり、外部に漏れないようにする必要がある**ということである。具体的な方法はガイドライン等によって異なるが、ソフトウェアで暗号化して保管するだけではなく専用のハードウェア内で保管することを要求しているものが多い。ISO/CD 15782-1とベリサインCPS バージョン 1.2でともに指摘しているのは、米国のFIPS 140-1 Security Requirements for Cryptographic Modulesにおいて**レベル３以上を満たすハードウェアにより秘密鍵を保護する**ということである。

FIPS 140-1は、第４章（２）で触れたとおり、情報システムで重要な情報を保護するための暗号モジュールが満たすべき要件を纏めたものである。本標準では、情報の重要度を４つに分け、これに応じて暗号モジュールが満たすべきセキュリティ・レベルも４つに分けている。具体的には以下のとおりである。

セキュリティ・レベル１：最も低いセキュリティ・レベルであり、他のレベルと異なるのは、必ずしも情報を保護するための専用の物理的装置を必要としないことである。暗号化機能を備えたICカードや、パソコンで使用する暗号処理ボードやソフトウェア等が、本レベルに該当する。

セキュリティ・レベル２：レベル１に、タンパーエビデント[20]なコーティングやシール等を付加することによって、暗号モジュールに侵入があった場合、それが顕現化するようになっており、物理的なセキュリティが向上したものである。また、本レベルでは、職位等に応じた認証（role-based authentication）によりオペレーターを認証する。これにより、オペレーターが行えるサービス内容を制限する。加えて、本レベルには、TCSEC[21]（Trusted Computer Security Evaluation Criteria）でC2レベル相当のオペレーティングシステム（OS）上であれば複数ユーザーのタイムシェアシステム上でのソフトウェアによる暗号化も含まれる。

セキュリティ・レベル３：侵入者が暗号モジュール内のデータにアクセスできないようにしたものである。例えば、侵入が発生した場合には暗号モジュール内の重要データが消滅するものや、暗号モジュールが厳重に管理され、アクセスが極めて困難な製品も本レベルに該当する。また、本レベルでは、レベル２のような職位等

20 タンパーエビデント：侵入を受けた場合、その事実が事後的に明らかになる性質。

21 TCSEC：米国国防総省が国家安全保障に関する情報の管理を目的として定めたもので、通称オレンジブックと呼ばれる。製品の検定は、米国のNCSC（National Computer Security Center）が行い、下のレベルから、D、C1、C2、B1、B2、B3、A1と分かれている。

ではなく、個人ベースによりオペレーターの認証を行い（identity-based authentication）、オペレーターの実施可能なサービス内容を制限する。加えて本レベルでは、暗号モジュールへのアクセス等に必要となる重要な暗号鍵等に関しては厳しい制限を設けている。具体的には、重要な暗号鍵等をやり取りするデータポートは他のデータポートとは物理的に別にしなければならない、暗号鍵等は暗号化して入出力するか、知識分散[22]（split knowledge、詳細は②を参照）しなければならない、等である。本レベルでは、重要な暗号鍵等の入出力が信頼性の高いものであれば、TCSECでB1レベルの信頼できるOSのもとで複数ユーザーのタイムシェア・システム上でのソフトウェアによる暗号化も認められている。

セキュリティ・レベル４：本レベルは最も高いセキュリティを提供する。数は少ないが、本レベルを満たす製品も存在する。本レベルでは、暗号モジュールを包む形での保護を行うことにより、どのような形でも機器への侵入があった場合にはそれを検知できるようにしている。例えば、暗号モジュールを包む保護層に対して侵入しようとした場合には、それを検知し、全ての重要な暗号鍵等をゼロにするということが挙げられる。本レベルを満たす機器は、侵入が容易な、物理的に保護されていない環境での使用に適している。本レベルでは、TCSECでB2レベルの信頼できるOSのもとで複数ユーザーのタイムシェア・システム上でのソフトウェアによる暗号化も認められている。

FIPS 140-1対応製品の認可は、米国のNISTとカナダのCSE（Communications Security Establishment）により定められたCMV（Cryptographic Module Validation）プログラムに基づき、CMT（Cryptographic Module Testing）機関として認められた第三者の研究所が、定められた手続きに従って実際の製品の認可を行う。1999年6月21日時点において、NISTのホームページ（http://csrc.nist.gov/cryptval/140-1/1401val.htm）では、55の暗号製品（レベル1：18、レベル2：25、レベル3：10、レベル4：2）がFIPS 140-1対応として認定されている。

②鍵の分割

CAの秘密鍵を保護するための方法として、**秘密鍵を分割して作成する分割鍵を複数の暗号モジュールで別々に管理**することにより、秘密鍵の外部への漏洩または紛失により秘密鍵が失われるリスクを軽減する方法がいくつかのガイドラインで指摘されている。この場合、各々の分割鍵だけでは元の秘密鍵を復元することができず、分割鍵の保有者が本来の業務外の目的でデジタル署名を作成するためには、すべてまたは一定数以上の分割鍵保有者が共謀しなければならなくなるため、より安全性が高くなると考えられる。

22 知識分散：複数の主体が暗号鍵に関する情報（各々の情報だけでは暗号鍵を復元することは不可能）を分散して保有している状態。

このような秘密鍵の分割は、FIPS 140-1やECOM認証局運用ガイドラインでは知識分散、ISO/CD 15782-1では分割（Fragmentation）や秘密分散（Secret Sharing）と呼ばれており、さまざまな標準や文書で異なる用語が使用されている。しかし、Menezes, Oorschot, and Vanstone［1997］は、さまざまな秘密鍵の分割方法を表６のように定義している。

なお、これらの方法のうち、ISO/CD 15782-1でも参考文献として紹介されている閾値（threshold）を利用した秘密分散については、第６章（２）で説明することとする。

表６　秘密鍵の分散方法

秘密鍵の分散方法			説明
generalized secret sharing			秘密鍵から作成した分割鍵のうち、指定されたサブセットに含まれていればどの分散鍵からも元の秘密鍵が復元可能である方法。
	threshold schemes	(k, n) threshold scheme	秘密鍵からnの分散鍵を作成し、元の秘密鍵を復元するためにはk（k≦n）の分散鍵が必要となる方法。
		split knowledge scheme (dual control scheme)	秘密鍵から2つの分散鍵を作成し、元の秘密鍵を復元するためには2つの分散鍵すべてが必要となる方法。
		unanimous consent control	秘密鍵からt（3以上）の分散鍵を作成し、元の秘密鍵を復元するためにはtの分散鍵すべてが必要となる方法。

（３）公開鍵証明書廃棄の周知方法について

通常、セキュリティ対策の一環として、公開鍵証明書には有効期限を設定するケースが多い。したがって、有効期限経過後には公開鍵証明書を廃棄する必要がある。また、秘密鍵の漏洩、運営停止等の場合にも、公開鍵証明書を廃棄する必要がある。CAは公開鍵証明書を廃棄した後は、その事実を他のCAやRA、エンドユーザーにも周知する必要がある。周知が確実に行われなければ、古い公開鍵証明書に基づき処理が行われる可能性があるため、公開鍵証明書廃棄の確実な周知はPKI全体のセキュリティにとって非常に重要である。

①CRL

公開鍵証明書廃棄の周知方法として最も一般的なのは、CAがCRLを作成し、定期的に配布することである。

ISO/CD 15782-1は、CRLに関する留意事項として以下の３点を指摘している。

・その完全性と発行日時を確認できるようにするため、CAがCRLを作成し、これにデジタル署名を行う。
・仮に廃棄情報に変更がなくとも、CRLを定期的に発行する。

・当システム配下の全主体がCRLにアクセス可能とする。

また、CRLについては、そのサイズが非常に大きくなり公開鍵証明書を利用するシステムにおけるオーバーヘッドが大きくなる可能性があることや、次のCRL発行までのタイムラグがあるために常に正しい情報が得られるわけではないこと、等が問題とされている。

CRLのサイズを抑えるためにいくつかの方法が提案されている。まず公開鍵証明書の拡張フィールドで対応する「CRL配布点」が挙げられる。X.509バージョン２のCRLでは、CAが、CRL内の廃棄証明書を任意の数に分割し、CRLを複数保有することが可能となった。分割された各CRLは１つのCRL配布点によって関連付けられているため、公開鍵証明書の利用者は、その拡張フィールドに記述されているCRL配布点情報に基づき対応するCRLを入手し、公開鍵証明書の正当性を確認する。分割したCRL配布点は互いに異なる廃棄理由を持つことが認められているため、名称変更等通常の廃棄用のCRL、セキュリティが搾取された公開鍵証明書を廃棄するためのCRLというようにCRLを複数保有することができる。したがって、セキュリティ搾取用CRLは発行頻度を高くする一方、通常用CRLは発行頻度を落とすことにより、CRL全体のサイズを削減することが可能である。

また、「デルタCRL」もCRLサイズの問題に対応するための方法のひとつである。デルタCRLは前回のCRLの発行以降に行われた廃棄分だけのリストであり、各主体は受け取ったデルタCRLに基づいて最新の全CRLデータベースを作成する。これにより、CRLの送信にかかる負荷を軽減することができる。

②OCSP

Internet X.509 Public Key Infrastructure PKIX Roadmapでは、上記のようなオーバーヘッドが大きいことや常に最新の廃棄情報を得られないというCRLの問題点を避ける方法として、公開鍵を使用するつど、オンラインで公開鍵証明書のステータスをチェックする方法（OCSP: Online Certificate Status Protocol）も併せて紹介している。OCSPでは、デジタル署名の受信者が、デジタル署名の正当性チェックを行う際に、OCSP responderと呼ばれるサーバーにアクセスして、公開鍵証明書が廃棄されていないかどうかを含めて公開鍵証明書のステータスをチェックすることとなる。したがって、ネットワーク上を行き来するCRLの情報が大きいという問題も解決できると期待される。実際、主要セキュリティ会社のCertCo、Entrust、GTE CyberTrustと大手銀行であるBank of America、Citibank、Mellon Bank、Zion's Bankが共同で行うNACHA[23]（National Automated Clearing House Association）のCA相互運用性に関するパイロットプログラムでは、OCSPのテストも行い正常な稼動が確認された。

23 NACHA：米国における、紙ベースの小切手を電子化する小口決済システムであるACH（Automated Clearing House）の運営主体の連合会。

ただし、OCSPでは、公開鍵証明書の正当性チェックの結果にデジタル署名が付されて送付される必要があるため、高レスポンスが期待される大規模システムでは、運用が困難となる可能性も指摘されている（Adams and Zuccherato［1998］）。OCSPは新しい技術であり実例も少ないため、今後実現に向けてさまざまなテストや改善等が行われていくと考えられる。

（4）認証ポリシー・CPSの作成

CAは、セキュリティ上の要件を満たすために配下の各主体やアプリケーションに対して公開鍵証明書をどのように応用するかということを記述した一連のルールである**認証ポリシー**を作成し、その組織のシステム構成や組織運営手順の中でどのように本ポリシーを具体化するかということをCPSの形で公表することが重要である。認証ポリシーは「何を」行うかということをその組織の固有の状況とは独立して一般的な形で定めたものであるのに対して、CPSには認証ポリシーの内容を「どのように」行うかということがその組織の状況に即してより具体的に記述されているという違いがある。したがって、認証ポリシーは一組織のみに留まるのではなく、より広く使用されることが意識される場合が多く、今後その内容が類型化され、共通的な認証ポリシーが使用されるようになれば、公開鍵証明書中で示された認証ポリシーのチェックが自動的に行われるようになる可能性もある。

PKIXのRFC 2527 であるChokhani and Ford［1999］では認証ポリシーおよびCPSの項目案について説明しているが、これによると、認証ポリシーおよびCPS では、CAやRAの義務や責任、公開鍵証明書発行前の手続内容、各主体の運用要件（テクニカルおよびノンテクニカル）、公開鍵証明書およびCRLのフォーマット等を記述すべきであるとされている。

X.509 バージョン３形式の公開鍵証明書には認証ポリシーやこれに対応するCPSに関する情報を記述する拡張フィールドが設けられており、利用者はその内容をチェックすることにより公開鍵証明書を信頼するかどうかを見極めることとなる。X.509内で認証ポリシーやCPSに関する情報を記述する拡張フィールドは、具体的には以下の３種類である。

①Certificate Policies extension

本拡張フィールドは、CAが設定する業務の重要性に応じてその目的が多少異なる。さほど重要ではないとCAが認めた場合には[24]、公開鍵証明書の使用はそのポリシーが示す目的には制限されない。一方、重要であるとCAが指摘した場合には、公開鍵証明書は列挙したポリシー内容に従って使用される必要がある。これは、利用者が不適切な目的や方法で公開鍵証明書を使用した場合に被った被害からCAを守る効果を有する。

24 拡張フィールド内に、重要または非重要を記述する領域が存在する（図５を参照）。

②Policy Mappings extension

本拡張フィールドは、CAの公開鍵証明書のみで使用される。前述のCA間での相互認証において、自らのドメインの認証ポリシーが他のCAのドメインのポリシーと同等のものであることを指摘するために使用する。

③Policy Constraints extension

本拡張フィールドは２つの機能を有しており、１つはCAが認証パスの下位の全証明書内に認証ポリシーを提示させるということであり、もう１つはCAが認証パスの下位のCAによるポリシーマッピングを不可能とすることである。

認証ポリシーおよびCPSについては、上記X.509やPKIXの他、ISO/CD 15782-1でも触れられており、CA、RA、利用者等各種主体は認証ポリシーおよびCPSに記述した内容にしたがって、PKIに関するさまざまな活動を行うこととされており、非常に重要な位置付けが与えられている。

６．PKIに関する最近の技術動向

本章では、第４章で参照したようなガイドライン等では、触れられていない、または詳しく説明されていない、PKIに関する新しい要素技術について紹介することとする。新しい技術としては、（１）属性による認証（Attribute Certification）、（２）閾値秘密分散法（Secret Sharing Threshold Scheme）、（３）Proactive Signature、（４）公開鍵の有効性確認（Public Key Validation）、（５）バイオメトリックスへの対応、（６）Bridge CAを取上げる。

（１）属性による認証（Attribute Certification）

公開鍵証明書では、取引相手が正当な本人であることは確認できるが、その本人が有している属性情報（企業内での役職や権限等）を利用するアプリケーションには適していない。公開鍵証明書の拡張フィールドに属性を記述することもできるが、この場合、属性は公開鍵に比べて変更される頻度が高いため、公開鍵証明書の廃棄、再発行を頻繁に行う必要が生じるほか、当該属性情報を使用しないアプリケーションもそのためにサイズが大きくなった公開鍵証明書を使用しなければならないというデメリットもある。これらの問題点を解決するために、本人の真正性確認は公開鍵証明書が行い、AAが公開鍵証明書にリンクづけられた属性証明書（Attribute Certificate）を発行し、この権限情報をアプリケーションで使用するという方法が実用化されつつある。属性による認証は、実際のプロジェクトで使用されているケースは少ないが、今後その利用が広がることが予想されており、ISO/WD 15782-2等各種標準において対応が進みつつある。

（２）閾値秘密分散法（Secret Sharing Threshold Scheme）

第５章（２）②で説明したとおり、CAの秘密鍵はPKIの根幹であるため、秘密鍵の外部への漏洩または紛失により秘密鍵が失われるリスクを軽減するために、秘密鍵を分割・管理する方法が考案されている。しかし、分割する鍵の数が増えるほど紛失等によりすべての分割鍵（Share）が揃わない危険性が増大するため、閾値法（Threshold Scheme）と呼ばれる、すべての分割鍵が揃わなくてもある一定数以上の分割鍵が揃えば元の秘密鍵を復元できるようにする方法が存在する。

Secret Sharingは、秘密鍵を1カ所に保管する際のリスク（コンピュータのダウン、パスワードの忘失等）を避けるために、元の秘密鍵からいくつか（n個）の分割鍵（Shares）を作成し、これらを複数人で管理する方法である。元の秘密鍵を復元するためにはこれらの分割鍵が一定数（k個）以上揃う必要があり、k-1以下しか揃わなければ元の暗号鍵を得ることができないため、電子署名や秘密データの復号化を行うことはできない。このようにkという数字が秘密鍵を復元するための閾値となっているため、（k, n）閾値法とも呼ばれている。閾値秘密分散法における具体的な分散鍵の作成、秘密鍵の復元方法については、補論１を参照。

なお、閾値法を発展させた定期的に分割鍵を自動変更するProactive Signatureという方法も考案されている。

（３）Proactive Signature

第４章では、CAの運営にとって秘密鍵の安全を確保することは最重要課題であり、その実現方法をいくつか説明したが、基本的には侵入者が秘密鍵にアクセスできないようにするという方法が中心であった。米国及びイスラエルのIBM研究所で考案された技術であるProactive Securityを応用したProactive Signatureは、侵入者に秘密鍵の入手を困難にするという対策を行いながら、同時に、頻繁に鍵情報を自動変更することにより安全性を高めるという方法である（Proactive Securityに関する詳細は補論２を参照）。

具体的には、秘密鍵を複数のサーバー上に分割させたうえで（あるしきい値以上の数の分散鍵が揃わなければデジタル署名の作成は不可能）、分割鍵を定期的に自動更新することにより、仮にいくつかの分割された秘密鍵が侵入者に漏れたとしても、その秘密鍵を長期間使用できないようにしている。この場合、定期的に変更するのは分割鍵だけであり、元の秘密鍵は変更しないままとすることにより、エンドユーザーに公開鍵証明書を配布し直す手間を省いている。また、Proactive Signatureでは、デジタル署名の作成時にある場所で元の秘密鍵を復元せずに署名を作成することにより、秘密鍵が漏洩することを防いでいる。

（４）公開鍵の有効性確認（Public Key Validation）

本技術はISO/CD 15782-1で若干触れられているが、公開鍵が、使用する暗号アル

ゴリズムにとって正しい形式を満たしているかどうかということを、数学的にチェックするための方法である。これにより、秘密鍵と公開鍵ペアの作成者が正しい鍵を作成できたかどうか、また、Secret Sharingのような正当な秘密鍵を誰も知らない場合に鍵ペアが正しく生成されているのか等をチェックする他に、攻撃者の自由度を極力低くするというセキュリティ上の目的がある。

公開鍵の有効性確認は、公開鍵の候補さえ保有していればオフラインで誰でも行えるのが望ましいが、RSA暗号に対して鍵の有効性確認を行おうとすると、秘密鍵の保有者が質問に答える形で秘密鍵に関する何らかの情報を提供する必要があるため、オンラインの形態で行わなければならないことが判っている。

また、ISO/CD 15782-1の作成過程では、CAが公開鍵証明書を発行する際には、対象公開鍵の有効性確認を行う必要性を記述することが検討されたが、現時点では公開鍵に対応する秘密鍵の保有を証明する１つの方法として紹介するに留まっている。

（5）バイオメトリックスへの対応

電子認証においては、ICカードまたはパソコンのソフトウェア内の秘密鍵は正当な本人が保有していることを前提としているが、これを確認する方法としては暗証番号・パスワードの入力が主流である。しかし、銀行のキャッシュカードの暗証番号の多くには誕生日や電話番号が使用されているという指摘もあるため、暗証番号・パスワードは他者に漏れる心配がある。このため、指紋、網膜、虹彩、声紋、筆跡等身体的特徴を用いて暗証番号・パスワードを代替・補完することにより、秘密鍵に紐付けられた正当な本人であることを確認しようとする検討が現在行われている。例えばISOでは、昨今、識別カードの国際標準化を担当している、ISO/IEC JTC 1の分科委員会であるSC 17において、ICカード内に格納した音声データを利用してカード利用者の個人認証を行うための仕組みを標準化しようという提案がフランスより提出され、賛成多数で標準化が進められることが決定した。

（6）Bridge CA

FPKIにおいて検討されている概念であり、複数の官庁や政府外の企業によるCA（および配下のCAやユーザー）間で信頼性の高いコミュニケーションを行うために、CA間において認証パスを繋げる目的で機能する特別なCAである。これにより、各CAが互いに相互認証を行うよりは、より単純・効率的に、バラバラに存在する官庁等のCAを接続[25]して大きな１つのFPKIとして構築することが可能となる。Bridge CAは、FPKI全体のポリシー管理機関（FPMA: Federal Policy Management Authority）に

25 一定の技術標準や業務要件の充足を条件に、すべての官庁等のCAがBridge CAと相互認証することによって、Bridge CAが官庁等のCAの間でハブとして機能することが想定されている。

よって運営される。

また、Bridge CAは、複数の暗号アルゴリズムによる公開鍵が使用されているPKIにおいて、暗号アルゴリズムを使用しているユーザー間で公開鍵の正当性を確認できるようにする役割を果たす場合がある。

7. 結び

本稿でみてきたように、PKI・電子認証は確実性が求められる金融取引をインターネット上で行うことを可能とし、ひいては、金融業界のあり方や金融機関の経営に大きな影響を与える可能性がある。PKI・電子認証関連サービスの提供にはさまざまなオプションがあるため、各金融機関は、PKI・電子認証について理解を深めながら、どのようにPKI・電子認証関連サービスと関わっていくかというポリシーを固めていく必要があろう。

いくつかのオプションの中でも、金融機関自らがCAとして認証業務を行うという対応をとる場合には、暗号等情報セキュリティや大規模な分散処理型システムの運用ノウハウ等、これまで経験が蓄積されているオンラインシステムの場合とは異なった技術力が要求される可能性が高い。とくに、第５章で検討したCAの秘密鍵の保護や公開鍵証明書廃棄の周知等については、正しく行われなかった場合の影響が大きいため、その技術動向を十分フォローしていく必要があろう。

【補論１】閾値秘密分散法について

CAの秘密鍵については、変更時の負担が大きいため、事故等によって紛失してしまうことを防ぐために、そのバックアップを取りたいというニーズがある。一方で、秘密鍵はPKIの要であり、FIPS 140-1で認められた特別なセキュリティ対策を施した媒体に保存したとしても、バックアップを取り複数の秘密鍵を作成することは、秘密鍵が漏洩するリスクを増大させてしまうため、セキュリティ上問題がある。この問題を解決するために、単純に秘密鍵のバックアップを取るのではなく、秘密鍵を複数に分割し、各々の分割鍵を別々に管理する方法が考えられている（もちろん、必要に応じて各分割鍵をFIPS 140-1で認められた媒体に保存することとなる）。この場合、１つの分割鍵からは元の秘密鍵を復元することは不可能である。このような方法は一般に秘密分散と呼ばれる。ただし、すべての分割鍵が揃わなければ元の秘密鍵が復元できないというリスクがあるため、このリスクに対応する方法として閾値秘密分散法がある。これは、秘密鍵からn個の分散鍵を作成しても、元の秘密鍵を復元するためにはそのうちk 個（k ≦ n）の分散鍵で十分であり[26]、デジタル署名の作成を行うためには必ずしもすべての分散鍵が揃う必要がないというものである。具体的な実現方法としては、1979年に暗号学者のShamirが考案したものが有名であり、多項式の補間（polynomial interpolation）に基づき、k-1次の多項式はk個の点が判れば特定できるという性質を利用して鍵の分割を実現している。

秘密鍵である正の整数Sをn人に分割する方法およびk個の分割鍵から秘密鍵Sを復元する方法は以下のとおり。

秘密鍵の分割方法

①$p > \max(S, n)$ である素数 p を選択する。
②$a_0 = S$とする。
③k–1個の独立した係数 $a_1, \cdots, a_{k-1}$ $(0 \le a_j \le p-1)$ をランダムに選択する。
④上記③により、多項式$f(x) = \sum_{j=0}^{k-1} a_j x^j$を定義する。
⑤分割鍵は $S_i = f(i) \bmod p$ $(1 \le i \le n)$ により計算される。分割鍵 S_i を各々、分割鍵管理者 P_i に対してiという情報とともに安全に引き渡すことにより、分割鍵の生成、配布が完了する。

26 したがって、(k, n) 閾値法とも呼ばれる。

秘密鍵の復元方法

k 個の分割鍵が入手できたため、k 個の座標点 (i, S_i) が集まることとなる。そもそも、k 個の座標点 (x_i, y_i) $(1 \le i \le k)$ で表わされる最大 k 次の多項式 $f(x)$ は、ラグランジュ補間方程式により $f(x) = \sum_{i=1}^{k} y_i \prod_{1 \le j \le k,\, j \ne i} \frac{x - x_j}{x_i - x_j}$ と表わされる。この場合、秘密鍵を生成した際の多項式 $f(x)$ は $f(0) = a_0 = S$ であるため、秘密鍵 S は

$S = f(0) = \sum_{i=1}^{k} c_i y_i$, *where* $c_j = \prod_{1 \le j \le k,\, j \ne i} \frac{x_j}{x_j - x_i}$ と表わされる。ここで、入手した分割鍵 $(x_i, y_i) = (i, S_i)$ $(1 \le i \le k)$から秘密鍵 S を復元することが可能である。

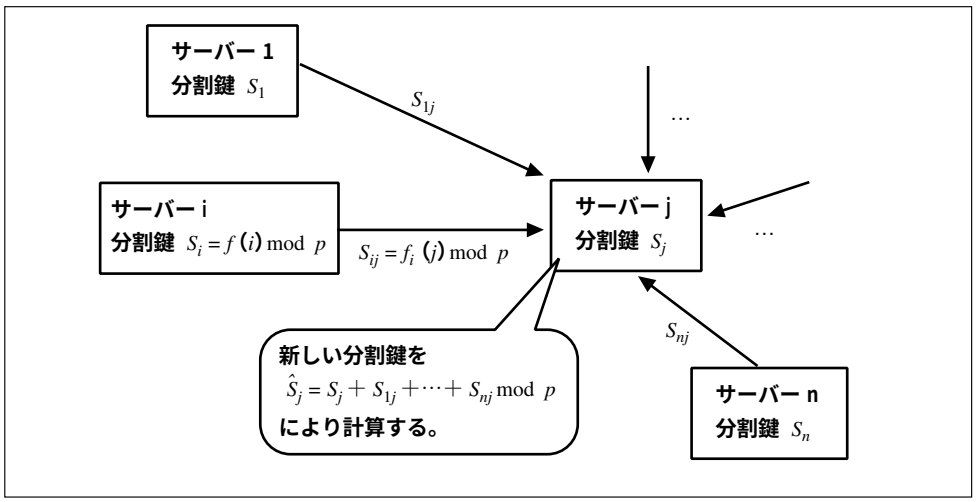
【補論２】Proactive Securityについて

Proactive Securityは米国とイスラエルのIBM研究所で考案されたコンピュータシステムのセキュリティを確保するための手法である。Proactive Securityは、長期間にわたる攻撃から資源を保護するための方法であり、

Proactive = Distributed + Refresh

で表わされるように、**複数のサーバーに秘密鍵に関する情報を分配**したうえで（distributed）、それらを**定期的に自動変更**することにより（refresh）、仮に複数のサーバーに対して侵入されたとしても、その場合の損失を短期間に抑えようとするものである。例えば、電子メールのパスワードを定期的に変更することもProactive Securityと類似の対応であり、Proactive Securityではセキュリティに関する情報の変更を自動で行おうとするものである。

図　Proactive Security における分割鍵の更新



分割鍵は、補論１で説明したShamirの秘密分散により補間多項式を利用して作成し､各サーバーに分配するため(サーバーiが保有する分割鍵S_iは$S_i=f(i) \bmod p$)、ここでの説明は省略する。

分割鍵の定期的な更新は、以下の手順により行う（図参照)。

①分割鍵を保有している各サーバーは、$f_i(0)=0$を満たすk次の多項式$f_i(x)$を適当に選択する。

②上記①で選択した多項式$f_i(x)$を利用して、各サーバーは他のサーバーに対して分割鍵を更新するための情報を送信する。ここで、サーバーiがサーバーjに対して送信する情報は$S_{ij}=f_i(j) \bmod p$である。

③サーバーjは、元の分割鍵S_jと上記②で他のサーバーから受け取った情報を元に、新しい分割鍵$\hat{S}_j$を$\hat{S}_j=S_j+S_{1j}+\cdots,+S_{nj} \bmod p$により計算する。その際、元の分

割鍵は廃棄する。この場合、新しい分割鍵 $\hat{S}_j$ は多項式 $\hat{f}(x) = f(x) + f_1(x) + \cdots, + f_n(x)$ 上にあるが、$\hat{f}(x)$ は $f(x)$ と同様にk次で、その定数項は S であるため（$a_0=S$）、上記処理により分配鍵は更新されたものの秘密鍵自体は変更されていないことがわかる。

したがって、Proactive Securityでは、秘密鍵自体は変更しないまま、複数サーバーが連携することにより、分割鍵を自動的かつ定期的に変更することが可能となる。

なお、上記の方法は、入手した情報を読取るだけの受動的な攻撃者に対してのみ有効であり、情報を変更したり、サーバーの設定を変更する能動的な攻撃者には無効である。このような攻撃者に対しては、Feldmanが考案した検証可秘密分散（Verifiable Secret Sharing）を利用することが有効であると考えられている。

Proactive Securityの応用分野としては、Proactive SignaturesとProactive Secure Communicationの２つが考えられている。

Proactive Signatures

単なる閾値秘密分散では、鍵を分散保管していても、電子署名を行う際にはある１カ所で秘密鍵を復元する必要があるため、その際に侵入者が秘密鍵を入手するチャンスが生じる。これに対してProactive Signaturesは、秘密鍵をひとつの場所で復元することなく、分散鍵を保有する複数のサーバーが共同でデジタル署名を作成する方式であり、侵入者が秘密鍵を入手できるチャンスを少なくすることにより、より安全にデジタル署名を作成しようとするものである。

また、Proactive Signatures用のサーバーに対して侵入することにより第三者がデジタル署名を作成しようとしても、あらかじめ決められた数以上のサーバーに対して次の分散鍵更新までの限られた期間に侵入しなければならないため、単なる閾値秘密分散に比して安全性が高められていると考えられる。

Proactive Secure Communication

通常、通信データを暗号化する場合、データの暗号化を行うセッション鍵は割合頻繁に定期的な変更を行うのに対して、セッション鍵の送受信を行うためのマスター鍵は非常に重要であるものの、これをネットワーク上で送信することにはリスクが伴うことから、頻繁に変更しないケースが多い。

現在､マスター鍵の変更時には相手の公開鍵で暗号化して送信することが多いが､その公開鍵の交換時に不正が起こる可能性があるため、Proactive Signatureにより複数の分配鍵保有者が共同でその公開鍵に対してデジタル署名を行うことにより、正当な公開鍵が使用されるようにすることが考えられている。

参考文献

岩下直行・谷田部充子、「金融分野における情報セキュリティ技術の国際標準化動向」、『金融研究』第18巻第２号、日本銀行金融研究所、1999年

宇根正志・岡本龍明、「公開鍵暗号の理論研究における最近の動向」、『金融研究』第18巻第２号、日本銀行金融研究所、1999年

大蔵省銀行局・国際金融局（事務局）、「電子マネー及び電子決済に関する研究会報告書」、1997年

リンカーン･スタイン、『Webセキュリティガイド』（株式会社クイック訳）、アスキー、1998年

電子商取引実証推進協議会（ECOM）、『認証局運用ガイドライン（1.0版）』、1997年

――――、『電子公証システムガイドライン（Ver.1.0）』、1998年

日経デジタルマネーシステム、『電子商取引のセキュリティ技術』、1998年

ウォーウィック･フォード、マイケル･バウム、『ディジタル署名と暗号技術』（山田慎一郎訳、日本ベリサイン株式会社監修）、プレンティスホール出版、1997年

宮田慶一、「証券取引のSTP化を巡る動きについて」、『日本銀行調査月報』、平成11年10月号、1999年

Aberdeen Group, “Evaluating the Cost of Ownership for Digital Certificate Projects”, *White Paper*, 1998.

C. Adams and R. Zuccherato, “A General, Flexible Approach to Certificate Revocation”, http://www.entrust.com, 1998.

American National Standards Institute, “X9.57-1997, Public Key Cryptography for the Financial Services Industry: Certificate Management”, 1997.

A. Arsenault and S. Turner, “Internet X.509 Public Key Infrastructure PKIX Roadmap”, Internet Draft, 1999.

M. Branchaud, “Internet Public Key Infrastructure Caching the Online Certificate Status Protocol”, Internet Draft, 1998.

W. Burr, “Public Key Infrastructure (PKI) Technical Specifications: Part A - Technical Concept of Operations”, Working Draft, 1998.

――――, “Multiple Algorithms and the Bridge CA Concept”, Working Draft, 1998.

R. Canetti, R. Gennaro, A. Herzberg, and D. Naor, “Proactive Security: Long-term protection against break-ins”, *CryptoBytes* RSA Laboratories Newsletter ,1997.

S. Chokhani and W. Ford, “Internet X.509 Public Key Infrastructure Certificate Policy and Certification Practices Framework”, RFC2527, 1999.

S. Farrell and R. Housley, “An Internet Attribute Certificate Profile for Authorization”, Internet Draft, 1999.

Forrester Research, “Money & Technology Strategies”, *The Forrester Report*, Volume Three, Number Seven, 1998.

Giga Information Group, “A Total Economic Impact Analysis of Two PKI Vendors: Entrust and VeriSign”, 1998.

R. Housley, W. Ford, and W. Polk, “Internet X.509 Public Key Infrastructure Certificate and CRL Profile”, RFC 2459, 1999.

International Organization for Standardization, “ISO/CD 15782-1 Banking — Certificate Management Part 1: Public Key Certificates”, 1998.

————, “ISO/WD 15782-2 Banking — Certificate Management — Part 2: Attribute Certificates”, 1997.

————, “ISO/DIS 15782-3 Banking — Certificate Management — Part 3: Certificate Extensions”, 1999.

ITU-T, ITU-T Recommendation X.509 (1997 E): Information Technology - Open Systems Interconnection - The Directory: Authentication Framework, 1997.

A. Menzes, P. Oorschot, and S. Vanstone, *Handbook of Applied Cryptography*, 1997.

National Institute of Standards and Technology, “Security Requirements for Cryptograhic Modules”, FIPS PUB 140-1, 1994.

————, “Digital Signature Standard (DSS) ”, FIPS PUB 186-1, 1998.

RSA Laboratories, PKCS #1: RSA Encryption Standard Version 1.5, 1993.

————, PKCS #6: Extended-Certificate Syntax Standard Version 1.5, 1993.

————, PKCS #10: Certification Request Syntax Standard Version 1.0, 1993.

A. Shamir, “How to Share a Secret”, Communications of the ACM, 1979.

VeriSign, Certification Practice Statement Version 1.2, 1997.