

インターネットを利用した 金融サービスの安全性について

まつもと つとむ いwashita なおゆき
松本 勉 / 岩下 直行

要 旨

インターネットの急速な拡大を背景に、インターネットを利用して金融サービスを提供する金融機関が増えている。インターネットは世界中の利用者にかかれたネットワークであるため、利便性と効率性が高い反面、セキュリティ上のさまざまな脅威が存在することが指摘されている。インターネットを経由して金融サービスを提供する際には、金融機関もこうした脅威に対する適切な対策を講じておく必要がある。

インターネット・バンキングを提供する金融機関が最も重視しなければならないセキュリティ対策は、無権限者による成りすましなどの攻撃によって、正規の利用者や金融機関自身の財産が被害を受けないようにすることにある。そのような効果を実現するうえで鍵となるのは、インターネット上での利用者の認証方式である。そこで、本稿では、現在のインターネット・バンキングの多くで利用されている、SSL、パスワード、乱数表を組み合わせた認証方式にスポットを当てて、考えられる攻撃法について分析した。

その結果、現在の認証方式は、システムの設定次第では、情報の一部が漏洩した場合に成りすましの攻撃を受けるとか、乱数表の情報の一部を推定されるといったセキュリティ侵害のリスクが存在することがわかった。こうしたリスクは、現時点では深刻な問題とはいえないものの、将来、インターネット・バンキングがより広範に利用されるようになると、実際の被害につながりかねないものと思われる。わが国の金融機関が、今後、インターネットによる金融サービスを拡大していくためには、こうしたセキュリティ上の問題点について、適切に対処していくことが望ましいといえよう。

キーワード：インターネット・バンキング、セキュリティ対策、認証方式、SSL、パスワード、暗証番号、乱数表

本稿は、2002年2月28日に日本銀行で開催された「第4回情報セキュリティ・シンポジウム」への提出論文として作成されたものである。なお、本稿に示されている内容および意見は筆者達個人に属し、日本銀行あるいは金融研究所の公式見解を示すものではない。

松本 勉 横浜国立大学大学院環境情報研究院 (E-mail: tsutomu@mlab.jks.ynu.ac.jp)
岩下 直行 日本銀行金融研究所研究第2課 (E-mail: iwashita@imes.boj.or.jp)

1. はじめに

インターネットの急速な拡大を背景に、インターネットを利用して金融サービスを提供する金融機関が増えている。多くの金融機関がインターネット・バンキングの提供を開始している¹ほか、インターネット取引を業務の中心に据えたネット専業銀行も立ち上がり、振込手数料の引下げ等の効果もあって利用者数も急速に拡大してきている²。インターネット・バンキングは、金融機関の有力なデリバリー・チャンネルとして定着しつつあり、それに伴って利用者の利便性も大きく向上しているといえるだろう。

その背景としては、1つには、各金融機関が、インターネットは安いコストで高度な金融サービスを提供できる有望なチャンネルであるとの判断に基づき、積極的に経営資源を投入してサービスを立ち上げたことが挙げられる。また、利用者側の事情としては、インターネットを利用した株式売買やオークション、通信販売の利用者を中心に、自宅のパソコンから振込や残高照会といった金融機関のサービスを利用したいというニーズが強まっていたことが、普及の原動力となった。加えて、店頭で取引するよりも振込手数料等が安いという点もインセンティブとなって、利用が拡大したものと考えられる。

インターネットは世界中の利用者に対して開かれたネットワークであり、金融機関が従来利用してきたクローズドなネットワークに比べ、利便性や効率性が格段に高い反面、さまざまなセキュリティ上の脅威が存在している。インターネットを経由して金融サービスを提供する際には、金融機関もこうした脅威に対する適切な対策を講じておく必要がある。

1 金融情報システムセンターが全国684の金融機関を対象に平成13年3月末に実施した「金融機関業務のシステム化に関する動向調査」によれば、インターネットを利用したサービスのうち、残高照会については43.0%の先が、資金移動（振替、振込等）については30.7%の先が「実施済み」と回答している。特に、都市銀行については、全先が「実施済み」と回答している。

2 わが国におけるインターネット・バンキングの利用者数については、金融機関ごとのインターネット・バンキング対象預金口座数、取引件数といった基礎データが公表されていないため、確実なデータは存在しない。しかし、これまでに発表されているさまざまな調査結果をみると、ここ1、2年で利用者数が急速な伸びを示していることが窺われる。

例えば、IT専門調査会社 IDC ジャパンによれば、インターネット・バンキングの利用者数は、2001年3月末現在で250万人を超えると推計されている。1998年頃は、大手銀行でもインターネット・バンキングの利用者が数千人程度しか存在しないといわれていたことを考えれば、急速な伸びといえるであろう。

また、マイボイスコム株式会社が定期的に行っているアンケート調査において、「インターネット・バンキングを利用したことがある」と答えた回答者の比率は、1999年9月 9% 2001年1月 22% 2002年1月 44%と著増している。同アンケート調査は、インターネット経由で実施されたものであるため、サンプルに偏りがあるものの、時系列で比較した増加テンポは極めて速いといえよう。

2. 金融機関のセキュリティ対策は何が特殊なのか

インターネットを利用したシステムのセキュリティ対策を巡る議論において、金融機関は、「特別に高いセキュリティを必要とする存在」と位置づけられている。信用を重んじる金融機関にとって、セキュリティ対策が重要と考えることは当然のことのように思われるが、具体的な業務内容との関係を考えてときに、なぜ、金融機関は特別に高いセキュリティを必要とするのであろうか。

インターネット・バンキングを提供する金融機関の多くは、自らのホームページにおいて、採用しているセキュリティ対策の概要を紹介し、さまざまな脅威に対して万全の備えを講じていることをアピールしている。セキュリティ対策の具体的な内容はあまり詳細には説明されていないものの、強固なファイアウォールを設定して不正アクセスを防止していること、ウィルスチェック・プログラムによる検知を徹底していること、アクセス状態を24時間常時監視していることなどが開示されている。

こうしたセキュリティ対策を充実させること自体は、金融機関として望ましいことであり、それを適切に開示することも、利用者の信頼感を醸成するうえで有効であろう。ただし、こうした一般的なセキュリティ対策は、金融機関が、他業種の企業や公的機関と比べて特別に注意しなければならないことというわけではなさそうである。預金口座の取引データや暗証番号を除けば、金融機関に届け出られている個人情報、他業種の企業の顧客情報とさほど異なるものではない。ホームページの改ざん等による風評被害や、サービス停止攻撃の影響も、他の業種と同程度の脅威であるにすぎず、その意味でも特別ではない。実際、金融機関が採用しているネットワーク・セキュリティ対策は、いわば汎業界的な技術として確立されているものであり、金融機関だけが特別な技術を採用しているわけではない。

にもかかわらず、金融機関が特別に高いセキュリティ対策を必要とすると考えられているのは、金融機関が顧客の金融資産の管理を任されており、金融機関の情報システムの中に、その管理用データが格納されている、という特性によるものであろう。例えば、製造業の企業であれば、顧客にとって大切なのは、製造された製品の品質であるから、極論すれば、その企業の事務所や工場の情報システムが何らかのセキュリティ侵害を受けたとしても、顧客が購入した製品に問題がなければ顧客に被害は及ばない。しかし、金融機関の場合、万一、その情報システムがセキュリティ侵害を受け、顧客との取引データや残高情報が破壊・改ざんされると、多くの利用者に甚大な被害をもたらすこととなる。そのため、金融機関は自らの情報システムのセキュリティを守ることが特別に強く求められているのであろう。

また、金融機関の場合、単にシステムを破壊・停止しようとする愉快犯からの攻撃に加えて、悪意を持って業務データを改ざんする攻撃に備えなければならない。攻撃者は、金融機関の情報システムを不正に書き換えて、他人の財産を減らし、自分の財産を増やすような操作を行うかもしれない。正規の顧客に成りすまして取引

を入力し、その財産を奪おうとするかもしれない³。時には金融機関の内部者が協力した攻撃という形態をとるかもしれない。攻撃が成功すると不正な利益を得ることができるというインセンティブが存在する場合、計画的、組織的な攻撃のリスクが高まる。金融機関は、そうした攻撃に特に注意して対策を検討しなければならない。

こうした観点に立った場合、インターネット・バンキングを提供する金融機関が最も重視しなければならないセキュリティ対策とは、インターネット・バンキングにおいて、正規の利用者からの資金振替指図などの指示を間違いなく実行すること、言い換えるならば、無権限者による成りすましなどの攻撃によって、正規の利用者や金融機関自身の財産が被害を受けないようにすることにあるのではないか。そのような効果を実現するうえで鍵となるのは、インターネット・バンキングにおける利用者の認証方式と考えられる。そこで、以下では、この点にスポットを当てて分析を行うこととしたい。

3．インターネット・バンキングにおける利用者の認証方式を巡って

以下では、現在のインターネット・バンキングにおけるセキュリティ対策について、利用者の認証方式を中心にみていくこととしよう。

インターネットを利用した金融取引がここ1、2年で急速に拡大した大きな理由の一つとして、「利用者の認証方式が、利用者にとって手数の掛からない、簡便な方式に変更された」ことが挙げられる。1997年以降、わが国の金融機関がインターネット・バンキングを導入し始めた頃は、セキュリティを高めるために、SET⁴やSECE⁵と呼ばれる比較的厳格な利用者の認証方式を実現する通信プロトコルを採用する先が多かった。利用者がSETやSECEを使うためには、金融機関が提供するソフトウェアをパソコンにインストールする必要があるほか、利用者一人一人について、認証サービス会社の提供する公開鍵証明書を取得し、それをシステムに組み込む必要があるなど、金融機関にとっても利用者にとってもコストと運用の手間が掛かる

3 金融機関の正規の利用者に成りすまして取引を入力し、その財産を奪おうとした事例として、1994年12月に発生した、ある都市銀行のファーム・バンキングのセキュリティ侵害事件が挙げられる。この事件の犯人グループは、当該銀行のファーム・バンキング・サービスに参加したうえで、当該銀行の内部協力者から正規の取引先企業の暗証番号等を入手し、それらの企業に成りすましてファーム・バンキング端末から16億円を超える資金を不正に送金した。この事例は、インターネット・バンキングの安全性を検討するうえでも参考となる。

4 SET(Secure Electronic Transactions)：ビザ・インターナショナルとマスターカード・インターナショナルによって提案された、インターネット上で安全にクレジットカード決済を実施するための通信プロトコル。

5 SECE(Secure Electronic Commerce Environment)：インターネット上で安全に金融機関口座を利用した決済を実施するための通信プロトコル。SETをベースに、富士通、日立製作所、日本電気によって共同開発された。

ものであった。その複雑さゆえに導入を諦める利用者も多く、複雑な認証方式の採用が、わが国においてインターネット・バンキングが普及しない理由の1つとさえいわれていた。金融機関にとっても、そうした認証方式を利用している限り、ユーザー用ソフトの開発、配布や、公開鍵証明書取得などにコストが掛かるため、高額の手数料が徴求できないのであれば、インターネット・バンキングを積極的には売り込みにくいといわれていた。

しかし、2000年頃から、パソコン等にあらかじめ組み込まれているSSL⁶と呼ばれる暗号プロトコルとパスワードを組み合わせる認証を行うインターネット・バンキングのサービスが提供され始め、普及に弾みがついた。先行してSETやSECEを採用していた金融機関も、こぞって「SSL+パスワード認証」に移行したため、現在では、ほとんどの金融機関のインターネット・バンキングが「SSL+パスワード認証」によるものとなっている。「SSL+パスワード認証」とは、「入力されたパスワードが通信経路上で盗聴されるのを防ぐためにSSLの暗号通信機能を使う」という意味であり、利用者の認証そのものは、パスワードの一致のみを条件としている。

こうした動きに対しては、インターネット・バンキングのセキュリティが低下することを懸念する見方もある。実際のところ、この「SSL+パスワード認証」は、どの程度安全なのだろうか。例えば、従来のクローズドな利用環境で、CD/ATMを通じた預金の引出しや資金振替等が、磁気カードと4桁の暗証番号という認証手段で安全に利用されてきたことと対比すれば、SSLによる暗号化とパスワードを組み合わせることにより、インターネット・バンキングの安全性が十分に確保できるといえるのだろうか。

ここで意識しなければならないのは、インターネット上で金融サービスを提供する場合、従来のクローズドな環境とは本質的に異なる脅威が存在するという点である。以下では、実際に利用されているセキュリティ技術の概要を紹介するとともに、いくつかの攻撃法を想定して、インターネット・バンキングにおける脅威の具体的なイメージをつかむことにしよう。

(1) SSLの仕組みと安全性

まず、現在のインターネット・バンキングにおける認証方式の基盤として利用されているSSLの仕組みと安全性についてみてみよう。SSLは、インターネット上でウェブ・サーバーにアクセスする際に、暗号通信、サーバー認証、クライアント認証を実現するための暗号プロトコルである。ネットスケープ・ナビゲーターやインターネット・エクスプローラーといった無償で配布されているクライアント・ソフトにあらかじめ組み込まれている。一般の利用者にとっては、わざわざ自分のパソコンに新しいソフトウェアをインストールしなくても使用できるため、SSLは広く

6 SSL(Secure Socket Layer): ネットスケープ社が提唱する暗号通信、認証等のセキュリティ機能が付加された通信プロトコル。

普及しており、インターネット金融取引においても広く利用されている。その基本的な仕組みは、図1のとおりである。

図1 SSLによる暗号通信の概要

クライアント		サーバー	概要
<input type="checkbox"/> 送信要求メッセージ {クライアント乱数、セッションID、利用可能認証方式リスト等}			クライアントからサーバーに送信を要求。乱数、ID、認証方式リスト等を送信。
		<input type="checkbox"/> 受信受諾メッセージ {サーバー乱数、セッションID、利用認証方式等}	サーバーが応答。乱数とIDを交換し、使用する認証方式等を決定。
		サーバー公開鍵証明書 サーバー鍵交換情報 クライアントの証明書 送付要求 <input type="checkbox"/> 送信完了メッセージ	サーバーが、決定された認証方式に基づき、必要に応じて、サーバーの証明書やクライアントへの証明書送付要求を送信。
<input type="checkbox"/> クライアント公開鍵証明書 <input type="checkbox"/> クライアント鍵交換情報 <input type="checkbox"/> クライアント公開鍵証明書 <input type="checkbox"/> 検証データ <input type="checkbox"/> 暗号パラメータ交換 <input type="checkbox"/> 送信完了メッセージ			クライアントが、必要に応じて証明書やその検証データを送信し、鍵交換情報（サーバーの公開鍵で乱数を暗号化したもの）を送信。 で交換した乱数を組み合わせでセッション鍵を生成し、事前に共有した乱数を暗号化してクライアントから送信。
		<input type="checkbox"/> 暗号パラメータ交換 <input type="checkbox"/> 送信完了メッセージ	サーバーも同様にセッション鍵を生成したうえで、事前に共有した乱数を暗号化して送信し、疎通を確認。
アプリケーションのデータ	↔	アプリケーションのデータ	交換されたセッション鍵を用いて共通鍵暗号により暗号通信を実施。

: 必須項目、 : オプション項目

SSLの仕様書には、暗号鍵の生成、鍵交換、データの暗号化などの手順が、詳細に定められている。このうち鍵交換の手順については、最近の証明可能安全性を巡る研究などを踏まえると、やや古典的な技術が使われており、安全性が数学的に証明されているわけではない。また、これまでのところ、SSLの安全性が信頼のおける第三者機関によってきちんと評価された実績もない。SSLは、国際的に広く利用されている標準的な暗号プロトコルであるが、その利用に際しては、こうした安全性評価の現状をも考慮に入れておくことが望ましいと考えられる。

SSLの安全性を巡っては、SSLの仕様書そのものに欠陥はないか、仕様書の内容を実装した製品に欠陥はないか、という2つの観点から検討が必要となる。これまでのところ、については、少なくとも最新版であるSSL Ver 3.0は問題が指摘されていないが、については、問題点が顕現化した事例がいくつか知られている。

過去に発生した有名な例としては、1995年9月に、ネットスケープ・ナビゲーター Ver 1.2におけるSSLの鍵生成部分の実装プログラムに問題点があることが指摘された事件が挙げられる⁷。当時、SSLをインフラとしてインターネット・バンキングのサービスを提供していた米国の銀行は、「SSLに欠陥あり」との報道を受けて、相次いでサービスの停止に踏み切った。この事件は、暗号技術の欠陥が金融機関の業務に大きな影響を及ぼしたという意味で、注目に値する事件であった。

最近発生した類似の事例としては、インターネット・バンキングを含む複数の電子商取引サイトについて、「クロスサイト・スクリプティング攻撃⁸」と呼ばれる攻撃法に対する脆弱性が指摘されたという事件が挙げられる⁹。これは、SSLの暗号プロトコルそのものの問題ではないが、利用者の個人情報やパスワードの送受信をSSLによる暗号化で保護している実装環境においても、この脆弱性を利用してクッキー¹⁰の情報を奪取することによって、個人情報やパスワードが漏洩するリスクがあることが指摘されたものである。こうした指摘を受けて、インターネット・バンキングなどのシステム設計者は、こうした攻撃法の存在を意識した設計を行うことが必要となっている。

SSLは多くの機能を持つ暗号プロトコルであり、実際に実現する機能は、システム設計者が必要に応じて選択する。その選択によっては、比較的安全性の高い暗号通信とサーバー認証、クライアント認証を行うこともできるし、強度の弱い暗号通信しかできない場合もある。選択できる主なパラメータを整理すれば、表1のようになる。

表1 SSLにおいて選択できる機能と主なパラメータ

機能	選択できる主なパラメータ
サーバー認証	公開鍵証明書あり / 公開鍵証明書なし
クライアント認証	公開鍵証明書あり / 公開鍵証明書なし
公開鍵暗号（鍵交換）アルゴリズム	RSA、ディフィー・ヘルマン（Diffie-Hellman）
公開鍵暗号の鍵長（法のサイズ）	1,024bit、768bit、512bit
共通鍵暗号アルゴリズム	トリプルDES、DES、IDEA、RC4、RC2
共通鍵暗号の鍵長	168bit（トリプルDES）128bit（RC4、IDEA） 56bit（DES）40bit（DES、RC4、RC2）

7 この事件は、ネットスケープ・ナビゲーターVer.1.2において、鍵生成プログラムに欠陥があり、暗号が容易に破られてしまうことがわかったというものであった。この事例では、善意の解析者が問題点を指摘したために、結果として個々の利用者の被害が未然に回避され、しばらくして問題点を修正したプログラムがネットスケープ・ナビゲーターVer.2.0として配布されたことによって解決された。

8 クロスサイト・スクリプティング攻撃：攻撃者が攻撃対象のクライアントのブラウザにジャバ・スクリプトなどのスクリプト言語で書かれたコードを実行させ、他のサイトのサーバーからそのクライアントに関する情報を不正に攻撃者へ転送させるという攻撃。この事例も、善意の研究者が問題点を指摘することによって発覚したものであった。

9 高木、関口、大蒔 [2001] は、わが国における73の電子商取引関連サイトのうち56サイトが、クロスサイト・スクリプティング攻撃に対して脆弱であるとの調査結果を報告している。

10 クッキー(cookie)：サーバーがクライアントを識別し、過去のアクセス履歴等を把握するためにブラウザに送るデータ。

現在、SSLを用いて実用化されているインターネット・バンキングの例をみると、サーバー認証、128ビットのRC4共通鍵暗号、1,024ビットのRSA公開鍵暗号を利用しているケースが多いが、利用者側のクライアント認証にSSLを利用している例はほとんどない。この場合、SSLは暗号通信機能しか提供しないこととなり、SSLが実現する通信経路の守秘によりパスワードの盗聴を防いであうえで、クライアント認証はパスワードを利用して行うこととなる。

(2) 暗証番号・パスワード認証の問題点

現在のインターネット・バンキングで広く採用されている「SSL+パスワード認証」においては、パスワードが一致すれば、正当な利用者からの入力と認識するという前提で、システムが構築されている。パスワードは最も基本的な認証方式であり、その信頼性は利用者によるパスワードの選定や管理に依存する。利用者が推定されやすいパスワードを選択したり、適切な管理を怠ってパスワードを外部に漏洩させたりした場合、パスワード認証の安全性を確保することができない。また、システムの構成や運用管理方法によっては、総当たり攻撃や辞書攻撃によって破られるリスクもある。

「SSL+パスワード認証」を利用している場合、これらのうちいずれかの理由でパスワードが漏洩したり、推定されたりしたときには、容易に不正アクセスが可能になる。そこで次に、暗証番号・パスワード認証に対する攻撃法についてみてみることにしよう。

イ．暗証番号・パスワード認証に対する総当たり攻撃

現在のキャッシュ・カードで利用されている暗証番号は4桁なので、「0000」から「9999」まで、1万通りの番号を総当たりで入力して認証を通るかどうかを試せば、暗証番号を特定することが可能である。また、一般に暗証番号には記念日などの日付を使う人が多いといわれているため、月を2桁、日を2桁で表した0101から1231までの365通りの番号を試せば、さらに効率よく攻撃することが可能な場合もある。パスワードは暗証番号に比べ、同じ桁数でも組合せの数が多いので総当たり攻撃はやや難しくなるが、利用者が記憶しやすい単純な単語や固有名詞をパスワードとしている場合は、よく使われる単語を辞書から選び、次々に認証をパスするかどうかを試してみる攻撃が効果的である。この種の攻撃法に関する情報は、いわゆるハッカーがネットワークに不正侵入するためのノウハウとして、インターネット上に掲載されていることも多く、攻撃を行うのに特別な技術は必要ないため、誰でも比較的簡単に実行できる。このため、IDとパスワード・暗証番号による認証だけでは、インターネットに接続されたシステムの安全性を守るうえでは十分ではないと考えられている。

従来、金融サービスを金融機関の店舗で提供している限り、このような脅威をあまり心配する必要はなかった。店頭のCD/ATMにおいて、金融機関の職員や監視力

メラなどが警戒する中では、暗証番号を何度も誤入力すると不審に思われ、すぐに検知されてしまうから、こうした素朴な手法を用いる攻撃者はほとんどいなかった。また、暗証番号の入力を一定回数以上誤るとそれ以上の入力を受け付けられないというシステムの制限も設けられていた。

これに対し、インターネット上で同様の原理に基づき利用者を認証しようとした場合、脅威はより深刻なものとなる。インターネット経由であれば世界中どの端末からでもアクセスが可能であるから、店頭でCD/ATMを操作するときのような監視の目が行き届かない。暗証番号を手で入力するのではなく、スクリプト言語¹¹等を利用してコンピュータに入力を指示すれば、連続して膨大な回数の攻撃を繰り返すことができる。もちろん、インターネット経由の取引においても、同一のIDに対して誤ったパスワード入力が繰り返されれば、それ以上の入力を受け付けられないといったシステムのガードが掛けられていることが普通である。しかし、パスワードを探索する際に、IDを固定せず、さまざまなIDとパスワードをランダムに組み合わせることで数多くの探索を行った場合、「多くの利用者がたまたまパスワードを入力ミスした」という状態と区別がしにくいいため、システムのガードが働かない可能性がある¹²。このような探索では、特定のIDに対するパスワードを入手することは難しいが、全体としての試行回数を増やすことができるため、探索した数多くのIDのどれかひとつについて、パスワード認証を破り、成りすましを行うことができる可能性がある。

ロ．冗長なIDの利用による総当たり攻撃の防止

こうした攻撃を防止する手段の1つとしては、IDの桁数を増やし、冗長性を高めることが有効である。もし、IDを1番から連続して付番する、あるいは、利用者数との対比で最低限の桁数のIDを用いていた場合、攻撃者がランダムに発生させた数値がたまたま実際に利用されているIDと一致する確率が高い状況となる¹³。そし

11 スクリプト言語：機械語への変換作業を省略して簡単に実行できるようにした簡易プログラムを記述するためのプログラミング言語。手間をかけずに実行することができ、一般のプログラミング言語に比べて機能は少ないが、習得が容易で記法も簡便であることが多い。代表的なものとして、パール（Perl）、VBスクリプト（VBScript）、ジャバ・スクリプト（JavaScript）などがある。

12 IDとパスワードをランダムに変えて認証をパスしようとする攻撃を系統的に防止するためには、例えば、インターネットからのアクセスを常時監視し、同一のIPアドレスから異なるIDで繰り返しアクセス要求があった場合に警告を発する、といった対応が有効かもしれない。ただし、そうした対応がとられたとしても、それを回避して攻撃を行うことは技術的に可能であり、新たな攻撃法の開発と対症療法の繰り返しとなる恐れが高い。こうした問題を抜本的に解決するためには、認証手段そのものの安全性を高めることが適当と考えられる。

13 類似の事例として、携帯電話に対してランダムに送信される「迷惑メール」への対策が参考となる。迷惑メールとは、携帯電話のメールアドレスのうち、電話番号に該当する8桁の数字部分にランダムに発生させた数字を当てはめる等の方法によって、無差別に発信される営利等を目的とした電子メールである。こうした行為は、ランダムに発生させた数字と実在する電話番号が一致する確率が比較的高いからこそ成立する。携帯電話会社では、迷惑メールの着信を回避する対策の1つとして、携帯電話のメール・アドレスに電話番号のほかにランダムな4桁の番号（シークレット・コード）を付加して冗長性を高め、ランダムに発生させた数字が偶然に電話番号と一致する確率を下げることを推奨している。

て、仮にこうした攻撃で有効なIDとパスワードのペアが探索できれば、それを利用して真の利用者に成りすまし、不正な取引を入力することが可能となる。

実際のインターネット・バンキングに利用されるIDが、全体の利用者数と対比して不必要と思えるほど長い桁数となっていることが多いのは、こうした攻撃を意識していることが一因と考えられる。例えば、預金者が10万人存在する金融機関において、10万人に5桁（00000番から99999番まで）のIDを順番に付与した場合、ランダムに発生した5桁の番号がIDとして利用されている確率がかなり高いため、上記のような攻撃が容易に成立する。しかし、例えば、IDを10桁とし、そのうち上5桁は利用者ごとに順次に付与し、下5桁はランダムな値を付与した場合、上記のような攻撃は実行が困難になる。ランダムに発生させた10桁の番号がたまたまIDとして実際に利用されている確率は 10^{-5} 以下となり、攻撃者が上記のような試行錯誤を行うことが極めて非効率的になるからである。ただし、こうした効果を期待するためには、冗長性を付与する際に、攻撃者に推定できないランダムなIDを生成する必要がある。例えば、特定の桁が特定の数値に固定されている、あるいはIDの分布範囲が限定されている場合、攻撃者が冗長性を再現できるので、攻撃を抑止する効果が期待できなくなるからである。

(3) 乱数表によるチャレンジ・レスポンス方式

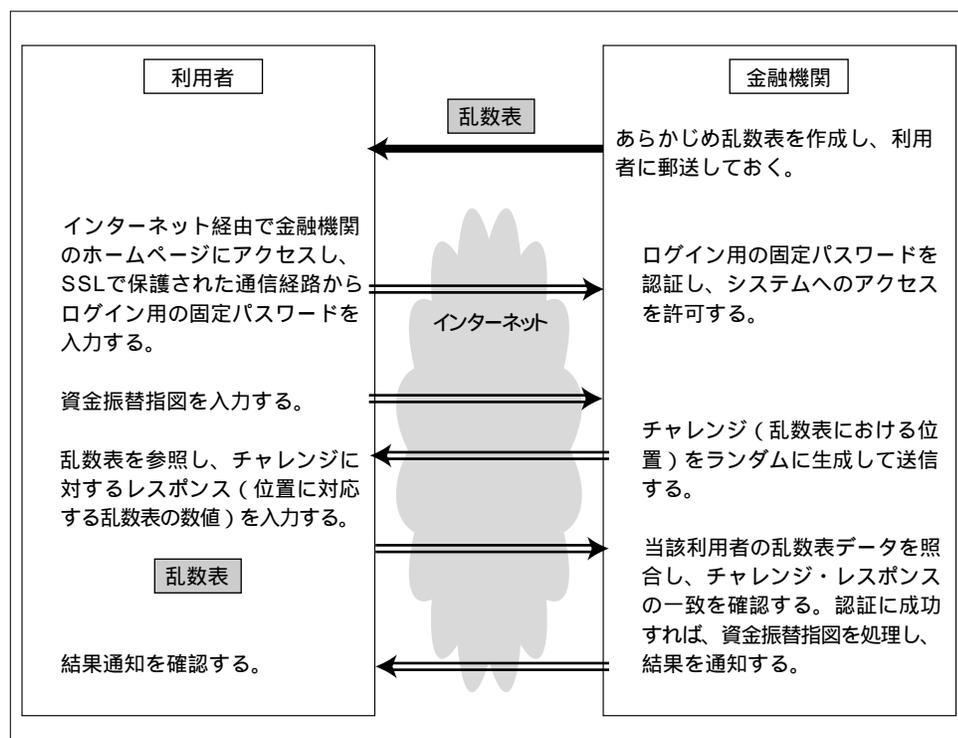
(2)で述べたように、インターネット上で公開されているシステムへのアクセスを、パスワードや暗証番号だけで認証することにはリスクが大きい。特に、パスワードによる認証だけでインターネットからの資金振替指図の入力が可能な場合、正規の利用者が成りすましによる不正送金の被害を受ける惧れがある。こうした問題に対処するために、最近のインターネット・バンキングでは、認証手段を二重化し、ログイン用のパスワードに加えて、特に重要な操作における認証手段として「乱数表¹⁴によるチャレンジ・レスポンス方式」を導入する先が増えてきている（図2参照）。この認証方式は、各金融機関が、あらかじめ利用者ごとにランダムな数値を記載した乱数表を作成して利用者に配付しておき、資金振替指図の入力など、特にセキュリティの要請が高い局面で、その表の中の位置情報をランダムに質問し（この質問を「チャレンジ」という）、それに該当する数値を応答させる手法である（この応答を「レスポンス」という）。

例えば、ある金融機関のインターネット・バンキングでは、～までの枠に16個の数値（おのおのは0から9までの整数）が書かれた乱数表を利用者に郵送しておき、資金振替指図等を入力する都度、その中の4つの位置をランダムに（例えば、などと）指定して、各位置の数値（例えば、=3、=1、=8、=0な

14 ここで説明している「乱数表」は、金融機関が、「IDカード」、「お客様カード」、「ご契約カード」、「確認番号表」等と呼称しているものであるが、通称としてよく利用されている表現であるため、以下では「乱数表」と呼ぶこととする。

どと)を答えさせる、という認証方法を採用している。この場合、「 」という質問が「チャレンジ」であり、「3、1、8、0」という回答が「レスポンス」となる。チャレンジは認証を行う都度異なる値をとるため、利用者は乱数表を参照して、それに対するレスポンスを作成することになる。

図2 乱数表によるチャレンジ・レスポンス方式を利用したインターネット・バンキングの事務フローの例



また別の金融機関では、5×5の罫目の中にランダムなおのおの2桁の数値が書かれた乱数表を利用者に郵送しておき、資金振替指図等を入力する都度、1つの罫目の位置をランダムに（例えば、3行2列目などと）指定して、そこに記載されている2桁の数値（例えば、47などと）を答えさせる、という認証方法を採用している。この場合、「3行2列目」がチャレンジであり、「47」がレスポンスとなる。乱数表のフォーマットやチャレンジの出し方はさまざまであるが、インターネット・バンキングを提供している多くの金融機関において、単純な固定パスワードに加えて、このような認証方法が導入されている。

イ．乱数表によるチャレンジ・レスポンス方式の有効性を検討する視点

こうした「乱数表によるチャレンジ・レスポンス方式」は、取引の都度、異なる暗証番号を利用することになるため、固定パスワードを利用するのに比べれば随分安全であるような印象を受ける。万一、入力した番号が盗聴されるか、当てずっぽ

うで入力した番号が認証をパスしても、次の取引で同一のチャレンジが出されない限り、盗聴・検知された番号では認証をパスしないという効果が期待できるからである。また、この方式は、利用者側に特別なハードウェアやソフトウェアを導入する必要がないため、取引の都度、乱数表を参照させること以外、利用者特別な負担を掛けなくて済み、普及させやすいというメリットもある。しかし、インターネット・バンキングの認証方式として、乱数表が安全性をどの程度高めているのかは明確ではなく、追加的なセキュリティ対策としてどこまで信頼してよいか、その評価が難しい面がある。

むしろ、乱数表を導入することによって、逆にリスクを高めている部分があることにも注意が必要である。例えば、乱数表は金融機関が利用者ごとに作成して郵送するものであるため、利用者がオンラインで随時変更できるパスワードとは異なり、作成、搬送のプロセスで秘密が漏洩するリスクがある¹⁵。また、ある程度長い期間、同一の乱数表が利用され続けることが想定されており¹⁶、秘密情報が漏洩した場合のリスクも、利用を継続する期間に応じて高くなる。乱数表が利用者の手に渡った後も、パスワードのように情報を記憶しておくわけにはいかないため、乱数表を手元に保管しておく必要があり、かえって盗難・紛失・盗み見のリスクが高くなる。乱数表には、これらのデメリットを補って余りあるようなインターネット・バンキングの安全性向上の効果があるのだろうか。

もともと、乱数表によるチャレンジ・レスポンス方式は、通常の電話機から暗証番号を入力する「テレホン・バンキング」で利用されていたものであった。暗号通信を行わないテレホン・バンキングの場合、通信内容が秘匿できるとは限らない¹⁷ため、通常の暗証番号ではなく、取引ごとに異なる番号を入力する仕組みが開発されたという経緯がある。しかし、通信内容が漏洩することを前提と考えるならば、このような乱数表を利用したとしても安全とはいいい切れない。16～100個程度の数値の記載された乱数表を金融機関と利用者との間で秘密に共有しただけでは、何回か利用しているうちに一度利用した秘密情報を再度利用せざるを得ず、乱数表の内容を推定され、正規の利用者に成りすまされるリスクがあるからである。以下では、このような乱数表による認証に対し、どのような攻撃が想定されるか、具体的に検証してみよう。

15 多くの金融機関では、書留郵便の利用や、郵送途上で乱数表を不正に覗き見ようとする利用者には検知できるような特殊な包装手法を用いること等により、情報漏洩を防止しようとしているが、リスクを完全に回避できるわけではない。

16 乱数表を導入している金融機関の多くでは、乱数表の定期的な更新は想定されていないようである。乱数表が盗難に遭うか、その内容が他人に露見した場合は、利用者からの依頼により再発行が可能な仕組みとなっている。しかし、利用者が気づかぬうちに内容を盗み見られていた場合、当該乱数表は、無権限者からのアクセスのリスクを抱えながら利用され続けることになる。

17 例えば、ある種のコードレス電話は盗聴のリスクがあることが知られている。

ロ．乱数表によるチャレンジ・レスポンス方式に対する攻撃：漏洩した通信情報を利用する攻撃

まず、16個の数値が記載された乱数表を利用し、4つの数値を答えさせる認証方式において、通信情報が漏洩したケースを考える。通常、送受信される乱数表の情報はSSLによって暗号化されているが、何らかの理由で1回分の利用者とのやり取りが漏洩して、16個中4個の位置と数値が攻撃者に察知されたとしよう。固定パスワードであれば、1回分の通信情報が漏洩した時点で成りすましが可能となるが、乱数表を利用している場合、攻撃者が成りすましを行おうとしても、ランダムに表示されるチャレンジがたまたま漏洩した4個の数値と一致しない限り（その確率は1/1820にすぎない¹⁸）、正しいレスポンスを返すことができないため、一見、安全性にさほど問題は生じないように見える。これが、乱数表を利用することのメリットと考えられている。

しかし、もしも金融機関側のシステムが、攻撃者にとって都合のよい値が出るまで、「チャレンジの出し直し」をさせることができる作りであった場合、問題が発生する。こうした認証方式では、通常、暗証番号を試行錯誤的に入力する攻撃を回避するために、「チャレンジに対するレスポンスの入力エラーは3回以内」などといった制限を設け、制限値を超えると入力を規制するといった仕組みを採用することが多い。しかし、「チャレンジを表示させる回数」については、制限を設けていないシステムが存在するようである。そうしたシステムの場合、攻撃者は、不都合なチャレンジであればそれに応答しないで入力をキャンセルし、次のチャレンジを表示するよう依頼することにより、自分が正答できるチャレンジが表示されるまで、何度もチャレンジを表示させるという攻撃が可能となる。チャレンジがランダムに作成されると仮定すれば、平均的にみて、1,261回チャレンジの再表示を依頼し続けると、1/2の確率で正答可能なチャレンジが表示されると期待できる¹⁹。

同一の乱数表について複数回の情報漏洩が発生し、攻撃者が4個を超える数値を知っていた場合²⁰、より少ない回数の再表示要求で、正答可能なチャレンジを表示させることが可能となる（表2参照）。例えば、9個の数値を知っていれば、10回の

表2 16個の数値の書かれた乱数表から4桁を指定して答えさせる認証方式において、すべて正答できるチャレンジを表示させるための平均的な再表示依頼回数

攻撃者が知っている数値の数	4個	5個	6個	7個	8個	9個	10個	11個	12個	13個
平均的な再表示依頼回数	1,261回	252回	84回	36回	18回	10回	6回	3回	2回	1回

18 16個の乱数から4個を選ぶ組合せは $(16 \times 15 \times 14 \times 13) / (4 \times 3 \times 2 \times 1) = 1,820$ 通りあるため。

19 $(1 - 1/1820)^{1261} \approx 0.5$ 。

20 複数回の情報漏洩が発生した場合、攻撃者が入手できる乱数表上の数値の数は、重複の可能性があるので確定しない。平均的にいえば、通信情報の漏洩が2回なら7個、3回なら9個程度の数値が察知されることとなる。

再表示依頼で正答できるチャレンジを表示させることができる。

同様の計算により、「5×5の枠目の中にランダムにおのおの2桁の数値が書かれた乱数表」において、1つの枠目の情報が漏洩した場合、平均的にみて、17回チャレンジの再表示を依頼すると、1/2の確率で正答可能なチャレンジが表示されることが期待できる²¹。

実際に提供されているインターネット・バンキングのシステムの作りをみると、こうした攻撃を意識して設計されたと思われるシステムでは、チャレンジの再表示依頼を暗証番号入力と同等の操作と認識し、再表示を繰り返させるとセキュリティ侵害と判断してそれ以上の入力を受け付けなくなる仕組みとなっている。こうした対策を講じていれば、万一乱数表の情報の一部が漏洩しても、それが悪用されることはある程度防止できる。これに対し、こうした対策が講じられていないシステムでは、認証1回分の情報が漏洩すると攻撃が可能となり、乱数表によるチャレンジ・レスポンス方式のメリットが活かされない結果となる。

八：乱数表によるチャレンジ・レスポンス方式に対する攻撃：総当たり攻撃

ロ．で紹介した攻撃は、1回分の認証情報が攻撃者に漏洩するという前提からスタートするものであった。この前提については、「SSLを使って暗号通信を行っているのだから、情報漏洩することを前提とするのはおかしい」といった反論が可能かもしれない。しかし、システムの仕組みによっては、SSLを破ったり、利用者の不注意に付け込んだり、金融機関内部者の協力を頼ったりしなくても、類似の攻撃が可能となる可能性がある。以下では、特別な情報漏洩等を前提としないで、総当たり攻撃によって乱数表を利用した認証方式を破ることができないか、調べてみよう。

そもそも、どのような乱数表を利用するにせよ、実際に利用者が認証のために入力するデータが2桁とか4桁の数値だとすれば、「当てずっぽうで入力した数値がたまたま一致する」ことによるセキュリティ侵害を排除することは難しい。例えば、先に検討した「16個の数値の記載された乱数表から4つの数値を答えさせる認証方式」において、攻撃者が何回でも暗証番号を試行錯誤して入力できると考えた場合、毎回ランダムに表示されるチャレンジに対し、約7,000回、当てずっぽうで暗証番号を入力すると、1/2の確率で認証にパスすることが期待できる²²。そして、いったん認証をパスすると、乱数表のうち、その認証に利用されたデータ4個分の位置と数値は露見してしまう。そうして得られた乱数表の一部の情報を手掛かりにさらに試行を続ければ、容易に探索を進めることができる。例えばチャレンジとして示された4カ所のうち、3カ所の数値が既に知られていた場合、残りの1カ所の数値を当

21 $(1 - 1/25)^7 \approx 0.5$ 。

22 4桁の暗証番号が偶然一致する確率は1/10000。 $(1 - 1/10000)^{7000} \approx 0.5$ 。なお、入力させるのが2桁の数値の場合、偶然一致する確率は1/100となり、 $(1 - 1/100)^{70} \approx 0.5$ より、70回程度の試行で乱数表の一部を推定することが期待できる。

てずっぽうで入力すれば、1/10の確率で認証をパスできる可能性があるからである。平均的にみて、4個分の情報を知っていて5個目を探索するためには130回、6個目を探索するためには70回の試行を行えば、1/2の確率で、追加的な乱数表の情報を得ることができる。そして、乱数表に対する一定量の情報を集めることができれば、イ.で紹介した手法により、成りすましによる攻撃が実行できる可能性がある。

もちろん、このような大量の試行錯誤を行おうとすると、認証エラーの制限値を超えてしまい、それ以上の入力が制限されることになるため、このような攻撃をそのまま実行することは難しい。しかし、(2)で示したように、大量のIDを用意し、試行1回ごとにIDを変更するような攻撃が可能であれば、特定の利用者に認証エラーが頻発していることを露見させないようにすることができるかもしれない。その場合、認証エラーの制限値が大きい、寛容なシステムであるほど、大量の試行錯誤が可能になる結果、全数探索に対して脆弱となる²³。乱数表による認証を採用する場合、こうした攻撃の可能性をも意識して、システム設計を行う必要があるだろう。

二．乱数表によるチャレンジ・レスポンス方式に対する一応の評価

以上の分析により、現在のインターネット・バンキングで広く利用されている「乱数表によるチャレンジ・レスポンス方式」は、チャレンジの表示方法や認証エラー発生時の処理、IDの冗長性などの設定次第では、情報の一部が漏洩した場合に成りすましの攻撃を受けるとか、乱数表の情報の一部が推定されるといったセキュリティ侵害のリスクが存在することがわかった。

ログイン用のパスワードに追加する認証手段として考えた場合、この方式は、利用者が自由に設定・変更できる通常の固定パスワードと比べ、どの程度優れているといえるのだろうか。情報漏洩時の耐性は乱数表によるチャレンジ・レスポンス方式のほうが優れているものの、それは完全なものではない。乱数表によるチャレンジ・レスポンス方式では、チャレンジのとり得る範囲が限られており、何度か通信を繰り返すうちに同一のチャレンジが利用される可能性が高まるため、実装環境によっては、固定パスワードと同程度の安全性しか達成できないことがあり得る。イ.で紹介した、乱数表がそもそも持つデメリットと考え合わせると、両者を比較しても、明らかな優劣はつけられない。少なくとも、固定パスワードに加えて乱数表によるチャレンジ・レスポンス方式を導入することで、安全性が著しく高まると評価することはできないと思われる。

この点、これまでに開発されてきたインターネット上のクライアント認証に利用可能な認証方式の中には、固定パスワードと比べて、成りすましや秘密情報の推定に対し、より高い安全性を確実に達成し得ると考えられる方式も存在している。「ワンタイム・パスワード」と呼ばれる認証方式も、その一例である。同方式では、

23 このため、認証エラーにどのように対応するかが、システム設計のポイントとなる。ただし、闇雲に制限値を小さくすると、利用者の利便性を損ねるほか、故意に認証エラーを発生させてサービス停止を狙う攻撃を受けやすくなる可能性があり、注意が必要である。

現在の時刻や取引1件ごとに増加するカウンタ値等を基に、共通鍵暗号アルゴリズムの演算を行うことによって、取引の都度、一度限りしか使えないパスワードが生成・利用され、かつ、送受信される情報から共通鍵暗号の鍵を推定することが計算量的に困難となるような設計がなされている。ただし、同方式の利用には、クライアント側に専用のハードウェアが必要となる。

4. 今後のインターネット・バンキングにおける利用者の 認証方式のあり方

本稿では、最近利用が拡大しているインターネット・バンキングにおけるセキュリティ対策、特に、SSL、パスワード、乱数表を組み合わせた利用者の認証方式の安全性を評価するために、具体的な攻撃法について検討してみた。その結果、現在の認証方式にはセキュリティ侵害のリスクが存在し、金融機関がシステムを運用していくうえで、そうしたリスクに留意していく必要があることがわかった。インターネット・バンキングを提供している金融機関は、自らのシステムが、本稿で紹介したような基本的な攻撃法に対して十分な耐性を持っているかを確認しておく必要があると考えられる。そして、将来的には、インターネットを利用して提供される金融サービスにおいて、成りすましを有効に防止するために、デジタル署名、バイオメトリクス、ICカードのような、技術的にその有効性が検証されてきた認証方式を利用していくことが必要とされるようになって考えられる。

しかし、インターネット・バンキングの認証方式が、SETやSECEから「SSL + パスワード認証」に移行したプロセスを考えると、利用者に負担を掛けてまで、専用のソフトウェアやハードウェアを必要とする認証方式を導入することは、現実的ではないように思われる。少なくとも、利用者側が、セキュリティを高めることの意義を認め、導入に協力し、費用を負担するといった状況とならない限り、金融機関側のイニシアティブで普及を図ることは難しいと考えざるを得ない。しかし、現在のままの認証方式ではセキュリティ侵害のリスクが存在し、そうしたリスクがインターネット・バンキングの普及の障害となることも考えられる。

今後、インターネット・バンキングのセキュリティをより信頼できるものに移行させていくためには、どのようなシナリオを想定すればよいのだろうか。1つのシナリオは、金融機関の発行するキャッシュカードのICカード化に合わせて、キャッシュ・カードをインターネット・バンキング用のハードウェア・トークンとして利用する、という構想である。ICカードのような耐タンパー性と計算力を有するハードウェア・トークンを利用者のパソコンから利用できれば、インターネット経由でも、極めて強力な認証方式を利用できる。ICカード内にデジタル署名用の署名鍵を格納し、金融業界が提供するPKIによる公開鍵証明書を利用できるようにしたうえで、インターネット・バンキングで資金振替指図等を入力する際に、電文にデジタル署名を付与する方式が有力であろう。

問題は、そのような機能を実現するためには、利用者側のパソコンにICカード・リーダーを装備させ、専用のソフトウェアをインストールさせる必要があるという点である。インターネット・バンキングを安全に実施するためだけに、利用者にそのような負担を要請することは現実的ではないだろう。しかし、安全なデジタル署名を生成するためのハードウェアとソフトウェアを整備することにより、インターネット・バンキングだけではなく、電子政府や電子商取引が安全に利用できるようになるとすれば、事情は異なってくる。利用者は、そのような幅広い分野で利便性を享受できるとすれば、喜んでセキュリティ確保に必要な環境を整備するようになるかもしれない。そのようなシナリオを実現するためには、ある程度汎用的に利用できるセキュリティ機器を広く普及させるとともに、多くのサービスに同一のシステムを利用できるよう、インターネットを利用したさまざまなサービスの提供者が協力していくことが大切であろう。

5. おわりに

インターネット・バンキングの設計に当たっては、利用者のニーズに合致したサービスが提供可能か（利便性）、利用者に受け入れられるコストで提供可能か（効率性）、成りすまし等のセキュリティ侵害のリスクが十分に低いか（安全性）、といった基準をバランスよく実現しようとするのが一般的である。ところが、これらの基準のうち「安全性」は、「利便性」、「効率性」とはトレードオフの関係となることが多く、また、中長期的な観点から評価することが難しいため、一般に、システム提供者はそのリスクを過小に見積もりやすい傾向がある。しかし、仮に将来、「安全性」が十分でないインターネット・バンキングが広く普及した後で大規模なセキュリティ侵害が発生した場合、単にシステム提供者が損害を被るだけではなく、決済システム全体の安定性が大きく損なわれることにもなりかねない。今回指摘したインターネット・バンキングのセキュリティ技術に関する問題点についても、このような観点から十分に検討される必要がある。

本稿で紹介した攻撃法はあくまでも理論的なものであり、インターネット・バンキングの認証方式を実際に破るために適用可能か否かが確認されたわけではない。多くの金融機関では、本稿で紹介した脅威についても考慮したうえでシステムを構築・運用していると考えられるため、例えば、暗証番号を試行錯誤により全数探索しようとするのは、現実には実行困難なケースが多いと考えられる。また、仮にシステムの仕様上、何らかのセキュリティ・ホールが放置されており、本稿で示した攻撃が可能となりとなっていたとしても、現状ではインターネット・バンキングの利用者がまだ一部にとどまっているため、大量の利用者と大量の取引が存在することを前提とした攻撃を無理に実行しようすると、金融機関に察知される可能性が高いと考えられる。しかし、今後、インターネット・バンキングの利用者数や取引量が増加してくると、攻撃がより容易に実行できるようになる可能性は否定でき

ない。わが国の金融機関が、インターネットによる金融サービスをさらに拡大していくに当たっては、こうしたセキュリティ上の問題点に適切に対処していくことが必要とされているといえよう。

現在のインターネット・バンキングの安全性を巡る問題は、金融機関が採用する情報セキュリティ対策について、何らかの公的な介入を行うことを正当化するものだろうか。仮に、有効な安全性基準やガイドラインを作成することが可能であれば、それも1つの解となり得よう。しかし、インターネット・バンキングのセキュリティ技術の基礎となっているインターネット技術や暗号技術の進歩の速さを考えると、現時点において、公的当局がア・プリオリに固定的な規制やガイドラインを設けることは合理的でない可能性が高い。インターネット・バンキングは、さまざまな局面でセキュリティ侵害のリスクに晒されており、わずかなセキュリティ・ホールが重大な被害につながることもあり得る。たとえ、採用する認証方式に関する規制やガイドラインをある程度厳格に定めたとしても、それがシステム全体の破綻を生じさせないために十分なものであることは保証できない。そればかりか、固定的な規制やガイドラインが、むしろ民間におけるセキュリティ技術の進歩を阻害する懸念のほうが大きいと思われる。

したがって、現時点での現実的な対応としては、民間企業の技術者、学者、公的当局が密接に連携しあい、考えられるセキュリティ技術とそのリスクについて理解を深めていくとともに、望ましいインターネット・バンキングの認証方式に関する共通認識を醸成していくことが重要であろう。

参考文献

- 宇根正志、「金融分野におけるPKI：技術的課題と研究・標準化動向」、『金融研究』第21巻別冊第1号、日本銀行金融研究所、2002年6月、227～284頁（本号所収）
- 金融情報システムセンター、「金融機関業務のシステム化に関する動向調査」、『金融情報システム』No.250、2001年11月
- 齊藤真弓、「RSA署名方式の安全性を巡る研究動向について」、『金融研究』第21巻別冊第1号、日本銀行金融研究所、2002年6月、285～324頁（本号所収）
- 高木浩光・関口智嗣・大蒔和仁、「クロスサイト・スクリプティング攻撃に対する電子商取引サイトの脆弱さの実態とその対策」、『コンピュータセキュリティシンポジウム2001論文集』、情報処理学会、2001年10月、247～252頁
- 日本銀行、「金融機関における情報セキュリティの重要性と対応策 インターネットを利用した金融サービスを中心に」、『日本銀行調査月報』、2000年5月号、35～52頁
- 松本 勉・岩下直行、「金融分野における情報セキュリティ技術の現状と課題」、『金融研究』第18巻第2号、日本銀行金融研究所、1999年4月、17～31頁
- ・ 「金融業務と認証技術：インターネット金融取引の安全性に関する一考察」、『金融研究』第19巻別冊第1号、日本銀行金融研究所、2000年4月、1～14頁
 - ・ 「情報セキュリティ技術の信頼性を確保するために」、『金融研究』第20巻第2号、日本銀行金融研究所、2001年4月、21～32頁
- Anderson, Ross, *Security Engineering—A Guide to Building Dependable Distributed Systems*, Wiley Computer Publishing, John Wiley & Sons, Inc., 2001.
- Federal Financial Institutions Examination Council, *Authentication in an Electronic Banking Environment*, July 30, 2001 (www.ffiec.gov/pdf/pr080801.pdf).
- Freier, Alan O., Philip Karlton, and Paul C. Kocher, *The SSL Protocol Version 3.0*, November 18, 1996.

