THE DOCUMENT COMPANY
FUJI XEROX

標準はどのように実装されているのか？

-- OpenSSLにおけるSSL/TLSの実装に関して --

富士ゼロックス株式会社
稲田 龍

THE DOCUMENT COMPANY
FUJI XEROX

SSL/TLSのおさらい

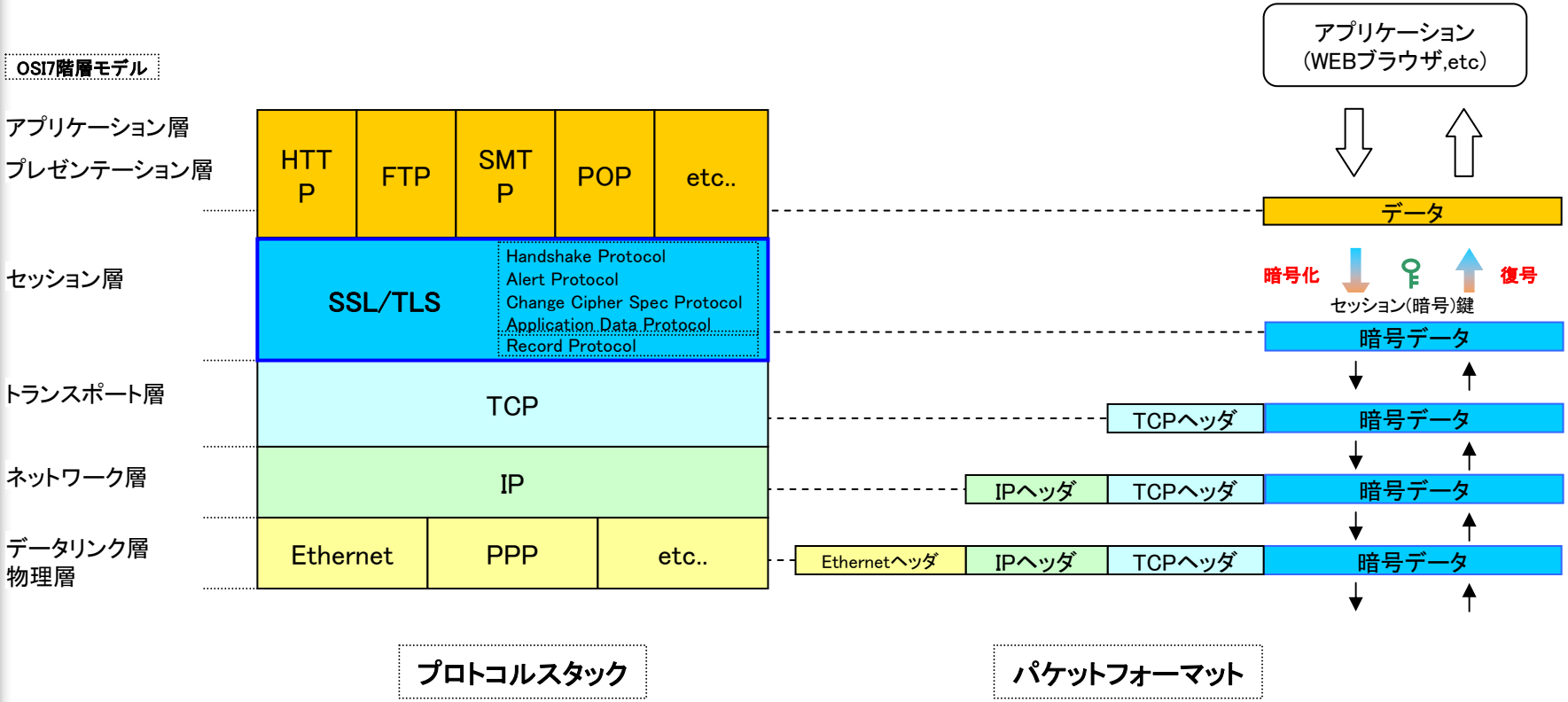
SSL/TLSの機能

THE DOCUMENT COMPANY
FUJI XEROX

- トランスポート層でのセキュリティを保証
  - いわゆるSocket層のSublayerとして実装された
  - 当初はHTTPのセキュリティ保証に用いられたが、プロトコル全般に利用可能
  - 伝送路の暗号化
  - 接続先の認証
    - サーバ側(必須)
    - クライアント側(任意)
  - データインテグリティの保証(HMAC)

SSL/TLS – プロトコルスタック

THE DOCUMENT COMPANY
FUJI XEROX



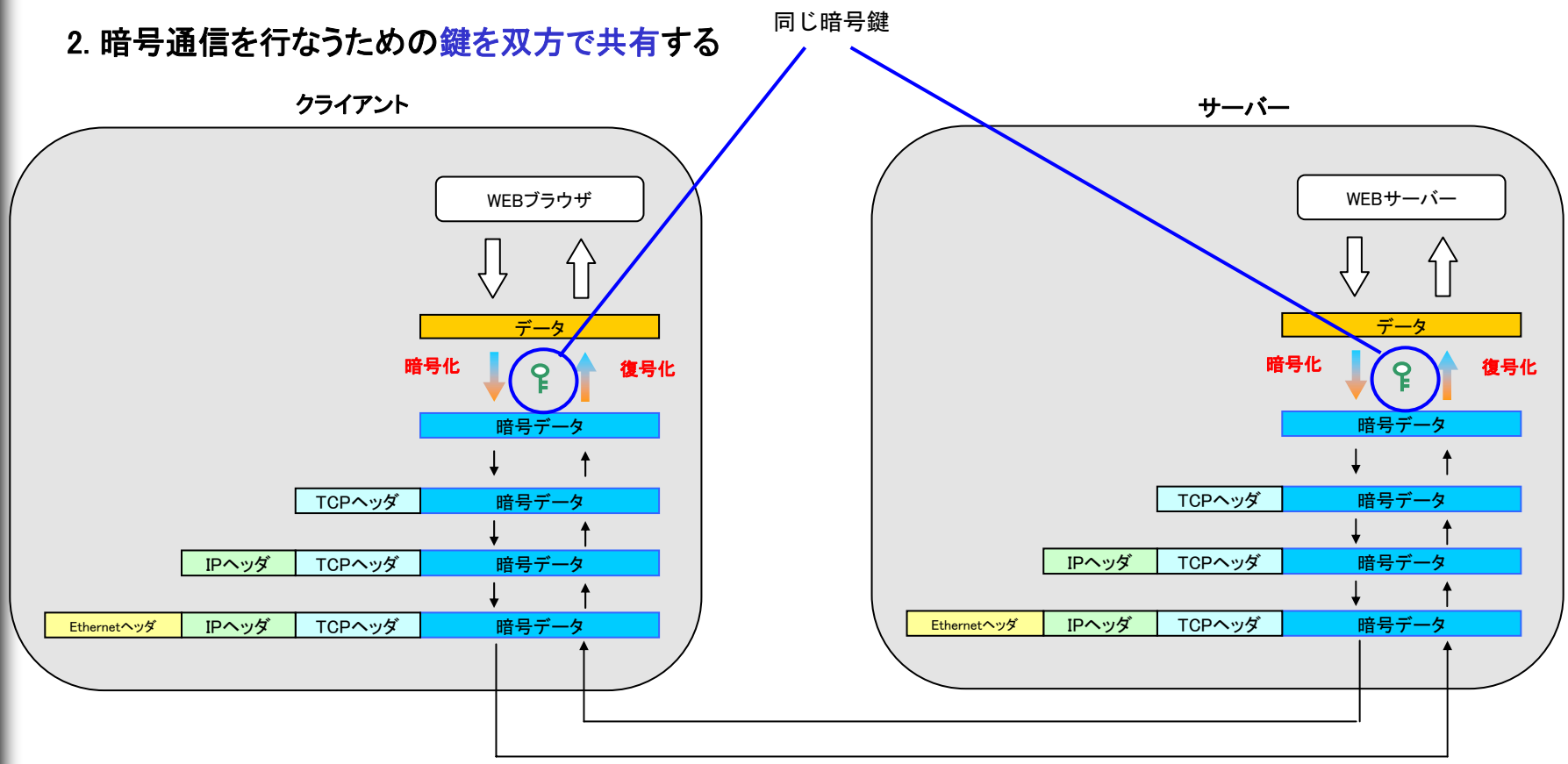
SSL/TLSはアプリーケーションとトランスポートの中間に位置するため、
利用するアプリケーションに依存せずにセキュアな通信が行なうことができる。

SSL/TLS – 鍵共有

THE DOCUMENT COMPANY
FUJI XEROX

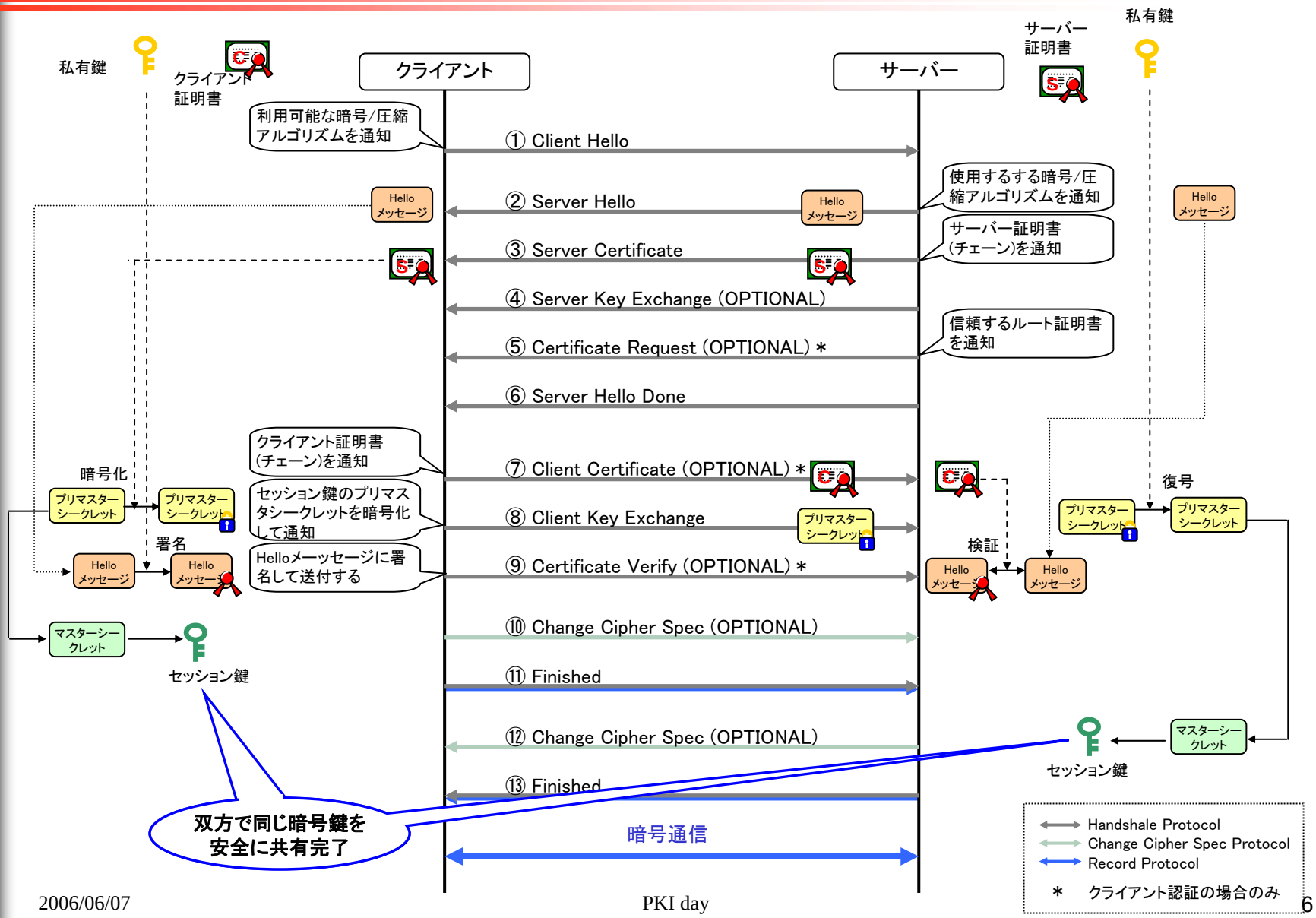
暗号通信を行なうためには…

1. 通信相手が正しい通信相手なのか認証する
2. 暗号通信を行なうための鍵を双方で共有する



SSL/TLS – ハンドシェイク

THE DOCUMENT COMPANY
FUJI XEROX



SSLの歴史

THE DOCUMENT COMPANY
FUJI XEROX

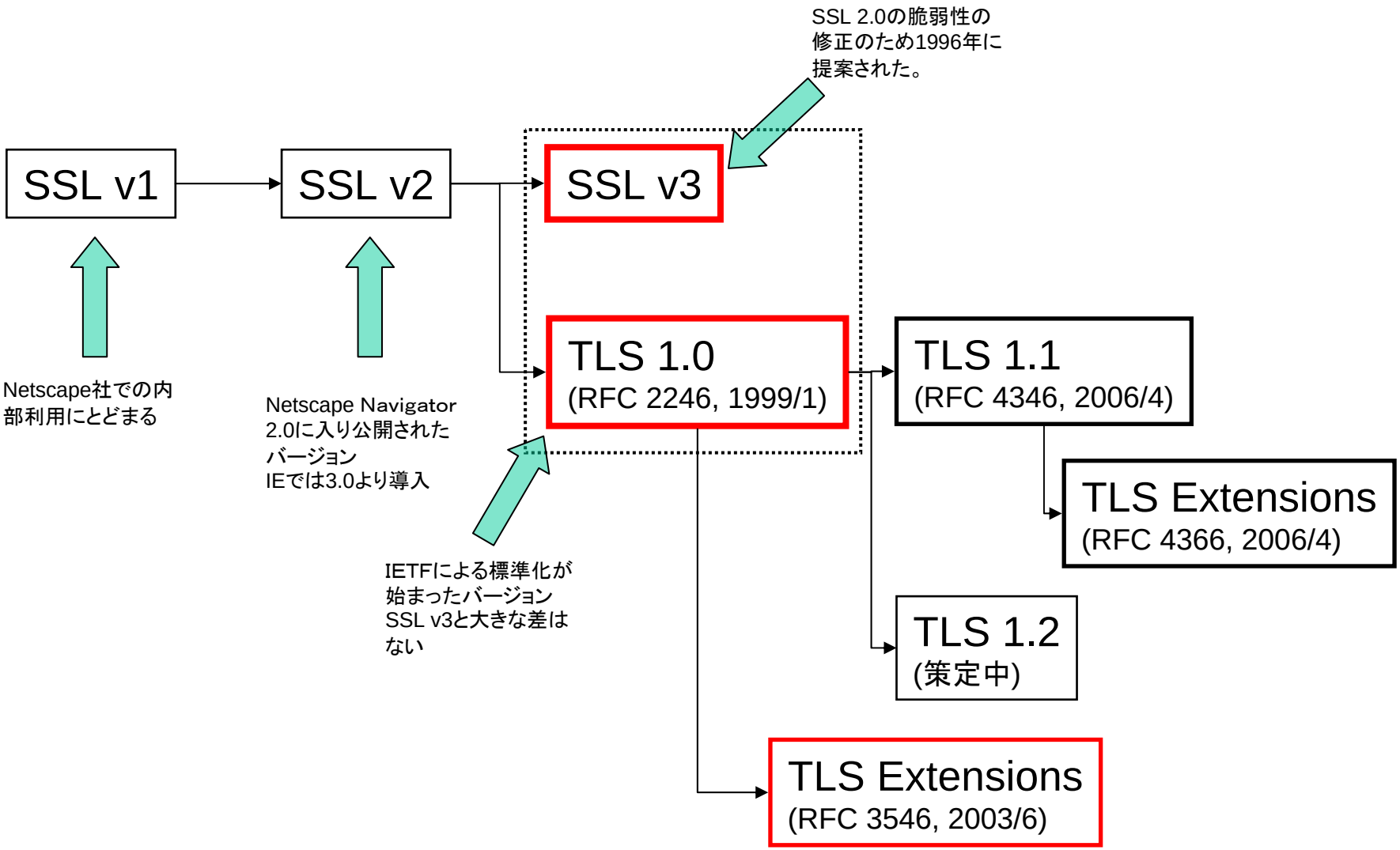
- SSL (Secure Socket Layer)
  - 1990年代前半にNetscape Communication社により開発されたもの
  - 1.0
    - 公開されなかった
  - 2.0
    - Netscape Communicator 2.0に実装
    - http://wp.netscape.com/eng/security/SSL_2.html
    - のちにInternet Explorer 3.0に採用
  - 3.0
    - 現在、広く使われているバージョン
    - http://wp.netscape.com/eng/ssl3/

TLSの歴史

THE DOCUMENT COMPANY
FUJI XEROX

- Transport Layer Security
  - IETF TLS-WGにて標準化
    - http://www.ietf.org/html.charters/tls-charter.html
  - 1.0
    - RFC 2246として1999年1月に制定
    - SSL v3とほぼ同等
  - TLS Extensions
    - RFC 3546として2003年6月に制定
      - Virtual Server Extensions
      - Maximum fragmentation size negotiation
      - Client Certificate URL negotiation
      - Client indicate root certificate want to use
      - Truncated HMAC
      - Client Certificate status information method
  - 1.1
    - RFC 4346として2006年4月に制定
  - 1.1 Extentions
    - RFC 4366として2006年4月に制定
    - RFC 3546のTLS 1.1対応版

SSL/TLS関連の標準の流れ



THE DOCUMENT COMPANY
FUJI XEROX

OpenSSLとは何か?

OpenSSLとは?

THE DOCUMENT COMPANY
FUJI XEROX

- もとはオーストラリアのEric A. Youngと友人のTim J. Hudsonが作ったSSLeayをベース
  - 少人数の天才が勢いに任せて書き進んだコードの典型?
  - Eric A. Youngが、1998に開発をやめ(RSAオーストラリアに移ったため)、引き取られOpenSSLとなった。
  - http://www.openssl.org/

OpenSSL Projectのゴール

- **The goal of the project**
  - The OpenSSL Project is a collaborative effort to develop a robust, commercial-grade, full-featured, and Open Source toolkit implementing the Secure Sockets Layer (SSL v2/v3) and Transport Layer Security (TLS v1) protocols as well as a full-strength general purpose cryptography library managed by a worldwide community of volunteers that use the Internet to communicate, plan, and develop the OpenSSL toolkit and its related documentation.

  - http://www.openssl.org/about/　より引用

OpenSSLの機能

THE DOCUMENT COMPANY
FUJI XEROX

- 3つの側面を持つ……
  - SSL/TLSのデファクトスタック
  - 暗号エンジン
  - PKIアプリケーション開発ツールキット

SSL/TLSのデファクトスタック

THE DOCUMENT COMPANY
FUJI XEROX

- サポートするプロトコル
  - SSL v2
    - 利用しないことが推奨されている
  - SSL v3
  - TLS 1.0
    - TLS Extensionsは、一部実装されている
  - DTLS (Datagram Transport Layer Security)

暗号エンジン

THE DOCUMENT COMPANY
FUJI XEROX

- サポートする暗号系
  - 公開鍵暗号
    - DH, RSA, DSA, 楕円関数
  - 共通鍵暗号
    - DES, Triple DES, RC2, RC4, AES, CAST, IDEA,
  - ハッシュ関数
    - MD2, MD4, MD5, MDC2, RIPEMD, SHA-1, SHA-256, SHA-512
  - HMAC

  - DSA
  - ECDSA
  - ECDH

  - Hardware Accelerator のサポートあり

ツールキット

THE DOCUMENT COMPANY
FUJI XEROX

- PKI関連アプリケーション/プロトコルの開発環境
  - PKI関連の基本機能
  - SSL/TLSスタックの基本機能
  - ASN.1

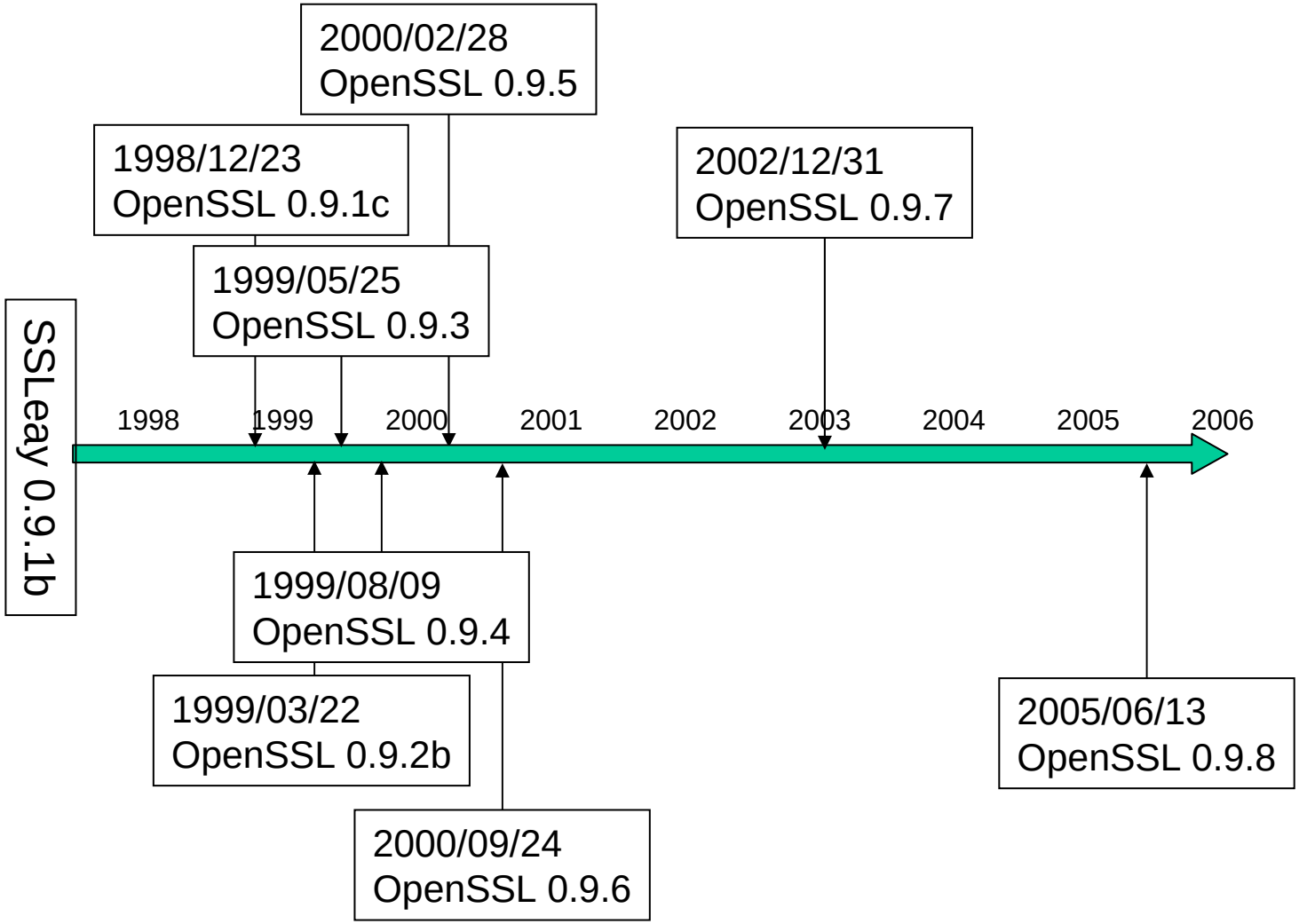
OpenSSLの特徴

THE DOCUMENT COMPANY
FUJI XEROX

- 複数のプラットフォームをサポート
  - UNIX系
    - Linux,*BSD*, MacOS
  - Windows系
    - Windows CE/3.1/95/NT/2000/XP …
  - VMS
  - Netware

OpenSSL年表

THE DOCUMENT COMPANY
FUJI XEROX



OpenSSLのソース構造(概略)

THE DOCUMENT COMPANY
FUJI XEROX

- ソースコードツリーの概略図
  - –プラットフォームごとのディレクトリィ
    - ms/MacOS/Netware/VMS/os2
  - –テスト関連のディレクトリィ
    - test/demos/times
  - –機能単位のディレクトリィ
    - ssl/crypto/apps/demos/include/bugs/doc/tool/certs/shlib/util

プラットフォームごとのディレクトリィ

THE DOCUMENT COMPANY
FUJI XEROX

- プラットフォームごとの環境の差異を吸収
  - 作成用のスクリプト
  - 差異を吸収するためのコード
  - プラットフォームごとのテストスクリプト

テスト関連

THE DOCUMENT COMPANY
FUJI XEROX

- Test
  - テスト用のIV
  - テスト用の証明書
  - テストスクリプト
- Demos
  - デモ用の環境
    - Tiny Client
    - Tiny Server
- Times
  - 処理速度計測用のプログラム
  - 処理速度計測用のスクリプト
  - 処理速度計測用のデータ

機能単位のディレクトリィ

THE DOCUMENT COMPANY
FUJI XEROX

- ssl
  - SSL/TLSのプロトコルスタックの実装
- crypto
  - 暗号関連の実装
  - BIO
  - EVP
  - 乱数発生器を含む
- apps
  - OpenSSLのアプリケーション(openssl)の実装
- engines
  - Hardware Accelerator 系のコード
- include
  - include
- bugs
  - バグ
  - プラットフォームによるバグの修正プログラム

機能単位のディレクトリィ

THE DOCUMENT COMPANY
FUJI XEROX

- doc
  - ドキュメンテーション
- tools
  - (主に)証明書関連の処理を助けるためのプログラム群
- certs
  - 著名なCAの証明書
- shlib
  - Shared Libraryのための処理プログラム
- util
  - OpenSSLの作成に必要となる処理プログラム群

sslディレクトリィ

THE DOCUMENT COMPANY
FUJI XEROX

- SSLv2 / v3 / TLS 1.0 / DTLSを実装

SSLの実装状況

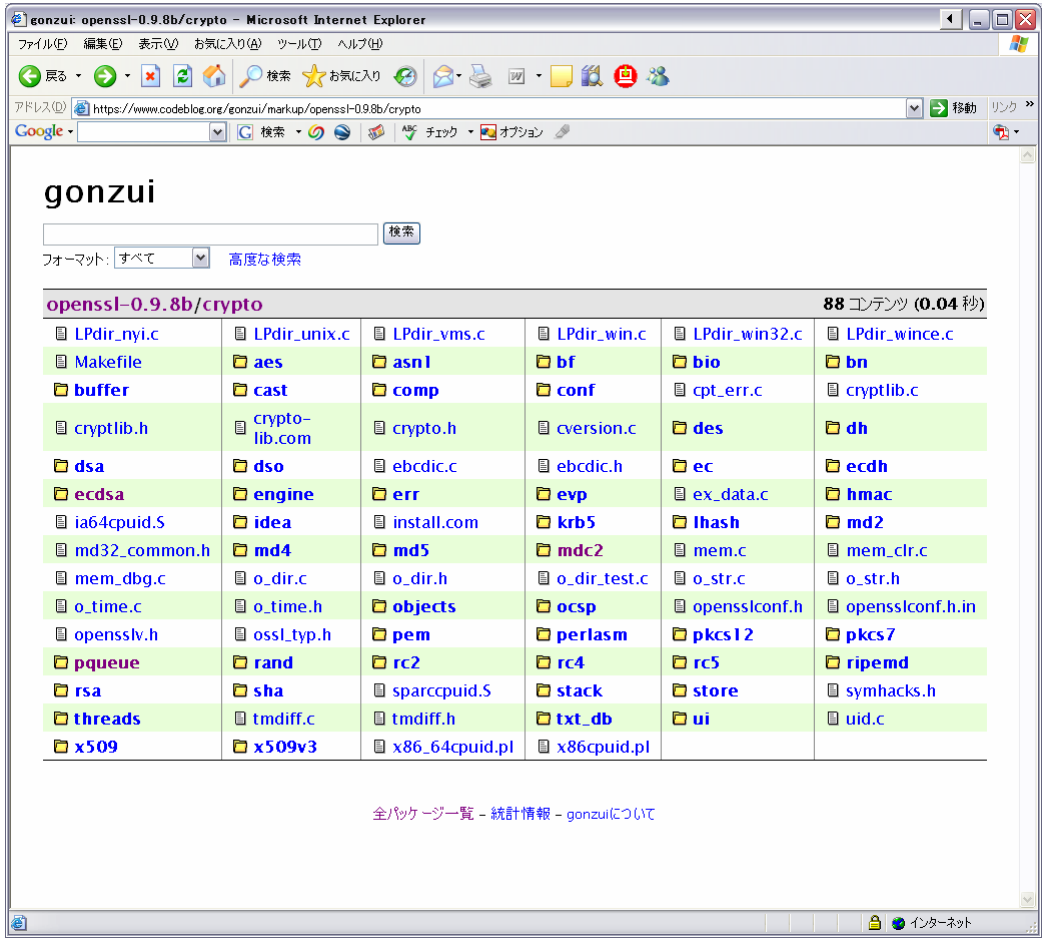
THE DOCUMENT COMPANY
FUJI XEROX

- DTLSの実装
  - Datagram TLSをUDP上で実装
- Kerberos5認証(RFC 2712)
- 圧縮(RFC 3749)
- 利用可能暗号
  - RSA
  - DSA/DSS
  - ECDSA/ECDH(RFC 4492 ただしI-D 12ベースの模様)
  - DES/Triple DES
  - IDEA
  - RC2/RC4
  - AES (128/192/256) (RFC 3268)
- 利用可能ハッシュ
  - MDC2
  - MD2/MD5
  - SHAR-1
- Pre-Shared Secret(RFC 4492)

cryptoディレクトリィ

THE DOCUMENT COMPANY
FUJI XEROX

- 暗号関連の実装
  - 各種暗号の実装
  - BIO
  - EVP
  - 乱数発生器を含む



類似ソフトウェア

THE DOCUMENT COMPANY
FUJI XEROX

- GNU TLS
  - TLS 1.1/1.0 SSL v3.0をサポート
    - SSL v2は安全でないためサポート対象からはずしている
  - 最新バージョン: 1.4.0 (2006/05/15リリース)
  - Gnu PGにて利用されている
  - http://www.gnu.org/software/gnutls/

- NSS (Network Security Services)
  - SSL v2.0/v3.0 TLS 1.0をサポート
    - PKCS#5,#7,#11,#12もサポート
  - 最新バージョン: 3.10 (2005/5/19 リリース)
  - Mozilla (FireFox / Thunderbird)にて利用されている
  - http://www.mozilla.org/projects/security/pki/nss/

- JSSE (Java Secure Socket Extension)
  - SSL v2/V3 TLS 1.0をサポート
  - http://java.sun.com/j2se/1.5.0/docs/guide/security/jsse/JSSERefGuide.html

- Microsoft Crypto API

THE DOCUMENT COMPANY
FUJI XEROX

OpenSSLはどう使われているか?

OpenSSLはどう使われているのか?

THE DOCUMENT COMPANY
FUJI XEROX

- SSL/TLSのプロトコルスタックとして
  - –いまどき、SSLを使わないプロトコルなんて……
    - HTTP
      - – Apache, IBM, Oracle ……
    - SMTP
      - – Sendmail, Postfix, qmail ….
    - POP/IMAP
      - – Courier-imap, cygnus ……
    - Telnet
      - – stelnet
    - 汎用
      - – Stunnel

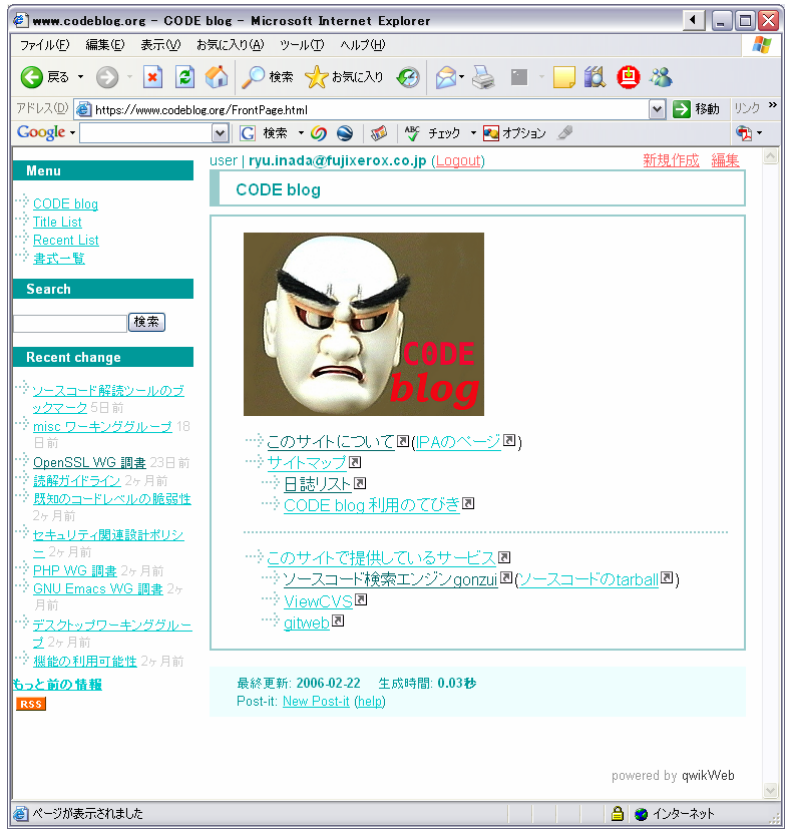
OpenSSLはどう使われているのか?

- S/MIMEのエンジンとしても……
  - OpenSSLのPKCS#7スタックを利用
- 暗号エンジンとして……
  - Libcrypto
    - Linuxのデフォルトの暗号エンジン
    - FreeBSD/OpenBSD/NetBSD
  - OpenSSH
- EAP-TLS (IEEE 802.1Xなど)
  - Radiusサーバの実装(FreeRadiusなど)

Codeblogの紹介

THE DOCUMENT COMPANY
FUJI XEROX

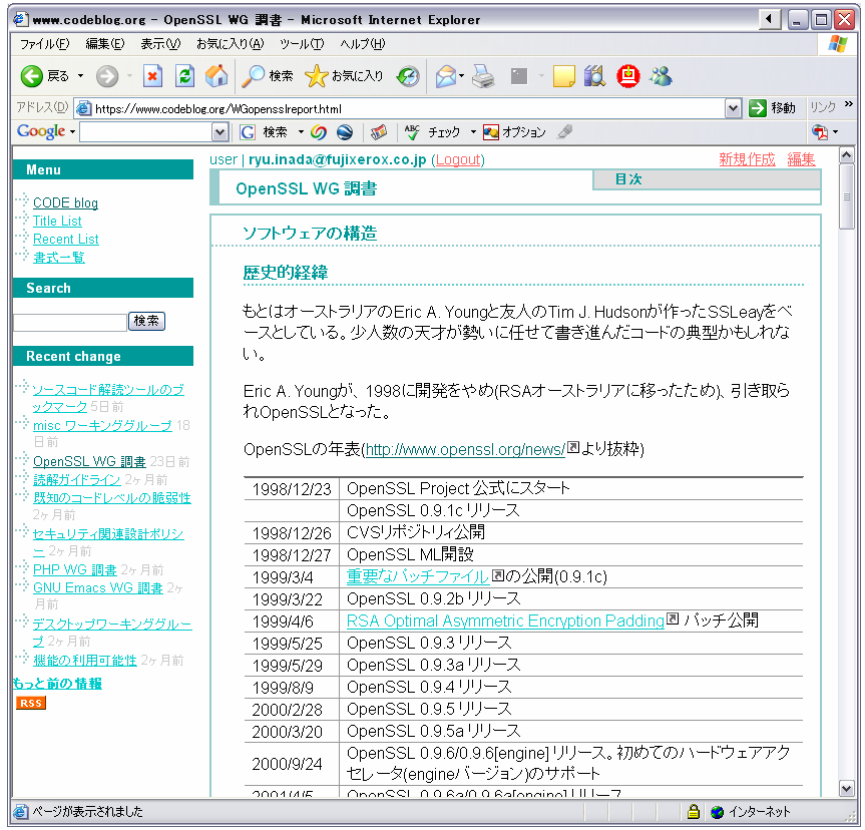
- 独立行政法人 情報処理推進機構 セキュリティセンター 情報セキュリティ技術ラボラトリーのプロジェクト
  - https://www.codeblog.org/about.html
- OSSの品質保証の一観点として
  - ソースコードを読むスキルの整理と発見



OpenSSL WG

THE DOCUMENT COMPANY
FUJI XEROX

- 7名のメンバにより構成
  - –機能単位で分割



OpenSSLの良い点

THE DOCUMENT COMPANY
FUJI XEROX

- デファクト!
  - 実勢に合わせた実装を提供
    - ……というより事実上、広く利用されているためOpenSSLが実勢になっている(苦笑)。
- BIOの設計
  - 設計は古いが実用的
  - IOをうまく仮想化しSSL/TLSをストリームベースでのコード実行を可能としている
- 複数のプラットフォームでそこそこの機能の実装
  - 多くのプラットフォームでそこそこの機能を利用可能
  - Windows CEでも動く
- 簡易なプログラム作成支援機能
  - PKI関連アプリ/プロトコルのプログラムを容易に作成する機能
    - ASN.1 テンプレート機能の実装
      - https://www.codeblog.org/blog/kiyoshi/20060203.html
      - https://www.codeblog.org/blog/kiyoshi/20060204.html
      - https://www.codeblog.org/blog/kiyoshi/20060205.html
      - https://www.codeblog.org/blog/kiyoshi/20060219.html

OpenSSLの悪い点

THE DOCUMENT COMPANY
FUJI XEROX

- 機能面での不足
  - CRLの扱いの不備
    - 結構、致命的
  - サンプル実装とはいえopensslコマンドの証明書発行機能はまずい
    - シリアル番号のデータベース不在
- ソースコード上の問題
  - アドホックな改良を加えられているため全体的にソースコードが汚い
    - 随所にObject Orientedに書こうとして失敗した形跡が……
    - S/MIMEに関してはMIME Body Partの解析がよろしくない
  - 高機能なソースコード生成能力を持たせているために難解
  - メモリリークを起こしやすい
    - 正しい作法にのっとったコーディングを要求する
  - したがって、初心者に敷居が高い

CRLの処理の問題

THE DOCUMENT COMPANY
FUJI XEROX

- OpenSSLの前提
  - CAはCRLを一つしか発行しない
    - Issuing Distribution Pointの処理はない
    - CRLの拡張属性に関しての処理はほとんど出来ない
  - 信頼関係は単純な木構造
    - 大半のPKIは現行ではそうだけど……
      - 政府認証基盤(GPKI)関連で利用するときは要注意
    - トラストアンカーを全て持っていればいいかもしれないけど……

CAはCRLを複数発行する

THE DOCUMENT COMPANY
FUJI XEROX

- 全てのCAがFull CRLを発行しているのではない
  - 複数階層の信頼構造を持つCAは
    - ARL (Authority Revocation List)
      - CAに対して発行した証明書の失効リスト
    - CRL (Certificate Revocation List)
      - EEに対して発行した証明書の失効リスト

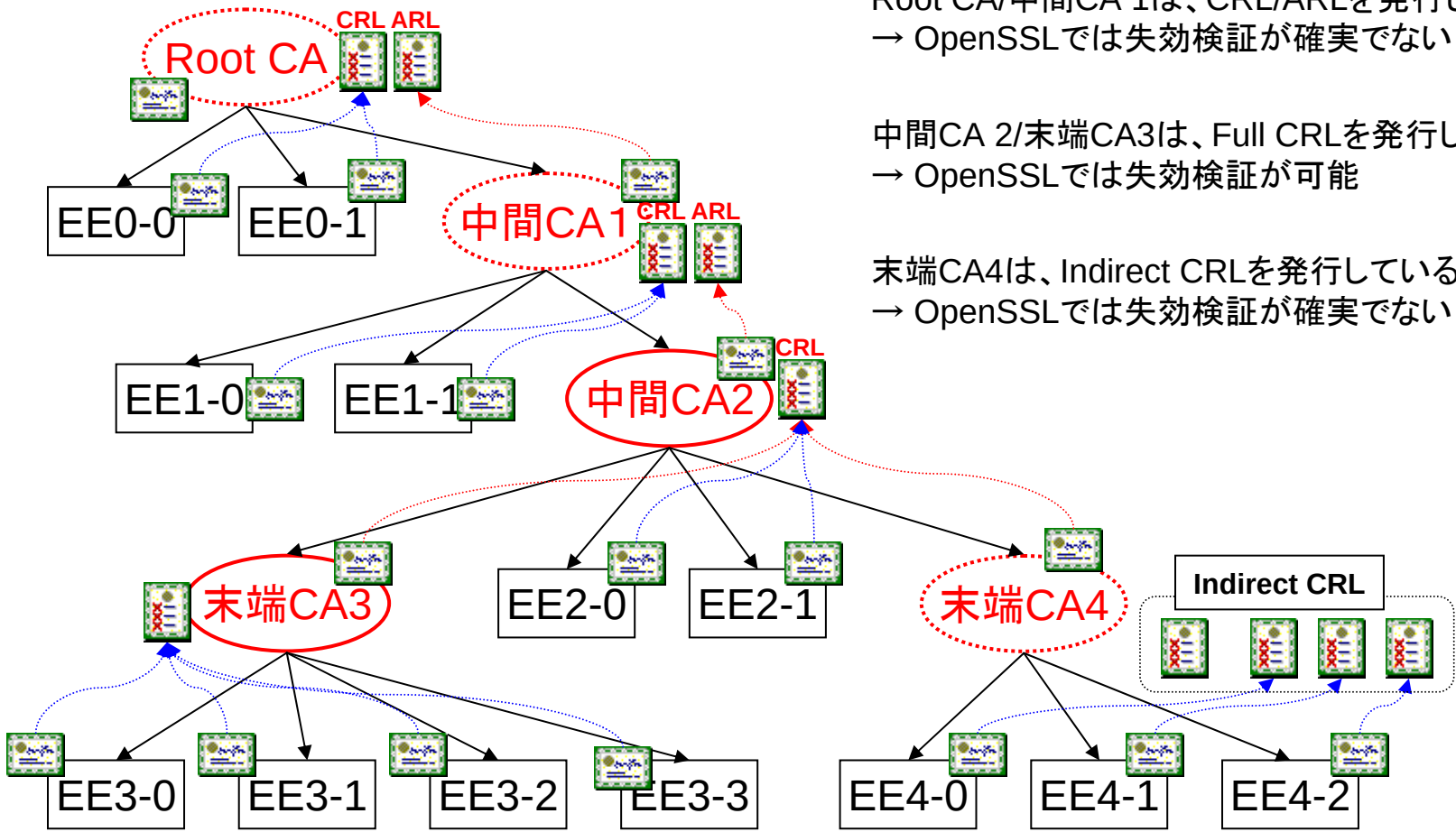
    を発行している場合が多い
    → CRLのサイズを小さくするための工夫
  - 今後、増えると考えざるを得ない

- Delta CRLを発行している場合もある
  - まだ数は少ないがMicrosoft Windowsではサポート済み

- 下位のインターフェイスを用いて自前で作ることも可能ではあるが……
  - PKIの証明書失効検証をきちんと理解することが前提となる

ARLとCRLとIndirect CRL

THE DOCUMENT COMPANY
FUJI XEROX



Root CA/中間CA 1は、CRL/ARLを発行している
→ OpenSSLでは失効検証が確実でない

中間CA 2/末端CA3は、Full CRLを発行している
→ OpenSSLでは失効検証が可能

末端CA4は、Indirect CRLを発行している
→ OpenSSLでは失効検証が確実でない

Issuing Distribution Pointとは?

THE DOCUMENT COMPANY
FUJI XEROX

•CRLの素性
•どのCAから発行しているのか?
•どこで公開されていたものなのか?

•CRLの性質
•どういう種類の証明書の失効情報が登録されているのか?
•CRLに全ての失効情報が載っているのか?

•Indirect CRL
•CRLの中にCRLへのポインタが埋め込まれている形式のCRL

```
issuingDistributionPoint ::= SEQUENCE {
    distributionPoint [0] DistributionPointName OPTIONAL,
    onlyContainsUserCerts [1] BOOLEAN DEFAULT FALSE,
    onlyContainsCACerts [2] BOOLEAN DEFAULT FALSE,
    onlySomeReasons [3] ReasonFlags OPTIONAL,
    indirectCRL [4] BOOLEAN DEFAULT FALSE,
    onlyContainsAttributeCerts [5] BOOLEAN DEFAULT FALSE }
```

- IDPが解釈できないのでは分割CRL系は対処できない!
  - そもそも分割系のCRLであることがわからない
  - Delta CRLも処理は出来ない

OpenSSLのCRLの処理の概略

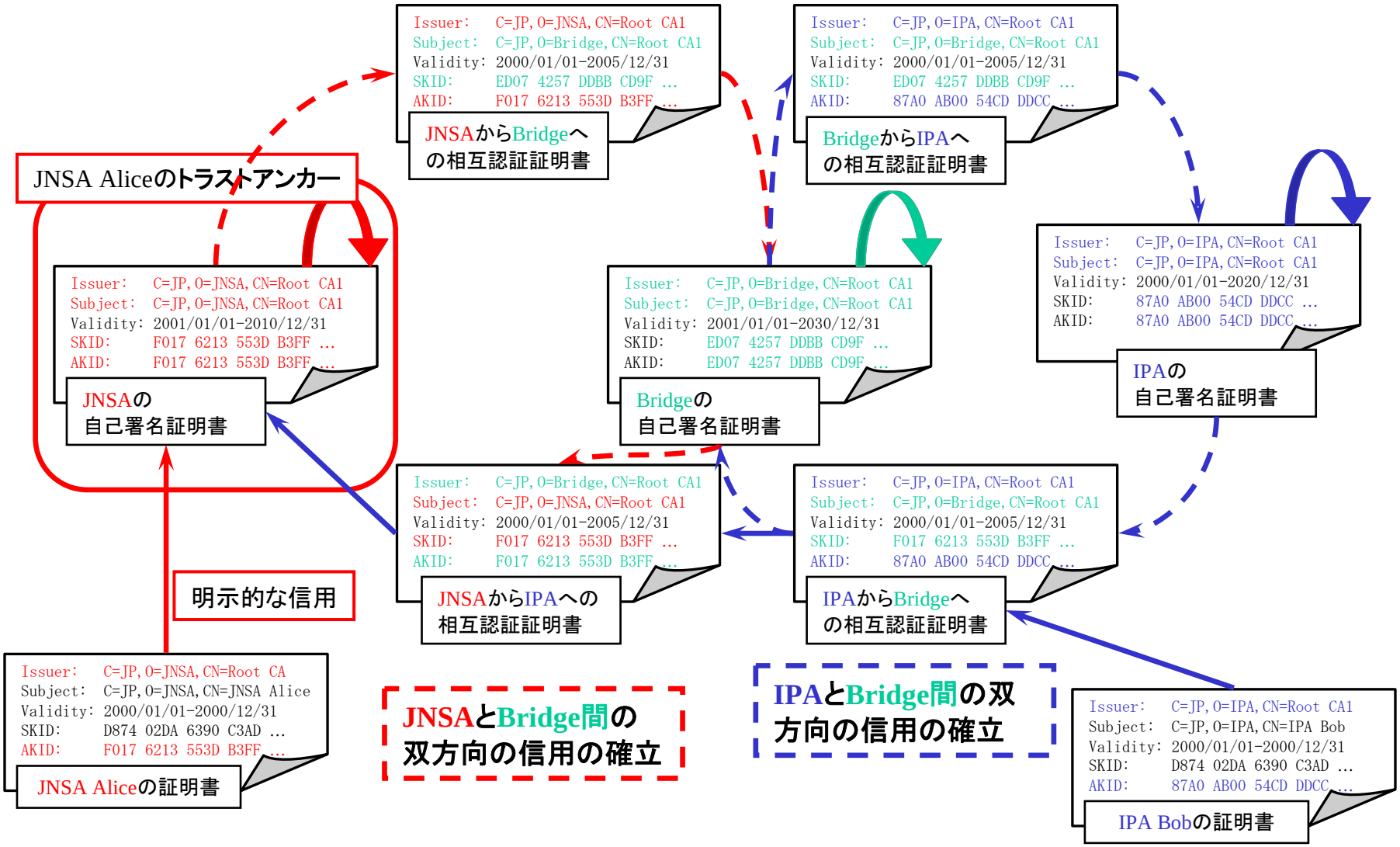
THE DOCUMENT COMPANY
FUJI XEROX

1. 証明書チェーン作成
   - 深さ優先探索＆バックトラック無し
2. ローカルにある(信用できる)証明書に到達できたか確認
3. 拡張の検証(check_chain_extensions)
4. トラストアンカーへ到達したか確認
5. RevocationCheck
6. 証明書チェーン検証もしくはユーザ定義関数の呼び出し

- 単純な木構造のPKIモデルを前提にしている
  - 複雑なパス構築･検証はやりようがない
    - 事前に最適化したパスを作成し、検証に必要な証明書のみを提示し検証するのが精一杯

こんなのは無理！

THE DOCUMENT COMPANY
FUJI XEROX



証明書の検証

THE DOCUMENT COMPANY
FUJI XEROX

- 本来は……
  - RFC 3280/4158のパス構築・検証を行うべきである……
  - 詳細は
    - http://www.ipa.go.jp/security/rfc/RFC3280-00EN.html
    - http://www.ipa.go.jp/security/rfc/RFC4158JA.html

まとめ

THE DOCUMENT COMPANY
FUJI XEROX

- OpenSSLは……
  - 証明書の失効検証をする際には役に立たない状況があることを認識する
  - 単純なSSL/TLSスタックとして利用することは問題ない

今後

- アプローチ 1.
  - OpenSSLの失効検証をまともにする
    - 複雑でメンテナンスしがたいコードとの格闘
    - OpenSSLチームとのネゴ
- アプローチ 2.
  - OpenSSLの失効検証部を拡張
    - サーバサイドでの失効確認サーバを使えるようにする
    - SCVPなどが候補?
- アプローチ 3.
  - OpenSSLプラグコンパチのソフトウェアの開発?
    - 新規コードできれいに作りなおせる可能性あり
    - GNU TLSのBIO APIのようなコードもある

THE DOCUMENT COMPANY

FUJI XEROX

商標など

THE DOCUMENT COMPANY
FUJI XEROX

- Microsoft、MS、Windows、Windows 2000、Windows NT、Windows XP、Windowsロゴ、Internet Explorer、Outlook、Outlook Expressなどは、米国Microsoft Corporationの米国およびその他の国における登録商標または商標である。
- Sun Microsystems、Sunロゴ、Java コーヒーカップロゴ、Solaris、Java、JDKなどは、米国Sun Microsystemsの米国およびその他の国における登録商標または商標である。
- その他、本文に記載されている会社名、商品名、製品名などは、一般に各社の商標または登録商標である。
- 本書では、™、Ⓒ、Ⓡなどを記載しない

参考文献(SSL/TLS)

- SSL
  - Kipp E.B. Hickman, The SSL Protocol
    - http://www.netscape.com/eng/security/SSL_2.html
  - Alan O. Freier, Philip Karlton, Paul C. Kocher, The SSL Protocol Version 3.0
    - http://wp.netscape.com/eng/ssl3/draft302.txt
- TLS
  - T. Dierks, C. Akken, RFC 2246: The TLS Protocol Version 1.0
  - A. Medvinsky, M. Hur, RFC 2712: Addition of Kerberos Cipher Suites to Transport Layer Security (TLS)
  - P. Chown, RFC 3268: Advanced Encryption Standard (AES) Ciphersuites for Transport Layer Security (TLS)
  - S. Blake-Wilson, M. Nystrom, D. Hopwood, J. Mikkelsen, T. Wright, RFC 3546: Transport Layer Security (TLS) Extensions
  - S. Hollenbeck, RFC 3749: Transport Layer Security Protocol Compression Methods
  - S. Moriai, A. Kato, M. Kanda, RFC 4132: Addition of Camellia Cipher Suites to Transport Layer Security (TLS)
  - P. Erone, Ed., H. Tschofenig, Ed. , RFC 4279: Pre-Shared Key Ciphersuites for Transport Layer Security (TLS)
  - T. Dierks, E. Rescorla, RFC 4346: The Transport Layer Security (TLS) Protocol Version 1.1
  - S. Blake-Wilson, M. Nystrom, D. Hopwood, J. Mikkelsen, T. Wright, RFC 4366: Transport Layer Security (TLS) Extensions
  - S. Blake-Wilson, N. Bolyard, V. Gupta, C. Hawk B. Moeller, RFC 4492: Elliptic Curve Cryptography (ECC) Cipher Suites for Transport Layer Security (TLS)

参考文献(PKI関連)

- ITU-T Recommendation X.509 | ISO/IEC 9594-8: Information technology - Open Systems Interconnection - The Directory: Authentication framework. , 1997
- R. Housley, W. Ford, W. Polk, and D. Solo, RFC 2459: Internet X.509 Public Key Infrastructure Certificate and CRL Profile, 1999
  - http://www.ietf.org/rfc/rfc2459.txt
- M. Myers, R. Ankney, A. Malpani, S. Galperin and C. Adams , RFC 2560: X.509 Internet Public Key Infrastructure Online Certificate Status Protocol – OCSP, 1999
  - http://www.ietf.org/rfc/2560.txt
- R. Housley, W. Polk, W. Ford, D. Solo, RFC 3280: Internet X.509 Public Key Infrastructure Certificate and Certificate Revocation List (CRL) Profile . 2002
  - http://www.ietf.org/rfc/rfc3280.txt
- M. Cooper, Y. Dzambasow, P. Hesse, S. Joseph and R. Nicholas, RFC 4158: Internet X.509 Public Key Infrastructure: Certification Path Building, 2005
  - http://www.ietf.org/rfc/rfc4158.txt

参考文献(報告書関連、書籍)

THE DOCUMENT COMPANY
FUJI XEROX

- 報告書関連
  - IPA, PKI 関連技術情報, 2004-2005
    - http://www.ipa.go.jp/security/pki/pki.html
  - IPA,インターネットセキュリティに関するRFCの日本語訳
    - http://www.ipa.go.jp/security/rfc/RFC.html
  - IPA/JNSA,電子政府情報セキュリティ相互運用支援技術の開発 GPKI 相互運用フレームワーク, 2004
    - http://www.ipa.go.jp/security/fy14/development/pki/interop.html

- 書籍
  - John Viega, Matt Messier, Pravir Chandra, 齋藤孝道監訳, OpenSSL 暗号・PKI・SSL/TLSライブラリの詳細, ISBN 4274065731, オーム社, 2004,436p
  - 小松 文子, PKIハンドブック, ISBN 4883732053,ソフトリサーチセンター, 2004, 255p
  - 日本ネットワークセキュリティ協会, 情報セキュリティプロフェッショナル総合教科書, ISBN 479800880X, 秀和システム, 2005, 575p
  - 青木 隆一, 稲田 龍, PKIと電子社会のセキュリティ, ISBN 4320120280, 共立出版, 2001, 233p

URLs

THE DOCUMENT COMPANY
FUJI XEROX

- OpenSSL Project, OpenSSL.org
  - http://www.openssl.org/
- IETF, TLS-WG
  - http://www.ietf.org/html.charters/tls-charter.html
- GNU TLS
  - http://www.gnu.org/software/gnutls/
- NSS (Network Security Services)
  - http://www.mozilla.org/projects/security/pki/nss/
- JSSE (Java Secure Socket Extension)
  - http://java.sun.com/j2se/1.5.0/docs/guide/security/jsse/JSSERefGuide.html
- Microsoft Crypto API
  - http://www.microsoft.com/japan/windows2000/techinfo/planning/security/pki.asp

- Codeblogプロジェクト
  - https://www.codeblog.org/
- IPA セキュリティセンター
  - http://www.ipa.go.jp/security/

THE DOCUMENT COMPANY
FUJI XEROX

ご清聴ありがとうございました