JavaScript による End-to-End セキュリティ

第 4 回 データの真正性・本人確認のためのテクニック 編

栗原 淳

2019 年 10 月 31 日

はじめに

はじめに

第 1,2,3 回では

- End-to-End (E2E) セキュリティの原則と必要性
- JavaScript で AES を使った暗号化のお作法
- JavaScript で公開鍵暗号 (RSA/楕円曲線) を使った暗号化のお作法

を勉強した。

今回は、第 3 回の最後に懸案事項だった
「データのやり取りしてる相手って本当に正しい相手？」
を保証する方法を学んでいく。

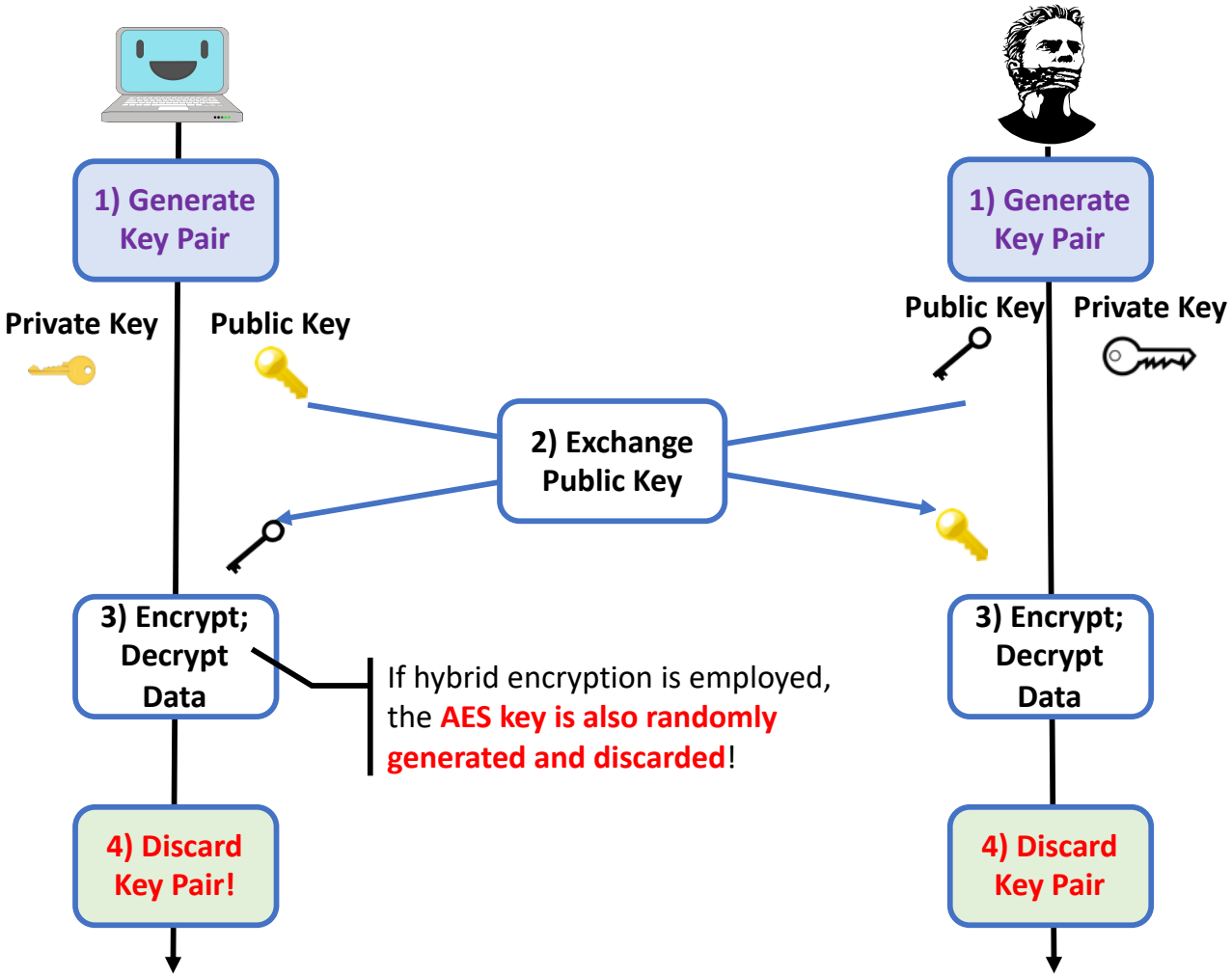
第 3 回のおさらい: Ephemeral Scheme

公開鍵暗号化の Ephemeral Scheme での運用

公開鍵・秘密鍵ペアを都度生成、1 回限りで使い捨てることで、Perfect Forward Secrecy[1] を担保する運用方法。

Perfect Forward Secrecy を守り、End-to-End 暗号化の強固な運用を。

[1] 長期的に保存されているマスター秘密鍵の漏洩や、一部の暗号化データがクラックされたとしても、それ以外の過去に暗号化されたデータは復号されてしまうことはないという概念。



Ephemeral Scheme のイメージ

まずはじめに、「送られてきた Ephemeral な公開鍵は、本当に自分がやりとりしたい相手の公開鍵か?」の確認が必須。[2]

[2] 意図しない相手の公開鍵で暗号化して機密データを漏らさぬように、ということ。

というわけで、「E2E で安全にデータをやり取りする」ための基礎部分の最後のピースを今日は学ぶ。

この講義で最終的に学びたいこと

- 本人確認やデータの改ざん防止を担保する方法
  - データ毎に固有の指紋を生成する「ハッシュ」
  - 「共通鍵」を使った改ざん防止方法「MAC」[3]
  - 「公開鍵」を使った本人確認・改ざん防止方法「電子署名」[4]
- そしてその具体的な JavaScript での実装方法・お作法

細かい話もするが、数式は使わない。
「イメージ」と「コードの流れ＆その流れの必要性」をつかめるようにする。

[3] HMAC (RFC2104 https://tools.ietf.org/html/rfc2104)

[4] RSASSA PKCS#1-v1.5/PSS (PKCS#1 RFC8017 https://tools.ietf.org/html/rfc8017), ECDSA (FIPS PUB186-4 https://csrc.nist.gov/publications/detail/fips/186/4/final)

発表者紹介

栗原 淳 (Jun Kurihara)

- (株) ゼタント 主任研究員
  (株) 国際電気通信基礎技術研究所 (ATR) 連携研究員
- 博士 (工学),
  専門: セキュリティ、応用数学、システムアーキテクチャとか
- Web システム (フロントエンド・バックエンド) を作ったり、論文他のアルゴリズムを実装したり、研究して論文書いたり、セキュリティ技術中心に手広くやってます。
- GitHub: `https://github.com/junkurihara`
  LinkedIn: `https://www.linkedin.com/in/junkurihara`

この講義の対象と事前準備

対象:

- 暗号・セキュリティ技術に興味がある初学者
- Web に暗号技術を導入したい Web 系のエンジニア

必須ではないが触って楽しむのには必要な事前準備:

- Bash, Git が使えるようになっていること
- Node.js, npm, yarn が使えるようになっていること
- Google Chrome 系ブラウザ and/or Firefox が利用可能なこと

今後の予定 (暫定)

1. 導入&JS の暗号化コードを触ってみる
2. AES を正しく・安全に暗号化するには？
3. 公開鍵暗号はどうやって使う？その使い方のコツは？
4. ハッシュ・MAC・署名、それぞれの使い所と使い方は？← 今日はココ
5. RFC にまつわるあれこれ（証明書・鍵フォーマット・etc... 未定。）

「こういうのを知りたい」というリクエストがあれば是非。

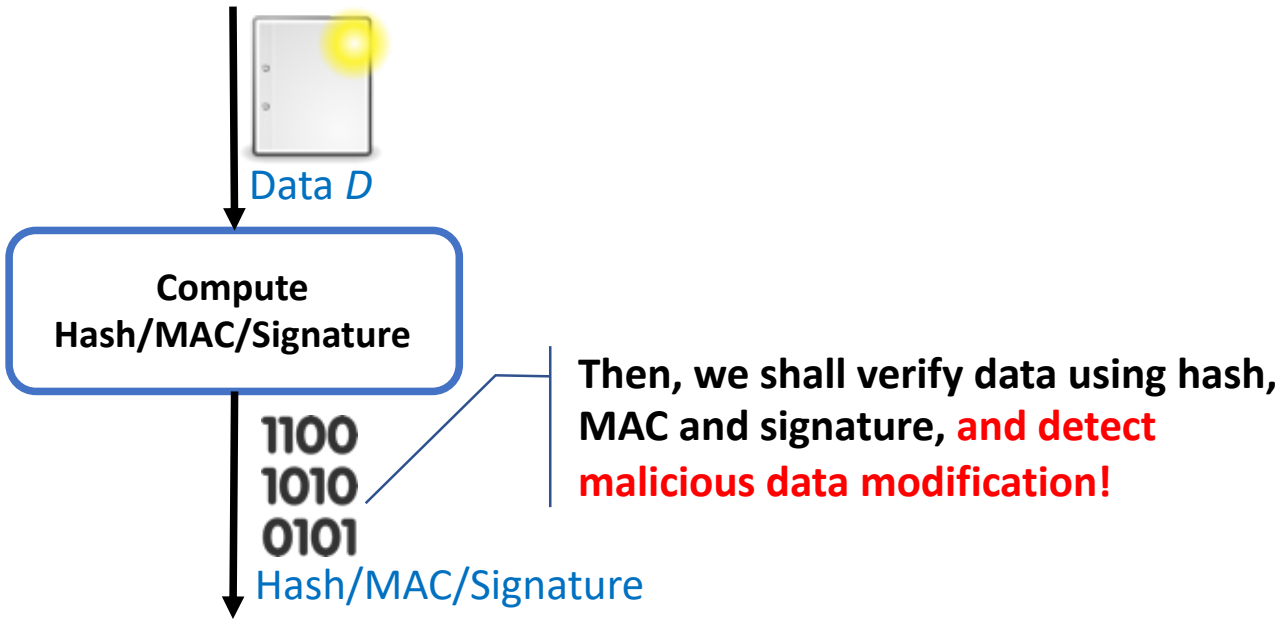
セカンドシーズンも検討中。[5]

[5] 場所等変えてもっと来やすい場所へ。。。

サンプルコードの準備

準備

説明を聞きつつ手を動かすため、まず環境準備。今回は、JavaScript (Node.js) を使って手元でデータの Hash/MAC/署名をいじってみる。そしてその効果を実感する。



※サンプルコードはブラウザでも動く。
src/commands-browser.html を開くとこれから Node.JS で試すデモが開発者コンソールで実行される。適宜試したり比較すると良い。

※前回のコードの公開鍵に署名をつけたりして Ephemeral Scheme を作ってみると良い。

環境

以下の環境が前提:

- Node.js (> v10) がインストール済。yarn が使えること。[6]
- ブラウザとして、Google Chrome (系ブラウザ)、もしくは Firefox がインストール済み
- Visual Studio Code や WebStorm などの統合開発環境がセットアップ済みだとなお良い。

[6] インストールコマンド: `npm i -g yarn`

JavaScript プロジェクトの準備

1. プロジェクトの GitHub リポジトリ [7] を Clone

```
$ git clone https://github.com/zettant/e2e-security-04
$ cd e2e-security-04/sample
```

2. 依存パッケージのインストール

```
$ yarn install
```

3. ライブラリのビルド

```
$ yarn build
```

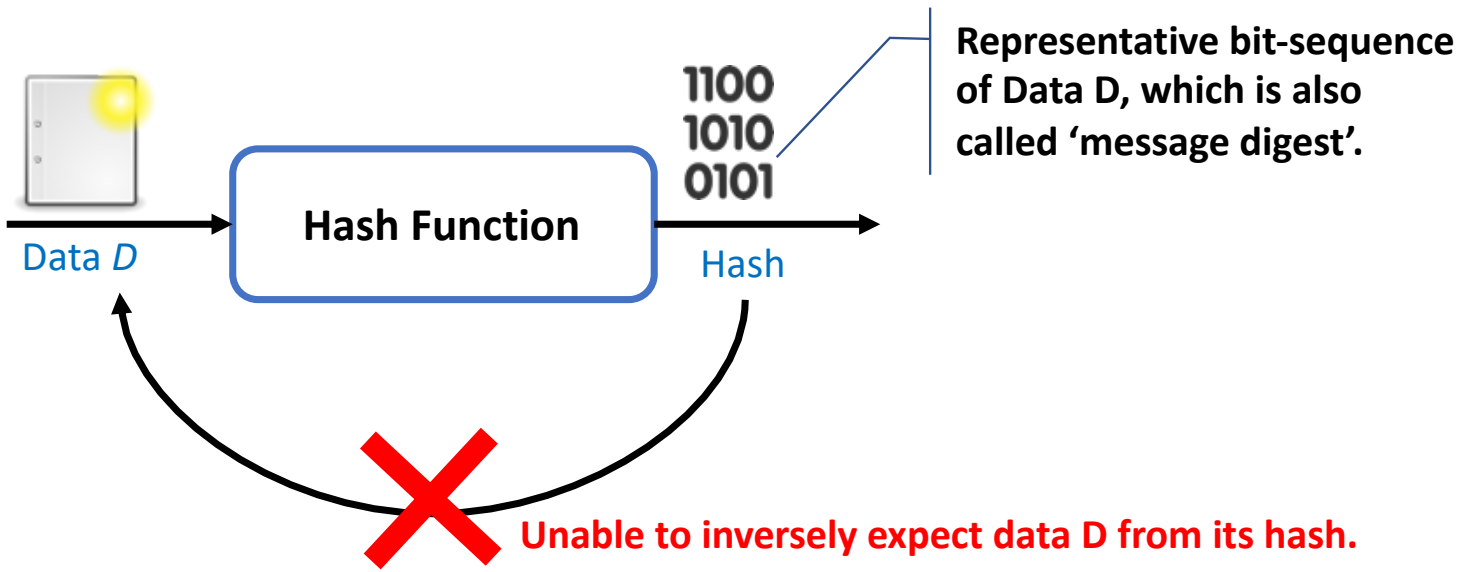
[7] https://github.com/zettant/e2e-security-04

データの指紋: Hash

Hash および Hash 関数とは

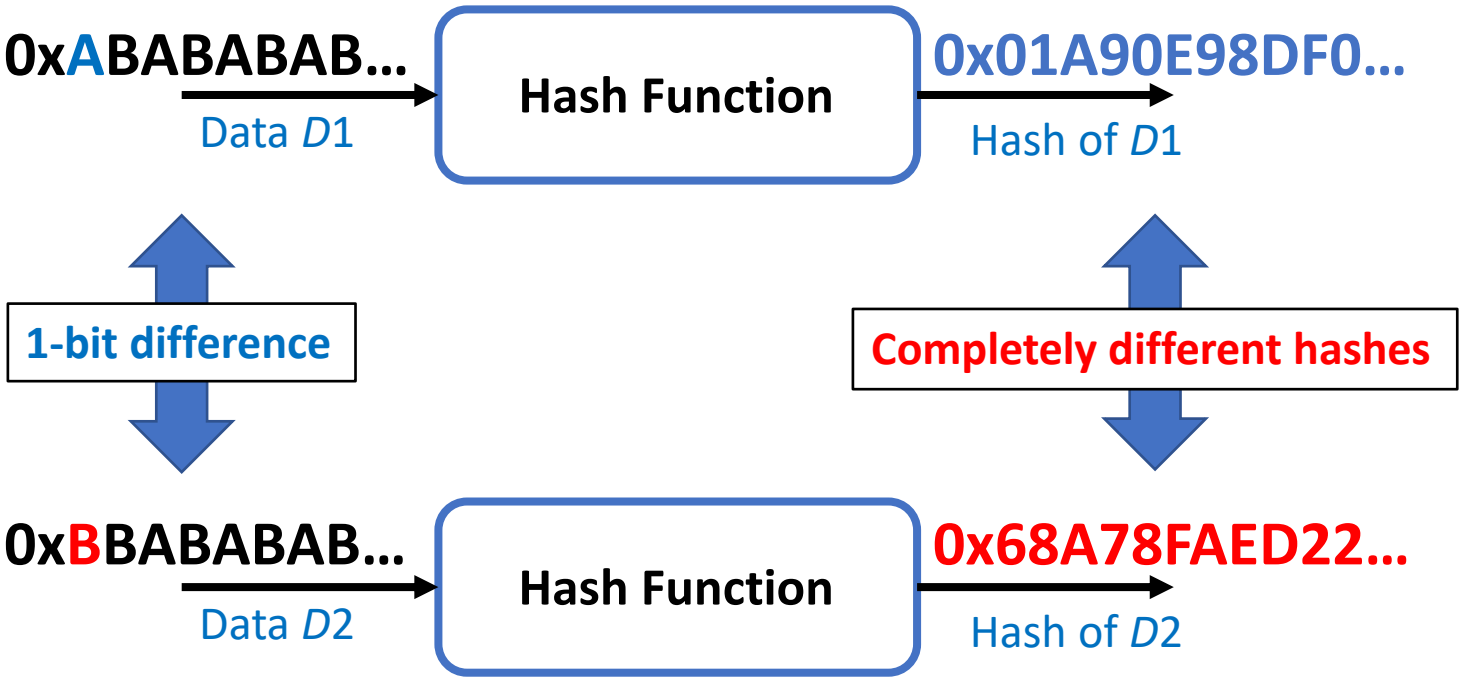
Hash および Hash 関数

あるデータに対し、そのデータを「代表するビット列」を計算する不可逆の関数を「Hash 関数」。導出したビット列を「Hash」[8] と呼ぶ。



[8] あるいは Hash 値、Message Digest

1 ビットでもデータが異なれば、全く違う Hash が導出される。



Hash および Hash 関数の役割

同じくデータ固有のビット列を導出する Checksum と似ているが、その用途はより強力で多岐にわたる。

- **Checksum**
  - 通信路上などでのデータの (偶発的な) エラー検知

  ⇒ データから一意に導ける値・高速な処理が可能なことが必須

- **Hash**
  - データのエラー・改ざん検知
  - Hash をデータ実態の代替として署名を生成
  - 多数のデータの索引作成 [9]
  - データの重複検出

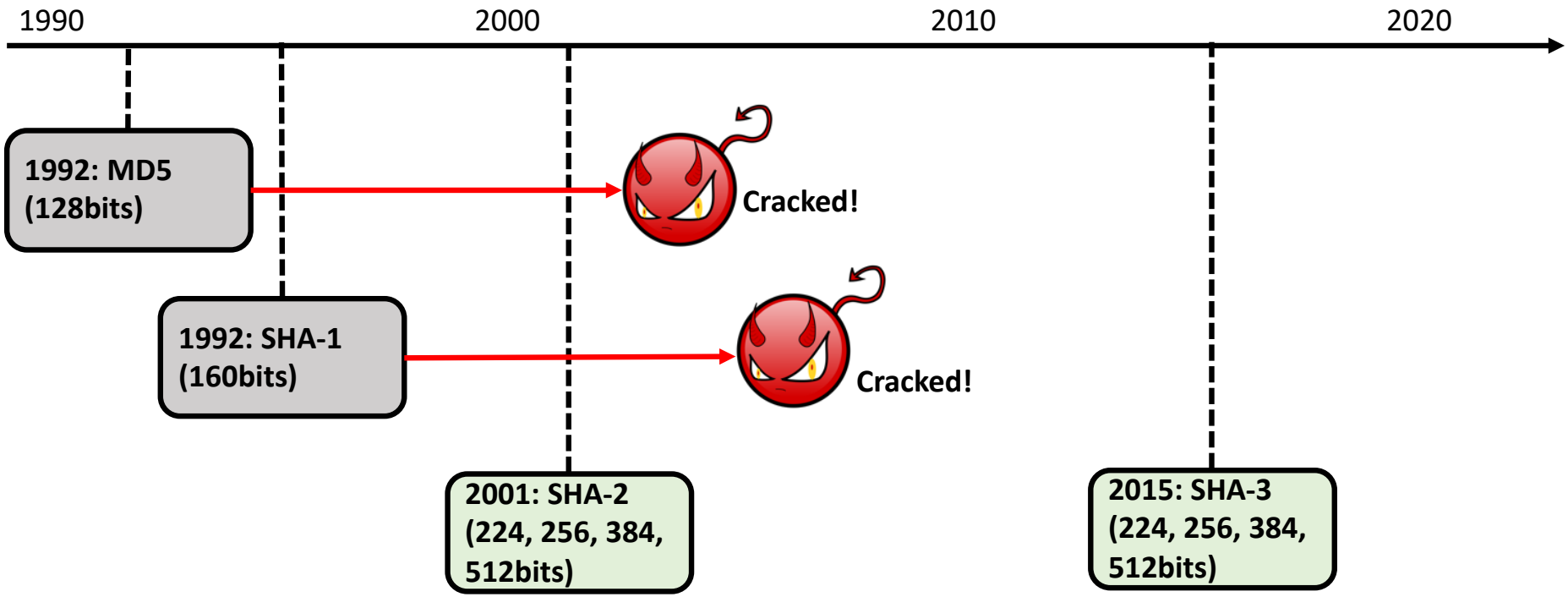
  ⇒ 別のデータ同士で同じ Hash を得ることが困難なことが必須

Checksum ⊆ **Hash** と言える。

[9] Hash Table

Hash 関数の種類

MD5, SHA-1, SHA-2 (SHA-256, 384, 512), SHA-3 という Hash 関数がよく知られている。



MD5、SHA-1 は、「同じ Hash(指紋) を生成するデータが割と簡単に見つけられる[10]」という致命的な欠陥が発見されている。

[10] 「衝突」と呼ぶ。MD5 の場合は、2^{20} 程度の計算量でクラック可能。

Hash 関数の選択について

- 理由がなければ SHA-2 シリーズ以降のものを選択する。
  - bit 長は長いほど、衝突するデータが見つけづらい (=強固)
  - ただし、bit 長が長いほど、計算が重くなる
- SHA-1/MD5 は、基本的に互換性の担保のためだけに利用する。但し、Checksum として使う分には概ね問題ない。何が何でも使うな、というわけではない。

IE/Edge こぼれ話

X.509 の公開鍵証明書などはまだ SHA-1 が利用されている場合が多々ある。しかし、IE/Edge では互換性の担保を全て無視して SHA-1 のネイティブサポートを全打ち切りしているので、X.509 公開鍵証明書などを JavaScript からネイティブ API を通して扱えない。

JavaScript でデータの Hash を生成してみる。

Hash 生成のコードはこんな感じ。

本人確認の技術

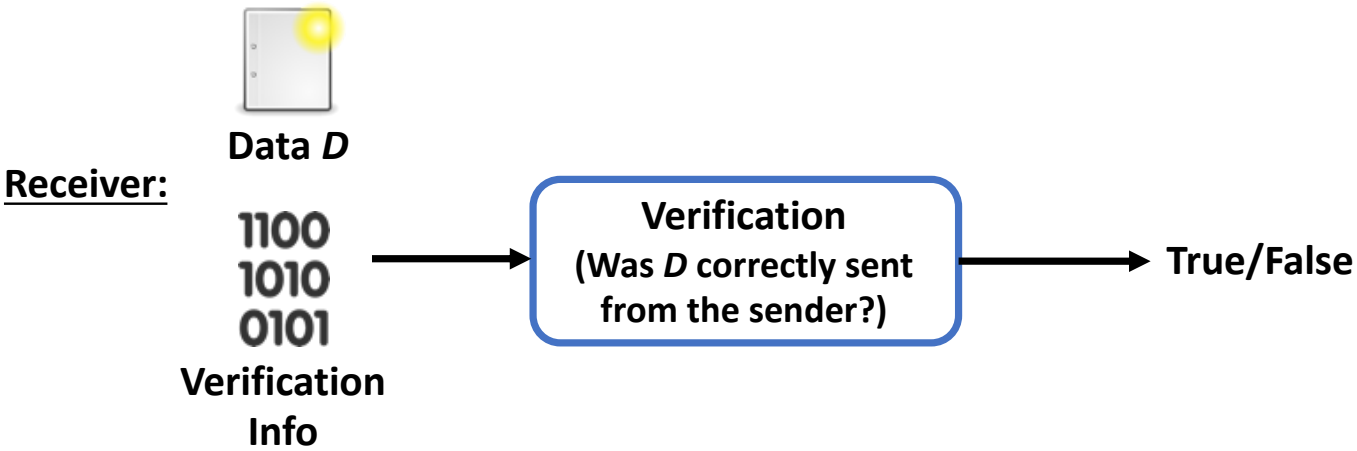
「正しい相手から正しく送信されてきたデータか」?

いわゆる「データの真正性と送信元の確認方法」には、大まかに 2 つの方法がある。

- Message Authentication Code (MAC)
- 署名 (電子署名)

両者とも、送信するデータから MAC/署名という検証用データを生成、元データに付与する形で送信。

受信したデータと、MAC/署名とを突合して、「送信元は意図している相手か？」「データは改ざんされてないか？」を検証。

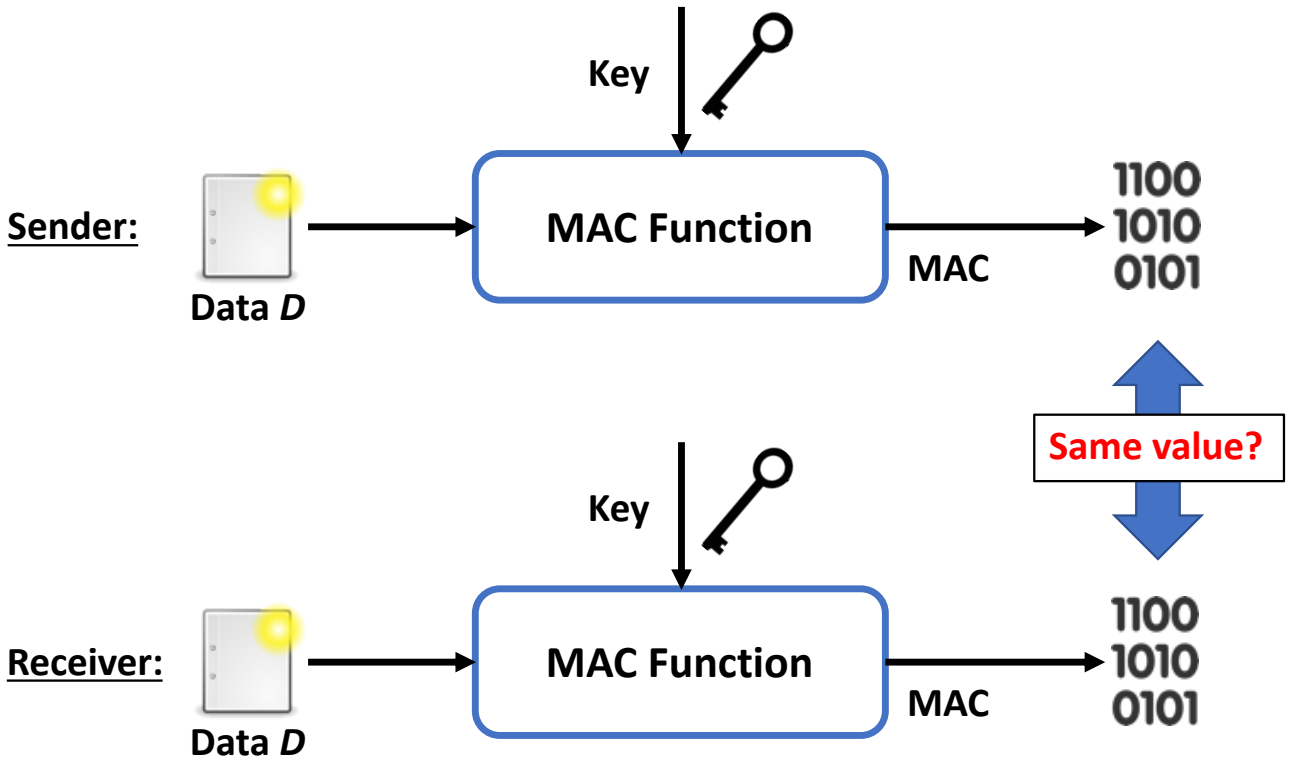


MAC・署名の中身に突っ込む前に、それぞれのざっくりとした定義と pros/cons を説明する。

Message Authentication Code (MAC)

MAC によるデータ真正性と送信者の確認

- 送信側・受信側で共有する鍵を使ってデータ・鍵固有のバイナリ (MAC) を生成する方法。
- 受信側で、送信側と同一の MAC が作れるかどうかをチェック。



MAC の特徴:

- 同じ鍵でも、データが異なれば出力される MAC も異なる。
- 同じデータでも、鍵が異なれば出力される MAC も異なる。

$$\Downarrow$$

すなわち、受信側で同一の MAC が作れることを確認できれば、

- 鍵を共有する相手から
- 途中の改ざんなしで送られたデータであること

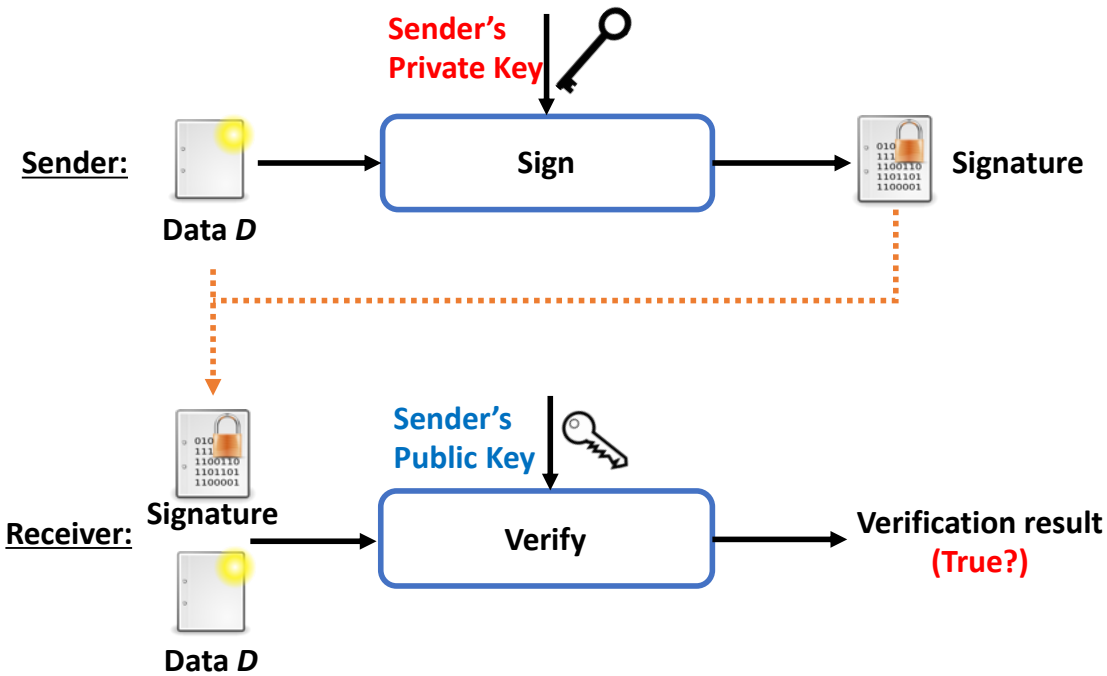
が保証される。

署名 (電子署名)

公開鍵・秘密鍵ペアをベースとした技術[11]：

署名によるデータ真正性と送信者の確認

- 送信側は公開鍵・秘密鍵ペアを保有。
- 送信側は、データと自分の秘密鍵から署名を生成。
- 受信側は、受信データ、署名と公開鍵の間の一貫性をチェック。



[11] ここでいう公開鍵・秘密鍵ペアは、公開鍵暗号化に使うものと全く一緒の概念。

署名の特徴:

- データが改ざんされていたら、検証が失敗 (false が出力)。
- 意図する相手の秘密鍵[12] で署名が作られていなければ、検証が失敗。
- MAC と違って、秘密の情報 (=鍵) を事前共有しなくて良い

⇓

すなわち、署名技術は、

- 意図する送信者から
- 途中の改ざんなしで送られたデータなことを
- 事前の秘密情報の共有なしで

保証する。[13]

[12] 自分が入手している公開鍵の対となる秘密鍵

[13] 検証用の公開鍵は、信頼できる手段で入手済み、あるいはプリインストールされていると仮定

MAC と署名の pros/cons

じゃあ署名だけで MAC は不要では？…そういうわけにはいかない。

	Pros	Cons
MAC	・一般的に高速[14] ・生成する MAC サイズは小さい[15]	・鍵の事前共有が必要
署名	・鍵の事前共有が不要	・一般的に非常に遅い・重い ・生成する署名サイズは一般的に大きい[16]

⇒ AES/公開鍵暗号の関係と全く一緒で、使い所を考えて組み合わせて使う、もしくは場合に応じて使い分ける。

[14] AES (CMAC) とか Hash (HMAC) とかを構成要素としているため。

[15] 通常 128–512bits 程度。

[16] ECDSA は小さく、256–512bits 程度。RSA 系は非常に大きく通常 2048bits 以上。

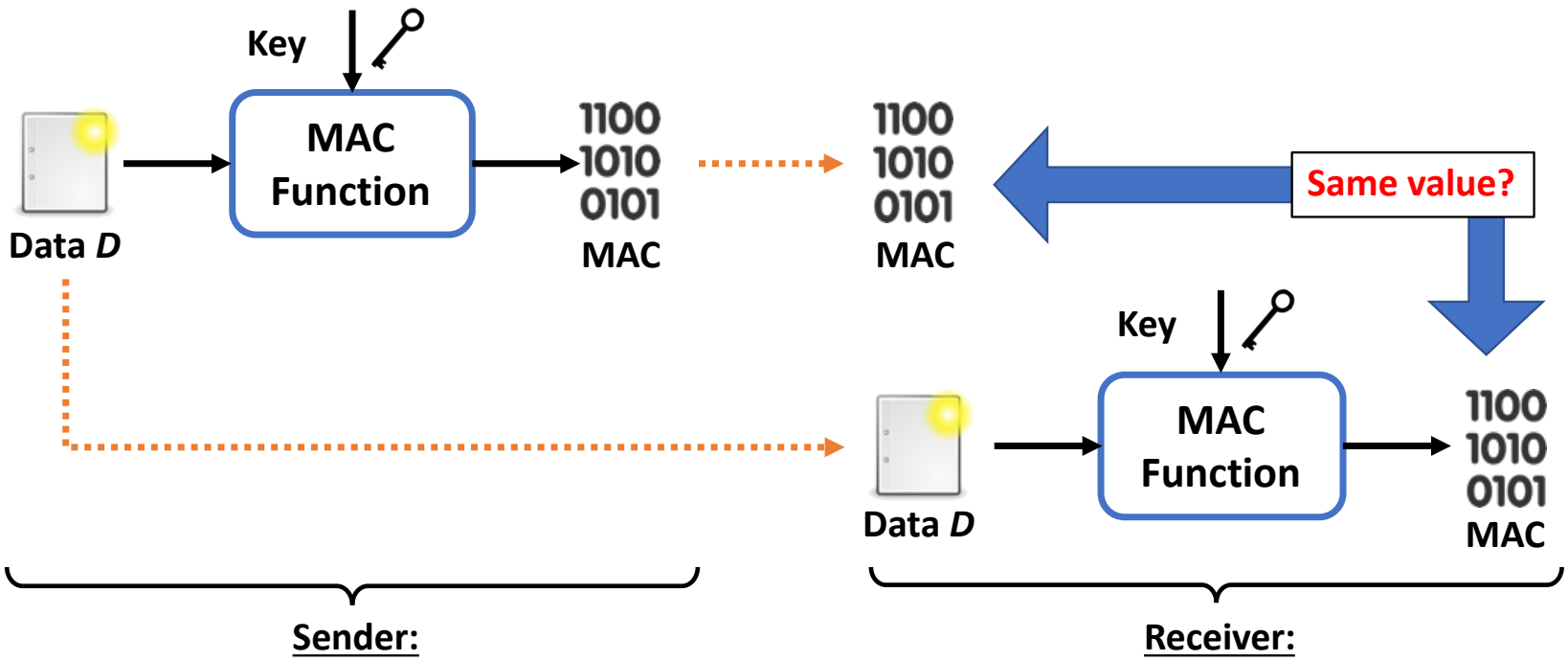
共通鍵を使った改ざん検知・本人確認: MAC

Message Authentication Code (MAC) 事始め

MAC を使った改ざん検知&本人確認手続き

送信側、受信側で秘密の鍵 (バイナリ列) を共有。

1. 送信側はデータと一緒に、データと鍵から生成した MAC を送信。
2. 受信側は、鍵と受信したデータから、受け取った MAC と同じものが作れるかどうかをチェック。



MAC を作る標準手法のバリエーション。

- HMAC; Hash-based Message Authentication Code
- CMAC; Cipher-based Message Authentication Code
- GMAC; Galois Message Authentication Code
- etc.

今回は、JS で一番使いやすいと思われる HMAC を取り上げる。

HMAC; Hash-based MAC

HMAC (RFC2104)[17]

- 鍵付き Hash[18] と呼ばれる、Hash 関数ベースの MAC 生成方法。
- HDKF (RFC5869) などの標準技術や、AWS Signature v4[19] 等、各所で利用されている。

「鍵」と「データ」をまとめて Hash 関数に入れる、と考えると、

- 鍵・データ両者が正しくないと、正しい Hash も生成不能 (=MAC 検証失敗)。
- MAC から鍵・データの情報を逆算することはできない。

という特徴をイメージしやすい。

[17] https://tools.ietf.org/html/rfc2104

[18] Keyed Hash

[19] AWS S3 にクライアントから REST API 経由でアップロードする時に一時的に生成する MAC

JavaScript で HMAC を実行してみる

コードの中身はこんな感じ。

その他の MAC (JS じゃビミョー…)

CMAC; Cipher-based MAC (NIST SP800-38B[20])

共通鍵暗号 (e.g., AES) の CBC モードを Hash 関数がわりに使用して MAC を計算する。「前のブロックの暗号文を使って次のブロックを暗号化する」という特徴を応用。

GMAC; Galois MAC (NIST SP800-38D[21])

共通鍵暗号 (e.g., AES) の Galois Counter Mode (GCM) で暗号化と同時に生成される MAC。高速に計算できる代数演算[22] を Hash 関数がわりに使用して MAC を計算する。GMAC 単独で利用可。

[20] https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/SpecialPublications/NIST.SP.800-38b.pdf

[21] https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/SP/nistspecialpublication800-38d.pdf

[22] $\mathbb{F}[x]/(x^{128}+x^7+x^2+x+1) = \mathbb{F}_{2^{128}}$ 上の乗算

と、「標準技術」で「広く利用されている」MAC アルゴリズムはあるが、JS のネイティブ API[23] でサポートされている MAC は、現状 HMAC のみ…

CMAC, GMAC が使いたかったら自力実装 or npmjs.com で見つけて利用する。

[23] WebCrypto API, Node.js Crypto

公開鍵を使った改ざん検知・本人確認: 署名

署名 事始め

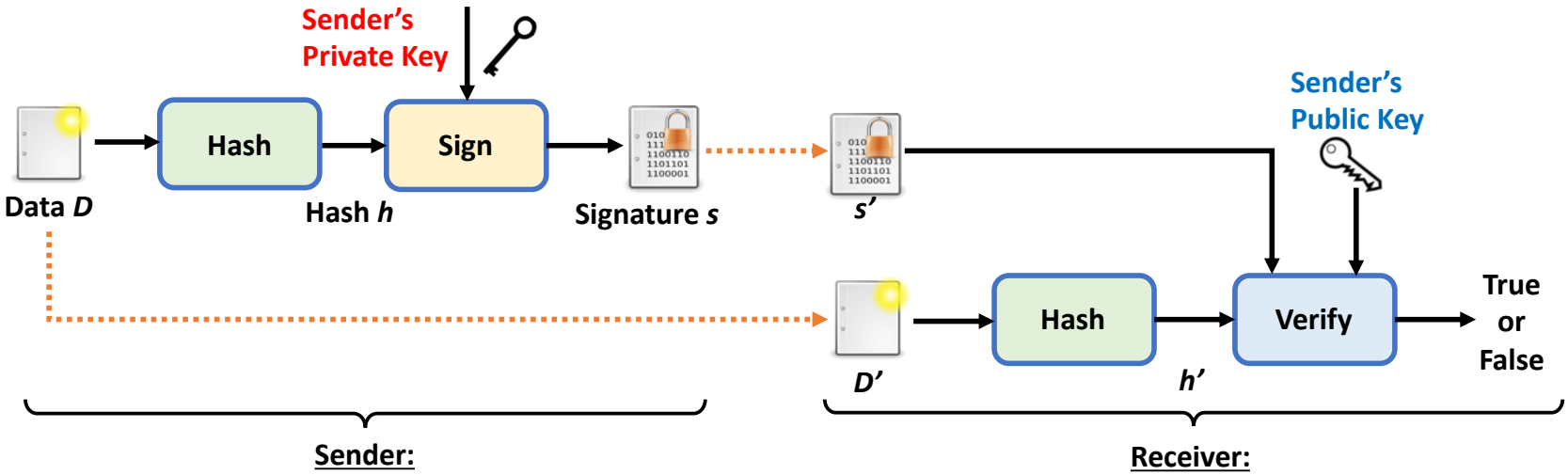
署名 (電子署名) を使った改ざん検知&本人確認手続き

受信側は、送信側の公開鍵を予めプリインストール。

- 送信側の処理:
  1. データ D を Hash 関数で短縮[24]。$h = Hash(D)$
  2. hash h に対して秘密鍵 SK で署名を生成、データと合わせて受信側へ送付。$s = Sign(h, SK)$
- 受信側の処理:
  1. データ D を Hash 関数で短縮。$h = Hash(D)$
  2. hash h と署名 s の一貫性を、公開鍵 PK で検証。$Verify(h, s, PK) \in \{\text{True}, \text{False}\}$

[24] データ D そのものに直接署名を施すのは計算量的・データ量的に大変 (e.g, 元データと同じかそれ以上の大きさの署名を作る羽目になる) なので、データの指紋 (i.e., hash) に対して署名を施す。

ざっくりフロー図。



このフローは、以下のように考えるとイメージがつきやすい[25]

1. 送信側は、hash h を秘密鍵で暗号化して s を生成。
2. 受信側は、s を公開鍵で復号して h' を入手。命題「$h' = Hash(D')$」が成立するか検証。

[25] 但し、常に正しい表現ではないので注意。

署名生成方式の標準方式のバリエーション。

- RSA 暗号をベースとした手法:
  - RSASSA PSS
  - RSASSA PKCS#1-v1.5
- 楕円曲線暗号をベースとした手法:
  - ECDSA
- etc.[26]

JS で使いやすい RSASSA PSS & PKSC#1-v1.5 と ECDSA について取り上げる。

[26] Digital Signature Algorithm; DSA (FIPS PUB 186-4 https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/FIPS/NIST.FIPS.186-4.pdf) など

RSASSA; RSA Signature Scheme with Appendix

RSASSA PKCS#1-v1.5 と、RSASSA PSS の違い

暗号化と同様に、$h = Hash(D)$ に対して署名を作る際、
鍵長に合わせたパディングが必要。そのパディングの方法が違う。

絵

PKCS#1 - v1.5 の脆弱性について

可能なら PSS を利用することが、RFC で推奨されている。[27]

[27] https://tools.ietf.org/html/rfc8017

JavaScript で RSASSA-PSS を実行してみる

ECDSA

JavaScript で ECDSA を実行してみる

運用 Tips

署名検証のブートストラップの問題

署名の検証用の公開鍵が正しいことはどうやって保証するの？

⇒ App に固定インストールか、Verisign あたりに署名してもらう必要…

⇒ PKI に頼って検証用の公開鍵の信頼性を担保するしか、現状は方法がない。

署名・MAC の使い分け

処理の重さで使い分けると幸せになれる。

- 署名は手続きのイニシエーションに使う
- MAC は、なんども繰り返すような本人確認に使う

例えば。。。

1. 署名を付与して、ECDH-ephemeral の公開鍵を交換。
2. ECDH-ephemeral + AES で MAC の鍵を共有。
3. 以降の大規模データのやり取りは MAC で本人確認を実施。

など。

まとめ

まとめ

お疲れ様でした。

次回は

宣伝: iTransfy by Zettant

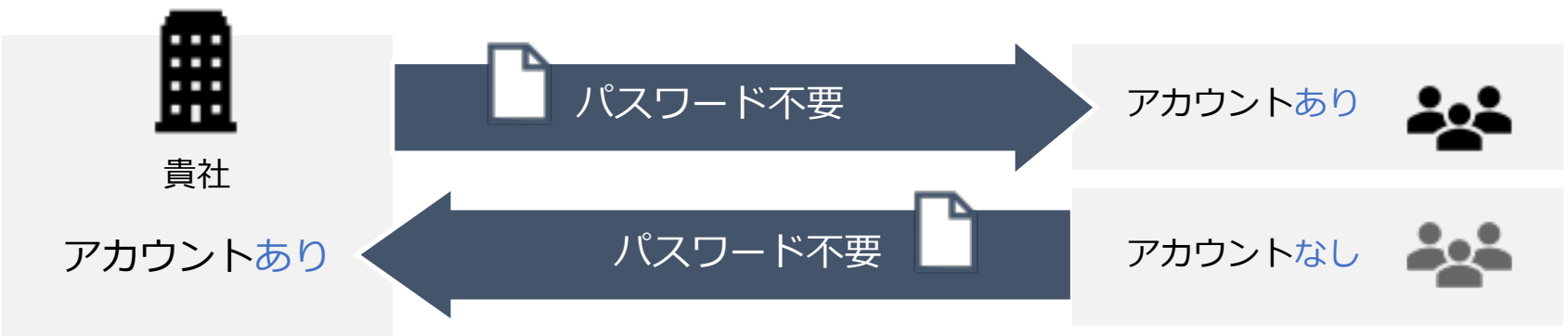
簡単・安全にファイル転送ができる

iTransfy for biz

https://www.itransfy.com

アカウント登録で、パスワード入力の手間が省けます

クライアント/協力会社等へファイルを送りたい、また送付してほしい時の手間を軽減



宣伝: 株式会社ゼタント

ゼタントはのミッションは、

「自分の身は自分で守ることができる世の中にする」

ことです。
共感してくれる仲間を募集しています！

問合せ先: recruit@zettant.com
会社 URL: https://www.zettant.com