情報通信を行なう際の要請
(Requirements in communication)

- **効率的に (efficiently)**
  $\longrightarrow$ 情報理論 (Information Theory)

- **確実に (certainly)**
  $\longrightarrow$ 符号理論 (Coding Theory)

- **安全に (safely)**
  $\longrightarrow$ 暗号理論 (Cryptography)

情報通信を行なう際の要請
(Requirements in communication)

- **効率的に (efficiently)**
  $\longrightarrow$ **情報理論 (Information Theory)**

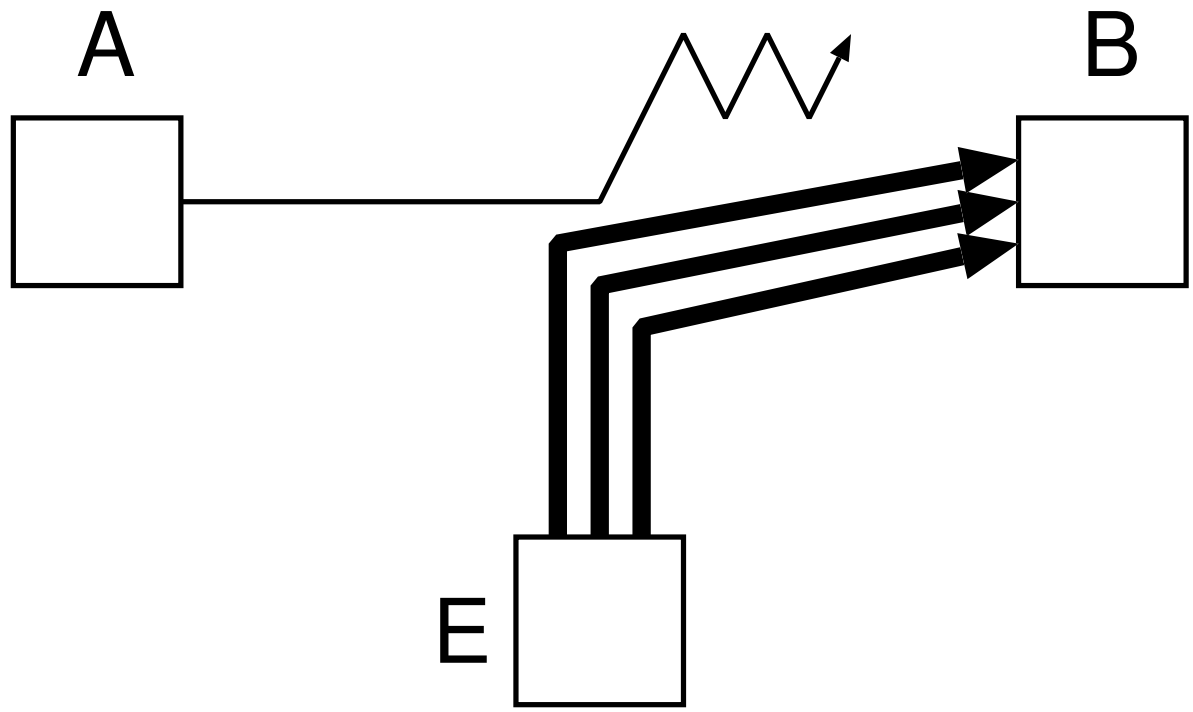
- **確実に (certainly)**
  $\longrightarrow$ **符号理論 (Coding Theory)**

- **安全に (safely)**
  $\longrightarrow$ **暗号理論 (Cryptography)**

安全な情報伝達を阻害するもの
(obstructions for safe communication)

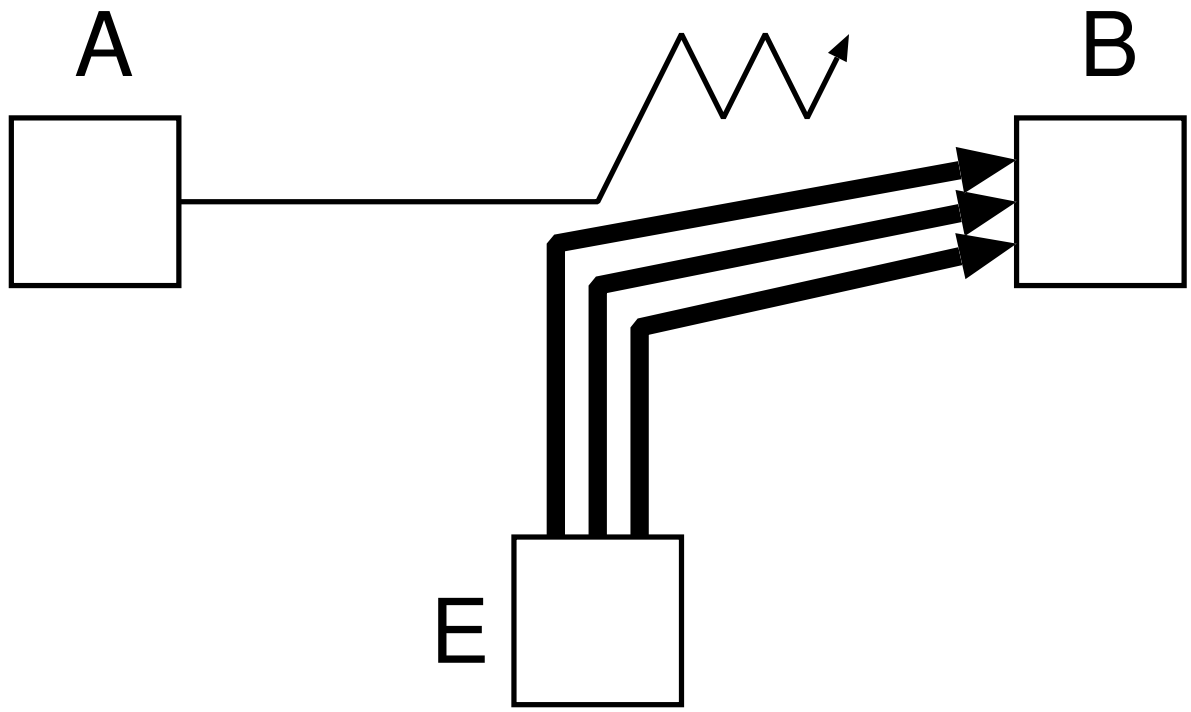
- 妨害 (obstruction) (DoS 攻撃など)
- 盗聴 (tapping)
- 改竄 (tampering)
- なり済まし (disguise)　　etc.

DoS 攻撃 (Denial-of-service attack)



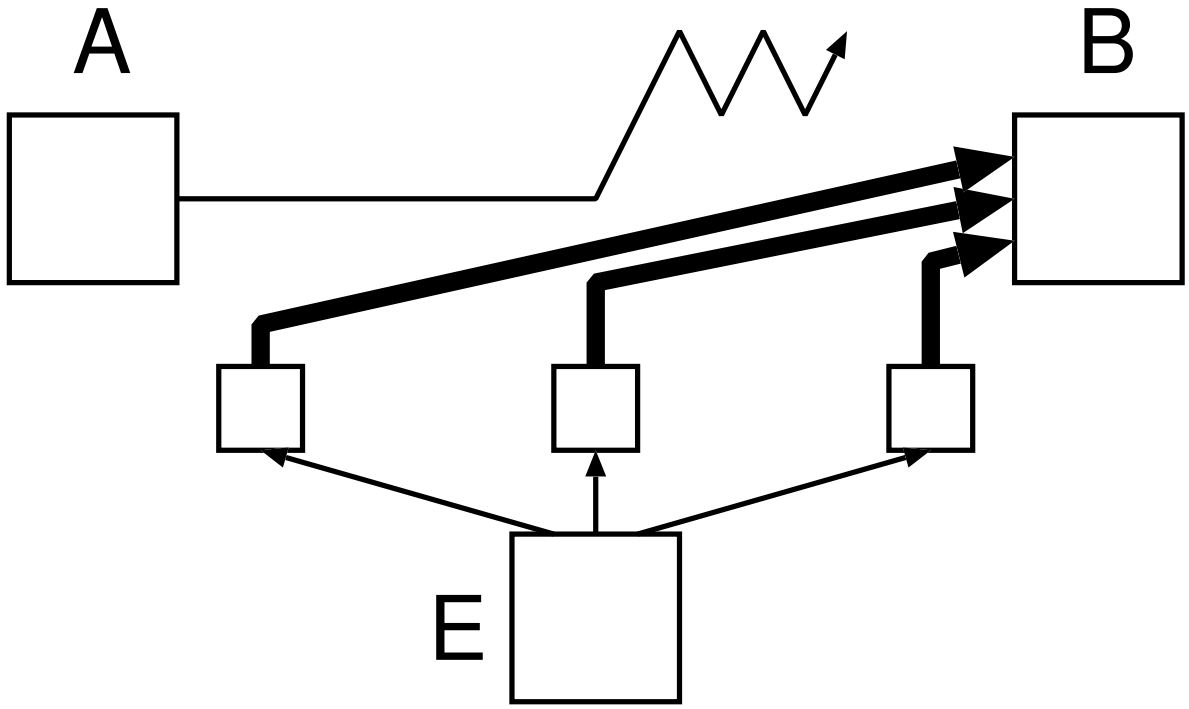
B を機能停止に追い込むには
E に相当のマシンパワーが必要
そこで実際には ...

DoS 攻撃 (Denial-of-service attack)



B を機能停止に追い込むには
E に相当のマシンパワーが必要
そこで実際には ...

DoS 攻撃 (Denial-of-service attack)



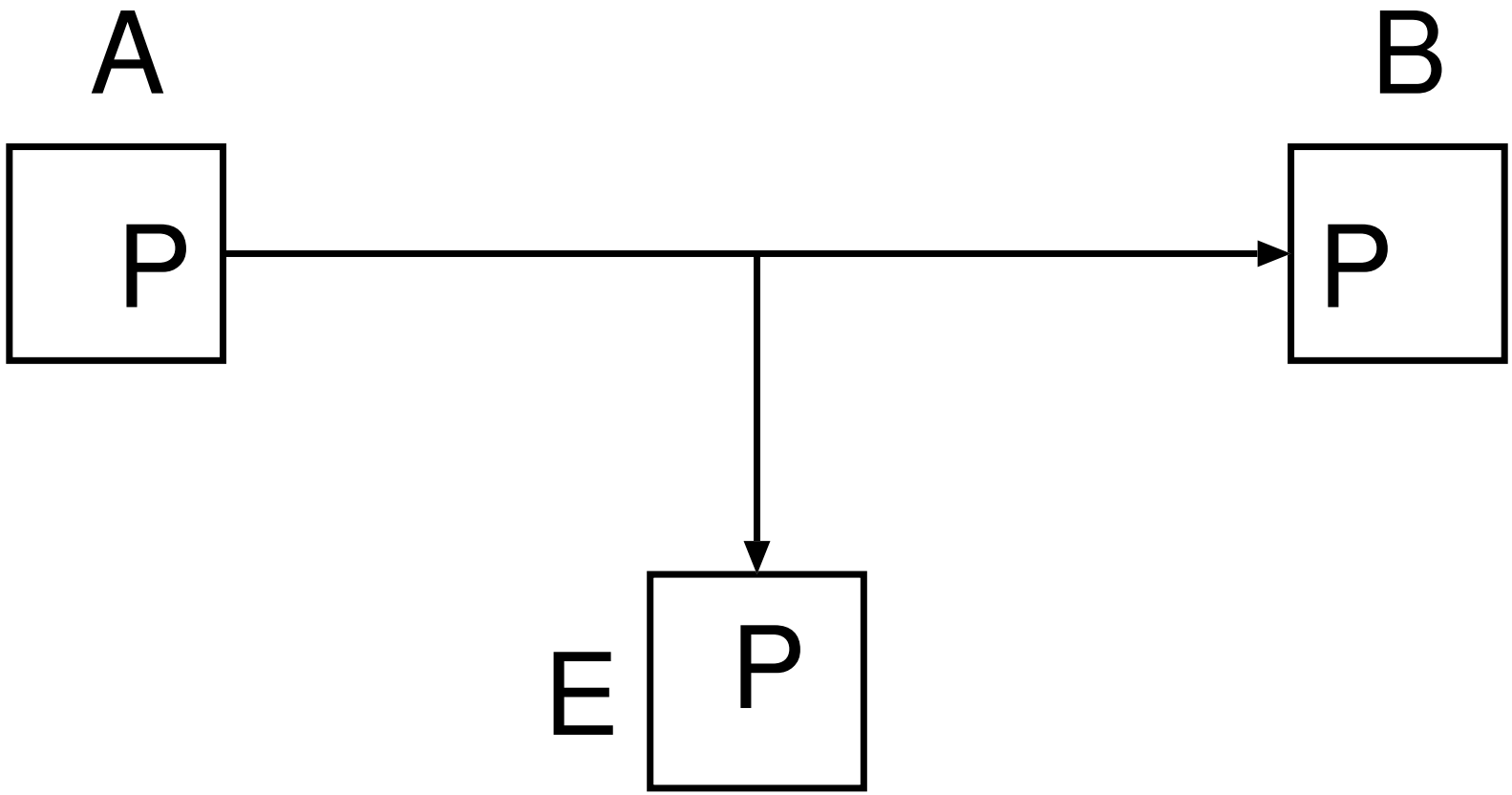
実際には、

コンピュータウイルス・乗っ取りなどで

制御下に置いた多数の機械から一斉に攻撃

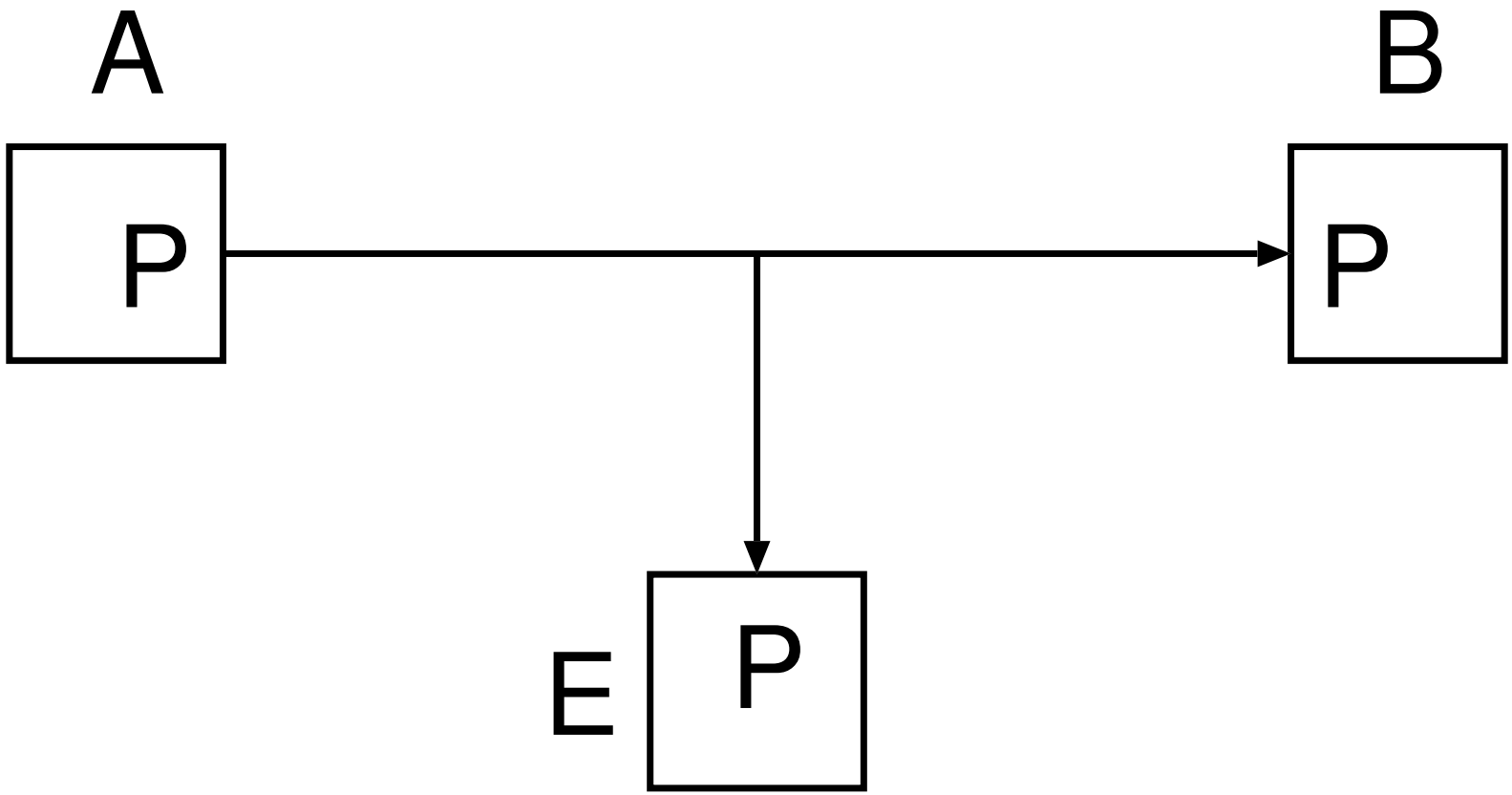
· · · distributed denial-of-service attack (DDos)

盗聴 (tapping)



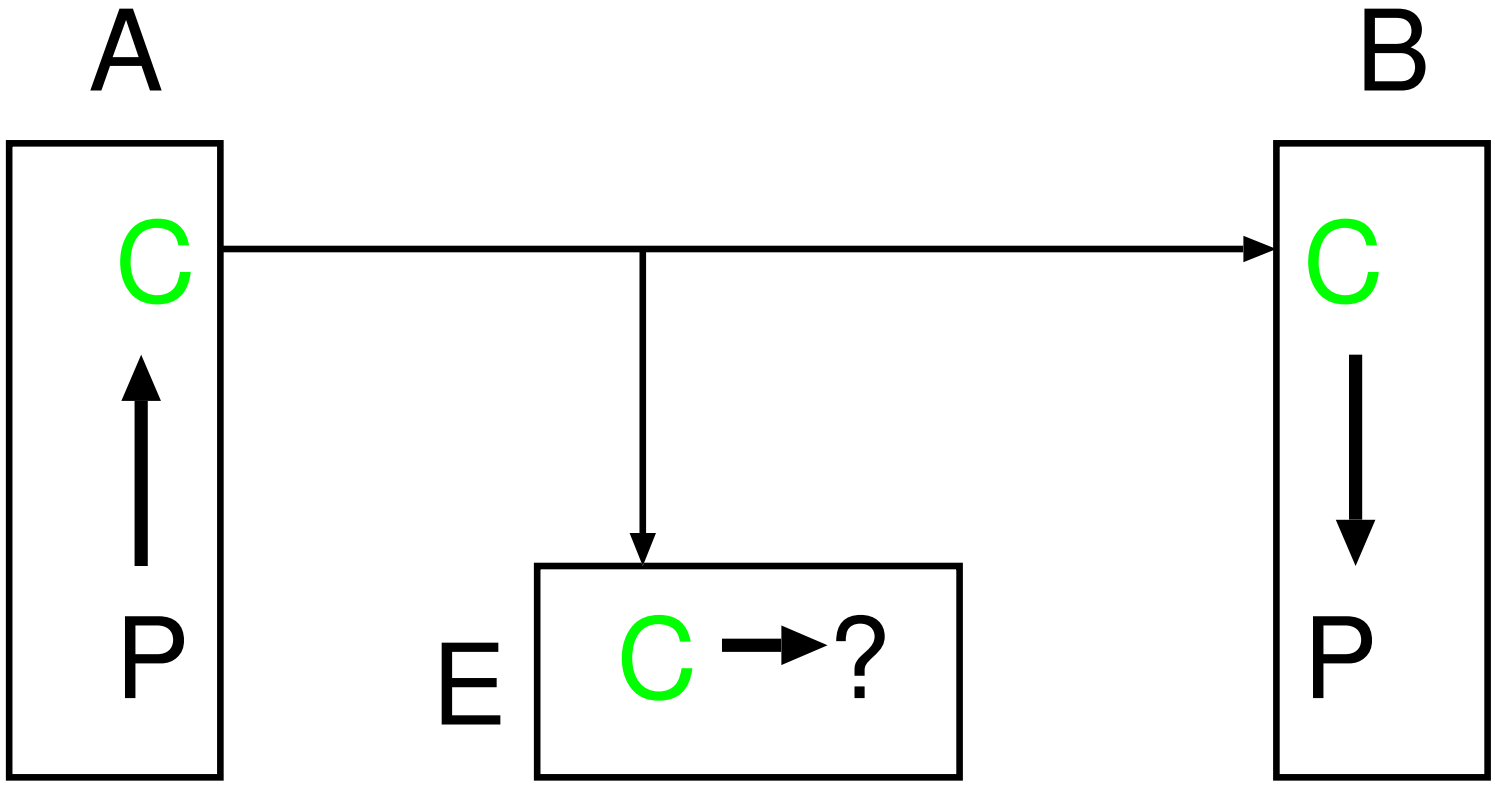
現在の計算機ネットワークの仕組みでは、
事実上、通信経路は誰にでも見られる

盗聴 (tapping)



現在の計算機ネットワークの仕組みでは、
事実上、通信経路は誰にでも見られる

暗号を用いた秘匿通信 (secret communication)

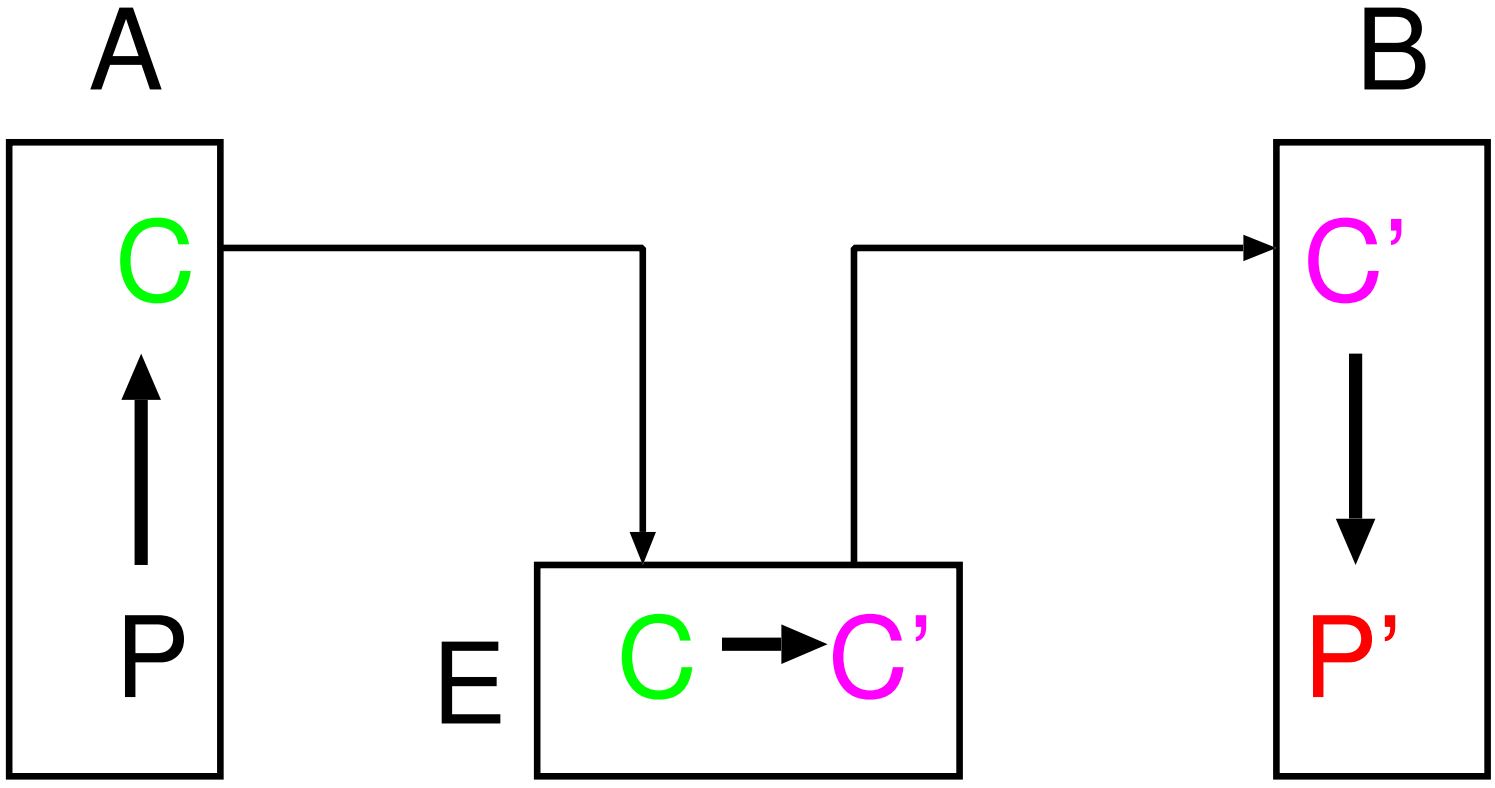


P: **平文** (plain text), C: **暗号文** (ciphertext)

P $\rightarrow$ C : **暗号化** (encryption)

C $\rightarrow$ P : **復号** (decryption)・**解読** (cryptanalysis)

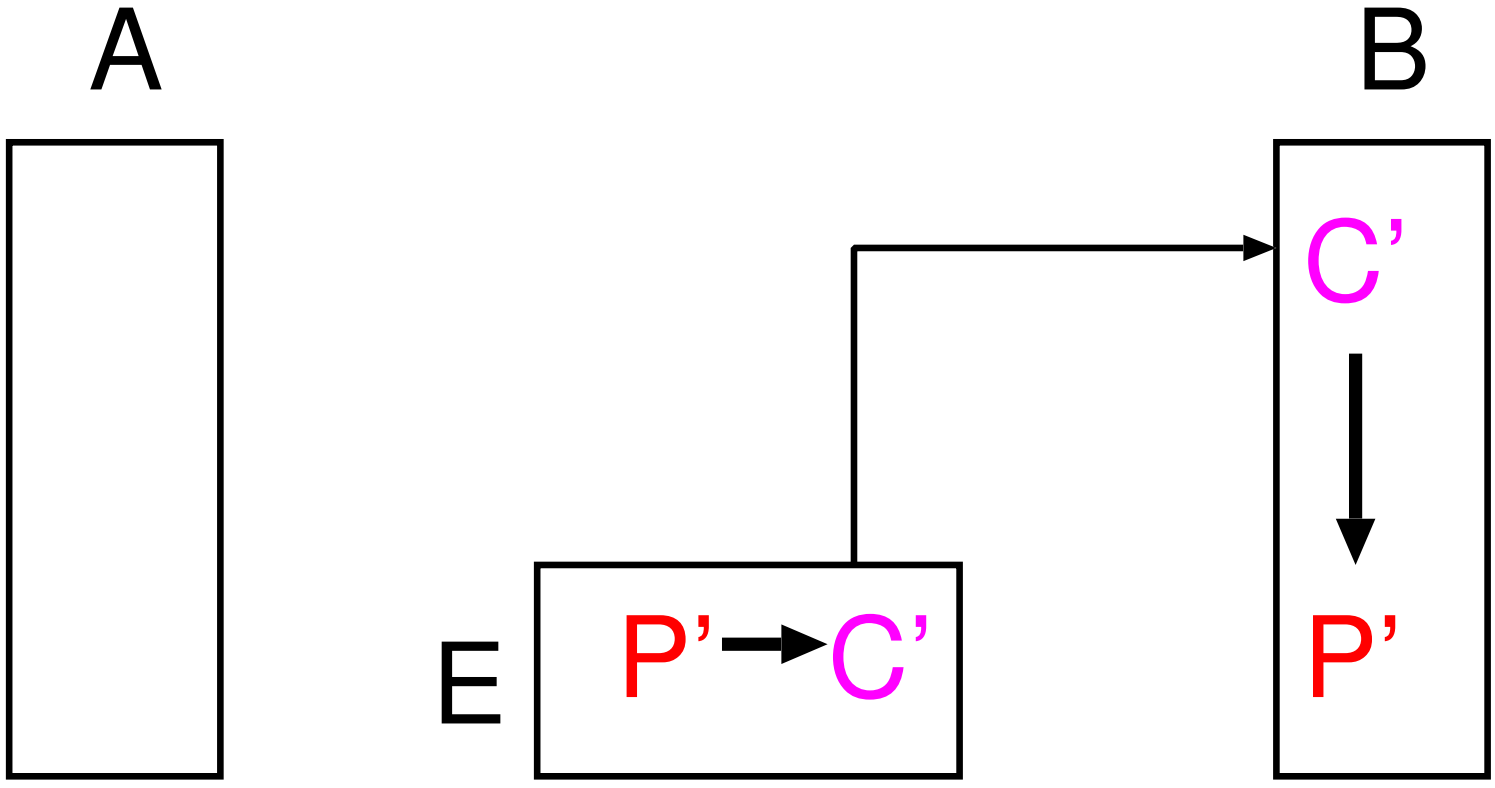
改竄 (tampering)



A が送信した情報であることを
確かめられるような仕組みが必要

認証 (authentication), 電子署名 (digital signature)

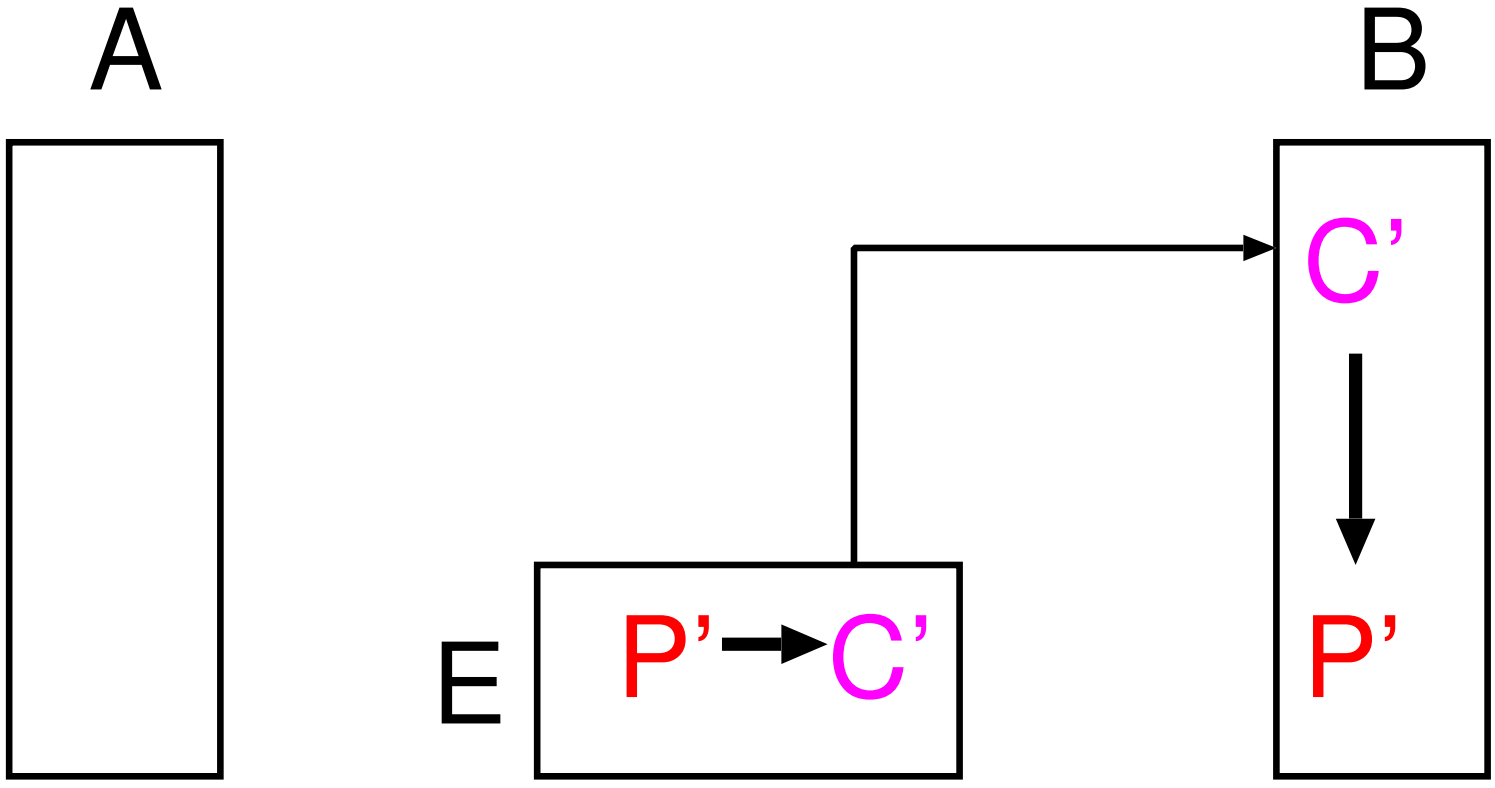
なり済まし (disguise)



A が送信した情報であることを
確かめられるような仕組みが必要

認証 (authentication), 電子署名 (digital signature)

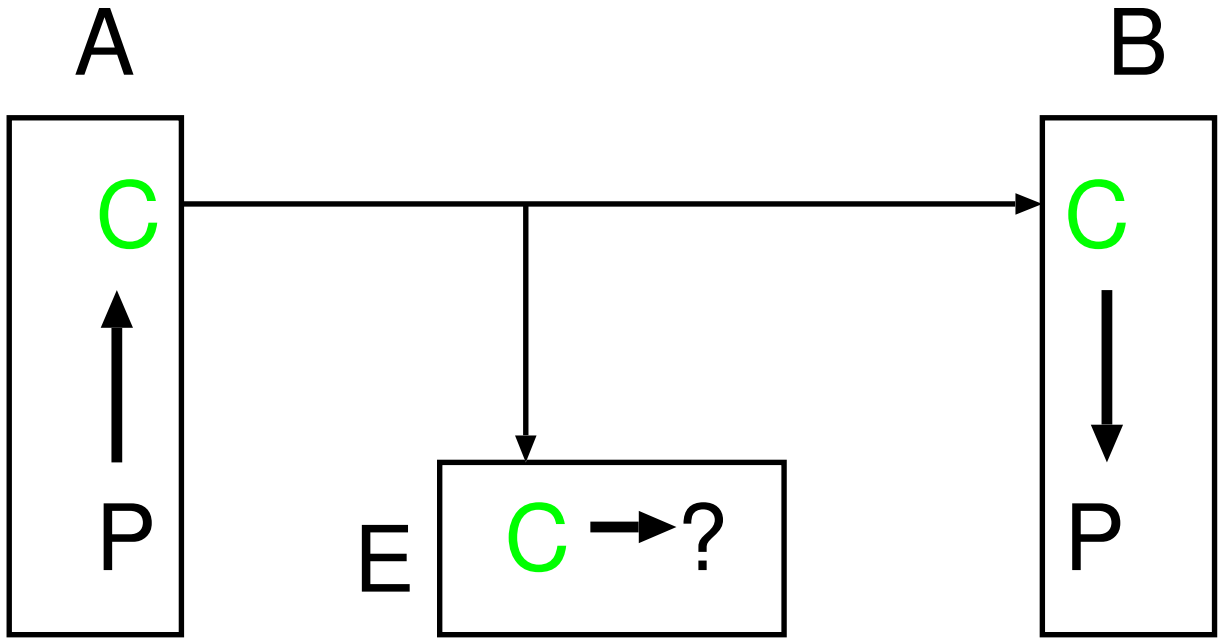
なり済まし (disguise)



A が送信した情報であることを
確かめられるような仕組みが必要

認証 (authentication), 電子署名 (digital signature)

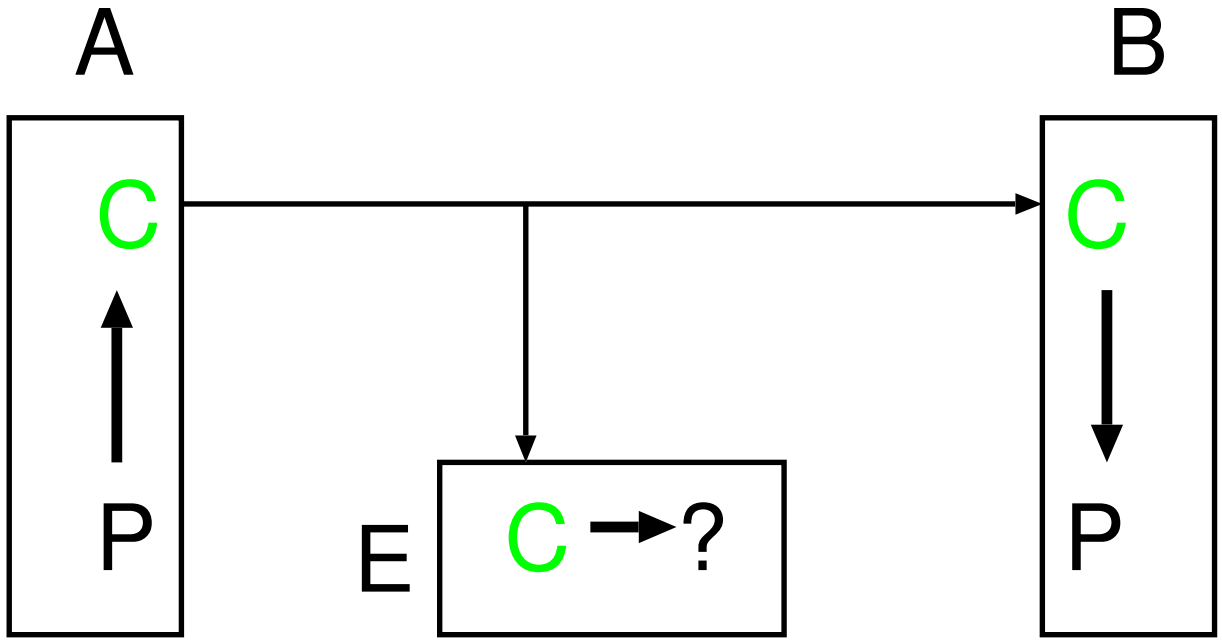
暗号 (cryptography)



- 送信者 A が平文 P を暗号化、暗号文 C を送信
- 受信者 B が暗号文 C を受信、平文 P に復号
- 盗聴者 E は暗号文 C を知っても
  平文 P を復元できない

⟶ B だけが復号鍵を持っていることが必要

暗号 (cryptography)



- 送信者 A が平文 P を暗号化、暗号文 C を送信
- 受信者 B が暗号文 C を受信、平文 P に復号
- 盗聴者 E は暗号文 C を知っても
  平文 P を復元できない

$\longrightarrow$ B だけが**復号鍵**を持っていることが必要

暗号 (cryptography)

Assumption:

- **open channels (being tapped)**
  公開された情報伝達路 (盗聴可能)
- **open cryptographic system**
  暗号方式を公開

  - **対称鍵暗号 (symmetric-key cryptography)**
    (秘密鍵暗号・共通鍵暗号とも)
  - **公開鍵暗号 (public-key cryptography)**

暗号 (cryptography)

Assumption:

- **open channels (being tapped)**
  公開された情報伝達路 (盗聴可能)
- **open cryptographic system**
  暗号方式を公開
  - **対称鍵暗号 (symmetric-key cryptography)**
    (秘密鍵暗号・共通鍵暗号とも)
  - **公開鍵暗号 (public-key cryptography)**

暗号 (cryptography)

- **共通鍵暗号** (秘密鍵暗号)
  - ⋆ 送信者・受信者で同じ鍵を秘密裡に共有
  - ⋆ 共通の鍵で暗号化・復号を行なう

- **公開鍵暗号**
  - ⋆ 暗号化鍵 (公開鍵)・復号鍵 (秘密鍵) が別
  - ⋆ 公開された暗号化鍵を用いて暗号化
  - ⋆ 復号鍵は受信者だけの秘密

共通鍵暗号 (symmetric-key cryptography)

暗号化鍵・復号鍵が同じ

- substitution ciphers (換字暗号)
- Caesar cipher
- linear block ciphers (線型ブロック暗号)
- Vernam ciphers (one-time pad)
- DES (Data Encryption Standard)
- AES (Advances Encryption Standard)

Ex. Caesar cipher (Caesar 暗号)

Key (鍵) : $\mathrm{n} \in \mathbb{Z}/26\mathbb{Z}$

Encryption (暗号化) : n-**shift backward**

Decryption (復号) : n-**shift forward**

$\cdots$ **XYZABCDEFGHIJKLMN**
OPQRSTUVWXYZABC $\cdots$

例: $\mathrm{n} =$ **?** : **?????** $\longrightarrow$ **KHOOR**

Ex. Caesar cipher (Caesar 暗号)

Key (鍵) : $\mathrm{n} \in \mathbb{Z}/26\mathbb{Z}$

Encryption (暗号化) : n-**shift backward**

Decryption (復号) : n-**shift forward**

$\cdots$ **XYZABCDEFGHIJKLMN**
OPQRSTUVWXYZABC $\cdots$

例: $\mathrm{n} = 3$: **HELLO** $\longrightarrow$ **KHOOR**

Caesar 暗号の脆弱性 (Weakness of Caesar cipher)

鍵を知らなくても容易に解読されてしまった

- **鍵の可能性が少なく、総当たりで倒せる**
- **暗号文に平文の特徴が残っている**

このような脆弱性を克服した暗号方式が
現在では用いられている

- **DES (Deta Encryption Standard)**
- **AES (Advanced Encryption Standard)**

Caesar 暗号の脆弱性 (Weakness of Caesar cipher)

鍵を知らなくても容易に解読されてしまった

- **鍵の可能性が少なく、総当たりで倒せる**
- **暗号文に平文の特徴が残っている**

このような脆弱性を克服した暗号方式が
現在では用いられている

- **DES (Deta Encryption Standard)**
- **AES (Advanced Encryption Standard)**

秘密鍵 (共通鍵) 暗号の特徴

(preperties of symmetric-key cryptography)

暗号化鍵・復号鍵が同じ

The encryption key and the decryption key are the same.

- **一般に原理は簡単で高速 (simple, fast)**
- **事前の鍵共有の必要 (need key-sharing)**
- **通信相手毎に別の鍵が必要 (need a different key for each pair)**

現在の情報化社会では

様々な場面で暗号が使われている

例: インターネット取引 (ネットショッピングなど)

- **不特定多数の人と暗号通信をしたい**
- **事前に鍵を共有できない**

$\longrightarrow$ **共通鍵暗号では実現が困難**

$\longrightarrow$ **公開鍵暗号・鍵共有方式のアイデア**

(1976〜77)

現在の情報化社会では

様々な場面で暗号が使われている

例: インターネット取引 (ネットショッピングなど)

- **不特定多数の人と暗号通信をしたい**
- **事前に鍵を共有できない**

⟶ 共通鍵暗号では実現が困難

⟶ 公開鍵暗号・鍵共有方式のアイデア

(1976〜77)

現在の情報化社会では

様々な場面で暗号が使われている

例: インターネット取引 (ネットショッピングなど)

- **不特定多数の人と暗号通信をしたい**
- **事前に鍵を共有できない**

$\longrightarrow$ 共通鍵暗号では実現が困難

$\longrightarrow$ 公開鍵暗号・鍵共有方式のアイデア

(1976〜77)

公開鍵暗号 (Public-key cryptography)

暗号化鍵 (公開鍵)・復号鍵 (秘密鍵) が別
The encryption key and the decryption key are different.

- 事前の鍵共有の必要無し
  (No need key-sharing in advance)
  $\longrightarrow$ 見ず知らずの人からも送ってもらえる
- 認証 (authentication)・署名 (signature) の機能がある
  $\longrightarrow$ 改竄・なり済ましの対策
  $\longrightarrow$ 否認防止 (non-repudiation) の機能も持つ

公開鍵暗号 (Public-key cryptography)

暗号化鍵 (公開鍵)・復号鍵 (秘密鍵) が別
The encryption key and the decryption key are different.

- **事前の鍵共有の必要無し**
  (No need key-sharing in advance)
  $\longrightarrow$ 見ず知らずの人からも送ってもらえる
- **認証 (authentication)・署名 (signature) の機能がある**
  $\longrightarrow$ 改竄・なり済ましの対策
  $\longrightarrow$ 否認防止 (non-repudiation) の機能も持つ

公開鍵暗号 (Public-key cryptography)

暗号化鍵 (公開鍵)・復号鍵 (秘密鍵) が別
The encryption key and the decryption key are different.

- **事前の鍵共有の必要無し**
  (No need key-sharing in advance)
  $\longrightarrow$ 見ず知らずの人からも送ってもらえる
- **認証 (authentication)・署名 (signature) の機能がある**
  $\longrightarrow$ 改竄・なり済ましの対策
  $\longrightarrow$ 否認防止 (non-repudiation) の機能も持つ

公開鍵暗号 (Public-key cryptography)

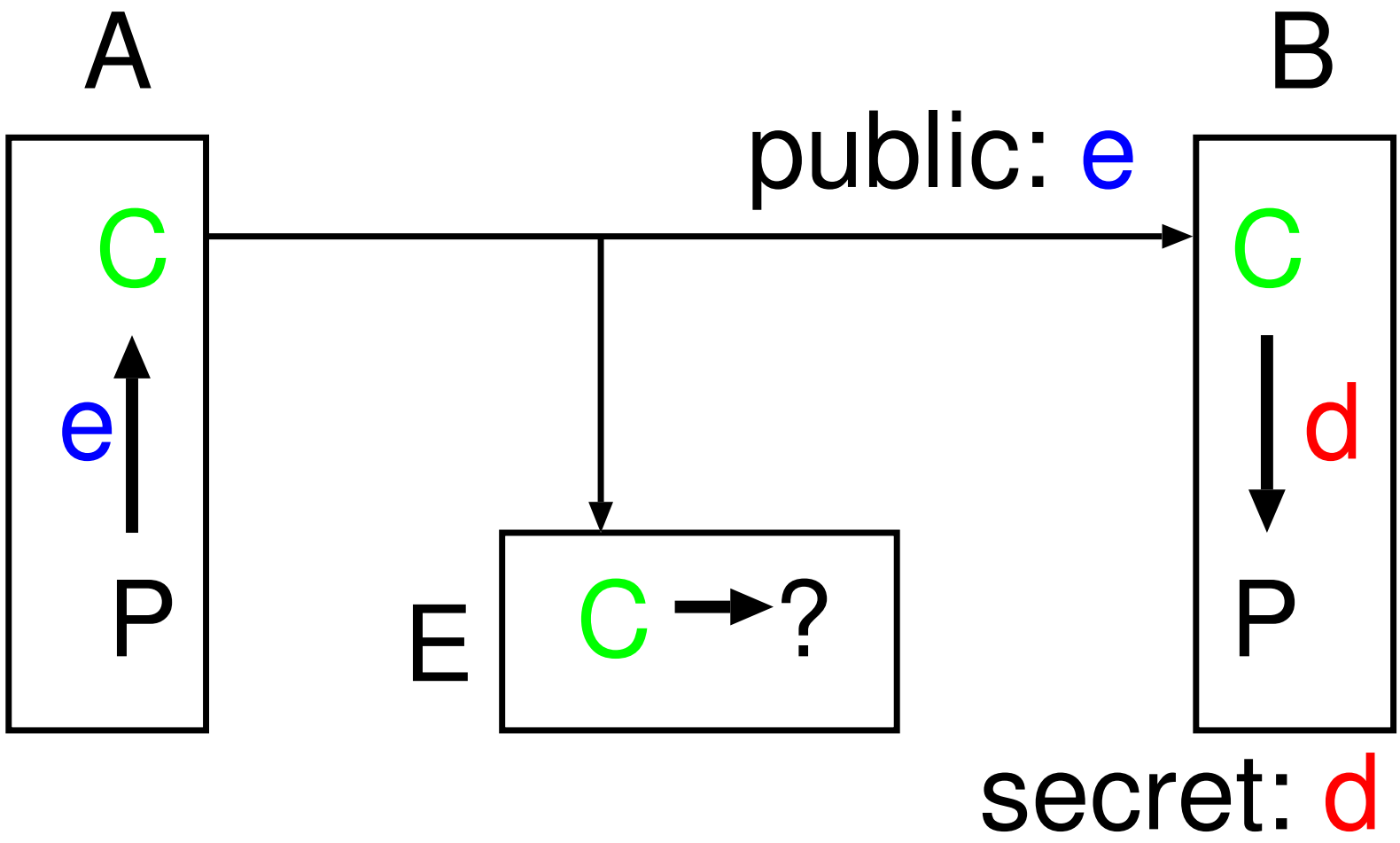
但し、一般には、
暗号化・復号が共通鍵暗号に比べて低速 (slow)

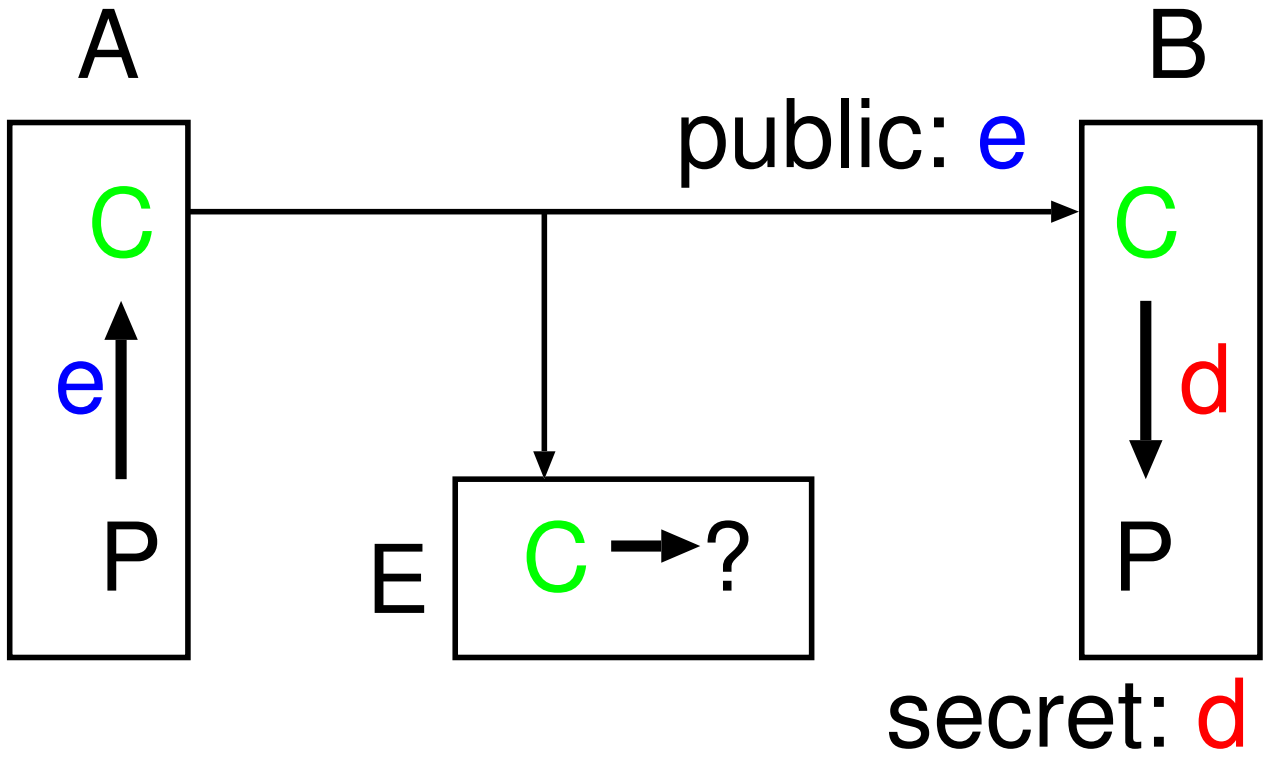
そこで、

- **始めに公開鍵暗号方式で鍵を送付・共有**
  (first share a secret key
  under public-key cryptosystem)
- **その鍵を用いて秘密鍵暗号方式で通信**
  (then communicate with the key
  under secret-key cryptosystem)

というように、組合わせて用いることが多い

公開鍵暗号による暗号通信



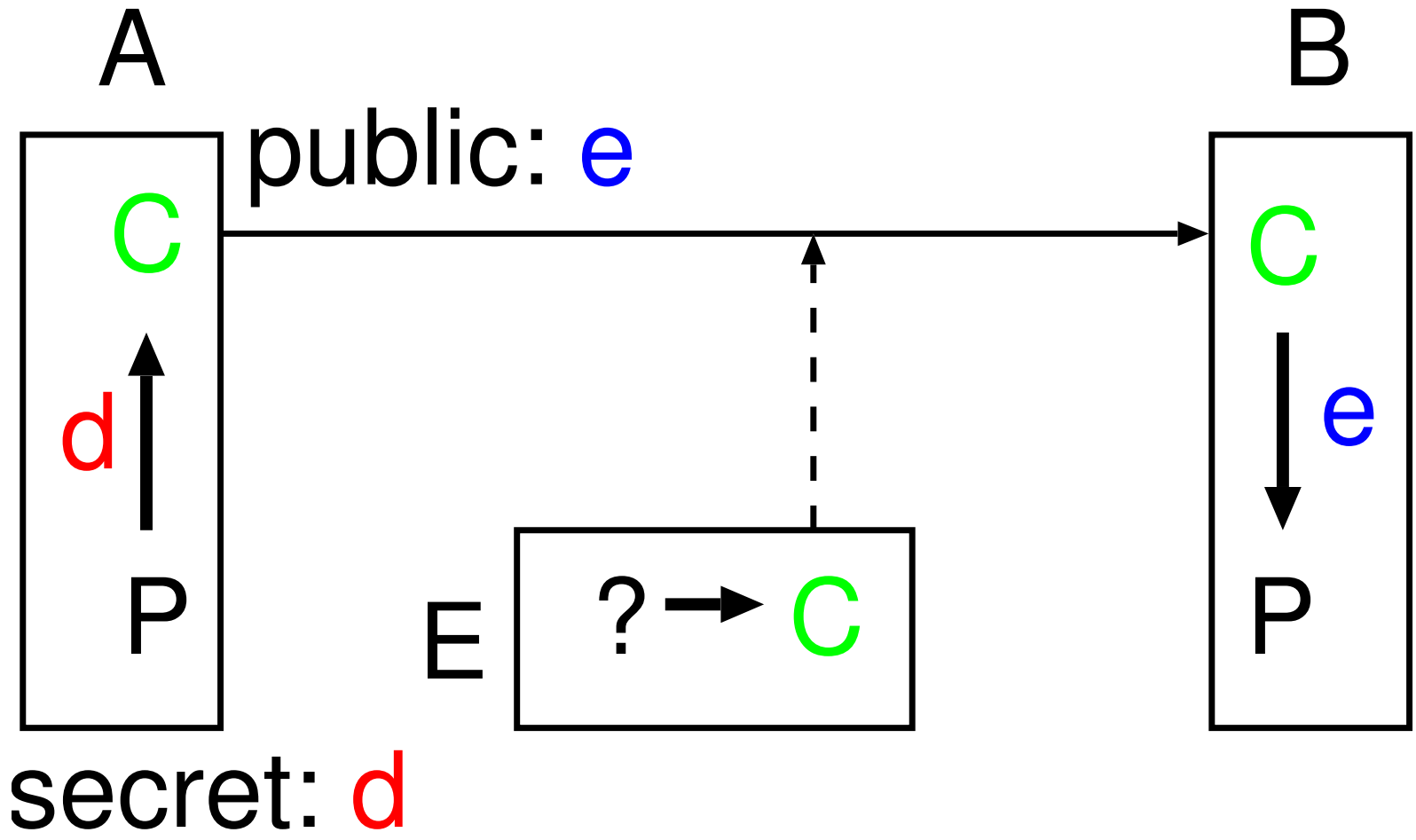


しかし、これだと誰でも暗号化できるので、

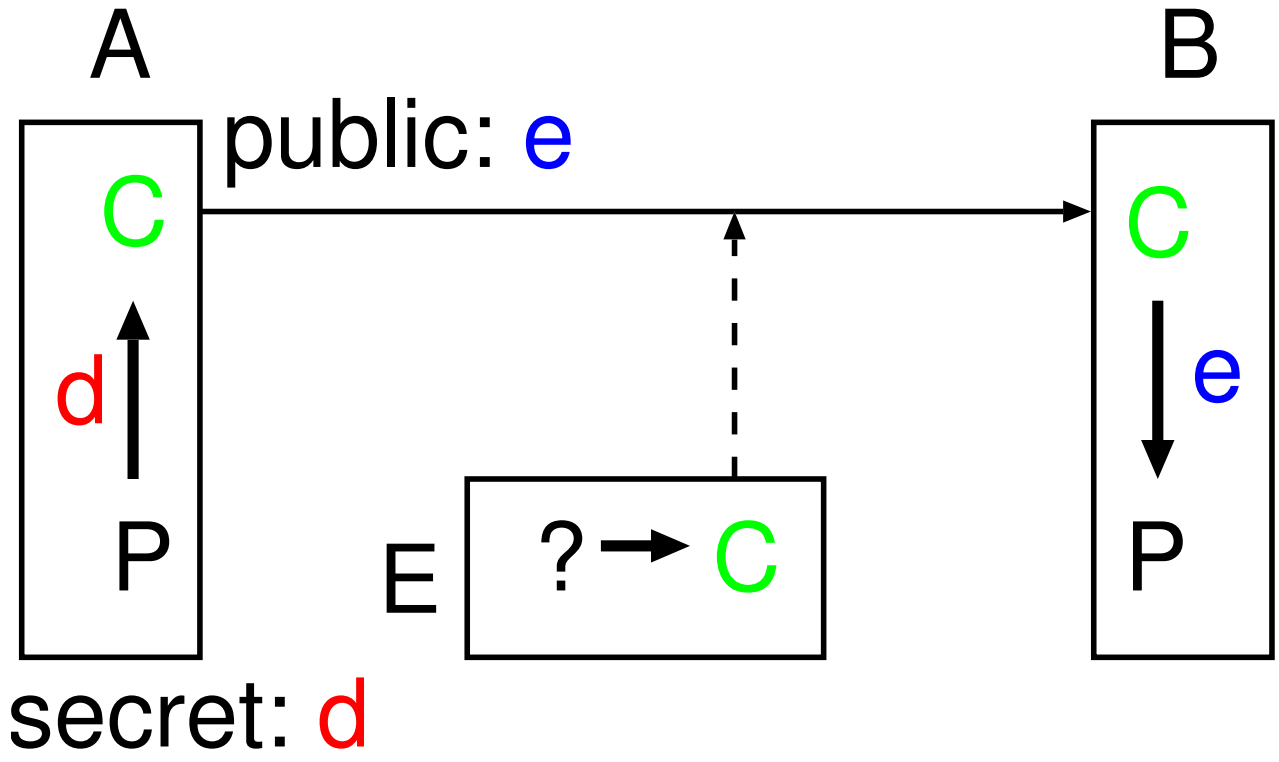
A 氏が送った保証がない

⟶ 署名 (signature) の必要性

公開鍵暗号を用いた署名 (signature)



公開鍵暗号を用いた署名 (signature)



盗聴者 E 氏は

平文 P は判らないが、暗号文 C は盗聴可能

⟶ いつも同じ署名は使えない

公開鍵暗号を用いた署名 (signature)

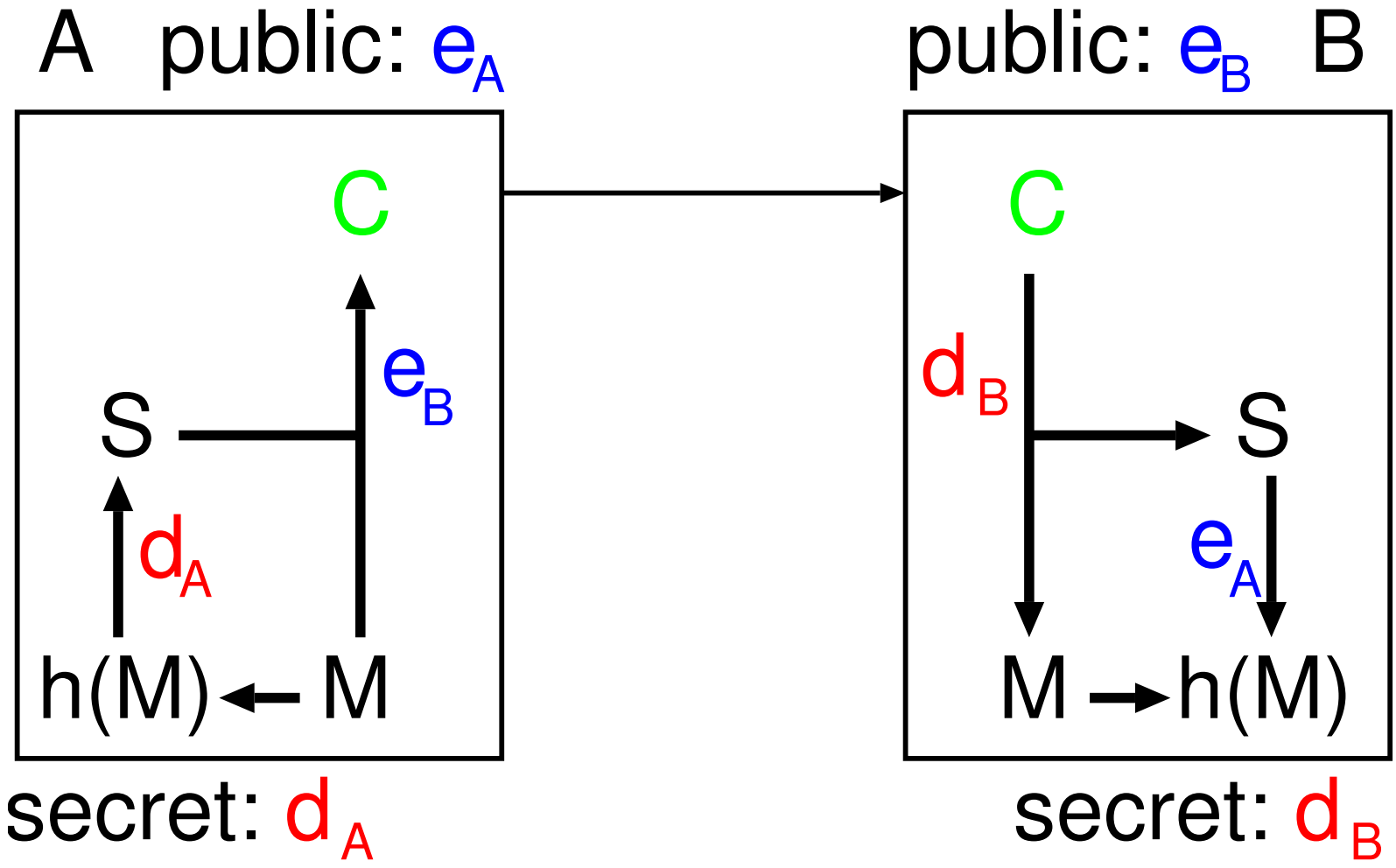
実際には、メッセージ本文 M に対して、

M から決まる短い値 (hash value) $\mathrm{h}(\mathrm{M})$ を

送信者 A 氏の秘密鍵で暗号化した文字列 S を
本文 M に添付して、

受信者 B 氏の公開鍵で一緒に暗号化して送る

公開鍵暗号を用いた署名 (signature)



公開鍵暗号の特徴

(properties of public-key cryptography)

- **暗号化は誰でも出来る**
  (Everyone can encrypt.)

- **復号は秘密鍵を知らないと出来ない**
  (Decryption requires the secret key.)
  (もの凄く時間が掛かる)

そんな都合の良い仕組みが本当にあるのか ？

⟶ ある!! (多分大丈夫)

公開鍵暗号の特徴

(preperties of public-key cryptography)

- 暗号化は誰でも出来る
  (Everyone can encrypt.)

- 復号は秘密鍵を知らないと出来ない
  (Decryption requires the secret key.)
  (もの凄く時間が掛かる)

そんな都合の良い仕組みが本当にあるのか ?

$\longrightarrow$ ある!! (多分大丈夫)

公開鍵暗号の特徴

(properties of public-key cryptography)

- 暗号化は誰でも出来る
  (Everyone can encrypt.)

- 復号は秘密鍵を知らないと出来ない
  (Decryption requires the secret key.)
  (もの凄く時間が掛かる)

そんな都合の良い仕組みが本当にあるのか ?

$\longrightarrow$ ある!! (多分大丈夫)

公開鍵暗号の特徴
(properties of public-key cryptography)

- 暗号化は誰でも出来る
  (Everyone can encrypt.)
- 復号は秘密鍵を知らないと出来ない
  (Decryption requires the secret key.)
  (もの凄く時間が掛かる)

計算困難な問題 を利用
(use of problems hard to compute)

- **素因数分解** (prime decomposition)
- **離散対数問題** (discrete logarithm)

代表的な公開鍵暗号方式

(public-key cryptosystems)

- **RSA cryptosystem**
  (Rivest-Shamir-Adleman)
- **Diffie-Hellman key-exchange (鍵共有)**
- **ElGamal encryption**

代表的な公開鍵暗号方式

(public-key cryptosystems)

- **RSA cryptosystem**
  (Rivest-Shamir-Adleman)
- **Diffie-Hellman key-exchange (鍵共有)**
- **ElGamal encryption**

公開鍵暗号の例: RSA 暗号

Rivest, Shamir, Adleman (1977)

- **大きな素数 p, q を選び、積 $\mathrm{n} = \mathrm{pq}$ を作る**
- **n を用いて、公開鍵 e・秘密鍵 d の対を作る**
- **暗号化の計算は n と公開鍵 e とから可能**
- **復号は秘密鍵 d を用いる**
- **n と公開鍵 e とから秘密鍵 d を求めるには、n の素因子分解 $\mathrm{n} = \mathrm{pq}$ が必要**
- **しかしそれは困難 (膨大な計算時間が掛かる)**