

# ストリーム暗号 KCipher-2 (仕様書 1.2 版)

KDDI 株式会社

## 仕様書更新履歴

1.2 版	2017 年 3 月 31 日	<p>誤記の修正</p> <p>下記の 4 つの修正は、シフトレジスタの動作を正しく記述するためのものである。</p> <p>1) FSR-A 及び FSR-B においては、それぞれ第 4 番目から第 0 番目，第 10 番目から第 0 番目の向きに，レジスタの値がシフトしていく。</p> <p>2) A および B の定義式において，右辺の時刻は左辺の時刻の 1 つ前の時刻である。</p> <p>3) 左辺は第 <math>i</math> 番目のレジスタ，右辺は第 <math>(i + 1)</math> 番目のレジスタの値である。</p> <p>7 ページ：</p> <p>● <math>A_{t+i+1} = A_{t+i}</math> (<math>i = 0, 1, 2, 3</math>) <math>\rightarrow</math> <math>A_{t+i+1} = A_{t+i+1}</math> (<math>i = 0, 1, 2, 3</math>) 時刻 <math>t</math> における FSR-A の第 <math>(i + 1)</math> レジスタの値 (<math>A_{t+(i+1)}</math>) が，時刻 <math>(t + 1)</math> における FSR-A の第 <math>i</math> レジスタ (<math>A_{(t+1)+i}</math>) に代入される。</p> <p>7 ページ：</p> <p>● <math>B_{t+i+1} = B_{t+i}</math> (<math>i = 0, 1, \dots, 9</math>) <math>\rightarrow</math> <math>B_{t+i+1} = B_{t+i+1}</math> (<math>i = 0, 1, \dots, 9</math>) 時刻 <math>t</math> における FSR-B の第 <math>(i + 1)</math> レジスタの値 (<math>B_{t+(i+1)}</math>) が，時刻 <math>(t + 1)</math> における FSR-B の第 <math>i</math> レジスタ (<math>B_{(t+1)+i}</math>) に代入される。</p> <p>9 ページ：</p> <p>● <math>A_{j+i} = A_{j+i-1}</math> (<math>i = 0, 1, 2, 3</math>) <math>\rightarrow</math> <math>A_{j+i} = A_{j+i}</math> (<math>i = 0, 1, 2, 3</math>) 時刻 <math>(j - 1)</math> における FSR-A の第 <math>(i + 1)</math> レジスタの値 (<math>A_{(j-1)+(i+1)}</math>) が，時刻 <math>j</math> における FSR-A の第 <math>i</math> レジスタ (<math>A_{j+i}</math>) に代入される。</p> <p>9 ページ：</p> <p>● <math>B_{j+i} = B_{j+i-1}</math> (<math>i = 0, 1, \dots, 9</math>) <math>\rightarrow</math> <math>B_{j+i} = B_{j+i}</math> (<math>i = 0, 1, \dots, 9</math>) 時刻 <math>(j - 1)</math> における FSR-B の第 <math>(i + 1)</math> レジスタの値 (<math>B_{(j-1)+(i+1)}</math>) が，時刻 <math>j</math> における FSR-B の第 <math>i</math> レジスタ (<math>B_{j+i}</math>) に代入される。</p> <p>その他の誤記</p> <p>4 ページ， 5 ページ：</p> <p>● 規約多項式 <math>\rightarrow</math> 既約多項式</p>
1.1 版	2010 年 2 月 1 日	<p>誤記の修正</p> <p>7 ページ：</p> <p>● <math>K_{11} \rightarrow K_{11}</math></p>
1.0 版	2009 年 11 月 30 日	初版リリース

## 1 はじめに

本文書では、ストリーム暗号(擬似乱数生成器)KCipher-2の仕様を規定する。KCipher-2は、128ビットの初期鍵(initial key)と、128ビットの初期ベクトル(initial vector)の2つの独立なパラメタを入力として有するストリーム暗号である。本文書は以下のように構成される。

第2節では、KCipher-2の設計指針について解説を行う。第3節では、本文書において使用する記号の定義、およびKCipher-2アルゴリズム内部のデータ構造を説明する。第4節においては、KCipher-2の構成要素および関数について説明し、第5節においてKCipher-2の処理ステップを示す。さらに、KCipher-2の実装手法について第6節にて述べる。最後に、第7節においてKCipher-2の使用方法について述べるとともに、第8節にてKCipher-2の利用実績について紹介する。

## 2 設計方針

本節では、KCipher-2の設計方針について説明する。

基本的なストリーム暗号の設計法として、線形フィードバックシフトレジスタ(Linear Feedback Shift Register (LFSR))と非線形関数を連結し、擬似乱数生成器とする手法が挙げられる。それに加えて非線形関数を利用し、1つ、もしくは複数のLFSRを非同期に動作させる(クロック制御)ストリーム暗号も存在する。クロック制御を用いた代表的なストリーム暗号として、GSMに用いられているA5を挙げることができる。

通常、ストリーム暗号におけるクロック制御とは、LFSRの動作・停止の制御を行うか、複数のLFSRの出力を非同期に縮退させる、あるいは間引くことを意味する。LFSRの出力を縮退、あるいは間引いた場合、破棄されるLFSRの出力が存在するため、効率的な処理を行っているとは言えない。ビット単位ではなく、ワード単位で処理を行うLFSRを用いて、出力の縮退によるクロック制御ストリーム暗号を構成したとき、クロック制御により大きく性能劣化が起きることになる。ビット単位でのクロック制御機構によるLFSRの内部レジスタ更新についても、各レジスタについてクロック制御機構が働くときには、同様に非効率であると言える。一方、従来のクロック制御手法とは異なり、ダイナミックにLFSRのフィードバック関数を変更する動的フィードバック制御は、LFSRをベースとしたストリーム暗号のセキュリティ対策のため、効果的な手法である。ストリーム暗号MICKEY[1]はビット単位で動作するLFSRのクロック制御機構として、動的フィードバック制御を用いている。また、POMARANCH[2]はCascade Jump制御系列生成器をLFSRのフィードバック関数の制御に用いて、動的フィードバック制御を実現している。

KCipher-2は、ワード単位のLFSRをベースとした高速な動作を可能としながら、効率的な動的フィードバック制御機構に起因する高いセキュリティ性を有するストリーム暗号である。KCipher-2内部のLFSRは、SNOW2.0[3]と同様に、32ビットワード単位での処理を行う。このLFSRでは、有限体 $GF(2^{32})$ 上の定数を係数として持つフィードバック関数が用いられる。入力が係数と乗算されることにより、ワード単位での攪拌が行われることとなる。一般的に、この係数はフィードバック関数が原始多項式となるように選択される。KCipher-2は、内部に2つのLFSRを有する。KCipher-2では、動的フィードバック制御部が、一方のLFSRのレジスタ値を用いて他方のLFSRのフィードバック関数の係数を動的に変化させることにより、ワード単位での攪拌に非同期性を付与している。係数を動的選択する制御手法は、縮退を用いたクロック制御機構などと比べて、暗号化・復号のスピードに与える影響が非常に小さく、効率的な手法であると言える。以下に、動的フィードバック制御されたフィードバック関数の例を示す。

$$s_{t+a} = \alpha_0^{(0,1)} s_{t+b} \oplus \alpha_1^{(0,1)} s_{t+c} \oplus \alpha_2^{(0,1)} s_{t+d}.$$

ここで、{0, 1} は動的フィードバック制御部により選択される。本文書では、動的フィードバック制御部により制御されたフィードバックシフトレジスタを、「動的フィードバックシフトレジスタ (Dynamic Feedback Shift Register (DFSR))」と呼ぶ。動的フィードバック制御手法を用いることにより、内部レジスタが確率的な振る舞いを起こすため、既存の種々の解析を困難にすることが可能であるだけでなく、未知の攻撃手法にも有効な手法だと考えられる。

KCipher-2 は、Pentium 4 において 4.97 cycle/byte の鍵系列生成処理を実現しており、現暗号リストに記載されたストリーム暗号アルゴリズムと同等以上の性能を有する。また、KCipher-2 に対する  $2^{256}$  以下の計算量で実行できる具体的な攻撃手法は提案されていない。従って、KCipher-2 は現暗号リストに記載されたストリーム暗号アルゴリズムと同等以上の安全性を有する。特に、KCipher-2 は SNOW 2.0 に対する攻撃への耐性を考慮して設計されたため、SNOW 2.0 に対して適用可能であった攻撃 (Algebraic Attack 及び Distinguishing Attack) が、KCipher-2 には適用することができない。以上のことから、KCipher-2 は現暗号リストに記載されたストリーム暗号アルゴリズムと同等以上の特徴を有するといえる。なお、詳細な評価については自己評価書を参照されたい。

### 3 準備

#### 3.1 記号の定義

- ⊕ ビットごとの排他的論理和 (Exclusive-OR (XOR))
- ⊕ 32 ビット整数の加算
- 0x 16 進数表示のプレフィックス
- $GF(2^n)$   $2^n$  個の要素を含む有限体
- $\gg n$  32 ビットレジスタにおける  $n$  ビット右シフト
- $\ll n$  32 ビットレジスタにおける  $n$  ビット左シフト

#### 3.2 KCipher-2 アルゴリズムにおけるデータ構造

KCipher-2 における基本のデータサイズは 32 ビットである。KCipher-2 アルゴリズムでは、ビット・バイトの順序は big-endian に従う。即ち、初期鍵および初期ベクトルがビット・バイト列として与えられた場合、先頭(最左)ビット・バイトは当該データの最上位ビット・バイト (Most Significant Bit/Byte (MSB)) となる。

### 4 構成要素・関数

本説では、動的フィードバック制御機構を有するストリーム暗号アルゴリズム KCipher-2 の構成要素・関数について詳述する。KCipher-2 のアルゴリズムは、図 1 に示すように、以下の要素で構成される。

- 線形フィードバックシフトレジスタ (Linear Feedback Shift Register (LFSR))  $FSR-A$  および動的フィードバックシフトレジスタ (Dynamic Feedback Shift Register, DFSR)  $FSR-B$  から成るフィードバックシフトレジスタ (Feedback Shift Register, FSR) 部
- 4 つの内部レジスタ,  $R1, R2, L1, L2$ , を有する非線形関数部
- 動的フィードバック制御部

また、KCipher-2 内部で使用されるレジスタのサイズは、全て 32 ビットである。

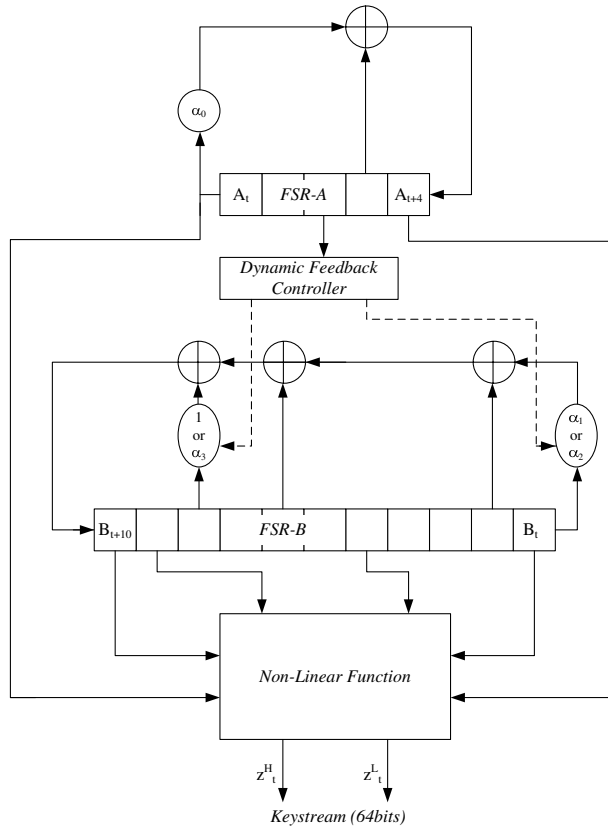


Fig. 1. KCipher-2 アルゴリズム概要

#### 4.1 フィードバックシフトレジスタ部・動的フィードバック制御部

$FSR-A$ ,  $FSR-B$  は、それぞれ 5 レジスタ, 11 レジスタで構成される。ここで  $\beta$  を原始多項式  $x^8 + x^7 + x^6 + x + 1 \in GF(2)[x]$  の根とする。また, 1 バイトの値  $y$  を  $(y_7, y_6, \dots, y_1, y_0)$  と表す。ただし,  $y_7$  が最上位ビット (MSB),  $y_0$  が最下位ビット (LSB) である。このとき,  $y$  は  $y = y_7\beta^7 + y_6\beta^6 + \dots + y_1\beta + y_0$  と表される。同様に,  $\gamma, \delta, \zeta$  をそれぞれ以下の原始多項式の根とする。

$$\begin{aligned} x^8 + x^5 + x^3 + x^2 + 1 &\in GF(2)[x], \\ x^8 + x^6 + x^3 + x^2 + 1 &\in GF(2)[x], \\ x^8 + x^6 + x^5 + x^2 + 1 &\in GF(2)[x], \end{aligned}$$

また,  $\alpha_0$  を以下の 4 次の既約多項式の根とする。

$$x^4 + \beta^{24}x^3 + \beta^3x^2 + \beta^{12}x + \beta^{71} \in GF(2^8)[x].$$

さらに, 32 ビットの値  $Y$  を  $(Y_3, Y_2, Y_1, Y_0)$  で表すこととする。ただし,  $Y_i$  は 1 バイトの値であり,  $Y_3$  が最上位バイトである。このとき,  $Y$  は  $Y = Y_3\alpha_0^3 + Y_2\alpha_0^2 + Y_1\alpha_0 + Y_0$  で表される。同様に,  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$

をそれぞれ以下の 4 次既約多項式の根とする.

$$\begin{aligned} x^4 + \gamma^{230}x^3 + \gamma^{156}x^2 + \gamma^{93}x + \gamma^{29} &\in GF(2^8)[x], \\ x^4 + \delta^{34}x^3 + \delta^{16}x^2 + \delta^{199}x + \delta^{248} &\in GF(2^8)[x], \\ x^4 + \zeta^{157}x^3 + \zeta^{253}x^2 + \zeta^{56}x + \zeta^{16} &\in GF(2^8)[x], \end{aligned}$$

上記の定義を用いて, *FSR-A* のフィードバック関数  $f_A(x)$ , *FSR-B* のフィードバック関数  $f_B(x)$  は, それぞれ以下で表わされる.

$$\begin{aligned} f_A(x) &= \alpha_0x^5 + x^2 + 1, \\ f_B(x) &= (\alpha_1^{cl1_t} + \alpha_2^{1-cl1_t} - 1)x^{11} + x^{10} + x^5 + \alpha_3^{cl2_t}x^3 + 1. \end{aligned}$$

フィードバック関数  $f_B(x)$  を決定する  $cl1, cl2$  は *FSR-A* のレジスタ値を用いフィードバック制御部により決定される. 時刻  $x$  の *FSR-A* のレジスタ値を  $A_x$  と表し,  $A_x[y] \in \{0, 1\}$  を  $y$  番目のビット値とする. ただし,  $A_x[31]$  が  $A_x$  の MSB となる. このとき,  $cl1$  と  $cl2$  (クロック制御ビット) は, *FSR-A* の値を用いて  $cl1_t = A_{t+2}[30] \in \{0, 1\}$ ,  $cl2_t = A_{t+2}[31] \in \{0, 1\}$  と表される.  $cl2_t = 0$  のとき, *FSR-B* は原始多項式による構成と見ることができる.

## 4.2 非線形関数

非線形関数部は, *FSR-A* の 2 つのレジスタ値と, *FSR-B* の 4 つのレジスタ値, さらに 4 つの 32 ビット内部レジスタ値  $R1, R2, L1, L2$  を入力とし, 1 サイクルごとに 64 ビットの鍵系列を出力する. 図 2 に非線形関数部の概略を示す. 非線形関数部は *Sub* によって表わされる 4 つの置換関数を有する.

関数 *Sub* は, Substitution 処理と Permutation 処理からなり, 32 ビットから 32 ビットへの変換を与える.

$$Sub : A \in GF(2^{32}) \mapsto B = Sub(A) \in GF(2^{32}).$$

Substitution 処理では, 入力された 32 ビット値をバイト単位に分割し, 8 ビット入出力 Substitution 処理を各バイトに施す. 次いで Permutation 処理において, Substitution 処理からの出力に対し, 32 ビット入出力の線形 Permutation 処理を行う. Substitution 処理の 8 ビット入出力 Substitution 処理は AES[4] の s-box 処理と同一である. また, Permutation 処理は AES の *Mix Column* 処理と等しい. 関数 *Sub* の実装手法については第 6 節にて記述する.

**SUBSTITUTION 処理:** Substitution 処理は, 8 ビットから 8 ビットへの関数であり, 2 つの変換関数  $f$  と  $g$  を用いて  $f \circ g$  と表される. 関数  $g$  は既約多項式  $m(x) = x^8 + x^4 + x^3 + x + 1$  を法としたときの逆元を与える関数である.

$$g : a \in GF(2^8) \mapsto b = a^{-1} \in GF(2^8).$$

ただし,  $0x00$  は  $0x00$  へマッピングされる. 一方,  $f : a \in GF(2^8) \mapsto b \in GF(2^8)$  は以下で定義されるアフィン変換である.

$$\begin{bmatrix} b_7 \\ b_6 \\ b_5 \\ b_4 \\ b_3 \\ b_2 \\ b_1 \\ b_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 11111000 \\ 01111100 \\ 00111110 \\ 00011111 \\ 10001111 \\ 11000111 \\ 11100011 \\ 11110001 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} a_7 \\ a_6 \\ a_5 \\ a_4 \\ a_3 \\ a_2 \\ a_1 \\ a_0 \end{bmatrix} \oplus \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}.$$

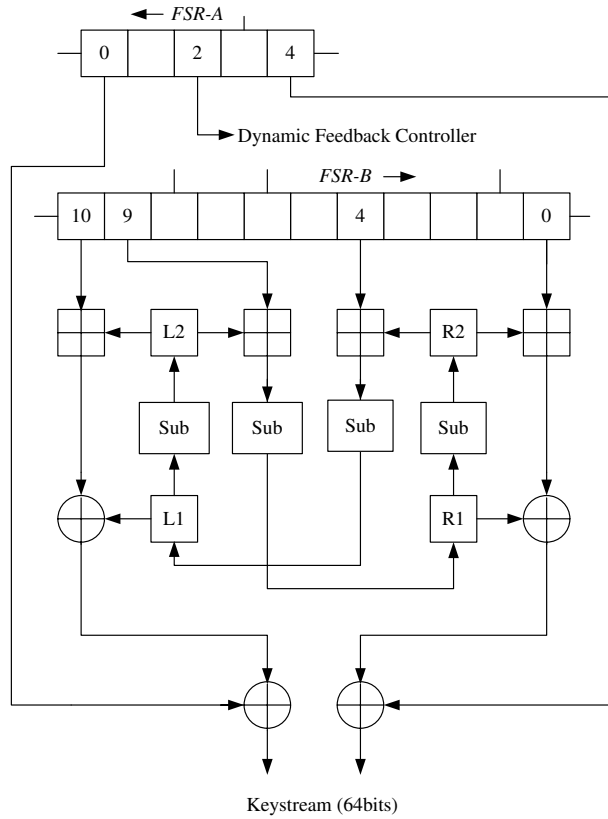


Fig. 2. 非線形関数部

ここで、 $a = (a_7, \dots, a_0)$  は  $f$  への入力であり、 $b = (b_7, \dots, b_0)$  は対応する出力である。また、 $a_0, b_0$  が各々LSBを表わしている。

**PERMUTATION 処理:** Permutation 処理への入力値を、4つの8ビット値  $(c_3, c_2, c_1, c_0)$  で表わされる32ビット値  $C$  とする。同様に32ビット値  $D = (d_3, d_2, d_1, d_0)$  を出力とする。このとき、線形 permutation 関数  $p: C \in GF(2^{32}) \mapsto D = p(C) \in GF(2^{32})$  は、次の  $m(x) = x^8 + x^4 + x^3 + x + 1$  を法とした  $GF(2^8)$  上の演算で定義される。

$$\begin{pmatrix} d_0 \\ d_1 \\ d_2 \\ d_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 02 & 03 & 01 & 01 \\ 01 & 02 & 03 & 01 \\ 01 & 01 & 02 & 03 \\ 03 & 01 & 01 & 02 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c_0 \\ c_1 \\ c_2 \\ c_3 \end{pmatrix}.$$

## 5 処理ステップ

本節では、KCipher-2の処理ステップを詳述する。KCipher-2の処理ステップは、鍵系列出力処理と初期化処理の2つで構成される。KCipher-2を利用するためには、初期化処理後、鍵系列出力処理を動作させる。

## 5.1 鍵系列出力処理

時刻  $t$  に出力される 64 ビットの鍵系列を  $Z_t = (z_t^H, z_t^L)$  と表わす。ただし,  $z_t^H, z_t^L$  共に 32 ビット値である。また,  $z_t^H$  が上位の 32 ビットとなる。鍵系列  $z_t^H, z_t^L$  は, 内部レジスタ値を用いて以下の式により出力される。

$$\begin{aligned} z_t^L &= B_t \boxplus R2_t \oplus R1_t \oplus A_{t+4}, \\ z_t^H &= B_{t+10} \boxplus L2_t \oplus L1_t \oplus A_t, \end{aligned}$$

このとき, 時刻  $x$  の FSR-A, FSR-B の出力を, それぞれ  $A_x, B_x$  と示している。同様に,  $R1_x, R2_x, L1_x, L2_x$  は, 時刻  $x$  の非線形関数内部レジスタの値である。

鍵系列の出力後, 以下の式により内部状態の更新を行い, 時刻  $t+1$  の内部レジスタ値を得る。

$$\begin{aligned} R1_{t+1} &= \text{Sub}(L2_t \boxplus B_{t+9}), & R2_{t+1} &= \text{Sub}(R1_t), \\ L1_{t+1} &= \text{Sub}(R2_t \boxplus B_{t+4}), & L2_{t+1} &= \text{Sub}(L1_t), \\ A_{t+i+1} &= \begin{cases} A_{t+i+1} & (i = 0, 1, 2, 3), \\ A_{t+3} \oplus \alpha_0 A_t & (i = 4) \end{cases} \\ B_{t+i+1} &= \begin{cases} B_{t+i+1} & (i = 0, 1, \dots, 9) \\ (\alpha_1^{cl1_t} + \alpha_2^{1-cl1_t} - 1)B_t \oplus B_{t+1} \oplus B_{t+6} \oplus \alpha_3^{cl2_t} B_{t+8} & (i = 10) \end{cases} \end{aligned}$$

このとき,  $\text{Sub}(X)$  は入力  $X$  に対する関数  $\text{Sub}$  の出力を表わす。時刻  $t$  および  $t+1$  において,  $\{B_t, B_{t+3}, B_{t+8}, B_{t+10}\}$  は, *Full Positive Difference Set* (FPDS)[5] となっている。関数  $\text{Sub}$  の実装手法, および定数  $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  を用いた有限体上の乗算の実装手法については, 第 6 節にて解説を行う。

## 5.2 初期化処理

KCipher-2 の初期化処理は, 以下の 2 ステップで構成される。

- 初期鍵, 初期ベクトルの読み込み処理。
- 次に, 内部状態の初期化ステップ。

**初期鍵の読み込み:** 初期鍵, 初期ベクトルの読み込み処理では, 鍵スケジューアルゴリズムを用いて, 128 ビットの初期鍵 (initial key) と, 128 ビットの初期ベクトル (initial vector (IV)) を内部レジスタに読み込み, 初期化前の内部状態を生成する。

KCipher-2 の鍵スケジューアルゴリズムでは, AES ラウンド鍵生成時の鍵拡張処理と同様に, 128 ビット初期鍵を 384 ビットの内部鍵に拡張する。初期鍵を  $IK = (IK_0, IK_1, IK_2, IK_3)$  と表わす。 $IK_i$  ( $i = 0, 1, 2, 3$ ) は 32 ビットである。同様に,  $K_i$  を 32 ビットとし, 内部鍵を  $K = (K_0, K_1, \dots, K_{11})$  と表わす。このとき,  $K$  は  $IK$  より以下の式で生成される。

$$K_i = \begin{cases} IK_i & (0 \leq i \leq 3) \\ K_{i-4} \oplus \text{Sub}((K_{i-1} \ll 8) \oplus (K_{i-1} \gg 24)) \oplus \text{Rcon}[i/4 - 1] & (i = 4n) \\ K_{i-4} \oplus K_{i-1} & (i \neq 4n) \end{cases}.$$

ここで,  $i = 0, 1, \dots, 11$  である。また,  $\text{Sub}(X)$  は非線形関数部で用いられているものと同じである。 $\text{Rcon}[j]$  は  $x = 0x02$  として,  $\text{Rcon}[j] = (x^j \bmod x^8 + x^4 + x^3 + x + 1, 0x00, 0x00, 0x00)$  で定義される。

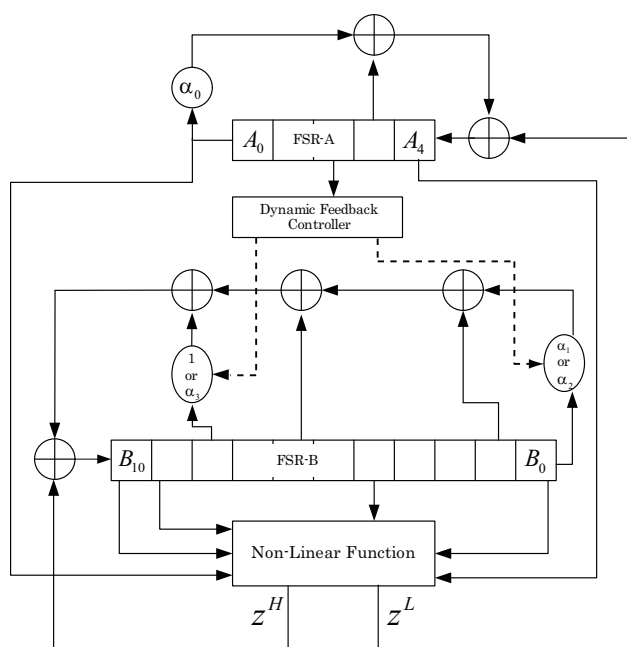


Fig. 3. 初期化処理

KCipher-2 の鍵スケジュールアルゴリズムでは， $Rcon[0] = (0x01, 0x00, 0x00, 0x00)$  ( $i = 4$ )，および  $Rcon[1] = (0x02, 0x00, 0x00, 0x00)$  ( $i = 8$ ) のみ利用される。

内部鍵  $K$  の生成後，内部鍵と初期ベクトル  $IV = (IV_0, IV_1, IV_2, IV_3)$  を用いて，KCipher-2 の初期化前の内部状態は以下のように生成する。

$$\begin{aligned}
 A_m &= K_{4-m} \quad (m = 0, \dots, 4), \\
 B_0 &= K_{10}, B_1 = K_{11}, B_2 = IV_0, B_3 = IV_1, \\
 B_4 &= K_8, B_5 = K_9, B_6 = IV_2, B_7 = IV_3, \\
 B_8 &= K_7, B_9 = K_5, B_{10} = K_6, \\
 R1 &= R2 = L1 = L2 = 0x00.
 \end{aligned}$$

内部状態の初期化：初期鍵，初期ベクトルの読み込み処理により初期化前の内部状態を生成した後，KCipher-2 を 24 クロック ( $j = 1, \dots, 24$ ) 動作させ，内部状態の攪拌を行う。このとき，鍵系列出力処



理とは異なり，以下の式により内部状態の更新が行われる．

$$\begin{aligned}
 R1_j &= \text{Sub}(L2_{j-1} \boxplus B_{j+8}), & R2_j &= \text{Sub}(R1_{j-1}), \\
 L1_j &= \text{Sub}(R2_{j-1} \boxplus B_{j+3}), & L2_j &= \text{Sub}(L1_{j-1}), \\
 A_{j+i} &= \begin{cases} A_{j+i} & (i = 0, 1, 2, 3) \\ \alpha_0 A_{j-1} \oplus A_{j+2} \oplus z_{j-1}^L & (i = 4) \end{cases}, \\
 B_{j+i} &= \begin{cases} B_{j+i} & (i = 0, 1, \dots, 9) \\ (\alpha_1^{cl_{j-1}} + \alpha_2^{1-cl_{j-1}} - 1)B_{j-1} \oplus B_j \oplus B_{j+5} \oplus \alpha_3^{cl_{j-1}} B_{j+7} \oplus z_{j-1}^H & (i = 10) \end{cases}.
 \end{aligned}$$

関数 *Sub* の実装手法，および定数  $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  を用いた有限体上の乗算の実装手法については，第 6 節にて解説を行う．

## 6 実装手法について

### 6.1 参照テーブルを用いた高速実装方法

参照テーブルによる  $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  の乗算の実装: *FSR-A* および *FSR-B* では，定数  $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  と 32 ビット変数の  $GF(2^{32})$  上の乗算が行われる．当該の乗算は，参照テーブルを用いて高速な実装が可能である． $w$  を 32 ビットの値， $\text{alpha\_i}[j]$  を参照テーブル  $\text{alpha\_i}[256]$  ( $i = 0, 1, 2, 3$ ) の  $j$  番目の要素 ( $0 \leq j \leq 255$ ) とする．このとき， $GF(2^{32})$  上の乗算  $\alpha_i w$  は，次式で与えられる．

$$\alpha_i w = (w \ll 8) \oplus \text{alpha\_i}[(w \gg 24)].$$

以下に， $w = 0x01234567$  としたときの  $\alpha_0 w$  の実装例を示す．

$$\begin{aligned}
 \alpha_0 \cdot (0x01234567) &= ((0x01234567) \ll 8) \oplus \text{alpha\_0}[0x01] \\
 &= 0x23456700 \oplus 0xB6086D1A \\
 &= 0x954D0A1A.
 \end{aligned}$$

参照テーブル  $\text{alpha\_0}[256]$ ,  $\text{alpha\_1}[256]$ ,  $\text{alpha\_2}[256]$ ,  $\text{alpha\_3}[256]$  の構成は，Appendix A にて示す．

参照テーブルによる関数 *Sub* の実装: 非線形関数部の 32 ビット入出力関数 *Sub* についても，参照テーブルを利用することで高速な実装が可能である． $A$  を *Sub* の 32 ビット入力値， $\text{T\_i}[j]$  を参照テーブル  $\text{T\_i}[256]$  ( $i = 0, 1, 2, 3$ ) の  $j$  番目の要素 ( $0 \leq j \leq 255$ ) とする．このとき， $\text{Sub}(A)$  は次式で与えられる．

$$\text{Sub}(A) = \text{T\_0}[A \& 0xFF] \oplus \text{T\_1}[(A \gg 8) \& 0xFF] \oplus \text{T\_2}[(A \gg 16) \& 0xFF] \oplus \text{T\_3}[A \gg 24];$$

ここで  $\&$  は AND 論理演算を示す．以下に， $A = 0x01234567$  としたときの  $\text{Sub}(A)$  の実装例を示す．

$$\begin{aligned}
 \text{Sub}(0x01234567) &= \text{T\_0}[0x67] \oplus \text{T\_1}[0x45] \oplus \text{T\_2}[0x23] \oplus \text{T\_3}[0x01] \\
 &= 0x94858511 \oplus 0x6E6EDCB2 \oplus 0x264C6A26 \oplus 0xF8847C7C \\
 &= 0x24234FF9.
 \end{aligned}$$

参照テーブル  $\text{T\_0}[256]$ ,  $\text{T\_1}[256]$ ,  $\text{T\_2}[256]$ ,  $\text{T\_3}[256]$  の構成は，Appendix B にて示す．

## 6.2 コンパクト実装方法

本節では、 $\alpha_i$  および *Sub* の参照テーブルを用いない、コンパクトな実装手法を示す。

$\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  の乗算の実装: *FSR-A* および *FSR-B* では、定数  $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  と 32 ビット変数の  $GF(2^{32})$  上の乗算が行われる。当該の乗算は、ビット単位での実装により、参照テーブルを用いないコンパクトな実装が可能である。

$x = (x_{31}, x_{30}, \dots, x_0)$  をビット単位で表わした 32 ビットの値とする。同様に、 $y(i) = (y(i)_{31}, y(i)_{30}, \dots, y(i)_0)$  をビット単位であらわした 32 ビットの値とし、乗算  $\alpha_i x = y(i)$  の結果 ( $i = 0, 1, 2, 3$ ) とする。このとき、 $y(i)$  の各ビットは以下で与えられる。

– For the case of  $y(0)$ .

$$\begin{aligned}
 y(0)_0 &= x_{28} \oplus x_{30}, & y(0)_{16} &= x_8 \oplus x_{29} \oplus x_{30}, \\
 y(0)_1 &= x_{24} \oplus x_{28} \oplus x_{29} \oplus x_{30} \oplus x_{31}, & y(0)_{17} &= x_9 \oplus x_{29} \oplus x_{31}, \\
 y(0)_2 &= x_{25} \oplus x_{29} \oplus x_{30} \oplus x_{31}, & y(0)_{18} &= x_{10} \oplus x_{30}, \\
 y(0)_3 &= x_{24} \oplus x_{26} \oplus x_{30} \oplus x_{31}, & y(0)_{19} &= x_{11} \oplus x_{24} \oplus x_{31}, \\
 y(0)_4 &= x_{24} \oplus x_{25} \oplus x_{27} \oplus x_{31}, & y(0)_{20} &= x_{12} \oplus x_{25}, \\
 y(0)_5 &= x_{25} \oplus x_{26} \oplus x_{28}, & y(0)_{21} &= x_{13} \oplus x_{26}, \\
 y(0)_6 &= x_{26} \oplus x_{27} \oplus x_{28} \oplus x_{29} \oplus x_{30}, & y(0)_{22} &= x_{14} \oplus x_{27} \oplus x_{29} \oplus x_{30}, \\
 y(0)_7 &= x_{27} \oplus x_{29} \oplus x_{31}, & y(0)_{23} &= x_{15} \oplus x_{28} \oplus x_{29} \oplus x_{31}, \\
 y(0)_8 &= x_0 \oplus x_{24} \oplus x_{26} \oplus x_{28}, & y(0)_{24} &= x_{16} \oplus x_{25} \oplus x_{26} \oplus x_{27} \oplus x_{28} \oplus x_{31}, \\
 y(0)_9 &= x_1 \oplus x_{25} \oplus x_{26} \oplus x_{27} \oplus x_{28} \oplus x_{29}, & y(0)_{25} &= x_{17} \oplus x_{24} \oplus x_{25} \oplus x_{29} \oplus x_{31}, \\
 y(0)_{10} &= x_2 \oplus x_{24} \oplus x_{26} \oplus x_{27} \oplus x_{28} \oplus x_{29} \oplus x_{30}, & y(0)_{26} &= x_{18} \oplus x_{24} \oplus x_{25} \oplus x_{26} \oplus x_{30}, \\
 y(0)_{11} &= x_3 \oplus x_{24} \oplus x_{25} \oplus x_{27} \oplus x_{28} \oplus x_{29} \oplus x_{30} \oplus x_{31}, & y(0)_{27} &= x_{19} \oplus x_{25} \oplus x_{26} \oplus x_{27} \oplus x_{31}, \\
 y(0)_{12} &= x_4 \oplus x_{25} \oplus x_{26} \oplus x_{28} \oplus x_{29} \oplus x_{30} \oplus x_{31}, & y(0)_{28} &= x_{20} \oplus x_{24} \oplus x_{26} \oplus x_{27} \oplus x_{28}, \\
 y(0)_{13} &= x_5 \oplus x_{24} \oplus x_{26} \oplus x_{27} \oplus x_{29} \oplus x_{30} \oplus x_{31}, & y(0)_{29} &= x_{21} \oplus x_{24} \oplus x_{25} \oplus x_{27} \oplus x_{28} \oplus x_{29}, \\
 y(0)_{14} &= x_6 \oplus x_{24} \oplus x_{25} \oplus x_{26} \oplus x_{27} \oplus x_{30} \oplus x_{31}, & y(0)_{30} &= x_{22} \oplus x_{27} \oplus x_{29} \oplus x_{30} \oplus x_{31}, \\
 y(0)_{15} &= x_7 \oplus x_{25} \oplus x_{27} \oplus x_{31}, & y(0)_{31} &= x_{23} \oplus x_{24} \oplus x_{25} \oplus x_{26} \oplus x_{27} \oplus x_{30}.
 \end{aligned}$$

– For the case of  $y(1)$ .

$$\begin{aligned}
 y(1)_0 &= x_{27} \oplus x_{29} \oplus x_{31}, & y(1)_{16} &= x_8 \oplus x_{24} \oplus x_{25} \oplus x_{26} \oplus x_{27} \oplus x_{29} \oplus x_{30}, \\
 y(1)_1 &= x_{24} \oplus x_{28} \oplus x_{30}, & y(1)_{17} &= x_9 \oplus x_{25} \oplus x_{26} \oplus x_{27} \oplus x_{28} \oplus x_{30} \oplus x_{31}, \\
 y(1)_2 &= x_{24} \oplus x_{25} \oplus x_{27}, & y(1)_{18} &= x_{10} \oplus x_{24} \oplus x_{25} \oplus x_{28} \oplus x_{30} \oplus x_{31}, \\
 y(1)_3 &= x_{24} \oplus x_{25} \oplus x_{26} \oplus x_{27} \oplus x_{28} \oplus x_{29} \oplus x_{31}, & y(1)_{19} &= x_{11} \oplus x_{27} \oplus x_{30} \oplus x_{31}, \\
 y(1)_4 &= x_{25} \oplus x_{26} \oplus x_{27} \oplus x_{28} \oplus x_{29} \oplus x_{30}, & y(1)_{20} &= x_{12} \oplus x_{24} \oplus x_{28} \oplus x_{31}, \\
 y(1)_5 &= x_{24} \oplus x_{26} \oplus x_{28} \oplus x_{30}, & y(1)_{21} &= x_{13} \oplus x_{24} \oplus x_{26} \oplus x_{27} \oplus x_{30}, \\
 y(1)_6 &= x_{25} \oplus x_{27} \oplus x_{29} \oplus x_{31}, & y(1)_{22} &= x_{14} \oplus x_{24} \oplus x_{25} \oplus x_{27} \oplus x_{28} \oplus x_{31}, \\
 y(1)_7 &= x_{26} \oplus x_{28} \oplus x_{30}, & y(1)_{23} &= x_{15} \oplus x_{24} \oplus x_{25} \oplus x_{26} \oplus x_{28} \oplus x_{29}, \\
 y(1)_8 &= x_0 \oplus x_{25} \oplus x_{26} \oplus x_{27} \oplus x_{30}, & y(1)_{24} &= x_{16} \oplus x_{25} \oplus x_{27} \oplus x_{28}, \\
 y(1)_9 &= x_1 \oplus x_{26} \oplus x_{27} \oplus x_{28} \oplus x_{31}, & y(1)_{25} &= x_{17} \oplus x_{26} \oplus x_{28} \oplus x_{29}, \\
 y(1)_{10} &= x_2 \oplus x_{24} \oplus x_{25} \oplus x_{26} \oplus x_{28} \oplus x_{29} \oplus x_{30}, & y(1)_{26} &= x_{18} \oplus x_{25} \oplus x_{28} \oplus x_{29} \oplus x_{30}, \\
 y(1)_{11} &= x_3 \oplus x_{24} \oplus x_{29} \oplus x_{31}, & y(1)_{27} &= x_{19} \oplus x_{25} \oplus x_{26} \oplus x_{27} \oplus x_{28} \oplus x_{29} \oplus x_{30} \oplus x_{31}, \\
 y(1)_{12} &= x_4 \oplus x_{24} \oplus x_{25} \oplus x_{30}, & y(1)_{28} &= x_{20} \oplus x_{26} \oplus x_{27} \oplus x_{28} \oplus x_{29} \oplus x_{30} \oplus x_{31}, \\
 y(1)_{13} &= x_5 \oplus x_{24} \oplus x_{27} \oplus x_{30} \oplus x_{31}, & y(1)_{29} &= x_{21} \oplus x_{24} \oplus x_{25} \oplus x_{29} \oplus x_{30} \oplus x_{31}, \\
 y(1)_{14} &= x_6 \oplus x_{24} \oplus x_{25} \oplus x_{28} \oplus x_{31}, & y(1)_{30} &= x_{22} \oplus x_{25} \oplus x_{26} \oplus x_{30} \oplus x_{31}, \\
 y(1)_{15} &= x_7 \oplus x_{24} \oplus x_{25} \oplus x_{26} \oplus x_{29}, & y(1)_{31} &= x_{23} \oplus x_{24} \oplus x_{26} \oplus x_{27} \oplus x_{31}.
 \end{aligned}$$

– For the case of  $y(2)$ .

$$\begin{aligned}
 y(2)_0 &= x_{24} \oplus x_{25} \oplus x_{27} \oplus x_{28} \oplus x_{29} \oplus x_{31}, & y(2)_{16} &= x_8 \oplus x_{25} \oplus x_{26} \oplus x_{29} \oplus x_{30} \oplus x_{31}, \\
 y(2)_1 &= x_{24} \oplus x_{25} \oplus x_{26} \oplus x_{28} \oplus x_{29} \oplus x_{30}, & y(2)_{17} &= x_9 \oplus x_{26} \oplus x_{27} \oplus x_{30} \oplus x_{31}, \\
 y(2)_2 &= x_{26} \oplus x_{28} \oplus x_{30}, & y(2)_{18} &= x_{10} \oplus x_{25} \oplus x_{26} \oplus x_{27} \oplus x_{28} \oplus x_{29} \oplus x_{30}, \\
 y(2)_3 &= x_{25} \oplus x_{28}, & y(2)_{19} &= x_{11} \oplus x_{24} \oplus x_{25} \oplus x_{27} \oplus x_{28}, \\
 y(2)_4 &= x_{24} \oplus x_{26} \oplus x_{29}, & y(2)_{20} &= x_{12} \oplus x_{24} \oplus x_{25} \oplus x_{26} \oplus x_{28} \oplus x_{29}, \\
 y(2)_5 &= x_{25} \oplus x_{27} \oplus x_{30}, & y(2)_{21} &= x_{13} \oplus x_{24} \oplus x_{25} \oplus x_{26} \oplus x_{27} \oplus x_{29} \oplus x_{30}, \\
 y(2)_6 &= x_{25} \oplus x_{26} \oplus x_{27} \oplus x_{29}, & y(2)_{22} &= x_{14} \oplus x_{24} \oplus x_{27} \oplus x_{28} \oplus x_{29}, \\
 y(2)_7 &= x_{24} \oplus x_{26} \oplus x_{27} \oplus x_{28} \oplus x_{30}, & y(2)_{23} &= x_{15} \oplus x_{24} \oplus x_{25} \oplus x_{28} \oplus x_{29} \oplus x_{30}, \\
 y(2)_8 &= x_0 \oplus x_{24} \oplus x_{26} \oplus x_{27} \oplus x_{30}, & y(2)_{24} &= x_{16} \oplus x_{24} \oplus x_{26} \oplus x_{29} \oplus x_{31}, \\
 y(2)_9 &= x_1 \oplus x_{24} \oplus x_{25} \oplus x_{27} \oplus x_{28} \oplus x_{31}, & y(2)_{25} &= x_{17} \oplus x_{24} \oplus x_{25} \oplus x_{27} \oplus x_{30}, \\
 y(2)_{10} &= x_2 \oplus x_{24} \oplus x_{25} \oplus x_{27} \oplus x_{28} \oplus x_{29} \oplus x_{30}, & y(2)_{26} &= x_{18} \oplus x_{25} \oplus x_{28} \oplus x_{29}, \\
 y(2)_{11} &= x_3 \oplus x_{24} \oplus x_{25} \oplus x_{27} \oplus x_{28} \oplus x_{29} \oplus x_{31}, & y(2)_{27} &= x_{19} \oplus x_{24} \oplus x_{30} \oplus x_{31}, \\
 y(2)_{12} &= x_4 \oplus x_{24} \oplus x_{25} \oplus x_{26} \oplus x_{28} \oplus x_{29} \oplus x_{30}, & y(2)_{28} &= x_{20} \oplus x_{24} \oplus x_{25} \oplus x_{31}, \\
 y(2)_{13} &= x_5 \oplus x_{24} \oplus x_{25} \oplus x_{26} \oplus x_{27} \oplus x_{29} \oplus x_{30} \oplus x_{31}, & y(2)_{29} &= x_{21} \oplus x_{25} \oplus x_{26}, \\
 y(2)_{14} &= x_6 \oplus x_{24} \oplus x_{25} \oplus x_{28} \oplus x_{31}, & y(2)_{30} &= x_{22} \oplus x_{24} \oplus x_{27} \oplus x_{29} \oplus x_{31}, \\
 y(2)_{15} &= x_7 \oplus x_{25} \oplus x_{26} \oplus x_{29}, & y(2)_{31} &= x_{23} \oplus x_{25} \oplus x_{28} \oplus x_{30}.
 \end{aligned}$$

– For the case of  $y(3)$ .

$$\begin{aligned}
 y(3)_0 &= x_{24} \oplus x_{25} \oplus x_{27} \oplus x_{28} \oplus x_{31}, & y(3)_{16} &= x_8 \oplus x_{24} \oplus x_{26}, \\
 y(3)_1 &= x_{24} \oplus x_{25} \oplus x_{26} \oplus x_{28} \oplus x_{29}, & y(3)_{17} &= x_9 \oplus x_{25} \oplus x_{27}, \\
 y(3)_2 &= x_{26} \oplus x_{28} \oplus x_{29} \oplus x_{30} \oplus x_{31}, & y(3)_{18} &= x_{10} \oplus x_{28}, \\
 y(3)_3 &= x_{24} \oplus x_{27} \oplus x_{29} \oplus x_{30} \oplus x_{31}, & y(3)_{19} &= x_{11} \oplus x_{24} \oplus x_{29}, \\
 y(3)_4 &= x_{25} \oplus x_{28} \oplus x_{30} \oplus x_{31}, & y(3)_{20} &= x_{12} \oplus x_{24} \oplus x_{25} \oplus x_{30}, \\
 y(3)_5 &= x_{25} \oplus x_{26} \oplus x_{27} \oplus x_{28} \oplus x_{29}, & y(3)_{21} &= x_{13} \oplus x_{25} \oplus x_{31}, \\
 y(3)_6 &= x_{25} \oplus x_{26} \oplus x_{29} \oplus x_{30} \oplus x_{31}, & y(3)_{22} &= x_{14} \oplus x_{24}, \\
 y(3)_7 &= x_{24} \oplus x_{26} \oplus x_{27} \oplus x_{30} \oplus x_{31}, & y(3)_{23} &= x_{15} \oplus x_{25}, \\
 y(3)_8 &= x_0 \oplus x_{26} \oplus x_{29} \oplus x_{30}, & y(3)_{24} &= x_{16} \oplus x_{24} \oplus x_{26} \oplus x_{28} \oplus x_{29}, \\
 y(3)_9 &= x_1 \oplus x_{24} \oplus x_{27} \oplus x_{30} \oplus x_{31}, & y(3)_{25} &= x_{17} \oplus x_{25} \oplus x_{27} \oplus x_{29} \oplus x_{30}, \\
 y(3)_{10} &= x_2 \oplus x_{24} \oplus x_{25} \oplus x_{26} \oplus x_{28} \oplus x_{29} \oplus x_{30} \oplus x_{31}, & y(3)_{26} &= x_{18} \oplus x_{24} \oplus x_{29} \oplus x_{30} \oplus x_{31}, \\
 y(3)_{11} &= x_3 \oplus x_{25} \oplus x_{26} \oplus x_{27} \oplus x_{29} \oplus x_{30} \oplus x_{31}, & y(3)_{27} &= x_{19} \oplus x_{25} \oplus x_{30} \oplus x_{31}, \\
 y(3)_{12} &= x_4 \oplus x_{24} \oplus x_{26} \oplus x_{27} \oplus x_{28} \oplus x_{30} \oplus x_{31}, & y(3)_{28} &= x_{20} \oplus x_{26} \oplus x_{31}, \\
 y(3)_{13} &= x_5 \oplus x_{25} \oplus x_{26} \oplus x_{27} \oplus x_{28} \oplus x_{30} \oplus x_{31}, & y(3)_{29} &= x_{21} \oplus x_{26} \oplus x_{27} \oplus x_{28} \oplus x_{29}, \\
 y(3)_{14} &= x_6 \oplus x_{24} \oplus x_{27} \oplus x_{28} \oplus x_{30} \oplus x_{31}, & y(3)_{30} &= x_{22} \oplus x_{24} \oplus x_{26} \oplus x_{27} \oplus x_{30}, \\
 y(3)_{15} &= x_7 \oplus x_{25} \oplus x_{28} \oplus x_{29} \oplus x_{31}, & y(3)_{31} &= x_{23} \oplus x_{25} \oplus x_{27} \oplus x_{28} \oplus x_{31}.
 \end{aligned}$$

関数  $Sub$  の実装: 非線形関数部の 32 ビット入出力関数  $Sub$  についても, 参照テーブルを使用しないコンパクトな実装が可能である. 関数  $Sub$  は, Substitution 処理と Permutation 処理から成る. Substitution 処理では,  $GF(2^8)$  の部分体,  $GF(2^4)$  上での演算が必要となる. そのため, まず  $GF(2^4)$  上の演算の実装について説明する.

- $GF(2^4)$  上の乗算: 入力を  $x = (x_3, x_2, x_1, x_0)$ ,  $y = (y_3, y_2, y_1, y_0)$ , 出力を  $z = (z_3, z_2, z_1, z_0)$  とする. また,  $t_6, \dots, t_1, t_0$  をビット単位のローカル変数とする. このとき,  $GF(2^4)$  上の乗算  $z = x \times_4 y$  は, 以下の手順で実装される.  $\times_4$  は  $GF(2^4)$  上の乗算を表わす.

1. 中間値  $t_6, \dots, t_1, t_0$  を以下により導出する.

$$\begin{aligned}
 t_6 &= (x_3 \& y_3), & t_2 &= (x_2 \& y_0) \oplus (x_1 \& y_1) \oplus (x_0 \& y_2), \\
 t_5 &= (x_3 \& y_2) \oplus (x_2 \& y_3), & t_1 &= (x_1 \& y_0) \oplus (x_0 \& y_1), \\
 t_4 &= (x_3 \& y_1) \oplus (x_2 \& y_2) \oplus (x_1 \& y_3), & t_0 &= (x_0 \& y_0). \\
 t_3 &= (x_3 \& y_0) \oplus (x_2 \& y_1) \oplus (x_1 \& y_2) \oplus (x_0 \& y_3),
 \end{aligned}$$

ここで,  $\&$  は AND 演算を示す.

2. 以下を導出し，出力とする．

$$\begin{aligned} z_3 &= t_3 \oplus t_6, & z_1 &= t_1 \oplus t_4 \oplus t_5, \\ z_2 &= t_2 \oplus t_5 \oplus t_6, & z_0 &= t_0 \oplus t_4. \end{aligned}$$

- $GF(2^4)$  上の逆元演算：入力を  $x = (x_3, x_2, x_1, x_0)$ ，出力を  $y = (y_3, y_2, y_1, y_0)$  とする．このとき， $y = x^{-1} \in GF(2^4)$  は以下のテーブル対応で導出できる．

$x \mapsto y$	$x \mapsto y$
$(0, 0, 0, 0) \mapsto (0, 0, 0, 0)$	$(1, 0, 0, 0) \mapsto (1, 1, 1, 1)$
$(0, 0, 0, 1) \mapsto (0, 0, 0, 1)$	$(1, 0, 0, 1) \mapsto (0, 0, 1, 0)$
$(0, 0, 1, 0) \mapsto (1, 0, 0, 1)$	$(1, 0, 1, 0) \mapsto (1, 1, 0, 0)$
$(0, 0, 1, 1) \mapsto (1, 1, 1, 0)$	$(1, 0, 1, 1) \mapsto (0, 1, 0, 1)$
$(0, 1, 0, 0) \mapsto (1, 1, 0, 1)$	$(1, 1, 0, 0) \mapsto (1, 0, 1, 0)$
$(0, 1, 0, 1) \mapsto (1, 0, 1, 1)$	$(1, 1, 0, 1) \mapsto (0, 1, 0, 0)$
$(0, 1, 1, 0) \mapsto (0, 1, 1, 1)$	$(1, 1, 1, 0) \mapsto (0, 0, 1, 1)$
$(0, 1, 1, 1) \mapsto (0, 1, 1, 0)$	$(1, 1, 1, 1) \mapsto (1, 0, 0, 0)$

これらを踏まえ，Substitution 処理と Permutation 処理は，それぞれ以下のように実装することができる．

- **Substitution 処理**：8 ビット入出力の関数である Substitution 処理は，入力を  $x = (x_7, \dots, x_0)$ ，出力を  $y = (y_7, \dots, y_0)$  としたとき，以下の手順で実装できる．

1. 8 ビットのローカル変数  $a = (a_7, \dots, a_0)$  を用意し，以下を導出する．

$$\begin{aligned} a_7 &= x_7 \oplus x_5, & a_3 &= x_7 \oplus x_6 \oplus x_2 \oplus x_1, \\ a_6 &= x_7 \oplus x_5 \oplus x_3 \oplus x_2, & a_2 &= x_6 \oplus x_4 \oplus x_1, \\ a_5 &= x_7 \oplus x_6 \oplus x_4 \oplus x_1, & a_1 &= x_3 \oplus x_1, \\ a_4 &= x_6 \oplus x_5 \oplus x_4, & a_0 &= x_7 \oplus x_6 \oplus x_4 \oplus x_3 \oplus x_2 \oplus x_0. \end{aligned}$$

2. 4 ビットのローカル変数  $(b_3, b_2, b_1, b_0)$  を用意し，以下を導出する．

$$\begin{aligned} b_3 &= a_7 \oplus a_3, & b_1 &= a_5 \oplus a_1, \\ b_2 &= a_6 \oplus a_2, & b_0 &= a_4 \oplus a_0. \end{aligned}$$

- 4 ビットのローカル変数  $(c_3, c_2, c_1, c_0)$  を用意し， $(c_3, c_2, c_1, c_0) = (a_3, a_2, a_1, a_0) \times_4 (b_3, b_2, b_1, b_0)$  を導出する．ここで  $\times_4$  は  $GF(2^4)$  上の乗算である．
- 4 ビットのローカル変数  $(d_3, d_2, d_1, d_0)$  を用意し， $(d_3, d_2, d_1, d_0) = (a_7, a_6, a_5, a_4) \times_4 (a_7, a_6, a_5, a_4)$  を導出する．ここで  $\times_4$  は  $GF(2^4)$  上の乗算である．
- 4 ビットのローカル変数  $(e_3, e_2, e_1, e_0)$  を用意し， $(e_3, e_2, e_1, e_0) = (1, 0, 0, 1) \times_4 (d_3, d_2, d_1, d_0)$  を導出する．ここで  $\times_4$  は  $GF(2^4)$  上の乗算である．
- 4 ビットのローカル変数  $(f_3, f_2, f_1, f_0)$  を用意し，以下を導出する．

$$\begin{aligned} f_3 &= c_3 \oplus e_3, & f_1 &= c_1 \oplus e_1, \\ f_2 &= c_2 \oplus e_2, & f_0 &= c_0 \oplus e_0. \end{aligned}$$

- $(f_3, f_2, f_1, f_0)$  の  $GF(2^4)$  上の逆元を求める．逆元計算の結果を 4 ビットのローカル変数  $(g_3, g_2, g_1, g_0)$  に格納する．

8. 4ビットのローカル変数( $h_3, h_2, h_1, h_0$ )を用意し,  $(h_3, h_2, h_1, h_0) = (b_3, b_2, b_1, b_0) \times_4 (g_3, g_2, g_1, g_0)$  を導出する. ここで  $\times_4$  は  $GF(2^4)$  上の乗算である.
9. 4ビットのローカル変数( $h_7, h_6, h_5, h_4$ )を用意し,  $(h_7, h_6, h_5, h_4) = (a_7, a_6, a_5, a_4) \times_4 (g_3, g_2, g_1, g_0)$  を導出する. ここで  $\times_4$  は  $GF(2^4)$  上の乗算である.
10. 8ビットのローカル変数( $i_7, \dots, i_0$ )を用意し, 以下を導出する.

$$\begin{aligned} i_7 &= h_3 \oplus 1, & i_3 &= h_7, \\ i_6 &= h_6 \oplus h_4 \oplus h_2 \oplus 1, & i_2 &= h_5 \oplus h_2, \\ i_5 &= h_7 \oplus h_5 \oplus h_1, & i_1 &= h_7 \oplus h_3 \oplus h_1 \oplus 1, \\ i_4 &= h_5 \oplus h_2 \oplus h_0, & i_0 &= h_4 \oplus h_2. \end{aligned}$$

11. 以下を導出し, Substitution 処理の出力とする.

$$\begin{aligned} y_7 &= i_5 \oplus i_2, & y_3 &= i_7 \oplus i_5 \oplus i_4 \oplus i_1, \\ y_6 &= i_7 \oplus i_6 \oplus i_5 \oplus i_3 \oplus i_2 \oplus i_1, & y_2 &= i_6 \oplus i_5 \oplus i_4 \oplus i_1, \\ y_5 &= i_7 \oplus i_5 \oplus i_2, & y_1 &= i_7 \oplus i_5 \oplus i_4, \\ y_4 &= i_6 \oplus i_4 \oplus i_3 \oplus i_1, & y_0 &= i_6 \oplus i_4 \oplus i_0. \end{aligned}$$

- **Permutation 処理:** 32ビット入出力の関数である Permutation 処理は, 入力を  $x = (x_{31}, \dots, x_0)$ , 出力を  $y = (y_{31}, \dots, y_0)$  としたとき, 以下で実行される.

$$\begin{aligned} y_{31} &= x_{15} \oplus x_{23} \oplus x_7 \oplus x_6 \oplus x_{30}, & y_{15} &= x_{31} \oplus x_7 \oplus x_{23} \oplus x_{22} \oplus x_{14}, \\ y_{30} &= x_{14} \oplus x_{22} \oplus x_6 \oplus x_5 \oplus x_{29}, & y_{14} &= x_{30} \oplus x_6 \oplus x_{22} \oplus x_{21} \oplus x_{13}, \\ y_{29} &= x_{13} \oplus x_{21} \oplus x_5 \oplus x_4 \oplus x_{28}, & y_{13} &= x_{29} \oplus x_5 \oplus x_{21} \oplus x_{20} \oplus x_{12}, \\ y_{28} &= x_{12} \oplus x_{20} \oplus x_4 \oplus x_3 \oplus x_7 \oplus x_{27} \oplus x_{31}, & y_{12} &= x_{28} \oplus x_4 \oplus x_{20} \oplus x_{19} \oplus x_{23} \oplus x_{11} \oplus x_{15}, \\ y_{27} &= x_{11} \oplus x_{19} \oplus x_3 \oplus x_2 \oplus x_7 \oplus x_{26} \oplus x_{31}, & y_{11} &= x_{27} \oplus x_3 \oplus x_{19} \oplus x_{18} \oplus x_{23} \oplus x_{10} \oplus x_{15}, \\ y_{26} &= x_{10} \oplus x_{18} \oplus x_2 \oplus x_1 \oplus x_{25}, & y_{10} &= x_{26} \oplus x_2 \oplus x_{18} \oplus x_{17} \oplus x_9, \\ y_{25} &= x_9 \oplus x_{17} \oplus x_1 \oplus x_0 \oplus x_7 \oplus x_{24} \oplus x_{31}, & y_9 &= x_{25} \oplus x_1 \oplus x_{17} \oplus x_{16} \oplus x_{23} \oplus x_8 \oplus x_{15}, \\ y_{24} &= x_8 \oplus x_{16} \oplus x_0 \oplus x_7 \oplus x_{31}, & y_8 &= x_{24} \oplus x_0 \oplus x_{16} \oplus x_{23} \oplus x_{15}, \\ y_{23} &= x_7 \oplus x_{15} \oplus x_{31} \oplus x_{30} \oplus x_{22}, & y_7 &= x_{23} \oplus x_{31} \oplus x_{15} \oplus x_{14} \oplus x_6, \\ y_{22} &= x_6 \oplus x_{14} \oplus x_{30} \oplus x_{29} \oplus x_{21}, & y_6 &= x_{22} \oplus x_{30} \oplus x_{14} \oplus x_{13} \oplus x_5, \\ y_{21} &= x_5 \oplus x_{13} \oplus x_{29} \oplus x_{28} \oplus x_{20}, & y_5 &= x_{21} \oplus x_{29} \oplus x_{13} \oplus x_{12} \oplus x_4, \\ y_{20} &= x_4 \oplus x_{12} \oplus x_{28} \oplus x_{27} \oplus x_{31} \oplus x_{19} \oplus x_{23}, & y_4 &= x_{20} \oplus x_{28} \oplus x_{12} \oplus x_{11} \oplus x_{15} \oplus x_3 \oplus x_7, \\ y_{19} &= x_3 \oplus x_{11} \oplus x_{27} \oplus x_{26} \oplus x_{31} \oplus x_{18} \oplus x_{23}, & y_3 &= x_{19} \oplus x_{27} \oplus x_{11} \oplus x_{10} \oplus x_{15} \oplus x_2 \oplus x_7, \\ y_{18} &= x_2 \oplus x_{10} \oplus x_{26} \oplus x_{25} \oplus x_{17}, & y_2 &= x_{18} \oplus x_{26} \oplus x_{10} \oplus x_9 \oplus x_1, \\ y_{17} &= x_1 \oplus x_9 \oplus x_{25} \oplus x_{24} \oplus x_{31} \oplus x_{16} \oplus x_{23}, & y_1 &= x_{17} \oplus x_{25} \oplus x_9 \oplus x_8 \oplus x_{15} \oplus x_0 \oplus x_7, \\ y_{16} &= x_0 \oplus x_8 \oplus x_{24} \oplus x_{31} \oplus x_{23}, & y_0 &= x_{16} \oplus x_{24} \oplus x_8 \oplus x_{15} \oplus x_7. \end{aligned}$$

## 7 KCipher-2 の使用にあたって

### 7.1 初期鍵, 初期ベクトルの使用について

再初期化は, 最大で  $2^{58}$  クロック ( $2^{64}$  ビットの鍵系列出力) 以内に行うことを強く推奨する. この場合, 同一の初期鍵や同一の初期ベクトルは,  $2^{58}$  クロックを超えて使用されない.

### 7.2 データの暗号化・復号方法について

KCipher-2 を用いた暗号化・復号手法について説明する. 図4に示すように, 平文データを 64 ビットごとに分割し, 64 ビットごとに出力される鍵系列と XOR 演算を行うことにより暗号化を行うことができる. 復号についても同様である.

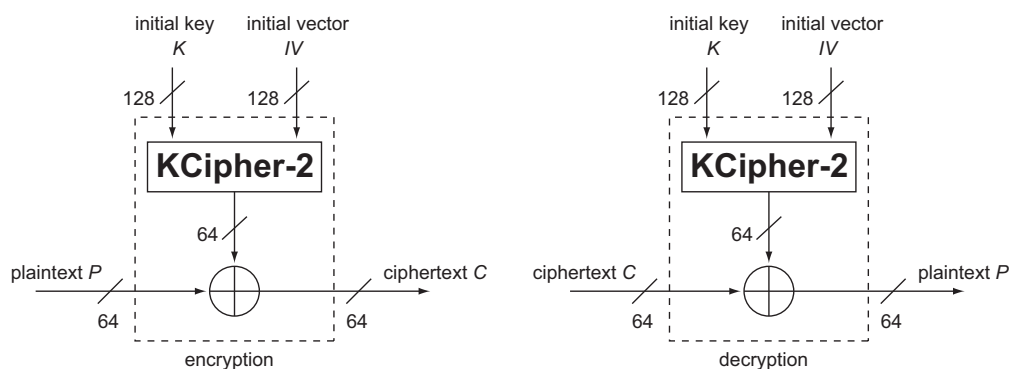


Fig. 4. KCipher-2 による暗号化・復号方法

### 7.3 バージョン情報について

KCipher-2 のバージョン情報を付録 C に記載した。

### 7.4 知的財産とライセンス情報

KCipher-2 の知的財産とライセンス情報は、以下の通りである。

- KCipher-2 に関する知的財産権は KDDI 株式会社に帰属する
- CRYPTREC 事務局の評価者が評価目的で使用する場合は無償とする
- 電子政府が実用に供する場合は妥当かつ非差別的な条件で提供する

## 8 利用実績

(株) KDDI 研究所が、KCipher-2 の SDK を販売している。また、KCipher-2 は現在以下の製品に使用されている。

- 官公庁系の携帯電話を用いた情報通信システム (2,000 ライセンス)
- 官公庁系のロケーションシステム (5,000 ライセンス)
- Web ベースのグループウェア (1,000 ライセンス)
- コンシューマ向けマルチメディアコンテンツ再生ソフトウェア (100 万ユーザ)

## References

1. S. Babbage and M. Dodd, "The stream cipher MICKEY-128 2.0." The eSTREAM Project, 2006. available at [http://www.ecrypt.eu.org/stream/p3ciphers/mickey/mickey\\_p3.pdf](http://www.ecrypt.eu.org/stream/p3ciphers/mickey/mickey_p3.pdf).
2. C. Jansen, T. Hellesest, and A. Kolosha, "Cascade jump controlled sequence generator and pomaranch stream cipher." The eSTREAM Project, 2006. available at [http://www.ecrypt.eu.org/stream/p3ciphers/pomaranch/pomaranch\\_p3.pdf](http://www.ecrypt.eu.org/stream/p3ciphers/pomaranch/pomaranch_p3.pdf).
3. P. Ekdahl and T. Johansson, "A new version of the stream cipher snow," Proceeding of SAC 2002, Lecture Notes in Computer Science, vol.2595, pp.47-61, Springer-Verlag, 2002.
4. J. Daemen and V. Rijmen, The Design of Rijndael: AES – The Advanced Encryption Standard, Information Security and Cryptography, Springer-Verlag, 2002.
5. J.D. Golic, "On security of nonlinear filter generators," Proceeding of FSE 1996, Lecture Notes in Computer Science, vol.1039, pp.173-188, 1996.
6. S. Kiyomoto, T. Tanaka, and K. Sakurai, "A word-oriented stream cipher using clock control," Workshop Record of SASC 2007, pp.260-274, January 2007.
7. S. Kiyomoto, T. Tanaka, and K. Sakurai, "K2: A stream cipher algorithm using dynamic feedback control," Proceeding of SECYPT 2007, pp.204-213, July 2007.

## A $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ 用参照テーブル

### LOOKUP TABLE alpha\_0[256] FOR MULTIPLICATIVE OPERATION $\alpha_0 w$ :

```
alpha_0[256]={
0x00000000,0xB6086D1A,0xAF10DA34,0x1918B72E,0x9D207768,0x2B281A72,0x3230AD5C,
0x8438C046,0xF940EED0,0x4F4883CA,0x565034E4,0xE05859FE,0x646099B8,0xD268F4A2,
0xCB70438C,0x7D782E96,0x31801F63,0x87887279,0x9E90C557,0x2898A84D,0xACA0680B,
0x1AA80511,0x03B0B23F,0xB5B8DF25,0xC8C0F1B3,0x7EC89CA9,0x67D02B87,0xD1D8469D,
0x55E086DB,0xE3E8EBC1,0xFAF05CEF,0x4CF831F5,0x62C33EC6,0xD4CB53DC,0xCDD3E4F2,
0x7BDB89E8,0xFFE349AE,0x49EB24B4,0x50F3939A,0xE6FBFE80,0x9B83D016,0x2D8BBD0C,
0x34930A22,0x829B6738,0x06A3A77E,0xB0ABCA64,0xA9B37D4A,0x1FBB1050,0x534321A5,
0xE54B4CBF,0xFC53FB91,0x4A5B968B,0xCE6356CD,0x786B3BD7,0x61738CF9,0xD77BE1E3,
0xAA03CF75,0x1C0BA26F,0x05131541,0xB31B785B,0x3723B81D,0x812BD507,0x98336229,
0x2E3B0F33,0xC4457C4F,0x724D1155,0x6B55A67B,0xDD5DCB61,0x59650B27,0xEF6D663D,
0xF675D113,0x407DBC09,0x3D05929F,0x8B0DFF85,0x921548AB,0x241D25B1,0xA025E5F7,
0x162D88ED,0x0F353FC3,0xB93D52D9,0xF5C5632C,0x43CD0E36,0x5AD5B918,0xECDDD402,
0x68E51444,0xDEED795E,0xC7F5CE70,0x71FDA36A,0x0C858DFC,0xBA8DE0E6,0xA39557C8,
0x159D3AD2,0x91A5FA94,0x27AD978E,0x3EB520A0,0x88BD4DBA,0xA6864289,0x108E2F93,
0x099698BD,0xBF9EF5A7,0x3BA635E1,0x8DAE58FB,0x94B6EFD5,0x22BE82CF,0x5FC6AC59,
0xE9CEC143,0xF0D6766D,0x46DE1B77,0xC2E6DB31,0x74EEB62B,0x6DF60105,0xDBFE6C1F,
0x97065DEA,0x210E30F0,0x381687DE,0x8E1EEAC4,0x0A262A82,0xBC2E4798,0xA536F0B6,
0x133E9DAC,0x6E46B33A,0xD84EDE20,0xC156690E,0x775E0414,0xF366C452,0x456EA948,
0x5C761E66,0xEA7E737C,0x4B8AF89E,0xFD829584,0xE49A22AA,0x52924FB0,0xD6AA8FF6,
0x60A2E2EC,0x79BA55C2,0xCFB238D8,0xB2CA164E,0x04C27B54,0x1DDACC7A,0xABD2A160,
0x2FEA6126,0x99E20C3C,0x80FABB12,0x36F2D608,0x7A0AE7FD,0xCC028AE7,0xD51A3DC9,
0x631250D3,0xE72A9095,0x5122FD8F,0x48344AA1,0xFE3227BB,0x834A092D,0x35426437,
0x2C5AD319,0x9A52BE03,0x1E6A7E45,0xA862135F,0xB17AA471,0x0772C96B,0x2949C658,
0x9F41AB42,0x86591C6C,0x30517176,0xB469B130,0x0261DC2A,0x1B796B04,0xAD71061E,
0xD0092888,0x66014592,0x7F19F2BC,0xC9119FA6,0x4D295FE0,0xFB2132FA,0xE23985D4,
0x5431E8CE,0x18C9D93B,0xAEC1B421,0xB7D9030F,0x01D16E15,0x85E9AE53,0x33E1C349,
0x2AF97467,0x9CF1197D,0xE18937EB,0x57815AF1,0x4E99EDDF,0xF89180C5,0x7CA94083,
0xCAA12D99,0xD3B99AB7,0x65B1F7AD,0x8FCF84D1,0x39C7E9CB,0x20DF5EE5,0x96D733FF,
0x12EFF3B9,0xA4E79EA3,0xBDFD298D,0x0BF74497,0x768F6A01,0xC087071B,0xD99FB035,
0x6F97DD2F,0xEBAF1D69,0x5DA77073,0x44BFC75D,0xF2B7AA47,0xBE4F9BB2,0x0847F6A8,
0x115F4186,0xA8B2145E,0x236FECDA,0x956781C0,0x8C7F36EE,0x3A775BF4,0x470F7562,
0xF1071878,0xE81FAF56,0x5E17C24C,0xDA2F020A,0x6C276F10,0x753FD83E,0xC337B524,
0xED0CBA17,0x5B04D70D,0x421C6023,0xF4140D39,0x702CCD7F,0xC624A065,0xDF3C174B,
0x69347A51,0x144C54C7,0xA24439DD,0xBB5C8EF3,0x0D54E3E9,0x896C23AF,0x3F644EB5,
0x267CF99B,0x90749481,0xDC8CA574,0x6A84C86E,0x739C7F40,0xC594125A,0x41ACD21C,
0xF7A4BF06,0xEEBC0828,0x58B46532,0x25CC4BA4,0x93C426BE,0x8ADC9190,0x3CD4FC8A,
0xB8EC3CCC,0x0EE451D6,0x17FCE6F8,0xA1F48BE2};
```

### LOOKUP TABLE alpha\_1[256] FOR MULTIPLICATIVE OPERATION $\alpha_1 w$ :

```
alpha_1[256]={
0x00000000,0xA0F5FC2E,0x6DC7D55C,0xCD322972,0xDAA387B8,0x7A567B96,0xB76452E4,
0x1791AECa,0x996B235D,0x399EDF73,0xF4ACF601,0x54590A2F,0x43C8A4E5,0xE33D58CB,
0x2E0F71B9,0x8EFA8D97,0x1FD646BA,0xBF23BA94,0x721193E6,0xD2E46FC8,0xC575C102,
0x65803D2C,0xA8B2145E,0x0847E870,0x86BD65E7,0x264899C9,0xEB7AB0BB,0x4B8F4C95,
0x5C1EE25F,0xFCEB1E71,0x31D93703,0x912CCB2D,0x3E818C59,0x9E747077,0x53465905,
0xF3B3A52B,0xE4220BE1,0x44D7F7CF,0x89E5DEBD,0x29102293,0xA7EAAF04,0x071F532A,
0xCA2D7A58,0x6AD88676,0x7D4928BC,0xDDBCD492,0x108EFDE0,0xB07B01CE,0x2157CAE3,
0x81A236CD,0x4C901FBF,0xEC65E391,0xFBF44D5B,0x5B01B175,0x96339807,0x36C66429,
0xB83CE9BE,0x18C91590,0xD5FB3CE2,0x750EC0CC,0x629F6E06,0xC26A9228,0x0F58BB5A,
0xAFAD4774,0x7C2F35B2,0xDCDAC99C,0x11E8E0EE,0xB11D1CC0,0xA68CB20A,0x06794E24,
```

```

0xCB4B6756,0x6BBE9B78,0xE54416EF,0x45B1EAC1,0x8883C3B3,0x28763F9D,0x3FE79157,
0x9F126D79,0x5220440B,0xF2D5B825,0x63F97308,0xC30C8F26,0x0E3EA654,0xAECB5A7A,
0xB95AF4B0,0x19AF089E,0xD49D21EC,0x7468DDC2,0xFA925055,0x5A67AC7B,0x97558509,
0x37A07927,0x2031D7ED,0x80C42BC3,0x4DF602B1,0xED03FE9F,0x42AEB9EB,0xE25B45C5,
0x2F696CB7,0x8F9C9099,0x980D3E53,0x38F8C27D,0xF5CAEB0F,0x553F1721,0xDB59AB6,
0x7B306698,0xB6024FEA,0x16F7B3C4,0x01661D0E,0xA193E120,0x6CA1C852,0xCC54347C,
0x5D78FF51,0xFD8D037F,0x30BF2A0D,0x904AD623,0x87DB78E9,0x272E84C7,0xEA1CADB5,
0x4AE9519B,0xC413DC0C,0x64E62022,0xA9D40950,0x0921F57E,0x1EB05BB4,0xBE45A79A,
0x73778EE8,0xD38272C6,0xF85E6A49,0x58AB9667,0x9599BF15,0x356C433B,0x22FDED1,
0x820811DF,0x4F3A38AD,0xEFCFC483,0x61354914,0xC1C0B53A,0x0CF29C48,0xAC076066,
0xBB96CEAC,0x1B633282,0xD6511BF0,0x76A4E7DE,0xE7882CF3,0x477DD0DD,0x8A4FF9AF,
0x2ABA0581,0x3D2BAB4B,0x9DDE5765,0x50EC7E17,0xF0198239,0x7EE30FAE,0xDE16F380,
0x1324DAF2,0xB3D126DC,0xA4408816,0x04B57438,0xC9875D4A,0x6972A164,0xC6DFE610,
0x662A1A3E,0xAB18334C,0x0BEDCF62,0x1C7C61A8,0xBC899D86,0x71BBB4F4,0xD14E48DA,
0x5FB4C54D,0xFF413963,0x32731011,0x9286EC3F,0x851742F5,0x25E2BEDB,0xE8D097A9,
0x48256B87,0xD909A0AA,0x79FC5C84,0xB4CE75F6,0x143B89D8,0x03AA2712,0xA35FDB3C,
0x6E6DF24E,0xCE980E60,0x406283F7,0xE0977FD9,0x2DA556AB,0x8D50AA85,0x9AC1044F,
0x3A34F861,0xF706D113,0x57F32D3D,0x84715FFB,0x2484A3D5,0xE9B68AA7,0x49437689,
0x5ED2D843,0xFE27246D,0x33150D1F,0x93E0F131,0x1D1A7CA6,0xBDEF8088,0x70DDA9FA,
0xD02855D4,0xC7B9FB1E,0x674C0730,0xAA7E2E42,0x0A8BD26C,0x9BA71941,0x3B52E56F,
0xF660CC1D,0x56953033,0x41049EF9,0xE1F162D7,0x2CC34BA5,0x8C36B78B,0x02CC3A1C,
0xA239C632,0x6F0BEF40,0xCFFE136E,0xD86FBD44,0x789A418A,0xB5A868F8,0x155D94D6,
0xBAF0D3A2,0x1A052F8C,0xD73706FE,0x77C2FAD0,0x6053541A,0xC0A6A834,0x0D948146,
0xAD617D68,0x239BF0FF,0x836E0CD1,0x4E5C25A3,0xEEA9D98D,0xF9387747,0x59CD8B69,
0x94FFA21B,0x340A5E35,0xA5269518,0x05D36936,0xC8E14044,0x6814BC6A,0x7F8512A0,
0xDF70EE8E,0x1242C7FC,0xB2B73BD2,0x3C4DB645,0x9CB84A6B,0x518A6319,0xF17F9F37,
0xE6EE31FD,0x461BCDD3,0x8B29E4A1,0x2BDC188F};

```

#### LOOKUP TABLE alpha\_2[256] FOR MULTIPLICATIVE OPERATION $\alpha_2 w$ :

```

alpha_2[256]={
0x00000000,0x5BF87F93,0xB6BDFE6B,0xED4581F8,0x2137B1D6,0x7ACFCE45,0x978A4FBD,
0xCC72302E,0x426E2FE1,0x19965072,0xF4D3D18A,0xAF2BAE19,0x63599E37,0x38A1E1A4,
0xD5E4605C,0x8E1C1FCF,0x84DC5E8F,0xDF24211C,0x3261A0E4,0x6999DF77,0xA5EBEF59,
0xFE1390CA,0x13561132,0x48AE6EA1,0xC6B2716E,0x9D4A0EFD,0x700F8F05,0x2BF7F096,
0xE785C0B8,0xBC7DBF2B,0x51383ED3,0x0AC04140,0x45F5BC53,0x1E0DC3C0,0xF3484238,
0xA8B03DAB,0x64C20D85,0x3F3A7216,0xD27FF3EE,0x89878C7D,0x079B93B2,0x5C63EC21,
0xB1266DD9,0xEADE124A,0x26AC2264,0x7D545DF7,0x9011DC0F,0xCBE9A39C,0xC129E2DC,
0x9AD19D4F,0x77941CB7,0x2C6C6324,0xE01E530A,0xBBE62C99,0x56A3AD61,0x0D5BD2F2,
0x8347CD3D,0xD8BFB2AE,0x35FA3356,0x6E024CC5,0xA2707CEB,0xF9880378,0x14CD8280,
0x4F35FD13,0x8AA735A6,0xD15F4A35,0x3C1ACBCD,0x67E2B45E,0xAB908470,0xF068FBE3,
0x1D2D7A1B,0x46D50588,0xC8C91A47,0x933165D4,0x7E74E42C,0x258C9BBF,0xE9FEAB91,
0xB206D402,0x5F4355FA,0x04BB2A69,0x0E7B6B29,0x558314BA,0xB8C69542,0xE33EEAD1,
0x2F4CD4FF,0x74B4A56C,0x99F12494,0xC2095B07,0x4C1544C8,0x17ED3B5B,0xFAA8BAA3,
0xA150C530,0x6D22F51E,0x36DA8A8D,0xDB9F0B75,0x806774E6,0xCF5289F5,0x94AAAF666,
0x79EF779E,0x2217080D,0xEE653823,0xB59D47B0,0x58D8C648,0x0320B9DB,0x8D3CA614,
0xD6C4D987,0x3B81587F,0x607927EC,0xAC0B17C2,0xF7F36851,0x1AB6E9A9,0x414E963A,
0x4B8ED77A,0x1076A8E9,0xFD332911,0xA6CB5682,0x6AB966AC,0x3141193F,0xDC0498C7,
0x87FCE754,0x09E0F89B,0x52188708,0xBF5D06F0,0xE4A57963,0x28D7494D,0x732F36DE,
0x9E6AB726,0xC592C8B5,0x59036A01,0x02FB1592,0xEFE946A,0xB446EBF9,0x7834DBD7,
0x23CCA444,0xCE8925BC,0x95715A2F,0x1B6D45E0,0x40953A73,0xADD0BB8B,0xF628C418,
0x3A5AF436,0x61A28BA5,0x8CE70A5D,0xD71F75CE,0xDDDF348E,0x86274B1D,0x6B62CAE5,
0x309AB576,0xFCE88558,0xA710FACB,0x4A557B33,0x11AD04A0,0x9FB11B6F,0xC44964FC,
0x290CE504,0x72F49A97,0xBE86AAB9,0xE57ED52A,0x083B54D2,0x53C32B41,0x1CF6D652,
0x470EA9C1,0xAA4B2839,0xF1B357AA,0x3DC16784,0x66391817,0x8B7C99EF,0xD084E67C,
0x5E98F9B3,0x05608620,0xE82507D8,0xB3DD784B,0x7FAF4865,0x245737F6,0xC912B60E,

```



```
0x92EAC99D,0x982A88DD,0xC3D2F74E,0x2E9776B6,0x756F0925,0xB91D390B,0xE2E54698,
0x0FA0C760,0x5458B8F3,0xDA44A73C,0x81BCD8AF,0x6CF95957,0x370126C4,0xFB7316EA,
0xA08B6979,0x4DCEE881,0x16369712,0xD3A45FA7,0x885C2034,0x6519A1CC,0x3EE1DE5F,
0xF293EE71,0xA96B91E2,0x442E101A,0x1FD66F89,0x91CA7046,0xCA320FD5,0x27778E2D,
0x7C8FF1BE,0xB0FDC190,0xEB05BE03,0x06403FFB,0x5DB84068,0x57780128,0x0C807EBB,
0xE1C5FF43,0xBA3D80D0,0x764FB0FE,0x2DB7CF6D,0xC0F24E95,0x9B0A3106,0x15162EC9,
0x4EEE515A,0xA3ABD0A2,0xF853AF31,0x34219F1F,0x6FD9E08C,0x829C6174,0xD9641EE7,
0x9651E3F4,0xCDA99C67,0x20EC1D9F,0x7B14620C,0xB7665222,0xEC9E2DB1,0x01DBAC49,
0x5A23D3DA,0xD43FCC15,0x8FC7B386,0x6282327E,0x397A4DED,0xF5087DC3,0xAEF00250,
0x43B583A8,0x184DFC3B,0x128DBD7B,0x4975C2E8,0xA4304310,0xFFC83C83,0x33BA0CAD,
0x6842733E,0x8507F2C6,0xDEFF8D55,0x50E3929A,0x0B1BED09,0xE65E6CF1,0xBDA61362,
0x71D4234C,0x2A2C5CDF,0xC769DD27,0x9C91A2B4};
```

**LOOKUP TABLE alpha\_3[256] FOR MULTIPLICATIVE OPERATION  $\alpha_3 w$ :**

```
alpha_3[256]={
0x00000000,0x4559568B,0x8AB2AC73,0xCFEBFAF8,0x71013DE6,0x34586B6D,0xFBB39195,
0xBEEAC71E,0xE2027AA9,0xA75B2C22,0x68B0D6DA,0x2DE98051,0x9303474F,0xD65A11C4,
0x19B1EB3C,0x5CE8BDB7,0xA104F437,0xE45DA2BC,0x2BB65844,0x6EEF0ECF,0xD005C9D1,
0x955C9F5A,0x5AB765A2,0x1FEE3329,0x43068E9E,0x065FD815,0xC9B422ED,0x8CED7466,
0x3207B378,0x775EE5F3,0xB8B51F0B,0xFDEC4980,0x27088D6E,0x6251DBE5,0xADBA211D,
0xE8E37796,0x5609B088,0x1350E603,0xDCBB1CFB,0x99E24A70,0xC50AF7C7,0x8053A14C,
0x4FB85BB4,0x0AE10D3F,0xB40BCA21,0xF1529CAA,0x3EB96652,0x7BE030D9,0x860C7959,
0xC3552FD2,0x0CBED52A,0x49E783A1,0xF70D44BF,0xB2541234,0x7DBFE8CC,0x38E6BE47,
0x640E03F0,0x2157557B,0xEEBCAF83,0xABE5F908,0x150F3E16,0x5056689D,0x9FBD9265,
0xD4E4C4EE,0x4E107FDC,0x0B492957,0xC4A2D3AF,0x81FB8524,0x3F11423A,0x7A4814B1,
0xB5A3EE49,0xF0FAB8C2,0xAC120575,0xE94B53FE,0x26A0A906,0x63F9FF8D,0xDD133893,
0x984A6E18,0x57A194E0,0x12F8C26B,0xEF148BEB,0xAA4DD60,0x65A62798,0x20FF7113,
0x9E15B60D,0xDB4CE086,0x14A71A7E,0x51FE4CF5,0x0D16F142,0x484FA7C9,0x87A45D31,
0xC2FD0BBA,0x7C17CCA4,0x394E9A2F,0xF6A560D7,0xB3FC365C,0x6918F2B2,0x2C41A439,
0xE3AA5EC1,0xA6F3084A,0x1819CF54,0x5D4099DF,0x92AB6327,0xD7F235AC,0x8B1A881B,
0xCE43DE90,0x01A82468,0x44F172E3,0xFA1BB5FD,0xBF42E376,0x70A9198E,0x35F04F05,
0xC81C0685,0x8D45500E,0x42AEAAF6,0x07F7FC7D,0xB91D3B63,0xFC446DE8,0x33AF9710,
0x76F6C19B,0x2A1E7C2C,0x6F472AA7,0xA0ACD05F,0xE5F586D4,0x5B1F41CA,0x1E461741,
0xD1ADEDB9,0x94F4BB32,0x9C20FEDD,0xD979A856,0x169252AE,0x53CB0425,0xED21C33B,
0xA87895B0,0x67936F48,0x22CA39C3,0x7E228474,0x3B7BD2FF,0xF4902807,0xB1C97E8C,
0x0F23B992,0x4A7AEF19,0x859115E1,0xC0C8436A,0x3D240AEA,0x787D5C61,0xB796A699,
0xF2CFF012,0x4C25370C,0x097C6187,0xC6979B7F,0x83CECDF4,0xDF267043,0x9A7F26C8,
0x5594DC30,0x10CD8ABB,0xAE274DA5,0xEB7E1B2E,0x2495E1D6,0x61CCB75D,0xBB2873B3,
0xFE712538,0x319ADFC0,0x74C3894B,0xCA294E55,0x8F7018DE,0x409BE226,0x05C2B4AD,
0x592A091A,0x1C735F91,0xD398A569,0x96C1F3E2,0x282B34FC,0x6D726277,0xA299988F,
0xE7C0CE04,0x1A2C8784,0x5F75D10F,0x909E2BF7,0xD5C77D7C,0x6B2DBA62,0x2E74ECE9,
0xE19F1611,0xA4C6409A,0xF82EFD2D,0xBD77ABA6,0x729C515E,0x37C507D5,0x892FC0CB,
0xCC769640,0x039D6CB8,0x46C43A33,0xD2308101,0x9769D78A,0x58822D72,0x1DDB7BF9,
0xA331BCE7,0xE668EA6C,0x29831094,0x6CDA461F,0x3032FBA8,0x756BAD23,0xBA8057BD,
0xFFD90150,0x4133C64E,0x046A90C5,0xCB816A3D,0x8ED83CB6,0x73347536,0x366D23BD,
0xF986D945,0xBCDF8FCE,0x023548D0,0x476C1E5B,0x8887E4A3,0xCDEB228,0x91360F9F,
0xD46F5914,0x1B84A3EC,0x5EDDF567,0xE0373279,0xA56E64F2,0x6A859E0A,0x2FDCC881,
0xF5380C6F,0xB0615AE4,0x7F8AA01C,0x3AD3F697,0x84393189,0xC1606702,0x0E8B9DFA,
0x4BD2CB71,0x173A76C6,0x5263204D,0x9D88DAB5,0xD8D18C3E,0x663B4B20,0x23621DAB,
0xEC89E753,0xA9D0B1D8,0x543CF858,0x1165AED3,0xDE8E542B,0x9BD702A0,0x253DC5BE,
0x60649335,0xAF8F69CD,0xEAD63F46,0xB63E82F1,0xF367D47A,0x3C8C2E82,0x79D57809,
0xC73FBF17,0x8266E99C,0x4D8D1364,0x08D445EF};
```

**B 関数 *Sub* 用参照テーブル****LOOKUP TABLE T\_0[256] FOR *Sub* IN NONLINEAR FUNCTION:**

```
T_0[256]={
0xa56363c6,0x847c7cf8,0x997777ee,0x8d7b7bf6,0x0df2f2ff,0xbd6b6bd6,0xb16f6fde,
0x54c5c591,0x50303060,0x03010102,0xa96767ce,0x7d2b2b56,0x19fefee7,0x62d7d7b5,
0xe6abab4d,0x9a7676ec,0x45caca8f,0x9d82821f,0x40c9c989,0x877d7dfa,0x15fafaf,
0xeb5959b2,0xc947478e,0x0bf0f0fb,0xecadad41,0x67d4d4b3,0xfda2a25f,0xeaafaf45,
0xbf9c9c23,0xf7a4a453,0x967272e4,0x5bc0c09b,0xc2b7b775,0x1cfdffe1,0xae93933d,
0x6a26264c,0x5a36366c,0x413f3f7e,0x02f7f7f5,0x4fcccc83,0x5c343468,0xf4a5a551,
0x34e5e5d1,0x08f1f1f9,0x937171e2,0x73d8d8ab,0x53313162,0x3f15152a,0x0c040408,
0x52c7c795,0x65232346,0x5ec3c39d,0x28181830,0xa1969637,0x0f05050a,0xb59a9a2f,
0x0907070e,0x36121224,0x9b80801b,0x3de2e2df,0x26ebecbd,0x6927274e,0xcdb2b27f,
0x9f7575ea,0x1b090912,0x9e83831d,0x742c2c58,0x2e1a1a34,0x2d1b1b36,0xb26e6edc,
0xee5a5ab4,0xfba0a05b,0xf65252a4,0x4d3b3b76,0x61d6d6b7,0xceb3b37d,0x7b292952,
0x3ee3e3dd,0x712f2f5e,0x97848413,0xf55353a6,0x68d1d1b9,0x00000000,0x2cededc1,
0x60202040,0x1ffcfc3,0xc8b1b179,0xed5b5bb6,0xbe6a6ad4,0x46cbcb8d,0xd9bebe67,
0x4b393972,0xde4a4a94,0xd44c4c98,0xe85858b0,0x4acfcf85,0x6bd0d0bb,0x2aefefc5,
0xe5aaaa4f,0x16fbfbfd,0xc5434386,0xd74d4d9a,0x55333366,0x94858511,0xc454548a,
0x10f9f9e9,0x06020204,0x817f7ffe,0xf05050a0,0x443c3c78,0xba9f9f25,0xe3a8a84b,
0xf35151a2,0xfea3a35d,0xc0404080,0x8a8f8f05,0xad92923f,0xbc9d9d21,0x48383870,
0x04f5f5f1,0xdfbc6c63,0xc1b6b677,0x75dadaaf,0x63212142,0x30101020,0x1affffe5,
0x0ef3f3f3,0x6dd2d2bf,0x4ccdc8d1,0x140c0c18,0x35131326,0x2fececc3,0xe15f5f5e,
0xa2979735,0xcc444488,0x3917172e,0x57c4c493,0xf2a7a755,0x827e7efc,0x473d3d7a,
0xac6464c8,0xe75d5dba,0x2b191932,0x957373e6,0xa06060c0,0x98818119,0xd14f4f9e,
0x7fdcdca3,0x66222244,0x7e2a2a54,0xab90903b,0x8388880b,0xca46468c,0x29eeec7,
0xd3b8b86b,0x3c141428,0x79dedea7,0xe25e5ebc,0x1d0b0b16,0x76dbdbad,0x3be0e0db,
0x56323264,0x4e3a3a74,0x1e0a0a14,0xdb494992,0x0a06060c,0x6c242448,0xe45c5cb8,
0x5dc2c29f,0x6ed3d3bd,0xfacac43,0xa66262c4,0xa8919139,0xa4959531,0x37e4e4d3,
0x8b7979f2,0x32e7e7d5,0x43c8c88b,0x5937376e,0xb76d6dda,0xc8c8d8d01,0x64d5d5b1,
0xd24e4e9c,0xe0a9a949,0xb46c6cd8,0xfa5656ac,0x07f4f4f3,0x25eaeacf,0xaf6565ca,
0x8e7a7af4,0xe9aeae47,0x18080810,0xd5baba6f,0x887878f0,0x6f25254a,0x722e2e5c,
0x241c1c38,0xf1a6a657,0xc7b4b473,0x51c6c697,0x23e8e8cb,0x7cddda1,0x9c7474e8,
0x211f1f3e,0xdd4b4b96,0xdcdbdb61,0x868b8b0d,0x858a8a0f,0x907070e0,0x423e3e7c,
0xc4b5b571,0xaa6666cc,0xd8484890,0x05030306,0x01f6f6f7,0x120e0e1c,0xa36161c2,
0x5f35356a,0xf95757ae,0xd0b9b969,0x91868617,0x58c1c199,0x271d1d3a,0xb99e9e27,
0x38e1e1d9,0x13f8f8eb,0xb398982b,0x33111122,0xbb6969d2,0x70d9d9a9,0x898e8e07,
0xa7949433,0xb69b9b2d,0x221e1e3c,0x92878715,0x20e9e9c9,0x49cece87,0xff5555aa,
0x78282850,0x7adfdfa5,0xf8c8c03,0xf8a1a159,0x80898909,0x170d0d1a,0xdabfbf65,
0x31e6e6d7,0xc6424284,0xb86868d0,0xc3414182,0xb0999929,0x772d2d5a,0x110f0f1e,
0xcbb0b07b,0xfc5454a8,0xd6bbbbbd,0x3a16162c};
```

**LOOKUP TABLE T\_1[256] FOR *Sub* IN NONLINEAR FUNCTION:**

```
T_1[256]={
0x6363c6a5,0x7c7cf884,0x7777ee99,0x7b7bf68d,0xf2f2ff0d,0x6b6bd6bd,0x6f6fdeb1,
0xc5c59154,0x30306050,0x01010203,0x6767cea9,0x2b2b567d,0xfefee719,0xd7d7b562,
0xabab4de6,0x7676ec9a,0xcaca8f45,0x82821f9d,0xc9c98940,0x7d7dfa87,0xfafaf15,
0x5959b2eb,0x47478ec9,0xf0f0fb0b,0xadad41ec,0xd4d4b367,0xa2a25ffd,0xafaf45ea,
0x9c9c23bf,0xa4a453f7,0x7272e496,0xc0c09b5b,0xb7b775c2,0xfdfde11c,0x939333dae,
0x26264c6a,0x36366c5a,0x3f3f7e41,0xf7f7f502,0xcccc834f,0x3434685c,0xa5a551f4,
0xe5e5d134,0xf1f1f908,0x7171e293,0xd8d8ab73,0x31316253,0x15152a3f,0x0404080c,
0xc7c79552,0x23234665,0xc3c39d5e,0x18183028,0x969637a1,0x05050a0f,0x9a9a2fb5,
0x07070e09,0x12122436,0x80801b9b,0xe2e2df3d,0xebecbd26,0x27274e69,0xb2b27fcd,
0x7575ea9f,0x0909121b,0x83831d9e,0x2c2c5874,0x1a1a342e,0xb1b1362d,0xe6e6edcb2,
```

```

0x5a5ab4ee,0xa0a05bfb,0x5252a4f6,0x3b3b764d,0xd6d6b761,0xb3b37dce,0x2929527b,
0xe3e3dd3e,0x2f2f5e71,0x84841397,0x5353a6f5,0xd1d1b968,0x00000000,0xededc12c,
0x20204060,0xfcfc31f,0xb1b179c8,0x5b5bb6ed,0x6a6ad4be,0xcbcb8d46,0xbebe67d9,
0x3939724b,0x4a4a94de,0x4c4c98d4,0x5858b0e8,0xcfcf854a,0xd0d0bb6b,0xefefc52a,
0xaaaa4fe5,0xfbfbbed16,0x434386c5,0x4d4d9ad7,0x33336655,0x85851194,0x45458acf,
0xf9f9e910,0x02020406,0x7f7ffe81,0x5050a0f0,0x3c3c7844,0x9f9f25ba,0xa8a84be3,
0x5151a2f3,0xa3a35dfe,0x404080c0,0x8f8f058a,0x92923fad,0x9d9d21bc,0x38387048,
0xf5f5f104,0xbcbcb63df,0xb6b677c1,0xdadaaf75,0x21214263,0x10102030,0xffffe51a,
0xf3f3fd0e,0xd2d2bfb6d,0xcdcd814c,0x0c0c1814,0x13132635,0xececc32f,0x5f5fbee1,
0x979735a2,0x444488cc,0x17172e39,0xc4c49357,0xa7a755f2,0x7e7efc82,0x3d3d7a47,
0x6464c8ac,0x5d5dbae7,0x1919322b,0x7373e695,0x6060c0a0,0x81811998,0x4f4f9ed1,
0xcdcda37f,0x22224466,0x2a2a547e,0x90903bab,0x88880b83,0x46468cca,0xeeccec729,
0xb8b86bd3,0x1414283c,0xdedeaf79,0x5e5ebce2,0x0b0b161d,0xdbdbad76,0xe0e0db3b,
0x32326456,0x3a3a744e,0x0a0a141e,0x494992db,0x0606c0a0,0x2424486c,0x5c5cb8e4,
0xc2c29f5d,0xd3d3bd6e,0xacac43ef,0x6262c4a6,0x919139a8,0x959531a4,0xe4e4d337,
0x7979f28b,0xe7e7d532,0xc8c88b43,0x37376e59,0x6d6ddab7,0x8d8d018c,0xd5d5b164,
0x4e4e9cd2,0xa9a949e0,0x6c6cd8b4,0x5656acfa,0xf4f4f307,0xaeaeacf25,0x6565caaf,
0x7a7af48e,0xaeae47e9,0x08081018,0xbaba6fd5,0x7878f088,0x25254a6f,0x2e2e5c72,
0x1c1c3824,0xa6a657f1,0xb4b473c7,0xc6c69751,0xe8e8cb23,0xdddda17c,0x7474e89c,
0x1f1f3e21,0x4b4b96dd,0xbdbd61dc,0x8b8b0d86,0xa8a8a0f85,0x7070e090,0x3e3e7c42,
0xb5b571c4,0x6666ccaa,0x484890d8,0x03030605,0xf6f6f701,0x0e0e1c12,0x6161c2a3,
0x35356a5f,0x5757aef9,0xb9b969d0,0x86861791,0xc1c19958,0x1d1d3a27,0x9e9e27b9,
0xe1e1d938,0xf8f8eb13,0x98982bb3,0x11112233,0x6969d2bb,0xd9d9a970,0x8e8e0789,
0x949433a7,0x9b9b2db6,0x1e1e3c22,0x87871592,0xe9e9c920,0xcece8749,0x5555aaff,
0x28285078,0xdfdfa57a,0x8c8c038f,0xa1a159f8,0x89890980,0x0d0d1a17,0xbfbfb65da,
0xe6e6d731,0x424284c6,0x6868d0b8,0x414182c3,0x999929b0,0x2d2d5a77,0xf0f0f1e11,
0xb0b07bcb,0x5454a8fc,0xbbbb6dd6,0x16162c3a};
    
```

**LOOKUP TABLE T\_2 [256] FOR *Sub* IN NONLINEAR FUNCTION:**

```

T_2[256]={
0x63c6a563,0x7cf8847c,0x77ee9977,0x7bf68d7b,0xf2ff0df2,0x6bd6bd6b,0x6fdeb16f,
0xc59154c5,0x30605030,0x01020301,0x67cea967,0x2b567d2b,0xfee719fe,0xd7b562d7,
0xab4de6ab,0x76ec9a76,0xca8f45ca,0x821f9d82,0xc98940c9,0x7dfa877d,0xfaef15fa,
0x59b2eb59,0x478ec947,0xf0fb0bf0,0xad41ecad,0xd4b367d4,0xa25ffda2,0xaf45eaaf,
0x9c23bf9c,0xa453f7a4,0x72e49672,0xc09b5bc0,0xb775c2b7,0xfde11cfd,0x933dae93,
0x264c6a26,0x366c5a36,0x3f7e413f,0xf7f502f7,0xcc834fcc,0x34685c34,0xa551f4a5,
0xe5d134e5,0xf1f908f1,0x71e29371,0xd8ab79d8,0x31625331,0x152a3f15,0x04080c04,
0xc79d552c7,0x23466523,0xc39d5ec3,0x18302818,0x9637a196,0x050a0f05,0x9a2fb59a,
0x070e0907,0x12243612,0x801b9b80,0xe2df3de2,0xebcd26eb,0x274e6927,0xb27fcdb2,
0x75ea9f75,0x09121b09,0x831d9e83,0x2c58742c,0x1a342e1a,0x1b362d1b,0x6edcb26e,
0x5ab4ee5a,0xa05bfba0,0x52a4f652,0x3b764d3b,0xd6b761d6,0xb37dceb3,0x29527b29,
0xe3dd3ee3,0x2f5e712f,0x84139784,0x53a6f553,0xd1b968d1,0x00000000,0xedc12ced,
0x20406020,0xfcfc31ff,0xb179c8b1,0x5bb6ed5b,0x6ad4be6a,0xcb8d46cb,0xbe67d9be,
0x39724b39,0x4a94de4a,0x4c98d44c,0x58b0e858,0xcf854acf,0xd0bb6bd0,0xefc52aef,
0xaa4fe5aa,0xfbbed16fb,0x4386c543,0x4d9ad74d,0x33665533,0x85119485,0x458acf45,
0xf9e910f9,0x02040602,0x7ffe817f,0x50a0f050,0x3c78443c,0x9f25ba9f,0xa84be3a8,
0x51a2f351,0xa35dfea3,0x4080c040,0x8f058a8f,0x923fad92,0x9d21bc9d,0x38704838,
0xf5f104f5,0xbcb63dfbc,0xb677c1b6,0xdaaf75da,0x21426321,0x10203010,0xffe51aff,
0xf3fd0ef3,0xd2bfb6dd2,0xcd814ccd,0xc0c1814c,0x13263513,0xeccc32fec,0x5fbee15f,
0x9735a297,0x4488cc44,0x172e3917,0xc49357c4,0xa755f2a7,0x7efc827e,0x3d7a473d,
0x64c8ac64,0x5dbae75d,0x19322b19,0x73e69573,0x60c0a060,0x81199881,0x4f9ed14f,
0xdca37fdc,0x22446622,0x2a547e2a,0x903bab90,0x880b8388,0x468cca46,0xeec729ee,
0xb86bd3b8,0x14283c14,0xdea779de,0x5ebce25e,0x0b161d0b,0xdbad76db,0xe0db3be0,
0x32645632,0x3a744e3a,0x0a141e0a,0x4992db49,0x060c0a06,0x24486c24,0x5cb8e45c,
0xc29f5dc2,0xd3bd6ed3,0xac43efac,0x62c4a662,0x9139a891,0x9531a495,0xe4d337e4,
    
```

```

0x79f28b79,0xe7d532e7,0xc88b43c8,0x376e5937,0x6ddab76d,0x8d018c8d,0xd5b164d5,
0x4e9cd24e,0xa949e0a9,0x6cd8b46c,0x56acfa56,0xf4f307f4,0xeacf25ea,0x65caaf65,
0x7af48e7a,0xae47e9ae,0x08101808,0xba6fd5ba,0x78f08878,0x254a6f25,0x2e5c722e,
0x1c38241c,0xa657f1a6,0xb473c7b4,0xc69751c6,0xe8cb23e8,0xdda17cdd,0x74e89c74,
0x1f3e211f,0x4b96dd4b,0xbd61dcbd,0x8b0d868b,0x8a0f858a,0x70e09070,0x3e7c423e,
0xb571c4b5,0x66ccaa66,0x4890d848,0x03060503,0xf6f701f6,0xe1c120e,0x61c2a361,
0x356a5f35,0x57aef957,0xb969d0b9,0x86179186,0xc19958c1,0xd3a271d,0x9e27b99e,
0xe1d938e1,0xf8eb13f8,0x982bb398,0x11223311,0x69d2bb69,0xd9a970d9,0x8e07898e,
0x9433a794,0x9b2db69b,0x1e3c221e,0x87159287,0xe9c920e9,0xce8749ce,0x55aaff55,
0x28507828,0xdfa57adf,0x8c038f8c,0xa159f8a1,0x89098089,0xd1a170d,0xbf65dabf,
0xe6d731e6,0x4284c642,0x68d0b868,0x4182c341,0x9929b099,0xd5a772d,0x0f1e110f,
0xb07bcbb0,0x54a8fc54,0xbb6dd6bb,0x162c3a16};

```

### LOOKUP TABLE T\_3[256] FOR *Sub* IN NONLINEAR FUNCTION:

```

T_3[256]={
0xc6a56363,0xf8847c7c,0xee997777,0xf68d7b7b,0xff0df2f2,0xd6bd6b6b,0xdeb16f6f,
0x9154c5c5,0x60503030,0x02030101,0xcea96767,0x567d2b2b,0xe719fefe,0xb562d7d7,
0x4de6abab,0xec9a7676,0x8f45caca,0x1f9d8282,0x8940c9c9,0xfa877d7d,0xef15fafa,
0xb2eb5959,0x8ec94747,0xfb0bf0f0,0x41ecadad,0xb367d4d4,0x5ffda2a2,0x45eaafaf,
0x23bf9c9c,0x53f7a4a4,0xe4967272,0x9b5bc0c0,0x75c2b7b7,0xe11cfdfd,0x3dae9393,
0x4c6a2626,0x6c5a3636,0x7e413f3f,0xf502f7f7,0x834fcccc,0x685c3434,0x51f4a5a5,
0xd134e5e5,0xf908f1f1,0xe2937171,0xab73d8d8,0x62533131,0x2a3f1515,0x080c0404,
0x9552c7c7,0x46652323,0x9d5ec3c3,0x30281818,0x37a19696,0xa0f0505,0x2fb59a9a,
0x0e090707,0x24361212,0x1b9b8080,0xdf3de2e2,0xcd26ebeb,0x4e692727,0x7fcd2b2b,
0xea9f7575,0x121b0909,0x1d9e8383,0x58742c2c,0x342e1a1a,0x362d1b1b,0xdc26e6e,
0xb4ee5a5a,0x5bfa0a0a,0xa4f65252,0x764d3b3b,0xb761d6d6,0xdceb3b3,0x527b2929,
0xdd3ee3e3,0x5e712f2f,0x13978484,0xa6f55353,0xb968d1d1,0x00000000,0xc12ceded,
0x40602020,0xe31ffcfc,0x79c8b1b1,0xb6ed5b5b,0xd4be6a6a,0x8d46cbcb,0x67d9bebe,
0x724b3939,0x94de4a4a,0x98d44c4c,0xb0e85858,0x854acfcf,0xbb6bd0d0,0xc52aefef,
0x4fe5aaaa,0xed16fbfb,0x86c54343,0x9ad74d4d,0x66553333,0x11948585,0x8acf4545,
0xe910f9f9,0x04060202,0xfe817f7f,0xa0f05050,0x78443c3c,0x25ba9f9f,0x4be3a8a8,
0xa2f35151,0x5dfea3a3,0x80c04040,0x058a8f8f,0x3fad9292,0x21bc9d9d,0x70483838,
0xf104f5f5,0x63dfbcbc,0x77c1b6b6,0xaf75dada,0x42632121,0x20301010,0xe51affff,
0xfd0ef3f3,0xbf6dd2d2,0x814ccdc,0x18140c0c,0x26351313,0xc32fecec,0xbee15f5f,
0x35a29797,0x88cc4444,0x2e391717,0x9357c4c4,0x55f2a7a7,0xfc827e7e,0x7a473d3d,
0xc8ac6464,0xbae75d5d,0x322b1919,0xe6957373,0xc0a06060,0x19988181,0x9ed14f4f,
0xa37fdcdc,0x44662222,0x547e2a2a,0x3bab9090,0x0b838888,0x8cca4646,0xc729eeee,
0x6bd3b8b8,0x283c1414,0xa779dede,0xbce25e5e,0x161d0b0b,0xad76dbdb,0xdb3be0e0,
0x64563232,0x744e3a3a,0x141e0a0a,0x92db4949,0x0c0a0606,0x486c2424,0xb8e45c5c,
0x9f5dc2c2,0xbd6ed3d3,0x43efacac,0xc4a66262,0x39a89191,0x31a49595,0xd337e4e4,
0xf28b7979,0xd532e7e7,0x8b43c8c8,0x6e593737,0xdab76d6d,0x018c8d8d,0xb164d5d5,
0x9cd24e4e,0x49e0a9a9,0xd8b46c6c,0xacfa5656,0xf307f4f4,0xcf25eaea,0xcaaf6565,
0xf48e7a7a,0x47e9aeae,0x10180808,0x6fd5baba,0xf0887878,0x4a6f2525,0x5c722e2e,
0x38241c1c,0x57f1a6a6,0x73c7b4b4,0x9751c6c6,0xcb23e8e8,0xa17cdddd,0xe89c7474,
0x3e211f1f,0x96dd4b4b,0x61dcbdbd,0xd868b8b8,0x0f858a8a,0xe0907070,0x7c423e3e,
0x71c4b5b5,0xccaa6666,0x90d84848,0x06050303,0xf701f6f6,0x1c120e0e,0xc2a36161,
0x6a5f3535,0xae9f95757,0x69d0b9b9,0x17918686,0x9958c1c1,0x3a271d1d,0x27b99e9e,
0xd938e1e1,0xeb13f8f8,0x2bb39898,0x22331111,0xd2bb6969,0xa970d9d9,0x07898e8e,
0x33a79494,0x2db69b9b,0x3c221e1e,0x15928787,0xc920e9e9,0x8749cece,0xaaff5555,
0x50782828,0xa57adfdf,0x038f8c8c,0x59f8a1a1,0x09808989,0x1a170d0d,0x65dabfbf,
0xd731e6e6,0x84c64242,0xd0b86868,0x82c34141,0x29b09999,0x5a772d2d,0x1e110f0f,
0x7bcbb0b0,0xa8fc5454,0x6dd6bbbb,0x2c3a1616};

```

## C KCipher-2 バージョン情報

日付	バージョン	履歴
2007 年 1 月	K2 Ver.1.0[6]	本バージョンは国際会議で最初に発表されたバージョンである。
2007 年 7 月	K2 Ver.2.0[7]	国際会議にて発表。パフォーマンス向上とプログラムサイズ削減のため初期鍵の読み込み処理と初期化処理を変更したバージョンであり、現行バージョンである。
* 2008 年	KCipher-2 Ver.2.0	商標登録に伴い、名称のみを変更した。従って、アルゴリズムは K2 Ver.2.0 と同一である。