AVR1507 : Xplain練習 – XMEGA 暗号エンジン

前提条件

■ 必要な知識
- ATMEL® AVR® Studio®の使い方
- ATMELのXMEGA®基礎C練習

■ ソフトウェア必要条件
- ATMEL AVR Studio最終版
- WinAVR最終版
- XMEGA-暗号練習ファイル

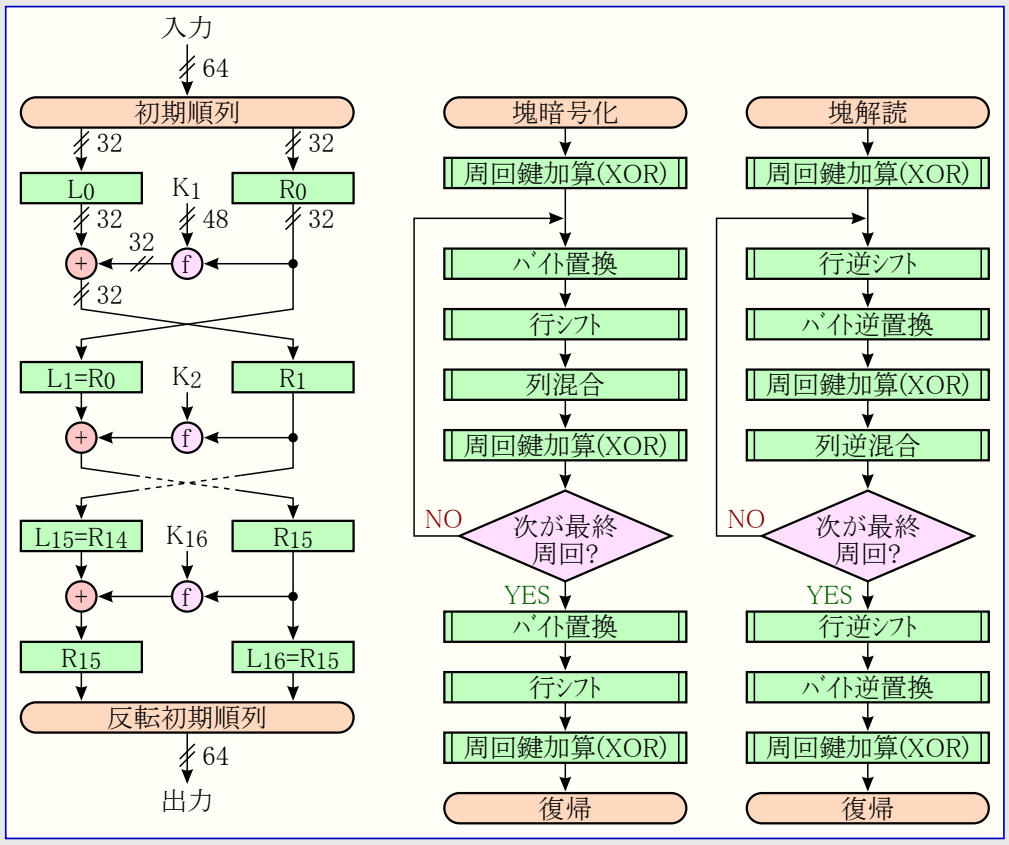
■ ハードウェア必要条件
- Xplain評価基板
- JTAGICEmk Ⅱ(最終ファームウェア)

■ 予想完了時間
- 1.5時間

1. 序説

この練習は言及される暗号算法の実用的な実装に集中して、ATMEL XMEGAの強力なハードウェア支援を用いてそれらの容易な実装方法を説明します。DESとAESの算法の後ろにある演算の詳細はこの練習の範囲外で網羅されません。

図1-1. DESとAESの流れ図



8ビット AVR® マイクロ コントローラ

応用記述

本書は一般の方々の便宜のため有志により作成されたもので、ATMEL社とは無関係であることを御承知ください。しおりのはじめにでの内容にご注意ください。

Rev. 8316A-06/10, 8316AJ2-03/14

2. 暗号概要

本章は基本的な暗号形態設定任意選択とATMEL XMEGAの機能の概要を提供します。

2.1. DES – データ暗号化規格

XMEGAは命令1式に加えて付加的な命令、DES命令を持ちます。この命令はR0～R7のレジスタに格納されたデータを暗号化または解読するための鍵としてR8～R16の汎用レジスタに格納される鍵データを使用します。1つのDES命令は、DES算法での1周回を実行します。DES算法は16段階を用い、従って正しいDES暗号文または平文のために次数を増して16回のDES命令が実行されなければなりません。DES命令への有効な引数は$00～$0Fの範囲の数値ですが、正しい手順、即ち$00,$01,～,$0E,$0Fを用いた場合にだけ正しい結果を出力します。

2.1.1. DES暗号化

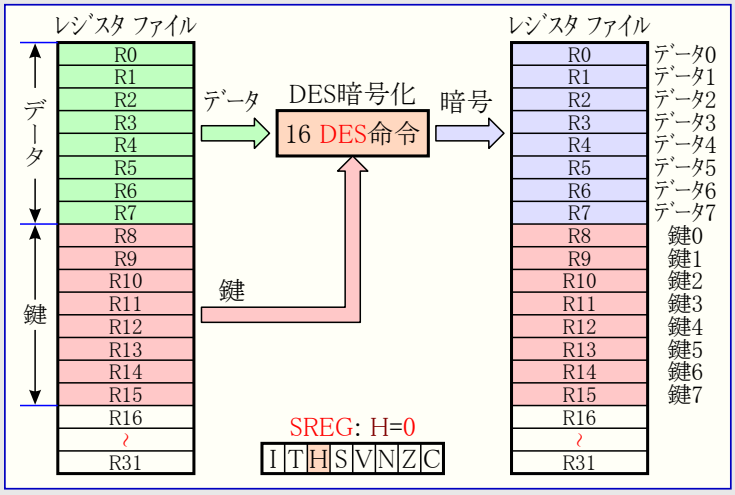
DES算法を用いる暗号データはXMEGA上で非常に簡単で、使用者は暗号化法の演算や操作について何も知る必要がありません。

実用的な実装は以下の4段階だけに依存します。

1. 平文データをR0～R7のレジスタ内に設定してください。
2. 鍵データをR8～R15のレジスタ内に設定してください。
3. SREGの"H"フラグを解除(0)してください。
4. DES $00～DES $0Fで16回DES命令を実行してください。

今や暗号文がR0～R7のレジスタで利用可能です。この時点に於いてDES命令がコンパイラによって直接支援されない一方で、正しいDESの暗号化と復号を実行するアセンブリ言語ライブラリがこの応用記述で供給され、CまたはアセンブリのC言語で書かれた応用ソフトウェアで使用する準備が整っています。

図2-1. 暗号化に使用するレジスタ



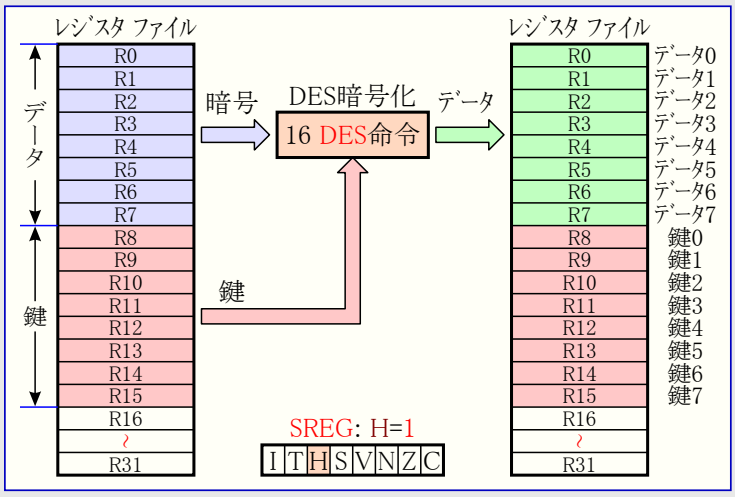
2.1.2. DES解読

DES算法でのデータ解読はまさに暗号化のように簡単です。同じ段階が適用され、今回はSREGの"H"フラグが設定(1)されなければならないだけです。

1. 暗号文データをR0～R7のレジスタ内に設定してください。
2. 鍵データをR8～R15のレジスタ内に設定してください。
3. SREGの"H"フラグを設定(1)してください。
4. DES $00～DES $0Fで16回DES命令を実行してください。

今や平文がR0～R7のレジスタで利用可能です。

図2-2. 解読に使用するレジスタ



2.2. AES – 新暗号規格

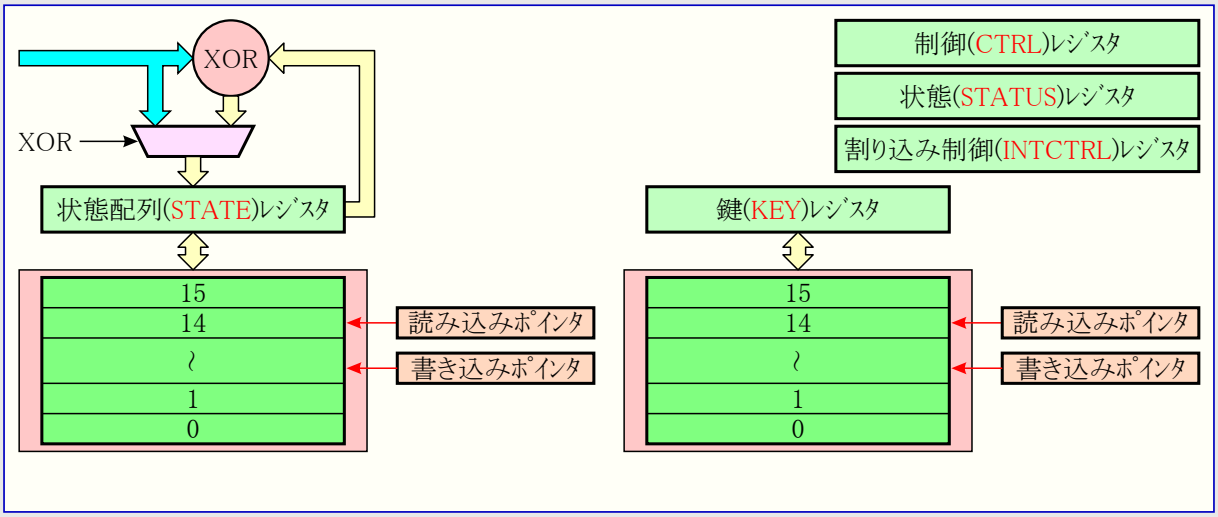
DES命令と異なり、AESはデータ レジスタ、制御と状態のレジスタを持つハードウェア部署です。これは変換完了時に割り込みを生成することができます。

この部署は以下を含みます。

1. 制御レジスタ(CTRL): 部署のリセット、変換開始、暗号化/解読と状態メモリにデータを格納する時に使用されるべきどちらかのXOR形態の選択に使用されます。
2. 状態レジスタ(STATUS): 異常(ERROR)と状態配列準備可割り込み要求フラグ(SRIF)のフラグを含みます。ERRORは状態配列(STATE)レジスタまたは鍵(KEY)レジスタが変更されると同時に開始/走行(START)ビットが設定(1)された場合に設定(1)されます。メモリが完全に読み書きされていない時に変換が開始された場合にも設定(1)されます。SRIFは変換完了時に設定(1)されます。
3. 鍵メモリ: 鍵(KEY)レジスタを通してアクセスされる16バイトのメモリです。

4. 状態ﾒﾓﾘ: 状態配列(STATE)ﾚｼﾞｽﾀを通してｱｸｾｽされる16ﾊﾞｲﾄのﾒﾓﾘです。
5. 割り込み制御ﾚｼﾞｽﾀ(INTCTRL): 許可と割り込みﾚﾍﾞﾙの設定に使用されます。

図2-3. AES部署



AES部署と関係するﾚｼﾞｽﾀについての更なる情報はXMEGA手引書で得られます。

3. 概要

この実践作業はATMEL XMEGAの基本的な暗号機能のいくつかを網羅します。

課題1. DES暗号化と解読

この課題は簡単なﾒｯｾｰｼﾞを暗号化と解読をするためのDES応用記述ﾗｲﾌﾞﾗﾘの使用法を示します。

課題2. 3DES暗号化と解読

この課題は3重DES(3DES)の使用法を示します。3DESﾗｲﾌﾞﾗﾘ関数を使用しますが、3つの標準DES呼び出しを用いて自身の3DESも作ります。

課題3. AES暗号化と解読

この課題はAES部署を制御してﾒｯｾｰｼﾞを暗号化して解読するのにAES関数を使用するのが如何に簡単かを示します。AESを使用したﾒｯｾｰｼﾞの暗号化と解読にかかる周期数も考察します。

課題4. AESとCBC

この課題はAES暗号化に暗号塊連鎖(CBC)を追加します。この課題では正しい構文法を探し出すためにAESﾗｲﾌﾞﾗﾘ ﾌｧｲﾙ内の関数を調べることが必要です。CBC AESを用いたﾒｯｾｰｼﾞを暗号化と解読にかかる周期数も考察して、直前の課題と比較します。

・この絵文字は任意選択の課題と質問を表します。答えはこの練習の最後の要約章で与えられます。

4. 課題1: DES暗号化と解読

この課題はDES応用記述と、応用内にDES暗号化と解読を素早く実装するためのﾗｲﾌﾞﾗﾘ関数の使用法を紹介します。

この課題の目的はあなたが以下の方法を知ることです。

・DES暗号化と解読用の応用記述ﾗｲﾌﾞﾗﾘ関数を使う。
・暗号化に使用されたのと僅かに異なる鍵で解読した場合に何が起きるかを見る。
・ﾊﾟﾘﾃｨ ﾋﾞｯﾄとしてどの64ﾋﾞｯﾄ符号が使用されたかを探し出す。

すること

1. ATMELのAVR Studioに於いて、DES.apsﾌﾟﾛｼﾞｪｸﾄを開いてtask1.cﾌｧｲﾙを考察してください。

この課題では入力ﾃﾞｰﾀ、出力ﾃﾞｰﾀ、暗号ﾃﾞｰﾀの格納に3つの文字列を使用します。これは解読したﾒｯｾｰｼﾞが入力ﾃﾞｰﾀと同じであることを確認する簡単な検査を許します。

2つのDES鍵文字列が定義されていることに注意してください。これは僅かな違いが出力にどう影響を及ぼすかを見るのに、暗号鍵と僅かに異なる鍵でﾒｯｾｰｼﾞを解読するための簡単な方法を許すために行われます。

2. ｺｰﾄﾞを学んで構造体に慣れてください。

全てのﾌﾟﾛｸﾞﾗﾑはﾒｯｾｰｼﾞを暗号化し、それを解読して入力と出力が同じことを確かめます。

3. AVR Studioでｺｰﾄﾞを構築して走らせて、入力ﾃﾞｰﾀと出力ﾃﾞｰﾀが本当に同じことを確かめてください。

4. 解読鍵値内の値の1つを変更してみて、これが解読にどう影響を及ぼすかを見てください。

・DES規格は実際の鍵として56ﾋﾞｯﾄだけを使用します。解読鍵内の8ﾋﾞｯﾄはﾊﾟﾘﾃｨ検査に使用されます。これらのﾊﾟﾘﾃｨﾋﾞｯﾄが64ﾋﾞｯﾄ解読鍵内の何処に配置されているかを探し出してください。

助言: これらのﾋﾞｯﾄの0/1切り替えはDES解読算法で出力に影響を及ぼしません。

5. 課題2: 3DES暗号化と解読

伝統的なDES暗号化は56ﾋﾞｯﾄでこれが良好な安全を提供するとは言え、これは大いに安全な応用にはもはや推奨されません。3回のDES使用に基づく、3重ﾃﾞｰﾀ暗号化規格(3DES)は56ﾋﾞｯﾄから168ﾋﾞｯﾄに鍵の長さを増加します。これはそれを遥かに安全にしますが、実際上各ﾃﾞｰﾀ塊で3つの操作を実行するためにより遅くもします。

この課題の目的はあなたが以下の方法を知ることです。

・ﾒｯｾｰｼﾞを暗号化と解読をするために応用記述3DESﾗｲﾌﾞﾗﾘ関数を使用します。
・3DES実装を"手動で"作るためにDESﾗｲﾌﾞﾗﾘを使用します。

すること

1. 3DES.apsﾌﾟﾛｼﾞｪｸﾄを開いてTask2.cを考察してください。
ｺｰﾄﾞはDES応用記述によって提供される関数を使用します。
2. Task2.c内のｺｰﾄﾞを理解してみてください。その後にそれをｺﾝﾊﾟｲﾙして走らせてください。ｺｰﾄﾞ走行後に暗号ﾃﾞｰﾀと出力ﾃﾞｰﾀを監視するために監視(Watch)ｳｨﾝﾄﾞｳを使用してください。

3DESが3回のDES走行に基づくため、あなたの課題は直前の課題からのDES関数を使用して3DESを実装することです。3DES符号化は解読段階が後続する暗号化段階、その後の最後の暗号化段階によって行われます。各段階はそれ自身の鍵を使用します。

3. 主関数に於いてDEC_EncryptとDEC_Decryptの関数呼び出しを見るでしょう。それらが解読に関して正しい順で配置されているのを確かめてください。
4. 欠けているﾊﾟﾗﾒｰﾀを挿入してください。参照として前の課題のｺｰﾄﾞを利用するかもしれません。
5. DEC_EncryptとDEC_Decryptの関数によって復号されたﾃﾞｰﾀが初期入力ﾃﾞｰﾀ、それとDEC_3DES_EncryptとDEC_3DES_Decryptの関数から解読されたﾃﾞｰﾀとも等しいことを確かめてください。

・DEC_3DES_Encryptを実行するのに必要な周期数はDEC_Encrypt関数の3倍よりも大きいですか?。

6. 課題3: AES暗号化と解読

この課題ではAES部署、そしてAES暗号化と解読を実装するためにAVR1318応用記述のｿﾌﾄｳｪｱ ﾗｲﾌﾞﾗﾘの使用法を考察します。

この課題の目的はあなたが以下の方法を知ることです。

・ﾒｯｾｰｼﾞを暗号化と解読をするためにAVR1318 AES応用記述ﾗｲﾌﾞﾗﾘ関数を使用します。
・暗号化と解読の両方に使用する鍵を知ります。
・AESの符号化と復号を実行するのにどのくらいのｸﾛｯｸ周期が必要かを測定します。

すること

1. AES.apsﾌﾟﾛｼﾞｪｸﾄを開いてTask3.cを考察してください。ｺｰﾄﾞ全体を通して見て使用される関数を習熟してください。
2. ﾌﾟﾛｸﾞﾗﾑをｺﾝﾊﾟｲﾙして走らせてください。
3. indata, cipherdata, outdata, aeskey, lastsubkeyの変数を監視(Watch)に追加してください。
4. ﾌﾟﾛｸﾞﾗﾑ全体を通して段階実行して変数の内容がどう変わるかを考察してください。

AESがﾊｰﾄﾞｳｪｱ部署のため、AESｿﾌﾄｳｪｱはどんなｲﾝﾗｲﾝ ｱｾﾝﾌﾞﾘ言語またはｱｾﾝﾌﾞﾘ関数への呼び出しもなしに、C言語で容易に書くことができます。あなたは前の課題のDESｺｰﾄﾞ内の関数への1行実行(Single step)が不可能だったことに気付いたかもしれません。この理由はこれらがｱｾﾝﾌﾞﾘ言語で書かれていて、そしてATMELのAVR Studio/GCCがこのようなｱｾﾝﾌﾞﾘ言語関数内への1行実行を許さないからです。

5. ﾌﾟﾛｾｯｻ(Processor)ｳｨﾝﾄﾞｳで動かないように見える周期計数器(Cycle Counter)があるのを見るでしょう。これはJTAGICEmk Ⅱがこの機能を支援しないからです。けれども、私たちはAES暗号化と解読を行うのにかかる周期数の測定を望みます。これを行うためにﾃﾞﾊﾞｯｸﾞ基盤を一時的に変更します。"Debug"ﾒﾆｭｰで"Platform and device"を選び、ﾃﾞﾊﾞｯｸﾞに対して"JTAGICEmk Ⅱ"の代わりに"Simulator 2"を使用するように選択してください。
6. 暗号化と解読にどのくらいの周期(数)がかかるかを測定してください。それを右ｸﾘｯｸすることによって周期計数器をﾘｾｯﾄすることが可能なことを憶えて置いてください。

・AES_lastsubkey_generate()関数の目的は何ですか?。
・JTAGICEmk Ⅱ(またはATMELのAVR Dragon)で周期計数器が不可能なのは何故ですか?。

7. 課題4: CBC形態でのAESの使い方

要約:

暗号塊連鎖(CBC:Cipher Block Chaining)形態では平文の各塊が暗号化されつつある前に直前の暗号文の塊とXORされます。このように、各暗号文の塊はその時点までに処理された全ての平文の塊に依存します。また、各ﾒｯｾｰｼﾞを独自にするため、最初の塊で初期化ﾍﾞｸﾄﾙを使用しなければなりません。

この課題ではCBCがどう実装され得るのかを考察します。

この課題の目的はあなたが以下の方法を知ることです。

- ﾄﾞﾗｲﾊﾞ ﾌｧｲﾙを調べてその関数の構文法を見つけます。
- CBC形態を用いる3つのﾒｯｾｰｼﾞの塊の暗号化。
- CBCを用いる同じ3つのﾒｯｾｰｼﾞの塊の解読。

前の課題では全てのｺｰﾄﾞが既に書かれていました。これはもうそうではありません。ｺｰﾄﾞの殆どは提供されますが、暗号化と解読の関数に対する引数を入力して置き、正しい引数が各関数呼び出しに渡されるのを確実にすることが必要です。

すること

1. CBC.apsﾌﾟﾛｼﾞｪｸﾄを開いてTask4.cを考察してください。ｺｰﾄﾞをざっと理解してみてください。
2. main()関数では、完成していない2つの関数呼び出しを持ちます。暗号化と解読のﾙｰﾁﾝに関するｺｰﾄﾞで完成してください。ｺｰﾄﾞをｺﾝﾊﾟｲﾙして走らせてください。
3. ｼﾐｭﾚｰﾀに変更して暗号化と解読の関数が費やす周期数を測定してください。

- 符号化と復号に費やされる周期(数)の違いを説明できますか?。

8. 要約

この実践練習ではあなたの応用にDESとAESの暗号の実装がどのくらい容易かを見ました。これらの特徴を完全に利用し得るのに算法の知識は全く必要とされません!。

9. 資料

- XMEAの手引書とﾃﾞｰﾀｼｰﾄ
  - http://www.atmel.com/xmega
- ATMELのﾍﾙﾌﾟ ﾌｧｲﾙ付きAVR studio
  - http://www.atmel.com/products/AVR/
- WINAVR GCCｺﾝﾊﾟｲﾗ
  - http://winavr.souceforge.net/
- ATMEL用IAR Embedded Workbench®ｺﾝﾊﾟｲﾗ
  - http://www.iar.com/

10. ATMEL技術支援ｾﾝﾀｰ

ATMELは以下の利用可能な多数の支援ﾁｬﾈﾙを持ちます。

・ｳｪﾌﾞ入り口	: http://www.atmel.no/	全てのATMELﾏｲｸﾛ ｺﾝﾄﾛｰﾗ
・Eﾒｰﾙ	: avr@atmel.com	全てのATMEL AVR製品
・Eﾒｰﾙ	: avr32@atmel.com	全ての32ﾋﾞｯﾄAVR製品

以下のｻｰﾋﾞｽへのｱｸｾｽを得るにはｳｪﾌﾞ入り口で登録してください。

- 豊富なFAQﾃﾞｰﾀﾍﾞｰｽへのｱｸｾｽ
- 技術支援要請の容易な依頼
- あなたの過去の全支援要請の履歴
- ATMELﾏｲｸﾛ ｺﾝﾄﾛｰﾗ時事通信の受信のための登録
- 利用可能な練習と練習材料についての情報取得

本社

Atmel Corporation
2325 Orchard Parkway
San Jose, CA 95131
USA
TEL 1(408) 441-0311
FAX 1(408) 487-2600

国外営業拠点

Atmel Asia
Unit 1-5 & 16, 19/F
BEA Tower, Millennium City 5
418 Kwun Tong Road
Kwun Tong, Kowloon
Hong Kong
TEL (852) 2245-6100
FAX (852) 2722-1369

Atmel Europe
Le Krebs
8, Rue Jean-Pierre Timbaud
BP 309
78054 Saint-Quentin-en-
Yvelines Cedex
France
TEL (33) 1-30-60-70-00
FAX (33) 1-30-60-71-11

Atmel Japan
104-0033 東京都中央区
新川1-24-8
東熱新川ﾋﾞﾙ 9F
ｱﾄﾒﾙ ｼﾞｬﾊﾟﾝ株式会社
TEL (81) 03-3523-3551
FAX (81) 03-3523-7581

製品窓口

ｳｪﾌﾞｻｲﾄ
www.atmel.com

技術支援
avr@atmel.com

販売窓口
www.atmel.com/contacts

文献請求
www.atmel.com/literature

本応用記述はATMELのAVR1507応用記述(doc8316.pdf Rev.8316A-06/10)の翻訳日本語版です。日本語では不自然となる重複する形容表現は省略されている場合があります。日本語では難解となる表現は大幅に意訳されている部分もあります。必要に応じて一部加筆されています。頁割の変更により、原本より頁数が少なくなっています。

必要と思われる部分には( )内に英語表記や略称などを残す形で表記しています。

青字の部分はﾘﾝｸとなっています。一般的に赤字の0,1は論理0,1を表します。その他の赤字は重要な部分を表します。